



東京大学

# 理学系研究科・理学部ニュース

2009年9月号 41巻3号

<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/>



化学本館地下2階にある現在の重力基準点TOKYO-B。指差しているのは左上図の金属標識。  
～発掘 理学の宝物「三四郎の置土産～重力基準点」より～

本号の記事から

トピックス

**生物情報科学科, 起動!** ほか

研究ニュース

**神経地図をつくるための基本原理の解明** ほか

理学から羽ばたけ

**生態学の常識を企業の常識に**

**新興国で日本ブランドをつくる**

理学のキーワード

「クロスカップリング」「ゴルジ体コンセンサス会議」「赤方偏移」

「量子ホール効果」「仮想化」「双対性」

## トピックス

生物情報科学科，起動！ 「連載：理学のキーワード」が単行本化！この9月に出版	黒田 真也（生物情報科学科 教授）……………	3
参加者数 3300 人を記録した理学部オープンキャンパス 2009	広報誌編集委員会（文責：加藤 千恵）……………	3
理学部オープンキャンパスあれこれ	平岡 秀一（化学専攻 准教授）……………	4
ガリレオが見た宇宙，見なかった宇宙	広報誌編集委員会（文責：加藤 千恵）……………	5
	須藤 靖（物理学専攻 教授）……………	6

## 第9回 発掘 理学の宝物

三四郎の置土産 ～重力基準点	大久保修平（地震研究所 教授）……………	7
----------------	----------------------	---

## 第8回 理学から羽ばたけ

生態学の常識を企業の常識に 新興国で日本ブランドをつくる	足立 直樹（株式会社レスポンスアビリティ 代表取締役）……………	8
	岡島 礼奈（エルエス・パートナーズ株式会社 代表取締役）……………	9

## 研究ニュース

脳の配線ミスを修正するメカニズムの発見	林 悠（生物科学専攻 修了），飯野 雄一（生物化学専攻 教授）， 久保 健雄（生物科学専攻 教授）……………	10
世界最高地点の望遠鏡が見た銀河中心のガス雲	本原顕太郎（天文学教育研究センター 助教）， 吉井 讓（天文学教育研究センター 教授）……………	11
ニュートリノ質量の上限値は正しいか？	酒井 英行（物理学専攻 教授）， 矢向謙太郎（物理学専攻 助教）……………	12
神経地図をつくるための基本原理の解明	今井 猛（生物化学専攻 特任助教）， 坂野 仁（生物化学専攻 教授）……………	13
光照射された強相関電子系の解明	辻 直人（物理学専攻 博士2年），岡 隆史（物理学専攻 助教）， 青木 秀夫（物理学専攻 教授）……………	14

## 連載：理学のキーワード 第21回

「クロスカップリング」	辻 勇人（化学専攻 准教授）……………	15
「ゴルジ体コンセンサス会議」	中野 明彦（生物科学専攻 教授）……………	15
「赤方偏移」	土居 守（天文学教育研究センター 教授）……………	16
「量子ホール効果」	岡本 徹（物理学専攻 准教授）……………	16
「仮想化」	萩谷 昌己（情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 教授）……………	17
「双対性」	加藤 晃史（数理科学研究科 教授）……………	17

## お知らせ

竹内慶夫先生のご逝去を悼む	村上 隆（地球惑星科学専攻 教授）……………	18
東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧	……………	18
人事異動報告	……………	18
第16回東京大学理学部公開講演会のお知らせ	……………	19

## 生物情報科学科，起動！

生物情報科学科長 黒田 真也  
(生物情報科学科 教授)

生物情報科学科では、2009年4月に第一期生10名がいよいよ進学してきた(図1)。10名の内訳は、理科I類4名、理科II類6名となっており、生物情報科学の名前が示すとおりバランスの取れた進学となっている。生物情報科学は、生命のシステムを実験科学と情報科学の両方を駆使して解き明かす学問で、今後の生命科学の最先端を切り開く新しい学問領域として期待されている(図2)。ここでは、新学科のカリキュラムや一期生の様子についてご紹介しよう。

生物情報科学の特徴は、実験(ウェット)と計算機(ドライ)の両方を密接に

フィードバックしながら研究を行う点にある。講義としては、生物学、情報科学の基礎講義に加えて、新しい領域である生物情報科学(バイオインフォマティクス・システム生物学関連)の講義が中心である。実験についても、それぞれの基礎実験だけでなく、コンピュータプログラミングとゲノム実験を融合させた生物情報科学実験を行い、生物情報科学の実践力の養成も重視したカリキュラムになっている。生物学、情報科学の基礎的な実習については、生物化学科および情報科学科と共通に行っている。生命科学系を中心に学んできた学生にとっては、コンピュータ実験が始まった当初は慣れないことも多く負担が大きかったようであるが、今では十分に高いスキルを身につけることができつつある。その効果は、生物情報科学実験を教えている際に顕著に感じることができる。私たちが期待し

ていた以上に、生物情報科学科の学生はウェットとドライのどちらもこなすバイリンガルな能力を順調に身に付けつつあり、彼らの将来が今から楽しみである。

本格的な生物情報科学の学科設立は国内初で、欧米でさえまだほとんどない。とくに、生物情報科学科設置は純粋に学内措置によるものであり、東京大学が世界をリードしていく意気込みの現れのひとつといえる。また、理学部における新学科設立は30数年前の情報科学科以来である。学部における新学科設立はその学問分野が新しく発展する場合のみに限られることが多く、1世紀に1度か2度あるくらいの頻度である。その意味でも生物情報科学の生命科学におけるインパクトが伺えると思う。このような状況を考えると、生物情報科学科を卒業した学生が、近い将来この分野の国際的なリーダーになると十分期待できる。



図1：今年進学してきた生物情報科学科の一期生

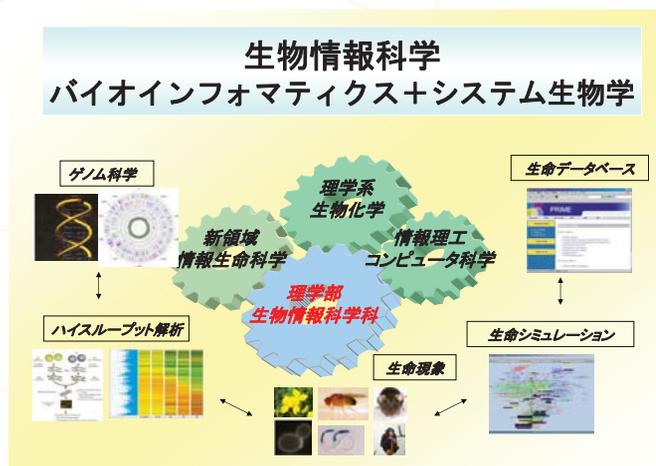


図2：生物情報科学科の概要

## 「連載：理学のキーワード」が単行本化！この9月に出版

広報誌編集委員会

この理学部ニュースで2006年度より連載が始まった「理学のキーワード」のコラムがこのほど単行本にまとめられ、「東大式現代科学用語ナビ」として株式会

社化学同人より2009年9月1日(火)、発刊された。編者は東京大学理学系研究科・理学部。2008年度までの95テーマを物理、化学、生物、地惑・天文、数学、情報の6つの分野にわけて俯瞰解説をつけ、原典の記事に加筆修正して図を追加し、一般の人に読みやすい形にした。全国の書店で1500円(税別)で購入できる(ISBN978-4-7598-1278-7)。(文責:加藤 千恵)



「理学のキーワード」単行本の表紙

## 参加者数 3300 人を記録した理学部オープンキャンパス 2009

理学部オープンキャンパス実行委員長  
平岡 秀一（化学専攻 准教授）

本郷キャンパスにおいて2009年8月6日（木）に理学部オープンキャンパスが開催された。当日は9時前から受付開始を待つ高校生が理学部1号館に集まり、予定よりも受付開始を繰り上げて開催した。なんといっても理学部オープンキャンパスの最大の特徴は事前申し込みを必要とせず、理学部に訪れば必ず参加できるという信頼感である。理学部オープンキャンパスは年々規模が大きくなり参加者数を増やし続けているが、今年は昨年の2700人を大幅に上回り3300人という新記録を達成した。東大オープンキャンパス本郷地区の参加者が7000人であることを考えると、理学部は1学部としては群を抜く規模である。また、今年は駒場キャンパスの期末試験との重複を避けるように開催日が調整されたため、多くの駒場生が訪れたことも参加者数増加の一因であると考えられる。

天候は終日曇りで、時折日が射す程度でやや湿度も高かったものの、参加者にとっても運営側にとってもありがた

かった。理学部1号館の受付では午後まで人の流れが絶えなかったが、受付の手際よい対応で大きな混雑もなく参加者全員をスムーズに受け入れることができた（図1）。今年は19もの講演会をはじめ各学科の展示や研究室ツアーなど、プログラムはほぼすべて大盛況であった。今年の特別企画である2つのノーベル賞特別企画講演は、いずれも小柴ホールで立ち見となり、さらに入りきれない人がホール前に設置されたモニターを食い入るように見る姿が見られた。このほか、小柴ホールでは2件の学生による講演会が開催されたが、こちらもいずれも盛況で、講演が終わった後には講演者に質問をする人の列ができ、講演終了後も熱気がなかなか冷めなかった（図2）。

さらに今年は2つの新しい企画がオープンキャンパスに加わった。ひとつは各学科より提案してもらった科学クイズをパンフレットに掲載し、正解した参加者に先着で理学部ロゴ入りのシャープペンが配られるというものである。どの受付でも用意したシャープペンが早々と無くなるという人気だった。もうひとつの企画は理学部に所属する方から研究データや研究生活に関わる図や写真を応募いただき、オープンキャンパスの参加者が投票する「イメージコンテ



図2：小柴ホールで講演する学生の瀧川晶さん

スト」である。研究で得られた美しい図から学内外における研究活動で撮影された風景写真などが、理学部1号館の受付付近に並べられ、これらの写真を見比べながら好みの写真を選ぶ参加者の姿が見られた（図3）。

理学部オープンキャンパスでは参加者の満足そうな様子に加えて、それに負けないほどの運営に携わる方々の熱気が感じられた。これは理学部広報室の横山広美准教授と竹村三和子さん、山本摩利子さんの入念な事前準備、平賀勇吉事務長が中心となり理学部事務部の皆さんの献身的なサポート、情報システムチームの技術的な支援、また各学科のTAの学生が熱心に参加者に接してくれるなど、運営に協力いただいた方すべてが一丸となったためである。この場を借りて皆様に心より感謝申し上げたい。



図1：理学部2号館での受付の様子



図3：理学部1号館ピロティでのイメージコンテストの様子

## 理学部オープンキャンパスあれこれ

### 広報誌編集委員会

理学部オープンキャンパスには理学部の全学科および理学部の附属施設が参加している。今年の理学部オープンキャンパスも、高校生にわかりやすく興味をもってもらえるよう工夫された展示や講演会などの企画がひしめくように軒を連ねた。どの企画も魅力的で高校生たちはどれをみようかとでも迷っていたようである。今回はそれらの企画の中からいくつか選んで紹介したい。

生物化学科・生物情報科学科のある理学部3号館は、受付のある理学部1号館から歩いて5分の浅野キャンパスにある。そこまで高校生にきてもらうのはたいへんなので、毎年理学部1号館2階の205号室に出展している。部屋に入るとまず、匂いに対し忌避行動を取らないよう遺伝子を改変したマウスなどいろいろなマウスたちが出迎えてくれる。生後3週の小さくてかわいいマウスの隣では、「DNA配列 TCT GAA ATT AAA GCT がコードしているアミノ酸は一文字表記は SEIKA、では AGA ATA GGG GCC AAG は？」というクイズが出題されていた。今年の企画として、各学科・施設ご

とにオープンキャンパスクイズを用意し、高校生みなさんに挑戦してもらうことになった。正解すると、先着500名に理学部ロゴ入りシャープペンがもらえる。

10階の素粒子物理国際研究センターは理学部から発した全学センターである。小林富雄教授、坂本宏教授による心配りの行き届いた「宇宙の謎を探る素粒子の研究」の講演が一日で計4回行われた。廊下にも学生たちが準備した企画が目白押しで、霧箱を使って放射線を見てみようという、素粒子研究の前段階の原子核研究を紹介する企画などがあつた。

ビッグバン宇宙国際研究センターでは、30分の講演を4つ用意した。横山順一教授の「宇宙をあやつる暗黒エネルギー」の講演には「宇宙の未来」に関心がある高校生たちが集まった。会場は超満員で、立ち見どころか会場に入れない高校生も続出した。

地球惑星物理学科・地球惑星環境学科は講演を理学部1号館2階233号室、企画展示を同3階336号室でまとめて行った。横山央明准教授による「太陽大気—ダイナミックなプラズマの世界」の講演では参加者全員に理学部ロゴ入りシャープペンが配られ、アンケートをとるなど、きめ細やかな準備がなされていた。引き続いて大学院生による「Made in 東大！聞こえてきそうな地球の声」など

2講演が行われた。

情報科学科では、世界最大規模のプログラミングコンテスト、ACM/ICPCに参加した3名の学部学生による講演が化学東館2階136号室で行われた(図1)。また萩谷昌己教授による講演も行われた。

駒場キャンパスに居を構える数学科は、理学部の一員としてオープンキャンパスは本郷で行っている。理学部4号館の1220号室では、稲葉寿准教授による「微分方程式でモデルを作ろう！」の講演が行われた。

生物学科のある赤門近くの理学部2号館では、岡良隆教授による「ノーベル賞の技術を使って脳を知る」など2講演が4階講堂で行われ、こちらも超満員で立ち見が出た(図2)。各学科・施設では今年も現役の学生が直接高校生の質問に答えるコミュニケーションスペースを設けた。生物学科のコミュニケーションスペースにも朝からばらばらと高校生が訪れ、生物学科で行われている研究の話、入試の話を中心にお茶などもふるまわれ、楽しく会話がはずんでいた。

毎年恒例となっている小柴ホール講演会では、今年は教員によるノーベル賞記念の2講演に加え、地球惑星科学専攻博士1年の瀧川晶さんと化学専攻博士2年の本間達也さんが、学生による講演会を行った。(文責：加藤 千恵)



図1：情報科学科の学生3名による講演の様子



図2：理学部2号館4階講堂での生物学科、青木健一教授の講演の様子

## ガリレオが見た宇宙、 見なかった宇宙 ～世界天文年・七夕講演会～

■ 須藤 靖 (物理学専攻 教授)

今年はガリレオ・ガリレイが望遠鏡を宇宙に向けてから400年に当たり、「世界天文年」として世界中でさまざまなイベントが企画されている。日本天文学会は全国の大学・研究機関などに働きかけ、「世界天文年全国同時七夕講演会」を行うことを決定した。七夕の頃に、全国各地で講演会を実施し、天文学の成果を広く伝えようというのが目的である。東京大学では本郷、三鷹、柏の3会場で講演会を実施した。本郷キャンパスでは、筆者が理学部広報室、ビッグバン宇宙国際研究センター、日本学術振興会先端拠点形成事業「暗黒エネルギー研究国際ネットワーク」の共催で、「ガリレオが見た宇宙、見なかった宇宙」という講演を行った。

通常この種の講演会にはあまり若者が来ないこともあり、今回はあえて小中学生をおもな対象としてみた。開演30分前にお茶とお菓子、さらには小中学生には先着順で記念品進呈、という宣伝をし

たおかげで、5時過ぎから早々と多くの方が来てくださり、最終的にはご父兄、およびかなり昔の小中学生を含め100人を超える参加者を得ることができた。講演では、宇宙に関する最新の知識を教え込むのではなく、まだまだこんなに多くの不思議な謎が残っていることを伝えるよう努めた。アンケート結果によれば、一緒に来ていただいたお母さん方にはかなり好評だったっぽう、小中学生には難しすぎたようである。小中学生を対象とした講演を標榜するにはまだまだ工夫不足であると反省させられた。そのっぽうで講演終了後、「宇宙はできてから何年経っていますか」、「宇宙のどこかに宇宙人はいると思いますか」から、「一緒に

に写真をとらせてください」まで、多くの小学生が話しかけてくれた。また、小6の息子さんを連れてきてくれたある知り合いの方からは「『私たちは星の子供』というところに、じーんと来ました。翌朝、ねぼけまなこの子供に『ぼくらは何の子?』といきなり聞いたところ、『星!』と返って来たので、何らかのインパクトはあったようですよ」という温かいメールもいただいた。

いずれにせよ、今回の経験を良い教訓として、小中学生を対象とした科学の心を伝えるような講演会の大切さを痛感した。最後になったが、理学部広報室およびビッグバンセンター、当日参加していただいた皆さんに厚く感謝申し上げたい。



■ 宇宙地図をつくるための穴あきアルミ板について解説する須藤靖教授

物 8 (358)

物 理 / 化 学

### 速度

ノット\*\* (knot (international))  $1 \text{ knot} = 1 \text{ 海里/時} = 1.852 \text{ km/h}$   
 $= 0.5144 \text{ m/s}$ .

### 加速度

ガル\*\* (gal, Gal)  $1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$ . 測地学および地球物理学において重力加速度を表わすために使う単位。

重力の加速度は通常  $g$  という文字で表わす。

標準の  $g$  の値  $= 9.80665 \text{ m/s}^2$  (定義, 1901年国際度量衡総会)。

緯度  $45^\circ$  の海面における  $g$  の値 (1980年)  $= 9.80619920 \text{ m/s}^2$  (地 221 参照)。

京都大学地質学鉱物学教室重力室 (国際基準点) における  $g$  の値  $= 9.7970727 \text{ m/s}^2$ 。

東京大学理学部化学館地下原点室における  $g$  の値  $= 9.7978872 \text{ m/s}^2$ 。

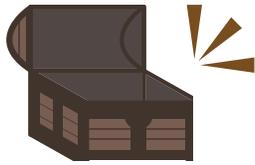
### 力

ダイン† (dyne, dyn)  $1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$ 。

重力キログラム (kilogram-force, kgf)  $1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N}$ 。

重力単位系: 基本単位として質量の代りに力を用いる単位系で、一定の質量に作用する標準重力加速度 ( $9.80665 \text{ m/s}^2$ ) による力を単位とする。メートル系重力単位系では、力の単位は重力キログラム kgf である。

■ 国立天文台編「理科年表平成21年版」, 丸善 (2009)。358ページ。「加速度」の欄に東京大学理学部原点室における  $g$  の値が記載されている (P.7, 発掘 物理学の宝物「三四郎の置き土産～重力基準点」より)。



## 三四郎の置土産 ～重力基準点

大久保 修平 (地震研究所 教授)

地震研究所では、三四郎池に面した理学部化学本館地下2階1000号室を、歴史的経緯から永年にも借りしている。重力基準点 TOKYO-B が置かれているからである (表紙写真)。といっても、80 cm 四方の花崗岩風のブロックがあるだけなので、拍子抜けするかもしれない。でも、そのルーツには、何人もの著名人が関わっているのである。その意味では「理学部の宝物」としての資格がありそうだ。

この場所と関係ありそうな記述は、まず、夏目漱石の小説「三四郎」に見出せる。理科大学 (東京大学理学部の前身) の地下室に、野々宮 (漱石の弟子・寺田寅彦がモデル) という実験研究者を訪ねるくだりである。「弥生町の門から入った。(略) 小使にくっついて行くと四つ角を曲がって和土の廊下を下へ降りた。(略) 穴倉だから比較的涼しい。(略) 三尺ぐらゐの花崗石の台の上に、福神漬の缶程の複雑な器械がのせてある」。「穴倉」とか「三尺 (= 90 cm) ぐらゐの花崗石の台」とかいふ記述は、写真のイメージと一致している。漱石の記述にもとづいて当時の間取りをたどれば、「穴倉」の位置を決めることができそうである。「重力と地震の研究」で著名な坪井忠二

先生 (1961年10月～1963年3月の理学部長で寺田寅彦の高弟＝漱石の孫弟子) によれば、穴倉は当時の物理教室の地下実験室らしいのである。実験室では、原子モデルで名高い長岡半太郎が、当時最新鋭の重力振子 (写真) を用いて、1899年頃ポツダムとの間で国際的な重力比較測定を行っている [基準点 (重力値が既知  $g_{\text{Base}}$ ) と観測点 (重力値は未知  $g$ ) とで同一振子を用いて、その周期の比  $R = (T / T_{\text{Base}})$  を観測すれば、 $g = g_{\text{Base}} / R^2$  が決定できる。航空機のない時代に、遠く離れた日欧の間での比較測定を成功裏に終わらせた長岡半太郎は、979.801 ガルという「世界標準」の重力値を日本にもたらした]。だから、三四郎が見た花崗石は、初めて国際標準の重力値が与えられた近代日本の科学的聖地ということになる。

では写真の重力点が、「三四郎の花崗石」なのだろうか？結論から言うと、残念ながら、「三四郎の花崗石の部屋」はすでに失われて残っていないようである。しかし1904年7月9日に理科大学構内「基線尺室並振子室」が落成し、そこに重力基準点が移転したことがわかっている。新基準点はいわば2代目を襲名したというわけである (裏表紙図1, 図2)。もしかすると、花崗石のブロックも一緒に移転してきたのかもしれない。

さらに時代が下がって1961年になると、現在の化学本館が建設されることになり、2代目基準点は取り壊されることとなった。しかしその分厚い土台が解体作業を阻み、ついに土台を取り去ることができなかったということである。その土台の上にブロックを設けたのが、今回紹介している Tokyo-B である。だから、表紙写真の基準点は「3代目」穴倉というわけである。なお、1963年4月までの地震研究所は、今の理学部4号館のあたりにあった。

最後になるが、Tokyo-Bの重力値は国際重力基準網 IGSN71の枠組みの中で、 $9.7978872 \text{ m/s}^2$  と与えられている (P.6 下図)。厳密に言えば、重力値は不変であるはずはなく、大地震や火山噴火が起こると6～7桁目が増減することがある。9桁の確度がある現在の重力計 (裏表紙図3, 図4) の観測でも、Tokyo-Bの重力は8桁目あたりで変動している。現在、化学本館に耐震工事が施されているが、建物の質量変化は重力変化をもたらすであろう。



ステルネック (Sterneck) 型の重力振子。長岡半太郎らがポツダムと東京の間で比較測定をして日本の重力の値を確定するのに使用したと伝えられるもの (国立科学博物館蔵)。



## 生態学の常識を企業の常識に

足立 直樹 (株式会社レスポンスアビリティ 代表取締役)

大学院で生態学を専攻し、国立環境研究所に就職したところまでは研究者としてフツウのキャリアであったのだが、その後、3年間のマレーシア森林研究所 (FRIM) 勤務から戻ったところで研究所を飛び出し、企業向けの環境やCSRのコンサルタントとして独立した。当初はフリーランスとして、他のコンサルタント会社などと一緒に仕事をしていて、3年ほど前に自分の小さな会社を興した。

CSR (Corporate Social Responsibility) は、日本では「企業の社会的責任」と訳されることが多いが、これはやや誤解を招く表現であり、私は日頃、「企業が持つさまざまな資源 (人、技術、経験、そしてお金) を使って、社会のさまざまな問題を解決する活動」と説明している。CSRにおいて生態系への配慮や貢献は非常に重要な課題のひとつであり、そこでまさに「理学的」な知識と考え方が役に立つ。

ブルントラント委員会が「Our Common Future」(邦題「地球の未来を守るために」)の中で「持続可能な発展」という概念を世に知らしめたのは1987年。私がちょうど理学部に進学した年だった。私自身も地球環境問題に関心があり、その解決には理学的なアプローチが役立つ考え、理学部で植物生態学を学ぶことを志した。

大学院では富士山をフィールドに基礎科学的な研究をしたが、その後就職した国立環境研究所でマレーシアの熱帯林の研究をすることになり、少しだけ「地球環境」に近づいた気もしたものである。しかし、そこで見たのは、研究フィールドとしていた小さな保護林のすぐ外では、オイルパームなどのプランテーション開発のために、天然林がどんどんと伐採されていく姿であった。植物の生態を研究し、熱帯林の仕組みをひとつひとつ明らかに

していく仕事はたしかに楽しい。しかし、何十年か後に「熱帯林はこんな仕組みでできていることがわかりました。でも、その熱帯林はもうすべてなくなってしまいました」、もしそんなことになったら、ブラックユーモアではすまされない。

また、私がマレーシアに赴任していた2000年前後というのは、ちょうど企業が「環境保全」を語り始めた頃でもある。しかし、マレーシアの日本人社会で知合った企業の方々とお話をしていると、環境や自然に対する見方や考え方は、当然ではあるが、理学系の研究者のそれとはまったく異なっていた。たとえば、森を一齐に伐採してしまってから、そこに何種類かの木を植えたところで、質的に著しく劣った、多様性の低い森しか「再生」することはできない。しかし、それは研究者にとっての常識ではあっても、企業人にとっては常識ではなかった。

せっかく企業も環境に興味をもってきているのだから、研究によって明らかになったことを、企業の方に正しく、わかりやすく伝える、そういう役目を果たす人間がもっといた方がいいのではないかと、それこそ自分が長らく興味をもってきた環境問題を解決し、持続可能性を高めるために貢献できることではないのか。今こそ、その時機だ！ 元来思いつきで行動するタイプの私は、そう考えると、さっさと研究所を辞めてしまい、周囲の方々や友人には随分と呆れられた。

実際に企業の環境経営のお手伝いを始めてみると、環境経営や環境への配慮といっても、興味の対象はあくまで工場やオフィスの中。そのような狭い範囲の中で、コスト削減にもつながる省エネや省資源のための「環境保全」を行う企業が圧倒的に多かった。しかし、幸いなことに、



企業向けに生物多様性の講演をする筆者

### PROFILE

足立 直樹 (あだち なおき)

- 1989年 東京大学理学部生物学科卒業。
- 1994年 東京大学大学院理学系研究科植物学専攻博士課程単位取得の上退学。その後、博士(理学)。
- 1995年 国立環境研究所で熱帯林の研究に従事。
- 2002年 コンサルタントとして独立。
- 2006年 株式会社レスポンスアビリティ設立。現在、同社代表取締役、企業と生物多様性イニシアティブ (JBIB) 事務局長等。

2, 3年前から、生物多様性という言葉が、CSRや企業による環境保全活動の中でも重要な課題と考えられるようになってきた。生物多様性はまさに生態学の中心課題であり、学生時代や研究者時代の経験やネットワークをフルに活かすことができるようになってきた。

もちろん、企業が生物多様性の保全に向けて本質的な活動をするのは、これからが本番である。より多くの企業が、日々の事業の中に生物多様性の保全を組み込み、本当の意味で環境と経済が両立する持続可能な社会に少しでも近づくことができるように、企業活動と理学の知識の橋渡しをする仕事を続けていきたいと思う。

## 新興国で日本ブランドをつくる

岡島 礼奈 (エルエス・パートナーズ株式会社 代表取締役)

新卒でゴールドマン・サックス証券に入社したが、リーマンショックでの社内の変化、金融情勢を目の当たりにし、日本を含む先進国とよばれる国々の閉塞感を感じた。そこで新興国に目を向けてみると、とてつもないパワーに圧倒された。そこで感じたのが、日本が沈み行く国であるということ。GDPもそろそろ世界2位をキープできなくなるであろうし、人口も減少に転じている。月並みな言い方だが、少子高齢化が進み、成長するという要素が感じられない。このまま緩やかに衰退していくのだろうと感じる。

その状況を打破したいという思いから、「日本ブランドをつくる」をモットーに、日本の企業が新興国に進出するためのアプローチのコンサルティングを行う会社、「エルエス・パートナーズ株式会社」を設立した。まだ立ち上げたばかりであるが新興国と日本をつないで、日本ブランドを世界に発信したい。日本とはまったく異なる習慣、文化の人と仕事するということが戸惑いながらも楽しんでいる。新興国はきちんとしたデータすらそろっていないことが多く、難易度は高いながらもとてもおもしろい。

大学院時代はいろいろな仲間に恵まれ、損得勘定なしの友達づきあいを楽しめた。好きに時間を使えるので、NPO 法人の活動や、天文学科時代の友人達と「サイエンスとエンターテインメントの融合」をテーマに、基礎科学の事業化、ロボット、ゲームの3つの事業を行う、有限会社リヴィールラボラトリを設立、経営した。この会社は今も名前を変えて存続している。この経験は、再び今の会社を興す原動力となった。天文学の研究はあまり熱心に行っていなかったが、所属する研究室の吉井譲教授の寛大、熱心なご指導により、

観測的宇宙論の分野で、博士論文を出すことができた。博士論文の題材は「コンパクト電波源に関する  $\theta$ - $z$  relation」。宇宙が今後どうなっていくのかを決定するパラメーターを制限する手法を研究していた。

大学院での研究自体は、今の仕事には役に立たない。宇宙のずっと先がわかっても経済的には何も関係がない。しかし、研究手法である問題点の発見、洗い出し、解決方法のアプローチなどは、すべての仕事に共通してゆく手法であり、考え方の基礎としてとても役に立っている。大学院にあってよくなかったことは、年齢と社会人経験のギャップ。研究を活かさない種類の仕事につくとなるとサラリーマンとしては少し痛い。早いうちから仕事をしたほうがよい場面もある。また日本の大企業は、専門職以外での博士の受け入れには積極的でなく、実は外資系しか、博士課程修了者に門戸を開いていなかった。しかし人生何が幸いするかわからないので、まだ結論づけるのは早い。人生万事塞翁が馬という言葉が最近とても身にしみる。

自分が外資系の、人材の流動性が高い分野の会社にいたからかもしれないが、終身雇用という概念はもうかなり幻想に近いと思う。おそらく今後の人たちは、より主体的に、自分のキャリアを考え、必要に応じて働く環境、手法を変えてゆくのだと思う。起業というのはその中のひとつの選択肢に過ぎないし、起業自体は目的ではなく手段である。私は起業を、働き方の選択肢のひとつとして勤める。起業しなくても自分の目標がかなえられる場所があればそちらに行けばいいと思うし、大企業のダイナミズムでしか実現できないことも多数ある。もちろん研究などは大学や研究機関に残ったほうがやりやすい

LS LS-Partners



■ 事務所で事業プラン策定中の筆者。上は会社のロゴ。

## PROFILE

岡島 礼奈 (おかじま れな)

- 2003年 東京大学理学部天文学科卒業。
- 2005年 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻修士修了。
- 2008年 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士修了。博士(理学)。
- 2008年 ゴールドマン・サックス証券入社。
- 2009年 エルエス・パートナーズ株式会社設立。現在、代表取締役。

だろう。よほどの資産があれば話は別だが。私にとって起業は、自身の自由度を最大限にし、フットワーク軽く働くための場所である。今は会社を日本に設立したが、1、2年のちにはシンガポールに拠点を移す予定である。このようなフットワークでいられるのも、起業ならではの思う。

今は収益化の観点から、新興国にフォーカスを当てているが、もう少し余裕ができてきたら、理学、天文学に関するビジネスも興したい。そして日本ブランドの中の科学の濃度を高めてゆきたいと妄想している。そのための事業化のプランは現在策定途中であり、生涯をかけて実現したい。研究者は向いていなかったものの、やはり理学、天文学は心のよりどころである。

# 脳の配線ミスを修正するメカニズムの発見

林 悠 (生物科学専攻 修士\*), 飯野 雄一 (生物化学専攻 教授), 久保 健雄 (生物科学専攻 教授)

**脳の精密な神経回路が形成される過程において、神経細胞同士の不要な接続を削除し、必要な接続だけを残すメカニズムを、線虫という動物を用いた研究から発見した。本成果は、成長に伴う脳の成熟や、神経変性疾患の理解につながると期待される。**

ヒトの脳では、一千億個以上もの神経細胞が互いに神経突起を伸ばし、複雑かつ精密な神経回路を形成する。このような神経回路がどのようにして作られるかは、生物学における大きな謎のひとつである。近年、脳の発達期にみられる神経突起の“刈り込み”とよばれる現象が、大きな注目を浴びている。脊椎動物では、生まれた直後の脳は未成熟で、個々の神経細胞は正しい相手以外にも多くの神経接続を形成する。ところが成長が進むと、不要な神経突起は排除されていく。この“刈り込み”は、精密な神経回路の構築に重要な過程であると予想されるいっぽうで、関連する遺伝子やタンパク質はほとんど知られておらず、どうやって除去される神経突起と維持される神経突起が区別されているかは不明であった。

多くの生命現象に関する研究がそうであったように、“刈り込み”の仕組みに関しても、単純なモデル生物を用いることで飛躍的な進歩につながることが期待される。もともと“刈り込み”は複雑な脳をもつ動物でしか知られていなかったが、私たちはわずか 302 個の神経細胞しか持たない線虫という動物でも同様の現象が起こることを、世界で初めて見出した。線虫には神経系が単純であることに加え、遺伝子改変が容易であるというメリットがある。このような利点を生かし、私たちはさまざまな遺伝子の破壊や機能亢進が“刈り込み”に及ぼす影響を調べてきた。

私たちは以前、“刈り込み”のさいに不要な神経突起を削除する“ハサミ”の役割を、MBR-1 という細胞内タンパク質が担うことを見出したが、今回は、Wnt という分泌型タンパク質が、維持される神経突起を MBR-1 から守っていることを新たに発見した。Wnt の遺伝子を破壊した変異体では、本来なら削除されないはずの神経突起までもが MBR-1 により削除され、逆に Wnt を過剰に作用させると、削除されるべき神経突起も残った。これらの実験から、神経突起が幼

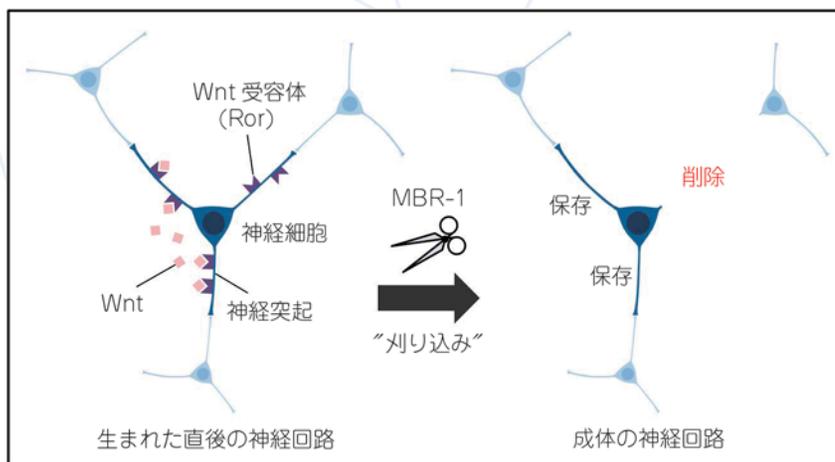
少期に Wnt を捕えることができるかどうかで、その神経突起が成体まで維持されるかが決まることが分かった。Wnt はもともと胎児期の体の形づくりに重要であることが良く知られていたが、今回私たちは、生後の脳発達における Wnt の新たな役割を発見した。なお、Wnt は体の形づくりのさいにはおもに Frizzled という受容体に作用するが、“刈り込み”のさいには Ror という別の受容体を介して働くことも分かった。

脳の発達期には、神経突起の“ハサミ”である MBR-1 と、MBR-1 の過剰な作用から神経突起を守る Wnt やその受容体である Ror が絶妙なバランスを保って働くことで、必要な神経突起はしっかり維持しつつ、不要なものだけをきっちり削除できるものと考えられる(図)。なお、アルツハイマー病やパーキンソン病などに代表される神経変性疾患では、本来起こるべきでない時期や部位で神経突起の削除が起きており、これが脳機能低下の一因となると考えられている。神経突起の削除を防ぐタンパク質を同定したことで、こうした疾患の治療法の開発にもつながると期待される。

本研究成果は Y. Hayashi *et al.*, *Nature Neuroscience*, **12**, 981-987, 2009 に掲載された。

(2009年4月6日プレスリリース)

\*現：理化学研究所 基礎科学特別研究員。



■ 必要な神経接続は保存しつつ不要な神経接続だけを削除するための分子メカニズム

## 世界最高地点の望遠鏡が見た銀河中心のガス雲

本原 顕太郎 (天文学教育研究センター 助教),  
吉井 讓 (天文学教育研究センター 教授)

われわれの住む銀河系の中心部では多量のガスが集積して活発な星形成活動が進んでおり、銀河の形成と進化を明らかにする上でひじょうに重要な場所である。大規模な星形成活動は強い紫外線放射を伴い、それが広範囲にわたって水素ガスを電離する。この電離した水素原子が電子と再結合するさいに放出されるさまざまな遷移輝線が電離ガス、さらには星形成の重要な指標となり、一般的には可視光  $0.65 \mu\text{m}$  のバルマー  $\alpha$  輝線が用いられる。しかし銀河系中心方向は星間塵が濃密に分布しており、これらの光は吸収され見通すことができない。

ところが、星間塵による吸収は波長が長いほど弱くなり、波長  $1 \mu\text{m}$  を超える近赤外線域では銀河中心まで見通せるようになる。この近赤外線域でもっとも強い水素輝線が、 $1.875 \mu\text{m}$  の Pa (パッシュェン)  $\alpha$  である。しかし、ちょうど地球大気の水蒸気による吸収が強い波長にあるため、地上からの観測はほとんど不可能とされてきた。また、大気の影響を受けないハッブル宇宙望遠鏡による銀河中心の Pa  $\alpha$  観測は数例あるものの、その構造を明らかにするほど広範囲なサーベイは行われていない。

この大気中の水蒸気の影響は高高度まで上がることによって急激に低減する。そこで天文学教育研究センターでは、南米チリ共和国の北部、アタカマ砂漠にある標高  $5600 \text{ m}$  のチャナントール山山頂に miniTAO とよばれている口径  $1 \text{ m}$  の光学赤外線望遠鏡を建設し、2009年6月8日に赤外線カメラ ANIR を搭載しての科学的観測を開始することに成功した。これは人類が設置したもっとも標高の高い光学赤外線望遠鏡である。高い標高と地球上でもっとも乾燥したアタカマの気候のおかげで、ここでの Pa  $\alpha$  の透過率は  $60\%$  を超える。

Pa  $\alpha$  による初観測は、ANIR に搭載された狭帯域フィルターで6月9日に行われた。ターゲットはすでにハッブル望遠鏡が Pa  $\alpha$  で電離ガスを検出している銀河中心方向である。当初、筆者自身、検出できるか半信半疑であったが、一枚目に取得した画像でいきなり、見覚えのある電離水素雲の3本腕の渦巻き構造が写し出された。呆気ない地上初検出であった。しかしこの気圧は  $0.5$  気圧程度、酸素吸入を行い、防寒しても寒さがしみこんでくる過酷な環境である。全員疲労困憊の中、筆者の

「やった…写った」という声とともにまばらな拍手が観測室に起こり、そのあとまた淡々と観測が進んでいった。

図がその銀河中心の画像である。右側に見えているのが銀河中心星団とよばれる星の集まりで、中心には射手座 A\* (エースター) とよばれる太陽の  $300$  万倍もの質量の超巨大ブラックホールがあることが知られている。周囲の3本腕の渦構造は、そこで重い星が数多く生まれ、その紫外線が周囲の水素ガスを電離することで光っていると考えられる。

本研究によって、地上からの Pa  $\alpha$  による観測という新しい窓が開かれた。これは、とくに星間塵に隠された銀河系の電離ガスと星形成活動を赤外線観測で地上から探ることが可能となったことを意味し、銀河系の観測研究に大きな威力を発揮する。われわれのグループでは今後、銀河系中心領域のみならず広範囲にわたって同様の観測を進め、天の川銀河の隠された星形成を明らかにして行きたいと考えている。

なお、天文学教育研究センターではこの場所に口径  $6.5 \text{ m}$  大型赤外線望遠鏡を建設する TAO (the University of Tokyo Atacama Observatory) 計画を進めており、miniTAO  $1 \text{ m}$  望遠鏡はその一環である。また、本研究は、2009年日本天文学会秋季年会にて発表される予定である。

(2009年7月2日プレスリリース)



■ 銀河中心の疑似カラー近赤外線画像。Pa  $\alpha$  が橙色で示されている。

# ニュートリノ質量の上限値は正しいか？

酒井 英行 (物理学専攻 教授), 矢向 謙太郎 (物理学専攻 助教)

カルシウム 48 の二重ベータ崩壊過程の理解を目的に、原子核散乱実験を行った。この結果、二重ベータ崩壊の半減期とニュートリノ ( $\nu$ ) の質量を結びつける理論計算に大幅な修正を要することが明らかになった。

近年、カミオカンデ実験グループなどによりニュートリノ振動の強い証拠が観測され、ニュートリノが小さな質量をもつことが確定した。ただし、ニュートリノ振動からわかるのは、型の異なるニュートリノの質量差であって質量そのものではない。質量を求めるために注目されているのが、二重ベータ崩壊とよばれる現象である。

二重ベータ崩壊は原子核の電荷が 2 単位変化する過程で、原子核中で中性子から陽子への変換が 2 度起こると同時に 2 個の電子が放出される。たとえば、 $^{48}\text{Ca}$  (カルシウム 48) 核は、中間核  $^{48}\text{Sc}$  を飛び越して娘核  $^{48}\text{Ti}$  に崩壊する (図)。この二重ベータ崩壊は二種類に分類され、2 個のニュートリノが放出される  $2\nu$  モードとニュートリノが放出されない  $0\nu$  モードとがある。もし、 $0\nu$  モード崩壊の事象が見つければ、標準模型に反して、ニュートリノがマヨラナ粒子 (ニュートリノと反ニュートリノが同一) であることになり、その半減期から、ニュートリノの質量が決まる。このことから、神岡を含め世界十数か所で  $0\nu$  モード二重ベータ崩壊事象の探索が進行中である。しかし、現在に至るまで決定的な観測例はなく、専らニュートリノ質量の上限値が議論的となっている。現在の上限値は 1 eV (電子ボルト) といわれている。

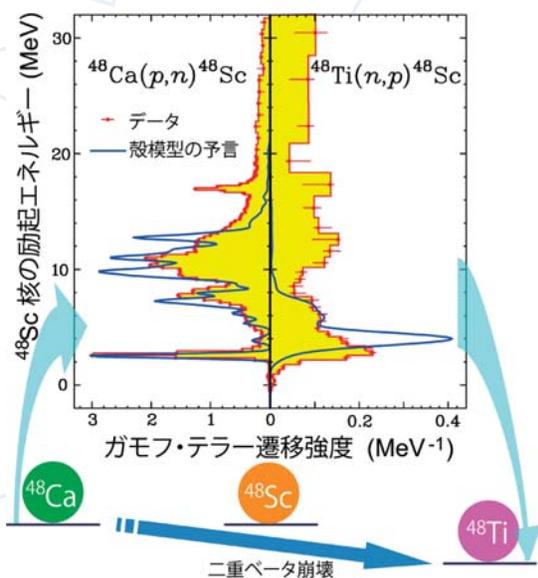
$0\nu$  モード崩壊の半減期とニュートリノの質量を結びつけるのは、原子核内でこの現象の「起こりやすさ」を表す核行列要素とよばれる量である。けれども、この核行列要素を実験的に求めることは不可能で、理論計算に頼らなければならない。残念ながら、理論計算を見渡してみるとおよそ 30 倍 ( $^{76}\text{Ge}$  の場合) の不定性が存在する。それに対して、 $0\nu$  モード崩壊と類似の方法で核行列要素が計算される  $2\nu$  モード崩壊については、半減期が実験的に求まっているので、理論計算と実験値との比較から核構造計算の信頼度を論じることができる。さきに挙げた  $^{48}\text{Ca}$  については、現時点でもっとも精度の高い構造計算である殻模型の予言が、実験的に得た核行列要素とよく一致する。では、殻模型計算の結果は信頼してよいのだろうか？

$2\nu$  モード崩壊の核行列要素は親核と中間核の間のカム・テラー (GT) 型遷移、娘核と中間核との間の GT 型遷移で記述される。これらは荷電交換反応型の原子核散乱で実験的に調べることができる (図)。われわれは、GT 遷移を通して理論計算を評価するため、大阪大学核物理研究センターの加速器施設を用いて、 $^{48}\text{Ca}$  核・ $^{48}\text{Ti}$  核から中間核  $^{48}\text{Sc}$  を生成する測定を行った。得られたスペクトルを解析し、励起エネルギー 30 MeV (メガ電子ボルト) までの高励起状態にわたって GT 遷移強度分布を精度よく求めることに初めて成功した。

得られた GT 遷移強度は、殻模型の予言 (図実線) よりも、高励起状態にまで広がって分布していることが明らかになった。つまり、予想以上に多数の中間状態が核行列要素に寄与しており、殻模型による記述が不十分であることが強く示唆された。二重ベータ崩壊核行列要素の予言精度を向上させるためには、これらの状態を再現する構造計算の開発が必須である。われわれは、この実験データを契機に、新たな理論計算手法が開発されて二重ベータ崩壊の理解が深まり、ニュートリノの質量がより精度よく求められるようになることを期待している。

本研究は、K. Yako *et al.*, *Physical Review Letters*, **103**, 012503, 2009 に掲載された。

(2009 年 7 月 3 日プレスリリース)



実験で得られた GT 遷移強度分布。左パネルは  $^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{48}\text{Sc}$  遷移について、右パネルは  $^{48}\text{Ti} \rightarrow ^{48}\text{Sc}$  遷移について示している。実線は殻模型の予言である。

# 神経地図をつくるための基本原理の解明

今井 猛 (生物化学専攻 特任助教), 坂野 仁 (生物化学専攻 教授)

脳に外界の情報を映し出すためには、神経細胞の軸索を脳に正しく配線しなければならない。軸索の配線位置はどのようにして決まっているのだろうか？

われわれの脳は、五感を通してさまざまな外界の情報を受け取っている。これをささえているのが、脳につくられる「神経地図」である。視覚や嗅覚といった感覚情報は、脳において「神経地図」として2次元的に表現される。たとえば、網膜に映し出された視覚情報は、脳の視覚を司る領域に反転画像として2次元的に表示される。いっぽう、匂いの情報は鼻腔内の嗅上皮において約1000種類の匂いセンサー（嗅神経細胞）によって検出されており、その情報は脳の嗅球とよばれる領域において、1000番地からなる神経地図として表現される（図）。したがって、脳は、「匂い」という情報を「1000番地の神経地図に展開されたパターン」として認識する。

こうした神経地図がつくられるためには、末梢で感覚情報を受け取った神経細胞が、「軸索」とよばれる電気ケーブルを脳に正しく配線する必要がある。その例えとして、1000個の豆電球からなる電光掲示板を想像して欲しい。この電光掲示板に正しく匂い情報を表示するためには、1000個の匂いセンサーから伸びる電気ケーブルを正確に配線しなければならないだろう。こうした軸索の配線は、おもに胎児期の発生過程で生じるが、いったいどのようなメカニズムで配線位置が決まるのだろうか？

神経地図形成に関しては、半世紀近く前にロジャー・スペリー (Roger Sperry) が唱えた「化学親和性仮説」が長らく定説として信じられてきた。わかりやすく説明すると、電気ケーブル（軸索）と豆電球（配線先）のそれぞれには、鍵と鍵穴に相当する目印分子が提示されており、それらの分子の相性で正しい配線が決まるという説である。この説は確かに受け入れやすいものであり、今や多くの神経科学の教科書に書かれている。

しかしながら、われわれは、嗅覚神経地図がつくられるメカニズムはスペリーの説では説明がつかないことに気づいた。

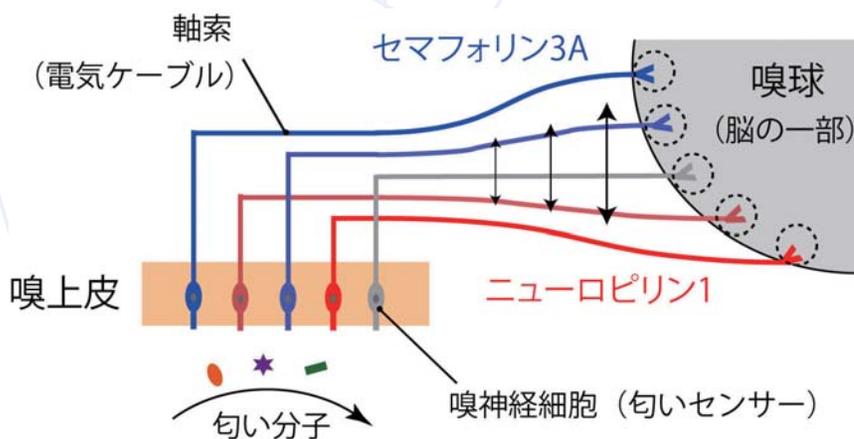
配線先の異なる軸索は、実は配線先にた

どり着くよりもはるかに手前できれいに選り分けられていたのである（図）。また、嗅神経細胞の軸索配線先である嗅球がまったく形成されない変異マウスにおいても、軸索は正しい順序で整列することを確認した。これらの結果は、配線先の目印分子がなくても、軸索同士の相互作用によって神経地図がつくられ得ることを意味している。

さらに本研究では、ニューロピリン1およびセマフォリン3Aという分子が、異なる種類の軸索を区別して整列させるための目印分子として機能していることを見いだした。これらの分子は軸索の種類ごとに異なる量が提示されており、軸索から分泌されたセマフォリン3Aは、ニューロピリン1に対して反発性の反応を引き起こすことで軸索を整列させている（図）。これらの分子が、軸索間で機能していることを証明するため、われわれはコンディショナルノックアウト法という手法を用いた。マウスで特定の遺伝子を破壊するノックアウト法は2007年のノーベル医学生理学賞の対象ともなったが、これを応用して、特定の組織でのみ遺伝子破壊を行うのがコンディショナルノックアウト法である。軸索でのみこれら目印分子を欠失させると、神経地図が正しくできないことを確かめた。

今回の成果は脳の回路形成における新しい基本原理を明らかにしたといえる。本研究は、T. Imai, *et al.*, *Science*, **325**, 585-590, 2009 に掲載された。

(2009年7月10日プレスリリース)



■ 軸索間相互作用にもとづく嗅覚神経地図形成

# 光照射された強相関電子系の解明

辻 直人 (物理学専攻 博士2年), 岡 隆史 (物理学専攻 助教), 青木 秀夫 (物理学専攻 教授)

「強相関電子系」とよばれる一連の物質群は、物質中の電子がひじょうに強くクーロン斥力相互作用をする「電子相関」の効果により、予想もしないような性質が発現する。その代表例が銅酸化物高温超伝導体である。そこでは、結晶中で原子ひとつ当たりに電子がひとつ占める状態では、電子同士が斥力により互いに避けあおうとするため、電子は動けなくなり電気の流れない絶縁体(モット絶縁体)となる(図1左)。そこに別種の元素を混ぜる(化学ドーピングとよばれる)方法により電子の数を増やしてやると電子は動けるようになり(図1右上)、低温では電気抵抗なしの超伝導状態に転移する。別の例では、マンガン酸化物において、やはり電子の数を制御することで、動けるようになった電子の磁気的な相関により絶縁体から強磁性状態にすることができる。このような性質をもつ物質が遷移金属酸化物の中から次々に見つかっており、20年以上にわたって物性物理学の主要なテーマとしてそのメカニズムが解明されてきた。

ところが近年になり、「光」(レーザー)を当てることによって強相関電子系の物性を制御しようというまったく新しい試みがなされるようになった。絶縁状態に光を当てると、電子と正孔(電子が空席になっている所)のペアが生成され、電子が動けるようになる(図1右下)。動けるようになった電子を介して強相関物質の性質を変えられないかというのが「光誘起相転移」のアイデアである。実際、実験では、励起するための光(ポンプ光)を当てた後に別の光(プローブ光)を当てて電子系の性質を観測するポンプ・プローブ分光という手法により観測されている。この分光法の時間分解能が向上したことでさまざまな強相関物質で実験され、光誘起相転移が実現できることが示されてきた。この光誘起相転移は超高速光スイッチングなどの応用も視野に、将来がひじょうに期待されている。

そこで、どのような光をどのような物質に当てたらどんな性質が発現するかを知ることが重要になる。光を当てると電子はエネルギーを吸収し励起され、光を当てていないときの落ち着いた状

態(平衡状態)からはずれた「非平衡状態」に行く。平衡状態では電子がエネルギーの低い準位から順番に詰まって分布する(図2左)が、非平衡状態では多数の電子がどのように分布するかを決める一般的な物理法則が知られていないために、強相関電子系の光励起状態、とくに非平衡分布は未解明であった。われわれの理論グループは、この困難な問題に対して理論的に計算することに世界に先駆けて成功し、強相関電子系の典型的なモデルに適用して解析した。図2中央に示したものが、計算により得られた非平衡分布の様子である。平衡分布とは異なり、単調ではなく波打った特徴的な構造が現れている。波打ちの間隔は光の周波数を反映している。また、ポンプ・プローブ分光により観測される光学伝導度スペクトルを計算し、光を当てると絶縁状態が金属に変わる現象(光学伝導度において、プローブ光周波数のゼロ近傍に正のピークが発達することからわかる)や、「負の光学伝導度」(図2右、反転分布とよばれる、非平衡に特有な状態に対応)といった非平衡現象が、ポンプ光の周波数に応じて現れることがわかった。この結果は、物質の性質を光の周波数を変えることによって制御できる可能性を示している。

われわれのグループでは、電子相関現象のメカニズム解明の逆問題として、望みの性質をもった物質を理論的に設計する「電子相関物質設計」を提唱してきた。今回の研究成果により、「光を用いた物性設計」という考え方に道筋をつけたことになる。つまり、これまで設計材料として考えられてきた結晶構造や結晶を構成する原子の種類だけでなく、光照射という外部刺激を物質に与えることで望みの性質を生み出そうということである。結晶構造や原子の種類を変えるには化学的・物理的に物質をつくり変えねばならないが、光は周波数・強度を外部から変化させることができる制御性をもつという利点がある。この光を用いた物性設計という指針が、物性物理学の新たな地平を切り開くことを期待したい。本研究は、N. Tsuji *et al.*, *Physical Review Letters*, **103**, 047403, 2009 に掲載された。

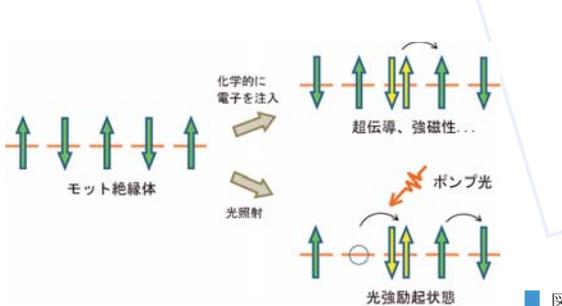


図1: 強相関電子系の相転移の概念図

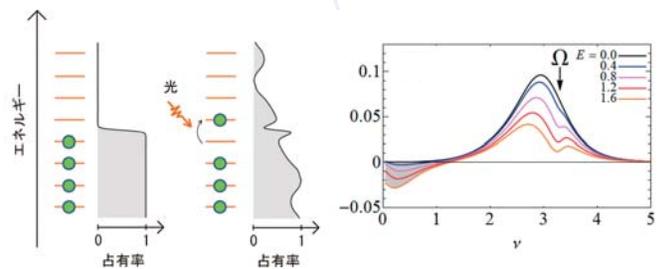


図2: 物質中の電子の平衡分布(左)と非平衡分布(中央)。右は計算により得られた光学伝導度スペクトルの例。プローブ光周波数 $\nu$ のゼロ近傍に負のピークが現れることがわかる。



### 「クロスカップリング」

辻 勇人 (化学専攻 准教授)

有機反応は一般に、プラスを帯びた部分とマイナスを帯びた部分がくっつくように進行する。ここで、プラスの方を求電子剤、マイナスの方を求核剤とよぶ。

クロスカップリング反応は、ハロゲン化アリールとよばれる、ベンゼン環に臭素やヨウ素などのハロゲン原子が結合した物質等を求電子剤、マグネシウム等の典型金属が炭素に結合した有機金属反応剤を求核剤として、遷移金属触媒を用いることで、それぞれの物質中の炭素-ハロゲン結合と炭素-金属を切断し、新たに炭素間に結合を形成する反応の総称である。

先駆的な報告が、1972年に当時京都大学の熊田誠、玉尾皓平らのグループと、

フランスのコリュエらのグループによってなされている。求核剤として有機マグネシウム反応剤、触媒としてニッケル錯体を用いたものであり、この反応は熊田-玉尾-コリュエ反応とよばれている。その後、パラジウム触媒と種々の有機金属反応剤を用いたバリエーションが次々に報告され、それぞれ開発者の名前が冠されている。おもなものに、根岸反応(亜鉛)、鈴木-宮浦反応(ホウ素)、小杉-右田-スティル反応(スズ)、檜山反応(ケイ素)などがある。これを見てわかるように、日本人が開発した反応が多く、日本のお家芸とも言える分野である。

これらの反応は、天然物の全合成や、医薬品、有機電子材料等の機能性物質の

合成に今や欠かせないものとなっており、有機合成のみならず広い分野に波及効果を及ぼすものとしてノーベル賞の対象として期待されている。

最近ではニッケル、パラジウムといった毒性の問題や枯渇のおそれがある金属に替わって、低毒性かつ豊富に存在する鉄を触媒として用いる反応が、化学科の物理有機化学研究室の中村栄一らによって報告されている。また、ハロゲン化アリールの炭素-ハロゲン切断を経由する反応に替わって、ベンゼン類似物質の炭素-水素結合を切断してクロスカップリング生成物を得るという直截的な反応も開発されている。アイアン(鉄)は地球を救う、と期待したい。



### 「ゴルジ体コンセンサス会議」

中野 明彦 (生物科学専攻 教授)

生命の最小単位である細胞の中には、さらに膜に包まれたさまざまな区画—細胞小器官が存在する。ゴルジ体(Golgi apparatus)は細胞小器官の1つであり、その名前は発見者であるカミロ・ゴルジ(Camillo Golgi, 1843-1926)に由来する。ゴルジは、神経組織を顕微鏡観察しているうちに、クロム酸銀によって細胞内の網目構造(ゴルジ体)が染色されることを見出し(1898年)、その業績によって1906年にノーベル生理学・医学賞を受賞した。

ゴルジ体を電子顕微鏡で観察すると、一般的に平たい袋状の膜構造(槽とよぶ)が数枚積み重なった美しい層板構造が見られる。そのおもな機能は、タンパク質の修飾と選別輸送にある。DNAの情報にしたがって細胞質で新たに合成されたタンパク質のうちの半分くらいが、小胞体という細胞小器官にまず一旦移行し、

その後、ゴルジ体を経てさまざまな目的地に配送される。どこに運ばれるかという運命は個々のタンパク質の構造の中に書き込まれており、それを見分けて選別し、正しく配送するというのがゴルジ体のもっとも重要な機能である。

ゴルジ体の層板には方向性があり、小胞体から新たなタンパク質が入ってくる側をシス、目的地に向けて送り出す側をトランスとよぶ。シスからトランスに向けてタンパク質が輸送されるにつれ、糖鎖付加やペプチド切断などのさまざまな修飾が加えられ、タンパク質の構造が成熟し完成することになる。

さて、このゴルジ体層板内をタンパク質はどのように運ばれるのだろうか。個々の槽が安定な区画であり、その間を小さな膜小胞が運ぶという説と、シス側に新しい槽ができ、これがトランス側に

移動しながら次第に性質を変えていくという説が、世界中のゴルジ体研究者を二分して、10数年にわたる大論争が続いていた。生物科学専攻の中野のグループとシカゴ大学のグリック(B. Glick)らは、酵母細胞を用い、ゴルジ体の異なる槽を異なる色の蛍光タンパク質で標識してライブイメージングを行い、槽が時間と共に性質を変えることを示して、この論争に1つの決着をつけた(2006年)。しかし、その分子機構はまだ謎に包まれている。

今年の6月、中野とグリックを含め、ゴルジ体の研究者13名がバルセロナに集まり、ゴルジ体の理解について現在何が不足しているか、今後どのようにして明らかにしなくてはならないかについて徹底的に議論した。ゴルジ体コンセンサス会議とよばれることになったこの会議の合意について、近く出版される予定になっている。



## 「赤方偏移」

土居 守 (天文学教育研究センター 教授)

赤方偏移は、光の波長が伸びて観測される現象を指す。天体現象において赤方偏移を生じる状況は3つに分けられる。第一には天体がわれわれから遠ざかる運動をする場合に、音の場合のドップラー効果と同様に、光の波長が長くなる現象である。天体が近づく場合には波長が短くなり青方偏移となる。第二には宇宙論的な赤方偏移で、宇宙膨張のため、光が飛ぶ間に空間が伸び、波長が伸びて観測される。第三に、強い重力場をもつ天体からの光は、重力ポテンシャルを脱出するさいにエネルギーを失い赤方偏移を生じる。ここで「光」と表現をしているが、実際には電磁波に共通の現象で、相対性理論で理解できる。

宇宙論的な赤方偏移は、遠方の天体の距離を表すことにしばしば用いられる。

宇宙論的赤方偏移が $z$ のとき、光の波長は $(1+z)$ 倍となる。たとえば赤方偏移が1であれば、光が天体を出てわれわれに届くまでに波長が $1+1=2$ 倍伸びている。標準的な宇宙モデルによると、赤方偏移が1の天体から出た光は、約75億年間飛んでわれわれに達するため、距離は約75億光年となる。

人類の知る限りでもっとも最も遠くから届いている光は、宇宙背景放射である。これは赤方偏移約 $10^{89}$ に相当し、約140億年前に出発した光である。ビッグバン後電離水素が再結合する時期の放射で近赤外線にピークをもっていたが、波長が $10^{90}$ 倍に伸びたため、おもに電波で届いている。最遠天体については、いくつか候補が挙げられる。分光観測で赤方偏移が精度良く測られた

銀河では、すばる望遠鏡で国立天文台の家正則教授らが発見した赤方偏移6.96の銀河が最遠である。赤方偏移が7を越えると地球大気の影響で分光観測はたいへん難しくなるが、多色測光データからある程度推定することができ、銀河については測光赤方偏移10程度まで、10個以上の候補が報告されている。またガンマ線バーストとよばれる爆発現象では分光と測光をあわせて得た赤方偏移8.3が最遠である。

赤方偏移を、天体までの距離とともに測定すると、宇宙膨張の速さが時間の関数として測定できる。宇宙背景放射・銀河・超新星などの観測により、宇宙膨張は現在加速してみえ、加速させるための謎のエネルギー源はダークエネルギーとよばれ、たいへん注目をあびている。



## 「量子ホール効果」

岡本 徹 (物理学専攻 准教授)

半導体界面など電子を閉じ込めた2次元平面に垂直に磁場をかけると、電流と直交する方向にホール効果による電圧(ホール電圧)が生じる。ホール電圧と電流との比、すなわちホール抵抗は磁場とともに増えていくが、低温・強磁場下では階段状に増加し、有限の磁場範囲で一定値をとるプラトーが現われる。これが量子ホール効果である。このとき電流に沿った方向の電圧降下は完全にゼロになる。

整数量子ホール効果は、強磁場中の電子の円運動が量子化されてランダウ準位とよばれる離散的なエネルギー・スペクトルが形成されることに起因する。プラトーでのホール抵抗は、プランク定数 $h$ 、電気素量 $e$ および電子に占有されたランダウ準位の本数 $i$ を用いて $R_H =$

$h / i e^2$ と表される( $h / e^2$ は約 $26 \text{ k } \Omega$ )。驚くべきことはその精度で、絶対値は8桁の精度で、また量子化ホール抵抗同士の直接比較測定により普遍性は10桁の精度で確かめられており、1990年より電気抵抗の国際標準として使用されている。

高品質の試料では、 $R_H = h / \nu e^2$ と表したときの $\nu$ の値が $1/3, 2/5, 2/3$ といった分数の場合に対しても、1ケルビン以下の極低温領域においてプラトーが出現する。この分数量子ホール効果は、多数の電子がお互いの斥力を巧みに避けるような量子力学的状態をつくり出すことに起因する。これまでの研究の過程で分数電荷、エニオン、複合粒子などのきわめて重要な概念が導入され、さらに検証実験が行わ

れている。物理学の進展への貢献は、整数量子ホール効果よりも大きいかもしれない。ノーベル物理学賞が、整数量子ホール効果の発見については1985年に、分数量子ホール効果の発見および理論的解明には1998年に贈られている。

最近、単層のグラファイトシート(グラフェン)において電気伝導測定が行われるようになり、整数量子ホール効果が観測された。グラフェン中の電子は質量のない相対論的粒子のようにふるまう。この特異性から今後の研究の進展が大いに期待されている。

量子ホール効果に関連した研究は、理学系研究科では物理学教室の青木秀夫教授のグループ(理論)や筆者のグループ(実験)などで行われている。



## 「仮想化」

萩谷 昌己（情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 教授）

日本語の「仮想」とは違って、英語の virtual には、「本物ではないが、実質的に…だ」という意味がある。virtue には美德のほか、効力とか効能という意味があるので、virtual は、「本物ではないが効能は同じ」という感じだろうか。「仮想化」とは、いうまでもなく、「virtual にする」ことである。情報の分野で頻繁に出てくる言葉である。

たとえば、「仮想メモリ」は半導体メモリが高価だった時代に開発された技術であり、ハードディスクなどのより安価な記憶装置にデータを退避することにより、あたかも、本物の半導体メモリよりもはるかに巨大なメモリが存在するように見せかける。

仮想化はメモリにとどまる技術ではない。コンピュータ全体を仮想化した結果が「仮想マシン」である。少々乱

暴だが、「仮想マシン」とは、ファミコンやゲームボーイなどのゲーム機のエミュレータを効率よくしたような技術である。仮想メモリと同様に、「仮想マシン」も、コンピュータがひじょうに高価だった時代に、1台の本物のコンピュータによって、仮想的にたくさんのコンピュータを提供することを可能にしてくれた。しかし、コンピュータがありふれた現在でも、「仮想マシン」の技術は廃れるどころか、近年、ますます広く利用されるようになっていく。たとえば、VMWare を使っている人は多いだろう。

仮想化されたコンピュータは、実際に使われている部品だけが本物の部品に対応する。使われていない部品は実体がなくてもよい。つまり、仮想化によってコンピュータ全体の利用効率が向上する。

また、部品によっては、ネットワークの向こう側にあっても構わない。つまり、ネットワークでつながれたコンピュータ上にある部品を、自由に組み合わせて、その時々に必要な仮想的なコンピュータを構成することができるのである（クラウドコンピューティング）。

コンピュータの構成技術を中心に解説したが、仮想化という言葉は、情報技術全体を代表していると言っても過言ではない。仮想現実（virtual reality）とは、本当の現実ではないが、現実のような世界を、コンピュータグラフィックスやセンサーを用いて実現する技術の総体を意味する。ここにおいて、virtual という言葉は意味深である。なぜなら、本物ではないが、人間にとっては実質である、という主張が含まれているからである。



## 「双対性」

加藤 晃史（数理科学研究科 教授）

1つの対象に対し2つの等価な記述法が存在するとき、2つの記述法を取り替える操作を双対<sup>そうついで</sup>とよぶ。より一般に、2つの記述法（概念・理論・モデル・…） $\mathcal{A}$ 、 $\mathcal{B}$  が、どちらも同じ対象を表す（と信じられる）とき、 $\mathcal{A}$  と  $\mathcal{B}$  は互いに双対であるという。双対性は知りたい対象について特定の記述法を越えた深い構造を浮かび上がらせるため、数学や物理の最前線で活発に研究されている。

射影幾何学の双対原理は古くから知られている：「射影幾何学においてある命題が成立すれば、『平面』と『直線』、『含む』と『含まれる』を交換した命題（双対命題）もまた成立する」。記号論理学（Boole 代数）における双対原理も、その特別な場合である。

フーリエ変換も双対性の典型的な例である。量子力学の用語を借りれば、位置を対角化する基底から、運動量を対角化する基底に移るといふ、基底の取り替えがフーリエ変換である。この場合、双対性は「粒子と波動の相補性」を意味する。状態ベクトルという基底によらない概念の導入により、波動力学と行列力学がどちらが正しいかという不毛な議論は過去のものとなった。

数学では図形  $\mathcal{X}$  を調べるさい、 $\mathcal{X}$  のホモロジーとコホモロジーという2つの代数的対象を考える。前者は部品（単純な図形）から  $\mathcal{X}$  へ向かう写像を用いて、後者は逆に  $\mathcal{X}$  から部品へ向かう写像を用いて定義される。この両者も双対的な概念であり、情報量として

は同等であることが期待される。実際、 $\mathcal{X}$  がコンパクトかつ向き付け可能な多様体の場合、両者が互いに双対であるというのがポアンカレ（Poincaré）双対性定理の主張である。より一般の特異点をもつような図形の場合に双対性を拡張するのは重要なテーマである。

群論において、その共役類を考えることと既約表現を考えることは双対性的一种であり、フーリエ変換の非可換版と見なすことができる。有限群の場合、両者は個数が一致し、指標表という基底の取り替え行列で結びついている。ポントリャーギン（Pontryagin）やラングランズ（Langlands）双対性はその発展形で、場の理論の双対性とも深い関係があり、大きな注目を集めている。

## 竹内慶夫先生のご逝去を悼む

村上 隆 (地球惑星科学専攻 教授)

本学名誉教授、竹内慶夫先生(鉱物学専攻\*)はご療養中のところ2009年7月5日にご逝去されました。享年85歳でした。先生は東京帝国大学理学部鉱物学科をご卒業され、東京大学で、助手、講師、助教授、教授を務められました。昭和59年(1984年)に東京大学を停年退官された後も、日本大学で教鞭を執られていました。

先生の専門分野は結晶学、鉱物学で、この分野において多くの先駆的な業績をあげられました。硫酸鉱物やケイ酸塩鉱物の構造解析のみならず、構造決定法の開発や鉱物の多形についての理論の発展の基礎を作られました。これらの成果をふまえて提出された「トロポケミカル双晶」という概念と無機同族列形成の結晶化学的な解明は統一的な結晶構造の原理

としての金字塔といえます。先生は平成9年(1997年)の「TROPOCHEMICAL CELL-TWINNING」という本にこの成果をまとめられています。

先生は数多くの院生、学生を育てられるとともに、学会活動にも熱心で、日本結晶学会会長、日本鉱物学会会長を歴任されました。いっぽう、国際的にも国際回折データセンター(米国)と40年近く協力活動を行われ、学術、とくに結晶学、鉱物学の分野の発展に大きな貢献をされてきました。その貢献に対し、平成5年(1993年)に国際回折データセンターの特別功労者賞、平成13年(2001年)に勲三等瑞宝賞を授与されました。

私事ではございますが、十数年前、私が本学に教員として戻って来たとき、先生はわざわざ私のところに出向かれて、



■ 故・竹内慶夫先生

その喜びを伝えられました。また、2、3年前、先生が「セレンディピティ」の語源となったおとぎ話を翻訳、出版されたとき、先生の奥様も一緒に食事をしました。先生は終始ご機嫌でした。これらは私のよい思い出になっています。竹内慶夫先生のご冥福を心からお祈り申し上げます。

\* 現在は地球惑星科学専攻に改組。

## 東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(※)は原著が英文(和訳した題名を掲載)

種別	専攻	申請者名	論文題目
<b>2009年6月29日付学位授与者(1名)</b>			
課程	生化	佐々木桃子	概日時計発振系における哺乳類 BMAL2 による転写制御
<b>2009年6月30日付学位授与者(1名)</b>			
課程	生科	深澤 太郎	脊椎動物の器官再生能を規定する免疫応答に関する研究(※)
<b>2009年7月17日付学位授与者(1名)</b>			
課程	生科	高田 仁実	アフリカツメガエル胚初期発生における RNA 結合タンパク質 Mex3b の転写後制御の解析(※)
<b>2009年7月31日付学位授与者(1名)</b>			
課程	地惑	関 克隆	非正常衝撃波に関する観測的研究(※)

## 人事異動報告

異動年月日	所属	職名	氏名	異動事項	備考
2009.7.16	物理	助教	遠藤 基	採用	
2009.8.15	地惑	准教授	岩森 光	辞職	東京工業大学大学院理工学研究科教授へ
2009.9.1	物理	技術職員	八幡 和志	採用	

## 第 16 回東京大学理学部公開講演会のお知らせ

広報委員会

今年はガリレオが望遠鏡を使ってから 400 年、ラボアジエが化学原論を出版してから 220 年、そしてダーウィンが生まれてから 200 年になる。そこで「ガリレオ・ダーウィン・ラボアジエから現代の理学へ」を今回のテーマとした。彼らの成果を基礎として近代科学は発展してきた。それらを受け継ぐ現代の望遠鏡や顕微鏡によって明らかになった理学の最前線を紹介する。

「南米アタカマ砂漠から探る見えない銀河の誕生」	河野孝太郎（天文学教育研究センター 教授）
「朝の光と朝ごはん：体内時計の時刻リセット」	深田 吉孝（生物化学専攻 教授）
「百聞は一見に如かずー顕微鏡で見る有機化学ー」	中村 栄一（化学専攻 教授）

**日 時** 2009 年 11 月 8 日（日）14:00～16:30（13:00 開場）  
終了後、講演者との歓談の時間を設けます。

**会 場** 東京大学本郷キャンパス 安田講堂  
（東京都文京区本郷 7-3-1）

**入 場** 無料。事前申込不要。どなたでもご参加いただけます。

**定 員** 700 名（当日先着順）

**中 継** インターネット配信を予定。

**主催・問い合わせ先** 東京大学大学院理学系研究科・理学部広報室

TEL：03-5841-7585 E-mail：kouhou@adm.s.u-tokyo.ac.jp

URL：http://www.s.u-tokyo.ac.jp/PL16

## あとがき

この 4 月から広報誌編集委員をおおせつかりました化学専攻の島田と申します。牧島委員長をはじめとして、委員の方々が記事の提案や原稿の吟味をととも熱心にされているのに感銘を受けました。

本号では、理学の宝物コーナーで、長年疑問に思っておりました化学本館の「重力基準点」について取り上げさせて

いただきました。大久保先生の記事にありますように、予想どおり由緒のあるものでした。化学専攻の田隅名誉教授にも情報をいただき、メートル原器が一時理学部に保管されていたことなど、興味深い事実を教えていただきました。ご協力いただいた方々にこの場をおかりして感謝申し上げます。

表紙に「重力基準点」と一緒に写っているのが広報誌担当の加藤さんです。表紙レイアウト・段組も変わり、毎号改善が加えられています。最新の研究情報の編集にも努力が払われています。歴史ある「理学部ニュース」の発展を祈りつつ、微力ながら協力させていただきます。

島田 敏宏（化学専攻 准教授）

第 41 巻 3 号

発行日：2009 年 9 月 20 日

発 行：東京大学大学院理学系研究科・理学部

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

編 集：理学系研究科広報委員会所属 広報誌編集委員会（e-mail：rigaku-news@adm.s.u-tokyo.ac.jp）

牧島 一夫（物理学専攻）maxima@phys.s.u-tokyo.ac.jp

横山 央明（地球惑星科学専攻）yokoyama.t@eps.s.u-tokyo.ac.jp

野崎 久義（生物科学専攻）nozaki@biol.s.u-tokyo.ac.jp

島田 敏宏（化学専攻）shimada@chem.s.u-tokyo.ac.jp

斉藤 直樹（庶務係）nsaito@adm.s.u-tokyo.ac.jp

加藤 千恵（庶務係）c-kato@adm.s.u-tokyo.ac.jp

広報・科学コミュニケーション：

横山 広美 yokoyama@sp.s.u-tokyo.ac.jp

HP 担当：

柴田 有（情報システムチーム）yuu@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン：

大島 智（情報システムチーム）satoshi@adm.s.u-tokyo.ac.jp

印刷・・・三鈴印刷株式会社

## 2 代目重力基準点



図1：手前は安田講堂裏御殿下運動場に隣接していた「基線尺並振り室」、奥は地震計が置いてある耐震家屋（国立科学博物館蔵）。現在の理学部4号館，化学本館付近。

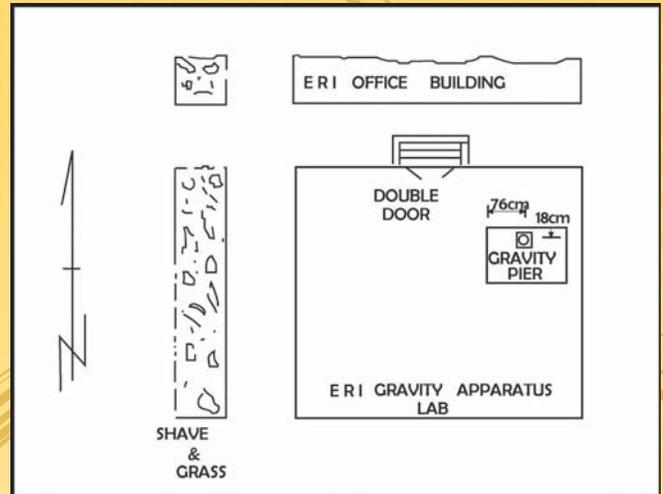


図2：国際重力局に残されている1961年当時の「点の記」（Site Description）。ERIは地震研究所の略号。

## 現在の重力計



図3：自由落下方式の絶対重力計 FG5（地震研究所提供）



図4：スプリング型の LaCoste&Romberg 相対重力計（地震研究所提供）

～発掘 理学の宝物「三四郎の置土産～重力基準点」より～