



東京大学  
理学系研究科・理学部ニュース

2010年11月号 42巻4号

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



すばる望遠鏡から送信されるレーザーガイド星生成用レーザービーム  
～理学の匠「ボケを直す補償光学」より～

本号の記事から

トピックス

研究ニュース

学科の教育メニュー

理学のキーワード

2010年度「ロレアル・ユネスコ女性科学者日本奨励賞」受賞 ほか

約22億年前の全球凍結は大気・生命進化の起爆剤? ほか

化学科

「P2P」「ニュートリノ」「銀河団」

「海洋酸性化」「有機太陽電池」「中心子」

## トピックス

2010年度「ロレアル・ユネスコ女性科学者日本奨励賞」を本研究科の博士課程2名が受賞		
中村優希さんの受賞を祝して	中村 栄一 (化学専攻 教授) .....	3
野澤佳世さんの受賞を祝して	濡木 理 (生物化学専攻 教授) .....	3
研究科共通講義「現代科学史概論」が開講される	長谷川修司 (物理学専攻 教授) .....	4
全世界の宇宙論研究者が東京に集った5日間	横山 順一 (ビッグバン宇宙国際研究センター 教授) .....	4
「東大理学部で考える女子中高生の未来」開催	村尾 美緒 (物理学専攻 准教授) .....	5
イメージコンテスト2010・最優秀賞決まる	横山 広美 (広報・科学コミュニケーション 准教授) .....	5

## 学科の教育メニュー 第4回 化学科

Central Science としての化学を学び発展させる	山内 薫 (化学専攻 教授) .....	6
--------------------------------	----------------------	---

## 理学の匠 第4回

ボケを直す補償光学	家 正則 (国立天文台 教授) .....	8
-----------	-----------------------	---

## 研究ニュース

自律的に形成される嗅覚神経回路	竹内 春樹 (生物化学専攻 特任助教), 坂野 仁 (生物化学専攻 教授) .....	9
木質細胞壁のマイクロ構造を制御する遺伝子の発見	小田 祥久 (生物科学専攻 特任研究員), 福田 裕穂 (生物科学専攻 教授) .....	10
深部微動震源域の構造的特徴と海山引っ掻き仮説	井出 哲 (地球惑星科学専攻 准教授) .....	11
約22億年前の全球凍結は気候・生命進化の起爆剤?	関根 康人 (新領域創成科学研究科複雑理工学専攻 助教), 田近 英一 (新領域創成科学研究科複雑理工学専攻 教授) .....	12
筋肉が高効率である仕組みを解明	茅 元司 (物理学専攻 助教), 樋口 秀男 (物理学専攻 教授) .....	13
星間炭素鎖分子の「宝庫」Lupus-1A 分子雲の発見	坂井 南美 (ビッグバン宇宙国際研究センター 助教) .....	14

## 連載：理学のキーワード 第28回

「P2P」	稲葉 真理 (情報理工学系研究科 准教授) .....	15
「ニュートリノ」	横山 将志 (物理学専攻 准教授) .....	15
「銀河団」	中澤 知洋 (物理学専攻 講師) .....	16
「海洋酸性化」	羽角 博康 (大気海洋研究所 准教授) .....	16
「有機太陽電池」	岡本 敏宏 (化学専攻 特任助教) .....	17
「中心子」	廣野 雅文 (生物科学専攻 准教授) .....	17

## お知らせ

生物科学専攻の3論文がトップジャーナルの表紙に	中野 明彦 (生物科学専攻 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
理学部ガイダンス@駒場	長谷川修司 (物理学専攻 教授) .....	19

■表紙 すばる望遠鏡から送信されるレーザーガイド星生成用レーザービーム。2006年10月13日ハワイ観測所高遠徳尚氏撮影。波長589nm, 出力6ワット(通常のレーザーポインタの6000倍), ビーム直径50cm。レーザービーム中のダストや窒素・酸素分子からの散乱光は、月明かりのない夜であれば、肉眼でも十分見ることができる。

## 2010年度「ロレアルーユネスコ女性科学者日本奨励賞」を 本研究科の博士課程2名が受賞

広報誌編集委員会

「ロレアルーユネスコ女性科学者日本奨励賞」は、将来を担う日本の若手女性研究者が国内の教育・研究機関において研究を継続できるよう、化粧品メーカーの日本ロレアル社と日本ユネスコの協力のもとに2005年に創設されたもので、物質科学と生命科学の分野から毎年4名、40歳以下の女性科学者に贈られる。今年は、本研究科から化学専攻の中村優希さんと生物化学の野澤佳世さんが受賞の栄誉に輝いた。本研究科からの受賞は、今回が初めて。なお、この賞は本研究科の小林昭子名誉教授が2009年度に受賞された国際賞の「ロレアルーユネスコ女性科学者賞」（理学部ニュース2009年1月号参照）の国内・若手版にあたる。

### 中村優希さんの受賞を祝して

中村 栄一（化学専攻 教授）

2010年度「ロレアルーユネスコ女性科学者日本奨励賞—物質科学分野」を、化学専攻博士課程の中村優希さんが受賞されました。

受賞研究テーマは「炭素—フッ素結合の活性化による新規合成反応の開発とナノサイエンスへの応用」です。フッ素原子は電子を引き寄せる作用があり、そのためにフッ素を含んだ有機化合物は、医薬や有機エレクトロニクス材料として注目を集めています。中村さんは、化学反応の根本原理に基づいた触媒反応を設計して、新しいフッ素化合物を作り出すことに成功しました。

中村さんはアメリカで育ち、カリフォルニア大学バークレー校を卒業して本研究科に入学しました。毎日研究に打ち込む傍ら、アメリカの高校・大学の学生生活に関する書き物を雑誌に寄稿したり、本学理学部の「女子高校生のためのサイエンスカフェ」や、この夏行われた「化学オリンピック」のホスト学生を務めるなど、科学の面白さを人々に伝える活動も活発に行っています。2009年理学系研究科研究奨励賞(修士)受賞者です。



■ 中村優希さん

### 野澤佳世さんの受賞を祝して

濡木 理（生物化学専攻 教授）

優れた成果を挙げた若手女性研究者に贈られる「ロレアルーユネスコ女性科学者日本奨励賞」の今年の受賞者に生物化学専攻の野澤佳世さんら4名が選ばれました。この賞は世界の科学の発展に貢献した女性科学者を称える「ロレアルーユネスコ女性科学賞」の国内賞にあたる非常に名誉ある賞であり、DNAの不連続複製「岡崎フラグメント」で知られる岡崎恒子氏やリボソームのX線結晶構造解析でノーベル化学賞を受賞したアダ・ヨナス(Ada E. Yonath)氏らが科学賞を受賞しています。

受賞者である野澤さんは、生命の設計図、DNAからタンパク質が作られるという営みの中でタンパク質にいろいろな新しいアミノ酸を組み込むことのできる特別な二つの分子(PyIRSとtRNA)の複合体構造と機能を解明し、医療・工業に有用な新規タンパク質合成技術開発に貢献しました。野澤さんはこの成果を多くの国内外の学会で発表すると共に、論文、総説としてもまとめるなど(*Nature* 2009, 生化学ミニレビュー)、精力的に研究活動を行っており、これからのさらなる飛躍と活躍が期待されます。



■ 野澤佳世さん

## 研究科共通講義「現代科学史概論」が開講される

教務委員長  
長谷川 修司 (物理学専攻 教授)

昨日出た論文から得た情報、先週出席した学会で仕入れた情報、毎日洪水のように押し寄せてくる最新の学術情報の中でガムシャラに泳ぎ続けていると、自分の研究の位置づけや長期的な研究の方向性を見失うことも… そのような状態の学生に博士論文の審査などでときどき出くわすこともある。そんなときは、当該分野の歴史の流れの中で、自分がやったことがどのような意味をもつのか明確に記述して、自分の仕事を歴史の中に組み込みなさい、と指導する。歴史を知ることは自分の立ち位置を知り、自分の成果の意義を客観的に把握し、これから進むべき方向を照らし出してく

れるはず。

本理学系研究科では、大学院教育高度化プログラムの一環として、昨年度から「現代科学史概論」を開講している。定年退職前後の本研究科のベテランの先生方に、ご自分の専門分野および周辺分野を、その歴史的な背景とともに講義していただき、大学院生に教養の幅を広げてもらうことをねらいとしている。今年度は、図のとおり9月中旬に5日間の集中講義として開講し、常に50名前後の聴講者が集まった。レポートを提出して単位を取得した院生は47名であった(15コマを5日でカバーし2単位となる密度の高い講義)。特に、今年度は、科学史がご専門の本学総合文化研究科の岡本拓司先生にもご出講いただき、日本の科学史を中心に対話形式の新鮮な講義をいただいた。(元)理学系の先生方の講義でも、通常の講義では拝聴できない「ヒューマンな」話も多く出てきて、学

生にも好評であった。研究に没頭する理学系の大学院生に、自分の専門の「城」からちょっとだけ顔を出してもらい、さまざまな分野の歴史を概観して、「タフな東大生」にふさわしい教養を身につけるきっかけになったのではないかと思う。



現代科学史概論IIポスター

## 全世界の宇宙論研究者が東京に集った5日間

横山 順一  
(ビッグバン宇宙国際研究センター 教授)

本研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センターと数物連携宇宙連携機構の共催により、堀場国際会議：全世界宇宙論会議 COSMO/CosPA2010 が、去る9月27日から10月1日までの5日間にわたって、農学部弥生講堂一条ホールを主会場、小柴ホール他理学系研究科各教室をパラレルセッション会場として開催された。これは、欧州と米国でほぼ交互に毎年開かれてきた COSMO と、台湾に始まり、近年韓国、オーストラリアとアジア太平洋地区を巡回している CosPA という、宇宙論・素粒子天体物理学の二つの国際会議シリーズを一体的にホストし

て行った会議で、世界全5大陸30カ国より290余名の出席を得た。

午前中は連日招待講演者による全体講演、午後は日によってパラレルセッション(4セッション並行で延べ100講演)やビール片手のポスターディスカッション、エクスカーション、と盛りだくさんの日程で、現代宇宙論の三大テーマである、ダークエネルギー、ダークマターの起源、インフレーションの宇宙膨張の実現機構、などに関する活発な議論が行われた。

また、「接遇に十分配慮し」、「人間的な接触を深め」、「永続する協力の基盤を築くこと」という、堀場国際会議の実施要項に則って実施した鎌倉へのエ

クスカーションや椿山荘で行った純日本料理のバンケットは、とくに参加者の6割を占めた海外からの出席者からたいへん喜ばれ、わが国の優れた文化を世界に紹介する一助となった。

会議の詳細はホームページ <http://www.resceu.s.u-tokyo.ac.jp/symposium/cosmocospa2010/index.php> に掲載されている。



農学部弥生講堂一条ホールでの全体講演風景

## 「東大理学部で考える女子中高生の未来」開催

■ 村尾 美緒 (物理学専攻 准教授)

2010年9月26日(日)午後1時より「東大理学部で考える女子中高生の未来」のイベントが開催された。昨年度よりさらに多い、合わせて59名の女子中高生とその保護者・教員が参加し、小柴ホールでの理学系研究科の女性教員4名の講演会と研究室見学を行なった。

講演会は、横山広美准教授が総合司会を務め、山形俊男研究科長の開演挨拶の後、筆者、附属植物園の角川洋子助教、地球惑星科学専攻の並木敦子助教、附属ビッグバン宇宙国際研究センターの平賀淳子助教が、量子力学と情報、生物の多様性、火山噴火の謎、X線による宇宙観測についての各講演を行なった。微小

スケールの量子から巨大スケールの宇宙までを対象とした幅広い講演会となったが、専門的内容と共に科学に対する多様な取り組み方が示され、参加者はひじょうに熱心に講演を聞いていた。その後、参加者は4グループに分かれて講演者の研究室訪問に向かった。筆者の研究室では、理論物理学者がどのように研究を進めているのかを体験していただくため、研究室でのディスカッションの様子を再現して、研究内容や研究生活に関する説明を進めた。

その後小柴ホールに戻り、各講演者への質疑応答を行なった。科学者であることと家庭との両立の難しさなど会場から鋭い質問もあり、講演者が多様な回答をした点も、正答はひとつではないことが示せて良かったのではと思う。男女共同参画委員長の黒田真也教授の終演挨拶の後、参加者、教員、サポートTAとの歓

談タイムも設けられ、熱心に質問をしてくださった参加者も多かった。アンケート結果によると参加者の方々にたいへん喜んでいただいたようで、理系選択の参考になったなど、嬉しいコメントが多く寄せられたそうである。イベントスタッフの教職員とTAの学生のご尽力に感謝したい。



■ 筆者の研究室にてディスカッション

## イメージコンテスト2010・最優秀賞決まる

■ 横山 広美

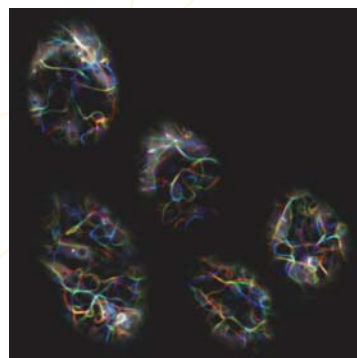
(広報・科学コミュニケーション 准教授)

理学部の学生・教員が応募して画像の美しさを競う「東京大学理学部イメージコンテスト2010」が昨年度に引き続き理学部オープンキャンパスにて開催され、訪れた多くの人によって3点の最優秀作品が選ばれた。

理学の魅力を広く伝えるのに画像は欠かせない。サイエンスに興味をもつ人はどうしても限られてしまうが、美しい画像に注目してくださる人は多い。事実、記者会見のさいなどは、美しい画像をもつ発表は紙面にもより取り上げられやすい。そこで理学部では、「イメージバンク」という画像の集積場を作り、見る方に楽しんでいただくと同時にどなたにも使ってもらえる画像提供を行っている。イメージコンテストは、理学部広報委員会

による、イメージバンクの周知も含めた活動である。

今回受賞されたのは天文学教育研究センター本原顕太郎准教授の「世界一高い天文台」(理学部ニュース2010年9月号掲載)、地球惑星科学専攻博士課程3年横井孝暁さんの「屋下がりの新緑」(右上)、そして生物科学専攻上田貴志准教授の「ブラックオパール・サイトスケルトン」(右下)である。それぞれ、天文学教育研究センターがチリ・アタカマの標高5640mの山頂に設置した世界最高地点の天文台(TAO)、理学部が毎年5月に小石川植物園で行う交歓会で撮影したイロハモミジ、庭の嫌われ者、ゼニゴケのアクチン繊維(細胞骨格の一種)を3秒毎に撮影し、赤、緑、青に着色したのち重ね合わせた写真であり、見るだけで撮影者のいる場へと誘われるようだ。ぜひウェブからもご覧いただきたい。  
<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/prize/ImageContest2010/>



# Central Science としての化学を学び発展させる

山内 薫 (化学専攻 教授)

## ■ 化学科とは

地球上や宇宙に存在する広大な物質群、および、それらが織り成す壮大な物質世界や生命世界を、原子・分子レベル、分子集合体レベルで探索・理解する科学、それが化学である。化学という学問領域は、物理化学、無機化学、有機化学、生物化学などに大別されるが、いずれの分野も量子力学、熱・統計力学などの基礎に立ち、化学自体で精密科学としての体系をもちながら、物理学、生命科学、地球・環境科学などの境界領域に研究分野を広げている。最近のバイオテクノロジー、エレクトロニクス、新素材開発などの分野の目覚ましい発展も、物質を分子や分子集合体レベルで解明する化学の研究成果に基づくものである。本化学科は、学術の最先端領域で活躍する教員を擁し、「化学」の基礎から応用までを学ぶことができる教育カリキュラムを用意している。また、2010年3月に講義室、実験室を改装し、新しい学生を受け入れる環境も整っている。

なお、化学科の歴史は、徳川幕府が創設した蕃書調所の精煉方(1861年)までさかのぼる。東京大学創立の年(1877年)に早くも卒業生3名を出した唯一の学科でもあった。それ以来、

本化学科はわが国の化学発祥の地、および先導役として学界、産業界、教育界に多くの人材を輩出してきた。

## ■ 進学振り分け

化学科は上限定数45名で学生を募集する。定員の内訳は、第一段階：理科I類18名、理科II類10名、全科類6名、第二段階：理科全類11名である。

## ■ 化学科のカリキュラム

現代の化学の研究は、宇宙の果てに存在する分子を電波望遠鏡で観測する宇宙化学から、最新のレーザー光計測により生きた細胞を調べる生命化学まで、実に幅の広い分野にわたっている。化学科では、その中でも、化学の基礎となる分野、すなわち、分子の構造や反応、そして、光と分子の相互作用に関する基本的な研究を行う物理化学や、さまざまな物質の分析方法を開拓する分析化学、有用な物質の創成を目指す有機合成化学について、深く、そして広く学べるように、学部学生のためのカリキュラムを用意している。(表)



■ 化学科での学生生活

2年生4学期

進学内定後の4学期には、量子化学I、化学熱力学I、無機化学I、分析化学I、有機化学Iなど、化学の基礎を固める講義が開講される。

3年生（第5および第6学期）

3年生になると、午前講義、午後実験、という充実した毎日が本郷キャンパスにて始まる。化学の専門知識を深く広く学べるように、選択科目として16講義が開講される。

また、第5学期には、化学教室内の親睦を深める目的で、研究室対抗ソフトボール大会が開催される。3年生も、“チーム3年生”として、例年トーナメントに出場している。

4年生（第7および第8学期）

4年生になると化学特別実験のみが必修科目となる。化学特別実験は卒業研究として1年間行われるもので、学生は化学教室のいずれかの研究室に各自の希望により配属され、化学の最先端の独創性を目指した研究を行うことになる。研究者としてのスタートが4年生から始まることになる。

■カリキュラムの特徴

カリキュラムの特徴のひとつは、実験を第一に重視するという点にある。実際、3年（第5および第6学期）の一週間を通して3限と4限は学生実験に充てられており、無機および分析化学、有機化学、物理化学の各分野での実験を必修科目として行っている。また、これらの3実験科目と4年での化学特別実験（第7および第8学期）以外の科目については、十分に選択の自由が確保されている。

■進路

化学科学部卒業生は、例年大部分が本学の大学院修士課程に進学する。大学院理学系研究科化学専攻の修士課程の定員63名が、化学科定員45名よりも多いことからわかるように、化学専攻全国の大学から化学系学部出身者が集まっている。また、大学院の修士課程の修了者の半数が博士課程に進学し、残りの半数が、民間企業、国公立研究・教育機関に就職している。また、博士課程修了者は理学博士の学位を取得し、第一線の研究者として大学や研究所などの研究・教育機関、民間企業の研究職に就職している。

2年生	3年生	4年生
化学熱力学I	無機分析化学実験	化学特別実験
量子化学I	有機化学実験	生命分子化学
無機化学I	物理化学実験	物理化学特論I
分析化学I	構造化学	物理化学特論II
有機化学I	化学反応学	物理化学演習
情報数学	量子化学II	無機分析化学特論
物理実験学	化学熱力学II	無機分析化学演習
物理学演習I	分子量子論	有機化学特論I
物理数学I	現代物理化学	有機化学特論II
物理数学II	無機化学II	有機化学演習
電磁気学I	固体化学	
解析力学・量子力学I	放射化学	
地球惑星物理学概論	地球化学	
地球惑星物質科学	分析化学II	
地形・地質学	無機化学III	
生物化学概論I	有機化学II	
生物化学概論II	有機化学III	
細胞生理学	有機化学IV	
生物統計学	天然物有機化学	
遺伝学		
進化生物学		必修科目
分子生物学		選択科目

■化学科カリキュラム



■化学東館（上）、西館（下）

## ボケを直す補償光学

家 正則（国立天文台 教授，天文学専攻 兼任）

「瞬く星って、ロマンチックね？」 トンデモナイ！ 無粋な天文学者にはロマンチックは無用。天体からの光が地球大気の大気揺らぎで乱されてしまうのが瞬きの原因である。何億年もかけてやっと望遠鏡にたどりついた光子たちも、携えた情報を最後の瞬間に乱され、さぞ残念がっているだろう。これを救う先端技術を補償光学とよぶ。

ガリレオが直径3 cmの望遠鏡を夜空に向けてから400年、望遠鏡はどんどん大きくなった。望遠鏡の理論的解像力は波長／直径に比例するはずだが、実は大気揺らぎのため可視光での解像力は長い間、改善が無かったのである。「光波面の乱れを高速測定して、その乱れを直してやれば回折限界の結像を回復することができる」という補償光学の基本アイデアは、H. バブコック（Horace Babcock）が1953年に発表した。技術の発展に伴い、補償光学は1990年代に天文学

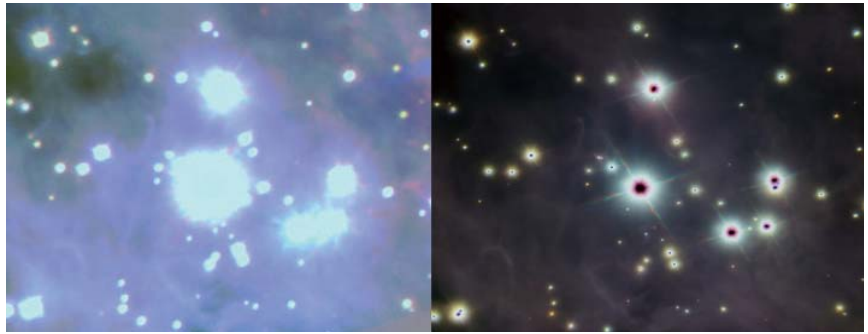


図2：（左）1999年にすばる望遠鏡で撮影したオリオン大星雲のトラペジウム領域。（右）2006年に補償光学系をつけて撮影した同じ領域。解像度が10倍向上している。

で実現し始めた。すばる望遠鏡でも、第一世代の36素子補償光学系の製作経験を活かして、科研費特別推進研究により第二世代188素子の補償光学系を2006年に完成した。

補償光学系は光波面のゆらぎ分布をkHzのレートで測る波面センサーと、波面ゆらぎをうち消す可変形鏡からなる。第一世代の補償光学系では、12等星より明るいガイド星のそばでしか使えなかった。第二世代では、近くにガイド星がない天域でも補償光学系で観測できるよう「レーザーガイド星生成装置」も製作した。これは高度90 kmにあるナトリウム原子層にナトリウムD2線（波長589 nm）で発振するパワーレーザーを照射し、ナトリウムを励起して光らせることにより、ガイド用の「人工星」をすばる望遠鏡で観測したい方向に発生させるという、トンデモナイ装置である。システムの構成要素は前例の無いものばかりで、理化学研究所、三菱電線、イタリアとフランスの光学会社などと試作・共同開発した。光学系、制御系、レーザー装置の製作とすばる望遠鏡への実装は、本研究科で学位を取得したメンバー5名を中心とする10数名のグループが10年がかりで行った。

2006年の試験観測で、すばる望遠鏡は近赤外線での回折限界を達成し、それまでの「裸眼」の10倍、ハッブル宇宙望遠鏡の3倍の視力を達成した。「人工星」発生装置と連動した本格的運用は2011年春から開始する予定で最終調整を進めている。

「大気さえ無ければ」との思いから打ち上げられたハッブル宇宙望遠鏡は、全体で一兆円以上の経費がかかった。さらに進化した補償光学系を備えた次世代30 m級望遠鏡はその10%程度の予算で建設可能であり、10年後に実現すれば予想を超えた宇宙の姿を見せてくれるだろう。

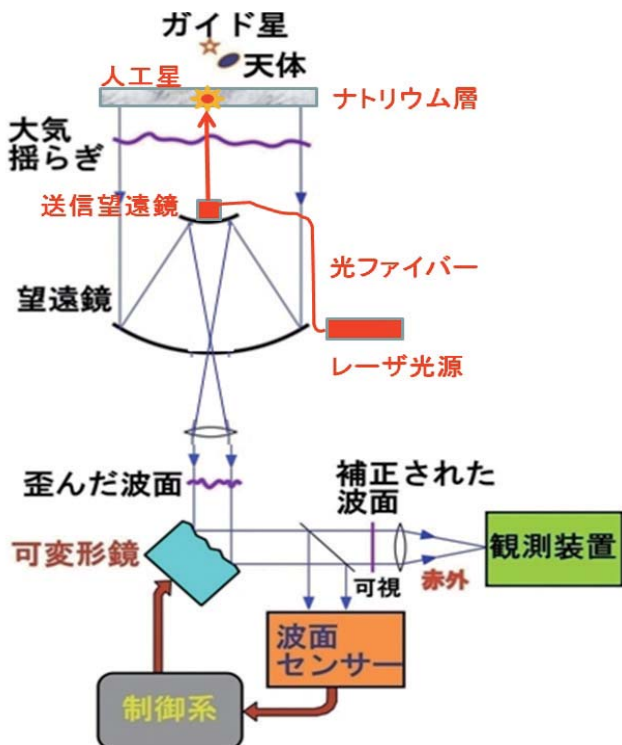


図1：レーザーガイド星補償光学系の構成。観測したい天体のそばにあるガイド星、あるいはレーザー人工星からの光が大気揺らぎで乱れる様子を波面センサーで測り、高速制御系で可変形鏡を実時間駆動して歪んだ波面を補正し、観測装置に送る。



# 自律的に形成される嗅覚神経回路

竹内 春樹 (生物化学専攻 特任助教),  
坂野 仁 (生物化学専攻 教授)

ヒトを含む高等動物の脳は、多数の神経細胞からなる複雑かつ精巧に組織された神経回路によって、外界からの感覚情報を適切に処理し行動する。この情報処理の根幹をなす神経回路がどのように形成されるのかという問題は、神経科学における不可避の課題のひとつであると考えられる。今回われわれは、マウス嗅覚系をモデルとして、これまで考えられていたものとは異なる新しい神経回路形成のメカニズムを明らかにした。

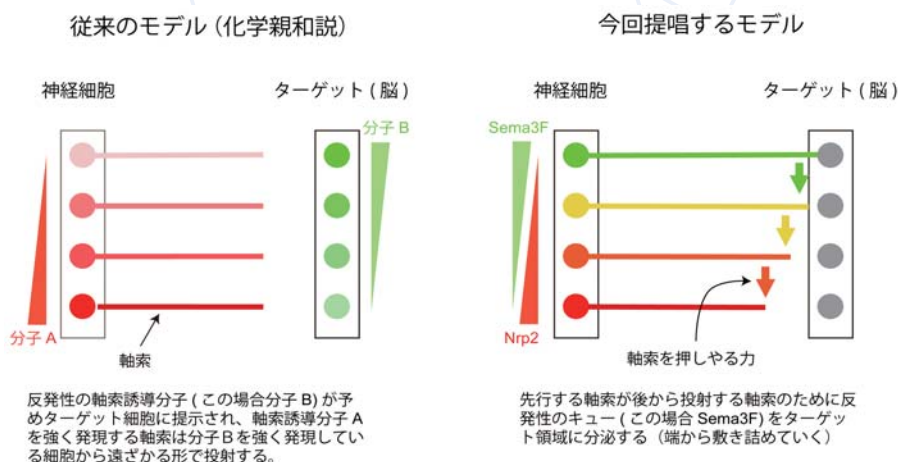
神経回路形成に関しては、これまでロジャー・スペリー (Roger Sperry; 1981年ノーベル賞受賞) の提唱した“化学親和性モデル”を基礎に、主として視覚系を用いて研究が進められてきた。すなわち視覚系の場合、投射する軸索や投射先に相補的な濃度勾配をなして発現する反発性の軸索誘導分子が、神経軸索の投射位置を決定すると考えられている。この軸索末端に発現する受容体分子と投射ターゲットに存在する軸索誘導分子の相互作用によって投射位置が決まるという考え方は、きわめて自然でこれまで広く受け入れられて来た。しかしながら、マウスの嗅覚系では、ターゲットに相当する嗅球の細胞がない状態においても嗅覚神経細胞 (嗅細胞) 自身で自律的に神経回路が形成されることがわかっており、既存のモデルに当てはまらない新しいメカニズムの存在が示唆されていた。そこでわれわれは、この嗅覚神経回路の形成メカニズムを分子レベルで理解するために、脳のさまざまな領域において神経回路形成に関わる軸索誘導分子、ニューロピリン2 (Nrp2) に着目した。この分子は、嗅上皮に存在する嗅細胞において濃度勾配をもって発現しており、遺伝子改変技術によってこの遺伝子を欠

失すると、嗅覚神経回路に異常なパターンが現れることを明らかとした。さらにわれわれは、Nrp2の反発性のリガンドであるSema3Fについても解析を行い、Sema3Fはターゲットの細胞ではなく投射する嗅細胞においてNrp2と相補的に発現していること、そして発生過程において先行する軸索によってターゲットである嗅球領域に運び込まれ、後から投射するNrp2を発現する軸索に対して反発性のキューとして働くということ突き止めた。ここで重要なことは、通常ターゲットに発現する軸索誘導分子が、先着する軸索によってもち込まれ、遅れて到達する軸索に対して反発性の誘導分子となっている点である。このターゲット細胞に依存しない自律的な神経回路の形成メカニズムは、高等動物の脳における新しいモデルであり、動物種ごとに匂いを受容する受容体の数や鼻の大きさ、形などが大きく変化する嗅覚系において、非常に合理的な戦略であると考えられる。

また、よく発生の過程は進化をたどる形で行われるといわれるが、興味深いことに、嗅球へと先に軸索を伸長させ神経回路を形成する嗅細胞は、魚類から存在する進化的に保存された匂い受容体を発現し、先天的な匂いの情報処理に関わるということが明らかとなっている。これらの知見は、今回の研究が一般的にいう「個体発生は系統発生をたどる」という考えにある程度の正当性を与えるものであるとも考察できる。

以上の成果は、H. Takeuchi *et al.*, *Cell* 141, 1056 (2010) に掲載された。

(2010年6月11日プレスリリース)



■ 神経回路形成における従来モデルと今回提唱されたモデル

# 木質細胞壁のミクロ構造を制御する遺伝子の発見

小田 祥久 (生物科学専攻 特任研究員),  
 福田 裕穂 (生物科学専攻 教授)

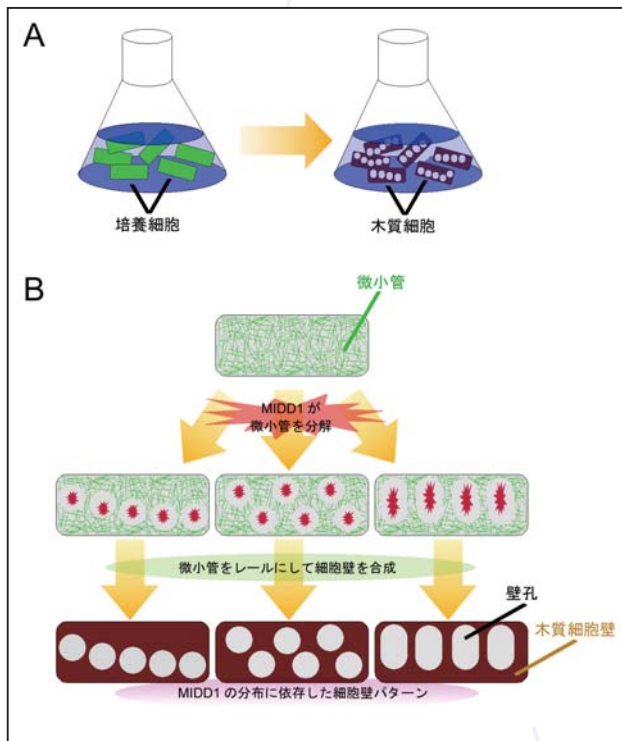
木材は陸上バイオマスの大きな部分を占め、石油や石炭などの化石資源に代わるエネルギーまた素材用のバイオマス資源として、人類に欠かせないものである。木材は木質細胞が作り出す丈夫な細胞壁が何層にも積み重なって作られているが、この細胞壁には無数の微小な孔が空いており、木材に通気性と柔軟性をもたらしている。今回、私たちはシロイヌナズナの培養細胞を用いた木質細胞の分化誘導系を開発し、木質細胞の細胞壁構造を制御する新規微小管付随タンパク質を発見した。

細胞壁の主成分であるセルロース微繊維である。セルロース微繊維は、細胞表層に並ぶ表層微小管をレールとして合成される。木質細胞においては、表層微小管の配置に偏りが生じるため局所的に細胞壁が肥厚し、それ以外の部分は細胞壁の微小な孔である壁孔となることが知られていた。しかしながら、そのような表層微小管の偏りを制御するメカニズムは長年にわたって未解明であった。私たちは、シロイヌナズナの培養細胞

に、木質細胞分化を誘導できるマスター転写因子の遺伝子を導入し、その発現を人為的に誘導することによって、木質細胞をきわめて高効率に作り出すことに成功した(図A)。この実験系を利用し、木質細胞で働く遺伝子群の発現をマイクロアレイ法によって網羅的に解析した。その結果、木質細胞の細胞壁構造を作り出す上で必須となる遺伝子群を発見し、*Microtubule depletion domain 1 (MIDD1)*<sup>注)</sup>と名付けた。*MIDD1* 遺伝子が作り出すタンパク質は局所的に細胞壁の合成を抑制する因子であり、このタンパク質の分布が異なると、細胞壁の構造もその分布を反映したものに変わることが分かった(図B)。*MIDD1* タンパク質が局所的に細胞壁の合成を抑制するメカニズムを明らかにするために、高感度の蛍光顕微鏡下で *MIDD1* タンパク質の挙動を詳細に解析したところ、*MIDD1* タンパク質は特定の領域の細胞膜と結合しながら、いっぽうでは、その近傍の表層微小管に結合していた。さらに、*MIDD1* タンパク質はそれらの微小管の先端(+端)に顕著に蓄積し、微小管を崩壊へ向かわせていた。以上の結果から、特定の細胞膜領域に局在する *MIDD1* タンパク質の働きによって表層微小管が局所的に消失し、その領域での細胞壁の肥厚が抑制されて壁孔が生じることが明らかとなった(図B)。このように微小管を局所的に崩壊させることによって細胞壁の構造を制御するというメカニズムは、今回初めて明らかになったものである。また、このメカニズムを応用すれば、*MIDD1* の働きを人為的に操作することによって木材のミクロ構造を変化させ、新たな木質素材を開発する道が拓けると期待される。

本研究は、Y. Oda *et al.*, *Current Biology* 20, 1197 (2010) に掲載された。

(2010年6月18日プレスリリース)



図：(A) シロイヌナズナの培養細胞(左)が特殊な転写因子の働きによって木質細胞に分化する(右)。  
 (B) *MIDD1* が細胞壁合成のレールとなる微小管を局所的に破壊することにより、木質細胞に特徴的な細胞壁の構造が作り出される。

注) この研究の初期において、*MIDD1* タンパク質が微小管 (microtubule) の消失した領域 (depletion domain) に蓄積していたことからこのように名付けられた。

# 深部微動震源域の構造的特徴と海山引っ掻き仮説

井出 哲 (地球惑星科学専攻 准教授)

近年発見された深部微動は海溝型巨大地震発生に関係すると考えられている。そこで四国西部で起きる深部微動を解析し、微動源の位置と継続時間を推定した。その結果、微動発生場所によって異なる特徴が明らかになった。この特徴はプレート境界面上の摩擦特性不均質を表していると考えられる。同時に発見された微動源の線状構造と合わせて、これらの不均質が海山などのプレート境界の凸凹が沈み込む過程で上側プレートに付けた傷の多少によって百万年単位で形成されたという仮説が提案できる。

2000年以降、世界中の海溝型巨大地震発生地域の周辺で「ゆっくり地震」とか「深部微動」とかいわれる現象の発見が相次いでいる。これらは最大でマグニチュード7の地震と同程度の地殻変動を伴うものの、体を感じるようなゆれは起こさない奇妙な現象である。微弱に観測される地震波は都市なら交通機関や工場などが出す振動ノイズに埋もれてしまうほど小さい。この地震波を深部微動とよぶ。微動は海溝型巨大地震発生地域の下端付近、深さ約30kmで発生する。そのため海溝型巨

大地震に関連する現象として発生機構解明が期待されている。

今回、微動源の位置を精密に推定するとともにそれぞれの微動源の継続時間を測定し、その時間空間的なパターンを分析した。対象地域は四国西部、防災科学技術研究所高感度地震観測網(Hi-net)の連続地震波データ5年分を用いた。微動源位置と継続時間の推定結果から、以下のことがわかる。(1)微動源は直線状に並んでおり、その直線状構造は北北西または西北西の2通りの方向を向く(図中の矢印)。(2)微動は場所ごとに繰り返し間隔(数日から半年)と継続時間(数秒から数分)が異なる。それに伴い微動の時空間的広がり方にも地域の特徴がみられる。

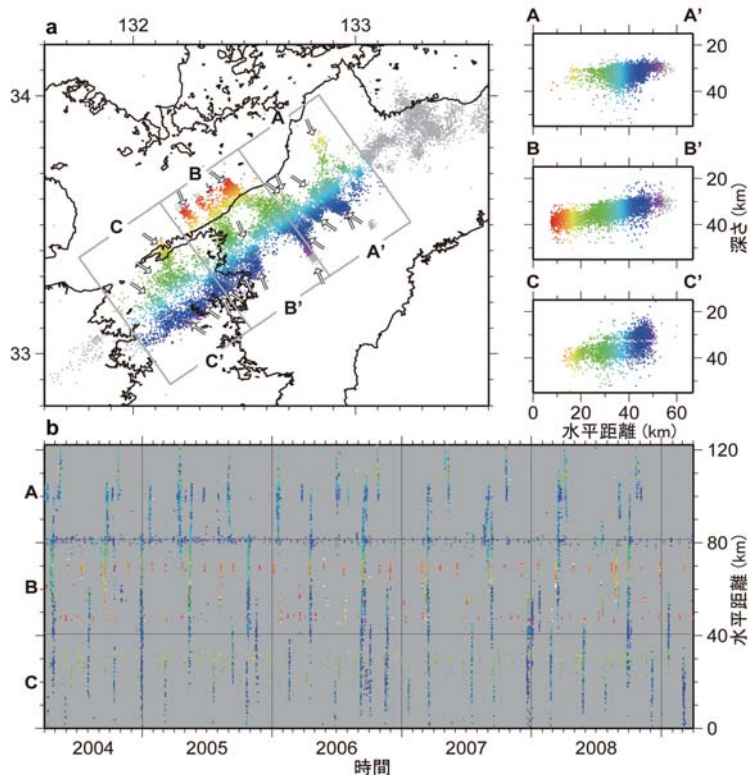
これらの観察事実から、微動はプレート境界に一樣に起きるのではなく、何らかの局所的性質で特徴づけられていることがわかる。一般に岩石同士のすべり運動はすべり面の摩擦特性によって不安定的にまたは安定的に起きる。不均質性はこのような摩擦特性を反映するだろう。また微動の直線状構造の方向は過去のプレート運動の方向(現在:西北西、約300万年以前:

北北西)と一致する。したがってこの不均質性は過去のプレート運動に原因がありそうである。

そこで「海山引っ掻きモデル」を考えることができる。微動の発生には地下の鉱物の脱水反応による水とその水が引き起こす鉱物の変成が影響する。水によってマンツルの岩石が変成し、境界面の摩擦特性が変化するのである。その変成は一樣には起こらない。フィリピン海プレート上の海山などの凸凹構造が沈み込み、応力不均質を引き起こす(引っ掻く)ときに、沈み込み方向に効率よく水を輸送することで、その方向に特に良く変成が進み、直線的構造になる。すなわち地質年代スケールのプレート運動の結果が現在の微動発生源分布となる。世界中で発見されている微動活動にもこの仮説が適用できるか、今後検証する必要がある。

本研究は、S. Ide, *Nature* 466, 356 (2010) に掲載された。

(2010年7月15日プレスリリース)



推定された微動源の位置、場所によって色を変えてある。a 地図表示および AA', BB', CC' での断面図、直線状構造(矢印)がみられる。b 時空間表示、同じ色がほぼ等間隔に繰り返す。

# 約 22 億年前の全球凍結は大気・生命進化の起爆剤？

関根 康人（新領域創成科学研究科複雑理工学専攻 助教），  
田近 英一（新領域創成科学研究科複雑理工学専攻 教授，地球惑星科学専攻 兼任）

全球凍結とは、地球表面がほとんどすべて凍りついてしまう現象であり、地球史上最大級の環境変動だといえる。全球凍結は、今から約 22 億年前、7 億年前、6 億年前の少なくとも 3 回生じたと考えられている。とくに約 22 億年前の全球凍結直後には、大気酸素濃度がほぼゼロから現在の 1/100 以上のレベルにまで急激に増大した。全球凍結がどのようにして酸素の増大を引き起こしたのか？本研究では、地球史において最重要ともいえるこれら 2 つのイベント間の“ミッシングリンク”を解明した。

現在、地球大気の 21% を占める酸素は、地球史を通じて徐々に増えてきたわけではなく、特定の時期に急激に増加したと考えられている。とくに、今から約 22 億年前の“大酸化イベント”とよばれる時期には、光合成生物の大繁殖によって膨大な量の酸素が生産された。放出された酸素は、表層の物質を酸化し生態系を一変させ、真核生物の誕生につながった。

なぜこの時期に大酸化イベントが起こったのだろうか？その謎に迫る鍵は、その直前に起きた全球凍結にあるかも知れない。われわれは当時の地層が分布する北米大陸の 2 地域（米国・ミシガン州およびカナダ・オンタリオ州）において地質調査を実施し、全球凍結から大酸化イベントまでが連続的に記録された地層の分析を進めてきた。その結果、全球凍結終了直後から大酸化イベントへ至る環境変動に関して、(1) 大量の軽い炭素の同位体が、氷河の融解直後に大気および海洋に供給された

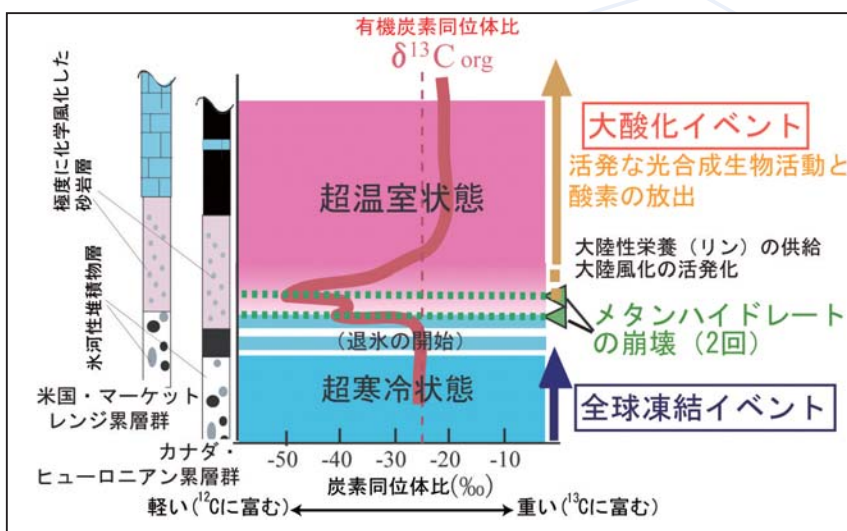
こと、(2) 軽い炭素の供給にあわせて、極端に激しい大陸風化（すなわち超温暖化）が生じたこと、が明らかになった。

これらのデータを最もよく説明するのはメタンハイドレートの分解である。メタンハイドレートとは、かご状の氷の結晶内部にメタンが閉じ込められたもので、閉じ込められたメタンは同位体的にひじょうに軽い炭素からなる。また、温室効果ガスであるメタンが大気に放出されれば、地表気温は上昇する。実際、炭素同位体比から推定される量のメタンが放出された場合、地表気温は約 30℃ も上昇し、大陸の化学的風化作用は数倍にも増加する。

この結果に基づき、われわれは次のような全球凍結後の環境変動のシナリオを提唱する。いまから約 22 億年前、地球は全球凍結状態にあり、海底堆積物中において生産されたメタンはメタンハイドレートとして大量に蓄積された。やがて全球凍結が終わると、メタンハイドレートが分解し、メタンが大気に放出される。メタンの放出はさらなる温暖化とメタンハイドレートの分解を招き、温暖化が暴走的に進行する。メタンの放出による超温室条件下で大陸の化学的風化が劇的に増大する。その結果、大陸から大量の栄養塩が海洋に供給され、大規模な富栄養化にともなう光合成細菌（シアノバクテリア）の大繁殖が継続的に生じたことによって、大酸化イベントが引き起こされた。

以上の成果は、Y. Sekine *et al.*, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11, Q08019 (2010) に掲載された。

(2010 年 7 月 26 日プレスリリース)



■ 全球凍結から大酸化イベントに至るまでの炭素同位体比変動と表層環境変動

# 筋肉が高効率である仕組みを解明

茅 元司 (物理学専攻 助教),  
樋口 秀男 (物理学専攻 教授)

筋肉の収縮を司るタンパク質ミオシン1分子の弾性を高精度で測定して、伸ばすと硬く、押すと柔らかいことを発見した。さらに、運動時にはミオシンが8 nmの距離を動くことが観測された。これらの結果から、筋収縮中においてミオシンは、8 nmの動きにより大きな力を発することができ、いっぽう、力を出し終えた後においては、他のミオシンによって押されても柔らかく抵抗にならないことで、エネルギー効率を上げることが解明された。

筋肉は身体の運動に重要なばかりでなく、会話などわれわれのコミュニケーションに欠かせない組織である。この筋肉の運動を担っている素子はミオシンとよばれ、楕円状部位と紐状部位で構成された長さ数十 nmのタンパク質である。筋肉内でミオシンは周期的に並んだ重合体で、アクチン繊維と相互作用をして、アクチン繊維を滑らすことで筋肉を収縮させる。このとき、ミオシン分子に内在するバネ的な楕円部位が伸ばされ力を発生する。力を出し終えたミオシンは、他のミオシンがアクチン繊維をさらに滑らせるので、アクチン繊維に結合したまま引きずられ、紐状部位が押されることになる。このミオシンがアクチンから外れると、押されている分子のエネルギーは散逸して無駄になる。このように、ミオシンの弾性と滑り距離は力を出すときも、押されるときも収縮のキーポイントであるが、これまでの研究では精度が低く、これらの測定が困難であった。われわれは、高精度でタンパク質の位置を測定できる装置を開発して、弾性と滑り距離の測定に成功した。

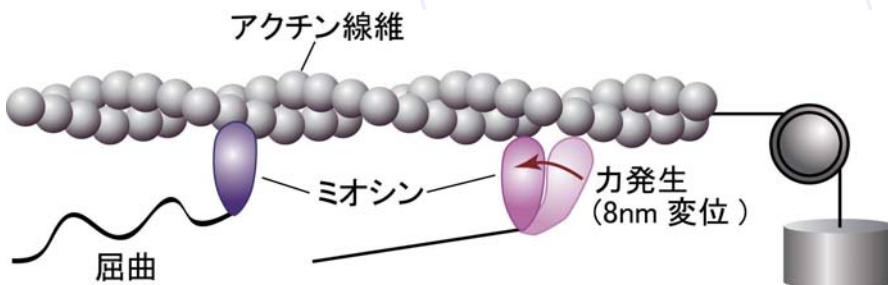
実験では、ウサギの骨格筋からミオシンおよびアクチン分子を精製した。蛍光顕微鏡下でミオシン1分子の弾性を測定するために、ミオシン1分子をアクチン線維に結合した後、ア

クチン線維の両端にプラスチック粒子を結合し、これらに集光したレーザー光を当てて、光の圧力によって左右に力を加えた。いっぽう、ミオシンの伸び縮み距離は、アクチンに結合した量子ドット (CdSe セレン化カドミウムの超微小結晶) の蛍光の重心位置から測定した。位置精度を上げるために、装置の振動ノイズを減らし、複数の量子ドットを含む粒子を形成して蛍光強度を増加させ、さらに、伸び縮みを繰り返し平均化することで光子の位置ノイズを減らした。これらの改良により、位置精度は0.3 nmに向上し、蛍光分子を用いた世界最高精度となった。この装置を用いてミオシンの伸びと力を測定した結果、ミオシン分子が引き伸ばされたときには、力が急激に増加する(硬い)のに対して、押し縮められたときは力がほとんど変化しない(柔らかい)ことがわかった。

次にエネルギー源であるATP (アデノシン三リン酸)を入れて、収縮に伴うミオシンの滑り距離を測定した。ミオシン分子はアクチン繊維を引っ張り、階段状の変位と力を発生した。変位1段の高さはミオシンの滑り距離に相当し、約8 nmであることが初めてわかった。

以上の結果を踏まえて筋肉の収縮のモデルを考えた(図)。ミオシン分子は、アクチン線維に結合して、これを8 nm動かす。このさいミオシン分子は、楕円部位が硬いバネのようになって伸ばされるため、大きな力を出すことができる。このミオシンがアクチンから外れる前に、他のミオシンがアクチン線維を動かすために、このミオシンは押し縮められる。押し縮められたとき、ミオシンの紐状部位はゴム紐のよう屈曲して抵抗にならず、エネルギーの無駄が小さく、したがって高エネルギー効率が可能となる。このミオシンの高エネルギー効率により、筋肉はより大きな力を出し、かつ速く動くことができるのだろう。

本 研 究 は M. Kaya and H. Higuchi,  
*Science* 329, 686 (2010) に掲載された。  
(2010年8月6日プレスリリース)



筋収縮のモデル：ミオシン2分子がアクチンと相互作用により仕事をしている。右のミオシンは8 nmの構造変化をしてアクチンを滑らせ、左のミオシンは押し縮められているが屈曲するので抵抗にならない。

# 星間炭素鎖分子の「宝庫」Lupus-1A 分子雲の発見

坂井 南美 (ビッグバン宇宙国際研究センター 助教)

炭素鎖分子は星間空間で最も特徴的な物質である。それらが放射する電波スペクトル線の強度が、これまで知られていた天体より数倍も明るい天体を、おおかみ座分子雲で発見した。この発見は、宇宙における物質進化の理解、未知の星間物質探査、および、星と惑星の誕生過程の理解に大きな可能性を拓くものである。

宇宙において、炭素は水素、ヘリウム、酸素について豊富に存在し、地球上の生命の主要構成要素でもある。炭素を含む物質は多種多様だが、星と星との間に漂う星間ガス(分子雲)の中では、炭素が直線状に連なった炭素鎖分子( $C_nH$ や $HC_nN$ など)が特徴的に存在する。炭素鎖分子は地上では自然に存在しないので、その存在自体が宇宙の化学の謎といえる。炭素鎖分子の生成、進化の理解は、星間化学の中心的課題である。

これまで、炭素鎖分子の研究に用いられてきた天体は、おうし座領域のTMC-1とよばれるまだ星が生まれていない分子雲であった(距離440光年)。炭素鎖分子が豊富なことでずば

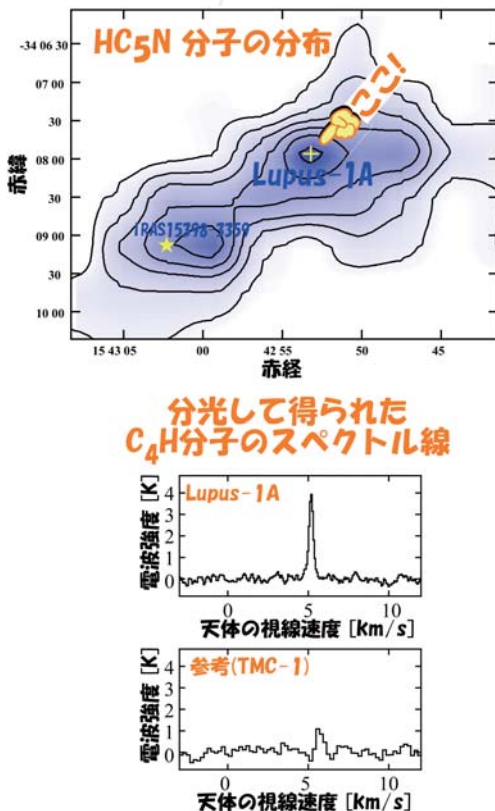
抜けていたからである。今回、われわれは、おおかみ座分子雲複合体(距離490光年)中に、TMC-1を凌ぐ強度で炭素鎖分子のスペクトル線を放射している分子雲を新たに発見した。太陽程度の質量をもつ原始星IRAS15398-3359周辺の観測のさいに偶然に見つけたもので、おおかみ座(Lupus)1番雲にある注目すべき天体として、Lupus-1Aと命名した。この天体で、さまざまな炭素鎖分子の観測を行ったところ、驚くべき結果を得た。長い炭素鎖分子 $C_6H$ 、 $HC_9N$ のスペクトル線のピーク強度はTMC-1の3倍近くに達し、炭素鎖分子の陰イオン、 $C_4H^-$ 、 $C_6H^-$ 、 $C_8H^-$ までもが検出された。このうち、 $C_4H^-$ はTMC-1でも未検出であったものである。炭素鎖分子の存在量で比べてもTMC-1に引けを取らず、まさに炭素鎖分子の「宝庫」であることがわかった。TMC-1の発見以来、34年間の長きにわたり、探せど探せど、このような分子雲は見つかってこなかった。今回の発見は、炭素鎖分子強度のチャンピオンの座を34年ぶりにTMC-1から奪い取ったものである。

TMC-1で炭素鎖分子が豊富なのは、TMC-1固有の理由のためと考えられたこともあった。しかし、今回の発見で分子雲の化学組成のひとつの特徴であることが確定した。分子雲は自己重力で収縮して新しい星を生みだす。最近、星誕生過程の多様性と、母体となる分子雲の化学組成の関係が注目されつつある。たとえば、分子雲の収縮の速度で炭素鎖分子の生成量が異なり得る。TMC-1やLupus-1Aのように炭素鎖分子が豊富な分子雲は、どのような星と惑星系を生み出すのか?2つの天体の共通性からその答えを抽出できると期待される。また、Lupus-1Aの発見により、TMC-1で行き詰まっていた未知分子探査が再び進展する意義は大きい。

Lupus-1Aは偶然に発見された。この分子雲がこれまで発見されなかったのは、北半球から観測しにくい南の空にあったからである。しかし、現在、チリに建設中のALMA望遠鏡が完成すると、絶好の観測対象となる。Lupus-1Aの発見は、星誕生過程における化学進化の総合的理解に、なくてはならない研究対象となるであろう。

本研究はN. Sakai et al., *Astrophysical Journal* 718, L49 (2010)に掲載されました。

(2010年8月6日プレスリリース)



(上) 原始星 IRAS15398-3359 のまわりの  $HC_5N$  分子の分布図。原始星の右上(北西)に新しい分子雲コアを発見し、Lupus-1A と名付けた。  
(下) Lupus-1A で検出された  $C_4H$  分子の回転スペクトル線 ( $N=9-8$ )。TMC-1 と比べても圧倒的に強い。



### 「P2P」

稲葉 真理 (情報理工学系研究科 准教授)

P2Pとは「Peer to Peer」の略で、「同等のもの」を意味する「ピア」同士がサーバを介さずに通信を行うネットワークアーキテクチャ<sup>注)</sup>である。端末数が増えても破綻を起こしにくく、また攻撃に対し強いという特長をもつ。ウィルス感染による情報流出や違法コピーによる著作権侵害といった社会問題のため「悪しき技術」という誤解も少なくない。本稿ではP2Pの情報科学的な面白さの一端を紹介したい。

インターネットは、その誕生時、対一通信を網の目状に構成することで「外部からの攻撃に強い通信網」の確立をめざした。いっぽうインターネット上のサービス、たとえばftp, mail, webなどは、ユーザ端末から特定のサーバに対し要求を出し、サーバがサービスを提供することが多い。この場合、対多のスター型のサービス網を構成するため、要

求の集中、データ量の増大、サーバへの攻撃などにより、システムが不安定となることも珍しくない。このため、端末の余剰資源を活用、各端末がサービスの一部を分担するP2Pが考案された。

P2Pでは、ピアとよばれる端末が、インターネットと同様な網の目状のサービス網を構成、各ピアが自律的かつ冗長にサービスを分担し、相互にサービス提供を行う。しかしながら、分散する各ピアが独立に動作し、その結果サービス網全体が上手く機能するようなシステムの実現は容易ではない。いかにサービス網に参加し、いかに要求を届け、いかにサービスを受領し再構成するか、そしてセキュリティ、認証、匿名性、頑健性など、さまざまな課題に幾多の人々がチャレンジし、目的に応じたさまざまな解法が考えられてきた。「言論の自由」を目的とし、匿名性に重きを置くソフトも、ごく初期

にリリースされた。

現在、P2P技術は、不特定多数の端末の制御管理問題から逃れ、当初とは少し異なる形で利用されることが多い。ネットワークに接続した膨大な数のコンピュータが膨大かつ増大しつつあるデータを保持しながら協調動作する「クラウド」の背後で、また、多数のセンサーが自律的に通信する「センサーネット」の背後で、P2Pの技術はひっそりと働いている。たとえばGoogleやAmazonは巨大なクライアントサーバシステムであるが、その内部ではP2P技術が応用されていることを忘れるべきではないだろう。

注) アーキテクチャ：おおもととなる構造およびその設計思想のこと



### 「ニュートリノ」

横山 将志 (物理学専攻 准教授)

現在の素粒子物理学では、陽子や中性子などを作る「クォーク」と、電子の仲間の「レプトン」が物質を形作る基本的な素粒子だと考えられている。レプトンのうち電荷を持たない粒子がニュートリノであり、電子型、ミュー型、タウ型の3種があることが知られている。

ニュートリノは物質との反応率がひじょうに小さく、ほとんどの物質を突き抜けてしまう。この性質を利用すれば、他の手段では到達不可能な対象を直接研究することができる。たとえば太陽から地球上に降り注いでくるニュートリノを観測すれば、光では見られない太陽の内部に関する情報を得ることができる。超新星1987Aからのニュートリノを検出したことでニュートリノ天文学という分野を開拓し、小柴昌俊特別栄誉教

授が2002年のノーベル物理学賞を受賞されたことは記憶に新しい。最近では反ニュートリノを用いて原子炉の内部を監視するという「応用」研究も蓑輪眞教授(物理学専攻)らにより行われている。

いっぽうで、他の物質と反応しないということは、検出が難しいということでもある。ニュートリノの存在が予言されたから実験的に検出されるまでには四半世紀かかった。それからさらに半世紀以上経つ現在も、ニュートリノの性質の研究は素粒子物理の主な課題のひとつである。最近の大きな進展に、1998年に宇宙線研究所のスーパーカミオカンデによる観測で、「ニュートリノ振動」という現象が発見されたことがある。ある種類のニュートリノが、時間の経過とともに他の種類のニュートリノに変わったり元

に戻ったりする、一見不思議な現象だが、ニュートリノが微小な質量をもつことの初めての証拠である。物理学専攻の相原博昭教授と筆者のグループでは、宇宙線研究所などとともに関東茨城県東海村のJ-PARC加速器施設で作った世界最高強度の人工ニュートリノビームをスーパーカミオカンデまで295 km飛ばし、ニュートリノ振動を精密に調べる実験を行っている。将来は、この実験をさらに発展させてニュートリノに粒子・反粒子の性質の違い(CP対称性の破れ)があるかどうかを調べ、宇宙になぜ反物質が存在しないのか理解するための手がかりを求める計画である。星や宇宙の進化とニュートリノの関わりについては、物理学専攻の素粒子理論・宇宙理論の研究室などで研究されている。



## 「銀河団」

中澤 知洋 (物理学専攻 講師)

夜空から銀河系内の星々を取り去ると、そこには幾億の銀河が輝き、あちこちに寄り集まって集団を構成していることに気付くだろう。これが銀河団である。大きなものでは1000を越える銀河をもち、太陽の1000兆倍の質量と1000万光年のスケールをもつ宇宙最大の天体である。

名前にそぐわず、銀河団の質量のうち銀河が占めるのはたった1割弱にすぎない。7割がたは暗黒物質で構成され、2割強はその重力ポテンシャルに捕われた数千万度のプラズマである。暗黒物質(ダークマター)は、本年1月号の本欄で紹介されたように、宇宙の質量の多くを占める謎の物質であり、その存在は可視光による銀河の速度分布から示唆されていた。いっぽうで、高温プラズマの発見は宇宙X線観測による。1980年ご

ろの研究により、銀河団が最も明るいX線源のひとつであり、空間的に広がった熱的放射をもつことが確認された。これはまた、宇宙のバリオン(陽子などの普通の物質のこと)の大半が、星ではない高温プラズマとして存在することも意味し、人類の宇宙像が大きく転換する契機のひとつとなった。近年では、衛星「あすか」などの成果として、銀河団の中心付近に存在する、強力な加熱機構がクロズアップされている。明るいX線を放つ広大な銀河間空間で、プラズマの放射冷却を止めるだけの大規模なエネルギー放出は一体何なのか、研究が続いている。

21世紀に入って、可視光で得られる無数の遠方銀河の形状の歪みを統計的に処理することで、銀河団の重力場による空間の歪み(重力レンズ効果)を定量化

し、質量分布を得る手法が確立した。暗黒物質の空間分布を直接測定できる時代になったのである。可視光や、電波、X線観測との比較により、銀河団の成長など、色々な側面が観測できるようになってきた。銀河団は宇宙大規模構造の「節」に当たり、質量分布とその時間変化は宇宙の進化モデルに強く依存するため、観測的宇宙論の研究においても重要な天体である。重力レンズとX線などの観測の組み合わせは、構造進化のシミュレーションとあわせて、宇宙論研究に欠かせない要素となっている。

理学系研究科では、X線観測、重力レンズ観測、それを用いた観測的宇宙論の研究が、物理学専攻、天文学専攻、および数物連携宇宙研究機構(IPMU)の複数のグループで進められている。



## 「海洋酸性化」

羽角 博康 (大気海洋研究所 准教授, 地球惑星科学専攻 兼任)

海洋酸性化とは文字通り海水のpHが下がって酸性側に変化することであり、一部の海洋生物にとってはこれが生存を脅かすものになると危惧されている。海水の平均的なpHは約8で弱アルカリ性を示すが、産業革命以降に化石燃料の燃焼などによって大気中に過剰に放出された二酸化炭素を海洋が吸収してきた結果、これまでにpHは約0.1低下し、今後21世紀中にはさらに0.3程度低下するものと予測されている。

水に溶けた二酸化炭素は水と反応し、海水中では二酸化炭素と炭酸水素イオンと炭酸イオンがおおよそ1:100:10の割合で存在する平衡状態が成り立っている。この炭酸系溶液としての海水にはpH緩衝作用があり、たとえば二酸化炭素をさらに溶かした場合には、上記の存在比率

が炭酸イオンを減らす方向に変わることによって、pHの変動が抑制される。これは逆に言えば、わずかなpH変化が炭酸系物質の存在状態の大幅な変動を伴うことを意味する。

海洋生物には炭酸カルシウムの殻をもつものが多く存在するが、生物が殻を形成するためには海水が炭酸カルシウムについて過飽和であることが条件となる。炭酸カルシウムの溶解度は温度・圧力や海水組成に依存し、現在の海洋では上層は過飽和、深層は未飽和になっている。また、この過飽和と未飽和を分ける境界深度は海域によって異なり、南大洋(南極海)と北太平洋で特に浅い。海水の酸性化とともに生じる炭酸イオンの減少はこの境界深度を浅くする。産業活動による過剰な二酸化炭素排出が現状のペース

で続けば、21世紀末までに、まずは南大洋、続いて北太平洋亜寒帯域において、海面までが炭酸カルシウムについて未飽和になると予測されている。

21世紀末に相当する海水環境のもとで炭酸カルシウムの殻をもつ生物を飼育すると殻が溶けるという実験結果が存在する。いっぽう、これが即座に海洋生態系における大量絶滅を意味するかというと、生物の生理機能や優占種の変化については未知の部分が大きく、それほど単純な話でもない。理学系研究科では、地球惑星科学専攻の茅根創教授がサンゴに関連した研究を、大気海洋研究所に所属する複数の教員が観測・実験・シミュレーションを通じたさまざまな関連研究を行っている。





## 「有機太陽電池」

岡本 敏宏 (化学専攻 特任助教)

太陽電池という言葉は、最近、テレビ、新聞やインターネットなどのマスメディアでよく耳にする。現在、実用化されている太陽電池は、無機化合物（主にシリコン）からなる太陽電池である。これに対して、有機太陽電池とは、一般的に太陽光などを吸収、変換する層（光電変換層）に有機化合物を用いた太陽電池のことをよぶ。有機太陽電池の特徴は、無機太陽電池と比べて、簡便な製法、低生産コスト、柔軟性、軽量、そして構造の多様性などの点であり、世界中の研究者が躍起になって研究を行っている。

有機太陽電池は大きく2つに分類される。ひとつは色素増感太陽電池（以後、色素増感SC）、他方は有機薄膜太陽電池（以後、有機薄膜SC）である。色素増感SCは、スイス連邦工科大学ローザンヌ

校のミヒャエル・グレッツェル (Michael Grätzel) 教授らにより1991年に提案され、現在では太陽光エネルギーを電力に変換するエネルギー変換効率（以後、変換効率）が10%前半（シリコン太陽電池で20%後半程度）で将来の低コスト太陽電池として有望視されている。しかしながら、光電変換層に希少金属であるルテニウムや電解液を用いるため、地下資源、液体封止技術、寿命などの問題点がある。これに対して、有機薄膜SCは21世紀に入ってから、活発に研究がなされ、色素増感SCとは異なり、希少金属や電解液を用いることなく、有機合成により得られるさまざまな低分子から高分子までの材料を用いることができるといった構造多様性に優れている。また、実用性という観点から、有機薄膜SCは、

色素増感SCよりも、さらに製法の簡便さが魅力的である。課題は、1桁後半の変換効率であるが、有機合成による新規材料開発や材料の集合体構造制御などによって、10%を越える変換効率を有する有機薄膜SC開発はそう遠くないだろう。

有機薄膜SCの研究に関して、本研究科では筆者が所属する光電変換化学講座（松尾豊特任教授）と化学専攻物理有機化学研究室（中村栄一教授）と共同で研究が行われており、世界最高レベルの性能をもつ有機薄膜SCに成功している。現在は、より実用化に向けた研究に取り組んでいる。有機化合物特有の性質である軽量かつ柔軟性を最大限に生かした有機太陽電池が、近い将来、日常生活の身近な部分で使われるようになることに大いに期待したい。



## 「中心子」

廣野 雅文 (生物科学専攻 准教授)

細胞の中では微小管というタンパク質繊維が形成と消失を繰り返し、細胞の分裂、形態変化、運動などに大きな役割を果たしている。動物細胞中で微小管形成の核として働く細胞小器官を中心体といい、その中心に存在する構造を中心子という。別名、中心小体、中心粒ともよばれる。中心体は中心子とそれを取りまく周辺物質 (Pericentriolar Material, PCM) から構成される。

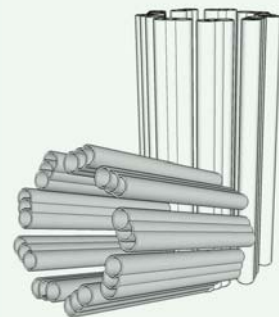
顕微鏡の改良が進んで細胞の内部が観察できるようになった19世紀末頃から、中心子は細胞の変化を誘導するかのようには振る舞う不思議な顆粒として注目されていた。細胞分裂の時期が迫るとそれを知っているかのように数を倍加させて紡錘体の形成に働き、精子になる細胞では細胞表層に移動して鞭毛形成の基部になる。倍加のさいには、新しい中心子が既存中心子の側面から出芽す

るように形成される、つまりそれ自体が生き物のように自己複製する点も謎めいていた。

電子顕微鏡で中心子を観察すると、9本の短い特殊な構造の微小管が円筒状に配置した、きわめて特徴的な構造をもつことがわかる (図)。特筆すべきは、この9回の回転対称形の構造パターンが原生物からヒトに至るまで共通する普遍的なものだということである。酵母や植物の多くにはこの構造は存在しないが、それは進化の過程で失われたからだと考えられている。

この特徴的な構造が自己複製という過程を経てどのように構築されるのかは、いまだに解明されていない大きな謎である。しかし数年前からようやく形成機構とその制御機構に関わる分子が明らかになってきた。筆者のグループは、モデル生物クラミドモナスの中心子微小管が8

～11本に揺らぐ突然変異体を単離し、その解析から9回対称性の確立機構の一端を明らかにした。また、中心子の複製は細胞周期によって厳密に制御されているが、その機構にDNA複製や染色体分離を制御するのと同じ分子が働いていることなども明らかになりつつある。



中心子の微小管骨格構造。多くの生物の中心子は、中心子だけに見られる特殊な構造の微小管 (トリプレット微小管) が円筒状に9本並んだ構造をもつ。円筒の直径は約200 nm。図のような直交する2つの中心子の周りにPCMが付加したものが中心体。

生物科学専攻の3論文がトップジャーナルの表紙に

中野 明彦

(生物科学専攻 教授・植物学大講座長)

植物の生のメカニズムの分野の最高峰誌に The Plant Cell がある。インパクトファクター 9.293 を誇るその The Plant Cell の表紙を、理学部 2 号館・生物科学専攻の 3 研究室が、あいついで飾った。5 月号が平野研究室, 7 月号が塚谷研究室, そして 8 月号が福田研究室だ。しかも今年の注目論文の中でも特筆すべき論文として、同誌 HP 上に並ぶ 4 表紙のうち 3 つまでを占めた (図)。

これはわが生物科学専攻の植物科学が

世界のトップにあることを明示するものである。植物科学は、基礎科学としてはもちろん、地球規模の諸問題の解決にも、きわめて重要な学問である。今回の 3 論文は各研究室の特質を活かしており、今後の発展も大いに期待される。

中段の 4 個の表紙のうち一番右(5 月号, 平野研究室), 右から 3 番目(7 月号, 塚谷研究室), 一番左 (8 月号, 福田研究室) が本研究科の論文の表紙となる。



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>2010 年 9 月 27 日付学位授与者 (7 名)</b>			
課程	物理	平田 靖透	多層系高温超伝導体の面間ジョセフソン結合
課程	物理	Liu, LANG	軽いエキゾチック原子核の第一原理 MCSM 計算 (※)
課程	地惑	佐藤 太一	地球物理観測およびモデリングに基づく南西インド洋海嶺東経 35-40 度の断層活動とメルト供給量に関する研究 (※)
課程	化学	獅野 裕一	マトリックススパッタリング法による無機ナノ粒子の合成と光機能性材料への展開 (※)
課程	生化	杉江 淳	細胞接着因子 nephrin/NEPH1 ホモログの相互作用による神経回路形成におけるシナプス前後細胞間認識
課程	生科	伊藤 優	広域分布水生植物カワツルモ科カワツルモ属の系統と雑種・倍数体の起源に関する研究 (※)
課程	生科	芳賀 拓真	穿孔性二枚貝ニオガイ上科の系統進化と適応放散に関する研究 (※)

人事異動報告

異動年月日	所属	職名	氏名	異動事項	備考
2010.9.29	ビッグバン	客員准教授	MENEGHETTI MASSIMO	任期満了退職	
2010.9.30	生科	准教授	澤 新一郎	退職	熊本大学大学院自然科学研究科・教授へ
2010.9.30	化学	特任助教	坂本 良太	退職	助教へ
2010.9.30	物理	技術職員	藤代 知子	退職	
2010.10.1	物理	教授	五神 真	配置換	大学院工学系研究科・教授から
2010.10.1	物理	助教	伊部 昌宏	採用	
2010.10.1	化学	助教	坂本 良太	採用	特任助教から
2010.10.1	化学	特任助教	田中 秀美	任命	特任研究員から
2010.10.1	化学	特任助教	中井 克典	任命	特任研究員から
2010.10.1	ビッグバン	客員教授	STAROBINSKIY ALEXEY ALEXANDROVICH	採用	
2010.10.1	地惑	特任助教	OETTLT PASCAL JEAN ANDRE	採用	
2010.10.6	経理	研究支援・外部資金チーム係長	川合 哲史	退職 (逝去)	
2010.10.31	化学	特任助教	XU HUAILIANG	退職	
2010.10.31	化学	特任助教	岡本 敏宏	退職	

## 理学部ガイダンス@駒場

教務委員長 長谷川 修司 (物理学専攻 教授)

理学部って何をやっているところ？  
理学部に進学するとノーベル賞取れるの？  
理学部卒業して就職できるの？  
そもそも科学ってどこがおもしろいの？  
… 駒場の教養学部1年生がもつ素朴な疑問に答える「理学部ガイダンス@駒場」を下記の要領で今年も開催する。これ

は、毎年、教務委員会と広報委員会が協力して、来年の進学振り分けの参考にし  
てもらうため駒場で開催している。下記の5名の若手を招待し、今年もパネル  
ディスカッション「なぜ私は理学を選んだか」を行う。進学振り分けのさいに何を考えたのか、数年前に体験したばかり

の先輩たちからビビッドな体験談とアドバイスが聞けるはず。パネルディスカッションの後も、各学科の教務委員の先生方と理学部学生たちが、お茶とお菓子を囲んで駒場生の質問・相談に応じる。

**日時：** 2010年12月10日(金) 18:00～20:00

**場所：** 駒場キャンパス 数理学研究科棟 大講義室

**パネラー：** 宮和樹さん(生物情報科学科4年)、正田亜八香さん(物理学専攻修士1年)、  
中村淳路さん(地球惑星環境学専攻修士1年)、生井飛鳥さん(化学専攻博士1年)、  
東塚知己さん(地球惑星物理学専攻助教)

## あとがき

あと1か月で師走、平成22年も終わりに近づく。9月の猛暑、秋刀魚の不漁と高騰は嘘のようで、今ではめっきり涼しくなり、近所の魚屋では秋刀魚が1匹77円で売られていた。今月号の記事でもおわかりのように、本研究科の熱い活

躍は秋風を忘れさせる。特に、博士課程の2名の日本奨励賞の同時受賞は理学研究の明るい将来を確約している。しかし、理学のキーワードの「海洋酸性化」でも明らかのように、人類の産業活動により、海洋の生態系は刻々と変貌しつつ

ある。今回受賞した2人の若手研究者が中堅となり、大きな花を咲かせるであろう10～20年後にも安い秋刀魚が食べられることを祈る。

野崎 久義 (生物科学専攻 准教授)

第42巻4号

発行日：2010年11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

広報・科学コミュニケーション：

吉川 一郎 (地球惑星科学専攻) yoshikawa@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：柴田 有 (情報システムチーム)

加納 英明 (化学専攻) hkano@chem.s.u-tokyo.ac.jp

shibata.yuu@mail.u-tokyo.ac.jp

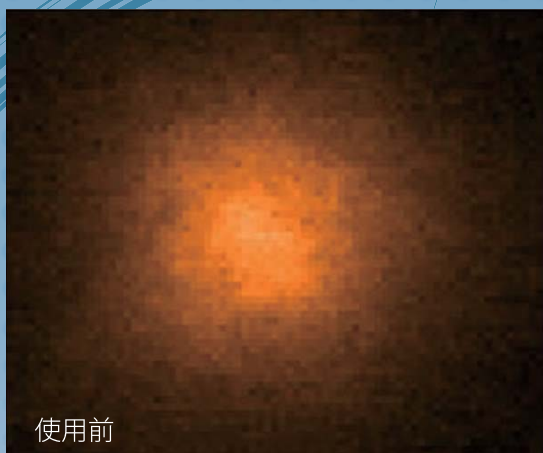
斉藤 直樹 (総務チーム) saito.naoki@mail.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン：宇根 真 (情報システムチーム)

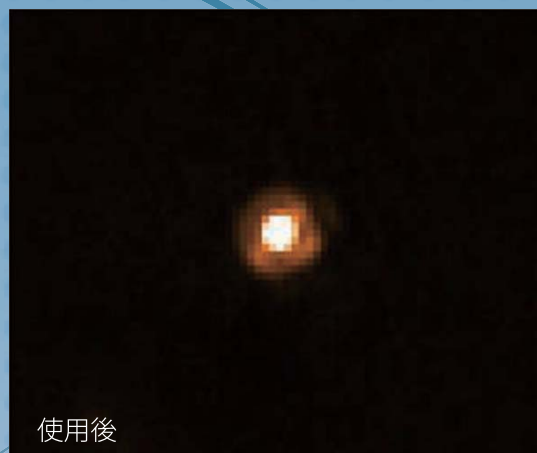
小野寺正明 (広報室) onodera.masaaki@mail.u-tokyo.ac.jp

une.makoto@mail.u-tokyo.ac.jp

印刷：三鈴印刷株式会社



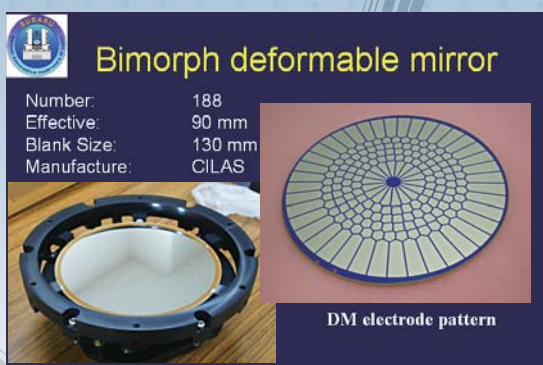
使用前



使用后

補償光学による星像の実時間改善の実例。

(左) 補償光学無しの「裸眼」で撮影した恒星像。直径 0.6 秒角。すばる望遠鏡の平均裸眼視力は 0.6 秒角で、世界の望遠鏡の中でも最もシャープな画質を誇っているが、星像を拡大すると、大気ゆらぎのためこのように拡がっている。(右) 補償光学有りて撮影した同じ恒星像。直径 0.06 秒角の回折限界像となっている。中心の点像のまわりに第一回折リングも認められる。



補償光学系の心臓部にあたる可変形状鏡。直径 130 mm の鏡の裏には右図のような配置の 188 個の電極があり、それらの電圧を高速駆動制御することにより、鏡の表面が光の波長程度の振幅で凹凸して、光波面の乱れを実時間補正する。国立天文台チームによる電極配置の最適化設計をもとにフランスの光学会社で特注製作した。



マウナケア山頂のすばる望遠鏡 (左), ケック望遠鏡 (中央), ジェミニ望遠鏡 (右) からのレーザービーム三本が交錯する夜景。2009年6月26日、ハワイ観測所布施哲治氏撮影。レーザーガイド星補償光学系は最先端の大型望遠鏡では必須の新技术となっている。互いの観測や上空を通過する航空機などの障害にならないようにレーザー送出には安全策が措置されている。