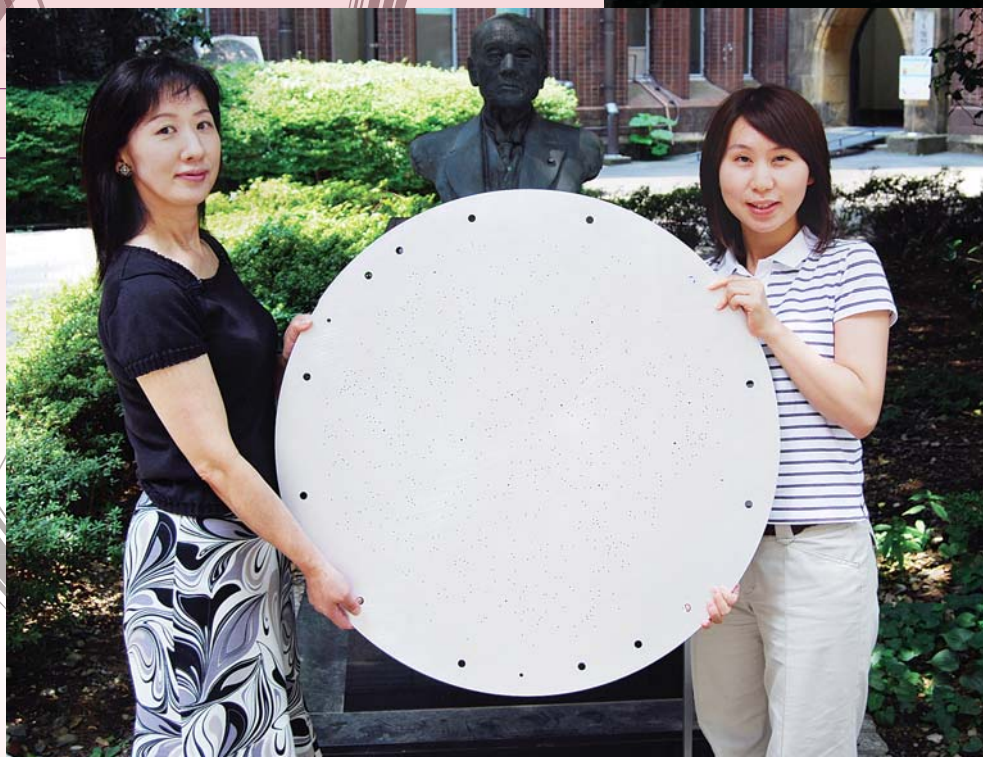




# 東京大学理学系研究科・理学部ニュース

2008年9月号 40巻3号

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



穴あきアルミ板から夜空のムコウを見る  
～発掘 理学の宝物より～

## トピックス

グローバル COE「未来を拓く物理科学結集教育研究拠点」の採択	内田 慎一(物理学専攻 教授) ……………	3
海洋メタンハイドレートの国際共同研究始まる	松本 良(地球惑星科学専攻 教授) ……………	3
大盛況だった理学部オープンキャンパス 2008	常行 真司(物理学専攻 教授) ……………	4
オープンキャンパス講演会レポート午前の部「原子を見る目, 操る手 ~ 表面的ではない表面科学 ~」	広報誌編集委員会 ……………	5
オープンキャンパス講演会レポート午後の部「細胞の中はまさに小宇宙 ~ 細胞内の“動き”に迫る ~」	広報誌編集委員会 ……………	5
小林俊行教授のフンボルト賞受賞を祝して	桂 利行(数理科学研究科 教授) ……………	6
米澤明憲教授がダール・ニゴール賞を受賞	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) ……………	6

## 第3回 発掘 理学の宝物

穴あきアルミ板から夜空のムコウを見る	須藤 靖(物理学専攻 教授) ……………	7
--------------------	----------------------	---

## 第3回 理学から羽ばたけ

ナノを使って新しい色を作る	岩越あや子(日本ペイント株式会社) ……………	8
理学と工学の融合による産業貢献	紋川 亮(東京都立産業技術研究センター) ……………	9

## 研究ニュース

半導体スピントロニクス材料の複雑な磁性	藤森 淳(物理学専攻 教授) ……………	10
気体分子の向きを描える新手法を開発	酒井 広文(物理学専攻 教授) ……………	11
樹齢 2000 年の屋久杉を使って太陽活動の歴史を探る	宮原ひろ子(地球惑星科学専攻 日本学術振興会特別研究員), 横山 祐典(地球惑星科学専攻 講師) ……………	12
水中での有機合成における革新的技術を開発	小林 修(化学専攻 教授) ……………	13
鉄系新高温超伝導体の理論を提唱	青木 秀夫(物理学専攻 教授) ……………	14

## 連載：理学のキーワード 第15回

「高温超伝導」	小形 正男(物理学専攻 教授) ……………	15
「逆問題」	山本 昌宏(数理科学研究科 准教授) ……………	15
「生体鉱物」	小暮 敏博(地球惑星科学専攻 准教授) ……………	16
「不完全性定理」	角谷 良彦(情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 助教) ……………	16
「水メーザー」	河野孝太郎(天文学教育研究センター 准教授) ……………	17
「サイクリックボルタンメトリー」	久米 晶子(化学専攻 助教) ……………	17

## お知らせ

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14回東京大学理学部公開講演会「過去を知る理学」のお知らせ	広報誌編集委員会 ……………	19

- 表紙 左下：スローンデジタルスカイサーベイの分光観測で用いられた穴あきアルミ板。いつもは物理学専攻教務を支えていただいているお二人に、今回は特別に山川健次郎氏胸像前で理学の宝物であるアルミ板を支えていただいた。理学部の宝物4点セットと呼ぶべき写真である。
- 右上：米国ニューメキシコ州にあるアパッチポイント天文台から見上げた夜空。この夜空一面を約2500枚の穴あきアルミ板を通して宇宙地図が作成された。望遠鏡の近くに生えている木がシルエットとして写っている(韓国高等研究所 Changbom Park 教授 撮影)。

## グローバル COE「未来を拓く 物理科学結集教育研究拠点」 の採択

内田 慎一（物理学専攻 教授）

「グローバル COE」2年目にあたる平成 20 年度は、東京大学から 10 拠点が採択された。理学部・理学系研究科に關係する「数学・物理学・地球科学」分野からの採択は「数学新展開の研究拠点」（数理解学研究所）と、ここに紹介する「未来を拓く物理科学結集教育研究拠点」の 2 つであった。

本拠点は、理学系と工学系の二つの 21 世紀 COE を融合的に発展させ、大学院教育の一層の充実を目指す。

拠点には、理学系研究科（天文学専攻と物理学専攻）、工学系研究科、新領域創成科学研究科の物理学に関連した専攻が結集している。関連部局として、宇宙線研究所、物性研究所、生産技術研究所、先端科学研究センター、数物連携宇宙研究機構を含み、教員 350 名、博士課程学生 400 名におよぶ巨大研究拠点が形成されたことになる。大学院生、とくに博士課程学生の生活・研究基盤を充実させ、「基礎科学の礎としての物理学の深化と展開を担う人材の育成」、「グローバル社会を先導する物理人材の育成」、「産業の変革と創造を担う物理人材の育成」を 3 本の柱として拠点事業を展開する。

物理学は、自然現象の根源を探索する

学問であるとともに、新技術を開拓し新産業を創出する上で根幹となる知と技の源泉である。東京大学は、現在、世界に傑出した数と質の物理科学の研究者群を擁しており、世界の研究をリードし、広く基礎学術分野から産業界まで、優れた人材の供給源となっている。一方で、分野の高度化、専門化が極端に進み、問題を俯瞰的にとらえ本質を見抜く力を鍛えることがこれまで以上に重要となってきた。そのために、東京大学の研究水準、規模、人的資源を最大限に活用し、基礎・応用分野の融合をはかり、キャンパス外との交流・体験を通じ、博士課程大学院生に「発想の次元の拡大」を促す教育・研究プログラムを実行するのがこの COE 拠点である。

## 海洋メタンハイドレートの 国際共同研究始まる

松本 良（地球惑星科学専攻 教授）

地球惑星科学専攻の地球生命圏／地圏環境進化グループを中心とする研究グループ（TEAM UT04）は、ブラジル国営石油公社ペトロプラスと本年より 4 年間の共同研究プロジェクトを発足させた。

写真は調印式のもので、中央がペトロプラス研究センターのアドリアーノ・ヴィアーナ博士（Dr. Adriano Viana）と山本研究科長。ペトロプラスはブラジル国内や西アフリカ沖などで探査開発事業を展開しており、世界で 8 番目にランクされる石油メジャーである。ブラジル沖合にはメタンハイドレート資源が広く分布している。今回の東大との共同研究プロジェクトのペトロプラス側の目的は、TEAM UT04 が進めている海洋のメタンハイ

ドレートに関する学術調査に参加することで、ブラジル沖のメタンハイドレート開発プロジェクトを担う人材を養成することにある。

これまで TEAM UT04 は、直江津沖～北海道奥尻沖など日本海東縁でメタンハイドレート試料を多数回収し、海底から立ち上がる大規模なメタンバブルの柱（メタンブルーム）を発見するなど、海洋のメタンハイドレート

の起源と分布について新知見を明らかにしてきた。ペトロプラスとの共同研究では、石油メジャーとしての卓越した探査技術とノウハウが海洋のメタンハイドレートの理解を質的にも量的にも深化させるだろう。若手研究者の人材交流も重要な柱と謳われており、本共同研究がメタンハイドレートの研究と教育の両面で大きな成果を上げることが期待される。



ブラジル国営石油公社ペトロプラスとの調印式での記念撮影

## 大盛況だった理学部オープンキャンパス 2008

広報委員長 常行 真司(物理学専攻 教授)

自分の高校時代を振り返ってみると、大学がどんなものなのかまったくわからなくて、大学生といえば三四郎、大学教授は「吾輩は猫である」に登場する寒月先生並みの浮世離れた変人、というイメージを持っていたように記憶している。広報委員会・広報室で企画する「高校生のためのサイエンスカフェ」や「visit 東大理学部プログラム」、「理学部公開講演会」など、最近は高校生が理学部の研究にふれられる機会も増えたが、来場者の人数でも受け入れ側の体制でもずば抜けて規模が大きい企画といえば、東京大学オープンキャンパスの一環として行われる「理学部オープンキャンパス」である。

2008年の理学部オープンキャンパスは、7月31日(木)に開催された。用意された企画は学生による2回の小柴ホール講演会、各学科の教員による7会場15回の講演会、30を超える展示、20箇所を超える研究室ツアーなど多種多彩であった。来場者は昨年とほぼ同数の約2700人(受付票記入者)で、これは東大オープンキャンパス本郷地区参加者7000人の約4割にあたる。理

学部これだけ集中したのは、企画の豊富に加え、他部局の多くの企画と違って事前申し込みが一切不要という受け入れ態勢の柔軟さのためだろう。講演会はすべての会場、すべての回がほぼ満席で、一部立ち見もありという大盛況だった。各学科ではこのほかに「コミュニケーションスペース」を設けて、中高生が大学生に自由に質問をぶつけられるようになっていたが、とくに今年は男女共同参画委員会の新企画として「リガクル♡ミラクル女子中高生のための相談コーナー」が設置され、待ち行列ができるほどの人気だった。天候に恵まれ、全体的に事故もなくひじょうに順調で、トラブルといえば2300部も用意してあったパンフレットが予想を超えた来場者に底をつくという、うれしい誤算があったことくらいである。

理学部オープンキャンパス実施にあたっては、実行委員長の小形正男教授、広報室の横山広美准教授、平賀勇吉事務長が中心となって、綿密な準備と人の手配がなされた。運営マニュアルの作成、充実したパンフレットの発行、各号館受



地球惑星科学専攻の展示(理学部1号館3階336号室)

付の設置、色テープによる動線の表示、建物内には指示板を貼り、各企画入口には昨年用意した大きな旗を掲げる、というところまでが前日の準備である。理学部総合受付付近には、昨年のオープンキャンパスを契機に結成された学生団体"Oto1(ゼロトウワン)"の皆さんが、印象的な展示を用意してくださった。当日は受け付けでのパンフレット配布、アンケート回収に加え、各号館への見学者の誘導・引率、行き先に迷う高校生への声かけ、企画への呼び込みなど、各学科TA、理学部事務局、広報室、情報システムチームの皆さん、企画担当の教員が、理学部マークとともに「解かれていない謎がある」という今年のキャッチフレーズの書かれた山吹色のTシャツを着て走り回ってくださった。運営にご協力くださった皆さんに、この場を借りて心よりのお礼を申し上げたい。



理学部1号館1階ピロティの受付のようす



リガクル♡ミラクル女子中高生のための相談コーナーのようす

## オープンキャンパス講演会レポート午前の部 原子を見る目、操る手 ～表面的ではない表面科学～

広報誌編集委員会

毎年好評のオープンキャンパス講演会も今年で4年目を迎え、恒例となりつつある。今年も例年に劣らず、大勢の高校生が詰めかけ、小柴ホールを埋め尽くした。

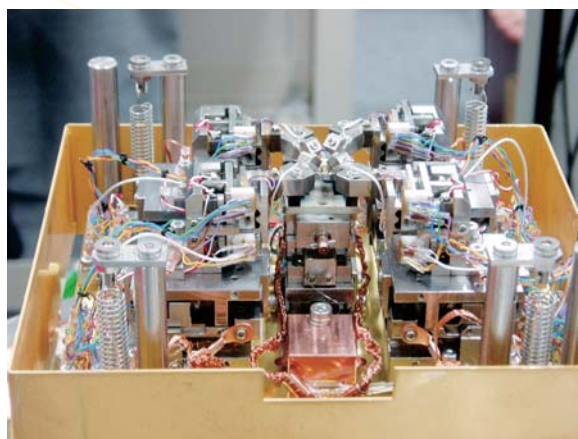
午前の部は、物理学専攻博士2年の永村直佳さんの講演であった。「表面科学ってあまり知られていないんです」。永村さんは表面科学の研究とその重要性を知ってもらうため、「なぜ“表面”なのか？」ということ、携帯電話の中に使われている極小デバイスや、エコカーの燃料電池の触媒研究などを例に挙げて話をした。司会役を務めたのは、

同じ物理学専攻博士2年の榎戸輝揚さん。榎戸さんは、永村さんから投げかけられる質問に、高校の教科書に出てくる内容で正しく答えるなど、講演を脇から支えた。

講演では永村さん自身の研究や普段の研究生活についても紹介された。永村さんの研究室には、世界最先端の装置がある(図)。つい最近までは世界にひとつしかなかったものだ。永村さんの研究はそれを使って行われたものだというのも高校生の目には魅力的に映ったことであろう。

永村さんは普段、実験をしたり、研究室のメンバーと熱く議論したり、研究成果を学会や論文で発表したりするという研究生活を送っている。

一方で学会の空き時間に観光したり、スポーツで汗を流したり、研究室メンバーの誕生日を祝ったりなどして学生生活を満喫している。高校生にとっては具体的に先輩から話を聞くことで自分の将来像を思い描く助けになったことであろう。



■ 世界最先端の「4探針STM装置」の内部

## オープンキャンパス講演会レポート午後の部 細胞の中はまさに小宇宙 ～細胞内の“動き”に迫る～

広報誌編集委員会

午後の部は、生物科学専攻博士研究員の小田祥久さんの講演であった。生物科学専攻修士1年の近藤侑貴さんが司会を務めた。午後も立ち見が出るほどの盛況ぶりであった。

小田さんは、今年6月に行われた、第4回高校生のためのサイエンスカフェ本郷でも同じ内容で講演している(理学部ニュース2008年7月号P.5)。今回はオープンキャンパスに合わせてより親しみやすくアレンジして講演に臨んだ。

今回も小田さんお気に入りの蛍光顕微鏡をもち込み、蛍光タンパク質を使って赤や緑に光らせた植物細胞中の小器官がダイナミックに動くようすを前方スクリーンに映し出した。細胞を観察するた

めに染色すると細胞は死んでしまうが、蛍光タンパク質を遺伝子に導入しても細胞は死なない。小田さんは、生きた細胞の動きを直接観察できる研究のおもしろさを高校生たちに伝え、同時に蛍光タンパク質の導入が成功するまでに何日も何ヶ月もかかる研究のたいへんさも伝えた。

小田さんは子供の頃から水草が好きだった。水槽に揺れる水草を見ている

だけで何時間も時間が流れた。クラスみんなの前で水草について1時間もの間熱く語ったこともある。今回の講演では、それ以上に夢中になるほどサイエンスはおもしろいということ、高校生の皆さんに伝えたかったと語った。

研究生活がよくわかるよう、小田さんの研究室がある理学部2号館や、学生・研究員の部屋のように、小田さんのデスクまわりの写真も紹介された。



■ 小田さんは子供の頃から水草が好きだった。

## 小林俊行教授のフンボルト賞受賞を祝して

■ 桂 利行 (数理科学研究科 教授)

本学数理科学研究科の教授で理学部数学科主兼担である小林俊行教授が、2008年度のフンボルト賞(数学部門)を受賞しました。この賞は、後世に残る業績を挙げ今後も活躍が期待される研究者に贈られるドイツの国際学術賞で、本学理学部関係者としては、過去に物理部門で小柴昌俊特別栄誉教授(1997年)、有馬朗人元総長(1988年)などが受賞されています。

小林教授は、無限次元における対称性の破れを代数的に記述する数学理論、リーマン幾何学の古典的な枠組みを超えた不連続群の理論、複素多様体における可視的作用の理論など、代数・幾何・解析にまたがる壮大な理論を次々と創始

し構成することに成功しており、数学の新しい研究領域を独創的な手法によって開拓し、数学研究の新しい流れを生み出したことが国際的に評価されて今回の受賞に至りました。

小林教授の研究の特徴は、まったく新しい切り口、物の見方を提示することによって、新しい研究テーマ、研究分野を切り開くとともに、理論の基礎を完成させることにあります。研究分野の近い大島利雄教授の解説によれば、「小林教授の独創的な研究に触発され、リー群を鍵とした代数・幾何・解析にまたがるまったく新しい研究分野が世界的に展開し始めており、今後もこの分野の世界的なリーダーとして研究を進展させて行くことが期待されている。」とのこと。小林教授の研究に対する情熱はこんこんとわく泉のごとく枯れることを知らず、数多くの海外からの招待講演・基調講演を精力的にこなされています。



■ 小林俊行教授

本学の卒業生でもある小林教授は、助手時代から現在に至るまで、学生の教育にも献身的に尽くされています。小林先生には、どうか健康に留意しつつ、今後ますますご活躍されますよう、祈念いたします。

## 米澤明憲教授がダール・ニゴール賞を受賞 -仮想世界を動かす並列オブジェクト-

■ 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)

オブジェクト指向技術のための国際学会(AITO)が2004年に創設した「ダール・ニゴール賞」は、オブジェクト指向技術の分野において卓越した功績を残した人物に与えられるもっとも権威ある賞である。本賞(シニア賞)と若手へのジュニア賞があるが、今年の本賞の受賞者が情報科学科の米澤明憲教授である。米澤教授は歴代4人目の受賞者であり、アジアからは初めての受賞となる。

O.-J. ダール(Ole-Johan Dahl)とK. ニゴール(Kristen Nygaard)は、現在のオブジェクト指向技術の元祖というべきプログラミング言語Simulaを

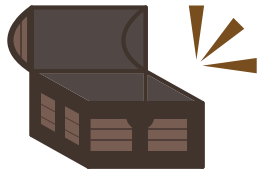
開発した研究者であり、彼らにちなんで創設された「ダール・ニゴール賞」は、オブジェクト指向技術、さらには、現代的なプログラミング言語を研究するものにとって、最高の栄誉というべき賞である。

これまでの本賞の受賞者には、ETHのB.マイヤー(Berbrand Meyer)、マイクロソフトのL.カルデリ(Luka Cardelli)がいるが、米澤教授は、とくに並列オブジェクト指向言語を中心に、型システムなどの基礎理論から並列計算機上における実装技術に至るまで、幅広い理論的かつ実践的研究を行うとともに、この分野の数多くの研究者を育てたことが、世界的に高く評価され今回の受賞となった。米澤教授がMIT時代より長年に渡って研究を続けて来た並列オブジェクトの技術は、計算機科学を支える基盤技術のひとつとして確立している。たとえば、仮想世界のひとつ



■ 米澤明憲教授

であり、世界中に数百万人のユーザがいるリンデン社の「セカンドライフ」システムにおいては、いまま仮想世界の中で、数百万というアバター(化身)が並列オブジェクトとして動き回っているの



## 穴あきアルミ板から夜空のムコウを見る

須藤 靖 (物理学専攻 教授)

一面にわたり約 600 個の穴があげられた、直径 80 cm、厚さ 3 mm、重さ 4.5 kg のアルミ円盤があります。さてこれは何に用いられたものでしょうか？

もちろん関係者以外でこれに答えられる人がいるとは思えません。仮にいたとしたら顔を拝みたいくらいです（といっても本当に私の部屋を訪ねて来たりしないでくださいね）。正解は、国際共同天文観測プロジェクト「スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS: Sloan Digital Sky Survey)」で用いられた遠方銀河の「覗き穴」です。宇宙の果てを探るといふ天文学の最前線の研究において、この面妖な穴あきアルミ板（表紙左下写真）が果たした役割を紹介するのが本稿の目的です。

知らない場所を訪問する場合には、あらかじめ地図を頼りに大まかな道順を頭に入れておくことは必須です。これは天文学においても同様です。高い角度分解能を誇る大望遠鏡の視野は高々  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  程度、全天の立体角のわずか 20 万分の 1 程度でしかありません。空にむかってやみくもに望遠鏡を向けたのでは、よほどの強運の持ち主でない限り興味深い天体を偶然観測できるはずはありません。あらかじめ天球上のどこにどのような天体があるのかを下調べして宇宙地図を作成しておくことが重要です。宇宙地図は、未知の領域を開拓し大局的な宇宙の構造を浮かびあがらせることで、宇宙の過去から現在に至る進化史を俯瞰し宇宙の初期条件を再現するための本質的な統計データでもあります。この宇宙地図（裏表紙 a）を作成することを目的とした世界最大のプロジェクトが SDSS なのです。<sup>注1)</sup>

SDSS は米国ニューメキシコ州アパッチポイント天文台にある口径 2.5 メートルの専用望遠鏡を用いた、全天の約 1/4

に対応する領域の可視光での天体サーベイです（裏表紙 b）。もともとは 1980 年代末にアメリカで提案されたものですが、1991 年にプリンストン大学から共同研究の打診を受け、日本参加グループ (JPG: Japan Participation Group) が結成されました。1992 年 2 月にアルフレッド・スローン財団からの援助が決定し、日米共同プロジェクトとしての SDSS がスタートしました。発足時の JPG メンバーは 11 名でしたが最終的には 14 名となり、うち 7 名が本理学系研究科の教員です。<sup>注2)</sup> 2001 年から 2005 年の第一期観測、さらに 2005 年から 2008 年の第二期観測を終え、23 等より明るい銀河 1 億個、クエーサー候補 100 万個の天球上の 2 次元地図 (5 色の測光データ)、さらに 18 等より明るい銀河 90 万個、19 等より明るいクエーサー 10 万個の 3 次元地図 (分光スペクトルデータを含む) が完成し、そのデータはほとんどがすでに一般公開されています。

ここでやっと穴あきアルミ板の説明となります。SDSS ではあらかじめ測光観測によってある明るさ以上の銀河とクエーサーを選び出し、スペクトルを観測する分光ターゲットとします。しかしこれらをひとつずつ分光観測していたのでは膨大な時間がかかってしまいます。そこで、すでに測定されたターゲットの天球上での位置に合わせて 640 個の穴を開けておき、そこから得られる天体の光を光ファイバーで分光器まで伝えるという多天体分光装置（裏表紙 c）が用いられたのです。つまり、並列観測によって 600 倍を超える効率アップを達成したことになります。

実は JPG は、正確さが要求される穿孔作業代込みで一枚あたり約 700 ドルのアルミ板を計 1200 枚以上 SDSS



■ スローンデジタルスカイサーベイ 2.5m 望遠鏡

に提供しました。しかし厳密に言えば、これらのアルミ板は観測しない領域を覆い隠しただけであり、われわれが購入したアルミをわざわざ取り除いた穴こそが、実際に夜空のムコウを覗く本当の窓の役割を果たしたことになります。

穴あきアルミ板は、それぞれが天球のある領域に対応したまさに世界で一枚のユニークなものですが、観測が終了したのちは、もはや単なるアルミの塊以上の価値はありません。そこでビッグバン宇宙国際研究センターでは、実際の観測に用いたアルミ板 100 枚を日本国内の教育・研究施設に無料で配布することにしました。パブリックアウトリーチ活動などに有効に利用していただけることが唯一の条件です。それぞれのアルミ板に対応する天球領域の宇宙地図も添付する予定です。興味のある方は、アストローツ (<http://www.astroarts.co.jp/>, tel: 03-5790-0871) までお問い合わせいただければ幸いです。

注 1) 嶋作一大「銀河進化の謎」(UT Physics 4: 東京大学出版会, 2008) に SDSS の詳しい説明があります。

注 2) 所属は、宇宙線研究所および理学系研究科のビッグバン宇宙国際研究センター、物理学専攻、天文学専攻、天文学教育研究センターにまたがっており、まさに理学系研究科を横断するプロジェクトです。



## ナノを使って新しい色を作る

岩越 あや子 (日本ペイント株式会社)

私は現在、金属ナノ粒子の研究を行っている。金属はナノサイズになることで、単純なサイズ効果だけでなく、バルクには見られないさまざまな特徴を示すことが知られており、金属ナノ粒子の応用分野は多岐にわたっている。金属ナノ粒子ならではの特徴のひとつに、プラズモン吸収がある。詳細は割愛するが、金、銀、銅は、ナノ粒子になるとそれぞれ赤、黄、赤色を示すのである。実は金ナノ粒子の赤色などは案外われわれの身近にもあり、江戸切子などのガラス細工やステンドグラスの赤色にも使われているので、皆さんもご覧になっているのではないだろうか。この、金属ナノ粒子を利用した色がわれわれのターゲットである。ナノ粒子を利用して、これまでの塗料に見られないような透明性の高い塗料用色材や金属メッキ調塗膜用塗料などを商品化し、これまでにない新しい意匠を世に送り出そうと研究を続けている。

学生時代は卒業研究ではペプチド合成を行っており、大学院に入ってから是有機合成の研究をしていた。研究テーマは修士課程、博士課程を通じてオキシム誘導体を利用した含窒素化合物の合成ではあったが、修士課程では天然物の基本骨格合成をしており、博士課程では素反応開発と、課程ごとに性格の違う研究となった。が、どの研究でも、結果が出ない時は試行錯誤を繰り返すつらいもので、いっぽう、結果が出た時の嬉しさやその

結果をどうやって発展させようか考える時のワクワク感は変わらないものであった。

企業への就職活動を行うことに決めたのは、博士課程2年目の早い時期だった。大学院の研究生活にはつらいところもあったが、自分が世界で初めての反応を見つけるなどの大きな目標があった。しかし一方で、この反応は世の中にどの程度役立つのか？という疑問がわき、自分で見つけたものを商品化する、世の中に実際に役立てたい！という気持ちから企業への就職を選択したのである。

入社してすぐ、着手してほしい研究テーマとして、金属ナノ粒子を挙げられた。これまでの専門は有機化学であり、金属ナノ粒子はどちらかという無機化学。一瞬戸惑いを感じた。しかし、先に述べたように、有機化学の分野ではあったものの、研究テーマが節目節目で変化していったことで、会社に入ってからテーマの違いにあまり抵抗を感じずに新しいテーマを受け入れられた。そして、入社3、4年ほどは金属ナノ粒子の基礎研究をメインに行い、その中で、新しい発見ができ、特許を出したり、学会で発表したりしていた。現在はこれらの研究を基に、商品化へ向けて開発を行っている。商品化を目指して、となると、研究の質がまた大きく変わってくる。スケールアップは当然のことながら、商品を構成するユニットすべてをもつての性能が必要となってくるため、金属ナノ粒子のみ研究していればよいというわけではなくなるのだ。個人的には基礎研究によりおもしろみを感じるのだが、かわいいわが子を世に送り出すため、商品化へ向けて努力を続けている。

このように現在、学生時代とまったく違うテーマで研究を行っているが、大学院時代に培った研究の考え方・進め方・(結果がでないことに対する?)辛抱強さは、研究テーマが変われど普遍的なものであり、



図2：金ナノ粒子含有塗料と塗膜の説明中の筆者

### PROFILE

岩越 あや子 (いわこし あやこ)  
 1996年 東京理科大学理学部化学科卒業。  
 1998年 東京大学大学院理学系研究科化学専攻修士課程修了。  
 2001年 同博士課程修了、博士(理学)。日本ペイント株式会社入社。  
 現在、R&D本部色彩技術研究所所属。

自分で研究目標を立て進めていくやり方が身についているからこそ、仕事に対するモチベーションがあがり楽しくなるのだと感じている。また、企業側の視点に立つと、企業の独自性を打ち出すためには基礎研究は欠かせないものであり、独自で研究を進められる人材がますます必要となっている。そういう意味でも大学院時代に身についたものはひじょうに貴重であったと思う。

ところで、現在は、1児の母になり、会社では研究者、家では子供の召使・・・いやいや母親業それから主婦業(これは半分くらい)をこなす毎日である。保育園のお迎えなどがあり、会社にいる時間も限られてくるため、なかなか実験三昧というわけにはいかないが、仕事にメリハリをつけられるようになったり、視点を変えることができるようになったりメリットも多い。

1人3役の経験を武器に、将来、誰彼かかわらず受け入れられるような新しい意匠を世に送り出すことを目標にこれからも精進していきたい。

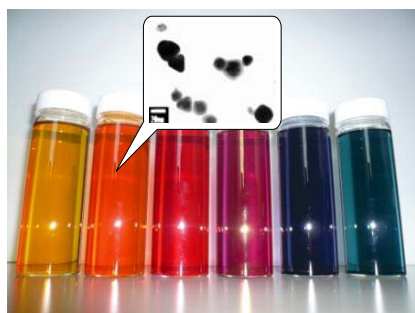


図1：金属ナノ粒子による着色液(吹き出し内は金/銀複合ナノ粒子のTEM像)



## 理学と工学の融合による産業貢献

紋川 亮 (東京都立産業技術研究センター)

「理学と工学の融合」。これが、私の目標のひとつである。現在、私は、地方独立行政法人東京都立産業技術研究センターに研究員として勤務している。業務は、企業・大学との共同研究の推進、企業の抱える技術的課題を解決する事業化支援業務などが中心である。これらの業務を通して東京都の産業発展および都民生活の向上を目指し努力している。具体的には、生活習慣病などの診断に利用できるバイオセンサーや大都市部の環境問題に関する研究開発・事業化に取り組んでいる。

学生時代は、就職に関して悩んでいた。理学出身、しかも地球惑星科学専攻であったため、企業への就職は難しいと思い込んでいたし、研究者として狭い分野でポストを争うことも不安に思っていた。ましてや、他分野への転換など考えてもいなかった。まさしく、自分で大きな壁をつくっていたと思う。学位を取得後、お世話になった先生から、2つの特別研究員公募のお話をいただいた。1つはバイオテクノロジー、もう1つは表面科学の分野であった。あまりに分野が違うため戸惑ったが、自分を少しでも必要としている所に飛び込んでみよう、別分野への転換を決意した。新しく学ぶことが多く苦労したが、その経験が現在の仕事に役立っていると考えている。

私には、学生時代の経験が、現在の業務に生きていることが2つある。1つ目は、「多角的視点による課題解決力」である。企業の要望は、生産現場における問題点の解決や新製品開発のための性能試験など多岐にわたる。そのため、幅広い分析手法を融合し、多角的視点から課題解決に取り組み、適切な改善方法を示すことが重要である。私は、この課題解決力を学生時代の先生方のご指導により、磨くことができたと考えている。学生時代は、火星隕石中に存在する水を含んだ鉱物の

生成環境の解明をテーマとしていた。この研究を進めるためには、元素分析、構造解析、ガス分析など幅広い分析手法を用いることが必要であり、大学内だけではなく、他の研究機関の装置を利用させていただいた。そのため、さまざまな分野の研究者と議論する機会に恵まれ、1つの課題を多方面から検証し、解決することの大切さを学んだ。この経験が、現在の事業化支援業務に役立っている。

2つ目は、「深い探究心」である。研究開発で得られた成果は、まず「特許」という形で権利化する必要がある。とくに企業における特許は研究開発の重要な鍵となる。なぜなら、その権利の存在が、時に企業の味方となり敵ともなり得るからだ。企業は、せつかくの製品を何とか他社に真似されないよう自社の権利を主張するため、何十という特許を作成することもある。この特許の作成において、「深い探究心」がより強い権利の作成に役立つ。特許作成のさい、たとえば「なぜその製品が有効なのか」、「どのような理論・メカニズムに基づいているのか」、「他の方法で同じ効果が得られないのか」など、開発品について、さらに深く追求するとどうだろうか。おそらく、深く探求することで得た条件や理論を盛り込むことで、より強い権利主張ができるであろう。もし、この追求がなかったなら、他社に権利範囲外の技術を用いた対抗製品を売り出されるかもしれない。最悪の場合、他社に重要な権利を取得され、製品の販売ができなくなる。これは、中小企業であれば、経営に致命的な打撃を与える。情報化社会である現在、必要な情報は、誰でも簡単に得ることができる。このような時代にこそ、深い探究心によって、他社の追随を許さない技術開発が求められている。卒業後、金属、高分子、バイオなど、学生時代とは異なる



■ 高分子合成実験をする筆者

### PROFILE

紋川 亮 (もんかわ あきら)

2004年 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程修了、博士(理学)。

2004年 物質・材料研究機構生体材料研究センター特別研究員。ドラックデリバリーシステムの開発、バイオセンサーの開発に従事。

2006年 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター研究員。現在、研究開発部第二部ライフサイエンスグループ所属。

分野の研究開発に携わる機会に恵まれた。それらの開発を通して、いくつかの特許を出願しているが、その作成の過程で、学生時代に培った探究心が生きている。

私は、これからも、学生時代に得た「多角的視点による課題解決力」と「深い探究心」を忘れずに、精進していきたいと思う。そして、大規模研究開発部を有することが難しい中小企業のプレーンとして、創出した研究成果の産業界への円滑な橋渡しを行い、将来的な社会還元につなげられればと考えている。本稿が、これから進路を決められる皆さんが、理学部や理学系研究科に進学し、理学からさまざまな世界に羽ばたくきっかけになれば幸いである。

# 半導体スピントロニクス材料の複雑な磁性

## - 放射光を用いた磁気円二色性測定で明らかに -

藤森 淳 (物理学専攻 教授)

現代のエレクトロニクスは、半導体回路による論理演算と強磁性体による磁気記録が根幹をなしている。論理演算は電子のもつ電荷（電荷素量： $-e$ ）を利用したもので、磁気記録は電子の微小な磁石の性質「スピン」を利用したものである。半導体回路で利用されている電子のもつ電荷に加えてスピンも利用する技術は、半導体スピン・エレクトロニクス（半導体スピントロニクス）とよばれる。半導体スピントロニクスは、半導体回路による磁気記録、磁化の向きを利用した演算などを可能にし、将来の高度通信・情報社会構築への基礎技術として期待されている。

半導体スピントロニクスの実現には、室温で強磁性を示す半導体材料が必須である。近年、酸化物半導体や窒化物半導体に磁性原子を導入した希薄磁性半導体で室温以上でも強磁性を示すものが多く報告されているが、強磁性の発現機構はまだ謎である。いっぽう、半導体スピントロニクスの発端となった物質である、ガリウム砒素中のガリウムの一部をマンガンに置き換えた希薄磁性半導体ガリウムマンガン砒素 ( $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$ ) は、キャリア誘起強磁性 (図1) とよばれ

る機構が確立されている典型物質である。キャリア誘起強磁性の理論によれば、マンガン濃度の増加とともに強磁性転移温度は上昇し続けるはずであるが、実際は約5%のマンガン濃度で120 K程度のピークを示した後低下する。より高い強磁性転移温度を実現するには、なぜ強磁性転移温度が上がらないのかを解明することが必要である。

われわれは、大型放射光施設 SPring-8 からの円偏光を用いた軟 X 線磁気円二色性の測定を行い、ガリウムマンガン砒素の磁気的性質を詳細に調べた。スピントロニクス材料の大部分は結晶基板上に作製した超薄膜で、磁性イオンも希薄であるために、通常の磁気測定では試料体積の大部分を占める基板や半導体母体の磁性、さらには不純物の磁性が重畳し、本質的な情報を取り出すことが難しい。軟 X 線磁気円二色性測定では、マンガン

原子の内殻からの X 線吸収を利用してマンガン原子だけの磁性を調べることができるので、本質的な情報が確実に得られる。

測定結果 (図2) の解析から、ガリウムと入れ替わったマンガンが強磁性になろうとする一方で、マンガン濃度の増加とともに結晶格子の隙間に入り込んだマンガンが増加し、強磁性を阻害する働きをしていることが明らかになった。この結果は、転移温度上昇のためには、結晶格子の隙間に入り込む磁性原子を減らすべきであることを意味しており、今後の材料開発に明確な指針を与えた。

本研究は、日本原子力研究開発機構の竹田幸治研究員、工学系研究科の田中雅明教授、広島大学の田中新助教らとの共同で、*Physical Review Letters*, **100**, 247202, 2008 に掲載されている。

(2008年6月17日プレスリリース)

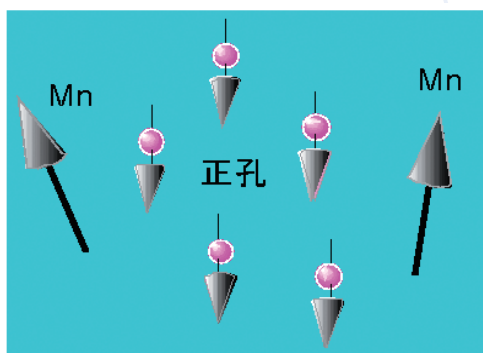


図1：希薄磁性半導体におけるキャリア誘起強磁性の概念図。半導体中を動き回る正孔のスピンと、半導体導入された磁性原子（マンガン）のスピンは逆向きになろうとし、その結果磁性原子のスピンがそろろう。

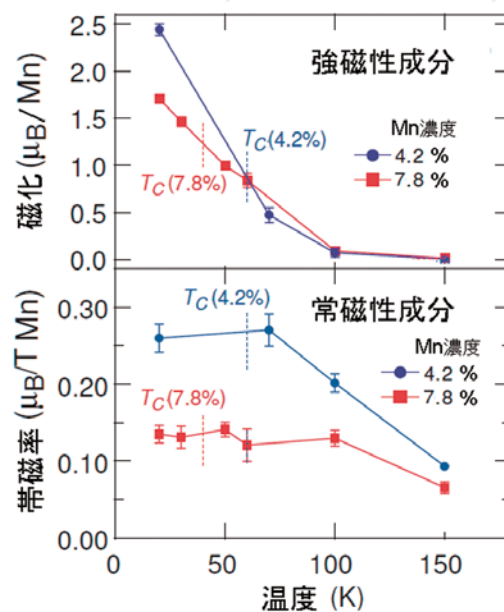


図2：ガリウムマンガン砒素におけるマンガン原子の強磁性成分と常磁性成分の温度依存性。 $T_C$ は強磁性転移温度。強磁性成分の温度変化（上）から強磁性が不均一であること、常磁性成分の温度変化（下）が低温で弱くなることから、結晶格子の隙間にはいったマンガンがガリウムを入れ替わったマンガンのスピンと逆方向を向き強磁性を阻害していることがわかる。

# 気体分子の向きをそろえる新手法を開発

- 特殊なレーザーパルスを整形し、レーザー電場なしでの分子配向を実現 -

酒井 広文 (物理学専攻 教授)

通常はランダムな向きを向いている気体分子の向きを、レーザー電場の存在しない条件下で、頭と尻尾の向きを区別しつつ向きをそろえること(分子の配向制御)に世界で初めて成功した。ランダムな向きを向いた分子試料を用いた実験では、分子の向きに依存する効果については空間的に平均された結果しか得られない。したがって、気体分子の向きをそろえることは、分子構造の異方性に由来するさまざまな効果を研究するための基盤技術であり、世界の研究グループが分子の配向を制御する新しい技術の開発とその高度化にしのぎを削っている。

とくに、分子の配向制御の実現には、弱い静電場と永久双極子モーメントの相互作用を用いて分子の向きを決め、高強度レーザー電場とそれによって分子中に誘起された双極子モーメントとの相互作用を併用して配向の度合いを著しく増大させる手法が知られている。われわれの研究室ではすでにこの手法を用い、分子の配向制御に世界で初めて成功していた。

従来の実験では、レーザー光のパルス

幅が分子の回転周期よりも十分に長く、分子配向はレーザー光のピーク強度付近で効果的に実現する(断熱的な分子の配向制御とよぶ)。この場合、典型的にナノ秒オーダーの比較的長い時間分子配向を維持できる大きなメリットがある。いっぽう、高強度レーザー電場の存在が、配向した分子試料を用いた応用実験における物理的あるいは化学的な現象に影響を及ぼす可能性もある。このため、高強度レーザー電場の存在しない条件下での分子配向の実現が、次なる課題として分子科学分野で強く望まれていた。

本研究室では、静電場とレーザー電場を併用する手法が断熱領域で有効なことに着目し、分子の回転周期  $T_{rot}$  に比べて立ち上がりのゆっくりしたパルスをピーク強度付近で急峻に遮断することにより、断熱領域での配向度と同等の配向度を高強度レーザー電場が存在しない状況下で実現するまったく新しい手法を提案し、今回、その実現に世界で初めて成功した。

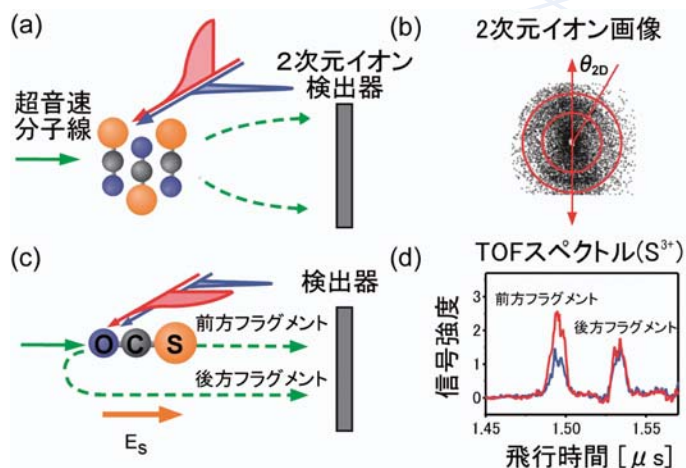
ピーク強度付近で急峻に遮断されるようなパルスは、プラズマシャッターとよ

ばれる手法を用いて整形した。試料として OCS 分子を用い、実証実験を行った。まず、2次元イオン画像化装置を用い、レーザー光が遮断される場所、 $T_{rot}/2$  および  $T_{rot}$  付近で分子の配列度の時間発展を観測したところ、理論計算の時間発展とほぼ対応していることが確認できた。つぎに、飛行時間 (TOF) 型質量分析装置を用い、TOF 軸方向に偏光したプローブパルスを照射して観測される前方フラグメントと後方フラグメントのイオン量を調べた。フラグメントイオンの総量に対する前方フラグメントと後方フラグメントの差を配向度の指標とし、レーザー光が遮断される場所と  $T_{rot}$  付近でその時間発展を観測したところ、理論計算の時間発展とほぼ対応していることが確認できた。これらの観測結果は、分子配向がレーザー電場の存在しない状況下で実現していることの確実な証拠と解釈できる。

この成果は、化学反応ダイナミクス、分子内電子の立体ダイナミクス、アト秒科学、表面物理学などの応用研究において、レーザー電場の存在しない条件下で頭と尻尾も区別して向きをそろった状態にある分子試料が新しい研究対象となったことを意味する。長年にわたり未だ技術であったレーザー電場の存在しない条件下での分子配向の実現は分子科学分野およびその関連分野における画期的な成果である。

本成果は、A. Goban, S. Minemoto, and H. Sakai, *Phys. Rev. Lett.*, **101**, 013001, 2008 に掲載されるとともに、他分野の研究者にも関読が推奨される Editors' Suggestion の対象論文にも選定された。さらに、Nature 誌の RESEARCH HIGHLIGHTS 欄でもただちに取り上げられた (*Nature* (London) **454**, 257, 2008)。

(2008年6月20日プレスリリース)



(a) 分子の配列は、2次元イオン画像化法で調べる。(b) 2次元イオン画像化法を用いて観測した  $\text{CO}^+$  イオンの2次元イメージ。このイメージを用いて配列度を評価する。(c) 分子が配向している様子は、飛行時間型 (TOF) 質量分析装置を用いて調べる。(d)  $\text{S}^{3+}$  イオンの TOF スペクトル。配向用のレーザー光を照射すると赤色で示したように、信号のピークが非対称になる。非対称性の度合いから配向度を評価する。(a) と (c) には、配列や配向用の整形されたレーザー光 (図中赤色) とプローブ用のレーザー光 (図中青色) の偏光方向が示されている。

## 樹齢 2000 年の屋久杉を使って太陽活動の歴史を探る

宮原ひろ子（地球惑星科学専攻 日本学術振興会特別研究員）、  
横山祐典（地球惑星科学専攻 講師）

太陽活動が約 11 年の周期で活発化と衰退をくりかえしていることはよく知られている。太陽活動はそのほかにも～80 年周期、～200 年周期などのさまざまな周期性をもちダイナミックに変化している。その変化は気候にも重大な影響をおよぼしている可能性がある。たとえば、15 世紀～19 世紀頃に起こった小氷期は、ちょうど太陽活動がひじょうに低下していた時期と同期している。また、9～13 世紀頃のいわゆる「中世の温暖期」や現代においては太陽活動が比較的活発であることも多くの研究者によって指摘されてきた。しかしながら、太陽活動の長期的な変化を定量的に評価することはひじょうに難しく、太陽活動の歴史における現在の太陽活動度の位置づけや温暖化への影響についてはまったく合意が得られていなかった。また、太陽活動が気候を左右するメカニズムも、いくつかの説はあるものの、いまだ明確には理解されていない。

本研究では名古屋大学太陽地球環境研究所との共同研究により屋久杉の中に含まれる炭素同位体（炭素 14）の分析により今から約 1100 年前の太陽活動の変動を復元した。炭素 14 は銀河系の外から飛来し太陽磁場の遮蔽効果を受ける銀河宇宙線によって生成されるため、その地球上における存在比は太陽活動度の変化に応じて変化する。太陽活動周期は標準的には約 11 年だが、活動度がより高いとこの周期が短くなる傾向があることに着目し、約 1100 年前の中世の温暖期における太陽周期の伸縮を調べた。小氷期においてはその周期が 14 年程度に伸びていたことが炭素 14 の分析に

より明らかになっている。分析の結果、中世においては標準約 11 年の周期が約 9 年に短縮していたことが明らかになった。このことは、現代よりも中世の方が太陽活動が活発であったことを意味している。

いっぽう、樹木年輪の成長率の変化を指標とする手法によって復元されている中世の気候は、15 世紀～19 世紀頃の小氷期にくらべるとひじょうに温暖である。中世の温暖期が活発な太陽活動によってもたらされた可能性を示唆している。しかし現代の気候は、太陽活動がひじょうに活発であった中世と比較すると、太陽の影響で説明できる以上に温暖化している。人間活動の影響によって、気温が自然のサイクルでは説明できないほどに上昇していることを示している。この結果は、昨年発表された IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の第 4 次評価報告の内容を支持するものとなっている。

本研究ではさらに、炭素 14 によって復元された小氷期と温暖期における太陽の状態の変化と気温変動を比較し、太陽活動が気候を左右するメカニズムを探った。その結果、地球の気温変動が、日射量の変動よりも太陽の磁場の変動に大きく依存していることが明らかになった。太陽の磁場は、上述のように銀河宇宙線を遮蔽する力をもっているが、その銀河宇宙線が雲の形成に作用する可能性が指摘されていた。気候が本来もっているサイクルを理解する上では、太陽磁場の振る舞いを理解することがひじょうに重要であるということが示唆された。銀河宇宙線が雲の形成に作用する素過程は今後明らかにしていく必要がある。

本研究は、科学研究費補助金の助成を得て行われ、H. Miyahara *et al.*, *Earth and Planetary Science Letters*, **272**, 290-295, 2008 に掲載された。

(2008 年 7 月 4 日プレスリリース)



■ 炭素 14 の分析に用いられた樹齢約 2000 年の屋久杉の切り株

# 水中での有機合成における革新的技術を開発

## - ホルマリンを原料とする触媒的不斉合成の開発に成功 -

小林 修 (化学専攻 教授)

地球環境の保全は現代の重要課題であり、水のみを溶媒とする化学反応プロセスは、有害な有機溶媒を用いない点において理想的である。しかし水には、触媒や試薬が分解しやすく、かつ有機化合物が溶解しにくいという問題点があり、水中での有機合成を行うにはこれらの問題を解決する必要があった。私たちはこれまでに、スカンジウムトリフラートのような水の中で分解することなく安定に機能するルイス酸触媒を見だし、スカンジウム触媒に長鎖アルキル基を導入することで界面活性剤の機能を持たせることにより(石けんの原理)、有機化合物が溶媒の水に溶けやすいように工夫を行ってきた。

いっぽう、水中での有機合成には、水溶性の分子では反応性が低いという問題があった。これまでの手法では、界面活性剤の作用で水中に疎水性の場所をつくり、そこを有機合成の反応場として構築していた。しかし水溶性の分子の場合、分子が疎水性反応場ではなく水そのものに溶解してしまうため、疎水性反応場に存在するもう一方の反応分子との接触が起きにくくなり、反応速度が大きく低下してしまう。そのため精密な制御を必要とする触媒的不斉合成反応もひじょうに起こりにくい(図1)。

ホルムアルデヒドは、炭素原子1個を有する重要な有機合成原料であるが、水溶液であるホルマリンとして用いられる

ことはほとんどない。ホルマリンとして使われた場合でも水と有機溶媒の混合溶媒が必要であり、今回のように水のみを溶媒とする場合の反応制御は困難であった。

本研究では、水のみを溶媒とし、スカンジウムトリドデシルスルフェート = Sc(DS)<sub>3</sub>、ルイス酸—界面活性剤—体型触媒(LASC)の1つ=を触媒として、ホルマリンを用いるヒドロキシメチル化反応を行った。ホルムアルデヒドの反応の相手であるシリルエノラートとしてさまざまな置換基を有するものを用いたところ、いずれの場合も反応がスムーズに進行し、最高94%で目的とするヒドロキシメチル化生成物を得ることができた。さらに反応系に不斉配位子を加えたところ、さまざまなシリルエノラートを用いる条件で、高収率・高不斉選択性(最高96%)で目的とするヒドロキシメチル化生成物を得ることができた。

本研究で得られた知見は、ホルマリンによるヒドロキシメチル化反応のみにとどまらず、水中で水溶性分子を反応させる方法論の確立のための重要な足がかりとなると考えられる。この技術を用いることにより、水を溶媒とする環境にやさしい化学プロセスが今後ますます発展し、化成品や医薬品の合成へ応用されていくことが強く期待される。

本研究は東京大学とJSTとの共同研究成果として得られ、M. Kokubo, C. Ogawa, S. Kobayashi, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 47, 6909-6911, 2008に掲載された。

(2008年7月25日プレスリリース)

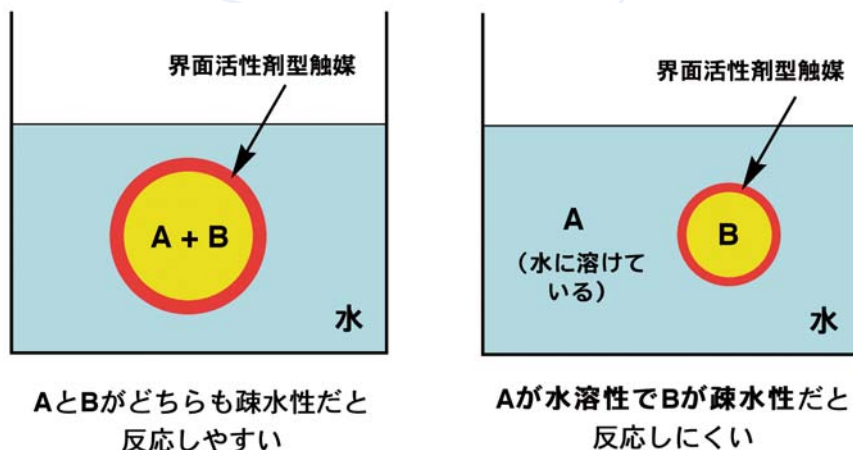


図1：疎水性の分子と水溶性の分子。AとBがどちらも疎水性なら同じ疎水性反応場に分布するので反応しやすく(左)、Aが水溶性だと水に溶解して疎水性反応場から逃げてしまうので反応しにくい(右)ことを示している。

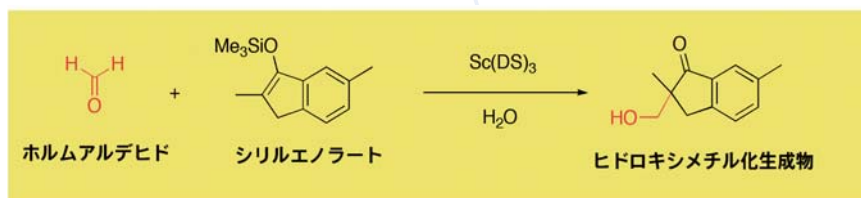


図2：ホルムアルデヒドとシリルエノラートとの反応。スカンジウム触媒存在下、水中でホルムアルデヒドとシリルエノラートが反応し、対応するヒドロキシメチル化体が生成する。

## 鉄系新高温超伝導体の理論を提唱

有田亮太郎（工学系研究科物理工学専攻，准教授），  
青木 秀夫（物理学専攻 教授）

超伝導は、電子が2個ずつペアを組みボース・アインシュタイン凝縮した巨視的量子現象であり、普通は極低温（絶対温度にして数十度）でしか起きない。だからこそ、1986年に発見された銅酸化物における絶対温度百度を超える「高温超伝導」は物性物理学の革命と言われ、普通は絶縁体である遷移金属酸化物が高温超伝導というのも大きな謎であった。その後、普通の超伝導では電子が、格子振動の量子であるフォノンをキャッチボールして引力相互作用するために起きるとは対照的に、高温超伝導では、クーロン斥力相互作用によって多数の電子が互いに避けあいながら動く「電子相関」効果による超伝導の電子機構が解明されてきた。これを契機に、遷移金属酸化物のような「強相関電子系」という新分野が切り拓かれたので、「革命」とよばれたのは妥当といえる。ところが、この15年以上、超伝導になる温度が上昇していない。そのため、「なぜ高温超伝導は銅なのか、銅以外には無いのか」という重要な疑問が宙に浮いた状態が続いてきた。

ところが今年に入りブレークスルーが起きた。主役は「銅」に変わり「鉄」である。東京工業大学の細野秀雄教授らのグループ

により、鉄化合物（鉄と砒素の化合物LaFeAsOに少量のフッ素を添加した物質、図1）が26 Kで超伝導を示すことが2月に発表され、世界的な研究が勃発した。Preprint serverに連日新結果が載り、またたく間に超伝導温度は50 Kを超えた。鉄という元素は単体で磁石にはなるが、高温超伝導とはあまり縁がないと信じられていたため、その意外性もまた研究の推進力となったといえる。実際、細野教授の発見の経緯も、超伝導を最初から目指したのではなく、透明電極という別の分野から発生した思いがけないヒットであった。

以上の背景で、ただちに知りたいのは、超伝導の機構、とくに「なぜ鉄なのか」という点である。われわれの理論グループは、この理論を世界に先駆けて構築した。すなわち、細野教授らの論文の第一報を受け、細野教授から提供されたこの物質の正確な結晶構造データに基づき、まず超伝導理論の出発点として、この物質のバンド構造を理論計算し、それに基づいて電子相関効果を取り入れるためのモデルづくりを初めて行った。銅酸化物のときにはバンドが比較的簡単であったのとは対照的に、鉄系新超伝導体のバンドは思いのほか複雑であることが分かった。

われわれのグループは、電子相関効果がどのように超伝導や磁性を発現させるかはバンド構造に敏感であることを逆用して、より高温での超伝導や磁性を発現させるという「電子相関物質設計」という概念を長年にわたり提唱してきた。これを机上の空論ではなく実現させるのがもっとも難しいところとなるが、自然の妙と言うべきか鉄化合物で得られたバンドの特徴は、8年前に黒木和彦氏（現電通大教授）・有田准教授が高温超伝導を実現するための模型として提唱したものにそっくりなことがわかった。モデルに基づいて電子機構超伝導に関する計算を行った結果、確かにバンドの特徴を反映して、ボース凝縮する電子ペアも特徴的な対称性（拡張s波、図2）をしていることが明らかにされた。

実は、本2008年は超伝導のひとつの節目といえ、BCS理論（1957年）のほぼ半世紀後であり、超伝導と関連深い超流動は、カマリング・オネスがヘリウムの液化を1908年に実現したのが事始めであり、その百周年も記念した低温物理学国際会議（本年8月アムステルダム）でも鉄系超伝導のrump sessionが行われた。鉄系超伝導体の全体像については、今後さらなる実験、理論の研究を待つ必要があり、実際わが国でも目ざましい勢いで研究が勃興しているが、より高温の超伝導を現実化するひとつのヒントになり得るかもしれない、本理論の路線に沿った物質探索にも期待がかかる。

本研究は、黒木和彦教授・白井秀知氏（電通大）、大成誠一郎助教・田仲由喜夫准教授・紺谷浩准教授（名大）との共同研究で、*Physical Review Letters*, **101**, 087004, 2008に掲載された。

（2008年8月1日プレスリリース）

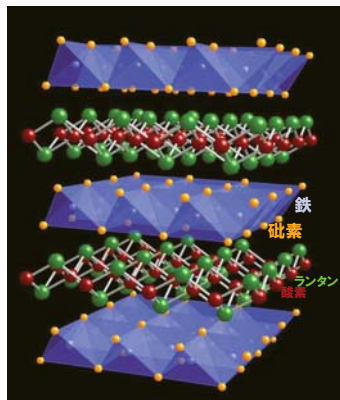


図1：鉄化合物新超伝導体の結晶構造。砒化鉄の層が積層されている。

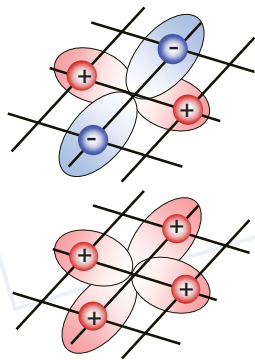


図2：銅酸化物高温超伝導体のd波クーパー対（上）と、鉄化合物高温超伝導体の拡張s波クーパー対（下）を正方格子上で示す。

# 連載 理学のキーワード 第15回



## 「高温超伝導」

小形 正男（物理学専攻 教授）

高温超伝導体とは高温で超伝導状態になる物質のことである。ただし高温といっても絶対温度で100 K程度（ $-170^{\circ}\text{C}$ 程度）のことである。高温超伝導体をこの温度以下に下げると電気抵抗が完全に0になる。

以前は超伝導というと10 K程度以下の現象だったので、超低温の実験でしか行うことができなかった。しかし1986年に突如高温超伝導体が発見され、液体窒素（ $-196^{\circ}\text{C}$ ）に試料をつければ超伝導になるので机の上でも超伝導状態をつくることできるようになった。物質は3から4種類の元素を含む酸化物であり、基本的な構造は $\text{CuO}_2$ という組成をもつ平面的な原子配置である。 $\text{CuO}_2$ 面以外の元素の組み合わせはほぼ無限に可能なので、いろいろな構造が試されている。その後、銅の代わりにRuやCoを含む酸化物も見出されたが、いずれも銅酸化物の転移温度には及ばない。つい最近銅の代わりに鉄を含んだ超伝導体が発見された。

見つかると、新たな高温超伝導体としてひじょうに話題を呼んでいる(P.14参照)。

そもそも金属状態は、物質中の電子がほぼ自由に動いているとして理解できる。その場合、不純物や格子振動などのために電気抵抗が生じる。これに対し、超伝導状態では電気抵抗が消失し、閉回路に流れる超伝導電流はいつまでも流れ続けることができる。また同時に、超伝導体の内部に磁場が侵入できないという特徴をもつ。超伝導状態への相転移は量子力学と結びついた特異なものであり通常の摂動論では理解できない。金属の温度を下げていくと、それまでバラバラに運動していた電子が、ある温度（超伝導転移温度）を境に急に全体として1つの集団の状態に陥る。これは電子の波動関数の位相が一斉に揃うためであると考えられている。このように電子の集団全体が1つのカタマリとなって運動するために、不純物などで1つの電子を散乱しようとしても全体の超伝導電流を止めること

ができないのである（実際の理論では、数学的にひじょうに美しいBCS理論としてまとめられている）。

高温超伝導体も基本的にはこのBCS理論で理解できると考えられているが、なぜ高い転移温度になるかは難問である。高温超伝導理解の難しさ、あるいはおもしろさは、絶縁体に少しだけ動けるキャリアを導入したときに高温超伝導が発現するという点である。このことは高温超伝導を真に解明するためには、電子同士の強いクーロン相互作用を的確に理論に組み込まなければならぬことを意味している。このような問題は固体物理学における昔からの難問であり、物理学専攻の青木研究室やわれわれの研究室では新たな理論の模索を続けている。また、実験的に絶縁体に導入されたキャリアの運動を明らかにし、高温超伝導の本質に迫るべく内田研究室や藤森研究室で世界的な成果が次々と上がっている。



## 「逆問題」

山本 昌宏（数理科学研究科 准教授）

逆問題とは、ある現象に着目して観測データから、その原因や現象を支配しているパラメータなどを決定する問題を広く指す。原因やパラメータなどは直接的に決定することが不可能であり、利用できる間接的な観測データから推定することしかできないのが普通である。数多くの問題が逆問題としてとらえることができるが、典型的な問題としては、固有振動のデータから物質内部の弾性波の速度を決定する問題やコンピュータ断層撮影法（Computed Tomography）などをあげることができる。前者は、弾性体の方程式の係数を対応する作用素の固有値から決定する逆スペクトル問題の1つとして、後者はラドン変換とよばれる積分変換の

逆を求める問題である。

このように逆問題の背後には多様な数学が深く関連している。逆問題は特定の問題を指すというよりも、問題の立て方を特徴付けるものであり、逆問題的な研究の歴史はたいへん古い。エラトステネス（紀元前276-195年頃）は、離れた2つの都市での塔などの影を夏至の日の正午に測って、都市の間の距離を用いて地球の半径を推定したといわれている。これは数学的には相似形の性質を使ったものであるが、人々が必要に応じて色々な性質を用いて未知のものを決定してきたという逆問題の歴史の一端を表している。逆問題の研究の歴史は古いが、偏微分方程式論の発展とともにその数学的な研究が

深化してきた。指定された観測データが逆問題の解である未知量を一意的に決定するののかという一意性や、データの変動が解にどのような影響を与えるのかという条件付き安定性ならびに再構成が、数学的な見地からは主要な課題となる。楕円型方程式、放物型方程式や双曲型方程式などの偏微分方程式の空間変数に依存する係数を境界近くでの解のデータで決定する逆問題において、それらの課題の研究が、カーレマン評価による方法やディリクレ・ノイマン（Dirichlet-to-Neumann）写像に基づいて発展している。

数理科学研究科でもそのような数学解析や数値解法の開発が山本昌宏准教授によるグループで進められている。



## 「生体鉱物」

小暮 敏博（地球惑星科学専攻 准教授）

「生体鉱物」とは、生物が関与して形成される固体無機物質に対してつけられる呼称である。鉱物とは、自然界で非生物的なプロセスにより形成される均質な固体無機物質として定義されるため、これからすれば生体鉱物は鉱物ではなく、ここでの「鉱物」という言葉は無機物質を意味すると考えた方がよい。

またここで“生物の関与”ということも、自然界ではさまざまな場合がある。たとえばバクテリアの代謝により、溶液のpHなどが変化して水酸化鉄などが析出したり、その細胞膜表面が触媒として機能し、そこに無機物質が沈着した場合など、これらの無機物質を生体鉱物とよぶことができる。いっぽう生物が、その生命活動を維持するために、積極的

に生体の器官またはその構成要素として無機物質を生成する場合がある。前者の場合、形成された生体鉱物は、無機的に形成された鉱物と構造的な区別がつきにくいですが、後者の場合生体鉱物は、器官としての機能を持たせるため、一般的な鉱物にはない構造や組織を有する場合が多い。この後者の例としてたとえば歯、骨、貝殻、耳石などを挙げることができる。

ここで歯や骨は酸アパタイトなどのリン酸カルシウム、貝殻や耳石は炭酸カルシウムの結晶で構成されている。これ以外にも酸化鉄や非晶質シリカなど、さまざまな物質の生体鉱物が報告されている。歯や骨については、医学的な見地から長い研究の歴史がある。いっぽうそのほかの生体鉱物に関する研究は、

物質科学的な視点からは最近緒についたという段階であり、またそれなりに研究の盛り上がりを見せている。それは生体鉱物が、化学や物質科学の分野における最近の流行である“自己組織化”プロセスの、自然界での手本として見なされるためであろう。

生体鉱物のこのような構造・組織的な特徴は、タンパク質や多糖など生体高分子の関与により発現していると考えられるが、詳細は明らかでなく、その解明のためには生化学や無機化学・物質科学などさまざまな分野を横断した学際的研究が望まれる。現在筆者らも、学内の農学部、工学部などの研究室と共同で、貝殻などに見られる複雑な組織の形成機構を解明しようと研究を進めている。



## 「不完全性定理」

角谷 良彦（情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 助教）

不完全性定理は、1930年頃にクルト・ゲーデル（Kurt Gödel）によって発表された定理であり、今日でもなお、この定理に魅せられて数学や哲学の道を歩む者は少なくない。数学とは公理から推論を積み重ねていくものであるというのが、近代数学の基本的な考え方であるが、そのような数学のあり方に大きく貢献したのがダフィット・ヒルベルト（David Hilbert）である。ヒルベルトはこの考えを押し進め、最終的に、数学を完全に公理化することや、数学が矛盾していないことを有限の立場から証明することを目指したが、不完全性定理の登場によってその夢は否定されることとなった。

第一不完全性定理の内容は、「数学を矛盾なくどのように形式化しても、

証明も反証もできない命題が存在する」というものである。言い換えれば、数学に必要なすべての公理を書き出すことは不可能であるということになる。この定理がわざわざ第一と冠されているからには、第二不完全性定理なるものも存在する。第二不完全性定理は、「どのような形式的体系も、その体系自身が矛盾していないことを証明できない」というものである。こちらは、ある形式的体系が矛盾していないことを示すには、メタ論理として、その体系よりも強力な体系が必要であるということの意味している。

ところで、第一不完全性定理のいう命題とは、自分自身が証明不可能であることを意味するような命題のことである。これは、「この文は正しくない」という嘘つきのパラドックスに出てくる文と

ひじょうによく似た構造をしている。自己言及はしばしばパラドックスを引き起こす反面、不完全性定理で利用されているように興味深い性質を示すことも多い。情報科学は、自己言及を避けることなく、積極的に活用している分野のひとつである。

情報科学の研究対象であるプログラミング言語の多くは、再帰的プログラムとよばれる自己を参照するプログラムを構文的に許している。勿論、プログラミング言語が実装されている以上、再帰的プログラムも挙動は定まっているのだが、その抽象的意味は自明ではない。著者の所属する理学部情報科学科および、情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻では、再帰も含めて計算というものの本質をとらえ抽象化する研究を行っている。





## 「水メーザー」

河野 孝太郎 (天文学教育研究センター 准教授)

誘導放射により増幅されたコヒーレントな光をレーザーとよぶ。メーザーとはその電波版である (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation)。

宇宙の星間空間には多種多様な分子が存在するが、一酸化珪素や水酸基、メタノールなどの分子は、ある種の星の周辺で、反転分布 (エネルギーの高い準位に、より多くの粒子が滞在する状態。ボルツマン分布との違いに注目) を実現し、「天然のメーザー発生源」となる。水分子もメーザーを放射するが (これが水メーザー)、星の周辺のみならず活動的な銀河の中心核付近でも検出され、かつ、きわめて強力なため (1本の輝線で太陽光度の数100倍に相当するエネルギーを担うこともある)、

水メーザーの高空間分解能観測を通して超巨大ブラックホールの存在を暴き出し、その質量を精密に計測することが可能となる。

その先駆けとなる歴史的な発見は、半ば偶然の産物であった。活動的銀河 Mシエ 106 の中心核方向で、銀河の後退速度とはかけ離れた異常な速度成分の水メーザーが、野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡の誇る超広帯域分光計の中に検出されていたのである。その後の詳細観測から、この水メーザーは、銀河核からわずか 0.1 パーセクという位置にあり、速度 900 km/s という超高速で回転する分子ガス円盤からの放射であると判明した。その内側に閉じ込められた物質の質量は、単純な力学法則でただちに太陽質量の 3600

万倍とわかる。問題はその正体だが、密度を勘定すると 1 立方パーセクあたり  $5 \times 10^9$  太陽質量にもおよび、星の集団では到底説明できない。これこそ活動銀河核における超巨大ブラックホールの存在を示すもっとも確度の高い観測的証拠である。

水メーザーは、その名の由来通りマイクロ波 (22 GHz 帯) の放射がよく知られているが、より波長の短いサブミリ波帯にもある。この波長帯では、近い将来、次世代の観測装置「ALMA」での観測が可能となり、新展開が期待される。本研究科附属天文学教育研究センターでも、南米アタカマ砂漠の高地に設置したサブミリ波望遠鏡「ASTE」を使いサブミリ波 (320 GHz 帯) 水メーザーの観測に着手している。



## 「サイクリックボルタンメトリー」

久米 晶子 (化学専攻 助教)

電池などの化学エネルギーを電気エネルギーに変えるシステムだけではなく、光合成や生体内での ATP 合成など自然界のエネルギー変換も、電子移動反応が基本となっている。このような系では、飛び石のように分子のパーツが配置され、エネルギーの勾配、ダイナミクスなどがうまくアレンジされることで、電子はあらかじめ決められた経路を効率よく通っていく。こうした電子移動にかかわる「ポテンシャル」「ダイナミクス」「空間配置」を追跡するのに、対象とする分子と電極との間の電子移動を電流として直接観測するのがサイクリックボルタンメトリー (CV) に代表される電気化学測定である。

2つの電極をもつ反応器に、電圧をかけて水を酸素と水素に分解したり、

金属イオン溶液から、金属が析出するめっきなどは多くの人が中学・高校で実験したことがあるだろう。基本的にはこの反応システムで、それぞれの分子特有の電子移動についてかなりの情報が得られるのである。また、低分子やイオンの挙動だけではなく、ポリマー、ナノ粒子、酸化還元酵素なども、それぞれの構造に特徴的な応答を示す。

CVでは、対象分子を含む電解質溶液中で、電極電位をくりかえしスキャンする。分子と電極とでやりとりされる電子の量が、それに必要なエネルギーに対応する電極電位で、酸化と還元電流ピークの対として観測され、電子移動の起こりやすさがわかる。

さらに、電位スキャンは時間情報を含むため、スキャン (掃引) スピードを

速くしたり、電流波形を解析すればサブマイクロ秒までの電子のやり取りの過程を追跡できる。これらは電子移動に伴う分子構造変化や、分子に注入される電子の経路の手がかりとなる。

また、電極上には、表面修飾法によって分子を空間的に固定でき、とくにデバイスを模して分子を配列する技術が注目を集めている。電気化学測定はこうした配列分子の電子移動特性を、組み立てた回路のスイッチを入れるように直接観測できるのである。

化学専攻無機化学研究室では、さまざまな分子の基本構造 (パーツ) を直線、枝分かれなど化学的に順次配置し、構造体中で電子移動の経路や効率について、電気化学測定を駆使して評価している。

# 東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(2008年6月, 7月)

(※)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>2008年6月23日付学位授与者(1名)</b>			
課程博士	物理	西口 創	レプトンフレーバー保存を破るミュー粒子崩壊事象を $10^{13}$ 分岐比まで探索するための新しい高感度陽電子スペクトロメータ(※)
<b>2008年6月30日付学位授与者(2名)</b>			
課程博士	生科	古水 千尋	シロイヌナズナにおける細胞の増殖と分化に関する分子遺伝学的研究(※)
課程博士	生科	森山 崇	植物と藻類に固有の色素体・ミトコンドリア局在型DNAポリメラーゼの研究(※)
<b>2008年7月14日付学位授与者(3名)</b>			
論文博士	地惑	大嶽 久志	月インプリウム盆地の化学組成構造に関する分光学的研究
課程博士	生化	片田江舞子	視細胞トランスチデューシニングサブユニットにおけるファルネシル基の作用標的解析
課程博士	生化	坪田 拓也	spineless(ss)遺伝子の解析を中心としたショウジョウバエ付属肢及び体節の特異性決定機構の解析
<b>2008年7月31日付学位授与者(3名)</b>			
課程博士	物理	渡部 洋	重い電子系におけるフェルミ面再校正を伴う新奇な量子相転移(※)
課程博士	化学	後反 克典	火山岩試料におけるBe同位体分析法の開発と地球化学的研究への応用: Be同位体比を用いた伊豆島弧火山岩のU系列放射非平衡の起源に関する研究
課程博士	生科	林 周一	ウニ精子鞭毛の振動運動の基礎となる微小管滑り運動切り替え機構における屈曲の役割(※)

## 人事異動報告

所属	職名	氏名	異動年月日	異動事項	備考
物理	助教	合田 義弘	2008.7.1	採用	
物理	一般職員	小野澤さわ子	2008.7.1	配置換	情報基盤センターデジタル・ライブラリ係へ
物理	一般職員	森 恭子	2008.7.1	配置換	附属図書館総務課柏図書館情報サービス係から
天文	事務室主任	大山 文明	2008.7.1	配置換	教育学部・教育学研究科附属中等教育学校チーム主任へ
天文	事務室主任	佐々木瑞恵	2008.7.1	配置換	工学系・情報理工学系等事務部財務グループ調達チーム主任から
化学	事務室係長	澁谷 弘毅	2008.7.1	配置換	スペクトル 事務室係長から
化学	一般職員	沼尾 吉美	2008.7.1	配置換	教養学部等総務課教室事務室へ
生科	事務室係長	和栗 正幸	2008.7.1	配置換	柏地区事務部センター支援グループ総務係長から
生科	一般職員	堀 真弓	2008.7.1	配置換	工学系・情報理工学系等事務部情報図書グループ情報資料チームへ
生科	一般職員	吉井 初巳	2008.7.1	配置換	農学部・農学生命科学研究科総務課図書チームから
植物園	事務室係長	笹崎 浩一	2008.7.1	昇任	事務室主任から
植物園	一般職員	永野 謙一	2008.7.1	配置換	薬学部・薬学系研究科会計チームから
臨海	助教	黒川 大輔	2008.7.1	採用	特任助教から
事務	専門員(施設担当)	松浦 敏夫	2008.7.1	昇任	経理チーム係長から
事務	庶務係長	渡辺 正昭	2008.7.1	配置換	国際系国際企画グループ専門職員へ
事務	庶務係長	斉藤 直樹	2008.7.1	配置換	生科 事務室係長から
事務	財務チーム係長	北見 佳子	2008.7.1	採用	放送大学学園教務部図書情報課管理係長から
事務	研究支援・外部資金チーム係長	菊地 啓子	2008.7.1	昇任	主任から
事務	経理チーム係長	横山 弘光	2008.7.1	昇任	主任から
事務	共同利用係主任	荒井 久典	2008.7.1	配置換	保健センター本郷支所事務室主任から
事務	教務係主任	有野 浩	2008.7.1	出向	放送大学学園総務部総務企画課評価分析係長へ
事務	教務係主任	角田 俊行	2008.7.1	配置換	共同利用係主任から
事務	財務チーム主任	小笠原信博	2008.7.1	出向	人間文化研究機構事務局財務課監査係長へ
事務	一般職員	笠原 純子	2008.7.1	配置換	医学部・医学系研究科図書受入係へ
事務	一般職員	永田 順子	2008.7.1	配置換	社会科学研究所総務チームへ

## 第14回東京大学理学部公開講演会「過去を知る理学」のお知らせ

広報誌編集委員会

理学部で行われている研究は現在起こっている現象を調べるものばかりではありません。現在の状況は過去の歴史の結果であることを考えれば、過去にどんなことが起こったかを知ることでも理学の対象となるのです。このような研究の中から今回は、宇宙と地球と生命の歴史に迫る話題を気鋭の研究者がわかりやすくご紹介します。

「長老の星が語る宇宙錬金術」

茂山 俊和（ビックバン宇宙国際研究センター 准教授）

「全地球凍結～地球史と生命進化の謎～」

田近 英一（地球惑星科学専攻 准教授）

「メスとオスの起源を探る～オス特異的遺伝子“OTOKOGI”の発見～」 野崎 久義（生物科学専攻 准教授）

**日時** 2008年11月1日（土）14:00～16:30（13:00開場） **定員** 700名。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

**中継** インターネット配信を予定。

（東京都文京区本郷7-3-1）

**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

**入場** 無料。参加申し込み不要。当日先着順。どなたでもご参加いただけます。

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

URL：http://www.s.u-tokyo.ac.jp/PL14/

### あとがき

夏休みの恒例行事となりつつあるオープンキャンパス。今年も、薄曇りの天候で、暑すぎることなく、みなさんに理学部の良さを体感していただけたのではないかと思います。広報室をはじめ、理学部全体としてこの行事を大切にしていますが、万が一のことがないように人の数や動きを予想し、展示・演示実験の計画などを万全なものとするように努力しています。準備の状況をみていますと、私は修士学生のころに研究所で研究していたので、地域の皆さんへの公開の場としてオープンキャンパスを先生方が大事にされていたのを思い出します。回数を重ねていくにつれ、より楽しい行事になっていくと思います。東大理学部を知っていただくと同時に、

理学の楽しさを知っていただこうとしているこの取り組みに今後とも内外のみなさまのご協力を賜りますようお願いいたします。

今号の「理学からはばたけ」には、化学専攻と地球惑星科学専攻ご出身の方にご登場いただきました。現在はお二人とも化学系のお仕事をされておられます。みなさんの手にされさまざまな商品には多くの人が開発した材料が使われていますが、こうした材料開発のイノベーションには必ず基礎科学が関わっています。私は工学部出身ですが、卒論のころから理学系出身の先生方と研究するチャンスをいただいたこともあり、材料開発への基礎科学の重要性を深く感じています。

米澤 徹（化学専攻 准教授）

第40巻3号

発行日：2008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：kouhou@adm.s.u-tokyo.ac.jp）

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

広報・科学コミュニケーション：

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

横山 広美 yokoyama@sp.s.u-tokyo.ac.jp

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

HP担当：

米澤 徹（化学専攻）tetsu@chem.s.u-tokyo.ac.jp

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

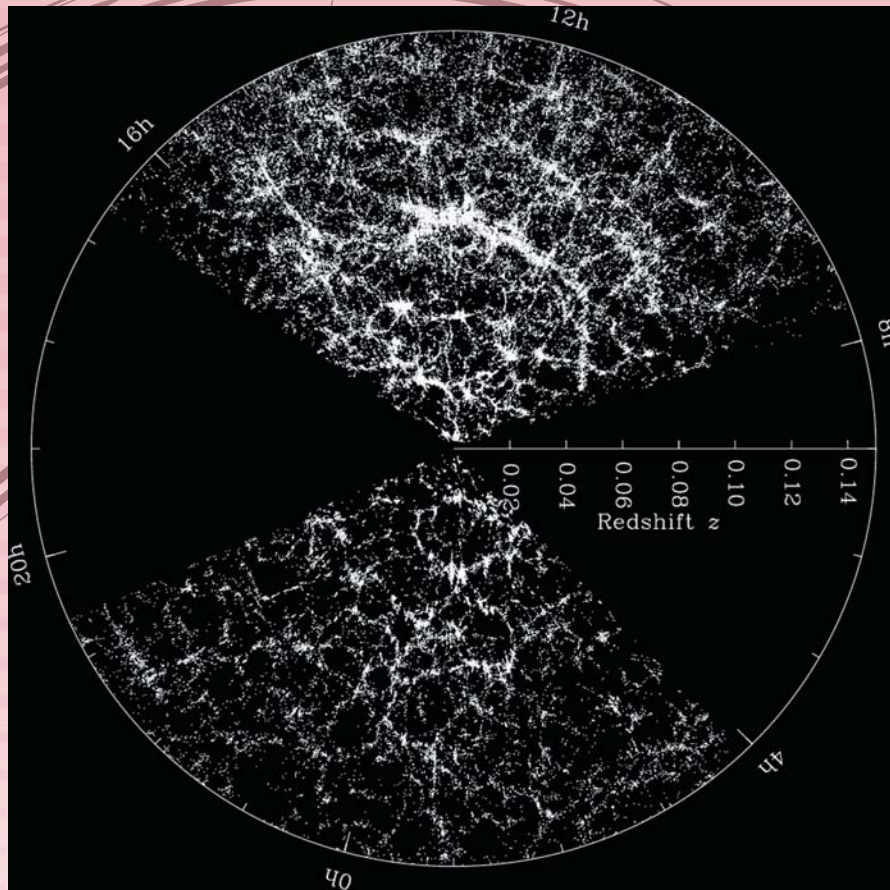
斉藤 直樹（庶務係）nsaito@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン：

加藤 千恵（庶務係）c-kato@adm.s.u-tokyo.ac.jp

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



a: スローンデジタルスカイサーベイによる宇宙地図



b: スローンデジタルスカイサーベイの看板



c: 640本の光ファイバーにつながれた穴あきアルミ板

～発掘 理学の宝物より～