

広報誌

# RIKEN

## 2018

[www.riken.jp](http://www.riken.jp)

国立研究開発法人理化学研究所 広報室

〒351-0198 埼玉県和光市広沢2-1  
TEL: 048-467-9954(ダイヤルイン)  
FAX: 048-462-4715

# 科学道

Dreams to the Future

# RIKEN 2018 contents



理事長挨拶	02	研究開発	10	バイオリソースセンター	36	理研の活動	54
小安理事インタビュー	04	主任研究員研究室	12	ライフサイエンス技術基盤研究センター	38	創立百周年記念事業	56
至高の科学力 1	06	グローバル研究クラスター	16	計算科学研究機構	40	環境問題への貢献	58
至高の科学力 2	08	数理創造プログラム	18	放射光科学総合研究センター	42	研究成果・研究協力	60
		創発物性科学研究センター	20	仁科加速器研究センター	44	技術移転・産業界との連携	62
		光量子工学研究領域	22	産業連携本部		人材育成	64
		環境資源科学研究センター	24	イノベーション推進センター	46	広報活動	66
		生命システム研究センター	26	科学技術ハブ推進本部		受賞	70
		多細胞システム形成研究センター	28	創薬・医療技術基盤プログラム	48	人員	72
		脳科学総合研究センター	30	健康生き生き羅針盤リサーチコンプレックス 推進プログラム	50	予算	74
		統合生命医科学研究センター	32			理研の歩み	76
		革新知能統合研究センター	34			組織図	80
				情報基盤センター	52	問い合わせ先一覧	





## 次の百年を目指し、 新たな組織体制で“科学力”を展開する

理化学研究所(理研)は、1917年(大正6年)に、産業の発展のために科学研究と応用研究を行う財団法人として創立され、2017年3月には創立百周年を迎えた長い歴史を持つ研究所です。財団法人から株式会社となり、その後、特殊法人、独立行政法人、国立研究開発法人、2016年10月には特定国立研究開発法人に移行しました。時代と国の要請に応え、組織形態を変えながらも、基礎研究を推進すると同時に、わが国の産業発展のための研究開発や成果普及も推進してきました。

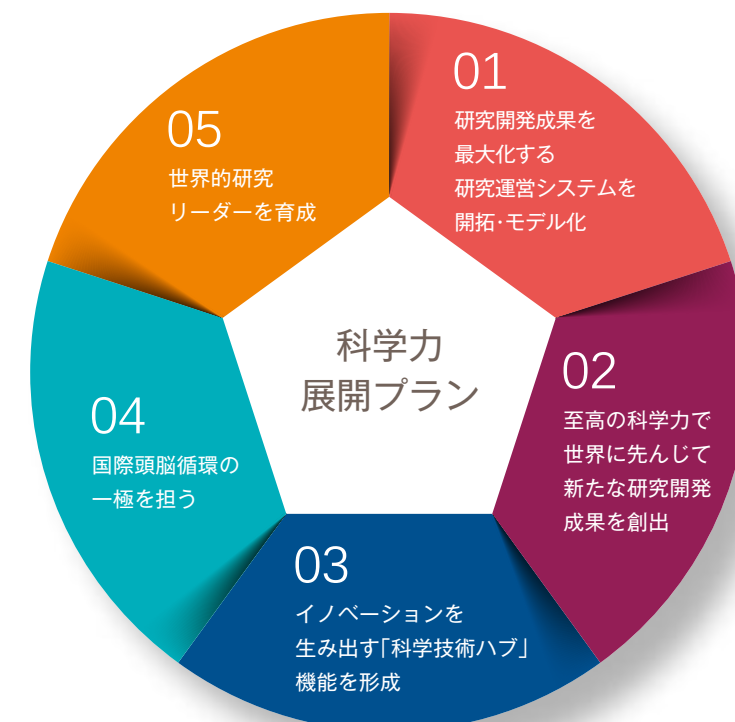
理研は日本で唯一の自然科学の総合研究所として、物理学、工学、化学、数理・情報科学、計算科学、生物学、医科学など幅広い分野において先導的な研究を進めています。同時に研究分野間の垣根が低い特徴を活かし、分野を超えた連携研究や、分野融合による新しい研究領域の開拓にも力を入れています。また大型放射光施設、スーパーコンピュータ、バイオリソース事業などの世界最高水準の研究開発基盤を開発・整備し、大学や産業界へ利用の機会を提供しています。

理研は第4期中長期計画(2018年度～2024年度)の下、組織体制を一新しました。次の百年を目指し、わが国のイノベーションシステムを強力に牽引すべく、これからも世界最高水準の研究成果を創出します。そのため、国内外の研究機関・企業と協力・連携する機能を構築し、その中核機関として人類が抱えるさまざまな課題に取り組んでいきます。さらに理研ならではの研究体制を活かした、次世代の研究を担う若手研究者の育成を行っていきます。

理化学研究所はあるべき未来社会を見据え、その実現の礎となるよう、科学の道を邁進していきます。

2018年4月

理事長 松本 紘(工学博士)



# 100年後の社会を見据えて 未来の社会に貢献する科学技術の創出

理事 小安重夫

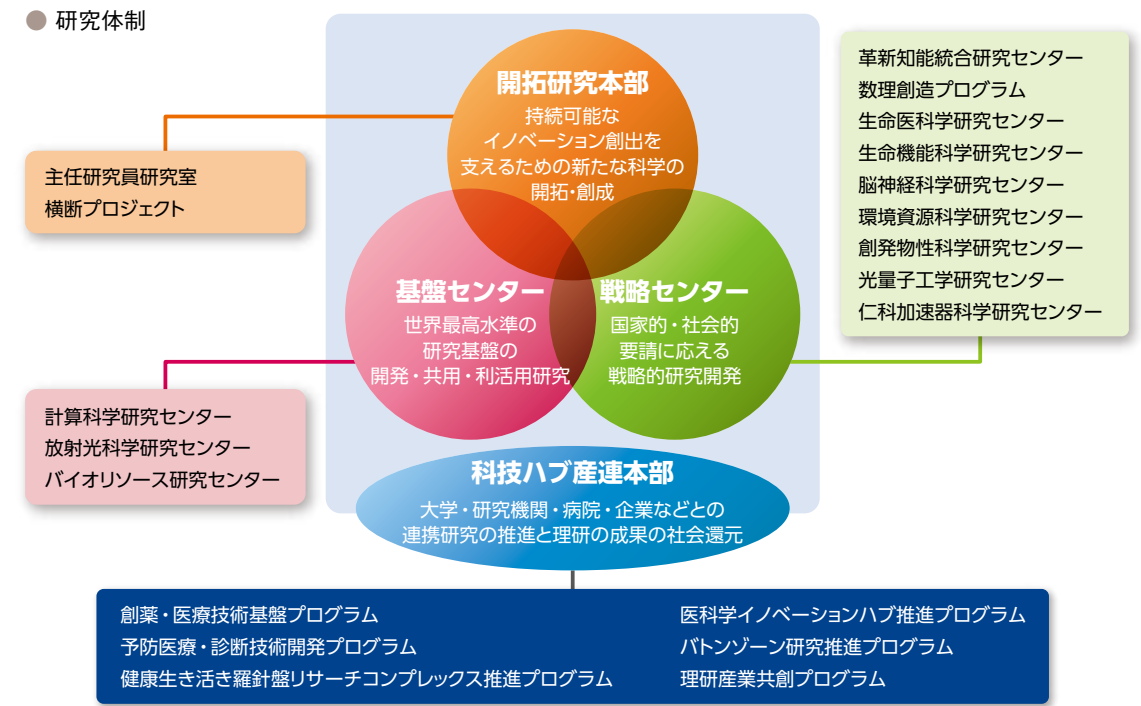


## 科学と社会の距離を近づけるための 「イノベーションデザイン構想」を推進

科学の進歩は著しく、さまざまな現象のメカニズムが明らかになり、世の中は随分便利になりました。しかし、研究分野の先進化・細分化が進んだことで、社会との距離が離れてしまったのではないかと問題意識を持っています。本来であれば、サイエンスに携わる研究者自身が常に社会を意識することが大切ですが、基礎研究の研究成果がどのように社会の役に立つのか研究者自身でさえ見えないケースも少なくありません。そこで理研の第4期中長期計画では、科学と社会の距離を近づけることを目指した「イノベーションデザイン」構想を掲げ、社会実装やイノベーションを推進していきます。

イノベーションデザイン構想の推進にあたっては、「イノベーションデザイナー」集団が中核的存在になります。イノベーションデザイナーは必ずしも科学技術の専門家である必要はなく、次世代の社会がどうあってほしいかをイメージし、その未来像に向けて理研が進むべき方向性をビジョンとして取りまとめる存在です。理研では、そのビジョンを実現するために必要とされる新しい技術を創造するとともに、理研内にあるさまざまな基礎研究を未来につなげていくことで、日本の科学力全体の底上げに貢献していきます。また、イノベーションデザイナーの活躍を支援する未来戦略室を設置するほか、評価や助言を行う有識者を登用するなど、組織的にイノベーションデザインに取り組むこと自体がかなり先進的な試みだといえます。

## いま求められる「エンジニアリング」の力 理研が有する先端技術を自在に組み合わせる ネットワークを構築



次世代社会のビジョンの実現や社会課題の解決のためには、さまざまな要素技術を目的に応じて自在に組み合わせる「エンジニアリング」の力が不可欠です。「エンジニアリング・ネットワーク」という取り組みでは、理研内の研究者や技術者が組織横断的に議論する場を設け、共通の課題を解決するための研究を推進し、その取り組みを外に向けて発信していきます。これは政府が推進する「ソサエティ5.0」にも共通する考え方で、数理・情報分野と理研に存在する膨大なデータサイエンスを結びつけるだけでも数々の社会課題の解決に向けた研究領域が創成されると期待されます。

社会課題に素早く対応できるよう、ライフサイエンス系センターの組織改編を行いました。多細胞システム形成研究センター、ライフサイエンス技術基盤研究センター、生命システム研究センターで推進してきた研究をさらに発展させた研究を推進する生命機能科学研究センターと、統合生命医科学研究センターとライフサイエンス技術基盤研究センターのオミックス領域で推進してきた研究をさらに発展させた研究を推進する生命医科学研究センターを立ち上げました。設立から20年が経過した脳科学総合研究センターも、新たに脳神経科学研究センターとしてスタート。これら3つのライフサイエンス系のセンターを下支えする存在としてバイオリソース研究センターが機能します。データサイエンスでは、人工知能研究を行う革新知能統合研究センター、スーパーコンピュータを開発、運用、高度化する計算科学研究センターなどの組織とライフサイエンス系研究をいかに連携させていくかが重要なポイントになります。

さらに第4期中長期計画では、こうした大きな社会課題に向けた取り組みを理研内だけでなく、大学や産業界とも密接に関わるオープンイノベーションの仕組みとして「科学技術ハブ」機能をさらに強化していきます。

## 次世代に向けた新たな科学領域の創出を目指し チームリーダーを育成する「白眉制度」を開始

社会実装やイノベーションは次世代社会に向けた重要なキーワードである一方、理研には「日本の科学技術の水準を向上させる」というミッションが課せられています。そこで、第4期では開拓研究本部という組織を立ち上げ、いままでにない新しい領域を創成するための仕組みを構築しました。これまでも、独創的研究提案制度の新領域開拓課題として実施された研究がさらに発展し、理論科学と生命科学や材料科学を結びつけた数理創造プログラムが誕生しています。このような取り組みを今後も引き続き推進します。新しい科学領域の創成は、暗闇の中に小さな光の点を見出すようなものですが、異分野融合の議論の中からその光が見えることは少なくありません。

また、次世代を担う研究人材の育成も重要な課題の一つです。研究者の流動性を確保しつつ長期的な研究テーマにも腰を据えて取り組めるよう、全体として有期雇用の割合を減らして、安定と流動性のバランスを整えていくことを経営方針の一つとして打ち出しています。従来の大学院生や海外研究生を対象とした支援制度に加え、研究リーダーとして並外れた資質を持つ若手研究者をPI (Principal Investigator: 研究室主宰者) ポジションで育成する全理研を対象とした「理研白眉制度」を開始。研修生・実習生からポストドクター、チームリーダーまで、トータルなキャリア形成システムを構築していきます。

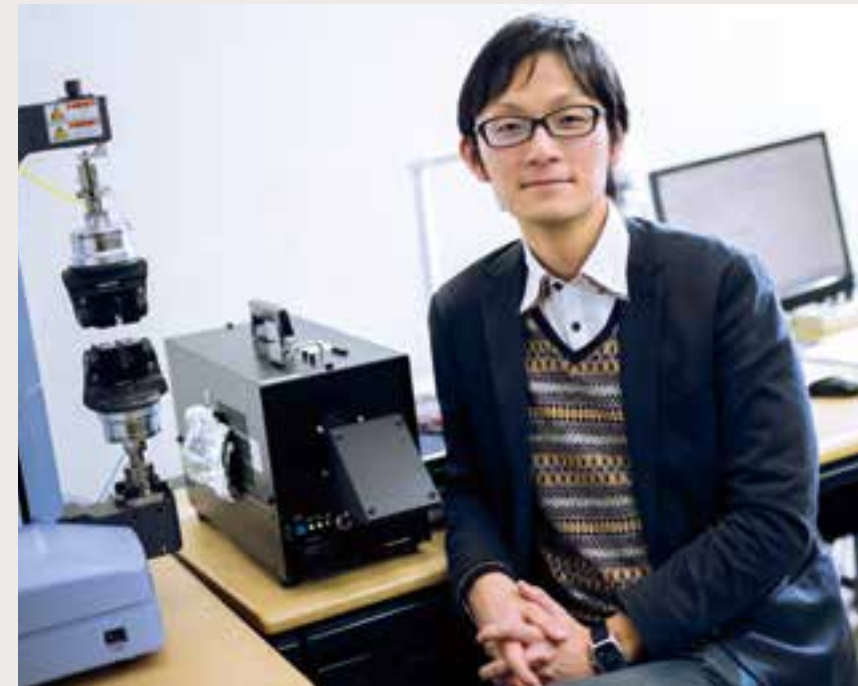
こうした取り組みの一つ一つが、持続的なイノベーションを支えるような新しい科学領域の創成につながるよう、常に未来の社会を見据えて取り組んでいきたいと考えています。



## 伸縮自在、耐水性抜群の洗濯できる 超薄型有機太陽電池を実現

ひくたけんじろう  
福田憲二郎 研究員

地球温暖化、石油の枯渇、原発問題が深刻化するなか、クリーンで無尽蔵な太陽エネルギーの利用に期待が高まっています。すでにソーラーパネルなどが汎用化されていますが、エネルギー変換効率、軽量性、伸縮性、耐久性の面では、なお多くの課題を抱えています。創発物性科学研究センター創発ソフトシステム研究チームの福田憲二郎研究員(創発ソフトシステム研究チーム/染谷薄膜素子研究室)らは、これまでに開発を手がけてきた半導体ポリマーと生体になじみやすい高分子材料を組み合わせることで、十分なエネルギー変換効率、伸縮性、耐水性の3要素を同時に達成する超薄型有機太陽電池の作製に成功しました。



有機薄膜太陽電池作製の様子

環境への負荷が小さく、枯渇する心配のない太陽エネルギーを利用した電池の開発が進んでいます。地上に到達するエネルギーを100%変換できれば世界のエネルギー問題は瞬時に解決できるとされますが、実際には10%の変換効率を実現するのも容易ではありません。理研では創発分子機能研究グループが「PNTz4T」という半導体ポリマーを用いた有機薄膜太陽電池(OPV)の開発を進めており、すでに約10%の変換効率を達成していました。今回、福田研究員らは、同じ半導体ポリマーに医療分野で使われる高分子材料(バリレン)の基板を組み合わせることで、厚さ3マイクロメートルの超柔軟なOPVを開発しました。これは、高いエネルギー変換効率・伸縮性・耐水性を同時に実現し、衣服貼り付け可能かつ洗濯可能な環境エネルギー電源です。

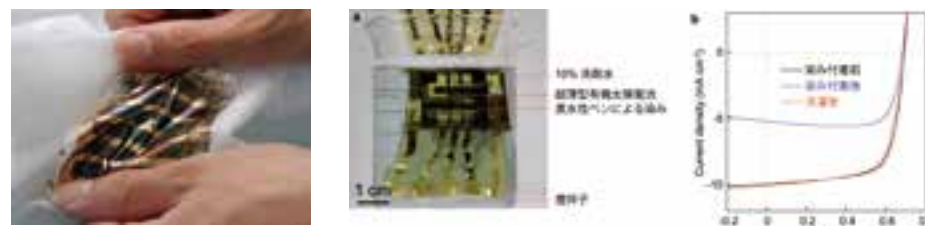
まず、光照射により発電効率を検討したところ、100mW/cm<sup>2</sup>の照射で短絡電流密度16.2mA/cm<sup>2</sup>、開放電圧0.71Vとなり、フィルファクター(最大出力を、開放電圧と短絡電流の積で割った値のこと)は69%でした。これらの値から割り出されるエネルギー変換率は7.9%となり、伸縮性をもつOPV研究で報告されていた4.2%にくらべ、約2倍もの高効率化を達成できました。また、このOPVは非常に高い機械的柔軟性も持っており、デバイスを約50%までつぶしても安定して駆動することが分かりました。

次に、非常に高い耐水性を持つことを確認しました。5分間水中に浸しても、エネルギー変換効率の低下はほとんど見られませんでした。また、時間とともに電池表面が汚れると想定し、表面に黒の水性ペンで染みを付け、洗剤液中で攪拌する実験も行いました。やはり機能低下を引き起こすことなく、染みを取り除いた後はエネルギー変換効率が初期値に戻ることを確認できました。

さらに、このOPVを「引張させた2枚のゴム」の間に挟み込むことで、伸縮性を保ちつつ、耐水性を劇的に向上させることにも成功しました。ゴムで挟み込まない場合には、120分間水に浸けるとエネルギー変換効率が初期値から約20%低下したのに対し、ゴムに挟み込んだOPVは5%しか低下しませんでした。また、水滴を落としながら約50%の伸縮を繰り返し行っても、初期値の80%のエネルギー変換効率を維持できました。

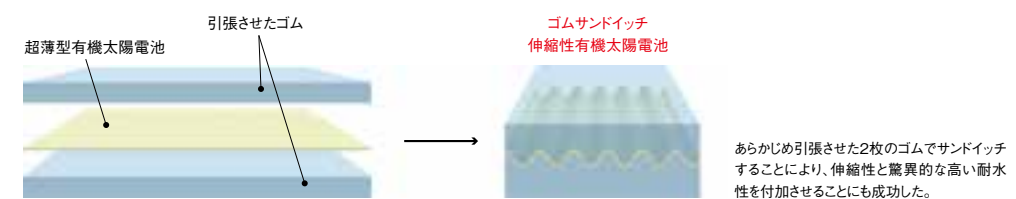
これまでのOPV開発では、十分なエネルギー変換効率、伸縮性、耐水性の3要素を同時に達成するのが困難でしたが、今回の成功により、衣服に貼り付けることが可能で洗濯できるOPV開発への道が開けたこととなります。ベストのように着用するウェアラブルセンサーとして利用すれば、血圧や体温などの生体情報を継続的にモニタリングでき、異変や疾患の早期発見につながると期待できます。

### 衣服上に貼り付けた有機薄膜太陽電池の洗濯写真



今回完成させた有機薄膜太陽電池を、「綿100%の白いワイシャツ」に縫い付けた上で、洗剤水に漬けて手で洗うデモ、「有機薄膜太陽電池に黒い水性ペンで染みを付け、10%の中性洗剤溶液により5分間攪拌して洗う実験」を、それぞれ行った。洗濯してもエネルギー変換効率の低下はほとんど見られず、染みが付いても洗濯により初期値のエネルギー変換効率に戻ることが確認された。

### ゴムで挟み込むことで実現した、さらに機能性の高い薄型有機太陽電池



あらかじめ引張させた2枚のゴムでサンドイッチすることにより、伸縮性と驚異的な高い耐水性を付加させることにも成功した。



# 至高の科学力

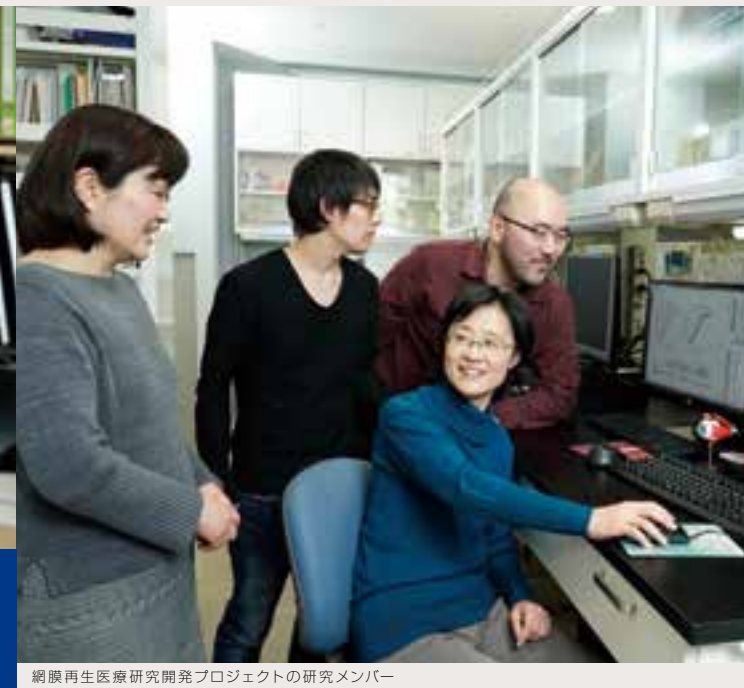
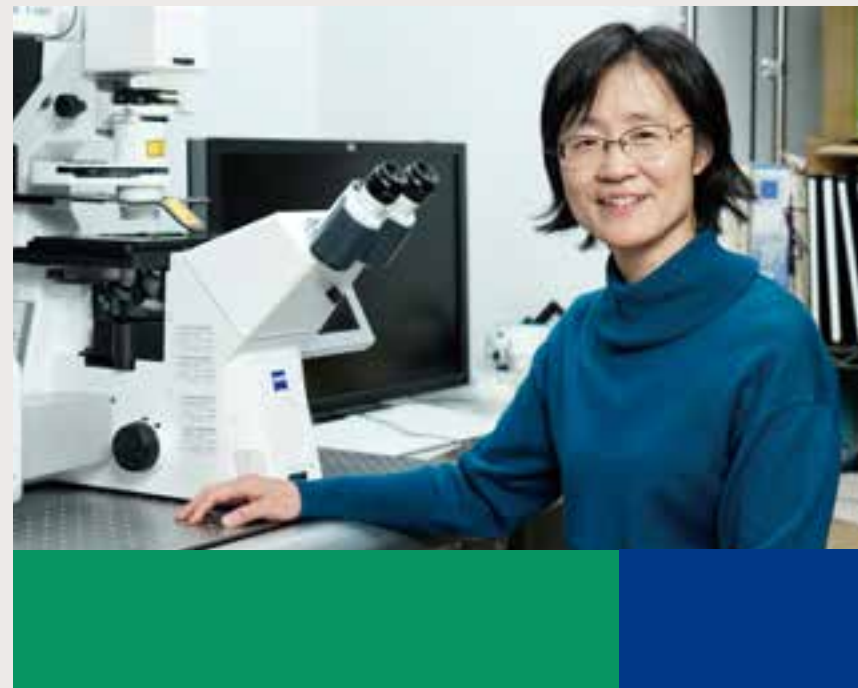
ピックアップ研究成果

## 2

### iPS由来の網膜移植で、目が見えないマウスの光に対する反応が回復

万代道子 副プロジェクトリーダー

目の網膜は再生力が低く、変性が末期まで及ぶと自然治癒が見込めず失明に至ります。これまで網膜の再生研究を続けてきた理研では、網膜の下に異常な血管ができる滲出性加齢黄斑変性に対し、ヒトiPS細胞を用いた網膜再生治療の臨床研究を進めています。今回は、多細胞システム形成研究センター網膜再生医療研究開発プロジェクトの万代道子副プロジェクトリーダーらが、末期の網膜変性状態にあるマウスを対象にマウスiPS細胞由来の網膜組織を移植する研究を進め、光に対する反応を回復させることに成功しました。



網膜再生医療研究開発プロジェクトの研究メンバー

網膜変性疾患に対し、iPS細胞やES細胞から分化させた網膜組織を移植する試みが進んでいます。ただし、網膜中の視細胞をほぼ消失している場合には、移植後の光への反応(光応答)やシナプスの形成をはっきり確認できる報告はありませんでした。網膜は光を感じる感覚網膜と、それを支える網膜色素上皮で構成されています。感覚網膜は神経節細胞、双極細胞、視細胞など5種類の神経細胞が層状に重なった構造をしており、神経細胞同士はシナプスによってつながっています。光情報が感覚網膜に受容されると、視細胞で電気信号に変換され、網膜内の神経細胞を経て脳へと伝えられます。

万代副プロジェクトリーダーらは2014年に、マウスのES細胞やiPS細胞由来の立体網膜組織が移植先の変性網膜に生着し、視細胞が光に反応できる構造(外節構造)を作ることを見出しました。また、移植先の神経細胞との間にシナプスを形成する可能性があることも示しています。今回は研究をさらに進め、「移植先の双極細胞と、移植した側の視細胞とのシナプス形成」、「移植後のマウスの光に対する行動」、「移植後の網膜の光応答」について詳しく調べました。

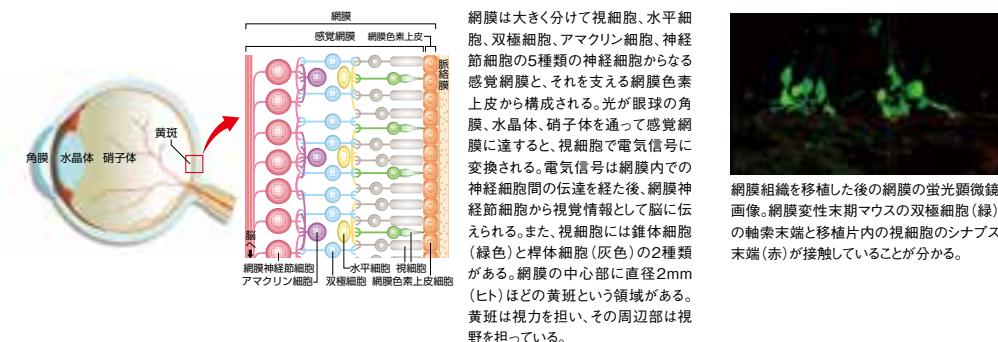
まず、双極細胞を緑色に光るよう遺伝子改変したマウスと、網膜変性の進行が早い疾患モデルマウスを交配させ、「双極細胞が光る網膜変性末期マウス」を作製しました。そこに、正常マウスのiPS細胞から分化させた網膜組織を移植しました。このとき、移植した網膜組織中の視細胞のシナプス末端は、赤く光るように遺伝子改変を施しておきました。その結果、移植先の双極細胞と移植した側の視細胞がシナプスで接続されていることが目視で確認されました。

次に、シャトルアボイダンス・テストというシステム(SAS)により、マウスの行動を調べました。「自由に行き来できる隣り合った二つの部屋に放ち、無作為なタイミングでマウスのいる部屋にブザー音と光の刺激を与え、その5秒後に電気ショックを与える。音と光刺激後、5秒以内に別の部屋に移動すれば電気ショックを回避できる」というものです。このシステムを学習した正常マウスは、刺激を光だけにしても別の部屋に移動しますが、目が見えないマウスは移動できません。この訓練を繰り返すと、目が見えないマウスの中に「絶えず動き回っている方が安全だ」と気づくものが現れ行動パターンが変わります。万代らはこの行動パターンをモデルに取り入れ、光を認識して電気ショックを回避しているマウスだけを検出する評価方法を開発しました。すると、移植したマウス21匹のうち9匹で、光に対する行動パターンが改善したと推定できました。

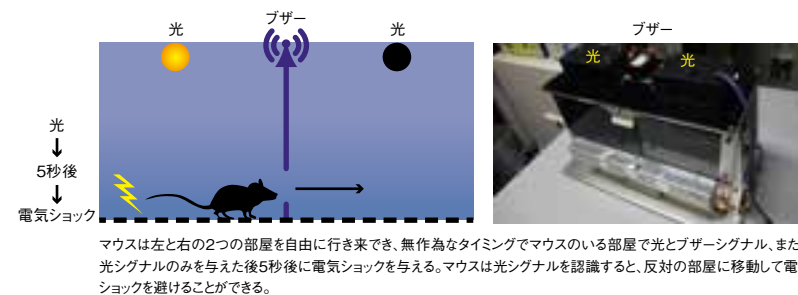
さらに、移植後のマウス7匹から移植部位の網膜を取り出し、電気生理学的な解析、三次元的な組織解析、神経節細胞の反応パターンごとの分類も行ったところ、7匹とも網膜および脳に至る神経節細胞の光応答性が得られました。

一連の結果は、網膜移植によって光に対する反応が回復した可能性を強く示しています。万代らはこれまでもヒトES細胞からの網膜組織の成熟もラットおよび猿モデルで報告しており、現在は臨床応用に向け、ヒトのES細胞やiPS細胞を用いた検証を進めています。

#### 網膜の構造とマウスiPS細胞から分化させた網膜組織を移植した網膜変性末期マウスの網膜



#### 行動検査用シャトルアボイダンス・テストシステム (SAS) と実験装置



リファレンス  
 1) Assawachanont J, Mandai M, Okamoto S, Yamada C, Eiraku M, Yonemura S, Sasai Y, Takahashi M Transplantation of embryonic and induced pluripotent stem cell-derived 3D retinal sheets into retinal degenerative mice. *Stem Cell Reports*. 2662-74, 2014  
 2) Shirai H, Mandai M, Matsushita K, Kuwahara A, Yonemura S, Nakano T, Assawachanont J, Kimura T, Saito K, Terasaki H, Eiraku M, Sasai Y, Takahashi M Transplantation of human embryonic stem cell-derived retinal tissue in two primate models of retinal degeneration. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 113: E81-90, 2016



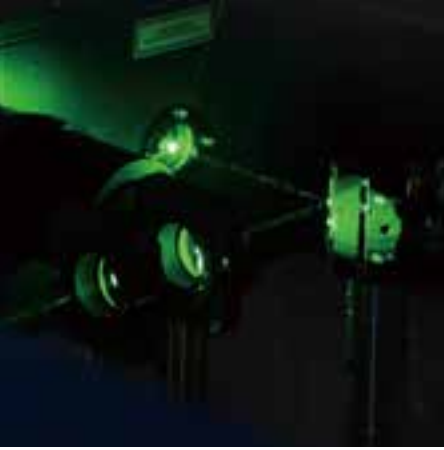
# Research & Development

## 研究開発

理研が行う研究および各研究担当組織のミッションや特徴、代表的な研究成果をご紹介します。

ISSに設置される両面フレネルレンズMini-EUSO光学系  
近紫外レーザーを用いて光学性能を評価している様子。Mini-EUSO望遠鏡は、  
フレネルレンズ2枚組構成の口径25cmの望遠鏡で、2018年後半に国際宇宙  
ステーション(ISS)の与圧部の窓に設置予定。超高エネルギー宇宙線観測に  
必要な近紫外線の背景光強度や発光現象を観測する。





## 主任研究員研究室

※主任研究員研究室は第4期中長期計画で開拓研究本部に所属。

東原子分子物理研究室  
東 俊行 主任研究員

## 精度の高い実験データを 宇宙の観測結果の検証に活用したい

東 俊行 (あずまとしゆき)  
(写真前列右)  
主任研究員研究室  
東原子分子物理研究室

### 研究成果

## 宇宙環境での化学反応を地上で再現 極低温静電リングで高真空・極低温環境での化学反応を計測する

宇宙には、超新星爆発や銀河同士の衝突など、目を奪われるような現象が起こる領域がある一方、星もなくただ真空が広がっているように見える領域もあります。ところが、そうした一見、何もないような空間にも原子や分子が漂っており、互いにゆっくと引き寄せ合って近づくことで化学反応を起こします。塵やガスが集まった分子雲と呼ばれる領域では、単純な水素ガスや一酸化炭素ガスに始まって、数十から数百の水素や炭素が集まった複雑な有機分子が実際に観測されています。さらにはアミノ酸などの生命に関わる分子の探索も続けられています。しかし、実際の宇宙空間で、これらが生成されるためにはどのような反応がどの程度の時間をかけて起こっているのかは、推測するしかありません。

理研和光地区に設置された極低温静電リング「RICE」は、超高真空状態と極低温状態という宇宙空間同様の環境を地上に再現し、宇宙空間での化学反応を研究する装置です。SPring-8のような放射光施設は、磁場で電子を周回させますが、RICEは電場でイオンビームを制御します。ですから、RICEの本体部分は、おおよそ3mと非常にコンパクトです。また、3台の冷却器によって、本体部分中心は4K\*1と極低温か

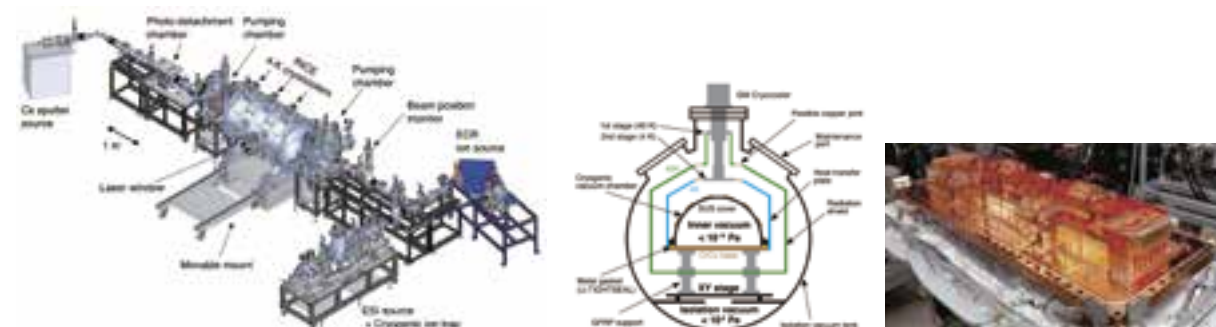
つ超高真空状態に保たれています。

最初にRICEを組み上げてテストした際、イオンが数ミリ秒しか周回しないというトラブルがありました。シミュレーションで検証した結果、ある部品が0.5mmほどずれていたためと判明し、部品を作り直して、組み立て直しました。RICEは放射光施設に比べると非常にコンパクトですが、極めて高い精度が要求される装置なのです。

高真空・極低温の宇宙空間を再現したRICE本体の中で周回するイオンビームに対し、レーザーで中性化した原子を同じ方向に合流させて打ち込みます。このとき、イオンと中性化原子の速度差(相対速度)が非常に小さいため、発生するエネルギーは数eV\*2以下と非常に小さくできます。また、イオンと原子がぶつかる速度を調整することで、反応量や時間を調整できます。こうした実験を多様な条件で繰り返し行うことで、例えば、宇宙空間で多くの割合を占める、炭素と水素イオンの化学反応を実験室の中で再現し、これまでの観測では得られなかった高い精度のデータを得、それを提供できるようになります。こうしたデータは、宇宙におけるさまざまな理論の検証やシミュレーション結果の裏付けとなっていきます。

\*1 ケルビン。温度を表す単位の一つ。1Kはおおよそマイナス273度。  
\*2 エレクトロンボルト(電子ボルト)。エネルギーを表す単位の一つ。

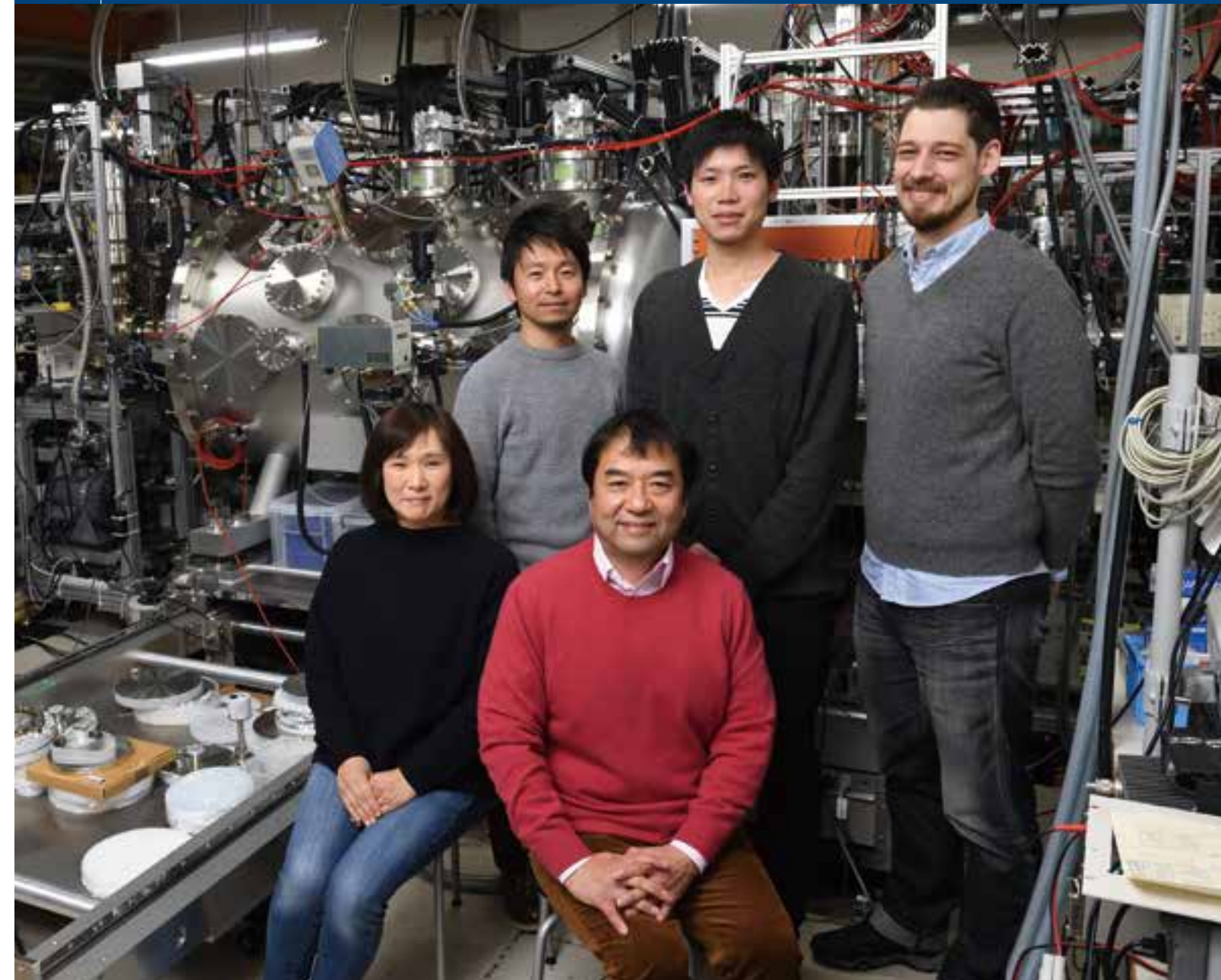
### ● 極低温静電リング「RICE」



一方から中性化原子ビームやレーザーを照射、反応後飛び出した原子や分子を計測する。

RICEの本体部分であるイオンを閉じ込める静電リング。精度を高くするために一体成型できる最大サイズで作られた。

リファレンス  
Y. Nakano, Y. Enomoto, T. Masunaga, S. Menk, P. Bertier, and T. Azuma, "Design and commissioning of the RIKEN cryogenic electrostatic ring (RICE)", *Review of Scientific Instruments* 88, 033110 (2017).



### 開拓研究本部

科学技術立国を目指すわが国においては、多様な科学研究を展開し、革新的な技術を開拓することが求められています。真にこれを実現するためには、国家的な科学技術政策課題を担う戦略センターでの研究推進と並んで、他に先んじた新しい科学の創成が必要不可欠です。開拓研究本部では、主任研究員が研究室を主宰し、抜きだした基礎研究成果を生み出すとともに、理研内の研究者を有機的に連携する分野横断的な研究プロジェクトを推進することにより、新たな科学の創成を進め、わが国における戦略的研究プロジェクトの芽となる研究を開拓します。

### 主任研究員研究室

上記の目的を達成するため、多様な分野で傑出した研究実績、広い視野と高い指導力を持つ研究者が主宰する主任研究員研究室を設置します。主任研究員は、長期的ビジョンに基づき自らの研究を推進するとともに、研究分野や組織の壁を超え、社会の中での科学のあり方も視野に入れ、新たな科学の創成を目指します。

本部長 小安重夫 (D.Sci.)





## 主任研究員研究室

※主任研究員研究室は第4期中長期計画で開拓研究本部に所属。

岩崎RNAシステム生化学研究室  
岩崎信太郎 主任研究員

## 「分子生物学のセントラルドグマ」の仕組みを リボソームプロファイリング技術で解明する

岩崎信太郎 (いわさきしんたろう)  
(写真前列左端)  
主任研究員研究室  
岩崎 RNA システム生化学研究室

研究成果

## RNAの働きを解明することで生命の謎に迫る

### 次世代シーケンサーによる網羅的解析手法

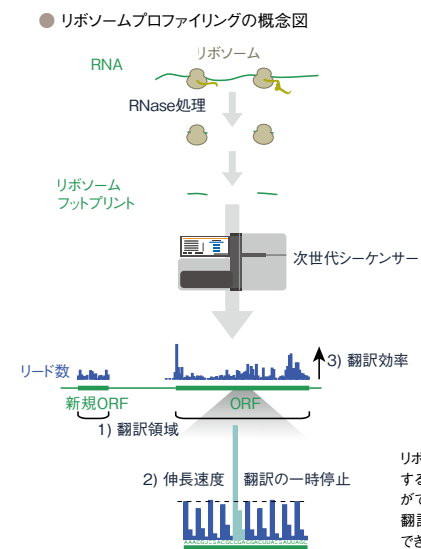
生物が持つ設計図であるDNAの一部を転写する形でRNA(リボ核酸)が作られ、そのRNAからリボソーム(ライボソーム)の働きによって各種のタンパク質が作られます。この原理を「分子生物学のセントラルドグマ」といい、RNAからタンパク質が作られることを「翻訳」と呼びます。DNAを膨大なレシピ集とするなら、レシピ集の中から今日作りたいレシピだけをコピーしたものがRNA、コピーしたレシピで作られた料理がタンパク質、リボソームは料理人とたとえることができます。

翻訳によってタンパク質が作られることは、古くから知られていました。しかし、近年になって遺伝子解析技術が向上したことで、RNA(レシピ)とそのRNAから作られるタンパク質(料理)の量は単純に比例しているのではなく、翻訳(調理)の段階で細かく制御されていることが分かってきました。同じRNAであっても、少しでも条件が異なれば違うタンパク質が作られます。なぜそうなるのか、そのメカニズムはまだ分かっていません。このケースバイケースの法則性を知るために、レシピごとにどのくらい調理時間がかかり、どんな味の料理がどのくらいの量できるのかをコツコツ調べる必要があります。

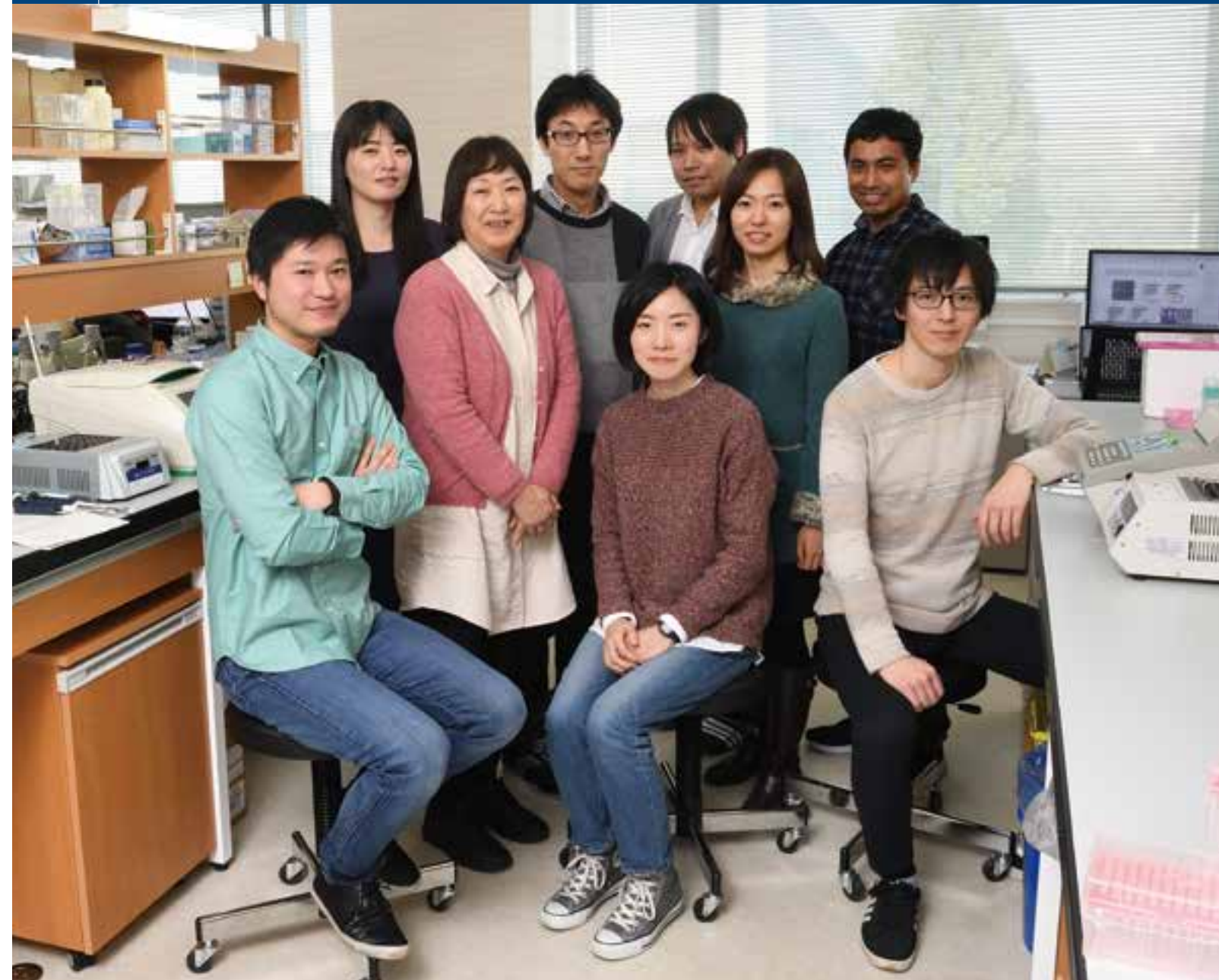
かつて遺伝子情報を解析するには、ときに数年間というよう

な長い時間が必要でした。そのため、特定部分の遺伝子情報を詳細に深く解析していく手法が用いられています。しかし、近年技術の進歩により、遺伝子の配列を解析するシーケンサーが発達し、一度の実験で約8万のRNAを数日で解析できるようになりました。岩崎RNAシステム生化学研究室では、従来の生化学的手法と次世代シーケンサーを利用したリボソームプロファイリングと呼ばれる技術とを駆使して、RNAの翻訳メカニズムの解明を行っています。

理研の翻訳因子構造解析ユニットやカリフォルニア大学との共同研究では、リボソームプロファイリング技術を使って、ロカグラマイドAという翻訳阻害剤の結晶構造を原子レベルで解析し、翻訳の阻害作用のメカニズムを解明しました。ロカグラマイドAは、観葉植物として知られる樹蘭(アグラリア)から抽出される抗がん剤で、がん細胞中で翻訳の阻害を引き起こすことで、がん細胞の増加を抑制する効果があります。また、樹蘭が持つ翻訳阻害剤が、樹蘭自身を攻撃しないように進化したことも分かりました。ロカグラマイドAのメカニズムを解明したことで、将来、より効果の高い抗がん剤を作り出すことができるかもしれません。



リボソームプロファイリングでは翻訳に関する膨大な情報を一挙に取得することができる。特に翻訳領域、翻訳の効率、翻訳の速度を網羅的に解析することができるユニークな技術である。



### 開拓研究本部

科学技術立国を目指すわが国においては、多様な科学研究を展開し、革新的な技術を開拓することが求められています。真にこれを実現するためには、国家的な科学技術政策課題を担う戦略センターでの研究推進と並んで、他に先んじた新しい科学の創成が必要不可欠です。開拓研究本部では、主任研究員が研究室を主宰し、抜きだした基礎研究成果を生み出すとともに、理研内の研究者を有機的に連携する分野横断的な研究プロジェクトを推進することにより、新たな科学の創成を進め、わが国における戦略的研究プロジェクトの芽となる研究を開拓します。

### 主任研究員研究室

上記の目的を達成するため、多様な分野で傑出した研究実績、広い視野と高い指導力を持つ研究者が主宰する主任研究員研究室を設置します。主任研究員は、長期的ビジョンに基づき自らの研究を推進するとともに、研究分野や組織の壁を超え、社会の中での科学のあり方も視野に入れ、新たな科学の創成を目指します。

本部長 小安重夫 (D.Sci.)







## グローバル研究クラスタ

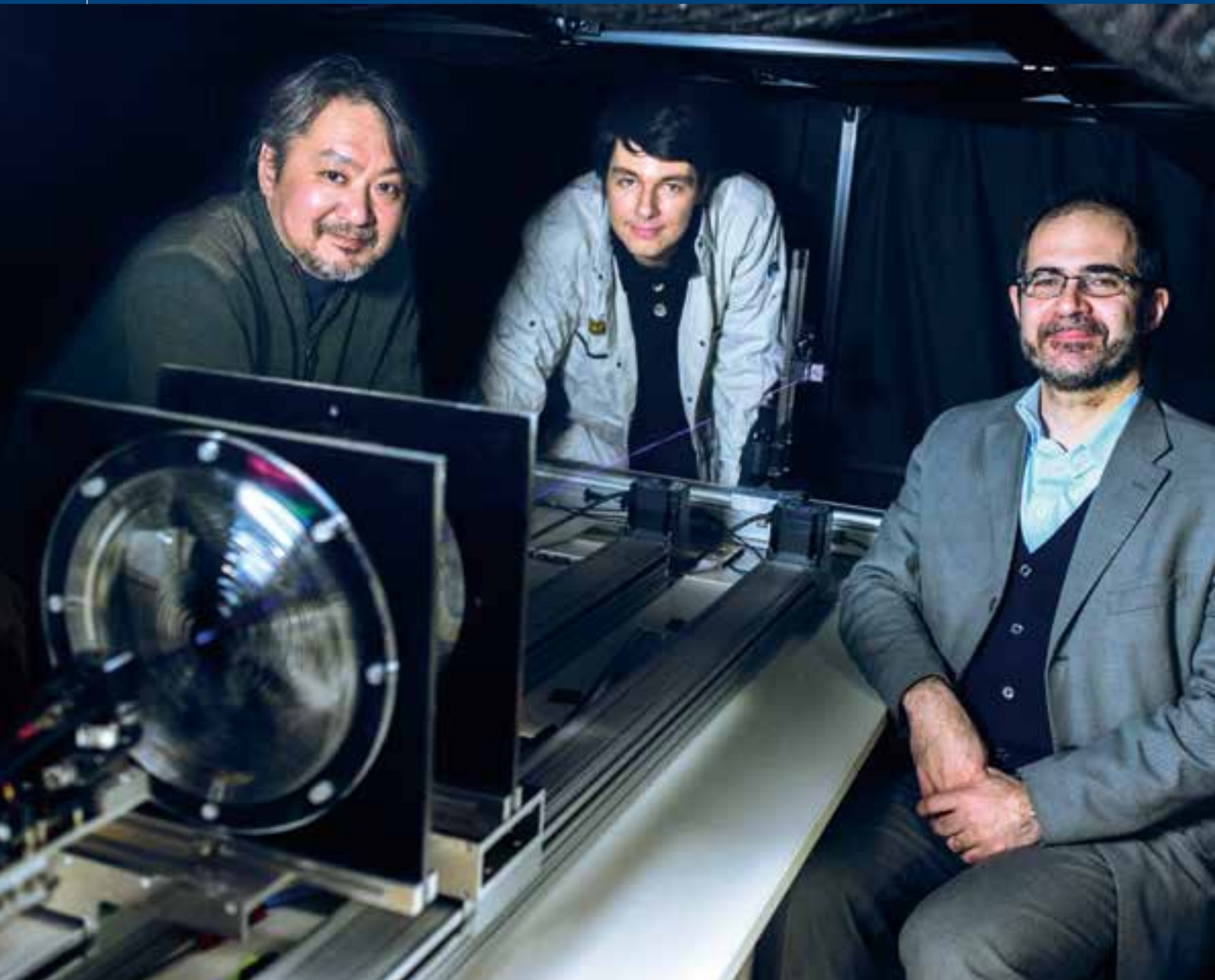
※本研究クラスタは第3期中期計画で終了。

EUSO (ユーゾ) チーム  
マルコ・カソリーノ チームリーダー  
(現・開拓研究本部 茨崎計算宇宙物理研究室 研究員)

## 超高エネルギー宇宙線を観測し、 光ではなく荷電粒子による新たな天文学を拓く

Marco Casolino (マルコ・カソリーノ)  
(写真右)  
Lech Piotrowski (レフ・ピョトロフスキー)  
(写真中央)  
グローバル研究クラスタ  
EUSO チーム

滝澤慶之 (たきざわよしゆき)  
(写真左)  
茨崎計算宇宙物理研究室



### 研究成果

## NASAの宇宙線観測実験にフレネルレンズを提供

### 超高エネルギー宇宙線の起源に迫る

宇宙線の中には $10^{20}$ eV (電子ボルト)を超える超高エネルギー宇宙線があることが明らかになっています。しかし、その飛来頻度は、山手線エリアほどの面積に対して1年に1回程度と観測数が極めて少ないため、その起源は分かっていません。超高エネルギー宇宙線が地球大気に突入すると、大気中の原子核と衝突して宇宙シャワーと呼ばれる粒子(陽子と電子からなる荷電粒子)ができます。この宇宙シャワーは蛍光紫外線を発生させるため、これを連続撮影すれば、この宇宙線のエネルギーと到来方向が分かります。超高エネルギー宇宙線はエネルギーが極めて高く、遠方の宇宙の起源からほとんど曲がることなく地球に到達します。そのため、天体の姿が見えなくても到来方向から粒子の起源の手掛かりを得ることができるのです。

しかし、超高エネルギー宇宙線や宇宙シャワーの地上での観測には限界があります。そこで、気球や衛星を使って超高エネルギー宇宙線を観測するプロジェクトが進行しています。理研では、グローバル研究クラスタEUSOチームのマルコ・カソリーノらが、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟(JEM)に超広角望遠鏡を設置し超高エネルギー宇宙線の観測を目指す「JEM-EUSO」を推進しています。EUSOとは Extreme Universe Space Observatoryの略で、超高エネルギー宇宙線由来の微弱な蛍光紫外線を捉える装置の開発と実際の観測を目指す、日米欧など16か国が協力する

国際プロジェクトです。

一方で、NASA(アメリカ航空宇宙局)は、超高圧成層圏気球(Super Pressure Balloon: SPB)に広視野望遠鏡など約1トンの観測機器を吊るして高度40kmの成層圏から $10^{18}$ ~ $10^{19}$ eVの超高エネルギー宇宙線を観測する「EUSO-SPB」を進めています。マルコ・カソリーノチームリーダーら日本の研究グループはEUSO-SPBにも参画し、広視野望遠鏡のフレネルレンズの設計や製造を担当しました。EUSOチームと茨崎計算宇宙物理研究室がレンズを設計し、大森素形材工学研究室と日本特殊光学樹脂株式会社、池上金型工業株式会社が、わずか半年で1m角のフレネルレンズを3枚製作しました。このレンズを用いた広角望遠鏡を搭載したSPBは日本時間の2017年4月25日に放球され、5月7日に観測を終了し、現在データの解析を進めています。さらに、米国ではEUSO-SPB2が計画・採択され、長期観測への準備を開始しています(2021年春放球予定)。

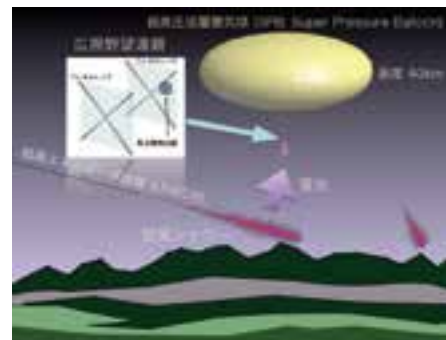
EUSOではさまざまなプロトタイプミッションが計画されており、その幾つかで、日本の研究グループはレンズの設計・制作を担当しています。観測の基盤となるレンズの設計・提供を通じて超高エネルギー宇宙線の解明を進めることで、従来の光による天文学だけでなく、荷電粒子を用いた新しい天文学の道を開くことが期待できます。

● 放球されるSPB



リファレンス  
NASAの超高エネルギー宇宙線観測実験にフレネルレンズを提供 [http://www.riken.jp/pr/topics/2017/20170508\\_1/](http://www.riken.jp/pr/topics/2017/20170508_1/)  
気球を使って超高エネルギー宇宙線を観測 <http://www.riken.jp/?media/riken/pr/publications/news/2016/rn201611.pdf>  
L. Wiencke, A. Olinto on behalf of the JEM-EUSO Collaboration "EUSO-SPB1 Mission and Science" *PROCEEDINGS OF SCIENCE* Volume 301

● EUSO-SPBによる観測概念図



超高エネルギー宇宙線が作る「空気シャワー」が発する紫外線の蛍光を、超高圧成層圏気球に吊るした広角望遠鏡などからなる観測装置で観測する。

### グローバル研究クラスタ

グローバル化に対応して国と地域を超えた連携研究を強く推進し、理研の総合力を発揮することがグローバル研究クラスタの使命です。地球規模課題の解決やグローバルなパートナーシップの確立と連携協力の拡大など、長期的な視点での世界貢献を目指して研究を推進してきました。本研究クラスタは第3期中期計画で終了しましたが、理研は、今後も国際的な科学技術ハブとして、互恵的な国際協力関係を構築する取り組みを推進していきます。

クラスタ長 玉尾皓平 (D.Eng.)







## 数理創造プログラム

坪井 俊 副プログラムディレクター

### 研究成果

# 数理を共通言語として自然科学の理解を深める

## 数理科学の国際研究拠点として世界の数学者とも連携

2016年11月1日に設立された「数理創造プログラム (iTHEMS)」は、「数理」を軸とした分野横断的な手法により、宇宙・物質・生命の解明や、社会課題の解決を目指す国際研究拠点です。前身であるiTHES (2013年4月～2018年3月) では、基礎物理学、物質科学、生命科学などのさまざまな分野の研究者たちが分野の枠を超えて交流、連携することで、新たなサイエンスの枠組みの創設に取り組んできました。iTHESに「M (Mathematical)」を加えたiTHEMSには純粋数学を専門とする若手研究者も加わり、iTHESの活動をさらに発展させていきます。

一部の理論物理学を除いて、物理学や生物学では今も19世紀の数学が使われています。そういった学問において20世紀以降に生み出された現代数学を使うことで、それまでとは違うものの見方ができるようになるかもしれません。例えば、現代数学でも盛んに研究されている結び目理論を使い、DNAの形の解明につなげようとする理論生物学との共同研究が進められています。DNAから転写が起こるときのRNAの構造については実験による解明が十分ではないため、結び目理論を用いた数理モデルの構築により理解が深まることが期待されています。

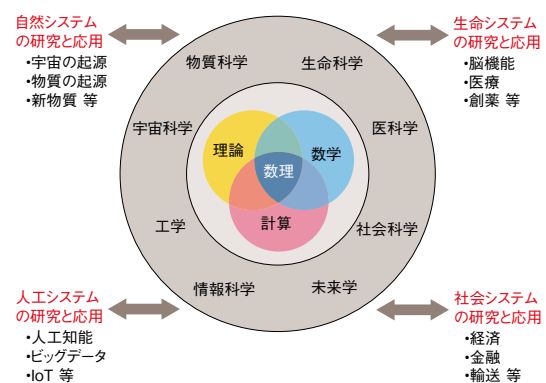
理研内で行われているさまざまな研究分野の中には、研究対象は違っても、実は同じ現象を追究していることが少なくありません。そのような現象について、「数学」という共通の手法

や言語を用いることで、分野横断的な研究活動が促進されることも目指しています。タンパク質の形のようにメカニズムの解明が十分ではない自然現象について数理科学的に理解し、さらに実験により検証できるということは、数学者にとっても大変魅力的です。

iTHEMSでは、分野横断的な議論を進める場として、理研研究者向けの講演やセミナーを開催。こうしたセミナーを通じて共同研究が芽吹くこともあります。また、理研創立百周年の所内交流会では、2017年12月に発表されたABC予想証明についてセミナーを開催したところ、さまざまな研究分野から研究者が集まり大盛況でした。

2017年度からスタートした「新しい幾何学」、「生命進化」、「極限宇宙」、「数理とAI」という四つのセルは引き続き活動を続けています。さらに、数理物理学研究の活性化を目指す研究グループ「STAMP (STatistical And Mathematical Physics)」など、セルの前段階となるようなワーキンググループが発足し、活動領域を拡大しつつあります。このようなセミナーやセルの活動では、iTHEMSのメンバーを中心に、京都大学、インド国立生命科学研究センター、米国ローレンス・バークレー国立研究所など、国内外の研究機関と連携。理研外の数学者の頭脳が集結する“知の拠点”としてもさらに活性化しています。

### ● 数理科学を通してつながるさまざまなシステム



### ● セミナーの様子



# 21世紀の現代数学を用いることで自然科学でのブレークスルーを促す

坪井 俊 (つばいたかし)  
(写真左)

窪田陽介 (くぼたようすけ)  
(写真右)

数理創造プログラム

小鳥居祐香 (ことりいゆうか)  
(写真中央)

理論科学連携研究推進グループ  
分野横断型数理科学連携研究チーム



## 数理創造プログラム

自然科学は、物理学、化学、生物学とさまざまな分野に分かれています。しかし数理科学によってその背後にある論理的な構造を調べてみると、共通点が見えてくることがあります。数理創造プログラム (iTHEMS) は、理論科学・数学・計算科学の研究者が、物理学、化学、生物学、工学など、さまざまな分野の研究者とともに、「数理」を軸とする手法を用いて、宇宙・物質・生命の解明や、社会における基本問題の解決を図る、新しい国際研究拠点です。さらに、分野横断型・滞在型のスクールや、さまざまな分野で第一線の基礎科学研究者を招いたワークショップ、企業や社会で数理がどう使われているかを知るための産学連携レクチャーや日常的な分野交流などを通して、ブレークスルーをもたらす研究土壌を整え、若手人材の育成を進めます。国内の大学や海外の研究機関との連携を通じ、国際脳神経ネットワークを構築します。

プログラムディレクター 初田哲男 (D.Sci.)





## 創発物性科学研究センター

強相関理論研究グループ  
永長直人 グループディレクター

## 遷移金属酸化物の持つ 未知のポテンシャルを引き出す

永長直人 (ながさなおと)  
(写真右から2番目)  
創発物性科学研究センター  
強相関理論研究グループ

研究成果

### 強相関物性を持つ結晶で新しい相転移現象を発見 トポロジカル電子状態を解明する新たな知見

遷移金属酸化物は、圧力や磁場といった外部刺激によって特性が変化するユニークな物質です。こういった強相関電子系と呼ばれる物質群では、どのような条件で、どのような性質を示すのか、世界中の研究者が注目しています。

創発物性科学研究センター強相関理論研究グループの永長直人グループディレクターおよび強相関物性研究グループの十倉好紀グループディレクターらは、遷移金属酸化物である「ネオジウム・プラセオジウムイリジウム酸化物 ((Nd<sub>1-x</sub>Pr<sub>x</sub>)<sub>2</sub>Ir<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)」の結晶性の高い単結晶を作製し、実験を行うとともに、対応する新しい電子状態を理論的に見出しました。この物質は絶対零度になる量子臨界点近傍で相転移する磁性絶縁体です。希土類イオンNdと遷移金属イオンIrがそれぞれ四面体を組み、頂点を共有する格子型をしており、外からの磁場の方向によって、四面体頂点のスピンの方向が変わります。

また、静水圧力で結晶を等方的に圧縮すると電子の「バンド幅」を変えることができます。「バンド幅」は、固体の性質が大きく変わる相転移現象の重要なパラメータの一つです。また、化学置換でネオジウムをプラセオジウムに置き換えても同じ現象が起きます。本研究では、圧力と化学置換の二つのアプローチで系のパラメータを制御しました。

その結果、ネオジウムイリジウム酸化物では、圧力を加える

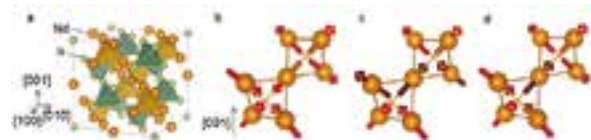
と相が変わる磁気転移温度が低くなることが分かりました。また圧力を加えたり、ネオジウムとプラセオジウムを化学置換することで化学圧力をかけると、6 ギガパスカル (GPa) 付近で反強磁性絶縁体相がほぼ完全に消失し、「常磁性体」の性質を示しました。さらに、1 GPa以上の圧力をかけ、反強磁性絶縁体相が消失する温度近くでは、巨大な磁気抵抗効果が観測されました。これは、圧力によって、複数の磁気・電子相が互いに拮抗している臨界領域に迫ったためだと考えられます。

次にホール伝導度の磁場依存性を測定したところ、大きな抵抗率変化に伴い、符号の変化を含めた複雑な磁場依存性を示しました。磁場によって磁気構造が変化したためと考えられています。この磁気構造変化を考慮した理論計算を行うと、今までの理論計算では予測されていない、磁気対称性を反映した新しいトポロジカル電子相が発現している可能性が高いことが明らかになりました。

本研究は、今まで予測されていなかった電子状態が、パラメータを細かく制御していくと多数実現するということを、実験的、理論的に実証しました。

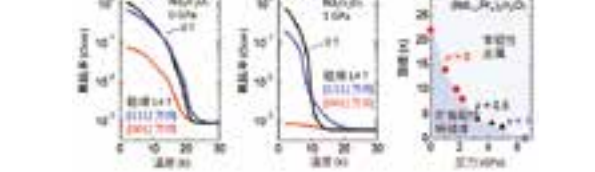
この成果は、固体中における磁性とトポロジカル電子状態の関係についての重要な知見です。また、今回確立した温度、圧力、磁場をパラメータとした計測は、今後、強相関トポロジカル物質の設計指針になると期待できます。

● NdIr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の結晶構造と磁気構造



a: バイロクワ型Nd<sub>2</sub>Ir<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の結晶構造。希土類イオンNdと遷移金属イオンIrがそれぞれ四面体を組んで、頂点共有でつながった構造を持つ。  
b: ゼロ磁場下での磁気構造。四面体頂点の4つのスピンのうち、2つが中、残り2つが外を向いている。2-in 2-out磁気構造と呼ばれる。  
c: [001]結晶軸方向の磁場下における磁気構造。四面体頂点の4つのスピンのうち、2つが中、残り2つが外を向いている。2-in 2-out磁気構造と呼ばれる。  
d: [111]結晶軸方向の磁場下における磁気構造。四面体頂点の4つのスピンのうち、3つが中、1つが外、1つが中を向いている。3-in 1-out磁気構造と呼ばれる。

● NdIr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の抵抗率の温度依存性と相図



a,b: NdIr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>における抵抗率の温度依存性 (a. 0 GPa, b. 1 GPa)。黒線がゼロ磁場下での抵抗率、赤線が[001]結晶軸方向に磁場を加えたときの抵抗率、青線が[111]方向に磁場を加えたときの抵抗率。0 GPa (常圧) では、磁気転移温度23 K (-250°C) 以下で抵抗率が急激に増加するが、1 GPa (10<sup>10</sup> Pa) では磁気転移温度が23Kよりも低くなっている。磁場下における抵抗率も、常圧下と比べて大きく変化している。  
c: 圧力、化学置換 (Xの変化) に対する電子・磁気相図。圧力を増加させていくと磁気転移温度が低下していき、約6 GPaで反強磁性絶縁体相が消失する。



### 創発物性科学研究センター

環境に負荷をかけずにエネルギーを効率よく作り出し、一方で、エネルギーの消費を極限にまで低減する。そのような革新的科学技術が、環境調和型持続性社会の実現のためには必須です。創発物性科学とは、膨大な数の構成要素—電子や分子などが協働することで、その個々の単なる集合としては予測不可能な、驚くべき物性や機能が発現する物質原理を探求する新しい学問です。創発物性科学研究センターは、物理学・化学・エレクトロニクスの世界トップレベルの研究者が参画・連携し、エネルギー問題の解決に基盤的に資する創発物性を実現します。



センター長 十倉好紀 (D.Eng.)

リファレンス  
固体中の相対論的電子による新しい相転移現象を発見 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170524\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170524_1/)



## 光量子工学研究領域

※本領域は第4期中長期計画で光量子工学研究センターに改称。

エクストリームフォトニクス研究グループ 理研-SIOM連携研究ユニット  
 杉岡幸次 ユニットリーダー  
 (現・先端レーザー加工研究チーム チームリーダー)

## 微生物や細胞のふるまいや機能を 解明するためのデバイスづくりを目指す

杉岡幸次 (すぎおかこうじ)  
 光量子工学研究領域  
 エクストリームフォトニクス研究グループ  
 理研-SIOM 連携研究ユニット

### 研究成果

## fsレーザーで3次元バイオチップを作製

### 流路と配線を持つ極小バイオチップで、微生物の運動を自在に制御

微生物や生きた細胞の動きや構造の変化を詳細に調べることで、その動態や機能を解明し、さらには、マイクロマシン開発へ応用することが期待されています。そのためには、活動を損なわない程度の閉空間に入れ、微生物などの動きを3次元的に調べる技術の開発が急務です。光量子工学研究領域理研-SIOM連携研究ユニットの杉岡幸次ユニットリーダーらは、高強度なフェムト秒(femto sec: fs)レーザーでガラス基板内部に微細な流路を構築し、金属配線を施すことで極小のバイオチップを作製し、ミドリムシの運動方向を3次元的に制御することに成功しました。

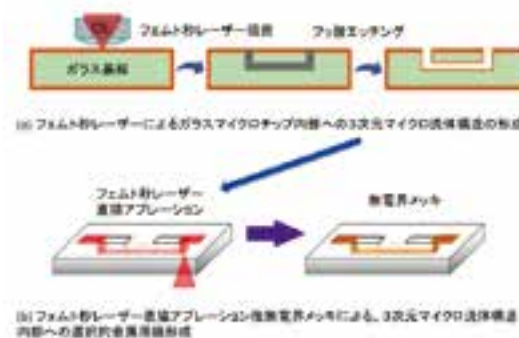
ミドリムシは細長い鞭毛を回転させることで先進運動しています。しかし、鞭毛は長さが約30マイクロメートルと短く、太さも数百ナノメートルと細いうえ、回転周期30~40ミリ秒と非常に高速で回転しています。また鞭毛が体の近くに巻きつくように回転するため、詳しく観察することができませんでした。杉岡らはまず、ガラスの基板(ガラスマイクロチップ)の内部に、目的の流路構造と金属配線を自在に形成するための技術を検討しました。その結果、流路は、ガラスの内部を集光した超短パルスかつ高強度のfsレーザー(1フェムト秒は1000兆分の1秒、 $10^{-15}$ 秒)の照射により改質し、さらにフッ酸(フッ化水素酸)でエッチングすることで作ることができました。金属配線は、fsレーザーにより流体構造の内部を選択的にアブ

レーション(固体の表面がプラズマ化し、原子、分子、クラスターが蒸発して固体表面が削り取られる現象)した後、無電解メッキを施し金属薄膜で覆うことで実現できました。

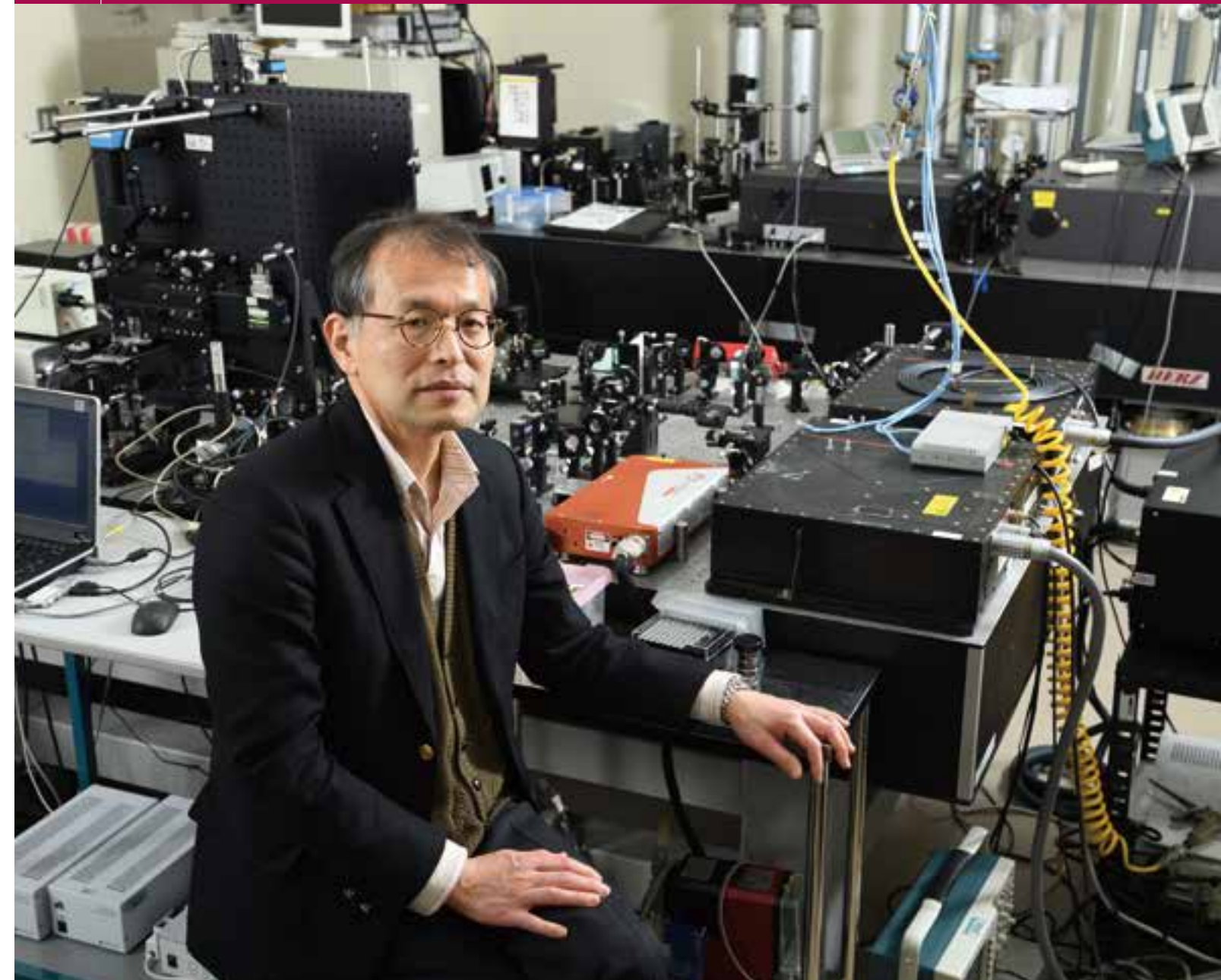
この技術を使って微生物の運動を制御するバイオチップ「エレクトロフルイディクス」を開発しました。まず、ガラス基板内部に十字路形状の流路(マイクロチャネル)を持ち、その底面に対向する四つの電極を配置してガラス基板表面まで配線したものを作製しました。四つの電極間で加える交流電圧の組み合わせを変えることで、マイクロチャネル内の電界方向を自在に制御することができます。実際に、マイクロチャネル内にミドリムシを入れて実験したところ、制御した電界方向に沿って移動させることができました。さらに、ガラス基板に対して垂直方向の運動も制御できるよう、マイクロチャネルの底面と天井面に「ロの字型」の電極を配置したのも作製しました。通常、ミドリムシは地面に平行な方向に前進するため、鞭毛運動を前方から観察することは困難でしたが、このエレクトロフルイディクス内で地面と垂直方向に移動させることで容易に観察できるようになりました。

開発したエレクトロフルイディクスは、微生物や生きた細胞に広く使うことができ、微細な構造や高速運動の詳細かつ効率的な解明に役立つと期待できます。

● フェムト秒レーザー直描技術による3次元マイクロ流体構造と選択的金属薄膜の形成



(a):ガラスマイクロチップ(ガラス基板)をフェムト秒レーザーで直描した後、フッ酸でエッチングを行い、ガラスマイクロチップ内部に3次元マイクロ流体構造を形成した。図中OLは、対物レンズ(Objective Lens)を示す。  
 (b):(a)の3次元マイクロ流体構造内部へ金属薄膜を選択的に形成するために、フェムト秒レーザーによる選択的なアブレーション後に無電解メッキを施した。



### 光量子工学研究センター

光量子工学研究センターでは、光の可能性を極限まで追究し、今まで見えなかったものを見ようとしています。例えば、電子の動きを捉えるアト秒パルスレーザー、可視光でナノメートルの世界を見る超解像顕微鏡、超高精度な光格子時計による相対論的な測地学、物体を透視するテラヘルツ光による非破壊検査……。見ることができれば、理解し、制御することにも近づきます。そして、新しい光技術を社会に役立てています。光の可能性は無限で、私たちが到達できているのはほんの一部です。光量子工学研究センターは、光科学の地平を広げていきます。



センター長 緑川克美(D.Eng.)

リファレンス  
 「マイクロ閉空間での微生物の3次元運動制御に成功」 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170228\\_2/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170228_2/)  
 Jian Xu, Hiroyuki Kawano, Weiwei Liu, Yasutaka Hanada, Peixiang Lu, Atsushi Miyawaki, Katsumi Midorikawa and Koji Sugiooka.  
 "Controllable alignment of elongated microorganisms in a 3D microspace using electrofluidic devices manufactured by hybrid femtosecond laser microfabrication".  
*Microsystems & Nanoengineering*, doi: 10.1038/micronano.2016.78





## 環境資源科学研究センター

植物ゲノム発現研究チーム

関原明 チームリーダー 佐古香織 特別研究員  
 金鍾明 研究員 松井章浩 研究員  
 フォン・マイ・グエン 研修生

研究成果

### 酢酸やエタノールが植物を乾燥や塩害に強くする 代謝経路や遺伝子発現を解析し植物がストレスと戦う機構を発見

干ばつや塩害による農産物収量の減少が深刻化し、植物に乾燥耐性や耐塩性を付加する技術の開発が急務となっています。乾燥耐性については、すでに遺伝子工学を用いた手法が開発されていますが、目的の遺伝子を持つ植物体を得るまでに膨大な時間や費用がかかるため、より簡便で安価な技術が求められていました。環境資源科学研究センター植物ゲノム発現研究チームの関原明チームリーダーらは、乾燥環境や高塩土壌に置かれた植物体の代謝や遺伝子発現の変化を詳細に調べることで、乾燥耐性や耐塩性を強化する新たなメカニズムを明らかにしました。

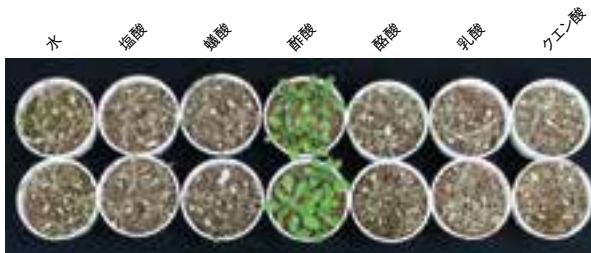
金鍾明研究員らは、植物の乾燥耐性研究において、モデル植物のシロイヌナズナを用いて乾燥環境下での代謝系変化を調べました。その結果、生命活動のエネルギーを作り出す解糖系が強く抑制されるとともに、酢酸の生合成量が際立って増えることがわかりました。酢酸は解糖系の途中で産生されるピルビン酸から作られており、その先の代謝経路がダイナミックに変化していました。また、このような代謝経路の変化は、ヒストン脱アセチル化酵素(HDA6タンパク質)が酢酸合成遺伝子のスイッチをONにしたために起きているとわかりました。ヒストン脱アセチル化酵素は、「DNAの塩基配列を変化させずに遺伝子調節のしくみ(エピジェネティクス)」を制御する因子です。

一連の結果を受け、シロイヌナズナに外部から酢酸を与える実験を行ったところ、確かに乾燥耐性は強化されました。このとき植物体内では、損傷時に働くジャスモン酸という植物ホルモンが作られており、酢酸がエピジェネティックな制御をONにして、直接ジャスモン酸の応答に関与する遺伝子のネットワークも活性化していました。この乾燥耐性機構は全く新規のもので、イネ、コムギ、ナタネなどの作物でも同様の効果が認められました。

また、フォン・マイ・グエン研修生らは、シロイヌナズナを対象に植物の耐塩性研究を行いました。遺伝子の働きを網羅的に調べた結果、エタノールを与えると、高塩ストレス環境下で発生する活性酸素を取り除く遺伝子群の働きや、活性酸素の一種である過酸化水素を除去する酵素(アスコルビン酸ペルオキシダーゼ)の活性が増強されるとわかりました。実際に高塩環境に置いたシロイヌナズナやイネにエタノールを投与する実験も行い、確かに耐塩性が強化されることを確認しました。

今回見出した乾燥耐性や耐塩性の強化技術は、砂漠化が進む地域や、かんがい設備の整備が難しい発展途上国などの農業での活用が期待できます。

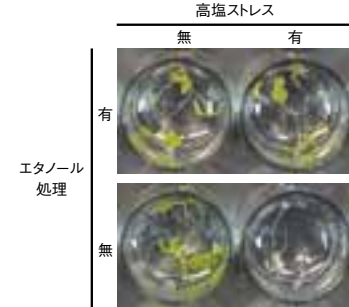
● 酢酸による植物の乾燥耐性強化



シロイヌナズナを用いた実験

シロイヌナズナに対して、さまざまな酸溶液を与えて乾燥処理を行ったところ、酢酸を添加した植物のみが強い乾燥耐性を示した。

● エタノールによる植物の耐塩性強化



高塩ストレスを加えるとシロイヌナズナは白く枯死した。一方、エタノールを処理した植物は高塩ストレス下でも生存できた。

リファレンス  
 Kim, J.M. et al.(2017) Acetate-mediated novel survival strategy against drought in plants. *Nature Plants* 3: 17097.  
 Nguyen, H.M. et al.(2017) Ethanol enhances high-salinity stress tolerance by detoxifying reactive oxygen species in *Arabidopsis thaliana* and rice. *Front. Plant Sci.* 8: 1001.

## 持続的な食料生産を 世界中で維持する技術を開発したい

関原明 (せきもとあき)  
 (写真右から2番目)

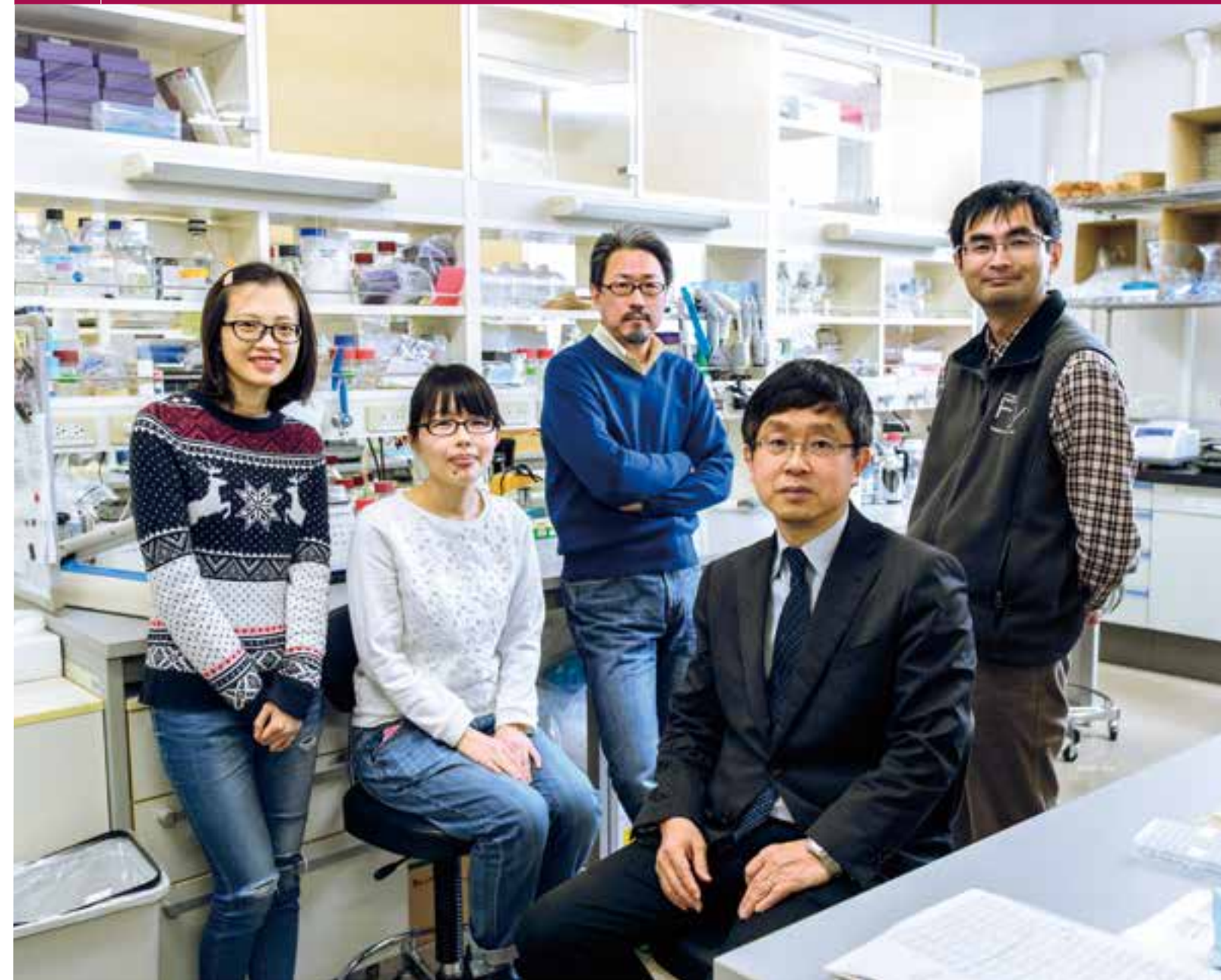
金鍾明 (キム・ジョンミョン)  
 (写真右から3番目)

Huong Mai Nguyen (フォン・マイ・グエン)  
 (写真左端)

佐古香織 (さこかおり)  
 (写真左から2番目)

松井章浩 (まついあきひろ)  
 (写真右端)

環境資源科学研究センター  
 植物ゲノム発現研究チーム



### 環境資源科学研究センター

環境負荷の少ない「モノづくり」を理念に、持続的な成長および地球規模の課題に貢献する「課題解決型」研究で、人類が健康で豊かな生活を送ることのできる地球の未来をリードしていきます。国連で採択された「持続可能な開発目標(SDGs)」および温室効果ガス排出ゼロを目指す「COP21」を指標とし、異分野融合研究による5つのフラッグシッププロジェクト「革新的植物バイオ」「代謝ゲノムエンジニアリング」「先進触媒機能エンジニアリング」「新機能性ポリマー」「先端技術プラットフォーム」を推進します。データサイエンスや人工知能など最先端の技術を取り入れ、天然資源からの有用物質の創製・探索および利用、持続的な食料生産やバイオ生産など、これまで培ってきた基礎研究をさらに高度化し、革新的な成果を創出していきます。



センター長 篠崎一雄(D.Sci.)



## 生命システム研究センター

※本センターは第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で生命機能科学研究センターへ発展。

集積バイオデバイス研究ユニット  
田中 陽 ユニットリーダー

研究成果

# マイクロメートル単位の微細加工を極める

工学とバイオ分野の融合と連携を目指して

バイオ分野の研究では、近年になって個々の細胞にもそれぞれ個性があることが分かってきました。細胞をより深く理解するためには、これまでに行ってきたように、細胞を集団で観察するのではなく、細胞一つ一つを観察する必要があります。そして、それを可能にする技術が、生命システム研究センター集積バイオデバイス研究ユニットで研究開発している微細加工技術です。

微細加工技術は、LSIをはじめとする集積回路を製造するための紫外線や電子線を使ったリソグラフィと呼ばれる半導体製造技術が応用されています。バイオ分野では、電気が流れるのではなく、液体が流れるための流路の微細なパターンを作り出します。流路は、髪の毛と同じ、あるいはそれよりも小さいμm(マイクロメートル)\*単位の大きさになります。微細加工技術は1980年代から知られている技術ですが、バイオ分野で微細加工技術が注目され始めたのは、2000年代後半からです。バイオ分野・医療分野に対し微細加工技術の利用を働きかけてきた集積バイオデバイス研究ユニットでは、現在多くの共同研究を行い、その成果が表れつつあります。

例えば、スイス連邦工科大学チューリッヒ校との国際共同研究チームでは、寒天の主成分であるアガロースでできた

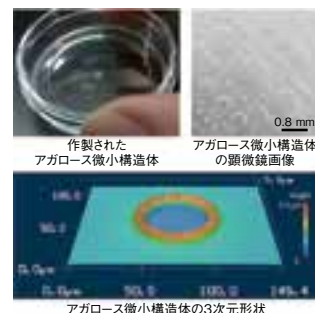
\*μmは0.001mm、10<sup>-6</sup>m。髪の毛の直径は、50~150μm。

直径0.05~0.8mmの円形状微小構造体で表面を覆った培養皿でヒト間葉系幹細胞(MSC)を培養することで、MSCが微小領域に閉じ込められた際に生じる分化パターンを簡単に解析しました。また、同センターの一細胞遺伝子発現動態研究ユニットとの共同研究では、アガロースの表面に大腸菌1個に相当する大きさの凹みを1mmあたり65,000個作製し、この凹みに大腸菌を閉じ込めることで大量に、かつ高速に解析しました。

一方で、微細加工技術を発展させるため、最先端研究も行っています。細胞や生体分子を定着させたガラス板を加熱することなく貼り合わせて流路を作る手法を開発しました。この手法であれば、細胞や生体分子を傷つけることなく、パッケージ化できます。

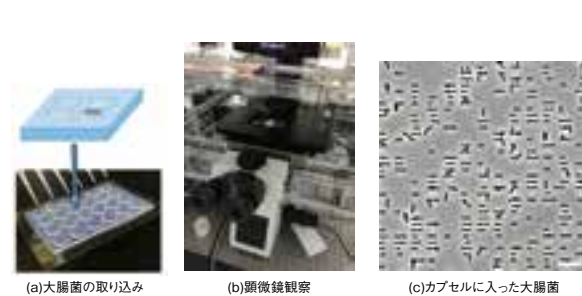
微細加工技術に限らず、科学技術の発展には、既存技術の異分野展開(イノベーション)と先端技術の研究開発(クリエイション)、そのどちらもが必要です。技術を広く利用してもらい、その結果をフィードバックすれば、新しい技術を生み出すことができます。技術の応用と新技術開発は、いわば、技術を前進させるための車の両輪なのです。

### ● 細胞培養皿表面に成型されたアガロース微小構造体



1つの鋳型の中に、直径0.05~0.8mm、高さ約5.5μmの円形状パターン(アガロース微小構造体)を数百個作製した。

### ● 大腸菌カプセルホテルによる細胞個性のハイスループット解析



アガロース表面に大腸菌1個が入る規則的な凹みが多数付与された「大腸菌カプセルホテル」を(a)のように作製。大腸菌を含む液体を流すことで自然と大腸菌がカプセル内に取り込まれる。(b)のように温調装置がつけられた顕微鏡で観察することで、(c)のようにカプセルに入った状態の大腸菌を生きたまま観察することができる。カプセルの大きさは決まっているので、個々の大腸菌と位置情報を対応させることで、ハイスループットな自動画像解析を実現した。スケールバーは10μm。

リファレンス  
「どこでも微小構造体」で幹細胞の分化パターンを解析 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170406\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170406_1/)  
細胞個性をハイスループット解析 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171221\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171221_1/)  
微細な流路への細胞パッケージング [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170928\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170928_1/)

## 微細加工の最先端技術を研究開発するとともに 異分野融合=イノベーションも展開したい

田中 陽 (たなかよう)  
(写真右)  
田中 信行 (たなかのぶゆき)  
(写真左)  
生命システム研究センター  
集積バイオデバイス研究ユニット



### 生命システム研究センター

遺伝情報の解読によって、生命を形作る分子部品のほぼすべてが分かっています。しかし、細胞の示す「生きものらしさ」(自発的な秩序の形成や柔軟な適応力など)は単に部品の働きによって生まれるのではなく、たくさんの部品が複雑に相互作用するシステムの働きによって生まれます。生命システム研究センター(QBiC、センター長 柳田敏雄)では、細胞内の分子の動きを高解像度で捉え、それらの相互作用をコンピュータや試験管の中で再現し、システム全体の統合的理解を目指してきました。第4期中長期計画(P.04-05参照)において、QBiCの研究は生命機能科学研究センターの研究に発展し、ヒトの理解に向けたライフサイエンス分野の研究を推進していきます。  
※集積バイオデバイス研究ユニットは、生命機能科学研究センターで研究活動を続けています。

### 生命機能科学研究センター

生命機能科学研究センターは、個体の誕生から死までのライフサイクルの進行を、分子・細胞・臓器の連関による調和のとれたシステムの成立とその維持、破綻に至る動的な過程として捉え、個体の一生を支える生命機能の解明に取り組みます。この目的のため、①構造分子生物学分野、②細胞システム分野、③生命モデリング分野、④細胞・臓器機構分野、⑤健康・病態科学分野、⑥成長・発達科学分野の6つの研究分野を設け、発生・成長・成熟・老化・再生など多細胞生物のライフステージに特徴的な生命現象を分子から個体レベルで観察、再現、制御する研究開発を進めます。また、得られた知見を再生医療や診断技術開発などに応用し、超高齢社会を迎えたわが国の課題である健康寿命の延伸に貢献する生命科学の発展を目指します。

センター長 西田栄介(D.Sci.)





## 多細胞システム形成研究センター

※本センターは第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で生命機能科学研究センターへ発展。

高次構造形成研究チーム  
竹市雅俊 チームリーダー

## カドヘリン接着分子や微小管制御因子から動物細胞が組織をつくる仕組みを解明したい

竹市雅俊 (たけいちまさとし)  
多細胞システム形成研究センター  
高次構造形成研究チーム

### 研究成果

## 細胞接着や細胞骨格に関する分子機構を解明

### 大腸がん細胞の接着能回復や腸管における細胞の移動のメカニズム

竹市雅俊チームリーダーら高次構造形成研究チームでは、細胞接着や細胞骨格に関する分子機構に焦点を当て、複雑な多細胞組織の形成機構の解明を目指す研究を進めています。

研究チームは、細胞同士が接着できなくなった大腸がん細胞の接着を回復させるメカニズムを明らかにしました。動物の組織や体表面の表皮を形成する上皮細胞は、カドヘリンなどの接着分子を使って、隣り合う細胞と強固に接着しています。しかし、多くのがん細胞では何らかの要因により接着構造が壊れて、細胞間接着が不安定になっており、このことが浸潤や転移を促進する原因の一つと考えられています。

研究チームは、カドヘリンやその制御因子カテニンを十分量発現しているにもかかわらず、接着できない大腸がん細胞株を発見。さらに細胞間接着を回復させる作用のある薬剤が見つかり、そのメカニズムを解析しました。

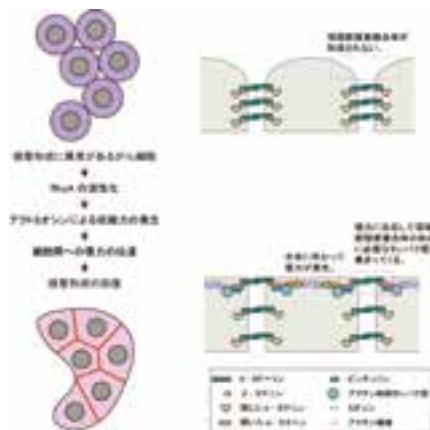
約16万種類の化合物ライブラリーの網羅的解析から見つかった薬剤は、ほとんどが微小管の重合を阻害するものでした。微小管は細胞骨格の一つで、細胞分裂などに必要な構造体です。この微小管の重合を阻害する薬剤を作用させると、微小管の脱重合に起因してRhoAという分子が活性化し、

細胞間接着が回復することが分かりました。RhoAの活性化は、細胞の運動や移動を担うアクチンを収縮させます。すると、それによって発生した張力が細胞と細胞の境界面に伝わって接着構造が再構築され、細胞間接着が復活するのです。

また、研究チームはカドヘリンとともに細胞の接着を担う分子カテニンが細胞同士の接着だけでなく、集団移動する細胞において進行方向の前方や後方を決める極性を維持するために役立っていることを解明しました。細胞は互いに接着しながらも活発に運動し、細胞の集団移動が発生期の組織形成に重要な役割を果たしています。移動する細胞の先端では葉状仮足という構造が形成されて細胞を前進させ、後方ではミオシンによる収縮反応が起きていることが知られています。その際、進行の最前線にあたる葉状仮足から細胞内部へβカテニン/αEカテニンという2種類のカテニンが取り込まれます。その取り込まれたカテニンが進行方向後方でミオシンを活性化し、これが細胞の前後極性を安定にしていることが、マウス胎児の腸管上を遊走する神経冠細胞の組織培養および培養細胞を用いた研究で明らかになりました。

このような研究の成果は、がんの浸潤や転移などの医学的問題の解決に役立つことが期待されています。

● 大腸がん細胞株で細胞間接着が回復する機構



接着できなくなったがん細胞に微小管重合阻害剤などを加えると、RhoAの活性化が起きる。RhoAが活性化することにより、細胞の頂端部表層でアクチンが収縮し、それによって発生した収縮力がアクチン繊維とα-カテニンの連結を介して、細胞境界面に伝達される。その結果、細胞間接着が回復する。



### 多細胞システム形成研究センター

私たちの体は無数の細胞から成り、それらがシステムとして協調的に機能することで、さまざまな生命現象を実現しています。多細胞システム形成研究センター(CDB、センター長 濱田博司)では、複雑精緻な「多細胞システム」の成り立ちを理解し、疾病の原因究明や再生医療への応用に貢献することを目指し、独創的・創造的な研究を展開してきました。第4期中長期計画(P.04-05参照)において、CDBの研究は生命機能科学研究センターの研究に発展し、ヒトの理解に向けたライフサイエンス分野の研究を推進していきます。

※高次構造形成研究チームは、生命機能科学研究センターで研究活動を続けています。

### 生命機能科学研究センター

生命機能科学研究センターは、個体の誕生から死までのライフサイクルの進行を、分子・細胞・臓器の連関による調和のとれたシステムの成立とその維持、破綻に至る動的な過程として捉え、個体の一生を支える生命機能の解明に取り組みます。この目的のため、①構造分子生物学分野、②細胞システム分野、③生命モデリング分野、④細胞・臓器機構分野、⑤健康・病態科学分野、⑥成長・発達科学分野の6つの研究分野を設け、発生・成長・成熟・老化・再生など多細胞生物のライフステージに特徴的な生命現象を分子から個体レベルで観察、再現、制御する研究開発を進めます。また、得られた知見を再生医療や診断技術開発などに応用し、超高齢社会を迎えたわが国の課題である健康寿命の延伸に貢献する生命科学の発展を目指します。

センター長 西田栄介(D.Sci.)



リファレンス  
がん細胞の接着を回復させる機構 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171206\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171206_1/)  
細胞同士が接着できなくなった大腸がん細胞をもう一度接着させるには [http://www.cdb.riken.jp/news/2017/researches/1212\\_14785.html](http://www.cdb.riken.jp/news/2017/researches/1212_14785.html)  
接着だけじゃない、細胞の移動にも寄与するカテニン [http://www.cdb.riken.jp/news/2017/researches/1204\\_14692.html](http://www.cdb.riken.jp/news/2017/researches/1204_14692.html)



## 脳科学総合研究センター

※本センターは第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で脳神経科学研究センターへ発展。

神経回路・行動生理学研究チーム  
トーマス・マックヒュー チームリーダー

## 神経細胞の活動から神経回路、行動までをシームレスに解析したい

Thomas J. McHugh (トーマス・マックヒュー)  
(写真左)  
Steven J. Middleton (スティーブン・ミドルトン)  
(写真中央)

Shuo Chen (シュオ・チェン)  
(写真右)  
脳科学総合研究センター  
神経回路・行動生理学研究チーム

### 研究成果

## 海馬のCA2領域に記憶回路の暴走を防ぐ役割

### 回路全体の活性化と抑制のバランスを調節し記憶機能を正常に保つ

私たちが置かれた環境に適応できるのは、脳に入ってきた情報に応じて、特定の神経回路が適切に働くからです。神経回路は複数の神経細胞集団が互いに連結することでできていますが、役割が不明の神経細胞集団が少なくありません。例えば、海馬にある記憶の回路は四つの神経細胞集団に分けられますが、CA2と呼ばれる領域の役割は分かっていませんでした。脳科学総合研究センター神経回路・行動生理学研究チームのトーマス・マックヒューチームリーダーらは、CA2の活動を操作するアプローチにより、この領域が記憶回路全体の活性化と抑制のバランスを調節し、暴走を防いでいることを見い出しました。

記憶や空間認識機能を司る海馬は脳の側頭葉にあり、CA1、CA2、CA3、歯状回の各領域が結合することで回路を形成しています。このうちCA2は回路全体に影響を及ぼす場所に位置し、CA1、CA3に情報を入力していますが、具体的な役割は不明でした。マックヒューらは、CA2の活動が回路全体に及ぼす影響を調べました。はじめに、光を当てて神経細胞の活動をコントロールする手法を使い、マウスのCA2を人工的に活性化させると、CA1の細胞が活性化されたり抑制されたりすることが判明。CA3も同様でしたが、CA1よりも

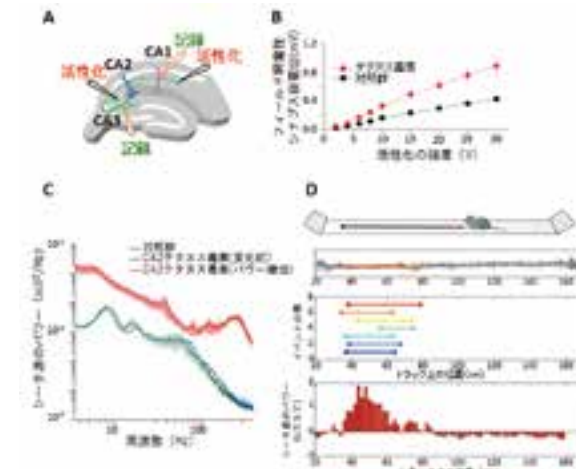
抑制傾向が強いと分かりました。

次に、テタヌス毒素という神経毒素を使って、CA2からの出力を恒常的にシャットアウトしたところ、CA3が過剰に活性化されることが分かりました。同時に、空間認識を担う細胞(場所細胞)の活動が暴走しました。正常であれば限定された場所細胞だけが活動しますが、CA2不活性化マウスの場所細胞では複数の場所で過剰に活性化されたのです。マウスが探索行動するときに見られる脳波(シータ波)についても、CA2不活性化マウスに「特定の場所だけで増大する」という異常が見られました。この結果から、CA2がCA3を活性化・抑制することで回路全体の暴走を防ぎ、場所細胞の活動を限定することで正しい空間認識を促していると分かりました。

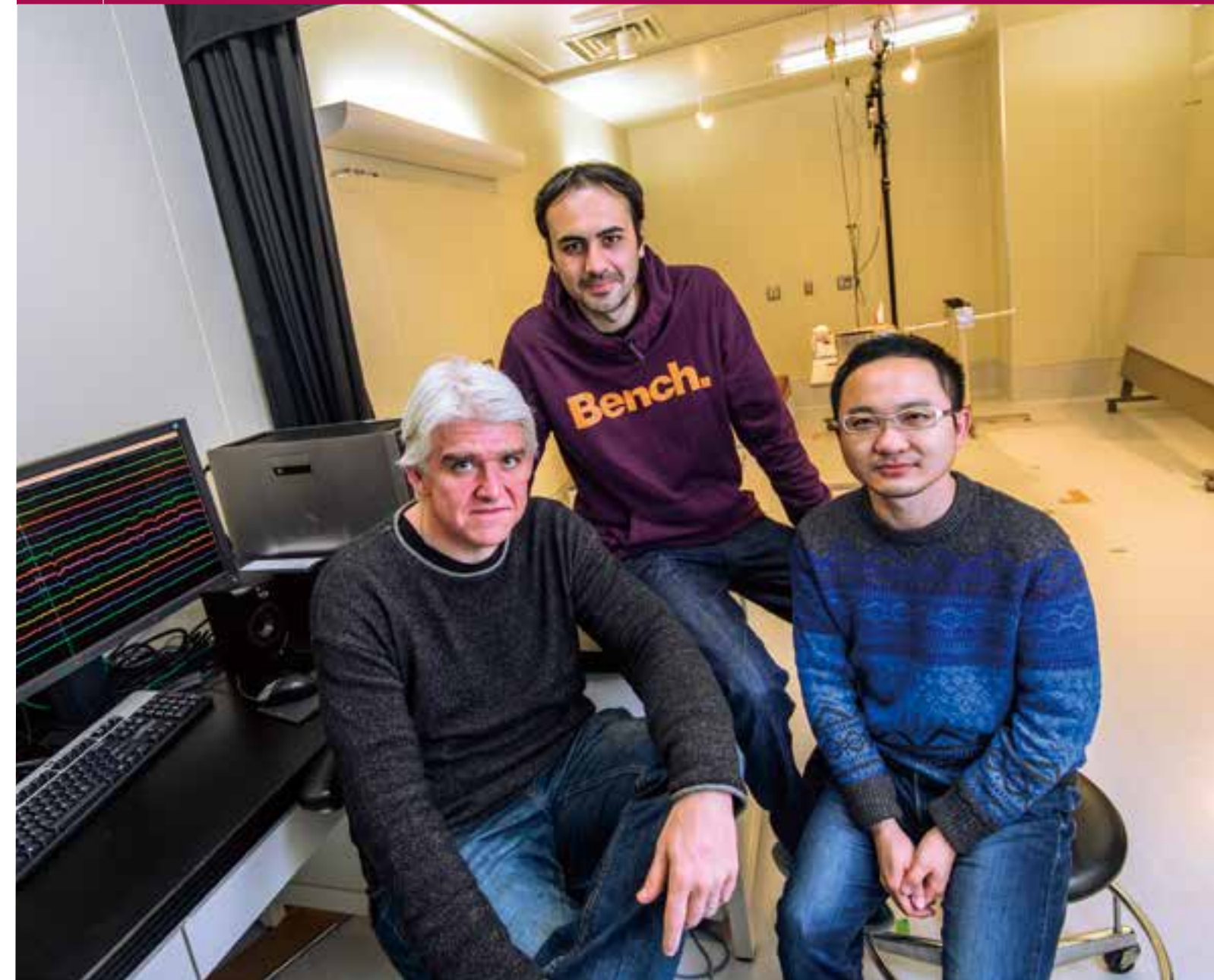
さらに、CA2不活性化マウスに同じ状況が続けて経験させたと、同じ状況であると認識するのにかかる時間が長くなることが分かり、CA2による回路の活性化と抑制のバランス制御が、記憶の機能を助けていると結論できました。

今回のようなアプローチにより、さまざまな脳機能について、神経細胞や回路レベルから学習や行動まで、一貫した説明が進むと期待できます。

● 海馬のCA2を恒常的に不活性化させた際の影響



A: 実験模式図。CA1、CA3に情報を入力する領域を活性化させ、CA1とCA3においてシナプス後電位を記録した。  
B: CA3を活性化させCA3で電位を記録した結果。CA2をテタヌス毒素により恒常的に不活性化させたマウス(CA2不活性化マウス)の海馬スライス標本では、活性化を示す興奮性のシナプス後電位が増加し、CA3が過剰に活性化されていた。  
C: 活動中のマウスの脳波を調べると、CA2不活性化マウスでは、シータ波のパワーが増大していた(赤)。実験に用いた遺伝学的手法は不活性化されるまで時間がかかるため、不活性化が起きる前(緑)ではシータ波のパワーは対照群(青)と変わらなかった。  
D: シータ波の増大を詳しく調べるため、CA2不活性化マウスが細長いトラックを移動するときの活動を観察した。すると、トラックの特定の場所(35~80cm)でのみ、海馬のシータ波が増加した(矢印およびシータ波のパワーのグラフ)。すなわち、特定の場所だけで過剰にシータ波の活動が増加した。



### 脳神経科学研究センター

心身の健康は人々の切実な願いであり、精神神経疾患の克服は高齢化社会の大きな課題であります。脳は人間が人間らしく生きるための「心」の基盤であるとともに、身体の健全なバランスを統御しています。脳神経科学研究センターは、日本の脳科学の中核拠点として、医科学・生物学・化学・工学・情報数理科学・心理学などの学際的かつ融合的な学問分野を背景に、細胞から個体、社会システムを含む多階層にわたる脳と心のはたらきの基礎研究と革新的技術開発を進めています。同時に、人間の精神は自分自身が生み出した人工知能やビッグデータといった新しい情報世界とどのように対峙するのか、そして、うつ病、認知症等のさまざまな疾患をどのように克服するのか、といった現代社会が直面する課題の解決に向けた脳研究を展開していきます。



センター長 宮下保司(Ph.D.)

リファレンス  
脳の記憶回路の暴走を防ぐ [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170508\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170508_1/)  
Chronic loss of CA2 transmission leads to hippocampal hyperexcitability. Roman Boehringer, Denis Polygalov, Arthur J.Y. Huang, Steven J. Middleton, Vincent Robert, Marie E. Wintzer, Rebecca A. Piskoroski, Vivien Chevalayre, Thomas J. McHugh. *Neuron*, doi: 10.1016/j.neuron.2017.04.014





## 統合生命医科学研究センター

※本センターは第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で生命医科学研究センターへ発展。

自己免疫疾患研究チーム 統計解析研究チーム  
 高地雄太 副チームリーダー 石垣和慶 特別研究員  
 山本一彦 チームリーダー

### 研究成果

## 免疫機能の個人差に関わる遺伝子カタログを作成

### 免疫疾患の遺伝的メカニズムの新しい解析手法を開発

免疫機能には個人差があり、その個人差の積み重ねが免疫疾患の発症の原因になることが近年明らかになってきました。特に、免疫細胞内における遺伝子発現量の個人差が免疫疾患の発症に大きく関わっていると考えられています。

自己免疫疾患研究チームの山本一彦チームリーダーら共同研究チームは、105人の健常人から血液を採取し、5種類の主要な免疫細胞（CD4陽性T細胞、CD8陽性T細胞、B細胞、NK細胞、単球）に分けて、それぞれ遺伝子発現量の個人差を次世代シーケンサーで網羅的に解析し、免疫機能の個人差に関わる遺伝子カタログ（eQTLカタログ）を作成しました。

このように複数の免疫細胞を解析したのはアジア初の試みです。このカタログでは、どのDNA多型（配列の個人差）が、どの免疫細胞で、どの遺伝子の発現量に、どのように影響しているかが要約されています。また、細胞の種類により遺伝子の発現量の調整メカニズムが異なるため、疾患リスクに関わるDNA多型がどの細胞の発現量の個人差に影響しているかが分かります。

さらにこのeQTLカタログを応用し、eQTLカタログと個人の遺伝情報から免疫疾患の遺伝的メカニズムの全体像を評価するための新しい方法を開発しました。この方法では、各

遺伝子が遺伝子やタンパク質の相互作用のネットワークであるパスウェイの活性化に与える影響を予測できます。

自己免疫疾患の一種である関節リウマチでは、患者と健常人の遺伝子情報を用い、CD4陽性T細胞において176個の遺伝子のTNFパスウェイに与える影響を予測しました。その結果、この経路の活性化が関節リウマチの病態で重要な役割を持つことを確認できました。TNFは関節リウマチの病態に関わるタンパク質であることは知られていましたが、関節リウマチの遺伝的メカニズムがCD4陽性T細胞特異的にTNFパスウェイの活性化を引き起こしていることを示したのは本研究が初めてです。

近年、免疫システムはがん、肥満など多くの疾患で重要な機能を担っていることが示されています。そのため、本研究で得られた免疫機能の個人差に関わるeQTLカタログやカタログを用いた解析手法は、関節リウマチなどの自己免疫疾患ばかりでなく、花粉症や喘息、がんなど幅広い疾患に適用することが可能です。今後、研究成果が、遺伝的メカニズムに基づいた創薬標的の探索や治療法の開発に貢献することが期待されます。

#### ● eQTLカタログの応用例



関節リウマチのリスク多型の機能をeQTLカタログによって評価した。5つの細胞種ごとに、どの遺伝子が亢進もしくは低下すれば関節リウマチの発症リスクになるかを示している。例えば、CD4陽性T細胞におけるPADI4遺伝子の亢進やBLK遺伝子の低下は関節リウマチの発症リスクだと考えられる。

#### リファレンス

Kazuyoshi Ishigaki, Yuta Kochi, Akari Suzuki, Yumi Tsuchida, Haruka Tsuchiya, Shuji Sumitomo, Kensuke Yamaguchi, Yasuo Nagafuchi, Shinichiro Nakachi, Rika Kato, Keiichi Sakurai, Hirofumi Shoda, Katsunori Ikari, Atsuo Taniguchi, Hisashi Yamanaoka, Fuyuki Miya, Tatsuhiko Tsunoda, Yukinori Okada, Yukihide Momozawa, Yoichiro Kamatani, Ryo Yamada, Michiaki Kubo, Keishi Fujio and Kazuhiko Yamamoto, "Polygenic burdens on cell-specific pathways underlie the risk of rheumatoid arthritis", *Nature Genetics*, doi: 10.1038/ng.3885 免疫機能の個人差に関わる遺伝子カタログを作成 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170530\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20170530_1/)

## 自己免疫疾患の遺伝子の機能を解析し、ヒトの免疫システムを解明したい

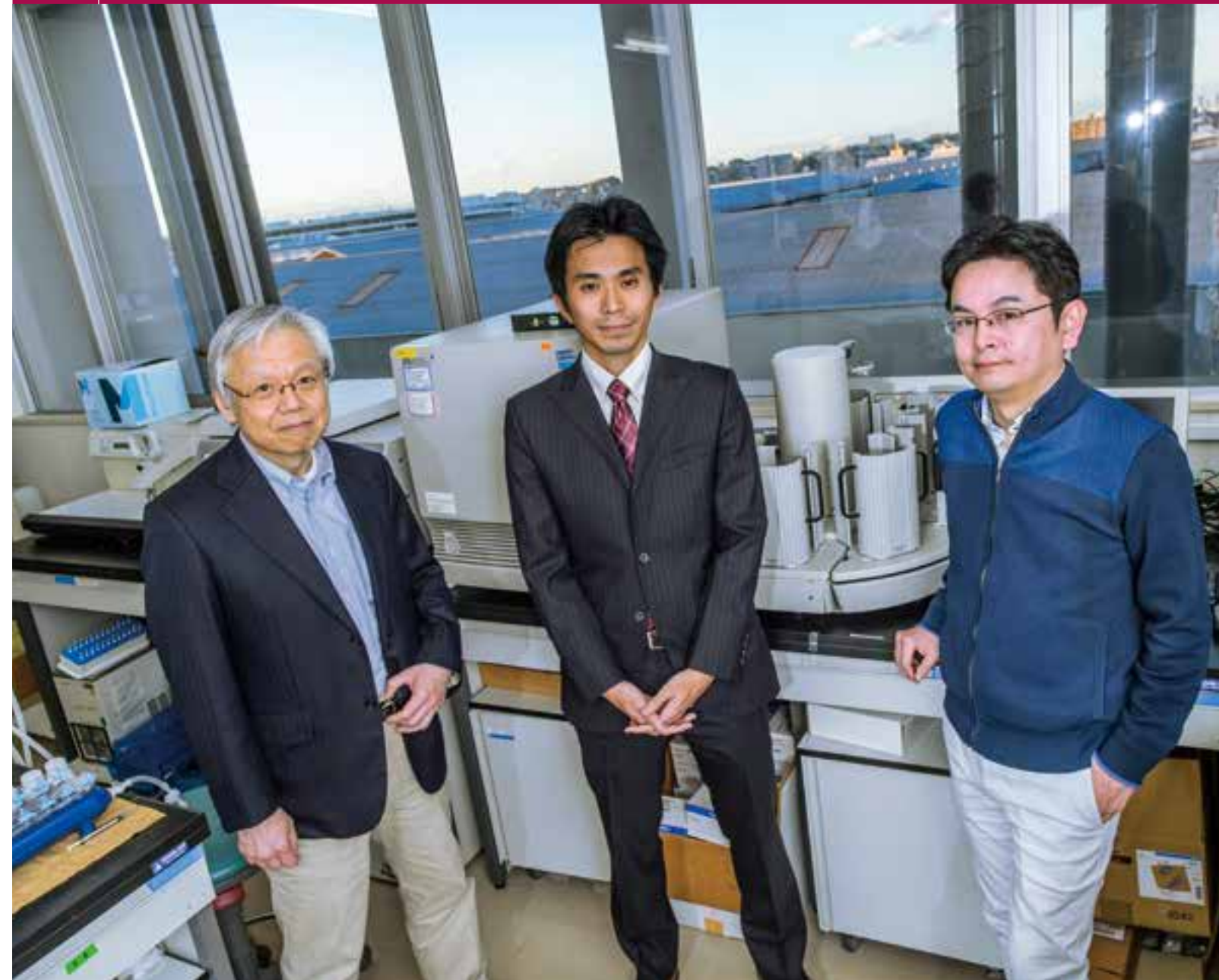
高地雄太 (こうちゆうた)  
(写真右)

山本一彦 (やまもとかずひこ)  
(写真左)

統合生命医科学研究センター  
自己免疫疾患研究チーム

石垣和慶 (いしがきかずよし)  
(写真中央)

統合生命医科学研究センター  
統計解析研究チーム



### 生命医科学研究センター

生命医科学研究センターでは、ヒトの疾患の発症機序の解明やそれに基づく新たな治療法の確立を目指して、ヒトゲノム機能とヒト免疫機能の解明に向けた研究に取り組みます。そのために、①ゲノム機能医科学研究、②ヒト免疫医科学研究、③疾患システム医科学研究、④がん免疫基盤研究、の4つの部門を設け、これらの部門が互いに連携しながら最先端の研究を進めています。ゲノム、タンパク質や脂質から、細胞、組織そして個体まで、各階層にまたがったマルチオミクス解析を統計学や数学を駆使して進めるとともに、マウスなど実験動物で得られた成果をヒト免疫研究へ還元する基盤や、ヒトの病態をマウスや細胞などの実験系で再現し解明するための基盤の構築、さらにこれらの基盤を生かして次世代のがん免疫研究を展開します。



センター長 山本 雅 (B.Sc., Ph.D.)





## 革新知能統合研究センター

汎用基盤技術研究グループ 探索と並列計算ユニット  
美添一樹 ユニットリーダー

## ディープラーニングと探索アルゴリズムを組み合わせ、 高速に最適な解を得る

美添一樹 (よしぞえかずき)  
革新知能統合研究センター  
汎用基盤技術研究グループ  
探索と並列計算ユニット

### 研究成果

## 人工知能をさまざまな分野で活用する

### 探索アルゴリズムによりディープラーニングをさらに高性能に

人間との対局で勝利した“AlphaGo”に象徴される第三次人工知能ブームが起きています。コンピュータが大方の予想より大幅に早く囲碁で人間に勝利した最大の要因はAlphaGoでも用いられた「ディープラーニング」という手法です。

ディープラーニングとは、脳神経の仕組みを模したニューラルネットワーク(NN)を利用した学習手法で、多層化したNNにより大量のデータから複雑な構造を学習できます。NNは1980年代以前から研究されていた理論で、画像認識などである程度の能力を得ていました。近年になって、インターネットの発達により大量のデータが利用可能となったこと、GPU<sup>\*1</sup>の利用により演算能力が大幅に向上したこと、さらに理論の進歩により大規模なNNを用いることが可能となり、画像認識、音声認識、自動翻訳など、さまざまな分野で飛躍的な進歩を遂げました。

革新知能統合研究センター(AIP)の探索と並列計算ユニットでは、ディープラーニングに探索アルゴリズムを組み合わせた手法の研究、および並列計算の研究を行っています。例えば囲碁では、まず膨大な棋譜をNNに学習させ、「よりプロが選びそうな手ほど近い」とする「距離」を条件付けし、ありそうな局面に絞って探索させます。さらに局面の評価もNNで行うことによって、勝てそうな局面への「最短経路」を探索します。

この手法は、さまざまな分野への応用が期待できます。生

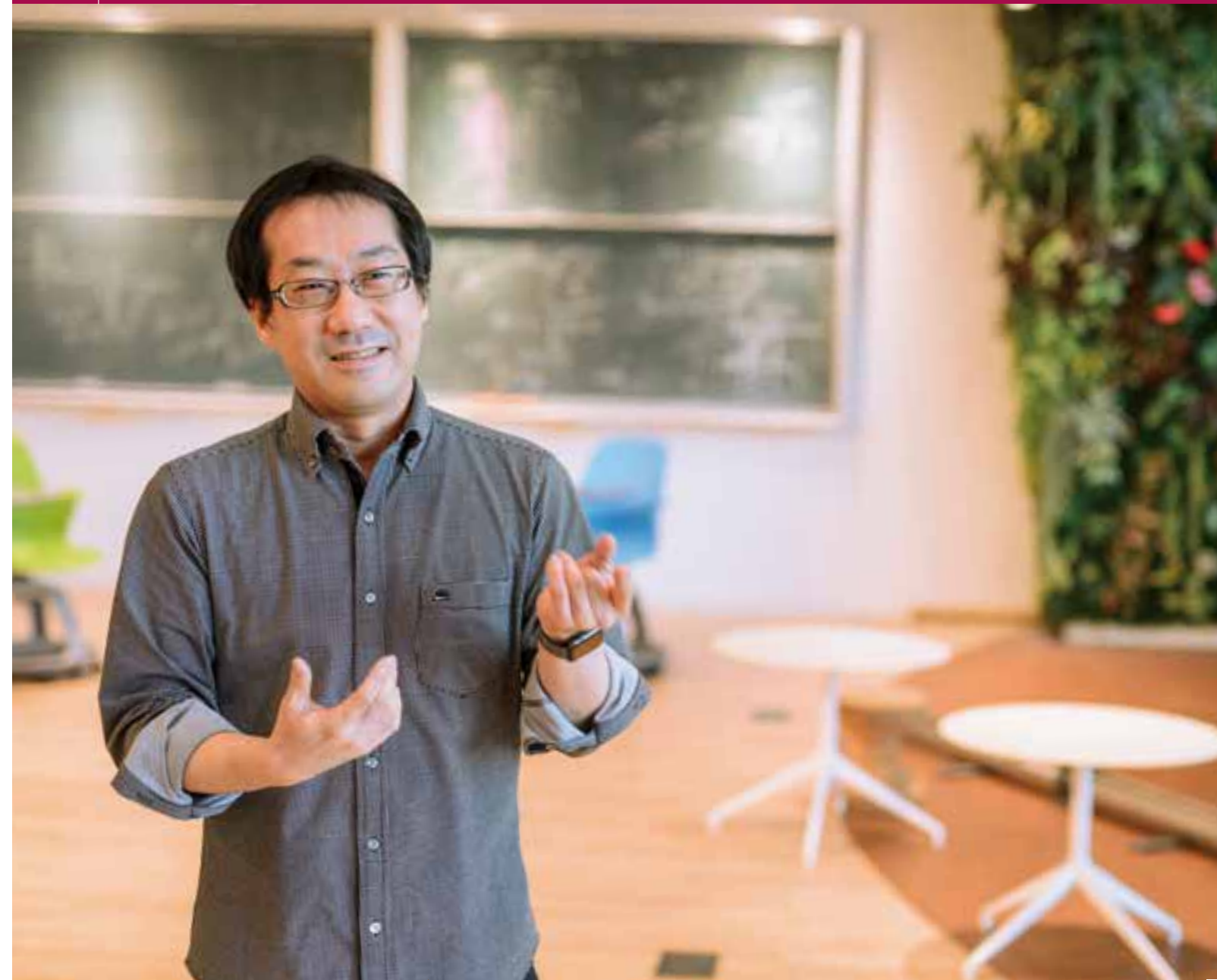
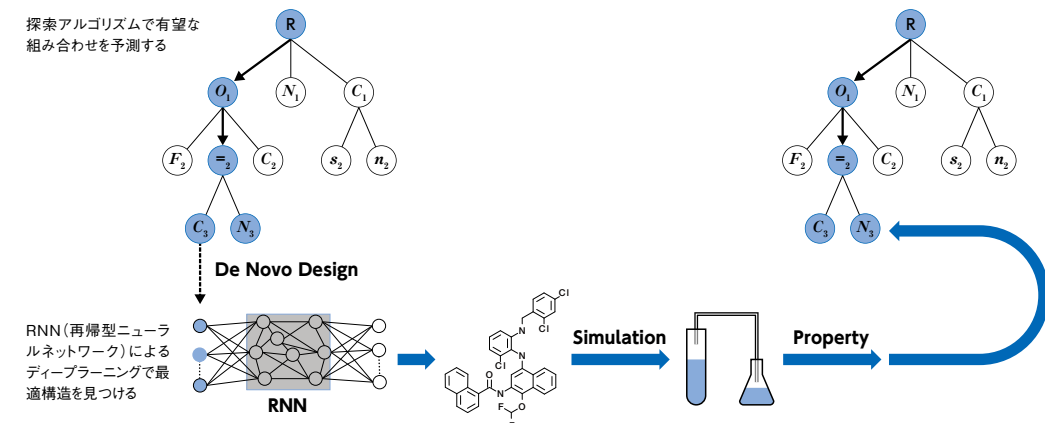
化学分野では、ディープラーニングによって化合物データベースを学習し、「実在しそうな原子・分子の組み合わせほど近い」と条件付けすることにより、有望な組み合わせから順に探索を行います。さらに化合物の候補をコンピュータ上でシミュレーションして結果をフィードバックすることで、精度を高めることができます。

これまで数値化が難しかった概念に条件付けによる「距離」を定義し、探索アルゴリズムとディープラーニングを活用することによって、人間では途方もない時間がかかる作業を比較的短い時間で行うことができます。また、並列化することによっても、演算処理の高速化が期待できます。

AIPセンターでは研究を推進する環境(ツール)として、人工知能研究用計算機システム「RAIDEN」<sup>\*2</sup>を導入しました。研究者が使うソフトウェアの個別のカスタマイズのしやすさなど、使いやすさや汎用性をより重視したシステムで、GPU間の通信を高速化することにより並列演算性能の向上が図られています。2017年6月に発表されたスーパーコンピュータランキングの消費電力あたりの性能部門「Green500」において、RAIDENは10.602GFLOPS/Wを計測して世界第4位にランクされました。日本の人工知能研究を加速させるため、今後もGPUの進化などに応じて、性能の向上を図っていく予定です。

<sup>\*1</sup> Graphics Processing Unit. 画像処理用演算プロセッサ。コンピュータの画像出力に用いられるが、近年になって大量のデータ処理に用いられるようになった。  
<sup>\*2</sup> RIKEN AIP Deep learning Environment

#### ● 探索アルゴリズムとディープラーニングを新化合物製造に応用する例



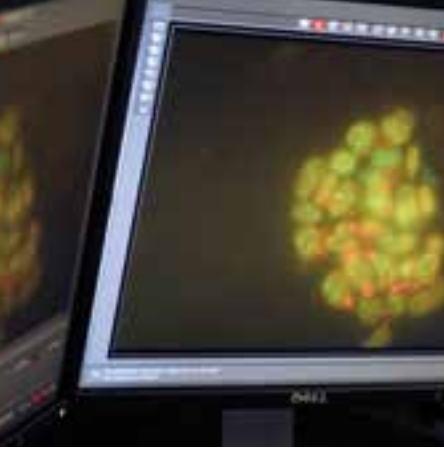
### 革新知能統合研究センター

革新知能統合研究センターは、革新的な人工知能基盤技術を開発し、それらに応用することにより、科学研究の進歩や実社会における課題解決に貢献することを目指します。加えて、人工知能技術の普及に伴って生じる倫理的・法的・社会的問題に関する研究を行います。具体的には、①汎用基盤技術研究グループにおいて、深層学習の仕組みの解明や、新しい原理に基づく次世代人工知能技術の創出を目指し、②目的指向基盤技術研究グループにおいて、再生医療・材料開発・ものづくりなど日本が高い国際競争力を持つ分野の強化、および高齢者ヘルスケア・防災減災・インフラ管理といった社会的課題への取り組みを進めています。また、③社会における人工知能研究グループでは、データ流通やプライバシー保護に関する技術開発や、法整備を含めた人と人工知能の関わり方について研究しています。さらに、さまざまな企業・大学・研究所・プロジェクトと連携しながら事業を推進し、世界的に不足しているAI関連人材の育成も行っています。

センター長 杉山 将 (Ph.D.)







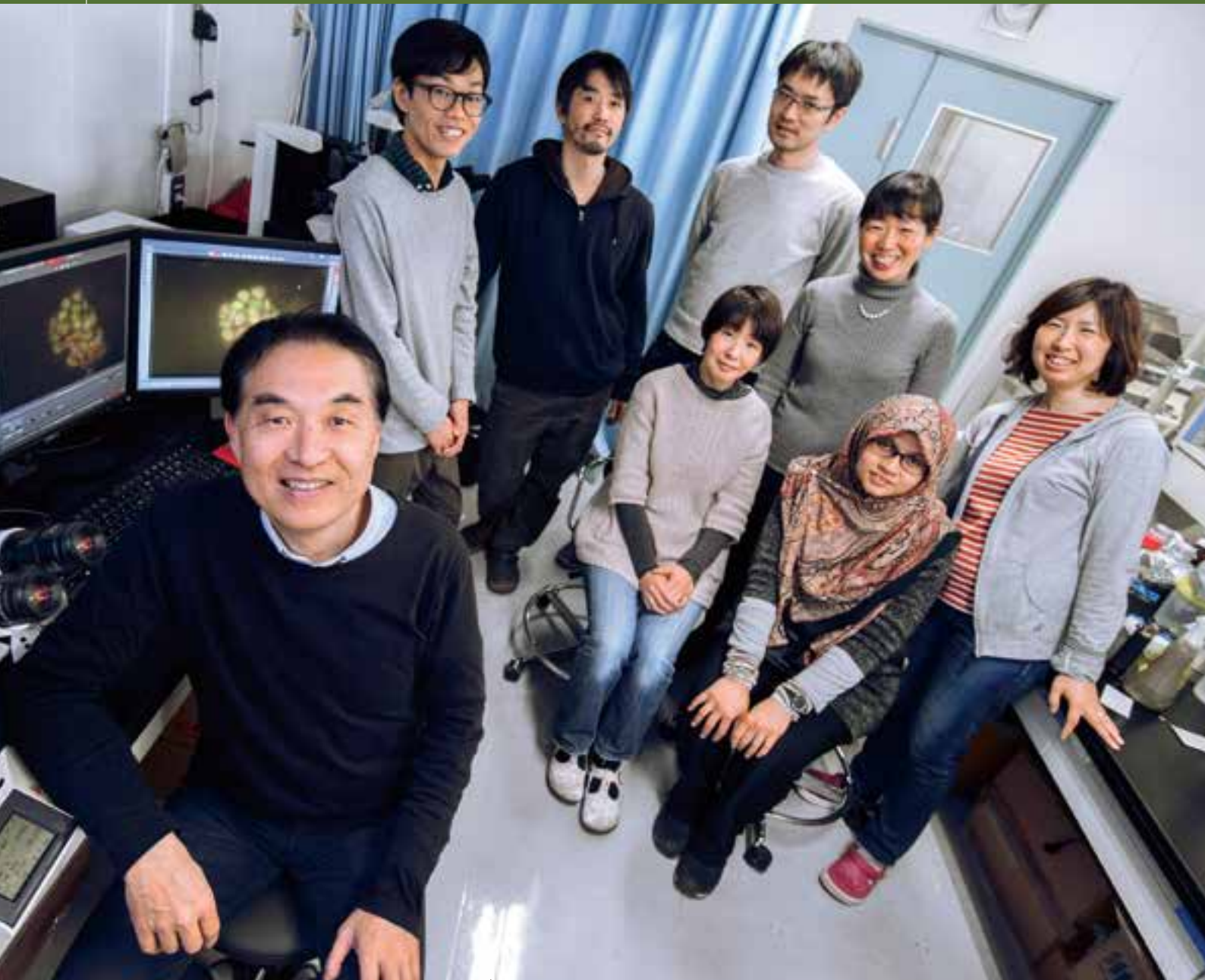
## バイオリソースセンター

※本センターは第4期中長期計画でバイオリソース研究センターに改称。

疾患ゲノム動態解析技術開発チーム  
阿部訓也 チームリーダー

## 高品質バイオリソース利活用法の革新

阿部訓也 (あへくにや)  
(写真左端)  
バイオリソースセンター  
疾患ゲノム動態解析技術開発チーム



### 研究成果

## 細胞の状態を定量的に評価する

### 画像解析と機械学習を利用した細胞集団の定量的評価技術

バイオリソースセンター(現・バイオリソース研究センター:BRC)は、生命科学にとって必要不可欠なバイオリソースの開発、保存、提供を目的としています。バイオリソースとは、研究に使われる生物実験材料である実験動物や植物、細胞や遺伝子、そして微生物などの生物遺伝資源を指します。BRCでは、品質が高く利便性のよいバイオリソースを収集・保存し、安定的に提供するための品質管理技術や保存技術、リソースの利活用を促進するための解析技術などの研究開発にも取り組んでいます。

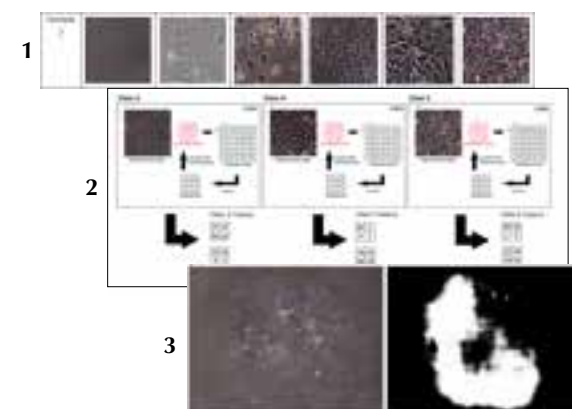
そうした取り組みの一つに、疾患ゲノム動態解析技術開発チームが行っている細胞状態の定量的評価技術の研究があります。これまで、生物学分野では細胞集団中の異なるタイプの細胞を検出し、その割合を定量的に評価することはあまり行われてきませんでした。レーザーと蛍光標識した抗体を使って、標識される細胞が集団中にどの程度あるかを計測する装置は数十年前から存在しますが、装置が非常に高価であり、かつ検出できる細胞にも制限がありました。

BRCが、理研内外の画像処理研究者と共同で開発に取り組んでいるのは、細胞集団を撮影した画像データから、異な

るタイプの細胞(たとえば分化した細胞)の評価を行う手法です。細胞が分化などに伴いその形状を変化させることは古くから知られ、研究者は顕微鏡を使って細胞の形状変化を確認していました。今回、開発したこの手法では、画像処理した細胞形態画像から、機械学習によって異なる細胞タイプを検出、判別できるようにします。細胞集団に対する薬剤投入や物理的接触の必要がないため、分化過程への影響を最小限に抑え、かつ客観的な評価が可能です。将来的には、画像データと解析結果はデータベースとしてまとめられ、細胞診断の簡易化・効率化・高精度化に役立てることができそうです。また、特定の細胞の挙動や細胞分裂パターンを追跡し、解析する技術の開発も行っています。

こうした手法は、今後バイオリソースの標準化や品質管理技術の向上につながり、より高品質のバイオリソースが提供できるようになるでしょう。加えて、この手法により細胞株の分化能・分化状態を客観的に評価することが可能となり、基礎生物学にとどまらず、疾患発症メカニズムの解明や新薬開発の基盤技術等につながるはずです。

● 細胞集団中の異なる細胞タイプの検出と定量



細胞集団中の異なる細胞タイプを検出し(1)、これを学習させ(2)、実際の細胞集団中にそれぞれの細胞タイプがどの程度存在するかを、判別・定量する(3)。

リファレンス  
Chang YH, Yokota H, Abe K, Tang CT, Tsai MD, "Automated detection and tracking of cell clusters in time-lapse fluorescence microscopy images." *Journal of Medical and Biological Engineering*, 37, 18-25 (2017) doi: 10.1007/s40846-016-0216-y  
Chang YH, Abe K, Yokota H, Sudo K, Nakamura Y, Lin C-Y, Tsai M-D "Human induced pluripotent stem cell region recognition in microscopy images using Convolutional Neural Networks" *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2017 Jul; 2017: 4058-4061. doi: 10.1109/EMBC.2017.8037747

### バイオリソース研究センター

わが国のみならず、世界のバイオリソースに関する中核的基盤として、研究動向を的確に把握し、社会ニーズ・研究ニーズに応え、世界最高水準のバイオリソースを収集、保存し、提供する事業を実施します。また、バイオリソースの利活用に資する研究を推進します。事業の実施にあたっては、わが国の最先端研究で作出されるバイオリソースと情報を優先して整備するとともに、国際的な品質マネジメント規格に準拠した品質管理を行い、再現性を確保した真正なバイオリソースを提供します。さらに、事業を効果的・効率的に実施するための保存・利用技術等の開発と喫緊の社会的課題解決のために必要なバイオリソースの開発を行います。加えて、バイオリソース事業に関わる人材の育成、研究コミュニティへの技術移転のための技術研修や普及活動も行います。



センター長 小幡裕一 (Ph.D.)





## ライフサイエンス技術基盤研究センター

※本センターは第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で生命医科学研究センター、生命機能科学研究センター、放射光科学研究センターへ発展。

機能構築イメージングチーム

林 拓也 チームリーダー

(現・生命機能科学研究センター 脳コネクトミクスイメージング研究チーム チームリーダー)

## ヒト・霊長類脳コネクトームで 脳の進化・可塑性・病態を解き明かす

林 拓也 (はやしたくや)  
ライフサイエンス技術基盤研究センター  
機能構築イメージングチーム

### 研究成果

## 脳の機能構築を解明する基盤技術

### 霊長類脳の種間比較から、脳の進化・可塑性・病態の理解へ

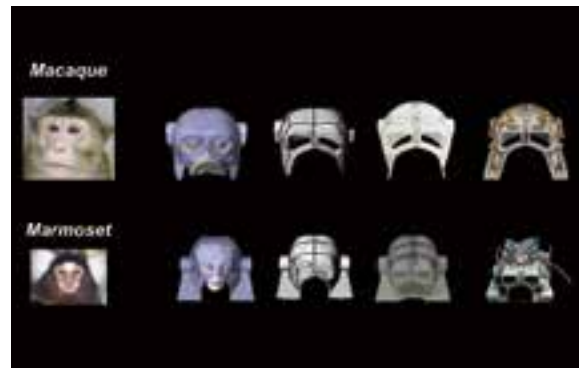
霊長類の脳は、膨大な数の神経細胞が接続してきた臓器です。この複雑な臓器の成り立ちを理解するには、どの神経細胞がどこにつながり、どのような活動をしているのかを知る必要があります。約100年前、ドイツの解剖学者ブロードマンは当時の最先端技術である細胞染色と光学顕微鏡を駆使し、神経細胞の密度や組織構造の観察から大脳皮質を52の領域に分類しました。これは「ブロードマンの脳地図」と呼ばれ、領域ごとの脳機能を記述する際にいまも用いられています。

生命科学の発展に伴い、脳研究の方法論は飛躍的に進歩しました。中でもMRI(磁気共鳴画像法)は、生きている個体の脳を非侵襲的に観察し、脳の局所的な活動状態や領域間の連絡性を可視化して捉えることができます。現在、MRIを用いて多数の被験者を測定し、ヒト脳の新たな地図(コネクトーム)を作る試みが各国で進められています。機能構築イメージングチームの林 拓也チームリーダーは、ヒトの脳をより深く理解するにはヒトに近縁な霊長類の脳の情報が必要であると考え、それぞれの脳がどのように構築され機能しているかを高い精度で比較する「ヒト・霊長類脳コネクトーム」研究を、米国セントルイス・ワシントン大学のDavid Van Essen名譽

教授やMatthew Glasser博士らとともに進めています。

非ヒト霊長類研究にはマカク属のサルやコモンマーモセットなどが用いられますが、脳が小さいためヒトを対象とする場合よりも観察の解像度を高めなければなりません。研究チームは、ライフサイエンス技術基盤研究センター(CLST)に設置した3T(テスラ)の高磁場MRIを用い、画像化に必要な磁気共鳴信号を受信するコイルを独自開発して小型霊長類に最適化し、極めて情報量の多いMRI画像の取得に成功しました。また、公開されているヒトMRIデータの再解析も行うことで、霊長類脳の種間比較を可能にする方法論の確立を目指しています。例えば、神経細胞から伸びる軸索は電気信号の絶縁体となるミエリン(髄鞘)で覆われていますが、ミエリンの密度は大脳皮質の領域ごとに異なっています。そこで、脳の「ミエリンマップ」を作成し種間で比較したところ、一次運動野・一次感覚野・視覚野といった進化的に保存された領域ではミエリン密度が高く、ヒトに特徴的な高次機能の局在部位(頭頂・側頭・前頭連合野)では低いことが分かりました。ヒトの脳の進化とミエリンの関係が浮かび上がります。ヒト・霊長類脳コネクトーム研究から、新たな脳領域の同定や、脳疾患・機能再生に関わる領域の発見などが期待できます。

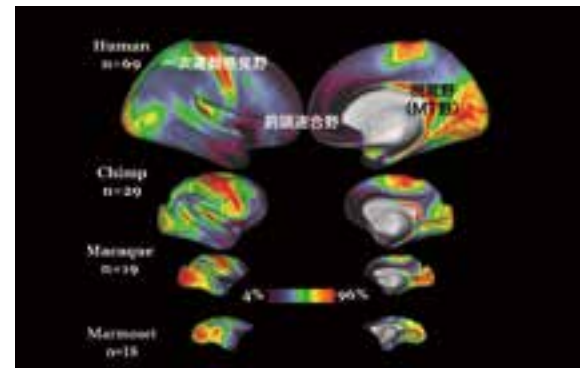
● 小型霊長類脳に最適化した独自開発のMRI測定用RFコイル



MRIは、強い磁場に置かれた水素原子が示す特徴的な振る舞い(核磁気共鳴)を利用し、体内組織の可視化する。MRI測定には電磁波(RFパルス)の送受信が必要であり、RFコイルはアンテナの役目を果たす。

リファレンス  
Neurite imaging reveals microstructural variations in human cerebral cortical gray matter.  
Hikaru Fukutomi; Matthew F Glasser; Hui Zhang; Joonas A Autio; Timothy S Coalson; Tomohisa Okada; Kaori Togashi; David C Van Essen; Takuya Hayashi. *NeuroImage*, 2018 (in press).

● 霊長類脳の「ミエリンマップ」



大脳皮質のミエリン密度を可視化したMRI。複雑に折りたたまれた大脳皮質は密度の比較が困難なため、「しわを伸ばした」皮質表面解析を行った。赤は密度が高い領域。マーモセットはCLSTでMRI撮像し、ヒト、マカクは公開データベースのMRIデータから再解析を行った。チンパンジーのデータはMatthew Glasser博士の提供を受けた。



### ライフサイエンス技術基盤研究センター

ライフサイエンス技術基盤研究センター(CLST、センター長 渡辺恭良)は、ライフサイエンスの成果を創薬・医療につなげるために必須となる新しい技術を確立し、われわれヒトを含む生きた生命活動の全体像を捉えるライフサイエンスの新たな潮流を生み出すことを目標とし、構造・合成生物学部門、機能性ゲノム解析部門、生命機能的イメージング部門で研究活動を行ってきました。第4期中長期計画(P.04-05参照)において、CLSTの研究は生命医科学研究センター、生命機能科学研究センター、放射光科学研究センターの各研究に発展し、ヒトの理解に向けたライフサイエンス分野の研究や、高性能NMR等の要素技術開発を推進していきます。  
※機能構築イメージングチームは、生命機能科学研究センター脳コネクトミクスイメージング研究チームとして研究活動を続けています。

### 生命機能科学研究センター

生命機能科学研究センターは、個体の誕生から死までのライフサイクルの進行を、分子・細胞・臓器の連関による調和のとれたシステムの成立とその維持、破綻に至る動的な過程として捉え、個体の一生を支える生命機能の解明に取り組みます。この目的のため、①構造分子生物学分野、②細胞システム分野、③生命モデリング分野、④細胞・臓器機構分野、⑤健康・病態科学分野、⑥成長・発達科学分野の6つの研究分野を設け、発生・成長・成熟・老化・再生など多細胞生物のライフステージに特徴的な生命現象を分子から個体レベルで観察、再現、制御する研究開発を進めます。また、得られた知見を再生医療や診断技術開発などに応用し、超高齢社会を迎えたわが国の課題である健康寿命の延伸に貢献する生命科学の発展を目指します。



センター長 西田栄介(D.Sci.)



## 計算科学研究機構

※本機構は第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で計算科学研究センターに発展。

量子系分子科学研究チーム  
中嶋隆人 チームリーダー

## 独自の分子理論とプログラムにより、 未踏の分子計算を実現したい

中嶋隆人 (なかじまたかひと)  
(写真中央)  
米原丈博 (よねはらたけひろ)  
(写真左)

William Dawson (ウィリアム・ドーンソン)  
(写真右)  
計算科学研究機構  
量子系分子科学研究チーム

### 研究成果

## 「京」で新材料設計の実現へ

### ペロブスカイト太陽電池の新材料候補の発見とフラレンの性質の解明

量子系分子科学研究チームの中嶋隆人チームリーダーらは、スーパーコンピュータ「京」を活用し、効率的で高速な第一原理計算の実現を目指しています。第一原理計算とは、物質を構成する原子や電子状態を、実験値などの経験値ではなく、量子力学による理論を使って求める計算のことです。実験では分からないミクロな情報を補うことで、まだ合成されていない新規物質や実験困難な物質科学を研究することができます。

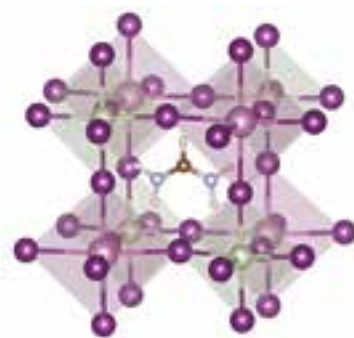
研究チームは、計算によるスクリーニングで、「ペロブスカイト太陽電池」の新たな材料候補を発見しました。このペロブスカイト結晶を用いた電池はエネルギー変換効率が高いことから次世代の太陽電池として期待されています。現在、メチルアンモニウム鉛ヨウ素などの鉛化ハロゲン化合物がその材料として有望視されていますが、これらは有毒な鉛を含んでいるため、非毒性元素を用いたペロブスカイト材料の開発が求められています。研究チームは「二重ペロブスカイト」と呼ばれる化合物を対象として、11,025個という膨大な数の化合物を選び出しました。そして「京」を用いて、これらの化合物に対して第一原理計算を実施し、材料科学の手法に情報科学の手法を融合した元マテリアルズ・インフォマティクス手法により、ペロブスカイト太陽電池としてふさわしい適切な材料を効率よ

く探索しました。その結果、51個の低毒性元素だけからなる非鉛化材料の候補化合物を発見することができたのです。

また、研究チームは、機構内外の計算科学や計算機科学のグループとの融合研究を通して、従来の枠組みを超えた新しい理論分子科学を展開しています。計算科学研究機構の平尾計算化学研究ユニットやシドニー大学との共同研究で、高精度電子状態計算により、C<sub>60</sub>フラレン分子と高次フラレン分子の生成熱を世界最高の精度で理論予測しました。フラレン分子は多数の炭素原子のみからなる集合体で、化粧品や半導体材料など、さまざまな分野に応用されており、盛んに研究されてきた分子にもかかわらず、実験もシミュレーションも難しいため、物性の指標となる生成熱の正確な値は不明でした。国際共同研究グループは、「京」で理研が開発した分子科学計算ソフトウェア「NTChem」を用いることで計算に成功し、また生成熱を算出するための一般的な計算式を導くことができました。さらに、フラレン分子を大きくすることによる物性の変化を実験に先んじて理論予測することに成功し、新材料として利用するための計算基盤を作りました。

これらの研究成果はエネルギーや環境問題の解決に貢献する新材料の開発につながると期待されています。

● 二重ペロブスカイト



A<sub>2</sub>BB'X<sub>6</sub>型の化合物は二重ペロブスカイトと呼ばれる。図中央のAサイト(水色と茶色の球)には、有機分子のMA、FA、無機原子のセシウム(Cs)の3種類の陽イオンのどれか、正八面体の頂点にあたるXサイト(紫の球)にはヨウ素(I)、ホウ素(Br)、塩素(Cl)の3種類のハロゲン陰イオンのどれかが入るようにした。正八面体の中心となるB/B'サイト(紫/灰色)には、49種類の原子を網羅的に配置したところ、全組み合わせ数は11,025個になった。

リファレンス  
「京」でペロブスカイト太陽電池の新材料候補を発見 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171005\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171005_1/)  
スーパーコンピュータでフラレンの性質を探る [http://www.riken.jp/pr/press/2016/20160316\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2016/20160316_1/)



### 計算科学研究センター

計算科学研究センターは、わが国の計算科学および計算機科学の先導的研究開発機関として、スーパーコンピュータ「京」を運用するとともに、ポスト「京」の開発を推進しています。また、国際的な高性能計算科学分野の中核拠点として、「計算の科学」「計算による科学」、両者の相乗効果による「計算のための科学」の探求とその成果であるソフトウェア等のテクノロジーを「コア・コンピタンス」と位置付け、それらの発展や国内外への普及を推進しています。「京」は2012年秋から共用を開始しており、研究機関・大学にとどまらず産業界からの利用等を通じ、幅広い分野で世界トップレベルの成果を創出しています。2014年4月からは、「京」の後継機となるポスト「京」スーパーコンピュータの開発を進めており、2021年頃の共用開始を目指して、社会的・科学的課題の解決に貢献し、ビッグデータや人工知能など新たなIT分野も加速させるシステムの構築を目指します。



センター長 松岡 聡(Ph.D.)



## 放射光科学総合研究センター

※本センターは第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で放射光科学総合研究センターへ発展。

バロン物質ダイナミクス研究室  
アルフレッド・バロン 主任研究員

## 人類が今まで手にしたことの無い光で世界を探る

Alfred Baron (アルフレッド・バロン)  
放射光科学総合研究センター  
バロン物質ダイナミクス研究室

### 研究成果

# XFELを用いて原子核超放射の観測に成功

## 60年以上前の重要理論を最先端観測機器で実証

理論上は正しいと「予測」できても、本当にそれが正しいかどうか「実証」できない。最先端の研究分野では、よく立ちかかる問題です。しかし技術の発達や、観測機器精度の向上により、過去の偉人が残した「予測」を「実証」できるようになってきました。

バロン物質ダイナミクス研究室のアルフレッド・バロン主任研究員らの国際共同研究グループは、X線自由電子レーザー(XFEL)施設「SACLA」を用いて、1954年にロバート・ディッケが予測した「超放射現象」を厳密に実証しました。ディッケが予測した「超放射現象」とは、励起された多数の原子が一斉に量子を放出する現象です。孤立原子に光子などの量子をぶつけると、エネルギーを吸収して「励起状態」になります。励起された原子は、一定の時間が経つと量子を放出し、元の状態に戻ります。ところが、励起原子がたくさん集まると、一斉に量子を放出する「超放射」が起きます。しかも、放射強度はそれぞれの原子がばらばらに放射した場合より大きくなり、放射までの時間は短くなります。ディッケは量子力学的効果を踏まえ、量子数が原子数の半分のときに最も素早い減衰が起こると予測しました。さらに、量子数が原子数よりはるかに少ない場合でも減衰が早くなると予測しています。バロン主任研

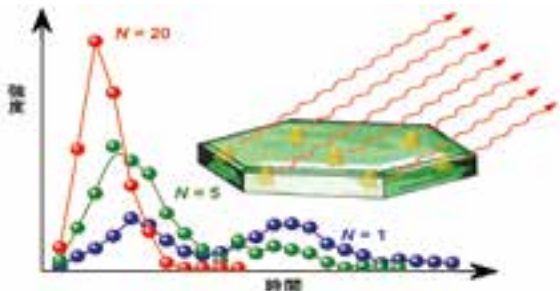
究員らの国際共同研究グループは、この現象の実証に取り組みました。

実験に用いたSACLAは、全長約700mとXFEL施設としてはコンパクトながら、高品質なX線パルスを供給できます。実験には非常に高いエネルギー(14.4keV)のX線パルスが必要です。実験当時、それを供給できるのはSACLAだけでした。

実験ではSACLAの強力なコヒーレントX線パルスで多数の鉄原子核(<sup>57</sup>Fe)を共鳴励起させ、鉄原子核からのX線放射の時間推移を観測しました。また、原子からの放射X線を1光子単位で計数することにより、最初の光子が放出されるまでの時間を正確に求めることができます。その結果、放射するX線量が増えるに従い、最初のX線光子放出までの時間が劇的に短くなる「超放射」現象を捉えました。まさに、ディッケの「予測」を「実証」することができたのです。

このように、同じ励起状態の原子でも、孤立している場合と集団で存在する場合では異なる反応を示します。XFELなどの強力なX線で物理現象を観測するとき、原子単体の振る舞いだけに基づいて観測結果を解釈すると、誤った結果を導いてしまいます。今回得られた知見は、強力なX線光源を用いた分析技術を開発する際、重要な役割を担うことでしょう。

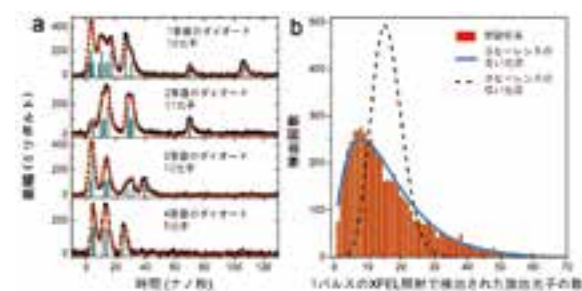
● 超放射現象のイメージ



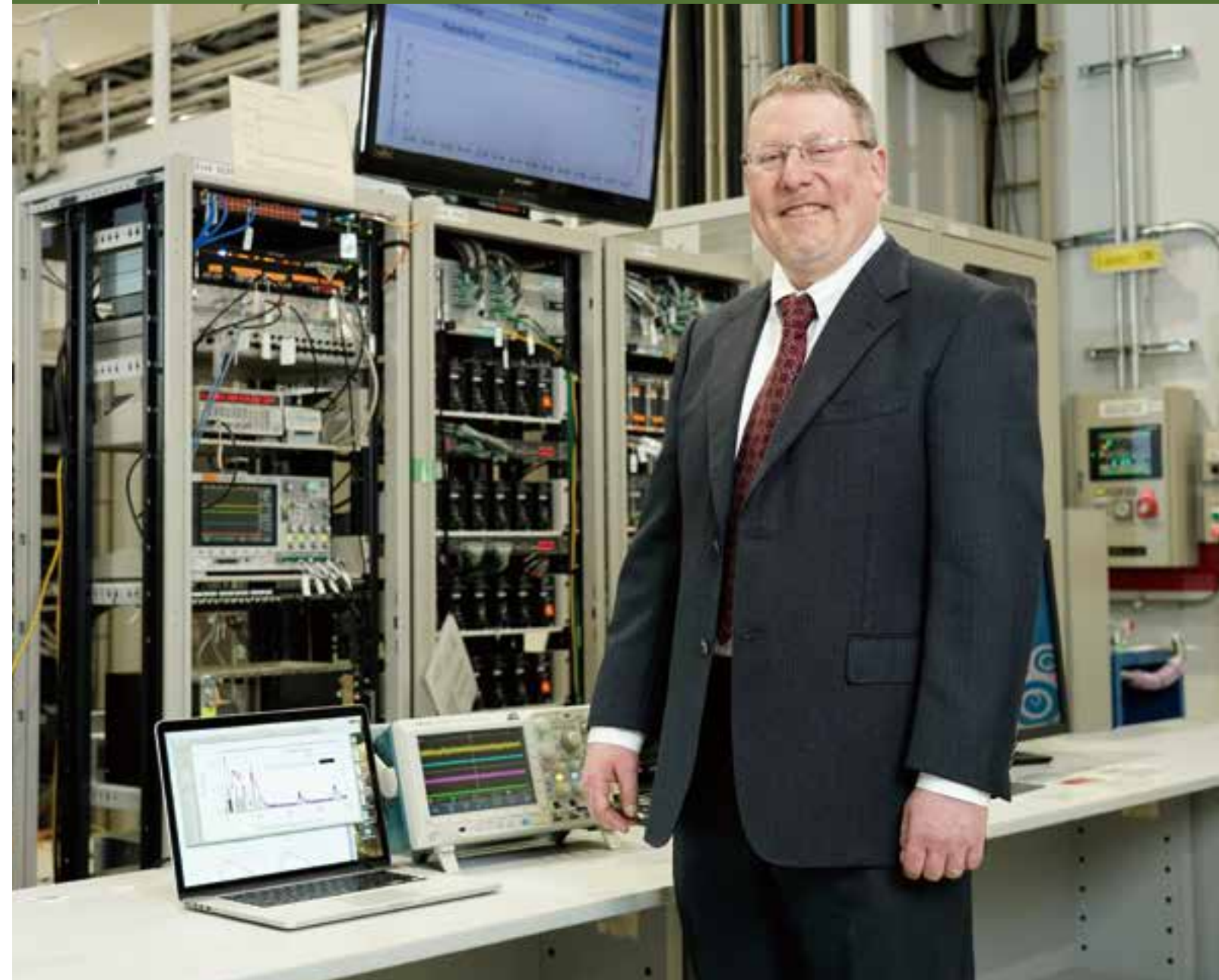
グラフは、鉄原子核(<sup>57</sup>Fe)からのX線放射強度の時間変化を示す。X線を放射する原子核の数(N)が1個、5個、20個と増えるに従い、光子放出までの時間が短くなるとともに、放射強度が高くなる。鐘の集団から発する音に例えると、量子の世界においては、多数の鐘を一斉に鳴らしたときに聞こえる音は、個々の鐘をばらばらに鳴らした場合よりも大きくなり、かつ素早く減衰する。

リファレンス  
A. I. Chumakov, A. Q. R. Baron, I. Sergueev, C. Strohm, O. Leupold, Y. Shvyd'ko, G. V. Smirnov, R. Rüffer, Y. Inubushi, M. Yabashi, K. Tono, T. Kudo, T. Ishikawa.  
"Superradiance of an ensemble of nuclei excited by a free electron laser", *Nature Physics* (2017)  
DOI: 10.1038/s41567-017-0001-z  
R. H. Dicke.  
"Coherence in spontaneous radiation processes", *Phys. Rev.* 93, 99 (1954).

● SACLAのXFELによってコヒーレントに励起された試料からの放射X線の測定結果



a: 合計44光子のX線を検出した際の測定データ。4個のアバランシェフォトダイオード検出器で検出したX線強度の時間推移を示している。早い段階で多数の光子が放出され、時間が進むにつれて放出光子数が減少していることが分かる。  
b: 1回の測定で検出したX線光子数と頻度分布(赤の棒グラフ)。青の曲線は、コヒーレンスの高い光源を仮定した場合の理論的予測を示す。実験結果をよく再現しており、SACLAのコヒーレンスが高いことが分かる。点線は、コヒーレンスの低い光源を仮定した場合に予測される分布。



### 放射光科学研究センター

放射光科学研究センター(RSC)は、大型放射光施設「SPring-8」およびX線自由電子レーザー施設「SACLA」の安定した運転に責任を持ちながら、大学・研究機関・産業界を含む幅広い利用者に世界最高水準の高輝度X線を提供することを目的に活動しています。また、RSCでは最先端の光源・利用テクノロジーの開発に取り組むとともに、両施設の相乗効果も生かしながら高エネルギー・光科学の創出を行います。RSCは、放射光と相補的な構造解析手法であるクライオ電子顕微鏡および高性能NMRの開発にも取り組みます。



センター長 石川哲也(D.Eng.)





## 仁科加速器研究センター

※本センターは第4期中長期計画で仁科加速器科学研究センターに改称。

実験装置運転・維持管理室 RIビーム分離生成装置チーム

福田直樹 仁科センター研究員

吉田光一 チームリーダー

## 世界に誇る理研の重イオン加速器施設で 未踏の原子核世界に迫りたい

福田直樹 (ふくだなおき)  
(写真右から3番目)

吉田光一 (よしだこういち)  
(写真右から2番目)

鈴木 宏 (すずきひろし)  
(写真左端)

清水陽平 (しみずようへい)  
(写真右端)

仁科加速器研究センター  
実験装置運転・維持管理室  
RIビーム分離生成装置チーム

炭竈聡之 (すみかまとしゆき)  
(写真左から2番目)

仁科加速器研究センター  
核変換データ研究グループ  
低速 RI データチーム

### 研究成果

## 新たな放射性同位元素を73種発見

### 重力波の解析や物質の生成メカニズム解明にもつながる成果

原子は、原子核と電子から構成されています。理論的には7,000種以上の原子核があるはずですが、自然界に存在する原子核は約300種です。大半の原子核は、放射性同位元素(RI)と呼ばれる不安定なものだからです。2017年8月、中性子星の合体による重力波が検出され、その中に「原子番号26の鉄よりも重い元素(重元素)」の情報が含まれていたことが大きなニュースとなりました。こうした重元素の合成過程や、物質の生成メカニズムを解明するには、多種のRIを生成・検出する必要があります。RIビーム分離生成装置チームは、国際共同研究グループの一員として、新たに73種のRIを検出することに成功しました。

原子核は陽子と中性子から構成されており、陽子数と中性子数の組み合わせが原子核の安定性を決めています。例えば、酸素の陽子数は8ですが、中性子数は8、9、10の3種類が天然に存在します。実は、その他に「天然に存在しない寿命の短いRI」として、中性子数が最小で5、最大で16のものまで複数あります。安定な原子核より中性子の数が少ない原子核は「陽子過剰核」、多い原子核は「中性子過剰核」と呼ばれています。

これまで理研の重イオン加速器施設(RIBF)では、「ウランなどの重イオンを光速の70%まで加速する超伝導リングサイクロトロン

(SRC)」と「高速重イオンビームから作られるRIをビームとして高効率で収集し、高い精度で分析する超伝導RIビーム分離生成装置(BigRIPS)」を開発し、59種もの新たなRIを検出しました。

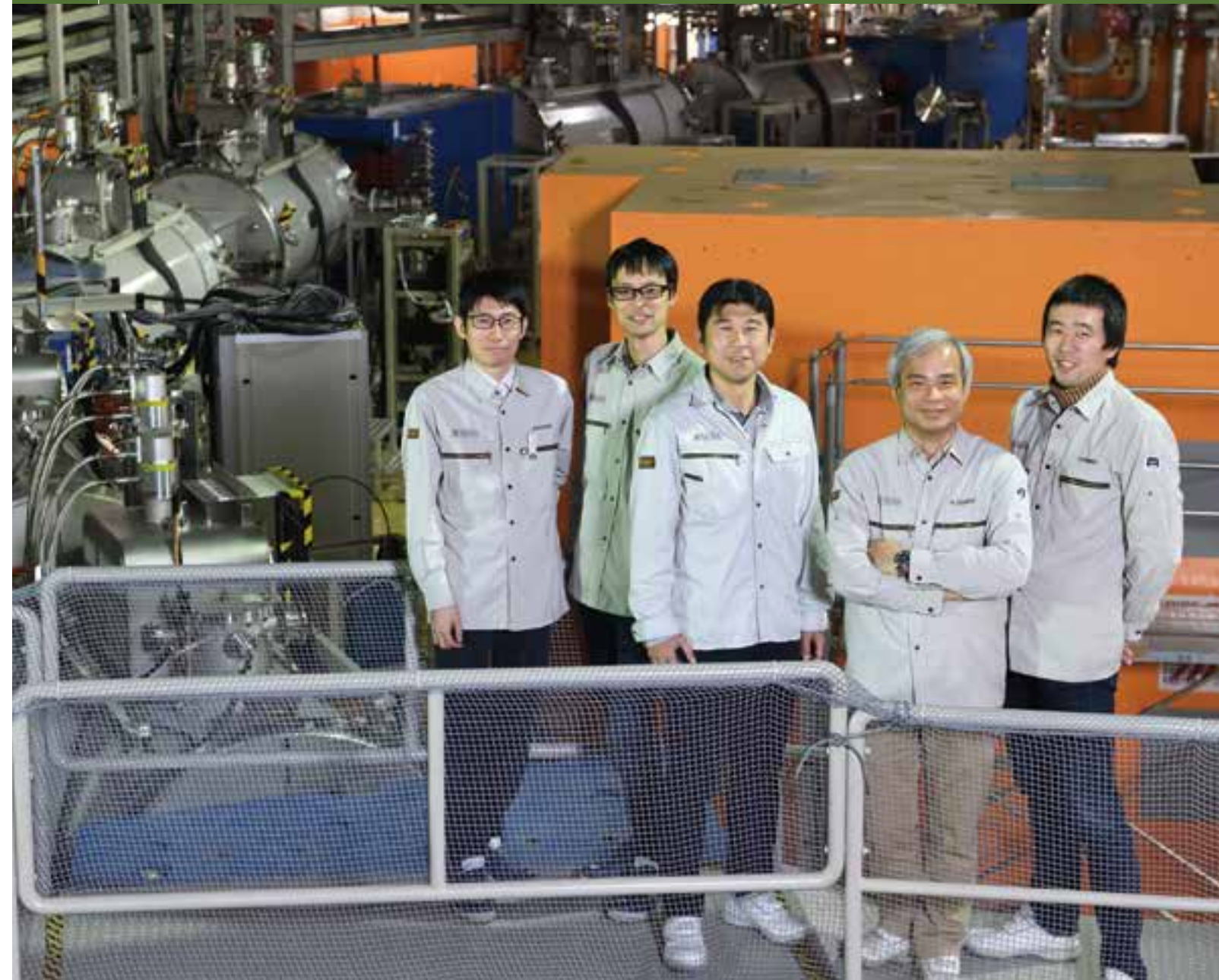
今回は、ビーム強度が約10倍に増強された加速器を用いて、安定な原子核のウラン-238 ( $^{238}\text{U}$ )とキセノン-124 ( $^{124}\text{Xe}$ )を光速の70%まで加速し、そのビームをベリリウム(Be)に照射する実験を実施しました。RIはその際に起きる $^{238}\text{U}$ の「飛行核分裂反応」と $^{124}\text{Xe}$ の「入射核破砕反応」を利用して発生させ、まずBigRIPSの第一ステージにおいて「陽子過剰または中性子過剰なRI」を分離し、続いて第2ステージとより下流の多機能ビームライン型分析装置(ゼロ度スペクトロメータ)において「RIを同定するための粒子識別」を行いました。その結果、新たにマンガンからエルビウムまでの73種のRIを同定できました。

極めて生成数が少ない新RIの検出には、BigRIPS内をRIが通過する飛跡を精密に制御・分析し、磁気剛性や速度の決定精度を向上させ、ノイズをできる限り除去する技術が必要です。今回は加速器とともに、こうしたBigRIPSの収集・分析法の向上が成功の鍵となりました。現在、約62種の新RI候補を対象に最終確認作業が進められており、RIの確定数がさらに増えていくと期待できます。

#### ● 新たに発見された73種のRI

原子番号	新RI名	原子番号	新RI名	原子番号	新RI名	原子番号	新RI名
25	$^{73}\text{Mn}$ (マンガン73)	45	$^{127}\text{Rh}$ (ロジウム127)	55	$^{149}\text{Cs}$ (セシウム149)	61	$^{164}\text{Pm}$ (プロメチウム164)
26	$^{76}\text{Fe}$ (鉄76)		$^{128}\text{Rh}$ (ロジウム128)		$^{150}\text{Cs}$ (セシウム150)		$^{165}\text{Pm}$ (プロメチウム165)
27	$^{77}\text{Co}$ (コバルト77)	46	$^{129}\text{Pd}$ (パラジウム129)		$^{151}\text{Cs}$ (セシウム151)	62	$^{166}\text{Sm}$ (サマリウム166)
	$^{78}\text{Co}$ (コバルト78)		$^{130}\text{Pd}$ (パラジウム130)	56	$^{153}\text{Ba}$ (バリウム153)		$^{167}\text{Sm}$ (サマリウム167)
	$^{80}\text{Ni}$ (ニッケル80)		$^{131}\text{Pd}$ (パラジウム131)		$^{154}\text{Ba}$ (バリウム154)	63	$^{169}\text{Eu}$ (ユウロピウム169)
28	$^{81}\text{Ni}$ (ニッケル81)	47	$^{132}\text{Ag}$ (銀132)		$^{154}\text{La}$ (ランタン154)	64	$^{171}\text{Gd}$ (ガドリニウム171)
	$^{82}\text{Ni}$ (ニッケル82)	48	$^{134}\text{Cd}$ (カドミウム134)		$^{155}\text{La}$ (ランタン155)		$^{173}\text{Tb}$ (テルビウム173)
29	$^{83}\text{Cu}$ (銅83)	49	$^{136}\text{In}$ (インジウム136)	57	$^{156}\text{La}$ (ランタン156)	65	$^{174}\text{Tb}$ (テルビウム174)
37	$^{104}\text{Rb}$ (ルビジウム104)		$^{137}\text{In}$ (インジウム137)		$^{157}\text{La}$ (ランタン157)		$^{175}\text{Dy}$ (ジスプロシウム175)
40	$^{113}\text{Zr}$ (ジルコニウム113)	50	$^{139}\text{Sn}$ (スズ139)	58	$^{157}\text{Ce}$ (セリウム157)	66	$^{176}\text{Dy}$ (ジスプロシウム176)
41	$^{116}\text{Nb}$ (ニオブ116)		$^{140}\text{Sn}$ (スズ140)		$^{158}\text{Ce}$ (セリウム158)	67	$^{177}\text{Ho}$ (ホルミウム177)
	$^{81}\text{Mo}$ (モリブデン81)	51	$^{141}\text{Sb}$ (アンチモン141)		$^{156}\text{Pr}$ (プラセオジム156)		$^{178}\text{Ho}$ (ホルミウム178)
42	$^{82}\text{Mo}$ (モリブデン82)		$^{142}\text{Sb}$ (アンチモン142)		$^{157}\text{Pr}$ (プラセオジム157)	68	$^{179}\text{Er}$ (エルビウム179)
	$^{118}\text{Mo}$ (モリブデン118)	52	$^{144}\text{Te}$ (テルル144)	59	$^{158}\text{Pr}$ (プラセオジム158)		$^{180}\text{Er}$ (エルビウム180)
	$^{119}\text{Mo}$ (モリブデン119)		$^{145}\text{Te}$ (テルル145)		$^{159}\text{Pr}$ (プラセオジム159)		
43	$^{121}\text{Tc}$ (テクネシウム121)	53	$^{146}\text{I}$ (ヨウ素146)		$^{160}\text{Pr}$ (プラセオジム160)		
	$^{122}\text{Tc}$ (テクネシウム122)		$^{147}\text{I}$ (ヨウ素147)	60	$^{161}\text{Pr}$ (プラセオジム161)		
44	$^{85}\text{Ru}$ (ルテニウム85)	54	$^{149}\text{Xe}$ (キセノン149)		$^{162}\text{Nd}$ (ネオジム162)		
	$^{86}\text{Ru}$ (ルテニウム86)		$^{150}\text{Xe}$ (キセノン150)		$^{163}\text{Nd}$ (ネオジム163)		
	$^{125}\text{Ru}$ (ルテニウム125)						

リファレンス  
N. Fukuda, et al., *Journal of the Physical Society of Japan*, 87, 014202 (2018)  
Y. Shimizu, et al., *Journal of the Physical Society of Japan*, 87, 014203 (2018)  
H. Suzuki, et al., *Physical Review C* 96, 034604 (2017)  
T. Sumikama, et al., *Physical Review C* 95, 051601, (2017)



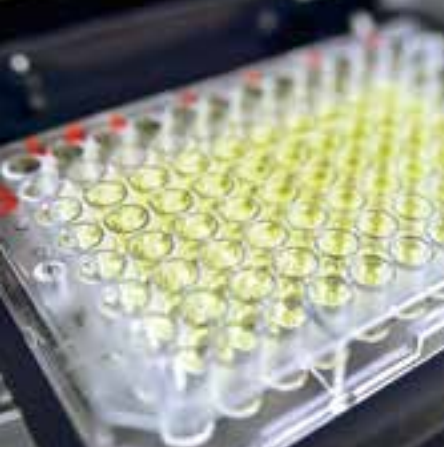
### 仁科加速器科学研究センター

理研には、仁科芳雄研究室の開設以来、80年余の加速器科学の伝統があります。2006年に世界初の超伝導リングサイクロトロンSRCを擁するRIビームファクトリーが稼働を開始、この世界に冠絶する性能を誇る実験施設での研究を支える体制として、偉大な先達の名を冠した研究センターが発足しました。2016年11月に元素名が決定したニホニウム(Nh)はこの施設で作られました。国外においては、米国ブルックヘブン研究所に理研BNL研究センターを、英国ラザフォード・アップルトン研究所に専用実験施設を設け、原子核とそれを構成する素粒子の実体を究め、物質創成の謎を解明していきます。



センター長 延興秀人(D.Sci.)





産業連携本部  
イノベーション推進センター

※本連携本部およびセンターは第3期中期計画で終了、  
第4期中長期計画で科技ハブ産連本部およびバトンゾーン研究推進プログラムへ発展。

人工ワクチン研究チーム  
増田健一 チームリーダー  
齊藤 隆 副チームリーダー

これまで不可能だといわれてきた現象に挑戦し、  
ウイルス変異に対応するワクチンで感染症のリスクから人々を守りたい

増田健一 (ますだけんいち)  
(写真右端)  
齊藤 隆 (さいとうたかし)  
(写真左端)  
産業連携本部  
イノベーション推進センター  
人工ワクチン研究チーム

研究成果

## B細胞に直接働きかける人工ワクチン

### ウイルスの変異に左右されない抗体を作り出すワクチン

人工ワクチン研究チームは「産業界との融合的連携研究制度<sup>\*</sup>」を利用して設置された研究室で、「動物アレルギー検査株式会社(2007年理研ベンチャー認定)」と理研が一緒になりパンデミックウイルスに対するワクチン開発に取り組んでいます。

インフルエンザなどの感染症予防として、ワクチンの接種は非常に有効です。ワクチンは、感染症の原因となるウイルスの毒性を弱めた、あるいは無毒化したもので、生体の抗原抗体反応(免疫反応ともいう)を利用して体内にウイルスを攻撃する抗体を作り出すしくみです。

ウイルスやワクチンなどの抗原が生体内に入ると、抗原提示細胞が抗原を取り込み分解します。このとき、細胞表面に提示されるウイルス由来のペプチドがリンパ球の一種のT細胞を刺激すると、T細胞はリンパ球のB細胞に指令を出します。それを受けてB細胞は抗原と結合する抗体を作ります。一度抗体を作るB細胞が出現すれば、同じ抗原が侵入してきても、その抗原と結合する抗体を産生します。

しかし、現在のワクチンにはいくつかの問題があります。例えば、ワクチンによって作られる抗体は免疫反応任せであり、ウイルスのどの部分に作用するのかを決めることができません。しかも、抗体ができやすい部位は同時にウイルスも変異しやすい部位でもあるのです。したがって、ウイルスが変異するとこれまでのワクチンが効かなくなり、そのたびに新しいワクチンを作って生体に投与し、変異ウイルスに有効な新しい抗体を作り出す

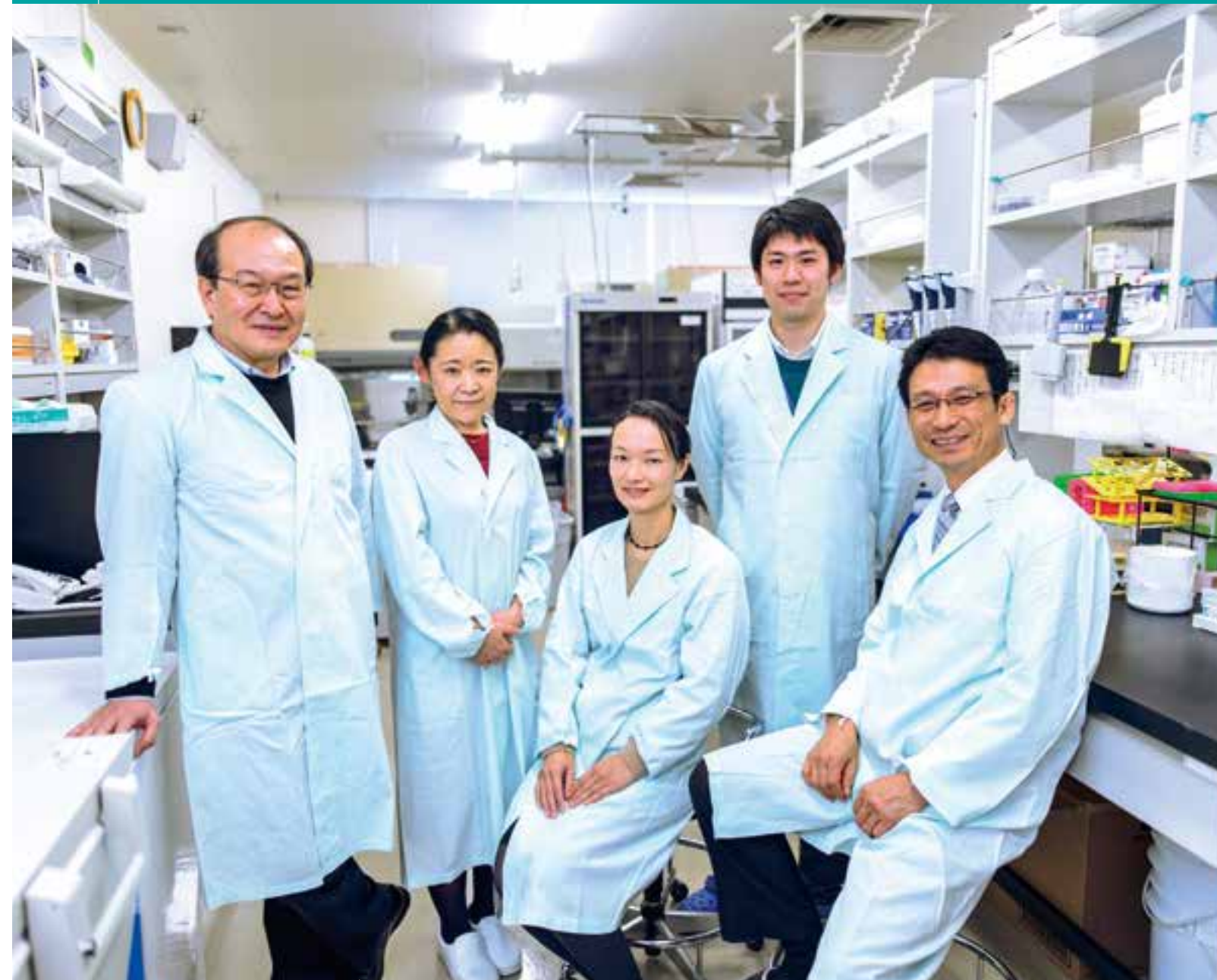
<sup>\*</sup>産業界との融合的連携研究制度:企業が抱える課題に基づく研究開発を共同で実施することにより、理研の研究成果を社会に還元することを目的とした制度。

ようにしなければなりません。また、ワクチンの製造には時間がかかるため、毎年流行するインフルエンザは、その年の冬に流行するウイルスの型を予測し、早い段階からワクチンを製造して準備しなければなりません。

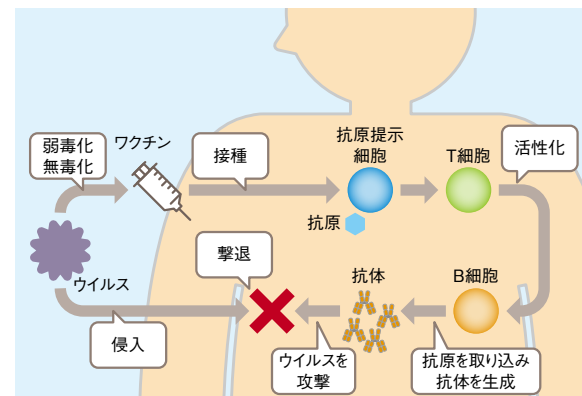
増田TLらが研究している人工ワクチンは、T細胞を経由するこれまでの手法と異なり、直接B細胞に働きかけるというコンセプトから生み出されるワクチンです。以前から、連続したペプチドの鎖がB細胞の表面にある複数の受容体(レセプター)に結合するとB細胞が活性化することは知られていましたが、かなりの数のレセプターを同時につなぐ(架橋する)ことが必要だと考えられていました。しかし、理研では数個のレセプターを架橋することでB細胞が活性化することを突き止めたのです。

インフルエンザなどの代表的なウイルスは、その表面のタンパク質がすでに解析されています。ウイルスが変異しにくい部分のペプチド鎖で作られた人工ワクチンならば、ウイルスが変異したとしても影響されませんし、合成ペプチドなので短期間での製造が可能です。また、ジカ熱のように、ワクチンによって抗体を作ると劇症化してしまう感染症に対しても、人工ワクチンであれば直接ウイルスを失活させるように工夫することで効果を発揮できるかもしれません。

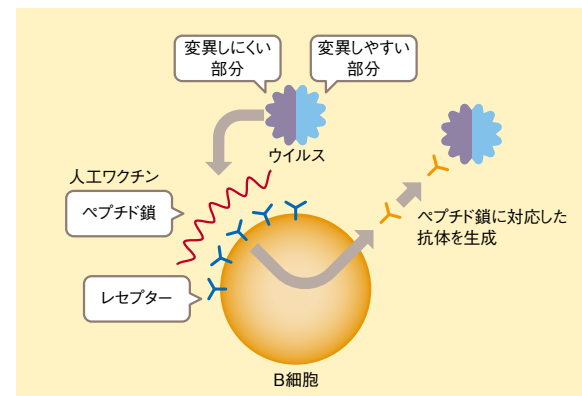
現在、最適なペプチド鎖の長さを求めて免疫反応実験を繰り返し行っており、早期実用化を目指して開発を進めています。



● ワクチンが働く仕組み



● 人工ワクチンの概念図



### 科技ハブ産連本部

科技ハブ産連本部では、大学、研究機関や産業界と協働し、理研が科学技術におけるハブの役割を担い、研究開発のネットワークを形成および強化することにより、わが国の科学力の充実を図るとともに、イノベーションの創出を推進します。また、研究成果の最大化および社会的課題解決のため、ニーズ探索、新技術開発テーマ創出から事業化に向けて、オープンイノベーションを推進し、組織対組織の連携による産業界との共創機能を強化します。

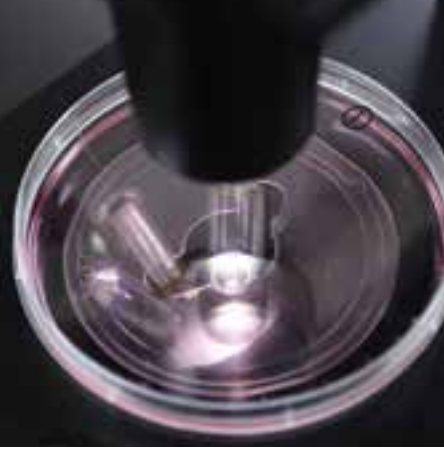
### バトンゾーン研究推進プログラム

バトンゾーン研究推進プログラムは、「挑戦から達成へ」を合言葉に、産業界のニーズを重要視した連携活動に取り組んでいます。イノベーション創出に向けた取り組みとして「バトンゾーン」、すなわち、「技術移転を効果的に進めるため、理研の研究者と産業界の研究者が一定の期間、同じ方向に全力で突き進む場」を設け、両者一体となった研究開発を実施することにより、理研の幅広い研究成果の社会への活用・実用化に向けた企業等への橋渡しを効果的に推進しています。

プログラムディレクター 小寺秀俊 (D.Eng.)







## 科学技術ハブ推進本部

※本推進本部は第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で科技ハブ産連本部へ発展し、創業・医療技術基盤プログラムは当該本部に所属。

創業・医療技術基盤プログラム  
藤井眞一郎 プロジェクトリーダー

## がん細胞に対する免疫機構を解明し、画期的ながん免疫療法の開発を目指す

藤井眞一郎 (ふじいしんいちろう)  
科学技術ハブ推進本部  
創業・医療技術基盤プログラム

### 研究成果

## 新しいがんワクチン「エーベック」の治験を実施

### 自然免疫と獲得免疫の両方を活性化させる次世代がんワクチン

科学技術ハブ推進本部 創業・医療技術基盤プログラムの藤井眞一郎プロジェクトリーダーらは、先天的に備わった「自然免疫」と生後獲得する「獲得免疫」の両方を活性化させる次世代のがんワクチンシステム「人工アジュバントベクター細胞（エーベック: aAVC）」を、2009年に開発しています。動物実験によりエーベックの薬効や安全性を確認するとともに、東京大学橋渡し研究拠点の支援により臨床応用を目指して準備を進めてきました。2011年から17回にわたる医薬品医療機器総合機構との薬事戦略相談が終了し、2017年7月から難治性急性骨髄性白血病患者を対象とした医師主導治験が東京大学医科学研究所附属病院で実施されています。

不治の病と考えられていた急性骨髄性白血病は、現在では抗がん剤の開発や治療法の進歩により、患者の約3割で長期生存が可能になりました。しかし、患者の約2割は寛解（完治とはいえないが症状が軽減した状態）にも至らず、寛解したとしても再発のリスクが高い病気です。このような難治性の急性骨髄性白血病に対する新規治療法の開発が求められています。そこで注目されているのが、免疫を利用したがん治療法です。

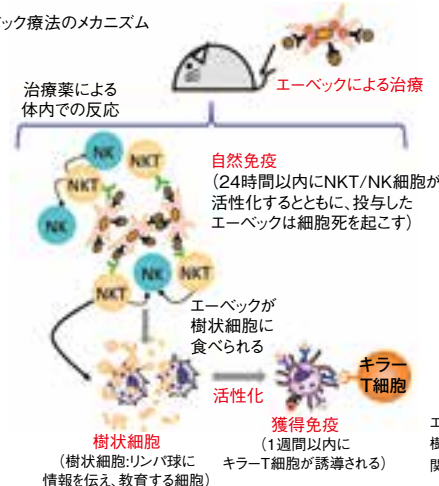
私たちのからだを守る免疫系には、異常な細胞を殺すナチュラルキラー（NK）細胞とナチュラルキラーT（NKT）細胞やマクロファージ、樹状細胞などが関わる「自然免疫」と、T細胞

と抗体を生産するB細胞といったリンパ球が関与する「獲得免疫」があります。また、樹状細胞は自然免疫と獲得免疫を連結させる司令塔でもあります。がん細胞は種類により自然免疫と獲得免疫に対する感受性が異なるため、がんを完全に排除するには、自然免疫と獲得免疫の両方を活性化させる必要があります。

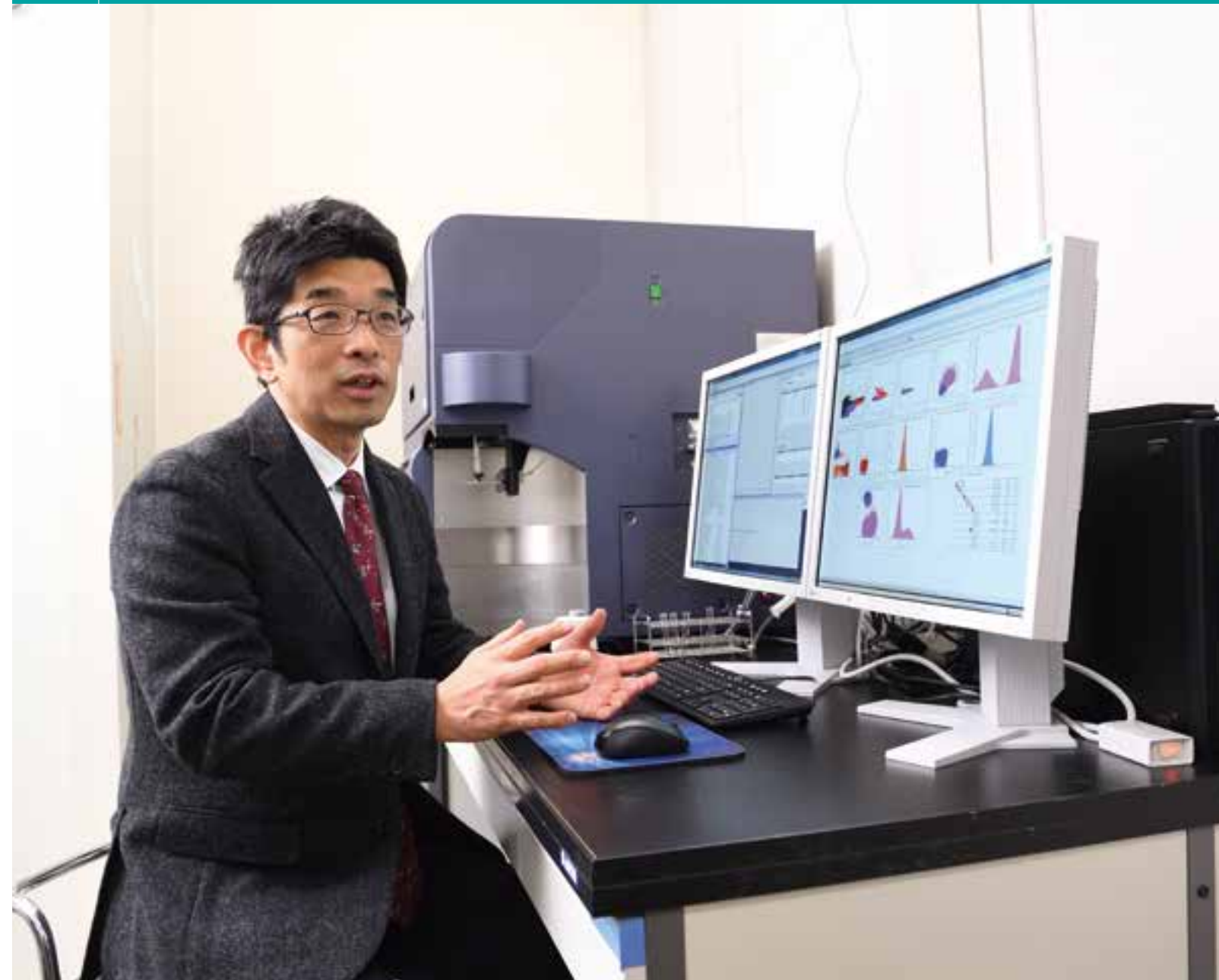
藤井プロジェクトリーダーらが開発したエーベックは、T細胞の標的となるがん抗原とNKT細胞を活性化させる糖脂質を持った人工細胞です。エーベックを投与すると、NKT細胞の活性化を引き金にして生体内の樹状細胞の成熟化を促します。司令塔である樹状細胞が自然免疫と獲得免疫の両方を活性化させ腫瘍を縮小させます。エーベックは1年以上にわたって持続する「記憶免疫」も誘導するため、転移や再発の予防に有効です。副作用や薬剤耐性を持つがんの出現も認められないことから、さまざまな種類のがんに対応できる画期的なワクチンといえます。

今回の医師主導治験では、白血病に高率に発現するWT1抗原に着目して開発したワクチンの第I相試験を行っています。すでにWT1抗原を発現しているがん腫全般に対して有効性を示すデータもあり、今後さまざまながんに対して有効な治療法になることが期待されます。

#### ● エーベック療法のメカニズム



リファレンス  
自然免疫と獲得免疫の両方を活性化させるがん免疫療法を開発 <http://www.riken.jp/pr/press/2012/20121226/>  
がん免疫の課題を克服する治療モデルを構築 [http://www.riken.jp/pr/press/2016/20160701\\_2/](http://www.riken.jp/pr/press/2016/20160701_2/)



### 科技ハブ産連本部

科技ハブ産連本部では、大学、研究機関や産業界と協働し、理研が科学技術におけるハブの役割を担い、研究開発のネットワークを形成および強化することにより、わが国の科学力の充実に貢献するとともに、イノベーションの創出を推進します。また、研究成果の最大化および社会的課題解決のため、ニーズ探索、新技術開発テーマ創出から事業化に向けて、オープンイノベーションを推進し、組織対組織の連携による産業界との共創機能を強化します。

### 創業・医療技術基盤プログラム

創業・医療技術基盤プログラムは、理研の各研究センターや大学等で行われるさまざまな基礎疾患研究から見いだされる創薬標的（疾患関連タンパク質）を対象に、各研究センターが設置する創薬基盤ユニットが連携して医薬品の候補となる低分子化合物、抗体等の新規物質を創成し、知的財産の取得を目指す創業・医療技術テーマを推進するとともに、非臨床・臨床段階のトランスレーショナルリサーチである創業・医療技術プロジェクトを支援しています。最終的には、これらを適切な段階で企業や医療機関に移転することを目指しています。



プログラムディレクター 後藤俊男 (D.Agr.)





## 科学技術ハブ推進本部

※本推進本部は第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で科技ハブ産連本部へ発展し、健康生き活き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラムは当該本部に所属。

健康生き活き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラム  
渡辺恭良 プログラムディレクター

### 研究成果

## Precision Healthの実現

### 1万人の健康計測から健康ソリューションの共創へ

生涯にわたり健康で“生き活き”とした人生を送るためには、健常から未病へ、未病から発症へという身体の変化を断つことが重要です。一人一人の健康を科学的に予測し、その人に合った情報やアドバイスを提供するような“羅針盤”があれば、個人の健康維持・増進の大きな助けとなり、健康寿命をさらに伸ばす“個別健康の最大化”が実現できると考えられます。本リサーチコンプレックスでは、ヒトの健康を総合的に理解し、個人個人の健康度合いを客観的・主観的指標を交えて正確に数値化・判定する“Precision Health”の確立に向け、18歳から65歳までの方を対象にした健康計測会を2017年より行っています。

理研で行われてきた疲労研究の結果から、自律神経機能、生体の酸化状態・抗酸化能、細胞の修復エネルギー低下、局所的な炎症反応などを測定・解析することで、健康が低下する方向への揺らぎ（健康脆弱化）が判定・予測できることが分かってきました。特別な計測装置や計測時間などがネックとなり大規模な調査は困難でしたが、ライフサイエンス技術基盤研究センターや量子工学研究領域などの理研横断の取り組み、参画機関との連携による新規デバイスの研究開発、オーブ

ンイノベーションに基づく実証試験の実施により、一般的な健康診断では行われない検査を含む十数項目の精密な検査を非侵襲・低侵襲で半日以内に行えるようになりました。これまでに約750名を対象にした健康計測を行い、現在予備的な解析を進めています。この解析結果に基づき、計測項目を絞り込むことで事業終了までに1万人の健康計測を実施し、“健康羅針盤”の実現と社会実装に向けた基盤整備を目指します。

“健康羅針盤”の利用として、健康度を高めるソリューション（方策）を個別に提供することが考えられます。これは既存の健康ソリューションの価値を高めるとともに、新しい健康サービス・製品を生み出す基盤となります。本リサーチコンプレックスは、開発段階で創出・製作したサービス・製品のプロトタイプを多くの人に試してもらい、フィードバックを得ながら共創していく「リビング・ラボ」の機能を持つ拠点「iKaFe（あいかふえ）」を神戸市三宮に2017年に開設しました。本リサーチコンプレックスの事業化支援の拠点として、健康科学に基づいたサービス・製品の展示・紹介と体験、事業化コーディネーターによる事業化相談、シーズ発表会や市民向けセミナー、人材育成セミナーなどに活用されています。

● 健康計測会での皮膚機能計測



● 神戸市三宮に開設したリビング・ラボ「iKaFe」のオープニング



## “健康羅針盤”の実現と社会実装を目指して 産・官・学・金融の多様なプレイヤーが結集

渡辺恭良（わたなべやすよし）  
（写真最前列右端）

科学技術ハブ推進本部  
健康生き活き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラム  
参画機関の主たるメンバー（2018年4月1日時点：104機関・団体）



### 科技ハブ産連本部

科技ハブ産連本部では、大学、研究機関や産業界と協働し、理研が科学技術におけるハブの役割を担い、研究開発のネットワークを形成および強化することにより、わが国の科学力の充実に貢献するとともに、イノベーションの創出を推進します。また、研究成果の最大化および社会的課題解決のため、ニーズ探索、新技術開発テーマ創出から事業化に向けて、オープンイノベーションを推進し、組織対組織の連携による産業界との共創機能を強化します。

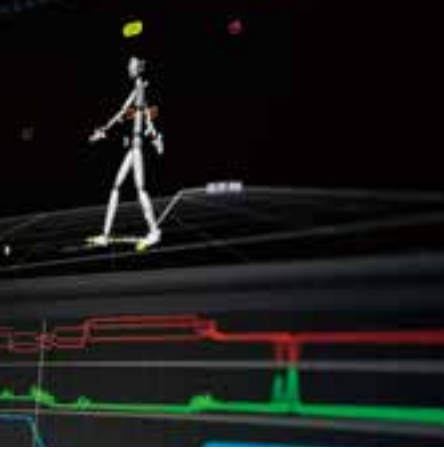
### 健康生き活き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラム

「個別健康の最大化」を目標とした融合研究開発、事業化支援、人材育成を推進し、将来にわたり健康で“生き活き”とした人生を送っていく上での指針（羅針盤）の実現・普及を目指します。健康生き活き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラムでは、科学技術振興機構（JST）の「世界に誇る地域発研究開発・実証拠点（リサーチコンプレックス）推進プログラム」に採択された課題「健康“生き活き”羅針盤リサーチコンプレックス」を、兵庫県や神戸市、大学・研究機関、企業等と共同で実施しています。

プログラムディレクター 渡辺恭良（M.D., Ph.D.）







## 情報基盤センター

※本センターは第3期中期計画で終了、第4期中長期計画で情報システム本部へ発展。

計算工学応用開発ユニット  
野田茂穂 上級センター研究員

## 寝たきりや認知症の原因にもなる、 つまずきによる転倒リスクを軽減したい

野田茂穂 (のだしげほ)  
情報基盤センター  
計算工学応用開発ユニット

研究成果

## 運動解析で“つまずき”の原因を探る

地域と連携し、高齢者の歩行を解析する

普通に歩いているつもりでも、何かの拍子につまづくことは誰にでもあることです。特に高齢者の場合、つまづく頻度は高くなり、転倒による骨折などの事故になることも少なくありません。こうした事故が、重い障害や寝たきりなどにつながることもあります。

理研では、平成27年度(2015年度)から和光市と共同で、市民から高齢者のボランティアを募り、平成27年度は74名、平成28年度は121名、平成29年度は127名の運動機能計測を実施しました。計測では、身長・体重などの基礎的な計測に加え、被験者の歩行をコンピュータで解析するための3D歩行計測も行われました。この計測は、映画やゲームなどで使用されるモーションキャプチャ技術を利用した計測方法です。被験者には、肌に密着するボディスーツを着てもらい、頭部や各関節、かかと、つま先など全身にマーカーと呼ばれる小さな白い球を合計41個装着します。また、足と腰には加速度センサーと角速度センサーも装着します。被験者にはこの状態で、圧力を感知・計測するフォースプレートの上を歩いてもらいます。その様子を16台の赤外線カメラで撮影し、マーカーの動きをコンピュータに取り込みます。計測したデータを

解析することで、歩行時の足の動きや方向、速度などを知ることができ、さらに多くの被験者による歩行データを集めることで動作の傾向を掴むことができます。

こうした解析の結果、地面とつま先のクリアランスが、腰の回転角速度と関連がありそうということが分かりました。腰の回転が速いとクリアランスは大きくなり、回転が遅いとクリアランスは小さくなる傾向があります。また、BMI\*が大きくなるほど、回転が遅くなりクリアランスも小さくなります。地面とつま先のクリアランスが小さくなると、それだけつまづくリスクが高くなります。

しかし、モーションキャプチャを使った計測では詳細なデータを取得できる反面、被験者の緊張などのため、それが完全に自然な動作のデータになるとは限りません。そこで、加速度センサーを組み込んだ小型デバイスを作成し、それを靴に装着しておくことで、日常の自然な状態での歩行データを数多く集めることができるようになります。

モーションキャプチャ計測や小型デバイスによる計測によって、高齢者がつまづいて転倒する原因を明らかにし、さらには転倒しない歩き方のアドバイスやトレーニング、運動機能回復を目的としたリハビリなどに役立てていきます。

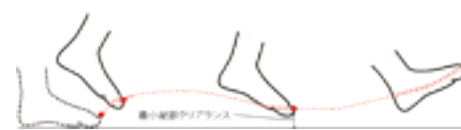
\*BMI:ボディマス指数(Body Mass Index)。身長と体重の関係から算出される人の肥満度を表す指数。数値が大きいほど肥満度が高くなる。

### ● BMIと腰の回転角速度、最小足部クリアランスの相関

歩行および運動機能においては、遊脚時と後半ピークの足のクリアランス(最小足部クリアランス)と腰の回転角速度に相関がある。したがって、腰を回転して歩くトレーニングで転倒リスクを減らすことができる可能性があることを明らかにした。BMIと腰の回転角速度の相関も見い出された。

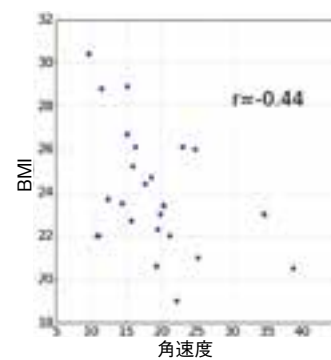


歩行計測の結果  
(つま先移動の高さ・方向・時間変化、左:高い 右:低い)。

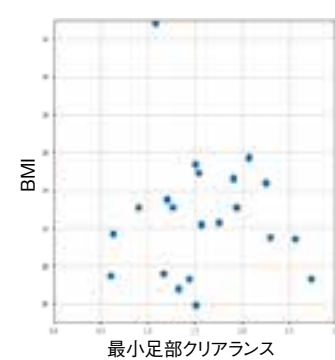


遊脚時最小足部クリアランスを求め、BMIとの相関を調べた。

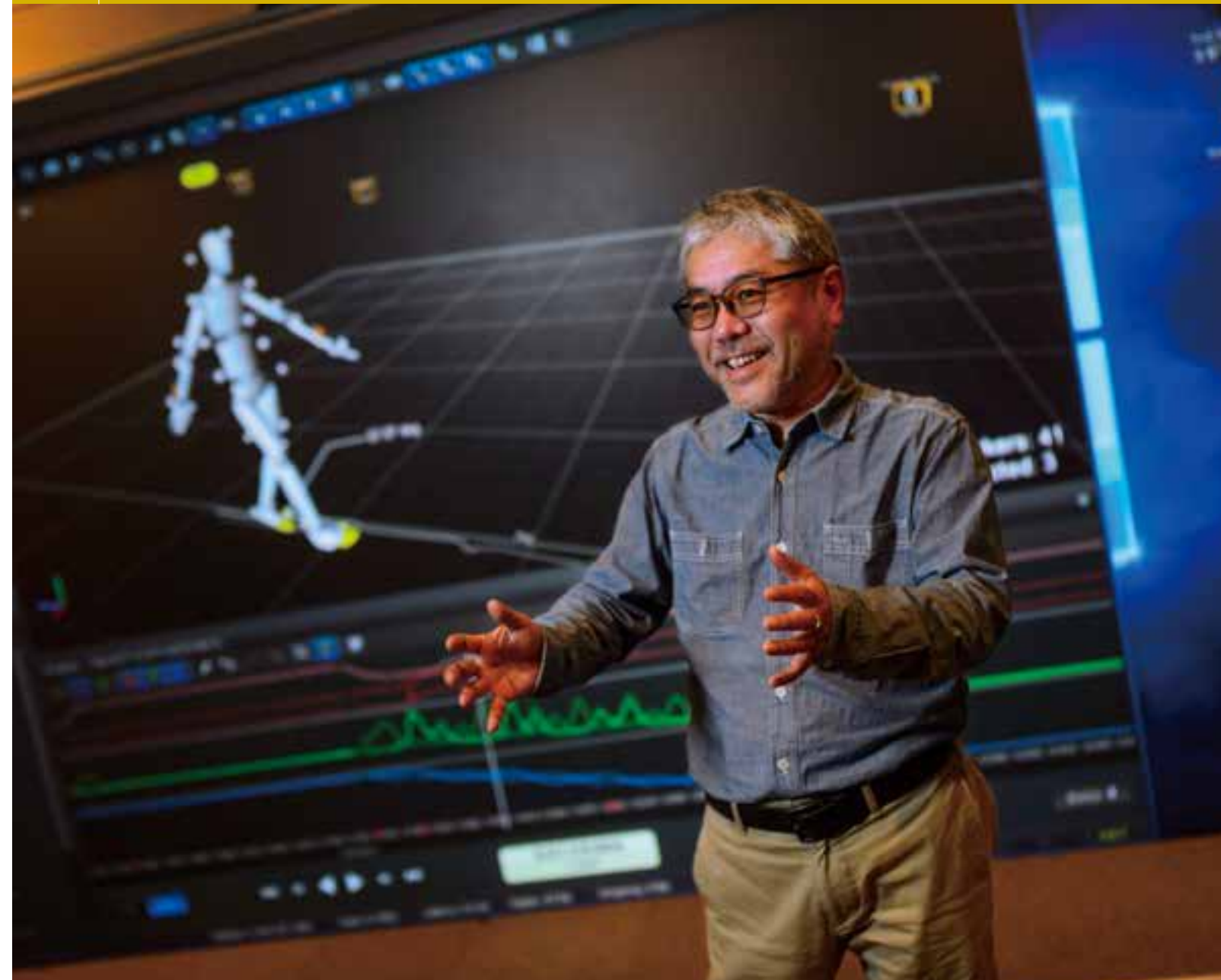
リファレンス  
健康脆弱化予知予防コンソーシアム <https://kenko.conso.riken.jp/>



痩せている人は腰をよく回しているが、太っている人はあまり腰を回さない。



最小足部クリアランスとBMIの相関。  
太っている人は比較的清アランスが小さい。



### 情報システム本部

情報システム本部は支援系部署である情報システム部および研究系部署である研究開発部門から構成されています。情報システム部では、情報化統合戦略会議およびその下に設置された委員会活動を通じ、理研における情報システム戦略の策定・実施、情報システム基盤(業務システムを含む)の企画・構築・運営や利用者支援を行っています。さらに、サイバーセキュリティ対策および情報倫理の遵守に向けたポリシー・ガイドライン策定やインシデント発生時の対応業務を行い、研究に必要な情報基盤を運用しています。研究開発部門では、理研全体および研究センター間、グループ間、そして分野横断のネットワーク型研究の連携が必要とされるインフォーマティクス(情報学・情報処理・情報システム・計算機科学)およびデータ科学に基づく研究開発とそれらを実際に用いた研究支援や研究者との連携を実施しています。



本部長 美濃 導彦(D.Eng.)





# Fact & Figures

## 理研の活動

研究成果を産業界とつなぐ技術移転、社会と理研をつなぐ広報活動など、研究開発以外の理研の活動についてご紹介します。

## シロイヌナズナを用いた研究

モデル植物のシロイヌナズナを実験材料に用いて、最先端の研究・技術基盤を活用しつつ、環境ストレス適応・耐性などに重要な制御因子や化合物の同定とその利用を進めている。



# 1

## 創立百周年記念事業

創立百周年を迎えた理研は、これまでのご支援に感謝し、社会との関わりをさらに広げるために、さまざまな事業を行っています。

1917年3月20日、わが国の産業の発展に資することを目的に、科学研究と応用研究の両方を進める初の総合研究機関として、理化学研究所が設立されました。

次なる百年においても、わが国の科学技術の向上を図り、産業界等との連携を強化し、社会から信頼されるかけがえのない研究所であり続けるために、創立百周年記念事業を行っています。

2017年度までに、理研の歴史講演会、創立百周年記念式典、理研百年展の開催、「理化学研究所百年史」の刊行等を実施しました。

### 創立百周年記念式典

天皇皇后両陛下のご臨席を仰ぎ、2017年4月26日、東京国際フォーラム(東京都千代田区)において、理化学研究所創立百周年記念式典を開催しました。

### 特殊切手「理化学研究所創立100周年」

日本郵便株式会社より、理研の研究成果をモチーフにデザインされた特殊切手「理化学研究所創立100周年」が発行されました。



2017年4月26日発行 日本郵便株式会社

### 理研百年展

一般の方々に理研を広く知っていただくために、理研百年のあゆみや社会とのつながり、研究成果を紹介する「理研百年展」を国立科学博物館をはじめ、全国5か所で開催しました。また百年展にあわせて、各地で記念講演会も開催しました。

理研各地区の一般公開、「科学講演会in金沢」でも展示を行いました。

- 国立科学博物館(東京都台東区):2017年2月28日~4月9日
- 和光市民文化センター(埼玉県和光市):2017年5月30日~6月6日
- 神戸市立青少年科学館(兵庫県神戸市):2017年7月20日~8月23日
- 仁科会館(岡山県里庄町):2017年9月16日~11月5日
- 科学技術館(東京都千代田区):2018年3月17日~4月8日



国立科学博物館での百年展  
「企画展 理化学研究所百年—お弁当箱(アルマイト)からニホニウムまで—」

### 記念誌『理化学研究所百年史』の発行など

理研設立以降の歴史、また輝かしい研究成果などを記録すべく、創立百周年記念事業の一環として、「理化学研究所百年史」(全3巻)、英文広報誌「RIKEN RESEARCH」の特集号を発行しました。また講談社から、ブルーバックス「理化学研究所 100年目の巨大研究機関」が発行されました。



「理化学研究所百年史」2018年3月20日発行



「RIKEN RESEARCH」特集号  
2017年3月24日発行



「理化学研究所  
100年目の巨大研究機関」  
山根一真(著)

### 理研の歴史講演会

先人たちが築いてきた科学技術、理研が歩んできた足跡、歴史などについて所内の職員などを対象とした歴史講演会を企画し、2015年12月から2017年3月にかけて、全10回、13名の理研内外の研究者や科学史などの専門家に講演をしていただきました。



第9回講演会



「理研の歴史講演会講演集」

### 科学道100冊の贈呈

未来の科学者たちの育成に資するため、先進的な理数系教育による創造性豊かな人材育成に取り組んでいるスーパーサイエンスハイスクール(SSH)195校に、「科学道100冊」セットを贈呈しました。(科学道100冊についてはP.68-69をご参照ください)

### 理研百年タイムカプセル

先人たちが営々と築いてきた理研百年のあゆみや現在の活動状況を後世に伝えるために、「百年タイムカプセル」を設置しました。

タイムカプセルには、理研各センターなどから寄せられたもの、創立百周年記念事業の制作物、写真などを収納しました。

また、創立百周年記念事業へ一定額以上ご寄附いただいた法人・団体のタイムカプセルもあわせて展示します。

展示場所：理研 和光地区 電気機械棟1階



タイムカプセルと展示状況





## 環境問題への貢献

理研の研究者は、地球環境および食糧問題を克服するための研究にも積極的に取り組んでいます。

### 持続的な鉛吸着材として期待できる コケの新たな生物機能を発見

大規模な鉱山開発は、私たちの暮らしや社会に多大な恩恵をもたらしてきました。一方、開発跡地では、坑口や堆積場などから重金属を含んだ廃水が持続的に流出し続けるため、わが国では、地方公共団体等が廃水処理の鉱害防止事業を実施しています。この事業は収益を伴わない持続的な事業であることから、これに要する処理費用の低減は、国民経済負担の軽減という観点からも重要な課題となっています。

この費用の主要因は、重金属除去目的の薬剤費、処理後に発生する多量の沈殿物を取り除く工費であるため、薬剤使用量や沈殿物を低減できる手法や材料の候補として、植物が持つ金属の吸収・移行・無毒化機能を利用する持続的な手法や材料が注目されています。

環境資源科学センター生産機能研究グループの井藤賀操上級研究員(現・合成ゲノミクス研究グループ)らは、キャンプファイヤー跡地など焼却灰を含む土地に生えるコケ植物ヒョウタンゴケの原系体が鉛を高濃度で蓄積することを確認していました。原系体とは、胞子が発芽後に作り出す糸状の構造体のことです。

今回は、生産機能研究グループのほか、同センターの環境代謝分析研究チーム、質量分析・顕微鏡解析ユニットなどからなる共同研究グループが、ヒョウタンゴケ細胞中の鉛の局在、吸着を担う成分、鉛吸着機能の物理化学的特性などを詳しく調べました\*1。

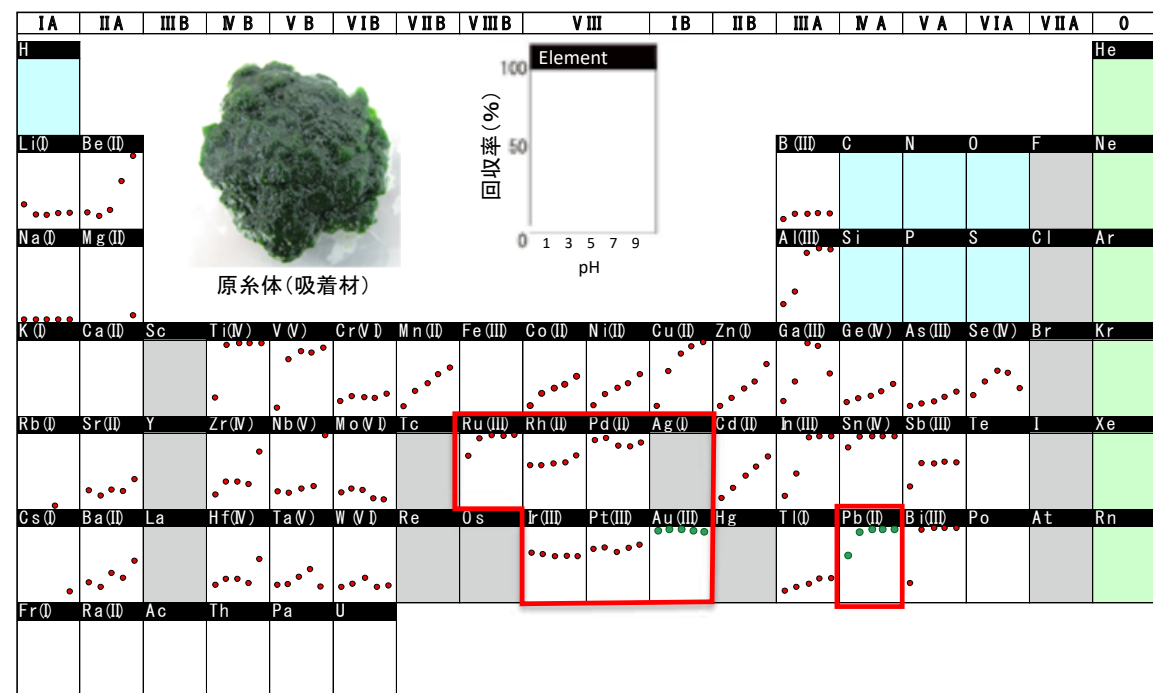
まず、原系体を恒常的に生産する方法を確立し、生産した原系体を詳しく観察。その結果、原系体は均質な繊維構造からなり、1本の繊維は細胞が長い鎖のように配列したものと分かりました。

次に、原系体を詰め込んだカラムに、鉛など15元素をそれぞれに吸着させ、蓄積量を特殊な手法(マイクロ波分解法と誘導結合プラズマ質量分析法)で調べました。その結果、原系体の乾燥重量あたり、鉛を最大で74.1%も蓄積していると分かりました。次いで多かったのは金で11.3%でした。

鉛が細胞のどこに蓄積するのかについては、2つの手法(エネルギー分散型のX線分析法と蛍光X線分析法)を用い、細胞壁部分であることを特定し、鉛の吸着を担うのはポリガラクトン酸とセルロースであると突き止めました。さらに、原系体は鉛、金、白金族の元素を、酸性から塩基性の幅広いpHでよく吸着することを確認し、海水のような溶液中でも脱着しない高性能な吸着材になり得ることも示しました。

現在、国連主導で17の「持続可能な開発目標(SDGs)」が定められ、その一つ「陸の豊かさを守ろう(Life on land)」では、陸上生態系の保護、回復および持続可能な利用の推進などが掲げられています。今回の成果は、こうした取り組みに寄与するものと期待されます。

● ヒョウタンゴケの鉛吸着性能の評価(pHの影響)



幅広いpH条件下で40の元素を対象とした吸着性能を確認した。その結果、ヒョウタンゴケの原系体は、鉛(Pb)、金(Au)、白金族(ルテニウム:Ru、ロジウム:Rh、パラジウム:Pd、イリジウム:Ir、白金:Pt)の金属類をよく吸着すると分かった。縦軸は回収率、横軸はpHの値。なお、赤枠は、重金属浄化、有価金属リサイクル回収の両カテゴリーにおいて共同研究グループが注目している元素。値を緑色表示しているPbとAuは、重金属浄化、有価金属リサイクル回収の両カテゴリー中でもっとも蓄積量が高かった金属。

リファレンス  
\*1 鉛吸着材に使えるコケの新たな生物機能を発見 [http://www.riken.jp/pr/press/2018/20181107\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2018/20181107_1/)

### 放線菌に石油代替物質を 効率よく作らせる

地球上の資源には限りがあり、石油については「採可年数はあと半世紀足らずではないか」との声もあります。代替燃料として、サトウキビやトウモロコシを発酵させて作るバイオエタノールも利用されていますが、生産効率や食糧穀物との競合など、解決すべき問題が多く残されています。

環境資源科学センター天然物合成研究ユニットの高橋俊二ユニットリーダーらの国際共同研究グループは、土壌中などの自然界に広く生息する放線菌という微生物を利用し、ポツリオコッセンという炭化水素を高生産させることに成功しました。\*1 ポツリオコッセンは、テルペノイド(炭素5個のイソプレンを構成単位とする化合物)の一つで、石油代替物質として利用できるとされています。放線菌は、抗生物質を含め多様な代謝産物を作り出すことで知られています。代謝産物のテルペノイド化合物の中には、医薬品、機能性食品素材、芳香剤などの原料として使われているものもあります。

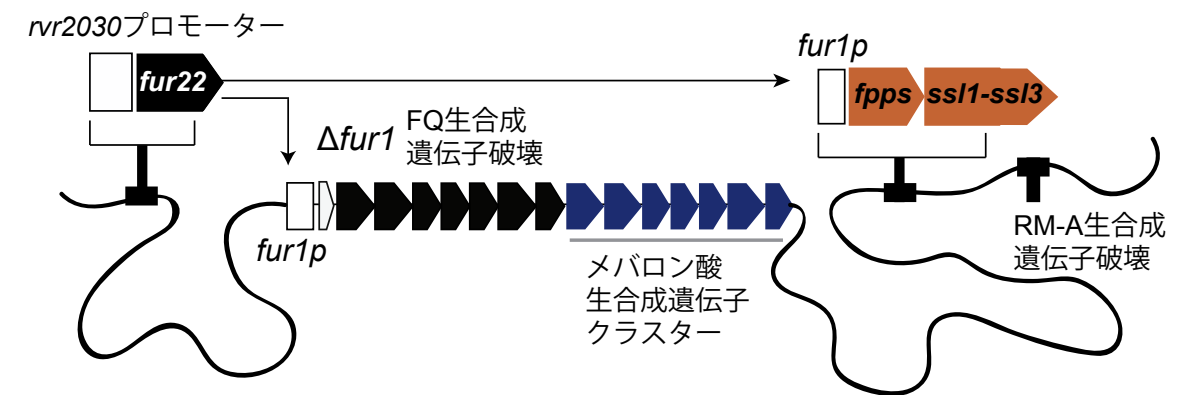
放線菌は、アセチルCoAという一次代謝産物を使って、二次代謝産物であるテルペノイド化合物を作り出します。これまでに高橋ユニットリーダーらは、主要二次代謝産物の遺伝子を破壊し、遺伝子の発現スイッチを制御するタンパク質(転写因子)を強制的に働かせることによって、休眠遺伝子の覚醒や目的とする二次代謝産物の

産生ルートを増強させる手法を検討してきました。今回は、「テルペノイド化合物を作り出す遺伝子群(メバロン酸合成遺伝子クラスター)の発現スイッチ」をオンにするために、転写因子Fur22を活用しました。強力なプロモーターをfur22遺伝子に導入して、本研究用に構築した放線菌株のゲノムに組み込み、放線菌がテルペノイド化合物を多く作り出すようになるかどうかを検討しました。ところが、予想に反して目標とするテルペノイド化合物の高生産を達成できませんでした。

そこで、新たなプロモーター探索を進めることにしました。ただし、放線菌の二次代謝産物生産が始まる培養後期の遺伝子発現を解析することは難しいため、プロテオーム解析法によりタンパク質の発現パターンを調べた結果、RVR2030を見出しました。今度は、rvr2030遺伝子のプロモーターをfur22に連結した遺伝子セットを放線菌に導入し、メバロン酸合成遺伝子クラスターおよび緑藻由来のポツリオコッセン合成酵素遺伝子の一括制御を検討しました。すると、ポツリオコッセンを0.2g/Lという高効率で作ることが確認されました。\*2

これらの研究成果は、石油代替資源生産のみならず、新たな天然化合物の生産プラットフォームとして利用が期待されます。

● ポツリオコッセン生産のプラットフォーム



メバロン酸合成遺伝子クラスター(青)、テルペノイド二次代謝産物合成遺伝子群(fpps, ssl-1, ssl-3, 茶)を転写因子Fur22により一括制御するシステム。転写因子fur22遺伝子は、rvr2030プロモーターにより制御される。

リファレンス  
\*1 放線菌を用いたポツリオコッセン生産 [http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171212\\_1/](http://www.riken.jp/pr/press/2017/20171212_1/)  
\*2 Khalid, A. et al. ACS Synth. Biol. 6 (12): 2339-2349, 2017. doi: 10.1021/acssynbio.7b00249.



# 3

## 研究成果・研究協力

国内各地の拠点で精力的に研究を進める一方、国内外の研究機関・大学とも手をつなぎ、理研の研究の効果的な推進に努めています。

理研は、研究成果を論文や学会発表という形で、研究者コミュニティに向けて発信しています。理研の研究活動のレベルの高さは、論文発表数と被引用数のデータにはっきりと表れています。

### 年間論文数とそれらの被引用状況

理研は2008年以降、年間2,200報以上の論文発表を続けており、2017年は2,672報を発表しました。また、それらの論文のうち、被引用数が世界で上位10%に入る論文の割合は2008年以降、2割程度を維持しています。

これは、理研の論文が、多くの研究者に引用される、質の高いものであることを示しています。2016年の被引用数上位10%の論文の割合は24.2%で、国内外の主要な研究機関と比較しても、優れた数字となっています。現状に満足することなく、今後とも、研究のレベルと論文の質をさらに高めていきます。

### 論文の被引用数

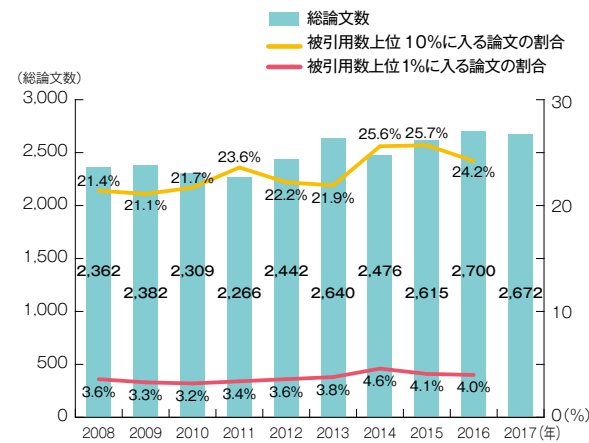
理研の10年間の論文数は25,131報で、これらの被引用数はのべ約54万回にのびます。1論文あたりの平均被引用数は、21.52回であり、世界的にみても高い回数となっています。

理研の特徴は質の高い論文の割合が高いことで、2018年のクラリベイト・アナリティクス社（旧トムソン・ロイターIP&Science）による日本の研究機関の高被引用論文数のランキング\*では国内3位となっていますが、高被引用論文の割合は2.5%と、発表された20機関の中でもトップクラスであり、他の機関と比べて高いレベルを維持しています。

日本で唯一の自然科学の総合研究所である理研は、同社データベース「Essential Science Indicators」で定義されている22分野のうち12分野が、世界で理研が強みを発揮している分野となっています。物理、化学、生物学・生化学等々と、幅広い分野で研究成果を挙げています。

\*クラリベイト・アナリティクス社プレスリリース(2018年4月19日付)

#### ● 理研の年間論文数とそれらの被引用状況



クラリベイト・アナリティクス社のデータベースを基に作成(2018年5月14日時点)  
\*ドキュメントタイプはArticle、Reviewに限定

#### ● 理研の論文の被引用数に関するデータ

(対象期間:2008年1月~2018年2月)

分野	論文数	被引用数	1論文あたりの被引用数
物理学	7,238	128,417	17.74
分子生物学・遺伝学	2,983	110,728	37.12
生物学・生化学	3,158	57,068	18.07
化学	3,234	52,477	16.23
植物学・動物学	1,485	43,487	29.28
神経科学・行動科学	1,695	40,229	23.73
免疫学	714	29,232	40.94
臨床医学	1,246	25,475	20.45
材料科学	620	13,419	21.64
微生物学	488	6,627	13.58
薬理学・毒物学	372	4,676	12.57
工学	365	3,075	8.42
上記分野を含む全分野	25,131	540,917	21.52

クラリベイト・アナリティクス社のデータベースを基に作成

理研は国内外の研究機関・大学などと研究協力協定、覚書、共同研究契約などを結んでいます。

その内容は研究者・学生などの交流やセミナー・シンポジウムの開催、あるいは共同研究などで、連携大学院協定(P.64-65参照)も含まれます。2016年に策定した科学力展開プランに基づき、大学・研究機関・産業界と協働し、研究開発のネットワークを形成・強化することで、理研が科学技術におけるハブの役割を担っていきます。

### 包括協定・覚書の締結

これまでに、ドイツのマックス・プランク研究所、フランスのバスツール研究所、中国科学院など、世界トップクラスの研究機関や大学との間で研究協力協定・覚書などを締結し、理研の研究の効果的な推進に努めると同時に、各国の政府機関なども覚書を締結し、組織的な連携を図っています。これらの活動は、世界における理研の存在感の向上につながっています。

2017年度は、米国のローレンス・バークレー国立研究所、カリフォルニア大学バークレー校、インド国立生物科学センターなどとの間で協定・覚書を締結しました(右の表)。この他にも、各研究センターにおける協定や連携大学院協定が新たに結ばれ、2017年度末時点で、海外17か国・地域との間で、のべ34の協定や覚書などを締結しています(右下のグラフ)。

これらの協定や覚書をもとに、ドイツのマックス・プランク研究所、韓国の生命工学研究院、中国の西安交通大学、清華大学、中国科学院上海光学精密機械研究所、ロシアのカザン連邦大学、マレーシア科学大学、シンガポールの南洋理工大学などと連携研究センターや連携研究室を設置し、グローバルな研究ネットワーク・拠点を活用した連携協力を進めています。また、人材育成制度の共同運営などの取り組みをはじめとし、外国の研究機関などとの新しい形の連携関係構築を目指しています。

国内でも、京都大学や産業技術総合研究所などと基本協定を締結し、これらの機関との機関レベルでの連携を推進しています。また、理研の研究成果を医療応用に結び付けることを目的とした医療機関との連携や、地方創生に関わる地方自治体との連携なども推進しています。



南洋理工大学との連携ラボ設置に関する打ち合わせの様相(2017年9月15日)



理研が事務局を務める世界研究機関長会議の様相(2017年9月30日)  
(前列右から、産業技術総合研究所 中鉢良治 理事長、フランス CNRS アラン・フックス 総裁、STSフォーラム 尾身幸次 創設者兼理事長、理研 松本紘 理事長、理研 ステファン・ムレン 相談役)

#### ● 2017年度に締結した主要な国内協定・覚書

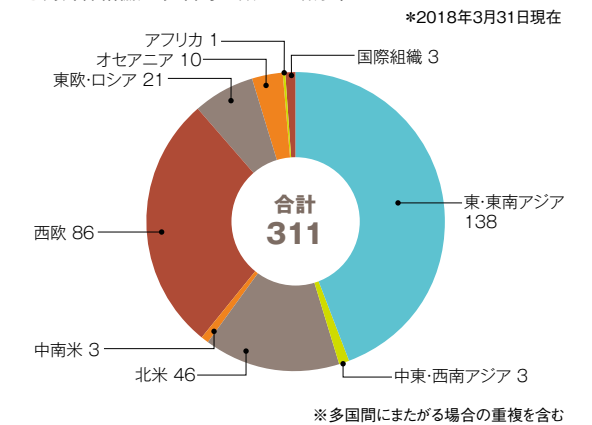
相手機関	種類	発効年月
静岡県	連携・協力に関する協定	2017年4月
国立大学法人名古屋大学	基本協定	2017年6月
国立研究開発法人水産研究・教育機構	連携・協力に関する協定	2017年7月
神戸市・公益財団法人先端医療振興財団、地方独立行政法人神戸市民病院機構など	連携に関する覚書	2017年10月
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構	連携・協力に関する協定	2017年12月
国立大学法人広島大学	基本協定	2018年3月

#### ● 2017年度に海外と締結した主要な協定・覚書

相手機関	種類	発効年月
ローレンス・バークレー国立研究所	協力覚書	2017年8月
カリフォルニア大学バークレー校	協力覚書	2017年8月
インド国立生物科学センター	協力覚書	2017年9月

2018年3月31日末で、包括協定(基本協定)を締結している機関は、海外17か国・地域の34機関

#### ● 海外締結協定・覚書等の数の地域分布



\*多国籍にまたがる場合の重複を含む



# 4

## 技術移転・産業界との連携

「科学技術の基礎研究を進め、その成果によって産業の発展を図る」。これは、1917年の設立以来、理研が受け継いできた理研精神です。理研では産業界と連携する取り組みを実践し、研究成果の実用化を推進しています。

産業界へ効率的に技術移転するためのモデルとして、理研は、「バトンゾーン」という概念を提唱しており、それを具現化する次の制度を運用しています。

### 産業界との融合的連携研究制度

企業からの提案を受け、チームリーダーを企業から受け入れて時限的研究チームを編成するという企業側のイニシアチブを重視した研究プログラムで、企業と理研が一体となって研究開発を進めています。

### 特別研究室制度

優れた研究者を招聘し、企業などから受け入れる研究資金により特定の研究テーマを推進しています。

### 特別ユニット制度

外部研究資金を活用して、産業界などとの連携を通じて実用化を目指した研究開発を実施しています。

### 理研産業共創プログラム制度

理研と企業のマネージメント層、研究者・技術者が、多様な技術および知見を持ち寄り、未来社会を見据えながら社会的課題の解決に向けた議論を行う組織（プロジェクト）を理研のプログラム内に設置します。包括的な連携体制のもと、幅広い技術領域の理研の研究者や企業の技術者が議論を行い、共創テーマなどを創出し、本格的な共同研究や大型連携研究につなげていきます。

### 産業界との連携センター制度

企業からの提案をもとに、中・長期的なテーマに取り組むため、理研の各研究センター内に「連携センター」を設置し、推進する制度です。連携センターの名称には企業名を冠することができます。

### 企業共創活動

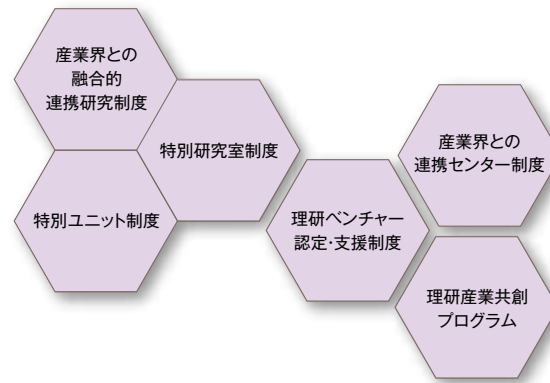
産業界と理研のさまざまな分野の研究者、およびその成果を結ぶ活動を行っています。企業のニーズと理研のシーズとをマッチングする会合を開催し、事業開発ニーズに見合った研究戦略を立案します。また、産業界との融合的連携研究制度の活用から連携センターの設立まで、企業の中・長期的な課題解決に適した連携形態を提案します。

### 理研ベンチャー認定・支援制度

理研の研究成果を中核技術として起業し、その実用化・事業化を図ることを事業目的とし、一定の要件を満たした企業を、理研は「理研ベンチャー」と認定し支援を行っています。これらの認定・支援措置は理研ベンチャーの事業の推進力となり、研究成果の迅速な実用化と普及に役立っています。



#### ● 産業界との連携を具現化する制度・プログラム



#### ● 成果例

##### 人工硬膜「デュラビーム®」

エムスリー株式会社の子会社である株式会社多磨バイオが、理研が有する高分子樹脂を特殊加工する技術を用いて、人工硬膜「デュラビーム®」を開発しました。その後、2017年9月に同製品の製造販売承認を取得し、2018年度より臨床で使用することになりました。本製品は、生体適合性が高く、従来に比べ手術時間も短く、感染リスクが減ることが期待されています。



(写真提供:エムスリーアイ株式会社)

##### 水素生成器「ハイドリッチ® Special Edition」

株式会社バルコーポレーションは、水素発生剤とその装置に関して、理研 中村特別研究室との共同研究成果を活用し、水素ガス生成器「ハイドリッチ® Special Edition」を製品化しました。同研究室は、量子化学・計算科学を専門とし、本共同研究では、反応系での水素発生材料、水、水蒸気の状態に着目し、水素発生効率を向上させる反応制御機構の解析に貢献しました。



(写真提供:株式会社バルコーポレーション)

研究成果の実用化には特許が重要です。理研では、特許を戦略的に取得し、企業に利用してもらうための技術移転活動を推進しています。

### 特許の取得

特許出願にあたっては、戦略的な特許出願を行うパテントリエゾンスタッフと、技術移転のプロである実用化コーディネーターが、案件ごとにチームを組み、発明者からのヒアリングを行っています。研究成果をより効率的に実施化につなげるため、追加データを取得することにより特許の強化に努め、海外における実施可能性を精査し、外国特許出願も行っています。また、保有する特許についても一定期間ごとに実施可能性を検証し、当該特許の維持の必要性を見直すことにより、効率的な維持管理を実施しています。

その結果、2017年度の特許出願件数は国内、海外合わせて393件となり、実施率36%\*となりました。

\*実施率=実施特許件数/(特許権+特許出願中の件数)

### 技術移転活動

保有する特許を企業に利用してもらうことで研究成果を社会に還元するため、理研では、実用化コーディネーターが企業へ技術を紹介することや、研究者が展示会やセミナーで研究成果を発表するなどのさまざまな技術移転活動を行っています。

また、理研が保有する特許情報をホームページ上で公開し、企業が特許情報を入手できるように工夫しています。

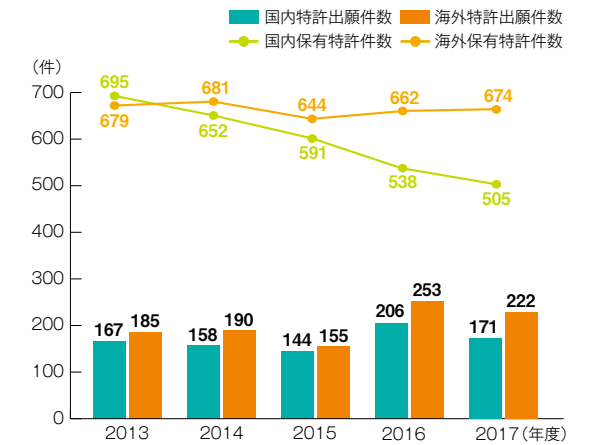
<http://www.riken.jp/outreach/ip/>

#### ▶▶「産学連携メールマガジン」配信中

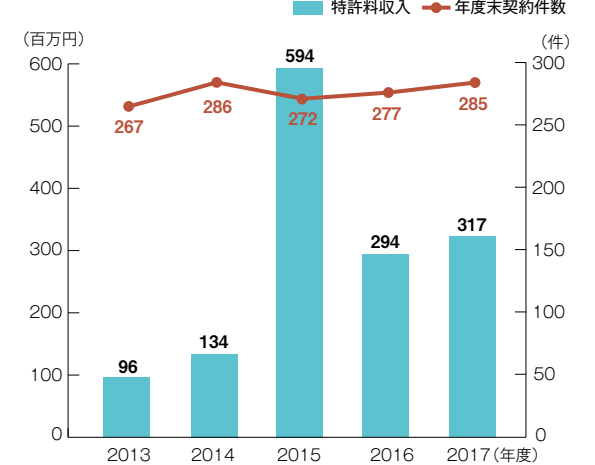
産業界との密接な連携を図るため、理研の産学連携・知的財産に関する情報をメールで配信しています。  
[http://www.riken.jp/pr/services/mail\\_collaboration/](http://www.riken.jp/pr/services/mail_collaboration/)



#### ● 特許出願件数と保有件数の推移



#### ● 特許料収入の推移





# 5 人材育成

理研は次代の研究を担う有為な人材の育成を大きなミッションと考え、そのためのさまざまな制度を設けています。

理研は、若手研究者を育てるさまざまな制度を設けています。

学生向けの制度としては、大学院生リサーチ・アソシエイト(JRA)制度、国際プログラム・アソシエイト(IPA)制度があります。

また、理研には連携大学院制度があり、大学より学生の受け入れと理研の研究者への教育経験の支援を行っています。

こうした制度以外でも、多くの学生を研修生として受け入れ、指導を行っています。

若手研究者向けとしては、基礎科学特別研究員(SPDR)制度があり、2017年に理研白眉制度もスタートしました。

## 大学院生リサーチ・アソシエイト(JRA)制度

大学院博士課程在籍者を理研に受け入れ、理研の研究者とともに研究する機会を設けることにより、次代を担う研究者を育成する制度です。1996年度にジュニア・リサーチ・アソシエイト制度として創設され、2009年度に現在の制度に変わりました。JRAは、連携大学院および研究協力などの協定もしくは共同研究契約を締結している大学院の在籍者から公募・選考・採用されます。契約期間は最長3年間(標準修了年限が4年の場合は4年間)で、その間に博士号の取得を目指します。

◎2017年度新規採用者数:60名

◎2017年度在籍者数:139名(上記新規採用者を含む)



毎年多数のJRA、IPAなどの若手研究者が参加するRIKEN Summer School。ポスターセッションなどで活発な議論が交わされる。

## 国際プログラム・アソシエイト(IPA)制度

国際連携大学院協定を結んでいる海外の61大学(右の表)、および国内の連携国際スクール覚書締結校(9大学)を通じて、外国籍を有する大学院博士後期課程履修予定・在籍者を受け入れ、理研の研究者が博士課程研究を指導する制度です。IPAは理研から、原則3年間を上限として滞在費や宿泊費などの支給・補助を受けることができます。2006年度に開始されプログラム修了者から順次博士号取得者が出ています。また、2010年度から、国外からの招聘者の受け入れ機会をより増やす上で、短期間の受け入れプログラムの試行を始めました。

◎2017年度新規採用者数:24名

◎在籍者数:73名(上記新規採用者を含む)



国際プログラム・アソシエイト(IPA)として研鑽を積む。

### ●国際連携大学院協定校一覧

中国	モンゴル	イギリス
北京大学	モンゴル国立大学	リバプール大学
西安交通大学	インド	スウェーデン
大連理工大学	インド工科大学ボンベイ校	カロリンスカ研究所
湖南大学	パキスタン	デンマーク
上海交通大学	パンジャブ大学	コペンハーゲン大学
華中科技大学	インドネシア	フランス
華東理工大学	バジャラン大学	カーン大学
吉林大学	バンドゥン工科大学	リヨン第一大学 (UCBL)
浙江大学	インドネシア大学	ストラスブール大学
ハルビン工程大学	シンガポール	パリ南大学
蘭州大学	南洋理工大学	ドイツ
中国科学院(金属研究所、近代物理研究所、大連化学物理研究所)	マレーシア	チュービンゲン大学
廈門大学	マレーシア科学大学	グライフスヴァルト大学
北京中医药大学	マラヤ大学	ビールフェルト大学
台湾	マレーシア工科大学	スイス
国立清華大学	タイ	ETH チューリッヒ校
国立交通大学	マヒドン大学	イタリア
国立台湾大学&中央研究院	ベトナム	トレント大学
台北医学大学	ベトナム国立大学・科学大学(旧ハノイ科学大学)	アメリカ
韓国	ベトナム農業科学院	イリノイ大学シカゴ校
浦項工科大学校	フィリピン	カナダ
高麗大学校	フィリピン大学ディリマン校	マギル大学
国立ソウル大学校	オーストラリア	ブラジル
国立慶北大学校	ニューサウスウェールズ大学	サンパウロ大学
延世大学校	ロシア	
漢陽大学校	カザン大学	
梨花女子大学校	ロシア連邦南大学	
韓国カトリック大学校	モスクワ物理工科大学	

\*2018年4月1日現在

## 連携大学院制度

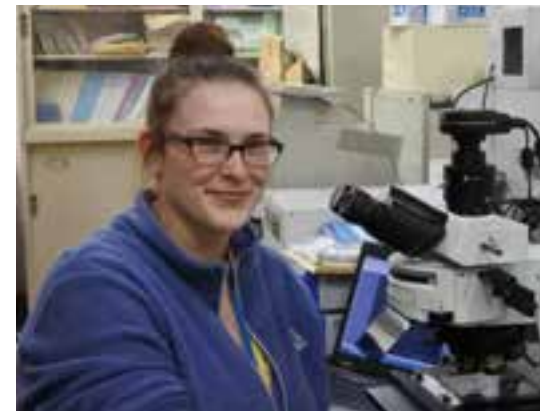
理研の研究者が国内の大学の教員との間で研究協力を行うとともに、大学から大学院生を理研に受け入れて、客員(連携)指導教員として博士課程や修士課程の研究指導を行う制度です。実質的なスタートは1989年度で、2018年4月1日現在、国内の42大学との間で連携大学院の協力をを行っています(右の表)。

## 基礎科学特別研究員(SPDR)制度

自然科学の博士号を取得した(見込みを含む)若手研究者を理研の任期制研究員として採用し、本人が希望する研究課題と理研の研究領域を勘案して設定した研究課題を、自由な発想で主体的に研究できる場を提供する制度で、1989年度に創設されました。SPDRは公募・選考により採用され、契約期間は3年間です。基礎科学特別研究員は国籍にかかわらず応募が可能で、国内外から国際的に優秀な研究者の受け入れを目指します。

◎2017年度新規採用者数:61名

◎在籍者数:144名(上記新規採用者を含む)



活躍する基礎科学特別研究員(SPDR)

## 理研白眉制度

並外れた能力を持つ若手研究者に研究室主宰者(理研白眉研究チームリーダー)として独立して研究を推進する機会を提供し、理研白眉研究チームリーダー間の積極的な交流を促すことで、広い視野を持つ国際的な次世代リーダーの養成を目指しています。2017年に創設されました。研究分野としては、人文社会科学との境界領域を含む自然科学全般(数理科学を含む)で、未着手の研究領域や人類社会が直面する課題など、科学的、あるいは、社会的にインパクトの高い野心的な領域を対象としています。任期は7年で長期的に自由な研究環境を提供するとともに、広い層からの逸材を得るため、博士の学位取得は応募要件としていません。

◎2017年度選考内定者数:3名(2018年度着任予定)

### ●国内連携大学院一覧

埼玉大学大学院	東京医科歯科大学大学院
筑波大学大学院	長岡技術科学大学大学院
東京理科大学大学院	大阪大学大学院
東洋大学大学院	北海道大学大学院
東京工業大学大学院	立命館大学大学院
東北大学大学院	首都大学東京大学院
立教大学大学院	早稲田大学大学院
千葉大学大学院	群馬大学大学院
兵庫県立大学大学院	芝浦工業大学大学院
東京電機大学大学院	名古屋大学大学院
東京大学大学院	慶應義塾大学大学院
横浜市立大学大学院	広島大学大学院
九州工業大学大学院	同志社大学大学院
神戸大学大学院	岐阜大学大学院
京都大学大学院	岡山大学大学院
奈良先端科学技術大学院大学	東京農工大学
東邦大学大学院	神戸学院大学大学院
関西学院大学大学院	徳島大学大学院
新潟大学大学院	和歌山大学大学院
お茶の水女子大学大学院	明治大学大学院
順天堂大学大学院	九州大学大学院

\*2018年4月1日現在



# 6 広報活動(1)

理研の研究活動を広く国民の皆さまにご理解いただき、国民の皆さまと理研との信頼関係を構築するため、絶えず情報発信を行っています。

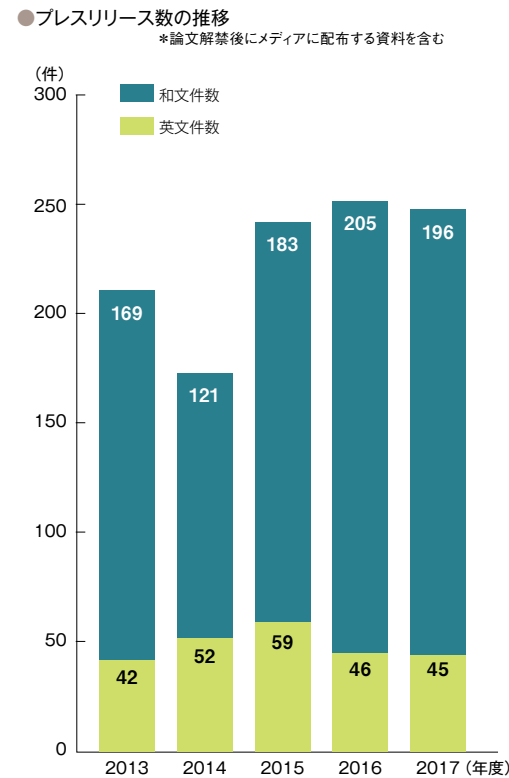
国民の皆さまと理研の相互理解を深め、信頼いただけるよう、また科学リテラシー向上にも貢献できるよう、さまざまな広報活動を行っています。プレスリリースや理研ウェブサイトなどによる研究活動や成果の発信、イベント開催などの機会においては、皆さまの理研に対する要望もお聞きして、活動につなげています。また、社会への知の還元の一つとして地域貢献活動にも積極的に取り組み、科学が文化の重要な要素の一つであることが実感できるような、双方向のコミュニケーション活動を進めていきます。

## プレスリリース

新聞などのメディアを通じて理研の活動を知っていただくために、最新の研究成果を中心にプレスリリースを行っています。2017年度は、洗濯可能な超薄型有機太陽電池(9月19日)、急性骨髄性白血病を克服する治療法(10月26日)、脳の深部を非侵襲的に観察できる人工生物発光システムAkaBLI(2月23日)などの研究成果を発信しました。

## イベント

理研が推進している最先端の科学研究を紹介し研究の意義などを伝える「科学講演会」や、科学技術館(東京都千代田区)で4月を除く毎月第3日曜日に開催する「理研DAY:研究者と話そう」を実施しています。このほか、各事業所、センターにおいてシンポジウムやサイエンスカフェ、サマースクールなどの実施、市民まつりや各種展示会への出展を行っています。また、2014年度から、広報活動の一環として「理研グッズ」の販売を開始しました。イベント(科学講演会、和光市民まつり)で職員による販売を行うほか、科学技術館ミュージアムショップ、和光市福祉会館売店、科学技術広報財団のウェブサイトでも販売しています。理研グッズは、理研と多くの方々との結びつきがより広く、深く、強くなることを目指しています。



●国内でのおもなイベント

- 

◀科学講演会2017  
「理研百年～新たな百年へ～」をテーマに2017年11月3日に丸ビルホール(東京都千代田区)にて開催。
- 

◀理研DAY:研究者と話そう  
4月を除く毎月第3日曜日に科学技術館(東京都千代田区)にて開催。
- 

◀理研グッズ  
2017年度には理研のキーコンセプト「科学道」の文字をデザインしたシリーズも登場。

## 一般公開

年に一度、各地区で施設を公開し、広く国民の皆さまに研究現場を見ていただき、研究内容について研究者と直接話す機会を設けています。2017年度に全所で開催した一般公開への来場者は30,825名でした。



一般公開(2017年4月22日 和光地区)

## YouTube「RIKEN Channel」

動画配信サイト「YouTube」に開設している公式チャンネルです。理研の最先端科学を分かりやすく解説した広報ビデオ「科学のフロンティアシリーズ」や理研の歴史を紹介する映像など、さまざまな動画を掲載しています。

<http://www.youtube.com/user/rikenchannel/>

## 広報出版物

研究活動や成果を分かりやすく伝える出版物として、和文広報誌「広報誌RIKEN」(発行部数5,000部/年)のほか、和文月刊誌「理研ニュース」(発行部数9,000部/月)、子ども向け冊子「理研の博士に聞いてみよう!」(発行部数15,000部/年)を発行するほか、各種パンフレットを制作しています。ウェブサイトでも読むことができます。

<http://www.riken.jp/pr/publications/>

<http://www.riken.jp/pr/fun/kids/>

## 国際広報

国際広報では、理研が最先端の研究機関であること、およびその科学技術水準の高さや学際性、持続的な社会の実現への貢献を示すことにより、優秀な研究者の獲得、若手研究者の育成、国際的な認知度の向上、海外の優れた研究機関・大学との連携促進などへ寄与することを目標としています。そのため、英文でのプレスリリース、季刊広報誌「RIKEN Research」、パンフレット「At a glance」、ブログ「It Ain't Magic」などで研究成果や社会への貢献を積極的に発信するとともに、YouTubeなどのソーシャルメディアを通じて、理研の優れた研究環境や日本での生活のしやすさをアピールしています。また、海外ジャーナリストとのネットワーク構築のため、アメリカ科学振興協会などが開催する国際的な科学イベントへの参加や、海外メディアへのプレスツアーの開催などを積極的に行っています。

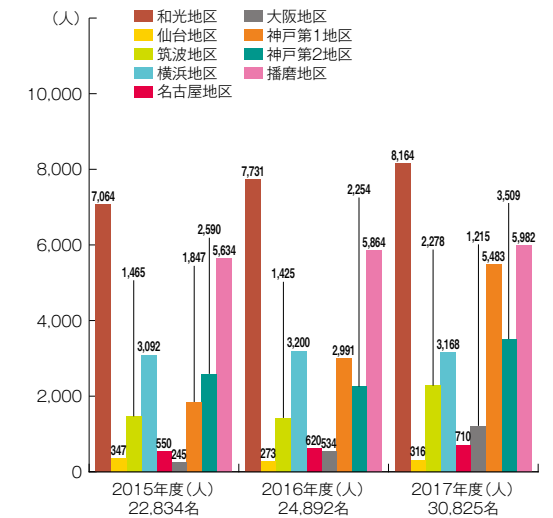
<http://www.riken.jp/en/>

<http://www.riken.jp/en/research/rikenresearch/>

<http://itaintmagic.riken.jp/>

<https://www.youtube.com/channel/UCyE-1A10fTrOsoYT-whBwoQ>

●一般公開来場者数の推移



\*2017年度の神戸第1地区は、東・西エリア計3か所での受付人数の合計。



Facebookでも海外に情報を発信しています。  
<https://www.facebook.com/RIKEN.english>



# 6

## 広報活動(2)

創立百周年を迎え、科学を担う理研の姿勢を「科学道」と表現しました。  
科学道を使った広報活動を進めています

# 科学道

Dreams to the Future

1917年、理化学研究所は誕生しました。そこから多くの科学者たちが科学の力を信じ、社会への貢献を胸に、科学の道を歩んできました。  
私たちはこれからも広い視野と長期的視点に立ち、全職員が次の100年を創る科学研究を真摯に進めてまいります。次世代にふさわしい豊かで明るい社会を生み出すために、科学の基盤づくりと新しい科学の創造を目指します。  
未知への探求と社会への貢献を、これからも。

### 科学道100冊と科学道100冊ジュニア

未知に挑戦しながら未来を切り開いていく科学者の見方、生き方、考え方に着目し、科学者の思考プロセスを6つのテーマに分けて100冊の本を選びました。身のまわりの疑問からはじまって、好奇心のままに探索し、試行錯誤の実験を経て、イメージを形にしなが未来を切り開いていく。このプロセスは科学者だけでなく、あらゆる生きる力に応用できる「方法」のフォーマットです。科学道100冊は中学生から大人に向けて、科学道100冊ジュニアは小学生から高校生に向けて選書しています。

#### 科学道100冊



#### 1. はじまりは疑問

誰もが見過ごしてしまうような素朴な疑問から科学の道ははじまる。ひらめきをつかまえる20冊。



【世界一素朴な質問、宇宙一美しい答え  
—世界の第一人者100人が100の質問に答える】  
ジェンマ・エルウィン・ハリス(編)  
西田美緒子(訳) タイマタカン(絵)  
河出書房新社2013

#### 2. 果てしない収集

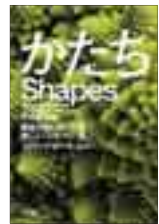
美しい蝶を追いかけるように「夢中になる」ことは最高の学び。科学少年の情熱が詰まった20冊。



【世界一うつくしい昆虫図鑑】  
クリストファー・マーレー(著)  
熊谷玲美(訳)  
宝島社2014

#### 3. 導かれたルール

身の回りに目を凝らしてみると驚くべきヒミツの法則が見えてくる。自然の方程式を解く15冊。



【かたち —自然が創り出す美しいパターン1】  
フィリップ・ボール(著)  
林大(訳)  
早川書房2016

#### 4. めくるめく失敗

実験と失敗を繰り返しながら数々の大発見をしてきた科学者たち。失敗は成功へのプロセスだと気づく15冊。



【偉大なる失敗  
—天才科学者たちはどう間違えたか】  
マリオリヴィオ(著)  
千葉敏生(訳)  
早川書房2015

#### 5. まるで魔法

今では当たり前に見えるものも世界を変える大発見だった！科学の技術革命をたどる15冊。



【世界をつくった6つの革命の物語  
—新・人類進化史】  
スティーブン・ジョンソン(著)  
大田直子(訳)  
朝日新聞出版2016

#### 6. 未来のはじまり

AI、VR、ビッグデータ…世界はどんなふうに変っていくのか。科学の視点から未来を見通す15冊。



【人間と機械のあいだ  
—心はどこにあるのか】  
池上高志、石黒浩(著)  
講談社2016

**理研の科学道**  
DEFINING "KAGAKUDO"

**理研が担う**  
STAYING LOYAL TO OUR VALUES

- 人を育て弛まなく研究を進める  
Furthering science by contributing to the growth of researchers
- 科学で新しい価値を生み出す  
Giving birth to new ideas through science
- 科学の輝きを世界へ放つ  
Sending the brilliance of science into the world

**理研が育む**  
NURTURING SCIENTIFIC CULTURE

- 垣根なく切磋琢磨する  
Working tirelessly together across boundaries
- 至高の科学力を支える  
Maximizing our scientists' potential
- 新しい科学を創り出す  
Bringing forth truly new science

**理研に集う**  
ENDEAVOR TOWARD THE FUTURE

- 自然に対する畏敬の念を持つ  
Maintaining a spirit of inquiry and an awe of nature
- 自由な発想で真理に迫る  
Pursuing truth driven by free thinking
- 未知に果敢に挑戦する  
Boldly challenging the unknown

理研は編集工学研究所と協力し、書籍を通じて科学者の生き方・考え方や科学の面白さを素晴らしさを伝える「科学道100冊」と「科学道100冊ジュニア」を全国の教育機関、図書館、書店で展開しました。

【展開書店等】科学道100冊：428か所、ジュニア：757か所で開催しました(2018年3月末現在)。

科学道100冊ジュニアは全国の教育機関、図書館、書店で開催しています。フェア開催をご希望の場合は、下記までお問い合わせください。  
問い合わせ先：科学道100冊委員会 Email: info@kagakudo100.jp Web site: https://kagakudo100.jp/

#### 科学道100冊ジュニア



#### 1. 不思議がいっぱい

考えること、想像することが楽しくなる。世界の入り口15冊。



【つままない つままない】  
ヨシタケシンスケ(著)  
白泉社2017

#### 2. とことん集める

好奇心は探究のエンジン。「不思議」の先を追いかける20冊。



【ホネホネたんけんたい】  
西澤真樹子(監修・解説)  
大西成明(写真)  
松田素子(文)  
アリス館2008

#### 3. 世界のヒミツ

集めて見えてくる自然のルール。世界のヒミツに出くわす15冊。



【アンダーアース・アンダーウォーター  
—地中・水中図鑑】  
アレクサンドラ・ミジェリンスカ、  
ダニエル・ミジェリンスキ(作・絵)  
徳間書店2016

#### 4. ふみだせ冒険

失敗をおそれず、いざ出発！まだ見ぬ世界にふみだす20冊。



【おいでよ森へ  
—空と水と大地をめぐる命の話】  
「おいでよ森へ」プロジェクト(編)  
ダイヤモンド社2016

#### 5. まほうの発明

想像力が実を結ぶ。科学のまほうと発明の驚きに出会う15冊。



【輪切り図鑑 クロスセクション  
—有名な18の建物や乗り物の内部を見る】  
スティヴン・プラット(画)  
リチャード・プラット(文)  
北森俊行(訳)  
岩波書店1992

#### 6. ひろがる未来

科学の道はどこまでも。果てなく広がる未来に思いをはせる15冊。



【宇宙 —そのひろがりしろう】  
加古里子(文・絵)  
福音館書店1978



# 7 受賞

理研の研究者は、毎年、国内外のさまざまな賞を受けています。  
このことも、論文発表と並んで、理研の研究レベルの高さを示しています。

理研では研究者などの活発な活動、活躍により多くの受賞者が生まれており、  
2017年度は共同受賞を含め全体で94名が受賞しました。

2017年度の主な賞としては宮脇敦史副センター長が紫綬褒章を受章しました。

さらに、科学技術に関する研究開発、理解増進などにおいて顕著な成果を取めた者を表彰する

文部科学大臣表彰については、科学技術賞2名、若手科学者賞3名が選出されました。

個々の研究者の受賞以外では、2016年に引き続き、スーパーコンピュータ「京」と「Shoubu(菖蒲)」が  
それぞれ国際的な性能ランキングである賞で世界第1位を獲得しました。

## 紫綬褒章、上原賞

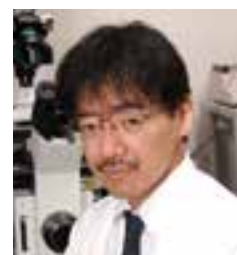
植物分子生物学研究

### 宮脇敦史 副センター長 脳科学総合研究センター

現・脳神経科学研究センター 細胞機能探索技術研究チーム チームリーダー

宮脇氏は、長年にわたり生物物理学分野におけるバイオイメー  
ジング技術開発において先駆的な発見を重ねてきました。

バイオイメーjing技術は、数十マイクロメートルという大きさ  
の細胞で働くタンパク質や物質を可視化することで、さまざまな  
生命現象のダイナミクスの理解を目指しています。今後もさまざま  
な蛍光タンパク質を中心とした技術の開発によって、より複雑な  
生命現象の解明に貢献することが期待されています。



#### Profile

Atsushi Miyawaki

◎最終学歴  
大阪大学大学院医学系研究科博士課程修了  
◎主な職歴  
東京大学医科学研究所助手、University  
of California San Diego Department  
of Pharmacology研究員、理研 脳科学  
総合研究センターチームリーダー、副セン  
ター長を経て現職

## 日本学士院賞

革新的ソフトマテリアルの精密階層設計に関する研究

### 相田卓三 副センター長 創発物性科学研究センター

相田氏は、分子が「ナノ領域を経て巨視領域に至る階層構造を  
形成する」ボトムアップ集積プロセスにおいて「多価相互作用」や  
「物理的摂動」を駆使し、ナノ領域と巨視領域の間に存在する  
Missing Linkをつなぐことで未成熟だった当該分野を牽引し、ほ  
ぼ水から成るのに強靱で異方的なアクアマテリアルや破断しても  
室温で圧着修復できる樹脂ガラスなど、他に類のない独創的な物  
質科学を深く広く展開してきました。



#### Profile

Takuzo Aida

◎最終学歴  
東京大学大学院工学系研究科博士課程修了  
◎主な職歴  
東京大学大学院助手、東京大学大学院助教  
授、東京大学教授 2013年より理研 創発  
物性科学研究センター副センター長を兼務

## 東レ科学技術賞

からだの非対称性が生じる機構

### 濱田博司 センター長 多細胞システム形成研究センター

現・生命機能科学研究センター 固体バタニング研究チーム チームリーダー

濱田氏は、マウスの発生において体の左側でのみ発現する遺  
伝子レフティーの発見を契機に、それまで全く不明であった左右  
非対称性の形成機構に関して数多くの業績をあげてきました。こ  
の発生物学における先導的な成果が高く評価されました。



#### Profile

Hiroshi Hamada

◎最終学歴  
岡山大学大学院医学研究科博士課程修了  
◎主な職歴  
(財)癌研究所生化学部流動研究員、米国立衛生研究所  
癌研究所Visiting Associate/Visiting Scientist、カ  
ナダニューファンドランドメモリアル大学医学部  
Assistant Professor、東京大学助教授、(財)東京  
臨床医学総合研究所部長、大阪大学教授、理研 多細胞  
システム形成研究センター センター長を経て現職

## 日本学術振興会賞

1分子イメージングによる脳機能発現メカニズムの研究

### 坂内博子 客員研究員(JST さきがけ専任研究員)

脳科学総合研究センター  
発生神経生物学研究チーム

現・脳神経科学研究センター 客員研究員

坂内氏は、従来用いられていた蛍光タンパク質よりシグナルが強  
く退色しにくい半導体素子を利用した「量子ドット1分子イメージ  
ング法」の世界標準手法を確立し、細胞膜上の1分子を長期間追跡す  
ることに成功しました。これにより神経細胞の「シナプス後膜」に出入り  
する神経受容体の観察を可能とし、神経科学分野において「受容体  
の動きの制御」という新しい概念を提出するだけでなく、記憶・学習・  
脳神経疾患発症機構の解明に貢献したことが高く評価されました。



#### Profile

Hiroko Bannai

◎最終学歴  
東京大学大学院理学系研究科博士課程修了  
◎主な職歴  
理研 研究員、バリ高等師範学校博士研究員、  
理研 基礎科学特別研究員、名古屋大学大学  
院特任講師、理研 脳科学総合研究センター  
客員研究員を経て現職

## International Member, National Academy of Medicine(NAM)

### 高橋政代 プロジェクトリーダー 多細胞システム形成研究センター

網膜再生医療研究開発プロジェクト

現・生命機能科学研究センター 網膜再生医療研究開発プロジェクト プロジェクトリーダー

高橋氏は、米国医学アカデミー(National Academy of  
Medicine:NAM)から、国際会員(International Member)と  
して選出されました。

NAM会員に選出されることは、米国の衛生・医療分野における  
最高の栄誉であり、卓越した専門分野における功績などが評価さ  
れたことを示すものとされています。2017年は、70名の正会員  
と10名の国際会員が選出されました。



#### Profile

Masayo Takahashi

◎最終学歴  
京都大学大学院医学研究科博士課程修了  
◎主な職歴  
京都大学医学部助手、ソーク研究所研究員、  
京都大学医学部附属病院探索医療センター  
開発部助教授、理研 発生・再生科学総合研  
究センターチームリーダー、多細胞システ  
ム形成研究センター プロジェクトリーダーを  
経て現職



# 8 人員

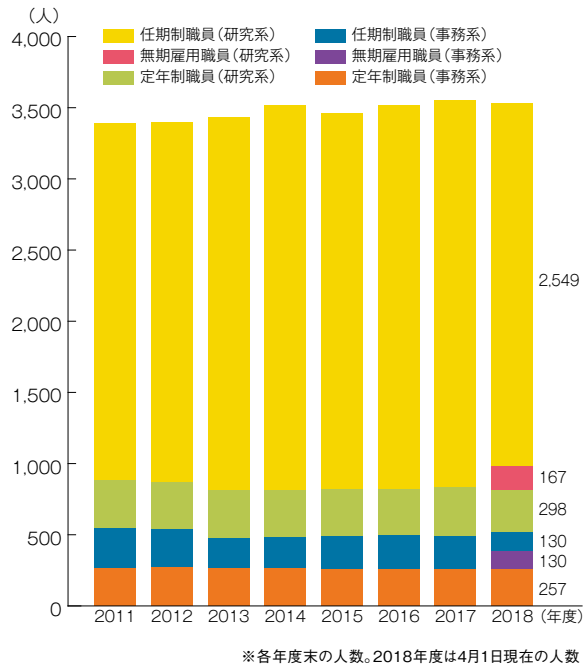
最良の研究成果を生み出すことを目指して、  
多様な人材をよりよく活かすための人材制度の確立に努めています。

理研では、さまざまな研究を行う研究センターなどに定年制職員・無期雇用職員（定年まで雇用）  
および任期制職員（年限を区切って雇用）として、研究者および技術者を配置しています。  
多様な人材を活かすため、キャリアサポートや男女共同参画、国際化の推進にも力を入れています。

## 人員構成

2018年4月1日の常勤職員数は3,531人で、その85%にあたる3,014人が研究系職員、さらに、その85%にあたる2,549人が任期制職員です。任期制研究系職員の比率が高いのが特徴です。

### ●理研の人員の推移



### ●センター別常勤職員数

\*2018年4月1日現在

センター名	人数
情報システム本部	36
科技ハブ産連本部	6
創薬・医療技術基盤プログラム	10
予防医療・診断技術開発プログラム	7
健康生き生き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラム	23
医科学イノベーションハブ推進プログラム	18
バトンゾーン研究推進プログラム	44
理研産業共創プログラム	1
開拓研究本部	291
革新知能統合研究センター	164
数理創造プログラム	17
生命医科学研究センター	360
生命機能科学研究センター	559
脳神経科学研究センター	380
環境資源科学研究センター	291
創発物性科学研究センター	175
光量子工学研究センター	122
仁科加速器科学研究センター	149
計算科学研究センター	148
放射光科学研究センター	92
バイオリソース研究センター	117
事務等	521
<b>合計</b>	<b>3,531</b>

※各センターに所属する基礎科学特別研究員、国際特別研究員を含む

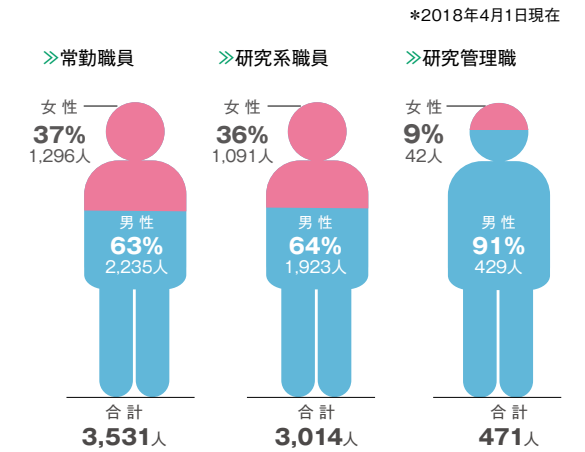
## 男女共同参画企画

理研では、全常勤職員のうち女性が37%、研究系職員（チームリーダー、研究員、テクニカルスタッフなど）では36%、研究管理職では9%を占めています。法律で定められた産前産後休業（産休）、育児休業（育休）などの制度だけでなく、育児や介護との両立を支援する相談窓口を設置し、さまざまな付加的な施策を行い、職員が働きやすい環境を整備しています。和光、横浜、神戸の3事業所には託児施設を設けているほか、妊娠、育児または介護中の研究系職員が、従来の業務を維持できるよう支援者を雇う場合は、その人件費を負担する制度があり、多くの職員が利用しています（右のグラフ）。また、仕事と生活の両立に資する研修を行い、職員のワーク・ライフ・バランスを推進し、「くるみんマーク」を取得（2回）しています。

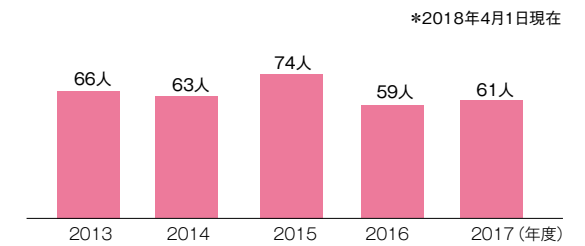


子育てサポート基準適合一般事業主に贈られる「くるみん」マーク

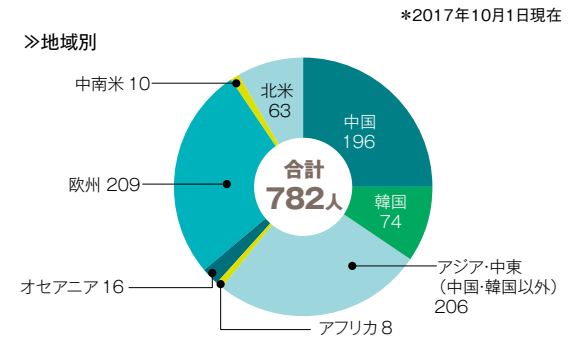
### ●研究職員の男女比



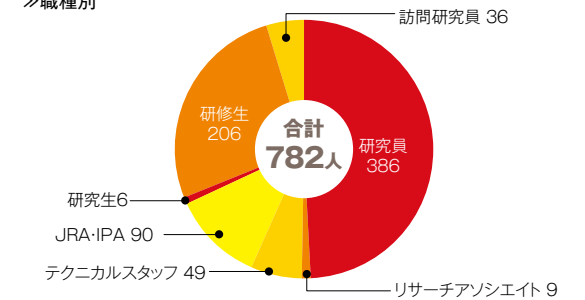
### ●妊娠、育児中の研究系職員の支援者にかかる経費助成利用者数(のべ人数)



### ●外国籍の研究スタッフの受け入れ



### ●職種別





# 9 予算

国立研究開発法人である理研の主な収入は国からの運営費交付金ですが、さまざまな研究資金の獲得に努力しています。

理研は大きく分けて、「政府支出金」と、受託研究収入などの「自己収入」を財源として運営されています。

「政府支出金」は、理研が事業を実施する上で必要な運営費・施設の維持費などを国から毎年度交付されます。国からの資金は経営の効率化などの観点から、新たな業務を行う場合などを除き、一定割合で削減されることとなっていますが、理研では業務の合理化や外部資金の獲得などにより研究活動をより高めていけるよう努力を続けています。

## 収入について

「政府支出金」のうち運営費交付金とは、国立研究開発法人の自主性・自律性のある業務運営の財源として、用途の内訳を特定せずに交付される資金です。運営費交付金の使用の適否については、事後評価において研究所の運営が適切になされたかという観点でチェックされます。

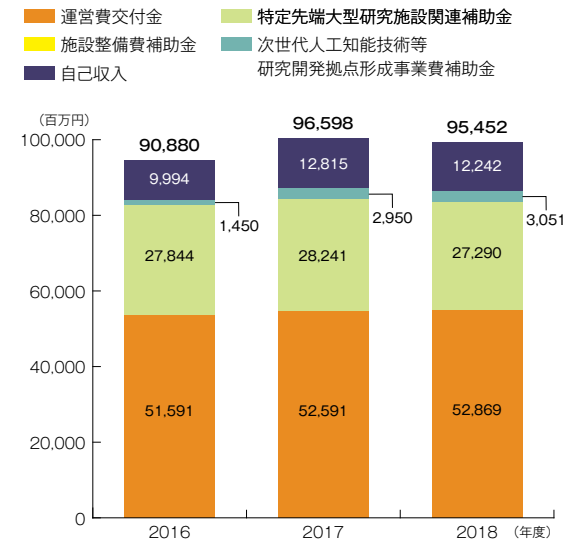
施設整備費補助金は、土地や建物整備などのために国から用途を明示されて手当てされる財源です。

特定先端大型研究施設関連補助金は、「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」に基づき、SPring-8、SACLA、およびスーパーコンピュータ「京」の整備・維持管理、研究者などへの共用を促進するとともに、新たな超高速電子計算機の開発・整備をするための経費です。

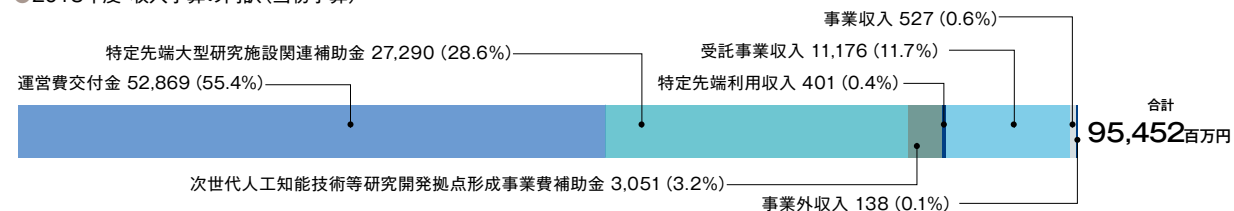
次世代人工知能技術等研究開発拠点形成事業費補助金は、革新的な人工知能(AI)に関する基盤技術の基礎的研究からAIによる科学研究の加速、社会課題の解決に資する応用までを一貫して実施するための経費です。

受託研究収入などの国立研究開発法人が自ら獲得した収入を「自己収入」と呼びます。自己収入には、受託事業収入、SPring-8利用料収入、特許権収入などが含まれます。

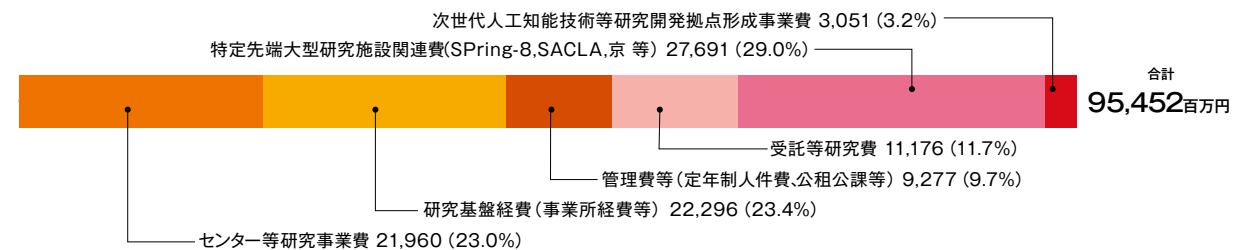
●最近3年間の収入予算の推移(当初予算)



●2018年度 収入予算の内訳(当初予算)



●2018年度 支出予算の内訳(当初予算)



## 支出について

「センター等研究事業費」は、各研究センターなどに配分され、センター長などの裁量の下、研究を行うための費用として使われます。「研究基盤経費」は、各事業所における研究環境の維持管理、若手研究者の支援、情報環境の整備・維持、研究成果の普及など、研究活動を推進・支援するために必要な経費です。「管理費等」には、人件費などの組織を運営するための費用が含まれています。理研では、計画的・効率的に研究が実施できるよう柔軟な予算配分により事業の見直しや重点化を進めています。

## 外部資金について

外部資金とは、政府機関、公益法人、企業などから受け入れている研究資金のことです。理研では、毎年、ほぼすべてのセンターが外部資金を獲得しています(右表)。

下の表を見ると、競争的資金では科学研究費助成事業(科研費)が、その他では海外・国内財団等助成金が、件数、金額ともに安定して推移しています。

●2017年度 外部資金のセンター別獲得状況 (民間受託金は含まず)

センター名	金額(百万円)	件数
創発物性科学研究センター	1,052	99
量子工学研究領域	875	79
環境資源科学研究センター	1,316	138
生命システム研究センター	743	96
多細胞システム形成研究センター	804	77
脳科学総合研究センター	2,294	180
統合生命医科学研究センター	1,623	135
バイオリソースセンター	284	50
ライフサイエンス技術基盤研究センター	1,288	128
計算科学研究機構	1,567	55
放射光科学総合研究センター	817	32
仁科加速器研究センター	570	57
革新知能統合研究センター	55	29
数理創造プログラム	8	5
情報基盤センター	159	13
イノベーション推進センター	54	8
健康生き生き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラム	511	11
医科学イノベーションハブ推進プログラム	128	7
創薬・医療技術基盤プログラム	0	0
予防医療・診断技術開発プログラム	117	14
主任研究員研究室等	1,875	214
事務	60	5
<b>合計</b>	<b>16,203</b>	<b>1,432</b>

●最近3年間の外部資金の獲得状況

項目	2015年度		2016年度		2017年度		
	金額(百万円)	件数	金額(百万円)	件数	金額(百万円)	件数	
1.競争的資金	科学研究費助成事業(科研費)	3,851	800	4,023	830	3,810	799
	科学技術振興機構(JST)関連事業	1,662	112	3,393	115	2,767	119
	文部科学省系事業	149	4	153	4	128	3
	その他の府省系事業	197	22	108	18	94	15
	日本医療研究開発機構(AMED)関連事業	3,457	83	3,556	89	3,274	87
<b>小計</b>	<b>9,316</b>	<b>1,021</b>	<b>11,234</b>	<b>1,056</b>	<b>10,072</b>	<b>1,023</b>	
2.非競争的資金	受託						
	政府受託研究	614	10	805	16	529	11
	政府関係受託研究	4,510	113	4,510	146	3,319	156
	助成						
	政府関係助成金	14	12	64	27	102	51
共同研究	83	32	124	37	109	30	
補助金							
政府関係補助金事業	1,085	19	656	18	1,627	18	
<b>小計</b>	<b>6,306</b>	<b>186</b>	<b>6,158</b>	<b>244</b>	<b>5,685</b>	<b>266</b>	
3.海外助成および国内財団等助成金	450	106	626	113	445	128	
4.民間受託	1,700	232	2,066	244	2,796	341	
<b>合計</b>	<b>17,772</b>	<b>1,545</b>	<b>20,084</b>	<b>1,657</b>	<b>18,999</b>	<b>1,758</b>	

※P.74-75のデータは、四捨五入のため合計値が合わないところがある



# 理研の歩み

次の百年を目指し、理化学研究所は、これからも新たな歴史を刻み続けます。

理化学研究所は1917年(大正6年)、学問の力によって産業の発展を図り、  
国運の発展を期する使命を果たさんとする目的で設立されました。

## 財団法人理化学研究所設立

渋沢栄一を設立委員長として(財)理化学研究所の設立を申請。皇室からの御下賜金、政府からの補助金、民間からの寄附金を基にわが国の産業の発展に資することを目的に現東京都文京区本駒込の地に設立された。



## 理化学興業株式会社を創設

研究資金に困窮したため、理研の発明を理研自身が製品化する事業体として、多くの生産会社を設立し技術収入を基礎研究資金に充てる。後に「理研産業団」となる。1939年頃には最大規模の会社数63、工場数121となった。



## 財団法人理化学研究所解散、株式会社科学研究所設立

終戦後、過度経済力集中排除(財閥解体)により1947年に理研産業団は解体。初代株式会社科学研究所の社長は仁科芳雄であった。1952年さらに生産部門を分離し科研化学(株)(現 科研製薬株式会社)となる。



## 株式会社科学研究所解散、特殊法人理化学研究所設立

慢性的な財政難に陥っていた科学研究所に対し、政府による援助強化という観点から科学技術庁(1956年設立)所管の特殊法人として改組。理事長長岡治男が就任。

## 現 つくば市にライフサイエンス筑波研究センターを開設

組み換えDNA研究を効率的に推進する目的で「筑波研究学園都市」内に設置された。現在ではバイオリソース研究センターが活動。



## 兵庫県佐用郡に播磨研究所を開設、大型放射光施設「SPring-8」供用開始

日本原子力研究所(現 日本原子力研究開発機構)と共同で、6年間の建設期間を経てSPring-8を稼働させた。以降、世界最高性能を維持している。2005年以降は理研が施設者として包括的に運営。



## 米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)に理研BNL研究センターを開設

任期制研究者からなる初のセンター体制として脳科学総合研究センターを設置。現在は脳神経科学研究センターとして活動。

## 神戸市に発生・再生科学総合研究センターを開設

研究の発展に伴いセンターの改廃を経て、現在は生命機能科学研究センターとして活動。



財団法人時代 >>

株式会社時代 >>

特殊法人時代 >>

1913 1917

1922 1927

1945 1948

1949 1958

1967 1984

1990

1995

1997

1998 2000

## 高峰譲吉

「国民科学研究所」設立の必要性を提唱

高峰は、「世界は、理化学工業の時代になる。わが国も理化学工業によって国を興そうとするなら、基礎となる純正理化学の研究所を設立する必要がある」と主張。

## 主任研究員制度が発足

駒込本所以外の各帝国大学に研究室を置くのも自由とし、理研からの研究費で研究員を採用し研究を実施した。長岡半太郎、鈴木梅太郎、本多光太郎、大河内正敏、田丸節郎、喜多源逸、高嶺俊夫、西川正治らの14研究室で発足。

## 原子爆弾投下、太平洋戦争終結。サイクロトロン、海洋に投棄される

新型爆弾が投下された広島へ、仁科研究室から調査団が派遣され、原子爆弾であることを日本として確認。終戦後、サイクロトロンは、旧陸軍から受託したウランに関する「二号研究」に関わったとしてGHQにより破壊され投棄された。



## 湯川秀樹、ノーベル物理学賞受賞



湯川は、1961年に理論物理学研究室を立ち上げ主任研究員として活躍。

## 駒込から埼玉県大和町(現 和光市)へ移転し、大和研究所開所

米軍接収地であった大和モモテハイツ地区を政府から現物出資として受け、大和研究所を開設。本部を移転。



## フォトダイナミクス研究センターを仙台市に開設

現在は光子工学研究センターとして活動。



## 英国ラザフォード・アップルトン研究所(RAL)にRAL支所を開設



## 横浜市にゲノム科学総合研究センターを開設

政府の「ミレニアム・プロジェクト(新しい千年紀プロジェクト)」の実施主体として、理研にライフサイエンス系研究センターの開設が始まる。研究の発展に伴いセンターの改廃を経て、現在は複数の研究センターなどで活動。



## 理化学研究所発展の偉人たち



高峰 譲吉  
(工学博士、薬学博士)

1890年に米国に渡り、アドレナリンなどの業績で世界の産業界に影響を与え、理研設立を提唱。



財団法人理化学研究所  
第三代所長  
大河内 正敏

主任研究員制度の設立、理化学興業の創業など理研の基礎を作った。



財団法人理化学研究所 第四代所長  
株式会社科学研究所 初代社長  
仁科 芳雄

日本の理論物理、加速器研究の礎を作り、湯川秀樹らを輩出。また、戦後苦難の時代、社長として活躍。

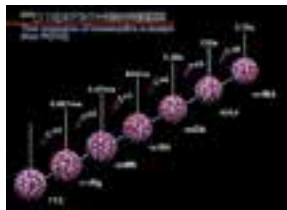


理研OB会 初代会長  
ノーベル物理学賞 受賞  
朝永 振一郎

大学卒業後、仁科研究室で量子力学を学ぶ。自由闊達な理研の雰囲気「初めて大学に入った気がした」と語っている。



### 113番元素の合成に成功



独立行政法人時代 >>

### 社会知創成事業設置

個別の成果である「個人の知」を連携・融合させて「理研知」として展開し、理研の成果を「社会知」として還元する産業界連携事業として設置。現在は、科技ハブ産連本部に事業を継承。

### 計算科学研究機構開設

現在は計算科学研究センターとして活動。スーパーコンピュータ「京」を運用するとともにポスト「京」の開発を推進。



### X線自由電子レーザー施設「SACLA」供用開始



### スーパーコンピュータ「京」共用開始



2003

2004

2006

2010

2011

2012

2013

2015

2016

2017

2018

### 第1期中期計画(2003~2007)

### 独立行政法人理化学研究所設立

1999年特殊法人等整理合理化計画を受け、独立行政法人理化学研究所として新たなスタートを切る。

### ヒトゲノム全解析の完了



### シンガポール連絡事務所開設



### 超伝導リングサイクロトロン完成



### 第2期中期計画(2008~2012)

### 大阪府吹田市に生命システム研究センターを開設

現在は、生命機能科学研究センターとして活動。



### 創発物性科学研究センター、環境資源科学研究センター設置

2009年「新成長戦略」における政府のグリーンイノベーション推進を契機として、理研内にあった環境・省エネルギー研究を統合し、新たな研究所の柱として位置づけた。

### iPS細胞を用いた世界初の臨床研究を開始



### 第3期中期計画(2013~2017)

### 国立研究開発法人に名称変更

国立研究開発法人理化学研究所として、新たなスタートを切り、松本紘 新理事長のもと、研究成果の最大化を目指す。



### 113番元素の命名権獲得



### 特定国立研究開発法人に移行

### 科学技術ハブ推進本部設置

研究所を中核として、異分野・異業種が共同で研究開発などに取り組むための拠点(科学技術ハブ)を整備することにより、科学技術力の強化・イノベーションの創出を目指して設置。

### 革新知能統合研究センター開設

革新的な人工知能技術を中核とした次世代基盤技術を構築し、具体的な社会的課題の解決に寄与するとともに、人工知能の発展に伴って生じる倫理的・法的懸念などへの対応や人材育成を行うことを目的に設立。

### 数理創造プログラム設置

理論科学・数学・計算科学の研究者が分野の枠を超えて基礎研究を推進する新しい国際連携研究拠点。

### 113番元素の名称・記号が決定

元素名「nihonium(ニホニウム)」、元素記号「Nh」。



国立研究開発法人時代 >>

### 科技ハブ産連本部設置

大学、研究機関、産業界と協働し、科学技術ハブの役割を担い、オープンイノベーションの創出を推進。

### 開拓研究本部設置

長期的ビジョンに基づき研究を推進する主任研究員室と分野横断的な研究プロジェクトで、未踏・未知の科学研究領域の開拓・創成を目指す。

### ライフサイエンス系センターの改編

ヒトの生物学的理解を目指し、ライフサイエンス系センターを改編し、生命医科学研究センター、生命機能科学研究センター、脳神経科学研究センターを開設。

### けいはんな地区開設



### 第4期中長期計画(2018~2024)

### 理化学研究所 創立百周年

創立百周年記念事業を推進。

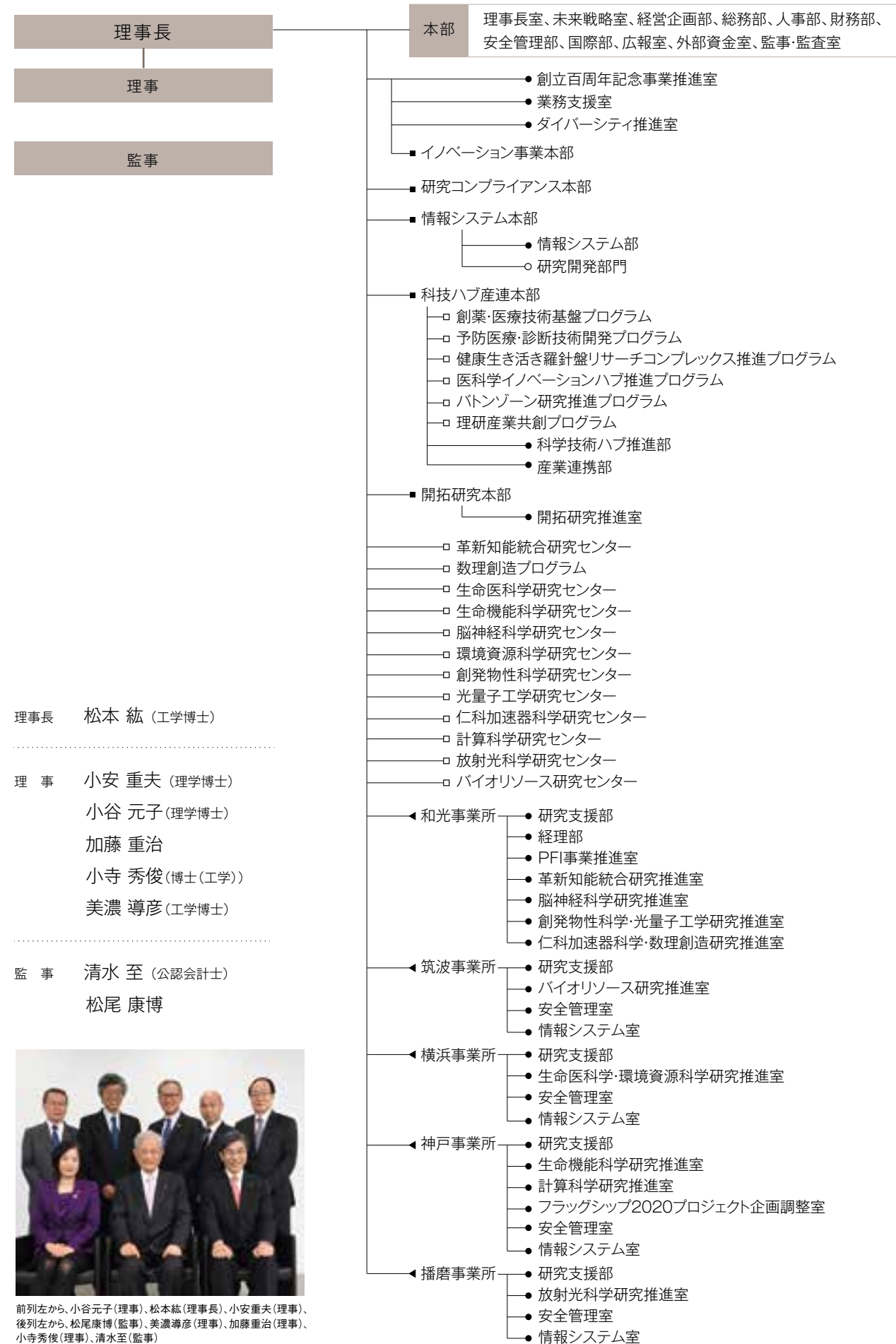
### 創立百周年記念式典開催

2017年4月26日、天皇后両陛下のご臨席を仰ぎ、理化学研究所創立百周年記念式典を開催。





# 組織図 (2018年6月1日現在)



前列左から、小谷元子(理事)、松本紘(理事長)、小安重夫(理事)、後列左から、松尾康博(監事)、美濃導彦(理事)、加藤重治(理事)、小寺秀俊(理事)、清水至(監事)

# 問い合わせ先一覧

日本で唯一の自然科学の総合研究所として、各地に拠点をもち広い分野での研究を進めています。

**和光地区(本部所在地・埼玉県和光市)**

- ≫ 情報システム本部
- ≫ 科技ハブ産連本部
  - 予防医療・診断技術開発プログラム
  - バトンゾーン研究推進プログラム
  - 理研産業共創プログラム
- ≫ 開拓研究本部
- ≫ 数理創造プログラム
- ≫ 脳神経科学研究センター
- ≫ 環境資源科学研究センター
- ≫ 創発物性科学研究センター
- ≫ 量子工学研究センター
- ≫ 仁科加速器科学研究センター

TEL:048-462-1111 / FAX:048-462-1554 (本部代表)

**筑波地区(茨城県つくば市)**

- ≫ バイオリソース研究センター

TEL:029-836-9111 / FAX:029-836-9109 (筑波事業所代表)

**仙台地区(宮城県仙台市)**

- ≫ 量子工学研究センター

TEL:022-228-2111 / FAX:022-228-2122 (仙台研究支援室)

**神戸地区(兵庫県神戸市)**

- ≫ 科技ハブ産連本部
  - 健康生き活き羅針盤リサーチコンプレックス推進プログラム
- ≫ 生命機能科学研究センター
- ≫ 計算科学研究センター

TEL:078-306-0111 / FAX:078-306-0101 (神戸事業所代表)

TEL:078-940-5555 / FAX:078-304-4956

**東京地区(東京都中央区)**

- ≫ 未来戦略室
- ≫ 革新知能統合研究センター

TEL:03-6225-2213 / FAX:03-3271-7100 (東京研究支援室)

TEL:03-6225-2373

**横浜地区(神奈川県横浜市)**

- ≫ 科技ハブ産連本部
  - 創薬・医療技術基盤プログラム
  - 医科学イノベーションハブ推進プログラム
  - バトンゾーン研究推進プログラム
- ≫ 生命医科学研究センター
- ≫ 生命機能科学研究センター
- ≫ 環境資源科学研究センター
- ≫ 放射光科学研究センター

TEL:045-503-9111 / FAX:045-503-9113 (横浜事業所代表)

**名古屋地区(愛知県名古屋市)**

TEL:048-462-1111 / FAX:048-462-1554 (本部代表)

**けいはんな地区(けいはんな学研都市)**

- ≫ 革新知能統合研究センター
- ≫ バイオリソース研究センター

TEL:0774-73-2001 / FAX:0774-73-1607 (けいはんな研究支援室)

**播磨地区(兵庫県佐用郡)**

- ≫ 放射光科学研究センター

TEL:0791-58-0808 / FAX:0791-58-0800 (播磨事業所代表)

**大阪地区(大阪府吹田市)**

- ≫ 生命機能科学研究センター

TEL:06-6155-0111 / FAX:06-6155-0112 (大阪研究支援課)

**海外拠点**

≫ RAL支所(イギリス)

UG17 R3, Rutherford Appleton Laboratory, Harwell Science and Innovation Campus, Didcot, Oxfordshire, OX11 0QX, UK  
TEL:+44-1235-44-6802 FAX:+44-1235-44-6881

≫ 北京事務所

1008, Beijing Fortune Building, No.5, Dong San Huan Bei Lu, Chao Yang District, Beijing, 100004, China  
TEL:+86-(0)10-6590-9192 FAX:+86-(0)10-6590-9897

≫ 理研BNL研究センター(アメリカ)

Building 510A, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York 11973, USA  
TEL:+1-631-344-8095 FAX:+1-631-344-8260

≫ シンガポール事務所

11 Biopolis Way, #07-01/02 Helios 138667, Singapore  
TEL:+65-6478-9940 FAX:+65-6478-9943