

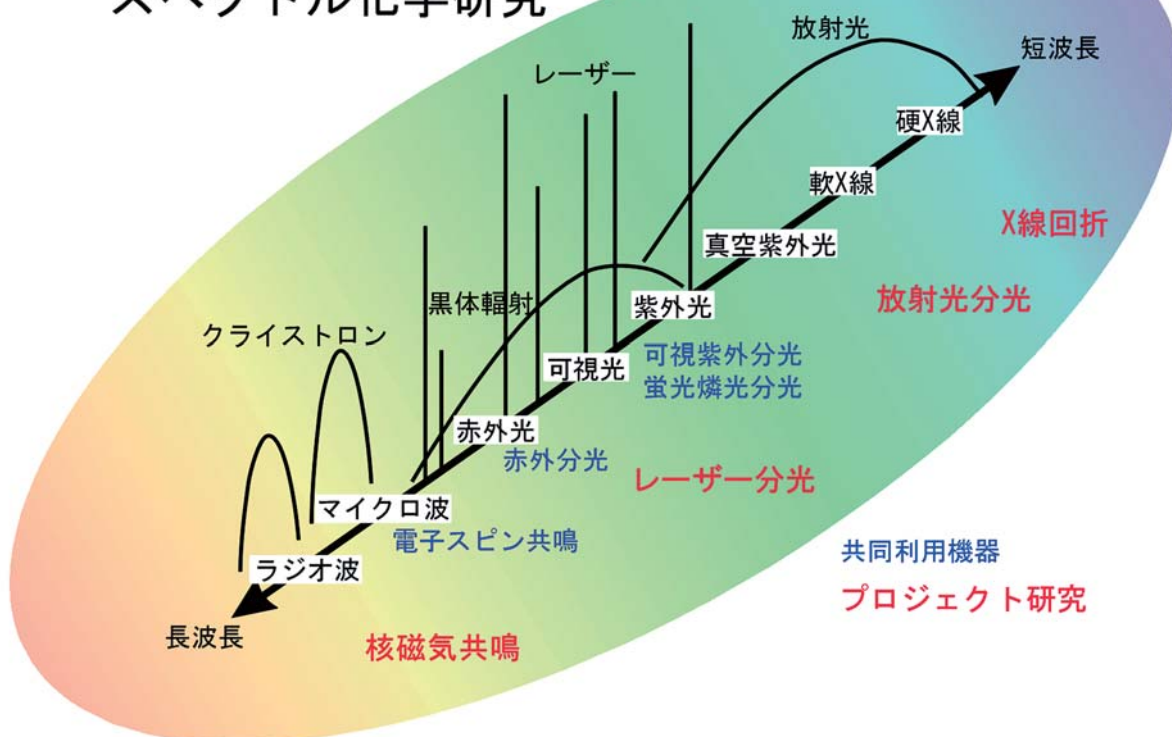


東京大学理学系研究科・理学部ニュース

2007年9月号 39巻3号

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

様々な波長の電磁波を用いた スペクトル化学研究



電磁波を用いたスペクトル化学研究

～附属施設探訪 本郷編 スペクトル化学研究センターより～

トピックス

グローバルCOEプログラムに2拠点採択 理学系研究科で開講されている魅力ある大学院共通プログラム（全学公開）	野中 勝（生物科学専攻 教授）	3
リサ・ランドール博士の来日記念講演「Warped Passages」	岡 良隆（生物科学専攻 教授）	3
2700人が訪れた理学部オープンキャンパス2007	向山 信治（附属ビッグバン宇宙国際研究センター 助教）	3
オープンキャンパス講演会レポート午前の部 「身近な生き物から広がるサイエンス ～形作りの不思議～」	中村 栄一（化学専攻 教授）	4
オープンキャンパス講演会レポート午後の部 「光の温度計 ～金星の温度を測る赤外線～」	広報誌編集委員会	5
	広報誌編集委員会	5

研究ニュース

マントル最深部（D層）の詳細構造	河合 研志（地球惑星科学専攻 客員）、 ロバート ゲラー（地球惑星科学専攻 教授）	6
細胞外から細胞内へ分子を取り込む細胞膜陥入機構 メダカゲノムの解読：脊椎動物の発生・進化研究を加速する	横山 茂之（生物化学専攻 教授）	7
植物の出生20億年の秘密を解き明かす	武田 洋幸（生物科学専攻 教授）	8
銅超微粒子を用いた積層セラミックコンデンサ用電極の開発	野崎 久義（生物科学専攻 准教授）	9
原子核の中にある“強い力”の起源	米澤 徹（化学専攻 准教授）	10
	初田 哲男（物理学専攻 教授）	11

連載：理学のキーワード 第9回

「海洋大循環」	日比谷紀之（地球惑星科学専攻 教授）	12
「有機半導体」	島田 敏宏（化学専攻 准教授）	12
「相転移」	宮下 精二（物理学専攻 教授）	13
「統計的機械翻訳」	宮尾 祐介（情報科学科 助教）	13
「モータータンパク質」	神谷 律（生物科学専攻 教授）	14
「銀河中心」	半田 利弘（附属天文学教育研究センター 助教）	14

理学系探訪シリーズ：附属施設探訪 本郷編

第3回 スペクトル化学研究センター	岩澤 康裕（センター長，化学専攻 教授）	15
-------------------	----------------------	----

お知らせ

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		18
第12回東京大学理学部公開講演会のお知らせ	広報誌編集委員会	18

■表紙 スペクトル化学研究センターでは、さまざまな波長の電磁波を利用して物理化学的研究手法の開発とその応用を行っている。対象とする電磁波は、X線回折法で使う波長0.1 nmのX線から核磁気共鳴分光法で使う1 mのマイクロ波まで、波長にして10桁の広範囲にわたる。新たな研究手法を開発するためには、放射光やレーザーなどの最先端の光源を自由に使いこなすことが要求されるが、これは研究者にとっては得がたい経験となる。

グローバルCOEプログラム に2拠点採択

広報委員長 野中 勝
(生物科学専攻 教授)

2002年度から、世界的な研究教育拠点の形成を重点的に支援する目的で「21世紀COEプログラム」が実施され、理学系研究科からは全専攻を含む4拠点が採択されてきた。今年度からは「21世紀COEプログラム」をより充実・発展

させた形の「グローバルCOEプログラム」に移行することになり、まず5分野において募集がおこなわれた。従来に比べて拠点数を半減するという厳しい基準のもとに、63拠点が選出され、わが理学系研究科からの提案は、申請した2分野においていずれも採択されている。

まず生命科学分野では、生物化学専攻・生物科学専攻が医学系研究科・分子細胞生物学研究所とともに提案した「生体シグナルを基盤とする統合生命学」(拠点リーダー:宮下保司 医学系研究科教授)

が採択された。また化学・材料科学では、化学専攻が工学系研究科とともに提案した「理工連携による化学イノベーション」(拠点リーダー:中村栄一 理学系研究科教授)が採択された。今回、採択された提案はいずれも理学系研究科と他部局との連携による拠点形成であり、COEプログラムの従来からの目的である最先端・最高水準の研究教育を実現するばかりでなく、研究科の枠に捕われない幅広い視野を有する人材の育成にも貢献できるものと期待される。

理学系研究科で開講されている魅力ある大学院共通プログラム(全学公開)

岡 良隆(生物科学専攻 教授)

理学系研究科は、2005～2006年度に文部科学省支援の「魅力ある大学院教育」イニシアティブに、「理学系大学院教育先導プログラム」(IPEGSS)として採用されたことをきっかけに、二つの理学系共通講義、「教育クラスター講義」と「先端科学技術特論」を新たに開講したが、本年度も夏学期にこれら2つの講義を開講した(<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/ipegss/courses/>)。

「教育クラスター講義」では、全6専攻の教員による「生命」、「環境」を切り口

とした講義を行った。3日間にわたる講義には、連日60～70名の理・工・農・薬系などの大学院生・学部生が出席し、12名の講師陣による基礎から最先端にわたる講義が行われた(2007年7月3日～5日:小柴ホール)。

「先端科学技術特論」では、企業の研究者や産学連携に関連した学内教員などに最先端の科学技術に関する講義をお願いした。理学部2号館講堂にて、7月17日には小野通隆氏(東芝)による新世代超伝導マグネットに関する講義、7月18日には松井和彦氏(味の素)によるアミノ酸発酵とタンパク質発酵に関する講義、7月19日には岡崎正樹氏(富士フイルム)による共役 π 電子系有機機能材料に関する講義、7月20日には太田邦史教授(総合文化研究科)による

遺伝子再編成に関する新しいバイオテクノロジーに関する講義、が行われた。

基礎研究にも広く通用するような重要な視点を具体的に指摘していただき、きわめて興味ある講義内容であったが、必ずしも講師の先生方が期待したような活発な質疑応答が行われない場合もあり、学生の積極的な講義への取り組みも今後、期待したいところである。



教育クラスター講義Ⅱでの上島励教授(生物科学専攻)の講義「いかにして生物の多様性を理解するか?」の様子

リサ・ランドール博士の 来日記念講演「Warped Passages」

向山 信治
(附属ビッグバン宇宙国際研究センター 助教)

2007年7月28日(土)、世界的に著名な宇宙論学者であるリサ・ランドール博士(Lisa Randall, ハーバード大学教授)をお迎えし、小柴ホールにて、標記のタイトルで講演会が開催された。この講演会は、ビッグバン宇宙国際研究センターとNHK情報ネットワークの共催で開かれたもので、本学の学生をはじめ、科学に興味をもつ人々で満席となった。

その様子は8月7日にNHK「おはよう日本」で紹介され、同25日のNHK BS特集「リサ・ランドール異次元への招待」では、講演会翌日の学生たちとの交流を含めた内容が放映された。

全米ベストセラーとなった博士の著書(邦訳:ワープする宇宙)と同タイトルの講演では、博士がサンドラム博士と共に提唱した「ワープした余剰次元」について、わかりやすく説明していただいた。この理論では、目には見えない隠れた5番目の次元がワープ(歪曲)することで、物理学における難問「階層性問題」が解決される。まもなく始まる大型加速器実験で理論が検証される可能性があるため、

この時期に日本で講演していただけたのはたいへん意義深いことであった。また、講演後には脳学者・茂木健一郎氏との公開対談があり、著書や講演だけでは知りえない内容に満場の聴衆が聞き入った。

全国版ニュースで約8分、BS特集では50分にわたって基礎科学が詳しく紹介されたことで、科学の面白さや、物理学に取り組む若者たちの真剣さが、一般の人々にも伝わったことだろう。理学の研究・教育に携わる者として、とても嬉しく思う。最後に、企画段階からご協力いただいた理学部広報室の皆様、この場をお借りして感謝の意を表したい。

2700人が訪れた理学部オープンキャンパス 2007

理学部オープンキャンパス委員会委員長 中村 栄一（化学専攻 教授）

本郷地区における東京大学オープンキャンパスが2007年8月1日（水曜）に開催された。昨年同様、理学系研究科の各専攻と関連する専攻・施設の協力を得てバラエティ豊かな展示、演示実験や講演を行った。昨年は大幅に参加者が増して1900人となったが、今年はさらに増え2700人（高校生が2400人）となり、一昨年に比べると数倍の規模となった。本郷キャンパス全体の参加者も大幅に増加し全国から5800人（うち事前登録者3800人）を数えたが、そのうち約半分の人が理学部を訪れたことになる〔事前登録者（高校生）は1200人〕。事前登録の有無にかかわらず受け入れるという理学部の方針、また昨年までは駒場だけで参加していた数学科の本郷地区への参加もあり、このような増加となったと考えられる。

今年は安田講堂が工事中で参加者の休憩場所がないことが懸念されたが、天気も晴れたり曇ったりで、参加者、開催者にとって比較的過ごしやすい天候だったのが幸いであった。昨年同様、朝7時すぎには人が集まり始め、9時すぎには正門から長蛇の列となった。本部受付開始と同時に理学部1号館での受付も開始された。理学部広報委員会では、登録グッズを2100セット用意したのだが、引きも切らずに見学者が訪れ、見る見るうちになくなっていく。午後2時にはすべてさばけ、あとはパンフレットをプリンターで印刷して対応した。

恒例となった小柴ホールにおける大学院生・博士研究員による講演会は午前午後二回とも立ち見ができる大盛況となった。先般のサイエンスカフェで好評を博した

講演も交えての2人の女性講演者の講演は聴衆の興味を大いに惹くものであった。昨年から各学科に設けたコミュニケーションスペースを今年はさらに拡充し、男女の学部学生を配置した。各専攻での最先端研究の勉強に加えて、「いつから受験勉強を始めたか」「理学部とはどのような所か」などという高校生の切実な疑問に答えてもらったことは、多くの高校生に好評だったようである。

今回3000人に達する参加者を事故もなく迎えることができたのは、ひとえに横山広美准教授（広報室）の献身的な努力によるものといってよいだろう。各学科前の旗指物、床に貼る誘導テープ、「0から1へ」のキャッチフレーズ、学生・職員が着用した空色Tシャツなど数々の新しいアイデアを導入、さらに実務を支える予算案の立案、あらゆる事態を想定したマニュアルの作成、学内外の調整など超人的努力が実ったのが今回のオープンキャンパスであった。広報室のメンバー、公開に協力していただいた研究室、実行委員および広報委員、平賀勇吉事務長以下事務部、そして学生アルバイトの皆さんに、この場を借りてお礼を申し上げたい。



理学部の全体受付がある理学部1号館前の様子



コミュニケーションスペースの様子。左：化学科 右：地球惑星物理学科・地球惑星環境学科



今年度より数学科も本郷でのオープンキャンパスに参加した

オープンキャンパス講演会レポート午前の部 身近な生き物から広がるサイエンス ～形作りの不思議～

広報誌編集委員会

酒井英行副研究科長の挨拶につづき、講演はまず講演者の池内桃子さん（生物科学専攻修士1年）と司会の大塚蔵嵩さん（同上）がなぜ理学部に進学したのかという話から始まった。池内さんが理学部進学を志したのは高校生の頃。たとえば、生物の体内では常温で窒素からアンモニアをつくる化学反応（窒素固定）が起きていることがすごいと思うなど、感動があったためだという。

次に、「春になると田んぼがレンゲ畑になるのはなぜ?」、「動物の模様や形はどうやってできてるの?」、「葉の形はどうやって決まっているの?」など身近なトピックを取り上げ、途中に屋久島実習など大学生活に関する話題も挿入して、

会場の高校生たちにも挙手による参加を求めつつ、池内さんの軽妙で快活な語り口と同級生の大塚さんとの活発な掛け合いで、講演は進められた。

その中で、どうして紅葉しない葉があるのかなど**(1) 腑に落ちないこと**、葉と手の形など**(2) 似たもの比べる**ことからサイエンスは始まり、シロイヌナズナ（ゲノム解読が完了し育てやすく1世代2ヶ月と生育も早い「モデル植物」）のような**(3) 研究しやすい材料、単純な系を使う**ことからサイエンスが広がるという、身近な現象からサイエンスを始める3つのヒントが示された。最後のトピックは池内さん自身の研究テーマで、池内さんはシロイヌナズナの遺伝子を組み換えて葉が短くなった変異体を用いて、葉の長さはどうやって決まるのかを研究している。この変

異体はあるペプチドをコードする遺伝子のはたらきが強まった結果、葉の発生後期に基部での細胞分裂の頻度が低くなり、正常型に対し長さ方向の細胞数のみが減少してできたことをこれまで池内さんは明らかにした。これからどうしてこのペプチドが増えると細胞分裂の頻度が低くなるのかを解明するために、池内さんの自分のサイエンスの旅は続いていくという。

講演後はホワイエで高校生たちが池内さんと大塚さんをかこみ、熱心に質問する姿がみられた。



池内さんと大塚さんの活発な掛け合いで盛り上がった講演の様子

オープンキャンパス講演会レポート午後の部 光の温度計 ～金星の温度を測る赤外線～

広報誌編集委員会

金星上空100kmでの光と温度の地図。それを世界で初めてつくったのが、講演者の大月祥子さん（地球惑星科学専攻博士研究員）である。野中勝広報委員長との挨拶につづき、大月さんと地球惑星物理学科について、司会の吉岡和夫さん（地球惑星科学専攻博士1年）より紹介があり、

大月さんの明るく元気あふれる講演が始まった。

金星は美の女神ヴィーナスの名をもつ地球にもっとも近い惑星で、大きさや密度が地球と同程度であるため「地球の双子星」と呼ばれてきた。1960年代の探査機による観測が始まると、金星が地球環境と大きく異なることがわかってきた。金星大気のひとつが二酸化炭素であり、温室効果のため地表付近は460℃、90気圧という過酷な環境である。上空は濃硫酸の雲に厚く覆われ、自転周期が公転周期とほぼ同じであるため地面はゆっくりとしか回転していないにもかかわらず、雲は新幹線の数倍の速度で回転している（スーパーローテーション）。どうしてこれほど強い風が吹くのかについては金星最大の謎のひとつである。

大月さんは、金星の雲よりずっと高いところで大気中の分子が光る現象、「大気光」を赤外

線で観測している。

そしてその赤外線を波長ごとの成分に分ける「分光」という手法を用いて、そのスペクトル（波長ごとの明るさを示したもの）を分析した結果、金星の上空の温度は、地表が460℃と高温であるのに対し、-90～-40℃と低温であることがわかった。観測に使うのはハワイ・マウナケア山頂にあるNASAの赤外望遠鏡（IRTF）。観測のため現地には何度も赴いている。標高4,205mの山頂は空気が薄く、技術職員の方に望遠鏡を金星に向けてもらうのも、酸欠のため「Please Venus.」という短い言葉を発するのがやっとであったという逸話もあった。2010年頃、日本の金星探査機が打ち上げられる予定で、今後ますます金星大気謎の解明が期待されるということだ。

今年5月に行われた女子高校生対象のサイエンスカフェでも大月さんはこのテーマで講演している（理学部ニュース2007年7月号P.4参照）。



講演後に設けられたホワイエでの質問と歓談の時間

マントル最深部 (D" 層) の詳細構造

— 新しい計算手法による推定 —

河合 研志 (東京工業大学 理学研究流動機構研究員; 地球惑星科学専攻 客員),
ロバート ゲラー (地球惑星科学専攻 教授)

地球内部は、われわれが立っている地殻の下に岩石で構成されるマントル、さらにその下に金属で構成される外核 (液体) と内核 (固体) からできている。外核と接するマントルの最下部の厚さ約 200 km の領域は、D" (ディー・ダブル・プライム) 層と呼ばれている。D" 層は他のマントルの領域に比べて、地震波の平均速度が顕著に速いことが以前から知られていたが、D" 層内の詳細な地震波速度構造を定量的に推定できる手法はこれまで存在しなかった。

本研究は、「波形インバージョン」という独自で開発してきた新しい地震波形解析手法を用いて、マントル最深部 (D" 層) の詳細構造の推定を行ったものである。推定されたモデルは、理論的に提案されていた D" 層における二重相転移説を支持するものとなった。

地震波の速度構造は地球ダイナミクスを理解するための手がかりとなる。先行研究の多くは、(i) 地震波の走時 (読み

取った到達時刻) を用いた逆推定、もしくは (ii) 理論波形と観測波形を非系統的に比べて構造を推定する方法を採ってきた。いっぽう、本研究が用いた「波形インバージョン」は、(i) と (ii) 両者の長所をとりいれた、理論波形と観測波形を客観的に比較する手法である。

これまで「波形インバージョン」を実現するために必要な「ツール」(理論的および計算科学的なもの) が不十分であった。そこでゲラー研究室では、過去数年間、理論波形とその偏微分係数の計算アルゴリズムとソフトウェアを開発してきた。本研究ではそれを用いて、D" 層内 (図 1) の詳細な地震波速度構造を推定することに世界で初めて成功した。

本研究では私たちは、南米の地下を震源とする 15 の地震について北米で記録された計 403 本の波形記録をデータとして、中米下の D" 層の構造を推定した。推定されたモデル (図 2) は、高速度領域が D" 層の上半分 100 km に集中し

ていることを示唆している。この結果は、D" 層の物質組成分布について重要な示唆を与える。D" 層の最上部において、下部マントル主要鉱物であるペロプスカイトがその高圧相であるポストペロプスカイトに相転移し、さらに D" 層の真ん中ほどの高さ (D" 層最上部から 100 km 下) より下で、再び低圧相であるペロプスカイトに相転移すること (理論的に提案されていた二重相転移説) を支持する。本研究は、二重相転移説の直接的な証拠の世界初の発見であり、D" 層内の温度や地球の熱進化など地球内部ダイナミクスおよび地球史を理解するための手がかりになると期待される。

本研究は K. Kawai, N. Takeuchi, R. J. Geller, N. Fuji, *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L09314, doi:10.1029/2007GL029642, 2007 に掲載された。

(2007 年 5 月 15 日プレスリリース)

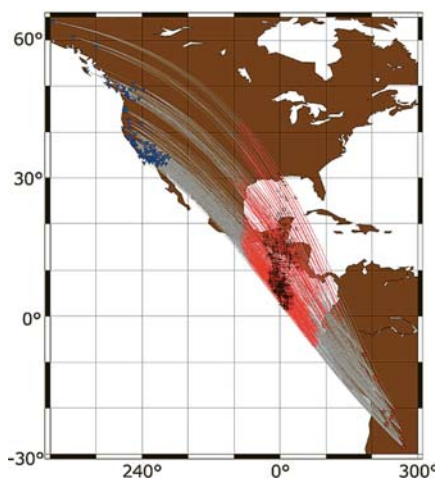


図 1: (左) 震源 (南米) から観測点 (北米) への地震波の伝播の経路。そのうち赤い部分で D" 層内を伝播する。(右) ある地震に対しての断面図。直達 S 波 (青) とコア・マントル境界からの反射する ScS 波 (赤) を記す。観測記録ではその 2 つの波が重なるが波形インバージョンはその重なった波から D" 層内の構造の情報を抽出できる

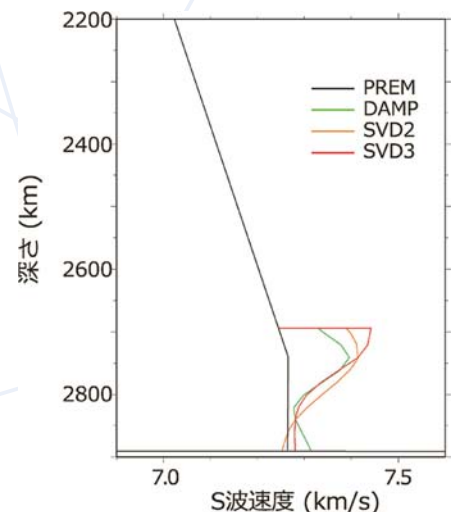


図 2: 標準地球モデル (PREM) と本研究が推定した D" 層の S 波速度構造の 3 つのモデル。D" 層上半分で顕著な正の速度異常を示し、下半分では速度異常が微小であることを示す

細胞外から細胞内へ分子を取り込む細胞膜陥入機構

横山 茂之 (生物化学専攻 教授)

エンドサイトーシスは、真核細胞が外部の物質を細胞内に取り込むための生体の基本的な仕組みであり、受容体の取り込み、体細胞における栄養摂取などの高次生命現象において重要な役割を果たしている。今回、エンドサイトーシスに関与するタンパク質であるFBP17とCIP4のEFCドメインが、エンドサイトーシスの細胞膜陥入ステップにおいて、らせん状のフィラメントを形成して脂質膜に巻き付き、くびるように脂質膜を陥入させるしくみが明らかになった。

主要エンドサイトーシス経路であるクラスリン依存性エンドサイトーシスは、クラスリン凝集、細胞膜陥入、ネック形成、小胞の細胞膜からの分離などのいくつかのステップを経て進行する(図上段)。このうち、クラスリン凝集のステップではクラスリンと呼ばれるタンパク質が、ネック形成と小胞の細胞膜からの分離にはダイナミンと呼ばれるタンパク質がそれぞれ中心的な役割を果たしている。しかしこれらのステップのうち、膜陥入ステップを担うタンパク質は不明であった。

最近、エンドサイトーシスに関与するFBP17やCIP4とよばれるタンパク質の保持するEFCドメインが、細胞内や試験管内で脂質膜を細いチューブ状に変形する機能をもつ新規の脂質膜変形ドメインであることが報告された。X線結晶構造解析によりEFCドメインの立体構造を決定したところ、EFCドメインは緩やかに湾曲した弓形の二量体分子であることが判明した(図下段左)。また生化学的解析から、EFCドメインがカーブの内側で脂質膜に結合し脂質膜をチューブ化することが明らかになった。興味深いこ

とに、EFCドメインは結晶中で二量体の端同士が結合し、フィラメント状の構造を取っていた。フィラメントは、二量体同士の相互作用面の軸に対してフレキシブルに曲がることのできる構造を取っており、EFCドメインのフィラメントが脂質膜にらせん状に巻き付き、くびるように脂質膜を変形するという脂質膜チューブ化モデルが考えられた(図下段右)。実際、EFCドメインによりチューブ化された脂質膜を位相差低温電子顕微鏡により観察したところ、モデルとよく対応する縞模様がチューブ上に観察された。

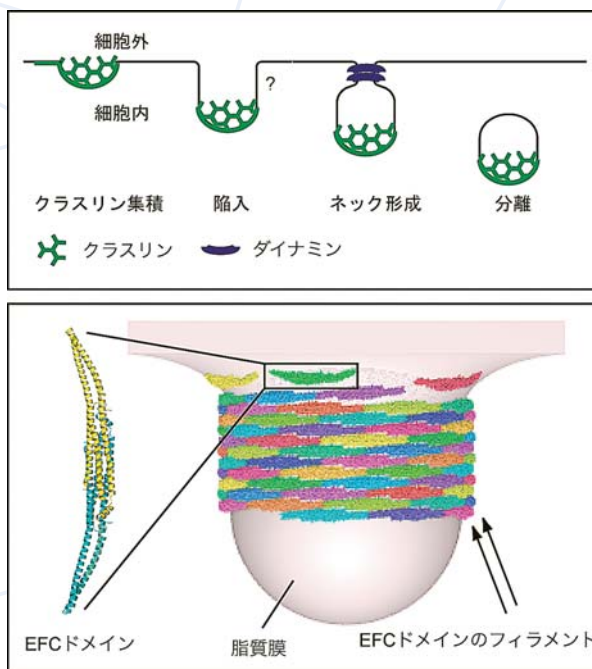
EFCドメインにより誘起される脂質膜チューブは、ダイナミンの誘起するチューブより数倍以上太い。このことから、EFCドメインによるチューブ化は、エンドサイトーシスの膜陥入ステップを担うと考えられた。実際、FBP17は細

胞内でちょうどクラスリン依存性エンドサイトーシスにおける膜陥入ステップに対応する時間に、クラスリン集積部位に出現し、この仕組みがエンドサイトーシスの膜陥入ステップで働いていることが明らかになった。

今回の研究により、エンドサイトーシスにおける細胞膜陥入機構の一端が明らかになった。しかし、エンドサイトーシスの進行には他の多数の脂質膜変形タンパク質や細胞骨格再編成因子が関与しており、その機能発現メカニズムに関しては依然、未知の問題も多い。これらのタンパク質群の構造機能研究により、より詳細なエンドサイトーシス機構の解明が進展すると期待される。

本研究は、A. Shimada *et al.*, *Cell*, **129**, 761-772, 2007 に掲載された。

(2007年5月19日プレスリリース)



図：エンドサイトーシス機構の模式図(上段)とEFCドメイン二量体の立体構造(下段左)とEFCドメインのフィラメントによる脂質膜チューブ化モデル(下段右)

メダカゲノムの解読： 脊椎動物の発生・進化研究を加速する

武田 洋幸（生物科学専攻 教授）

日本で開発された実験動物ニホンメダカ (*Oryzias latipes*, 以下メダカ) は小型魚類としての優れた生物学的特性に加えて、突然変異体コレクションの充実やこれまでの遺伝学的リソースの蓄積により、新しい実験系として注目されている。メダカを用いた研究をさらに加速させることになるのが、今回のゲノム解読である。メダカゲノム解読は情報・システム研究機構国立遺伝学研究所（遺伝研）と東京大学などの共同プロジェクトとして、2002年秋に開始された。本プロジェクトを推進したおまな研究室は、遺伝研・小原研究室（配列決定）、東大・新領域・森下研究室（アセンブルと生物情報）、そして東大・理学系研究科・武田研究室（メダカ生物学・遺伝学）である。

メダカゲノムはヒトゲノムの4分の1の大きさの約8億塩基と推定されるが、本研究ではその内の約7億の塩基配列を決定し、その中に20,141個の遺伝子を見いだした。比較してみると、ヒト遺伝子組成とひじょうによく似ており、

ヒトの遺伝病に関連するメダカの遺伝子も数多く見つかった。現在メダカでは発生・成長に異常を示す突然変異体が多数、単離されており、この中にはヒトの疾患モデルとなるものが多く含まれている。今回のゲノム解読により、メダカを用いた基礎生命科学が飛躍的に発展するものと期待される。私の研究室では、メダカゲノム情報を駆使して、すでに複数のメダカ突然変異体の原因遺伝子のクローニングに成功している。

いっぽう、魚類はヒトを含む脊椎動物の最下などに位置するので進化の観点からも重要である。今回のメダカゲノム解読は完成度がきわめて高く、脊椎動物のゲノム進化について詳細な比較解析により、過去約4億年にわたる魚類ゲノムの大規模な再編成の様子が明らかになった。とくに、魚類祖先で起こった、ゲノムDNA全体が倍加される現象のあと、比較的短い期間に大規模な再編成が頻繁に起こり、その後メダカでは再編成が抑制されたということがわかった。この発見は今後のゲノム進化の研究におけるメダカ

の重要性を示唆している。

メダカは日本をはじめとする東アジアに生息するが、性質が異なるさまざまな地域集団が存在している。今回は主として南日本由来系統の近交系のゲノム解読を行った。さらに、北日本由来系統のゲノムも薄く解読して、DNA塩基配列を比較した。その結果、両者の系統間に約1600万個の違いが見つかった。これはDNA塩基全体の実に3.4%を占め、今まで知られている脊椎動物の種内変異としてはもっとも高い（ヒトは最大でも0.3%程度）。それにもかかわらず、北と南日本由来のメダカは交配可能で、健康な子孫を残すことができる。遺伝子ごとにアミノ酸の変化率を詳しく調べてみると、生殖や性決定に関連する遺伝子群の進化速度は緩やかなことが明らかになった。このことが高い変異率にもかかわらず、両集団間の交配を可能にしていると考えられる。このように、メダカは個別の生物種として分かれる前段階の遺伝的変化を研究するための貴重な材料としても今後期待される。

以上のように、メダカゲノム解読はメダカ生物学を大きく飛躍させ、生命科学のさまざまな分野に影響を与えつつある。最後に個人的なことになるが、私のようないわゆるウェットな生物学者がゲノムプロジェクトに参加することで、一次情報産生の難しさと意義を肌で感ずることができた。この経験は、今後の研究に大いにプラスになると思っている。本研究は、M. Kasahara. *et al.*, *Nature*, **447**, 714–719, 2007に掲載された。

(2007年6月7日プレスリリース)



図：ヒメダカ成魚のペア（雌雄）。このメダカは、今回ゲノム解読が行われた南日本由来の近交系、Hdr-R

植物の出生 20 億年の秘密を解き明かす

— “超” 植物界 (“Super” Plant Kingdom) の復権 —

野崎 久義 (生物科学専攻 准教授)

太陽の光を取り込んで、地球上のほとんどすべての生物のエネルギーを供給する「植物」の起源は、約 20 億年前、たった一個のシアノバクテリア (藍藻) が真核生物に取り込まれて色素体 (葉緑体) になったこと (色素体一次共生) と考えられている。しかし、その後の進化に関してさまざまな議論が交わされている。今回、解析する生物を厳選し、太古の進化の推測に適切と考えられる遺伝子だけを用いて大規模なスーパーコンピュータ解析を実施した結果、鞭毛虫などの多くの原生生物 (バイコンタ) が植物から進化したということを示した。

近年もっとも有力だった説は、一次共生で取り込んだ色素体をもつ「一次共生植物」3 群だけが共通の祖先をもつと考え、「植物界」として分類しようとするものであった (図

1A)。ところが、2001 年から開始した原始紅藻シソンのゲノムプロジェクトで得られた 4 個の保存的な核遺伝子を用いて系統解析を実施したところ、緑色植物と紅色植物の系統は分離し、その間から一次共生色素体を消失した 2 鞭毛性の生物が進化したことが推測された (図 1B)。したがって、2003 年にわれわれは、「植物」の概念を、色素体を現在もたない原生生物群まで拡大する「超」植物界 (“Super” Plant Kingdom) を提唱した (図 1B)。

しかし、2005 年にカナダのグループが 143 個の核遺伝子を用いた系統解析を実施して、高い信頼度で一次共生植物 3 群だけが共通の祖先をもつことを示し、われわれの「超」植物界を否定した。ところが、この研究の 143 個の遺伝子には進化速度が高いものが多く含まれており、解析されたバイコンタの生物群は限られていた。

太古の進化過程 (大進化の根元の系統) を正しく解き明かすには、なるべく多くの生物群を用いること、遺伝子置換が飽和していない進化速度の

遅い遺伝子を用いることが重要であるとされている。

今回、進化速度の遅い 19 個の核遺伝子を選択した。また最近、続々と公開されはじめたゲノムデータなどを用いて、解析する生物群を増やし、合計 33 分類群を系統解析した。大規模なデータ解析だったので、東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センターのスーパーコンピュータシステムを利用した。

解析結果は、紅色植物または紅色植物とエクスカバータ (形態的に原始的とされる単細胞の鞭毛虫) が根元の系統に位置することを示した (図 2)。また、統計的な検定で、紅色植物と緑色植物が単一起源であることは棄却された。したがって、一次共生植物が単一起源となったカナダのグループの結果は、進化速度の速い遺伝子と、遺伝子進化が特異な寄生虫などの生物とによる不自然な原因で導かれたと考えられた。

本研究は 2005 年秋から着手し、共同研究者の方々のさまざまな協力を得て出版まで辿り着くことができた。ここに厚く感謝したい (Nozaki *et al. Mol. Biol. Evol.*, 2007, オンライン 5 月 7 日出版)。

(2007 年 6 月 12 日プレスリリース)

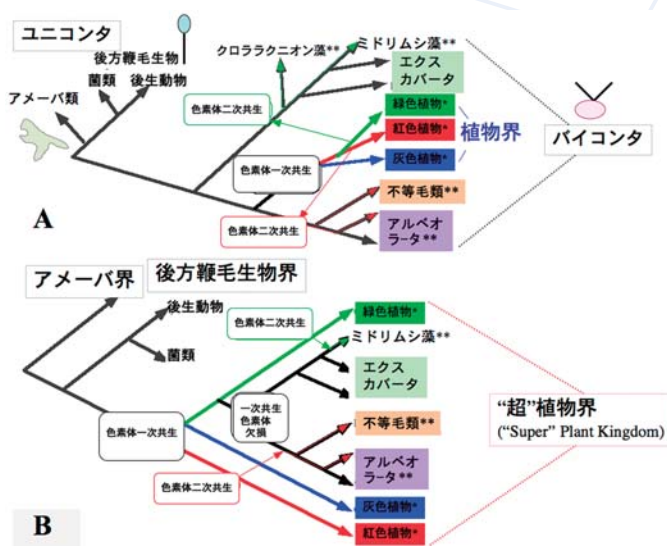


図 1: 真核生物の系統と色素体の進化に関する対立仮説

*: 一次共生植物, **: 二次共生植物

- A. 一次共生植物が単一起源で、色素体一次共生したものがそのまま「植物」に進化している一般的な仮説
- B. 一次共生植物の紅色植物が基部の系統に位置し、一次共生の後、多くの生物群で色素体の欠損が起きたと推測される。この系統関係に基づいて「植物」の概念は一次共生色素体を現在もたない生物群 (エクスカバータ、アルベオラータ、不等毛類) まで拡張された (超) 植物界 (Nozaki *et al.* 2003, JME)

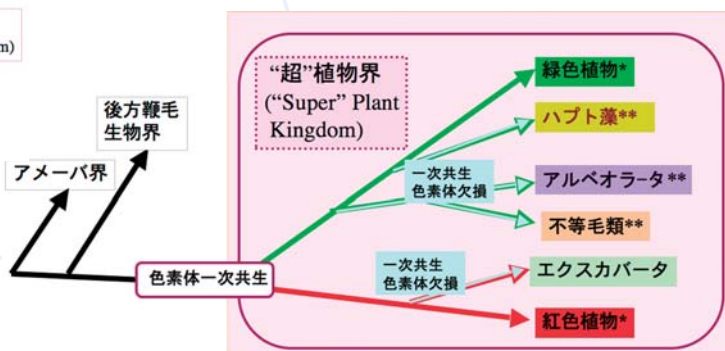


図 2: 本研究 (Nozaki *et al.* 2007) で解明された真核生物の系統関係に基づく色素体の進化と「超」植物界 (“Super” Plant Kingdom)。*(1): 一次共生植物, *(2): 二次共生植物

銅超微粒子を用いた 積層セラミックスコンデンサ用電極の開発

米澤 徹 (化学専攻 准教授)

現在のさまざまな電化製品や携帯電話などの通信機器に利用されている積層セラミックスコンデンサという重要部品がある。そのコンデンサの中には、誘電体と金属のきわめて薄い層が何層にも積層されている。この内部電極の材料には現在ニッケル粉が用いられている。この内部電極の電極を銅とすることができれば、より低温での焼結可能性が広がり、省エネルギーにつながる可能性がある。そこで、銅超微粒子のペーストを作製し、積層セラミックスコンデンサの内部電極として利用することを試みた。

ナノテクノロジーがつぎの時代を作ると考えられはじめてから久しい。さまざまな物質をひじょうに小さくしていくと、単位重さあたりの表面積が莫大に増えてきて、物質の通常の性質と異なる性質が現われてくることがある。そうしたナノテクノロジーから生み出される基本的な材料のひとつが、超微粒子・ナノ粒子といわれる「粒」である。私たちは、金属イオンを還元することによって金属の超微粒子を調製してきた。このような化学還元法はこれまで貴金属ナノ粒子や超微

粒子の製造によく用いられてきたが、空気中で比較的安定な貴金属とは異なり、銅超微粒子は、その比表面積の増大もあって、ひじょうに酸化されやすいという欠点があり、これまで応用例は少ない。今回、化学還元法によって作製した銅超微粒子を 50 w% 含むペースト（粘性のある流動性の液体であって、塗布し焼結することによって銅薄膜を作成することが可能：石原産業株式会社製サンプル）を電極材料にした。この銅超微粒子ペーストを用い、チタン酸バリウム粒子との積層（太陽誘電株式会社の協力による）し、焼結を行うことで、積層セラミックスコンデンサとして機能するか検証した。化学還元法による超微粒子作製では、得られる粒子径がよく揃う。これは、焼結によって作製する電極をより薄層化するために鍵となる重要な要素である。また、焼結挙動の詳細は透過型電子顕微鏡で観察した。

図 1 に示すように、湿式法で調製した銅超微粒子は、予想通り粒度がよく揃い、ひじょうに緻密に積層セラミックスコンデンサに集積された。これを焼結する際にも、この緻密性は保たれた。焼結後の

積層セラミックスコンデンサを収束イオンビーム（FIB）装置（地球惑星科学専攻・小暮敏博先生のご厚意による）を用いて断面を薄く切り出し、透過型電子顕微鏡写真を見ると（図 2）、ひじょうに連続性が高く、緻密な電極層が形成されていることがわかる。銅（約 1083℃）はニッケル（約 1450℃）に比べ融点が低いという利点を有しているため、これまでの積層セラミックスコンデンサの作成時における焼成温度を大きく下げることが可能であり、省エネルギーに貢献できる。積層セラミックスコンデンサは日本が世界で大きなシェアを有する電子部品であり、こうした省エネルギー性を高めることはわが国の排出 CO₂ 削減や国際的競争力の増大に貢献できる。

また、金属ニッケルは国際がん研究機関（IARC）によってグループ 2B（おそらくひとに発がん性をもつ）に分類されている。（ただしニッケル化合物とは異なり発がん性が増加しないという意見もある^{注）}）本研究成果により、より省エネルギーで低毒性な銅超微粒子への積層セラミックスコンデンサの内部電極の代替が期待される。

本研究は、NEDO 技術開発機構の調査研究として東京大学が受託し、2006 年 12 月 13 日から、2007 年 3 月 20 日まで行ったものである。

(2007年6月8日プレスリリース)

注)環境省ホームページ(http://www.env.go.jp/council/toshin/t07-h1503/mat_02-4.pdf) 参照 (2007/08/10 現在)。

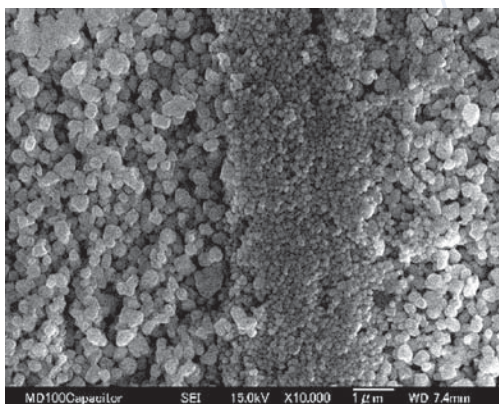


図 1：銅超微粒子を電極層に積層したセラミックスコンデンサの焼結前の断面 SEM（走査型電子顕微鏡）写真

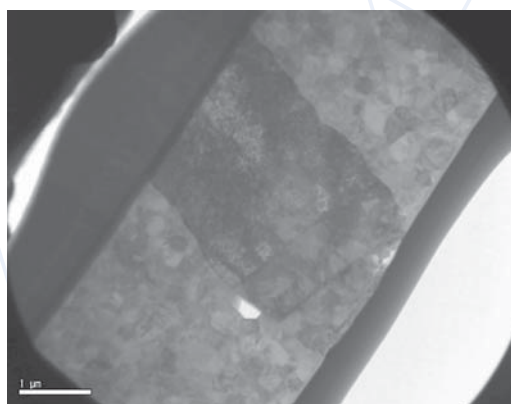


図 2：銅超微粒子を電極層に積層し、焼結させて作製したセラミックスコンデンサから切り出した断面薄片の TEM（透過型電子顕微鏡）写真

原子核の中にある“強い力”の起源

初田 哲男 (物理学専攻 教授)

今から約 70 年前、湯川秀樹博士は、核子（陽子と中性子の総称）の間に働く原子核を結合させる“強い力”（核力）を説明するために、湯川中間子を導入した。さらに、今から約 35 年前に、陽子・中性子・湯川中間子などは、クォークと呼ばれる素粒子からできていることが実験的に確立した。しかしながら、クォークの基礎理論である量子色力学（Quantum Chromodynamics 略して QCD）は、その高い非線形性と強い量子性のためきわめて解析が困難であり、なかでも QCD から核力を導出することは長年の未解決の問題であった（図 1）。

われわれは、この問題に格子ゲージ理論とよばれる手法を適用し、高エネルギー加速器研究機構の超並列計算機ブルージーンを約 4000 時間稼働させて、核子間に働くポテンシャルを求めることに初めて成功した。これは、核子の構成要素であるクォークが、グルーオンと呼ばれる力の媒介粒子を交換するという第一原理的な理論から出発して、古典的な物理学でおなじみのポテン

シャルエネルギーという描像で、核子間に働く力を記述できたことを意味する。

図 2 の数値シミュレーション結果からわかるように、核子が遠く離れている時は、湯川中間子交換という描像は正しく、核力の湯川中間子論が QCD から初めて検証された。さらに、 10^{-13} cm の距離以下では、核子が互いに重なり始め、核子間に強い斥力が働くことが理論的にわかった。これは、湯川理論からは予想できない QCD の新しい側面である。この短距離斥力の存在は、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している。

本研究の手法を、ハイペロン（ストレンジネスという量子数をもつ核子の仲間）に適用すると、ハイペロンと核

子の間に働く強い力を研究することも可能である。これは、現在、茨城県東海村で建設中の高強度陽子加速器施設 J-PARC におけるハイパー核（ハイペロンを含む新しい原子核）の精密実験や、中性子星内部でのハイペロン混合の割合などに重要な知見を与えることになる。近い将来、“われわれを構成している原子核が安定に存在するのはなぜか？ 超高密度で物質はどんな存在形態をとるのか？”などの問いに答えることができるかもしれない。

本研究は、筑波大学の石井理修研究員・青木慎也教授との共同研究で、*Physical Review Letters*, **99**, 022001, 2007 に掲載されている。

(2007 年 6 月 20 日プレスリリース)

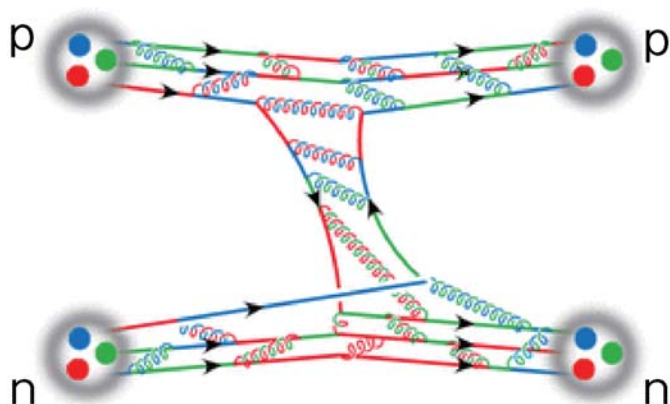


図 1：陽子 (p) - 中性子 (n) 散乱をクォークから見た時の概念図。核力は、複雑なクォークとグルーオン（クォークの間に交換されるゲージ粒子）の交換の結果もたらされる

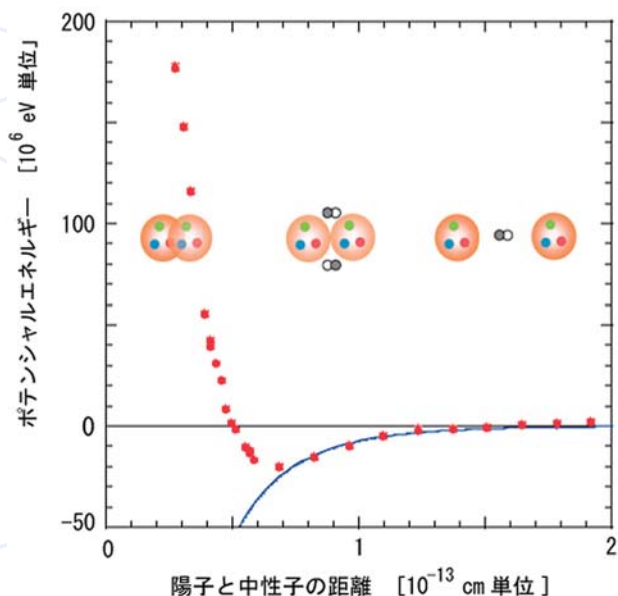


図 2：赤丸は、陽子と中性子がスピン重項をなす場合の、QCD から求めた核力ポテンシャルをあらわす。横軸は、陽子と中性子の相対距離。湯川中間子論の予言（青の実線）は、遠距離では QCD の結果と一致する。いっぽう、QCD は近距離で核子間に強い斥力をもたらす

連載 理学のキーワード 第9回



「海洋大循環」

日比谷 紀之 (地球惑星科学専攻 教授)

世界海洋を巡る海洋大循環は、その駆動力によって「風成大循環」と「熱塩大循環」とにわけられる。風成大循環は風と海面との摩擦により引き起こされ、陸地や海底地形によって区切られた大洋内で、閉じた水平循環として存在する。黒潮やメキシコ湾流などはこの風成大循環の一部分である。この風成大循環の影響がおよぶのは深度数百メートルより浅い部分に限られ、それ以下の深層領域には別の種類の海洋大循環が存在する。これが熱塩大循環とよばれるもので、海域による海水密度の違いが原因で生じる。

高緯度域の表層水は気候から強い冷却を受けるために密度が増加して沈降する。実際に、冷却された表層水が深層にまで沈降するような場所は、北大西洋のグリーンランド沖と南極のウェッデル海に限られていることがわかっている。この深層水は約 1500 年もの歳月をかけて

世界海洋の底層や深層をゆっくりと満たしながら表層へと上昇（湧昇）し、表層を通過して元の深層水形成域まで戻ること、あたかもコンベアベルトのような鉛直循環を形成すると推察されている。この循環は、極域から低緯度域に向けて冷水を、低緯度域から極域に向けて暖水を運ぶため、温和な地球気候の実現とその維持に大きな役割を果たしていると考えられている。ところが、この沈み込んだ深層水が、どこで、どのようにして表層に戻っているのかは、いまだにあまりよくわかっていない。

それでも、この深層水の湧昇を引き起こす物理過程として現在もっとも有力と考えられているのが、意外にも、海洋中のマイクロな（1 cm スケール）渦の作用「鉛直乱流拡散」である。すなわち、日射で暖められた表層の水が鉛直乱流拡散によって少しずつ下方に混合し、その結果

暖められて軽くなった深層水が表層まで上昇してくるというシナリオである。この鉛直乱流拡散は、おもに、潮汐流が海嶺や海山列にぶつかることで励起されているので、このシナリオどおりだとすると、熱塩大循環は、潮汐、すなわち、「月」によって駆動されているといえるのかも知れない。地球が月という衛星をもっていなかったら、人類の生存を可能としたこの温和な気候は、果たして実現していたのだろうか？海洋における鉛直乱流拡散というミクロスケールの現象の解明が、熱塩大循環というグローバルスケールの現象の把握に本質的に重要である理由はここにある。理学系研究科・日比谷研究室では、長期気候変動の解明に不可欠な熱塩大循環モデルの高精度化に向け、現実の海洋における鉛直乱流拡散の実態を海洋観測と数値モデリングの両面から解明するべく研究を進めている。



「有機半導体」

島田 敏宏 (化学専攻 准教授)

有機電界発光素子はいまや携帯電話の表示パネルに使われるようになり、有機半導体を用いたデバイスが新聞の経済面に登場することも多くなった。歴史的には、有機半導体の研究の草創期に化学教室の赤松研究室が大きな役割を果たしたことはよく知られている。現在、理学系研究科では ERATO 中村プロジェクトや固体化学研究室などで研究が行われている。

ペンタセンをはじめとする有機半導体の特長はプロセスの容易さと構造のやわらかさにある。プロセスに関しては、Si のような無機半導体は、デバイス作成時に原子間の共有結合を作らなければならないために超高真空装置など大型の設備が必要であるが、有機半導体は有機合成済みの安定な分子を用い

るため、デバイス作成時には原子間の共有結合を作る必要がない。そのため、インクジェットプリントなど高速・簡便な方法によって素子を作ることができる。この点は、大面積の回路への応用（例：表示装置や集積センサーなど人間とのインターフェース）に適していると考えられる。構造のやわらかさは、曲げられる表示素子など、これまでにない応用に直結する重要な性質である。有機半導体は分子間の結合が弱いファンデルワールス力によるので構造に自由度が大きい。

有機半導体の欠点としては、動作速度が遅いことと酸素や水分に弱いことがあげられる。これらの欠点はいずれも構造のやわらかさと密接に関連した本質的なものであると考えられている。

動作速度が遅いのは分子の空間的な位置が熱的に揺らいでいるため電荷が分子間を確率的に飛び移ることにより移動せざるを得ないためであり、Si などにおいて電荷が結晶の周期性を反映して広がった波としてふるまうことと対比すると桁違いに遅くなることはやむを得ないと考えられる。また、酸素や水に弱いのは、熱揺らぎにより固体中に小さな分子が透過できる隙間が生じるために酸素分子や水分子が浸入し、電荷をもって持っている分子（ラジカルイオン）と化学反応するためである。現状ではこれらの問題は不可避のように見えるが、有機半導体の分野はすでに何度か大きなブレークスルーを経験しており、新しい原理に基づく高速で安定な有機半導体が登場する日は近いかもしれない。



「相転移」

宮下 精二 (物理学専攻 教授)

物理学の研究は自然現象の根本要素がどうなっているかを解明することであり、原子、原子核、素粒子の仕組みと研究が進んでいる。しかし、自然現象を理解するためにはもうひとつ重要な側面がある。それは、協力現象とよばれ、簡単な要素でも、それぞれ同士が相互作用することによって巨視的に特徴ある状態を生み出す現象である。この現象は、単に複雑というだけではすまされない。たとえば、水の分子の分子自身は変化しないが、温度によって氷、水、水蒸気とマクロな形態を温度とともに不連続に変化する。このように、ミクロにみるとシステム自身には何ら特異性はないのに、マクロに特異性が現れる現象を「相転移」という。水の変化だけでなく、鉄が磁石になる現象や、電気抵抗が無くなる超伝導相転移、ヘリウムが低温で見せる超流動相への変

化も相転移である。そのほか、液晶やゾルゲル転移など相転移の枚挙にいとまがない。逆にいえば、森羅万象は、相転移の集まりからできていると言ってよいかもしれない。実際、宇宙の始まりのモデルであるビッグバンやそれに伴うインフレーションなども相転移のアナロジーで論じられる。

相転移に関して重要な概念として、「対称性の破れ」というものがある。例として、+1 (白) か -1 (黒) をとる要素からなる格子を考え、隣り合った2つがそろった方がエネルギー的に得とする。この系は土に関してエネルギー的に対称であり、大きな熱的擾乱を受けている場合 (高温) には、対称性が破れず系は灰色 (ミクロに2つの状態が混ざった状態) になる。しかし、ある温度以下では、すべての要素が全体

的にそろった状態になる。つまり、白か黒のどちらかになる。これが相転移である。ここで、白黒どちらでもよいが、どちらかを選ばなくてはならないのである。そして、選んだ後は対称性が破れている。物質の創成も高温の対称性の高い状態からの対称性の破れで説明されている。このように、マクロな現象であった相転移は、ミクロな現象の理解にも大きな役割を果たしている。

相転移の機構は統計力学の中心課題のひとつであり、種々の新しいタイプの相転移やその動的過程、さらには動的過程が示す非平衡相転移などの研究が詳しく進められている。たとえば、スピングロスオーバーとよばれる磁性・非磁性間の相転移や光照射の効果が、物理 (宮下研究室) と化学 (大越研究室) の共同で進められている。



「統計的機械翻訳」

宮尾 祐介 (情報科学科 助教)

近年、多くのポータルサイトで翻訳機能が提供されており、実際に利用したことがある人も多いだろう。英日や仏日翻訳では突拍子もない訳が出る事が多いが、欧米の言語間ではほぼ実用レベルに達しており、幅広く利用されている。これら現代の機械翻訳システムにおいて中心的な技術が、統計的機械翻訳である。

人間はどのように翻訳を行っているだろうか。たとえば英日翻訳なら、1) 英文を読んで意味を理解し、2) その意味を表す日本語文を作成する、というステップが考えられる。機械翻訳においても、1) 英文を解析して意味構造を計算し、2) その意味構造から日本語文を生成する、という技術が中心的に研究されてきた。

これに対し、統計的機械翻訳はまったく異なる考え方で翻訳を行う手法である。

アイデアはとても単純で、英文 e を日本語文 j に翻訳する確率 $p(j|e)$ を考え、この確率が最大になる j を出力する。この確率を変形すると、

$$p(j|e) = \frac{p(e|j)p(j)}{p(e)} \propto p(e|j)p(j)$$

となり、 $p(e|j)$ を翻訳確率、 $p(j)$ を統計的言語モデルと呼ぶ。直感的には、 $p(e|j)$ は j が e に翻訳される確率、 $p(j)$ は j が文として出現する確率、すなわち「文らしさ」を表す。 $p(e|j)$ 、 $p(j)$ は実際の翻訳例やテキストから推定することができる。

この手法では意味構造や翻訳規則をまったく用いない。しかし、実際にはこの手法の方が従来手法より良い訳を出すことがわかってきた。その理由のひとつは、 $p(j)$ により「日本語として自然な文」が出力されることである。大量のテキス

トを用いることで $p(j)$ をより精密に推定できるため、たとえば Google はインターネットのテキスト約 2 兆語を用いて $p(j)$ を推定し、2006 年の機械翻訳コンペティションで優勝している。これは、機械翻訳では意味構造を扱うより自然な文を出力する方が重要であったということを示唆している。

ただし、この手法が成功しているのは欧米の言語など単語や文の構造が比較的似ている言語間の翻訳である。英日翻訳などはまだ実用には遠く、また、近年アジアの言語がさかんに研究されるにつれ、統計的機械翻訳の限界が見えて来ている。理学部情報科学科辻井研究室では、統計的機械翻訳をベースとして、そこにさまざまな構文・意味情報を追加することで、英日など「遠い」言語間の翻訳の性能を上げる研究を行っている。



「モータータンパク質」

神谷 律 (生物科学専攻 教授)

モータータンパク質とは、ATP加水分解のエネルギーを使って細胞の運動を発生させるタンパク質を指す(広く分子レベルの運動を行うタンパク質全般を指すこともある)。古くから筋収縮、鞭毛運動、アメーバ運動、原形質流動などの細胞運動現象が知られていたが、長い間それらは特殊な細胞が行う特殊な現象であると考えられていた。しかし、1970年代以降、すべての真核生物の細胞内には運動を発生する共通の機構があり、それが特殊な運動だけでなく、物質の輸送や染色体の分配といった一般的機能を担っていることがわかってきた。その機構には、細胞骨格と呼ばれる2種のタンパク質繊維(アクチン繊維と微小管)と、その上を滑走するタンパク質群が関わっている。80年代後半に純化したタンパク質を使って顕

微鏡下で運動を発生させる技術が開発されると、それら滑走タンパク質はモータータンパク質とよばれるようになった。現在モータータンパク質として、アクチン繊維上を滑るミオシン、微小管上を滑るキネシンとダイニンの、計3種が知られている。いずれもATP分解酵素である。

細胞内にはその3種それぞれに複数の類似タンパク質があり、それぞれ固有の働きを担っている。それら個々のタンパク質の機能と調節のしくみの解明は、細胞生物学の大きな課題である。いっぽう、生物物理学分野での中心的課題は、化学的エネルギーがどのようにして力学的エネルギーに変換されるのかという基本的問題である。最近では、単一タンパク質の運動を、ATPの分解をモニターしながらナノメートルの精度で計測する実験が

可能になり、今までの考えを覆す発見が行われている。たとえば、これまでミオシンはATP1分子の分解ごとに1回の分子変形を起こして1ステップ動くと考えられていた。しかし最近では、運動には熱ゆらぎの寄与が大きく、運動のステップ数はATPの加水分解数と必ずしも一致しないという考えが優勢になりつつある。しかし、どのようにして方向性のある滑り運動が生まれるのかは、まだ謎である。

理学系研究科では、生物科学専攻の真行寺研究室と筆者の研究室でダイニンの運動性に関する研究が行われている。モータータンパク質は真核細胞の多くの現象の基礎として重要であるから、生物科学専攻、生物化学専攻で行われている多くの研究が、少なくとも間接的に関係しているといえる。



「銀河中心」

半田 利弘 (附属天文学教育研究センター 助教)

いて座の方向にある、銀河の中心部、とくに天の川銀河の中心部のことを銀河中心とよぶ。天の川銀河の半径20~25kpc(kpcは距離の単位で1kpc=3260光年)に対して、太陽系は中心から7~8kpcに位置するが、銀河の中心部は太陽系が位置する円盤部とは異なる特徴を示す。したがって、中心といっても広がりをもち、その大きさも着目する特徴によって異なる。

銀河中心では、ほかでは見られない特異な天体がいくつもあり、それが魅力の1つである。銀河中心では、重力以外に磁場や衝撃波や強い輻射など他の効果の影響も大きいためだろうが、そのしくみについてはまだまだ不明確なところが多い。

可視光ではまったく観測できないことも銀河中心の特徴といえる。太陽系から見ると途中にある大量の塵が可視光を遮ってしまうためである。代わって電波・赤外線・X線での観測が中心となる。

銀河中心を電波でみると、独特な形態をしている。図で右の丸い部分はいて座A、左の縦棒の部分は電波アークとよばれる。

銀河中心の核はいて座Aに位置するが、電波アークも銀河中心付近にあると考えられている。

電波アークは銀河面に垂直な磁場構造であることは私を含む研究グループが20年ほど前に明らかにした。これだけ大規模で強い磁場構造は天の川銀河のほかの部分では見つからない。多くの研究者の研究にもかかわらず、その成因やエネルギー源については依然不明である。

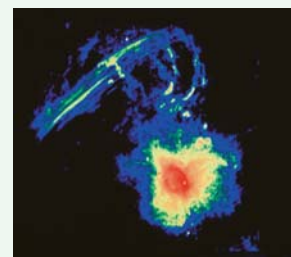
いて座Aは東西2つに分けられる。環状構造を示すいて座A東は超新星残骸、渦巻状構造を示すいて座A西はブラックホールを巡るガス流と解釈されているが、その成因や両者の関係については議論が分かれている。

わからないことだらけの銀河中心であるが、1つだけ明確にわかっていることがある。いて座A西には、強く輝く点状電波天体があり、いて座A*(エースター)とよばれる。X線や赤外線でも観測され、数十分程度で大きく変光する。周辺の恒星の運動を調べた結果、いて座A*は太

陽の300万倍程度の質量をもつブラックホールであると判明したのである。

銀河中心には $10^3\text{-}10^4\text{ cm}^{-3}$ という星間ガスとしては高密度な分子雲が0.35kpcほどの範囲に広がっている。天の川銀河内では最大規模の分子雲複合体である。この分子ガスの温度はその加熱源と考えられる塵より低温であることがわかっており、これも謎である。複雑な速度構造も散見され、磁場や衝撃波の効果と考えられるが、その機構は完全には明らかになっていない。

この魅力あふれる天体を観測し、謎に挑戦しているのは、東京大学理学系研究科では、筆者のほか、物理学専攻の岡朋治助教などがいる。



電波でみた銀河中心
(NRAO/AUI/NSF提供)

附属施設探訪 本郷編

第3回

東京大学大学院理学系研究科附属

スペクトル化学研究センター

センター長 岩澤 康裕 (化学専攻 教授)

スペクトル化学研究センターのおいたち

当センターの前身である理学部附属分光化学センターは1976年(昭和51年)、化学教室における共通汎用機器の維持・集中管理・効率的運用を計る目的で発足した。分光化学センターが化学教室に設置されたのは、化学教室がわが国の分光化学の研究教育の中心的センターとして大きな役割を果たしてきた永い歴史と実績による。発足以来、共通汎用機器類の効率的維持管理運用のみならず、新しい分光法の研究・開発に多くの実績をあげ、いっばうで化学教室の各研究室スペースの狭隘化の緩和にも貢献した。

1983年(昭和58年)には、つくば市の高エネルギー物理学研究所(現、高エネルギー加速器研究機構)放射光実験施設に固体表面分光解析装置を設置して放射光を用いた固体表面研究が始まった。今日の東京大学の放射光連携研究機構のまさに原点的プロジェクト研究拠点であり、分光化学センター分室と称された。

1991年(平成3年)には分光化学センターの改組が行われ、超微量希土類元素研究室を併合して、理学系研究科附属スペクトル化学研究センターが発足した(時限10年)。これまでの機器分析センターとしての役割に加えて、すでにスタートしていた放射光固体表面研究の推進、超微量希土類元素化学の発展、レーザー分光研究の新展開などを目的とした。改組に伴い教授ポストが純増となり、教授1、助教授1、助手1の体制が整った。すなわち、分光化学センター設置後15年を経てやっとスペクトル化学の研究教

育を推進するためのユニットが整ったのである。

2001年(平成13年)3月の時限の機にふたたび改組が行われ、4月からはさまざまな波長の電磁波を用いた物理化学研究手法の開発とその研究、およびスペクトル化学に関する教育を行うことを目的とするようになった。その後、2004年(平成16年)の大学法人化を経て現在にいたっている。

研究の中心テーマ

新しいレーザー分光法の開発と化学反応の機構解明

無色透明な液体に試薬の粉を加えた瞬間、美しい結晶が沈殿する。打ち上げられた花火の鮮やかな色が、視野いっぱいに広がる。目の前で起こる化学反応の不思議さに心を奪われた経験をもつ読者

も多いであろう。化学反応は、化学を専門とする研究者にとっても実に魅力的な現象である。と同時に、化学反応は多くの要因がきわめて複雑に関与する手ごわい研究対象でもある。

スペクトル化学研究センターでは、最新のレーザー技術を駆使した独自の分光法を開発し、これらの分光法を用いて化学反応などの重要かつ興味深い現象を観測し、その機構を解明している。最近の話題のひとつは、フェムト秒時間分解近赤外分光計(図1)の開発である。この分光計を利用すると、波長900から1500ナノメートルの近赤外領域での超高速時間分解測定を行うことができる。2系統の分光検出系を配置して高精度の測定を効率よく行える装置は、世界でここにしかない。スペクトル化学研究センターでは、この独自の分光計を用いて「束縛の緩い電子」を観測している。



島内 武彦 (1976~1977)



藤原 顕男 (1977~1979)



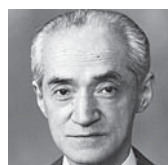
田丸 謙二 (1979~1981)



黒田 晴雄 (1981~1986)



朽津 耕三 (1986~1988)



増田 彰正 (1988~1991)



田岡 三生 (1991~1995)



太田 俊明 (1995~2001)



奈良坂 紘一 (2001~2003)



梅澤 喜夫 (2003~2005)



瀬口 宏夫 (2005~2007)



岩澤 康裕 (2007~)

■ 歴代センター長 () 内は在任期間



図1：スペクトル化学研究センターで独自に開発したフェムト秒時間分解近赤外分光計。測定精度を上げるために、2台の分光器（写真の上端と右下）を使っている

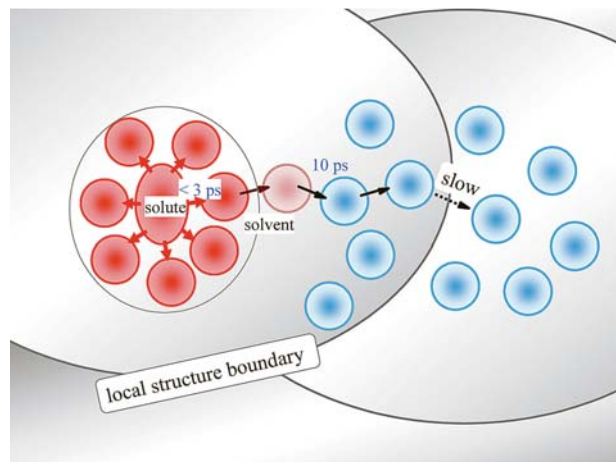


図2：ピコ秒時間分解ラマン分光計を「ピコ秒ラマン温度計」として利用することで観測したイオン液体中でのエネルギー移動過程。巨視的な熱伝導過程との比較から、イオン液体中での「局所構造」の存在が示唆された

「束縛の緩い電子」とは、化学反応が進行する過程で原子核から部分的に自由になった電子のことである。このような電子を高速時間分解測定することで、溶液中での頻繁に起こる分子同士の衝突（1ピコ秒に10回程度）によって運動の記憶が失われてしまう前に化学反応の様子を調べることができる。すでに、もっとも基本的な化学反応の1つである電子移動反応や、われわれの生活にとってきわめて重要な光触媒反応の初期過程（キャリアの生成と反応）の解明にあたってこの分光法が大きな成果を挙げている。

ピコ秒時間分解ラマン分光法の開発と応用も、重要な研究テーマである。最近、環境への負荷が小さい溶媒として燃料電池への応用なども進んでいる「イオン液体」の構造と物性を解明するための基本データとなる、イオン液体中でのエネルギー移動過程（図2）を観測することに成功した。

新しい放射光X線分光手法の開発と表面物理化学への応用

スペクトル化学研究センターは、国内の代表的な放射光施設のひとつである高エネルギー加速器研究機構のPhoton Factory (PF) に真空紫外・軟X線領域のビームラインを建設し、新しい方法論の

開発に取り組んできた。2001年には軟X線ビームライン BL-7A の再構築を行い（図3）、偏向電磁石の軟X線ビームラインとしては世界トップクラスの光強度を得られるようになった。現在、東京大学理学系研究科をはじめ全国の大学の共同利用実験に供されており、表面科学や磁気科学の分野の多くの研究者が、日夜、実験に動しんでいる。

スペクトル化学研究センターでは、このビームラインに特殊な設計を施し、空間分解型電子エネルギー分析器を組み合わせることで、従来に比べてはるかに高速に表面X線吸収分光スペクトルを測定できる“エネルギー分散型表面XAFS法”の開発を行った。この手法を用いると、固体表面で進行する化学反応をリアルタイムで追跡することができるようになり（図4）、自動車排気ガスを浄化するPt・Rh金属上でのCO酸化反応・NO還元反応や燃料電池の鍵となるPt触媒上での水生成反応など、環境・エネルギーに関連する重要な触媒反応の基本的メカニズムの解明に大きく貢献している。このほかにも、有機薄膜の新しい構造解析手法として、大きな有機分子の中の特定の原子の基板表面からの距離がわかる“光電子収量軟X線定在波法”を開発している。このように、スペクトル

ル化学研究センターでは、放射光軟X線を駆使した新しい表面解析手法の開発と応用において独自の成果を発信している。

最近の研究動向

レーザー分光化学

近年のレーザー分光法の発展は、新たな非線型分光法の開発などをもたらす「光学過程への興味」と、分光法の開発によって初めて観測が可能になる「自然現象への興味」の双方に牽引されている。前者に関しては、現段階で、少なくとも紫外から可視領域においてはレーザー技術や光検出器の技術がかなり成熟してきた。今後はむしろ「自然現象への興味」の比重が大きくなると思われる。既存のさまざまな分光法を用いた顕微分光法が盛んに研究されているのも、この傾向の表れであろう。

近年、世界の各地で、高度なレーザー分光法を研究手段として利用する人々が増え続けている。しかし、新たな分光法を開発するためには、分光学の原理を理解し、新たな分光法を発想し、システムとしての分光計を設計・製作し、信頼性のある測定を行い、的確な解析を行わなければならない。これらのすべてを行うことは、容易ではない。スペクトル化

学研究センターは、自然現象を解き明かすための新たなレーザー分光法を開発することができる世界でも貴重な研究拠点である。

放射光科学

世界最高の高輝度放射光を用いて、物質科学・生命科学における最先端サイエンスを展開し、卓越した研究成果で世界をリードすることを目標として昨年、設立された「東京大学放射光連携研究機構」にわれわれは理学系研究科を代表して参画している。この機構が推進している「東大放射光アウトステーション計画」では、兵庫県にある大型放射光施設 Spring-8 に世界最高輝度の「東大ビームライン BL07LSU」を建設中であり、2010 年からの稼働を予定している。われわれは BL07LSU 末端のひとつのエンドステーションとなる「時間分解分光ステーション」の立ち上げに加わっており、フェムト秒オーダーの表面 X 線手法の実現と、超高速表面ダイナミクスへの応用を目指している。元素選択性や化学種選択性に優れた X 線領域の分光法の特

徴を生かして、超高速現象における局所構造や局所電子状態の時間変化を調べる新たな切り口によって、どのような世界が見えてくるか、今からとても楽しみである。

化学専攻との関係

分光化学センターの設置目的と、放射光表面化学、レーザー分光化学などの研究推進のため教授ポストが配分されたことから、本センターでの研究教育は化学専攻、とくに物理化学講座 4 研究室と密接な関係をもって運営されてきた。しかし、スペクトル化学研究センターでは、これら先端研究機器開発と先進研究対象などの研究推進に加えて、分光化学センター当時から汎用分析機器類の維持管理運用のミッションとの関係で、物理化学講座のみならず有機化学講座および無機・分析化学講座の各研究室とも密接な関係をもって運営されている。本センターでの研究教育は、発足当時から化学専攻の研究教育と深く関わり、同時に相補的な役割を担ってきた。そのため、歴代のセンター長は化学専攻教授が兼任している。

将来像

スペクトル化学研究センターでは、共同研究も含めて、現在、超高速分光、放射光分光に加えて、生体光計測、分子機能分光に関する研究を推進している。これらの研究は化学のみならず、物理学（宇宙物理学、物性物理学、核物理学など）、天文学、生物学（構造生物学、細胞生物学など）、分子生物化学、臨床医学などと関係し、それらの学問および学際領域、融合領域の発展の基盤となっている。本センターの研究教育は、理学系研究科のみならず、工学系研究科、薬学系研究科、医学系研究科、農学系研究科、総合文化研究科、新領域創成科学研究科、物性研究所、生産技術研究所、先端科学技術研究センターなど他部局とも密接な関係をもっており、東京大学の研究教育に広く貢献できる立場にある。本センターでは、これら 4 研究課題を中心に据え、わが国の超高速分光化学、放射光表面分光、生体光計測の研究教育拠点になると共に、学内では、副専攻制を導入することにより、放射光連携研究機構とも連携し、放射光科学の大学院教育を担う拠点としての役割を果たす。そのためにセンターの組織整備を図り、もって国際的なスペクトル科学の研究教育拠点となることを目指す。

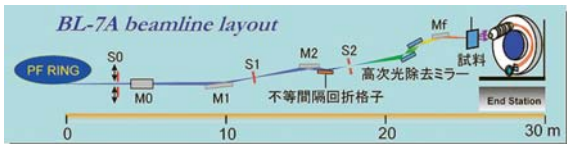
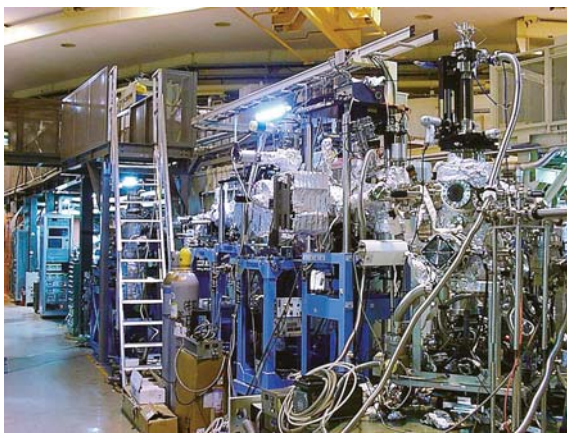


図 3：高エネルギー加速器研究機構・放射光研究施設（Photon Factory）にあるスペクトル化学研究センターのビームライン BL-7A の写真（上）と長さ 30 m になるビームラインのレイアウト（下）

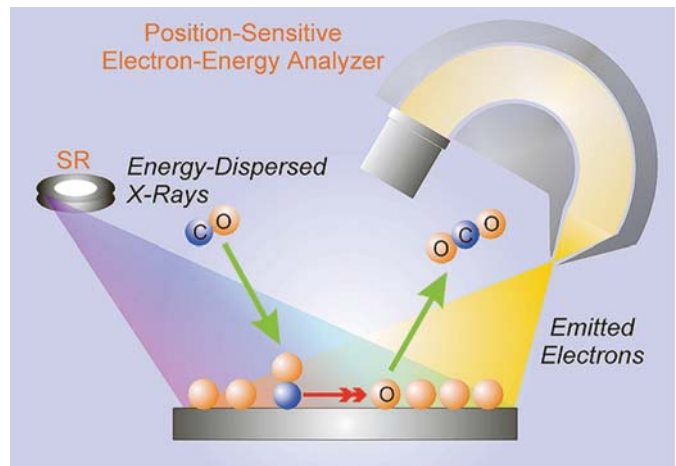


図 4：独自に開発した“エネルギー分散型表面 XAFS 法”によって固体表面で進行する化学反応を追跡する様子 の模式図

人事異動報告

所属	職名	氏名	異動年月日	異動事項	備考
化学	准教授	加納 英明	2007.6.16	昇任	助教から
化学	准教授	平岡 秀一	2007.6.16	昇任	助教から
生化	特任助教(特定プロジェクト)	芹澤 尚	2007.6.30	任期満了	
生化	特任助教(特定プロジェクト)	小早川 高	2007.6.30	任期満了	学術研究支援員へ
生化	特任助教(特定プロジェクト)	今井 猛	2007.6.30	任期満了	学術研究支援員へ
生科	助教	八木 俊樹	2007.6.30	辞職	京都大学大学院理学研究科産学官連携准教授へ
物理	事務室主任	河島 淑美	2007.7.1	配置換	医学部附属病院管理課経理チーム主任へ
物理	事務室主任	管波 明子	2007.7.1	配置換	工学系・情報理工学系経理課経理チーム主任から
化学	助教	原野 幸治	2007.7.1	採用	
化学	一般職員	柿沼 弘子	2007.7.1	配置換	情報学環・学際情報学府図書係から
化学	一般職員	渡来 恵美	2007.7.1	配置換	附属図書館総務課柏図書館資料サービス係へ
生化	事務室係長	三浦利恵子	2007.7.1	復帰 (出向から)	日本学生支援機構学生生活部学生支援事業課教職員支援第二係長から
生化	一般職員	前田 朗	2007.7.1	配置換	社会科学研究所図書係へ
生化	一般職員	松井 優子	2007.7.1	配置換	教育学部・教育学研究科図書チームから
生科	一般職員	菅原 英子	2007.7.1	配置換	医科学研究所総務課図書係から
生科	一般職員	木下 直	2007.7.1	昇任	法学政治学研究科等図書受入係長へ
臨海	一般職員	木幡 隆三	2007.7.1	配置換	農学系総務課から
事務	主査(共同利用担当)(兼)共同利用係長	新井 信男	2007.7.1	配置換	史料編纂所主査(総務担当)へ
事務	給与係長	千葉 栄夫	2007.7.1	昇任	教養学部等総務課主査へ
事務	経理チーム係長	荻野 久憲	2007.7.1	出向	国立科学博物館財務課係長(用度担当)へ
事務	人事係主任	伊藤由利子	2007.7.1	出向(昇任)	国立教育政策研究所庶務課人事係長へ
事務	庶務係	赤井 夏子	2007.7.1	配置換	法学政治学研究科等教務係へ
事務	大学院係	井上謙二郎	2007.7.1	配置換	薬学部・薬学系研究科教務チームへ
事務	専門員(兼)教務係長	宇都宮栄次	2007.7.1	昇任	教養学部等教務課専門職員(教務担当)(兼)前期課程第二係長から
事務	主査(共同利用担当)(兼)共同利用係長	齊藤 輝年	2007.7.1	配置換	医学部附属病院管理課施設整備チーム主査(管財担当)から
事務	専門職員(給与担当)	坂井 誠吾	2007.7.1	昇任	生産技術研究所経理課執行チーム係長から
事務	経理チーム専門職員	野村 透	2007.7.1	昇任	医学部・医学系研究科用度係長から
事務	庶務係	竹村三和子	2007.7.1	配置換	工学系・情報理工学系等学務支援グループ専攻チームから
事務	人事係	山口 武志	2007.7.1	採用	大学入試センター事業部事業第二課企画管理係から
事務	大学院係	花卉禮 健	2007.7.1	配置換	学生部入試課入試チームから
事務	専門職員	金子 勉	2007.7.1	配置換	学生係長から
事務	学生係長	小林 誠	2007.7.1	配置換	教務係長から
事務	経理チーム主任	横山 弘光	2007.7.1	配置換	臨海から
事務	庶務係	仙田 實	2007.7.1	配置換	生化から
天文研	教授	土居 守	2007.7.16	昇任	准教授から
生科	准教授	越田 澄人	2007.8.1	採用	自然科学研究機構基礎生物学研究所助教から
生科	助教	國枝 武和	2007.8.1	採用	産学連携研究員(特任助教)から

東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(2007年6月, 7月)

(※)は原著が英文(和訳した題名を掲載)

種別	専攻	申請者名	論文題目
2007年6月25日付学位授与者(2名)			
課程博士	化学	佐々木真聡	単純化ポリエーテルの設計と合成およびそのタンパク質、ペプチドとの相互作用の評価
課程博士	生化	小田 健明	DNA損傷によって誘導される新規RNA結合タンパク質D8の同定と機能解析
2007年7月23日付学位授与者(2名)			
課程博士	物理	亀谷聡一郎	核子対あたり200 GeVでの重陽子・金衝突におけるJ/ψ中間子生成量の測定(※)
論文博士	物理	宇田川将文	異方的超伝導体の秩序変数の構造に関する現象論的解析について(※)
2007年7月31日付学位授与者(2名)			
課程博士	物理	磯部 忠昭	相対論的金+金衝突における直接子と中性パイ中間子の生成(※)
課程博士	生科	吉村安寿弥	再活性化したウニ精子鞭毛の運動制御におけるATPとADPの役割(※)

第12回東京大学理学部公開講演会のお知らせ

広報誌編集委員会

理学系研究科・理学部では、来たる11月17日(土)に公開講演会を開催します。タイトルは「理学でのコミュニケーション」。コミュニケーションの語源、ラテン語のcommunicatioは「分かち合う」という意味があります。情報を分かち合い機能を進化させるコミュニケーションは、自然科学のさまざまな面に潜んでいます。自然の神秘をコミュニケーションというこれまでにない新たな視点からお話いたします。

「動物のコミュニケーション-脳とホルモンのしくみ-」

岡 良隆 (理学系研究科 生物学専攻 教授)

「宇宙文明とのコミュニケーション-銀河図書館-」

祖父江義明 (理学系研究科 名誉教授)

「デジタル社会を支える数学」

桂 利行 (数理学研究科 教授)

※ 講演会終了後、演者と参加者の懇談の場を設ける予定です

日時 2007年11月17日(土) 14:00～16:30

会場 東京大学本郷キャンパス法文2号館2階第31番教室

参加費 無料。参加申し込み不要。当日先着順。

どなたでもご参加いただけます。

主催・問い合わせ先

東京大学大学院理学系研究科・理学部 広報室

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

URL: <http://www.s.u-tokyo.ac.jp/PL12/>

あしがき

本年度3号目の理学部ニュースです。「トピックス」欄でも紹介されていますが、オープンキャンパスの参加者が年々増えています。わたし自身は海外出張と重なってしまい今年には参加することができなかつたのですが、紹介記事からは盛況なようすが伝わってきます。

理学部が掲げている「事前登録の有無にかかわらず参加者を受け入れる」という方針は、理学部らしい懐の深い(なんでもありで予測不能をもともしない)やりかたで大賛成です。基礎科学・理学は、「おもしろい」という思い、「知りたい」という思いを突き詰めたところに持ち味があるとわたしは

考えます。そんな思い詰めたマニアックな集団である研究者に会いに、参加者の方々はわざわざやってきてくださるので、こんなありがたいことはありません。もっとたくさんの方々に、わたしたちの「思い」を聞いていただきましょう。

ただあんまり暴走してマニア丸出しにすると、相手が引いてしまうので、そこんところは自制が必要かもしれません。この理学部ニュースも、執筆者のあふれる思いを受け止めながらも暴走を抑えるという、バランスを心がけながら紙面をつくりたく思います(少々押され気味ですが)。うまくコミュニケーションの場としてお役にたてばうれしかぎりです。

横山 央明 (地球惑星科学専攻 准教授)

第39巻3号

発行日: 2007年9月20日

発行: 東京大学大学院理学系研究科・理学部

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

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

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

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

上田 貴志 (生物科学専攻) tueda@biol.s.u-tokyo.ac.jp

米澤 徹 (化学専攻) tetsu@chem.s.u-tokyo.ac.jp

渡辺 正昭 (庶務係) mwatanabe@adm.s.u-tokyo.ac.jp

加藤 千恵 (庶務係) c-kato@adm.s.u-tokyo.ac.jp

広報室:

横山 広美 yokoyama@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP担当:

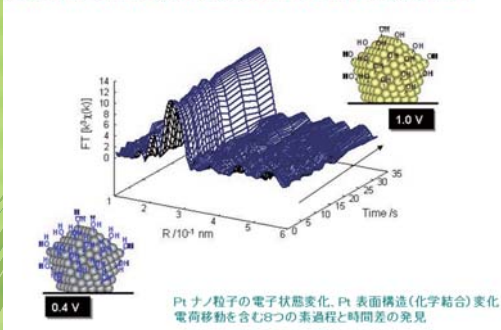
柴田 有 (ネットワーク) yuu@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン:

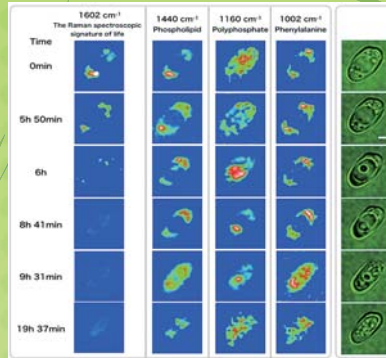
大島 智 (ネットワーク) satoshi@adm.s.u-tokyo.ac.jp

印刷: 三鈴印刷株式会社

放射光XAFS法により燃料電池触媒のリアルタイム状態解析に成功

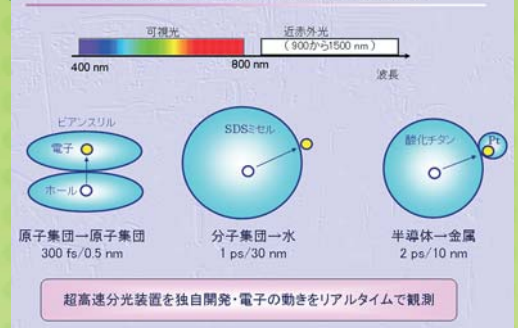


放射光XAFS法により燃料電池触媒のリアルタイム状態解析に成功

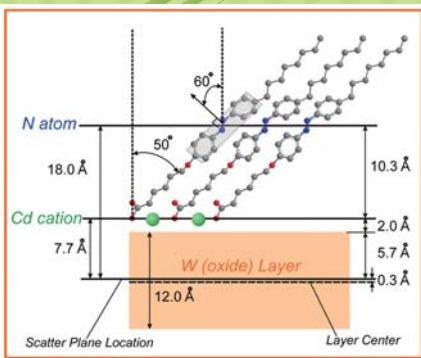


「生命のラマン分光指標」で見た細胞の生と死

超高速近赤外分光による電子の追跡



いろいろな場所で電子の速さを測った結果



軟X線定在波法によって分かる基板からの分子の高さ



「生命とスペクトル」シンポジウム風景



500 MHz 超伝導核磁気共鳴測定装置



BL-7Aエンドステーション



戦前から戦後にかけて化学教室において使用されたプリズム式写真分光器

～附属施設探訪 本郷編 スペクトル化学研究センターより～