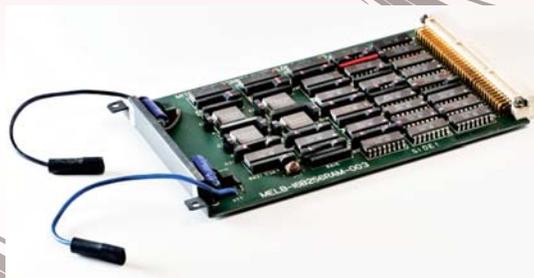




東京大学理学系研究科・理学部ニュース

2009年1月号 40巻5号

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



上図：パラメトロン計算機 PC-1 (1958 年) のパラメトロンボード。下図左：数式処理計算機 FLATS の演算ボード (1982 年)。下図右：超並列コンピュータ GRAPE-DR のプロセッサボード (2008 年)。

～発掘 理学の宝物より～

トピックス

霜田光一名誉教授が文化功労者として顕彰される	坪野 公夫 (物理学専攻 教授) ……………	3
小林昭子名誉教授のロレアル-ユネスコ女性科学賞受賞	西原 寛 (化学専攻 教授) ……………	3
理学系研究科より3名が仁科記念賞を受賞	大塚 孝治 (物理学専攻 教授) ……………	4
臨海実験所とミキモトの共催シンポジウムが開かれる	赤坂 甲治 (臨海実験所 教授) ……………	4
学生企画コンテストで理学系有志グループが優秀賞	音野 瑛俊 (物理学専攻 博士1年) ……………	5
第14回東京大学理学部公開講演会、開催される	半田 利弘 (天文学教育研究センター 助教) ……………	5
本郷けやき保育園のハロウィンパレードに理学部が協力	平賀 勇吉 (事務長) ……………	5
進学相談の場を提供, “理学部サイエンスカフェ@駒場”	茅根 創 (地球惑星科学専攻 教授) ……………	6
“東大理学部で考える女子高校生の未来”を開催	横山 広美 (広報・科学コミュニケーション 准教授) ……………	6
新見市より植物園にアテツマンサクが寄贈される	邑田 仁 (植物園 教授) ……………	7

第5回 理学から羽ばたけ

科学を描く	菊谷 詩子 (サイエンス・イラストレーター) ……………	8
サイエンスを知り, 科学衛星をつくる	杉保 昌彦 (日本電気株式会社), 田枝 正寛 (三菱重工業株式会社) ……………	9

第5回 発掘 理学の宝物

パラメトロン計算機 PC-1	平木 敬 (情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 教授) ……………	10
----------------	-------------------------------------	----

研究ニュース

鞭毛の屈曲波が両方向にくりかえしつくられる仕組み	林 周一 (生物科学専攻修了), 真行寺 千佳子 (生物科学専攻 准教授) ……………	11
ペプチドホルモンを介した木部と師部のクロストーク	福田 裕穂 (生物科学専攻 教授) ……………	12
超原子価ジスルフィド結合の開発と特性解明	川島 隆幸 (化学専攻 教授), 狩野 直和 (化学専攻 准教授) ……………	13
卵への精子走化性運動におけるカルシウムの役割	吉田 学 (臨海実験所 講師), 柴 小菊 (臨海実験所 特任研究員) ……………	14
メダカ左右軸突然変異体からヒト繊毛病へ	武田 洋幸 (生物科学専攻 教授) ……………	15

連載：理学のキーワード 第17回

「宇宙の夜明け：再電離」	嶋作 一大 (天文学専攻 准教授) ……………	16
「電子顕微鏡」	原野 幸治 (化学専攻 助教) ……………	16
「ポジトロニウム」	浅井 祥仁 (物理学専攻 准教授) ……………	17
「匂いの好き嫌い」	小早川 高 (生物化学専攻 特任助教) ……………	17
「セマンティック・ウェブ」	宮尾 祐介 (情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 助教) ……………	18
「惑星の気象」	高木 征弘 (地球惑星科学専攻 助教) ……………	18

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	……………	19
人事異動報告	……………	19

霜田光一名誉教授が文化功労者として顕彰される

坪野 公夫（物理学専攻 教授）

霜田光一名誉教授が平成20年度文化功労者に選ばれました。霜田先生は1943年に本学理学部物理学科を卒業なされ、1948年本学理学部助教授、1959年から同教授を務められ、本学退職後も現在にいたるまで物理の研究、教育に活発な活動を続けていらっしゃいます。

霜田先生が最初に手がけたのはマイクロ波レーザーの研究であり、終戦後はそれがマイクロ波分光の研究につながっていきました。先生がリードしたマイクロ波分光スペクトルの研究は、その後の日本の電波天文学の発展に大きく寄与しました。また、1950、1960年代のメーザーおよびレーザーの黎明期には、タウンズ (C.H.Townes) 等とともにそれらの基礎を構築するという業績を残しています。その後はレーザー分

光学の研究に進み、シュタルク分光や二重共鳴などの基礎研究からレーザー応用技術まで幅広い研究を展開しました。

霜田先生は研究だけではなく、理科教育、物理教育にも情熱を傾けてこられました。先生はたくさんの教育的な教科書や参考書を出版していますが私もずいぶんお世話になりました。「エレクトロニクスの基礎」(裳華房, 1958)は、私が大学院に入りたてで実験を始めたころはバイブルのようなものでした。比較的新しい本では、「歴史をかえた物理実験」(丸善, 1996)は、光速度測定などの歴史的に重要な実験を、原典にもとづきわかりやすく解説したものです。私が駒場で1、2年生を対象とした講義をやるときは、まず最初にこの本を紹介することにしています。

2007年5月には先生の米寿を祝う会が開かれました。会の目玉は先生ご自身による講演で、お祝いに駆けつけた大勢の前で先生のアイデアによる3つの実験の実演と解説がおこなわれました。



霜田光一名誉教授

ひとつは永久磁石のみを使った磁気浮上実験（浮上体は完全に静止している）、ふたつ目はレーザーと光ファイバーを使った干渉実験、三つ目は自動浮沈子の実験と、どれも見る者を驚かせ楽しませるものでした。先生のつみることのない物理への愛着と好奇心、そして啓蒙のお気持ちが強く印象に残る催しでした。これからも霜田先生には末永くお元気で活躍されることを祈念してやみません。

小林昭子名誉教授のロレアル-ユネスコ女性科学賞受賞

西原 寛（化学専攻 教授）

「ロレアル-ユネスコ女性科学賞」の2009年の受賞者に、小林昭子名誉教授が選ばれました。ロレアル-ユネスコ女性科学賞は、世界レベルで科学の発展に寄与した女性科学者を表彰する目的で1998年に創設され、ノーベル賞受賞者を含む有識者で構成された審査委員会で、毎年世界5大陸から5名を選出しています。これまでの受賞者57名のうち、日本人の受賞は、岡崎恒子氏（2000年度）、米沢富美子氏（2005年度）に続いて3人目です。

小林先生は、本研究科スペクトルセンター教授のときに、世界で初めて、単一分子性金属の設計と合成に成功しました。これまで単一分子からなる分子性結晶

は絶縁体の代表と考えられていました。小林先生は、硫黄原子をたくさん含み、 π 電子の広がった平面形配位子をもつニッケル錯体 $\text{Ni}(\text{tmdt})_2$ に着目しました。この分子の特徴は、最高被占軌道 (HOMO) と最低空軌道 (LUMO) のエネルギーギャップが小さく、さらに結晶中では平面形分子が上下に重なり合うことによって、分子間に強い電子相互作用が生じ得ることです。その結果、結晶中では近接した HOMO バンドと LUMO バンドが重なり合うことによって、まるで銅のような金属元素のように、一種類の分子が集合しただけで金属結晶となります。小林先生はこのことを分子性金属に関する長年の研究から予測し、見事に一種類の分子からできた最初の金属結晶を実現させました。(Science, 291, 285-287, 2001)。この業績は、分子の概念の変革をもたらし、物質科学領域の発展に大きく寄与しています。



小林昭子名誉教授

小林先生は、学部生、大学院生、助手、助教授、教授と本学部、本研究科で女性研究者のパイオニアとして教育・研究を先導されてこられました。2006年にご定年退職された後も、日本大学において引き続き、活発に研究を続けられています。今後も、女性科学者を育てる牽引車として大きな役割を果たされることでしょう。

理学系研究科より3名が仁科記念賞を受賞

大塚 孝治（物理学専攻 教授）

2008年度の仁科記念賞が発表され、今回は受賞された3名の方がどなたも理学系研究科に関わっているという、わたしたちにとってたいへん栄誉あることになりました。その3名は、国立天文台の家正則教授（天文学専攻兼任教授）、物理学専攻の上田正仁教授と早野龍五教授です。

家教授は「すばる望遠鏡による初期宇宙の探査」という受賞理由で、独自の観測方法で129億光年離れた銀河の撮影などに成功し、宇宙の果てを探る研究をされてきました。天文学科、天文学専攻のご出身です。

上田教授は、「引力相互作用する原子気体のボース・アインシュタイン凝縮の理論的研究」により受賞されました。ボース・アインシュタイン凝縮は近年世界的に研究が進められてきましたが、

上田教授はそのパイオニアの一人であり、とくに引力による崩壊についての研究で知られています。

早野教授は「反陽子ヘリウム原子の研究」により受賞されました。反陽子は一般にはすぐになくなってしまい、扱いが難しいものですが、CERNにて長寿命の反陽子ヘリウム原子の研究を進め、さら



授賞式において。左から家正則教授、上田正仁教授、早野龍五教授。

に低速反陽子ビームをつくって、反陽子の質量の精密測定などを行っています。

上田教授、早野教授ともに物理学科、物理学専攻のご出身です。理学部、理学系研究科のご出身、ご在籍の方々がさまざまな先駆的研究をされ成果が実り、仁科記念賞のご受賞となったことに祝い申し上げます。

臨海実験所とミキモトの共催シンポジウムが開かれる

赤坂 甲治（臨海実験所 教授）

三崎臨海実験所が世界初の真珠養殖開発の舞台となったことは、意外と知られていない。2008年12月4日（木）に小柴ホールで行われたシンポジウムでは、赤坂が「臨海実験所の歴史、海洋生物の多様性と遺伝学的バックグラウンド」、ミキモト真珠研究所の永井清仁所長が「真珠層の構造と海の環境」、九州大学農学研究院の本城凡夫名誉教授が「アコヤガイの健康管理装置の開発と赤潮」、東京大学農学生命科学研究科の渡部終五教授が「アコヤガイの有効活用とバイオテクノロジー」について述べた。講演終了後は、聴衆の方々も含めて活発に意見交換され、自然と人類の共存には、遺伝的多様性、環境の保全が不可欠であるとのコンセンサスが得られた。

真珠養殖技術の開発は、御木本幸吉氏

が1890年（明治23年）の内国勸業博覧会に出品したアコヤガイに、箕作佳吉臨海実験所初代所長が目をとめ、人工真珠について助言したことに始まる。御木本氏は志摩で養殖を試み、3年後に半円真珠（貝殻の内側にドーム状に形成された真珠）を得ることに成功、1896年にはコロンビア世界博覧会で、箕作教授が立案者として表彰されている。球状の（真円）真珠を得る技術は、東京大学動物学教室出身で後に研究生となった西川藤吉氏がさらに12年の歳月を要して開発した。1907年には特許を申請している。西川氏は御木本氏の次女と結婚し、ミキモトにも貢献するが、病気のため1909年に他界する。後を継いだ臨海実験所助手の藤田輔世の日記には、三崎の油壺湾で数万個のアコヤガイを養殖し、

核として鉛の散弾を挿入したと記されている。真珠養殖技術の開発は東京大学のプロジェクトとして20年間にわたり精力的に行われた。しかし、真円真珠の養殖に成功し、学術的な成果は十分に得られたとして撤退する。いっぽう、御木本氏は養殖真珠を一大産業として発展させていったのである。今回のシンポジウムは海洋基礎生物学から派生する科学技術、産業の可能性と環境について考えるよい機会になった。



米国水産局学術誌に掲載された箕作教授の真珠養殖の論文（左奥）、開発途中の当時の真珠（左手前）と明治時代の動物学誌（右）。

学生企画コンテストで理学系有志グループが優秀賞

音野 瑛俊 (物理学専攻 博士1年)

「地方高校でも東大がぐっと身近に～大学院生母校出張セミナー～」が本年度東京大学学生企画コンテスト優秀賞を獲得し、東京大学からの公認・資金援助を受けることが決まった。本企画では全学から募った大学院生を私たちがサポートすることで、全国に分布する彼らの母校での出張授業を実現したいと考えている。自身が熱意を傾けている研究活動を社会へ発信したい思いをもちながら、個人で活動することに困難を感じている大学院生

は多い。私たちは2008年5月から首都圏の高等学校へのお出張授業を積極的に行い、出張授業に必要なノウハウの蓄積を進めてきた^{注1)}。本企画ではこれらのノウハウを講師希望者と共有することで、出張授業の敷居を下げたいと考えている。そして彼らが全国に広がる母校へ帰ることで、在学時に培った教員との信頼関係を生かした授業を実施して、地方の高校生に大学での研究活動を身近なものとして伝えることを期待している。

現在、講師希望者を募る説明会の開催を準備しており、詳細はポスター、ウェブなどを通じてお知らせする予定である。



高崎女子高等学校で素粒子実験の話をする筆者

ぜひ多くの方々に参加していただきたいと考えている。

注1) これらの活動は理学系研究科有志で構成される科学コミュニケーション活動グループ0to1 (<http://sc.adm.s.u-tokyo.ac.jp/0to1/>) において行われた。

第14回東京大学理学部公開講演会、開催される

実行委員長 半田 利弘 (天文学教育研究センター 助教)

東京大学大学院理学系研究科・理学部公開講演会が、2008年11月17日(土)14時より16時半まで安田講堂にて開催された。「過去を知る理学」と題して、過去に起こったことを知ることも理学研究の対象であるとのテーマのもと、最新研究の成果を示す話題が紹介された。

山本正幸研究科長による挨拶に続き、茂山准教授(ビッグバン宇宙国際研究センター)による「長老の星が語る宇宙錬金術」、田近英一准教授(地球惑星科学専攻)による「全地球凍結～地球史と生命進化の謎」、野崎久義准教授(生物科学専攻)による「メスとオスの起源を探る～オス特異的遺伝子“OTOKOGI”の発見」の3講演が行われた。現在の宇宙に存在するさまざまな元素はどのような天体によって生成されたか、地球全体が凍結したという説はどのような根拠に基づきどんな機構で発生したのか、

人間社会にも大きな影響を与える男女の起源はどのようにして始まったかなど、いずれも興味深い話題が紹介され、来場者の満足度も高い各40分であった。

天候にも恵まれ、650名を超える史上最多の来場者数であった。開演前に上映した理学部紹介ビデオも好評であった。講演後には懇談会を設け、多数の来場者が1時間ほどの間、講師と議論を深めていた。前回同様、講演内容はインターネットで学外にも中継された。

今回は、2009年4月26日(日)に同じ安田講堂にて開催予定である。

本郷けやき保育園のハロウィンパレードに理学部が協力

平賀 勇吉 (事務長)

「Trick or treat! (ごちそうしないといたずらするぞ)」。2008年10月31日(金)、てんとう虫やお猿さんなどにかわいらしく仮装した本郷けやき保育園の園児によるハロウィンパレードが行われた。弥生門近くの保育園を出発し、理学部1号館

1階の事務室を巡ってお菓子をもらい、安田講堂の周りを一周するというコース。本部の職員も魔法使いの仮装をして出迎えた。0歳から2歳の子供ということもあって、子供達の泣き声でなんとも賑やか。理学部の職員達は、子供達から元気なパワーをもらうことができた。

前日、ご近所である理学部として何かできないかと考え、

事務部で募金すると十分なお金が集まり、心ばかりのお菓子をを用意した。来年もできる限り協力したい。



理学部を訪れた本郷けやき保育園の子供達

進学相談の場を提供，“理学部サイエンスカフェ@駒場”

教務委員長 茅根 創
(地球惑星科学専攻 教授)

2008年12月12日(金)、駒場キャンパスコミュニケーションプラザにおいて、理学部サイエンスカフェ@駒場を、教務委員会・広報委員会共催で開催した。各学科や男女共同参画のデスクに、教員、



■ デスクで学科の説明を受ける駒場生

大学院生、学部生が待機し、訪れた駒場生の質問に答えるもので、岡前教務委員長のもとで昨年からはじめられ今回は2回目である。前週の12月4日(木)には、数理科学研究科大講堂において学部ガイダンスが行われたが、サイエンスカフェでは、学生の進学に関する疑問に直接答える場を提供している。

参加した学生は200名前後。質問は、進路や就職、カリキュラム、進学振り分け、学部や大学院での生活など、具体的な

内容が多く、担当教員、学生は、多様な質問のひとつひとつに丁寧に回答した。今回は、南部陽一郎博士のノーベル賞受賞直後ということで、途中、柳田教授に博士の業績解説の講演をお願いした。

学生の進学先選びの決め手は、自らの関心や適性ととともに、就職やポストク問題が大きなウェイトを占



■ 理学部サイエンスカフェ@駒場のポスター

めるようになった。理学部の教育内容や卒業後の進路を学生に直接説明する機会を設けることは重要である。ガイダンスも含め、参加くださった教員、ご支援くださった事務の皆様々に心から感謝申し上げます。

“東大理学部で考える女子高校生の未来”を開催

横山 広美 (広報・科学コミュニケーション 准教授)

2008年12月14日(日)、女子高校生の進学支援イベント“東大理学部で考える女子高校生の未来”が小柴ホールと、クリスマスのディスプレイで華やかに飾られたホワイトで開催された。

Part1の女子高校生のためのサイエンスカフェ(実行委員長・情報科学科稲葉真理准教授)では、常行真司広報委員長の挨拶のあと、本研究科天文学専攻を修了し現在はオーストラリア国立大学ストロムロ主任研究員である小林千晶氏の迫力ある講演が行われた。参加者にはそのあと小柴ホール前のホワイトで大学生活、進路選び、そして研究についてTAと

話をしていただいた。さらに情報科学科の平木研究室と天文学科の嶋作研究室の見学を行った。約50名の参加者からは、大学院生や他の参加者と話すことができ、刺激になった、ぜひまた参加したいなど多くのコメントが寄せられている。

Part2の親子参加のシンポジウム(実行委員長・国際交流室五所恵子講師)では比屋根肇准教授の司会のもと、山本正幸研究科長の挨拶に続き野中勝男女共同参画委員長が理学系の男女共同

参画の現状を紹介した。さらに化学科4年の西山枝里氏、物理学専攻修士2年の松井千尋氏、生物科学専攻博士1年の小寺千絵氏と生物科学専攻の真行寺千佳子准教授が、現在にいたるまでのキャリアと理学の魅力を紹介し、最後にパネルディスカッションが行われた。女子高校生はもちろん保護者や高校の先生方も含めて、当初の予定人数を大幅に越える151名が参加し有意義な会になった。



■ サイエンスカフェで各グループをまわる小林千晶氏と平良真理准教授

新見市より植物園にアテツマンサクが寄贈される

■ 邑田 仁 (植物園 教授)

理学系研究科附属植物園に岡山県新見市から「新見市の花」アテツマンサク(マンサク科)寄贈の申し入れがあり、2008年11月11日(火)に石垣正夫新見市長をはじめ6名が来園され、理学系研究科からは山本研究科長、平賀事務長、植物園長などが出席し、植樹式を行って園内のボダイジュ並木付近に定植した(写真)。

アテツマンサクは牧野富太郎が創刊した「植物研究雑誌」第1巻(1916年)で命名発表したもので、現在では日本に広く分布するマンサクの地域的な変種と

されている。通常のマンサクやマルバマンサクにくらべて葉裏に毛が多くて白っぽいことが特徴で、花の萼片は紫色ではなく黄色で、明るく華やかな感じがする。

アテツマンサクの名前の由来となっている「阿哲地域」は植物園園長も務めた前川文夫が注目した新見市周辺(旧阿哲郡)の石灰岩地が発達する比較的乾燥した地域で、シロヤマブキ(バラ科)、ヤマトレンギョウ(モクセイ科)、ナツアサドリ(グミ科)、アオイカズラ(ツユクサ科)、といったアジア大陸と共通の、あるいは密接に関連した特有の種類があることが知られている。アテツ

マンサクは大陸との関係が議論される種類ではないが、「アテツ」という冠詞のついた唯一の植物名であろう。牧野富太郎と前川文夫という植物園で活躍した二人の植物学者がかかわる植物であり、大切に育てていきたい。



■ 植樹式の様子。左から石垣新見市長、邑田園長。

菊谷詩子さんの作品から ～理学から羽ばたけ(P.8)より～



■ 「生命誌の階段」(JT生命誌研究館において展示中)のために制作した26枚のシリーズの中の2枚。左:アゲハチョウの食草確認,右:歩く宝石,オサムシ。



科学を描く

サイエンス・イラストレーションとは専門書や教科書、図鑑、研究論文などに使われる科学的な内容を説明するイラストのことである。それらを専門に描くのがサイエンス・イラストレーターで、私はそれを生業としている。元々、生物学科出身なので描く対象は生物系のものが多いが、素粒子からビッグバンまで、知識や年齢もさまざまな人々に、科学を身近に感じてもらうためのイラストを日々描いている。この仕事に求められることは、科学的な知識を身につけ、内容を正確にわかりやすく、ターゲットに適切な難度の絵にしてゆくこと、そして科学の魅力を伝えてゆくことだと考えている。

私がこの世界に入ったのは、大学院在学中にサイエンス・イラストレーションという分野があり、専門イラストレーターを養成するコースをもつ大学の存在を知ったのがきっかけである。幼少期を東アフリカで過ごしたことから絵と生き物が好きで、進路に悩んだ末に生物学の道に進んだが、常にこの選択が正しかったのか悩んでいた私にとって光明が差したように感じられた。その後は研究をしつつ絵の訓

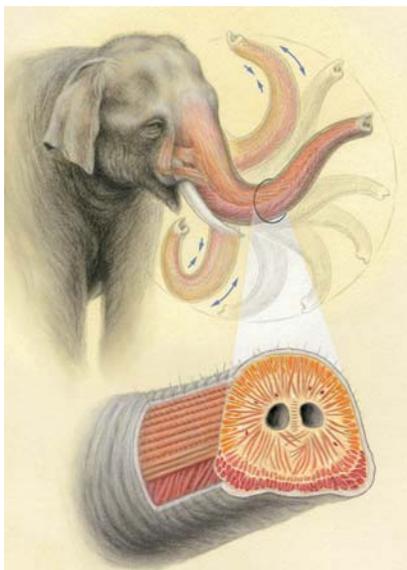


図1：Natural History magazine '97年11月号に掲載されたゾウの鼻のイラスト

練も積み、博士2年の時にカリフォルニア大学サンタクルーズ校のサイエンス・イラストレーションプログラムに留学した。この大学院コース（当時）では一年間で必要な技術と知識を叩き込まれた後、インターンを終え修了という形を取っていた。インターン時代の私は、ニューヨークのアメリカ自然史博物館の古脊椎動物部門で新種のカメの化石の絵を描く仕事をしていました。そこにある日ナチュラル・ヒストリーという雑誌から大仕事が舞い込んできた。ゾウの鼻に関する記事につける絵が3点欲しいと言うのだ。実績もなく英語も拙い外国人にいきなり仕事を任せることに驚く一方、これは絶対に失敗できないという強い思いが沸いてきた。絵の構成から任された私は、原稿を読みスケッチをつくり、会ったことのない研究者とメールと電話でやりとりを始めた。少ない資料を求めて、博物館の図書館に大切にしまっているフランスの大解剖学者ジョルジュ・キュービエ(G. Cuvier)が19世紀に描いた本を閲覧させてもらった。科学の歴史に触れるたいへん貴重な経験だった。また、ホルマリンを滴らせながら宅急便で送られて来た本物のゾウの鼻の輪切りを観察したり、絶滅種の鼻の長さを1ミリ伸ばせという研究者のこだわりにとことん付き合ったりと、そのプロセスは山あり谷ありで、今考えるとこの種の仕事のほぼすべてのエッセンスが詰まっていたと思う。

その後はアメリカと日本で経験を積み、2001年からは、日本でフリーの仕事をしている。最近では同業の有志と共にグループをつくり、昨年は日本動物学会にも参加し、専門知識をもったイラストレーター存在を広める活動もしている。

フリーランスの仕事は、日々新しいプロジェクトと向き合わなければならずチャレンジングだが、自分の今まで知ら

菊谷 詩子 (サイエンス・イラストレーター)



図2：展覧会会場で自身の描いた絵の前に立つ筆者

PROFILE

菊谷 詩子 (きくたに うたこ)

- 1993年 東京大学理学部生物学科卒業。
- 1995年 東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻修士課程修了。
- 1997年 カリフォルニア大学サンタクルーズ校サイエンスコミュニケーション学科サイエンス・イラストレーションプログラム修了。
- 2002年 ボローニャ国際絵本原画展(ノンフィクション部門)入選。

なかったことを勉強する良いチャンスになっている。

研究を離れた今でも、当時と変わらない喜びを感じる機会が多々ある。それは、観察する喜びである。学部3年生の頃、マウスの諸器官の組織標本を作成し、それを顕微鏡で見ながら細胞ひとつひとつまでスケッチをするという実習を受けた。また三崎の臨海実習では、採集した動物を分類しながら描いてゆくという実習もあった。観察し、スケッチすることこそ、生物学研究の原点だと考えている。科学の進歩と共に、実際の形を観察する機会は減ったかもしれないが、ぜひサイエンス・イラストレーターを目指す人にも、研究者を目指す人にも、観察し見たものを手で描いてみるということをお勧めしたい。

※ 個人HP：<http://www.utakokikutani.com/>

サイエンスを知り、科学衛星をつくる

杉保 昌彦（日本電気株式会社）、田枝 正寛（三菱重工業株式会社）

「なんで君がここにいるんだ？」と、お互いに顔を見合わせたのは約2年前だったと記憶している。場所は、宇宙開発研究機構宇宙科学研究本部（ISAS）の一室。その日はISAS水星探査プロジェクトが開発を進めている科学衛星（水星探査機、図1参照）の設計会議が行われていた。杉保は衛星全体のシステム開発者として、田枝は水星探査の為に観測装置開発者として参加していた。

杉保・田枝は、所属する研究室こそ異なるものの共にX線天体物理学を研究する研究室に所属していた同期であり、かつて、修論実験の為に一方の下宿に泊まり込んだこともあった。二人とも博士課程修了後、就職して別々の道を歩んだかのように見えた。しかしどこをどう曲ったのか、別々の会社でありながら、同じ衛星開発プロジェクトという「同じ道」を再び歩むことになったのである。

杉保は、子供のころから地球観測衛星で見た世界地図や地理に興味をもっていたが、年齢と共に物理学や宇宙に興味をもつようになった。大学院時代の研究テーマは、“X線観測による近傍銀河に見られる大光度X線源のサイエンス”，および“硬X線検出器の開発”を選び、装置開発や人工衛星運用の経験を活かして、人工衛星の開発という今の仕事をする事となった。入社直後は地球観測衛星のシステムを担当し、約2年前から科学衛星のシステム担当となった。大学院の頃も現在も、開発した検出器や人工衛星

の「宇宙に行って動作する」という目的が支えになっていることは変わらない。打ち上げ後に故障しても修理できないといった人工衛星ならではの特殊性はいくつかあるものの、その開発は地道な作業がひじょうに多く、メーカーにおける開発の中での特殊性は実は小さい。他の開発と違っているのは、その目的であると思っている。

いっぽう、田枝の大学院時代の研究テーマは、“X線観測による超新星残骸プラズマのサイエンス”，および“X線用CCDカメラ開発”であった。この分野の研究室に共通していることであるが、科学衛星を用いた天体解析（サイエンス）と、将来衛星の為に装置開発（エンジニアリング）の2つのテーマを研究することになる。要するに理学・工学両方を一度にできるような感じである。博士課程後の進路については、元々希望していた「宇宙開発ができる場所」を大学・企業にこだわらず探した結果、今の会社がヒットした。企業への就職にあたっては、大学院時代の研究テーマのひとつである装置開発の経験が強力なアピールになった。そして、人工衛星の開発に従事する職場に配属され、今にいたる。“大学か”“企業か”という選択ではなく、「自分のやりたいことができる場所」という原点から出発することが、進路を決める上で重要と思う。

二人が偶然出会った設計会議の後、二人で企業間調整を行う機会が多くなり、通常なかなか進まないはずの調整が比較的スムーズに進むように感じる。やはり勝手知ったる仲だからか？いやいや、時々こっそり電話で本音を教えてもらえるからであろう。学生時代の友達は大切にするものである。

現在の私たちの業務と大学院での研究テーマとは「科学衛星」というキーワードで結ばれた、ひじょうに近い分野である。



図2:ともに衛星の試験をする筆者ら。左から田枝,杉保。

PROFILE

杉保 昌彦（すぎほ まさひこ）

- 1998年 東京大学理学部物理学科卒業。
- 2000年 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程終了。
- 2003年 同博士課程修了。博士（理学）。
- 2003年 NEC 東芝スペースシステム株式会社入社。
- 2007年 日本電気株式会社入社。現在、宇宙システム事業部宇宙システム部所属。

田枝 正寛（たえだ まさひろ）

- 1998年 大阪大学理学部宇宙地球科学科卒業。
- 2000年 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程修了。
- 2003年 同博士課程修了。博士（理学）。
- 2003年 三菱重工業株式会社名古屋誘導推進システム製作所に就職。

それでも、大学院で研究してきたサイエンスそのものが直接役に立ったという経験はほとんどない。ただ、大学院で「科学衛星を利用する」立場で研究していたことから、「科学衛星を開発する」立場になった現在において、利用する人をイメージしながら開発を進めることができるように思える。これは同じ会社のほかの人には絶対には真似できない、サイエンスをやってきたからこそ得られている大きなアドバンテージであると考えている。

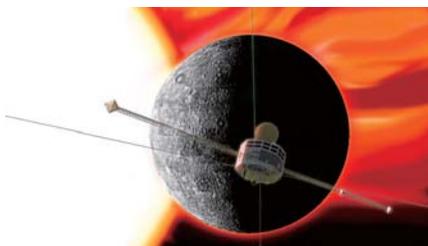


図1:水星探査機MMO(京大大学生存圏研究所提供)。



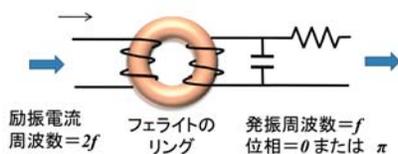
パラメトロン計算機 PC-1

平木 敬 (情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 教授)

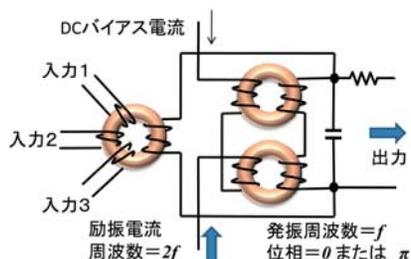
パラメトロンは1954年3月に、当時大学院1年生であった後藤英一教授が発明した論理素子であり、安価に論理回路が構成できることからパラメトロン計算機として一時期広く使われた。パラメトロン計算機PC-1は、理学部発の素子を用い理学部で製作されたコンピュータであり、完成当時日本では最高速、またわが国の大学では唯一の計算のできるコンピュータであった。

パラメトロンの原理は、共振周波数 f のLC共振回路において、インダクタンス L を $2f$ の周波数で変化させると、その半分の周波数 f で発振するパラメータ励振¹⁾である(図1)。 L を変化させることは、フェライトコアの透磁率の非直線性を利用し、DCバイアス電流とともに $2f$ の周波数の励振電流をフェライト上に巻いたコイルに流すことにより実現させた。

パラメトロンが論理素子として働くための論理値は、発振時の位相が0であるか、 π であるかを用い、パラメトロン出力を次段のLC共振回路に弱く結合させることで、多数決論理で論理値が決まる。



■ 図1：パラメトロンの原理



■ 図2：3入力多数決パラメトロン素子

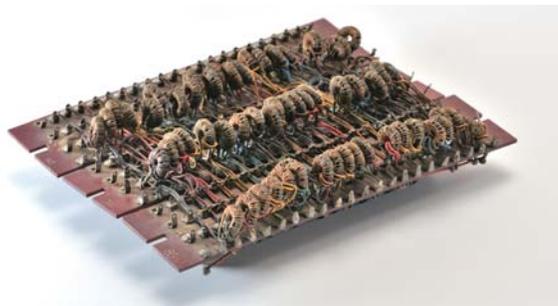
実際に用いたパラメトロン素子は、励振電流の漏洩打ち消し、他のパラメトロンからの入力結合のため、3個のフェライトコア(写真上において、リング状のもの)、コンデンサ(ボード下部茶色のもの)、抵抗(ボード下部黒色のもの)と配線で構成され、3相のバースト状励振電流により駆動される複雑なものである(図2)。

このできたてほやほやの素子であるパラメトロンを4,300個用い、物理学教室高橋秀俊研究室で1958年にパラメトロン計算機PC-1が製作された。PC-1の特筆すべき点は、研究用として試作し評価しただけではなく、理学部に設置された最初のコンピュータとして1964年までの6年にわたり偏微分方程式の求解、結晶解析、電子線回折、分子内ポテンシャル計算、数値計算ライブラリなど物理学、化学、情報科学などの研究・教育に活用されたことである。これは、研究教育に必要な道具は、必要ならば自らつくり出すという理学部の伝統とも軌を一にするものである。コンピュータの黎明期である1950年代に発明されたパラメトロンはひじょうに安価であり真空管より安定動作することから、理学部だけではなくわが国全体における計算科学の発展に大きく貢献した。

PC-1が切り拓いた必要なコンピュータを構築することはその後さらに発展した。

1982年には、LSIマスク作成に必須である電子レンズの解析における数式処理問題を解く必要性から、後藤英一研究室(理研との共同開発)において数式処理計算機FLATSが開発された(表紙下図左、5M命令/秒)。FLATSのハードウェア設計は当時後藤研究室の大学院生であった清水謙多郎(農学生命科学研究科教授)と筆者が担当した。さらに最近では、平木研究室(情報理工学系研究科)と牧野研究室(国立天文台、天文学専攻兼任)が共同で汎用超並列コンピュータGRAPE-DR(表紙下図右)を開発し、ペタフロップス(Pflops)²⁾領域でのシミュレーション実現を目指している。GRAPE-DRプロセッサボード1枚は、2テラフロップス(Tflops)の演算速度をもち、PC-1から見ると50年で10億倍の高速化が理学部において実現していることになる。

- 1) パラメータ励振は、ブランコをこぐ方法のように、周期 $2T$ の振動子の周期を決定するパラメータを周期 T で小変化させることにより、大きな周期 $2T$ の振動を発生させること。ブランコでは、振動子の長さを変化させ、パラメトロン素子ではフェライトに巻いたコイルのインダクタンス L を変化させる。
- 2) flopsは、1秒間に実行する浮動小数点演算数であり、コンピュータの速度をあらわす。Pflopsは、 10^{15} flops、Tflopsは 10^{12} flopsのことである。



■ 図3：PC-1パラメトロンボード

鞭毛の屈曲波が両方向にくりかえしつくられる仕組み – ダイニン切り替え説の証明 –

林 周一 (生物科学専攻修了*), 真行寺 千佳子 (生物科学専攻 准教授)

鞭毛・繊毛は、細胞の動きや生体内の物質の移動などを担う重要な運動装置である。原生生物や多くの動物の精子は、鞭毛を波打たせて遊泳するが、この時鞭毛の根元で両方向に周期的につくられる屈曲(図1のPとR)は、ほとんど減衰せずに先端へと伝えられる。鞭毛の根元に特別の仕掛けは存在しない。鞭毛を構成する「9+2」構造とよばれる特徴的な構造に周期的振動を起こす仕掛けが潜んでいる。では、それはどのような仕組みなのか。われわれは、鞭毛の振動機構を解き明かす重要な仮説の証明に成功した。

屈曲形成に重要なのは、「9+2」構造を構成する9本のダブルット(複合)微小管(以下、ダブルット)とダブルット上に並ぶダイニンである(図1中段)。生体分子モーターの一種であるダイニンは、ATPを使って、隣のダブルットと結合・解離をくりかえしながら一方に動く。ダイニンの動きについて、われわれのグループは最近新しい運動モデルを提唱した(2008年12月2日プレスリリース；

Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 12月8日電子版に掲載)。屈曲は、鞭毛の中心の2本の微小管(中心小管)を通る面に垂直な面に形成される(図1上段)。「9+2」構造を鞭毛の根元からみあげたとすると、隣のダブルットに向かって突き出したダイニンは時計回りに配置されており、ダイニンは隣のダブルットを鞭毛の先端方向へと押し上げるように滑らせる。振動運動の時、すべてのダイニンが同じように滑りを起こすのではない。エラストラーゼという酵素を用いてダブルット間をつなぐタンパク質繊維を壊し、ATPにより滑りを誘導すると、鞭毛はあたかも2本の束からなるかのように分かれた(図1下段)。この結果からわれわれのグループは、屈曲PとRはそれぞれ中心小管の両側の7番と3番のダブルット上のダイニン(図1)の滑りにより形成されるという仮説を提示した(2003年発表)。

もし、両方向への屈曲形成が、7番と3番のダイニンの滑りが切り替わることに起こるのだとすると、切り替えは鞭毛が曲がることにより自動的に誘導されると推測される(2004年発表)。

そこで、エラストラーゼ処理した頭部付き精子を用いて鞭毛の根元方向を見分けながら、まず7番の滑り(P滑り)を誘導後、微小針で鞭毛を屈曲させてATPを与えたところ、滑り方向が逆転した(図2)。高濃度カルシウム条件では3番のダイニンは7番より有意に滑り速度が遅いという特性が、この滑り方向の逆転時に明確にみられたことから、ダイニンの切り替え仮説は証明された。さらに、P屈曲存在下ではR屈曲により滑りが切り替わった(図2)が、屈曲していない鞭毛ではP屈曲により滑りが切り替わった。鞭毛は、屈曲によるひずみを感じ、ダイニンと微小管との結合状態に応じて、ダイニンの切り替えを起こすらしい。この研究により、鞭毛の振動の基本機構が明らかとなった。

本研究は、文部科学省(科学研究費補助金)の支援によって行われ、S. Hayashi and C. Shingyoji, *Journal of Cell Science*, **121**, 2833-2843, 2008に掲載された。同誌121巻17号のIn this issue欄にも取り上げられた。

* 現在、独立行政法人理化学研究所発生・再生科学総合研究センター研究員。

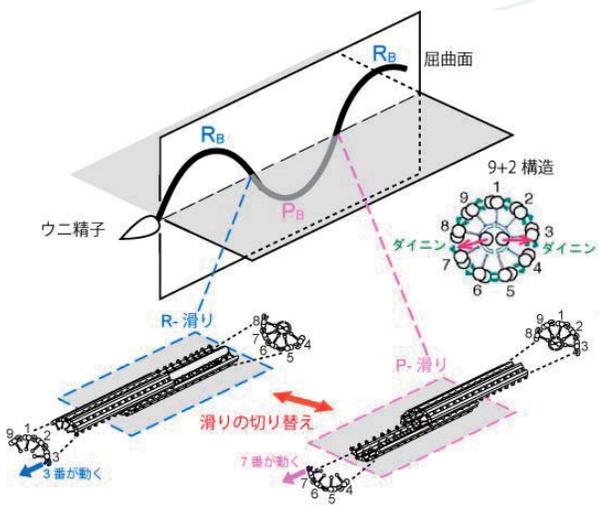


図1: 運動中の鞭毛におけるダブルット微小管間の滑りを示す模式図。P屈曲, R屈曲(P_b, R_b)を作る滑り(P滑り, R滑り)を起こすのは、9+2構造の主にダブルット7番(ピンク)と3番(青)上のダイニンである。

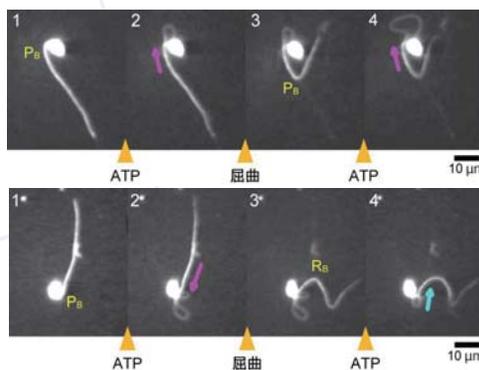


図2: 除膜後エラストラーゼ処理をした鞭毛にATPを与えP滑りを誘導する(1→2)。鞭毛をP屈曲方向に曲げても滑り方向は変化しないが(上段3, 4), R屈曲方向に曲げると逆転する(下段3, 4)。

ペプチドホルモンを介した木部と師部との クロストーク

福田 裕穂 (生物科学専攻 教授)

植物には、木部と師部の2つの養分輸送組織がある。ちょうど人に動脈と静脈があるように。これらの組織はともに、その間にある維管束幹細胞からつくられる。木部は根から水分、塩類、シグナル分子を運び、師部は葉でつくられたショ糖やシグナル分子を運ぶ。この2つの装置がうまく連動してはじめて、植物内の栄養や情報のスムーズな伝達が可能になる。この2つの輸送経路は近接して存在するものお互いに交わらない。したがって、この2つの組織は、その密な連携のためお互いに情報のやりとりをしているのではないかと予想されていたが、情報伝達の実体は不明であった。

2006年に私たちは、細胞培養系を用いて、木部の形成を抑制する新規ペプチドホルモン、TDIFを発見した (Ito *et al.*, *Science*, **313**, 842-845, 2006)。TDIFは2つのプロリンに水酸基の修飾をもつ、12個のアミノ酸からなるペプチドであった。今回、私たちは、TDIFの植物体内での機能とその受容体の探索を行った。まず、

モデル植物であるシロイヌナズナのゲノム情報と私たちが行ってきた網羅的な遺伝子発現解析のデータをもとに、TDIFの受容体候補を60種類ほどに絞り込んだ。これらの候補のそれぞれの遺伝子破壊シロイヌナズナを入手して解析した結果、*TDR (putative TDIF receptor)* 遺伝子の欠損がTDIF感受性を失わせること、TDRタンパク質がTDIFと特異的に結合することから、TDRがTDIFの受容体であると証明された。発現解析からTDR遺伝子は維管束幹細胞に、TDIF遺伝子は師部周辺に、その発現が局在した。また、TDIFが師部細胞から分泌されることも明らかとなった (図1)。個体を用いた解析から、TDIFは木部分化阻害作用に加え、維管束幹細胞の分裂促進作用をもつことも明らかとなった。

これらの結果から、TDIFを介した木部と師部間のクロストークが次のように明らかにされた (図2)。

- 1) TDIFは師部組織によりつくられ、細胞外に分泌される。
- 2) 分泌されたTDIFは、維管束幹細胞に局在する受容体TDRに結合し、シグナルを細胞内に伝える。
- 3) その結果、維管束幹細胞から木部への分化が阻害される一方で、維管束幹細胞の分裂は促進され、未分化な状態の幹細胞が増える。

このようにして、師部からのシグナルが、木部細胞への分化を抑制し、過剰の木部をつくらせないという、師部から木部へ向けての制御機構が明らかになった。それでは、木部から師部に向けてのシグナルはないのか。当然あると考えていて、現在、それを解析する方法を模索中である。本研究は、Y. Hirakawa *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, **105**, 15208-15213, 2008に掲載された。

(2008年9月18日プレスリリース)

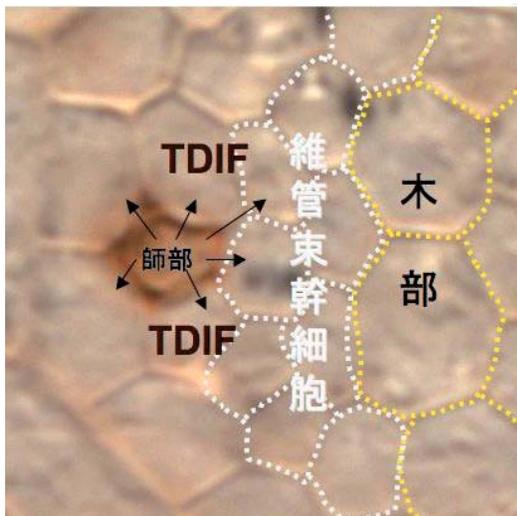


図1: TDIFペプチドの根における局在。TDIFは師部前駆細胞から特異的に分泌される。

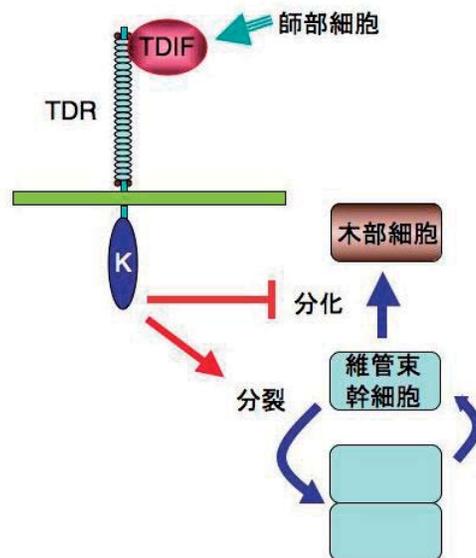


図2: TDIF/TDRシステムによる維管束幹細胞の発生運命の制御。師部細胞から分泌されたTDIFはTDRに受容され、維管束幹細胞からの木部分化を阻害し、幹細胞の分裂を促進する。

超原子価ジスルフィド結合の開発と特性解明

川島 隆幸 (化学専攻 教授), 狩野 直和 (化学専攻 准教授)

硫黄の特徴のひとつとして2価2配位の硫黄同士で結合を形成する性質が知られている。その結合(S-S)はジスルフィド結合とよばれ、アミノ酸であるシステイン同士の結合などタンパク質の構造を保持するのに役立っている。ジスルフィド結合は還元によってチオール(-SH)に変換され、酸化すると再びジスルフィドに戻るという可逆的な性質をもち、毛髪のパーマにもその性質が利用されている。硫黄のもうひとつの特徴として、最外殻電子の個数が形式的に8以上の数の価電子を有する「超原子価状態」をとることが挙げられる。しかし、ジスルフィド結合と超原子価状態という二つの硫黄の特徴が一つの結合に組み込まれた4価4配位硫黄と2価2配位の硫黄との超原子価結合は、きわめて不安定であるとされ、その結合に関して構造的知見や性質はわかっていなかった。

われわれはこれまでに電子求引性の二座配位子を用いて種々の超原子価化合物の安定化に成功してきたが、この配位子は硫黄原子同士の超原子価結合の安定化

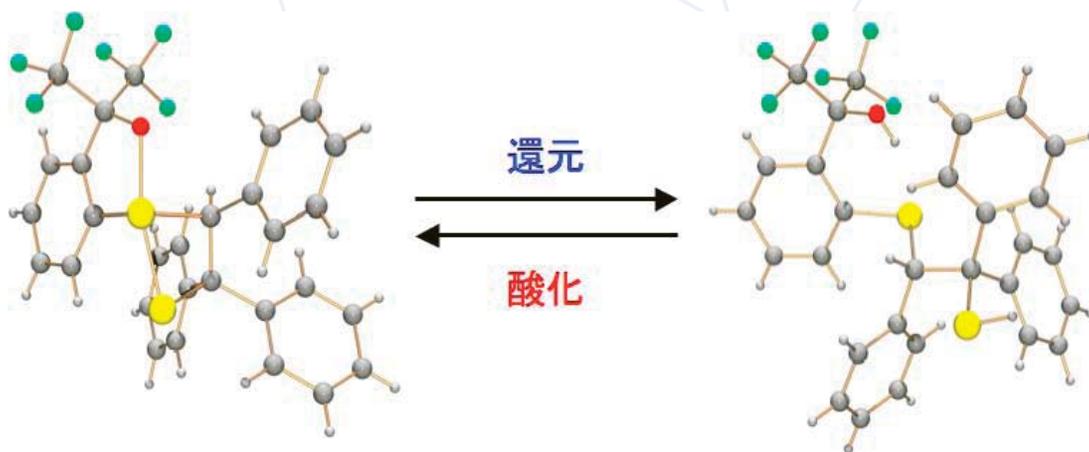
にも有効であると考えた。チオール(-SH)部位とスルフィド(-S-)部位を分子内にもつ化合物を合成し、その酸化反応により4価4配位の硫黄と2価2配位の硫黄との超原子価結合(以後、便宜的にS(IV)-S(II)結合とする)をもつ化合物の合成に成功した。S-S結合の長さは2.2138 Åであり、一般的なジスルフィド結合のS-S間の長さ(1.97-2.08 Å)よりかなり長く、一方の硫黄原子が超原子価状態にあることを反映していた。4価硫黄原子は形式的に10個の価電子をもつことになるために負電荷を帯びるように思えるが、分極の度合いを調べたところ、逆に4価硫黄原子は正に、そして2価の硫黄原子はやや負に分極していることがわかった。

この化合物は空气中、室温で扱えるほど安定だったが、溶液中で加熱すると分解し、硫黄原子と二つの炭素原子からなる三員環化合物が容易に生成された。このことは4価4配位硫黄をもつことに由来すると考えられ、4価4配位硫黄上での結合の組み替えが起こることを意味し、生体内

反応での反応様式を考察する上で興味深い知見である。S(IV)-S(II)結合を還元するとS-S結合がS-O結合とともに切断されて、チオールとスルフィド部位をあわせもつスルフィド化合物へと変換され、このスルフィド化合物を酸化するとS-S結合が再生した。つまり、S(IV)-S(II)結合もジスルフィドと同様に酸化還元によって可逆的に結合の形成・切断が行えることを意味している。ジスルフィド結合を構成する硫黄の片方を4価4配位にしても、可逆的な結合の形成・切断というS-S結合の性質が保持されることがわかった。今回の結果を契機にして、従来は想定されていなかった超原子価S(IV)-S(II)結合をもつ物質の生体内現象への関与が発見されることを期待している。

本研究成果は、N. Kano *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 9430-9433, 2008に掲載された。さらに、*Nature Chem.* の Research Highlights 欄でも取り上げられた。

(2008年10月27日プレスリリース)



硫黄-硫黄超原子価結合を有する化合物の分子構造と反応式。超原子価S(IV)-S(II)結合をもつ化合物を還元すると、結合の切断を伴って2価2配位の硫黄原子のスルフィド部位とチオール部位をもつ化合物が生成し、生成物の酸化反応によってS(IV)-S(II)結合が再生して元に戻る。(黄色：硫黄、灰色：炭素、白：水素、黄緑：フッ素、赤：酸素)

卵への精子走化性運動におけるカルシウムの役割

吉田 学 (臨海実験所 講師), 柴 小菊 (臨海実験所 特任研究員)

受精のさい、精子が卵を探して遊泳する過程において、卵または雌性器官が精子を誘引する現象（精子走化性）が、多くの動物で見られ、とくに海水中に放卵・放精を行い体外受精する海産動物では顕著に見られる。精子は走化性運動時、誘引源から遠ざかると遊泳方向が急激に変化し、引き続いて誘引源方向へと直進するという特徴的な方向転換（ターン）を行うが（図1）、このターンは精子鞭毛の波形が一過的に変化することで引き起こされる。この精子の遊泳方向を決定する鞭毛波形は、これまでの細胞膜を除去した精子での実験などから、細胞内カルシウム濃度によって一律に決まっていると考えられていた。しかし、精子誘引物質が同定されている動物がきわめて少ないこと、精子は小さい上に高速で運動をするため顕微鏡下での運動解析等が困難であったことなどの理由で、精子が走化性を示すときの鞭毛波形制御のメカニズムは長い間謎であった。

私たちはこれまでに尾索動物カタユウ

レイボヤの精子誘引物質が新奇の硫酸化ステロイド SAAF であることを同定し、この誘引物質 SAAF による精子運動制御のメカニズムの解明にあたってきた。今回、私たちは高速運動している精子の鞭毛波形を正確にとらえるため、発光ダイオード（LED）を用いたストロボ照明装置を蛍光顕微鏡に組み込んだ高速度イメージングシステムを開発し、走化性運動時の微小な精子鞭毛内カルシウム変化をとらえることに世界で初めて成功した（図2）。その結果、走化性運動時の精子では、鞭毛波形の変化が見られる直前に細胞内カルシウムの一過的な上昇（カルシウムバースト）が開始することが明らかとなった。また、精子走化性の最大の謎である精子がどのように誘引物質を感知しているのかを明らかにするため、誘引物質濃度勾配中においてカルシウムバーストがどこで起こるかを調べた。すると精子は誘引源に向かって泳いでいるときではなく、常に誘引源からもっとも離れたときに反応していることが明

らかとなった。以上のことから、精子は誘引物質濃度が減少から上昇に変わる点（濃度変化の極小値）を検出し、カルシウムバーストを生じることで鞭毛波形を瞬時に変化させ、遊泳方向の転換を行っているのではないと思われる（図1）。

本研究により、精子走化性におけるカルシウムの役割の一端が明らかとなった。また、精子が誘引物質の極小値という負の濃度変化を感知しているという興味深い結果を得ている。今後は誘引物質の感知機構やカルシウムによる鞭毛波形の制御機構を明らかにすることで、長年の謎であった精子運動の制御システムが解明されることが期待される。

以上の成果は、K. Shiba *et al.*, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **105**, 19311-19316, 2008 に掲載された。

(2008年11月11日プレスリリース)

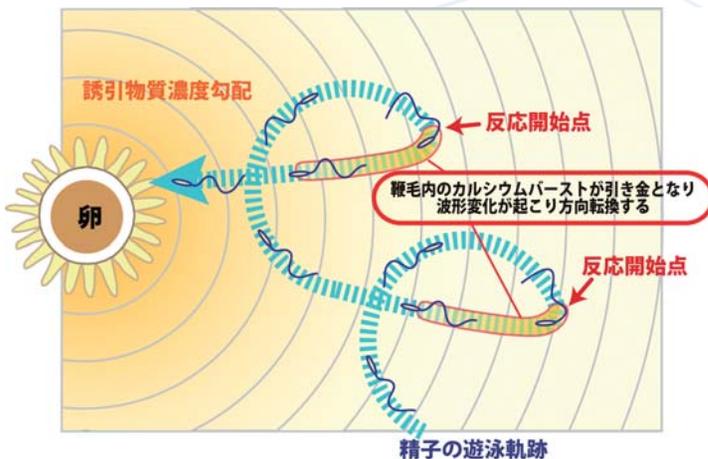


図1：精子走化性モデル。卵に対して走化性を示す精子は、卵から遠ざかるときに遊泳方向が大きく変化する。精子は誘引物質濃度が極小になる点（矢印）を検出し、鞭毛内カルシウムの上昇（カルシウムバースト）が生じ方向転換のための鞭毛波形変化が連続的に誘導される。

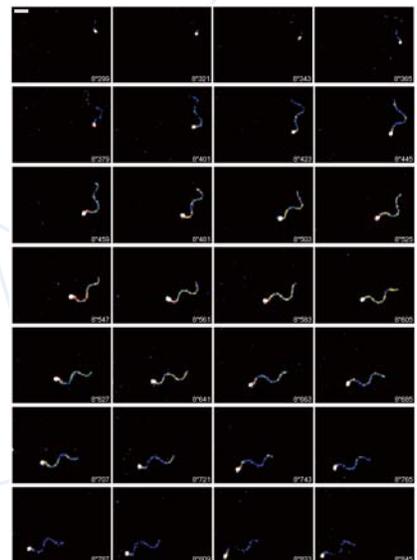


図2：走化性運動時の精子鞭毛内カルシウムの挙動。カルシウム蛍光プローブ fluo-4 を導入した精子鞭毛内のカルシウム変化を、LED ストロボ照明装置を組み込んだ高速度イメージングシステムにより測定したものの。

メダカ左右軸突然変異体からヒト繊毛病へ

武田 洋幸 (生物科学専攻 教授)

脊椎動物の外形は基本的には左右対称である。しかし、心臓の位置、消化管のねじれ方などは明らかに左右非対称となっている。重要なことはこれらの非対称性が遺伝的に決まっており個体差がほとんどないということである。私たち人間で、内臓の配置が乱れるのは、約一万人に一人。メダカ *ktu* 変異体は、内臓配置が完全にランダムになる典型的な左右軸喪失の変異体として単離された (図 A)。内臓逆位は直接個体の生命に関わるわけではないので、この魚は成魚まで成長・成熟する。しかし興味深いことに、この変異体は成長の過程で必ず腎臓肥大を発症し、下腹部がふくれ背筋が曲がる。この成魚の姿が、孫悟空が空を飛ぶために乗る筋斗雲 (きんとうん) に似ていることから、学生の一人がこの変異体を *kintoun* (*ktu*) と名付けた。

左右軸異常と腎臓病、一見関係ない現象に思えるが、実は最近の研究から細胞表面に生えている細胞小器官の繊毛が共通の犯

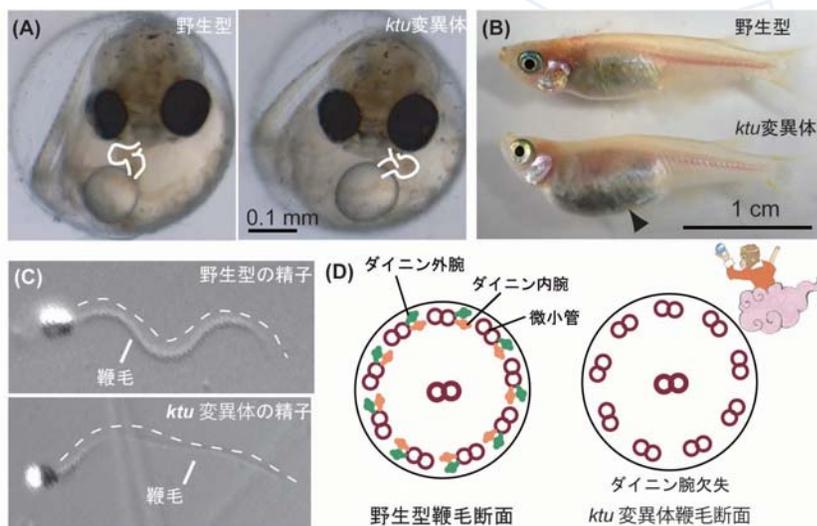
人であることが予想された。繊毛は発生のごく初期に左右非対称の遺伝子発現に関与すること、そして腎臓では原尿の流れを作り出したり、その流れのセンサーとして機能していることが知られている。運動性の繊毛は、9+2 構造 (周辺と中心の微小管) とよばれる微小管構造と周辺微小管間にある分子モーターのダイニン外腕・内腕をもつ (図 D)。実際、*ktu* 変異体の雄では、大きな繊毛とも言える精子鞭毛の運動性が低下していた (図 C)。さらなる解析により、*ktu* 変異体では繊毛・鞭毛の運動性に必須なダイニン腕が欠損することで運動性を失っていることが判明した (図 D)。メダカのゲノムは、昨年われわれを含む日本チームにより解読された (M. Kasahara *et al.*, *Nature*, **447**, 714-719, 2007)。われわれはそのゲノム情報を駆使して、*ktu* 変異体の原因遺伝子の同定に成功した。変異を起こしていた遺伝子は、ヒトを含めた脊椎動物、ミツバチ、ハエを含めた昆虫、一部の単細胞生物 (クラミドモナス) など運動性の繊毛・鞭毛を有する生物に広く存在する新しい遺伝子であった。これが順遺伝学 (突然変異体から出発する遺伝学) の醍醐味である。内臓逆位からはじまり、生物界に広く存在する重要な新規遺伝子にたどり着いた。

研究はさらに進んだ。生物種間で保存されている遺伝子は、往々にしてヒトの遺伝病の原因遺伝子でもある場合が多い。運動性の繊毛が原因で起こる病気は有名なカルタゲナー症候群を含む繊毛病 (気管支の拡張、男性不妊、内臓逆位などの症状を示す) がある。この遺伝病を専門とするオムラン (H. Omran) 教授 (フライブルグ大学) と共同で、繊毛病を発症した患者のゲノム DNA を調べた。その結果、この症候群を発生する 2 家系で、*ktu* 遺伝子の変異が見つかった。また単細胞生物であるクラミドモナスの変異体 *pf13* (鞭毛の運動性喪失) の原因遺伝子が *ktu* と相同であることも、ミッチェル (D. R. Mitchell) 教授 (ニューヨーク州立大学)、神谷律教授 (生物科学専攻) との共同研究により判明した。渡邊嘉典博士 (分子細胞学研究所) などの協力も得て行われた機能解析の結果、Ktu タンパク質は細胞質中でのダイニン腕の形成に必須なものであることがわかった。ダイニン腕形成過程はそのメカニズムがこれまでほとんどわかっておらず、今回の研究がきっかけとなり理解が進むものと期待される。

このように魚の変異体を用いた研究は、基礎的な発生学の研究にとどまらず、生命科学の広い分野に貢献している。この研究成果は H. Omran *et al.*, *Nature*, **456**, 611-616, 2008 に掲載された。

このように魚の変異体を用いた研究は、基礎的な発生学の研究にとどまらず、生命科学の広い分野に貢献している。この研究成果は H. Omran *et al.*, *Nature*, **456**, 611-616, 2008 に掲載された。

(2008 年 12 月 2 日プレスリリース)



メダカ *ktu* 変異体の表現型。

- (A) 受精後 3 日目の胚。白線は心臓。変異体は左側へループしている。
- (B) メダカ成体 (3 ヶ月)。変異体の腹部が膨らみ (矢尻) 背骨が湾曲している。
- (C) 運動中の精子。変異体の精子鞭毛の運動は異常。
- (D) 鞭毛、繊毛の軸糸断面図。変異体はダイニン外腕と内腕を欠失する。

連載 理学のキーワード 第17回



「宇宙の夜明け：再電離」

嶋作 一大 (天文学専攻 准教授)

いち日に夜明けがあるように、宇宙140億年の歴史にも夜明けがあった。それが再電離である。宇宙に初代の天体が生まれ、その光が宇宙空間を満たしたとき、再電離が起きた。宇宙が数億歳の頃のできごととされるが、まだ見た者はいない。

生まれて間もない熱い宇宙では、おもな元素である水素は陽子と電子に分かれた電離状態にあった。ところが宇宙は膨張とともに冷え、40万歳の頃、電子が陽子に捕えられて水素原子ができ、宇宙は電氣的に中性になった。光の進路をじゃまする電子が消えたおかげで、宇宙は霧が晴れるように透明になった。

しかし観測によれば、宇宙は遅くとも10億歳になるまでに再び電離し、現在もその状態を保っている。遅くとも、

というのは、観測は再電離の起きた時代までさかのぼれていないのである。これほど過去(すなわち遠方)の観測はきわめて難しい。

宇宙の電離度の情報は当時の天体のスペクトルに刻み込まれている。明るい天体であるクェーサーは電離度の測定に適するが、9億歳という、クェーサーの見つかっているもっとも昔の宇宙でさえ、ほぼ電離してしまっている。銀河は8億歳まで見つかっており、電離度の低下の示唆もあるが、確実ではない。宇宙マイクロ波背景放射に対して宇宙はわずかに不透明だが、これは4億歳頃に宇宙が一瞬で再電離したとすればつじつまが合う。しかし実際は数億年かけて進んだ可能性が高い。

再電離は宇宙の天体の始まりに関係

がある。冷えていくだけの宇宙では再電離は起きない。再電離を起こすには、何らかの天体が、水素原子をばらばらにできる高エネルギーの紫外線を宇宙空間に大量に放射しなければいけない。この謎の天体の正体は、宇宙の初代の銀河で生まれたひじょうに重い星かもしれない。いっぽう、電離した宇宙での星や銀河のできかたは、電離前とは違うらしい。このように宇宙の再電離には、星から銀河・宇宙論まで、多くの分野の関心が交差している。

理学系研究科では、天文学専攻の岡村定矩教授と筆者の研究室が、再電離の謎に迫るべく過去の宇宙を観測している。共同研究している国立天文台の家正則教授は、一連の研究で2008年度の仁科記念賞を受賞した。



「電子顕微鏡」

原野 幸治 (化学専攻 助教)

誰も、小学校の理科実験で顕微鏡を通して見ることでできるミジンコの姿や、葉の細胞の緻密な構造に胸をときめかせた経験があるであろう。「目には見えない極微の世界を覗き見たい」というのは人間の心の奥底にある願望なのかもしれない。

しかしながら、光学顕微鏡では原理上可視光の波長より短い数百ナノメートル以下の小さい物体を見るができない。そこで、より小さなナノの世界を観察するために開発されたのが、光よりはるかに短い波長をもつ電子線を利用した電子顕微鏡である。電子線が物質に当たると、種々の相互作用により一部の電子は散乱される。電子顕微鏡の一種である透過型電子顕微鏡では、物質を透過してきた電子線が像を形作り、物質の形

状を視覚的にとらえることができる。もちろん装置そのものは光学顕微鏡とは大きく異なり、たとえば光学顕微鏡の場合は光を収束させる時に凹型、凸型のレンズを用いるが、電子顕微鏡の場合は電子線の磁場や電場との相互作用を利用して収束させる。

世界最初の電子顕微鏡はクノール(M. Knorr)とルスカ(E. Ruska)によって1931年に開発され、以降改良を重ねながら、現在では0.1ナノメートル以下の空間分解能が得られるまでになった。今や電子顕微鏡は、化学、生物学、物理学などあらゆる科学分野で必要不可欠なものであり、その観察対象もウイルスやタンパク質といった生体物質から、金属表面の原子レベルの欠陥に至るまで実に幅広い。どの分野

でも対象物のかたちの観察からその物質がもつ性質の根源を解明するという目的は共通しており、科学における視覚的な理解の大切さを示しているといえよう。

ごく最近では、電子顕微鏡により有機分子を一分子ずつ観察し、その動きを追跡することも可能となってきた。理学系研究科化学専攻の中村栄一教授のグループでは、カーボンナノチューブに内包した炭化水素分子がナノチューブ内で回転、並進運動する様子や、チューブ表面の穴を通過する様子を数分にわたる動画としてとらえることに成功している。近い将来、分子が反応する様子を、まるで分子模型を組み立てるがごとくに一分子ずつ取り出して研究できる時代が訪れるのではないだろうか。



「ポジトロニウム」

浅井 祥仁 (物理学専攻 准教授)

ポジトロニウムとは、電子 (e^-) とその反物質である陽電子 (e^+) がクーロン力で束縛している状態であり、基本構造は水素原子と同じであるが、質量が水素原子の約 1000 分の 1 の一番軽い原子である。ポジトロニウムが他の原子と決定的に異なる点は、反物質を含んでいるため短い時間でガンマ線へと消滅してしまう点と、粒子とその反粒子で構成されている為、その量子数は真空やガンマ線と同じであり、パリティ・荷電共役などの基本的な対称性を顕わに調べることができる点である。

電子と陽電子のスピン組み合わせは、スピンがそろった三重項状態 (合成スピン $S = 1$) と反平行の一重項状態 ($S = 0$) があり、それぞれオルソポジトロニウム、

パラポジトロニウムとよばれている。オルソポジトロニウムは荷電共役変換に対して負の固有値をもつため、ガンマ線 2 本への崩壊が禁止され、破格の長寿命 (142.05 ナノ秒) で 3 本のガンマ線に崩壊する。142 ナノ秒は素粒子の世界では長く、寿命を直接測定することが可能である数少ない例であり現在は本研究室において 100 ppm の精度で測定されている。

寿命と並んでポジトロニウムを調べる基本的な量は、2つの状態のエネルギー差 (超微細構造: Hyperfine Structure) である。超微細構造はおもにスピン・スピン相互作用で生じ、スピン平行のオルソポジトロニウムの方が高い。また、オルソポジトロニウムはガンマ線

と同じ量子数なので、仮想ガンマ線への量子的な振動 (87 GHz) をくりかえしている。この二つの効果で超微細構造は 203 GHz と大きい。超微細構造の測定は過去に何度も行われ、最終的に精度 3.5 ppm が得られている。理論研究が最近進んできて 3 次の補正が可能となり、理論値と過去の一連の測定値が一致にずれ、統計的に有為な差異があることが判明した。ひょっとしたら理論計算に入っていない「標準理論を超えた新しい素粒子現象」の効果かもしれない。筆者の研究室と素粒子物理国際研究センターが中心になって、最先端のミリ波技術や超伝導技術を駆使して過去の測定と異なる方法でのこのズレの解明を目指している。



「匂いの好き嫌い」

小早川 高 (生物化学専攻 特任助教)

匂い分子は鼻腔の奥に存在する嗅細胞によって感知される。嗅細胞の先端部分には匂い分子をキャッチする嗅覚受容体という分子が存在している。嗅覚受容体と匂い分子が結合すると、嗅細胞が活性化して電気パルスを発生する。この電気パルスは、脳の嗅球に伝達され、糸球とよばれる神経構造体を活性化させる。脳は鼻腔内の匂い分子の情報を、匂い地図とよばれる糸球の活性化パターンの図形情報に変換した上で認識していると考えられている。しかし、脳が匂い地図の情報を読み解いて匂いの好き嫌いを感じるメカニズムは解明されていない。

私たちは、嗅覚情報を処理する神経回路の中から、自ら狙った神経細胞のみで、ジフテリア毒素が作り出されるように

巧妙にデザインした遺伝子操作マウスを作成した。このマウスでは、ジフテリア毒素が作り出された神経細胞のみが細胞死によって除去され、脳や体の他の組織には直接的な影響が及ばない。

腐敗物や天敵の匂い分子は、背側と腹側の糸球を同時に活性化する性質がある。したがって、背側の糸球を特異的に除去した遺伝子操作マウス (背側除去マウス) であっても、腹側の糸球を使うことで、これらの匂い分子を感知するばかりではなく、微妙な化学構造の違いを識別することができた。しかし、背側除去マウスは、驚くべきことに、腐敗物や天敵の匂い分子を嫌なものあるいは危険なものと感じて忌避行動を示すことがまったくできなかった。ただし、後天的に学習させれば、背側除去マウスであっ

ても匂いに対して忌避行動を示すことができた。逆に、腹側の糸球を除去した遺伝子操作マウスは腐敗物の匂いを嫌なものとして判断して先天的な忌避行動を示した。これらの実験結果から、悪臭を嫌な匂いであると感じるのは、背側の糸球から始まる神経回路の働きによって先天的に決められていることが初めて明らかになった。では、好きな匂いはどうなのかということもすでにわかってきているのだが、近々発表する予定の私たちの論文を見てほしい。これまでは、人によって匂いに対する嗜好性が異なっていることなどから、哺乳類では匂いをどのように感じるのかは後天的に決まるとされてきたのだが、この常識は覆されたのである (理学部ニュース 2008 年 1 月号 P.9 の研究ニュースを参照)。



「セマンティック・ウェブ」 宮尾 祐介 (情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 助教)

現在の WWW (World Wide Web) は単にデータの集合であり人間がデータを解釈して初めて意味のある情報となるが、セマンティック・ウェブ (Semantic Web) はウェブページにメタデータを付加することでコンピュータが意味情報を解釈・処理することを目指す枠組みである。

セマンティック・ウェブ技術のひとつである RDF (Resource Description Framework) はコンピュータが理解可能な形式でメタデータを記述する枠組みである。たとえば、「源氏物語の作者は紫式部である」という情報を自然言語で表すと「紫式部が源氏物語を書いた」「源氏物語は紫式部によって作られた」などさまざまな表現があり、これらが同一の意味を表していることをコンピュータは理解できない。いっぽう、RDF は

<主語, 述語, 目的語>の3つ組でさまざまな関係を表す。たとえば上の例は<源氏物語, 作者, 紫式部>と表現する。ただし、主語, 述語, 目的語に勝手な単語を使うと結局自然言語と変わらないため、それらに使える単語 (語彙) の共通化・標準化が行われている。

単語を列挙するだけでは意味を記述したとは言えず、単語間の関係を定義する必要がある。セマンティック・ウェブのもうひとつの重要な技術である OWL (Web Ontology Language) は、オントロジー (単語間の関係を定義するもの) を記述するための言語である。たとえば、「紫式部は女性である」という関係がオントロジーに記述されていれば、上の情報と合わせて「源氏物語の作者は女性である」という推論が可能となる。

これらの技術の一部はすでに広く利用されている。たとえば、ブログやニュースサイトの配信に利用されている RSS (RDF Site Summary) は RDF を記述方式として利用している。現在は RDF と OWL による意味記述が研究の中心であるが、将来的にはこれらの意味記述を利用して推論、証明、矛盾検出、信頼性判定などの高度な意味処理を行うことが想定されている。

セマンティック・ウェブはメタデータにより意味処理を実現するアプローチであるが、自然言語処理ではテキストから意味を計算する技術が古くから研究されている。情報理工学系研究科辻井研究室では自然言語処理やオントロジーを利用したテキストマイニングの研究を行っており、その成果として意味に基づく論文検索エンジン MEDIEなどを公開している。



「惑星の気象」 高木 征弘 (地球惑星科学専攻 助教)

太陽系には地球以外にも大気をもった惑星や衛星が多く存在している。惑星探査機の観測などにより、それらの大気中では地球の気象とはまったく異なる、多彩な大気現象が生じていることがわかってきた。木星や土星にみられる縞模様は惑星規模の東西風分布と密接な関係がある。他にも木星の大赤斑や火星の大砂嵐など、不思議な現象には事欠かないが、ここでは地球の兄弟星・金星の気象について紹介したい。

金星大気の主成分は二酸化炭素で地表面気圧は約 92 気圧もある。大量の二酸化炭素がもたらす温室効果により地表面温度は 730 K に達する。高度 45 ~ 70 km に存在する濃硫酸の厚い雲で全球が

覆われているため、地表面や大気下層の様子を外からみることはできない。もっとも興味深いのは大気スーパーローテーションとよばれる特異な大気運動の存在である。これは金星大気が自転と同じ方向に自転よりも速く回転している現象で、雲層上端付近の高度では大気のリターン速度が自転の 60 倍にも達する。

もちろん、大気スーパーローテーションを維持する何らかのメカニズムがなければ、こうした流れは地面摩擦と粘性の作用によって止まってしまう。惑星気象学者の長年の努力にもかかわらず、大気スーパーローテーションの生成・維持メカニズムは不明である。現在、筆者を含む国内外のいくつかの

グループが精力的に研究を進めており、興味深い結果が得られつつある。同様の現象は土星の衛星・タイタンにも存在し、比較惑星気象学的見地からも注目されている。

金星大気を詳しく調べ、スーパーローテーションの謎を解明するため、2010 年に日本の金星探査機 Planet-C が打ち上げ予定である。これは金星版ひまわりともいいたいへんユニークな探査機で、波長の異なる複数のカメラで観測することにより、三次元的な大気運動をとらえることができる。地球惑星科学専攻の岩上研究室や吉川研究室は計画実施の中心的役割を担っている。

東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(2008年10月, 11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
----	----	------	------

2008年10月20日付学位授与者(1名)

課程博士	地惑	勝野 志保	腹足綱の歯舌支持構造の比較組織学的研究(※)
------	----	-------	------------------------

2008年11月17日付学位授与者(1名)

論文博士	化学	山元 崇	1, 2-ジハロエテン, 1, 2-ジハロジアゼンおよび鎮痛効果を有するペプチド誘導体の分子構造を決定する因子の研究(※)
------	----	------	---

人事異動報告

所属	職名	氏名	異動年月日	異動事項	備考
地惑	講師	横山 祐典	2008.11.1	昇任	海洋研究所海洋底科学部門准教授へ
生科	助教	鎌田 直子	2008.11.1	採用	
天文セ	助教	酒向 重行	2008.10.16	採用	
臨海	特任助教	伊勢 優史	2008.10.16	採用	

あとがき

今号の「宝物」では、新旧同時ということで、パラメロンとGRAPEとについて書いていただきました。性能は何桁も違いますが、その背後にある研究開発者の努力は昔も今もかわらないということで、どちらも貴重な「宝物」です。

ところで…、「GRAPE開発の拠点は駒場(教養学部・総合文化研究科)だ!」という方もいらっしゃるかもしれません。

「GRAPE-DR」プロジェクトが、平木敬教授のもと理学部情報科学科(大学院は情報理工学系研究科ですが…)で走っている(国立天文台と共同)のと、開発主要メンバーだった牧野淳一郎国立天文台教授が以前、東大理学系研究科に在籍され、今でも兼任ということとを言い訳に、少々強引ですが、興味深い「宝物」として紹介させていただきました。楽しんで読んでいただけると幸いです。

横山 央明(地球惑星科学専攻 准教授)

第40巻5号

発行日:2009年1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

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

米澤 徹(化学専攻) tetsu@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

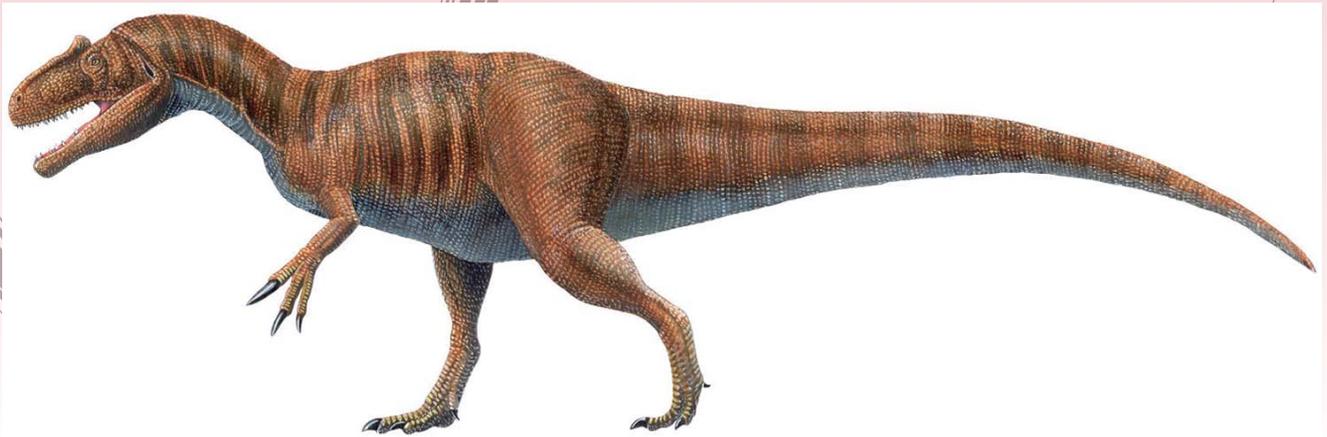
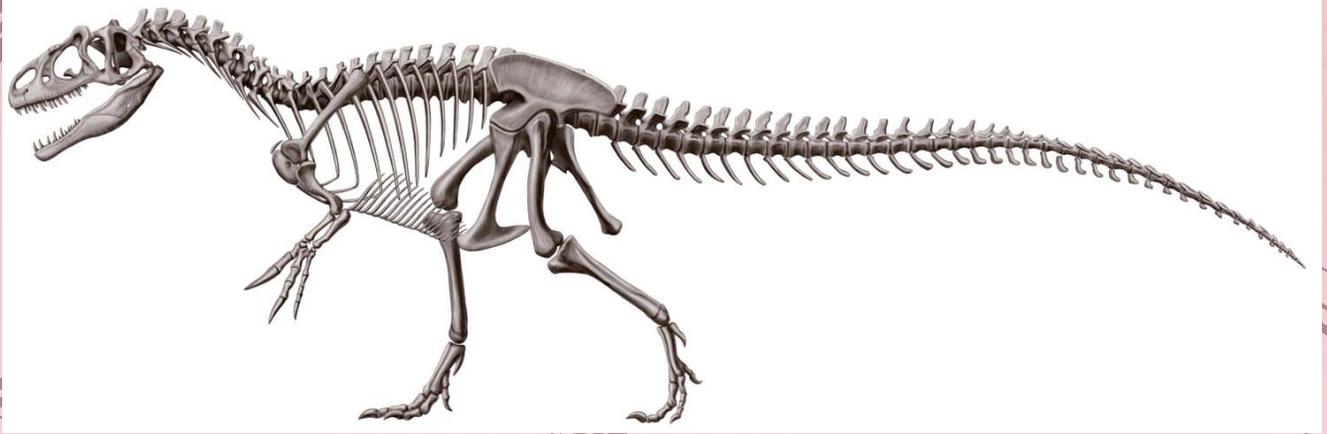
HP担当:

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



1億5000万年前に北アメリカに生息していた大型肉食恐竜、アロサウルス・フラギリス（*Allosaurus fragilis*）の全身骨格とその生体復元。国立科学博物館の130周年記念を機に開催された特別展示「帰ってきたアロサウルス」より。

～理学から羽ばたけより～