

# RIKEN ENVIRONMENTAL REPORT 2018

## 環境報告書



美しい地球と  
わたしたちの未来のために

環境報告書に関するお問い合わせ

理化学研究所の環境報告書についてのご意見、ご感想などございましたら、下記までお問い合わせ下さい。



国立研究開発法人理化学研究所 総務部総務課

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

e-mail: eco-jimu@riken.jp

RIKEN 2018-040 (発行: 2018年9月)

国立研究開発法人理化学研究所

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なう財団法人として創立された、一世紀にわたる長い歴史を持つ研究所です。

その後、株式会社や特殊法人を経て、独立行政法人として再発足し、2015年4月に国立研究開発法人となりました。

日本で唯一の自然科学の総合研究所として、国と時代の要請に応えながら形を変えつつも、物理学、工学、化学、計算科学、生物学、医科学など幅広い分野で先導的な研究を進めています。

国立研究開発法人のミッションである「研究開発成果の最大化」を目指し、研究者の自律と豊かな発想を大切にしつつも社会的責任を強く意識し、効果的かつ効率的な業務運営を進めます。また2014年に策定し、運営・改革モニタリング委員会で実施状況を評価していただいた「アクションプラン」を減速させることなく、着実に実効性を持って遂行します。同時に、研究者が誇りを持って活躍できる研究環境を整備します。

科学技術の知見を新たな価値の創造に結びつけ、理研の特長である総合力を発揮し、国内外の関係機関とも連携しつつ、知の源泉となる基礎科学、そして卓越した技術開発を推進し、世界のRIKENとして、豊かな国民生活の実現に寄与するとともに国際社会にも貢献してまいります。



松本 紘

理研ウェブサイト <http://www.riken.jp/about/president/>

### 「自然を理解し、自然を尊ぶ」

国立研究開発法人理化学研究所は、わが国唯一の自然科学における総合研究機関として、その研究成果を最大限社会に還元することを目的としています。自然を理解するという研究活動を通じ、未来に向けて持続性のある文明社会の構築に貢献するとともに、自然を尊ぶ精神を常に心にとどめ、美しい地球の環境保全に努力していきます。

## 環境行動指針

理研は、環境に配慮した研究所運営を最重要課題とし、経営理念を実現するために、研究所に働く一人ひとりの自覚と、研究所の活動に関わる関係者との協力により、積極的・継続的に環境問題の解決に取り組みます。

- 環境負荷の低減や地球環境問題の解決に貢献する研究活動を積極的に推進し、自然科学の総合研究所としてふさわしく、かつ先進的な研究成果の創出に努めます。
- エネルギー使用の合理化、化学物質の適正な管理、廃棄物の削減などによる環境配慮活動を積極的に行います。
- 環境負荷低減活動や地球環境問題の解決に貢献する研究活動に関して情報を積極的に公開し、社会との対話に努めます。
- 研究所が一体となって環境負荷の低減を図るため、効果的な環境配慮体制を整備するとともに、職員などへの環境教育を実施します。

国立研究開発法人理化学研究所では、今年4月1日より、第4期中長期目標期間がスタートしました。国立研究開発法人のミッションである「研究開発成果の最大化」を目指し、研究者の自律性と豊かな発想を大切にすると同時に、特定国立研究開発法人としての社会的責任を強く意識し、効果的かつ効率的な業務運営を行っていきたいと考えております。

ミッションを達成するための経営方針として、松本紘理事長のリーダーシップの下、理研科学力展開プランを策定し、その理念のもとに第4期中長期計画を立案しました。理研科学力展開プランの中では、我が国がイノベーションにより、地球と共生し、人類の進歩に貢献し、世界トップクラスの経済力と存在感を維持するために、理研が総合研究所として研究開発のポテンシャルを高め、至高の科学力を以って国の科学技術戦略の担い手となることを謳っております。その目的のため、大学と協調して我が国の科学力の充実を図り、他の研究機関や産業界との科学技術ハブ機能の形成を通してこれを展開することにより、世界最高水準の成果を生み出すべく、次の五つの柱に沿って、高い倫理観を持って研究活動を推進するとしています。

- 研究開発成果を最大化する研究運営システムを開拓・モデル化する
- 至高の科学力で世界に先んじて新たな研究開発成果を創出する
- イノベーションを生み出す「科学技術ハブ」機能を形成する
- 国際頭脳循環の一極を担う
- 世界的研究リーダーを育成する

第4期中長期目標期間における活動の中で、理化学研究所が掲げる環境理念である「自然を理解し、自然を尊ぶ」は益々重要になってきています。すなわち、自然科学の大きな目標である、「自然を理解する」という研究活動を通じ、未来に向けて持続性のある文明社会の構築に貢献するとともに、自然を尊ぶ精神を常に心にとどめ、美しい地球の環境保全に努力することが求められていることを私たちは常に意識しなければなりません。更には、国連が定めた持続可能な開発目標（SDGs）への貢献も求められています。

理化学研究所の行動指針として、環境に配慮した研

究所運営を最重要課題とし、積極的・継続的に環境問題の解決に取り組むこととして、下記のように宣言しています。

- 環境負荷の低減や地球環境問題の解決に貢献する研究活動を積極的に推進し、自然科学の総合研究所としてふさわしく、かつ先進的な研究成果の創出に努めます。
- エネルギー使用の合理化、化学物質の適正な管理、廃棄物の削減などによる環境配慮活動を積極的に行います。
- 環境負荷低減活動や地球環境問題の解決に貢献する研究活動に関して情報を積極的に公開し、社会との対話に努めます。
- 研究所が一体となって環境負荷の低減を図るため、効果的な環境配慮体制を整備するとともに、職員などへの環境教育を実施します。

本環境報告書では、最先端の環境研究活動のいくつかを紹介するとともに、様々な環境負荷に関するデータを紹介しています。研究活動は大きな環境負荷の上に成り立つものである、という認識のもと、環境理念に沿った研究活動が実践されているか、加えて科学力展開プランを実現する研究活動が行われているか、ご覧頂ければ幸いです。



国立研究開発法人理化学研究所  
理事 小安 重夫

## [編集方針]

- 理研自らが排出する環境負荷の実像を把握し、理研の環境対策の推進に資するとともに、職員自ら環境に対する関心を高めることを目的としています。
- 国内唯一の科学技術の総合研究機関として環境対策に役立つ研究活動や研究成果を分かりやすくまとめていますので、本報告書を通じて科学技術に対する理解も深めていただければ幸いです。
- 本報告書は、今後継続して作成していく礎となるよう作成しました。対象年度以前のデータについては十分に集積し得なかったものもありますが、可能な限り報告しています。

## [対象組織の範囲]

海外の拠点を除く理研の国内拠点全所を対象。それぞれの地区によって異なる環境関連データを吟味し、収集し得るデータを集積して報告しています。

## [報告対象期間]

2017年度(2017年4月1日～2018年3月31日)ただし、一部2018年度の情報も含まれています。

## [準拠するガイドライン]

本報告書は、「環境情報の提供の促進などによる特定事業者の環境に配慮した事業活動の促進に関する法律」に基づき、原則として「環境報告ガイドライン『2012年版』」(平成24年4月環境省発行)に準拠して作成しています。

## [公表媒体の選択]

理化学研究所環境報告書は、2009年度より、WEBで公開しています。

## [発行時期]

2018年9月

# contents

理事長挨拶	1
役員からのメッセージ	3
目次、編集方針	4
理化学研究所概要	5

特集記事1	9
特集記事2	13
特集記事3	17
特集記事4	21
FACE 1	25
FACE 2	26

環境マネジメント体制	27
環境負荷の全体像	28

働きやすい職場づくり	34
環境コミュニケーションと環境配慮活動	
・和光地区	36
・筑波地区	38
・横浜地区	39
・神戸(第1・2)、大阪地区	41
・播磨地区	43

環境報告書の信頼性を高めるために	
・第三者意見	44
・監事意見書	45
・環境報告ガイドライン(2012年版)との対応表	46

## 理化学研究所概要

理化学研究所は、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、計算科学、生物学、医科学などに及び広い分野で研究を進めています。

当研究所は、1917年(大正6年)に財団法人として創設されました。戦後、株式会社科学研究所、特殊法人時代を経て、2003年(平成15年)10月に文部科学省所轄の独立行政法人

理化学研究所として再発足し、2015年(平成27年)4月には国立研究開発法人理化学研究所になりました。

研究成果を社会に普及させるため、大学や企業との連携による共同研究、受託研究等を実施しているほか、知的財産等の産業界への技術移転を積極的に進めています。

## 歴史と伝統

理研産業団(理研コンツェルン)  
会社数63 工場数121(1939年当時)

★  
1917-  
財団法人理化学研究所

高峰 讓吉  
(1854~1922年)  
「国民科学研究所設立の必要性」を提唱。  
アドレナリン等の業績で世界の産業界に影響を与える。



鈴木 梅太郎  
(1874~1943年)  
財団法人理化学研究所創設に参加。  
合成酒「理研酒」、「理研ビタミン」などの商品の発明・開発を行う。



★  
1948-  
株式会社科学研究所

仁科 芳雄  
(1890~1951年)  
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。  
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。



★  
1967  
駒込から和光に移転

★  
1958-  
特殊法人理化学研究所

朝永 振一郎  
(1906~1979年)  
1965年ノーベル物理学賞受賞。  
理研OB会 初代会長  
大学卒業後、仁科研究室で量子力学を学ぶ。



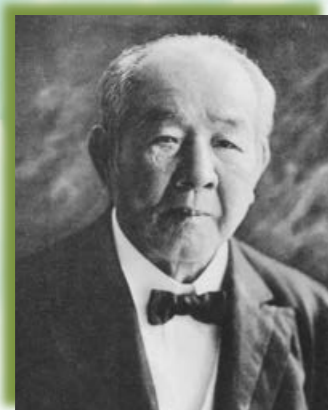
★  
2003-  
独立行政法人理化学研究所



湯川 秀樹  
(1907~1981年)  
1949年ノーベル物理学賞受賞。  
理論物理研究室を立ち上げ主任研究員として活躍。

★  
2015-  
国立研究開発法人理化学研究所

松本 紘  
(1942~ )  
国立研究開発法人理化学研究所初代理事長。  
(2015年4月~現在に至る)



洪沢 栄一  
(1840~1931年)  
財団法人理化学研究所設立者総代。  
日本で最初に株式会社を設立し、銀行や多方面の産業界社約500社を設立。



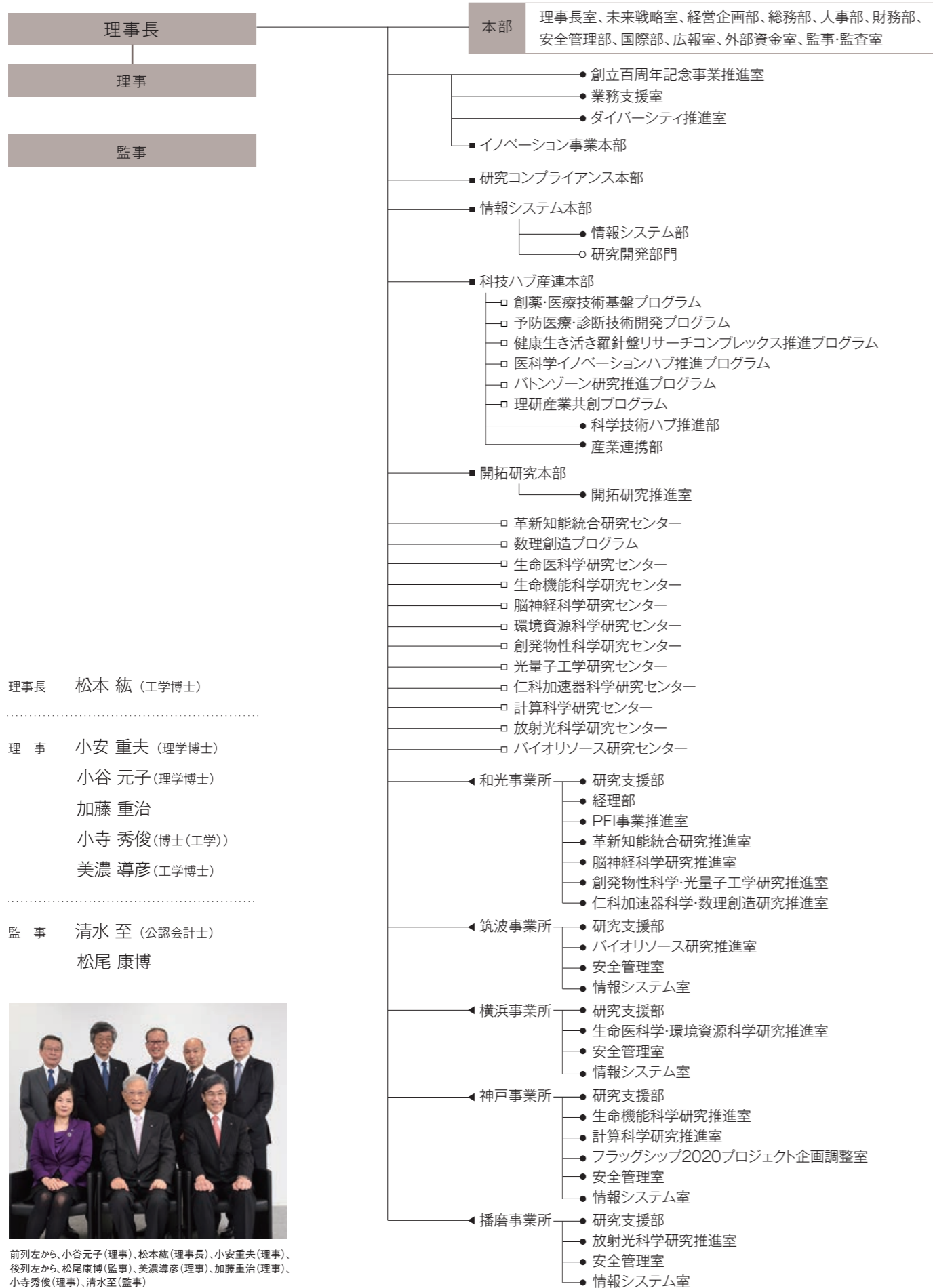
大河内 正敏  
(1878~1952年)  
財団法人理化学研究所第三代所長。  
主任研究員制度の設立、理化学興業の創業など理研の基礎を作った。



野依 良治  
(1938~ )  
2001年ノーベル化学賞受賞。  
独立行政法人理化学研究所初代理事長。

湯川 秀樹  
(1907~1981年)  
1949年ノーベル物理学賞受賞。  
理論物理研究室を立ち上げ主任研究員として活躍。

# 組織図 (2018年6月1日現在)

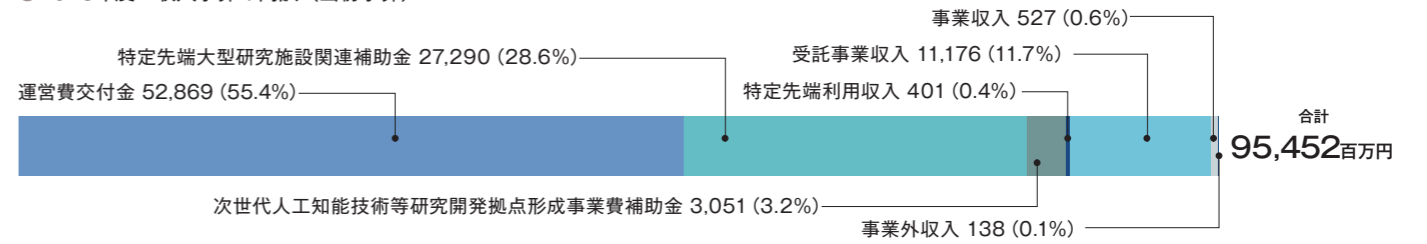


# 予算

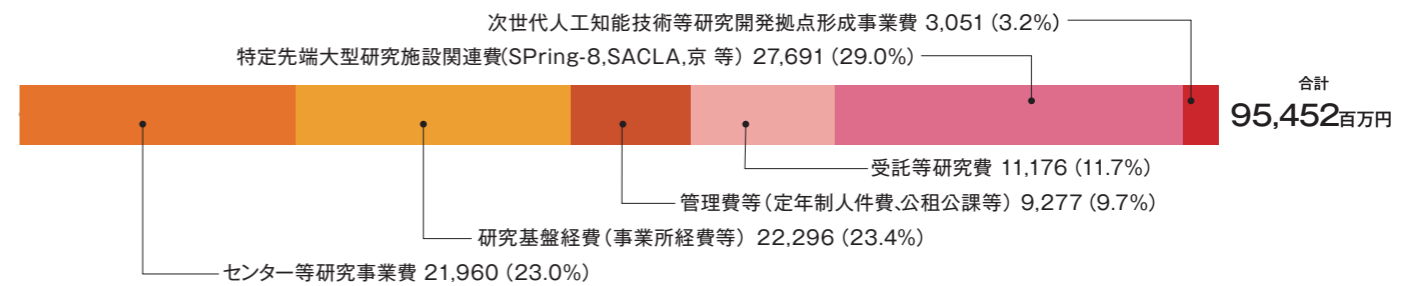
理研の収入は「政府支出金」と「自己収入」に大きくわけられます。

「政府支出金」とは、理研が事業を実施する上で必要な運営費や施設等の維持費などを国が算定し交付される資金ですが、経営効率化等の観点から、新たな業務を行う場合を除き、一定割合で削減されることとなっています。そのため理研では、受託事業収入や競争的資金はじめとする様々な外部資金の獲得に努力しています。

## ●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)



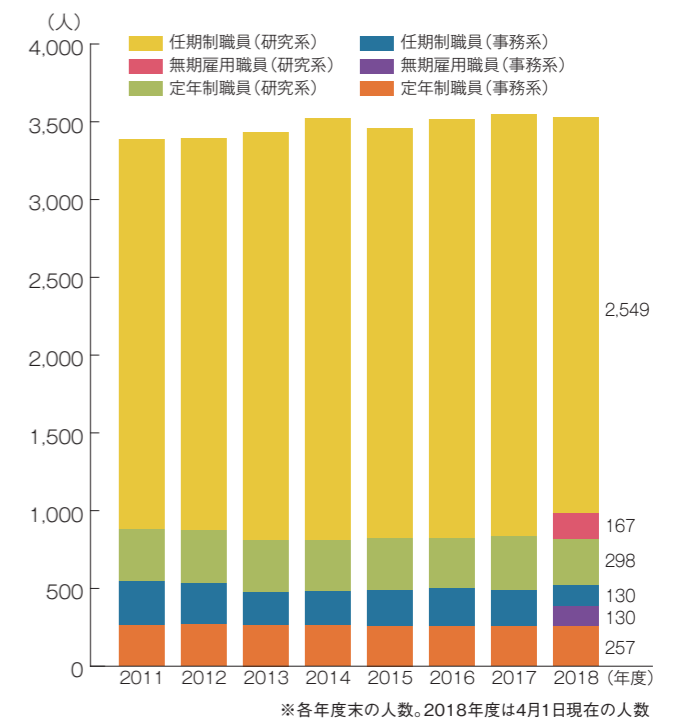
# 人員

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。

研究系職員	3,014名	任期制職員	2,549名
		無期雇用職員	167名
		定年制職員	298名
事務系職員	517名	任期制職員	130名
		無期雇用職員	130名
		定年制職員	257名
		<b>職員合計</b>	<b>3,531名</b>

(2018年4月1日現在)

## ●理研の人員の推移



光量子工学研究領域 アト秒科学研究チームが、放射性同位体を分離するレーザー偶奇分離を高効率で行う技術を開発して、大きな注目を集めている。内閣府 総合科学技術・イノベーション会議が主導する革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の一つとして、「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」が実施されており、その一環として行われた研究による成果だ(『理研ニュース』2017年9月号大特集「LLFP核変換」)。同チームでは、新しいレーザーの開発でも大きな成果を上げている。アト秒レーザーという一瞬の光を使えば、原子中の電子の動きを見ることができると期待されている。しかし従来のアト秒レーザーは低出力なため、さまざまな実験への利用が困難だった。同チームでは、多波長合成レーザー法という独自の手法を開発して世界最高出力のアト秒レーザーを実現した。

## レーザーで電子を操る・見る 放射性同位体の分離技術とアト秒レーザーの開発

### 高レベル放射性廃棄物の 大幅な低減・資源化

ImPACTプログラムでは、原子力発電で生じる高レベル放射性廃棄物に含まれる「長寿命核分裂生成物(LLFP)」を、放射能のない安定な原子核(安定核)や短寿命の原子核に核変換するとともに、有用な元素を分離回収して資源として再利用することを目指している。

使用済み核燃料には、パラジウム(Pd)やロジウム(Rh)などの有用な元素が含まれている。Pdは自動車の排ガス浄化の触媒などとして使われる。ただし、使用済み核燃料に含まれるPdの中には

放射能を持つものと安定核が混在しているため、再利用するには、放射能を持つ原子核を分離する必要がある。そもそも原子は電子と原子核から成り、原子核は、プラスの電荷を持つ陽子と電気的に中性の中性子が結合したものだ。

Pdの原子核は46個の陽子を持つ。陽子数(原子番号)が原子核の周りを回る電子の数に対応し、元素の種類と化学的性質を決める。ただし、同じPdでも、中性子数の違いにより質量数(陽子数+中性子数)が異なる同位体が複数存在し、放射能レベルや崩壊するまでの寿命が大

きく異なる。使用済み核燃料には、7種類のPd同位体(質量数:102、104、105、106、107、108、110)が存在する。その中で<sup>107</sup>Pdだけが半減期(放射性同位体が崩壊して数が半分になるまでの時間)が650万年の長寿命放射性同位体であり、核変換の対象となるLLFPの一種だ。残りの6種類は安定核である。

高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化を実現するには、安定同位体と放射性同位体を分離することが必要だ。Pd同位体でいえば、7種類から<sup>107</sup>Pdだけを分離できれば、残りの安定同位体を資源として利用できる。しかし同位体には化学的性質の違いがないため、化学的手法で<sup>107</sup>Pdだけを分離することは不可能である。

### レーザー偶奇分離の 10万倍の高効率化に成功

放射能が強く半減期が長い同位体には、質量数が奇数のものが多い。Pdの場合も質量数が偶数の同位体は全て安定核である。使用済み核燃料に含まれる7種類のPd同位体を質量数が偶数と奇数のもので分離(すなわち偶奇分離)できれば、偶数の安定核を資源として再利用し、LLFPである<sup>107</sup>Pdを含む奇数の同位体を核変換の対象にすることができ

### 緑川克美 (みどりかわ・かつみ)

光量子工学研究領域  
領域長  
アト秒科学研究チーム  
チームリーダー

1955年、福島県生まれ。工学博士。慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。1983年、理研レーザー科学研究グループ 研究員。1997年、レーザー物理学研究室 主任研究員。2005年、エクストリームフォトニクス研究推進グループ グループヘッド、テラヘルツ光研究プログラム プログラムディレクター。2008年、先端光科学研究領域 領域長。2013年4月より現職。



る。1980年、米国の研究者たちが3種類の波長のレーザー光を使って奇数と偶数の同位体を分離する「レーザー偶奇分離法」を考案した。しかし旧 動力炉・核燃料開発事業団によって1995年に行われた試験実験では、偶奇分離効率が低く、実用化に向けて大幅な効率化が必要であることが判明していた。

そこでImPACTプログラムの立ち上げに際して、光量子工学研究領域の領域長であるアト秒科学研究チームの緑川克美チームリーダー(TL)に白羽の矢が立った。「私は、1983年に理研に入ったとき、レーザーでウラン同位体を分離する研究に携わりました。そのような経験から、ぜひ、レーザー偶奇分離法の高効率化を実現したいと思いました。そこで、レーザーを使った分光研究を続けてきた小林 徹 さんに担当してもらうことにしました」

レーザーを原子・分子に照射して生じる光やイオンの信号強度を波長ごとに測定することで、原子・分子の性質や電子状態を探ることができる。それが分光研究だ。「レーザー偶奇分離は手持ちの分光装置でできる、とても面白い研究テーマだと思いました」と小林 徹 専任研究員(以下、研究員)。

ある波長の偏光(光の電場と磁場が特定の方向に振動する光)を原子に照射すると、質量数が奇数の同位体だけが偏光を吸収して高エネルギー状態に励起され、原子がイオン化する。偶数の同位体はその波長の偏光を吸収しないのでイオン化しない。レーザー偶奇分離法では、

そのような光吸収の選択則を利用して偶奇分離を行う。2017年1月、小林研究員らは、従来法の1万倍の効率でPd奇数同位体だけをイオン化することに成功した。どのような方法で高効率化を実現したのか。「原子に照射するレーザーの波長を変えただけです」と小林研究員は言う。

「従来法では、原子のイオン化が起きる一定以上の高エネルギー状態(イオン化連続状態)に電子を励起することだけを考慮して、原子の光吸収のしやすさを考慮していない波長のレーザーを照射してイオン化していました(非共鳴イオン化)。それが、イオン化効率が低い原因でした」(図1-①)

小林研究員たちはまず、効率的にイオン化が起きる特定のエネルギー状態(自動イオン化準位)を実験で探し出した。「自動イオン化準位に共鳴励起できる波長のレーザーを照射する共鳴イオン化により、イオン化効率を格段に向上させることに成功しました」(図1-②)

小林研究員たちは、さらに2種類の波長のレーザー光で効率よく励起できる波長の組み合わせを見つけて、従来法の10万倍の効率でPd奇数同位体だけをイオン化することに成功した(図1-③)。使用するレーザーの台数が減ることは、処理コスト削減にも大きく貢献するだろう。

ImPACTプログラムが核変換の主な対象にしているLLFPには、<sup>107</sup>Pdのほか、セシウム-135(半減期230万年)やジルコニウム-93(半減期153万年)、セレン-79(半減期29万5000年)があ

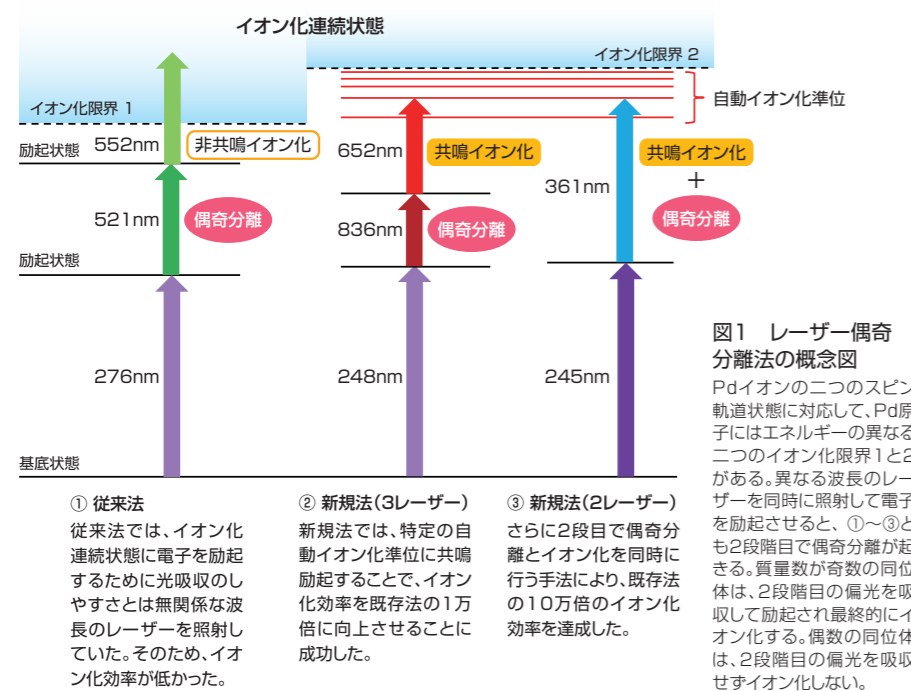
る。「私たちはジルコニウム同位体の偶奇分離の実験も始めています。セレンにも偶奇分離の手法が使えますが、セシウムの場合は安定核も奇数同位体なので、別の分離法の開発が必要です」と小林研究員。

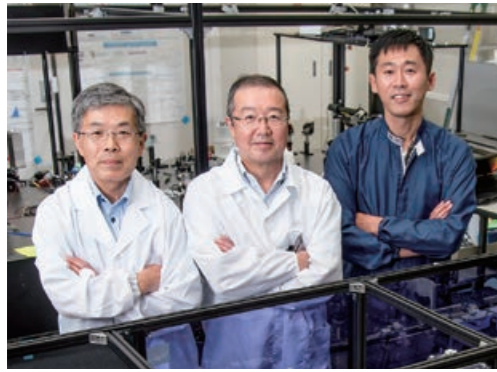
### さらに5万倍の効率化を目指して

高レベル放射性廃棄物の低減・資源化を実現するには、偶奇分離のイオン化効率をさらに向上させる必要がある、と緑川TLは指摘する。「100万kW級の原子炉1基分で発生するPd同位体を処理するには、1日当たり50gのイオン化が必要とされていますので、それが目標です。現在、小林さんたちが開発した手法でイオン化できるのは1日当たりせいぜい0.001gなので、約5万倍の効率化が必要です」

現在のレーザーの強度でも、理論的には1日当たり50gのイオン化は十分に可能だ、と小林研究員は言う。「課題は、いかにたくさんの数の原子に効率よくレーザー光を照射できるかです。ミラーで100回レーザーを往復させながら原子に当てれば、100倍ほどイオン化効率が上がると期待して、試験装置の開発を進めているところです」

その方法で100倍の効率を達成できたとしても、5万倍という目標を達成するには、さらに500倍の効率化が必要だ。偶奇分離する原子を容器内で気化させてレーザーを当てているが、容器内の圧力を10倍にして原子を高密度にすれば、イオン化効率が10倍ほど向上するかもしれない。





左から、アト秒科学研究チームの小林 徹 専任研究員、緑川 克美チームリーダー、高橋栄治 専任研究員。

撮影:STUDIO CAC

「レーザー発振技術の発展にも大きく期待しています」と小林研究員は語る。偶奇分離に用いるレーザーはパルス光として繰り返し発振される。現在、Pd偶奇分離には、毎秒10パルス(10Hz)で波長が245nmと361nmの紫外線レーザーを照射している(図1-③)。「波長が長いレーザーに比べて、波長の短い紫外線レーザーの出力は低いという現状もあります。出力が高く、発振回数がkHz級の紫外線レーザーが開発されれば、偶奇分離の処理能率をさらに大きく向上できるはずです」と小林研究員。

### 出力が極めて低いアト秒パルス

次に、レーザー発振技術の最前線を紹介しよう。波長や位相(波の山や谷の位置)がそろった光であるレーザーは、極めて短い時間だけ光るパルスをつくることができる。パルスをフラッシュ撮影のように使うことで短時間の現象の観測が行わ

れている。1990年代、光る時間(パルス幅)がフェムト( $10^{-15}$ =1000兆分の1)秒のレーザーが普及し始め、化学反応によって分子を構成する原子の原子核が動いて、分子の形が変わったりする過程を観測することができるようになった。

ただし、化学反応で最初に動くのは電子だ。それに追従するように原子核が動く。従って、化学反応をさらに深く理解するためには、電子の動きを観測することが望まれる。それには電子が動く時間スケールであるアト( $10^{-18}$ =100京分の1)秒のパルスが必要だ。

2001年、欧州のグループがアト秒レーザーの発生に成功したと発表した。しかし現在でも、アト秒レーザーはフェムト秒レーザーほどには普及していない。それは、アト秒レーザーの出力エネルギーがナノジュール(nJ)程度と極めて低いため利用実験がしにくいからだ。

### アト秒パルスは波長変換でつくる

なぜ、アト秒レーザーの出力は低いのか。「波長が短い光でなければアト秒パルスはつくれません。波長800nmの光の波が1回振動するのに、約2.6フェムト秒かかります。波長300nmでやっと1フェムト秒を切ります。アト秒パルスをつくるには、波長100nm以下の光が必要なのです。レーザー発振にはレーザー媒質と呼ばれる物質が必要ですが、波長100nm以下でアト秒パルスを発振できるようなレーザー媒質は存在しません」と高橋栄治 専任研究員(以下、研究員)は説明する。

では、どのようにしてアト秒パルスをつくるのか。強度の強いフェムト秒レーザーを励起光としてキセノンなどの希ガスに照射する。励起光の強度があるレベル(高調波発生閾値)を超えた際に、レーザー電場により電子が原子から離れてイオン化され、その電子が原子に再結合することがある。その再結合のときに、励起光の波長の数十分の1から数百分の1に波長が短くなった光(高次高調波)が発生する。

「その現象を利用して近赤外域のフェムト秒レーザーを波長変換してアト秒レーザーにします。しかし波長変換によって、出力が励起光の10万分の1から100万分の1に低下します。そのため、アト秒パルスは低出力、つまり暗いのです」と高橋研究員。

### 2種類のレーザー波長を合成して、世界最高出力を実現

アト秒パルスの出力を上げるにはどう

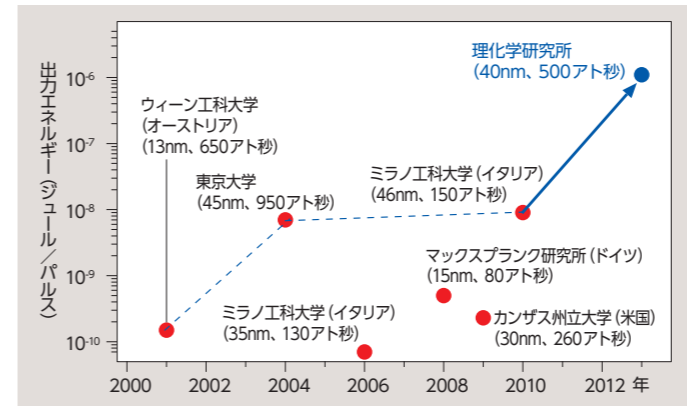


図3 各研究機関が開発したアト秒レーザー  
かつこ内は、波長とパルス幅。

すればよいのか。「波長を変換する前の励起光の出力を高くして、希ガス中のたくさんの原子で効率よく高次高調波が発生するようにする必要があります」と高橋研究員。

時間的に単一なアト秒パルス(図2C)を発生させるには、レーザー強度が1回だけ高調波発生閾値を超えるような励起光(図2B)を希ガスに当てる必要がある。既存のフェムト秒レーザーでは、そのような励起光は低出力なものしかつかなかった。すると希ガス中のわずかな原子でしか高次高調波が発生しない。そのため発生するアト秒パルスは非常に低出力だった。

そこで高橋研究員たちは、独創的な手法を考案した。「既存のフェムト秒レーザー装置を2台使った多波長合成レーザー法を開発しました。高出力化が可能な波長の異なる2種類のフェムト秒レーザーを時間的に干渉させて高出力の励起光を合成して、希ガス中のたくさんの原子で高次高調波を発生させるのです」(図2A)

高橋研究員たちは2013年、波長800nmと1,300nmのフェムト秒レーザーを合成することで高出力の励起光をつくり、それを波長変換することで、波長40nm、パルス幅500アト秒の単一パルスをつくることに成功した。その出力は最大1.3マイクロジュール( $\mu$ J)と、既存のアト秒レーザーの出力であるナノジュールより100倍以上高い世界最高出力のアト秒パルスだ(図3)。

世界最高出力を達成するために、高橋研究員たちは、もう一つの独自手法も取

り入れた。「高次高調波が発生する強度の励起光をなるべく大きな断面積で希ガスに当てた方が、ガス中のたくさんの原子で高次高調波が発生して、高出力のアト秒パルスを発生できます。そのために私たちが2001年に提案・実証したルーズフォーカス法と呼ばれる高調波エネルギースケールリング法を用いました」

### 電子の動きを見る時代へ

アト秒パルスの出力を高めると、何が可能になるのか。分光実験では、一つのパルスを二つに分岐させ、一方をポンプ光として原子・分子に当てて反応をスタートさせ、ある一定の時間間隔後に、もう一方のパルスをプローブ光として原子・分子に当てて観測するポンプ・プローブ法が広く用いられている。

しかし、アト秒パルスは出力が弱いため、それを二つに分けると弱くなり過ぎて観測が困難になる。そこでポンプ光だけにアト秒パルスを使い、プローブ光にはフェムト秒パルスを使うといったことが行われている。すると、電子の動きがぼやけて見えてしまう。高橋研究員たちがアト秒パルスの出力を100倍以上に高めたことで、ポンプ光とプローブ光の両方にアト秒パルスが使えるようになった。電子の動きがはっきり見えるようになるはずだ。

「高出力のアト秒パルスは、化学だけでなく電子工学の発展にも大きく貢献するはずです」と緑川TLは指摘する。理研の創発物性科学研究センターでは、強相関電子系という物質で起きる新しい現象を利用して、高性能の太陽電池や省エネ

### 関連情報

- 2017年1月10日プレスリリース  
パラジウム同位体を選択的・高効率に分離するレーザー技術
- 2013年10月25日プレスリリース  
世界最高出力の孤立アト秒パルスレーザーを開発

ルギー機器の開発に貢献することを目指している。強相関電子系は、物質中の電子が強く相互作用することで、わずかな刺激で絶縁体が電気を通す金属に変わったりする。「そのときの電子の動きをアト秒パルスで観測することで、強相関電子系の物性をさらに深く理解できるようになるでしょう」と緑川TL。

アト秒パルスの活用は、基礎研究だけでなく、さまざまな応用研究、イノベーションにとっても重要だ。欧州では、世界初のアト秒光源共同利用施設「ELI-ALPS」の建設が進められており、2018年に共同利用が開始される予定だ。ELI-ALPSでは、高橋研究員たちが考案した高調波エネルギースケールリング法が採用される。

一方、高橋研究員たちは、多波長合成レーザー法をさらに発展させる実験を進めている。「3種類の波長のフェムト秒レーザーを合成して波長変換することで、波長10nm以下、100アト秒を切る高出力のアト秒パルスの発生を目指しています。それにより、空間と時間の分解能をさらに高めて電子の動きを観測できるようになります」

アト秒レーザーで電子の動きを見てサイエンスやイノベーションを進める時代が本格的に到来しようとしている。

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

(「理研ニュース」2017年10月号より転載。光量子工学研究領域は第4期中長期計画で光量子工学研究センターに改称。)

バイオリソース研究センター 微生物材料開発室は、JCM(Japan Collection of Microorganisms)として1981年に設立されて以来、生物実験に欠かせない微生物材料の収集・保存・品質管理・提供事業を推進してきた。近年、腸内細菌がヒトのさまざまな病気や健康に影響を与えていることが明らかになり始めるなど、微生物の研究がますます注目を集めている。大熊盛也 室長らは、木材を餌にして繁殖するシロアリの腸内に共生する微生物の研究を進めてきた。その研究成果を環境問題の解決に役立てるとともに、培ってきた技術を微生物材料の開発に生かそうとしている。

## 腸内細菌で健康や環境に貢献する

### 腸内細菌の全体像の解析から個々の細菌の機能解明へ

理研では、1950年代から光岡 知足主任研究員らによってヒトの腸内細菌の研究が進められてきた。それは、ヒトのふん便に含まれる細菌を培養して性質を調べるといふ苦勞の多い研究だ。500種類とも1,000種類ともいわれる腸内細菌の大半は酸素があると死滅してしまうため、培養が困難だからだ。

光岡主任研究員のもとで培養法による腸内細菌の研究を続け、微生物材料開発室の室長(2004~09年)を務めた辨野 義己 特別招聘研究員は、1990年代後半から、培養法をベースに遺伝子解

析の手法を取り入れ、腸内細菌の全体像を探る研究を進めた(「理研ニュース」2004年2月号「研究最前線」)。

それは、腸内のさまざまな種類の細菌集団を丸ごと、特定の遺伝子について解析して、そこに含まれる微生物の系統の全体像を明らかにしようとする手法だ。

現在では、多くの研究者がこの手法を取り入れ、さらに網羅的に遺伝子情報を明らかにするメタゲノム解析を用いた腸内細菌の研究に参入している。そしてさまざまな病気や健康状態に腸内細菌が影響を与えていることが明らかになりつつある。ただしメタゲノム解析では、どの遺伝子をどの種類の細菌が持っている

のかを判別することはできない。

腸内細菌の研究は、全体像を調べる段階から、個々の細菌の機能を解明して、病気の予防や治療に役立てることが求められる段階に進展している。「特定の細菌がいるときと、いないときで、病状や健康状態がどう変化するのか。それらが体にどのように作用するのか。それを調べるには、実験材料として培養が可能な細菌が必要です」。そう語るのは、2009年から微生物材料開発室を引き継いだ大熊盛也 室長だ。

理研 生命医科学研究センター 粘膜システム研究チームの大野 博司チームリーダー(TL)らは、腸内細菌がつくる酪酸が腸管免疫系に作用して、炎症やアレルギーを抑える制御性T細胞という免疫細胞の分化を促すことを明らかにした。「そのような研究では、酪酸をつくる細菌と酪酸をつくらない細菌を培養して、腸管免疫系に対する作用を比較する必要があります。JCMから酪酸をつくらない細菌を大野TLたちに提供して、研究に貢献しました」

ところが現在、新しい微生物を培養する取り組みは下火になっている。「ヒトの腸内細菌だけでなく自然界の微生物を調べる研究にメタゲノム解析など遺伝子解析の手法が普及する一方で、困難で時間がかかる培養は敬遠される傾向があるのです」

### 微生物研究者が

#### バイオリソース事業を推進

「培養が敬遠される中、私たちJCMがさまざまな微生物の培養法を開発して、多くの研究者に利用しやすい形で微生物材料を提供していくことで、微生物研究の発展にさらに貢献できるはずです」

自然界の微生物の99%は培養が困難だといわれている。そのような状況でJCMは、微生物の培養法を開発するのに最も適した存在といえる。JCMには、新しい培養法の情報が世界中から集まってくるからだ。

「新種の微生物について論文に記載する際、2カ国以上の公的機関に培養法とともに新種を寄託することが一般的なルールになっています。JCMでも、研究者から新種の寄託を受ける際、培養法を教えてください。そして新種株をほかの研究者に提供する際、培養法も伝えています。それにより、新種の性質を検証し、その新種を用いた新しい実験ができるようになります。このようなバイオリソース事業をJCMが確実に運用できるのは、寄託元や提供先の研究者と対等に研究の話ができる微生物研究者が事業を担当しているからこそです」

現在、JCMに寄託される新種の細菌のうち、7割以上が中国や韓国をはじめとするアジア諸国からのものだ。「自国の公的機関とともに、JCMに新種を寄託してくれます。これも、設立当初からJCMがアジアの研究者たちと信頼関係を築いてきたたまものです」

### ISOの品質管理を導入

JCMは現在、細菌(バクテリア)と古細菌(アーキア)の保有数において世界第2位、酵母では世界第3位の機関だ(図1)。「年間で延べ約4,000株、3,000種類ほどの微生物材料を世界中の研究者や企業に提供しています。多様な種類の微生物材料が求められているのです」

JCMが提供したたくさんの種類の乳酸菌の株の中から、企業が健康に関わる機能を持つ株を見つけ出し、製品化した例もある(図2)。「近年、多くの企業がISO(国際標準化機構)の品質管理の認証を受けています。それらの企業では、取引先にもISO認証の取得を求めます。JCMもISO認証を取得し、事業支援ユニットを設けて微生物材料の品質管理を行っています。ISO認証を取得した研究機関は珍しいと思います」

「バイオリソース事業は、信頼が重要です」と大熊室長は強調する。「1件でも品質に問題のある実験材料を提供すれば、一気に信頼を失います。ISO導入とともに、実績ある微生物研究者がバイオリソース事業を担当していることも、信頼につながっていると思います」

### 培養せずに、シロアリ腸内細菌のゲノム解読に成功

大熊室長は、理研に入った1994年からシロアリの腸内に共生する細菌や原生生物の研究を続け、実績を上げてきた。その共生メカニズムに関する最新の研究成果を紹介しよう。

ヒトの体には腸内だけでなく、口や皮膚にも多数の微生物が共生している。自然界の動物や植物、昆虫なども多数の微

生物と共生関係にある。

「シロアリは、微生物との共生関係のメカニズムを解明するのに、とてもよい研究対象です」と大熊室長。シロアリの腸内には、十数種類の原生生物と数百種類以上の細菌が共生している。「ヒトの腸内細菌の構成は個人ごとに異なります。一方、シロアリは脱皮するたびに腸内の微生物を捨ててしまいますが、巢内の仲間の肛門から微生物のセットを受け継ぐため、腸内微生物の構成が安定していて、繰り返し同じ微生物セットで実験を行うことができます」

シロアリのもう一つの大きな特徴は、木片に含まれるセルロースを効率よく糖に分解する優れた能力を持つことだ。

シロアリが食べた木片を原生生物が取り込み、木片に含まれるセルロースを糖に分解して、さらに酢酸にまで代謝する。細菌はその糖を使って空気中の窒素を固定し、アミノ酸やビタミンを原生生物やシロアリに供給する。また原生生物

図2 JCM株により生まれた製品の例 JCM5805株の持つ機能を、キリン(株)、小岩井乳業(株)、協和発酵バイオ(株)が共同研究によって明らかにし、商品化につなげた。



写真提供:キリン株式会社

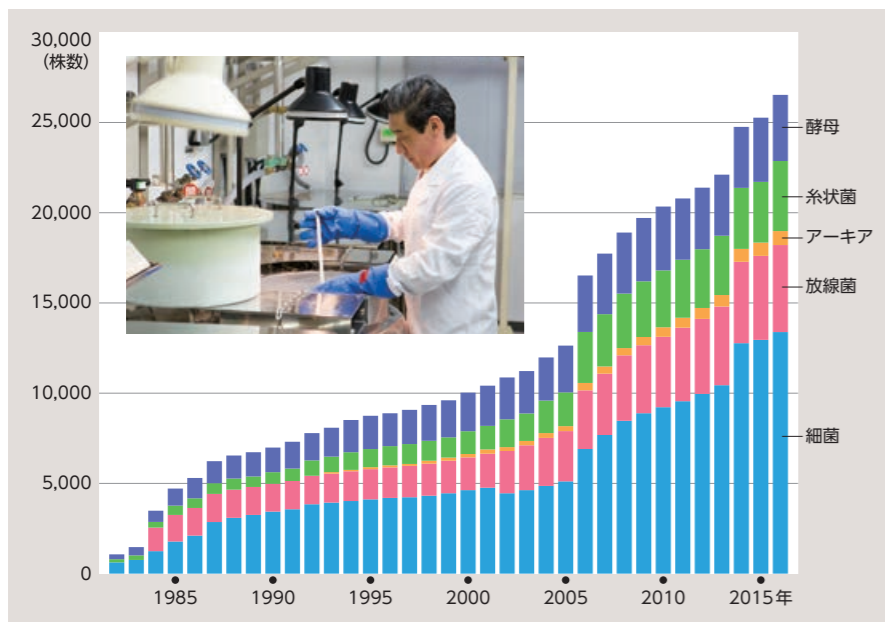


図1 JCM保有株数の推移 2018年2月末で27,018株を保有、17,277株を公開



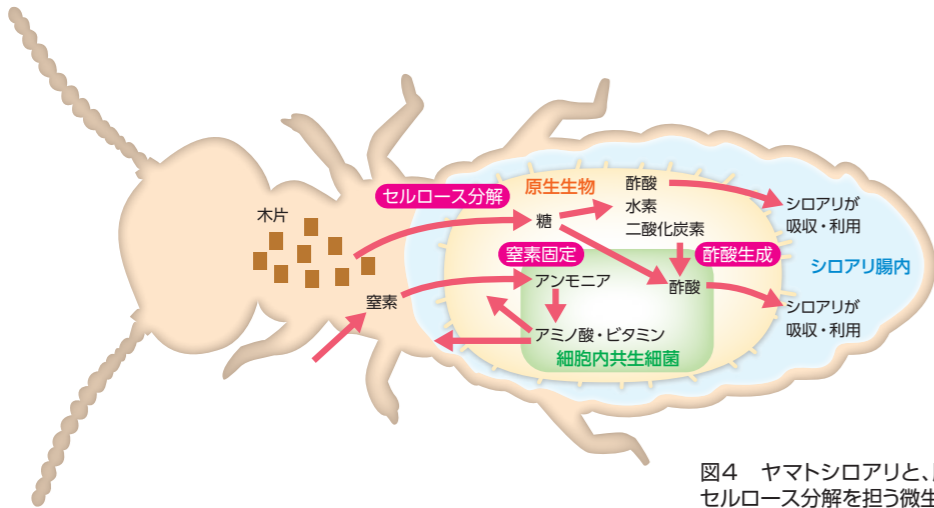


図3 シロアリと腸内共生微生物の共生関係  
シロアリと、腸内の十数種類の原生生物、数百種類の細菌が無駄のないギブ・アンド・テイクの共生関係を築くことで、シロアリは木片だけを食べて繁殖することができる。

がセルロースを糖に分解するときの副産物である二酸化炭素と水素から、酢酸を合成する細菌もいる。その酢酸もシロアリの栄養源となる(図3)。

こうした共生関係が推定されてはきたが、シロアリの腸内細菌もほとんどが培養困難なため、どの種類の細菌が窒素固定や酢酸の生成を担っているのかは分かっていなかった。

特定の細菌が持つゲノム(全遺伝情報)が解読できれば、その細菌がどんな遺伝子を持っているのか、どんな役割・機能を果たしているかが推定できる。大熊室長らは2008年、シロアリの腸内細菌を、培養することなくゲノム解読することに世界で初めて成功した。

「イエシロアリ腸内に共生する原生生物の細胞内で、同一のゲノムを持つ CfPtl-2 という細菌が特定箇所に集まっていることが分かったので、その細菌を数百個回収してゲノムを抽出しました。抽出できた量は微量のため、そのままではゲノム解読できません。私たちは新しい酵素を用いた等温全ゲノム増幅という手法を使って、ゲノムを1000万倍に増やし、ゲノム解読に成功しました。その結果、CfPtl-2は窒素成分を合成する遺伝子を持っていることが分かりました」

(「理研ニュース」2009年8月号「研究最前線」)

### シングルセルゲノム解析に成功

CfPtl-2のように、同一のゲノムを持つ細菌が特定箇所に集まっているケースはまれだ。ほとんどの細菌は、1個の細胞(シングルセル)からゲノムを解読する必要がある。「シロアリの腸内から取り出したさまざまな種類の細菌群を1細菌ごとに分離して、細菌の1細胞から取り出したごく微量のゲノムを増幅します。すると増幅がうまくいくものと、うまくいかないものがあります。たくさんの細胞の中から増幅がうまくいったものを見つけ出して、ゲノム解析を行いました」

大熊室長たちは2015年、シロアリとの共生関係で重要な役割をしている2種類の細菌について、シングルセルゲノム解析に成功した。「2008年のときと異なる新しい酵素や増幅手法を導入したわけではなく、装置の精度向上もあって、解析の各過程を最適化することで成功しました」

### シロアリがセルロースを分解し続けられる理由

2015年にシングルセルゲノム解析に成功した2種類のうちの一方は、オオシロアリの腸内にある原生生物の細胞内に共生するスピロヘータという細菌の一種だ。そのゲノムから窒素固定と酢酸生成に関わる遺伝子が見つかった。

窒素は生物の必須元素だが、木片には窒素が乏しい。ところがシロアリは木片

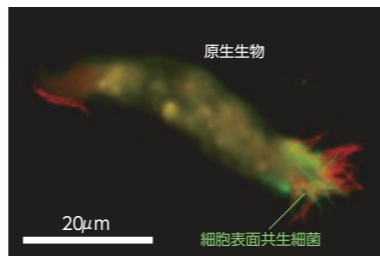


図4 ヤマトシロアリと、腸内でセルロース分解を担う微生物  
上は、体長約5mmのヤマトシロアリ。下は、その腸内でセルロース分解を担う原生生物(Dinenympha属)と、セルロース分解の前処理を行う細胞表面共生細菌(緑色)。

だけを餌にして繁殖する。「それができるのは、細菌と原生生物、シロアリに共生メカニズムがあるからだと考えられます」。シロアリが食べた木片には高分子の多糖類であるセルロースが含まれる。それを原生生物が糖に分解し、細菌がその糖をエネルギー源にして空気中の窒素を固定し、アミノ酸やビタミンを生成して原生生物やシロアリに与えるという仕組みだ。

原生生物がセルロースを分解する際、水素と二酸化炭素ができる。「それらの副産物がたまるとセルロースの利用が進まなくなります。細菌が水素と二酸化炭素から酢酸を生成してくれるおかげで、原生生物はセルロースを分解・利用し続けられるのです」

この細菌の働きを利用して、温室効果ガスであるメタンを削減できる可能性もある。メタンは単位質量当たりで二酸化炭素の約30倍の温室効果がある。人為起源のメタンの主な発生源は、水田や、ウシなどの家畜だ。「水田の泥の中やウシの消化管には、水素と二酸化炭素からメタンをつくるメタン生成菌がいます。その繁殖を抑えて、代わりに酢酸をつくる細菌を繁殖させることができれば、メタン発生を削減することができます。さらに、酢酸は家畜に吸収されて成長に利用されるので、生産性も向上します」

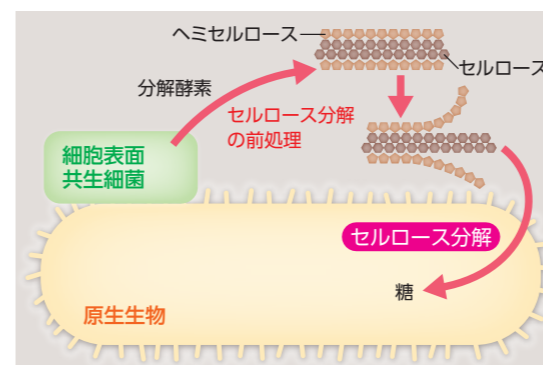


図5 セルロース分解の前処理  
セルロースを分解するには、ヘミセルロースを部分的に分解し、セルロースを露出させる必要がある。それを原生生物の細胞表面に共生する細菌が行っていることが分かった。その前処理にはリグニンの分解も必要はすだが、その分解酵素の遺伝子は未知のため、特定されていない。

### セルロース分解の前処理をする細菌を発見

2015年にシングルセルゲノム解析に成功したもう1種類は、ヤマトシロアリの腸内でセルロース分解の前処理を行う細菌であることが判明した。

木材は主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンから成る。「セルロースとヘミセルロースは鉄筋コンクリートに例えられます。セルロース(鉄筋)を分解するには、その周りのヘミセルロース(コンクリート)を部分的に分解して、セルロースを露出させる前処理が必要です。その前処理も原生生物がその細胞内で行っていると考えられていました。ところが、原生生物の細胞表面に共生する細菌をシングルセル解析したところ、前処理に必要な酵素の遺伝子を持っているのはその共生細菌の方だということが分かったのです」(図4・図5)

### シロアリの腸内細菌がバイオ燃料に革新をもたらす

セルロースとヘミセルロースには、リグニンが絡み付いている。セルロースを露出させるには、リグニンも分解する必要があります。セルロース分解の前処理を行う細菌は、リグニン分解酵素も持っているはずだが、それは特定できていない。

従来知られているリグニン分解酵素は、活性酸素の酸化力でリグニンを分解するものだ。「シロアリの腸内は酸素がほとんどない環境なので、活性酸素は使っていないはず。まったく未知のメカニズムでリグニンを分解していると考えられます。そのような未知の酵素の遺伝子は、ゲノム情報だけでは特定でき

ないのです。その未知の酵素を探す研究を理研 環境資源科学センター(CSRS)で進めてきましたが、まだこれから解明すべき課題です」

エネルギー問題や温暖化の対策として、化石燃料の代わりにトウモロコシやサトウキビ由来のバイオ燃料が普及し始めている。ただし、それらは食料供給と競合する。そこで、木くずや間伐材、雑草に含まれるセルロースからバイオ燃料をつくる研究が行われている。その大きな課題がリグニンの分解だ。既存の酵素ではリグニンを十分に分解できないため、高温下で硫酸を用いるなど、環境に負荷がかかる前処理が必要だ。

シロアリの腸内細菌は、既存のものよりも優れたリグニン分解酵素を持っている可能性がある。そのような酵素や細菌を工業的に利用できれば、セルロース系バイオ燃料の生産にブレークスルーをもたらす可能性がある。

食料と競合しないバイオ燃料の生産では、藻類など光合成生物を利用する取り組みが先行している。「藻類などでバイオ燃料を生産するには、光を当てるための広い面積が必要です。一方、木くずなどに酵素や細菌を作用させてバイオ燃料をつくる方法はタンクの中で生産ができるので、広い面積が必要ないという利点があります」

### シングルセルゲノム解析から培養可能な微生物材料の開発へ

未知の微生物のシングルセルゲノム解析は、10年ほど前から論文が発表され始め、数年前から論文数が増えている。「主な研究グループは、私の知る限り

- 関連情報
- 2015年7月6日プレスリリース シロアリ腸内の原生生物の表面共生細菌がリグニン分解に寄与
  - 2015年5月12日プレスリリース シロアリは腸内微生物によって高効率にエネルギーと栄養を獲得
  - 2013年11月14日プレスリリース 腸内細菌が作る酪酸が制御性T細胞への分化誘導のカギ
  - 「理研ニュース」2012年11月号「特集」

では国内では早稲田大学と私たちJCMの2カ所、世界的にも十数カ所程度ではないかと思えます」

大熊室長らは、シロアリの腸内に共生する数百種類の細菌を、網羅的にシングルセルゲノム解析する取り組みを進めている。「それにより、数は少なくとも共生メカニズムで重要な役割をしている細菌が見つかるかもしれません。そのような細菌は、メタゲノム解析では発見することが困難です」

理研では、大野TL、CSRS 植物免疫研究グループの白須 賢 グループディレクター、大熊室長らが集まり、ヒトや植物、昆虫と微生物の共生メカニズムを解明する共同研究を進めている(所内分野横断プロジェクト「共生生物学プロジェクト」)。

「ヒトの腸内にも、数は少なくとも病気や健康を左右する重要な細菌がいる可能性があります。そのような細菌が発見されても、培養できなければその役割を検証する実験を行うことは難しいでしょう。シングルセルゲノム解析により微生物の性質が推定できれば、その培養法の開発に大きく役立ちます。私たちがシロアリの腸内細菌を対象に築いてきたシングルセルゲノム解析の技術をさまざまな微生物に広げ、それを培養法につなげることで、新しい微生物材料の開発を推進していく計画です」

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

(「理研ニュース」2018年4月号より転載)

環境資源科学研究センター(CSRS)環境代謝分析研究チームを率いる菊地 淳チームリーダー(TL)は、さまざまな生物の代謝混合物を核磁気共鳴(NMR)装置によって解析してきた。その菊地TLが今、注目しているのは、海だ。生物に含まれるものだけでなく環境水や底泥の代謝物、無機元素、微生物群集も解析する。得られたビッグデータから重要な情報を掘り出すべく、人工知能(AI)の機械学習も駆使し、研究を進めている。日本の周りには豊かな海が広がっている。その海を耕し、恩恵にあずかるための取り組みを紹介しよう。

## ビッグデータを機械学習し海を耕す

### 理研における海の研究

「2年前から週1回、鶴見川が東京湾に注ぐ場所で採水をしています」と菊地TL。環境代謝分析研究チームの研究室は、理研横浜地区にある。菊地TLほか研究チームの研究員や、菊地TLが客員教授を兼任する横浜市立大学大学院生命医科学研究科の学生たちが、自転車の前籠に採水セットを入れ東京湾奥へ。海水を採取して水温や塩分、pHをその場で測り、研究室で代謝物や無機元素、微生物の種類や量を計測する(図1)。「東京湾では毎年のように赤潮が発生します。赤潮が発生するメカニズムを物質循環の観点から明らかにし、さらに発生予測の指標に使える重要因子を特定し予測を実現することで、水産環境への影響を減らすことを目指しています」と菊地TL。そして「理研で海の研究!？」と驚

かれるかもしれませんね」と笑う。菊地TLらが管理している実験室の一つには「水産実験室」というプレートが掲げられている。室内には水槽が並び、メジナやカサゴ、アイナメ、スジアラなどが飼育されている。「おいしい魚の養殖や排水処理技術のヒントを見いだそうとしています」と紹介する。これまで菊地TLは、NMR装置を用いて、植物やシロアリ、ヒトの腸内細菌など、さまざまな生物の代謝物を解析してきた。今なぜ、海に注目するのだろうか。「日本は国土が小さく資源に乏しいといわれます。しかし、領海と排他的経済水域を合わせた海の広さは世界第6位。しかも、親潮や黒潮が豊かな栄養を運んでくるため、生物多様性がとても高く、有用生物の宝庫です。それらを活用したいと考え、3年ほど前から『海を耕す』という

言葉を使い始めました。もちろん、これまで培ってきたNMR解析の技術は一貫して活用しています」赤潮や養殖に関する研究について詳しく紹介する前に、2018年に発表された最新の成果を二つ紹介しよう。

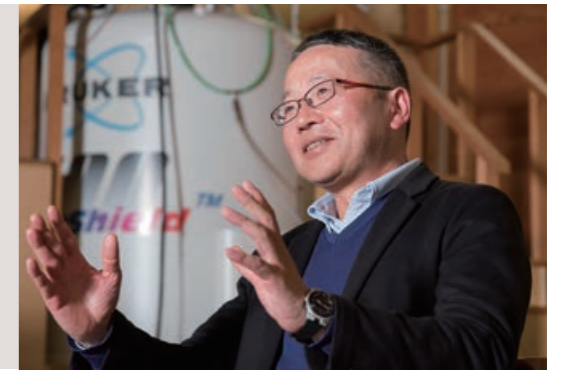
### 機械学習を用いて産地を判別し、重要な代謝物を探索

菊地TLらが海を耕すために有力なツールとして取り入れたのが、人工知能(AI)である。「AIはビッグデータの解析に有効であり、社会構造を変え得る革新的な技術といわれています。しかし、生物学や化学の分野では本格的には使われていませんでした。そうした中で私たちは、代謝物の解析に深層学習を取り入れることに世界で初めて成功しました」菊地TLらは、日本各地の河川からマハゼを1,022サンプル収集してきた。そして、それぞれの筋肉をすりつぶしたエキスを用意。エキスにはマハゼが代謝によって産生したさまざまな代謝物が混ざっている。それをNMR装置で解析してデータを取得した。ここでNMR解析について簡単に説明しておこう。強い磁場を発生させたNMR装置の中で試料に電磁波を照射すると、試料の原子や分子は、その構造に特徴的なエネルギーを吸収・放出する。電磁波の周波数を変えながらエネルギーの吸

### 菊地 淳 (きくち じゅん)

環境資源科学研究センター  
環境代謝分析研究チーム  
チームリーダー

1970年、東京都生まれ。博士(工学)。東京農工大学大学院工学研究科物質生物学専攻修了。科学技術振興機構ERATO研究員、理研ゲノム科学総合研究センター研究員、理研植物科学研究センター先端NMRメタボミクスチームチームリーダーなどを経て、2013年より現職。名古屋大学大学院生命農学研究科客員教授(2007年より)、横浜市立大学大学院生命医科学研究科大学院客員教授(2013年より)を兼任。



収・放出を計測すると、試料に固有のスペクトルが得られる。混合物の場合はそれぞれの物質由来のスペクトルが足し合わされているが、純物質のNMRスペクトルのデータベースと照合すれば、含まれている物質を同定できる。また不溶性の物質のNMR解析は難しいのだが、菊地TLらは、不溶性物質も、さらには高分子混合物まで解析可能な方法を開発している。

「得られた代謝物のNMRデータを用いて産地判別と重要因子を探索することを目標に、深層学習のアルゴリズムを開発しました」と菊地TL。深層学習とは機械学習の一つで、ヒトの脳神経回路をモデルにした多層構造のディープニューラルネットワークを用いる。着目すべき特徴を自ら設定しつつ、ビッグデータを学習して関連性や法則を見つけ出し、それに基づいて新たなデータの分類や予測をする。その予測精度は極めて高いといわれている。

しかし、代謝物のNMRデータから産地を判別する場合は、そのモデルが非常に複雑になる。そのため、深層学習の従来アルゴリズムのままでは、重要な因子がどれか、直接には分からないという欠点があった。そこで菊地TLらは、ディープニューラルネットワークを代謝物の解析用に最適化し、産地判別に重要な因子となる代謝物を特定できるアルゴリズムを開発した。

そして、開発した深層学習のアルゴリズムでマハゼ1,022サンプルのNMRデータを解析。従来の最小二乗法による回帰分析や、サポートベクターマシンやランダムフォレストといった機械学習を

用いる手法でも同じデータを解析し、その結果を比較した。すると、深層学習の産地判別精度は97.8%と最も高く、重要な代謝物も特定できた。回帰分析の産地判別精度は57.3%、サポートベクターマシンは95.8%、ランダムフォレストは95.0%だった。この結果は、機械学習、特に深層学習が代謝物など生物の多様なビッグデータの解析にも有用であることを示している。

菊地TLは「NMRデータはAIや深層学習と相性がいい」という。その理由は複数

ある。深層学習では学習の段階にビッグデータが必要だが、NMR装置が導入されていれば1回の解析のコストは低く抑えられ、ビッグデータも容易に取得できること。試料調製が容易で物質ごとに分離する必要がないため、ほかの解析方法に比べて再現性が高いこと。機器の劣化や機器ごとの個性が反映されにくいこと、異なる研究機関や大学で取得したデータも使えること、などだ。

また理研には、革新知能統合研究センター(AIP)や計算科学研究センター

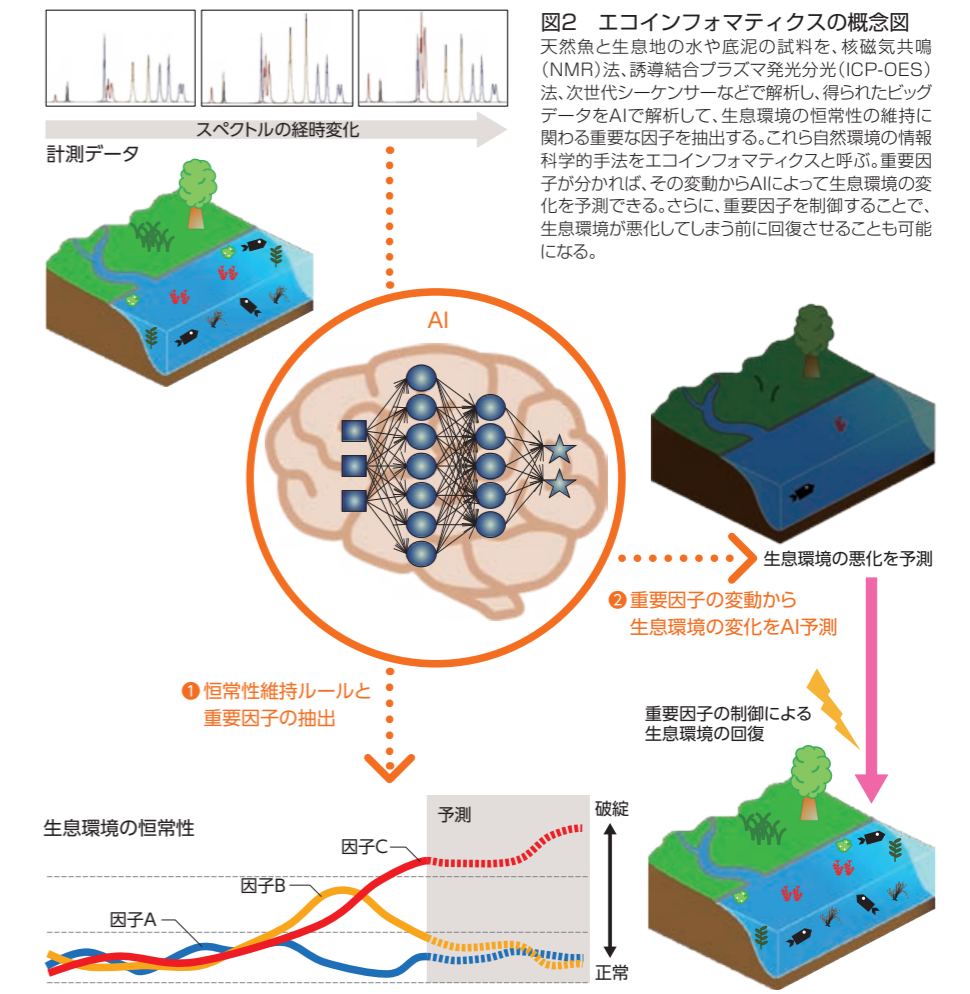


図1 東京湾奥での採水の様子  
週1回採水を行い、その場で水温、塩分、pHを計測する。試料を持ち帰り、代謝物や無機元素、微生物を計測する。



撮影:STUDIO CAC

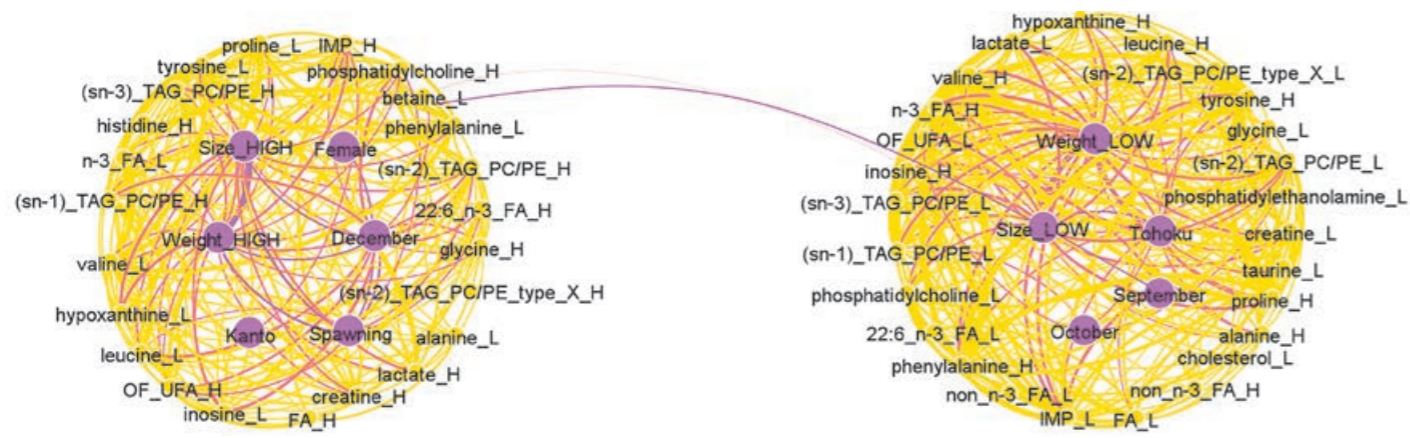


図3 マーケットバスケット分析法で構築した代謝物・表現型・環境因子のネットワーク  
マーケットバスケット分析法は社会科学で用いられる分析法である。相関の高い因子が線で結ばれている。

大型個体群  
(R-CCS)などAIや数理科学を専門とする研究者集団がいる。「ビッグデータを扱う上で、彼らと連携できることは大きい利点ですね」と菊地TL。

「今回の手法は、マハゼ以外の水産物、さらには農作物にも適用できます。また、旬の時期に産生される重要な代謝物を探索しておいしい水産物や農作物を判別するなど、いろいろな応用が可能です」。最近では小型で安価なNMR装置も市販されている。どの代謝物がいつ、どのように重要かが分かれば、生産現場で分析を行い判別して出荷することも可能になるだろう。それは、今注目されているIoT(モノのインターネット)やICT(情報通信技術)を活用した「スマート農林水産業」の一つの形だ。

**環境のビッグデータから情報を抽出するエコインフォマティクス**

「自然界では水温や日長、無機元素などの栄養、周囲や自分の腸内の微生物などさまざまな因子が絶えず変化し、魚はそうしたわずかな環境変化も敏感に察知して生きています。その結果、代謝物はもちろん、行動や形態も変わります。まさに多因子が変動する複雑系です。私は、複雑系において因子がどのように関連しているかを明らかにすることにチャレンジしたいのです」と菊地TLは言う。ゲノム配列やタンパク質などの生物学のビッグデータを解析して重要な情報を取り出す手法は、バイオインフォマティクスと呼ばれている。菊地TLが目指すのは、生物だけでなく、それが生息している水、底泥から得られる物理・化学・生物学的なビッグ

●代謝物  
●表現型、環境因子など  
H: High  
L: Low

データを解析して重要な情報を抽出することである。その新しい手法を、菊地TLは「エコインフォマティクス」と呼んでいる(図2)。

菊地TLらは、前述の研究と共通するマハゼ1,022匹のサンプルに加え、その代表的な生息地の水と底泥を66サンプルずつ採集し、解析した。NMR装置による代謝物の解析に加え、誘導結合プラズマ発光分光(ICP-OES)装置による無機元素の解析、次世代シーケンサーによる微生物の解析も行った。さらに、マハゼの体長や体重、抱卵の有無などの表現型もデータ化した。

「各因子の関連性を探索するために、マーケットバスケット分析法を使いました。この解析手法は、インターネットショッピングなどの販売業者がよく一緒に購入される商品を見つけるために利用しているものです」と菊地TLは解説する。マーケットバスケット分析の結果、体重が重い、体長が大きい、抱卵しているなど成長段階が進んだ大型個体群には、脂質や乳酸、イノシン酸などの代謝物が多く含まれていることが分かった(図3)。一方、成長段階が低い小型個体群には、イノシンや、分岐鎖アミノ酸と呼ばれるロイシンやイソロイシン、バリンなどの代謝物が多く含まれていた。

また、マハゼの筋肉に含まれる代謝物、マハゼの腸内細菌、水や底泥に含ま

れる無機元素や微生物を計測し、高い相関を示す因子同士を線でつないだ相関ネットワークを構築した(図4)。例えば、筋肉中の酢酸含有量は、底泥環境中のカリウム、鉄、マグネシウム、コバルトなどの無機元素と負の相関を、マハゼの腸内の非飽和脂質、イノシンなどの動物食性由来の成分と負の相関を、腸内の植物食性由来の光合成微生物と正の相関をすることが分かった。

「エコインフォマティクスによって生息環境の恒常性の維持に関わる重要な因子が見つければ、その変動から生息環境のバランスが崩れてしまう前に予測したり、重要因子を制御することで環境を改善できる可能性があります。赤潮の研究では、発生の重要因子を見つけ、発生を予測し、最終的には赤潮の発生を制御したいと思っています」

**赤潮の重要因子を発見し発生を予測**

赤潮とは、プランクトンの異常増殖によって海や川、湖沼などの水が赤く変色する現象である。魚介類のえらが傷付けられて酸素を取り込めずに死んでしまうこともあり、赤潮の発生は漁業に大きな被害を及ぼす。「赤潮の発生メカニズムについては、これまでさまざまな研究が行われてきました。しかし、プランクトンだけに注目した研究が多く、さまざまな環境因子の変動と関連付けた研究は

ありませんでした」と菊地TLは指摘する。「そこで私たちは、エコインフォマティクスによって赤潮発生の重要因子を発見することを目指しています」冒頭で紹介した採水は、そのためのものだ。「これまでの解析から赤潮発生の重要因子らしいものが見つかっていません。その重要因子の変動をモニターすることで、赤潮の発生を本当に予測できるかどうかを、今後2~3年で確かめていきたい」と菊地TLは意気込む。現在は大型の装置で解析しているが、赤潮発生の重要因子が特定できれば、あとはその因子を検出できる簡易な検査キットがあれば事足りる。赤潮の発生予測の実現には、大きな期待が寄せられている。

**高級魚スジアラの効率的な給餌法を探る**

最後に、養殖に関する研究について紹介しよう。「スジアラという魚を知っていますか」と菊地TL。「沖縄の三大高級魚の一つに挙げられています。癖のない淡

白な肉質で、焼いても煮ても揚げても、そして刺し身でも、とてもおいしい魚です。私たちは、水産研究・教育機構と共同で、スジアラの養殖における効率的な給餌法の開発に取り組んでいます」スジアラは、熱帯・亜熱帯海域に生息するハタ科の魚類で、沖縄地方ではアカジンと呼ばれている。体色が赤いことからおめでたい魚として、中国でも高値で取引されている。しかし、スジアラの漁獲量は世界的に減少している。そうした中、沖縄県石垣島にある同機構の亜熱帯研究センターが積年の努力によって、スジアラの完全養殖成功を2016年に発表した。

スジアラの養殖に成功したものの、いくつか問題があった。成長が遅い上に、天然に比べて内臓脂肪が多いのだ。「与えた餌が、食べられない内臓脂肪になっていたのでは、もったいないですよ。餌が筋肉になれば、成長速度も速くなるでしょう。そのために給餌法の最適化に取り組んでいます」

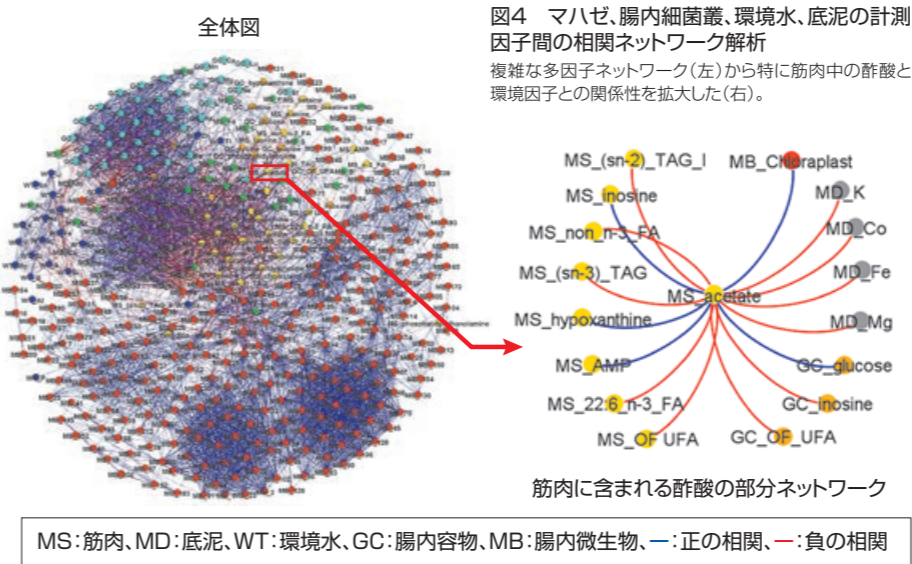


図4 マハゼ、腸内細菌叢、環境水、底泥の計測因子間の相関ネットワーク解析  
複雑な多因子ネットワーク(左)から特に筋肉中の酢酸と環境因子との関係性を拡大した(右)。

MS: 筋肉、MD: 底泥、WT: 環境水、GC: 腸内容物、MB: 腸内微生物、—: 正の相関、-: 負の相関

関連情報  
●2018年2月22日プレスリリース  
天然魚類と環境水・底泥のエコインフォマティクス  
●2018年1月24日プレスリリース  
深層学習を用いた重要代謝物探索法  
●2017年8月24日プレスリリース  
沖縄三大高級魚スジアラの効率的給餌法にヒント

菊地TLらは、給餌に伴ってスジアラの筋肉に含まれる代謝物がどのように変化するかを詳細に分析。その結果、スジアラには数時間の早い代謝応答と、より長時間の代謝応答があることが明らかになった。これをヒントに効率的な給餌法を探っているところだ。

「効率的な給餌は、あらゆる魚類の養殖において重要な課題」と菊地TLは指摘する。投入した餌のおよそ3分の2が魚の体重増加に寄与せず、ふんや残渣となっているといわれる。養殖にかかるコストの7~9割は餌代が占めることから、効率的な給餌の実現は重要案件だ。また、餌が残ることで水質汚染や赤潮などの発生につながるため、適切な排水処理が必要になる。今後の水産業は、環境分析と低負荷を数値化したエコ認証化が成長の鍵を握る。「最も効率的に育ち、かつ味も良くなる。そんな飼料と排水処理技術の開発のために、水産実験室でさまざまな魚を飼育しているのです。排水処理技術については、情報科学を活用して新材料を効率的に探索するマテリアルズ・インフォマティクスを取り入れて分離膜材料や吸着剤の検討を始めています。材料研究では、理研が誇るNMR装置や、スーパーコンピュータと計算科学技術を有効活用できます」

そして菊地TLは、最後にこう語った。「スジアラの効率的な給餌法を実現して養殖を軌道に乗せ、沖縄以外でも食べられるようにしたいですね。スジアラって本当においしいんですよ」

(取材・執筆:鈴木志乃/フォトンクリエイト)

(「理研ニュース」2018年4月号より転載)

これまで、新しい機能を持つ材料を開発するために、さまざまな化合物をつくり、その機能を調べる実験が繰り返されてきた。計算科学研究機構(AICS)量子系分子科学研究チームの中嶋隆人チームリーダー(TL)たちは2017年、スーパーコンピュータ「京」の中で1万種類以上の化合物をつくり、その中からペロブスカイト太陽電池の新材料の有力候補を発見することに成功した。さらに中嶋TLたちは、次世代理論分子科学の構築を目標として、これまで計算することが難しかった、さまざまな環境にある複雑で大きな分子を高精度で計算できる分子理論と計算手法の開発を進めている。それにより、次世代のスパコンの中でさまざまな化合物をつくり、最適な新材料候補を発見できるようにすることを目指している。

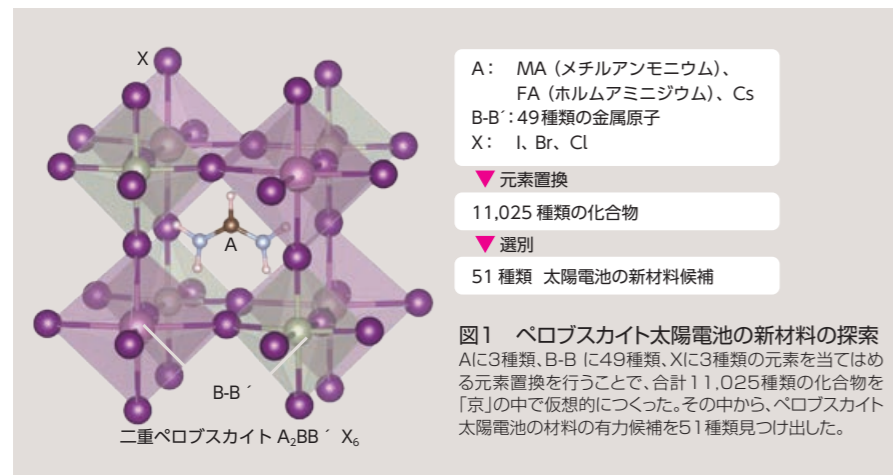
## 「京」で新材料候補を探索する

### 11,025種類の化合物から新材料候補を選び出す

桐蔭横浜大学の宮坂 力 教授らが2009年に発表したペロブスカイト太陽電池は、米国の科学雑誌『Science』で2013年の10大ブレイクスルーの一つに選ばれるなど、大きな注目を集めた。ペロブスカイト太陽電池は基板に材料を塗るだけで製造できるため、従来のシリコン系太陽電池などに比べて低コスト化が実現できる。しかも、軽くて薄く、曲げることができるため、これまで設置が難しかった場所や用途で使えると期待されている。太陽の光エネルギーから電気への変換効率も、2009年には3.8%だったが、現在では20%を超え、実用レベルに達している。ただし課題もある。その一つが有毒な鉛を使うことだ。そこで、有毒な元素を使

わずに高い変換効率を実現するペロブスカイト太陽電池の新材料の開発が望まれている。「私たちは、その材料開発を『京』で行うことにしました」と中嶋TL。「ペロブスカイト太陽電池は、ペロブスカイトと呼ばれる結晶構造を持つ化合物を使います。私たちは、その中の『二重ペロブスカイト(A<sub>2</sub>BB'X<sub>6</sub>型)』の化合物に注目しました」(図1) A<sub>2</sub>BB'X<sub>6</sub>は、A、B-B'、Xという三つのサイトに分かれる。中嶋TLたちは、Aに3種類、B-B'に49種類(第2族~第15族内の金属原子)、Xに3種類の元素を当てはめることで、合計11,025種類の化合物を、「京」の中で仮想的につくった。「次に、それぞれの性質を計算して、ペロブスカイト太陽電池の材料としてふさ

わしいものを選び出しました」ここでペロブスカイト太陽電池の仕組みを簡単に見てみよう(図2)。まずペロブスカイト層に太陽光が当たると、①マイナス電荷の電子とプラス電荷の正孔のペアができる。②そのペアはすぐに分離してペロブスカイト層内を移動し、③電子は電子輸送層を経て負極へ、正孔は正孔輸送層を経て正極に蓄積される。④電極を結ぶと電気が流れる。ペロブスカイト太陽電池の材料としてふさわしい化合物の主な性質は、①太陽光が当たって電子と正孔のペアができやすいこと、②ペロブスカイト層内を電子と正孔が移動しやすいこと、③ペロブスカイト層から電子が電子輸送層へ、正孔が正孔輸送層へ流れやすいことだ。もちろん、A<sub>2</sub>BB'X<sub>6</sub>型の二重ペロブスカイト結晶構造を安定に保つことが必須だ。「例えば、ペロブスカイト層から電子が電子輸送層へ、正孔が正孔輸送層へ流れやすいかどうかは、エネルギーバンドという電子状態を計算することで調べることができます。ペロブスカイト層と正孔輸送層の価電子帯というエネルギーバンドの位置(エネルギーの大きさ)に少し段差があると、正孔が最も流れやすくなります。電子でも、ペロブスカイト層と電子輸送層の伝導帯のエネルギーバンドの位置に少し段差がある状態が最適です。それぞれの段差が大きいと、正孔や

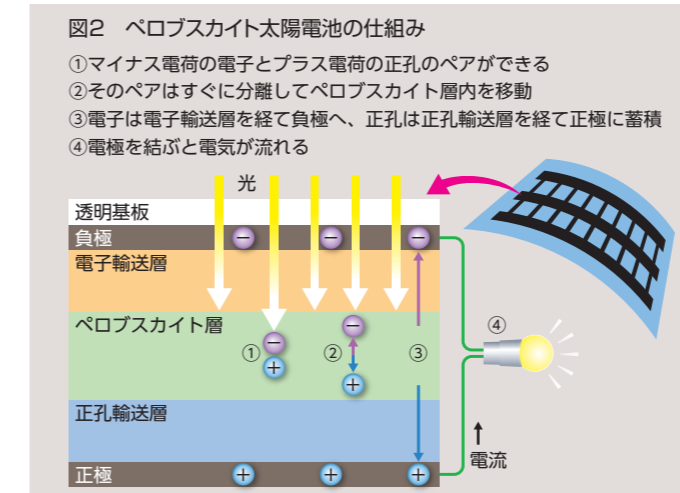


**中嶋隆人** (なかじま たかひと)  
計算科学研究機構  
量子系分子科学研究チーム  
チームリーダー  
1967年、鳥取県生まれ。博士(工学)。早稲田大学大学院理工学研究科化学専攻修士課程修了。京都大学大学院工学研究科合成・生物化学専攻博士課程研究指導認定退学。東京大学大学院工学系研究科准教授などを経て、2010年より現職。

電子が流れにくくなり、電極にたどり着く確率が低くなって発電効率が低下する原因となります」(図3)

11,025種類の化合物の中から太陽電池の材料としてふさわしい性質の化合物を選び、有毒な鉛、水銀、カドミウム、ヒ素、タリウムを含むものを除外すると、最終的に51種類の化合物が残った。それらはいずれも実験で合成されたことがない、初めて見つかった化合物であり、ペロブスカイト太陽電池の材料の有力候補だ。

「51種類という数は、意外と少ないと感じました」と中嶋TL。その51種類のB-B'サイトの元素の組み合わせを周期表の族で分類すると、①第14族—第14族(16個)、②第13族—第15族(16個)、③第11族—第11族(7個)、④第9族—第13族(6個)、⑤第11族—第13族(4個)、⑥第11族—第15族(2個)の6タイプに分かれる。「太陽電池にふさわしいB-B'サイトの元素の組み合わせには、法則性があることが分かったのです」



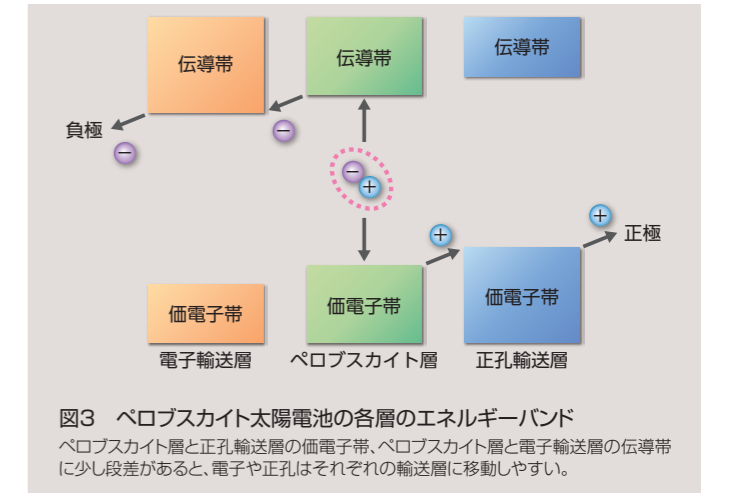
### 実験データからAIで変換効率に重要な性質を見つけ出す

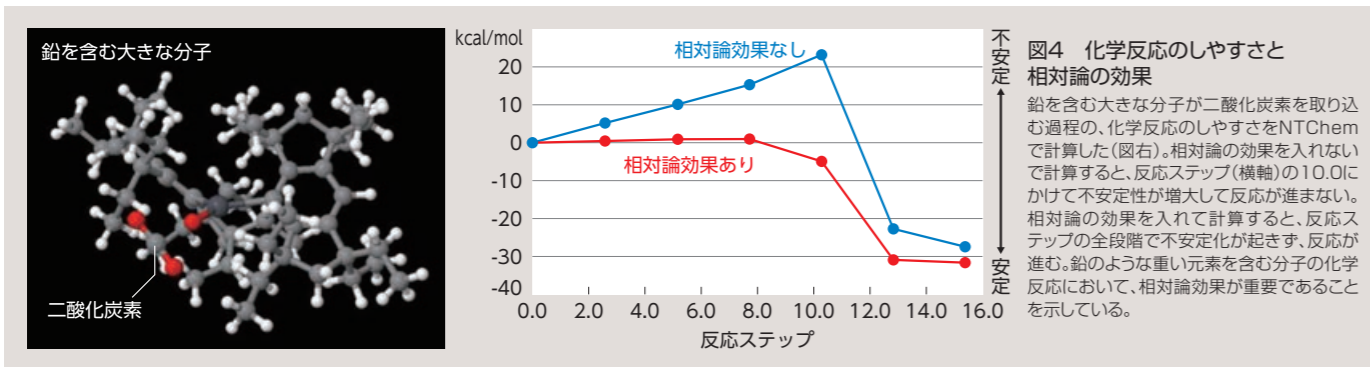
51種類の中で変換効率が最も高い化合物はどれか?「それを計算だけから導き出すことはできません。51種類の化合物のうちいくつかを実際に合成し、変換効率を含むさまざまな性質を測定する必要があります。その実験データを人工知能(AI)の機械学習で分析すれば、変換効率と関連が強い性質が何かを見つけ出せます。その関係性が分かれば、51種類の全ての化合物について、変換効率を計算で予測できるようになります。実験家の方にはぜひ、何種類の化合物を合成して、変換効率などを測定していただきたいですね」

実用化には、変換効率だけでなく、製造のしやすさや耐久性なども重要だ。今回は、AサイトとXサイトにそれぞれ3種類の元素を当てはめたが、それ以外の元素を用いることで、より良い材料ができる可能性がある。「化合物の候補の数や情報を増やして材料ライブラリーを拡充することで、ペロブスカイト太陽電池の開発に貢献することができます」

### レアメタルフリーのペロブスカイト光触媒を発見

ペロブスカイト構造を持つ化合物の中には、光が当たると水が酸素と水素に分解する反応を促進する、光触媒の機能を持つものがある。そのような材料は、水から水素燃料を生み出す人工光合成システムの材料として有望だ。中嶋TLたちは、「京」を使って太陽電池と同様の手法で、ペロブスカイト光触媒の新材料を探索する研究も進めている。「29,000種類以上の化合物をつくり、光触媒に関わる性質が優れているものを40種類ほど選び出しました」すでに報告されているペロブスカイト光触媒の多くは、高価なレアメタルを含んでいる。そのため、レアメタルを含まない高効率のペロブスカイト光触媒の材料が望まれている。「私たちが『京』で見つけ出したものの中には、レアメタルを含まない化合物が6種類あります。それは実際に合成されたことがないものですが、ペロブスカイト光触媒の材料として有望です」





## 巨大分子の性質を導き出す NTChemを開発

人工光合成には、お手本となる材料がある。生物が光合成で用いているタンパク質だ。岡山大学の沈建仁教授たちは大型放射光施設SPring-8を使って、光合成で中心的な役割をする光化学系IIというタンパク質の構造解析に成功。『Science』は、それを2011年の10大ブレイクスルーの一つに選んだ。

光化学系IIは、マンガンを含む約100万個の原子から成る巨大分子だ。その構造を参考に、金属と有機物を組み合わせた錯体などの巨大分子を設計して、人工光合成システムあるいは太陽電池の優れた材料を開発できる可能性がある。「しかし既存の計算法では、せいぜい100個ほどの原子から成る小さな分子しか、その性質を高精度で計算することが難しいという課題がありました」と中嶋TLは指摘する。

量子論のシュレーディンガー方程式を解けば、原子や分子の性質を全て計算することができる。しかし、複雑な分子になると正確に解くことができないので、何らかの近似が必要になる。「分子中の1個の電子が分子全体に広がった軌道(分子軌道)を動き回ると仮定して近似を行い、分子の性質を高精度で計算する『分子軌道法』という手法があります。私たちは、分子軌道法の適用範囲を大きく広げて、さまざまな環境にある複雑で大きな分子の性質を高精度で計算できる分子理論と計算手法の開発を進めてきました」

その成果として、「京」の特徴に合わせて並列計算できる分子科学計算ソフトウェア「NTChem」を開発し、外部の研究

者が利用できるように2013年に公開した。NTChemの特徴は、1,000個ほどの原子から成る大きな分子の性質を高速で計算できることだ。「従来の計算法では、分子を構成する原子の数の3乗で計算量が増えてしまうので、大きな分子の計算が難しかったのです。原子の数にほぼ比例して計算量が増えるような計算法を導入しました」

タンパク質などの生体分子は、周囲に水がある環境で本来の機能を発揮する。NTChemは周囲に水がある場合とない場合の違いなど、さまざまな環境における電子状態の計算を行うことができる。

「さらに、相対論の効果を入れて計算できることもNTChemの大きな特長です」と中嶋TL。

超高速で運動する電子を持つ物質には相対論の効果が働く。原子核は原子番号と同じ数の陽子を持つ。遷移金属などの原子核はたくさんの陽子を持つため、その近傍の電子は大きなプラス電荷によって強く引き付けられ超高速で運動する。光速に近くなるにつれて運動する電子の質量は重くなるので、相対論の効果を考慮しないと比べ、原子核にさらに引き付けられ分子軌道が縮む。そのため、遷移金属などを含む分子の電子状態を計算するには、相対論の効果を入れる必要があるのだ。

「私たちは、NTChemによって、原子番号82の鉛を含む大きな分子と二酸化炭素との化学反応を、相対論の効果を入れた場合と入れない場合で計算してみました(図4)

すると、相対論の効果を入れた計算では、鉛を含む分子は二酸化炭素を取り込

みやすいが、相対論の効果を入れない計算では、二酸化炭素を取り込みにくくなることが分かった。「分子軌道の形によって、化学反応の起きやすさは異なります。相対論の効果きちんと計算することで、遷移金属を含む触媒分子などの分子軌道を正しく計算して、その機能を知ることができます」

相対論の効果は、分子がどの波長の光を吸収しやすいかといった性質にも影響する。従って、相対論の効果を入れることは、太陽電池や人工光合成システムの新材料を探索する上でも重要だ。

## 「京」とNTChemで フラレンの電子状態を計算

中嶋TLたちは2016年、「京」とNTChemを組み合わせ、フラレンの性質を世界最高の精度で計算することに成功した。

60個の炭素がサッカーボール状になったC<sub>60</sub>フラレンが1985年に発見され、その発見者には1996年のノーベル化学賞が贈られた。C<sub>60</sub>は電気を通ず性質があり、有機太陽電池など、さまざまなデバイスの材料として注目を集めている。

ただし、炭素からフラレンをつくる時に必要なエネルギーである「生成熱」を実験で正確に測定するのは難しい。生成熱は炭素同士の結合がどのくらい安定かといった基本的な物性の指標となる。

従来は、生成熱を理論的に計算することも難しかった。生成熱の計算には、高精度の電子状態の計算が必要だからだ。

「1個のフラレンは、高精度で電子状態

を計算するには大き過ぎ、金属結晶のように同じ構造が周期的に並んだものとして計算するには小さ過ぎる分子でした」

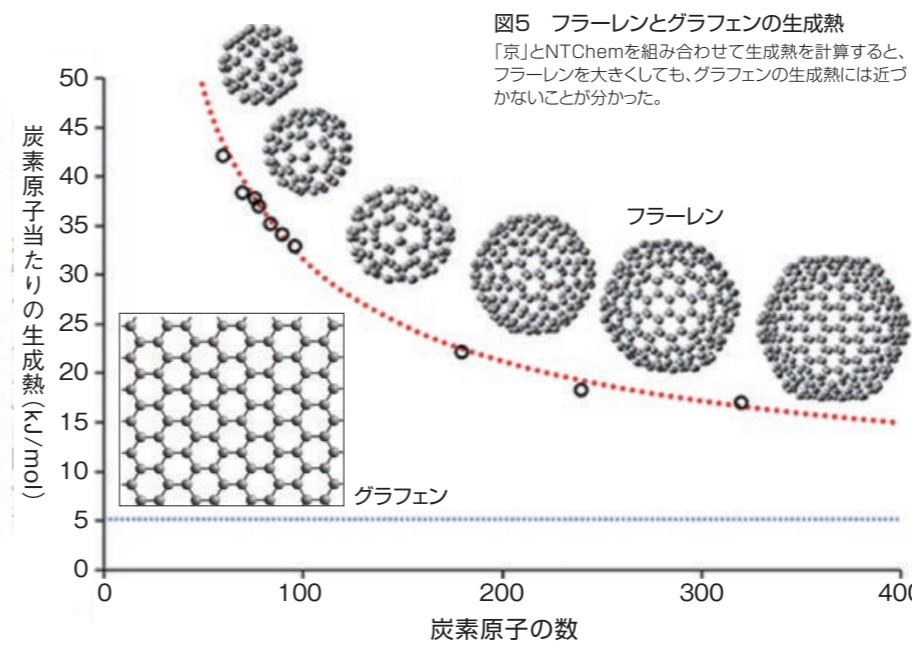
中嶋TLたちは、C<sub>60</sub>に加えて、炭素が70個、76個、78個、84個、90個、96個、180個、240個、320個で構成される10種類のフラレンについて、生成熱を計算した。C<sub>60</sub>は、炭素が構成する五角形12個と六角形20個が組み合わさってサッカーボール構造をつくっている。六角形は安定な構造だが、五角形はゆがんで不安定化の原因となる。炭素の数が多い大きなフラレンほど、五角形の割合が減り、六角形の割合が増える。

炭素の六角形だけで構成された原子1層分のシートをグラフェンと呼ぶ。フラレンを大きくして六角形の割合が増えていくと、全て六角形から成るグラフェンの構造に近づいていくため、その生成

熱はグラフェンにほぼ等しくなると予想されていた。

「私たちが電子状態を高精度で計算したところ、フラレンを大きくしても、グラフェンの生成熱には近づかないことが分かりました(図5)。その原因は五角形のゆがみが予想外に大きくなり不安定化することです。私たちは、10種類のフラレンの計算から得られた知見から、大きなフラレンの生成熱を計算できる一般的な理論式を導き出すことに成功しました」

グラフェンは、高速の電子(質量のないディラック電子)が流れるなど、その物性が大きな注目を集めている。グラフェンと生成熱が異なる大きなフラレン分子は、グラフェンにはない優れた特性を持つ新しい材料となる可能性がある。



## ポスト「京」とNTChemで 巨大分子の新材料を発見する

冒頭で紹介したペロブスカイト型の太陽電池や人工光合成システムの新材料を探索する計算は、NTChemではなく、結晶のように同じ構造が周期的に並んだ固体のバンド構造を計算する既存法を利用して行ったものだ。

「将来的には、ペロブスカイトのような固体系の電子状態についても、NTChemを使って既存法より精度よく計算できるようにしたいと考えています」と中嶋TL。

AICSでは、2020年ごろの稼働を目指してポスト「京」の開発が進められている。ポスト「京」では、「京」で1年かかる問題を数日で解けるようになる。

「ポスト「京」とNTChemを組み合わせ、1万個ほどの原子から成る巨大分子の性質を計算することを目指しています。ポスト「京」の中で数百万種類以上の巨大分子をつくり、その中から最適な材料を選び出すことができるようになるでしょう」

2020年代、次世代理論分子科学に基づき、ポスト「京」でさまざまな新材料を発見する時代が訪れようとしている。

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

(「理研ニュース」2018年2月号より転載。計算科学研究機構は第3期中期計画で終了し、第4期中長期計画で計算科学研究センターへ発展。量子系分子科学研究チームは計算科学研究センターで研究を継続中。)

## 洗濯できる太陽電池から ソフトロボットを目指す研究者

2017年9月に発表された「洗濯できる太陽電池」が大きな注目を集めている。

創発物性科学研究センター (CEMS)

創発ソフトシステム研究チーム (染谷隆夫チームリーダー) の  
福田憲二郎 研究員たちによる研究成果だ。

水に強く伸縮可能な超薄型の太陽電池を衣服に貼って、  
血圧や体温を継続的にモニターするセンサーの電源にするなど、  
さまざまな応用が期待される。

福田研究員の素顔を紹介しよう。



有機薄膜太陽電池を貼り付けた白いワイシャツを洗濯している。

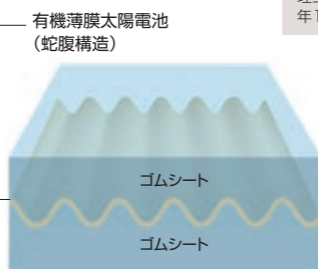


図 洗濯できる太陽電池

有機薄膜太陽電池(厚さ3μm)を、引き伸ばした2枚のゴムシートで挟み込むことで、水に強く蛇腹構造で伸縮可能な太陽電池が実現した。エネルギー変換効率は7.9%。ただし大気に30日間触れ続けると、その効率が半減する。実用化に向けて、変換効率や大気安定性を高める取り組みを進めている。



福田憲二郎 (ふくだ けんじろう)

染谷薄膜素子研究室、  
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  
研究員

1983年、長崎県生まれ。博士(工学)。東京大学大学院工学系研究科理工学専攻博士課程修了。山形大学大学院理工学研究科電気電子工学分野 助教などを経て、2015年10月より現職。

「父が勤務医で兄も医学部へ進んだので、私も医者になるつもりでした。でも、高校2年生のとき、友達の見舞いに訪れた病院の雰囲気になじめず、医者を目指すことをやめました」。そして東京大学工学部物理工学科へ。「学科の中で異色だった染谷研究室に入りました。そこでは、薄い電子素子をつくる研究が行われていて、とにかく手を動かしてやってみよう、という研究スタイルが私の性に合いました」

2011年に染谷研究室で学位を取り、山形大学を経て2015年、理研CEMSに新設された創発ソフトシステム研究チームへ。「研究室の机を買うところから始めました。2016年春に東大の染谷研究室から甚野 裕明 君(大学院生リサーチ・アシリエイト)が加わり、薄い太陽電池をつくる研究を本格的に開始しました」

東大の染谷研究室では2013年、伸縮可能な超薄型の電子回路の開発に成功していた。引き伸ばしたゴムシートの上に薄い電子素子を貼り付けたもので、元に戻したとき蛇腹構造となり、伸縮可能になる。一方、CEMS創発分子機能研究グループ(瀧宮 和男 グループディレクター)では2012年、高効率の有機薄膜太陽電池の新材料(PNTz4T)を開発していた。「その二つを組み合わせれば、薄くて伸縮可能な高効率の太陽電池ができます。でも、それだけではインパクトが弱い。付加価値を付けられないかと3人でアイデアを出し合い議論を続けました。あるとき、染谷先生が「貼り付けた有機薄膜太陽電池の表面がむき出しだと引っかきなどですぐに壊れてし

まうので、両側から挟んでみてはどうか」といいただきました。ゴムシートで挟み込むことで水にも強くなり、洗濯できる太陽電池が実現しました」(図)

福田研究員たちは、軽くて柔軟な材料から成る小さなソフトロボットの実現を目指している。「ソフトロボットが自由に動き回するには、光や振動、熱など環境中にあるエネルギーを電力に変換する電源が必要です。洗濯できる太陽電池の研究もそのために始めました。単にソフトロボットを実現するだけでなく、それでどんなことができるのか、新しい価値を示すことを目指しています」

福田研究員は中学校の吹奏楽部でトランペットを吹き始め、高校や大学でも続けた。「大学院に進んだとき、ある女子校の100名を超える吹奏学部のコーチを頼まれました。私が指揮をした都大会予選では、最初の年も2年目も銅賞でした。私が担当する前の年は銀賞だったので悩みました。自分の実力を上げるためにレベルの高い楽団に入って学び、指導に生かしました。そして3年目で金賞を受賞。これまでの人生で一番うれしかったですね」

「少数の上級生が多数の下級生を盛り立てることで金賞が取れました。それは研究室の運営にも通じるところがあるかもしれません。いずれは独立して研究室を主宰し、新しい研究分野を切り開きたいですね。そのためのアイデアや独創性を養いたいと思います」

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

(「理研ニュース」2018年2月号より転載)

## 単一分子の発光・吸収分光で 量子の世界を観測する研究者

走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いた独自の原理により、

単一分子の吸収分光と、分子間のエネルギー移動の

原子分解能の観測に、世界で初めて成功した研究者がいる。

開拓研究本部 Kim表面界面科学研究室 (金 有洙 主任研究員) の

今田 裕 研究員だ。「単一分子の発光・吸収分光により、

物質のエネルギー変換の性質など量子ならではの

世界が見えてきます。そこが面白いところです」

そう語る今田 研究員の素顔を紹介しよう。

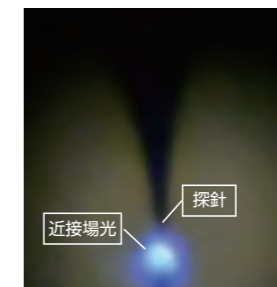
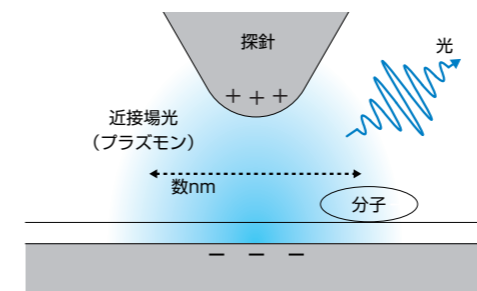
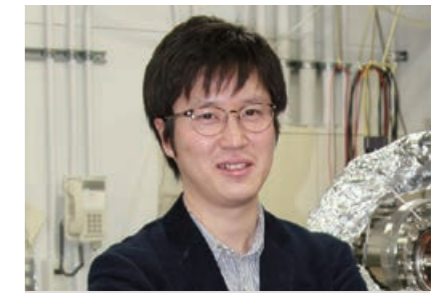


図 STM探針の先に発生する近接場光

STMの探針と金属表面の間に電圧をかけると、数nmサイズの領域に局在した近接場光が発生する。それを光源にして単一分子の吸収分光に成功した。右の写真は、探針の先に光る近接場光。



今田 裕 (いまだ ひろし)

開拓研究本部  
Kim表面界面科学研究室  
研究員

1981年、米国コロラド州生まれ。博士(理学)。東京工業大学大学院理工学研究科物理化学専攻博士課程修了。2010年、理研kim表面界面科学研究室 特別研究員。2017年より現職。

「子どものころは、物を分解してその仕組みを調べるのが好きでした。友達のおもちゃを分解して元に戻せなくなってしまったことも(笑)。サッカーも好きで、小学1年生のころから高校3年の夏まで熱中しました」。東京工業大学理学部へ進学。「工学ではなく理学に進んだのは、親の影響かもしれませんが。両親は企業の同じ研究所で生命科学系の研究をしていて、家でもよく研究の話をしていました」

電子顕微鏡を用いた研究で世界的に有名な高柳邦夫 教授の研究室へ。「修士課程に進んだ2004年、山本直紀 准教授(当時)から、原子スケールの分解能を持つSTMを使った半導体表面の発光分光をやらないか、と言われました」。それは1998年に最初の観測例が報告されて以来、ほとんど成功例がない難しい観測だった。

STMでは、探針と呼ばれる細い針を、固体表面から1nm(10億分の1m)ほどの距離に近づけて電圧をかける。するとトンネル電流という特殊な電流が流れ、固体表面を構成する原子や分子が発光する。その光の波長を調べることで、原子や分子の性質や電子状態を知ることができる。そのような手法が、STM発光分光だ。「研究室の中でSTM発光分光に取り組んでいたのは私一人だけでした。自分のアイデアで装置や観測法を改良する作業は楽しかったのですが、なかなか観測データを取れず、論文も書けませんでした。でも、研究室のほかのメンバーも難しい実験をやっていたので、それが普通だと思っていました」

今田研究員は、半導体表面を構成する原子の発光分光に成功し、世界で3例目となるその研究で2010年に学位を取得した。同年、理研に新設されたKim表面界面科学研究室へ。「大学院では半導体表面に並んだ原子がターゲットでした

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

(「理研ニュース」2018年4月号より転載)

が、理研では、単一分子の発光分光に挑むことになりました。それは2003年に米国のグループが成功して以来、ほかの研究グループには再現できていない難しい観測だった。

試行錯誤の末、ようやく観測データが取れるようになった2016年3月、中国の研究グループが世界で2例目となる単一分子の発光分光に成功し『Nature』誌に発表した。「その論文を目にしたのが、新婚旅行から帰ってきた次の朝です。幸せの頂点からいきなり突き落とされました」

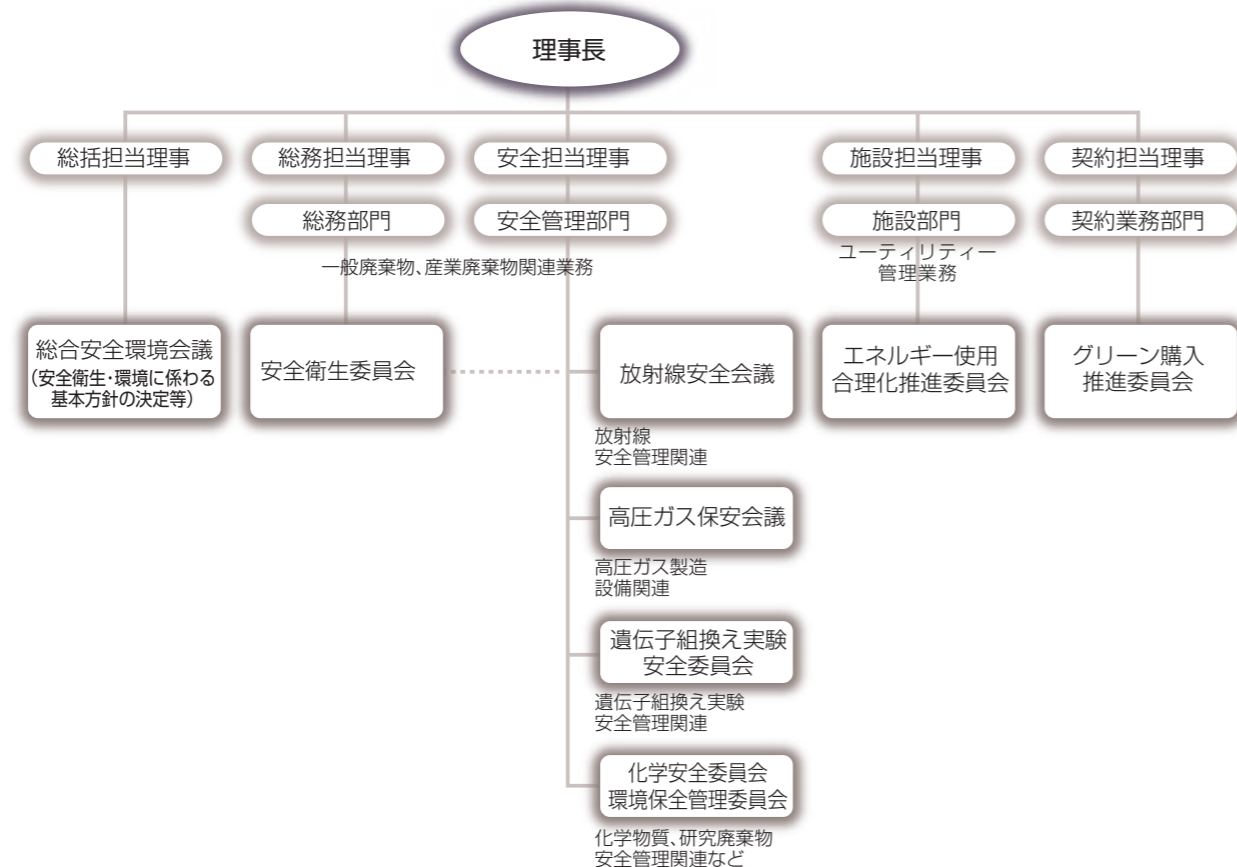
だがその後、今田研究員らは単一分子の吸収分光と、分子間のエネルギー移動の原子分解能の観測に、世界で初めて成功。「吸収分光の光源に、近接場光(プラズモン)という特殊な光を使うところが、私たち独自のアイデアです」。単一分子による光の吸収を観測するには、分子の大きさに近い数nmサイズの微小な光源が必要だ。だが、可視光の波長は数百nmと分子サイズよりはるかに大きく、数nmサイズの可視光源は存在しない。「STMの探針と金属表面の間に電圧をかけると、その隙間に近接場光という空間を伝播しない光が発生し、微小な領域に局在します。それが数nmサイズの光源になるのです」(図)

今田研究員らは、すでに次の目標に向かっていく。「分子に光を当てると、その中の電子がエネルギーの高い励起状態になります。その励起状態について、実はよく分かっていません。励起状態を理解することは、太陽電池や人工光合成などのデバイスへの応用でも重要です。励起状態をフェムト(1000兆分の1)秒レベルの時間分解能で観測することが、多くの研究者たちの夢であり、私たちはレーザーとSTMを組み合わせた独自の手法で、その夢に挑戦しています」

環境対策の体制を強化し、包括的な活動を実施していきます。

これまで理研では安全衛生活動の一環として、廃棄物の処理、構内環境整備などを中心に環境対策を積極的に進めてきました。

また、エネルギー使用合理化推進委員会やグリーン購入推進委員会といった環境負荷低減に向けた委員会を設置するなど、環境マネジメントシステムに係る体制づくりを進め、地元自治体への現状報告などにも取り組んでいます。



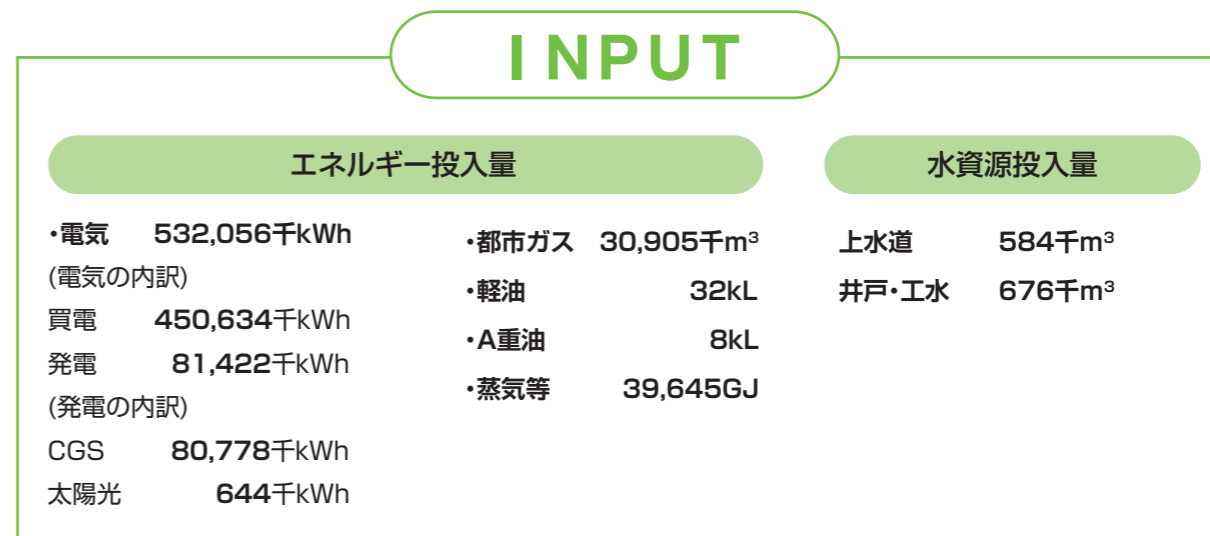
安全衛生への積極的な取り組み

総合安全環境会議で決定された安全衛生・環境に係る重点項目に基づいて、事業所ごとにアクションプランを作成しています。そして、より確実に活動を進めるため安全衛生委員会を始めとする各専門委員会でフォローアップを図り、業務安全、職場環境向上といった観点から安全衛生に取り組んでいます。

各事業所では労働安全衛生法をはじめとする法律に基づく委員会や責任者を設置し、安全管理体制を構築しています。また、事業所間で連携をとりながら、災害の防止、職員の健康増進などに努めています。

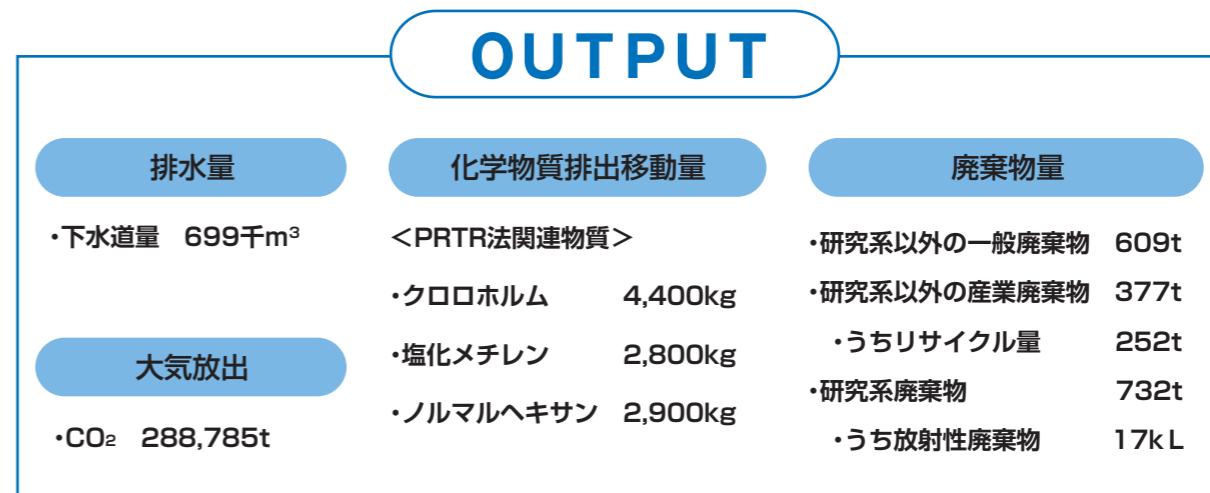
更に生物の多様性の保全についても

遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律等に定める、第二種使用等の遺伝子組換え実験の計画及び実施並びに遺伝子組換え生物等の運搬及び保管に関し必要な事項を定め、安全な実験の実施を図るなどにより、生物の多様性の保全についても取り組んでいます。



◎環境負荷軽減への取り組み◎

- ・グリーン購入
- ・地球温暖化防止
- ・廃棄物削減
- ・排水管理
- ・化学物質管理
- ・大気汚染防止
- ・放射線管理



## グリーン購入推進委員会

理研では「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律(いわゆるグリーン購入法)」に適合した調達を推進するため、グリーン購入推進委員会を設置しています。主な活動は環境物品等の調達方針の策定、調達実績の把握及び調達推進のための方策立案を行っています。

理研では日本国内に複数の事業所があり、事業所

ごとに研究活動やそれらに付随する調達の推進を行っています。グリーン購入推進委員会では各事業所の契約関連部門や研究支援部門と情報共有等を行いグリーン購入推進の検討を行っています。このように全所でグリーン購入法に適合した調達を推進する体制を構築し、所内へのグリーン購入の啓発活動を行っています。

## 中長期的な観点に立ち、環境によい製品を選択しています。

理研ではグリーン購入法に基づいて、毎年4月に環境負荷の低減に資する物品やサービス(印刷や輸送など)、工事の調達における目標を策定し、前年度の実績とともにホームページで公表しています。

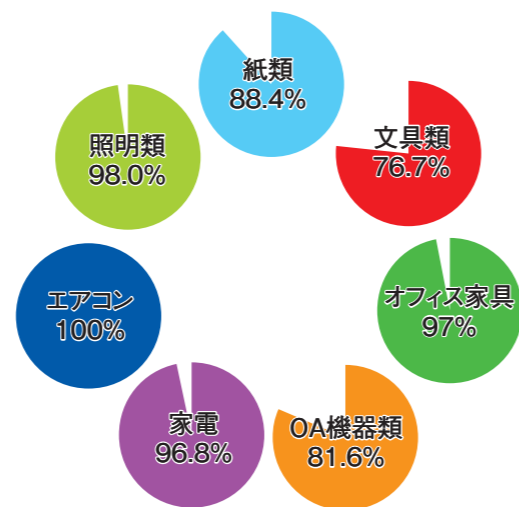
グリーン購入法の対象分野全品目について、グリーン購入法の環境基準を満たす物品などの調達率を『100%』とすることを目標に掲げています。2017年度の調達割合に関しては、紙類、文具類、オフィス家具、家電、エアコンの5つの分野で2016年度に比して調達率を向上しています。OA機器に関しては、調達割合が2016年度に比して下がっていますが、80%以上の調達率を維持しています。

購入数量が大きくなりがちな事務用品・消耗品類においては、1つ1つは小さい環境負荷であっても積み重ねると大きな環境負荷となります。特に大きな環境負荷につながるコピー用紙類においては、リサイクル性に配慮した低白色度製品を導入し、グリーン購入法で示される環境基準よりも環境負荷の低減を図っています。また、コピー機などOA機器についても両面コピー機能・複数面印刷機能、トナー類のリサイクルシステムを持つ機種を選定するなど、紙の使用による環境負荷を考慮した機器導入を進めています。

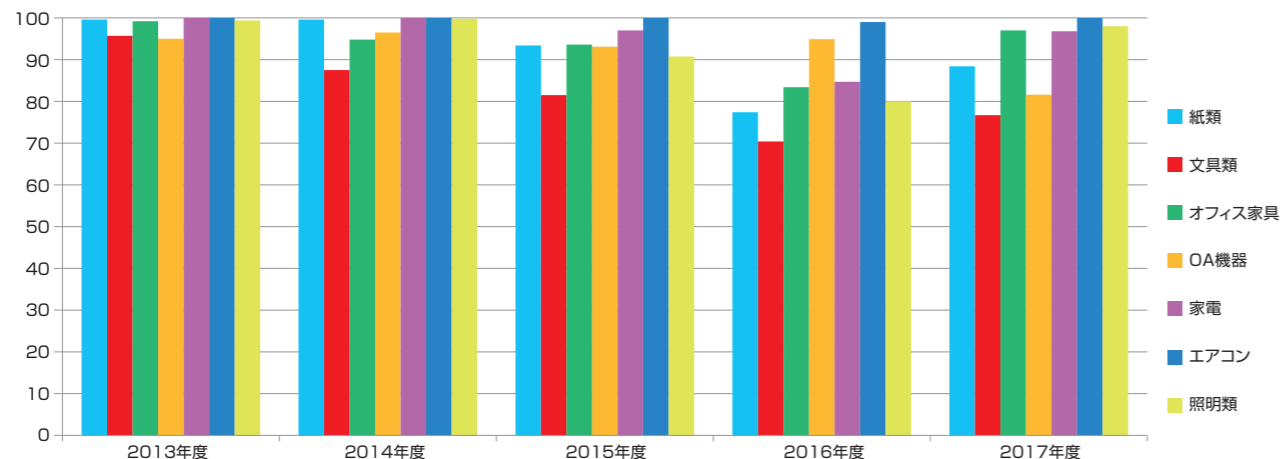
グリーン購入法には、木材・木材製品の合法性、持続可能性の証明が確実になされているものを優先して調達することも規定されています。

こうした一連の取り組みにより、物品やサービス、工事の調達において、全所にわたり環境負荷低減を推進しています。

■2017年度のグリーン購入法適合品調達割合



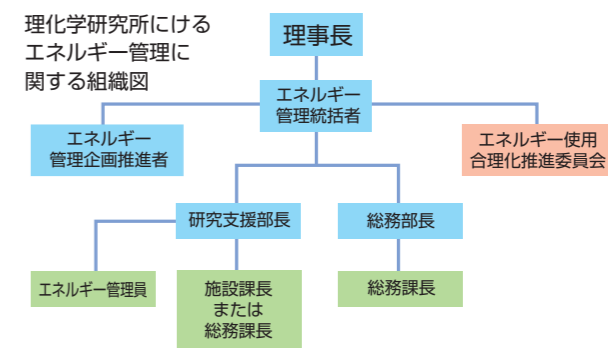
■グリーン購入適合品物の調達割合の推移(%)



## エネルギー使用合理化推進委員会

エネルギー使用合理化推進委員会は、理研におけるエネルギーの使用の合理化に関する事項を審議しています。

省エネルギー対策について、多様な啓発活動により職員への周知徹底や、エネルギー使用量の把握及び分析などを行います。また、研究施設などにおいて有効な省エネルギー対策事例を紹介し、全事業所へ展開しています。

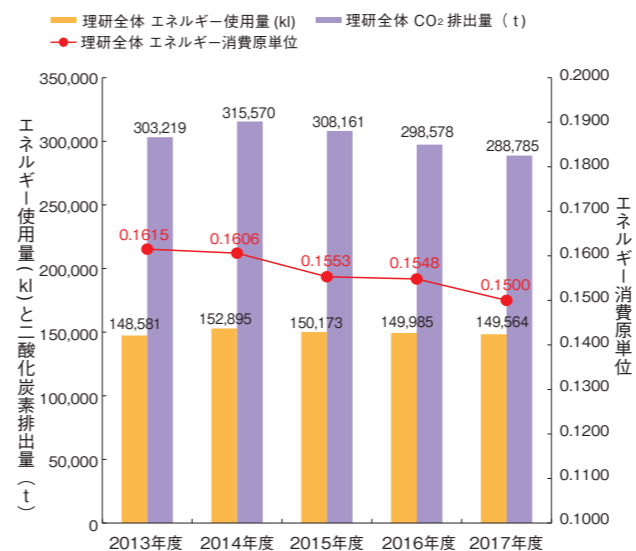


## 理研のエネルギー使用量とCO<sub>2</sub>排出量

2017年度のエネルギー消費原単位をみると、前年度比3.1%削減、過去5年度間平均1年当たりでは1.8%削減となっています。

理研全事業所のエネルギー使用量は、149,564kl(原油換算値)(前年度比:99.7%)、二酸化炭素排出量は、288,785(t)(前年度比:96.7%)となりました。東日本大震災以降、CO<sub>2</sub>排出係数が大きく変化したた

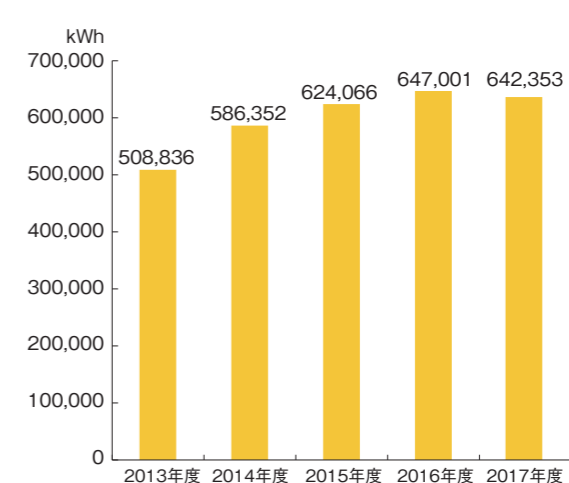
理研のエネルギー使用量と二酸化炭素排出量の推移



めに増加していたCO<sub>2</sub>排出量ですが、2015年度から減少に転じ、2017年度の排出量は前年度比3.3%減少しています。

また、理研では、CO<sub>2</sub>排出削減および2013年度の省エネ法改正で求められることとなった「電気の需要の平準化」を進めるために太陽光発電設備の設置を推進しております。2017年度の発電量は、642,353kWh(前年度比:99.3%)となりました。

理研の太陽光発電量の推移



## フロン排出抑制法に基づく、フロン類算定漏えい量の報告

2015年4月に改正された、フロン排出抑制法に基づき、管理する第一種特定製品の使用等に際して排出される、フロン類算定漏えい量が1,000t-CO<sub>2</sub>以上の場合、事業所管大臣(文部科学大臣)に対して漏えい量等を報告することとなりました。

2017年度も残念ながら、フロン類算定漏えい量は1,000t-CO<sub>2</sub>以上となってしまいましたが、専門業者による冷凍機等の点検・保守を強化した結果、フロン類算定漏えい量を前年度比で12%削減することができました。

理研では、今後も引き続き専門業者と連携し、専門

的見地から業務にあたらせ、冷媒の漏えいを削減するように努めていきます。

2017年度フロン類算定漏えい量

事業所名	都道府県	算定漏えい量
和光事業所(和光地区)	埼玉県	742 t-CO <sub>2</sub>
和光事業所(仙台地区)	宮城県	43 t-CO <sub>2</sub>
筑波事業所(筑波地区)	茨城県	21 t-CO <sub>2</sub>
横浜事業所(横浜地区)	神奈川県	88 t-CO <sub>2</sub>
神戸事業所(大阪地区)	大阪府	0 t-CO <sub>2</sub>
神戸事業所(神戸第1地区)	兵庫県	425 t-CO <sub>2</sub>
神戸事業所(神戸第2地区)		
播磨事業所(播磨地区)		
全理研合計		1,321 t-CO <sub>2</sub>

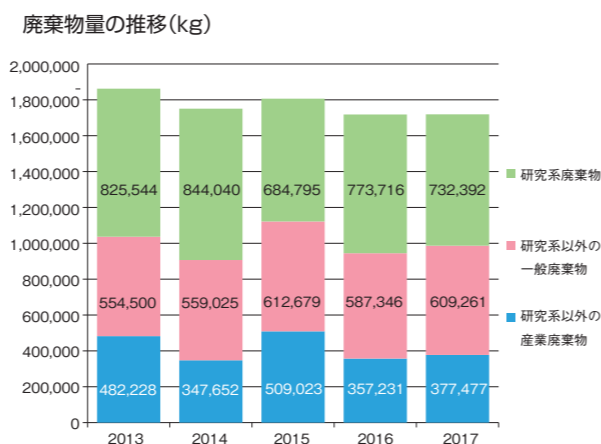
※届出数値は小数点以下切捨てのため、各県への届出の合計と全理研の合計は一致しない。



多種多様な廃棄物はルールに従いに適切に処理しています。

2017年度は、前年度に比べ研究系の廃棄物が5.3%(41,324kg)削減、研究系以外の廃棄物は4.5%(42,161kg)増加、廃棄物全体では0.05%(837kg)の増加となりました。

一般廃棄物はそれぞれの事業所ごとに、自治体の基準により分類し、処理することを基本としています。一般廃棄物や産業廃棄物以外でも、研究活動に伴って発生する廃棄物の種類は多岐にわたります。これらの廃棄物はその有害性や危険性などによって分別収集します。その後、各事業所では、自治体から許可を得ている産業廃棄物処理業者に委託して処理・処分をおこなっています。また、研究室で不要となった試薬で再利用可能なものについてはリサイクルを実施し、他の研究室で極力利用するよう努めています。



※一般廃棄物のごみの比重を0.3kg/Lとし、算出  
「環境省 一般廃棄物の排出及び処理状況等(2010年度)について」の基準による



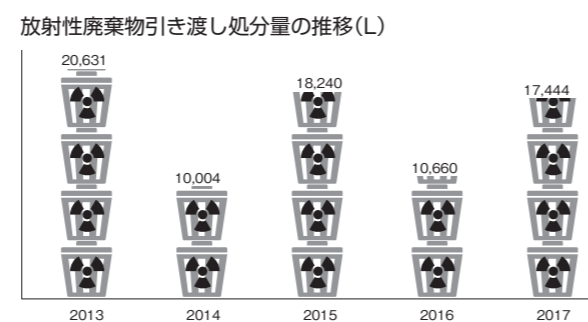
研究系廃棄物の収集と保管・管理



不要になった未開封試薬のリサイクル

放射性廃棄物は廃棄するまで厳重に保管しています。

実験の過程で発生した放射性物質を含む廃棄物(放射性廃棄物)は、廃棄物の性状により分別収集し、金属製のドラム缶などに密閉して保管します。保管中は容器の破損や劣化などの異常の有無を点検するとともに、容器表面の放射線量や放射性物質による汚染の有無の測定などを行い、異常のないことを確認しています。その後、国から許可を得ている廃棄業者に引き渡し、処分しています。



PCB含有廃棄物は法律に従い適正に管理・処分しています。

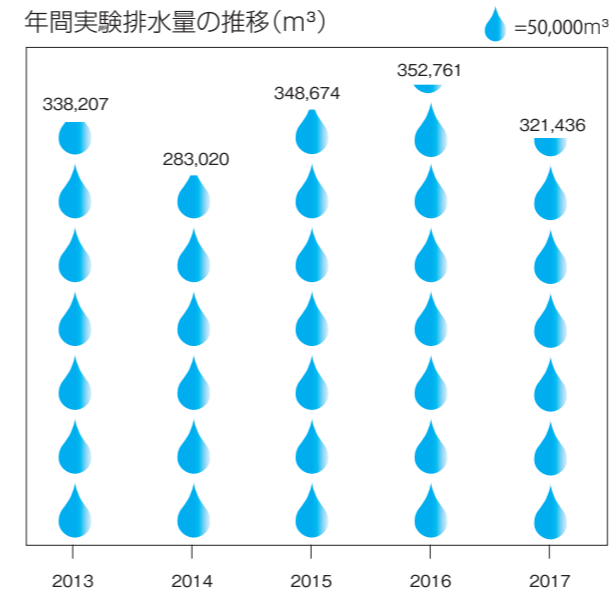
ポリ塩化ビフェニル(PCB)を含有している廃棄物については、「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」に従い、その保管状況について自治体を通じて国に届け出ています。2017年度は研究室やその他すべての施設におけるPCBを含む電気機器等の所持状況の再調査を実施し、新たに発見された低濃度PCB廃棄物についてPCB無害化処理施設に処理を委託し適正な処理処分を実施しました。また保管中の安定器等高濃度PCB廃棄物について、例年同様にPCB廃棄物専用の保管庫において流出・飛散防止などの措置を行い適正に保管を行いました。



漏洩対策などの措置を行い保管しているPCB含有廃棄物

処理設備を設置して排水の水質を適切に管理しています。

各事業所では、実験室から排出される有害物質や汚濁負荷物質を直接排水口へ流さず、専用容器に回収しています。さらに、実験室などから出る実験室系排水の



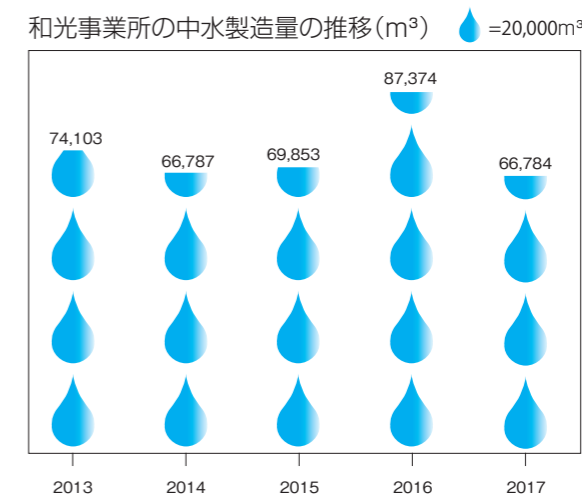
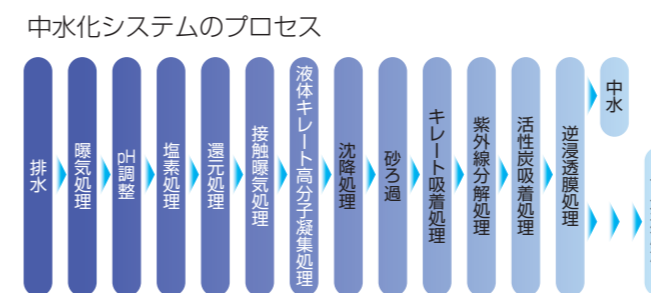
処理設備を備えています。有害物質や汚濁負荷物質などを吸着する装置をはじめ、分解、酸化、凝集沈殿、活性汚泥、砂ろ過、消毒・滅菌、pH調整など、事業所の排水の特性に合わせて処理を行い、法令や条例などで定められた分析を行って排水に異常がないことを確認しています。



水質自動監視装置

節水対策(中水化システム)

水の使用量が多い和光事業所では、逆浸透膜を利用した中水化システムで実験排水の一部を処理し、再利用しています。その結果、排水の一部は水道水と同等以上の良質で安定した中水に生まれ変わります。



この中水は、大型の加速器施設に供給され、冷却水として再利用されています。施設の劣化などを防ぐため、冷却水には不純物の少ない水が求められます。排水処理設備の各装置と中水化システムを組み合わせることにより、良質な中水を冷却用水として供給しています。



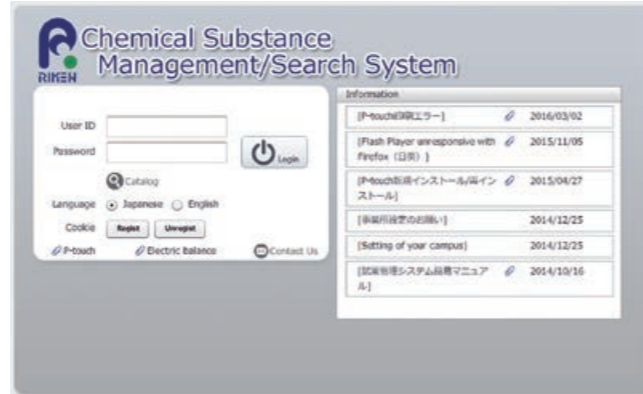
排水から有害物質を取り除く中水化システム

所内で使用する化学物質を適切に管理しています。

研究過程で使用する化学物質は、性状・危険性・有害性などによって、法令による規制が定められています。特に有害性の高い物質については管理手順を作成しているほか、教育訓練などを通じて化学物質の適正な使用・管理を行っています。また、薬品の飛散や漏洩のないよう適切な実験施設や保管施設・保管庫を設置するとともに、実験に用いた試薬等については廃液として回収し、専門の処理業者に引き渡すなど、環境への配慮にも努めています。さらに、試薬などの化学物質の入手から廃棄までの流れを一元的に管理できる「化学物質管理・検索システム」を構築し、全事業所で導

入しており、化学物質の管理の更なる効率化に努めています。

化学物質管理・検索システムの画面



「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律(以下、化管法)」(PRTR制度)に準拠し、化学物質の把握・管理・改善を進めています。

化管法において報告の対象となる量の有害な化学物質を取り扱っているのは和光事業所のみで、2017年度は、クロロホルム、塩化メチレン、ノルマルヘキサンについて報告しています。化管法のほか、各事業所で

は自治体の定める条例や指針などに基づく対象物質の取り扱い状況など、規定に従った化学物質の管理を行っているだけでなく、管理方法の自主的な改善も進めています。

化管法(PRTR制度)に基づく報告(和光事業所)

排出量・移動量(kg)

	2013年度			2014年度			2015年度			2016年度			2017年度		
	大気	下水道	所外	大気	下水道	所外	大気	下水道	所外	大気	下水道	所外	大気	下水道	所外
アセトニトリル	(17)	(0)	(870)※	45	0	1,100	(20)	(0)	(750)※	(21)	(0)	(520)※	(25)	(0)	(780)※
クロロホルム	220	1.1	7,000	240	0.9	7,700	200	1.5	6,500	170	2.8	5,000	150	1.3	4,400
塩化メチレン	140	0.6	4,900	100	0.3	3,400	130	0.6	4,300	100	0.9	3,200	89	1.5	2,800
ノルマルヘキサン	190	0	7,100	130	0	5,700	180	0	6,000	140	0	4,400	95	0	2,900

※報告対象数量未満のため、2013、2015、2016、2017年度は報告対象外

男女共同参画

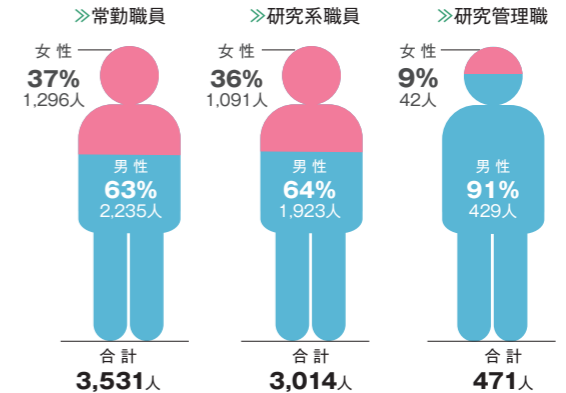
理研では、女性も男性も、より能力を発揮できる「働きやすい職場づくり」を目指し、仕事と生活の両立支援や男女共同参画、ワーク・ライフ・バランスの推進に積極的に取り組んでいます。支援制度の検討にあたっては、性別や職制に関わりなく、できるだけ多くの職員が利用できる仕組みとなるよう、常にバランスに配慮しています。

理研の全職員のうち4割近くが女性です。事業所内託児施設や各種支援制度を利用して、出産後も多くの職員が働き続けています。既に導入済みの支援制度についても、部分休業(短時間勤務)制度の拡大や、法定の育児休業に準ずる休業制度の拡大など、実態に即した見直しを行っています。

また、一人ひとりの多様な状況に個別に対応する相談窓口や、育児中、介護中の職員の業務を補助する代替要員の配置などは、男女ともに利用者の多い制度です。

これらの取組により、「次世代育成支援対策推進法」に基づく「基準適合一般事業主(くるみん)」として、1回目(2009年)に続き2回目(2015年)の認定を受けました。現在では、「女性の職業生活における活躍の推進に関する法律」に基づく「一般事業主行動計画(第2回)」を策定し、女性管理職比率の増加にも力を入れているところです。

研究職員の男女比 \*2018年4月1日現在



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



障害者雇用

障害者雇用の促進を図りつつ、研究所の円滑な業務を支援するため設置した「業務支援室」では、室員一人ひとりがお互いの得手不得手を理解して助け合いながら、各事務部門、研究室の依頼に応じて庶務に関するサポート業務を行っています。

実施している業務は、次のとおりです。

- ①アンケート集計や名刺からのリスト作成などの入力、集計業務
- ②会議資料やシンポジウム案内などの印刷、封入、発送、ファイリング業務
- ③実験ノートや保存資料などのPDFデータ変換業務
- ④名刺作成業務
- ⑤講演会やイベントなどの告知のための食堂卓上広告の作成、設置業務
- ⑥会議室の備品などの管理業務
- ⑦ペットボトルキャップの回収業務
- ⑧和光地区内の郵便配送発信業務
- ⑨シンポジウム会場設営準備撤去

さらに、各部署と打合せの上、上記以外の業務も行っており、業務の幅も少しずつ広がり、急な依頼にも迅速、正確に対応しており、業務の質も向上しています。

一人では難しいこと、苦手なことも、室員同志で工夫したり、協力したりすることで、業務をやり遂げ、研究所に貢献していくことは、室員のやりがいにも繋がっています。



業務支援員の作業風景

## 職員のメンタルヘルス

「心の健康づくり基本方針」を策定し、メンタルヘルスの健全化に向けた取り組みを行っています。

2018年度は「職員一人ひとりが健康で生き生きと働ける職場環境づくりに積極的に取り組む」という目標を掲げ、これを達成するための活動に取り組んでいきます。特にメンタルヘルス不調の第一次予防(未然防止)及び治療・障がいと仕事との両立支援を推進し、具体的には、次の事項に取り組んでいきます。

- ストレスチェックを実施し、職員のセルフケア対策や働きやすい職場環境づくりを目指します。
- セルフケア研修や管理職研修を実施し、個人の気づきやラインケアに取り組めます。
- 「治療・障がいと仕事との両立支援」のマニュアルを作成し、治療が必要な人や障害を持った人が働きやすい職場となる制度を整備してまいります。

- 長時間労働を未然に防ぐため、残業の事前申請や残業時間が一定時間を超えた職員のアラートを管理職に出し、注意喚起を行います。



心の健康づくり計画

## 理研DAY:研究者と話そう

国民と研究者が直接対話することができる「理研DAY:研究者と話そう」は、2012年11月に始まった双方向コミュニケーションイベントで、2018年8月末時点でのべ3,846名の方に参加いただきました。

4月を除いて毎月第3日曜日に科学技術館(東京都千代田区)で開催、これまでに物理学、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の研究について、小さなお子さんから大人まで、参加者の皆さんと研究者が直接話をしてきました。

2017年10月の第57回では、「化学で実現!温度で色を変える」と題し、村中 厚哉専任研究員(開拓研究本部 内山元素化学研究室)が登壇し、ロイコ色素をテーマに開催しました。ロイコ色素とは、有色と無色を切り替えられる色素で、安価・安定であることから、感熱紙、消せるボールペン、リライタブル印刷

などに利用されています。しかし、一つの色素は一つの色しか出せないため、複数色の利用は色素を混合させる必要があるという課題がありました。理研では、新規パイ電子系化合物を開発し、色調が二段階に大きく変化するロイコ色素の新技术を発明しました。

イベントでは「どうして色を変えられるの?」といった質問もありました。子どもたちが身近にあるモノの不思議に興味をもち、理科への関心を高める機会となることを願っています。



第57回イベント当日の様子

## 平成29年度 青少年夢のかけはし事業 「研究所の研究员になりたい!」

2017年8月17日(木)に、埼玉県青少年夢のかけはし事業「研究所の研究员になりたい!」を、和光地区で行いました。この事業は、各分野で活躍中の埼玉県ゆかりの人々と連携し、青少年が学び・体験する機会を提供することで、青少年の夢発見と夢実現を支援し、健全教育の推進を図ることを目的としています。

当日は仁科加速器研究センターの加速器などを見学した後、「分光器作成実習」を行いました。

### 【開催概要】

日 時:8月17日(木)  
場 所:理化学研究所 和光地区  
対 象:埼玉県内在学・在住の小学校5.6年生30名



作成した簡易分光器で光源を観察

## 子ども大学わこう「ナノカーボンの一つ「フラーレン」の分子模型を作る体験

埼玉県では子どもの学ぶ力や生きる力を育み、地域で地域の子どもの育てる仕組みを創るため、子ども大学の開校を推進しています。和光市でも毎年夏休みに「子ども大学わこう」が開催されています。

2017年8月24日(木)の子ども大学わこうでは、加藤ナノ量子フォトンクス研究室によるナノカーボンの一つ「フラーレン」の分子模型を作る体験をしました。

### 【開催概要】

日 時:8月24日(木)  
場 所:理化学研究所 和光地区  
対 象:和光市内在住の小学校高学年30名



「フラーレン」を作ろう

## 埼玉県総合教育センター一般公開

2017年10月14日(土)に行われた埼玉県立総合教育センターの一般公開に、理研は「簡易分光器を作ろう!」をテーマとするワークショップで出展しました。

当日は、会場に多くの児童生徒、保護者、地域の方々にお立ち寄りいただき、分光器の作成を行いました。作成後は、蛍光灯や電球、LEDなどの光を観察し、その違いを体験していただきました。

### 【開催概要】

日 時:10月14日(土)  
場 所:埼玉県総合教育センター(埼玉県行田市)  
対 象:埼玉県総合教育センター一般公開来場者



簡易分光器を作ろう!

## 和光事業所

### 和光市民まつり

2017年11月11、12日に行われた和光市民まつりに  
おいて、理研は2日目の12日(日)に出展しました。  
理研ブースでは、顕微鏡による観察コーナーと職員による  
理研グッズの販売コーナーがありました。  
観察コーナーでは、「キウイ」、「ドングリ」、「オシロイバナ」、  
「スズメバチ」、「タマムシ」、「セミ」、生きた「ダンゴムシ」な  
どの植物や昆虫を顕微鏡で観察しました。  
理研グッズ販売コーナーでは、たくさんの方が「ニホニウム  
マグカップ」や「周期表柄のパンダナ」などに興味をもたれ、  
参加された市民の方々との交流を深めました。

#### 【開催概要】

日 時：11月12日(日)  
場 所：和光市役所前市民広場  
対 象：和光市民まつりの来場者



理研ブース

### 和光市民大学

2017年12月6日(水)及び12月20日(水)の2日間、和  
光市中央公民館にて「和光市民大学」が開かれました。和光  
市民大学は和光市及び周辺にある研究機関などから、その  
知的資源を地域に公開することによって、高度で専門的な  
学習機会を市民に提供することを目的としています。

理研からは研究者を講師として派遣し、「計測と計算で探  
るヒトの仕組み」、「宇宙と物質138億年～元素の誕生か  
ら生命まで～」について講演しました。

#### 【開催概要】

日 時：12月6日(水)、12月20日(水)  
場 所：和光市中央公民館  
対 象：和光市内在住・在勤・在学者



工学応用開発ユニット  
野田 茂穂 上級センター研究員による講演

### 子ども科学教室

2017年12月22日(金)に、和光地区にて「子ども科学  
教室」を開きました。子ども科学教室は、理研が保有する最  
先端の科学技術や施設に触れる機会を提供し、ものを作る  
楽しさや科学に対する興味や関心を深めることを目的とし  
ています。

当日は、モデル植物(シロイヌナズナ、コケ)の特徴や種  
類についての紹介の後、コケ入りのオリジナルキーホル  
ダーを作りました。

#### 【開催概要】

日 時：12月22日(金)  
場 所：理化学研究所 和光地区  
対 象：和光市内在住・在学の小学校4年～6年生



「コケ入りのキーホルダー」を作ろう

## 筑波事業所

### 筑波地区清掃活動

筑波地区では、地域貢献と環境美化への取り組みとし  
て、2015年より近隣の高野台公園・牧園児童公園および  
周辺道路の清掃活動を実施しています。2017年は8月3  
日(木)に筑波地区勤務の参加希望者28名で清掃活動  
を実施しました。この活動にあたっては、つくば市環境保全課  
より清掃用具のご支援をいただいております。参加者は拾い  
袋とごみ袋を手に、空缶や紙くず、吸殻などを収集して、爽  
やかな汗を流しました。ごみの量は年々減少しており、この  
近隣は環境美化への意識が高まっているように感じられま  
した。今後も清掃活動を継続することで、地域貢献と環境美  
化に寄与していきたいと思っております。



高野台公園清掃活動の様子

### 環境に配慮した電力調達

筑波地区で使用する電気は、温室効果ガスの排出を抑制  
し環境負荷低減に貢献することを目的として、2016年度  
より、環境配慮契約法(国等における温室効果ガス等の排  
出の削減に配慮した契約の推進に関する法律)による電力  
の調達を行っています。入札に参加する小売電気事業者に  
対し、電力供給事業における二酸化炭素の排出削減、再生  
可能エネルギーの導入等、環境負荷低減に対する取り組み  
について、技術審査で評価・配点を行い、一定以上の得点  
者を入札適合者とする「裾切り方式」を採用することで、価  
格だけではなく、環境負荷低減に配慮している小売電気事  
業者との契約に努めています。



筑波地区構内へ電気の供給を行う特別高圧受変電設備

### ばい煙測定

大気汚染防止法に基づき、大気汚染の原因となるばい煙  
発生設備を設置している事業者は、ばい煙量・濃度を測定  
し、その結果を3年間保存しておかなければなりません。筑  
波地区では、蒸気ボイラー(10台)、ガス焚き冷温水発生器  
(3台)がばい煙発生設備として設置されており、年2回の  
窒素酸化物濃度測定その他、5年に1回以上のばいじん濃度  
測定が義務づけられています。ばい煙発生設備は、適切な  
運転・点検・保全管理をしており、ばい煙測定の結果は環境  
基本法における環境基準の排出規制値以下となっています。  
今後も、ばい煙発生設備の適切な管理を行い、法令遵  
守に努めてまいります。



ばい煙濃度計定期清掃の様子

## 横浜事業所

### 理研よこはまサイエンスカフェの開催

理研よこはまサイエンスカフェは、横浜地区在籍の研究者と市民の方々が、飲み物を片手に気軽に科学について語り合うイベントです。

2017年度は、関東地域以外の方にもサイエンスカフェを楽しんでいただこうと、福岡市と仙台市にて開催しました。市役所や大学等の他機関との共催で行い、内容も共催先の大学准教授と理研研究者の対談型を盛り込むなど新たな試みに挑戦しました。その他にも、横浜市内の高校生を所内に招いて行うカフェや、神奈川県内・都内にて開催するカフェなど全6回延べ約250名の方に参加いただきました。より幅広い対象者、年齢層の方々に、それぞれのカフェの特色を活かしたアウトリーチ活動を実施し、最新の研究内容をお伝えしています。



理研よこはまサイエンスカフェ

### 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校の文化祭におけるブース出展

スーパーサイエンスハイスクール(SSH)指定校である「横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校」は、横浜市鶴見区の京浜臨海部研究開発拠点(横浜サイエンスフロンティア)に所在し、先端科学技術教育に力を入れている学校です。

同校は神奈川県内初の理数科高校として誕生した学校であり、理研の研究者が同校科学技術顧問を務めています。理研とは連携・協力関係にあり一般公開の学生ボランティアや高校の文化祭などにおいて、相互交流を行っています。

2017年度の文化祭は9月16日、17日に開催され、8,279名の来場がありました。環境資源科学研究センターが出展し、研究に利用するモデル植物を使ってオリジナルのキーホルダーを作るワークショップを行い、多くの方々に研究活動への理解を深めていただくことができました。



サイエンスフロンティア文化祭

### セミナー室照明LED化及び南研究棟パッケージ型空調機の更新

横浜地区の建物は2000年～2003年に竣工しており、順次設備機器の更新時期を迎えています。その中でLED化されていない照明器具を順次更新しており、2017年度は東研究棟セミナー室の照明器具をLED化しました。

また、南研究棟P2エリア、放射線管理区域、電気室のパッケージ型空調機の更新を行い、最新のトップランナー基準の空調機に更新を行いました。既存の空調機はオゾン層破壊物質を含む冷媒(HCFC)を使用しておりましたが、機器の更新に伴い冷媒がオゾン層破壊物質を含まない代替冷媒(HFC)に変更になり、地球環境への配慮を行っています。



南研究棟パッケージ型空調機の更新

セミナー室

## 横浜事業所

### 防災訓練

2017年11月9日に隣接する横浜市立大学と合同で総合防災訓練を実施しました。訓練では、鶴見消防署の立会いの下、火災および地震・津波を想定した避難訓練を行いました。また、消火器の放水訓練や起震車による地震体験を通じて、防災意識の啓発を図りました。

また、2018年2月19日には横浜地区内の託児施設の子供達を理研職員が抱え、3階へ避難させる津波を想定した避難訓練を実施しました。

近隣企業とともに末広地区自衛消防組織連合隊を組織し、2017年11月14日に地域の消防訓練に参加しました。



総合防災訓練での起震車体験の様子

### 津波対策

横浜地区は、津波の避難対象区域に該当していることから、毎年行う総合防災訓練でも3階以上の上層階へ避難することとしています。2017年度は津波による流失対策として、防災備蓄品、及び食料品の保管場所を屋外倉庫から建屋内3階以上の階、及び建屋隣接箇所へ移設しました。

また、津波発生時の注意喚起として、海拔と注意喚起を記した標識を各棟1階に掲示し、所外からの来訪者等に向けて当該地区が避難対象区域であることを伝える措置をとりました。

建設工事期間中に万一、津波が発生した場合の避難場所として、横浜地区内の建物を提供し、近隣工事現場から避難者を受け入れることとしました。



**津波注意**  
**TSUNAMI CAUTION!**  
ここは**海拔2.9m**です。  
You are **2.9m** above sea level.

大津波警報・津波警報発表時は、3階以上の階へ避難してください。

In the event of a tsunami Warning, evacuate to the third floor or above.

国立研究開発法人理化学研究所横浜事業所  
RIKEN Yokohama Branch

注意喚起標識

### 安全衛生職場巡視・教育訓練

研究活動を実施する職場に対して、事業所長、産業医、研究支援部、情報基盤センター、安全管理室等関係部署が一体となって、定期的に職場巡視を実施しています。さらに巡視前に研究者が自主点検を行う仕組みを取り入れるなど、より安全な職場環境の構築を目指しています。

また安全管理室では、新入職員を対象に放射線、高圧ガス(液化窒素を含む)、化学安全、バイオセーフティー、遺伝子組換え実験、動物実験、微生物等取扱い及び人(ヒト由来試料を含む)を対象とする研究に係る教育訓練を実施しています。これ以外にも職員全体へ向けた様々な講習を実施しており、2017年度は外部講師を招いて個人情報保護法改正に伴う研究倫理指針の改正に関する説明会を外部公開で開催しました。



説明会の様子

## 神戸事業所

### 省エネへの取り組み「電力見える化プロジェクト」を始動（神戸地区 東及び西エリア）

神戸事業所では、様々な省エネルギー化の対策に取り組んでいます。その一環として2018年1月から「電力見える化プロジェクト」を開始しました。神戸地区 東及び西エリアの建物9棟で使用する電力量がリアルタイムに把握できるシステムを導入したほか、太陽光パネルやコジェネレーションシステムによる発電量なども把握できます。

現在、プロジェクト開始からのエネルギー使用量データを蓄積しており、効率的な施設の運用方法や省エネ対策の評価、職員への省エネ意識の啓発等に活用していく予定です。また、電力消費量が増加する夏季や冬季期間中のピークシフトへの対応なども含めて、効率的な電気使用方法の確立にも役立てていきたいと考えています。



ホームページ上で電力使用量をリアルタイムで把握

### “ライトダウンキャンペーン”に参加（神戸地区）

地球温暖化防止のため、環境省はライトアップ施設や家庭の照明を消灯する「CO<sub>2</sub>削減／ライトダウン キャンペーン」を実施しています。同省の趣旨に賛同した神戸市からの呼びかけに応え、神戸地区では2003年から“ライトダウンキャンペーン”へ参加しています。2017年度は全国一斉の特別実施日である6月21日(夏至の日)と7月7日(七夕)に、職員の定時退社による屋内照明の消灯、屋外の照明の消灯などを行いました。

理研を含め神戸市内33事業所、神戸市関連の23施設がキャンペーンに参加し、神戸市の夜はいつもより少し暗く、少し違う神戸の夜景がありました。神戸事業所では、地域の皆さまと共に参加できる取り組みに対して積極的に参加協力をしていきます。



ライトダウン前の様子

ライトダウン中の様子

### 応急手当講習会を実施（神戸地区）

神戸事業所では、災害時や非常時への対処能力を高めるための講習会等を企画しています。2017年度は、神戸地区の職員を対象にした応急手当講習会を開催しました。神戸市消防局の協力のもと、「市民救命士講習 普通救命コース」を行い、呼吸や心臓が止まったときに必要な電気的除細動(AED)を含めた応急手当などを習得し、神戸市消防長から普通救命講習修了証が交付されました。

一刻を争う救急患者を救うには、救急車が到着するまでの間、その場に居合わせた者による適切な応急手当がなにより重要です。講習会において正しい知識と技術を身につけた事により、実際の有事の際は、パニックにならず冷静に対応できるようになったのではないのでしょうか。



AEDの取扱い方等を習得

## 神戸事業所

### 「サイエンスアゴラ in KOBE」を開催（神戸地区）

神戸事業所では、市民の方々に、理研の研究成果の発信や科学技術への理解増進のために、毎年一般公開を開催しています。神戸地区では2017年10月14日に行われ、神戸地区全体で延べ9,000人が訪れました。

神戸地区の新たな取組として、南エリア(計算科学研究センター)では計算機室内のスーパーコンピューター「京」を大公開。間近で「京」が見られるとあって多くの方が来場されました。また、神戸市、神戸大学、甲南大学、大阪大学、科学技術振興機構とともに「サイエンスアゴラ in KOBE ~科学って本当に大事?~」を開催。二ホニウムに関する基調講演が行われたほか、研究者と未来を担う高校生や、会場に詰めかけた来場者らによるトークセッションが熱く展開され、科学(研究)や科学者に対するイメージや理解が深まりました。



サイエンスアゴラで研究者に対するイメージを共有!

### 世界一おもしろい授業ライブを実施!（大阪地区）

大阪地区では、市民の皆様との交流と理研に対する理解を深めてもらうため、「未来の科学を生み出す・はじまりは好奇心」をテーマに11月23日に一般公開を開催しました。3回目となる2017年は、前年度を大きく上回る過去最高の1,200名が来場しました。

一般公開では、普段は見られない研究室の公開や、生きた細胞の顕微鏡での観察、スーパーコンピュータの見学などが行われたほか、実験器具や実験動物のイラストに塗り絵をした上で缶バッジを作るコーナーも設けられ、子供たちに大人気でした。また、「世界一おもしろい授業ライブ」として、柳田敏雄チームリーダーが登場。研究者の生き方について熱く語りかけ、会場からの“笑い”を誘いながら最先端の科学を“オモログ”語りかけました。



世界一おもしろい授業ライブ

### バリアフリー化を推進（大阪地区）

施設管理者にとって、高齢者、障害者等を含む全ての人に利用しやすい建物の整備を推進することは重要であり、理研では「バリアフリー対策基準」を定めて施設のバリアフリー化に取り組んでいます。

大阪地区では対策基準を踏まえ、生命システム研究棟A及びBに新たに一箇所ずつ、多目的トイレを設置しました。また生命システム研究棟Aのエントランス部分の段差を解消するため、アスファルトを縁石にすり付けする工事や、職員通用口への庇の取り付け、ドアを鉄製の重いものからアルミ製の軽いものへの交換等、車椅子の方にはもちろん、誰にとっても安全安心な施設改修を進めています。



縁石部分の段差をなくしたエントランス

## 播磨事業所

### 救急措置講習

播磨地区では、消防署員を招いて普通救命講習会を毎年開催しています。講習会では、けがや病気により心肺が停止した人を行う救命処置として、心臓マッサージ(胸骨圧迫)、人工呼吸などの心肺蘇生法とAED(自動体外式除細動器)の使い方を学びました。救急車が到着するまでの間、そばに居合わせた人が救命処置を行うことで、傷病者の生存率や社会復帰率の著しい向上が期待できます。

業務時間中だけでなく、家庭や外出先でも役に立つ重要な技術ですので、播磨地区に勤務する方々に幅広く案内して参加を募っています。2017年度は、本講習会を2回開催し、計36名が参加しました。

また、新入職員を対象に実験安全講習会を開催し、保健師が受傷時の応急処置及び車椅子・担架の取り扱いについて説明しました。2017年度は2回開催し、計26名が参加しました。



救急措置講習

### 水質調査及び土壌調査

播磨地区では、研究活動に伴う化学物質・実験廃液等による環境汚染の有無を把握する取り組みとして、水質分析及び土壌調査を実施しています。

水質分析では、実験排水一時貯留槽(4ヶ所)、敷地内地下水(2ヶ所)、敷地内三原栗山ため池(1ヶ所)、近傍河川水(鞍居川1ヶ所)において検体を採取し、環境省告示等による分析試験を行った結果、水質汚濁防止法をはじめとする関係法令の排出基準値を下回っていることが確認されました。

土壌調査は、敷地内の10地点より土壌を採取し、土壌汚染対策法に基づく告示により分析試験を行った結果、溶出量試験・含有量試験とも、すべての地点において基準値を下回っていることが確認されました。



土壌調査

### 放射線管理

播磨地区では、SPring-8やSACLAといった大型の加速器を用いて研究を行っています。これら加速器の運転が施設周辺の放射線環境に影響を及ぼしていないこと、また、法令で定められた放射線施設の設置基準が満たされていることを確認するために、継続して環境放射線測定を行っています。

環境放射線測定では、研究所の敷地周辺における放射線の強さ(空間線量率)とその積算値、ならびに、敷地内外の地表水及び土壌に含まれる放射性同位元素の濃度(放射能濃度)を四半期毎に測定しています。2017年度の測定結果は、全て法令の限度値を下回っており、自然放射線レベルとの有意差は認められませんでした。



放射線管理

## 環境報告書の信頼性を高めるために

### 第三者意見(兵庫県西播磨県民局)

兵庫県西播磨県民局では、「光と水と緑でつなぐ元気・西播磨」を政策目標に掲げ、豊かな自然環境や観光資源を生かした、交流人口や定住人口増のための様々な施策に取り組んでおり、県民交流室では、県民の活動支援による地域づくりや観光振興などを担当しています。

県南西部に位置する相生市、赤穂市、たつの市、宍粟市、太子町、上郡町、佐用町の4市3町を管内とし、そのほぼ中央の「播磨科学公園都市・光都地区」にあります。

この都市の中核となるのが、世界でも先端を行く大型放射光施設「SPring-8」、X線自由電子レーザー施設「SACLA」のある国立研究開発法人理化学研究所です。

兵庫県では、この「播磨科学公園都市」を国際的な科学技術都市と位置づけ、住宅分譲や産業立地を進めており、兵庫県立粒子線治療センター、西播磨リハビリテーションセンターといった先進的な医療機関もあります。

とりわけ、「SPring-8」の産業利用の促進のため、県専用の2本のビームラインを整備するとともに、放射光ナノテクセンターでこれらの研究を支援し、また同じ敷地内に、少し波長の長い9本のビームラインのニュースバル放射光施設も設置しています。都市内にある兵庫県立大学の教員・学生は、これらの施設を利用して、理研の研究者と連携しながら研究を進めています。

この報告書の研究最前線に紹介されている研究は、まだ課題があるものの、いずれも地球的規模の環境問題を劇的に解決する可能性のあることとあり、大変興味深く、その実用化が大いに期待されます。

このような最先端の研究は、それ自体が大きな環境負荷を伴うため、環境マネジメント体制が強化されており、例えば、SPring-8やSACLAでは、法令に基づき放射線管理を行い、水質調査や土壌調査も実施されています。また、職員の安全管理として安全衛生委員会開催や救急措置講習も実施され、遮熱塗料の採用や植樹など環境に配慮した研究環境づくり、周辺環境整備にも尽力されています。

社会貢献としては、毎年4月29日に開催している県のイベント「西播磨フロンティア祭」に合わせ、SPring-8

等の一般公開をされ、多くの人が訪れています。一流の研究者達の多くの成果を、今後も地域住民や一般社会へ発信し、子どもたちの科学探究心を高める活動がされることを期待しています。

昨年度は、光都地区で学ぶ子どもたちが、まちびらき20周年記念シンポジウムで「わたしたちのまちのこれまでとこれから」と題して、まちの魅力を発表してくれました。子どもたちが「動物にやさしい」「いろいろな国が集まる」など大人と違う観点で、このまちを気に入っているのがわかりました。

近くには兵庫県立大学附属高等学校・中学校もあり、理数教育や国際理解教育に力を入れています。

理化学研究所が立地する環境を生かして、「科学教育」がこの地域に根付いていけばいいと思います。

また、この地に勤務されている方々や海外・国内から来られる多くの研究者の皆さんにも、様々なイベントや地域活動情報を発信するとともに、この地域の魅力を知っていただき、歴史的名所や自然豊かな観光地を訪れていただくなど、さらに交流を広げていきたいと思っています。

SPring-8供用開始から20年を経過し、理化学研究所のますますのご活躍を期待するとともに、連携を一層緊密にし、活力ある地域づくりを進めていきたいと考えています。



兵庫県西播磨県民局県民交流室長 種谷 淳

# 環境報告書の信頼性を高めるために

## 環境報告書監事意見書

理化学研究所(以下、理研)は、自然科学の総合研究所として、自然を尊ぶ精神を常に心に留め、環境に配慮した研究所運営を最重要課題の一つとして取り組んでおります。環境マネジメントの柱は、1)自然科学の総合研究所として、環境問題解決に貢献する先進的な研究成果の創出、2)環境管理体制に基づく環境負荷低減への取り組み、3)働きやすい職場づくりと環境コミュニケーション充実、4)各地域における環境コミュニケーションと環境配慮活動への取り組みとなっております。特に2)と4)は環境リスクマネジメントに関連している活動です。

1)に関する具体的な成果例が、特集1～4に記載されています。①原子力発電で生じる高レベル放射性廃棄物に含まれる長寿命核分裂生成物を放射性のない安定な原子核や短寿命原子核に核変換し、有用な元素を資源として再利用する研究成果、②環境に負荷がかかる前処理を不要とする優れたリグニン分解酵素を持つ酵素・細菌を利用したバイオ燃料生産の工業化を目的とした研究推進、③海水中の様々な生物代謝混合物を解析して得られるビッグデータをAIの機械学習を駆使し、重要な代謝物を探索する取り組み、④環境に優しい太陽電池用新材料をスパコン京利用により探索していく研究が紹介されており、理研が成し得る優れた研究と言う事ができ、実用化が期待される所です。

2)に関する取り組みは、複数の組織的活動を通じた効率的なエネルギー使用、温暖化防止のためのCO2排出量低減や太陽光発電増大が記載されており、リスクマネジメントについても継続した成果が出ている事が確認できます。また、研究に付随して発生する多種多様な廃棄物、放射性廃棄物、PCB含有廃棄物、排水は、規程や法律に準拠して適正に保管、廃棄をしており、リスクマネジメント体制が確保されている事が読み取れます。同様に化学物質の管理、所外への排出に関しても、法令に基づいた適正管理、更に化管法や各自治体の定める条例や指針に基づいた取扱いや管理を行い、加えて、定期的な水質調査、土壌調査、放射線測定を行い、安全性を確認する活動が記載され、活動全体が管理下にある事がよく解ります。

3)の職員の健康・適正な配置は、環境に配慮した活動の土台であり、女性も男性も、より能力を発揮できる

働きやすい職場作りを目指し男女共同参画に取り組んでいる事、障害者雇用促進を図りつつ、業務支援室を通して、研究室等への支援業務、サポート業務を実施している事が解ります。また、職員の体と精神の健康確保も組織運営に関しての重要課題で、職員一人ひとりが、健康で生き生きと働ける職場環境作りに取り組むという目標を立て、各職員が、各職場におき、健康管理室や産業医等の協力も得ながら、地道に取り組んでいる事は、評価される活動と言えます。

4)に示す環境コミュニケーションと環境配慮活動への取り組みは、全事業所が実施している一般公開や和光・筑波・横浜・神戸・播磨で取り組み内容が少し異なりますが、各職員・各地域・市・県・小学校から大学に対して、理研の研究紹介・展示・教育・清掃・津波や地震等を想定した防災訓練等の実施が記載され、コミュニケーションを充実し、連携強化、地域貢献・相互理解を実現するための有意義な環境活動と評価できます。本環境報告書は、理研が意図する環境に配慮した取り組みを具体的に示し、果たすべき役割・責任・実情が良く説明されている事は明確であり、今後の更なる継続した活動を期待する所です。



国立研究開発法人理化学研究所  
監事 松尾康博

# 環境報告ガイドライン 適合性確認

環境報告ガイドライン(2012年版)に基づく項目		掲載状況	「環境報告書2018」対応項目	頁	
【第4章】 環境報告の 基本的事項	1. 報告にあたっての基本的要件	(1) 対象組織の範囲・対象期間	○ 編集方針	4	
		(2) 対象範囲の捕捉率と対象期間の差異			
		(3) 報告方針			
		(4) 公表媒体の方針等			
	2. 経営責任者の緒言	○	理事長挨拶	1,2	
3. 環境報告の概要	(1) 環境配慮経営等の概要	○	理化学研究所概要、組織図、収入と支出、人員、環境マネジメント体制、環境報告書監事意見書	5-8 27,45	
	(2) KPIの時系列一覧	○	グリーン購入・地球温暖化防止・廃棄物削減・排水管理・化学物質管理	29-33	
	(3) 個別の環境課題に関する対応総括	○	グリーン購入・地球温暖化防止・廃棄物削減・排水管理・化学物質管理・大気汚染防止・放射線管理	29-33 38,43	
	4. マテリアルバランス	○	環境負荷の全体像	28	
【第5章】 「環境マネジメント等の環境配慮経営に関する状況」を表す情報・指標	1. 環境マネジメント等の環境配慮経営に関する状況	(1) 環境配慮の方針	○	理事長挨拶	1,2
		(2) 重要な課題、ビジョン及び事業戦略等	○	役員からのメッセージ	3
	2. 組織体制及びガバナンスの状況	(1) 環境配慮経営の組織体制等	○	環境マネジメント体制	27
		(2) 環境リスクマネジメント体制	○	環境マネジメント体制、防災訓練を実施、教育訓練	27,40 41,43
		(3) 環境に関する規制等の遵守状況	○	環境マネジメント体制、グリーン購入・温暖化防止・廃棄物削減・排水管理・化学物質管理・放射線管理・大気汚染防止	27, 29-33 38,43
	3. ステークホルダーへの対応状況	(1) ステークホルダーへの対応	○	特集1～4、社会・地域との環境コミュニケーション、働きやすい職場づくり	9-26 34,35
		(2) 環境に関する社会貢献活動等	○	環境コミュニケーションと環境配慮活動	35-43
	4. バリューチェーンにおける環境配慮の取組状況	(1) バリューチェーンにおける環境配慮の取組方針、戦略等	○	グリーン調達、廃棄物削減	29,31
		(2) グリーン購入・調達	○	グリーン調達	29
		(3) 環境負荷低減に資する製品・サービス等	○	環境コミュニケーションと環境配慮活動	35-43
		(4) 環境関連の新技術・研究開発	○	特集1～4 FACE 1～4	9-26
		(5) 環境に配慮した輸送	-	-	-
		(6) 環境に配慮した資源・不動産開発/投資等	-	-	-
(7) 環境に配慮した廃棄物処理/リサイクル		○	環境負荷の全体像、廃棄物削減	28,31	
1. 資源エネルギーの投入状況	(1) 総エネルギー投入量及びその低減対策	○	環境負荷の全体像、地球温暖化防止省エネ	28,30 38,43	
	(2) 総物質投入量及びその低減対策	○	グリーン調達	29	
	(3) 水資源投入量及びその低減対策	○	環境負荷の全体像、節水対策	28,32	
	2. 資源等の循環的利用の状況(事業エリア内)	○	環境負荷の全体像、節水対策	28,32	
【第6章】 「事業活動に伴う環境負荷及び環境配慮等の取組に関する状況」を表す情報・指標	3. 生産物・環境負荷の算出・排出等の状況	(1) 総製品生産量又は総商品販売量等	-	-	-
		(2) 温室効果ガスの排出量及びその低減対策	○	環境負荷の全体像、地球温暖化防止省エネ	28,30 38,43
		(3) 総排水量及びその低減対策	○	環境負荷の全体像、節水対策	28,32
		(4) 大気汚染、生活環境に係る負荷量及びその低減対策	○	大気汚染防止	38
		(5) 化学物質の排出量、移動量及びその低減対策	○	環境負荷の全体像、化学物質管理	28,33
		(6) 廃棄物等総排出量、廃棄物最終処分量及びその低減対策	○	環境負荷の全体像、廃棄物削減	28,31
		(7) 有害物質等の漏出量及びその防止対策	○	防災訓練を実施、地震体験を実施、普通救命講習会の開催	40,41,43
	4. 生物多様性の保全と生物資源の持続可能な利用の状況	○	環境マネジメント体制	27	
【第7章】 「環境配慮の経済・社会的側面に関する状況」を表す情報・指標	1. 環境配慮経営の経済・社会的側面に関する状況	(1) 事業者における経済的側面の状況	-	-	-
		(2) 社会における経済的側面の状況	-	-	-
	2. 環境配慮経営の社会的側面に関する状況	○	働きやすい職場づくり	34	
【第8章】 その他の記載事項等	1. 後発事象等	(1) 後発事象	-	-	-
		(2) 臨時的事象	-	-	-
	2. 環境情報の第三者審査等	○	第三者意見	44	