

平成17年度

# 基礎特研年報

基礎科学特別研究員の研究報告

# 基礎特研年報

—基礎科学特別研究員の研究報告—

平成17年度

独立行政法人

理化学研究所

RIKEN (The Institute of Physical and Chemical Research)

## 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17年度（平成17年4月より平成18年3月まで）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、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、その独創性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してもらう制度です。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、自らの研究計画に基づき、その研究を主体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、審査に合格した研究課題・研究内容を勘案の上、理研の研究室等の中から研究を遂行するに最も相応しいホスト研究室と、適切な助言を与えることができるアドバイザーを選定しています。現在までに、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、191名となっています。

平成18年8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14年度下期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XIV—047	高等植物の人工突然変異体における核ゲノムの可塑性に関する研究	齊藤 宏之 .....	3
XIV—048	ダイオキシン類分解に関与する蛋白質の構造生物学的研究	小田切 正人 .....	4
XIV—049	シロアリ腸内原生生物と共生する嫌気性水素利用細菌の共生メカニズムの解明	服部 聡 .....	5
XIV—051	密度行列くりこみ群による非摂動的量子色力学の研究	杉原 崇憲 .....	5
XIV—052	強相関電子系に対する共鳴X線発光分光・共鳴オージェ・共鳴光電子分光の理論	田口 宗孝 .....	6
XIV—053	GAP1ファミリー蛋白質の細胞内機能解析	皆川 徹也 .....	8

## ◆平成15年度上期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XV—001	ベクター中間子の原子核内崩壊を用いた、クォークの有効質量の起源の探究	武藤 亮太郎 .....	11
XV—002	不安定核実験のためのゼロ度スペクトロメーターの開発	大西 哲哉 .....	12
XV—003	不安定核原子EDM測定を通じた標準理論を越える基本相互作用の探索	長谷山 智仁 .....	12
XV—005	微視的理論を用いた不安定核反応の研究	高階 正彰 .....	13
XV—007	ソフトマテリアルの長距離秩序構造転移における素過程の超高速分光	藤間 卓也 .....	14
XV—009	エキゾチック原子のカスケード過程に関する理論的研究	小池 貴久 .....	15
XV—010	交流走査型トンネル顕微鏡の開発と高温超伝導体への応用	岩谷 克也 .....	16
XV—012	行列モデルによる超弦理論の非摂動的定式化	松尾 俊寛 .....	17
XV—013	ブレーン世界における超対称性の破れの機構と超弦理論	丸 信人 .....	18
XV—014	半導体量子デバイスを用いたヘリウム液面上の2次元電子系の制御	川村 稔 .....	19
XV—015	超低温・強磁場における量子ホール効果の研究	辻井 宏之 .....	20
XV—016	荷電粒子とレーザー光の複合化プロセスによる高機能材料の超微細加工	小幡 孝太郎 .....	21
XV—017	近接場ラマン分光装置の作製及び新しいSERSプローブの設計	齊藤 結花 .....	22
XV—018	特殊条件下における分子性導体の構造研究	中尾 朗子 .....	24
XV—019	高分解能光解離画像観測法によるN <sub>2</sub> O分子の深紫外光解離過程経路の探索	川俣 大志 .....	24
XV—020	フェムト秒時間分解光電子画像観測法による光イオン化動力学の解明	坪内 雅明 .....	25
XV—021	新規な希土類クラスター錯体の合成とその触媒能	竹中 康将 .....	25
XV—025	走査トンネル顕微鏡による金属表面上での単分子反応	小原 通昭 .....	26
XV—026	単色分子線を用いた表面化学反応の選択的制御に関する研究	近藤 剛弘 .....	28
XV—028	DNA鎖のナノスケール電気伝導度測定	古川 雅士 .....	29
XV—029	アフリカツメガエル卵母細胞におけるmRNAの局在・翻訳制御機構の解明	田中 仁夫 .....	30
XV—033	専用計算機による境界要素法的高速化に関する研究	高橋 徹 .....	31
XV—034	分子動力学的手法を用いた膜の動的変化に関する研究	平野 秀典 .....	32
XV—036	自由曲面を有する多層膜スーパーミラーによる中性子光学素子の開発	池田 一昭 .....	33

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XV—037	眼をモデルにした神経上皮の形態形成の研究	武内 昌哉 .....	34
XV—038	高エネルギー偏極陽子衝突実験における標準模型のテストとそれを超える現象の探索	田原 司睦 .....	35
XV—039	高エネルギー原子核衝突実験におけるクオークグルーオンプラズマの探索	鳥井 久行 .....	36
XV—041	Live Imaging によるショウジョウバエ気管細胞運動機構の解析	加藤 輝 .....	37
XV—042	線虫胚を用いた細胞周期調節機構の解析	荒田 幸信 .....	37
XV—043	動脈-体節間にみられる細胞の誘引・移動現象と血管パターンニング	佐藤 有紀 .....	38
XV—044	高速液体混合・高圧X線小角散乱技術による蛋白質の折れ畳みダイナミクスの研究	秋山 修志 .....	39
XV—046	軟X線発光分光法による液相分子と溶液中の分子の電子状態の観測	徳島 高 .....	40
XV—047	PDZドメインとその結合蛋白質の相互作用プロテオミクス	山川 哲生 .....	41
XV—049	CdO量子ドットの成長：青色領域における室温発光ダイナミクスの探求とそのオプトエレクトロニクスへの応用	A.B.M.アルマン・アシュラフイ .....	41
XV—050	低波数振動分光による光合成酸素発生型マンガクラスターの構造及び水分解反応機構の解明	木村 行宏 .....	42
XV—051	振動分光法とab initio分子軌道計算による膜蛋白質金属活性中心の構造研究	長谷川 浩司 .....	43
XV—053	育児期のマザリーズ発話による母親の愛着行動とfMRIによる脳内表現の解析	松田 佳尚 .....	44
XV—055	サル下側頭葉視覚連合野における神経細胞の同期発火	内田 豪 .....	45
XV—056	新規ビタミン・ピロキノリンキノンの生理的役割	笠原 和起 .....	46
XV—057	カルシウムカルモジュリン依存性キナーゼII活性のリアルタイムイメージング-可塑性を起こしたシナプスの同定の試み	高雄 啓三 .....	47
XV—058	神経回路形成におけるNetrin-Gサブファミリーの機能解析	西村-穂吉 幸子 .....	48
XV—059	相同組換えによる染色体修復の分子メカニズムに関する研究	香川 亘 .....	49
XV—060	海洋付着生物の着生に関わる分子および受容体の構造	鈴木 芳宏 .....	49
XV—061	植物における細胞の分裂と分化を柔軟に制御する分子機構に関する解析	山口 雅利 .....	50
XV—062	シロイヌナズナにおけるブラシノステロイドとジベレリンの相互作用機構の解析	野村 崇人 .....	51
XV—063	IgA腎症における免疫グロブリンFc $\alpha$ / $\mu$ R受容体の機能解析	宮本顕友 .....	52

#### ◆平成15年度下期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XV—064	高エネルギー原子核衝突実験におけるD中間子を用いた高温核物質の研究	大西 宏明 .....	53
XV—065	色素修飾 dendriマーを用いた光誘起電荷分離の長寿命化と光電変換素子の創成	小西 利史 .....	54
XV—066	超弦理論・行列模型に基づく時空の力学の研究	松浦 壮 .....	55
XV—067	ナノギャップを使ったナノ分子材料物性とその制御	重藤 訓志 .....	56
XV—068	赤外-テラヘルツ領域で負の屈折率を示す3次元メタリックメタマテリアルの作製	武安 伸幸 .....	58

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XV—069	走査トンネル顕微鏡による単一分子の電気伝導メカニズムの解明	片野 諭 .....	59
XV—070	In-Cell NMRを用いた生体内における蛋白質間相互作用の解析法の開発	吉益 雅俊 .....	60
XV—071	ポリグルタミン病への有機化学的アプローチ	萩原 伸也 .....	61
XV—072	メンブレントラフィックから見た植物プログラム細胞死の液胞崩壊機構	井藤 純 .....	62
XV—073	レーザーテラヘルツ顕微分光システムの開発とバイオチップへの応用	山下 将嗣 .....	63
XV—074	窒素サイクルに関わる膜内在性一酸化窒素還元酵素の構造生物学的研究	日野 智也 .....	64
XV—075	非対称分裂における分裂軸制御因子の同定および解析	大石 久美子 .....	66
XV—076	体細胞核移植技術の基礎研究とntES細胞を用いた新規発生工学技術の開発	大田 浩 .....	66

### ◆平成16年度上期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVI—001	銀河団ダークマター分布の解明	太田 直美 .....	71
XVI—002	ブラックホールの最先端を拓く	久保田 あや .....	72
XVI—003	宇宙線の加速源研究のための軟ガンマ線検出器の開発	小浜 光洋 .....	73
XVI—004	広帯域硬X線による宇宙線源探査と撮像分光観測による加速機構の解明	馬場 彩 .....	74
XVI—005	専用計算機による遺伝子情報処理の高速化	杉江 崇繁 .....	75
XVI—006	粒子法による詳細な銀河進化モデル	中里 直人 .....	76
XVI—007	反水素原子の超微細構造周波数の測定	柴田 政宏 .....	77
XVI—009	不安定核の陽子捕獲反応に注目した爆発的天体現象（新星）での元素合成過程の研究	五味 朋子 .....	78
XVI—010	中性子過剰核の $\beta$ 崩壊のQ値と励起順位の研究	炭竈 聡之 .....	78
XVI—011	sd殻領域陽子過剰核における陽子ハロー探索とその構造解明	田中 鐘信 .....	79
XVI—013	陽子非弾性散乱を用いた中性子過剰核のガンマ線核分光	道正 新一郎 .....	80
XVI—014	重い不安定核のソフトな振動励起モードの研究	山上 雅之 .....	81
XVI—015	鏡像核比較法による $T_{2=2}$ 陽子過剰核の $\gamma$ 線核分光	山田 一成 .....	83
XVI—016	K中間子原子核の実験的研究	岡田 信二 .....	84
XVI—017	弦理論と非可換幾何学	浅川 嗣彦 .....	85
XVI—018	超弦理論におけるブレインと行列模型の手法を用いた超対称量子場の理論の解析	太田 和俊 .....	86
XVI—019	行列模型を用いた弦理論の非摂動効果、非摂動的定義の探求および時空構造の解明	黒木 経秀 .....	87
XVI—020	分数量子ホール系、及び、朝永・ラッティンジャー液体におけるナノスケールの量子輸送現象	井村 健一郎 .....	88
XVI—021	幾何学的フラストレーションをもつ強相関電子系における新奇な現象の研究	是常 隆 .....	89
XVI—022	表面微小領域での電子ダイナミクスのフェムト秒時間分解顕微光電子分光	杉山 武晴 .....	90
XVI—023	2光子光電子分光法による高温超伝導体の非占有電子状態に関する研究	園田 康幸 .....	91
XVI—024	高次高調波の原子分光への応用	古澤 健太郎 .....	92

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVI—025	非線形光学ポリマーフォトリック結晶導波路中における非線形現象の 解明とデバイス応用	井上 振一郎 .....	94
XVI—026	微生物の光水素発生能の改良を目指したヒドロゲナーゼ-光合成活性中 心複合体の設計と新規スクリーニング法の開発	伊原 正喜 .....	95
XVI—027	リポソームの変性タンパク質吸着能を利用した新規バイオセンサーの 構築	迫野 昌文 .....	96
XVI—028	生体高分子の高次構造形成を利用する新規バイオセンサーの創製と遺 伝子診断法の開発	吉本 敬太郎 .....	97
XVI—029	電気化学的特性を利用した集積型超分子ナノネットワークの構築と素 子化	堀江 正樹 .....	98
XVI—030	高圧力を手段として用いた分子性導体の物性研究	石井 康之 .....	99
XVI—031	硬X線、軟X線を用いた超伝導体等強相関物質の電子状態の研究	木須 孝幸 .....	100
XVI—032	分子配列制御による新規な導電性ジカルコゲナート金属錯体集積体の 開発	久保 和也 .....	101
XVI—033	希土類材料の分子設計に関する基礎研究	羅 一 .....	102
XVI—034	新規血管新生阻害剤azaspireneの標的分子の同定とそれに基づくドラッ グデザイン	浅見 行弘 .....	103
XVI—035	骨粗鬆症治療薬の開発を目的としたリベロマイシンAに関する研究	川谷 誠 .....	104
XVI—036	生体内におけるコレステロール代謝の新たな調節機構の解明	柴田 識人 .....	105
XVI—037	DNA複製前後の細胞核タンパク質の構造と機能変動のプロテオミクス による解析	武内 桂吾 .....	106
XVI—038	mRNAクオリティコントロールに関する化学生物学的研究	甲斐田 大輔 .....	107
XVI—039	蛋白質アセチル化を生細胞内で可視化するための蛍光プローブ分子の 開発	佐々木 和樹 .....	107
XVI—040	節足動物における性分化の分子機構の解明	奥野 敦朗 .....	108
XVI—041	植物の形態形成におけるエンドサイトーシスの役割～Rab5 GEF変異体 の形態学的解析を中心に	内田 和歌奈 .....	109
XVI—042	核内構造を介した転写制御機構の解析	島田 信量 .....	110
XVI—043	シロアリ腸内共生難培養性微生物のゲノムと機能解析	本郷 裕一 .....	110
XVI—044	気体充填型反跳分離装置を用いた超重元素の探索	加治 大哉 .....	111
XVI—045	RIBF計画のU (ウラン) ビーム生成に向けた大強度多価金属イオン源 の研究開発	日暮 祥英 .....	113
XVI—046	有限温度におけるハドロンスペクトラム—QCD和則と格子QCDの視点 から—	土井 琢身 .....	114
XVI—047	カラーガラス凝縮形式によるスモールエックスの物理	八田 佳孝 .....	115
XVI—048	PHENIXのためのシリコンバーテックス検出器の開発とそれを用いた陽 子スピン構造の解明	浅井 淳吉 .....	116
XVI—051	複製後修復遺伝子によるDNA polymerase $\delta$ の複製と複製後修復機能の 調節	ブランゼイ ダーナ .....	117
XVI—052	サブミリ波帯・超伝導検出器の大規模イメージングアレイ化と天文観 測への応用	有吉 誠一郎 .....	118
XVI—053	シングルフォトンスペクトロスコープを用いた生体情報イメージング 技術の研究	大野 雅史 .....	119



〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVI—054	コンピューター・シミュレーションを用いたヒト運動動作の研究	長野 明紀 .....	121
XVI—055	尿管で高発現するタンパク質を用いた腎臓特異的な発現制御機構の 解明	宮崎 雅雄 .....	122
XVI—057	患者の病態生理モデルに基づく生理機能のロバスト適応制御システム	陸 高華 .....	123
XVI—059	細胞膜ラフトに局在する新規糖脂質、ホスファチジルグルコシドの神 経機能の解明	堀端 康博 .....	124
XVI—060	母性行動の分子神経メカニズム	黒田 公美 .....	125
XVI—061	学習機構および積分発火ダイナミクスを持つリカレントニューラルネッ トワークにおける時空間情報処理の解明	増田 直紀 .....	126
XVI—062	Rab27Aを介する細胞内小胞輸送機構の解明：ヒトGriscelli症候群の病 態解明を目指して	黒田 垂歩 .....	127
XVI—063	脂肪酸水酸化酵素チトクロムP450の反応中間体結晶構造を基盤とした 触媒反応機構解析	金 美沙 .....	129
XVI—064	X線光子相関分光法による動的構造研究	石川 大介 .....	129
XVI—065	SPring-8における光電子分光、赤外分光による強相関電子系の電子状 態の研究	松波 雅治 .....	130
XVI—066	高等植物の硫黄同化分子エンジニアリングを目指した比較ゲノム研究	吉本 尚子 .....	131
XVI—067	哺乳類ポリコームによるrunx遺伝子群の転写制御機構の解析	藤村 雄一 .....	133
XVI—069	神経外胚葉から原始神経細胞形成の分子機構の解析	斐 永己 .....	133
XVI—070	細胞移動や器官形態形成における糖鎖修飾の影響とその必要性の解析	伊原 伸治 .....	134
XVI—071	ショウジョウバエ胚神経系の形態形成において区画化を産み出す機構	滝沢 一永 .....	135
XVI—072	頭部形成に関する遺伝子ネットワークの解明	西岡 則幸 .....	136
XVI—073	ヒトゲノム上に点在するトポイソメラーゼII結合部位に注目した細胞 核のクロマチンorganizationの解析	前島 一博 .....	137

#### ◆平成16年度下期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVI—074	不安定核ビームを用いた陽子弾性散乱による不安定核の核子密度分布 の抽出	竹田 浩之 .....	138
XVI—075	エキゾチック電子液体の創成一混合原子価化合物における幾何学的フ ラストレーション	新高 誠司 .....	139
XVI—076	新規フラーレン型アクセプターを用いたバルクヘテロ接合型有機薄膜 太陽電池の開発	伊藤 芳孝 .....	140
XVI—077	角度分解光電子分光法の理論的研究—多原子分子への展開—	鈴木 喜一 .....	141
XVI—078	希土類金属を含む新規前周期—後周期遷移金属ポリヒドリド錯体の合 成および反応性の研究	島 隆則 .....	142
XVI—079	新規細胞死抑制剤を鍵としたミトコンドリア膜上での細胞死制御機構 の解明研究	闔闔 孝介 .....	142
XVI—080	分裂酵母の化学プロテオミクスによる海産抗真菌化合物の標的分子の 解明	西村 慎一 .....	143
XVI—081	ゴルジ体からの小胞形成を引き起こす分子装置の同定と小胞形成過程 の可視化	関谷-川崎 真理子 .....	144
XVI—082	多核種同時 $\gamma$ 線イメージング装置の開発	本村 信治 .....	145

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVI—083	躁うつ病および統合失調症におけるepigeneticな変異の網羅的探索	岩本 和也 .....	146
XVI—084	蛋白質ホモ二量体化可視化技術の開発	下 蘭 哲 .....	147
XVI—085	雌性生殖幹細胞株の樹立とその解析	本多 新 .....	148
XVI—086	二成分情報伝達系タンパク質ヒスチジinkinナーゼの構造生物学的研究	山田 斉爾 .....	148
XVI—087	偏光制御・低熱負荷・高次光抑制を目的としたアンジュレータの開発研究	白澤 克年 .....	149
XVI—088	植物ジテルペノイドの蓄積・気相放出メカニズムとその生物・個体間コミュニケーションにおける役割の解明	兼目 裕充 .....	150

## ◆平成17年度上期採用者

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVII—001	硬X線精密分光観測を用いた銀河中心高エネルギー現象の統一的研究	千田 篤史 .....	155
XVII—002	銀河内輻射輸送を考慮した銀河の形成・化学力学進化モデルの構築	伊吹山 秋彦 .....	156
XVII—003	KEK-12GeV陽子加速器を用いたペンタクォークの高分解能測定	成木 恵 .....	156
XVII—004	$\beta$ -NMR法における液体ストッパーの開発	亀田 大輔 .....	158
XVII—005	カスプ磁場中における多粒子反物質プラズマの実験的研究	齋藤 晴彦 .....	159
XVII—006	ハイブリッド検出装置による中性子過剰核の $\gamma$ 線核分光	武内 聡 .....	160
XVII—007	ユビキタス検出器の開発とRIビームファクトリー実験への実装	馬場 秀忠 .....	161
XVII—008	軽い中性子・陽子過剰核反応における分解過程の寄与の系統的な理論解析	松本 琢磨 .....	162
XVII—009	K中間子の原子核に於ける深束縛状態の実験的研究	鈴木 隆敏 .....	163
XVII—010	反K中間子と軽い原子核との深い束縛状態に関する理論的研究	根村 英克 .....	164
XVII—011	超空間への非可換幾何の一般化とそれを用いた一般の背景場中の超弦理論の研究	澁佐 雄一郎 .....	165
XVII—012	ナノ構造における非平衡多体効果	内海 裕洋 .....	166
XVII—013	不規則電子系における金属—絶縁体転移点の異常局在状態に関する理論的研究	小布施 秀明 .....	167
XVII—014	$^3\text{He}$ における2次元超流動の探索	斎藤 政通 .....	168
XVII—015	高速精密回転希釈冷凍機を用いた超流動He量子渦と表面素励起の研究	高橋 大輔 .....	169
XVII—016	量子ドットを用いた単一電子スピンのコヒーレント制御	森山 悟士 .....	170
XVII—017	界面特性変化を認識するナノコロイドセンサーの開発～コロイド化学の観点から考えた遺伝子診断システムの開発～	佐藤 保信 .....	172
XVII—018	微細DNAパターンの複写・縮小技術の開発	鈴木 健二 .....	173
XVII—019	分子デバイスへの応用を念頭においた次世代分子性導体の開発	芦沢 実 .....	174
XVII—020	有機強相関物質の光励起状態における電子物性制御	清水 康弘 .....	175
XVII—021	ATP結合性蛋白質の新規網羅的解析法の開発	清水 護 .....	174
XVII—022	ナノサイズ化における不活性物質の活性発現：局所電子状態測定による発現機構の解明	湊 丈俊 .....	177
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	齊藤 安貴子 .....	178
XVII—024	翻訳終結と共役したmRNA分解制御の分子機構の解析	船越 祐司 .....	178
XVII—025	アセチル基転移酵素EcoIの新たな細胞内機能	大木本 圭 .....	179
XVII—026	地衣類・共生菌の脂質分泌促進タンパク質の解析と共生藻の菌類エクソサイトーシス誘因物質の解析	小林 聡子 .....	180

〈符号〉	〈研究課題〉	〈研究者氏名〉	〈頁〉
XVII—027	ショウジョウバエSUMO E3ligaseの生物学的機能の解明	成 耆鉉 .....	181
XVII—028	有限温度密度QCDにおける相転移現象の解明	福嶋 健二 .....	182
XVII—029	偏極陽子-陽子衝突実験におけるW粒子をプローブとした陽子のスピン構造の研究	神原 信幸 .....	183
XVII—030	転写抑制因子Tup11, Tup12によるクロマチン構造制御機構の解析	廣田 耕志 .....	183
XVII—031	人為的な染色体二重鎖切断を用いた減数分裂期組換え機構に関する研究	福田 智行 .....	184
XVII—032	超伝導検出器を用いた中性子 $\beta$ 崩壊陽子のエネルギースペクトル測定	三島 賢二 .....	185
XVII—033	小脳神経回路網におけるルガロ細胞の役割	廣野 守俊 .....	186
XVII—034	RNA異常を伴う神経変性疾患における発症メカニズムの解析	紀 嘉浩 .....	187
XVII—035	神経変性疾患モデル動物における脳機能障害のin vivo解析	中島 龍一 .....	187
XVII—036	カルシウムシグナルによる神経成長円錐の運動制御機構の解明	戸島 拓郎 .....	188
XVII—037	表面プラズモン光局在デバイスを用いたテラヘルツ微量成分検出システムの開発と指紋イメージングへの応用	宮丸 文章 .....	189
XVII—038	Rab27A-Slp複合体によるインスリン分泌制御機構の可視化解析	坪井 貴司 .....	190
XVII—039	マウス由来グリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼの機能解析	大嶋 紀安 .....	192
XVII—040	スプライソソームの構造生物学	林田 稔 .....	192
XVII—041	高分子量蛋白質のドメイン同士のダイナミックな相互作用を解析するNMR法の確立	大野 綾子 .....	193
XVII—042	静電容量ホログラフィー法による酸化亜鉛の欠陥構造と電子状態の解明	高橋 幸生 .....	194
XVII—043	腸内連鎖球菌ナトリウム輸送性V型ATPaseのX線結晶構造解析	村田 武士 .....	195
XVII—044	核局在の細胞骨格系タンパク質による細胞分化・分裂の制御機構	五十嵐 久子 .....	196
XVII—045	三量体G蛋白質による紡錘体の制御機構の解析	泉 裕士 .....	197
XVII—046	神経突起伸長開始点の制御に於けるWntシグナル依存的な細胞極性の役割及びそこに必要とされる分子機構の解明	柴田 幸政 .....	198

#### ◆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 .....	198
XVII—048	近藤効果の直接観察	坪井 紀子 .....	199
XVII—049	高強度フェムト秒レーザーで配向させた分子の励起ダイナミクスの観測	加来 昌典 .....	200
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 .....	201
XVII—051	時間分解一近接場非線形光学顕微鏡による光誘起反応の観察	池田 勝佳 .....	202
XVII—052	ナノ粒子の粒径と個数濃度の標準	今中 雅士 .....	202
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 .....	203
XVII—054	イメージングによるゴルジ体ダイナミクスの解析	松浦 公美 .....	204
XVII—055	電界による単分子の光応答制御—単分子フォトニクスの実現—	田中 健一郎 .....	205
XVII—056	臨界期終了過程の分子機構の解明	森下 博文 .....	206
XVII—057	オートファジーを制御する低分子量G蛋白質Rabの同定とその機能解析	伊藤 敬 .....	206
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	沖田 紀子 .....	207
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 .....	208
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 .....	208

平成 14 年度採用者

## XIV—047 高等植物の人工突然変異体における核ゲノムの可塑性に関する研究

### Studies on Nucleus Genome Dynamics of Higher Plant Mutants

研究者氏名：斉藤 宏之 Saito, Hiroyuki  
ホスト研究室：フロンティア研究システム  
加速器利用展開グループ  
(アドバイザー 矢野 安重)

近年、重イオンビーム照射による突然変異誘発によって、正常に種子を作る品種バーベナ ‘コーラルピンク’ (Fertile Coral Pink; FC) から、種子形成しない不稔性の突然変異系統 (Sterile Coral Pink; SC) が作出された。FC、SCおよび種子形成しないバーベナ属の野生種 (*Verbena peruviana*; VP) の3系統を用いて、配偶体の稔性を交配実験によって調査したところ、FCとVPにおいても稔性のある雌雄両配偶体を持つことが示され、SCとVPは自家受粉をした時に種子を形成しないこと (自家不和合性反応) が判った。そこで本研究は、突然変異体SCと野生種VPが示す自家不和合性反応について、比較調査を行った。

SCとVPにおいて、それぞれ自家受粉後の花粉管動態を観察したところ、花粉発芽の有無の違いはなかったが、花柱内における花粉管伸長の抑制部位に違いが観察された。SCは、花柱の下部から子房の上部付近で伸長が抑制される遅延型自家不和合性 (Late-acting self-incompatibility) 様の花粉管動態を示し、一方VPは、花柱の上部から中部付近で完全に花粉管伸長が抑制される配偶体型自家不和合性 (Gametophytic self-incompatibility) 様の花粉管伸長反応であった。

今後は、バーベナ属が持つ自家不和合性反応を明らかにするために、FC、SCおよびVPを用いた解析を詳細に進める。

#### ●誌上発表 Publication

(原著論文)

Nakamura T., Kuwayama S., Tanaka S, Omiya T., Saito H. and Nakano M.: Production of intergeneric hybrid plants between *Sandersonia aurantiaca* and *Gloriosa rothschildiana* via ovule culture (Colchicaceae). *Euphytica*, 142: 283-289 (2005)\*

(その他)

Saito H., Yamamoto Y. Y., Matsuyama T., Fukunishi N., Ryuto H., Abe T. and Yoshida S.: Effect of heavy-ion beam irradiation on mutation induction in *Arabidopsis thaliana* (II). RIKEN Accelerator Progress Report, Vol. 38: 130 (2005)\*

Saito H., Hayashi Y., Suzuki K., Kanaya T., Fukunishi N., Ryuto H., Abe T. and Yoshida S.: Characterization of sterile verbena cultivars produced by heavy-ion beam irradiation. RIKEN Accelerator Progress Report, Vol. 38: 135 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国内会議)

斉藤宏之, 中野 優, 龍頭啓充, 福西暢尚, 阿部知子: ヘメロカリスにおける重イオンビーム照射突然変異誘発. 園芸学会平成17年度春季大会, つくば, 4月 (2005)

Ryuto H., Saito H., Yamamoto Y. Y., Hayashi Y., Fukunishi N., Kase M., Abe T. and Yano Y.: “HEAVY-ION BEAM IRRADIATION SYSTEM FOR BIOLOGICAL SAMPLES IN RIKEN”, イオンビーム育種研究会, 和光, 5月 (2005)

(国際会議)

Saito H., Hayashi Y., Kanaya T., Suzuki K. and Abe T.: “Sterile mutant of *Verbena hybrida* induced by heavy-ion beam irradiation and wild species *V. peruviana* exhibit self-incompatible phenotype”, XVII INTERNATIONAL BOTANICAL CONGRESS, Austria, Jul. (2005)

Yamamoto Y. Y., Saito H., Ryuto H., Fukunishi N., Yoshida S. and Abe T.: “Effective mutagenesis of *Arabidopsis* by heavy ion beam-irradiation”, XVII INTERNATIONAL BOTANICAL CONGRESS, Austria, Jul. (2005)

研究者氏名：小田切 正人 Otagiri, Masato

ホスト研究室：工藤環境分子生物学研究室

(アドバイザー 工藤 俊章)

環境中に広く分布するダイオキシン類の物理化学的処理は困難であるが、芳香族化合物分解菌の発見により、微生物による分解処理の可能性が出てきた。ダイオキシン類の分解代謝系の初期段階は、初発酸素添加酵素 (DfdA1A2、DfdA3、DfdA4)、メタ開裂酵素 (DfdB)、加水分解酵素 (DfdC) によって構成されている。しかし、分解に関与する酵素群の基質特異性の問題もあり、塩素置換数の多いダイオキシン類に関しては、効率的に分解することが困難である。これらの問題を解決するためには分解酵素群の構造機能相関を解明し、得られた知見を基に分解代謝系を改良していく分子育種が必要となる。本研究は、ダイオキシン類の分解代謝系の初期段階に関与する酵素群の立体構造をX線結晶解析により決定し、代謝経路全体の構造・機能相関を原子レベルで解明することを目的としている。

今年度の研究経過を以下に示す。

(1) 初期分解酵素群：ダイオキシン類分解の初期段階に関与する酵素群DfdA1A2、DfdB、DfdCの立体構造を1.5Å分解能、2.8Å分解能および1.6Å分解能にて決定することに成功した。得られた酵素群のサブユニットにおける全体構造は既知の芳香族化合物分解系の立体構造に類似していた。しかし、四次構造形成において多様性があることが明らかとなった。さらに、基質認識・反応機構の解析を目指して、ダイオキシン類似骨格構造を有するdibenzofuranおよび代謝中間体を用いて各酵素群：基質複合体の構造解析を行った。その結果、DfdB:基質複合体、

DfdC:基質複合体の立体構造を1.9Å分解能および2.3Å分解能にて決定し、基質結合様式を明らかとした。両酵素における基質は分子内部の疎水性アミノ酸に富んだ領域に結合していた。

(2) 初発酸素添加酵素：DfdA1A2はダイオキシン骨格を持つ化合物に対して特異的な二酸素添加反応を触媒する。この反応はangular dioxygenationと呼ばれており、既知の芳香環ジオキシゲナーゼには見られない大きな特徴である。さらに、DfdA1A2は基質によって、lateral dioxygenationやmonooxygenationなどの酸化反応を触媒する基質特異性の広い酵素である。酵素：基質複合体の構造を得ることが出来なかったが、本酵素の基質特異性の改良はダイオキシン分解効率向上に大きな効果があると考えられる。そこで、反応生成物複合体を解析し基質結合様式を検討した。dibenzo-*p*-dioxin、dibenzo-furan、biphenyl、naphthalene、fluoreneの反応生成物との複合体構造が得られ、基質結合ポケットが既知の芳香環ジオキシゲナーゼとは大きく異なる二つのループ構造領域と $\alpha$ -ヘリックス領域により形成されていることが明らかとなった。

ダイオキシン分解の初期過程に関与する酵素群について、Native、基質結合状態および反応生成物結合状態における立体構造解析に成功した。現在、基質ポケットを形成するアミノ酸の部位特異的変異導入体による基質特異性改変体の解析を進めている。

シロアリ腸内原生生物と共生する  
嫌気性水素利用細菌の共生メカニズムの解明

Analysis of Mechanisms of Symbioses between Anaerobic  
Hydrogen-Utilizing Prokaryotes and Protists in the Gut of Termites

研究者氏名：服部 聡 Hattori, Satoshi  
ホスト研究室：工藤環境分子生物学研究室  
(アドバイザー 工藤 俊章)

シロアリの腸内には嫌気性の原生生物や細菌など多様な微生物が生息している。このうち、セルロース利用性のある種の原生生物は、自身の細胞内部に細菌を高密度に生息させていることが知られている。これらの細菌は原生生物による消化を受けず細胞内に留まっていることから、ホストである原生生物と何らかの共生関係を構築しているものと考えられる。これまでの解析の結果、これらの細胞内共生細菌は系統的に特有のクラスターを形成することが明らかとなっているが、その生理学的機能に関してはこれまで全く明らかにされていなかった。本研究では、下等シロアリ腸内に生息する原生生物細胞内共生細菌の生理学的機能を明らかにすることにより、原生生物と細胞内共生細菌がどのような共生メカニズムを構築しているのかを解明することを目的とした。

本研究の結果、細胞内共生細菌を保有する原生生物の濃縮画分を抽出、各種酵素活性を測定することにより、これらの濃縮画分に還元的酢酸生成活性 ( $4\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$ ) が存在することを明らかにした。また、水素存在下において $^{14}\text{CO}_2$ が固定され、 $^{14}\text{C}$ -acetateが生成することを示した。更に、Microautoradiographyにより還元

的酢酸生成活性を有する細胞内共生細菌を生息させている原生生物の種の特異性を行った結果、オオシロアリ腸内に生息する*Eucomonympha*属原生生物とヤマトシロアリ腸内に生息する*Teranympha*属原生生物が該当することを明らかにした。これらの原生生物は系統的にいずれも超鞭毛虫目に属しており、その原生生物が保有する細胞内共生細菌の系統はいずれもスピロヘータ科の*Treponema*属に属していた。これらの結果から、原生生物および細胞内共生細菌の種の系統と生理活性に相関性があることが示唆された。

以上の結果から、細胞内共生細菌と原生生物の共生関係の成立には還元的酢酸生成反応が強く関与していることが推察された。また、その共生メカニズムとしては、原生生物によるセルロース分解過程で排出された不要な還元力(水素)を、細胞内共生細菌が餌として利用し、還元的酢酸生成反応により消費するという、細胞内異種間水素伝達による共生が考えられた。このような還元的酢酸生成が関与する細胞内共生はこれまでに例がなく、新規の共生系として、本研究が初の報告である。

密度行列くりこみ群による非摂動的量子色力学の研究

Density Matrix Renormalization Group Approach to Nonperturbative QCD

研究者氏名：杉原 崇憲 Sugihara, Takanori  
ホスト研究室：理研BNL研究センター  
理論研究グループ  
(アドバイザー McLerran, Larry)

クォークとグルーオンからなる極限状態を第一原理的に理解するには、格子ゲージ理論を有限温度・密度の場合に解析する必要がある。本研究では、符号問題を回避するために、格子ゲージ理論

のための行列積変分法を提案し、 $Z_2$ 格子ゲージ理論(梯子格子)に適用した。ハミルトニアン形式では、物理量のゲージ不変性を保証するために、ガウス則を量子状態に課す必要がある。しかしな

がら、行列積状態に直接拘束をかけてしまうと、エネルギー関数の評価が容易であるという、行列積仮定の最大の利点が損なわれてしまう。そこで、ガウス則なしでハミルトニアンを対角化した後に、ゲージ不変な状態を取り出す方法を提案した。また、同様の方法を正方格子 $Z_2$ 格子ゲージ理論に適用し、二次相転移が精度よく再現されることを示した。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sugihara T.: “Matrix product variational formulation for lattice gauge theory”, AIP Conf.Proc.756:305-

308 (2005).

Sugihara T.: “Matrix product representation of gauge invariant states in a  $Z_2$  lattice gauge theory”, JHEP 0507:022 (2005).

Sugihara T.: “Gauge invariance in a  $Z$  hamiltonian lattice gauge theory”, hep-lat/0509045.

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sugihara T.: “Gauge invariance in a  $Z$  hamiltonian lattice gauge theory”, Lattice 2005, July 25-30 2005, Trinity College, Dublin, Ireland.

XIV—052

### 強相関電子系に対する共鳴X線発光分光・ 共鳴オージェ・共鳴光電子分光の理論

Theoretical Study of the Resonant X-ray Emission, Auger, and Photoemission Spectroscopy in Strongly Correlated Electron System

研究者氏名：田口宗孝 Taguchi Munetaka  
ホスト研究室：量子電子材料研究チーム  
(アドバイザー 辛埴)

本研究では第三世代放射光を用いた高エネルギー分光、特に高輝度光源を必要とする一次光学過程（光電子分光、吸収分光）と二次光学過程（共鳴-光電子、-発光分光、等）における光の偏光依存性、角度依存性、磁気円二色性効果の理論研究を行っている。

近年硬X線を用いた内殻光電子分光測定手法が確立され、物質探索や物性研究の新しい有力な手段として様々な物質系に対して測定が行われるようになってきた。その中で我々は、特に銅酸化物高温超電導体に対してCu内殻2pの光電子分光測定を行い、電子ドーピング系とホールドーピング系とでは、大きな違いがあることを見出した。さらに我々はこれらの実験結果に対する理論の構築を行い、解析をも行った。

#### ●誌上発表 Publication

(原著論文)

Takeuchi T., Taguchi M., Harada Y., Tokushima T., Takata Y., Chainani A., Kim J. J., Makino H., Yao T., Yamamoto T., Tsukamoto T., Shin S., and

Kobayashi K., “Electronic Structure Characteristics of MBE (molecular beam epitaxy)-Grown Diluted Magnetic Semiconductor  $Ga_{1-x}Cr_xN$  Films”, Japanese Journal of Applied Physics **44**, p.L153 ~ p.L155 (2005) \*

Taguchi M., Krüger P., Parlebas J. C. and Kotani A., “Theoretical Study of X-ray Photoemission, X-ray Absorption and Resonant X-ray Emission Spectroscopy of Mn films on Ag” Physica Scripta **T115**, p.122~ p.124 (2005) \*

Taguchi M., Chainani A., Kamakura N., Horiba K., Takata Y., Ikenaga E., Yokoya T., Shin S., Kobayashi K., Tamasaku K., Nishino Y., Miwa D., Yabashi M., Ishikawa T., Mochiku T., Hirata K., and Motoya K., “Bulk Screening in Core Level Photoemission from Mott-Hubbard and Charge-Transfer systems”, Physical Review B **71**, p.155102-1~ p.155102-5 (2005) \*

Ishiwata Y., Takeuchi T., Eguchi R., Watanabe M., Harada Y., Kanai K., Chainani A., Taguchi M., Shin S., Debnath M. C., Souma I., Oka Y., Hayashi T.,



- Hashimoto Y., Katsumoto S., and Iye Y., "Direct Observation of Neutral Mn Acceptor in  $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{AS}$  by Resonant X-Ray Emission Spectroscopy", *Physical Review B* **71**, p.121202(R)-1~p.121202(R)-4 (2005) \*
- Oura M., Taguchi M., Mukoyama T., Takeuchi T., and Shin S., "Contribution of Multielectron Excitation to F 1s Photoabsorption Process in  $\text{CaF}_2$  Studied by Soft x-ray Absorption and Emission Spectroscopy", *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **144-147**, p.537~ p.540 (2005) \*
- Horiba K., Taguchi M., Kamakura N., Yamamoto K., Chainani A., Takata Y., Ikenaga E., Namatame H., Taniguchi M., Awaji A., Takeuchi A., Tamasaku K., Ishikawa T., Kumigashira H., Oshima M., Lippmaa M., Kawasaki M., Koinuma H., Kobayashi K., and Shin S., "Hard X-ray Photoemission Study of Mn 2p core-level on  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  thin films", *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **144-147**, p.557~ p.559 (2005) \*
- Yamamoto K., Kamakura N., Taguchi M., Chainani A., Takata Y., Horiba K., Shin S., Ikenaga E., Mimura K., Shiga M., Wada H., Namatame H., Taniguchi M., Awaji A., Takeuchi A., Tamasaku K., Ishikawa T., and Kobayashi K., "Temperature-Induced Valence Transition in  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8})_2$  Studied by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy", *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **144-147**, p.553~ p.555 (2005) \*
- Kamakura N., Taguchi M., Eguchi R., Yamamoto K., Horiba K., Chainani A., Takata Y., Ikenaga E., Namatame H., Taniguchi M., Awaji A., Takeuchi A., Tamasaku K., Nishino Y., Miwa D., Ishikawa T., Ueda Y., Kobayashi K., and Shin S., "Hard X-ray core level Photoemission of vanadium oxides", *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* **144-147**, p.841~ p.843 (2005) \*
- Chainani A., Yokoya T., Takata Y., Tamasaku K., Taguchi M., Shimojima T., Kamakura N., Horiba K., Tsuda S., Shin S., Miwa D., Nishino Y., Ishikawa T., Yabashi M., Kobayashi K., Namatame H., Taniguchi M., Takada K., Sasaki T., Sakurai H., and Takayama-Muromachi E., "Hard X-ray photoemission spectroscopy of  $\text{Na}_{0.35}\text{CoO}_2 \cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$ ", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* **547**, p.163 ~ p.168 (2005) \*
- Taguchi M., Chainani A., Horiba K., Takata Y., Yabashi M., Tamasaku K., Nishino Y., Miwa D., Ishikawa T., Takeuchi T., Yamamoto K., Matsunami M., Shin S., Yokoya T., Ikenaga E., Kobayashi K., Mochiku T., Hirata K., Hori J., Ishii K., Nakamura F., and Suzuki T., "Evidence for suppressed screening on the surface of  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  and  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ ", *Physical Review Letter* (受理済)\*
- Yamamoto K., Horiba K., Taguchi M., Matsunami M., Kamakura N., Chainani A., Takata Y., Mimura K., Shiga M., Wada H., and Shin S., "Temperature dependent Eu 3d-4f X-ray Absorption and Resonant Photoemission Study of the Valence Transition in  $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{0.2}\text{Ge}_{0.8})_2$ ", *Physical Review B* (受理済)\*
- Tanaka H., Takata Y., Horiba K., Taguchi M., Chainani A., Shin S., Miwa D., Tamasaku K., Nishino Y., Ishikawa T., Takeuchi A., Kawai T., and Kobayashi K., "Electronic Structure of Strained Manganite Thin Films with Room Temperature Ferromagnetism Investigated by Hard X-ray Photoemission Spectroscopy", *Physical Review B* (投稿中)\*
- Shukla A., Calandra M., Taguchi M., Kotani A., Vanko G., and Cheong S.-W., "Polarized resonant inelastic x-ray scattering as an ultra-fine probe of excited states in  $\text{La}_2\text{CuO}_4$ ", *Physical Review Letter* (投稿中)\*

●口頭発表 Oral presentation

(国内学会等)

田口宗孝：“軟X線回折による長距離秩序の観測”、放射光利用連携研究「量子材料研究」第6回研究会、SPring-8, 6月(2005)

研究者氏名：皆川 徹也 Minagawa, Tetsuya  
ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
発生神経生物研究チーム  
(アドバイザー 御子柴 克彦)

GAP1ファミリー蛋白質は、GAP (GTPase Activating Protein) ファミリー蛋白質の一種であり、GAP1m, MRASAL, GAPIII, KIAA0538の4種類の蛋白質で構成されている。この構造はそれぞれ、G蛋白質に対するGAP活性 (G蛋白質の活性化型であるGTP結合型から不活性化型のGDP結合型への加水分解を促進する活性) を有すると考えられているGRD (GAP Related Domain)、生体内においてカルシウム動員や細胞骨格制御など非常に重要な働きを担っているイノシトールリン酸及びイノシトールリン脂質が結合すると考えられているC2ドメイン、PHドメインの3つのドメインから成っている。このようなユニークな構造をしているが、これまでその標的となるG蛋白質の解析を含めて生理機能は殆ど明らかにされていなかった。本研究では、GAP1ファミリー蛋白質の標的G蛋白質及び活性化機構を解析し、細胞内でどのような働きを担っているかを実証することを目的としている。

GAP1mのPHドメインにはこれまでPI(3,4,5)P3が特異的に結合する事が知られていたが、今回GAP1mの全長で様々な脂質に対する結合特異性について検討したところ、PI, PI(3)P, PI(4)P, PI(3,4)P2, PI(4,5)P2, PI(3,4,5)P3, phosphatidic acidなど様々な脂質が結合した。この結果から、GAP1mにはPHドメイン以外にも脂質結合部位がある可能性が示唆された。また、MRASALに関しては全長、PHドメインともPI(3,4)P2, PI(4,5)P2, PI(3,4,5)P3が結合した。また、MRASALに対するGAP活性測定を行ったところH-ras, K-rasなどのG蛋白質に対して活性を示した。また、この活性はIP3, IP4により上昇し、PI(4,5)P2, PI(3,4,5)P3によって低下した。また、Yeast two-hybrid systemによりMRASALに対する3種類の結合蛋白質を新たに見いだした。今後、これらの蛋白質がMRASALに対してどのような生理的な活性を示すのか、イノシトールリン脂質の影響を含めて培養細胞を用いて検証して行く予定である。

平成 15 年度採用者

ベクター中間子の原子核内崩壊を用いた、  
クォークの有効質量の起源の探究

Study of the Origin of the Effective Quark Mass Using Vector Mesons Decaying in Nuclear Matter

研究者氏名：武藤 亮太郎 Muto, Ryotaro  
ホスト研究室：延興放射線研究室  
(アドバイザー 延興 秀人)

本研究の目的は、原子核密度中でのベクター中間子( $\rho, \omega, \phi$ )の不変質量分布を測定し、クォークの有効質量の獲得機構に対する実験的な知見を得ることである。ベクター中間子は、質量の大部分がクォークの有効質量で構成されているため、クォークの有効質量に対する敏感なプローブとなる。

実験は高エネルギー加速器研究機構(KEK)の12GeV-PSにおける1次陽子ビームラインにおいて遂行された。12GeV陽子を標的に照射し、標的核内に生成したベクター中間子の電子陽電子崩壊を測定することにより、不変質量分布を得る。大きい原子核標的(銅)のデータから得られた不変質量分布を、小さい原子核標的(炭素)のデータから得られたものと比較することによって、ベクター中間子の不変質量分布に対する原子核物質効果を検証することができる。

本年度は、 $\phi$ 中間子の質量スペクトルの原子核内での変化の、 $\phi$ 中間子の速度に対する依存性とターゲット原子核依存性を系統的に調べた。データを速度( $\beta\gamma = \beta/\sqrt{1-\beta^2}$ )で3分割( $\beta\gamma < 1.25$ ,  $1.25 < \beta\gamma < 1.75$ ,  $1.75 < \beta\gamma$ )し、測定器シミュレーションで得られた予想分布と、二次曲線バックグラウンドを用いてフィットを試みた。その結果、速い $\phi$ 中間子( $1.25 < \beta\gamma < 1.75$ と $1.75 < \beta\gamma$ の領域)に対しては、銅標的と炭素標的のどちらのデータも、遅い $\phi$ 中間子( $\beta\gamma < 1.25$ )に対しては、炭素標的のデータは、上記のフィットでよく再現できた。しかし、銅標的で生成された遅い $\phi$ 中間子については、フィットでの再現ができず、 $\phi$ 中間子の通常の分布に現れるピークの低質量側に、フィットからの超過がみられた。大きな原子核標的内で生成された遅い $\phi$ 中間子ほど、原子核内で崩壊する確率が大きいことから、この結果は $\phi$ 中間子が原子核内で質量変化をおこし、超過部分を形作っていることを強く示唆する。これは、 $\phi$ 中間子の原子核内での質量変化を直接と

らえることに成功した世界初の結果である。

次に、上記の分布の変化を再現するため、原子核内での質量変化を考慮に入れたモデル計算を行った。この結果、通常原子核密度において $\phi$ 中間子の質量が4%減少し、崩壊幅が約10倍に広がっているとした場合に、データの質量分布をよく再現することがわかった。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Naruki M., Fukao Y., Funahashi H., Ishino M., Kanda H., Kitaguchi M., Mihara S., Miwa K., Miyashita T., Murakami T., Nakura T., Sakuma F., Togawa M., Yamada S., Yoshimura Y., En'yo H., Muto R., Tabaru T., Yokkaichi S., Chiba J., Ieiri M., Sasaki O., Sekimoto M., Tanaka K.H., Hamagaki H., and Ozawa K. : "Experimental signature of the medium modification for rho and omega mesons in 12-GeV p + A reactions", Physical Review Letters\*, in print

Muto R., Chiba J., En'yo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Ieiri M., Ishino M., Kanda H., Kitaguchi M., Mihara S., Miwa K., Miyashita T., Murakami T., Nakura T., Naruki M., Ozawa K., Sakuma F., Sasaki O., Sekimoto M., Tabaru T., Tanaka K.H., Togawa M., Yamada S., Yokkaichi S., and Yoshimura Y. : "First observation of in-medium modification of  $\phi$  meson at normal nuclear density", nucl-ex/0511019, submitted to Physical Review Letters

(その他)

Muto R., Chiba J., En'yo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Ieiri M., Ishino M., Kanda H., Kitaguchi M., Mihara S., Miwa K., Miyashita T., Murakami T., Nakura T., Naruki M., Nomachi M., Ozawa K., Sakuma F., Sasaki O., Sato H.D., Sekimoto M., Tabaru T., Tanaka K.H., Togawa M., Yamada S., Yokkaichi S. and Yoshimura Y. : "First

observation of  $\phi$ -meson mass modification in nuclear medium”, Nuclear Physics A, in print

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Muto R., Chiba J., En'yo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Ieiri M., Ishino M., Kanda H., Kitaguchi M., Mihara S., Miwa K., Miyashita T.,

Murakami T., Nakura T., Naruki M., Nomachi M., Ozawa K., Sakuma F., Sasaki O., Sato H.D., Sekimoto M., Tabaru T., Tanaka K.H., Togawa M., Yamada S., Yokkaichi S. and Yoshimura Y.: “First observation of f-meson mass modification in nuclear medium”, 18th International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2005), Budapest, Hungary, Aug. (2005)

XV—002

不安定核実験のためのゼロ度スペクトロメーターの開発

Development of Zero degree Spectrometer for RI Beam Experiment

研究者氏名：大西 哲哉 Ohnishi Tetsuya  
ホスト研究室：フロンティア研究システム  
原子核研究技術開発グループ  
(アドバイザー 櫻井 博儀)

現在建設中のRIビームファクトリー計画では、超伝導RIビーム生成装置BigRIPSで生成されたRIビーム(放射性同位元素ビーム)を用いて様々な不安定核が生成される。生成されたRIビームは実験装置に輸送され様々な実験研究に用いられる。その様な装置の中で、反応したRIビームの粒子識別に用いられるのがゼロ度スペクトロメーターである。

本年度は以下の製作を行った。

(1) 電磁石の製作

BigRIPSに用いられている超伝導四重極電磁石と同型のをゼロ度スペクトロメーター用として計8台、並びに常伝導双極電磁石を計2台の製作を開始した。完成は2007年3月の予定である。

(2) 焦点面用真空チェンバーの製作

焦点面に設置する真空チェンバーを内部駆動機器も含めて計5台製作した。

(3) 水・電気の整備

ゼロ度スペクトロメーターの設置予定場所であるRIBF実験棟B2Fには水・電気などのインフラが不十分であったため、ゼロ度スペクトロメーター用として整備を行った。特に超伝導電磁石用として、無停電の電気・水の整備を行った。

(4) 焦点面用位置検出器の製作

ゼロ度スペクトロメーターだけでなくBigRIPSにも用いられる重イオン用位置検出器として、PPACの製作を行った。並びに必要な回路系の整備も行った。

(5) 粒子識別用検出器のテスト

400MeV/Aの重イオンに対する各種検出器の応答をみるため、放射線医学総合研究所のXeビームを用いてPPACならびにイオンチェンバーの応答を測定した。結果として、問題なく動作することを確認した。

XV—003

不安定核原子 EDM測定を通じた  
標準理論を越える基本相互作用の探索

Search for Fundamental Interactions Beyond Standard Model by EDM Measurement of RI Atoms

研究者氏名：長谷山 智仁 Haseyama, Tomohito  
ホスト研究室：旭応用原子核物理研究室  
(アドバイザー 旭 耕一郎)

電子の電気双極子能率 (electric dipole moment : EDM) は時間反転対称性を破る物理量であるこ

とから基本的相互作用のパラメータとして非常に重要であり、素粒子論モデルの種類によって異なる大きさが予想されている。例えばLeft-right symmetric modelやHiggs modelといった標準理論を越えるものには $10^{-28}$  ecm程度と比較的大きな値を予想するものあり、現在よりも更に測定精度を高めることによりモデルに対して極めて強い実験的制約を与えることが可能となる。

フランシウム原子のEDMは大きな原子核電荷( $Z=87$ )による電子の相対論的運動により巨大な増幅効果を受け、電子EDMの約1000倍の値となることに着目し、本研究はフランシウム原子EDMの測定を行うことを最終目標とするものである。フランシウム原子の多数ある同位体のうち $^{220}\text{Fr}$ は核スピン1を持ち、原子基底状態( $7_{s1/2}$ )の超微細構造中の全角運動量 $F=1/2$ の準位を用いると、電場EDMと印加電場の相互作用によるスピン回転角が最も大きくなる点でも実験上有利であるため、本研究では $^{220}\text{Fr}$ を用いて測定を行い、RI原子ビーム法による不安定原子の中性低速ビーム化、光ポンピングによる原子偏極、ゼーマン法による低速化、スピンのエコー法による速度分散の影響の打消しなど様々な特徴を持つ。さらに、類似スピン系である $^6\text{Li}$ 原子ビームをco-magnetome-

terとして $^{220}\text{Fr}$ 原子ビームと重ねて使用することにより系統誤差の軽減も行う。

本年度は $^6\text{Li}$ 原子の励起・冷却などに用いるレーザーとして開発を進めてきた修正リトロー型外部共振器付の半導体レーザーと同様に、 $^{220}\text{Fr}$ 原子を励起・冷却などに用いるレーザーを作成した。また、Doppler freeな分光である飽和吸収をLi原子の蛍光の観測を行い、超微細相互作用による単位の分裂を問題なく観測した。さらに、Fabry-Perot型干渉計を作成しLi原子のレーザーの周波数を基準としたFr原子用のレーザーの安定化を行う準備を進めている。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

T. Haseyama: "Possible measurement of electron EDM in atoms with spatially alternating electric field", Advanced Studies Institute Symmetries and Spin, Praha, Aug.(2005)

(国内学会等)

長谷山智仁: "単一マイクロ波光子検出のための高リドベルグ原子遷移周波数の精密化の検討"、日本物理学会、松山、3月(2006)

## XV—005

### 微視的理論を用いた不安定核反応の研究

Study of Unstable Nucleus Induced Reactions with Microscopic Interaction

研究者氏名: 高階 正彰 Takashina, Masaaki

ホスト研究室: 本林重イオン核物理研究室

(アドバイザー 本林 透)

原子核反応の実験データから核構造の情報を引き出す、もしくは核構造理論の結果と核反応データを核反応計算によって繋げることを目的とし、微視的核反応理論を用いて、主に非弾性散乱について分析を行ってきた。

(1) 反対称化分子動力学 (AMD) によって計算された $^{16}\text{C}$ の核子密度、遷移密度分布を用いて $^{16}\text{C}+^{208}\text{Pb}$ 非弾性散乱の微分断面積を計算し、実験データと比較してAMDで得られている波動関数の正当性をテストした。その結果は、非弾性散乱のデータをよく再現し、AMDで得られている波動関数は、実験データと矛盾しないこ

とを示した。論文は既に発表済みである。

(2) 元素合成過程を研究する上で重要な $^{11}\text{C}(p, \gamma)^{12}\text{N}$ 反応断面積を導出するために、その逆反応である $^{208}\text{Pb}$ を標的核とした $^{12}\text{N} \rightarrow ^{11}\text{C}+p$ クーロン分解反応の解析を、「連続離散化チャネル結合 (CDCC) 法」を用いて行った。

(3) 理研の実験グループとの共同研究として、 $^{18}\text{Ne}+^{208}\text{Pb}$ ,  $^{20}\text{C}+p$ ,  $^{208}\text{Pb}$ 非弾性散乱の微分断面積の実験データを基に、 $^{18}\text{Ne}$ ,  $^{20}\text{C}$ のg.s.  $\rightarrow 2_1^-$ 遷移における電氣的遷移確率 $B(E2)$ や、陽子・中性子の遷移強度比  $M_n/M_p$ の値を、微視的計算によって導出する試みを行った。

(4) 原子核の励起状態に現れるクラスター状態や、 $\alpha$ 凝縮状態の特徴の一つとして、殻模型的な構造に比べて空間的に広がった核子分布を持つことが挙げられるが、現在のところ励起状態の核半径を測定する手法は確立されていない。そこで、その広がった核子分布が非弾性散乱微分断面積の角度分布においてどのように反映されるかを調べ、理論計算で得られているクラスター状態、 $\alpha$ 凝縮状態の実験的証拠となり得るかどうかの研究を行っている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Takashina M., Sakuragi Y., and Iseri Y., "Effect of halo structure on  $^{11}\text{Be}+^{12}\text{C}$  elastic scattering", *Eur. Phys. J. A* 25, Supplement 1, 273 (2005)\*

Takashina M., Kanada-En'yo Y., and Sakuragi Y., " $^{16}\text{C}$  inelastic scattering studied with the microscopic coupled-channels method", *Phys. Rev. C* 71, 054602 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takashina M., Kanada-En'yo Y., and Sakuragi Y., " $^{16}\text{C}$  inelastic scattering studied with microscopic coupled-channels method", *Direct Reactions with Exotic Beams*, Michigan State University USA, Jun. (2005)

Takashina M., Kanada-En'yo Y., and Sakuragi Y., " $^{16}\text{C}$  inelastic scattering studied with the microscopic coupled-channels method", *Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of APS and JPS*, Maui USA, Sep. (2005)

(国内学会等)

Takashina M., "Analysis of  $^{16}\text{O}$ ,  $^{12}\text{C}(\alpha, \alpha')$  reaction using BEC wave function", *YITP Workshop on Binding Mechanism and New Dynamics in Weakly Bound Systems*, Yukawa Institute of Theoretical Physics, Dec. (2005)

### XV—007 ソフトマテリアルの長距離秩序構造転移における素過程の超高速分光

Ultrafast Spectroscopy of the Elementary Processes of Long Range Structure Transition in Soft Matter

研究者氏名：藤間 卓也 Fujima, Takuya  
ホスト研究室：田原分子分光研究室  
(アドバイザー 田原 太平)

様々な物性における空間的不均一性は、ソフトマテリアル系を特徴づける一つの大きな要素である。従って、構造の空間的周期性やパターン形成に関する知見を得る研究が盛んに行われている。そこで本研究では、そのようなソフトマテリアル系に対して超高速時間分解顕微分光法を適用する事で、これまでに無い新しい知見を得る事を目指している。

昨年度までには、新規な測定装置として非走査型光カーゲート蛍光顕微鏡を開発し、更に、開発済みであった蛍光アップコンバージョン顕微鏡についても、蛍光平均寿命に基づく高速イメージング手法を実現した。またそれらを $\alpha$ -ペリレンなどの有機微結晶への応用し、通常の顕微鏡観察では得られなかった不均一性の存在を映像化する事に成功してきた。

そこで本年度は、上記をより複雑な系へ応用した。まずは、カーゲート顕微鏡を用いて、*rhodamine-B*で染色した酵母細胞の蛍光時定数イメージングを行った。その結果、細胞内からの蛍光には3psおよび20ps付近を中心に分布する2つの減衰コンポーネントが観測された。更にこの2つのコンポーネントについて、その時定数の空間分布を画像化することで、細胞内における不均一および細胞間の個体差を視覚的に表現した。また、同一細胞における両コンポーネント間の分布傾向の差異も示唆された。

また更に、蛍光アップコンバージョン顕微鏡を局所粘度測定へ応用する試みも行った。すなわち、励起状態の寿命が溶媒粘度に依存する色素(*malachite green*や*CCVJ*)を試料中に展開し、局所領域での蛍光減衰ダイナミクス測定から得られ

る粘度情報を基にイメージングを行うという新しい手法である。まずCCVJについては、粘度に対する蛍光寿命の対応が未知の物質であったので、その粘度依存特性を励起光による温度上昇効果を含めて詳細に明らかにした。また、malachite greenについては高分子溶液等に対して適用し、分子レベルの局所粘度に基づく不均一性の画像化に取り組んでいる。

## ●誌上発表 Publications

XV—009

### エキゾチック原子のカスケード過程に関する理論的研究

Theoretical Study on the Cascade Process of Exotic Atoms

研究者氏名：小池 貴久 Koike Takahisa

ホスト研究室：岩崎先端中間子研究室

(アドバイザー 岩崎 雅彦)

物質中に入射された重い負電荷粒子 ( $\mu^-$ 、 $\pi^-$ 、 $K^-$ 、 $\Xi^-$ 等) は、主量子数  $n$  の大きな原子軌道 ( $\mu^-$  や  $\pi^-$  で  $n \sim 15$ 、 $K^-$  で  $n \sim 30$ 、 $\Xi^-$  で  $n \sim 48$ ) に捕らえられてエキゾチック原子を生成した後、様々な過程によりしだいに低い軌道へ遷移して行き、やがて負電荷粒子の崩壊とともにエキゾチック原子は消滅する。種々のエキゾチック原子に関して、生成から消滅に至るまでのカスケード過程の詳細を理論的に明らかにすることが本研究の目的である。とりわけ、強い相互作用による核吸収に関わるカスケード過程は原子物理分野と原子核物理分野の双方にまたがる問題となるため、これまであまり研究されていないテーマである。

イタリアのDAΦNEにおいてK中間子窒素原子X線をういた負K中間子質量精密測定が計画されているが、そこではX線エネルギーに対する電子遮蔽効果の補正が問題となる。すなわち、KのX線遷移の瞬間にK中間子原子に電子がいくつ付いていたのかをあらかじめ知っていかなくては電子遮蔽効果は評価できないが、Kと電子の間のオージェー過程により電子が跳ね飛ばされたり、その電子軌道に空いた穴が再び別の電子によって埋まる様々な過程のため、電子配位はカスケード過程中に常に変化する。そのような電子状態の変化を追っていくことが可能なカスケード計算コードの開発を行い、より詳細で、かつ信頼し得る結果が

(原著論文)

T. Fujino, T. Fujima, T. Tahara: “Femtosecond fluorescence dynamics imaging using fluorescence up-conversion microscope”, *J. Phys. Chem. B*, vol. 109, p. 15327 (2005)

T. Fujino, T. Fujima, T. Tahara: “Picosecond time-resolved imaging by non-scanning fluorescence Kerr gate microscope”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 87, Art. No. 131105 (2005)

得られるよう改良を重ねてきた。昨年度までにカスケード過程における各電子軌道の平均電子数を計算できるコードを開発したが、本年度はさらに詳細に電子配位を区別できるよう拡張を行った。その結果、DAΦNEでの実験条件下(約3気圧の窒素ガス標的で  $n=6 \rightarrow 5$  X線を測定)においては1s軌道に電子が1個だけ4%程度の確率で残っていることが分かった。また、標的密度依存性についても調べ、X線収量は標的密度の増加と共に減少すること、液体窒素標的では種々の電子配位が様々な確率で現れることなどが分かった。

また、本年度は新たに $\Xi^-$ - $^{12}\text{C}$ 原子のカスケード過程についても調べた。 $\Xi^-$ 粒子と原子核との間の強い相互作用は弱い引力であることが示唆されているものの、定量的には未だ不確定であり、J-PARC等で今後 $\Xi^-$ 原子X線測定が行われるものと期待される。そこで実験に先立ち、 $\Xi^-$ - $^{12}\text{C}$ 原子のカスケード計算を行い、X線収量や核吸収過程の $\Xi^-$ 原子核間相互作用依存性を系統的に調べた。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

T. Koike: “Cascade calculation of exotic atoms with many electrons – electron population during the cascade of kaonic nitrogen atoms –”, *原子核研究* Vol.49 No.6, 159-164 (2005)



- T. Koike: “Electron population during the cascade of kaonic nitrogen atoms”, Proceedings of EXA05 International Conference on Exotic Atoms and Related Topics, Austrian Academy of Science Press, 215-219 (2005)
- G. Beer, A. M. Bragadireanu, M. Cargnelli, C. Curceanu-Petrascu, J.-P. Egger, H. Fhurmann, C. Guaraldo, M. Iiiescu, T. Ishiwatari, K. Itahashi, M. Iwasaki, P. Kienle, T. Koike, B. Lauss, V. Lucherini, L. Ludhova, J. Marton, F. Mulhauser, T. Ponta, L.A. Schaller, R. Seki, D.L. Sirghi, F. Sirghi, and J. Zmeskal (DEAR collaboration), “Measurement of Kaonic Hydrogen X-ray Spectrum”, Phys. Rev. Lett. 94, 212302-1~4 (2005)\*
- T. Koike: “Cascade calculation of kaonic nitrogen atoms involving the electron refilling process”, accepted for publication in Proceedings of 3rd Asia-

Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB05), World Scientific

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議等)

- T. Koike: “Cascade calculation of kaonic nitrogen atoms involving the electron refilling process”, 3rd Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics (APFB05), Nakhon Ratchashima, Thailand, Jul. (2005)
- T. Koike: “Electron population during the cascade of kaonic nitrogen atoms”, 2nd Joint Meeting of Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS (Hawaii2005), Maui, USA, Sep. (2005)  
(国内学会)
- 小池貴久: “ $\Xi$ - $^{12}\text{C}$ 原子のカスケード計算”, 日本物理学第61回年次大会、松山、3月 (2006)

XV—010

交流走査型トンネル顕微鏡の開発と高温超伝導体への応用

Development of Alternating Current STM and Its Application to High- $T_c$  Superconductor

研究者氏名: 岩谷 克也 Iwaya, Katsuya

ホスト研究室: 高木磁性研究室

(アドバイザー 高木 英典)

本研究の目的は、従来の走査型トンネル顕微鏡 (STM) では原理的に不可能とされている絶縁体表面の原子観察および電子状態の評価を可能とするマイクロ波走査型トンネル顕微鏡 (AC-STM) を開発し、高温超伝導体の母物質であるモット絶縁体や超低ドーピング領域においてキャリアが空間的にどのように分布し、超伝導に発展していくのかを実空間で直接観察することであった。しかし、従来型の低温、極低温STM装置の立ち上げ、および他の強相関電子物質に対する測定に時間を要したため、当初の目的を遂行することができなかった。最終的に取り組んだ研究内容を以下にまとめる。

強相関電子系とは、強く相互作用し局在性を帯びた電子で構成される系であり、電子個々の電荷・スピン・軌道自由度が顕在化するため、多彩な電子相を示すことが知られている。特に、高温超伝導、超巨大磁気抵抗などの興味深い現象は、

複数の異なる電子相の境界近傍における臨界性を必要条件としている。このため、これらの特異な現象を理解・制御するには、競合する秩序相の境界近傍のナノスケールでの電子状態の理解が重要な鍵を握っている。本研究では、極低温・強磁場対応STMを用いて以下の3つのテーマに焦点をあてた。

(1) ルテニウム酸化物  $\text{Ca}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  における軌道秩序状態の実空間観察

強相関電子系が示す特異な現象を理解するためには、言うまでもなく、電荷、スピン、軌道自由度それぞれの寄与および相互作用を調べることが必要不可欠である。この中で、電荷とスピンの寄与は従来の測定手法で探ることができ、軌道状態に関しては測定手法が限られており得られる情報は不十分である。STMは占有、非占有状態における状態密度を実空間でイメージングできるため、軌道状態を観察する新たな

測定手法となり得る。本研究では、軌道秩序相の存在が報告されている $\text{Ca}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ に対する測定を行ない、軌道秩序相においてエネルギーに対応した様々なパターンのSTM像を観測し、また同時に数nmサイズの電子不均一が存在することを明らかにした。STM像のエネルギー依存性はRuおよび酸素の種々の混成軌道を反映していると考えられ、今後さらに理論と比較することにより詳細な議論が可能になる。

(2) ルテニウム酸化物  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  における不純物状態

金属、半導体中の不純物状態はすでに詳細に調べられているが、強相関電子系においてはその重要性に反して、未だよくわかっていない。強相関電子系では不純物によってキャリアがドーピングされるだけでなく、周辺の格子やスピンの影響を及ぼすと考えられ、それが系全体の性質を決定する。 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ はRuサイトにMnをわずから5%ドーピングすることにより常磁性金属から反強磁性絶縁体に転移するが、その機構は明らかになっていない。そこで、 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 中の孤立したMn不純物周辺の電子状態をSTMで観察した。その結果、Mn不純物は原子像の劇的なエネルギー依存性を誘起し、かつその効果が数nmもの広範囲に渡ることがわかった。この結果はMn不純物が単純なキャリアドーピングではなく、広範囲に渡って軌道変化を伴い、この系における金属-絶縁体転移が軌道秩序に起因することを示唆する。今後さらに、CoやFeなど他の不純物状態を系統的に調べることにより、強相関電子系における不純物物理の確立という大きなテーマに発展させることができる。

(3)  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  におけるメタ磁性転移に伴う状態密度変化

$\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ は磁場をc軸に印加した場合、8 Tで

メタ磁性転移を示し、さらにその転移点は量子臨界点であることから注目を浴びている。量子相転移は、熱ゆらぎに起因する古典的な相転移とは異なり、量子ゆらぎを駆動力とするため、様々な量子性の顕在化が期待される。このような状況においては、フェルミ準位近傍(数meV)の状態密度が重要な役割を果たしていることは誰もが容易に想像できるが、実際にどのような状態密度になるかはまだ誰も測定できていない。本研究では、極低温STMを用いることにより、サブmeVのエネルギー分解能をもち、かつ完全に同じ原子上という究極の空間分解能で状態密度の磁場依存性を調べることに成功した。その結果、状態密度はフェルミ準位近傍に2本の特徴的なピーク構造がもち、転移に伴い異常な磁場依存性を示すこと、また実空間像には臨界性を反映した特異な電子秩序パターンが現れることを明らかにした。

最後に、これまでの強相関電子系を対象としたSTMによる研究は、そのほとんどが高温超伝導体に限られ、他の系に対する測定は皆無に等しい状況であったが、本研究ではその他の様々な現象に対してもSTMが強力な測定手法であることを実証し、またさらなる大きな可能性を秘めていることを示すことができた。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iwaya K., Satow S., Hanaguri T., He J. P., Mathieu R., Kaneko Y., Tokura Y., Takagi H.: "Evolution of the Local Density of States in  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  across the Magnetic-Field-Tuned Quantum Critical Point", 24th International Conference on Low Temperature Physics, Orlando, Florida, USA, August (2005).

XV—012

行列模型による超弦理論の非摂動的定式化

Non-perturbative Formulation of Superstring Theory via Matrix Model

研究者氏名：松尾 俊寛 Matsuo, Toshihiro

ホスト研究室：川合理論物理学研究室

(アドバイザー 川合 光)

改良された平均場近似もしくは改良テイラー展

開法と呼ばれる方法は、これまでに、超弦理論を

非摂動的に定式化する試みの一つであるIIB型行列模型に適用され、ある程度の成果をおさめてきた。本年度の研究では、その近似法の信頼性を確かめるために厳密解が知られている2次元Ising模型に適用して、比較的低次の計算から非摂動的情報が得られること、特に相が存在する場合にも別相からの摂動計算で物理的情報が得られることを具体的に示した。同時に数理解析的な観点から改良テイラー展開法の理論的基礎に関する考察を加えた。

また、前年に引き続き、変形正準交換関係に基づく場の理論の構成に関する研究を行った。変形正準交換関係は量子重力もしくは弦理論における位置の不確定性の制限を具体的に実現する代数であり、量子力学の変形を考えることになる。最小長さの効果を取り入れた有効場の理論ができれば、例えばインフレーション期にあるような初期宇宙、ブラックホール近傍の物理など、適用が期待される領域は非常に広い。本研究では、そのような変形された代数の上での場の理論の構成において、正準量子化の方法では困難である2次元以上への拡張が経路積分の方法では容易にできることを示した。並行した研究として、弦の散乱過程、特にブラックホール生成が可能な程度の高エネルギーにおける散乱過程を調べた。荒っぽく見積もった、粒子の高エネルギー散乱におけるブラックホール生成断面積と弦理論において計算された同様の過程の断面積を比較した。これはSusskind、Horowitz-Polchinskiらにより提案されているエントロピーの弦/ブラックホール対応原理が、具体的なサイズ、つまり断面積のレベルでも成立しているか確認するという意味も持つ。暫定的な結果

ではあるが、生成断面積が5次元時空の場合に対応点で一致することを確認した。

#### ●誌上发表 publications

(原著論文)

Aoyama Tatsumi., Matsuo Toshihiro., Shibusa Yuuichirou.: “Improved Taylor Expansion Method in Ising Model”, *Progress of Theoretical Physics*.\* vol.115 No.3

Matsuo Toshihiro., Shibusa Yuuichirou.: “Quantization of fields based on Generalized Uncertainty Principle”, *International Journal of Modern physics A*.\* (査読中)

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Toshihiro Matsuo, “String interpretation for finite N Yang-Mills theory in two-dimensions”, CONFERENCE ON THEORETICAL PHYSICS, Theory Department, Lebedev Physical Institute, Moscow, April 11-16, (2005).

(国内学会等)

松尾俊寛：“変形正準交換関係における最小不確定波束”、日本物理学会2005年

春季大会、東京理科大学3月(2005)

松尾俊寛：“ブラックホール対応点における弦のプランクスケール散乱”、日本物理学会2005年秋季大会、大阪市立大学9月(2005)

松尾俊寛：“String scattering and Black Hole correspondence point”, YITP workshop “FTA-QFT6”基礎研究会「場の理論の基礎的諸問題と応用」基礎物理学研究所12月(2005)

## XV—013

### ブレーン世界における超対称性の破れの機構と超弦理論

Supersymmetry Breaking Mechanism in the Brane World and Superstring Theory

研究者氏名：丸 信人 Maru, Nobuhito

ホスト研究室：川合理論物理学研究室

(アドバイザー 川合 光)

本年度もひきつづき、ブレーン世界における様々な物理的側面について研究を行いました。以下に具体的な研究内容を詳述します。

(1)  $T6/(Z_2 \times Z_2)$ にコンパクト化された2A型超

弦理論においてDブレーンが交差するモデルで、従来のモデルでは再現することが困難だったクォークのアップセクターとダウンセクターの間の混合角を再現できる可能性を示しまし

た。従来のモデルでは世代構造の起源は、Dブレーンが交差する回数に起因することに対し、我々の用いたモデルでは強結合ゲージダイナミクスによって世代構造が決まり従来の困難を避けることに成功しました。

(2) 超対称ゲージ理論の厳密解を用いてカラー超伝導の相転移構造を調べました。新しく導入された閉じ込め相にある強結合ゲージダイナミクスにより、クォーク、ダイ・クォークが複合場として低エネルギー理論に現れます。超対称性を破った後、ダイ・クォークの質量の2乗の符号が超対称性の破れのスケールの化学ポテンシャルを境に正から負に変わることを示しました。これは、その化学ポテンシャルを境に2点クォーク複合場が真空期待値を持つことを意味し、カラー超伝導が起こることを示しています。中間エネルギー領域で、解析的にカラー超伝導相転移を示すことに成功した初めてのモデルです。

(3) ゲージ階層性問題を高次元ゲージ対称性により解決するゲージ・ヒッグス統一機構に有限温度効果を取り入れることにより、電弱対称性の破れの正しいパターンや電弱バリオン生成のために十分強い1次相転移が起こる可能性について解析しました。いくつかの5次元非超対称、超対称SU(3)ゲージ理論に応用したところ、標準模型とは異なり実験からの制限を満たす十分重いヒッグス質量と十分強い1次相転移が場のコンテンツにほとんど依らずに両立し得ることがわかりました。電弱バリオン生成機構をもつ現実的なモデルを構築する可能性を示唆しました。

(4) 超対称Randall-Sundrum模型においてバルクの重力とオービフォールド上の相互作用だけ

で、コンパクト化半径が安定化する可能性を調べました。定数スーパーポテンシャル、ブレーンに局在している超対称性の破れとの結合、1ループのカシミアエネルギーの効果のいずれにおいても半径が0か無限大になり安定化しないことを示しました。無限大の場合は、超対称性によってゲージ階層性問題を解決し現象論的にも面白い1つのブレーン模型に自動的に帰着され、実験的に排除されるものではありません。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Kitazawa N. Kobayashi T. Maru N. and Okada N.: “Yukawa coupling structure in intersecting d-brane models”, Euro. Phys. Jour. C40 579 (2005).\*

Maru N. and Tachibana M.: “Color superconductivity from supersymmetry”, Mod. Phys. Lett. A20 1495 (2005)\*

Maru N. and Takenaga K.: “Aspects of gauge-higgs unification at finite temperature”, Phys. Rev. D72 046003 (2005)\*

Maru N. and Okada N.: “Gravitational radius stabilization in supersymmetric warped compactification”, submitted to Journal. of. High. Energy. Physics.\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

丸信人: “Gauge-higgs unification at finite temperature”、基研研究会 素粒子物理学の進展, 京都大学基礎物理学研究所、6月(2005)

丸信人: “Gauge-higgs unification at finite temperature”、日本物理学会 秋の分科会, 大阪市立大学, 9月(2005)

### XV—014 半導体量子デバイスを用いたヘリウム液面上の2次元電子系の制御

Control of the Two-dimensional Electron Gas on Liquid Helium by Semiconductor Quantum Devices

研究者氏名: 川村 稔 Kawamura, Minoru

ホスト研究室: 河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

微小な金属中に閉じ込められた電子のエネルギー準位は離散化している。本研究では、この離散

準位を介した電子輸送特性の理解を目的として金微粒子を用いての実験をおこなっている。単一金

微粒子測定のための試料は以下の手順で作製する。まず、電子線リソグラフィおよび斜め蒸着法を用いて、中央部にくびれをもった金属細線を半導体基板上に作製する。細線の両端に適当な電圧を印加し、くびれ部分で細線を切断する。切断によってできる間隙の幅は約10nmである。最後に、分断された金属細線の表面を自己形成単分子膜で修飾し、間隙に直径10nmの金コロイド微粒子を挟みこむ。単一の微粒子が挟まるように、あらかじめコロイド溶液のイオン強度を調整しておく。このようにして作製した試料を液体ヘリウム温度まで冷却し、電気抵抗測定をおこなった。電流-電圧特性およびゲート電圧依存性に、クーロン閉塞による電流の抑制が明瞭に観測された。いくつかの試料では、ある電圧領域において電流の急激な増加が見られた。このような電流の増加は通常二重トンネル障壁構造の電流-電圧特性にはあらわれない。電流増加の起源を調べるために数値計算をおこない、分子膜トンネル障壁抵抗の電圧依存性が原因であることを明らかにした。本来の目的であるエネルギー準位の離散化の影響は測定した温度範囲では観測できなかった。さらに低温まで試料を冷却し測定することが必要である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kawamura M., Tsukagoshi K., and Kono K.:

“Deformation of Coulomb blockade oscillations due to bias voltage dependent resistance of molecular tunnel barrier”, submitted.

Kawamura M., Tsukagoshi K., and Kono K.: “Single-Electron Transistor Made from a Single Gold Colloidal Particle”, AIP Conference Proceedings Series \* in print.

Kawamura M., Yaguchi H., Kikugawa N., Maeno Y., and Takayanagi H.: “Transport Properties of Normal metal/Anisotropic Superconductor Junctions in the Eutectic System  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4\text{-Ru}$ ”, Superconductivity and Spintronics, pp. 167-172 (2005).

(総説)

矢口宏、前野悦輝、川村稔：“スピン三重項超伝導体ルテニウム酸化物 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ におけるトンネル効果”、固体物理 40, pp. 712-720 (2005).

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kawamura M., Tsukagoshi K., and Kono K.: “Single-electron transistor made from a single gold colloidal particle”, 24th International Conference on Low Temperature Physics, USA, (2005).

(国内会議)

川村稔、塚越一仁、河野公俊：“金微粒子を用いた単電子トランジスタ”、日本物理学会秋の分科会、京田辺市、9月(2005)。

## XV—015

### 超低温・強磁場における量子ホール効果の研究

Quantum Hall Effect at Ultralow Temperatures and in High Magnetic Fields

研究者氏名：辻井 宏之 Tsujii, Hiroyuki

ホスト研究室：河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

メカニカルブレイクジャンクション (mechanically controllable break junction, MCBJ) は、基板を機械的に変形させることによって基板上に設置した金属細線を破断するとともに、破断された細線間の距離をナノスケール以下の精度でコントロールする実験方法であり、微小接合における電気伝導度の研究に用いられている。その特徴として、接合の距離を変えることにより、バルクなコンタクトから、ポイントコンタクト、トンネル接合ま

で制御できること、低温高真空中で破断することによりジャンクションを製作可能であるため、極めて清浄な試料表面が得られることがあげられる。また、間隔を制御できる微小電極として接合間に微小な物質を挟みこむことで、ナノスケール半導体の伝導現象を観測することが可能である。さらに、破断する試料として様々な物質を用いることにより、電気伝導度の振舞いからその物質特有の物性を知ることが可能である。

昨年度までに完成した4.2 Kの装置を発展させ、希釈冷凍機温度で動作するMCBJの装置を開発し、AIを用いたジャンクションの伝導特性の測定を行った。常伝導状態では、ジャンクションの距離を変える過程で、量子コンダクタンス $G_0 = 2e^2/h$ の整数倍のところにステップをもつ電気伝導度の量子化を明瞭に観測することに成功した。超伝導状態では、ポイントコンタクトの領域におけるゼロ電圧での超伝導臨界電流や、トンネル接合の領域における多重アンドレーエフ反射による非線形伝導を観測した。また、接合の距離を大きくしていく課程では、ポイントコンタクトからトンネル接合へのクロスオーバーとして、超伝導臨界電流の急激な減少が観測されることを明らかにした。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tsujii H., Andraka B., Uchida M., Tanaka H., and Takano Y.: “Specific heat of the  $S = 1$  spin-dimer antiferromagnet  $Ba_3Mn_2O_8$  in high magnetic fields”, *Phys. Rev. B* 72, 214434 (2005). \*

Tsujii H., Kono K.: “Conductance properties in superconducting aluminum point contacts”, *AIP Conference Proceedings Series*, in print. \*

Tsujii H., Honda Z., Andraka B., Katsumata K., Takano Y.: “Magnetic field-induced second transition of the Haldane-gap antiferromagnet  $Ni(C_5H_{14}N_2)_2N_3(PF_6)$ ”, *AIP Conference Proceedings Series*, in print. \*

Tsujii H., Roundu C., Ono T., Andraka B., Tanaka H., and Takano Y.: “Magnetic phase diagram of the

quasi-two-dimensional  $S=1/2$  antiferromagnet  $Cs_2CuBr_4$ ”, *AIP Conference Proceedings Series*, in print. \*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tsujii H., Kono K.: “Conductance properties in superconducting aluminum point contacts”, 24th International Conference on Low Temperature Physics (LT24), Orlando, USA, Aug. (2005)

Tsujii H., Honda Z., Andraka B., Katsumata K., Takano Y.: “Magnetic field-induced second transition of the Haldane-gap antiferromagnet  $Ni(C_5H_{14}N_2)_2N_3(PF_6)$ ”, 24th International Conference on Low Temperature Physics (LT24), Orlando, USA, Aug. (2005)

Tsujii H., Roundu C., Ono T., Andraka B., Tanaka H., and Takano Y.: “Magnetic phase diagram of the quasi-two-dimensional  $S=1/2$  antiferromagnet  $Cs_2CuBr_4$ ”, 24th International Conference on Low Temperature Physics (LT24), Orlando, USA, Aug. (2005)

(国内学会等)

辻井宏之, 河野公俊: “超伝導AIブレイクジャンクションの低温伝導特性”, 日本物理学会2005年秋季大会、京田辺、9月(2005)

辻井宏之, Andraka B., 高野安正, 細越裕子, 井上克也: “有機磁性体 $F_2PNNNO$ の強磁場比熱”, 日本物理学会2005年秋季大会、京田辺、9月(2005)

XV—016

### 荷電粒子とレーザー光の複合化プロセスによる 高機能材料の超微細加工

Nanofabrication of Function Materials by Hybrid Processing using Charge Carrier and Laser Beam

研究者氏名: 小幡 孝太郎 Obata, Kotaro

ホスト研究室: 緑川レーザー物理工学研究室

(アドバイザー 緑川 克美)

近年、通信、計測、データストレージ、マイクロTASなどの分野で注目されているポリマー製光デバイスは、可視域だけでなく紫外域から赤外域まで幅広い波長域での利用が望まれており、今後

もその需要は高まってゆくと考えられる。一般的に普及しているPMMAなどのポリマーは、すでに光デバイス材料として多方面で利用されているが、300nm以下の紫外域においては透過性がない

ため紫外域での利用が困難である。これに対してアモルファスフッ素樹脂に分類されるCYTOP(旭硝子(株))は、波長200~300nmの紫外域で透明な樹脂であり、酸、アルカリ、有機溶剤などへの耐薬品性、電氣的絶縁性などのフッ素樹脂本来の特性も併せ持つので、新しい光デバイス用ポリマーとして現在注目されている。しかし、上記で述べた化学的安定性と広い波長域における高い透過性のため、CYTOPは一般的な半導体プロセスや可視および紫外レーザーによる加工が困難である。そこで今期は、CYTOPを用いた光デバイス作製のための表面微細加工技術の開発を真空紫外レーザーであるF2レーザー( $\lambda=157\text{nm}$ )によって検討した。

その結果、CYTOPはF2レーザーの波長に対しては十分な吸収を持つことから加工前の透明性を維持したデブリのないシャープなアブレーションエッチングが実現できた。次に、このエッチング技術を応用してDNA電気泳動用マイクロチップの作製を試みた。マイクロチップはCYTOP試料を20mmの間隔を持たせて直径2mmと1.5mmの貫通穴と、それらを結ぶ深さ200 $\mu\text{m}$ 程度でライン状のエッチングを行った後に、あらかじめ用意しておいたもう一枚のCYTOP試料に加工面を張り合わせて三次元構造を形成した。電気泳動実験時に貫通穴はDNA試料導入用および排出用リザーバー、ライン状の加工領域は泳動用チャンネルとして用いられる。実際にDNAサンプルをアガロース中で泳動させた結果、CYTOP試料は加工領域に

においても外部より照射された紫外光に対して透明であるため、あらかじめEtBrで染色したDNAの蛍光観察がチャンネル内部で実現できた。作製したデバイスは、50~760bpにおいて100bp程度の分解能でDNAを分離させる事ができる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Obata K., Sugioka K., and Midorikawa K.: "F2 laser ablation of UV transparent polymer material", Journal of Laser Micro/Nanoengineering (in press).

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Obata K., Sugioka K., and Midorikawa K.: "F2 laser ablation of UV transparent polymer material", 6th Int. Symp. On Laser Precision Microfabrication (LPM 2005), Williamsburg, USA, May (2005).

(国内学会等)

小幡孝太郎、杉岡幸次、緑川克美: "F2レーザーによる紫外光透過性ポリマーの表面微細加工"、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉、3月(2005)

小幡孝太郎、花田修賢、杉岡幸次、宮本岩男、緑川克美: "F2レーザーとレーザー生成プラズマ支援アブレーション(LIPAA)による紫外光透過性ポリマーを用いたマイクロデバイスの作製"、第66回応用物理学会学術講演会、徳島、9月(2005)

## XV—017 近接場ラマン分光装置の作製及び新しいSERSプローブの設計

Development of Near-field Raman System and Fabrication of Novel SERS Probes

研究者氏名: 齊藤 結花 Saito, Yuika

ホスト研究室: 河田ナノフォトニクス研究室

(アドバイザー 河田 聡)

走査型プローブ顕微鏡とレーザー分光を組み合わせ、ナノメートルスケールの空間分解能で分子分光を行う手法が近年注目されている。とくに原子間力顕微鏡(AFM)とラマン分光法と組み合わせたものに、チップ増強ラマン分光(Tip-enhanced Raman Spectroscopy; TERS)がある。この手法は、銀または金のチップをAFMにとりつ

けて、表面プラズモンによる光電場増強効果である表面増強ラマン効果(SERS)を誘起し、プローブ下の数ナノメートル領域のみのラマン信号を選択的に取り出すことにより、ナノメートルスケールのラマン分光を実現したものである。

TERSの実験配置には、透過型と反射型の2種類の配置がある。透過型配置では、プローブは試

料の上からアクセスし、入射光、検出光ともに試料面を透過させて試料面の下方に配置した対物レンズを通して行なう。反射型では、プローブと入射光を試料面上の同じ側に配置し、ラマン散乱を試料面と同じ側にある対物レンズにより集光して検出する。測定の簡便さや技術的な難易度において、透過型配置は反射型配置に勝っている。従来のTERSでは透過型配置が一般的であり、反射型配置ではレーリ-散乱光を利用したイメージングでいくつか例があるのみであった。しかし、透過型配置では測定試料は透明基板の非常に薄い試料 (~50nm) に限られるが、反射型配置では、試料の厚さや用いる基盤に制限はない。近年、厚みのある生物試料や、不透明基盤上の半導体材料など、反射型配置でのみ測定可能な試料が多く、反射型の必要性が高まっている。

本年度は、近接場ラマン分光装置の反射型配置を作製した。この装置を用いて、半導体材料であるひずみシリコン表面の評価を、ナノメートルスケールの空間分解能で行った。

#### ●誌上発表 Publication (原著論文)

- Saito Y., Murakami T., Inouye Y., Kawata S. : "Fabrication of Silver Probes for Localized Plasmon Excitation in Near-field Raman Spectroscopy", Chem. Lett., 34, 920-921 (2005)
- Saito Y., Hayazawa N., Kataura H., Tsukagoshi K., Inouye Y., Kawata S. : "Polarization Measurements in Tip-Enhanced Raman Spectroscopy Applied to Single-Walled Carbon Nanotubes", Chem. Phys. Lett., 410, 136-141 (2005)
- Wang JJ., Saito Y., Batchelder D.N., Kirkham J., Robinson C., Smith DA.: "Controllable method for the preparation of metalized probes for efficient scanning near-field optical Raman microscopy",

Appl. Phys. Lett., 86, No.263111 (2005)

- Saito Y, Motohashi M., Hayazawa N., Iyoki M., Kawata S.: "Nanoscale Characterization of Strained Silicon by Tip-enhanced Raman Spectroscopy in Reflection Mode", Appl.Phys.Lett., submitted

(総説)

齊藤結花: "反射型近接場ラマン分光の動向"、分光研究, 2月 (2006)

(単行本)

早澤紀彦, 齊藤結花: "近接場ラマン分光"、ナノオプティクス. ナノフォトンクス, フロンティア出版、印刷中

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Saito Y., Hayazawa N., H'Dhili F., Murakami T., Motohashi M., Kawata S. : "Carbon Nanotubes and Peapods Investigated by Polarization-Controlled Near-field Raman Spectroscopy", The 11th RIKEN International Nanoscience and Technology Conference, Nagano, Jun. (2005)

Saito Y., Hayazawa N., H'Dhili F., Murakami T., Motohashi M., Kawata S. : "Polarization measurements in Tip-enhanced Raman spectroscopy", International Conference on Quantum Electronics 2005 and the Pacific Rim Conference on Lasers, Tokyo, Jul. (2005)

(国内学会)

Saito Y.: "Polarization Measurements in Tip-enhanced Raman Spectroscopy"、分光学会、東京 5月 (2005)

Saito Y., Murakami T., Hayazawa N., Kataura H., Kawata S.: "Single-Walled Carbon Nanotubes Studied by Tip-enhanced Near-field Raman Spectroscopy"、フラーレンナノチューブ総合シンポジウム、名古屋、1月 (2006)



研究者氏名：中尾 朗子 Nakao, Akiko  
 ホスト研究室：加藤分子物性化学研究室  
 (アドバイザー 加藤 礼三)

分子性伝導体の著しい特徴は、分子間相互作用の低次元性と構造の多様性である。無機物質と異なり、ほとんどの場合、1分子につき1つの電子軌道だけが電気伝導に関与するという単純さがあるが、その寄与の仕方が結晶内の分子配列や配向と深く結びついており、多様な電子構造をもつ。その結果、外部環境(温度、圧力、磁場等)の変化によってその物理学的性質は劇的な変化を起こす場合が多い。本研究では、分子性導体の結晶構造と電子構造の相関関係に着目し、低温あるいは圧力下での構造変化をX線回折実験によって捉え、バンド計算等を通してその背後に隠された物理現象を明らかにし、さらには新機能分子の設計・開発に結び付けようというものである。

本研究では、主として、閉殻カチオン $\text{Me}_4\text{Z}^+$ 、 $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Z}^+$ 、 $\text{EtMe}_3\text{Z}^+$  ( $\text{Z}=\text{N}, \text{P}, \text{As}, \text{Sb}$ )を対カチオンとする $\text{Pd}(\text{dmit})_2$  ( $\text{dimit}=1,3\text{-dithiol-2-thione-4,5-dithiolate}$ )アニオンラジカル塩を対象に、一連の $\text{Pd}(\text{dmit})_2$ 塩の結晶構造および電子構造を明らかにするとともに、低温下で相転移を起こす塩についてはその構造変化を明らかにしている。本年度は、低温で電荷分離相転移を起こす $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}$ 塩につい

て、カチオンとアニオンの立体効果について考察し、結晶中のカチオンサイトのインピュリティの存在が、相転移にともなう結晶全体の連続した構造変化を妨げることを明らかにした。また、 $\text{EtMe}_3\text{P}$ 塩では、常磁性相から非磁性相への相転移にともなう2倍周期の超格子反射を観測し、アニオンの2量体がさらに2量体化したスピンドイマー相の可能性を見いだした。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Akiko Nakao, Reizo Kato: "Structural Study of Low Temperature Charge-Separated Phase of  $\text{Pd}(\text{dmit})_2$ -Based Molecular Conductors", *J. Phys. Soc. Jpn.*, Vol.74, p.2754-2763 (2005)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

中尾 朗子、加藤 礼三：“ $\text{Pd}(\text{dmit})_2$ 塩の相転移と低温構造”、日本物理学会2005年秋季大会、京都、9月(2005)

研究者氏名：川俣 大志 Kawamata, Hiroshi  
 ホスト研究室：鈴木化学反応研究室  
 (アドバイザー 鈴木 俊法)

$\text{N}_2\text{O}$ 分子の深紫外光解離過程 $\text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}(^1\text{D}_2)$ は2つの観点から重要である。すなわち、1) 成層圏における大気科学において、この分子は深紫外光吸収による解離過程により活性酸素原子 $\text{O}(^1\text{D}_2)$ を生成することが知られており、 $\text{N}_2\text{O}$ 分子の始状態および解離波長によって吸収断面積( $\text{O}$ 生成効率)が大きく異なる。中でも成層圏に到達

する「大気の窓領域」(190-210nm)は、 $\text{N}_2\text{O}$ 光吸収の赤方端であり、また同位体効果にも関連して、変角振動励起状態からの大きな寄与が予見されている。また、2) 化学反応動力学においては $\text{OCS}$ と同様の16価電子を持つ3原子分子であることから解離途中にて顕著な非断熱遷移が存在することが期待される。そこで本研究では、 $\text{N}_2\text{O}$ 分子の

深紫外光 (~203nm) 解離過程に高分解能画像観測法を適用することによって、異なる変角振動状態を出発点とした相対吸収断面積を初めて決定した。深紫外光 (~203nm) でN<sub>2</sub>O 分子を解離させた後、共鳴多光子イオン化法 (REMPI) で光解離生成物であるN<sub>2</sub>分子の終状態 (振動・回転準位) 選別を行う。得られたN<sub>2</sub><sup>+</sup>イオン画像からはN<sub>2</sub>O分子の始状態 (変角振動準位) ごとの寄与を明確に分離することができる。ほぼ全ての終状態の画像を解析した結果、振動基底状態に比べて、第1振動励起状態の吸収断面積は6.5倍、第2振動励起

状態のそれは約18倍大きいことがわかり、大気の窓領域 (190-200nm) におけるN<sub>2</sub>O分子の光吸収では、変角振動励起状態が大きく寄与することを実験的に示した。理論計算はこれと大きくは変わらない結果を示唆している。動径分布に現れると期待された顕著な非断熱遷移を示す変化は観測されなかったけれども、光解離生成物であるN<sub>2</sub>分子の回転準位が大きくなるにつれて、その角度分布異方向性が小さくなることから、解離に関与する2つのN<sub>2</sub>O電子励起状態 (A'<sup>1</sup>Δ, A''<sup>1</sup>Σ<sup>-</sup>) の寄与を見積もった。

## XV—020 フェムト秒時間分解光電子画像観測法による光イオン化動力学の解明

Study on the Photoionization Dynamics with Femtosecond Time-resolved Photoelectron Imaging

研究者氏名：坪内 雅明 Tsubouchi, Masaaki

ホスト研究室：鈴木化学反応研究室

(アドバイザー 鈴木 俊法)

光イオン化に伴う光電子角度分布 (PAD) の観測は、束縛電子状態からイオン化連続状態への光遷移過程を理解する最も強力な手段である。特に分子の場合、分子内座標系でPADを観測することが光イオン化の議論において重要である。しかし通常分子は空間にランダムに配向しているため、配向平均されたPADが観測される。

そこで本研究では、高強度フェムト秒パルスを用いて強い分子軸整列を生成し、擬分子固定系での光イオン化を観測する手法の開発を進めてきた。本年度は、本手法の数値計算による評価を行った。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tsubouchi M. and Suzuki T.: "Photoionization of Homo-Nuclear Diatomic Molecules Aligned by an Intense Femtosecond Laser Pulse", *Phys. Rev. A*, accepted (2005)\*

### ●口頭発表 Oral Presentation

(国内学会等)

坪内雅明、鈴木俊法：“分子固定系での光電子角度分布観測の新規アプローチ：フェムト秒強光子場による分子軸整列の適用”、第21回化学反応討論会、吹田、6月 (2005)

## XV—021

### 新規な希土類クラスター錯体の合成とその触媒能

Synthesis, Characterization and Reactions of Novel Rare Earth Metal Clusters

研究者氏名：竹中 康将 Takenaka, Yasumasa

ホスト研究室：侯有機金属化学研究室

(アドバイザー 侯 召民)

本研究は、種々の新規な希土類クラスター錯体の合成とその反応性について研究を行い、新しい有機反応の開拓および新しい触媒の開発を目的としている。これまで、当研究室で合成したイット

リウムポリヒドリド錯体 [Cp'YH<sub>2</sub>]<sub>4</sub>(thf) (Cp' = C<sub>5</sub>Me<sub>4</sub>SiMe<sub>3</sub>) とロジウムカルボニル錯体 Cp\*Rh(CO)<sub>2</sub> (Cp\* = C<sub>5</sub>Me<sub>5</sub>) との反応において、ヘキサン溶媒中、室温で、単核の金属錯体では通常、

切断することができない強い結合であるカルボニル配位子のC–O三重結合の切断を伴った5核の*d-f*異種金属混合型ジヒドリド–ジオキソ–ジメチルクラスタ–錯体  $[\text{Cp}^* \text{Y}_4 \text{H}_2 \text{O}_2] \{(\text{CH}_3)_2 \text{RhCp}^*\}$  (1)が生成することを見出した。本年度は、これらの*d-f*異種金属混合型クラスタ–錯体の性質を調べると共に、希土類ポリヒドリド錯体  $[\text{Cp}^* \text{LnH}_2]_4(\text{thf})$  (Ln = Y, Lu)と一酸化炭素を配位子として有する様々な後期遷移金属カルボニル錯体  $\text{Cp}^* \text{Ir}(\text{CO})_2$ ,  $\text{Cp}^* \text{Re}(\text{CO})_3$ ,  $\text{Cp}^* \text{M}(\text{NO})(\text{CO})_2$  (M = Mo, W)との反応を検討した。

ロジウム錯体で得られた結果と同様に、希土類ポリヒドリド錯体  $[\text{Cp}^* \text{LnH}_2]_4(\text{thf})$  (Ln = Y, Lu)と  $\text{Cp}^* \text{Ir}(\text{CO})_2$ との反応においても、ヘキサン溶媒中、室温で、カルボニル配位子のC–O三重結合の切断を伴った5核の*d-f*混合型クラスタ–錯体  $[\text{Cp}^* \text{Y}_4 \text{H}_2 \text{O}_2] \{(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2)\text{HfCp}^*\}$  (2)が生成することを見出した。さらに、得られた錯体1及び2をトルエン溶媒中、室温で水素と反応させるとメタンガスが生成することをガスクロマトグラフィー(GC)により同定した。また、イットリウムポリヒドリド錯体  $[\text{Cp}^* \text{YH}_2]_4(\text{thf})$ と後期遷移金属カルボニル錯体  $\text{Cp}^* \text{Re}(\text{CO})_3$ ,  $\text{Cp}^* \text{M}(\text{NO})(\text{CO})_2$  (M = Mo, W)との反応ではC–O三重結合の切断までには至らなかったものの、それぞれに対応するカルボニル配位子のC–O三重結合の還元を伴った5核の*d-f*異種金属混合型クラスタ–錯体  $[\text{Cp}^* \text{Y}_4 \text{H}_6(\text{thf})] \{(\text{CO})_2(\text{OCH}_2)\text{ReCp}^*\}$  (3),  $[\text{Cp}^* \text{Y}_4 \text{H}_5] \{ \text{Cp}^* \text{M}(\text{=CHO})(\text{OCH}_2)(\text{NO}) \}$  (M = Mo (4), W (5))が得られた。これらの錯体3～5は、錯体1及び2におけるカルボニル配位子のC–O三重結合の切断過程を示す中間体となる錯体と同様の構造を有していると考えられるため、希土類ポリヒドリド錯体による後期

遷移金属上のカルボニル配位子のC–O三重結合切断の反応機構について新たな知見を得ることができたと言える。一方、希土類ポリヒドリド錯体と一酸化炭素との反応においては、C–O三重結合が切断され、メチルおよびオキソへと変換されるような反応は観測されなかった。つまり、この希土類ポリヒドリド錯体と後期遷移金属カルボニル錯体との反応では、希土類金属と後期遷移金属との異種金属の協同活性化効果により、強い結合であるカルボニル配位子のC–O三重結合が切断された事を示唆しており、従来の同種金属のみで構成される金属錯体では実現困難であった新しい反応性を発現する事ができたと考えられる。このことは、希土類金属と後期遷移金属とを同時に併せ持つ新しい*d-f*異種金属混合型クラスタ–錯体を合成し、その性質を調べることは重要であり、それらの知見を基に研究を進めて行くことが、これまで実現困難であった新しい有機合成反応や高分子合成反応などの開拓につながる可能性を示していると考えられる。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

張立新、竹中康将、侯召民：“3,4-selective living polymerization of Isoprene by cationic rare earth metal Alkyl complex bearing mono(cyclopentadienyl) ligand with phosphine side arm”、日本化学会第85春季年会、横浜、3月(2005)

竹中康将、島隆則、侯召民：“4核イットリウムポリヒドリド錯体と後期遷移金属カルボニル錯体との反応：C–O三重結合の切断過程についての考察”、日本化学会第86春季年会、千葉、3月(2006)

XV—025

#### 走査トンネル顕微鏡による金属表面上での単分子反応

Single Molecule Reaction on Metal Surface by Scanning Tunneling Microscope

研究者氏名：小原 通昭 Ohara, Michiaki

ホスト研究室：川合表面化学研究室

(アドバイザー 川合 真紀)

硫黄(S)原子を含む様々な有機分子(例えばジスルフィド分子： $\text{RS-SR}$ , R=アルキル基)は貴金属基板と特異的に強く結合する。この強い結合に

加えて、吸着分子間に働く分子間力により、基板表面上には一定の周期性を持った単分子膜が自発的に形成される。この単分子膜は自己組織化単分

子膜 (SAM) と呼ばれ、ナノ機能性材料の有力な候補として現在、強い関心が向けられている。しかしながら、その形成過程の詳細については現在に至ってもまだ十分な理解は得られていない。今後、SAMを「より高次化した機能性材料」へと応用・展開するためには、最も基礎的な知見である「SAM形成過程の全容」を正確に理解することが必要不可欠である。

そこで、「SAM形成機構の全容解明」を本研究の研究目的とした。本年度は、「SAM形成過程」で重要な4つの反応素過程(①分子の吸着、②分子の解離、③分子の拡散・移動、④分子のクラスター化)のうち、③分子の拡散・移動、④分子のクラスター化に関する基礎的知見を極低温対応型走査トンネル顕微鏡(LT-STM)を用いて単分子レベルで獲得することを研究目標とした。

(分子の拡散・移動) Cu(111)表面に孤立吸着したCH<sub>3</sub>S分子の最安定吸着サイトはhollowサイト(fcc及びhcp hollowサイト)であることを明らかにした。また、CH<sub>3</sub>S分子にトンネル電子(サンプルバイアス=400mV, トンネル電流=2nA)を注入すると、電子注入された分子のみがhollowサイト間をホッピングする現象を新たに確認した。注入するトンネル電子のエネルギー依存性から、このホッピング現象には「CH<sub>3</sub>S分子のC-S伸縮振動の励起」が重要な役割を果たすことを明らかにした。さらに、CH<sub>3</sub>S分子のホッピング経路に着目したところ、ブリッジサイト上を経由して最隣接したhollowサイトに移動することが明らかとなった。

(分子のクラスター化) CH<sub>3</sub>S分子にトンネル電子を注入し、CH<sub>3</sub>S分子のホッピング運動を誘起することで単分子操作を実現した。この手法を用いることで、任意のサイズの分子クラスターを形成させることにも成功した。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohara M., Kim Y., and Kawai M.: "Direct Observation

of Conformational Isomers of (CH<sub>3</sub>S)<sub>2</sub> Molecules on Cu(111)", Jpn. J. Appl. Phys. PT., Vol. 44, No. 7B, PP. 5390-5392, (2005) \*

Ohara M., Kim Y., and Kawai M.: "Scanning Tunneling Microscope Imaging of (CH<sub>3</sub>S)<sub>2</sub> on Cu(111)", Langmuir. Vol. 21 No. 11, PP. 4779-4781, 24 May (2005) \*

Ohara M., Kim Y., and Kawai M.: "Tunneling-electron-induced hopping of methylthiolate on Cu (111)", Jpn. J. Appl. Phys. (in press) \*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohara M., Kim Y., and Kawai M.: "Hopping Phenomenon of Methyl-Thiolate on Cu (111)", 13<sup>th</sup> International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM'05), Japan, July (2005)

(国内学会等)

小原通昭、金 有洙、川合 真紀: "Cu(111)表面上に孤立吸着した(CH<sub>3</sub>S)<sub>2</sub>分子のSTM観察"、日本化学会第85春季年会、横浜、3月(2005年)

小原通昭、金 有洙、川合 真紀: "STMを用いた(CH<sub>3</sub>S)<sub>2</sub>の単分子解離反応及びCH<sub>3</sub>Sの単分子ホッピング運動"、分子構造総合討論会、東京、9月(2005年)

小原通昭、金 有洙、川合 真紀: "Cu(111)表面上に吸着したメチルチオレート分子のホッピング運動"、第25回表面科学講演大会、埼玉、11月(2005年)

小原通昭、金 有洙、川合 真紀: "トンネル電子注入による単分子解離反応及び単分子操作"、第24回吸着分子の分光学的セミナー、石川、12月(2005年)

小原通昭、金 有洙、川合 真紀: "振動励起による(CH<sub>3</sub>S)<sub>2</sub>分子の単分子解離反応及びCH<sub>3</sub>S分子の単分子ホッピング運動"、日本化学会第86春季年会、千葉、3月(2006年)

研究者氏名：近藤 剛弘 Kondo, Takahiro

ホスト研究室：川合表面化学研究室

(アドバイザー 川合 真紀)

本研究の目的は、単色分子線技術を用いて運動エネルギーを制御した分子を表面に照射し、表面の化学反応を選択的に制御することである。この方法により、従来の熱平衡プロセスのみでは得ることのできない、特定の吸着構造のみを持った分子凝集体表面、あるいは特定の原子サイトのみを修飾した新物質相表面の創製が可能となる。

本年度は、気体 - 表面間相互作用の第一段階である衝突時のエネルギー散逸過程の解明、単結晶ルテニウム表面上のアモルファス氷薄膜層が結晶化する過程の解明、及び良く定義された良質の結晶氷を薄膜で作成する方法の確立に成功した。以下にそれぞれの研究の概略を記す。

#### (1) 気体 - 表面間相互作用におけるエネルギー散逸過程の解明

一昨年度に立ち上げた超音速分子線生成散乱装置で得られた実験結果及び昨年度に構築した純古典的 2 体剛体衝突モデルに基づき、気体 - 表面間衝突散乱における分子の並進運動エネルギー、分子構造異方性、分子配向、分子重心位置、表面温度、及び表面ポテンシャルのナノスケール凹凸が及ぼす影響に関して明らかにした。またこれらに基づき、気体 - 表面間相互作用におけるエネルギー散逸過程を総括した。

#### (2) Ru(0001) (単結晶ルテニウム) 表面上におけるアモルファス氷薄膜層が結晶化する過程の解明及び良く定義された良質の結晶氷を薄膜で作成する方法の確立

ヘリウム原子線散乱、反射赤外吸収分光、及び等温脱離種計測を同時に行い、アモルファス氷薄膜層が結晶化する過程を非破壊且つ無擾乱に実時間計測した。従来の等温脱離種計測に基づく結晶化に関する知見に誤りがあることを示し、結晶氷完成に至るまでのプロセスに関する新たなモデルを実験結果に基づき示すことに成功した。さらに、理想的な結晶氷の作成に必要な下地のWetnessや異分子吸着構造/吸着種を実験結果に基づき明らかにし、良質な結晶氷の作

成方法を世界に先駆けて明らかにした。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

T. Kondo, H. S. Kato, T. Yamada, S. Yamamoto and M. Kawai: "Rainbow scattering of CO and N<sub>2</sub> from LiF(001)", *Journal of Chemical Physics* **122** (2005) 244723, 1-10. \*

T. Kondo, D. Mori, R. Okada, M. Sasaki and S. Yamamoto: "A molecular beam study of the collision dynamics of methane and ethane upon a graphitic monolayer on Pt(111)", *Journal of Chemical Physics*. **123** (2005) 114712, 1-7\*

M. M. Thiam, T. Kondo, H. S. Kato, N. Horimoto and M. Kawai: "Initial growth of the water layer on (1x1)-oxygen-covered Ru(0001) in comparison with that on bare Ru(0001)", *Journal of Physical Chemistry B* **109** (2005) 16024-16029. \*

T. Kondo, T. Tomii and S. Yamamoto: "C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> scattering from LiF(001): Influence of the molecular anisotropy on rainbow-scattering in both intensity and speed distributions", *Chemical Physics* **320** (2006) 140-148.\*

T. Kondo, H. S. Kato, T. Yamada, S. Yamamoto and M. Kawai: "Effects of the molecular structure on the gas-surface inelastic collision", *European Physical Journal D* (in print). DOI: 10.1140/epjd/e2005-00284-4 \*

T. Kondo, S. Mas, H. S. Kato, and M. Kawai: "Morphological change of D<sub>2</sub>O layers on Ru(0001) probed with He atom scattering", *Surface Science* (in print)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

T. Kondo, S. Mae, H. S. Kato, and M. Kawai: "Thermal energy He atom scattering study of thin D<sub>2</sub>O layer growth on Ru(0001)", *European*

Conference on Surface Science (ECOSS23), Berlin, (2005.9.5).\*

T. Kondo, D. Mori, R. Okada, M. Sasaki, and S. Yamamoto: “Molecular beam study of collision dynamics of methane and ethane at a monolayer graphite surface on Pt(111)”, European Conference on Surface Science (ECOSS23), Berlin, (2005.9.5).\*

T. Kondo, H. S. Kato, and M. Kawai: “Real time observation of the crystallization process of thin ice films on Ru(0001) by HAS and IRAS”, International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-4), Omiya, (2005.11.14).\* *Best Poster Award* 受賞

(国内学会等)

近藤剛弘、加藤浩之、山田太郎、山本恵彦、川合真紀: “LiF(001)表面からのCOとN<sub>2</sub>のレインボー散乱—入射分子配向が及ぼす著しい影響—”, 春季第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉大学、(2005.3.29)\* 講演奨励賞受賞

近藤剛弘、森大輔、岡田隆太、佐々木正洋、加藤

浩之、山田太郎、山本恵彦、川合真紀: “Pt(111)表面上の単原子層グラファイトにおけるアルカン分子の衝突散乱ダイナミクス”, 秋季第66回応用物理学学会学術講演会奨励賞受賞記念講演、徳島大学、(2005.9.11)\*

近藤剛弘、加藤浩之、川合真紀: “He原子線散乱、反射赤外吸収分光、及び等温脱離種計測によるアモルファス氷薄膜層結晶化過程の実時間同時計測”, 第25回表面科学講演大会、大宮ソニックシティ、(2005.11.17)\*

久保井宗一、岡田隆太、堀剛、佐々木正洋、近藤剛弘、山本恵彦: “熱エネルギーヘリウム原子線散乱法によるO/Pt(111)-(2x2)表面上におけるメタン分子線の反応過程解析”, 第25回表面科学講演大会、大宮ソニックシティ、(2005.11.17)\*

近藤剛弘、森大輔、岡田隆太、佐々木正洋、加藤浩之、山田太郎、山本恵彦、川合真紀: “純古典的2体剛体衝突モデルに基づく固体表面での分子線非弾性散乱の解析”, 第25回表面科学講演大会、大宮ソニックシティ、(2005.11.19)

## XV—028

## DNA鎖のナノスケール電気伝導度測定

### Nano-scale Electrical Properties of DNA

研究者氏名: 古川 雅士 Furukawa, Masashi

ホスト研究室: 川合表面化学研究室

(アドバイザー 川合 真紀)

生体物質・DNAにおける電荷移動のメカニズムを理解することは、近年物質材料科学の分野で注目を浴びている、「分子電子素子」への応用を検討する上で重要であり、また生体内で起こる「遺伝子損傷」のメカニズムを理解する上でも重要である。とりわけ、そのDNAを構成する「核酸塩基分子(アデニン・チミン・グアニン・シトシン)」は、電荷移動現象において中心的な役割を果たすとされるだけでなく、水素結合等が原動力となる「自己組織化機能」を始めとする、多彩な機能を内包しているとされる。またこれらの分子が固体表面上に吸着する際は、分子の持つ「異方性(水素結合の手)」や固体表面の化学的活性の違いに応じ、「分子の自己組織化機能」に起因する、特徴ある超構造形成がもたらされることも、これまでの研究から明らかとなっている。

本年度の研究では、固体表面にCu(110)表面を選択した場合の、4種の核酸塩基分子の吸着構造最適化を、実験及び計算の両側面から行ったので、以下にその概要を記す。

(1) X線光電子分光(X-ray photoelectron spectroscopy: XPS)およびX線吸収分光(X-ray absorption spectroscopy: XAS)を実験的に用いることによって、各分子の吸着部位及び表面に対する配向性に関する考察を行った。

(2) 密度汎関数法(DFT)計算を用いて、同じく表面分子系の構造最適化を行ったところ、上記実験事実を反映する計算結果が得られ、さらにこれらをもとに、吸着状態を決定する要因(アデニンを除く、他の3分子が持つ互変異性体)を特定することにも成功した。

アフリカツメガエル卵母細胞における  
mRNAの局在・翻訳制御機構の解明

Analysis of Localization and Translational Mechanism of mRNA in *Xenopus* Oocyte.

研究者氏名：田中仁夫 Tanaka, kimio J.

ホスト研究室：辻本細胞生化学研究室

(アドバイザー 辻本 雅文)

動物の卵母細胞には、発生初期に必要なmRNAがすでに卵内に貯えられえており、受精後暫くは*de novo*の合成は行われぬ。ゆえに卵母細胞にはmRNAを貯蔵するためのシステムが存在し、それは貯蔵mRNPとして、卵内に大量に備えられている。これらmRNPはmRNAの細胞内局在に関わるとともに、その翻訳も制御していると考えられている。しかし、これらmRNP構成分子の機能に関する詳細な解析は進んでおらず、その全貌は掴めきれていないのが現状である。よって本研究では、アフリカツメガエル卵母細胞のmRNP構成分子を網羅的に解析し、mRNAの卵母細胞内での局在化、およびそれとカップルした翻訳制御のメカニズムを解明することを目的としている。

本年度は、FRGY2を含む複合体にRNA依存的に存在するxRAP55に着目し、その機能解析を行った。xRAP55は卵母細胞の成長と共に蓄積し、初期発生を通じて存在する。卵母細胞の免疫組織染色により、xRAP55は細胞質に存在し、顆粒を形成していることがわかった。また密度勾配遠心ではmRNP画分に存在すること、UV-cross linkによりRNAと直接結合することから、xRAP55がmRNP構成分子であることが強く示唆された。

xRAP55の機能を探るため、大腸菌で大量発現させ、精製したxRAP55を*in vitro*翻訳系に添加したところ、xRAP55は主要mRNP構成分子の一つであるXp54と協調的にmRNAの翻訳を抑制することが明らかになった。さらに、MS2結合ドメインを持つレポーターmRNAとMS2-xRAP融合タンパク質を卵母細胞内に発現させたTethering Assayにおいても、xRAP55がレポーターmRNAの翻訳を抑制することを示した。これらのことは、xRAP55がmRNPの構成分子として、mRNAの翻訳抑制に深く関わっていることを示唆するものである。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsumoto K., Tanaka KJ. and Tsujimoto M.: “An acidic protein, YBAP1, mediates the release of YB-1 from mRNA and relieves the translational repression activity of YB-1.” *Mol. Cell. Biol.* 25 1779-1792. (2005)\*

●口頭発表 Oral presentations

(国際会議)

Matsumoto K., Tanaka KJ. and Tsujimoto M. “Formation of mRNPs with YB-1 and their remodeling” 10th Annual Meeting of the RNA Society, Banff, Canada, May (2005)

Tanaka KJ., Matsumoto K., Tsujimoto M. and Nishikata T. “Analysis of mRNPs in ascidian oocytes: CiYB1 contributes to the translational control of the localized mRNA” 15th International Society of Developmental Biologists Congress, Sydney, Australia, Sep.(2005)

(国内発表)

田中仁夫、辻本雅文、松本健：“アフリカツメガエル卵母細胞のmRNP構成分子xRAP55はmRNAの翻訳を抑制する”、第7回日本RNA学会年会、弘前、8月(2005)

松本健、田中仁夫、辻本雅文：“YBAP1によるYボックス蛋白質の機能調節” 第7回日本RNA学会年会、弘前、8月(2005)

田中仁夫、辻本雅文、松本健：“アフリカツメガエル卵母細胞のmRNP構成分子xRAP55の解析”、第28回日本分子生物学会年会、福岡、12月(2005)

研究者氏名：高橋 徹 Takahashi, Toru

ホスト研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 戎崎 俊一)

本研究の目的は、分子動力学専用計算機 MDGRAPE (MDGRAPE-2ないしMDGRAPE-3) を利用して、境界要素法の高速計算手法を構成する事である。本年度は高速アルゴリズムに従う境界要素法を高速化の対象とした。

まず、擬似粒子法的アプローチを2次元 Helmholtz方程式の場合についてより詳しく検討した。昨年度検討した2次元Laplace方程式の場合と異なり、Helmholtz方程式の場合は計算量が従来アルゴリズムと変わらない事、むしろ、正味の計算量は増加してしまう事がわかった。

そこで、対象とする境界値問題(方程式)個々の定式化に依存しないような、高速多重極法(FMM)とMDGRAPE-2の併用的高速化手法を提案した。その手法では、leaf(一般には8分木構造の最下層のcellを指す)に関するM2L計算を全て直接計算で置き換え、その計算をMDGRAPEによって実行する。この時、特異積分の処理に伴うhost計算機上の追加計算が生じ無いため、MDGRAPEの計算負担量を効率的に高める事が出来る。なお、計算量は元の高速多重極法と同じである。この手法を3次元Laplace方程式の場合に適用し、この手法が元来のFMMよりも高速となる状況を理論計算により推定した。実際、MDGRAPE-2ボード1枚を利用した実計算では、10%程度の高速化を達成した。

一方、MDGRAPEよりも汎用性の高いハードウェアを利用した境界要素法の高速計算についても検討した。まず、GRAPE-DR上で3次元Laplace方程式の境界要素法コードの実装を行った。その実装法の一部は昨年度までのFPGAの利用に関する検討が元となっている。実機によるテストあるいは他の問題の検討が今後の課題である。次に、Graphic Processor Unit (GPU) を利用した境界要素法の実装についても検討した。今後は、GPUが

持つ計算能力の汎用性を利用して、高速アルゴリズムに従う境界要素法をGPU上で実装する事が大きな課題である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

高橋徹、戎崎俊一：専用計算機による3次元静弾性問題に対する境界積分方程式法の高速化、機論A, 71 1620-1625 (2005)\*

Takahashi T., Kawai A., and Ebisuzaki T.: "Accelerating boundary integral equation method using a special-purpose computer", Int. J. Numerical Methods Eng., (DOI:10.1002/nme.1566) in print\*

高橋徹、戎崎俊一：3次元電磁波散乱問題に対するモーメント法のハードウェアアクセラレーション、IPSJ Trans. Advanced Comp. Sys., accepted\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takahashi T., Ebisuzaki T.: "An acceleration of fast boundary integral equation method using a special-purpose computer", the Eighth U.S. National Congress on Computational Mechanics, Austin, Texas, USA, Jul. (2005)

(国内学会等)

高橋徹、戎崎俊一：“専用ハードウェアと高速アルゴリズムによる境界積分方程式法の加速”、第10回計算工学講演会、東京、6月(2005)

高橋徹、戎崎俊一：“専用計算機による多重極積分方程式法の加速”、第18回計算力学講演会、筑波、11月(2005)

高橋徹、飯高敏晃、真瀬洋、戎崎俊一：“GPUを用いた分子動力学法と境界要素法の加速”、日本物理学会第61回年次大会、松山、3月(2006)



研究者氏名：平野 秀典 Hirano, Yoshinori

ホスト研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 戎崎 俊一)

今年度は $sn$ -3,1'-LBPA、 $sn$ -1,1'-LBPAという脂質の脂質-脂質間や水-脂質間の相互作用等を調査するために分子動力学(MD)手法を用いた研究を行った。

Lysobisphosphatidic Acid (LBPA)はendosome特異脂質で、細胞膜を構成する全リン脂質の中には1%以下しか含まれていない。しかし、late endosomeの特定のドメインには、そこに存在するリン脂質の70%を占めていることが報告されている。このため、LBPAはlate endosome膜の構造形成や機能に重要な働きを持っていると考えられている。LBPAは他のリン脂質とは異なり、2つあるリン酸グリセロールの各々から1つのacyl chainが伸びた非常に特徴的な構造をしている。また、リン酸基へのグリセロールの結合位置によって $sn$ -3,1'-LBPA、 $sn$ -1,1'-LBPAに分けられる。両者は実際に生体内に存在するものの、その生化学的・生物物理的性質の違いに関する調査はほとんど行われてきていない。そこで、実験的研究者と協力して、これら2つのLBPAの性質や分子間相互作用について、実験的および理論的アプローチ(担当)による研究を行った。その結果、両者は僅かに生化学的・生物物理的性質が異なっていることが分かった。

昨年に引き続き、分子動力学計算システム(AMBER 6.0-MDMシステム)を用いて、核膜孔通過タンパク質であるimportin- $\beta$ の動的変化に関する研究を行った。

importin- $\beta$ は超らせん構造をした核タンパク質輸送担体である。そのimportin- $\beta$ について2種類(IBB結合型、IBB非結合型)の系を構築し、水溶液中で構造・ダイナミクスを明らかにする目的で分子動力学(MD)計算を行った。その結果、IBB非結合型は非常に大きな構造変化が生じていることが分かった。一方、IBB結合型はIBBと結合しているため、非結合型に比べて構造全体の変化は小さい。さらにIBBとimportin- $\beta$ との間の水素結合を見ると、X線結晶解析構造の際よりも増

加していることが分かった。

#### ● 誌上发表 Publications

(原著論文)

Hirano Y., Shinmoto N., Hata M., Tsuda M., and Hoshino T.: "Quantum chemical study on the deacylation step of human chymase", Journal of Molecular Structure: THEOCHEM, 757, pp.19-27 (2005)\*

Okimoto N., Hirano Y., Suenaga A., Imamoto N., and Ebisuzaki T.: "Investigation of The Structure-Function Relationship of Importin- $\beta$  by MD Simulations", FEBS Journal\* 投稿中

#### ● 口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hirano Y., Okimoto N., Suenaga A., Imamoto N., and Ebisuzaki T.: "Investigation of Structural and Dynamic Properties of Importin- $\beta$  Based on a Molecular Dynamics Study", 25<sup>th</sup> Anniversary International Chem-Bio Informatics (CBI) Conference, RIKEN Yokohama, August (2005)

Hayakawa T., Hirano Y., Makino A. Ito K., Fujisawa T., and Kobayashi T.: "Synthesis and Characterization of Stereoisomers of Lysobisphosphatidic Acid (LBPA), An Endosome-Specific Lipid", The 3rd Symposium on Membrane Stress Biotechnology, Osaka, November (2005)

Hirano Y., Okimoto N., Suenaga A., Imamoto N., and Ebisuzaki T.: "Investigation of The Structure-Function Relationship of Importin- $\beta$  by Molecular Dynamics Simulations", International Symposium on Molecular Simulations 2006, Kanazawa, March (2006)

(国内学会等)

平野秀典、沖本憲明、末永 敦、今本 尚子、戎崎 俊一：「分子動力学的手法を用いたimportin- $\beta$ に関する研究」、第19回分子シミュレーション討論

会、岡崎、2005年11月  
古石貴裕、藤川茂紀、平野秀典、戎崎俊一、国武  
豊喜：「脂質膜表面とヘムタンパク質の相互作用  
の分子動力学シミュレーション」、第19回分  
子シミュレーション討論会、岡崎、2005年11月

平野秀典、早川智広、沖本憲明、戎崎俊一、小林  
俊秀：「エンドソーム特異脂質LBPAに関する  
研究」、日本薬学会第126年会、仙台、2006年3  
月

XV—036

### 自由曲面を有する多層膜スーパーミラーによる 中性子光学素子の開発

Development of Neutron Optical Devices by Multilayered Supermirrors with a Curved Surface

研究者氏名：池田一昭 Ikeda, Kazuaki

ホスト研究室：延興放射線研究室

(アドバイザー 延興 秀人)

中性子ビームの利用効率を向上させるデバイスの実現を目的として、自由曲面多層膜スーパーミラーを用いた中性子反射光学素子の開発ならびに素子に用いるNi/Ti多層膜スーパーミラーの高性能化に関する研究を行ってきた。昨年度において、多重積層放物面型の一次元熱中性子収束素子を考案および作成し、その集光効果を確認した。また、Ni層を成膜する際に不活性ガス中に窒素を微量に混入する反応性スパッタリング法を採用することで、Ni単層膜反射鏡の2.9倍の全反射臨界角(2.9Q)で89%の中性子反射率を有するNi/Ti平面多層膜スーパーミラーの作成にも成功した。今年度は、(1) 多重積層放物面型収束素子を用いたシリコンの中性子粉末回折実験と(2) 反応性スパッタリング法によるHigh-Qスーパーミラー製作を実施した。

(1) 日本原子力研究開発機構の研究用原子炉JRR-3のガイドホールに設置されている中性子回折装置(HERMES：波長1.8Å, ビーム半値全幅10mm, 水平方向のビーム分散角0.25度)に多重積層放物面型中性子収束素子を設置してシリコンの粉末回折実験を行い、直径3mm(高さ20mm)の円筒型サンプル容器に封入されたシリコン粉末に収束素子を用いて集光した熱中性子を照射することで、素子を用いない場合と比較して2.4倍の回折ビーム強度を達成した。ここで、素子によって集光された中性子とそうでない中性子により検出位置での回折ピークが分離したが、この効果は、分解能を重要視する場合は解析手法の改善やピークの分離が極力小

さくなるような素子の設計あるいは実験装置の配置等を工夫する必要があるが、回折ピーク強度を重要視する実験では問題にならない。この実験結果を受けて、集光ミラーによる中性子実験装置(分光器)の高性能化が活発に議論されるようになってきた。

(2) 反応性スパッタリング法により3Q、3.3Q、3.5Qスーパーミラーを作成し、それぞれ85%、83%、75%の臨界角反射率を達成した。これらは世界最高水準(それぞれ94%、93%、92%)には至らないが、十分実用レベルには達しており、光学素子のサイズ縮小化や高ビーム分散角あるいは高エネルギー中性子への適応に貢献できると期待される。

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国内学会等)

池田一昭、安達智宏、篠原武尚、森嶋隆裕、広田克也、三島賢二、佐藤広海、清水裕彦、森田晋也、郭建強、鈴木亨、渡邊裕、上原嘉宏、林偉民、大森整、日野正裕、田崎誠司、奥隆之、鈴木淳市、曾山和彦、大山研司、平賀晴弘：“放物面型多層膜スーパーミラーによる熱・冷中性子収束光学素子の開発”、日本物理学会第60回年次大会、東京理科大3月(2005)

鈴木淳市、池田一昭：“集光デバイスの開発と応用：HERMESでの集光ミラーの評価”、ISSPミニワークショップ「高圧下の中性子散乱」、東海村、7月(2005)

研究者氏名：武内昌哉 Take-uchi, Masaya

ホスト研究室：政井独立主幹研究ユニット

(アドバイザー 政井 一郎)

脊椎動物の眼は、光を集光する水晶体と、それを検出する神経上皮である網膜、網膜から脳へ情報を伝える視神経から構成される。眼の発生過程をみると、脳の側方が膨出して網膜が分化し、網膜に向き合う表皮から水晶体が誘導されることが明らかになっている。一方、視神経は、網膜から伸びてきた神経節細胞の軸索とそれを包むグリア細胞から成っている。このグリア細胞はアストロサイトとよばれ、眼杯と脳をつなぐ眼柄の領域から分化する。眼柄と神経網膜との境界面が形態的に閉じて融合することで、網膜がカップ状になり、いわゆる眼球が形成されることから、眼柄はアストロサイトをつくるだけでなく、眼球の形態変化にも重要な役割を果たしていると考えられている。実際にヒトにおいて、この過程が異常になると失明の原因となる眼裂欠損（コロボーマ）という遺伝病が報告されている。

すでに、眼柄領域で発現するゼブラフィッシュのVax転写因子をクローニングし眼の形態形成と眼柄の領域特異化の過程にVax転写因子が関与している事を明らかにしてきた (Take-uchi, 2003)。Vax遺伝子の機能をアンチセンスオリゴ（モルフォリノ）によって阻害するとコロボーマ表現型となり、後に眼柄の領域に網膜組織が形成される。マウスのVaxノックアウト変異体でもコロボーマの表現型が報告されており、種を超えた眼の形態形成機構の存在が考えられる (Mui, 2005)。しかし、眼の形態形成の過程で細胞がどのように振る舞うかについては不明であった。

昨年度までに神経網膜と眼柄の境界領域の細胞

を標識し共焦点顕微鏡下で胚発生の過程を追跡する系を確立した。本年度は、眼杯形成期に眼柄が細く収斂するが、このとき眼柄細胞がどのように振る舞うのかを経時観察し、眼柄が眼杯へと移動する課程を明らかにした。具体的には、後方眼柄の細胞が前方に移動し、前方眼柄の細胞は側方に移動し、眼杯の網膜層に貢献する。さらに、Vaxの機能を阻害すると、眼柄の細胞が眼杯へと移動せずに眼柄に留まり、結果として、眼柄が収斂せず眼杯は形成不全（コロボーマ）となることが分かった。また、これらの事から眼柄細胞を眼杯へと移動させる分子機構の存在が予想された。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Take-uchi, M., Yokota H., Raible, F., Brand, M., Okamoto, H., Masai, I.: “Vax transcription factors control cell movement of optic stalk and morphogenesis of optic cup”, 第4回 European Zebrafish Genetics and Development Meeting, ドレスデン、7月 (2005)

(国内学会等)

武内昌哉、岡本仁、政井一郎：“ゼブラフィッシュ眼球形成の遺伝学的解析（眼柄収斂の細胞動態と突然変異体の解析）”、第38回日本発生生物学会、仙台、6月 (2005)

武内昌哉、岡本仁、政井一郎：“Cellular dynamics and genetic analysis of zebrafish eye morphogenesis”, 第28回日本分子生物学会、福岡、12月 (2005)

## 高エネルギー偏極陽子衝突実験における 標準模型のテストとそれを越える現象の探索

A Test of Standard Model and a Search for Phenomena beyond the Model with Polarized Proton Collisions

研究者氏名：田原 司睦 Tabaru, Tsuguchika  
 ホスト研究室：延興放射線研究室  
 （アドバイザー 延興 秀人）

【最終年度となる為、任期中の研究活動の概略を含めて記す】

当研究は、現在稼動中の米国ブルックヘブン国立研究所のRHIC実験装置に於ける高エネルギー偏極陽子衝突実験で、パリティを保存しない標準模型を超える新しい相互作用を発見する事を目的としていたが、任期内に有意な統計を蓄積する事は困難な見通しとなった。この為、一部方針を変更し、未知の物質の状態であるQGP中に於けるクォークの振る舞いと、粒子生成に関する研究を進める事にした。

当研究では、先ず、重い $c$ クォークに焦点を当てた。 $c$ クォークは衝突の初期段階でのみ生成され、QGP内を通過しても運動エネルギーをあまり失わないと考えられていた。この為、陽子同士の衝突の測定結果と、重イオン衝突によるQGP中の測定結果は変わらないと予想されていた。衝突エネルギー62 GeVでの実験データを解析し、 $c$ クォークのセミレプトニック崩壊で生成される単電子を測定した所、測定の不定性の範囲で重イオン衝突のデータと陽子同士のデータに差は無く、 $c$ クォークの生成量も変わらないという結果を得た。2005年2月にインドのカルカッタで開かれたICPAQGP国際会議で、自らこの結果を発表した。その後、衝突エネルギー200 GeVに於いて高統計のデータを用いた研究が共同実験者により進み、高いエネルギー領域では $c$ クォークも軽いクォーク同様、新物質中でエネルギーを失っていることが判明している。両方の結果をあわせると、62GeVから200GeVの間で核物質の相転移が起きていることが示唆される。

相転移が起これば、核物質のカイラル対称性が回復し、ベクトル中間子の質量が変化するなどの現象が起これば理論的に予想される。RHICでもベクトル中間子は測定されたが、質量変化の議論に必要なsignal/noise比はまだ得られていない。そこで、今年度は特に同様の現象を有限密度

の核物質で探索する為、KEKで行われた衝突エネルギー5.1 GeVの陽子-原子核衝突実験のデータを解析した。このエネルギーでは $c$ クォークは生成されない為、次に重い $s$ クォークからなる $\phi$ 中間子と、 $u$ 、 $d$ クォークからなる $\omega$ 中間子を測定した。結果として、 $\phi$ 中間子と $\omega$ 中間子の質量変化が起こっている事を見出した（原著論文二編）。また、標的の核子数 $A$ に対し、 $\phi$ 中間子は $A^{0.94}$ 、 $\omega$ 中間子は $A^{0.71}$ に比例して生成されている事が判った。これは、両中間子の生成機構が異なっているという事を示唆している。この測定は、このエネルギー領域で世界初である。現在論文を執筆中である。

### ●誌上発表 Publications

（原著論文）

Naruki M., Chiba J., En'yo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Ieiri M., Ishino M., Kanda H., Kitaguchi M., Mihara S., Miwa K., Miyashita T., Murakami T., Muto R., Nakura T., Ozawa K., Sakuma F., Sasaki O., Sekimoto M., Tabaru T., Tanaka K.H., Togawa M., Yamada S., Yokkaichi S., Yoshimura Y. :“Experimental signature of medium modifications for  $\rho$  and  $\omega$  mesons 12-GeV p+A reactions”, nucl-ex/0504016, to appear in Phys. Rev. Lett.\*

Muto R., Chiba J., En'yo H., Fukao Y., Funahashi H., Hamagaki H., Ieiri M., Ishino M., Kanda H., Kitaguchi M., Mihara S., Miwa K., Miyashita T., Murakami T., Nakura T., Naruki M., Ozawa K., Sakuma F., Sasaki O., Sekimoto M., Tabaru T., Tanaka K.H., Togawa M., Yamada S., Yokkaichi S., and Yoshimura Y. :“First observation of in-medium modification of  $\phi$  meson at normal nuclear density”, nucl-ex/0511019 \*

### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Tsuguchika Tabaru for KEK-PS E325 : “KEK E325 results”, Physics of QCD Quark Gluon Plasma at

RHIC, CNS-RIKEN workshop, Wako, Japan, Feb (2006)

XV—039

### 高エネルギー原子核衝突実験における クォークグルーオンプラズマの探索

Search for Quark Gluon Plasma in High Energy Heavy Ion Collisions

研究者氏名：鳥井久行 Torii, Hisayuki

ホスト研究室：延興放射線研究室

(アドバイザー 延興 秀人)

昨年度から引き続き6月末まで、米国ブルックヘブン研究所にて偏極陽子陽子衝突実験を行った。私は主にトリガー回路のための保守作業に従事するとともに、共同研究者と一緒にデータ取得作業に従事した。その後、PHENIXプロダクションマネージャに就任し、大量のデータを解析するための作業を主導的に行った。RIKEN Super Combined Cluster System(RSCC)を使用し、約3ヶ月後には全データである260TBもの大量のデータを解析することができた。

また、陽子陽子、重陽子金衝突反応における直接光子生成の解析を行ってきた。直接光子測定における最大のバックグラウンドは中性中間子崩壊からくる光子である。PHENIX電磁カロリメータの特徴である高い位置分解能を利用して、中性中間子崩壊からくる光子を同定し5分の1から10分の1に減らすことができた。バックグラウンド光子を同定することに成功した。これにより直接光子測定における系統誤差を大幅に減らすことができた。重陽子金衝突にて得られた結果を陽子陽子衝突における結果と比較したところ、平均核子間衝突数で説明できることがわかった。すなわち、重陽子金衝突は、陽子陽子衝突における単純な重ね合わせであることを示唆している。以上の途中結果を秋の日本物理学会で発表した。現在、公表論文としてまとめる作業を行っている。

上記の研究に加えて、既存の概念にとらわれることのない新しい検出器の開発にも意欲的に取り組んできた。原子核素粒子実験の分野で従来使用されてきた時間測定器は、光や電子の経路差、統計事象によるふらつき、回路中のノイズ等により制限を受けている。強誘電体である電気光学結晶

は電圧を加えることにより屈折率が変化する効果を持つことが知られており、その応答時間は数THzにまで達する。私は、この電気光学結晶を用いた高速光学偏向器を使って荷電粒子が発するチェレンコフ光を高速で偏向させ、すなわち時間情報を位置情報に変換することにより既存の検出器の限界を克服できるのではないかと、という斬新な考え方を提案してきた。現在、日本学術振興会研究費補助金若手研究Bを受け、光偏光器を用いた高時間分解能検出器の実現に向け研究を進めている段階である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

PHENIX Collaboration: “Centrality Dependence of Direct Photon Production in  $\sqrt{s_{NN}} = 200\text{GeV}$  Au+Au Collisions”, Physics Review Letter 94:232301 (2005) \*

#### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

Hisayuki Torii for the PHENIX Collaboration: “Photon Production at PHENIX”, 2005 RHIC&AGS Annual User’s Meeting, New York, USA, Jun. (2005)

Hisayuki Torii for the PHENIX Collaboration: “ALL of  $\pi^0$  and Direct Photon Cross Section Measurements at PHENIX”, 5th Circum-Pan-Pacific Symposium on High Energy Spin Physics, Tokyo, Japan, Jul. (2005)

(国内学会等)

鳥井久行 for the PHENIX Collaboration : “Measurement of Direct Photon in  $\sqrt{s_{NN}} = 200\text{GeV}$

XV—041      Live Imaging によるショウジョウバエ気管細胞運動機構の解析  
Time-lapse Analyses of the Mechanism of Drosophila Tracheal Development

研究者氏名：加藤輝 Kato, Kagayaki  
ホスト研究室：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  
(アドバイザー 林 茂生)

ショウジョウバエの気管は、上皮より陥入した複数の気管前駆細胞群がそれぞれ気管枝となる細胞を伸長させ、それらが互いに接着する事によって成立する、体内をくなくまろ網羅した複雑なネットワーク様の器官である。これらの気管枝は、体内の様々な領域を伸長しながら、他の領域を移動してきた同種の気管枝と接着する。この過程では、気管枝が互いを接着対象として認識する機構が必要となると考えられるが、その詳細は未だ明らかとはなっていない。そこで、我々は種々のGFP融合マーカーを用いた高解像/高時間分解能でのtime-lapse imagingを行い、fusion cell間における接着過程の詳細について解析を行った。

個別の気管枝の先端にはfusion cellと呼ばれる細胞が位置しており、これらが互いにfilopodiaを伸縮させながら移動し接着する事で、気管枝同士の融合が完了する。この過程におけるE-cadherin融合GFPの動態を詳細に観察した結果、E-cadherinが、微小管依存的にfusion cellのbasal面であるleading edge側に高度に蓄積する事、そして更にE-cadherin分子がfusion cell間で互いに伸長させる

filopodiaの先端部分に提示されている事が明らかとなった。これらの結果及び、RNAi法を用いたE-cadherinの気管特異的発現抑制の解析等からhomophilicな接着分子であるE-cadherinが、fusion cell間の予定接着領域に一過的に呈示される事により、細胞間認識分子として機能する事が示唆された。

個体における上皮性の複雑な器官構築の基盤となる細胞間接着の過程において、広範に発現が認められるE-cadherinが細胞に特異的な提示機構と共役することで選択的な細胞認識分子として機能するという、新たな可能性が示唆された。

●口頭発表 Oral Presentation  
(国内学会等)

加藤輝、林 茂生：“ショウジョウバエ気管ネットワーク構築におけるE-cadherinを基盤とした選択的細胞間認識機構の解析”、第28回日本分子生物学会年会、JAL リゾート シーホークホテル福岡、12月(2005)

XV—042      線虫胚を用いた細胞周期調節機構の解析

Quantitative Observations of Cell Division Timings in *C. Elegans* Embryo

研究者氏名：荒田幸信 Arata, Yukinobu  
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター  
細胞運命研究チーム  
(アドバイザー 澤 齊)

動物の発生はこの宇宙で最も複雑な現象の一つと言える。発生生物学における最大の問題は、「非常に単純な構造しか持たない動物の卵から秩

序だって機能的な動物の身体の構造を作り出す原理を明らかにすること」である。そこで、私は動物の発生が非常に簡単な「法則」に従って進行し

ているのではないかという仮説を立てこれを検証した。

私は、線虫 (*C. elegans*) の受精卵から約200細胞期までを対象に、細胞が生まれてから分裂するまでの時間 (細胞周期時間) と細胞の体積を定量的に測定し、その関係をグラフ化した。これにより、AB、MS、C細胞系譜の細胞周期時間が細胞の体積と非常に強い相関をもつこと、さらに、ABおよびMS細胞系譜が最も早く分裂し、細胞周期時間が細胞体積の0.28乗に反比例していることを発見した。一方、EおよびD細胞系譜の細胞周期時間はほぼ同じ挙動をしめし、ある体積にいたると細胞周期時間は体積には依存せず、細胞は一定の間隔で分裂することを発見した。以上の結果から、発生過程において体積に従って分裂時間が決定している細胞系譜と、体積に依存せずほぼ一定の間隔で分裂する細胞系譜が存在することが明らかになった。また、細胞分裂のタイミングを詳

細に観察した結果から、細胞の分裂が半同調的に胚の頭側から尻側に連続的に起こることを見つけた。この現象はツメガエルやショウジョウバエの初期胚で観察されるmitotic waveに相当する現象であると考えた。次に、初期胚を*in vitro*で培養する系を確立し、細胞分裂のタイミングが胚内の位置に依存しているかを調べたところ、少なくともE細胞系譜の分裂順番が卵内の順番より早くなることを発見した。以上の結果から、周囲の細胞と協調して細胞分裂をおこすための機構が存在することが示唆される。このように私は、発生における細胞の挙動には簡単な2つの規則性があることを発見した [(1) 細胞周期時間/サイズの関係 (2) 細胞の分裂タイミング/胚の前後軸]。さらに、本研究では、*in vitro*培養系の確立により、細胞の分裂方向を決定する新しい細胞間相互作用を偶然見つけたので合わせて報告する。

## XV—043 動脈-体節間にみられる細胞の誘引・移動現象と血管パターンニング

Cell Attraction and Migration Events Between Somite and Artery During Vascular Patterning

研究者氏名：佐藤 有紀 Sato, Yuki

ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター

パターン形成研究チーム

(アドバイザー 高橋 淑子)

からだ中に張り巡らされている血管は、生物の個体発生および生体機能の維持において必須である。しかしながら、三次元的な多細胞体制から成るからだの中で、血管パターンがどのようにして確立されるかはほとんど未知である。背側大動脈は脊椎動物の発生過程において最初に構築される血管であり、かつ成体型造血の最初の場を提供するなど、循環器機能の発生において中核的な役割を担う。背側大動脈を構成する内皮細胞は体節中胚葉に由来することが以前から知られているが、その分子機構はほとんど不明である。本研究では、Notchシグナリングを活性化された体節細胞が選択的に背側大動脈の内皮へと寄与する現象を足がかりに、発生中の胚内において血管のパターンを確立する分子機構の解明を目指してきた。

本研究では体節形成過程におけるNotchシグナリングの役割を理解するため、派生中の胚内にお

けるNotch活性化細胞の検出を試みた。Notchの活性化に応答して蛍光を発するレポーター遺伝子を*in ovo*エレクトロポレーション法を用いてニワトリ胚の体節内へ導入することにより、発生中の個体内におけるNotch活性化細胞の検出に成功した (Notchレポーター遺伝子は慶応義塾大学医学部、岡野栄之博士より供与)。その結果、内在性のNotch活性化細胞は体節の後側半分領域に局在し、やがて背側大動脈の内皮へと寄与することが明らかになった。前年度までの研究から、実験的にNotchを活性化させた体節細胞は選択的に背側大動脈の内皮へと寄与することをすでに見いだしている。内在性のNotch活性化細胞と実験的にNotchを活性化された細胞の挙動とを比較した結果、実験的にNotchを活性化された体節細胞は正常なNotch活性化細胞の挙動をミミックすることが明らかになった。また前年度までに、Notchを活性

化された体節細胞は、背側大動脈から放出される何らかのシグナルによって誘引されることを証明している。以上の結果から、正常な発生過程では1) 体節の後半部においてNotchシグナルが活性化された細胞が、2) 背側大動脈からの誘引シグナルを受け、3) 血管内皮細胞へと移動、分化することが明らかになった。細胞の移動を直接的に制御する分子機構については、体節の後半部に特異的に発現する*ephrin B2* (Eph受容体のリガンド) に注目し、解析を行った。RNAi法を用いて*ephrin B2*の機能阻害を行ったところ、Notchを活性化された体節細胞の移動が起こらなかった。つまりNotch活性化による細胞移動現象には*ephrin-Eph*シグナリングを介する制御が必要であることがわかった。

本研究により、体節細胞が背側大動脈の血管内皮へと寄与する過程がNotchシグナリングを介した細胞間相互作用により制御されることが初めて示された。さらに、体節のパターンが中軸骨格形成のみならず血管形成過程にも寄与するという、体節が形態形成に果たす役割の新たな一面が明らかになった。

XV—044

### 高速液体混合・高圧X線小角散乱技術による 蛋白質の折り畳みダイナミクスの研究

Protein Folding under High Pressure Studied by Microsecond-Resolved Small-Angle X-Ray Scattering

研究者氏名：秋山 修志 Akiyama, Shuji  
ホスト研究室：放射光科学総合研究センター  
前田構造生物化学研究室  
(アドバイザー 前田 雄一郎)

蛋白質の折り畳み過程には様々な運動が含まれる。主鎖原子はヘリックスやシートといった二次構造を形成し、アミノ酸側鎖は蜜にパッキングされる。ペプチド鎖を取り囲む水分子は、ピコ秒の時間単位で側鎖の露出に応じた水和構造を作る。これらの運動を通じて蛋白質が折り畳む際、その大きさ・形・体積は変化する。折り畳み運動を3次元的な観点から理解するには、大きさ・形・体積の時間変化を捉え、それらの相関関係を詳しく調べる必要がある。

分子の大きさ、形、体積を評価する際、X線小角散乱法は非常に有効な手段となる。しかしなが

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato Y., Takahashi Y.: “A novel signal induces a segmentation fissure by acting in a ventral-to-dorsal direction in the presomitic mesoderm”, *Developmental Biology*, 282 183-191 (2005)\*

Oka Y., Sato Y., Tsuda H., Hanaoka K., Hirai Y., and Takahashi Y.: “Epimorphin acts extracellularly to promote cell-sorting and aggregation during the condensation of vertebral cartilage”, *Developmental Biology*, in press.\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

佐藤有紀、渡邊忠由、神山淳、岡野栄之、高橋淑子：“体節から背側大動脈への分化と移動を制御する空間パターンニング”、日本発生生物学会第38回大会、仙台、6月(2005)

佐藤有紀、高橋淑子：“ニワトリ胚の形態形成研究における切片in situハイブリダイゼーション”、日本発生生物学会第38回大会、仙台、6月(2005)

ら、折り畳み反応開始後サブマイクロ～マイクロ秒の時間領域をX線小角散乱法で観測することは実験的に困難であった。そのため、“マイクロ秒領域で変性した蛋白質がどのように運動するのか”、“その運動がどのような物理化学的な力によって駆動されているのか”については未だ議論の渦中にある。

昨年度までに行ったアポミオグロビンや一鎖モノレリンの測定に引き続き、本年度はリボヌクレアーゼAの実験を行った。その結果、折り畳み初期に形成される状態が一般的な変性状態ではなく、特異的な構造を持った折り畳み中間体であること



が示された。また、これまでに測定した4つの蛋白質(シトクロムc、アポミオグロビン、一本鎖モネリン、リボヌクレアーゼA)の実験データを利用し、“天然状態構造のトポロジー”と“折り畳み経路”の相関について総合的な検討を行った。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kimura T., Akiyama S., Uzawa T., Ishimori K., Morishima I., Fujisawa T. and Takahashi S.: “Specifically Collapsed Intermediate in the Early Stage of the Folding of Ribonuclease A”, *J. Mol. Biol.*, **350** 349-362 (2005)\*

## XV—046

### 軟X線発光分光法による液相分子と 溶液中の分子の電子状態の観測

Electronic State Observations of Liquid Phase and Solute Molecule

研究者氏名：徳島高 Tokushima, Takashi

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

辛放射光物性研究室

(アドバイザー 辛埴)

物質の電子状態を観測する手法としては光電子分光法が幅広く使われている。しかし、電子は大気中ではすぐに気体分子に衝突してそのエネルギーを失ってしまう。そのため、光電子分光法の適用は、固体、表面吸着分子、希薄な気相分子などに限られている。それに対して軟X線発光分光法は測定する対象が軟X線領域の光であるため電子と比べると物質中での透過率は大きく、ごく薄い材料の窓であれば透過させることが可能である。このような性質を利用した液体試料の軟X線発光分光法による電子状態の観測は研究が始まったばかりであり、わずかに封入型の試料セルでのタンパク質溶液、水、いくつかの水溶液を対象とした実験が行われているだけである。

液体、溶液を対象とした研究を行うにあたって、以前に使用されていた封入型セルでの問題点と温度条件等の精密調整の必要性を考慮し、液体試料を常に流し続けることができる溶液フローセルを開発した。このセルは真空槽との仕切りに厚さ200nm、窓の大きさ6mm×0.5mmの窒化シリコン膜のついたシリコン板を用いていて、窓材の大気圧側に直接液体試料を流すことができる。また、セル本体は真空中ではなく大気側に露出する構造になっていて、高速クロマトグラフィー等で用いられるチューブや継ぎ手をそのまま利用できる。また、軟X線発光分光の実験に必要な分光器は

SPring-8BL17SUビームラインの微小スポット光を励起光につかう高効率分光器HEPA2を溶液の実験装置にあわせて開発した。

これらの装置を用いて、液体、溶液の電子状態の観測を行った。分解能の向上により、これまでに報告されていた純水のスペクトルでは1本のピークとして観測されていた部分が2本のピークで構成されていることが観測された。この結果は、水が持っている水素結合の数の違いが反映されていると考えられるので、現在、分子軌道計算との比較によるピークの帰属を共同研究者と行っている。また、触媒反応の研究への軟X線発光分光の展開の可能性を確かめるために、塩化第二鉄水溶液の鉄イオン、酸化チタン粉末の水懸濁液の電子状態の試験測定を行い、触媒作用を持つ物質の水の中での電子状態を観測することに成功した。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

徳島高、原田慈久、宮嶋良治、辛埴：“高効率・高分解能軟X線発光分光器の開発と水の軟X線発光分光”、電気学会研究会 光・量子デバイス研究会、東京、9月(2006)

徳島高、原田慈久、宮嶋良治、辛埴：“軟X線発光分光法による水の電子状態の観測”、第19回日本放射光学会年会、名古屋、1月(2006)

研究者氏名：山川 哲生 Yamakawa Norio

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

翻訳後修飾による動的調節機構研究チーム

(アドバイザー 谷口 寿章)

タンパク質の構成単位の一つにドメインがある。これまで、SH2、SH3などに代表される多くのドメインが発見されてきた。比較的、新しく発見されたドメインにPDZドメインがある。PDZドメインは、キナーゼ、フォスファターゼ、シグナル伝達因子などに存在しており、他のタンパク質と結合することで分子を集積させる機能を持っていると考えられている。PDZドメインの特徴は、一つのタンパク質に多数存在する（最大13個）ことである。

現在、多くのPDZドメイン結合タンパク質が発見されているが、既知の結合ルール（C末S/TXV）にあてはまらないタンパク質も多く見られる。タンパク質結合の複雑性を反映していると考えられる。そこで、本研究では、PDZドメイン結合タンパク質を質量分析計を用いて網羅的に同定し、結合ルールを明らかにしようとしている。

今年度は、免疫沈降法により抽出したPDZ結合タンパク質を質量分析計を用いて同定を行った。その結果、PDZドメインには結合タンパク質が多く存在するタイプと少ないタイプがあることが分かった。CaskやX11alphaのPDZドメインは結合タ

ンパク質が少なく、AIE-75などは多くの結合タンパク質を持っていた。AIE-75はPDZドメインを3個持つ大腸癌のマーカーであり、また、機能が判明していない。今回、AIE-75の1番目のPDZに対する結合タンパク質を21個同定した。細胞膜に存在するタンパク質やZnフィンガーを持つタンパク質が同定できたことより、AIE-75は細胞膜直下に発現し、核内に移行するような分子を集積する役割を担っていると推測される。

また、AIE-75PDZ1に対する結合タンパク質中には、既知の結合ルールにあてはまるものが3個存在した。さらに興味深いことにC末にLysを持つものが4個存在した。Lysはアセチル化やメチル化といった翻訳後修飾を受けることが知られており、新たな結合ルールの解明への手がかりとなると考えられる。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

山川哲生、谷口寿章：PDZドメイン結合蛋白質のプロテオミクス解析、第28回日本分子生物学会年会、福岡、12月（2005）

#### XV—049 CdO量子ドットの成長：青色領域における室温発光ダイナミクスの探求とそのオプトエレクトロニクスへの応用

Growth of CdO Quantum Dots: Luminescence Dynamics in Blue Wavelengths and Applications to the Optoelectronics

研究者氏名：A.B.M.アルマムン・アシュラフィ

ABM Almamun Ashrafi

ホスト研究室：フロンティア研究システム

光物性研究チーム

(アドバイザー 瀬川 勇三郎)

#### 研究成果の概要

最終目標としているCdO/ZnOのドットのアレイを製作するため、ZnOとその関連物質をMOCVD（有機金属化学成長）法を用いて製作した。この

計画では、ZnOはCdOドットに対して障壁として働き、量子閉じ込め効果を発揮する。この目的のため、高品質のZnO薄膜をSiC基板上に成長し、その結果を論文発表した。ZnO/SiC界面の性質を

研究した結果、SiCのSi面に対し、まずZnを高温基板に照射し、基板酸化を制御できることを示した。また基板からのCの寄与は、基板からのSiの寄与および有機金属からの寄与より大きいことが示された。これはZnOの伝導制御に大きな知見を与える。

#### 研究の寄与

主要目的を達成しつつある。この2年半の間にCdO/ZnOのドットのアレイを製作するために以下の進展があった。

- ・従来ZnOの薄膜成長には格子不整合が大きいサファイヤ基板（18%）が使われていた。

我々は新しく整合度の小さい6H-SiC（5%）を基板として用いた。

- ・6H-SiC上に高品質のZnO薄膜を成長した
- ・ZnO/SiC界面の物理化学的性質を解明し、量子構造製作の基礎技術を得た。
- ・6H-SiC上の高品質のZnO薄膜に見られる励起子構造の温度変化を通常のサファイヤ基板上の薄膜と比較した。
- ・発光スペクトルとx線回折測定より格子構造を解析した。
- ・基板からのCの寄与を解析した。これは電気伝導度制御に重要な役割を果たすと考えられる。また希薄磁性半導体の可能性も示唆する。

## XV—050 低波数振動分光による光合成酸素発生型マンガクラスターの構造及び水分解反応機構の解明

Structural and Functional Roles of the Photosynthetic Oxygen Evolving Complex in Photosystem II as Revealed by Low-frequency FTIR Spectroscopy

研究者氏名：木村 行宏 Kimura, Yukihiro  
ホスト研究室：中野生体膜研究室  
(アドバイザー 中野 明彦)

光合成酸素発生反応は光化学系IIマンガク（Mn）クラスターを触媒中心とする水の酸化反応であるが、その反応機構及びMnクラスターの構造は不明である。本研究の目的は、高感度赤外分光システムを用いてMnの酸化に伴う配位子（基質水分子及びアミノ酸）の変化を検出し、Mnクラスターの配位構造、及び酸素発生反応機構を解明することである。本年度はMnクラスターの推定配位子であるD1蛋白質のアミノ酸に的を絞り、これらを同位体置換、或いは部位特異的に他のアミノ酸に変異させた試料を用いてMnクラスターの詳細な配位構造について検証した。

(1) D1蛋白質の推定アミノ酸配位子Glu189の構造的、機能的役割を明らかにするため、Glu189をカルボキシル基を持たないGlnで置換した変異株(Glu189Gln)の性質を調べた。Glu189Glnは高い酸素活性を示し、Mnイオンの磁気的性質にも顕著な変化は見られなかったが、S<sub>2</sub>状態Mnクラスターの酸化還元電位は野生株に比べて低下していた。Glu189GlnのS<sub>2</sub>/S<sub>1</sub>赤外吸収差スペクトルでは金属に2座配位したカルボキシ

レート対称伸縮振動とカルボニル伸縮振動の波数領域に明確な変化が観測された。さらに低波数領域ではMnクラスターの骨格構造に由来するバンドに顕著な変化が見られた。以上の結果は、Glu189カルボキシレートがMnイオンに2座配位することを分光学的に示した初めての例である。Glu189Gln変異株では、消失したGluのカルボキシル基に代わってGlnのカルボニル基がMnイオンの配位子となり、正常な機能を保持していると考えられる。

(2) 光化学系IIのヒスチジン残基のみを<sup>15</sup>N同位体標識した試料を用いて、S状態遷移に伴うヒスチジン配位子の構造変化を振動分光的に検証した。S<sub>1</sub>→S<sub>2</sub>及びS<sub>2</sub>→S<sub>3</sub>遷移では、1120-1090 cm<sup>-1</sup>にイミダゾール環CN伸縮振動に帰属されるバンドの同位体シフトが出現したが、S<sub>3</sub>→S<sub>0</sub>遷移スペクトルでは見られず、S<sub>0</sub>→S<sub>1</sub>遷移スペクトルにおいて正負逆転した同位体バンドが観測された。これらの明確なS状態依存変化は、観測されたバンドがS状態サイクルに伴うヒスチジン配位子の構造変化に対応していることを示

している。最も可能性の高い配位子候補は His332であるが、His337の部分的な寄与も現段階では否定できない。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kimura, Y., Mizusawa, N., Ishii, A., and Ono, T.-A.: “FTIR detection of structural changes in a histidine ligand during S-state cycling of photosynthetic oxygen-evolving complex”, *Biochemistry*, 44, 16072-16078 (2005)\*

Kimura, Y., Mizusawa, N., Ishii, A., Nakazawa, S., and Ono, T.-A.: “Changes in structural and functional properties of oxygen-evolving complex induced by replacement of glutamate of D1 189 with glutamine in photosystem II: Ligation of glutamate 189 carboxylate to the Mn cluster”, *J. Biol. Chem.*, 280, 37895-37900 (2005)\*

(解説)

木村行宏、小野高明：“フーリエ変換赤外分光法による光合成酸素発生系マンガングラスターの構造及び機能の解析”、生物物理、印刷中

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

小野高明、木村行宏、石井麻子、水澤直樹：“光合成酸素発生系Mnクラスターのアミノ酸配位子と結合Mnイオンの酸化還元”、第32回生体分子科学討論会、神戸、6月(2005)

木村行宏、水澤直樹、石井麻子、小野高明：“光合成酸素発生系マンガングラスターの配位構造：赤外分光法によるアプローチ”、第47回日本植物生理学会年会、筑波、3月(2006)

水澤直樹、木村行宏、石井麻子、中澤重顕、小野高明：“光化学系II D1蛋白質のグルタミン酸189をグルタミンへ置換した酸素発生系の性質”、第47回日本植物生理学会年会、筑波、3月(2006)

XV—051

## 振動分光法とab initio分子軌道計算による 膜蛋白質金属活性中心の構造研究

Vibrational Spectra and ab initio MO Calculations of Metal Active Site in Membrane Protein

研究者氏名：長谷川 浩司 Hasegawa, Koji

ホスト研究室：中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

青色光受容フラビン蛋白質はフォトリポピン、クリプトクロムとBLUF (a sensor of blue-light using FAD) をドメインに持つ新奇蛋白質が知られている。BLUF蛋白質は光吸収によりFADの可視吸収スペクトルが約10nm長波長シフトし、signaling stateの可逆的な生成が起きる(光反応サイクル)。この変化は蛋白質の光信号伝達に関与していると考えられているが、光反応機構の詳細は未だ明らかになっていない。本年度は下記に示すBLUF蛋白質の研究を行った。

(1) 大腸菌YcgFは、BLUFドメインとc-di-GMP加水分解活性を制御するEALドメインから構成されるBLUF蛋白質である。YcgFのBLUFドメイン及び全長蛋白質の光励起フーリエ変換赤外分光(FTIR)差スペクトルをそれぞれ測定した。その結果、全長蛋白質のFTIR差スペクトル

ルにはフラビンC4=O伸縮振動バンドの他にアポタンパク質由来と思われるバンドが多数現れた。一方、BLUFドメインのFTIR差スペクトルはフラビンC4=O伸縮振動バンド以外に大きなバンドが現れなかった。低温下(-5度以下)で測定した全長蛋白質のFTIR差スペクトルはBLUFドメインのスペクトルに酷似した。この結果は、YcgF全長蛋白質のFTIR差スペクトルにはBLUFドメインとEALドメインの構造変化に由来するバンドが含まれていることを示唆し、BLUFドメインからEALドメインへ構造変化の信号が伝わっていることを意味する。

(2) 発色団をFAD、FMN、riboflavinで再構成した紅色細菌AppA BLUFドメインの光励起FTIR差スペクトルを測定した。3種類の発色団によるスペクトルの違いはほとんどみられなかつ

た。この結果、FADのADP moietyは光照射により構造変化をしていないことがわかった。

- (3) フラビンisoalloxazine環の個々の炭素と窒素原子を特異的に<sup>13</sup>C, <sup>15</sup>Nで同位体標識したFADとAppAのBLUFドメインアポ蛋白質から部位特異同位体標識FADを持つAppAドメインを再構成し、光励起FTIR差スペクトルの測定を行った。個々の原子の同位体標識がFTIR差スペクトルのバンドに与える同位体効果を調べ、発色団FAD由来のバンドの帰属を行った。
- (4) 発色団FADの極近傍に位置するTrp104をalanineに置換したAppAのBLUFドメインのフォトサイクルを調べた。その結果、Trp104はFADと直接あるいは間接的に水素結合し光励起FADから蛋白質主鎖の構造変化への光信号変換過程において重要な役割を果たしていることがわかった。

#### ●誌上発表 Publications

(原書論文)

- Hasegawa K. and Noguchi T.: “Density functional theory calculation on the dielectric-constant dependence of the oxidation potential of chlorophyll: Implication for the high potential of P680 in photosystem II”, *Biochemistry*, 44 8865-8872 (2005) \*
- Masuda S., Hasegawa K., and Ono T.: “Adenosine diphosphate moiety does not participate in structural changes for the signaling state in the sensor of blue-

light using FAD domain of AppA”, *FEBS Letters*, 579 4329-4332 (2005)\*

- Masuda S., Hasegawa K., and Ono T.: “Tryptophan at position 104 is involved in transforming light signal into changes of  $\beta$ -sheet structure for the signaling state in the BLUF domain of AppA”, *Plant Cell Physiol.*, 46 1894-1901 (2005) \*
- Hasegawa, K., Masuda S., and Ono T.: “Light-induced structural changes of full-length protein and its BLUF domain in YcgF(Blrp), a blue-light sensing protein that uses FAD (BLUF)”, *Biochemistry*, in press (2006)\*
- Hasegawa K., and Ono T.: “Vibrational analyses of di- $\mu$ -oxo bridged manganese dimers based on density functional theory calculations: Theoretical evaluation of Mn-O vibrations of the Mn-cluster core for photosynthetic oxygen-evolving complex”, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, revised (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際学会等)

- Hasegawa K., Masuda S., and Ono T.: “Spectroscopic analysis of the dark relaxation process of a photocycle in a sensor of blue-light using FAD (BLUF) protein Slr1694 of the cyanobacterium *Synechocystis* sp. PCC6803”, The 15th International Symposium on Flavins and Flavoproteins, Hayama, April (2005)

XV—053

### 育児期のマザリーズ発話による 母親の愛着行動とfMRIによる脳内表現の解析

Brain Mapping during the Production of Motherese as a Function of Maternal Personality

研究者氏名：松田佳尚 Matsuda, Yoshitaka  
ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
言語発達研究チーム  
(アドバイザー 馬塚 れい子)

私たちが幼児に向かって話しかける際、「あんだよ」「ねんね」といった特殊な単語を頻用する。また、意識するしないに関わらず声の調子が高くなり、抑揚をつけてゆっくりと話す。これはマザリーズと呼ばれ、多くの文化で見受けられる現象である。そのため、ヒトに共通した感情が起因し

ていると考え、fMRIを使ってマザリーズを話しているときの脳内基盤を探った。まず、予備実験として一人の話者から録音したマザリーズおよび成人向け発話(AD)を、7名の被験者(女4、男3)に聞かせ、その時の脳活動を調べた。その結果、ADよりもマザリーズを聞いている時の方

が、韻律情報を担っている右・上側頭回(溝)で活動見られた。また、感情を担っている左・島にも活動が見られた。この結果から、マザリーズには音声学的な特徴だけでなく、感情情報が内在していることが分かった。この予備実験で録音したマザリーズには、音声学的な情報と語彙的な情報が含まれていたため、この二つの情報が脳内の同じ部位でコードされているのか否かを調べることにした。この2つの情動的側面を2要因配置することで、一つの単語を4通りに組み合わせさせた(例えば【足、足<sub>ト</sub>、あんよ、あんよ<sub>ト</sub>】、-はAD韻

律、<sub>ト</sub>はマザリーズ韻律)。この4通りの単語をランダムに提示し、実験1では、韻律情報に着目して正誤判断課題を、実験2では語彙情報に着目して正誤判断課題を行ってもらった。実験1と実験2による脳活動部位を比較することによって、それぞれの情報を司る部位が同定できるはずである。また、マザリーズによる脳活動に男女差、経験差、個人差があるのかどうかを調べるため、出産経験の有無、ビッグ5性格判断テストを行い、脳活動の違いを検討している。現在、結果を解析中である。

## XV—055

### サル下側頭葉視覚連合野における神経細胞の同期発火

Spike Synchronization between Neurons in Monkey Area TE

研究者氏名：内田 豪 Uchida, Go

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

脳統合機能研究チーム

(アドバイザー 谷藤 学)

我々は、昨年度までに下側頭葉視覚連合野の発火活動の細胞間同期に関して、以下の性質を明らかにした。

- (1) 自発発火状態で発火系列間の相互相関関数を計算すると、約30% (17/57) の細胞の組で統計的に有意なピークが見られる。どの組に関してもピークの幅は数百msで、遅れ時間0付近でピークの値が最大になる。
- (2) 有意なピークを持つ組のうち6組を構成する個々の細胞は発火可能状態と発火不能状態の2つの活動状態を持つ。状態遷移の過程は2状態マルコフ過程として記述でき、その時定数は数百msである。
- (3) 上記6つの個々の組で状態遷移が細胞間で同期しており、これが相互相関関数の幅の広いピークを生み出している。

この成果を受けて本年度は、上記6組以外の組に関しても有意なピークが状態遷移の細胞間同期で説明可能かどうかを調べた。

まず始めに、ある細胞の組に対して実験で得た発火系列の2次の統計量から2状態マルコフ過程のパラメータを決定した。次に組を構成する個々の細胞のある期間内での発火数分布を実験とモデルからそれぞれ求め、統計的に比較した。その結

果、一方の細胞の分布は良く一致するが、もう一方の分布は大きく違うことが分かった。この結果は一方の細胞の発火系列は2状態マルコフ過程で変調された点過程として記述出来るが、もう一方の発火系列は記述出来ない事を示唆している。そこで、記述出来ない細胞の分布を観察すると、モデルの分布にある発火可能状態に由来するピークが、実験で得た分布には存在せず、代わりに最大発火数がモデルよりも大きい方に伸びており、また、ピークをとる発火数より小さい発火数の頻度が大きくなっていた。この事は発火可能状態に発火頻度が高い状態と低い状態の2つの状態がある事を示唆している。そこで、発火系列を3状態マルコフ過程で変調された点過程としてモデル化し、実験で得た発火数分布に対して最小自乗フィッティングを行ったところ、分布が3状態モデルでよく説明出来た。さらに、組を構成する2つの細胞間で発火可能状態と発火不能状態との間の状態遷移が同期していると仮定して2つの細胞の結合発火数分布を計算すると、実験で得た結合発火数分布と統計的によく一致した。以上の事はこの組の相互相関関数にあらわれる幅の広いピークも状態遷移の細胞間同期を反映している事を示唆している。現在、残りの組に関しても同様な解析を

行っている。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Uchida G., Fukuda M., and Tanifuji M., “Synchronous transition between two activity states of neurons”, *Phys. Rev. E*, accepted\*

Uchida G., Fukuda M., Sato T., and Tanifuji M., “Stimulus-dependent modulation of synchronous

activities of neurons in area TE in anesthetized macaque monkeys”, *Cereb. Cortex*, submitted\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

内田豪、福田光洋、佐藤多加之、谷藤学：“サル視覚連合野における神経活動の同期状態と視覚刺激応答”，第43回日本生物物理学会年会、札幌コンベンションセンター、11月（2005）

XV—056

## 新規ビタミン・ピロロキノリンキノンの生理的役割

Physiological Roles of a Novel Vitamin Pyrroloquinoline Quinone

研究者氏名：笠原 和起 Kasahara, Takaoki

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

精神疾患動態研究チーム

(アドバイザー 加藤 忠史)

ピロロキノリンキノン (PQQ) は、ニコチンアミド (NADなど) およびフラビン (FADなど) に次ぐ第三の酸化還元補酵素として、1979年にバクテリアにおいて見つかった。その後、多くの食物にPQQが含まれていることが判明し、PQQを含まない餌を与えたマウスは発達不良をはじめとする多くの異常を示した。これらのことから、PQQは哺乳類にとって重要な栄養素のひとつではないかと推測されていた。我々は、マウスから偶然に単離した遺伝子がPQQ依存性の脱水素酵素をコードしていることをバイオインフォマティクスと個体レベルの実験を通して示した。このことから、PQQは哺乳類にとって新しい酸化還元補酵素であり、同時に新規ビタミンであると考えられた。このPQQ依存性の酵素は、アミノアジピン酸セミアルデヒド (AAS) 脱水素酵素で、必須アミノ酸のひとつであるリジンの分解に関わっている。ただ、この酵素の詳細な機能、すなわち素反応等が明らかではなく、そこにPQQがどのように関わっているかが謎である。また、PQQ欠乏マウスで観察される異常とAAS脱水素酵素の機能不全との関連も不明であり、これらの不明な点を明らかにするために研究を行った。

哺乳類培養細胞にAAS脱水素酵素を発現させて、リコンビナントタンパク質を抽出・精製するという方法を開発した。これによりに翻訳後修飾

(4'-ホスホパンテテイン化) を受けた酵素を得ることが出来るようになった。さらに、高感度の生化学実験を行うために、*Hyphomicrobium* sp. DSM 1869を利用して放射性同位体<sup>14</sup>Cで標識したPQQを、また*Pseudomonas putida*を利用して基質となるAASをそれぞれ生合成した。しかし、PQQもAASも極めて反応性が高い分子のため、脱水素酵素の触媒反応を追跡するためにはさらなる工夫が必要であることが判明した。

また、これまでPQQはグラム陰性菌の一部の細菌のみが生合成していると考えられていたが、理研内における共同研究から、真核生物のなかにもPQQを生合成している生物を見出した。現在、その生合成にかかわっている遺伝子(群)を同定中である。さらに、同共同研究を通じ、PQQの高感度かつ高精度の定量系を開発した。今後、その定量系を応用して、ヒト試料(血液あるいは尿)に含まれるPQQ量を測定していく予定である。

### ●誌上発表 Publications

(単行本) 笠原和起：“PQQの代謝”(分担執筆)  
「栄養・食料学データハンドブック」 pp.99  
(2006)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

笠原和起、窪田美恵、垣内千尋、宮内妙子、亀谷瑞枝、南光進一郎、功刀浩、野田幸裕、毛利彰宏、鍋島俊隆、加藤忠史：“双極性障害モデル動物の作出と実証：ミトコンドリアDNAの欠

失が前脳特異的に蓄積する遺伝子改変マウス”、第24回躁うつ病の薬理・生化学的研究懇話会、熱海、6月（2005）

XV—057                    **カルシウムカルモジュリン依存性キナーゼII  
活性のリアルタイムイメージング-可塑性を起こしたシナプスの同定の試み**

Visualization of Calcium Calmodulin Protein Kinase II  
Activity -attempt to Identify the Synapse Which is Undergoing Plasticity

研究者氏名：高雄啓三 Takao, Keizo  
ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
神経構築技術開発チーム  
（アドバイザー 端川 勉）

カルシウムカルモジュリン依存性キナーゼII (CaMKII) は海馬長期増強 (LTP) などのシナプス可塑性において中心的な役割を果たしている。LTPでは、後シナプスでのNMDA受容体の活性化により細胞内にカルシウムが流入すると、カルシウム - カルモジュリン複合体が形成され、この複合体がCaMKIIの制御ドメインに結合することによりCaMKIIは活性化し、サブユニット間で自己リン酸化を繰り返すことによりすべてのサブユニットが脱リン酸化されるまで活性を保つ。このため、CaMKIIはLTPなどシナプス可塑性の基盤となる物質として注目されている。

本研究では生細胞でのCaMKIIの活性をリアルタイムで可視化することを試みる。そして、培養神経細胞におけるシナプス可塑性のなかでCaMKIIがどのような役割を果たしているのかを明らかにする。さらに将来的には同じ構築を生きた動物に発現した上で二光子顕微鏡で観察することにより学習記憶時に神経回路網の中で、どのシナプスでCaMKIIが活性化されているか、換言す

ると可塑性を起こしたシナプスを可視化することを試みる。

前年度までに蛍光共鳴エネルギー移動現象 (FRET) を利用し、生きている培養神経細胞でCaMKIIの活性を二光子顕微鏡で観察・計測するシステムを確立した。

本年度はさらにシステムの改良を進め、生きている動物での計測をめざし、実験装置を組み立てている。Camuiを発現するウイルスベクターを生きている動物の脳に注入し、そのタンパク質の発現を蛍光により確認した。

●誌上发表 Publications  
(原著論文)

Howarth, M., Takao, K., Hayashi, Y. and Ting, AY.:  
“Targeting quantum dots to surface proteins in living cells using biotin ligase”, Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 102(21) 2005, 7583-7588



研究者氏名：西村-穂吉 幸子

Nishimura-Akiyoshi, Sachiko

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

行動遺伝学技術開発チーム

(アドバイザー 糸原 重美)

脊椎動物の複雑な中枢神経系の特徴のひとつは多様な層構造であり、機能的に異なるニューロン群は然るべき特定の標的細胞へ投射するだけでなく、個々の標的細胞の中でも樹状突起の限られた分節や細胞内区画に層状の秩序だった結合を形成する。このような層特異的シナプス結合は、異なる情報を適切に処理し、統合する上で重要な構造的基盤であると考えられるが、その結合特異性が形成・維持される分子機構は現在のところほとんど未解明である。軸索誘導因子netrinの類縁分子として我々が同定した膜タンパク質netrin-Gs (netrin-G1およびnetrin-G2) は、この機構に関与する候補分子として興味深い性質を有している。netrin-G1とnetrin-G2は脊椎動物の中枢神経系に限局して発現し、また両者は相互排他的に特定の軸索上に分布する。昨年度はnetrin-G1、netrin-G2とそれぞれ選択的に結合する受容体候補分子群NGLs (NGL-1およびNAG14) の同定に成功し、本年度はそれら受容体分子の解析を発展させた。

(1. 受容体分子の発現分布) *in situ hybridization* 法により、マウス脳におけるNGL-1およびNAG14の発現部位を特定した。受容体NGLsは主にnetrin-G1、netrin-G2経路の標的細胞(ポストシナプス側)で高く発現していることを見出した。免疫組織染色により、netrin-G1とNGL-1、netrin-G2とNAG14が共局在することを示した。さらにnetrin-G1とnetrin-G2は標的細胞に発現する受容体分子を特定の樹状突起分節に集積させている(netrin-G1、netrin-G2変異マウスでは、それぞれの受容体の層特異的な分布が乱れており、樹状突起上に拡散してしまう)ことを明らかにした。これらの結果を基に“軸索上のnetrin-G1、netrin-G2が異なる受容体分子NGL-1、NAG14を介して、樹状突起の局所的な性質を決定する”との仮説に至った。

(2. netrin-Gs/NGLs下流分子の探索) netrin-GsとNGLsの特異的相互作用により規定されるシナプス機能の解明を目的として、受容体の下流分子の探索を行った。膜貫通タンパク質であるNGLsは、細胞内C末端にPDZドメイン結合モチーフを有しているため、何らかのアダプタータンパク質を介して細胞内シグナル伝達系や細胞骨格系にnetrin-Gsのシグナルを仲介すると想定された。そこでヒト海馬のcDNA発現ライブラリを用いた酵母ツーハイブリッド法により、NGL-1およびNAG14の細胞内ドメインと結合する分子のスクリーニングを行った。各受容体につき、複数の結合タンパク質を同定した。

(3. 遺伝子欠損マウスの作製) NGL-1およびNAG14の遺伝子ターゲティングに成功した。NAG14については変異マウスのヘテロ接合体までを得た。今後これら変異マウスを用いてnetrin-G/NGL分子群のシナプスにおける機能および下流分子との機能連関を検証する。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nishimura-Akiyoshi S., Niimi K., Hashikawa T., Nakashiba T., and Itohara S.: “Axonal proteins netrin-G1 and netrin-G2 determine specific neuronal connectivity via independent receptors”, 35th Annual Meeting, Soc. Neurosci., Washington, DC, USA, Nov. (2005)

(国内学会等)

西村幸子、関健二郎、新美君枝、渡辺明子、吉川武男、仲柴俊昭、糸原重美：“軸索分子netrin-G1による投射経路選択的なシナプス機能制御”第139回日本獣医学会学術集会、和光、3月(2005)

研究者氏名：香川 亘 Kagawa, Wataru

ホスト研究室：ゲノム科学総合研究センター

タンパク質構造・機能研究グループ

(アドバイザー 横山 茂之)

出芽酵母の遺伝学的解析から、Rad52はRad51に依存した反応経路およびRad51に依存しない反応経路で働くことが知られている。試験管内では、酵母およびヒトのRad52は、Rad51の組換え活性を補助する。さらにRad52は単独で、相同的対合反応や単鎖DNA同士のアニーリング反応を触媒する。これまでに私は、ヒトRad52のX線結晶構造解析に成功しており、その立体構造および生化学的解析からRad52の単鎖DNAとの相互作用部位の同定を行ってきた。しかしその一方で、Rad52と二重鎖DNAとの相互作用についてはその生物学的な意義も含めて不明な点が多い。

そこで本年度は、Rad52と二重鎖DNAとの相互作用を解析した。Rad52の結合による閉環状プラスミドDNAのtopology変化を解析したところ、Rad52は二重鎖DNAに正の超らせん構造を誘起することが明らかになった。相同的対合反応を触媒する酵素が正の超らせんを二重鎖DNAに導入する例としては初めてである。その詳細を明らかにするために、まず以前決定したRad52の立体構造の表面に存在する塩基性または芳香性アミノ酸残基をそれぞれアラニンに置換した26種類の変異体を高純度に精製した。これらの変異体の超らせん構造を導入する活性を調べたところ、活性が著しく低下した変異体が2種類 (K102AとK133A) 見つかった。興味深いことに、これらの残基は以前同

定した単鎖DNAとの結合に重要な領域とは異なる場所に存在することが分かった。さらに二重鎖DNAのminor grooveに特異的に結合する化合物distamycin A存在化では、Rad52の正の超らせんを導入する活性は著しく低下することが分かった。このことは、Rad52のK102残基およびK133残基が、二重鎖DNAのminor grooveに対してdistamycin Aと同様の様式で結合することを示唆した。これらの情報をもとに、Rad52と二重鎖DNAとの複合体のモデル構造を構築し、Rad52単独で触媒する相同的対合反応およびRad52とRad51とが協同的に触媒する組換え反応のメカニズムを提案した。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kinebuchi, T., Kagawa, W., Kurumizaka, H., and Yokoyama, S. :“Role of the N-terminal domain of the human Dmc1 protein in octameric formation and DNA”, *J. Biol. Chem.*, 280 28382-28387(2005)\*

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

香川 亘、香川 亜子、柴田 武彦、胡桃坂 仁志、横山 茂之：“ヒトRad52タンパク質のhomologous pairingのメカニズム”、第28回日本分子生物学会年会、福岡市、12月 (2005)

研究者氏名：鈴木 芳宏 Suzuki, Yoshihiro

ホスト研究室：ゲノム科学総合研究センター

タンパク質構造・機能研究グループ

(アドバイザー 横山 茂之)

フジツボやホヤなどの海洋付着生物は、幼生期

は浮遊生活を送るが、その後成体へと変態して固

着生活に入る。この付着・変態の過程を着生と呼び、この現象の制御要因の一つとして化学物質、すなわち着生誘起物質の存在が示唆されている。本研究では、マボヤ幼生の変態を誘起する物質を同定し、マボヤ幼生に存在する着生誘起物質の受容体を特定することを目的している。またホヤ類は分類学上、脊椎動物と無脊椎動物との境界に位置するため、本研究の成果はマボヤのみならず脊椎動物の発生と進化に関する研究に重要な手がかりを与えうる。

マボヤ成体の被囊（外側の殻の部分）の抽出物を探索源として、マボヤ幼生の変態誘起活性物質の探索を行った結果、各種クロマトグラフィーによる分画の過程；シリカゲル中圧カラムクロマトグラフィーにおいて3つの画分に活性が検出され、そのうち1画分から活性物質としてDHA、EPA、アラキドン酸などの不飽和脂肪酸類を同定した。これらの物質について、天然物と市販品を比較して生物検定を行ったところ、天然物・市販品ともに同等のマボヤ幼生変態誘起活性が見いだされた。さらにシリカゲル中圧カラムクロマト

グラフィーにおける他の2つの活性成分、マボヤ成体の内臓抽出物、マボヤ幼生の過密飼育海水についても精製を進めたが、さらなる活性物質の存在は確認できたものの同定には至っていない。

また過去の文献を調査した結果、DHAをリガンドとする受容体タンパク質として核内受容体の一種であるRXRの存在が明らかとなった。DHAとマボヤ幼生の変態、およびDHAとRXRの関連性から、RXRがマボヤ幼生の変態、すなわち着生現象に関わっている可能性が高い。そこでマボヤ幼生からのRXR遺伝子のクローニングを試みた。マボヤ幼生からRNAを抽出し、既にクローニングされている他のホヤ類のRXRのDNA塩基配列を参考にプライマーをデザインし、RT-PCRを行った。その結果、RXRと非常に高い相同性を持つcDNAクローンを得ることに成功した。さらにRACEによるRXR遺伝子全長のクローニングを目指して研究を進めたが、マボヤ幼生から良質なmRNAを得ることが困難であるため、RXR遺伝子の全長を得るには至っていない。

## XV—061

### 植物における細胞の分裂と分化を 柔軟に制御する分子機構に関する解析

Analysis of Molecular Mechanisms Plastically Regulating between Cell Division and Cell Differentiation in Plants

研究者氏名：山口 雅利 Yamaguchi, Masatoshi  
ホスト研究室：植物科学研究センター  
形態制御研究チーム  
(アドバイザー 出村 拓)

胚発生以降に殆どの器官を形成する植物において、個体の成長や生命維持のためには、様々な外的・内的からのシグナルに対して、細胞の分裂そして分化を柔軟かつ厳密に制御することが必要不可欠である。私はこの植物における細胞分裂と分化を柔軟に制御する分子機構について明らかにすることを目的として解析を行っている。

ヒヤクニチソウは、葉肉細胞の単離が容易であり、さらに得られた葉肉単細胞を道管細胞である管状要素へと高頻度かつ同調的に分化を誘導することができる。昨年度までに私は、細胞周期の進行の決定に重要なCDKA (ZeCDKA) を単離した。出芽酵母cdc28変異株にこのZeCDKAを導入したと

ころ、温度感受性を相補することが明らかとなった。興味深いことに、CDK活性化キナーゼ(CAK)によるリン酸化部位を置換したZeCDKAを導入した場合、このような相補活性はみられなかった。これまでの発現解析結果と併せることにより、ZeCDKAは葉肉細胞が脱分化能を獲得する時期に、発現が誘導されるものの、その一方で、サイクリンやCAKなどの相互作用因子により、その活性は厳密に制御されていることが判明した。

管状要素分化過程において一過的な発現上昇を示す遺伝子として単離されたVND7は、植物特有な転写因子ファミリーであるNACドメインをコードしており、我々の研究室では道管分化を制御す

るマスター遺伝子であることを明らかにした。また、これまでに私はVND7と相互作用する因子として、NACドメインを持つVNDIP2を同定した。詳細な解析の結果、VNDIP2はNACドメインを含むN末端領域を介してVND7と結合するのに対し、C末端領域は転写制御の活性を持つだけでなく、積極的なタンパク質分解制御を受けていることが示唆された。実際、C末端領域の一部を欠失させたVNDIP2を過剰発現させた形質転換体は、全長を導入した個体よりもシビアな表現型を示し、根だけでなく、葉脈においても道管の形成異常が観察された。さらに、VND7はホモダイマーを形成すること、2つのNACドメインタンパク質は未分化な道管細胞列において発現が一致していることが明らかとなった。これらの解析結果より、道管細胞へと分化を決定する過程には下流の遺伝子(群)の発現を正(VND7-VND7)、および負(VND7-VNDIP2)に制御するNACドメインタンパク質の二量体が存在することが推測された。

●誌上発表 Publications  
(原著論文)

Kubo M., Udagawa M., Nishikubo N., Horiguchi G., Yamaguchi M., Ito J., Mimura T., Fukuda H., and Demura T.: "Transcription switches for protoxylem and metaxylem vessel formation", *Genes Dev.*, 19, 1855-1860 (2005)\*

(総説)

Umeda M., Shimotohno A., and Yamaguchi M.: "Control of cell division and transcription by cyclin-dependent kinase activating kinases in plants", *Plant Cell Physiol.* 46, 1437-1442 (2005)\*

●口頭発表 Oral presentations

(国内学会等)

山口雅利、久保稔、福田裕穂、出村拓：“道管分化を制御する新規NACドメインタンパク質”、日本植物分子生物学会、京都、8月(2005)

山口雅利、久保稔、福田裕穂、出村拓：“道管分化を負に制御するNACドメインタンパク質”、日本植物学会、富山、9月(2005)

山口雅利、久保稔、福田裕穂、出村拓：“道管分化マスター因子と相互作用する新規NACドメインタンパク質”、日本分子生物学会、福岡、12月(2005)

XV—062

シロイヌナズナにおけるブラシノステロイドとジベレリンの相互作用機構の解析

Studies on the Interaction between Brassinosteroid and Gibberellin in Arabidopsis

研究者氏名：野村 崇人 Nomura, Takahito  
ホスト研究室：植物科学研究センター  
促進制御研究チーム  
(アドバイザー 山口 信次郎)

植物ホルモンは種々の生理的局面で植物の成長や分化を制御するが、時として単独で作用することもあれば、相互に作用を示すこともある。したがって、ホルモンを介した成長生理の全体像の解明には、ホルモン個々の特異的作用と相互作用の両方を理解する必要がある。本研究では植物生長ホルモンであるブラシノステロイドとジベレリン(GA)に着目し、それらの生長調節機構の一端を解明することを目的としている。本年度は、中国科学院との共同研究により、出穂時に最上部節間が徒長するイネの突然変異体*eui*の解析を行った。その結果、新たなGA代謝酵素が明らかとなり、

GAによる作用機構を理解する上で重要な新知見を得た。以下に研究の概略を述べる。

野生型イネと*eui*変異株の最上部節間における内生GA含量についてGC-MSを用いて定量を行った。その結果、*eui*節間の活性型GA<sub>1</sub>が野生型に比べて24倍も蓄積していることが明らかとなった。さらに驚くべきことに、野生型の節間では検出されなかったもう一つの活性型GA<sub>4</sub>が異常な高濃度で検出された。これらの結果から*eui*の表現型は内生の活性型GA量の上昇によるものであることが明らかとなった。*EUI*遺伝子は中国の共同研究者によりマッピングされ、機能未知のシトクロム

P450酵素をコードすることが示された。EUI遺伝子を酵母において発現させ、その酵素機能の解明を行った。EUIタンパク質を含むミクロソーム画分をGA<sub>4</sub>とインキュベートし、その代謝物をGC-MSで確認したところ、16 $\alpha$ , 17-epoxy GA<sub>4</sub>が同定された。同様に、GA<sub>9</sub>とGA<sub>12</sub>もそれぞれ16 $\alpha$ , 17-epoxy体への変換が確認された。興味深いことに、C-13位に水酸基をもつGA<sub>1</sub>, GA<sub>20</sub>及びGA<sub>53</sub>はEUIタンパク質の基質とはなりえなかった。また、短銀坊主を用いたバイオアッセイにおいて16 $\alpha$ , 17-epoxy GA<sub>4</sub>はGA<sub>4</sub>に比べて伸長促進活性が著しく低下していた。これらの結果から、EUIタンパク質はGAの不活性化酵素として機能していることが明らかとなった。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nomura T., Kushiro T., Yokota T., Kamiya Y., Bishop G.J. and Shinjiro Y. :“The last reaction producing brassinolide is catalyzed by cytochrome P450s, CYP85A3 in tomato and CYP85A2 in Arabidopsis”, J. Biol. Chem., 280 17873-17879 (2005)\*

Zhu Y., Nomura T.(co-first author), Xu Y., Zhang Y., Peng Y., Mao B., Hanada A., Zhou H., Wang R., Li P., Zhu X., Mander L.N., Kamiya Y., Yamaguchi S.

and He Z.:“*ELONGATED UPPERMOST INTERNODE* encodes a cytochrome P450 monooxygenase that epoxidizes gibberellins in a novel deactivation reaction in rice”, Plant Cell, 18 442-456 (2006)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nomura T., Kushiro T., Kamiya Y., Yamaguchi S., Bishop G.J. and Yokota T. :“Roles of brassinosteroids and their biosynthesis genes in pea and tomato”, 10th International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production, Saltillo, Mexico, Jun. (2005)

(国内学会等)

野村崇人、花田篤志、Yongyou Zhu、Zuhua He、Lewis N. Mander、神谷勇治、山口信次郎：“イネのEUI遺伝子はジベレリン16, 17-エポキシ化を触媒するシトクロムP450酵素をコードする—ジベレリン新奇不活化酵素の発見—”、植物化学調節学会第40回大会、東京、10月 (2005)

野村崇人、花田篤志、Yongyou Zhu、Zuhua He、Lewis N. Mander、神谷勇治、山口信次郎：“ジベレリンの16, 17-エポキシ化を触媒する新奇代謝酵素EUIの発見”、第47回日本植物生理学会年会、筑波、3月 (2006)

XV—063

### IgA腎症における免疫グロブリンFc $\alpha$ / $\mu$ R受容体の機能解析

Functional Analysis of Fc $\alpha$ / $\mu$ R in IgA Nephropathy

研究者氏名：宮本顕友 Miyamoto, Akitomo

ホスト研究室：バイオリソースセンター

生体情報統合技術開発チーム

(アドバイザー 小幡 裕一)

IgA/IgM抗体に対するFc受容体Fc $\alpha$ / $\mu$ Rは、免疫細胞に発現して病原微生物とIgAやIgMで構成される免疫複合体の細胞内取り込みに関与することが報告されており、生体防御機構での重要性が示唆されてきた。また、Fc $\alpha$ / $\mu$ Rは免疫細胞のほか、腎臓や生殖器官においても発現が認められ、それら組織で機能的に働く可能性が推測されている。

慢性糸球体腎炎の主因であるIgA腎症は、糸球体でのIgA沈着が認められ、腎症発症の要因と

考えられている。そこで私は、Fc $\alpha$ / $\mu$ Rの機能異常がIgA腎症を引き起こす可能性を明らかにするため解析を行ってきた。まず、マウスおよびヒトの腎臓mRNAから既知Fc $\alpha$ / $\mu$ R mRNAのバリアントcDNAを数クローン同定した。さらにIgA腎症では、Fc $\alpha$ / $\mu$ Rが存在しないためにIgA産生維持が正常に行われず、過剰なIgAの沈着が生じている可能性が考えられた。そこで、Fc $\alpha$ / $\mu$ R遺伝子欠損マウスを作製し、血中・尿中におけるIgA濃度や腎臓組織像を解析した。結果、血中IgA量の

増加が認められるホモ欠損個体が確認されたが、組織像において野生型との有意な差は認められなかった。

一方、マウスの継代操作でホモ欠損雄マウスを野生型雌マウスと交配させた場合、その受精効率が著しく欠失する点を確認された。そこで我々は、Fc $\alpha$ / $\mu$ Rが雄マウス生殖器官において精子の分化・成熟過程に重要な機能を担っている可能性を考え、雄生殖器官の解析を行った。組織解析の結果、ホモ欠損個体の精巣上体において精子数の顕著な減少が認められた。また、精巣上体に存在する精子の電子顕微鏡像では、精子頭部の形態に異常が認められ、精子の成熟に異常がある点が示唆された。そこで、精巣内における精子の分化マーカーmRNA量を野生型と比較した。しかし、Proacrosin・Hsc70t・Transition nuclear protein-1などのmRNA量に変化は認められなかった。さらにFc $\alpha$ / $\mu$ Rの精子分化過程における発現は、パキテ期精母細胞および円形精子細胞で認められたが、伸長精子では認められることがなかった。以

上の結果は、Fc $\alpha$ / $\mu$ Rが精子分化途上で発現し、精子頭部の形成に重要な機能を担う分子である可能性を示す。

これまでの研究より、Fc $\alpha$ / $\mu$ Rは、免疫細胞にとどまらず広汎な細胞で発現し、その欠失もまた多様な症状を引き起こす分子である点が明らかとなった。そして、今後の解析では、その受容体としての作用機序をより明らかにしていく。

#### ●誌上発表 Publications

(単行本)

Honda S., Miyamoto A., and Shibuya A. Fc $\alpha$ / $\mu$ R, a novel Fc receptor for innate antibodies IgM and IgA. International Congress Series. in print.

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

宮本顕友：“Fc $\alpha$ / $\mu$ R受容体遺伝子欠損マウスにおける雄生殖器官の異常”、第28回日本分子生物学会年会、福岡、12月（2005）

XV—064

### 高エネルギー原子核衝突実験における D中間子を用いた高温核物質の研究

Open Charm Pproduction in Heavy-ion Collisions at CERN-SPS

研究者氏名：大西 宏明 Ohnishi, Hiroaki

ホスト研究室：延興放射線研究室

(アドバイザー 延興 秀人)

本研究は、高エネルギー原子核衝突実験において生成される高温核物質が、量子色力学が予言する宇宙初期の物質であるクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP)、すなわち核子内部閉じ込めから開放されたクォーク、グルーオンが熱平衡状態を形成しているか否かを確認することを目的としている。もし、QGPが生成されていれば、そこから放出される熱に関する信号が得られるはずである。この“熱信号”の測定は、いまだなされていない重要な測定である。この“熱信号”の有効な測定方法として、系から放出されるレプトン対の測定を挙げることができる。これは熱平衡系内のクォーク・反クォークが対消滅し仮想光子を放出後、レプトン対として最終的に放出されるというメカニズムで生成されるものである。そこで、

SPS加速器においてミュー粒子対を測定し、そこから熱的ミュー粒子対の情報を導き出すという実験をCERN-NA60実験として行なった。本測定ではミュー粒子対の不変質量1.5—2.5GeVの領域（中間質量領域）に注目、この領域に存在する、Drell—Yan過程およびD中間子の崩壊から来る寄与を精密に同定し、背後に潜む熱的ミュー粒子対を導き出そうとする測定である。

2003年10月より研究課題達成のための本実験となる原子核衝突実験、2004年秋に比較対象となる陽子—原子核衝突実験におけるデータの収集を行った。データ解析の結果、原子核衝突実験における中間質量領域におけるミュー粒子対の増加を観測、その起源がQGPからの直接信号である可能性が高いということを結論づけた。現在、正当な系

統誤差を見積もり最終結論を導出すべく解析を行っている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Production of phi mesons at midrapidity in  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV Au+Au collisions at relativistic energies Phys. Rev. C **72**, 014903 (2005)

Systematic studies of the centrality and  $\sqrt{s_{NN}}$  dependence of the  $dE_T/d\eta$  and  $dN_{ch}/d\eta$  in heavy ion collisions at midrapidity Phys. Rev. C **71**, 034908 (2005)

Deuteron and Antideuteron Production in Au+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV Phys. Rev. Lett. **94**, 122302 (2005)

Jet Structure of Baryon Excess in Au+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV Phys. Rev. C **71**, 051902(R) (2005)

Centrality Dependence of Charm Production from a Measurement of Single Electrons in Au+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV Phys. Rev. Lett. **94**, 082301 (2005)

Measurement of Single Electron Event Anisotropy in Au+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV Phys. Rev. C **72**, 024901(2005)

Centrality Dependence of Direct Photon Production in  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV Au+Au Collisions Phys. Rev. Lett. **94**, 232301 (2005)

Saturation of azimuthal anisotropy in Au + Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 62 - 200$  GeV Phys. Rev. Lett. **94**, 232302 (2005)

Formation of dense partonic matter in relativistic nucleus nucleus collisions at RHIC: Experimental evaluation by the PHENIX Collaboration Nuclear Physics A Volume 757, Issues 1-2, 8 August 2005, Pages 184-283

Mid-Rapidity Direct-Photon Production in p+p Collisions at  $\sqrt{s} = 200$  GeV, Phys. Rev. D **71**, 071102(R) (2005)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohnishi H, "Charm and J/Psi production in NA60", XXXV International Symposium on Multiparticle Dynamics 2005, KROMĚŘÍŽ, CZECH REPUBLIC, August 9-15, 2005

Ohnishi H, "Vertex tracker for PHENIX at RHIC", The International Workshop of Vertex Detectors, Vertex2005, Chuzenji Lake, Nikko, JAPAN, 7-11 November (2005)

XV—065

### 色素修飾 dendrimer を用いた光誘起電荷分離の 長寿命化と光電変換素子の創成

Construction of an Efficient Light-to-Current Conversion System by Applying  
Persistent Charge-Separated States in Sensitizer-Functionalized Dendrimer

研究者氏名：小西 利史 Konishi, Toshifumi

ホスト研究室：和田超分子科学研究室

(アドバイザー 和田 達夫)

本研究では、光電変換素子をはじめとする有機光電子デバイスの新しい設計指針を見出すことを目標に、高量子収率を示す光誘起電子移動系の構築を行っている。光合成系を模倣したベクトルの電子移動による効率的な電荷貯蔵を達成するだけでなく、光反応一次過程の収率に寄与する励起光の吸収効率・電荷分離の発生効率・逆電子移動の抑制効率の向上を超分子化学・有機合成化学・物理化学の手法を用いて試みている。機能性分子

(色素・電子受容性分子・電子供与性分子) を適切に配置することで、単一分子系にはない光機能を発現させるという発想は、光エネルギー利用の基盤となる光誘起電子移動系を設計する上で新しい指針となると期待している。

本年度は、新規な光機能性分子集合体を設計・合成し、その光反応過程をレーザーフラッシュフォトリス法を用いて反応速度論的に解析することで、機能性分子の構造や電子状態、機能性分

子間の配置、および配向に由来する機能制御された光反応を開発することを目標とした。具体的には、機能性分子を配置させる光機能性マトリクスとして、単層カーボンナノチューブ (SWNTs) を用い、SWNTs表面への dendrimer をはじめとする光機能性分子の包接・吸着・自己組織化・分子認識による光機能性超分子の調製を試みた。現在のところ、

- (1) SWNTsの酸化構造欠損部位に由来する特徴的な光励起状態の解析と、光誘起電子移動への応用
  - (2) SWNTsとC<sub>60</sub>間で光生成する長寿命化された電荷分離状態の観測
  - (3) サイズ制御された有機色素微粒子を用いた、色素集合体の解析
- などを明らかにした。これらの研究成果により、SWNTsと光機能性分子で構成される超分子デバイス試作への足がかりを得ることができたと考えている。

## XV—066

### 超弦理論・行列模型に基づく時空の力学の研究

Analysis of Space-time Dynamics via Superstring Theory and Matrix Model

研究者氏名：松浦 壮 Matsuura, So  
ホスト研究室：川合理論物理学研究室  
(アドバイザー 川合 光)

超弦理論は、重力理論も含めた自然界の相互作用を統一的に記述する、いわゆる統一理論の有力候補である。特に近年、弦理論を非摂動的に定義していると考えられている「行列理論」を用いたアプローチによって、超弦理論が時空自体のダイナミクスを記述している可能性が示唆されている。一方、超弦理論は、超対称性を持つゲージ理論の非摂動的な性質を調べる際にも非常に重要な役割を果たす。特に最近、超対称性を持つゲージ理論の性質の一部が行列模型や2次元ヤン・ミルズ理論といった低い次元の理論の解析を通じて理解出来る事が明らかになってきており、ゲージ理論の性質を解明する上でも、超弦理論や行列模型の果たす役割は益々大きくなっている。

本年度の研究で私が注目したのは、 $N=2$ 超対称ゲージ理論である。この理論のプレポテンシャルに対するインスタントン補正は、Nekrasov分配関

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

A. Ikeda, Y. Tsuchiya, T. Konishi, S. Ogasawara, J. Kikuchi, “Photocurrent-Boosting by Intra-Membrane Electron-Mediation between Titania Nanoparticles Dispersed into Nafion-Porphyrin Composites”, *Chem. Mater.*, **17**(15), 4018-4022 (2005)\*

A. Ikeda, T. Irida, T. Hamano, T. Kitahashi, Y. Sasaki, M. Hashizume, J. Kikuchi, T. Konishi, S. Shinkai, “Control of Self-Aggregation of Fullerenes by Connecting with Calix[4]arene: Solvent- and Guest-Effects to Particle Size”, *Org. Biomol. Chem.*, **4**(3), 519 (2006)\*

(総説)

T. Konishi, A. Ikeda, S. Shinkai, “Supramolecular design of photocurrent-generating devices using fullerenes aimed at modelling artificial photosynthesis”, *Tetrahedron*, **61**(21), 4881 (2005)\*

数と呼ばれる量を通じて正確に計算出来る事が知られている。我々は昨年度の研究で、Nekrasov分配関数が2次元ヤン・ミルズ理論と深い関係にある事を発見した。本年度の研究では、我々はさらに、 $N=2$ 超対称ゲージ理論が実現されるようなセットアップを超弦理論で考え、そこに2次元ヤン・ミルズ理論が実際に現れる事を示した。つまり、我々は、Nekrasov分配関数の背後に超弦理論に基づいた構造が隠れている事を発見した。我々はさらに、物質場の入った理論に対しても同様の解析を行い、これまでインスタントン効果が計算されていないような理論についても、Nekrasov分配関数に相当する分配関数を構成する事に成功した。また、ここで現れた2次元ゲージ理論は、行列の固有値を離散化した『離散化行列模型』と解釈出来る理論になっていて、ある特定のパラメータ領域では通常の行列模型と同一視出来る事が知



られている。我々は、このようなパラメータ領域の操作によって、Nekrasovによる $N=2$ 超対称ゲージ理論の記述と、Dijkgraaf-Vafa理論による $N=1$ 超対称ゲージ理論の間の関係を見出す事に成功した。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohta K. and Matsuura S: “Localization on D-brane and gauge theory/matrix model”, Physical Review D\*, 掲載決定

Asakawa T., Kobayashi S., Matsuura S.: “Excited D-branes and supergravity solutions”, International Journal of Modern Physics A\*, 掲載決定

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

松浦壮: “Localization on D-brane and gauge theory/matrix model”, 東京大学駒場キャンパスセミナー、東京大学駒場キャンパス、6月(2005)

松浦壮: “Nekrasov’s formula, 2D Yang-Mills theory and matrix model”, 理研集中セミナー、和光市、7月(2005)

松浦壮: “Localization on D-brane and gauge theory/matrix model”, 基研研究会「弦理論、場の量子論の展望」、京都大学基礎物理学研究所、8月(2005)

松浦壮: “Localization on D-brane and gauge theory/matrix model”, 日本物理学会秋季大会、大阪市立大学、9月(2005)

松浦壮: “Nekrasov’s formula, 2D Yang-Mills theory and matrix model”, 東京無限可積分セミナー玉原合宿、群馬県玉原、9月(2005)

松浦壮: “Instanton counting for  $N=2$  SUSY gauge theory and 2D Yang-Mills theory”, 基研研究会「場の量子論の基礎的諸問題と応用」、京都大学基礎物理学研究所、12月(2005)

松浦壮: “Instanton Construction via Tachyon Condensation”, 東京大学本郷キャンパスセミナー、東京大学本郷キャンパス、2月(2006)

## XV—067

### ナノギャップを使ったナノ分子材料物性とその制御

Property Control of Nano-Molecular Materials using Nano-Gaps

研究者氏名: 重藤 訓志 Shigeto, Kunji

ホスト研究室: 河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

設計自由度の高い有機分子を、素子として利用しようとする努力が続けられている。単一分子の電気伝導測定を試みることは素子実現のためだけでなく、分子本来の特性を知る上でも重要である。しかしながら単一分子の電気伝導測定を行うには、そもそも測定電極間が単一分子サイズの電極を準備する必要がある。比較的大きなフラーレン、ポルフィリン、フタロシアニンなどでもそのサイズは約1 nmと非常に小さい。昨年度までに1 nmの隙間を有する金属電極を再現性良く作製する手法を確立した。この手法は、ヘキサカルボニル・タングステン雰囲気下でイオンビームを照射するとタングステンが堆積する現象を利用している。スリットの両側からタングステン電極を成長させ、両者が接続する直前にイオンビーム照射を停止することで狭い隙間を有する電極を実現する。

1 nm程度にギャップ間が接近しはじめたことは、電極間に流れるトンネル電流を検出することで判断する。

本年度は、この電極へ分子をトラップし、トラップした分子の電気伝導特性の評価を試みた。分子(メタロフラーレン)のトラップは、以下の手法で試みた。メタロフラーレンの溶解したトルエン溶液上にナノギャップを設置、溶液中に窒素ガスを送りこんで泡立たせ、飛び出してくる飛沫をトラップする。このようなことが可能なのは基板としてンナイトライドのメンブレンに収束イオンビームでスリットを開けたものを用いており、この電極は完全に宙吊り状態にあるためである。宙吊り状態であることは透過電子顕微鏡での評価を可能にする。分子が電極間にトラップされていることは透過電子顕微鏡により確認されたのだが、そ

れにもかかわらず電気伝導は観測されなかった。この結果は、単一分子に強電界を印加すればどんな分子にでも電気を流すというほど話は単純ではなく、電極材料の仕事関数および分子軌道の準位の組み合わせ次第ではまったく電気を流さないことを示している。このことで電極/分子界面問題の重要性を再認識したため、電界効果でキャリアを誘起すれば電気を流す組み合わせ（すなわち有機薄膜トランジスタ）としてよく知られているAu電極/ペンタセンの組み合わせを調べた。有機薄膜トランジスタには電極と有機薄膜の作製順序の違いによって、ボトムコンタクト型とトップコンタクト型が存在する。ボトムコンタクト型の作製にはリソグラフィーが適用できるので短チャンネルデバイスの研究が容易であるが、本質的でない界面抵抗が大きくなりすぎるという問題がある。この問題はトップコンタクト型では解決できるが、リソグラフィーが適用できないため短チャンネルデバイスの研究には不向きであった。これに対し、電子線リソグラフィーで作製した吊橋構造とペンタセンの斜め蒸着を組み合わせることで、サブミクロンスケールのチャンネル長をもつトップコンタクト型トランジスタの作製手法を開発した。トランジスタ特性のチャンネル長依存性を調べた結果、このチャンネル長領域ではチャンネル長が短くなるほど急激にオフ電流が増大していくことがわかった。すなわちゲート電圧を印加しなくても電流が流れるのである。このチャンネル長領域での実験では有機ELの場合と同程度の電界がチャンネルに印加されていることになるので、空間電荷制限電流が関連していると予測される。今後は単分子デバイスの開発だけを単独でおこなうのではなく、マクロな分子デバイスの研究から得られる知見を単分子デバイスの開発に活かしていくことが重要であると考えている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

塚越一仁、重藤訓志、Kasumov A.、川村稔、青柳克信、小林知洋、仙波健吾、兒玉健、西川浩之、池本勲、菊地耕一、Volkov V. T.、Kasumov Yu. A.、Deblock R.、Gueron S.、Bouchiat H.：“ナノカーボン材料伝導研究のための架橋型ナノ電極作製と応用”、日本顕微鏡学会誌「顕微鏡」40

96-99 (2005)

Yagi I., Shigeto K., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y. : “Alignment-free top-contact formation for organic thin film transistors with submicron-length channel”, Jpn. J. Appl. Phys. 44 L479-L481 (2005)\*

Tsukagoshi K., Yagi I., Shigeto K., Yanagisawa K., Tanabe J., and Aoyagi Y. : “ Pentacene transistor encapsulated by poly-para-xylylene behaving as gate dielectric insulator and passivation film”, Appl. Phys. Lett. 87 18350-1 - 18350-3 (2005)\*

Shigeto K., Kawamura M., Kasumov A. Yu., Tsukagoshi K., Kono K. and Aoyagi K. : “Reproducible formation of nanoscale-gap electrodes for single-molecule measurements by combination of FIB deposition and tunneling current detection”, Microelectronic Engineering in print\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shigeto K., Kawamura M., Kasumov A. Yu., Tsukagoshi K., Kono K. and Aoyagi K. : “Reproducible formation of nanoscale-gap electrodes for single-molecule measurements by combination of FIB deposition and tunneling current detection”, 31st International Conference on Micro and Nano-Engineering 2005

Vienna, Austria, Sept. (2005)

Shigeto K., Yagi I., Tsukagoshi K., and Aoyagi K. : “Alignment-free top-contact formation for organic thin film transistors with submicron-length channel”, Organic Microelectronics Workshop, Newport, Rhode Island, USA, July (2005)

Shigeto K., Yagi I., Tsukagoshi K., and Aoyagi K. : “Top-contact pentacene thin film transistors with submicron-length channel”, International Symposium on Molecular Scale Electronics, Tsukuba, Japan, Dec. (2005).

(国内学会等)

重藤訓志、八木巖、塚越一仁、青柳克信：“サブミクロンのチャンネル長を有するトップコンタクト型有機TFTの作製”、第66回応用物理学会学術講演会、徳島、9月(2005)

重藤訓志、八木巖、塚越一仁、青柳克信：“サブミクロンチャンネル長を有するトップコンタクト

XV—068

赤外-テラヘルツ領域で負の屈折率を示す  
3次元メタリックメタマテリアルの作製Fabrication of Three-dimensional Metallic Metamaterial  
for Negative Refractive Index from Infrared to Tera-Hertz Region

研究者氏名：武安 伸幸 Takeyasu, Nobuyuki

ホスト研究室：河田ナノフォトニクス研究室

（アドバイザー 河田 聡）

本研究は、光学領域で負の屈折率を示す金属メタマテリアルの作製を目的としている。金属メタマテリアルとは波長よりも十分に小さい金属微細構造が多数集まった集合体のことを指す。そのため、任意形状の3次元金属微細構造体を大量に作製する技術が必要である。我々は、マイクロレンズアレイを用いて作製したマルチレーザースポットを利用して、複数の3次元造形物を広い領域にわたり同時に作製する方法について研究を進めてきた。本年度は、この手法をベースとして作製した3次元構造の金属化を目指し、2光子吸収光造形と無電解銀めっきを組み合わせる方法について検討した。2光子吸収光造形で作製したポリマー構造物はガラス基板上に作製されるが、この試料に無電界めっきで金属をコートすると、金属はポリマー表面よりもガラス基板表面に出し易いという性質があり、目的のようにポリマー表面のみを選択的に金属化することはできない。そこで本研究では、光硬化性樹脂に芳香族誘導体を添加し、さらにめっき前にポリマー表面にSnCl<sub>2</sub>処理を行うことで、銀の核形成を促して密着性を増強させた。加えてガラス基板表面には、銀の析出を抑制するために疎水性処理を施した。その結果、ポリマー構造表面のみに選択的に金属コーティングができることを確認した。また、この銀コートの抵抗率を測定して導電性を調べた。線幅1 μmのポリマー線を作製し、この表面に銀をコートした。そして、その線の両端に銀電極を作り、電極間の抵抗値を測定することでその抵抗率を求めた。実験の結果、抵抗率は $7.4 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ であった。この値はバルクの銀の抵抗率（ $1.6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ）と比較して高々4.6倍であることがわかった。また、アミド化合物を従来の光硬化性樹脂に添加し、硬化

樹脂表面への直接銀コートをできる樹脂へ改質を行った。金属を直接コートできる樹脂とそうでない樹脂を共存させると、サイト選択めっきが可能となる。そこで、改質樹脂と従来樹脂を用いて一つの3次元ポリマー構造体を作製し、部分的に銀がコートされた3次元微細構造を作製することができた。本手法は、同一構造内で銀の析出箇所を制御できるので、より複雑な金属/ポリマー複合体を作製することができる。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Takeyasu N., Tanaka T., and Kawata S.: “Metal Deposition Deep into Microstructures by Electroless Plating”, Japanese Journal of Applied Physics, 44 L1134-1137 (2005)\*

Formanek F., Takeyasu N., Tanaka T., Chiyoda K., Ishikawa A., and Kawata S.: “Three-dimensional fabrication of metallic nanostructures over large areas by two-photon polymerization”, Optics Express, 14 800-809 (2006) \*

Formanek F., Takeyasu N., Tanaka T., Chiyoda K., Ishikawa A., and Kawata S.: “Selective electroless plating to fabricate complex 3D metallic micro/nanostructures”, Applied Physics Letters, in print\*

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Takeyasu N.: “Wide area fabrication of three-dimensional nano/ micro metallic structures”、理研シンポジウム、和光、10月（2005）

武安伸幸、田中拓男、加藤純一、河田聡：“マルチレーザースポットを用いた2光子吸収三次元

微細造形”、第65回 レーザー加工学会、上智大学、12月（2005）

武安伸幸、Formanek Florian、千代田謙太、田中拓男、石川篤、河田聡：“三次元ポリマー微細

構造への局所金属コーティング”、第66回秋季応用物理学会学術講演会、武蔵工大、3月（2006）予定

## XV—069 走査トンネル顕微鏡による単一分子の電気伝導メカニズムの解明

Electronic Conduction of Single Molecule on Metal Surface using Scanning Tunneling Microscope

研究者氏名：片野 諭 Katano, Satoshi

ホスト研究室：川合表面化学研究室

（アドバイザー 川合 真紀）

近年、機能性を持たせた有機分子をナノスケールで制御し、アトムレベルの電子デバイスとして創製する試みが盛んに行われている。これらのデバイスは、従来のSiデバイスとは異なる原子スケールの物性がより顕著に現れ、単一有機分子自身さらには電極との界面がデバイス機能発現の重要な場として働くと考えられる。本研究は、分子ひとつひとつを識別可能な走査トンネル顕微鏡（STM）を用いて単一分子の電子状態および電気伝導を観測し、分子内および界面における電子の振る舞いをアトムレベルで明らかにすることを目的としている。ターゲットとする有機分子を選ぶことにより、電気伝導を担う要素を分離し単一分子内の電子の流れを捕らえ制御することが可能になると期待する。本年度の研究において以下の事項を明らかにすることができた。

### （1）剛直三脚分子の構造制御および電子状態の解明

Au(111)表面に吸着させた剛直三脚分子（Bromo-adamantane-trithiol; BAT）の吸着構造および局所電子状態をSTMを用いて明らかにした。トリチオール三脚分子は分子内の3つのチオール基を介して金属基板と結合を形成するため、単分子で直立構造を実現することが可能である。STMにおいて単一BAT分子は楕円の輝点で解像された。また、それぞれのチオール基はAu(111)表面のbridgeサイトに吸着することがわかった。表面吸着量を増加させると特徴的な自己組織化単分子膜が形成され、隣接分子のS-S相互作用が単分子膜の安定化に寄与することが示唆された。このBAT分子は金属の電子状態をスクリーニングすることが走査トンネル分光(STS)により明らかとなった。

### （2）官能基修飾にともなう吸着芳香族分子の電子状態変化

Cu(110)表面に吸着させた安息香酸（ $C_6H_5COOH$ ）誘導体の電子状態をSTMおよびSTSを用いて単一分子レベルで検証した。フェニル基のメタ位に電子供与性のアミノ基を有するm-アミノ安息香酸は、吸着に伴い分子のLUMOがFermiエネルギー下の占有状態までシフトすることがSTSおよびSTSの2次元マッピングから明らかになった。この大きなエネルギーシフトは、分子軌道の空間分布およびメタ位からカルボキシレート位への電子移動にともなう分子-金属間の強い結合生成に起因することが示唆された。

### ●誌上発表 Publications

（原著論文）

Katano S., Kim Y., Hori M., Trenary M. and Kawai M.: “Chemical Switching of a Single Molecule-Metal Contact”, 投稿中

Katano S., Kagata Y., Kim Y. and Kawai M.: “Local Structure and Anisotropic Assembly of Formate Adsorbed on Ni(110): Low Temperature Scanning Tunneling Microscope Study”, 投稿中

Hori M., Katano S., Kim Y. and Kawai M.: “Local Structure of the Aminobenzoate Isomers on Cu(110)”, Journal of Vacuum Society of Japan, in press.

### ●口頭発表 Oral Presentations

（国際会議）

Katano S., Kim Y., and Kawai M.: “Local Electronic State of 1,3-Butadiene adsorbed on Pd(110): STM

and STS Studies”, The 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM’05), Sapporo, Japan, Jul., (2005).

Katano S., Hori M., Kim Y., and Kawai M.: “Reversible Chemical Modification of CH<sub>3</sub>NC on Pt(111) by Scanning Tunneling Microscope”, The 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM’05), Sapporo, Japan, Jul., (2005).

Hori M., Katano S., Kim Y., and Kawai M.: “Local Electronic Structure of Aromatic Molecules on Cu(110) Investigated by Scanning Tunneling Microscope”, The 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM’05), Sapporo, Japan, Jul., (2005).

Katano S., Hori M., Kim Y., and Kawai M.: “Reversible Modification of Methylisocyanide adsorbed on Pt(111)”, The 23rd European Conference on Surface Science (ECOSS23), Berlin, Germany, Sep., (2005).

Hori M., Katano S., Kim Y., and Kawai M.:

“Controlling Local Electronic Structure of Aromatic Molecules on Cu(110) by Changing Substituent”, International Symposium on Surface Science and Nanotechnology (ISSS-4), Saitama, Japan, Nov., (2005).

(国内学会等)

堀雅史、片野諭、金有洙、川合真紀：“走査トンネル顕微鏡を用いた単一芳香族分子の電気伝導測定” 第43回茅コンファレンス、山梨、8月 (2005)

堀雅史、片野諭、金有洙、川合真紀：“置換基修飾に伴う局所電子状態変化のSTM観察” 第46回真空に関する連合講演会、東京、11月 (2005)

片野諭、堀雅史、金有洙、川合真紀：“STMによる電子遷移を介した単分子分解反応の選択的な制御” 第25回表面科学講演大会、埼玉、11月 (2005)

堀雅史、片野諭、金有洙、川合真紀：“Cu(110)表面上におけるアミノ安息香酸イオン異性体の超構造形成過程の解明” 日本化学会第86春季年会、千葉、3月 (2006)

## XV—070

### In-Cell NMRを用いた生体内における 蛋白質間相互作用の解析法の開発

Methodological Development of In-Cell NMR as a Novel Tool  
for Observing Protein-Protein Interaction in Living Cells

研究者氏名：吉益 雅俊 Yoshimasu, Masatoshi  
ホスト研究室：柴田上席研究員研究室  
(アドバイザー 柴田 武彦)

近年の生化学的、構造生物学的な解析手法の進歩により、様々な蛋白質において構造と機能との相関が分子レベルで明らかにされつつある。しかし、これらの知見の殆どは精製した蛋白質試料を用いて生体内環境を模した実験系から得られたものであり、実際に生体内で起こる事象をこのような高分解能で観測することは非常に困難である。細胞内には蛋白質だけでなく莫大な数の分子が動的に共存しており、蛋白質の多くは細胞内で修飾を受ける、あるいは他の蛋白質、核酸などと相互作用し機能を発現する。このため、精製した蛋白質

試料を用いた解析だけでは生命現象を司る蛋白質機能の全容解明は困難であり、蛋白質の担う生命現象を理解する上で細胞内の蛋白質を直接観測する技術開発は急務である。そこで、本研究では生細胞中の蛋白質のNMRシグナルを直接観測するIn-Cell NMR測定の技術を基に、生体内における蛋白質の動態や相互作用を観測する新規計測技術の開発を行っている。昨年度までに、In-Cell NMR法の制約の一つであった細胞試料の寿命を、従来の3時間程度から1日程度まで延長し、世界に先駆けて3重共鳴NMRスペクトルを観測する

ことに成功している。

本年度は、緩衝液中と生細胞内における蛋白質構造の相違を解析するため、大腸菌体内における Calmodulin (CaM) の3重共鳴NMRスペクトルおよび構造計算に原子間距離情報として用いられる Nuclear Overhauser Effect (NOE) を観測した。さらに、酵母や培養細胞を対象としたIn-Cell NMR法の基盤技術開発を行った。

大腸菌体内のCaMの<sup>1</sup>H-<sup>15</sup>N相関スペクトルは、全体像としては緩衝液中で得られるものと類似していたが個々のピークの化学シフトは異なっており、生体内環境により立体構造が変化している可能性が示唆された。そこで、その相違を詳細に解析するため、6種の3重共鳴NMRスペクトルを観測し、蛋白質のペプチド主鎖とNMRシグナルの関連付け(帰属)を行った。その結果、CaMは大腸菌内ではCa<sup>2+</sup>を結合していないこと、αヘリックス構造を形成している領域では化学シフトの変化が少ないことなどがわかった。現在、立体構造情報を直接解析するため、CaM分子内のNOEの観測を行っている。

また、これまでは生細胞として大腸菌のみを用いて測定を行ってきた。しかし、原核生物と真核生物の細胞内環境の差異を考慮すると、現状では蛋白質が本来働く環境での構造情報に一步近づいたにすぎない。そこで、真核生物細胞として酵母や培養細胞を用いてIn-Cell NMR測定を行うための試料調製条件および測定条件の最適化を進めている。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshimasu M., Mikawa T., Hayashi N., Shibata T., and Ito Y.: "In-Cell NMR studies of calmodulin protein expressed in *E. coli*", EUROMAR 2005 /

EENC 2005, Veldhoven, The Netherlands, Jul. (2005)

Masuda T., Yoshimasu M., Ito Y., Ling F., Shibata T., and Mikawa T.: "Interactions between DNA and Mhr1 protein involved in homologous recombination and replication of yeast mtDNA", The 5th International 3R symposium, Hyogo, Japan, Nov. (2005)

Honda M., Inoue J., Yoshimasu M., Ito Y., Shibata T., and Mikawa T.: "Physical interaction of RecR with RecO and RecF via its toprim domain contributes to recombinational repair of gapped DNA", The 5th International 3R symposium, Hyogo, Japan, Nov. (2005)

(国内学会等)

吉益雅俊、美川務、林宣宏、柴田武彦、伊藤隆: "In-Cell NMR法を用いた細胞内における蛋白質の直接観測"、第28回日本分子生物学会年会、ヤフードーム、12月(2005)

増田ときは、吉益雅俊、伊藤隆、凌楓、柴田武彦、美川務: "酵母ミトコンドリアDNAの相同組換え・複製に働くMhr1蛋白質の一本鎖DNA結合領域と活性中心の残基"、第28回日本分子生物学会年会、ヤフードーム、12月(2005)

佐々木敦子、吉益雅俊、林宣宏、伊藤隆: "In-Cell NMR法による生体内における蛋白質のNOE観測"、第28回日本分子生物学会年会、ヤフードーム、12月(2005)

Honda M., Inoue J., Yoshimasu M., Ito Y., Shibata T., and Mikawa T.: "Physical interaction of RecR with RecO and RecF via its toprim domain contributes to recombinational repair of gapped DNA", The 28th Annual Meeting of the Molecular Biology Society of Japan, Fukuoka Yahoo! JAPAN DOME, Japan, Dec. (2005)

#### XV—071

#### ポリグルタミン病への有機化学的アプローチ

An Approach to the Neurodegenerative Disease Based on the Synthetic Chemistry

研究者氏名: 萩原伸也 Hagihara, Shinya

ホスト研究室: 伊藤細胞制御化学研究室

(アドバイザー 伊藤 幸成)

タンパク質は、正常な高次構造を形成して初め

てその機能を発揮することができる。そのため、

細胞はタンパク質を正常なフォールディング状態へ維持する様々なシステムを備え、常にタンパク質の品質を管理している。合成されたタンパク質の多くは、小胞体へ移行し糖鎖修飾などの翻訳後修飾をうけながら正常なフォールディングへと導かれ、様々な場所へと運ばれていく。同時に、小胞体では構造上の不具合があるタンパク質の選別が行われ、これらの不良タンパク質は細胞質へと逆輸送されユビキチン-プロテアソーム系により分解される（小胞体関連分解）。このようなタンパク質品質管理機構は、生命活動の根本過程として基礎生物学的に興味深いだけでなく、関連した疾患も多く知られており医学的見地からも注目されている。特に、ユビキチン-プロテアソーム分解系は、破綻すると不要タンパク質が細胞内に蓄積し様々な神経変性疾患の原因となるため、今後の高齢化社会に向けて早急に機能解明が望まれている。本研究は、分子を自在に創ることのできる有機合成化学を基盤に、タンパク質品質管理機構の解明を目指している。

本年度は、糖タンパク質の小胞体関連分解で中心的役割を果たすと考えられているペプチド-*N*-グリカナーゼとプロテアソームの機能解明を目指し、蛍光性糖ペプチドプローブの合成および評価を行った。その結果、アスパラギン結合型糖鎖の付加配列にプロテアソームに対して親和性をもつペプチドを導入することにより、ペプチド-*N*-グリカナーゼとプロテアソームの活性を同時に解析できる系の構築に成功した。さらに、本プローブ

を用いてペプチド-*N*-グリカナーゼの基質特異性および糖鎖付加がプロテアソームにおけるタンパク質分解反応に与える影響を明らかにした。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hagihara S., Totani K., Matsuo I., and Ito Y.: “Thermodynamic analysis of interactions between N-linked sugar chains and F-box protein Fbs1”, *J. Med. Chem.* 48 3126-3129 (2005)\*

Arai MA., Matsuo I., Hagihara S., Totani K., Maruyama J., Kitamoto K., and Ito Y.: Design and Synthesis of oligosaccharides that interfere with glycoprotein quality-control systems”, *ChemBioChem*, 6 2281-2289 (2005)\*

Ito Y., Hagihara S., Matsuo I., and Totani K., “Structural approaches to the study of oligosaccharides in glycoprotein quality control”, *Curr. Opin. Struct. Biol.*, 15 481-489 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議等)

萩原伸也：“糖タンパク質の品質管理機構の解明に向けた糖鎖プローブの合成”、理研シンポジウム、和光、1月（2006）

萩原伸也、戸谷希一郎、松尾一郎、伊藤幸成：“アスパラギン結合型糖ペプチドの合成及びFbs1との相互作用解析”、日本化学会第86春季年会、船橋、3月（2006）

XV—072

### メンブレントラフィックから見た 植物プログラム細胞死の液胞崩壊機構

A Mechanism of Vacuolar Rupture during Programmed Cell Death  
in Plants from the Viewpoint of Membrane Traffic

研究者氏名：井藤 純 Ito, Jun

ホスト研究室：中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

維管束の構成要素である道管要素の分化過程では、液胞崩壊型のプログラム細胞死（PCD）が起こる。PCD過程で起こる液胞の崩壊は他の植物PCD過程でも観察されており、植物独特のPCD実行機構の存在を明示しているが、その分子機構は

明らかにされていない。本研究では、シロイヌナズナ培養細胞からの*in vitro*道管要素分化誘導系を用いて道管要素分化過程で起こる液胞への細胞内輸送と細胞の液胞化の過程を詳細に解析することで液胞の機能転換過程とその役割を明らかにし、

道管形成における液胞崩壊機構の一端を明らかにすることを旨とする。

本年度は、分化に伴う液胞膜のダイナミクスの分子機構を解明するため、膜の動態を制御する因子の一つであるRab GTPaseに着目し、その発現・機能解析を行った。

(1) まず、*in vitro*分化誘導系を用いたマイクロアレイ解析により分化特異的な発現が認められた9種類のRab GTPase遺伝子についてプロモーター・レポーターアッセイによる発現解析を行った。その結果、9種類の内7種類のRab GTPase遺伝子が維管束に発現していることがわかった。この7種類のRab GTPase遺伝子はそれぞれ、液胞膜に局在するRab7(2種類)、液胞膜とエンドソームに局在するRab18(1種類)、ポストゴルジの輸送に関与することが示唆されているRab11 family(4種類)に分類され、分化過程である特定のRab GTPaseが膜系のダイナミクスを厳密に制御している可能性が示唆された。

(2) マイクロアレイ解析と発現解析により見出された7種類のRab GTPaseについて、ノックアウトラインを収集し、基礎的な解析に着手した。また、液胞膜に局在するRab7 familyに関しては、維管束で発現が見られたもの以外のメンバーも利用して、多重変異体の作製を行っている。

(3) ホモラインが確立されたRab7 familyのノックアウトラインについて子葉の葉脈を観察したところ、Rab7 familyの多重変異体(二重変異体)において子葉の葉脈の連続性に異常が見られるものがあることを見出した。また、分化特異的な発現変動は示さないものの維管束に発現するRab5 familyのノックアウトラインにおいても子葉の葉脈の連続性が不完全になっていることが明らかにされつつある。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kubo M., Udagawa M., Nishikubo N., Horiguchi G., Yamaguchi M., Ito J., Mimura T., Fukuda H., and Demura T.: "Transcription switches for protoxylem and metaxylem vessel formation", *Genes Dev.*, 19 1855-1860 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際学会等)

Ito J., Ueda T., Udagawa M., Kubo K., Demura T., Fukuda H., and Nakano A.: "Analysis of the Rab GTPases involved in xylem formation", *The Annual Meeting of the American Society of Plant Biologist: Plant Biology 2005, Seattle, July (2005)*

XV—073

### レーザーテラヘルツ顕微分光システムの 開発とバイオチップへの応用

Development of Laser-Terahertz Microscopic Spectroscopy System  
and Its Application to Bio-Chip

研究者氏名：山下 将嗣 Yamashita, Masatsugu

ホスト研究室：川瀬独立主幹研究ユニット

(アドバイザー 川瀬 晃道)

フェムト秒レーザーにより半導体基板を励起し、放射されたテラヘルツ波を用いてレーザースポットサイズ程度の空間分解能で試料の分光計測を行うレーザーテラヘルツ顕微分光システムの開発を目的とした。レーザーテラヘルツ顕微分光システムをバイオチップの診断ツールとして利用することにより、蛍光ラベルを必要としないラベルフリー診断法への応用を目指す。本研究では、実

用化が期待されているバイオチップのラベルフリー診断法としてTHz光技術を応用するために、二つの新しいアイデアを導入している。第一に、THz光源とバイオチップ基板材料を同一にすることで試料と光源間の距離を非常に短くし、励起レーザーのスポットサイズ程度の空間分解能を達成する手法の導入である。この手法では近接場を用いる場合によく利用される微小開口プローブの



ような複雑なデバイスを必要とせず、極めてシンプルなシステムの構成が可能である。第二に、差分検出法を導入し非常に僅かな吸収スペクトルの差を検出することで、バイオチップに用いる貴重な試料の節約が可能となる。本手法は、高感度かつ高空間分解能で高分子の結合状態の検出を可能とするものであり、さまざまな生体分子、農薬、有害物質検出システムへの応用も期待できる。

本年度は、レーザーテラヘルツ顕微分光システムの前段階であるレーザーテラヘルツエミッション顕微鏡のLSIの故障診断法としての応用可能性を目指して、1 $\mu$ m帯フェムト秒レーザーによる裏面観察システムの構築を行った。また、テラヘルツ時間領域分光法により、生体分子の分光スペクトルを取得を行った。

(1) 1 $\mu$ m帯フェムト秒レーザーによるLSI裏面観察用レーザーテラヘルツエミッション顕微鏡の開発を行った。現時点で空間分解能は5 $\mu$ mを達成した。

(2) DNA, 糖類などの生体分子のTHz帯分光スペクトルの取得を行った。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Yamashita M., Usami M., Fukushima K., Fukasawa R., Otani C., Kawase K., "Component spatial pattern analysis of chemicals by use of two-dimensional electro-optic terahertz imaging", *Appl. Opt.*, 44 5198-5201 (2005).\*

山下将嗣、二川清、斗内政吉、大谷知行、川瀬晃道：“レーザーテラヘルツ放射顕微鏡のLSI故障解析への応用”、レーザー研究、33、855-859

(2005).\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamashita M., Kawase K., Otani C., Nikawa K., and Tonouchi M., "Observation of MOSFETs without Bias Voltage using a Laser THz Emission Microscope", CLEO/QELS 2005 Baltimore, Maryland, UST (May 22-27, 2005)

Yamashita M., Nikawa K., Tonouchi M., Otani C., Kawase K., "Observation of Semiconductor Devices from the Backside of the chip using a Laser THz Emission Microscope", IQEC/CLEO-PR, Tokyo, Japan (July 11-15, 2005)

Yamashita M., Nikawa K., Tonouchi M., Otani C., Kawase K., "Backside Observation of MOSFET Chips using an Infrared Laser THz Emission Microscope", IRMMW/THz2005, Williamsburg, Virginia, USA, October (2005)

(国内学会等)

1. 山下将嗣、小川雄一、大谷知行、川瀬晃道、“テラヘルツイメージングの応用可能性”、レーザーEXPO2005 パシフィコ横浜 (April 20, 2005, 横浜)

2. 山下将嗣、二川清、斗内政吉、大谷知行、川瀬晃道、“レーザーテラヘルツ放射顕微鏡による集積回路評価”、第17回半導体ワークショップ、浜松 (June, 23 2005)

3. 山下将嗣、小川雄一、大谷知行、川瀬晃道、“テラヘルツイメージングの応用可能性”、東京コンファレンス (依頼講演)、幕張メッセ、(September, 2005)

XV—074

### 窒素サイクルに関わる 膜内在性一酸化窒素還元酵素の構造生物学的研究 Structural Study of Membrane-Bound Nitric Oxide Reductase

研究者氏名：日野 智也 Hino, Tomoya  
ホスト研究室：放射光科学総合研究センター  
城生体金属科学研究室  
(アドバイザー 城 宜嗣)

生命および地球環境にとって重要な窒素サイクルは、微生物等の生命活動である、窒素固定、硝

化および脱窒によって維持されている。これまでに、これらの過程に関わる酵素群は活発に研究さ

れ、その酵素反応メカニズムに関する知見が蓄積されてきた。しかしながら、そのほとんどは水溶性蛋白質であり、精製や三次元結晶化が困難な膜内在性の蛋白質についての研究は大幅に遅れている。そこで本研究では、脱窒に関わる膜蛋白質である一酸化窒素還元酵素（NOR）の酵素反応機構を、構造生物学的な見地から解明することを目的とする。

脱窒菌由来のNORは、2つのサブユニット、Nor B及びNor Cにより構成される。Nor Cは膜結合型のチトクロムcであり、活性中心への電子伝達の役割を担う。Nor Bは12回膜貫通型の蛋白質であり、2つのb型ヘムと1分子の非ヘム鉄を有する。このうち、1分子のb型ヘムとその近傍に存在する非ヘム鉄が2核活性中心を形成している。興味深いことに、これらの特徴は好気呼吸の末端酸化酵素であるチトクロムc酸化酵素と類似している。さらに、アミノ酸配列に高い相同性が存在するため、NORはチトクロムc酸化酵素の進化的起源に当たる蛋白質であると考えられている。これら2種の呼吸酵素の構造を比較・検討することによって、嫌気呼吸から好気呼吸への分子進化に関する知見が得られるものと期待される。

本年度の成果を以下に示す。

(1) 膜蛋白質に結合している脂質の量を調節することは、膜蛋白質の結晶化においては特に重要であると考えられている。NORにおいても、結合脂質量が多いと結晶ができず、少ないとNORが変性してしまう現象が観測され、結晶化の再現性が低かった。そこで、可溶化及び精製に用いる界面活性剤の濃度の最適化を行った。その結果、NOR 1分子に対し脂質6分子程度の結合量において結晶が再現性良く成長することが分かった。

(2) 一般の膜蛋白質に適用可能なELISA法を開

発し、NORに対するモノクローナル抗体を9種類作成した。NORと部分抗体の複合体を共結晶化することで、分解能を向上させることが目的である。9種のうち2種は同時にNORに対して結合できることが可能であったため、この2つの抗体を同時に結晶化に使用することで良質な結晶を得られる可能性がある。現在、これらの抗体を用いて結晶化スクリーニングを行っている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sugimoto H., Oda S., Otsuki T., Hino T., Yoshida T and Shiro Y.: “Crystal structure of human indoleamine 2, 3-dioxygenase: Insights into the catalytic mechanism of O<sub>2</sub> incorporation by a heme-containing dioxygenase”, Proc. Natl. Acad. Sci., in press\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hino T., Kumita H., Yamamoto K. and Shiro Y.: “Spectroscopic and crystallographic studies of bacterial Nitric Oxide Reductase”. 1st International Symposium on Chemistry of Coordination Space (ISCCS 2005), Okazaki, Japan, November (2005)

(国内学会等)

日野智也、汲田英之、福森義宏、城宜嗣：“緑膿菌由来膜貫通型一酸化窒素還元酵素の精製と結晶化”、第9回P450勉強会、神戸、7月（2005）

日野智也、汲田英之、福森義宏、城宜嗣：“緑膿菌由来膜貫通型一酸化窒素還元酵素の精製と結晶化”、第43回日本生物物理学会年会、札幌、11月（2005）

研究者氏名：大石 久美子 Oishi, Kumiko  
 ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター  
 細胞運命研究チーム  
 (アドバイザー 澤 齊)

紡錘体形成の制御は染色体分配および細胞質分裂を正確に行うために重要であり、また発生・分化の基本機構である非対称分裂においては、紡錘体の方向(分裂軸の方向)の制御が娘細胞の運命決定に重要と考えられている。紡錘体がこれらの細胞内現象を正確に実行するためには、特定領域(動原体およびcell cortex領域)微小管動態が適切に時間的・空間的に制御されることが必要と考えられているが、詳細は明らかではない。申請者はこれまでに線虫初期胚発生段階において紡錘体形成異常を示す変異体の解析から新規微小管結合蛋白質RMD-1を同定しており、さらにこの分子が線虫のみならず他の生物種まで保存されておりかつ新規な分子であることを見出している。このような新規分子群の機能を明らかにすることで線虫のみならず他の生物種における微小管制御機構の解明に寄与する可能性が高いと考えられる。

本年度はRMD-1のin vivoにおける微小管動態に対する影響の解析および染色体分配に対する影響を解析した。

(1) 染色体動態を解析したところ、分裂時に分裂軸に沿って引き延ばされた染色体が観察された。さらに動原体微小管と染色体の結合を調べ

たところ、merotelic attachmentが起こっていることがわかった。このことから、RMD-1は微小管と染色体との正常結合に必要な分子と考えられる。

(2) 線虫初期胚において紡錘体形成時の微小管伸長速度をEnd-binding protein EB1::GFPの動態を観察することにより測定したところ、RMD-1のノックダウンにより微小管伸長速度が減少していることがわかった。これまでの結果および(1)(2)よりRMD-1は微小管動態を制御することにより、染色体分離、紡錘体形成および分裂軸の方向をコントロールしていると考えられる。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際学会)

RMD-1, a member of a novel family of microtubule-associated proteins, is required for  $\gamma$ -tubulin-independent processes of spindle organization in *C. elegans*.

Kumiko Oishi, Hideyuki Okano, and Hitoshi Sawa  
 International worm meeting 55 (2005) 7月

研究者氏名：大田 浩 Ohta Hiroshi  
 ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター  
 ゲノム・リプログラミング研究チーム  
 (アドバイザー 若山 照彦)

近年の体細胞核移植によるクローン技術の開発により、完全に分化した細胞核にも個体への発生能が存在することが明らかとなった。今日までに

数種類の哺乳動物においてクローン動物作成の報告がなされており、それらの成果は、医学的、生物学的観点などから非常に注目を集めている。し

かし、それらの成功率はいずれも数%と非常に低い確率となっており、また、たとえ成体まで成長したとしても、寿命が短いなどの問題が指摘されている。現在その原因の一つとして、不完全な初期化による必要遺伝子の発現調節の異常などが示されているが、なぜそのような現象が起こってしまうのか、どうすれば正常に近づけることができるかは明らかとなっていない。本研究の目的は、様々な種類および条件下においた体細胞核を用いた未受精卵への核移植を行なうことにより、クローン動物の作成効率の改善およびその基礎的な理解を深め、更に、核移植技術を最大限に応用し、新規の発生工学技術を開発することである。

昨年度はクローンマウスを安定的に作出する実験系の確立を行っており、今年度はそれにより得られたクローンマウスを用いて下記の実験を行った。

新生仔致死を示したクローンマウスからの子孫作出の試み。ES細胞をドナーとして核移植を行い、クローンマウスの作出を試みたところ、出産率は約7%と他の体細胞と比較して効率面では安定的であった（体細胞：2-3%）。しかしながら得られたクローンマウスのうち、約70%が新生仔致死を示した。このような致死クローンマウスにおいても正常な配偶子形成が起こり得るのかを調べるため、精巣組織移植法により生殖細胞の分化誘導を行い、得られた精子の受精能をICSI法により解析した。解析の結果、クローンマウス由来の移植後精巣において組織学的に正常な精子形成が認められ、さらにICSI法によりこれらの精子が正常な個体発生能を有することが明らかとなった。以

上の結果から、新生仔致死のような重度の初期化不全も、生殖細胞を経由することにより校正されることが明らかとなった。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohta H., and Wakayama T.: "Generation of normal progeny by intracytoplasmic sperm injection following testicular tissue grafting from cloned mice that died postnatally", *Biol Reprod*, 73 390 - 395 (2005)\*

Fujita K., Ohta H., Tsujimura A, Matsuoka Y, Takao T, Miyagawa Y, Takada S, Matsumiya K, Wakayama T, Okuyama A.: "Transplantation of spermatogonial stem cells isolated from leukemic mice restores fertility without inducing leukemia", *J Clin Invest*, 115 1855-1861 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohta H., and Wakayama T.: "Generation of normal progeny from cloned mice with postnatal lethality by intracytoplasmic sperm injection after testicular tissue grafting", 38<sup>th</sup> Annual Meeting of the Society for the Study of Reproduction, Quebec, Canada, July (2005)

Ohta H., and Wakayama T.: "Male germ cell differentiation in the mouse: analyses by germ cell transplantation and intracytoplasmic sperm injection", The 2nd Asian Reproductive Biotechnology Workshop, Bangkok, Thailand, Nov. (2005)

平成 16 年度採用者

研究者氏名：太田 直美 Ota, Naomi  
 ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室  
 (アドバイザー 牧島 一夫)

この研究の目的は、宇宙最大の天体である銀河団に注目し、そのX線観測データの詳細な解析から、銀河団中のダークマター分布を解明することにある。銀河団は宇宙とほぼ同比率で大量にダークマターを含み、その巨大な重力ポテンシャルに束縛された高温ガスからのX線放射をトレーサーとして用いれば、そこに潜んでいるダークマター分布を測定できる。これより、未だ正体不明のダークマターに対して新たな観測的制限をつけることを目指している。

私は、本年度は主に以下の2つの研究を遂行した。(1) 最大離角の重力レンズ四重像をもつクエーサーSDSS J1004+4112に注目し、Chandra衛星による高分解能観測を行った。これにより、クエーサーの手前にある重力レンズ銀河団から空間的に広がったX線放射を初めて検出した。また、銀河団中心領域のダークマター分布を精度良く求め、それが可視光観測やコールドダークマターに基づく理論的予測とよく一致することを示した。さらに、X線でクエーサー四重像を明確に分離することにも成功し、その強度比や鉄輝線の測定から、四つのうちの一つの像でマイクロレンズ現象が起きているという強い示唆を得た。(2) Suzaku衛星搭載高分解能X線分光器(XRS)の地上較正や解析ツールの開発を行った。特に、XRSの最高のエネルギー分解能を実現するためには、正確なエネルギースケールの較正が不可欠である。そこでカロリメータのピクセルごとゲイン変動を詳細に調べ、それを補正する方法を検討した。その方法に基づいてゲイン補正を行うと、30個のほとんどのピクセルで約6eVという優れた分解能が達成できることを確認した。Suzaku衛星打ち上げ後に、XRSは冷媒が失われたことにより残念ながら天体観測には至らなかったが、衛星搭載状態でのXRSのゲイン較正や最終的な性能評価の結果を投稿論文にまとめた。さらに、(3) Suzakuの稼働中の2つの検出器(XISとHXD)の相互キャリブレーションにも参加した。今後は、Suzakuで

取得した銀河団や銀河群のX線データ解析も進める予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ota N., Kitayama T., Masai K., and Mitsuda K.: “L<sub>X</sub>-T relation and related properties of galaxy clusters”, *The Astrophysical Journal*, in print\*

Ota N., Inada N., Oguri M., Mitsuda K., Richards G. T., Suto Y., Brandt W. N., Castander F. J., Fujimoto R., Hall P. B., Keeton C. R., Nichol R. C., Schneider D. P., Eisenstein D. E., Frieman J. A., and Turner E. L.: “Chandra observations of SDSS J1004+4112: constraints on the lensing cluster and anomalous X-Ray flux ratios of the quadruply imaged quasar”, submitted to the *Astrophysical Journal Letters*.\*

Ota N., Boyce K. R., Brown G.V., Cottam J., Fujimoto R., Furusho T., Ishisaki Y., Kelley R. L., Kilbourne C. A., McCammon D., Mitsuda K., Morita U., Porter F. S., Takei Y., and Yamamoto M.: “Performance verification of the Suzaku X-ray Spectrometer in the flight configuration”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, in print\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ota N., Boyce K. R., Brown G.V., Cottam J., Fujimoto R., Furusho T., Ishisaki Y., Kelley R. L., Kilbourne C. A., McCammon D., Mitsuda K., Morita U., Porter F. S., Takei Y., and Yamamoto M.: “Performance verification of the Suzaku X-ray Spectrometer in the flight configuration”, *The 11th International Workshop on Low Temperature Detectors*, Tokyo, Japan, Aug. (2005)

(国内学会等)

太田直美、稲田直久、満田和久、藤本龍一、大栗真宗、須藤靖、G. Richards、E. Turner、C.

Keeton, R. Nichol, 他SDSS重力レンズクエーサー探索チーム：“四重クエーサーSDSSJ1004+4112の重力レンズ銀河団からのX線検出”、日本天文学会秋季年会、札幌コンベンションセンター、10月（2005）

太田直美、藤本龍一、古庄多恵、満田和久、竹井洋、石崎欣尚、森田うめ代、山本幹生、Kevin

R. Boyce, Greg V. Brown, Jean Cottam, Richard L. Kelley, Caroline A. Kilbourne, F. Scott Porter, Dan McCammon：“Astro-E2衛星搭載X線カロリメータ検出器XRSのゲイン較正”、日本天文学会秋季年会、札幌コンベンションセンター、10月（2005）

## XVI—002

### ブラックホールの最先端を拓く

#### Observational Studies of Black Hole Objects

研究者氏名：久保田 あや Kubota, Aya

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

（アドバイザー 牧島 一夫）

（原著論文）

現在、宇宙に知られるブラックホールには、大質量星の重力崩壊の結果生じる恒星質量ブラックホール（ブラックホール連星；BHB）、活動銀河の中心にあると考えられる超巨大ブラックホール（AGN）、さらに両者の中間の質量をもつものとして期待される、超光度X線天体（ULX）が存在する。本研究は、X線と光学観測により、ブラックホール天体の物質降着によるエネルギー解放の機構を恒星質量ブラックホールから超巨大質量ブラックホールまで統一的に理解することを第一の目的とする。本年度は以下のように研究を進め、国際学会での招待講演で発表するとともに、論文にまとめた。

- （1）共同研究者であるイギリス、ダーラム大学のChris Done博士とともに、臨界光度で輝くBHBについて昨年度まとめた論文を発展させ、降着円盤コロナと円盤のエネルギー解放率を矛盾なく解く理論モデルを構築した。
- （2）「すばる」望遠鏡で観測したM81銀河中のULXのデータ解析を進め、連星の軌道周期由来と思われる変動を確認するとともに、分光観測からこのULXに付随する輝線ネビュラの存在を示した。
- （3）「すざく」衛星によって観測したはくちょう座X-1というBHBのスペクトル解析を行い、宇宙科学シンポジウムで発表した。また春の天文学会で発表予定である。

Done C., Kubota A.: “An optically thick inner corona geometry for the Very High State Galactic Black Hole XTE J1550-564”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, (submitted)

Kubota A., Ebisawa K., Makishima K., and Nakazawa K.: “On the temperature profile of radiatively efficient geometrically thin disks in black hole binaries with the ASCA GIS”, The astrophysical journal, 631 1062-1071(2005)\*

Maeda Y., Kubota A., Kobayashi Y., Itoh A., Kunieda H., Terashima Y., and Tsuboi Y.: “A Search for X-Rays from the Long-Duration Microlensing Event MACHO-96-BLG-5”, The astrophysical journal, 631 65-69 (2005)\*

Abe Y., Fukazawa Y., Kubota A., Kasama D., and Makishima K.: “Three Spectral States of the Disk X-Ray Emission of the Black-Hole Candidate 4U 1630- 47”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 57 629-641(2005)\*

Tanaka T., Sugiho M., Kubota A., Makishima K., and Takahashi T.: “Spectral Evolution of a Luminous Compact X-Ray Source in NGC 253 with Chandra and XMM-Newton Observatories”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 57 507-511(2005)\*

Murashima M., Kubota A., Makishima K., Kokubun M., Soojing H., and Negoro H.: “X-Ray Spectra of the Narrow-Line Seyfert 1 Galaxy Ton S180 in

Comparison with Galactic Black Holes”,  
Publications of the Astronomical Society of Japan,  
57 279-285(2005)\*

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kubota A.: “X-ray and optical studies of ULXs (invited)”, High energy in highland, Fort William, Scotland, UK, 6-7月 (2005)

Kubota A.: “X-ray observations of accreting black holes (invited lecturer)”, APCTP winter school on black hole astrophysics 2006, Pohang, Korea, 1月 (2006)

Kubota A.: “Ultraluminous X-ray sources (invited lecturer)”, APCTP winter school on black hole astrophysics 2006, Pohang, Korea, 1月 (2006)

(国内学会等)

久保田あや : “非熱的宇宙観測計画 1 (招待講演)”、

高エネルギー宇宙物理連絡会第6回研究会、9月 (2005)

久保田あや、齊藤嘉彦、生田ちさと、山村一誠、田中孝明、C.Bailyn、M. Pakull、牧島一夫 : “「すばる」望遠鏡を用いたM81銀河のULX X-6の観測II：分光観測と輝線ネビュラ”、日本天文学会2005年秋季年会、札幌市、10月 (2005)

久保田あや、C. Done、角田奈緒子、牧島一夫 : “低温度のULXは1000太陽質量のブラックホールを意味するか?”、日本天文学会2005年秋季年会、札幌市、10月 (2005)

久保田あや、堂谷忠靖、平賀 純子、市川喜徳、海老沢研、Sachindranatha Naik、国分紀秀、伊藤健、高橋弘充、牧島一夫、水野恒史、深沢泰司、上田佳宏、山岡和貴、小谷太郎、Steve Holt : “「すざく」衛星によるCygnus X-1の観測”、日本天文学会2006年春季年会、和歌山市、3月 (2006)

XV—003

宇宙線の加速源研究のための軟ガンマ線検出器の開発

Development of the Soft-gamma Ray Detector for Study for the Cosmic Acceleration Mechanism

研究者氏名：小浜光洋 Kohama, Mitsuhiro

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

宇宙線の系内加速の起源を観測的に研究する手段として加速源からのシンクロトロン放射による軟ガンマ線を捉えたいと考える。そのために衛星搭載用の軟ガンマ線検出器の開発を進めていきたい。ガンマ線はX線に比べ透過力が強く、物理素過程も複雑であることから、高性能を追求するとそれに比例してデータの読み出し数が莫大になり、処理も複雑なものとなる。地上加速器実験では、確立された手法が存在するが、この技術を衛星搭載に向けて取り込もうとするのが、本研究の目的である。

本年度は昨年度に引き続き研究室が関わっている衛星開発ミッションに加わり、そのデータ処理系の開発を担当することで、基本的な処理が衛星ミッションで実用化されることを進めてきた。

(1) 宇宙ステーション搭載予定の全天X線監視装置 (MAXI) の開発に関わり、その機上処理、地上処理のシステム設計、製作を担当した。

(2) X線偏向計開発に加わり、試作モデルの検出器を気球実験に向けて準備を行っている。2006年5月に打ち上げ予定である。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kohama M.,Negoro H.,Kuramata N.,Tomida H.,Katayama H.,Mihara T.,Ueno S.,Matsuoka M.,Kawai N.,Yoshida A.,Miyata E. and Tsunemi H. : “Real time response DB system of MAXI ground software”, Astronomical Data Analysis Software and Systems 2005, Spain

(国内学会)

Kohama M.,Negoro H.,Kuramata N.,Tomida H.,Katayama H.,Mihara T.,Ueno S.,Matsuoka M.,Kawai N.,Yoshida A.,Miyata E. and Tsunemi H. : “全天X線監視装置 (MAXI) の地上系システムの現状”、日本天文学会



## 広帯域硬X線による宇宙線源探索と 撮像分光観測による加速機構の解明

A Study of the Origin and the Mechanism of Cosmic Ray Acceleration in the Hard X-Ray Band

研究者氏名：馬場 彩 Bamba, Aya

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

宇宙線とは、宇宙を飛び交う超高エネルギー粒子で、その最高エネルギーは $10^{20}$ eVにも達する。エネルギー密度を考えても、我々の銀河内の星の光や磁場、宇宙背景放射のそれと同程度であり、我々の宇宙の基本構成要素のひとつである。しかし、発見以来100年近く経った現在も、その加速機構・加速源は明らかになっておらず、宇宙物理学最大の謎のひとつである。

高エネルギーに加速された電子は星間磁場中でシンクロトロン放射を起こし、その帯域は硬X線になる。したがって、硬X線帯域でシンクロトロン放射源を探せば、我々は宇宙線加速源を見つけることが出来る。実際、Koyama et al. (1995)により、超新星残骸SN1006衝撃波面からシンクロトロンX線が検出され、超新星残骸衝撃波面が宇宙線加速していることが初めて明らかになった。申請者はこの手法をさらに発展させ、超新星残骸での宇宙線加速問題で初めて定量的議論を可能にするなど、宇宙線電子加速問題の最先端を担っている。

本年度、申請者はアメリカのX線天文衛星Chandra、ヨーロッパの同衛星XMM-Newtonの観測データを使用し、複数の超新星残骸について新たに宇宙線加速の可能性を調べ、その結果を口頭発表・原著論文にまとめた。また本年は、我々にとって10年来の夢であった、日本で5番目のX線天文衛星「すざく」を、無事2005年7月に打ち上げることに成功した。「すざく」では現在二種類の検出器が順調に稼働中である。申請者はそのひとつである撮像分光型検出器(XIS)の主力メンバーで、ソフトウェア開発などで精力的に参加してきた。また、二種類の検出器のメンバーが同一研究室にいる本研究室の特徴を活かし、クロスキャリ・ヘルプデスクチームを理研内に立ち上げた。本グループの目的は、「すざく」の情報を一箇所に集約し、「すざく」チーム内外の研究者がデータを使いやすく、正確な成果が出るようにす

ることであり、すでに活動を始めている。衛星は8月から本格的な観測態勢に入っている。「すざく」・その後継機で出来るサイエンスについては、打ち上げ前から議論を進め論文などにしてきた。申請者らの「宇宙線加速源を探る」ことを目標とした天体群もすでに観測済み・観測予定であり、口頭発表・publicationもすでに出し始めている。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Bamba A., Ueno M., Nakajima H., Mori K., and Koyama K., “A detailed observation of a LMC supernova remnant DEM L241 with XMM-Newton”, *Astrophysics and Astronomy*, in press\*

Bamba A., Yamazaki R., and Hiraga J.S.: “Chandra observations of a Galactic supernova remnant Vela Jr.: a new sample of thin filaments emitting synchrotron X-rays”, *Astrophysical Journal*, 632, 294-301(2005)\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Bamba A., Yamazaki R., and Hiraga J.S.: “A new age and distance indicator of SNRs with nonthermal X-ray filaments”, *International Astronomical Union Symposium No. 230 Populations of High Energy Sources in Galaxies*, Dublin, Ireland, Aug.(2005)

Bamba A., Ueno M., Nakajima H., Mori K., and Koyama K.: “A detailed observation of a LMC SNR DEM L241, with XMM-Newton”, *International Astronomical Union Symposium No. 230 Populations of High Energy Sources in Galaxies*, Dublin, Ireland, Aug.(2005)

Bamba A., Ueno M., Nakajima H., Mori K., and Koyama K.: “Discovery of a compact source in a LMC SNR DEM L241”, *The X-ray Universe 2005*, Madrid, Spain, Sep.(2005)

Bamba A.: "A high energy study of supernova remnants - birth of cosmic rays from death of stars -", East Asian Young Astronomers Meeting 2006, Kiyosato, Japan, Feb. (2006)

Bamba A.: "Cosmic-ray acceleration in SNRs", Energy Budget in the High Energy Universe, Kashiwa, Japan, Feb.(2006)

Bamba A.: "SNR", Japanese-German Colloquium: 'Relativistic Universe', Wildbad Kreuth, Germany, Feb.(2006)

(国内学会等)

馬場彩、Hasinger G.、Bauer M.、伊藤真之、寺田

幸功、榎戸輝楊、森浩二、宇野伸一郎：“「すざく」による超新星残骸SN 1987Aの観測”、第6回宇宙科学シンポジウム、相模原、1月(2006)

馬場彩：“Particle Acceleration in SNRs”、GLAST研究会、東京、10月(2005)

馬場彩、植野優、中嶋大、森浩二、小山勝二：“XMM-Newtonによる大マゼラン星雲中の超新星残骸DEM L241の詳細観測”、日本天文学会2005年秋季年会、北海道、10月(2005)

馬場彩：“非熱的宇宙観測計画2”、高宇連第6回研究会、9月(2005)

## XVI—005

### 専用計算機による遺伝子情報処理の高速化

Development of a Special-Purpose Computer for Exploring Similar Biological Sequences

研究者氏名：杉江 崇繁 Sugie, Takashige

ホスト研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 戎崎 俊一)

生物配列解析における相同性検索の高速化を目的としている。特にSmith-Waterman法による相同性検索を専用計算機によって高速化を行う。Smith-Waterman法は検索感度が非常に高いが、計算量が非常に多いことで知られている。本研究はペアワイズアラインメントにおける類似度を高速に求める専用計算機 (PCIデバイス) を開発することである。1台のPCに対して15,000程度の配列長を用いた場合、400倍程度の高速化が可能であり、1年を必要とする計算を1日で実行することが可能であるため、非常に有効であると考えられる。

本年度はこれまでに開発したグローバルマッチングにおける相同性検索専用計算機を用いたPCクラスタシステムを構築し、さらなる高速化を行った。3枚の相同性検索専用計算機をインストールしたPCを4台用意し、MPIによりそれらを制御した。このシステムではPentium4 3.2GHzに対して最大5,000倍程度の高速化を行うことができた。

セミグローバルマッチングにおける類似度を求める相同性検索専用計算機を開発した。グローバルマッチングにおける相同性検索専用計算機とほぼ同等の性能を有する。

近年、GPUの性能の進歩は目覚ましく、現在では5.2Tflopsの演算性能を持つものもある。また、cgなどを用いたシェーダプログラミングをサポートしている。通常、これらは複雑なシェーディングを行うための機構であるが、それ以外の数値計算などに利用してGPUによる高速化を考えた。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Tomoyoshi Ito, Nobuyuki Masuda, Kotaro Yoshimura, Atsushi Shiraki, Tomoyoshi Shimobaba and Takashige Sugie: "Special-purpose computer HORN-5 for a real-time electroholography", Optics Express, 13(6) 1923-1932 (2005)\*

Nobuyuki Masuda, Tomoyoshi Ito, Takashi Tanaka, Atsushi Shiraki and Takashige Sugie: "Computer generated holography using a graphics processing unit", Optics Express, 14(2) 603-608 (2006)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

杉江崇繁、戎崎俊一、伊藤智義、増田信之、下馬場朋祿：“準全体比較による相同性検索専用計

## XVI—006

## 粒子法による詳細な銀河進化モデル

## Detailed SPH Simulations of Galaxy Evolution

研究者氏名：中里直人 Nakasato, Naohito

ホスト研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 戎崎 俊一)

天文学を解釈するための理論天文学の研究においては、他の物理研究分野とは異なり、研究対象の系を直接実験・観察ができないため、数値シミュレーションによる天体現象のモデル化あるいは新現象の説明は、欠かすことのできない研究手法である。昨今の天文観測装置の飛躍的な進化によって、ここ数年の間に様々な天体現象に関する大量かつ精細な観測データが得られるようになってきている。それらの大量かつ精細なデータを解釈、説明するためには、そのためのツールである数値シミュレーションもより大規模かつ精密になる必要がある。本研究では、Smoothed Particle Dynamics(SPH)法という、銀河進化のシミュレーションでは広く活用されている手法で、これまでより10倍以上精密なシミュレーションをめざしている。

本年度は、研究計画を前倒しして、SPHシミュレーションを専用計算機により高速化するための研究開発をおこなった。このために、本研究室で開発されたFPGA(Field Programmable Gate Array)を利用したBioler-3計算ボードを利用することとした。FPGAは、内部の論理回路を再構成可能な集積回路である。本年度は、銀河進化のシミュレーションに必須である重力相互作用とSPH相互作用の演算回路を、共同研究により開発された自動設計ツールによって実現したうえで、SPHシミュレーションコードとの統合をおこなった。FPGA上では、回路資源が限られているため、数値演算の精度を落として実行する必要がある。銀河形成では、暗黒物質の重力場内において、ガス雲が収縮することにより発生する衝撃波がその後の進化に大きな影響を及ぼすため、衝撃波計算のテスト問題であるSodの衝撃波管問題を調べることで、必要な演算精度を見積もった。結果、最低限必要な仮数部の演算精度は12-16bitであることがわかつ

た。演算精度を16bitとすると、Bioler-3ボードにおけるSPH相互作用の理論演算速度は典型的なPCの約80倍となった。その結果を利用して、Bioler-3ボードとSPHシミュレーションコードと組みあわせ、等温球の収縮による3次元流体計算のテスト計算をおこなった。本研究では、最終的に50-100万粒子による銀河シミュレーションをおこなうことを目標としているが、このテストで50万粒子の場合、流体計算部分のみではPCの約5倍、重力計算部分にもFPGAを使うことで、コード全体ではPCの約10倍、計算が高速化されることがわかった。よって、おおよそ目標とする演算の高性能化が得られたので、今後、銀河シミュレーションへの適用をめざす。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nakasato, N., and Hamada, T.: “Astrophysical Hydrodynamics Simulations on a Reconfigurable System”, in Proceeding of IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM'05), 279-280 (2005)\*

Hamada, T., and Nakasato, N.: “Massively Parallel Processors Generator for Reconfigurable System”, in Proceeding of IEEE Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM'05), 329-330 (2005)\*

Hamada, T., and Nakasato, N.: “PGR: A Software Package for Reconfigurable Super-Computing”, in Proceeding of The 15th International Conference on Field-Programmable Logic, Reconfigurable Computing, and Applications (FPL2005), 366-373 (2005)\*

中里直人、濱田剛：「FPGAによる天体物理学計算の高速化」、情報処理学会論文誌コンピュー

ティングシステム (ACS)、印刷中\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

中里直人、濱田剛：日本流体力学会年会2005講演会、「再構成可能な集積回路による天体物理学計算」、東京、2005年9月

中里直人、濱田剛：日本機械学会2005年度年次大会、「FPGAによる粒子シミュレーションの高速化」、東京、2005年9月

中里直人、Baumgardt, H.、戎崎俊一：日本天文学会2005年秋季年会、「恒星の暴走的合体によ

る巨大質量星形成」、札幌、2005年10月

中里直人、濱田剛：2006年ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム、「FPGAによる天体物理学計算の高速化」、東京、2006年1月

中里直人、濱田剛：銀河系研究会2006、「PROGRAMGRAPEによる銀河シミュレーション」、東京、2006年2月

中里直人、濱田剛：日本天文学会2006年春季年会、「FPGAを用いた再構成可能な計算機による天体物理シミュレーション I」、和歌山、2006年3月

XVI—007

## 反水素原子の超微細構造周波数の測定

Measurement of Hyperfine Frequency of Antihydrogen

研究者氏名：柴田 政宏 Shibata, Masahiro

ホスト研究室：山崎原子物理研究室

(アドバイザー 山崎 泰規)

本研究の目的は、反水素原子の基底状態における超微細構造周波数を精密に測定し、反陽子の磁気モーメントのCPT対称性を高精度で検証することである。超微細構造周波数を精密に測定するためには、十分な強度の超低速反水素ビームが必要となるが、これまでに実現された反水素原子生成方法ではその実現は困難である。本研究ではカスプトラップという新しい方法を実現することによりこの困難を克服する。

カスプトラップは、4重極磁場と8重極電場の重ね合わせにより荷電プラズマを閉じ込める。反水素原子は、このカスプトラップ内で、反陽子と陽電子を結合させることにより生成する。反陽子はCERNの反陽子減速器で生成されたものを、高周波4重極減速器により減速したのち、多重電極トラップ内で冷却してからカスプトラップに入射する。

生成した反水素原子はトラップを構成する4重極磁場によりスピン状態が選択され、偏極反水素原子ビームとしてトラップから放出される。この反水素原子ビームに対して、まず、共振空洞内でマイクロ波を印加する。その後、6重極磁石を用いて、原子のスピン状態を分析する。磁場により

選択された原子は、対消滅を観測することにより検出される。信号強度のマイクロ波周波数依存性を測定することにより、超微細構造周波数が決定される。

本年度は、陽子と電子を用いたカスプトラップの実証実験を行うための以下の準備を進めた。

(1) カスプトラップを冷却するための冷凍機システムの開発

5 K以下の反水素原子ビームを生成するために、ギフォード-マクマホン式冷凍機(4.2Kでの冷却能力1.5W) 2台を用いてトラップを冷却する。冷凍機のコールドヘッドとトラップの熱伝導は、装置内の限られたスペースを有効に使うために99.9999%の高純度銅を用いて行っている。

(2) 陽子源の開発

水素化ナトリウムに電子を入射することにより陽子を生成する。生成された陽子は静電レンズを用いてトラップ内へ輸送される。

(3) 検出器系の開発

検出器にはMCPを用いる。シンチレータを追加することにより、反水素検出器として本実験でも使用する予定である。

## 不安定核の陽子捕獲反応に注目した 爆発的天体現象（新星）での元素合成過程の研究

Study of Nucleosynthesis with Proton Capture Reactions on Unstable Nuclei  
in Stellar Explosion

研究者氏名：五味 朋子 Gomi, Tomoko  
ホスト研究室：本林重イオン核物理研究室  
(アドバイザー 本林 透)

元素合成過程の理解には、宇宙観測の結果を再現するような天体の爆発モデルの構築が必要である。モデルの詳細な検討には、マクロな環境要因だけでなく、天体の中でおきている原子核反応の連鎖過程を知る必要がある。それには反応率の測定が不可欠であり、さまざまな実験手法を駆使して、研究が行われている。本研究では、クーロン分解反応法を用いて、不安定核が関与する天体核反応の測定に取り組んできた。これまで $^{22}\text{Mg}(p, r)^{23}\text{Al}$ の反応率決定を行い、かねてより存在が確認されていた共鳴反応について、その共鳴強度を初めて決定した。また、 $^{23}\text{Al}$ の核構造に関する情報を得るため、さらにデータ解析を進めている。天体現象とくに爆発的天体現象に関与する不安定核反応の多くは、実験データの量・質ともにまだ十分とはいえず、核構造の理論的予想に頼ってい

る部分も多い。その理論の予想精度を高めるためにも多くの原子核の核構造情報が必要となる。特に不安定核には安定核にみられない特異な構造を持つものがあり、理論予想は困難さを増してくる。最近 $^{23}\text{Al}$ は、陽子ハロー構造をもつのではないかと注目を集めており、それを検証するための実験もいくつか行われている。本研究で得られたデータからも新たな知見を与えるべく、高励起状態の構造も含めた詳細な解析をすすめている。今後、元素合成過程の統一的理解を進めるためには、広範囲にわたる原子核を対象に実験が行われ、また、実験手法としては、クーロン力を利用した分解反応だけでなく、核力を利用した分解反応やスピン選択性を持った反応機構も利用していくことが考えられる。

## 中性子過剰核の $\beta$ 崩壊のQ値と励起順位の研究

Study of Q Value in the  $\beta$  decay and Excited States of Neutron Rich Nuclei

研究者氏名：炭竈 聡之 Sumikama, Toshiyuki  
ホスト研究室：櫻井R I物理研究室  
(アドバイザー 櫻井 博儀)

安定核の研究による原子核の殻構造の発見以来、我々は不安定核を含む原子核の多彩な現象を深く理解する事が出来るようになった。原子核が閉殻構造となる魔法数は不安定核でも不変であると考えられてきた。しかし、陽子に比べ中性子の数が過剰な不安定核領域では、魔法数の変化を伴って核構造が大きく変化することが発見されている。また、中性子過剰核は超新星爆発による元素合成過程(r過程)の道筋になっているため、その性質は自然界で最も重いウランまで至る元素の起源を解明する鍵を握っている。中性子過剰核の $\beta$ 崩壊のQ値・半減期・励起順位の測定から核構造の

変貌を明らかにするのがこの研究の目的である。

原子核の存在限界である中性子ドリップライン上およびその近傍の不安定核は質量が比較的軽い領域でしか実験的に生成できないが、中性子ハローや中性子スキンといったこの領域の原子核に特有な構造も持つ事が知られている。中性子ドリップライン近傍の窒素・酸素同位体の $\beta$ 遅延 $\gamma$ 核分光実験を行い、複数の不安定核からの $\beta$ 遅延 $\gamma$ 線の観測に成功した。各励起順位のエネルギー・スピンパリティの情報を得るためデータ解析を進めていく。

平成18年度完成を目指し理化学研究所で建設中

のR I ビームファクトリーではR I ビーム生成能力が格段に向上し、安定核から遠くはなれた領域での核構造の基礎となる陽子数・中性子数ともに魔法数の二重閉殻核 $^{48}\text{Ni}$ ,  $^{78}\text{Ni}$ ,  $^{100}\text{Sn}$ 周辺や $r$ 過程の道筋となる原子核の $\beta$ 崩壊を観測することが可能となる。効率的に $\beta$ 遅延 $\gamma$ 核分光実験を行うために新たに両面ストリップ型シリコン検出器(DSSD)を用いた測定装置の開発を行った。 $\beta$ 線放射性核を二次元の情報が得られるDSSD中に埋め込むことで、埋め込み位置と $\beta$ 線の位置の相関が取れるため、複数の $\beta$ 線放射性核を同時に埋め込んで測定することができる。今後、RIBFでの初期実験に向け実験装置の完成を目指す。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sumikama T., Iwakoshi T., Nagatomo T., Ogura M., Nakashima Y., Fujiwara H., Matsuta K., Minamisono T., Mihara M., Fukuda M., Minamisono K and Yamaguchi T.: “Alignment correlation term in mass  $A = 8$  system and G-parity irregular term”, Eur. Phys. J. A 25, s01, 709-710 (2005)\*

Sumikama T., Iwakoshi T., Nagatomo T., Ogura M.,

Nakashima Y., Fujiwara H., Matsuta K., Minamisono T., Mihara M., Fukuda M., Minamisono K and Yamaguchi T.: “Nuclear spin alignments and alignment correlation terms in mass  $A = 8$  system”, Hyperfine Interact., DOI:10.1007/s10751-005-9112-5 in print\*

Sumikama T., Ogura M., Nakashima Y., Iwakoshi T., Mihara M., Fukuda M., Matsuta K. and Minamisono T.: “Electric field gradients of B in  $\text{TiO}_2$ ”, Hyperfine Interact., DOI:10.1007/s10751-005-9068-5 in print\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Sumikama T., Nagatomo T., Ogura M., Iwakoshi T., Nakashima Y., Fujiwara H., Matsuta K., Minamisono T. and Yamaguchi T.: “Beta decays in mass 8 system and test of conserved vector current hypothesis”, 第2回日米物理学会合同核物理分科会, Hawaii, USA, September (2005)

炭竈聡之、長友傑、小倉昌子、岩越丈尚、中島良樹、藤原裕樹、松多健策、南園忠則、福田光順、三原基嗣、南園啓、山口貴之：“質量数 $A=8$ 体系 $\beta$ 崩壊における中間子交換効果”、日本物理学会第61回年次大会、愛媛、3月(2006)

### XVI—011 $sd$ 殻領域陽子過剰核における陽子ハロー探索とその構造解明

Search for Proton-Halo Nucleus and Study of the Structure in  $sd$  Shell Region

研究者氏名：田中鐘信 Tanaka Kanenobu

ホスト研究室：櫻井RI物理研究室

(アドバイザー 櫻井博儀)

$sd$ 殻領域の中性子ドリップライン近傍の不安定核においては、最外殻核子の浅い束縛によるハロー構造や、従来の魔法数の破れ、新しい魔法数の生成など、安定核にはない新たな現象が報告されている。一方、陽子過剰核においては、クーロン障壁により核子の束縛が中性子過剰核に対して強くなるため、中性子過剰核で観測された特有の現象が起こりにくいと予想されている。両者を比較することによりクーロン障壁が不安定核構造に及ぼす影響を研究できることが期待される。 $sd$ 殻領域においては、陽子過剰核のみならず、ハローを形成しやすい中性子過剰核においても未探索の核種があり、十分に殻構造が解明されていない。

陽子・中性子過剰核を対比するためにも、 $sd$ 殻領域で未発見の中性子ハローを探索し、核構造との関連について系統的に理解することも重要である。

そこで今回は中性子ドリップライン核 $^{22}\text{C}$ に着目した。 $^{22}\text{C}$ は中性子数が新魔法数16であるため、上の準位からの配位混合が少なく、最外殻がほぼ $2s$ 軌道でみたされることが期待される。これにより遠心力障壁による核子の閉じこめが弱く、大きなハローを持つ可能性がある。 $^{22}\text{C}$ のハローの有無を検証するために反応断面積を測定する実験を行った。反応断面積は核半径や核子密度分布に依存する物理量であり、ハロー核であれば断面積の

増大が見込める。

$^{22}\text{C}$ ビームは収量が極めて少ないため、幾つかの対策を講じた。まず従来の炭素標的に較べ数倍反応率の高い液体水素標的を用いた。本実験では標的の厚さを1%以下の精度で求める必要があり、レーザー距離計を用いて標的厚みの精密測定をできる様に液体水素装置の改良を行った。更に、液体標的は温度により密度が変化するため、ヒーター電流を自動制御させることにより

温度を安定させるシステムを導入した。

また、トランスミッションを上げるために、エネルギー検出器として5インチ径の大型NaI検出器を開発した。放射線医学研究所と理化学研究所でテストを行い、粒子識別に必要な分解能が得られることを確認した。

これらの装置を用いた反応断面積実験の結果は、現在解析中である。

## XVI—013 陽子非弾性散乱を用いた中性子過剰核のガンマ線核分光

In-Beam  $\gamma$ -ray Spectroscopy of Neutron-rich Nuclei from Proton Inelastic Scattering Reaction

研究者氏名：道正 新一郎

Michimasa, Shin'ichiro

ホスト研究室：本林重イオン核物理研究室

(アドバイザー 本林 透)

安定線から離れた原子核において魔法数 $N=8$ 、 $20$ の消滅や $N=16$ の生成が実験的に示され、その周辺の中性子過剰核の性質が盛んに調べられている。とくに、偶々核の第一励起状態 ( $2^+$ ) のエネルギーはその原子核の変形度と非常に強く結びついており、核構造の基本的な性質を示す指標となっている。本研究の目的は、中性子過剰核の第一励起エネルギーを系統的に調べることにより、その領域での核構造を明らかにすることである。

本年度、超中性子過剰核 $^{36}\text{Mg}$ 、 $^{42}\text{Si}$ の第一励起エネルギーを決定する実験を行なった。 $^{42}\text{Si}$ は、閉殻である陽子数 $14$ と魔法数である中性子数 $28$ をもっているにもかかわらず、理論的な予想として魔法数 $N=28$ の消滅が示唆されている。一方、 $^{36}\text{Mg}$ は、魔法数 $20$ が破れていることが実験的に示されている $^{32}\text{Mg}$ にさらに中性子を4つもった原子核であり、 $\text{Mg}$ 同位体においてisland of inversionとよばれるsd殻とpf殻との混合した領域がどこまで中性子過剰側へ広がっているのかを知る上で重要である。本研究がこれらの原子核に関する励起状態の初めての情報を提供する。

実験は、理化学研究所加速器施設不安定核ビームラインRIPSにおいて行った。約 $50\text{MeV/u}$ の $^{36}\text{Mg}$ と $^{42}\text{Si}$ を生成し、それらを約 $100\text{mg/cm}^2$ の液体水素標的に照射し、標的での陽子非弾性散乱によって生成した励起状態からの脱励起ガンマ線と残留核

との同時測定を行なった。脱励起ガンマ線は標的の周囲に設置した160個のNaI(Tl)検出器で測定し、残留核をシリコン検出器とNaI(Tl)カロリメーターからなる $\Delta E$ - $E$ テレスコープで検出した。本研究の特徴は、液体水素標的を用いることにより、強度が $0.1$ 個/秒程度のビームに対してインビーム核分光が可能となった点である。

今後は、 $^{36}\text{Mg}$ 、 $^{42}\text{Si}$ のデータ解析をすすめ、結果を測定されているその周辺の原子核と比較し、中性子過剰度に対する原子核の特異性を考察してゆく。

### ●誌上発表 Publications

(会議録)

Michimasa S., Shimoura S., Iwasaki H., Tamaki M., Ota S., Aoi N., Baba H., Iwasa N., Kanno S., Kubono S., Kurita K., Kurokawa M., Minemura T., Motobayashi T., Notani M., Ong H.J., Saito A., Sakurai H., Takeuchi S., Takeshita E., Yanagisawa Y. and Yoshida A.: "Study of single-particle states in  $^{23}\text{F}$  using proton transfer reaction", Eur. Phys. J. A 25, s01, 367 (2005).

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

Michimasa S., Shimoura S., Iwasaki H., Tamaki M.,

Ota S., Aoi N., Baba H., Iwasa N., Kanno S., Kubono S., Kurita K., Kurokawa M., Minemura T., Motobayashi T., Notani M., Ong H.J., Saito A., Sakurai H., Takeuchi S., Takeshita E., Yanagisawa Y. and Yoshida A.: “Measurement of proton transfer reaction for single-particle states in  $^{23}\text{F}$ ”, 2nd

Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS, Hawaii, Sept. 2005.

Michimasa, S.: “Single-Particle states in  $^{23}\text{F}$  by a proton transfer reaction”, 日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学、松山、3月 (2006)

## XVI—014

### 重い不安定核のソフトな振動励起モードの研究

Low-lying Collective Excitations in Medium-mass and Heavy Neutron Rich Nuclei

研究者氏名：山上 雅之 Yamagami, Masayuki

ホスト研究室：櫻井RI物理研究室

(アドバイザー 櫻井 博儀)

原子核における独立粒子運動の概念は、MayerとJensenら(1949年)による球形シェル模型の提案以来、変形核(Nilsson(1955年))や高速回転系(Inglis(1954年))、さらには超流動状態にある原子核(Bohrら(1958年)やBelyaev(1959年))へと多様に拡張されてきた。この半世紀、拡張された独立粒子描像に基づき構築された様々な原子核模型は、実験技術の進歩・データの蓄積と共に、一粒子的励起や集団運動、さらには高励起のカオス的な状態にいたる豊かな原子核の存在様式を明らかにしてきた。

しかし、理研RIBFに代表される次世代不安定核ビーム施設により切り開かれる新しい不安定核の物理は、従来の独立粒子描像に大きな修正を迫る。これは、対相関などの多核子相関が連続状態との結合を引き起こし、質的にも全く新しい独立粒子運動を出現させる為である。また必然的に、多核子間のコヒーレント運動としての集団運動もその様相が大きく変化すると考えられる。

本研究では、この新しい独立粒子描像に基づく原子核模型の構築を目指し、一般化された平均場近似(座標空間表示Hartree-Fock-Bogoliubov(HFB)法)と、それに基づく準粒子RPA計算を礎に、以下の研究を行った。

(1) 対相関が引き起こす連続状態との結合による、準粒子波動関数の空間的構造の変化を分析した。2準粒子状態の空間的構造の変化により引き起こされる、低励起振動状態の集団性の異常増大を、中性子過剰Ni同位体を例に議論した。

(2) 変形準粒子RPA計算により、中性子過剰Mg同位体における低励起4重極振動の微視的構造を分析した。また、変形核におけるダイニュートロン凝縮状態の可能性を示した。

(3) Skyrme相互作用を平均場と残留相互作用に一貫して用いた変形RPA計算により、中重質量 $N=Z$ 領域、および中性子過剰Sulfur同位体の超変形状態に現れる負パリティ振動を分析した。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Yamagami M.: “Continuum effects for many-body correlations in nuclei close to the neutron drip line”, *Phys. Rev. C* 72, 064308 (2005)\*

Yoshida K., Yamagami M., and Matsuyanagi M.: “Comparative study of octupole excitations on superdeformed states in  $^{32}\text{S}$ ,  $^{36}\text{S}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  and  $^{50}\text{S}$ ”, *Prog. Theor. Phys.* 113, 1251 (2005)\*

Inakura T., Imagawa H., Hashimoto Y., Mizutori S., Yamagami M., and Matsuyanagi K.: “Deformed selfconsistent RPA calculation with Skyrme interaction for low-frequency negative-parity excitations on superdeformed states around  $^{40}\text{Ca}$  region and sulfur isotopes”, *Nucl. Phys A* (2006) in press\*

Yamagami M., and Van Giai N.: “Pairing effects on the collectivity of quadrupole states around  $^{32}\text{Mg}$ ”, *Eur. Phys. J. A* 25, Supplement 1, 573 (2005)\*

Yamagami M.: “Collective excitations induced by pairing anti-halo effect”, *Eur. Phys. J. A* 25, Supplement 1, 569 (2005)\*



Yoshida K., Inakura T., Yamagami M., Mizutori S., and Matsuyanagi K.: “Microscopic structure of negative-parity vibrations built on superdeformed states in sulfur isotopes close to the neutron drip line”, *Eur. Phys. J. A* 25, Supplement 1, 557 (2005)\*

Inakura T., Imagawa H., Hashimoto Y., Yamagami M., Mizutori S., and Matsuyanagi K.: “Soft octupole vibrations on superdeformed states in nuclei around  $^{40}\text{Ca}$  suggested by Skyrme-HF and self-consistent RPA calculations”, *Eur. Phys. J. A* 25, Supplement 1, 545 (2005)\*

Yamagami M.: “Novel coordinate space representation for deformed loosely-bound nuclei”, *Proceedings of YITP Workshop on New Developments in Nuclear Self-Consistent Mean-Field Theories (MF05)*, Kyoto, Japan (2005) pp.46

Yamagami M.: “Impact of self-consistent pairing correlations; spatial structure change of quasiparticles and enhanced low-lying collectivity in neutron drip line nuclei”, *Proceedings of International Symposium on Correlation Dynamics in Nuclei (CDN05)*, Tokyo, Japan (2005) pp.213

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamagami M.: “Pairing-induced spatially extended coherence of low-lying vibrational excitations unique in neutron drip line nuclei”, *International Conference on Finite Fermionic Systems: Nilsson Model 50 Years*, Lund, Sweden, June (2005)

Yamagami M.: “Spatially extended coherence induced by pairing correlations in neutron drip line nuclei”, *RIKEN RIBF International Workshop on “Collective motions in unstable nuclei: experiments vs. theories”*, Wako, Japan, May (2005)

Yamagami M.: “Novel coordinate space representation for deformed loosely-bound nuclei”, *YITP*

*Workshop on New Developments in Nuclear Self-Consistent Mean-Field Theories (MF05)*, Kyoto, Japan, May (2005)

Yamagami M.: “Continuum effects for many-body correlations in nuclei close to the neutron drip line”, *Workshop on Nuclear Structure Near the Limits of Stability*, Seattle, USA, Sep. (2005)

Yamagami M.: “Spatially extended coherence induced by pairing correlation in low-frequency vibrational excitation of neutron drip line nuclei”, *2nd Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS (Hawaii 2005)*, Hawaii, USA, Sep. (2005)

Yamagami M.: “Pairing correlations in deformed nuclei close to the neutron drip line”, *2nd Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS (Hawaii 2005)*, Hawaii, USA, Sep. (2005)

Yamagami M.: “Pairing correlation in deformed neutron-rich nuclei”, *RIKEN-CNS RIBF International Workshop on Correlation and Condensation: New Features in Loosely Bound and Unbound Nuclear States*, Wako, Japan, Dec. (2005)

Yamagami M.: “Continuum effects for many-body correlations in medium mass neutron-rich nuclei”, *YITP Workshop on Binding Mechanism and New Dynamics in Weakly Bound Systems*, Kyoto, Japan, Dec. (2005)

(国内学会等)

山上雅之: “Continuum effects for many-body correlations in nuclei close to the neutron drip line”、滞在型研究会「テンソル力と多核子相関」、京都大学基礎物理学研究所、9月(2005)

山上雅之: “Continuum effects for many-body correlations in nuclei close to the neutron drip line”、小規模ワークショップ「不安定核における対相関」、理研、9月(2005)

研究者氏名：山田 一成 Yamada, Kazunari

ホスト研究室：本林重イオン核物理研究室

(アドバイザー 本林 透)

核子多体系である原子核の多様性を反映する現象のひとつに、核内での陽子と中性子の異なる振る舞いがある。一般に陽子数（中性子数）が魔法数の場合、低励起状態への励起に中性子（陽子）が主に寄与するが、殻の中間領域に位置する原子核では低励起状態への励起には陽子、中性子双方が一体となって寄与すると考えられている。ところが近年、陽子数が魔法数-2、中性子数が魔法数+2の $^{16}\text{C}$ で、第一励起状態への励起に陽子はほとんど寄与しないことが明らかにされ、注目を集めている。このような現象は二重閉殻近傍核で他にも現れる可能性があり、多様な未知の核種について陽子と中性子のダイナミクスを区別して調べることは、そのメカニズムや核構造の詳細を解明していくうえで大変意義深い。理研では陽子過剰核ビーム純度改善装置RFデフレクタの建設により、生成可能な不安定核ビームが陽子過剰核領域へ拡大した。それに伴い、陽子と中性子の違いが大きいと期待される、アイソスピン $T$ の大きな鏡像核対についてもデータを取得することが可能となってきた。

本年度は、まず過去の実験で得られた $T_z=-1$ の陽子過剰核 $^{18}\text{Ne}$ の中間エネルギークーロン励起のデータを解析し、角度分布を求めることでより正確な換算遷移強度 $B(E2)$ の値を導出した。この結果は以前の寿命測定から求めた $B(E2)$ の値と矛盾しておらず、中間エネルギークーロン励起法での $B(E2)$ 導出に問題がないことがわかった。本題の陽子過剰核 $^{28}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Ca}$ の第一励起状態への遷移強度を中間エネルギークーロン励起法で決定する実験は、理研加速器施設のビームタイムとして申請し採択された。 $^{36}\text{Ca}$ の第一励起状態は非束縛状態なので、励起後に分解された $^{35}\text{K}$ と陽子を同時計測する為、陽子検出用にプラスチックホドスコープを使用する。現在、平成18年度の実験を目指し準備を行っている。実験では筆者が2002年度に設置した純度改善装置（RFデフレクタ）を使用するが、動作安定性に問題があったので改善を行った。

自動同調回路の動作を正常にするため、シーケンプログラムの変更及び入力信号結線ミスの修正を行い、放射線ダメージによりシーケンサが故障することがあったので、鉛遮蔽を取り付ける対策を行った。また、基準RF信号の入力レベルが規定より30dBも小さくなっていたので前段増幅器を製作した。実験用の散乱粒子検出器としてシリコンテレスコープを使用するが、実験に最適化するために構成を改良している。バックグラウンド $\gamma$ 線の影響を減らすために、濃縮 $^{208}\text{Pb}$ 二次標的を使用することにし、ホルダーも位置精度の出るものを考えている。実験によって $^{28}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Ca}$ の $B(E2)$ が得られれば、これらの鏡像核 $^{28}\text{Mg}$ ,  $^{36}\text{S}$ の $B(E2)$ は既に知られているので、鏡像核同士で $B(E2)$ を比較し、陽子-中性子のダイナミクスを調べることができる。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Yamada K.: “Recent  $B(E2)$  measurement of proton-rich nuclei at RIKEN”, RIKEN RIBF international workshop “Collective motions in unstable nuclei - experiments vs. theories-”, RIKEN Wako campus, May. (2005)

山田一成：“鏡像核対の電磁遷移強度比較”、殻模型検討会、東大CNS和光分所、7月（2005）

Yamada K., Iwasa N., Bishop S., Elekes Z., Gibelin J., Hosoi M., Ieki K., Ishikawa K., Iwasaki H., Kawai S., Kondo Y., Kubono S., Kurita K., Kurokawa M., Matsui N., Minemura T., Morikawa H., Nakamura T., Niikura M., Notani M., Ota S., Saito A., Sakurai H., Shimoura S., Sugawara K., Sugimoto T., Suzuki H., Suzuki T., Takeshita E., Takeuchi S., Tanihata I., Teranishi T., Togano Y., Yamaguchi K., Yanagisawa Y., and Motobayashi T.: “New Coulomb Excitation Measurement of  $^{18}\text{Ne}$ ”, Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS, Maui, Hawaii, USA, Sep. (2005)

Yamada K.: “Transition probability of first  $2^+$  excited state in  $T_z=-1$   $^{18}\text{Ne}$ ,  $^{46}\text{Cr}$ ,  $^{50}\text{Fe}$ , and  $^{54}\text{Ni}$ ”, RIKEN-CNS RIBF International Workshop “Correlation and

Condensation: New Features in Loosely Bound and Unbound Nuclear States”, RIKEN Wako campus, Dec. (2005)

## XVI—016

### K 中間子原子核の実験的研究

Experimental Study of Kaonic Nuclei

研究者氏名：岡田 信二 Okada, Shinji

ホスト研究室：岩崎先端中間子研究室

(アドバイザー 岩崎 雅彦)

我々は、KEK-PS E471実験において $^4\text{He}(\text{stopped K}, p)$ スペクトル上に幅の狭い状態“ストレンジトライバリオン”を発見した(Phys. Lett. B 597 (2004) 263-269)。赤石・山崎らの理論によると、この状態は、K-中間子の原子核中の極めて深い束縛状態であると理解されるが、一方でその束縛エネルギーは、実験前に理論予測されていた値( $\sim 100$  MeV)を遙かに超えるものであった( $\sim 200$  MeV)。従って、「K-中間子の原子核で感じるポテンシャルが極めて強い引力であること」を示し、上の解釈が正しいことを明示することが次なる課題となった。

K中間子ヘリウム原子における、 $2p$ エネルギー準位の強い相互作用によるエネルギーシフトは、従来の理論の枠組みでは非常に小さいと予想されている( $\sim 0.2\text{eV}$ )。一方、最近の理論の進展により、強く引力的かつ吸収が小さい(つまり、K中間子とそのidentityを失わずに強い相互作用による束縛状態が形成する)場合には、 $\sim 10$  eVに達するような実験的に観測可能なほど大きなエネルギーシフトを生む事が分かった。すなわち、 $2p$ エネルギーシフトは「E471で発見された状態がK中間子と原子核の束縛状態」である場合にだけ観測される。

この $3d \rightarrow 2p$ のX線は過去に3回の測定例があり、極めて大きなシフト $\sim 40$  eVを観測しているが、測定器のエネルギー絶対較正に関して、必ずしも十分に確定的でない。そこで、我々は、(E471のアップグレード実験) KEK-PS E549のセットアップに加えて、X線検出器「SDD(silicon drift detector)」を用い、統計・分解能・エネルギー絶対精度を向上させた実験を提案した。本実験は、2005年4月にKEK-PS E570として採択され、

ビームタイムは、10月に約1ヶ月間、及び12月に2週間(延長実験)、極めて順調に行われた：(1) SDDによる高分解能測定(過去の実験の分解能が $\sim 350\text{eV}$  FWHM @ $6.5\text{keV}$ であったのに対し、 $\sim 180\text{eV}$ を達成)、(2) E471/E549のセットアップを用い、崩壊荷電粒子の反応点(vertex)測定と組み合わせてfiducial volume cutを行うことによりbackground freeなX線スペクトルを測定、(3) In-beamで電離されたチタン( $4.51\text{keV}(K\alpha_1)$ )及びニッケル( $7.48\text{keV}(K\alpha_1)$ )の特性X線をK中間子ヘリウム原子の $3d \rightarrow 2p$  X線( $\sim 6.5\text{keV}$ )と同時に測定することによる高精度なエネルギー較正(in-situ calibration)、を実現した。

本年度は、本実験の準備、遂行、及びそのデータ解析を行った。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kang B.H., Ajimura S., Aoki K., Banu A., Bhang H.C., Fukuda T., Hashimoto O., Hwang J.I., Kameoka S., Kim E.H., Kim J.H., Kim M.J., Maruta T., Miura Y., Miyake Y., Nagae T., Nakamura M., Nakamura S.N., Noumi H., Okada S., Okayasu Y., Outa H., Park H., Saha P.K., Sato Y., Sekimoto M., Takahashi T., Tamura H., Tanida K., Toyoda A., Tsukada K., Watanabe T., and Yim H.J.: “Exclusive Measurement of the Nonmesonic Weak Decay of  $^4\text{He}$ ”, Phys.Rev.Lett. 96, 062301 (2006)\*

Maruta T., Ajimura S., Aoki K., Banu A., Bhang H.C., Fukuda T., Hashimoto O., Hwang J.I., Kameoka S., Kang B.H., Kim E.H., Kim J.H., Kim M.J., Miura Y., Miyake Y., Nagae T., Nakamura M., Nakamura S.N., Noumi H., Okada S., Okayasu Y., Outa H.,

Park H., Saha P.K., Sato Y., Sekimoto M., Takahashi T., Tamura H., Tanida K., Toyoda A., Tsukada K., Watanabe T., and Yim H.J.: “Exclusive proton asymmetry measurement in non-mesonic weak decay of polarized  $^3\text{He}$ ”, Phys.Rev.Lett., submitted\*

Kim M.J., Ajimura S., Aoki K., Banu A., Bhang H.C., Fukuda T., Hashimoto O., Hwang J.I., Kameoka S., Kang B.H., Kim E.H., Kim J.H., Maruta T., Miura Y., Miyake Y., Nagae T., Nakamura M., Nakamura S.N., Noumi H., Okada S., Okayasu Y., Outa H., Park H., Saha P.K., Sato Y., Sekimoto M., Takahashi T., Tamura H., Tanida K., Toyoda A., Tsukada K., Watanabe T., and Yim H.J.: “Coincidence Measurement of the Nonmesonic Weak Decay of  $^{12}\text{C}$ ”, Phys.Lett.B, submitted\*

(その他)

Okada S., Ajimura S., Aoki K., Banu A., Bhang H.C., Fukuda T., Hashimoto O., Hwang J.I., Kameoka S., Kang B.H., Kim E.H., Kim J.H., Kim M.J., Maruta T., Miura Y., Miyake Y., Nagae T., Nakamura M., Nakamura S.N., Noumi H., Okayasu Y., Outa H., Park H., Saha P.K., Sato Y., Sekimoto M., Takahashi T., Tamura H., Tanida K., Toyoda A.,

Tsukada K., Watanabe T., and Yim H.J.: “ $\pi^0$  decay branching ratios of  $^3\text{He}$  and  $^{12}\text{C}$  hypernuclei”, Proceedings of 8<sup>th</sup> International Conference on Hypernuclear and Strange Particle Physics (HYP2003), Nucl.Phys. A754 178-183 (2005)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Okada S. for KEK-PS E570 Collaboration: “Precision spectroscopy of Kaonic Helium  $3d \rightarrow 2p$  X-rays”, YITP Workshop “Hadrons at Finite Density”, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto Univ., Kyoto, Japan, February (2006)

(国内学会等)

岡田信二 for KEK-PS E570 Collaboration: “中高エネルギー原子核実験における X線検出器 SDD の開発”, ワークショップ「放射線検出器と電子回路の課題と展望--光子検出器を中心に」, 理研和光キャンパス, 5月 (2006)

岡田信二 for KEK-PS E570 Collaboration: “K中間子ヘリウム原子  $3d \rightarrow 2p$  X線の精密測定”, 日本物理学会 第61回年次大会, 愛媛大学・松山大学, 3月 (2006)

## XVI—017

### 弦理論と非可換幾何学

String Theory and Noncommutative Geometry

研究者氏名: 浅川 嗣彦 Asakawa, Tsuguhiko

ホスト研究室: 川合理論物理学研究室

(アドバイザー 川合 光)

超弦理論は、量子重力を含めた自然界のあらゆる物質・相互作用を統一的に記述する理論であると考えられている。しかし、理論はいまだ摂動論的にしか定式化されておらず、我々はその全貌を知るに至っていない。今研究は、Dブレーンの幾何学的構造の理解と、非BPSDブレーンを基本的対象にした超弦理論の新しい定式化を目指すものである。

今年度はまず、昨年度に引き続き、非BPSDブレーンやその上の開いた弦が、閉じた弦、特に時空に及ぼす影響について研究した。これら非BPSDブレーン系は不安定であり、いずれは安定

な真空か、BPSなDブレーンに崩壊すると考えられる。これは、Dブレーン上の開いた弦の中に含まれるタキオン場の凝縮で表現される。ところが、これら非BPSDブレーンと超重力理論の古典解との対応については、これまでに満足のいく議論がなかった。これに対し我々は、古典解のうちの3パラメータ解と呼ばれる一群の解が、非BPSDブレーン上にタキオン場が励起したものと対応することを示した。即ち、非BPSDブレーンを表す境界状態からの重力子の放出と、古典解の遠方での振舞いを比較し、一致することを見た。これは非BPSDブレーンのタキオン凝縮を通してしか理解

できない古典解の存在を意味する。

次に、Dブレーンの結合状態を、非BPSなDブレーン系を用いて記述する方法について研究を行った。2種類のBPSDブレーンが存在するとき、その間に開いた弦が繋がることにより、結合状態を作ることがある。ところが、BPSDブレーン自体が非BPSDブレーンから作られるため、その機構をタキオン凝縮として理解することができる。特に著しい例として、4次元ゲージ理論におけるインスタント解の構成法として知られるADHM構成はDブレーンの結合状態の2つの見方であるということが期待されていたが、我々の方法により、ADHM構成を単なるゲージ変換として導出することに成功した。

## XVI—018

### 超弦理論におけるブレーンと行列模型の 手法を用いた超対称量子場の理論の解析

Analysis of Supersymmetric Gauge Theory using D-branes in Superstring Theory and Matrix Model Methods

研究者氏名：太田 和俊 Ohta, Kazutoshi

ホスト研究室：川合理論物理学研究室

(アドバイザー 川合 光)

#### (1) BPSドメインウォールのモジュライ空間の 大域的構造

8つの超電荷をもつ超対称ゲージ理論のHiggs相におけるドメインウォール解に対して、そのモジュライ空間の大域的構造と性質に関して研究を行った。特に、ある特別なドメインウォール系に対しては、モジュライ空間の次元が指数定理より予想される次元より大きくなる事を示し、そのようなドメインウォール間にはBPS状態の物体であるにも関わらず、引力や斥力が働く事を物理的・数学的に理解した。

#### (2) Dブレーン上での局所化定理と2次元ゲージ理論、行列模型との関係

前年度の研究に引き続きNekrasovによる4次元 $N=2$ 超対称ゲージ理論のプリポテンシャルの計算と2次元のゲージ理論との関連について研究を行った。このような次元の異なる二つの理論が関係する理由の背後には超弦理論の存在が深く示唆され、その考え方をを用いると内部空間の2サイクルに巻き付いたDブレーン上に「局所化」という

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kobayashi S., Asakawa T., Matsuura S.: “Open String Tachyon in Supergravity Solution”, Mod.Phys.Lett. A20 1119-1134 (2005)\*

Asakawa T., Kobayashi S., Matsuura S.: “Excited D-branes and Supergravity Solutions”, Int. J. Mod. Phys. A, in print\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

浅川嗣彦、松浦壮、太田和俊：“タキオン凝縮によるインスタント：ADHM構成の意味”、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学・松山大学、3月(2006)

機構を通じてボゾニックな2次元ゲージ理論が表れる。さらに、この内部空間のDブレーン上の理論は行列模型の固有値空間を離散化した「離散化行列模型」とも見なす事ができ、その模型の拡張や連続極限を考える事によって、物質場が入った場合のプリポテンシャルに対する表式や $N=1$ のDijkgraaf-Vafa理論との関係を理解する事ができた。

#### (3) ヴォーテックスとドメインウォールの双対性

円筒上でHiggs相におけるヴォーテックスの解を構成し、その性質を調べてみると弦理論におけるT双対性との関係と全く同様にヴォーテックスとドメインウォール間に双対性の関係がある事がわかった。特にドメインウォール側の配位を使ってヴォーテックス側のモジュライ空間を詳細に調べると、モジュライ空間の対応とその構造をよく理解する事が出来る。さらに、弦理論におけるT双対性との類推から、この現象はkink的に曲がったDブレーンの双対性としても正しく理解できた。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Eto M., Isozumi Y., Nitta M., Ohashi K., Ohta K., Sakai N. and Tachikawa Y.: “Global structure of moduli space for BPS walls”, hep-th/0503033, Phys. Rev. D **71** 105009 (2005)\*

Matsuura S. and Ohta K.: “Localization on D-brane and gauge theory/matrix model”, hep-th/0504176, To appear in Phys. Rev. D\*

Eto M., Fujimori T., Isozumi Y., Nitta M., Ohashi K., Ohta K. and Sakai N.: “Non-Abelian vortices on cylinder -- duality between vortices and walls”, hep-th/0601181, Submitting to Phys. Rev. D

(その他)

Eto M., Isozumi Y., Nitta M., Ohashi K., Ohta K. and Sakai N.: “D-brane configurations for domain walls and their webs”, hep-th/0509127, AIP Conf. Proc. **805** (2005) 354

太田和俊：“BPS state counting and related physics”, 素粒子論研究、112巻4号D47 (2006)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ohta K.: “Two dimensional Yang-Mills theory and instanton counting”, International Workshop on Noncommutative Geometry and Physics 2005, Sendai, Japan, Nov. (2005)

Ohta. K.: “Discrete matrix models and topological

strings”, International Workshop on Non-commutative Geometry and Physics, Beijing, China, Nov. (2005)

(国内学会等)

松浦壮、太田和俊：“Localization on D-brane and Gauge Theory/Matrix Model”、日本物理学会 2005年秋季大会、大阪市立大学、9月 (2005)

衛藤稔、藤森俊明、新田宗土、太田和俊、大橋圭介、坂井典佑：“ウォールとボーテックスの双対性について”、日本物理学会 2005年秋季大会、大阪市立大学、9月 (2005)

太田和俊：“離散化された行列模型と位相的弦理論”、日本物理学会2005年秋季大会、大阪市立大学、9月 (2005)

太田和俊：“BPS state counting and related physics”、基研研究会「弦理論、場の量子論の展望」、京都大学基礎物理学研究所、8月 (2005)

太田和俊：“ボーテックスの数え上げと2次元ゲージ理論”、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学、3月 (2006)

衛藤稔、藤森俊明、五十棲洋一、新田宗土、太田和俊、大橋圭介、坂井典佑：“トーラス上のヴォーテックス”、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学、3月 (2006)

浅川嗣彦、松浦壮、太田和俊：“タキオン凝縮によるインスタントン：ADHM構成の意味”、日本物理学会 第61回年次大会、愛媛大学、3月 (2006)

XVI—019

### 行列模型を用いた弦理論の非摂動効果、 非摂動的定義の探求および時空構造の解明

Search for Nonperturbative Effect and Nonperturbative Definition of String Theory  
and Investigation of the Space-Time Structure Using Matrix Model

研究者氏名：黒木 経秀 Kuroki, Tsunehide

ホスト研究室：川合理論物理学研究室

(アドバイザー 川合 光)

本年度は主に非臨界弦理論を記述する matrix model について、詳しい解析を行った。

前年度に、最も簡単な  $c=0$  非臨界弦理論について、非摂動効果は one-matrix model のインスタントンの寄与そのものであることを明らかにし、この同定のもとで、非摂動効果が matrix model のポテン

シャルの詳細によらない普遍的な量であることを証明した。

しかしながら、現実の宇宙を記述する臨界弦理論は複数の行列からなる multi-matrix model で定式化されると期待されるので、multi-matrix model でも同様な解析ができるかどうか臨界弦理論への

構成的アプローチとして重要な課題となる。そこでこの第一歩として、two-matrix modelにおいて、同様の解析を行った。 $c < 1$ 非臨界弦理論は一般にtwo-matrix modelによって構成的に定式化できるので、この研究により、任意の $c < 1$ 非臨界弦理論の非摂動効果が明らかになることになる。その結果、one-matrix modelの場合と同様、非摂動効果はtwo-matrix modelのポテンシャルの詳細によらない普遍的な量であることが証明された。非摂動効果のsubleading termはstring equationでは定まらず一般に任意の値が許されるように思えるが、two-matrix modelを用いて直接計算すると普遍的な値が得られることは、非摂動効果はsubleading termも込めて意味のある量であり、two-matrix modelが $c < 1$ 非臨界弦理論の最も基本的な構成的定式化を与えていることを意味する。

他方弦理論にはdualityという摂動論的真空間の等価性がある。これらの等価性が摂動論を超えて非摂動論的にも成立するかどうかは弦理論の重要な問題であり、とくに上で明らかにした非摂動効果の普遍性がdualityも込めて成立しているかどうかは大変興味深く、かつ意義のある課題である。 $c = 1/2$ 非臨界弦理論はランダム面上のIsing modelであり、この場合T-dualityはworld sheet上のKramers-Wannier dualityであることに注目して、T-dualにあたるmatrix modelを構成し、このdual  $c = 1/2$ 弦理論における非摂動効果を同定した。その結果、非摂動効果のleading termは元の $c = 1/2$ 弦理論のものと完全に一致することが分かった。普遍性が示され

ているsubleading termについても具体的計算が可能で、間もなく結果が出るところである。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ishibashi N., Kuroki T., and Yamaguchi A.: “Universality of nonperturbative effects in  $c < 1$  noncritical string theory”, JHEP 0509, 043 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kuroki T.: “Nonperturbative effect in noncritical string theory”, Strings05, Tronto, Canada, July (2005)

Kuroki T.: “Dijkgraaf-Vafa theory as large-N reduction”, IV. International Symposium “QUANTUM THEORY AND SYMMETRIES”, Varna, Bulgaria, August (2005)

Kuroki T.: “Universality of nonperturbative effects in noncritical string theories”, APCTP Focus Program “Liouville, Integrability and Branes”, Pohang, Korea, December (2005)

(国内学会等)

黒木経秀: “Nonperturbative effect in noncritical string theory and T-duality”, 理研シンポジウム “Liouville Theory And Matrix Model”, 和光, 6月 (2005)

黒木経秀: “非臨界弦理論における非摂動効果と T-duality”, 日本物理学会, 大阪, 9月 (2005)

XVI—020

分数量子ホール系、及び、朝永・

ラッティンジャー液体におけるナノスケールの量子輸送現象

Quantum Transport at a Nanometer Scale — Fractional Quantum Hall Effect and Tomonaga-Luttinger Liquid

研究者氏名：井村 健一郎 Imura, Ken-Ichiro

ホスト研究室：古崎物性理論研究室

(アドバイザー 古崎 昭)

ドーブされた2次元の絶縁体は、この20数年間、物性物理学の演じる舞が催される中心的な舞台となってきた。中でも、2次元系における超伝導と絶縁体の双対性は注目に値する。超伝導体においては、古くから、磁場中において、第1種、第2種など空間的に不均一な状態が実現することが調

べられ、広く認識されてきた。同じように2次元の絶縁体においても、ナノスケールで空間的に非一様な状態が、近年の実験技術の進歩により、精力的な研究の対象となりつつある。

本研究では、このような状況を踏まえ、2次元の絶縁体の特徴付ける秩序変数を構成し、超伝導

では一般的なGinzburg-Landau流の有効理論を展開、あるいは、高次の相関関数を計算する手法を確立することをめざした。具体的には、2次元世界では一般的な統計変換の時に出てくる、いわゆるdisorder operatorが、電子系の局所的な分極に関係していることに着目し、この演算子の基底状態における期待値が系の絶縁性を記述するという仮説を提唱、また、検証した。その結果、解析的、および、数値的方法により、多くのバンド金属に対してこの秩序変数がゼロになること、また逆に、絶縁相では、強く局在した極限からの摂動論の範囲内で、秩序変数が電子の局在長と密接に関係していることを見出した。

金属と絶縁体を区別するより標準的な方法、たとえば、Drude weightといったものが、系の大域的な分極を記述するtwist operatorに関係しているのに対し、我々の提唱する秩序変数は、いわば、その「局所版」になっている。また一方で、結晶運動量の空間におけるBloch関数の接続（ゲージ場）、あるいはその結果生じるBerry位相といったものが、本研究でも主要な役割を果たしており、その意味で前年度の研究と連続的である。以下に行った発表は主として前年度の研究に関するもの

であり、本研究に関する論文は現在執筆中である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

R. Shindou, K.-I. Imura: “Noncommutative geometry and nonabelian Berry phase in the wave-packet dynamics of Bloch electrons”, Nucl. Phys. B 720 [FS], p.p. 399-435 (2005).

(総説)

K.-I. Imura, R. Shindou: “Wave-packet dynamics of Bloch electrons”, Physica E 29, p.p. 637-641 (2005).

K.-I. Imura, R. Shindou: “Topological currents in ferromagnets and related systems”, Phys. Stat. Sol. 243, p.p. 174-178 (2006).

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

K.-I. Imura, R. Shindou: “Topological currents in ferromagnets and related systems”, The European Conference, Physics of Magnetism '05, Poznan, Poland, June 24-25, 2005.

XVI—021

### 幾何学的フラストレーションをもつ 強相関電子系における新奇な現象の研究

Novel Phenomena in Strongly Correlated Electron Systems with Geometrical Frustration

研究者氏名：是常隆 Koretsune, Takashi

ホスト研究室：古崎物性理論研究室

(アドバイザー 古崎 昭)

電子相関の強い絶縁体は、一般に低温で反強磁性秩序や電荷秩序などの対称性の破れを伴うことが多い。しかし近年、幾何学的フラストレーションのある二次元系において、相関を制御することにより対称性の破れを伴わない金属絶縁体転移が存在する可能性が理論と実験の両面から指摘され、モット転移の本質に関わる問題として注目されている。そこで我々は、これらの系を対象にして、二次元異方的三角格子系におけるハバード模型の示すモット転移の性質を数値的に調べた。

まず、システムサイズの小さな系に対して厳密対角化法を用い、基底状態および有限温度におけ

る解析を行った。その結果、周期的境界条件のもとでは有限のクーロン斥力 $U$ で一次転移がおり二重占有数にとびが生じることがわかった。しかし、この準位交差によるとびは境界条件に依存するものであり、場合によっては二重占有数にとびも準位交差もなくなってしまう。これは、金属と絶縁体で境界条件依存性が変化することに起因していると考えられる。そこで、この境界条件依存性やサイズ依存性についてより詳細に調べるため、大きな系で計算が可能であるトランスコリレイテド法を格子系に適用し、その有用性を確認した。今後この方法を用いてより詳細な研究を行う



予定である。

また、一方で電子数を制御した場合のモット転移についてU無限大の極限での振舞いを高温展開法を用いて調べた。その結果、比熱係数が絶縁体に向かって発散する様子が確認された。しかし、その発散の幅は従来予想されていたものではなく、また、格子の形状や次元にもよらないという特殊なものであることがわかった。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Koretsune T., and Ogata M.: “Development of Superconducting Correlation at Low Temperatures in the Two-dimensional t-J Model” J. Phys. Soc. Jpn. 74 1390-1393 (2005)\*

Koretsune T., and Ogata M.: “Pairing correlation functions in the triangular t-J model: d-wave and f-wave superconductivity” Phys. Rev. B 72 134513 (2005)\*

Koretsune T., and Ogata M.: “Possible pairing symmetry in the two-dimensional t-J model on square and triangular lattices” Physica B 359-361 545-547

(2005)\*

Koretsune T., and Ogata M.: “Effective mass divergence in the infinite-U Hubbard model”, Physica B in print \*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Koretsune T., Ogata M.: “Effective mass divergence in the infinite-U Hubbard model”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems SCES '05, Vienna, Austria, Jul.(2005)

(国内会議)

是常隆：“高温展開から見た異方的超伝導”、京都大学基礎物理学研究所短期研究会「異方的超伝導現象の統一的理解を目指して」、京都、12月(2005)

是常隆：“Mott transition in two-dimensional Hubbard model with geometrical frustration”、文部科学省特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」領域発足研究会、東京、12月(2005)

## XVI—022

### 表面微小領域での電子ダイナミクスの フェムト秒時間分解顕微光電子分光

Femtosecond Time-Resolved Microspot Photoemission Spectroscopy of Electron Dynamics at Surface Small Area

研究者氏名：杉山 武晴 Sugiyama, Takeharu

ホスト研究室：河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

有機薄膜／電極界面の電気伝導では、有機層の最高被占軌道 (HOMO) が正孔の伝導経路となり金属のフェルミ準位とのエネルギー差が正孔の注入障壁になると考えられている。しかし、有機分子の吸着様式および基板との相互作用、さらには分子同士での相互作用が界面電子構造に与える影響には未だ不明な点が多い。また、有機薄膜は不均一に膜が成長することも知られており、有機デバイスの実用化および高性能化への障害の1つとなっている。表面での局所的な膜構造、分子配向、そして電子状態を明らかにする必要がある。本研究は、9 eVのフェムト秒レーザー高調波を超高真空中の試料表面に集光する顕微光電子分光装置により、有機薄膜の電子的特性の本質的な解明を目

指すものである。

高配向性グラファイト (HOPG) 上の銅フタロシアニン (CuPc) 薄膜では、単層膜未満の極薄膜において、CuPcのHOMOが2つのピークに分離して観測された。低束縛エネルギー側のピークは孤立して吸着した分子、高束縛エネルギー側のピークは分子凝集体由来のピークである。単層膜の形成に伴い、単一のピークに収束した。孤立分子由来のピークと単層膜形成時のピークのエネルギー差0.1 eVは、表面平行方向における分子間相互作用を反映した結果である。HOMOバンドの偏光依存性から、1層目の分子は寝た配向、2層目では若干傾き、厚膜では立って配向していることが明らかとなった。一方、分子内永久双極子を持

つチタニルフタロシアニン (TiOPc) をHOPG上に蒸着すると、界面電気二重層の形成によるカットオフのシフトが顕著に観測された。単層膜未満の薄膜条件では、カットオフ付近の光電子強度の2次元走査からTiOPc薄膜の島状構造が観測された。島内部の光電子スペクトルでは、小さな仕事関数を示し、HOMOバンドが2つ観測された。島は分子が凝集し2層膜を形成した領域である。島の外側は、仕事関数が大きく、単一のHOMOバンドが観測されたことから、分子が拡散し単層膜が形成されている領域である。有機薄膜の成長過程における不均一な島構造および拡散を、光電子スペクトルの観点から初めて明らかにした。エネルギー分解能に優れたレーザー顕微光電子分光の利点を生かした成果である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

宗像利明, 杉山武晴: “レーザーによるマイクロビーム顕微光電子分光”, 表面科学, Vol.26 No.12 pp.729-733 (2005)

Munakata T., Sugiyama T., and Sonoda Y.: “Laser-based photoemission micro-spectroscopy for occupied and unoccupied states of inhomogeneous surfaces”, Surf. Sci., 593 38 (2005)\*

Sugiyama T., Aida M., Ueno N., and Munakata T.: “Photoemission microscopy for surface states of copper measured at different photoelectron energies”, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 144-147 1167 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sugiyama T., and Munakata T.: “Photoemission microspectroscopy based on fs-laser radiation”, ESPMI-06, Nagoya, Japan, Mar. (2005)

Sugiyama T., Sasaki T., Ueno N., and Munakata T.: “Development of laser-based microspot photoemission spectroscopy and its application to electronic structure of organic thin films”, Pacificchem2005, Hawaii, USA, Dec. (2005)

Sugiyama T., Sasaki T., Ueno N., and Munakata T.: “Inhomogeneous Electronic Structure of Copper Phthalocyanine Thin Film Measured with Laser-Based Microspot Photoemission Spectroscopy”, Creation of Nanoscale Designed Surfaces and their Electronic and Catalytic Properties, Tokyo, Japan, Sep. (2005)

(国内学会等)

佐々木俊英, 杉山武晴, 上野信雄, 宗像利明: “レーザー顕微光電子分光による銅フタロシアニン薄膜の電子状態”, 第25回表面科学講演大会, さいたま, 11月 (2005)

杉山武晴, 佐々木俊英, 上野信雄, 宗像利明: “レーザー顕微光電子分光による銅フタロシアニン薄膜の電子構造”, 分子構造総合討論会 2005, 3P180, 東京, 9月 (2005)

杉山武晴, 佐々木俊英, 上野信雄, 宗像利明: “レーザー顕微光電子分光による銅フタロシアニン吸着状態と界面電子構造”, 第21回化学反応討論会, 大阪, 6月 (2005)

XVI—023

### 2光子光電子分光法による 高温超伝導体の非占有電子状態に関する研究

Studies on Unoccupied Electronic States of the High-temperature Superconductors  
with Two-photon Photoemission Spectroscopy

研究者氏名: 園田 康幸 Sonoda, Yasuyuki

ホスト研究室: 河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

高温超伝導体の超伝導性や磁性などの物性を理解するには、その非占有状態を知る必要がある。本研究では、2光子光電子分光法の高エネルギー分解能性 ( $\Delta E < 30$  meV) を活かした分光測定を行

い、非占有状態と物性発現機構の関連性を明らかにすることを目的とした。2光子光電子分光法の研究は、これまで金属上の鏡像準位などの単純系に限られていたが、高温超伝導体のような複雑系

の分光にも有効であることが本研究によりわかってきた。

本年度は、高温超伝導体Bi2212のフェルミ準位直上のキャリアバンド、及び上部ハバードバンドの角度分解測定を行うため、試料冷却中にへき開ができ、かつ角度分解測定が可能な試料ホルダーを製作し、実際に分光測定を行った。

(1) 新しく製作した試料ホルダーを用いて2光子光電子分光測定を試みた結果、1光子励起による光電子の影響で、目的とするスペクトルを観測できなかった。同じ試料ホルダーを用いてHe放電ライン(光子エネルギー: 21.22 eV)による光電子分光測定を行ったところ、問題なくBi2212の占有状態を観測することができた。2光子光電子分光法では励起光にパルスレーザー光(パルス時間幅: 150 fs)を用いており、これを励起光としたことにより問題が生じたと推測される。

主テーマと平行して、単結晶金属表面、及び有機分子/金属界面の電子状態を調べた。有機分子デバイスのキャリア伝導性を理解するには、それに影響を与える吸着誘起の界面電子状態とその基板金属の電子状態を知る必要である。そこで2光子光電子分光法と光電子分光法を用いて、有機分子/金属基板のプロトタイプであるベンゼン/Cu(110)界面とCu(110)表面の電子状態を調べた。

(2-1) ベンゼン分子軌道とCuバンドの相互作用

による吸着誘起の占有、非占有状態を観測し、それぞれフェルミ準位から-2.2と+0.5 eVのエネルギーに存在することがわかった。

(2-2) Cu(110)表面の測定では、逆光電子分光法等の既存の手法による研究では報告されていない非占有状態を観測することができた。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Munakata T., Sugiyama T., Sonoda Y.: "Laser-based photoemission micro-spectroscopy for occupied and unoccupied states of inhomogeneous surfaces", Surf. Sci., 593 38-42 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sonoda Y., Munakata T.: "Unoccupied electronic states of the high-temperature superconductor Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8</sub> investigated with two-photon photoemission spectroscopy", Joint international symposium on creation of nanoscale designed surfaces and their electronic and catalytic properties, Japan Science and Technology Agency, Tokyo, Japan, Dec., (2005)

(国内学会等)

園田康幸、宗像利明、2光子光電子分光法によるベンゼン/Cu(110)界面電子状態の観測、分子構造総合討論会、東京、9月(2005)

## XVI—024

### 高次高調波の原子分光への応用

#### Applications of High Order Harmonics to Atomic Spectroscopy

研究者氏名: 古澤 健太郎 Furusawa, Kentaro

ホスト研究室: 緑川レーザー物理工学研究室

(アドバイザー 緑川 克美)

超短パルスレーザー技術と高次高調波発生技術の発展によって、高輝度なXUV/軟X線領域の超短パルスが得られるようになってきている。本研究ではこの高輝度な高次高調波を原子分光などの応用に試みることを目的としている。昨年度、当研究室において波長30nmの高調波を利用してHe<sup>2+</sup>イオンを観測することによって2光子イオン化が観測され、それを利用してフェムト秒パルス時間幅

が自己相関法によって計測されている。複数の波長成分を重ね合わせることによってアト秒パルス列の観測が可能になることが期待されており、さらに光電子分光を用いることによって高調波の波長成分を分解した自己相関波形を計測できることから、XUV波長域においてフーリエ合成の原理に基づいたアト秒パルス波形整形への応用展開が可能となる。

本年度行ったことを以下にまとめる。

- (1) 波長60nmでの波長多重高調波を用いてHeおよびArに対する2光子イオン化の観測し、後者を利用した自己相関法によるアト秒パルス列の時間幅測定を行った。結果として450asの自己相関幅が測定された。
- (2) 波長30nmでの波長多重高調波を用いてHeに対する2光子イオン化の観測を行ったが、自己相関法を適用するには信号量が不十分であった。後述するデフォーダブルミラーによって高調波のさらなる高輝度化を行い、測定系の改良を行うことによって自己相関法の適用が可能になると考える。
- (3) 波長13nmの高次高調波を用いてHeに対する2光子イオン化の観測に挑戦したが、失敗に終わった。理論的な予測によれば、少なくともあと1桁の輝度向上が必要と考えられる。
- (4) Point diffraction interferometry(PDI)による波長13nmの高調波のシングルショット波面計測を行うため、デフォーダブルミラーを用いて高調波のさらなる高輝度化を行った。結果として干渉パターンの可視度(visibility) 0.96という非常に高い測定結果が得られ、高次高調波のコヒーレンスの良さを実証することができた。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

- K.Furusawa, T.Okino, T.Shimizu, H.Hasegawa, Y.Nabekawa, K.Yamanouchi, K.Midorikawa, “Photoelectron spectroscopy of two-photon ionisation of rare-gas atoms by multiple high order harmonics,” *Appl.Phys.B*, Vol.83, pp.203-211 (2006)
- Y.Nabekawa, T.Shimizu, T.Okino, K.Furusawa, H.Hasegawa, K.Yamanouchi, K.Midorikawa, “Conclusive evidence of attosecond pulse train observed with mode-resolved autocorrelation technique,” submitted to *Phys.Rev.Lett.*

Y.Nagata, Y.Nabekawa, K.Furusawa, K.Midorikawa, “Single-shot measurement of the spatial coherence of 13nm high order harmonics,” *Proc.SPIE*, Vol.5918 (2005)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Furusawa .K, Okino .T, Shimizu .T, Hasegawa.H, Nabekawa .Y, Yamanouchi .K, and Midorikawa .K, “Observation of two photon ionization in XUV and its application to the autocorrelation measurement of an attosecond pulse train,” Asian symposium on intense laser science (ASILS2), Kochi, India, January 2006

Shimizu .T, Okino .T, Hasegawa.H, Furusawa .K, Nabekawa .Y, Yamanouchi .K, and Midorikawa .K, “Frequency resolved autocorrelation measurement for characterization of an attosecond pulse train,” Joint conference on ultrafast optics and applications of high field and short wavelength sources, (UFO/HFSW 2005), Nara, September 2005

Nagata .Y, Furusawa .K, Nabekawa .Y, and Midorikawa .K, “Single-shot measurement of fringe visibility of 13nm high-order harmonic,” Joint conference on ultrafast optics and applications of high field and short wavelength sources, (UFO/HFSW 2005), Nara, September, 2005

(国内学会等)

永田豊、古澤健太郎、市丸智、竹中久貴、緑川克美：“極端紫外光用SiC/Mg多層膜反射鏡における経年劣化の評価”、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島大学、September 2005

永田豊、鍋川康夫、古澤健太郎、緑川克美：“13nm高次高調波の空間コヒーレンスの単一パルス計測”、第52回応用物理学関係連合講演会 埼玉大学、March 2005

研究者氏名：井上 振一郎 Inoue, Shin-ichiro  
 ホスト研究室：フロンティア研究システム  
 研究技術開発・支援チーム  
 (アドバイザー 青柳 克信)

最も代表的な高非線形性光学材料であるLiNbO<sub>3</sub>単結晶を用いて2次元フォトリック結晶を創製することに世界で初めて成功した。これまで非線形光学材料を用いたフォトリック結晶の研究は、大きな期待が持たれながらも、これら材料の微細領域での難加工性のためにまったく進んでいなかった。本研究は、非線形材料層とフォトリック結晶スラブ層を分離する独自の縦型ヘテロ素子構造を提案し、さらにLiNbO<sub>3</sub>単結晶を光波長スケール(数100nm)まで薄膜化する独自研磨技術を確立することで、この技術的障壁を解決した。

さらに作製した2次元LiNbO<sub>3</sub>フォトリック結晶をもちいて、レーザー光と物質の間の相互作用を大きく増幅させることにより、第二高調波発生を高効率化(300倍以上)することに初めて成功した。これは新たな高効率波長変換技術を導くものであり、実用レベルの超小型、高効率・波長変換素子実現への道を拓く成果である。本研究で実証した技術を用いて、小型高性能な深紫外レーザー光源が実現されれば、高集積度の次世代DVD、光メモリ用途向け光源として、光加工用レーザー、殺菌・露光用水銀ランプの置き換え、さらにはPCB等の環境汚染物質の光触媒処理法の光源、腫瘍細胞サージェリ用光源など、通信・環境・バイオ・医療分野に跨る幅広い産業へ多大な貢献、甚大な市場規模が期待できる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Inoue S., and Aoyagi Y.: “Design and fabrication of two-dimensional photonic crystals with predetermined nonlinear optical properties”

Phys. Rev. Lett., **94**, 103904 1-4 (2005)\*

Inoue S., and Aoyagi Y.: “Fabrication of nonlinear photonic crystals and their applications”, (Invited

Paper) Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. **5732**, 438-448 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Inoue S., and Aoyagi Y.: “Characteristics of Two Dimensional Nonlinear Photonic Crystals and those applications”, ICIM '05 (The 6th International Conference on Intelligent Materials and Systems), Ichigaya, Japan, Jul. (2005) (Invited Talk)

Inoue S., and Aoyagi Y.: “Second Harmonic Generation in Highly Nonlinear LiNbO<sub>3</sub> Photonic Crystals”, PECS-VI International Symposium on Photonic & Electromagnetic Crystal Structures, Crete, Greece, Jun. (2005)

(国内学会等)

井上振一郎：“高非線形性フォトリック結晶による非線形光学応答増大の発現と制御”、応用物理学会量子エレクトロニクス研究会、長野、1月(2006)(招待講演)

井上振一郎、青柳克信：“高非線形性LiNbO<sub>3</sub>を用いた2次元フォトリック結晶の作製と第二高調波発生”、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉、3月(2005)

井上振一郎、沖仲元毅、塚越一仁、青柳克信：“ナノインプリント法による非線形フォトリック結晶の高スループット作製と光学評価”、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉、3月(2005)

井上振一郎、青柳克信：“プリズム結合法による2次元フォトリック結晶内導波モードの直接観測”、第52回応用物理学関係連合講演会、埼玉、3月(2005)

井上振一郎、青柳克信：“高非線形性2次元フォトリック結晶による波長変換”、第52回応用物

理学関係連合講演会、埼玉、3月(2005)

井上振一郎：“フォトニック結晶による非線形光学効果増大を実証”、nano tech 2006国際ナノテクノロジー総合展・技術会、千葉、2月(2006)

井上振一郎、青柳克信：“分光角度分解プリズム結合法による2次元フォトニック結晶内導波モードの広帯域直接観測”、第53回応用物理学関係連合講演会、東京、3月(2006) 発表予定

#### ●受賞 Awards

井上振一郎、安藤博記念学術奨励賞、“高非線形フォトニック結晶の創製および新規光非線形アクティブ素子への応用に関する研究”、財団法人安藤研究所、6月(2005)

井上振一郎、光科学技術研究財団研究表彰、“フォトニック結晶による非線形光学応答増大の発現と制御”、財団法人光科学技術研究振興財団、3月(2006)

受賞内定

#### ●その他 Others

(プレス記事)

“独創研究集団理研の最前線、フォトニック結晶を用いて非線形光学効果の増大を実証”、日刊工業新聞、2005年5月12日付

“井上氏(理研)ら4人に、第18回安藤博記念学術奨励賞、安藤研、若手研究者を助成”、日刊工業新聞、2005年5月10日付

“光ナノ構造結晶で非線形光学変化を増幅、超高速光スイッチの高性能化実現に一歩”、日経ナノビジネス、No.11、11.Apr. p.13(2005)

“2次元フォトニック結晶、光カー効果が5倍増、理研 超高速光信号処理に道”、化学工業日報、2005年4月4日付

“フォトニック結晶で非線形光学効果増大、理研の井上氏らのグループ成功”、科学新聞、2005年4月1日付

“非線形光学変化が増大、フォトニック結晶制御で観測”、日刊工業新聞、2005年3月24日付

## XVI—026

### 微生物の光水素発生能の改良を目指した

#### ヒドロゲナーゼ-光合成活性中心複合体の設計と新規スクリーニング法の開発

Design of Artificial Hydrogenase-Photosystem I Complex and Screening for Stabilized Hydrogenase for Photo-driven Hydrogen Production by Cyanobacteria or Microalgae

研究者氏名：伊原 正喜 Ihara, Masaki

ホスト研究室：前田バイオ工学研究室

(アドバイザー 前田 瑞夫)

(1) 藍藻や藻類を利用した太陽光による生物学的水素生産は、環境負荷が少なくコスト的にも優れた次世代エネルギー生産システムである。しかしその実用化には、光変換効率の問題を克服することが不可欠である。そこで、光合成によって吸収された光エネルギーを直接水素エネルギーへと変換するため、光化学系I (PSI) から水素生産を触媒するヒドロゲナーゼ酵素へと直接繋がる電子伝達経路を創製することを目指した。今回は、ヒドロゲナーゼと特異的な相互作用を持つチトクロムc3をPSIの電子伝達サイトに化学的に結合させた。このチトクロムc3とPSIの連結体は、細胞外実験において、ヒドロゲナーゼへと効率よく電子伝達を行い、参照

実験と比べて約10倍の水素発生速度が観測された。さらに、細胞内を模倣して炭酸固定系との共存下において光水素発生実験を行った。チトクロムc3を連結していないPSIを用いた水素発生実験では炭酸固定系との競合によって水素発生は観測されなかったが、チトクロムc3とPSIの連結体を用いた場合、有意に水素発生が観測され、今回の設計の妥当性を証明できたと考えられる。

生物学的水素生産の実用化において、ヒドロゲナーゼの安定化はもうひとつの重要課題であるが、それに関する知見はほとんど得られていない。そこで、ヒドロゲナーゼに対し特異性を有する抗体の作製を進めており、抗体結合によ

る安定性への効果を検討している。ヒドロゲナーゼは酸素分子によってその活性が阻害されることが知られているが、その機構はよく解明されていない。一つの仮説として、酸素分子はヒドロゲナーゼ内部を浸透していき、活性部位であるニッケルや鉄硫黄錯体に作用するものと考えられている。そこで、ヒドロゲナーゼ表面の様々な位置に結合する抗体を単離し、酸素の浸透を立体的にブロックする抗体を検索する予定である。さらに抗体結合によって蛋白質構造の安定化も期待され、ヒドロゲナーゼの安定化に関する新たな知見を得ることができると考えられる。

(2) 上記の光水素生産に関する研究とは別に、環境汚染物質の新しい免疫分析法の開発を行っている。PCBなどの環境汚染物質を簡便かつ高感度に検出することは、自然環境の保全や監視の観点から切望されている。しかし、PCBのような小分子を土壌中のように多量の夾雑物を含むサンプルから検出することは、現在でも非常に困難である。そこで、以下のようなストラテジーを考えた。まず、PCBを含むサンプルを固

定化抗PCB抗体と混合した後、洗浄する。その結果夾雑物が除かれ、PCB-抗PCB抗体複合体のみが固定相に残る。次に、抗PCB抗体複合体のPCB結合に伴う構造変化を認識するDNAアプタマーによって、PCBが結合した抗PCB抗体のみを検出する。このようなDNAアプタマーはこれまで報告が無く、まずアプタマー作成のためのスクリーニング系の検討を行っている。現在、PCB存在下において、固定化した抗PCB抗体に対し強い親和性を有するDNA配列をライブラリーからいくつか選択し、最終的にはPCB非存在下において親和性が大きく低下する配列を選別する予定である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

伊原正喜、仲本準、蒲池利章、大倉一郎、前田瑞夫：“シトクロムc 3をクロスリンクした光合成反応中心からヒドロゲナーゼへの直接的電子移動による光水素生産”、2006年度グリーンサステナブルケミストリー、東京、2006年3月

## XVI—027

### リポソームの変性タンパク質吸着能を利用した新規バイオセンサーの構築

Development of Novel Bio-Censer Using Interaction Between Liposome and Denatured Protein

研究者氏名：迫野 昌文 Sakono, Masafumi

ホスト研究室：前田バイオ工学研究室

(アドバイザー 前田 瑞夫)

タンパク質がその特異的な機能を発揮するには、高次構造の正確なフォールディングが不可欠であるといえる。一方、遺伝的および外来ストレスにより正確なフォールディングが達せられず本来の機能を有さない変性タンパク質の問題がある。変性タンパク質は、機能を有さないばかりではなく、正確にフォールディングしたタンパク質に影響を与えることも知られている。そこで系中の変性タンパク質を随時モニタリングする事が重要となると考えられる。また、異常プリオンに代表されるアミロイドの検出など医学的見地からも、変性タンパク質の検出は重要な課題である。本研究ではリポソームの疎水性物質吸着能を利

用する変性タンパク質検出に特化したセンサーの開発を目的とし、将来的にはプロテオーム解析などへ応用可能な基盤技術を確立する。本年は、アミロイド凝集体の物性、特にその構造形成について研究を行った。また、正常なタンパク質を特異的に認識することができる核酸を用いた新しいバイオセンサーの構築についても検討を行った。

#### ●口頭発表 Oral presentations

(国際会議)

Sakono M., Miyamoto D., Maeda M.: “Stimuli responsive hydrogel conjugated with DNA aptamer”, PACIFICHEM 2005., Hawaii, USA, Dec (2005)

(国内学会等)

迫野昌文、宮本大輔、前田瑞夫：“DNAアプタマーを組込んだ刺激応答性ハイドロゲルの調製とその特性”、第54回高分子学会年次大会、神奈

川、5月(2005)

迫野昌文、宮本大輔、前田瑞夫：“DNAアプタマー組込み型刺激応答性ハイドロゲル”、第15回バイオ高分子シンポジウム、東京、8月(2005)

XVI—028

### 生体高分子の高次構造形成を利用する 新規バイオセンサーの創製と遺伝子診断法の開発

Use of Biomolecular Structures for the Development of Biosensor and Gene Typing Method

研究者氏名：吉本 敬太郎 Yoshimoto, Keitaro

ホスト研究室：前田バイオ工学研究室

(アドバイザー 前田 瑞夫)

本研究では、核酸の高次構造形成を利用する新規分子認識系を構築し、これを利用する遺伝子診断法やバイオセンサー素子の開発を展開している。核酸の脱塩基部位に関する以下の二つのトピックスについて、本年度の成果を述べる。

#### (1) DNA脱塩基部位における水素結合性小分子の結合特性と構造解析

本研究では、脱塩基部位を有する一本鎖DNAと水素結合性核酸塩基認識試薬を利用する分子認識系を提案し、これを塩基変異蛍光診断法へと展開している。前年度までに、シトシン (C) とグアニン (G) に関連する塩基変異の蛍光検出用試薬を見い出し、本年度では新たにチミン (T) 選択性を有する小分子試薬の開発<sup>1)</sup>、さらにGと選択的に相互作用する水素結合性試薬の結合能の向上に成功した<sup>2)</sup>。以上の結果は、試薬の $\pi$ 電子系とメチル基が本分子認識系において重要な役割を担うことを強く示唆するものである。また、脱塩基部位でCと選択的に結合する2-amino-7-methyl-1, 8-naphthridine (AMND) の結合様式を<sup>15</sup>N NMR測定により考察した結果、1位の窒素上にプロトンが付加した AMNDH<sup>+</sup> が三本の水素結合を介してCと結合するというユニークな結合様式が明らかとなり、Gaussian 03によるGIAO計算(化学シフト値の計算)結果も本結合様式を強く支持するものであった<sup>3)</sup>。

#### (2) 脱塩基部位を分子認識場とするリボフラビンアプタマー

核酸二重鎖中の脱塩基部位の分子認識能に着目し、これを水中における分子認識ポケットとして積極的に利用するという着想のもと、生体小分子

であるリボフラビンと結合するアプタマーを開発した<sup>4)</sup>。本研究で開発したアプタマーは、DNA二重鎖の配列中央に脱塩基部位を形成させたシンプルな構造で、脱塩基部位の向側にピリミジン塩基(C, T)を配置した場合にのみリボフラビンと強力に結合する。<sup>1</sup>H NMR測定の結果などから、リボフラビンは二点の水素結合を介してアプタマーと相互作用し、結合定数は天然のアプタマーとほぼ同程度であることが明らかとなった。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

S. Nishizawa, N. B. Sankaran, T. Seino, Y.-Y. Cui, Q. Dai, C.-Y. Xu, K. Yoshimoto, and N. Teramae: “Use of Vitamin B2 for Fluorescence Detection of Thymidine-related Single-nucleotide Polymorphisms” *Anal. Chim. Acta*, **556** (1), 133-139 (2006)\*

Q. Dai, C.-Y. Xu, Y. Sato, K. Yoshimoto, S. Nishizawa, and N. Teramae: “Enhancement of Binding Ability of a Ligand for Nucleobase Recognition by Introducing a Methyl Group” *Anal. Sci.*, **22** (2), 201-203 (2006)\*

K. Yoshimoto, S. Nishizawa, H. Koshino, Y. Sato, N. Teramae, and M. Maeda: “Assignment of Hydrogen-bond Structure in a Ligand-nucleobase Complex Inside Duplex DNA: Combined Use of Quantum Chemical Calculations and <sup>15</sup>N NMR Experiments” *Nucleic Acids Symp. Ser.*, **49**, 255-256 (2005)\*

N. B. Sankaran, S. Nishizawa, T. Seino, K. Yoshimoto, and N. Teramae: “Abasic Sites-



## XVI—029

電気化学的特性を利用した  
集積型超分子ナノネットワークの構築と素子化

The Construction of the Molecular Device by Using the Switching of the Functionalized Supramolecules

研究者氏名：堀江 正樹 Horie, Masaki

ホスト研究室：和田超分子科学研究室

(アドバイザー 和田 達夫)

本研究では、固体状態において構造の制御が可能な新規ロタキサン類を設計・合成し、これらの単結晶状態における会合体の形成・解離を利用した表示材料の開発を目的としておこなった。溶液中、擬ロタキサンは解離と会合の熱平衡状態にあり、高温になるほど解離状態をとることが知られている。フェロセンをコンポーネントとする擬ロタキサンでは、単結晶においても温度によって可逆的に相転移がおこる特異な事例が、昨年度、本研究により観測されている。擬ロタキサンの構造制御ができれば、構造変化を光物性の変化へと導くことができる。さらに、透明材料のみならず、色素の導入によって色調変化や発光をおこすユニークな材料も作成できる。本研究により、自己集積型分子による分子偏光素子への応用が期待できる。

本年度は、擬ロタキサンに外部から熱を与えたときの構造および物性の変化の観測と、発光色素を導入した新規擬ロタキサンの合成をおこなった。

- (1) 擬ロタキサンの温度可変粉末X線回折(XRD)測定をおこなったところ、125℃付近で構造転移し、温度変化にともなう回折パターンの変化が観測された。そこで、低温における単結晶のX線構造解析からシミュレーションした粉末XRDパターンと比較し、高温で変化した格子定数を決定した。格子定数の変化から、125℃以上では、クラウンエーテル環状分子の分子運動性の増大と、擬ロタキサン分子間距離の収縮がおこっていることがわかった。
- (2) 偏光顕微鏡とCCD検出器を接続して擬ロタキサン単結晶の温度昇降実験をおこなったところ、

128℃で室温から-12°の位相シフトがおこることがわかった。この単結晶は、可逆的に10回程度転移をおこすことが可能であり、その後、多結晶化がおこった。

- (3) 通常、擬ロタキサンの固体状態での熱解離を観測することは困難である。そこで、真空蒸着装置を用いて熱物性を調べたところ、この擬ロタキサンは170℃で融解すると同時に、クラウンエーテル環状分子のみ蒸着膜として単離できたことから、170℃で熱解離をおこすことがわかった。

平成18年度は、発光特性を有する擬ロタキサン類の光熱物性の評価と、表示材料への応用を目指して素子化を検討する。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Horie M., Suzuki Y., Osakada K.: “Chemical and electrochemical formation of pseudorotaxanes composed of alkyl (ferrocenylmethyl) ammonium and dibenzo[24]crown-8”, *Inorg. Chem.*, **44** (16), 5844-5853 (2005)\*

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Horie M., Hashizume, D., Suzuki Y., Osakada K., Wada T.: “Molecular interaction changes of pseudorotaxane”, *The 2005 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM2005)*, Honolulu, Hawaii, USA, December (2005)

研究者氏名：石井 康之 Ishii Yasuyuki

ホスト研究室：加藤分子物性研究室

(アドバイザー 加藤 礼三)

(1) Pd(dmit)<sub>2</sub>塩の超高压下電気抵抗測定

$\beta'$ -(cation)[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>が圧力下で示す物性は、非常に多彩で複雑である。たとえば、cation=Et<sub>2</sub>Me<sub>2</sub>P塩の場合、常圧では絶縁体であるが、加圧により0.6 GPa程度で容易に金属化し、低温で超伝導が観測されるが、更に加圧すると、今度は1 GPa以上の圧力でふたたび第二の非金属相が現われる。この第二の非金属相は、8 GPaという超高压を印加しても完全に金属化できない。また、cation= Me<sub>4</sub>P塩は、圧力印加により金属化する傾向がみられるものの、8.0 GPaという超高压下においても非金属相が存在した。このMe<sub>4</sub>P塩とEt<sub>2</sub>Me<sub>2</sub>P塩の相図と比較してみると、高压側の非金属相が共通の性質を持っている可能性がある。この物質群のcationの違いによる高压物性は、バンド幅の変化と、Pd(dmit)<sub>2</sub>の二量体が三角格子を組むことによる磁氣的フラストレーションの効果に支配されていると考えているが、2万気圧以上における第二の非金属相の起源に関してはこの範疇から外れている。そこで、今年度は最もフラストレーションの効果が強いであろうcation=Et<sub>2</sub>Me<sub>2</sub>Sb塩に対し、超高压下で電気抵抗測定を行い、高压物性、特に第二の非金属相の有無を調べた。その結果、常圧下で見られた格子変形を伴う電化秩序は、約2万気圧で消失したが、2から8万気圧までの圧力範囲においてはほぼ金属的に振る舞い、第二の非金属相は確認されなかった。

## (2) 擬二次元超伝導体の超伝導領域における面間縦磁気抵抗ピーク効果

高温超電導体や、BEDT-TTF塩などの擬二次元超伝導体の超伝導状態で面間縦磁気抵抗を測定すると、臨界磁場近傍で磁気抵抗に極大が観測される。この面間磁気抵抗ピークは、超伝導シートが絶縁層によって隔てられた積層ジョセフソン接合モデルで理解されているが、定量的な議論には至っておらず、異論が残る部分である。我々は、 $\beta'$ -Et<sub>2</sub>Me<sub>2</sub>P[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>に対し圧力を印加し、完全

に金属化してはいないが低温で超伝導が発現する圧力領域と完全に金属化して低温で超伝導が観測される圧力領域での磁気抵抗ピークを比較したところ、後者のほうが磁気抵抗ピークが有意に小さいことを見出した。また、 $\kappa$ -タイプのBEDT-TTF塩で磁気抵抗測定をした結果、面間磁気抵抗ピークが観測される磁場は、面内磁気抵抗測定においてはまだ混合状態である、つまり臨界磁場以下でピークが発現していることが判り、積層ジョセフソンモデルを強く支持する結果が得られた。現在、電流電圧測定などを行いながらこのモデルを検証している。

## (3) 大容量対向アンビル型超高压発生装置の開発

低温高压下の物性研究において、ピストンシリンダー方式の高压発生装置が広く用いられている。この方式は非常に小型簡便であり、試料体積も大きくとることが出来るため精密測定が可能である。しかしその反面最大発生圧力は高々3 GPa程度である。それ以上の圧力下で物性測定を行うためには、国内に数台しか設置されていないような非常に大掛かりな装置を用いるか、多少精密さを犠牲にして非常に小さな試料体積で測定するという手段がとられている。そこで我々は、ピストンシリンダー方式のような小型の装置で、一立方ミリメートル程度の試料空間を確保することの出来る対向アンビル方式の高压発生装置を開発している。現在製作段階ではあるが、現在1.5GPaの圧力が発生したことをルビー蛍光方により確認し、1.0GPa程度の圧力までは電気抵抗測定に成功している。目標としては10 GPa程度の超高压力下で電気抵抗、磁気抵抗及び磁気測定や比熱測定も行う予定である。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ishii Y., Tajima N., Tamura M. and Kato R.: "An Interlayer Magnetoresistance Peak Effect below Superconducting Transition Temperature in

Et<sub>2</sub>Me<sub>2</sub>P[Pd(dmit)<sub>2</sub>]<sub>2</sub>”, Sixth International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors, and Ferromagnets, Key West,

Florida, Wyndham Casa Marina Resort, September 11-16, 2005

## XVI—031 硬X線、軟X線を用いた超伝導体等強相関物質の電子状態の研究

Study of the Electronic Structures of Strongly Correlated Materials Using Soft and Hard X-ray

研究者氏名：木須 孝幸 Kiss, Takayuki  
ホスト研究室：加藤分子物性研究室  
(アドバイザー 加藤 礼三)

固体で発現する諸物性はフェルミ準位(E<sub>F</sub>)近傍の電子構造と非常に深い関わりを持つ。光電子分光法は物質中の電子状態を直接できる実験手法である。本研究では近年盛んに議論がなされている分子性結晶における電子状態と超伝導対称性 (p波、d波、f波) について、明らかにし、これらの物質に関するバンド計算の妥当性と超伝導発現機構の解明に関する重要な知見を得る事を目的としている。

本年度はブルリアンゾーンにおける電子状態の分散の研究を行うために、超伝導を発現するものの、その電子状態密度が非常に小さいため角度分解光電子分光が困難である *k*-(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu[N(CN)<sub>2</sub>]Br, *k*-(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(SCN)<sub>2</sub>ではなく、二次元分子性結晶の中でも非常に金属的である(BEDT-TTF)<sub>3</sub>Br(pBIB)の電子状態の研究をレーザー励起角度分解光電子分光を用いて行った。二次元の分子性結晶では未だ角度分解光電子分光の報告は無く、この研究によって超伝導を示す上記物質を含む二次元分子性結晶の電子状態について非常に大きな知見を得ることが出来る。更にこれまで行えなかったバンド計算との比較を行うことにより、バンド計算の妥当性やそのエネルギーの絶対値など更に大きな情報を得ることが出来る。

実験の結果、角度積分光電子分光において伝導度に対応して超伝導体分子性結晶より二桁以上大きな信号を得ることが出来、0.2eVと0.8eV付近に構造が確認された。角度分解光電子分光実験においては、E<sub>F</sub>を切るバンドの直接観測に成功し、二次元分子性結晶で初の角度分解光電子分光スペクトルを得ることが出来た。さらにそのバンドのE<sub>F</sub>近傍におけるフェルミ速度は1.5eVÅ<sup>-1</sup>求められ、

この結果をもって現在物質・材料研究機構、計算材料科学研究センター、第一原理物性グループの宮崎剛博士にバンド計算を依頼している。

### ●誌上発表 Publications

(総口説)

木須孝幸、富樫格、辛埴、渡部俊太郎：“レーザー励起光電子分光：超高分解能とその応用”、*固体物理*、**40**、353 (2005)

(総口説)

木須孝幸、富樫格、辛埴、渡部俊太郎：“レーザー励起超高分解能光電子分光”、*表面科学*、**26**、716 (2005).

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

木須孝幸、加藤礼三、下志万貴博、石坂香子、辛埴、宮川和也、鹿野田一司、富樫格、Zhang C. Q.、Chen C. T.、渡部俊太郎：“*k*-(BEDT-TTF)<sub>2</sub>Cu(SCN)<sub>2</sub>の超伝導電子状態”、日本物理学会、東京理科大学、3月 (2005)

(国内学会)

Kiss T.: “Ultrahigh-resolution photoemission spectroscopy studies of electronic structures”、日本物理学会、シンポジウム (英語)、東京理科大学、3月 (2005)

(国際会議)

Kiss T., Kato R., Shimojima T., Ishizaka K., Shin S., Miyagawa K., Kanoda K., Togashi T., Zhang C. Q., Chen C. T., Watanabe S.: “Photoemission spectroscopy of organic conductors using laser” ASOMEA-III、招待講演、ヴァステナ (スウェーデン)、6月 (2005)

分子配列制御による新規な  
導電性ジカルコゲナート金属錯体集積体の開発

Exploitation of New Conductive Metal-Ditholene Complex Assemblies Controlled by Molecular Arrangements

研究者氏名：久保和也 Kubo, Kazuya

ホスト研究室：加藤分子物性研究室

(アドバイザー 加藤 礼三)

分子性導体は主に、分子内にカルコゲン原子を有する有機物あるいは、金属錯体分子で構築される。そして、それらは金属伝導や超伝導などの興味深い物性を発現することが明らかにされてきた。しかし近年、分子性導体の分野では、ある特定の構成分子のからなる分子性導体にのみ、物性研究に対象が集中している。そのため、分子性導体の分野で始めて発見された、角度依存磁気抵抗などの新しい物性を発現させるためには、新たな物質開発が必要であるが、現在それが軽視される傾向がある。そのような状況を打破するため、本研究では、分子性導体の分野で用いられることの無かった、tto（テトラチオオギザレート）架橋配位子を有する多核ジカルコゲナート金属錯体を用いた分子性導体に着目し、それらを用いた分子性導体の開発および構築ならびに、新規物性の探索を目的とした。昨年度までに、種々のニッケル二核 $[(\text{tto})\text{Ni}_2(\text{S-S})_2]^{2-}$ 、および三核ジチオレン錯体 $[(\text{tto})_2\text{Ni}_3(\text{S-S})_2]^{2-}$ の簡便な合成法として、単核ニッケルジチオレン錯体 $[\text{Ni}(\text{S-S})_2]^{n-}$  (S-S = dithiolene ligand; dmit, dmise, tdas, dddt, edo)とtto配位子をアセトニトリルあるいは、DMF中で反応させる手法を確立した。本年度は、これらの種々の多核ジチオレンニッケル錯体の結晶構造を明らかにし、それらを基にした、拡張ヒュッケルMO計算による電子状態の検討を行った。特に、このタイプの三核ジチオレン錯体は、閉核構造であるにもかかわらず、極低温まで金属伝導を示す単一成分金属など、特異な物性示す可能性が示唆されていたが、合成上の困難さから得ることができなかった。しかし、本研究において、三核ジチオレン錯体 $(\text{Ph}_4\text{P})_2[(\text{tto})_2\text{Ni}_3(\text{dddt})_2]$ の結晶成長に初めて成功し、アニオンがカチオンを取り囲んだ、ケージ型の結晶構造を有することを解明することができた。MO計算によると、この三核錯体のHOMO-LUMOギャップは、0.15 eVであった。単一成分金属と

して唯一報告されている単核金属錯体 $[\text{Ni}(\text{tmdt})_2]$ の値(0.10 eV)に非常に近い。さらに、この計算からこの三核錯体のHOMOとLUMOは、単核金属錯体 $[\text{Ni}(\text{tmdt})_2]$ のものと、ほぼ同じ対称性となることも分かった。この結晶の電気伝導度の温度変化は、室温での電気伝導度が $\sigma_{r.t.} = 1 \times 10^3 \Omega\text{cm}$ 、活性化エネルギーが0.19 eVの半導体的挙動を示すが、中性状態では単一成分金属になる可能性は非常に高い。分子内に複数の金属イオンを含む多核ジチオレン金属錯体を構成要素とする分子性導体の構築自体、報告例の無い研究であり、本研究において多核ジチオレン金属錯体を分子性導体に導入する有用性を示すことができた。

●誌上発表 Publications

Kubo K., Nakao A., Ishii Y., Kato R., Matsubayashi G.: “Structures and electrical conductivities of cation radical salts based on unsymmetrical  $[\text{Au}(\text{III})(\text{C-N})(\text{S-S})]$  type dithiolate complexes”, *Synthetic Metals*, 153 425-428 (2005)\*.

Kubo K., Nakao A., Ishii Y., Tamura M., Kato R., Matsubayashi G.: “Two electrically different molecular conductors based on unsymmetrical  $\text{Au}(\text{III})$ -dithiolene complexes with similar crystal structures”, *J. Physique*, in press\*.

●口頭発表 Oral presentations

(国内学会)

久保和也、中尾朗子、山本浩史、加藤礼三：“新規多核金属錯体を導入した分子性導体の開発およびその導電性”、錯体化学討論会、新潟、9月(2005)

久保和也、中尾朗子、山本浩史、加藤礼三：“新規分子性導体の構築を目指した、tto架橋多核ジチオレンニッケル錯体の合成とその結晶構造”日本化学会第86回春季年会、千葉、3月(2006)

研究者氏名：羅一 Luo, Yi

ホスト研究室：侯有機金属化学研究室

(アドバイザー 侯召民)

希土類は特異的な電子構造を持っており、様々な希土類材料の開発が望まれている。希土類錯体は希土類材料の一つであり、新規錯体の開発や触媒反応において大きな注目を集めている。触媒作用機構にどのように寄与しているのかを明らかにすることは、新型触媒反応を正しく理解及び発展させて行くために不可欠である。理論化学・化学計算の研究手法はそのような目的には極めて有力である。本研究の目的は量子化学計算と実験的発見を組み合わせることによって希土類錯体の電子構造や触媒反応機構を解明し、より効率的な新しい有機ランタノイド錯体の分子設計の指針を提供するものである。

平成17年度には、平成16年度の研究結果に基づき、引き続き多核希土類ポリヒドリドクラスターや単核及び二核希土類金属アルキル錯体の触媒重合反応についての継続研究を行った。具体的には以下のことを中心に研究を進めた。

- (1) 第一原理計算を用いて、多核シクロペンタジエニル金属錯体の計算はQM/MMという方法を応用しても、いくつかのシクロペンタジエニル配位子のため多量な計算時間が必要である。そこで、多核希土類ポリヒドリドクラスターの触媒反応機構の解明を行うために、アリル配位子を補助配位子（シクロペンタジエニル）のモデルとしての妥当性について検討した。検討したの結果によって、アリル配位子がシクロペンタジエニルを置換した錯体は、実際の錯体と比べて、計算時間を短縮した上、分子の構造、電荷分布、構造異性化エネルギーやフロンティア分子軌道の特性など面に一致したことが分かった。
- (2) カチオン性二核希土類アルキル錯体によるイソプレンの位置および立体選択的なイソタクチック3, 4-重合についての継続研究を行った。イソプレンの挿入が二つの金属中心の上で協同的に進行することで、五中心遷移状態を経由するという、従来の四中心遷移状態機構と異なっ

ているオレフィン挿入反応機構を初めて判明した。溶媒や配位子、金属の種類等による二核希土類アルキル錯体の触媒反応への影響についても検討した。

- (3) テトラメチル（トリメチルシリル）シクロペンタジエニル基を有する希土類ビス（アルキル）錯体 $[(C_5Me_4SiMe_3)M(CH_2SiMe_3)_2(thf)]$ ,  $M = Sc \text{ and } Y$ 触媒を用いて、高位置かつ高立体選択的なスチレンのシンジオタクチック重合やスチレン/ミエチレン共重合の反応機構を理論的に解明した。この結果によって、シンジオタクチックとイソタクチック重合反応の遷移状態の本質が電子レベルで分かった。また、スチレンの挿入遷移状態を調べると、遷移状態の構造にある金属の配位状態は触媒の活性差との関係があることと考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

**Yi Luo**, Jens Baldamus, Olivier Tardif, Zhaomin Hou: “DFT Study of the Tetranuclear Lutetium and Yttrium Polyhydride Cluster Complexes  $[(C_5Me_4SiMe_3)_4Ln_4H_8]$  ( $Ln = Lu, Y$ ) that Contain Four-Coordinate Hydrogen Atom”, *Organometallics* **2005**, *24*, 4362-4366.

Lixin Zhang, **Yi Luo**, Zhaomin Hou: “Unprecedented Isospecific 3,4-Polymerization of Isoprene by Cationic Rare Earth Metal Alkyl Species Resulting from a Binuclear Precursor”, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 14562-14563.

**Yi Luo**, Zhaomin Hou: “Modeling  $\eta^5-C_5Me_4SiMe_3$  with  $\eta^3-C_3H_5$  for DFT Study of a Tetranuclear Yttrium Polyhydrido Complex  $[(\eta^5C_5Me_4SiMe_3)YH_2]_4$ ”, (Submitted)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

羅一、侯召民：“スカンジウム触媒によるスチレ

ン/エチレンの共重合反応に関するQM/M研究”、  
日本化学会第86春季年会、千葉、3月（2006）  
（発表予定）

羅一、古山通久、久保百司、宮本明、侯召民：

“Theoretical Investigation on the Syndiospecific  
Polymerization of Styrene by Group 3 (Sc and Y)  
Half-metallocene Catalysts”、第97回触媒討論会、  
東京、3月（2006）（発表予定）

XVI—034

### 新規血管新生阻害剤azaspireneの 標的分子の同定とそれに基づくドラッグデザイン

Studies on Molecular Target for, a Novel Antiangiogenic Inhibitor,  
azaspirene and Molecular Target-Based Drug Design

研究者氏名：浅見行弘 Asami, Yukihiro  
ホスト研究室：長田抗生物質研究室  
（アドバイザー 長田裕之）

固形腫瘍において起こる病的血管新生は、原発腫瘍への栄養供給源となるばかりでなく、遠隔転移の経路にもなることから、がん治療における新たなターゲットとして注目されている。国内外の多くの研究者が血管新生阻害剤の探索を行っているが新規化合物の発見は少ない。

本研究室において新規血管新生阻害剤azaspireneが見出されているので、この阻害剤の作用機序を解明することは、血管新生阻害剤の新たな標的分子の発見に繋がるのが期待される。また、同定されたタンパク質とazaspireneの詳細な結合様式を解明することにより、標的分子をターゲットとした新たな薬剤の創製に貢献できると考えられる。

本年度は、azaspireneが血管内皮細胞増殖因子（VEGF）が誘導する正常ヒト臍帯静脈血管内皮細胞（HUVECs）の細胞内情報伝達系への影響を検討し、作用機構の解析を行なった。

VEGFは、その受容体Flt-1及びKDR/Flk-1などを介して血管内皮細胞のMAPKカスケードを活性化させることにより、増殖・遊走・管腔形成を亢進させることが知られている。低血清培地で培養

したHUVECsにazaspireneを1時間処理後、5分間のVEGF(12.5 ng/ml)で刺激し、活性化される細胞内情報伝達系に与える影響を生化学的手法を用いて解析した。その結果、VEGFによって活性化されるRaf-1のリン酸化を阻害することが示唆された。また、Raf-1と複合体を形成しているHSP90/Raf-1/MEKの複合体には影響を与えなかった。さらにVEGFによって誘導されるKDR/Flt-1のリン酸化にも影響を与えなかった。EGFやFGFなど他の増殖因子とPDBuなどのホルボールエステルによって誘導されるERK1/2のリン酸化は抑制されたことから、各誘導因子の共通の伝達系であるPKCからRaf-1へのシグナル伝達系を阻害していることが示唆された。

#### ●誌上発表 Publications

（総説）

浅見行弘、長田裕之：天然有機化合物を出発点にしたケミカルバイオロジー研究、ケミカルバイオロジー・ケミカルゲノミクス、シュプリンガー・フェアラー東京、119-133（2005）

## XVI—035 骨粗鬆症治療薬の開発を目的としたリベロマイシンAに関する研究

A Study of Reveromycin A Aimed at Developing a Therapeutic Drug for Osteoporosis

研究者氏名：川谷 誠 Kawatani, Makoto

ホスト研究室：長田抗生物質研究室

(アドバイザー 長田 裕之)

骨吸収（分解）を担う破骨細胞は、骨粗鬆症や癌の骨転移など多くの疾患でその活性化亢進がみられ、それら疾患の発症や進行に深く関わっている。そのため、破骨細胞の骨吸収機能を阻害するような低分子化合物（生理活性物質）はそれら疾患に対する有用な治療薬になりうると考えられる。昨年度は、ポリケチド化合物であるリベロマイシンAが、*in vitro*及び*in vivo*において骨吸収抑制効果を示すことを明らかにしてきた。本年度は、リベロマイシンAの破骨細胞に対する分子メカニズムの解析、新たな生理活性物質の探索及びその作用機構解析を行った。

本年度に得られた実験結果を以下に示す。

- (1) リベロマイシンAは、破骨細胞内でイソロイシルtRNA合成酵素の活性を特異的に阻害し、タンパク質合成阻害を介してアポトーシスを誘導することを明らかにした。
- (2) リベロマイシンAは、種々の細胞のなかで破骨細胞にのみ顕著に細胞内に取り込まれ、この取り込みは破骨細胞が作り出す酸性環境に依存したものであることを明らかにした。すなわち、3つのカルボキシル基をもつリベロマイシンAは血中ではプロトンがはずれて高極性になっているが、破骨細胞の酸性環境によりプロトン化され、極性を失うことで細胞膜透過性が増大し、その結果破骨細胞に選択的に取り込まれたと考えられる。
- (3) 破骨細胞の骨吸収機能を阻害する低分子化合物をスクリーニングした結果、メチルゲルフェリンが破骨細胞の分化を阻害することにより骨吸収を抑制することを見出した。

(4) メチルゲルフェリンプローブを用いた検討により、メチルゲルフェリンは細胞内でグリオキサラーゼIに結合し、その酵素活性を阻害していることがわかった。

今後は、これら薬剤の作用機序をさらに解明し、臨床治療薬への応用を目指す。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

- Kawatani M.<sup>†</sup>, Woo J.<sup>†</sup>, Kato M., Shinki T., Yonezawa T., Kanoh N., Nakagawa H., Takami M., Stern PH., Nagai K., and Osada H.: "Reveromycin A, a novel agent for osteoporosis inhibits bone resorption by inducing apoptosis specifically in osteoclasts", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, in print\*<sup>†</sup>, equally contributed
- Kazami S.<sup>†</sup>, Muroi M.<sup>†</sup>, Kawatani M., Kondo H., Kubota T., Kobayashi J., Usui T., and Osada H.: "Tejimalides, the antitumor 24-membered macrolides, are novel V-ATPase inhibitors that bind to c subunit of V<sub>0</sub> subcomplex", Biosci. Biotechnol. Biochem., in print\*<sup>†</sup>, equally contributed
- Muguruma H., Yano S., Kakiuchi S., Uehara H., Kawatani M., Osada H., and Sone S.: "Reveromycin A inhibits osteolytic bone metastasis of small-cell lung cancer cells, SBC-5, through an antiosteoclastic activity", Clin. Cancer Res., 11 8822-8828 (2005)\*

(総説)

- 川谷誠、長田裕之：“破骨細胞を標的とした癌骨転移治療薬”、医学のあゆみ、215 629-633 (2005)

研究者氏名：柴田 識人 Shibata, Norihito

ホスト研究室：辻本細胞生化学研究室

(アドバイザー 辻本 雅文)

コレステロールは細胞膜の構成成分やステロイドホルモン前駆体として必須の脂質である反面、その過剰摂取は動脈硬化症等を引き起こす。従ってコレステロールの恒常性は生体にとって非常に重要な問題である。これまでに私はコレステロール生合成過程の中で、スクアレンエポキシダーゼが触媒するスクアレンからスクアレン-2, 3-オキサイドへの変換反応を促進する新規可溶性蛋白質 SPF (Supernatant Protein Factor) のクローニング及びそのノックアウトマウスの作製に成功し、SPFが生理的にはコレステロールの恒常性を維持するための飢餓応答遺伝子として機能することを明らかにした。これはこれまで全く想定されてこなかったエネルギー代謝とコレステロール代謝とのクロストークを意味するものであり、個体レベルの栄養代謝という面からも意義深い。本研究ではこれまでの研究成果を踏まえ、SPFを標的とした高コレステロール治療薬の可能性を検討すること、及びSPFを中心としたコレステロール代謝の新たな生理的意義を提唱することを目的とする。本年度の成果は具体的には以下の通りである。

- (1) 動脈硬化症発症モデルマウスであるApoEノックアウトマウスとSPFノックアウトマウスを掛け合わせ、血中脂質レベル及び動脈硬化病変形成への影響を調べた。その結果、動脈硬化症発症モデルマウスにおいてSPFを欠損させると、動脈硬化症と正の相関を持つVLDL, LDL-コレステロール値が低下すること、及び動脈硬化病変形成の顕著な抑制が見られた。SPFを欠損させても外見上は顕著な表現型は見られないことから、SPFが副作用の少なく有望な高コレステロール治療薬の標的になると期待される。
- (2) 前年度の研究成果より、マクロファージにおいてリポポリサッカライド刺激によりSPFの発現が増加することやSPFノックアウトマウスより採取した腹腔マクロファージをリポポリサッカライドで刺激すると、誘導型NO合成酵素の発現が持続することが分かっていた。これは

マクロファージにおける自然免疫応答がSPFを介したコレステロール代謝によって制御されていることを示唆するものである。そこで本年度はこの現象のもつ生理的意義などについて検討を加えた。その結果、リポポリサッカライド誘発性の敗血症に対して、SPFノックアウトマウスは高感受性であることが分かった。NOは異物排除機構において重要因子の一つであるが、その過剰な産生・蓄積は、炎症状態の遅延や様々な疾患を引き起こすと考えられる。本研究結果からSPFを介したコレステロール代謝が、過剰な炎症状態の抑制機構に関わっていることが個体レベルで明らかになった。

## ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Nakamura T., Shibata N., Nishimoto-Shibata T., Feng D., Ikemoto M., Motojima K., Iso-o N., Tsukamoto K., Tsujimoto M., and Arai H.: "Regulation of SR-BI protein levels by phosphorylation of its associated protein, PDZK1." *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102 13404-13409 (2005)\*

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shibata N., Jishage K., Tsujimoto M., and Arai H.: "Regulation of hepatic cholesterol synthesis by a novel cholesterol biosynthesis accelerating protein, SPF." *Gordon Research Conference-Lipids, Molecular & Cellular Biology of-*, New Hampshire, USA, July. (2005)

(国内学会等)

柴田識人、寺社下浩一、辻本雅文、新井洋由: "スクアレンエポキシダーゼ活性促進因子SPF (Supernatant Protein Factor) の高コレステロール血症への影響"、第37回日本動脈硬化学会総会、東京、7月 (2005)

柴田識人、寺社下浩一、辻本雅文、新井洋由:



XVI—037

DNA複製前後の細胞核タンパク質の  
構造と機能変動のプロテオミクスによる解析

Analyses of Nuclear Protein Dynamics Dependent on DNA Replication by Proteomic Approach

研究者氏名：武内 桂吾 Bunai, Keigo  
ホスト研究室：今本細胞核機能研究室  
(アドバイザー 今本 尚子)

アフリカツメガエル卵抽出液を用いた細胞核再構成実験の結果から、細胞核内では、DNA複製前後で多くのタンパク質の量的、質的変動が起きていることが示唆された。本研究では、DNA複製前後で変動すると予想されるタンパク質のうち、細胞分裂での正確な染色体分離に必要である姉妹染色体接着 (sister chromatid cohesion) に関わる因子に焦点を当てた。姉妹染色体のコヒーションは、分裂期における正確な染色体分配の前過程として重要である。これまでに同定されてきた多数の関与因子の中で、具体的な作用機序が不明なものの一つが出芽酵母Eco1/Ctf7及びそのオルソログである (以下ではEco1と総称する)。Eco1は酵母を用いた遺伝学的解析により、DNA複製に共役して姉妹染色体接着を樹立する過程で機能すると考えられている。またEco1はアセチル基転移酵素活性を持つことが示されたが、その基質は未知である。本研究では、アフリカツメガエル卵抽出液無細胞系を用いて、アフリカツメガエルオルソログ (XEco1と呼ぶ) を解析することでEco1の機能を明らかにすることを目標とした。まずXEco1の全長を含むESTクローンを入手して配列を解析した。XEco1は約75KDaの蛋白質であると予測され、C末端側のおよそ半分の領域のみに他種生物のEco1オルソログと相同性の高い配列がみられた。次に同領域(予想されるアセチル基転移酵素領域を含む)の組換え蛋白質をバキュロウィルス蛋白質発現系を用いて調製し、XEco1が、他種生物のEco1オルソログと同様に、自己アセチル化活性を持つことを確認した。またXEco1を特異的に認識する抗体 (a-XEco1C) を作成し、XEco1がA6細胞(カエル腎由来培養細胞)において細胞周

期依存的にS期からG2期において間期核に蓄積することを示した。さらに、a-XEco1Cを用いた免疫沈降を行ったところ、ウェスタンブロットティングによりXEco1の全長タンパク質が検出された。今後、アフリカツメガエル卵抽出液を用いた無細胞系を用いてXEco1の姉妹染色体接着、DNA複製、細胞核構築等への関与を解析するとともに、二次元電気泳動法等を用いてXEco1のアセチル化基質探索を行う予定である。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Bunai K., Nozaki M., Kakeshita H., Nemoto T., and Yamane K. Quantitation of *de novo* localized <sup>15</sup>N-labeled lipoproteins and membrane proteins having one and two transmembrane segments in a *Bacillus subtilis* *secA* temperature-sensitive mutant using 2D-PAGE and MALDI-TOF MS. *J. Proteome Res.* **4** 826-836 (2005)\*

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

武内桂吾、大木本圭、高木昌俊、今本尚子：出芽酵母Eco1p/Ctf7pのアフリカツメガエルオルソログの同定と機能解析 Identification and characterization of a *Xenopus* ortholog of *S. cerevisiae* Eco1p/Ctf7p、日本分子生物学会、福岡、12月 (2005)

武内桂吾、大木本圭、高木昌俊、今本尚子：出芽酵母Eco1p/Ctf7pのアセチル基転移酵素のアフリカツメガエルオルソログの機能解析、染色体ワークショップ、広島、1月 (2006)

研究者氏名：甲斐田 大輔 Kaida, Daisuke

ホスト研究室：吉田化学遺伝学研究室

(アドバイザー 吉田 稔)

pre-mRNAのスプライシングは、真核細胞にとって最も基本的かつ重要な機能の一つであり、イントロンを含む未成熟なmRNAが核外輸送され翻訳されると、異常なタンパク質が産生され、正常なタンパク質の機能を阻害するなど細胞にとって非常に危険であり、個体レベルでは疾患の原因ともなり得る。したがって、正常なタンパク質が発現するために何重ものチェック機構が働いている。低分子化合物FR901464（以下FR）で動物細胞を処理するとイントロンが翻訳された異常タンパク質が産生されるため、FRはこれらのチェック機構のうちいずれかを阻害している可能性が考えられる。そこで、FRの標的タンパク質の同定、解析を通しmRNAクオリティコントロールシステムの全体像を明らかにすることを目的とした。

ビオチン化FR、streptavidin beadsを用いFR結合タンパク質を同定したところ、その中にいくつかのthioredoxin用タンパク質が含まれていた。既に、当研究室ではFRはthioredoxin様配列を持つタンパク質であるTMXと結合すること、その結合はthioredoxin様配列を介して行われることが見出されている。しかし、いくつかのthioredoxin様配列を持つタンパク質をsiRNAによりノックダウンしたものの、FR処理時と同様のはっきりとしたmRNAスプライシングの異常は観察できなかった。

た。また、同時に同定したFR結合タンパク質の中にはいくつかの核内タンパク質が含まれていた。いくつかのタンパク質はFRとの結合が非常に弱く、また、結合が特異的でないものもあった。しかし、スプライソソームの構成因子もFR結合タンパク質として単離、同定出来ており、これらのFRとの結合は非常に強いものであった。また、これらの因子を他のスプライソソームの構成因子と乖離されるような条件でのみFRとの結合が観察されたことから、スプライシングをしていない状態ではFRとの結合部位は他のタンパク質との結合部位であることが示唆される。通常細胞内ではスプライソソームはmRNAのスプライシングの際にコンフォメーションチェンジを行っており、この時にFRとの結合部位が表面に現れるのではないかと考えている。今後、この結合の特異性、結合の意義などについて詳細な研究を行っていく予定である。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kaida D., Tashiro E., Nakajima H., Imoto M., Yoshida M.: "Accumulation and translation of pre-mRNA by FR901464, an antitumor microbial metabolite" Pacificchem 2005, Hawaii, USA, Dec. (2005)

蛋白質アセチル化を生細胞内で  
可視化するための蛍光プローブ分子の開発

Development of Fluorescent Indicators for Protein Acetylation in Living Cells

研究者氏名：佐々木 和樹 Sasaki, Kazuki

ホスト研究室：吉田化学遺伝学研究室

(アドバイザー 吉田 稔)

真核生物のDNAは、クロマチン構造を形成し、ヒストン蛋白質とともに高度に折り畳まれて存在している。そのため遺伝子の転写制御には、基本転写因子を含む転写を制御する蛋白質がDNAと

結合できるように、クロマチンの構造変換が必要である。このクロマチン構造変換は、ヒストンH2A、H2B、H3、H4をはじめとするヒストン蛋白質のN末端のアセチル化修飾によってダイナミ

ックに制御されており、そのためヒストン蛋白質のアセチル化修飾は遺伝子発現を評価するよい指標となる。そこでヒストン蛋白質のアセチル化を蛍光共鳴エネルギー移動 (FRET) による蛍光強度比変化によって検出するプローブの開発を行う。このプローブを用いることによって、刺激やストレス応答によってどのヒストン蛋白質がどこでどのようにアセチル化修飾をうけているのかを明らかにすることを目的とする。

本年度は、FRETを起こす蛍光ドナー蛋白質であるCFPにヒストンH4を連結した蛋白質と蛍光アクセプター蛋白質であるYFPにアセチル化ヒストンH4結合蛋白質を連結した蛋白質をリンカーで結ぶことによってアセチル化依存的に分子内でFRET変化を起こすヒストンH4アセチル化の蛍光プローブを作製した。

(1) 作製した蛍光プローブが、内在性のヒスト

ンH4と同様にクロマチン内に取り込まれていることを確認した。

(2) ヒストン脱アセチル化阻害剤であるトリコスタチンA (TSA) による蛍光プローブのアセチル化の蓄積を、ウェスタンブロッティング法により検出した。蛍光プローブのアセチル化の蓄積する時間経過は内在性のヒストンH4のアセチル化の蓄積の時間経過と一致することを確認した。

(3) 蛍光プローブを発現させた細胞にTSA処理すると、FRET変化が起きることを確認した。

以上の結果から、作製した蛍光プローブは生細胞内で内在性のヒストンH4と同様の挙動を示し、蛍光プローブのアセチル化はFRET変化に伴う蛍光強度比変化として検出可能であることがわかった。

## XVI—040

### 節足動物における性分化の分子機構の解明

#### Molecular Mechanism of Sex Differentiation in Arthropods

研究者氏名：奥野 敦朗 Okuno Atsuro

ホスト研究室：松本分子昆虫学研究室

(アドバイザー 松本 正吾)

節足動物門は昆虫類、甲殻類、多足類などの諸綱に分けられ、地球上あらゆる場所に分布し、その種類は全動物の80パーセントを占める。多種多様に分化した節足動物がどのような性分化機構を有して次世代を形成するかを解明することを本研究の目的とした。これまで性分化の分子機構は昆虫 (特にショウジョウバエ) で研究が進んでいる。例えば転写因子のdoublesex遺伝子や生殖細胞のマーカーであるvasa遺伝子などが知られている。これらの遺伝子は進化的に高く保存されており、哺乳類などの脊椎動物でも類似の分子が存在し、性分化の分子機構に重要な役割を果たしている。そこで本研究は節足動物中でも性分化機構が独特で多様な甲殻類に注目し、性分化関連遺伝子で保存性の高い遺伝子に注目しクローニングを試みた。さらに遺伝子の機能や発現パターンを調べることで、甲殻類の性分化の分子機構を明らかにすることを目的として実験を行った。

(1) 生殖腺からRNAを抽出し逆転写酵素で

cDNAを合成した。これを鋳型に縮重プライマーを用いてPCRによって遺伝子断片を増幅した。この断片DNAはサブクローニング後に配列を解析した。さらに全長cDNAを解析するためにRACE-PCR法を用いて完全長cDNA配列を決定した。

(2) ノーゼンブロッティングやRT-PCR法を用いて遺伝子の発現解析を行った。

本年度は特にnanos遺伝子に注目して実験を行った。甲殻類のクルマエビの生殖腺からクローニングに成功した。脊椎動物ではnanos遺伝子は雄のみに発現するがクルマエビでは精巣、卵巣両方に発現が見られた。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

奥野敦朗、水藤勝喜、奥村卓二、松本正吾：“クルマエビnanos関連遺伝子のcDNAクローニング”、第30会日本比較内分泌大会、熊本大学、11月 (2005)

研究者氏名：内田 和歌奈 Uchida, Wakana  
 ホスト研究室：中野生体膜研究室  
 (アドバイザー 中野 明彦)

動物や酵母において、Rab5 GTPaseは、細胞膜から初期エンドソームへの輸送や、初期エンドソームどうしの融合を制御するタンパク質であることが知られている。Rab5 GTPaseは、グアニンヌクレオチド交換因子 (guanine nucleotide exchange factor, GEF) によって活性化される。本研究の目的は、Rab5タンパク質が制御していると考えられるエンドサイトーシス経路が、植物の形態形成において、どのような役割を果たしているのかを明らかにすることである。モデル植物であるシロイヌナズナでは、Rab5 GTPaseと相同性の高い、Ara6、Ara7、Rha1の3つのタンパク質が知られている。これらのタンパク質の活性化を担うグアニンヌクレオチド交換因子 (GEF) として*AtVPS9a*遺伝子が同定された。*AtVPS9a*のT-DNA挿入変異体、*atvps9a-1*および*atvps9a-2*のうち、本年度は*atvps9a-1*変異体を中心に形態学的解析を行った。*atvps9a-1*変異をホモにもつと、胚珠は未成熟のまま褐色化し、この表現型は*AtVPS9*を含むゲノム断片により相補される。そこで、*atvps9a-1*変異体の胚発生過程を観察するために、透明化処理してノマルスキー顕微鏡で解析したところ、胚発生が遅延し、魚雷型胚で停止している胚珠が観察された。さらに、走査型電子顕微鏡を用いて、発生を停止した魚雷型胚を胚珠より取り出して解析したところ、細胞数の減少および個々の細胞体積の増大、分裂パターンの異常、細胞壁の異常等が観察された。発生を停止した魚雷型胚の胚珠を細胞レベルでより詳細に観察するために、透過型電子顕微鏡

を用いて解析したところ、胚とアリユーロン層の両方の細胞において、それぞれ、オルガネラの形態異常が観察された。以上の形態学的な解析から、植物の発生初期の形態形成において、Rab5の活性化によるエンドソームを介した小胞輸送が重要な役割を担っていることが明らかになりつつある。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Uchida W, Matsunaga S, and Kawano S.:  
 “Ultrastructural analysis of the behavior of the dimorphic fungus *Microbotryum violaceum* in fungus-induced anthers of female *Silene latifolia* flowers”, *Protoplasma* 226(3-4):207-216(2005)\*

(総説)

Uchida W, Kazama Y, Matsunaga S, and Kawano S.:  
 “A Wonder Plant-Microbe Interaction between White Campion and Anther Smut”, In: *Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues (1st Edition)*, Teixeira da Silva JA (ed), Global Science Books, London, UK, (2006) in press.

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

内田和歌奈、小林聡子、郷達明、中野明彦、上田貴志：“シロイヌナズナの*atvps9a*変異体における胚発生の微細構造解析”、第47回日本植物生理学会年会、筑波大学、3月 (2006)

研究者氏名：島田 信量 Shimada, Nobukazu

ホスト研究室：石井分子遺伝学研究室

(アドバイザー 石井 俊輔)

これまで転写は細胞核内のランダムな場所で起こると考えられていたが、最近の研究によって、転写は核内の特異的領域においてクロマチン構造を介して制御されることが示唆されつつある。その一例として、核内に局在するPMLボディなどの核内構造体に転写制御因子が集まり、この領域に標的DNAがリクルートされ、転写が制御されることが示唆されている。本年度はPMLの生理機能を解析することを目的として、PMLの複合体解析を行った。

PMLボディの主要構成因子であるPMLとFLAG—HAタグとの融合タンパク質を安定に発現するHeLaS3細胞株を作製した。発現させたPMLは、核内のみならず細胞質中にもほぼ同量存在することが分かった。核及び細胞質抽出液からタグを用

いてPML複合体を精製し、その構成因子を同定したところ、解糖系および脂質合成経路で機能する複数のタンパク質が得られた。

PMLホモ欠損MEFでは野生型MEFに比べて解糖系の活性が亢進していることが示唆された。さらに免疫染色実験により、インスリン刺激によってPMLが細胞質に移行すること、またグルコースの非代謝性誘導体である2-DG処理によってPMLが核内に移行することが示された。以上から、PMLの局在はPI3Kシグナル経路によって制御され、PMLは解糖系酵素に結合してその活性を抑制することが示唆された。今後は、脂質合成経路についても同様の解析を行い、PMLの細胞質での生理機能を明らかにする予定である。

研究者氏名：本郷 裕一 Hongoh, Yuichi

ホスト研究室：工藤環境分子生物学研究室

(アドバイザー 工藤 俊章)

シロアリ腸内には大量かつ多様な細菌が存在し、植物質の分解発酵・酢酸合成・窒素固定など、宿主シロアリに必要な役割を担っている。しかし、それらの細菌の99%は現時点では培養不可能であり、その系統分類・群集構造すらまったく未知であった。報告者（本郷）らは培養を介さない方法によって群集構造解明を試み、その結果22細菌門に属する1500種にもものぼる未知細菌系統を発見してきた。これらの単離培養は現時点でも未成功であり、その機能はまったく不明である。近年、培養不可細菌のメタゲノム解析が多く行われ、昆虫との共生細菌を含むいくつかの細菌種のゲノム全長と、類推される機能が明らかにされてきたが、シロアリ腸内はあまりにも細菌種が多様であり（腸あたり推定700-1200種）、単一あるい

は単純な構成の細菌群の大量回収は不可能で、こうしたアプローチはとれない。そこで我々は、ある種のDNAポリメラーゼを用いて、少ない細胞数から全ゲノム配列を増幅し、それを用いていくつかのシロアリ共生細菌の全ゲノム配列決定と機能解析を目指している。

ゲノム解析には長大なコストがかかるため、適切な材料選定が最重要である。本年度は、標的とする細菌の同定と局在決定を精力的に行ってきた。その結果、我々が発見した細菌新門TG1とTG3を含む数多くの新規細菌系統群のシロアリ腸内における局在と存在量を、蛍光in situ hybridization法により明らかにした（論文準備中）。特に重要な成果は、報告者らがゲノム解析の第一標的として考えているTG1細菌門が、シロアリ共生原生

生物の各種に特異的な細胞内共生細菌群だと証明した事である。さらに、この細菌群は全く異なる細菌種群と同時に一つの原生生物細胞に共生しており、シロアリとキゴキブリの腸内に特異的な原生生物 *Trichonympha* spp. などは、TG1に加え、DeltaproteobacteriaやSpirochaetesなど、5つもの細菌門の細菌が同時に共生していた。これらの情報は、ゲノム解析をするうえで必要不可欠な情報であり、有意義な成果が得られたと考えている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hongoh Y., Deevong P., Inoue T., Moriya S., Trakulnaleamsai S., Ohkuma M., Vongkaluang C., Noparatnaraporn N, Kudo T.: “Intra- and interspecific comparisons of bacterial diversity and community structure support coevolution of gut microbiota and termite host” *Applied and Environmental Microbiology* 71 6590-6599 (2005)\*

Nakajima H., Hongoh Y., Usami R., Kudo T., Ohkuma M.: “Spatial distribution of bacterial phylotypes in the gut of the termite *Reticulitermes speratus* and bacterial community on the gut epithelium” *FEMS Microbiology Ecology* 54 247-255 (2005)\*

Hongoh Y., Ekpornprasit L., Inoue T., Moriya S., Trakulnaleamsai S., Ohkuma M., Noparatnaraporn N, Kudo T.: “Intra-colony variation of bacterial gut microbiota in the fungus-growing termite *Macrotermes gilvus*” *Molecular Ecology* 15 505-516 (2006)\*

Noda S., Inoue T., Hongoh Y., Kawai M., Nalepa C. A., Vongkaluang C., Kudo T., Ohkuma M.: “Identification and characterization of ectosymbionts of distinct lineages in *Bacteroidales* attached to flagellated protists in the gut of termites and a

wood-feeding cockroach” *Environmental Microbiology* 8 11-20 (2006)\*

Nakajima H., Hongoh Y., Noda S., Yoshida Y., Usami R., Kudo T., Ohkuma M.: “Phylogenetic and morphological diversity of *Bacteroidales* members associated with gut wall of termites” *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 70 211-218 (2006)\*

Deevong P., Hongoh Y., Inoue T., Trakulnaleamsai S., Kudo T., Noparatnaraporn N., Ohkuma M.: “Effect of temporal preservation on molecular study of complex microbial community in the gut of the termite *Microcerotermes* sp.” *Microbes and Environments* in print (2006)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

本郷裕一、Deevong P.、井上徹志、大熊盛也、Trakulnaleamsai S.、Noparatnaraporn N.、工藤俊章：“シロアリ腸内細菌のmicrodiversityの宿主間相違”、日本微生物生態学会第21回大会、福岡、11月（2005）

佐藤朋之、本郷裕一、宇井定春、工藤俊章、大熊盛也：“シロアリ腸内における新規細菌門の検出と解析”、日本微生物生態学会第21回大会、福岡、11月（2005）

佐藤朋之、本郷裕一、宇井定春、工藤俊章、大熊盛也：“シロアリ腸内 *Trichonympha* 属原生生物とその複数種の共生細菌の検出”、第6回極限環境微生物学会年会、立教大、11月（2005）

佐藤朋之、本郷裕一、中島秀晃、野田悟子、宇井定春、工藤俊章、大熊盛也：“シロアリ腸内原生生物と細胞共生する複数種細菌群の分子系統学的同定”、日本農芸化学会大会、京都、3月（2006）

XVI—044

#### 気体充填型反跳分離装置を用いた超重元素の探索

Super-Heavy Element Search Using a Gas-Filled Recoil Separator

研究者氏名：加治大哉 Kaji, Daiya

ホスト研究室：原子核研究技術開発グループ

(アドバイザー 櫻井博儀)

新元素発見を目的とした超重核探索に関する研

究は、「元素は何種類存在するのか?」、「超重元

素はどのような化学的性質をもっているのか?」、また「超重核の安定性は何によって決まっているのか?」など…、化学と物理についての基本的な問いに答える一つの試みとして、科学の進歩とともに営々と続けられている。人類はこれまでに100を超える元素を発見し、現在では111番元素までの存在がIUPAC-IUPAP合同命名委員会によって認められている。原子番号112番以上の元素については、ドイツ・ロシア・米国・日本の研究グループが中心となって熾烈な先陣争いを行っている。本研究では、未だその存在が認められていない113番元素の確認を目的として低エネルギー重イオン融合反応 $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn}, n)^{278}113$ による超重核の探索を行った。さらに、本年度より、超重元素の化学研究へ向けた超重核生成手法の確立に関する研究にも取り組み始めた。

#### (1) 113番元素の探索

2004年7月、世界に先駆けて観測に成功した113番元素の同位体 $^{278}113$ のconfirmationを目的として追試実験を行った。結果として、 $^{278}113$ に起因すると考えられる第二番目の事象を確認した。その事象は、第一番目の事象と同様、4回のアルファ壊変を行った後、自発核分裂を起こした。観測された核種の寿命と壊変エネルギーの一致、反応断面積の系統性との一致などの観点から $^{278}113$ のconfirmationに成功したと結論付けた。

#### (2) 超重元素の化学研究へ向けた超重核生成手法の確立

超重元素の化学研究を行うためには、研究対象とする超重核を効率よく生成することが必要不可欠である。本年度は、102番元素ノーベリウム(No)および106番元素シーボギウム(Sg)の化学研究へ向けて、NoおよびSg同位体の生成方法の確立を目的として実験を行った。NoおよびSg同位体の生成手法として、 $^{238}\text{U}(^{22}\text{Ne}, xn)^{255, 254}\text{No}$  [ $x=5, 6$ ] および $^{232}\text{Th}(^{40}\text{Ar}, \alpha xn)^{266, 265}\text{Sg}$  [ $x=2, 3$ ]反応に着目した。前者においては、 $^{238}\text{U}+^{22}\text{Ne}$ 反応の励起関数測定から $^{255}\text{No}$ 生成の最適条件を得た。一方、後者においては、4.97および5.18 MeV/nucleonのビームエネルギーで各々 $3.0 \times 10^{17}$ および $1.2 \times 10^{18}$ 個の $^{40}\text{Ar}$ により $^{232}\text{Th}$ 標的を照射したが、目的とするSg同位体に起因するアルファ壊変連鎖を観測することができなかった(反応断面積の上限値、各々185 pb および48 pbを得た)。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Haba H., Kaji D., Kanayama Y., Igarashi K., and Enomoto S.: "Development of a gas-jet-coupled multitarget system for multitracer production", *Radiochim. Acta* 93, 539-542 (2005)\*

(その他)

羽場宏光、加治大哉: "日本発の新元素!? 113番元素の発見"、放射化学ニュース第11号、45-46 (2005)

Morita K., Morimoto K., Kaji D., Akiyama T., Goto S., Haba H., Ideguchi E., Koura H., Kudo H., Ohnishi T., Ozawa A., Suda T., Sueki K., Xu H., Yamaguchi T., Yoneda A., Yoshida A., and Zhao Y.-L.: "Experiments on synthesis of isotope  $^{277}112$  by  $^{208}\text{Pb}(^{70}\text{Zn}, n)^{277}112$  reaction", *RIKEN Accel. Prog. Rep.*, 38, 69 (2005)\*

Morita K., Morimoto K., Kaji D., Akiyama T., Goto S., Haba H., Ideguchi E., Kanungo R., Katori K., Koura H., Kudo H., Ohnishi T., Ozawa A., Suda T., Sueki K., Xu H., Yamaguchi T., Yoneda A., Yoshida A., and Zhao Y.-L.: "Experiment on synthesis of element 113 in reaction  $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn}, n)^{278}113$ ", *RIKEN Accel. Prog. Rep.*, 38, 70 (2005)\*

Haba H., Kaji D., Morimoto K., Motomura S., Enomoto S., and Morita K.: "Plans for superheavy-element chemistry in RIKEN: Development of gas-jet transport system coupled to GARIS", *RIKEN Accel. Prog. Rep.*, 38, 103-104 (2005)\*

Sato H., Kurakado M., Shiki S., Ohno M., Ariyoshi S., Shimizu H. M., Morita K., Morimoto K., Kaji D., and Akiyama T.: "Energy resolution of superconducting series junction detector for heavy ions", *RIKEN Accel. Prog. Rep.*, 38, 144-145 (2005)\*

## ●口頭発表 Oral presentations

(国際会議)

Kaji D., Morita K., Morimoto K., Akiyama T., Goto S., Haba H., Ideguchi E., Koura H., Kudo H., Ohnishi T., Ozawa A., Suda T., Sueki K., Xu H., Yamaguchi T., Yoneda A., Yoshida A., and Zhao Y. L.-: "Average equilibrium charge state of  $^{278}113$  ions moving in a helium gas", *Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry, China, Oct. (2005)*

(国内会議等)

加治大哉、森田浩介、森本幸司、秋山隆宏、後藤真一、羽場宏光、井手口栄治、小浦寛之、工藤久昭、大西哲哉、小沢顕、須田利美、末木啓介、H. Xu、山口貴之、米田晃、吉田敦、Y.-L. Zhao：“ $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn}, n)^{278}113$ 反応を用いた113番元素の合成”、第49回放射化学討論会、1A10、金沢、9月(2005)

加治大哉：“ヘリウムガス中を運動する超重元素

の平均平衡電荷に関する基礎研究—超重元素合成実験への寄与—”、第49回放射化学討論会、y-3AR2、金沢、9月(2005)

加治大哉、羽場宏光、森本幸司、秋山隆宏、森田浩介、佐藤望、高部智正：“シーボギウム(Sg)の化学研究へ向けた $^{232}\text{Th}+^{40}\text{Ar}$ 反応によるSg同位体の探索”、日本化学会第86春季年会、3D2-08、千葉、3月(2006)

XVI—045

### RIBF計画のU(ウラン)ビーム生成に向けた 大強度多価金属イオン源の研究開発

Research and Development of ECR Ion Source for Production of intense U beam

研究者氏名：日暮 祥英 Higurashi, Yoshihide  
ホスト研究室：フロンティア研究システム  
加速器技術開発グループ  
(アドバイザー 後藤 彰)

現在、理化学研究所で進行中のRIBF(RI Beam Factory)計画では、大強度RIビーム生成の為に大強度U(ウラン)ビーム(エネルギー350MeV/u、ビーム強度 $1\text{p}\mu\text{A}$ 以上)の生成を目標としている。350MeV/uのUビームを標的に当てると核分裂を起こし、効率の良いRIビームを生成することが予言されている。中重核(質量 $\sim 100$ )RIの生成効率は同じビーム強度でProjectile-like fragmentationの数10倍以上であり、大強度RIビーム生成を主目的としたプロジェクトにとってUビーム生成加速は将来、必須手段となる。これを達成するためにはイオン源から、35価で $15\text{p}\mu\text{A}$ 以上のビームを発生させることが要求されている。ウランは法的に取り扱いが簡単でない為にウランによる汚染箇所は最小限にする必要がある。過去十年にわたり、ECRイオン源を用いてUイオンを生成する為の幾つかの手法が開発されてきたが、高効率かつ長期安定な方法が確立されていない。この問題を打破するためにUに依る汚染を最小限に食い止め、高効率かつ長期安定にビームを供給する新しいUビーム生成法の確立を行う。本年はRIKEN 18GHz ECR Ion SourceでUF<sub>6</sub>を用いU<sup>14+</sup>ビームを $2\text{p}\mu\text{A}$ 程度生成することに成功した。さらに前年に引き続き、ECRイオン源から発生する多価イオンビームの大強度化の研究開発とイオン源からのビーム

の質を向上させ加速器への入射効率を上げるための実験を行った。また、大強度Uビームを生成する為の超伝導ECRイオン源の設計も開始している。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Y. Higurashi, T. Nakagawa, M. Kidera, T. Aihara, M. Kase and Y. Yano.: “Effect of plasma electrode position of the RIKEN 18 GHz ECRIS on the beam intensity of highly charged Ar ions”, J. J. A. P. 44(2005)5216

Y. Higurashi, M. Kidera, T. Nakagawa, T. Aihara, M. Kase, A. Goto and Y. Yano.: “Production of  $^{70}\text{Zn}$  beam from RIKEN 18 GHz Electron cyclotron resonance ion source”, J.J.A.P. 44(2005)8138

Y. Higurashi, T. Nakagawa, M. Kidera, T. Aihara, M. Kase, and Y. Yano.: “Effect of the plasma Electrode Position on the Beam Intensity and Emittance of the RIKEN 18 GHz ECRIS”, Proceedings of the 16th International Workshop on ECR Ion Sources, AIP Proceedings, Berkeley, CA, 2004.

T. Nakagawa, Y. Higurashi, M. Kidera, T. Aihara, M. Kase, and Y. Yano.: “Production of Intense Beam of Medium Charge State Heavy Ions from RIKEN



XVI—046

有限温度におけるハドロンスペクトラム  
—QCD和則と格子QCDの視点から—

Hadron Spectrum at Finite Temperature - from the viewpoints of QCD sum rule and lattice QCD-

研究者氏名：土井 琢身 Doi, Takumi  
ホスト研究室：理研BNL研究センター  
理論研究グループ  
(アドバイザー McLerran, Larry)

1. ペンタクォークバリオンの研究

5つのクォークから構成されるexotic粒子として、その存否も含めて議論の対象となっているTheta (1540)について、昨年度に引き続き研究を行った。ペンタクォークについては、我々はQCD和則・格子QCDを用いた先駆的な研究を行ってきたが、本年度はスピン3/2の可能性について格子QCDによる研究を行った。このような可能性は、特にTheta (1540)が $J^P=3/2^-$ の量子数を持つ場合、NK散乱状態への崩壊がd-waveによって抑制されるため、Theta (1540)の極めて狭い崩壊幅を説明するシナリオとして重要な意義を持つ。Exotic ペンタクォーク状態とメソン・バリオン2粒子散乱状態を区別する手法としては、昨年来我々が提唱して成功を収めているHybrid Boundary Condition(HBC)法を用いた。格子QCDの計算として、三種類の粒子生成消滅オペレーターを用いた包括的な研究を行った結果、Theta粒子のシグナルは存在しないことが解った。実際、得られたシグナルは全て質量がかなり重い領域にあり、またそれらは全てNK\*などの2粒子散乱状態であると同定した。

2. バリオンにおけるアイソスピンの破れの研究

近年の格子QCDの発展により、フレーバーSU(3)の破れについては多くの成果が挙がりつつあるが、アイソスピンSU(2)の破れについての研究はまだ緒についたばかりである。本研究ではバリオンにおけるアイソスピンの破れ、特に陽子・中性子の質量差について、dynamic quarkの効果も取り入れた格子QCDでの計算を行った。アイソスピンの破れとしては、QEDによる電磁相互作用の効果と、QCDにおけるクォーク質量のアイソスピ

ンの破れの効果の二つがあるが、本年度はQEDの効果について研究した。S/Nを良くするために、質量差そのものを解析する手法が有効に機能することを示し、QEDの効果としては陽子の質量がより重くなることを示した。これから間接的に、現実の世界で陽子が安定な粒子であるためには、u,dクォークの質量差の効果がessentialであることを示した。

3. 格子QCDによる核力の起源についての研究

核力については、長距離相互作用についてはone pion exchangeによる猫像が確立しているが、短距離作用についてはrepulsive coreポテンシャルの存在が現象論的に知られているのみで、その起源についてはまだよく解っていない。本研究では、格子QCDを用い、第一原理からハドロ人間相互作用を解き明かすことを目標とした。本年度は、第一段階として $\Lambda_B - \Lambda_B$ ,  $\Lambda_B - B$ ,  $B - B$ 間の相互作用に対応するポテンシャルを計算した。結果として、相互作用は非常に弱いという結果を得た。この非自明な結果を物理的に理解するため、さらに研究を進めているところである。

● 誌上発表 Publications

(原著論文)

Ishii N., Doi T., Nemoto Y., Oka M., and Suganuma H.: “Spin 3/2 Pentaquarks in anisotropic lattice QCD”, Phys. Rev. D72 074503 (2005)\*

Doi T., Takahashi T.T., and Suganuma H.: “Meson-Meson and Meson-Baryon Interactions in Lattice QCD”, AIP Conf. Proc., in print\*

Doi T., Ishii N., Nemoto Y., Oka M., and Suganuma H.: “Anisotropic lattice QCD study of Pentaquark

baryons in spin 3/2 channel”, Proc. of Science (LAT2005) 064 (2005)\*

Ishii N., Doi T., Iida H., Oka M., Okiharu F., Suganuma H., and Tsumura K.: “Anisotropic lattice QCD studies of Penta-quarks and Tetra-quarks”, AIP Conf. Proc., in print\*

Takahashi T.T., Doi T., and Suganuma H.: “Nuclear force in lattice QCD”, AIP Conf. Proc., in print\*

Okiharu F., Doi T., Ichie H., Iida H., Ishii N., Oka M., Suganuma H., and Takahashi T.T.: “Tetra quark and Pentaquark systems in lattice QCD”, Proc. of Int. Workshop on “Quark Nuclear Physics” (2005)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Doi T., Blum T., Hayakawa M., Izubuchi T., and Yamada N.: “Isospin breaking of baryon masses from domain-wall lattice QCD”, Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS (HAW05), Maui, USA, Sep.(2005)

Doi T., Takahashi T.T., and Suganuma H.: “Meson-Meson and Meson-Baryon Interactions in Lattice QCD”, Particles and Nuclei International

Conference (PANIC05), Santa Fe, USA, Oct.(2005).

Doi T., Ishii N., Nemoto Y., Oka M., and Suganuma H.: “Anisotropic lattice QCD study of Pentaquark baryons in spin 3/2 channel”, XXIIIrd International Symposium on “Lattice Field Theory” (Lattice 2005), Dublin, Ireland, Jul.(2005).

Doi T., Ishii N., Nemoto Y., Iida H., Oka M., Okiharu F., and Suganuma H.: “Pentaquark baryon in anisotropic lattice QCD”, MIT seminar, Boston, USA, Dec.(2005)

Doi T., Ishii N., Nemoto Y., Iida H., Oka M., Okiharu F., and Suganuma H.: “Pentaquark baryon in anisotropic lattice QCD”, BNL seminar, Upton, USA, Jun.(2005).

Doi T., Ishii N., Iida H., Oka M., Okiharu F., and Suganuma H.: “Pentaquark baryon in anisotropic lattice QCD”, BNL seminar, Upton, USA, Apr.(2005).

(国内学会等)

Doi T., Ishii N., Iida H., Oka M., Okiharu F., Suganuma H., and Sugiyama J.: “Pentaquark baryon from QCD Sum Rule/Lattice QCD”, RCNP seminar, Osaka, Apr.(2005).

XVI—047

### カラーグラス凝縮形式によるスモールエックスの物理

Small-x Physics Based on the Color Glass Condensate Formalism

研究者氏名：八田 佳孝 Hatta, Yoshitaka  
ホスト研究室：理研BNL研究センター  
理論研究グループ  
(アドバイザー McLerran, Larry)

高エネルギーハドロン衝突におけるユニタリティー (確率の保存) の回復は量子色力学 (QCD) のもっともチャレンジングな問題のひとつである。QCDの摂動論の主要対数近似では散乱断面積はユニタリティーを破ってしまうことが知られており、これを改善するために多大な努力が近年なされている。本研究では高エネルギーでの有効理論であるカラーグラス凝縮形式を用いて、ユニタリティーに重要なポメロンループと呼ばれる効果とその現象論的な帰結を調べた。ポメロンループはハドロン中のグルオン数のイベントごとの揺らぎを表し、これまでの方程式には考慮されてい

ない効果である。まず、我々はQCDのラグランジアンから出発して中間エネルギーのグルオンを積分することによりゲージ不変な有効ハミルトニアンを構成した。これはポメロンループを含むエネルギー発展方程式の核となるべきものであり、現時点ではさまざまな極限で解析が可能である。低エネルギー近似では摂動QCDの結果であるBFKL方程式が得られ、標的のみが高エネルギーの場合はハドロン中のグルオン数の飽和を記述するBalitsky-JIMWLK方程式が再現される。また、これらはポメロンループを含まないが、カラーの数の大きい極限では実際にループを含む方程式を有

効ハミルトニアンより導くことができ、それは統計物理学でよく研究されている確率的FKPP方程式との深い関連性を持っている。そこで我々はFKPP方程式の普遍的な解の性質を用いて、深非弾性散乱の全断面積、回折断面積の高エネルギー極限を調べた。それによるとポメロンループの効果により平均場近似のBalitsky-JIMWLK方程式から得られる幾何学的スケーリングは破れ、新しいスケーリング則が現れることが分かった。特に回折散乱は散乱振幅の二乗に比例するため揺らぎの影響は大きく、高エネルギーの極限では弾性回折散乱断面積が非弾性回折散乱断面積を上回るという定性的に新しい結果を得た。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Hatta Y., Iancu E., Itakura K., and McLerran L.: “Odderon in the color glass condensate”, Nucl. Phys. A760, 172-207 (2005)\*

Hatta Y., Iancu E., McLerran L., Stasto A., and Triantafyllopoulos D.: “Effective Hamiltonian for QCD evolution at high energy”, Nucl. Phys. A764,

423-459 (2006)\*

Hatta Y., Iancu E., McLerran L., and Stasto A.: “Color dipoles from Bremsstrahlung in QCD evolution at high energy”, Nucl. Phys. A762, 272-297 (2005)\*

Hatta Y.: “On the Wess-Zumino term in high energy QCD”, Nucl. Phys. A (in print)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Hatta Y., Iancu E., Itakura K., and McLerran L.: “Perturbative odderon in the color glass condensate”, Cracow school of theoretical physics (XLV course), Zakopane, Poland, June (2005); RIKEN BNL Research Center workshop, New York, USA, Sep. (2005)

Hatta Y., Iancu E., McLerran L., Stasto A., and Triantafyllopoulos D.: “Effective Hamiltonian for QCD evolution at high energy”, Low-x meeting, Sinaia, Romania, June (2005); Hadron structure to QCD (HSQCD05), St. Petersburg, Russia, Sep. (2005); Particle and Nuclei International Conference (PANIC05), Santa Fe, USA, Oct. (2005)

XVI—048

### PHENIXのためのシリコンバーテックス検出器の開発とそれを用いた陽子スピン構造の解明

Evaluation of Silicon Vertex Detector (VTX) for PHENIX and Study of Proton Spin structure with VTX

研究者氏名：浅井 淳吉 Asai Junkichi

ホスト研究室：延興放射線研究室

(アドバイザー 延興 秀人)

陽子のスピンは偏極レプトンによる深非弾性散乱実験によりクォークによる割合が約30%であることがわかり、残りのスピンはグルーオンや角運動量に依存すると考えられている。グルーオンの偏極構造関数から陽子のスピン構造の解明を目的として、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) にある偏極陽子衝突型加速器 (RHIC) とPHENIX検出器を用いて研究を行っている。PHENIX検出器では素過程でグルーオンを含んだ反応を主に検出する。重クォーク生成で大部分をグルーオン反応が含んでいるおり、D中間子やB中間子の崩壊を観測するのは非常に重要である。しかし、現在のPHENIXの検出器ではこれらの崩壊を直接検出

するのは困難である。そこで、新たにD, B中間子崩壊点の精密な検出が可能であるシリコンバーテックス検出器 (VTX) を2008年にPHENIX検出器にインストールする予定である。これにより、反応衝突点起源の粒子とD, B中間子崩壊起源の粒子を区別することが可能になる。VTXは内側2層のシリコンピクセル検出器と外側2層のシリコンストリップ検出器からなっている。

本年度は、(1) シリコンストリップ検出器のセンサーテストのシステム開発、(2) シリコンピクセル検出器の開発を行った。

(1) 2008年のインストールのために約400枚のシリコンストリップセンサーを用意し、BNL、

SBU（米国ストニーブルック大）、UNM（米国ニューメキシコ大）の3箇所です。2006年度から性能評価を行う予定である。BNLで性能検査のためのシステム開発を行った。クリーンルーム内で半自動プローブ・ステーションによりセンサーの漏れ電流、静電容量の測定を行い、検出器に適したセンサーを選択する。センサーからの信号は探針128本を持つ専用プローブカードを使用し、信号切り替えシステム、精密電流計、LCR測定器により測定する。これらは全てWindows上のLabVIEWソフトを用いて制御する。

(2) シリコンピクセル検出器はシリコンセンサー、センサーからの信号を読み出すための読み出しチップ、信号を送受信するため転送ケーブル、そして支持板からなっている。検出器に使用するために読み出しチップの検査を行った。

チップの応答テスト、センサーからの信号の処理能力を測定し、検出器に適したセンサーを選択する。また、センサーとチップを接続したセンサーハイブリッドの検査を行い、接続状態を確認し検出器に使用する選択を行う。支持板には物質量の少ない素材が必要であり、カーボンカーボン材、CFRP材を選択し、プロトタイプシリコンピクセル検出器製作を行った。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

浅井淳吉、秋葉康之、延與秀人、藤原康平、後藤雄二、狩野博之、大西宏明、小貫良行、竹谷篤、東城順治、V. Rykov：“PHENIX pixel detector”、放射線検出器と電子回路の課題と展望、SPRING 8、12月（2005年）

XVI—051

### 複製後修復遺伝子によるDNA polymerase $\delta$ の複製と複製後修復機能の調節

The Effect of Post-replication Repair Genes on the Replication and Repair Activity of DNA Polymerase  $\delta$

研究者氏名：ブランゼイ ダーナ Branzei, Dana  
ホスト研究室：遺伝ダイナミクス研究ユニット  
(アドバイザー 太田 邦史)

DNA複製過程においてはしばしば複製フォークが停止し、フォークの崩壊がおきる。停止した複製フォークを再生する際に複製後修復（PRR）経路が機能し、崩壊したフォークの修復に組換え修復（HR）経路が働くことが知られているが、いずれの経路がどのように選択され制御されるかは明らかにされていない。近年、ユビキチン化、SUMO-1化がそれぞれ複製後修復及び組換え修復に関与する可能性が示唆されつつあり、本研究はユビキチン化やSUMO-1化が複製フォーク再生の経路選択にも関与する可能性を示唆した。これまでの出芽酵母を用いた遺伝学的解析から、PRR経路による複製フォークの再生にはRad18、Rad5、Mms2とPol $\delta$ の協調的調節が必要であることを示唆し、またRad18、Rad5、Mms2、Ubc13によるPCNAのポリ・ユビキチン化が複製完了に必要であることを明らかにした。

本研究は二次元電気泳動を用いて複製中間体を

観察することにより、*hys2-1*の*pol  $\delta$* 変異株において複製フォークが不安定になること、またそれは*rad18*変異によって安定化されることを見いだした。また本研究ではSUMO-1化酵素のUbc9変異株を解析して、これまでに*ubc9-1*変異株において組み替え修復遺伝子や複製フォークの安定性や再生に重要な働きを果たすヘリカーゼ、checkpointの遺伝子が細胞増殖にとって必要であることを見いだした。さらに二次元電気泳動を用いて*ubc9-1*変異株において、通常の複製フォークが安定であるが、損傷のあるDNA複製の際にRad51に依存する組み換え中間体が大変蓄積することを発見した。その組み換え中間体の解消にSgs1/Top3が関わっていることが最近発表された。さらに、*sgs1*と*top3*変異株においても特異的に損傷のあるDNA複製の際にRad51に依存したX型の組み換え中間体が蓄積することを確認し、Sgs1/Top3がSUMO1化を受けることを明らかにした。最近の研究では

SUMO1化されたPCNAがSrs2と結合して、複製中における組換えを抑制するのではないかという仮説が出されていますが、それを指示する直接的な証拠はない。一方、本研究ではPCNAのSUMO1化が起きないsiz1, pcna-sumo変異株を用いて上記の現象、つまり損傷のあるDNAの複製の際に、複製フォークに組換え中間体が蓄積しないことを明らかにした。

以上の結果からPol  $\delta$ , PRRタンパク質などのタンパク質群が、ユビキチン化を介してDNA複製の完了や複製フォークの再生に重要であることまたUbc9によるSUMO1化が損傷のあるDNA複製の際、つまり、複製フォークが停止、崩壊されやすい際に、複製中における組換えを制御することを明らかにした。

●誌上発表 Publications  
(原著論文)

Dana Branzei, Julie Sollier, Giordano Liberi, Daisuke Maeda, Masayuki Seki, Takemi Enomoto, Kunihiro Ohta and Marco Foiani: “The Ubc9-SUMO pathway acts together with Sgs1/BLM and Top3 in counter-acting recombination at damaged replication forks”, submitted to Nature in January 2006.

(総説)

Dana Branzei and Marco Foiani: “The DNA Damage Response during DNA Replication”, Curr Opin in Cell Biol., 6, 2005, 568-575.

●口頭発表 Oral presentations

(国際会議等)

Branzei D., Foiani M., Seki M., Enomoto T., and Ohta K.: “The UBC9/SUMO modification pathway prevents genomic instability by promoting recovery from intra-S DNA damage”, FASEB meeting, Colorado USA, July (2005)

XVI—052

サブミリ波帯・超伝導検出器の  
大規模イメージングアレイ化と天文観測への応用

Development of Superconducting Detector Arrays  
and Application to Astronomical Observations in Submillimeter wavelengths

研究者氏名：有吉 誠一郎 Ariyoshi, Seiichiro

ホスト研究室：フロンティア研究システム

テラヘルツイメージング研究チーム

(アドバイザー 大谷 知行)

電波と光波の境界領域に位置するサブミリ波帯(テラヘルツ波帯)は、産業分野における各種非破壊検査や癌診断、生体内構造解析、天文分野における銀河形成進化の観測的研究などを行う上で重要な周波数バンドとして期待される。しかし、このバンドで高感度かつ大規模イメージングを行うために必要な多素子検出技術は未開拓である。そこで、超伝導トンネル接合素子(STJ)を用いた超高感度・広帯域テラヘルツ光直接検出器とそのイメージングアレイ化に向けた研究開発を進めている。検出器1画素は、ニオブ超伝導体の平面アンテナと超伝導マイクロストリップラインをSTJ素子で橋渡しした膜構造をとる。昨年度、イメージング応用に向けた開発の第1歩として、テラヘルツ連続波光源(後進波管)と理研で構築さ

れたイメージング・システムを使用して、STJ検出器(1画素)を用いた初のテラヘルツイメージングに成功した。

2年目にあたる今年度は、下記2点に重点を置いて研究開発を行った。

(1) 検出器リニアアレイを用いたテラヘルツイメージング

イメージ品質の改善に向けて、STJ検出器や光源の調整、ノイズ除去等を行った結果、現在では既存の焦電検出器に比べて少なくとも3.5桁高いS/N比を実現した。さらに、検出器5画素を1次元に並べたアレイ(リニアアレイ)及びその多系統信号を同時に読み出す回路系を構築することで、より短時間のイメージングを可能にした。

(2) 高感度検出システムの構築

現在は、冷媒（液体ヘリウム）を用いた0.3K冷却系で検出器を動作させている。この方法によって、雑音等価電力にして $10^{-16} \text{W}/\sqrt{\text{Hz}}$ という地上天文観測に応用可能な検出性能を引き出すことには成功している。しかし今後、高地（遠隔地）やスペースでの天文観測、産業応用分野を開拓する上で冷媒を用いた冷却オペレーションが深刻な問題となる。そこで、検出器の低ノイズ特性を最大限に生かすために、低振動性に優れたパルスチューブ冷凍機を新規導入することで遠隔操作可能な高感度検出システムの構築を進めており、検出器アレイとの組合せ試験を行う準備が整いつつある。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ariyoshi S., Otani C., Dobroiu A., Matsuo H., Sato H., Taino T., Kawase K. and Shimizu H. M.: "Terahertz Imaging with a Direct Detector based on Superconducting Tunnel Junctions", Appl. Phys. Lett., submitted \*

Otani C., Nakano R., Taino T., Shibuya T., Ariyoshi S., Yoshimura S., Myoren H., Sato H., Shimizu H. M., Takada S. and Kawase K.: "Direct and Indirect Detection of Terahertz Waves using a Nb-based Superconducting Tunnel Junction," Institute of Physics Conference Series, in print \*

大谷知行、有吉誠一郎、佐々木芳彰、川瀬晃道：“テラヘルツイメージングと安心・安全分野への応用”、応用物理学会誌、vol.75, no.2, 188-195 (2006)\*

(総説)

有吉誠一郎、大谷知行、佐藤広海：“超電導トン

ネル接合を用いたテラヘルツイメージング技術”、(財)国際超電導産業技術研究センター「超電導Web21」、2月号、8-9 (2006)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ariyoshi S., Otani C., Dobroiu A., Matsuo H., Sato H., Taino T., Kawase K., Noguchi T. and Shimizu H. M.: "Terahertz Imaging with an STJ-based Direct Detector", 7th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS'05), Vienna, Austria, September (2005)

(国内学会等)

有吉誠一郎、大谷知行、Adrian Dobroiu、松尾宏、佐藤広海、田井野徹、川瀬晃道、清水裕彦：“超伝導検出器リニアアレイを用いたテラヘルツイメージング”、第53回応用物理学関係連合講演会、東京、3月 (2006)

有吉誠一郎、大谷知行、Adrian Dobroiu、松尾宏、佐藤広海、田井野徹、川瀬晃道、野口卓、清水裕彦：“超伝導トンネル接合素子 (STJ) を用いたテラヘルツイメージング(2)”、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島、9月 (2005)

有吉誠一郎：“STJ検出器を用いたテラヘルツイメージング”、第2回超電導応用研究会シンポジウム/超電導マイクロ波・ミリ波応用調査研究会合同研究会、米沢、10月 (2005)

有吉誠一郎、大谷知行、Adrian Dobroiu、松尾宏、佐藤広海、田井野徹、川瀬晃道、野口卓、清水裕彦：“超伝導トンネル接合素子 (STJ) を用いたテラヘルツイメージング”、第3回テラヘルツ応用システム研究会「テラヘルツ波の応用と周辺技術」、小金井、5月 (2005)

XVI—053

## シングルフォトンスペクトロスコピーを用いた 生体情報イメージング技術の研究

Imaging Method for Biological Systems Using Single Photon Spectroscopy

研究者氏名：大野 雅史 Ohno, Masashi

ホスト研究室：延興放射線研究室

(アドバイザー 延興 秀人)

白色の軟X線を用いた透過型X線顕微鏡は10～100nmの位置分解能を実現し、しかもエネルギー

吸収端計測から元素・分子分布解析をも可能にする優れた生態観察システムである。しかしながら、

軟X線を効率よくしかも高エネルギー分解能でリアルタイムに測定する検出器は未だ実現されていない。本研究では、生体試料の内部構造、および軟X線領域に存在する生体構成元素の吸収端から元素・分子分布の解明はもとより、動的生理状態そのものを直接観察できる革新的な生体観察システムの実現を目指し、透過型軟X線顕微鏡の受光素子に適用可能な、低エネルギーフォトンに対しても高い量子効率を有し、しかも高エネルギー分解能スペクトロスコープを実現しうる超伝導転移端マイクロカロリメータ (TES: Transition Edge Sensor) の開発を進めている。

TESは放射線入射による温度上昇を超伝導体の急峻な転移領域における温度抵抗変化を用いて高感度に検出するもので、優れたエネルギー分解能と比較的高速応答の両方を実現しうる。本研究では、受光素子の有感面を多数のピクセルに分割し、それらのピクセルを電氣的に並列接続してSQUID増幅器を用いた単純かつ合理的な信号処理回路で全ピクセルの信号読み出しを行うことを検討している。前年度に、窒化シリコンメンブレン上にチタン金近接2重層からなるTES素子作製技術を確立し、500mK付近において超伝導転移を確認していたが、本年度はまず、冷凍機内にSQUIDアレイ電流増幅器を用いた超伝導信号読み出し回路を構築した。そしてチタン金薄膜1mm角のピクセル4個からなる素子を組み込み、各ピクセルを全て並列バイアスにより駆動させ超伝導転移領域中において熱的フィードバックを利用することで安定して動作することを実証した。そして2mm×2mmの有感面において5.9keVのX線源からのシングルフォトン検出に成功した。さらに超伝導薄膜の熱伝導特性向上と動作温度低減を図るべく金チタン金3重層素子の開発を試み、380mK付近にて極めて急峻な超伝導転移を示す温度センサを実現、同時に低抵抗素子に対応した信号読み出し回路の改良も進めてエネルギー分解能の向上を図っている。これまでに500 $\mu$ m角ピクセル4個からなる素子において190eV(FWHM)@5.9keV以上を達成してい

るが、今後より熱伝導率の良い検出素子、及び大規模ピクセルアレイの開発も進め、半導体検出器の分光性能を大きく上回るTESアレイ検出システムの実現を目指す。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

M.Ohno, H.Sato, T.Ikeda, H.M.Shimizu.: “Development of a low energy particle detector using a superconducting transition edge sensor” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, in print.

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

M.Ohno, H.Sato, T.Ikeda, H.M.Shimizu.: “Development of a low energy particle detector using a superconducting transition edge sensor”, 11th International Workshop on Low Temperature Detectors, Tokyo Japan, August (2005)

(国内学会等)

大野雅史、佐藤広海、池田時浩、三島賢二、清水裕彦：“超伝導転移端温度計 (TES) を用いた低エネルギー粒子線検出器の開発”、第66回応用物理学学会学術講演会、徳島、9月 (2005)

大野雅史：“超伝導転移端マイクロカロリメータを用いた低エネルギー粒子線検出器の開発”、ワークショップ「放射線検出器と電子回路の課題と展望」、播磨、12月 (2005)

大野雅史、佐藤広海、池田時浩、清水裕彦：“理研における超伝導転移端マイクロカロリメータの開発” 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所研究会「中性子・X線の光学及び検出器」、つくば、3月 (2006)

大野雅史、佐藤広海、森嶋隆裕、三島賢二、池田時浩、山田悟、清水裕彦：“超伝導転移端温度計 (TES) を用いた低エネルギー粒子線検出器の開発(3)”、日本物理学会第61回年次大会、松山、3月 (2006)

研究者氏名：長野 明紀 Nagano, Akinori  
 ホスト研究室：生体力学シミュレーション  
 特別研究ユニット  
 (アドバイザー 姫野 龍太郎)

本研究ではヒトの身体運動のメカニズムをコンピューター・シミュレーションの技術を用いて説明することを目的としている。現在私は基礎科学研究員としての二年目を終了する所である。平成17年度は大きく分けて二つのテーマに属する研究を行い、成果として11編の論文が国際誌に掲載または受理された。

(1) ヒトの姿勢制御の能力を改善することを目的として実験的な研究を行った。この研究は平成17年度にゼロから開始した新しいものである。(実験は東京大学大学院生命環境科学系身体運動科学教室の深代千之助教授と共同で、主として深代研究室で行った。)この研究ではヒト被験者が床反力計の上で立位姿勢を保持する際に、その床反力の大きさ及び力の作用点の揺らぎを計測することで静的・準静的姿勢保持の能力を評価する。実験の結果、スポーツ等で準備運動に良く用いられるストレッチを行う事がバランス能力を低下させる事、並びにこのストレッチの影響が視覚によって補償される事を発見した。この結果の一部はHuman Movement Scienceに間もなく掲載される。今後は実験的な手法とシミュレーションの手法を組み合わせ、観測された実験結果に対する理論的な説明を進展させて行きたい。

(2) ヒトの跳躍動作や歩行動作中の筋腱複合体の振舞いをコンピューター・シミュレーションを用いて推定し、その詳細なデータを論文にまとめて報告した。またこの様な計算を行う為のモデルの構築方法やその使用方法についての詳細を解説した論文を執筆した。これらは以前から行っていた研究を順調に推進して成果を発表したものである。我々はこれまでに自由度20の三次元下肢モデル並びに自由度35の全身モデルを構築し、その方法論を進展させて来た。世界の他の研究者の動向を見ても、この種の方法論は既に成熟しスタンダードが確立されたと考え

られるので、今後はシミュレーションの技術ツールとして活用し、実験と組み合わせて応用的な課題に取り組む事が有意義であると考えている。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

- Nagano, A., Yoshioka, S., Hay, D.C., Himeno, R., Fukushima, S.: "Influence of vision and static stretch of the calf muscles on postural sway during quiet standing", Human Movement Science, in press.\*
- Fukushiro, S., Hay, D.C., Nagano, A.: "Biomechanical behavior of muscle-tendon complex during dynamic human movements", Journal of Applied Biomechanics, conditionally accepted.\*
- Nagano, A., Umberger, B.R., Marzke, M.W., Gerritsen, K.G.M.: "Neuromusculoskeletal computer modeling and simulation of upright, straight-legged, bipedal locomotion of *Australopithecus afarensis* (A.L. 288-1)", American Journal of Physical Anthropology, 126 (1), 2-13 (2005).\*
- Nagano, A., Komura, T., Fukushima, S., Himeno, R.: "Force, work and power output of lower limb muscles during human maximal-effort countermovement jumping", Journal of Electromyography and Kinesiology, 15 (4), 367-376 (2005).\*
- Nagano, A., Komura, T., Yoshioka, S., Fukushima, S.: "Contribution of non-extensor muscles of the leg to maximal-effort countermovement jumping", BioMedical Engineering OnLine, 4 (1), 52 (2005).\*
- Nagano, A., Yoshioka, S., Komura, T., Himeno, R., Fukushima, S.: "A three-dimensional linked segment model of the human whole body", International Journal of Sports and Health Science, 3 (special issue), 311-325 (2005).\*
- Wakayama, A., Nagano, A., Hay, D.C., Fukushima, S.: "Effects of pretension on work and power output of



the muscle-tendon complex in dynamic elbow flexion”, *European Journal of Applied Physiology*, 94, 339-347 (2005).\*

Komura, T., Nagano, A., Leung, H., Shinagawa, Y.: “Simulating pathological gait using the enhanced inverted pendulum model”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 52 (9), 1502-1513 (2005).\*

Fukashiro, S., Hay, D.C., Yoshioka, S., Nagano, A.: “Simulation of muscle-tendon complex during dynamic human movements”, *International Journal of Sports and Health Science*, 3 (special issue), 152-160 (2005).\*

Fukashiro, S., Kurokawa, S., Hay, D.C., Nagano, A.: “Comparison of muscle-tendon interaction of human m. gastrocnemius between ankle- and drop- jumping”, *International Journal of Sports and Health Science*, 3 (special issue), 253-263 (2005).\*

Fukashiro, S., Besier, T.F., Barrett, R., Cochrane, J., Nagano, A., Lloyd, D.G.: “Direction control in maximal horizontal and vertical jumps”, *International Journal of Sports and Health Science*, 3 (special issue), 272-279 (2005).\*

●口頭発表 Oral Presentations  
(国際会議)

Nagano, A., Yoshioka, S., Komura, T., Himeno, R., Fukashiro, S.: “Development of a three-dimensional

simulation model of the human whole body”, 20th Congress of International Society of Biomechanics, Cleveland, OH, USA, August (2005).

Komura, T., Nagano, A.: “Simulating pathological gait using the angular momentum inducing inverted pendulum model”, 20th Congress of International Society of Biomechanics, Cleveland, OH, USA, August (2005).

Yoshioka, S., Nagano, A., Fukashiro, S.: “Effect of bilateral asymmetry of lower extremity muscle force on vertical jumping height: a simulation study”, 20th Congress of International Society of Biomechanics, Cleveland, OH, USA, August (2005).

Arakawa, H., Nagano, A., Fukashiro, S.: “Relationship between moment-joint angle characteristics of knee flexion and architecture of hamstrings muscles in human”, 20th Congress of International Society of Biomechanics, Cleveland, OH, USA, August (2005).

(国内学会等)

長野明紀：“シミュレーションで探る筋腱複合体の挙動”、第56回日本体育学会大会、筑波大学、11月（2005）

吉岡伸輔、長野明紀、深代千之：“ジャンプのコンピュータシミュレーション”、第56回日本体育学会大会、筑波大学、11月（2005）

XVI—055

尿細管で高発現するタンパク質を用いた  
腎臓特異的な発現制御機構の解明

Analysis of the Molecular Mechanism of Renal Tubule-specific Transcription of Cauxin

研究者氏名：宮崎 雅雄 Miyazaki, Masao

ホスト研究室：フロンティア研究システム

スフィンゴ脂質発現制御研究チーム

(アドバイザー 鈴木 明身)

ネコの尿にはセリンエステラーゼの一種で Cauxin と命名された分子量70kの糖タンパク質が約1mg/mlの高濃度で排泄される。Cauxinは腎臓の近位直尿細管上皮細胞で合成され、アピカル膜から分泌される。Cauxinが他で報告されている腎臓特異的なタンパク質の発現量と比較して著しく

高いことに着目し本研究では、Cauxinをモデル分子にして尿細管特異的なタンパク質の発現制御機構を解析している。そこで昨年引き続き、Cauxinの尿細管特異的なプロモーター配列と転写因子の解析および腎臓尿細管由来の細胞株を利用して培養細胞レベルでCauxinの発現機構の再現を

試みている。また本年度は、本研究と並行してCauxinの尿中生理機能を明らかにした。

本年度に行った研究概要を以下に記す。

- (1) 昨年度から実施している腎臓の組織スライスを使用したレポーターアッセイでCauxin遺伝子の5'上流約5kbpに弱いプロモーター活性を有する事を発見した。しかしレポータータンパク質とCauxinの腎臓組織の二重染色で、尿管管特異的な発現機構を制御する配列は欠けていることが明らかになった。以上の結果を踏まえ現在、腎臓以外で発現している他種動物（ヒト、マウス、イヌ）のCauxin遺伝子上流領域とネコCauxinの転写開始点上流7kbpまでを比較してネコ特異的な配列の検索およびレポーター遺伝子の再構築を行っている。
- (2) ネコの尿からCauxinの生体内基質をスクリーニングしてCauxinの生理機能を明らかにした。本研究でCauxinがネコ尿中フェロモン前駆体として考えられているFelinine (2-amino-7-hydroxy- 5,5-dimethyl-4-thiaheptanoic acid) の

前駆体ジペプチド3-methylbutanol-cysteinyglycineを尿中で加水分解していることを明らかにした。

- (3) 上記研究でCauxinの発現量がテストステロン依存的に増加することが明らかになった。よって中空糸を用いた三次元培養で腎臓の細胞外基質に加えテストステロンを添加しCauxin発現細胞株の樹立を試みている。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

宮崎 雅雄：“ネコの種特異的な尿臭生成過程に与する尿中タンパク質Cauxinの発見”、東京大学理学部 第298回Zoological Conference、本郷、12月（2005）

宮崎雅雄：“イエネコの種特異的な尿臭生成過程に与する尿主要タンパク質の発見”、第3回理化学研究所実験動物懇談会、筑波、2月（2006）

## XVI—057

### 患者の病態生理モデルに基づく 生理機能のロバスト適応制御システム

Robust Adaptive Control System of Patient's Vital Functions Based on a Pathophysiological Model

研究者氏名：陸 高華 Lu, Gaohua

ホスト研究室：フロンティア研究システム  
生物制御システム研究チーム  
(アドバイザー 木村 英紀)

病態生理機能に対する臨床治療の効果について、患者生理モデルを用いた理論解析は治療行為の評価、患者の予後予測、治療方策の設定、ひいては診断法や治療法そのものの発展に重要であり、その臨床的、理論的意義が極めて大きいと考えられる。本研究は患者の呼吸系、循環系、代謝系、神経系の生理機能の相互作用を生物制御の視点から総合的にモデリングし、基本生理状態と臨床処置との関係を中心にした患者の病態生理モデルを構築すると同時に、臨床への応用のためのロバスト性を備えた生理機能の適応制御システムを確立する。脳低温療法に特化した複数の病的生理機能の集中管理法の発見は、脳低温療法の臨床に有益だけではなく、集中治療室における他の重症

患者の全身管理およびそのための医療チーム編成にも有意義であり、理論的にも「システム医療」の実現につながると期待される。

昨年度は脳低温療法の頭蓋内圧降下効果を検討した。本年度はそれを発展し脳低温療法の患者の頭蓋内圧と脳温の集中管理に焦点を絞って研究を行った。具体的には、まず、生体の解剖学の構造と生理学の機能を基に、生体をコンパートメント構造で近似し、頭蓋内圧と脳温を中心に、温熱代謝系、血液循環系と薬物動態系からなる患者の基本生理機能を統合的にモデリングした。特に、これまで検討されなかった基礎代謝率と血管透過係数の温度依存性をモデルに取り入れ、また物質とエネルギーの保存則により、従来の温熱系、循環

系と薬物系の単独モデルを統一的に表現することができた。次に、脳低温療法の臨床實際を考慮し、体表冷却と利尿剤投与による脳温と頭蓋内圧の集中管理をシミュレートし、臨床処置と生理状態との間の定量関係を同定することができた。最後に、同定した臨床処置と生理状態との間の関係を用いて、脳温と頭蓋内圧の非干渉制御システムを設計し、また総合モデルを脳低温療法の臨床の患者の代わりとして、モデルの脳温と頭蓋内圧の非干渉制御の有効性を検討した。シミュレーション結果により、脳低温療法の患者生理機能の集中管理の制御法として、非干渉制御は極めて強力的であることが明らかになった。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Lu Gaohua, and Kimura H.: "A mathematical model of intracranial pressure dynamics for brain hypothermia treatment", *J. Theor. Biol.*, (2005)\* in press

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Lu Gaohua, and Kimura H.: "Modeling of intracranial pressure-temperature dynamics and its application to brain hypothermia treatment", 44th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC05), Seville, Spain, Dec. (2005)

(国内学会等)

陸高華、木村英紀：“頭蓋内圧亢進症のモデリングとその制御”、第5回計測自動制御学会制御部門大会、仙台、5月(2005)

陸高華、木村英紀：“脳低温療法のための脳温と頭蓋内圧の非干渉制御”、第18回日本脳死脳蘇生学会、名古屋、6月(2005)

陸高華、木村英紀：“脳低温療法のための温熱・循環・薬物動態モデル”、第8回日本脳低温療法学会、高松、7月(2005)

XVI—059

### 細胞膜ラフトに局在する新規糖脂質、 ホスファチジルグルコシドの神経機能の解明

Study on Neuronal Function of Phosphatidylglucoside, a Novel Member of Membrane-Raft Glycolipids

研究者氏名：堀端 康博 Horibata, Yasuhiro

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

平林研究ユニット

(アドバイザー 平林 義雄)

糖脂質は細胞膜上で受容体やリガンドとして機能しているだけでなく、様々なシグナル伝達分子と会合して脂質マイクロドメイン(ラフト)と呼ばれるシグナル伝達の足場を形成している。ホスファチジルグルコシド(PtdGlc)は、グルコースがホスファチジン酸に $\beta$ -結合した新規リン脂質で、構造的にはホスファチジルイノシトールとよく似ている。これまでPtdGlcはグリセロ脂質であるにもかかわらず、スフィンゴ脂質膜ドメインとは局在も機能も全く異なる新しいシグナリングドメインを形成していることが明らかにされているが、この脂質の脳神経系での機能については全く不明である。本研究では、PtdGlcの合成・分解経路を明らかにし、神経機能を解明することを目的としている。

(1) 胎生期(E21)ラット脳を材料として用い、各種カラムクロマトグラフィーによってPtdGlcの単離を試みた。さらに、構造はNMRやGC等を用いて解析した。その結果、今回見いだした脳由来のPtdGlcは、その脂肪酸がC18(sn-1)とC20(sn-2)でのみ構成されている非常にユニークな脂質であることが判明した。また飽和長鎖脂肪酸の存在は、この脂質が脂質マイクロドメイン(ラフト)に存在することを強く示唆している。

(2) 昨年度、リゾPtdGlcには、成長円錐の縮退作用や軸索伸長に対する反発作用などの活性があり、リゾPtdGlcが新規の軸索ガイダンス分子として機能していることを示唆した。本年度では、PtdGlcからリゾPtdGlcを産生する脳神経系

のホスホリパーゼA2 (PLA2) の酵素活性を解析するため、ラジオアイソトープで標識した PtdGlc を調製し、基質に用いて解析した。その結果、ラット脳のシナプトソーム画分にカルシ

ウム依存的に PtdGlc に作用する PLA2 活性を見いだした。今後は、どのサブタイプの PLA2 が PtdGlc の分解に関与しているか解析する必要がある。

## XVI—060

### 母性行動の分子神経メカニズム

#### Molecular and Neural Mechanism of Maternal Behavior

研究者氏名：黒田 公美 Kuroda, Kumi

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

精神疾患動態研究チーム

(アドバイザー 加藤 忠史)

ひきこもり、境界型人格障害や摂食障害など、古典的な精神疾患の枠におさまらない青少年の問題が重大な社会問題となっているが、その最大の要因は養育環境、中でも親との関係にあると考えられている。親による虐待やネグレクトなどの不適切養育の理解のためには、まず養育行動をつかさどる神経メカニズムを明らかにしなければならない。そこで我々は、哺乳や子の安全を守るといった基本的な養育行動が哺乳類において進化的に保存されていることに着目し、マウスモデル系を用い、養育行動の神経メカニズムの解析を行っている。平成17年度の研究では、脳内の養育行動中枢（内側視索前野、MPOA）を単離し、DNAマイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析を行った。それにより、養育行動に伴ってMPOAのニューロン内で、細胞内シグナル伝達系の一つであるMAPカインースーcFos経路が活性化されていることが明らかになった。さらにその下流で発現が誘導される遺伝子群も同定し、免疫組織化学法やIn situ hybridization法など他の手法によっても確認している。これらの結果より、仔マウスからの知覚刺激により親マウスの脳ではMPOAニューロンの転写システムが活性化し、形態変化を含むニューロンの可塑的变化が起こって、長期にわたり養育

行動を行うようになると考えられた（投稿準備中）。

また、転写因子FosBは、マウスが離乳前の仔マウスにさらされたとき、母性行動の中核とされる内側視索前野に特異的に発現が誘導されること、またFosB変異マウスでは野生型に比べ、巣づくり、哺乳、レトリビング（仔を巣にまとめる行動）に広汎な異常があることから、母性行動発現制御に中心的な役割を果たしていることが期待されている。そこで、出産当日の母マウスのMPOAおよび嗅球を摘出、同様にDNAマイクロアレイ法による網羅的遺伝子発現解析を行ったところ、いくつかの遺伝子において、両方の組織に共通した顕著な発現変化が認められた。この結果は、免疫組織化学的方法によっても確認された。現在、この原因をゴルジ染色などの組織学的方法を用いて探索中である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

黒田公美、Michael Meaney、加藤忠史：“FosB遺伝子改変マウスを用いた母性行動の神経メカニズムの解析”、第27回日本生物学的精神医学会、大阪、7月（2005）

研究者氏名：増田直紀 Naoki Masuda  
 ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
 脳数理研究チーム  
 (アドバイザー 甘利俊一)

脳の情報コードとして発火率と同期が同時に異なる目的で使われている、という実験報告と論争が20年来存在する。また、入力の本質は意外と明らかではない。刺激が来るとニューロンへの入力が大きくなる、というのは伝統的な考え方であるが、入力のバイアスではなく、入力雑音の振幅が大きくなることもある、という実験報告がある。本研究では、前年までのスパイク時刻とSTDP学習の成果や、リカレント・ニューラル・ネットワークに関する研究を引き継ぎ、入力がノイズ振幅やバイアスで同時に与えられる場合、それらがどの出力にコードされるのかを調べた。その結果、ニューラル・ネットワークにあまり依存せずに2種類の入力を低い解像度で処理するモードと、1種類の入力を高い解像度で処理するモードの2つがあることを明らかにした。

新しいプロジェクトは、小脳の運動学習についてである。運動学習制御研究チーム(永雄聡一チームリーダー)が行った運動学習の転移の実験に関するモデルをたてた。その結果、小脳核の学習が、苔状線維の活動とプルキンエ細胞の活動に依存して進むような場合に限って、効率的かつ頑健な学習の転移が起こることがわかった。以前にも同様な数値モデルが出されていたのだが、本研究の貢献は、パラメータの値に依存しない形で、理論的にその仕組みを明らかにしたことである。

なお、ネットワークトポロジーの脳への影響についても研究を継続している。トポロジーの研究の1つは、つながり方そのものの研究である。2つ目は、つながり方を仮定したときに、その上でどのようなダイナミクスが起こりうるか、それはつながり方を考慮しないとどう異なるのか、を明らかにすることである。このように、構造とダイナミクスの両面から問題にアプローチすることが実験に示唆を与えるためにも必要である。構造についてはニューロンに不平等性があるモデル

を、ダイナミクスについてはニューロンを確率素子と考えたときのネットワーク上相互作用モデルについて、相転移、各素子の不平等性の影響、などに焦点をあてて研究を進めている。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ohtsuka K., Konno N., Masuda N., and Aihara K.: “Phase diagrams and correlation inequalities of a three-state stochastic epidemic model on the square lattice”, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, in print (2006)\*

Masuda N., Jakimoski G., Aihara K. and Kocarev L.: “Chaotic block ciphers: from theory to practical algorithms”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems Part I*, in print (2006)\*

Masuda N., Goh K.-I., and Kahng B.: “Extremal dynamics on complex networks: Analytic solutions”, *Physical Review E*, 72, 066106 (2005)\*

Masuda N.: “Simultaneous rate-synchrony codes in population of spiking neurons”, *Neural Computation*, 18, 45--59 (2006)\*

Konno N., Masuda N., Roy R., Sarkar A.: “Rigorous results on the threshold network model”, *Journal of Physics A: Math. Gen.*, 38, 6277--6291 (2005)\*

Masuda N., Doiron B., Longtin A., and Aihara K.: “Coding of temporally varying signals in networks of spiking neurons with global delayed feedback”, *Neural Computation*, 17, 2139--2175 (2005)\*

Masuda N. and Konno N.: “VIP-club phenomenon: emergence of elites and masterminds in social networks. *Social Networks*, in print (2006)\*

(総説)

増田直紀、巳波弘佳、今野紀雄：“構造と機能から見た複雑ネットワーク”、*応用数理*、in print (2006)\*

(単行本)

増田直紀、今野紀雄：“『複雑ネットワーク』とは何か”、講談社ブルーバックス、講談社（2006）

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Masuda N.: “Multi-state interacting particle systems on scale-free networks”, International Symposium on Topological Aspects of Critical Systems and Networks. Hokkaido University, Sapporo, Japan, Feb. 13--14 (2006).

Masuda N. and Amari S.: “Modeling memory transfer and savings in cerebellar motor learning”, Neural Information Processing Systems (NIPS) 2005. Vancouver, Canada, Dec. 5--10 (2005).

Masuda N., Konno N.: “Properties of complex networks generated with vertex fitness and homophily”, NEXT--Sigma Phi, News, Expectations and Trends in Statistical Physics. Kolybari -- Crete, Greece, Aug. (2005).

Masuda N., Okada M., and Aihara K.: “Spatial filtering by locally connected neurons. CNS2005.

Madison, USA, July (2005).

Masuda N.: “Multi-state epidemic processes on complex networks”, International Workshop on Complex Networks. Seoul, Korea, June (2005).

(国内会議等)

増田直紀：“ネットワーク上のランダム・ウォークの到達時間について”、第11回交通流とシミュレーションシンポジウム。名古屋大学、12月（2005）

増田直紀：“複雑ネットワークの展開～Introduction”、数理生物学会、横浜国立大学、Yokohama、9月（2005）

増田直紀：“複雑ネットワーク—基礎概念から最近の研究動向まで”、特定領域研究「新世代の計算限界」ミニ研究集会、複雑ネットワーク、ウェブグラフ、関西学院大学、Sanda、9月（2005）

増田直紀：“複雑ネットワークの基礎知識”、ネットワーク生態学研究会第1回サマースクール、Noto、8月（2005）

増田直紀：“複雑ネットワーク上の感染症伝播モデル”、進化学会、東北大学、8月（2005）

XVI—062

### Rab27Aを介する細胞内小胞輸送機構の解明： ヒトGriscelli症候群の病態解明を目指して

Analysis of Intracellular Vesicle Transport Mediated by Rab27A,  
the Gene Product Responsible for Human Griscelli Syndrome

研究者氏名：黒田垂歩 Kuroda, Taruho  
ホスト研究室：福田独立主幹研究ユニット  
(アドバイザー 福田光則)

当研究室ではこれまでSlac2-a/melanphilinがRab27A、ミオシンVaと共に表皮メラノサイト（メラニン色素産生細胞）におけるメラノソーム（メラニン色素含有小胞）輸送を司る事を示し、ヒトGriscelli症候群の病態の1つである色素異常の分子機構を明らかにしてきた。Slac2-aホモログとして当研究室で同定したSlac2-c/MyRIPは、Slac2-aと同様のドメイン構造（Rab27A結合ドメイン、ミオシン結合ドメイン、アクチン結合ドメイン）を有しているが、ミオシン結合ドメインはSlac2-aとは性質が異なっている。すなわち、Slac2-aに結合するのはミオシンVaのみであるが、

Slac2-cにはミオシンVaとミオシンVIIaの両方が結合する。ミオシンVIIaは難聴、失明を症状とするヒトの遺伝病Usher症候群IB型の原因遺伝子産物である。またmyosin VIIaおよびrab27a欠損マウスの網膜色素上皮細胞では、メラノソームが隣接する視細胞側に入り込めないという異常が報告されている。これらの事実から、Slac2-cがRab27AとミオシンVIIaを結びつけることで網膜色素上皮細胞におけるメラノソーム輸送を制御している可能性が考えられる。しかしながら、Slac2-cのメラノソーム輸送における具体的な機能解析はこれまでほとんど行われていなかった。

そこで今年度はSlac2-cのメラノソーム輸送における機能解析を行った。まずSlac2-cのミオシンVa/VIIaに対する結合親和性を測定したところ、Slac2-cミオシンVIIaの結合はSlac2-cミオシンVaの結合よりも15倍以上強く、Slac2-aミオシンVa複合体の結合親和性に匹敵する強さであることが明らかとなった。またメラノサイトでのメラノソーム輸送を指標としたアッセイでは、Rab27A-Slac2-c-ミオシンVIIa複合体はメラノソーム輸送能があった(Slac2-a欠損メラノサイトのメラノソーム輸送異常を部分的に回復させた)のに対して、Rab27A-Slac2-c-ミオシンVa複合体にはメラノソーム輸送能がないという結果が得られた。これらの結果は網膜色素上皮細胞のメラノソーム輸送におけるRab27A-Slac2-c-ミオシンVIIa複合体モデルを生化学的・細胞生物学的アプローチから支持するものであり、Usher症候群IB型の病態解明の手掛かりとなるものである。

#### ● 誌上発表 Publications

(原著論文)

Kuroda, T. S., Fukuda, M.: "Functional analysis of Slac2-c/MyRIP as a linker protein between melanosomes and myosin VIIa", *J. Biol. Chem.*, 280 28015-28022 (2005)\*

(総説)

Kuroda, T. S., Itoh, T., and Fukuda, M.: "Functional Analysis of Slac2-a/Melanophilin as a Linker Protein between Rab27A and Myosin Va in Melanosome Transport", *Methods Enzymol.*, 403 419-431 (2006)

Kuroda, T. S., Fukuda, M.: "Identification and Biochemical Analysis of Slac2-c/MyRIP as a Rab27A-, Myosin Va/VIIa-, and Actin-Binding

Protein", *Methods Enzymol.*, 403 431-444 (2006)

黒田垂歩、福田光則: "美白への新たなアプローチ", *BIONICS*, 2 (11) 68-71 (2005)

福田光則、黒田垂歩: "メラニン色素輸送メカニズムの解明", *アンチ・エイジングシリーズ No.1白髪・脱毛・育毛の実際*, 221-235 (2005)

#### ● 口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kuroda T. S., Fukuda, M.: "Rab27A-binding protein Slp2-a is required for bipolar cell shape and peripheral melanosome distribution in melanocytes", *Gordon Research Conference on Mechanisms of Cell Signaling*, Hong Kong, China, Jun. (2005)

Kuroda T. S., Fukuda, M.: "Sequential functions of two Rab27A effectors, Slp2-a and Slac2-a/melanophilin, in melanosome transport in melanocytes", *Gordon Research Conference on Molecular Membrane Biology*, New Hampshire, USA, Jul. (2005)

Fukuda M., Kuroda, T. S.: "Rab27A-binding protein Slp2-a is required for peripheral melanosome distribution and elongated cell shape in melanocytes", *19th International Pigment Cell Conference*, Washington DC, USA, Sept. (2005)

(国内学会等)

福田光則、黒田垂歩: "Molecular mechanism of the melanosome transport mediated by two Rab27A effectors (Slac2-a and Slp2-a)", 第58回日本細胞生物学会大会、大宮、6月(2005)

黒田垂歩: "メラニン色素輸送におけるRab27Aエフェクターの役割", 分子細胞生物学講演会、山梨大学医学部、9月(2005)(依頼講演)

## 脂肪酸水酸化酵素チトクロムP450の 反応中間体結晶構造を基盤とした触媒反応機構解析

Analysis of Catalytic Mechanism of Fatty-acid Hydroxylase Cytochrome P450 Based  
on Intermediate Crystal Structures

研究者氏名：金美沙 Kim, Misa  
 ホスト研究室：放射光科学総合研究センター  
 城生体金属科学研究室  
 (アドバイザー 城 宜嗣)

酵素は穏やかな条件で働き、基質にも生成物にも特異的でありながら、化学反応速度を何倍も増大させる最高の触媒である。そしてこれらの酵素反応はそれぞれ酵素によって個別なもので、その仕組みが理解されている酵素は非常に少ない。本研究ではCytochromeP450 (以下P450と略)、特にペルオキシゲナーゼ活性をもつ枯草菌由来のP450 (以下P450BS $\beta$ と略) を対照として、反応中間体の構造解析から遷移状態の酵素あるいは反応中間体の構造情報もとに分子レベルで反応機構を理解し、新しいタイプの酵素反応機構を明らかにすることを目的としている。

P450は微生物や動植物に広く存在し、アミノ酸、脂質、ステロイド、糖、核酸、ビタミン、ホルモンなどの生体必須物質の生合成と代謝や、薬物、毒物などの外来性物質の代謝(解毒反応)に関与している。また活性中心にヘムを持つ1原子酸素添加酵素で、分子状の酸素を基質に取り込み、反応を触媒する酵素である。典型的なP450の触媒反応は、基質が入った後、一電子を受け取ってヘム鉄が還元され、これに分子状酸素が結合し(酸素化型: Fe<sup>2+</sup>-O<sub>2</sub>型)、2個目の電子を受け取るとこの複合体中で分子状酸素が活性化されて基質に添加される。これに対してP450BS $\beta$ では、2電子

還元とこれにともなうプロトン移動は過酸化水素によって一気にやっている。このように過酸化水素を用いて独自のタンパク質のみで酵素反応を進めるチトクロムP450は極めて稀である。この酵素反応がどのように行われているのか、つまり全体的な構造は他のP450と似ているにもかかわらず、反応メカニズムの違いはどこにあるのか、どのように過酸化水素から酸素1原子を導入し、基質を効率よく部位特異的または立体特異的に水酸化するのか、最も知りたいところである。本酵素における酵素反応中間体の結晶構造を明らかにする事によって、この反応機構を解明する。

本年度は、高分解能の結晶を得るため、酵素の精製方法および結晶化条件や方法の改良を行った。また昨年度に、P450BS $\beta$ でも、低温にする事によって溶液状態での酸素化型をストップドフローで捕らえることができた実験結果に基づいて、結晶に低温、高圧下で酸素を導入する事によって、反応中間体(酸素化型)の結晶を作製することができた。来年度は、この反応中間体の結晶構造を決定する。さらにこの結晶に長波長のX線を当てる事によって電子を与え、反応を進行させて、次の状態の反応中間体結晶構造を決定する。これらの構造情報から反応機構を解明する。

## X線光子相関分光法による動的構造研究

A Study of Dynamic Structure Investigated by X-ray Photon Correlation Spectroscopy

研究者氏名：石川 大介 Ishikawa, Daisuke  
 ホスト研究室：放射光科学総合研究センター  
 石川X線干渉光学研究室  
 (アドバイザー 石川 哲也)

本研究は、コヒーレントX線を利用した動的構造研究手法であるX線光子相関分光法を用いて、

不規則系の動的構造研究手法の開発とその応用研究を目的としている。第三世代高輝度放射光光源



の活用により、X線領域におけるコヒーレント光を利用した物性研究が近年開始されている。X線光子相関分光法は空間的・時間的に乱れた系のゆらぎを研究する上で極めて強力な実験手法となりつつある。しかし、コヒーレント強度、検出器の制約等により適用されている時間領域は必ずしも速いものではない。そこで、本研究では検出システムの基礎的開発を踏まえながら、本測定法のより広範な時間領域、様々な物性系への適用を念頭におきながら研究を進めている。

動的構造研究の応用として、流体システムにおける動的臨界現象を適用させる。本年度はSPRING-8の高フラックスビームライン (BL40XU) において、実際に超臨界流体を達成させるための高温高圧試料セルを用いてX線強度相関分光の測定をおこなった。アンジュレーター光からのコヒーレンス特性、さらに時間相関器、検出器等の評価等を含めた予備実験を行なった。結果として、S/Nが極めて低く、十分な統計精度をもつスペクトルの取得に至らなかった。平成18年度はバックグラウンドを減らす工夫をし、S/Nを向上させてスペクトルを得る。

また、近年の第三世代放射光光源によって飛躍的に進歩を遂げた核共鳴非弾性散乱法により、SPRING-8において放射光を用いた $^{201}\text{Hg}$ 核の核励起

を初めて確認することに成功した。続いて、 $^{201}\text{Hg}$ 核の励起エネルギー専用の高分解能結晶分光器の製作を行い、この分光器を用いた核共鳴非弾性散乱法により、 $^{201}\text{Hg}$ 原子サイトを特定した動的構造研究を初めて可能にした。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ishikawa D., Baron A.Q.R., and Ishikawa T.: “Nuclear resonant scattering from the sub-ns lifetime excited state of  $^{201}\text{Hg}$ ”, Phys. Rev. B 72, 140301(R) (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

石川大介、乾雅祝、松田和博、田村剛三郎、筒井智嗣、Alfred Baron: “高分解能X線非弾性散乱による超臨界水銀流体の動的構造研究Ⅲ”、日本物理学会2005年年次大会、同志社大学京田辺キャンパス、9月(2005)

石川大介、乾雅祝、松田和博、田村剛三郎、筒井智嗣、Alfred Baron: “高分解能X線非弾性散乱による超臨界水銀流体の動的構造研究Ⅱ”、日本物理学会2005年秋季大会、東京理科大学野田キャンパス、3月(2005)

XVI—065

### SPRING-8における光電子分光、 赤外分光による強相関電子系の電子状態の研究 Electronic State in Strongly Correlated Electron Systems Studied by Photoemission and Infrared Spectroscopy at SPRING-8

研究者氏名: 松波 雅治 Matsunami, Masaharu  
ホスト研究室: 放射光科学総合研究センター  
辛放射光物性研究室  
(アドバイザー 辛 埴)

強く相互作用する多電子系(強相関電子系)が示す多彩な物性の解明には、フェルミ準位近傍の電子状態を知ることが重要である。光による電子励起によって物質の電子状態を直接観測できる光電子分光と赤外分光は、強相関電子系の研究において非常に強力な手段である。本研究ではこれらの二つの手法を用いた実験から強相関電子系の電子状態を明らかにすることを目的としている。

本年度の研究では、試料として充填スクッテルダイト化合物 $\text{CeOs}_4\text{Sb}_{12}$ を取り上げた。 $\text{CeOs}_4\text{Sb}_{12}$ は低温で輸送特性や光学応答に異常を示すが、単純な近藤半導体ギャップの形成というシナリオでは重い電子系金属的挙動を示す帯磁率・比熱との整合性が取れない。この問題を解決するためには、光学伝導度において測定が難しいフェルミ準位極近傍(数meV)の電子状態を高分解能で調べる必

要がある。近年、励起光にレーザー ( $h\nu \sim 7\text{eV}$ ) を用いることにより超高分解能かつバルク敏感な光電子分光法が開発され、強相関電子系におけるフェルミ準位極近傍の微細電子構造の研究に威力を発揮している。以上の背景を踏まえて、本研究ではCeOs<sub>4</sub>Sb<sub>12</sub>に対してレーザーを用いた光電子分光測定を行った。その結果を赤外光学伝導度や軟X線放射光を用いたCe 3d-4f共鳴光電子分光の結果と比較することにより、40meV程度の疑ギャップの形成、および主に局在した4f状態によるものと考えられるギャップ内状態の存在を明らかにした。おそらくこの状態が比熱や帯磁率で見られる重い電子系金属状態に寄与していると考えられる。

高压下の赤外分光においては、試料としてYbSを取り上げ、圧力誘起絶縁体—金属転移の直接観測に成功した。この絶縁体—金属転移はYbの価数における2+(4f<sup>14</sup>)から3+(4f<sup>13</sup>)へのクロスオーバーによりもたらされるが、その時価数は圧力とともに連続的に変化していくが、キャリア密度は非常に低密度のまま安定化されるという興味深い現象を明らかにした。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsunami M., Horiba K., Taguchi M., Yamamoto K., Chainani A., Takata Y., Senba Y., Ohashi H., Sugawara H., Sato H., Harima H., and Shin S.: “Photoemission spectroscopy of Ce-filled skutterudites”, *Physica B*, in print.

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Matsunami M., Horiba K., Taguchi M., Yamamoto K.,

Chainani A., Takata Y., Senba Y., Ohashi H., Sugawara H., Sato H., Harima H., and Shin S.: “Photoemission spectroscopy of Ce-filled skutterudites”, The International Conference on Strongly Correlated Electron Systems, Vienna, Austria, July (2005)

Matsunami M., Horiba K., Kiss T., Eguchi R., Taguchi M., Chainani A., Takata Y., Yamamoto K., Takeuchi T., Togashi T., Senba Y., Ohashi H., Miwa D., Nishino Y., Tamasaku K., Ishikawa T., Zhang C.Q., Chen C.T., Watanabe S., Sugawara H., Sato H., Harima H., and Shin S.: “Electronic structures of Ce-filled skutterudites investigated by photoemission spectroscopy”, Joint Workshop on NQP-skutterudites and NPM in multi-approach, Tokyo Metropolitan University, Hachioji, Tokyo, Nov. (2005)

(国内学会等)

松波雅治、木須孝幸、A. Chainani、江口律子、富樫格、C.Q. Zhang、C.T. Chen、渡部俊太郎、堀場弘司、山本和矢、田口宗孝、高田恭孝、仙波泰徳、大橋治彦、菅原仁、佐藤英行、播磨尚朝、辛埴：“CeOs<sub>4</sub>Sb<sub>12</sub>におけるフェルミ準位近傍の電子状態：レーザー及び軟X線放射光を用いた光電子分光”、日本物理学会2005年度秋季大会、同志社大学、9月(2005)

松波雅治、堀場弘司、田口宗孝、山本和矢、江口律子、A. Chainani、高田恭孝、仙波泰徳、大橋治彦、菅原仁、佐藤英行、播磨尚朝、辛埴：“Ce系充填スカッテルダイト化合物の軟X線光電子分光”、第19回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、名古屋大学、1月(2006)

XVI—066

### 高等植物の硫黄同化分子エンジニアリングを 目指した比較ゲノム研究

Engineering of Plant Sulfur Assimilatory Pathways through Comparative Genome Analysis

研究者氏名：吉本 尚子 Yoshimoto, Naoko

ホスト研究室：植物科学研究センター

基礎代謝研究チーム

(アドバイザー 高橋 秀樹)

硫黄はアミノ酸やビタミン、酸化ストレスや重

金属ストレスの回避に関わる有機硫黄化合物に含

まれる多量必須元素であり、農作物の生育は硫黄の利用効率によって大きく影響を受ける。本研究では、植物の硫黄同化能の人為的制御による有用硫黄同化産物の量的・質的な生産性向上への応用を最終目的として、モデル植物であるシロイヌナズナおよびイネを中心に硫黄同化能に影響する有用遺伝子の探索および同化系の制御機構の解析を行っている。

本年度は、植物の硫黄栄養応答に関わると考えられる酵素複合体の同定とその生理機能の解析を進めている。植物の硫黄同化系の第一段階はATP sulfurylaseが仲介する硫酸イオンとATPからの adenosine-3'-phosphosulfate (APS) 合成反応である。APSは、APS reductaseによる還元反応に続くシステイン合成系と、APS kinaseによるリン酸化反応に続く二次代謝物の硫酸化の2つの系に振り分けられる。硫黄欠乏時にはシステイン合成系が、硫黄十分時には硫酸化の系が優先されると予想されるため、植物は硫黄条件に応じてAPS reductase及びAPS kinaseの発現量や活性を調節してAPSを2つの系に適切に分配していると考えられる。今回、酵母 two-hybrid法によりシロイヌナズナのATP sulfurylaseとAPS kinaseが複合体を形成することを明らかにした。また、APS reductase遺伝子群のmRNA発現量は硫黄欠乏条件において顕著に増加した。硫黄十分条件ではATP sulfurylase-APS kinase複合体によって体内の無機硫黄は優先的に硫酸化反応に用いられ、硫黄欠乏条件ではAPS reductaseの蓄積に伴いAPSは効率的にシステイン合成に用いられると考えられる。現在、硫黄環境の変化がATP sulfurylaseとAPS kinase間の相互作用にどのように影響するか、また相互作用により各酵素の活性にどのような影響があるか解析中である。

また、昨年度は高親和型硫酸イオントランスポーター複合体 (SULTR1; 1-SULTR1; 2) の輸送活性が硫黄条件に応じて変化することを見いだしたが、本年度はこのトランスポーター複合体の活性調節機能の分子機構の解析を進めている。酵母のATP sulfurylase欠損変異株は低硫酸イオン条件に

おける硫酸イオン吸収活性が顕著に低下することから、硫黄欠乏条件では硫酸イオントランスポーターとATP sulfurylaseが相互作用することで硫酸イオン輸送活性が上昇するのではないかと考えた。シロイヌナズナの4つのATP sulfurylaseについてレポーター解析を行った結果、3つはプラスチド局在性であったが1つはプラスチドと細胞質の両方に局在しており、細胞膜に局在するトランスポーター複合体と相互作用する可能性がある。現在、トランスポーター複合体とATP sulfurylase間の相互作用と活性への影響を解析中である。

## ●誌上発表 Publications

(総説)

Takahashi H., Yoshimoto N., and Saito K.: "Anionic nutrient transport in plants: the molecular bases of sulfate transporter gene family", Setlow J.K. (Ed.), Genetic Engineering, Principles and Methods, Springer, New York, 27, 67-80 (2006)

(その他)

Yoshimoto N., Saito K., and Takahashi H.: "High-affinity sulfate transporters in *Arabidopsis*: Physiological roles and regulation of transport activities", Saito K. et al. (Eds), Sulfur Transport and Assimilation in Plants in the Post Genomic Era, Backhuys Publishers, Leiden, 37-38 (2005)

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yoshimoto N., Saito K., and Takahashi H.: "Hetero-oligomeric sulfate transporter complex regulates the uptake of sulfate in *Arabidopsis* roots", 6th International Workshop on Plant Sulfur Metabolism, Kisarazu, Japan, May. (2005)

(国内学会等)

吉本尚子、渡部 (高橋) 晶子、片岡達彦、中村有美子、斉藤和季、高橋秀樹: "シロイヌナズナの硫酸イオントランスポーターSULTR3; 4の機能解析", 日本植物生理学会2006年度年会、筑波、3月 (2006)

研究者氏名：藤村 雄一 Fujimura, Yu-ichi

ホスト研究室：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

(アドバイザー 古関 明彦)

ポリコム遺伝子産物は、染色体上に巨大なタンパク複合体を形成してエピジェネティックな転写制御を行うが、その下流遺伝子についてはごく少数が知られるのみである。我々は、Chromatin Immunoprecipitation (ChIP) 法の応用により、転写因子runx1, 2, 3遺伝子座がポリコム結合領域であることを発見した。

runxの転写制御におけるポリコムの役割を明らかにするべく、runx遺伝子群の発現が時間的・空間的に厳密に調整されている発生期の軟骨細胞を用いてChIP法による解析を行った。その結果ポリコムの一つであるRing1bは、軟骨の成熟・分化に伴いrunxの転写が活性化される際に結合様式が大きく変化することが明らかになった。さらに、胃粘膜細胞を用いた実験においても同様の結果が得られた。

以上より、我々はRing1Bは二通りの結合様式をとる事でrunxの転写の活性化および不活性化の両機能を担っていると考えた。

上記の仮説を検証するため、コンディショナルノックアウトマウス系を用いてRing1Bを欠損させた軟骨細胞および胃粘膜細胞におけるrunxの発現量を調べた。Ring1Bの欠損は、runxの発現のない

細胞においては転写活性化を、既にrunxが転写活性化されている細胞では転写の抑制を促した。すなわち、Ring1Bは転写活性化状態および抑制化状態いずれの維持にも必須な因子である事が示された。

また、Ring1Bを欠損させたマウスにはrunx遺伝子群の欠損マウスに類似した表現系が散見された。たとえば、runx2欠損マウスでは骨格組織の成熟が著しく阻害されるが、Ring1B胚の骨格組織においても骨形成の遅延が観察された。runx遺伝子群は多様な組織の形成やホメオスタシスに決定的な機能を果たす一方、転写量の過不足が細胞の癌化につながることも知られている。現在、これらrunxの生理的機能にポリコムが果たす役割を明らかにするため、Ring1b欠損マウスの組織学的観察を続行中である。

#### ●誌上発表 Publications

(総説)

藤村雄一、古関明彦：クロマチンダイナミクスとエピジェネティックな転写制御、“バイオ研究マスターシリーズ 転写研究集中マスター”、127-131 (2005)

研究者氏名：裴 永己 Bae, Young-Ki

ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター

体軸形成研究チーム

(アドバイザー 日比 正彦)

両生類および魚類を用いた研究から、脊椎動物の神経細胞の発生は、発生初期に形成される背側オーガナイザーからのシグナルによって神経外胚葉が誘導され、非中軸中内胚葉からの後方化シグ

ナルによって前後軸を有する神経板が誘導される。形成された神経板の中では、左右それぞれ、三つの縦長の前神経領域 (proneuronal domain) が形成され、さらに前神経領域中の限られた細胞が

選択され原始（運動・介在・感覚）神経細胞へと分化することが分かっている。私は、ゼブラフィッシュの後方中枢神経において、前神経領域・原始神経細胞に発現する新規ホメオボックス遺伝子 *pnx* を同定し、*pnx* が後方原始神経の発生に重要な役割を果たすことを明らかにしてきた。更に *pnx* やプロニューラル遺伝子が発現する前神経領域は、これらの遺伝子の発現しない非前神経領域（inter-proneuronal domain）によって分断されていること、さらに非前神経領域の形成には Notch シグナル非依存性の *hairy/enhancer of split* 関連遺伝子 *her3*、*her9* が必須の因子であることを見出した。本年度は、原始神経発生・分化において非前神経領域の役割および前神経領域中での神経細胞分化に関して、主に解析を行った。

- (1) Her3/Her9 機能阻害胚での、神経細胞の増殖・分化・細胞死を詳細に解析した。Her3/Her9 機能阻害胚の非前神経領域から異常発生した神経細胞は、最終段階まで分化できず、特有の属性を持ってない神経細胞になることを見出した。このような神経細胞は発生途中で細胞死を起こし、結果的に Her3/Her9 機能阻害胚の発生後期には分化した神経細胞数が減少していることを確認した。
- (2) 神経領域特異的遺伝子である *pnx* の下流で機能し神経細胞への分化に関与する遺伝子 *mkip1* (MAP kinase phosphatase1) を Differential Display 方にて単離した。*mkip1* は菱脳節 4 番目に特異的に発現し、その発現は FGF/ MAP kinase シグナルによって制御されることを見出した。機能阻害実験から、*mkip1* は後脳神経板の中でのパターンニングより、神経分化を抑制していると

考えられた。

- (3) *pnx* や *her3*、*her9* のプロモーター・エンハンサーに蛍光蛋白遺伝子 *venus* を結合させてリポーター遺伝子を作成し、トランスジェニックゼブラフィッシュの作成を行っている。
- (4) 後方神経形成に異常を示す変異体のスクリーニングを行い、現在まで 3 系統の変異体を単離した。なかでも 260-87-8 変異体は、その表現形が Notch シグナル下流で機能する *hairy/enhancer of split* 関連遺伝子 *hes5* の機能阻害胚に、非常に似ていることを見出した。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

- Bae, Y.-K., Shimizu, T., and Hibi M. "Patterning of proneuronal and inter-proneuronal domains by *hairy*- and *enhancer of split*-related genes in zebrafish neuroectoderm" *Development* 132, 1375-1385, 2005.
- Shimizu, T., Bae, Y.-K., Muraoka O., and Hibi M. "Interaction of *wnt* and *caudal*-related genes in zebrafish posterior body formation" *Dev. Biol.* 279, 125-41, 2005.
- Shimizu, T., Yabe, T., Muraoka, O., Yonemura, S., Aramaki, S., Hatta, K., Bae, Y.-K., Nojima, H., and Hibi, M. "E-cadherin is required for gastrulation cell movements in zebrafish" *Mech Dev.* 122, 747-763, 2005.
- Muraoka, O., Shimizu, T., Yabe, T., Nojima, H., Bae, Y.-K., Hashimoto, H., and Hibi, M. "Ogon/Sizzled controls dorso-ventral polarity by repressing cleavage of the Chordin protein" *Nat. Cell Biol.* in press.

XVI—070

## 細胞移動や器官形態形成における糖鎖修飾の影響とその必要性の解析

Analysis of Sugar Chain Functions in the Cell Migration and Organ Morphogenesis

研究者氏名：伊原 伸治 Ihara Shinji  
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター  
細胞移動研究チーム  
(アドバイザー 西脇 清二)

線虫 *C.elegans* の U 字型の生殖巣は原基先端の遠端細胞 (DTC) が幼虫期に U 字型の移動を行うこ

とにより形成される。DTC が正確に移動するには生殖巣基底膜と体壁基底膜との適切な相互作用が

必要である。近年、DTCの移動を制御するADAM (A Disintegrin And Metalloprotease) ファミリーに属する二つのメタロプロテアーゼが発見され、たんぱく質分解系が細胞の移動方向を決めるのに重要な役割を果たしていることが明らかになった。このような分子の一つMIG-17はADAMファミリーに属するZnメタロプロテアーゼをコードしており、DTCの移動方向を調節する。昨年度までの研究で我々はプロドメインの糖鎖が局在決定に必須であり、またそのプロテアーゼ活性には影響がないことを明らかにした。これまで分泌型ADAMはディスインテグリンドメインを介して局在すると考えられてきたが、MIG-17のディスインテグリンドメインを欠損させても、その局在にそれほどおおきな影響を与えない。またendogenous MIG-17の局在を調べるために、MIG-17に対する抗体を作成した。抗体をもちいた免疫染色の結果、MIG-17はプロドメインをもったまま局在していることを明らかにした。従来、分泌型ADAMは、局在時にはプロドメインを持っていないと考えられており、これは既存の概念から大きく外れている。本研究で示されたMIG-17の局在様式は極め

てユニークなものであり、分泌型プロテアーゼの局在決定に関して重要な知見であると考えている。近年、分泌型プロテアーゼの局在機構を明らかにするため、様々な研究が行われているが、いずれも個体レベルではなく、生化学的または培養細胞をもちいた研究が主体である。この主たる問題は、*in vitro*において分泌から局在まで一貫して観察する系を構築することが困難なためである。本研究の独創性は、分泌型ADAMの作用機構を個体において明らかにしたことである。近年、人の分泌型ADAMの一つが遺伝性の血小板減少症の原因遺伝子であることが報告されたが、本研究成果によりこのような遺伝病に重要な知見を与えることができるかと期待している。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Ihara, S., Nishiwaki, K.: "Glycosylation of MIG-17 ADAM protease essential for controlling cell migration in *C. elegans*", University of California, Los Angeles U.S.A. June 25-29 2005 15<sup>th</sup> International Worm Meeting 946C

### XVI—071 ショウジョウバエ胚神経系の形態形成において区画化を産み出す機構

Mechanisms of Generating Compartment Structure During Nervous System Development in *Drosophila* Embryo

研究者氏名：滝沢一永 Takizawa, Kazunaga  
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター  
神経回路発生研究チーム  
(アドバイザー 浜千尋)

各器官の発生過程で細胞の増殖を適切にコントロールすることは正常な器官形成に必要不可欠である。細胞レベルでは、個々の細胞が他の細胞が産生する増殖シグナルを受容し、細胞内でそれに応答することにより細胞増殖に至ると考えられている。ショウジョウバエの成虫器官は、胚期に分化し、幼虫期または蛹期に増殖して形成される。遺伝学的な解析から、これらの器官の発生に関与するシグナル伝達分子は多くが同定されているが、それらの分子の細胞内での働きには不明な点が多い。本研究では、解析手段の一つとして、主に細胞内の小胞輸送に着目し、遺伝子探索の過程で得られた細胞皮質に局在する分子が、シグナル

伝達や細胞増殖の調節にどのような役割を持っているかを明らかにすることを目的とした。

出芽酵母で知られているExocyst複合体は、出芽時に出芽する先端部に局在し、かつ、出芽に必要であることがわかっている。このような現象がより高次の動物の器官形成でどのような機能を担っているかを解析するためにExocyst複合体の1因子sec10相同遺伝子の器官形成における役割を解析することとした。

本年度は、RNA干渉法により付属肢の形成に異常を生じたショウジョウバエsec10 (以下dsec10) 遺伝子の機能に関してさらに解析を行った。in situ ハイブリダイゼーション法の結果から、

この遺伝子は、胚期から多くの器官での発現が見られたため、熱ショックを用いた時期特異的な遺伝子破壊の方法を用いてこの遺伝子の時期特異的な要求性を調べた結果、3令幼虫の時期での機能が重要であることがわかった。細胞内局在を観察するため、この産物に対するポリクローナル抗体を作製し、発現器官と細胞内局在を解析したところ、*in situ*ハイブリダイゼーション法によって得られた結果と一致して、多くの器官で発現が見られたが、個々の細胞においては、細胞皮質に局在することが観察された。付属肢の表現型に関してさら

に解析を進めたところ、細胞増殖を調節すると考えられているショウジョウバエのBMPホモログの発現が低下していることから、*dsec10*はHedgehog（以下 *hh*）シグナルの調節因子として細胞増殖に働いていることが示唆された。また、Hh依存的な発現を示す*Ptc*の発現は正常であることから、*dsec10*はHh受容細胞で細胞内でのシグナル受容に関わっていることが考えられる。現在、*hh*シグナルで働く分子の発現や細胞内局在を解析中である。

## XVI—072

### 頭部形成に関する遺伝子ネットワークの解明

Elucidation of a Gene Network about the Head Development

研究者氏名：西岡 則幸 Nishioka, Noriyuki  
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター  
胚誘導研究チーム  
(アドバイザー 佐々木 洋)

これまでに私は、頭部誘導後の頭部の維持・形態形成に異常がある変異マウス系統 (*head-shrinker: hsk*) を解析してきた。*hsk*では脊索前板が形成されず、原因遺伝子*Single-stranded DNA binding protein 1 (Ssdp1)*は*Ssdp1-Ldb1-Lim1*複合体の活性化により脊索前板形成に作用していることを明らかにした。

本年度は、脊索前板が形成されない*Ssdp1*ホモ変異胚を材料としたマイクロアレイ法によって、脊索前板や頭部形態の形成に関与していると考えられる遺伝子の網羅的検索を行なった。脊索前板や頭部で発現している*Gsc*, *Foxa2*, *Otx2*といった既知の遺伝子が多数検出された中で、頭部の誘導・形態形成に必須の組織である前方臓側内胚葉 (AVE)・前方胚体内胚葉 (ADE)・脊索前板といった頭部オーガナイザーで強い発現を示す新規遺伝子 (クローン#89) を得た。その特異的な発現から、クローン#89は頭部オーガナイザーの形成もしくは働きに関わる遺伝子であると考えられた。そこでクローン#89の役割を明らかにする為にノ

ックアウトマウスの作成を行ない、現在はノックアウトキメラマウスを得るところまで進んでいる。

頭部オーガナイザーで発現している遺伝子は今までに多数知られているが、頭部オーガナイザー形成時の細胞内シグナル伝達や周辺組織にどう作用しているかについては未知の部分が多い。今後、クローン#89に注目して解析を進めることで、頭部オーガナイザーの形成や機能の分子メカニズムに迫ることが出来ると期待している。

#### ●誌上発表 Publications

Nishioka N., Nagano, S., Nakayama, R., Kiyonari, H., Ijiri, T., Taniguchi, K., Shawlot, W., Hayashizaki, Y., Westphal, H., Behringer, R. R., Matsuda, Y., Sakoda, S., Kondoh, H., and Sasaki, H.: "Ssdp1 regulates head morphogenesis of mouse embryos by activating the Lim1-Ldb1 complex", *Development*, 132 (11), 2535-46 (2005)

研究者氏名：前島 一博 Maeshima, Kazuhiro  
ホスト研究室：今本細胞核機能研究室  
(アドバイザー 今本 尚子)

細胞核は個々の細胞に即したクロマチンorganizationを支えることにより、DNA複製や個々の遺伝子調節に関与していると考えられている。このorganizationは核膜が崩壊し、ゲノムがむき出しになっている分裂期染色体においても何らかの形で保持されていると考えられている。このため、染色体構造の解明は核のクロマチンorganizationを知る上で非常に重要である。それでは、分裂期染色体はどのようにして1本の長いクロマチン繊維から折り畳まれているのだろうか？ この問いに答えるため、染色体中のトポイソメラーゼIIの結合部位を透過電子顕微鏡を用いてマッピングした。その結果、トポイソメラーゼIIは放射状に広がるクロマチンループの根元付近に存在することがわかった。また、染色体構造の解明のため、空間的な情報が得られる透過電子顕微鏡tomographyをもちいて染色体を3次元再構築し、染色体中のクロマチン繊維を辿っていく手法を用いた。具体的には厚さ200nmの染色体のcross-sectionを1度ずつ角度を変えて撮影し、ワークステーションを用いて再構築をおこなった。その結果、解析に十分な解像度で個々のクロマチン繊維(30nm fiber)がはっきりと見えた。1本のクロマチン繊維に注目すると、1 $\mu$ m程度辿っていくことが可能である。染色体の末端部では多くのループが中心部から放射状にのびていることが観察され、中心部では2本のクロマチンの融合が多く見られた。現在、さらに長い距離を辿れるよう、染色体の試料作製条件の検討をおこなっている。

核のクロマチンorganizationを知るためには、その「入れ物」である核自体の構造解明も重要である。細胞核の二重膜上に存在する核膜孔は、細胞質と核をつなぐ物質輸送の場として機能している。核膜孔を通過する物質量はRNAや蛋白質などを含め、細胞の代謝活性に比例していると考えられる。このため、核膜上の核膜孔の分布や密度は細胞の生理活性の指標として非常に興味深い。実

際、代謝が活発な初期胚や肝細胞においては核膜孔が核表面の50%以上を占める。私は、まずHeLaS3細胞において、核膜孔が核膜表面にどのように分布し、細胞周期でどのように変化するか？を蛍光免疫染色で調べた。この結果、核膜新生直後のtelophaseからearlyG1期の核に核膜孔が存在しない大きな核膜孔フリーの領域が見出された。この核膜孔分布の大きな偏りは、細胞周期の進行にしたがって徐々に解消される傾向にあった。そして核膜孔の密度は細胞周期の進行に伴い増加した。この核膜孔フリー領域の核膜構造との関連を調べるため、核膜の種々の裏打ち蛋白質の局在を調べると、LaminBに結合するLAP2bは核膜上にほぼ均一に局在する一方、Emery-Dreifuss型筋ジストロフィーの原因遺伝子産物であるEmerinやLaminA/Cは核膜孔フリー領域に高度に濃縮されていることがわかった。核膜孔分布におけるEmerinやLaminA/Cの役割を解析するため、siRNAを用いて両者のノックダウンをおこなった。すると、Emerinをノックダウンしても核膜孔分布に変化はなかったものの、LaminA/Cのノックダウンは核膜孔の偏り(核膜孔フリー領域)を顕著に解消した。この結果はLaminA/Cが核膜孔分布の制御に関与していることを示唆している。このような核膜孔分布の大きな偏りは、HeLa細胞のような不死化したガン細胞ばかりでなく、ヒト2倍体の正常細胞の細胞周期においても観察された。また、2倍体細胞のquiescence(休止状態)では分布の偏りを示し、核膜孔密度は低下した。しかしながら、senescence(老化状態)で分布は均一となり、密度は増加した。これらの観察は一見似ている増殖停止状態においても、両者の細胞の生理状態は大きく異なっていることを示し、senescenceを不死化の前段階として位置づける上で非常に興味深い。このように核膜孔分布や密度は細胞の細胞周期や分化の過程で大きく変化する。これらの観察に基づき、今後核膜孔を指標に



して細胞核の構造や動的な構築過程もあわせて追求したいと考えている。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

前島一博：“電子顕微鏡で染色体を見る”生理学研究所研究会「電子位相顕微鏡の医学的・生理学的応用」、岡崎、2005年3月

前島一博、矢幡一英、立花太郎、今本尚子：“核膜孔に注目した細胞周期や分化における核膜動態の解析”、第5回細胞核ダイナミクス研究会、箱根、2005年5月

前島一博、矢幡一英、佐々木葉子、立花太郎、今

本文男、今本尚子：“細胞周期や分化における細胞核の核膜孔動態変化”、分子生物学会第28回年会、福岡、2005年12月

前島一博：“低速多価イオンナノビームによる細胞内器官への直接照射”理研シンポジウム「イオンナノビームの生成と応用」、和光、2006年2月

#### ●論文発表 Publications

Maeshima K, Eltsov M, Laemmler UK. Metaphase chromosome structure: improved immunolabeling for electron microscopy. *Chromosoma*. 2005, 114, 365-75.

XVI—074

### 不安定核ビームを用いた陽子弾性散乱による不安定核の核子密度分布の抽出

Extraction of Nucleon Density Distributions

of Unstable Nuclei via Proton Elastic Scattering Using Radioactive Ion Beam

研究者氏名：竹田 浩之 Takeda, Hiroyuki

ホスト研究室：櫻井 R I 物理研究室

(アドバイザー 櫻井 博儀)

不安定核の研究において、原子核中の陽子および中性子分布を実験的に抽出することは基本的かつ重要な課題である。RIBFで供給される予定の不安定核ビームは数百MeV/Aであり、静止した陽子標的との散乱は、重心系で見れば数百MeVの陽子ビームを用いた散乱実験と同じ反応である。後者については安定核を用いた豊富な実験データおよび有効相互作用の蓄積があり、これらを用いて錫やカルシウム、鉛アイソトープ中の中性子分布を抽出することにも成功している。不安定核の陽子弾性散乱を測定し、安定核と同じ方法で解析することにより、その密度分布の情報を得ることが本研究の目的である。この測定を行なうための検出器系の開発・整備の一環として、本年度は以下のことを行なった。

(1) NaI(Tl)検出器のエネルギー分解能および位置依存性の測定

弾性散乱によって反跳された陽子の全エネルギーを測定するNaI(Tl)検出器について、東北大学サイクロトロンからの80MeVの陽子ビームを用いて、検出器のエネルギー分解能とその位置依存性

を測定した。以前に実施した京都大学タンDEM加速器の12MeV陽子ビームによる測定結果から予想される分解能や位置依存性と矛盾がないことが確認された。

(2) 固体水素標的の開発

本実験ではバックグラウンドや標的中でのエネルギーロスを抑えるため、薄い固体水素標的が必要である。真空遮断膜付きの固体水素について、昇温中に突沸して膜が破れる事例が多発していたが、これを回避する方法を見つけ、窓あり固体水素については大きな問題はなくなった。陽子以外の標的核からのバックグラウンドをなくすため、窓なしの固体水素についても開発を進めているが、部品間で干渉する部分があることがわかり、改造中である。

(3) 大面積片面二次元読み出し式シリコンストリップ検出器

重心系で前方散乱に相当する非常にエネルギーの低い反跳陽子も測定できるよう設計・製作されたシリコンストリップ検出器について、読み出し回路を設計した業者とともに立ち上げを進めた。

基板上の電源回路に不具合があることがわかり、対策した。

#### (4) ビームを用いた統合的試験

今年度初めて理研において検出器全体を本番と同様に組み上げて統合的試験を行なった。リングサイクロトロンからの95MeV/A  $^{40}\text{Ar}$ ビームを照射し、ビームに同期した反跳陽子イベントが確認できた。また、放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置 (HIMAC) でも300MeV/A  $^{20}\text{O}$  ビームを用いた測定を準備中で、2月中旬に実験予定である。ビーム強度は弱いものの、将来のRIBFで利用可能になる不安定核ビームと同じエネルギー

での測定になる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Takeda T., Sakaguchi H., Taki T., Yosoi M., Itoh M., Kawabata T., Ishikawa T., Uchida M., Tsukahara N., Noro T., Yoshimura M., Fujimura H., Yoshida H.P., Obayashi E., Tamii A., Akimune H.: “Neutron density distribution in  $^{120}\text{Sn}$  extracted via proton elastic scattering at intermediate energies”, *Physical Review C* (submitted)\*

## XVI—075

### エキゾチック電子液体の創成 —混合原子価化合物における幾何学的フラストレーション—

Creation of Exotic Electron Liquid States - Geometrical Frustration on Mixed-Valence Compounds

研究者氏名：新高 誠司 Niitaka, Seiji

ホスト研究室：高木磁性研究室

(アドバイザー 高木 英典)

本研究は電子間の強いクーロン反発力を内包する強相関電子系化合物において電子のもつ内部自由度、電荷・軌道・スピンの幾何学的フラストレーションを引き起こす舞台を作り出し新奇電子液体を創成すること、またその新奇物性の機構解明を目的としている。

幾何学的フラストレーションという磁気分野におけるスピンフラストレーションの研究が代表的であるが、その場合フラストレーションによって系の基底状態は巨視的な縮退をもち大きな残留エントロピーの帰結として、量子スピン液体などの特異な磁性が発現する。これを電荷の自由度において実現させると、非従来型超伝導・ヘビーフェルミオン・巨大熱電効果・磁性強誘電体などの新奇物性の発現が期待される。またこのような舞台では電荷だけでなくスピン・軌道のフラストレーションも期待でき、それらの内部自由度が絡み合うことで小さい電場によって磁性が急激に変化するなどの巨大非対角応答が生み出され、新機能性材料としての展開も期待される。

本年度は電荷フラストレーション系の可能性のあるスピネル型バナジウム酸化物 $\text{LiV}_2\text{O}_4$ の示す新奇物性の機構解明に関する研究を中心的に進め

た。3.5価の半整数価数をもつ $\text{LiV}_2\text{O}_4$ は3d電子に基づく重い電子系である。通常重い電子挙動は希土類を含む金属間化合物において観測されその振る舞いは近藤効果によって説明されるが、本化合物にはその説明をそのまま単純に適用することはできず、未だその重い電子状態の起源は明らかにされていない。そこで $\text{LiV}_2\text{O}_4$ の単結晶を育成しその磁化過程・磁気抵抗測定により重い電子状態の起源に迫ることおよび電荷とスピンの絡んだ巨大非対角応答の探索を行った。 $\text{LiV}_2\text{O}_4$ は比熱等の物性測定から特性温度 $T^*$ を持ちそれより低温で重い電子状態が形成されることが知られているが、本研究により $T^*$ 以下での磁化過程において等方的なメタ磁性を示すこと、磁気抵抗においてもメタ磁性を起こす臨界磁場において極大を示すことを初めて明らかにした。このような磁化過程・磁気抵抗の振る舞いは近藤格子系の典型物質と共通している。また観測されたメタ磁性の特徴から、その起源がフェルミ面から数meV離れたところにある状態密度のピークであること、またそのピークが $T^*$ 以下で発達していくことが示唆された。今後はこの重い電子挙動を引き起こす状態密度のピークの起源を解明していきたいと考えている。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Niitaka S., Nishikawa K., Kimura S., Narumi Y., Kindo K., Hagiwara M., and Takagi H.: “Quasiparticles in heavy fermion oxide  $\text{LiV}_2\text{O}_4$ ”, Sixth Taiwan-Korea-Japan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems, Hua-Lien, Taiwan, Dec. (2005)

Tsuboi N., Niitaka S., Hanaguri T., and Takagi H.: “STM observation of the charge-density wave in  $\text{CeTe}_3$ ”, Sixth Taiwan-Korea-Japan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems, Hua-Lien, Taiwan, Dec. (2005)

(国内会議等)

新高誠司、西川圭祐、木村尚太郎、鳴海康雄、金道浩一、萩原政幸、高木英典：“重い電子系酸化物 $\text{LiV}_2\text{O}_4$ の準粒子状態”、日本物理学会2005年秋季大会、京田辺、9月(2005)

新高誠司：“重い電子系酸化物 $\text{LiV}_2\text{O}_4$ の準粒子状

態”、Young Researcher’s Meeting for New Physics through Innovative Materials、松島、12月(2005)

新高誠司、西川圭祐、木村尚太郎、鳴海康雄、金道浩一、萩原政幸、高木英典：“重い電子系酸化物 $\text{LiV}_2\text{O}_4$ の強磁場磁化過程Ⅱ”、日本物理学会第61回年次大会、松山、3月(2006)

西川圭祐、新高誠司、木村尚太郎、鳴海康雄、高木英典、金道浩一、萩原政幸：“重い電子系酸化物 $\text{LiV}_2\text{O}_4$ の強磁場磁化過程”、日本物理学会2005年秋季大会、京田辺、9月(2005)

Jonsson P.、竹中康司、新高誠司、笹川崇男、高木英典、水貝俊治：“重い電子系酸化物 $\text{LiV}_2\text{O}_4$ の光学的性質”、日本物理学会2005年秋季大会、京田辺、9月(2005)

坪井紀子、新高誠司、花栗哲郎、高木英典：“STMによる $\text{CeTe}_3$ の電荷密度波観測”、日本物理学会2005年秋季大会、京田辺、9月(2005)

## XVI—076

### 新規フラレン型アクセプターを用いた バルクヘテロ接合型有機薄膜太陽電池の開発

Preparation and Characterization of Bulk Hetero-Junction Solar Cells Using Poly-Acetalized Fullerene Acceptors

研究者氏名：伊藤 芳孝 Ito, Yoshitaka

ホスト研究室：武内ナノ物質工学研究室

(アドバイザー 武内 一夫)

フラレン ( $\text{C}_{60}$ ) 誘導体を導電性高分子に対するアクセプターとして用いるバルクヘテロ接合 (BHJ) 型有機薄膜太陽電池は、構成が単純であり、塗布などによる簡易な製膜が可能であることから、無機および色素増感太陽電池に比べて様々な用途への利用が考えられる。しかし、現時点では低い光電変換効率 (最高で4~5%程度) など、課題も多い。そこで本研究室では、 $\text{C}_{60}$ のレギオ選択的の化学修飾法を応用して構造制御された多置換 $\text{C}_{60}$ 誘導体を選択的に合成し、この $\text{C}_{60}$ 誘導体を既存のphenyl C61-butyric acid methyl ester (PCBM) に替わるアクセプターとして用いることにより、優れたBHJ型有機薄膜太陽電池を開発することを目指して研究が行われてきた。

本研究では、昨年度から本年度にかけて、種々のフラレン酸化物 ( $\text{C}_{60}\text{O}_n$ ,  $n=1-3$ ) の異性体お

よび上述の手法で合成された多置換 $\text{C}_{60}$ 誘導体に関して、その電気化学的挙動を詳細に検討した。

$\text{C}_{60}\text{O}_n$ のサイクリックボルタモグラム (CV) は不可逆的な酸化還元波を示し、かつ多重掃引によって波形が徐々に変化した。特に、酸素付加数の多い $\text{C}_{60}\text{O}_n$ において波形の変化は顕著であった。また、還元により $\text{C}_{60}\text{O}_n$ の酸素原子の脱離反応が起こっていることが確認された。この結果は、 $\text{C}_{60}\text{O}_n$ の還元により生成したアニオンが電気化学的に不安定であることを示している。さらに、多重掃引に伴い電極上に析出物が確認された。そこで、 $\text{C}_{60}\text{O}_n$ に還元電位として-1.0V前後 (vs  $\text{Ag}/\text{Ag}^+$ ) および酸化電位 (+0.2V) を交互に印加した結果、還元時に溶媒に不溶な還元生成物が生じ、その不溶分が酸化時に電極上に析出することが明らかになった。この薄膜に関して接触型膜厚計で膜厚を

測定した結果、製膜時間の増加に伴い膜厚が増加し、製膜時間10分でサブミクロンオーダーの膜厚が観察された。

これに対し、半経験的分子軌道計算からBHJ型有機薄膜太陽電池として最適なLUMO準位を持つと考えられるC<sub>60</sub>ジオキソラン二付加体 (C<sub>60</sub>のア

セタール化合物) のCVは可逆的な酸化還元波を示すことから、C<sub>60</sub>O<sub>n</sub>はアセタール化によって電気化学的な安定性が向上することがわかった。このC<sub>60</sub>ジオキソラン二付加体の第一還元電位-0.90Vは、PCBMに匹敵する値を示した (-0.93V)。

## XVI—077 角度分解光電子分光法の理論的研究—多原子分子への展開—

Theoretical Development of Angle Resolved Photoelectron Spectroscopy for Polyatomic molecules

研究者氏名：鈴木 喜一 Suzuki, Yoshi-ichi

ホスト研究室：鈴木化学反応研究室

(アドバイザー 鈴木 俊法)

多原子分子の光電子角度分布に関して信頼できる理論計算法の確立を目的とした。ピラジン、ピリミジンなどのアザベンゼンの系統的な観測では、それら平面分子では光電子角度分布のエネルギー依存性において、 $\pi$ 軌道からのイオン化と非結合性軌道で大きな違いがあることが観測されており、光電子スペクトルの帰属に利用されている。同じ環状共役系であるDNA、RNA塩基などに対しても測定されようとしている。本年度はこれら平面共役分子について計算により、軌道ごとの角度分布のエネルギー依存性の違いを調べた。

(1) ベンゼンおよびピラジン、ピリジン、ピリミジン、フラン、ピロールについて計算を行った。一電子波動関数は分子面に関して対称な $\sigma$ 軌道と、反対称な $\pi$ 軌道に分類できる。6員環分子では、固有位相解析から形状共鳴状態がそれぞれの分子に関して6状態あるという結果が得られた。光電子角度分布はアザベンゼンの $\pi$ および非結合性軌道からのイオン化と、それらに相関するベンゼンの軌道に関して計算した。異方性因子のエネルギー依存性は、 $\pi$ 軌道からのイオン化に関しては観測結果をよく再現し、 $\sigma$ 軌道に関しても良く似た結果が得られた。 $\pi$

電子からの光電子異方性因子はクーロン位相のエネルギー依存性に基づいており、形状共鳴状態の影響はほとんどないことが解析の結果分かった。 $\sigma$ 電子からのイオン化に関しては、 $\sigma$ 軌道をさらに非結合性軌道か否かで分類するより、ベンゼンの対応する軌道の違いで異方性因子のエネルギー依存性が決定されることが分かった。よって、アザベンゼンの窒素の光電子角度分布に与える影響は比較的小さいといえる。

(2) DNA、RNA塩基 (アデニン、チミン、シトシン、グアニン、ウラシル) に対して、光電子角度分布を計算した。角度分布は、チミンとウラシルではとくに類似していた。また、これらの分子に対しても形状共鳴の影響を調べた。

(3) 計算には、昨年度作成したCMSX $\alpha$ 法のプログラムを改良し使用した。計算機はRSCCシステムを利用した。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

鈴木喜一、鈴木俊法：“CMS-X $\alpha$ による核酸塩基の光電子角度分布の研究”、分子構造総合討論会、東京、9月 (2005)

希土類金属を含む新規前周期  
—後周期遷移金属ポリヒドリド錯体の合成および反応性の研究

Synthesis and Reactivity of Early-Late Heteromultimetallic Polyhydrido Complexes Containing Rare Earth Metals.

研究者氏名：島隆則 Shima, Takanori

ホスト研究室：侯有機金属化学研究室

(アドバイザー 侯召民)

一酸化炭素 (CO) や金属に配位したカルボニル基の還元反応は、Fischer-Tropsch (F-T) 反応 ( $H_2/CO$  混合ガスから炭化水素類を合成する反応) などの不均一系触媒でのCO還元反応やCO還元に供する均一系触媒の開発に関連して非常に興味もたれる。近年我々は4核イットリウムポリヒドリド錯体  $[(Cp^*Y)_4H_8](THF)(1)$  ( $Cp^* = \eta^5-C_5Me_4SiMe_3$ ) とC-C、C-O、C-N不飽和結合を有する様々な基質との反応を検討し、特徴的な還元反応を見出してきた。本年度は錯体1と遷移金属カルボニル錯体、および錯体1とCOとの反応を通して新規前周期—後周期遷移金属ポリヒドリド錯体やポリオキソ錯体を合成し、これらの反応結果からF-T反応の機構解明に取り組んだ。

(1) 錯体1とカルボニル錯体  $Cp^*M(CO)_2(NO)$  ( $Cp^* = \eta^5-C_5Me_5$ ) ( $M=Mo, W$ ) との反応によりオキシメチレン-オキシカルベン錯体  $[(Cp^*Y)_4(\mu-H)_5[Cp^*M(=CHO)(\mu-OCH_2)(NO)]]$  が得られた。この錯体の構造はCO分子活性化の中間体構造と考えられる。

(2) 錯体1とCOとの反応からジオキソ錯体

$(Cp^*Y)_4(\mu_3-O)_2(\mu-H)_4(THF)$  およびエチレンが得られた。反応を追跡したところ、まず1分子目のCO挿入によりオキシメチレン錯体  $(Cp^*Y)_4(\mu-OCH_2)(\mu-H)_6(THF)$  が、さらに2分子目のCOが挿入し、選択的なC-O結合切断を経てエノラート錯体  $(Cp^*Y)_4(OCH=CH_2)(\mu-O)(\mu-H)_5(THF)$  が得られることが明らかになった。このエノラート錯体は室温下でジオキソ錯体とエチレンへ変化した。以上の結果はF-T反応の機構解明にも寄与するものと考えられる。

●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

Shima T., and Hou, Z.: "Synthesis and Structures of d-f-Heteromultinuclear Polyhydride Complexes", 52<sup>nd</sup> Symposium on Organometallic Chemistry, Japan, Sept. (2005)

島隆則、竹中康将、侯召民：“4核イットリウムポリヒドリド錯体と一酸化炭素との反応”、日本化学会第86春季年会、千葉、3月(2006)(発表予定)

新規細胞死抑制剤を鍵としたミトコンドリア膜上での  
細胞死制御機構の解明研究

Studies on the Cell Death Mechanism around the Mitochondrial Membrane Using Novel Cell Death Inhibitors

研究者氏名：園園 孝介 Dodo, Kosuke

ホスト研究室：袖岡有機合成化学研究室

(アドバイザー 袖岡 幹子)

近年爆発的に進展した細胞死研究の中で、ミトコンドリアを介した細胞死は神経変性疾患(アルツハイマー病、パーキンソン病)や虚血性疾患(脳硬塞、心筋梗塞)をはじめとして様々な疾患との関与がわかっているものの、いまだ決定的な解明がなされておらず、今後解明すべき重要な課題の一つである。しかしながら、ミトコンドリア

は外膜と内膜の2つの膜からなる特異な構造を持ち、現在の生物学において解明が難しいとされる生体膜上での現象が複雑にからみ合うため、従来の生物学的手法では解析が極めて困難である。

このような背景のもと当研究室では、ミトコンドリアが関与するとされるネクローシス様の細胞死を抑制するユニークな低分子化合物IM

(Indolylmaleimide) 誘導体の開発に成功している。ミトコンドリア膜上では、様々な蛋白質が複合体を形成することで細胞死を制御していると考えられているが、その詳細は未だ明らかとなっていない。そこで本研究では、この新規細胞死抑制剤をツールとすることでこの蛋白複合体の全容を分子レベルで明らかにし、ミトコンドリア膜上での細胞死抑制機構の解明を目的とする。

昨年度はIM誘導体をプローブとして修飾する際に重要な情報を得るべく、その構造活性相関を調べた。そこで、本年度は得られた構造活性相関をもとに

- (1) 蛍光団を導入したIM誘導体の合成
- (2) 結合蛋白質同定のために種々のIM誘導体を固定化したアフィニティーゲルの作製を行った。

その上で、蛍光団を導入した誘導体の生細胞中での局在を検討し、これがミトコンドリアに局在することを明らかにした。このことにより、IM誘導体がミトコンドリアに直接作用することがわかった。そこで、今後はさらにIM誘導体を固定化したアフィニティーゲルを用いて、ミトコンド

リアから結合蛋白質を精製する予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Katoh M., Dodo K., Fujita M., and Sodeoka M.:  
“Structure-activity relationship of N-methyl-bisindolylmaleimide derivatives as cell death inhibitors”  
Bioorg. Med. Chem. Lett., 15, 3109-3113(2005)

Dodo K., Katoh M., Shimizu T., Takahashi M., and Sodeoka M.: “Inhibition of hydrogen peroxide-induced necrotic cell death with 3-amino-2-indolylmaleimide derivatives” Bioorg. Med. Chem. Lett., 15, 3114-3118(2005)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sodeoka M., Dodo K., Katoh M., Shimizu T., and Takahashi M.: “Indolylmaleimide derivatives: potent bioprobes for studies on necrotic cell death signaling” Pacifichem2005, Honolulu, USA, Dec. (2005)

XVI—080

### 分裂酵母の化学プロテオミクスによる 海産抗真菌化合物の標的分子の解明

Studies on Mechanisms of Action of Marine Antifungals Based  
on Chemical Proteomics of *Schizosaccharomyces pombe*

研究者氏名：西村 慎一 Nishimura, Shinichi  
ホスト研究室：吉田化学遺伝学研究室  
(アドバイザー 吉田 稔)

微生物や植物、海洋生物が産生（含有）する二次代謝産物はしばしば特異な生物活性を示すため、時として生命現象の理解を爆発的に進め、薬剤として利用されているものも少なくはない。しかし、多くの二次代謝産物の存在が報告されているにもかかわらず有効利用されているものはごくわずかである。いくつかその原因が考えられるが、特に、化合物がどういった役割を担っているかが解明されていないことは決定的な要因である。本研究は、二次代謝産物の作用機序を解明することを目的とする。

通常、低分子化合物の作用機序の解析をするた

めには、それぞれの化合物に適した実験方法を模索する必要がある。本研究では、組織的により多くの化合物の作用機序を解明することを目的に、分裂酵母のゲノム情報を活用している。分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* の遺伝子数はわずか5,000足らずで、その細胞内現象は高等真核生物に高い類似性がみられるため、とくに創薬を出口とした網羅的な研究には有利なモデル生物である。受け入れ研究室では個々の遺伝子を強制発現できる形質転換体を作製済みであり、それを用いて化合物の作用機序を予測するシステムを立ち上げ、可能性を模索した。

特定の遺伝子の過剰発現によって薬剤に対する感受性が変化することはしばしば観察される。このような薬剤と遺伝子とのクロストークを分裂酵母のすべての遺伝子について観察することで化合物の細胞内での挙動を反映するデータセット（化合物フィンガープリント）が得られると期待できる。標的分子既知の化合物3種と未知の化合物2種について化合物フィンガープリントを作製したところ、それぞれの化合物について数十の遺伝子がクロストークを示した。

クロストークを示す遺伝子群を解析すると、標的遺伝子と標的経路に含まれるものが多数みられた。これは、本手法の有用性を示唆するとともに、標的遺伝子を同定するためには別のバイアスに基づくスクリーニング系の必要性をうたえる結果であった。現在、より多くの化合物フィンガープリントを集積してデータベースの充実化を図るとともに、化合物と遺伝子産物との物理的相互作用を指標にしたスクリーニング系の構築を進めている。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Lee K.-H., Nishimura S., Matsunaga S., Fusetani N., Horinouchi S., and Yoshida M.: "Inhibition of protein synthesis and activation of stress-activated protein kinases by onnamide A and theopederin B, anti-tumor marine natural products.", *Cancer Sci.*, 96 357-364 (2005)

Lee K.-H., Nishimura S., Matsunaga S., Fusetani N., Ichijo H., Horinouchi S., and Yoshida M.: "Induction of a ribotoxic stress response that stimulates stress-activated protein kinases by 13-deoxytendanolide, an antitumor marine macrolide.", *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 70 161-171 (2006)

(総説)

西村慎一、松山晃久、吉田稔: "分裂酵母のゲノム情報を利用したケミカルゲノミクス"、蛋白質核酸酵素、50、1070-1077 (2005)

## XVI—081

### ゴルジ体からの小胞形成を引き起こす 分子装置の同定と小胞形成過程の可視化

In vivo Visualization of Selective Vesicular Transport From the *Trans*-Golgi Apparatus.

研究者氏名: 関谷-川崎 真理子 Sekiya-Kawasaki, Mariko

ホスト研究室: 中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

緻密に分化した細胞内膜系（オルガネラ）の中でも、ゴルジ体は全てのタンパク質の行き先を決定するきわめて重要な役割を担う。TGNにおいて各積み荷タンパク質は初期、後期エンドソーム、液胞、出芽部位などの目的地へと高度に選別され、各オルガネラの機能発現、細胞極性の確立を可能にしている。しかしながら、*in vivo*におけるTGNの形成機構、および選択的輸送を引き起こす分子装置の動態については未知である。本研究は出芽酵母を用い、TGNの*in vivo*における動態を明らかにし、新たな制御因子を同定することを目的としている。

本年度はまず、後期ゴルジ体で機能するタンパク質、Sec7p (Arf-GEF)、Ypt31p (Rab11ホモログ)を中心とした研究を進めた。ニポウディスク方式共焦点顕微鏡と高感度・高速のカメラシステ

ムによる3D観察を行ったところ、Sec7pでラベルされるゴルジ体トランス槽にYpt31pが混じり合い、続いてYpt31pシグナルの増加が起こることが確認された。また、Ypt31pでラベルされる膜系が高速で(2-3 mm/秒)芽の成長部位に移動する過程を共焦点顕微鏡を用いた高速3D解析によりとらえることができた。以上の結果から、後期ゴルジ体膜系とYpt31pでラベルされるTGN膜系は、互いにダイナミックに相互作用していると考えており、今後は後期ゴルジ体のより詳細なイメージングを進める。

一方、ゴルジ体からの小胞輸送において中心的な役割を果たすArf-GTPase変異株 (*Mol. Biol. Cell* Yahara *et al.* 2001)でのTGNマーカーの挙動を調べた。その結果、*arf1-18*変異株において、Sec7pコンパートメントが肥大し、Tlg2p (t-SNARE)で

ラベルされるエンドソームのシグナルが顕著に低下しているのが観察された。現在 $arf1-18$ 変異株の多コピーサプレッサーの取得を進めており、TGNにおいてArf1p周辺で機能する新規の制御因子の同定をめざしている。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

川崎真理子、中野明彦：“出芽酵母を用いたTGNダイナミクスの可視化”、日本分子生物学会、福岡、12月（2005）

## XVI—082

### 多核種同時 $\gamma$ 線イメージング装置の開発

Development of Multi-Nuclide Gamma-Ray Emission Imaging System

研究者氏名：本村 信治 Motomura, Shinji

ホスト研究室：フロンティア研究システム

加速器利用展開グループ

(アドバイザー 矢野 安重)

マルチトレーサーの分布を非破壊的に撮像可能な、多核種同時 $\gamma$ 線イメージング装置の開発を進めている。

マルチトレーサー法は、多種の放射性核種を含むトレーサーを試料に投与し、それぞれの核種の挙動を同時に計測する手法である。多数の元素の情報を1回の実験で効率的に調べることが出来るだけでなく、単一の核種のトレーサーによって得られた情報の足し合わせでは得られない複数の元素間の相関の情報も得ることが出来る。これらの利点によって、マルチトレーサー法は生物学・医学・環境科学などの研究に応用され、さまざまな成果を挙げてきている。しかしながら、単一核種のトレーサーに比べて分析方法が限られているため、マルチトレーサーの分布を非破壊的に計測することは行われてこなかった。これは、数百keVから約2MeVまでの間の多数の異なるエネルギーの $\gamma$ 線がマルチトレーサーから放出されるためである。このような条件下では、従来の $\gamma$ 線撮像装置で核種ごとの画像を得ることは困難である。

そこで、この研究では両面直交ストリップ電極式の平板型ゲルマニウム検出器によるコンプトンカメラ方式を採用した $\gamma$ 線撮像装置の開発を行っている。この装置は $\gamma$ 線のコンプトン散乱の運動学を利用してトレーサーの分布情報を得るので、MeV領域の $\gamma$ 線も撮像可能になる。また、エネルギー分解能が優れているので、 $\gamma$ 線のエネルギースペクトルによって核種を識別することも可能になる。この装置の試作と画像再構成法の実装も済みであり、これまでに生物試料に投与したマルチ

トレーサーの2次元および3次元分布を非破壊的に撮像することに成功している。

本年度は、この装置をさらに実用化に向けての研究・開発を進めた。測定データに含まれる統計ノイズと再構成画像の空間解像度との関係を計算機シミュレーションおよび実測によって求めた。これによって、検出器の設計と画像再構成法の開発を並行して行えるようになった。また、この装置の性能の定量計測のための装置を製作し実験を始めた。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Motomura S., Enomoto S., Habu H., Gono Y., and Yano Y.: “Multitracer imaging by strip germanium telescope”, Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the APS and JPS, Hawaii, USA, Sep. (2005)

(国内学会等)

本村信治：“ゲルマニウム半導体テレスコープによる多核種同時 $\gamma$ 線イメージング”、ワークショップ「放射線検出器と電子回路の課題と展望」、和光、5月（2005）

本村信治、榎本秀一：“生物試料の多核種同時 $\gamma$ 線イメージング”、第1回放射線薬学研究会、東京、8月（2005）

本村信治、榎本秀一：“多核種同時 $\gamma$ 線イメージング装置の開発”、理研シンポジウム、東京、3月（2006）



研究者氏名：岩本 和也 Iwamoto, Kazuya  
 ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
 精神疾患動態研究チーム  
 (アドバイザー 加藤 忠史)

二大精神疾患である躁うつ病・統合失調症は、各々人口の1%とその頻度が高く、生涯の治療を要する重篤な精神疾患である。これまで多くの連鎖解析が行われ多数の連鎖部位が指摘されたがその結果は一致せず、遺伝子レベルでの病因は明らかにされていない。本研究ではゲノム配列以外の変異の有無を患者試料や動物モデルを用い探索し、疾患との関与を明らかにすることを目的としている。使用している試料は、一卵性双生児不一致例(双生児のうち一人が精神疾患を発症しているがもう一人は健常者である例)由来のサンプル(リンパ芽球株)と、米国スタンレー脳バンクより供与された精神疾患患者死後脳由来サンプル(死後脳ゲノムDNA、RNA)である。動物モデルとしては、うつ病動物モデルとして広く確立している学習性無力ラットを利用している。本年度に行った研究概要は以下のとおりである。

- (1) 患者死後脳試料および、血液由来試料において、DNAメチル化状態を様々な候補遺伝子で調べた。死後脳試料においては、DNAマイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析を既に行っており、これらのデータを利用して候補遺伝子の選択と絞り込みを行った。特に転写因子SOX10遺伝子上流領域のゲノムDNAメチル化状態と死後脳における遺伝子発現量に相関関係があることを見出した。また、血液試料を用いた研究では、躁うつ病一卵性双生児不一致例において候補遺伝子を見出しており、(3)の手法を用いた多数例での検討と、病理学的意義を検討中である。
- (2) エピジェネティックな現象であるRNA編集状態の変動を動物モデル(学習性無力ラット)を用い評価した。動物モデルにおいては、セロトニン2C受容体のRNA編集状態が変動しており、フルオキシセチンやイミプラミンといった抗うつ薬の投与により、改善され得ることを示した。
- (3) Pyrosequencing法を用いたDNAメチル化状態

やRNA編集状態をハイスループットに測定できる定量法を確立した。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

- Kohda K., Jinde S., Iwamoto K., Bundo M., Kato N., and Kato T.: "Maternal separation stress drastically decreases expression of transthyretin in the brains of adult rat offspring", *Int. J. Neuropsychopharmacol.*, in print\*
- Iwamoto K., Bundo M., Yamada K., Takao H., Iwayama-Shigeno Y., Yoshikawa T., and Kato T.: "DNA methylation status of SOX10 correlates with its downregulation and oligodendrocyte dysfunction in schizophrenia", *J. Neurosci.*, 25 5376-5381 (2005)\*
- Iwamoto K., Bundo M., and Kato T.: "Estimating RNA editing efficiency of five editing sites in the serotonin 2C receptor by pyrosequencing", *RNA*, 11 1596-1603 (2005)\*
- Kakiuchi C., Ishiwata M., Kametani M., Nelson C., Iwamoto K., and Kato T.: "Quantitative analysis of mitochondrial DNA deletions in the brains of patients with bipolar disorder and schizophrenia", *Int. J. Neuropsychopharmacol.*, 8 515-522 (2005)\*
- Kato T., Iwayama Y., Kakiuchi C., Iwamoto K., Yamada K., Minabe Y., Nakamura K., Mori N., Fujii K., Nanko S., and Yoshikawa T.: "Gene expression and association analyses of LIM (PDLIM5) in bipolar disorder and schizophrenia", *Mol. Psychiatry*, 11 1045-1055 (2005)\*
- Iwamoto K., Nakatani N., Bundo M., Yoshikawa T., and Kato T.: "Altered RNA editing of serotonin 2C receptor in a rat model of depression", *Neurosci. Res.*, 53 69-76 (2005)\*
- (総説)
- Kato T., Iwamoto K., Kakiuchi C., Kuratomi G., and

Okazaki Y.: “Genetic or epigenetic difference causing discordance between monozygotic twins as a clue to molecular basis of mental disorders”, *Mol. Psychiatry*, 10 622-630 (2005)\*

加藤忠史、岩本和也：“精神疾患とRNA編集”、*医学のあゆみ* 215 679-682 (2005)

岩本和也、加藤忠史：“精神疾患とエピジェネティクス—統合失調症と双極性障害におけるDNAメチル化に関する最近の話題”、*脳と精神の医学* 16 81-86 (2005)

加藤忠史、岩本和也：“精神疾患とエピジェネティクス”、*医学のあゆみ* 215 137-140 (2005)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Iwamoto K., Bundo M., Yamada K.: Takao H., Iwayama Y., Yoshikawa T., and Kato T.: “Epigenetic aspects of oligodendrocyte dysfunction in schizophrenia”, 35th Society for Neuroscience annual meeting, Washington DC, USA, November (2005)

Iwamoto K., Bundo M., and Kato T., “Epigenetic analysis in schizophrenia based on gene expression profiles by DNA microarray”, *Functional Genomics of Mammalian Nervous Systems*, Cold Spring Harbor/ Wellcome Trust Joint Meeting, Hinxton, UK, October (2005).

(国内学会等)

岩本和也、文東美紀、加藤忠史：“転写因子SOX10のDNA methylation状態は統合失調症患者死後脳におけるSOX10とオリゴデンドロサイト関連異伝子群の発現低下と相関している”、第28回日本分子生物学会年会、福岡、12月 (2005)

岩本和也：“精神疾患患者由来試料での網羅的遺伝子発現とエピジェネティクス解析”、*Affymetrix Japan GeneChipフォーラム*、品川、8月 (2005)

Iwamoto K., Bundo M., and Kato T.: “Expression and epigenetic analyses of the oligodendrocyte genes in schizophrenia”, 第28回日本神経科学会シンポジウム、横浜、7月 (2005)

岩本和也、文東美紀、加藤忠史：“精神疾患患者死後脳におけるミトコンドリア関連遺伝子群の発現解析—サンプルpHと投薬条件を考慮して”、第35回日本神経精神薬理学会・第27回日本生物学的精神医学会合同年会、大阪、7月 (2005)

岩本和也、文東美紀、山田和男、茂野（岩山）佳美、吉川武男、加藤忠史：“精神疾患患者死後脳におけるオリゴデンドロサイト異常の検証”、第35回日本神経精神薬理学会・第27回日本生物学的精神医学会合同年会、大阪、7月 (2005)

## XVI—084

### 蛋白質ホモ二量体化可視化技術の開発

Development of Visualization Tool for Homodimers.

研究者氏名：下藺 哲 Shimoazono, Satoshi

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

細胞機能探索技術開発チーム

(アドバイザー 宮脇 敦史)

蛋白質のホモ二量体化は細胞内情報伝達において様々な場面で登場し、情報を伝達する上で重要なメカニズムであると思われる。これまでホモ二量体の時空間パターンを可視化する優れた手法はない。これまで発表されたホモ二量体を可視化する手法として、PRIM (proximity imaging) がある。しかしながらそのメカニズムは明らかではなく、1998年の発表以来、PRIMを用いた論文は発表さ

れていない。今回、GFP (green fluorescent protein) 間のFRET (Fluorescence Resonance Energy Transfer) を用いて蛋白質ホモ二量体を可視化する手法を開発することを目的とした研究を行った。今回の技術を達成するためにはCFP (Cyan Fluorescent Protein) とYFP (Yellow Fluorescent Protein) を融合しながら、FRETを起こさない融合蛋白質を作製する必要がある。

今年度は、引き続き様々なコンストラクトを作製したが、CFP-YFP融合タンパク質が期待したように生成されているのか、つまり（１）CFPとYFP両方とも発色団を形成し且つFRETの効率が悪いのか、若しくは（２）CFP, YFPの片方だけが発色団を形成した分子が混在し、見かけのスペクトル上FRET効率が悪いのか、という問題が持ち上がった。また、副産物として得られたFRET効

率の非常に高いCFP-YFP融合タンパク質の解析も並行して行った。時間分解蛍光測定の結果（田原分子分光研究室との共同研究）、この融合タンパク質のFRET効率は90%以上であることがわかった。また、偏光を測定したところ、CFPとYFPの遷移双極子モーメントは約45度の角度をなしていることがわかった。

## XVI—085

### 雌性生殖幹細胞株の樹立とその解析

#### Derivation and Analysis of Ovarian Germline Stem Cell

研究者氏名：本多 新 Honda, Arata  
ホスト研究室：バイオリソースセンター  
遺伝工学基盤技術室  
(アドバイザー 小倉 淳郎)

これまでに配偶子への分化能を有した生殖幹細胞として細胞株化されたのはわずかにマウスのみであり、かつ雄性の細胞だけである。雌性生殖幹細胞は量的あるいは質的な問題から、樹立が困難とされており、実際に純化して卵子分化能を保持させたまま培養された例がないだけでなく、その存在でさえも不明瞭な点が多い。In vitroで効率よく卵子を発生、成熟、そして解析する事ができれば、基礎研究分野だけでなく、不妊治療や再生医学などの応用研究分野への貢献も期待できる。  
(1) 私はこれまでに新生仔雌マウスから効率的に卵子を発生させて成長させることに成功している。この卵子はもともと新生仔卵巣に存在していた非成長期卵子であり、幹細胞から生じた

ものではなかったものの、その発生効率と簡便さから卵子研究のツールとして、あるいは、生殖工学への応用なども視野に入れて解析を行っている。

(2) 雌性生殖幹細胞を樹立するために、始原生殖細胞が卵原細胞へと分化するその瞬間と思われるマウス胎齢13.5~14.5日胎仔卵巣を用いて、幹細胞株の樹立を試みた。

その結果、これまで樹立は不可能とされていた13.5および14.5日胎仔からの胚性生殖幹細胞株の樹立に成功した。今後は樹立した細胞の解析から、その時期にある生殖巣や始原生殖細胞の特徴などに注目して解析を続けていきたい。

## XVI—086

### 二成分情報伝達系タンパク質ヒスチジンキナーゼの構造生物学的研究

#### Structural Biology of the Histidine Kinase of the Two-Component Signal Transduction System

研究者氏名：山田 齊爾 Yamada, Seiji  
ホスト研究室：放射光科学総合研究センター  
城生体金属科学研究室  
(アドバイザー 城 宜嗣)

二成分情報伝達系は、ヒスチジンキナーゼ(HK)とレスポンスレギュレーター(RR)という二つのタンパク質間のリン酸の受け渡しによっ

て、光・酸素・栄養といった環境の変化に対する応答反応を起こすシステムであり、微生物や一部の真核生物に普遍的に存在している。HKはマル

チドメインタンパク質であり、その構造はリガンドを感知する「センサードメイン」、ATP依存自己リン酸化の基質となるヒスチジン残基を含む「二量化ドメイン」、ATPの結合とリン酸化反応を触媒する「触媒ドメイン」に細分化される。現在までに、これらドメイン毎の構造しか報告されておらず、全長構造の機能発揮として起こるドメイン間の構造変化や相互作用変化は議論されていない。そこで本研究では、高熱菌*Thermotoga maritima*由来の全長HK (ThkA) およびそのRR (TrrA) 複合体の溶液・結晶構造解析を行い、分子内情報伝達、HKの自己リン酸化、HK/RR間のリン酸転移機構の解明を目的としている。

本年度に行った研究概要を以下に記す。

- (1) 昨年度決定したThkA/TrrA複合体のX線結晶構造 (4.2Å) について更に詳細な解析を進めていき、モノマーのThkAをアサインすることができた。その結果、「センサードメインは自分のサブユニットの触媒ドメインを活性化し、自身のセンサードメインと相手のサブユニットに結合しているTrrAをリン酸化する」というHKのcisの活性制御メカニズムを提唱した。現在、投稿準備中である。
- (2) ThkAのセンサードメインの結晶構造を1.7Å解能で決定した。得られた構造はセンサータンパク質内のセンサーモジュールとしてよく見られるPASフォールドをとっていた。(1)の電子密度中のメチオニン残基位置から、全長HKにおけるセンサードメインの配向を決定した。その結果、HK活性を制御するためのシグナル

伝達は、PASセンサードメインのFGループ部位と触媒ドメインとの相互作用によるものである事が示唆された。

引き続き、二量化ドメイン、触媒ドメイン、TrrAの欠失変異体の構造解析を行い、HK/RR複合体へのドメインマッピングを行う。

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Yamada S., Akiyama S., Sugimoto H., Kumita H., Ito K., Fujisawa T., Nakamura H., and Shiro Y.: “Molecular mechanisms of signal transduction in His-Asp relay two-component system”, 1st International Conference on Chemistry of Coordination Space, Okazaki, Japan, Nov. (2005)

(国内学会等)

山田斉爾、秋山修志、杉本宏、汲田英之、伊藤和輝、藤澤哲郎、中村寛夫、城宜嗣：“二成分情報伝達系タンパク質ヒスチジンキナーゼの情報伝達メカニズム”、日本生物物理学会第43回年会、札幌、11月 (2005)

山田斉爾、中村寛夫、城宜嗣：“二成分制御系のPASドメイン”、日本生物物理学会第43回年会シンポジウム-PASドメインの生物物理学一、札幌、11月 (2005)

山田斉爾、杉本宏、中村寛夫、城宜嗣：“センサーヒスチジンキナーゼの活性制御メカニズム”、日本農芸化学会2006年度大会、京都、3月 (2006)

XVI—087

## 偏光制御・低熱負荷・高次光抑制を目的とした アンジュレータの開発研究

Development of Polarization Controllable, Low On-axis Power and Small Higher Harmonics Undulator

研究者氏名：白澤 克年 Shirasawa, Katsutoshi

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

北村X線超放射研究室

(アドバイザー 北村 英男)

2003年8月に大型放射光施設SPring-8に設置した軟X線偏光制御アンジュレータのユーザータイム中の運転を目的として調整を行った。軟X線偏光制御アンジュレータは1台のアンジュレータで

直線偏光(水平/垂直)と左右円偏光を発生し、高速/低速の円偏光スイッチングも行うことが可能である。現在、硬X線領域 (6~15keV) ではダイヤモンド移相子を用いた高速 (~kHz) の円偏光

スイッチングが実用化されているが、軟X線領域では偏光制御に使用できる実用的な移相子はまだ存在しない。したがって、軟X線偏光制御アンジュレータの全ての運転モードが実現すると、非常に有用な軟X線光源となりうる。期待される利用実験には、左右の円偏光を使用する磁気円偏光2色性（MCD）や自然円偏光2色性（NCD）の研究、水平・垂直の直線偏光を使用する原子・分子の内殻励起緩和過程に関する研究などがある。

平成16年度に行ったマシンスタディーとアンジュレータ磁場の3次元マッピング測定より8の字アンジュレータとして運転するには、磁場の多極成分を補正しなければならなかったことが分かったので、平成17年度は補正の必要が無いヘリカルアンジュレータとしてのユーザー運転を目指し、実用化した。アンジュレータをユーザータイム中に運転するには独立チューニングを実現しなければ

ならない。独立チューニングとはアンジュレータ外の電子軌道に影響を与えることなくアンジュレータ磁場を変更し、光の波長または偏光を自由に選択可能とすることである。具体的にはアンジュレータのパラメータ（ギャップや位相）によって変化するエラー磁場をアンジュレータの上下流に設置されているステアリング電磁石で補正する。平成16年度までに確立したSPring-8の各ビームラインに設置されている光位置モニタ（XBPM）を利用した磁場補正方法を利用してヘリカルアンジュレータとしてユーザー運転するための磁場補正テーブルを作成した。この補正テーブルを用いることでアンジュレータのパラメータを変更したときの電子軌道変動は水平10ミクロン以下、垂直1.5ミクロン以下に抑えられている。現在、エネルギー領域155eV～2000eV、直線偏光（水平/垂直）から左右円偏光までの光が利用可能となっている。

XVI—088

### 植物ジテルペノイドの蓄積・気相放出メカニズムとその生物・個体間コミュニケーションにおける役割の解明

Elucidation of the Mechanism for the Emission of Volatile Plant Diterpenoids and Their Role in Plant-Plant Communication

研究者氏名：兼目 裕充 Kenmoku, Hiromichi  
ホスト研究室：植物科学研究センター  
促進制御研究チーム  
(アドバイザー 山口 信次郎)

ジベレリンの生合成中間体 $ent$ -カウレンは、色素体に局在する $ent$ -CDP合成酵素（CPS）と $ent$ -カウレン合成酵素（KS）によって生合成される。これまでにジテルペノイドの $ent$ -カウレンが植物体から気相へ放出され、また、シロイヌナズナのCPSまたはKS機能欠損株は気相 $ent$ -カウレンを取り込むことにより、矮性から回復することを見出している。本研究はこの発見を端緒として、植物ジテルペノイドの蓄積・気相放出および受容メカニズムとその生物・個体間コミュニケーションにおける役割の解明を目的とする。本年度は、 $ent$ -カウレン気相放出および受容に関わる因子を特定するため以下のような研究を行った。

(1) ジテルペン炭化水素の気相放出や受容に関わる構造特異性の評価を行う目的で、前年度は色素体で異種ジテルペン炭化水素を生産する形

質転換シロイヌナズナを作出した。本年度は当該形質転換体において、異種ジテルペン炭化水素の気相放出をGC-MS分析によって確認できたことから、シロイヌナズナは $ent$ -カウレンとは構造の異なる異種ジテルペン炭化水素も気相放出できることを明らかにできた。さらに、色素体に局在するMEP経路や細胞質に局在するMVA経路に特異的に取り込まれる各 $^{13}C$ ラベル中間体を用いた取り込み実験を行ったところ、この形質転換体から気相放出される異種ジテルペン炭化水素のイソプレヌユニットも色素体のMEP経路に由来することが明らかとなった。

(2)  $ent$ -カウレンが気相放出されるには、色素体から細胞質（または小胞体の後に細胞質）、細胞膜、細胞壁外という経路を経ることになる。表皮ワックスは色素体から同様の経路で分泌さ

れ、シロイヌナズナには約30種の独立遺伝子がそれぞれ変異した表皮ワックス分泌変異株が知られていることから、これらの変異株とent-カウレンの初発の酸化に関わるP450酸化酵素の阻害剤を用いて、遺伝子変異がent-カウレン気相放出に及ぼす影響についての検証を前年度から継続して行っている。本年度は新たにシロイヌナズナにおいて色素体膜に局在すると予測されるトランスポーターについて*in silico*解析を行い、色素体の内から外へのテルペノイド輸送に関与すると思われる候補遺伝子を予測した。当該遺伝子変異株も加えた機能喪失型または過剰発現型のシロイヌナズナ変異株に対して、同様の検証をSPME/GCMS分析法を用いて試みている。

(3) 気相ent-カウレン受容に関わる因子を特定す

るため、変異原処理したCPS機能欠損シロイヌナズナから気相カウレンを受容できない変異株の選抜を試みている。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

兼目裕充、大塚稔、笠原博幸、豊増知伸、三橋渉、佐々武史、神谷勇治、山口信次郎：“植物におけるジテルペン炭化水素の気相への放出とその受容”、植物化学調節学会40th大会、東京、10月（2005）

兼目裕充、大塚稔、笠原博幸、豊増知伸、三橋渉、佐々武史、神谷勇治、山口信次郎：“ジベレリン生合成中間体ent-カウレンの気相への放出とその受容”、第47回植物生理学会年会、筑波、3月（2006）

平成 17 年度採用者

## XVII—001 硬 X 線精密分光観測を用いた銀河中心高エネルギー現象の統一的研究

Unified Observational Study of High Energy Activities of the Galactic Center with High-resolution X-ray Spectroscopy

研究者氏名：千田 篤史 Senda, Atsushi

ホスト研究室：牧島宇宙放射線研究室

(アドバイザー 牧島 一夫)

我々の銀河系の中心は、大質量ブラックホール・大質量星団・超新星残骸・高温プラズマなど複数の高エネルギー天体が集中する特異な領域である。また近年のTeVガンマ線・超高エネルギー宇宙線の観測結果は同領域が宇宙線の加速現場である可能性を示唆している。これら多様かつ複雑に現象を個々に解き明かし、発見以来の謎である銀河中心高エネルギー現象の起源に到達することが本研究の最終目的である。そのためには、秒角スケールでの空間分離が可能でありかつ熱的/非熱的成分の双方を押さえることのできる X 線観測が最も強力な手段となる。本年度は以下の研究を行った。

米国 X 線観測衛星 *Chandra* を用いて銀河中心および銀河面の観測的研究を行い、銀河中心領域に diffuse な非熱的構造が多数存在することをつきとめ、宇宙線加速現場の空間的特定に成功した。一方で *Chandra* の高い空間分解能により銀河面・銀河中心から検出した X 線点源で作成した光度分布 (LogN-LogS 関係) から、点源積分フラックスの全 X 線放射に対する寄与は高々 10% であることを示し、銀河面・銀河中心に真に拡がった放射が存在することを明らかにした。

2005 年 7 月には国産五代目となる X 線観測衛星「すざく」が成功裡に打ち上げられ、同 8 月から PV (Performance Verification) フェーズとして天体観測が開始された。現在、X 線 CCD カメラ (XIS: X-ray Imaging Spectrometer) および硬 X 線検出器 (HXD: Hard X-ray Detector) の 2 つの焦点面検出器が稼働中であるが、XIS に関して、衛星打ち上げ直後の初期運用および位置情報の座標付けを行うソフトウェアの開発に携わった。一方で、0.1-10keV に感度を持つ XIS および 10-700keV に感度を持つ HXD の両者を連結することで得られる 4 桁弱におよぶ広帯域スペクトルは「すざく」衛星の最大の特徴である。上記帯域でのスペクトルの精度良い測定は、非熱的 X 線の放射機構・宇宙線加速機構解明の決定打となる。これを可能にする

ために必須となる両検出器間の相互較正を、宇宙放射線研究室のチームの一員として進めている。同時に「すざく」PV フェーズで既に観測済みであるデータの科学解析を進めている。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ebisawa K., Tsujimoto M., Paizis M., Hamaguchi K., Bamba A., Cutri R., Kaneda H., Maeda Y., Sato G., Senda A., Ueno M., Yamauchi S., Beckmann V., Courvoisier T. J.-L., Dubath P., and Nishihara E.: “Chandra deep X-ray observation of a typical Galactic plane region and near-infrared identification”, *The Astrophys. J.*, 635, 214 (2005)\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Senda A., Koyama K., Ebisawa K., Kataoka J., and Sofue Y.: “Detection of nonthermal X-ray structures near the Galactic center with Chandra”, *International Astronomical Union Symposium No.230 on Populations of High Energy Sources in Galaxies*, Dublin, Ireland, Aug. (2005)

Senda A., Ebisawa K., Koyama K., Kataoka J., and Sofue Y.: “Nonthermal X-ray structures of the Galactic center region revealed with Chandra”, *The X-ray Universe 2005*, Madrid, Spain, Sep. (2005)

(国内学会等)

千田篤史：“天の川銀河中心と宇宙線加速”、2005 年度天文・天体物理夏の学校(招待講演)、富士吉田、8 月 (2005)

千田篤史、海老沢研、片岡淳、祖父江義明、小山勝二：“銀河中心領域の Diffuse な X 線放射の観測”、日本天文学会 2005 年秋季年会、札幌、10 月 (2005)

千田篤史、寺田幸功、馬場彩、海老沢研、村上弘志、前田良知、伊藤昭治、大貫宏祐、高橋忠幸、片岡淳、国分紀秀、小山勝二：“「すざく」によ



る銀河中心Sgr A領域からの硬X線放射の観測”、日本天文学会2006年春季年会、和歌山、

3月(2006)

## XVII—002 銀河内輻射輸送を考慮した銀河の形成・化学力学進化モデルの構築

Chemodynamical Evolution of Galaxies with Radiative Transfer

研究者氏名：伊吹山 秋彦 Ibukiyama, Akihiko

ホスト研究室：戎崎計算宇宙物理研究室

(アドバイザー 戎崎 俊一)

銀河がどのように形成され現在の状態まで進化してきたかを理解するために、コンピュータを用いた数値実験を行った。本研究では、N体SPH法をもちいて銀河の力学進化を明らかにするとともに星形成とそのフィードバックを取扱い、さらにモンテカルロ法をもちいて銀河内での輻射輸送を解くことにより、ひとつの数値実験の中で上記の物理過程がどのように影響していくかを整合的にシミュレートすることを可能とした。このような数値実験においては既存の計算機では計算能力が不十分であるため、戎崎研究室で開発されたFPGAボードBiolar-3および、濱田、中里らによって開発されたPGRシステムを用いた。FPGAボードを用いると力学進化部分は国立天文台の専用計算機GRAPEと同等の性能が得られる。今後は輻射輸送の部分を高速化することが課題である。この数値実験により、近傍の楕円銀河はライマンブレイク銀河からBzK銀河、極赤銀河を経て進化してきたことが示唆された。

近傍の銀河の色等級図からその銀河の進化過程をあきらかにするために、種族合成の手法を用い、あたえられた色等級図を再現する星形成史を明らかにする手法を開発した。これまでは定性的な議

論しかできなかったが、2次元KSテストをツリー法を用いて高速に行うコードを開発し、定量的な議論が可能となった。

きたるべき次世代「京速計算機」をもちいてどのような銀河形成シミュレーションが可能になるか、またどの点がボトルネックとなるかの見積もりを行った。また「京速計算機」のアーキテクチャとしてどのようなものがふさわしいか議論するために情報基盤センターに銀河形成シミュレーションのベンチマーク用コードを提供した。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ibukiyama A. and Arimoto N.: “Chemodynamical Evolution of dusty star forming galaxies at high redshift” *Astrophysical Journal* 受理済

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Arimoto N. and Ibukiyama A.: “Age and metallicity distributions in the solar neighbourhood disc”, *Stellar Populations, a Rosetta Stone for Galaxy Formation*. Ringberg, Germany, July 2005

## XVII—003 KEK-12GeV陽子加速器を用いたペンタクォークの高分解能測定

High Resolution Spectroscopy of Pentaquark  $\Theta^+$  at KEK-PS

研究者氏名：成木 恵 Naruki, Megumi

ホスト研究室：延興放射線研究室

(アドバイザー 延興 秀人)

物質の最小構成要素はクォークであるが、量子色力学ではクォークは単独では存在せず、カラー一重項に属するハドロンとして存在する。これま

で観測されているハドロンは、クォーク2体から成るメソンおよび3体からなるバリオンであるが、理論的には4体あるいはそれ以上のエキゾチ

ックハドロンとよばれる束縛状態も許される。2003年に日本のSpring-8で世界で初めて5つのクォークから成る $\Theta^+$ が発見されたが、その後否定的な結果も報告され、存在自体にすら疑問が呈される状況となっている。KEK-PS E325実験では、特に実験結果が少ないハドロン反応において $\Theta^+$ の探索を行う。また、超伝導スペクトロメータ(SKS)を用いることによって、世界最高の分解能で $\Theta^+$ の質量及び崩壊幅を測定する。

この実験では、 $K^+p \rightarrow \pi^+\Theta^+$ 反応を用いて $\Theta^+$ を探索する。実験は、2005年5月末から7月にかけての1ヶ月間と、同年12月の2週間にわたってKEKのK6ビームラインで行われた。特にK6でK中間子ビームを用いたのはこの実験が初めてであったが、毎スピルあたり14k個の $K^+$ 中間子ビーム強度で、 $\pi^+/K^+$ 比が15の純度のビームを得ることができた。照射した $K^+$ 中間子の数は $6.4 \times 10^9$ であった。また、標的としては液体水素を用いた。

スペクトロメータの較正と分解能の評価は、 $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$ 反応によって生成した $\Sigma^+$ を用いて行った。得られた $\Sigma^+$ の幅は2.38MeVであった。これより $\Theta^+$ の質量分解能は3.4MeVと評価できた。主チャンネルの解析では、 $\Theta^+$ 生成特徴的な、大角度に分布する荷電粒子を同定することによって、液体水素標的を再構成することができた。しかし、当初考慮していたK中間子の3体崩壊によるバックグラウンドの他に、標的直前のトリガー用検出器などで $K^+p \rightarrow K^0p$ 反応によって生成した $K^0$ の $\pi^+\pi^-$ 崩壊からくると思われるバックグラウンドが存在することが分かった。このため、12月のビームタイムでは標的直前にドリフトチェンバーを導入し、新たにバックグラウンドの除去を図った。現在最終的なミッシングマスの解析を精力的に行っている。

また、KEK-PS E325実験の解析を行い、原子核密度下での $\rho$ および $\omega$ 中間子の質量変化について最終的な結果をまとめた。これはすでにPhysical

Review Lettersへの掲載が承認されている。世界的に見て、レプトン対によって原子核密度下でのベクター中間子の質量変化を測定した初めての結果である。また、 $K^0p$ チャンネルで $\Theta^+$ の追試を行いピークを発見した。残念ながら統計的優位性が $2.5\sigma$ に留まり、現在、再解析により統計の向上を試みている。ミッシングマス解析に頼らないハドロン入射での $\Theta^+$ の実験例として貴重な結果だと考える。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

M. Naruki, Y. Fukao, H. Funahashi, M. Ishino, H. Kanda, M. Kitaguchi, S. Mihara, K. Miwa, T. Miyashita, T. Murakami, T. Nakura, F. Sakuma, M. Togawa, S. Yamada, Y. Yoshimura, H. En'yo, R. Muto, T. Tabaru, S. Yokkaichi, J. Chiba, M. Ieiri, O. Sasaki, M. Sekimoto, K. H. Tanaka, H. Hamagaki and K. Ozawa: "Experimental signature of medium modifications for  $\rho$  and  $\omega$  mesons in the 12-GeV  $p + A$  reactions", Physical Review Letters, (in print)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Naruki M.: "Measurement for  $e^+e^-$  spectral modification of  $\rho/\omega$  mesons in 12GeV  $p+A$  reactions", workshop on Hadron Physics at COSY, Bad Honnef, Germany, July (2005)

Naruki M.: "Measurement for  $e^+e^-$  spectral modification of  $\rho/\omega$  mesons in 12GeV  $p+A$  reactions", 18<sup>th</sup> international conference on Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2005), Budapest, Hungary, August (2005)

Naruki M.: "Measurement for  $e^+e^-$  spectral modification of  $\rho/\omega$  mesons in 12GeV  $p+A$  reactions", Nikko workshop, Nikko, Japan, August (2005)

研究者氏名：亀田 大輔 Kameda, Daisuke

ホスト研究室：旭応用原子核物理研究室

(アドバイザー 旭 耕一郎)

安定な原子核（安定核）を重イオン加速器により光速の4割程度まで加速し、標的に入射させると標的中の原子核との衝突によって入射原子核の一部が壊れ、残りの部分（破砕片）が入射速度をほぼ保って標的から出てくる核反応（入射核破砕反応）が生じる。破砕片は短寿命の様々な放射性同位体（不安定核）を含むが、入射核破砕片分離装置を用いて、その中から興味ある不安定核のみをビームとして取り出し、研究対象とすることができる。最近の研究から、安定な原子核に比べ中性子が多く含まれる不安定核（中性子過剰核）では、安定核には無い「中性子ハロー」と呼ばれる新奇な構造や、原子核の基本的構造である閉殻構造が安定核と比べて劇的に変容していること等が報告されている。本研究の目的は、原子核の集団的量子状態を鋭敏に反映する電磁気モーメントを不安定核について系統的に測定する手法を確立し、不安定核領域の核構造の変容を研究することにある。

$\beta$ -NMR法は、不安定核が $\beta$ 崩壊する際、その核スピン方向に対して $\beta$ 線が非対称に放出されることを利用して不安定核の核磁気共鳴を検出する手法であり、電磁気モーメントはその共鳴周波数から直接求めることができる。しかし、この手法ではスピン偏極した不安定核をあらかじめ用意する必要がある。偏極の生成は、入射核破砕反応時に破砕片の放出角度や運動量を制限することで瞬時に達成できる。また、対象とする不安定核の平均寿命は数ミリ秒から数十秒程度の幅をとるので、それらが崩壊するまでの間、まず不安定核を静磁場中に置かれた物質内（ストッパー）に停止させ、その物質内で偏極を保持させる必要がある。一般に核スピン緩和時間は格子振動や電子スピンの結合に大きく依存する。特に固体中では不安定核種やその埋め込み位置に応じて、核スピン周

囲の電子状態に大きな違いが生じるため緩和時間の変化が大きく、系統的に電磁モーメントを測定する上で見通しが悪い。そこで本研究では、液体中では流動性により結合が平均化されて緩和機構が単純になる点、及び様々な核種について比較的長い緩和時間が観測されている点に着目し、様々な不安定核種に適用できる液体ストッパーの開発を進めている。本年度は、液体試料の検討と $\beta$ -NMR実験に必要なRF制御装置の開発を行った。また、開発した装置を用いて不安定核 $^{32}\text{Al}$ の磁気モーメント及び電気四重極モーメントを精密に測定した。

#### ●誌上発表 Publications

Kameda D., Asahi K., Miyoshi H., Shimada K., Kijima G., Nagae D., Kato G., Emori S., Tsukui M., Ueno H., Haseyama T., Watanabe H., Kobayashi Y., Ishihara M.: “Magnetic moments of  $^{30}\text{Al}$  and  $^{32}\text{Al}$ ”, *Czechoslovak Journal of Physics*, Vol. 55 (2005), Suppl. in print.

Ueno H., Kameda D., Kijima G., Asahi K., Yoshimi A., Miyoshi H., Shimada K., Kato G., Nagae D., Emori S., Haseyama T., Watanabe H., and Tsukui M.: “Magnetic moments of  $^{30}_{13}\text{Al}_{17}$  and  $^{32}_{13}\text{Al}_{19}$ ”, *Phys. Lett. B* 615 186-192 (2005).\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kameda D., Ueno H., Asahi K., Yoshimi A., Haseyama T., Watanabe H., Kobayashi Y., Kijima G., Miyoshi H., Shimada K., Kato G., Nagae D., Emori S., Tsukui M.: “Magnetic moments of neutron-rich  $^{30}\text{Al}$  and  $^{32}\text{Al}$ ”, Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the APS and JPS, Hawaii, September (2005).

研究者氏名：齋藤 晴彦 Saitoh, Haruhiko  
 ホスト研究室：山崎原子物理研究室  
 (アドバイザー 山崎 泰規)

反物質を含む多様な荷電粒子群の同時閉じ込めを実現する事は、CPT対称性の検証を目指した反水素原子の生成等、多様な原子物理実験を可能にする為の基礎技術として、あるいはpair-plasmaにおける波動伝播に見られるようにプラズマの基礎特性を解明する観点からも意義深い。従来から、プラズマ中へのビーム入射による多種粒子群の相互作用の検証や、電位井戸を二重構造としたnested Penning trapを使用した研究が進められているが、任意の非中性度のプラズマを安定に保持する事は一般に困難である。カusp磁場閉じ込め装置においては、多重極電磁場の重ね合わせにより複数種の荷電粒子閉じ込めが可能であり、特に低速反陽子と陽電子の再結合による反水素原子の生成を目指した実験研究が行われている。本年度はカusp装置において純電子プラズマを使用した基礎実験を行った。新たに導入された自由度の高い電場配位を生成可能な多重電極群、及び各種電位制御回路系を使用して、カusp磁場における非中性プラズマの閉じ込め特性に着目した研究を行い、以下の知見が得られた。

(1) 磁場ヌル点を含む非一様な磁場配位において非中性プラズマの安定な閉じ込めを観測した。さらに、閉じ込め領域を強磁場側へシフトさせたspindle cusp配位を使用する事により、残存中性粒子との衝突による電子の古典拡散時間に匹敵する閉じ込め時間が実現された ( $1.2 \times 10^8$ 個の電子が $\sim 1000$ 秒に渡り保持される)。逆符号の荷電粒子に対しても、原理的に同様に逆側のspindle cusp領域において良好な閉じ込めを

行う事が可能である。これにより、カusp磁場配位においてヌル点を挟んで2種類の粒子群を近接して保持可能である事が実証された。

(2) カusp磁場中において純電子プラズマに回転電場を印加する事により、中心軸付近への電子雲の圧縮を観測した。各種パラメータ依存性の計測によれば、圧縮可能な周波数帯は、電位井戸中での電子の振動周波数と同程度の幅広い領域 (但し振動周波数近傍は含まない) に渡り、磁場依存性を示さない。また、実現されたプラズマの圧縮状態は、シンクロトロン放射による電子の冷却時間 (現在の磁場環境下で $\sim 10$ 秒程度) と比較して充分長時間に渡り持続しており、三体再結合による反水素合成に適したプラズマの低温状態と高密度状態を両立可能であると考えられる。

これらは効果的な反水素合成を可能にする上でのステップと位置付けられる。現在、カuspトラップでは偏極反水素ビーム引き出し実験の為のcold bore等の整備が進められており、それに合わせて電子銃等の開発を行い、来年度以降の実験に供する予定である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

齋藤晴彦、榎本嘉範、金井保之、毛利明博、山崎泰規：“非一様磁場内で熱平衡状態にある有限長非中性プラズマの生成実験”、日本物理学会秋季大会、京田辺市、9月 (2005)

研究者氏名：武内聡 Takeuchi, Satoshi

ホスト研究室：本林重イオン核物理研究室

(アドバイザー 本林透)

中性子過剰核の核構造研究を行う手段として、対象となる原子核を非弾性散乱によって励起し、脱励起 $\gamma$ 線を測定する $\gamma$ 線核分光が有効である。N=20近傍の原子核では、クーロン励起などによる低励起状態の研究が行われ、魔法数の消滅など安定核とは異なる現象が明らかになった。しかし、核構造の変化の効果が特徴的に現れる原子核の集団運動に対する情報を得るためには、第一、第二励起状態（またはそれ以上）のエネルギー、スピン・パリティの情報を得ることが重要である。そのためには、高励起状態からの脱励起 $\gamma$ 線を測定し、準位構造についてより詳しく調べることが必要である。

対象とする原子核を非弾性散乱で高励起状態まで励起し、 $\gamma$ 線核分光を行うためには、高励起状態からの脱励起 $\gamma$ 線を同時計測し、スピン・パリティを反映する $\gamma\gamma$ 角度相関を測定できる検出装置が必要となる。そのためには、 $\gamma$ 線検出装置として、複数の検出素子をもち、検出効率が高く、エネルギー分解能に優れていることが重要である。これまでに、NaI(Tl)検出器160個を使った $\gamma$ 線検出装置 (DALI2) の開発を行い、加速器実験に適用してきた。本年度はこのDALI2を使用し、高励起状態からの $\gamma$ 線を同時計測し、 $\gamma\gamma$ 角度相関による励起状態のスピン・パリティの決定を目的とした実験の解析を行った。

中性子数N=20である $^{32}\text{Mg}$ ,  $^{34}\text{Si}$ を不安定核二次ビームとした陽子非弾性散乱実験を行った。両原子核とも、第一励起状態についてはこれまでに調べられているが、さらに高い励起状態については励起エネルギーがわかっているだけで、スピン・パリティといった準位情報は少ない。実験で得られた $\gamma$ 線スペクトルには、高励起状態から脱励起する複数の $\gamma$ 線が観測された。カスケード崩壊を考慮してスペクトルを解析した結果、第一励起状態と高励起状態への陽子非弾性散乱の断面積を導出することができた。しかし、準位様式に当てはまらない $\gamma$ 線も観測されているため、さらに詳細

な解析が必要である。

今後、 $\gamma\gamma$ 角度相関を行うことでスピン・パリティを決定し、準位様式の構築を目指し、 $^{32}\text{Mg}$ ,  $^{34}\text{Si}$ の核構造を議論する。また、 $\gamma\gamma$ 同時測定・ $\gamma\gamma$ 角度相関の解析法を確立し、さらに高精度の測定のできる検出装置の設計・開発への準備を行う。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takeuchi S., Aoi N., Baba H., Fukui T., Hashimoto Y., Ieki K., Imai N., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T., Okumura T., Onishi T.K., Ota S., Sakurai H., Shimoura S., Sugou R., Suzuki D., Suzuki H., Suzuki M.K., Takeshita E., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., and Yamada K.: “Proton inelastic scattering on  $^{34}\text{Si}$  and  $^{32}\text{Mg}$ ”, Hawaii 2005 Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the APS and JPS, Hawaii, USA, Sep. (2005)

Takeuchi S., Aoi N., Baba H., Fukui T., Hashimoto Y., Ieki K., Imai N., Iwasaki H., Kanno S., Kondo Y., Kubo T., Kurita K., Minemura T., Motobayashi T., Nakabayashi T., Nakamura T., Okumura T., Onishi T.K., Ota S., Sakurai H., Shimoura S., Sugou R., Suzuki D., Suzuki H., Suzuki M.K., Takeshita E., Tamaki M., Tanaka K., Togano Y., and Yamada K.: “Proton inelastic scattering on  $^{34}\text{Si}$  and  $^{32}\text{Mg}$ ”, Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2005), Michigan, USA, Jun. (2005)

(国内学会等)

武内聡、下浦享、本林透、秋吉啓充、安藤嘉章、青井考、Fülöp Zs.、五味朋子、日暮祥英、平井正明、岩佐直仁、岩崎弘典、岩田佳之、小林寛、黒川明子、Liu Z.、峯村俊行、小澤修一、櫻井博儀、世良田真来、寺西高、山田一成、柳澤善行、石原正泰：“Isobaric analog state of  $^{14}\text{Be}$ ”、

RIKEN-CNS RIBF International Workshop  
“Correlation and Condensation: New Features in  
Loosely Bound and Unbound Nuclear States”、理  
化学研究所、12月（2005）

武内聡、本林透、村上浩之、出道仁彦、長谷川浩

一、梶野泰宏：“高速RIビーム実験用のNaI(Tl)  
による高効率ガンマ線検出系”、ワークショップ  
「放射線検出器と電子回路の課題と展望」、  
理化学研究所、5月（2005）

## XVII—007 ユビキタス検出器の開発とRIビームファクトリー実験への実装

Development and Implementation to RIBF Experiments of Ubiquitous Detector

研究者氏名：馬場 秀忠 Baba, Hidetada  
ホスト研究室：本林重イオン核物理研究室  
(アドバイザー 本林 透)

今後のRIBFにおける実験では人類が経験のし  
たことの無い大強度カクテルビームを用い、また  
必然的に実験セットアップも大規模なものになる  
ため、現行の信号処理・解析手法では大強度カク  
テルビームを生かしきれない。本研究では産業界  
で積極的に推し進められているユビキタスの概念  
を基にユビキタス検出器を開発する。特徴はデッ  
ドタイムを無くすために従来のADCやメインアン  
プなどの処理の遅い回路を用いず、FADCでアナ  
ログ波形をデジタル波形に変換し、近年発展目覚  
しいデジタル信号処理デバイスを用いたデジタル  
波形解析から物理量を導き出すという点である。

本年度は主にユビキタス検出器の設計とデジタ  
ル波形解析アルゴリズムの研究を行った。理研内  
他研究室と共同で「ユビキタス型汎用デジタル信  
号処理システムの開発」というテーマで理研理事  
長ファンド戦略型研究資金を取得し、まずはリコ  
ンフィギャブルデジタル信号処理デバイスを用い  
たデジタル信号処理部の仕様を決定し製造を始め  
た。また並行して、アナログ信号を取り込む  
FADC部の設計を進めている。波形解析アルゴリ  
ズムの研究としては理化学研究所と筑波大学の加  
速器を用いてGe、Si検出器の波形を収集し、物理  
量を導き出すアルゴリズムの検討を行っている。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T.,  
Matsuyama Y. U., Akiyoshi H., Aoi N., Gomi T.,  
Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H.,  
Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S.,

Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata  
M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K.,  
Yamada K., Yanagisawa Y.: “Isoscalar monopole  
and dipole responses in  $^{14}\text{O}$ ”, Second Joint Meeting  
of the Nuclear Physics Divisions of the APS and  
JPS, APS and JPS Society, Hawaii, USA, Sep.  
(2005)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T.,  
Matsuyama Y. U., Akiyoshi H., Aoi N., Gomi T.,  
Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H.,  
Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S.,  
Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata  
M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K.,  
Yamada K., Yanagisawa Y.: “Measurement of  
inelastic alpha scattering on  $^{14}\text{O}$ ”, Workshop on  
Nuclear Incompressibility, JINA Society, Indiana,  
USA, Jul. (2005)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T.,  
Matsuyama Y. U., Akiyoshi H., Aoi N., Gomi T.,  
Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H.,  
Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S.,  
Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata  
M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K.,  
Yamada K., Yanagisawa Y.: “Isoscalar monopole  
and dipole responses in unstable nucleus  $^{14}\text{O}$ ”,  
Direct Reactions with Exotic Beams (DREB2005),  
Michigan, USA, Jun. (2005)

(国内会議等)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T.,  
Matsuyama Y. U., Akiyoshi H., Aoi N., Gomi T.,  
Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H.,

Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S., Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K., Yamada K., Yanagisawa Y.: “Isoscalar monopole and dipole strengths in  $^{14}\text{O}$ ”, *Binding Mechanism and New Dynamics in Weakly Bound Systems*, 京都、12月 (2005)

馬場秀忠：“ユビキタス型汎用デジタル信号処理システムの開発プロジェクト-波形解析”、放射線検出器と電子回路の課題と展望、播磨、12月 (2005)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T., Matsuyama Y. U., Akiyoshi H., Aoi N., Gomi T., Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S., Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata

M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K., Yamada K., Yanagisawa Y.: “Inelastic alpha scattering on  $^{14}\text{O}$ ”、殻模型討論会、和光、7月 (2005)

馬場秀忠：“ユビキタス検出器の構想”、放射線検出器と電子回路の課題と展望、和光、5月 (2005)

Baba H., Shimoura S., Saito A., Minemura T., Matsuyama Y. U., Akiyoshi H., Aoi N., Gomi T., Higurashi Y., Ieki K., Imai N., Iwasa N., Iwasaki H., Kanno S., Kubono S., Kunibu M., Michimasa S., Motobayashi T., Nakamura T., Sakurai H., Serata M., Takeshita E., Takeuchi S., Teranishi T., Ue K., Yamada K., Yanagisawa Y.: “Isoscalar responses in  $^{14}\text{O}$  via inelastic alpha scattering”、RIKEN one-day workshop、和光、4月 (2005)

## XVII—008

### 軽い中性子・陽子過剰核反応における 分解過程の寄与の系統的な理論解析

Theoretical Analysis of Breakup Mechanism of Light Neutron/Proton Rich Nuclei

研究者氏名：松本 琢磨 Matsumoto, Takuma

ホスト研究室：本林重イオン核物理研究室

(アドバイザー 本林 透)

軽い中性子過剰核である $^6\text{He}$ を入射核とした反応を解析しその分解過程の寄与を調べた。 $^6\text{He}$ 核は $^4\text{He}$ 核をコアとしその周りに2つの中性子が弱く結合した構造(2中性子ハロー核)を成している為、それを入射核とした反応過程において $^6\text{He}$ 核が $^4\text{He}$ 核と2つの中性子に分解する効果が重要になる。また入射核が3つの核子または原子核で構成される為、この反応は標的核まで含めると4体系として記述する必要がある。

本年度は、 $^6\text{He}$ 核と $^{209}\text{Bi}$ 標的核との入射エネルギーが20MeV程度の散乱の解析を行なった。この反応系において、入射エネルギーが $^6\text{He}$ 核と $^{209}\text{Bi}$ 核の間のクーロン障壁近傍になる為、クーロン力による分解効果が重要となると考えられる。これを精度良く取り扱うには、 $^6\text{He}$ 核を記述する際にその $E1$ 遷移の強度を実験値を再現するようにしなければならない。実際これまでの $^6\text{He}$ 核の構造を簡単に外側の2つの中性子を1つの粒子とみなし

たモデルでの解析では、 $E1$ 遷移の強度を実験値よりも過大評価していた為、実験を再現できていない。そこでまず $^6\text{He}$ 核の構造を $^4\text{He}$ と2つの中性子の3体系で記述したモデルで、基底、共鳴状態のエネルギー、 $E1$ 遷移の強度を精密に記述できる「ガウス型基底関数展開法(GEM)」を用いて束縛状態と共に分解状態を記述し、反応過程において分解する効果(分解状態への遷移)を「離散化チャンネル結合法(CDCC)」により純量子力学的に精密取り扱った。この方法で計算された弾性散乱の断面積の角分布は実験値を良く再現できた。この結果から本研究の手法は中性子過剰核の分解反応を精密に記述する方法として有用なものになると期待される。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Matsumoto, T., Egami, T., Ogata, Iseri, Y., Kamimura,

M., Yahiro, M.: “Coulomb breakup effects on elastic cross section of  ${}^6\text{He}+{}^{209}\text{Bi}$  scattering near Coulomb barrier energies”, submitted

●口頭発表 Oral Presentations  
(国際会議)

Matsumoto, T., Hiyama, E., Ogata, K., Iseri, Y., Kamimura, M., Yahiro, M.: “The method of continuum-discretized coupled-channels for four-body breakup reactions”, Direct Reaction with Exotic Beams, Michigan State University, Jun. (2005)

Matsumoto, T., Egami, T., Ogata, K., Hiyama, E.,

Iseri, Y., Kamimura, M., Yahiro, M.: “Four-body CDCC analysis of  ${}^6\text{He}+{}^{209}\text{Bi}$  scattering near Coulomb barrier energies”, Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS, Hawaii, Maui, Ritz Carlton Hotel, Sep. (2005)

Matsumoto, T., Egami, T., Ogata, K., Hiyama, E., Iseri, Y., Kamimura, M., Yahiro, M.: “Four-body CDCC analyses of  ${}^6\text{He}+{}^{12}\text{C}$  and  ${}^6\text{He}+{}^{209}\text{Bi}$  scattering”, RIKEN-CNS RIBF International Workshop; Correlation and Condensation: New Features in Loosely Bound and Unbound Nuclear States, RIKEN, Dec. (2005)

XVII—009

K 中間子の原子核に於ける深束縛状態の実験的研究

Experimental Study of Deeply Bound Kaonic Nuclear States

研究者氏名：鈴木 隆敏 Suzuki, Takatoshi

ホスト研究室：岩崎先端中間子研究室

(アドバイザー 岩崎 雅彦)

我々は2005年度に於いては、KEK-PS E471実験で ${}^4\text{He}$  ( $K_{\text{stopped}}, p/n$ )反応に於いて二次荷電粒子同時計測条件下で発見/示唆されたストレンジトライブリオン $S^0(3115)/S^+(3140)$ 状態の確認、それらの自然幅の精密測定及び励起状態の探索のため、KEK-PS E549実験において、高分解能でinclusiveな陽子飛行時間測定を行うべくE471実験装置を改善し、

(1) 陽子についてはinclusiveな運動量分布の測定と運動量有感領域の低運動量側への拡張

(2) 中性子に対してはE471と同様の二次荷電粒子同時計測条件において、分解能において1.5倍、統計において3～4倍程度の改善を狙い、2005年6月にデータ取得を行った。その実験結果については、分解能に関し目論み通りの結果が得られつつあるものの、信頼し得る核子スペクトルの構成には至っていないため、結論には引き続き注意深い解析を要する(2006年2月現在)。一方、反K中間子ヘリウム原子の2p状態の強相互作用による準位のずれの大きさ、符号は $S^0(3115)$ が赤石-山崎の予言する反K中間子原子核状態であるか否かを結論するために決定的であり、また過去の反K中間子ヘリウム原子実験から結論された2p準位のずれは如何なる理論

から導かれる値(0~10 eV)よりもanomalousに大きい(30~100 eV)ことから、反K中間子-原子核間の相互作用の決定に対しそのヘリウム4原子状態の3d->2p原子状態遷移に対応するX線の精密分光が極めて重要であるため、我々E549/570実験グループは既存のE549実験装置に新たに半導体検出器(SDD - Silicon Drift Detector)を導入することにより、高分解能、低バックグラウンドのX線検出器とE549検出器群によるvertex及び静止K事象選択を組み合わせ、かつて無い高い統計においてbackground-freeに近い条件で反K中間子ヘリウム4起源のX線エネルギー分布を得た。本実験に関しては2005年10月及び2005年12月の二つのサイクルのデータ取得を行った。

●誌上発表 Publications

(原著論文)

Suzuki T., Bhang H., Franklin G., Gomikawa K., Hayano R.S., Hayashi T., Ishikawa K., Ishimoto S., Itahashi K., Iwasaki M., Katayama T., Kondo Y., Matsuda Y., Nakamura T., Okada S., Outa H., Quinn B., Sato M., Shindo M., So H., Strasser P., Sugimoto T., Suzuki K., Suzuki S., Tomono D.,



Vinodkumar A.M., Widmann E., Yamazaki T., and Yoneyama T.: “A search for deeply bound kaonic

nuclear states”, Nuclear Physics A, 754 375c-382c (2005)\*

## XVII—010 反K中間子と軽い原子核との深い束縛状態に関する理論的研究

Theoretical Study on Deeply Bound States of anti-Kaon and Light Nuclei

研究者氏名：根村 英克 Nemura, Hidekatsu  
ホスト研究室：岩崎先端中間子研究室  
(アドバイザー 岩崎 雅彦)

理研の岩崎先端中間子研究グループによって発見された、ストレンジトライバリオン状態がどのような構造を持っているかを理論的に調べることを目指した研究を行っている。本年度は、この実験の契機となった、 $\Lambda(1405)$ が反K中間子と核子との束縛状態であるという仮説を、クォーク模型の立場から調べた。 $\Lambda(1405)$ は、ストレンジネス  $S=-1$  を持った粒子でありながら、同じ  $(1/2)$  のスピンとマイナスのパリティを持った核子の励起状態  $N(1535)$  よりも軽い質量を持っている。従って、 $\Lambda(1405)$  は、なんらかの特別な機構によって異常に質量の軽くなった、エキゾチックな粒子であると考えられる。クォーク-クォーク間およびクォーク-反クォーク間に働く相互作用として、現象論的閉じ込めポテンシャルおよびカラー磁気相互作用を仮定すると、フレーバSU(3)対称性のもとで、 $\Lambda(1405)$  がいわゆるペンタクォーク状態であるときのカラー磁気相互作用が、全体として同じ量子数を持ったメソン+バリオン状態におけるカラー磁気相互作用よりも強い引力を与えることが知られている。ただし、これは、フレーバSU(3)対称性という、現実には破れている対称性を仮定した場合の話である。本研究では、フレーバ対称性の破れを正しく考慮し、 $\Lambda(1405)$  がペンタクォーク状態にある場合のエネルギーを、半相対論的な運動エネルギー項と、上に示したようなポテンシャルを含むハミルトニアンのもとで、クォークの5体問題を精密に解くことによって評価した。その結果、 $\Lambda(1405)$  が3つのクォークでできてると仮定した場合に得られる質量よりも、ペンタクォーク状態にあると仮定した場合の質量が軽くなることがわかった。この結果は、 $\Lambda(1405)$  の構造の主要成分が、ペンタクォーク的なものであることを示唆しており、ストレンジトラ

イバリオン状態の精密な構造を調べるための大きな一歩である。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Nemura H., Shinmura S., Akaiishi Y., and Khin Swe Myint: “Fully coupled channel approach to doubly strange s-shell hypernuclei”, Phys. Rev. Lett. 94, 202502 (2005)\*

Nemura H.: “Exotic structures of light hypernuclei”, Proceedings of the 19<sup>th</sup> European Conference on Few-Body Problems in Physics, AIP Conf. Proc. No. 768, 284-290 (AIP, New York 2005)\*

Nemura H.: “Full coupling dynamics of doubly strange hypernuclei”, Proceedings of the Third Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics, World Scientific, in print\*

Nemura H. and Nakamoto C.: “Study of pentaquark and  $\Lambda(1405)$ ”, Proceedings of the XVII Particles and Nuclei International Conference (PANIC05), AIP, in print\*

Nakamoto C. and Nemura H.: “ $\Lambda(1405)$  in a hybrid quark model”, Proceedings of the XVII Particles and Nuclei International Conference (PANIC05), AIP, in print\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Nemura H.: “Full coupling dynamics of doubly strange hypernuclei”, The Third Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, July (2005)

Nemura H. and Nakamoto C.: “Semirelativistic calcu-

lations of exotic systems”, Second Joint Meeting of Nuclear Physics Division of the APS and JPS, Kapalua, Maui, Hawaii, September (2005)

Nemura H. and Nakamoto C.: “Study of pentaquark and  $\Lambda(1405)$ ”, The XVII Particles and Nuclei International Conference (PANIC05), Santa Fe, New Mexico, USA, October (2005)

Nemura H.: “ $\Lambda^3\text{He}$  anomaly and tensor  $\Lambda\text{N}-\Sigma\text{N}$  cou-

pling”, YITP Workshop: Binding Mechanism and New Dynamics in Weakly Bound Systems, Kyoto, December (2005)

(国内学会等)

根村英克、仲本朝基：“クォーク模型による  $\Lambda(1405)$  の研究”、特定領域「ストレンジネスで探るクォーク多体系」研究会、伊東、11月(2005)

XVII—011

### 超空間への非可換幾何の一般化とそれを用いた一般の背景場中の超弦理論の研究

Generalization of Noncommutative Geometry in Superspace and Research of the Superstring Theory in General Background Using it

研究者氏名：澁佐雄一郎 Shibusa, Yuuichirou  
ホスト研究室：川合理論物理学研究室  
(アドバイザー 川合光)

超弦理論の非摂動的定式化といわれるIKKT行列模型は、重力を含んだ理論であると考えられるため、背景場に依らない定式化であることが必要とされる。すなわち、低エネルギーの有効理論であるアインシュタイン方程式の解である現在の宇宙など、ありとあらゆる背景場の候補がその理論の中に内在されていると考えられている。そこで私は、IKKT行列模型の非摂動的な解の構造をとくに「改良摂動法」と呼ばれる手法を使って解析した。

そもそもIKKT行列模型は理論の性質として10次元でかつ超対称性を持った理論である。

その中から特に我々の宇宙である4次元宇宙を出すためには、対称性をSO(10)からSO(4)に落とす自発的対称性の破れが実現されねばならない。

一般に相転移が起こる系では、秩序相の情報は無秩序相の摂動計算では調べることができない。しかしIKKT行列模型では、背景場に依らないすなわち摂動の真空の選択に依らない理論であるため、上記のようなことをせねばならない。そこで使用するのが平均場近似の拡張の一種である「改良摂動法」である。

私は実際にこの手法を相転移のある系に適用し、実際に秩序相の真空に対応する自由エネルギーの良い近似を、無秩序相の摂動計算から得られ

ることを示した。これによって、10次元のIKKT行列模型の、零周りの摂動計算から、非摂動的な4次元宇宙に対応する解を解析することができることを示した。

一方で超弦理論の高エネルギー散乱から示唆される一般化された不確定性関係に注目した。そしてそれを産み出す一般化された正準交換関係を元にする場の理論を構築した。

この理論は通常の場合の理論にたいする高エネルギーでの弦の補正と考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Aoyama T., Matsuo T., Shibusa Y.: “Improved Taylor expansion method in Ising model”, Progress of Theoretical Physics, in print\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

澁佐雄一郎：“経路積分による変形正準交換関係の場の理論”、日本日本物理学会2005年秋季大会、大阪、9月(2005)

澁佐雄一郎：“改良テラー展開法における相転移”、日本日本物理学会2006年年次大会、松山、3月(2006)

研究者氏名：内海 裕洋 Utsumi, Yasuhiro

ホスト研究室：古崎物性理論研究室

(アドバイザー 古崎 昭)

半導体量子ドット、金属単電子トランジスタ、カーボン・ナノチューブ、単一原子や分子トランジスタなどのナノ構造では‘近藤効果’が実現されている。特にカーボンナノチューブやC<sub>60</sub>量子ドットでは電極を超伝導体や強磁性体にして遍歴電子系を制御した新奇な近藤状態が実現されている。またナノ構造では局所非平衡状態の制御も可能である。それに関して近年、計数統計理論が活発に研究されている。計数統計はメソスコピック導体を透過する電子数の確率分布関数を調べる研究である。今のところ計数統計理論は一体問題の範囲に限られており、メソスコピック強相関係での計数統計理論の研究は最もチャレンジングな問題の一つである。本研究の目的は強磁性体電極に結合した単電子トランジスタなどの新奇なナノ構造での非平衡近藤効果を計数統計という新概念により理解することである。

本年度は強磁性体電極につないだ量子ドットにおける非平衡近藤効果を研究した。通常、近藤共鳴状態は電極の電子のフェルミレベルに近藤温度の程度で広がっている。しかし強磁性体電極を付けると、磁気的な相互作用が量子ドットのスピント電極の磁化の間に誘起され共鳴状態は分裂する。この問題について数値繰り込み群、運動方程式の方法、スレーブボゾン平均場近似、NCAを用いた研究が過去2年間に出されたが非平衡状態の系統的な理論はまだなかった。本研究ではKeldyshダイアグラムに関する部分和の方法と数値計算を組み合わせ、非平衡近藤効果の近似を開発した。結果は実験を定性的に非常に良く説明できた。

さらに単電子トランジスタを例に取り計数統計理論を研究した。単電子トランジスタは数学的には異方的多チャンネル近藤ハミルトニアンで記述されるため非平衡近藤問題の典型とされている。本研究では最近、計数統計との関係が明らかにされた経路積分形式の非平衡場の理論、Schwinger-Keldysh法、または実時間経路積分法、を用いて

計数統計理論を構築した。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Utsumi Y., Martinek J., Schön G., Imamura H., Maekawa S.: “Nonequilibrium Kondo Effect in a Quantum Dot Coupled to Ferromagnetic Leads”, *Phys. Rev. B* 71, 245116 (2005) (13 pages)\*

Utsumi Y., Golubev D., Schön G.: “Full Counting Statistics for a Single-Electron Transistor, Nonequilibrium Effects at Intermediate Conductance”, *Phys. Rev. Lett.*, in print.\*

Bagrets A., Utsumi Y., Golubev D., Schön G.: “Electron Transport, Interactions, Full Counting Statistics, Solid-state Quantum Information Systems”, *Fortschritte der Physik (Wiley-VCH)*, in print.\*

Utsumi Y., Martinek J., Schön G., Imamura H., Maekawa S.: “Nonequilibrium Kondo Effect in a Quantum dot Coupled to Ferromagnetic Leads” *Proceedings of The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo '05)* (World Scientific) in print.

Utsumi Y.: “Full counting-statistics in a single-electron transistor in the presence of strong quantum fluctuations” *Proceedings of The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo'05)* (World Scientific) in print.

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議、招待講演)

Utsumi Y.: “Kondo Effect in a Quantum Dot Coupled to Ferromagnetic Leads”, *International Workshop on Spins and Quantum Transport*, Sendai, Japan, Oct. (2005)

(国際会議、一般発表)

Utsumi Y., Martinek J., Schön G., Imamura H., Maekawa S.: “Nonequilibrium Kondo Effect in a Quantum dot Coupled to Ferromagnetic Leads” The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo '05)

Utsumi Y.: “Full counting-statistics in a single-electron transistor in the presence of strong quantum fluctuations” The 8th International Symposium on Foundations of Quantum Mechanics in the Light of New Technology (ISQM-Tokyo '05)

Utsumi Y., Martinek J., Schön G., Imamura H., Maekawa S.: “Kondo effect in ferromagnetic tunnel junctions”: The third international school and conference on spintronics and quantum information

technology (Spintech III)

Utsumi Y.: “Full Counting Statistics in a Single-electron Transistor” The 11th RIKEN International Nanoscience and Technology Conference

Utsumi Y., Martinek J., Schön G., Imamura H., Maekawa S.: “Nonequilibrium Kondo effect in a quantum dot coupled to ferromagnetic leads” The 11th RIKEN International Nanoscience and Technology Conference

(国内学会等)

内海裕洋：“強磁性電極に結合した量子ドットの非平衡近藤効果”、日本物理学会年秋季大会、京都、9月(2005)

内海裕洋：“金属量子ドットの計数統計”、日本物理学会2005年秋季大会、京都、9月(2005)

## XVII—013

### 不規則電子系における金属 —絶縁体転移点の異常局在状態に関する理論的研究

Anomalously Localized States at the Critical Point of the Metal-Insulator Transition in Disordered Systems

研究者氏名：小布施 秀明 Obuse, Hideaki

ホスト研究室：古崎物性理論研究室

(アドバイザー 古崎 昭)

量子干渉効果が支配的となる極低温下において、系の乱れは量子状態や伝導特性に本質的な役割を果たす。特に、相互作用のない不規則電子系では、不純物散乱が電子状態を空間的に局在させることがある。このように、系の乱れが強くなるのに伴って、電子系が金属相（非局在状態）から絶縁相（局在状態）へ転移する現象をアンダーソン転移という。アンダーソン転移のような臨界現象には、一般にユニバーサリティと呼ばれる極めて基本的かつ重要な性質がある。ユニバーサリティとは、臨界特性が、その系の基本的対称性および次元のみに依存し、その微視的構造には依存しない性質のことである。この性質を反映し、アンダーソン転移点において、波動関数はマルチフラクタル構造を形成すると考えられる。しかしながら、近年2次元不規則電子系の金属—絶縁体転移点において異常局在状態と呼ばれる新しい量子状態が存在することが明らかとなった。通常の局在状態とは異なり、異常局在状態における振幅分布は、乱れの統計的揺らぎによって狭い空間領域に

集中する。この状態は特徴的長さの存在によりマルチフラクタル構造を示さないため、より詳細な研究が望まれている。

本研究では、まず2次元不規則電子系の異常局在状態についてのより詳細な解析を行った。従来の研究で用いられた異常局在状態の定義を拡張し、異常局在状態についての統計的性質を数値的に調べた。その結果、より一般的な定義においても臨界点において異常局在状態が存在するという従来の結論を支持する結果が得られた。このように臨界点でありながら異常局在状態が存在する理由として、2次元という空間次元の特殊性に起因する可能性が挙げられる。そのため、異なる空間次元に属する不規則系の臨界点においても異常局在状態の存在を調べることが重要となる。そこで本研究では3次元不規則電子系の臨界点について2次元系と同様の計算を行った。その結果、3次元不規則電子系の臨界点においても異常局在状態は存在することが分かった。この結果は、臨界点における異常局在状態の存在は、空間次元の特殊

性に依るものではなく、不規則電子系の有する一般的な性質であることを意味する。

また、不規則電子系の臨界点において、系の境界条件が与える波動関数の振幅統計への寄与についての研究を行った。その結果、実際の試料が有する境界条件であると考えられる固定端系では、臨界点においてバルク系とは異なる振舞いを示すということが明らかとなった。この状態についてのより詳細な研究は次年度に行う予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Obuse H. and Yakubo K.: “Topological aspects of wave function statistics at the Anderson transition”, *Topologica*, in print

Obuse H. and Yakubo K.: “Non-multifractal states at the Anderson transition point”, AIP Conference Proceedings series, in print

Yakubo K. and Obuse H.: “Critical level statistics for anomalously localized states at the Anderson transition point and their multifractality”, AIP Conference Proceedings series, in print

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Obuse H. and Yakubo K.: “Non-multifractal states at the Anderson transition point”, 24th International Conference on Low Temperature Physics, Orlando, USA, Aug. (2005)

Yakubo K. and Obuse H.: “Critical level statistics for anomalously localized states at the Anderson transition point and their multifractality”, 24th International Conference on Low Temperature Physics, Orlando, USA, Aug. (2005)

Obuse H.: “Statistics of large fluctuations of wave functions in disordered quantum dots with spin-orbital interactions”, International Symposium on Mesoscopic Superconductivity and Spintronics 2006, Atsugi, Japan, Feb.-Mar. (2006)

Obuse H. and Yakubo K.: “Anomalously localized states at the Anderson transition”, American Physical Society March Meeting 2006, Baltimore, USA, Mar. (2006)

(国内学会等)

小布施秀明、矢久保考介：“不規則電子系における波動関数統計とトポロジー”、日本物理学会2005秋季大会、京田辺、9月(2005)

小布施秀明、矢久保考介：“3次元不規則電子系の臨界点における異常局在状態”、日本物理学会第61回年次大会、松山、3月(2006)

## XVII—014

### $^3\text{He}$ における2次元超流動の探索

Search for Two Dimensional Superfluid  $^3\text{He}$

研究者氏名：斎藤 政通 Saitoh, Masamichi

ホスト研究室：河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

超流動 $^3\text{He}$ は膜厚 $1\mu\text{m}$ 以下の薄膜になると、p波クーパー対への系のサイズ効果が顕著となるため、バルク系では見られない、異方的秩序変数の新たな本質的側面が顕在化される。その1つとして、異方的秩序変数の内部自由度に由来する自由度を持った2次元超流動相が予想されている。また、異方的ペアポテンシャルでの境界近傍ではアンドレーエフ束縛状態を形成するために、ドメイン構造を持った空間的に非一様な超流動状態(ストライプ相)が安定な領域も存在すると考えられている。

しかしながら、これらを実験的に確認するためには温度 $1\text{mK}$ 以下の極限的環境下で、 $1\mu\text{m}$ 以下の膜厚である微量サンプルを扱う必要があり、技術的に困難であった。

本研究では、微細加工により作成したくし型電極の導入によりこれら困難を克服し、薄膜流動特性の膜厚依存性から、2次元超流動相およびストライプ相を検出することを目的としている。くし型電極とは、2つの微細な櫛状の電極により形成された平面展開型コンデンサーである。微細構造であるため、電極に発生する電場は基板表面のご

く近傍に平面的に集約され、誘電体である $^3\text{He}$ の高感度な静電的制御・測定が可能となる。この手法により $1\mu\text{m}$ 以下の薄膜を扱うことができる。さらに、印加電圧により電極への $^3\text{He}$ 吸着量を調整できるため、 $^3\text{He}$ 膜厚、即ち系のサイズを自由に制御した実験が可能であり、系サイズが異方的クーパー対形成に及ぼす影響を直接観測可能な実験手法である。

これまでに核断熱消磁冷却装置の整備を終え、約 $0.4\text{mK}$ の最低到達温度を確認した。また、くし型電極への電圧印加に対する $^3\text{He}$ 薄膜の応答として、流れの駆動を確認し、電極の性能が所定のものであることがわかった。さらに、くし型電極を用いた流動特性の温度変化から超流動転移を確認することができた。現在、膜厚依存の調査段階に到っている。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Aoki Y., Wada Y., Saitoh M., Nomura R., Okuda Y., Nagato Y., Yamamoto M., Higashitani S., and Nagai K.: “Observation of surface Andreev bound states of Superfluid  $^3\text{He}$  by transverse acoustic impedance measurements”, Phys. Rev. Lett., 95 75301-1-4 (2005)\*

Saitoh M., Wada Y., Aoki Y., Nishida R., Nomura R., and Okuda Y.: “Observation of A-B phase transition

of superfluid  $^3\text{He}$  by transverse acoustic response”, AIP conference Proceedings, in print

Saitoh M., Wada Y., Aoki Y., Nomura R., and Okuda Y.: “Spectroscopic study of the surface density of states of superfluid  $^3\text{He}$  by transverse acoustic impedance measurements”, Phys. Rev. Lett., submitted

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Saitoh M., Wada Y., Aoki Y., Nishida R., Nomura R., and Okuda Y.: “Observation of A-B phase transition of superfluid  $^3\text{He}$  by transverse acoustic response”, 24th International Conference on Low Temperature Physics, Orlando, Florida, USA, Aug. (2005)

Saitoh M., Wada Y., Aoki Y., Nomura R., and Okuda Y.: “Observation of Surface Bound States in Superfluid  $^3\text{He}$  by Transverse Acoustic Response”, International Conference on Ultra-Low Temperature Physics (ULT2005), Gainesville, Florida, USA, Aug. (2005)

(国内学会等)

斎藤政通、河野公俊: “Investigation of new phase transition in submicron superfluid  $^3\text{He}$  film by interdigitated capacitors”, 文部科学省特定領域研究「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」領域発足研究会、東京、12月 (2005)

XVII—015

### 高速精密回転希釈冷凍機を用いた 超流動He量子渦と表面素励起の研究

Study of Quantized Vortex and Surface Elementary Excitation using High Speed  
and High Stability Rotating Dilution Refrigerator

研究者氏名: 高橋 大輔 Takahashi, Daisuke

ホスト研究室: 河野低温物理研究室

(アドバイザー 河野 公俊)

絶対零度まで液体として存在するヘリウム ( $\text{He}$ ) は、超流動転移という量子位相が秩序化する特徴的相転移を起こす。超流動 $\text{He}$ は回転下で循環が量子化することと渦度が量子化されることが知られている。この量子渦の構造は $^4\text{He}$ が位相の量子化のみに依存し渦構造はほぼ解明されているのに対し、 $^3\text{He}$ ではクーパー対の軌道角運動

量も重要な役割を果たすため、多様な渦構造の存在が考えられているものの、その直接的な観測はなされていない。加えて量子渦と液体 $\text{He}$ 表面・界面の相互作用については研究難度の高さよりこれまで全く研究されていない。本研究では回転超流動 $\text{He}$ の表面状態の研究をとおしてこれらの課題を解明することを目的としている。

初年度である今年度は以下の二点について重点的に研究開発を行った。

(1) 高速精密回転希釈冷凍機の整備

回転超流動自由表面を研究するための冷凍機は下記の点に細心の注意を払う必要がある。(1) 回転時に起こりうる振動に対する機械的安定度と安定した回転速度。(2) 回転時における自由表面平行度の保持。(3) 十分な冷凍能力。以上である。これらに対し次の対策をとった。(i) 冷凍機を除振架台上に設置したものを低摩擦機械式ベアリングに載せ回転させる。(ii) 平行を保つため除振架台は圧縮空気バネで浮かせる。(iii) 高機密磁気シールを用いた回転式排気ユニットを用いることで通常の希釈冷凍機と同様の仕様を実現。以上により冷凍機は回転下にあっても振動レベルが通常実験室に設置されている除振架台上の冷凍機と変化なく、3.14 rad/secの回転下で最低温度5 mKを達成した。

(2) 表面二次元電子系を用いた回転自由表面測定系の構築

量子渦を伴う超流動自由表面の観測は液体表面に電子を浮かべることにより形成される二次元電

子系を用いて行う。超流動点移転温度以下の700 mKにおける信号安定度測定を回転数1 rad/secまで行った。データのばらつきは回転時、非回転時いずれも±0.1%以内であり、回転下においても非常に高いデータの確度が得られることが保証された。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Takahashi D., Kono K.: "A new rotating dilution refrigerator for studying the surface of liquid He, Superfluids under Rotation, Manchester, UK, Apr. (2005)

Takahashi D., Kono K.: "New Rotating Dilution Refrigerator to Study Free Surface of Superfluid Helium, Orland, USA, Aug. (2005)

(国内学会等)

高橋大輔、河野公俊：“高精度回転希釈冷凍機を用いた回転超流動He-4上における二次元電子系の移動度測定 - I - ”、日本物理学会、京都、9月 (2005)

XVII—016

量子ドットを用いた単一電子スピンのコヒーレント制御

Coherent Control of Single-electron Spin States in Quantum Dots

研究者氏名：森山 悟士 Moriyama, Satoshi

ホスト研究室：石橋極微デバイス工学研究室

(アドバイザー 石橋 幸治)

量子ドット (人工原子) 素子の開発は、量子物理学の探究だけでなく、従来のデバイスの概念にはない電子系の相互作用を利用した新機能デバイス実現の観点から、その基本素子として非常に重要である。本研究では量子ドットによって束縛された単一電子の量子状態を外部からの電磁波によってコヒーレントに制御し、固体内電子のコヒーレンスの実験的実現・物理的性質の解明を行うことを目的としている。そして物性物理探究だけではなく、この今までのデバイスには全く無かった動作原理を利用し、量子コンピューティングや量子通信に応用される固体量子相関素子を作製する。量子ドットの材料として、ナノテクノロジーを担う材料の一つとして注目されているカーボン

ナノチューブ (CNT) を用いる。CNTはその一次元伝導体である構造を加工することによって、現在の微細加工技術では作製できないサイズの量子ドット素子を作製することができる。本年度において、単層CNT量子ドットの電子殻構造の解明、および単一電子スピン状態の形成と緩和時間の測定を行った。その結果、以下の成果を得た。(1) スピン縮退した量子準位による2電子殻構造の解明と、スピン2準位系の形成。これは量子コンピュータの基本素子である量子ビットの初期状態の実現を意味する。従来の半導体人工原子と比べて軌道の影響がないため、量子ビット素子として非常に有望なことが示された。(2) 単層CNT特有の4電子殻構造の解明と、相互作用する2電子ス

ピン系の形成。これは、2電子のエンタングルメント状態の生成を意味し、量子相関デバイスへ応用できる可能性を示すものである。(3)パルス励起電流測定による単一電子スピンの緩和時間の測定。パルス励起電流によるゼーマン分裂の観測に成功し、単一電子スピンの緩和時間が1マイクロ秒以上あることを実験的に示した。本研究の結果、CNT人工原子の電子殻構造を明らかにし、人工原子内において、相互作用する2電子スピンの形成の観測に成功した。1量子ビットの初期化状態の実現と電子スピンによるエンタングルメント状態の生成は、CNT人工原子素子による量子情報処理デバイス実現の可能性を示したものである。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Aoyagi Y. and Ishibashi K.: “Four-electron shell structures and an interacting two-electron system in carbon nanotube quantum dots”, *Phys. Rev. Lett.*, 94, 186806 (1-4), (2005)\*

Moriyama S., Fuse T., Aoyagi Y. and Ishibashi K.: “Excitation spectroscopy of two-electron shell structures in carbon nanotube quantum dots in magnetic fields”, *Appl. Phys. Lett.*, 87, 073103 (1-3), (2005)\*

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M. and Ishibashi K.: “One-dimensional shell structures and excitation spectrum in single-wall carbon nanotube quantum dots”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, in print\*

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Yamaguchi T. and Ishibashi K.: “Pulse-excited current measurements in carbon nanotube quantum dots”, *J. Phys. Cond. Matt.*, in print\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M. and Ishibashi K.: “Spin configurations in carbon nanotube quantum dots”, 14th International Winterschool on New Developments in Solid State Physics international conference, Mauterndorf, Austria, 13-17, February, 2006.

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Aoyagi Y. and

Ishibashi K.: “Artificial atoms in carbon nanotubes for spin-based quantum computing devices”, 1st Asia-pacific symposium on nanoscience and frontier materials, Tokyo, Japan, 3, February, 2006.

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Yamaguchi T. and Ishibashi K.: “Electrical pulse-excited transport measurement of carbon nanotube quantum dots in magnetic fields”, NPMS-7/SIMD-5, Seventh International Conference on New Phenomena in Mesoscopic Structures/Fifth International Conference on Surfaces and Interfaces of Mesoscopic Devices, Hawaii, USA, November 27-December 2, 2005.

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Aoyagi Y. and Ishibashi K. (invited): “Shell structures and an interacting two-electron system in carbon nanotube artificial atoms”, Third Joint Taiwan-Riken Nanotechnology Workshop, Academia Sinica, Taiwan, 24-27, November, 2005.

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M. and Ishibashi K. (invited): “Shell structures and an interacting two-electron system in carbon nanotube quantum dots”, SSDM2005, The international conference on Solid State Devices and Materials, Hyogo, Japan, 12-15, September, 2005.

Moriyama S., Fuse T., Ishibashi K.: “Single spin generation and the Zeeman effect in carbon nanotube quantum dots”, Spintech III, The third international school and conference on spintronics and quantum information technology, Hyogo, Japan, 1-5, August, 2005.

Moriyama S., Fuse T., Suzuki M., Aoyagi Y. and Ishibashi K.: “Artificial atom in carbon nanotube quantum dots”, The 11th RIKEN International Nanoscience and Technology Conference, Nagano, Japan, 21-24, June, 2005.

(国内学会等)

森山悟士、布施智子、鈴木正樹、石橋幸治：“カーボンナノチューブ量子ドットのスピン状態”、日本物理学会2006年第61回年次大会、愛媛、3月、2006.

森山悟士、布施智子、山口智弘、石橋幸治：“カーボンナノチューブ量子ドットの電子スピン状態の決定”、2006年春季第53回応用物理学関係



連合講演会、東京、3月、2006。  
森山悟士、布施智子、鈴木正樹、山口智弘、石橋  
幸治：“カーボンナノチューブ量子ドットのパ

ルス励起電流測定”、2005年秋季第66回応用物  
理学会学術講演会、徳島、9月、2005。

## XVII—017 界面特性変化を認識するナノコロイドセンサーの開発 ～コロイド化学の観点から考えた遺伝子診断システムの開発～

Development of a Nano-colloid Sensor Capable of Recognizing the Change in Surface Properties.  
A Gene Diagnosis System from the Point of Colloidal Chemistry.

研究者氏名：佐藤 保信 Sato, Yasunobu  
ホスト研究室：前田バイオ工学研究室  
(アドバイザー 前田 瑞夫)

個人の一塩基多型 (SNPs) からは、薬に対する副作用などが予測できることから、個人個人に合わせた医療が可能となる。医療現場において、迅速で正確な遺伝子診断が必要になることは間違いないが、一塩基という僅かな違いを見分ける方法には比較的時間のかかるものが多く、簡便なDNA診断ができるまでには至っていない。

DNAの一塩基変異という小さな変化を大きなシグナルへ変換することの重要性に着目し、DNA担持金ナノ粒子の「非架橋型」凝集反応に関して研究を進めてきた。「非架橋型」では、1種類のDNA担持金ナノ粒子を相補的なDNAと反応させ、さらに塩を加えると凝集が起こる。この反応は、末端塩基のミスマッチに敏感であり、簡単にDNAの一塩基ミスマッチを識別することができる。しかし、マイクロチューブ内で行う凝集実験では、多種類のSNPsを同時に検査することは難しい。「非架橋型」のシステムを遺伝子診断チップに組み込むことが出来れば優れたデバイスになると考えた。

本年は、非架橋型凝集反応をマイクロ流路中で行い、表面プラズモン共鳴 (SPR) イメージングセンサー上で観察した。SPRセンサーは金表面近傍の屈折率変化を感度よく調べることができる。Y字型の流路を持つポリジメチルシロキサン (PDMS) マイクロチップを作製し、事前にターゲットとハイブリダイズさせたDNA担持金ナノ粒子を流路内で塩溶液と混合した。その結果、相補鎖とハイブリダイズしたDNA担持金ナノ粒子を流した場合には、ナノ粒子が特異的に金基板へ堆積する現象が見られた。本手法の検出限界は約

100 fmolであり、これはチューブ内で凝集を観察する測定結果に比べて検出限界が200倍向上した値である。

また、異なる相補的塩基対を持つDNA末端間の相互作用を、金ナノ粒子-金基板間で調べた。その結果、基板上の相補的DNAの末端を、異なる塩基配列を持つDNA担持金コロイドで識別できることが分かった。ヘテロな関係にあるDNAの末端同士においても相互作用を示すということになる。今後は、DNA担持金ナノ粒子をDNAチップ上の二本鎖末端を識別する「非架橋型」のラベル化剤として用い、アレイ型のSNPs検出チップの作製を試みる。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Sato Y., Sato K., Hosokawa K., and Maeda M.: “Rapid and sensitive single-base mismatch detection by a power-free PDMS microchip with surface plasmon resonance imaging” Proceedings of  $\mu$ TAS 2005 Conference, 2, 997 (2005)\*

(解説)

佐藤保信、佐藤香枝、細川和生、前田瑞夫：“DNA修飾金ナノ粒子で見分ける一塩基変異 (表面プラズモン共鳴イメージングによる観察)” バイオサイエンスとインダストリー、63 765 (2005)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Sato Y., Sato K., Hosokawa K., and Maeda M.: “Rapid

and sensitive single-base mismatch detection by a power-free PDMS microchip with surface plasmon resonance imaging” MicroTAS 2005, Boston, USA, Oct (2005)\*  
(国内会議)

佐藤保信、佐藤香枝、細川和生、前田瑞夫：  
“DNA修飾金ナノ粒子を用いた表面プラズモン共鳴イメージング法による一塩基変異検出”、第54回高分子討論会、山形、9月（2005）

XVII—018

## 微細DNAパターンの複写・縮小技術の開発

Copy and Size-reduction of DNA Micropatterns

研究者氏名：鈴木 健二 Suzuki, Kenji  
ホスト研究室：前田バイオ工学研究室  
(アドバイザー 前田 瑞夫)

近年、個々のナノマテリアル（生体分子、ナノ粒子、ナノチューブなど）が示すデバイス機能に注目が集まっている。しかし、多種類のナノマテリアルを、基板上的の任意の位置に配列するための技術は確立されていない。この問題を解決するための一つのアプローチとして、DNA相補鎖間でのハイブリダイゼーション（二本鎖形成）を利用して、DNA修飾ナノマテリアルを、基板上的DNAパターンの上に配列する技術が注目されている。しかし、①多種類のDNAからなる、②ナノメートルレベルのDNAパターンを、③大量生産する技術はまだない。本研究では、この問題を解決するために、「多種類のDNAから成る微細パターンの複写・縮小技術」を開発する。

本年度は、高分子フィルムの伸縮を利用したDNAパターンの縮小技術の開発を試みた。このプロセスが実現されれば既存の技術を用いて大量生産されたマイクロメートルレベルのDNAパターンを、ナノメートルレベルのDNAパターンに変換できる可能性がある。

我々が提案する縮小プロセスは以下の3つの基本ステップから成る。(1) 機械的に引き伸ばされた高分子フィルム上に、既存のDNAパターン作成技術（ピンスポットティング、マイクロコンタクトプリンティング、インクジェットプリンティングなど）を利用して、DNAパターンを作成する、(2) 機械的な力を開放した時に起こる高分

子フィルムの収縮を利用してDNAパターンを縮小する、(3) 高分子フィルムを目的とする支持体に押し付け、縮小されたDNAパターンを支持体に転写する。さらに、(3)のプロセスにおける“支持体”を(1)のプロセスにおける“引き伸ばされた高分子フィルム”とし、(1) → (2) → (3) → (1) → (2) → (3) → …の様に縮小プロセスを繰り返せば、より高い収縮率を達成することが出来る。

これまでの研究で、1/1.8倍程度の収縮プロセスを5回繰り返し行うことで、200 $\mu$ m程度のDNAやタンパク質（アビジン）からなるパターンを、縦横ともに1/20倍程度まで縮小することに成功した。また本手法を用いて縮小転写されたDNAパターンが相補鎖間での分子認識能力を保持していることも確認した。今後はこの縮小プロセスをナノメートル領域の縮小にも適用しその限界を見極める。また本手法の特許化についても検討する。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kenji Suzuki, Hiroshi Masuhara, “Groove-Spanning Behavior of Lipid Membranes on Microfabricated Silicon Substrates., *Langmuir*, 21(14), 6487-6494 (2005).

## XVII—019 分子デバイスへの応用を念頭においた次世代分子性導体の開発

Development of New Molecular Conductors Applicable for Molecular Devices

研究者氏名：芦沢実 Ashizawa, Minoru

ホスト研究室：加藤分子物性研究室

(アドバイザー 加藤 礼三)

分子性導体を構築する有機半導体を基礎として、分子デバイスへ応用可能な新規の有機半導体及び分子性導体を開発することを目的とした。主として電界効果トランジスタへの応用をねらいとする。有機分子を用いることのメリットはシリコンなどの無機物質の場合と比較して、デバイスをプラスチック基盤上へ作成することが可能であり、ディスプレイ等のハードウェアの軽量化や、インクジェットやスクリーン印刷を利用した製造コストの大幅削減が期待される。有機分子を用いたトランジスタのキャリア移動度（モビリティ）は現在のところ無機物質には及ばないものの、実用に耐えうるレベルまで改良されている。この上に有機分子のメリットを組み合わせることで次世代のエレクトロニクスを切り開く可能性を秘めている。

分子性導体とは分子の集合体であり、分子の電子状態やこれに基づく結晶構造中での分子配列を制御することにより、有機超伝導体や有機磁性体などの様々な物性を発現することが可能である。電界効果トランジスタにおいても、用いる分子の配列を制御することは、キャリアの移動度を改良する上で重要なパラメータの一つである。

本年度は、超分子的な相互作用を利用した分子集合体の構造制御をねらいとして、新規分子の開発を試みた。

(1) 超分子的なアンチモン…アンチモン、アンチモン…硫黄原子間の相互作用を介した新規な分子配列や、電子構造を有する分子性導体の構築を目指して、メチルアンチモングループで架

橋したテトラチアフルバレン (TTF) 系のダイマー分子を合成し、その中性分子やテトラシアノキノジメタン (TCNQ) 塩の結晶構造を明らかにした。

(2) 上述の相互作用をオリゴチオフェン系分子へ応用して、リンやアンチモン原子で架橋した新規のチオフェン系分子を合成し、基礎的な物性について調べた。

(3) 金属錯体系の分子性導体におけるパイ共役系の拡張による分子間相互作用の増大を期待して、新規のジチオレン系の配位子の合成を試みた。合成する上で二種類の保護基を用いた選択的な保護、脱保護の可能性を検討した。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

芦沢実、伊藤裕美、中尾朗子、山本浩史、加藤礼三：“メチルアンチモングループで架橋したチオフェン及びTTF誘導体の開発”、日本化学会第86春季年会、日本大学船橋キャンパス、3月(2006)

### ●ポスター発表 Poster Presentations

(国際会議)

Ashizawa M., Nakao A., Yamamoto M. H., and Kato R.,: “Development of the First Methyl Antimony Bridged Tetrachalcogenafulvalene Systems”, ISCOM 2005, Key West, USA, Sep. (2005). Proceedings, in print.\*

研究者氏名：清水 康弘 Shimizu, Yasuhiro

ホスト研究室：加藤分子物性研究室

(アドバイザー 加藤 礼三)

有機半導体-強相関絶縁体接合系に光励起された電荷を注入し、物性制御をすることを目的とした。有機分子が伝導を荷う有機伝導体では、これまで自在に電荷密度を制御することが困難であったが、本研究により新たな電子状態の出現が期待される。また、半導体-強相関電子系界面の電子状態や光励起非平衡状態における強相関電子系の新たな物性物理が開拓されると期待される。

本年度は、まず有機半導体と有機伝導体のそれぞれの光伝導特性と電場の効果を調べた。擬二次元三角格子をもち、低温で電荷秩序を形成する種々の有機伝導体において、可視光パルスレーザーと電場パルスを印加し、電気抵抗測定を行った。その結果、 $\text{Et}_2\text{Me}_2\text{Sb}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ および $\text{Cs}[\text{Pd}(\text{dmit})_2]_2$ 錯体において、顕著な光伝導性もしくは電場誘起金属転移を示すことが明らかになった。

また、有機伝導体上に有機半導体および金属薄膜を真空蒸着装置を用いて作製し、その電子顕微鏡による表面観察、およびパルスレーザーとハロゲンランプを用いた光伝導特性を調べた。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kurosaki K., Shimizu Y., Miyagawa K., Kanoda K., and Saito G.,: “Mott transition from spin liquid to Fermi liquid in the spin-frustrated organic conductor  $k\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ ”, *Physical Review Letters*. 95 177001-1 - 177001-4 (2005)\*

Shimizu Y., Miyagawa K., Kanoda K., Maesato M., and Saito G.,: “Spin liquid in a spin-frustrated organic Mott insulator”, *Progress of Theoretical Physics Supplement* 159 52-60 (2005)\*

Shimizu Y., Kurosaki Y., Miyagawa K., Kanoda K.,

Maesato M., Saito G.,: “NMR study of the spin-liquid state and Mott transition in the spin-frustrated organic system,  $k\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ ”, *Synthetic Metals* 152 393-396 (2005)\*

Shimizu Y., Miyagawa K., Kanoda K., Maesato M., and Saito G.,: “Inhomogeneous spin state in a spin liquid on a triangular lattice under a magnetic field”, *AIP Conference Proceedings*, in print\*

Shimizu Y., Kasahara H., Kurosaki Y., Miyagawa K., Kanoda K., Maesato M., and Saito G.,: “Superconductivity emerging from spin-liquid Mott insulator in triangular lattice system”, *AIP Conference Proceedings*, in print\*

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Y. Shimizu, H. Kasahara, Y. Kurosaki, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato, and G. Saito.,: “Mott Transition and Superconductivity in Triangular Lattice Antiferromagnet  $k\text{-(ET)}_2\text{Cu}_2(\text{CN})_3$ ”, *International Symposium on Molecular Conductors*, Hayama, Japan, July (2005)

Y. Shimizu, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato, and G. Saito.,: “Inhomogeneous Spin State in a Spin Liquid on a Triangular Lattice under a Magnetic Field”, *24th International Conference on Low-Temperature Physics*, Florida, USA, Aug. (2005)

Y. Shimizu, H. Kasahara, Y. Kurosaki, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato, and G. Saito.,: “Superconductivity Emerging from Spin-Liquid Mott Insulator in Triangular Lattice System”, *24th International Conference on Low-Temperature Physics*, Florida, USA, Aug. (2005)

研究者氏名：清水 護 Shimizu, Mamoru

ホスト研究室：袖岡有機合成化学研究室

(アドバイザー 袖岡 幹子)

哺乳類では細胞内蛋白質の10%以上がリン酸化を受け、特定の蛋白質のリン酸化を行なうためのキナーゼ分子群は高等動物で数百種類に上ると考えられている。リン酸化によって活性調節を受ける蛋白質にはキナーゼやホスファターゼを始め、代謝経路に重要な多くの酵素、細胞骨格などの構造蛋白質、転写因子など様々あるが、まだその機能が不明な蛋白質や未知の蛋白質も多く含まれると考えられる。そしてこのリン酸化にはATPが重要な役割を果たしているのは周知の事実である。しかし、多くの蛋白質間でATP結合部位の構造には相同性が高く、その解析は困難である。そこで系統的に、且つ網羅的に蛋白質群からATP結合性の蛋白質を解析する新規手法の開発を目指す。

酵素群の中からATPと親和性の高い蛋白質のみを系統的に探索する手法として、ATPの三リン酸部位に加水分解を受けにくい修飾を施したATPミミックを種々合成し、これらを個々にaffinity gelに結合させ、ATPを認識する蛋白質の網羅的な選別を行なう。このような手法を採用することにより、ATPと強固に相互作用する蛋白質のみを選択的に分離することが可能である。また、加水分解されにくいATPミミックを用いることで、三リン酸部位の加水分解による酵素の見落としを防ぐことができる。

ATP結合蛋白質の結晶構造について調べたところ、ATPの三リン酸部位の $\alpha - \beta$ 間で加水分解を行なう蛋白質と、 $\beta - \gamma$ 間で加水分解を行なう蛋白質との間で、ATPと蛋白質の結合様式に差異が見られた。そこでATPミミックとaffinity gelとを結びリンカーの結合部位を2箇所に絞り、2系統のATPミミックの合成を試みた。目的化合物が強塩基性及び酸性条件下、化学的に不安定であると考えられるので、中性条件下除去可能な保護基の組み合わせで合成する必要がある。現在、ATPミミックの合成を進めており、今後affinity gelに担持させ、蛋白質群との相互作用について検討する

予定である。また、合成過程でアデニンの環外アミノ基をZ基で保護する際に、既存の試薬 (Z-Im) は反応性が低く、取り扱いも困難であるため、新たにZ化試薬 (ZNT) を合成した。ZNTは非常に結晶性が高く、他のZ化試薬と比較しても高活性であることがわかった。

### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Shimizu M., Saigo K., and Wada T.: "Solid-phase Synthesis of Oligodeoxyribonucleoside Boranophosphates by the Boranophosphotriester Method", Chem. Eur. J. (submitted)\*

Oka N., Shimizu M., Saigo K., and Wada T.: "1,3-Dimethyl-2-(3-nitro-1,2,4-triazol-1-yl)-2-pyrrolidin-1-yl-1,3,2-diazaphospholidinium hexafluorophosphate: a powerful condensing reagent for phosphate and phosphonate esters" Tetrahedron, in print\*

Kawanaka T., Shimizu M. Saigo K., and Wada T.: "A novel method for the synthesis of DNA and its analogs by the use of  $BH_3$  as a protecting group for phosphonic acid", Nucleic Acids Symp. Ser. 49, 119-120. (2005)

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Wada T., Shimizu M., and Saigo K.: "Chemical synthesis and properties of boranophosphate DNA", PACIFICHEM 2005, Honolulu, Hawaii, USA, Dec. (2005)

Kawanaka T., Shimizu M. Saigo K., and Wada T.: "A novel method for the synthesis of DNA and its analogs by the use of  $BH_3$  as a protecting group for phosphonic acid", 4th International Symposium on Nucleic Acids Chemistry, Fukuoka, Japan, Sep. (2005)

## ナノサイズ化における不活性物質の活性発現 ：局所電子状態測定による発現機構の解明

Activation of Chemically Inactive Materials by Nano-sizing: Elucidation of the Mechanism  
by Local Electronic Structure Measurements

研究者氏名：湊 丈俊 Minato, Taketoshi  
ホスト研究室：川合表面化学研究室  
(アドバイザー 川合 真紀)

金は化学的に不活性な物質であるが、2-3 nmの金ナノクラスターを金属酸化物（二酸化チタンなど）表面上に担持すると、突如として一酸化炭素の酸化反応などに触媒活性を示すようになる。この触媒活性機構を明らかにするために様々な研究がなされているが、未だその機構は不明なままである。本研究では、金ナノクラスターと金属酸化物との電子的相互作用に注目し、最も高活性なAu/TiO<sub>2</sub>系の電子状態と触媒活性との関連を調べ、不活性な金が活性化される機構を明らかにすることを目的としている。

本年度は、金クラスターの担体となる二酸化チタン表面の電子状態を原子レベルで明らかにした。特に、表面の電子状態を支配する酸素欠損由来の欠陥準位に注目し、その空間分布を走査トンネル顕微鏡（STM）を用いて直接観察した。この電子構造については、これまで光電子分光などを用いて広く研究がなされており、酸素欠損サイトに欠陥準位が局在していると長く信じられていた。しかし、我々がSTMを用いて原子レベルでの直接観測を行った結果、欠陥準位は酸素欠損には局在せず、その周辺の5配位チタンに非局在化していることが分かった。さらに、密度汎関数（DFT）計算によってその電子分布の機構を調べたところ、酸素欠損が引き起こす局所構造歪みによって、チタンと酸素が作り出す混成軌道の構造が大きく変化するためであることが分かった。これらのSTM測定とDFT計算の結果から、二酸化チタン表面の欠陥準位について、新たな電子構造を提案した。

次年度では、この二酸化チタン表面と金ナノクラスターの電子的相互作用を原子レベルで調べる予定である。既に光電子分光測定の結果から、二酸化チタンの欠陥準位が、金ナノクラスターと強く相互作用し、金ナノクラスターが負帯電化することを明らかにしているが、詳細な電子構造は明

らかではない。この負帯電化が生み出すと考えられる特異な電子状態を原子レベルで解析し、不活性な金が活性化される機構を明らかにする予定である。

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

1. Izumi Y., Nagamori H., Kiyotaki F., Masih D., Minato T., Roisin E., Candy J.-P., Tanida H., and Uruga T.: "X-ray Absorption Fine Structure Combined with X-ray Fluorescence Spectrometry. Improvement of Spectral Resolution at the Absorption Edges of 9 - 29 keV", *Analytical Chemistry*, 77(21), 6969 - 6975 (2005)\*

### ●口頭発表 Oral Presentation

(国際会議)

1. Minato T., Sainoo Y., Kim Y., Kato H.S., Zhao J., Petek H., Aika K.-i., and Kawai M., "Spatial distribution of defect states on TiO<sub>2</sub>(110)", 13th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM '05), Sapporo, Japan, Jul. (2005).
2. Minato T., Sainoo Y., Kim Y., Zhao J., Petek H., Susaki T., Shiraki S., Kato H.S., Aika K.-i., and Kawai M., "Gold nano-clusters at defects on TiO<sub>2</sub>(110): relationship between electronic interaction and catalytic activity", The 23rd European Conference on Surface Science (ECOSS 23), Berlin, Germany, Sep. (2005).

(国内会議等)

1. 湊丈俊、道祖尾 恭之、金有洙、須崎友文、白木將、Jin Zhao、Hrvoje Petek、加藤浩之、秋鹿研一、川合真紀 "二酸化チタン上金クラスターにおける電子移動過程と触媒効果" 分子構造総

合討論会2005、東京、9月(2005)

2. 湊丈俊 “二酸化チタン担持金クラスター触媒の電子状態と触媒活性” 公開シンポジウム「金属

酸化物表面上の超微粒子金属の触媒機構」、滋賀、3月(2006)(招待講演)

## 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

Study of the Interaction between Natural Products and Biomolecules

研究者氏名：齊藤 安貴子 Saito, Akiko  
ホスト研究室：長田抗生物質研究室  
(アドバイザー 長田 裕之)

近年、薬剤開発や薬剤の機能開発において、HTSの進歩により様々な研究が急速に進行したが、そのほとんどが、コンビナトリアル合成による単純な化合物を用いたものであり、限界が存在することも事実である。天然には、様々な微生物や植物等が生産する天然有機化合物が存在し、複雑な構造・多様な生物活性から、薬剤のリードとして非常に有用な化合物群である。そこで、天然有機化合物の生物活性について網羅的・化学的、かつ、迅速に研究することが望まれている。当研究室では、その方法の一つとして、化合物を予め修飾する必要のない光親和型低分子マイクロアレイ法を開発した。しかし、多くの天然有機化合物は様々な官能基・複雑な構造を有し、基板への導入時に様々な副反応が予想される。そのため、基板上への導入に保護した化合物を用いることを想定し、基板上での脱保護を含めた官能基変換が可能かを検証した。これは、基板上での構造活性-相関研究にも応用可能だと考えている。

本年度は、結合蛋白質が知られている低分子化合物とその誘導体をモデル化合物として用い、基板上で官能基変換後、蛋白質との結合を確認した。実際には、estradiol誘導体を用い、検出法としては、蛍光ラベル化蛋白質を用いる方法、及び、SPRイメージング法により、estradiol抗体との結合を検出することとした。その結果、基板上での化学処理、また、その後の低分子化合物-結合蛋白質の相互作用の検出が可能であることが確認できた。今後は、他のモデル化合物を用いた検討、及び、実際に結合蛋白質が不明の天然物を用いた検討を行う予定である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

齊藤安貴子、浅見綾、本田香織、叶直樹、長田裕之：“マイクロアレイ基板上に固定化された低分子化合物の官能基変換”、日本農芸化学会大会、京都、3月(2006)

## XVII—024

### 翻訳終結と共役したmRNA分解制御の分子機構の解析

Molecular Mechanisms of the Translation Termination-Coupled mRNA Decay

研究者氏名：船越 祐司 Funakoshi, Yuji  
ホスト研究室：辻本細胞生化学研究室  
(アドバイザー 辻本 雅文)

真核生物のmRNA分解は、通常3'末端poly(A)鎖の短縮化を開始段階として分解が進行し、また、この段階が律速となっている。先に我々は、翻訳終結因子であるeRF3がmRNAのpoly(A)鎖を覆っているPABP (poly(A)-binding protein)と相互作用することで、翻訳終結と共役してpoly(A)鎖の分解

を制御していることを示してきた。この翻訳終結と共役したmRNA分解制御機構は、転写されたmRNAから過不足なく蛋白質を合成する上で非常に合理的であり、遺伝子発現の調節において重要な位置を占めていると考えられる。

本研究は、この翻訳終結からmRNA分解へと至

る一連の反応の詳細な分子機構の解明を目的としている。本年度は、eRF3とpoly(A)鎖を直接分解する脱アデニル化酵素との関連について、出芽酵母を用いて解析を行った。出芽酵母では、poly(A)鎖の分解は2種の脱アデニル化酵素、PAN複合体とCcr4-Pop2複合体が担っている。そこで、それぞれの酵素の触媒サブユニットであるPan2およびCcr4の破壊株とeRF3の変異株においてpoly(A)鎖の動態を解析し以下の結果を得た。

- (1) 定常状態においてeRF3の変異株ではpan2破壊株と同様に、poly(A)鎖分解の異常により通常よりも長いpoly(A)鎖の蓄積が認められた。
- (2) 一方で、pan2破壊株ではpoly(A)鎖の分解速度には異常がみられないものの、eRF3変異株、ccr4破壊株ではpoly(A)鎖の分解速度が顕著に抑制されていた。
- (3) ccr4とeRF3の二重変異株において、PANの機能阻害による長いpoly(A)鎖の蓄積がみられ、逆にpan2とeRF3の二重変異株においてはCcr4の

機能阻害によるpoly(A)鎖分解速度の抑制が認められた。

すなわち、eRF3の変異株はpan2破壊株、ccr4破壊株の両方の表現型を有しており、eRF3は機能的に異なる2種の酵素の両方に作用してpoly(A)鎖分解を制御していることが示された。

さらに、上記のような遺伝学的な解析に加え、両酵素とeRF3との物理的な相互作用について、免疫沈降により検討したところ、eRF3とPAN、およびeRF3とCcr4-Pop2との間に相互作用が認められた。すなわち、eRF3はPANおよびCcr4-Pop2と複合体を形成することでpoly(A)鎖分解を制御していると考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(総説)

船越祐司、星野真一：“真核生物におけるmRNA分解制御の分子機構”、実験医学、Vol.23、No.12、1902-1907 (2005)

## XVII—025

### アセチル基転移酵素Eco1の新たな細胞内機能

New Cellular Function of Eco1

研究者氏名：大木本 圭 Ohkimoto, Kei

ホスト研究室：今本細胞核機能研究室

(アドバイザー 今本 尚子)

生体内において多くのタンパク質は、アセチル化やリン酸化などのさまざまな修飾により、その機能が制御されている。このためタンパク質の修飾は生命の維持のために必須である。例えば、アセチル化はヒストン修飾による遺伝子の発現調節や、ガン抑制遺伝子として広く知られているp53遺伝子の機能の増強などに深く関わっており、タンパク質修飾の中でも重要な位置を占めている。このアセチル化を行うアセチル基転移酵素の一つであるEco1は、これまで染色体複製及びその分配に共役しておこる姉妹染色体の粘着cohesionに関わる因子として研究されてきた。近年、この染色体cohesionにおいてEco1のアセチル化活性は必要ないことが明らかとなり、その活性の体内での役割は未解明のままである。

そこで本研究では、アセチル化を触媒する酵素のうちの一つであるアセチル基転移酵素Eco1につ

いて、ヒトのorthologを用い、その酵素の作用機構や細胞内機能について検討する。また、Eco1が細胞内において相互作用する基質、そしてそのアセチル化による細胞への影響を明らかにしていく。これまでに、子宮けい部ガンの原因として知られているPapillomavirusesのoncoproteinであるE7と相互作用することを見出している。そこで、この相互作用の意義についても検討する。

またヒトにおいては、Eco1のほかにもhomologとしてESCO2が確認されており、このmutantは、Roberts syndromeという重大な疾病を引き起こすということが報告されている。しかしながら、ESCO2においてもまた未知の部分が多く、同様に詳細な検討をすることが必要であると考えている。

本研究では、これまでほとんど解明されていないEco1のアセチル基転移酵素としての機能に焦点



を当て、細胞内における基質の同定や酵素学的な解析などを行い、EcoIの細胞内機能について解明

していくことを目的とする。

XVII—026

### 地衣類・共生菌の脂質分泌促進タンパク質の解析と 共生藻の菌類エクソサイトーシス誘因物質の解析

To Analyze the Chemical Nature of Secretagogues in Lichen Symbionts;  
Fungal Secretory Proteins and Fluid Substances in an Algal Conditioned Medium.

研究者氏名：小林 聡子 Arakawa-Kobayashi, Satoko  
ホスト研究室：中野生体膜研究室  
(アドバイザー 中野 明彦)

地衣類の共生菌と共生藻は地衣体と呼ばれる構造を形成し、そこに細胞を覆い尽くすほど大量の脂質結晶が析出する。我々が以前に行った研究で、これまでに地衣類の脂質分泌について、以下(1) - (4)の結果を得ていた。

(1) 脂質(アトラノリン)分泌は菌類が行うが、脂質分泌に先立って菌細胞質に含まれている分泌顆粒のエクソサイトーシスが必須である。分泌されたタンパク質が菌細胞の外側から脂質を細胞外側に引き出す作用をするためである。(2) このエクソサイトーシスを惹起させる物質が藻類から分泌される液性の分泌液にある。(3) 菌細胞質の分泌顆粒に含まれるタンパク質はアトラノリンに対して、肝臓由来の培養細胞で脂肪酸エチルエステルが分泌される時のアルブミン様の作用をするが、その性質の同定はしていない。(4) 分泌顆粒のエクソサイトーシスは、菌類細胞膜P面の陥入構造にダイナミックな変化を及ぼす。これらの結果から得られた、タンパク質が仲介する脂質分泌という新しい概念は、普遍的に細胞の脂質分泌全般に当てはまると考えられる。

そこで本年度の研究では、脂質分泌の機構をさらに解明するため上記(4)の細胞膜ドメインの構造タンパク質を解析することにした。しかし、地衣類の共生菌は遺伝学的研究が可能となっておらず、生育速度も速くはない。そこで、共生菌と同じ子囊菌類に属し、なおかつ生化学的、分子生物学的な解析が容易な出芽酵母を用いて研究を行うこととした。出芽酵母の細胞膜P面にも共生菌と類似した形態を持つ陥入構造(rod-like elongated invagination)が認められる。さらに、膜内粒子が高密度かつ規則的に配向してできる構造

(hexagonally arranged particles, HAP)が存在することも明らかにされており、細胞膜のダイナミクスの研究に好適であると考えられる。

まず、酵母の野生株の急速凍結レプリカ試料を透過型電子顕微鏡で観察し、陥入構造とHAPの存在を確認した。HAPは定常状態期の細胞に特徴的な構造として報告されていたが、同様の構造が対数増殖期の細胞にも存在し、分裂中の細胞では主に母細胞に分布することを示す結果を得た。

次に、陥入構造とHAPの生成とダイナミクスに関与するタンパク質を探索する目的で、細胞膜タンパク質の分布や存在量が異常になる変異株のレプリカ像を観察している。その結果、細胞膜タンパク質Sur7pの欠損株ではHAPの生成あるいは維持に異常があることを示唆する結果を得た。この結果に関しては来年度のIUBMBにて発表する予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Panichkin V. B., Kanaseki T., Arakawa-Kobayashi S., Suzuki I., Los D. A., Shestakov S. V., and Murata N.: "Serine/threonine protein kinase SpkA in *Synechocystis* sp. PCC 6803 is a regulator of expression of three putative pilA operons, formation of thick pili, and cell motility, *Journal of Bacteriology*, submitted (2006)\*

金関 恵、小林 聡子：“脂質分泌の一考察”、顕微鏡、40(3)、176-182 (2005)\*

(その他)

小林 聡子、植物細胞工学シリーズ22 プロトコール集「新版 植物の細胞を観る実験プロトコール

ル」1-3. 透過型電子顕微鏡“2フリーズフラクチャー法、ディープエッチング法”校正中 (2006)

●口頭発表 Oral Presentations  
(国内学会等)

内田和歌奈、小林聡子、郷達明、中野明彦、上田貴志：“シロイヌナズナの*atvps9a*変異体における胚発生の微細構造解析”、第47回日本植物生理学会年会、筑波大学、3月 (2006)

XVII—027 ショウジョウバエSUMO E3ligaseの生物学的機能の解明  
Exploring the Biological Role of SUMO E3 Ligase in *Drosophila Melanogaster*

研究者氏名：成 耆鉉 Seong, Ki-Hyeon  
ホスト研究室：石井分子遺伝学研究室  
(アドバイザー 石井 俊輔)

Ubiquitin様タンパク修飾因子SUMOの果す役割の研究は、翻訳後修飾機構の新たな側面の理解へと繋がる事が期待されているが、現段階はまだ、SUMO化修飾システムの本質を見いだすまでには到達していない。SUMO化システムの本質を突くための切り口として、基質特異性を決めるSUMO化E3群の研究は、非常に重要であるが、現在SUMO化E3の同定は3種類のタンパク質ファミリーを除いてほとんど進んでいないのが現状である。

ショウジョウバエの遺伝子CG9924は、全身性強皮症患者において産生される自己抗体のスクリーニングにより同定された、Spopと非常に高い相同性を示す(以降、CG9924をdSpopと呼ぶ)。dSpopは、本研究室において、Ciをベイトにした酵母 two-hybridスクリーニングにより同定された。SpopはMACROH2A, BMI1などのubiquitin E3酵素として働くことが報告されている。dSpopをベイトとしてさらに酵母 two-hybridスクリーニングを行ったところ、Ci以外にdSpopと結合するタンパク質候補として、Ubc9, Uba2などのSUMO化酵素遺伝子が同定された。実際にdspopはショウジョウバエS2細胞において、CiのSUMO化を促進

する。このことから、dspopがショウジョウバエにおいてSUMO化E3として働いていることが示唆された。

dSpopをベイトとした酵母 two-hybridスクリーニングによって、さらに、dSpopが遺伝子量補正に関わる、Msl-1、ホメオティック遺伝子の転写抑制維持に必要なpolycomb group (PcG) の一つ、PhoとPholが同定され、dSpopがこれらのタンパクに対してSUMO化E3として働いている可能性がある。このようにdSpopは、生物学的に重要な役割を果たしている可能性があり、SUMO化の理解への、多くの重要な知見が得られるものと考えている。私は、本研究により、dSpopのCi、Msl-1、Pho、Pholとの関わりを明確にし、さらに、SUMO化修飾の意義に迫りたいと考えている。

本年度は特にdspopとCiの関係の解明に力点をおいて解析を行った。EMS変異誘導法によって作成されたdspopの突然変異体、dspop遺伝子導入システムを用いた遺伝学的解析、ならびに、培養細胞を用いた実験を行い、dspopとCiの相互作用を詳細に検討した。それと平行して、dspopとpho、phol、そして、msl-1との関係についても研究を行った。

研究者氏名：福嶋 健二 Fukushima, Kenji  
 ホスト研究室：理研BNL研究センター  
 理論研究グループ  
 (アドバイザー L. McLerran)

高密度及び高エネルギー極限におけるQCDの理論的研究を行った。

高密度相図について得られた知見は次の通りである。1) カラー磁氣的不安定性 (Chromomagnetic Instability) はフレーバー数3のクォーク物質でも発現する。しかし起源はグルーオンの対角成分と非対角成分とは、全く異なっており、取り分け1、2成分のグルーオンは電気的中性条件による微妙なバランスの上でのみ不安定性を持ち得る。2) 不安定性の温度に対する感度は、異なる起源にそれぞれ対応して、対角成分と非対角成分とで、全く異なっている。また、安定だとされる4、5、6、7成分のグルーオンも不安定となる領域が存在し、ギャップエネルギーと同程度の温度まで不安定性は持続する。この不安定領域はフレーバー数2のクォーク物質で発見された不安定性との密接な関係を持っている。

高エネルギー状態について得られた知見は次の通りである。1) ゲージ不変なソース項を記述するためには Wilson lineは必ずしも必要ではない。ゲージ不変性を破る単純な形を与えても、ゲージ依存性を打ち消すように状態密度をソースの関数として与えることができる。2) アイコナル近似のもとで1ループ積分に対応する行列積を計算すると、ゲージ不変なソース項が自然と導出される。ここからカラー電荷間の交換関係を理論形式に組み込む方法について非常に有用な定式化が得られる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Kenji Fukushima: “Analytical and numerical evaluation of the Debye and Meissner masses in dense neutral three-flavor quark matter”, *Physical Review*, D72 074002 (2005)\*

Kenji Fukushima: “Phase structure and instability problem in color superconductivity”, *The European Physical Journal C* (in print)\*

Kenji Fukushima: “Gauge invariant source terms in QCD”, hep-ph/0512138 (2005)

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kenji Fukushima: “Phase structure and instability problem in color superconductivity”, International School of Subnuclear Physics: 43rd Course: Towards New Milestones in our Quest to go Beyond the Standard Model, Erice, Sicily, Italy, Aug.(2005)

Kenji Fukushima: “Collective excitations in a superfluid of color-flavor locked quark matter”, Second Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the APS and JPS, Hawaii, USA, Sep.(2005)

Kenji Fukushima: “Phase diagram and instability of dense neutral quark matter”, Particles and Nuclei International Conference, Santa Fe, New Mexico, USA, Oct.(2005)

## 偏極陽子-陽子衝突実験におけるW粒子を プローブとした陽子のスピン構造の研究

Study for Spin Structure of Proton by W Bosons in pp collisions

研究者氏名：神原 信幸 Kamihara, Nobuyuki

ホスト研究室：理研BNL研究センター

実験研究グループ

(アドバイザー 延興 秀人)

W粒子をプローブとしたクォーク・反クォークのフレーバーごとの偏極度測定の為に、PHENIX実験のミュオン軌跡検出器 (MuTr) を用いたW粒子トリガー用の読み出し回路の電子回路設計の研究を行った。

W粒子の測定には、W粒子より崩壊した高運動量のミュオン粒子を精度よく測定する必要がある。温度や磁場の変化によりMuTrチェンバーの

位置が時間ごとに動いてしまうので、ミュオン粒子を精度良く測定する為にこの時間変化を補正する必要がある。この為にMuTrに設置されている光学的位置補正装置の測定データを用い、MuTrチェンバーの動きの時間発展をミュオン粒子の解析プログラムの校正データとして使える様に測定データを解析した。

## 転写抑制因子Tup11, Tup12による クロマチン構造制御機構の解析

Analysis of Transcriptional Regulation by Co-Repressor Tup11-Tup12

研究者氏名：廣田 耕志 Hirota, Koji

ホスト研究室：遺伝ダイナミクス研究ユニット

(アドバイザー 太田 邦史)

長大なDNA分子は、ヒストンタンパク質に巻き付き高度に凝縮したクロマチン構造として、コンパクトに核内に格納されている。このようなクロマチン構造は、転写などのDNA代謝反応にとって障壁となり、適切にクロマチン構造を制御することが重要であることが知られている。我々はこれまで、分裂酵母転写抑制因子Tup11, Tup12がクロマチン構造制御に関わることを見いだしている。Tup11, 12を欠損した細胞では様々な遺伝子プロモーター領域のクロマチン構造が非特異的に弛緩しており、転写誘導が非特異におこってしまうことを発見した。このようなTup11, 12によるクロマチン構造制御の分子レベルでの解明のため、*fbp1*遺伝子のプロモーター領域をモデル系に解析を行った。今年度の成果として、*fbp1*の転写に関してZn-fingerタンパク質のScr1は転写抑制に、Rst2は転写活性化に機能していることがわかった。さらに、遺伝学的解析からScr1はTup11,12と協調的に機能し、Rst2はTup11,12の機能を阻害す

ることが示唆された。Scr1およびRst2の細胞内局在を観察するためにGFP融合タンパク質を細胞内で発現させたところ、Scr1は*fbp1+*の転写が誘導されるグルコース飢餓時に核から核外へ移行し、Rst2はこの正反対の局在パターンを示すことが明らかとなった。Scr1とRst2は*fbp1+*プロモーターのSTRE配列に結合している。Tup11およびTup12の*fbp1+*プロモーターにおける結合パターンをクロマチン免疫沈降実験により調べたところ、Scr1, Rst2と同様にSTRE配列周辺に結合していることがわかった。またこのような結合にはScr1が関わらないことが明らかとなった。これらことからTup11およびTup12の機能はScr1とRst2によって正または負に制御されている可能性が考えられる。今後、Tup11およびTup12によるクロマチン構造抑制が、*fbp1+*の転写活性化の時にどのような機構で解除され、適切にクロマチン構造変化が誘導されるのか解析を続ける。

●口頭発表 Oral Presentations

廣田耕志 柴田武彦 太田邦史：“減数分裂期組

換えホットスポットでのクロマチンリモデリング”、分子生物学会、福岡、12月（2005）

XVII—031

人為的な染色体二重鎖切断を用いた  
減数分裂期組換え機構に関する研究

Analysis of the Molecular Mechanism of Meiotic Recombination Using Designed DNA Double-strand Breaks

研究者氏名：福田 智行 Fukuda, Tomoyuki  
ホスト研究室：遺伝ダイナミクス研究ユニット  
（アドバイザー 太田 邦史）

真核生物の減数分裂期において、染色体DNAは複数の箇所ではSpo11タンパク質を中心としたタンパク質複合体によって切断され、相同染色体を鋳型とした組換えによって修復される。「減数分裂期組換え」と呼ばれるこの現象は遺伝的多様性の原動力となるだけでなく、減数分裂期に特徴的な染色体構造の形成、染色体の分配、配偶子の形成に重要な役割を果たしている。これまでに減数分裂期組換えの各段階に必要な因子は多数同定されているが、組換えの初発反応である染色体切断の位置や個数がどのように決定され、どのような機能を担っているのかについては不明な点が多く、包括的な理解が求められている。そこで本研究では、人為的に任意の箇所へ減数分裂期特異的に染色体切断を導入するというアプローチにより、減数分裂期組換えの分子機構を解明することを目的とする。

本年度は人為的な染色体切断を減数分裂期に導入する手法の確立を行った。切断の導入には、部位特異的エンドヌクレアーゼVDEの利用と、GAL4タンパク質のDNA結合ドメインを融合したSpo11タンパク質（Gal4BD-Spo11p）の利用とをそれぞれ試みた。VDEは出芽酵母の可動性遺伝因子にコードされるエンドヌクレアーゼで、31塩基対の認識配列を減数分裂期に切断することが知られている。そこで、VDEの認識配列を出芽酵母の染色体上の任意の箇所へ導入することにより減数分裂期に切断を引き起こすことが可能となる。また、Gal4BD-Spo11pはSpo11タンパク質をGal4タンパク質の結合配列へと強制的にリクルートすることができる。したがって、結合配列を染色体上の任意の箇所へ導入することで減数分裂期に切断を引き起こすことが可能となる。

VDEとGal4BD-Spo11pを用いた何れの系においても、任意の位置へ減数分裂期に染色体切断の導入が可能であることを複数の箇所を確認した。特にVDEを利用した系では、80%以上の細胞において切断を導入できること、一方向性の組換えを引き起こすこと、交叉により周囲の遺伝子の再編成が可能で、明らかになった。以上の結果より、切断の効果や機能を解析するという今後の研究の足がかりができただけでなく、時期特異的に任意の箇所では遺伝的多様性の創出、遺伝子破壊等が可能で「酵母遺伝学の有効な手法」を確立したといえる。

●誌上発表 Publications

（原著論文）

Fukuda T., and Ohya Y.: “Recruitment of RecA homologs Dmc1p and Rad51p to the double-strand break repair site initiated by meiosis-specific endonuclease VDE (PI-*SceI*)”, *Mol. Genet. Genomics*, in print\*

Ohya Y., Sese J., Yukawa M., Sano F., Nakatani Y., Saito T.L., Saka A., Fukuda T., Ishihara S., Oka S., Suzuki G., Watanabe M., Hirata A., Ohtani M., Sawai H., Fraysse N., Latge J.P., Francois J.M., Aebi M., Tanaka S., Muramatsu S., Araki H., Sonoike K., Nogami S., and Morishita S.: “High-dimensional and large-scale phenotyping of yeast mutants”, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102 19015-19020 (2005)\*

（総説）

福田智行、太田邦史：“減数分裂の機構とその制御”、*生物と化学*43(10):654-661 (2005)

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Fukuda T., Ohya Y., and Ohta K.: “Chromatin alteration and meiosis-specific DSB formation by VDE, a homing endonuclease encoded by mobile genetic element in yeast nuclear genome”, FASEB Summer Research Conferences, Genetic Recombination and

Genome Rearrangements, Colorado, USA, July (2005)

(国内学会等)

福田智行、太田邦史、大矢禎一：“出芽酵母核ゲノムにおける利己的遺伝子の伝播戦略”、日本遺伝学会第77回大会、東京、9月(2005)

XVII—032

超伝導検出器を用いた中性子 $\beta$ 崩壊陽子の  
エネルギースペクトル測定

A Measurement of Proton Energy Spectrum from Neutron  $\beta$  Decay with Superconducting Detector.

研究者氏名：三島賢二 Mishima, Kenji

ホスト研究室：延興放射線研究室

(アドバイザー 延興 秀人)

自由中性子の $\beta$ 崩壊の詳細な測定は、原子核 $\beta$ 崩壊と比較して核構造に依存しないため、より精密な標準模型の検証を可能にする。そのため、現在世界のさまざまな中性子実験施設でこの中性子 $\beta$ 崩壊の測定がなされているが、崩壊陽子に関しては、その運動エネルギーが最大で750eVと非常に小さいため、そのエネルギー分光は非常に困難であった。本研究では陽子検出に数eVの分解能を持つ超伝導検出器を用いることにより、より高精度の中性子 $\beta$ 崩壊の測定を目論んでいる。

本年度は超伝導検出器を用いる予備実験として、エネルギー分解能を持たない常温検出器を用いた中性子 $\beta$ 崩壊イベントの測定を行った。実験は日本原子力開発機構JRR-3において行った。原研陽子検出にはチャンネル電子増幅器、電子検出にはプラスチックシンチレーターと光電子増倍管を用い、双方のシグナルの時間差、波高値からイベント識別を行うことにより、中性子 $\beta$ 崩壊のイベントを良い精度(S/N $\sim$ 0.6、計数率0.4cps)で検出することに成功した。またその後もさらなる改善にむけ、バックグラウンド削減等の改良に取り組んだ。

そして次年度導入予定である超伝導トンネル接合素子(STJ)の作成、評価に取り掛かった。超伝導検出器による低エネルギーイオンの測定は世

界で初めての試みであり、測定原理の検証から行う必要がある。そこで、269eVの低エネルギー陽子をSTJを用いてエネルギー分光する実験を行った。結果、半値幅10%程度のエネルギー分解能で測定できることが示された。実際に中性子実験に用いるには超伝導検出器を大面積に対応させる必要がある。現在通常100 $\mu$ m角程度の素子を500 $\mu$ m角(面積で25倍)に拡張すべく努力している。

●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Mishima K., Yamada S., Sato.H, Hirota.K, Shinohara.T, Morishima.T, Suzuki.J, Oku.T, and Shimizu.H.: “Development of measurement system of neutron  $\beta$  decay” International Conference on Neutron Scattering 2005, Sydney, Australia, Dec. (2005)

(国内学会)

三島賢二、佐藤広海、大野雅史、森嶋隆裕、山田悟、奥隆之、鈴木淳市、清水裕彦：“中性子ベータ崩壊実験(NBD)について：超伝導検出器(STJ)の運用”、日本物理学会第61回年次大会、松山、3月(2006)

研究者氏名：廣野 守俊 Hirono, Moritoshi

ホスト研究室：脳科学総合研究センター

神経回路メカニズム研究グループ、  
小幡研究ユニット

(アドバイザー 小幡 邦彦)

モノアミン神経伝達物質はシナプス伝達の修飾物質として、その役割が精力的に調べられている。セロトニンはモノアミン神経伝達物質の一つであり、その神経線維は小脳に投射して小脳機能に大きく寄与すると考えられる。そして、そのセロトニンセンサーとしてルガロ細胞が注目されている。小脳にはルガロ細胞→ゴルジ細胞という抑制性シナプス伝達が存在し、普段はサイレントなルガロ細胞が、セロトニンを受容すると活動電位を発生して、ゴルジ細胞を強く抑制することが知られる。本年はセロトニン以外のルガロ細胞のモジュレーターを探索するため、他のモノアミン神経伝達物質、ノルアドレナリン (NA) に注目した。なぜなら、小脳には青斑核よりNA作動性神経線維が投射しており、小脳の運動学習に影響を与えると推測されるからである。これまで、プルキンエ細胞から記録される自発性抑制性シナプス後電流 (sIPSC) は、NAによって $\beta$ アドレナリン受容体 ( $\beta$ AR) の活性化を介して増大すると考えられた。しかし、本年度の追試実験から、 $\alpha$ ARも大きく関与することが明らかとなった。すなわち、このsIPSCは $\alpha_1$ AR活性化では増強し、 $\alpha_2$ AR活性化では減弱した。ここでのシナプス前細胞、主にステレート細胞から発火頻度を記録すると、 $\alpha_1$ AR活性化により増加し、 $\alpha_2$ AR活性化では減少することが分かった。つまり、シナプス前細胞の自発性発火が $\alpha$ ARにより相反的二重修飾を受けることが分かった。

では、ルガロ細胞→ゴルジ細胞のsIPSCはNAにより如何に制御されるか？ 本年度の研究から、このsIPSCもNAにより一過性に増大することが明らかとなった。また、テトロドトキシン存在下で

NAの増強効果が消失することから、ARの活性化は、ルガロ細胞の発火を誘起し、シナプス末端での放出メカニズムの促進には寄与しないと考えられる。さらにルガロ細胞を容易に同定するため、GABAニューロンがGFP蛍光で認識できるGAD67/GFPマウスを用いた。このマウス小脳のルガロ細胞からは、今までの報告とは異なり、コントロール条件下でも活動電位が生じ、その発火頻度はNAにより増加する傾向があった。そして先程のステレート細胞と同様に、 $\alpha_1$ AR活性化と $\alpha_2$ AR活性化とは相反する修飾作用が見られた。従って、ルガロ細胞はセロトニンだけでなくNAも感知して活動電位をより多く発火する可能性が示唆された。

#### ●誌上发表 Publications

(原著論文)

Hirono M., Obata K.: “ $\alpha$ -adrenoceptive dual modulation of inhibitory GABAergic inputs to Purkinje cells in the mouse cerebellum”, J. Neurophysiol., 95 700-708 (2006)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

廣野守俊、小幡邦彦：“アルファアドレナリン受容体による小脳抑制性シナプス伝達の修飾作用”、第28回日本神経科学大会、横浜、7月(2005)

廣野守俊、松永渉、小幡邦彦：“アルファアドレナリン受容体による小脳抑制性シナプス伝達の二重修飾作用”、第83回日本生理学会大会、前橋、3月(2006)

研究者氏名：紀嘉浩 Kino, Yoshihiro  
 ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
 構造神経病理研究チーム  
 (アドバイザー 貫名 信行)

優性遺伝の神経変性疾患であるハンチントン病や脊髄小脳失調症の幾つかのタイプは、原因遺伝子に存在する反復配列の異常伸長によって発症することが知られているが、そのメカニズムの本質は未だに不明である。これらの反復配列はタンパク質をコードする翻訳領域に存在するものと、非翻訳領域やイントロンに存在するものがある。いずれの場合でも、変異アリルからは伸長した反復配列を含むRNAが転写されるが、この変異RNA配列が細胞に悪影響をもたらす可能性が考えられている。その機構としては、RNA結合タンパク質の捕捉、インターフェロン応答の活性化などが示唆されている。一方、翻訳領域に存在する反復配列は、伸長したポリグルタミンなどの領域を含む凝集性のタンパク質の発現につながる。興味深いことに、これらのタンパク質が形成する細胞内封入体には転写因子、RNA結合タンパク質、翻訳制御因子などが共局在することが報告されており、各種のRNA代謝への影響が示唆される。

以上のように、反復配列の伸長はいくつかの経路で細胞内RNA代謝を攪乱して各種神経変性疾患の病態に関与する可能性が考えられるが、転写制御以外のRNA代謝に関しては、ほとんど検討がなされていない。そこで、本研究では伸長した各種反復配列に由来するRNA・タンパク質に結合する

因子、あるいはその下流で影響を受ける因子を同定し、その生理的あるいは病態上の意義を検討することを目的とした。

これまでに、ハンチントン病および脊髄小脳失調症3型の原因遺伝子のcDNAの発現系を用いて、新規のRNA代謝異常を確認している。今後の課題として、この異常に関わるRNA結合タンパク質を同定し、変異遺伝子の発現との関わりを検討する予定である。また、ハンチントン病モデルマウスにおける各種RNA代謝の挙動もあわせて検討する。さらに、伸長RNA反復配列の発現を伴う疾患のモデルマウスを作成し、同様の解析に用いる。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Kino Y., Oma Y., Sasagawa N., and Ishiura S.:  
 “Alternative splicing of CLC-1 chloride channel is regulated by MBNL and CELF proteins”, 5th International Myotonic Dystrophy Consortium Meeting, Quebec, Canada, Oct. (2005)

(国内学会等)

紀嘉浩、大間陽子、笹川昇、石浦章一：“筋強直性ジストロフィーにおけるスプライシング異常に関わるRNA結合タンパク質”、第28回日本分子生物学会年会、福岡、12月 (2005)

研究者氏名：中島 龍一 Nakajima, Ryuichi  
 ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
 神経蛋白制御研究チーム  
 (アドバイザー 西道 隆臣)

神経変性疾患の分子機構は、遺伝子改変モデル動物を研究対象とすることで急速に解明が進んでいるが、認知・記憶障害をはじめとする脳機能障

害の発生メカニズムには依然として不明な点が多い。本研究の目的は、神経変性疾患モデル動物について生理・生化学的手法を用いて解析すること



で、脳機能障害が起こる機序の一端を明らかにする事である。本年度は次の2つのテーマについて研究を行った。

- (1) ネプリライシン活性の低下によるシナプス可塑性の障害：ネプリライシンは内在性のタンパク質分解酵素である。アルツハイマー病の主要因であるアミロイド $\beta$  ( $A\beta$ ) は、主にネプリライシンにより分解を受けていることが近年明らかとなり、ネプリライシンの活性低下による $A\beta$ 蓄積が、アルツハイマー病理の重要な側面として注目を集めている。ネプリライシンの活性低下はアルツハイマー病理を増悪するので、海馬において、記憶の素過程であるシナプス可塑性の形成に障害が起こることが予想された。本研究ではこの可能性を生理学的に検証するため、Nep-KOマウスとアミロイド前駆体蛋白 (APP) トランスジェニックマウスの掛け合わせマウスを作成し、海馬歯状回における麻酔下 *in vivo* 細胞外電位記録を行った。これにより、同マウスにおいて、テタヌス刺激後の集合スパイク強度が有意に減少していることが確認された。この結果により、ネプリライシンの活性低下と、アルツハイマー病による神経機能不全との関係が直接的に示された。
- (2) シナプス可塑性形成におけるカルパインの機能の解明：カルパインは、細胞内のカルシウム濃度が上昇することによって分解活性を発現する内在性のカルシウム依存性プロテアーゼであり、その基質は多岐に渡る。近年の研究によ

ってカルパインが神経変性疾患の病理における重要な因子である事が明らかになって来ている。また面白い事に、カルパインは生理条件において、シナプス可塑性の形成機構を担う重要分子であるとも考えられている。本研究において、カルパインの内在性阻害因子であるカルバスタチンをノックアウトし、カルパインの活性を上げたマウスについて (1) と同様の方法で電気生理学的に長期増強を誘発した結果、歯状回における集合スパイク強度が野生種と比較して有意に上昇した。この増強機構を生化学的手法と生理学的手法を組み合わせることで、シナプス可塑性形成におけるカルパインの機能を解明する事が次年度の目標である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Huang S., Takano J., Nakajima R., Higuchi M., Iwata N., and Saido T. C.: "Enhancement of hippocampal long-term potentiation by calpain activation", Neuroscience 2005, Washington D.C., Nov. (2005)  
(国内学会等)

末元隆寛、中島龍一、黄樹明、樋口真人、Matthias S.、西道隆臣、岩田修永：“脳内ネプリライシン活性の低下によるシナプス可塑性と学習・記憶能力の障害(2)：電気生理学的解析”、第24回日本痴呆学会学術集会、大阪、9月(2005)

### XVII—036 カルシウムシグナルによる神経成長円錐の運動制御機構の解明

Mechanisms of Neuronal Growth Cone Guidance Induced by  $Ca^{2+}$  Signals

研究者氏名：戸島拓郎 Tojima, Takuro  
ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
神経成長機構研究チーム  
(アドバイザー 上口裕之)

複雑かつ精巧な神経回路を形成するために、発生中の神経軸索先端部に現れる成長円錐は、外界環境因子(誘引・反発因子)に応じて自身の内在的な運動性を変化させ軸索を正確な標的へと牽引する。成長円錐の運動性は、細胞骨格系(アクチン線維・微小管)の動態や神経接着分子・膜小胞

のトラフィッキングにより制御されている。多くの場合、環境因子受容に応じた成長円錐の巡回運動(誘引・反発)は、成長円錐内局所での細胞内カルシウム濃度上昇によって誘発される。本課題では、生きた成長円錐内での細胞骨格・神経接着分子・膜小胞の動態を最新のイメージング技術を

用いて可視化し、カルシウムシグナルに応じたこれら機能分子の動態を解析することで、軸索ガイダンスを司る成長円錐の運動制御機構を解明することを目的としている。成長円錐の移動速度を規定する素要因は、①アクチン後方移動の速度、②アクチン線維-接着分子間クラッチの結合効率、③エンドサイトーシスされた接着分子/膜小胞のリサイクル速度・効率、の3点に要約される。すなわち成長円錐の巡回運動は、カルシウムシグナルが上記3要因のいずれかに変化を誘発し、その結果として成長円錐の領域特異的に移動速度の非対称が生じた結果として説明できる。

本年度は、成長円錐巡回運動に対するアクチン動態の寄与を検証した。特にアクチン線維の後方移動を正確に評価するために蛍光スペックル顕微鏡法を適用した。低濃度の蛍光標識ファロイジンを鶏卵胚脊髄後根神経節細胞に導入したところ、成長円錐周辺部におけるアクチン線維がランダムに標識され蛍光斑（スペックル）を呈した。これを高感度CCDカメラで経時的に追跡することでア

クチン後方移動速度を定量化することに成功した。続いてケージド化合物光解離法により成長円錐局所カルシウムシグナルを誘発し、これに対するアクチン後方移動速度の変化を解析したところ、有意な変化は観察されなかった。以上の結果から、アクチン後方移動はカルシウム誘導性の成長円錐巡回運動に寄与しないことが示唆された。平成18年度以降は、微小管および接着分子・膜リサイクルについて解析を進める予定である。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

戸島拓郎、大芦典子、秋山博紀、糸総るり香、上口裕之、“神経軸索ガイダンスを制御する分子機構：成長円錐局所における機能分子動態の解析”、第28回日本分子生物学会年会ワークショップ「次世代蛍光タンパク質イメージング：生理現象追跡に向けた新たなアプローチ」、福岡、2005年12月9日

XVII—037

#### 表面プラズモン光局在デバイスを用いた テラヘルツ微量成分検出システムの開発と指紋イメージングへの応用

Development of Highly Sensitive Terahertz Sensing System by Using Surface Plasmon Sensors

研究者氏名：宮丸 文章 Miyamaru, Fumiaki

ホスト研究室：フロンティア研究システム

テラヘルツイメージングチーム

研究チーム

(アドバイザー 大谷 知行)

テラヘルツ (THz) 光とは、光と電波の境界領域に位置する電磁波であり、その周波数領域は0.1~10THz付近である。この領域における電磁波技術の開発は立ち遅れており、未開拓電磁波領域とも呼ばれている。しかし、近年のレーザー技術や半導体デバイス技術を用いた光源の開発により、世界各国でTHz光技術が急速な発展を遂げている。特に、THz光を用いたセンシングやイメージングは、非接触の半導体評価、皮膚がんなどの医療診断、薬品や乾燥食品透視検査、危険物（爆薬、劇毒物、麻薬）の透視チェックシステムなどへの応用が期待され、活発な研究が展開されている。しかしながら、実用化のためには、光源の輝

度が低いことによる信号雑音比 (SNR) の低下、微量成分分析における感度の低さ、イメージングにおける空間分解能の限界など、まだ多くの技術課題を残している。

一方、近年、金属を材料とするフォトニック結晶の研究が理論的・実験的に研究が盛んになってきている。金属は光と強力な相互作用をするため、フォトニック結晶を構成した場合、誘電体フォトニック結晶では見られない新しい特徴が出現する。そこで本研究では、金属フォトニック結晶を用いた新規光学デバイスを開発し、それをTHz光センシング及びイメージングシステムに取り入れることにより、従来の技術課題を克服し、高SNR、

高感度及び、高空間分解能で透過スペクトル測定やイメージングを行う手法を確立する。

本年度は、金属フォトニック結晶を用いた微量試料の検出感度の検証及び、定量的評価を行った。

(1) 検出対象試料として印刷用インクを用い、従来のテラヘルツ分光システムと、本研究での金属フォトニック結晶を用いた場合とで検出感度の違いを測定し、金属フォトニック結晶の高感度を確認した。

(2) 別の試料としてグリセリンの微量検出の定量評価を行い、従来の分光システムと比較して、現状で、5倍以上の電磁波吸収の増幅効果があることがわかった。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Miyamaru F., Hangyo M.: “Slab thickness dependence of polarization change through metal hole arrays”, *Journal of Applied Physics* 99, 016105 (2006)\*

Miyamaru F., Otani C., Kawase K., Ogawa Y., Hayashi S., Yoshida H., and Kato E.: “Terahertz surface wave resonant sensor with metal hole arrays”, *Optics Letters*, in print\*

宮丸文章、萩行正憲：“テラヘルツ領域における金属開口アレイの透過特性”、*光学*34、478-480 (2005)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Miyamaru F., Tanaka M., and Hangyo M.: “Effect of dielectric layer on the transmission enhancement of metal hole arrays in terahertz region”, *International Symposium on Photonics and Electromagnetic*

*Crystal Structure VI (PECS VI)*, Crete, Greece, June 19-24 (2005)

Miyamaru F., Hangyo M., and Kawase K.: “Transmission enhancement for hetero-structure metal hole arrays”, *International Symposium on Photonics and Electromagnetic Crystal Structure VI (PECS VI)*, Crete, Greece, June (2005)

Miyamaru F., Otani C., and Kawase K.: “Terahertz imaging and sensing”, *The 18th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optic Society (LEOS 2005)*, Sydney, Australia, October (2005)

Miyamaru F., Otani C., Kawase K., Ogawa Y., Hayashi S., Yoshida H., and Kato E.: “Highly sensitive terahertz sensor based on a resonant transmission phenomenon of metal hole arrays”, *International Workshop on Terahertz Technology (TeraTech2005)*, Osaka, Japan. November (2005)

Miyamaru F., Otani C., Kawase K., Ogawa Y., Hayashi S., Yoshida H., and Kato E.: “Terahertz surface plasmon resonance sensor with periodic metal apertures”, *SPIE International Symposium Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology*, Brisbane, Australia, December (2005)

(国内会議)

宮丸文章、高野恵介、萩行正憲：“ニアフィールド結合による2層系金属開口アレイの偏光変化”、第66回 応用物理学会学術講演会、徳島大学、徳島、9月 (2005)

宮丸文章、小川雄一、林伸一郎、加藤英志、吉田永、大谷知行、川瀬晃道：“共鳴透過現象を用いた金属開口アレイ型テラヘルツ表面波共鳴センサ”、第66回 応用物理学会学術講演会、徳島大学、徳島、9月 (2005)

### XVII—038 Rab27A-Slp複合体によるインスリン分泌制御機構の可視化解析

Live Cell Imaging Analysis of the Molecular Mechanism of Exocytosis by Rab27A/Slp Complex

研究者氏名：坪井 貴司 Tsuboi, Takashi  
ホスト研究室：福田独立主幹研究ユニット  
(アドバイザー 福田 光則)

Rab27Aは低分子量G蛋白質Rabファミリーの一つであり、神経内分泌細胞、細胞傷害性T細胞、

血小板濃染顆粒など、様々な細胞種における調節性分泌の過程に関与している。調節性分泌は、分

泌顆粒の細胞膜への輸送、ドッキング、プライミング、分泌顆粒膜と細胞膜の融合に至る複数の素過程から構成される。しかしながら、Rab27Aとその結合蛋白質ファミリー（エフェクター）であるSlp（synaptotagmin-like protein）との複合体による開口放出制御機構の分子メカニズムについては、まだ不明な点がある。

本年度は、Rab27Aが豊富に存在する内分泌細胞PC12細胞を用い、PC12細胞からのホルモン顆粒の開口放出をモデル系としてRab27Aエフェクターの機能解析を試みた。Rab27Aエフェクターのうちrabphilinは、内分泌細胞PC12細胞に多く発現しており、ホルモン顆粒膜上でRab27Aと共局在することを見出した。rabphilinは、N末端側にRab27A結合ドメインを持つ一方、C末端側には二つのC2ドメインを有し、そのうちのC2Bドメインには細胞膜上に存在するSNAP-25が結合する事を結合実験により見出した。次に、ホルモン顆粒動態を全反射顕微鏡を用いて、リアルタイムで可視化解析することを試みた。全反射顕微鏡は、標本のごく一部の浅い部分（100nm範囲）の蛍光プローブを特異的に検出できる。つまり、カバーガラス上に存在する細胞膜領域の蛍光変化を観察することが可能となり、単一分泌顆粒のドッキング、プライミング、融合、開口放出の解析に適している。そこでこの顕微鏡を用い、GFPでラベルしたホルモン顆粒の時間的、空間的動態をリアルタイムで可視化解析した。その結果、野生型rabphilin分子を過剰発現したPC12細胞では、細胞膜上にドッキングしているホルモン顆粒数及びホルモン分泌量がコントロールに比べ約2倍に増加した。一方、SNAP-25が結合するC2B領域を欠損している変異型rabphilin分子を過剰発現したPC12細胞では、細胞膜上にドッキングしているホルモン顆粒数及びホルモン分泌量が2割ほど減少した。

以上の結果から、ホルモン顆粒膜上に存在するRab27Aは、Rab27Aエフェクター分子として

rabphilinを用いることにより、細胞膜上にあるSNAP-25と結合し、ホルモン顆粒を細胞膜上にドッキングしていることが明らかになった。PC12細胞には、複数のRab27Aエフェクター分子が存在する。中でもSlp4-aは、rabphilinと並んで多く発現しており、ホルモン分泌を抑制することが明らかになっているが、その分子メカニズムについてはまだ不明である。今後は、このSlp4-aによるホルモン分泌抑制メカニズムを解析する予定である。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Varadi, A., Tsuboi, T., and Rutter, G. A.: "Myosin Va transports dense core secretory vesicles in pancreatic MIN6 beta-cells" *Mol. Biol. Cell*, 16 2670-2680 (2005)\*

Tsuboi, T., Ravier, M. A., Xie, A., Ewart, M. A., Gould, G. W., Baldwin, S. A., and Rutter, G. A.: "Mammalian exocyst complex is required for the docking step of insulin vesicle exocytosis" *J. Biol. Chem.*, 280 25565-25570 (2005)\*

Tsuboi, T., and Fukuda, M.: "The C2B domain of rabphilin directly interacts with SNAP-25 and regulates the docking step of dense core vesicle exocytosis in PC12 cells" *J. Biol. Chem.*, 280 39253-39259 (2005)\*

Tsuboi, T., Ravier, M. A., Parton, L. E., and Rutter, G. A.: "Sustained exposure to high glucose concentrations modifies glucose signaling and the mechanics of secretory vesicle fusion in primary rat pancreatic beta-cells" *Diabetes*, in print\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

坪井貴司、福田光則：“ホルモン分泌顆粒ドッキング機構におけるRab3AとRab27Aの役割”、第28回日本分子生物学会年会、福岡、12月（2005）

## マウス由来グリセロホスホジエステル ホスホジエステラーゼの機能解析

Functional Analysis of Murine Glycerophosphodiester Phosphodiesterases

研究者氏名：大嶋 紀安 Ohshima, Noriyasu  
 ホスト研究室：放射光科学総合研究センター  
 城生体金属科学研究室  
 (アドバイザー 城 宜嗣)

真核生物は細胞膜リン脂質の構成成分として、ホスファチジルコリン、ホスファチジルエタノールアミン、ホスファチジルイノシトール、ホスファチジルセリンなどを有している。それらのリン脂質からホスホリパーゼによって脂肪酸が切り離されると、それぞれグリセロホスホコリン、グリセロホスホエタノールアミン、グリセロホスホイノシトール、グリセロホスホセリンなどのグリセロホスホジエステルを生じる。それらのグリセロホスホジエステルをグリセロール3-リン酸とコリンなどのリン脂質における極性基とに加水分解する反応を行うのが、グリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼである。この酵素はほ乳類に於いてその酵素活性が組織中に存在することは知られていたが、その実体は長く不明であった。しかし近年になって新たにグリセロホスホイノシトール特異的なホスホジエステラーゼがクローニングされた。本研究ではほ乳類における、各種グリセロホスホジエステルに対するホスホジエステラーゼを見だし、細胞膜リン脂質の分解や再構

成の過程などにおいて本酵素が生体内でどのような役割を果たしているのかを明らかにすることを目的とする。

本年度は、グリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼと予想したマウス由来タンパク質をほ乳類細胞に発現させて解析を行った。

- (1) データベースサーチによりグリセロホスホジエステルホスホジエステラーゼと予想されるタンパク質を選択した。そのうち理研FANTOMクローンセットより分与された6クローンをを用いて、ほ乳類細胞(293細胞)にタンパク質を生産させた。
- (2) 発現タンパク質の細胞内局在をウェスタンブロット法により解析した。
- (3) 発現タンパク質について、各種グリセロホスホジエステルに対する酵素活性の測定を行った。
- (4) タンパク質の翻訳後修飾を解析する目的で、抗体を用いたタンパク質の精製を行った。

## スプライソソームの構造生物学

Structural Biology on the Spliceosome

研究者氏名：林田 稔 Hayashida, Minoru  
 ホスト研究室：放射光科学総合研究センター  
 三木生物超分子結晶学研究室  
 (アドバイザー 三木 邦夫)

スプライソソームは核内でpre-mRNAからイントロンを正確に切り出し、エキソンを連結してタンパク質を直接コードする成熟したmRNAを生じるスプライシング反応を担う。スプライソソームは5種類のRNAと多数のタンパク質からなり、リボソームと同様に核酸-タンパク質超分子複合体である。スプライシングはこれらのRNA-タンパ

ク質複合体(snRNP)といくつかのnon-snRNPタンパク質の会合と解離によって進む。そのため、スプライソソームの構造生物学的研究は、その構造構築の複雑さおよび動的性質が大きいため非常に困難なものとなっている。

本研究では、スプライシング反応において重要な役割を果たしていると考えられるU2 snRNPの

構成単位Splicing Factor (SF) 3bを中心として、X線結晶構造解析の手法を用いた構造生物学的研究による原子レベルでのスプライシング機構の解明を目的とする。SF3bは7つのタンパク質からなる安定な複合体(450 kDa)を形成しており、イントロンの分岐点近傍のpre-mRNAに直接結合することによってスプライシング反応を開始させることから、スプライソソーム活性中心とも呼ばれている。近年、リボソームに続く核酸-タンパク質超分子複合体のターゲットとして、SF3bをはじめとしたスプライソソームの極低温電子顕微鏡による単粒子解析が活発に行われているが、いずれも低分解能構造のためスプライシング機構に関する詳細な情報は得られていない。また、SF3bを構成するタンパク質に関しても最近になってようやく同定されたばかりである。

本年度はヒトHeLa細胞からSF3b構成タンパク質のX線結晶構造解析に適した試料の調製を行った。大腸菌などを用いたSF3b構成タンパク質の大量発現系を構築し、現在4種類のSF3b構成タンパク質とnon-snRNPタンパク質の可溶性画分への発現を確認できた。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

林田稔：“スプライソソーム活性中心の構造生物学”、特定領域研究「生体超分子の構造形成と機能制御の原子機構」第1回ワークショップ、淡路、9月(2005)

林田稔：“スプライソソーム活性中心の構造生物学”、特定領域研究「生体超分子構造」第2回公開シンポジウム、金沢、12月(2005)

## XVII—041

### 高分子量蛋白質のドメイン同士のダイナミックな相互作用を解析するNMR法の確立

Application of the NMR Technique for the Characterization of Dynamic Domain-Domain Interactions in High-Molecular Weight Protein

研究者氏名：大野 綾子 Ohno, Ayako

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

城生体金属科学研究室

(アドバイザー 城 宜嗣)

真核生物において、細胞内蛋白質の機能調節には蛋白質の翻訳後修飾が極めて重要な役割を果たしており、中でもリン酸化は蛋白質機能の主たる制御機構を司る。本研究では、生理条件下での分子間相互作用の検出等において極めて優れているNMR法を駆使し、細胞内蛋白質のリン酸化によるシグナル伝達機構を解明することを目的とした。特に、従来のNMR法では解析が困難とされている30 kDa以上の高分子量蛋白質をターゲットとし、研究対象にはバクテリアの環境応答制御に関わる二成分情報伝達系のセンサー蛋白質、ヒスチジンキナーゼThkAを用いた。この系のセンサー蛋白質は、それと対応する応答因子と対をなして機能しているため、ThkAの機能発現機構を理解するには応答因子TrrAとの相互作用解析が必要となる。そこで、ThkAのうち応答因子との相互作用に関与していることが予想されるPASドメイ

ンや触媒ドメインに着目し、これらのドメインと応答分子の間のNMRによる相互作用解析を行った。まず、安定同位体標識したTrrA (13k Da)を用いて、感度のよいNMRスペクトル得るための測定条件の検討を行った後に、NMRによる滴定実験を行い、ThkAとの結合に伴い生じるTrrAの化学シフト変化をモニターした。ThkA側は、PASドメイン(13k Da)、触媒ドメイン(溶液中で二量体：57k Da)及び両方のドメイン含む領域(溶液中で二量体：82k Da)の三種類を用いた。その結果、PASドメイン単独ではTrrAとの結合は見られなかったが、他の二つに関してはTrrAと強く結合していることが明らかになった。しかし、結合に伴う分子量の増大から、結合後の良いスペクトルを得ることができなかった。そこで、重水素化したTrrAを用いて高分子量蛋白質を高感度に検出することが可能なNMR測定法を適用するこ

とにより、ThkAの触媒ドメインと結合後のTrrAのNMRシグナルを感度よく検出した。また、ThkAとの結合に関与している残基を同定するためにTrrAのシグナル帰属を行い、TrrAの一番目の $\alpha$ ヘリックス及びその近傍の残基がヒスチジンキナーゼThkAとの相互作用に関与していることが明らかにした。現在、TrrAのThkA認識領域を立体構造上にマッピングするために、NMR法によ

るTrrAの構造解析を行っている。

#### ●誌上発表 Publications

(総説)

大野綾子・白川昌宏：「UBA (Ubiquitin-associated) ドメインのユビキチンシグナル認識機構」、細胞工学、秀潤社、印刷中

XVII—042

### 静電容量ホログラフィー法による 酸化亜鉛の欠陥構造と電子状態の解明

Study of Defect Structure and Electronic State of ZnO by Capacitance Holography Method

研究者氏名：高橋 幸生 Takahashi, Yukio

ホスト研究室：放射光科学総合研究センター

石川X線干渉光学研究室

(アドバイザー 石川 哲也)

蛍光X線ホログラフィーは特定元素周りの3次元局所構造を可視化できる手法であり、ドーパント周りやエピタキシャル薄膜の構造評価法として期待されている。蛍光X線ホログラフィー法では、試料にX線を照射し、励起され出てくる蛍光X線の強度データから蛍光X線ホログラムが構築される。本研究で提案している静電容量ホログラフィーは蛍光X線ホログラフィー測定における蛍光X線強度収集を静電容量収集に置き換えることによって、物質中の欠陥周りの情報のみを選択的に収集し、サイト選択的な原子分解能ホログラフィーの実現を目指したものである。

本年度は、原子分解能ホログラフィーによる局所構造解析で問題となっている原子像再生アルゴリズムの開発研究を行った。これまでの原子分解能ホログラフィーの解析では、フーリエ変換に基づいたバートンの方法により原子像の再構成を行っていた。しかしながら、この解析法ではフーリエ級数打ち切りによるリップル振動が表れ、これが再構成像に原子像との区別が困難なアーティファクト出現の主な原因となっていた。原子分解能ホログラフィーによる未知試料の構造解析の応用を考えた場合、原子の位置、配位数についての定量的な議論が求められるため、このアーティファクトの出現は深刻であり、どうしても解決しなければならない課題であった。近年、高輝度光科学研

究センターの松下らは連立方程式の最小二乗解導出の反復アルゴリズムの一つである最急降下法を用いてホログラムから原子像を再構成する方法を考案した。しかしながら、この方法では解析の際の平均化処理によってホログラムの情報の一部が失われる上、単一エネルギーのホログラムから再構成しているために、3次元再構成するための情報量が不十分であり、十分にアーティファクトを除去できなかった。本研究では、大型計算機を使って平均化処理していない複数のエネルギーのFePt薄膜のホログラムデータからの原子像の再構成を試みた。バートン方法で再構成した場合に比べて、反復法を用いた場合では、原子像の周りのアーティファクトが激減し、原子像が明瞭になった。また、個々の原子像の位置分解能も向上し、作製基板温度の異なる薄膜間の短範囲規則度の違いも明瞭に観測された。この結果は、原子分解能ホログラフィーにより未知試料の構造解析を可能とするための一つのブレイクスルーであり、X線の多重散乱、吸収、消衰の理論も取り入れた計算により、さらに原子像の再生精度は向上すると考えられる。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Takahashi Y., Matsubara E., Kawazoe Y., Takanashi

K., and Shima T.: “Reconstruction of atomic images from multiple-energy x-ray holograms of FePt films by the scattering pattern matrix method”, *Applied Physics Letters*, 82 234104 (2005)\*  
(単行本)

高橋幸生 (分担執筆) : “金属ナノ組織解析法”、  
アグネ技術センター、印刷中

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会)

高橋幸生、松原英一郎、嶋敏之、高梨弘毅、川添良幸 : “蛍光 X 線 X 線ホログラフィー解析の定量化へ向けた新たな試み”、日本金属学会、広島大学、9 月 (2005)

## XVII—043 腸内連鎖球菌ナトリウム輸送性 V 型 ATPase の X 線結晶構造解析

X-ray Crystallographic Analysis of Na<sup>+</sup>-translocating V-type ATPase from *Enterococcus hirae*

研究者氏名 : 村田 武士 Murata, Takeshi

ホスト研究室 : ゲノム科学総合センター

タンパク質構造・機能研究グループ

(アドバイザー 横山 茂之)

V 型 ATPase は、エネルギー通貨である ATP の化学的エネルギーを物理的回転エネルギーに変換し、さらに H<sup>+</sup> の電気化学的濃度勾配のエネルギーに変換する超分子ナノマシンである。V 型 ATPase は真核細胞の一重内膜系のオルガネラや原形質膜などに存在し、内部の酸性化を担っている。この酸性 pH コントロールは、多種のきわめて重要な反応に関与していることが多数報告され、その研究が世界的に盛んになっている。筆者らは腸内連鎖球菌 V 型 Na<sup>+</sup>-ATPase の膜タンパク質部分である NtpK リングを精製・結晶化し、原子分解能 (2.1 Å) で X 線結晶構造を得ることに成功している。得られた NtpK リング構造は、基質結合ポケットに Na<sup>+</sup> を特異的に結合していた。本酵素が輸送できる基質イオンは Na<sup>+</sup> と Li<sup>+</sup> のみであると考えられている。そこで、本酵素のイオン特異性を理解することを目的に、Li<sup>+</sup> 結合型の NtpK リングの X 線結晶構造解析を行った。Li<sup>+</sup> 存在下、Na<sup>+</sup> 非存在下で NtpK リングの結晶を得た後、Na<sup>+</sup> 結合型 NtpK リング構造情報を使って、分子置換法により位相を決定した。2.8 Å 分解能で Li<sup>+</sup> 結合型 NtpK リングの構造を解くことに成功した。本酵素の基質結合ポケットは、Li<sup>+</sup> を Na<sup>+</sup> 結合のときと同じ残基を使って同様に結合していた。Na<sup>+</sup> のイオン半径は 1.16 Å、Li<sup>+</sup> は 0.9 Å である。Na<sup>+</sup> よりイオン半径の小さい Li<sup>+</sup> は、容易に結合ポケット内に入り込み、Li<sup>+</sup>-イオン結合残基間の距離を Na<sup>+</sup> のときよりもわずかに近づけることによりポ

ケット内に安定に存在することができると考えられた。イオン結合には、イオン結合残基の数とその電荷、イオン-イオン結合残基間の距離が重要であることが知られている。イオン半径の大きい K<sup>+</sup> (1.52 Å) などは、ポケット内に入ることができないため基質イオンになり得ないだろうし、2 価カチオンなどは、イオン結合残基数やその距離が異なるため、本酵素には結合できないものと考えられた。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Murata T., Yamato I., Kakinuma Y., Leslie A.G.W., and Walker J.E.: “Structure of the rotor of the V-type Na<sup>+</sup>-ATPase from *Enterococcus hirae*”, *Science*, 308 654-659(2005)\*

(総説)

Murata T., Yamato I., and Kakinuma Y.: “Structure and Mechanism of Vacuolar Na<sup>+</sup>-Translocating ATPase from *Enterococcus hirae*”, *J. Bioener. Biomemb.*, in print

## ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

村田武士 : “世界最小生体ロータリーモーター F 型および V 型 ATPase”、東京理科大学基礎工学研究科特別セミナー、野田、7 月 (2005)

村田武士 : “V-/F-ATPアーゼの構造とイオン輸送



メカニズム”、大阪大学蛋白質研究所セミナー「膜蛋白質調製法の展開と構造・機能解析の最前線」、吹田、7月(2005)

村田武士、山登一郎、柿沼喜己、Leslie A.G.W.、Walker J.E.: “腸内連鎖球菌V型Na<sup>+</sup>-ATPaseの膜ローターリングのX線結晶構造”、第28回分

子生物学会ワークショップ「イオニック回転モーターの作動原理探求の旅」、福岡、12月(2005)

村田武士: “世界最小生体ロータリーモーターF型およびV型ATPaseの構造とメカニズム”、愛媛大学セミナー、松山、12月(2005)

## XVII—044 核局在の細胞骨格系タンパク質による細胞分化・分裂の制御機構

The Functional Analysis of the Nuclear Localizing Cytoskeletal Protein in the Development and Cell Division.

研究者氏名: 五十嵐 久子 Igarashi, Hisako

ホスト研究室: 植物科学研究センター

形態制御研究チーム

(アドバイザー 出村 拓)

これまでに私は細胞の核に局在する新規の細胞骨格結合タンパク質 (MAP190) を同定した (Igarashi et al 2000)。その後のタバコ培養細胞やシロイヌナズナ組織を用いた研究から、MAP190が分裂制御や根の分化時の遺伝子発現制御に関わっている可能性を見いだした (論文投稿準備中)。このような結果は核におけるMAP190と細胞骨格の相互作用が、分裂や分化時の遺伝子発現制御に関与している可能性を示唆するものであり、詳細な分子機構の解明が不可欠である。そこで本研究では、核におけるMAP190や細胞骨格の複合体が果たす役割を分子レベルで解明することを目的とし実験を進めている。近年、核でのアクチンやチューブリンなどの細胞骨格の存在や機能が注目されているが、その分子機構はほとんど分かっていない。本研究でMAP190の機能が分子レベルで明らかになれば、分裂や分化の新たな調節機構が明らかになるばかりでなく、細胞骨格の新たな機能の解明が期待できる。

本年度は、MAP190関連タンパク質の分子機構の解明のためにMAP190に結合するタンパク質の同定を試みた。結合因子の同定にはYeast 2 Hybrid法を用いた。その結果MAP190がスプライシング関連因子などを含む複数のタンパク質と結合することが明らかになった。細胞骨格系タンパク質とスプライシング因子との結合は、これまでに示された例がなく非常に興味深い。さらに、本年度MAP190特異抗体の作成に成功しているので、抗体を用いYeast内でみられた相互作用を植物体や

培養細胞を用い検証して行く予定である。

(参考文献)

Igarashi et al (2000) Isolation of a novel 190 kDa protein from tobacco BY-2 cells: Possible involvement in the interaction between actin filaments and microtubules. *Plant Cell Physiology* 41: 920-931.

### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Chang HY, Smertenko AP, Igarashi H, Dixon DP, Hussey PJ. Interaction of NtMAP65-1a with microtubules in vivo. *J Cell Sci.* 118 :3195-201 (2005).\*

Hashimoto K, Igarashi H, Mano S, Nishimura M, Shimmen T, Yokota E. Peroxisomal localization of a myosin XI isoform in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.* 46 :782-789 (2005).\*

Tahara H., Yokota E., Igarashi H., Oriei H., Yao M, Sonobe S., Hashimoto T., Hussey, P.J. and Shimmen T. Clathrin is involved in the organization of the mitotic spindle and phragmoplast as well as in endocytosis in tobacco cell cultures. *Plant J.* (Submitted)\*

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

五十嵐久子、園部誠司: 細胞骨格タンパク質の生化学、植物学会シンポジウム、富山、9月(2005)

研究者氏名：泉 裕士 Izumi, Yasushi

ホスト研究室：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  
(アドバイザー 松崎 文雄)

細胞内因子等の非対称的な局在を利用して、異なる姉妹細胞を産み出す非対称分裂は、多様な細胞を作り出す為に必須かつ普遍的な過程である。ショウジョウバエ神経幹細胞の非対称分裂の場合、細胞運命決定因子の局在が分裂方向と一致する事により選択的に神経母細胞に分配され、正しい運命の神経細胞及び同様の分裂を繰り返す神経幹細胞が生み出される。我々の仕事により、神経幹細胞や胚上皮細胞の分裂方向が三量体G蛋白質  $\alpha i$  サブユニット ( $G\alpha i$ ) とそのGDP解離抑制因子であるPinsを介した共通のメカニズムで制御されている事が判明した。この事よりPins/ $G\alpha i$ 複合体は何らかの因子を介して紡錘体極を自身の方向へ引き寄せる機能を持つと考えられた。この因子を同定する為にショウジョウバエの胚抽出液からPinsの免疫沈降を行った所、coiled-coil構造を持つMud蛋白質の共沈降を検出した。Mud蛋白質は、ショウジョウバエの脳構造の一部が異常になるmud変異の原因遺伝子産物として同定されていたが、その細胞機能については解析されていなかった。この蛋白質の特異抗体を作製し細胞内局在を調べた所、Pinsや $G\alpha i$ と同様に神経幹細胞のアピカル側細胞膜表層に局在し、かつ中心体周囲にも局在する事が判明した。Mud蛋白質のアピカル側での局在は、Pins/ $G\alpha i$ 変異体で消失する事から、細胞膜表層での局在はPins/ $G\alpha i$ に依存している事

が分かった。また、中心体周囲での局在は微小管に依存していた。Mud変異体の神経幹細胞を観察した所、分裂方向の異常が認められた事より、神経幹細胞の分裂方向を細胞運命決定因子の局在と一致させるためにPins/ $G\alpha i$ はMud蛋白質と相互作用し、紡錘体の方向制御に関与しているものと考えられた。さらに、mud変異体では中心体形成の異常も示す事より、Mud蛋白質は、中心体の正常形成にも関与している事が示唆された。これらの結果より、Mud蛋白質は、神経幹細胞においてPins/ $G\alpha i$ を介した分裂方向の制御と、中心体の正常形成の2重の機能を担っている事が強く示唆された。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Izumi Y., Raabe T., and Matsuzaki F.: "Regulation of mitotic spindle orientation in *Drosophila* neuroblasts", 46th Annual *Drosophila* Research Conference, San Diego, USA, Apr. (2005)

(国内学会等)

Izumi Y., Raabe T., and Matsuzaki F.: "Regulation of mitotic spindle orientation in *Drosophila* neuroblasts", 7th Meeting of the Japanese *Drosophila* Research Conference、淡路島、7月 (2005)

XVII—046

神経突起伸長開始点の制御に於ける  
Wntシグナル依存的な細胞極性の役割及びそこに必要とされる分子機構の解明

Analyses of the Role of Wnt Signal-dependent Cell Polarity  
and Molecular Mechanisms to Control the Site of Neurite Protrusion

研究者氏名：柴田 幸政 Shibata, Yukimasa  
ホスト研究室：発生・再生科学総合研究センター  
細胞運命研究チーム  
(アドバイザー 澤 齊)

神経発生における細胞極性の役割の一つに、細胞のどの部分から神経突起が伸長するかの調節があると考えられる。しかし、この時、どのような分子が必要とされるかはあまり分かっていない。Wntシグナル伝達に異常を持つ変異体と同様の異常を示す*C.elegans*変異体*os73*は細胞体から神経突起が伸び出す位置にばらつきが見られることから、神経突起伸長開始点の制御に異常があると考えられる。本研究は*psa-17(os73)*変異体の解析を中心とし、神経突起伸長開始点の制御に必要なとされる分子機構及びそこでのWntシグナルの役割を明らかにしていく事を目的として行っている。

本年度はWntシグナル伝達経路において極性の制御に関与すると考えられている遺伝子、*mom-4*及び*lit-1*が神経突起の伸長開始位置に関与するかどうかを調べるために、*mom-4*及び*lit-1*変異体での神経の形態を調べた。その結果*mom-4*変異体では野生型に比べて神経突起の付け根の位置にばらつきが見られる事を見いだした。神経突起の付け根の位置は、神経突起伸長開始時に細胞のどの部分から神経突起が伸長を開始したかを反映していると予想されるので、*mom-4*変異体ではこの部分

に異常がある可能性が考えられる。

また、同様の表願型を示す変異体*psa-17(os73)*の原因遺伝子のクローニングを行ったところ、SWI/SNFクロマチンリモデリング複合体の構成因子として知られる、polybromoの相同遺伝子であることが明らかとなった。次にPSA-17::GFP融合蛋白質をつかってその発現及び細胞内局在を調べた。PSA-17はほぼ全ての細胞に発現し、またその細胞内局在は間期には核に、分裂期には染色体及び中心体の周辺に局在が見られた。他のSWI/SNFクロマチンリモデリング複合体の構成因子PSA-1, PSA-4では分裂期での染色体及び中心体の周辺での局在は見られなかった。この様な局在の差が何を反映しているかは今のところ明らかではない。以上のことからPSA-17がSWI/SNFクロマチンリモデリング複合体の構成因子として転写を介して神経突起の伸長開始部位を調節している可能性と、SWI/SNFクロマチンリモデリング複合体の構成因子として以外にも何らかの役割を持っており中心体を介して神経突起の伸長開始部位を調節している可能性が考えられる。

XVII—047

超高精度のフェルミ結合定数測定

Precise Determination of the Fermi Coupling Constant

研究者氏名：友野 大 Tomono, Dai  
ホスト研究室：岩崎先端中間子研究室  
(アドバイザー 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つ必要である。通常、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。実験的にはフェルミ結合定数は弱い

相互作用で崩壊する粒子の観測により決定可能であるが、中でもミュオン崩壊の観測が高精度決定に適している。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

結合定数間の変換は非常に不定性が小さい。そこで、ミュオン崩壊寿命の高精度測定からフェルミ結合定数を高精度で決定する実験を計画した。実験は理研の所有する理研RALミュオン施設における世界最高強度のパルス状ミュオンが利用可能であり、この大強度ミュオンビームにより、統計精度の大幅向上が可能となる。問題は検出器の系統誤差に対する検討が必要であり、特に過去実験の考察から、検出器については応答の速い安定した検出性能が求められる。現段階では高性能検出器は新たな実験の鍵であり、まずは実験で利用可能な検出器開発を重点的に進める予定である。

本年度は新たに光の応答の早いチェレンコフ光を用いた指向性のある検出器を設計、試作した。この検出器ではチェレンコフ光の残光の少なさとその指向性に着目し、標的起源の電子を選択的に観測できる機構の確立を目指した。設計に関しては、モンテカルロシミュレーションを行い、光子数、角度の見積もりを行った。また、中央研究所における「研究奨励ファンド」の資金的支援を受けて、検出器本体とテスト実験のセットアップ用カウンター、架台を製作した。さらに、電子線を

用いたテスト実験を東北大学核理学研究施設において提案しPACにおいて採択された。そこで12月から3月にかけてビームテストを行った。本稿執筆の段階では最終実験の準備とデータ解析を行っており、要求される性能が確認され次第、論文にまとめる予定である。

#### ●誌上発表 Publications

D. Tomono, S.N. Nakamura, Y. Matsuda, M. Iwasaki, G. Mason, T. Matsuzaki, K. Ishida, I. Watanabe, S. Sakamoto, K. Nagamine, "Precise muon lifetime measurement with a Pulsed Beam at the RIKEN-RAL muon facility"  
Nucl. Phys. B 149(2005) 341-343

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)  
D. Tomono for R77 RIKEN-RAL collaboration, "Precision measurement of the positive muon lifetime at the RIKEN-RAL muon facility", PANIC 05 Santa Fe, USA, Oct. 2005

## XVII—048

### 近藤効果の直接観察

#### Direct Observation of the Kondo Effect

研究者氏名：坪井 紀子 Tsuboi, Noriko  
ホスト研究室：高木磁性研究室  
(アドバイザー 高木 英典)

従来ナノテクノロジーの中心的役割を担ってきたのは電子であるが、昨今、電子に加えてスピンの存在に注目が集まっている。スピンの自由度を用いることで、デバイスのさらなる小型化や量子コンピューターへの夢が広がる。本研究では、スピンを用いた次世代デバイスに先立ち、電子スピン共鳴-走査トンネル顕微鏡 (ESR-STM) 装置の立ち上げ、そして、一電子スピンの検出を行う。ESR-STM装置は、1989年にManassennらのグループによって初めて開発され、その後、2002年にDurkanらのグループが有機分子クラスター中のスピン検出に成功したことを機に注目を浴びるようになった。本研究によるESR-STM装置の開発では、測定を極低温、超高真空下で行うことにより、

スピン検出の空間分解能を原子レベルまで高めることを目指している。研究の到達目標は、固体物理の世界でもっとも小さなスケールの磁気構造が引き起こす現象、近藤効果の直接観察である。近藤効果は磁性不純物のスピンが原因で、母体金属の抵抗が温度変化に対して極小値を持つ現象である。これまで、近藤効果の研究の主流となってきたのは抵抗値測定であるが、ESR-STMを用いれば、磁性不純物のスピンを直接観察することにより、近藤効果を引き起こす原因そのものを観察することができる。ESR-STMを用いて、スピンの磁場共鳴周波数を測定すれば、スピンの持つg因子の値がわかり、基板金属の温度低下に伴い、伝導電子からのスクリーニング効果により、局在ス

ピンのg値が小さくなる様子がみられるはずである。

本年度は、ESR-STM装置の土台となるSTM装置の操作を習得するため、極低温STM装置を用いて、電荷密度波を形成するCeTe<sub>3</sub>の電子状態観察を行った。また、ESR-STM装置の立ち上げの一環として、装置設計の一部に携わった。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tsuboi N., Niitaka S., Hanaguri T., Takagi H.: "STM observation of the charge-density wave in CeTe<sub>3</sub>", 6th Taiwan-Korea- Japan Symposium on Strong Correlated Electron Systems, Taiwan, Dec. (2005)

(国内学会等)

坪井紀子、新高誠司、花栗哲郎、高木英典：  
"STMによるCeTe<sub>3</sub>の電化密度波観察"、日本物理学会、秋季大会、京都、9月(2005)

XVII—049

### 高強度フェムト秒レーザーで配向させた 分子の励起ダイナミクスの観測

Excitation Dynamics of Intense Femtosecond Laser Aligned Molecules

研究者氏名：加来昌典 Kaku, Masanori  
ホスト研究室：緑川レーザー物理工学研究室  
(アドバイザー 緑川 克美)

原子や分子内の電子運動のような高速な現象を観測するためには、これまでのフェムト秒(1 fs = 10<sup>-15</sup>s)よりもさらに短いアト秒(1 as = 10<sup>-18</sup>s)パルスが必要となる。しかしながら赤外や可視領域のフェムト秒レーザーでは、1回の電場の振動に数フェムト秒ほどかかるので、それよりも短いアト秒領域の現象を観測するのは困難である。一方、高次高調波発生を利用すれば、アト秒パルスを含んだ極端紫外から軟X線領域の光パルスを生成できるため、高次高調波は極短パルス光源として注目されている。この高次高調波は基本波の電場の半サイクル毎に発生するので、基本波として多サイクルパルスを用いるとアト秒パルス列が発生する。したがって、単一アト秒パルスを発生させるためには、高次高調波の発生を電場の半サイクルに限定しなければならない。しかしながら、そのような短い基本波パルスをレーザーから直接得ることは困難である。

本研究では、サブ10 fsの基本波パルスとその第2高調波を時間的・空間的に合成した2カラーパルスを用いることで、高調波発生をパルスのピーク近傍に限定することを試みた。基本波のエネルギーに対して数%の第2高調波を合成しパルス中の電場を整形することで、10 fsのパルスを基本波に用いても実効的には単一アト秒パルス発生が可能な5 fsのパルスと同等の効果が期待できる。

本年度は、この2カラーパルスによって発生した高次高調波のスペクトルとエネルギーを観測することで、以下のような結果が得られた。

- (1) 波長30nm付近の極端紫外域において、スペクトル幅8nmの連続スペクトルを観測した。
- (2) 極端紫外域における高次高調波エネルギー10nJを得た。

このような極端紫外域における連続スペクトルは、単一アト秒パルス発生の可能性を示唆しており、2カラーパルスを用いた高次高調波発生は、高効率な単一アト秒パルス発生に有用な方法として期待できる。

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

加来昌典、大石裕、須田亮、神成文彦、緑川克美："サブ10fs、2カラーパルスによる極端紫外域に連続スペクトルを有する高次高調波発生"、エクストリームフォトンクス研究会、蒲郡、11月(2005)

加来昌典、大石裕、須田亮、石川顕一、モハメッド・ヌルフダ、神成文彦、緑川克美："サブ10fs、2カラーパルスを用いた高次高調波発生"、レーザー学会第342回研究会、宮崎、12月(2005)

加来昌典、大石裕、須田亮、神成文彦、緑川克

美：“サブ10fs、2カラーパルスを用いた極端紫外域の広帯域高次高調波発生”、レーザー学

会学術講演会第26回年次大会、大宮、2月(2006)

## 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  
ホスト研究室：緑川レーザー物理工学研究室  
(アドバイザー 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。

光電子の時間分解法としては以下のような方法が用いられる。高エネルギー光子による励起で発生したオージェ電子に、超短パルスのプローブ光を照射する。プローブ光の電場によりオージェ電子を加速するのであるが、電場強度は時間的に変化を行っている。そのために、励起パルスとプローブパルスの時間関係を変えることで加速の度合いも変動し、これの飛行時間変化を測定すれば時間分解測定が可能となるのである。しかし、光源のパルス幅が時間分解能を制限するため、これを行うには超短パルス光が時間分解能の面から必須である。

本年度は十分な時間分解能を持つ光源を得るために、超短パルスの発生と解析について取り組んだ。着目したのは複数の次数の高調波を重ね合わせたときに発生するパルストレインであり、これはサブフェムト秒からアト秒のオーダーの極めて短いパルス幅を持つ。しかし、パルス幅や位相情報などトレインのキャラクタライゼーションについては未だ完全には行われていないため、新しい方法を考えていく必要がある。パルスのキャラクタライゼーションにおいては自己相関計測法が非

常に有効な手段であるが、高調波のような紫外領域の光源には相関のために必要な非線形過程が少なく、さらにトレインを構成する全ての高調波の情報を知る必要がある。今回は、複数の次数の高調波の相関を非線形な原子のイオン化を用いて同時に測定することに成功した。光電子は励起エネルギーにより異なった運動エネルギーを持つため各次数が分離することが可能である。これによりトレイン内のパルスの幅がわかり、さらに各高調波間の位相のずれについても知見が得られた。

### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Shimizu T., Okino T., Furusawa K., Hasegawa H., Nabekawa Y., Yamanouchi K., and Midorikawa K.: “Frequency Resolved Autocorrelation Measurement for Characterization of an Attosecond Pulse Train”, Joint Conference on Ultrafast Optics V and Applications of High Field and Short Wavelength Sources XI, Nara, Sep.(2005)

(国内会議)

清水俊彦、沖野友哉、長谷川宗良、古澤健太郎、鍋川康夫、山内薫、緑川克美：“アト秒パルストレイン計測のための複数次数高調波の周波数分解自己相関波形同時測定”、レーザー学会第26回年次大会、大宮、2月(2006)

清水俊彦、沖野友哉、長谷川宗良、古澤健太郎、鍋川康夫、山内薫、緑川克美：“アト秒パルストレインとエンベロープの周波数分解自己相関測定”、第53回応用物理学関係連合講演会、東京、3月(2006)

研究者氏名：池田勝佳 Ikeda, Katsuyoshi

ホスト研究室：河田ナノフォトニクス研究室

(アドバイザー 河田 聡)

チップ増強タイプの近接場光学顕微鏡は金属探針上に励起した表面プラズモンによる局所的な電場増強効果を利用するため、非線形光学計測との親和性が極めて高いことが期待できる。さらに、励起用光源として極短パルス光を用いれば高い時間分解能も同時に期待できる。そこで、時間分解和周波発生 (SFG) と時間分解ハイパーラマン分光を行うことが可能な近接場光学顕微鏡の開発を行うことを目的とした。SFGはキラリティー測定のための新しい手法として近年注目を集めており、IRと可視光を用いれば振動分光も可能である。ハイパーラマン散乱ではIRで測定可能な振動モードはすべて測定可能であり、かつ赤外光を使用しないために適用範囲が極めて広い。特に強誘電転移近傍の挙動を理解する上で有益な情報を提供すると期待できる。また、ラマン散乱との同時計測も可能であることから、選択則の異なる多くの振動モードの測定が可能になると期待できる。このような特徴を持つ振動分光を高い時空間分解能で行えば、従来は平均的な情報の中に埋もれていたナノスケール領域のダイナミクスに関する情報を得ることが可能になると期待できるので、本装置を用いて光誘起相転移現象の微小領域ダイナミクスを調べることを最終的な目標としている。

本年度は、装置開発を主に行った。パルス光源を用いて振動分光を行う場合、パルスの時間幅とスペクトル幅の関係から時間分解能とスペクトル

分解能のバランスを取る必要が生じる。本研究におけるSFG測定では、ブロードバンドなフェムト秒IRパルスとナローバンドなピコ秒可視光パルスを利用することで、広範囲な振動スペクトルを一度に取得可能なマルチプレックス型の測定を行うこととした。そのために、まず可視光のフェムト秒パルスを挟帯域化するシステムを開発した。この種のシステムでは通常グレーティングペアが用いられるが、今回は光通信用WDMフィルター作成のノウハウを流用したナローバンドフィルターを用いることで、簡便かつ温度変動に対しても極めて安定なシステムを構築した。この挟帯域化パルスを用いた顕微ラマン測定に既に成功しており、本手法が振動分光用として十分な特性を持っていることを確認した。さらに、ハイパーラマン散乱の予備実験として顕微SHG測定にも成功している。これらの顕微分光は、将来的な偏光測定を考慮し、すべて偏光依存性のない光学系設計で行っている。

## ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Ikeda, K., Liu, W., Shen, Y.R., Uekusa, H., Ohashi, Y., and Koshihara, S.: “Study of chirality and photo-induced chirality in cobaloxime complex crystals”, Chem. Phys. Lett., submitted.

研究者氏名：今中 雅士 Imanaka, Masashi

ホスト研究室：武内ナノ物質工学研究室

(アドバイザー 武内 一夫)

気相中のナノ粒子の粒径分布測定は、半導体製造プロセス中の粒子汚染度のモニターや、自動車排ガス中に含まれる汚染ナノ粒子のモニター等、

様々な分野で重要となっている。前者については、近年半導体の集積度が高まったことで、数nm領域のナノ粒子も粒子汚染を引き起こすことが問題

となっており、この領域でのナノ粒子の粒径分布測定が必要とされる。また後者についても、自動車排ガス中には粒径数nmのナノ粒子が含まれ、これらを粒径測定することが必要とされる。DMA (Differential Mobility Analyzer: 微分型電気移動度分析器) は、ナノ粒子の電気移動度の違いを利用した粒径測定装置で、気相中の100nm以下のナノ粒子をオンラインで測定できる唯一の実用装置である。しかしながら、粒子の粒径分布測定において、DMA等の測定器の器差は大きな問題で、これらが計測器としてトレーサビリティ (計測器がより高度の標準によって次々に校正され国家標準につながる経路の確立していること) を有することは、国際的にも非常に重要と考えられている。粒径分布測定においては、横軸に対応する粒径と、縦軸に対応する個数濃度 (単位体積あたりの粒子個数) について、それぞれの標準が必要となっている。そこで、本研究では、粒径が1~10nmの単分散ナノ粒子を気相中に分散させる装置を開発し、これを粒径標準として利用できるようにする。また、単位時間当たり一定量のナノ粒子を気相中に分散させ、個数濃度の標準として利用できるようにする。

本年度は、DMAを使って、ポリアミドアミン (PAMAM) デンドリマーやテトラドデシルアンモニウムイオンの粒径測定に成功した。PAMAM

デンドリマーは粒径約2~15nmの樹木状多分岐高分子で、世代と呼ばれる単位においては、単分散性を持っている。また、テトラドデシルアンモニウムイオンは粒径約1nmの高分子である。測定によって、これらPAMAMデンドリマーやテトラドデシルアンモニウムイオンが粒径標準として利用できることを示した。

#### ●誌上発表 Publications

(原著論文)

Imanaka M., Okada Y., Ehara K., and Takeuchi K.:

“Size measurements of gasborne poly(amidoamine) (PAMAM) dendrimers using a differential mobility analyzer (DMA)”, J. Aerosol Sci., submitted\*

Imanaka M., Yoshizawa Y., Nakata M, Okada Y., and

Takeuchi K., “Differential Mobility Analysis of a C<sub>60</sub> Negative Ion in He, Ne and Ar”, Jpn. J. Appl. Phys., submitted\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内会議)

今中雅士、岡田芳樹、武内一夫: “DMA (微分型電気移動度測定装置) による気相中ナノ粒子のサイズ計測”、第53回応用物理学関係連合講演会、東京、3月 (2005) (発表予定)

## 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

ホスト研究室: 和田超分子科学研究室

(アドバイザー 和田 達夫)

C<sub>60</sub>フラーレンはLUMOのエネルギー準位が低い優秀な電子受容体であることから、これまで電子供与体との電荷移動型分子が多数合成されてきた。しかし単分子として優れた特性を持っていてもそれを有効に外部に取り出せなくては意味を成さない。よって特性のOutputが可能な第2の機能を電荷移動型分子に付加させることは重要な意義がある。そこで超分子やオリゴマーの合成技術を駆使することで、高性能な電荷移動特性以外にも多機能を有する分子設計・合成を本研究では試み

る。また、C<sub>60</sub>フラーレンは化学修飾などのアレンジの過程で対称性の低下が起こり、その結果、電子受容体としての性能を低下させてしまう。そこで電子受容体としてのC<sub>60</sub>フラーレンの性能の低下を補うという目的で、フッ素化フラーレンの活用による解決を目指している。フッ素化フラーレンはフラーレンケージにフッ素原子が複数個付加した分子であり、LUMOのエネルギー準位がC<sub>60</sub>フラーレンよりも低いために電子受容体として更に優れていると言われている。



本年度は電子受容体として使用するフッ素化フラーレンの合成方法の習得と、電子供与体分子として使用予定である環状カルバゾール分子の合成を行った。合成したフッ素化フラーレンを環状カルバゾール分子に取り込んで電荷移動分子とし、更にその積層の可能性を探る予定である。

(1) フッ素化フラーレン合成：C<sub>60</sub>フラーレンにフッ素ガスを反応させることでフッ素化フラーレンは合成される。フッ素ガスを直接扱うことは非常に危険であるため、今回はフッ化マンガン (MnF<sub>3</sub>) の加熱分解によってフッ素ガスを発生させてC<sub>60</sub>フラーレンと反応させることを試みた。その結果C<sub>60</sub>F<sub>5</sub>Oに相当する分子量の物質の合成を確認した。フッ素原子5個までの付

加体は異性体が存在しないため、精製が非常に簡単になる。現在はこの物質の同定・構造決定と、C<sub>60</sub>F<sub>36</sub>などフッ素ガスが更に多数付加したものの合成を目指している。

(2) カルバゾール分子は電子供与体として優れている。本研究ではカルバゾール分子をつなぎ合わせて環状分子として、内部にフラーレンを取り込むことによって電荷移動型の分子を合成することを目指している。カルバゾール分子には可溶性を維持するためにテトラデシル基を導入している。環状化反応は合成収率が低いため、現在は環状物質の材料となるものを大量に準備している段階である。

## XVII—054

### イメージングによるゴルジ体ダイナミクスの解析

Dynamics of the Golgi apparatus Imaged by an Improved Confocal System

研究者氏名：松浦 公美 Matsuura, Kumi

ホスト研究室：中野生体膜研究室

(アドバイザー 中野 明彦)

ゴルジ体は細胞内メンブレントラフィックにおいて重要な役割を果たすオルガネラであるが、多くの研究にも関わらず、ゴルジ体を通る物質の輸送メカニズムについてはまだ明らかになっていない部分が多い。このメカニズムについては槽成熟モデルと小胞輸送モデルの2つが提唱されており、どちらが正しいかについては多くの論争がある。近年、電子顕微鏡技術の発達に伴い、輸送の際のゴルジ体の形態の3次元的な解析が行われるようになった。しかし、本来ダイナミックな現象であるメンブレントラフィックを研究するには、生きた細胞を直接観察することが必要不可欠である。本研究では新しく開発された高感度・高速の共焦点システムを用い、電子顕微鏡や生化学的手法では達成できない、生きた現象の可視化を目指している。

これまでにゴルジ体のシス、トランスの区画に特異的に局在するタンパク質に異なる蛍光タグを

付けて同時観察し、各cisternaeの性質がシスからトランスへと変わる（成熟する）ことを示した。本研究ではさらに、積み荷タンパク質（cargo）の輸送とcisternae成熟の同時観察やゴルジ体cisternaeのダイナミクスについて解析することを目的とする。

本年度は輸送の変異株におけるcisternaeの色の変化の様子について調べた。ゴルジ体から小胞体への逆方向の物質輸送に関わるCOPI小胞は、槽成熟モデルにおいて、ゴルジ体に局在する糖鎖修飾酵素をトランス側からシス側へ送り返す役割をしているのではないかと期待されている。そこで、COPI小胞の形成に関わる変異株*ret1-1*を用いて、区画ごとに異なる蛍光タグをつけたcisternaeの色が野生株と同様に変化する（成熟する）かどうかを観察し、またその反応の速度について解析を行った。

研究者氏名：田中 健一郎 Tanaka, Kenichiro  
 ホスト研究室：フロンティア研究システム  
 研究技術開発・支援チーム  
 (アドバイザー 青柳 克信)

単分子に電界を印加し、それに伴う単分子の光応答(吸収、反射、光電流など)の変化を高感度に検出することで、バルクとしては現れない単分子固有の物理現象を見出し、その物理的起源の解明を行うことを目的としている。従来単分子の物性解明のために行われていた電気測定だけでなく、光学的な測定手段を組み合わせることにより、単分子の電子状態に関する情報が得られるばかりでなく、単分子の電界効果を用いたフォトンクス分野の開拓につながると期待している。本年度は、

- (1) 既存の近接場光学顕微鏡と超伝導マグネットを組み合わせることにより、磁場下において、2次元スキャン可能な近接場光学顕微鏡を開発した。開発した装置が正常に動作することを確認するため、低温(室温~10K程度)、磁場下(4TまでのFaraday配置)において、希薄磁性半導体(Cd, Mn) Te量子ドットの発光分光を行った。この結果、(Cd, Mn) Te量子井戸からの発光エネルギーが磁場印加に伴い低エネルギーシフトし、かつ、発光強度が減少する結果が得られた。これにより、開発した近接場光学顕微鏡が正常に動作していることを確認できた。
- (2) 本研究を遂行するためには、作製したナノ構造と、近接場光学顕微鏡用の光ファイバの先端の位置を正確に合わせる必要がある。この位置あわせを室温において20 $\mu$ m、低温(10K)においては2 $\mu$ m程度の精度で行う必要があるが、既存の近接場光学顕微鏡では粗動機構がついて

いないためこのような精度で正確な位置決めを行うのはきわめて困難である。この問題を解消するため、面内で2mm程度の可動範囲を持ち、外部より制御可能な粗動機構をもつ近接場光学顕微鏡の設計を行った。

- (3) 単分子への電界印加を行うためのナノメートルギャップを有する微小電極(ナノ電極)の作製を行った。光の波数ベクトルと印加電場の方向が直交する横電場配置用のナノ電極、平行である縦電場配置に使用できるナノ電極の2つの素子を作製した。

#### ●誌上発表 Publications

Tanaka K., Tsukagoshi K., Aoyagi Y., Kuroda S., Takita K.: "Two-dimensional near-field optical spectroscopy in magnetic fields up to 4 T," *Optical Review*. (投稿中)\*

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国際会議)

Tanaka K., Tsukagoshi K., and Aoyagi Y.: "Two-dimensional near-field optical spectroscopy in magnetic fields up to 4T," *Asia-Pacific Conference on Near-field Optics*, Nov. (2005).

(国内学会等)

田中健一郎、塚越一仁、青柳克信、黒田眞司、滝田宏樹：“磁場印加下で2次元スキャン可能な近接場光学顕微鏡の開発”、日本応用物理学会春季大会、武蔵工業大学、3月(2006)

研究者氏名：森下 博文 Morishita, Hirofumi  
 ホスト研究室：脳科学総合研究センター  
 神経回路発達研究チーム  
 (アドバイザー Hensch, Takao)

高等動物の脳は発達時の臨界期に環境の影響を受けて形成される。これまで臨界期の開始や可塑性に関わる分子機構は、近年の遺伝子改変動物を用いた個体レベルの解析により大きな進展があったが、終了機構については依然不明である。本研究では、臨界期終了過程の分子機構を明らかにすることを主目的とした。臨界期の終了過程は、機能的変化が形態的に固定化される過程に対応する。ことから本研究では、最近中枢軸索損傷からの再生研究の分野で同定された、ミエリン由来分子を含む神経伸長抑制分子群の関与を想定した。これらの分子群の遺伝子改変により、臨界期の可塑性が成体でも維持されるモデルマウスを樹立し、その解析を通じて分子機構を解明する。また臨界期の終了機構を利用した疾患治療モデルを構築する。本研究ではマウス大脳皮質視覚野両眼領域の単眼閉斜による眼優位性可塑性を臨界期のモデルとして採用する。

本年度は、まず臨界期の終了過程に関わる候補分子群の選択を開始した。着目する中枢神経軸索損傷時の再生阻害分子群と共に、網羅的手法により臨界期の終了過程との発現の関連の有無を検索した。これらの候補分子群のうち、臨界期前後で

ミエリン化に伴い神経軸索における発現が制御される分子群の一つであるCNR/プロトカドヘリンファミリーについては、遺伝子欠損マウスを用い、マウス大脳皮質視覚野両眼領域の単眼閉斜による臨界期中の眼優位性可塑性の異常の有無について電気生理学的解析を開始した。

#### ●誌上発表 Publications

(総説)

森下博文、八木健：“発達中の中枢神経軸索のミエリン化と細胞接着タンパクの発現制御”、生体の科学：特集「ミエリン化の機構とその異常」、医学書院、57巻3号（印刷中）

#### ●口頭発表 Oral Presentations

(国内学会等)

森下博文、海津正賢、村田陽二、柴田直樹、宇高恵子、樋口芳樹、阿久津秀雄、山口徹、池上貴久、八木健：“カドヘリンの多様な接着レパートリー：プロトカドヘリンの蛋白質立体構造からの示唆”、第28回日本分子生物学会ワークショップ、福岡、12月（2005）

研究者氏名：伊藤 敬 Itoh, Takashi  
 ホスト研究室：福田独立主幹研究ユニット  
 (アドバイザー 福田光則)

オートファジー（自食作用）は細胞質中の蛋白質やオルガネラを分解しアミノ酸等の基本的物質を細胞に供給するリサイクル機構であり、栄養飢餓における応答反応として真核細胞に広く保存されている。近年、高等真核細胞では、飢餓応答の

みならず、細胞内ホメオスタシスの様々な局面で重要な役割を果たすことが明らかになってきている。例えば、細胞に侵入したバクテリアの駆除や、アルツハイマー病の原因とされている細胞質中の封入体の分解などにもオートファジーが利用され

ている。

オートファジーでは、隔離膜と呼ばれる膜構造が、細胞質に含まれる蛋白質、オルガネラ、バクテリアなどを取り囲みオートファゴソームと呼ばれる構造を作る。このオートファゴソームは分解酵素が蓄積するリソソームと融合することで取り囲んだ物質を分解する。この過程はダイナミックな膜動態を伴い、膜輸送系のなかでも非常に特徴的な現象であるが、分子レベルでの解析が行われるようになったのは、10年ほど前からであり、その詳しいメカニズムは未知のままである。特に、オートファジー研究において最も基本的かつ重要な疑問の一つは「細胞質中に突如現れる隔離膜がどのオルガネラに由来するのか？」である。酵母遺伝学を用いて多数のオートファジー遺伝子

(ATG)が単離され、その制御機構が徐々に解明されている。しかしながら、ATG遺伝子群には既知の膜輸送に関わる因子は含まれておらず、上記の疑問はまったく明らかにされていない。

私は、真核生物に普遍的に存在する膜輸送制御因子、低分子量G蛋白質Rabのひとつ(Rab-ATGと呼ぶ)がATG蛋白質の一つと結合することを見だし、このRab-ATGがオートファジーにおける膜輸送を制御する因子であるという仮説を立てた。そこで本年度は、Rab-ATGの局在、ATG蛋白質との結合様式などを明らかにし、また、siRNAを用いたRabの発現抑制やドミナントネガティブ体のRab-ATGの発現によるRab-ATGの機能抑制がオートファジーに与える影響を調べ、Rab-ATGがオートファジーに関与することを明らかにした。

## 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：沖田 紀子 Okita, Noriko

ホスト研究室：西井独立主幹研究ユニット

(アドバイザー 西井 一郎)

多細胞生物の発生過程において、細胞シートの変形は基本的かつ重要なプロセスである。しかし、高等動物を用いてその機構を解明することは、その複雑さゆえに非常に困難であった。最も単純な多細胞生物の一つであるボルボックスは、細胞シートを変形させることで、個体全体が完全に裏返るinversionと呼ばれる形態形成運動を行う。ボルボックスでは近年、遺伝学的手法が開発され、inversionの機構を分子レベルで研究する道が開かれた。更に、ボルボックス目には、単細胞生物から進化した過程を反映する様々な細胞数の生物が存在するため、多細胞化に伴うinversion機構の進化を解き明かすことが可能である。本研究は、ボルボックス目のこのような利点を生かし、inversionの機構とその進化過程を解明することを目的としている。

本年度は、第一に、トランスポゾンタギング法によりinversionに異常のある突然変異体を作製した。これまでに約2500の形態異常個体を単離し、変異形質が安定している448株を絞り込んだ。そこから復帰突然変異体が得られる株を選び出し、

トランスポゾンによる変異を持つと思われるinversion異常突然変異体を21株得ることに成功した。そのうち13株は全くinversionを行わない変異体であり、8株はinversion過程を開始するが完了せずに途中段階で停止する変異体であった。後者は株によって停止時期が異なっていた。これまでに変異の原因遺伝子が明らかにされたinversionの変異体は、inversion中期で運動が停止する変異体ただ一株のみである。今後、上記の変異体の原因遺伝子を同定することにより、ボルボックスのinversion過程の分子基盤を解明できると期待している。

第二に、ボルボックス目の中間的な形質を持つ種について、形態形成運動をタイムラプスビデオ顕微鏡で撮影し、個体レベルでの比較を行った。ボルボックス(細胞数約2000、球形)のinversionの過程で観察される細胞の変形は、*Pandorina*(細胞数16、球形)以上の細胞数を持つ種で見られたが、*Gonium*(細胞数8もしくは16、平板型)では観察されなかった。今後、微小手術を施した数個の細胞を撮影して、細胞の変形と、細胞シー

トの変形の基礎となる細胞間ブリッジの移動を種

間比較することを計画している。

## 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  
ホスト研究室：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  
(アドバイザー 中山 潤一)

タンパク質メチル化酵素は、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、分子レベルの解析から、ヒストンや転写因子など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、ゲノム解析から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限られた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た。

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。本年度は、これらのSETタンパク質遺伝子の欠損株を網羅的に作成し、表現型の解析を行った。その結果、*set2*、*set3*遺伝子の欠損株はセントロメアサイレンシングに異常が認められ、ヘテロクロマチン構造の維持に関わることが示唆された。また、特に*set11*+遺伝子の欠損株が、野生株に比べて微小管重合阻害剤TBZに対し高い耐性を示すことが明らかになった。SETドメインタンパク質の変異細胞が、染色体分配異常が原因でTBZ感受性を示すという報告例はあるが、TBZ耐性を示すという報告は未だない。従って、本年度はまずSet11に着目し、その基質を探索するために組み換え型Set11を精製し、分裂酵母から抽出したタンパク質に対するメチル基転移活性の有無を調べた。その結果、分裂酵母細胞抽出液中にはSet11により特異的にメチル化されるタンパク質があることがわかった。

## 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  
ホスト研究室：再生・発生科学総合研究センター  
哺乳類生殖細胞研究チーム  
(アドバイザー 斎藤 通紀)

多細胞生物の構成細胞で唯一、次世代形成能を有する生殖細胞の形成過程は、細胞の潜在的全能性の再獲得・維持機構、後性ゲノム情報の再編集機構等諸現象を包含しており、その機序の理解は発生生物学的意義を越えて、再生医療への応用、

生物資源の確保に有用である。

マウスにおいて生殖細胞と体細胞の分離は胚齢6.25日に胚体外胚葉の近位後方領域の細胞が細胞外シグナルに応答して数個の細胞がBlimp1陽性となることで開始される。この局時所的に形成され

る生殖細胞決定の微小環境を分子機構レベルで定義し、ES細胞培養系において解明した決定因子の添加により微小環境を再構成する方法論で、生殖細胞決定の必要十分条件を証明し、さらには生殖細胞を分化誘導する技術を開発することを目的とする。

本年度は、マウス生体内、ES細胞における生殖細胞形成段階の評価系を確立する目的で下記のマウス系統、ES細胞株の作製を行った。

(1) 最初期の生殖細胞マーカー遺伝子である *Blimp1*、*stella*の制御下、レポーターとしてそれぞれ *venus*、*ECFP*を発現する2重遺伝子導入マウス系統 (*Blimp1*-*mVenus*, *stella*-*ECFP*) を作製し、これによりマウス生体内における全ての始原生殖細胞が可視化された。

(2) 樹立した(1)の遺伝子導入マウスの胚盤胞からES細胞株を作製した。作製したES細胞については胚盤胞への導入を行い、キメラマウス内で生殖細胞へ貢献すること及びレポーターが生殖細胞特異的に発現することを確認した。

(3) 最初期の生殖細胞の細胞系譜を追うために *Blimp1*の制御下、UVの照射により発する蛍光の波長が変化するタンパク質をレポーターとした遺伝子導入マウス系統を作製中である。

(4) 最初期の生殖細胞決定のための微小環境を理解する目的で、*Blimp1*-*mVenus*遺伝子をマーカーとした *Bmp4* (済)、*Smad1* (済)、*Wnt3* (済)、*Smad2*、*FoxH1*、*Lim1*遺伝子欠損マウスをそれぞれ作製中である。

平成 17 年度 基礎特研年報

---

平成 18 年 8 月 25 日 印 刷  
平成 18 年 8 月 30 日 発 行

編集兼  
発行者 独立行政法人理化学研究所  
基礎基盤・フロンティア研究推進部  
研究業務課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2 番 1 号

---