



RIKEN
ENVIRONMENTAL
REPORT

環境報告書

2015

美しい地球と

わたしたちの未来のために



ご挨拶

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

環境理念

「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にしています。
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。

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/>

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。

役員からのメッセージ

独立行政法人理化学研究所は、2015年4月1日に国立研究開発法人となり、理事長も、野依 良治 理事長から松本 紘 理事長に変わりました。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のもと、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。

その為の経営方針として、理研科学力展開プランを策定しました。その中で、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、理研は、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。そのため、大学と一体となって我が国の科学力の充実を図り、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

そのような活動の中で、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来ています。すなわち、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行くことが求められています。

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、冒頭に述べた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 松本 洋一郎

[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と思います。

- 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]

2014年度(2014年4月1日～2015年3月31日)
ただし、一部2015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]

2015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	12
特集記事3	13
特集記事4	17
特集記事5	21

環境マネジメント体制	25
環境負荷の全体像	26

働きやすい職場づくり	32
環境コミュニケーションと環境配慮活動	33
・和光地区	34
・横浜地区	37
・神戸(第1・2)地区	39
・播磨地区	41
・筑波地区	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、医科学などに及ぶ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

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。



1917-
財団法人理化学研究所

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。



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。



1948-
株式会社科学研究所

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)



渋沢 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会社約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。

第3期中期目標(H25～H29)における 理研の使命

1. 国家的・社会的ニーズを踏まえた戦略的・重点的な研究開発を推進すること
2. 世界トップレベルの研究基盤の整備・共用・利用研究を推進すること
3. パラダイム転換をもたらすような創造的・挑戦的な先端融合研究(基礎研究)等を効果的に進めること
4. 研究開発成果を、産業・医療応用等に向けた理化学研究所内外の連携やネットワーク構築を通じて、効果的に社会還元につなげること
5. 活気ある開かれた研究環境の整備等、優秀な研究者等の育成・輩出等を図ること

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。



1958-
特殊法人理化学研究所

1967
駒込から和光に移転

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)



2015-
国立研究開発法人理化学研究所

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。



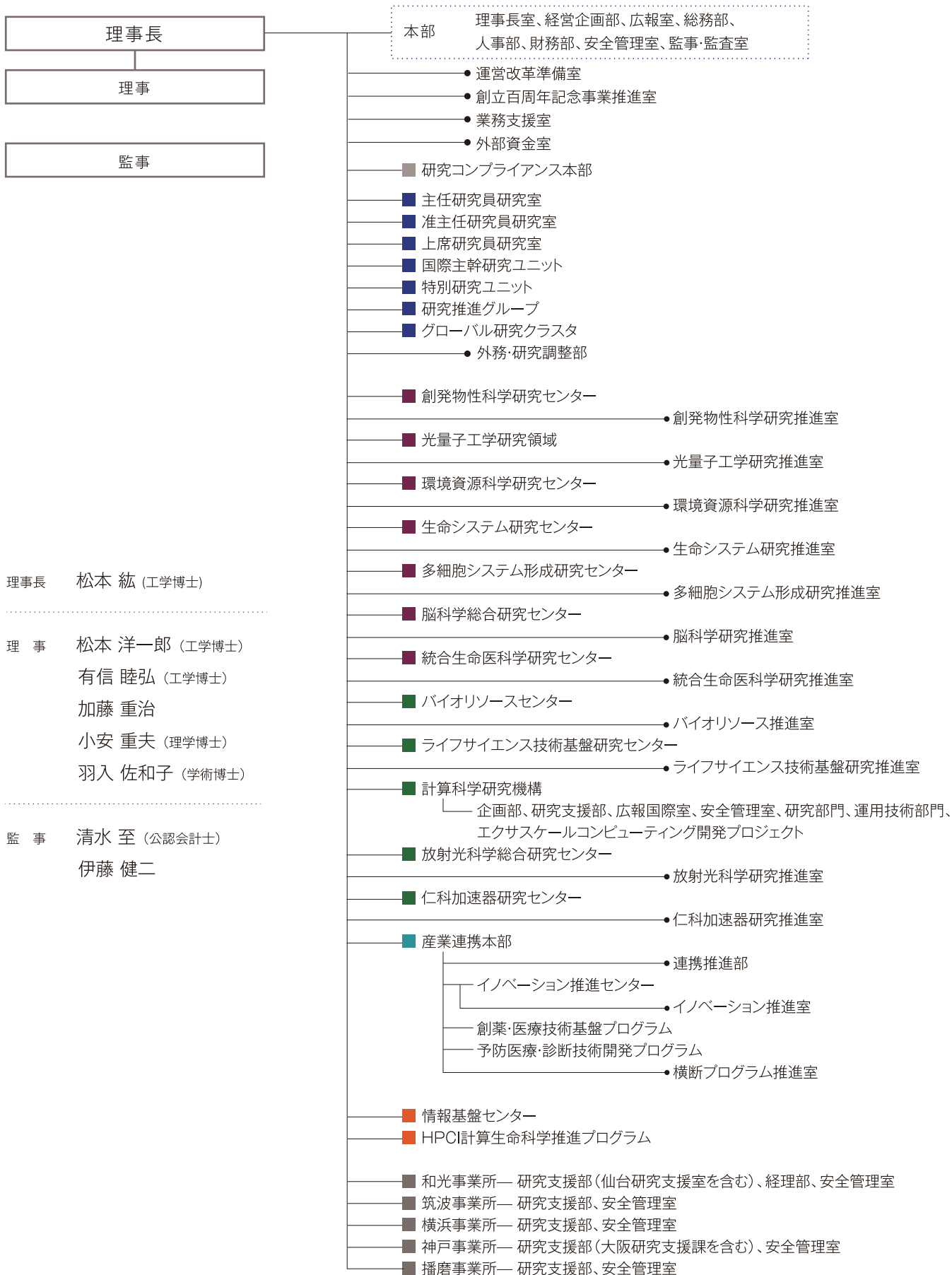
野依 良治

(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。

組織図

(2015年7月1日現在)

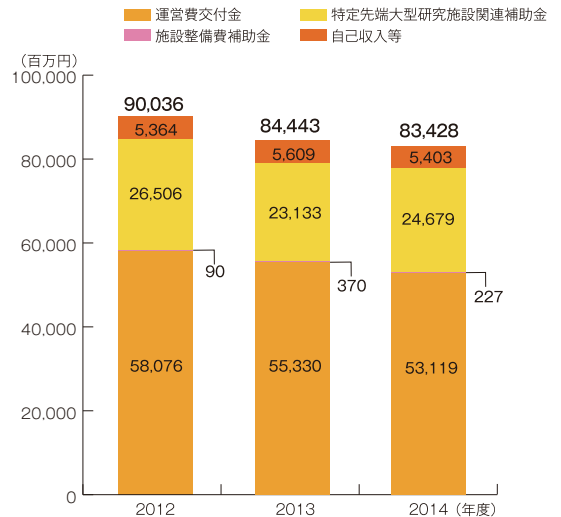


予算

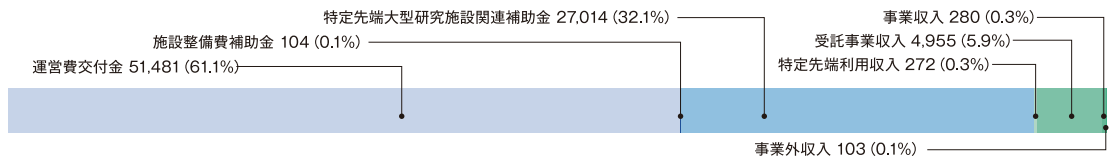
理研の収入は「政府支出金」と「自己収入」に大きくわけられます。

「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。

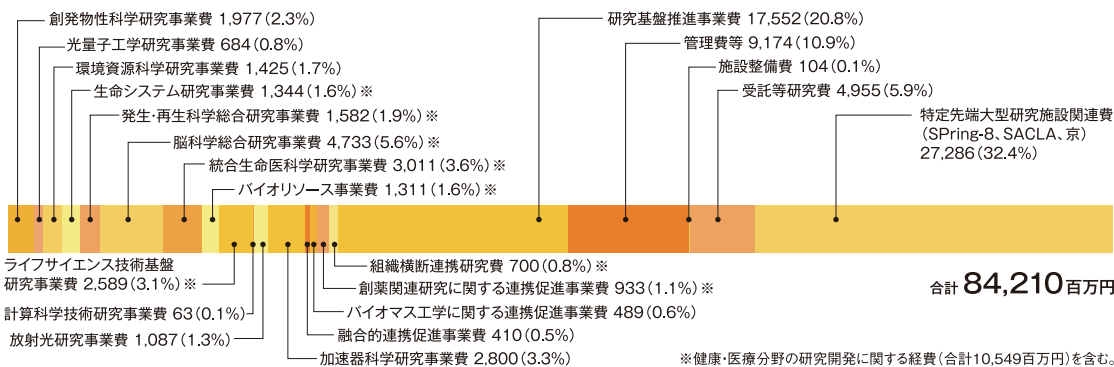
●最近3年間の収入予算の推移(当初予算)



●2015年度 収入予算の内訳(当初予算)



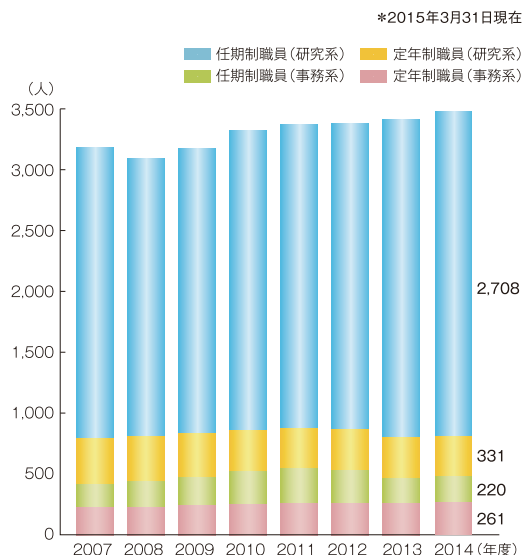
●2015年度 支出予算の内訳(当初予算)



人員

理研の職員は、定年まで雇用する定年制職員と、年限を区切って雇用する任期制職員として、研究者、技術者および事務職員を配置しています。最良の研究成果を生み出すことを目指し、国内外の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ながら、キャリアサポート、男女共同参画の推進などにも力を入れています。

●理研の人員の推移



●センター別常勤職員数

*2015年4月1日現在

センター名	人数
主任研究員研究室	237
准主任研究員研究室	32
上席研究員研究室	28
国際主幹研究ユニット	11
特別研究ユニット	13
研究推進グループ	7
グローバル研究クラスター	34
創発物性科学研究センター	155
光子工学研究領域	95
環境資源科学研究センター	270
生命システム研究センター	160
多細胞システム形成研究センター	163
脳科学総合研究センター	472
統合生命医科学研究センター	282
バイオリソースセンター	109
ライフサイエンス技術基盤研究センター	367
計算科学研究機構	152
放射光科学総合研究センター	99
仁科加速器研究センター	188
社会知創成事業	2
イノベーション推進センター	41
創薬・医療技術基盤プログラム	12
予防医療・診断技術開発プログラム	10
情報基盤センター	47
HPCI計算生命科学推進プログラム	7
事務等	469
合計	3,462

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

理研は環境、そして社会に役立つさまざまな研究開発を行っています。
それらの研究の中から、特集記事として5つをご紹介します。

特集 1 バイオ燃料電池の世界初の実用化を目指す

砂糖を装置に振り掛けると発電して風車が回り始めた——

この装置は、生物が食べ物からエネルギーを取り出す仕組みを模した「バイオ燃料電池」だ(図1)。

バイオ燃料電池には、ジュースなどブドウ糖を含む身の回りの多様な物質が燃料になること、常温・常圧で発電するため安全性に優れていること、レアメタルや金属を使用せず有害物質を排出しないこと、電池の材料が生体になじむ性質を持ち体内の物質を燃料にして体内で発電が可能など、多くの優れた特徴があるが、いまだに実用化されていない。

株式会社アイシン・コスモス研究所の重森康司 主任研究員たちは、理研生命システム研究センター 生体分子構造動態研究チームの美川 務 専任研究員と共同研究を行い、バイオ燃料電池の世界初の実用化を目指している。

ポケットサイズのバイオ燃料電池で、スマートフォン1週間分の電力を発電できる日が来るかもしれない。



重森康司 主任研究員(左)と美川 務 専任研究員

相同組み換えの研究から バイオ燃料電池へ

——美川専任研究員は、「相同組み換え」の研究がご専門ですね。

美川:私たちは父由来と母由来のDNAを1セットずつ受け継いでいます。精子や卵子ができるとき、父由来と母由来のDNAの混ぜ合わせが起きます。それが相同組み換えです。バクテリアなどが外来のDNAを取り込む際にも相同組み換えが起きます。バクテリアでは、RecAという酵素が単独で、相同組み換えを促進する機能を持つことが知られています。

そもそもDNAには4種類の塩基があり、その塩基の並び方で、どの種類のタンパク質をいつ、どこで、どれくらいつくるのか、といった遺伝情報が書かれています。RecAは、一塩基の違いを見分けて相同組み換えを引き起こす能力があります。そのRecAを利用した新しい技術開発の提案が重森さんたちからありました。それが共同研究のきっかけです。

——(株)アイシン・コスモス研究所では、どのような研究を行っているのですか。

重森:私たちは、アイシン精機(株)をはじめとするアイシング

グループから委託を受けて技術開発を行う研究所で、バイオ技術の研究開発が事業の柱の一つです。遺伝情報を解析するには、DNAを増幅する必要があります。私たちは美川先生と共同研究を行い、RecAを用いて特定の塩基配列を持つDNAを正確に増幅する「RecA-PCR技術」の開発を進めました。そして、その技術を用いた製品が、2007年に大手試薬メーカーから販売されました。個人ごとの一塩基の違いで、ある薬の効果や副作用が異なる場合があります。一塩基の違いを見分けてDNAを増幅できるRecA-PCR技術と、塩基配列を高速で読み取る次世代シーケンサーを組み合わせることで、患者さんごとに最適な治療を行うオーダーメイド医療の実現に貢献できると期待されています。

その後、私たちはバイオ技術を生かしてエネルギー問題や環境問題の解決に貢献する技術を開発することにしました。そこで、バイオ燃料電池に注目したのです。

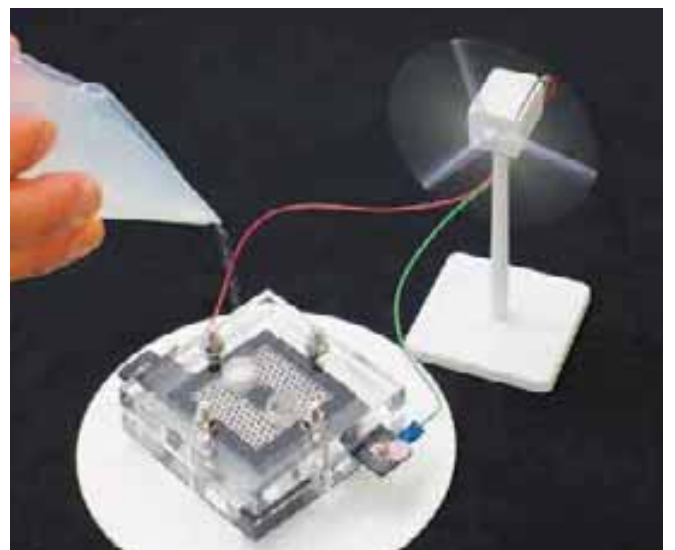


図1 開発中のバイオ燃料電池の実演

バイオ燃料電池の開発は、科学技術振興機構(JST)A-STEP(研究成果最適展開支援プログラム)に採択され、研究が行われている。

■ 酵素を結晶化して高性能化を実現

——バイオ燃料電池の仕組みを教えてください。

美川: マイナス極のブドウ糖酸化酵素と、プラス極の酸素還元酵素を組み合わせた構造です(図2)。マイナス極ではブドウ糖に含まれる水素から電子が奪われ、水素イオンが生成されます。電子はブドウ糖からマイナス極へ移動し、外部の回路を通してプラス極へ移動します。この電子の移動が発電です。プラス極では酸素が、移動してきた電子を受け取るとともに、電池内部を移動してきた水素イオンと結合して水が生成されます。

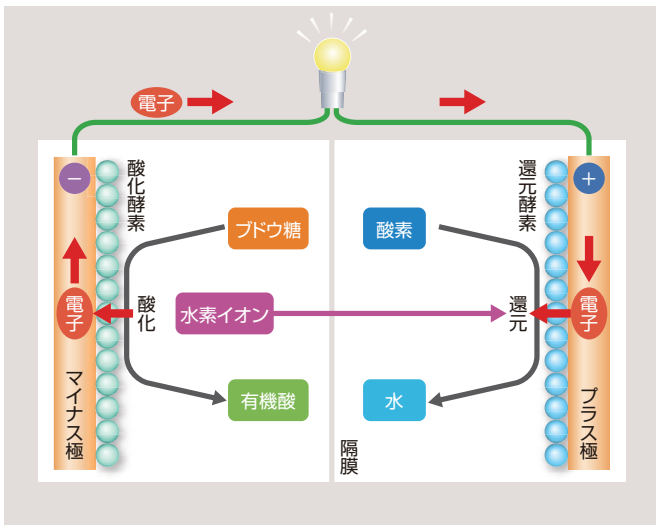


図2 バイオ燃料電池の仕組み

マイナス極の酸化酵素により、ブドウ糖に含まれる水素から電子が奪われ、水素イオンが生成される。電子はマイナス極から外部の回路を通してプラス極へ移動する(発電)。プラス極では還元酵素により、酸素が、移動してきた電子を受け取るとともに、電池内部を移動してきた水素イオンと結合して水が生成される。

——バイオ燃料電池にはどのような課題があるのですか。

重森: 単位面積当たりの発電量と酵素の耐久性です。従来、電極には酵素の溶液を塗っていますが、酵素の密度が高くありません。発電量を増やすには、電極の酵素を高密度にする必要があるのです。まず、その相談を美川先生にしたところ、酵素を結晶化するアイデアを頂きました。

美川: 酵素などのタンパク質の機能を調べるには、立体構造を解析する必要があります。そのために、タンパク質の結晶をつくりX線を当てて構造解析する手法が一般的です。私は、タンパク質の結晶を構造解析だけに使うのはもったいないと、以前から思っていました。ですから、重森さんからその相談を受けて、すぐに結晶化を提案したのです。結晶では、タンパク質が機能できる状態で高密度に整列しています。ばらばらな状態ではすぐに分解されてしまうタンパク質でも、結晶化すると何週間も安定して機能するので、酵素の耐久性も向上するはず。既存の酵素を結晶化して電極に付けてみたところ、単位面積当たりの発電量が増えることが分かりました(図3)。

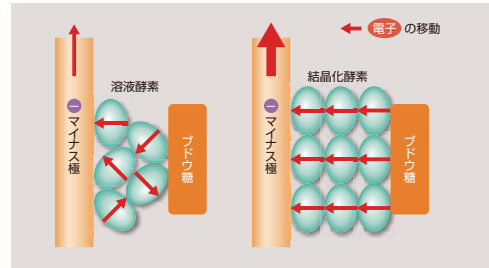


図3 酵素の結晶化による発電量の増加

従来の酵素の溶液を電極に塗る手法では酵素の密度が低く、ブドウ糖が酸化される効率と、発生した電子がマイナス極へ移動する効率が、ともに低い(左)。

結晶化により酵素が高密度に整列することで、ブドウ糖を高効率で酸化するとともに、発生した電子が効率的にマイナス極へ移動することで、単位面積当たりの発電量が増加すると考えられる(右)。

重森: その後、どのような条件で結晶化するのが最適かを試行錯誤して探りました。現在では、電極上で酵素を結晶化して成長させる手法を用いています(図4)。その手法により、酵素の溶液を塗った電極に比べて単位面積当たりの発電量が5倍以上に増加しました。ただし、なぜ電極上で酵素を結晶化すると発電量が増加するのかは、まだよく分かっていません。

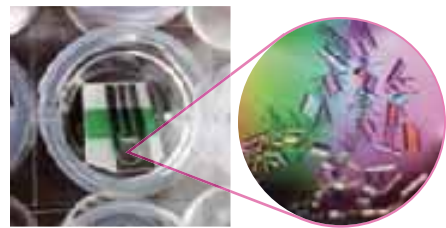


図4 電極上で結晶化された酵素

■ RecA-PCR技術で高性能の酵素を発見

——さらなる性能向上のために、どのように研究を進めたのですか。

重森: 私たちアイシン・コスモス研究所は、プラス極の優れた酵素を自然界から探すことにしました。牛ふんと木材チップを混ぜて発酵させてつくる牧場の堆肥に注目し、プラス極に使う酸素還元酵素を探しました。高温になる堆肥の中で木材チップがぼろぼろに酸化分解されます。そこには、さまざまな微生物に由来する活性が高く熱にも耐久性のある「ラッカーゼ」と呼ばれる酵素があるはずだと予測したのです。ラッカーゼにはたくさんの種類がありますが、銅を含むという共通点があり、遺伝子も共通の塩基配列を持つと考えられます。そこで、すでに配列の分かっているラッカーゼ遺伝子を手掛かりに、RecA-PCR技術を使って堆肥に含まれるラッカーゼ遺伝子を増幅して解析しました。

すると10種類以上のラッカーゼ遺伝子が見つかり、そのうちの一つは未知のものでした。その遺伝子から酵素をつくって調べたところ、既存のものに比べて活性が約5倍も高いことが分かりました。また、耐久性もとても高く、既存のラッカーゼは数時間で活性が半減しますが、その酵素は1週間たっても活性を9割維持します。

すると10種類以上のラッカーゼ遺伝子が見つかり、そのうちの一つは未知のものでした。その遺伝子から酵素をつくって調べたところ、既存のものに比べて活性が約5倍も高いことが分かりました。また、耐久性もとても高く、既存のラッカーゼは数時間で活性が半減しますが、その酵素は1週間たっても活性を9割維持します。

4個の電子を取り出す多段階反応に成功

——マイナス極の酵素も探したのですか。

重森: 耐久性の高いブドウ糖酸化酵素もあるかもしれないと期待して、高温の堆肥の中や沼の汚泥などを、RecA-PCR技術を使って探しました。すると、未知のブドウ糖酸化酵素の可能性のある遺伝子が10種類以上見つかりましたが、どれも活性が出ませんでした。

美川: 活性を持たせる補欠因子が必要なのかもしれません。

重森: 指摘を受けて、考えられる従来の補欠因子や、堆肥の抽出液の未知成分を酵素に作用させるためにさまざまな実験をしたのですが、活性が出ませんでした。さらなる酵素の作製法の工夫が必要なのかもしれません。それを行ったり酵素の改変を検討したりすることで、活性が出るようにしたいと思います。

美川: ブドウ糖からより多くの電子を取り出す研究も進めています。従来のバイオ燃料電池では、ブドウ糖1分子を酸化する1段階の反応で2個の電子を取り出しています。私たちは、2段階の反応により4個の電子を取り出すことに成功しました。そのような実用的なバイオ燃料電池は世界初だと思います。

ブドウ糖を完全に酸化し24個の電子を取り出す

——今後、どのようにバイオ燃料電池の実用化を目指しますか。

重森: まず、ブドウ糖から4個の電子を取り出すことに成功したバイオ燃料電池を、エコ教材として実用化したいと考えています。砂糖やジュースが電気になることを目の前で体験していただき、バイオ燃料電池の存在を社会に広めたいと思います。さらに、バイオ燃料電池の性能が今後どれくらい向上できそうかを見極め、その性能で実現でき“バイオならではの”ユーザーにとって魅力のある用途を検討していきたいと思います。

——どのような性能と用途が目標として考えられますか。

重森: 例えば、縦横8cm×10cm・厚さ5mmというポケットサイズで、スマートフォンを1週間使い続けるだけの電力を発電することです。それには、ブドウ糖1分子から12個以上の電子を取り出す必要があると思います。そのような携帯電源を実現できれば、まったく新しい市場を創造できるはずです。

——多様な燃料で発電できるバイオ燃料電池は、災害時用の電源としても有望ですね。

重森: 災害時の非常用のように、サイズがある程度大きくてもよい用途ならば、現在の性能でも実用化できるでしょう。バイオ燃料電池は、缶詰加工の過程で捨てられている果汁や、賞味期限切れのジュースなど、ブドウ糖を含んだ廃棄物を使った発電も可能で、燃料の入手も簡単です。

——実用化にはどれくらいの耐久性が求められますか。

重森: 酵素電極をフリーズドライする技術により、保管時の耐久性に関しては問題ないと思います。使い始めて少なくとも半年、できれば1年は安定した性能を発揮できる耐久性を目指していきます。

——バイオ燃料電池の究極の目標とは？

美川: 現状のバイオ燃料電池ではブドウ糖1分子から4個の電子を取り出していますが、私たちの体の中は効率ももっと高く、ブドウ糖1分子を二酸化炭素へ完全に酸化する過程で24個の電子を取り出しています。それを人工的に実現すること、それが壮大な夢ですね。世の中が大きく変わると思います。

重森: それが実現できれば、ショートケーキ1個に含まれるブドウ糖を燃料にして、単3乾電池100本分ほどの電力を発電することができます。

美川: 私たちの体の中では、たくさんの酵素が働き、複雑な反応経路を経てブドウ糖を二酸化炭素まで酸化するエネルギー代謝が起きています。それをそのまま人工的に再現するのは現実的ではありません。なるべく少ない酵素とより単純な反応経路で二酸化炭素まで酸化する必要があります。

——それは実現可能でしょうか。

美川: 私は、試験管に必要な最小限の酵素とDNAを入れて相同組み換えを再現することに成功しましたので、不可能だとは思いません。エネルギー代謝の仕組みは詳細に研究されてきましたが、それを人工的に再現して酵素や反応経路を改変する研究はあまり行われていません。バイオ燃料電池はサイエンスとしても興味深い研究テーマです。

重森: 私も科学者として、バイオ燃料電池の中でブドウ糖が二酸化炭素まで酸化されていく反応をぜひ見てみたいですね。そして企業人として、2020年にはバイオ燃料電池の本格的な実用化にめどを付けたいと考えています。

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

植物を使って福島県の農地から放射性セシウムを除染することを目指している研究者が、環境資源科学研究センター(CSRs)にいる。機能調節研究ユニットのアダムス英里 研究員だ。

表土を剥ぎ取る除染方法では、肥沃な土壌が失われる可能性があり、除去した汚染土が大量に発生するという問題もある。植物の根から放射性セシウムを

効率よく吸収・蓄積させることができれば、それらの問題を解決できると期待されている。

また、農作物の安全性を高めるため、セシウムが植物に吸収されにくいようにする技術開発にも着手している。

「植物がどのようにセシウムを吸収・蓄積するのか、ほとんど分かっていませんでした。新雪に踏み出す気持ちで、この研究を始めました」と語るアダムス研究員の素顔に迫る。



アダムス 英里(アダムス えり)

環境資源科学研究センター
機能調節研究ユニット 研究員

1980年、東京都生まれ。国際基督教大学教養学部理学科卒業。University of East Anglia(英国)でPh.D.取得。University of Alberta(カナダ)博士研究員を経て、2011年、理研植物科学研究センター(現 環境資源科学研究センター)特別研究員。2015年より現職。

「人と違っていると白い目で見られる。日本の社会に堅苦しい印象を持っていました」。そう語るアダムス研究員は高校3年生になるとき、1年間カナダに留学した。「何て自由な雰囲気なんだ！ 迷惑を掛けない限り、変わっている人も許容する社会だと感じました」

帰国後、国際基督教大学(ICU)教養学部理学科へ。「ICUはとても自由な校風で、変わった人ばかり。普通だとかえって目立ちます(笑)。1年生のときに植物科学が専門の間晴子先生の講義を受けて、生命は神秘に満ちていることを知り、もともと志していた化学を専攻するか生物を専攻するかで悩みました。先生たちに相談したところ、化学を学んだ後に生物学へ転じることはできるが逆は難しいと忠告され、化学専攻で卒業しました。その後、父の母国でもある英国の大学で植物科学を学び始めました」

カナダの大学の研究員を経て、2011年4月に理研の機能調節研究ユニットへ。そこでは、植物の三大栄養素の一つであるカリウムが欠乏したときの植物の応答などの研究が行われていた。「植物の根にあるカリウムの取り入れ口から、化学的性質が似ているセシウムも吸収されることが知られていました。私はセシウムの吸収力を高めて除染に役立てる研究を始めました。最初は、カリウムの取り入れ口を増やせば、セシウムもたくさん吸収すると予測しました。しかし、そんなに単純ではありませんでした。取り入れた後に、しかるべき場所へ移動・貯蔵されなければ、たくさん蓄積できないらしいということが分かってきました。生育に不要なセシウムが植物に取り込まれた後にどうなるのか、研究例がほとんどなく、研究を始めると次々に新しい現象が見つかりました。例えば、セシウムをたくさん与えると植物の生長は阻害されますが、同時にカリウムを十分に与えると生長はあまり阻害されません。セシウムの研究からカリウムの新しい機能も見えてきました」

アダムス研究員は、セシウムの取り入れや移動・蓄積に関係しているような60種類以上の遺伝子について、欠損させたり過剰に働かせたりしてセシウム吸収力に与える影響を調べ、吸収力向上に重要な遺伝子を絞り込んでいる。さらに、理研で始まったケミカルバイオロジーを植物科学に適用する手法も活用している。「化

合物を用いて植物の仕組みを探る手法です。例えば、ある化合物Aとセシウムを両方与えると、生長が顕著に阻害されました(図)。化合物Aの作用でセシウム吸収力が高まり、含有量が増加したためだと考えられます。このような化合物の作用をCSRsの化学者たちと分析することで、セシウム吸収の仕組みの解明を進めています。ICUで化学を学んだことが役立っていますね」

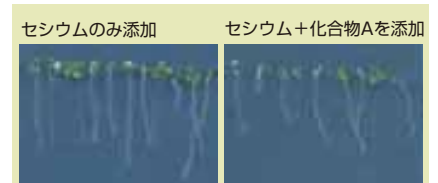


図 化合物の作用例

セシウムのみ(あるいは化合物Aのみ)では植物(シロイヌナズナ)の生長はそれほど阻害されないが、両方与えると顕著に阻害される。それは、植物体内のセシウム含有量が増加し、逆にカリウム含有量が減少したためだと考えられる(実験では放射性セシウムではなく安定なセシウムを用いている)。

アダムス研究員は海藻の研究も近々始める予定だ。「塩分が高い海水中で海藻がなぜ生育できるのか、よく分かっていません。ナトリウムもカリウムと化学的性質が似ています。海水に大量に含まれるナトリウムと比較的濃度が低く必須のカリウムをどのように仕分けているのかを調べます。その仕組みを解明できれば、陸上作物の塩害対策やカリウム肥料使用量の削減に役立てられるかもしれません。海藻の研究も未開拓の分野です。人と違った研究を行うことで、植物の新しい神秘に出会えるはずですよ」

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

特集3 大気中のCO₂から一気にプラスチックなどのマテリアルを生み出す

化石燃料の大量消費によって大量の二酸化炭素(CO₂)が大気中に放出され、地球温暖化を引き起こしている。一方、植物は光合成の際にCO₂を吸収し、太陽のエネルギーを利用して糖やセルロースなどのバイオマスをつくり出している。「私たちは、光合成を行う植物や藻類によって温暖化物質であるCO₂を吸収し、CO₂を資源として有効に活用するための技術開発を行っています」と、環境資源科学研究センター バイオマス工学連携部門 合成ゲノミクス研究チームの松井 南チームリーダー(TL)は言う。最近では、ラン藻に多種類の微生物由来の遺伝子を導入して新しい合成経路を構築することで、光合成によってバイオプラスチックを高い効率で生産させることに成功した。また、エネルギー植物として注目されているイネ科のソルガムの研究も進めている。



松井 南(まつい・みなみ)

環境資源科学研究センター

バイオマス工学研究部門 部門長

合成ゲノミクス研究グループ グループディレクター

1958年、東京都生まれ。理学博士。京都大学大学院博士課程修了。

米国エール大学研究員などを経て、

1995年より

理研フロンティア研究システム分子機構研究チーム副チームリーダー。

ゲノム科学総合研究センター植物ゲノム機能情報グループチームリーダー、

植物科学研究センター植物ゲノム機能研究グループグループディレクター、

環境資源科学研究センター バイオマス工学連携部門 部門長、

合成ゲノミクス研究チーム チームリーダーなどを経て、

2015年より現職。

※本文内の所属は元記事の発行当時のままである。

〈タイトル図〉



一気に通貫にバイオプラスチックをつくる

松井TLは、人工光を照射している恒温温室からシャーレを取り出し、「バイオプラスチックの一つ、ポリヒドロキシアルカン酸(PHA)を生産するラン藻です。このラン藻は光合成だけでPHAを生産することができて、その生産効率は世界トップレベルです」と説明する(左のタイトル図)。

プラスチックは、さまざまな形状に加工ができて、軽くて丈夫なので広く利用されている。しかし、従来のプラスチックは有限な化石資源である石油を原料とし、生産過程でCO₂を大量に排出し、また自然には分解されないといった問題がある。バイオプラスチックは、化石資源以外の再生可能な生物原料由来のバイオマスプラスチックと、使用後に微生物などによって分解される生分解性プラスチック

(グリーンプラスチック)の総称だ。PHAとポリ乳酸(PLA)は両方の性質を持ち、環境負荷が少ないことから特に注目されている。

PHAはアルカン酸のポリマーで、微生物が体内に取り入れた糖や油脂を分解した後合成され、細胞内に蓄積される。微生物を大量の糖や油脂を加えた培養液で培養すると効率よくPHAをつくることから、この方法を用いた工業生産化が進んでいる。しかし、糖は高価な上、微生物を無菌的に培養する特別な施設も必要なため、石油由来のプラスチックより生産コストが高くなってしまった。そこで、簡単に低コストでPHAを生産する新技術の開発が望まれている。

合成ゲノミクス研究チームが属するバイオマス工学連携部門で目指しているのは、原材料から生産素材までをつなぐ「一気通貫」技術だ。「PHA生産のために微生物の発酵原料となる糖や油脂は、植物などが光合成によってつくったものです。ならば、光合成だけでPHAまで一気につくることができないかと考えました。そこで、光合成を行うラン藻や植物に、PHAの合成経路を組み入れることを検討しました」

多種類の微生物の遺伝子を組み合わせてラン藻に導入

ラン藻(Synechocystis)はシアノバクテリアとも呼ばれる光合成をする原核生物である。「ラン藻もPHAを少し合成しますが、その蓄積は炭素と窒素のバランスによる環境要因で左右されます。PHAの合成に関わる遺伝子を導入して新しい合成経路を構築すれば、強制的にラン藻にPHAをつくらせ、蓄積させることができるはず」と松井TL。

カプリアビダス属の微生物は、

PhaA、PhaB、PhaCという三つの酵素を用いてPHAを生産する。まず、その三つの酵素の遺伝子をラン藻に導入してみた(図1)。しかし、PHAの生産量は高くなかった。代謝経路を詳しく調べると、PhaAはアセチルCoAからアセトアセチルCoAをつくる酵素だが逆向きの反応も起こすため、アセトアセチルCoAから先の反応が進まないことが分かった。

そこで、松井TLらはPhaAの代わりに放線菌のNphT7という酵素の遺伝子を導入してみた(図1)。NphT7は、アセチルCoAとマロニルCoAからアセトアセチルCoAをつくる。その反応は一方向であるため、PHA生産が強制的に進むと期待したのだ。狙い通り、PHAが生産されるようになった。さらに、生産効率を上げるため、さまざまな微生物由来のPHA生産に関わる遺伝子を導入して調べたところ、PhaCをクロモバクテリア属の微生物由来のものに代えると、生産効率が上昇することが分かった。

「放線菌由来のNphT7とカプリアビダス属由来のPhaBとクロモバクテリア属由来のPhaCの遺伝子を導入することで、糖を加えずに光合成だけでラン藻にPHAを高生産させることに成功したのです」(タイトル図)。これまでPHAの生産効率を上げる方法としては、重合酵素であるPhaCの改変が中心だった。今回は、多種類の微生物の遺伝子を組み合わせている点が大きな特徴だ。

この成果は、マレーシア科学大学との国際共同研究によるものである。2014年1月にプレスリリースすると、多くの新聞でも紹介された。注目の高さがうかがえる。しかし、松井TLは「実用化にはもう少し時間がかかります。生産効率が高いといってもまだ乾燥重量の14%です。それでは工業生産で採算は取れません」と言う。ちなみに、現在工業生産に用いられている微生物は、乾燥重量の約80%のPHAを生産する。

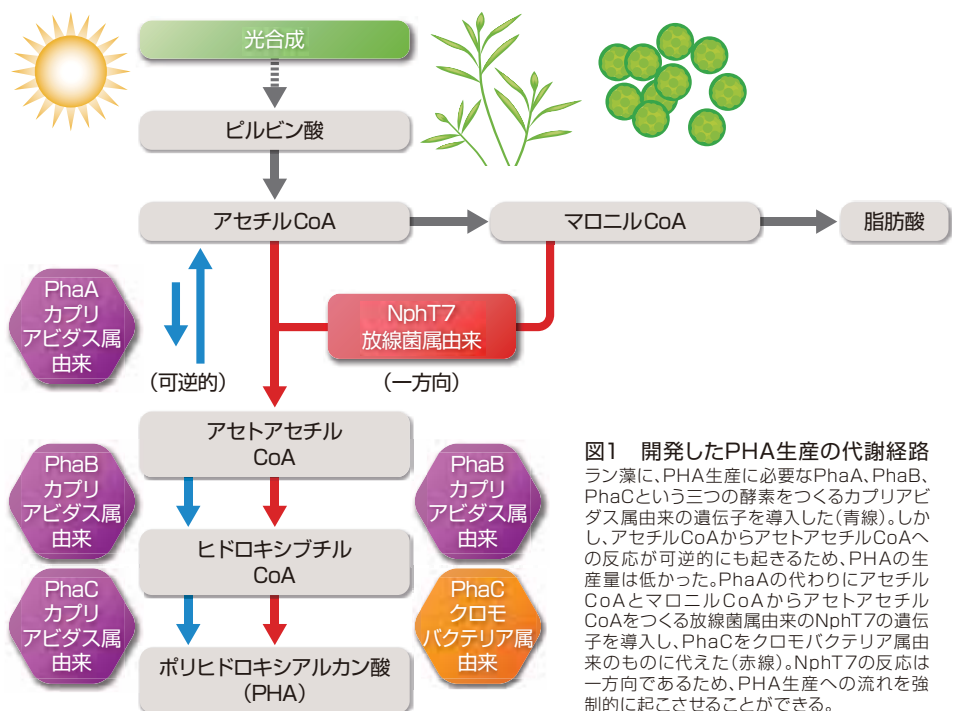


図1 開発したPHA生産の代謝経路
ラン藻に、PHA生産に必要なPhaA、PhaB、PhaCという三つの酵素をつくるカプリアビダス属由来の遺伝子を導入した(青線)。しかし、アセチルCoAからアセトアセチルCoAへの反応が可逆的にも起きるため、PHAの生産量は低かった。PhaAの代わりにアセチルCoAとマロニルCoAからアセトアセチルCoAをつくる放線菌由来のNphT7の遺伝子を導入し、PhaCをクロモバクテリア属由来のものに代えた(赤線)。NphT7の反応は一方向であるため、PHA生産への流れを強制的に起こさせることができる。

PHAは細胞内に蓄積される物質なので、ラン藻は積極的にはつくりたがらないのだ。生育に使われるべきエネルギーをPHAの生産に使ってしまうため、ラン藻自体の生育が悪くなるという問題もある。松井TLらは、ラン藻の生育に影響がないように光合成機能を強化することで生産効率を上げようとしている。

CO₂を資源として有効に活用する

「私たちは、地球温暖化の原因であるCO₂を資源として有効活用するための技術開発を目指しています」と松井TL。

「ラン藻によるバイオプラスチックの生産のように、CO₂から有用な物質を一気に生み出す技術だけでなく、さまざまな有用物質の原料となるバイオマスを増産する技術の開発にも取り組んでいます」

植物はCO₂を吸収して太陽のエネルギーを利用し、糖や脂質、セルロースなどのバイオマスをつくる。それらは食料や建材として使われるだけでなく、燃料や化学製品の原料になる。バイオマスの量を増やしたり、品質を向上させたり、使いやすい成分にしたりすることで、有用物質の生産につな

げようとしているのだ。「バイオマス増産に関しては、ソルガムという植物をターゲットに研究を進めています」と松井TL。

バイオマスとして注目されるソルガム

「これがソルガムです。成長すると草丈が5m近くになります」と、嶋田勢津子 研究員が温室を案内する(図2)。ソルガムは、熱帯アフリカ原産のイネ科の一年生草本植物で、高粱コウリヤンやモロコシとも呼ばれる。

なぜソルガムを研究対象としたのだろうか。「ソルガムは茎に糖をたくさん蓄積し、物質生産、特にバイオエタノールをはじめ、糖からつくる化学製品の原料にとっても適した植物だからです。しかも、食料の生産と競合しないという利点があります」と嶋田研究員。

例えば、バイオエタノールの原料にはトウモロコシやサトウキビなどが使われている。しかし、それらは食料や家畜の飼料でもある。バイオエタノールの原料としての需要が大きくなると、品薄になり、価格が高騰してしまうことが問題になっている。「ソルガムは、サトウキビと異なり、栽培に多量の水を必要とせず、温帯でも栽

培が可能です。また、サトウキビは生育に12ヶ月かかりますが、ソルガムは格段に早く4ヶ月です。さらに、乾燥に強いいため、塩害でほかの作物は育たない土地でも栽培が可能です。農作物の栽培ができなかった土地でソルガムを栽培することで、食料の耕作地との競合を回避できます」(図2)

BTx623という系統のゲノムの全塩基配列が2009年に解読され、分子生物学的な研究が活発化していることも、ソルガムを研究対象とした理由の一つだ。しかも、ソルガムはイネとゲノムシンテニーがあり、イネの研究で得られたさまざまな分子生物学的な情報を応用することができる。ゲノムシンテニーとは、ゲノム上に並ぶ遺伝子の配置が同じか非常に似ていることをいう。ソルガムとイネのゲノムを比較することで遺伝子の機能を類推できるので、研究速度が上がるのだ。

ソルガムの完全長cDNAライブラリー

ソルガムからエタノールをつくるには、主に茎を使う。茎の搾り汁に含まれている糖を発酵させると、エタノールができる。搾り汁の糖度(ブリックス値)は15~23%だ。「私たちは、ソルガムの糖の生産性を高めることを目指しています。そのためにはソルガムの成長、特に糖生産を促進させる必要があります。成長や糖生産に関わる遺伝子を見つけるため、嶋田研究員を中心に完全長cDNAのライブラリーを作成しました」と松井TLは言う。cDNAとは、遺伝子領域のDNAが転写されたmRNAを取り出し、逆転写して合成したDNAのことだ。タンパク質をつくる情報を過不足なく持っているものを完全長cDNAという。



図2 ソルガムと、サトウキビ、トウモロコシとの比較

ソルガム(写真)は熱帯アフリカ原産のイネ科の一年生植物。CO₂を効率よく吸収して光合成を行う「C4植物」であり、光合成機構の研究でも注目されている。エタノールなどのエネルギーを抽出できる植物をエネルギー植物と呼ぶ。代表的なものを比較した。

	ソルガム	サトウキビ	トウモロコシ
収穫日数	4ヶ月	12ヶ月	4ヶ月
給水量(m ³)	4,000	36,000	8,000
穀粒からのエタノール(l/ha)	760	—	1,400
茎からのエタノール(l/ha)	1,400	5,600	0
全エタノール(l/ha)	3,160	8,925	3,216
水コストを含めたエタノールコスト(米ドル/kl)	75.3	111.5	89.2

The International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
(国際半乾燥熱帯作物研究所) の資料を改変



嶋田勢津子 研究員(左)と蒔田由布子 研究員(右)

「生育や糖生産に関わる遺伝子を見つけるためには、まず全体的な遺伝子像を眺めてみる必要があります」と嶋田研究員。ソルガムのゲノムサイズは7億3500万塩基対である。約3万個の遺伝子があるといわれているが、それは塩基配列から予測した数にすぎない。一方、完全長cDNAからは、どの遺伝子がゲノムのどの位置にあるかが正確に分かるのだ。さらに、完全長cDNAを使って実験することで、遺伝子の機能を調べることもできる。

嶋田研究員らは、ソルガムで発現している遺伝子を取りこぼさなく捉えることができるように、茎や葉、花、子実などさまざまな器官、さまざまな生育ステージからmRNAを採取して完全長cDNAを作製。これまでに約4万

のソルガムの完全長cDNAクローンを収集して塩基配列を決定した。重複しているものを除くと、その中には約1万個の遺伝子が含まれていた。そのうち約10%が、塩基配列からは以前に予測されていなかった新規の遺伝子であった。また、アンチセンスRNAも含まれていた。アンチセンスRNAとは、mRNAと結合してその働きを調整するものだ。

さらに、器官別、生育ステージ別に、どのmRNAがどのくらい発現しているかを調べた。「ソルガムの成長と糖度の上昇に合わせて発現量変動する遺伝子を解析しています。今後は、それらの遺伝子について糖度の高い系統での発現パターンを調べ、成長や糖生産に関わる遺伝子を絞り込んでいく予定です」と嶋田研究員は語る。

完全長cDNAデータベース「MOROKOSHI」を公開

ソルガムの完全長cDNAライブラリーの情報は、「MOROKOSHI」として2014年6月からWebで公開している(図3)。データベースを構築したのは、蒔田由布子研究員である。「ソルガムの完全長cDNAデータベースは世界初です。このデータベースでは、遺伝子ごとに、いつ、どの部位で、どのくらい発現しているかという発現プロファイルも、世界中で研究されているデータと比較して見ることが出来ます」。糖の生産に関する遺伝子を探し



図3 ソルガム完全長cDNAデータベース「MOROKOSHI」
<http://sorghum.riken.jp>

たいときは、茎で特異的に発現している遺伝子を検索することで、候補を絞り込むことができる。また、新規の遺伝子であっても発現部位が分かれば機能を知る手掛かりが得られる。

「単にデータを集めただけでなく、研究者が欲しいデータに素早くアクセスできて、研究の役に立つ情報を出せるデータベースをつくることを心掛けています。そのためには、コンピュータでデータを扱うドライな研究現場と、生物やDNAを扱うウエットな研究現場との話し合いが不可欠です」。そう語る蒔田研究員は、これまでにいくつもの生物データベースを構築してきた。今後、どのようなデータベースが必要とされているのだろうか。「さまざまな生物種のデータを結合し、縦横に検索できるデータベースです。ゲノムを比較して似た機能を持つ遺伝子を探したり、利用できる代謝経路を探索したりと、合成生物学的な利用に役立つでしょう。それは、年々増加するゲノム情報の有効な利活用にもなります」

植物合成生物学がもたらす未来

「現在の合成生物学では数個の遺伝子を導入していますが、将来的には多数の遺伝子を導入し、一気に発現させる技術も進むと考えています。一つの合成経路ではなく物質生産のシステム全体を新しく構築することで、有用な物質を自在に効率的につくり出す。そんなことも夢ではないでしょう」と松井TLは展望する。

CO₂を材料に太陽光を利用したもののづくり——それは、日本ならではの優しくクリーンな科学技術である。大気中のCO₂は増え続けている。松井TLらが進める合成生物学に大きな期待が寄せられている。

(取材・執筆: 立山 晃/フォトンクリエイト)

特集4

南極の氷床コアから太陽活動と気候変動の関係を探る

人類の活動に伴う二酸化炭素の大气への放出が地球温暖化を進行させていると指摘される一方で、太陽活動の低下により地球が寒冷化する可能性も議論され始めている。

太陽活動と地球の気温にはどのような関係があるのか。

望月優子 研究ユニットリーダー(UL)たちは、南極氷床を掘削したコア(円柱試料)の分析から、太陽活動と気候変動の関係、さらには、銀河系内で起きた超新星爆発の歴史を解読しようとしている。



望月 優子(もちづき・ゆうこ)

仁科加速器研究センター

望月雪氷宇宙科学研究ユニット 研究ユニットリーダー

神奈川県生まれ。博士(理学)(東京大学)。1995年、理研基礎科学特別研究員。

仁科加速器研究センター研究員を経て、

2011年より現職(埼玉大学大学院連携教授を兼務)。

公益社団法人 日本天文学会副理事長。

理研ビデオ『元素誕生の謎にせまる』の著者(2001年、文部科学大臣賞、

2002年、英語版が米国クリエイティブ・エクセレンス賞受賞)。

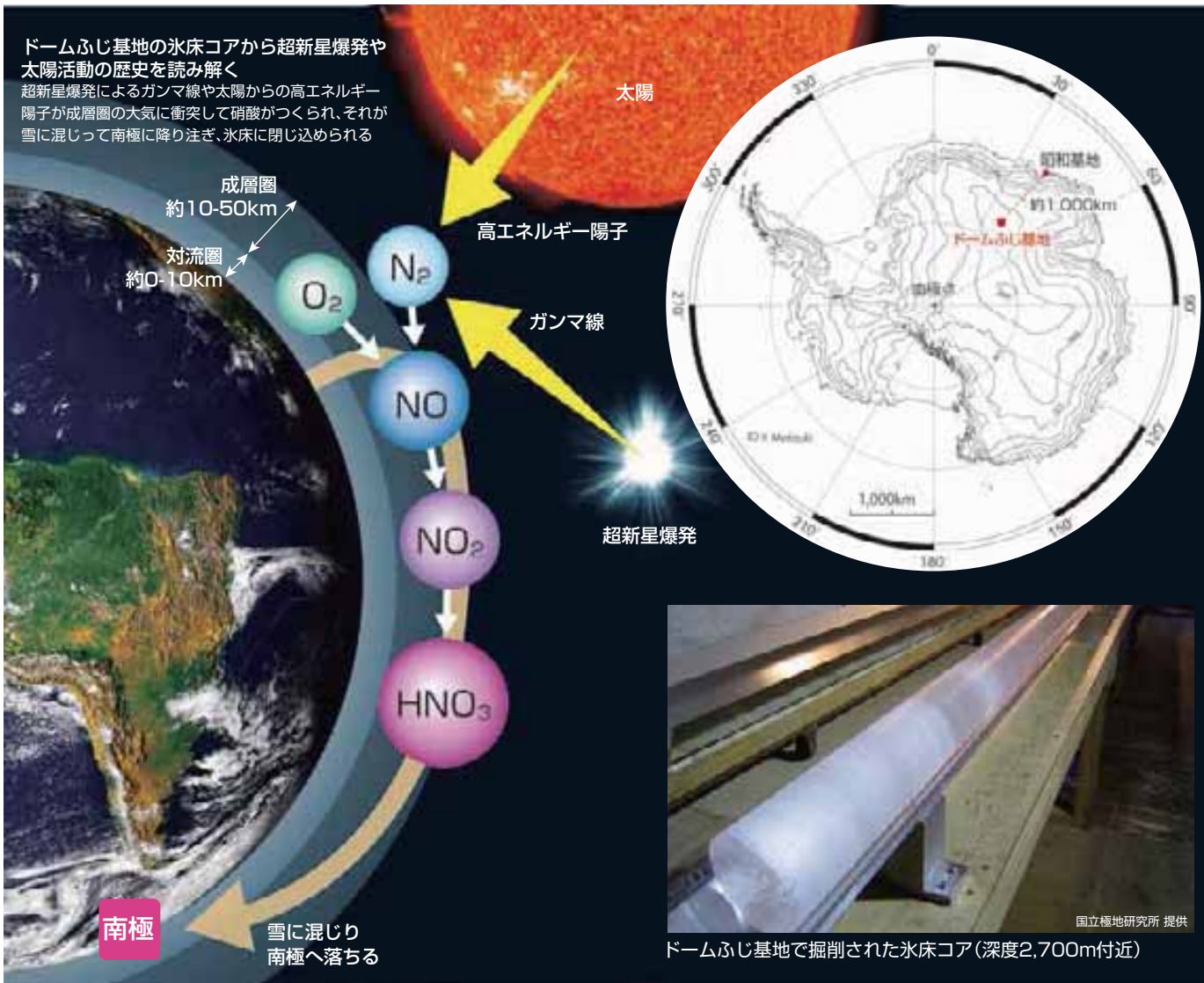
同ビデオはドイツ語・ハンガリー語にも訳され、

現在でも国内外で広く理科教育に使用されている。

その貢献により国際天文学連合が小惑星9109を“Yukomotizuki”と命名した。

文部科学省「ナイスステップな研究者2014」受賞。

〈タイトル図〉



■ 元素誕生の謎と氷床コア

元素誕生の謎を解明する理論研究を進めてきた望月ULがなぜ、南極の氷床コアの分析を始めたのか。「天の川銀河(銀河系)の中で、どれくらいの頻度で超新星爆発が起きてきたのか、それが知りたくて氷床コアに興味を持ち始めました。氷床コアはいわば宇宙を覗く望遠鏡のようなものです」と望月UL。

超新星爆発とは、重い星が進化の最後に見せる大爆発のことだ。そのときに鉄よりも重い元素がつくられると考えられている。「1発の超新星爆発でつくられるそれぞれの元素の量は、加速器実験や理論研究により明らかにいんせきなってきました。それは、隕石の分析と比較されて検証される、相対的な元素組成です。一方、銀河系に存在する元素の総量も、観測から明らかになっています」

超新星爆発1発当たりにつくられるそれぞれの元素の量と、銀河系が誕生してから現在までに超新星爆発が起きた回数の掛け算をすれば、銀河系に存在する元素の総量になるはずだ。「そこまで確かめなければ、元素誕生の謎を真に解明したことにはなりません。しかし私たちの銀河系については、超新星爆発が起きた頻度が分かっていないのです。ある研究者は数年に1回、別の研究者は300年に1回などと、推定値に大きなばらつきがあります」

1979年、超新星爆発の痕跡が南極点の氷床コアに残されている、という研究論文が発表された。超新星爆発に伴い大量のガンマ線が発生して、地球の成層圏に降り注ぐ。雲ができて雨が降るといったさまざまな気象現象は、高度約10kmの対流圏で起きる。その上層の高度約50kmまでが成層圏だ。そこに超新星爆発に伴うガンマ線が

降り注ぐと、大気の主成分である窒素(N₂)や酸素(O₂)と衝突して化学反応が進み、最終的に硝酸(HNO₃)ができる(タイトル図)。

成層圏では、赤道域から上昇し高緯度域へと流れて下降する風が吹いている。その大気の循環に乗って硝酸は運ばれ、雪に取り込まれて南極大陸に降り積もる。その雪が固まり氷床となる。

その氷床を掘削したコアを分析したところ、硝酸イオン濃度が急激に高くなる“スパイク”があり、それが超新星爆発の痕跡の可能性があると、1979年の論文は主張していた。しかし、ほかの研究グループが掘削した別のコアにはそのスパイクは見えず、また論文の筆者グループ自らもコアを切断したときの汚染をスパイクだと見誤ったと発表したことから、その研究は否定された形になっていた。

「しかし、最新の超新星爆発の理論や分析技術を駆使すれば、超新星爆発の痕跡を見つけることができるかもしれないと考え、国立極地研究所から貴重な氷床コアを提供していただきました」

■ 太陽活動と気温の関係を探る

その氷床コアは、南極沿岸から約1,000km内陸に位置するドームふじ基地で掘削されたものだった(タイトル図)。「予備的な分析を始めてみると、その氷床コアには太陽活動の歴史も刻み込まれているらしいことが分かりました」

太陽が放射する光(電磁波)には、赤外線や可視光とともに、エネルギーの高い紫外線やX線、ガンマ線も含まれている。さらに太陽は高エネルギーの陽子も放出している。それらが成層圏にぶつかることによっても、硝酸がつくられる(タイトル図)。

「一方、水を構成する酸素の同位体比(¹⁸O/¹⁶O)の分析により、雪が降り積もった当時の周辺地域の気温を復元する手法が確立されています。硝酸イオン濃度から太陽活動を知ることができれば、同一試料から太陽活動と気温の情報を得て、その関係性を探ることができるのです。ドームふじ基地がある南極の内陸は、地球温暖化の影響があまり見られず、太陽活動と気温との関係を調べるのに適した場所です。また、ドームふじ基地は、成層圏からの風がちょうど下降してくる場所に位置し、その氷床コアには成層圏から運ばれる物質が多く含まれています。さらに、内陸にあるため海からの物質による汚染も少なく、成層圏からの情報を得るのに最適の場所です」

望月ULは、内閣府・総合科学技術会議の最先端・次世代研究開発支援プログラム(NEXT)に、「南極氷床コアからさぐる過去2千年の太陽活動に関する分野横断的研究」を提案、高い競争率の中から採択された。そして2011年7月、理研仁科加速器研究センターに望月雪氷宇宙科学研究ユニットを立ち上げた。「人や装置がそろい、実際に分析をスタートできたのは、2012年2月です。それからNEXTの終了期限である今年3月末に間に合うように、氷床コア2,000年分の硝酸イオンと酸素同位体比の分析を1年半で行いました。それは通常、10年かけて行う仕事量です」

■ 太陽活動と気温は連動している！

氷床コアに太陽活動の歴史は刻み込まれていたのか。「ドームふじ基地の氷床コアとしては初めて、1年刻みの細かさでデータを得ました。年代を精度よく特定できる西暦1550～1900年の硝酸イオン濃度のデータを

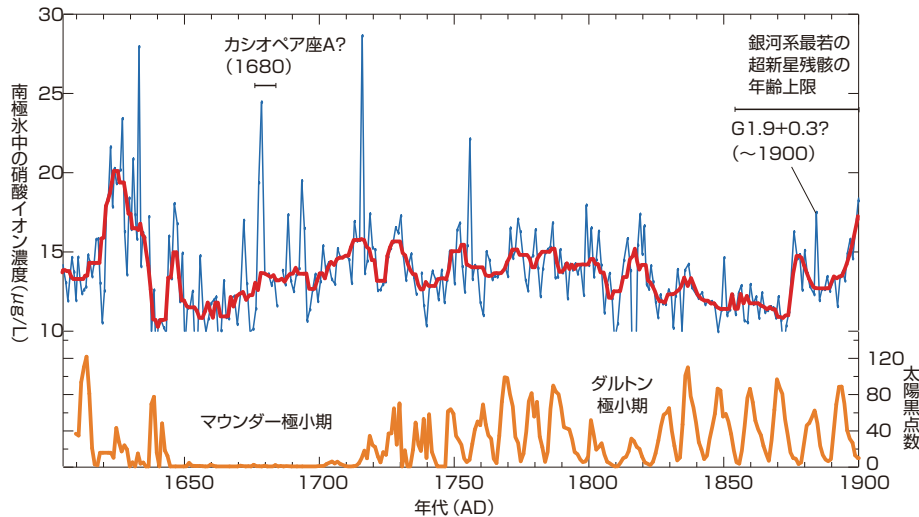


図1 太陽の黒点数(オレンジ)と硝酸イオン濃度(青:生データ、赤:ならされた値)

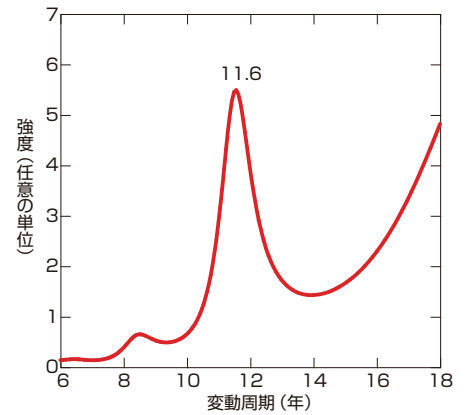


図2 硝酸イオン濃度の変動周期

まず解析したところ、約11年周期で濃度が高くなったり低くなったりしていることが分かりました(図1・図2)

太陽は、表面の黒点の数が多いほど活動度が高い。黒点数の観測から、活動度が高い極大期と低い極小期が11年の周期で繰り返されていることが知られている。「硝酸イオン濃度の11年周期は太陽の活動周期を反映していると考えられます。私たちは氷床コアの硝酸イオン濃度が太陽活動の指標となることを示すことができました」

一方、氷床コアの酸素同位体比の分析から何ができてきたのか。「1750～1940年のデータを分析したところ、約10年と約20年の周期で、気温が高くなったり低くなったりしていることが分かりました。その変動強度は約20年の周期の方が大きくなっています。実は太陽活動には11年周期の倍の22年周期もあります。現代の観測機器で計測された気温のデータも変動しており、その変動強度は22年周期が11年周期よりも強いことが知られています。つまり、酸素同位体比に基づく気温の代替データはまさに実測の気温の特徴を反映していると考えられます。そして太陽の黒点数の変動に、1年ほど遅れて同位体比から求められた気温も連動して変動する

傾向が見られます。私たちは、太陽活動と気温とが連動している証拠を得たのです」

太陽の異変で地球は寒冷化する？

太陽活動により光の放射量が変動すれば、地球の気温が連動して変動するのは当然だと思うかもしれない。しかし、極大期と極小期で光の放射量は0.1%しか変動しないことが、人工衛星による観測で確かめられている。「0.1%の変動が気温に影響を与えることはほとんどないと考えられます。ではなぜ、太陽活動と気温が連動して変動するのか。太陽活動が気温に与える影響について、いくつかの仮説がありますが、よく分かっていません」

太陽活動の指標となる黒点の観測が、ガリレオ・ガリレイたちによって始まったのは、1610年ごろだ。1645～1715年には黒点がほとんど現れない太陽活動の停滞期が続き、「マウンダー極小期」と呼ばれている(図1)。そのころのヨーロッパは、ロンドンのテムズ川が凍り付くなど、寒冷化したことが知られている。

太陽の11年周期は常に一定ではなく、9～14年ほどの幅がある。マウンダー極小期の前には、周期が11年より

も長くなったことが記録されている。

最近の太陽も、12.6年と活動周期が長くなっていることが報告されている。人類の活動に伴う二酸化炭素の大気への放出がもたらす温室効果により、地球温暖化が進行していると指摘されているが、太陽活動の低下により、逆に寒冷化が起きる可能性はあるのだろうか。

「それに答えるには、太陽活動の変動が気温に与える影響の大きさと、そのメカニズムを明らかにする必要があります。硝酸イオン濃度からは、過去の太陽の活動周期だけでなく強度も導き出せます。私たちが取得した酸素同位体比の生データの平均が示す気温の変動幅は±2℃程度です。ただしその数値が妥当かどうか、共同研究者と検証を進めているところです。そして、太陽活動の強度と気温の変動幅を比較することで、太陽活動が気温に与える影響の大きさを探っていきたいと思います」

ドームふじ基地では、過去72万年分の氷床コアが掘削されており、さらに過去100万年分の氷床コアを掘削する計画もある。そのコアを分析すれば、太陽活動と気温との関係を現在から過去100万年までさかのぼること

ができる。

「一方、太陽活動が気温に及ぼすメカニズムとして、私は、紫外線やX線、ガンマ線などの高エネルギーの光子、さらには高エネルギー陽子が大気に及ぼす影響に注目しています。私たちは、ガンマ線や高エネルギー陽子が成層圏の大気に衝突したとき、どのような化学反応が起きるのかについて理論研究を進め、成層圏を取り込んだイオン化学反応ネットワークモデルを世界で初めて構築しました。今後、そのモデルも駆使して、高エネルギーの光子や陽子が成層圏にもたらす影響が対流圏の気温にも及ぶのかどうかについても、研究を進展させていきたいと思っています」

気温に影響を及ぼす主な自然要因には、太陽活動のほか火山噴火がある。火山噴火による大量の噴出物が大気を覆うことにより太陽からの光が遮られ、寒冷化を引き起こす。「氷床コアには火山噴火によって放出された硫酸イオンも含まれていて、私たちはNEXTでその分析も行いました。火山噴火の影響も考慮しながら、太陽活動と気温との関係を探っていく計画です」

超新星爆発とスーパーフレア

一方、銀河系内の超新星爆発の痕跡は、氷床コアに残されているのか。「超新星爆発が起きると、大量のガンマ線が半年間以上、降り注ぎます。理論的に考えると、その影響で氷床コアに硝酸イオン濃度のスパイクが現れてもおかしくありません。実際、超新星爆発の記録がある1680年付近(カシオペア座A)や、最近発見された超新星残骸(G1.9+0.3)に相当し得る1900年付近などにスパイクが見られます。スパイクの中には、記録が残っていない南天で起きた超新星爆発の痕跡も

あるかもしれません。ただし、スパイクの要因としては、超巨大な太陽フレアも考えられます」

太陽フレアとは、太陽表面で起きる爆発現象のことだ。太陽フレアが起きると大量の高エネルギー陽子が地球に降り注ぎ、成層圏で硝酸がつくられる。「その期間は1週間ほどです。ドームふじ基地の氷床コアの時間分解能は1年なので、太陽フレアによる影響は埋もれてしまいます。例えば、1859年に記録史上最大規模の太陽フレアが起きましたが、対応しそうなスパイクは見えません」

大規模な太陽フレアは、地球に磁気嵐を引き起こし、電力・通信網に被害を与える場合がある。1859年と同規模のフレアに、電力・通信網が発達した現代社会が襲われれば、その被害額は最大2兆ドル(約200兆円)に上るとの試算もある。大規模な太陽フレアは、巨大地震・津波クラスの被害を社会にもたらす可能性があるのだ。

さらに、京都大学の柴田一成教授たちは2012年、太陽系外の惑星を探索するケプラー衛星の観測データから、太陽とよく似た148の恒星で、最大級の太陽フレアの100~1,000倍もの規模の「スーパーフレア」が365回起きていることを発見、太陽でも800~5,000年に1回の頻度でスーパーフレアが起きる可能性があると言っている。

私たちの太陽もスーパーフレアを起こしたことがあるのか。氷床コアの中のスーパーフレアの痕跡を探するには、超新星爆発と区別する必要がある。

「太陽フレアでは高エネルギー陽子、超新星爆発ではガンマ線が成層圏に降り注ぎ、いずれも硝酸ができますが、硝酸を構成する窒素の同位体比($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$)に違いが現れます。NEXTではその窒素同位体比も分析しまし

た。私がまず知りたいのは銀河系内の超新星爆発の頻度です。今後、窒素同位体比のデータ分析をさらに進めて超新星爆発によるスパイクを特定したいと思います。過去2,000年の分析で超新星爆発の痕跡を探し出すことに成功すれば、次に、過去100万年分の氷床コアの分析を進めたいと思います。頻度を知るには、100万年分をすべて分析する必要はありません。例えば1万年前、10万年前、100万年前など異なる時期を分析することで、頻度を割り出すことができます」

次世代を育て、新しい分野を拓く

望月ULは、日本学術会議研究連絡委員会幹事などを歴任し、自らのさまざまな体験から、ハラスメント問題などに取り組み、研究環境の改善を図っている(関連情報)。

また、若手研究者の指導・育成にも力を注いできた。「先日、ユニットに参加していた元教え子から、間違っただけ、あらためて感謝しているというメールをもらいました。うれしかったですね」

最後に望月ULは、研究の展望について次のように締めくくった。「理研には、雪氷学の父といわれる中谷宇吉郎先生が在籍しておられました。また、初期の南極観測隊に参加して、宇宙線やオーロラの観測を進めた研究者もいました(理研ニュース2001年7月号「記念史料室から:氷雪に散った若き研究者」)。そのような理研の伝統を受け継ぐとともに、新たな視点を加え、雪氷学と宇宙科学、気候学を融合した新分野を拓くことを目指していきます」

(取材・執筆:立山 晃/フォトンクリエイト)

星には、その一生を終えるときに大爆発するものがあります。この「超新星爆発」という現象は、古くから知られていますが、コンピュータの中で再現するのは、なかなか難しい仕事でした。しかし今回、滝脇さんを中心とするグループが「京」を使うことにより、3次元という自然に近い条件で爆発させることに成功しました。この成果は、超新星爆発のメカニズムの解明に貢献するもので、世界的に大きな注目を集めています。



カシオペア座A超新星残骸
NASA/JPL-Caltech/O. Krause(Steward Observatory)

超新星爆発を「京」で再現



ニュートリノ加熱説の正しさが、より確実に

滝脇 知也(Tomoya Takiwaki)

理化学研究所 長瀧天体ビッグバン研究室 研究員

超新星は物理学の進歩を促す実験場

夜空に突然現れ、ひときわ明るく輝く「超新星」。その名前とは裏腹に、星が一生の終わりに起こす大爆発です。

太陽の約8倍以上の質量の星がこの大爆発を起こすことはわかっていますが、どのようにして爆発が起こるのか、まだ詳しくはわかっていません。そのため、「宇宙物理学における最重要未解決問題」の1つといわれています。滝脇さんは「超新星爆発を説明できないのは、私たちの自然に対する理解がまだ不十分だからですよ」と話し、この問題の解決に取り組んでいます。

日本では1970年代に、滝脇さんの恩師である東京大学の佐藤勝彦名誉教授が、素粒子・原子核理論に基づいて超新星を理解しようと研究を始め

ました。以来、さまざまな爆発のメカニズムが議論されてきました。中でも有力とされているのが「ニュートリノ加熱説」です。2000年代に入り、計算

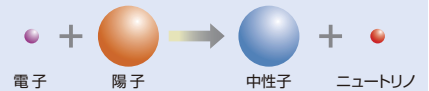
能力の高いスーパーコンピュータが登場すると、この説に基づき爆発現象をシミュレーションしようという試みが世界中で始まりました。しかし、

Check it! ニュートリノって何?

ニュートリノといえば、2002年に東京大学の小柴昌俊名誉教授がノーベル物理学賞を受賞したことを思い出す人もいるでしょう。その受賞理由は、大マゼラン雲で起きた超新星爆発で放出されたニュートリノを、1987年にカミオカンデという3000 tの水をはった巨大なタンクで検出したことでした。

物質を分割すると、分子、原子、原子核と電子、…というようにどんどん小さくなっていき、クォークや電子などの素粒子にいきつきます。ニュートリノも素粒子の1つで、さまざまな反応で発生します。例えば、地球上には、太陽で核融合により発生したばく大な数のニュートリノが降り注いでいます。しかし、ニュートリノは電荷をもたず、とても小さいため、なんでも通り抜けてしまい、なかなか検出することができません。

ニュートリノができる反応 (冷却効果)

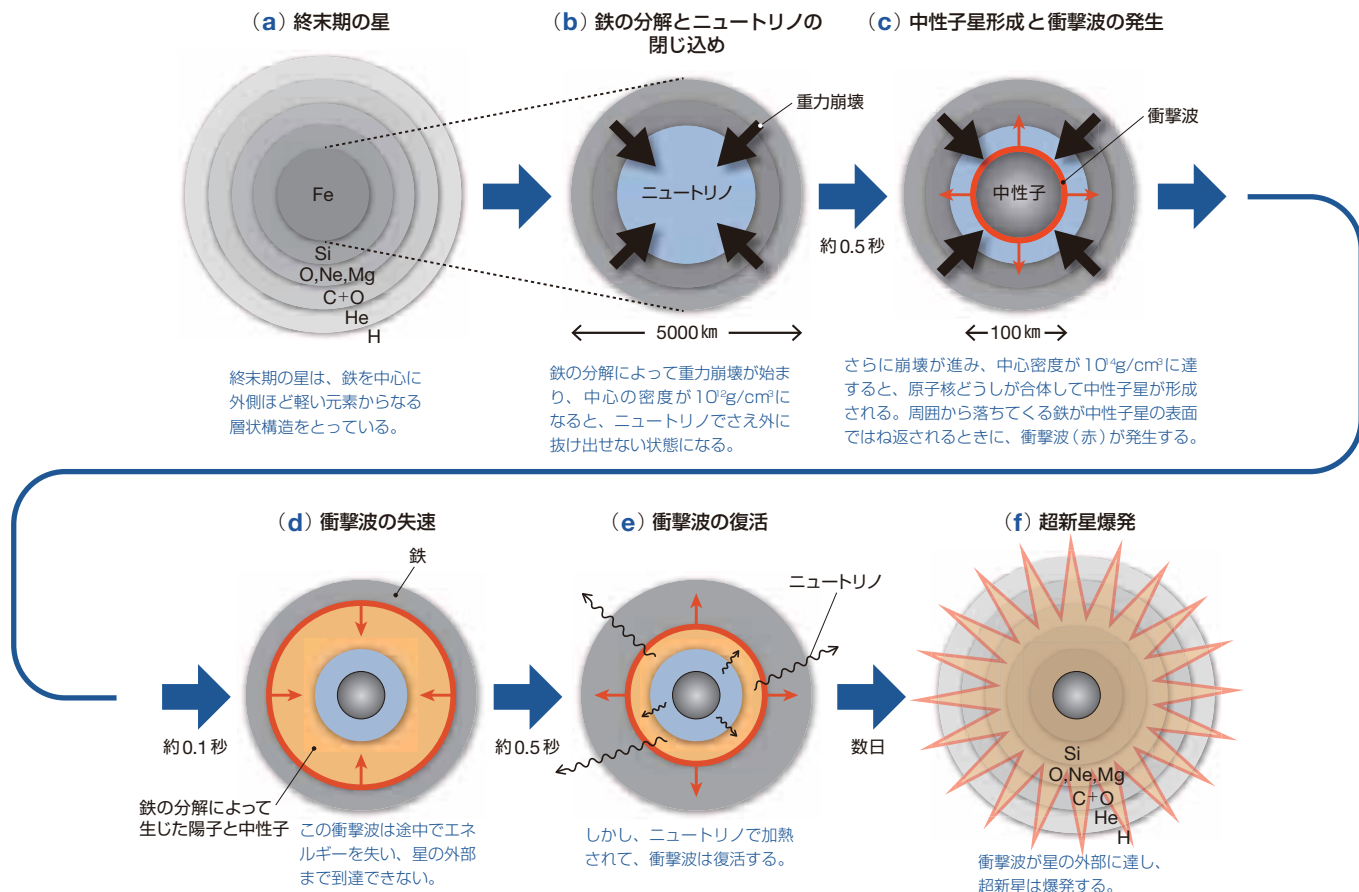


ニュートリノがなくなる反応 (加熱効果)



星の重力崩壊のときには、電子と陽子から中性子とニュートリノができる反応がさかんになり、ニュートリノが熱を持ち去って星の中心部を冷やします。しかし、中性子星ができると、その表面からニュートリノが放出され、その一部が中性子などと反応して熱が出ます。この熱で、衝撃波が再加熱されるのです。残りの大部分のニュートリノは宇宙に飛び散っていきます。

図1 ニュートリノ加熱説による超新星爆発のシナリオ ※ 諏訪特定准教授の講演発表資料を改変



ことごとく失敗に終わりました。

それが、2005年頃になると、徐々に爆発するケースが出てきます。その理由は、2次元でのシミュレーションが可能になったことでした。それまでは、コンピュータの計算能力の限界から計算は1次元で、星を完全な球だと見なしていたのですが、2次元の計算でも、星を回転楕円体だと仮定しており、実際とは異なっているため、3次元での計算が待たれていました

星の内部で生まれる衝撃波が爆発を起こす

今回、滝脇さんらが3次元での再現に挑んだ「ニュートリノ加熱説」とは、どのような仮説なのでしょう(図1)。

若い星は水素やヘリウムといった軽い元素からできていますが、核融合反応が進むと重い元素が次第に増えていき、重くて安定な鉄ができると核融合は止まります。重い元素ができる

際にエネルギーが放出されるので、星の内部は高温になります。星が終末期を迎えると、星の内部があまりにも高温であるために、今度は鉄がばらばらに壊れる反応が進み、急激に冷えます。さらに、ニュートリノが生まれる反応も起こり、中心からエネルギーを運びだします(「Check it!」参照)。その結果、星は自分の重力を支えることができなくなり、つぶれ始めるのです。

この重力崩壊が進むと、星の中心部に、鉄由来の原子核どうしが合体した中性子星が形成されます。そして、周囲から落ちてくる鉄が中性子星の表面ではね返されるときに、衝撃波が発生します。この衝撃波が星の外部まで到達すれば、超新星は爆発するのです。

しかし、衝撃波は伝わるたびに、周囲の鉄の分解反応にエネルギーを奪われ、途中で止まってしまいます。その様子を滝脇さんは「熱湯(衝撃波の内側)に氷(鉄)を投げ込むようなもの

です」と表現します。このように弱くなった衝撃波が、ニュートリノによる再加熱で復活し、爆発に至ると考えるのが「ニュートリノ加熱説」です。

「京」の能力と3人の協力で3次元計算が実現

「3次元シミュレーションによる超新星爆発の再現は世界で初めてのことです。ニュートリノによる再加熱と対流によるかき混ぜ効果の両方を精密に扱うことによって成功しました。世界で最も現実の超新星爆発に近いのです」と滝脇さん。3次元での計算が可能になった背景には、「京」の計算能力の高さとともに、滝脇さんが仲間たちとともに優れた計算手法を開発したことがあります。

数値計算の中で特に難しかったのが、ニュートリノの動きと、どの程度のニュートリノが衝撃波の再加熱に関与するか(ニュートリノ輻射輸送)

を計算するところでした。2009年に、スイスのバーゼル大学のリーベンデルファー博士が、この計算のための近似法を開発していました。一方、対流の扱いについては、仲間の1人、福岡大学の固武慶(こたけ・けい)さんが2次元で計算する手法を編み出していました。

もう1人の仲間、京都大学の諏訪雄大すわゆうだいさんはこの2つの計算法を組み合わせ、少ない計算量でも、ニュートリノ再加熱をより正確に計算できる道を開いていました。そして、滝脇さんが2011年に、諏訪さんの計算法を3次元計算に適用したプログラムをつくりあげたのです。「元々はリーベンデルファー博士の近似法をそのまま使っていたのですが、僕のシミュレーションでは、この近似法の陰解法を陽解法に変えたら、もっと簡単に計算できるのではないかと気づいて手を加えたんです」。こうして、ついに「京」での3次元シミュレーションが実現しました。滝脇さんが簡単にしたとはいえ、(図1)の(b)から(e)までのたった1秒間の現象を再現するために、「京」の計算ノードの5%を60日間も使う大計算でした。

衝撃波が発生したときを0秒として、(a)50ミリ秒後、(b)100ミリ秒後、(c)150ミリ秒後、(d)200ミリ秒後のエントロピーを可視化したもの。温度が高く密度が低い部分(爆発的に膨張している部分)が赤と黄色で表示されている。(a)~(d)はいずれも中央に3次元でみた高温成分を、壁に3軸方向に切った断面図を示している。200ミリ秒の時点で中心から500kmの地点まで衝撃波が到達しており、これが超新星爆発の証拠となる。

すべての宇宙現象を説明できるプログラムを

今回の結果から、ニュートリノ加熱説が正しいことがかなり確実になりました。(図2)は、シミュレーション結果を「エントロピー」という量で可視化したものです。エントロピーは、爆発的に膨張しているところで大きな値をとります。その時間変化を追うと、最初、ほぼ球形をしている衝撃波が、時間とともにいびつになって広がります。さらに、ニュートリノ加熱によって生じた対流の渦が分裂したり合体したりしながら、衝撃波の内部を大きくかきまぜているのがわかります。この対流によって加熱効率が上がるので、衝撃波は外部まで届くのです。

しかし、これで研究が終わったわけではありません。今回の計算で再現できた爆発のエネルギーは、実際の観測

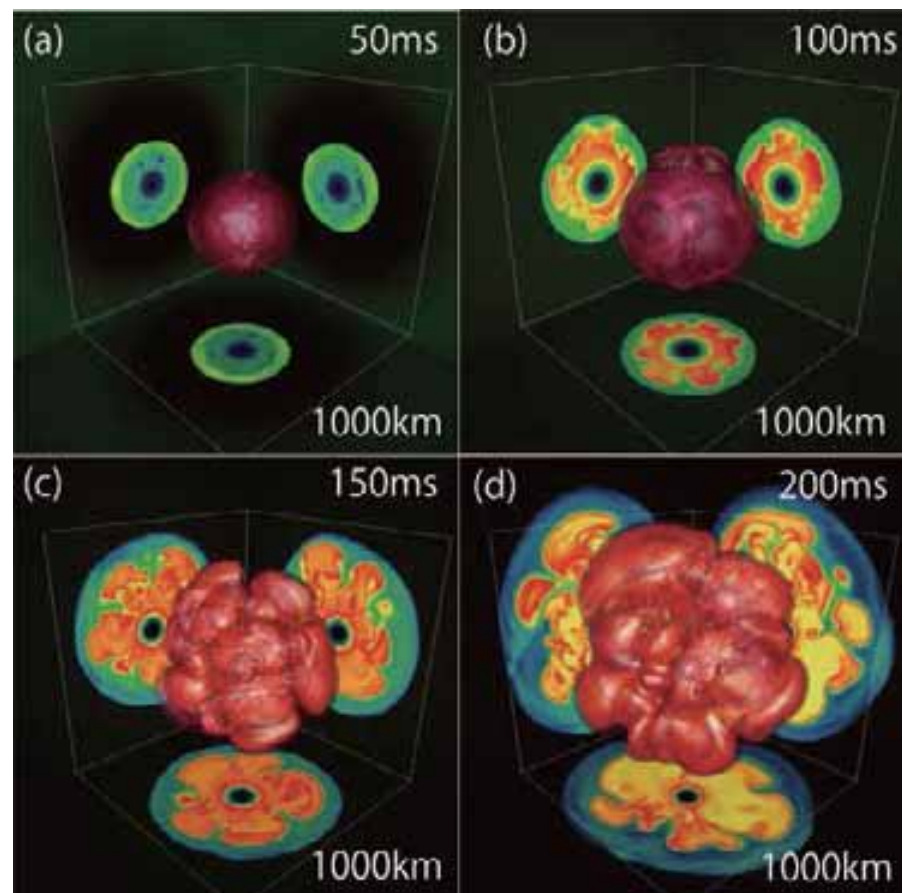
値の10分の1ほど小さいものでした。滝脇さんはその原因を、計算の一部に近似を使ったためだと考えており、より詳細に計算するためには、「京」より計算能力の高い次世代のスーパーコンピュータが必要だと考えています。

滝脇さんはすでに、このプログラムを使って、さまざまな大きさや質量をもつ星の一生を計算しており、その爆発の多様性に驚いています。「現実の世界では、巨大な星はブラックホールになるので、将来はそこまで再現できればと思っています」。すべての星の行く末を1つのプログラムで再現できるようになったとき、私たちの自然への理解は大きく前進することでしょう。滝脇さんたちのチャレンジはこれからも続きます。

(「計算科学の世界 京がつくる時代」№9 より転載)

図2 超新星爆発のシミュレーション結果
<http://www.aics.riken.jp/newsletter/201410/interview.html>

※ 動画はweb版で見られます



「京」の成果 「京」の成果事例をピックアップして紹介します。

地球全体の大気について、世界最大規模である1万個の「アンサンブルデータ同化」に成功 ～1万キロ離れた場所の観測値を使って、大気の状態を精度よく推定できる可能性も～

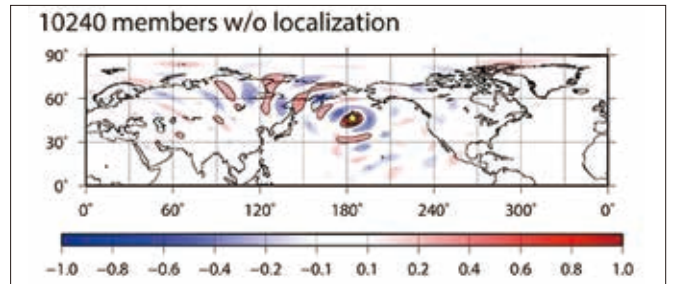
計算科学研究機構 三好 建正 チームリーダー、近藤圭一 特別研究員(データ同化研究チーム)、今村俊幸 チームリーダー

天気予報にはコンピュータシミュレーションが使われています。シミュレーション結果を少しでも現実に近づけるために、実際の観測データを取り入れる手法を「データ同化」と呼びます。その中でも、少しばらつきをもたせた複数のシミュレーション結果を利用する手法が「アンサンブルデータ同化」です。今回「京」の上で新しいソフトウェア(*1)を使用することで、従来100個程だったアンサンブルデータを世界最大規模の10,240個に増やし、地球全体の大気データの同化を3週間分行うことに成功しました。計算量は従来の100万倍(*2)となりました。今回の結果から、例えば日本から1万キロ離れた地点の観測値を有効に使い、日本の天気予報の誤差を

減らせる可能性などもあり、今後の天気予報シミュレーションの改善への貢献が期待されます。

*1 アンサンブルデータ同化計算ソフトLETKFと、高性能固有値計算ソフトEigenExa(アイゲンエクサ)を利用。

*2 固有値計算部分。従来100個のアンサンブルを100倍の1万個に増やすことで、その3乗の100万倍の計算量となる。



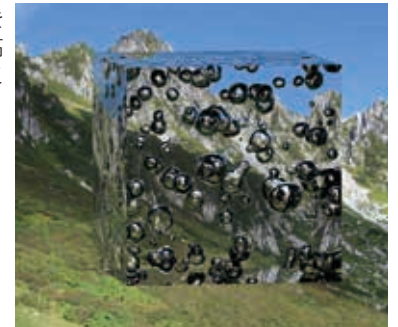
「京」による大規模な気泡生成シミュレーションに成功

～シャンパンの気泡同士に働く力の解明により、さまざまな工業分野への応用に期待！～

東京大学物性研究所 渡辺宙志、計算科学研究機構 稲岡創

シャンパンや炭酸飲料の栓を空けると、たくさんの泡が出ますが、その後、大きい泡がより大きく、小さい泡がより小さくなる「オストワルド成長」という現象が起きます。研究チームはこの現象を「京」を用いて7億個の粒子を使って再現し、気泡が発生する最初の過程のミクロな様子を世界で初めて明らかにしました。この結果、時間に伴って気泡の数が増える様子が、理論による予想と一致することが分かりました。この結果を用いるとシミュレーションによって、気泡の発生や成長、気泡同士に働く力を分子レベルから明らかにすることが可能になり、発電所のタービン(※)や船舶のスクリューの設計、金属合金の生産など、さまざまな工業分野への応用に貢献すると期待されます。

※発電タービンの多くでは、水を蒸気に変えるのにボイラーを使用しています。ボイラーの中では、水から蒸気が変わるときに沸騰(温度を上げるにより起きる発泡現象)が起きていて、ボイラーやタービンの動作効率に大きな影響を与えます。気泡発生の仕組みを調べることで、発電効率の高い発電所の設計につなげることができると期待されます。



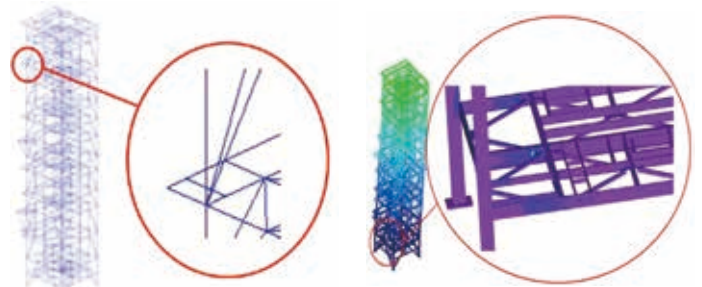
スーパーコンピュータ「京」で大型施設の丸ごとシミュレーションに成功

～国内外の耐震性の高いインフラ整備に貢献～

HPCI戦略プログラム分野4 課題5 中島 憲宏(日本原子力研究開発機構)、松川 圭輔(千代田化工建設)

石油プラントなどの機器や配管を支える構造体は複数の色々な部材でできています。従来は鋼材となる部品を一本の直線で表現して計算していたため、構造体全体と部品の詳細な動きなどを同時に解析できませんでした。原子力研究開発機構と千代田化工建設の研究チームは、建物の揺れを継手という細かい部品から全体まで総合的に解析する「組立構造解析」技術を開発してきました。今回、「京」とこの「組立構造解析」技術を用いて、数多くの部品から組立てられたプラントを丸ごとシミュレーションすることの耐震性の評価を複数同時に行うことを可能にしました。今後はこの成果をよ

り安定性の高い施設や機器の開発・設計に活かし、国内外の耐震性の高いインフラ整備に貢献していきます。

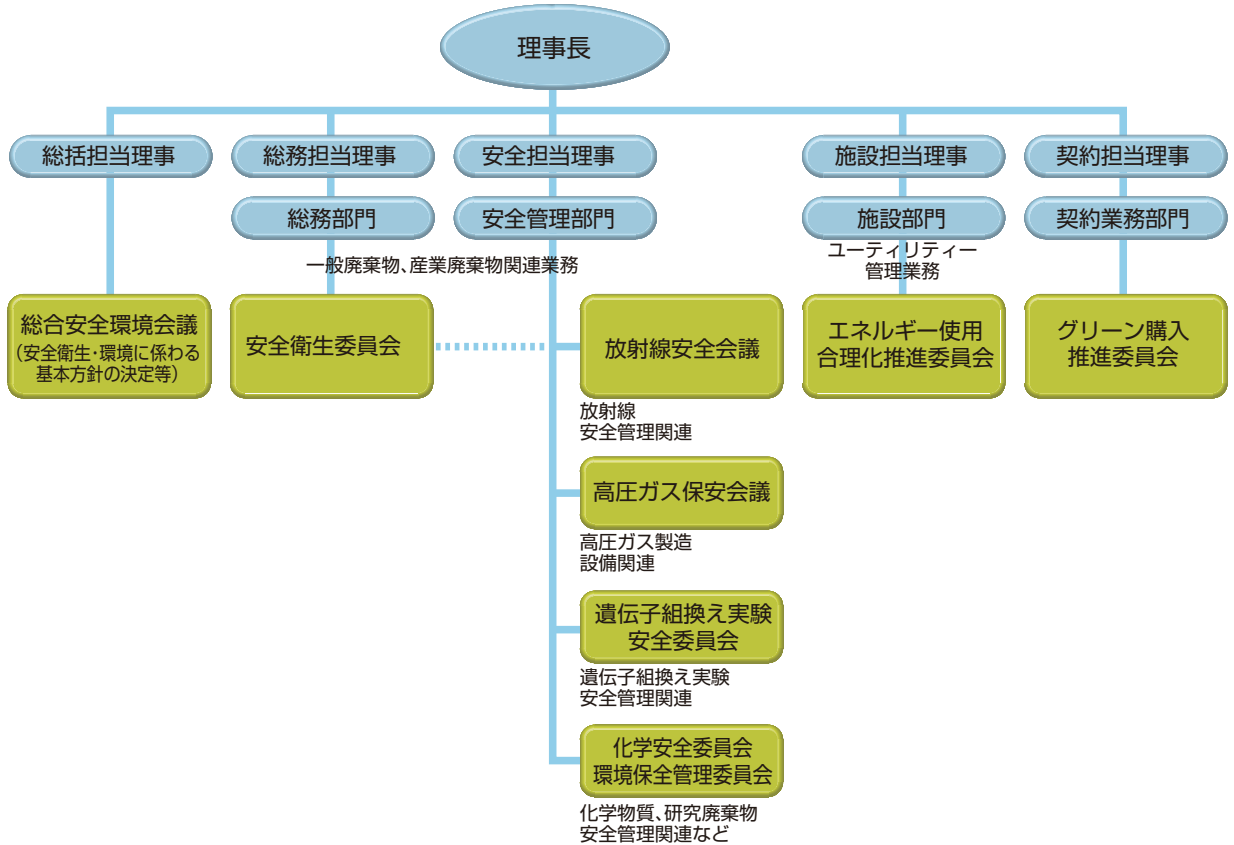


環境対策の体制を強化し、包括的な活動を実施していきます。

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。

INPUT

エネルギー投入量

・電気 533,308千kWh (電気の内訳)	・都市ガス 26,012千m ³
買電 485,470千kWh	・軽油 29kL
発電 47,838千kWh (発電の内訳)	・A重油 8kL
CGS 47,251千kWh	・蒸気等 37,209GJ
太陽光 587千kWh	

水資源投入量

上水道	631千m ³
井戸・工水	741千m ³

◎環境負荷軽減への取り組み◎

- ・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
- ・大気汚染防止
- ・放射線管理

OUTPUT

排水量

・下水道量 655千m³

大気放出

・CO₂ 315,570t

化学物質排出移動量

<PRTR法関連物質>

・アセトニトリル	1,100kg
・クロロホルム	7,700kg
・塩化メチレン	3,400kg
・ノルマルヘキサン	5,700kg

廃棄物量

・研究系以外の一般廃棄物	559t
・研究系以外の産業廃棄物	348t
・うちリサイクル量	239t
・研究系廃棄物	844t
・うち放射性廃棄物	10kL

グリーン購入推進委員会

理研では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の調達方針の策定、調達実績の把握および調達推進のための方策立案を行っています。

理研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

ていますが、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が集まり、活動を行っています。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。

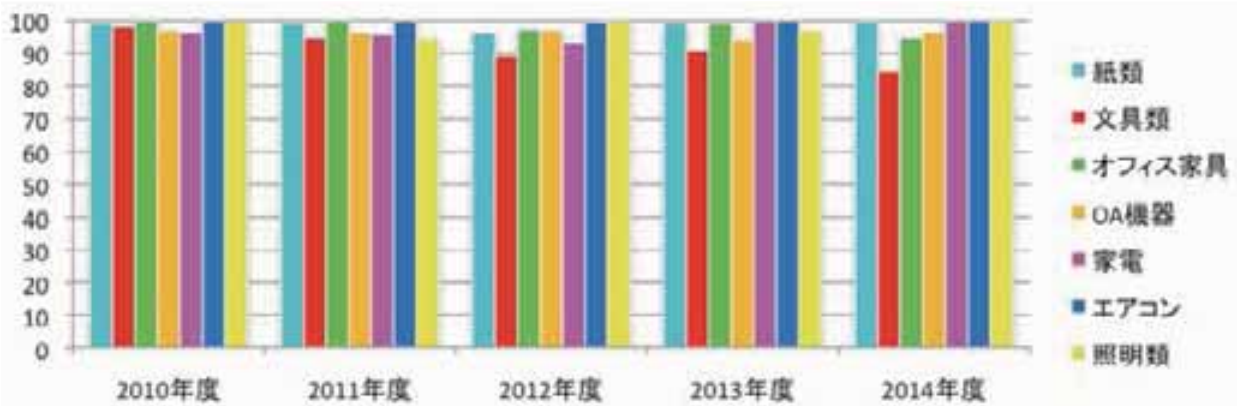
中長期的な観点に立ち、環境によい製品を選択しています。

理研では「国などによる環境物品などの調達の推進などに関する法律(いわゆるグリーン購入法)」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(印刷や輸配送など)、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。2014年度の実績では、8割程度の品目で90%以上の調達率を達成し、それ以外の品目でもおおむね60%以上の調達率を達成しています。

特に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。

■グリーン購入適合物品の調達割合の推移(%)

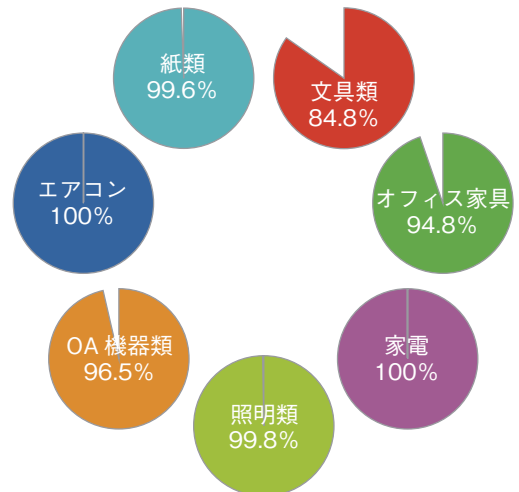


グリーン購入法には、木材・木材製品の合法性、持続可能性の証明が確実になされているものを優先して調達することも規定されています。

理研では、材料に紙又は木質が含まれる物品で、合法性、持続可能性を満たしているものについては、「納品書へのその旨の記載」または「品質保証書」を求め、グリーン購入法に適合した木質製品の導入を図っています。

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。

■2014年度のグリーン購入法適合品調達割合

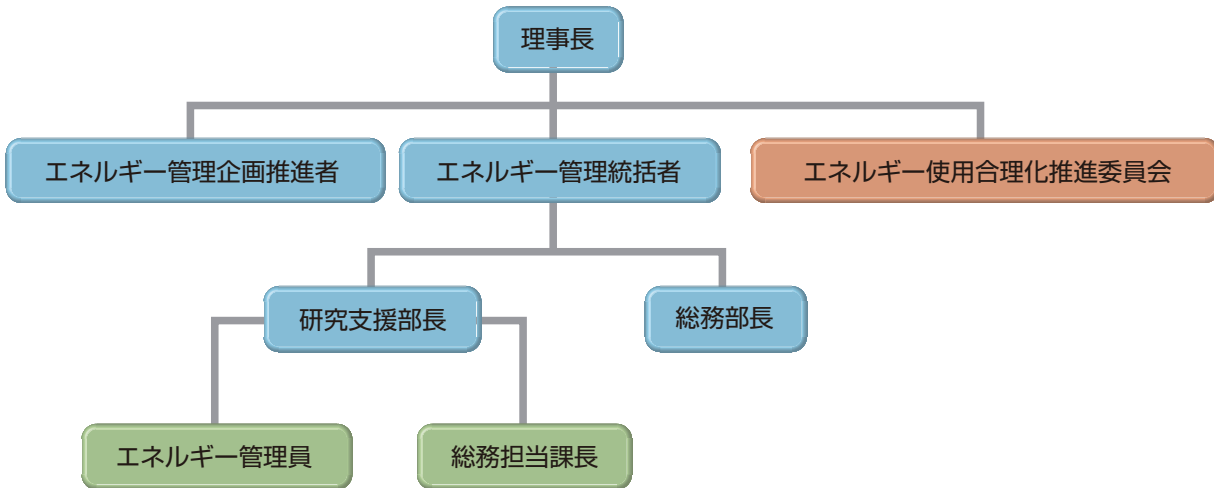


エネルギー使用合理化推進委員会

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CO₂排出削減への取り組み

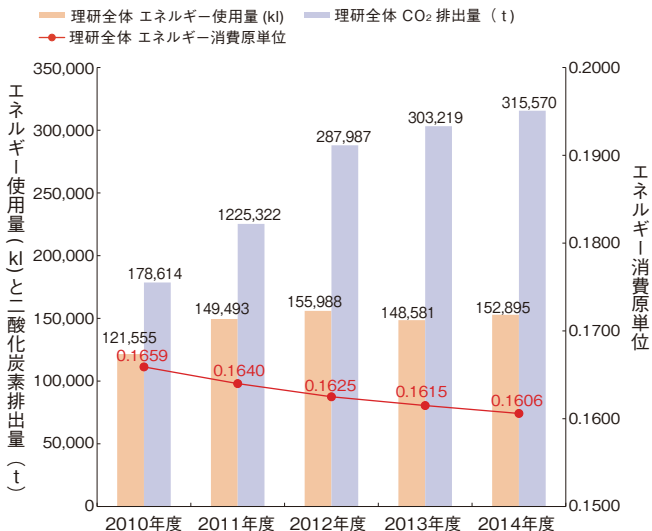
2014年度のエネルギー消費原単位をみると、前年度比0.6%削減、過去5年度間平均1年当りでは0.8%削減となっております。

理研全事業所のエネルギー使用量は、152,895kl(原油換算値)(前年度比:103%)、二酸化炭素排出量は、315,570(t)(前年度比:104%)となりました。2011年度以降、エネルギー使用量の変動は小さい

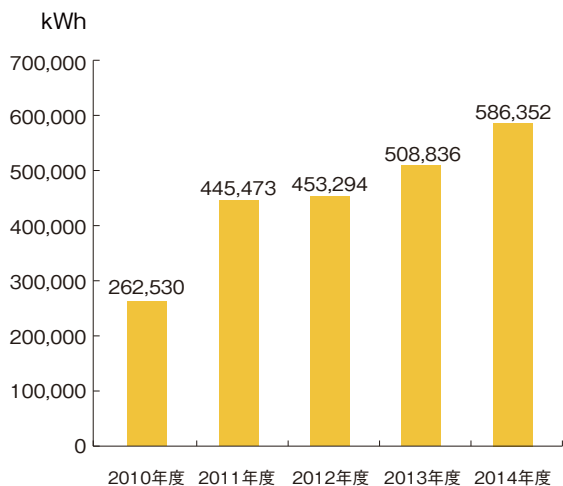
のですが、CO₂排出係数が大きく変化したために排出量は増加しています。

また、理研では、CO₂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、2014年度の発電量は、586,352kWh(前年度比:115%)となりました。

■理研のエネルギー使用量と二酸化炭素排出量の推移



■理研の太陽光発電量の推移



廃棄物削減

廃棄物の分別を徹底し、適正な処理を行うとともに、リサイクル可能なものは再資源化に努めています。

多種多様な廃棄物はルールに従い適切に処理しています。

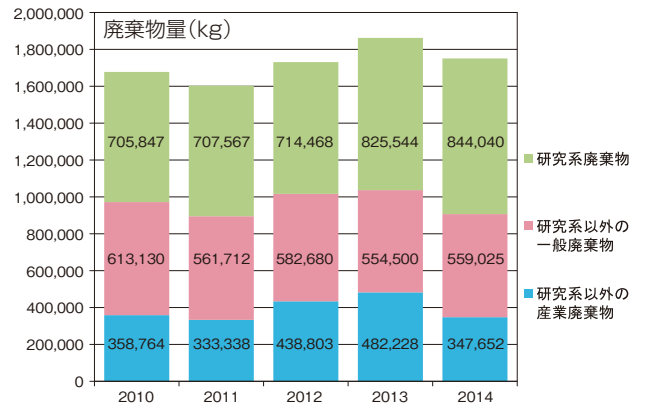
2014年度は、前年度に比べ研究系の廃棄物が2.2%(18,496kg)増大、研究系以外の廃棄物は12.5%(130,051kg)削減、廃棄物全体では、6.0%(111,555kg)の削減となりました。

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。また、研究活動に伴って発生する産業廃棄物の種類は多岐にわたっており、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が、研究廃液の一部は有価物としてリサイクルされています。和光事業所では研究室で不要となった



研究系廃棄物の収集と保管・管理

試薬の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。



※一般廃棄物はごみの比重をkg0.3/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

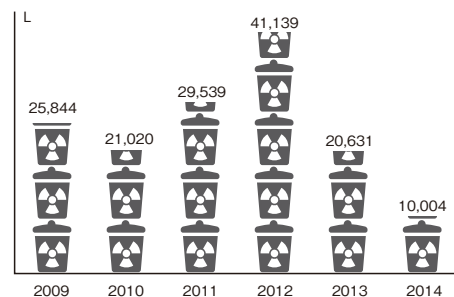


不要になった未开封試薬のリサイクル

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。

■放射性廃棄物引き渡し処分量



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。2014年度は例年同様に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ったほか、一部の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

行いました。



漏洩対策などの措置を行い保管しているPCB含有廃棄物保管庫

節水対策（中水化システム）

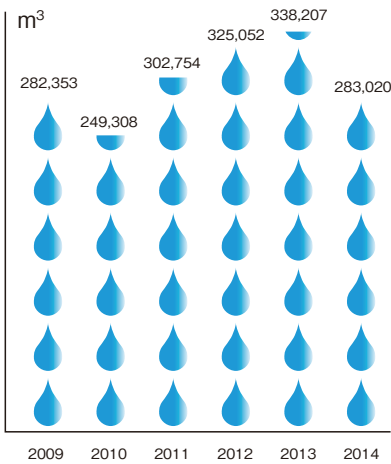
研究活動には水が欠かせません。貴重な水資源を、適切な水質管理やリサイクルによって無駄なく使用しています。

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。

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

■年間実験排水量の推移



さらに、実験室などから出る実験室系排水

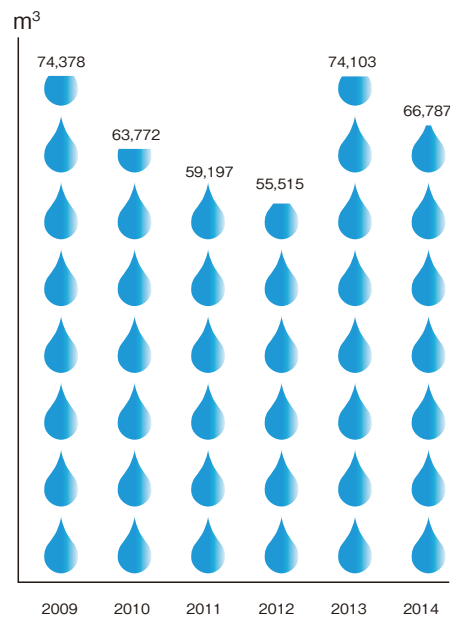


水質自動監視装置

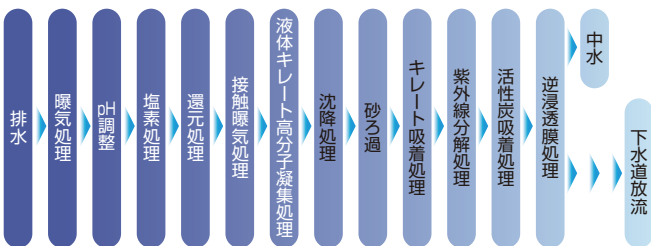
逆浸透膜を利用した中水化システムで、実験排水の一部を再利用しています。

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。

■和光事業所の中水製造量



■中水化システムのプロセス



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。



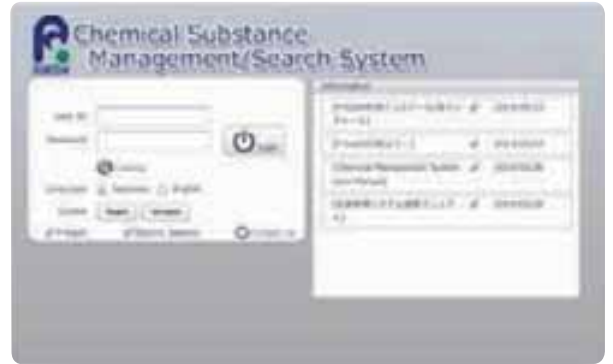
排水から有害物質を取り除く中水化システム

所内で使用する化学物質を適切に管理しています。

試薬などの化学物質を一元的に管理できる「化学物質管理・検索システム」

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、特に揮発しやすい化学薬品については排気設備に接続された施設を使用するなど、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、和光事業所、横浜事業所、神戸事業所、播磨事業所で導入しています。今後、他の事業所にも同システム

の導入を図るなど、化学物質の管理の更なる効率化に努めていきます。



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、2014年度は、アセトニトリル、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)

	2012 年度			2013 年度			2014 年度		
	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	(31)	(0)	(940)※	(17)	(0)	(870) ※	45	0	1,100
クロロホルム	170	1.0	5,200	220	1.1	7,000	240	0.9	7,700
塩化メチレン	120	0.7	3,600	140	0.6	4,900	100	0.3	3,400
ノルマル-ヘキサン	280	0	6,500	190	0	7,100	130	0	5,700

※報告対象数量未満のため、2012、2013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。

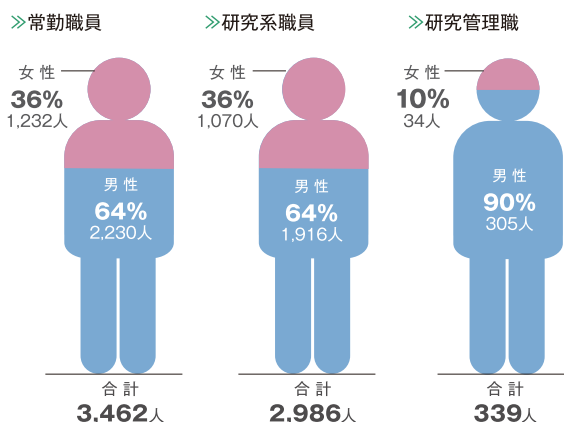
理研の全職員のうち4割近くが女性です。事業所内託児施設や各種支援制度を利用して、出産後も多くの職員が働き続けています。例えば、「産前休業前の面談」を行い、出産から復帰までのイメージを掴んでもらい、初めての出産育児と仕事の両立の不安解消に努めています。復帰後の両立に不安があれば、両立のヒントが満載の「育児休業後職場復帰研修会」などがあります。

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

*2015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

職員のメンタルヘルス

2010年6月23日に「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て次の取り組みを行っています。

- メンタルヘルス基礎知識の習得を図るため、新入職員を対象としたセルフケア研修、新任管理職に対するラインケア研修を制度化し、受講を義務付けています。
- 職員がより健康であるためにアンケートを実施し、適切なフォローを行っています。
- 退職者に対しては、円滑に職場復帰が図れるよう復職支援を行っています。
- 長時間労働対策として法定外労働時間月間80時間を超える職員にはアンケート調査や産業医面談を実施し、場合によっては管理職に対し勤務状況や改

善策についてヒアリングを行っています。

- 更に、職員及び家族も利用できる外部の心の相談窓口(EAP)を設け、メンタルヘルス不全の早期対応に努めています。
- メンタルヘルス対策は継続的な取り組みが必要なため、関係部署と連携をとりながら実施しています。



心の健康づくり計画

障がい者雇用

障がい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、室員一人ひとりがそれぞれの多様性を活かし、お互いに助け合いながら庶務に関するサポート業務を行っています。

アンケート集計や名刺作成などの入力業務、会議資料やシンポジウム案内などの封入発送業務のほか、所内会議室の備品や空調の管理、郵便物の集配など、業務の幅も少しずつ広がってきています。また、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、



業務支援室所内ホームページ

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。



みんなで「科学をみる角度」を探る

理研サイエンスセミナーは、20代～30代の女性が科学を身近に感じられるよう、科学が専門でない方と理研の研究者によるトークイベントです。

2015年2月19日(木)グランフロント大阪で、理研サイエンスセミナーⅧ「横からみる〇〇、科学をみる角度」を開催しました。「いのちと細胞、どこまで計算できるの？」をテーマに、生命システム研究センター 発生動態研究チームの大浪修一チームリーダーとタレントのはなさんが対談しました。



子どもから大人まで皆さん楽しみました

セミナーは、発生の研究をしている大浪TLが研究に使っている「線虫」の話から始まりました。C.elegans(C.エレガンス)と呼ばれている線虫で、長さは頭からお尻まで大体1mm。体が透明なため、卵の状態から大人になるまで、細胞の分裂を顕微鏡を通して目で追うことが可能。そのため、C.elegansは発生の研究に向いているそうです。

大浪TLによれば「発生はカタチ作り」。カタチ作りには力が必要で、その力を数学的・物理的に理解しようとコンピュータを使って、発生の過程をシミュレーションで再現しようとしているそうです。

最後に大浪TLは発生全体の理解を、将来的には「生殖医療に役立てたい」と夢を語ってくれました。

和光事業所

子ども大学わこう「ロケットの飛ばしくみとその仕事／水ロケットをとばしてみよう」

埼玉県では子供の学ぶ力や生きる力を育み、地域で地域の子供を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の時期に「子ども大学わこう」が開催されています。

2014年8月5日(火)の子ども大学では、理研の研究者が、ロケットが飛ばしくみに関する講義を行った後、実際にグラウンドで水ロケットの打上げを行いました。

【開催概要】

日 時:8月5日
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

打上げでは、発射台から50mの地点に的を設置し、ロケットに注入する水量、空気圧と飛距離の関係を小学生たちに考えてもらいながら実験をしました。



飛ばせ！ロケット

和光市民まつり

2014年11月8、9日に行われた和光市民まつりにおいて、理研は2日目の9日(日)に出展しました。

出展したブースでは、希望者に赤青式の3Dめがねを工作してもらい、電子顕微鏡写真を立体画像で見たり、双眼実体顕微鏡(20倍)でブロッコリーやミカンなどの野菜や果物、煮干(カタクチイワシ)を観察したりしていただきました。生憎の雨模様でしたが、

【開催概要】

日 時:11月9日
場 所:和光市役所前道路
対 象:市民祭りの来場者

多くの方にお立ち寄りいただき、交流を深めました。



こどもから大人まで皆さん楽しみました

「青少年夢のかけはし事業『研究所の研究员になりたい!』」

2014年7月25日(金)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、理研で行いました。この教室では、前半は理研の施設である仁科加速器研究センターの加速器等を見学し、後半は「分光器作成実習」を行いました。

前半の施設見学では研究員から直接説明があり、子供たちは真剣に説明を聞いたり質問をしたりしていました。後半の分光器作成実習では一人ひとり紙

で分光器を作成し、部屋の蛍光灯やろうそく、LED等を見て、それぞれの光のスペクトルを観察しました。



各光源のスペクトルを観察中

【開催概要】

日 時:7月25日
場 所:理化学研究所和光地区
対 象:抽選で選ばれた県内の小学生30名

和光事業所

埼玉県総合教育センター一般公開

2014年10月18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「簡易分光器を作ろう!」をテーマに出展しました。

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、分光器を作成していただきました。作成後は、窓からの自然光や会場の蛍光灯、理研から会場に持ち込んだLEDやろうそくなどの光を観察しました。

【開催概要】

日 時: 10月18日

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



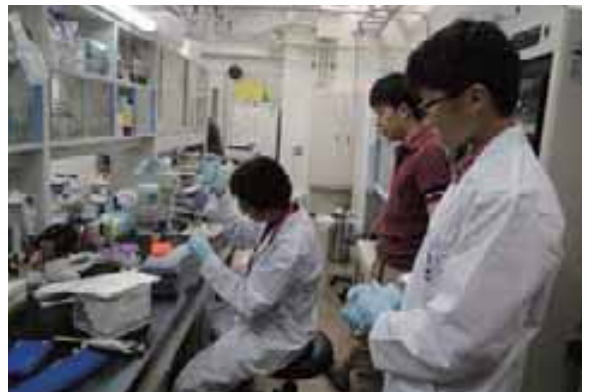
分光器作成中

高校生のための先進的科学技术体験合宿「サマー・サイエンスキャンプ2014」

2014年7月30日(水)~8月1日(金)、理研和光地区にて「サマー・サイエンスキャンプ2014」(主催: (独) 科学技術振興機構)を開催し、高校生および高等専門学校生16名が研究者・技術者の指導のもと、理研の最先端の研究を体験しました。

全国から集まった参加者は、4人ずつ4コースに分かれ、講義や実験に取り組み、最先端の研究についてじっくり体験し、理解を深めていました。最終日には

参加者による各チームのまとめの発表会も開催しました。



最先端の研究を体験中

小中学生向け夏休み見学ツアー

2014年7月28日(月)と8月20日(水)に、理研和光地区にて小中学生向けの見学ツアーを開催しました。約5倍の応募者から当選した小中学生が来所しました。

見学会では、加速器やスーパーコンピュータ、小型中性子源システムを見学、スーパーコンピュータ「京」を用いてシミュレーションしたデータを可視

化、3D化した映像を見ました。子どもたちから熱心な質問も飛び出し、楽しい見学ツアーとなりました。



世界最高のリングサイクロトロンの見学

【開催概要】

日 時: 7月28日、8月20日

場 所: 理化学研究所 和光地区

対 象: 小中学生向け夏休み見学ツアー当選者

「青少年夢の配達便事業『分光器作成』」

2014年11月5日(水)に、埼玉県久喜市立栗橋西小学校にて、埼玉県青少年夢の配達便事業「分光器作成」を行いました。

栗橋西小学校の5年生、6年生55名と一緒に簡易分光器を作成し、作成後は廊下に設置した、LEDやろうそくなどの光を観察しました。

参加した子どもたちは、異なった光源を分光する

【開催概要】

日 時:11月5日

場 所:理化学研究所 和光地区

対 象:埼玉県久喜市立栗橋西小学校

と、それぞれ違った特徴を示すことに驚いた様子で熱心に観察していました。



小学校に出張し分光器を作成

和光地区一般公開

2014年4月19日(土)に、理研和光地区にて一般公開を開催し、過去最多の11,000名を超える方にご来場いただきました。

当日は、自然科学のさまざまな分野に関する、100を超える展示や講演会などが行われました。研究者に直接質問したり、話をしたりと研究者との交流を楽しんでいた様子でした。

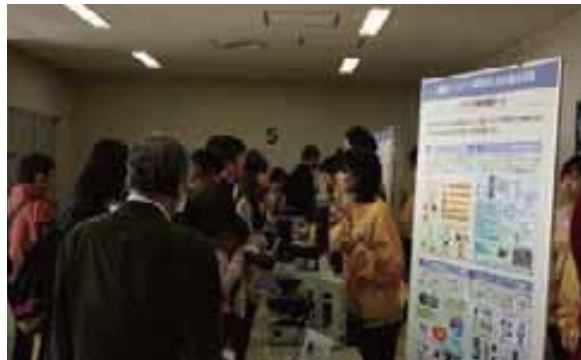
【開催概要】

日 時:4月19日

場 所:理化学研究所 和光地区

対 象:和光地区一般公開来場者

毎年開催している講演会やサイエンスレクチャーも立ち見が出るほどの大盛況でした。



非常に多くの人でにぎわった一般公開

和光地区構内の「お花見開放」

和光地区では、構内の桜を通じて近隣の方々に自然とふれあっていただきたいとの思いから、毎年4月に構内の「お花見開放日」を設けています。

開放日当日はあいにくの曇り空で気温も上がりず、肌寒い日でしたが、約400本ある構内のサクラを見学しに150名以上の方が来所され、桜を楽しみました。

ソメイヨシノ、ヤマザクラ、ヤエザクラ、イヌザクラ、ヒカンザクラ、シダレザクラ、ウコンザクラなど多くの桜をご覧いただけると同時に、理研での重イオンビームの照射により開発された新品種の桜「仁

科蔵王」と「仁科乙女」を觀賞できることも、構内開放ならではの楽しみです。



構内にあるオオシマザクラとソメイヨシノ

横浜事業所

理研よこはまサイエンスカフェ

理研よこはまサイエンスカフェは、理研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。

2014年度は、横浜市、川崎市、鎌倉市にて開催し、また新しい取り組みとして、高校生を対象としたサイエンスカフェや、主に神奈川県内、横浜市内の企業に理研の事を知ってもらうことを目的とした企業版サイエンスカフェを開催しました。

企業版サイエンスカフェは、2014年12月2日に開催し、講師の粕川雄也ユニットリーダーが、「アカデミックな基礎研究に企業はどのように関わっていくのか？」というテーマでお話しました。

来場された企業の方からは、「理研の取り組みがよ

くわかり参考になった」という感想や、今後の展開として、「施設見学を兼ねたサイエンスカフェを行ってほしい」

「企業の製品や技術を理研の研究者に紹介する場があれば出席したい」などの要望がよせられました。



企業版サイエンスカフェ

つるみ臨海フェスティバルにブース出展

「つるみ臨海フェスティバル」は毎年秋に開催され、区内に住む家族連れを中心に5万人が参加する区民祭りです。理化学研究所は、横浜市鶴見区に所在する研究機関として、このフェスティバルに毎年ブースを出展しています。

2014年度は、10月18日に横浜市鶴見区の入船公園で開催し、理研横浜地区のブースでは、2つのプラコップをつなげ輪ゴムを使って飛ばす「マグヌス効果」を利用した科学おもちゃづくり教室を開催しました。

子供を中心に多くの方が参加し、作成したプラコップを飛ばして楽しみました。



つるみ臨海フェスティバルで科学おもちゃづくり教室

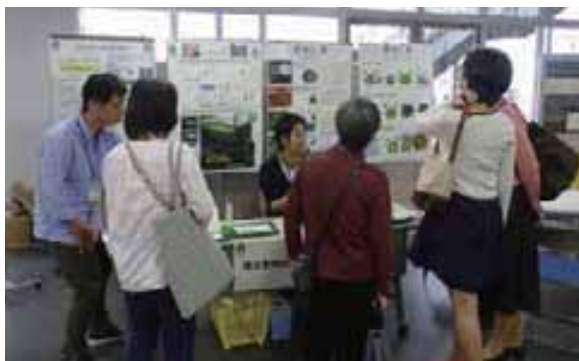
横浜市立サイエンスフロンティア高等学校の文化祭にブース出展

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「横浜サイエンスフロンティア地区」に所在し、先端的科学技術教育に力を入れている学校です。理研とは、連携、協力関係にあり、毎年、理研の一般公開や、高校の文化祭などにおいて、相互に交流を行っています。

横浜サイエンスフロンティア高等学校の文化祭は、2014年9月20日～21日に開催し、5400名の来場者がありました。

理研もブースを出展し、苔の研究のパネル展示と苔まりもの配付、バイオマス植物やエタノール走行ラジコンの展示などを行いました。

多くの方がブースを訪問し、科学に興味のある小・中学生や、近隣住民の方々に、理研の活動内容への理解を深めていただくことができました。



高校文化祭の一画に理研ブース出展

近隣事業者と連携した防災管理体制の確立(災害時の訓練実施)

2014年11月18日に横浜市立大学と合同で総合防災訓練を開催しました。

通常の火災による避難訓練に加え、横浜地区の特色にあわせた地震・津波による避難訓練、応急救護に関する実地訓練、防火扉・シャッター、屋内消火栓の使用説明会、防災意識向上に向けた講演会を実施しました。

応急救護訓練では、鶴見消防署の方々を講師に、緊急時の傷病者の搬送方法について、実技形式での講習を実施しました。参加者は、身近にある毛布や物干し竿で作る即席担架や、椅子を用いた搬送方法について、体験を通して学びました。



総合防災訓練での応急救護訓練

防災講演会では、気象庁横浜地方気象台の講師に、豪雨の基礎知識、身守るための行動の基本事項についてお話いただきました。多くの職員が参加し、防災に関しての知識を深めることができました。



防災講演会ポスター

水質汚濁防止法改正に伴う敷地内配管の改修工事の実施

地下水の保全を目的に、有害物質による地下水の汚染の未然防止に関する改正水質汚濁防止法が、2011年6月に公布され、2012年6月1日から施行されました。

これにより、有害物質を使用・貯蔵する施設では、有害物質が地下に浸透することを防止するため、既存の施設を、新しい基準に適合するように、改修等を実施することが義務付けられました。

理研では、敷地内に敷設されている研究排水配管から万一排水が漏洩した時に、地下への浸透を防止するため、目視確認ができるよう配管の改修工事を行いました。

具体的には、①配管の周囲に排水側溝を設置、②配管の周囲に二重管を設置、③地中埋設配管を地上配管に仕様変更、④地中への浸透防止用受け皿の設置などを行いました。



地中埋設配管を地上配管に仕様変更(西研究棟)

神戸事業所

融合連携イノベーション推進棟(通称:IIB)竣工！

融合連携イノベーション推進棟(以下、IIB)は、理研の持っているポテンシャルを民間と共有し、新たなイノベーションの創出を目的としています。

IIBは海と山が近接する神戸の景観の中、神戸医療産業都市構想の中核である、ポートアイランド内に立地しております。

周辺研究環境としては、理研のライフサイエンス技術基盤研究センターと隣接しており、また同じく理研の多細胞システム形成研究センターと、計算科学研究機構が同島内に立地しています。また先端医療センターをはじめ、神戸市民病院、低侵襲癌センター及び、県立こども病院(本年度完成)にも近く、アスピオファーマ、バイリンガー等の製薬企業などの医療関連企業も多く集積しており、医療産業都市の中心に位置しています。

IIBは太陽光発電約20kWを有しているほか、照明器具は全てLEDとし、人感センサーを用い省エネ対応としており、雨水の有効利用として、建屋内に雨水槽を設置し、散水、トイレ等に中水として利用しています。

また、8Fまで完全なバリアフリーであり、2Fと8Fに身障者用トイレを設置しています。館内の案内サインはピクトサインとしグローバルデザインに対応しています。

さらに、近隣の託児所と連携し、8Fに託児所用の避

難場所を用意し、8F防災備蓄倉庫には託児所用の緊急備品を常時保管する予定です。



外観と実験室



太陽光パネル及び館内外

敷地周辺、歩道の美化活動

神戸地区では、事業所周辺の環境改善や地域への貢献活動を目指して、「クリーン作戦」を実施しています。

クリーン作戦は、2010年から毎年実施しており、清掃活動を実施する事により、事業所周辺の公道のタバコや空き缶等のポイ捨て軽減を目指しています。

H26年度は、研究者や事務職員およそ50名が朝早くから参加し、事業所敷地前から先端医療センター前の歩道まで清掃活動に貢献し、沢山のゴミを回収しました。

今後もクリーン作戦を実施することにより、個人の環境への関心を高め、道路の美化や環境の向上を

図っていきたいと思います。



美化活動風景

省エネと大気汚染防止を同時に実現！

スーパーコンピュータ「京」に電力供給を行なう「コージェネレーションシステム」は、発生する廃熱の有効利用(蒸気吸収式冷凍機を介し冷却)で総合エネルギー効率を高める発電システムです。

都市ガスを燃料とするガスタービンエンジンの排ガスは、硫黄酸化物やばいじん等をほとんど含みませんが、高温燃焼により燃焼空気中の窒素と酸素が反応し窒素酸化物(サーマルNOx)が生じます。

計算科学研究機構の「コージェネレーションシステム」では、ガスタービンエンジンの燃焼器内に高压蒸気を噴射することで、発電効率を高めつつ窒素

酸化物を低減しており、省エネと大気汚染防止の両方を実現しています。



熱源機械棟「コージェネレーションシステム」

身近な活動で温暖化防止に貢献

計算科学研究機構の省エネの取組として、研究棟の設備運用において自然換気を行っています。これは、過ごしやすい外気温になる時期に空調を停止し、外気を導入して暖気を建屋吹き抜け部分の天窓から煙突効果を利用して排出するというものであり、省エネに貢献しています。

その他、年間を通して階段利用の奨励を行っています。また、セキュリティ目的で設置している研究棟入口のフラッパーゲート(ICカードで開閉する入口ゲート)は、夏期・冬期の省エネルギー対策として、3台の内1台を停止し、待機電力の低減を図っています。

これらの活動は、手作りのポスターにより目に見える形で伝え、省エネ意識の啓発に取り組んでいます。



ゲート停止中

地元への貢献と理解の醸成

計算科学研究機構が立地する神戸市は、21世紀の成長産業である医療関連産業の集積を図る「神戸医療産業都市」を推進しています。

昨年は、「探検！医療産業都市～医療産業都市の”今”を知る！」と題した神戸市主催のイベントに協力し、医療産業都市に親しみをもってもらうため、研究分野に関心、知識を持つ神戸の学生からの取材に応じました。

このような地域のイベントへの協力により地元へ貢献していくこと、また地元貢献の場を通じてスー

パーコンピュータ開発への理解を醸成していくことは地道ですが重要な活動と考えています。



地元への貢献

播磨事業所の活動

水質汚濁防止法改正に伴う構造対応化工事

大型放射光施設及び関連施設から排出される実験排水は、水質汚濁防止法による「有害物質使用特定施設」に該当します。水質汚濁防止法の改正(2012年6月1日施行)に伴い、カドミウム、鉛、トリクロロエチレン等の有害物質を使用・貯蔵する施設の設置者に対し、地下浸透防止のための構造、設備及び使用の方法に関する基準の遵守、定期点検等が義務付けられました。

これに伴い播磨事業所では、既に設置されている施設を上記基準に適合させ、良好な環境の維持・整備を行うため、地中配管を点検できるトレンチ内配管や負圧により地下浸透の危険性がない真空排水システムへの対応化工事を行いました。



トレンチ内配管

また新築した真空排水施設の屋根に太陽光発電システム(10kW)を設置し、再生可能エネルギーの導入に取り組みました。



真空排水施設太陽光発電設備



真空排水施設機械設備

水質調査及び土壌調査

播磨事業所における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し、環境保全への管理体制を強化するため、水質分析及び土壌調査を実施しています。

水質分析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)において検体のサンプリングを行い、環境省告示、JIS K0102、JIS K0125等による分析試験を行い、水質汚濁防止法をはじめ関係法令の排出基準値を下回る結果となりました。



調査のための土壌採取

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(環境省告示第18号・19号)により分析試験を行い、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る結果となりました。

研究活動に伴い環境が汚染されていないことについては、地元自治体への説明として、毎年開催されている「三市町懇話会(佐用町、上郡町、たつの市)」において報告しています。



採取した試料

放射線管理

播磨事業所では、SPring-8/SACLAの運転が施設周辺の放射線環境に影響せず、法令の定める施設の設置基準が守られていることを確認するために、継続的に環境放射線測定を実施しています。

環境放射線測定は、四半期毎に敷地周辺の放射線の強さと量を(空間線量率、積算線量)、施設内外における地表水および土壌に含まれる放射線同位元素の濃度(放射能濃度)を測定しており、すべての測定値において法令基準値を下回る結果となっています。



環境放射線モニタリングポスト

安全衛生委員会

労働安全衛生法に基づく安全衛生委員会を毎月開催し、定期・特殊健康診断、作業環境測定、構内発生事故や職場巡視結果等の安全衛生に係る審議・報告を行うほか、他機関と協力しSPring-8に勤務している方を対象とした普通救命講習会を実施する等広くキャンパス内の安全・衛生に係る役割を担っています。

委員会において審議・報告されたもののうち、特に注意の必要なものについては各種会議での報告や年4回発行している「播磨地区安全衛生情報」等で職員に周知し、注意喚起しています。2014年度は特に、化学薬品事故対策等について審議を行い、構内4箇所に緊急機材庫を設置しました。



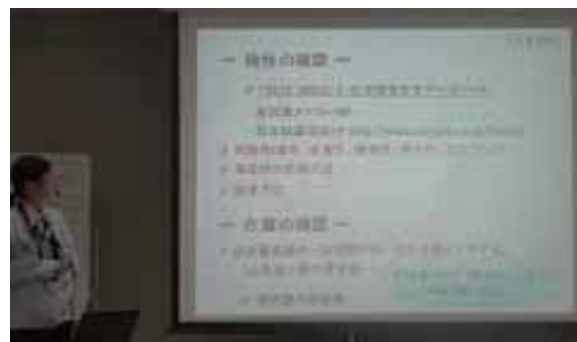
緊急機材庫

安全教育訓練

理研では、健康障害や事故の発生を未然に防ぐため、実験従事者に対して教育訓練を実施しています。播磨事業所では2014年度、放射線、化学薬品、高圧ガス、遺伝子組換え実験、微生物等の取り扱いに係る各種安全講習会を開催しました。

また、遠方の外部機関所属者が安全講習会を受講しやすいように、放射線再教育訓練においてe-ラーニングを試験導入しました。2014年度の受講者は57名で、短期間で全員が受講し円滑に実施されまし

た。2015年度より講習の範囲を広げて本格運用を進めています。



化学安全講習会の様子

筑波事業所

一般公開

筑波地区では2015年度一般公開「来て、見て、ふれて」を4月17日(金)・18日(土)に開催しました。

来場者には、理化学研究所バイオリソースセンター(BRC)施設、各研究室の研究内容を知ってもらうために、研究成果のパネル展示、電子顕微鏡を使って幹細胞、リソースの卵子・精子、健康と環境に役立つ身近な微生物等の観察体験や「バイオリソースとは」を題材とした講演会を行いました。

また、小さな子供も楽しめるマウスめりえコンテスト、マウスの折り紙作成や「研究者になってみよう」では白衣を着て記念撮影した写真をオリジナルカレ

ンダーに加工してプレゼントするイベント等も行ない、来場者が科学に興味持ち、楽しさと面白さを知っていただける機会となりました。



講演会

排水管理

筑波事業所で管理している排水には一般排水(汚水・雑排水)と実験室より排出する実験排水があります。筑波事業所は水質汚濁防止法施行令で定められている特定施設に該当するため、実験排水は所内の排水処理施設で適切な排水処理を行ない、下水道法で定められている汚水排除基準値以下であることを検査・確認した上で公共下水道へ放流を行っています。

2014年度には水質汚濁防止法の改正(2012年6月1日施行)に伴い、実験排水を流す設備が破損等により、地下浸透することを防止する構造とするため、土中埋設配管の架空化及びトレンチ内敷設を行い、

配管の目視点検を可能とする可視化工事を実施しました。



実験排水処理のための中継槽

省エネ(CO₂削減)と節水活動

地球温暖化の原因となるCO₂の排出削減を、筑波事業所では研究者と職員が一体となり省エネ活動を行うことで進めてきました。

これまでエネルギー使用量が増加する夏と冬に省エネの呼び掛けを周知文書と放送でおこなっていましたが、更なる省エネ意識向上のために、執務室・実験室等の照明・空調スイッチ、流し台に節電・節水を呼びかけるシールの作成・貼り付けをおこない、駐車場・駐輪場にはアイドリングストップを呼びかけるポスター掲示を目の付きやすい場所へおこなうこと

で省エネ・CO₂削減への意識醸成に努めました。これらの活動により、2014年度は対前年度比で約3%のCO₂排出削減となりました。



節水活動中

第三者意見



つくば市環境生活部

主任参事兼環境保全課長 **木本 美昭**

つくば市は、茨城県の南西部に位置し人口22万人、面積284km²に及びます。日本を代表する研究学園都市であり、昭和59年10月に「ライフサイエンス筑波研究センター」として開設した理化学研究所を含む、32の国等の研究機関、約300にも及ぶ民間の研究機関・企業等が立地しており、約2万人の研究者を有する我が国最大の研究開発拠点となっております。

一方、水郷筑波国定公園にも指定されている名峰「筑波山」や豊穡な農作物など四季を通じて豊かな自然も備えています。

充実した都市機能・豊かな緑が調和した住環境と、東京まで50km、つくばエクスプレス(TX)で45分、さらには成田空港まで接続される圏央道といった好アクセスがあいまって、人口増加を続ける活力ある都市です。

また、ノーベル賞受賞者も生まれる世界有数の科学都市であると同時に、筑波山を中心とする貴重な自然と万葉集や常陸国風土記にも記された歴史・文化を有するの他に類を見ない特徴です。

さらに、現在は「つくば国際戦略総合特区」に指定され、次世代がん治療(BNCT)、生活支援ロボット、藻類バイオマスエネルギー、世界的ナノテク拠点の形成、生物医学資源を基盤とする革新的医薬品や医療技術の開発、核医学検査薬、ロボット医療機器技術などについてプロジェクトを進めています。併せて「つくばモビリティロ

ボット実験特区」や「環境モデル都市」としての取り組みを推進し、国の成長戦略、ひいては人類の幸せな未来に貢献することを目指しています。

このような取組の一環として、理化学研究所とつくば市は、理化学研究所の研究成果とつくば市の施策との融合を図るとともに、市民の安全・安心を確保することにより、市民の良好な生活環境が確保された地域社会の持続的な発展を目指して、平成24年2月に「(独)理化学研究所筑波研究所とつくば市との相互協力の促進に関する基本協定」を締結し、次の事項について連携を図っていただいております。

1. 互いの情報、資源及び研究成果等の活用
2. 市民の安全・安心にかかる情報の共有
3. 災害防止及び環境保全
4. 学術研究及び科学技術及び産業の振興
5. 学校教育及び社会教育の増進
6. つくば市内の大学、大学共同利用機関及び研究機関との連携推進

品質管理された高水準のバイオリソースの世界各国への提供はもとより、市内各研究機関への提供、バイオリソースセンターの役割や研究開発の一般公開、筑波大学大学院等との技術の普及及び将来の研究者の育成指導、大学研究者との交流、災害時のライフライン確保として周辺住民へ飲料水を支援するための「緊急給水用の蛇口の設置」など、市内研究機関や地域住民との積極的な連携が図られています。

また、つくば市の緑豊かで多くの自然の中で、田園環境と都市環境が融合した街づくりの一環として貴機関研究所施設も屋上緑化による温暖化対策など、環境モデル都市の推進に貢献していただくとともに、貴機関の職員の皆様には近隣公園のゴミ拾いなど、環境美化活動を実施していただき、周辺環境の美化を推進している担当課としても感謝申し上げます。

このような持続的活動が、貴機関の市民の信頼につながるとともに、一つ一つの研究や環境活動は、地球環境という視点からすれば地道で時間を要する活動かもしれませんが、将来人類に続く環境保全に寄与することができるかと信じております。

環境報告書監事意見書

理化学研究所は日本で唯一の自然科学の総合研究機関として、社会の期待に応えるべく、多くの研究領域において、研究活動を続けており、毎年大きな研究成果を創出しています。

この研究成果には将来の社会の発展に寄与する基礎研究分野での成果や、現在の社会的課題を解決するための成果等多くの内容を含んでいます。これらの成果は研究者の努力はもとより、研究を支える職員の支援や、研究環境の整備によって達成されてきたものです。また、研究活動は環境に対する十分な配慮の上で行われるべきものです。理研は研究内容と成果、研究を支える体制、環境に対する取り組みを分かりやすく、簡潔に説明することが必要であり、環境報告書の作成と公表は非常に重要です。

環境報告書2015「特集」の項では5つの研究が紹介されています。バイオ燃料電池の実用化では、ブドウ糖等の身の回りの多様な物質をクリーンな燃料として利用する研究。植物を使って放射線セシウムを除染し、さらに農産物の安全性を高める研究。大気中の二酸化炭素と植物を使ってバイオプラスチックなどのマテリアルを生み出す研究。南極の氷床コアから太陽活動と気候変動の関係を探る研究が取り上げられています。これらの内容は社会の注目を集める研究と思いますが、丁寧で分かりやすい説明になっています。また、スーパーコンピュータ「京」を活用した超新星爆発の再現等の説明は、科学における「京」の貢献を理解するのに役立つ内容となっています。

環境マネジメントの体制は、活動の全体像が組織図として示されており、簡潔で適切な記載と見えます。

環境負荷の全体像は、エネルギー投入量等のインプットと排水量等のアウトプットを具体的な数値で表形式にまとめており、理解しやすい内容です。

環境負荷軽減への取り組みとして「グリーン調達」「地球温暖化の防止」「廃棄物の削減」「排水管理」「化学物質管理」の毎年度の取り組み結果を、具体的な数値で時系列に示しており、適切で分かりやすい内容になっています。

働きやすい職場づくりでは「男女共同参画」「職員のメンタルヘルス」「障害者雇用」についての取り組みが紹介されています。

「各地区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」では各事業所のそれぞれの地区における取り組み内容が紹介されており、研究以外の理研の活動を多くの人に知ってもらおう効果的な記載と思います。

この環境報告書は、理研の果たすべき役割と責任を説明できているものと認めます。



国立研究開発法人理化学研究所
監事 清水 至

環境報告ガイドライン (2012 年版) との対応表

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 2015』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 25,45	
	(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	27-31	
	(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	27-31 40,42	
4. マテリアルバランス	○	環境負荷の全体像	26		
【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	25
		(2) 環境リスクマネジメント体制	○	環境マネジメント体制、災害時の訓練実施、安全衛生委員会	25,38 42
		(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	25, 27-31 40,42
	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	9-24 32,33
		(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	33-43
	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	27,29
		(2) グリーン購入・調達	○	グリーン調達	27
		(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	33-43
		(4) 環境関連の新技术・研究開発	○	特集 1～5	9-24
		(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	26,29	
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、節水活動	26,28 40,43	
	(2) 総物質投入量及びその低減対策	○	グリーン調達	27	
	(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	26,30 43	
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	26,30 43		
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、節水活動	26,28 40,43	
	(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	26,30 43	
	(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	40	
	(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	26,31	
	(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	26,29	
	(7) 有害物質等の漏出量及びその防止対策	○	防災管理体制の確立	38	
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	25		
【第 7 章】 「環境配慮経営の経済・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	32,33		
【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		



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。

 **理化学研究所**

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

発行：2015年9月