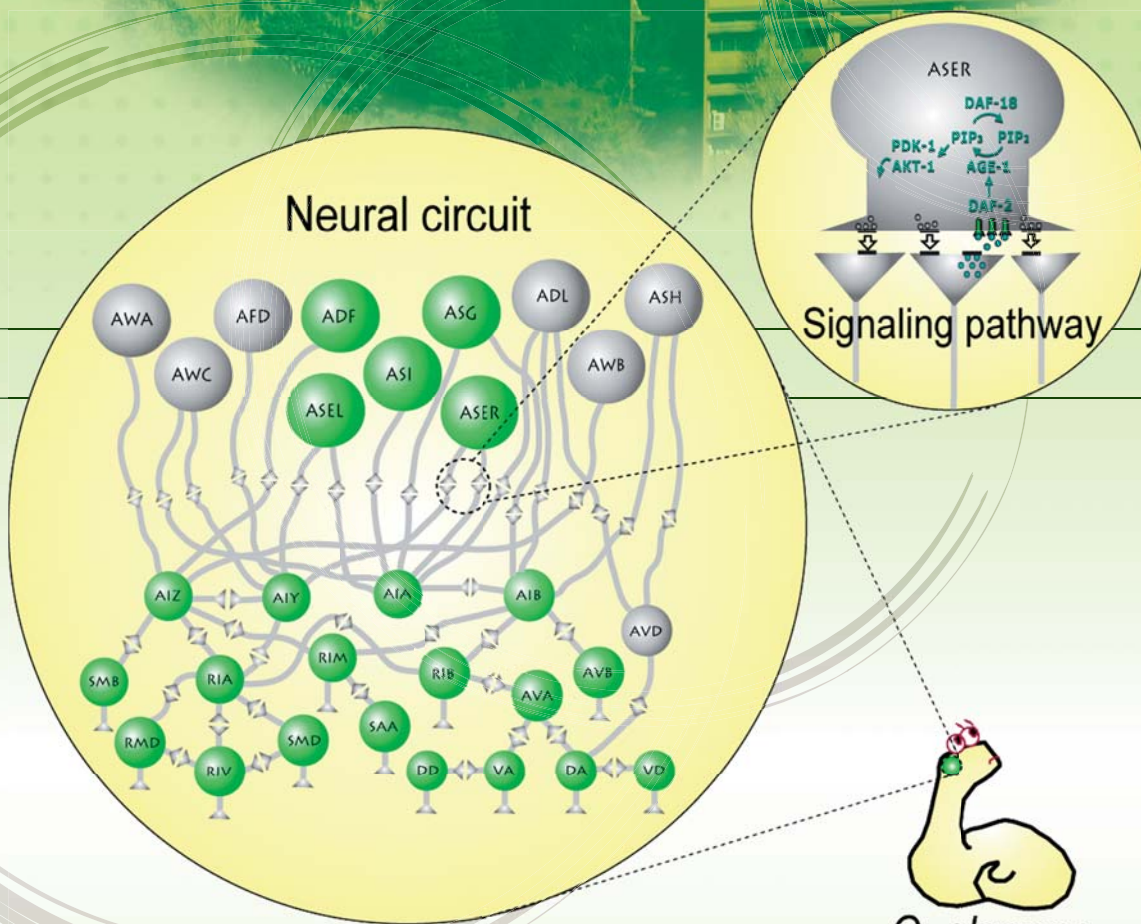




東京大学理学系研究科・理学部ニュース

2008年1月号 39巻5号

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



遺伝子実験施設で扱っているモデル生物のひとつ、線虫 *C. elegans*

～附属施設探訪 本郷編 遺伝子実験施設より～

トピックス

第12回東京大学理学部公開講演会、開催される 理学部サイエンスカフェ 2007 @駒場	半田 利弘 (附属天文学教育研究センター 助教) ……	3
第3回「高校生のためのサイエンスカフェ本郷」を開催	岡 良隆 (生物科学専攻 教授) ……	3
学際理工学 20周年記念公開シンポジウム「宇宙科学と大学」開催される	横山 広美 (広報・科学コミュニケーション 准教授) ……	3
岩槻邦男名誉教授が文化功労者として顕彰されました	牧島 一夫 (物理学専攻 教授) ……	4
第4回日本学術振興会賞を本研究科教授2名が受賞	邑田 仁 (附属植物園 教授) ……	4
大越慎一教授、日本学術振興会賞の受賞を祝して	広報誌編集委員会 岩澤 康裕 (化学専攻 教授)	
塚谷教授、日本学術振興会賞受賞、おめでとうございます	米田 好文 (生物科学専攻 教授) ……	5

研究ニュース

質量分析を変える「ナノの花」の開発	米澤 徹 (化学専攻 准教授) ……	6
高性能ミリ波吸収磁性材料	大越 慎一 (化学専攻 教授) ……	7
ダイナミック自動車排ガス浄化触媒のリアルタイム解析	唯 美津木 (化学専攻 助教), 岩澤 康裕 (化学専攻 教授) ……	8
哺乳類の匂いに対する好き嫌いは先天的に決まっていた	小早川 高 (生物化学専攻 特任助教) ……	9
匂い受容体が嗅神経細胞で選択的に発現する仕組み	西住 裕文 (生物化学専攻 助教) ……	10
謎の細胞内構造「中心子」の形成メカニズム	廣野 雅文 (生物科学専攻 准教授) ……	11

連載：理学のキーワード 第11回

「楕円曲線」	桂 利行 (数理学研究科 教授) ……	12
「エアロゾル」	小池 真 (地球惑星科学専攻 准教授) ……	12
「エコデボ」	寺島 一郎 (生物科学専攻 教授) ……	13
「核力」	初田 哲男 (物理学専攻 教授) ……	13
「第一世代星」	梅田 秀之 (天文学専攻 准教授) ……	14
「情報爆発と情報大航海」	辻井 潤一 (情報理工学系研究科 教授) ……	14

理学系探訪シリーズ：附属施設探訪 本郷編

第5回 遺伝子実験施設	黒田 真也 (施設長, 生物化学専攻 教授), 飯野 雄一 (生物化学専攻 教授) ……	15
-------------	---	----

お知らせ

斎藤信房先生のご逝去を悼んで	富永 健 (化学専攻 名誉教授) ……	18
人事異動報告	……………	18
東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧	……………	19

■表紙 遺伝子実験施設で扱っているモデル生物のひとつ、線虫 *C. elegans*。この生物では全神経回路が明らかになっているうえ、遺伝学的解析が行いやすいので、細胞内シグナル伝達経路、細胞ネットワークとしての神経回路、行動の各レベルでの研究が可能である。

第12回東京大学理学部公開講演会、開催さる

実行委員長 半田 利弘
(附属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、2007年11月17日(土)14時より16時半まで本郷キャンパス法文2号館2階31番教室にて開催された。「理学でのコミュニケーション」と題して、広い意味で情報伝達に関連する理学研究の話題が紹介された。山本正幸研究科長

による挨拶に続き、岡良隆教授(生物科学専攻)による「動物のコミュニケーション—脳とホルモンのしくみ」、祖父江義明名誉教授(元天文学教育研究センター・現鹿児島大学教授)による「宇宙文明とのコミュニケーション—銀河図書館構想」、桂利行教授(数理学研究科)による「デジタル社会における数学」の3講演が行われた。数理学研究科は学部教育を含めて理学系研究科と密接な関連があり、毎回、ご協力をいただいている。脳とホルモンの関係を調べる最新の実験方法、宇宙における科学

文明存続の意義、デジタル社会の基礎となる符号理論などが紹介され、どの講演も密度の高い40分であった。

冬の訪れを感じさせる寒さの中、来場者は304名を数え、会場は時間までにほぼ満席となった。開演前には理学部紹介ビデオを上映。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、講演内容のインターネットによる学外中継も行われた。

次回は、2008年春に駒場キャンパスにて開催予定である。

理学部サイエンスカフェ 2007 @駒場

教務委員長 岡 良隆
(生物科学専攻 教授)

理学部では、東大の各学部在先駆けて、理学部としても初めての試みとなる教養学部1年生対象のサイエンスカフェを、教務委員会と広報委員会の共催により、2007年12月14日(金)午後4時~8時、駒場コミュニケーション・プラザ南館2階のDining 銀杏において実施した。午後6時よりの「理学の魅力を語る」講演では、岩澤康裕・前研究科長に理学研究の魅力について、具体的な例もあげて

熱く語っていただいた。これに先立って、理学部では、12月6日(木)に教養学部1年生向けガイダンスを駒場キャンパスで行ったが、これとは別に、理学部で行っている研究の魅力に触れてもらうとともに、専門学部や大学院への進学にさいして教養学部生が疑問に思っていることを、理学部の学部生・大学院生・教員(理学部10学科からそれぞれ1名計3名ずつが参加)を相手に、少人数のテーブルのリラックスした雰囲気でお茶を飲みながら気軽に質問してもらうのをおもな目的として今回のカフェを開催した。

カフェの当日は、予想を上回る100数十名の参加者で、会場は程よい熱気に包

まれた。1年生からは、複数の学科を回って学生や教員と気がすむまで各種の質問ができ、理学部の魅力に触れることもできてたいへん良かったという声が聞かれた。各学科の教員やTAも資料の説明や質疑応答を中心に学生とゆっくりと歓談することができ、十分な手ごたえを感じていた。

このように、初めての試みとしては成功に終わったと思えるが、今後はさらに学生の意見を各方面から聞き、教務・広報委員やTAの意見も参考にして、理学部進学を考える学生の目線に立ったカフェにしていきたいと思っている。この試みが来年度の進学振り分けに良い影響を与えることを願っている。

第3回「高校生のためのサイエンスカフェ本郷」を開催

横山 広美
(広報・科学コミュニケーション 准教授)

お菓子「キャラメルコーン」のピーナツは、どうしてスナックと混ざらずいつも袋の底にあるの? 2007年12月22日(土)に行われた第3回「高校生のためのサイエンスカフェ本郷」はこんな身近な問題から最新の粉体物理学を紹介する講演で始まった。遠方は新潟から、中学3年

生を含めた44人の生徒さんが参加した。

講演を行った物理学専攻博士課程3年(佐野研究室)の辰己創一氏は、ファシリテーターの同研究室の前多祐介氏と物理学者をテーマにした人気テレビドラマ「ガリレオ」の音楽と共に登場。クリスマス間近のイベントは、物理学専攻の小形正男実行委員長の提案によってこれまでとは一味違ったエンターテインメント性の高い催しになった。研究室見学は物理学専攻の島野亮研究室と、地球惑星科学専攻の横山祐典研究室によって行われ、好評であった。

カフェも3回目になり、効率化、予算削減を検討してその分スタッフに工夫を凝らした。継続可能な活動として、今後の定着化を図っていきたい。



サンタとトナカイに扮しイベントを盛り上げたTA、スタッフと参加者。

学際理工学 20 周年記念公開シンポジウム「宇宙科学と大学」開催される

■ 牧島 一夫 (物理学専攻 教授)

2007年11月26日(月)、上記シンポジウムが安田講堂で開催された。大学が外部組織と研究・教育上の協力を進める仕組みの中でも、その緊密さにおいて、1987年に理学系と工学系研究科に設けられた「学際理工学併任講座」の右に出るものは稀だろう。この仕組みは、JAXA(宇宙航空研究開発機構、当時は宇宙科学研究所)、高エネルギー加速器研究機構、および情報学研究所から一定数の研究者を、東大側の審査にもとづいて併任講座に迎え、院生の指導、大学院講義、学位審査などに、東大の教員と対等に参加してもらうという画期的なものである。当時の有馬朗人理学部長、猪瀬博工学部長

などのご尽力で発足したこの仕組みは、20年にわたり東大と相手機関の双方にとり、大きな成果を発揮してきた。このシンポジウムは20年目の節目に当たり、学際理工学の経緯、国立大学の法人化や宇宙機関の統合(2003年10月)の影響、将来への展望などを論じるべく開催されたもので、東大宇宙航空研が1981年に宇宙科学研究所として独立したことが学際理工学の契機となった経緯に鑑み、JAXAとの関係が主眼となった。

司会は、宇宙科学の解説で著名なJAXA的川泰宣さんと、広報室の横山広美准教授にお願いした。平日のため大学生の参加は少なめだったが、宇宙科学研のOBや現役の皆さん、産業界の方々、東大の関連研究者、一般参加の皆さんを含め、220名ほどが広い安田講堂にほどよく散らばった。午前是小宮山宏総長、岡村定矩副学長、JAXAの立川敬二理事長、

文科省の久保公人審議官などから、学際理工学は重要であり、大いに推進し広めるべしという心強いメッセージをいただいた。

午後は、学際理工学から巣立った宇宙の理工学研究者、宇宙開発に携わるメーカー関係者や宇宙科学に関する著書の多い作家の松浦晋也さんなどに講演をいただいた。東大の院生が宇宙研のロケットや科学衛星の開発の現場で、スタッフに伍して活躍し、それを通じ20年間に140名におよぶ博士学位取得者が誕生するなど、学際理工学の大きな成果が浮き彫りにされた。最後は本研究科の釜江常好名誉教授(現スタンフォード大学教授)に国際的視点で締めいただき、シンポジウムは大きな成功を収めた。

開催に当たり、ご尽力をいただいた理学部広報室、情報チーム、および平賀勇吉事務長に、この場を拝借してお礼を申し上げたい。

岩槻邦男名誉教授が文化功労者として顕彰されました

■ 附属植物園長 邑田 仁 (附属植物園 教授)

本学名誉教授の岩槻邦男先生が平成19年度文化功労者として顕彰されました。岩槻先生は兵庫県生まれ、京都大学理学部のご出身で卒業後、京都大学理学部で教鞭をとられました。その後、1981年に東京大学理学部附属植物園教授となられ研究・教育に尽力されるとともに、5期10年にわたり附属植物園園長をつとめられました。本学を定年退官されて後は立教大学、放送大学で活躍され、現在は兵庫県立人と自然の博物館の館長を務めておられます。1994年には「植物の多様性の解析およびその滅失に関する保全生物学的研究」により学士院エジンバラ公賞を受賞されました。

岩槻先生は多年にわたり植物分類学の研究に努め、多くの業績をあげられました。専門であるシダ植物の系統と分類に関する分野では、ヒメシダ科・コケシノブ科の系統分類学的研究を地球的視野のもとで行い、既存の分類体系を改訂しました。また、附属植物園において分子系統学的研究を推進し、シダ植物、裸子植物の系統関係を世界にさきがけて解明するなど、わが国の植物分類学を世界の第一線に押し上げ、分子生物学など他分野の研究者からも高い評価を得てきました。さらに中国西南部から東南アジア全域にわたる植物相の調査・研究のために多くのプロジェクトを立案・実施され、わが国の研究者と現地の研究者とが一体となった幅広い植物多様性研究の発展に計り知れない貢献をされました。

最近では植物多様性の保全に関する研究に取り組み、生物多様性の点から生物種の絶滅・地球環境問題について社会に訴えるとともに、優れた在野の植



■ 岩槻邦男名誉教授

物研究者とも協力してわが国の植物レッドデータブックの作成を行い、さらには、数多くの普及書・専門書の出版などを通して、社会への知の還元と、植物に対する人々の知的好奇心の裾野を広げるなど、その活動の幅を大きく広げておられます。

このように岩槻先生はご自身で研究を推進するばかりでなく、広い視野に立って関連分野全体の発展に大きく貢献されています。今後ますますのご活躍を期待しています。

第4回日本学術振興会賞を 本研究科教授2名が受賞

広報誌編集委員会

日本学術振興会賞は、我が国の創造性に富み優れた研究能力を有する若手研究者を顕彰し、その研究意欲を高め、研究の発展を支援していくために45歳未満の研究者を対象とし、平成16年度に創設された賞です。平成19年度第4回に、化学専攻・大越慎一教授と生物科学専攻・塚谷裕一教授が受賞されました。

大越慎一教授、日本学術振興会賞の 受賞を祝して

岩澤 康裕 (化学専攻 教授)

化学専攻の大越慎一教授は、「磁気化学を基盤とした新規磁気物性の創出に関する研究」で日本学術振興会賞を受賞した。日本学術振興会賞は、後のノーベル賞にも繋がる将来の学術研究の若手リーダーを顕彰するものであり、たいへん名誉で格の高い賞である。大越教授は、物性化学、磁気化学および光化学をベースに、高度な化学合成技術により強磁性物質を作製し、これまでには無かった新規な磁気機能性を多数発見して、分子磁性ならびに強磁性金属錯体分野を先導している。また、強磁性体の非線形光学効果に早くから着目し、磁化誘起第3高調波発生を世界で初めて観測に成功するなど、非線形磁気光学効果の分野でも先導的な立場にある。

大越教授の受賞対象業績のいくつかを紹介すると、たとえば、ヘキサシアノ架橋型金属錯体をベースに、熱により磁極が二回反転する磁性材料、負の保磁力を示すバルク磁性材料の開発に世界に先駆けて成功している。また、オクタシアノ金属酸イオンを構築素子として有機配位子と組み合わせることで、0次元から3次元までのさまざまな磁気構造を備え



■ 大越慎一教授 (化学専攻)

た金属錯体強磁性体の合成にも初めて成功した。さらに、光と磁気の相関現象という観点から、光により磁極が反転する現象(光誘起磁極反転)を発見している。

近年は、湿度応答型強磁性体の実現に成功したのをはじめ、化学的刺激に応答する多数の磁性材料を開発し、また、金属酸化物磁性体として世界最高の保磁力を示す ϵ - Fe_2O_3 ナノロッドの作製に成功するなど、新たな材料創生の領域を切り拓いている。これらの研究成果はその実用化に向けて産業界からも大きな脚光を浴びている。

大越教授の分子磁性、光磁性分野における革新的研究成果は、物性化学に新しい視座を与えるものであり、国際的にも高く評価されての受賞である。大越慎一教授の傑出した業績に敬意を表すと共に日本学術振興会賞受賞に対して心よりお祝い申し上げます。

塚谷教授、日本学術振興会賞受賞、 おめでとうございます

米田 好文 (生物科学専攻 教授)

本学部生物科学専攻塚谷裕一教授が平成19年度日本学術振興会賞を受賞されました。塚谷博士は神奈川県生まれ、本学理学部出身で大学院理学系研究科を経て博士号取得後、東京大学分子細胞生物学研究所の助手に採用されました。その後、1999年に岡崎共同利用研究機構・基礎生物学研究所助教授となりました。さらに2005年には、本学生物科学専攻教授に異動され現在に至っています。



■ 塚谷裕一教授 (生物科学専攻)

今回の受賞は、この間の研究や教育における功績が評価されたものです。

塚谷博士は植物各分野に渡る膨大な知識に基づき、おもに分子遺伝学的手法で目覚ましい業績をあげてきています。とくに、実験植物シロイヌナズナの葉がどのようにつくられるかと言った発生分子遺伝学的研究では、葉の平面性に関する遺伝的制御が、縦横二次元に分割できることを世界に先駆けて初めて示しました。また器官レベルでの細胞の振る舞いを制御するこれまで未知であったシステム(補償作用と呼びます)の存在を指摘するなど、多くの新知見を発表しこの領域を世界的に主導しています。とくに葉の二次元展開に関する研究成果は、すでに海外の発生学の教科書にも引用されるなど、国際的にも評価が確立しています。

塚谷博士はフィールドワークに基づく実地の植物多様性の研究にも尽力し、新種の発見など系統分類学的業績も並行して挙げています。このような分類、形態、進化の側面の知識にもとづき、シロイヌナズナ研究の成果は植物多様性の分子遺伝学基礎研究へつながるものと、その発展が期待されています。

さらには、数多くの普及書・啓蒙書の出版などを通して、社会への知の還元と、植物に対する人々の知的好奇心の裾野を拡げる活動にも関与しておられます。

このように塚谷博士はご自身で研究を推進するとともに、今後広い視野に立って植物科学分野全体の発展に大きく貢献する人材と期待されています。今後ますますの発展を期待しています。

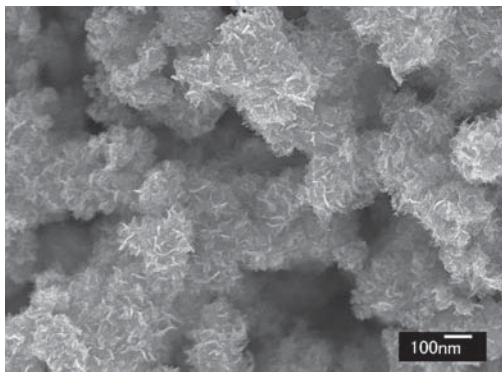
質量分析を変える「ナノの花」の開発

米澤 徹 (化学専攻 准教授)

質量分析は、現代の科学になくてはならない分析手段のひとつである。物質の構成分子の質量を測定するものだが、最近タンパク質やDNAなどの分析が広く行われ、とくに新しい医薬開発のためのプロテオーム解析を行うバイオ関連分野や、有害な化学物質の迅速・簡易分析を行う必要のある環境分野において不可欠なツールである。質量分析を行うためには、対象物質を必ずイオン化しなくてはならない。このイオン化法は、ESI (エレクトロスプレーイオン化) 法、FAB (高速原子衝突) 法、APCI (大気圧化学イオン化) 法などの方法がある。

そのなかでもマトリクス支援レーザー脱離イオン化質量分析法 (MALDI-MS) は、島津製作所の田中耕一フェローが2002年にノーベル化学賞を受賞した分析手法としてよく知られている。田中フェローは、直径が30 nmのコバルト粒子をグリセリン中に分散して、その溶液をサンプルとともに基板に塗布した。さらにその基板にレーザーを照射したところ、壊れやすい高分子量の分子も破壊せずにイオン化 (ソフトイオン化) することができ、質量を測定できることを見出したのである。

レーザー照射によって分子を破壊せずにイオン化するためには、被測定物にレーザー光を吸収させ気化させさい、そこに、プロトンなどを付加してイオンにする必要がある。そのために、試料にマトリクス剤を添加して測定プレート上に塗布し、レーザーを照射してスペクトルを観察する。



■ 図1: 白金のナノの花のSEM写真

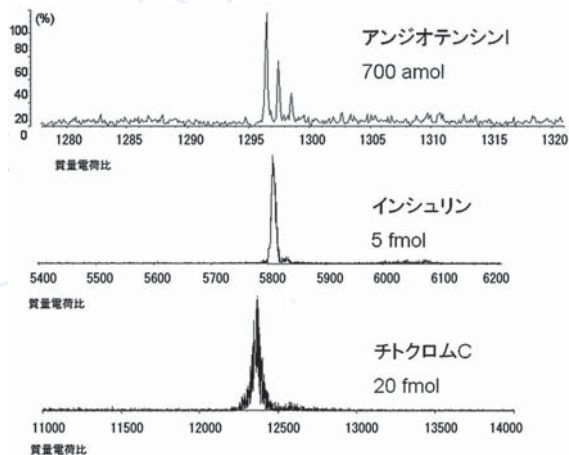
とくに、高分子量の物質では、プレート表面との相互作用力も大きくなるため、比較的大きなレーザーエネルギーを照射しなければ分子を脱離・イオン化できず、被測定分子を分解してしまうことになる場合もある。さらに、感度も低くなってしまいます。

私たちは、関西大学化学生命工学部の荒川隆一教授、川崎英也准教授らとともに、さまざまな無機材料を利用した表面支援LDI-MS (SALDI-MS) の研究を行っている。ナノ粒子の化学的な作製技術を活かし、白金イオンの溶液の中で、水素化ホウ素ナトリウムという強力な還元剤を使用してイオンを還元させることによって、白金のナノサイズの粒子の表面に1-2 nmの厚みの花びら状の薄片を生やした構造を作製することに成功し、「ナノフラワー」と名づけた (図1)。そのナノフラワーをレーザー脱離イオン化法の測定プレートの表面に塗布したのち、サンプルとイオン化剤を塗布してLDI-MS測定した。私たちが白金を選んだ理由は、(1) 融点が高く、レーザーによるダメージが少ない、(2) 貴金属であって容易に表面が変性しない、(3) 被測定物と反応しにくい、(4) 黒色でレーザー光を吸収

するため、局所的に高温になり、脱離・イオン化しやすいという点が役立つであろうと考えたからである。

その結果、比較的大きな分子量をもつ分子でもソフトな脱離イオン化が可能で、さらにはひじょうに少量でイオン化ができることがわかった (図2)。さらに、無機粒子を使用しているため、有機マトリクスを利用した場合に見られる、マトリクス分子ならびにその分解ピークを抑制できる利点が見出された。その結果、高分子量のものはもちろんのこと、これまでMALDI-MSでは難しいとされた $m/z < 1000$ の低分子領域 [m/z は質量電荷比、すなわちイオンの質量 (m) を電荷数 (z) で割った値] での測定も容易となり、ドーピング検査、薬物検査などの簡易検査としてMALDI-MSが利用できる可能性が高くなった。これは、ナノの花びらが創り出すワザのひとつといえる。本研究は、科学研究費補助金の助成を得て行ったもので、H. Kawasaki *et al.*, *Journal of Physical Chemistry C*, **111**, 16278-16283, 2007に掲載された。

(2007年10月16日プレスリリース)



■ 図2: 白金のナノの花を用いて観察したSALDI-MSスペクトルの例

高性能ミリ波吸収磁性材料

— 150 ギガヘルツを超えるミリ波吸収磁性材料の開発に成功 —

大越 慎一 (化学専攻 教授)

画像情報をはじめとする大容量データ情報を伝送するための次世代方式として、現在、ミリ波 (30 ~ 300 GHz) を用いた超高速無線通信法がたいへん注目を集めている。とくに、室内 LAN などにはミリ波を用いた高速無線通信が期待されている。ここ数年、米国の大手電機メーカーなどによりミリ波発生用の安価な相補型金属酸化膜半導体 (CMOS) の開発も発表されており、100 GHz 領域のミリ波の使用が本格化してきている。いっぽう現在、この帯域でのミリ波を周波数選択的に吸収する材料がほとんどないため、電磁波干渉による装置の誤動作や発信機の事故破損などが危惧されている。今回、大越らは、30 GHz から 150 GHz 帯域におよぶ高い周波数のミリ波を吸収する磁性材料の開発に成功した。これまでの磁性体では 80 GHz 程度が限界であったため、電磁波吸収

材料として画期的な性能である。絶縁性磁性体は自然共鳴によって電磁波を吸収する。そのさい、保磁力 (H_c) の高い磁性材料ほど高周波数で共鳴することが期待される。最近、大越らは、イプシロン型 - 酸化鉄 (ϵ - Fe_2O_3) という特殊な酸化鉄の単相を化学的に合成することに成功し、室温で 20 kOe (キロエルンステド) という金属酸化物磁性体で最大の保磁力を示すことを初めて報告した。今回、大越らは、このイプシロン型 - 酸化鉄の鉄イオンの一部をガリウムイオンで置換した、イプシロン型 - ガリウム酸化鉄 (ϵ - $\text{Ga}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_3$; $0.10 < x < 0.67$) ナノ微粒子 (粒径が 30 ナノメートル程度) を化学合成し、ガリウム置換量に応じて 30 GHz から 150 GHz までの高い周波数領域でミリ波を有効かつ周波数選択的に吸収することを見出した。また、この系列の材料では、ガリウム

置換量により吸収可能な最高周波数が 200 GHz までに達することが理論計算で示唆された (図 1, 2)。

イプシロン型 - ガリウム酸化鉄は、金属酸化物であるため長期間にわたって安定である。電磁波干渉抑制材料として、オフィスや医療室の壁への塗布のほか、車、電車、飛行機の胴体への塗布、また、その選択的な共鳴周波数を用いてミリ波発信機を安定化させるサーキュレーターやアイソレーターなどの新規ミリ波用電子デバイスへの応用も期待される。

この研究成果は、S. Ohkoshi *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **46**, 8392, 2007 に Inside Cover として掲載されている。また、本研究に関しては 24 件の特許出願を行っており、メーカーとの共同研究により量産化の準備も整っている。

(2007 年 10 月 25 日プレスリリース)

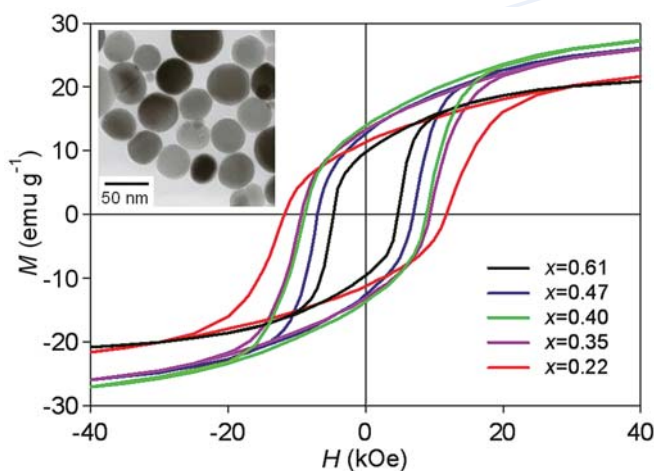


図 1: ϵ - $\text{Ga}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_3$ ナノ微粒子の室温における保磁力 (H_c)。挿入図は、透過型電子顕微鏡像。

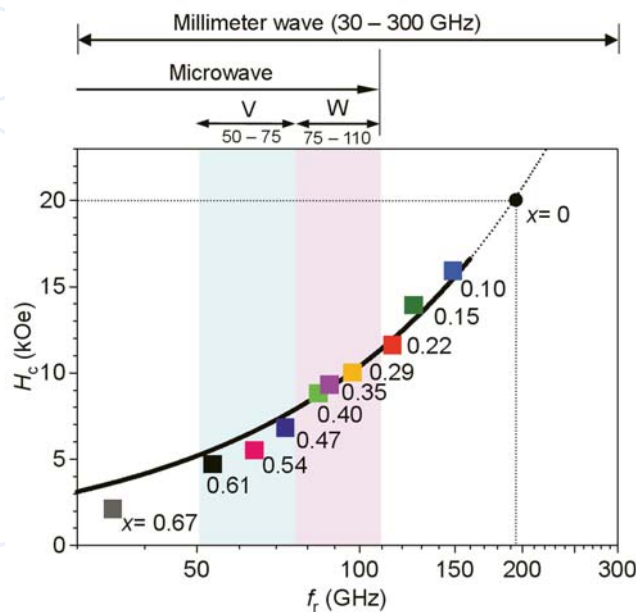


図 2: ϵ - $\text{Ga}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_3$ ナノ微粒子の室温におけるミリ波吸収周波数 (f_r) と保磁力 (H_c) の関係。自然共鳴によるミリ波吸収周波数と保磁力は、 $f_r = \alpha H_c$ (α は係数) で関係づけられるため、 $H_c \rightarrow 20$ kOe (すなわち $x \rightarrow 0$) において f_r は 193 ± 8 GHz に達すると予測される。

ダイナミック自動車排ガス浄化触媒のリアルタイム解析 — 世界最速・最高精度の XAFS 解析で新現象を発見 —

唯 美津木 (化学専攻 助教), 岩澤 康裕 (化学専攻 教授)

シンクロトン放射光を用いたエネルギー分散型 X 線吸収微細構造 (DXAFS) 法によって、高性能自動車排ガス浄化触媒のダイナミックな酸素吸蔵放出過程を初めてリアルタイムで観察、解析することに成功した。東大、豊田中央研究所、物質構造科学研究所放射光科学研究施設 PF の共同研究成果である。

地球規模、地域内を問わず環境問題への対応が求められる今日、安全安心な生活環境を保証するためにも、自動車排ガスを浄化する自動車触媒は人類文明を支える典型的な環境触媒である。自動車三元触媒 (Pt が主成分) は、 NO_x を還元して N_2 に、CO や炭化水素を酸化して CO_2 と H_2O に浄化する。すなわち、相反する酸化と還元を同時に行うことが要請されるため、ガソリンと酸素の比を 14.6 という量論比に常に保つ (酸素濃度を制御する) 助触媒が必要となる。助触媒には優れた酸素吸蔵放出能 (OSC : oxygen storage/release capacity) が求められ、 $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$ 複合酸化物が代表的な物質である。

本研究では、最高性能を示す実用触媒 (トヨタ車に搭載) の Pt / 結晶性 $\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_8$ の OSC 過程での Ce 価数と Zr-O 結合の変化を、われわれの世界最速、最高精度をもつ時間分解 DXAFS で捉えた (図 1)。高性能実用プロセスを in situ (その場) 観察してプロセスを支配する因子と原理・機構を明らかにすることが国内外で求められていた。これまでは、気相での酸素圧を測定したり酸素伝導度を測定することはできても、実際にナノ触媒粒子の中を動く酸素が、Ce の酸化数や Zr の周りの構造をどのように変えるのかは調べる手段も乏しくまったくわかっていなかった。しかし、これらが触媒性能と直接関係する重要な構造・物性因子である。

本研究の結果、完全固溶結晶 $\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ の Ce 周囲と Zr 周囲が別々に変化する、Ce 酸化数変化が最初に起こり、かなり遅れて Zr 周囲の構造が変化する、さらに、Ce 価数変化は酸素量の変化と一致せず、 $\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ に酸素がほんの少し吸蔵するとすべての Ce^{3+} は一挙に酸化されてしまうことが分かった。773 K ではこの変化は、200 nm のサイズのナノ結晶全体が 1 秒で変化する速さである。いっぽう、同じ結晶内で Ce と隣合う Zr の周りの変化はずっと遅い。ナノ結晶に取り込まれた酸素は Zr と結合して Zr-O 結合を形成し、その数が増えていき、同時に Zr-O 結合距離が伸びる。この Zr 周囲の構造変化は 773 K の高温でも 6 秒程度かかる (図 2)。最終的には $\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ が $\text{Ce}_2\text{Zr}_2\text{O}_8$ になる。酸素が放出する過程も同様に Ce の変化と Zr の変化はシンクロナイズしない。

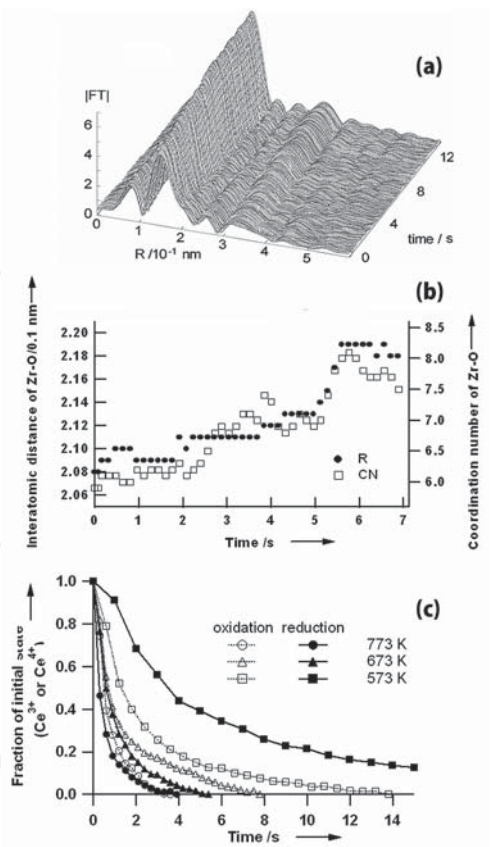


図 2 : 773 K での Pt/Ce₂Zr₂O₈ (x:7 or 8) の OSC 機能の 2 ミリ秒毎のリアルタイム観察。(a) OSC 過程の Zr K 端 DXAFS フーリエ変換。(b) OSC 過程での Zr-O 距離と配位数変化。(c) OSC 過程での Ce 価数変化。

本研究で見出された現象は化学の常識と相容れない。fdp 軌道間混成による電子構造と電荷揺動現象が一因と思われるが、新現象の原理と機構は今後明らかにされるものと思われる。

本研究は、最近、IF 値 10 の *Angew. Chem. Int. Ed.* に、T. Yamamoto, et al., **46**, 1-5, 2007 として掲載された。

(2007 年 11 月 7 日プレスリリース)

Real-time Energy-dispersive XAFS

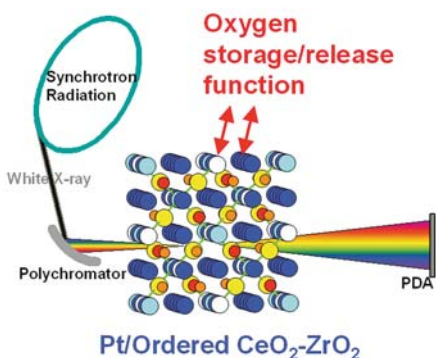


図 1 : Ce₂Zr₂O₇ 結晶構造と DXAFS 測定原理

哺乳類の匂いに対する好き嫌いは先天的に決まっていた

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に対する化学センサーとして機能する嗅覚受容体分子が存在している。嗅覚受容体分子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生ずる。この電気パルスは、脳の嗅球に伝達され、糸球とよばれる構造を活性化させる。匂い分子の情報は、嗅球では匂い地図とよばれる糸球の活性化パターンの画像情報へと変換されている。しかし、嗅球の匂い地図の情報を脳がどのように読み解き、情動や行動を引き起こしているのかというメカニズムは解明されていなかった。われわれは、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された遺伝子操作マウスを作製した。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、脳や体のほかの組織にはまったく影響が及ばない。したがって、哺乳類の脳の中の特定の神経細胞のみを正確に除去した際の、情動や行動への影響を調べるといふこれまでにない研究を行うことができるようになった(図1)。

腐った食べ物や天敵から分泌される匂い分子は、背側と腹側の糸球を同時に活性化させるので、嗅球の背側の糸球を除去したマウス(背側ゾーン除去マウス)でも、



図2: 背側ゾーン除去マウスは、猫の匂いを感知することができるのに、猫の匂いに対する先天的な忌避行動を示さない。おとなしい猫でなければ簡単に食べられてしまっただろう。

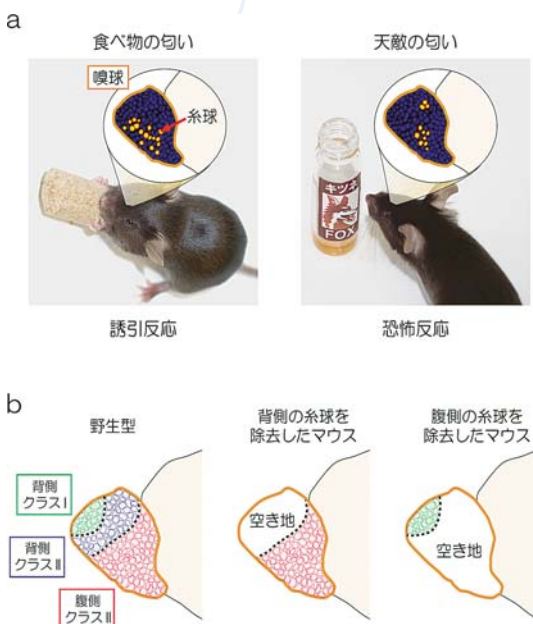


図1: a. 匂い分子によって活性化される糸球のパターンは匂い地図と呼ばれる。食べ物の匂いと天敵(キツネ)の匂いを嗅いだマウスの嗅球の匂い地図を模式的に示した。
b. 野生型マウスでは糸球は、背側クラスI(緑)、背側クラスII(青)、腹側クラスII(赤)の3つのグループに分類できる。遺伝子操作の方法を使って、背側の糸球を除去したミュータントマウスと、腹側の糸球を除去したミュータントマウスを作成し、匂い認識能力を調べた。

野生型マウスと同様にこれらの匂い分子を感知できるし、微妙な化学構造の違いを記憶したりすることもできた。しかし、遺伝子操作で背側ゾーンを除去したマウスは、野生型マウスとは違って、腐った食べ物や天敵から分泌される匂い分子に対する忌避行動をまったく示さなかった。天敵の匂いを嗅がせた際に、野生型マウスでは脳内のストレス経路が活性化され、血中のストレスホルモンが上昇するのに対し、背側ゾーン除去マウスではこのような反応がまったく見られなかった。しかし、背側ゾーン除去マウスであっても、匂いを嗅がせた後に、痛みを与えて嫌悪感の学習をさせると、匂いに対する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マウスは腐った食べ物の匂いに対して忌避行動を示した。これらの実験結果から、嗅球の背側の糸球によって匂いに対する先天的な忌避反応が引き起こされていることが明らかになった。また、腹側の糸球は後天的な匂いの学習などの別の機能を担っていると考えられた。

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、哺乳類では匂いに対する情動や行動は後天的に決まるとされてきたが、今回の発見はこれまでの常識を覆すものである(図2)。われわれはここで紹介した遺伝子操作によって神経回路を除去するという新しい研究方法を使って、哺乳類の脳が情動や行動を引き起こす原理の解明に迫りたいと考えている。

本研究は、Kobayakawa *et al.*, *Nature*, **450**, 503-508, 2007 に掲載された。

(2007年11月7日プレスリリース)

匂い受容体が嗅神経細胞で選択的に発現する仕組み

西住 裕文 (生物化学専攻 助教)

嗅覚は、われわれ霊長類では視覚に頼って生活しているためにいくぶん退化しているが、恐竜たちが闊歩した時代に夜行性の生活を強いられていた哺乳類にとって、周囲を感知する上で最も重要な感覚であった。実際、視覚では、せいぜい数個の遺伝子が、光や色を感知するのに用意されているだけなのに対し、嗅覚では約千個もの匂い受容体 (odorant receptor: OR) が用意されており、ゲノム中で最大の遺伝子族を形成している。多数の OR が、どのように巧みに発現調節され、匂い分子の受容・識別に関与しているかについて最新の知見を紹介する。

マウスは約千種類の OR を用いてさまざまな匂い情報を受容している。鼻腔奥には約一千万個の嗅神経細胞が存在するが、それぞれは一種類の OR を選択的に発現し、限定された匂い分子を受容する機能を得ている。また個々の嗅神経細胞は、匂い分子の結合情報を電気信号として、軸索とよばれる電線を通じて、脳の前部に位置する嗅球へと伝達する。この嗅神経回路の配線接続も、どの OR を発現するかということについて重要な機能を果たしている (図 1)。

さまざまな遺伝子に関して、いつどこで、

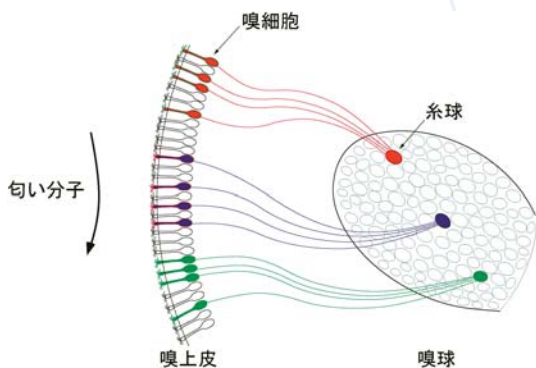


図 1: 鼻腔奥の嗅上皮上に存在する嗅神経細胞は、約千種類ある OR 遺伝子から一種類のみを選択的に発現する。そして、発現した OR 遺伝子の種類に応じて、嗅神経細胞はその軸索を嗅球の特定の位置に投射し、嗅神経回路が形成される。

どのように発現調節されているかという研究はこれまでにたくさん行われてきた。しかしマウス嗅覚系のように、各嗅神経細胞が約千種類もの OR 遺伝子群からひとつを選ぶ機構はほかに例がなく、ひじょうに興味深い研究テーマである。われわれのグループでは、以下のような OR 遺伝子の発現調節モデルを提唱してきた (図 2)。

① 約千種類の OR 遺伝子から直接ひとつを選ぶのではなく、複数の OR 遺伝子をまとめて制御する、遺伝子座調節領域 (locus control region: LCR) をまずひとつ選び、引き続いてその制御下にある OR 遺伝子からひとつを選ぶという正の制御機構

② 発現した OR 分子が、残りの OR 遺伝子の新たな活性化を阻止する負のフィードバック制御機構

そこでこれまでの研究をさらに推進するため、ゼブラフィッシュ胚を用いて、OR 遺伝子の発現を効率的に測定する方法を開発し、OR 遺伝子の活性化を容易に解析することを可能にし、既知の LCR (H 領域) を欠損したマウスを樹立し、その機能をマウス個体で解析した。

その結果、2100 塩基対ある H 領域から重要な領域を 124 塩基対まで絞り込んだ。この 124 塩基対の配列が、OR 遺伝子の発現に十分であることを遺伝子組み換えマウスを作製して確認した。そして、ゼブラフィッシュの OR 遺伝子群にも、マウスと

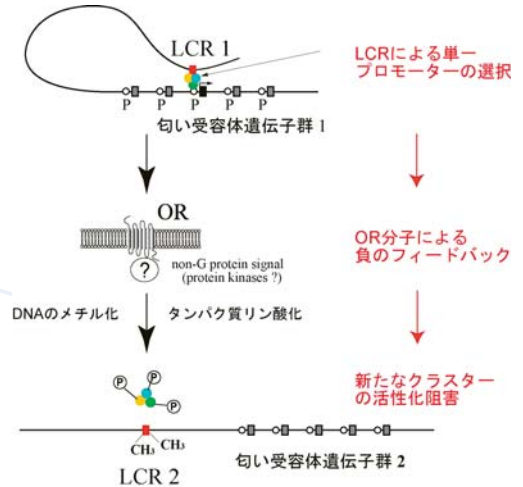


図 2: まず遺伝子座調節領域 (LCR1) を介して、特定の OR 遺伝子群 1 が存在する遺伝子座が活性化され、LCR1 を介して、ひとつの OR 遺伝子が活性化される。いったん機能的な OR 分子が発現すると、OR からの未同定のシグナルにより、タンパク質のリン酸化や DNA のメチル化が生じ、他の OR 遺伝子群 2 などの活性が抑制されると考えられる。

同様に LCR が複数存在すること、魚類でも哺乳類と同様の機構で OR 遺伝子の発現が制御されていることを明らかにした。

われわれの研究から、まず、ゲノム上に複数存在し、複数の OR 遺伝子の発現をまとめて制御する LCR からひとつを選び、続いてその LCR が制御下にある OR をひとつ選ぶ仕組みになっていると考えられる。今後は、いったん発現した機能的な OR 分子が、残りの OR 遺伝子の新たな活性化を阻止する負のフィードバック制御機構を明らかにすることで、長年謎であった、匂い受容における巧妙な遺伝子の発現調節の仕組みがわかると期待される。本研究は、H. Nishizumi *et al.*, *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**, 20067-20072, 2007 に掲載されている。

(2007 年 12 月 6 日プレスリリース)

謎の細胞内構造「中心子」の形成メカニズム

廣野 雅文 (生物科学専攻 准教授)

動物や原生生物の細胞中には、中心体とよばれる構造があり、細胞内に放射状に広がる微小管の形成核として重要な働きをしている。その中心体の中央にあるのが中心子とよばれる小器官で、9本の短い微小管が円筒状に並んだ構造をもっている (図A)。中心子は鞭毛や繊毛の基部としての機能もあわせもつが、そのさいはこの9回対称性構造が鞭毛・繊毛の内部構造を規定する。中心子の特徴ある形は真核生物が誕生して以来、10億年以上も変わらずに保存されてきた普遍的なものだが、どのようにして形成されるのかは長い間の謎であった。われわれは単細胞生物クラミドモナスを使った研究によって、そのしくみの一端を明らかにすることに成功した。

クラミドモナスは2本の鞭毛をもっているが、中心子に異常が生じると鞭毛が生えなくなる。そこでわれわれは、鞭毛を失った突然変異体の中から中心子に異常をもつものを探した。得られた2つの変異体 (*bld10* と *bld12*) の解析から、以下に述べるように、9回対称構造の形成にはカートホイールとよばれる構造

が重要であることが初めて明らかになった。

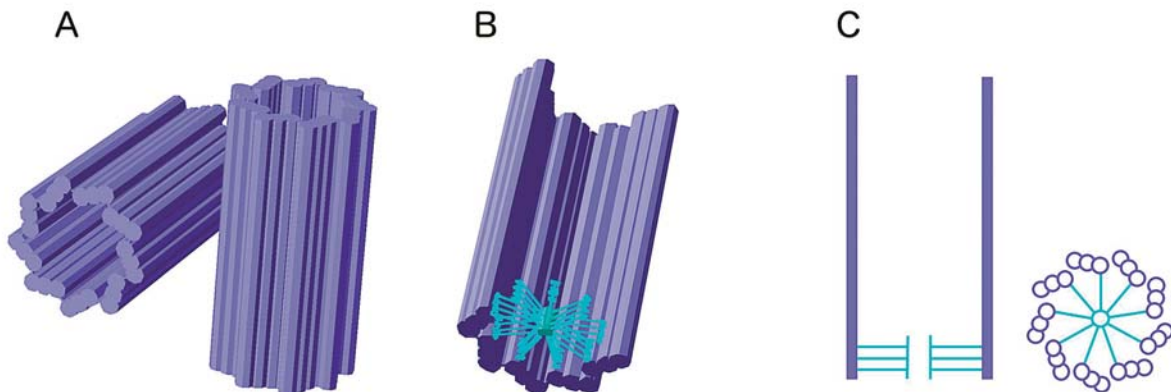
カートホイールは中心子形成過程の初期に現れる構造で、まさに車輪と同じように中央のハブと放射状に並ぶ9本のスポークから構成される (図B)。これまでも構造として知られてはいたが、機能は不明であった。われわれは以前に、変異体 *bld10* が欠失するタンパク質 (Bld10 タンパク質) がカートホイールに存在することを明らかにしていた。今回、アミノ酸配列の一部を欠損させた短い Bld10 タンパク質を発現させたところ、8回対称性の中心子が高い頻度で形成される、という予期しない結果が得られた。原因を調べたところ、スポークが短くなってカートホイールの円周が小さくなり、そこに微小管が8本しか並べなくなるためであることがわかった。

また、もうひとつの変異体 *bld12* は、微小管が9本の中心子のほかに、7、8、10、11本のもを形成する。中心子の9回対称性が揺らぐ変異体が見つかったのはすべての生物を通して初めてである。この揺らぎの原因を追求したところ、やはりカートホイールにあることが明らかに

なった。*bld12* では SAS-6 というカートホイールタンパク質が欠失し、それによってスポークの放射状配置が失われている。このためスポークの先端にある微小管形成の場が9個所に固定されなくなって、8回や10回対称性の中心子が形成されるらしい。

これらの結果から、中心子が形成されるときにはカートホイールが微小管形成の足場として機能し、9回対称性構造を安定化していることが示された。しかし今回の研究で、カートホイールに異常があっても中心子の多くは9回対称性を維持する、ということもわかった。このことは9回対称性が複数の要素で決定されていることを示唆している。今後は、それらカートホイール以外の要素の同定と、カートホイールそのものの9回対称性の形成機構の解明が課題となるだろう。これらの研究成果は M. Hiraki *et al.*, *Current Biology*, **17**, 1778-1783, 2007 および Y. Nakazawa *et al.*, *Current Biology*, **17**, 2169-2174, 2007 に掲載された。

(2007年12月6日プレスリリース)



中心子とカートホイールの構造を示した模式図。A. 9本の三連微小管が円筒状にならんだ中心子の9回対称構造。B. 中心子の内部にあるカートホイール (青い部分)。中央のハブから9本の細い繊維が放射状に並んだ構造をもつ。C. 中心子の縦断面と、底部の横断面

連載 理学のキーワード 第11回



「楕円曲線」

桂 利行 (数理科学研究科 教授)

なめらかな平面3次曲線を楕円曲線という。複素数を係数とする場合には、 x, y を変数とすると、 $\Delta = a^3 - 27b^2 \neq 0$ を満たす複素数 a, b を用いて、

$$y^2 = 4x^3 - ax - b$$

という式で表される。これをワイエルシュトラス (Weierstrass) の標準形という。 $\Delta \neq 0$ は右辺 = 0 が重根を持たないための条件である。この曲線に無限遠点を付け加えてコンパクト化すれば、連続的に変形することによってトーラス (ドーナツの表面) になる。

楕円曲線の理論は、歴史的には複素関数論における楕円積分の研究に端を発する。ガウス (Gauss) は、分子が1で分母が4次の多項式の平方根であるような関数の積分を考察し、この楕円積分の逆関数が2重周期をもつトーラス上の関数に

なることを見いだした。一般に複素平面上の2重周期関数を楕円関数という。ガウス自身はこの結果を公表しなかったが、19世紀前半にはアーベル (Abel) がこの事実を初めて発表し、引き続いてヤコビ (Jacobi) は楕円関数をテータ関数の比として表示する事に成功した。また、ワイエルシュトラスはペー関数というもっとも簡単な楕円関数を導入した。ペー関数とその微分の満たす関係式が上記の形の3次式になり、トーラスの代数曲線としての表示を与えている。楕円曲線は群構造をもっていること、つまり演算ができるということが大きな特徴であり、代数幾何学、数論を始め、数学のさまざまな分野に現れる。有限体上の楕円曲線は、この群構造を用いて、暗号 (楕円曲線暗号) や素因数分解に利用されている。有名な

フェルマー (Fermat) 予想はフライ (Frey) のアイデアによって楕円曲線の問題に還元され、1994年にワイルズ (Wiles) によって解決された。

楕円曲線を高次元化したものはアーベル多様体とよばれ、深くて美しい理論が構築されている。アーベル多様体がどのくらい存在するかについては、モジュライ空間の理論があり、保形関数等とも結びついて大きな理論になっている。代数系において1を素数 p 回足すと0になるとき標数 p というが、この世界ではモジュライ空間に興味深い特殊なストラティフィケーションが存在し、筆者もその構造を研究している。ちなみに、高校で習う楕円は2次曲線であり、代数幾何学における楕円曲線とは異なるものである。



「エアロゾル」

小池 真 (地球惑星科学専攻 准教授)

大気中にはエアロゾルという総称でよばれる、液体、固体、あるいはその混合物からなる直径1 nmから100 μm 程度の微粒子が $10^2 \sim 10^5$ 個 cm^{-3} 程度、浮遊している。高濃度のエアロゾルを吸い込むと呼吸器官などに障害を引き起こすため、大気中のエアロゾルは半世紀以上の研究の歴史があるが、近年では地球の気候へ与えるさまざまな影響の観点から注目されている。

大気中のエアロゾルは地球に入射してくる太陽放射を散乱して地球が受け取る放射エネルギーを減らすため、地球を寒冷化する放射効果 (放射強制力) がある。産業革命以降、エアロゾルは人為的な発生源の増加により増え続けているが、その結果は、この間に増大した二酸化炭素によるグローバルな地球温暖化の放射効果の3分の1を打ち消す程度の影響をもつと見積もられている。今後、排出

規制により大気中の硫酸塩エアロゾルなどが減少すると、地球の温暖化が加速する可能性も指摘されている。一方において、燃焼過程により大気中に放出される“すす” (ブラックカーボン) のように、太陽放射を吸収するエアロゾルも存在する。この光吸収は地球が受け取る放射エネルギーを増加させるが、そのエネルギーは大気の加熱に費やされ地表面が直接受け取る放射エネルギーは減少する。このため、大気の鉛直対流への影響などを通じて、大気の循環や降水の時空間分布が変化することが数値モデル計算により予測されている。さらには大気中の雲粒はエアロゾルを核として生成するため、エアロゾルの増大は雲粒数の増大を引き起こし、太陽放射に対する雲の反射率を増加させたり、雨を降りにくくさせたりする効果があると考えられている。最近では、北極などで雪氷上

に落下した光吸収性のエアロゾルが雪氷の融解を促進していることも指摘されている。

今年に発表された、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第四次評価報告書においても、これらのエアロゾルの重要性が指摘されている。エアロゾルは温室効果気体と比べてその発生源、大気中での生成過程、存在形態、除去過程などの理解に大きな不確実性があるため、現時点では放射強制力を推定するさい最大の不確定要因となっていることや、温室効果気体と比較して、はるかに大きな放射効果の地域差が存在することが示されている。

本研究科では小池研究室において、また本学の先端科学技術研究センター、気候システム研究センター、海洋研究所の諸研究室において、エアロゾルの多角的な研究が推進されている。



「エコデボ」

寺島 一郎 (生物科学専攻 教授)

妙な響きの言葉である。本欄 2 回目 (2006 年 7 月号) で塚谷裕一さんが解説した「エボデボ」の流行に刺激された生態学者が、二匹目の泥鰌を狙って使い始めた言葉である、と思う。Evo-Devo (エコデボ) が Evolutionary developmental biology (進化的発生生物学) であるのに対して、Eco-Devo (エボデボ) は、Ecological developmental biology (生態学的発生生物学) である。Ecology は、「個体発生は系統発生をくり返す」で有名な発生学者 E. ヘッケル (Ernest Haeckel) の造語である。これを最初に訳して「生計学」としたのが理学部動物学教室の五島清太郎。「生態学」は植物学教室の三好学が Biologie の訳語として使ったものに由来する。なお、南方熊楠は「棲態学」と書いた。Eco の語源がギリシア語 oikos で、「家、棲みか」

を意味することを表現する優れた訳語だ
と思うが、文科省用語は生態学。

生物は良くできた器械だが、はじめから良くできていたのではない。生物とは、さまざまな環境における自然選択によって、その環境でもっとも子を残しやすい形態、機能、発生プログラムをもつように変化してきたし、現在も自然選択されつつある存在である。したがって、生物が「良くできている度合い」は、生物をその「棲みか」において調べることによって明らかになる。生物の発生プログラムや環境に応じた発生の可塑性を自然環境条件下で捉え、それらのもつ意味を、残す子の数 (適応度) への効果として評価する総合的な学問がエコデボといえよう。過去の環境を考慮するとエボデボとも融合する。適応や進化のメカニズムの大筋

が明らかになってからは、生物学者は、生物の形態や機能を「よくできた器械が見せてくれる面白いこと」としてだけではなく、エボデボ・エコデボの精神で研究して来たはずである。しかし、生物情報の蓄積にともない、生物の類縁関係、発生の基本プログラムなどが凄まじい勢いで明らかになりつつある今、「環境」あるいは「棲みか」に注目した総合的研究が必須であることも強調すべきであろう。そのお題目がエコデボ。なんだかボコボコと沈みそうな・・・。

日光植物園、生物科学専攻の植物生態研で、植物の光合成系や呼吸系に注目したエコデボ研究をやっている。神経系のない植物が、植物体のいろいろな部分の環境情報を統合してその状況で最適な葉を作り出す仕組みが明らかになってきている。



「核力」

初田 哲男 (物理学専攻 教授)

核力とは陽子や中性子 (総称して核子) の間に働く力の総称で、核子を約 10^{-12} cm という小さい領域に原子核として強く結合させる働きをもつ。1935 年、核力の起源を説明するため、湯川秀樹博士は核子間にキャッチボールされる湯川中間子を導入した。これは、現代の原子核・素粒子物理学を拓く大きな一里塚となった。

その後、原子核構造の研究や加速器を用いた核子衝突の実験で、核子が離れている時は湯川中間子の交換による引力という描像は正しいが、核子間距離が 10^{-13} cm 以下では強い反発力 (斥力芯) が存在すると推測されるようになった。湯川中間子の交換は原子核が結合する要因に、いっぽう斥力芯は、原子核や中性子星の安定性、II 型超新星爆発の起爆原因とも密接に関係する。核力は、2 核子のもつスピンや軌道角運

動量に依存して力の大きさが変わる豊富な構造をもつこともわかってきた。

いっぽう、素粒子物理学の発展により、核子や中間子はクォークとよばれる素粒子とそれを結び付けているグルーオン (糊粒子) からなる複合系であることが明らかになった。したがって、これまで現象論的にしか理解されていなかった核力 (とくに斥力芯) を、よりミクロなクォーク・グルーオンから出発して理論的に理解できないかという機運が盛り上がった。しかしながら、クォーク・グルーオンの基礎理論である量子色力学 (南部陽一郎博士により初めて導入された) は、その高い非線形性と強い量子性のため解析がきわめて困難であった。

幸いにして、近年の計算機パワーの飛躍的進展により、10 テラフロップス級の汎用計算機や専用計算機を用いて、

量子色力学を数値シミュレーションの方法で解く手法が発展した。とくに、核子や中間子の質量などを定量的に数値計算することが可能になってきた。さらに 2006 年には、核力の短距離から長距離に至る性質を数値シミュレーションで導く最初の計算が、筆者を含む研究グループにより報告された。

核力という古くて新しい問題は、ここ数年ますます活発に理論・実験研究がすすめられている。理論面では、量子色力学からみた核力の起源の研究が初田研究室 (物理) で、核力が中性子を多数含むエキゾチック原子核にもたらす新しい構造の研究が大塚研究室 (物理) で行われている。また、ハイペロン (核子の仲間) に働く未解明の力の実験的研究が、茨城県東海村で建設中の高強度陽子加速器施設 J-PARC で行われる予定である。



「第一世代星」

梅田 秀之 (天文学専攻 准教授)

ビッグバン直後の宇宙には水素、ヘリウム、リチウムしか存在せず、炭素より重い元素は、ほぼすべて星の中での核融合や超新星爆発時につくられた。第一世代星とはビッグバン直後の化学組成のガスを原料として、宇宙で最初につくられた星々のことである。星には面白い特徴があり、重い星は寿命が短く、太陽より十倍以上重い星は百万から一千万年で寿命が尽き、超新星爆発を起こし周囲に重元素をばらまく。これらの重元素で汚染されたガスから作られた星は第二世代以降の星となる。いっぽう、軽い星はひじょうに長寿命であり、たとえば太陽の0.8倍以下の質量の星の寿命は宇宙の年齢(137億年)より長い。したがって、もし軽い第一世代星があるならば現在でも輝いている姿を見つかることができるはずである。

第一世代星に興味を持たれる理由はいくつかある。宇宙で最初につくられた星はどのような星であったのかという素朴な興味もあろうが、それらの星が初期宇宙の進化や銀河形成に及ぼす影響や、理論天体物理学の検証に応用できるという側面も注目されている。星生成理論の標準的な予測では最初にできる星々は太陽質量の100~200倍以上とひじょうに重い。また、最初の星の周辺では星からの強い放射の影響で、太陽質量の数十倍の少し軽い星が生まれるという予測もある(このような星も第一世代とよぶのかについては定義がはっきりしていない)。これらの星は宇宙を再電離し、進化の最後にブラックホールを残し、多くの銀河の中心にある巨大ブラックホールの種になったと予想されている。

近年、観測により軽い第一世代の星を探す試みが行なわれており、これまでに重元素のまったくない星は見つかっていないが、鉄のひじょうに少ない星がいくつか見つかっている。それらは第一世代星の軽い星が誕生後に周囲から汚染されたものであるのか、あるいはごく初期につくられた第二世代の星なのか、論争がなされている。

本研究科では天文学専攻の野本憲一教授と筆者の研究室、また附属ビッグバン宇宙国際研究センターの茂山俊和准教授の研究室において、金属のひじょうに少ない星の組成を超新星などの元素合成モデルと比較することにより、その星の重元素の源、ひいては第一世代星の質量や、その超新星爆発の性質を明らかにする研究を行っている。



「情報爆発と情報大航海」

辻井 潤一 (情報理工学系研究科 教授)

この2つのキーワード、明確な定義はないが、伝えたいことは感覚的に理解していただければよい。いずれもプロジェクトの呼称であり、国民やマスコミの支持を必要とする大規模な国プロ(国家プロジェクトの略)が、キャッチーな呼称を選ぶ風潮を体現している。計算機分野は、演算性能10ペタフロップス(毎秒1京回の浮動小数点数演算を行う)のスーパーコンピュータを開発する京速計算機プロジェクトなど、キャッチフレーズづくりがうまい。

情報世界を探索・探索する者というExplorerが、M社のインターネット・ブラウザの名前に使われたり、navigation(航海)から、「XXナビ」でXXに関する情報を探す手助けサイトが数多くあったりと、情報を探し出す過程を探索・航海に喩えることは多い。

この比喩をさらに拡大して、15世紀中葉からのヨーロッパ世界のグローバル化の時代、大航海時代と結びつけたところに、「情報大航海」という命名の妙がある。ルネサンス期の希望と躍動感がある。経済産業省が2007年から始めた3年間の国プロ。背景には、この分野の中核技術がG社に独占されている危機感がある、という。この危機感、他の国家にも共有され、同時期にフランスやドイツのプロジェクトも始まっている。

革新的技術の出現に期待が集まる反面、「G社の桁違いの資金に対抗できるのか」とか、逆に、「スタンフォード大の2人の学生からG社が始まったように、この分野の革新技術は、創造力と想像力に富む少数者により生み出される。護送船団的な発想の国プロで

大丈夫か」など、不安視する向きもある。小ぶりのグループで、成果重視の研究を推進するなど、従来の国プロとは一味違った機動性を持たせている。さて、国家主導のプロジェクトが民間の機動性に勝てるか?

いっぽう、「情報爆発」は文科省のプロジェクト。プロジェクト概要には、人類が生産する情報が2000年以降爆発的に増大しており、これに対処する技術の開発を目的とするとある。「情報大航海」よりも幅が広く、狭い検索技術にとどまらず、ハードウェア・ソフトウェアの基礎技術、人間との対話技術から技術受容の社会的側面まで、250人超の大学研究者が参加する。2005年から開始され、喜連川優教授(本学・生産技術研究所)がリーダーとなって推進している。

附属施設探訪 本郷編

第5回

東京大学全学センター

遺伝子実験施設

施設長 黒田 真也（生物化学専攻 教授），飯野 雄一（生物化学専攻 教授[※]）

※ 2007年8月まで遺伝子実験施設准教授

遺伝子実験施設の生い立ち、沿革

遺伝子実験施設は1983年（昭和58年）、学内共同教育研究施設として設立された。当時、わが国では組換えDNA実験が始まったばかりで、国の安全指針もできたばかり。実験手法も確立されていない状態であった。そこで学術審議会の建議などに後押しされ、全国の主要な大学に、組換えDNA実験の普及推進と安全確保をはかる施設の設立の機運が起こった。本学の遺伝子実験施設はこの流れの一環として設置されたものである。

設立にあたっては、当時の理学部生物学植物学教室の飯野徹雄教授を中心として、物理学科の堀田凱樹教授、生物化学学科の岡田吉美教授、溝淵潔助教授らがひじょうな努力をされた。遺伝子実験施設は組織上は大学直属の全学センターであるが、このような経緯から理学系研究科に近く、事務組織も理学系研究科等事務部のお世話になり現在に至っている。実は遺伝子実験施設が

組織として発足した1983年（昭和58年）の時点では居場所がなく、その後、理学部7号館の設立予定の敷地内で遺跡調査が始まった影響で、4年後の1987年（昭和62年）2月の理学部7号館の竣工まで、実際の活動開始を待つことになる。竣工に伴い、情報科学科とともに理学部7号館に入居することで実際の活動がスタートした。

遺伝子実験施設の活動

遺伝子実験施設は理学部7号館の6階と7階に位置している。安田講堂の裏手で、理学部1号館、4号館、化学館に囲まれた便利な位置にある。7階は全フロアが非密封放射線同位元素取扱い施設になっている（図1）。

設立時の目的にしたがい、昭和60年代には遺伝子組換え実験の講習会や講演会を数多く開催した。また、培養細胞や植物に遺伝子を導入する方法についても研究を進め、内外の研究者を招いて情報交換を行った。また、飯野徹雄初代施設

長は組換えDNA研究推進組織連絡会議委員、組換えDNA調査研究ワーキンググループ世話人、文部省バイオ研究班代表などの立場で、組換えDNA実験に関する調査や組換えDNA実験指針の改訂などに精力的に関わった。

この間、おもに理学部・大学院理学系研究科から多くの利用者を受け入れるとともに、組換えDNA技術を用いて、いろいろな生命現象に関する遺伝子機能の先進的な研究を推し進めてきた。これらの活動のかいあって、今では遺伝子組換えは簡単な実験ならどの研究室でも行えるようになったことは周知の通りである。

前記のように遺伝子実験施設は学内共同施設であるが、共同利用はプロジェクト研究と短期共同利用の二つの形態からなる。プロジェクト研究は、学内から公募した研究グループに実験室を割り当てて、遺伝子実験施設に常駐する形で遺伝子研究を進めていただいている。短期共同利用は随時申し込み可能であり、共用スペースを利用して実験を行っていただくか、機器の利用に限るものとなっている。



図1：放射性同位元素取扱い管理区域入り口（左）と保管庫（右）

遺伝子実験施設の研究

遺伝子実験施設の研究は、専任教員グループ（准教授1名、助教2名）による研究とプロジェクト研究とで成り立っていることが特徴である。設立当初より一貫して、モデル生物を用いた遺伝子研究をその特色としている。以下、そのいくつかの例について紹介したい。

酵母

遺伝子組換えは原核生物である大腸菌を用いて始まり、今でも大腸菌は組換えDNAの作成になくてはならないものである。いっぽう、われわれと同じ真核生物のうち大腸菌に匹敵する優れた研究材料が酵母である。

酵母を用いた最近のおもな研究として、本施設の山下朗助教は減数分裂の機構を

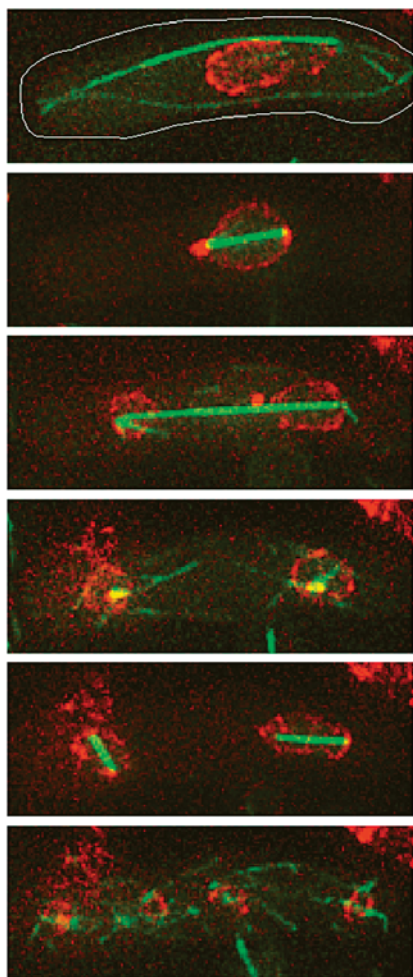


図2：減数分裂期の分裂酵母細胞（核膜と微小管を蛍光タンパク質で可視化）

調べる研究を進めている。ヒトやそのほかの生物は、遺伝子を2セットずつもっているが、配偶子である精子と卵子は遺伝子を1セットずつしかもたない。この2セットを1セットずつに分ける特殊な細胞分裂様式が減数分裂である。哺乳類では減数分裂は生殖腺内の複雑な細胞環境でしか起こらないため研究が困難であるが、酵母では、この減数分裂を実験的に起こさせることができる（図2）。本施設での研究で、減数分裂を開始させるしくみが明らかになった。減数分裂を行う遺伝子は多数あるが、これらの遺伝子からはmRNAが常につくられており、しかしそれらはいち早く分解されているという意外なことがわかった。減数分裂のときにしか必要のないRNAを、平常時からつくっては壊しているのである。分解のための新規タンパク質としてMmi1が見つかった。そして、減数分裂開始時には、Mei2というマスタージーンが働き、Mmiを除去することによりmRNAの分解を起さなくする。減数分裂を開始するときには、分解をストップする、というスイッチがはいるのである。これら一連の過程が遺伝子クローニングと遺伝子改変、ゲノムへの挿入といった手法を用いて明確になった（理学部ニュース2006年9月号8ページ参照）。

線虫

「線虫」というと聞き慣れない読者もおられるだろうが、遺伝子研究ではポピュラーなモデル生物である。細胞数が少ないので生き物の設計図を調べるのに適しており、行動に関する突然変異体の取得がしやすいことがもうひとつの特徴である。

これを利用して遺伝子実験施設において、筆者の飯野および当施設助教の國友博文は、学習ができない突然変異体の取得を行ってきた。これらの変異体を解析して学習に必要な遺伝子を見つけ、

その遺伝子の働きを調べることにより、どの神経がどう変化して過去の経験を覚えているかを知ることができる。最近明らかになった記憶制御経路のひとつはインスリン経路の遺伝子群である。インスリン様ペプチドが単一の感覚神経に働きかけることが、学習による感覚応答行動の変化に重要であることがわかった（理学部ニュース2006年11月号5ページ参照）。

神経系は生体の中でもっとも多様な組織であり、神経細胞のひとつひとつは形も性質も違う。この違いを生み出すのは遺伝子発現の違いである。ゲノム情報をもとにこの性質の違いを調べるために、マイクロアレイを用いて感覚神経など、個々の神経間での遺伝子発現の違いを調べている。マイクロアレイとは、ゲノム上の全遺伝子を一枚の素子の上に並べたものである。これを使うことにより、その神経でゲノム上の約20000個の遺伝子のうちどれが働いているか、一目瞭然に知ることができる。さらに、注目した遺伝子を破壊した線虫をつくることにより感覚繊毛の形態形成と維持に関わるDYF-11という遺伝子の働きが明らかになった。

ショウジョウバエ

ショウジョウバエは多細胞遺伝学の研究でもっとも伝統のあるモデル生物と言ってよかろう。本施設の設定に関わった堀田凱樹元教授以来、遺伝子実験施設でもショウジョウバエを用いた研究が脈々と続けられてきた。この生物でも行動変異体を取得することができる。本施設では、行動異常変異体や、神経がグリア細胞（神経支持細胞）になってしまう変異体の研究などで先駆的な成果を上げている。

いっぽう、能瀬聡直教授（新領域創成科学研究科複雑理工学専攻）の率いる現在のプロジェクト研究の関心事は、神経の配線がどのようになされるかという問題である。先に述べたように、

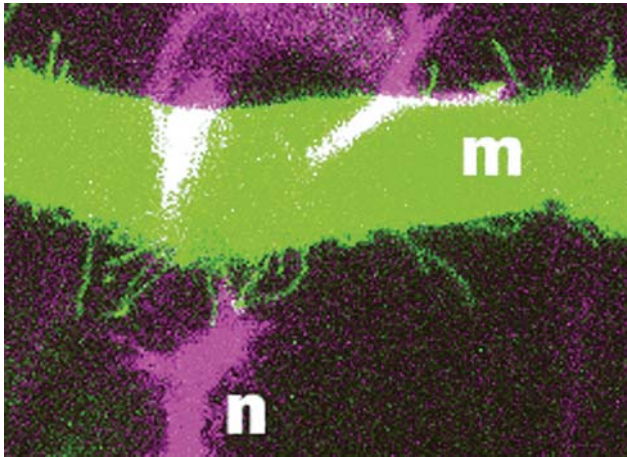


図3：神経-筋結合過程のイメージング。運動神経細胞の軸索（n，マゼンタ）が標的筋肉（m，緑）と最初に接触する瞬間をとらえた。

神経細胞は多くの種類があるが、それぞれ結合する相手が決まっている。これが正確に行われることは、生物の行動を司る神経回路の形成のために必須である。そうでなければ、たとえばわれわれが親指を動かそうとしたときに小指が動くようになってしまうかもしれない。ショウジョウバエの運動神経と筋肉の結合のしかたも決まっいて、これを正確に観察することができる。このときの細胞間認識に働く、カプリシヤスなどいくつかの遺伝子がみつかってきている。さらには、神経が筋肉に向けて伸びていく際に、筋肉が突起を伸ばして神経を迎えにいくという現象が最近みつきり、この過程でカプリシヤスタンパク質がどう働くかの可視化にも成功している（図3）。

シロイヌナズナ

米田好文初代専任講師（現・生物科学専攻教授）以来、植物も本施設の主たる研究対象の1つである。施設内には植物栽培のための設備があり、とくに、RI管理区域の中に設けられた栽培装置（コイトロン）は放射性同位元素を用いた植物実験が行える珍しい設備である。ここで栽培されているシロイヌナズナは植物における代表的なモデル生物で、小規模設備でも大量の材料が扱えること、突然変異体の取得がしやすいこと、すでにゲノム解読が終了していること

などが特徴である。葉のサイズや形に関する変異体が多く取得されており、塚谷裕一生物科学専攻教授の率いるプロジェクト研究では、現在これらを用いて、植物の葉の形の形成機構に焦点をおいた解析を行っている。

そもそも葉の形は、それを構成する細胞

の数と形、サイズの総和として決まるわけだが、決して単なる個々の細胞の寄せ集めではない。事実、*angustifolia3* 変異体のように、細胞の数が減ると、それを補償するかのように、細胞のサイズが逆に大きくなるという現象がある。葉をつくる個々の細胞は、何らかの方法を用いて葉全体の状況を検知しているのだろうか。多細胞生物の器官のサイズがどのようにして決定されるのかは、いまだ植物はおろか、動物でも解明されていない。この生物の形づくりの基本的な原理にもつながる疑問に答えるため、

さまざまな切り口からの研究を本施設で進行中である（図4）。

遺伝子実験施設の設備と今後の課題

上述のように、遺伝子実験施設の機器はほとんどが学内共同利用機器となっている。短期共同利用の届けを行えば学内の方ならどなたでも使えるので、どうぞご利用いただきたい。詳しくはホームページ（<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/mgr1/>）をご参照のこと。

これまで紹介してきたように、組換えDNA実験の普及、啓蒙という設立当初の任務はほぼ完了されたものと考えられるが、遺伝子の機能の研究は今でも生命科学の中心的なアプローチであり、さらなる研究の推進が必要となっている。とくに、ヒトを始めおもだった生物のゲノムが解読され、ポストゲノム時代といわれる今日、遺伝子実験施設での先端的研究の推進と研究手法の開発、研究支援はますます重要になっていると考えられる。理学系研究科をはじめとする本学における研究の効率化を目指して、各方面からのご協力やご意見をお願いする次第である。

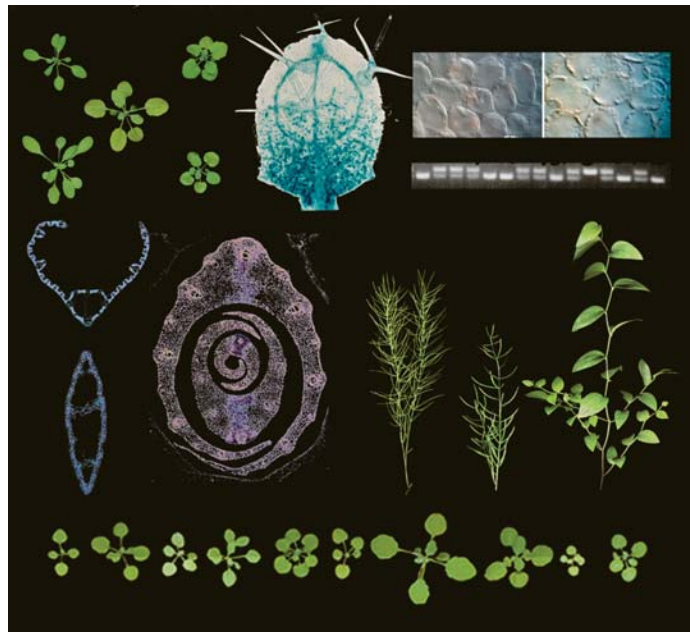


図4：左上から時計回りに、葉のプロポーシヨンの変異体群、葉原基におけるG2/M期細胞の分布、透明化による細胞サイズの検出、ジェノタイピング、アスパラガス属における茎の葉状化、葉サイズの変異体群、葉の横断切片と *in situ* 像。さまざまな切り口から、葉の形態を司る仕組みを解こうとしている。

齋藤信房先生のご逝去を悼んで

富永 健（化学専攻 名誉教授）

齋藤信房名誉教授（化学専攻）は、ご療養中のところ2007年12月19日に逝去されました。享年91才でした。先生は、1940年に東京帝国大学理学部化学科をご卒業、京城帝国大学理工学部助教授で終戦を迎えられました。その後、九州帝国大学理学部助教授を経て、東京大学理学部に助教授として着任され、1956年教授に昇任、無機化学講座を担任されました。以来1977年のご停年まで理学部で研究と教育に尽力されました。また、理化学研究所の主任研究員も兼ねられました。1970年からは、先生のご尽力で新設されたアイソトープ総合センターの初代センター長もつとめられました。ご停年後は、東邦大学理学部教授・理学部長、また1990年以降は、(財)日本分析センターの理事長、会長を歴任されました。また、日本化学会や日本分析化学会の会長のほか、国内の原子力・放射線関係の委員会、審議会、

国際原子力機関（IAEA）などでも活躍されました。

先生のご研究は、温泉沈殿物や鉱物・岩石など天然物中の同位体の分布に始まり、無機化合物の核反応で生じた励起原子や分子の特異な挙動（ホットアトム化学）、線源からの放射線の共鳴吸収を化学状態のプロープに用いるメスバウアー分光法の新たな応用の開発など、無機同位体化学・放射化学の広い分野にわたり、優れた業績を残され、日本化学会賞、紫綬褒章、勳二等瑞宝章を受けられました。

ちょうど50年前、私が卒業研究で師事してから、誠実で、温厚な中にも厳しい紳士という先生の印象が変わることはありませんでした。明治大正生まれの学者の風格、あるいは「品格」とでもいうのでしょうか。先生にはそれを感じました。ゆえに私たちの尊敬の念も一層深まったのです。



■ 故・齋藤信房名誉教授

先生のモットーは、「100点満点を目指さず、自然体で80点を目標に」というものでした。それでも私には、先生の達成されたことは万事100点以上に感じられました。100点をとると公言しながら実は80点しかとれないような後進への戒めかもしれませんが、不肖の弟子達にとって、先生の温容に接し、まだまだご教示を乞いたいと願っていた矢先の訃報は誠に残念でなりません。ここに心から先生のご冥福をお祈り申し上げます。

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	神原 浩	2007.10.31	辞職	
物理	助教	松井 朋裕	2007.11.1	採用	学術研究支援員から
化学	准教授	山下 恭弘	2007.11.1	採用	科学技術振興機構から
化学	助教	中林 耕二	2007.11.1	採用	
化学	事務室主任	須長 健介	2007.11.1	昇任	柏地区数物連携宇宙研究機構事務部門給与・旅費係長へ
化学	事務室主任	渡邊 和弘	2007.11.1	配置換	附属植物園事務室主任から
生化	特任助教（産学官連携研究員）	西 賢二	2007.11.1	称号付与	
生化	特任助教（特定プロジェクト特任教員）	小早川 高	2007.11.1	採用	学術研究支援員から
生科	特任助教（COE 特任教員）	柳澤 春明	2007.11.1	採用	
生科	特任助教（COE 特任教員）	那須 信	2007.11.1	採用	学術研究支援員から
植物園	事務室主任	笹崎 浩一	2007.11.1	配置換	経理チーム主任から
地惑	教授	茅根 創	2007.11.16	昇任	准教授から
生化	特任助教（COE 特任教員）	芹澤 尚	2007.11.30	辞職	

東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(2007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
2007年10月31日付学位授与者(3名)			
課程博士	地惑	猿楽 祐樹	2P/エンケ彗星ダスト雲の観測的研究(※)
課程博士	化学	金子 健二	人口鑄型ペプチドを用いたディスクリートなハロゲン架橋白金錯体への合成アプローチ
課程博士	生科	黒崎 辰昭	ATXVI, ATXVII 遺伝子におけるマイクロサテライトリピートの分子進化(※)
2007年11月19日付学位授与者(2名)			
論文博士	物理	後藤 隼人	結晶中の希土類イオンを用いた量子状態制御および共振器量子電磁力学(※)
論文博士	生化	兒玉公一郎	タンパク質上で進行するパラジウム触媒反応-タンパク質工学への展開-
2007年11月30日付学位授与者(1名)			
課程博士	化学	宇津野充弥	アントラキノン共役テルピリジン配位子による遷移金属錯体の集積化と光化学的・レドックス挙動(※)

あとがき

2008年が始まりました。気持ちも新たに、理学部ニュースの編集に力を注ぎたいと思います。本年もどうぞよろしくお願いいたします。

本号では3件取り上げていますが、現在、理学系研究科では、公開講演会やサイエンスカフェなどを通じて、学外の方々に本研究科での研究についてご理解していただけるよう尽力しております。理学部ニュース同様、先生方のご協力をお願いします。

こうした活動の記事を拝見しておりますと、「理科ばなれ」がうそのように思えます。自分たちの考えたこと、研究したことをお持ちになられて、教員や院生の方々に質問される高校生もいらっしゃると思います。開かれた大学を目指すときには、こうした「理科好き」な生徒さんの力を大きく伸ばすような、ひじょうに面白い研究をわかりやすく説明することがたいへん重要だと改めて思います。そのときに、必要と

なるのは、その研究成果やその成果のつくる夢だけではなく、これまで、人類が受け継いできた研究の歴史を正しく認識し、伝えることかもしれません。サイエンスも人間の営みなのでしょう。人間は分子・原子までも見られるようになってきました。自然はそれを組み合わせて宇宙・世界をつくっています。その両方に関わっている理学系はひじょうに広いソサエティで、そこで行っている研究は、多くの人の興味をひくものであるはずで

「あなたはあなたの選んだものでできている」というCMがありますが、私たちは、人間がこれまで選んで学んで研究してきたものでできているのでしょうか。一方で自分の研究を振り返ってみると、ほとんど体系化されてきていません。年はとり、折り返し地点にきていますが、研究者としてはまだまだ駆け出しのようです。さらに努力していかなければならないと感じています。

米澤 徹(化学専攻 准教授)

第39巻5号

発行日:2008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

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@adm.s.u-tokyo.ac.jp

上田 貴志(生物科学専攻) tueda@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(ネットワーク) yuu@adm.s.u-tokyo.ac.jp

渡辺 正昭(庶務係) mwatanabe@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

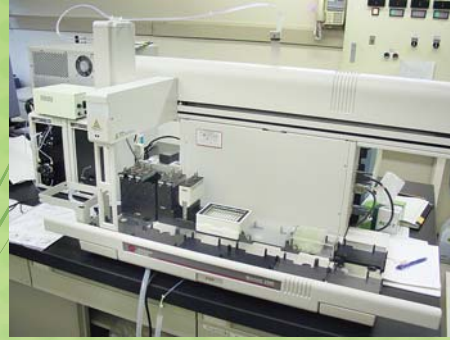
大島 智(ネットワーク) satoshi@adm.s.u-tokyo.ac.jp

印刷:.....三鈴印刷株式会社



コロニーピッカー

大腸菌のコロニーを自動的に拾って格子状サンプルプレートに入れる。



反応ロボット

ユーザーの設定したプログラムに従って多数の反応液を混合し別の格子状サンプルプレートに移す。



マイクロアレイハイブリ装置

マイクロアレイを用いた遺伝子発現解析のため、細胞由来のRNAを一定条件下でハイブリダイズさせる。



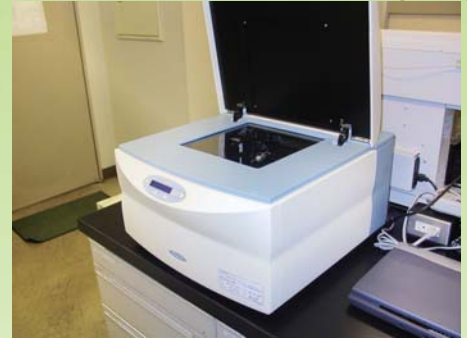
マイクロアレイリーダー

ハイブリダイゼーションを行ったマイクロアレイからの蛍光を読み取る。



イメージアナライザー

電気泳動を行ったゲルやフィルターからの放射線を検出し画像として出力する。



蛍光スキャナー

電気泳動を行ったゲルやフィルターからの蛍光を検出し画像として出力する。



シーケンサー

DNAの塩基配列を読み取る。



定量PCR装置

微量のDNAやRNAをPCR法により定量する。



共焦点顕微鏡

生物サンプルの特定の焦点面からの蛍光をリアルタイムで観察する。