

平成20年度

# 基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs  
FY2008 Annual Report

平成20年度

# 基礎科学・国際特別研究員年報

Special and Foreign Postdoctoral Researcher Programs

FY2008 Annual Report

独立行政法人理化学研究所



# 総 目 次 / C o n t e n t s

## 基礎科学特別研究員年報 / Special Postdoctoral Researcher Reports

はじめに / Foreword .....	7
目次 / Contents .....	9

## 国際特別研究員年報 / Foreign Postdoctoral Researcher Reports

はじめに / Foreword .....	203
目次 / Contents .....	205



# 基礎科学特別研究員年報

Special Postdoctoral Researcher Reports

平成17～20年度採用者

FY2005~2008 Appointments



## はじめに

本年報は、独立行政法人理化学研究所に在籍する基礎科学特別研究員の平成20年度における研究報告です。基礎科学特別研究員制度の概要については、以下のとおりです。

### 〈設立の経緯〉

今後の科学技術を飛躍的に発展させ、わが国が豊かな社会を築き国際社会に貢献していくためには、創造性豊かな科学技術の発展が不可欠となっています。このような状況を踏まえ平成元年度の新たな施策として、科学技術庁（現 文部科学省）と理化学研究所が連携して独創的・基礎的研究を強力に推進する基礎科学特別研究員制度を創設しました。その後の定員の拡充等制度の充実に伴い、本制度の運用は平成7年度より理研に全面移管されています。

### 〈制度の内容〉

本制度は、理化学研究所が、創造性、独創性に富む優れた若手研究者に自主的に研究できる場を与え、その力を十分に発現させることにより基礎科学発展の担い手として活躍を期待する制度です。対象とする研究分野は、物理学、化学、生物科学、医科学、工学の学際的分野を含む科学技術分野で、理研で実施可能な研究です。

対象者は自然科学の博士号取得者（見込みを含む）又はこれと同等の研究能力を有すると認められる者で、自らが理研において実施を希望する研究課題と理研の研究領域を勘案して設定した研究課題を自主的に遂行する意志のある者です。毎年、公募により募集を行い、所内研究者と外部有識者で構成される委員会で審査（書類審査、面接審査）・選考を行っています。契約期間は1年ですが、毎年度所定の評価を経て最長3年間を限度として契約を更新することができます。

基礎科学特別研究員の受け入れにあたっては、研究課題を自主的に遂行できるよう受入研究室を定めて、必要な研究スペースの確保、研究施設及び設備の利用について便宜を図り、基礎科学特別研究員は所属長から助言を受けることができます。

平成20年10月からは育児休業の制度も見直し、研究・出産・育児のワークライフバランスにも配慮しています。制度創設から20年が経過し、既に1,000名以上の基礎科学特別研究員を受け入れており、現在の在籍者数は149名となっています。

平成22年1月

独立行政法人理化学研究所



〔凡例〕

各研究報告の末尾に掲げた誌上発表(Publications)の原著論文等のうち、\*印を付したものは査読制度がある論文誌であることを示します。

# 目 次

## ◆ 平成17年度上期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVII-023	天然有機化合物と生体関連物質の相互作用に関する研究	川崎 (齊藤) 安貴子	19

## ◆ 平成17年度下期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVII-047	超高精度のフェルミ結合定数測定	友野 大	20
XVII-048	近藤効果の直接観察	坪井 紀子	20
XVII-050	高次高調波を用いた固体中のオージェ過程の時間分解測定	清水 俊彦	21
XVII-053	フッ素化フラーレンを用いた機能性分子の合成と物性	伊藤 清太郎	22
XVII-054	イメージングによるゴルジ体ダイナミクスの解析	時田 (松浦) 公美	
XVII-058	緑藻ボルボックス目における多細胞化に伴う形態形成機構の進化	植木 紀子	23
XVII-059	タンパク質メチル化酵素の機能とその修飾の役割の解明	定家 真人	24
XVII-060	マウス始原生殖細胞決定機構の解析及びES細胞からの分化誘導技術の開発	大日向 康秀	25

## ◆ 平成18年度上期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVIII-001	全天X監視による巨大ブラックホール形成機構の解明	磯部 直樹	29
XVIII-002	高エネルギー宇宙現象を捉える次世代X線シリコンピクセル検出器の研究開発	平賀 純子	30
XVIII-008	電荷・スピンドープを用いた幾何学的フラストレート磁性体における相競合機構	東中 隆二	31
XVIII-009	分子配向技術を用いた短波長域の強光子場の物理の探求	金井 恒人	32
XVIII-010	フェムト秒レーザーによる三次元ナノ加工に関する研究	花田 修賢	33
XVIII-011	プラズモニクナノデバイスの作製と高速度ナノイメージングへの応用	小野 篤史	35
XVIII-012	新しい分子進化法の開発とタンパク質解析技術・機能制御技術への応用	小川 敦司	36
XVIII-013	新しい非線形分光法を用いた界面超高速反応の解明	関口 健太郎	37
XVIII-014	画像観測法による気相分子の化学反応ダイナミクスに関する研究	小城 吉寛	38
XVIII-015	有機金属錯体触媒を用いる有機合成化学的二氧化碳素固定化反応の開発	大石 健	39
XVIII-016	単離核を用いた複製反応再構成系の確立	柳 憲一郎	39
XVIII-017	遺伝子発現に至るストレスシグナルのリバースプロテオミクス解析	前田 和宏	40

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVIII-021	糖鎖および糖スクレオチドの高速分析法の開発	中嶋 和紀.....	41
XVIII-022	細胞内脂質動態の分子機構の解析	岩本 邦彦.....	42
XVIII-023	細胞膜上における脂質ドメインの機能の研究	村瀬 琴乃.....	44
XVIII-026	ナノスケール界面加工による有機微結晶トランジスタの電子回路応用	三成 剛生.....	45
XVIII-027	中性子過剰魔法核 <sup>78</sup> Ni近傍における核内中性子分布及び陽子分布変形の個別決定	菅野 祥子.....	48
XVIII-028	原子核における $\alpha$ 粒子凝縮と、それに基づいたガスのクラスター構造状態の研究	船木 靖郎.....	49
XVIII-029	超流動ヘリウム中での不安定核原子のレーザー・マイクロ波二重共鳴法による核構造研究	古川 武.....	51
XVIII-030	陽子過剰核 <sup>31</sup> Cl核の核モーメントの測定による核構造の研究	長友 傑.....	52
XVIII-031	新魔法数 $N = 34$ の探索	竹下 英里.....	54
XVIII-032	反跳粒子測定による不安定核弾性散乱を用いた核子密度分布の研究	寺嶋 知.....	55
XVIII-033	超重元素合成のための重イオン核反応機構に対する理論的研究	市川 隆敏.....	56
XVIII-034	RHIC-PHENIX実験におけるJetのスピン非対称度測定を用いた核子構造の研究と標準模型の検証	深尾 祥紀.....	57
XVIII-036	超対称性を持った模型の格子上での定式化	金森 逸作.....	58
XVIII-039	媒質中のカイラル対称性の回復におけるベクトル中間子の役割	日高 義将.....	59
XVIII-040	EFHC1機能解析と若年性ミオクロニーてんかんの病因解明	鈴木 俊光.....	60
XVIII-042	EEG/MEGを用いた皮質間相互作用の非侵襲計測とその解析	篠崎 隆志.....	61
XVIII-043	GABA性(抑制性)介在神経細胞間の相互作用がワーキングメモリーに及ぼす影響についての研究	森田 賢治.....	62
XVIII-044	高次認知課題による脳神経系の再構築と言語の獲得: 齧歯類デグーを用いて	時本 楠緒子.....	63
XVIII-047	Co三角格子をもつ強相関熱電材料の電子状態の研究	石田 行章.....	64
XVIII-048	翻訳後修飾に対応する非天然型アミノ酸の蛋白質への部位特異的導入による細胞内情報伝達の制御	小林 隆嗣.....	67
XVIII-049	性染色体のDNA脱メチル化による性転換を利用した雌雄異株植物の性決定機構の解明	西山 りゑ.....	68
XVIII-050	植物におけるmRNA前駆体スプライシング活性制御機構とその生理的意義の解明	武富(大谷) 美沙都.....	69
XVIII-051	細胞内亜鉛シグナル経路の解明	鈴木 智之.....	69
XVIII-052	マウス囊胚発生における形態形成運動と細胞接着のダイナミズムに関する研究	平野 真理子.....	70
XVIII-053	線虫 <i>C. elegans</i> の生殖顆粒構成因子のプロファイリングと機能解析	花澤 桃世.....	71
XVIII-054	個体発生能を司る始原生殖細胞の核内基盤の解明	関 由行.....	72
XVIII-055	接着斑を構成・制御する細胞骨格系タンパク質、タリン(talin)の機能解析	辻岡 政経.....	73

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVIII-056	未知の葉緑体シグナルによる後期胚発生・発芽制御機構のChemical geneticsによる解析	土屋 雄一郎	74

◆ 平成19年度上期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XIX-001	不動点近似に基づく高性能適応信号処理方式—無線通信システムへの応用	湯川 正裕	77
XIX-002	量子化学の新しい基礎理論の開発：密度行列の直接決定法	中田 真秀	78
XIX-003	銀河団重力レンズクエーサーを用いた宇宙の暗黒物質モデルの検証	稲田 直久	79
XIX-005	多次元輻射磁気流体計算とX線観測によるブラックホール降着流の研究	大須賀 健	80
XIX-006	最遠方原始銀河の観測で探る宇宙の再電離と初期天体形成・進化の歴史	太田 一陽	81
XIX-007	「すざく」衛星を用いた銀河団における粒子加速の研究	川原田 円	82
XIX-008	宇宙嵐の発生メカニズムの解明	片岡 龍峰	83
XIX-009	ベリリウム不安定同位体に対する $^{22}\text{Si}/^{22}\text{P}$ 遷移周波数の精密測定による荷電半径測定	高峰 愛子	83
XIX-010	二次元量子反強磁性体におけるスピン液体とトポロジカル・オーダー	古川 俊輔	85
XIX-012	走査トンネル顕微鏡/分光 (STM/STS) を用いた (強相関系の) 不純物効果の研究	小野 雅紀	86
XIX-013	超伝導電子対のナノスケール分光解像	幸坂 祐生	87
XIX-014	放電場によるマイクロドロップ・インジェクション現象を利用した超微細三次元造形技術の確立とそれによるマイクロマシン、バイオ—メカニカルファブリケーションへの応用展開	梅津 信二郎	88
XIX-015	A United Design of Carbon-Nanotubes and Silicon Nanotechnology for Quantum-Dot Based Nanodevices	黄 少云	89
XIX-016	カーボンナノチューブナノ構造を用いた新規デバイスの開発	田畑 博史	91
XIX-017	カーボンナノチューブを電子線で“描く”技術の開発と集積素子作製プロセスへの応用	飛田 聡	91
XIX-018	細胞内酵素活性測定用マイクロシステムの開発と癌細胞診断への適用検討	韓 愛善	93
XIX-019	分子間電子トンネル効果に基づくDNA鎖の塩基配列決定法	大城 敬人	93
XIX-020	光子とアロステリック結合する新規機能性RNAの構築と細胞内活性制御法の開発	小笠原 慎治	94
XIX-021	マイクロ電極と機能性高分子を利用した高機能マイクロバイオ分析デバイスの開発	佐々木 直樹	95
XIX-022	試験管内分子進化法による光応答性分子ピンセットの開発	劉 明哲	96
XIX-023	極限的非線形分光法による電極界面水分子構造の決定	二本柳 聡史	97

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XIX-025	導電性カンチレバーを用いた分子レベルの水、イオン、ソフトマテリアル研究	横田 泰之	98
XIX-026	非リボソーム型ペプチド合成酵素の分子認識機構の解明	奥村 英夫	99
XIX-027	糸状菌有用二次代謝産物生合成機構の解析と制御系の改変による生合成の効率化	加藤 直樹	100
XIX-028	放線菌の潜在的二次代謝産物、代謝中間体、および生合成酵素の解析	鈴木 宏和	101
XIX-030	小胞体内腔における抗原トリミング複合体の活性発現機構の解明	後藤 芳邦	102
XIX-031	コヒーシによる姉妹染色分体接着の分子メカニズム	新富 圭史	103
XIX-032	アセチルCoAなどの代謝がヒストンの修飾を介してゲノムレベルで遺伝子の発現に及ぼす影響に関する分子生物学的研究	高橋 秀和	103
XIX-033	ヒストン脱アセチル化酵素阻害剤による転写抑制機構の解明と新規疾患治療薬への応用	古米 亮平	104
XIX-034	分裂酵母温度感受性変異株ライブラリーによるタンパク質アセチル化の包括的機能解析	松村 拓洋	105
XIX-035	ゴルジ体における膜脂質の非対称分布形成機構の解明	稲留 弘乃	106
XIX-036	革新的高輝度性能を実現するNEA光陰極電子源の開発研究	西谷 智博	107
XIX-037	網膜幹細胞ニッチにおける細胞間相互作用の形態学的および分子遺伝学的解析	久保 郁	108
XIX-038	植物受精機構を基盤とした真核生物接合メカニズムの研究	森 稔幸	109
XIX-039	一核子移行反応を用いた中性子過剰核の研究	近藤 洋介	109
XIX-040	高励起中性子過剰核におけるHeクラスター構造の発現機構と反応ダイナミクスの統一的研究	伊藤 誠	110
XIX-041	陽子過剰核の反応断面積測定と陽子ハロー構造	武智 麻耶	112
XIX-042	K中間子原子核探索による、超高密度物質内におけるハドロンの性質の研究	佐久間 史典	114
XIX-043	超弦の場の理論の構成とその応用	岸本 功	115
XIX-045	RHIC-PHENIX偏極陽子陽子衝突実験における陽子内グルーオン偏極構造関数の研究	外川 学	116
XIX-046	神経変性疾患におけるcross-seedingによるアミロイド形成制御機構	古川 良明	117
XIX-047	神経細胞維持・変性における細胞極性制御メカニズムaPKC-PARシグナリングの機能解析	山中 智行	118
XIX-048	IP <sub>3</sub> 受容体の分子内相互作用のチャンネル開口における機能の解明	榎本 匡宏	119
XIX-049	量子ドット1分子イメージングによるシナプス可塑性の分子機構の解明	坂内 博子	119
XIX-050	海馬神経細胞における空間的なカルシウムシグナル制御機構の解明	深津 和美	120
XIX-051	イノシトール三リン酸 (IP <sub>3</sub> ) イメージングでの、カルシウム (Ca <sup>2+</sup> ) 振動機序の解明	松浦 徹	121
XIX-052	神経栄養因子の分泌に関わるタンパク質CAPS2の解析	定方 哲史	122

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XIX-053	再び子供のように学ぶ：鳴禽類の成鳥における歌学習再可塑性の脳機構	福田 諭 .....	123
XIX-054	幼虫が成虫へと変身する過程__変態を光で解き明かす	杉村 薫 .....	124
XIX-055	Lipocalin 2の血球数恒常性維持機構における機能解析	三原田 賢一 .....	124
XIX-056	ゲノム再プログラム化機構を利用した生殖細胞およびES細胞の作出	三木 洋美 .....	126
XIX-057	位相幾何学的手法によるX線動的回折理論	澤田 桂 .....	127
XIX-058	質量分析法による超巨大蛋白質複合体のダイナミクス解析法開発	山本 竜也 .....	128
XIX-060	ストリゴラクトンによる植物の枝分かれ制御機構に関する研究	梅原 三貴久 .....	129
XIX-061	RGA / GAI 相互作用因子GAF1によるジベレリン信号伝達機構の解析	深澤 壽太郎 .....	130
XIX-062	オートファジー能欠損植物における新規細胞死促進因子の探索とその解析	吉本 光希 .....	131
XIX-063	逆遺伝学的手法を用いたアブシジン酸の新奇シグナル因子の同定と機能解析	岡本 昌憲 .....	132
XIX-064	ゲノム情報を基盤としたアレルギーメカニズムの解明	田中 伸弥 .....	134
XIX-065	代謝プロファイリングに基づく宿主-腸内フローラ間相互作用の評価系の構築	福田 真嗣 .....	135
XIX-066	BMP結合タンパク質Cv2のin vivoにおけるBMPシグナル制御機構の解明	池谷 真 .....	136
XIX-067	ゼブラフィッシュを用いた、小脳発生のメカニズムに関する研究	田辺 光志 .....	137
XIX-068	哺乳類の受精における細胞周期制御機構の解析	庄司 志咲子 .....	138
XIX-069	単一細胞マイクロアレイによる、マウス生殖細胞形成を規定する機能遺伝子ネットワークの同定とその再構成	栗本 一基 .....	139

#### ◆ 平成20年度上期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XX-001	K中間子ヘリウム3原子X線の精密測定	飯尾 雅実 .....	143
XX-002	重イオン衝突直後の早期熱平衡化とクォーク・グルーオン・プラズマ形成に関する研究	古城 徹 .....	144
XX-003	余剰次元模型における電弱対称性の破れに関する研究	阪村 豊 .....	144
XX-004	RIBF-SLOWRI計画のための大強度RIビーム用ガスキャッチャーシステムの開発	園田 哲 .....	145
XX-005	X線スペクトルの時間変動で探るブラックホール時空構造と一般相対論的降着円盤	高橋 芳太 .....	147
XX-006	雷活動からのX線や核 $\gamma$ 線観測による電場での粒子加速の検証	土屋 晴文 .....	148
XX-007	マグネターを手掛かりにした強磁場中性子星の高エネルギー現象の解明	中川 友進 .....	149
XX-008	SPring-8逆コンプトン $\gamma$ 線ビームを用いたペンタクォークの研究	新山 雅之 .....	151
XX-009	J-PARCでの飛行K中間子を用いたK中間子束縛状態の探索実験	藤岡 宏之 .....	152

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XX-010	キューサー吸収線を用いた活動銀河核の研究	三澤 透 .....	152
XX-011	X線撮像分光観測による超新星残骸の元素組成とその空間分布の測定	山口 弘悦 .....	153
XX-012	原子核密度汎関数法に基づいた不安定原子核における集団運動の微視的記述	吉田 賢市 .....	154
XX-013	ミュオンスピン緩和法による量子臨界点近傍における磁性研究	大石 一城 .....	155
XX-014	多バンドフェルミ流体が内包するゲージ理論的構造の解明	進藤 龍一 .....	157
XX-015	ナノスケール電子系における多体効果・干渉効果と非平衡輸送特性の理論的研究	田中 洋一 .....	158
XX-016	大自由度集団現象の理論的解明：情報处理的な視点に立った新しいアプローチ	寺前 順之介 .....	159
XX-017	新規プローブ分子の開発を基盤とした細胞死に関わるミトコンドリア機能の解明	一丸 直哉 .....	161
XX-018	芳香族化合物のC-H結合の直接的官能基化をめざした新規触媒系の開発	小山田 重蔵 .....	161
XX-019	軸性不斉を完全制御した光電子機能性オリゴナフタレン類の創製	高石 和人 .....	162
XX-020	ホスファターゼ阻害剤をプローブとしたホスファターゼ網羅的解析法の開発	久米田（土屋）綾子 .....	163
XX-021	ペニング電子脱離を利用したサイズ選別中性クラスターの光電子分光研究	堀尾 琢哉 .....	164
XX-022	赤外分光及び蛍光顕微鏡による肺サーファクタントの構造と機能についての研究	盛田 伸一 .....	165
XX-023	哺乳類卵母細胞に特有な核小体成分の同定と解析	大串 素雅子 .....	165
XX-024	メタボロミクスを用いた植物におけるグルタチオン抱合体の網羅的解析及びグルタチオン分解酵素の単離解析	大津（大鎌）直子 .....	166
XX-025	定量データを介した実験と理論の融合による、極性形成原理解明	小林 徹也 .....	167
XX-026	光架橋技術を用いた分泌タンパク質の濃度勾配モデルの構築	櫻木 誠 .....	168
XX-027	共生微生物が賦与する昆虫の寄主植物適応機構の解明	土田 努 .....	169
XX-028	昆虫による植物形態操作や植物細胞制御の機構解明：植物ホルモノームの定量、および、植物遺伝子発現動態解析からのアプローチ	徳田 誠 .....	170
XX-029	線虫の初期胚細胞分裂における微小管動態制御機構の解析	戸谷 美夏 .....	171
XX-030	グローバルな日周運動を制御する作動原理の解明	中道 範人 .....	171
XX-031	植物の低温ストレス応答に関与する新規RNAマスキング機構探索と機能解明	中南 健太郎 .....	173
XX-032	ニワトリ初期胚において中胚葉細胞の遊走を制御する分子シグナリングの解明	仲矢 由紀子 .....	174
XX-033	概日時計と器官サイズの制御機構に関する研究	新沼 協 .....	174
XX-034	MEMSに基づく定量的な摂動・測定による生命システムの解析	山田 陸裕 .....	175
XX-035	死細胞貪食に伴う免疫寛容誘導メカニズムの解明	浅野 謙一 .....	176

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XX-036	破骨細胞分化誘導時のカルシウム動態制御機構の解明	黒田 有希子 .....	177
XX-037	制御性T細胞の恒常性維持機構に関する検討	小松 紀子 .....	178
XX-038	メモリーB細胞の分化、維持機構の解明	米谷 耕平 .....	178
XX-039	減数分裂期前期におけるクロマチン因子の常染色体/性染色体領域 間移動の分子メカニズムの解明	堀澤 (高田) 幸 .....	179
XX-040	高精度な集団スパイク時系列を用いた皮質局所回路の解析	竹川 高志 .....	180
XX-041	哺乳類の脳発達におけるREM睡眠の生理的意義の遺伝学的解析	林 悠 .....	181
XX-042	鳥類の歌学習におけるカドヘリン分子群の役割	松永 英治 .....	182
XX-043	発ガン予防グルコシノレート：その生合成と分解制御の分子機構と 代謝ネットワークの解析	丸山 明子 .....	183
XX-044	視覚ノイズに反映される皮質内ダイナミクスに関する研究	脇坂 崇平 .....	184
XX-045	誘導パラメトリック発光顕微分光法の研究	磯部 圭佑 .....	185
XX-046	アミロイドβ毒性多量体の生成メカニズムの解明へ向けた新規1分 子測定法の開発	寺田 尚史 .....	187
XX-047	磁性体材料への超短パルスレーザー照射に関する研究	中嶋 聖介 .....	188
XX-048	単一電子・分子スピントロニクスデバイスの創出とこれを実現する ナノ加工プロセスの確立	根岸 良太 .....	189
XX-049	遷移金属酸化物中に導入されたナノ不均一構造の機能開拓 - 抵抗 メモリ素子への応用	藤原 宏平 .....	190
XX-050	半導体量子細線を用いた全電圧制御によるスピン演算素子の開発	森本 崇宏 .....	191

#### ◆ 平成20年度下期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XX-051	クーロン分解法を用いた陽子過剰核の磁氣的遷移強度の決定	梅野 泰宏 .....	191
XX-052	電子相関と交差物性の理論的研究	桂 法称 .....	192
XX-053	マンガン酸化物における巨大電気・磁気熱量効果	酒井 英明 .....	193
XX-054	分子性導体における光誘起現象の研究	田久保 直子 .....	194
XX-055	微生物資源からの新奇バイオプローブ探索	二村 友史 .....	195
XX-056	ショウジョウバエ成虫肢の関節をモデルとした、細胞外マトリック スの形態形成の分子機構の解析	田尻 怜子 .....	195
XX-057	神経幹細胞が自己増殖から神経産生モードへ遷移する機構の解明	今野 大治郎 .....	196
XX-058	二光子励起蛍光顕微鏡を用いたリンパ節転移癌と免疫システムの相 互作用の解析	北野 正寛 .....	197
XX-059	紫外近接場顕微鏡の開発	田口 敦清 .....	198
XX-060	化学分解を利用したNMR法による高反応性リグニン結合型構造の 解明	秋山 拓也 .....	199





基礎科学特別研究員  
平成 17 年度採用者



研究者氏名：川崎(齊藤)安貴子 Saito, Akiko

受入研究室：長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

様々な微生物や植物等が生産する天然有機化合物は、複雑な構造を有する物が多く、また、多様な生物活性を示すことから、薬剤のリードとして非常に有用な化合物群である。この豊富な資源である天然有機化合物を用いた、網羅的かつ迅速に生体関連物質との相互作用を探索する手法の開発が望まれている。しかし、天然有機化合物は、前述のように、複雑な構造を有するものが多いため、修飾やアナログ合成が困難なものも多く、網羅的な研究が困難であった。これを解決する一つ的手段として、当研究室では、官能基非依存型「化合物アレイ」を開発し、スクリーニングに用いている。本研究は、化合物アレイを用いたスクリーニング研究、および、応用方法の開発を目的に研究を行っている。

今年度は、主に、光親和型リンカーを金表面に導入した基板を用いたSPRイメージング法の最適化を行った。様々なリンカーを合成して基板に導入し、低分子化合物を固定化した後、蛋白質との相互作用を検出した。その結果、合成した中の数種のリンカーにおいて、MAP kinase であるp38などの蛋白質と低分子化合物(天然有機化合物を含む)の相互作用を検出する事が出来た。また、p38と複合体を形成するp62(SQSTM1)との相互作用部位を同定する目的で、p62由来のペプチドを固定化した基板を用いて検討を行ったところ、p38はp62の178-190番目に対応するペプチドに強く結合する事を確認し、報告した。

さらに、改良したリンカーを用いて、アルツハイマー病関連蛋白質であるtauと結合する天然低分子化合物のスクリーニングも行い、強い凝集阻害活性を有する化合物を見出した。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kawai K., Saito Akiko, Sudo T., Osada H.: "Specific reg-

ulation of cytokine dependent p38 MAP kinase activation by p62/SQSTM1", Journal of Biochemistry, Vol.143 6 pp765-772 (2008)

Saito A., Kawai K., Sudo T., Takayama H., Osada H.: "Improvement of photoaffinity SPR imaging platform and determination of the binding site of p62/SQSTM1 to p38 MAP kinase", Chemistry - An Asian Journal, Vol.3 pp1607-1612 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

齊藤 安貴子, 河合 香代子, 高山 浩, 叶 直樹, 近藤 恭光, 須藤 龍彦, 長田 裕之: "SPR イメージング法を用いた p38 MAP kinase と p62 の結合部位の同定", 日本農芸化学会 2008 年度大会, 名古屋, 日本, 3 月 (2008)

齊藤 安貴子, 前田 純宏, 浅見 綾, 本田 香織, 近藤 恭光, 高島 明彦, 長田 裕之: "タウ蛋白質に結合して凝集を阻害するバイオプローブのスクリーニング研究", 日本ケミカルバイオロジー研究会第3回年会, 東京, 日本, 5 月 (2008)

近藤 恭光, 皆川 俊, 齊藤 安貴子, 仲本 準, 長田 裕之: "化合物アレイを用いたシアノバクテリア HtpG(Hsp90)の阻害剤探索", 日本農芸化学会2009年度大会, 福岡, 日本, 3 月 (2009)

皆川 俊, 近藤 恭光, 齊藤 安貴子, 長田 裕之, 仲本 準: "Hsp90(HtpG)の機能及び構造に影響を与える化合物の網羅的探索", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3 月 (2009)

近藤 恭光, 齊藤 安貴子, 本田 香織, 奥 祐子, 平沼 佐代子, 大輪田 恵利, 長田 裕之: "化合物アレイの作成とスクリーニング技術の開発研究", 第2回ターゲットタンパク研究プログラムシンポジウム研究交流会, 東京, 日本, 2 月 (2009)

## Precision determination of the Fermi coupling constant

研究者氏名：友野 大 Tomono, Dai  
 受入研究室：仁科加速器研究センター  
 岩崎先端中間子研究室  
 (所属長 岩崎 雅彦)

電磁相互作用、弱い相互作用を規定する電弱標準理論においては、実験によってその大きさを決定すべきパラメータが最低3つ必要であり、それらの定数の1つとして、フェルミ結合定数が選択される。これを実験的に高精度で決めるためには、ミュオン崩壊の高精度測定が適している。ミュオン崩壊を使う利点は崩壊モードが少ないので扱いやすく加速器で大量に生成可能であり、理論的にもミュオン寿命とフェルミ結合定数間の関係式には非常に不定性が小さいことである。そこで、ミュオン崩壊寿命の高精度測定実験を、大強度ビームが得られる理研RALミュオン施設で計画した。過去の実験の考察から、測定精度向上のためには、検出器については応答の速い安定した検出性能が肝要であり、検出器開発を重点的に進めた。

本年度は検出器技術の応用として進めている同じミュオン崩壊電子線のための検出器として $\mu$ SRスペクトロメーター用のファイバー読み出しシンチレーションカウンターの製作を行った。さらに実際のスペクトロメーターのマグネットに組み込み、実際のミュオンを使ったテスト、および読み出し回路作成を行う予定である。完成後は種々のミュオン崩壊実験に利用可能な汎用的スペクトロメーターとして利用する予定である。これらの開発過程を国際会議 $\mu$ SR08において発表した。

一方で、ミュオンビームの強度を部分的に向上させ、実験に利用するための研究も進めている。まず

は一番手軽な方法として、原子物理で用いられているガラスキャピラリー使いビームを収束させる方法があり、これをミュオンに応用する実験を一昨年度行った。引き続いて、この実験結果の詳細、特にキャピラリーの材質依存性、ミュオンのビーム形状、エネルギー分布、スピン偏極分布を調べるために、パルス状ではなくDCビーム用いた測定を、カナダTRIUMF研究所にて6月から行っている。現在、実験途中であり、今後結果をまとめる予定である。

## ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Tomono D., Hirayama Y., Iio M., Ishida K., Iwasaki M., Ohnishi H., Outa H., Matsuzaki M., Matsuda Y., Yamazaki H., Kasagi J., Klein R., and Nakamura S.N : "Development of new  $\mu$ -e decay counter in new multi-channel  $\mu$  SR spectrometer for intense pulsed muon beam", Nucl. Instrum. and Meth. A600 (2009) 44\*.

## ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

友野大、平山雄三、石田勝彦、岩崎雅彦、川股隆行、松崎禎市郎、渡邊功雄: "Construction of new multi-channel  $\mu$  SR spectrometer at RIKEN-RAL", International conference on muon spin rotation, relaxation and resonance( $\mu$  SR08), Tsukuba, Jul. (2008)

## Direct observation of the Kondo effect

研究者氏名：坪井 紀子 Tsuboi, Noriko  
 受入研究室：高木磁性研究室  
 (所属長 高木 英典)

昨年度に引き続き、走査トンネル顕微鏡 (STM) を用い、強相関電子系の電子状態のナノスケール観察を

行った。強相関電子系とは電子間の相互作用が非常に強いMott絶縁体を母体とする系で、電子やホールを

ドーピングすることで、巨大磁気抵抗効果や高温超伝導体といった興味深い物性が現れる。強相関電子系ではスピン、軌道、電荷の自由度が系の性質に大きく関わるため、外部からの小さな摂動、例えば不純物ドーピング等により系の性質ががらりと変化する。少量の不純物の存在で系の性質が大きく変わることから、不純物周りでの局所的な電子状態の変化に興味を持たれて来た。本年度は、典型的な強相関物質として知られる $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ を母体に、Tiドーピングを行い、その電子状態の変化をナノスケールで観察した。

$\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ は、強磁性に非常に近い常磁性金属であり、磁場をかけると、 $B\parallel c=8\text{ T}$ で磁化が突然大きくなる(メタ転移)。0.5、1、2%の3種類のTiドーピング試料を用意して、それぞれの磁化曲線を測定した。その結果、Tiドーピング量が増えるに従いメタ転移の磁化の飛びが小さくなり、2%ドーピングではメタ転移がほとんど消失してしまうことがわかった。メタ転移が消失する過程として、ドーピングされた各Tiが、その近傍で局所的にメタ磁性を抑制していると仮定すると、Ti

不純物の電子状態がメタ転移を担う $\text{RuO}_2$ 二重層へ及ぼす影響は不純物周り約5格子に広がると計算できる。このような仮定が実際に成り立っているか調べるため、STM/STSを用いてTi不純物周りの電子状態の観察を行った。STM観察より、Tiドーピング試料ではドーピング量に比例して存在する不純物サイトを見出した。不純物サイトの上で $dI/dV$ スペクトルを測定したところ、メタ転移に関わるフェルミエネルギー近傍の電子状態に変化が生じていることを確認できた。続いて不純物サイト周辺のSTS観察を行ったところ、Ti不純物が基板の電子状態に及ぼす影響はTi不純物の周囲5格子程度に留まる様子が観察できた。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

坪井 紀子, 吉田 良行, 池田 伸一, 香取 浩子, 新高 誠司, 花栗 哲郎, 高木 英典: "Sr<sub>3</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub>に対する不純物効果の観察", 日本物理学会 2008 年秋季大会 盛岡 日本 9月 (2008)

## XVII - 050 高次高調波を用いた固体中のオージェ過程の時間分解測定

### Time Resolved Measurement of Auger Process in Solid State by High Harmonics

研究者氏名: 清水 俊彦 Shimizu, Toshihiko

受入研究室: 緑川レーザー物理工学研究室

(所属長 緑川 克美)

物質を電磁波などで励起する際、エネルギーが十分に大きいとき価電子帯より深い内殻の電子が励起することも可能である。このとき内殻正孔が生成されるが、この正孔は様々の過程で緩和することが知られている。内殻正孔は外殻の電子と再結合することにより消滅するが、その際電子がエネルギーを放出する。このときそのエネルギーを別の外殻電子に与え放出させるという「オージェ過程」が起こる。本研究ではこれの時間分解測定を行うのが目的である。

前年度まで、複数の次数のレーザー光の高調波を重ね合わせたときに発生するアト秒の時間幅を持つパルス列の発生と解析について取り組み、自己相関測定による分子をターゲットとした、イオン種毎にアト秒パルス列の解析を行った。測定ターゲットとしては一原子分子である希ガスから始め、複雑な多原子分子をターゲットとした研究を行った。その結

果同一分子を起源とするイオンでもその種類によって、異なる自己相関波形が現れ、関与する高調波にも違いあることが確認された。これはそれぞれのイオンが別の経路で発生していることを同時に観測できたということであり、どのような波長の高調波がその解離種の生成に寄与しているかを考察できるようになった。さらに、この研究過程の中で、我々の開発した分光器を用いると電場の振動が極めて明瞭に観測できることを発見した。アト秒パルス列の完全な計測には各高調波間の位相差までも決定することが求められる。電場干渉の測定は時間分解測定的光源として用いることとなるアト秒パルスの研究において重要な存在であるといえる。従来の方は電場同士(ここでは基本波と高調波)の干渉を測定することによって位相差を決定しているが、高調波の電場そのものの振動を見ているわけではない。高次高調波の電場干渉の直接計測を行った例は少なく、複数

次数まで同時に観測した例は未だ無かった。本研究において、それを達成することができた。さらに得られた干渉信号を各次数の強度も考慮して足し合わせると、その高調波により生成されるであろうアト秒パルス列のフーリエ限界における信号が得ることも可能である。これはアト秒パルス列の電場干渉計測を行ったものに相当している。

本年度はアト秒パルス列の干渉の直接測定を分光器の0次光を測定することで行った。後から足し合わせるわけではなく、パルス列そのものの姿を得ることが出来た。さらに、基本波の強度を変えることで高調波スペクトルの形状・エネルギーを変化させ、それがアト秒パルス列の干渉波形にどのような影響をおよぼすか測定した。これは将来の分光測定への応用を見越した観測である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Antoine P., Fomouo E., Piraux B., Shimizu T., Hasega-

wa H., Nabekawa Y., Midorikawa K.: "Two-photon double ionization of helium: an experimental lower bound of the total cross section", *Physical Review A*, Vol.78 2 pp023415-1-023415-11 (2008)

Okino T., Yamanouchi K., Shimizu T., Ma R., Nabekawa Y., Midorikawa K.: "Attosecond nonlinear Fourier transformation spectroscopy of CO<sub>2</sub> in extreme ultraviolet wavelength region", *Chemical Physics*, Vol.129 16 pp161103-1-161103-4 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shimizu T., Nabekawa Y., Takahashi E., Midorikawa K.: "Interferometric Measurement of High-Order Harmonic Fields with Attosecond Temporal Resolution", *Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2008), Photonic Applications, Systems and Technologies (PhAST 2008), San Jose, USA, May (2008)*

## XVII - 053 フッ素化フラーレンを用いた機能性分子の合成と物性

### Synthesis and Characterization of Functional Molecular Including Fluorinated Fullerene

研究者氏名：伊藤 清太郎 Ito Seitaro

受入研究室：超分子科学研究室

Acceptor分子として優れるフラーレン・フッ素化フラーレン(C<sub>60</sub>F<sub>36</sub>)と電荷移動型分子(CT)を形成させるため、donor分子として環状カルバゾールオリゴマー(cyclic oligomer)の合成を行った。Cyclic oligomerはカルバゾール分子4つが3重結合を介して環状構造を形成しており、個々のカルバゾール分子には溶解度向上のためテトラデシル基が接続している。フラーレン(C<sub>60</sub>, C<sub>60</sub>F<sub>36</sub>)と環状カルバゾール分子は、混合した場合その構造から交互に積層した構造をとることが予想される。よって光吸収によって発生・分離したキャリアが阻害されることなく電極から取り出せるようになり、高効率の構造化太陽電池の材料として利用できることが期待される。

昨年度までに環状カルバゾール分子の合成・精製に成功し、基礎物性の測定を完了した。この測定結果により環状カルバゾール分子単体では成膜性が悪く、環状分子自体では積層構造を形成するが、予想されるようなフラーレンとの積層構造は取らないこ

とがわかった。

そこで今年度は成膜性を補う意味でポリビニルカルバゾール(PVK)を用いた。PVK・環状カルバゾール・フラーレンの混合溶液によるスピコートにて膜を作成し、光電流の測定を行った。PVKとフラーレンの混合膜は光照射により電流が発生することが知られているが、環状カルバゾール分子を添加することによって光電流の増大が観測された。この結果により環状分子の機能性材料としての有効性をしめすことができた。PVKとC<sub>60</sub>の混合膜の中でカラム状に積層した環状分子がホールを輸送するパスとして機能していると予想される。また光電流の増大は膜面内方向に限られ深さ方向には変化がないことから、膜内での環状分子が面内方向に積層しており、この配列方向が物性に影響を与えていると考えられる。現在X線構造解析・偏光顕微鏡などを用いて膜内の配向状態の観察を進めている。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ito S., Shimotani H., Takagi H. and Drago N.: "On the Syn-

thesis Conditions of N and N2 Endohedral Fullerenes", FULLERENES, NANOTUBES, AND CARBON NANOSTRUCTURES 16 3 206-213 (2008) \*

## XVII - 058 緑藻ボルボックス目における多細胞化に伴う形態形成機構の進化

### Mechanism of Morphogenesis in Volvocine Algae and How It Has Co-evolved with Multicellularity

研究者氏名：植木 紀子 Ueki, Noriko

受入研究室：西井独立主幹研究ユニット

(所属長 西井 一郎)

多細胞性緑藻ボルボックスの胚発生では、球面状の細胞シートが開口部から順に外側へ反り返り、胚が完全に裏返る形態形成運動(インバージョン)が起こる。ボルボックスではJordanと呼ばれるトランスポゾンによる遺伝子タギング法が確立しており、これによりインバージョン関連遺伝子*invA*を含む3種の遺伝子が同定されている。

私は前年度までに、Jordanとは異なるトランスポゾン“*Idaten*”を発見・同定した。そして*Idaten*をトランスポゾンタギング法に用いて新規遺伝子*invB*と*invC*を同定し、*Idaten*もまた遺伝子同定のツールとして有用であることを実証した。

今年度は、*Idaten*の特徴を詳しく調べた。まず、*Idaten*転移時の配列変化を調べるため、*Idaten*挿入による変異体5株と、切り出しによる復帰突然変異体15株について、挿入箇所近傍の配列を決定した。その結果、挿入の際に生じる標的部重複は常に3塩基であり、配列特異性はないことがわかった。切り出しに関しては、3~11塩基が付加されるという興味深い結果を得た。この付加配列はトランスポゾン由来ではなく、主に挿入箇所に隣接するゲノム配列が逆向きに重複した配列であった。トランスポゾン転移メカニズムの詳細は不明だが、この付加配列は、トランスポゾン切り出しの機構に関与するものと思われる。

次に*Idaten*のトランスポゼースの探索を行った。多くのトランスポゾンで、内部にトランスポゼース配列を持つautonomous型と、持たないnon-autonomous型の両方が報告されており、前者は後者の祖先型であると考えられている。*Idaten*はnon-autonomous型であり、ゲノム内にautonomous型が存在する可能性がある。そこで、ボルボックスゲノムにおいて*Idaten*両端と相同な領域を検索し、トランスポゼース配列の有無を調べた。その結果、既知のEn/

Spm型トランスポゼースと部分的に相同な配列を含む約26 kbの領域を見いだした。この領域は*Idaten*様配列を多く有し、*Idaten*の祖先型であることが示唆された。

また、私はこれまでに*Idaten*、*Idaten-2*という2つのサブタイプを同定していた。今回この2つを別々に検出することを目指し、*Idaten*特異的な配列をプローブとしたサザン解析を行った結果、検出されるバンドの数を約半分に減らすことができた。これにより、*Idaten*トランスポゾンタギングにおけるRFLP解析が格段に容易になると期待できる。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ueki N. and Nishii I.: "*Idaten* is a new cold-inducible transposon of *Volvox carteri* that can be used for tagging developmentally important genes", *Genetics* 180: 1343-1353 (2008)

Ueki N. and Nishii I.: "Controlled enlargement of the glycoprotein vesicle surrounding a *Volvox* embryo requires the *InvB* nucleotide-sugar transporter and is required for normal morphogenesis", *Plant Cell* 21: 1166-1181 (2009)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ueki N. and Nishii I.: "*InvB*, a nucleotide sugar transporter-deficient mutant in *Volvox* shows abnormal morphogenesis", EMBO Workshop on the Cell and Molecular Biology of *Chlamydomonas* (Chlamy 2008): 13th International *Chlamydomonas* Conference Hyeres-les-Palmiers France, May-Jun. (2008)

Ueki N. and Nishii I.: "*Idaten*, a novel active *Volvox* trans-



posable element, is a useful tool for gene tagging", EMBO Workshop on the Cell and Molecular Biology of Chlamydomonas (Chlamy 2008): 13th International Chlamydomonas Conference Hyeres-les-Palmiers France, May-Jun. (2008)

Kadota J., Ueki N., Nishii I.: "InvE, a MAP kinase, regulates cell shape changes required for morphogenesis of the *Volvox* embryo", 41st Annual Meeting for the Japanese Society of Developmental Biologists (Jointly sponsored by the International Society of Developmental Biologists) Tokushima Japan, May (2008)

Nishii I., Ishida K., Kadota J., Toyooka H., Ueki N.: "*invD*

and *invE* genes control the change in cell shape that is required for inversion of *Volvox* embryos", EMBO Workshop on the Cell and Molecular Biology of Chlamydomonas (Chlamy 2008): 13th International Chlamydomonas Conference Hyeres-les-Palmiers France, May-Jun. (2008)

(国内会議等)

豊岡 博子, 門田 純, 植木 紀子, 中澤 敦, 石田 浩一, 西井 一郎: "ボルボックス胚の形態形成運動における細胞突起形成の分子メカニズム", 第7回クラミドモナス・ワークショップ, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

## XVII — 059 タンパク質メチル化酵素の機能とその修飾の役割の解明

### Functional Analyses of Protein Methyltransferases and the Protein Methylation

研究者氏名: 定家 真人 Sadaie, Mahito  
受入研究室: 発生・再生科学総合研究センター  
クロマチン動態研究チーム  
(所属長 中山 潤一)

タンパク質リシンメチル化酵素は、細胞増殖・分化・がん化や、個体発生などの生命現象と密接に関係しており、ヒストンや転写因子などの核タンパク質のメチル化を介して遺伝子発現の調節や高次クロマチン構造の変換を行うことで、これらの生命現象に関わることが明らかにされてきている。多くの生物種で、タンパク質リシンメチル化酵素に保存されたドメイン(SETドメイン)を持つタンパク質遺伝子が数多く見いだされ、機能解析が精力的に行われている。しかし、これまでに基質が同定され、その役割が解明されたものは一部のメチル化酵素のみであり、今後の研究により、新たなメチル化酵素-基質の組み合わせと、そのメチル化制御に関わる生命現象の発見が期待される。本研究では主に分裂酵母SETドメインタンパク質の新たな機能を探索することにより、タンパク質リシンメチル化酵素とその修飾の役割を解明することを目的としている。

塩基配列の解読が完了している分裂酵母ゲノムDNAからは少なくとも13種類のSETタンパク質遺伝子が見いだされる。その中でも核に局在する2つのSETタンパク質(Set3, Set13)に注目し、生化学的・遺伝学的手法を用いてメチル化酵素活性の有無の検討と、その生理機能の解析を行っている。前年度に

行った研究により、Set13はタンパク質メチル化活性をもち、その基質タンパク質はリボソームタンパク質であることが明らかになったが、本年度は、そのリボソームタンパク質のメチル化部位を特定するために部分リコンビナント体を用いたメチル化酵素活性の解析を行った。その結果、メチル化部位はタンパク質全長の1/3の領域にまで絞り込まれた。Set13遺伝子破壊株は翻訳過程の阻害剤であるシクロヘキシミドに高感受性を示したことから、Set13による基質リボソームタンパク質のメチル化が翻訳過程で重要な働きを担うことが予想される。

Set3はSETドメインのほかPHDドメインをもつがその機能についてはほとんど明らかにされていない。出芽酵母Set3はヒストン脱アセチル化酵素Hos2と複合体を形成し転写伸長過程に必要であると考えられているが、Set3にはタンパク質メチル化酵素活性は認められないことから、酵素以外の機能を介して転写伸長に関わることが予想される。本年度の研究により、Set3は核内のクロマチンを含む領域に局在すること、またset3欠損株が翻訳阻害剤に対し高感受性を示すことがわかった。以上の結果は、Set3が翻訳に必要な因子の転写を正に制御することで、間接的に翻訳過程に関わることを示唆している。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sadaie M., Shinmyozu K., Nakayama J.: "A conserved SET domain methyltransferase, Set11, modifies ribosomal protein Rpl12 in fission yeast.", *The Journal of Biological Chemistry* Vol.283 11 pp7185-7195 (2008)

Shimada A., Dohke K., Sadaie M.: "Phosphorylation of Swi6/HP1 regulates transcriptional gene silencing at heterochro-

matin", *Genes & Development* Vol. 23 pp18-23 (2009)

## ●口頭発表 Oral Presentation

(国内会議等)

定家 真人, 白井 温子, 新名主 カオリ, 中山 潤一: "分裂酵母 SET ドメインタンパク質の機能解析", 酵母遺伝学フォーラム第41回研究報告会 札幌 日本 9月 (2008)

## XVII – 060

### マウス始原生殖細胞決定機構の解析及び ES細胞からの分化誘導技術の開発

#### Molecular Mechanism of Germ Cell Specification in Mice: Directed Differentiation of Germ Cells from ES Cells

研究者氏名: 大日向 康秀 Ohinata, Yasuhide  
受入研究室: 発生・再生科学総合研究センター  
哺乳類生殖細胞研究チーム  
(所属長 斎藤 通紀)

本研究はマウス発生初期胚内における生殖細胞決定の局時所的微小環境を定義し、化学的に定義された培養条件下、ES細胞に適切なシグナル因子を添加する方法論で始原生殖細胞分化誘導する技術を確立することを目的としている。本技術の実現は生殖細胞に固有の潜在的多能性の維持、エピゲノム情報再編集等の諸現象への生化学的方法論での挑戦に道を拓く。

本年度は、6.0日胚より得たマウス胚体外胚葉を試験管内で再構築した微小環境で培養することにより、始原生殖細胞に実際に分化することを示した。さらにマウス生体への移植により、それらは配偶子形成に正常に貢献できることから、機能的にも生殖細胞としての特性を保持しているものであることを示した。ES細胞を起点とした分化誘導系についても、第一に胚体外胚葉様の性質に分化させ、第二に前述と同様に分化誘導を行うことによって、指標となる遺伝子発現レベルではPGC様の細胞を得ている。現在はマウス生体への移植により、これら細胞の機能的に評価を行っている。

## ●紙上発表 Publications

(原著論文)

Ohinata Y., Ohta H., Shigeta M., Yamanaka K., Wakayama T., Saitou M.: "A signaling principle for the speci-

fication of the germ cell lineage in mice", *Cell* Vol.137 pp571-584 (2009)

Kurimoto K., Yabuta Y., Ohinata Y., Yamanaka K., Saitou M.: "Complex genome-wide transcription dynamics orchestrated by Blimp1 for the specification of the germ cell lineage in mice", *Genes & Development* Vol.22 pp1617-1635 (2008)

Yamaji M., Seki Y.i, Yabuta Y., Yuasa M., Shigeta M., Yamanaka K., Ohinata Y., Saitou Mitinori.: "Critical function of Prdm14 for the establishment of the germ cell lineage in mice", *Nature Genetics* Vol.40 8 pp1016-1022 (2008)

Ohinata Y., Sano M.e, Shigeta M., Yamanaka K., Saitou M.: "A comprehensive, non-invasive visualization of primordial germ cell development in mice by the Prdm1-mVenus and Dppa3-ECFP double transgenic reporter", *Reproduction* Vol.136 pp503-514 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kurimoto K., Yabuta Y., Ohinata Y., Shigeta M., Yamanaka K. Saitou M.: "Single cell cDNA microarray analysis of the specification of mammalian germ-cell lineage", 3rd Single Cell Analysis Conference ETH Zurich Zurich Switzerland (2008)



基礎科学特別研究員  
平成 18 年度採用者



Probing into the Formation Mechanism of Supermassive Black Holes  
with a High Sensitivity All Sky X-ray Monitor

研究者氏名：磯部 直樹 Isobe, Naoki

受入研究室：牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

我々の銀河を含むほぼ全ての銀河の中心に太陽質量の $10^6$ から $10^9$ 倍太陽質量( $M_{\odot}$ )の巨大ブラックホール(BH)が存在するという観測事実は、天文学の常識である。しかし、巨大BHの形成過程は現代天文学の重要な未解決問題である。最近、(100 - 1000)  $M_{\odot}$ の中質量BHの発見をきっかけに、BHは合体を繰り返すことで恒星質量BHから中質量BHへ、さらには巨大BHへと成長するという斬新な理論的シナリオが提案され、注目されている。私は、二つの観測的アプローチにより、このシナリオを検証しようと試みてきた。

一つ目は、中質量BH候補天体のX線観測である。近傍銀河には $10^{39}$  -  $10^{40}$  ergs s $^{-1}$ もの非常に大きなX線光度を持つX線源がしばしば発見されている。超光度X線源(ULX)と呼ばれるこれらの天体は、数 $10 M_{\odot}$ 以上の中質量BHの有力候補と考えられている。本年度私は、近傍銀河NGC 2403に存在するSource 3というULXの「すざく」衛星による観測データを解析した。その結果をChandra, Newtonなど海外のX線衛星によるデータと比較し、NGC 2403 Source 3の正体が(10 - 20)  $M_{\odot}$ の中質量BHであることを示した。この天体はX線光度が $2 \times 10^{39}$  ergs s $^{-1}$ とULXの中でも下限に近く質量も小さめであったが、より明るいULXはNGC 2403 Source 3の特徴をもとに質量をスケールアップすることで説明できると考えている。

二つ目は、合体直前で連星状態の巨大バイナリBHを持つ銀河の探査である。活動銀河OJ 287は、12年周期でフレアを起こすことから巨大バイナリBHの数少ない候補とされる。私は、2007年の秋に起こったOJ 287の12年ぶりのフレアを、「すざく」によるX線観測を中心に、電波から超高エネルギー $\gamma$ 線に至る広帯域の同時観測した。今年度はその観測データを解析した。その結果、OJ 287のフレアは、おそらく巨大バイナリBHの活動に伴いジェットが噴出することで起こる可能性が高いことを示した。一方、巨大BHの本格的探査には、多数の活動銀河のX線光度を絶えず監視し周期的変動を検出することが重要であ

る。牧島宇宙放射線研究室を中心に開発を進めてきた全天X線監視装置MAXIは、そのための最高の装置である。私は、MAXIによる巨大バイナリBHを目指し、任期の3年間を通じてMAXIの開発に尽力してきた。MAXIはいよいよ来年春に国際宇宙ステーションに搭載される。残念ながら観測開始は任期満了に間に合わなかったものの、今後ともMAXIによる巨大バイナリBH探査に期待する。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Isobe N., Makishima K., Tashiro M., Hong S.: "The XMM-Newton detection of diffuse inverse Compton X-rays from lobes of the FR-II radio galaxy 3C 98", The Astrophysical Journal, Vol.623, pp781-787 (2005)

Isobe N., Makishima K., Tashiro M., Itoh K., Iyomoto N., Takahashi I., Kaneda H.: "The XMM-Newton examination of energetics in the east lobe of the nearby radio galaxy Fornax A (NGC 1316)", The Astrophysical Journal, Vol.645, pp256-263 (2006)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Isobe N., Griffiths R., Itho T., Anabuki N., Awaki H., Dewangan G., Makishima K., Madejski G., Okajima T., Reeves J., Takahashi T., Ueda Y., Yaqoob T.: "Suzaku observation of nearby Seyfert 2 galaxy NGC 4945", 36th COSPAR Scientific Assembly, Beijing, China, Jul. (2006)

Isobe N., Griffiths R., Dewangan G., Makishima K., Itho T., Mizuno T., Kubota A.: "Suzaku discovery of a transient ultraluminous X-ray source in a nearby Seyfert 2 galaxy, NGC 4945", The Extreme Universe in the Suzaku Era, Kyoto, Japan, Dec. (2006)

Isobe N.: "Suzaku observation of nearby Seyfert 2 galaxy NGC 4945", 1st Korea-Japan Young Astronomers Meeting (KJYAM 2006), Gyeongju, Korea, Aug (2006)

Isobe N., Mihara T., Kohama M., Suzuki M., Matsuoka M.,

Ueno S., Tomita H., Kawai N., Kataoka J., Yoshida A., Yamaoka K., Tsunefuka H., Miyata E., Negoro H., Morii M.: "High-sensitivity monitor and survey with MAXI" First GLAST Symposium, Stanford, USA, Feb. (2007) (国内会議等)  
磯部 直樹, 早藤 麻美, 田代 信, 矢治 裕一, 瀬田 裕美,

永井 洋, 秦 和弘: "「すざく」による巨大電波銀河 3C 326 の観測", 日本天文学会 2008 年秋季年会, 岡山, 日本, 9 月 (2008)  
磯部 直樹: "巨大バイナリーブラックホールの X 線探索", 巨大ブラックホール天文学: 最新の動向と課題, 京都, 日本, 1 月 (2009)

## XVIII - 002

### 高エネルギー宇宙現象を捉える 次世代 X 線シリコンピクセル検出器の研究開発

#### Development of Silicon Pixel Detector for Exploring High Energy Universe

研究者氏名: 平賀 純子 Hiraga, S. Junko  
受入研究室: 牧島宇宙放射線研究室  
(所属長 牧島 一夫)

一光子検出型 X 線 CCD は、X 線天文分野で標準的検出器として活躍している。現在、次世代衛星搭載を目指し、これまでにない 10keV 以上の X 線にも高い感度を持つシリコン有感層の厚い CCD が開発されている。本研究では、電荷雲形状を実測することにより光電子の異方性を検出し、CCD を偏光検出器として活用することを目指す。

電荷雲形状を実測するために我々が独自に開発した微細コリメータ (BP-1 ガラス製マルチコリメータ) を用い、様々なエネルギーの X 線光子が CCD 内部で生成する電荷雲形状を実測している。

本年度は、まず、牧島宇宙線研究室において、X 線発生装置陰極ターゲットの輝線を用いた無偏光 X 線光子による電荷雲形状を実測した。昨年度、縦が横より約 1.5 倍伸びた二次元ガウス関数型の電荷雲形状が得られていた問題を検証するための実験を実施し、Cu-K (8.0keV) で、横:  $4.6 \pm 0.3 \mu\text{m}$  縦:  $4.5 \pm 0.2 \mu\text{m}$  と対称であることが分かった。この結果を受けて、高エネルギー加速器研究機構における偏光ビームを用いた電荷雲形状実測実験を実施した。真空槽内低温で CCD を様々な角度に回転する機構や、高強度高エネルギー X 線を遮断できる汎用シャッターの開発を行い、ほぼ目的のデータを取得できた。データは現在解析中である。

現在の X 線 CCD は、まだ偏光検出能力を持ち合わせないものの、様々な X 線天文衛星に搭載され、活躍中である。我々は、日本の X 線天文衛星「すざく」に搭載された X 線 CCD カメラによる超新星残骸 RX J0852.0-4622 の観測データを解析し、 $^{44}\text{Ti}$  崩壊過程で

生成される  $^{44}\text{Sc}$  による、Sc-K 輝線 (4.1keV) のフラックスを調べた。これは、超新星爆発メカニズムのプロブと考えられている  $^{44}\text{Ti}$  (半減期約 60 年) の存在を検証するものである。これまでに無い厳しいフラックス上限値を求め、過去に 4 件報告された Sc-K 輝線の存在を否定する結果となった。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hiraga J. S., Kobahashi Y., Tamagawa T., Hayato A., Bamba A., Terada Y., Petre R., Katagiri H., Hiroshi.: "Search for Sc-K line emission from RX J0852.0-4622 Supernova remnant with Suzaku", in print \*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

平賀純子, 宮本健司, 中村正吾, 俵裕子: "BP-1 ガラス製マルチコリメータを用いた X 線 CCD の電荷雲形状の実測 II" 日本天文学会 2008 年秋期年会 岡山 9 月 (2008)

平賀純子, 宮本健司, 中村正吾, 佐藤友厚, 藤井景子, 河野秀紀, 鳥越唯, 宗田天志, 片倉勇人, 片田夕貴, 岸本俊二, 俵裕子: "10keV を超える硬 X 線光子により CCD 内部で生成される電荷雲形状の実測", 日本天文学会 2009 年春期年会 大阪 3 月 (2009)

平賀純子, 宮本健司, 中村正吾, 佐藤友厚, 藤井景子, 河野秀紀, 鳥越唯, 宗田天志, 片倉勇人, 片田夕貴, 岸本俊二, 俵裕子: "X 光子により CCD 内部で生成される電荷雲形状の実測", 応用物理学会 2009 年

春期第56回関係連合講演会 筑波3月(2009)  
宮本健司, 平賀純子, 中村正吾, 佐藤友厚, 藤井景子,  
河野秀紀, 鳥越唯, 宗田天志, 片倉勇人, 片田夕貴,

高島健, 俵裕子, 内堀幸夫, 北村尚: "硬X線用CCD  
内部で形成される電荷雲形状の測定", 日本物理学  
会第64回年次大会 東京3月(2009)

## XVIII - 008

### 電荷・スピンドープを用いた 幾何学的フラストレート磁性体における相競合機構

#### Phase Competition Mechanism of Electron- or Spin-Doped Geometrical Frustrated Magnets

研究者氏名: 東中隆二 Higashinaka, Ryuji

受入研究室: 高木磁性研究室

(所属長 高木 英典)

希釈双極子イジング磁性体は、磁性イオン希釈とイジング軸に直交した方向への磁場印加により誘起されるランダム磁場によって、新奇な磁性を示す“ランダム磁場モデル”が実現することが予想されており、注目を集めている。反強磁性ランダム磁場モデルを実現する物質は数多く対象物質が研究されているが、強磁性体では  $\text{LiHo}_x\text{Y}_{1-x}\text{F}_4$  (LHYF) しか知られておらず、その LHYF も大きな超微細相互作用を持つため理想的な系から外れている。本研究で用いる  $\text{R}(\text{OH})_3$  はこのモデルの新たな候補物質であり、Dy, Ho とともに同じ結晶構造、イジング異方性を持つ。Dy<sup>3+</sup>イオンはクラマースイオンであり、非常に小さな超微細相互作用しか持たないため、より理想的な物質であると考えられる。今回、様々な磁性イオン濃度の単結晶試料を育成し、横磁場中での磁化率測定を行った。その結果、横磁場中で強磁性から常磁性状態への量子相転移を観測した。また、磁性イオン濃度が減少するに従って基底状態が強磁性からスピングラスに変化していくが、それに加えて低磁性イオン濃度の領域において新たな磁気相を示唆する結果を得た。この相と LHYF で観測されたアンチグラス状態の関連性等について議論を行った。

パイロクロア酸化物  $\text{Tb}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  は、 $\theta_{\text{CW}} \sim -14$  K のキュリーワイス温度を持つにも関わらず 20 mK まで長距離秩序を示さず、スピン液体状態を実現していると考えられているが、詳細な基底状態はまだ理解されていない。最近、この物質の基底状態は、結晶場第一励起状態の混成によって古典的なスピニアイス配置状態が量子力学的に重ね合わさった状態で表現される、量子スピニアイス状態であるという理論的な提案がなされた。もしこのような新奇量子状態が実現しているのであれば、スピニアイス同様異方的な磁化が観測さ

れるはずであるが、これまでの実験では 5 K で磁気異方性がないことが確認されているのみである。しかし、第一励起状態のエネルギーギャップ (18 K)、最近接相互作用 ( $J_{\text{nn}} \sim -0.88$  K,  $D_{\text{nn}} \sim 0.8$  K) の大きさを考慮するとより低温での測定が必要である。そこで、量子スピニアイス状態の真偽を解明するため [100], [110], [111] 方向の 100 mK, 5 T までの低温磁化測定を行った。その結果、4.2 K において磁気異方性の存在を確認し、0.1 K の [111] 方向の磁化曲線においてスピニアイス物質と同様なカゴメプラトーを示唆する異常が存在することを発見した。これらの結果を踏まえ、この物質の基底状態についての考察を行った。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hirai D., Takayama T., Higashinaka R., Aruga-Katori H., Takagi H.: "Superconductivity in Layered Pnictides  $\text{BaRh}_2\text{P}_2$  and  $\text{BaIr}_2\text{P}_2$ ", J. Phys. Soc. Jpn. 78 023706 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際学会)

Higashinaka R. and Takagi H.: "Anomalous ground state of Random Field Ising Ferromagnet  $\text{R}_x\text{Y}_{1-x}(\text{OH})_3$  ( $R = \text{Dy}, \text{Ho}$ ) in Transverse Field", HFM2008, Braunschweig (Germany), September (2008)

(国内学会等)

東中隆二, 高木英典: "ランダム磁場イジング強磁性体  $\text{R}_x\text{Y}_{1-x}(\text{OH})_3$  における異常基底状態の探索", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 盛岡, 9月 (2008)

平井大悟郎, 高山知弘, 野原実, 香取浩子, 東中隆二, 山本文子, 高木英典: " $\text{BaIr}_2\text{P}_2$ ,  $\text{BaR}_2\text{P}_2$  の超伝導", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 盛岡, 9月 (2008)



## XVIII - 009 分子配向技術を用いた短波長域の強光子場の物理の探求

### Quest for Physics of Intense Photon Fields in the Extreme Ultraviolet and Soft X-Ray Regions by Using Molecular Alignment Techniques

研究者氏名：金井 恒人 Kanai, Tsuneto  
受入研究室：緑川レーザー物理工学研究室  
(所属長 緑川 克美)

本研究では、分子配向技術と軟X線領域の強光子場発生技術を融合することにより、軟X線領域の強光子場中で期待される新現象を系統的に解明することを目的とする。緑川レーザー物理工学研究室では最近、軟X線領域における世界最高強度の光子場発生技術を開発し、軟X線領域における原子や分子の2重イオン化過程や分子のクーロン爆発を初めとする新現象を発見した。ところが試料としてランダムな向きを向いている通常の気相分子を用いたため、角度平均された物理量しか測定されていない。一般に分子中の物理現象は分子軸の向きに依存するため、配向した分子を試料として用いればより厳密な議論が展開出来ると期待される。本研究により、強光子場中の分子の解離反応経路、解離に至る原子核や電子のアト秒スケールの超高速ダイナミクスが初めて詳細に明らかになる。

本年度は、研究の遂行に必要な基礎的技術である強光子場発生技術を発展させた。まず、高次高調波の非線形媒質に混合気体を世界で初めて導入し、系統的に研究した。次に、媒質の巨視的な対称性に注目して高次高調波発生の制御を行った。

#### (1) 混合気体中における高次高調波発生

高次高調波発生のための非線形媒質に混合気体を用いることを世界で初めて提案し、その基礎的な研究を行った。特に、高次高調波の干渉効果や飛躍的増大効果と呼ばれる新しい物理現象を観測した。

#### (2) 新しい高次高調波の発生方法の開発

Iにおいて、高次高調波の非線形媒質の微視的な性質は明らかになった。しかし、高次調波の性質は媒質の巨視的な対称性からも制限される。本研究では、媒質の巨視的な性質を制御するために、新しく装置を設計・製作し、高次高調波発生の制御を行った。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Takahashi E., Kanai T., Ishikawa K., Nabekawa Y., Mi-

dorikawa K.: "Dramatic Enhancement of High-Order Harmonic Generation", *Physical Review Letters*, Vol.99, pp053904-1-053904-4 (2007)

Kanai T., Takahashi E., Nabekawa Y., Midorikawa K.: "Observing attosecond dynamics of nuclear wavepackets in molecules by using high harmonic generation in mixed gases", *New Journal of Physics (Web)* (<http://www.iop.org/EJ/njp>), Vol.10, pp025036-1-025036-8 (2008)

Kanai T., Takahashi E., Nabekawa Y., Midorikawa K.: "Observing molecular structures by using high-order harmonic generation in mixed gases", *Physical Review A*, Vol.77 4, pp041402-1-041402-4 (2008)

Minemoto S., Kanai T., Sakai H.: "Alignment dependence of the structural deformation of CO2 molecules in an intense femtosecond laser field", *Physical Review A*, Vol.77 4, pp041401-1-041401-4 (2008)

Takahashi E., Kanai T., Nabekawa Y., Midorikawa K.: "0 mJ class femtosecond optical parametric amplifier for generating soft x-ray harmonics", *Applied Physics Letters*, Vol.93, pp041111-1-041111-3 (2008)

高橋 栄治, 金井 恒人, 緑川 克美: "混合ガスを用いた高次高調波発生:アト秒ダイナミクスの観測と制御", *レーザー研究*, Vol.36 1, pp5-11 (2008)

金井 恒人, 高橋 栄治, 鍋川 康夫, 緑川 克美: "混合ガス中の高次高調波発生を用いたヘテロダイン干渉法とそのアト秒物理学への応用", *原子衝突研究協会誌* しょうとつ, Vol.5 6, pp3-10 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takahashi E., Kanai T., Nabekawa Y., Midorikawa K.: "High-order harmonic generation in mixed gases", 23rd Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2008), Hangzhou, China, Mar. (2008)

(国内会議等)

金井 恒人, 高橋 栄治, 鍋川 康夫, 緑川 克美: "多原子

分子における高次高調波発生と電場誘起再衝突電子分光法の選択則", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

金井 恒人, 須田 亮, 緑川 克美: "非線形媒質の巨視的対称性に注目した高次高調波発生の制御", 第56回応用物理学関係連合講演会 つくば 日本 3月 (2009)

金井 恒人, 鍋川 康夫, 高橋 栄治, 緑川 克美: "混合気体を用いた高次高調波発生とその応用", レーザー学会学術講演会第29回年次大会, 徳島, 日本, 1月 (2009)

金井 恒人: "高次高調波を用いた原子分子のアト秒ダイナミクスの研究", 原子衝突研究協会第33回研究会, 札幌, 日本, 8月 (2008)

高橋 栄治, 金井 恒人, 緑川 克美: "高次高調波発生を用いた水の窓領域におけるコヒーレント軟X線光源の開発", 平成20年度レーザー励起X線源とその応用研究, 福岡, 日本, 12月 (2008)

高橋 栄治, 金井 恒人, 鍋川 康夫, 緑川 克美: "パラメトリック増幅を用いた高出力・超短パルス近赤外光源の開発", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

BOHMAN SAMUEL, 須田 亮, 金井 恒人, 山口 滋, 緑川 克美: "中空ファイバーを用いたTW級2サイクルパルスの発生(3)", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

## XVIII - 010 フェムト秒レーザーによる三次元ナノ加工に関する研究

### 3-dimensional Nanofabrication of Transparent Materials by Femtosecond Laser Direct Writing Technique

研究者氏名: 花田 修賢 Hanada, Yasutaka

受入研究室: 緑川レーザー物理工学研究室

(所属長 緑川 克美)

近年、光学顕微鏡観察による微生物の挙動観察に関する研究が盛んに行われている。現在、観察の際に使用する顕微鏡システムには高倍率対物レンズと高速カメラが取り付けられており、高速高分解能撮影を実現する。しかし、高倍率対物レンズを使用することにより視野が狭くなり、かつ焦点深度も浅くなるため、活発かつ自由に活動する微生物を観察することはきわめて困難となる。また高速撮影においてはビデオメモリが有限であるというハードウェア的な制限から、撮影時間が限られてしまう。顕微鏡下では、通常、微生物観察用標本ホルダーにスライドガラスやシャーレが用いられるが、微生物が標本内を自由に無秩序に動き回ることから、一つの微生物を観察する事は非常に困難である。また、溶媒となる水の蒸発も激しい事から、微生物の挙動観察を長時間行う事は困難となる。これらの理由により、観察場において限られた数の標本を限られた時間内に限られた空間に「自由度を損なわない程度に」封入することが強く望まれている。

このような問題を解決するべく、我々はフェムト秒レーザーによるガラス内部への微細加工技術を用いて、微生物の挙動観察用マイクロチップ(「ナノ水族館」と命名)を作製してきた。ナノ水族館の作製では基板として市販の感光性ガラス(Foturanガラス)を

用い、波長775 nm(感光性ガラスに対しては透明)のフェムト秒レーザー(パルス幅150 fs)の3次元直描照射を行った。レーザー照射後、熱処理およびフッ酸エッチングにより、レーザー光照射領域のみを選択的に除去し、ガラス内部に3次元中空構造を形成した。ナノ水族館作製後、水棲微生物をナノ水族館内部に水と共に封入する事で、微生物の挙動観察を行った。

ミドリムシの鞭毛観察では、ガラス内部に3次元中空マイクロチャンネルを作製し、ミドリムシをチャンネル内部に封入することで、ミドリムシの3次元鞭毛観察を行った。一方、外部刺激による珪藻内部の葉緑体集合観察では、マイクロニードル付きナノ水族館の作製を行った。作製したマイクロニードルを使用することでナノ水族館内に封入した珪藻の特定の細胞に接触刺激を与え、珪藻の葉緑体集合及びその信号伝達観察に成功した。

今年度は、水棲微生物クリプトモナス観察用ナノ水族館の作製及び藍藻の共生による植物成長促進のメカニズム解明用ナノ水族館の作製を行った。クリプトモナス観察用ナノ水族館の作製では、ある条件下で急速に遊泳するクリプトモナスの観察に成功した。また、藍藻観察用ナノ水族館の作製では、藍藻が植物の根に向かって滑走運動を行い、根に集合する

様子を観察する事に成功した。

### ●誌上发表 Oral Presentations

(原著論文)

Sugioka K., Hanada Y., Midorikawa K.: "3D microchips fabricated by femtosecond laser for biomedical applications", Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, Vol.7266, pp726603-1-726603-10 (2008)

(総説)

Sugioka K., Hanada Y., Midorikawa K.: "3D microstructuring of glass by femtosecond laser for lab-on-a-chip applications", Proceedings of PICALO 2008 Beijing China 2008 4 PICALO 2008, ppM401-1-M401-6 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sugioka K., Hanada Y., Midorikawa K.: "3D microstructuring of glass by femtosecond laser for lab-on-a-chip applications", 3rd Pacific International Conference on Applications of Lasers and Optics (PICALO 2008), Beijing, China, Apr. (2008)

Sugioka K., Hanada Y., Kawano H., Ishikawa I., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Fabrication of nano-aquarium for dynamic analysis of microorganisms by femtosecond laser direct writing", 16th International Conference on Advanced Laser Technology (ALT'2008), Siofok, Hungary, Sep. (2008)

Sugioka K., Hanada Y., Midorikawa K.: "Nanoaquarium fabricated by femtosecond laser for dynamic observation of microorganisms", Progress in Electromagnetic Research Symposium (PIERS 2009), Beijing, China, Mar. (2009)

(国内会議等)

花田 修賢, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "F2 レーザー表面改質による紫外透過ポリマー上への細胞選択培養基板作製", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日

井, 日本, 9月 (2008)

花田 修賢, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "フェムト秒レーザーによる紫外透過性ポリマーの微細加工", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

花田 修賢, 杉岡 幸次, 河野 弘幸, 石川 依久子, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "フェムト秒レーザー加工によるナノ水族館作製-ナノ水族館内で見える水棲微生物-", 第71回レーザー加工学会講演会, 東京, 日本, 12月 (2008)

花田 修賢, 杉岡 幸次, 土本 剛義, 緑川 克美: "F2レーザー表面改質による紫外透過性ポリマー上への選択的培養", 理研シンポジウム「第7回理研・分子研合同シンポジウム: エクストリームフォトンクス研究」, 和光, 日本, 5月 (2008)

杉岡 幸次, 花田 修賢, 緑川 克美, 山田 英幸: "LIPAAによるPDP用透光性電磁シールドフィルムの作製", 平成20年(2008年)電気学会電子・情報・システム部門大会, 函館, 日本, 8月 (2008)

土本 剛義, 花田 修賢, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "紫外線透過ポリマーを用いた細胞光刺激用マイクロチップの作製", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

土本 剛義, 花田 修賢, 杉岡 幸次, 宮本 岩男, 緑川 克美: "F2レーザーを用いた紫外線透過ポリマー表面改質による細胞選択培養及び細胞観察用マイクロチップの作製", 第71回レーザー加工学会講演会, 東京, 日本, 12月 (2008)

土本 剛義, 花田 修賢, 杉岡 幸次, 緑川 克美, 河野 弘幸, 宮脇 敦史: "F2レーザー表面改質による紫外線透過ポリマー上への細胞選択培養", 光・量子デバイス研究会, 和光, 日本, 2月 (2009)

飯田 惇人, 杉岡 幸次, 花田 修賢, 河野 弘幸, 宮脇 敦史, 緑川 克美, 高井 裕司: "フェムト秒レーザーによる微生物の流体中挙動観察用ナノ水族館の作製", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

研究者氏名：小野 篤史 Ono, Atsushi

受入研究室：河田ナノフォトンクス研究室

(所属長 河田 聡)

プラズモニックナノデバイスの一つとして提案した金属ナノレンズは、金属ナノロッドをアレイ状に配列させた構造であり、この金属ナノ構造が光のイメージングを行うレンズの作用をする。金属ナノレンズは、回折限界を超えた空間分解能をもって試料の2次元分布を得ることのできる新しいイメージングデバイスである。イメージングには、金属ナノロッド表面に誘起される共鳴プラズモンを利用する。金属ナノレンズの片側のロッド端に試料(物体面)を近接させ、光を照射すると、試料からの蛍光や散乱光によって金属ナノロッド固有の共鳴プラズモンが誘起され、反対側のロッド端にナノサイズの微小な構造を忠実に再現した像(画像面)が形成される。

本年度は、超解像イメージングに加えて、カラーイメージング、拡大イメージングを実現する新たな金属ナノレンズを提案した。従来のナノレンズでは、ある波長の単色光のみがレンズとして作用する。ロッドに誘起されるプラズモンの共鳴波長がロッド長によって一意的に決まるためである。また、拡大して物を見るためにはアレイを扇形状にする必要がある。従来のナノレンズを扇形状にするとレンズ中心部分のロッド長とレンズ外側部分のロッド長との長さが異なり、共鳴波長が合わないため、レンズとして適用可能な波長が存在しない。本課題を解決するため、ロッドを10nmの間隔を空けて積層した構造を新たに提案した。積層構造がブロードバンドなプラズモン共鳴を示すということが計算によって分かった。広帯域のため拡大系の課題であった共鳴波長のミスマッチングが解消され、拡大イメージングが可能である。同時に、従来モノクロでしか試料を見ることができなかったレンズが、共鳴帯域の拡張によりカラーで試料を観察できるように

なる。従来のナノレンズは、試料に近接させることによって、レンズを介して光の回折限界をはるかに超えた解像度で忠実に像を再現するが、再現された像もまたレンズの近接領域に介在する。つまりレンズを介しても肉眼では見る事ができなかった。今回新たに提案したナノレンズは超解像性を保ったまま像を拡大できるため、レンズを介することによって肉眼でナノの構造を観察できる。このように、金属でできたレンズが、数ナノメートルの物体構造さえも鮮明に拡大し、カラーで観察することができることを今回新たに見いだした。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kawata S., Ono A., Verma P.: "Subwavelength colour imaging with a metallic nanolens", *Nature Photonics*, Vol.2 7, pp438-442 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Masui K., Ono A., Saito Y., Ichimura T., Hayazawa N., Verma P., Inouye Y., Kawata S.: "Active control of oxidation of a silicon cantilever for the characterization of silicon-based semiconductors", *Focus on Microscopy 2008 (FOM2008)*, Awaji, Japan, Apr. (2008)

Kawata S., Ono A., Prabhat V.: "Metallic nanolens for color imaging", *Plasmonics and Metamaterials (META)*, Rochester, USA, Oct. (2008)

(国内会議等)

小野 篤史, 加藤 純一, Verma Prabhat, 河田 聡: 第7回ナノフォトンクス&メタマテリアルシンポジウム, 理研シンポジウム, 和光, 日本, 11月 (2008)

研究者氏名：小川 敦司 Ogawa, Atsushi

受入研究室：前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

外部刺激によってターゲットタンパク質の発現を制御できれば、タンパク質ネットワーク内および細胞ネットワーク内におけるターゲットタンパク質の機能を詳細に解析できると思われる。そこで、本研究では、外部刺激によるタンパク質発現制御システムとして「リボスイッチシステム」に着目し、人工的・合理的にリボスイッチを構築することを目的とした。

着任当初は、研究題目にあるように、分子進化法を開発・駆使することによりリボスイッチシステムの構築を実現する予定であったが、分子進化法を用いることなく合理的に人工リボスイッチを構築する手法を一昨年度に開発したため、昨年度はその人工リボスイッチの大腸菌細胞内における挙動を調査した。

本年度は、別アプローチとして、昨年度までのmRNA基盤リボスイッチシステムとは根本的に異なる、「tRNA基盤リボスイッチ」を構築した。具体的には、サプレッサーtRNAに分子応答性を導入し、終止コドン導入ターゲット遺伝子と組み合わせることによって、分子応答性の遺伝子発現制御を実現した。このtRNA基盤リボスイッチのスイッチ効率、昨年度までに開発したmRNA基盤のものに勝るとも劣らず、新しいタンパク質発現制御技術として期待される。また、制御するタンパク質にレポータータンパク質を用いれば、ラベル化・検出機器が不要の分子センサーとしても利用することも可能である。

このように、一連の分子応答性遺伝子発現制御システム開発研究の中で、分子応答性核酸のセンサーとしての可能性を見出したこともあり、さらに本年度は、分子応答性核酸酵素「アプタザイム」と、当研究室で以前に開発された「非架橋型金ナノ粒子凝集反応」を組み合わせ、『迅速・簡便な分子可視検出センサー』を開発した。本方法は、分子の存在を核酸配列にシグナル変換できるため、多分子同時検出や分子ロジックゲートへの応用も可能である。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ogawa A., Maeda M.: "A novel label-free biosensor using an aptazyme-suppressor-tRNA conjugate and an amber mutated reporter gene", *ChemBioChem: A European Journal of Chemical Biology*, Vol.9, pp2204-2208 (2008)

Ogawa A., Maeda M.: "Simple and rapid colorimetric detection of cofactors of aptazymes using non-crosslinking gold nanoparticle aggregation", *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, Vol.18, pp6517-6520 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ogawa A., Maeda M.: "Simple and rapid colorimetric detection of low-weight molecules using aptazymes in combination with noncrosslinking gold nanoparticle aggregation", *Joint Symposium of 18th International Roundtable on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids and 35th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry*, Kyoto, Japan, Sep. (2008)

(国内会議等)

小川 敦司: "アプタザイムを利用した小分子検出システムの開発", 新世代の生物有機化学研究会 2008, 名古屋, 日本, 6月 (2008)

小川 敦司: "機能性核酸を用いた小分子検出および遺伝子発現制御", 青山研セミナー, 京都, 日本, 6月 (2008)

小川 敦司, 前田 瑞夫: "サプレッサー tRNA 基盤リボスイッチシステムの開発", 第3回バイオ関連化学合同シンポジウム, 横浜, 日本, 9月 (2008)

小川 敦司, 前田 瑞夫: "非架橋型金ナノ粒子凝集反応を用いた小分子の迅速・簡便検出", 第57回高分子討論会, 大阪, 日本, 9月 (2008)

新しい非線形分光法を用いた界面超高速反応の解明  
 Ultrafast Molecular Processes at Liquid Interfaces Investigated  
 with New Nonlinear Spectroscopic Methods

研究者氏名：関口 健太郎 Sekiguchi, Kentaro

受入研究室：田原分子分光研究室

(所属長 田原 太平)

自然界には生体内での反応や固体表面における反応など、不均一な反応場で起こる化学反応が至るところに存在するが、特に水溶液界面における分子のダイナミクスには未知の部分が多く残されている。本研究では二次の非線形レーザー分光法を駆使して界面選択性を持つ新しい時間分解分光法を開発し、界面に特有の過渡的な現象を発見し解明する事を目的としてきた。本年度は前年までに開発したフェムト秒時間分解マルチプレックス和周波(TR-ESFG)分光法の拡張と、それを用いてこれまでに得られたデータの更なる解析を試みた。また内外の優れた研究者を集める国際学会においてTR-ESFG分光法と界面の分子ダイナミクスについて講演を行い、極めて高い評価を得た。

空気/水界面の色素分子クマリン314(C314)の溶媒和のダイナミクスについては昨年報告したが、世界で始めて得られた界面における過渡電子スペクトルの変化を解釈するために、バルク水溶液中におけるフェムト秒過渡吸収スペクトルの測定を行い比較検討を試みた。注目する波長領域において、基底状態と励起状態の吸収スペクトルおよび誘導放出のスペクトルが複雑に重なっていることが分かり、更に慎重な解析とTR-ESFGスペクトルの実験的な簡略化が望まれた。そこでヘテロダイン検波によるTR-ESFG分光法を試みた。これは二次の非線形感受率 $\chi^{(2)}$ 由来の信号検出に際して、 $|\chi^{(2)}|^2$ ではなく $\chi^{(2)}$ に比例する信号を検出することでスペクトル変化の詳細を観る方法である。この方法はTR-ESFG法と同様に世界に例がない方法であり、きわめて難度が高い。水溶液表面の状態を高い精度で維持しながら測定を行った結果、予備的なデータが出始めている。

これまでに水溶液界面の分子のダイナミクスにつ

いて独自のアプローチを行い、全く新しいタイプのデータを積み上げてきた。これらを整理して発表し、この分野を牽引し続けることが今後の課題となる。本研究において開拓された分野は始まったばかりである。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Sekiguchi K., Yamaguchi S., Tahara T.: "Femtosecond time-resolved electronic sum-frequency generation spectroscopy: A new method to investigate ultrafast dynamics at liquid interfaces", *The Journal of Chemical Physics*, Vol.128 11, pp114715-1-114715-8 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sekiguchi K., Yamaguchi S., Tahara T.: "Ultrafast dynamics at the air/water interface investigated with time-resolved electronic sum-frequency generation (TR-ESFG) spectroscopy", 235th American Chemical Society National Meeting and Exposition, New Orleans, USA, Apr. (2008)

Sekiguchi K., Yamaguchi S., Tahara T.: "Ultrafast dynamics at liquid interfaces investigated with femtosecond time-resolved multiplex electronic sum-frequency generation (TR-ESFG) spectroscopy", 16th International Conference on Ultrafast Phenomena (UP 2008), stresa, Italy, Jun.(2008)

(国内会議等)

関口 健太郎: "新しい非線形分光法を用いた界面超高速反応の解明", 平成18年度採用基礎科学特別研究員成果発表会, 和光, 日本, 1月 (2009)

## XVIII - 014 画像観測法による気相分子の化学反応ダイナミクスに関する研究

### Study on the Chemical Reaction Dynamics of Gas Phase Molecules with Imaging Technique

研究者氏名：小城 吉寛 Ogi, Yoshihiro

受入研究室：鈴木化学反応研究室

(所属長 鈴木 俊法)

化学反応を追跡しようとする実験において、反応生成物や放出電子といった散乱粒子の速度・角度分布を同時に観測できる画像観測法は強力なツールとなっている。本研究は画像観測法を利用し、気相分子の光解離、光イオン化、および $A+B\rightarrow C+D$ 反応等における励起エネルギー・衝突エネルギー依存性等に加え、生成物の量子状態分布、速度・角度分布を完全に測定し、化学反応ダイナミクスの詳細理解を目指すものである。今年度は $O(^1D)+CD_4\rightarrow OD+CD_3$ 反応について、交差分子線画像観測法による反応性散乱の研究を行った。

励起酸素原子 $O(^1D)$ と多くの安定分子種との反応では、井戸型の基底状態ポテンシャル曲面(PES)上で進行する挿入型機構には障壁が無く、大きな断面積を有することが知られている。 $O(^1D)+CD_4$ 反応においても、メタノール型中間体 $CD_3O-D$ を形成後に $CD_3+OD$ を生成する挿入型機構が主経路とされてきた。一方、 $O(^1D)$ がC-D結合に同軸上で近づく引き抜き型機構は、電子励起状態PESで進行する。この機構の有無について、長年議論はされていたが実験的な検出例はこれまでになかった。本研究では、 $O(^1D)$ と $CD_4$ の2本の分子線を真空中で衝突させ、反応で生成した $CD_3$ ラジカルを、多光子イオン化法で振動・回転状態を選別しながら、散乱分布を画像観測する実験を行った。衝突エネルギー5.6 kcal/molにおける $CD_3$ の散乱分布は、元々の $CD_4$ 分子線の進行方向(前方)に集中した強い分布と、側方から後方にかけての複数の環状構造という2つの特徴を示した。前方散乱 $CD_3$ と対で生成したODの内部エネルギー状態分布は、振動・回転共に強く励起していることがわかった。これは、大きな衝突パラメータで反応が起きた結果と解釈できる。 $CD_3$ が衝突前の速度方向に優先的に散乱され、同時にODが強く回転励起したものであり、これを基底状態PESで進行する挿入型機構に帰属した。一方、環状構造は $CD_3$ の回転励起と共に徐々に弱くなり、対生成ODもあまり回転励起していないことがわかった。こういった特徴は衝

突パラメータが小さいことに起因していると解釈され、この環状散乱分布を引き抜き型機構に帰属した。本研究は引き抜き型機構が同定された初の実験研究である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文) \*印は査読精度がある論文誌

Kohguchi H., Ogi Y., Suzuki T., "Reaction mechanism duality in  $O(^1D_2) + CD_4 \rightarrow OD + CD_3$  identified by scattering distributions of rotationally state selected  $CD_3$ ", Phys. Chem. Chem. Phys., Vol. 10, pp. 7222-7225 (2008) \*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ogi Y., Kohguchi H., Suzuki T., "Reaction mechanism duality in  $O(^1D_2) + CD_4 \rightarrow OD + CD_3$  identified by scattering distributions of rotationally state selected  $CD_3$ ", Asian International Symposium, Funabashi, Japan, Mar. (2009)

(国内会議等)

小城吉寛, 高口博志, 莫宇翔, 鈴木俊法: "高分解能画像観測法による $N_2O$ 光解離過程の研究 —  $O(^1D_2)$ の散乱角度分布と電子軌道整列—", 日本化学会第88春季年会, 東京, 3月 (2008)

高口博志, 小城吉寛, 鈴木俊法: " $O(^1D) + N_2O$ 反応の状態選別微分断面積の測定", 第24回化学反応討論会, 札幌, 6月 (2008)

高口博志, 小城吉寛, 鈴木俊法: "単一回転状態を選別した $O(^1D) + CD_4$ 反応の微分散乱断面積測定と粒子間相関", 第24回化学反応討論会, 札幌, 6月 (2008)

小城吉寛, 高口博志, 鈴木俊法: "回転状態選択微分断面積測定による $O(^1D) + CD_4 \rightarrow OD + CD_3$ 反応の複数経路の実験的検出", 第2回分子科学討論会 2008, 福岡, 9月 (2008)

## XVIII — 015 有機金属錯体触媒を用いる有機合成化学的二酸化炭素固定化反応の開発 Development of CO<sub>2</sub> Fixation Reaction Catalyzed by Organometallic Complexes

研究者氏名：大石 健 Ohishi, Takeshi

受入研究室：侯有機金属化学研究室

(所属長 侯 召民)

本研究では、有機金属錯体触媒を用いて安定な中性有機化合物を活性化し、二酸化炭素を固定化させることを目的として研究を行った。

1) N-ヘテロサイクリックカルベン銅触媒を用いる有機ホウ素化合物のカルボキシル化反応。

本研究者は有機ボロン酸エステルがN-ヘテロサイクリックカルベン銅触媒[N-N'(2,6-diisopropylphenyl)imidazolin-2-yl]copper chloride [(IPr)CuCl]、カリウムブトキシド塩基存在下、加熱することにより選択的に二酸化炭素と反応し、対応するカルボン酸へと変換されることを見出した。本反応では様々な官能基を有する有機ボロン酸エステルの使用が可能である。例えば、既知の手法では共存不可能であった反応性の高いホルミル基やヨウ素官能基などが存在していてもカルボキシル化反応は問題なく進行する。用いる有機ボロン酸エステルは容易に入手することができ、また実験室においても簡便に合成することが出来ることから、カルボキシル基導入反応として一般性の高い手法であると考えられる。さらに、本研究では触媒サイクル中に存在する2つの重要中間体の単離にも成功している。1つは有機ボロン酸エステルと[(IPr)Cu(OtBu)]との反応により得られた銅-アリアル錯体[(IPr)Cu(Ph-4-OMe)]、もう1つは[(IPr)Cu(Ph-4-OMe)]の銅-炭素結合に二酸化炭素が挿入した銅-カルボキシレート錯体[(IPr)Cu(OCOPh-4-OMe)]である。これら2つの錯体の構造は単結晶X線結晶構造解析により決定している。

2) N-ヘテロサイクリックカルベン銅触媒を用いる有機ケイ素化合物のカルボキシル化反応。

上述のカルボキシル化反応は有機ボロン酸エステルだけでなく、さらに安定な有機ケイ素化合物を用いても進行することが明らかとなった。スクリーニングの結果、[(IPr)Cu(OtBu)]を触媒とし、フッ化カリウムならびに18-crown-6を添加剤とすることで目的とするカルボン酸が高収率で得られることがわかっている。今後の課題の1つは基質の適用範囲を明らかにすることがあげられる。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohishi T., Nishiura M., Hou Z.: "Carboxylation of organoboronic esters catalyzed by N-Heterocyclic carbene copper(I) complexes", *Angewandte Chemie International Edition*, Vol.47, pp5792-5795 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

大石 健, 侯 召民, 西浦 正芳: "N-heterocyclic carbene-copper(I)-catalyzed carboxylation of organoboronic esters", 第55回有機金属化学討論会, 堺, 日本, 9月 (2008)

大石 健, 西浦 正芳, 侯 召民: "銅触媒を用いる有機ケイ素化合物のカルボキシル化反応", 日本化学会第89春季年会, 船橋, 日本, 3月 (2009)

## XVIII — 016 単離核を用いた複製反応再構成系の確立 Reconstitution of DNA Replication on Isolated Nuclei from Mammalian Cells

研究者氏名：柳 憲一郎 Yanagi, Ken-ichiro

受入研究室：今本細胞核機能研究室

(所属長 今本 尚子)

真核生物においては、染色体複製開始に先立ちクロマチン上に複製前複合体形成が必須である。複製前複合体はORC、Cdc6、Cdt1、MCMが段階的にクロマチン

ンへ結合することで形成されると考えられている。しかしながら、特定の複製開始配列が不明な哺乳類細胞においては、クロマチン上のどこに、どのようにして



複製前複合体が形成されるのか詳細は不明である。

我々はこれまでに、マウスCdt1を中心とした解析から、Cdt1とMcm6及びOrc2間の相互作用を見出すとともに、これらの相互作用がgemininによって阻害される事を示してきた。そこで、本研究では哺乳類細胞における複製前複合体形成機構を明らかにするために、マウス複製前複合体の*in vitro*再構成を試みている。昨年度は、マウスORC複合体のDNA結合様式についてゲルシフト法より解析し、ORC、Cdc6、Cdt1がDNA上で複合体を形成していることが示唆された。そこで、より生理的条件での解析を進めるため、ツメガエル*in vitro*複製系において複製前複合体の再構成を試みた。しかしながら、ORC1ΔN/2ΔN/3-5はツメガエル複製系で複製反応をサポートせず、むしろ阻害的に働くことが判明したため完全長のORCをバキュロウイルス発現系にて調製中である。一方で、新たなMcm2-7ファミリー因子であるMcm9のマウスホモログの解析を始めた。マウスMcm9のcDNAを単離し、大腸菌により組換えタンパク質を調製した。複製因子との相互作用を、共沈降実験により調べたところ、Cdt1との相互作用が明らかとなった。また、Cdt1欠失変異体を用いた解析から、Cdt1の中央領域がMcm9との相互作用に必要であることが示された。我々は、Cdt1中央領域は複製前複合体の負の制御因子であるgemininとの相互作用部位であることを明らかにしている。そこで、gemininを反応中に添加したところ共沈降するMcm9が顕著に減少した。これは、Cdt1-Mcm9間の相互作用をgemininが阻害することを示している。以上の結果から、Mcm9はgemininと競合することで、複製前複合体の形成に関わることが示唆された。Mcm9はAAA+タイプのATPaseモチーフを有し、Mcm4/6/7やMcm8同様にヘリカーゼ活性を持つと考えられる。Mcm9のヘリカーゼ活性がどのように複製前複合体形成に関与するのか非常に興味深い。

#### ●誌上発表

(原著論文)

Takagi M, Bunai K, Yanagi k, Imamoto N.: "Cloning of Xenopus orthologs of Ctf7/Eco1 acetyltransferase and initial characterization of XEco2", FEBS Journal, Vol.275, pp6109-6122 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Mizuno T, Eichinger C, Mizuno K, Miyake Y, Yanagi K, Imamoto N, Hanaoka F.: "Sequestration of Aberrant DNA Polymerase alpha in the Cytoplasm Suggests a Quality Control Mechanism", 6th International 3R Symposium on Replication Recombination Repair (3R Symposium 2008), Kakegawa, Japan, Oct. (2008)

(国内会議等)

泉 雅子, 柳 憲一郎, 水野 武, 今本 尚子, 花岡 文雄: "複製開始反応におけるヒトMcm10の機能", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

水野 武, 柳 憲一郎, 三宅 康之, 花岡 文雄, 今本 尚子: "マウス Origin recognition complex の複合体形成とリン酸化, クロマチン結合, タンパク質分解の制御機構", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

水品 善之, 水野 武, 柳 憲一郎, 今本 尚子, 吉田 弘美, 藤田 雅俊: "コエンザイム Q群による DNA 複製開始制御因子 Cdt1 と geminin の複合体形成阻害活性", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

水野 武, 三宅 康之, 柳 憲一郎, 水野 恵子, 花岡 文雄, 今本 尚子: 第60回日本細胞生物学会大会, 横浜, 日本, 6月 (2008)

## XVIII - 017 遺伝子発現に至るストレスシグナルのリバースプロテオミクス解析

### Reverse Proteomics Approaches of Stress Signal Transduction for Gene Expression

研究者氏名: 前田 和宏 Maeta, Kazuhiro

受入研究室: 吉田化学遺伝学研究室

(所属長 吉田 稔)

細胞は環境変化を細胞外からのストレスとして認

識し、シグナル伝達経路を活性化させ適応に必要な

遺伝子の発現を惹起することが知られている。本研究では、リバースプロテオミクスの手法を用いて分裂酵母の全タンパク質を包括的に解析することにより、ストレスシグナルの伝達に関与する新しい因子を明らかにすることを目的とする。

本年度は、吉田化学遺伝学研究室で作製された分裂酵母の全遺伝子(約5,000個のopen reading frame)の一つ一つの過剰発現が可能なコレクションから作製したリバースアレイを用いて検討を行った。また、同時に、ストレスや様々な薬剤で処理した細胞から調製した細胞抽出液を用いてリバースアレイを作製して検討を行った。これまでに、遺伝子発現に関係するタンパク質の翻訳後修飾として、ヒストンH3のLys9, Lys14, Lys18, Lys23, Lys56のアセチル化、Lys4のジメチル化、トリメチル化、Ser10のリン酸化、ヒストンH4のLys5, Lys8, Lys12のアセチル化、さらに、p38 MAPキナーゼホモログSty1のリン酸化、p42/p44 MAPキナーゼホモログPmk1のリン酸化、転写開始因子eIF2 $\alpha$ のリン酸化の検討を行った。さらに、ヒストンの翻訳後修飾に対しては、リバースアレイで得られた陽性因子のSDS-PAGE/Western Blottingによる確認を行った結果、上記のヒストンの翻訳後修飾をグローバルレベルで変動させる因子として、アセチル化、脱アセチル化酵素に加えて、ヒストンシャペロンやクロマチン構造に影響を及ぼす因子、さらにはrRNAの転写活性化因子や減数分裂開始因子などが修飾状態を変動

させる因子として明らかにされた。一方、Sty1のリン酸化、Pmk1のリン酸化、eIF2 $\alpha$ のリン酸化に対して得られた陽性因子についてはSDS-PAGE/Western blottingで確認を行っている。

本研究によって得られた結果に対するさらに詳細な検討から、ヒストンならびに、MAPキナーゼや転写開始因子の翻訳後修飾を引き起す新たなシグナル伝達経路の解明が期待され、遺伝子発現との関係が明らかになることが期待される。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Maeta K., Matsuyama A., Yoshida M.: "Reverse array analysis for post-translational modification of proteins induced by chemical treatment", 1st RIKEN Chemical Biology Department International Symposium, Atami, Japan, Sep. (2008)

(国内会議等)

前田 和宏, 松山 晃久, 吉田 稔: "分裂酵母遺伝子過剰発現コレクションを用いたヒストン翻訳後修飾を引き起す上流因子のリバースアレイ解析", 日本農芸化学会2009年度大会, 福岡, 日本, 3月 (2009)

宇野 靖彦, 前田 和宏, 松山 晃久, 有田 祐子, 鎌倉 高志, 吉田 稔: "分裂酵母薬剤感受性株を用いた化合物処理によるタンパク質翻訳後修飾の解析", 日本農芸化学会2009年度大会, 福岡, 日本, 3月 (2009)

## XVIII - 021

### 糖鎖および糖ヌクレオチドの高速分析法の開発

#### High Speed Analysis of Carbohydrates and Nucleotide Sugars

研究者氏名：中嶋 和紀 Nakajima Kazuki

受入研究室：基幹研究所

疾患糖鎖研究チーム

(所属長 谷口 直之)

糖鎖の生理機能は、単糖、糖ヌクレオチド、それらの輸送体、糖転移酵素のレベルと局在、糖分解酵素、細胞表面の受容体など、多くの要因によって調節されている。

細胞表面の受容体上に存在する糖鎖は、極微量で且つ多様な構造を有することから、その構造解析に際し、高分離能で高感度な分析法が必要である。キャピラリー電気泳動(CE)は、質量分析計との接続が可能で、かつHPLC等比べて試料の吸着が少な

い利点を有することから、極微量糖鎖の高速・高感度分析に適した手法と考えられる。前年度までの研究成果より、CEの唯一の弱点であると考えられる試料導入法を改良し、高感度CEシステムを開発した。本システムは、従来法に比べて150倍量以上の試料を注入可能で、25amolの中性糖鎖、100amolの酸性糖鎖のピリジルアミノ化誘導体を、良好に分離した状態で検出できる。

本年度は、糖鎖修飾を制御する分子の一つである

糖ヌクレオチドに着目し、それらの発現レベルや細胞内局在性を把握するための一斉定量法を検討した。8種類の糖ヌクレオチド(CMP-NeuAc, UDP-Gal, UDP-Glc, UDP-GalNAc, UDP-GlcNAc, GDP-Man, GDP-Fuc, UDP-GlcA)及び主要な12種類のヌクレオチドの混合物を用い、分離条件を検討した結果、疎水性などが異なる特定の逆相カラムを用いたイオンペア逆相HPLCにより、全てを良好に分離できた。細胞内に含まれる糖ヌクレオチドは、細胞試料を冷エタノール抽出、更にグラファイトカーボンの固相抽出カラムにより精製することにより一斉定量できた。本法はGDP-Fucなどの含量が少ない糖ヌクレオチドの定量も可能であった。細胞内糖ヌクレオチドの発現レベルは培養状態の変化に伴って顕著に変化していることも確認した。例えば、細胞密度が高まると、UDP-GlcNAcとUDP-GalNAcは約6倍に、CMP-NeuAcやGDP-Fucも約2-3倍に増加した。更に、DNAマイクロアレイにより、これらの変動に関わった糖ヌクレオチド生合成酵素遺伝子を同定した。現在は、本法を小胞体やゴルジ体に局在する糖ヌクレオチドの定量に応用している。

今後は確立した手法を用いて、細胞内糖ヌクレオチドレベルの変動に伴う、細胞膜受容体糖鎖の構造変化について研究を進める予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

中嶋 和紀: "キャピラリー電気泳動法", THE LUNG perspectives, Vol.16 3, pp96-99 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakajima K., Kitazume-Kawaguchi S., Miyoshi E., Taniguchi N.: "Simultaneous determination of nucleotide

sugars involved in protein glycosylation with high resolution ion-pair reversed-phase HPLC", 33rd FEBS Congress and 11th IUBMB Conference Athens Greece, Jun. (2008)

Nakajima K., Kitazume-Kawaguchi S., Fujinawa R., Miyoshi E., Taniguchi N.: "Simultaneous determination of nucleotide sugars involved in glycosylation with ion-pair reversed-phase HPLC", 1st RIKEN Chemical Biology Department International Symposium Atami Japan, Sep. (2008)

Nakajima K., Kitazume-Kawaguchi S., Fujinawa R., Miyoshi E., Taniguchi N.: "Simultaneous determination of nucleotide sugars involved in protein glycosylation", Annual Meeting of the Society for Glycobiology, Fort Worth, Texas, USA, Nov. (2008)

Nakajima K., Kitazume-Kawaguchi S., Fujinawa R., Miyoshi E., Taniguchi N.: "Simultaneous determination of nucleotide sugars involved in protein glycosylation", International Symposium on Systems Glycobiology Tokyo Japan, Dec. (2008)

Nakajima K., Kitazume-Kawaguchi S., Fujinawa R., Miyoshi E., Taniguchi N.: "Simultaneous determination of nucleotide sugars involved in glycosylation and its application", Clinical and Translational Research on Cancer: Glycomics Applications Toba Japan, Mar. (2008)

(国内会議等)

中嶋 和紀, 北爪-川口 しのぶ, 藤縄 玲子, 三善 英知, 谷口 直之: "糖鎖修飾に関わる糖ヌクレオチドの一斉定量法", 日本ヒトプロテオーム機構第6回大会 大阪 日本 7月 (2008)

中嶋 和紀, 北爪-川口 しのぶ, 三善 英知, 谷口 直之: "糖鎖修飾に関わる糖ヌクレオチドの一斉定量法", 第28回日本糖質学会年会 つくば 日本 8月 (2008)

## XVIII - 022

### 細胞内脂質動態の分子機構の解析

#### Analysis of Molecular Mechanisms of Intracellular Lipid Dynamics

研究者氏名: 岩本 邦彦 Iwamoto, Kunihiko

受入研究室: 小林脂質生物学研究室

(所属長 小林 俊秀)

生体膜を構成する様々な脂質分子は、細胞内オルガネラ間、脂質二重層の層間、さらには同一膜面上

での微小領域間において分布が異なることが知られている。このような不均一な脂質分布形成は、能動

的な脂質動態が大きく寄与し、脂質分子の機能や脂質代謝に非常に重要であるが、その分子機構については実験手法上の困難さ故に不明な点が多い。本研究では、脂質動態を解析する新たな研究手法の確立、さらには脂質動態の分子機構の解明を目的としている。

ホスファチジルエタノールアミンは細胞の生育に不可欠な脂質分子であり、細胞分裂や細胞極性の確立に重要であることが示唆されている。これまで、細胞内でのホスファチジルエタノールアミン動態機構を解析するためのツールとして、放線菌由来の抗生物質duramycinが利用できることを見出した。昨年度、duramycinがエタノールアミン脂質に特異的に結合すること、その結合は膜の曲率や流動性に依存すること、さらにduramycinの膜への結合が引き起こす膜構造変化の性状等、duramycinの特性の詳細について誌上発表を行った。

動物細胞におけるホスファチジルエタノールアミンの二つの主要合成経路のうち、細胞に必要不可欠な経路では、ホスファチジルエタノールアミンはミトコンドリア内で合成され、小胞体、細胞膜へと移行する。ミトコンドリアから小胞体へは、両者の接触領域(コンタクトサイト)を介して輸送されていることが知られているが、その機構は不明である。本年度は、duramycin感受性を細胞膜ホスファチジルエタノールアミン量の指標として、コンタクトサイトにおけるホスファチジルエタノールアミン輸送に関与する因子の探索を行った。方法としては、レトロウイルスシステムを利用してsiRNAライブラリーを導入したヒト由来培養細胞群より、細胞膜へのホスファチジルエタノールアミン輸送に欠陥が生じ、duramycinに対して耐性を示すような細胞群を回収した。duramycin耐性を示す細胞群に含まれるsiRNA配列をGeneChip解析により網羅的に検出し、解析を行っている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yoshimizu M., Tajima Y., Matsunaga F., Aikawa S., Iwamoto K., Kobayashi T., Edmunds T., Fujishima K.,

Tsuji D., Itoh K., Ikekita M., Kawashima I., Ohyanagi N., Suzuki T., Togawa T., Ohno K., Sakuraba H.: "Binding parameters and thermodynamics of the interaction of imino sugars with a recombinant human acid  $\alpha$ -glucosidase (alglucosidase alfa): Insight into the complex formation mechanism", *Clinica Chimica Acta*, Vol.391 1/2 pp68-73 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Abe M., Hullin-Matsuda F., Inadome H., Ishitsuka R., Iwamoto K., Makino A., Murase K., Murate M., Senoh Y., Ueda Y., Kobayashi T.: "Imaging lipids and lipid domains", *JSPS and NSF International Seminar Membranomics*, Toyonaka, Japan, Sep. (2008)

Takahashi H., Hayakawa T., Iwamoto K., Ito K., Takata M., Kobayashi T.: "Effects of 10N-Nonyl acridine orange in altering cardiolipin polymorphism: implications for Barth syndrome", *6th Symposium on Membrane Stress Biotechnology (MSB6): Science and Engineering of the Biomembrane and Its Mimics*, Toyonaka, Japan, Sep. (2008)

Murate M., Hullin-Matsuda F., Iwamoto K., Ito K., Xu Y., Schlame M., Takahashi H., Kobayashi T.: "10N-Nonyl acridine orange inhibits cardiolipin polymorphism and mimics Barth syndrome phenotype", *4th International Scientific, Medical & Family Conference on Barth Syndrome*, Clearwater, Florida, USA, Jul. (2008)

(国内会議等)

松永 宗一郎, 岩本 邦彦, 山田 太郎, 川合 眞紀, 小林 俊秀: "In-situ STMによる極小脂質集合体の発見とペプチド特異結合のナノスケール可視化", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

石井 久美子, 石塚 玲子, 岩本 邦彦, 上田 善文, 牧野 麻美, 高橋 美和, 村瀬 琴乃, 村手 源英, 長谷川 顕子, 小林 俊秀: "脂質を見るプローブの開発", 理研シンポジウム「第4回ケミカルバイオロジーシンポジウム: 化学-生物融合領域創製の軌跡」, 熱海, 日本, 2月 (2008)

## 細胞膜上における脂質ドメインの機能の研究 Investigation of Lipid Domain Functions in Cell Membranes

研究者氏名：村瀬 琴乃 Murase, Kotono

受入研究室：小林脂質生物学研究室

(所属長 小林 俊秀)

細胞膜は、少なくとも1,000種類以上の脂質から構成されているが、同一細胞上でこれらの脂質分子は一樣に混ざっているのではなく、不均一に存在すること、つまり、ドメインが形成されていることが分かってきた。このようなドメインは、シグナル伝達の鍵を握るはたらきをしていると考えられ、注目されている。しかし、その詳細は明らかになってない。本研究では、脂質ドメイン特異的なプローブ $\theta$ 毒素を用いて、コレステロールに富んだ脂質ドメインの細胞膜上の分布を明らかにした。また、このようなドメインがアクチンの再構築に関与していることを示した。

培養細胞の細胞膜を $\theta$ 毒素で標識したところ、 $\theta$ 毒素の分布は不均一で、特にアクチン線維と共局在することがわかった。一方、ライセニン、糖脂質抗体を用いて脂質ドメインラフトの細胞膜上の分布を調べたところ、ラフトはアクチン繊維と共局在しないことがわかった。以上の結果は、細胞膜上で、 $\theta$ 毒素がラフト以外の脂質ドメインを認識していることを示している。さらに、ラフトに影響を与えず $\theta$ 毒素標識のみ消失させる処理を行うと、アクチンの形態が大きく変化した。そこで、アクチンの再構築に関わる分子EGF受容体とSrcの活性化状態を調べたところ、 $\theta$ 毒素標識の消失に伴って、これらの分子のリン酸化が増加していることがわかった。以上の結果は、ラフトではなく、 $\theta$ 毒素結合ドメインが、EGF受容体・Src依存的なアクチンの再構築に関与していることを示している。

次に、人工膜を用いて、 $\theta$ 毒素が認識する膜ドメインを調べた。そのために、細胞膜に近い脂質組成、つまり、グリセロリン脂質とスフィンゴ脂質とコレステロールを混合した人工膜でラフトドメインが形成されることを原子間力顕微鏡で可視化した。ラフトドメインの形成におけるコレステロールの濃度の影響を調べたところ、約30 mol%濃度までのコレステロールによってラフトの形成が促進された。さらに、それ以上のコレステロールを加えるとラフトドメインが消失し、全ての脂質が均一に分布した。こ

のような膜に $\theta$ 毒素を添加したところ、 $\theta$ 毒素は、ラフトが消失するような高コレステロール膜のみに結合した。

本研究の結果から、人工膜では均一に存在しドメインを形成することができない高コレステロール膜が、細胞膜上では不均一に存在しドメインを形成していること、さらに、このようなドメインとラフトとは細胞膜上での分布や機能が異なっていることが明らかになった。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Murase K., Hayakawa T., Murate M., Ito K., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., Kobayashi T. : "Cholesterol gradient in biological membranes", Joint Meeting of the Biophysical Society 52nd Annual Meeting and 16th International Biophysics Congress (IUPAB) Long Beach USA, Feb. (2008)

Abe M., Hullin-Matsuda F., Inadome H., Ishitsuka R., Iwamoto K., Makino A., Murase K., Murate M., Senoh Y., Ueda Y., Kobayashi T. : "Imaging lipids and lipid domains", JSPS and NSF International Seminar Membranomics Toyonaka Japan, Sep. (2008)

Murase K., Murate M., Hayakawa T., Nakamura K., Ito K., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., Kobayashi T. : "Cholesterol gradient in biological membranes", 8th Workshop on Extreme Photonics "Ultrafast meets Ultracold" Gamagori Japan, Nov. (2008)

Murase K., Murate M., Hayakawa T., Nakamura K., Ito K., Shimada Y., Ohno-Iwashita Y., Kobayashi T. : "Cholesterol gradient in biological membranes", International Symposium on Molecular and System Life Sciences Kobe Japan, Dec. (2008)

(国内会議等)

石井 久美子, 石塚 玲子, 岩本 邦彦, 上田 善文, 牧野 麻美, 高橋 美和, 村瀬 琴乃, 村手 源英, 長谷川 顕子, 小林 俊秀 : "脂質を見るプローブの開発", 理研シンポジウム「第4回ケミカルバイオロジーシ

ンポジウム：化学－生物融合領域創製の軌跡」熱海 日本 2月 (2008)

村瀬 琴乃, 村手 源英, 早川 智広, 嶋田 有紀子, 伊藤 和輝, 岩下 淑子, 小林 俊秀: "細胞膜上の脂質ドメインを可視化するプローブの開発", 文部科学省「キーテクノロジー研究開発の推進 (ナノテクノロジー・材料を中心とした融合新興分野研究開発)」生命分子の集合原理に基づく分子情報の科

学研究ネットワーク拠点「分子情報生命科学スクーリング2008」, 和光, 日本, 9月 (2008)

村瀬 琴乃, 早川 智広, 村手 源英, 嶋田 有紀子, 伊藤 和輝, 岩下 淑子, 小林 俊秀: "細胞膜上の脂質ドメインの機能解析", 理研シンポジウム「第7回理研・分子研合同シンポジウム：エクストリームフォトニクス研究」, 和光, 日本, 5月 (2008)

## XVIII - 026 ナノスケール界面加工による有機微結晶トランジスタの電子回路応用

### Circuits of Organic Single-Crystal Transistors by Nano-Scale Interface Modification

研究者氏名：三成 剛生 Minari, Takeo

受入研究室：基幹研究所

機能性有機元素化学特別研究ユニット

(所属長 玉尾 皓平)

近年のIT技術の発達により、人と環境にやさしい新しいエレクトロニクスとその作製技術の開発が強く求められている。我々は、有機半導体による、薄さ、軽さ、柔軟さを備えた次世代電子素子をエコロジカルで安価な印刷法で大量生産することで、より身近で生活に密着したエレクトロニクスが実現できると考えている。近年では有機電界効果トランジスタ(FET)の動作特性はアモルファスシリコンに比肩するまでに発達し、数々のアプリケーションが今まさに現実味を帯びてきている。その一方で、現状の有機半導体デバイスは単純な蒸着法や塗布法によって材料を基板に堆積して作製されている。本研究では、個々の有機分子が有する機能性を上手に利用することで、溶液から塗布した半導体分子が所定の領域で選択的に結晶化する表面選択塗布法を開発し、分子の自己集積により有機トランジスタ素子を自己形成するボトムアッププロセスへと応用展開した。

本研究で用いたのは、独自の界面加工技術による機能性表面パターンニングである。基板表面に異なる官能基を持つ有機分子による修飾パターンを施すことで、表面官能基と半導体分子の相互作用を利用して、直後に塗布される半導体活性層の自発的な形成を促すものである。簡単な分子テンプレートを形成しておくことで、溶液から塗布した有機半導体分子を所定の領域で選択的に結晶化させる。この表面パターンは紫外線照射を用いて簡単に形成され、半導体分子を塗布するだけでトランジスタアレイや集積回路が一括で形成でき

る究極の省エネプロセスである。この技術を用いた今年度の成果として、高移動度を有する有機FETアレイを柔軟なプラスチック基板上に形成した点と、電極・絶縁層・半導体層のすべてを溶液プロセスで形成したオール自己形成有機FETを初めて開発した点が挙げられる(論文投稿準備中)。我々が開発した紫外線照射と塗布による電子素子形成法は、すべて大気下で行う簡便な印刷プロセスであり、現状の高エネルギー消費・高環境負荷のエレクトロニクス作製プロセスを劇的に変えることができる。将来的には分子の自己組織化によるエレクトロニクスの構築や、さらに低エネルギー消費の分子エレクトロニクスへと発展していくと期待される。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Aoyagi Y., Seto M., Nemoto T., Isoda S., Tsukagoshi K.: "Selective organization of solution-processed organic field-effect transistors", Applied Physics Letters, Vol.92 17, pp173301-1-173301-3 (2008)

Wang S., Minari T., Miyadera T., Aoyagi Y., Tsukagoshi K.: "Bias stress instability in pentacene thin film transistors: Contact resistance change and channel threshold voltage shift", Applied Physics Letters, Vol.92 6, pp063305-1-063305-3 (2008)

Miyadera T., Wang S., Minari T.o, Tsukagoshi K., Aoya-

- gi Y.: "Charge trapping induced current instability in pentacene thin film transistors: Trapping barrier and effect of surface treatment", *Applied Physics Letters*, Vol.93 3, pp033304-1-033304-3 (2008)
- Nakayama Y., Machida S., Minari T., Tsukagoshi K., Noguchi Y., Ishii H.: "Direct observation of the electronic states of single crystalline rubrene under ambient condition by photoelectron yield spectroscopy", *Applied Physics Letters*, Vol.93, pp173305-1-173305-3 (2008)
- Miyadera T., Minari T., Wang S., Tsukagoshi K.: "Dynamic bias stress current instability caused by charge trapping and detrapping in pentacene thin film transistors", *Applied Physics Letters*, Vol.93, pp213302-1-213302-3 (2008)
- Wang S., Miyadera T., Minari T., Aoyagi Y., Tsukagoshi K.: "Correlation between grain size and device parameters in pentacene thin film transistors", *Applied Physics Letters*, Vol.93, pp043311-1-043311-3 (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Aoyagi Y., Tsukagoshi K.: "Surface selective deposition of molecular semiconductors for solution-based integration of organic field-effect transistors", *Applied Physics Letters*, Vol. pp093307-1-093307-3 (2009)
- Wang S., Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Tang J.: "Contact resistance instability in pentacene thin film transistors induced by ambient gases", *Applied Physics Letters* Vol.94 pp083309-1-083309-3 (2009)
- 三成 剛生, 塚越 一仁: "表面選択塗布法による選択的有機結晶成長とデバイス応用", *日本結晶成長学会誌*, Vol.35 4, pp255-261 (2008)
- Tsukagoshi K.: "Molecular assembly of organic semiconductors controlled by functionalized surfaces", *Material Research Society 2008 Fall Meeting*, Boston, USA, Dec. (2008)
- Machida S.i, Nakayama Y., Minari T., Tsukagoshi K., Noguchi Y., Ishii H.: "Electronic Structures of Rubrene Single Crystal and its Interface Studied by Photoemission Yield Spectroscopy", *Material Research Society 2008 Fall Meeting*, Boston, USA, Dec.(2008)
- Machida S., Nakayama Y., Minari T., Tsukagoshi K., Noguchi Y., Ishii H.: "Electronic Structure of Rubrene Single Crystal and its Interfacial Barrier Height Studied by Photoelectron Yield Spectroscopy", *International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-5)*, Tokyo, Japan, Nov. (2008)
- Nakayama Y., Machida S., Minari T., Tsukagoshi K., Funakoshi A., Ogawa N., Noguchi Y., Ishii H.: "Electronic states of single-crystalline rubrene in the ambient condition studied by Photoelectron Yield Spectroscopy", *International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-5)*, Tokyo, Japan, Nov. (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Tsukagoshi K.: "Direct self-assembly of organic semiconductors for the thin-film transistors", *21st International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2008)*, Fukuoka, Japan, Oct. (2008)
- Miyadera T., Minari T., Wang S., Tsukagoshi K.: "Dynamic Bias Stress for the Analysis of Charge Trapping and Detrapping in Pentacene Thin Film Transistors", *20th Korea-Japan Joint Forum (KJF 2008)*, Chitose, Japan, Oct. (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Tsukagoshi K.: "Solution-processable selective organization of organic thin-film transistors", *214th ECS Meeting/Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2008)*, Honolulu, USA, Oct. (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Aoyagi Y., Tsukagoshi K.: "Self-Organized Organic Field-Effect Transistors on a Plastic Substrate", *2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2008)*, Tsukuba, Japan, Sep. (2008)
- Wang S., Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K.: "Contact Correlated Bias Stress Instability in Pentacene Thin Film Transistors", *2008 International Conference on*

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Tsukagoshi K., Wang S., Minari T., Miyadera T., Aoyagi Y.: "Contact-correlated bias stress instability in pentacene thin film transistors", *2008 APS March Meeting (MAR08)*, New Orleans, USA, Mar.(2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Tsukagoshi K.: "Selective molecular assembly for solution-based fabrication of organic field-effect transistors", *ElecMol'08: 4th International Meeting on Molecular Electronics*, Grenoble, France, Dec. (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Aoyagi Y.,

- Solid State Devices and Materials (SSDM2008), Tsukuba, Japan, Sep. (2008)
- Miyadera T.o, Wang S., Minari T., Tsukagoshi K.: "Charge Trapping Barrier and the Effect of Surface Treatment in Pentacene Thin Film Transistors", 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2008), Tsukuba, Japan, Sep. (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Tsukagoshi K.: "Direct self-assembly of organic semiconductors for the thin-film transistors", 34th International Conference on Micro and Nano Engineering 2008 (MNE2008), Athens, Greece, Sep. (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Tsukagoshi K.: "Molecular assembly of organic semiconductors controlled by functionalized surfaces", International Symposium on Organic Transistors and Functional Interfaces (OFET2008), Sendai, Japan, Aug. (2008)
- Machida S., Nakayama Y., Minari T., Tsukagoshi K., Noguchi Y., Ishii H.: "Bulk and interfacial electronic structures of rubrene film and single crystal studied by photoelectron yield spectroscopy and UV photoemission spectroscopy", International Symposium on Organic Transistors and Functional Interfaces (OFET2008), Sendai, Japan, Aug. (2008)
- Miyadera T., Minari T., Wang S., Tsukagoshi K.: "Frequency Response and Effect of Contact Interface in Pentacene Thin Film Transistors", International Symposium on Organic Transistors and Functional Interfaces (OFET2008), Sendai, Japan, Aug. (2008)
- Wang S., Miyadera T., Minari T., Aoyagi Y., Tsukagoshi K.: "Correlation between Charge Trap Sites and Device Parameters in Pentacene Thin Film Transistors", International Symposium on Organic Transistors and Functional Interfaces (OFET2008), Sendai, Japan, Aug. (2008)
- Kano M., Minari T., Tsukagoshi K.: "Subthreshold characteristics in wide-gap organic field effect transistors", International Conference for Organic Electronics (ICOE), Eindhoven, The Netherlands, Jun. (2008)
- Minari T., Kano M., Miyadera T., Wang S., Aoyagi Y., Tsukagoshi K.: "Self-organization of solution-processed organic field-effect transistors", 2008 International Materials Research Conference (IMRC2008), Chongqing, China, Jun. (2008)
- Wang S., Minari T., Miyadera T., Tsukagoshi K., Aoyagi Y.: "Bias Stress Instability in Pentacene Thin Film Transistors: Contact Resistance Change and Channel Threshold Voltage Shift", 2008 International Materials Research Conference (IMRC2008), Chongqing, China, Jun. (2008)
- (国内会議等)
- 三成 剛生, 加納 正隆, 宮寺 哲彦, 王 穂東, 青柳 克信, 塚越 一仁: "溶液から自己形成する有機トランジスタ", 第55回応用物理学関係連合講演会, 船橋, 日本, 3月 (2008)
- 宮寺 哲彦, 三成 剛生, 王 穂東, 青柳 克信, 塚越 一仁: "ペンタセン薄膜トランジスタのパルス応答とトラップの評価", 第55回応用物理学関係連合講演会, 船橋, 日本, 3月 (2008)
- 王 穂東, 三成 剛生, 宮寺 哲彦, 青柳 克信, 塚越 一仁: 第55回応用物理学関係連合講演会, 船橋, 日本, 3月 (2008)
- 町田 真一, 中山 泰生, 野口 裕, 三成 剛生, 塚越 一仁, 石井 久夫: "光電子収量分光法による金/ルブレ単結晶界面のホール注入障壁測定", 第55回応用物理学関係連合講演会, 船橋, 日本, 3月 (2008)
- 三成 剛生, 加納 正隆, 塚越 一仁: "塗布有機トランジスタの自己形成技術と基礎物性", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)
- 加納 正隆, 三成 剛生, 塚越 一仁: "ポリマー絶縁層と塗布電極を用いた自己形成有機トランジスタ", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)
- 宮寺 哲彦, 三成 剛生, 王 穂東, 塚越 一仁: "有機薄膜トランジスタのパルス印加下での安定性", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)
- 山本 洋平, 福島 孝典, 金 武松, 張 関心, 佐伯 昭紀, 関 修平, 田川 精一, 三成 剛生, 塚越 一仁, 相田 卓三: "フラーレン/ヘキサベンゾコロネン同軸ナノチューブの電子・光電子物性", 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)
- 宮寺 哲彦, 三成 剛生, 王 穂東, 塚越 一仁: "ポリマー絶縁層によるペンタセン薄膜トランジスタの安定動作の要因", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)
- 田中 丈士, 金 赫華, 宮田 耕充, 藤井 俊治郎, 菅 洋志, 内藤 泰久, 三成 剛生, 宮寺 哲彦, 塚越 一仁, 片浦



弘道: "アガロースゲルを用いた簡便なカーボンナノチューブの金属・半導体分離", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

藤井 俊治郎, 田中 丈士, 金 赫華, 宮田 耕充, 菅 洋志, 内藤 泰久, 三成 剛生, 宮寺 哲彦, 塚越 一仁, 片浦 弘道: "高純度半導体単層カーボンナノチューブを用いた薄膜トランジスタの作製と評価", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

藤井 俊治郎, 田中 丈士, 金 赫華, 宮田 耕充, 菅 洋志, 内藤 泰久, 三成 剛生, 宮寺 哲彦, 塚越 一仁, 片浦

弘道: "高純度半導体単層カーボンナノチューブを用いた薄膜トランジスタの性能向上", 第36回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

田中 丈士, 金 赫華, 宮田 耕充, 藤井 俊治郎, 菅 洋志, 内藤 泰久, 三成 剛生, 宮寺 哲彦, 塚越 一仁, 片浦 弘道: "アガロースゲルを用いた金属・半導体カーボンナノチューブの分離の進展", 第36回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

## XVIII - 027 中性子過剰魔法核 $^{78}\text{Ni}$ 近傍における核内中性子分布及び陽子分布変形の個別決定

### Individual Deformation of Neutron and Proton in the Vicinity of Neutron-rich Magic Nucleus $^{78}\text{Ni}$ .

研究者氏名: 菅野 祥子 Kanno, Shoko  
受入研究室: 仁科加速器研究センター  
本林重イオン核物理研究室  
(所属長 本林 透)

$^{78}\text{Ni}$ 近傍の不安定核について、核内の中性子和陽子分布の変形度からそれぞれの四重極集団性を個別に決定する。

一般に核内の中性子和陽子は互いの強い引力によって空間的に同じ分布を取る傾向がある。しかし、陽子数に対して中性子数が非常に多い中性子過剰核では、陽子と中性子のフェルミ面が離れ互いをつなぎとめきれなくなり、陽子と中性子の空間分布が分離する可能性が考えられる。 $^{78}\text{Ni}$ は、陽子数が28、中性子数が50で共に魔法数であり、二重閉殻構造を持つと予想される原子核の中で最も中性子過剰である。この近傍の原子核構造をごく単純に捉えると、閉殻構造と粒子状態または閉殻構造と空孔状態で表すことができる。このような条件下では、閉殻構造を好む核子と粒子(空孔)状態をとる核子の空間分布が異なることが考えられ、陽子と中性子で違った四重極集団性が現れると期待される。そこで $^{78}\text{Ni}$ 近傍の偶々核に複数の実験手法を用い陽子と中性子で四重極集団性を独立に決定し、その推移を検証する。陽子分布および中性子分布を個別に決定するため、それぞれの核子に敏感な反応機構を用いる。陽子分布変形はクーロン励起実験から導出し、中性子分布変形は陽子非弾性散乱実験の結果から陽子の寄与を差し引くことで導出する。

本年度は $^{74}\text{Ni}$ の陽子非弾性散乱実験の結果より得られた理解から議論を進めた。 $^{74}\text{Ni}$ を二重閉殻核 $^{78}\text{Ni}$ の中性子4空孔と仮定すれば、中性子数の自由度が増す分だけ中性子の集団性が増し、陽子とは異なる変形が現れることが期待される。一方、Ni同位体の一般的な性質として $Z=28$ の陽子芯は偏極を起しやすいうことが近年の研究から明らかになっており、個別な集団性が現れない可能性もある。 $^{74}\text{Ni}$ の変形度はNi同位体間で比較すると大きい値ではあるものの、突出したものではなかった。核構造を示す実験データをNi同位体間で比較する際、最も中性子過剰である $^{74}\text{Ni}$ の結果が得られたことで、 $Z=28$ の陽子芯の固さは中性子数の増加によって壊される程度のものではないということを示した。以上を本年度の成果として年度内に論文を投稿予定である。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Aoi N., Suzuki H., Takeshita E., Takeuchi S., Ota S., Baba H., Bishop S., Fukui T., Hashimoto Y., Ong H., Ideguchi E., Ieki K., Imai N., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Kusaka K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T., Nakao T.,

Niikura M., Okumura T., Ohnishi T., Sakurai H., Shimoura S., Sugo R., Suzuki D., Suzuki M., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., Yamada K.: "Shape transition observed in neutron-rich pf-shell isotopes studied via proton inelastic scattering", Nuclear Physics A, Vol.805, pp400c-407c (2008)

Elekes Z., Dombradi Z., Aoi N., Baba H., Bishop S., Demichi K., Fulop Z., Gibelin J., Gomi T., Hasegawa H., Hashimoto Y., Imai N., Ishihara M., Iwasa N., Iwasaki H., Kalinka G., Kanno S., Kawai S., Kishida T., Kondo Y., Korshennikov A., Kubo T., Kurita K., Kurokawa M., Matsui N., Matsuyama Y., Michimasa S., Mine-mura T., Motobayashi T., Nakamura T., Nakao T., Nikolski E., Notani M., Ohnishi T., Okumura T., Ong H., Ota S., Ozawa A., Perera P., Saito A., Sakai H., Sakurai H., Satou Y., Shimoura S., Soehler D., Sumikama T., Suzuki D., Suzuki M., Takeda H., Takeshita E., Takeuchi S., Tamaki M., Togano Y., Yamada K., Yanagisawa Y., Yoneda K.: "The study of shell closures in light neutron-rich nuclei", Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, Vol.35, pp014038-1-014038-7 (2008)

Aoi N., Takeshita E., Suzuki H., Takeuchi S., Ota S., Baba H., Bishop S., Fukui T., Hashimoto Y., Ong H., Ideguchi E., Ieki K., Imai N., Ishihara M., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Kusaka K., Mine-mura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura

T, Nakao T., Niikura M., Okumura T., Ohnishi T., Sakurai H., Shimoura S., Sugo R., Suzuki D., Suzuki M., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., Yamada K.: "Development of Large Deformation in  $^{62}\text{Cr}$ ", Physical Review Letters, Vol.102, pp012502-1-012502-4 (2009)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takeuchi S., Aoi N., Baba H., Fukui T., Hashimoto-Ieki K., Imai K., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T., Okumura T., Onishi T., Ota S., Sakurai H., Shimoura S., Sugo R., Suzuki D., Suzuki H., Suzuki M., Takeshita E., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., Yamada K.: "Low-lying states in  $^{32}\text{Mg}$ ", Future Prospects for Spectroscopy and Direct Reactions 2008, East Lansing, USA, Feb. (2008)

(国内会議等)

菅野 祥子, 青井 考, Bazin Daniel, Bowen Matt, Campbell Chris, Cook Jhonathan, Dinca Dan-Christian, Gade Alexandra, Glasmacher Thomas, 岩崎 弘典, 久保 敏幸, 栗田 和好, 本林 透, Mueller Wilhelm, 中村 隆司, 櫻井 博儀, 鈴木 宏, 武内 聡, Terry James, 米田 健一郎, Zwahlen Heather: Workshop on Advance in Physics with ISOL-based/Fragmentation-based RI Beams, 東京, 日本, 2月 (2008)

## XVIII - 028

### 原子核における $\alpha$ 粒子凝縮と、 それに基づいたガスのクラスター構造状態の研究

#### Alpha Particle Condensation and Gas-Like Cluster States in Nuclei

研究者氏名：船木 靖郎 Funaki, Yasuro

受入研究室：仁科加速器研究センター

中務原子核理論研究室

(所属長 中務 孝)

軽い核の励起状態に顕著に現れるクラスター構造状態について、 $\alpha$  粒子が最低エネルギー軌道にボーズ凝縮した状態が現れる可能性について調べている。この可能性は近年になって指摘され、著者等の研究により、実際 $^{12}\text{C}$ の3  $\alpha$  分解数居エネルギー近傍に観測されている第二 $0^+$ 状態 (Hoyle状態) は、3つの  $\alpha$  粒子がゆるく結合してガスの構造を形成し最低エ

ネルギー軌道のS波に凝縮した状態であることが明らかになっている。この有限核における  $\alpha$  粒子凝縮現象は原子系での理想ボーズ気体におけるボーズ凝縮に類似のものと考えられるが、凝縮するボーズ粒子数が有限個である点、 $\alpha$  粒子が内部エネルギーを持つため、最低エネルギー軌道に凝縮した状態が原子核の励起状態として現れる点、等原子系に無い著し

い特徴を持つ。

本研究ではこの励起状態に特徴的に現れ得る、低密度でガスの構造を持ったクラスター状態、とりわけその最低エネルギー状態であるボーズ凝縮状態の存在する可能性を、種々のクラスター模型を用いて調べ、以下の研究を行った。

(1)  $^{16}\text{O}$ において $4a$ 凝縮状態の存在する可能性を調べた。これには半微視的 $4a$ クラスター模型を用い4つの $a$ 粒子間に何ら制限を課さない広い模型空間で $4a$ 問題を解き解析を行った。基底状態、 $^{12}\text{C}+a$ クラスター構造を持った励起状態の他、 $4a$ 敷居エネルギー近傍に大きな核半径を持った状態を得た。S軌道に大きな占有率を持っていること、またHoyle状態の成分を非常に多く含んでいることから、この状態が $4a$ 凝縮状態であるとの結論を得た。

(2)  $a$ 凝縮タイプの微視的 $a$ クラスター模型波動関数を用いた再解析を $^{16}\text{O}$ ,  $^8\text{Be}$ に対して行った。 $^{16}\text{O}$ において $4a$ 凝縮状態が、従来予言されていたものよりもっと理想的に実現されている可能性を示した。

#### ●誌上発表 Oral Presentations

(原著論文)

Funaki Y., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A., Yamada T.: "Density-induced suppression of the  $\alpha$ -particle condensate in nuclear matter and the structure of  $\alpha$  cluster states in nuclei", *Physical Review C* 77, 064312-1-064312-6 (2008).

Funaki Y., Yamada T., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A.: " $\alpha$ -particle condensation in  $^{16}\text{O}$  studied with a full four-body orthogonality condition model calculation", *Physical Review Letters* 101, 082502-1-082502-4 (2008).

Yamada T., Funaki Y., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A.: "Criterion for Bose-Einstein condensation in traps and self-bound systems", *Physical Review A* 78, 035603-1-035603-4 (2008).

Yamada T., Funaki Y., Horiuchi H., Ikeda K., Tohsaki A.: "Monopole Excitation to Cluster States", *Progress of Theoretical Physics* 120, 1139-1167 (2008).

Yamada T., Horiuchi H., Ikeda K., Funaki Y., Tohsaki A.: "Monopole excitation to cluster states", *Journal of Physics: Conference Series* Vol.111, pp012008-1-012014-6 (2008).

Funaki Y., Yamada T., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A.: "Alpha-cluster states and 4 alpha-particle Bose condensate in  $^{16}\text{O}$ ", *Journal of Physics: Conference Series* Vol.111, pp012012-1-012018-6 (2008).

Yamada T., Funaki Y., Horiuchi H., Tohsaki A., Röpke G., Schuck P.: "Dilute Alpha-Particle Condensation in  $^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$ ", *International Journal of Modern Physics B*, Vol.22, 25/26 pp4545-4556 (2008).

Funaki Y., Yamada T., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A.: "Indication of 4 alpha-particle Bose condensate in  $^{16}\text{O}$ ", *Nuclear Physics A* 805, pp236-238 (2008).

(単行本)

Funaki Y., Yamada T., Schuck P., Horiuchi H., Tohsaki A., Röpke G.: " $\alpha$ -cluster states and  $4\alpha$ -particle condensation in  $^{16}\text{O}$ " *Physics of Unstable Nuclei: Proceedings of International Symposium on Physics of Unstable Nuclei (ISPUN07) Hoi An Vietnam 2007* 7 World Scientific Singapore Singapore pp380-385 (2008).

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Funaki Y., Yamada T., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A.: "Present status of alpha-particle condensate states in self-conjugate  $4n$  nuclei", 1st Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SO-TANCP 2008) Strasbourg France, May (2008)

Funaki Y., Yamada T., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A.: " $\alpha$ -particle condensed state in  $^{16}\text{O}$ ", Japanese French Symposium :New paradigms in Nuclear Physics Paris France, Sep.(2008)

Funaki Y., Yamada T., Horiuchi H., Röpke G., Schuck P., Tohsaki A.: "Alpha clustering and condensation in  $^{16}\text{O}$ ", KGU Yokohama Autumn School of Nuclear Physics Yokohama Japan, Oct. (2008)

**超流動ヘリウム中での不安定核原子の  
レーザー・マイクロ波二重共鳴法による核構造研究**

**Laser-Microwave Double Resonance Spectroscopic Study of Hyperfine Structures in RI Atoms  
Immersed in Superfluid Helium for the Investigation of Nuclear Structures.**

研究者氏名：古川 武 Furukawa, Takeshi

受入研究室：仁科加速器研究センター

本林重イオン核物理研究室

(所属長 本林 透)

原子の持つ電子系と中心に存在する原子核との電磁相互作用によって生じる原子準位の超微細構造は、原子核のスピンや電磁気モーメント、大きさ、変形度など様々な構造・性質を調べる極めて有用なプローブである。私は、既存の測定法では成し得ない広範な短寿命不安定核を対象とした核構造研究を可能とするため、近年注目を集めている超流動ヘリウム環境下に打ち込まれたRI原子に対して超微細構造測定を行うべく、測定法の研究開発を進めている。

昨年までに、超流動ヘリウム中に植え込まれた原子のスピン偏極が極めて長時間保持されることを実証し、さらにレーザー・rf二重共鳴法およびマイクロ波二重共鳴法を用いて<sup>85,87</sup>Rbおよび<sup>133</sup>Cs原子の超微細構造準位間共鳴のスペクトルの精密測定にも成功した。これは我々の測定方法を用いて原子核のスピン、モーメントを詳細に決定可能であることを実証しただけでなく、真空中に比べ超流動ヘリウム中では周りのヘリウム原子から受ける圧力に起因して原子の超微細構造相互作用および超微細構造異常(Bohr-Weisskopf効果)がわずかに変化するという世界初の知見を得られた。これを受けて、不安定核実験に用いる実験セットアップの設計を行い、既存の測定法に比べ1000倍以上の測定効率が期待できるシステムを考案した。

本年は、昨年度までに設計した不安定核打ち込み窓付き超流動ヘリウムクライオスタットや大立体角光検出器系など各種実験装置を実際に製作し、実際に加速器にて生成された高速イオンビームを用いてその性能評価を行った。さらに、打ち込むイオンビームのエネルギーを変化させ、任意の位置にイオンビームを停止させることにも成功した。これにより、本実験においてレーザー照射位置に的確に不安定核を打ち込むことが可能となる。

さらに、超流動ヘリウムという特異な環境を利用することで、既存の手法では困難であったAg原子の

光ポンピング法による偏極生成を世界で初めて実現した。本成果により、我々が目指す測定の適応可能核種が飛躍的に増加しただけでなく、スピン偏極を用いた他の様々な研究分野にも応用可能であり、多くの分野に有益な技術を確立したといえる。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

古川 武: "理研"OROCHI"計画：超流動ヘリウム中に導入されたエキゾチックRI原子の新奇なレーザー核分光法", 東北大学サイクロトロン物理セミナー, 仙台核科学コロキウム, 仙台, 日本, 5月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中における短寿命核のレーザー核分光実験計画『OROCHI』の現状", 日本物理学会 2008年秋季大会, 山形, 日本, 9月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "理研"OROCHI"実験計画：超流動ヘリウムを利用した短寿命不安定核のレーザー核分光", RCNP研究会「RCNPにおける不安定核の研究:RCNPビームラインの可能性を探る」, 茨木, 日本, 8月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム液体中に植え込まれた不安定同位体原子のレーザー分光

実験 "OROCHI", 第5回 AMO 討論会, 八王子, 日本, 6月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中エキゾチック RI 原子の新奇なレーザー分光法 (OROCHI 法): 不安定核 Rb 原子の超微細構造精密測定へ向けて", 東北大学・CYRIC 研究会 Fundamental Physics using Atoms, 仙台, 日本, 8月 (2008)

佐々木 彩子, 古川 武, 藤掛 浩太郎, 小林 徹, 畠山 温, 下田 正, 小田島 仁司, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中に植え込まれた In 原子の励起スペクトル", 第5回 AMO 討論会, 八王子, 日本, 6月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 山口 杏子, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 西村 俊二, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウムを用いたレーザー核分光実験 "OROCHI" - 第一回ビーム実験へ向けて -" 第5回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊中, 日本, 12月 (2008)

佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 古川 武, 風戸 正行, 山口 杏子, 小林 徹, 畠山 温, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 松尾 由賀利: "OROCHI 実験に向けた蛍光検出系の開発", 第5回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊中, 日本, 12月 (2008)

佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 古川 武, 風戸 正

行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 小林 徹, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 畠山 温, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 本林 透, 篠塚 勉, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中でのレーザー核分光に向けた蛍光検出系の開発", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

風戸 正行, 古川 武, 山口 杏子, 梅野 泰宏, 西村 俊二, 佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 畠山 温, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 篠塚 勉, 本林 透, 小田原 厚子, 下田 正, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中における RI ビーム停止位置の精密制御", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

藤掛 浩太郎, 古川 武, 畠山 温, 小林 徹, 松浦 佑一, 下田 正, 小田島 仁司, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中における Ag 原子の光ポンピング及び磁気共鳴", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

古川 武, 藤掛 浩太郎, 畠山 温, 小林 徹, 松浦 佑一, 佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 風戸 正行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中での光ポンピング法を用いた Ag 原子の高偏極生成とレーザー核分光への応用", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

藤掛 浩太郎, 古川 武, 畠山 温, 小林 徹, 松浦 佑一, 小田島 仁司, 下田 正, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中における光ポンピング法を用いた Ag 原子の高偏極生成", 第5回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊中, 日本, 12月 (2008)

**XVIII - 030 陽子過剰核  $^{31}\text{Cl}$  核の核モーメントの測定による核構造の研究**  
**Nuclear Structure Study through the Measurement of the Nuclear Moment**  
**of Extremely Proton Rich Nucleus  $^{31}\text{Cl}$**

研究者氏名: 長友 傑 Nagatomo, Takashi  
 受入研究室: 仁科加速器研究センター  
 実験装置開発グループ  
 (所属長 櫻井 博儀)

陽子過剰核の核モーメントを  $\beta$ -NMR法で測定し、安定核の構造と異なる新奇な構造を持つ原子核

の探索、構造の解明を目的としている。原子核の陽子過剰側の存在限界(ドリップライン)近傍の $^{31}\text{Cl}$ 核の

陽子の分離エネルギーは約290 keV と小さいので陽子スキン構造のような新奇な構造をしている可能性がある。 $^{31}\text{Cl}$ 核の磁気双極子モーメントと電気四重極モーメントの測定を通して、原子核を構成する核子のスピン状態と変形について解明することが本研究の目的である。また、 $^{23}\text{Al}$ 同位体は $^{31}\text{Cl}$ 核と同様、分離エネルギーが約125keVと小さく、核構造に興味を持たれている。本年度1月に、 $^{31}\text{Cl}$ 核に先立って、 $^{23}\text{Al}$ の核電磁気モーメントを $\beta$ -NMR法で測定した。仁科センターにあるAVF、RRCを用いて100MeV/uに加速した $^{24}\text{Mg}$ 核をBeターゲットに照射し、陽子ピックアップ反応+入射核破碎反応を用いて $^{23}\text{Al}$ 核を2次ビームとして生成した。生成した核スピン偏極 $^{23}\text{Al}$ 核を入射核破碎片分離装置(RIPS)によって分離し、最下流に設置した $\beta$ -NMR装置内に設置した二次ビームストッパー(Si、 $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単結晶プレート)に植え込んだ。NMR装置の静止磁場(450 mT)、結晶内部場と核モーメントの相互作用による共鳴周波数を、偏極核からのベータ線角度分布の非対称度の変化として観測した。Si結晶を使用し核磁気共鳴を、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 単結晶を用いて核四重極共鳴を観測する事に成功し、現在解析を行っている。

また、系統的な核モーメントの測定の一環として、 $^{31,33}\text{Al}$ 同位体の電気四重極相互作用の測定をフランスGANIL研究所で行った。特に、 $^{33}\text{Al}$ 同位体は、sd殻の中性子過剰核で、特異な性質を示す"逆転の島"限定された領域内にあるのかどうかに興味を持たれている。逆転の島に属する原子核の基底状態は、fp殻軌道がshellギャップを超えてsd殻へ影響を与えるため、特異な変形を示す事が知られている。電気四重極モーメントは原子核の電荷分布の変形であるので、最適なプローブである。 $^{23}\text{Al}$ 核と同様の実験をGANILで行い核四重極共鳴を得る事に成功した。予備的な解析の結果、測定された四重極モーメントは純粋なsd軌道のみで予測される四重極モーメントよりもわずかに大きな値であった。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kameda D., Ueno H., Asahi K., Nagae D., Yoshimi A., Nagatomo T., Sugimoto T., Uchida M., Takemura M., Shimada K., Takase K., Inoue T., Kijima G., Arai T., Suda S., Murata J., Kawamura H., Kobayashi Y., Watanabe H., Ishihara M.: "Production of spin-polarized

radioactive ion beams via projectile fragmentation reaction", AIP Conference Proceedings, Vol.980 pp283-288 (2008)

Ueno H., Nagae D., Kameda D., Asahi K., Takemura M., Takase K., Yoshimi A., Sugimoto T., Shimada K., Nagatomo T., Uchida M., Arai T., Inoue T., Murata J., Kawamura H., Narota K.: "Electric quadrupole moment of  $^{31}\text{Al}$ ", Nuclear Physics A, Vol.805 pp329-331 (2008)

Nagae D., Ueno H., Kameda D., Takemura M., Asahi K., Yoshimi A., Sugimoto T., Shimada K., Nagatomo T., Uchida M., Arai T., Inoue T., Kagami S., Hatakeyama N., Murata J., Kawamura H., Narota K.: "Electric quadrupole moment of  $^{31}\text{Al}$ ", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, Vol.266 pp4612-4615 (2008)

Kameda D., Asahi K., Ueno H., Nagae D., Takemura M., Shimada K., Yoshimi A., Nagatomo T., Sugimoto T., Uchida M., Arai T., Takase K., Suda S., Inoue T., Murata J., Kawamura H., Watanabe H., Kobayashi Y., Ishihara M.: "Electric quadrupole moments of neutron-rich nuclei  $^{32}\text{Al}$  and  $^{31}\text{Al}$ ", Hyperfine Interactions, Vol.180 pp61-64 (2008)

Nagae D., Ueno H., Kameda D., Takemura M., Asahi K., Takase K., Yoshimi A., Sugimoto T., Shimada K., Nagatomo T., Uchida M., Arai T., Inoue T., Kagami S., Hatakeyama N., Kawamura H., Narota K., Murata J.: "Ground-state electric quadrupole moment of  $^{31}\text{Al}$ ", Physical Review C, Vol.79 pp027301-1-027301-4 (2009) 1

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshimi A., Ueno H., Nagatomo T., Shimada K., Ichikawa Y., Kameda D., Sugimoto T., Sakurai H., Asahi K., Hasama Y., Takemura M., Kijima G., Nagae D., Uchida M., Arai T., Suda S., Takase T., Inoue T., Hatakeyama N., Kagami S., Murata J., Kawamura H.: "Nuclear electromagnetic moments of neutron-rich Al isotopes", Nuclear Structure 2008, Michigan, USA, Jun. 2008

(国内会議等)

長友 傑: "Electric quadrupole moment of  $^{33}\text{Al}$ ", 第5回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊中, 日本, 12月 (2008)

長友 傑: "Rutile 中  $^{13}\text{B}$  核のスピン整列制御と  $\beta$  線角

度分布",平成20年度京都大学原子炉実験所専門研究会「短寿命核および放射線を用いた物性研究(I)」研究会,大阪府熊取町,日本,11月(2008)  
長友 傑,南園 啓,松多 健策,三原 基嗣,松宮 亮平,小倉 昌子,福田 光順,小沢 顕,田岸 義宏,山口 充孝,安野 琢磨,太田 寛史,橋爪 祐平,炭竈 聡之,Levy C. Behr, J. Jackson K, 南園 忠則: "質量数20体系の鏡映核対のベータ線角度分布の精密測定によるG変換対称性の研究",日本物理学会2008年秋

季大会,山形,日本,9月(2008)  
島田 健司,長友 傑,旭 耕一郎, Balabanski D., Daugas J., Depuydt M., De Rydt Marieke, Gaudefroy L., Grevy S., 挾間 優佳,市川 雄一,亀田 大輔, Morel P., Perrot L., Stodel Ch., Thomas J., Vanderheyolen W., Vermeulen N., Vingerhoets P., 吉見 彰洋, Neyens Gerda, 上野 秀樹: "<sup>33</sup>Alの電気四重極モーメント",日本物理学会2008年秋季大会,山形,日本,9月(2008)

## XVIII - 031

### 新魔法数 $N = 34$ の探索

#### Search for the New Magic Number $N = 34$

研究者氏名: 竹下 英里 Takeshita, Eri  
受入研究室: 仁科加速器研究センター  
櫻井RI物理研究室  
(所属長 櫻井 博儀)

新しい魔法数  $N = 34$  の探索を目的とした<sup>54</sup>Caとその近傍核についての実験的研究を行った。中性子数34は中性子過剰核での新たな魔法数になると予想されており、<sup>54</sup>Caは $N = 34 \cdot Z = 20$ の二重閉殻構造になり得る原子核であるが未だ実験的観測は得られていない。そこで、<sup>54</sup>Caと近傍の中性子過剰な偶偶核について、第一2<sup>+</sup>励起状態の励起エネルギーおよび換算遷移確率を測定する。これらを系統的に比較することで閉殻構造における集団運動性の推移を明らかにし、重い中性子過剰核領域で新しい魔法数が存在するかどうかを証明することを目指す。

実験は理研仁科センターRIBFにおいて行う。<sup>86</sup>Krからの入射核破碎反応により生成された<sup>54</sup>Caビームを二次標的に照射し、標的中で励起した原子核からの脱励起 $\gamma$ 線を標的周辺に設置したNaI(Tl)検出器群(DALI2)によって測定する。観測された $\gamma$ 線スペクトルから励起状態のエネルギー及び励起断面積を決定する。

本年度はRIBFにおける初 $\gamma$ 線核分光実験に向けて、中でも $\gamma$ 線検出器群の準備を主に進めてきた。前施設RIPSに比べBigRIPSでは入射ビームのエネルギーが五倍強増しているため、 $\gamma$ 線を測定する際にいくつかの問題点が生じる。第一に、通常は等方的に放出される脱励起 $\gamma$ 線がビーム軸前方に向かって極端に偏って分布し、従来通り対称に置かれたDALI2の結晶配列のままでは $\gamma$ 線の検出効率が下がる。第二

に、鉛標的等を用いたクーロン励起実験を行う場合、電子に起因したバックグラウンドX線が増加するであろうことが予想されている。以上の問題を解決するため、標的に対して非対称な結晶配列へと再構成したDALI2をRIBF実験棟に移設し、遮蔽等の手段を講じる上で有用なバックグラウンド測定実験を計画した。2008年12月末には、<sup>48</sup>Caを一次ビームとして用いた一連のRIBF実験において初めての $\gamma$ 線スペクトル観測に成功した。

今回、バックグラウンドに関する系統的な測定は行えなかったが、更に重い原子核へ向かって研究領域を拡大するためにも、依然としてこの問題を解決する事は $\gamma$ 線核分光実験を行う上で重要課題の一つである。先の実験で得られた結果・問題点を踏まえ、主たる検出器をより一層性能向上させる事が必要不可欠である。これにより、<sup>86</sup>Krを一次ビームとした $\gamma$ 線核分光実験が可能になり、しいては<sup>54</sup>Ca周辺における魔法数の存在を明らかにする結果へとつながる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Elekes Z., Dombradi Z., Aoi N., Baba H., Bishop S., Demichi K., Fulop Z., Gibelin J., Gomi T., Hasegawa H., Hashimoto Y., Imai N., Ishihara M., Iwasa N., Iwasaki H., Kalinka G., Kanno S., Kawai S., Kishida T., Kon-

do Y., Korshennikov A., Kubo T., Kurita K., Kurokawa M., Matsui N., Matsuyama Y., Michimasa S., Minemura T., Motobayashi T., Nakamura T., Nakao T., Nikolski E., Notani M., Ohnishi T., Okumura T., Ong H., Ota S., Ozawa A., Perera P., Saito A., Sakai H., Sakurai H., Satou Y., Shimoura S., Sohler D., Sumikama T., Suzuki D., Suzuki M., Takeda H., Takeshita E., Takeuchi S., Tamaki M., Togano Y., Yamada K., Yanagisawa Y., Yoneda K.: "The study of shell closures in light neutron-rich nuclei", Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, Vol.35, pp014038-1-014038-7 (2008)

Aoi N., Takeshita E., Suzuki H., Takeuchi S., Ota S., Baba H., Bishop S., Fukui T., Hashimoto Y., Ong H., Ideguchi E., Ieki K., Imai N., Ishihara M., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Kusaka K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T.,

Nakao T., Niikura M., Okumura T., Ohnishi T., Sakurai H., Shimoura S., Sugo R., Suzuki D., Suzuki M., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., Yamada K.: "Development of Large Deformation in  $^{62}\text{Cr}$ ", Physical Review Letters, Vol.102, pp012502-1-012502-4 (2009)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takeuchi S., Aoi N., Baba H., Fukui T., Hashimoto-Ieki K., Imai K., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T., Okumura T., Onishi T., Ota S., Sakurai H., Shimoura S., Sugo R., Suzuki D., Suzuki H., Suzuki M., Takeshita E., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., Yamada K.: "Low-lying states in  $^{32}\text{Mg}$ ", Future Prospects for Spectroscopy and Direct Reactions 2008, East Lansing, USA, Feb. (2008)

## XVIII — 032

### 反跳粒子測定による不安定核弾性散乱を用いた 核子密度分布の研究

#### Study of the Nucleon Density Distributions by Measurement of Recoil Particles of Elastic Scattering of Unstable Nuclei.

研究者氏名：寺嶋 知 Satoru Terashima

受入研究室：仁科加速器研究センター

櫻井RI物理研究室

(所属長 櫻井 博儀)

原子核の核子密度分布を研究するためには陽子弾性散乱が有効な手段の一つと考えられている。この手法を不安定核に適応するために陽子標的からの反跳陽子検出による弾性散乱実験の開発を行っている。今年度は昨年までの研究で確立した実験方法を用い放射線医学総合研究所(NIRS-HIMAC)においてさらに広範囲の陽子過剰C同位体を対象とした弾性散乱の実験を行い、また昨年度取得した $^{20}\text{O}$ の高統計の解析を行った。

今年度の実験において固体水素標的に大きく改良を行った。昨年度の実験では薄く( $\sim 1\text{mm}^t$ )、大面積( $30\text{mm}\phi$ )の固体水素を長時間維持するために $0.1\text{mm}$ 厚のアルミニウムを標的上流に取り付ける必要があった。このアルミニウムが励起スペクトルの主なバックグラウンドとなり統計の向上を妨げていたが、水素ガスとしてより熱伝導のよい異性体であるパラ水素を用いることによりバックグラウンドの低減を試みた。オ

ルソーパラ変換は低温下において触媒と接触することによって急速に進行する。温度コントロールの部分に固体水素本体と共有することにより非常にコンパクトなシステムを構築し、ほぼ純粋なパラ水素を用いた固体水素標的を製作することによってアルミニウムがない状態での長時間の安定動作を達成した。

$^{20}\text{O}$ の高統計データ解析に先立って、安定核である $^{16}\text{O}$ ビームを用いたデータを解析した。この解析は、一昨年大阪大学核物理研究センター(RCNP)において取得した $^{16}\text{O}$ 標的を用いたデータとくらべることににより、検出効率、バックグラウンドの評価、単体では見つかりにくい方法論固有の効果の評価などを目的とする。励起スペクトルの比較を行うことによりバックグラウンドの評価を行い、また基底状態を含む各状態の散乱角度分布の比較を行ったところ矛盾のない傾向が見られた。解析をよりすすめること



によってより定量的な議論をすすめ、 $^{20}\text{O}$ のデータ解析にうつっていく予定である。励起スペクトルから基底状態および励起状態を同定し、各々の状態にたいして散乱角度分布を反応計算と比較することによって核子密度分布の議論を進めていく。

今年度までの研究で実験面での基本的な開発目標

を達成し、核子あたり数百MeVのビームを用いた不安定核分光を確立した。また今年度、理化学研究所において核子あたり数百MeVの大強度ビームが新RIBF施設で供給されはじめている。今後反跳粒子測定を用いた散乱実験がますます推進されることが期待される。

## XVIII – 033 超重元素合成のための重イオン核反応機構に対する理論的研究

### Theoretical Research on Heavy-ion Reaction Mechanism for Synthesis of the Superheavy Elements

研究者氏名：市川隆敏 Ichikawa, Takatoshi

受入研究室：仁科加速器研究センター

(所属長 森田 浩介)

超重元素 $298^{114}$ は二重魔法核で安定となる可能性が理論的に指摘されている。この超重元素合成を目指した実験が精力的に行われているが、蒸発残留断面積が非常に小さいために合成は困難である。従って合成に最適な標的核と入射核の組み合わせ、入射エネルギー、をあらかじめ予測するモデルが必要である。しかし重イオン核反応機構に対する理解が不十分であるために、これらを予測するモデルは未だ存在しない。超重核領域での核反応を記述するモデルを進展させるために、今年度は実験データが十分に存在する $^{258}\text{Fm}$ の自発核分裂に関する研究を行った。

ウランなどの通常のアクチノイド領域での自発核分裂における分裂片質量分布は幅広い二つのピークとなる事がよく知られている。さらに重い $^{256}\text{Fm}$ (陽子数 $Z=100$ )の原子核でもこれらの系統性と良く一致する実験結果が得られている。しかし中性子数がたった二個増加した $^{258}\text{Fm}$ の自発核分裂で、分裂片質量分布は極度に幅が小さい単一のピークへ急激に変化する事が知られている。この現象を説明するために、従来からの理論的研究では、原子核の変形に対する多次元ポテンシャルエネルギー面を計算して、静的解析により得られるエネルギー最小分裂経路がよく議論されている。そして $^{258}\text{Fm}$ の多次元ポテンシャルエネルギー面中に、質量対称かつ非常にコンパクトな形状へ導くポテンシャルの谷が現れ、その谷を通る分裂が有利になる事が示されている。しかし従来からの研究では、エネルギー最小分裂経路のみが議論され、質量分布の幅に関係するポテンシャル峡谷の曲率などの構造は十分調べられていない。そこでこの多次元ポテンシャル峡谷の構造を明らか

にして、極度に幅が狭い質量分布の起源を説明するのが本研究の目的である。

そこでまずエネルギー最小分裂経路を明らかにするために、原子核の形状を3-Quadratic-Surfaceパラメトリゼーションで記述して、変形パラメータ空間に関する五次元ポテンシャルエネルギー面を巨視的・微視的のモデルに基づき計算した。得られた五次元ポテンシャルエネルギー面を洪水法と呼ばれる方法で解析して、質量対称かつ非常にコンパクトな形状へ導く分裂の谷と分裂点を計算した。そして分裂点で原子核の伸びとくびれの形状に拘束条件を課した上で、質量非対称方向へのポテンシャルエネルギー曲線を計算した。最後に得られた曲線を用いて零点振動を計算する事で、分裂片質量分布を見積もった。さらに従来からのモデルの拡張として、分裂片質量数の見積もりに単一粒子波動関数を用いた。この拡張により得られた結果は、実験結果の半値幅をよく説明した。この拡張により得られた知見がモデルのさらなる精密化に貢献すると期待出来る。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kasamatu Y., Toyoshima A., Asai M., Tsukada K., Ishii Y., Toume H., Nishinaka I., Sato T., Nagame Y., Haba H., Kikunaga H., Akiyama K., Goto S., Ichikawa T., Kudo H., Sato W., Ooe K., Kuribayashi T., Shinohara A., Kinoshita N., Arai M., Yokoyama A., Sakama M., Qin Z., Duellmann C.: "Adsorption of element 105, Db, on the anion-exchange resin in HF/HNO<sub>3</sub> media", JAEA-Review, Vol.2008-054, pp65-66 (2008)

## Jet のスピン非対称度測定を用いた核子構造の研究と標準模型の検証

## Study of the Structure of Nucleon and Examination of the Standard Model with Measurement of Spin-dependent Asymmetry in Jet production at RHIC-PHENIX Experiment

研究者氏名：深尾 祥紀 Fukao, Yoshinori

受入研究室：仁科加速器研究センター

延興放射線研究室

(所属長 延興 秀人)

アメリカ・ブルックヘブン国立研究所のRHIC加速器におけるPHENIX実験に参加し、現在、素粒子・原子核物理の分野において精力的に進められている、核子内部のスピン構造の解明を目的とした研究を行っている。また、RHIC加速器では、世界でもユニークなスピン偏極した陽子同士の衝突を実現しており、これを利用して、素粒子の標準模型の検証も視野に入れた研究を行っている。

核子内部のスピン構造については、過去の深非弾性散乱実験によって価クォークの核子スピンへの寄与については調べられてきたが、海クォーク、グルーオンについては大きな不定性があった。近年のRHICにおける実験結果により、グルーオンのスピンの寄与は予想外に小さいことが明らかとなりつつある。一方、海クォークについては未だ顕著な実験結果はなく、間接的な測定により、全体としてわずかに負に偏極しているということが分かっているのみである。私は、海クォークについての詳しい情報を調べ、核子のスピン構造についてより深い理解を得ることを目的として研究している。海クォークにアプローチする方法として、有力なものの一つとして、W粒子のスピン非対称度の測定がある。W粒子は弱い相互作用によって生成されるため、反応に参加するクォーク・反クォークのフレーバーが選択的であり、また、それらのスピン状態も決定される。このため、W粒子は海クォークの偏極度について調べるのに適したプローブである。

実験としては、W粒子の崩壊によって生成される $\mu$ 粒子を、PHENIX検出器の一部である飛跡検出器(Cathode Strip Chamber)を用いて測定する。しか

し、W粒子はその生成量が非常に少ないため、現在のデータ収集システムでは、W粒子のシグナルは他のバックグラウンドとなるイベントによって覆い隠されてしまう。そのため、W粒子のイベントのみを効率的に選び出してデータ収集を行えるように改良する必要がある、私はそのためのシステムの構築を行っている。具体的には、飛跡検出器による情報をオンラインで読み出し、必要最低限の精度で粒子の軌跡を再構成することによって、必要なイベントのみをトリガーする。これを実現するため、飛跡検出器に新しく実装するトリガー用電子回路を開発している。今年度、電子回路の開発を終え、インストールする予定の半分の200枚の電子回路の生産を行い、それらの品質検査を行った。その後、生産した回路を実機にインストールし、実機を用いての動作確認を行った。現在、近く予定されているビームタイムに向けて、トリガー用電子回路の読み出しのシステム、収集したデータの解析プログラムなどを準備中である。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sakuma F., Enyo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Kitaguchi M., Miwa K., Murakami T., Naruki M., Ozawa K., Sekimoto M., Tabaru T., Togawa M., Yokkaichi S., Chiba J., Kanda H., Ieiri M., Ishino M., Mihara S., Miyashita T., Muto R., Nakura T., Sasaki O., Tanaka K., Yamada S., Yoshimura Y.: "Partial decay widths of the phi into e+e- and K+K- pairs in 12 GeV p+A reactions at KEK-PS E325", Modern Physics Letters A, Vol.23 27/30, pp2401-2404 (2008)

研究者氏名：金森 逸作 Kanamori, Issaku

受入研究室：仁科加速器センター

川合理論物理学研究室

(所属長 川合 光)

場の量子論は量子揺らぎに由来する発散を持つため、何らかの正則化が必要である。時空を格子に切って取り扱う手法は非摂動的な正則化であり、計算機での数値計算に向いているという特徴がある。本研究は、超対称性と呼ばれるボソンとフェルミオンとの間の対称性を持ったゲージ理論を格子正則化を用いて記述することを目的としている。

今年度は、前半はおもに計算機を用いて実際に格子正則化が機能していることを検証した。取り扱った理論は2次元の  $N=(2,2)$  超対称 Yang-Mills 理論と呼ばれるものであり、杉野模型と呼ばれる格子化を利用した。この格子化は、有限の格子間隔では超対称性の一部しか保たず、格子間隔をゼロにする連続極限で残りの超対称性が回復するというシナリオを用いている。このシナリオの成立を数値的に検証することで、この格子模型が格子正則化として機能していることを確かめた。具体的には部分的に保存する超対称カレント(PCSC)の関係式を数値的に検証し、格子化に伴う超対称性の破れは連続極限で消えることを示した。単純な保存する超対称カレントを用いなかった理由は、ポテンシャルにある平らな方向のせいで数値シミュレーションが不安定なったために、スカラー場に質量を加えて安定化させる必要があったからである。またノイズの少ない結果を得るために有限温度のシミュレーションを用いている。

格子正則化として機能することが検証できたので、後半はこの模型が記述している理論が持つと予想されていた性質を、数値的に調べた。一つは基本表現のフェルミオン場のポテンシャルの性質であり、一つはギャップレスの励起を示唆する2点相関関数の振る舞いである。前者は検証可能であることを示し、後者は定性的には予想と一致した。また、昨年度に提唱した超対称性の自発的破れを測定する手法を用い、破れの有無を精度良く測定中である。暫定結果は破れないことを示唆している。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kanamori I., Sugino F., Suzuki H.: "Observing dynamical supersymmetry breaking with euclidean lattice simulations", Progress of Theoretical Physics, Vol.119 pp797-827 (2008)

Kanamori I., Sugino F., Suzuki H.: "Euclidean lattice simulation for dynamical supersymmetry breaking", Physical Review D, Vol.77 pp091502(R)-1-091502(R)-5 (2008)

Kanamori I.: "RHMC simulation of two-dimensional  $N=(2,2)$  super Yang-Mills with exact supersymmetry", Proceedings of Science, Vol.232 pp1-7 (2008)

D'Adda A., Kanamori I., Kawamoto N., Nagata K.: "Exact Extended Supersymmetry on a Lattice: Twisted  $N=4$  Super-Yang-Mills in Three Dimensions", Nuclear Physics B, Vol.798 pp168-183 (2008)

Kanamori I., Suzuki H.: "Restoration of supersymmetry on the lattice: Two-dimensional  $N=(2,2)$  supersymmetric Yang-Mills theory", Nuclear Physics B, Vol.811 3 pp420-437 (2008)

Kanamori I., Suzuki H.: "Some physics of the two-dimensional  $N=(2,2)$  supersymmetric Yang-Mills theory: Lattice Monte Carlo study", Physics Letters B, Vol.672 3 pp307-311 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Kanamori I.: "Observing dynamical SUSY breaking with lattice simulation", 16th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY08), Seoul, Korea, Jun. (2008)

Kanamori I.: "RHMC simulation of two-dimensional  $N=(2,2)$  super Yang-Mills with exact supersymmetry", Lattice 2008, 26th International Symposium on Lattice Field Theory, Williamsburg, USA, Jul.(2009)

(国内会議等)

金森 逸作, 鈴木 博: "スカラー質量項を加えた超対

称Yang-Mills模型の格子シミュレーション", 日本物理学会2008年秋季大会, 山形, 日本, 9月 (2008)  
金森 逸作: "超対称ゲージ理論の格子シミュレーション", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)  
金森 逸作, 鈴木 博, 杉野 文彦: "超対称性の自発的破れの格子シミュレーションによる測定", 日本物

理学会第63回年次大会, 東大阪, 日本, 3月 (2008)  
金森 逸作: "Is lattice simulation of super Yang-Mills possible?", Sapporo Winter School 2009, 札幌, 日本, 1月 (2009)  
金森 逸作: "超対称性の自発的破れの格子シミュレーションによる測定", 基研研究会「量子場理論と弦理論の発展」, 京都, 日本, 7月 (2008)

## XVIII - 039 媒質中のカイラル対称性の回復におけるベクトル中間子の役割

### Role of Vector Mesons in the Chiral Restoration at Finite Temperature and Density

研究者氏名: 日高 義将 Hidaka, Yoshimasa  
受入研究室: 理研BNL研究センター  
理論グループ  
(所属長 McLerran, Larry)

RHICのelliptic flowの発見は、RHICが到達する温度でのQGPは非常に粘性の小さい強く相関した相である事を示唆している。これは弱結合プラズマの描像(以下では完全なQGPと呼ぶ)では説明できない。このためこのQGP相は強く相関したQGP相(sQGP)と呼ばれている。有限温度でのQCD相転移はユニバーサリティや格子ゲージ理論の計算からcross-overであると考えられる。このためハドロン相と"完全"なQGP相の間には中間的な領域が存在する。まさにRHICの到達しうる温度はその中間的な領域と考えられる。この領域ではハドロンのプラズマ化が完全ではなくハドロンの自由度とクォーク、グルーオンの自由度が混ざりあった状態と考えられる。我々はこの中間状態を我々はsemi-QGPと呼ぶ。このプラズマ化の割合はPolyakov loopの期待値で表わされ、格子ゲージ理論の結果からsemi-QGPの範囲は $0.8T_d < T < 2T_d$  ( $T_d$ は相転移温度)である事が示唆されている。我々はこの相での有効理論を構築し、ずれ粘性係数を計算した。その結果、温度が高温から低温に移るに従ってずれ粘性が小さくなることがわかった。これは驚く結果である。なぜなら、完全なQGPからsemi-QGPへ移るとカラーを持ったクォークグルーオンの数は減少するが、古典的には粘性の粒子数依存性は小さい(粘性 $\sim 1/\text{散乱断面積}$ )はずである。semi-QGPでは、散乱過程においてカラーを持った粒子へのプロセスが抑制され、メソンのようなカラー中性へのプロセスが有利になるため結果的に例え結合係数が小さくても相関が大きく(相対的に有効

的な散乱断面積が増加)なり粘性を小さくなり得る事がわかった。これは、RHICとLHCの実験では質的に違う状態(semi-QGPと"完全"なQGP)を観測しえる事を示唆する。強結合から示唆されるgauge/gravity双対を用いた強結合の計算と異なる結果を与える。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

- Fukushima K., Hidaka Y.: "Two-gluon production and longitudinal correlations in the color glass condensate", Nucl. Phys. A813, 171 (2008) \*
- Hidaka Y., Pisarski R. D.: "Suppression of the shear viscosity in a "semi" quark gluon plasma", Phys. Rev. D78, 071501 (2008) \*
- Hidaka Y., McLerran L. D. and Pisarski R. D.: "Baryons and the phase diagram for a large number of colors and flavors", Nucl. Phys. A808, 117 (2008) \*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Hidaka Y., Pisarski R. D.: "Suppression of the shear viscosity in a "semi" quark gluon plasma", PANIC 2008, Eilat, Israel, Nov. 9-14 (2008)
- Hidaka Y., Pisarski R. D.: "Suppression of the shear viscosity near the critical temperature in hot QCD", Strong and Electroweak Matter 2008, Amsterdam, Netherlands, Aug. 26-29 (2008)

Hidaka Y., Pisarski R. D.: "Transport coefficients in semi-QGP", Hot Quarks 2008, Aspen Lodge, Colorado, USA, Aug. 18 - 23 (2008)

Hidaka Y., Pisarski R. D.: "Suppression of the shear viscosity as QCD cools into a confining phase", Understanding QGP through Spectral Functions and Euclidean Correlators, Brookhaven National Laboratory, NY, USA, Apr. 23 - 25 (2008)

Hidaka Y., Pisarski R. D.: "Suppression of the shear vis-

cosity as QCD cools into a confining phase", Fundamental Problems in Hot and/or Dense QCD, Yukawa Institute for Theoretical Physics (YITP), Kyoto, Japan, Mar. 3 - 6 (2008)

(国内学会等)

日高義将, Pisarski R. D.: "Suppression of the shear viscosity as QCD cools into a confining phase", 日本物理学会 2008, 近畿大学, 大阪, 3月23 - 26日 (2008)

## XVIII - 040 EFHC1 機能解析と若年性ミオクロニーてんかんの病因解明

### Characterization of EFHC1 and Understand the Pathology of Juvenile Myoclonic Epilepsy (JME)

研究者氏名: 鈴木 俊光 Suzuki, Toshimitsu

受入研究室: 脳科学総合研究センター

神経遺伝研究チーム

(所属長 山川 和弘)

若年性ミオクロニーてんかん(JME)は、思春期(8~20歳)に発症し、ミオクロニー発作、強直間代発作などを特徴とする最も頻度の高い特発性全般てんかんの一つである。

EFHC1遺伝子は、第6番染色体短腕6p12から同定された若年性ミオクロニーてんかんの原因遺伝子のひとつである。この遺伝子の変異は若年性ミオクロニーてんかんを含む複数の特発性全般てんかん患者から見つかったことが報告されている。しかし、この遺伝子のコードするタンパクmyoclonin1の機能はほとんど解明されていない。本研究では、てんかん発症メカニズムを解明するために、Efhc1遺伝子改変マウスを作成し、EFHC1の異常が脳の内部でどのような細胞機能の異常、神経回路形成の異常、脳の構造異常に結びつくのか、また動物の行動異常に結びつくのかを検討し、新たなてんかん発症機序の解明を目的としている。

20年度は、(1)遺伝子改変マウスが自然誘発的な痙攣発作を起こすかどうか、(2)遺伝子改変マウスにおいてヒトのてんかん患者で観察されるものと同様の脳波異常が観察されるかどうか、(3)ホモ接合体遺伝子改変マウスで観察された脳室拡大が脳室周囲を覆っている上衣細胞の繊毛と関連しているのかどうかを検討した。その結果、遺伝子改変マウス(ヘテロおよびホモ接合体)において自然誘発的なミオクロノスが野生型と比べ7~8倍多く出現するこ

と、このミオクロノス出現時に異常な活動電位が脳波に出現することがわかった。また、脳室拡大に関しては、myoclonin1が上衣細胞の繊毛で発現していることより、走査型電子顕微鏡による繊毛の観察を行った。しかし、繊毛の直径・長さに関しては遺伝子改変マウスと野生型マウス間で差は見られなかった。繊毛運動を調べたところ、野生型マウスに比べホモ接合体マウスにおいて有意な繊毛運動の低下が観察された。18年度から20年度までに得た結果を誌上で公表するために論文を投稿し、受理された。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Medina M.T., Suzuki T., Alonso M.E., Duron R.M., Martinez-Juarez I.E., Bailey J.N., Bai D., Inoue Y., Yoshimura I., Kaneko S., Montoya M.C., Ochoa A., Jara Prado A., Tanaka M., Machado-Salas J., Fujimoto S., Ito M., Hamano S., Sugita K., Ueda Y., Osawa M., Oguni H., Rubio-Donnadieu F., Yamakawa K., Delgado-Escueta A.V.: "Novel mutations in Myoclonin1/EFHC1 in sporadic and familial juvenile myoclonic epilepsy", Neurology, Vol.70 pp2137-2144 (2008)

Suzuki T., Miyamoto H., Nakahari T., Inoue I., Suemoto T., Jiang B., Hirota Y., Itohara S., Saido T., Tsumoto

T., Sawamoto K., Hensch T., Delgado-Escueta A., Yamakawa K.: "Efhc1 deficiency causes spontaneous myoclonus and increased seizure susceptibility", Human Molecular Genetics, Vol.18 6 pp1099-1109 (2009)  
Bai D., Bailey JN., Durón RM., Alonso ME., Medina MT., Martínez-Juárez IE., Suzuki T., Machado-Salas J., Ra-

mos-Ramírez R., Tanaka M., Ortega RH., López-Ruiz M., Rasmussen A., Ochoa A., Jara-Prado A., Yamakawa K., Delgado-Escueta AV.: "DNA variants in coding region of EFHC1: SNPs do not associate with juvenile myoclonic epilepsy", Epilepsia. Vol.50, 5, pp1184-1190 (2009)

## XVIII — 042 EEG / MEG を用いた皮質間相互作用の非侵襲計測とその解析

### Noninvasive Measurements and Analysis of Intercortical Interaction using EEG/MEG

研究者氏名：篠崎 隆志 Shinozaki, Takashi

受入研究室：脳科学総合研究センター

脳信号処理研究チーム

(所属長 Cichocki, Andrzej)

近年の脳科学の進歩は、生理学的な手法によって単一細胞からコラムサイズ程度までのマイクロなレベルの挙動を、心理物理的手法を用いた非侵襲計測によってマクロなレベルの挙動を、徐々に明らかにしつつある。しかしながらこれらマイクロとマクロを繋げる中間のレベルの研究は十分になされておらず、脳の情報処理システムの解明に際しての大きな障害となっている。本研究はこれら中間のレベルの神経活動の解明を目的とし、計算論的手法によるトップダウン的なアプローチと、EEG計測によるボトムアップ的なアプローチを組み合わせることによって、これらの背景にある神経回路モデルの解明を目指した。

本年度はトップダウン的なアプローチとして、昨年度に引き続きsynfire chainと呼ばれる現象についての理論的研究を行った。昨年度の結果から、Hodgkin-Huxleyモデルを用いた数値シミュレーションによって、抑制性入力同期発火の促進に効果を持つことが示された。本年度はその詳細なメカニズムをダイナミクスの観点からより理解するために、フォッカープランク (FP) 方程式を用いた解析を行った。FP解析を適用するために、ニューロンモデルをよりシンプルな形式のIzhikevichモデルを用い、まず数値解析によって挙動の確認を行った。その上で、断熱近似的な手法を応用することによってIzhikevichモデルにおける抑制性入力同期促進機構のFP解析を行った。その結果、同期発火の促進は神経細胞が自発発火している場合に最も良く働くことが示された。この結果は、あわせて行ったスライスパッチク

ランプによる電気生理的測定実験の結果とよく一致したものとなった。

一方でボトムアップ的なアプローチとしては、昨年度まで行ってきたSteady State Visual Evoked Potential (SSVEP) と呼ばれる脳反応の時間周波数特性の解析を応用して、ブレインコンピュータインターフェース (BMI) 実装時の効率化を検討した。SSVEPとは、高速で点滅する映像を定常的に提示した場合に大脳皮質の視覚野に生じる同期的な脳反応で、BMIと呼ばれる頭で念じるだけでコンピュータなどの機械を操作できるシステムなどで利用されている。一般にSSVEPは視覚刺激の定常性から、時間的に連続した計測で測定される。このような時間的に連続した測定によってBMIシステムを構築する場合、脳反応が変化したタイミングを検出することが困難であるとともに、実装においても複雑な並列の処理系を必要とされる。本研究では、より一般的なEEG測定法である事象関連電位 (Event Related Potential: ERP) 測定の手法をSSVEPに応用することによって、これらの問題の解決を図った。その結果、開発、運用ともに容易なシンプルな処理系におけるEvent Related SSVEP (ER-SSVEP) 測定によって、タイミングの検出においても十分な精度を持つBMIシステムを構築できる可能性を示唆した。

#### ●誌上发表 Publications

(単行本)

篠崎 隆志, 岡田 真人, 加藤 英之: "Proc. (和文) 抑制性入力によるsynfire chainの同期制御メカニズム

の解明", 日本神経回路学会第18回全国大会講演論文集, つくば, 日本 9月 (2008), 日本神経回路学会, 日本, つくば, pp80-81 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shinozaki T.i, Cateau H., Reyes A., Okada M.: "Preceding inhibition stabilizes propagation of synfire chain in silico and in vitro", 38th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2008),

Washington DC, USA, Nov. (2008)

(国内会議等)

篠崎 隆志, CICHOCKI ANDRZEJ: "SSVEPの時空間特性の解析とBMIへの応用", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

篠崎 隆志, 岡田 真人, 加藤 英之: "抑制性入力によるsynfire chainの同期制御メカニズムの解明", 日本神経回路学会第18回全国大会 (JNNS2008), つくば, 日本, 9月 (2008)

## XVIII - 043

### GABA性(抑制性)介在神経細胞間の

#### 相互作用がワーキングメモリーに及ぼす影響についての研究

#### Effects of Interactions between GABAergic Interneurons on Sustained Neuronal Activity

#### Associated with Working Memory

研究者氏名: 森田 賢治 Morita, Kenji

受入研究室: 脳科学総合研究センター

甘利研究ユニット

(所属長 甘利 俊一)

短期記憶(作業記憶・ワーキングメモリー)の神経基盤と考えられる大脳皮質の持続的神経活動の細胞・神経回路レベルのメカニズムについて、抑制性介在神経細胞の働きや、錐体細胞の樹状突起分枝における電氣的・生化学的相互作用の効果などに焦点を当て、理論モデリングとスライス電気生理学を用いて研究を行ってきた。今年度の主たる成果を以下にまとめる。

(1)空間位置の短期記憶を司る神経回路に関して、単一細胞レベルの詳細な性質、特にこれまで余り考えられてこなかった樹状突起の空間的非一様性やその上での局所的相互作用、および抑制性細胞の多様性を考慮した数理モデルを構築し、数値実験によって解析を行った。そして、樹状突起分枝一つ一つで非線形な入力加算が起こることで錐体細胞全体としての入出力関係の形が変わり、それによって、記憶対象と関係の無い非特異的な入力を受けた場合に神経回路が低い活動度のまま安定に留まることが保証される可能性を示した。さらに、樹状突起分枝上において興奮性・抑制性入力が局所的に相互作用することが、そうした自発発火状態の安定性が非特異的入力の強度に拠らずに保たれるための機構として働いている可能性を示唆した(Morita, 2008, *J Neurosci* 28:7699)。

(2)錐体細胞の樹状突起と短期記憶・作業記憶などの皮質機能の関わりに関しては、樹状突起上の入力の分布が可塑性によっていかに形成・修飾されるかも大きな問題である。近くの細胞同士の間にも相互興奮が働くとする、Hebbの可塑性によって近い入力(似通った挙動を示す入力)は近い細胞にマップされると期待され、それが機能的皮質回路の形成に重要だと考えられてきたが、最近、単一の錐体細胞の樹状突起上でも、可塑性に際して電氣的・生化学的な近接相互作用が働くことが明らかとなり、近い入力は樹状突起上の近い場所にマップされる可能性が示唆されている。私は、それを活かして単一の錐体細胞が皮質機能、具体的には、数(umeorsity)の認識や短期記憶などにおいて大きな役割を果たしている可能性を提案した。さらに、単一細胞と細胞集団という二つのレベルの自己組織化が異なる順序で行われることによって、全体として異なる機能特性をもった神経回路が構築される可能性を提唱した(Morita, 2009, *Sci Signal* 2:pe2)。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Morita K.: "Possible role of dendritic compartmentaliza-

tion in the spatial working memory circuit", The Journal of Neuroscience, Vol.28 pp7699-7724 (2008)  
(総説)

Morita K.: "Computational implications of cooperative plasticity induction at nearby dendritic sites", Science Signaling, Vol.2 52 p.pe2 (2009)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

森田 賢治, Kalra Rita, 合原 一幸, Robinson Hugh: "大脳皮質の持続的神経活動の時間構造の解明に向けた実験・モデルの融合", 日本神経回路学会第18回全国大会 (JNNS2008), つくば, 日本, 9月 (2008)

森田 賢治: "樹状突起分枝の特性が神経回路の機能において果たし得る役割に関して", 平成20年度生理学研究所研究会「理論と実験の融合による神経回路機能の統合的理解(2)」, 岡崎, 日本, 12月 (2008)

## XVIII - 044 高次認知課題による脳神経系の再構築と言語の獲得 : 齧歯類デグーを用いて

### Restructuring of Neural Organization with High Order Cognitive Function of a Social Rodent, the Degu: Neurobehavioral Elucidation of Language Acquisition

研究者氏名: 時本 楠緒子 Tokimoto, Naoko  
受入研究室: 脳科学総合研究センター  
象徴概念発達研究チーム  
(所属長 入来 篤史)

ヒトの音声コミュニケーションが他と異なる点は、後天的に新しい音声の学習ができることにある。これまで発声学習を行うことが明らかになっている種は、ヒト以外では歌を学習する海棲哺乳類と鳴禽類の一部のみであった。そこで、音声コミュニケーション研究における齧歯類モデルの確立を目指し、豊富な音声レパートリーを持つデグーの音声コミュニケーションとその脳機構を研究してきた。結果、この動物が鳴禽類とよく似た求愛の歌をうたうこと、訓練により新たな音声を獲得できること、また特定の実験場面で特定の音声を発するようになることが明らかになった。行動実験に加え、発声制御系の電気刺激実験からも、デグーが発声学習を行う可能性が示唆された。そこで本年度は、音要素と系列の複雑さから後天的に獲得されていると考えられるデグーの求愛歌が、学習により獲得されるものか生得的に決まっているのかを検討するため、歌の個体差と発達変化を調べた。もし歌が学習されるものならば、歌は発達に伴って質的に変化し、完成した歌は個体によって異なると予測される。

まず、防音箱内で求愛場面における複数のオスの歌を録音し、音響解析を行った。その結果、個体により音要素や構造に違いがあることがわかった。さらに、歌解析に用いたオスを繁殖させ、仔のうたい

始めから8カ月齢までの歌を定期的に録音して、発達に伴う音響特性および構造の変化を調べた。その結果、デグーは生後10日前後から雌雄ともに単純な歌をうたいはじめ、発達に伴って使われる音要素や構造が変化していくこと、歌の発達変化に雌雄差があることが明らかになった。発達データについては、さらに解析を進めていくとともに、生育環境の違いが歌の獲得にどのような影響を及ぼすのかを調べることにより、学習の程度を検討していきたい。

本研究を進める中で問題となったのが、既存のシステムでは特定の個体の発声を分離することが技術的に困難であり、解析に十分な音データが得られないことであった。そこで、より精度の高い解析を行うために、小型テレメトリマイクの開発を試みた。テレマイクは、自由行動下の動物にワイヤレスマイクを直接装着し、ターゲット個体の発声を選択的に記録するシステムである。テレマイクが完成すれば録音精度が向上し、個体差や発達の解析が飛躍的に進むであろう。現在は、長時間安定した録音ができるように調整を行っている段階であり、早期の完成を目指している。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)



Okanoya K., Tokimoto N., Kumazawa N., Hihara S., Iriki A.: "Tool-use training in a species of rodent: the emergence of an optimal motor strategy and functional understanding", PLoS One, Vol.3 3 ppe1860-1-e1860-8 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kumazawa N., Hama H., Kariya Eriko, Tokimoto N., Okanoya K., Miyawaki A., Iriki A.: "Tool-use induces adult neurogenesis in the rodents", 6th FENS Forum of European Neuroscience (FENS Forum 2008), Geneva, Switzerland, Jul. (2008)

Tokimoto N., Kumazawa N., Hihara S., Okanoya K., Iriki A.: "Tool-use training in a rodent degu (Octodon degu)", 6th FENS Forum of European Neuroscience (FENS Forum 2008). Geneva. Switzerland. Jul. (2008)

Tokimoto N., Iriki A., Okanoya K.: "Vocal communication in a social rodent, the degu (Octodon degu): Vocal repertoire and acoustical features", 2nd International Conference on Acoustic Communication by Animals Corvallis, USA, Aug. (2008)

Tokimoto N.: "Can rodents use tool? - manipulation of a rake by degus", Seminar at University College London Institute of Neurology University College, London, UK Sep. (2008)

(国内会議等)

岡ノ谷 一夫, 時本 楠緒子, 熊澤 紀子, 日原 さやか,

入来 篤史: "齧歯類の道具使用訓練", 第22回人工知能学会全国大会, 旭川, 日本, 6月 (2008)

時本 楠緒子: "齧歯目デグーのコミュニケーション: 発声レパトリーと神経機構", 第4回動物音響談話会, 京都, 日本, 9月 (2008)

時本 楠緒子, 岡ノ谷 一夫, 入来 篤史: "齧歯目デグーにおける音声コミュニケーションと発声制御の神経機構", 平成20年度文部科学省特定領域研究「統合脳」脳と心のメカニズム第9回夏のワークショップ, 札幌, 日本, 8月 (2008)

時本 楠緒子, 入来 篤史, 岡ノ谷 一夫: "Neural mechanism for vocal control in the Degu (Octodon degu)", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

上北 朋子, 時本 楠緒子, 仲川 涼子, 岡ノ谷 一夫: "齧歯目デグーにおける社会行動の脳機構", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

上北 朋子, 時本 楠緒子, 仲川 涼子, 岡ノ谷 一夫: "齧歯類デグーの社会行動に及ぼす海馬損傷の効果", 日本動物心理学会第68回大会, 水戸, 日本, 9月 (2008)

上北 朋子, 時本 楠緒子, 岡ノ谷 一夫: "The role of hippocampus in communication behavior of Octodon degu", 平成20年度文部科学省特定領域研究「統合脳」脳と心のメカニズム第9回夏のワークショップ, 札幌, 日本, 8月 (2008)

## XVIII - 047 Co 三角格子をもつ強相関熱電材料の電子状態の研究

### Electronic Structure Study of Correlated Thermoelectric Co Oxides having a Triangular Lattice

研究者氏名: 石田 行章 Ishida, Yukiaki

受入研究室: 励起秩序研究チーム

(所属長 辛 埴)

① 熱電Co/Rh酸化物の始状態に存在する酸素ホール  
地球環境問題やエネルギー問題の観点から、熱エネルギーと電気エネルギーを直接変換する熱電材料の開発が重要課題となっている。高効率の熱電材料は縮退半導体領域で得られる、というバンド理論に基づいた指針があるが、最近、金属的な電気伝導性を示す一群の層状Co/Rh酸化物が大きな熱起電力を示し、新しい熱電材料として注目されている。Sr<sub>1-x</sub>Rh<sub>2</sub>O<sub>4</sub>とNa<sub>1-x</sub>CoO<sub>2</sub>のO 1s内殻吸収分光と共鳴光

電子分光を行ったところ、どちらにも始状態に酸素ホールが存在することが明らかになった。Sr/Na欠損ポテンシャルと大きなd-p混成により、バンド理論で予想されるCo/Rhサイトではなく、酸素サイトにホールが現れると考えられる。バンド理論を超えたd-p再混成により、電荷密度分布はCo/Rh三角格子の周期性に対して不均一となるため、熱電Co/Rh酸化物の大きな熱起電力や金属的な電気伝導などの輸送特性は、ランダムポテンシャル中の変可領域

ホッピングで理解できる可能性がある。

② 鉄系超伝導体に現れた擬ギャップ様の電子構造  
(Ishida et al., JPSJ 2008, PRB 2009)

2008年2月に東工大細野グループで超伝導転移温度 (Tc) 26 Kを示すLaFeAsO:Fが発見され(Kamihara et al., JACS 2008)、鉄ニクタイト系化合物における高Tc探索が世界中で始まった。数ヶ月のうちにTcの記録は50 Kを超え、銅酸化物高温超伝導体に次いで高いTcを示す系となった。銅系高温超伝導体には擬ギャップと呼ばれる電子構造が存在し、これが非従来型の高Tc発現機構に関わっていると考えられている。鉄系超伝導体に擬ギャップが存在するかを調べるためにLaFeAsO:Fの電子状態をレーザー光電子分光法で調べたところ、スペクトルに擬ギャップ様の温度変化が観測された。ところが低TcのLaFePO:F (5 K)にも類似の温度変化が観測されたことから、鉄系の角度積分光電子分光スペクトルに見られる擬ギャップ様構造は、銅系の擬ギャップとは質的に異なることがわかった。擬ギャップ様構造のエネルギースケールは100 K以下で~20 meVであり、準粒子分散に見られる~20 meVキック構造に関係している可能性がある。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Taguchi M., Matsunami M., Ishida Y., Eguchi R., Chainani A., Takata Y., Yabashi M., Tamasaku K., Nishino Y., Ishikawa T., Senba Y., Ohashi H., Shin S.: "Revisiting the valence-band and core-level photoemission spectra of NiO", *Physical Review Letters*, Vol.100 pp206401-1-206401-4 (2008)

Mulazzi M., Chainani A., Takata Y., Tanaka Y., Nishino Y., Tamasaku K., Ishikawa T., Takeuchi T., Ishida Y., Senba Y., Ohashi H., Shin S.: "Temperature dependence of the exchange stiffness in FePd(001) thin films: deviation from the empirical law  $A(T) \propto Ms^2$  at intermediate temperatures", *Physical Review B*, Vol.77 pp224425-1-224425-10 (2008)

Eguchi R., Taguchi M., Matsunami M., Horiba K., Yamamoto K., Ishida Y., Chainani A., Takata Y., Yabashi M., Miwa D., Nishino Y., Tamasaku K., Ishikawa T., Senba Y., Ohashi H., Muraoka Y., Hiroi Z., Shin S.: "Photoemission evidence for a mott-hubbard metal-insular transition in VO<sub>2</sub>", *Physical Review B*, Vol.78 pp075115-

1-075115-6 (2008)

Ishida Y., Shimojima T., Ishizaka K., Kiss T., Okawa M., Togashi T., Watanabe S., Wang X., Chen C., Kamihara Y., Hirano M., Hosono H., Shin S.: "Temperature-dependent pseudogap in the oxypnictides LaFeAsO<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub> and LaFePO<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub> seen via angle-integrated photoemission", *Physical Review B*, Vol.79 pp060503-1-060503-4 (2009)

Ishida Y., Shimojima T., Ishizaka K., Kisu T., Okawa M., Togashi T., Watanabe S., Wang X., Chen C., Kamihara Y., Hirano M., Hosono H., Shin S.: "Unusual pseudogap features observed in iron oxypnictide superconductors", *Journal of the Physical Society of Japan*, Vol.77 suppl. C pp61-64 (2008)

Matsunami M., Chainani A., Taguchi M., Eguchi R., Ishida Y., Takata Y., Okamura H., Nanba T., Yabashi M., Tamasaku K., Nishino Y., Ishikawa T., Senba Y., Ohashi H., Tsujii N., Ochiai A., Shin S.: "Combining photoemission and optical spectroscopies for reliable valence determination in YbS and Yb metal", *Physical Review B*, Vol.78 pp195118-1-158118-5 (2008)

石田 行章, 藤森 淳, 太田 裕道, 細野 秀雄: "熱電コバルト酸化物のキャリア・エントロピーの光電子分光による直接観測", *固体物理*, Vol.43 6 pp343-349 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ishida Y., Shimojima T., Ishizaka K., Kisu T., Okawa M., Togashi T., Watanabe S., Wang X., Chen C., Kamihara Y., Hirano M., Hosono H., Shin S.: "Evidence for pseudogap evolutions in iron oxypnictide superconductors", *International symposium on Fe-oxypnictide superconductors*, Tokyo, Japan, Jun.(2008)

Eguchi R., Chainani A., Taguchi M., Matsunami M., Ishida Y., Horiba K., Senba Y., Ohashi H., Shin S.: "Soft x-ray momentum-resolved photoemission spectroscopy of epitaxial LaNiO<sub>3</sub> thin films" *9th Korea-Japan-Taiwan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems*, Tamsui, Taiwan, Nov.(2008)

Ishida Y., Togashi T., Yamamoto K., Tanaka M., Taniuchi T., Kisu T., Shimoyamada A., Ishizaka K., Nakajima M., Suemoto T., Shin S.: "Ultrafast electronic-state dynamics of graphite probed by time-resolved photoemission

- spectroscopy", 2009 APS March Meeting (MAR09), Pittsburgh, USA, Mar.(2009)
- Ishida Y, Shimojima T, Ishizaka K, Kisu T, Okawa M, Togashi T, Watanabe S, Wang X, Chen C, Kamihara Y, Hirano M, Hosono H, Shin S.: "Unusual pseudogap features observed in iron-oxypnictide superconductors", 2009 APS March Meeting (MAR09), Pittsburgh, USA, Mar.(2009)
- Eguchi R, Chainani A, Taguchi M, Matsunami M, Ishida Y, Horiba K, Senba Y, Ohashi H, Shin S.: "Soft x-ray momentum-resolved photoemission spectroscopy of epitaxial LaNiO<sub>3</sub> thin films", AIST-RIKEN Joint Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Okinawa, Japan, Mar.(2009)
- Togashi T, Yamamoto K, Ishida Y, Tanaka M, Taniuchi T, Shimoyamada A, Kisu T, Ishizaka K, Chainani A, Takata Y, Nakajima M, Suemoto T, Ishikawa T, Shin S.: "Time resolved photoemission spectroscopy in graphite", 16th International Conference on Ultrafast Phenomena (UP 2008), Stresa, Italy, Jun.(2008)
- Ishida Y, Baba T, Eguchi R, Matsunami M, Taguchi M, Chainani A, Senba Y, Ohashi H, Okamoto Y, Takagi H, Shin S.: "Localization of holes at oxygen sites in a thermoelectric rhodate revealed by photoemission spectroscopy", 2008 APS March Meeting (MAR08), New Orleans, USA, Mar.(2008)
- (国内会議等)
- 松波 雅治, 田口 宗孝, 江口 律子, 石田 行章, CHAINANI ASHISH, 高田 恭孝, 矢橋 牧名, 玉作 賢治, 西野 吉則, 石川 哲也, 岡村 英一, 難波 孝夫, 落合 明, 辛 埴: "Yb<sup>2+</sup> の系における硬 X 線光電子分光", 日本物理学会第 63 回年次大会, 東大阪, 日本, 3 月 (2008)
- CHAINANI ASHISH, 山本 文子, 江口 律子, 松波 雅治, 田口 宗孝, 高田 恭孝, 石田 行章, 馬場 輝久, 中尾 愛子, 仙波 泰徳, 大橋 治彦, 木 英典, 辛 埴: "Electronic structure of Hg<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub> and Tl<sub>2</sub>Ru<sub>2</sub>O<sub>7</sub> studied using photoemission spectroscopy", 日本物理学会第 63 回年次大会, 東大阪, 日本, 3 月 (2008)
- 石田 行章, 下志万 貴博, 石坂 香子, 木須 孝幸, 大川 万里生, 富樫 格, Watanabe S, Wang X, Chen C, Kamihara Y, Hirano M, Hosono H, 辛 埴: "光電子分光" シンポジウム「高温超伝導研究の新境地～新物質を徹底的に解明する～」, 東京, 日本, 6 月 (2008)
- 石田 行章, 下志万 貴博, 石坂 香子, 木須 孝幸, 大川 万里生, 富樫 格, 渡部 俊太郎, Wang X, Chen C, 神原 陽一, 平野 正浩, 細野 秀雄, 辛 埴: "Fe 系高温超電導体のレーザー光電子分光", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 盛岡市, 日本, 9 月 (2008)
- 江口 律子, CHAINANI ASHISH, 松波 雅治, 石田 行章, 仙波 泰徳, 大橋 治彦, 岡本 佳比古, 廣井 善二, 辛 埴: "NdNiO<sub>3</sub> 薄膜の *in situ* 軟 X 線光電子分光" 日本物理学会 2008 年秋季大会, 盛岡, 日本, 9 月 (2008)
- 松波 雅治, 田口 宗孝, 江口 律子, 石田 行章, CHAINANI ASHISH, 高田 恭孝, 矢橋 牧名, 玉作 賢治, 西野 吉則, 石川 哲也, 仙波 泰徳, 大橋 治彦, 岡村 英一, 難波 孝夫, 辻井 直人, 落合 明, 辛 埴: "Yb<sup>2+</sup> の系における硬 X 線・軟 X 線光電子分光", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 盛岡, 日本, 9 月 (2008)
- 田中 正志, 富樫 格, 石田 行章, 齋藤 朋也, 谷内 敏之, 下山田 篤史, 石坂 香子, 木須 孝幸, 茂筑 高士, 中根 茂行, 平田 和人, 辛 埴: "Bi2212 の時間分解角度分解光電子分光", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 盛岡, 日本, 9 月 (2008)
- 江口 律子, CHAINANI ASHISH, 松波 雅治, 田口 宗孝, 石田 行章, 仙波 泰徳, 大橋 治彦, 岡本 佳比古, 廣井 善二, 辛 埴: "ペロブスカイト型 Ni 酸化物薄膜の *in situ* 光電子分光", 第 22 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 東京, 日本, 1 月 (2009)

研究者氏名：小林 隆嗣 Kobayashi, Takatsugu  
受入研究室：生命分子システム基盤研究領域  
(所属長 横山 茂之)

翻訳後修飾を遺伝子の塩基配列の段階で規定することは、細胞内情報伝達の解析や制御に非常に有効である。そこで、非内在性のアミノアシルtRNA合成酵素 (aaRS) とtRNAの対を細胞に導入することで遺伝暗号を拡張する試みが着目されている。本年度は、動物細胞へのアセチルリジンの部位特異的導入と、その途中に発見したPylRSの非アミノ酸認識を利用したタンパク質へのエステル結合の部位特異的導入について研究を行った。

#### 1. 動物細胞におけるアセチルリジンの部位特異的導入法の確立

大腸菌において現在用いられているアセチルリジン認識変異体は、十分な活性をもっておらず、またtRNAも動物細胞で発現しないという問題があった。そこで、初代の変異体にランダムに変異導入を行い、大腸菌内で選択することにより、十分な活性をもつ変異体を得ることに成功した。tRNAについては、プロモータとコピー数を検討することで、既に十分な発現を実現している。これらの発現系をヒト細胞に応用することにより、アンバーコドンに対してほぼ純粋にアセチルリジンを対応させることに成功した。現在、p53に対して、拡張遺伝暗号を用いてリジン残基をアセチルリジンに置換したときの細胞への影響を解析している。

#### 2. PylRS・tRNA<sup>Pyl</sup>システムを用いたエステル結合のタンパク質への導入

野生型PylRSは $\alpha$ -アミノ酸のみならず、 $\alpha$ -ヒドロキシ酸をほぼ等価に認識することを見出した。 $\alpha$ -ヒドロキシ酸はリボソームで $\alpha$ -アミノ酸と同様に縮合され、エステル結合が作られる。本年度は、大腸菌内において、 $\alpha$ -ヒドロキシ酸のみを認識するような変異体を人工進化させることに成功した。このことは、生命の起源において、遺伝子翻訳産物として必ずしも $\alpha$ -アミノ酸のみが使われていたわけではない可能性を示している。さらなる研究により、アミノ酸を構成分子として選択していった過程

を知るうえで興味深い知見が得られると期待される。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Mukai T., Kobayashi T., Hino N., Yanagisawa T., Sakamoto K., Yokoyama S.: "Adding L-lysine derivatives to the genetic code of mammalian cells with engineered pyrrolysyl-tRNA synthetases", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Vol.371 4 pp818-822 (2008)

Yanagisawa T., Ishii R., Fukunaga R., Kobayashi T., Sakamoto K., Yokoyama S.: "Crystallographic studies on multiple conformational states of active-site loops in pyrrolysyl-tRNA synthetase", *Journal of Molecular Biology*, Vol.378 3 pp634-652 (2008)

Oki K., Sakamoto K., Kobayashi T., Sasaki H., Yokoyama S.: "Transplantation of a tyrosine editing domain into a tyrosyl-tRNA synthetase variant enhances its specificity for a tyrosine analog", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.105 36 pp13298-13303 (2008)

Yanagisawa T., Ishii R., Fukunaga R., Kobayashi T., Sakamoto K., Yokoyama S.: "Multistep engineering of pyrrolysyl-tRNA synthetase to genetically encode *N* $\epsilon$ -(*o*-Azidobenzoyloxycarbonyl) lysine for site-specific protein modification", *Chemistry and Biology*, Vol.15 24 pp1187-1197 (2008)

Kobayashi T., Yanagisawa T., Sakamoto K., Yokoyama S.: "Recognition of non- $\alpha$ -amino substrates by pyrrolysyl-tRNA synthetase", *Journal of Molecular Biology*, Vol.385 5 pp1352-1360 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

柳沢 達男, 小林 隆嗣, 伊良波 史枝, 石井 亮平, 福永

流也, 坂本 健作, 横山 茂之: "ピロリジル-tRNA 合成酵素改変体/tRNA<sup>Pyl</sup>システムを利用した有用官能基含有非天然型アミノ酸のタンパク質への効率

的導入とその応用", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

## XVIII - 049 性染色体のDNA脱メチル化による性転換を利用した雌雄異株植物の性決定機構の解明

### Genetic Analyses of Sex Determination in The Dioecious Plant, *Silene latifolia* Using Sex Conversion by DNA Demethylation of Sex chromosomes

研究者氏名: 西山りゑ Nishiyama, Rie  
受入研究室: 植物科学センター  
機能開発研究チーム  
(所属長 篠崎 一雄)

(1) X, Y性染色体で性決定する雌雄異株植物ヒロハノマンテマ (*Silene latifolia*) とその近縁種 *Silene* 属は、性染色体を持たない両性の植物から性染色体を持つ雌雄異株植物へと進化した。これらの雌雄異株植物の性染色体上に存在する性決定遺伝子を単離することを目的とし、ヒロハノマンテマのX, Y性染色体上にコードされる *SIAP3Y*, *SIAP3X* 遺伝子 (シロイヌナズナ花形態形成遺伝子 *APETALA3* ホモログ) を単離した。*SIAP3Y* は雄蕊と花弁で、*SIAP3X* は花弁のみで発現していたことから、*SIAP3Y* 遺伝子は雄蕊を形成するのに必要な遺伝子と考えられた。Fluorescent *in situ* hybridization (FISH) により、*SIAP3Y*, *SIAP3X* 遺伝子の性染色体上での位置をマッピングした。さらに2つの遺伝子のイントロンを含むゲノム配列を明らかにし、X, Y性染色体間の配列の違いと性染色体上の位置から、ヒロハノマンテマの性染色体がどのように進化したのか考察した (論文投稿中2報)。

(2) シロイヌナズナではRD26を含めた6個のNAC転写因子が植物ホルモン(ABA, JA)と環境ストレス(乾燥、高塩濃度、傷害等)により誘導される。これらのNAC転写因子はABAとJAを介したストレス応答機構で機能していると考えられる。RD26の機能を解明するためRD26過剰発現体を作成したところ、RD26転写産物は大量に蓄積したがRD26タンパク質は検出できなかった。プロトプラストをもちいた一過的発現系で、プロテアソーム阻害剤MG132処理によりRD26タンパク質の蓄積が確認できたことから、過剰なRD26タンパク質はユビキチン-プロテアソ-

ム系で分解されていると考えられた。RD26の分解経路を明らかにするため、酵母two hybridスクリーニングで5個のRD26結合性ユビキチン化酵素の候補遺伝子を単離した。これら候補の一つ、*RHG1a* (RING型ユビキチン化酵素) の過剰発現体ではRD26の下流遺伝子の転写量が減少していた。これらの結果から、RD26は転写レベル以外にタンパク質レベルでの制御系も存在する可能性が考えられた。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ehrlich M., Sanchez C., Shao C., Nishiyama R., Kehrl J., Kuick R., Kubota T., Hanash S.: "ICF, an immunodeficiency syndrome: DNA methyltransferase 3B involvement, chromosome anomalies, and gene dysregulation", *Autoimmunity*, Vol.41 4 pp253-271 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nishiyama R., Fujita M., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K.: "Post-translational regulation of stress-responsive NAC transcription factors", *International Conference on Plant Abiotic Stress Tolerance*, Vienna, Austria, Feb. (2009)

(国内会議等)

西山りゑ, 藤田 美紀, 関 原明, 金 鍾明, 大野 陽子, 篠崎 一雄: "ABA 依存性ストレス応答経路で働くNAC転写因子の翻訳後調節", 第49回日本植物生理学会年会, 札幌, 日本, 3月 (2008)

## XVIII — 050 植物における mRNA 前駆体スプライシング活性制御機構と その生理的意義の解明

### Studies on Physiological Significance of the Control of Pre-mRNA Splicing Activity in Plant

研究者氏名：武富(大谷) 美沙都 Ohtani, Misato  
受入研究室：植物科学研究センター  
形態制御研究チーム  
(所属長 出村 拓)

mRNA前駆体スプライシングは、全ての真核生物において遺伝子発現に不可欠のメカニズムである。その重要性から動物や酵母においては詳細な分子機構解析が進んでいるが、これまでその動的な側面に目が向けられることは稀であった。その一方でさまざまな角度の研究から、植物のスプライシング因子の重要性も示されつつある。そこで、本研究では、mRNA前駆体スプライシングについて、植物における動的制御機構とその生理的意義の解明を目標に解析を行っている。主な材料は脱分化、分裂組織形成に温度感受性を示すシロイヌナズナ突然変異体、*srd2*および*rid1*である。これまでにSRD2はsnRNA (small nuclear RNA: 核内に存在する小さなRNAで、スプライソソームの構成成分)の転写活性化因子であり、*RID1*遺伝子はRNAヘリカーゼをコードしていることを明らかにしている。

本年度は主にRID1について、その発現様式と分子機能について解析を行った。*RID1pro::GUS*の発現を調べたところ、芽生えでは頂端分裂組織、若い葉原基、根の中心柱において強い発現が見られた。また、葉の発生過程において、孔辺細胞やトライコームとその支持細胞でもGUS活性が確認された。以上の発現パターンはSRD2遺伝子とよく似ており、共通の発生過程に関与していることをうかがわせる。

RID1は酵母Prp22などのmRNA前駆体スプライシングに関わるタンパク質と共通する保存配列を持っており、スプライシングへの関与が予想されてき

た。アミノ酸配列に関して詳細な配列解析を行ったところ、酵母Prpタンパク質に見られる保存性の低いN端領域がRID1には欠けていること、このようなN端欠失型RNAヘリカーゼは酵母には存在しないもののヒトやシロイヌナズナには複数存在していることが分かり、多細胞生物では多様に機能分化したRNAヘリカーゼによってmRNA前駆体スプライシングが複雑に制御されていると想像された。酵母RNAヘリカーゼ変異体群を使った実験の結果、単純なRID1の過剰発現ではこれらの変異を相補しないことが分かったが、このことは前述の仮説と矛盾しない。今後さらに詳細な相補性検定を行い、RID1の分子機能に関して知見を得る予定である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamaguchi M., Igarashi H., Ohtani M., Goue N., Nakano Y., Nishikubo N., Demura T.: "Novel inductive system for secondary wall formation by activating transcription factors", 3rd Conference on the Biosynthesis of Plant Cell Walls, Pacific Grove, USA, Jun. (2008)

(国内会議等)

大谷 美沙都, 杉山 宗隆: "植物の発生におけるsnRNA転写のダイナミズム～シロイヌナズナSRD2遺伝子の解析を通して～", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

## XVIII — 051

### 細胞内亜鉛シグナル経路の解明

#### Analysis of Intracellular Zinc Signal

研究者氏名：鈴木 智之 Suzuki, Tomoyuki  
受入研究室：免疫アレルギー科学総合研究センター  
サイトカイン制御研究グループ  
(所属長 平野 俊夫)

亜鉛は生体において必須微量元素として機能して

おり、亜鉛要求性タンパク質に配位しその活性中心

や構造維持に働くことが知られている。平成19年、筆者のホスト研究室では、アレルギー反応、自然免疫、自己免疫疾患などに重要な役割を果たしているマスト細胞において抗原刺激依存的に細胞内の亜鉛濃度が上昇することが示され、亜鉛が細胞内シグナル分子として働くことが明らかにされた。しかしながら、亜鉛シグナルの標的分子や生理的意義、また、亜鉛がどのような機序によって運ばれているのかについては明らかにされていない。本研究は、亜鉛をセカンドメッセンジャーとする新たな細胞内情報伝達経路を同定することを目標としている。本年度は、「亜鉛トランスポーターから亜鉛要求性タンパク質に亜鉛を運ぶタンパク質(亜鉛シャペロン)の同定」のため、下記の実験を行った。

小胞体、ゴルジ体に局在する亜鉛トランスポーターZnT7の機能解析を行い、ZnT7の機能に必要なドメインを決定した。ZnT7に必要なドメインを用いた*in vitro*プルダウンアッセイ、nanoLC/MSMS解析により、亜鉛シャペロン候補タンパク質を決定し

た。さらに、野生型ZnT7発現株と、重要なドメインを欠損させた変異ZnT7発現株を作製し、免疫沈降法により亜鉛シャペロン候補タンパク質を絞り込んだ。遺伝子欠損株の作製が容易なニワトリB細胞DT40を用いて候補タンパク質を欠損させた株を樹立し、亜鉛要求性タンパク質の活性を測定したが、いずれの株もその活性を有している。現在のところ亜鉛シャペロンの同定にはいたっていない。亜鉛シャペロンの機能重複性の可能性が考えられるため、候補遺伝子の2重あるいは3重欠損株の作製が必要であると考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hirano T., Murakami M., Fukada T., Nishida K., Yamasaki S., Suzuki T.: "Roles of zinc and zinc signaling in immunity: Zinc as an intracellular signaling molecule", *Advanced in Immunology*, Vol.97 pp149-176 (2008)

## XVIII - 052

### マウス囊胚発生における形態形成運動と細胞接着のダイナミズムに関する研究

#### Study on the Dynamism of Morphogenesis and Cell Adhesion during mouse Gastrula

研究者氏名：平野 真理子 Hirano, Mariko

受入研究室：ボディプラン研究グループ

(所属長 相澤 慎一)

マウス囊胚期では、原始線条において上皮細胞が上皮間充織転換を起し間充織細胞へと形態変化する。上皮間充織転換では、細胞の形態変化、上皮細胞で認められる接着構造の消失、細胞同士の接着の現象、細胞-基質間接着の亢進、細胞の運動性の獲得とダイナミックに接着状態を変化させる。

これまでの研究において我々はBand4.1スーパーファミリーの一つであるErythrocyte protein band4.1-like5 (EPB41L5)が上皮間充織転換に関与することを示した。生体内でのEPB41L5の機能解析をEPB41L5ノックアウトマウスで行い、EPB41L5ノックアウトマウスでは三胚葉形成など細胞の分化には異常を示さないが、上皮間充織転換が関与する胎生7.5日胚の原条形成に異常を示し、細胞接着の状態に異常を来し致死となることがわかった。また、細胞内でのEPB41L5の機能解析をマウス乳腺上皮細胞

であるNMuMG細胞株を用いて行ったところ、EPB41L5の発現は、上皮間充織転換の誘導に伴い上昇してくることがわかり、EPB41L5特異的siRNAを用い、EPB41L5を機能阻害した。するとEPB41L5ノックダウン細胞では、TGF $\beta$ で刺激しても、Eカドヘリンが減少せず、膜に局在したままであり、上皮細胞の形態が維持されていた。このことより、EPB41L5が上皮間充織転換に必要であることが示唆された。

EPB41L5ノックダウン細胞では遺伝子発現レベルでの上皮間充織転換は起きており、Eカドヘリンの転写レベルでの制御因子である*Snail*の発現は上昇し、EカドヘリンのmRNAの発現は抑制されていた。よってタンパクレベルでのEカドヘリンの制御であるエンドサイトーシスにEPB41L5が関与していることが想定された。免疫沈降実験により、EPB41L5がE

カドヘリンの細胞内領域に結合する分子であるp120カテニンと結合することがわかった。p120カテニンはアルマジロリピートの部位でEカドヘリンと結合し、Eカドヘリンの膜局在を安定化することが知られている。EPB41L5もp120カテニンのアルマジロリピートの部位と結合していた。そこで、EPB41L5はp120カテニンとEカドヘリンとの結合を競合阻害するのではないかと考え、Cos7細胞にそれぞれの分子を発現させin vitroの再構築系で競合実験を行った。すると、EPB41L5の発現量の上昇に伴い、p120カテニンとEカドヘリンの結合が阻害された。よって

EPB41L5はp120カテニンを介したEカドヘリンのエンドサイトーシスを促進することで、形態形成の際細胞の接着の動的变化に寄与することが示唆された。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hirano M., Yonemura S., Aizawa S.: "EPB41L5 functions to post-transcriptionally regulate cadherin and integrin during epithelial-mesenchymal transition", The Journal of Cell Biology, Vol.182 6 pp1217-1230 (2008)

## XVIII — 053

### 線虫 *C. elegans* の生殖顆粒構成因子の プロファイリングと機能解析

#### Structural and functional analysis of P granule components in *C. elegans*

研究者氏名：花澤 桃世 Hanazawa, Momoyo  
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター  
発生ゲノミクス研究チーム  
(所属長 杉本 亜砂子)

多くの生物において生殖細胞の運命決定に必要な不可欠なのが、生殖質および生殖顆粒である。この重要性とは裏腹に、線虫の既知の生殖顆粒構成因子は標的未知のRNA結合タンパク質群という漠然とした特徴しか持たず、その構造や生殖顆粒全体としての機能は不明である。申請者のホスト研究室は線虫 *Caenorhabditis elegans* の胚抽出液を免疫して得られた抗原未知の新規モノクローナル抗体群(KT抗体)を所有する。これらの抗体および培養細胞での線虫由来タンパク質発現系を用いて、生殖顆粒の構造、構成因子の機能および生殖顆粒全体としての制御メカニズムの解明にせまることを研究目的とした。

今年度は、昨年度構築した哺乳類培養細胞系において形成された顆粒状構造体で観察された現象が、実際に線虫においても観察されるのかを検討した。

(1)哺乳類培養細胞においては、既知の主要な生殖顆粒構成因子であるPGLタンパク質(PGL-1、PGL-3)が単独発現により顆粒状構造体を形成し、一方GLH-1タンパク質を含む他の構成因子群による顆粒形成は見られなかった。そこでPGLタンパク質およびGLH-1タンパク質を線虫の体細胞および初期胚において強制発現させたところ、培養細胞同様PGLタンパク質

のみ顆粒形成能が確認された。

(2)培養細胞においてPGLタンパク質は顆粒状構造体の外縁部分に局在することが観察された。そこで線虫の生殖腺および初期胚の生殖細胞に対してPGLタンパク質抗体を用いた免疫染色を行ったところ、同様な局在を示す生殖顆粒が観察された。この現象はタグ融合型PGLタンパク質を線虫生殖細胞で強制発現させた場合にも確認された。

(3)培養細胞において、特定の既知生殖顆粒構成因子をPGL-3と共発現させると、PGL-3の内側に局在し層状の顆粒状構造体の形成が観察された。そこでその一つであるPOS-1をタグ融合型として線虫生殖腺において強制発現させ、免疫染色により局在を確認したところ、低い頻度ではあるがPOS-1がPGLタンパク質に内包される染色像が確認された。

これらの結果から哺乳類培養細胞で形成された顆粒状構造体を線虫の生殖顆粒のモデル系として利用できること、培養細胞の実験の簡便性を活かすことでこれまで困難だった生殖顆粒の機能解析が進むことを期待している。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)



Takeda K., Watanabe C., Qadota H., Hanazawa M., Sugimoto A.: "Efficient production of monoclonal antibodies recognizing specific structures in *Caenorhabditis elegans* embryos using an antigen subtraction method", *Genes to Cells*, Vol.13 7 pp653-665 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hanazawa M., Yonetani M., Sugimoto A.: "Reconstituting *C. elegans* germ granules in mammalian cells.", Cold Spring Harbor Laboratory 2008 Meeting on Germ

Cells, Cold Spring Harbor, USA, Oct. (2008)

Yonetani M., Hanazawa M., Sugimoto A.: "Domain analysis of PGL-3, a core component of P granules, using cultured mammalian cells", 3rd East Asia *C. elegans* Meeting 2008, Shanghai, China, Apr. (2008)

(国内会議等)

米谷 匡史, 花澤 桃世, 杉本 重砂子: "培養細胞系を用いた *C.elegans* 生殖顆粒構成因子 PGL-3 のドメイン解析", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

### XVIII — 054 個体発生能を司る始原生殖細胞の核内基盤の解明

#### The Elucidation of Nuclear Basis for the Cellular Totipotency in Primordial Germ Cells

研究者氏名: 関 由行 Seki, Yoshiyuki

受入研究室: 哺乳類生殖細胞研究チーム

(所属長 斎藤 通紀)

生殖細胞は次世代の個体発生を保証することで、生命の連続性を維持し、かつ生物の多様性及び進化を産み出すことができる唯一の細胞である。しかしながら、生殖細胞がどのような分子機構を駆使して分化全能性を獲得するのかについては未だ不明な点が多い。私は、精子・卵子の起源である始原生殖細胞における後生的遺伝子修飾(エピゲノム)動態を解析により、生殖細胞特異的なエピゲノム変動(DNA、H3K9me2の脱メチル化及びH3K27me3の高メチル化)が誘導されることを明らかにしてきた。このような現象は、生殖細胞による分化全能性獲得機構を潜在的に保証する可能性を秘めている。そこで、始原生殖細胞特異的なヒストンメチル化変化を制御する分子基盤を同定するために、ヒストンメチル化酵素の機能ドメインであるPR/SETドメインを指標とした発現スクリーニングを行った。その結果、始原生殖細胞特異的に発現する機能未知の分子Prdm14を同定することに成功した。次に、Prdm14遺伝子の機能解析を行うために、Prdm14ノックアウトマウスを作製した。Prdm14ノックアウトマウスは外見上全く正常であったが、始原生殖細胞の分化不全が原因で雌雄ともに完全に不妊であった。Prdm14を欠損した始原生殖細胞は、エピゲノム再編成が誘導される時期において数は減少していたものの、その存在が確認されたため、

Prdm14欠損始原生殖細胞におけるエピゲノム変化解析を行った。その結果、Prdm14を欠損した始原生殖細胞では、エピゲノム再編成が破綻していることが分かり、Prdm14遺伝子が始原生殖細胞によるエピゲノム再編成を制御する分子基盤の上流に存在する可能性が示唆された。また、始原生殖細胞は特定の培養条件下で培養することで、多能性幹細胞であるEG細胞を形成することができる。非常に興味深いことに、Prdm14欠損始原生殖細胞はEG細胞形成能を消失していたことから、Prdm14は潜在的な多能性の再獲得に必須である初めての遺伝子であることが明らかとなった。本研究を通して、始原生殖細胞によるエピゲノム再編成を制御する分子機構の一端を同定することに成功し、分化全能性における機能が解明されることが今後期待される。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yamaji M., Seki Y., Yabuta Y., Yuasa M., Shigeta M., Yamanaka K., Ohinata Y., Saitou M.: "Critical function of Prdm14 for the establishment of the germ cell lineage in mice", *Nature Genetics*, Vol.40 8 pp1016-1022 (2008)

Kurimoto K., Yamaji M., Seki Y., Saitou M.: "Specification of the germ cell lineage in mice: a process orches-

trated by the PR-domain proteins, Blimp1 and Prdm14.", *Cell Cycle* Vol.7 22 pp3514-3518 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

関 由行: "生殖細胞によるゲノム修飾の再編成～全能

性を獲得できる細胞が生殖細胞として選別される仕組み～", 第3回生殖研究ワークショップ, 三浦, 日本, 8月 (2008)

関 由行: "始原生殖細胞によるエピゲノム再編成領域の同定と分子機構の解明", 第3回生殖細胞の会, 北杜, 日本, 11月 (2008)

### XVIII - 055

#### 接着斑を構成・制御する細胞骨格系タンパク質、 タリン (talín) の機能解析

##### Analysis of Cytoskeletal Protein, Talin Constructing and Regulating Focal Adhesion

研究者氏名: 辻岡 政経 Tsujioka, Masatsune

受入研究室: 発生・再生総合研究センター

電子顕微鏡解析室

(所属長 米村 重信)

細胞骨格系タンパク質タリンは、細胞と基質の接着点で細胞膜や接着分子とアクチン細胞骨格を繋げており、N末端に膜結合領域であるFERMドメイン、C末端にアクチン結合領域であるI/LWEQモジュールを持つ。タリンは、ヒト、マウスをはじめ、様々な生物で二種類のホモログがあるが、その機能の差異はまだほとんど知られていない。私は前年度までに、細胞運動研究のモデル生物である細胞性粘菌 (*Dictyostelium discoideum*) における二つのタリン (タリンAとタリンB) が、走化性運動においてそれぞれ細胞後端、細胞前端に局在する事を見出していた。タリンAについては、細胞後端でアクトミオシンと接着分子を繋いでおり、アクトミオシンの収縮に伴って接着分子を引っ張り、接着を解消させているという新規のタリンの機能を、いくつかのデータから予想している。さらにそれぞれのC末領域のみでも全長タリンと同じ局在を示す事も見出していた。

本年度は二つのタリンの細胞膜結合領域、アクチン領域の差異を調べ、その知見から細胞前端、後端での各タリンの機能をさらに考察した。タリンBはI/LWEQモジュールのC末側にVHPと呼ばれるもう一つのアクチン結合ドメインを持つ。この二つのアクチン結合ドメインを含むC末領域のGFP融合タンパク質は、全長タリンBと同じく細胞前端に局在した。ところがVHPを除いてI/LWEQモジュールのみにすると、タリンA全長あるいはタリンAのI/LWEQモジュールのみと同様に細胞後端に局在し

た。VHPのみのGFP融合タンパク質は前端に局在したことから、VHPが前端への局在に重要である事が示唆された。ところがVHPをタリンAのI/LWEQモジュールのC末側に繋いでも、そのGFP融合タンパク質は細胞後端に局在した。したがってI/LWEQモジュールにもタリンAとタリンBで異なる性質がある事が示唆された。FERMドメインにもタリンAとタリンBで性質の違いが見られた。生化学的解析において、タリンAのFERMドメインは細胞膜成分であるPIP2とPIP3に、タリンBのFERMドメインはPIP3にのみ結合する事が示された。走化性運動する粘菌細胞においては、PIP3が先端の細胞膜に、PIP2が後方の細胞膜に局在する事が知られている。したがって、タリンA、タリンBはそれぞれ細胞の後端、前端でその領域に特異的なアクチン構造、細胞膜成分に同時に結合し、表層の細胞骨格と細胞膜を繋いでいるのではないかと予想している。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Patel H., Konig I., Tsujioka M., Frame M., Anderson K., Brunton V.: "The multi-FERM-domain-containing protein FrmA is required for turnover of paxillin-adhesion sites during cell migration of *Dictyostelium*", *Journal of Cell Science*, Vol.121 pp1159-1164 (2008)

Tsujioka M., Yoshida K., Nagasaki A., Yonemura S., Muller-Taubenberger A., Uyeda T.: "Overlapping Functions of the Two Talin Homologues in *Dictyostelium*",

Eukaryotic Cell, Vol.7 5 pp906-916 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tsujioka M., Yonemura S.: "Dictyostelium talin homologue, talin A, is involved in tail retraction in directed cell migration", International Dictyostelium Conference 2008, Tsukuba, Japan, Sep 2008

(国内会議等)

辻岡 政経, 米村 重信: "Dictyostelium talin homologue, talin A, is involved in the tail retraction in advancing cells", 第60回日本細胞生物学会大会, 横浜, 日本, 6月 (2008)

辻岡 政経: "細胞性粘菌Dictyostelium discoideumの細胞運動における二つの talin の役割、局在機構", 第3回細胞運動研究会, 札幌, 日本, 9月 (2008)

## XVIII – 056

### 未知の葉緑体シグナルによる

### 後期胚発生・発芽制御機構の Chemical genetics による解析

#### Chemical genetic analysis on novel plastid signal which regulates late embryogenesis and seed germination

研究者氏名: 土屋 雄一郎 Tsuchiya, Yuichiro

受入研究室: 植物科学研究センター

生長制御研究チーム

(所属長 神谷 勇治)

これまでの本研究にて、新奇植物ホルモンであるストリゴラクトンとよく似た構造を持つ人工化合物であるEL化合物の解析を行ってきた。EL化合物はプラスチックドレトログレードシグナル経路を活性化する一方で、これとは独立にストリゴラクトンとよく似た生理活性を示すことが明らかとなった。人工ストリゴラクトンであるシロイヌナズナGR24要求性突然変異株のスクリーニングから光シグナルに欠損を生じた突然変異株 $hy2$ が分離され、詳細な解析の結果、胚軸の伸張、ゲノムワイドの遺伝子発現等、この突然変異形質の多くがGR24によってレスキューできることが明らかとなった。寄生植物を用いたバイオアッセイにより $hy2$ 突然変異株ではストリゴラクトンの生合成量が低下していることが解り、光シグナルがストリゴラクトンの生合成量を正に調節することで、下流のシグナル伝達が活性化される事が示唆された。さらに、光シグナル伝達を下流で制御する転写因子であるHY5を経由してストリゴラクトンが作用することが明らかとなり、 $hy5$ 突然変異株がストリゴラクトン非感受性突然変異株であること、またGR24を与えることでHY5タンパク質の蓄積が誘導さ

れることが明らかとなった。これらのことから、ストリゴラクトンは光シグナル伝達を仲介するケミカルシグナルであると考えられる。ストリゴラクトンは寄生植物の種子発芽を刺激する宿主由来のシグナルであることから、寄生植物の進化の過程で光シグナルが欠損することでストリゴラクトン生合成量が低下することでストリゴラクトンを他の植物に依存する結果となったと考えられる。世界規模で多くの農業被害を引き起こす寄生植物の生理応答メカニズムをシロイヌナズナを使って解析することが可能であることが明らかとなり、光シグナル伝達を利用して寄生植物の生理をコントロールすることで有効に防除する方法を開発する新たな礎となると考えられる。

### ●口頭発表 Oral Presentations

土屋 雄一郎, Vidaurre Danielle, 神谷 勇治, Cutler Sean, 南原 英司, McCourt Peter: "ストリゴラクトンは光受容からHY5転写因子の分解を伝達するケミカルシグナルである", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 3月 (2009)

基礎科学特別研究員  
平成 19 年度採用者



Efficient Adaptive Signal Processing Techniques Based on Fixed Point Approximation  
with its Applications to Wireless Communication Systems

研究者氏名：湯川 正裕 Yukawa Masahiro  
受入研究室：脳科学総合研究センター  
甘利研究ユニット  
(所属長 甘利 俊一)

適応信号処理は、情報通信システムを支える基盤技術である。本研究では「適応信号処理アルゴリズムの高速化と低計算コスト化」と「その無線通信システムへの応用」という課題に取り組んでいる。CDMA (Code Division Multiple Access) 無線通信システムでは、マルチユーザ干渉抑圧が最重要課題の一つであり、次世代の移動体通信システム(第四世代移動通信システムと呼ばれる)で規定される周波数利用効率(単位帯域・単位時間あたりに送ることができる最大情報量)を達成するためには、低計算量で実現でき、高速な収束性能を持ち、更に雑音等の外乱に頑強な適応信号処理アルゴリズムが要請される。

本年度は、(無線通信に限定せず、)幅広い分野に 응용が期待できる適応信号処理アルゴリズム「Krylov-Proportionate Adaptive Filtering (KPAF) 法」の確立に成功した。KPAF法は、入力信号の自己相関行列と入出力信号の相互相関ベクトルで構成されるKrylov部分空間を用いることで、最適フィルタを疎な係数ベクトルで表現し、この疎な構造を用いることで高速な収束性能を実現する。低計算量で実現できることや雑音や環境変動(入力信号の統計的性質の変動や未知系の変動)に頑強であることも実証した。この成果は、信号処理の学術雑誌「IEEE Transactions on Signal Processing(2009年3月号)」に掲載予定である [2]。また、CDMA無線通信への応用において、同手法の有効性を示した [7]。

更に、昨年度からの継続課題として、適応フィルタとLSFフィルタ(固定線形フィルタ)を受信側と送信側でそれぞれ用いることにより、適応フィルタの適応に要する時間を大幅に削減できることを明らかにするとともに、MMSEフィルタの相関特性の考察を行なった。この成果は、欧州の無線通信に関する学術雑誌「EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking」への採録が決定している [3]。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

Yukawa M., de Lamare R., Raimundo S.: "Efficient acoustic echo cancellation with reduced-rank adaptive filtering based on selective decimation and adaptive interpolation", IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, Vol.16 4 pp696-710 (2008)

Masahiro Yukawa, "Krylov-proportionate adaptive filtering techniques not limited to sparse systems," IEEE Trans. Signal Processing, vol.57, no.3, pp.927--943, March 2009.

Masahiro Yukawa, Ken Umeno, and Gen Hori, "Employing LSF at transmitter eases MMSE adaptation at receiver in asynchronous CDMA systems," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2008, Article ID 298784, 9 pages, 2008.

(単行本)

Yukawa M.: "On whitening for Krylov-proportionate normalized least-mean-square algorithm", Proceedings of the 2008 International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP 2008), Cancun, Mexico, Oct. (2008), IEEE USA NJ pp315-320 (2008)

Yukawa M.: "DS/CDMA linear receiver based on Krylov-proportionate adaptive filtering technique: An extension to complex-valued signals", Proceedings of the 2008 International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP 2008), Cancun, Mexico, Oct. (2008), IEEE USA NJ pp169-174 (2008)

Yukawa M., de Lamare R, Yamada I.: "Set-Theoretic Reduced-Rank Adaptive Filtering by Adaptive Projected Subgradient Method", Proceedings of 41st Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers, Pacific Grove, USA Nov. (2007), IEEE USA Pacific Grove, pp422-426 (2008)

Yukawa M.: "Krylov-proportionate NLMS algorithm

based on multistage Wiener filter representation", Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2008), Las Vegas, USA, Mar. (2008), IEEE USA Las Vegas pp3801-3804 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yukawa M.: "Krylov-proportionate NLMS algorithm based on multistage Wiener filter representation", 2008 IEEE International Conference on Acoustics, Speech,

and Signal Processing (ICASSP 2008), Las Vegas, USA, Mar. (2008)

Yukawa M.: "DS/CDMA linear receiver based on Krylov-proportionate adaptive filtering technique: An extension to complex-valued signals", 2008 IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP 2008), Cancun, Mexico, Oct. (2008)

Yukawa M.: "On whitening for Krylov-proportionate normalized least-mean-square algorithm", 2008 IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP 2008), Cancun, Mexico, Oct. (2008)

### XIX — 002

#### 量子化学の新しい基礎理論の開発：密度行列の直接決定法

##### Development of a New Theory of Quantum Chemistry:

##### Direct Determination of second-order reduced density matrices

研究者氏名：中田 真秀 Nakata, Maho

受入研究室：情報基盤センター

技術開発ユニット

(所属長 姫野 龍太郎)

量子化学において、重要な物理量は二次の密度行列(2-RDM)から計算される。変数も系の大きさに依存せずいつでも四つのため、Schrödinger方程式を解いて波動関数を求める、という複雑な過程を経ず、2-RDMを直接決定することで、より簡単な量子化学の方法を構築したい。基底状態については変分法で計算すれば良く、その場合は $N$ -representability条件という特殊な条件を満たさねばならない。いくつかの研究が1970年代にはあったが、その後この方向ではあまり進展が無かった。2001年我々は半正定計画法という手法を用いる系統的な計算方法を開発し、多くの系に適用しよい結果を得た。これを踏まえ、簡単な量子化学の方法の実用化を研究している。

本年度は前年度に引き続き、多倍長精度での計算ライブラリの整備、三本のプログラムのリリースを行った。半正定値計画法solver SDPA 7、右、多倍長版 SDPA-GMP 7および多倍長行列演算ライブラリ MPACK 0.08(MBLAS/MLAPACK)。解くのが困難な半正定値計画問題に適用し、これまで正しいと思われていた結果が実は間違っていたことを明らかにした。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Nakata M., Fukuda M., Braams B., Fujisawa K., Percus J., Yamashita M., and Zhao Z.: "Variational calculation of second-order reduced density matrices by strong  $N$ -representability conditions and an accurate semidefinite programming solver", *Journal of Chemical Physics*, 128, 164113 (2008).

Waki H., Nakata M., Muramatsu M.: "Strange Behaviors of Interior-point Methods for Solving Semidefinite Programming Problems in Polynomial Optimization", *Computational Optimization and Applications*, submitted

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Nakata M.: "The Reduced Density Matrix Method: Application Of T2'  $N$ -representability Condition and Development of Highly Accurate Solver", *Theory and Applications of Computational Chemistry 2008*, Shanghai, China, Sep. (2008)

Fukuda M., Nakata M., Braams B. J., Fujisawa K., Jerome Percus J. K., Yamashita M., Zhengji Z., "Approximations of Electronic Structures of Atoms and Molecules by Semidefinite Programming", *SJOM 2008 The 4th Sino-Japanese Optimization Meeting*, Taiwan, Taiwan,

- Aug. (2008)
- Fujisawa K., Kojima M., Nakata K., Fukuda M., Yamashita M., Nakata M.: "The SDPA Project and New Features of SDPA 7", SJOM 2008 The 4th Sino-Japanese Optimization Meeting, Taiwan, Taiwan, Aug. (2008)
- Fukuda M, Nakata M., Yamashita M.: "Exploiting the Semidnite Programming Formulations on the Variational Calculation of Second-Order Reduced Density Matrix of Atoms and Molecules", Odyssey 2008: Mathematical and Computational Aspects of Molecular Electronic Structure Calculation, The University of Alberta, Alberta, Edmonton, Canada, Jun. (2008)
- Nakata M, Braams, B. J., Fujisawa K., Fukuda M., Percus J. K., Yamashita M., Zhengji Z.: "The Reduced Density Matrix Method: Application Of T2' N-representability Condition and Development of Highly Accurate Solver", Odyssey 2008: Mathematical and Computational Aspects of Molecular Electronic Structure Calculation, The University of Alberta, Alberta, Edmonton, Canada, Jun. (2008)
- Nakata M.: "Large Scale Semidefinite Programming Arising from Chemistry", SIAM Conference on Optimization (OP08), Boston, Massachusetts, May (2008)
- Fujisawa K., Kojima M., Fukuda M., Nakata K., Yamashita M and Nakata M., "SDPA Project: Solving Large-scale Semidefinite Programs", SIAM Conference on Optimization (OP08), Boston, Massachusetts, May (2008)
- (国内会議等)
- 中塚温, 中嶋隆人, 中田真秀, 平尾公彦: "相対論効果を取り扱える量子モンテカルロ法の開発", 第二回分子科学討論会 2008, 福岡, 9月 2008
- 中田真秀, Braams B. J, 藤澤克樹, Fukuda M, Percus J K, 山下真, Zhengji Z: "縮約密度行列変分法:強い N-representability 条件、非常に正確なソルバーの応用", 第11回理論化学討論会, 慶応大学日吉キャンパス, 5月 2008

## **XIX - 003 銀河団重力レンズクエーサーを用いた宇宙の暗黒物質モデルの検証** **Probing Dark Matter through Cluster-Scale Gravitationally Lensed Quasars**

研究者氏名: 稲田直久 Inada, Naohisa  
 受入研究室: 牧島宇宙放射線研究室  
 (所属長 牧島 一夫)

平成19年度に引き続き、アインシュタインの一般相対性理論から帰着される「重力レンズ現象」という天体現象を通して宇宙の暗黒エネルギーおよび暗黒物質の解明を行うべく研究を行った。この「暗黒エネルギー」および「暗黒物質」とは、宇宙の全質量の大半を占めると予測されている未知の物質(エネルギー)であり、その解明は現在の物理学および天文学の最重要課題の1つとされている。特に、重力レンズ現象を受けたクエーサーの統計、すなわちクエーサーの母集団のうち幾つが重力レンズ現象を受けているかという確立は暗黒エネルギーの存在量およびその性質に強く依存するため、平成19年度において完成させた重力レンズクエーサーの統計的カタログよりもより大規模なカタログを作成すべく、米国ハワイ州マウナケア山頂にあるハワイ大学2.2m望遠鏡、スペイン領カナリア諸島にあるガリレオ3.6m望遠鏡などを用いて重力レンズクエーサーの探索を行った。結果、J0904+1512、J1055+4628、J1254+2235、

J1258+1657、J1405+0959、J1515+1511、という6個の新しい重力レンズクエーサーの発見に成功し、これらの新発見をもとに昨年度のおよそ2倍の規模となる統計的カタログを完成させている。

また、本年度においては、以前の探索で発見した世界初の銀河団による重力レンズクエーサー J1004+4112をすばる望遠鏡において観測したデータを解析し、史上初めて「重力レンズシステムにおける奇数個目の(中心の)重力レンズ像」を分光的に同定することに成功した。この中心のレンズ像は、重力レンズ現象を引き起こしている天体の中心部分の質量に強い制限をつけることが可能であるため、その位置および明るさを基に、重力レンズ現象を引き起こしている銀河団中の最も明るい銀河の中心に存在するブラックホールの質量に制限をつけた。同時に、その銀河の速度分散の測定も行い、両者を合わせることで遠方(赤方偏移0.68)における一般的な銀河の「ブラックホール質量-速度分散」の関係を導出し



た。現段階においては、この関係は近傍の銀河あるいはある特殊な性質を持つ遠方の銀河に対してのみしか知られていないため、今回の結果はこの「ブラックホール質量-速度分散」の関係を解明するための非常に重要なデータとなることが予測されている。

●口頭発表

(国内会議等)

稲田 直久, 大栗 真宗, 加用 一者, 諸隈 智貴: "SDSS 重力レンズクエーサー探索:最近の進展状況について", 日本天文学会 2008 年春季年会, 東京, 日本, 3 月 (2008)

稲田 直久, 大栗 真宗, 加用 一者, 諸隈 智貴: "UH88/UKIRT を用いた重力レンズクエーサー探索", 日本天文学会 2008 年秋季年会, 岡山, 日本, 9 月 (2008)

## XIX - 005 多次元輻射磁気流体計算と X 線観測によるブラックホール降着流の研究

### Research on Black Hole Accretion Flows by Multi-dimensional Radiation Magneto-hydrodynamic Simulations and X-ray Observations

研究者氏名: 大須賀 健 Ohsuga, Ken

受入研究室: 牧島宇宙放射線研究室  
(所属長 牧島 一夫)

ブラックホールに吸い込まれるガスの流れ(BH降着流)では、膨大な重力エネルギーが解放され、強力な輻射や相対論ジェットが発生する。このため、BH降着流は高エネルギー天体のエネルギー源と考えられ、長年にわたって研究されてきた。しかしながら、広く信じられている従来の現象論モデルは、粘性を直感的に定式化し(近年、円盤粘性の起源は磁気乱流であることがわかってきている)、しかも輻射輸送や多次元効果を正しく扱えない不十分なものであった。本研究の目的は、輻射場、磁場、流体を同時に解く「多次元輻射磁気流体シミュレーション」を行い、降着流の構造やジェットのダイナミクスをより現実的に調べることである。

昨年度後半から数値計算法の開発をはじめ、今年度にはいってようやく最初の成果を得ることができた。質量降着率の異なる3つの円盤状態(専門的にはスリム状態、標準円盤状態、RIAF状態と呼ばれる)を一つの計算コードで再現することに成功した。また、スリム状態では輻射圧加速ジェットが、他の二つの状態では磁気圧加速ジェットが噴出することが

わかった。さらに、全ての状態において、円盤粘性が圧力に比例することを実証した。結果は現在投稿中である。

一方、上記研究と並行し、これまで理論的に計算した超臨界降着流の輻射スペクトルと、X線の観測データとの直接比較を行った。その結果、狭輝線I型セイファートと呼ばれる活動銀河核の輻射スペクトル、及び、その時間変動が、我々の理論モデルで見事に説明できることがわかった。これは、この天体に超臨界降着が実在することの強い証拠である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

大須賀 健, 須佐 元: "POPIII ブラックホール降着円盤のバースト現象とその観測可能性", 日本天文学会 2008 年春季年会, 東京, 日本, 3 月 (2008)

川島 朋尚, 大須賀 健, 高部 英明: "コンプトン散乱を考慮した超臨界降着流の2次元輻射流体シミュレーション", 日本天文学会 2008 年春季年会, 東京, 日本, 3 月 (2008)

研究者氏名：太田 一陽 Ota, Kazuaki

受入研究室：牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

137億年前の宇宙誕生時、宇宙の物質は電離状態にあったが、やがて冷えて中性水素原子を形成し、宇宙全体を中性化した。その後、宇宙で初めて星や銀河などが誕生した時、その光でこれらの中性水素を再び電離した。この「再電離」はいつ頃どの様に起こったか、宇宙全体を電離するのに必要な光子を供給できた天体は何だったかは正確には分っていない。本研究ではその解明を目指している。本年度は以下の3つの方向から研究を進めた。

(1) 現在まで、赤方偏移が $z \sim 6$  (宇宙年齢が約 $t=10$ 億年の時代)のクエーサーや、 $z \sim 6.3$  ( $t \sim 9$ 億年)の $\gamma$ 線バーストの光が中性水素に吸収される量から、宇宙の中性度は宇宙が10億歳の時に約1-4%、9億歳では $\leq 17\%$ であることが分かり、再電離は $z=6$ 頃に完了したと考えられている。本研究では、別天体から独立にこれを検証する為、更に昔の時代 $z=7$  ( $t=7.5$ 億年)に存在する銀河の光が中性水素に吸収される量を調べた。 $z=7$ に遡ると中性度が約32-64%へと増すことが分かり、再電離完了が $z \sim 6$ であることを間接的に裏付けた。この成果は4月に論文に受理され、7月に国際会議で招待講演した。観測データが浅く統計量が少ない為、より高い感度の検出器を用いて追観測も行った。更に精度の良い結果を出すため、現在解析を進めている。

(2) 宇宙マイクロ波背景放射の偏光観測から、再電離は $z \sim 14-9$  ( $t=3 \sim 5$ 億年)頃に進行したと考えられている。つまり、宇宙で初めて天体ができただけの時期は $z \sim 14$ 以降の時代でなければならない。本研究では、現在発見されている中では最も昔の天体(上述の $z=7$ 銀河)を可視～中間赤外線観測したデータを用いて、その形成時期を調べることでこれを検証しようとしている。また、同データからこの銀河の昔( $z > 7$ )の星形成活動の履歴を調べられる。その活動期間に銀河

が放射した光子数を計算することで、銀河が宇宙を完全に再電離できる天体だったかどうかを調べている。今年度はその為の解析手法を確立した。

(3) 宇宙の再電離は、電離天体の空間分布を反映しつつ進行していったと考えられている。本研究では、広視野で深い撮像データを用いて、 $z \sim 6$  ( $t \sim 10$ 億年、再電離がほぼ完了しようとしている時期)の銀河の空間分布を調べた。その結果、この時代に既に銀河の非一様な分布である宇宙大規模構造が存在することを確認した。もしこれらの銀河が再電離の立役者であれば、宇宙が非一様に電離されてきたことを観測的に裏付ける。この成果は現在論文に投稿中である。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ota K., Iye M., Kashikawa N., Shimasaku K., Kobayashi M., Totani T., Nagashima M., Morokuma T., Furusawa H., Hattori T., Matsuda Y., Hashimoto T., and Ouchi M.: "Reionization and Galaxy Evolution Probed by  $z=7$  Ly $\alpha$  Emitters", *Astrophysical Journal*, 677, 12-26 (2008)\*

Ota K., Kashikawa N., Malkan M.A., Iye M., Nakajima T., Nagao T., Shimasaku K., and Gandhi P.: "Overdensity of i'-Dropout Galaxies at  $z \sim 6$  in the Subaru Deep Field", submitted to *Astrophysical Journal* (2008)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ota K.: "Probing Reionization and Galaxy Evolution by High Redshift Lyman-alpha Emitters", *Cosmic Reionization - the Formation and Evolution of Stars, Galaxies and Black Holes*, Beijing, China, Jul. (2008)

研究者氏名：川原田 円 Kawaharada, Madoka

受入研究室：牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

本研究は、その存在がこれまで明確でなかった銀河団からの非熱的放射を、硬X線帯域で世界最高の感度を誇る「すざく」衛星で観測することで、銀河団における粒子加速の観測的研究を行うことを目的とする。今年度は、以下の5天体について研究を行い、非熱的放射のみならず、より広い研究領域で重要な成果を得た。

(1) 典型的なリラックスした銀河団であるAbell 2199では、これまで示唆されてきたような、1keV以下と10 keV 以上における熱的放射からの超過成分は検出されず、過去の衛星の結果よりも3倍厳しい上限値が付いた。

(2) 典型的な衝突銀河団であるAbell 3667 では、銀河団の熱的放射の上に、11 keV を越える超高音成分であることが判明した。べき関数型の非熱的成分は検出されなかったが、非熱的放射の上限値と電波強度から、電波放射領域の磁場が $1.5 \mu\text{G}$  以上と、銀河団の周辺部であるにも拘わらず強いことがわかった。

(3) Abell 1689 銀河団において、ビリアル半径付近までX線放射を検出することに成功し、銀河団ガスの温度が、中心から周辺部にむかって、9 keV から2 keV へと、連続的に低下していくことがわかった。

(4) 比較的遠方( $z=0.372$ )にある、MS 1512.4+3647の銀河団ガス中に存在するアルファ元素と鉄のアバundanceを、近傍銀河団のそれらと比較すると、アルファ元素はほぼ一致するのに対して、鉄はMS 1512のほうが有意に小さいことがわかった。これは、過去から現在にわたるIa型とII型の超新星爆発の活動度が、時間的に異なることを示唆している。

(5) 楕円銀河NGC 1550のまわりに、銀河群スケールで広がる高温ガス中に存在する重元素の空間分布を、銀河の空間分布と比較することで、この系がかつては複数のメンバー銀河をもつ銀河群であった

が、銀河が中心に落ち込むことで、中心に1つの銀河だけを持つ現在の姿になった可能性が高いことが明らかになった。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kawaharada M., Makishima K., Kitaguchi K., Okuyama S., Nakazawa K., Matsushita K., and Fukazawa Y.: "A galaxy merger scenario for the NGC 1550 galaxy from metal distribution in the X-ray emitting plasma", *ApJ*, 691, 971-983 (2009)

Nakazawa K., Sarazin C. L., Kawaharada M., Kitaguchi T., Okuyama S., Makishima K., Kawano N., Fukazawa Y., Inoue S., Takizawa M., Wik D. R., Finoguenov A., and Clarke T. E.: "Hard X-ray properties of the merging cluster of Abell 3667 as observed with Suzaku", *PASJ*, 61, 339-355 (2009)

### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Kawaharada M., and the HXD team.: "Calibration status of the Suzaku HXD", 3rd IACHEC meeting, Schloss Ringberg, Germany, May 2008

(国内学会等)

川原田円、北口貴雄、牧島一夫、中澤知洋、田村隆幸、川埜直美、深沢泰司、滝沢元和、井上進: "「すざく」XIS検出器による衝突銀河団Abell 3667の観測", 天文学会春季年会、東海大学、3月(2007)

川原田円、北口貴雄、中澤知洋、深沢泰司、牧島一夫: "「すざく」衛星によるAbell 2199銀河団の観測II", 天文学会春季年会、オリンピック記念青少年総合センター、3月(2008)

## Study of the generation mechanism of space storms

研究者氏名：片岡 龍峰 Kataoka, Ryuho

受入研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(所属長 戎崎 俊一)

(原著論文)

Kataoka R., Pulkkinen A.: "Geomagnetically induced currents during intense storms driven by coronal mass ejections and corotating interacting regions", *Journal of Geophysical Research*, Vol.113 ppA03S12-1-A03S, Dec. (2008)

Kataoka R., Miyoshi Y.: "Magnetosphere inflation during the recovery phase of geomagnetic storms as an excellent magnetic confinement of killer electron", *Geophysical Research Letters*, Vol.35 ppL06S09-1-L06S, Sep. (2008)

Miyoshi Y., Kataoka R.: "Flux enhancement of the outer radiation belt electrons associated with stream interaction regions", *Journal of Geophysical Research*, Vol.113 ppA03S09-1-A03S, Sep. (2008)

放射線帯における気象衛星の通信途絶や、激しいオーロラ活動に伴う誘導電流による地上電力供給ラインの断絶など、現代生活に大きな被害をもたらす宇宙嵐は、太陽風の磁場擾乱に対する磁気圏応答の一つの結果である。その磁場擾乱自体の発生メカニズムは諸説提唱されているが、未だに定量的な予測に成功した例はない。太陽風の加速・伝播中の磁場擾乱の非線形発展を数値実験によって再現することで、宇宙嵐を引き起こす原因を解明することが本研究の目的である。

本年度は、リアルタイムデータを用いた3次元太陽風シミュレーション結果に基づく宇宙天気図を作成し、インターネットによる試験公開を始めた。

## ●誌上发表 Publications

## 22S1/2-22P1/2 遷移周波数の精密測定による荷電半径測定

## Nuclear Charge Radii Determination for Unstable Beryllium Isotopes

## by Precision Laser Spectroscopy for 22S1/2-22P1/2 Transition

研究者氏名：高峰 愛子 Takamine, Aiko

受入研究室：山崎原子物理研究室

(所属長 山崎 泰規)

荷電半径はハロー中性子の存在がコア核にどのような影響を与えているかを知る重要なパラメータのひとつであり、これらの相互作用つまり核力の理解を深める礎となる。本研究は中性子ハロー核である<sup>11</sup>Beを含めたBe同位体の荷電半径を決定する事を目的としている。

原子準位は、最も単純には、原子核を無限に重い質量を持った点電荷として計算される。しかし実際の原子核は有限の質量と荷電分布を持つためそれが原子準位に影響を与える。Beなどの軽い原子核では109MHzの遷移周波数のうち、同位体間での荷電分布の違いによる寄与は10 MHzのオーダーである。荷電半径を十分な精度で決定するためには10<sup>-9</sup> 程度の

非常に高精度な測定が必要である。

Beに対しこれを実現するために次に述べるようなレーザー・レーザー二重共鳴法を用いる。22S1/2-22P3/2遷移間に共鳴する強いレーザー光でBeイオンをレーザー冷却すると、同時にこれらの最大磁気準位間イオンの分布が偏り、強い誘導放出光が観測される。そのレーザーの照射を止めた直後に22S1/2-22P3/2もしくは22S1/2-22P1/2に共鳴する弱いプローブ光を照射すると、一部のイオンの分布が移動し、それに応じて次の冷却光照射時における誘導放出光強度が増加もしくは減少する。この交互照射を十分短い時間間隔で繰り返しながらプローブ光の周波数を掃印すると、共鳴する周波数でピークやディップ

が観測される。冷却光によるスペクトルは冷却する過程で冷却と加熱が非線形的に起こるため非対称型になると同時に、冷却光が強いためパワー広がりやシフトも起こってしまうが、上記のような二重共鳴法の場合はプローブ光が弱いいため、そういった広がりやシフトがなく自然幅に近いローレンツ型のスペクトルを得ることができ、その中心周波数を高精度に測定することができる。荷電半径を1%の精度で決定するために、この109MHz程度の遷移周波数を1MHz程度の精度で測定する。また、線幅だけでなく絶対周波数を正確に決定するために、周波数コムを用いてレーザー光の周波数を校正する。

本年は $7,9,11\text{Be}^+$ に対し上に述べた方法で $22\text{S}1/2$ - $22\text{P}3/2$ 遷移を自然幅で観測することに成功し、その周波数を $\sim 2$  MHzの精度で決定した。超微細構造のない $10\text{Be}^+$ に対してはゼロ磁場中でレーザー冷却し、自然幅に近いローレンツ型スペクトルを得た。来年度には $22\text{S}1/2$ - $22\text{P}1/2$ 遷移周波数を測定し、より高い精度と信頼性をもって荷電半径を決定する。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Okada K, Wada M, Nakamura T, Takamine A, Liubimov V, Schury P, Ishida Y, Sonoda T, Ogawa M, Yamazaki Y, Kanai Y, Kojima T, Katayama I, Ohtani S, Kubo T, Yoshida A, "Precision Measurement of the Hyperfine Structure of Laser-Cooled Radioactive  ${}^7\text{Be}^+$  Ions Produced by Projectile Fragmentation", *Physical Review Letters*, Vol.101, pp212502-1-212502-4 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Wada M., Takamine A., Okada K., Sonoda T., Schury P., Liubimov V., Yamazaki Y., Kanai Y., Kojima T., Kubo T., Imura H, Katayama I., Ohtani S., Wollnik H., Schuch R.: "Universal Slow RI-Beam Facility at RIKEN RIBF for Laser Spectroscopy of Short-Lived Nuclei", *International Conference on Laser Probing 2008 (LAP 2008)*, Nagoya, Japan, Oct.(2008)

Liubimov V, Wada M, Takamine A, Nakamura T, Schury P, Imura H, Okada K, Schuch R, Yamazaki Y, "Precision Fast Ion Beam Laser Spectroscopy of  $\text{Ar}^+$ ", *International Conference on Laser Probing 2008 (LAP 2008)*, Nagoya, Japan, Oct. (2008)

(国内会議等)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中における短寿命核のレーザー核分光実験計画『OROCHI』の現状", *日本物理学会 2008 年秋季大会*, 山形, 日本, 9月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "理研"OROCHI" 実験計画: 超流動ヘリウムを利用した短寿命不安定核のレーザー核分光", *RCNP研究会「RCNPにおける不安定核の研究: RCNPビームラインの可能性を探る」*, 茨木, 日本, 8月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム液体中に植え込まれた不安定同位体原子のレーザー分光実験"OROCHI", 第5回 AMO 討論会, 八王子, 日本, 6月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中エキゾチック RI 原子の新奇なレーザー分光法 (OROCHI 法): 不安定核 Rb 原子の超微細構造精密測定へ向けて", *東北大学・CYRIC 研究会 Fundamental Physics using Atoms*, 仙台, 日本, 8月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 山口 杏子, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 西村 俊二, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウムを用いたレーザー核分光実験"OROCHI" - 第一回ビーム実験へ向けて -", 第5回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊

中, 日本, 12月 (2008)  
佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 古川 武, 風戸 正行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 小林 徹, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 島山 温, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 本林 透, 篠塚 勉, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中でのレーザー核分光に向けた蛍光検出系の開発", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

古川 武, 藤掛 浩太郎, 島山 温, 小林 徹, 松浦 佑一, 佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 風戸 正行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中での光ポンピング法を用いた Ag 原子の高偏極生成とレーザー核分光への応用", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

## XIX - 010 二次元量子反強磁性体におけるスピン液体とトポロジカル・オーダー

### Spin Liquids and Topological Order in Two-Dimensional Quantum Antiferromagnets

研究者氏名: 古川 俊輔 Furukawa, Shunsuke  
受入研究室: 古崎物性理論研究室  
(所属長 古崎 昭)

幾何学的フラストレーションのある量子磁性体においては、通常の磁気秩序が抑制され、カイラル秩序、ネマティック秩序など、多様な秩序が発現する。また、スピン液体と呼ばれる、局所的秩序変数では特徴づけられないような相の存在も提案されている。このような系を理論的に記述するには、通常のスピン波描像を超えた、非摂動論的な取り扱いが必要となる。量子スピン模型を、多体系の非摂動論的手法を用いて解析し、現実の磁性体の理解や新現象の提案に結びつけることを、研究の目的としている。本年度は以下の二つの研究に取り組んだ。

(1) 近年、 $\text{LiCuVO}_4$ 、 $\text{LiCu}_2\text{O}_2$ などの擬一次元フラストレート磁性体において、スピンの螺旋秩序ないしベクトル・カイラル秩序に起因する強誘電性(マルチフェロイクス)が観測されている。これらの系における、カイラル秩序形成と量子揺らぎの競合を理解するため、最近接強磁性、次近接反強磁性のスピン1/2フラストレート鎖を解析した。容易面異方性を含む模型に対してiTEBD法により相図を決定し、カイラル秩序相が、異方性の弱い場合を含む、広いパラメーター領域に広がっていることを見出した。さらに、 $\text{LiCu}_2\text{O}_2$ で重要となる、鎖間相互作用を摂動として考慮すると、隣接鎖間でスピン螺旋の位相差が90度に固定されることが導かれる。これは、最近の中性子散乱の実験結果で見出された磁気構造と合致する。この特異な秩序は、古典的解析や単純なスピン波理論では説明できない、強い量子効果と擬一次元

性に起因するものである。また、面内のカイラリティのダイナミクスに、量子揺らぎによるギャップレス・ソリトンが現れることを明らかにした。これは、電気磁気効果を通して、誘電関数に寄与すると考えられる。

(2) 量子情報理論の概念を応用し、一次元臨界系を特徴づけるための新しい方法論の開発に取り組んだ。我々は、二つの領域間の相関量を測る指標として相互情報量に着目した。一次元量子系に広く現れる、朝永・Luttinger流体において、この量が、系の詳細によらず、ボゾン半径(もしくはLuttingerパラメーター)によって決められることを数値的に見出した。この結果は、ボゾン半径を決める新しい方法を提供すると同時に、一次元臨界系の情報を引き出すための新しい視点を提示している。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Furukawa S., Sato M, Saiga Y., Onoda S.: "Quantum fluctuations of chirality in one-dimensional spin-1/2 multiferroics: gapless dielectric response from phasons and chiral solitons", Journal of the Physical Society of Japan, Vol.77 pp123712-1-123712-4 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furukawa S.: "Entanglement entropy in conventional and

topological orders", Workshop on Topological Aspects of Solid State Physics, Kyoto, Japan, Jun. (2008)

Furukawa S., Sato M., Saiga Y., Onoda S.: "Quantum fluctuations of chirality in one-dimensional spin-1/2 multiferroics", 9th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo'08), Hatoyama, Japan, Aug. (2008)

Furukawa S., Pasquier V., Shiraishi J.: "Mutual information and compactification radius in a  $c=1$  critical phase in one dimension", 2009 APS March Meeting (MAR09), Pittsburgh, USA, Mar. (2009)

(国内会議等)

古川 俊輔: "一次元スピン1/2マルチフェロイクスにおけるカイラリティと量子効果", 文部科学省科学研究補助金特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」第2回トピカルミーティング「フラストレーションとマルチフェロイクス」, 宇治, 日本, 6月 (2008)

古川 俊輔, Misguich Gregoire: "量子多体系におけるフォン・ノイマン相互情報量と長距離相関", 日本物理学会2008年秋季大会, 盛岡, 日本, 9月 (2008)

小野田 繁樹, 古川 俊輔, 佐藤 正寛, 桂 法称, 永長 直人, 齋賀 康宏: "擬一次元マルチフェロイクスにおけるマイクロ波吸収: 2-フェイゾンとカイラル・ソリトン", 物性科学領域横断研究会「スピンの拓く物性科学の最前線」, 東京, 日本, 11月 (2008)

古川 俊輔: "一次元スピン1/2マルチフェロイクスにおける量子効果: ギャップレス・カイラル流体からの描像", 文部科学省科学研究補助金特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」第3回トピカルミーティング「フラストレーションとスピン液体」, 神戸, 日本, 12月 (2008)

古川 俊輔, 佐藤 正寛, 齋賀 康宏, 小野田 繁樹: "フラストレート・スピン1/2鎖におけるカイラル秩序と相関関数", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

## XIX - 012 走査トンネル顕微鏡/分光 (STM / STS) を用いた (強相関係の) 不純物効果の研究

### Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy (STM/STS) Study of Strongly Correlated Impurity

研究者氏名: 小野 雅紀 Ono, Masanori

受入研究室: 高木磁性研究室

(所属長 高木 英典)

物質はごく微量の不純物により、その性質が変化する。例えば、半導体は微量の不純物によってn型、p型のように電気的特性の変化を利用し応用されている。強相関電子系物質の場合にも電気的特性の変化(超伝導や絶縁)や磁性の変化(常磁性や反強磁性)など、不純物を起因とするフェルミ準位近傍における電子状態の多様な変化が見られるが、その発現機構は複雑であり様々な側面からの研究が不可欠である。本研究では走査トンネル顕微鏡/分光 (STM/STS) およびそれに付随する技術を駆使して固体表面上での不純物効果を研究対象とし、表面上の原子および単一分子の電子スピンを検出・観察することで、その不純物効果をナノサイエンスの立場から理解することを目的とする。

本年度は外部磁場による電子の歳差運動をサブナノメートルの空間分解能で観察することができる

STM/STS装置の最適化を行った。内容は下記の通りである。

(1)長時間の安定したSTS測定と微小高周波信号検出にも対応させるために、新たに小型の液体ヘリウムデュワーを設計し、製作した。新たなヘリウムデュワーを取り入れたことにより、最長24時間のSTS測定が行えるようになった。

(2)原子および単一分子の観察には、清浄な表面とそれを保つ環境が必要であるが、様々な基板を利用できるように、基板用の電子ビーム加熱装置一式を開発した。これにより、半導体から高融点金属の清浄表面が得られるようになった。

(3)局所電子スピン観察手法すなわち電子スピン回転 (ESR) STMは外部磁場を印可することによって引き起こされる原子・分子の持つ電子スピンの歳差運動を微小なトンネル電流中の変調信号として見出

すものであるが、その信号は100MHz~1GHzの帯域で-100dB未満の微弱な高周波信号であるため、低温冷却増幅器を利用した高効率検出器を新たに組み込んだ。

現状は11時間の安定したSTS測定に成功しており、現在水素終端シリコン表面を作成しその表面上の鉄原子単体のスピンを検出および、基板と結合したときのその状態の変化を観察すべく研究を行っている。ま

た、単一分子のスピン観察を考慮し磁性原子を持つフタロシアニンなどの分子も観察予定である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小野雅紀, 花栗哲郎, 坪井紀子, 高木英典: "STM/STSの応用と分子観察", シンポジウム「分子アンサンプル 2008」, 和光, 12月 (2008)

## XIX - 013

### 超伝導電子対のナノスケール分光解像

#### Nano-Scale Spectroscopic Imaging of Superconducting Electron Pairs

研究者氏名: 幸坂 祐生 Kohsaka, Yuhki

受入研究室: 高木磁性研究室

(所属長 高木 英典)

超伝導状態が通常の金属状態と大きく異なる点の一つはコヒーレントな電子対の存在にある。この点は発見から20年以上が経過した銅酸化物高温超伝導においても同様であるが、その発現機構については未だ一致した意見が得られていない。一方、超伝導現象の周辺にはいくつもの新奇な電子状態が発見されており、それらと超伝導との共存・競合関係が盛んに議論されている。そんな中、有限の振幅を持ち、時間的・空間的にゆらいだ電子対状態の可能性が理論的・実験的に示唆されている。これは、従来型超伝導とは異なる特異な性質として重要である。本研究では、走査トンネル顕微鏡法/分光法 (STM/STS) を用いたナノスケール電子分光測定により、マクロな測定では得られない、こうした電子対の振幅・位相に関する局所的な性質を明らかにすることを試みている。

本年度は銅酸化物高温超伝導体  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$  について低温 ( $\leq 4.2$  K) STM/STS測定を行った。この物質は極めて良好なへき開性を有するためSTMによる測定に最適である。また、Mott絶縁体側の非超伝導試料から最適組成の超伝導試料まで広い範囲の単結晶を得ることができる。これらの利点を活かし、非超伝導・超伝導両方の組成の試料についての測定を行い、キャリア濃度の変化による電子状態の発達過程を調べた。その結果、(1)超伝導試料においてこれまでに見つかったV字型の擬ギャップ状スペクトルに加えて、U字型の半導体的スペクトルを示す領域が存在し、両者はnmスケールで分離していること、(2)半導体的スペクトルを示す領域はキャリア濃

度が低い試料でより顕著であること、(3)擬ギャップ状スペクトルを示す領域の電子状態はMott絶縁相の並進・回転対称性を局所的に破っていること、(4)半導体的スペクトルを示す領域の電子状態はMott絶縁相の対称性を保存していること、(5)キャリア濃度の増加とともに対称性の破れが顕著なエネルギースケールは減少すること、を見出した。これらの結果は、対称性の破れがMott絶縁相に対するキャリアドーピングによって生じる内因性のものであることを示している。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Allredge J., Lee J., McElroy K., Wang M., Fujita K., Kohsaka Y., Taylor C., Eisaki H., Uchida S., Hirschfeld P., Davis J.: "Evolution of the electronic excitation spectrum with strongly diminishing hole density in superconducting  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ", *Nature Physics*, Vol.4 pp319-326 (2008)

Kohsaka Y., Taylor C., Wahl P., Schmidt A., Lee J., Fujita K., Allredge J., McElroy K., Lee J., Eisaki H., Uchida S., Lee D., Davis J.: "How Cooper pairs vanish approaching the Mott insulator in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ", *Nature*, Vol.454 pp1072-1078 (2008)

Hanaguri T., Kohsaka Y., Ono M., Maltseva M., Coleman P., Yamada I., Azuma M., Takano M., Ohishi K., Takagi H.: "Coherence Factors in a High-Tc Cuprate Probed by Quasi-particle Scattering off Vortices", *Sci-*



ence, Vol.323 5916 pp923-926 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

幸坂 祐生: "銅酸化物高温超伝導体における電子状態の発達過程～局在/実空間・遍歴/波数空間の間で～", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

**XIX - 014 放電場によるマイクロドロップ・インジェクション現象を利用した超微細三次元造形技術の確立とそれによるマイクロマシン、バイオメカニカルファブ리케이션への応用展開**

**Development of Micro 3D-Fabrication Methods Utilizing Micro Drop Injection Phenomena in Corona Discharge Field and these Applications for Micro-Machine and Bio-Mechanical Fabrication**

研究者氏名: 梅津 信二郎 Umezu, Shinjiro

受入研究室: 大森素形材工学研究室

(所属長 大森 整)

再生医療・人工臓器などのバイオテクノロジー研究では、実際に即した三次元構造の細胞組織を用いて実験をすることが強く望まれている。しかし、自重が細胞間の結合力を上回るため、三次元構造の細胞組織を作るのは困難である。そこで、細胞を含む液体の中に細胞の足場となる三次元構造のスキヤホールドを入れて、スキヤホールド表面に細胞を付着させる方法が提案されたが、この手法の場合複数の種類の細胞を任意に配置できないこと、不要な細胞やバイオマテリアルが相当発生することなどのデメリットがあった。つぎに、インクジェット技術で細胞とスキヤホールドを並行してパターンニングすることが試みられた。上述の問題が解決されると期待されたが、市販のプリンタでは高粘性な液体を吐出することが困難なため、ゼラチンなどのスキヤホールドを含む液体の吐出ができなかった。ゼラチンなどの代わりに、比較的低粘性であるアルギン酸カプセルが用いて、細胞を含むアルギン酸カプセルを三次元状に並べることに成功した。しかし、三次元状に細胞は配置されているものの、アルギン酸カプセルによって細胞同士の物理的な接触が阻害されてしまうため、実用的とはいえなかった。インクジェット技術を用いてこの問題を解決するには、高粘性な液体を高画質で吐出できるように改良する必要があった。

いっぽう、静電インクジェット現象は、市販のインクジェット方式よりも高粘性の液滴を吐出可能で、チューブ内径よりも小さな液滴を吐出可能というメリットを有することを、梅津らは明らかにして

いた。そこで、本現象を細胞およびスキヤホールドのパターンニングへと応用し、三次元状の細胞組織のパターンニングを行った。この試みは成功し、特許申請・学会賞・学会などにおける3回の招待講演・新聞掲載・助教の職を得ることへと繋がった。

最後になるが、機械技術であるインクジェット現象をバイオ分野へと応用展開できたのは、当研究室の大森主任・片平専任研究員および伊藤ナノ工工学研究室の伊藤主任・北嶋協力研究員らの力強いバックアップがあったからである。付記し、謝意を表する。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kawamoto H., and Umezu S.: "Electrostatic micro-ozon fan that utilizes ionic wind induced in pin-to-plate", J. Electrostatics, (2008) 445-454.\*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Umezu S., Kitajima T., Murase H., Ohmori H., Katahira K. and Ito Y.: "Fabrication of living cell structure utilizing electrostatic inkjet phenomena", Proc. of MEMS 2009, Italy, Jan. (2009)

Umezu S., Kitajima T., Murase H., Ohmori H., Katahira K. and Ito Y.: "Patterning of living cells utilizing electrostatic inkjet phenomena", Proc. 48th annual meeting of American Society of Cell Biology, USA, Dec. (2008)

Umezu S., Katahira K., and Ohmori H.: "New micro fab-

rication techniques utilizing electrostatic inkjet phenomena", Digital Fabrication 2008, USA, Oct. (2008).

Umezumi S., Katahira K., Ohmori H., and Kawamoto H.: "New fabrication techniques utilizing electrostatic inkjet phenomena", Proc. of 10th anniversary int'l conference EUSPEN 2008, Swiss, May (2008)

Umezumi S., Katahira K., and Ohmori H.: "New micro fabrication techniques utilizing electrostatic inkjet phenomena", The 8th Int'l Joint Workshop on Micro Fabrication, Taiwan, May (2008)

Ohmori H., Katahira K., Mizutani M., Umezumi S.: "Overview on ultra precision micro/mezo-mechanical fabrication R&D activities at RIKEN, Keynote speech, The 8th Int'l Joint Workshop on Micro Fabrication, Taiwan, May (2008).

(国内会議等)

梅津信二郎:"生体組織作製のための静電マイクロドロップ・インジェクションおよびマイクロファブリケーション", 日本エム・イー学会バイオメカニクス研究会, 埼玉, 11月 (2008)

梅津信二郎:"バイオメカニカルファブリケーションによるマイクロ生体組織構築", 第23回理研シンポジウム「マイクロファブリケーション研究の最新動向」, 埼玉, 10月 (2008)

梅津信二郎:"バイオメカニカルファブリケーション", 第一回理研シンポジウム「先進ものづくり

技術によるアナライザーキーコンポーネント開発基盤の構築状況」, 埼玉, 8月 (2008)

Umezumi S., Naruse T., Katahira K., Ohmori H., Ito Y.: "Bio-mechanical fabrication utilizing mechanical fabrication and FIB fabrication", The 25th Sensor Symposium, 沖縄, 10月 (2008)

梅津信二郎, 村瀬比左思, 北嶋隆, 片平和俊, 大森整, 伊藤嘉浩:"三次元の細胞組織を造形するための静電インクジェット現象を利用した細胞のパターニング", 生体医工学シンポジウム, 大阪, 10月 (2008)

梅津信二郎, 西浦雅登, 原 慎孝, 片平和俊, 大森整:"静電マイクロドロップインジェクションによる除去", 精密工学会秋大会, 仙台, 8月 (2008)

原慎孝, 西浦雅登, 田邊健太郎, 梅津信二郎, 多田一幸, 川本広行:"静電インクジェット現象を利用したマイクロ成膜", 機械学会年次大会, 8月 (2008)

梅津信二郎, 片平和俊, 大森整, 川本広行:"静電インクジェット現象を利用したマイクロ加工", 機械学会情報・知能・精密部門 (IIP 部門) 講演会, 東京, 3月 (2008)

西浦雅登, 山口識史, 梅津信二郎, 多田一幸, 川本広行:"静電インクジェット現象を利用したマイクロ三次元造形", 機械学会情報・知能・精密部門 (IIP 部門) 講演会, 東京, 3月 (2008)

## XIX — 015

### A United Design of Carbon-Nanotubes and Silicon Nanotechnology for Quantum-Dot Based Nanodevices

研究者氏名: 黄少云 Huang, Shaoyun

受入研究室: 石橋極微デバイス工学研究室

(所属長 石橋 幸治)

Chemically bottom-up produced silicon nanowires (SiNWs) with a diameter of a few tens of nanometers could be attractive building blocks for extremely small quantum-dot based nanodevices. The proposed original design aims to employ SiNW quantum dot (QD) single-electron transistors (SET) to probe single-spin dynamics in a QD at a higher temperature (all current qubits working at milli-Kelvin) and to realize a full Si double-SiNW-dot structured spin-qubit. In the last year, single-electron tunneling through a single SiNW dot was realized in our work, but was suffered by an extremely

low temperature. Manipulating three-dimensionally confined electron is still an open question. This year, I have explored nanowire-diameter dependences of electrical properties to optimize device fabrication processes.

To allow the SET to work at a temperature higher than 4.2 K, I scaled the diameter of SiNW down to increase the charging energy and quantum confinement. I prepared three SiNW-dot SETs with three typical diameters (70, 30, and 15 nm). The comparison indicates that the charging energy can be significantly increased by two orders of

magnitude when the diameter is scaled down from 70 to 15 nm. The working temperature has been increased from 400 mK to 12 K. Quantum effects arise when the diameter is reduced less than 30 nm. Zero-dimensional energy spacing like what happened in a carbon nanotube is expected by optimizing the dimension of SiNW. I also found that the sample with the diameter of 15 nm was suffered by unsatisfied crystal quality and low carrier concentration, which give rise to complicated Coulomb diamond structures. The scaling turns out to be important for a SiNW-dot nanodevice aiming at high temperature working. However, much more efforts are needed to improve the quality of SiNWs with a diameter of 10s nm.

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Huang S., Fukata N., Shimizu M., Yamaguchi T., Sekiguchi T., Ishibashi K.: "Classic Coulomb blockade of a silicon nanowire dot", *Applied Physics Letters*, Vol.92 21 pp213110-1-213110-3 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ishibashi K., Mori T., Kawano Y., Huang S., Fukata N., Yamaguchi T.: "Quantum-dot nanodevices with carbon nanotubes and Si nanowires", *IICCAS-Peking University-RIKEN Trilateral Symposium on Molecular and Material Science*, Beijing, China, Feb 2008

Ishibashi K., Moriyama S., Fuse T., Kawano Y., Toyokawa S., Huang S., Fukata N., Yamaguchi T.: "Quantum-dot devices with carbon nanotubes and Si nanowires", *International Baltic Sea Region Conference on Functional Materials and Nanotechnologies (FM&NT-2008)*, Riga, Latvia, Apr. (2008)

Huang S., Shimizu M., Fukata N., Sekiguchi T., Yamaguchi T., Ishibashi K.: "An n-type silicon nanowire dot based single-electron transistor", *2008 IEEE Sympo-*

*sia on Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW)*, Honolulu, USA, Jun. (2008)

Huang S., Fukata N., Shimizu M., Sekiguchi T., Yamaguchi T., Ishibashi K.: "A Si Nanowire Single-Electron Device", *16th Annual International Conference on Composite/Nanoengineering (ICCE-16)*, Kunming, China, Jul. (2008)

Huang S., Fukata N., Shimizu M., Yamaguchi T., Sekiguchi T., Ishibashi K.: "Fabrication and characterization of a silicon nanowire quantum dot", *4th International Nanotechnology Conference on Communication and Cooperation (INC4)*, Tokyo, Japan, Apr. (2008)

Huang S.: "Single electron transistor with a silicon nanowire", *JSPS-NSFC-KOSEF A3 Foresight Program Sub-10 nm Wires; New Physics and Chemistry Tsukuba Seminar a Satellite Meeting of the 3rd A3 Foresight Summer School*, Tsukuba, Japan, May (2008)

Ishibashi K., Huang S., Hida A., Tabata H., Kawano Y., Yamaguchi T., "Quantum dots with carbon nanotubes and Si nanowires", *2008 International School and Workshop on Nanoscience and Nanotechnology*, Frascati, Italy, Oct. (2008)

Huang S., Fukata N., Shimizu M., Yamaguchi T., Ishibashi K.: "A Single Electron Transistor with a Chemically Bottom-up Made Si Nanowire", *2nd IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference 2008 (NMDC 2008)*, Kyoto, Japan, Oct. (2008)

(国内会議等)

黄少云, 深田直樹, 清水麻希, 山口智弘, 石橋幸治: "未踏科学技術協会「飯綱・サイエンスサマー道場2008:進化・発展するナノエレクトロニクス、その本命は?」", 長野県飯綱町, 日本, 8月 (2008)

黄少云, 清水麻希, 深田直樹, 関口隆史, 山口智弘, 石橋幸: 第55回応用物理学関係連合講演会, 船橋, 日本, 3月 (2008)

黄少云, 深田直樹, 山口智弘, 石橋幸治: 第69回応用物理学学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

## XIX - 016      カーボンナノチューブナノ構造を用いた新規デバイスの開発 Development of New Devices using Carbon Nanotube Nanostructure

研究者氏名：田畑 博史 Tabata, Hiroshi  
受入研究室：石橋極微デバイス工学研究室  
(所属長 石橋 幸治)

カーボンナノチューブ(CNT)は次世代の新機能デバイスを実現するキーマテリアルとして注目されている物質であり、このCNTを用いた電界効果型トランジスタ(FET)や単電子トランジスタ(SET)などの基本素子の研究が盛んにおこなわれている。しかし、ボトムアッププロセス固有の問題として、位置・方向制御の困難さがあるために、複数のCNT素子を組み合わせることでより高度な機能を実現することは現時点では困難だと考えられている。

本研究は水晶基板上で基板表面の原子配列にそって一方向に配向するCNTとその配向状態を保ったまま別基板に移す転写技術を組み合わせることで、CNTの位置と方向を制御し、複数のCNT素子を組み合わせたデバイスを作製することを目的としている。

前年度の研究において作製に成功した配向CNTを利用して、本年度は以下のような研究を行った。

(1) 基板に密着して成長するCNTの分光評価を目的として、トレンチ構造をもつ基板上に配向CNTを転写して、CNTが中空に架橋した構造を作製した。この架橋CNTの共鳴ラマン散乱測定を行い、架橋部分において著しくラマン信号が増強されることを示した。この結果からこの構造は基板からの影響を受けずに作製した配向CNTの分光評価が可能となることを示した。

(2) 本転写プロセスのデバイス作製への有用性を調べるために、酸化膜付シリコン基板上に転写したCNTを用いてSET構造を試作し、その電気伝導特性を調べた。1.5Kの低温環境下において、バックゲー

トからの電界印加により、クーロン振動が観測された。この結果は電極に挟まれたCNTが量子ドットになっていること、そして、本プロセスで比較的良質な特性をもつCNT-SETが作製されうることを示唆している。今後の研究で再現性および歩留まりの評価を行う予定である。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

Tabata H., Ishibashi K.: "Fabrication of suspended carbon nanotubes array by using transfer printing", 14th International Symposium on Small Particles and Inorganic Clusters (ISSPIC 14), Valladolid, Spain, Sep. (2008)

Tabata H., Doi T., Wakabayashi T., Hayashi S.: "Interaction of carbon linear chains with silver island film studied by surface-enhanced Raman scattering", International Workshop "Nanocarbon Photonics and Optoelectronics", Polvijärvi, Finland, Aug. (2008)

Ishibashi K., Huang S., Hida A., Tabata H., Kawano Y., Yamaguchi T.: "Quantum dots with carbon nanotubes and Si nanowires", 2008 International School and Workshop on Nanoscience and Nanotechnology, Frascati, Italy, Oct. (2008)

(国内会議等)

田畑 博史, 石橋 幸治: "転写プリント法を用いた単層カーボンナノチューブ架橋構造の作製", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

## XIX - 017      カーボンナノチューブを電子線で“描く”技術の開発と 集積素子作製プロセスへの応用

### Novel Growth Technique of Carbon Nanotubes and Its Applications

研究者氏名：飛田 聡 Hida, Akira  
受入研究室：石橋極微デバイス工学研究室  
(所属長 石橋 幸治)

薄いカーバイド層を形成したシリコン基板の表面

に電子線を照射していると、自発的にカーボンナノ

チューブ様の構造体が成長する。この現象を応用し、基板上の所望の位置に、さながら電子線で“描く”ようにしてカーボンナノチューブを成長させることができれば、「集積化」というカーボンナノチューブ電子素子の実現に不可欠かつ現状では未解決の技術課題に対してブレークスルーとなり得るような、革新的プロセス技術を生み出せる可能性がある。本研究では、電子線を照射することでどのようなカーボンナノチューブがどのように成長するのか、そのメカニズムを調べてカーボンナノチューブの“描き方”を確立し、位置合わせ精度の高い電子線露光装置等で実際にカーボンナノチューブのパターニングを行うことを通して、集積素子の作製に技術的な道筋をつけることを目的としている。

今年度は、成長の第一段階にあたる炭素原子の凝集過程を明らかにした昨年度の研究成果を踏まえ、凝集した炭素原子からどのような構造や配向性をもつカーボンナノチューブの「種」が誕生するかを調べた。その結果、①照射する電子線のエネルギー及び基板温度に依存して構造が変化すること、②配向性はSi基板表面の原子配列と密接に関わっていること、が分かった。配向性が基板に影響されるという事実は、任意の方向にカーボンナノチューブを“描く”ことに対してはデメリットともなるものの、基板の表面構造を定規として利用して配列構造を作るのはもとより、例えばジグザグ型や分岐型など、他の成長法では作製が困難な形状のカーボンナノチューブを産み出せる可能性を示唆している点で極めて興味深い。予備実験ではあるが、①②の現象を応用して、局所的に「くびれ」をもつカーボンナノチューブや、Y字型のカーボンナノチューブを“描く”ことに成功している。

#### ●誌上発表 Publications

(その他)

Hida A., Suzuki T., and Ishibashi K.: "Development of tunable wavelength Raman microscope and its application to the characterization of carbon nanostructures", Proceedings of the XXIst International Conference on Raman Spectroscopy, 250 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hida A., Suzuki T., and Ishibashi K.: "Development of tunable wavelength Raman microscope and its application to the characterization of carbon nanostructures", XXIst International Conference on Raman Spectroscopy, Uxbridge, UK, Aug. (2008)

Hida A., Suzuki T., and Ishibashi K.: "Formation of single wall carbon nanotube rings: spectroscopic and microscopic study", 34th International Conference on Micro and Nano Engineering, Athens, Greece, Sep. (2008)

Suzuki T., Hida A., and Ishibashi K.: "Fabrication of nanometer-scale ring structures consisting of individual single wall carbon nanotubes", 21st International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Fukuoka, Japan, Oct. (2008)

(国内会議等)

鈴木喬之, 飛田聡, 石橋幸治: "1本の単層カーボンナノチューブからなるリング構造の作製", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 9月 (2008)

飛田聡, 鈴木喬之, 石橋幸治: "カーボンナノチューブリングの作製過程でみられる光吸収スペクトルの変化", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 9月 (2008)

飛田聡, 石橋幸治: "カーボンナノチューブと分子からなる量子構造の作製と評価", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 9月 (2008)

## 細胞内酵素活性測定用マイクロシステムの開発と 癌細胞診断への適用検討

### Development of Micro System for Signal Measurement in Cell and Application Examination to Cancer Cell Diagnosis

研究者氏名：韓 愛善 Han, Aishan

受入研究室：バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

細胞内シグナル伝達経路は数多くのタンパク質が関与する化学反応カスケードにより構成されている。これらのタンパクの機能制御に異常が生じると、このシステムに狂いが生じて疾患の原因となる。このシグナル伝達系において、最も重要であるのがプロテインキナーゼ類によるタンパク質リン酸化反応である。本研究ではプロテインキナーゼ活性をマイクロチップで測定する。マイクロチップは必要サンプルの低減、反応時間の短縮、測定の自動化、及び低コストなどの利点から、生物化学、分子生物学、バイオテクノロジーのみならず次世代医療になくてはならない基盤技術となっている。

本年度は、マイクロチップにおけるリン酸基特異的なアフィニティー電気泳動( $\mu$ PAE)を開発し、リン酸化ペプチドの分離及びキナーゼ活性測定を行った。この $\mu$ PAEは2つのキーテクノロジーが関連して、一つは当研究室で開発した無動力自動送液法、もう一つはリン酸基特異的なリガンドPhos-tagであ

る。標的キナーゼは様々な癌で高い活性を示すチロシンキナーゼc-*Src*とした。

(1)c-*Src*特異的な蛍光標識基質ペプチドとそのリン酸化型を用いてチップ性能について検討した。サンプルペプチドは分離チャンネルに充填したPhos-tag-PDMAを電気泳動する際、リン酸化ペプチドのみ特異的にトラップされ、10sで非リン酸化ペプチドと分離した。

(2)c-*Src*と基質ペプチドの反応溶液を $\mu$ PAEにより測定した。

(3)さらに $\mu$ PAEは抑制剤の測定にも適用した。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

韓 愛善, 井上 明, 細川 和生, 前田 瑞夫:"SNP検出のためのマイクロチップ電気泳動における補助DNAの利用", 日本分析化学会第57年会, 福岡, 日本, 9月(2008)

## XIX - 019 分子間電子トンネル効果に基づく DNA 鎖の塩基配列決定法

### A Method of DNA Sequencing based on Intermolecular Electron Tunneling

研究者氏名：大城 敬人 Ohshiro, Takahito

受入研究室：前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

走査型トンネル顕微鏡(STM)によるDNA鎖の観察は、原子分解能に優れているが、原子の化学種や官能基の識別能に乏しいため、核酸塩基の配列決定には至っていない。私は、核酸塩基を化学修飾した分子探針を開発し、探針上の核酸塩基と試料相補的核酸塩基との間に生じる相補的な核酸塩基対間の電子波動関数の重なりを介した分子間電子トンネル効果により、相補的な核酸塩基分子のみを可視化検出することに成功している。本研究では、核酸塩基探針を用いて、実試料の一本鎖DNAの配列決定をするこ

とを目的としている。

本年度において、イミダゾリウム系のイオン液体を用いることで、DNA二重鎖、チオールDNA鎖のナノ構造体、DNAとカーボンナノチューブのDNA複合体を、大気中、室温下で安定・再現性の良い分子像を得ることに成功した。イオン液体は、不揮発性であるため、試料濃度が測定中に変化しない。さらに、イミダゾリウム系イオン液体中の陽イオンは、DNA鎖に対して選択的に錯形成をすることにより、十分量の試料DNAを溶解可能し、生成したイオ

ン錯体は疎水的なSTM測定基板に対して強く吸着する。その結果、試料であるDNAおよびDNA複合体が、安定にSTM測定可能となったと考えられる。この測定系を用いて、核酸塩基探針により、試料DNA鎖の核酸塩基配列決定を行っていく予定である。

また、STM分子探針の多機能化の一環として、複数種の分子種・官能基可視化検出可能とする電位依存的な“スイッチング分子探針”の創製を行っている。STM探針を、DNA二重鎖とマスク剤(メルカプトヘキサノール(MCH))で化学修飾した“DNA二重鎖分子探針”を作製する。このSTM分子探針の探針電位を制御することにより、分子探針の先端部位が可変となり(ここではDNA末端官能基からMCHの水酸基)、分子探針の化学種選択性を制御することが出来ると期待される。

本年度において、このDNA二重鎖探針上の二重鎖の分子挙動を調べるため、チオール誘導体として金板に固定したDNA二重鎖のSTMイメージングを行った。従来、DNA二重鎖の単分子可視化はDNA二重鎖が凝集体となっていたため不可能だったが、DNA二重鎖の作成条件を検討することにより、単分子レベルで可視化することに初めて成功した。さらに、DNA二重鎖中に、一塩基ミスマッチ、二塩基ミスマッチがある場合、DNA二重鎖を介した電子移動がミスマッチの数、位置依存的に抑制されることが分かった。今後、探針上におけるDNA二重鎖介した電子移動可能であること、電位依存的なスイッチング現象が制御可能であるとの知見に基づき、DNA二重鎖分子探針を作製し、試料分子の単分子可視化能を探針電位依存的に制御する予定である。

## XIX - 020 光子とアロステリック結合する新規機能性 RNA の構築と細胞内活性制御法の開発

### Development of Photoresponsive Functional Nucleic Acid

研究者氏名：小笠原 慎治 Ogasawara, Shinzi  
受入研究室：前田バイオ工学研究室  
(所属長 前田 瑞夫)

核酸は遺伝情報を伝達する媒体としてのみでなく、アプタマー・リボザイムに代表されるように多様な機能を持っている。これらの核酸は総して「機能性核酸」と呼ばれ、体軸決定・性決定・生殖細胞形成などの高次生命現象から神経系の発達・幹細胞の増殖分化まで極めて重要な役割を担っていることが判ってきた。機能性核酸は、二本鎖形成を基に局所的に特殊な構造をとり、固有の高次構造を形成することで機能を獲得している。つまり、何らかの外部刺激で高次構造を制御することができれば、その機能を制御することが可能である。そのような着想の基、本研究では光で核酸高次構造を制御するための新規光応答性核酸塩基「フォトクロミック塩基」の開発を行い、細胞内で機能性核酸を光制御することを試みている。(フォトクロミック塩基：必要最小限のモディフィケーションで核酸塩基そのものにcis-trans光異性化能を付加した人工塩基)

前年度は8-styryl-2'-deoxyguanosine (8STG) を合成し、その光異性化特性を評価した。結果、設計通り可逆的異性化を示したが、生体にダメージを与えて

しまう紫外領域の光が必要であった。そこで本年度は、より長波長で異性化させられるよう再設計し、新たに3種のフォトクロミック塩基を合成した。結果、それらのフォトクロミック塩基は、8STGに比べ長波長で可逆的異性化を示した。さらに、フォトクロミック塩基をDNAに組み込み、20-bpの二本鎖形成をB型構造に影響を与えず非常に明瞭に光制御することに成功した。また、G-quadruplexを形成するトロロンビンアプタマーを可逆的に光制御することにも成功した。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ogasawara S., Saito I. and Maeda M.: "Synthesis and reversible photoisomerization of photoswitchable nucleoside, 8-styryl-2'-deoxyguanosine", Tetrahedron Letters, Vol.49 pp2479-2482 (2008)

Ogasawara S. and Maeda M.: "Straightforward and reversible photoregulation of hybridization by using a photochromic nucleoside", Angewandte Chemie International

Edition, Vol.47 pp8839-8842 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ogasawara S. and Maeda M.: "Photochromic nucleobase: Reversible photoisomerization, photochemical properties and photoregulation of hybridization", Joint Symposium of 18th International Roundtable on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids and 35th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, Kyoto, Japan, Sep. (2008)

(国内会議等)

小笠原 慎治, 齋藤 烈, 前田 瑞夫: "光異性化ヌクレオシド、8-styryl-2-deoxyguanosine の合成と可逆的光異性化反応", 日本化学会第88春季年会, 東京, 日本, 3月 (2008)

小笠原 慎治, 前田 瑞夫: "フォトクロミック塩基による核酸高次構造の可逆的光制御", 第3回バイオ関連化学合同シンポジウム, 横浜, 日本, 9月 (2008)

小笠原 慎治, 前田 瑞夫: "フォトクロミック塩基—機能性核酸制御のための新規光応答性塩基", 第57回高分子討論会, 大阪, 日本, 9月 (2008)

## XIX — 021

### マイクロ電極と機能性高分子を利用した 高機能マイクロバイオ分析デバイスの開発

#### Development of Highly-functional Microfluidic Device for Bioanalysis using Microelectrode and Functional Polymer

研究者氏名: 佐々木 直樹 Sasaki, Naoki

受入研究室: 前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

微細加工技術により基板上に作製したマイクロ流路を用いるバイオ分析は、試料・試薬量の低減、操作の簡便化、並列化による高スループット分析など様々な利点を有する。本研究では、マイクロ電極と機能性高分子を用いてバイオ分析に必要な種々の機能を流路内で実現し、微量の試料から目的物質を短時間で高感度に分析可能な高機能マイクロバイオ分析デバイスの開発を目指している。

昨年度の研究において、マイクロ流路内の電極に交流電圧を印加することで非イオン性界面活性剤溶液が二相分離し、液中に蛍光脂質が共存する場合にはこれが電極近傍に濃縮されることを見出した。本年度はこの相分離・濃縮機構の解明を目的として研究を進めた。本実験系では界面活性剤が水中でミセルを形成し、温度上昇によりミセル同士が会合して液-液相分離が起こることが知られている。また蛍光脂質は疎水性が高くミセルに取り込まれやすい性質を有する。そこで本研究ではまず、電圧印加に伴うジュール熱によって相分離が誘起され、蛍光脂質がミセルを多く含む相に分配されると考えた。さらにこの相が電場下で誘電泳動を受け、電極近傍に選択的に捕集されることで濃縮が実現されていると考えた。

これらの予想をもとに以下の検討を行った。はじ

めに流路内の電場分布を有限要素法により数値解析したところ、本研究で用いた電極配置では蛍光脂質が濃縮される位置に電場の極小部が形成されていることが分かった。一方、電場極小部を有さない電極配置では濃縮は起こらなかった。これらの結果は、ミセルを多く含む相が負の誘電泳動により電場極小部に泳動されるという理論的予測と矛盾せず、電場分布が濃縮に重要であることが示された。また、相分離が起こらない条件下では濃縮も起こらなかった。これは誘電泳動力が対象のサイズに強く依存するため、nmスケールのミセルでは顕在化せず、相分離後の $\mu\text{m}$ スケールの液滴にのみ働いているためと考えられ、本現象における相分離の必要性が示された。今後は泳動力以外に交流電場が流体に及ぼす影響について検討するとともに、脂質や膜タンパク質など疎水性生体物質の分離分析における試料前処理・濃縮法としての応用を目指す。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sasaki N., Hosokawa K. and Maeda M.: "AC electrokinetic phase separation, focusing and concentration in microchannel", 12th International Conference on Min-



aturized Systems for Chemistry and Life Sciences  
( $\mu$ TAS 2008), San Diego, USA, Oct. (2008)  
(国内会議等)

佐々木 直樹, 細川 和生, 前田 瑞夫: "交流動電相分  
離とその濃縮操作への応用(2):濃縮機構の検討",  
日本分析化学会第57年会, 福岡, 日本, 9月 (2008)

## XIX - 022 試験管内分子進化法による光応答性分子ピンセットの開発 Development of Photoresponsive Molecular Tweezers by In Vitro Selection

研究者氏名: 劉 明哲 Liu, Mingzhe  
受入研究室: 伊藤ナノ医工学研究室  
(所属長 伊藤 嘉浩)

外部刺激、特に光による分子認識ならびに分子機能の動的制御が注目されている。これまでに報告された動的分子認識の光制御の例は、ほとんどがラショナルデザイン法によるもので、認識するゲスト分子に依存してそれぞれ異なる方法で宿主分子を設計しなければならないことが多い。また、タンパク質のような構造が複雑な生体分子をターゲットにした宿主分子の設計は困難である。「試験管内分子進化法」を動的分子認識の光制御に導入すれば、10の10乗以上の種類の分子ライブラリーからターゲット分子に光応答性のある宿主分子を選抜することになるので、同じ方法論で、理論上任意のゲスト分子に対して動的な光制御可能な宿主分子(アプタマー)を獲得することが期待できる。そこで本研究では、試験管内分子進化法による光応答性分子ピンセット(光応答性アプタマー)の開発を目指した。

昨年度は、生理活性分子であるヘミンをターゲット分子にして、試験管内分子進化法による天然核酸アプタマー・非天然(光応答性)核酸アプタマーの開発に取り組んだ。本年度は、まず、昨年度に獲得した天然のDNAアプタマー、RNAアプタマーとヘミンの相互作用を分光手法により詳細に調べた。その結果、DNAアプタマーの場合はパラレル型のG-quartet構造の4量体を形成し、ヘミンと強く結合することが分かった。天然のRNAアプタマーの場合はサブマイクロモラーの解離定数でヘミンと結合することを明らかにした。次に、アゾベンゼン導入ATPを改めて合成し、転写反応の際にATPの代わりに導入することで、光応答性RNAアプタマーを調製しヘミンとの相互作用を調べた。解析の結果、このアゾベンゼン導入RNAアプタマーがポリクロナル体としてヘミンに結合し、光応答性を示すことが分かった。更に、本年度は上記の核酸アプタマーのほかに、ア

ゾベンゼン修飾アミノ酸をペプチド鎖に取り込んだペプチドライブラリーを利用した試験管内分子進化法(リボソームディスプレイ法)によるストレプトアビジンに対する光応答性ペプチド分子ピンセットの開発に取り組んだ。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Liu M., Kagahara T., Abe H. and Ito Y.: "In vitro selection of RNA aptamer to hemin", Nucleic Acids Symposium Series, Vol.52 pp513-514 (2008)

Liu M., Kagahara T., Abe H. and Ito Y.: "Direct in vitro selection of hemin-binding DNA aptamer with peroxidase activity", Bulletin of the Chemical Society of Japan, Vol.82 1 pp99-104 (2009)

Liu M., Kagahara T., Abe H. and Ito Y.: "In vitro selection of hemin-binding catalytic RNA", Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, Vol.19 pp1484-1487 (2009)

(単行本)

Ito Y, Abe H, Wada A and Liu M, "Design and synthesis of biorelated polymers by combinatorial bioengineering" Polymer Biocatalysis and Biomaterials II Boston USA 2006 9 American Chemical Society USA Danvers pp194-215 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Liu M., Kagahara T., Abe H. and Ito Y.: "In vitro selection of RNA aptamer to hemin", Joint Symposium of 18th International Roundtable on Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids and 35th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, Kyoto, Japan, Sep.

(2008)

Liu M., Kagahara T., Abe H and Ito Y.: "Development of natural and nonnatural RNA aptamers binding hemin by in vitro selection", The 2008 Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology (AsiaNANO 2008), Singapore, Singapore, Nov. (2008)

(国内会議等)

劉明哲, 神明博, 阿部洋, 伊藤嘉浩: "試験管内分子進化法による光応答性分子ピンセットの開発", 第57回高分子学会年次大会, 横浜, 日本, 5月 (2008)

劉明哲, 神明博, 阿部洋, 伊藤嘉浩: "光応答性核酸アプタマーの創成", 第57回高分子討論会, 大阪, 日本, 9月 (2008)

劉明哲, 阿部洋, 伊藤嘉浩: "試験管内分子進化法を用いたペルオキシダーゼ活性を有するDNAの開発", 日本化学会第89春季年会, 船橋, 日本, 3月 (2009)

劉明哲: "進化分子工学によるアプタマー, アプタザイムの創出", 理研シンポジウム「第4回バイオ医工学シンポジウム」, 和光, 日本, 3月 (2009)

## XIX - 023

### 極限的非線形分光法による電極界面水分子構造の決定

#### Determination of Structure of Interfacial Water Molecules at Electrode / Electrolyte Solution Interfaces by Novel Nonlinear Spectroscopy

研究者氏名: 二本柳 聡史 Nihonyanagi, Satoshi  
受入研究室: 田原分子分光研究室  
(所属長 田原 太平)

帯電した界面の水分子構造を理解することは電気化学、コロイド界面化学、生物科学の広い範囲において本質的に重要な課題である。電極のみならず、気水界面を界面活性剤等で帯電させることが可能であり、そこから得られる情報は多分に電極界面に関連づけられる。故に今年度は電極にこだわらず、気水界面における水分子の構造評価を新規非線形分光法により行った。

界面選択的な振動分光法である赤外可視振動和周波発生(VSFG)分光法は気水界面分子種の同定および分子の配向角を決定する目的で広く用いられている。それに加えてVSFGは表面分子種の絶対配向、即ち、配向の上向き/下向きを決定することも原理的に可能である。しかしながら、従来のVSFG分光法では光の強度、つまり光電場の二乗を計測するため、2次の非線形感受率( $\chi^{(2)}$ )が本来持っている位相情報、即ち $\chi^{(2)}$ の符号の情報を得ることはできない。この問題を解決する方法としていくつかの干渉法が考案されている。しかしながらそのような干渉VSFGを用いた研究例はその技術的困難のためいまだ非常に少ない。そこで私は、当研究室において開発されたヘテロダイナミクス電子共鳴和周波(HD-ESFG)分光法を基にして、ヘテロダイ

ン検出の振動和周波発生(HD-VSFG)分光法を開発した。この新しい分光法を用いるとわずか10分程度の測定時間で $\chi^{(2)}$ の実部と虚部のスペクトルが良好な信号ノイズ比で得られる。最初の実験として、典型的な帯電した界面のモデルであるイオン性界面活性剤水溶液と空気の界面における水分子の絶対配向をHD-VSFGで調べた。その結果、界面活性剤の電荷の正負によって水分子の配向が反転していることが分光学的に初めて証明された。さらに、水の配向に対する多価イオンの効果について現在検討中である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

二本柳 聡史, 山口 祥一, 田原 太平: "ヘテロダイナミクス振動和周波発生(HD-VSFG)分光法による界面水分子の絶対配向の決定", 第2回分子科学討論会 2008, 福岡, 日本, 9月 (2008)

二本柳 聡史: "振動和周波発生(VSFG)分光法のヘテロダイナミクスと界面水分子の絶対配向の観測", 理研シンポジウム「第4回先端的レーザー分光の若手シンポジウム」, 和光, 日本, 12月 (2008)

## 導電性カンチレバーを用いた分子レベルの 水、イオン、ソフトマテリアル研究

### Molecular Level Studies of Water, Ion, and Soft Materials under Electrochemical and Physiologically Relevant Environments

研究者氏名：横田 泰之 Yokota, Yasuyuki

受入研究室：川合表面化学研究室

(所属長 川合 真紀)

これまで、水溶液中で原子・分子分解能を有する電気化学走査トンネル顕微鏡(EC-STM)や電気化学原子間力顕微鏡(EC-AFM)を用いたソフトマテリアルに関する研究が多数行われてきた。近年、これらを利用した細胞膜の吸着タンパク質の構造、反応、拡散過程等の解明が、生物・医学分野から求められている。しかしながら超高真空中とは異なり、観察中に複雑な電気二重層が形成されているため、得られたデータの正確な解釈はほぼ不可能に近いのが現状である。昨年度は、探針および試料電位を独立に制御可能なAFMシステムを構築し、様々な電位プロファイルの界面を自由に形成することが可能となった。そこで本年度は、種々の末端官能基を有する自己組織化単分子膜(SAM)間のフォースカーブ測定を行った。電気化学不活性なメチル(CH<sub>3</sub>)またはアミノ(NH<sub>3</sub><sup>+</sup>)末端SAM間の場合、フォースカーブはアプローチ、リトラクト時共に電極電位に依存しなかった。その結果、本研究で用いた条件下では、電気二重層の充電による帯電効果は探針-試料間の力測定に影響を及ぼさないことが分かった。一方、電気化学活性なフェロセン(Fc)末端SAM間の場合、Fcの酸化状態に応じてフォースカーブが大きく変化し、Fcの帯電に伴う界面エネルギー変化を検出可能なことが分かった。また、ほぼ同程度の表面密度で正電荷を有するNH<sub>3</sub><sup>+</sup>およびFc<sup>+</sup>末端SAM間のアプローチカーブを比較することで、SAMと対アニオンとのイオン対の構造が両者で大きく異なることが分かった。さらに、そのイオン構造がSAMの末端官能基だけでなく、電解質イオンに依存することも確かめられた。本年度の研究によって、プローブが測定対象に及ぼす影響が明らかになり、本手法が水、イオン、ソフトマテリアルからなる様々な系で定量的な相互作用評価ツールとして有用であることが分かってきた。現在は、モデル細胞膜の構築を行っており、来年度はこれに上記の手法を適用していく予定である。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

- 横田 泰之, 宮崎 章, 福井 賢一, 榎 敏明, 玉田 薫, 原 正彦: "電気化学環境下における分子エレクトロニクス研究", 表面科学, Vol.29 4 pp253-259 (2008)
- 横田 泰之, 榎 敏明, 原 正彦: "表面科学関連分野での応用: 界面計測、表面修飾 (STMを用いた自己組織化単分子膜の伝導特性評価)", 電気化学, Vol.76 5 pp363-368 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Yokota Y., Yamada T., Kawai M.: "Force curve measurements between redox active self-assembled monolayers under electrochemical potential control", 214th ECS Meeting/Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRiME 2008), Honolulu, USA, Oct. (2008)
- Yokota Y., Yamada T., Kawai M.: "Potential-controlled force curve measurements between electroactive self-assembled monolayers", AVS 55th International Symposium and Exhibition, Boston, USA, Oct. (2008)
- Yokota Y., Yamada T., Kawai M.: "Force curve measurements between SAM-modified tip and SAM-modified substrate under electrochemical potential control", International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-5), Tokyo, Japan, Nov. (2008)
- Yokota Y., Yamada T., Kawai M.: "Formation of ion-pairs between positively-charged SAMs and counter anions observed by potential-controlled atomic force microscopy", International Symposium on Molecular and System Life Sciences, Kobe, Japan, Dec. (2008)
- Taniguchi K., Yokota Y., Hayashi T., Baba T., Urai M., Hara M., Ushida K.: "AFM observation of mucin (qniumucin) extracted from jellyfish", International Symposium on Systems Glycobiology, Tokyo, Japan, Dec. (2008)

(国内会議等)

横田 泰之, 山田 太郎, 川合 真紀: "自己組織化単分子膜で修飾した探針及び試料間の電位制御下フォースカーブ測定", 第2回分子科学討論会 2008, 福岡, 日本, 9月 (2008)

横田 泰之: "電気化学走査型プローブ顕微鏡を用いた有機単分子膜の物性探索", 第60回表面科学研究会

日本表面科学会中部支部 平成20年度中部表面科学シンポジウム「表面科学における電気化学的手法」, 名古屋, 日本, 1月 (2009)

横田 泰之, 山田 太郎, 川合 真紀: "フォースカーブ測定によるフェロセン誘導体SAMのイオン対の構造評価", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

## XIX - 026 非リボソーム型ペプチド合成酵素の分子認識機構の解明 Mechanism of Substrate Recognition in NRPS A domain

研究者氏名: 奥村 英夫 Okumura, Hideo

受入研究室: 長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

本研究では、放線菌 *Streptomyces sp.* RK95-74 が Cytotrienin 類を生合成する時に使う非リボソーム型ペプチド合成酵素 (NRPS) において、基質アミノ酸の認識・アデニレーション・転移を担う蛋白質の一つである CytC1 の酵素反応機構を解明し、さらに新規基質特異性を創出することを目的とする。本研究により放線菌の代謝産物を出発点とした新たなバイオプローブ (生理活性物質) の開発・創薬につながる事が期待される。

昨年度には X 線結晶構造解析により複数の CytC1 と基質の複合体結晶構造を決定した。そこで本年度は新規基質特異性創出のための準備として、まず構造情報から得られた CytC1 の基質認識機構の作業仮説の構築とコンピュータを利用した CytC1 の基質取り込み反応のシミュレーション計算を行った。これまでに得られた 3 状態の結晶構造を比較したところ、基質ポケットの入り口と考えられる空間に位置するフェニルアラニン残基が各基質結合状態において、その向きが変化していた。このことから、このフェニルアラニンは基質ポケットの入り口においてゲートのような役割を果たしている可能性が考えられた。まず取り込み効率の良い基質の例としてバリンを基質とし、InsightII/Discover を用いて計算を行った。その結果、バリン基質はポケット内に位置しポケットにきれいに収まった。この時入り口のフェニルアラニンはポケットに蓋をするように配向していた。一方、トリプトファン基質を使った計算では最終的にはポケットと形が合わず、インドール骨格がはみ出たままであった。この時ポケッ

ト入り口のフェニルアラニンの向きはバリンを基質とした場合と異なり、ポケット外側に配向していた。隣にアミノ酸基質と相互作用する重要な残基であるアスパラギン酸があることから、ゲートとなるフェニルアラニンの向きがこのアスパラギン酸の位置・配向に影響を与えている可能性が示唆された。現在、構造解析・シミュレーションの結果を基にポケットの構造をリデザインし、新規新規基質特異性を創出すべく CytC1 の部位変異実験を行っている。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

川谷 誠, 奥村 英夫, 長田 裕之: "砕骨細胞の分化を阻害する小分子化合物", バイオサイエンスとインダストリー, Vol.67 1 pp24-28 (2009)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

奥村 英夫, 川谷 誠, 井本 正哉, 長田 裕之: "メチルゲルフェリンとグリオキサラーゼ-I の複合体の X 線結晶構造解析", 日本農芸化学会 2008 年度大会, 名古屋, 日本, 3月 (2008)

奥村 英夫, 川谷 誠, 長田 裕之: "グリオキサラーゼ I の阻害剤複合体の結晶構造", 日本生物物理学会第 46 回年会, 福岡, 日本, 12月 (2008)

植木 雅志, 奥村 英夫, 長田 裕之: "NRPS Adenylation protein CytC1 の基質特異性に関する研究", 2008 年度日本放線菌学会大会, 山梨, 日本, 7月 (2008)

## 糸状菌有用二次代謝産物生合成機構の解析と 制御系の改変による生合成の効率化

### Analysis of Fungal Secondary Metabolite Biosynthesis and Pathway Engineering for Efficient Biosynthesis of Useful Metabolites

研究者氏名：加藤 直樹 Kato, Naoki

受入研究室：長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

近年の微生物ゲノム解析の進展により、多数の二次代謝関連遺伝子の存在が明らかにされた。ゲノム情報を基盤とした二次代謝産物生合成遺伝子の解析は、微生物が(潜在的に)生産する多様な天然物を収集するための有効な手法である。本研究では、ゲノム情報が公開されている病原性糸状菌 *Aspergillus fumigatus* の生産する二次代謝産物の中から、ジケトピペラジン化合物であるフミトレモルジン類の生合成系を標的に解析を行っている。本化合物群はマイコトキシンとしてだけでなく、様々な生物活性を有することが報告されている。そこで、その生合成機構を解明し、それに基づいた生合成の効率化、新規類縁体の創製を目的としている。

本年度は、昨年度に引き続き、生合成遺伝子クラスターに含まれる遺伝子のノックアウト株の作製と、それらの株の生産する代謝産物の分析を行った。各ノックアウト株の代謝産物生産パターンと、各遺伝子産物の機能解析の結果とを合わせることで、フミトレモルジン生合成経路の全容を解明することが出来た。

類縁化合物のひとつである verruculogen は分子内にエピジオキシ架橋を持つユニークな構造の化合物である。ノックアウト株の解析から、クラスター中に含まれるオキシゲナーゼ遺伝子 *ftmF* が本化合物の生合成を担っていることを明らかにした。エピジオキシ架橋形成を触媒する酵素はこれまでにほとんど知られておらず、その反応機構に非常に興味を持たれる。現在、この verruculogen 合成酵素 FtmF の反応機構の詳細を解析中である。また、ゲノム解読株におけるフミトレモルジン生産欠損の原因がメチル基転移酵素遺伝子 *ftmD* にあることを突き止めた。

一連の生合成遺伝子ノックアウト株を利用することにより、通常が生合成プロセスでは取得しにくいような生合成中間体を効率的に取得することが出来る。実際に、経路初期の中間体である brevianamide

F から経路の最終産物である verruculogen までの9種類の化合物が得られた。これらの化合物は共通構造としてジケトピペラジン骨格を有するが、多段階の生合成過程を経ることにより、多様な修飾がなされており、構造活性相関研究に有用であると考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kato N., Suzuki H., Takagi H., Asami Y., Kakeya H., Uramoto M., Usui T., Takahashi S., Sugimoto Y., and Osada H.: "Identification of Cytochrome P450s Required for Fumitremorgin Biosynthesis in *Aspergillus fumigatus*", *Chembiochem*, 10, 920-928 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国内学会等)

加藤 直樹, 鈴木 宏和, 高木 海, 高橋 俊二, 長田 裕之: "生合成経路改変によるスピロトリプロスタチンBの生産", 第8回糸状菌分子生物学コンファレンス, 金沢, 11月 (2008)

(国際会議)

Kato N., Suzuki H., Takagi H., Takahashi S., Osada H.: "Complete analysis of the fumitremorgin biosynthetic gene cluster", 4th Korea-Japan Chemical Biology Symposium, Nikko, Japan, May (2008)

Kato N., Suzuki H., Takagi H., Takahashi S., Osada H.: "Elucidation of the fumitremorgin biosynthetic pathway in *Aspergillus fumigatus*", The 22nd Naito Conference, Sapporo, Japan, September (2008)

(国内学会等)

加藤 直樹, 鈴木 宏和, 高木 海, 浦本 昌和, 白井 健郎, 高橋 俊二, 杉本 芳一, 長田 裕之: "*Aspergillus fumigatus* の生産するフミトレモルジンの生合成経路解明とその応用", 日本ケミカルバイオロジー研究会第3回年会, 東京, 5月 (2008)

加藤 直樹, 高木 海, 鈴木 宏和, 高橋 俊二, 長田 裕之: "病原性糸状菌 *Aspergillus fumigatus* における

フミトレモルジン生合成経路の改変", 日本農芸化学会 2009 年度大会, 福岡, 3 月 (2009)

## XIX - 028

### 放線菌の潜在的二次代謝産物、代謝中間体、および生合成酵素の解析

#### Genome Mining of Streptomyces for Potential Secondary Metabolites, Metabolic Intermediates, and Related Enzymes

研究者氏名: 鈴木 宏和 Suzuki, Hirokazu

受入研究室: 長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

本研究は、放線菌に潜在する二次代謝産物とその生合成酵素群の包括的解析を目的とした。放線菌は、抗生物質を含む多種多様な二次代謝産物の生産菌として知られ、その遺伝子工学的技術についても広く研究がなされている。しかしながら、放線菌の中には形質転換といった基本的な遺伝子操作ですら困難なものが見出される。このような放線菌には有用物質生産菌も含み、難形質転換性の克服は微生物学上の基礎研究のみならず産業上においても極めて重要な課題である。

そこで本年度は放線菌の潜在的二次代謝産物研究を行うにあたり、効率的な放線菌形質転換法の確立を目的とした。難形質転換性の原因の1つとして、まず放線菌のDNA制限修飾系に注目し、*Streptomyces griseus*の制限修飾系を解析した。また前年度に引き続き、肺アスペルギウス症の原因真菌 *Aspergillus fumigatus* が生産する真菌毒 verruculogen の生合成経路の解析を行った。

(1) *S. griseus* の DNA は、シトシン塩基が 5'-メチル化を受けることを見出した。

(2) バイサルファイトシーケンシングによって、メチル化をうけるコンセンサンス配列を特定した。

(3) そのメチル化の原因となる酵素遺伝子を同定した。

(4) DNA制限修飾およびDNAメチル化に関わる全ての遺伝子を欠損した大腸菌株を作製した。

(5) メチル化酵素遺伝子を本大腸菌株に移植した。本株から回収したプラスミドDNAは、*S. griseus* に容易に導入できた。本結果は、研究対象とする放線菌のDNA修飾系を解析し、そして移植することにより、その放線菌の形質転換を容易にできる可能性を示唆している。

(6) 大腸菌-放線菌シャトルプラスミドを構築した。

(7) Verruculogen 生合成酵素の反応機構に関するより詳細な知見を得た。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kato N., Suzuki H., Takagi H., Takahashi S., Osada H.:

"Complete analysis of the fumitremorgin biosynthetic gene cluster", 4th Korea-Japan Chemical Biology Symposium, Nikko, Japan, May (2008)

(国内会議等)

鈴木 宏和, 加藤 直樹, 高木 海, 浦本 昌和, 高橋 俊二,

長田 裕之: "*Aspergillus fumigatus* BM939株におけるフミトレモルジン生合成経路の解明", 日本農芸化学会 2008 年度大会, 名古屋, 日本, 3 月 (2008)

加藤 直樹, 鈴木 宏和, 高木 海, 浦本 昌和, 高橋 俊二, 長田 裕之: "*Aspergillus fumigatus* BM939株とゲノム解読株 Af293株とのフミトレモルジン生産性の相違", 日本農芸化学会 2008 年度大会, 名古屋, 日本, 3 月 (2008)

加藤 直樹, 鈴木 宏和, 高木 海, 浦本 昌和, 白井 健郎, 高橋 俊二, 杉本 芳一, 長田 裕之: "*Aspergillus fumigatus* の生産するフミトレモルジンの生合成機構解明とその応用", 日本ケミカルバイオロジー研究会第3回年会, 東京, 日本, 5 月 (2008)

鈴木 宏和, 高橋 俊二, 長田 裕之: "*Streptomyces griseus* における DNA 制限修飾系の解析", 2008 年度日本放線菌学会大会, 山梨, 日本, 7 月 (2008)

加藤 直樹, 高木 海, 鈴木 宏和, 高橋 俊二, 長田 裕之: "病原性糸状菌 *Aspergillus fumigatus* におけるフミトレモルジン生合成経路の改変", 日本農芸化学会 2009 年度大会, 福岡, 日本, 3 月 (2009)

## XIX - 030 小胞体内腔における抗原トリミング複合体の活性発現機構の解明

### Study on the Enzymatic Action of Antigen-trimming Complex in the Endoplasmic Reticulum

研究者氏名：後藤 芳邦 Goto, Yoshikuni

受入研究室：辻本細胞生化学研究室

(所属長 辻本 雅文)

細胞傷害性T細胞が自己・非自己細胞の選別を行う際、選別される側の細胞が自身の細胞表面に選別シグナルとなる自己もしくは非自己由来のペプチド(MHCクラスI提示抗原ペプチド)を提示する。MHCクラスI提示抗原ペプチドは、内在性タンパク質の分解産物が小胞体内腔でさらにN末端の消化(抗原トリミング)を受けることで生成される。近年、この抗原トリミングを担う実体としてM1ファミリーに属する2種の小胞体内腔局在型のアミノペプチダーゼ(A-LAPおよびL-RAP)が同定された。今回は、A-LAPおよびL-RAPの基質認識機構を明らかにすることを目的に点変異体を用いた生化学的解析を行った。

(1) A-LAPのGln181残基にAsn変異を導入したところ、本酵素の中性アミノ酸残基に対する強い遊離活性は完全に消失した。一方でAspとなるよう点変異を導入したところ、Asp変異体は野生型酵素では認められない塩基性アミノ酸残基特異的な遊離活性を示すようになった。以上のことからA-LAPのGln181残基はA-LAPの基質特異性を決定する残基であることが明らかになった。

(2) L-RAPはA-LAPの類縁酵素であり、互いの相同性も他の類縁酵素に比べて高いが、基質特異性は全く異なる。中性アミノ酸残基に対して強い遊離活性を示すA-LAPに対し、L-RAPは塩基性アミノ酸残基特異的な遊離活性を示す。L-RAPにおいてA-LAPのGln181に相当するアミノ酸残基Asp198をA-LAPと同じGlnへと置換したところ、本酵素の塩基性アミノ酸残基特異的な遊離活性は半減し、一方で中性アミノ酸残基に対する遊離活性が著しく上昇した。すなわち、L-RAP Asp198変異体は結果としてA-LAP様の基質特異性を示すことが分かった。こ

のことから、L-RAPにおいてもAsp198が基質特異性に重要であることが分かった。

以上より、A-LAPおよびL-RAPの基質認識は同一部位に存在するアミノ酸残基によって決定されていることが明らかになった。このことから、本部位のGlnもしくはAspへの変異が両酵素の分子進化、すなわち、基質特異性の決定、に重要であったことが考えられた。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Goto Y., Tanji H., Hattori A., Tsujimoto M.: "Glutamine-181 is crucial in the enzymatic activity and substrate specificity of human endoplasmic-reticulum aminopeptidase-1", *Biochemical Journal*, Vol.416 1 pp109-116 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

後藤 芳邦, 丹治 弘江, 服部 明, 辻本 雅文: "脂肪細胞由来ロイシンアミノペプチダーゼのGln-181残基は基質特異性に重要である", 第13回病態と治療におけるプロテアーゼとインヒビター学会, 吹田, 日本, 8月 (2008)

後藤 芳邦, 丹治 弘江, 服部 明, 辻本 雅文: "ヒト脂肪細胞由来ロイシンアミノペプチダーゼのGln-181残基は基質特異性に重要である", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

後藤 芳邦, 服部 明, 辻本 雅文: "小胞体アミノペプチダーゼの基質認識機構", 日本薬学会第129年会, 京都, 日本, 3月 (2009)

研究者氏名：新富 圭史 Shintomi, Keishi  
 受入研究室：平野染色体ダイナミクス研究室  
 (所属長 平野 達也)

真核細胞では、染色体を娘細胞へ均等に分配するために、DNA複製によって生じた染色体のコピー(姉妹染色分体)を細胞分裂の直前までつなぎ止めている。この接着過程に中心的な役割を果たしているのが、コヒーシと呼ばれるタンパク質複合体である。後生動物では、分裂前期から中期にかけて大部分のコヒーシがクロマチンから解離することにより接着が部分的に解消され、2本の姉妹染色分体が識別可能になる。この事象を姉妹染色分体の分割と呼ぶ。さらに、後期に入るとコヒーシンのRad21サブユニットが切断されることで染色分体の完全分離が促進される。前期の分割過程については、コヒーシンサブユニットのリン酸化の関与が示唆されているものの、後期の完全分離に比べて分子レベルでの理解が進んでいない。本年度は、細胞周期に応じた染色体動態を試験管内で再現できるカエル卵抽出液を用いて、姉妹染色分体分割の制御因子の作用メカニズムを詳細に解析した。

まず、Waplと呼ばれる新規制御因子がPds5に依存してコヒーシと相互作用すること、WaplとPds5は共にコヒーシ依存的にクロマチンに結合することを見出した。WaplまたはPds5を除去した抽出液では、いずれの場合も分裂期キナーゼPlk1を除去した

際と同様に、分裂前期におけるコヒーシンのクロマチンからの解離と姉妹染色分体の分割が著しく阻害された。しかし、これらの事象におけるWaplの必要性は、Plk1のそれとは異なり、抽出液へのオキサリ酸添加によって回避することはできるが、Sgo1の除去によっては回避できなかった。さらに、組換えタンパク質を用いた解析によって、WaplのN末端に存在するユニークな配列(FGF-box)がPds5やコヒーシンのnon-SMCサブユニットとの相互作用および分割の促進に必須の役割を持つことが判明した。これらの結果は、WaplやPds5が直接コヒーシンのコンフォメーション変化を誘導することにより、姉妹染色分体分割を促進している可能性を示唆するものである。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

新富圭史、平野達也："分裂前期における姉妹染色分体分割の制御ネットワーク", 第31回日本分子生物学会年会, 神戸, 12月(2008)

新富圭史、平野達也："分裂前期における姉妹染色分体分割の分子メカニズム", 第26回染色体ワークショップ, 姫路, 1月(2009)

研究者氏名：高橋 秀和 Takahashi, Hidekazu  
 受入研究室：吉田化学遺伝学研究室  
 (所属長 吉田 稔)

ヒストンの修飾は遺伝子発現やエピジェネティクスに重要である。ヒストンのアセチル化にはアセチルCoAが供与基として用いられる。本研究では、細胞内アセチルCoA濃度やアセチルCoA/CoA比がヒストンのアセチル化レベルを規定しているかを調べて

いる。本年度は、哺乳類培養細胞樹立株をグルコース・酢酸などの様々な炭素源で培養して、核細胞質のアセチルCoA濃度・アセチルCoA/CoA比・NAD濃度・NAD/NADH比およびヒストンアセチル化レベルを測定する系の構築を目指した。その結果、ヒ



ストンアセチル化レベルの定量は問題なく成功し、NADやNADH濃度についても微量の細胞から検出する系の構築に目処が立った。アセチルCoA濃度およびアセチルCoA/CoA比を微量の細胞から検出する方法の確立については現在試行中である。

アセチルCoA代謝にはミトコンドリアが重要である。興味深いことに哺乳類では少なくとも数百のミトコンドリアタンパク質がアセチル化されているという報告がある。しかし核・細胞質に局在するアセチル化タンパク質と異なり、ミトコンドリアタンパク質をアセチル化する酵素は同定されていない。我々は分裂酵母のSuperoxide dismutase(SOD)がアセチル化されていることを見だし、SODをアセチル化する酵素の同定も目指している。本年度は分裂酵母においてミトコンドリアに局在するタンパク質をそれぞれ過剰発現する約500の酵母株のうち、SODのアセチル化が亢進している株をスクリーニングし

た。しかしながら、SODのアセチル化が顕著に変化する株は見つからなかった。原因として考えられるのは、強制発現で必ずしも実際のタンパク質の量が増加しないことや、アセチル化酵素の量が増加しても基質のアセチル化が増大するとは限らないことなどが挙げられる。過剰発現株よりも遺伝子欠損株を用いたほうが成功する可能性が高いと考えられる。そこで分裂酵母の遺伝子欠損株ライブラリーを購入して、現在培養条件などを検討中である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takahashi H., Shirai A., Matsuyama A., Yoshida M.: "Screening for the mitochondrial SOD acetyltransferase", 1st RIKEN Chemical Biology Department International Symposium, Atami, Japan, Sep. (2008)

### XIX - 033 ヒストン脱アセチル化酵素阻害剤による転写抑制機構の解明と新規疾患治療薬への応用

#### Clarification of the Mechanism of Transcriptional Repression by Histone Deacetylase Inhibitors and Application for the Novel Therapeutic Agents

研究者氏名：古米 亮平 Furumai, Ryohei

受入研究室：吉田化学遺伝学研究室

(所属長 吉田 稔)

一般にヒストンの高アセチル化領域は転写活性化、低アセチル化領域は転写不活性化と相関することから、ヒストン脱アセチル化酵素(histone deacetylase, HDAC)の阻害剤が抗腫瘍活性を発揮するのは、p21WAF1などのがん抑制遺伝子の発現を上昇させることが原因であると考えられている。一方、HDAC阻害剤は炎症性遺伝子の発現を抑制することによって抗炎症作用を発揮することが近年報告されており、この分子機構の詳細は不明である。本研究の目的は、従来のモデルとは正反対と考えられるHDAC阻害剤による遺伝子発現抑制機構の解明である。これは、糖尿病やリウマチ関節炎などの炎症性疾患の発病に関わるHDACを特定することにも繋がり、病理学的にも意義のある研究であると考えられる。

本年度は、昨年度に引き続き、HeLa細胞における炎症物質TNF依存的な炎症性遺伝子の発現誘導が、

HDAC阻害剤TSAの存在によって抑制されるメカニズムについて研究した。(1)個々のHDACファミリーのノックダウンによってその機能を阻害しても、TSAによる炎症性遺伝子の転写抑制機能が再現できなかったこと、また、TSAと同じくHDACファミリーを広範囲に阻害する化合物は同様の転写抑制効果を持っていたが、HDAC6やSIRT1などの個々のHDAC特異的な阻害剤は同等の効果がなかったことから、この機構には明らかに複数のHDACが関与していることが示唆された。(2)TSAによる転写抑制が直接的な効果なのか、TSAによって発現誘導されたリプレッサーなどを介した間接的な効果なのかを明らかにするため、蛋白質合成阻害剤シクロヘキシミド存在下におけるTSAの効果調べた。その結果、この条件においてもTSAによる転写抑制が同等に認められたことから、TSAの標的であるHDACが直接的に炎症性遺伝子の転写制御に関わっていることが分

かった。(3)クロマチン免疫沈降法(ChIP)による実験結果から、発現誘導時に炎症性遺伝子のプロモーター領域にHDAC3がリクルートされていることを新たに見出し、さらにそのリクルートがTSAの存在によって阻害されていることが分かった。つまり、従来単なる転写リプレッサーと考えられてきたHDACが、炎症性遺伝子においては転写を正に制御している可能性があり、それ故にHDAC阻害剤が遺伝子発現を抑制するものと考えられた。(4)最後に、ラットを用いた動物実験においても、HDAC阻害剤が炎症反応を阻害することを確認することができた。

## XIX - 034

### 分裂酵母温度感受性変異株ライブラリーによる タンパク質アセチル化の包括的機能解析

#### Comprehensive Analysis of Protein Acetylations Using a Fission Yeast Temperature Sensitive Mutants Library

タンパク質のアセチル化は、リン酸化やメチル化と並び、重要な翻訳後修飾の一つである。ヒストンのアセチル化については、これまでに多くの研究が行われ、遺伝子の転写を活性化する役割がよく知られている。しかし、近年になって、ヒストン以外の多くのタンパク質もアセチル化されることや、それらをアセチル化、脱アセチル化する酵素が報告され、アセチル化の重要性がさらに認識されるようになってきた。しかし、細胞内でアセチル化が果たす役割については、まだ不明なことが多い。

そこで、本研究では、分裂酵母変異株と薬剤との相互作用を検証することによって、アセチル化の新たな役割を解明するアプローチを試みた。ヒストン脱アセチル化酵素(HDAC)の阻害剤であるTrichostatin A (TSA)が1015株の温度感受性変異株の生育に与える影響を調べたところ、TSAによって温度感受性が抑制されて、高温下でも生育可能になるものが45株、生育が強く阻害されるものが46株あった。さらに、温度感受性が抑制される45株の原因遺伝子の同定を試みた結果、遺伝子の機能は、小胞輸送(18株、10遺伝子)、姉妹染色分体の分離(15株、7遺伝子)など、少数のグループに収束した。これらの細胞の機能にアセチル化が関与するという報告は限られているので、タンパク

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furumai R., Yoshida M.: "Mechanism of transcriptional repression of inflammatory genes by histone deacetylase inhibitor", 1st RIKEN Chemical Biology Department International Symposium, Atami, Japan, Sep. (2008)

(国内会議等)

古米 亮平, 吉田 稔: "炎症性遺伝子発現誘導における脱アセチル化酵素の役割に関する研究", 日本農芸化学会 2009 年度大会, 福岡, 日本, 3 月 (2009)

研究者氏名: 松村 拓洋 Matsumura, Takuhiro

受入研究室: 吉田化学遺伝学研究室

(所属長 吉田 稔)

質のアセチル化に未知の機能があることが示唆された。

本年度は、さらに、変異株の原因遺伝子の同定を行い、アクチン細胞骨格の形成やNEDD8修飾に関わる遺伝子を同定した。同時に、多コピーサプレッサーを取得し、核細胞質間輸送とアクチン形成の関連を示唆する結果を得た。また、小胞輸送に関わる変異株とHDAC欠損株の二重変異株を網羅的に作成し、生育に与える影響を調べた結果、特定のHDACの機能低下によって、小胞輸送変異株の温度感受性が抑制されることがわかった。さらに、クラスリンアダプター複合体の変異株において、TSAの添加によって、endocytic recyclingの機能が回復することを見いだした。

今後は、さらに解析をすすめて、アセチル化に関わる細胞内プロセスの解明、アセチル化タンパク質の同定をめざす計画である。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Matsumura T., Yoshida M.: "Comprehensive analysis of protein acetylations using a fission yeast temperature mutant library", 1st RIKEN Chemical Biology Depart-

ment International Symposium, Atami, Japan, Sep. (2008)

(国内会議等)

松村 拓洋, 中世古 幸信, 中村 隆宏, 松山 晃久, 柳田 充弘, 吉田 稔: "分裂酵母温度感受性変異株ライブラリーによるタンパク質アセチル化の包括的機能解析", 第41回酵母遺伝学フォーラム研究会, 札

幌, 日本, 9月 (2008)

松村 拓洋, 中世古 幸信, 中村 隆宏, 松山 晃久, 柳田 充弘, 吉田 稔: "分裂酵母温度感受性変異株ライブラリーによるタンパク質アセチル化の包括的機能解析", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

## XIX - 035 ゴルジ体における膜脂質の非対称分布形成機構の解明

### Analysis of the Lipid Component Transition during Golgi Cisternal Maturation

研究者氏名: 稲留 弘乃 Inadome, Hironori

受入研究室: 小林脂質生物学研究室

(所属長 小林 俊秀)

生体膜は親水性のヘッドグループと疎水性のアシル基からなるリン脂質の2重層にタンパク質が埋め込まれた構造をしている。このような脂質2重層は1種類の脂質でも再現可能であるが、生体膜は極めて多様な脂質が混在して構成されている。このような脂質組成は生物種や、細胞種によって異なり、さらに同一の細胞でも均一に分布しているわけではなく、オルガネラごとに脂質組成は大きく異なり、同じオルガネラにおいても、脂質2重層の表と裏で組成比が異なり、さらに同一の膜面でも場所ごとに脂質組成が異なることが知られている。このように、細胞内において膜脂質は非対称に分布しているが、その形成や維持に関わるメカニズムやその生理学的な意義はほとんど解明されていないのが現状である。そこで、本研究では小胞輸送経路の中心に位置するゴルジ体の脂質の分布状態の解析を通じて、細胞内の脂質分布機構を解明することを目的として研究を行っている。

ゴルジ体は小胞体との輸送小胞の受け渡しを行う early Golgiや最終目的地への仕分けを行う late Golgiといったいくつかの層板から構成されている。高等生物のゴルジ体はこれらの層板どうしが接着しているため層板単位の精製は困難であるが、出芽酵母で

はそれぞれの層板が細胞質に分散して存在しているため、層板単位の精製に適している。本研究では出芽酵母を材料として、early Golgi、late Golgiにそれぞれ特異的に局在する膜タンパク質である Sed5 と Tlg2 の細胞質領域に myc タグを付加した株を作製し、膜構造を維持したまま抗 myc 抗体で免疫吸着することでそれぞれの局在する層板の単離を行った。Sed5、Tlg2 で免疫吸着した画分にはそれぞれ early Golgi と late Golgi のタンパク質が回収され、ゴルジ体の層板が精度よく分離、精製されていた。現在、これらのゴルジ体画分に回収された脂質を液体高速クロマトグラフエレクトロスプレーイオン化型タンデム質量分析計 (LC-ESI-MS/MS) を用いて解析し、ゴルジ体の層板の成熟に伴う脂質組成の変化を解析している。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Abe M., Hullin-Matsuda F., Inadome H., Ishitsuka R., Iwamoto K., Makino A., Murase K., Murate M., Senoh Y., Ueda Y., Kobayashi T.: "Imaging lipids and lipid domains", JSPS and NSF International Seminar Membranomics, Toyonaka, Japan, Sep. (2008)

**XIX - 036 革新的高輝度性能を実現する NEA 光陰極電子源の開発研究**  
**Extremely High Brightness Electron Source Using a Semiconductor Photocathode**

研究者氏名：西谷 智博 Nishitani, Tomohiro  
受入研究室：先端技術基盤部門  
ビームアプリケーションチーム  
(所属長 目黒 多加志)

現在、半導体デバイスの微細化や機能材料の高度化には、原子スケールでの詳細な構造、元素分析や電磁気的特性の計測が要求されている。この要求に対して既存技術を超える次世代電子顕微鏡が求められており、それには電子源の高性能化が不可欠である。一方、宇宙誕生の謎に迫る次世代加速器「国際リニアコライダー」などの将来計画における電子源には、高スピン偏極、超低エミッタンスや大電流性能が要求されている。私は、輝度とスピン偏極性能に強力な利点を持つ半導体を用いた光陰極が、次世代技術に応える電子源になると考えた。

本研究は、光陰極のアイデアとして独自に提案している超格子光陰極を用いて、大電流と高耐久性性能と共に極小の運動量分散性能を持つ超高輝度の電子ビーム生成の実現を目的としている。これまでに独自開発したバルク構造AlGaAs半導体により、従来技術の光陰極に比べ桁以上の高耐久化を実現し、更に超高輝度と高耐久化条件を満たす結晶構造の超格子半導体を名古屋大学工学研究科と同大学ベンチャービジネスラボラトリーと共同開発している。

本年度は、開発した超格子半導体の光陰極性能を評価すると共に、高輝度性能のみならず高い電子スピン偏極性能の可能性を検討し、電子ビームの評価に不可欠な30keV光陰極電子銃装置の開発を下記通り行った。

(1) X線光電子分光法による半導体表面の観測実験で、超格子半導体の表面に施した砒素保護膜により光陰極の劣化要因となる炭化物や酸化物の不純物付着が抑制されることを確認した。

(2) バンド理論モデル計算を用いて、高輝度電子源として名古屋大学と共同開発した超格子光陰極のスピン偏極電子生成の可能性を検討したところ、50%を超える高い電子スピン偏極度の条件、「価電子帯内での電子スピン縮退状態のエネルギー分離」を満たすことを見出した。

(3) 光陰極性能を評価するために独自開発した30keV光陰極電子銃装置を用いて、光陰極からの電

子ビーム生成を実現した。更に本装置により、光陰極からの電子ビームのパルス化に成功し、1kHz繰返しで30ns半値幅の時間構造を持つパルス電子ビーム生成を達成した。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nishitani T., Tabuchi M., Takeda Y., Suzuki Y., Motoki K. and Meguro T.: "High Brightness Spin-Polarized Electron Source using Semiconductor Photocathodes", Jpn. J. Appl. Phys., in print\*

Nishitani T., Tabuchi M., Takeda Y., Suzuki Y., Motoki K. and Meguro T.: "Superlattice Photocathode With High Brightness And Long NEA-surface Lifetime", AIP conference proceeding, in print\*

(総説)

西谷智博:"電子ビーム源GaAs半導体型フォトカソードの開発", MRS-J NEWS, Vol. 20, No. 2, pp. 4-6 (2008)

●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Nishitani T., Tabuchi M., Takeda Y., Suzuki Y., Motoki K. and Meguro T.: "High Brightness Spin Polarized Electron Source using Semiconductor Photocathodes", 21nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference, Fukuoka, Japan, Oct. (2008)

Nishitani T., Tabuchi M., Takeda Y., Suzuki Y., Motoki K. and Meguro T.: "Superlattice Photocathode With High Brightness And Long NEA-surface Lifetime", Workshop on Sources of Polarized Electrons and High Brightness Electron Beams, Newport News, USA, Oct. (2008)

(国内学会等)

西谷智博:"超格子半導体フォトカソードによる高輝度・パルス電子ビームの生成", 「第2回フォトカソード研究会」,理化学研究所 埼玉県和光市, 12月 (2008)

西谷智博, 田渕雅夫, 竹田美和, 鈴木裕史, 元木和也,  
目黒多加志: "AlGaAs-GaAs 超格子フォトカソード

電子源の開発", 春季第56回応用物理学関係連合講  
演会, 筑波大学 茨城県つくば市, 3月 (2009)

## XIX - 037

### 網膜幹細胞ニッチにおける細胞間相互作用の形態学的 および分子遺伝学的解析

#### Anatomical and Molecular Genetic Analysis on Inter-Cellular Interactions in the Retinal Stem Cell Niche

研究者氏名: 久保 郁 Kubo, Fumi

受入研究室: 基幹研究所

中川独立主幹研究ユニット

(所属長 中川 真一)

成体のさまざまな組織には幹細胞が存在し、それらは当該組織の恒常性の維持に深く関与している。近年、幹細胞はその周囲の特殊な微小環境(ニッチ)によってその性質が制御されていることが明らかにされつつあるが、脊椎動物の幹細胞システムにおけるニッチ-幹細胞間の相互作用については未解明な点が多く残されている。網膜幹細胞は、網膜組織内の辺縁部領域に限局して存在することが知られており、この領域は網膜幹細胞ニッチであると仮定できる。この網膜幹細胞ニッチには、毛様体細胞、網膜色素上皮細胞、網膜前駆細胞などのさまざまな異なる細胞種が存在していることから、これらの非幹細胞と網膜幹細胞との間になんらかの相互作用があり、それが幹細胞の性質を調節している可能性がある。本研究では、幹細胞ニッチにおける幹細胞とその周囲の細胞との相互作用がもつ役割を、解剖学的観察および分子遺伝学的解析を行うことによって解明することを目的とする。

網膜幹細胞およびその周囲の細胞で発現する遺伝子を調べる過程で、私はHes転写因子ファミリーに属するc-hairy1が網膜幹細胞で特異的に発現することを見出した。c-hairy1の発現は、網膜幹細胞の維持に鍵となる因子Wntシグナルによって誘導され、またc-hairy1の機能は網膜幹細胞の維持のために必要十分であることが分かった。興味深いことに、このようなc-hairy1の発現は、これまでc-hairy1の制御因子と

して知られていたNotchシグナルには依存せず、Wntシグナルによる新規の発現制御機構を介していることが示唆された。

本年度は、このWntシグナルによるc-hairy1の発現制御機構を解析した。Wntシグナル依存的に発現が上昇する遺伝子をマイクロアレイ解析により同定し、得られた候補遺伝子がc-hairy1の発現を制御するかどうか検討した。すると候補遺伝子のうち、複数の転写調節因子がc-hairy1プロモーターおよびc-hairy1の内在性の発現を活性化することが分かった。これらの結果から、Wntシグナルを受容した網膜幹細胞はその下流で複数の転写因子経路を駆動させることでc-hairy1の発現を誘導し、網膜幹細胞としての性質を規定・維持していることが明らかとなった。

#### ●誌上発表 Publications

(総説)

Kubo F., and Nakagawa S.: "Wnt signaling in retinal stem cells and regeneration", *Dev. Growth Differ.*, 50 245-51 (2008)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

久保郁: "網膜幹細胞の維持を制御するWnt依存的転写ネットワーク", 日本発生生物学会サマースクール, 長野, 8月 (2008)

研究者氏名：森 稔幸 Mori, Toshiyuki

受入研究室：基幹研究所

宮城島独立主幹研究ユニット

(所属長 宮城島 進也)

性を持つ生物は、動物・植物を問わず受精(接合)によって子孫を遺す。哺乳動物やウニ、藻類の接合は分子レベルで広く解析されており、種特有の接合因子が数多く報告されている。一方、高等植物の受精に働く直接的な因子は全く未知であった。近年私は単子葉植物のテッポウユリ雄性配偶子から新規の膜貫通タンパク質GCS1の発見に成功した。シロイヌナズナを用いた機能解析の結果、GCS1は雄性配偶子で特異的に発現し受精過程の最終段階である雌雄の配偶子間の融合を決定づける分子であることが判明した。同分子は高等植物に加え、藻類、粘菌類、原虫類でも検出されていることから、配偶子の同・異型を問わない真核生物接合の普遍的因子といえる。

本研究はGCS1を基にした植物受精関連因子のさらなる同定・解析を目的としており、多くの真核生物種に通じる接合メカニズムの根源的解明さらには真核生物の接合進化の解明へと展開していく計画である。

前述のように、GCS1は真核生物の接合メカニズムを分子レベルで解明するうえで重要な一つ目のタン

パク質であるが、その分子レベルでの機能および受精に伴う分子機構の全容は未だ分かっていない。これらを明らかにするため本年度は雄性配偶子内でのGCS1関連分子の探索にあたった。

(1)マラリア原虫GCS1の発現・機能を解析し、高等植物同様原虫GCS1も雄性配偶子側の受精決定因子であることを示した。

(2)テッポウユリ雄性配偶子不溶性画分におけるタンパク質の質量分析。新規生殖関連因子の探索系を構築した。

(3)シロイヌナズナ受精異常変異株をスクリーニングし、新規の配偶子融合変異株を同定した。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hirai M., Arai M., Mori T., Miyagishima S., Kawai S., Kita K., Kuroiwa T., Terenius O., Matsuoka H.: "Male fertility of malaria parasites is determined by GCS1, a plant-type reproduction factor", *Current Biology*, Vol.18 8 pp607-613 (2008)

研究者氏名：近藤 洋介 Kondo, Yosuke

受入研究室：仁科加速器研究センター

本林重イオン核物理研究室

(所属長 本林 透)

一核子移行反応は角度分布や断面積からスピン・パリティや分光学的因子を推定することができるので、原子核構造を調べる上で有用である。逆運動学条件下における一核子分離反応は、破断片の運動量分布および断面積の測定から同様の情報を引き出すことができる有用な反応である。本年度では陽子標的を用いた場合の一中性子分離反応の有用性を検証するため、 $^{18}\text{C}$ ,  $^{19}\text{C}$ 核の一中性子分離反応について研

究を行った。液体水素標的を用いると高統計のデータを取得することができるが、これまでこの反応に陽子標的を用いた例は無い。実験で得られた運動量分布は連続状態離散化チャネル結合(CDCC)法を用いた理論計算により再現することができた。また殻模型計算で得られる分光学的因子と合わせて断面積を実験値と比較したところ、各準位への断面積の相対値をよく再現することができた。以上から陽子を標的

に用いた場合においても一核子分離反応がスピン・パリティや分光学的因子の推定に役立つことが分かった。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kondo Y., Motobayashi T., Sakurai H., Aoi N., Otsu H., Yanagisawa Y., Fukuda N., Takeuchi S., Ishihara M., Baba H., Gomi T., Imai N., Kubo T., Yoneda K., Nakamura T., Sato Y., Sugimoto T., Matsui N., Attukalathil V., Okumura T., Hashimoto Y., Nakabayashi T., Shinohara M., Miura M., Kobayashi T., Matsuda Y., Endo N., Kitayama M., Watanabe K., Yakushiji T., Togano Y., Kawai S., Hasegawa H., Onishi T., Ong H., Shimoura S., Tamaki M., Saito A., Bazin D., Watanabe Y.: "Breakup reactions of  $^{14}\text{Be}$ ", Future Prospects for Spectroscopy and Direct Reactions 2008, East Lansing, USA, Feb. (2008)

Kondo Y., Nakamura T., Sato Y., Matsumoto T., Aoi N., Endo N., Fukuda N., Gomi T., Hashimoto Y., Ishihara M., Kawai S., Kitayama M., Kobayashi T., Matsuda Y., Matsui N., Motobayashi T., Nakabayashi T., Ogata K., Okumura T., Ong H., Onishi T., Otsu H., Sakurai H., Shimoura S., Shinohara M., Sugimoto T., Takeuchi S., Tamaki M., Togano Y., Yanagisawa Y.: "Invariant-mass spectroscopy of neutron-rich Be isotopes", Unbound Nuclei Workshop, Pisa, Italy, Nov. (2008)

Kondo Y., Nakamura T., Sato Y., Matsumoto T., Aoi N.,

Endo N., Fukuda N., Gomi T., Hashimoto Y., Ishihara M., Kawai S., Kitayama M., Kobayashi T., Matsuda Y., Matsui N., Motobayashi T., Nakabayashi T., Ogata K., Okumura T., Ong H., Onishi T., Otsu H., Sakurai H., Shimoura S., Shinohara M., Sugimoto T., Takeuchi S., Tamaki M., Togano Y., Yanagisawa Y.: "Break-up reactions of  $^{14}\text{Be}$ ", International Conference on Interfacing Structure and Reactions at the Centre of the Atom (Kernz08), Queenstown, The Netherlands, Dec. (2008)

(国内会議等)

近藤 洋介, 中村 隆司, 佐藤 義輝, 松本 琢磨, 青井 考, 遠藤 奈津美, 福田 直樹, 五味 朋子, 橋本 佳子, 石原 正泰, 河合 祥子, 來山 益久, 小林 俊雄, 松田 洋平, 松井 信行, 本林 透, 中林 彩, 緒方 一介, 奥村 俊文, 王 惠仁, 大西 健夫, 大津 秀暁, 櫻井 博儀, 下浦 享, 篠原 摩有子, 杉本 崇, 武内 聡, 玉城 充, 梶野 泰宏, 柳澤 善行: "18,19C の一中性子分離反応", RCNP 研究会「RCNPにおける不安定核の研究: RCNP ビームラインの可能性を探る」, 大阪, 日本, 8月 (2008)

近藤 洋介, 中村 隆司, 佐藤 義輝, 杉本 崇, 松井 信行, 奥村 俊文, 橋本 佳子, 中林 彩, 篠原 摩有子, 青井 考, 遠藤 奈津美, 福田 直樹, 五味 朋子, 河合 祥子, 來山 益久, 小林 俊雄, 松田 洋平, 本林 透, 王 惠仁, 大西 健夫, 大津 秀暁, 櫻井 博儀, 下浦 享, 武内 聡, 玉城 充, 梶野 泰宏, 柳澤 善行, 石原 正泰: "18,19C の一中性子分離反応", 日本物理学会第63回年次大会, 東大阪, 日本, 3月 (2008)

## XIX - 040

### 高励起中性子過剰核における He クラスタ構造の 発現機構と反応ダイナミクスの統一的研究

#### Unified Studies of the He-cluster Formations and the Reaction Dynamics in Light Neutron-rich Nuclei

研究者氏名: 伊藤 誠 Ito, Makoto

受入研究室: 仁科加速器研究センター

中務原子核理論研究室

(所属長 中務 孝)

Be同位体の低励起状態では、2つの $\alpha$ 粒子をコア核として、その周りで過剰中性子が『共有結合構造』を作る描像が成立している。ところが、その高励起領域には $^{68}\text{He}$ を構成単位とした『Heクラスタ構造』を持つと予想される共鳴状態が多数観測されている。

この様な共有結合からHeクラスタ状態への構造

転移を分析する場合、後者は核反応を通して観測される散乱状態であるため、散乱境界条件の基で構造転移を取り扱うことが必要不可欠となる。ところが、既存の核構造モデルでは、共有結合構造と散乱状態にあるHeクラスタ構造を首尾一貫して記述することは非常に困難であった。

そこで、Beにおける構造転移と反応現象を包括した研究を遂行すべく、必要な理論模型の定式化、及び計算手法と計算プログラムの開発を中心に進めてきた。本研究で基盤となっている模型は、『微視的クラスター模型(GCM)』と呼ばれるもので、系を構成する核子間の反対称化を正確に取り扱う微視的な核構造模型である。この計算手法を $^{10}\text{Be}=\alpha+\alpha+N+N$ 系へ適用した結果、分子軌道構造からHeクラスター構造への構造転移、低エネルギー $\alpha+^6\text{He}$ 散乱、 $^{10}\text{Be}$ の核力分解の統一的記述に成功を取めてきた。

これら手法開発により、構造転移と衝突、分解反応の統一的取り扱いが可能になったが、過剰中性子数が二つ以上の重い系では、計算に必要な基底関数の数が膨大になるため、何らかの近似的解法が必要となる。そこで基底関数を $\alpha$ - $\alpha$ 軸についての軸対称配位に制限して散乱問題を解く『軸対称チャンネル結合法』の定式化を進め、 $^{12}\text{Be}=\alpha+\alpha+4N$ 系への適用を行った。その結果、高励起領域では、原子軌道と分子軌道の間接的な構造を持つ新しい超変形状態が発現し、さらにその状態がHeクラスター状態と共存することが明らかになった。更に二中性子移行反応である $\alpha+^8\text{He} \rightarrow ^6\text{He}+^6\text{He}$ 反応の計算によって、超変形状態を励起する反応断面積の増大を予言した。昨年の7月、フランスのGANIL研究所でこの二中性子移行反応の断面積測定が行われた。今後はこのデータの分析を通じた海外の実験グループとの共同研究を展開する予定である。更に $^{14,16}\text{Be}$ 、酸素、ネオン同位体といった、重い系への理論の拡張を進めている。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

- Itagaki N., Kokalova T., Ito M., Kimura M., von Oertzen W.: "Coupling between  $\alpha$  condensed states and normal cluster states", *Physical Review C*, Vol.77 pp037301-1-037301-4 (2008)
- Ito M., Itagaki N., Sakurai H., Ikeda K.: "Exotic molecular states in ht highly-excited states of  $^{10,12}\text{Be}$ ", *Journal of Physics: Conference Series*, Vol.111 pp012010-1-012010-6 (2008)
- Ito M., Itagaki N.: " $\alpha+^6,8\text{He}$  resonant scattering and exotic structures in  $^{10,12}\text{Be}$ ", *AIP Conference Proceedings*, Vol.1016 pp199-204 (2008)
- Nakatsukasa T., Yabana K., Ito M.: "Time-dependent approaches for reaction and response in unstable nuclei",

*The European Physical Journal Special Topics*, Vol.156 pp249-256 (2008)

- Yabana K., Ito M., Nakatsukasa T.: "Time-dependent description for nuclear reaction dynamics in the continuum", *Nuclear Physics A*, Vol.805 pp428-430 (2008)
- Ito M., Itagaki N., Sakurai H., Ikeda K.: "Coexistence of covalent superdeformation and molecular resonances in an unboud region of  $^{12}\text{Be}$ ", *Physical Review Letters*, Vol.100 pp182502-1-182502-4 (2008)
- Ito M., Itagaki N.: "Covalent isomeric state in  $^{12}\text{Be}$  induced by two-neutron transfers", *Physical Review C*, Vol.78 pp011602(R)-1-011602(R)-5 (2008)
- Itagaki N., Ito M., Arai K., Aoyama S., Kokalova T.: "Mixing of di-neutron components in  $^8\text{He}$ ", *Physical Review C*, Vol.78 pp017306-1-017306-4 (2008)
- Itagaki N., Ito M., Milin M., Hashimoto T., Ishiyama H., Miyatake H.: "Coexistence of  $\alpha+\alpha+n+n$  and  $\alpha+t+t$  cluster structures in  $^{10}\text{Be}$ ", *Physical Review C*, Vol.77 pp067301-1-067301-4 (2008)
- Ito M., Itagaki N.: "Nuclear Chemistry", *Physical Review Focus*, Vol.22 Story 4 pp1-3 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Ito M., Itagaki N.: "Unified studies of structural changes and nuclear reactions in  $^{10,12}\text{Be}$ ", 1st Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics, Strasbourg, I France, May (2008)
- Ito M., Itagaki N.: "Covalent, Ionic, and Atomic Structures in  $^{10,12}\text{Be}$ ", 4th Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB08), Depok, Indonesia, Aug. (2008)
- Ito M., Itagaki N.: "Unified studies of the exotic structures of  $^{10,12}\text{Be}$  and the  $\alpha+^6,8\text{He}$  reactions", Scientific Program for Fusion08, Chicago, USA, Sep. (2008)
- Ito M., Itagaki N.: "Covalent Isomeric State in  $^{12}\text{Be}$  induced by Two-Neutron Transfers", KGU(Kanto Gakuin University) Yokohama Autumn School of Nuclear Physics, Yokohama, Japan, Oct. (2008)
- Ito M.: "Unified description of structures and reactions based on microscopic models", YIPQS International Molecule Workshop on "Alpha- and Dineutron-Correlation in Nuclear Many-Body Systems" Program, Kyoto, Japan, Oct. (2008)



Ito M.: "Exotic structures in  $^{12}\text{Be}$  and the  $\alpha+^8\text{He}$  resonant scattering", Unbound Nuclei Workshop, Pisa, Italy, Nov 2008

Ito M.: "Future studies on nuclear structures and reactions with microscopic cluster model and UCOM", 1st EMMI-EFES Workshop on Neutron-Rich Nuclei (EENEN 09), Darmstadt, Germany, Feb. (2009)

(国内会議等)

伊藤 誠: " $^{12}\text{Be}$  の連続エネルギー状態の構造と反応", 京都大学基礎物理学研究所研究会「原子核の分子の構造と低エネルギー反応」, 京都, 日本, 7月 (2008)

伊藤 誠: "中重核及び不安定核における敷居値則と分子の構造", 京都大学基礎物理学研究所研究会「原子核の分子の構造と低エネルギー反応」, 京都, 日

本, 7月 (2008)

伊藤 誠, 板垣 直之: " $^{12}\text{Be}$ における単極遷移", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 山形, 日本, 9月 (2008)

伊藤 誠, 板垣 直之: "軽い中性子過剰核の構造と反応の統一的研究", 北大核物理の歴史と展望, 札幌, 日本, 11月 (2008)

伊藤 誠: "軽い中性子過剰核の構造と反応の統一的研究", 「少数粒子系物理の現状と今後の展望」研究会, 茨木, 日本, 12月 (2008)

伊藤 誠: " $\alpha+^8\text{He}$  共鳴散乱と  $^{12}\text{Be}$  の高励起状態", 第5回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊中, 日本, 12月 (2008)

伊藤 誠, 板垣 直之: " $\alpha+^8\text{He}$  低エネルギー散乱における共鳴現象", 日本物理学会第63回年次大会, 東大阪, 日本, 3月 (2008)

## XIX - 041

### 陽子過剰核の反応断面積測定と陽子ハロー構造

#### Study of Reaction Cross Sections and Nucleon Density Distributions of Proton-Drip Line Nucleus

研究者氏名: 武智 麻耶 Takechi, Maya

受入研究室: 仁科加速器研究センター

櫻井 RI 物理研究室

(所属長 櫻井 博儀)

本研究では、不安定核の反応断面積を測定し、主に Glauber 計算を用いることでドリップライン核の核半径および核子密度分布を導出、不安定核の特性・構造の研究を行う。

本年度は RIBF 加速器施設より提供される  $^{48}\text{Ca}$  大強度ビームを用いて、中性子過剰核  $^{29-32}\text{Ne}$ 、および  $^{30-35}\text{Na}$  を入射核破砕反応により生成し、核子あたり  $250\text{MeV}$  程度のエネルギー領域において反応断面積の測定実験を行った。実験は BIG RIPS 二次ビームセパレーターを用いて行った。得られたデータは世界的に新データである。またそれとともに、特に  $^{31}\text{Ne}$  はハロー構造を持つ可能性が高く、核半径研究の対象として興味深い。また、 $\text{Na}$  同位体も核半径の同位体依存性を調べることにより、スキン構造の発達に言及することが可能であり、非常に興味深い。これらのデータは現在、鋭意解析中である。また、本年度は放医研の重イオンシンクロトロン加速器 HIMAC より供給される  $^{12}\text{C}$  を用いて、中間エネルギー領域(核子あたり数十~数百  $\text{MeV}$ )において、反応断面積測定実験を行った。この実験の目的は、炭

素反応標的とポリエチレン( $\text{CH}_2$ )反応標的を用いて、反応断面積を測定し、ポリエチレン標的の反応断面積から炭素標的の反応断面積を差し引くことによって、入射核と水素の反応断面積を導出する手法を確立するためのものである。この方法を用いると、非常に容易に入射核と水素の反応断面積のエネルギー依存性が測定できる。水素標的との反応断面積は、ハロー核のハローを構成する核子が中性子であるか、陽子であるかに大きな感度を持つため、ハロー核研究のツールとして非常に役立つ。また、これらのデータは、核半径および核子密度分布導出の基盤となる Glauber 計算の検証の基礎データとしても大変役に立つ。来年度はこの研究結果を生かし、陽子ハロー核の研究に挑む予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yamaguchi T., Suzuki T., Ohnishi T., Becker F., Fukuda M., Geissel H., Hosoi M., Janik R., Kimura K., Kuboki T., Mandel S., Matsuo M., Muenzenberg G., Nakajima

S., Ohtsubo T., Ozawa A., Prochazka A., Shindo M., Sitar B., Strmen P., Suda T., Suemmerer K., Sugawara K., Szarka I., Takechi M., Takisawa A., Tanaka K., Yamagami M.: "Nuclear matter radii of neutron-deficient Kr isotopes", Physical Review C, Vol.77 pp034315-1-034315-6 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中における短寿命核のレーザー核分光実験計画『OROCHI』の現状", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 山形, 日本, 9 月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "理研"OROCHI" 実験計画: 超流動ヘリウムを利用した短寿命不安定核のレーザー核分光", RCNP 研究会「RCNPにおける不安定核の研究:RCNP ビームラインの可能性を探る」, 茨木, 日本, 8 月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム液体中に植え込まれた不安定同位体原子のレーザー核分光実験"OROCHI"", 第5回 AMO 討論会, 八王子, 日本, 6 月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中エキゾチック RI 原子の新奇なレーザー分光法 (OROCHI法): 不安定核 Rb 原子の超微細構造精密測定へ向けて", 東北大学・CYRIC 研究会 Fundamental Physics using Atoms, 仙台, 日本, 8 月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 山口 杏子, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 西村 俊二, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウムを用いたレーザー核分光実験"OROCHI"- 第一回ビーム実験へ向けて-", 第5回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊中, 日本, 12 月 (2008)

佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 古川 武, 風戸 正行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 小林 徹, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 畠山 温, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 本林 透, 篠塚 勉, 松尾 由賀利: "流動ヘリウム中でのレーザー核分光に向けた蛍光検出系の開発", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3 月 (2009)

古川 武, 藤掛 浩太郎, 畠山 温, 小林 徹, 松浦 佑一, 佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 風戸 正行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中での光ポンピング法を用いた Ag 原子の高偏極生成とレーザー核分光への応用", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3 月 (2009)

**K 中間子原子核探索による、  
超高密度物質内におけるハドロンの性質の研究**

**Study of Hadron Properties in Dense Nuclear Matter by Searching for Kaonic Nuclei**

研究者氏名：佐久間 史典 Sakuma, Fuminori

受入研究室：仁科加速器研究センター

岩崎先端中間子研究室

(所属長 岩崎 雅彦)

近年の精力的な研究によって、通常原子核密度の下ではハドロンの質量が軽くなっていること、つまりカイラル対称性が部分的に回復していることが明らかになった。では、さらに密度の高い物質中においてハドロンの性質はどのようになっているのであろうか。理論計算によると、K中間子原子核の密度は通常原子核密度に比べ3~10倍程度高いことが示され、カイラル対称性の回復度合いも相当大きいと予想される。このような超高密度物質中でのハドロンの性質を調べるのが将来的な目標であるが、まずは、J-PARCにおいて $K^-pp$ 束縛状態を ${}^3\text{He}$ 原子核と $1\text{GeV}/c$   $K^-$ ビームを反応させることにより生成し( $K^-+{}^3\text{He} \rightarrow (K^-pp)+n$ )、その存在を確かな物にする。そのために本研究では、入射粒子から崩壊粒子に至る全ての粒子を測定する完全実験を行い、K中間子原子核を精密に測定する(J-PARC E15実験)。

さて、上述の通りE15実験では $K^-pp \rightarrow \Lambda p$ という非中間子崩壊モードをターゲットとしているが、 $K^-p$ 束縛状態と考えられている $\Lambda(1405)$ の崩壊モードが $\Sigma\pi$ であることを考慮すると、 $K^-pp \rightarrow p\Sigma\pi$ 崩壊などの中間子崩壊モードを持つと考えるのは自然である。また、反対に、 $K^-pp$ 束縛状態の束縛エネルギーによっては、中間子崩壊モードが抑制される可能性もある。このような中間子崩壊モードのうち、 $K^-pp \rightarrow p\Sigma^+\pi^+ \rightarrow p\pi^+n\pi^+$ 崩壊を測定するためには $\Sigma^+$ の同定が必要である。このためには高精度なバーテックス位置情報が不可欠であるが、現在のE15実験のスペクトロメーターにはバーテックス検出器が備わっておらず、 $\Sigma^+$ の崩壊 [ $c\tau=2.4\text{cm}(\Sigma^+)$ ,  $4.4\text{cm}(\Sigma^-)$ ]を高精度で測定することは不可能である。よって、thick-GEM(Gas Electron Multipliers)を用いた新しいタイプのTPC(Time Projection Chamber)を新たに作成し、E15スペクトロメーターに組み込むことによってバーテックス分解能を向上させ、K中間子原子核の中間子崩壊モードを測定する。TPCの導入に

より $\Lambda$ の崩壊[ $c\tau=7.9\text{cm}$ ]におけるビーム軸方向のバーテックス位置分解能は7mm程度から2mm程度まで改善できることがシミュレーションの結果から分かっている。このTPCは9角形・長さ30cm程度のフィールドケージを持ち、2枚のthick-GEMで信号を増幅する。ガスはP10ガスを用いる。本年度、理研においてthick-GEMのテストを行い、thick-GEMが十分実用可能なことが確かめられた。TPCの筐体は本年度に完成し、来年度半ばにはthick-GEMを組み込んだTPCのコミッショニングを行う予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sakuma F., Enyo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Kitaguchi M., Miwa K., Murakami T., Naruki M., Ozawa K., Sekimoto M., Tabaru T., Togawa M., Yokkaichi S., Chiba J., Kanda H., Ieiri M., Ishino M., Mihara S., Miyashita T., Muto R., Nakura T., Sasaki O., Tanaka K., Yamada S., Yoshimura Y.: "Partial decay widths of the phi into  $e^+e^-$  and  $K^+K^-$  pairs in 12 GeV  $p+A$  reactions at KEK-PS E325", Modern Physics Letters A, Vol.23 27/30 pp2401-2404 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sakuma F.: "The search for deeply-bound kaonic nuclear states at J-PARC", 19th International Baldin Seminar on High Energy Physics Problems: Relativistic Nuclear Physics and Quantum Chromodynamics, Dubna, Russia, Sep. (2008)

(国内会議等)

佐久間 史典: "J-PARC E15実験におけるTGEM-TPCの開発@理研", 第5回「マイクロパターンガス検出器(MPGD)研究会」, 和光, 日本, 12月(2008)

## Construction of Superstring Field Theory and its Application

研究者氏名：岸本 功 Kishimoto, Isao

受入研究室：仁科加速器研究センター

川合理論物理学研究室

(所属長 川合 光)

開弦の場の理論のゲージ不変量として開弦場と on-shell 閉弦状態との内積 (gauge invariant overlap) が提案されている。このゲージ不変量をタキオン凝縮に対する Schnabl 解について計算した。この Schnabl 解は弦の場の理論の運動方程式の解として実パラメータ  $\lambda$  を含む形で構成された解析解である。この解のパラメータ  $\lambda$  が 1 になるところでのみ、このゲージ不変量が非零の値をもつことを、解析的評価およびレベルトランケーションによる数値的評価で明らかにした。さらに、この  $\lambda=1$  の非自明な Schnabl 解を (gauge invariant overlap の構成の際に表れる) Shapiro-Thorn の open-closed string vertex と縮約すると通常の境界状態 (+ on-shell 状態に対しては効かない項) が得られるとことを指摘した。

一方、bosonic で cubic な開弦の場の理論におけるタキオン凝縮解としては、Schnabl の解析解以外にもレベルトランケーションによる Siegel ゲージ (およびそれを実 1 パラメータ  $a$  を持つ形で一般化した浅野-加藤の  $a$ -ゲージ) の数値解が知られている。それらに対しても gauge invariant overlap を数値的に評価した。その結果、レベルを上げていくと Schnabl の解析解に対する値に近づいていくことがわかった。従来、作用の値はレベルを上げていくと D25 ブレーンテンション (= Schnabl の解析解を代入した値) に近づくことが知られているので、それと合わせると、レベルトランケーションによる  $a$ -ゲージの数値解は Schnabl の解析解と (解の形はもちろん異なるが) ゲージ同値であるという期待と整合している。つまり、ここでの結果は Schnabl の解析解と (様々な  $a$  の値に対する)  $a$ -ゲージの数値解は全て物理的には同じ非摂動的真空を表していることの証拠を与えたことになる。

また、2007 年に構成された Schnabl/Kiermaier-Okawa-Rastelli-Zwiebach の marginal 解についても gauge invariant overlap を解析的に評価し、最近 Ellwood が Fuchs-Kroyter/Kiermaier-Okawa の解に対して計算した結果と一致することを示した。これは、見た目は異なる 2 種類の marginal 解が同じパラメータ

値のもとでゲージ同値であることを示唆している。

以上の結果は、開弦の場の理論だけに留まらず、閉弦の場の理論との関係 (あるいは open-closed の弦の場の理論) を D ブレーンを介して議論する場合にも、重要な示唆を与えるものであると考えている。

## ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kawano T., Kishimoto I., Takahashi T.: "Gauge invariant overlaps for classical solutions in open string field theory", Nuclear Physics B, Vol.803 pp135-165 (2008)

Kawano T., Kishimoto I., Takahashi T.: "Schnabl's solution and boundary states in open string field theory", Physics Letters B, Vol.669 pp357-358 (2008)

Kishimoto I.: "Comments on gauge invariant overlaps for marginal solutions in open string field theory", Progress of Theoretical Physics, Vol.120 5 pp875-886 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

川野 輝彦, 岸本 功, 九後 汰一郎, 高橋 智彦: "Schnabl 解に対するあるゲージ不変量の計算", 日本物理学会第 63 回年次大会, 東大阪, 日本, 3 月 (2008)

岸本 功, 高橋 智彦: "浅野-加藤ゲージにおけるゲージ不変量の数値計算", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 山形, 日本, 9 月 (2008)

川野 輝彦, 岸本 功, 高橋 智彦: "Gauge invariant overlaps for classical solutions in open string field theory", 基研研究会, 「量子場理論と弦理論の発展」, 京都, 日本, 7 月 (2008)

岸本 功, 高橋 智彦: "a-ゲージにおけるゲージ不変量の数値計算", 理研シンポジウム「場と弦の理論の新展開に向けて」, 和光, 日本, 12 月 (2008)

岸本 功, 高橋 智彦: "Numerical evaluation of gauge invariants in open string field theory", Sapporo Winter School 2009, 札幌, 日本, 1 月 (2009)

## RHIC-PHENIX 偏極陽子陽子衝突実験における 陽子内グルーオン偏極構造関数の研究

### Study of the Polarized Gluon Structure Function of the Proton in Polarized Proton-proton Collisions at RHIC-PHENIX

研究者氏名： 外川 学 Togawa, Manabu  
受入研究室： 実験研究グループ  
理研BNL研究センター  
(所属長 秋葉 康之)

米国ブルックヘブン国立研究所にある、Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) では、世界初の偏極陽子衝突により、スピンをプローブとした核子内構造の研究を行っている。現在精力的に行われているのは、陽子内のグルーオン偏極構造関数測定であり、そのために以下の研究を進めた。

(1) 偏極陽子衝突により生成される、前方生成中性子の横偏極非対称度の研究

前年度に引き続き、前方中性子解析を進めている。

(2) シリコンストリップ検出器の動作試験

PHENIX実験における検出器アップグレードの一つに、シリコン崩壊点検出器の開発が挙げられる。当検出器は、内二層をピクセル検出器、外二層をストリップ検出器で構成され、私は主にストリップ検出器の開発に関わっている。当ストリップ検出器はBNLのシリコンラボで開発された片面二次元読み出しである型であり、PHENIXデータ収集装置に準拠した回路系での読み出しに成功し、2008年夏にフェルミ国立研究所の120GeV陽子ビームを用いてその性能評価を行った。

#### ● 誌上発表 Publications

(原著論文)

Sakuma F., Enyo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Kitaguchi M., Miwa K., Murakami T., Naruki M., Ozawa K., Sekimoto M., Tabaru T., Togawa M., Yokkaichi S., Chiba J., Kanda H., Ieiri M., Ishino M., Mihara S., Miyashita T., Muto R., Nakura T., Sasaki O., Tanaka K., Yamada S., Yoshimura Y.: "*Partial decay widths of the phi into e+e- and K+K- pairs in 12 GeV p+A reactions at KEK-PS E325*", Modern Physics Letters A, Vol.23 27/30 pp2401-2404 (2008)

PHENIX collaboration: "Cold Nuclear Matter Effects on J/Psi as Constrained by Deuteron-Gold Measurements at  $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.", Phys. Rev. C77:024912, 2008

PHENIX collaboration: "Particle-species dependent modification of jet-induced correlations in Au+Au collisions at  $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.", Phys. Rev. Lett. 101:082301, 2008

PHENIX collaboration: "Source breakup dynamics in Au+Au Collisions at  $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV via three-dimensional two-pion source imaging." Phys.Rev.Lett.100:232301, 2008

PHENIX collaboration: "J/psi Production in  $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV Cu+Cu Collisions.", Phys. Rev. Lett. 101:122301, 2008

PHENIX collaboration: "Quantitative Constraints on the Opacity of Hot Partonic Matter from Semi-Inclusive Single High Transverse Momentum Pion Suppression in Au+Au collisions at  $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.", Phys. Rev. C77:064907, 2008

PHENIX collaboration: "Suppression pattern of neutral pions at high transverse momentum in Au + Au collisions at  $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV and constraints on medium transport coefficients.", Phys. Rev. Lett. 101:232301, 2008

PHENIX collaboration: "Dihadron azimuthal correlations in Au+Au collisions at  $s(NN)^{1/2} = 200$ -GeV.", Phys. Rev. C78:014901, 2008

PHENIX collaboration: "Onset of pi0 Suppression Studied in Cu+Cu Collisions at  $s_{NN}=22.4, 62.4, \text{ and } 200$  GeV.", Phys. Rev. Lett.101:162301, 2008

PHENIX collaboration: "Dilepton mass spectra in p+p collisions at  $s^{1/2} = 200$ -GeV and the contribution from open charm." Phys. Lett. B670:313-320, 2009

PHENIX collaboration: "Charged hadron multiplicity fluctuations in Au+Au and Cu+Cu collisions from  $\sqrt{s_{NN}} = 22.5$  to 200 GeV.", Phys. Rev. C78:044902, 2008

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

M.Togawa for the PHENIX collaboration : "Measurements of the leading neutron production in polarized p+p collision at RHIC", International Workshop on Diffraction in High-Energy Physics, Diffraction 2008, Sep. 2008

(国内会議等)

外川 学 他: "PHENIX VTX collaboration: シミュレーション計算によるシリコン検出器を用いた PHENIX崩壊点検出器の性能評価", 日本物理学会 2008年秋季大会、山形、日本 9月 (2008)

## XIX - 046

### 神経変性疾患における cross-seeding による アミロイド形成制御機構

#### Roles of Cross-seeded Protein Fibrillization in Neurodegenerative Diseases

研究者氏名: 古川 良明 Furukawa, Yoshiaki  
受入研究室: 脳科学総合研究センター  
構造神経病理研究チーム  
(所属長 貫名 信行)

[緒言] ハンチントン病(HD)はハンチンチン蛋白質(Htt)に存在するポリグルタミン鎖(polyQ)の異常伸長によって引き起こされ、神経細胞内での変異蛋白質の蓄積・凝集が主な病理学的所見である。HDに見られる封入体には、polyQが異常伸長したHttのみならず様々な蛋白質が巻き込まれ、それらの機能低下が細胞死の引き金になるとされている。本研究では、Htt凝集体に含まれる蛋白質の一つとしてRNA結合蛋白質であるTIA-1を同定し、TIA-1がHtt凝集体に取り込まれるメカニズムとして、polyQ線維によるTIA-1の線維化促進を提案する。

[結果] 異常伸長したpolyQを持つ変異Httを発現したトランスジェニックマウス(R6/2)において、大脳ホモジェネートのうちSDS不溶性画分に変異Htt凝集体とともにTIA-1を確認することができた。TIA-1はRNA結合を行うN末端領域とグルタミン/アスパラギンに富んだC末端領域(TIA-1<sup>c</sup>)からなるが、培養細胞を用いた実験から、polyQ凝集体との共局在にはTIA-1<sup>c</sup>が必須であることが分かった。そこで、試験管内においてTIA-1<sup>c</sup>存在下でpolyQを凝集させると、polyQ線維内にTIA-1<sup>c</sup>が取り込まれていることを免疫電顕により確認した。さらに、TIA-1<sup>c</sup>のみでもアミロイド様線維を形成することから、polyQとTIA-1<sup>c</sup>は線維として相互作用する可能性が考えられた。線維の形成は「核形成」と「伸長」の二段階からなるが、ある蛋白質の線維が別の蛋白質の線維化の核として働くことがある(cross-seeding)。実際、TIA-1<sup>c</sup>にpolyQ線維を加えるとTIA-1<sup>c</sup>の線維化が促進され

た。細胞内でも、polyQ凝集体が核となりTIA-1が凝集体に巻き込まれる様子を捉えることができ、R6/2マウスにおいても、変異Httが凝集した後にTIA-1がSDS不溶性になることを確認できた。また、TIA-1はHtt凝集体に巻き込まれることでその生理的機能が低下することを明らかにできた。

[考察] 異常伸長したpolyQからなる線維状凝集体は他の蛋白質の線維化を促進することが示唆される。さらに、polyQ線維を核としたcross-seeding機構により、様々な蛋白質の機能喪失が加速的に進行すると考えられ、発症すると急速に症状が悪化する神経変性疾患の一面を説明できる可能性がある。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Furukawa Y., Kaneko K., Yamanaka K., O'Halloran T., Nukina N.: "Complete loss of post-translational modifications triggers fibrillar aggregation of SOD1 in the familial form of amyotrophic lateral sclerosis", The Journal of Biological Chemistry, Vol.283 35 pp24167-24176 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Bauer P., Kurosawa M., Yamada M., Matsumoto G., Wong H., Furukawa Y., Nukina N.: "Amelioration of the pathological processes related to Huntington disease by targeting the mutant huntingtin to chaperone-mediated

autophagy", 2008 Cold Spring Harbor Laboratory Meeting on Molecular Chaperones & Stress Responses, Cold Spring Harbor, USA, Apr. (2008)

(国内会議等)

古川 良明: "神経変性疾患におけるSOD1蛋白質の成熟化と凝集制御のメカニズム", 第8回日本蛋白質科学会年会, 東京, 日本, 6月 (2008)

古川 良明, 金子 貢巳, 松本 弦, 黒沢 大, 貫名 信行:

"ポリグルタミン鎖含有蛋白質によるRNA結合蛋白質の線維化促進メカニズム", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

古川 良明, 金子 貢巳, 貫名 信行: "SOD1蛋白質の線維状凝集に関わる構造変化とその分子メカニズム", 日本生物物理学会第46回年会, 福岡, 日本, 12月 (2008)

## XIX - 047

### 神経細胞維持・変性における 細胞極性制御メカニズム aPKC-PAR シグナリングの機能解析

#### Functional analysis of aPKC-PAR protein complex in neuronal cell maintenance and degeneration

研究者氏名: 山中 智行 Yamanaka, Tomoyuki  
受入研究室: 脳科学総合研究センター  
構造神経病理研究チーム  
(所属長 貫名 信行)

Atypical PKC (aPKC) 及び PAR タンパク質から構成される aPKC-PAR シグナリング複合体は、細胞極性、すなわち細胞内因子の非対称的配置に必須の役割を担っている。近年、この複合体が、幹細胞からの神経細胞の分化、神経細胞移動、軸索の決定・形成、樹状突起のスパイン形成等、神経の発生・形態形成過程の様々な局面で機能していることが明らかとなってきた。しかしながら、この aPKC-PAR シグナリングが、形成された神経細胞・組織の維持に必要であるのか、その破綻は神経細胞障害・変性に関与するのか等については未だ解析されていない。本研究の目的は、神経形成・発達に必須の役割を果たすシグナル経路をベースとして、その活性変化と神経細胞維持・変性との関連を解析することにより、神経変性の新たなメカニズムを明らかとすることである。

本年度は、aPKC-PAR シグナリングの活性変化の神経形態・機能への影響を観察することを目的として、下記の実験を行った。

(1) aPKC コンディショナルノックアウトマウスを、

Camk2a-cre トランスジェニックマウスと交配し、脳特異的 aPKC ノックアウトマウスを作製した。

(2) aPKC-PAR シグナリングの活性制御因子と目される Lgl について、その脳特異的高発現トランスジェニックマウスを作製し、行動や脳形態への影響を観察した。

(3) マウス胎児脳より調製した初代培養神経細胞において、aPKC や Lgl を高発現、発現抑制し、神経突起形態への影響を観察した。

(4) ハンチントン病原因タンパク質と aPKC-PAR シグナリング関連分子との相互作用について検討した。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

山中 智行, 宮崎 晴子, 小山 文隆, 黒沢 大, 鷲頭 知花, 土井 宏, 貫名 信行: "変異ハンチンチンは NF-Y の転写活性を抑制し HSP70 の発現を減少させる", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

## XIX - 048 IP<sub>3</sub>受容体の分子内相互作用のチャネル開口における機能の解明 Study of the Function of the Intramolecular Interactions of IP<sub>3</sub> Receptor

研究者氏名：榎本 匡宏 Enomoto, Masahiro  
受入研究室：脳科学総合研究センター  
発生神経生物研究チーム  
(所属長 御子柴 克彦)

シナプス可塑性は細胞内Ca<sup>2+</sup>濃度の上昇によって誘導される。近年、所属する研究チームで小脳長期抑圧(LTD)や海馬長期増強(LTP)にはIP<sub>3</sub>(イノシトール三リン酸)受容体を通じた小胞体からのCa<sup>2+</sup>放出が重要であることを明らかにし、世界の注目を浴びた。このことから、私は小脳や海馬におけるシナプス可塑性の機構を解明するには小胞体からのCa<sup>2+</sup>放出を担う分子実体であるIP<sub>3</sub>受容体そのものの分子レベルでの研究が不可欠であると確信し、本研究を行っている。本研究では、これまでのIP<sub>3</sub>受容体に関する生物物理学的・生化学的研究を生かし、「IP<sub>3</sub>結合によるチャネル開口の分子機構」を解明することを目的としている。

IP<sub>3</sub>受容体は、アミド末端側から順にIP<sub>3</sub>結合領域、制御領域、チャネル領域の3つの領域がつながり合わせた巨大なタンパク質分子である。したがって、「局所的なIP<sub>3</sub>結合領域へのIP<sub>3</sub>結合がどのようにチャネル領域に伝わってチャネルが開くのか？」という点がチャネル開口機構を解明するにあたっての鍵とな

る。この点に関してはこれまでに国内外の研究成果から、IP<sub>3</sub>結合領域とチャネル領域が近距離にあり、両者の分子内相互作用がチャネル開口に重要であると予想されてきた。私はこれに加えて近年、「これらの2つの領域に挟まれた制御領域はチャネル領域と直接相互作用することでチャネルを閉じた状態に保持する」という研究成果を世界に先駆けて得ている(未発表データ)。以上の知見から、IP<sub>3</sub>受容体のチャネル開口には3つの領域の相互作用とその変化が重要であることが示唆される。

そこで本年度は、前年度までに独自に確立した「3つの領域を独立で精製しIP<sub>3</sub>受容体を*in vitro*で再構成する実験系」と「ELISA法を用いたIP<sub>3</sub>受容体の3つの領域間の結合強度の定量系」を用いて、IP<sub>3</sub>やCa<sup>2+</sup>濃度に依存したCa<sup>2+</sup>透過性の変化と3つの領域間の結合強度の変化を解析した。その結果、研究開始当初の予想通り、IP<sub>3</sub>やCa<sup>2+</sup>濃度に依存した分子内相互作用の変化がチャネルの開閉を制御している証拠が世界ではじめて得られたので、現在論文を執筆中である。

## XIX - 049 量子ドット1分子イメージングによる シナプス可塑性の分子機構の解明 Studies on the Molecular Mechanism for Synaptic Plasticity by Quantum Dot- Based Single Molecule Imaging

研究者氏名：坂内 博子 Bannai, Hiroko  
受入研究室：脳科学総合研究センター  
発生神経生物研究チーム  
(所属長 御子柴 克彦)

神経伝達物質受容体は、細胞膜上を側方拡散することによりダイナミックにシナプス内外を行き来している。このシナプス内外の受容体のやり取り及びシナプスにおける受容体の安定化は、シナプス伝達効率を決定する重要ファクターの1つであり、記憶学習の細胞レベル基礎過程である「シナプス」可塑性の分子基盤であるという仮説が提唱されている。「量子

ドット1分子イメージング」は、細胞膜上の分子動態を解析するための強力なツールである。我々はこの手法を利用して、中枢神経系において抑制性神経伝達を担うGABA<sub>A</sub>受容体のダイナミクスを解析した。本研究では、海馬初代培養ニューロンのGABA<sub>A</sub>受容体ダイナミクスが神経活動状態により変化することを明らかにした。量子ドットで標識されたGABA<sub>A</sub>受



容体 $\gamma 2$ サブユニットの動態を解析したところ、興奮性神経活動の増加に伴いGABA<sub>A</sub>受容体のシナプスでの滞在時間(dwell time)が減少することがわかった。また、シナプスにおけるGABA<sub>A</sub>受容体の拡散係数と、受容体が拡散できる領域の大きさ(confinement domain size)も、神経活動依存的に増加することが明らかになった。上記の結果は、興奮性神経活動の増加がシナプスのGABA<sub>A</sub>受容体を不安定化することを示している。神経活動依存的なGABA<sub>A</sub>受容体ダイナミクス制御は、GABA作動性シナプス可塑性と同じく、カルシウム流入とcalcineurin活性を必要とした。本研究の結果は、GABA<sub>A</sub>受容体ダイナミクス制御が、速やかで可塑的な抑制性シナプス伝達効率の調節に直接関与している可能性を示唆している。上記の結果は査読雑誌に投稿・レバイズ中である。また本年度は、IP<sub>3</sub>Rノックアウトマウスを用いた実験から、同じく海馬GABA<sub>A</sub>Rの安定化に、IP<sub>3</sub>R/Ca<sup>2+</sup>シグナル系が必要であることを示唆する実験結果も得た。

本研究における最も挑戦的な課題は、シナプス可塑性に関わる細胞内の膜タンパクの動態を「量子ドット1分子イメージング」により可視化することである。そのため今年度は、「量子ドット-抗体複合体」の作成と、その複合体の非特異的結合を阻害する条件検討を行った。複合体は作成できたが、非特異的結

合を阻害する条件の検討は今後の課題である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Levi S., Schweizer C., Bannai H., Pascual O., Charrier C., Triller A.: "Homeostatic Regulation of Synaptic GlyR Numbers Driven by Lateral Diffusion", *Neuron*, Vol.59 2 pp261-273 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

坂内 博子, Levi Sabine, Schweizer Claude, Thomas, 御子柴 克彦, Triller Antoine: "神経活動依存的なGABA<sub>A</sub>受容体の側方拡散制御", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

深津 和美, 坂内 博子, 井上 貴文, 御子柴 克彦: "プルキンエ細胞樹状突起におけるIP<sub>3</sub>受容体タイプ1の動態解析", 日本生物物理学会第46回年会, 福岡, 日本, 12月 (2008)

坂内 博子, Levi Sabine, Schweizer Claude, 井上 貴文, Launey Thomas, Racine Victor, Sibarita Jean-Baptiste, 御子柴 克彦: "量子ドット1分子イメージングによる抑制性シナプス制御機構の解明", 日本生物物理学会第46回年会, 福岡, 日本, 12月 (2008)

### XIX - 050 海馬神経細胞における空間的なカルシウムシグナル制御機構の解明

#### Regulatory Mechanism of Spatial Calcium Signaling in Hippocampal Neurons

研究者氏名: 深津 和美 Fukatsu, Kazumi

受入研究室: 脳科学総合研究センター

発生神経生物研究チーム

(所属長 御子柴 克彦)

神経細胞では、IP<sub>3</sub>受容体タイプ1(IP<sub>3</sub>R1)からのカルシウム放出が様々な神経活動に重要な役割を持っている。また、神経細胞において、IP<sub>3</sub>R1からのカルシウム放出が局所的に起こることが報告されているが、カルシウム貯蔵庫である小胞体は、神経細胞全体に様に張り巡らされており、局所的なカルシウム放出がどのように制御されているかは未だに明らかにされていない。私は先行研究において、海馬分散培養系を用いて、海馬神経細胞では、IP<sub>3</sub>R1の側方拡散が厳密に制御されており、その制御にはアクチ

ン骨格が関与していることを明らかにした。私は、この拡散制御機構を通してIP<sub>3</sub>R1の分子密度が局所的に変化することにより、IP<sub>3</sub>R1からの局所的なカルシウム放出が制御されているのではないかと予想し、その解明を試みている。

昨年度は、よりvivoに近い系である組織スライス培養系を用いて、海馬神経細胞とプルキンエ細胞の樹上突起におけるIP<sub>3</sub>R1の拡散定数を求めた所、IP<sub>3</sub>R1は、どちらの神経細胞においても、ほぼ同じ拡散定数を示すことが分かった。

今年度は、小脳プルキンエ細胞におけるIP<sub>3</sub>R1の拡散も、海馬神経細胞と同様にアクチン骨格によって制御されているのか明らかにするために、アクチン骨格の脱重合剤、安定化剤を用いた実験を行った。その結果、小脳プルキンエ細胞においてもIP<sub>3</sub>R1の拡散はアクチン骨格依存的に制御されていることが、明らかになった。さらに、IP<sub>3</sub>Rのサブタイプの一つであるIP<sub>3</sub>R3においても、その拡散にアクチン骨格が関わっているのか明らかにするために、実験を行った所、プルキンエ細胞において、IP<sub>3</sub>R3の拡散はアクチン骨格による制御は受けていないことが明らかになった。また、私は以前の研究において、海馬神経細胞では、IP<sub>3</sub>R1とアクチン骨格をつなぐリンカータンパク質として、4.1Nが働いていることを明らかにしている。そこで、4.1Nがプ

ルキンエ細胞においてもリンカータンパク質として働いているのか調べた所、4.1NはIP<sub>3</sub>R1の拡散に関与していないことが明らかとなった。これらの結果より、IP<sub>3</sub>R1の拡散は、プルキンエ細胞、海馬神経細胞のどちらにおいても、アクチン骨格により制御されているが、アクチン骨格とIP<sub>3</sub>R1をつなぐリンカータンパク質などの分子機構は、異なることが明らかとなった。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

深津 和美, 坂内 博子, 井上 貴文, 御子柴 克彦: "プルキンエ細胞樹状突起におけるIP<sub>3</sub>受容体タイプ1の動態解析", 日本生物物理学会第46回年会, 福岡, 日本, 12月 (2008)

## XIX - 051

### イノシトール三リン酸 (IP<sub>3</sub>) イメージングでの、 カルシウム (Ca<sup>2+</sup>) 振動機序の解明

#### Mechanisms of Ca<sup>2+</sup> Oscillations in Mammalian Cells

研究者氏名: 松浦 徹 Matsu-ura, Toru  
受入研究室: 脳科学総合研究センター  
発生神経生物研究チーム  
(所属長 御子柴 克彦)

ホルモンやオータコイド、成長因子などの刺激は細胞内の周期的なカルシウム濃度上昇 (Ca<sup>2+</sup>振動) を引き起こす。細胞はCa<sup>2+</sup>振動の周期を変化させることでCa<sup>2+</sup>依存性酵素の活性調節を行い、細胞機能を制御している。細胞外からの刺激は細胞膜表面の受容体 (G蛋白質共役型受容体) に作用し、その下流で働くホスホリパーゼC (PLC) の活性化を引き起こす。PLCは細胞膜成分からイノシトール三リン酸 (IP<sub>3</sub>) を産生し、IP<sub>3</sub>の作用により小胞体膜に局在するCa<sup>2+</sup>チャンネル・IP<sub>3</sub>受容体からCa<sup>2+</sup>が放出される。

細胞にみられる振動現象には少なくとも一つの負のフィードバックループがシグナルネットワークに存在することが必要となる。Ca<sup>2+</sup>振動は、G蛋白質共役型受容体 (GPCR)、もしくはIP<sub>3</sub>受容体活性をCa<sup>2+</sup>による負のフィードバック機構が調節することによって制御されると説明されている。前者では負のフィードバックによるGPCRのスイッチングによって、周期的なIP<sub>3</sub>産生が行われ、それによってCa<sup>2+</sup>振動が引き起こされることが、後者ではIP<sub>3</sub>受容体のス

イッチングにより、直接Ca<sup>2+</sup>振動が引き起こされることが予測されている。Ca<sup>2+</sup>振動の周期は刺激強度とGPCRの種類に依存して変化する。これらの現象はGPCRに対する負のフィードバックを主役と見た場合には、刺激強度・GPCRの種類の違いによるIP<sub>3</sub>振動周期の違いによって説明できる。またIP<sub>3</sub>受容体に対する負のフィードバックが主役と見た場合には、刺激強度・GPCRの種類の違いによるIP<sub>3</sub>濃度の違いによって説明される。

本研究ではCa<sup>2+</sup>センサー・Indo-5FとFRETを用いたIP<sub>3</sub>センサー・IRIS-1を用いた、シングルセルレベルでのCa<sup>2+</sup>とIP<sub>3</sub>のダブルイメージングにより、ヒスタミン受容体と代謝型グルタミン酸受容体5型 (mGluR5)、mGluR5のPKCリン酸化サイトのミュタントの3つのGPCRを用いて、それぞれを刺激したときのCa<sup>2+</sup>振動周期とIP<sub>3</sub>濃度の関係を比較し、Ca<sup>2+</sup>振動の周期調節機構を調べた。その結果それぞれのGPCRによってIP<sub>3</sub>濃度とCa<sup>2+</sup>振動周期の関係が異なっていることが明らかとなった。この結果はCa<sup>2+</sup>

振動周期はIP<sub>3</sub>濃度によって一義的に決まらないということを示す。つまりIP<sub>3</sub>受容体に対する負のフィードバック制御のみが振動子として働いているのではなく、GPCRに対する負のフィードバック制御も振動子として重要な働きをしていると考えられる。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

松浦 徹, 道川 貴章, 御子柴 克彦: "カルシウム振動の周期はどのように調節されているのか?", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

## XIX - 052 神経栄養因子の分泌に関わるタンパク質 CAPS2 の解析 CAPS2, a Protein Involved in Neurotrophin Release

研究者氏名: 定方 哲史 Sadakata, Tetsushi

受入研究室: 脳科学総合研究センター

分子神経形成研究チーム

(所属長 古市 貞一)

我々はマウス小脳の発達期に特異的な発現様式を示す遺伝子としてCAPS2を同定した。CAPS2は、有芯小胞の分泌に関与するCAPS1のホモログであり、我々はCAPS2が小脳においてニューロンの生存・分化やシナプス可塑性などに重要な神経栄養因子であるBDNFの分泌に関与していることを明らかにした。

我々はCAPS2 KOマウスを作製し、小脳における表現型の解析を行った。その結果、小脳顆粒細胞のアポトーシスの増加、プルキンエ細胞の樹状突起の低形成、顆粒細胞の移動の遅滞、平行線維のプレシナプス終末部での小胞数の減少とポストシナプス形態の異常、小脳性協調運動の低下、眼球運動における適応の異常などが明らかになった。BDNFの分泌活性も低下しており、これらの異常な表現型はCAPS2タンパク質の欠損によるBDNFの分泌異常が原因であることが示唆された。

CAPS2遺伝子はヒト7番染色体長腕部にある自閉症感受性領域(AUTS1)に位置している。そこで、我々はCAPS2 KOマウスの行動解析を行った。その結果、社会性行動の異常、母性行動の異常、多動、新奇環境への適応力の低下などが観察された。また、小脳虫部VI-VII葉の低形成、プルキンエ細胞の減少が明らかになった。このことからCAPS2 KOマウスは、自閉症で報告されている様々な形質を示すことが明らかになった。そこで、ヒト自閉症患者の血中におけるCAPS2の発現を解析したところ、一部の自閉症患者特異的にCAPS2のexon3がスキップしていることを発見した。exon3をスキップした欠損型CAPS2

は、輸送タンパク質であるp150<sup>Glued</sup>に結合できなくなることや、シナプス部に輸送されなくなることなどが判明した。これらの結果から、我々はCAPS2の欠損はBDNFの局所的分泌パターンを乱し、これによって詳細な神経ネットワークの形成を障害するために、自閉症の発症につながることを示唆した。さらに自閉症患者特異的に、CAPS2のアミノ酸変異を起こす一塩基多型(SNP)も7ヶ所同定した。

我々はCAPS1, CAPS2タンパク質の基礎的な解析を行い、CAPSタンパク質がGolgi体に会合することを明らかにした。また、CAPSタンパク質のsmall Gタンパク質との結合を同定し、traffickingへの関与を明らかにした。現在、CAPSタンパク質が有芯小胞のtraffickingに関与する分子メカニズムの詳細な解析を行っている。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato A., Sekine Y., Saruta C., Nishibe H., Morita N., Sato Y., Sadakata T., Shinoda Y., Kojima T., Furuichi T.: "Cerebellar development transcriptome database (CDT-DB): Profiling of spatio-temporal gene expression during the postnatal development of mouse cerebellum", *Neural Networks*, Vol.21 8 pp1056-1069 (2008)

定方 哲史, 篠田 陽, 古市 貞一: "自閉症の遺伝要因とCAPS2 遺伝子", *実験医学*, Vol.26 12 pp2015-2023 (2008)

定方 哲史, 古市 貞一: "CADPS2", *分子精神医学*, Vol.8 2 pp150-151 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sadakata T.: "Analysis of autism-related gene CAPS2/CADPS2", 8th Biennial Meeting of The Asia-Pacific Society for Neurochemistry (APSN), Shanghai, China, Jun. (2008)

Shinoda Y., Sadakata T., Furuya A., Semba R., Furuichi T.: "Electrophysiological and behavioral analysis of CAPS2 in mouse hippocampus", 38th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2008), Washington DC, USA, Nov. (2008)

(国内会議等)

古市 貞一, 定方 哲史, 篠田 陽: "CAPS2に依存したBDNF分泌の欠損は自閉症感受性と関連する",

31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

篠田 陽, 定方 哲史, 古屋 亜佐子, 鷺田 美和, 仙波りつ子, 古市 貞一: "分泌小胞会合タンパク質CAPS2の海馬LTPへの寄与", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

定方 哲史, 篠田 陽, 古市 貞一: "The functional analyses of CAPS family proteins", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

定方 哲史, 篠田 陽, 古市 貞一: "CAPS2 function in dense-core vesicle trafficking" 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

XIX - 053

再び子供のように学ぶ：  
鳴禽類の成鳥における歌学習再可塑化の脳機構

Brain Mechanism of Plasticizing of Song Learning System in Adult Songbird:  
Learning again Like the Child

研究者氏名：福田 諭 Fukuda, Satoshi  
受入研究室：脳科学総合研究センター  
生物言語研究チーム  
(所属長 岡ノ谷 一夫)

ヒトが言語や絶対音感を習得するためには、臨界期という限られた期間までに学習しなければならない。臨界期を過ぎてしまった場合、再び学習することは不可能であると考えられている。歌をうたう鳥にも臨界期が存在し、幼鳥時に自種の歌を学習し、成鳥時に新しい歌を学ぶことは無い。しかし生物言語研究チームでは特定の条件下において成鳥でも歌を再学習することを確認した。本研究は、すでに歌臨界期を過ぎた成鳥が、ある条件下で歌を再学習する際に、歌神経回路にどのような変化が起き再学習を可能にするのか、その機構の解明を目的とする。臨界期を過ぎた脳が大きな可塑性を蘇らせることは、再び子供のように学ぶことが出来る可能性という、大きな希望を脳科学から提案するものである。

具体的に観察された事例は、生後半年で歌の完成を見る強い臨界期の縛りのかかったジュウシマツという鳴禽類で、成鳥でも発声器である鳴管(ヒトでの声帯にあたる)の神経を傷つけると、新しい歌をう

たっていた。本研究は、この臨界期が再現された可能性のあるジュウシマツの脳神経機構を、最終的には細胞レベルから表現型まで、生理学的、分子生物学的に解析することを目的としている。本年度は、昨年度に確立した、鳴管傷害手技、歌の変化の観察に続き、脳機能の可視化技術を確立した。

脳内で歌機能の中核とされる、HVC 部位の脳機能の可視化技術として、2光子顕微鏡によるin vivo イメージング技術を確立した。現在、録音された自身の歌に対する脳細胞の活動を記録している。その結果、興奮性の反応を示す細胞と、抑制性の反応を示す細胞の両方が発見された。また、急性スライスでのカルシウムイメージング結果から、神経細胞とグリア細胞の両方が活発に反応している可能性が示されたため、in vivoイメージングにおいても神経細胞とグリア細胞を染め分ける方法を確立した。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

福田諭, 加藤真樹, 岡ノ谷一夫: "成体鳥類歌制御系  
神経核HVCにおける自発的な10秒程度のカルシ

ウム応答", 第31回日本神経科学大会, 東京, 7月  
(2008)

## **XIX - 054 幼虫が成虫へと変身する過程\_\_変態を光で解き明かす** **Dissecting Insect Metamorphosis by Imaging Technology**

研究者氏名: 杉村 薫 Sugimura, Kaoru  
受入研究室: 脳科学総合研究センター  
細胞機能探索技術開発チーム  
(所属長 宮脇 敦史)

完全変態昆虫は、蛹の殻の中で成虫の構造を組み立てる。これは、幼虫期に独立に発生した、翅(はね)や脚(あし)などの器官の原基(成虫原基)を融合する作業である。このような劇的な体の作りかえを理解するには、従来の遺伝子レベルの研究だけでなく、遺伝子発現にともなう細胞の弾性力学的な性質の変化を個体の形状変化を促進する機械的な力に結びつける過程の解明が必須である。そこで私は、変態現象を理解するための基礎過程として、組織が成長する際に応力場が果たす役割に注目した。これまでに、大規模な細胞移動が起こらない上皮組織の場合、組織のかたちは細胞分裂の向きにより決定されることが示唆されている。以上から、本研究では組織の応力場と細胞分裂の角度分布の関係に注目して解析を進めている。具体的なモデル系は、上皮細胞がシート状に並んだ構造をとるショウジョウバエの翅成虫原基と蛹期の翅および背板の形態形成過程を採用した。これらの系は、細胞がシート状に並んでいるので解析しやすい、細胞の配置や器官のプロポーシオン(翅の長軸と短軸の長さの比)が異常

になる変異体が報告されているなどの点から、生物学における力学特性の問題を扱うのに最も適した系の一つである。

昨年度に開発した翅成虫原基と蛹期の翅の経時観察方法と今年度開発した細胞の幾何学的な特性を自動的に抽出する画像解析プログラムを組み合わせることで細胞分裂のダイナミクスを追跡した。その結果、1. 間期の細胞形態から細胞分裂方向を予測できる(間期の細胞の短軸方向に収縮環が形成される)、2. 近くの細胞の分裂方向は互いに揃うという局所的な相関があることを見いだした。それ以外にも、アクチン結合タンパク質や中心体の挙動の解析、腹部表皮において成虫期の細胞が幼虫期の細胞を置き換える過程における力学的相互作用の役割を検討するための画像解析プログラムの開発などにも取り組んでいる。さらに、東京大学大学院総合文化研究科金子研究室との共同研究で組織の弾性理論モデルを構築し、実験と理論の両面から変態現象を支える力学場の役割に迫っている。

## **XIX - 055 Lipocalin 2 の血球数恒常性維持機構における機能解析** **Role for Lipocalin 2 in Hematopoiesis**

研究者氏名: 三原田 賢一 Miharada, Ken-ichi  
受入研究室: バイオリソースセンター  
細胞材料開発室  
(所属長 中村 幸夫)

Lipocalin 2(リポカリン2)はリポカリンファミリーに属する小型分泌タンパク質であり、NGALとして従来より顆粒球の分化マーカーとして用いられてきた。近年、このLipocalin 2に関して「アポトーシス誘導」及び「鉄輸送体」としての機能が報告されて以来、

Lipocalin 2に関する研究は急速に進展している。我々も、2005年にマウスLipocalin 2が赤芽球のアポトーシス誘導、或いは分化抑制を引き起こすことで赤血球数の恒常性維持に関与している可能性があることを報告した。また2008年度は、ヒトLipocalin 2

も同様にヒト赤芽球及び単球系細胞を負に制御する因子であることを報告した。これらの結果は、Lipocalin 2による負の制御が動物種を越えて存在する重要な機構であることを示唆していると考えられる。Lipocalin 2は多面的な機能を持つ分子であり、鉄輸送の機能が真実であるならばトランスフェリン、ラクトフェリン等に次ぐ新たな鉄輸送体として今後も非常に注目すべき分子であると思われる。

しかし、我々の研究も含め、前述の機能に関しては未だに機序がわかっておらず、鉄輸送との関連も不明のままである。その最大の要因は、機序を解明する上で鍵となる受容体の解析が不十分であるからである。Lipocalin 2の受容体に関しては別々のグループから2つの分子が候補遺伝子として報告されているが、いずれも解析が不十分である。我々が観察してきた現象がどの受容体によるものなのか、または別の受容体が関与しているのか、大変興味深いところである。本研究は、Lipocalin 2の持つ機能に関してさらに深く追求するとともに、主に受容体の解析を中心としてその機序を探るものである。

本年度はこれまでに得られた知見を元に、受容体候補遺伝子であるBOCT、Megalinの双方に関して発現分布の解析及びLipocalin 2の機能との関連について検討を行った。その結果、BOCTは血液系細胞においては機能を有する形では発現しておらず、おそらくLipocalin 2による負の制御機構には関与していないことが示された。一方でMegalinはヒト・マウス赤芽球及び単球系細胞で発現が認められ、その機能を阻害することでLipocalin 2による影響を抑制できることが明らかになってきた。また細胞株を用いた研究においても、Megalin発現株ではLipocalin 2によって細胞膜表面への結合、及び細胞死が誘導されることが確認された。以上の結果から、少なくとも我々が明らかにしてきたLipocalin 2による血液系細胞の負の制御は、Megalinを介していることが強く示唆された。これらの結果を報告すべく、現在原著論文として投稿準備中である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hiroshima T., Sudo K., Aoki N., Miharada K., Danjoh I., Fujioka T., Nagasawa T., Nakamura Y.: "Human umbilical cord-derived cells can often serve as feeder cells to maintain primate embryonic stem cells in a state ca-

pable of producing hematopoietic cells", Cell Biology International, Vol.32 pp1-7 (2008)

Hiroshima T., Miharada K., Sudo K., Danjoh I., Aoki N., Nakamura Y.: "Establishment of mouse embryonic stem cell-derived erythroid progenitor cell lines able to produce functional red blood cells", PLoS One, Vol.3 2 ppe1544-1-e1544-11 (2008)

Miharada K., Hiroshima T., Sudo K., Danjoh I., Nagasawa T., Nakamura Y.: "Lipocalin 2-mediated growth suppression is evident in human erythroid and monocyte/macrophage lineage cells", Journal of Cellular Physiology, Vol.215 pp526-537 (2008)

Ishigaki T., Sudo K., Hiroshima T., Miharada K., Ninomiya H., Chiba S., Nagasawa T., Nakamura Y.: "Human hematopoietic stem cells can survive in vitro for several months", Advances in Hematology, Vol.2009 pp1-7 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Miharada K., Hiroshima T., Sudo K., Danjoh I., Nakamura Y.: "Lipocalin 2-mediated growth suppression is evident in human erythroid and monocyte/macrophage lineage cells", 37th Annual Scientific Meeting of the International Society for Experimental Hematology (ISEH 2008), Boston, USA, Jul. (2008)

Hiroshima T., Miharada K., Sudo K., Danjoh I., Nakamura Y.: "Establishment of mouse embryonic stem cell-derived erythroid cell lines able to ameliorate acute anemia", 37th Annual Scientific Meeting of the International Society for Experimental Hematology (ISEH 2008), Boston, USA, Jul. (2008)

(国内会議等)

寛山 隆, 三原田 賢一, 青木 尚子, 須藤 和寛, 檀上 稲穂, 中村 幸夫: "胚性幹細胞から樹立した赤血球前駆細胞株の比較", 第7回日本再生医療学会総会, 名古屋, 日本, 3月 (2008)

三原田 賢一, 寛山 隆, 須藤 和寛, 檀上 稲穂, 中村 幸夫: "リポカリン2によるヒト血液系細胞の増殖・分化制御", 第81回日本組織培養学会, つくば, 日本, 5月 (2008)

寛山 隆, 三原田 賢一, 青木 尚子, 須藤 和寛, 檀上 稲穂, 中村 幸夫: "胚性幹細胞から樹立した赤血球前駆細胞株の比較", 第81回日本組織培養学会, つく

ば, 日本, 5月 (2008)

須藤 和寛, 菅野 恵, 三原田 賢一, 寛山 隆, 西條 薫,  
中村 幸夫: "ヒト羊膜由来間葉系前駆細胞の造血再  
構築支持能の検討", 第81回日本組織培養学会, つ

くば, 日本, 5月 (2008)

石垣 太郎, 須藤 和寛, 三原田 賢一, 寛山 隆, 中村 幸  
夫: "ヒト血液前駆細胞の長期培養系の開発", 第81  
回日本組織培養学会, つくば, 日本, 5月 (2008)

## XIX - 056 ゲノム再プログラム化機構を利用した生殖細胞およびES細胞の作出

### Production of ES Cells and Germ Cells Induced by Genomic Reprogramming Mechanisms

研究者氏名: 三木 洋美 Miki, Hiromi

受入研究室: バイオリソースセンター

遺伝工学基盤技術室

(所属長 小倉 淳郎)

これまでの多くの研究より、生物細胞ゲノムの分化と未分化には可塑性があることが証明されてきた。これについては、まだ不明な部分も多いが、応用次第で新たな生物資源や研究材料の開発につながると期待される。本研究では、未成熟卵子やES細胞に存在すると考えられている再プログラム化機構を利用した、生殖細胞およびES細胞の作出を試みた。

【研究1: 卵子のリプログラミング能を利用した雄性生殖細胞の雌性化】

我々は、卵核胞(GV)期の未成熟卵子にはゲノム刷り込みを雌型に転換させる因子が存在するという仮説を立てている。これに基づき、GV期卵子による雄性生殖細胞ゲノムの性転換を試みた。

当初は、雄性生殖細胞を未成熟卵子細胞質に直接導入する予定であったが、我々は、円形精子細胞から効率よく雄核発生胚を作出する方法の開発に成功した(未発表)ことから、まず、この技術を応用して、GV卵子から得られた抽出物で事前に精細胞を処理し、その円形精子細胞から雄核発生胚を作出するという方法を試みた。

定法に従って、GV卵子からのタンパク質の抽出と、雄性生殖細胞膜の透過を行ったところ、それぞれ、一定量のタンパク質抽出物が得られること、円形精子細胞膜の透過が起こったことが確認された。また、実際に抽出物処理を行った円形精子細胞のエピジェネティクス変化の解析や、その細胞を用いた雄核発生胚の作製は、今後の検討課題である。

【研究2: ES細胞のリプログラミング能を利用した体細胞由来ES細胞の樹立】

体細胞由来のES細胞は、再生医療等の有力な手段になると考えられており、これまでに、核移植ク

ローンによるntES細胞や遺伝子操作によるiPS細胞が確立されている。研究2では、ES細胞に内在すると考えられているリプログラミング因子を利用して体細胞の多能性獲得を試みた。

このような因子は、これまでの報告より、核の周辺にあると考えられるため、本研究では、核膜の存在するS期ではなく、核膜のないM期細胞質の利用が有効であることが予想される。

サイトカラシンB処理により細胞質を巨大化させたES細胞を、ノコダゾール処理によってM期に同調させ、以下の2つの方法で、Oct4-GFPトランスジェニックマウス尾線維芽細胞の未分化性を誘導した。

1) 脱核したES細胞の細胞質と線維芽細胞との融合

密度勾配による超遠心分離により細胞質と核質に分離すること、ヒトセンダイウイルスによるES細胞と線維芽細胞との融合が確認された。また、低率ではあるが、融合細胞と思われるGFP陽性のコロニーも得られた。

2) 線維芽細胞をES細胞抽出物で処理(研究1と同類の方法)

ES細胞からのタンパク質の抽出および、線維芽細胞の透過が確認できたが、処理した条件下では、コロニーの形成は見られなかった。

それぞれの方法で、以上の結果が示された。効率の良いコロニーの形成やその特徴解析が、今後の検討課題である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Wakisaka N., Inoue K., Ogonuki N., Miki H., Sekita Y.,  
Hanaki K., Akatsuka A., Kaneko-Ishino T., Ishino F.,

Ogura A.: "Ultrastructure of placental hyperplasia in mice: Comparison of placental phenotypes with three different etiologies", *Placenta*, Vol.29 pp253-259 (2008)

Nakamura T., Inoue K., Ogawa S., Umehara H., Ogonuki N., Miki H., Kimura T., Ogura A., Nakano T.: "Effects of Akt signaling on nuclear reprogramming", *Genes to Cells*, Vol.13 pp1269-1277 (2008)

Lee J., Kanatsu-Shinohara M., Ogonuki N., Miki H., Inoue K., Morimoto T., Morimoto H., Ogura A., Shinohara T.: "Heritable Imprinting Defect Caused by Epigenetic Abnormalities in Mouse Spermatogonial Stem Cells", *Biology of Reproduction*, Vol.80 pp518-527 (2009)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Inoue K., Ogonuki N., Miki H., Ogura A.: "Characteristic gene expression patterns in somatically cloned mouse embryos", 1st World Congress on Reproductive Biology, Hawaii, USA, May (2008)

(国内会議等)

越後貫 成美, 三木 洋美, 井上 貴美子, 廣瀬 美智子, 持田 慶司, 三浦 郁生, 佐藤 崇裕, 三瀬 名丹, 若菜 茂晴, 栗原 裕基, 阿部 訓也, 小倉 淳郎: "顕微授精技

術を利用した超迅速コンジェニック化技術の確立", 第22回モロシヌス研究会, 東京, 日本, 9月 (2008)  
越後貫 成美, 三木 洋美, 井上 貴美子, 廣瀬 美智子, 持田 慶司, 三浦 郁生, 佐藤 崇裕, 三瀬 名丹, 若菜 茂晴, 栗原 裕基, 阿部 訓也, 小倉 淳郎: "顕微授精技術を利用した超迅速コンジェニック化技術の確立", 第101回日本繁殖生物学会大会, 福岡, 日本, 9月 (2008)

本多 新, 廣瀬 美智子, 井上 貴美子, 越後貫 成美, 三木 洋美, 下澤 律浩, 羽鳥 真功, 清水 なつみ, 村田 武英, 廣瀬 めぐみ, 形山 和史, 脇阪 紀子, 三好 浩之, 横山 和尚, 山海 直, 小倉 淳郎: "ウサギES細胞の効率的な樹立とその維持", 第3回ウサギフォーラム, 神戸, 日本, 7月 (2008)

本多 新, 廣瀬 美智子, 井上 貴美子, 樋浦 仁, 三木 洋美, 越後貫 成美, 杉本 道彦, 阿部 訓也, 篠原 美都, 河野 友宏, 篠原 隆司, 小倉 淳郎: "マウス発育期卵子の効率的な調製と体外発育法の開発", 第55回日本実験動物学会総会, 仙台, 日本, 5月 (2008)

脇阪 紀子, 井上 貴美子, 越後貫 成美, 三木 洋美, 小倉 淳郎, 関田 洋一, 花木 賢一, 赤塚 明, 金児-石野 知子, 石野 史敏: "3種の過形成胎盤モデルマウスにおける胎盤の電顕組織学的形態観察", 第101回日本繁殖生物学会大会, 福岡, 日本, 9月 (2008)

## XIX - 057

### 位相幾何学的手法による X 線動的回折理論

#### Topological Aspects of X-ray Dynamical Diffraction Theory

研究者氏名: 澤田 桂 Sawada, Kei

受入研究室: 放射光科学総合研究センター

石川X線干渉光学研究室

(所属長 石川 哲也)

X線回折の動学的回折理論において、ベリー曲率のもたらす物理現象を予言・解析することを目的とした。ベリー曲率とは、ブラッグ条件の近傍でX線のプロット関数が位相幾何学的に非自明な性質をもつことに起因するものであり、X線の伝搬に対して非常に大きな寄与をもたらす。本研究ではベリー曲率を切り口としたX線の光学現象として、以下の2つを調べた。

(1) 2次の非線形光学効果を用いて、結晶中を伝搬するX線波束をシフトさせる現象を理論的に示し

た。結晶中を伝わるX線波束にさらに光を当て、非線形光学効果で光どうしを相互作用させた。その結果、ベリー位相項が誘起され、照射する光の位相の空間変化を感じて波束の重心位置がシフトすることがわかった。シフト量は非線形相互作用の大きさに反比例するため、小さな非線形感受率に対して巨大なシフトが得られる。

(2) 歪んだ結晶中のX線波束に対するベリー曲率の影響を観測した。歪みをもつ結晶を伝わるX線ビームは、ブラッグ条件の近くではベリー曲率の寄与で



シフトすることが理論的に予測されていた。今回はそれを実験で観測し、結晶歪みの大きさとビームのシフト量との関係を考察した。その結果、理論の予測の通りにシフト量は歪みの100万倍以上の大きさを示し、結晶中でのミクロな歪みの情報を、X線ビームのマクロなシフトとして検出し、歪んでいる領域と歪み量を同定することができた。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

玉作 賢治, 澤田 桂, 石川 哲也: "X線領域における非線形光学の新展開", 放射光, Vol.21 4 pp213-220 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sawada K., Murakami S., Nagaosa N.: "Negative refraction and non-reciprocal light propagation in multiferroics", 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), Amsterdam, The Netherlands,

Aug. (2008)

Sawada K.: "Berry phase effects on nonlinear optical wave propagation in deformed crystals", 23rd Nishinomiya-Yukawa Memorial International Workshop: Spin Transport in Condensed Matter, Kyoto, Japan, Oct. (2008)

(国内会議等)

玉作 賢治, 澤田 桂, 石川 哲也: "X線パラメトリック変換の共鳴効果", 第22回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 東京, 日本, 1月 (2009)

香村 芳樹, 澤田 桂, 田口 宗孝, 大東 琢治, 鈴木 芳生, 石川 哲也: "Multiビーム干渉によるX線光学渦の生成", 第22回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 東京, 日本, 1月 (2009)

澤田 桂, 村上 修一: "非線形光学効果による波束のBerry位相", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

玉作 賢治, 澤田 桂, 石川 哲也: "X線パラメトリック変換の位相整合条件依存性", 日本物理学会第63回年次大会, 東大阪, 日本, 3月 (2008)

## XIX - 058 質量分析法による超巨大蛋白質複合体のダイナミクス解析法開発

### Mass spectrometry for protein dynamics in super-macro complexes

研究者氏名: 山本 竜也 Yamamoto Tatsuya

受入研究室: 放射光科学総合研究センター

城生体金属科学研究室

(所属長 城 宜嗣)

巨大蛋白質複合体はX線結晶構造解析や電子顕微鏡によって立体構造が解かれ、その作用機構が研究されているが、最も重要な溶液中でのダイナミクスは大きさゆえに検出・解析が困難であり有効な研究手段が非常に少ない。そこで本研究では超巨大蛋白質複合体である大腸菌リボソーム(分子量: 約2.3MDa)をモデル複合体として、質量分析法と水素/重水素(H/D)交換を用いることにより巨大蛋白質複合体ダイナミクスの解析法開発を行っている。

蛋白質を重水環境下に置いたときダイナミックに動いている部位や分子表面の解離性プロトンは素早く重水素に置き換わる。その現象を質量分析計により検出することで、溶液中でのダイナミクスを定量的に解析できる。近年我々はこの方法を巨大蛋白質複合体に応用することで各構成蛋白質のダイナミク

スを一斉検出する基礎を確立し、19年度はシリコンゴム系の素材であるポリジメチルジオキサンを用いて数十~数百マイクロメートルの溝を設計することによりマイクロリアクターを開発し、時間分解能の向上を行った結果、交換20ミリ秒後の質量を測定することに成功した。

20年度はその開発したマイクロリアクターを用いてリボソームの転移過程における各蛋白質のダイナミクス変化を一斉測定した。リボソームの「転移」はGTPの加水分解を利用してペプチド合成と3塩基分のフレームシフトを行う過程であるが、各蛋白質レベルでどのようにダイナミクスが変化するかということはこれまで分かっていなかった。そこで、リガンドや類似体を用いて転移過程で起こる構造変化のLock状態とUnlock状態を作り出し、H/D交換実験を

行った。その結果Lock状態は動きが制限されているためUnlock状態に比べ交換率が低下しており、中でも30S複合体の方が50S複合体よりもより大きく影響を受けていることがわかった。機能に直接関連する蛋白質に注目すると、tRNA結合サイト周辺の蛋白質は高度に交換されており、Unlock状態でそれらの蛋白質の交換率が同調していることがわかった。また、mRNAの出口付近の蛋白質も同様に同調する傾向がみられたが、入口付近ではそれがみられず、特にS3蛋白質の交換が低いことも分かった。さらに合成されたペプチドのトンネル内や出口の蛋白質において交換率が比較的低いということから、ペプチドの搬出に対してそれらの蛋白質が能動的に作用していないことが示唆された。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

山本 竜也: "質量分析法による巨大タンパク質複合体ダイナミクスの研究", 生物物理, Vol.48 6 pp345-346 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamamoto T., Shiro Y.: "Mg<sup>2+</sup> Concentration-Dependence of 70S Ribosomal-Protein dynamics revealed by H/D exchange and Mass Spectrometry", 56th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics, Denver, USA, Jun. (2008)

(国内会議等)

山本 竜也, 清水 義宏, 上田 卓也, 城 宜嗣: "H/D交換と質量分析法を用いた転移過程における70Sリボソーム蛋白質のダイナミクス研究", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

山本 竜也, 城 宜嗣: "70Sリボソーム蛋白質ダイナミクスのMg<sup>2+</sup>濃度依存性解析", 第56回質量分析総合討論会, つくば, 日本, 5月 (2008)

山本 竜也, 清水 義宏, 上田 卓也, 城 宜嗣: "H/D交換と質量分析法による70Sリボソーム蛋白質ダイナミクスのMg<sup>2+</sup>濃度依存性解析", 第10回RNA学会年会/第10回RNAミーティング, 札幌, 日本, 7月 (2008)

山本 竜也, 清水 義宏, 上田 卓也, 城 宜嗣: "H/D交換と質量分析法によるリボソーム/EF-G複合体のダイナミクス解析", 日本生物物理学会第46回年会, 福岡, 日本, 12月 (2008)

## XIX - 060 ストリゴラクトンによる植物の枝分かれ制御機構に関する研究

### Regulation of Shoot Branching by Strigolactones in Plants

研究者氏名: 梅原 三貴久 Umehara, Mikihiisa

受入研究室: 植物科学研究センター

促進制御研究チーム

(所属長 山口 信次郎)

植物の地上部の枝分かれは、植物の形態を決定付ける大きな要因であり、古くからオーキシシンとサイトカイニンという2種類の植物ホルモンが関与することが知られていた。また、シロイヌナズナ、エンドウ、ペチュニア、イネの枝分かれ過剰突然変異体の解析から、オーキシシンやサイトカイニンとは別の第3の枝分かれ制御ホルモンの存在が示唆されていた。これらの枝分かれ過剰変異体の中には、カロテノイド酸化開裂酵素7または8(CCD7またはCCD8)の欠損変異体が含まれることから、このホルモンはカロテノイドの開裂産物に由来する物質であることが示唆されていたが、その実体は長年不明のままであっ

た。

一方、ストリゴラクトンはテルペノイド型化合物の一種で、植物の根から分泌され、根圏においてストライガやオロバンキなどの根寄生植物種子の発芽刺激物質として、またアーバスキュラー菌根菌の菌糸の分岐促進物質として機能する。ストリゴラクトンの生合成に関する知見はほとんど無かったが、近年、阻害剤や突然変異体を用いた実験から、カロテノイド開裂産物に由来することが示唆されており、ストリゴラクトン生合成を担うCCDの同定が待たれていた。

我々は、イネのCCD7およびCCD8が欠損し、過剰

な枝分かれを示す*d10*および*d17*変異体において、ストリゴラクトンの生産量が顕著に低下していることを見出した。さらに、水耕液にストリゴラクトンを添加することにより、イネとシロイヌナズナのCCD7およびCCD8の欠損変異体の過剰な枝分かれが抑制された。一方、F-boxタンパク質が欠損し、シグナル伝達に関わると予想される枝分かれ過剰変異体は、ストリゴラクトン非感受性を示した。これらの結果から、ストリゴラクトンあるいはその代謝物が第3の枝分かれ制御ホルモンであると考えられる。

ストリゴラクトンの生産量は無機栄養、特にリン酸が欠乏すると増加することが知られている。これは、共生菌であるAM菌を活性化させるための宿主植物の生存戦略であると考えられている。また、貧栄養環境下で枝分かれを増やすことは植物にとってコストがかかる。したがって、ストリゴラクトンは、貧栄養環境において、AM菌の活性化と同時にその情報を地上部へ伝達して枝分かれを抑制し、無機栄養の利用を効率化させる役割を担っていると考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Umehara M., Hanada A., Yoshida S., Akiyama K., Arite

T., Takeda-Kamiya N., Magome H., Kamiya Y., Shirasu K., Yoneyama K., Kyojuka J., and Yamaguchi S.: "Inhibition of shoot branching by new terpenoid plant hormones", *Nature* 455 195-200 (2008)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

梅原三貴久、花田篤志、吉田聡子、秋山康紀、有手友嗣、武田(神谷)紀子、真籠洋、神谷勇治、白須賢、米山弘一、経塚淳子、山口信次郎："ストリゴラクトンによるシュート分枝抑制作用"、植物化学調節学会第43回大会、つくば、10月(2008)  
梅原三貴久、花田篤志、吉田聡子、秋山康紀、有手友嗣、武田(神谷)紀子、真籠洋、神谷勇治、白須賢、米山弘一、経塚淳子、山口信次郎："ストリゴラクトン：シュートの枝分かれを制御する新しいホルモン" 第50回日本植物生理学会年会、名古屋、3月(2009)

梅原三貴久、花田篤志、吉田聡子、秋山康紀、有手友嗣、武田(神谷)紀子、真籠洋、神谷勇治、白須賢、米山弘一、経塚淳子、山口信次郎："栄養飢餓条件下におけるイネのストリゴラクトン生産およびシュート分岐分枝の関係"、第50回日本植物生理学会年会、名古屋、3月(2009)

## XIX - 061

### RGAs / GAIs 相互作用因子 GAF1 による ジベレリン信号伝達機構の解析

#### GAF1, GAI Associated Factor 1, Regulates the GA Signaling Pathway

研究者氏名：深澤 壽太郎 Fukazawa, Jutarou

受入研究室：植物科学研究センター

促進制御研究チーム

(所属長 山口 信次郎)

ジベレリン(GA)は、種子発芽、伸長成長、開花時期を制御するホルモンとして知られている。GA信号伝達経路は、植物特有のGRAS familyタンパク質が抑制因子として機能しておりGAの添加にともない、速やかに分解され下流の信号が伝達される。近年、GAレセプターの発見により、GA投与からDELLAタンパク質の分解までの詳細が明らかになりつつある。一方、その下流の制御因子は明らかとなっていない。

独自に開発したTup1-twohybrid法により単離したDELLAタンパク質と相互作用する転写因子GAF1

の機能解析を行っている。GAF1は、シロイヌナズナのDELLAタンパク質RGAs / GAIsばかりでなく、転写抑制因子と考えられるWD repeat protein (WDR)とも相互作用することを見出した。GAF1過剰発現体は、開花時期の促進、胚軸の伸長、葉の展開の表現型を示した。またGA合成阻害剤存在下でも、開花時期の遅延を回復した。本研究では、GAF1及びその相互作用因子の解析を通じて、GA信号伝達機構を明らかにする。

本年度は、植物細胞を用いたトランジェントの実

験系を確立し、植物細胞内におけるGAF1及び相互作用因子による、転写制御機構の解析を行った。その結果、GAF1は、単独では、弱い転写活性化因子として機能するがGAIとともに発現させると、強い転写活性化能を有し、対照的にWDRは転写抑制因子として機能することが明らかになった。また、BiFC解析より、GAF1とGAIタンパク質は、核内で相互作用することを明らかにした。さらに、GAF1 / GAIの相互作用は、ジベレリンの投与によるGAIタンパク質の分解に伴い消失することが明らかとなった。これらの結果から、GA信号伝達におけるDELLAタンパク質下流の制御機構として、GAは、DELLAタンパク質の分解を促進し、GAF1相互作用因子を変化させることによりGAF1複合体の転写活性化能を調節し、GAF1標的遺伝子の遺伝子発現を制御することが明らかとなった。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

### XIX - 062

#### オートファジー能欠損植物における 新規細胞死促進因子の探索とその解析

##### Investigation of a Novel Cell-death Activator in Autophagy-defective Mutants

オートファジーは、細胞質成分を細胞内分解コンパートメントである液胞に輸送して分解する、真核細胞に広く普遍的な細胞内分解システムである。これまでに、シロイヌナズナにおいてオートファジーに必須なATG(autophagy-related)遺伝子群の果たす役割を解析してきた。その結果、(1)シロイヌナズナにも出芽酵母や哺乳動物細胞と同様なオートファジーのシステムが存在すること、(2)オートファジーが老化の抑制に関与していること、(3)オートファジー能欠損植物では、病原菌感染時におこる過敏反応細胞死の進行が早いこと、などが明らかとなった。これらを考え合わせると、オートファジー能欠損植物では細胞死が促進していると推測された。本研究は、この細胞死を促進する因子の単離を目的として行った。

(A) オートファジー不能植物では活性酸素種レベ

(国際会議)

Fukazawa J., Ishida S., Ito T., Nakata M., Takahashi Y.: "RSG, a bZIP transcriptional factor, is involved in the feedback regulation of the GA 20-oxidase gene", 19th International Conference on Arabidopsis Research, Montreal, Canada, Jul. (2008)

(国内会議等)

深澤 壽太郎, 山口 信次郎, 村越 悟, 寺村 浩, 那須野 慶, 西田 尚敬, 吉田 充輝, 神谷 勇治, 高橋 陽介: "新奇ジベレリン信号伝達因子GAF1の機能解析", 植物化学調節学会第43回大会, つくば, 日本, 10月 (2008)

深澤 壽太郎, 村越 悟, 那須野 慶, 西田 尚敬, 寺村 浩, 山口 信次郎, 吉田 充輝, 神谷 勇治, 高橋 陽介: "新奇ジベレリン信号伝達因子GAF1の機能解析", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

研究者氏名: 吉本 光希 Yoshimoto, Kohki

受入研究室: 植物科学研究センター

植物免疫研究チーム

(所属長 白須 賢)

ルが増大し、サリチル酸生成以降のシグナリング経路が活性化していることを明らかにした。オートファジーは活性酸素種のレベルをコントロールすることでサリチル酸シグナリングを負に制御していると考えられる。また、オートファジー不能植物における細胞死促進表現型はNPR1タンパク質に依存していることも明らかにした。今後、どのような分子機構で活性酸素種レベルをコントロールしているのかを明らかにするためにオートファジー不能植物のサプレッサー変異体の単離を予定している。

(B) オートファジーは細胞質タンパク質に加え様々なオルガネラ分解に寄与していると考えられている。そこで、ペルオキシソームあるいはミトコンドリア局在型GFPを発現させたオートファジー不能植物を用いてそれらのオルガネラの挙動を調べたところ、オートファジーが不能であるとペルオキシ

ソームの数が野生型よりも増えているのが観察された。一方でミトコンドリアについてはあまり変化が見られなかった。ペルオキシソームの増殖・分裂に関わる遺伝子の発現は野生型と比べほとんど違いがなかったことから、オートファジー不能植物において見られたペルオキシソームの増大はオートファジーによる分解がおこらなかったためといえる。植物において、オートファジーはペルオキシソームを選択的に分解していると考えられる。今後、どのような分子機構によってペルオキシソームが特異的に分解されるのかについて解析を進める予定である。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Shin J.H., Yoshimoto K., Ohsumi Y., Jeon J.S., An G.:

OsATG10b, an Autophagosome component, is needed for cell survival against oxidative stresses in rice. *Mol. Cells*, 27 67-74 (2009)\*

Ishida H., Yoshimoto K., Izumi M., Reisen D., Yano Y.,

Makino A., Ohsumi Y., Hanson M. R., Mae T.: Mobilization of Rubisco and stromal-localized fluorescent proteins of chloroplasts to the vacuole by ATG gene-dependent autophagic process. *Plant Physiol.* 148 142-155 (2008)\*

(総説等)

Ishida H., Yoshimoto K.: Chloroplasts are partially mobi-

lized to the vacuole by autophagy. *Autophagy* 4 961-962 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshimoto K., Ohsumi Y., Shirasu K.: ÅgPlant autophagy negatively regulates senescence by eliminating salicylic acid signalingÅh, Gordon Research Conference on Plant Senescence, South Hadley, USA, Jun. (2008) (国内会議等)

吉本 光希, 鈴木 邦律, 藤木 友紀: “高等植物におけるオートファジーの生理的役割”, 2008年度特定領域研究「植物の環境適応戦略としてのオルガネラ分化」, 岡崎, 日本, 5月 (2008)

吉本 光希, 鈴木 邦律, 藤木 友紀: “高等植物におけるオートファジーの生理的役割”, 2007・2008年度特定領域研究「植物の環境適応戦略としてのオルガネラ分化」, 岡崎, 日本, 1月 (2009)

吉本 光希, 白須 賢, 大隅 良典: “植物のオートファジーと細胞死の制御”, 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

吉本 光希, 大隅 良典, 白須 賢: “植物オートファジーの新たな生理的役割”, 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

吉本 光希, 大隅 良典, 白須 賢: “オートファジー能欠損シロイヌナズナにおけるプログラム細胞死と病原菌抵抗性反応”, 平成21年度日本植物病理学会大会, 山形, 日本, 3月 (2009)

## XIX - 063

### 逆遺伝学的手法を用いたアブシジン酸の 新奇シグナル因子の同定と機能解析

#### Functional Analysis and Identification of Novel Abscisic Acid Signaling Factor by Reverse Genetic Approach

研究者氏名: 岡本 昌憲 Okamoto, Masanori

受入研究室: 植物科学研究センター

植物ゲノム発現研究チーム

(所属長 関 原明)

種子の発芽や乾燥などのストレスに関与する植物ホルモンのアブシジン酸(ABA)の生理作用は、内生ABA量が受容体を介してシグナルへと変換され、様々な遺伝子発現を制御することで引き起こされる。これまで、ABAのシグナル伝達に関する研究は、世界的に転写因子や酵素を中心に解析が行われ

てきた。一方、近年、動物などの分野を中心に、蛋白質をコードしない因子(mRNA like non-coding RNA; ncRNAやshort ORF; sORF)による遺伝子発現制御や発生制御が注目されつつある。このことは、植物ホルモンのシグナル伝達に対する理解においても、ncRNAやsORFを視野に入れた研究が不可

欠であることを示唆している。本研究では、これらの存在を明らかにし、機能を明らかにするために、シロイヌナズナの全ゲノムからなるタイリングアレイ解析を行った。

シロイヌナズナ種子におけるタイリングアレイ解析の結果、The Arabidopsis Information Resource (Tair)に報告されていない新奇遺伝子を約5000同定した。新奇遺伝子の約90%が蛋白質をコードしていない、ncRNAであることが明になった。これらの機能解析を進める為に、ABAによって応答する新奇遺伝子や他の植物種でも保存されている新奇遺伝子に焦点を絞り、T-DNA変異体の表現型の観察を行った。その結果、幾つかの変異体では、種子のABAの感受性が変化していた。また、集めた変異体の中には、植物体が小さく、開花が遅延したものが得られた。これら異常が見られたものに関して、本年度は過剰発現体の作成を行った。

また、バイオインフォマティクス手法によって推定された7000ものsORF(90~300bp)の実際の転写をタイリングアレイによって明らかにした。その結果、ABAによって応答するsORFを約60同定した。本年度は約20のsORFに関して、過剰発現体を作成した。来年度は、これら過剰発現体の表現型の観察を行う予定である。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsui A., Ishida J., Morosawa T., Mochizuki Y., Kaminuma E., Endo T., Okamoto M., Nambara E., Nakjima M., Kawashima M., Satou M., Kim J., Kobayashi N., Toyoda T., Shinozaki K., Seki M.: "Arabidopsis transcriptome analysis under drought, cold, high-salinity and ABA treatment conditions using a tiling array", *Plant Cell Physiology*, Vol.49 8 pp1135-1149 (2008)

Toh S., Imamura A., Watanabe A., Nakabayashi K., Okamoto M., Jikumaru Y., Hanada A., Aso Y., Ishiyama K., Tamura N., Iuchi S., Kobayashi M., Yamaguchi S., Kamiya Y., Nambara E., Kawakami N.: "High temperature-induced abscisic acid biosynthesis and its role in the inhibition of gibberellin action in Arabidopsis seeds", *Plant Physiology*, Vol.146 pp1368-1385 (2008)

Endo A., Sawada Y., Takahashi H., Okamoto M., Seo M., Toyomasu T., Mitsuhashi W., Shinozaki K., Nakazono

M., Koshiba T., Nambara E.: "Drought induction of Arabidopsis 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase occurs in vascular parenchyma cells", *Plant Physiology*, Vol.147 pp1984-1993 (2008)

Ikegami K., Okamoto M., Seo M., and Koshiba T.: "Activation of abscisic acid biosynthesis in the leaves of Arabidopsis thaliana in response to water deficit.", *Journal of Plant Research*, 122:235-243 (2009)

Okamoto M., Tanaka Y., Abrams SR., Kamiya Y., Seki M., Nambara E.: "High humidity induces abscisic acid 8'-hydroxylase in stomata and vasculature to regulate local and systemic abscisic acid responses in Arabidopsis.", *Plant Physiology* 149: 825-834 (2009)

Melhorn V., Matsumi K., Koiwai H., Ikegami K., Okamoto M., Nambara E., Bittner F., Koshiba T.: "Transient expression of AtNCED3 and AAO3 genes in guard cells causes the stomatal closure in *Vicia faba* L.", *Journal of Plant Research* 121:125-131. (2008)

(単行本)

Okamoto M., Hanada A., Kamiya Y., Yamaguchi S., Nambara E.: "Chapter 9 Measurements of abscisic acid and gibberellins by gas chromatography/mass spectrometry", *Method in Molecular Biology Book*, (The Humana Press Inc.) 495: 53-60 (2009)

久城哲夫、岡本昌憲: "ABA 8'位水酸化酵素による種子の発芽調節", 種子発芽の生態学、生理学、分子生物学 (種生物学会刊行本) 279-286 (2009)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tatematsu K., Matsui A., Morosawa T., Kaminuma E., Okamoto M., Toyoda T., Shinozaki K., Kamiya Y., Seki M., Nambara E.: "Small RNA expression profiling during seed germination in *Arabidopsis thaliana*", 55th NIBB Conference Arabidopsis Workshop 2008 on Frontiers of Plant Science in the 21st Century, Aichi, Japan, Sep. (2008)

Okamoto M., Matsui A., Ishida J., Morosawa T., Endo T., Mochizuki Y., Toyoda T., Nambara E., Shinozaki K., Seki M.: "Whole-genome transcriptome analysis in Arabidopsis seeds using tiling array", 19th International Conference on Arabidopsis Research, Montreal, Canada, Jul. (2008)

Matsui A., Ishida J., Morosawa T., Mochizuki Y., Kami-

numa E., Endo T., Okamoto M., Nambara E., Nakjima M., Kawashima M., Satou M., Kim J., Kobayashi N., Toyoda T., Shinozaki K., Seki M.: "Arabidopsis transcriptome analysis under drought, cold, high-salinity and abscisic acid treatment conditions using a tiling array", 19th International Conference on Arabidopsis Research, Montreal, Canada, Jul. (2008)

(国内会議等)

関 原明, 松井 章浩, 石田 順子, 諸澤 妙子, 金 鍾明, 栗原 志夫, 岡本 昌憲, 藤 泰子, 中嶋 舞子, 川嶋 真貴子, 佐藤 将一, 南原 英司, 神沼 英里, 遠藤 高帆, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 花田 耕介, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄: "タイリングアレイ、超高速シーケンシング技術を用いた植物のストレス応答における全ゲノムトランスクリプトーム解析", 第49回日本植物生理学会年会, 札幌, 日本, 3月 (2008)

松井 章浩, 神沼 英里, 遠藤 高帆, 石田 順子, 諸澤 妙子, 岡本 昌憲, 南原 英司, 中嶋 舞子, 川嶋 真貴子, 佐藤 将一, 金 鍾明, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄, 関 原明: "シロイヌナズナタイリングアレイを用いた乾燥・低温・塩ストレス・ABA処理条件下の遺伝子発現解析", 第49回日本植物生理学会年会, 札幌, 日本, 3月 (2008)

岡本 昌憲, 松井 章浩, 石田 順子, 諸澤 妙子, 遠藤 高帆, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄, 関 原明: "タイリングアレイを用いたシロイヌナズナの種子におけるトランスクリプトーム解析", 第

49回日本植物生理学会年会, 札幌, 日本, 3月 (2008)  
関 原明, 松井 章浩, 石田 順子, 諸澤 妙子, 金 鍾明, 栗原 志夫, 岡本 昌憲, 中南 健太郎, 藤 泰子, 川嶋 真貴子, 田中 真帆, 神沼 英里, 遠藤 高帆, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 花田 耕介, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄: "タイリングアレイを用いた環境ストレス応答に関するトランスクリプトーム解析", 日本進化学会第10回大会ワークショップ「ゲノム・トランスクリプトーム」, 東京, 日本, 8月 (2008)

関 原明, 松井 章浩, 石田 順子, 諸澤 妙子, 金 鍾明, 栗原 志夫, 岡本 昌憲, 中南 健太郎, 藤 泰子, 川嶋 真貴子, 田中 真帆, 神沼 英里, 遠藤 高帆, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 花田 耕介, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄: "タイリングアレイ、超高速シーケンスシステムを用いた植物の環境ストレス応答における全ゲノムトランスクリプトーム解析", 第26回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム, 吹田, 日本, 9月 (2008)

花田 耕介, 松井 章浩, 岡本 昌憲, 関 原明, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄: "植物ゲノム中に存在する coding small open reading frames (sORF) の網羅的探索方", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

岡本 昌憲, 神谷 勇治, 関 原明, 南原 英司: "高湿度に反応してABA 8'-水酸化酵素が維管束と気孔細胞で活性化され、気孔開放に関与する", 植物生理学会年会, 名古屋, 3月 (2009)

## XIX - 064

### ゲノム情報を基盤としたアレルギーメカニズムの解明

#### Epigenetic Regulation of Helper T Cell Development and Allergy

研究者氏名: 田中 伸弥 Tanaka, Shinya

受入研究室: 免疫アレルギー科学総合研究センター  
シグナルネットワーク研究チーム  
(所属長 久保 允人)

ヘルパーT細胞は、Th1, Th2, Th17に分けられるが、アレルギー反応を引き起こすのはTh2細胞であり、共通前駆細胞であるナイーブCD4 T細胞からの分化過程を解明することは、アレルギー制御に繋がると考えられる。本実験計画では、エピジェネティックな遺伝子発現制御という観点からアレルギー発症に関わるTh2細胞分化制御を明らかにすることを目的とした。Th2分化を促進する液性因子イ

ンターロイキン(IL)-4の発現は、IL-4遺伝子座周辺に存在する複数の領域によって制御されているが、前年度研究計画では、IL-4遺伝子転写制御を負に制御する領域サイレンサーの欠損マウスを作製した。

本年度研究計画では、このサイレンサーを制御する分子メカニズムを検討した。

(1)従来においては、Runx転写因子がサイレンサーに結合することによって、Th1細胞におけるIL-

4発現抑制を行っていると考えられてきたが、Runx複合体とサイレンサーのダブルノックアウトマウスの結果から、RunxはTh1細胞においてサイレンサーだけでなく、IL-4遺伝子座全体に結合することによって、IL-4発現抑制を行っていることが示唆された。

(2) 上述のRunxによるIL-4発現抑制は、Th1分化のマスターレギュレーターであるT-betと協調的に制御されると考えられていたが、T-bet欠損CD4 T細胞においてもRunxのIL-4発現抑制活性が見られたため、T-bet非依存的にIL-4産生を行っていることが示された。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yagi R., Tanaka S., Motomura Y., Kubo M.: "Regulation of the Il4 Gene is Independently Controlled by Proximal and Distal 3' Enhancers in Mast Cells and Basophils", *Molecular and Cellular Biology*, Vol.27 23 pp8087-8097 (2007)

田中 伸弥, 久保 允人: "Th2細胞とマスト細胞におけ

るIL-4発現制御", *臨床免疫*, Vol.47 1 pp26-32 (2007)

田中 伸弥, 久保 允人: "Notchによるアレルギー・Th2分化制御", *細胞工学*, Vol.27 2 pp132-136 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tanaka S., Kubo M.: "Regulation of non-canonical IL-17 expression by Memory phenotype (MP) CD4 T cells", 95th Annual Meeting of the American Association of Immunologists, San Diego, USA, Apr. (2008)

(国内会議等)

澤口 穰, 田中 伸弥, 中江 進, 久保 允人: "Generation of toxin receptor mediated conditional cell knock-out (TRECK) Tg mice for in vivo specific deletion of Mast cell and Basophil", 第38回日本免疫学会総会・学術集会, 京都, 日本, 12月 (2008)

田中 伸弥, 久保 允人: "免疫性疾患におけるCNS-2エンハンサーの重要性", 第18回 Kyoto T Cell Conference (KTCC2008), 京都, 日本, 6月 (2008)

## XIX - 065

### 代謝プロファイリングに基づく宿主 - 腸内フローラ間相互作用の評価系の構築

#### Construction of Novel Method to Assess the Host-bacterial Cross-talk Based on Metabolic Profiling

研究者氏名: 福田 真嗣 Fukuda, Shinji

受入研究室: 免疫・アレルギー科学総合研究センター  
免疫系構築研究チーム

(所属長 大野 博司)

近年、多種多様な効果を持つプロバイオティクスが社会に導入されてきているが、それらプロバイオティクスがどのような機構で宿主と、あるいは微生物同士で相互作用(cross-talk)し、宿主に有益な効果をもたらすのかについての詳細は明らかでない。ヒトを含め、単胃動物の腸内には数百種類以上で100兆個にもおよぶ細菌が生息している。これらいわゆる腸内フローラは人間の健康と密接に関係しており、ヒトの健康維持に有用であると同時に有害な面があることも周知である。炎症性腸疾患モデル動物や大腸発癌モデル動物を無菌化することで病態の発現がみられなくなるという最近の知見からも、単に宿主の遺伝子異常ばかりでなく、宿主-腸内フローラ間cross-talkが病態発現に重要

な要因となることが考えられる。しかしながら腸内には数百種類にも及びかつ未同定菌を多数含む複雑な腸内フローラが存在するため、それら全体と宿主とのcross-talkを体系的に解析・理解するのは現時点では事実上不可能である。

そこで我々は、無菌マウスに限られた菌のみを定着させたモデル実験系を用いて宿主-腸内フローラ間crosstalkを解析してきた。これまでに無菌マウスに腸管出血性大腸菌O157を投与すると7日以内に全例が死に至るが、O157と共に典型的なプロバイオティクスである*Bifidobacterium longum* (*B. longum*)を投与すると感染死は予防されることを見出した。一方で成人の腸管内に常在するビフィズス菌である



*Bifidobacterium adolescentis* (*B. adolescentis*) を投与しても感染死を予防できないことも明らかにした。マウス腸管および腸内容物の解剖学的・生化学的検討から、このO157によるマウスの感染死は、O157により大腸で軽微な炎症が生じ、腸管内に多量に存在する毒素が血中に移行することによるものと考えられた。

今年度は、O157感染時に生じる大腸での炎症が*B. longum*の前投与により予防されるメカニズムについてさらに詳細な解析を行った。前投与により炎症を予防できる*B. longum*、または予防できない*B. adolescentis*を無菌マウスに定着させたノトバイオトマウスを作製し、それらの大腸上皮細胞層における遺伝子発現プロファイルをcDNAマイクロアレイを用いて比較検討した。さらにそれらのマウス糞便中の低分子化合物をNMRを用いて網羅的に解析し、代謝物プロファイルを構築した。得られた遺伝子発現情報および代謝物情報は種々の多変量解析および共相関解析を行うことにより、*B. longum*定着時にマウス大腸内で生じている宿主-腸内フローラ間cross-talkについて言及した。今後は構築した共相関プロファイルから感染死予防に関与する因子の同定、およびそのメカニズムの解析を行う。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Fukuda, S., Nakanishi, Y., Chikayama, E., Ohno, H., Hino, T., Kikuchi, J.: "Evaluation and characterization of bacterial metabolic dynamics with a novel profiling technique, real-time metabolotyping" PLoS ONE 4: e4893 (2009)\*

Morita H., Toh H., Fukuda S., Horikawa H., Oshima K., Suzuki T., Murakami M., Hisamatsu S., Kato Y., Takizawa T., Fukuoka H., Yoshimura T., Itoh K., O'Sullivan D., McKay L., Ohno H., Kikuchi J., Masaoka T., Hattori M.: "Comparative genome analysis of *Lactobacillus reuteri* and *Lactobacillus fermentum* reveal a genomic island for reuterin and cobalamin production", DNA Research, Vol.15 3 pp151-161 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fukuda S. and Ohno H. (invited talk): "Multi-omic analysis identifies microbial metabolites to protect host from enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 lethal infection", Systems Biology for Young Scientists, A Global COE International Symposium, Nagoya, December (2008)

(国内会議等)

福田 真嗣, 大野 博司 (招待講演): "リンパ濾胞上皮層における宿主-微生物相互作用の解析", 第14回 Hindgut Club Japan シンポジウム, 東京, 日本, 12月 (2008)

福田 真嗣, 中西 裕美子, 吉村 和敏, 伊藤 喜久治, 菊地 淳, 大野 博司: "腸管出血性大腸菌 O157:H7 投与マウスモデルを用いた宿主-腸内フローラ間相互作用の解析", 第12回腸内細菌学会, 東京, 日本, 6月 (2008)

福田 真嗣, 大野 博司 (招待講演): "網羅的解析手法による宿主-腸内フローラ間相互作用の解明", 第60回日本生物工学会大会(2008), 仙台, 日本, 8月 (2008)

## XIX - 066

### BMP 結合タンパク質 Cv2 の in vivo における

#### BMP シグナル制御機構の解明

#### Functional Analysis of BMP-binding Protein Cv2 in Organogenesis

研究者氏名: 池谷 真 Ikeya, Makoto

受入研究室: 発生・再生科学総合研究センター  
細胞分化・器官発生研究グループ  
(所属長 笹井 芳樹)

発生過程において、BMPシグナルは中胚葉形成・神経誘導・臓器形成など、さまざまな局面で作用している重要な因子である。またBMPは濃度依存的に

様々な種類の細胞種を誘導するモルフォゲンとしての活性を持つことが既に知られている。BMPの濃度勾配を制御する因子はすでにいくつか報告されてい

るが、中でもchordin型のシステインに富んだドメインを持つタンパク質群は、細胞外でBMPリガンドに結合して受容体との結合を阻害し、活性勾配形成に中心的な役割を担っていることがこれまでの研究により明らかにされてきた。

私が興味を持って研究を進めているCrossveinless2 (Cv2)分子は、chordin型のシステインに富んだドメインを持つタンパク質の一つである。その機能は、in vitroではBMP分子の受容体への結合を阻害する機能があるにもかかわらず、in vivoの骨形成過程ではBMPシグナルを促進する機能があるということが昨年までの我々の研究から明らかになった。本年度は、昨年までの解析をさらに進め、(1)BMP制御因子であるTwisted gastrulation (Tsg)がCv2のBMP促進機能に必須であることを示して国際誌に発表した。

また、本年度はCv2と腎臓の発生についてより研究を深め、(2)Cv2はBMP7シグナルを促進することにより、腎臓のネフロン形成の初期段階である間充織細胞の凝集を制御すること示し、現在論文を投稿準備中である。さらに、(3)尿管形成ではCv2とBMP4は協調的に機能して、尿管壁に存在する間充織細胞の発生を促進することが明らかとなってきた。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Ikeya M., Nosaka T., Fukushima K., Kawada M., Furuta Y., Kitamura T., and Sasai Y.: "Twisted gastrulation mutation suppresses skeletal defect phenotypes in Crossveinless 2 mutant mice", *Mech. Dev.*, 125 832-842 (2008)\*

### XIX - 067 ゼブラフィッシュを用いた、小脳発生のメカニズムに関する研究 Mechanisms Controlling Development of Zebrafish Cerebellum

研究者氏名：田辺 光志 Tanabe, Koji  
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター  
体軸形成研究チーム  
(所属長 日比 正彦)

神経細胞は複雑かつ細胞種特異的な形態の樹状突起を持つ。特異的な樹状突起の形態を形作るメカニズムについては、まだ多くのことが判っていない。樹状突起の形態形成におけるいくつかのプロセスの中で、私は特に、細胞体から直接伸びる樹状突起(一次樹状突起)の数を制御するメカニズムに興味を持った。そして、一次樹状突起の数という観点において最も単純な形態を持つ、小脳のプルキンエ細胞に注目した。プルキンエ細胞は細胞体から1本の一次樹状突起のみを伸ばす、高度に極性化した形態を持つ。本研究はイメージング技術におけるゼブラフィッシュの有用性を活かし、プルキンエ細胞がどのようなメカニズムによって1本の一次樹状突起のみを形成するのかという問題を明らかにすることを目指す。

前年度までに、ゼブラフィッシュの小脳において、細胞種特異的な遺伝子発現を誘導するプロモーターを探索した。その結果、プルキンエ細胞で特異的に活性を持つものとしてaldolase like遺伝子(aldocl)のプロモーターを同定した。aldoclプロモーターの下流で細胞膜局在型GFPを少数のプルキンエ

細胞で発現させ、その形態を単一細胞の解像度で詳細に観察した。生きた個体を用いた経時的な観察から、プルキンエ細胞は発生初期においては多数の短い突起を持つが、それらの突起は伸び縮みを繰り返し、受精後4日目位までに1本の一次樹状突起のみを残し、他の突起は全て退縮することで、成熟した、極性化した形態を形成することが判った。プルキンエ細胞における細胞内小器官の分布について調べた結果、ゴルジ体が一次樹状突起の根元に高度に局限した局在を示すことを見出した。また、ゴルジ体は形態的な極性を持たない、若いプルキンエ細胞においても偏った分布を示した。さらにゴルジ体の輸送を薬剤によって阻害すると、樹状突起の伸長が著しく抑制された。これらの結果から、極性を持ったゴルジ体の分布が局所的な樹状突起の形成を誘導することが示唆された。

プルキンエ細胞の極性化を制御する分子的なメカニズムを明らかにするために、いくつかの変異体におけるプルキンエ細胞の形態を観察した。その結果、atypical PKC (aPKC) 遺伝子に変異を持つheart

and soul 変異体において、ブルキンエ細胞が発生後期まで多数の一次樹状突起を保持し、極性を持った樹状突起の形成が乱されていることを見出した。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tanabe K., Bae YK., Kani S., Shimizu T, Hibi M.: "Polarization and dendritic morphogenesis of cerebellar Purkinje cells", 8th International Conference on Zebrafish Genetics and Development, Madison, USA, Jun. (2008)

Tanabe K., Bae YK., Kani S., Shimizu T, Hibi M.: "Mechanisms controlling polarized dendritic morphogenesis of Purkinje cells in zebrafish cerebellum", *Frontiers in*

*Developmental Biology*, Presqu'île de Giens, France, Sep. (2008)

(国内会議等)

Tanabe K., Bae YK., Kani S., Shimizu T, Hibi M.: "Mechanisms controlling polarized dendritic morphogenesis of Purkinje cells in the zebrafish cerebellum", 第14回小型魚類研究会, 愛知県岡崎市, 9月 (2008)

田辺光志, Bae Young-ki, 可児修一, 清水貴史, 日比正彦: "ゼブラフィッシュを用いた、小脳ブルキンエ細胞の極性を持った樹状突起形成を制御するメカニズムに関する研究", BMB2008・第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会 合同大会, 兵庫県神戸市, 12月 (2008)

## XIX — 068

### 哺乳類の受精における細胞周期制御機構の解析

#### Molecular Mechanisms of the Cell Cycle Control at Fertilization in Mammals

研究者氏名: 庄司 志咲子 Shoji, Shisako

受入研究室: 生命分子システム基盤研究領域

システム研究チーム

(所属長 横山 茂之)

受精前の哺乳類卵は精子が到着するまでは分裂が開始されないように第二減数分裂中期(mII)で細胞周期を停止している。我々はこれまでにマウス卵においてEmi2というタンパク質がmII停止の決定因子(cytostatic factor, CSF)であることを明らかにしており、本研究ではこのEmi2によるmII停止の分子機構の解明を目指している。近年の我々や他の研究グループによる研究結果から、“CSFは細胞周期発振因子サイクリンをターゲットとする複合体型ユビキチンリガーゼであるAPC/サイクロソーム(APC/C)の阻害因子である”と現在は考えられているが、CSFがどのように作用してAPC/Cのユビキチンリガーゼ活性を阻害するのことは未だ分かっていない。脊椎動物のCSFはEmi1とEmi2/Erp1という二つのタンパク質(Emi/Erpファミリー)が知られており、C末端側のアミノ酸配列にはCSF機能に重要とされるモチーフが保存されている。本研究ではこのCSF領域とAPC/Cのユビキチンリガーゼ活性制御因子との関係に注目して解析を進めている。哺乳類のAPC/

Cは少なくとも12個のサブユニットタンパク質から構成され、分裂中期ではCdc20という補因子が結合した複合体APC/C<sup>Cdc20</sup>が活性化型として働く。前年度はAPC/C<sup>Cdc20</sup>の多数のサブユニットのうちユビキチンリガーゼ活性発現最小単位のサブユニットセットによる*in vitro*ユビキチンライゲーション反応システムを構築したが、これは本目的のアッセイ系として不十分な点があったので、本年度はこのシステム構成を再検討した。改定した反応システムを用いた実験において、Emi2のCSF領域とEmi1に共通してユビキチンリガーゼ活性阻害の効果が認められ、本反応システムに用いたAPC/Cサブユニットのセットの中にCSFが作用する分子が存在することが示唆された。今後はAPC/C<sup>Cdc20</sup>のユビキチン化反応部位とEmi2の相互関係について、これらのサブユニットを用いて解析する予定である。本研究ではEmi2の結晶構造解析も計画しているが、これまでの発現系や精製方法の検討結果から、マウスEmi2のCSF機能領域をこの試料として調製できる見込みである。

**単一細胞マイクロアレイによる、  
マウス生殖細胞形成を規定する機能遺伝子ネットワークの同定とその再構成  
Single Cell Microarray Analysis and Reconstitution of the Genetic Network  
for Mouse Germline Specification**

研究者氏名：栗本 一基 Kurimoto, Kazuki  
受入研究室：発生再生科学総合研究センター  
哺乳類生殖細胞研究チーム  
(所属長 斎藤 通紀)

生殖細胞は遺伝情報を次世代に継承する唯一の細胞であり、哺乳類においては原腸陥入の開始にともない原始外胚葉から分化する。発生初期には、始原生殖細胞 (primordial germ cell: PGC) は数個から数十個というごく少数の細胞であるため、通常の分子生物学的アプローチは困難である。近年、私は単一細胞cDNAを、各遺伝子の相対的発現レベルを正しく保ったまま効率よく増幅し、マイクロアレイに適用する手法を開発した。これにより、包括的かつ定量的な遺伝子発現解析が単一細胞レベルで可能になった。

本年度は、野生型マウス胚において原腸陥入開始直前(受精後6.25日)より約6時間ごとに、PGCへの運命決定を受けた前駆体(Blimp1陽性細胞)およびPGCを含む胚の一部から細胞を採取し、新規手法により詳細な単一細胞解析をおこなった。代表的な細胞のマイクロアレイ解析、また全Blimp1陽性細胞の定量PCR解析により、この過程における遺伝子発現動態を同定した。その結果、PGC前駆体は周囲の体細胞と同じく中胚葉誘導の影響下にあり、一部の中胚葉マーカーの発現上昇や分化多能性因子の抑制を一旦示した後、それらの発現プロファイルが反転するというダイナミックな過程を経ることが明らかになった。また、原始外胚葉や中胚葉には見られない多数の遺伝子の発現上昇・抑制も明らかになった。さらに、Blimp1欠損胚についても単一細胞マイクロアレイ解析を行い、Blimp1が体細胞的な遺伝子発現の抑制のほぼ全てに必要であることが判明した。一方、PGCで発現が上昇する遺伝子の半数については、Blimp1は必要ではなかったが、特異性の高い遺伝子群はBlimp1に対する依存性が強かった。さらに、PGCの発生初期より特異的に発現し、PGCの分化に必須の遺伝子Prdm14を同定した。興味深いことに、

Prdm14はPGCが潜在的分化多能性を保つためには必要であったが、中胚葉誘導の抑制や、ゲノム後成的修飾の再構成には不要であることが判明した。これらの解析により、PGC形成過程の全容を明らかにする基盤が出来つつあると考えている。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kurimoto K., Yabuta Y., Ohinata Y., Yamanaka K., Saitou M.: "Complex genome-wide transcription dynamics orchestrated by Blimp1 for the specification of the germ cell lineage in mice", *Genes & Development*, Vol.22 pp1617-1635 (2008)

Kawaguchi A., Ikawa T., Kasukawa T., Ueda H., Kurimoto K., Saitou M., Matsuzaki F.: "Single-cell gene profiling defines differential progenitor subclasses in mammalian neurogenesis", *Development*, Vol.135 pp3113-3124 (2008)

Kurimoto K., Yamaji M., Seki Y., Saitou M.: "Specification of the germ cell lineage in mice: a process orchestrated by the PR-domain proteins, Blimp1 and Prdm14.", *Cell Cycle*, Vol.7 22 pp3514-3518 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kurimoto K., Yabuta Y., Ohinata Y., Shigeta M., Yamanaka K., Saitou M.: "Single cell cDNA microarray analysis of the specification of mammalian germ-cell lineage", 3rd Single Cell Analysis Conference ETH Zurich, Zurich, Switzerland, Sep. (2008)

Kurimoto K.: "Single cell cDNA microarray analysis of mouse germ cell specification", Max-Planck Gesellschaft Seminar, Munster, Germany, Sep. (2008)



基礎科学特別研究員  
平成 20 年度採用者



## K 中間子ヘリウム3 原子 X 線の精密測定 Precise Measurement of Kaonic Helium-3 X-rays

研究者氏名：飯尾 雅実 Iio, Masami  
受入研究室：仁科加速器研究センター  
岩崎先端中間子研究室  
(所属長 岩崎 雅彦)

K中間子原子の最終準位は、強い相互作用の影響により電磁相互作用のみで計算された値からずれることが知られている。本研究では、高分解能シリコンドリフトX線検出を用いてK中間子ヘリウム3原子X線を測定することで、その最終準位(2p)のシフトを数eVの精度で決定し、低エネルギー極限でのK中間子と核子の相互作用について調べる。本研究はJ-PARCのハドロン実験施設内のK1.8BRビームラインにおいて行われるが、2009年1月現在、J-PARC 50GeVメインリングからハドロンホールに初めてビームが輸送され、ビームラインの調整が行われており2009年度にデータ収集を行う。

本年度は、液体ヘリウム3標的とシリコンドリフト検出器の開発を行った。本装置は1.3 Kまで冷却・保持される液体ヘリウム3標的セル周辺にシリコンドリフト検出器とPre-AMP(1台：~1 W)を8セット配置し両立させる。検出器のR&Dの結果、Pre-AMPは200 K以上の温度でないと動作しないことが確かめられており、1.3 K、0.2 Wの冷却システムとの両立は大変困難なことである。そこで、巨大な熱流入源となるPre-AMP等を、液体窒素で冷却された箱の中に配置し、液体窒素の熱シールドで全ての熱流入を受け止める方式を考案しR&Dを進めた。その結果、Pre-AMPの代わりにヒータを用いて200 K、10 Wの熱負荷をかけても、標的セルを1.4 Kに保持することに成功した。これは実験実現への大きな進歩である。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iio M., Ajimura S., Beer G., Bhang H., Buehler P., Busso

L., Cargnelli M., Chiba J., Choi S., Curceanu C., Enomoto S., Faso D., Fujioka H., Fujiwara Y., Fukuda T., Fukuda Y., Guaraldo C., Hanaki T., Hayano S. R., Hiraiwa T., Hirtl A., Iliescu M., Ishikawa T., Ishimoto S., Ishiwatari T., Itahashi K., Iwai M., Iwasaki M., Kienle P., Marton J., Matsuda Y., Mizoi Y., Morra O., Nagae T., Noumi H., Ohnishi H., Okada S., Outa H., Pietreanu D., Sada Y., Sakaguchi A., Sakuma F., Sato M., Sekimoto M., Sirghi D., Sirghi F., Suzuki T., Tatsuno H., Tokuda M., Tomono D., Toyoda A., Tsukada K., Widmann E., Wunschek B., Yamazaki T., Yim H. and Zmeskal J.: "Experimental Research of Kaonic Nuclei and Kaonic Atoms at J-PARC", 18th International Conference on Particles And Nuclei (PANIC08), Eilat, Israel, Nov. (2008)

(国内会議等)

飯尾雅実, 板橋健太, 岩崎雅彦, 應田治彦, 大西宏明, 佐久間史典, 佐藤将春, 塚田暁, 友野大, 藤岡宏之, 山崎敏光, 石元茂, 岩井正明, 鈴木祥仁, 関本美知子, 豊田晃久, 石川隆, 竜野秀行, 鈴木隆敏, 早野龍五, 松田恭幸, 永江知文, 平岩聡彦, 味村周平, 野海博之, 阪口篤志, 藤原裕也, 徳田真, 千葉順成, 福田共和, 溝井浩, Beer G., Bhang H., Choi S., Yim H., 石渡智一, Buehler P., Cargnelli M., Hirtl A., Kienle P., Marton J., Widmann E., Zmeskal J., 岡田信二, Curceanu C., Guaraldo C., Iliescu M., Pietreanu D., Sirghi D., Sirghi F., Faso D., Morra O. and Busso L.: "K 中間子原子核探索実験のための液体ヘリウム3標的の開発Ⅲ", 日本物理学会2008年秋季大会, 山形大学, 9月 (2008)



## XX - 002

### 重イオン衝突直後の早期熱平衡化と クォーク・グルーオン・プラズマ形成に関する研究

#### The study of Early Thermalization in the Heavy Ion Collisions and of Quark-gluon Plasma Formation

研究者氏名：古城 徹 Toru, Kojo

受入研究室：理論研究グループ

(所属長 L. McLerran)

現在RHICにおいてクォーク・グルーオン・プラズマ(QGP)の性質を探るべく、高エネルギー重イオン衝突実験が行われている。衝突後のプロセスは大まかにいって、クォーク・グルーオンの散乱からQGPへ熱平衡化に至る過程、QGP物質としての流体的膨張過程、温度低下に伴うハドロン化の過程、という三段階に分けられる。中でも熱平衡化過程は、流体的膨張過程の初期条件を決めるという実用的な側面に加えて、他に類を見ないQCD特有の非平衡系の問題が現れる可能性がある、という意味で概念的にも興味深い。現時点で、重イオン衝突直後には強いカラー電磁場が系のダイナミクスを支配することが示唆されているが、そこからどのような機構でQGPという(準)熱平衡系に至るのかについてはまだ定説はなく、重要な問題である。本研究では、カラー電磁

場から生じる粒子生成のプロセスを調べることがエントロピー生成に伴う熱平衡化につながり得ることから、その定量的評価を行なうことを目的としている。第一段階として、現在は一定のカラー電磁場による粒子生成の見積もりを行なっている。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Toru K. and Daisuke J.: "Sigma meson in pole-dominated QCD sum rules", Phys. Rev. D78, 114005 (2008)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Toru K.: "QCD Sum Rules and  $1/N_c$  expansion", HSQCD, Gatchina, Russia, Jul. (2008)

## XX - 003

### 余剰次元模型における電弱対称性の破れに関する研究

#### Research on Electroweak Symmetry Breaking in Extra-Dimensional Models

研究者氏名：阪村 豊 Sakamura, Yutaka

受入研究室：仁科加速器研究センター

川合理論物理学研究室

(所属長 川合 光)

素粒子の標準理論を越える物理の候補の1つである余剰次元模型の枠組みで電弱対称性の破れを引き起こす機構について研究を行った。電弱対称性の破れの機構については未だ解明されておらず、理論的観点からいくつかの模型が提唱されている。これらの模型は欧州原子核研究機構において本格始動しようとしているLHC実験によって検証が期待されている。そこで私は検証に必要な各模型に特徴的な測定量を見出し、標準理論を越える物理の特定に貢献することを目指した。

本年度はゲージヒッグス統合模型及び5次元超重力理論に基づいて、既存の実験結果と無矛盾な模型を構築した。これらの模型はそれぞれ標準理論で未解

決だった問題に対して利点を持っており、理論的にも興味深い。

(1)余剰次元方向に曲がった時空上のゲージヒッグス統合模型という枠組みで、特に物質場の構造の理解に重点を置き、現実的な模型を構築した。この模型はヒッグス粒子の質量に対する量子補正が5次元ゲージ対称性のおかげで有限になり、標準模型で問題であったゲージ階層性の問題が解決されるという利点を持つ。またWボソンやゲージ場とヒッグス場との結合定数が標準理論の値からずれることも予想しており、この模型を検証する際に重要な情報を与える。

(2)一般的な5次元超重力理論に基づいた余剰次元

模型において従来見落とされてきた効果を取り入れた計算を行い、特徴的な超対称粒子のフレーバー構造を見出した。具体的には余剰次元の大きさに対応するスカラーモード以外に超対称ベクトル多重項が軽いスカラーモードを持つような場合には4次元低エネルギー有効理論の構造が従来調べられてきたものと比べて現象論的に大きな変更を受けることを指摘した。これにより、既存の5次元超重力理論の模型と異なり、超対称理論におけるフレーバー問題を回避することが出来ることを示した。このことは超対称余剰次元模型において電弱対称性の破れを起こすような新たなパラメータ領域が存在することを意味しており、今後更に研究を行う価値がある。

#### ●誌上発表 Publications

Hosotani Y., Oda K., Ohnuma T., Sakamura Y.: "Dynamical electroweak symmetry breaking in  $SO(5) \times U(1)$  gauge-Higgs unification with top and bottom quarks", *Physical Review D*, Vol.78, pp096002-1-096002-16 (2008)

Abe H., Sakamura Y.: "Moduli stabilization and flavor structure in 5D SUGRA with multi moduli", *AIP Con-*

*ference Proceedings*, Vol.1078, pp414-416 (2008)

Abe H., Sakamura Y.: "Flavor structure with multi-moduli in 5D supergravity", *Physical Review D*, Vol.79, pp045005-1-045005-16 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Abe H., Sakamura Y.: "Moduli stabilization and flavor structure in 5D SUGRA with multi moduli", 16th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions, Seoul, Korea, Jun. (2008)

Abe H., Sakamura Y.: "Moduli stabilization and flavor structure in 5D SUGRA with multi moduli", PASCOS'08, Waterloo, Canada, Jun. (2008)

(国内会議等)

安倍 博之, 阪村 豊: "Moduli stabilization and flavor structure in 5D SUGRA with multi moduli", 日本物理学会2008年秋季大会, 山形, 日本, 9月 (2008)

安倍 博之, 阪村 豊: "Moduli stabilization and flavor structure in 5D SUGRA with multi moduli", 基研研究会「量子場の理論と弦理論の発展」, 京都, 日本, 7月 (2008)

## XX - 004

### RIBF-SLOWRI 計画のための

#### 大強度 RI ビーム用ガスキャッチャーシステムの開発

#### The Development of New Gas Catcher System for a High Intensity RI-beam at RIBF-SLOWRI Facility

研究者氏名: 園田 哲 Sonoda, Tetsu

受入研究室: 山崎原子物理研究室

(所属長 山崎 泰規)

本研究の目的は、理化学研究所の新しい加速器施設であるRIビームファクトリーの入射核破砕片分離器BigRIPSから供給されるあらゆる元素の高速RIビームを高効率で減速・冷却し高純度・低エミッタンスの低速RIビームへ生成することである。本機構において、革新的な低速不安定核ビーム生成法である高周波イオンガイド法が、広範囲な低速RIビームへの変換・生成部分の主力を担うことになるが、それとは独立な付加的機能として分離器内で捨てられたRIを再生してパラサイト的に低速RIビームを提供できる新しい機構Parasitic slow RI production with ion guide Laser Ion Source (PALIS)の開発を進めることを目指している。これは、小型アルゴンガスセ

ルをBigRIPS内スリット近傍に設置し、熱化・中性化したRIをガス流で引き出しレーザー共鳴イオン化によって低速RIビームを生成するものであり、他の実験が進行している間も毎日低速RIビームを只で得られる画期的な機能となる。

本年度は、具体的なガスセル設置個所で得られるRIビームの種類、強度の概算を行った。

(1)入射核破砕片分離器の軌道計算コードLISE++を使い、スリット面で捨てられるRIの種類、強度、エネルギー、角度分布をシミュレートした。

(2)使用されるガスセルの大きさに合わせ停止効率、不安定核の崩壊を含んだ半減期ごとのガス輸送効率を見積もった。

## ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Sonoda T., Wada M., Takamine A., Okada K., Schury P., Yoshida A., Kubo T., Matsuo Y., Furukawa T., Wakui T., Shinozuka T., Iimura H., Yamazaki Y., Katayama I., Ohtani S., Wollnik H., Schuessler H.A., Kudryatsev Y., Duppen P. Van, Huyse M., and the SLOWRI Collaboration: "Restoration of RI-beam from a projectile fragment separator by Laser Ionization gas Catcher", AIP Conf. Proc. 1104 132 (2009)

Okada K., Wada M., Nakamura T., Takamine A., Lioubimov V., Schury P., Ishida Y., Sonoda T., Ogawa M., Yamazaki Y., Kanai Y., Kojima T., Katayama I., Ohtani S., Kubo T., Yoshida A.: "Precision Measurement of the Hyperfine Structure of Laser-Cooled Radioactive Produced by Projectile Fragmentation", Physical Review Letters, Vol.101 pp212502-1-212502-4 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Wada M., Takamine A., Okada K., Sonoda T., Schury P., Lioubimov V., Yamazaki Y., Kanai Y., Kojima T., Kubo T., Iimura H., Katayama I., Ohtani S., Wollnik H., Schuch R.: "Universal Slow RI-Beam Facility at RIKEN RIBF for Laser Spectroscopy of Short-Lived Nuclei", International Conference on Laser Probing 2008 (LAP 2008), Nagoya, Japan, Oct. (2008)

(国内会議等)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中における短寿命核のレーザー核分光実験計画『OROCHI』の現状", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 山形, 日本, 9 月 (2008)

古川 武, 松尾 由賀利, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原

厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "理研"OROCHI" 実験計画: 超流動ヘリウムを利用した短寿命不安定核のレーザー核分光", RCNP 研究会「RCNP における不安定核の研究: RCNP ビームラインの可能性を探る」, 茨木, 日本, 8 月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウム中エキゾチック RI 原子の新奇なレーザー分光法 (OROCHI 法): 不安定核 Rb 原子の超微細構造精密測定へ向けて", 東北大学・CYRIC 研究会, Fundamental Physics using Atoms, 仙台, 日本, 8 月 (2008)

松尾 由賀利, 古川 武, 畠山 温, 風戸 正行, 山口 杏子, 星野 紗代, 佐々木 彩子, 涌井 崇志, 上野 秀樹, 青井 考, 吉見 彰洋, 武智 麻耶, 梅野 泰宏, 西村 俊二, 小林 徹, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透: "超流動ヘリウムを用いたレーザー核分光実験"OROCHI"-第一回ビーム実験へ向けて-", 第 5 回停止・低速不安定核ビームを用いた核分光研究会, 豊中, 日本, 12 月 (2008)

佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 古川 武, 風戸 正行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 小林 徹, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 畠山 温, 藤掛 浩太郎, 松浦 佑一, 小田原 厚子, 下田 正, 本林 透, 篠塚 勉, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中でのレーザー核分光に向けた蛍光検出系の開発", 日本物理学会第 64 回年次大会, 東京, 日本, 3 月 (2009)

古川 武, 藤掛 浩太郎, 畠山 温, 小林 徹, 松浦 佑一, 佐々木 彩子, 星野 紗代, 涌井 崇志, 風戸 正行, 山口 杏子, 和田 道治, 園田 哲, 高峰 愛子, 上野 秀樹, 吉見 彰洋, 青井 考, 西村 俊二, 梅野 泰宏, 武智 麻耶, 小田原 厚子, 下田 正, 篠塚 勉, 本林 透, 松尾 由賀利: "超流動ヘリウム中での光ポンピング法を用いた Ag 原子の高偏極生成とレーザー核分光への応用", 日本物理学会第 64 回年次大会, 東京, 日本, 3 月 (2009)

**X線スペクトルの時間変動で探る  
ブラックホール時空構造と一般相対論的降着円盤  
Exploring Black Hole Spacetime and General Relativistic Accretion Disk  
through X-ray Spectrum Time Variability**

研究者氏名：高橋 労太 Takahashi, Rohta

受入研究室：牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

前世紀からの精力的な観測的及び理論的な研究により、宇宙遠方から近傍までの広い時空にわたり、ブラックホール候補天体が数多く発見されてきた。今世紀のブラックホール天文学・宇宙物理学の目標として、ブラックホールの実存性を突き詰めること(ブラックホール候補天体は本当にブラックホールなのか?)、強重力下での重力理論(一般相対性理論など)の検証、強重力場でのプラズマ物理(ブラックホールからのエネルギー引き抜き過程など)の解明、及びブラックホール天体の宇宙進化における役割を解明すること、が挙げられる。本研究では、これらのテーマに直接切り込むことを試みる。特に、実証的に研究を推し進めるために、現在及び将来に精度の良いデータを得ることが可能な電磁波観測に関連した研究に焦点を絞り、将来及び現在の観測データに密接に関連した理論的研究を行う。これらの目標に迫るために、今年度新たに以下の数値計算コードを開発した：

- (1) 任意の時空での光の測地線計算コード
- (2) ブラックホール時空上での時間変動するプラズマ中での輻射輸送コード
- (3) プラズマ効果と強重力効果が同時に効く状況下(ブラックホール近傍の輻射非優勢降着流、マグネターの表面近傍など)での光子輻射輸送コード

まず、(1)のコードを元に、中心天体がブラックホールではない天体である裸の特異点周りの標準降着円盤のスペクトルを計算した。その結果、従来、ブラックホールを仮定して説明されていたスペクトルと非常に似たスペクトルが得られた。重要な点は、これらの似たスペクトルは完全に同一ではない

ので、将来の精度良いX線スペクトル観測によりブラックホールの実存性を更に高めることができる可能性があるということである(現在、Physical Review D誌に投稿中)。次に、(2)のコードを用い、我々の銀河中心Sgr A\*で起こっている可能性があるフレア現象及び円盤振動現象の時間変動の一般相対論効果を解明した。これらの計算を元に、ブラックホールのスピンのに関する情報などの、将来のサブミリ波及び赤外線観測で得られる観測的特質を理論的に予言した(日本天文学会秋季年会で口頭発表、論文は現在投稿準備中)。最後に、(3)のコードを用い、楕円銀河M87中心ブラックホール降着流の将来の電波干渉計での観測可能性・観測的特質などを計算した(論文は現在投稿準備中)。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

高橋 労太: "銀河中心ブラックホール Sgr A\* 円盤振動イメージング観測 simulations(I)", 日本天文学会 2008 年秋季年会, 岡山, 日本, 9 月 (2008)

高橋 労太: "銀河中心ブラックホール Sgr A\* 円盤振動イメージング観測シミュレーション", 日本天文学会 2009 年春季年会, 堺, 日本, 3 月 (2009)

高橋 労太: "ブラックホール環境の可視化", 第2回ブラックホール磁気圏勉強会, 名古屋, 日本, 2 月 (2009)

高橋 労太: "ASTRO-G 衛星で見る楕円銀河 M87 中心ブラックホール降着円盤", 巨大ブラックホール天文学: 最新の動向と課題, 京都, 日本, 1 月 (2009)

**XX - 006 雷活動からの X 線や核  $\gamma$  線観測による電場での粒子加速の検証**  
**Study of Particle Acceleration in Electric Fields by Measuring X Rays and Nuclear Gamma Rays from Thunder Activity**

研究者氏名：土屋 晴文 Tsuchiya, Harufumi  
受入研究室：牧島宇宙放射線研究室  
(所属長 牧島 一夫)

近年、地球内の雷や雷雲から、X線や $\gamma$ 線といった従来の常識では考えられなかった高エネルギーな放射線が見つかっている。こうした放射線の発生には、雷や雷雲がもつ強い電場によって相対論的なエネルギーに加速された電子が深く関与していると考えられているが、その生成メカニズムは観測的にも理論的にも、まだなぞが多い。そこで、放射線の生成メカニズムを解明し、電場による粒子加速を検証することが本研究の目的である。

2006年12月より日本海側の柏崎刈羽原子力発電所構内で、冬季雷活動からの放射線観測を続けている。実際に2007年1月7日や12月14日の早朝に得られたガンマ線のデータから、冬の雷雲が電子を10 MeV以上に加速できることを突き止めた。そこで、本年度、夏の雷雲も粒子加速器かどうかを探るために、標高2770 mにある乗鞍宇宙線観測所に、新たに開発した装置を用いて放射線観測を実施した。その結果、9月21日と22日に、あわせて4例の放射線の増大を検出した。3例は雷放電に同期して1秒以下の継続時間を持ち、電子のみが観測されたと考えられる。一方、残りの1例は雷放電にはまったく同期せずに90秒ほど続き、電子と光子が同時に観測された。得られた光子スペクトラムは10 keV から10 MeVまで伸び、そのスペクトラムへのモデルフィットの結果、観測された光子は90 mほど離れたところから飛来した制動放射 $\gamma$ 線とわかった。さらに観測された電子の大部分は、雷雲中の電場で20 MeVにまで加速された電子が加速領域から抜け出して来たとして解釈できた。こうしたことから、夏の雷雲もまた、まぎれもなく粒子加速器であることがわかった。

本年度も冬季の雷活動が活発になる11月中旬より柏崎刈羽原発で観測を開始した。12月には、当初からの目的であった携帯端末を利用して、データ転送を可能にした。2008年度の冬には、5例の放射線増大を得ることができた。とくに、2008年12月23日に得られた放射線増大では、雷放電に同期して光子(>40 keV)と電子(>400 keV)がはじめて同時に観測された。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

土屋 晴文, 榎戸 輝揚, "雷雲  $\gamma$  線の生成と粒子加速", プラズマ・核融合学会誌, Vol.84 7, pp410-416 (2008)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tsuchiya H.: "Recent progresses in research of non-thermal processes in lightning and thudnerclouds", International Congress on Plasma Physics 2008 (ICPP 2008), Fukuoka, Japan, Sep. (2008)

Tsuchiya H.: "Energitic radiation bursts associated with terrestrial thunder activity", International Workshop on Variabilities of Solar-Cosimc and Terrestrial Environment, Yokohama, Japan, Dec. (2008)

(国内会議等)

土屋 晴文: "雷雲からのガンマ線と粒子加速", 第3回「原子分子が関与したプラズマの複雑性と構造形成」研究会, 京都, 日本, 3月 (2008)

土屋 晴文, 榎戸 輝揚, 湯浅 孝行, 山田 真也, 川原田 円, 北口 貴雄, 国分 紀秀, 加藤 博, 岡野 眞治, 中村 聡史, 牧島 一夫: "Observatons of high-energy gamma rays from winter thunderlcouds on the Japan Sea (I)", 日本地球惑星科学連合2008年大会, 千葉, 日本, 5月 (2008)

土屋 晴文, 榎戸 輝揚, 山田 真也, 湯浅 孝行, 北口 貴雄, 川原田 円, 国分 紀秀, 牧島 一夫, 加藤 博, 岡野 眞治, 中村 聡史: "日本海側の冬季に発生する雷雲からの高エネルギーガンマ線の観測", 平成20年電気学会基礎・材料・共通部門大会, 習志野, 日本, 8月 (2008)

土屋 晴文, 榎戸 輝揚, 山田 真也, 湯浅 孝行, 川原田 円, 北口 貴雄, 国分 紀秀, 加藤 博, 岡野 眞治, 中村 聡史, 牧島 一夫: "2007年中における冬季雷雲からのガンマ線観測", 日本物理学会2008年秋季大会, 山形, 日本, 9月 (2008)

マグネターを手掛かりにした  
強磁場中性子星の高エネルギー現象の解明

Study on High Energy Phenomena around Strongly Magnetized Neutron Star Using Magnetars

研究者氏名：中川 友進 Nakagawa, Yujin

受入研究室：牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

観測事実から我々の宇宙には $B \sim 10^{15}$ Gもの超強磁場を持つ中性子星である「マグネター」が要求されている。ところが、候補天体の発見から約30年を経過しても未だに直接的な証拠が無い。本研究は日本のX線天文衛星「すざく」を用いたX線・ガンマ線の観測的研究により、陽子のサイクロトロン共鳴散乱による吸収線を発見し、マグネターの存在を直接的に証明することを目的としている。これは世界初の大発見になるだけでなく、 $B > 4.4 \times 10^{13}$ Gでのみ可能な物理学の研究が初めて現実となる「宇宙の超強磁場実験場」を切り拓くことになる。本年度は以下の研究を行った。

2008年8月22日にマグネターの新しい候補天体(SGR 0501+4516)が発見され、私は即座に「すざく」衛星を用いた緊急観測を提案し採択された。この観測中にバーストの検出に成功し、エネルギースペクトルの約28 keVに吸収線構造の兆候を見出した。吸収線の起源には電子・陽子のサイクロトロン共鳴散乱という二つの可能性があり、それを区別するためには基本波と高調波の同時検出が必須であるが、今回は一つだけであった。もし、この起源が陽子のサイクロトロン共鳴散乱の基本波ならば $B \sim 4.5 \times 10^{15}$ Gとなる。この観測により硬X線領域(10 keV以上)でのバーストのエネルギースペクトルの精密測定が極めて重要であることが分かった。これらの成果は即座に論文誌に投稿し受理された。

さらに2009年1月22日にマグネターの候補天体であるAXP 1E 1547.0-5408が活発なバースト(数十ミリ秒の間に $F \sim 10^{-6}$  erg cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>ものX線・ガンマ線を放出する)活動を示した。僅か一日で約260個ものバーストを起こし、非常に活発な活動だったため、「すざく」衛星による緊急観測が行われた。解析は今後進めていく。

前述の二つの観測は事前提案を伴わない緊急観測であったが、さらなる研究を行うために二つの事前提案(平成21年度中に行う観測)を行った。一つは候補天体が活発なバースト活動を示した際に行う観測であり、もう一つは静穏状態の系統的な観測であ

る。これらの事前提案は現在審査中である。

●誌上发表 Publications

(原著論文)

- Bellm E. C., Hurley K., Pal'shin, V., Yamaoka K., Bandstra M. S., Boggs S. E., Hong S., Kodaka N., Kozyrev A. S., Litvak M. L., Mitrofanov I. G., Nakagawa Y. E., Ohno M., Onda K., Sanin A. B., Sugita S., Tashiro M., Tretyakov V. I., Urata Y., and Wigger C.: "Observations of the Prompt Gamma-Ray Emission of GRB 070125", *The Astrophysical Journal*, Volume 688 Issue 1 pp.491-498 (2008)
- Enoto T., Nakagawa Y. E., Rea N., Esposito P., Götz D., Hurley K., Israel G. L., Kokubun M., Makishima K., Mereghetti S., Murakami H., Nakazawa K., Sakamoto T., Stella L., Tiengo A., Turolla R., Yamada S., Yamaoka K., Yoshida A., and Zane, S.: "*Suzaku* Observation of the New Soft Gamma Repeater SGR 0501+4516 in Outburst", *The Astrophysical Journal*, Volume 693 Issue 2 pp.L122-L126 (2009)
- Naik S., Dotani T., Kawai N., Kokubun M., Anada T., Morii M., Mihara T., Enoto T., Kawaharada M., Murakami T., Nakagawa Y., Takahashi H., Terada Y., Yoshida A.: "*Suzaku* observation of the anomalous X-ray pulsar CXOU J164710.2-455216", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol.60 No.2 pp.237-244 (2008)
- Nakagawa Y., Sakamoto T., Sato G., Gehrels N., Hurley K., and Palmer D.: "The *Swift* discovery of X-ray afterglows accompanying short bursts from SGR 1900+14", *The Astrophysical Journal*, Volume 681, Issue 2, pp.L89-L92 (2008)
- Nakagawa Y. E., Mihara T., Yoshida A., Yamaoka K., Sugita S., Murakami T., Yonetoku D., Suzuki M., Nakajima M., Tashiro M., and Nakazawa K.: "*Suzaku* Observations of SGR 1900+14 and SGR 1806-20", *Publication of the Astronomical Society of Japan*,

Vol.61 No.SP1 pp.S387-S393 (2009)

- Nakagawa Y. E., Yoshida A., Yamaoka K. and Shibasaki N.: "Uniting the Quiescent and Burst Emission Spectra of Magnetar Candidates", Publication of the Astronomical Society of Japan, Vol.61 No.1 pp.109-122 (2009)
- Pélangéon A., Atteia J. -L., Nakagawa Y. E., Hurley K., Yoshida A., Vanderspek R., Suzuki M., Kawai N., Pizzichini G., Boër M., Braga J., Crew G., Donaghy T. Q., Dezalay J. P., Doty J., Fenimore E. E., Galassi M., Graziani C., Jernigan J. G., Lamb D. Q., Levine A., Manchanda J., Martel F., Matsuoka M., Olive J. -F., Prigozhin G., Ricker G. R., Sakamoto T., Shirasaki Y., Sugita S., Takagishi K., Tamagawa T., Villasenor J., Woosley S. E., and Yamauchi M.: "Intrinsic properties of a complete sample of HETE-2 gamma-ray bursts A measure of the GRB rate in the Local Universe", Astronomy and Astrophysics, Volume 491 Issue 1 pp.157-171 (2008)
- Shirasaki Y., Yoshida A., Kawai N., Tamagawa T., Sakamoto T., Suzuki M., Nakagawa Y., Kobayashi A., Sugita S., Takahashi I., Arimoto M., Shimokawabe T., Pazmino N. V., Ishimura T., Sato R., Matsuoka M., Fenimore E. E., Galassi M., Lamb D. Q., and Graziani C.: "Multiple-Component Analysis of the Time-Resolved Spectra of GRB041006: A Clue to the Nature of the Underlying Soft Component of GRBs", Publication of the Astronomical Society of Japan, Vol.60 No.4 pp.919-931 (2008)
- Yamaoka K., Endo A., Enoto T., Fukazawa Y., Hara R., Hanabata Y., Hong S., Kamae T., Kira C., Kodaka N., Kokubun M., Maeno S., Makishima K., Miyawaki R., Morigami K., Murakami T., Nakagawa Y. E., Nakazawa K., Ohno M., Onda K., Sato G., Sonoda E., Sugita S., Suzuki M., Suzuki M., Tajima H., Takahashi T., Takahashi T., Tanaka H., Tamagawa T., Tashiro M., Terada Y., Uehara T., Urata Y., Yamauchi M., Yoshida A., Hurley K., Pal'shin V., Sakamoto T., and Cummings J.: "Design and In-orbit Performance of the Suzaku Wide-band All-sky Monitor", Publication of the Astronomical Society of Japan, Vol.61, No.SP1, pp.S35-S53 (2009)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

- Nakagawa Y.: "HETE-2 highlights", Vulcano Workshop 2008, Vulcano, Italy, May (2008)
- Nakagawa Y. E., Sakamoto T., Sato G., Gehrels N., Hurley K., and Palmer D. M.: "X-ray Afterglows Accompanying SGR Short Bursts Discovered by *Swift*", 6th Huntsville Gamma-ray Burst Symposium, Huntsville, USA, October (2008)
- Nakagawa Y. E., Yoshida A., Hurley A., Yamaoka K., Shibasaki S., and HETE-2 Team: "Studies on Quiescent and Burst Emission Spectra of Magnetar Candidates", Thirty Years of Magnetars, Aspen, USA., February (2009)
- Nakagawa Y. E., Yoshida A., Yamaoka K., and Shibasaki S.: "Uniting Quiescent and Burst Emission Mechanisms of Magnetar Candidates", Neutron Stars and Gamma Ray Bursts, Cairo, Egypt, March (2009)
- (国内会議等)
- 中川 友進, 三原 建弘, 吉田 篤正, 山岡 和貴, 杉田 聡司, 鈴木 素子, 中島 基樹, 村上 敏夫, 米徳 大輔, 田代 信, 中澤 知洋: "「すぎく」衛星による軟ガンマ線リピーター SGR 1900+14/1806-20の観測", 日本天文学会 2008 年秋季年会, 岡山, 日本, 9 月 (2008)
- 中川 友進, 吉田 篤正, Kevin Hurley, 山岡 和貴, 柴崎 徳明, 松岡 勝, 河合 誠之, 坂本 貴紀, George Ricker, HETE-2 チーム, *Suzaku* AO-1 SGR ToO チーム, *Swift* チーム: "マグネターのバースト/定常放射の X 線・ $\gamma$  線観測による系統的研究", 第 9 回高エネルギー宇宙物理連絡会研究会, 愛媛, 3 月 (2009)
- 中川 友進, 榎戸 輝揚, 山田 真也, 中澤 知洋, 牧島 一夫, 山岡 和貴, 吉田 篤正, 村上 弘志, 坂本 貴紀, 国分 紀秀, Kevin Hurley, Nanda Rea, 他 SGR 0501+4516 観測チーム: "「すぎく」による軟ガンマ線リピーター SGR 0501+4516 の ToO 観測(2)", 日本天文学会 2009 年春季年会, 大阪, 日本, 3 月 (2009)
- 中川 友進, 三原 建弘, 森井 幹雄, 吉田 篤正, 山岡 和貴, 江口 智士, 河合 誠之, 鈴木 素子, 松岡 勝, 他 MAXI チーム: "MAXI で切り拓くマグネター研究 ~ 全天マップ・活動モニタリング ~", 日本天文学会 2009 年春季年会, 大阪, 日本, 3 月 (2009)

## XX-008 SPring-8 逆コンプトン $\gamma$ 線ビームを用いたペンタクォークの研究 Study on Penta-quark Baryon Using Backward Compton $\gamma$ Rays at SPring-8

研究者氏名：新山 雅之 Niiyama, Masayuki  
受入研究室：仁科加速器研究センター  
延興放射線研究室  
(所属長 延興 秀人)

現在までに確立されているハドロンは全て3つのクォーク、或いはクォーク・反クォークペアで構成されており、4つ以上のクォークで構成されるマルチクォーク粒子の世界は全く未知の領域である。2002年、我々はSPring-8逆コンプトン $\gamma$ 線ビームラインにおいて、5つのクォークで構成されるペンタクォーク粒子( $\Theta^+$ )を発見した。しかし、その存否は未だに確定せず、ハドロン物理の重要な研究テーマとなっている。本研究では、ペンタクォーク粒子 $\Theta^+$ の存否を確定しマルチクォーク粒子の世界を拓く事を目的としている。

本年度は、重水素標的からの $\gamma n \rightarrow K-\Theta^+ \rightarrow K- K+n$ 反応を用いた $\Theta^+$ 生成の報告と $\gamma n \rightarrow K-\Theta^+ \rightarrow K- K^0s p$ 反応を用いた $\Theta^+$ 生成実験のための基礎データの取得を行った。また、 $\Theta^+$ 粒子に対しクォークのフレーバーを入れ替えた相補的な粒子であるの光生成についても生成断面積などのデータをまとめた。

重水素標的の中性子からの $\gamma n \rightarrow K-\Theta^+ \rightarrow K+ K-n$ 反応を用いた $\Theta^+$ 生成では $\phi$ 中間子生成による $\gamma p \rightarrow \phi p \rightarrow K+K-p$ 反応が非常に強く、バックグラウンドの見積もりが困難であった。しかし、 $\gamma n \rightarrow K-\Theta^+ \rightarrow K- K^0s p$ 反応を用いれば、 $\phi$ 中間子生成によるバックグラウンドは混入せず、クリーンな状況で $\Theta^+$ 探査を行うことができる。本年度は、液体重水素標的とTime Projection Chamber (TPC) とを用いたセットアップで30日間のテストデータを取得し、 $\Theta^+$ 探査が十分に可能であることを確認した。TPCを用いた実験ではデータ収集速度が問題となっていた。そこで、並列

分散化されたデータ収集の負荷を最適化し、データ収集系にダブルバッファを実装することで、40%データ収集速度を向上させた。これにより、最大のレーザー強度でのデータ取得が可能になった。また、モンテカルロシミュレーションを行い30日で約100イベントの $\Theta^+$ 生成を測定できることを確認した。さらに、テストデータから $\gamma n \rightarrow K- K^0s p$ 反応も確認し、現在データ整理を進めている。本年度中に、バックグラウンドイベントを同定し $\Theta^+$ 生成の測定の統計精度を見積もる。来年度に $\Theta^+$ 探査の本実験を行う予定である。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Miwa K., Dairaku S., Nakajima D., Ajimura S., Arvieux J., Fujimura H., Fujioka H., Fukuda T., Funahashi H., Hayata M., Hicks K., Imai K., Ishimoto S., Kameyama T., Kamigaito S., Kinoshita S., Koike T., Ma Y., Maruta T., Miura Y., Miyabe M., Nagae T., Nakano T., Nakazawa K., Naruki M., Noumi H., Niiyama M., Saito N., Sato Y., Sawada S., Seki Y., Sekimoto M., Senzaka K., Shirotori K., Shoji K., Suzuki S., Takahashi H., Takahashi T., Takahashi T., Tamura H., Tanaka N., Tanida K., Toyoda A., Watanabe T., Yosoi M., Zavislak R., "Search for the  $\Theta^+$  via the  $K^+p \rightarrow \pi^+X$  reaction with a 1.2 GeV/c  $K^+$  beam", Physical Review C, Vol.77 pp045203-1-045203-10 (2008)



## XX - 009 J-PARC での飛行 K 中間子を用いた K 中間子束縛状態の探索実験 Experimental Search of Kaon Bound States by Using In-flight Kaons at J-PARC

研究者氏名：藤岡 宏之 Fujioka, Hiroyuki  
受入研究室：仁科加速器加速器研究センター  
岩崎先端中間子研究室  
(所属長 岩崎 雅彦)

反K中間子が原子核に束縛したK中間子束縛状態の存在が理論的に予想されており、世界中の様々な加速器施設において探索実験が行われている。今年度完成予定の大強度陽子加速器J-PARCにおいても、最も単純なK中間子束縛状態 $K_{pp}$ の探索実験(E15実験)が予定されている。E15実験では、負K中間子ビームを液体ヘリウム3標的に照射し、 $(K, n)$ 反応を用いて $K_{pp}$ 束縛状態を生成する。その際に前方に放出される中性子の運動量を測定することで、missing-massを求めることができる。また、 $K_{pp}$ 束縛状態の2体崩壊によって放出される $\Lambda$ 粒子と陽子も、標的を取り囲む円筒型検出器を用いて検出することでバックグラウンドを減らす。

既にFINUDA実験グループが $K_{pp}$ 束縛状態の存在を示唆するデータを発表している。彼らは静止負K中間子の原子核吸収の後に放出される $\Lambda$ 粒子と陽子を検出し、その不変質量分布が始状態の質量と比べて大きく減少していることを観測した。しかしながら、束縛状態が存在しなくても別の過程によって同様の分布になるという理論的解釈もあり、 $K_{pp}$ 束縛状態の存否については決着がついていないのが現状である。本実験では生成反応と崩壊反応の両方を同時に測定することで、解釈の不定性を大きく減らすことができると考えられる。

本研究では、E15実験において $(K, n)$ 反応と同時に $(K, p)$ 反応のmissing-mass分布を測定することを目指し、標的から前方に放出される陽子用の検出器の設計を行ってきた。液体ヘリウム3標的について $(K, n)$

反応を測定するのは今回が初めてであり、束縛状態生成以外のバックグラウンドについては今のところよく分かっていない。2種類の反応のmissing-massスペクトルの比較を行うことにより、束縛状態の有無についてより詳細な情報が得られると期待される。両反応のmissing-mass分解能は少なくとも同程度であることが望ましいために、中性子と同じようにプラスチックシンチレータを用いて陽子を検出し、飛行時間法によって運動量を求めることにした。また、モンテカルロ・シミュレーションを行うことで、必要なプラスチックシンチレータの大きさについても評価も行った。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Miwa K., Dairaku S., Nakajima D., Ajimura S., Arvieux J., Fujimura H., Fujioka H., Fukuda T., Funahashi H., Hayata M., Hicks K., Imai K., Ishimoto S., Kameyama T., Kamigaito S., Kinoshita S., Koike T., Ma Y., Maruta T., Miura Y., Miyabe M., Nagae T., Nakano T., Nakazawa K., Naruki M., Noumi H., Niiyama M., Saito N., Sato Y., Sawada S., Seki Y., Sekimoto M., Senzaka K., Shirotori K., Shoji K., Suzuki S., Takahashi H., Takahashi T., Takahashi T., Tamura H., Tanaka N., Tanida K., Toyoda A., Watanabe T., Yosoi M., Zavislak R.: "Search for the  $\Theta^+$  via the  $K^+p \rightarrow \pi^+X$  reaction with a 1.2 GeV/c  $K^+$  beam", Physical Review C, Vol.77 pp045203-1-045203-10 (2008)

## XX - 010 クェーサー吸収線を用いた活動銀河核の研究 Active Galactic Nuclei Probed by QSO Absorption Lines

研究者氏名：三澤 透 Misawa, Toru  
受入研究室：牧島宇宙放射線研究室  
(所属長 牧島 一夫)

クェーサー中心領域に形成される降着円盤から(主に輻射圧で)加速されている「放出ガス」の幾何学的構

造の解明を進めている。放出ガスをキューサーのスペクトル上で吸収線として検出することにより、ガスの物理量を定量的に評価することが出来る。その時間変動を探れば、放出ガスの構造に大きな制限をつけることが可能。過去5年以上にわたる「すばる望遠鏡」を用いた自身のモニター観測の結果により、時間変動の原因はすでに以下の2点に絞られている。

(1) 散乱光による(背景光源に対する吸収体の)遮蔽率の変動。散乱光は偏光率が高いため、偏光分光観測により確認できる。

(2) (光源と吸収体の間に存在する)遮蔽物質による吸収体の電離状態の変化。高エネルギー状態にあると思われる遮蔽物質の存在はX線分光観測で確認できる。

いずれも放出ガスの構造を探るうえで重要な結果をもたらす。今年度、私はすばる望遠鏡を用いた偏光分光観測から、吸収線の時間変動に散乱光がほとんど寄与しないことを確認した。この結果はすみやかに論文化したい。今後は遮蔽物質の検出を目的としたX線分光観測に取り組んでいきたい。また研究室内の共同研究として、キューサーの重力レンズ像をターゲットとした同様な観測も立案した。すでにすばる望遠鏡で(初回の申請にもかかわらず)観測時間を確保している。複数の視線方向で放出ガスをトレースできるため、従来の観測では得ることの出来なかった全く新しい結果がもたらされる可能性がある。

上記メインテーマと並行して、今年度は以下のテーマにも取り組んだ。

・宇宙におけるフラアーレンの検出を目的としたプロジェクトを、石橋極微デバイス工学研究室との共同研究として推進している。研究奨励ファンド採択課題のひとつ。アストロバイオロジー研究会でも発表

し、同分野への参入を果たした。

・Magellanic Bridgeの化学進化から、遠方宇宙における巨大中性水素雲(通称、DLA)の金属量進化を探るプロジェクトを継続している(最初の論文がApJに受理された。VLTでの観測時間も新たに確保済み)。

・次世代30m級巨大望遠鏡(通称、TMT)計画にサイエンスの提案という形で貢献した。

・国内におけるキューサー吸収線研究の更なる発展に寄与すべく研究会企画(1件)、研究会発表(3件)、大学・研究所でのセミナー(3件)を行った。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

三澤 透: "TMTで拓かれるキューサー吸収線研究の新时代", 2008年度光学赤外線天文連絡会シンポジウム「地上大型望遠鏡計画:2020年のための決心」, 東京, 日本, 8月(2008)

三澤 透, Charlton J., Eracleous M., Ganguly R., Tytler D.: "キューサー吸収線で探る活動銀河核", 日本天文学会2008年秋季年会, 岡山, 日本, 9月(2008)

三澤 透, Charlton J., Kobulnicky H., Wakker B., Bland-Hawthorn J.: "Magellanic Bridgeの化学組成: DLA吸収線系との比較", 第2回キューサー吸収線研究会, 北海道長万部町, 日本, 10月(2008)

三澤 透, 飛田 聡, GANDHI P., 玉川 徹, 山口 智弘: "銀河における巨大有機分子(フラアーレン)の存在可能性を探る", アストロバイオロジーワークショップ2008, 神奈川県葉山町, 日本, 12月(2008)

三澤 透, GANDHI P., 飛田 聡, 玉川 徹, 山口 智弘: "Search for large organic molecules in the Galaxy and beyond", 研究会「30m望遠鏡での中間赤外線サイエンスの展開」, 東京, 日本, 12月(2008)

## XX-011 X線撮像分光観測による超新星残骸の元素組成とその空間分布の測定

### Measurement of the Elemental Composition and Distribution in Supernova Remnants by X-ray Imaging Spectroscopy

研究者氏名: 山口 弘悦 Yamaguchi, Hiroya

受入研究室: 牧島宇宙放射線研究室

(所属長 牧島 一夫)

X線衛星「すざく」が観測した、大マゼラン星雲内の超新星残骸30DorCのデータを解析した。その非熱的X線スペクトルからはカットオフを初めて検出

し、エネルギーが数10TeVにも及ぶ電子からのシンクロトロンX線であることを確定させた。30DorCは、これまでにシンクロトロンX線が観測された超

新星残骸の中で最も実半径が大きく、年齢は1万年程度と見積もられる。これらの事実から、放射によるエネルギー損失を受けない陽子は $10^{15}$ eV程度まで加速されている可能性が強く示唆される。また、熱的X線のスペクトルからは、周辺の星間物質中に、酸素やネオンなどの比較的軽い元素が鉄など重い元素に対して多く含まれている証拠を捕らえた。30DorCのごく近傍で過去に複数回、大質量星の爆発が起こったためと考えられる。

また、銀河系内の超新星残骸Vela SNRの一部を「すぎく」によって観測し、超新星爆発時に放出された「重元素の塊」を発見した。元素組成の詳しい測定により、爆発前の星内部の比較的浅い層において炭

素の燃焼によって生成された酸素・ネオン・マグネシウムが多量に含まれていることが明らかになった。この超新星残骸からは、同様の「重元素の塊」の候補が他にも見つかっており、今後それらを観測する予定である。その分布や各々の元素組成等は、大質量星の爆発メカニズムを知る上で重要な手掛かりとなるであろう。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

山口 弘悦: "Suzakuによる最も大きな非熱的超新星残骸30DorCの観測" 日本天文学会2008年秋季年会, 岡山, 日本, 9月 (2008)

## XX - 012

### 原子核密度汎関数法に基づいた 不安定原子核における集団運動の微視的記述 Microscopic Description of Collective Modes in Unstable Nuclei Based on Nuclear Density Functional Theory

研究者氏名: 吉田 賢市 Yoshida, Kenichi

受入研究室: 仁科加速器研究センター

中務原子核理論研究室

(所属長 中務 孝)

理研RIBFの稼働により実験可能となる中間質量及び重い中性子過剰核における励起状態の性質を予言し、その物理的な理解を得られる理論を構築することを目的とした。本研究では特に、広い質量数領域にある原子核の静的及び動的性質を統一的に記述できる枠組みとして期待されている原子核密度汎関数法に基づいた新しい理論枠組み及び計算コードの構築を行った。原子核の励起状態、特に低励起集団モードを微視的に記述するためにはまず、フェルミ面近傍のシェル構造を適切に記述することが必要となる。そのため、核子の超流動性及び平均ポテンシャルの変形を考慮に入れなければならない。更に、ドリップ線近傍にある原子核でフェルミ面が浅い状況を考えると、連続エネルギー状態を陽に考慮に入れる必要がある。本年度、近似的にこれら3要素を取り入れた動的平均場理論計算コードを構築した。超流動性に関しては、連続エネルギー領域にある核子も適切に取り扱える座標表示Bogoliubov近似を行った。変形に関しては軸対称性を仮定した。多くの原子核は軸対称性を保っているため、この近似は十分良いものと考えられる。連続状態

の効果は、波動関数をBoxに閉じ込めエネルギーを離散化することで考慮に入れた。よく用いられている調和振動子型ポテンシャル基底による波動関数の展開に比べれば、連続状態の性質を効果的に取り入れることができる。計算機の性能の発達とともに、Boxの大きさを自由に变化できるようになれば、連続状態の寄与を定量的に議論できるようになる。

この新しい計算コードを、球形不安定核や変形した安定核の励起モードに適用し、既存の理論計算との比較を行い、計算の正しさをチェックした。その後、変形した中性子過剰核に適用し、理論的予測を行った。世界に先駆けて、動的密度汎関数理論に基づき変形した不安定原子核における励起モードを記述することに成功した。更に、励起状態の微視的構造を分析することにより、変形した中性子過剰核における低励起集団モードの性質の特異さを明らかにした。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yoshida K., Nguyen V. G.: "Low-lying dipole resonance

in neutron-rich Ne isotopes", Physical Review C, Vol.78  
1 pp014305-1-014305-9 (2008)

Yoshida K., Yamagami M.: "Low-frequency  $K\pi=0^+$  modes  
in deformed neutron-rich nuclei: Pairing- and  $\beta$ -vibra-  
tional modes of neutrons", Physical Review C, Vol.77  
4 pp044312-1-044312-9 (2008)

Ogasawara H., Yoshida K., Yamagami M., Mizutori S.,  
Matuyanagi K.: "Triaxiality dependence of octupole  
excitations on superdeformed states in  $^{44}\text{Ti}$ ", Progress  
of Theoretical Physics, Vol.120 6 pp1169-1192 (2008)

Yoshida K., Nguyen V. G.: "Deformed quasiparticle-ran-  
dom-phase approximation for neutron-rich nuclei us-  
ing the Skyrme energy density functional", Physical  
Review C, Vol.78 6 pp064316-1-064316-10 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshida K.: "Low-lying excitation modes in deformed  
neutron-rich nuclei", International Workshop on Nu-  
clear Structure Physics, Shanghai, China, Jun. (2008)

Yoshida K.: "Deformed quasiparticle-random-phase ap-  
proximation for neutron-rich nuclei using the Skyrme  
density functional", Hokudai-TORIJIN-JUSTIPEN-  
EFES Workshop & JUSTIPEN-EFES-Hokudai-  
UNEDF Meeting, Morimachi, Hokkaido Pref., Japan,  
Jul. (2008)

Yoshida K.: "Self-consistent calculations for low-lying  
excitation modes in deformed neutron-rich nuclei us-  
ing a Skyrme density functional", 5th International  
Conference on Exotic Nuclei and Atomic Masses  
(ENAM 08), Ryn, Poland, Sep. (2008)

(国内会議等)

吉田 賢市: "Low-lying excitation modes in deformed  
neutron-rich nuclei", Workshop on "Frontier in  
Unstable Nuclear Physics", 札幌, 日本, 7月 (2008)

吉田 賢市: "Pairing and continuum effects on low-  
lying excitation modes in deformed neutron-rich  
nuclei", 筑波大学原子核理論研究室セミナー, つ  
くば, 日本, 5月 2008

吉田 賢市: "対相関と変形相関の与える中性子過剰不  
安定核の集団運動への効果", 千葉大学原子核理論  
研究室セミナー, 千葉, 日本, 10月 (2008)

吉田 賢市, Nguyen Van G.: "Deformed QRPA calcu-  
lations using a Skyrme density functional", 日本  
物理学会 2008 年秋季大会, 山形, 日本, 9月 2008

吉田 賢市: "中性子過剰不安定核に対する量子多体計  
算", 次世代スーパーコンピューティング・シンポ  
ジウム 2008, 東京, 日本, 9月 2008

笠原 弘道, 吉田 賢市, 水鳥 正二郎, 山上 雅之, 松柳  
研一: " $^{44}\text{Ti}$ の超変形状態に伴う8重極振動モードの  
非軸対称変形依存性", 小日本物理学会2008年秋季  
大会, 山形, 日本, 9月 2008

## XX - 013 ミュオンスピン緩和法による量子臨界点近傍における磁性研究

### Muon Spin Relaxation Study of Magnetism around a Quantum Critical Point

研究者氏名: 大石 一城 Ohishi, Kazuki

受入研究室: 仁科加速器研究センター

岩崎先端中間子研究室

(所属長 岩崎 雅彦)

$f$ 電子系では、磁気秩序を形成するRKKY相互作用と非磁性状態を形成する近藤効果の競合により、わずかな摂動により絶対零度で量子相転移が生じる。その際、転移が起こる点を量子臨界点(QCP)と呼ぶ。QCP近傍では量子揺らぎの効果により、非フェルミ液体(NFL)状態や異方的超伝導などエキゾチックな現象が出現する。本研究ではこれらの状態を示す物質の磁性を微視的及び系統的に観測し、QCP近傍の磁気揺らぎに関する知見を得ることを目

的とする。

本年度は、2種類の重い電子系物質 $\text{Ce}_2\text{Rh}(\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x)_8$ 及び $\text{CeCo}(\text{In}_{1-x}\text{Cd}_x)_5$ を対象に研究を行った。まず、最初の試料の母物質 $\text{Ce}_2\text{RhIn}_8$ は反強磁性転移温度 $T_N=2.8\text{ K}$ の反強磁性体として知られている。本系のInサイトをSnで元素置換することにより、 $T_N$ は減少し、 $x\sim 0.5$ 付近でQCPが生じることが比熱測定より示唆されている。更にSn置換量を増やしていくと比熱係数が $-\log T$ に比例することからNFL状態が出現す

ると考えられている。今回、3つの異なるSn置換量の単結晶試料( $x=0.0, 0.5, 0.7$ )を準備し、それぞれの試料で零磁場ミュオンスピン緩和( $\mu$ SR)測定を行った。その結果、母物質( $x=0.0$ )では $T \leq T_N$ で磁気秩序に伴うミュオンスピン回転を観測し、微視的に反強磁性秩序が観測された。一方、QCPが示唆されている $x=0.5$ の試料では、 $T \geq 0.3$  Kの温度領域でミュオンスピン回転は観測されなかった。しかしながら、0.5 K以下でミュオンスピン緩和率は徐々に増大した。また、NFL状態が示唆されている $x=0.7$ の試料では0.3 K以上の温度領域でスペクトルに変化はなく、核双極子磁場による緩和のみを観測した。 $x=0.5$ の試料に関しては、今後、希釈冷凍機を用いて20 mKまでの測定を行い、緩和率の増大の起源について詳細を追う予定である。

二つ目の試料 $\text{CeCo}(\text{In}_{1-x}\text{Cd}_x)_5$ の母物質( $x=0.0$ )は重い電子系超伝導体でありCe化合物で最高の超伝導転移温度 $T_c=2.3$  Kを持つ。近年、InサイトをCdで置換することにより $T_c$ が減少し反強磁性秩序が出現することが報告された。これまでに、Cd置換量3%、10%及び15%の単結晶試料における零磁場 $\mu$ SR測定を行い、超伝導のみを示す3%Cd置換試料では、 $T > 0.02$  Kの温度領域で核双極子磁場による緩和以外は観測されなかったこと、10%及び15%の試料では、 $T_N$ 以下で磁気秩序形成に伴うミュオンスピン回転を観測し、後者の回転周波数は前者に比べ約20%大きいことを観測した。更に、Cd置換量3%の試料での超伝導に関する知見を得るため、ミュオンナイトシフト測定を行った。 $H=0.6$  Tで得られたナイトシフトの温度依存性から、 $T < T_c$ でナイトシフトの減少を観測し、零磁場 $\mu$ SR測定より得られた、時間反転対称性の破れが存在しない結果と併せて、本系は母物質 $\text{CeCoIn}_5$ と同様、スピン一重項超伝導体である特徴が観測された。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohishi K., Heffner R.H., Spehling J., MacDougall G.J., Ito T.U., Higemoto W., Amato A., Andreica D., Nieuwenhuys G., Klauss H.H., Luke G.M., Thompson J.D., Bianchi A.D. and Fisk Z.: "Magnetism and Superconductivity in Heavy Fermion Superconductor  $\text{CeCo}(\text{In}_{0.97}\text{Cd}_{0.03})_5$ ", *Physica B* 404 754-756 (2009)\*  
 Ohishi K., Heffner R.H., Morris G.D., Bauer E.D., Graf

M.J., Zhu J.-X., Morales L.A., Sarrao J.L., Fluss M.J., MacLaughlin D.E., Shu L., Higemoto W. and Ito T.U.: "Influence of self-irradiation on superfluid density in superconducting  $\text{PuCoGa}_5$  probed by muon spin rotation", *Physica B* 403 (2008) 1013-1014\*

Ohishi K., Yamada I., Koda A., Saha S. R., Kadono R., Higemoto W., Kojima K. M., Azuma M. and Takano M.: "Field-induced magnetism in high- $T_c$  superconductor  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$  with flat  $\text{CuO}_2$  planes", submitted to *Phys. Rev. B*\*

Ito T.U., Higemoto W., Ohishi K., Nishida N., Heffner R.H., Aoki Y., Amato A., Onimaru T. and Suzuki H.S.: "Quantization of Hyperfine Field at Implanted  $\mu^+$  in  $\text{PrPb}_3$ : Interplay between Localized 4f-electrons and Interstitial Charged Particle", *Phys. Rev. Lett.* 102 096403/1-4 (2009) \*

Hanaguri T., Kohsaka Y., Ono M., Maltseva M., Coleman P., Yamada I., Azuma M., Takano M., Ohishi K., Takagi H.: "Coherence Factors in a High- $T_c$  Cuprate Probed by Quasi-particle Scattering of Vortices", *Science* Vol.323, 5916 pp923-926 (2009) \*

Ito T.U., Higemoto W., Ohishi K., Heffner R.H., Nishida N., Satoh K., Sugawara H., Aoki Y., Kikuchi D. and Sato H.: "Possible low-energy excitations of multipoles in  $\text{SmRu}_4\text{P}_{12}$  probed by muon spin relaxation", *Physica B* 404 761-764 (2009)\*

Aoki Y., Higemoto W., Tsunashima Y., Yonezawa Y., Satoh K.H., Koda A., Ito T.U., Ohishi K., Heffner R.H., Kikuchi D. and Sato H.: "Weak ferromagnetic ordering in the anomalous field-insensitive heavy-fermion state in  $\text{SmOs}_4\text{Sb}_{12}$ ", *Physica B* 404 757-760 (2009)\*

Sato H., Aoki Y., Kikuchi D., Sugawara H., Higemoto W., Ohishi K., Ito T.U., Heffner R., Saha S.R., Koda A., Satoh K.H., Nishiyama K., Kadono R., Nishida N., Shu L. and MacLaughlin D.E.: "Novel features in the filled skutterudites containing rare earth elements with plural number of 4f-electrons", *Physica B* 404 749-753 (2009)\*

Satoh K., Sato K., Yoshida T., Taniguchi H., Goko T., Ito T.U., Ohishi K. and Higemoto W.: " $\mu$ SR Study of Organic Antiferromagnet  $\beta'$ -(BEDT-TTF) $_2$ ICl $_2$  under High Pressure", *Physica B* in print\*

Satoh K., Fujita H., Katayama K., Taniguchi H., Ito T.U.,

Ohishi K. and Higemoto W., " $\mu$ SR Study of a Layered Organic Superconductor  $\kappa$ -(BEDT-TTF) $_4$ Hg $_{2.89}$ Br $_8$ ", Physica B 404 597-599 (2009)\*

Ito T.U., Higemoto W., Ohishi K., Heffner R. H., Nishida N., Satoh K., Sugawara H., Aoki Y., Kikuchi D. and Sato H.: "*Muon Knight shift measurements in possible octupole ordering system SmRu $_4$ P $_{12}$* ", Physica B 403 (2008) 1647-1649\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohishi K., Yamada I., Koda A., Saha S.R., Higemoto W., Kadono R., Kojima K.M., Azuma M. and Takano M.: "Field-Induced magnetism in Cuprate Superconductor Ca $_{2-x}$ Na $_x$ CuO $_2$ Cl $_2$ ", 11th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation, and Resonance

( $\mu$ SR2008), Tsukuba, Japan, July (2008)

Ohishi K., Heffner R.H., Spehling J., MacDougall G.J., Ito T.U., Higemoto W., Amato A., Andreica D., Nieuwenhuys G., Klauss H.H., Luke G.M., Thompson J.D., Bianchi A.D. and Fisk Z.: "Magnetism and Superconductivity in Heavy Fermion Superconductor CeCo(In $_{1-x}$ Cdx) $_5$ ", 11th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation, and Resonance ( $\mu$ SR2008), Tsukuba, Japan, July (2008)

(国内学会等)

大石一城, Heffner R.H., Spehling J., Macdougall G.J., 伊藤孝, 髭本亘, Amato A., Andreica D., Nieuwenhuys G., Klauss H.H., Luke G.M., Thompson J.D., Bianchi A.D. and Fisk Z.: " $\mu$  SR から眺めた CeCo(In,Cd) $_5$  の磁性と超伝導", 日本物理学会 2008 年秋季大会, 岩手大学, 盛岡, 9 月 (2008)

## XX - 014 多バンドフェルミ流体が内包するゲージ理論的構造の解明

### Gauge Theory in Multiple-band Interacting Fermi Systems

研究者氏名: 進藤 龍一 Shindou, Ryuichi

受入研究室: 古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

Z $_2$ 量子スピホール絶縁体とは、その界面にいわゆるhelical端状態を持った新しいクラスの絶縁体として近年一躍脚光を浴びている。この新しいクラスのとポロジカル絶縁体と、端状態を持たない通常型の絶縁体との間の量子相転移点を考えてみると、これも又、量子ホール系に於けるplateau-plateau間転移とは異なる、新しいクラスのトポロジカル量子臨界点(TQCP)となっているはずである。すなわち、トポロジカル絶縁体の端状態が時間反転対称性の下で安定であり続けるため、TQCPでのバルクの臨界性も、非磁性不純物による乱れの効果に対して選択的に安定であることが予想される。

本研究では、このTQCPの有効連続体模型に対して、(a)セルフコンシステントボルン近似、(b)久保公式に基づく弱局在補正の計算、(c)モード間結合理論に基づく拡散係数の平均場理論計算を行い、上述のTQCPでのバルクの臨界性を守っているミクロスコピックな仕組みをあきらかにした。具体的には先ず、parity密度(時間反転に対して偶で空間反転に対して奇なある種の内部自由度)がTQCP直上でのみ保

存量となることに着目した。実際、デフューズンを計算してみると、このU(1)対称性の回復の為、通常の電荷密度の拡散モード以外に、parity密度の拡散モード(以下parity mode)が、TQCP近傍で赤外発散的な振る舞いを示すことが分かった。すると、このparity modeの赤外発散的な振る舞いに対応して、クーベロン(伝導度に最強後方散乱を与えるプロセス)にも、付加的な反局在補正が発生することが導かれる。自分は、このparity modeに付随する反局在補正項がTQCP近傍でのみ増強することに注目し、「parity密度が創発的に保存量となることで、TQCPでのバルクの臨界性が保証されている」という新しい微視的描像を提案した。

この描像は、Z $_2$ QSHIの(非磁性不純物による)乱れに対する安定性を特徴づける物理量が、parity密度の緩和時間であることを意味する。すなわち、Z $_2$ QSHIにおいてparity密度の緩和時間は(電荷以外の他の内部自由度の緩和時間と同様に)有限であるのだが、ここに時間反転対称な乱れを導入していき、通常型のバンド絶縁体(あるいはそれと断熱的に繋がっ

たアンダーソン絶縁体)へ量子相転移させることを考えると、転移点直上で、parity密度の緩和時間が発散することが予想される。今後は、格子模型に対してより直接的な数値計算を行って、この微視的描像を詳細に検証していく。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Shindou R., Murakami S.: "Effects of disorder in three-dimensional  $Z_2$  quantum spin Hall systems", Physical Review B, Vol.79 pp045321-1-045321-29 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shindou R.: "Disorder effects on 3-dimensional  $Z_2$  spin Hall insulators / chiral metals", Topological Aspects of Solid State Physics, Kyoto, Japan, Jun. (2008)

Shindou R., Murakami S.: "Non-magnetic disorder effects on 3-dimensional  $Z_2$  quantum spin Hall systems", 2009 APS March Meeting (MAR09), Pittsburgh, USA, Mar. (2009)

(国内会議等)

進藤 龍一, 村上 修一: "三次元  $Z_2$  量子スピンホール絶縁体における乱れの解析", 日本物理学会2008年秋季大会, 盛岡, 日本, Sep. (2008)

進藤 龍一, 桃井 勉: "SU(2) mean-field theory of bond nematic orders", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, Mar. (2009)

XX - 015

### ナノスケール電子系における多体効果・干渉効果と非平衡輸送特性の理論的研究

#### Nonequilibrium Transport through Nanoscale Systems; Influence of the Many-body Effect and the Interference Effect

研究者氏名: 田中 洋一 Tanaka, Yoichi

受入研究室: 古崎物性理論研究室

(所属長 古崎 昭)

ナノスケールの閉じ込め構造である量子ドットは、次世代電子デバイスへの応用が期待されているとともに、物理的にも電子の多体効果を系統的に調べられることから大変興味深い研究対象となっている。また、ナノスケール電子系を組み合わせた量子複合系では、電子の多体効果・干渉効果が輸送特性に顕著に反映される。さらに最近、量子ドットに超伝導体を接合した系が作製可能となっており、アンドレーエフ反射やジョセフソン効果など、超伝導接合系特有の輸送特性について盛んに研究が行われている。

本研究では、二つのドットのうち片方のみ超伝導体・常伝導体に繋いだT字型ダブルドット系を考え、アンドレーエフ反射による輸送特性について理論的解析を行った。その結果、超伝導体・常伝導体と繋がっていないドットのクーロン相互作用が大きくなると、電子の干渉効果が抑制されてコンダクタンスは増大することを明らかにした。また、この系における近藤効果について調べた結果、ドット・超伝導体間の近接効果の影響を受けて、超交換的なブ

ロセスを経由した長距離的な近藤効果が生じることが分かった。これらの結果は、これまでに研究されている二つの常伝導体を繋いだT字型ダブルドット系の結果とは大きく異なり、超伝導接合系における電子の多体効果・干渉効果の影響を顕著に示す結果である。

以上の研究と並行して、 $\text{Pr}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ などのPr系パイロクロア磁性体に対し、最近接サイト間の超交換相互作用によって生じる磁性について理論的解析を行った。本年度は、 $\text{Pr}^{3+}$ イオンの正四面体クラスターの有効模型を用いて、最近接の超交換相互作用を強結合展開から微視的に導出した。その結果、最近接の超交換相互作用は反強磁性的から強磁性的になりうることを示した。また有効模型の基底状態は、 $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ などの古典的なスピニアイス則に従うパイロクロア磁性体とは異なり、スピニアイス則によって生じる基底状態が量子力学的に線形結合した形になることを明らかにした。現在、比熱や磁化曲線などの熱力学特性の解析、および格子模型への拡張に向けて研究を進めている。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tanaka Y., Kawakami N., Oguri A.: "Andreev transport through side-coupled double quantum dots", Physical Review B, Vol.78 pp035444-1-035444-6 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tanaka Y., Kawakami N., Oguri A.: "Andreev reflection and the Kondo effect in side-coupled double quantum dots", 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), Amsterdam, The Netherlands, Aug. (2008)

Yamada Y., Tanaka Y., Kawakami N.: "Nonequilibrium transport through a quantum dot coupled to normal and superconducting leads", 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), Amsterdam, The Netherlands, Aug. (2008)

Tanaka Y., Kawakami N., Oguri A.: "Andreev transport through side-coupled double quantum dots", 2009 APS March Meeting (MAR09), Pittsburgh, USA, Mar. (2009)

Onoda S., Tanaka Y.: "Quantum spin ice for Pr pyrochlore magnets", 2009 APS March Meeting (MAR09), Pittsburgh, USA, Mar. (2009)

Onoda S., Tanaka Y.: "Quantum spin ice and time-reversal symmetry breaking in Pr pyrochlore magnets", AIST-RIKEN joint WS on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Okinawa, Japan, Mar. (2009) (国内会議等)

田中 洋一, 川上 則雄, 小栗 章: "T字型ダブルドット系における長距離的な近藤効果", 日本物理学会 2008年秋季大会, 盛岡, 日本, 9月 (2008)

山田 康博, 田中 洋一, 川上 則雄: "超伝導/常伝導リードに繋がれた量子ドット系における非平衡定常状態での近藤効果", 日本物理学会2008年秋季大会, 盛岡, 日本, 9月 (2008)

小野田 繁樹, 田中 洋一: "Pr系パイロクロア磁性体における量子スピンアイス", 文部科学省科学研究補助金特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」第3回トピカルミーティング「フラストレーションとスピン液体」, 神戸, 日本, 12月 (2008)

田中 洋一, 小野田 繁樹: "Pr-パイロクロア型磁性体における量子スピンアイス", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

山田 康博, 田中 洋一, 川上 則雄: "有限バイアス電圧下における量子ドット系でのアンドレーエフ反射と近藤効果", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

## XX - 016

### 大自由度集団現象の理論的解明： 情報处理的な視点に立った新しいアプローチ

#### An Information Theoretical Approach to Collective Dynamics of Nonlinear Systems

研究者氏名：寺前 順之介 Teramae, Jun-nosuke

受入研究室：脳科学総合研究センター

脳回路機能理論研究チーム

(所属長 深井 朋樹)

自励的な振動現象は、物理学、化学、生物、工学、神経科学といった幅広い分野に普遍的に現れる非線形現象であり、その振る舞いはリミットサイクル振動子として理論的に定式化できる。この定式化は多様な自励振動に統一的な基盤を与え、内在する普遍性を解明する事を可能にして来た。リミットサイクル振動子が示す多様な性質の内、特に注目をされるのが、リミットサイクル振動子のノイズに対する応答である。例えば、複数のリミットサイクル振

動子に共通のノイズを与えると、振動子間に全く相互作用が無くても、振動子間での位相同期を達成できる事が知られている(共通ノイズ誘起同期現象、Noise-induced synchronization)。この現象が特に重要なのは、振動子による情報表現を考える際、情報表現の信頼性(情報の再現性)が共通入力に対する位相同期と対応するからである。近年、神経系を始め、生物情報処理が非線形振動を積極的に利用しているとの示唆が数多くなされておられ、ノイズ同期は



その理論基盤の1つを与えていると言える。しかし脳や生体内で振動子が独立に働く事は無い。振動子は相互作用する素子集団として機能する。そこで振動子集団での情報処理理論の基盤を確立するため、ノイズ同期を孤立振動子から振動子集団へと拡張する必要がある。本研究では確率微分方程式の理論と非線形振動子の縮約理論を用いてこの課題にアプローチし、集団の結合強度の変化と共に、位相同期、情報表現の信頼性がどう変化するかを記述する理論を構築した。この結果はPhysical Review Letters誌より発表された。非線形動力学はもちろん、特に神経情報処理の解明に大きな寄与が期待され、多様な応用と発展が期待できる結果である。本年度はまた、一方向への連鎖的な結合を持つ単純な回路構造の中で、バースト発火と呼ばれる神経活動がどの様に伝播するかを解明する研究も行った。一方向結合と言う極めて単純なネットワークにおいてもバースト活動は極めて非自明なダイナミクスを伴い伝播する事を発見、そのダイナミクスの起源を理論的に解明する事に成功した。この多様なダイナミクスは神経情報伝達に新たな多様性を与える興味深い物である。本結果はBiological Cybernetics誌に発表された。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Teramae J., Fukai T.: "Complex evolution of spike patterns during burst propagation through feed-forward networks", *Biological Cybernetics*, Vol.99 2 pp105-114 (2008)

Teramae J., Fukai T.: "Temporal precision of spike response to fluctuating input in pulse-coupled networks of oscillating neurons", *Physical Review Letters*, Vol.101 24 pp248105-1-248105-4 (2008)

深井 朋樹, 姜 時友, 北野 勝則, 寺前 順之介: "大脳皮質神経細胞集団の形成: シナプス可塑性とその先", *BRAIN and NERVE: 神経研究の進歩*, Vol.60 7 pp763-770 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Teramae J.: "Noise-induced synchronization of coupled oscillators and precision of spike coding in the brain", *International Workshop on Bio-Soft Matter 2008*, Tokyo, Japan, Jun. (2008)

Teramae J., "Precision of neural coding and noise-induced synchronization of networks of oscillators", *Dynamics Days Asia Pacific 5 (DDAP5)*, The 5th International Conference on Nonlinear Science, Nara, Japan, Sep. (2008)

Teramae J., Fukai T.: "Temporal precision of spikes in pulse-coupled networks of oscillating neurons", *6th Meeting Computational and Systems Neuroscience (COSYNE 2009)*, Salt Lake City, USA, Feb. (2009)

(国内会議等)

寺前 順之介: "自発発火のべき乗則と皮質局所回路構造への理論的アプローチ", *マルチニューロン研究会 2008*, 東京, 日本, 7月 (2008)

寺前 順之介, 深井 朋樹: "リカレントネットワーク内でのスパイク時刻信頼性と非線形振動子のノイズ誘起位相同期", *情報処理学会・バイオ情報学研究会・電子情報通信学会・ニューロコンピューティング研究会・電子情報通信学会・非線形問題研究会合同研究会 2008*, 沖縄県西原町, 日本, 6月 (2008)

寺前 順之介, 深井 朋: "神経細胞集団のスパイク時刻精度を与える自己無撞着方程式", *日本神経回路学会第18回全国大会 (JNNS2008)*, つくば, 日本, 9月 (2008)

寺前 順之介, 坪 泰宏, 深井 朋樹: "多細胞集団の情報伝達精度を測定する in vitro 実験の可能性", *日本物理学会 2008 年秋季大会*, 盛岡, 日本, 9月 (2008)

寺前 順之介, 深井 朋樹: "結合振動子集団の揺動入力に対する情報伝達精度", *日本物理学会 2008 年秋季大会*, 盛岡, 日本, 9月 (2008)

坪 泰宏, 寺前 順之介, 深井 朋樹: "位相応答が多様な振動子系における不連続転移", *日本物理学会 2008 年秋季大会*, 盛岡, 日本, 9月 (2008)

## 新規プローブ分子の開発を基盤とした 細胞死に関わるミトコンドリア機能の解明

### Elucidation of the Cell Death Mechanism Using Novel Molecular Probes

研究者氏名：一丸 直哉 Ichimaru, Naoya

受入研究室：袖岡有機合成化学研究室

(所属長 袖岡 幹子)

当研究室で開発されたIndolylmaleimide (IM) 誘導体は、「ネクロシス」と呼ばれる細胞死を抑制する。そもそもネクロシスは「アポトーシス」とは異なり、偶発的に起こる細胞死であって、制御されるような機構など存在しないという考え方が一般的であったが、近年、ある種のネクロシスにはまったく新規な細胞死誘導機構が存在すると推定されるに至っている。本研究では、IM誘導体の作用機序解明を通して、この新規な細胞死誘導機構を明らかにするため、まずIM誘導体の標的タンパク質を同定することを目的とした。当研究室におけるこれまでの構造活性相関研究によって得られた知見をもとに、マレイミド4位に光分解性基として2,3,5,6-テトラフルオロアリアルアジド基を、検出基として、マレイミド1位にリンカーを介して蛍光団であるBodipy®を導入した誘導体IM-184を合成した。IM-184は良好なネクロシス抑制活性を維持すること、また紫外線照射により速やかに分解反応を起こすことを確認した。そこで、IM-184を用いて光親和性標識実験を行い、IM-184の結合タンパク質の同定を試みた。ヒト白血病細胞であるHL-60から単離したミトコンドリア

溶液にIM-184を最終濃度10  $\mu$ Mとなるように加え、365nmの紫外線を5-10分照射して標識したのち、得られたサンプル溶液を2次元電気泳動に供して分析を行ったところ、複数のタンパク質がIM-184によって標識されることがわかった。このうち、複数のタンパク質スポットをトリプシン消化してMS/MS分析に供したところ、いくつかの標識されたタンパク質を同定することができた。これらのタンパク質の中には当研究室でIM誘導体のアフィニティーゲルを用いた実験によって同定された結合タンパク質と一致するものがあり、これらのタンパク質のどれかがIM誘導体の標的タンパク質である可能性を強く示唆した。同時に、光親和性標識法によるIM誘導体の結合タンパク質同定の手法を確立できたといえる。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

一丸 直哉, 清水 忠, 藤 玉鷗, 関 孝介, 袖岡 幹子:  
"フォトアフィニティーラベリングを用いたIM誘導体のターゲットタンパク質の同定", 日本薬学会  
第129年会, 京都, 日本, 3月 (2009)

## XX - 018 芳香族化合物の C-H 結合の直接的官能基化をめざした新規触媒系の開発

### Development of New Catalyst System for Direct Functionalization of Aromatic C-H Bond

研究者氏名：小山田 重蔵 Oyamada, Juzo

受入研究室：侯有機金属化学研究室

(所属長 侯 召民)

有機化合物の炭素-水素結合に直接、新たな官能基を導入することができれば、これまで反応性が乏しく、有機合成の原料として利用できなかった有機化合物を有用な物質に変換する効果的な手段となる。このような炭素-水素結合を直接、官能基化する方法は、Ru、Rh、Pdなどの遷移金属錯体を用いて炭素-水素結合を活性化することで達成されており、芳香族炭素-水素結合のアルケンやアルキンへ

の触媒的な付加反応などに応用されている。しかし、このような反応に利用される遷移金属は限られており、その反応形式も求電子置換反応や配位を利用した酸化的付加などに限られている。そのため、これらの反応の一般性はまだ十分とはいえない。そこで、本研究では、炭素-水素結合の直接的官能基化の一般性を向上させるために、異なる反応形式で炭素-水素結合を切断することが知られている希土

類錯体に着目して、これまでの反応と異なる反応性を示す芳香族化合物の炭素-水素結合の官能基化のための新しい触媒系の開発をめざす。

本年度は、芳香族化合物の炭素-水素結合のアルケンやアルキンの不飽和結合への付加反応について検討した。ピロールやフランなどのヘテロ芳香族化合物の炭素-水素結合を活性化しアリール錯体を与えることが知られているイットリウムアルキル錯体(C<sub>5</sub>Me<sub>5</sub>SiMe<sub>2</sub>N<sub>i</sub>Bu)Y(CH<sub>2</sub>SiMe<sub>3</sub>)(THF)を触媒として用いて、1-メチルピロールと種々のアルケンやアルキンとの反応を行った。反応条件を種々検討したが、

期待した付加物の生成を確認することはできなかった。このことは、イットリウム-炭素結合へのアルケンやアルキンの挿入が起こりにくいことを示唆していると考えている。

今後は、希土類ビスアルキル錯体から調製されるカチオン性の希土類モノアルキル錯体を触媒に用いて検討を行う予定である。このカチオン性の希土類モノアルキル錯体はアルケンの挿入反応に高い活性を示し、重合触媒として利用されているため、アルケンやアルキンの挿入がより容易に起こると期待している。

## XX-019 軸性不斉を完全制御した光電子機能性オリゴナフタレン類の創製

### Synthesis of Optical Functional Oligonaphthalenes Controlled All Axial Chiralities

研究者氏名：高石 和人 Takaishi, Kazuto  
受入研究室：超分子科学研究室

軸性不斉化合物として 1,1'-ビナフチル-2,2'-ジオール(BINOL)や2,2'-ビス(ジフェニルホスフィノ)-1,1'-ビナフチル(BINAP)が良く知られている。これらの化合物に関しては不斉空間の広さや環境に応答した二面角の変化や軸方向の剛直性を利用した研究が盛んに行われ、有機合成化学や超分子化学分野に多大な貢献をしている。また一方で近年、芳香環オリゴマーの研究が精力的になされており、オリゴパラフェニレン、オリゴチオフェン、*meso-meso*連結ポルフィリンオリゴマーなどが構築されその物性に興味を持たれている。

軸性不斉が連続して存在している1,4位連結型オリゴナフタレン類はビナフチル構造の集積体と認識することができ、軸方向には剛直で軸周りは柔軟であるというビナフチル構造の特徴を引き継いでいると考えられる。また、本骨格は大きな紫外可視光吸収、円偏光二色性、比旋光度、蛍光を示すため光学的な応用が期待できる。今までに、分子量分布が無い特定の軸性不斉を有する高次オリゴナフタレン類の合成法および軸性不斉の決定法を確立したが、多数の軸不斉を有する芳香環オリゴマーであるという構造を利用した機能化は充分行えていなかった。そこで本骨格のナフタレン環同士が成す二面角を一箇所または数箇所変化させ、光学挙動を可逆的に変化させ、新規スイッチ機能分子を構築することを考案した。

本年度はオリゴマー研究を行っていく際の礎として、1,1'-連結-3,3'-二置換ビナフチル骨格に、光可変基であるアゾベンゼン骨格を2,2'-位に環状に導入した化合物を合成し、光異性化前後での溶液中における光学挙動変化を追及した。また、官能基化が比較的容易である3,3'-位の置換基の種類を変え、その置換基が物性に与える影響について考察を行った。光学挙動は円偏光二色性、比旋光度に注目し研究を行った。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Takaishi K., Izumi M., Baba N., Kawazu K., Nakajima S.: "Synthesis and biological evaluation of alkoxycoumarins as novel nematocidal constituents", *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, Vol.18 pp5614-5617 (2008)

高石 和人, "発エルゴン反応と吸エルゴン反応", *化学と教育*, Vol.56 11 pp576-577 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

高石 和人, 川本 益揮, 椿 一典, 和田 達夫: "アゾベンゼン連結ビナフチルの光異性化による不斉環境の劇的变化", 日本化学会第89春季年会, 船橋, 日本, 3月 (2009)

## ホスファターゼ阻害剤をプローブとした ホスファターゼ網羅的解析法の開発

### Development of a New Methodology for the Comprehensive Analysis of Protein Phosphatases using Low-molecular Inhibitors

研究者氏名：久米田(土屋) 綾子

Kumeda (Tsuchiya), Ayako

受入研究室：袖岡有機合成化学研究室

(所属長 袖岡 幹子)

タンパク質の脱リン酸化反応を触媒するプロテインホスファターゼは、タンパク質のリン酸化レベルを功名に調節し、様々な外部刺激に対応した細胞応答を制御している。しかし、分子レベルでのホスファターゼ活性制御機構や個々のホスファターゼの役割についての解明は未だ十分なされていない。本研究では、ホスファターゼの活性に依存してその活性中心と特異的に共有結合するホスファターゼ阻害剤をプローブとして、様々な生理的条件下におけるホスファターゼ活性をモニタリングするための新しい手法の開発を目的とした。

袖岡有機合成化学研究室で構築したRK-682を基盤としたホスファターゼ阻害剤ライブラリーの中から両特異性プロテインホスファターゼ(DSP)であるCdc25に対する阻害活性を指標に、プローブとして使用する化合物の選択を行った。その結果、RE20はCdc25Aの活性中心に存在するシステイン残基と共有結合することにより強い阻害活性を示すことを見いだした。また、RE20はチロシンホスファターゼであるPTP1Bおよびセリン/スレオニンホスファターゼであるPP2Aにはまったく阻害活性を示さなかった。これらのことからRE20はDSPに対する特異性の高い阻害剤であると考えられた。そこで、蛍光ラベル化したRE20誘導体を合成し、ホスファターゼのプローブとして機能するかを検討した。ヒト急性前骨髄性白血病細胞であるHL60細胞に蛍光ラベル化したRE20誘導体を添加し、細胞内におけるホスファターゼの網羅的な標識を試みたところ、いくつかの標識されたタンパク質が検出できた。しかし、蛍光団自身が特異的な細胞内局在を示すため、RE20の細胞内局在の正確な同定はできなかった。そこで、RE20の特性を

より反映するために“Click Chemistry”の手法を用いて細胞内ホスファターゼの網羅的検出を行った。すなわち、アルキン部を導入したRE20誘導体をHL60細胞に添加し標的タンパク質と共有結合を形成した後、アルキンとアジド部を有するビオチンタグをCu(I)触媒により[3+2]付加環化反応で連結させた。こうしてビオチン標識した標的タンパク質をアビジンビーズにより精製し、検出することに成功した。また、蛍光分子を連結させRE20の細胞内局在を観察したところ、細胞質に局在することが明らかとなった。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hirai G., Koyama Y., Kumeda A., Otani Y., Sodeoka M.:

"Development of dual-specificity protein phosphatase inhibitor", 1st RIKEN Chemical Biology Department International Symposium, Atami, Japan, Sep. (2008)

Hirai G., Kumeda A., Koyama Y., Otani Y., Sodeoka M.:

"Development of RK-682 enamide derivatives and attempts at comprehensive analysis of their target proteins in cells", 22nd Naito Conference Chemical Biology [I], Sapporo, Japan, Sep. (2008)

(国内会議等)

久米田 綾子, 小山 佑介, 平井 剛, 袖岡 幹子: "ホスファターゼの網羅的解析法を志向した分子プローブの創製と評価", 日本薬学会第129年会, 京都, 日本, 3月 (2009)

平井 剛, 久米田 綾子, 小山 佑介, 袖岡 幹子: "RK-682 エナミド誘導体標的酵素の網羅的解析法の開発", 日本ケミカルバイオロジー研究会第3回年会, 東京, 日本, 5月 (2008)

**XX - 021 ペニング電子脱離を利用したサイズ選別中性クラスターの光電子分光研究**  
**Photoelectron Spectroscopic Studies on Size-Selected Neutral Clusters**  
**by Using Penning Electron Detachment**

研究者氏名：堀尾 琢哉 Horio, Takuya

受入研究室：鈴木化学反応研究室

(所属長 鈴木 俊法)

サブナノメートルサイズのクラスターは、その物理的性質が構成粒子数に大きく依存するため、その物性解明にはサイズ毎の分光学的研究が不可欠である。しかしながら、電荷を持たない中性のクラスターに対しては質量分析器が原理的に適用不可能なため、そのサイズ選別法が大きな技術的課題となっている。本研究では、ペニング電子脱離(希ガス励起原子による負イオン種の電子脱離反応)を利用して、予めサイズ選別された負イオンクラスターを中性化して、サイズ毎の光電子分光を行うことを目的とした。これにより、サブナノメートルクラスターにおける価電子領域の電子構造を調べ、それらの物性や化学反応性を明らかにできると期待される。光電子分光には、究極的な電子捕集効率( $4\pi$ 立体角)を有し、光電子速度および角度分布を一度に測定できる画像観測法を用い、さらに時間分解ポンプ-プローブ法も導入し、クラスターの励起状態ダイナミクスを調べる。

本年度は、その基盤となる光電子画像観測法の測定精度および測定効率を極限まで向上させる目的で、マルチヒット検出の高速CMOSカメラ(1,000フレーム/秒)を使用した光電子画像観測法の構築を行った。この新規画像観測システムをテストするため、一酸化窒素(NO)分子に二波長二光子のレーザー共鳴多光子イオン化法を適用し、発生した光電子の散乱分布を可視化測定した。結果として、1kHzのフェムト秒レーザーシステムと同期して、1ショットあたり10個以上の光電子の到達位置を重心演算法で割り出すことに成功した。さらに電子検出器(Micro Channel Plate: MCP)の感度勾配が光電子入射角とポア径に依存する

ことを突き止め、ポア径の小さなMCPを使用することで、対称性の良い極めて高精度な光電子画像の観測に成功した。また、サブ20フェムト秒の深紫外極短パルスを用いた時間分解光電子画像観測システムを構築し、超音速分子線中の極低温気相孤立分子に適用し、超高速の内部転換ダイナミクスの観測に成功した。以上より、本年度は主に、光電子分光研究の鍵となる実験技術開発を行った。

●**口頭発表 Oral Presentations**

(国際会議)

Fuji T., Horio T., Suzuki T.: "Generation of sub-20-fs, two-color deep-ultraviolet pulses by four-wave mixing through filamentation in gases", 16th International Conference on Ultrafast Phenomena (UP 2008), Stresa, Italy, Jun. (2008)

●**誌上発表 Publications**

(原著論文)

Horio T., Suzuki T.: "Multihit two-dimensional charged-particle imaging system with real-time image processing at 1000 frames/s", Review of Scientific Instruments, Vol.80 pp013706 - 1-013706 - 8 (2009)

●**口頭発表 Oral Presentations**

(国内会議等)

藤 貴夫, 堀尾 琢哉, 鈴木 俊法: "フィラメンテーションを用いた高効率四光波混合による超短深紫外光パルス発生", レーザー学会学術講演会第29回年次大会, 徳島, 日本, 1月 (2009)

## 赤外分光及び蛍光顕微鏡による肺サーファクタントの 構造と機能についての研究

### Spectroscopy of Lung Surfactants

研究者氏名：盛田 伸一 Morita, Shin-ichi

受入研究室：佐藤光バイオブシー開発研究ユニット  
(所属長 佐藤 英俊)

ヒトの肺胞上のII型細胞から、肺サーファクタントと呼ばれる分子集合系が分泌する。その主成分はリン脂質で、他にSP-B、SP-Cと略記されるタンパク質等を微量含む。肺サーファクタントは、肺胞上の薄い水の層(約140nm)の表面に、分子のレベルの厚み(約5nm)で浮遊し、界面活性剤として、水の表面張力を大幅に低下させる機能を持つ。この機能は、生命を維持するために非常に重要である。実際、人工の肺サーファクタントが投与できるようになるまで、肺サーファクタントを分泌しない未熟児は、肺が膨らまず、死に至ることが多かった。医薬としての肺サーファクタントの開発以来、肺サーファクタント集合系の役割が、分子のレベルで解明されてきた。しかし、依然として、その分子集合系が、呼吸運動とともにどのように構造変化し相互作用するのか不透明な部分も多く、解決の望まれる問題が多数存在する。本研究の目的は、肺胞のミミック系の呼吸運動を先端的赤外分光システムで計測し、その機構について分子のレベルで明らかにすることにある。本研究では、気水界面に人工的に肺サーファクタント系を構築し、仕切り板を移動することで、肺

胞の呼吸運動を再現する。その運動を主に先端的赤外分光システムで計測し、その機構について分子のレベルで調べる。具体的な研究内容は次の二点である。①リン脂質を主とする一層膜が多層膜化する現象をタンパク質の含有量と関係付ける。②リン脂質単分子膜の示すドメイン形態とタンパク質の含有量を関係付ける。着任1年目として、赤外分光システムを構築し、基礎特性について調べた。位相角表示二次元相関分光のアルゴリズムを本実験系に適用できるよう検討した。主成分分析等のアルゴリズムの動作確認を行い、シミュレーション的研究を行った。脂肪酸を用いて、簡単なモデル実験系を構築し、分光システムの動作確認を行った。

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国内会議等)

山本 裕子, 大嶋 佑介, 新澤 英之, 盛田 伸一, 尾崎 幸洋, 佐藤 英俊: "生体組織診断用極細径ラマンプローブの高度化: ラマンデプスプロファイル解析技術の研究", レーザー学会学術講演会第28回年次大会, 名古屋, 日本, 1月 (2008)

## 哺乳類卵母細胞に特有な核小体成分の同定と解析

### Identification and Characterization of Oocyte Specific Nucleolus Materials

研究者氏名：大串 素雅子 Ogushi, Sugako

受入研究室：発生・再生科学総合研究センター  
哺乳類生殖細胞研究チーム  
(所属長 斎藤 通紀)

我々は、哺乳類受精卵を構築し、初期胚発生を進行するために卵母細胞の核小体が必須であることを2008年に報告した。しかしこの核小体の初期胚発生進行の詳細な作用点や、この構造を構成している成分は明らかにされていない。本研究は卵母細胞の核小体成分を同定し、その機能を明らかにすることを目的としている。全能性を持つ受精卵構築に関わる核小体成分・機

能の解明は全能性機序の解明につながると考えている。最終的に直接的な成分同定解析を行う予定であるが、その解析から多量の情報を得るはずである。本年度は初期胚発生に重要である核小体成分を確実にスクリーニングし同定するために核小体の成分・機能に関わる基礎的な解析を行った。

(1) 核小体を様々な段階の核小体のない卵母細胞

(第I減数分裂前期・第II減数分裂中期・受精直後・受精数時間後)に注入し、初期胚発生能力を回復しその胚から産仔が得られるか検討した。減数分裂には核小体は必要ないが受精後すぐの前核形成に必須であることが明らかになった。

(2) 卵母細胞の核小体に含まれる因子をより詳細に調べるために、まず代表的な体細胞核小体マーカー、リボソームタンパク質、リボソームRNAなどの局在を免疫蛍光染色法で調べた。発育完了卵母細胞の核小体に局在するタンパク質は見られなかった。この核小体は電顕レベルで見ると非常に緊密な構造である。そのため抗体が浸透せず、タンパク質の局在が検出できないのではないかと考え、上記の核小体マーカータンパク質やリボソームタンパク質などのタンパク質配列にEGFPをつけたmRNAを発育完了卵母細胞にinjectionし強制発現させた。EGFPのシグナルが核小体と核質で確認されるタンパク質をいくつか明らかにした。

(3) 発育完了卵母細胞で核小体が形成されずメスマウスが不妊であるという表現型を持つヌクレオプラスミンノックアウトマウスをBaylor College of MedicineのDr. M.M. Matzukから譲り受け、そのマウスを解析することでヌクレオプラスミンと卵母細胞核小体の関係を解析した。

今後、直接的な成分同定により初期胚発生を進行するために重要な核小体因子を明らかにしていく。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

大串 素雅子: "卵子由来の核小体は哺乳類の初期胚発生に必須である", 実験医学, Vol.26 9 pp1389-1392 (2008)

大串 素雅子: "卵子由来の核小体は哺乳類の初期胚発生に必須の因子だった", メディカルバイオ, Vol.5 pp10-11 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Ogushi S, "The maternal nucleolus is essential for early embryonic development in mammals" EMBO Workshop on the Nucleolus and Disease Derby UK 2008 6  
大串 素雅子: "母方由来の核小体が哺乳類の初期胚発生に必須である", 頭部形成研究会 2008, 熊本県南阿蘇, 日本, 4月 (2008)

大串 素雅子: "哺乳類の受精卵の発生には卵子由来の核小体が重要: 注目されていなかった卵母細胞の核小体の機能が明らかに", 第3回生殖研究ワークショップ, 三崎, 日本, 8月 (2008)

## XX - 024

### メタボロミクスを用いた植物における グルタチオン抱合体の網羅的解析及びグルタチオン分解酵素の単離解析 Metabolomic Analysis of Glutathione Conjugates and Identification of Glutathione Degradation Enzyme in Plants

研究者氏名: 大津(大鎌) 直子  
Ohkama-Ohtsu, Naoko  
受入研究室: 植物科学研究センター  
代謝機能研究チーム  
(所属長 斎藤 和季)

グルタチオン ( $\gamma$ -Glu-Cys-Gly) は植物において高濃度で組織中に存在するため、システインを初めとした有機体硫黄、窒素、炭素の貯蔵形態として機能していると考えられている。本研究はグルタチオンが分解され他の物質へ代謝されて行く経路を同定し、その生理的意義を解明することを目的とする。

またグルタチオンは、除草剤を抱合して液胞に隔離することが知られているが、植物の内在性物質に

ついては何がグルタチオンに抱合されるか分かっていない。本研究は、グルタチオン抱合体を液胞で分解できないシロイヌナズナ *ggt4* 変異株と野生型株の代謝産物を、メタボロミクスを用いて比較することにより、内在性グルタチオン抱合体を探索することを目指す。

本年度行ったことは以下の通りである。

(1) メタボロミクス解析により *ggt4* 変異株で変化し

ていた代謝産物を探索し、そのうち23の代謝産物について、分子量がシロイヌナズナに内在するグルタチオン抱合体の候補と一致することを示した。またそのうちひとつについては、ジャスモン酸前駆体である12-Oxo-phytodienoic acidとグルタチオンの抱合体であることを、合成した標品を用いて示した。これにより、植物ホルモンのジャスモン酸前駆体がグルタチオン抱合体として液胞に隔離されることが示唆された。

(2)細胞質中のグルタチオンは $\gamma$ -glutamyl cyclotransferaseと5-oxoprolinaseによる連動した反応により分解されることを示した。

(3)シロイヌナズナにおける $\gamma$ -glutamyl cyclotransferaseの同定を目指した。この酵素は、グルタチオンをはじめとした $\gamma$ -glutamyl化合物を5-oxoprolinaseに変換する。この活性を持つタンパクが近年ヒトで同定されたが、その生理解析はなされていない。ヒトの酵素と相同性のあるタンパクはシロイヌナズナに存在しない。しかしヒトの酵素と同じくBtrG-foldを持つタンパクがシロイヌナズナに10個存在する。それらをコードする遺伝子のうち、8個についてノックアウト変異株を得て、ホモに変異が

入ったラインを確立した。今後これら変異株中のグルタチオン及びシステイン濃度を測定する予定である。またこれら変異株について、5-oxoprolinaseを分解できない変異株との2重変異株を作成中であり、F2の種子を採取したところである。今後これら2重変異株について5-oxoprolinase濃度への影響を調べる予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohtsu N., Oikawa A., Zhao P., Xiang C., Saito K., Oliver D.: "A Gamma-Glutamyl transpeptidase-independent pathway of glutathione catabolism to glutamate via 5-Oxoprolinase in Arabidopsis", *Plant Physiology*, Vol.148 pp1603-1613 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Ohtsu N., Zhao P., Xiang C., Oliver D.: "The glutathione degradation pathway in Arabidopsis", 5th International Conference on Plant Metabolomics (ICPM2008), Yokohama, Japan, Jul. (2008)

## XX - 025 定量データを介した実験と理論の融合による、極性形成原理解明

### Integrative Approach of Experiment and Theory Towards Understanding of Polarity Formation

研究者氏名：小林 徹也 Kobayashi, Tetsuya  
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター  
システムバイオロジー研究チーム  
(所属長 上田 泰己)

近年、細胞・発生現象の物質的側面を定量的データをもとに解明する従来の手法から、現象の動的側面を定量的データや数理モデルを元に明らかにするシステム中心の手法への急速な転換が起こっている。本研究では実験研究者と共同で、ショウジョウバエ・線虫の細胞極性形成の動作原理を解明して発生現象のシステムの解析の先鞭をつけるとともに、定量解析に不可欠な要素技術である画像解析・データ解析・数理モデルの技術を他の生命現象に普及させるプラットフォームを構築することを目指す。

本年度は、線虫P3単離細胞の細胞膜上に局在する蛍光タンパクのダイナミクスを同定するプログラム

を、ほぼ全自動で解析が可能になるように改良した。

またハエの平面極性のデータ解析により、細胞内の局在タンパクの定量化を行い、異なる発生ステージでの局在ダイナミクスの変化を解析した。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tozaki H., Kobayashi T., Okano H., Yamamoto R., Aihara K., Kimura H., "Reconstructing the single-cell-level behavior of a toggle switch from population-level measurements", *FEBS Letters*, Vol.582 7 pp1067-1072 (2008)



## XX - 026 光架橋技術を用いた分泌タンパク質の濃度勾配モデルの構築

### Reconstitution of Secreted Protein Gradient by Using Photo-immobilization Method

研究者氏名：櫻木 誠 Sakuragi, Makoto

受入研究室：伊藤ナノ医工学研究室

(所属長 伊藤 嘉浩)

近年樹立されたiPS細胞、胚性幹細胞(ES細胞)や各種の体性幹細胞は、多分化能を持つことから、再生医療の細胞のリソースとして着目され、有用細胞への分化の誘導や制御の研究が報告されている。これまでに、各種モルフォゲンを逐次的に添加し、発生中の個体を模倣することによって目的の細胞の比率を高める培養方法が多数報告されている。

しかし、これまでは得られた細胞は配置に生体組織のような規則性はなく、不規則な細胞塊として形成されるだけであった。そこで本研究では、濃度勾配を再現した組織工学材料の開発を行い、細胞に生体と相似の配置を持たせ、複数の細胞種による組織を形成するような発生現象の再現モデルを目指す。増殖因子の中では共有結合によって基材表面に固定化した状態でも細胞に作用し、シグナルを伝えるものが多数報告されている。そこで本研究では、光架橋による固定化技術を利用し、基材と細胞の接触面においてモルフォゲンとして機能する増殖因子の濃度勾配を再現することで、発生を模倣した分化制御可能な基材を開発する。濃度勾配は擬似的な発生の軸を形成し、濃度に応じた細胞分化と細胞の配置形成が予想される。

本年度はES細胞の分化を制御するための培養条件の検討を行った。ES細胞は大量調製が可能であり、未分化マーカーや分化過程がよく研究されている点が材料として優れている。免疫染色時の蛍光色素への影響の低さから基部材料はガラスを、固定化材は細胞への親和性から光反応基を導入したゼラチン(光反応性ゼラチン)を用いた。光反応性ゼラチンによってコートされたガラス上でのES細胞の分化誘導条件を最適化するため、既報告の研究を参考に分化誘導

条件の検討を行った。

1) コーティング処理などの検討の結果、光反応性ゼラチンコートされた領域とされていない領域、それぞれに優先的に細胞が接着する条件を得た。

2) 固定化増殖因子の効果の評価を容易にするため、本年度は増殖因子を濃度勾配ではなく、ストライプ状のパターンに固定化して実験を行った。各種の培地、培養日数、増殖因子の種類を検討した結果、ストライプに沿って分化マーカーの発現様式が変化する条件を得た。

現在は分化マーカーの数を増やし、再現性と分化状態の確認を行っている。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Sakuragi M., Tsuzuki S., Hasuda H., Wada A., Matoba K., Kubo I., Ito Y.: "Synthesis of a photoimmobilizable histidine polymer for surface modification", Journal of Applied Polymer Science, Vol.112 1 pp315-319 (2009)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

北嶋 隆, 櫻木 誠, 伊藤 嘉浩: "増殖因子を固定化した区画をもつ培養基材", 第57回高分子討論会, 大阪, 日本, 9月 (2008)

櫻木 誠, 続 佐紀, 蓮田 寛和, 和田 章, 的場 健二, 久保 いずみ, 伊藤 嘉浩: "双性イオンを持つ光反応性高分子のタンパク質吸着および細胞接着への効果", 第37回医用高分子シンポジウム, 東京, 日本, 7月 (2008)

共生微生物が賦与する昆虫の寄主植物適応機構の解明  
 Elucidation of the Mechanisms for Host Plant Adaptation  
 of the Insect Governed by Facultative Endosymbiont

研究者氏名：土田 努 Tsuchida, Tsutomu

受入研究室：松本分子昆虫学研究室

(所属長 松本 正吾)

本研究課題では、エンドウヒゲナガアブラムシの寄主植物適応が内部共生細菌*Regiella*の感染によって変化するという現象を対象として、分子生物学や生態学、組織学、栄養生理学といった様々な手法を駆使し、本現象に関与する物質の実体やその機構を明らかにすることを目的としている。本研究結果からは、共生微生物の生物機能や昆虫の植物適応機構についての理解が深まるだけでなく、ひいては生態保全に配慮した害虫管理などの応用技術の開発につながることも期待される。

本現象には、アブラムシが唯一の餌として利用する植物師管液の成分の関与が期待される。今年度は、これらの栄養化学物質を明らかにするために、アミノ酸組成を変えた完全合成人工飼料を用いて解析を行った。その結果、1) 餌中の必須アミノ酸濃度が低い場合にのみ、*Regiella*感染は適応的になり、2) その際に、非感染状態では排泄されてしまうグルタミンを*Regiella*は必須アミノ酸合成の前駆体として有効にリサイクルしていることが確認された。この結果は、餌中のアミノ酸組成が*Regiella*感染によって賦与される植物適応に大きく影響することを示唆している。そこで、*Regiella*感染によって適応度が賦与されるシロツメクサと、適応度上昇がそれほど観察されなかったカラスノエンドウの師管液組成の比較を行った。純粋な師管液の採取を目指し、師管液を吸汁中のアブラムシの口針をレーザー等で切除し、滲み出てきた師管液を集めるという方法を試みた。幾度にもわたる試行錯誤にも関わらず、本法によって対象植物からの師管液を十分量採集することはできなかった。そこで、師管液成分の正確な濃度は分からないものの、その組成の正確さについては実績のある師管液抽出法を採用することにした。対象植物の茎を切断し、切断面をバッファー中に浸すことで

得た師管液抽出液を高速液体クロマトグラフィーで解析した。その結果、2種植物のアミノ酸組成は大きく異なっており、シロツメクサでは特に多くの必須アミノ酸が少ない傾向にあることが示された。以上のことから、*Regiella*が賦与する植物適応には、*Regiella*による必須アミノ酸合成能が関与しているおり、必須アミノ酸含量が特に少ないシロツメクサを餌にしたときに本適応機構が有益に働いていることが示唆された。

本研究結果や関連した研究成果については、下記の学会や研究会で発表を行い、高い評価を得ることができた。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

土田 努, 松山 茂, 古賀 隆一, 服部 誠, 松本 正吾, 深津 武馬: "昆虫の植物適応を変化させる共生細菌の生理機構の解析", 日本進化学会第10回大会, 東京, 日本, 8月 (2008)

土田 努, 古賀 隆一, Simon Jean-Christophe, 深津 武馬: "共生細菌が昆虫の体色を変える (1): アブラムシ新規共生細菌の発見とその影響", 第53回日本応用動物昆虫学会大会, 札幌, 日本, 3月 (2009)

古賀 隆一, 土田 努, 孟 憲英, 花田 智, Simon Jean-Christophe, 深津 武馬: "共生細菌が昆虫の体色を変える (2): 新規二次共生細菌 *Rickettsiella* の宿主体内動態と微生物学的実体の解明", 第53回日本応用動物昆虫学会大会, 札幌, 日本, 3月 (2009)

片山 昇, 北條 賢, 土田 努, 大串 隆之: "マメアブラムシにおける甘露タイプとアリ随伴性の種内変異", 第53回日本応用動物昆虫学会大会, 札幌, 日本, 3月 (2009)

研究者氏名：徳田 誠 Tokuda, Makoto

受入研究室：植物科学研究センター

生長制御研究チーム

(所属長 神谷 勇治)

様々な昆虫が植物の形態形成や代謝を操作してゴールを形成する。ゴールは植物細胞から構成されているものの、その形状は形成昆虫の種により特異的であり、昆虫の延長された表現型と見なされる。根粒菌やアグロバクテリウムなど、微生物によるゴール形成機構は明らかになってきているのに対し、極めて洗練された形状の昆虫ゴールについては、多数の研究者が注目しているが、未だ明らかにされていない。近年の植物ゲノム生物学やホルモノーム解析技術の進展を踏まえ、昆虫刺激に対する植物側の反応動態(植物ホルモン活性や遺伝子発現)の解析により、ゴール形成昆虫による植物形態操作や植物細胞制御のメカニズムを明らかにする。イネ科全般にゴールを形成し、アジア・オセアニア地域で深刻な害虫となっているフタテンチビヨコバイやエゴノキの葉にゴールを形成するエゴノキハイボタマバエなど、様々な昆虫を研究対象とする。前者は、イネ幼苗を用いた累代飼育系がすでに確立し、基礎生態も明らかにしている。本種や近縁な非ゴール形成ヨコバイのイネ幼苗加害時、および、唾液腺抽出成分をイネ培養細胞に加えた際の、植物ホルモノームの定量と遺伝子発現動態の解析により、ゴールの誘導機構を明らかにする。また、後者は落葉上で、ゴール部分の植物細胞を延命・肥大成長・分裂増殖させるという驚異的な能力を有していることを最近発見した。これは、植物一植食者の系で世界初の知見であり、本種による植物細胞制御のメカニズムは大変興味深い。これまでの研究から、本種による落葉上でのゴール成長には、ゴール組織の光合成産物よりも落葉内の残存成分が利用されていること、落葉上のゴールは、大気中から大量の水分を取り込んで成長することが判明した。本研究では、エゴノキからの植物ホルモン精製法を確立した後、落

葉上でのゴール成長時期における植物ホルモノームの定量、および、遺伝子発現動態の解析を行い、タマバエによる植物細胞制御機構を明らかにする。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Tokuda M., Yang MM., Yukawa J.: "Taxonomy and molecular phylogeny of *Daphnephila* gall midges (Diptera: Cecidomyiidae) inducing complex leaf galls on Lauraceae, with descriptions of five new species associated with *Machilus thunbergii* in Taiwan", *Zoological Science*, Vol.25 5 pp533-545 (2008)

(単行本)

徳田 誠, 湯川 淳一: "不安定な寄主資源を利用するタマバエ類の生活史と繁殖戦略", 耐性の昆虫学, 日本, 東海大学出版会 日本 秦野 pp231-240 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tokuda M., Takahashi S., Suzuki M., Mizusawa N., Nishimura S., Yukawa J., Fukatsu T.: "Shed leaves revitalized by a galling insect", 23th International Congress of Entomology, Durban, South Africa, Jul. (2008)

(国内会議等)

徳田 誠, 松倉 啓一郎, 軸丸 裕介, 松村 正哉, 神谷 勇治: "フタテンチビヨコバイによるイネ・トウモロコシへのゴール形成に関連する植物ホルモンの一斉定量解析", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

徳田 誠: "植物ホルモンと植物-植食者間相互作用", 第53回日本応用動物昆虫学会大会, 札幌, 日本, 3月 (2009)

研究者氏名：戸谷 美夏 Toya, Mika

受入研究室：発生・再生科学総合研究センター

発生ゲノミクス研究チーム

(所属長 杉本 亜砂子)

微小管は、細胞内で細胞周期にしたがって整然と再編成され、細胞の極性や運動、染色体分配到重要な役割を果たしている。細胞が分裂期に入ると、微小管のダイナミックな再編成が行われて、染色体の分配装置となる紡錘体が迅速に形成される。紡錘体形成時の微小管制御に関わる因子や、その分子機構については、主に、*in vitro*の実験や培養細胞を用いた解析により研究が進められている。しかしながら、生きた個体内での紡錘体形成時の微小管制御の分子機構や、紡錘体形成の時間的・空間的制御については、いまだ多くのことが明らかにされていない。本研究では、線虫 *C. elegans* の特徴である、1) 卵殻および細胞が透明であり、生きた個体内で蛍光標識した蛋白質の挙動を観察することが容易である、2) 遺伝子導入による遺伝子操作、RNAiによる個体レベルでの遺伝子機能破壊を比較的簡便に行うことができるという性質を生かし、生きた個体内での紡錘体形成時における微小管制御機構を解析した。線虫初期卵割では、中心体に局在する $\gamma$ -チューブリン (TBG-1) とオーロラキナーゼA (AIR-1) それぞれの因子が制御する微小管が、特定の時期に形成され、異なる動態および役割を示すことが示されている。本研究はこの現象に注目し、TBG-1とAIR-1が関わる微小管制御の分子機構を明らかにし、微小管が細胞内で時間的・空間的に制御されるしくみの理解を深めることを目的とした。

本年度は、微小管動態解析のためのライブイメー

ジング技術の最適化を行い、TBG-1, AIR-1それぞれが関わる微小管の形成過程を解析した。

(1) 線虫初期胚における効果的な多色蛍光ライブイメージングを可能とするため、蛍光融合タンパク質マーカー発現株作製のためのベクターシステムの構築をおこなった。構築したシステムを用いて、微小管動態解析に適した線虫マーカー発現株(中心体、染色体、微小管を同時に可視化)を得た。システムの汎用的有効性に対する評価を進行中である。

(2) (1)で得られた線虫株を用い、ライブイメージングとRNAiを組み合わせた実験から、AIR-1が、中心体に依存しない微小管形成に関わることを示唆する結果を得た。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Toya M., Sugimoto A.: "Coordination of two distinct pathways to form spindle microtubules in *C. elegans* embryos", EMBO/EMBL Conference on Centrosomes and Spindle Pole Bodies, Heidelberg, Germany, Sep. (2008)

(国内会議等)

戸谷 美夏, 杉本 亜砂子: "Coordination of two distinct pathways to form spindle microtubules in *C. elegans* embryos", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

研究者氏名：中道 範人 Nakamichi, Norihito

受入研究室：植物科学研究センター

生産制御研究チーム

(所属長 榊原 均)

シロイヌナズナの生物時計は、MYB様転写因子をコードするCIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED 1

(CCA1) 遺伝子、LATE ELONGATED HYPOCOTYL (LHY) 遺伝子とPSEUDO RESPONSE

REGULATOR 遺伝子群 (PRR9、PRR7、PRR5、PRR1)らの相互の転写制御によって成り立つことが示唆されている。CCA1とLHYは互いに相似的に機能し、PRR9、PRR7、PRR5も冗長的に時計に必須な機能を示す。植物における生物時計は、日内あるいは季節の変化に应答した高次生命現象の制御に必要である。だが生物時計の幅広い生命現象の制御様式は、一部を除いて、分子レベルではよく理解されていない。

本年度、私は、時計変異体セットの中でも最も厳しい時計形質(概日リズムの無周期)を示す prr9prr7prr5三重変異体(以下、d975と略す)のDNAアレイ解析を行い、1) d975では時計出力遺伝子のほぼ全てのリズム成分が無くなる事、2) d975では体内時間の位相が主観的昼で止まっている事を発見、報告した。つまりPRR9、PRR7、PRR5は植物ゲノムレベルの日内の時間変遷(朝から夕)に必須であると強く示唆された。興味深いことにd975で、発現上量していた遺伝子セットと、低温ストレスに应答する遺伝子セットとに強い正の相関があった。低温ストレスに应答する遺伝子群の多くは、植物に低温ストレス耐性を付与する事が知られている。そこでd975の低温ストレスへの耐性を調べたところ、野生型に比べて顕著な耐性能を示す事が分かった。さらに詳細に解析すると、d975では、網羅的な低温ストレス应答遺伝子群の発現上昇に加えて、低温ストレスに应答する適合溶質(プロリン、ラフィノース)や、低温誘導型の遺伝子群を誘導する転写因子をコードする dehydration-responsive element B1 (DREB1) 遺伝子の発現も上昇していた。DNAアレイの結果とd975のストレス耐性の形質は、時計機構の出力に低温ストレス应答というシステムが生理的に意義のある形で存在する事を示唆している。また本研究は植物における時計機構と低温ストレス应答の関係を、遺伝子レベル、物質レベルで関連づけた初めての報告である。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakamichi N, Kusano M, Fukushima A, Kita M, Ito S, Yamashino T, Saito K, Sakakibara H, Mizuno T.: "Transcript Profiling of an Arabidopsis PSEUDO RESPONSE REGULATOR Arrhythmic Triple Mutant Reveals a Role for the Circadian Clock in Cold Stress

Response", *Plant Cell Physiol.*, in press, (2009)\*

Ito S, Kawamura H, Niwa Y, Nakamichi N, Yamashino T, Mizuno T.: "A Genetic Study of the Arabidopsis Circadian Clock with Reference to the TIMING OF CAB EXPRESSION 1 (TOC1)Gene", *Plant Cell Physiol.*, in press, (2008)\*

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fukushima A, Kusano M, Nakamichi N, Kobayashi M, Hayashi N, Arita M, Sakakibara H, Mizuno T, Saito K: "SYSTEMS BIOLOGICAL APPROACH FOR TRIPLE KNOCKOUT MUTANT OF PSEUDO-RESPONSE REGULATOR GENES IN ARABIDOPSIS", 5th International Conference on Plant Metabolomics (ICPM2008), Yokohama, Japan, Jul. (2008)

(国内会議等)

中道 範人, 草野 都, 福島 敦史, 北 雅規, 伊藤 照悟, 山篠 貴史, 斉藤 和季, 榊原 均, 水野 猛: "Molecular analysis of clock-associated pseudo response regulators", 第10回記念植物バイオセミナー, 春日井, 日本, 10月 (2008)

福島 敦史, 草野 都, 中道 範人, 小林 誠, 林 尚美, 榊原 均, 水野 猛, 斉藤 和季: "Arabidopsis Pseudo-response regulator PRR9, PRR7, PRR5 三重変異体に対するシステム生物学アプローチ", 第3回メタボロームシンポジウム「メタボロミクスが解き明かす生命のシステム」, 鶴岡, 日本, 10月 (2008)

福島 敦史, 草野 都, 中道 範人, 小林 誠, 林 尚美, 有田 正規, 榊原 均, 水野 猛, 斉藤 和季: "Arabidopsis Pseudo-response regulator PRR9, PRR7, PRR5 三重変異体のシステム生物学アプローチ", 第31回日本分子生物学会年会・第81回日本生化学会大会合同大会 (BMB2008), 神戸, 日本, 12月 (2008)

福島 敦史, 草野 都, 中道 範人, 小林 誠, 林 尚美, 榊原 均, 水野 猛, 斉藤 和季: "Arabidopsis Pseudo-response regulator PRR9, PRR7, PRR5 三重変異体の比較代謝プロファイリングからの特徴づけ", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

中道 範人, 草野 都, 福島 敦史, 伊藤 照悟, 山篠 貴史, 斉藤 和季, 榊原 均, 水野 猛: "植物時計変異体のDNAアレイ解析", 第15回日本時間生物学会学術大会, 岡山, 日本, 11月 (2008)

中道 範人, 草野 都, 福島 敦史, 伊藤 照悟, 山篠 貴史,  
北 雅規, 斉藤 和季, 榊原 均, 水野 猛: "シロイヌナ

ズナ時計変異体のアレイ解析", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

XX - 031

### 植物の低温ストレス応答に関与する 新規 RNA マスキング機構探索と機能解明

#### Identification and Characterization of Novel RNA Masking System in Plant Cold Stress Response

研究者氏名: 中南 健太郎 Nakaminami, Kentaro

受入研究室: 植物科学研究センター

植物ゲノム発現研究チーム

(所属長 関 原明)

植物には低温ストレス耐性を獲得するための馴化機構が存在する。その耐性機構を解明するために、低温誘導性遺伝子の発現及び機能解析が重要である。これまでの研究で、バクテリアから高等植物にまで保存されたRNAシャペロンによるRNA構造維持機構が、低温に対する適応機構の1つであることが明らかとなった。このことから、植物のストレス応答には転写後・翻訳調節が重要な機構の1つであると考えられる。転写後・翻訳レベルでの発現制御に関する最近の研究では、miRNA、siRNAによる分解制御に関するものが盛んに行われているが、mRNAの安定性、及び翻訳制御機構の研究は少ない。植物のストレス適応に対する初期応答、あるいは環境の急激な変化に即座に対応するためには、RNA新規合成をとまわらない、翻訳調節のみによる早い応答機構の存在が十分に考えられる。

本研究は低温ストレス応答時の転写後・翻訳調節機構に着目し、特に翻訳抑制によりmRNAを保持し、刺激によりタンパク質合成を制御するRNAマスキング機構の探索と機能解明を目指している。まず、RNAマスキングのターゲット探索・同定をするため、シロイヌナズナを用いて低温馴化時及び脱馴化時における遺伝子、タンパク質発現の比較解析をマイクロアレイ、2D-DIGEを用いて行った。ターゲットとなるmRNAは、低温馴化時に翻訳されずにmRNAの状態保持され、脱馴化時に即座に翻訳される。この機構により、植物は環境の急激な変化に適応できると考えられる。そこで、脱馴化特異的に発現量の増加するタンパク質の中から、対応するmRNAの発現パターンがタンパク質のそれと一致しないものを選別し、RNAマスキングのターゲット候補とした。そのターゲット候補の中には1次代謝に関

与するものが多く含まれただけでなく、光合成関連、RNA結合タンパク質なども見いだされた。このことから、植物は脱馴化時に成長、発達のために即座に応答するシステムを有することが示唆された。今後は、このターゲット遺伝子、タンパク質の詳細な発現パターンを解析するとともに、RNAマスキング機構本体の同定、その解析を行う予定である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakaminami K., Karlson D.: "Arabidopsis cold shock domain proteins: relationships to floral and embryo development", 2008 IU-UGAS/IU-GSA/IU-COE Joint Symposium, Morioka, Japan, Oct. (2008)

(国内会議等)

関 原明, 松井 章浩, 石田 順子, 諸澤 妙子, 金 鍾明, 栗原 志夫, 岡本 昌憲, 中南 健太郎, 藤 泰子, 川嶋 真貴子, 田中 真帆, 神沼 英里, 遠藤 高帆, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 花田 耕介, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄: "タイリングアレイを用いた環境ストレス応答に関するトランスクリプトーム解析", 日本進化学会第10回大会ワークショップ「ゲノム・トランスクリプトーム」, 東京, 日本, 8月 (2008)

関 原明, 松井 章浩, 石田 順子, 諸澤 妙子, 金 鍾明, 栗原 志夫, 岡本 昌憲, 中南 健太郎, 藤 泰子, 川嶋 真貴子, 田中 真帆, 神沼 英里, 遠藤 高帆, 望月 芳樹, 小林 紀郎, 花田 耕介, 豊田 哲郎, 篠崎 一雄: "タイリングアレイ、超高速シーケンスシステムを用いた植物の環境ストレス応答における全ゲノムトランスクリプトーム解析", 第26回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム, 吹田, 日本, 9月 (2008)

## ニワトリ初期胚において 中胚葉細胞の遊走を制御する分子シグナリングの解明

### Clarification of Molecular Signaling that Control Mesodermal Cell Migration in Chicken Embryo

研究者氏名：仲矢 由紀子 Nakaya, Yukiko  
受入研究室：発生・再生科学総合研究センター  
初期発生研究チーム  
(所属長 Guojun Sheng)

本研究は、in vivoライブイメージングによりニワトリ胚の中胚葉細胞遊走について詳細に観察し、遊走を制御する分子機構を細胞レベルで明らかにすることを目的としている。近年、in vivoライブイメージングは、いくつかの生物種で施行されているが、生きたままのニワトリ胚を観察する場合には、その培養設備等の条件により、20倍以下の低倍率レンズを用いた観察に限定され、得られた画像の分解能の低さが問題であった。また、複数の遺伝子を同一の細胞に発現させる方法にも問題が残されていた。本年度は、開口数の高いレンズとして60倍水浸レンズを試用した。従来、水浸レンズを使用する条件では、胚全体が水浸するために発生に影響すると考えられていたが、3-4時間の観察において、胚は正常に発生した。この方法で、分解能は格段に向上し、微小管や細胞内器官の観察が可能になった。次に、2つの遺伝子を同時に共発現させる方法として、ウイルスで同定された2A peptide配列で各遺伝子を繋ぎ、1つのpoly-peptideとして発現させる方法を試行した。2A peptideは自己開裂作用を持つのでpoly-peptideは分解されて単一タンパク質として発現する。この方法により、従来の方法よりも効率よく2種類のたんぱく質を同一細胞内に発現させることがで

きた。以上の結果、細胞遊走過程が単一細胞レベルで観察可能となり、中胚葉に分化した直後の細胞では、ゴルジ体が移動方向に対して核の後方に存在することが明らかになった。また、微小管形成中心(MTOC)も核の後方に存在しており、微小管はここから細胞の前方や後方のプラス端に向かって放射状に配行していることが明らかになった。哺乳類等の培養細胞から得られた過去の知見では、MTOCやゴルジ器官は、細胞遊走の方向に対して常に核の前方に位置し、細胞極性形成に関わると考えられているようであるが、ニワトリ胚中胚葉細胞においてはどのような生物学的意義を持つのか非常に興味深いと考えられる。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

- Nakaya Y., Sukowati E., Wu Y., Sheng G.: "RhoA and microtubule dynamics control cell-basement membrane interaction in EMT during gastrulation", *Nature Cell Biology*, Vol.10 7 pp765-775 (2008)
- Nakaya Y., Sheng G.: "An amicable separation: Chick's way of doing EMT", *Cell Adhesion and Migration*, Vol.3 2 pp160-163 (2008)

## 概日時計と器官サイズの制御機構に関する研究

### Control of Organ Size by Circadian Clock

研究者氏名：新沼 協 Niinuma, Kanae  
受入研究室：植物科学研究センター  
細胞機能研究ユニット  
(所属長 杉本 慶子)

多くの概日時計関連変異体は器官サイズ異常を示すが、概日時計がどのように器官サイズを決定するのは解明されていない。各概日時計関連因子は多面的な機能を持つことが報告されている。一方、植

物の器官サイズは細胞数と細胞長によって決まり、細胞伸長を制御する機構も複数存在する(「vacuolationによるcell expansion」や「細胞分裂を伴うDNA複製によるcell growth」)。本研究は、これ

らが複雑に絡み合った機構を明らかにし、未解明であった概日時計による器官サイズ制御機構の全貌を明らかにする事を目的とする。

本年度は、概日時計関連因子が持つ細胞サイズ制御への基本的な機能を明らかにし、さらに概日時計による器官サイズ制御経路で働く未知の因子を明らかにするため、以下の研究を行った。

(1)概日時計による細胞サイズ制御機構における機能(「cell expansion」もしくは「cell growth」)を調べるため、各概日時計構成因子および関連因子の変異体の倍数性解析を行った。

(2)概日時計による器官サイズ制御機構に関わる新規

因子同定のため、概日時計関連因子LHYおよびCCA1の二重機能欠損変異体変異体が示す矮化形質に注目し、本形質の抑圧変異体を単離した。現在ポジショナルクローニングにより原因遺伝子を同定中である。

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国内会議等)

新沼 協, 高瀬 将映, 塚谷 裕一, 溝口 剛, 杉本 慶子:

"概日時計関連因子多重機能欠損変異体が示す器官サイズ異常の解析", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月(2009)

## XX-034 MEMSに基づく定量的な摂動・測定による生命システムの解析

### Analysis of Biological Systems by Quantitative Perturbations and Measurements with MEMS Technology

研究者氏名: 山田 陸裕 Yamada, Rikuhiro

受入研究室: 発生再生科学総合研究センター

システムバイオロジー研究チーム

(所属長 上田 泰己)

複雑な生命システムを解き明かすためには定量的な摂動・測定技術の開発が必須である。柔軟に高精度の定量的摂動を生命システムに与えてその影響を測定するための基盤技術を構築することを目指してMEMS技術や微細流路技術に着目し、その生物学的応用を目指した微細流路の開発を開始した。

フォトリソグラフィ技術を用いて、幅100 $\mu$ m、高さ50 $\mu$ m、長さ4cm程度の直線流路の中央部に直径1mm、深さ50 $\mu$ mの円形のチャンバーを持った微細流路の鋳型を作り、ここからP D M S (Polydimethylsiloxane)製の試験用流路を作成した。この流路を用いて細胞培養試験を繰り返すことによって、微細流路内で細胞を長期間(1週間以上を初期目標とした)培養するために、流路全体を適切な温度と湿度に保つための工夫、炭酸ガス非依存性培地とその光毒性に対する対応策、流路内への気泡の侵入を防ぐ工夫、通常の培養条件から微細流路内培養に移す際の工夫、培地の流速速度、といった具体的な知見を蓄積して実際に培地を流速させながら哺乳類培養細胞を1週間にわたって培養することに成功した。今後は流速による細胞へのストレスを低減した流路の開発、流速する培地の組成を時間的に変化さ

せる摂動実験及び細胞の微細流路からの回収と計測、流路中での細胞状態のモニタリング等の要素技術の開発を行いながら、複雑な生命システムのモデル系としての体内時計システムやホルモン受容等の細胞内部状態と環境情報とを繋ぐメカニズムに迫ることを計画している。

また、哺乳類体内時計の中枢である脳神経核(視交叉上核)の一細胞発光測定系を導入し、神経細胞内での時計遺伝子の活動を発光量としてリアルタイムで捉えながらその電気的な活動を同時に計測するための測定系を構築している。この計画では、ETH(スイス連邦工科大学)A. Hierlemann研究室がMEMS技術を用いて開発した高密度電極システムを用いる。現在はETHの研究員と緊密に連絡を取り合いながら、所属研究室の研究員らと共にマウスの脳切片を高密度電極上で長期培養するための条件検討及び開発項目の選定を行っている。このシステムでは電気的な刺激を加えることも可能であるため、高い空間分解能を持った電気的摂動、さらには前述の微細流路技術と組み合わせて化学物質の流速による定量的な摂動を行うことを視野に入れている。



## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

磯島 康史, 鶴飼 英樹, 藤島 博史, 山田 陸裕, 中嶋 正人, 升本 宏平, 木内 玲子, 南 陽一, 木藤 良沢, 小島 俊男, 榊 佳之, 上田 泰己: "哺乳類概日時計の周期決定因子の探索", 日本人類遺伝学会第53回大会, 横浜, 日本, 9月 (2008)

山田 陸裕, 松本 顕, 鶴飼 磨貴, Houl Jerry, 宇野 健一郎, 粕川 雄也, Dauwalder Brigitte, 伊藤 太一, Hardin Paul, 谷村 禎一, 上田 泰己: "機能ゲノミクスによる新規八工概日時計システム転写因子の発見", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

## XX - 035

### 死細胞貪食に伴う免疫寛容誘導メカニズムの解明

#### Mechanism of Tolerance Induction toward Dead Cell-associated Antigen

研究者氏名: 浅野 謙一 Asano, Kenichi

受入研究室: 免疫アレルギー科学総合研究センター

自然免疫研究チーム

(所属長 田中 正人)

本研究は、死細胞処理による免疫寛容誘導機構を明らかにすることを目的とする。

生体には、不要となった細胞や腫瘍細胞などの有害な細胞に死を誘導し排除する機構が存在する。死を誘導された細胞は食細胞により特異的に認識、貪食される。以前私は、マウスに死細胞の貪食阻害作用を有するタンパクを投与すると自己抗体の産生が誘導されることを明らかにした。この事実は、適切な死細胞処理が自己に対する免疫寛容維持に重要な役割を担い、貪食異常と自己免疫疾患の発症に強い関連があることを示唆している。しかしながら、生体内での死細胞処理に関与する食細胞の種類や貪食の分子機構、細胞付随抗原の提示機構はほとんど明らかになっていない。

ウイルス感染細胞や腫瘍細胞の一部はアポトーシスを起こし、末梢組織に常在する食細胞に貪食され所属リンパ節に運ばれる。死細胞に付随する抗原は樹状細胞によって提示され抗原特異的リンパ球を活性化する。リンパ節被膜下腔にはCD169陽性マクロファージの一群が局在し、リンパ節に流入する抗原を選択的に取り込んでいると考えられている。したがってこのマクロファージは細胞付随抗原の処理にも重要な役割を担っていると推察されるが、その具体的な機序は明らかにされていない。

本年度は、

(1)死細胞を免疫したマウスのリンパ節から樹状細胞をセルソーターにより分取し、細胞付随抗原提示を担う細胞集団を同定した。その結果、CD11c、CD169二重陽性となる細胞群がCD8陽性T細胞に対する抗原提示能を有することが明らかになった。

(2)これらの細胞集団の貪食能や抗原提示能をより詳しく解析するため、該当細胞集団にのみ特異的に発現する遺伝子をマイクロアレイで検索した。

(3)我々の研究チームではすでにCD169陽性細胞のみを選択的に消失できる遺伝子改変マウス(CD169-DTRマウス)を作成している。このマウスに死細胞を免疫し、CD169陽性細胞消失時の細胞付随抗原提示能がどのように変化するか調べた。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tsuboi N.\*\*, Asano K.\*\*, Lauterbach M., and Mayadas T.: "Human Neutrophil Fcγ Receptors Initiate and Play Specialized Nonredundant Roles in Antibody-mediated Inflammatory Diseases.", *Immunity*, 28: 833-46 (2008)\*, (\*\*equal contribution)

(総説)

浅野 謙一, 田中 正人: "死細胞の貪食異常と自己免疫疾患", *実験医学*, 26: 3019-24 (2008)

研究者氏名：黒田 有希子 Kuroda, Yukiko

受入研究室：脳科学総合研究センター

発生神経生物研究チーム

(所属長 御子柴 克彦)

近年、骨形成機構の分子レベルでの解析が盛んに行なわれており、その結果、骨吸収活性を持つ破骨細胞の分化や活性化に細胞内カルシウム動態が深く関わっていることが明らかとなってきた。そこで本研究では、細胞内のカルシウム貯蔵庫である小胞体に局在するカルシウムチャンネル、イノシトール3リン酸受容体(IP<sub>3</sub>R)の結合タンパク質によるIP<sub>3</sub>Rの活性制御機構に重点をおき、破骨細胞分化時のカルシウム動態制御メカニズムを解明することを目的とした。

本年度はIP<sub>3</sub>R結合タンパク質の一つであり、IP<sub>3</sub>RのリガンドであるIP<sub>3</sub>と競合的に働くことが知られているIRBITの機能に着目し、研究を行ってきた。IRBITの破骨細胞分化における機能を推測するために、まず、破骨細胞分化時、および未分化時にそれぞれ特異的にIRBITに結合するタンパク質をMS解析によってスクリーニングし、それらのタンパク質とIRBIT、IP<sub>3</sub>Rとの関係を調べた。スクリーニングの結果、多数の興味深いタンパク質がIRBIT結合タンパク質の候補として上がってきたが、最初の候補タンパク質として、N末側にカルシウム結合部位を有するE3ユビキチンリガーゼに注目し、研究を進めてきた。本研究では、カルシウム動態の制御機構を明らかにすることが目的であるため、まずこのタンパク質がカルシウム結合能を有するという点に注目し、IRBITの結合、および局在が細胞内カルシウム濃度によって変化するかどうかを調べた。しかしながら、COS-7細胞などの培養細胞に過剰発現させた実験系では、細胞内カルシウム変化による大きな影響は見られなかった。そこで、内在性のタンパク質を観察するために抗体を作製、精製した。現在はこの抗体を用いて、破骨細胞内在性タンパクの詳細な解析を行なっている。また、破骨細胞分化誘導後、経時的にIRBITのタンパク質発現レベルを調べた所、分化状態によってタンパク質レベルはあまり変化しなかった。このことから、E3リガーゼがIRBITの分解に関わっているのではなく、他の標的タンパ

ク質を分解するためにIRBITとE3リガーゼの結合が意味をもつのか、もしくはモノユビキチン化による標的タンパク質の局在の変化が重要な意味をもつのか、という仮説をたて、実験を進めている。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Mizutani A., Kuroda Y., Futatsugi A., Furuichi T., Mikoshiba K.: "Phosphorylation of Homer3 by Calcium/Calmodulin-Dependent Kinase II Regulates a Coupling State of Its Target Molecules in Purkinje Cells", *The Journal of Neuroscience*, Vol.28 20 pp5369-5382 (2008)

Kuroda Y., Hisatsune C., Nakamura T., Matsuo K., Mikoshiba K.: "Osteoblasts induce Ca<sup>2+</sup> oscillation-independent NFATc1 activation during osteoclastogenesis", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.105 25 pp8643-8648 (2008)

Kawaai K., Hisatsune C., Kuroda Y., Mizutani A., Tashiro T., Mikoshiba K.: "80K-H interacts with inositol 1,4,5-trisphosphate receptors and regulates IP<sub>3</sub>-induced calcium release activity", *The Journal of Biological Chemistry*, Vol.284 1 pp372-380 (2009)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kuroda Y.: "Osteoblasts induce Ca<sup>2+</sup> oscillation-independent NFATc1 activation during osteoclastogenesis", *Forefront on Advanced Bone and Joint Science 2008*, Tokyo, Japan, Dec. (2008)

(国内会議等)

水谷 顕洋, 黒田 有希子, 古市 貞一, 御子柴 克彦: "Purkinje細胞における Homer3 のリン酸化" 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

久恒 智博, 安松 啓子, 黒田 有希子, 岩永 ひろみ, 小

川 直子, 吉田 竜介, ニノ宮 裕三, 御子柴 克彦: "  
タイプ3IP<sub>3</sub>受容体欠損マウスにおける味覚異常",

第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008),  
東京, 日本, 7月 (2008)

## XX - 037

### 制御性 T 細胞の恒常性維持機構に関する検討

#### Mechanism of Regulatory T cell Homeostasis

研究者氏名: 小松 紀子 Komatsu, Noriko

受入研究室: 免疫科学総合アレルギー研究センター  
免疫恒常性研究ユニット

(所属長 堀 昌平)

制御性T細胞(regulatory T cells: Treg)は自己免疫や過剰な免疫応答を抑制する、生体の恒常性維持に必須な細胞集団である。転写因子Foxp3はTregの発生分化、機能発現に必須の分子として知られている。これまでTregにおけるFoxp3の発現や抑制機能は安定であると考えられてきた。本研究ではFoxp3陽性TregにおけるFoxp3の発現が生体内においてリンパ球減少時だけでなく生理的な条件下でも消失することを見出した。またFoxp3を消失した細胞はTregとしての抑制機能も消失し免疫応答を促進する性質を獲得していた。さらに特定のマーカーを用いることでFoxp3の発現が安定した細胞により構成される集団と不安定な細胞を含む集団に分けることに成功した。すなわちFoxp3陽性TregはFoxp3の発現の安定性に関して多様性に富んだ集団であり、Tregに運命付けられた免疫抑制機能をもつ細胞が大半を占めるのに対し、免疫応答を促進する細胞に転換しうる細胞も少数含まれることが明らかとなった。この研究はFoxp3発現安定化機構の解明や、Foxp3陽性Tregを用いた疾患治療においてその免疫抑制機能を

効率よく誘導できるような治療法の開発につながるものとして期待される。

また共同研究によりFoxp3を消失した細胞の腸における機能を解析した結果、抗体による生体防御の根幹である記憶B細胞の分化を誘導する機能をもつ、Follicular B helper T細胞(TFH)となる細胞が存在することを明らかにした。これまでTFHの起源は不明な点が多かったが、本共同研究は安定した免疫抑制機能をもつとされてきたFoxp3陽性TregがFoxp3の消失に伴い記憶B細胞の分化を誘導する機能を獲得することを示す初めての報告である。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Komatsu N., Hori S.: "Full restoration of peripheral Foxp3+ regulatory T cell pool by radioresistant host cells in scurfy bone marrow chimeras", Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Vol.104 21 pp8959-8964 (2007)

## XX - 038

### メモリー B 細胞の分化、維持機構の解明

#### Clarification of the Mechanism in Memory B Cell Development and its Maintenance

研究者氏名: 米谷 耕平 Kometani, Kohei

受入研究室: 免疫・アレルギー科学総合研究センター  
分化制御研究グループ

(所属長 黒崎 知博)

免疫系は生体が病原体などから個体を守るために獲得した機構であるが、この中でも「免疫記憶」は、生体が一度感作された抗原に対して再び反応する際に、より迅速に、より強力に応答することにより、

効率良く感染源を排除するための機構である。この免疫記憶において、生体が生存している長期間にわたり抗体の産生を可能とするのが、記憶B細胞と長寿命形質細胞と呼ばれる細胞集団である。中でも記憶

B細胞は、その誘導機構、長期維持機構といった基礎的知識についても未だに不明な点が多い。このように記憶B細胞の研究があまり進展していない原因の一つとして、記憶B細胞を同定し、不可逆的に標識する分子が存在しないことが挙げられる。そのため、記憶B細胞の局在や、抗体産生細胞に分化する際の動態などが明らかにされていない。そこで、私は本研究により、記憶B細胞を遺伝学的不可逆的に標識可能なマウスを作出し、未だ不明とされている記憶B細胞の局在、反応時の動態の解明を計画した。

まず、記憶B細胞を生体内で同定するために、記憶B細胞特異的に発現する遺伝子を探索し、この遺伝子の発現パターンと同様にCreを発現するTgマウスを、大腸菌人工染色体(Bacterial Artificial Chromosome: BAC)を用いて作製することを試みた。その後、レポーター遺伝子として、Cre依存的に黄色蛍光タンパク質(Yellow Fluorescent Protein: YFP)を発現するマウスと交配し、記憶B細胞を特異的かつ不可逆的にYFPで標識可能なマウスを作製する。これらのマウスを用いて、免疫後にフローサイトメトリー、免疫染色法による観察を行い、記憶B細胞の存在場所、抗原に再び暴露された後に抗体産生細胞に分化するまでの動態を明らかにする。

また、現在までに研究を進める上で困難となって

きた原因の1つに記憶B細胞の頻度の少なさが挙げられる。この問題を克服するために、抗原特異的B細胞抗原受容体ノックインマウスを利用し、記憶B細胞を大量に採取する方法に関しても検討を行った。

以上の方法と、単離した記憶B細胞を養子移植する方法を組み合わせ、記憶B細胞を生体内で追跡し、記憶B細胞が抗原によって再び活性化する際に必要となるT細胞を始めとした細胞要素、細胞外因子、活性化の場所、動態について明らかにする。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kohei K., Moriyama M., Nakashima Y., Katayama Y., Wang SF., Yamasaki S., Saito T., Hattori M., and Minato N.: "Essential role of Rap signal in pre-TCR-mediated  $\beta$ -selection checkpoint in  $\alpha\beta$  T-cell development", Blood, 112 4565-4573(2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

米谷耕平, 山田貴佑記, 疋田正喜, 黒崎知博: "B細胞におけるアダプター分子、CIN85の機能解析", 第38回日本免疫学会学術集会, 京都, 12月 (2008)

## XX - 039

### 減数分裂期前期におけるクロマチン因子の 常染色体/性染色体領域間移動の分子メカニズムの解明

#### Functional Analysis of Mechanism of Chromatin Factor Transfer between Autosomes and Sex Chromosomes during Meiotic Prophase

減数分裂における染色体の相同的遺伝子組換えは、遺伝情報の多様性を生み出すために非常に重要である。その際、常染色体はお互いの相同性を認識して対を形成するが(対合)、相同性の少ない性染色体は非常に短い相同領域で対合する。性染色体の不对合部分はヘテロクロマチン化し、XY体という特殊な核内構造を形成する。XY体は性染色体の対合状態を安定に維持し、また、転写抑制に寄与すると考えられている。我々はこれまでに、XY体の形成維持に

研究者氏名: 堀澤(高田)幸 Horisawa-Takada, Yuki  
受入研究室: 免疫アレルギー科学総合研究センター  
免疫器官形成研究グループ  
(所属長 古関 明彦)

ポリコーム群(PcG)複合体と呼ばれる巨大なタンパク質複合体が関与することを明らかにしてきた。XY体の形成不全は不妊になることが知られており、本研究では、XY体形成に関わる分子のさらなる同定とその制御機構の解明を目指している。

ヘテロクロマチンタンパク質HP1 $\gamma$ は、ヒストンH3の9番目のリジンのメチル化を認識してクロマチンに結合し、高次のクロマチン構造変換に関わる分子である。我々は、雄の生殖細胞に関する解析から、常

染色体対合完了に伴いHP1 $\gamma$ はリン酸化ヒストンH2AX( $\gamma$ H2AX)と複合体を形成して常染色体から解離し、性染色体領域に移動することでXY体形成のトリガーになることを示唆するデータを得た。すなわち、HP1 $\gamma$ 遺伝子欠損マウスの雄の減数分裂期において、常染色体から $\gamma$ H2AXが解離できないため常染色体の対合が阻害され、それが原因でXY体は形成されないと考えた。しかしその後の解析により、HP1 $\gamma$ 欠損マウスは雌雄ともに不妊であり、雌でも常染色体の対合阻害が起こっていることから、不妊の直接の

原因はXY体形成不全そのものではなく、対合障害の可能性も考えられた。また、減数分裂期後期に起こる染色体分離の過程でも異常が観察され、HP1 $\gamma$ という分子は減数分裂期における複数の重要なプロセスに関与していることが明らかとなってきた。今後は、HP1 $\gamma$ 遺伝子欠損マウスの表現型を詳細に解析するとともに、XY体形成に関わる新たな分子を同定し、常染色体/性染色体間での分子のクロストークの解明を行っていきたい。

## XX - 040 高精度な集団スパイク時系列を用いた皮質局所回路の解析 Spatiotemporal Analysis of Firing Patterns in Cortical Local Circuit using Multi-Unit Recordings with Accurate Spike Sorting

研究者氏名：竹川 高志 Takekawa, Takashi  
受入研究室：脳科学総合研究センター  
脳回路機能理論研究チーム  
(所属長 深井 朋樹)

脳内で行なわれている情報処理を理解するためには、個々の神経細胞単位のミクロな応答や、脳の特定の部位といったマクロな応答を調べるだけではなく、一定数の神経細胞集団が活動電位のレベルでどのように相互作用して活動しているかを詳細に調べる必要がある。そのためには、生理学実験により多くの神経細胞の活動を同時に記録する技術を開発することと、得られた神経細胞の集団活動電位時系列からどのような情報処理が行なわれているかを読み解く精度の高い解析手法が必要となる。

複数細胞の活動電位時系列を同時に測定する手法としては、多点電極による細胞外記録が広く用いられている。しかし、細胞外記録によるデータには多数の神経細胞の活動電位が様々な雑音とともに含まれており、特定の神経細胞の時系列を正しく推定すること容易ではない。そこで、ウェーブレット変換を利用したスパイク検出および特徴抽出と、有限混合t分布モデルに対する変分ベイズを利用したクラスタリングを組み合わせたスパイクソーティング手法を考案し、実装した。この手法により、ほぼ自動化された手続きで誤り率の低い活動電位時系列を得ることが可能となった。

集団活動電位時系列の解析手法としては、発火率の変化や特定の発火パターンが繰り返し現れる現象

や同期発火現象などに関して、それぞれ情報処理にどのような役割を果たしているかを定量的に評価する手法を考案した。具体的には、特定の時刻の発火パターンを適切な高次元空間内の状態にマッピングし、その空間内で状態の時間変化を解析する。通常は計算量が発散し直接的な計算は不可能であるが、発火パターン同士の適切な類似性を定義することにより、カーネルトリックと呼ばれる手法により解析が可能になる。ここでは、高次元空間内での主成分分析(カーネルPCA)を利用した解析を推めている。

実験データには、課題遂行中ラットの運動野からのシリコンプローブ記録を用いる。シリコンプローブは大脳皮質の複数の層からの活動記録が同時に得られる形状になっており、本研究の目的である局所回路の機能的構造が解析可能である。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takekawa T., Isomura Y., Fukai T.: "Accurate spike sorting of multiunit recording data based on the robust variational Bayesian clustering", 38th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2008), Washington DC, USA, Nov. (2008)

Isomura Y., Harukuni R., Takekawa T., Aizawa H., Fukai

T.: "Functional and morphological identification of neocortical neurons in rodents performing operant motor task", 38th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2008), Washington DC, USA, Nov. (2008)

(国内会議等)

竹川 高志, 姜 時友, 磯村 宜和, 深井 朋樹: "ウェーブレット変換とロバスト変分ベイズを利用した高精度スパイクソーティング", 第5回ブレインコミュニケーション研究会, けいはんな学研都市, 日本, 5月 (2008)

竹川 高志, 姜 時友, 磯村 宜和, 深井 朋樹: "スパイク時系列の高次相関解析を可能にする高精度なスパイクソーティング法とその実装", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

相澤 秀紀, 小林 恵実, 磯村 宜和, 田中 さやか, 竹川 高志, 春国 梨恵, 深井 朋樹, 岡本 仁: "海馬シータ波に関連した外側手綱神経細胞の活動様式", 第

31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

竹川 高志, 磯村 宜和, 深井 朋樹: "Robust variational Bayes with wavelet transform improves accuracy and efficiency of spike sorting", マルチニューロン研究会 2008, 東京, 日本, 7月 (2008)

磯村 宜和, 春国 梨恵, 竹川 高志, 相澤 秀紀, 深井 朋樹: "オペラント課題遂行ラットにおける大脳皮質ニューロンの機能的および形態学的同定", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

姜 時友, 磯村 宜和, 竹川 高志, 加藤 英之, 深井 朋樹: "睡眠中のラット新皮質および海馬におけるマルチユニット神経活動", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

竹川 高志, 磯村 宜和, 深井 朋樹: "ウェーブレット変換とロバスト変分ベイズによる高精度スパイクソーティング", 日本神経回路学会第18回全国大会 (JNNS2008), つくば, 日本, 9月 (2008)

## XX - 041 哺乳類の脳発達における REM 睡眠の生理的意義の遺伝学的解析

### Genetic Analysis of the Function of REM Sleep in Mammalian Brain Development

研究者氏名: 林 悠 Hayashi, Yu

受入研究室: 脳科学総合研究センター

行動遺伝学技術開発チーム

(所属長 糸原 重美)

夢を見ることで良く知られるREM(高速眼球運動)睡眠は、高等脊椎動物に固有の現象であり、脳の何らかの高次機能に関わると考えられる。REM睡眠中の脳では、他の睡眠段階あるいは覚醒時と比べても神経活動が活発であることから、REM睡眠の生理的意義は単なる休息とは考えにくい。本研究ではREM睡眠の生理的意義を調べるに当たり、REM睡眠が生誕前後に最も頻繁に見られるという知見に着目し、脳発達に関わる可能性を検証する。胎児や新生児には従来の睡眠阻害方法である覚醒強制や手術を適用することは困難であることから、本研究ではマウスを用いた遺伝学的手法によるREM睡眠の阻害を試みる。具体的には、REM睡眠の制御を担う神経核に人為的に神経活動を抑制する遺伝子を発現させ、これ

により一定期間REM睡眠を低下させ、脳発達への影響を評価することを目指す。

上記の目的を達成するために、次の3種類のトランスジェニックマウスの作製を行うこととした: ①REM睡眠中枢神経核に選択的にDNA組み換え酵素Creを発現するもの、②DNA組み換え酵素Creの存在下でREM睡眠中枢神経核に選択的に薬剤感受性転写因子tTAを発現するもの、③tTA存在下で神経活動抑制遺伝子を発現するもの。最終的には3種類すべての組み換え遺伝子を有する三重トランスジェニックマウスを作製することにより、薬剤制御下でREM睡眠を調節できるものと期待される。本年度は、上記3種類のうち、①と③を作製した。

研究者氏名：松永 英治 Matsunaga, Eiji

受入研究室：脳科学総合研究センター

生物言語研究チーム

(所属長 岡ノ谷 一夫)

鳥類の中でも鳴禽類に属する鳥は、幼鳥期に親鳥を真似て発声を学習することから、優れたヒトの言語学習モデルとされる。本研究は、シナプス近傍に局在し、特異的な神経回路の形成や、シナプス構造の維持や機能発現に関わることが予想されるカドヘリン分子を中心に、鳥の歌学習期の神経可塑性を支える分子基盤を探ることを目的としている。

これまでに、鳴禽類のジュウシマツを用いて、歌の学習時期と関連して発現する遺伝子群の探索を行ない、発声学習に必要な脳部位に発現する因子として、カドヘリン分子群などを同定した。歌鳥は、まず親の歌を聴いて覚え(感覚学習期)、自ら真似て練習する(感覚運動学習期)ことにより歌を習得するが、発達を追って詳細に遺伝子発現を調べた結果、歌学習に関わるほぼすべての神経核において、cadherin-6Bの発現の上昇がみられること、また、前運動核であるRA核では、感覚学習期から感覚運動学習期へと移行する過程で、発現するカドヘリンのサブタイプがcadherin-7からcadherin-6Bへと変化することなどを明らかにした。これらの結果を論文としてまとめ公表した。さらに、発達初期のヒナのRA核にcadherin-7を発現するレンチウイルスを導入し、歌学習への影響を解析した。正常なヒナや、コントロールとしてEGFPを強制発現させたヒナの場合、練習を重ねることにより、親の歌を習得するが、cadherin-7を強制発現させたヒナは、親の歌をコピーすることができず、成鳥後も不完全な歌をうたい続けた。エントロピーや周波数変調など様々な音響パラメーターについて、より詳細な解析を行なったところ、cadherin-7を強制発現させた鳥の歌は、発達初期のヒナと同じパターンを示したことから、発達とともに、発現するカドヘリンのサブタイプが変わることが、歌の学習に重要であることが明らかとなった。

一方で、cadherinの発現制御に関わることが予想される因子や、cadherinと関連して歌学習の神経回路の発達に関わる候補因子群についても平行して解

析を進めた。その結果、androgen受容体や、Neuropilin、Plexin等の因子が、cadherin分子群と同様、歌学習に関わる神経核で発現しており、他の歌を学習する種であるセキセイインコや、歌学習能を持たないウズラなどの遺伝子発現パターンの比較などから、進化の過程でこれらの因子の発現パターンに違いが生じ、その結果として、鳥類の一部が歌学習能を獲得できた可能性が考えられた。これらの結果についても、論文を発表した。また、これまでに得られた一連の成果をまとめた総説を近く発表する。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Matsunaga E., Okanoya K.: "Expression analysis of cadherins in the songbird brain: relationship to vocal system development.", *Journal of Comparative Neurology*, 508 329-342 (2008)

Matsunaga E., Kato M., Okanoya K.: "Comparative analysis of gene expressions among avian brains: A molecular approach to the evolution of vocal learning", *Brain Research Bulletin*, Vol.75 pp474-479 (2008)

Tassew N., Chestopolava L., Beecroft R., Matsunaga E., Teng H., Chedotal A., Monnier P., "Intraretinal RGMa is involved in retino-tectal mapping", *Molecular and Cellular Neuroscience*, Vol.37 pp761-769 (2008)

Matsunaga E., Okanoya K.: "Vocal area-related expression of the androgen receptor in the budgerigar (*Melopsittacus undulatus*) brain", *Brain Research*, Vol.1208 pp87-94 (2008)

Matsunaga E., Okanoya K.: "Vocal control area-related expression of neuropilin-1, plexin-A4, and the ligand semaphorin-3A has implications for the evolution of the avian vocal system", *Development, Growth and Differentiation*, Vol.51 1 pp45-54 (2009)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Matsunaga E., Okanoya K.: "Cadherins and vocal learning in avian species", 38th Annual Meeting of Society for Neuroscience (Neuroscience 2008), Washington DC, USA, Nov. (2008)

Matsunaga E., Okanoya K.: "Evolution and diversity in avian vocal system", Evolution of Complex Systems, Okinawa, Japan, Dec. (2008)

(国内会議等)

松永 英治, 岡ノ谷 一夫: "Cadherins and vocal learning in songbird", 第41回日本発生物学会大会ワークショップ「Neural development and behaviour and neural circuit development」, 徳島, 日本, 5月 (2008)

松永 英治, 岡ノ谷 一夫: "Evolution and diversity in avian vocal system", 第41回日本発生物学会サテライトワークショップ「Molecular Mechanisms of the Vertebrate Brain Evolution」, 徳島, 日本, 5月 (2008)

## XX - 043

### 発ガン予防グルコシノレート： その生合成と分解制御の分子機構と代謝ネットワークの解析

#### Cancer Preventing Glucosinolates:

#### The Regulatory Networks of Synthesis and Degradation in Plants

研究者氏名：丸山明子 Maruyama-Nakashita, Akiko  
受入研究室：植物科学研究センター  
代謝システム解析チーム  
(所属長 平井 優美)

植物由来の含硫二次代謝物グルコシノレート (GLS) は、アブラナ科植物に多く含まれ、発ガン抑制効果を示す。近年、GLS生合成酵素群の単離、同定が相次ぎ、生合成経路の全体像が明らかになりつつある。しかしながら、植物体内におけるGLS生合成及び分解の制御については、ほとんど知見がない。申請者は、貧硫黄栄養(-S)に反応して、硫黄同化系及びGLS分解系を正に、GLS生合成系を負に制御する転写因子SLIM1を発見した。SLIM1の機能発現は-Sに依存しており、SLIM1機能の制御によるGLS代謝の制御は-S下でのみ可能である。つまり、SLIM1は-Sに反応して硫黄同化、GLS分解系、生合成系を制御する基軸となる因子であるが、SLIM1の下流にはGLS分解系、GLS生合成系それぞれの制御因子が存在し、これらを見出すことにより、-SによらずGLS代謝を直接に制御することが可能となる。本研究では、-SによらずGLS代謝を直接に制御することを目的とし、SLIM1の下流で働くGLS生合成・分解系それぞれの制御因子を同定する。さらにGLS生合成・分解で働く新規遺伝子や、新規GLSをシステム生物学的解析により明らかにする。

これまでの解析から、既にGLS生合成系の抑制因子を見出している。抑制因子の欠損変異体では、-Sに

反応したGLS生合成系遺伝子の発現抑制が起こらず、GLS蓄積量が増加する。逆に、過剰発現体では、硫黄栄養が十分な条件でもGLS生合成系遺伝子の発現およびGLS蓄積量が減少する。この現象を利用し、抑制因子の機能を解明する。また、SLIM1の制御下にある遺伝子群からGLS分解系の制御因子を探索し、機能解析を行う。機能解析にあたっては、トランスクリプトーム解析・メタボローム解析の結果を統合的に解析し、代謝系制御の分子機構を明らかにするとともに、遺伝子-代謝物相関、代謝物-代謝物相関を解析し、GLS代謝関連の新規遺伝子や代謝物を同定する。さらに、こうしたモデルアブラナ科植物を利用した基礎研究をアブラナ科作物へ応用し、GLS高蓄積作物の分子育種を行う。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Goda H., Sasaki E., Akiyama K., Maruyama A., Nakabayashi K., Li W., Ogawa M., Yamauchi Y., Preston J., Aoki K., Kiba T., Takatsuto S., Fujioka S., Asami T., Nakano T., Kato H., Mizuno T., Sakakibara H., Yamaguchi S., Nambara E., Kamiya Y., Takahashi H., Hirai M., Sakurai T., Shinozaki K., Saito K., Yoshida



S., Shimada Y.: "The AtGenExpress hormone and chemical treatment data set: experimental design, data evaluation, model data analysis and data access", *The Plant Journal*, Vol.55 pp526-542 (2008)

Kawashima C., Yoshimoto N., Maruyama-Nakashita A., Tsuchiya Y., Saito K., Takahashi H., Dalmay T.: "Sulphur starvation induces the expression of microRNA-395 and one of its target genes but in different cell types", *The Plant Journal*, Vol.57 pp313-321 (2009)

(国内会議等)

丸山 明子, 土屋 有美子, 高宗 万希子, 齊藤 和季, 平井 優美, 高橋 秀樹: "根における吸収を担う硫酸イオントランスポーター *SULTR1;2* の硫黄欠乏応答性シス配列", 日本土壤肥科学会2008大会, 名古屋, 日本, 9月 (2008)

丸山 明子, 高橋 (渡部) 晶子, 齊藤 和季, 高橋 秀樹:

"硫黄イオントランスポーター *SULTR2;1* 3'非転写領域の硫黄欠乏応答における役割", 第26回日本植物細胞分子生物学会大会・シンポジウム, 吹田, 日本, 9月 (2008)

丸山 明子, 井上 恵理, 高橋 (渡部) 晶子, 片岡 達彦, 齊藤 和季, 高橋 秀樹: "硫酸イオントランスポーター *SULTR2;1* の根における硫黄欠乏応答とその生理機能における3'非転写領域の役割", 第49回日本植物生理学会年会, 札幌, 日本, 3月 (2008)

安田 美智子, 丸山 明子, 篠崎 聰, 仲下 英雄: "環境ストレス応答による全身獲得抵抗性抑制機構の解析", 日本農薬学会第34回大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

安田 美智子, 丸山 明子, 篠崎 聰, 仲下 英雄: "サリチル酸シグナルとアブシジン酸シグナルのクロストークの解析", 第50回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3月 (2009)

## XX - 044 視覚ノイズに反映される皮質内ダイナミクスに関する研究

### Mutual Interaction between Noise and Signal in Brain

研究者氏名: 脇坂 崇平 Wakisaka, Sohei

受入研究室: 脳科学総合研究センター

創発知能ダイナミクス研究チーム

(所属長 山口 陽子)

皮質内自発活動の重要性が、近年ますます注目されるようになった。新発見の錯視現象Diagonal Mesh Pattern (DMP) は、外部刺激がボトムアップ的に知覚されるというよりは、刺激により調整された自発活動が意識に立ち上るものであると見なすことが自然なものであり、脳内プロセスを調べるツールとしてもきわめて有意義なものである。本年度は、DMPの理論モデル構築、および予備的実験をおこなった。また、そのモデルと同等のメカニズムで、他の知覚現象などを説明・あるいは構成できないかどうかについての予備的実験をおこなった。

以下の研究計画を進めた。

(1) DMPの理論的モデルの構築をおこなった。両眼視野闘争、自発活動、方向錯視現象などがみな同時に考慮されたモデルはこれまでのところほぼ存在しないため、他の研究者たちと十分なコンセンサスを得る段階にはまだいたっていないが、成果は本年度中に投稿する予定である。

(2) DMPは、視覚野での自発活動(あるいは視覚ノイズ)が外部刺激由来活動と相互作用することによって生じる現象である。皮質にダイレクトにノイズ的活動を与えれば、DMPの知覚が変容し、それにより更なる考察がすすむことが期待できる。ここでは視覚実験と経頭蓋磁気刺激法(TMS)を組み合わせた予備的実験を行った。DMP知覚がTMSにより劇的に変容するといった事態はまだ認められていない。現在実験所設定を調整しつつ本格的な実験準備を進めている。

(3) DMPと同等、あるいは類似した脳内プロセスにより、聴覚や時間知覚が変容するかどうかの考察と予備実験を開始した。

また当研究は、脳科学総合研究センター内においてもきわめて重要なものとして認知されるに至っている(RIKEN BST Retreat 2008 Poster Presentation Award First Prize受賞)。European Conference of Visual Perception 2008(Utrecht, Holland)において

も、ポスター発表ではあるが多大な反響を得た。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Wakisaka S., Gunji Y., Ohta H., Kitajo K., Yamaguchi Y.: "Binocular rivalry between patterns and visual noises: Way to 'See' your spontaneous activity in the early

visual system by yourself", 31st European Conference on Visual Perception (ECVP2008), Utrecht, The Netherlands, Aug. (2008)

(国内会議等)

脇坂 崇平: "脳・内活動：視覚と時間知覚", 第3回内部観測研究会, 那覇, 日本, 3月 (2009)

## XX - 045

### 誘導パラメトリック発光顕微分光法の研究

#### Stimulated Parametric Emission Microspectroscopy

非線形光学効果を用いた光学顕微鏡は様々な利点(高い三次元分解能、深い侵入長、低い光損傷)を有することから生体機能観測における非常に有用なツールとなっている。細胞内分子を識別するためには、分子の分光情報を取得する必要がある。超広帯域光パルスを用いた励起光源として用いることにより、分光情報を一括取得することが可能である。しかし、超広帯域光パルスを用いた場合には様々な非線形光学効果(誘導パラメトリック発光、反ストークスラマン散乱、2光子蛍光など)が同時に誘起されるために、どの非線形光学効果により信号が発生しているかを識別する必要もある。本研究は上記課題を達成可能な新しい非線形分光法を開発し、顕微鏡へ応用することを目的とする。信号発生起源が識別可能になると、得られた分光情報に基づき超広帯域光パルスのスペクトル位相を制御することにより、特定種類の分子のみを可視化することも可能である。

本年度は、新しい非線形分光法の開発と特定分子種の選択的可視化を試みた。

(1)超広帯域光パルスを用いた非線形フーリエ変換分光法を開発することにより、非線形光学効果により発生する信号光の起源を識別可能とした。本手法はスペクトル分解能が光源のスペクトル帯域幅に依存しないため、超広帯域光パルスを用いて高分解能を得ることが可能である。また、光源のスペクトル帯域幅が広いほど一括取得可能な分光情報のスペクトル帯域幅は広がる。

(2)超広帯域光パルスを光源とした非線形(2光子蛍光、反ストークスラマン散乱、誘導パラメトリック

発光)顕微鏡を構築した。本顕微鏡にはスペクトル位相を変調可能な光パルス波形整形器を導入した。

(3)2光子蛍光や反ストークスラマン散乱を用いた非線形顕微鏡において、分子の分光情報に基づき超広帯域光パルスのスペクトル位相を変調することにより、複数種類の分子の中から特定種類の分子のみを選択的に励起可能な手法を開発した。本手法では、複数種類の分子を同時に励起した場合、単一の励起光源にもかかわらず、発生する信号光強度を独立に制御することも可能である。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Isobe K., Suda A., Tanaka M., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Fourier-transform spectroscopic technique for multi-spectral nonlinear microscopy using a 5-fs broadband light source", Review of Laser Engineering, Vol. Suppl. Vol. pp1335-1338 (2008)

Isobe K., Suda A., Tanaka M., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Fourier-transform spectroscopy combined with a 5-fs broadband pulse for multispectral nonlinear microscopy", Physical Review A, Vol. 77 6 pp063832-1-063832-13 (2008)

磯部 圭佑, 須田 亮, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 橋本 博, 神成 文彦, 緑川 克美: "スペクトル位相変調を用いた非線形光学顕微鏡", 電気学会研究会資料, Vol. OQD-09-5 pp25-28 (2009)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Isobe K., Suda A., Tanaka M., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Selective excitation of vibrational mode and Fourier transform four-wave-mixing spectroscopy using an ultrabroadband laser", Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2008) Photonic Applications Systems and Technologies (PhAST 2008), San Jose, USA, May (2008)

Tanaka M., Isobe K., Suda A., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Coherent control of two-photon excited fluorescence with ultrabroadband optical pulses", Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference (CLEO/QELS 2008) Photonic Applications Systems and Technologies (PhAST 2008), San Jose, USA, May (2008)

Isobe K., Suda A., Tanaka M., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Selective excitation in nonlinear optical microscopy by using an ultra-broadband pulse", 16th International Conference on Ultrafast Phenomena (UP 2008), Stresa, Italy, Jun. (2008)

Isobe K., Suda A., Hashimoto H., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Multifunctional nonlinear optical microscopy employing phase modulation of ultrabroadband pulses" 8th Workshop on Extreme Photonics "Ultrafast meets Ultracold", Gamagori, Japan, Nov. (2008)

Isobe K., Suda A., Hashimoto H., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Multifarious two-photon fluorescence microscopy employing ultrabroadband femtosecond laser pulses", International Meeting on Frontiers of Physics (IMFP 2009), Kuala Lumpur, Malaysia, Jan. (2009)

Isobe K., Suda A., Hashimoto H., Kannari F., Kawano H., Mizuno H., Miyawaki A., Midorikawa K.: "Selective excitation in nonlinear optical microscopy by using an ultra-broadband pulse", 1st Shanghai Tokyo Advanced Research Symposium on Ultrafast Intense Laser Science, Tokyo, Japan, Feb. (2009)

(国内会議等)

磯部 圭佑, 須田 亮, 田中 将大, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "理研シンポジウム"オクターブバンドパルスの位相変調を用いた非線形光学顕微鏡", 第7回理研・分子研合同シンポジウム:エクストリームフォトニクス研究, 和光, 日本, 5月 (2008)

磯部 圭佑, 須田 亮, 田中 将大, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "4光波混合過程における振動モードの選択的励起", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

磯部 圭佑, 須田 亮, 橋本 博, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "スペクトル位相変調を用いた多機能2光子蛍光顕微鏡", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

橋本 博, 磯部 圭佑, 須田 亮, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "フーリエ変換非線形分光法を用いた蛍光蛋白質の2光子励起スペクトル測定", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

橋本 博, 磯部 圭佑, 須田 亮, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "超広帯域レーザーを用いた蛍光蛋白質のフーリエ変換非線形分光法", レーザー学会学術講演会第29回年次大会, 徳島, 日本, 1月 (2009)

磯部 圭佑, 須田 亮, 橋本 博, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "スペクトル位相変調を用いた非線形光学顕微鏡", 電気学会光・量子デバイス研究会「フォトニック・バイオメディシン最前線:ここまできたレーザー医学・生物学 (IV)」, 和光, 日本, 2月 (2009)

須田 亮, 磯部 圭佑, 橋本 博, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "超広帯域フェムト秒レーザーを用いた選択励起2光子蛍光顕微鏡", 「フェムト秒レーザーパルス波形整形技術の基礎と新しい応用展開」シンポジウム, 横浜, 日本, 3月 (2009)

磯部 圭佑, 須田 亮, 橋本 博, 神成 文彦, 河野 弘幸, 水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "フーリエ変換分光法を用いたコヒーレント反ストークスラマン顕微鏡", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

橋本 博, 磯部 圭佑, 須田 亮, 神成 文彦, 河野 弘幸,

水野 秀昭, 宮脇 敦史, 緑川 克美: "超広帯域レーザーを用いた蛍光蛋白質のフーリエ変換非線形分

光法 (2)", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

## XX-046 アミロイドβ毒性多量体の生成メカニズムの解明へ向けた 新規1分子測定法の開発

### Development of New Single Molecule Methods to Analyze the Mechanism of Toxic Amyloid Beta Oligomer Formation

研究者氏名: 寺田 尚史 Terada, Naofumi

受入研究室: 前田バイオ工学研究室

(所属長 前田 瑞夫)

アミロイドβ(Aβ)は4 kDaのペプチドでアルツハイマー病の原因物質と考えられている。これまで重合したAβ繊維が病気の原因と考えられていたが、近年可溶性Aβ多量体のほうが高毒性であることが判明した。この多量体の形成過程の詳細は明らかになっていない。明らかになると、アルツハイマー病の発症メカニズムの解明や創薬などに貢献する。形成過程を調べるには、各会合数の多量体が生成する過程を時間と共に調べる必要がある。しかし、溶液中には様々な会合数の多量体が共存しており、溶液全体の値から各多量体の濃度変化を捉えることは困難である。このため、1分子レベルの測定法を用いる必要がある。本研究ではフォトンカウンティングヒストグラム法(PCH)をベースとした新規1分子測定法の開発を行っている。PCHは共焦点光学系を用いたナノテクノロジーで、数百nmオーダーの領域を拡散する分子の蛍光のヒストグラムを解析し、会合数と濃度を求めることが出来る。しかし、現状では解析に非常に時間がかかるため、時間変化測定部分は新規開発する必要がある。本年度はPCHの装置の立ち上げ及び蛍光Aβ多量体の解析を行った。

(1)PCHの装置を立ち上げた。PCHと蛍光相関分光法(FCS)は共通の装置となっている。装置を立ち上げてFCSで緑色蛍光タンパク質(GFP)の拡散時間の測定を行うことで動作確認を行った。また、PCHのソフトウェアを作成し、PCHの解析が行えるようにした。

(2)PCHで蛍光Aβ多量体を解析した。Aβを一度重合させて繊維を作成した後に超音波破砕で多量体を

生成した。全反射蛍光顕微鏡(TIRF)でガラス壁面に吸着した多量体の会合数の分布を求めた。PCHで同様に多量体を解析したところTIRFと定性的に同じ結果が得られ、PCHで蛍光Aβ多量体の解析が出来ることが示された。これによりAβの多量体化過程の研究への道が開けつつあると考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Zako T., Nagata H., Terada N., Sakono M., Soga K., Maeda M.: "Improvement of dispersion stability and characterization of upconversion nanophosphors covalently modified with PEG as a fluorescence bioimaging probe", Journal of Materials Science, Vol.43 pp5325-5330 (2008)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Zako T., Nagata H., Terada N., Utsumi A., Sakono M., Ueda H., Yohda M., Soga K., Maeda M.: "Development of PEGylated upconversion nanophosphors as a fluorescence bioimaging probe and its application for tumor cell imaging", 14th Symposium of Young Asian Biochemical Engineers Community (YABEC 2008), Tokyo, Japan, Nov. (2008)

(国内会議等)

寺田 尚史, 座古 保, 迫野 昌文, 前田 瑞夫: "フォトンカウンティングヒストグラム法と蛍光相関分光法を用いたAβ多量体形成の解析"日本生物物理学会第46回年会 福岡 日本 12月 (2008)

## 磁性体材料への超短パルスレーザー照射に関する研究 Study on Ultrashort Pulse Laser Irradiation of Magnetic Materials

研究者氏名：中嶋 聖介 Nakashima, Seisuke

受入研究室：緑川レーザー物理工学研究室

(所属長 緑川 克美)

エレクトロニクス分野における超短パルスレーザープロセスの応用として、基板上または材料内部に様々な機能性物質を形成させる試みや、それらの機能性物質を微細且つ複雑に加工可能な技術の開発が注目されている。

(1)そこで、磁性体材料に着目し、ガラスなどの非磁性材料内部にフェムト秒レーザーを集光照射することで強磁性体の析出を誘起させることを試みた。この手法が確立すれば、近年研究が活発に行われているスピネレクトロニクス(又はスピントロニクス)の分野においてデバイス作製のための重要な技術となり得る。本年度は、磁性イオンである鉄(Fe)イオンを高濃度にドーブしたリン酸塩ガラスを作製し、フェムト秒レーザーの集光照射とポストアニールによる強磁性物質析出の可能性を検討した。

(2)一方、超短パルスレーザープロセス技術を用いた半導体材料の微細加工に関する研究にも取り組んだ。現在、青色または紫外領域における発光デバイスの基礎材料である窒化ガリウムを加工する技術として、電子線リソグラフィと反応性ドライエッチングを組み合わせた手法が一般的である。しかしながら、作製可能な構造が二次元に限定される点、自由度の乏しさ、時間的、経済的コストの高さがマスクプロダクトの妨げになっており、新しいプロセス技術の開発が望まれている。本研究では、そうした従来の手法とは異なる加工技術として、化学溶液支援フェムト秒レーザーアブレーション法の開発を行った。通常、低密度である感光性ガラスや高分子ポリマーなどに対しては、レーザー照射による構造改質(主に結晶化による高密度化)の後、エッチング溶液に浸漬することで選択的な加工が達成されるが、高密度な単結晶窒化ガリウムにおいては、このような反応が期待できない。そのため本手法ではフェムト秒レーザーの局所的な加熱現象が引き起こすアブレーション反応を利用している。また、酸溶液中においてレーザー照射を行うため、反応時に生成するアブレーションデブリが効率的に離脱し、高品質な加工が達成できる。シングルパルスによる最小加工

痕径は今のところ500nmに達しており、こうした微小な加工痕を半導体発光デバイス表面に周期的に配置することで、光取り出し効率を向上させる機能をもつフォトニック結晶となることが期待される。本手法において、アブレーション反応が起こるのは半導体基板と酸溶液界面に限られるが、溶液によるデブリ除去効果により、レーザー光を材料内部に走査すると内部加工を施すことが可能である。これまでに、窒化ガリウム基板内部に長さ140 $\mu$ mの空洞チャンネルを形成させることに成功している。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakashima S., Fujita K., Nakao A., Tanaka K., Shimotsu-  
ma Y., Miura K., Hirao K.: "Enhanced magnetization  
and ferrimagnetic behavior of normal spinel ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>  
thin film irradiated with femtosecond laser", Applied  
Physics A, Vol.94 pp83-88 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Micro and  
nano fabrication of GaN by wet chemicals-assisted fem-  
tosecond laser ablation", 9th International Symposium  
on Laser Precision Microfabrication (LPM 2008), Que-  
bec City, Canada, Jun. (2008)

Nakashima S., Sugioka K., Midorikawa K.: "Microchan-  
nel fabrication buried in single-crystal GaN by wet  
chemicals-assisted femtosecond laser ablation", 6th  
International Conference on Photo-Excited Processes  
and Applications (ICPEPA-6), Sapporo, Japan, Sep.  
(2008)

(国内会議等)

中嶋 聖介, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "ウエットケミカ  
ル支援フェムト秒レーザーアブレーションによる  
GaNへのマイクロチャンネル作製", 理研シンポジウ  
ム「第7回理研・分子研合同シンポジウム: エク  
ストリームフォトニクス研究」, 和光, 日本, 5月

(2008)

中嶋 聖介, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "化学溶液支援フェムト秒レーザーアブレーションによるマイクロ/ナノ周期構造形成", 第56回応用物理学関係連合講演会, つくば, 日本, 3月 (2009)

中嶋 聖介, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "フェムト秒レーザー支援ウエットエッチングによるGaN内部へのマイクロチャンネル作製", 第55回応用物理学関係連合講演会, 船橋, 日本, 3月 (2008)

中嶋 聖介, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "フェムト秒レーザー支援ウエットエッチング法を用いた GaN の微細加工", レーザー学会学術講演会第 28 回年次大会, 名古屋, 日本, 1月 (2008)

中嶋 聖介, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "フェムト秒レーザー支援ウエットエッチング法によるGaNの微細加工", レーザー学会研究会, 徳島, 日本, 12月 (2007)

中嶋 聖介, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "フェムト秒レーザー支援ウエットエッチング法を利用した GaN の微細加工", 第6回エクストリーム・フォトンクス研究会「先端光源開発と量子科学への応用」, 蒲郡, 日本, 11月 (2007)

中嶋 聖介, 杉岡 幸次, 緑川 克美: "フェムト秒レーザーを用いたウエットエッチングによるGaNの微細加工", 第68回応用物理学学会学術講演会, 札幌, 日本, 9月 (2007)

## XX - 048

### 単一電子・分子スピントロニクスデバイスの創出と これを実現するナノ加工プロセスの確立

#### Development of the Nanofabrication Process for the Creation of the Single Electron and Molecule Spintronics Devices

研究者氏名: 根岸 良太 Negishi, Ryota  
受入研究室: 石橋極微デバイス工学研究室  
(所属長 石橋 幸治)

近年、従来の電子デバイスの動作原理とはまったく異なる電子の量子力学的性質である電子スピンや準粒子を利用した新概念に基づくナノデバイスの研究・開発が求められている。同時に、このようなナノデバイスの創生を実現し、発展させるためには、従来のトップダウン型微細加工精度を凌駕する微細加工技術の開拓が必要不可欠となっている。そこで本研究では、トップダウン型微細加工法と分子の自己組織化によるボトムアップ型微細加工法である分子定規法を融合させたハイブリッド型微細加工技術を開発・発展させることにより、様々な機能性材料に対して数nmの加工精度を有する微細加工技術の確立と、この技術によってのみ実現される単一電子・分子スピントロニクスデバイスの創出を目的としている。

本年度は、ハイブリッド型微細加工プロセスの開発・最適化を行い、この技術によって作製されたナノスケールオーダーの溝構造を持つナノギャップ電極の有効性を検証した。

(1) 超伝導体(アルミニウム・ニオブ)や磁性体(コバルト)材料からなるナノギャップ電極の作製に成功した。本手法では、自己組織化単分子膜と金属イオ

ンからなる多層膜(分子定規)をレジストとして用いているため、原理的には一分子層単位(~2nm)でギャップ幅を精密に制御することができる。実際、作製されたギャップ幅はレジストとして用いた多層膜(多層分子膜)のサイズと良い一致を示しており(最小ギャップ幅~6nm)、これは従来のトップダウン型微細加工精度を凌駕するものである。

(2) ドデカンチオールをリガンドとした金微粒子を、ナノギャップ電極間に配置させることにより、単一電子素子を作製し、電極間に流れる電流-電圧測定から明瞭なクーロンブロック現象を観察した。この結果は、作製されたナノギャップ電極がそのギャップ間に微粒子や単一分子を架橋させることにより、新奇な機能を有するナノデバイスの構築に大変有効であることを示唆している。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

根岸 良太, 西野 貴幸, 山口 智弘, 石橋 幸治: "分子定規法と電子線描画法の併用による超電導ナノギャップ電極の作製", 第69回応用物理学学会学術講

演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

根岸 良太, 西野 貴幸, 山口 智弘, 石橋 幸治: "分子リソグラフィ法と電子線描画法を併用したハイブリッド型微細加工法による超電導ナノギャップ電

極の作製", 未踏科学技術協会「飯綱・サイエンスサマー道場2008: 進化・発展するナノエレクトロニクス、その本命は?」, 長野県飯綱町, 日本, 8月 (2008)

## XX - 049 遷移金属酸化物中に導入されたナノ不均一構造の機能開拓 - 抵抗メモリ素子への応用

### Development of New Function of Nanoscale Phase Heterogeneity in Transition Metal Oxides - Application to Resistive Memory Device

研究者氏名: 藤原 宏平 Fujiwara, Kohei

受入研究室: 高木磁性研究室

(所属長 高木 英典)

金属/遷移金属酸化物/金属から成る積層構造への電界印加によって引き起こされる抵抗スイッチング効果は、次世代メモリ素子である抵抗メモリ(ReRAM)への応用が期待されているが、その詳細なメカニズムは未解明である。本報告者はこれまでに、電界印加によって、フィラメント状の導電性領域が酸化物絶縁体中に形成されることを明らかにしてきた。本研究の目的は、導電性領域の化学/物理的機能を明らかにし、抵抗スイッチング効果の微視的メカニズムを構築すると共に、導電性構造の制御によるナノ領域での機能発現を狙うことにある。本年度の成果概要を以下に示す。

#### (1) 局所導電性構造の制御と評価

上記導電性構造の形成は電界駆動であり、絶縁破壊と現象的に良く一致する。電極パターンを工夫し電界集中領域を導入することにより、導電性構造の形成位置・サイズ制御を試みた。この手法を用いて、導電性構造をサブミクロンスケールまでダウンサイズすることに成功し、微小化と共に低電圧・低電流での動作が可能になることを明らかにした。この結果から、電界強度、電流密度などがスイッチングの駆動源であることが示唆された。また、光電子顕微鏡を用いた金属価数マッピングから、導電性領域においては酸化物が強く還元されていることが分かった。還元強度は導電性領域内において空間的に不均一であったことから、さらなる内部構造の存在が強く示唆された。現在、サブミクロンからナノス

ケールと推察される金属ネットワークの実空間検出に努めている。

#### (2) 組成不均一金属-酸化物薄膜の素子応用

上記実験から、当該現象の舞台が酸化物に囲まれた金属ネットワークであることが強く示唆された。導電性領域を絶縁破壊的に形成する操作の必要性は、本素子のデバイスとしての信頼性を著しく低下させる。これを克服するため、反応性スパッタ法により形成したCu-Cu<sub>2</sub>O組成不均一薄膜を用いた抵抗メモリ素子の開発を試みた。薄膜形成時の酸素分圧の増加と共にCu成分が減少しCu<sub>2</sub>Oが支配的となり、膜全体の抵抗温度特性は金属伝導から半導体的熱活性伝導へと遷移することが分かった。この境界条件付近において作製した薄膜においては、絶縁破壊操作の必要なく、抵抗スイッチング動作が可能であることを見出した。金属パスの微細化によって電流狭窄が起り、局所領域での酸化還元が可能になったと考えている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Fujiwara K., Nemoto T., Rozenberg MJ., Nakamura Y., and Takagi H.: "Resistance switching and formation of a conductive bridge in metal/binary oxide/metal structure for memory devices", Jpn. J. Appl. Phys., 47, 6266-6271 (2008)\*

## XX－050 半導体量子細線を用いた全電圧制御によるスピン演算素子の開発

### The Development of Electrical Controlled Spin-logic Devices by the Semiconductor Quantum Wires

研究者氏名：森本 崇宏 Morimoto Takahiro

受入研究室：石橋極微デバイス工学研究室

(所属長 石橋 幸治)

本研究課題は、近年見出された半導体1次元構造における、自発的なスピン偏極状態を用いることで、現在一般に困難であると考えられているスピン注入の問題を回避しつつ、スピン電流を用いた演算を、全電圧制御下において行うことを目指したものである。これら電子のスピン状態を用いた演算素子は、現在広く用いられている電荷状態を用いた半導体CMOS素子との将来的な融合・代替素子の候補の一つとして期待されているが、伝導体と電極界面の制御の困難性から、開発が大きく遅れているのが現状であり、スピン偏極状態を直接伝導体内部へ作製する本研究課題の手法により解決されるものと期待している。

本年度は、(1)将来的な素子の制御性・発展性を確保する上で必要不可欠である、自発的なスピン偏極状態の起源の解明、(2)通常単独で使用される量子細線を直列接続状態において使用した際の、スピン偏極状態への影響について(Back Action)、という主に2つの観点から研究を行った(投稿中)。

半導体量子細線におけるスピン偏極電流は他の研究グループにより既に実験的に確認されているものの、それとともにスピン偏極状態と相反する現象(近藤効果)も同時に確認されており、将来的な高効率化・高制御性を達成する上では、本現象の起源の

解明は必要不可欠である。提案されているメカニズムとしては、微細構造中での電子相関・多重反射や、強いポテンシャル変調によるスピン軌道相互作用(Rashba効果)によるものなど様々ある。そのどれもが1次元微細構造近傍の状態に依存するものであることから、単一量子細線の構造依存性と、量子細線の並列接続による共鳴現象を用いたスピン偏極状態の観測・検証を行うとともに、直列接続した際にも考慮しなければならない細線間の影響について、おもに温度変化の距離依存性から、細線を接近して配置しすぎることは、スピン偏極状態を阻害することを明らかにした。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Morimoto T., Yumoto N., Ujiie Y., Aoki N., Bird JP., and Ochiai Y.: "Phenomenological investigation of many-body induced modifications to the one-dimensional density of states of long quantum wires", Journal of Physics-Condensed Matter, 20 164209 1-9 (2008)\*

Yoon Y., Morimoto T., Mouroukh L., Aoki N., Ochiai Y., Reno JL., and Bird JP.: "Detecting bound spins using coupled quantum point contacts", Journal of Physics-Condensed Matter, 20 164216 1-9 (2008)\*

## XX－051 クーロン分解法を用いた陽子過剰核の磁氣的遷移強度の決定

### Determination of Magnetic Transition Strength for Proton-rich Nuclei via Coulomb Dissociation

研究者氏名：梅野 泰宏 Togano, Yasuhiro

受入研究室：仁科加速器研究センター

本林重イオン核物理研究室

(所属長 本林 透)

本年度は陽子過剰核 $^{31}\text{Cl}$ の磁氣的遷移強度測定実験のデータ解析とRIBFに建設が予定されているSAMURAIスペクトロメータを用いた陽子過剰核のクーロン分解実験の検討とその実験に必要な検出器の選定と開発を行った。まず $^{31}\text{Cl}$ のデータ解析では各

検出器の較正を行った。 $^{31}\text{Cl}$ の非束縛励起状態の性質を調査するためにはクーロン分解反応で生成される分解片 $^{30}\text{S}$ と陽子それぞれの散乱角度とエネルギーから $^{31}\text{Cl}$ の不変質量の再構成が必要である。また $^{31}\text{Cl}$ 、もしくは分解片 $^{30}\text{S}$ からの脱励起 $\gamma$ 線の測定も必要であ



る。現在これらの分解片の角度とエネルギー検出器の較正を行っている。これらの較正が終了後、それぞれの情報を用いて $^{31}\text{Cl}$ の不変質量の再構成を行う予定である。

次にSAMURAIを用いたクーロン分解実験の検討では、陽子過剰核のクーロン分解実験をSAMURAIスペクトロメータを用いて行うにはどのような性能を持った検出器が必要であるかを検討した。その結果、標的とSAMURAIの電磁石の間に大型かつ高い位置分解能を持った検出器を設置する必要があることがわかった。そこで我々は片面に200ミクロンのストリップ電極を持ったシリコン半導体検出器を採用することとした。この検出器を用いることにより、 $^{31}\text{Cl}$ 実験に用いた既存の検出器システムに比べ分解能において約50%の改善が期待できる。この性能を実現するためには陽子と重イオン(原子番号 $\sim 50$ )を同時に測定する必要があるための広いダイナミックレ

ンジを持つ必要がある。そのためには読み出し回路の開発が欠かせない。この開発では新しい前段増幅器の開発と低雑音を達成するための回路系を検討中である。今後はこの検討と開発を進めていく予定である。開発の一部は米国の研究グループと共同で行う予定である。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

J.Gibelin, D.Beaumel, T.Motobayashi, Y.Blumenfeld, N.Aoi, H.Baba, Z.Elekes, S.Fortier, N.Frascaria, N.Fukuda, T.Gomi, K.Ishikawa, Y.Kondo, T.Kubo, V.Lima, T.Nakamura, A.Saito, Y.Satou, J.-A.Scarpaci, E.Takeshita, S.Takeuchi, T.Teranishi, Y.Togano, A.M.Vinodkumar, Y.Yanagisawa, K.Yoshida: "Decay Pattern of Pygmy State Observed in Neutron-Rich  $^{26}\text{Ne}$ ", Phys. Rev. Lett. 101, 212503 (2008)

## XX - 052

### 電子相関と交差物性の理論的研究

#### Theoretical Studies on Electron Correlation and Cross-correlated Materials

研究者氏名：桂 法称 Katsura, Hosho  
受入研究室：交差相関物性科学研究グループ(CMRG)  
交差相関理論研究チーム  
(所属長 永長 直人)

交差相関物性研究は、現在マルチフェロイクスにおける磁性と強誘電性の交差相関からスピン・軌道相互作用の強い半導体におけるスピンホール効果まで多岐の分野に渡りつつある。そのような状況において更に新しい分野の開拓を試み研究を行った。まず非自明な磁気構造と熱的輸送特性の交差相関に着目し、フラストレート磁性体における熱的Hall効果に関する研究を行った。異常Hall効果の研究で取り扱われてきた遍歴磁性体の場合と異なり、局在スピン系の場合には熱的Hall効果に伴う熱流は純粋にマグノンのみにより運ばれると考えられる。このことから熱的Hall効果が絶縁体系における新たなプローブになると考えられる。具体的には、外部あるいは実効的な磁場とスカラースピンのカイラリティの間の結合をスピン波近似の範囲内で扱った結果、幾何学的フラストレーションと背景の磁気構造の相互関係が重要な役割を果たしていることを示した。また、幾何学的フラストレーションを有する代表的な例と

してカゴメ格子上のスピン系を考え、そのスピン波ハミルトニアンを導出したところ、マグノンのhopping項が非自明な位相を持つことが分かった。また熱的Hall伝導度についても、ボゾン系であるにもかかわらず電子系における量子ホール効果と同様に、運動量空間におけるBerry接続が重要な役割を果たしていることを明らかにした。

また、マルチフェロイクス系 $\text{GdFeO}_3$ を念頭に、磁性と強誘電性の複合ドメインウォールに関する研究を行った。この系の磁性と強誘電性の結合はexchange striction型と考えられるが、このことから有効的なGinzburg-Landau理論を構築し、磁性と強誘電性の複合ドメインウォールの形成を議論した。その他にも、5d遷移金属酸化物(Ir系)を念頭に、スピン・軌道相互作用と電子間相互作用が拮抗する場合に量子スピンホール相が実現する可能性を議論し、更にこの系における端状態の安定性に関する考察を行った。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Katsura H., Onoda S., Han J., Nagaosa N.: "Quantum theory of multiferroic helimagnets: collinear and helical phases", Physical Review Letters, Vol.101 pp187207-1-187207-4 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Katsura H.: "Spin Chirality and Thermal Hall Effect in Frustrated Magnets", AIST-RIKEN Joint Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Okinawa, Japan, Mar. (2009)

Furukawa N., Katsura H.: "Composite Domain Walls in Multiferroic Orthoferrites  $RFeO_3$ ", 2009 APS March Meeting, Pittsburgh, USA, Mar. (2009)

(国内会議等)

小野田 繁樹, 古川 俊輔, 佐藤 正寛, 桂 法称, 永長 直人, 齋賀 康宏: "擬一次元マルチフェロイクスにおけるマイクロ波吸収: 2-フェイズンとカイラル・ソリトン", 物性科学領域横断研究会「スピンの拓く物性科学の最前線」, 東京, 日本, 11月 (2008)

古川 信夫, 桂 法称: "希土類オルソフェライトのマルチフェロイクスと複合ドメイン", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

## XX - 053

### マンガン酸化物における巨大電気・磁気熱量効果

#### Giant Electro and Magnetocaloric Effects in Manganites

研究者氏名: 酒井 英明 Sakai, Hideaki

受入研究室: 交差相関物質研究チーム

(所属長 田口 康二郎)

磁性体に磁場印加した際のエントロピー変化や断熱温度変化は、磁気熱量効果と呼ばれ、磁気冷凍技術へ応用可能であるため盛んに研究されている。特に近年は、強磁性相への一次転移における(潜熱を利用した)巨大磁気熱量効果が注目されている。従来は主に合金系がその対象であったが、本研究では超巨大磁気抵抗を示すマンガン酸化物に着目する。特に、本系に特徴的な相競合による鋭い一次転移を利用し、磁気熱量効果の巨大化およびその全貌を解明することを一つの目的とする。

本年度は、短距離電荷軌道整列—強磁性金属の競合系である $R_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$  ( $R=La-Gd$ )の磁気熱量効果を明らかにすることを目指した。本系は $R$ 種によりバンド幅を変化させることにより、強磁性転移温度 $T_C$ を375 Kから50 Kまで幅広く制御できる。さらに低温では電荷軌道整列相関が発達し、鋭い一次転移を実現できるため広い温度域にて巨大な磁気熱量効果が期待できる。

すべての物質 ( $R=La, Pr, Nd, Sm_{0.5}Nd_{0.5}, Sm, Gd_{0.3}Sm_{0.7}, Gd_{0.5}Sm_{0.5}$ )を浮遊溶融帯法により単結晶成長させることに成功した。磁化および抵抗率の温度依存性を測定し、 $T_C$ や一次転移性などの基礎物性を確認した。さらに、各物質において $T_C$ 近傍の詳細な

磁化—磁場曲線を測定し、マックスウェルの関係式を用いてエントロピー変化 $[\Delta S(H, T)=S(H, T)-S(H=0, T)]$ を算出した。この結果、 $\Delta S(T)$ は高い $T_C$ の系では二次転移特有の幅広いピークを示すが、低い $T_C$ の系では $T_C$ 以下で急峻に減少する鋭いピーク構造へ変化することが明らかとなった。これは系の一次転移性が強まったことを意味し、ピーク値も $T_C$ の減少に伴い $R=Sm$ までは単調に増大する。しかし、これ以下の $T_C$ の系ではピーク値は頭打ち $[\Delta S(6 T, T_C)\approx 10 J/kg K]$ となる。低温では、電荷軌道整列相関により一次転移の傾向が強まる一方、その短距離秩序の発達により0 Tのエントロピー自身が減少していると考えられる。この結果100 K以下では、 $\Delta S(T)$ のピーク値が増大しなかったと推察される。以上のように相競合系の一次転移では、臨界点近傍にて発達した各相の揺らぎが、磁気熱量効果に大きく影響を与えることが明らかとなった。このことをより明確にするために、現在はホール濃度を変え、電荷軌道整列相関の強さを変化させた場合の依存性や、理論計算との比較を進めている。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sakai H., Ito K., Nishiyama T., Yu X., Matsui Y., Miyasaka S., Tokura Y.: "Dopant-dependent impact of Mn-site doping on critical-state manganites  $R_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$  ( $R=La, Nd, Sm, \text{ and } Gd$ )", Journal of the Physical Society of Japan, Vol.77 12 pp124712-1-124712-8 (2008)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sakai H., Taguchi Y., Tokura Y.: "Variation of magnetocaloric effects in the phase-competing states for colossal magnetoresistive manganites  $R_{0.6}Sr_{0.4}MnO_3$  ( $R=La-Gd$ )", AIST-RIKEN Joint Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Okinawa, Japan,

Mar. (2009)

Taguchi Y., Ishiwata S., Tokunaga Y., Furukawa N., Sakai H., Murakawa H., Onose Y., Arima T., Tokura Y.: "Magnetically-induced electric polarization in ferrites", AIST-RIKEN Joint Workshop on "Emergent Phenomena of Correlated Materials", Okinawa, Japan, Mar. (2009)  
(国内会議等)

酒井 英明, 田口 康二郎, 十倉 好紀: " $R_{1-x}Sr_xMnO_3$  の相競合状態における磁気熱量効果", 日本物理学会第64回年次大会, 東京, 日本, 3月 (2009)

酒井 英明, 西山 隆之, 十倉 好紀: "Cr ドープした電荷軌道整列状態における電場誘起絶縁体-金属転移", 日本物理学会2008年秋季大会, 盛岡, 日本, 9月 (2008)

## XX - 054

### 分子性導体における光誘起現象の研究 Photo-induced Effect in Molecular Conductors

研究者氏名: 田久保 直子 Takubo, Naoko

受入研究室: 加藤分子物性研究室

(所属長 加藤 礼三)

本研究の目的は、分子性導体における興味深い光誘起現象の探索と、その発現条件やメカニズムの解明である。光誘起相転移や光キャリア注入などといった光誘起現象は、光による物性制御という観点から、基礎物性の理解や応用的側面において大変興味深い。ただし、その発現メカニズムなど詳細は明らかではない。また、光誘起現象を示す物質の報告も限られている。本研究では、多様な物性を示す分子性導体を対象とし、その物性を光照射により制御することを試みる。特に、光誘起相転移や分子性導体では例の無い光キャリア注入等の方法を用いて分子性導体の多様な物性を制御し、巨大な転移や未知なる状態の発現を目指す。また、置換基等の違いにより連続的な物性制御が可能であること、外場に敏感であるという分子性導体の特徴を活かし、転移を系統的に調べることで光誘起現象のメカニズムを解明する。

本年度は、光誘起相転移現象を用いて分子性導体の

物性制御を試みた。対象物質は、 $\alpha$ -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ である。この物質は、絶縁体-金属転移や圧力下でのゼロギャップ状態など興味深い物性を示す。また、単結晶試料において、電場下での光誘起絶縁体-金属転移の報告がなされている。本研究では、温度依存性、偏光依存性などから、詳細な光誘起相転移のメカニズムの解明を行う。さらに、試料を薄片化し、高効率な転移や未知なる状態の発現を目指す。

(1) 光照射下での伝導度測定システムの立ち上げを行った。光源はCWレーザーとパルスレーザー(波長域は近紫外-近赤外)である。

(2) 単結晶試料と薄片化試料の合成を電気分解法により行った。

(3) 試料の物性測定を行った。具体的には、X線回折による構造解析、抵抗値の温度依存性である。

(4) 低温においてパルスレーザー照射による伝導度の変化を観測し、光誘起絶縁体-金属転移を確かめた。

## Bioprobe Discovery through Chemical-Genetic Screens from Microbial Origin

研究者氏名：二村 友史 Futamura, Yushi

受入研究室：長田抗生物質研究室

(所属長 長田 裕之)

化学の力を利用して生命現象を理解する「ケミカルバイオロジー」は、従来の分子生物学では困難な生命機能解析を可能にするだけでなく、がんをはじめ多くの難治疾患に対するゲノム創薬研究にも大きく貢献し得ることからもポストゲノムの重要な研究領域としてその発展が期待されている。ケミカルバイオロジーの成功にはその性質上、興味深い生理活性を有する小分子化合物(バイオプローブ)の開発が不可欠である。従来その探索源として、構造や生理活性の多様性に富んだ微生物の生産する天然化合物(微生物代謝産物)が重要な役割を果たしてきた。しかし半世紀以上に及ぶ探索研究の結果、新規生理活性物質の発見は年々難しくなっておりその探索には工夫が必要となる。そこで本研究は探索系や単離精製法に工夫を凝らし、微生物代謝産物から新奇バイオプローブを発見することを目的とした。

細胞は小分子化合物のバラエティーに対応する実に様々な形態変化を引き起こすことから、その形態を注意深く観察することで多大な情報が得られ、新奇バイオプローブ発見の足がかりになりうる。しか

しながらこれまで、細胞形態変化についてその表現型を系統的に分類・カタログ化しようという試みはなされてこなかった。現在、私は数種類の化合物についてはどの化合物がどの形態変化を誘導するかについて情報をもっており、細胞形態変化から作用機序を推測できる。そこでこれを拡張し、様々な化合物や様々なタンパク質に対するsiRNAが誘導する細胞形態変化を系統的に分類・カタログ化したデータベース「モルフォローム(morpholome; morphology-omeの造語)」を構築すれば、分子レベルでの"タンパク質機能"を、顕微鏡下で観察される"形態変化"として容易に捉えることができるようになり、このデータベースを基盤とした探索系からはこれまでに類をみないバイオプローブの発見が期待できると考えた。

本年度はモルフォローム構築の足がかりとして、2種類の細胞に対して標的が明らかになっている60種類の薬剤が誘導する形態変化データを時間・濃度依存的に収集し、その形態変化パターンによる分類を行った。

## ショウジョウバエ成虫肢の関節をモデルとした、細胞外マトリックスの形態形成の分子機構の解析

Study on Molecular Mechanisms for Extracellular Matrix Morphogenesis in the Model *Drosophila* Leg Joints

研究者氏名：田尻 怜子 Tajiri, Reiko

受入研究室：発生・再生科学総合研究センター

形態形成シグナル研究グループ

(所属長 林 茂生)

発生過程において細胞外マトリックス(ECM)から成る骨格の形状を精密に制御する分子機構の解明を目指し、モデルとしてショウジョウバエ成虫肢の付節領域の関節を選んだ。ECMから成る外骨格であるクチクラは、成虫の関節においては遠位の球形クチクラを近位の受け皿形クチクラが包みこむ球-皿構造を構成する。その形成過程を光学顕微鏡で観察

し、1)筒状の細胞組織が関節領域で皿状にくぼむ、2)そのくぼみの中にまず球形のクチクラが形成されて細胞からはがれる、3)その後で受け皿形のクチクラが細胞表面に沿って形成される、という大まかな順序を明らかにした。これに基づき、互いに適合する二片のクチクラの相補的な形状の実現には、細胞のくぼみを「鋳型」とした球形クチクラと皿形クチク

ラの順を追った形成が重要であると推測した。この仮説を検証するために、クチクラ形成中のいくつかの時期の関節について透過型電子顕微鏡による観察を行った。クチクラの主要な構成因子であるキチンの合成には微絨毛上の高電子密度の微細構造の関与が示唆されているが、同様の微細構造を関節の形成過程において同定した。さらに、関節を形成する細胞群の中でこの微細構造の見られる場所と時期が上記の仮説に適合する形で変化していくことを確認した。また、球形クチクラが年輪状の規則正しい層構造をもち、約10時間のうちに厚さ約100nmの層が内側から外側へ順を追って数十枚積み重なることを見出した。以上より、関節のクチクラには下位の層構

造(球形クチクラ内の層構造)と上位の層構造(球形クチクラと受け皿形クチクラ)があり、いずれも内側の層が形成された後にそれを型として外側の層が形成される、と言える。このような順序立ったECMの形成が骨格の形態の厳密な制御に重要であると考えられる。

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国内会議等)

田尻 怜子: "ショウジョウバエ成虫肢の関節をモデルとした、細胞外マトリックスの形態形成の分子機構の解析", 発生生物学会サマースクール 2008, 松本, 日本, 8月 (2008)

### XX - 057 神経幹細胞が自己増殖から神経産生モードへ遷移する機構の解明

#### Molecular Mechanisms of Characteristic Changes in Neural Stem Cells

研究者氏名: 今野 大治郎 Konno, Daijiro

受入研究室: 発生・再生科学総合研究センター

非対称細胞分裂研究グループ

(所属長 松崎 文雄)

同種の二つの細胞が生み出される対称分裂から、異なる二つの娘細胞を生じる非対称細胞分裂への性質変化は、細胞分裂を繰り返しながら多様な細胞が生み出される個体発生にとって重要かつ最も基本的なプロセスである。哺乳類の脳形成においても、神経幹細胞は典型的な対称分裂を行う細胞へとその性質を変化させる。この性質変化を制御するメカニズムは、脳の形態形成において重要な役割を担っているだけでなく、脳の進化プロセスにおいても非常に重要な意味を持つ。しかしながらその分子実体は未だほとんど明らかになっていない。そこで本研究では、この性質変化前後の神経幹細胞において異なった発現パターンを示す転写因子群の機能解析を足掛かりとして、神経幹細胞が如何にして異なる二つの細胞を生み出すのかという非対称細胞分裂の実体を明らかにすることを目的とする。さらにそれら分子メカニズムの比較形態学的解析により、高等哺乳類における大脳皮質の肥大化が如何にして起こったのかという謎を、幹細胞遷移機構の観点から見つめ直し、脳の進化メカニズムという究極の問いの解明に挑戦する。

本年度は、発生時期の異なる脳組織からFACSを

用いて神経幹細胞を分取し、DNAマイクロアレイを用いた遺伝子発現の網羅的解析および*In situ*ハイブリダイゼーション法を用いた脳組織における遺伝子発現部位の解析を行い、神経幹細胞の性質変化に伴って発現が変動する遺伝子群を検索した。その結果、増殖期神経幹細胞および分化期神経幹細胞に特異的に発現する遺伝子の候補を複数単離した。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Konno D., Shioi G., Sitamukai A., Matsuzaki F.: "Roles of mitotic spindle orientation in neuroepithelial progenitors during mammalian brain development", 41st Annual Meeting for the Japanese Society of Developmental Biologists (Jointly sponsored by the International Society of Developmental Biologists), Tokushima, Japan, May (2008)

Konno D.: "Roles of mitotic spindle orientation in self-renewal and neurogenesis of mammalian neural progenitors", Joint Meeting French and Japanese Societies for Developmental Biology: Frontiers in Developmental Biology, Presqu'île de Giens, France, Sep.

(2008)

Konno D.: "Roles of mitotic spindle orientation in neural progenitors during mammalian brain development", 3rd Joint Meeting RIKEN CDB-HELMHOLTZ Center Munich, Kobe, Japan, Mar. (2008)

(国内会議等)

下向 敦範, 今野 大治郎, 塩井 剛, 松崎 文雄: "マウス脳神経発生における神経上皮構造の役割", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 (2008)

## XX - 058

### 二光子励起蛍光顕微鏡を用いたリンパ節転移癌と免疫システムの相互作用の解析

#### Multiphoton Analysis of the Lymph Node Metastasis and its Interaction with the Immune System

研究者氏名: 北野 正寛 Kitano, Masahiro

受入研究室: 免疫・アレルギー科学総合研究センター  
免疫細胞動態研究ユニット  
(所属長 岡田 峰陽)

本研究では、転移癌細胞の生体内における挙動を、免疫細胞との相互作用とともに明らかにする。転移は癌の予後を決定する重要な段階であるであるにもかかわらず、実際にそれが起こる様子を生体内でリアルタイム観察した報告は世界でも未だ皆無である。癌細胞が転移先の臓器にて初期段階に形成する「マイクロ転移巣」は数個の細胞からなるコロニーであるが、大半のマイクロ転移巣はその後増殖せず、長期にわたり同じ場所に留まると考えられている。つまりその中から最終的に致命的な転移癌となるマイクロ転移巣を検出して癌細胞の挙動を観察するのは困難であり、それゆえ、癌転移メカニズム研究の遅れにつながっていると考えられる。そこで本研究では、癌細胞が原発巣から高効率で転移する組織であるリンパ節に着目し、リンパ節転移癌細胞の挙動を二光子顕微鏡により可視化する。リンパ節は免疫細胞が豊富な組織であり、そこにおいて転移癌細胞は免疫細胞と対峙することになる。癌細胞と免疫細胞の相互作用を同時にイメージングすることにより、本研究は癌転移のみならず癌免疫のメカニズムの理解に大きく貢献できると期待される。

本年度は、マウス悪性黒色腫株B16F10にレトロウイルスによって緑色蛍光蛋白質(GFP)遺伝子を導入したGFP-B16F10細胞株を樹立し、C57BL/6マウス足蹠に移植を行った。この部分の皮膚の所属リンパ節である膝窩ないし鼠径リンパ節を、担癌後の様々な時間に取り出し、フローサイトメトリーや凍結組織切片免疫染色によって、リンパ節転移癌細胞の数や組織内分布の変遷を調べたところ、移植に先行してアジュバントを投与した場合に、移植後約一週間で二光子イメージングに適したマイクロ転移巣が得られることがわかった。

そこで次に、灌流システムを用いて単離リンパ節内における転移癌細胞の挙動を二光子顕微鏡によりリアルタイム観察したところ、リンパ節内における転移癌細胞の多くはリンパ球とほぼ同等の移動速度を示した。さらに生きたマウスを用いたIntravital法により、癌細胞がリンパ節辺縁洞からリンパ節実質内に侵入していく様子がリアルタイムで可視化された。以上より、リンパ節転移癌細胞は高い運動能をもってリンパ節内に浸潤していくことが明らかとなった。

## Development of UV Near-field Microscopy

研究者氏名：田口 敦清 Taguchi, Atsushi

受入研究室：河田ナノフォトニクス研究室

(所属長 河田 聡)

金属のプラズマ周波数を超える紫外域においては、金や銀といった貴金属は単なる誘電体として振る舞い、プラズモン共鳴を示さない。そのため、近接場光学顕微鏡の開発は、可視から近赤外の波長帯域に限定されてきた。しかし、紫外・深紫外領域は、蛋白質や核酸といった生体分子のバイオイメージング技術や、半導体デバイス評価技術、光加工・光修飾において今後ますます重要となる。そこで紫外域で動作する近接場光学顕微鏡を開発し、バイオサイエンス・デバイス工学・ナノ材料科学への貢献をはかる。

本年度は、従来用いられてきた金や銀に代わる紫外プラズモニクス材料の探索を行った。金や銀のプラズモン共鳴周波数(局在モード)が波長350nmや500nmといった可視域に存在するのに対して、アルミニウムやロジウムのプラズマ周波数は深紫外域にあり、誘電率の虚部も比較的小さいことから、紫外プラズモン共鳴を示す材料として有望である。

(1)厚さ20nmのアルミフィルムを真空蒸着により作製した。次に、アルミフィルム上にクリスタルバイオレット分子を散布し、波長266nmの深紫外光励起ラマン散乱スペクトルを測定した。測定されたスペクトル強度を、アルミフィルムのない場合と比較することにより、アルミフィルムが増強ラマン散乱効果をもたらすことを確認した。

(2)次に、アルミフィルムをアルミプローブに置き換え、同様の実験により先端増強ラマン散乱効果を実証した。サンプルとして、クリスタルバイオレット分子およびDNAの構成塩基であるアデニン分子を用いた。これらはいずれも266nmの励起光に対して共鳴ラマン散乱効果を示す。この結果は、世界で初めて深紫外域における先端増強ラマン効果を実証したものである。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Taguchi A., Fujii S., Ichimura T., Verma P., Inouye Y., Kawata S.: "Oxygen-assisted shape control in polyol

synthesis of silver nanocrystals", Chemical Physics Letters, Vol.462 pp92-95 (2008)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furusawa K., Hayazawa N., Taguchi A., Abe H., Kawata S.: "Two-photon fluorescence based tip-enhanced near field scanning optical microscopy (NSOM) with a silicon tip", 8th Workshop on Extreme Photonics "Ultrafast meets Ultracold", Gamagori, Japan, Nov. (2008)

Hayazawa N., Ishitobi H., Tarun A., Taguchi A., Kawata S.: "Excitation of Gap-mode based on focused surface plasmon polariton for tip-enhanced spectroscopy", 10th International Conference on Near-field Optics, Nanophotonics and Related Techniques (NFO10), Buenos Aires, Argentina, Sep. (2008)

(国内会議等)

石飛 秀和, 早澤 紀彦, 田口 敦清, 河田 聡.: "ギャップモードチップ増強ラマン顕微鏡", 理研シンポジウム「第7回理研・分子研合同シンポジウム: エクストリームフォトニクス研究」, 和光, 日本, 5月 (2008)

田口 敦清, 早澤 紀彦, 齊藤 結花, 石飛 秀和, 河田 聡.: "シリコン酸化膜厚制御による近接場プラズモニックプローブの共鳴波長制御", 理研シンポジウム「第7回理研・分子研合同シンポジウム: エクストリームフォトニクス研究」, 和光, 日本, 5月 (2008)

内田 修平, 三谷 宗久, 山村 和也, 遠藤 勝義, 是津 信行, 市村 垂生, 田口 敦清, 河田 聡.: "光医療用ナノ粒子造影剤の開発~銀ナノキューブダイマーの合成とプラズモニック特性~", 第69回応用物理学会学術講演会, 春日井, 日本, 9月 (2008)

田口 敦清, 市村 垂生, Verma Prabhat, 井上 康志, 河田 聡.: "Shape Control Synthesis of Silver Nanoparticles Using Oxygen Injected Polyol Synthesis", 理研シンポジウム「第7回ナノフォトニクス&メタマテリアルシンポジウム」, 和光, 日本,

11月(2008)

田口 敦清, 早澤 紀彦, 齊藤 結花, 石飛 秀和, 河田 聡:  
"Optimization of Plasmon Resonance Wavelength in TERS Probe by Refractive Index Modification", 理研シンポジウム「第7回ナノフォトニクス&メタマテリアルシンポジウム」, 和光, 日本, 11月(2008)  
石飛 秀和, 早澤 紀彦, 田口 敦清, 河田 聡: "Gap-mode Tip-Enhanced Spectroscopy", 平成20年度日本分光学会年次講演会, 仙台, 日本, 11月(2008)

田口 敦清, 早澤 紀彦, 齊藤 結花, 石飛 秀和, 河田 聡: "Optimization of Plasmon Resonance Wavelength in Metal Coated TERS Probe by Refractive Index Modification", 平成20年度日本分光学会年次講演会, 仙台, 日本, 11月(2008)  
田口 敦清, 藤井 信太郎, 市村 垂生, Verma Prabhat, 井上 康志, 河田 聡: "Oxygen-Assisted Shape Control in Polyol Synthesis of Silver Nanocrystals", 平成20年度日本分光学会年次講演会, 仙台, 日本, 11月(2008)

## XX - 060

### 化学分解を利用した NMR 法による 高反応性リグニン結合型構造の解明

#### Structural Study on Lignin by NMR and Chemical degradation Methods

研究者氏名: 秋山 拓也 Akiyama, Takuya  
受入研究室: 植物科学研究センター  
先端NMRメタボミクスユニット  
(所属長 菊地 淳)

植物細胞壁をセルロースやヘミセルロースなどの多糖類と共に構成しているリグニンの化学構造には未解明な部分が少なくない。その中にはバイオマスとして利用する際に反応の起点となるような高い反応性を持つ部分構造が存在すると予想されている。この高分子の化学構造は芳香核骨格を有する構造型が大部分を占める一方、その生合成過程において一旦芳香核性を失った中間体が、芳香核の復権を経ることなしに安定化したエノン、ジエノン構造型などの反応性に富む構造群が存在すると古くから想定されてきた。この存在は実験的にも間接的に示され、リグニン中の隠れた構造(masked structures)として認識されてきた。しかしながら同構造の詳細が不明であるため、その反応性や反応機構を調べる、といった一般的な議論ができないのが現状である。本研究課題ではリグニンに含まれる同構造群の詳細を明らかにすると共に、反応実験による化学構造変化をNMR解析によって追跡すること

を目的としている。

本年度は、多次元NMR法を新規化学構造の解明に利用することを想定し、 $^{13}\text{C}$ CO<sub>2</sub>高度標識された植物(コムギ)を実験試料とした。この試料から抽出成分を取り除き微粉体とした後、特殊溶媒(DMSO-イミダゾール)を用いて全細胞壁を可溶化した。このアセチル化物について各種NMR測定を行った。その結果、多糖類を多く含む細胞壁からリグニンを分離しなくとも、その主要構造型については二次元NMR(HSQC, HSQC-TOCSY, HSQC-DEPT)ならび三次元NMR(HCCH-COSY)測定での検出が可能であった。構造推定の手段となるこれらNMR法が適用できることが明らかになったことから、来年度は含有量の少ない新規化学構造にも適用可能となる様、実験条件の改良を進めていく。また、想定されるエノン、ジエノン構造型のモデル化合物の合成についても併せて行う予定である。





# **Foreign Postdoctoral Researcher Reports**

国際特別研究員年報

**FY2008 Appointments**

平成20年度採用者



# Foreword

This Annual Report is a compilation of the research reports submitted by the Foreign Postdoctoral Researchers (FPRs) working at RIKEN in fiscal 2008.

## The FPR Program

The Foreign Postdoctoral Researcher (FPR) program was launched in fiscal 2008 for foreign young scientists who have demonstrated creative and innovative ideas and who can be expected to contribute to the advancement of RIKEN's research, and to lay the foundations for a truly global RIKEN that actively encourages foreign participation in its activities. By inviting researchers from other countries, RIKEN hopes to achieve a stimulating research environment that transcends national boundaries, and to thereby become a global leader of scientific endeavor.

Foreign Postdoctoral Researchers are expected to make full use of RIKEN's research environment and to apply their creative and innovative ideas, under the direction of RIKEN's laboratory heads, to the research currently being conducted at RIKEN.

## Program Features

The Foreign Postdoctoral Researcher program offers aspiring young foreign researchers the opportunity to pursue innovative research at RIKEN under the direction of a RIKEN laboratory head. Fields covered include physics, chemistry, biology, medicine, engineering, and any other fields related to research now being conducted at RIKEN.

FPRs must have a PhD in the natural sciences or expect to be awarded a PhD at the time of application, and must be able to pursue innovative research at RIKEN under the direction of a RIKEN laboratory head.

Candidates are recruited every year through open application, and selection is made by a committee comprising outside experts as well as RIKEN scientists. Selection is based on submitted documents. The primary criteria are originality, potential, and benefits to the research of the host laboratory. The FPR's contract is for one fiscal year, renewable up to a maximum of three years on the basis of annual evaluation.

Host laboratories must provide the FPR with an environment conducive to independent research, sufficient research space, and support for the use of required research facilities and equipment, as well as guidance from the laboratory head.

Participants in the FPR program are eligible for RIKEN employee welfare programs, such as childcare leave, that are directed at helping all employees achieve a good work-life balance in research, childbirth, and childcare.

A year has passed since the FPR program was launched and there are now 38 FPRs at RIKEN.

January 2010  
RIKEN

**[Note]**

In the list of publications (original papers) at the end of each report, those marked with an asterisk (\*) indicate peer review journals.

# Contents

## (Foreign Postdoctoral Researcher)

Electrons on Helium as Quantum Bits David REES .....	209
Uncovering the Physics of Accreting Black Holes in New X-ray Surveys Poshak GANDHI .....	209
弦理論の非摂動的な側面と行列模型 Ta-Sheng TAI .....	211
$\mu$ SR Study of Cu-Spin Fluctuations in Electron-Doped High- $T_c$ Superconducting Cuprates Risidiana .....	212
Studies of Asymmetry Dependence of Nuclear Correlations and (SPIN)-Isospin Response Carlo BARBIERI .....	214
Investigation of Charge Density Wave Crystals with Scattering and Photo Emission Spectroscopy (PES) with Soft X-rays Mattia MULAZZI .....	215
Structures of exotic sd- and fp-shell nuclei David STEPPENBECK	
Supported Lipid Bilayers with Nanometer Size as Mimics for Cell Surfaces and as Tools in Biotechnology Omar F. Mohammed ABDELSABOOR	
Synthesis of Oligosaccharyl Donors for Creation of Glycoproteins with Biosynthetic Machinery Yong Joo LEE .....	215
Development of Novel Regio- and Stereoselective Polymerization and Copolymerization Catalysts Based on Rare Earth Metal Complexes Xiaofang LI .....	217
Role of Eukaryotic Aminopeptidase Enzymes in Response to Environmental Stress Rungaroon WADITEE .....	218
Analysis of Transcriptional Regulators Governing Establishment of Cell-to-cell Reprogramming Network Jae Woo SHIN .....	219
Modeling Visually Evoked Neuronal Activity by Non-linear Combinations of Multi-resolution Filter Responses Michel VIDAL-NAQUET .....	220
Study on the Roles of RNA Binding Proteins on mRNA Metabolism Lin HUANG .....	221
Determining the Cellular and Molecular Mechanisms of Synapse Formation in the Zebrafish Nervous System Douglas S. CAMPBELL .....	222
Identification and Functional Analysis of Organ Size Gain-of-function Mutants Using the <i>Arabidopsis</i> FOX-hunting System Christian BREUER .....	223
Dissecting Plant Innate Immunity Using Chemical Genetics Ivana SASKA .....	224
The Study on Transcriptional Regulation Involved in Cellular Proliferation Xia LI	
Intelligent Gel – A substitute of the Living Organs Swapan K. GHOSH .....	225
Nano-Raman Spectroscopy of Thermo-mechanical and Electrical Stress in Advanced Electronic Devices and Sensors Alvarado B. TARUN .....	226



## **FY 2008 Foreign Postdoctoral Researchers**





## Electrons on Helium as Quantum Bits

Name: David REES

Host Laboratory: Low Temperature Physics Laboratory  
(Laboratory Head: Dr. Kimitoshi KONO)

Surface-state electrons on liquid Helium form an ideal non-degenerate two-dimensional electron system. As the Coulomb interaction between electrons is essentially unscreened, the system has been used to study many phenomena associated with strongly-interacting electron systems such as the transition to the Wigner solid at low temperatures. Recently, it has been proposed that under appropriate conditions electrons on Helium may also be used to study quasi-one dimensional phenomena such as melting in one dimension and reentrant melting due to structural phase transitions.

Recent advances in microfabrication technology have allowed the study of surface-state electrons in confined geometries using devices such as microchannel arrays, single-electron traps, field-effect transistors and charge-coupled devices. However, the realisation of a truly one-dimensional electron system has not yet been achieved. As a first step towards this goal we have measured the transport properties of electrons in a small microchannel in which the confinement potential along the central axis of the channel may be controlled on the scale of the inter-

electron separation (typically  $\sim 1 \mu\text{m}$ ).

We made transport measurements of electrons bound to the surface of superfluid  $4\text{He}$  in a microchannel of width  $10 \mu\text{m}$ . A set of electrodes  $2 \mu\text{m}$  beneath the Helium surface, fabricated in a split-gate configuration using electron beam lithography, are used to control the current along the microchannel as in a point contact device. As the split-gate bias  $V_{SG}$  is swept negative the current decreases to zero. The value of  $V_{SG}$  at which the current is suppressed is dependent on the AC driving voltage applied to the electron system. We explain our results using a simple model in which a potential barrier created by the split-gate electrodes must be overcome in order to allow current to flow in the microchannel. We also demonstrate that the formation of the Wigner solid (WS) at temperatures below  $500 \text{mK}$  leads to a nonlinear response at high electron velocities due to the decoupling of the WS from the underlying dimple lattice. The control of electron transport in such confined geometries may offer new possibilities for mesoscopic experiments with electrons on the surface of liquid Helium.

## Uncovering the Physics of Accreting Black Holes in New X-ray Surveys

Name: Poshak GANDHI

Host Laboratory: Cosmic Radiation Laboratory  
(Laboratory Head: Dr. Kazuo MAKISHIMA)

My research has expanded greatly in many different directions during 2008-2009:

1) In October, I issued a European/RIKEN/NASA PRESS-RELEASE on the discovery of very rapid ( $<1$  second) brightness fluctuations from stellar-mass black holes. My study is the fastest one to-date using large telescopes sensitive to visible-light radiation. The combined visible-light+X-ray emission points to the presence of strong magnetic fields around these black holes:

<http://cosmic.riken.jp/pg/flickering/> and

<http://www.riken.jp/r-world/research/results/2008/081017/>

This result was widely publicized on science/news websites around the World. I presented the work at four international conferences (in America, Spain, UK and in RIKEN) and received excellent feedback. Finally, an entire new set of similar rapid-variability observations proposed by me has been approved to be carried out in summer 2009.

This entire project has been a great extension of my research from 'super-massive' black holes to much smaller (but greatly variable) 'stellar-mass' objects.

2) As part of my main proposed research for 2008, I am carrying out a multi-wavelength survey of massive black holes in the local Universe. Using the Very Large Telescope in Chile, I observed a large sample of black holes at mid-infrared wavelengths. Correlating the observed infrared power with the energy output at other wavelengths (e.g. X-rays) gives crucial information on the close environments around black holes. Large 'clouds' of dust and gas are falling on to the black hole and feeding it, resulting in huge amounts of energy that finally emerges as very bright radiation.

I have found that all such growing black holes follow a very close relationship between the emission at different wavelengths. I have submitted a paper in November 2008 to a premier European journal on this work:

[http://cosmic.riken.jp/pg/paper\\_aa\\_submit.pdf](http://cosmic.riken.jp/pg/paper_aa_submit.pdf) and am now awaiting the results.

Three other related papers with my collaborators on this work have already been accepted (see Horst et al. 2008, 2009 and Hoenig et al. 2008 in my publication list).

3) As part of RIKEN's strong involvement in JAXA's Suzaku X-ray satellite mission, I have contributed to the study of mysterious 'Ultra-luminous X-ray sources (ULXs)'. One leading model on the underlying nature of these objects is that they are 'Intermediate-mass black holes' (long sought-after sources with masses  $\sim 10^3 - 10^5$  Suns). The Suzaku satellite offers sensitivity over a very wide energy range, better than any other current X-ray mission in the World. Suzaku is thus our best chance to understand the nature of ULXs and in RIKEN we have been investigating several of these objects in detail (see published Isobe et al. 2009 and Miyawaki et al. 2009 papers).

Furthermore, in new Suzaku proposals submitted for 2009, I am expanding my work to understand powerful radio+X-ray emission from the very largest black holes in the Universe. The proposal results will be made available in a few months.

4) Finally, I have also begun to work on the detection of organic molecules in space with new visible-light data and on the detection of the very first and earliest galaxies in the Universe. Both projects are in collaboration with post-doctoral researchers at RIKEN.

## ● Publications

(Original Papers)

Gandhi P., Makishima K., Durant M., Fabian A., Dhillon V., Marsh T., Miller J., Shahbaz T., Spruit H.: "Rapid optical and X-ray timing observations of GX 339-4: flux correlations at the onset of a low/hard state", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol.390 ppL29-L33 (2008)

Hoenig S., Smette A., Beckert T., Horst H., Duschl W., Gandhi P., Kishimoto M., Weigelt G.: "Discovery of a strong Baldwin effect in mid-infrared AGN lines", *Astronomy & Astrophysics*, Vol.485 2 ppL21-L24 (2008)

Durant M., Gandhi P., Shahbaz T., Fabian A., Miller J., Dhillon V., Marsh T.: "SWIFT J1753.5-0127: A Surprising Optical/X-Ray Cross-Correlation Function", *The Astrophysical Journal*, Vol.682 ppL45-L48 (2008)

Durant M., Gandhi P., Shahbaz T., Peralta H., Dhillon V.: "Multiwavelength spectral and high time resolution observations of SWIFT J1753.5-0127: new activity?", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol.392 pp309-324 (2009)

Ghosh K., Saripalli L., Gandhi P., Foellmi C., Gutierrez C., Lopez-Corredoira M.: "Multiwavelength study of the bright X-ray source population in the interacting galaxies NGC5774/NGC5775", *The Astronomical Journal*, Vol. 137 pp3263-3285 (2009)

Isobe N., Makishima K., Takahashi H., Tsunefumi M., Miyawaki R., Gandhi P., Kawaharada M., Senda A., Yoshida T., Kubota A., Kabori H.: "Spectral transitions of an ultraluminous X-ray source, NGC 2403 Source 3", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol. 61 ppS279-289 (2009)

Miyawaki R., Makishima K., Yamada S., Gandhi P., Tsunefumi M., Kubota A., Tsuru T., Matsumoto H.: "Suzaku Observations of M82 X-1 : Detection of a Curved Hard X-ray Spectrum", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol. 61 ppS263-278 (2009)

Horst H., Duschl W., Gandhi P., Smette A.: "Mid-infrared imaging of 25 local AGN with VLT-VISIR", *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 495 pp137-146 (2009)

(Book)

Gandhi P.: "Simultaneous optical and X-ray flickering observations of GX 339-4: correlations on sub-second

timescales", AIP Conference Proceeding 1053 Kolkata India 2008 2 American Institute of Physics, New York, USA pp177-182 (2008)

Gandhi P.: "Light bending and the hard X-ray background", Astrophysics with All-Sky X-Ray Observations - Proceedings of the 3rd international MAXI Workshop, Wako, Japan, Jun 2008 RIKEN/JAXA Japan RIKEN/JAXA pp177 (2009)

Durant M., Gandhi P.: "Two fascinating X-ray to optical cross-correlation functions", Proceedings of Science, Izmir, Turkey, Sep 2008 SISSA Italy Trieste (MQW7)003pp1-6 (2009)

### ● Oral Presentations

(International Conferences etc)

Gandhi P., Durant M., Makishima K., Dhillon V., Fabian A., Kubota A., Marsh T., Miller J., Shahbaz T., Spruit H.: "Simultaneous optical and X-ray flickering observations of GX 339-4: correlations on sub-second timescales". Observational Evidence for Black Holes in the Universe. Kolkata. India. Feb 2008

Gandhi P.: "Rapid Optical and X-ray flickering of GX 339-4", Putting gravity to work from Black Holes to Galaxy Clusters, Cambridge, UK, Jul 2008

Gandhi P., Makishima K., Durant M., Fabian A., Miller J., Dhillon V., Marsh T., Shahbaz T., Spruit H.: "Simultaneous Optical And X-ray Flickering Observations

Of GX 339-4: Correlations On Sub-second Timescales", HEAD Meeting American Astronomical Society, Los Angeles, USA, Mar 2008

Durant M., Gandhi P.: "Two fascinating X-ray to optical cross-correlation functions", VII Microquasar Workshop: Microquasars and Beyond, Izmir, Turkey, Sep 2008

Gandhi P., Makishima K., Kubota A., Fabian A., Marsh T., Dhillon V., Durant M., Shahbaz T., Miller J., Spruit H.: "Rapid optical/X-ray flux correlations in the low/hard state of GX 339-4", The X-ray Universe 2008, Granada, Spain, May 2008

(Domestic Conferences etc)

GANDHI POSHAK: 研究会「30m望遠鏡での中間赤外線サイエンスの展開」, 東京, 日本, 12月 2008

GANDHI POSHAK: 理研シンポジウム「国際宇宙ステーション搭載のMAXIによる全天X線観測と宇宙物理学」, 和光, 日本, 6月 2008

三澤 透, 飛田 聡, GANDHI POSHAK, 玉川 徹, 山口 智弘: "銀河における巨大有機分子 (フラレーン) の存在可能性を探る", アストロバイオロジーワークショップ2008, 神奈川県葉山町, 日本, 12月 2008

三澤 透, GANDHI POSHAK, 飛田 聡, 玉川 徹, 山口 智弘: "Search for large organic molecules in the Galaxy and beyond", 研究会「30m望遠鏡での中間赤外線サイエンスの展開」, 東京, 日本, 12月 2008

## 弦理論の非摂動的な側面と行列模型

Name: Ta-Sheng TAI

Host Laboratory: Theoretical Physics Laboratory

(Laboratory Head: Dr. Hikaru KAWAI)

この一年を振り返って、次の二つのテーマについて共同研究者らと論文を出版した。

- (1) SUSY/non-SUSY双対性とそのD-ブレーンでの実現
- (2) 3次元の超共形理論による4次元超Yang-Mills理論の実現
- (3) KerrCFT対応による5次元回転荷電ブラックホールのエントロピーの導出

今弦理論の中で、最も重要と言っても過言ではないテーマは、ゲージ・幾何(ないしは時空)対応であ

る。様々なゲージ理論における物理現象を、一つひとつ漏らさず幾何(ないしは)の言葉に焼き直し、またはその反対の操作をする。その幾何学への橋渡しを担うものとは、まさしくD-ブレーンである。

現在一番よく理解されているのはいわゆるAdS/CFT対応であって、つまりゲージ理論に共形対称性を要請する。上にある三つのテーマは、直接このトピックに関わっているわけではないが、どれもD-ブレーンを経由しているので、すぐさまジオメトリの言葉に置き換えられるはずである。それが非常に興味深く、

すなわち幾何の美しさは実にゲージ理論のあらゆる現象を背後に支配しているのである。

これらのテーマはいずれも最新で最先端の話であつて、どれにもさらに掘り下げて理解する余地が残されている。実は3次元の超共形Chern-Simons-matter理論は物性の分野においても、重要な役割をはたしており、弦理論を用い、物性に起きる現象をそのまま10次元の弦理論に置きかえる研究が最近話題を呼んでいる。これからはM理論という11次元の膜理論をもとに、Fractional Quantum Hall Effect (FQHE)を実現するような研究に取り組む予定である。

一方、ブラックホールという時空幾何についても、計画は盛りだくさん組んである。もちろん、CFTでのブラックホールのエントロピー導出は一つの話題ではあるが、もっと深遠なのは、ゲージ理論の分配関数を展開し直し、それが秘めている幾何学

の情報を読み取ることである。その一般的な形は各時空のBoltzmann重みの足し上げに帰着でき、いっそうゲージ・幾何及び時空という美しい対応を力強く裏付ける。

### ● Publications

(Original Papers)

Ohta K, Tai T.: "Extended MQCD and SUSY/non-SUSY duality", Journal of High Energy Physics, Vol.0809 033 pp033-1-033-13 (2008)

### ● Oral Presentations

(Domestic conferences/symposiums)

太田 和俊, 戴 大盛: "Extended MQCD and SUSY/non-SUSY duality", 基研研究会「量子場理論と弦理論の発展」京都, 日本, 8月 2008

## **$\mu$ SR Study of Cu-Spin Fluctuations in Electron-Doped High- $T_c$ Superconducting Cuprates**

Name: Risdiana

Host Laboratory: Advanced Meson Science Laboratory  
(Laboratory Head: Dr. Masahiko IWASAKI)

### 1. Background

In order to describe the mechanism of the high- $T_c$  superconductivity, a stripe model of spins and charges is suggested to be a probable one. The existences of stripe correlations of spins and charges have been established in hole-doped systems<sup>[1],[2]</sup>. Especially, dynamical stripes have been theoretically suggested to play an important role for the appearance of superconductivity<sup>[3]</sup>. On the other hand, the stripe correlations have not yet been clearly observed in electron-doped systems even though the high- $T_c$  superconductivity actually appears. In the case of electron-doped systems, electrons are doped in the Cu-3d state although holes in hole-doped systems are doped in the O-2p state. Due to this difference, the high- $T_c$  superconductivity of electron-doped systems has been argued to be essentially different from that of hole-doped systems. Thus, the dynamic property of the electronic state of electron-doped systems is now recognized to be important to understand the role of stripes to the superconductivity. However, because of difficulties of sample preparations the study of

electron-doped systems has not been progressed so much and clear answer has not been achieved yet.

### 2. Objective

The main purpose of the present study is to elucidate whether the dynamical stripe is a key phenomena for the high- $T_c$  superconductivity or not. I aim to clarify the dynamic property of Cu-spin fluctuations in electron-doped systems by muon-spin relaxation ( $\mu$ SR) method since  $\mu$ SR is a powerful technique to study the dynamic property of Cu spins. In order to investigate the dynamic property of stripes, a pinning effect by impurities has been suggested to be a good way to be studied. In hole-doped cuprates, dynamic stripes tend to be pinned and statically stabilized by nonmagnetic Zn impurities. Thus, I try to judge the existence of dynamic stripes in electron-doped systems through the impurity pinning effect and chose  $\text{La}_{2-x}\text{Ln}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$  ( $\text{Ln}=\text{Y}, \text{Ce}$ ) samples for the present study. The advantage point of this sample rather than other types of electron-doped system is that the absence of rare earth moments such as  $\text{Pr}^{3+}$  moments in  $\text{Pr}_{1-x}\text{La}_x\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ . Using  $\text{La}_{2-x}\text{Ln}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$

(Ln=Y, Ce) samples, we can directly observe the behavior of Cu-spins and the effects of impurity to them. Thus, this system would be a good candidate to achieve the answer to my objectives of this proposed study. In the first year of my FPR, I concentrated to prepare high quality samples of  $\text{La}_{2-x}\text{Ln}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$  (Ln=Y, Ce).

### 3. Results and Discussion

First, various samples of  $\text{La}_{2-x}\text{Y}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y\text{O}_4$  with  $x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.8$  and  $y = 0$  were synthesized at various temperatures as low as 350 - 400°C for 24 - 300 h in air or in Ar gas flow by direct precipitation from the molten KOH/NaOH eutectic mixture<sup>[4]</sup>. To judge the quality of the samples, each sample was characterized by X-ray diffraction measurement. The electron-doped cuprate that usually has T'-type structures was not obtained for all samples by the present preparation method. The peaks of samples with  $x = 0$  which is growing in Ar gas flow at 350°C for 300 h and  $x = 0.3$  and  $0.4$  which prepared in air for 400°C at 24 h are dominated by T-type structure which is usually observed in the hole-doped system. For other samples, the impurity peaks of CuO and  $\text{La}(\text{OH})_2$  were observed indicating that the synthesise is not going well. The reason for explaining the results is still in investigation. For instant, the suitable conditions such as temperature and time are one of the important factor to obtain T'-type structures.

#### References:

- [1] T. Adachi *et al.*, Phys Rev. B **70** (2004) 060504(R).
- [2] Risdiana *et al.*, Phys. Rev. B **77** (2008) 054516
- [3] S. A. Kivelson *et al.*, Rev. Mod. Phys **75** (2003) 1201.
- [4] Y. Imai *et al.*, Chem. Mater **19** (2007) 3584.

### ● Publications

(Original Papers)

Adachi T., Oki N., Risdiana, Yairi S., Koike Y., Watanabe I.: "Effects of Zn and Ni substitution on the Cu spin dynamics and superconductivity in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}(\text{Zn},\text{Ni})_y\text{O}_4$  ( $x=0.15-0.20$ ): Muon spin relaxation and magnetic susceptibility study", Phys. Rev. B, **78**, 134515-1-11 (2008).

(Others)

Adachi T., Tanabe Y., Risdiana, Kawamata T., Suzuki T., Watanabe I., Koike Y.: "μSR study of impurity-induced magnetic order in the hole-doped high-Tc superconductor  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ", KEK-MSL Report 2007

### ● Oral Presentations

(International Conferences etc)

Risdiana.: "μSR Study of Cu-Spin Fluctuations in Electron-Doped High-T<sub>c</sub> Superconducting Cuprates", International Joint Symposium of Padjadjaran University (UNPAD), Bandung Institute of Technology (ITB), Sepuluh November Institute of Technology (ITS) and RIKEN, Invited Talk, Surabaya, Indonesia, Oct, 2008.

(Domestic Conferences etc)

Risdiana.: "Electron conductivity in low-dimentional polymers", The 2nd International Advisory Committee for the RIKEN-RAL Muon Facility, RIKEN Nishina Center, Wako, Japan, Nov, 2008.

Risdiana, Nugroho A. A., Mufti N., Palstra T. T. M., Watanabe I., Tjia M. O.: "Changes of spin dynamics in multiferroic  $\text{Tb}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ", 11th International conference on muon spin rotation, relaxation and resonance, Tsukuba, Japan, Jul, 2008

Tanabe Y., Adachi T., Risdiana, Kawamata T., Suzuki T., Watanabe I., Koike Y.: "Ni-substitution effects on Cu-spin correlation in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{Cu}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_4$  relating to hole trapping and stripe pinning", 11th International conference on muon spin rotation, relaxation and resonance, Tsukuba, Japan, Jul, 2008.

# Studies of Asymmetry Dependence of Nuclear Correlations and (SPIN)-Isospin Response

Name: Carlo BARBIERI

Host Laboratory: Theoretical Nuclear Physics Laboratory  
(Laboratory Head: Dr. Takashi NAKATSUKASA)

The ongoing investigations aim at pursuing a global understanding of single particle behavior in strongly correlated systems. Atomic nuclei are a unique case in Nature because their components (the nucleons) are characterized by both spin and isospin (proton and neutron) degrees of freedom. This makes them the only strongly correlated 2-fermion systems that can be studied experimentally. The collective many-body dynamics of these systems affects directly how each single particle moves inside the nucleus. Learning about the properties of single particle motion (for example, energies and spectroscopic factors) and how these change with proton-neutron and spin asymmetry has two important consequences: it gives us direct information on correlations and it serves as a basis to develop shell model interactions applicable to exotic nuclei.

The work required to pursue this program is divided in (i) the development of *ab-initio* many-body techniques suitable for accurate studies of single particle properties in nuclei and (ii) the actual calculations for asymmetric isotopes.

*Calculations are based on many-body Green's functions theory.* The Faddeev random phase approximation (FRPA) method is employed to study the interplay between nucleons and collective modes. This approach has been introduced in recent years and had been applied to the  $^{16}\text{O}$  nucleus only. Studies of correlations require similar calculations up to medium size nuclei in the *pf* shell. This extension has been pursued during FY2008 and required substantial developments in the computational codes in order to cope with exponential growth of configuration spaces as the number of nucleons increases. At the moment of writing, complete results for  $^{56}\text{Ni}$  have been achieved and are being prepared for publication. Calculations in model spaces up to 10 oscillator shell show a fair convergence with respect to the model space and reproduce the experimental spectroscopic factors available for this nucleus.

*Preliminary calculations of spectroscopic factors have*

*been performed for asymmetric nuclei* and have been presented in conference proceedings [number 3 in the international conferences list, below]. A dependence on the proton-neutron asymmetry is observed in the FRPA, with the spectroscopic factors becoming smaller with increasing nucleon separation energy. These results appear to confirm other theoretical estimates based on optical model analyses and on nucleonic matter. However the dependence on asymmetry seen in heavy-ion knock-out experiments is stronger than the theoretical predictions.

*The FRPA method, developed nuclear structure studies, has also been applied in a collaboration* to calculate the ground state and ionization energies of simple atoms. First ionization energies agree with the experiment at the level of  $\sim 10$  mH or less [number 4 in the international conferences list]. Calculations with similar accuracy are expected to provide information required for developing the proposed quasiparticle extension to density functional theory.

## ● Publications

(Original Papers)

Barbieri C, Caurier E, Langanke K, Martinez-Pinedo G.: "Reply to "Comment on 'Pygmy dipole response of proton-rich argon nuclei in random-phase approximation and no-core shell model'", Physical Review C, Vol.78 039802 pp (2008)

## ● Oral Presentations

(International Conferences etc)

Barbieri C.: "Applications of propagator theory to atoms and nuclei" Symposium on "50 Years of Coupled Cluster Theory", Seattle, USA, Jun 2008

Barbieri C.: "Many-body correlations and exotic nuclei", Hokudai-TORIJIN-JUSTIPEN-EFES Workshop: Perspectives in Resonances and Continua on Nuclei and JUSTIPEN-EFES-Hokudai-UNEDF Meeting, Hakodate, Japan, Jul 2008

Barbieri C.: "Asymmetry dependence of spectroscopic factors", KGU(Kanto Gakuin University) Yokohama Autumn School of Nuclear Physics, Yokohama, Japan, Oct 2008

Barbieri C.: "Ab-initio Green's Functions Calculations of Atoms", 6th Japan-Italy Symposium on Heavy Ion Physics, Tokai-mura, Ibaraki, Japan, Nov 2008

Barbieri C.: "Application of propagator theory to atoms and nuclei", 1st EMMI-EFES Workshop on Neutron-

Rich Nuclei (EENEN 09), Darmstadt, Germany, Feb 2009

Barbieri C.: "Green's functions calculations of nuclei", 3rd LACM-EFES-JUSTIPEN Workshop, Oak Ridge, USA, Feb 2009

(Domestic Conferences etc)

BARBIERI CARLO:" Applications of self-consistent Green's function theory to nuclear response", 日本物理学会2008年秋季大会, 山形, 日本, Sep 2008

## Investigation of Charge Density Wave Crystals with Scattering and Photo Emission Spectroscopy (PES) with Soft X-rays

Name: Mattia MULAZZI

Host Laboratory: Excitation Order Research Team

(Laboratory Head: Dr. Shik SHIN)

At the moment of writing this research report, about 5 and a half months passed since the start of the FPR fellowship. In this period the research activity has been concentrated in the familiarization with the instrumentation that is necessary to carry out the experiments. Particular attention has been dedicated to the angle-resolved photoemission machine, since more difficult to operate than the diffraction one. Three experiments have been carried out in collaboration with other members of the research group (Dr. J. Miyawaki, Dr. Y. Takata and Dr. A. Chainani) in order to be able to carry out the basic operations necessary to clean the sample surface, move the sample through the different experimental chambers and acquire the data.

At the start of the fellowship the vacuum system was not provided with the necessary transfer chamber to insert the samples in vacuum. Given the sensibility of

dichalcogenide samples (the main topic of the research activity) to the high temperatures necessary to produce the ultra-high vacuum, photoemission experiments have not been carried out on these samples yet.

However the necessary equipment has been designed and checked and commissioned to an external company (真空光学株式会社) which is in charge of the manufacturing. The delivery is expected by the mid of February.

Diffraction measurements were carried out on VS2 samples, one of the types of samples whose study was included in the research proposal. Given the very few data available on such a compound, these preliminary measurements were done to check if the quality of the crystals themselves and to determine the feasibility of a synchrotron radiation experiment.

## Synthesis of Oligosaccharyl Donors for Creation of Glycoproteins with Biosynthetic Machinery

Name: Yong Joo LEE

Host laboratory : Synthetic Cellular Chemistry Laboratory

(Laboratory Head: Dr. Yukishige ITO)

*N*-Linked glycosylation has been considered to be specific to eukaryotic system for a long time. Recently, it has been revealed that Gram-negative bacterium *Campylobacter*

*jejuni* has *N*-glycosylation system which involves the transfer of oligosaccharide on lipid carrier, undecaprenyl-pyrophosphate (Und-PP), to the asparagine side chain of pro-



teins under the control of an oligosaccharyl transferase (OST, PglB) having a relaxed glycan specificity. However, details of this glycosylation process and following protein quality control have not been clearly demonstrated. The purposes of this research are acquirement of large quantity of highly pure Und-PP-linked glycan substrates to study bacterial *N*-linked glycosylation and development of general efficient *N*-linked glycosylation on the acceptor proteins using *C. jejuni* OST with unique substrate flexibility.

To study and engineer this protein *N*-glycosylation process, efficient synthesis of Und-PP-linked glycan substrates is desired, although these Und-PP-linked compounds could be acquired in a very small amount from native sources. Syntheses of bacterial ([E]<sub>3</sub>,[Z]<sub>7</sub>)-undecaprenol and Und-PP-linked glycans including intermediates of *C. jejuni* *N*-glycan biosynthesis were successfully accomplished according to the annual plan of FY 2008.

The stereoselective and efficient synthesis of bacterial ([E]<sub>3</sub>,[Z]<sub>7</sub>)-undecaprenol was achieved by chemical synthetic pathway. Undecaprenol was found to be recognized as a key polyprenol anchor to membrane in the biosynthesis of bacterial cell surface polymers. Although it could be acquired by isolation from the natural sources or biosynthesis with isoprenoid residues, general and efficient synthetic methodology has not been established yet. Synthesis of the undecaprenol commenced with the preparation of three building blocks, which are all *trans*-geranylgeranyl *p*-tolyl sulfone and two oligoprenyl chloride derivatives. Coupling of sulfone with isoprenoid building blocks and subsequently both reductive elimination of sulfonyl group and deprotection of benzyl ether of resultant product with Li-EtNH<sub>2</sub> reduction gave desired ([E]<sub>3</sub>,[Z]<sub>7</sub>)-undecaprenol, which was converted to undecaprenyl phosphate (Und-P).

For efficient and general applicable strategy of various Und-PP-linked glycans, unprotected sugar and acetyl protected hemiacetal were considered as a starting sugar moiety and a key intermediate, respectively. Construction of Und-PP linkage of natural bacillosamine as well as unnatural tetra-*N*-acetylchitotetraose was accomplished via coupling between Und-P and sugar phosphate obtained from hemiacetal. Acetylation of bacillosamine followed by chemoselective deacetylation in the presence of activated molecular sieves afforded hemiacetal. Phosphory-

lation of hemiacetal with tetrabenzyl pyrophosphate provided exclusively  $\alpha$ -dibenzyl phosphate, which was subjected to hydrogenolysis to give  $\alpha$ -phosphate. Coupling between  $\alpha$ -phosphate and Und-P followed by deacetylation gave desired Und-PP-linked bacillosamine. In the case of tetra-*N*-acetylchitotetraose, general acetylation was not suitable due to its solubility, although the yield of peracetylated compound was improved under sonication conditions. Synthesis of the Und-PP-linked tetra-*N*-acetylchitotetraose was accomplished by above similar manners. In addition, the application to a synthesis of Und-PP-glycan from trisaccharyl derivative including bacillosamine [GalNAc<sub>2</sub>Bac], which is found in the biosynthesis of glycan substrate for OST from *C. jejuni*, was demonstrated as the above synthetic strategy. Conversion of multiple azide into acetyl-protected compound followed by similar 4-step manners including chemoselective deacetylation followed by phosphorylation, hydrogenolysis, and coupling with Und-P gave a desired Und-PP-linked trisaccharide efficiently.

In FY 2008, chemical synthesis of bacterial undecaprenol and various Und-PP-linked glycans possessing not only natural glycan but also unnatural one were successfully accomplished. This synthetic method for Und-PP-linked glycan would provide various substrates as a useful tool for the study of bacterial protein *N*-glycosylation.

## ● Publications

(Original Papers)

Lee Y., Ishiwata A., Ito Y.: "Stereoselective synthesis of  $\beta$ -L-rhamnopyranosides", Journal of the American Chemical Society, Vol.130 20 pp6330-6331 (2008)

Ito Y., Lee Y., Ishiwata A.: "Stereoselective Synthesis of  $\beta$ -L-Rhamnopyranosides" Synform Vol. 2008/09 pp95-96 (2008)

## ● Oral Presentations

(International Conferences etc)

Lee Y., Ishiwata A, Ito Y.: "Synthesis of undecaprenyl pyrophosphate-linked glycans", International Symposium on Systems Glycobiology, Tokyo, Japan, Dec 2008

Lee Y., Ishiwata A., Ito Y.: "NAP ether-mediated Stereoselective Construction of 1,2-cis-Rhamnopyranoside",

24th International Carbohydrate Symposium (ICS 2008), Oslo, Norway, Jul 2008

Ishiwata A., Munemura Y., Lee Y., Ito Y.: "Strategies toward stereoselective synthesis of 1,2-*cis* glycosides", 24th International Carbohydrate Symposium (ICS 2008), Oslo, Norway, Jul 2008

Ishiwata A., Munemura Y., Lee Y., Ito Y.: "Strategies toward stereoselective synthesis of 1,2-*cis* glycosides", International Symposium on Systems Glycobiology, Tokyo, Japan, Dec 2008

(Domestic Conferences etc)

李 龍柱, 石渡 明弘, 伊藤 幸成: "Efficient Construction of  $\beta$ -L-Rhamnopyranosyl Linkages Found in Bacterial Polysaccharides", 第55回有機合成化学協会関東支部シンポジウム, 野田, 日本, 5月 2008

李 龍柱, 石渡 明弘, 伊藤 幸成: "Synthesis of the Undecaprenyl Pyrophosphate-Linked Glycan", 第28回日本糖質学会年会, つくば, 日本, 8月 2008

石渡 明弘, 李 龍柱, 宗村 裕一, 伊藤 幸成: "NAPエーテルを利用した分子内アグリコン転移反応の開発と複合糖質糖鎖合成への応用", 第50回天然有機化合物討論会, 福岡, 日本, 9月 2008

## Development of Novel Regio- and Stereoselective Polymerization and Copolymerization Catalysts Based on Rare Earth Metal Complexes

Name: Xiaofang LI

Host Laboratory: Organometallic Chemistry Laboratory

(Laboratory Head: Dr. Zhaomin HOU)

The copolymerization of conjugated dienes with ethylene has attracted much attention because of the industrial importance of the resulting materials and the availability and low cost of the starting monomers. However, this copolymerization is very difficult since the two classes of monomers behave differently toward a polymerization catalyst. So far, the copolymerization has been limited only to that of butadiene with ethylene, whereas the copolymerization of isoprene with ethylene has never achieved to date. The search for new catalysts for the copolymerization of isoprene and ethylene is therefore of much importance and interest.

Recently, we found that the unprecedented copolymerization of isoprene with ethylene could be achieved for the first time by using a series of half-sandwich scandium dialkyl complexes bearing sterically varied mono(cyclopentadienyl) ligands ( $\text{Cp}'\text{Sc}(\text{CH}_2\text{SiMe}_3)_2(\text{THF})_n$  (**1-7**) (**1**:  $\text{Cp}' = \text{C}_5\text{H}_5$ ,  $n=1$ ; **2**:  $\text{Cp}' = \text{C}_5\text{MeH}_4$ ,  $n=1$ ; **3**:  $\text{Cp}' = \text{C}_5\text{Me}_4\text{H}$ ,  $n=1$ ; **4**:  $\text{Cp}' = \text{C}_5\text{Me}_5$ ,  $n=1$ ; **5**:  $\text{Cp}' = \text{C}_3\text{Me}_4\text{SiMe}_3$ ,  $n=1$ ; **6**:  $\text{R} = \text{CH}_2\text{CH}_2\text{PPh}_2$ ,  $n=0$ ; **7**:  $\text{R} = \text{C}_6\text{H}_4\text{Ome-}o$ ,  $n=0$ ) activated by one equivalent of activator such as  $[\text{Ph}_3\text{C}][\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_4]$ ,  $[\text{NHMe}_2\text{Ph}][\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_4]$ , or  $\text{B}(\text{C}_6\text{F}_5)_3$  under the mild conditions (1 atm of ethylene, 25°C), affording novel alternating and random copolymers previously unobtainable with other catalysts. The struc-

tural characterization of these neutral complexes and the THF-solvated cationic scandium alkyl complexes as the models of the catalytically active species by single-crystal X-ray diffraction study revealed that the various steric environments around the metal center in these catalytic systems increased as the order of **1**<**2**<**6**≈**7**≈**3**<**4**<**5**. A thorough investigation on the structure-reactivity relationship demonstrated that the copolymerization performances of these catalysts strongly depend on the steric environment around the metal center, which governs the comonomer incorporation and distribution in the copolymer chain. Detailed NMR spectroscopic studies showed that the copolymers obtained by the less steric complexes **1-2** had the random microstructures with high isoprene incorporations ranging from 70 to 90 mol% with dominant *cis*-1, 4-isoprene unit, whereas the copolymers prepared by the more steric complexes **3-4** and **6-7** adopted the alternating microstructures containing mainly 3, 4-IP-*alt*-E sequence and a small amount of *trans*-1, 4-IP-*alt*-E and *cis*-1, 4-IP-*alt*-E sequences. In contrast, the largest steric complex **5** gave the random copolymers with high ethylene incorporation (ca. 60-71 mol%) under the different comonomer concentrations. The studies on the preliminary DFT calculation and the reactivity ratios of copolymerization obtained from the Fineman-Ross plot

for catalysts generated from **3**, **5** and **7** suggested the mechanism of the copolymerization reactions. These results shed new light on improving the catalytic performance of the conventional Ziegler-Natta catalysts and designing the novel, excellent catalysts for the specific selective polymerization of dienes.

## ● Publications

(Original Papers)

- Li X., Hou Z.: "Organometallic catalysts for copolymerization of cyclic olefins", *Coordination Chemistry Reviews*, Vol.252 pp1842-1869 (2008)
- Yu N., Nishiura M., Li X., Xi Z., Hou Z.: "Cationic scandium allyl complexes bearing mono(cyclopentadienyl) ligands: Synthesis, novel structural variety, and olefin-polymerization catalysis", *Chemistry - An Asian Journal*, Vol.3 pp1406-1414 (2008)
- Fang X., Li X., Hou Z., Assoud J, Zhao R.: "1, 2-azaboro-lyl-ligated half-sandwich complexes of scandium (III) and lutetium (III): Synthesis, structures, and syndio-

tactic polymerization of styrene", *Organometallics*, Vol.28 2 pp517-522 (2009)

(Review)

- Li X, Hou Z: "Organometallic catalysts for copolymerization of cyclic olefins", *Coord. Chem. Rev.*, 252,1842-1869 (2008).

## ● Oral Presentations

(International Conferences etc)

- Li X., Nishiura M., Mott K., Hou Z.: "Unprecedented Copolymerization of Isoprene with Ethylene Catalyzed by Cationic Half-Sandwich Scandium Alkyl Complexes", The 15th National Symposium On Organometallic Chemistry, Nanjing, China, Oct. 2008

(Domestic Conferences etc)

- 李 晓芳, 西浦 正芳, 森 馨一, 侯 召民: "Alternating and random copolymerization of isoprene with ethylene catalyzed by cationic half-sandwich scandium catalysts", 日本化学会第 89 春季年会, 船橋, 日本, 3 月 2009

## Role of Eukaryotic Aminopeptidase Enzymes in Response to Environmental Stress

Name: Rungaroon WADITEE

Host Laboratory: Cellular Biochemistry Laboratory

(Laboratory Head: Dr. Masafumi TSUJIMOTO)

Aminopeptidases (N-terminal peptidase) constitute a diverse set of peptidases with cleave amino acids from the N terminus of oligopeptides. They are widely distributed in all living organisms and have several significant implications, such as roles in cell homeostasis, growth and development, and defense.

With the advent of numerous fully sequenced prokaryotic and eukaryotic genomes and extensive expression-sequence tag (EST) libraries, the diversity, evolutionary relationship and functional relationships of aminopeptidases are being revealed. In higher plants, aminopeptidases have been extensively used as polymorphic markers, but only few aminopeptidase genes from higher plants have been characterized. From the complete genome sequencing of the model plant species, *Arabidopsis thaliana*, it contains over 600 sequences annotated as peptidases. Among these sequences, 28 genes encode proteins belong to aminopep-

tidases. In recent years, intriguing roles of plant aminopeptidases in meiosis and jasmonic acid signaling have been reported and potential roles in auxin transport have also been proposed. However, many of plant aminopeptidases remain uncharacterized.

Thus far, implications of plant aminopeptidases are still largely unknown. I aim to determine physiological roles of the uncharacterized plant aminopeptidases by employing *Arabidopsis thaliana* as a model for study. Several approaches have been performing. The results obtain from this project would provide and contribute for emerging roles of uncharacterized plant aminopeptidases and gaining insight of physiological importances of aminopeptidases which remain largely unknown.

Research progress of Fiscal Year 2008

1. Isolation of the T-DNA insertion mutant for the

### *Arabidopsis* aminopeptidase

In *Arabidopsis thaliana*, there are 28 genes encoding proteins which belong to aminopeptidases. I isolated several T-DNA insertion mutants of aminopeptidase from SALK T-DNA-tagged lines (<http://signal.salk.edu/cgi-bin/tdnaexpress>). One mutant exhibits a decrease of vegetative growth and delay flowering. This mutant was identified as putative leucine aminopeptidase (*AtLAP2*). The homozygous *AtLAP2* was generated and identified by PCR analysis.

### 2. Phenotypic analysis of the null mutant of the *AtLAP2*

The homozygous *AtLAP2* was analyzed in several aspects (e.g. plant development, stress response, nutrient deprivation, and senescence). It is obvious that loss-of-function of *AtLAP2* stunts plant growth and development. Details analysis in other aspects has been performing.

### 3. Spatial expression and subcellular localization of *AtLAP2*

For special expression of *AtLAP2*, a DNA fragment containing approximately 1 kb of the upstream region of *AtLAP2* was amplified by PCR and cloned into the binary vector. The construct was introduced into *E.coli* and then into *Agrobacterium*. Wild-type *Arabidopsis* plants will be transformed by floral dipping. Several independent transgenic lines will be generated and use for histochemi-

cal localization of GUS activities in the transgenic plants.

For subcellular localization of *AtLAP2*, a gene-specific cDNA fragment for *AtLAP2* was amplified and fused in frame to the GFP gene at its C terminus. The fragment carrying the *AtLAP2-GFP* gene was inserted in the binary vector. The construct was introduced into *E.coli* and then into *Agrobacterium*. Wild-type *Arabidopsis* plants will be transformed by floral dipping. Several independent transgenic lines will be generated and use for localization of the fusion protein.

### 4. Create the over-expressor for *AtLAP2*

A gene specific DNA fragment for *AtLAP2* was amplified and constructed in the binary vector. The construct was introduced into *E.coli* and then into *Agrobacterium*. Wild-type *Arabidopsis* plants will be transformed by floral dipping. Several independent transgenic lines will be generated for further experiments.

### 5. Expression and biochemical characterization of *AtLAP2* in *E.coli*

A gene specific DNA fragment for *AtLAP2* was amplified and constructed in the expression vector. The construct was introduced into *E.coli*. Recombinant protein will be produced, purification, and further use for biochemical characterization.

## **Analysis of Transcriptional Regulators Governing Establishment of Cell-to-cell Reprogramming Network**

Name: Jae Woo SHIN

Host Laboratory: Omics Science Center

LSA System Development Team

(Laboratory Head: Yoshihide HAYASHIZAKI)

Cell reprogramming describes a switch in one cell-fate to that of another unrelated cell-type, and it has been well-understood over the recent months that transcriptional regulators such as transcription factors contribute largely in determining such cell conversion<sup>[1],[2]</sup>. Understanding the mechanism of this transformation sheds light onto the nature of cell differentiation, cell-replacement therapy and controlled drug screening on diseased cell. Recent endeavors in cell reprogramming involved induced-pluripotent

stem (iPS) cells<sup>[3]</sup> and *in vivo* trans-differentiation<sup>[4]</sup> through the ectopic expression of defined transcription factors. However, our knowledge about the exact mechanism of cellular reprogramming and the methods to select defined transcription factors remain largely unexplored. Therefore, a systematic investigation of the transcriptome (the landscape of all transcripts) and analysis of transcriptional regulation network of *multiple* human somatic cells are much needed. Such study will be beneficial to decipher the mo-

lecular composition of each cell type and suggest strategies with improved efficiency and safety of cell reprogramming.

During my first year as Foreign Postdoctoral Researcher (FPR), I have performed an integrative transcriptome analysis of adult human mesenchymal stem cells (hMSCs), mesenchymal-lineage committed cells such as adipocytes, preadipocytes, osteoblasts, skeletal muscle cells as well as non-hMSC-derived cells such as human dermal fibroblasts. Based on quantitative RT-PCR, oligonucleotide-based microarrays and Cap Analysis of Gene Expression (CAGE) technology<sup>[5]</sup>, the lineage-committed cells not only showed disparate expression of transcripts but also common transcripts that were co-expressed as mesenchymal lineage-specific genes. Adult human mesenchymal stem cells possess multi-lineage differentiation potential, and differentiated hMSCs have recently been shown to have the ability to reprogram into other lineages<sup>[6],[7]</sup>. By comparing the global gene expression profiles and their promoter activities of undifferentiated and differentiated cells, we hope to extract key genes which maintain adult stem cell multipotency but also to drive other lineage-specific commitments.

In order to effectively streamline *multiple* cell-types, each cell-type routinely undergoes a tracking process via the Omics Science Center (OSC) - Central Cell Bank Database (CCBD). In collaboration with the bioinformatics unit in OSC, we have developed a comprehensive cell tracking system which allows cell culture users to virtually track cells from physical storage, to cell culture, to transcriptome profiling and finally to data analysis. These smooth transitions to maintain individual cell-type are vital in accurately exploring meta-data as well as extracting

key genes involved in cell reprogramming. We plan to expand CCBD not only for transcriptome analysis but also for genome, proteome and epigenome information from multiple somatic cell-types.

Mounting data collected by CCBD will be beneficial to the extraction of key reprogrammable factors and the emerging analyses will allow for the generation of 'cell-to-cell reprogramming network' - a complete landscape of cell conversions between various somatic cell-types. CCBD, in the near future, hopes to become the power-engine for the scientific communities involved in cell reprogramming and cell-replacement therapy.

References:

- [1] Gurdon, J.B. and Melton, D.A., Nuclear reprogramming in cells. *Science* **322** (5909), 1811 (2008).
- [2] Mikkelsen, T.S. et al., Dissecting direct reprogramming through integrative genomic analysis. *Nature* **454** (7200), 49 (2008).
- [3] Takahashi, K. et al., Induction of pluripotent stem cells from adult human fibroblasts by defined factors. *Cell* **131** (5), 861 (2007).
- [4] Zhou, Q. et al., In vivo reprogramming of adult pancreatic exocrine cells to beta-cells. *Nature* **455** (7213), 627 (2008).
- [5] Kodzius, R. et al., CAGE: cap analysis of gene expression. *Nat Methods* **3** (3), 211 (2006).
- [6] Cho, K.J. et al., Neurons derived from human mesenchymal stem cells show synaptic transmission and can be induced to produce the neurotransmitter substance P by interleukin-1 alpha. *Stem Cells* **23** (3), 383 (2005).
- [7] Jiang, Y. et al., Pluripotency of mesenchymal stem cells derived from adult marrow. *Nature* **418** (6893), 41(2002).

## Modeling Visually Evoked Neuronal Activity by Non-linear Combinations of Multi-resolution Filter Responses

Name: Michel VIDAL-NAQUET

Host Laboratory: Gruen Research Unit

(Laboratory Head: Dr. Sonja GRUEN)

We construct a computational model that can predict the responses of highly non-linear neurons, such as those

spanning the visual ventral stream (V1, V2, V4, IT). In particular, we address the problem of predicting the neu-

ral responses in the general situation such as viewing of natural images, and not limit our stimuli to a set of pre-defined, parameterized shape stimuli. How to find the visual filters used in the model? Unlike standard M-sequence based strategies, we rely on techniques successfully used in the field of computer vision (Ullman et. al. 2002), that consist of testing a large number of image fragments at different sizes and resolutions, and selecting a small subset of image fragments that prove useful for explaining the neural selectivity. Simulations and application to real neural data from different cortical areas show that the method effectively extracts information about the functional role of cortical neurons in V1 and IT.

#### References:

[1] M. Vidal-Naquet, S. Ullman and M. Tanifuji.: "Extracting MAX-pooling receptive fields with natural image fragments." *Frontiers in Systems Neuroscience*. Conference Abstract: Computational and systems neuroscience,

COSYNE, 2009, Salt Lake City

[2] M. Vidal-Naquet, N. Miyakawa, S. Ullman and M. Tanifuji.: "Complex Receptive Fields Modeled with a combination of Multiscale, Fixed Resolution Features." Meeting of the Japanese Society for Neuroscience, 2008, Tokyo.

#### ● Oral Presentations

(International Conferences etc)

Vidal-Naquet M., Ullman S., Tanifuji M.: "Extracting MAX-pooling receptive fields with natural image fragments", 6th Meeting Computational and Systems Neuroscience (COSYNE 2009), Salt lake City, USA, Feb 2009

(Domestic Conferences etc)

VIDAL-NAQUET MICHEL, 宮川 尚久, Ullman Shimon, 谷藤 学:" Complex Receptive Fields Modeled with a combination of Multiscale, Fixed Resolution Features", 第31回日本神経科学大会 (Neuroscience 2008), 東京, 日本, 7月 2008

## Study on the Roles of RNA Binding Proteins on mRNA Metabolism

Name: Lin HUANG

Host laboratory: Cellular Biochemistry Laboratory  
(Laboratory Head: Dr. Masafumi TSUJIMOTO)

#### ABSTRACT

Gene expression is controlled at the transcriptional and posttranscriptional levels. Posttranscriptional regulation is exerted on several stages including mRNA stability and translation. RNA binding proteins are considered to play important roles in mRNA stability and translation. I have focused on 2 RNA binding proteins including EWS and CIRP. There are not any reports about the roles of both 2 proteins in translation, although EWS has been shown to affect splicing and RNA shuttling, and CIRP has been reported to inhibit the deadenylation of target mRNAs. Completing the research in this year, I found EWS represses translation whereas CIRP does not exhibit any effects on translation.

#### INTRODUCTION

Ewing's sarcoma gene *EWS* was first identified from the Ewing's sarcoma chromosomal breakpoint t (11; 22)

(q24; q12) region as a translocation generated fusion gene product between *EWS* and *FLI-1*. The resulting chimeric fusion proteins from EWS and another protein in Ewing's sarcoma are transcriptional activators with transforming potentials. However, the cellular function of somatic EWS remains obscure. EWS is a member of the TFT family of proteins, which includes 2 other members, TLS/ FUS and TAF15/ hTAFII68, all of which contain an N-terminal SYGQ-rich region, an RNA-recognition motif, a C2/C2 zinc finger motif and at least one RGG-repeat region. They bind RNA, specially to poly G and poly U, and both ss and dsDNA. They have been shown to affect splicing and RNA shuttling, and interact with RNA polymerase II enzyme and TFIID complex, which indicate that they play a role in early transcriptional initiation and elongation. EWS localizes in ribosomal fractions of culture cells indicating its character in regulation of translation. The elucidation of the function of EWS will bring a novel insight in Ewing's

sarcoma.

Cold-inducible RNA-binding protein (CIRP) was initially identified from the mouse testis by cDNA cloning of an RNA-recognition-motif (RRM)-containing RNA-binding protein. The expression level of CIRP increases upon a temperature downshift. xCIRP2 inhibits mRNA deadenylation, and a portion of xCIRP2 is associated with ribosomes suggesting its role in translational regulation. It is expected that the definition of the role of CIRP on translation will give a novel understanding on cellular stress response.

## RESULTS

To clarify the function of somatic EWS, I first investigated its role in translation. In MS2 tethering assay, EWS was found to repress translation in a dose dependent manner. However, the stability of mRNAs examined by Northern blotting was not changed, which suggest that the repression is not RNA mediated but direct to translation. In the results of cell staining, the cytoplasmal localization of EWS in EWS overexpressing cells also give an interpretation of its participation in translation.

To investigate whether CIRP influences translation, I performed an *in vitro* translation assay in a cell free system. CIRP showed a general inhibition on translation, whereas there were no significant differences between control and target mRNAs. In MS2 tethering assay, I have got the similar results. When I examined the mRNA sta-

bility by Northern blotting, the mRNA adenylation did not exhibit any differences between control and CIRP groups in our system.

I prepare to continue this study in FY2009. For EWS, I plan to screen its mRNA targets and investigate the mechanism of its repressing translation. On the contrary, for CIRP, I will consider the relationship between CIRP and EWS because CIRP was found to bind to EWS in yeast two-hybrid system.

### 1. mRNA targets screening of EWS.

Overexpress FLAG-EWS in HeLa cells, do the immunoprecipitation with anti-FLAG antibody and extract the mRNA binding to EWS. Synthesize the cRNA and do a microarray to screen the binding mRNAs.

### 2. Confirmation of the function of EWS on translation with determined target mRNAs.

Perform an *in vitro* assay in a cell free system to examine whether EWS exhibit repression on the target mRNA's translation.

### 3. Investigation of the functional differences between EWS and the fusion protein EWS-FLi-1.

Perform a same *in vitro* assay to examine whether EWS-FLi-1 represses the mRNA's translation which is repressed by EWS. It's expected to give a hint to the molecular mechanisms of EWS fusion protein's carcinogenesis and the treatment to Ewing's sarcoma.

### 4. Investigation of the effects of CIRP on the function of EWS.

## Determining the Cellular and Molecular Mechanisms of Synapse Formation in the Zebrafish Nervous System

Name: Douglas S. CAMPBELL

Host Laboratory: Brain Science Institute

Laboratory for Developmental Gene Regulations

(Laboratory Head: Hitoshi OKAMOTO)

During the development of the zebrafish retinotectal projection, retinal ganglion cell (RGC) growth cones navigate along a highly stereotypical pathway from the retina to their primary target, the optic tectum in the midbrain. Once they have reached the tectum, growth cones undergo arborisation and synaptogenesis. The molecular mecha-

nisms underlying these processes in the CNS are largely unknown. To study the development and molecular mechanisms underlying arborisation and synaptogenesis, I am using laser-scanning confocal microscopy to visualise single RGC axons and their arbors *in vivo* in living zebrafish embryos, after labeling with GFP fusion proteins under

the control of an RGC-specific promoter (Campbell *et al.*, Neuron, 2007, 55, 231-2145.).

I have previously shown that caspase 3, a key member of the cellular apoptotic or programmed cell death machinery is required to mediate the chemotropic responses of growth cones (Campbell and Holt, Neuron, 2003, 37, 939-952) However, the role of caspase 3 *in vivo* in axon guidance or in the processes of arborisation and synaptogenesis is unknown. mRNA *in situ* hybridisation was performed at 76 hpf when RGCs are undergoing arborisation and synaptogenesis and found that caspase 3 mRNA is strongly expressed in the RGC layer of the retina and in the tectum. Furthermore, immunohistochemistry using an antibody which specifically recognises the cleaved and active form of caspase 3 protein strongly labels RGC axons and the inner plexiform layer of the retina, consisting of axonal and dendritic processes. Since there is very little apoptotic cell death in the retina at this ages the ex-

pression of caspase 3 would suggest it is playing a role independently of its role in apoptosis.

To test the hypothesis that caspase 3 plays a role in arborisation and synaptogenesis *in vivo* we observed RGC arbors in embryos where caspase 3 function in the retina or tectum was inhibited. Time-lapse imaging revealed that branch tip additions and retractions were reduced to approximately half that of control arbors and that mean total branch tip lifetimes and the proportion of branch tips present continually during the imaging period were increased. Furthermore, inhibition of caspase 3 function particularly in the eye led to increased mean total lifetimes of presumptive presynaptic puncta and increased the proportion of stable puncta. These observations suggest that caspase 3 is a key regulator of RGC arbor and presynaptic puncta dynamics consistent with the hypothesis that its activity prevents premature arbor maturation.

## Identification and Functional Analysis of Organ Size Gain-of-function Mutants Using the *Arabidopsis* FOX-hunting System

Name: Christian BREUER

Host Laboratory: Plant Science Center

Gene Discovery Research Group,

Cell Function Research Unit

(Laboratory Head: Keiko SUGIMOTO)

Using the *Arabidopsis* FOX-hunting system<sup>[1]</sup>, I have identified about 25 dominant gain-of-function FOX lines that show stable and inheritable phenotypes. The developmental mutants fall into various categories, ranging from growth phenotypes that have an impact on the development of single cells to complex phenotypes that affect growth of the entire plant. Most of the corresponding genes have been isolated, and after re-transformation of the full-length cDNAs the majority of the initial phenotypes were recapitulated. Furthermore, I have started to examine the phenotypes of loss-of-function alleles for some of the FOX lines, and by doing so, my current investigations focus on a gene, which appears to be involved in the transcriptional control of trichome (leaf hair) growth. Plant trichomes are highly-specialized, epidermal cells that are involved in protecting plants against insect herbivores and UV light,

the control of transpiration and tolerance to freezing<sup>[2],[3]</sup>. Moreover, trichomes are of special commercial interest, since they have a unique secondary metabolism, allowing the production and secretion of various natural compounds and even currently used drugs, such as aspirine, morphine, taxol and artemisinin. Leaf trichomes are also an excellent model system to study general developmental processes in cell differentiation, including cell shape and growth control at the single cell level<sup>[4]</sup>.

The identified FOX line F26519 that displayed a trichome phenotype was named *windfarm*, since F26519 plants have giant trichomes accompanied by an increase in ploidy. F26519 plants over-expressed a truncated version of a cDNA that corresponds to the *AtGTL1* locus. Interestingly, three independent null mutations were investigated and display an identical trichome size and ploidy



phenotype, suggesting that the over-expressed, truncated cDNA in line F26519 has a dominant-negative effect. *GTL1* belongs to the GT-2 subclass of triplehelix DNA-binding transcription factors, indicating that *GTL1* is likely to be involved in transcriptional regulation of cell size control, most probably in termination of cellular growth. In concert with this, plants that over-express full-length coding sequence of *GTL1* could not be isolated, indicating that *GTL1* plays an important role in growth repression. Moreover, the *GTL1* protein is found to be nuclear-targeted, and a promoter-GUS fusion and several GFP-fusions reveal that the gene is only expressed during very late stages of trichome development. I am currently investigating the genetic relation between *gtl1* mutants and other, previously studied trichome mutants that cause defects in trichome initiation, patterning, differentiation, branching and endocycle control. Preliminary results of double mutant analysis suggest that *GTL1* acts downstream of trichome patterning, but growth- and ploidy-related processes appear to be independent of previously studied pathways<sup>[5]</sup>. To further elucidate upstream components and downstream targets, I have already started different approaches, such as an enhancer/suppressor screen and *GTL1* promoter de-

letion analysis. These and other projects will provide insights into how *GTL1* controls termination of trichome development, and should further contribute to our knowledge about general aspects in regulation of cell growth.

#### References:

- [1] Ichikawa et al., *Plant Journal* 2006
- [2] Johnson, *Bot. Rev.* 1975
- [3] Mauricio and Rauscher, *Evolution* 1997
- [4] Huelskamp, *Nature* 2004
- [5] Breuer et al., *Plant Cell* 2009

#### ● Oral Presentations

(Domestic Conferences etc)

BREUER CHRISTIAN, 河村 彩子, 市川 尚齐, 松井 南, 杉本 慶子: "Transcriptional control of cell expansion in the *Arabidopsis* trichome", Progress in Plant Developmental Biology, 奈良, 日本, 11 月 2008

BREUER CHRISTIAN, 河村 彩子, 市川 尚齐, 松井 南, 杉本 慶子: "Transcriptional control of cell expansion in the *Arabidopsis* trichome", 第 50 回日本植物生理学会年会, 名古屋, 日本, 3 月 2009

## Dissecting Plant Innate Immunity Using Chemical Genetics

Name: Ivana SASKA

Host Laboratory: Plant Science Center

Plant Immunity Research Group

(Laboratory Head: Ken SHIRASU)

Plants have evolved a diverse range of defence mechanisms to combat infection by pathogens such as bacteria, fungi and viruses. As a first line of defence, receptors on the plant cell surface recognise broadly conserved pathogen molecules known as pathogen-associated molecular patterns (PAMPs) and activate intra-cellular signalling events that prevent and limit infection. Many pathogens, however, are able to breach these basal defences by producing effector molecules that allow them to evade or subvert plant responses, for example by manipulating intracellular conditions in favour of pathogen proliferation. Plants, in turn, have evolved resistance (R) proteins which enable them to detect specific effector molecules and

mount localised defence responses to eliminate the invading pathogen. Disease occurs if a pathogen is able to overcome these R protein mediated responses.

Despite our knowledge of the basic framework of plant-pathogen interactions many of the components of both the PAMP and effector triggered immunity pathways remain elusive. The aim of the Plant Immunity Research Team is to gain insight into the molecular interactions that are involved in plant defence pathways by characterising the genes, proteins and small molecules that are required for immunity. The objective of my research is to identify and characterise the signalling components necessary for the generation of resistance, so as to better understand the mechanisms used

by plants to perceive and control pathogen infection. Although many of the defence outcomes associated with R protein mediated immunity are well characterised, the mechanistic links between defence responses and R proteins remain largely unknown. I am employing a chemical genetics strategy to dissect the molecular events that are required for R protein mediated plant immunity.

Chemical genetics is an experimental approach that uses small organic molecules to probe biological processes. It involves the screening of cells or whole organisms against a library of organic molecules for phenotypic changes that can be attributed to the perturbation of a specific process. One phenotypic manifestation of the defence reaction elicited by plant R proteins upon recognition of specific patho-

gen effectors is the hypersensitivity response (HR), a process that culminates in rapid cell death at the site of infection and serves as a robust indicator of resistance signalling. I am performing a screen for chemicals which perturb the HR in the model plant *Arabidopsis thaliana* when challenged with a variant of the bacterial pathogen *Pseudomonas syringae* which has been engineered to express an effector recognised by an Arabidopsis R protein. Upon identification of chemicals that affect this plant immunity pathway both genetic and biochemical approaches will be used to identify the molecular targets of the compounds and to explore their role in defence signalling. Ultimately it is envisioned that the outcome of this research will contribute to the engineering of durable pathogen resistance in plants.

## Intelligent Gel — A substitute of the Living Organs

Name: Swapan K. GHOSH

Host Laboratory: Molecular & Informative Life Science Unit  
(Laboratory Head: Dr Yoshihito OSADA)

Development of tough nanocomposite hydrogel:

I have investigated the possibility of the development of a mechanically tough nanocomposite hydrogel by two different methods. Firstly, I tried by mixing charged synthetic nanoparticles (laponite) and different types of polymers in water. Secondly, I developed nanocomposite hydrogel of (1) polydimethylacrylamide (PDMAAA-Q) and (2) poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid, sodium salt) (PNaAMPS) by chemical cross-linking reactions using an organic cross-linker such as methylenebis(acrylamide) (BIS). It should be noted that laponite is a disk like particle with a dimension of 25 nm diameter and 1 nm thickness. Surface of a laponite is negatively charged and edge is positively charged. The ratio of negative and positive charges in a single particle is about 10 to 1.

Laponites and polymers in water usually form a viscous fluid. However, I observed that a particular system such as laponite-polyacrylamide-water system form gel when shaken. The gel again relaxes back into a viscous fluid at rest. This phenomenon is called dilatancy. Dilatancy is a very important phenomenon with enormous practical application. Similar phenomenon was previously observed in laponite-Poly(ethylene oxide) system<sup>[1]</sup>. My in-

vestigations suggest that dilatancy occurs only in neutral polymer-nanoparticle composite system and it does not occur if the polymers are ionic.

Compression test of the nanocomposite hydrogels show interesting properties. I observed that PNaAMPS hydrogel (without laponite) is mechanically stronger than laponite-PNaAMPS nanocomposite gel. Both ultimate tensile strength (UTS) and Young's modulus (E) decrease significantly when laponites are included in the hydrogel. This occurs due to strong electrostatic repulsion between negatively charged surface of laponite and negatively charged polymer (PNaAMPS) networks. Experiment suggests that it is impossible to develop a mechanically tough hydrogel by anionic monomers and laponite.

It was observed that PDMAAA-Q hydrogels become stronger when laponites are included in the hydrogels. Both UTS and E were investigated as a function of laponite concentration. Results suggest that both UTS and E remains almost unchanged within the experimental range of laponite concentration. This behavior should depend on sample preparation. To prepare hydrogels I dispersed laponite particles in monomer solutions. I observed that as time passes aggregates form in the solution and they precipitate. The precipitations

were collected and polymerized to prepare hydrogel. To explain experimental results one must examine the microstructures and the morphology of the hydrogel.

When laponite powder is dispersed in monomer solution, a part of the sample disperses as single particle; however, larger fraction of the sample disperses as aggregates of a few laponite particles. It is reasonable to consider that cationic monomers are electrostatically attracted by the negatively charged laponite surfaces. Dispersed laponite particles and aggregates of laponite particles adsorb monomer molecules on their surfaces. They form a kind of brush particle and the larger brush particles precipitate. Cross-linked poly-

mer networks are considered to be grown between the aggregates. Mechanical properties of the hydrogel should strongly depend on the size of the aggregates and the length of the polymer network between the aggregates. Compression test result suggests that size of the aggregates and morphology of the hydrogel remain almost unchanged with the increasing laponite concentration within the investigated range of laponite concentration.

Reference:

[1] J. Zebrowski, V. Prasad, W. Zhang, L. M. Walker, and D. A. Weitz, *Colloids and Surfaces A*213 (2003) 189-197

## **Nano-Raman Spectroscopy of Thermo-mechanical and Electrical Stress in Advanced Electronic Devices and Sensors**

Name: Alvarado B. TARUN

Host Laboratory: Nanophotonics Laboratory  
(Laboratory Head: Dr Satoshi KAWATA)

The introduction of strain in silicon and the exponential increase in the density of transistors are equally boosting microprocessor performance at a fast rate. Besides, several approaches to engineer strain in devices, such as the use of ( $\epsilon$ -Si) on silicon on insulator and engineering strain in two and three dimensions will lead to even more complex strain distribution. Strain is also finding attention in nanowires and other optoelectronic components. These also impose stringent requirements on strain characterization tools. Unfortunately, the development of these tools lags behind semiconductor technology. Most of strain characterization tools are still problematic in nanoscale and in many cases it is not possible with current spectroscopic technique. None of the existing spectroscopic technique has the capability to map the distribution of strain on the transistor from an actual, i.e. 45nm, because they still lack the sensitivity and resolution to characterize strain on heterogeneous samples. Thus, development of advanced technique for nanoscale characterization and investigation of localized strain in the  $\epsilon$ -Si substrate are important. Several new approaches to spectroscopic observation and imaging of strain in the nanoscale have been proposed. Among the most promising candidate is Tip-enhanced Raman spectroscopy (TERS) because it's non-destructive

and has the sensitivity to measure strain in the nanometer region<sup>[1]</sup>. Recently published works have been devoted to applying TERS on opaque samples, although early efforts were applicable only to transparent or thin samples<sup>[1]</sup>.

This research is devoted to the development of TERS to obtain highly localized strain distribution and qualitatively identify impurities and defects in the  $\epsilon$ -Si devices. In particular, we focused on the issue of image contrast and enhancement factor for practical use of TERS on bulk samples such as Si. The work started with building-up a versatile TERS system capable of imaging devices with nanoscale resolution ( $\sim 10$ nm). The dynamic design of the instrument provides a unique combination of features that allow us to perform TERS in both opaque and transparent samples<sup>[2]</sup>. We optimize the excitation wavelength, illumination and detection of the optical system and made use of polarization/depolarization-controlled detection by considering the crystalline feature of silicon materials to significantly improve contrast between near-field and far-field Raman signals<sup>[3]</sup>. We demonstrated the capability of the developed system to study strain in Si/SiGe device. We found that reducing background signal from the focus and underlying substrate on bulk and crystalline Si samples is a novel approach to improve contrast. We also performed

numerical simulation using Finite Element Method (FEM) to predict the strain resulting from the build-up of high energy in the vicinity of sharp tip.

The main objective of this research is to put colors into the strained area of an actual device that contains a huge amount of device property with exceptional spatial resolution. The technique developed in this work is also applicable to Raman spectroscopy in crystalline samples.

#### References:

[1] Kawata, S. and Shalaev, V.M. (2007) "*Tip Enhancement*". Elsevier, Netherlands.

[2] A. Tarun, N. Hayazawa, M. Motohashi and S. Kawata, *Rev. Sci. Instrum.* **79**, 013706 (2008).

[3] M. Motohashi, N Hayazawa, A Tarun, S Kawata, *J. Appl. Phys.* **103**, 034309 (2008).

#### ● Oral Presentations

(International Conferences etc)

Hayazawa N., Motohashi M., Tarun A., Kawata S.: "Nanoscale characterization and spectroscopy of strained silicon", SPIE Optics Photonics, San Diego, USA, Aug 2008

Tarun A., Motohashi M., Hayazawa N., Kawata S.: "Highly efficient tip-enhanced Raman spectroscopy in depolarized configuration", SPIE Optics Photonics, San Diego, USA, Aug 2008

Tarun A.: "Heating assisted tip-enhanced Raman spectroscopy", 10th International Conference on Near-field

Optics, Nanophotonics and Related Techniques (NFO10), Buenos Aires, Argentina, Sep 2008

Hayazawa N., Ishitobi H., Tarun A., Taguchi A., Kawata S.: "Excitation of Gap-mode based on focused surface plasmon polariton for tip-enhanced spectroscopy", 10th International Conference on Near-field Optics, Nanophotonics and Related Techniques (NFO10), Buenos Aires, Argentina, Sep 2008

(Domestic Conferences etc)

早澤 紀彦, 本橋 正史, TARUN ALVARADO, 河田 聡: "結晶表面歪み分布の近接場分析技術の進展", 理研シンポジウム「第7回理研・分子研合同シンポジウム: エクストリームフォトニクス研究」, 和光, 日本, 5月 2008

TARUN ALVARADO: "Nano-Raman Characterization of Stress in Strained Devices", 理研シンポジウム「第7回ナノフォトニクス&メタマテリアルシンポジウム」, 和光, 日本, 11月 2008

本橋 正史, 早澤 紀彦, TARUN ALVARADO, 河田 聡: "Cross-sectional Strain Visualization in CPU by Tip-enhanced Raman Spectroscopy Based on Depolarization Detection", 理研シンポジウム「第7回ナノフォトニクス&メタマテリアルシンポジウム」, 和光, 日本, 11月 2008

本橋 正史, 早澤 紀彦, TARUN ALVARADO, 河田 聡: "Cross-Sectional Strain Visualization in CPU by Tip-Enhanced Raman Spectroscopy Based on Depolarization Detection", 平成20年度日本分光学会年次講演会, 仙台, 日本, 11月 2008



**平成20年度 基礎科学・国際特別研究員年報**

---

平成22年2月10日 印刷

平成22年2月15日 発行

編集兼 独立行政法人理化学研究所  
発行者 基礎基盤研究推進部研究人事課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢2番1号

---