

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）が起こっ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くるの?」、「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 100 km 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 4,205 m 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の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)

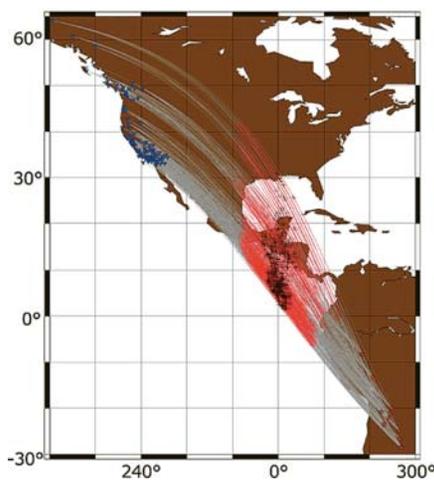


図 1: (左) 震源 (南米) から観測点 (北米) への地震波の伝播の経路。そのうち赤い部分で D" 層内を伝播する。(右) ある地震に対しての断面図。直達 S 波 (青) とコア・マントル境界からの反射する ScS 波 (赤) を記す。観測記録ではその 2 つの波が重なるが波形インバージョンはその重なった波から D" 層内の構造の情報を抽出できる

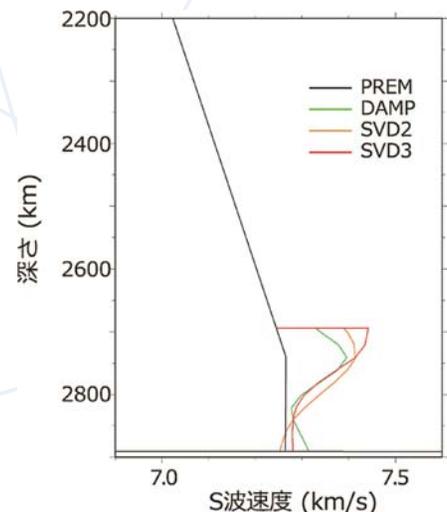


図 2: 標準地球モデル (PREM) と本研究が推定した D" 層の S 波速度構造の 3 つのモデル。D" 層上半分で顕著な正の速度異常を示し、下半分では速度異常が微小であることを示す

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ることが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。

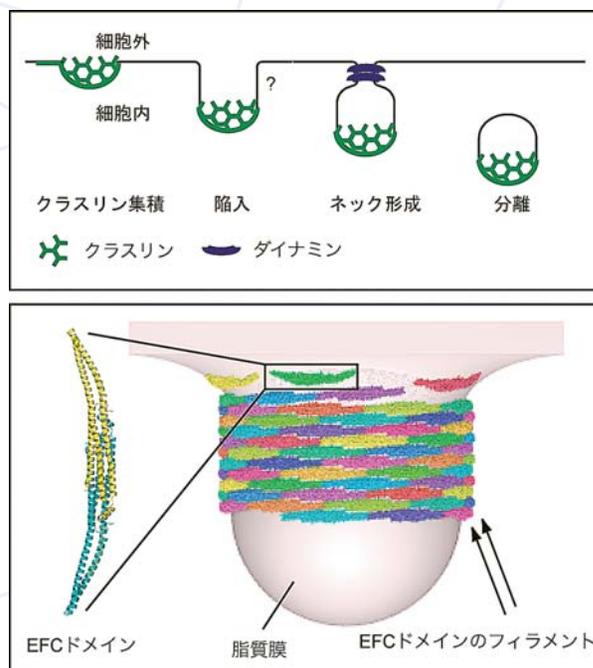
EFCドメインにより誘起される脂質膜チューブは、ダイナミンの誘起するチューブより数倍以上太い。このことから、EFCドメインによるチューブ化は、エンドサイトーシスの膜陥入ステップを担うと考えられた。実際、FBP17は細

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（アッ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)

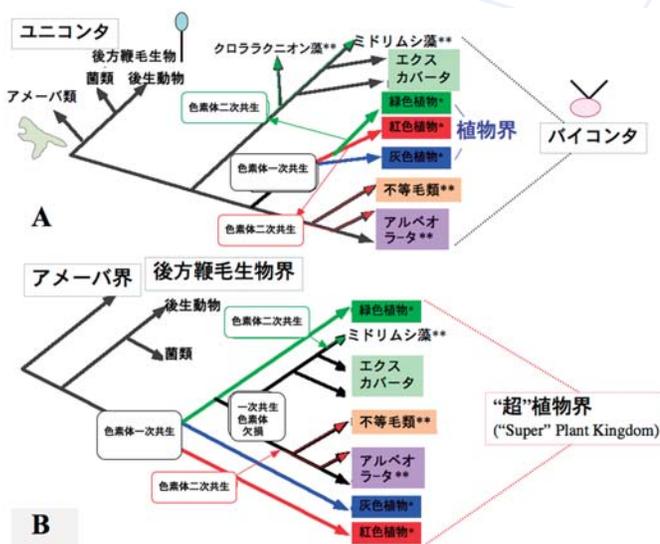


図 1: 真核生物の系統と色素体の進化に関する対立仮説

*: 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)

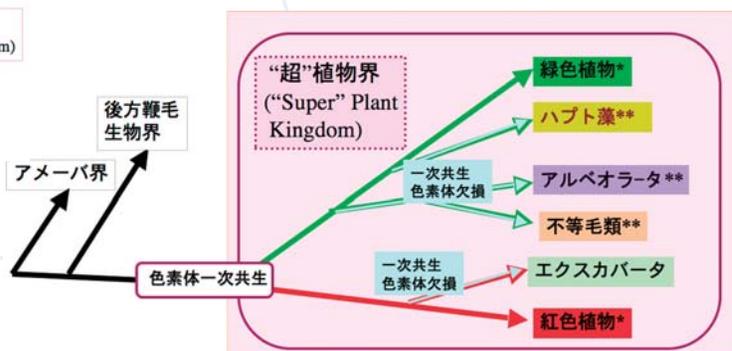


図 2: 本研究 (Nozaki *et al.* 2007) で解明された真核生物の系統関係に基づく色素体の進化と「超」植物界 (“Super” Plant Kingdom)。*(1): 一次共生植物, *(2): 二次共生植物

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)。

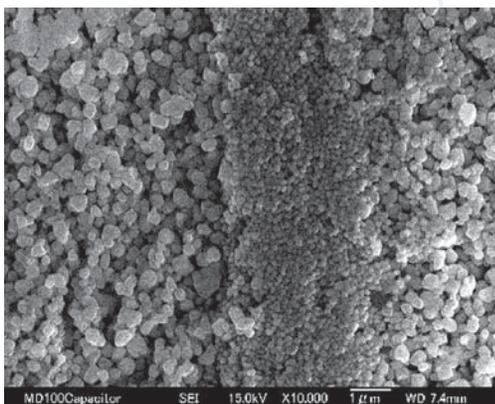


図 1：銅超微粒子を電極層に積層したセラミックスコンデンサの焼結前の断面 SEM（走査型電子顕微鏡）写真

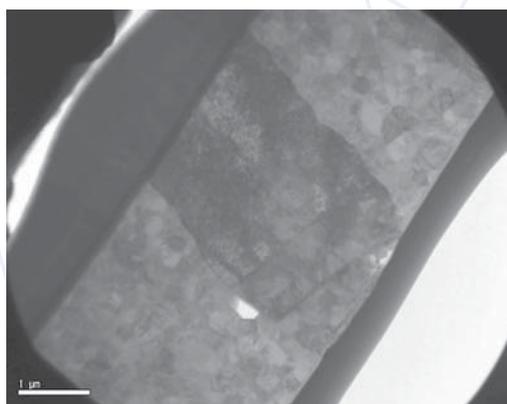


図 2：銅超微粒子を電極層に積層し、焼結させて作製したセラミックスコンデンサから切り出した断面薄片の TEM（透過型電子顕微鏡）写真

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)

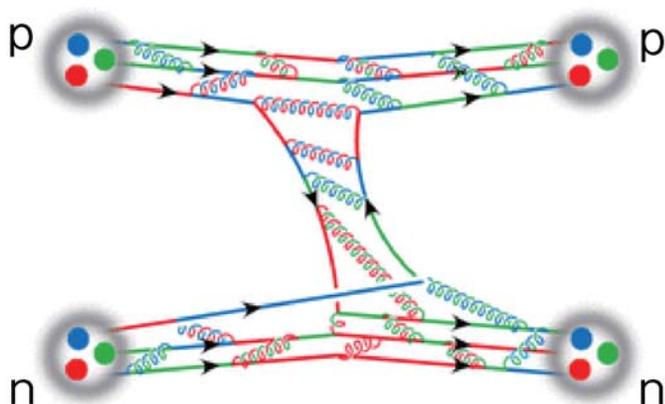


図 1：陽子 (p) - 中性子 (n) 散乱をクォークから見た時の概念図。核力は、複雑なクォークとグルーオン（クォークの間に交換されるゲージ粒子）の交換の結果もたらされる

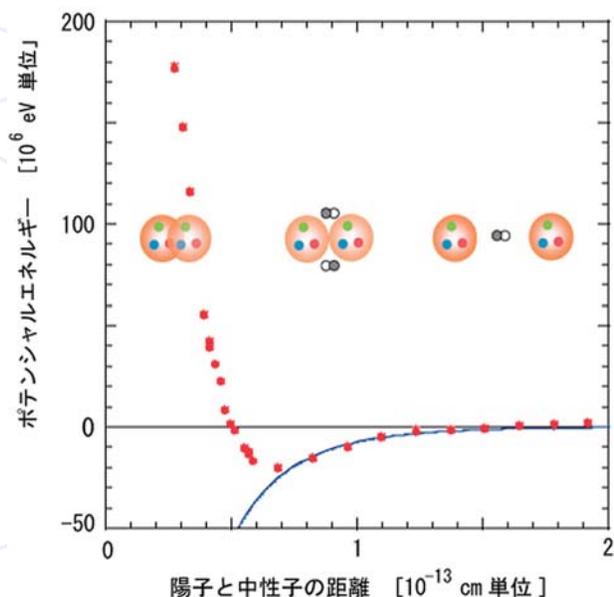


図 2：赤丸は、陽子と中性子がスピン重項をなす場合の、QCD から求めた核力ポテンシャルをあらわす。横軸は、陽子と中性子の相対距離。湯川中間子論の予言（青の実線）は、遠距離では QCD の結果と一致する。いっぽう、QCD は近距離で核子間に強い斥力をもたらす