



東京大学理学系研究科・理学部ニュース

2008年11月号 40巻4号

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



上から、「杉魚 又加持幾 又奈々子魚」(すぎうを, シマイサキ), 「飛魚 漢名文鯨魚」(とびうを, トビウオ), 「笛吹」(ふゑふき, ハマフエフキ幼魚)。

※ ()内は「衆鱗図」記載名, 現和名。

～発掘 理学の宝物「衆鱗手鑑」より～

特別記事:南部陽一郎先生のノーベル賞受賞

特別記事 南部陽一郎先生のノーベル賞受賞

南部陽一郎先生のノーベル賞受賞をお祝いして	理学系研究科長・教授 山本 正幸……………	3
南部陽一郎先生のノーベル賞受賞によせて	物理学専攻長・教授 大塚 孝治……………	3
自発的対称性の破れと素粒子物理学	柳田 勉(物理学専攻 教授)……………	4
超伝導のBCS理論と南部理論のつながり	青木 秀夫(物理学専攻 教授)……………	5
目で見る対称性の破れ	上田 正仁(物理学専攻 教授)……………	5
CP対称性の破れの起源の解明	相原 博昭(物理学専攻 教授)……………	6
南部陽一郎博士の業績の宇宙論へのインパクト	横山 順一(ビッグバン宇宙国際研究センター 教授)……………	7
南部博士のノーベル賞受賞を記念した臨時談話会	広報誌編集委員会……………	7

トピックス

田嶋文生教授が日本遺伝学会木原賞を受賞	野崎 久義(生物科学専攻 准教授)……………	8
「東大理学部で考える女子高校生の未来」を12月に開催	広報誌編集委員会……………	8

第4回 発掘 理学の宝物

失われた幕府献上魚図の発見	赤坂 甲治(臨海実験所 教授)……………	9
---------------	----------------------	---

第4回 理学から羽ばたけ

酒造り～匠の技と科学の融合～	北山 賀隆(大阪国税局)……………	10
波を使って海を拓く技術官僚となること	吉田 剛(海上保安庁)……………	11

研究ニュース

植物の幹細胞を負に制御するペプチド性シグナル分子の機能と分業	平野 博之(生物科学専攻 教授)……………	12
タンパク質のアルファベットを拡張する	大木 健二(生物化学専攻修了), 横山 茂之(生物化学専攻 教授)……………	13
ネアンデルタール人の脳サイズから探るヒト生活史の進化	近藤 修(生物科学専攻 准教授)……………	14

連載：理学のキーワード 第16回

「クリックケミストリー」	狩野 直和(化学専攻 准教授)……………	15
「低分子ペプチド」	澤 進一郎(生物科学専攻 准教授)……………	15
「小惑星」	宮本 英昭(総合研究博物館 准教授, 地球惑星科学専攻 准教授 兼任)……………	16
「半導体微細化の物理的限界」	入江 英嗣(情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 助教)……………	16
「ソリトン」	時弘 哲治(数理科学研究科 教授)……………	17
「三体力」	酒井 英行(物理学専攻 教授)……………	17

お知らせ

追悼 吉川虎雄先生	茅根 創(地球惑星科学専攻 教授)……………	18
東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧	……………	18
人事異動報告	……………	19



南部陽一郎先生。理学系研究科には毎年のようにお見えいただき、集中講義や数多くの講演を通じて私たちに大きな感銘を与え続けてくださっています。写真は、2005年11月22日、第1回21世紀COE QUESTS RA 若手交流シンポジウム(於小柴ホール)で来日された時のもの。

南部陽一郎先生の略歴

1921年	東京府東京市生まれ	現在、シカゴ大学名誉教授、大阪市立大学名誉教授、大阪大学名誉教授・招聘教授、フェルミ国立加速器研究所名誉教授、日本学士院客員会員(米国籍)、米国科学アカデミー会員。
1942年	東京帝国大学理学部物理学学科卒業	
1942年から1949年まで	東京大学理学部物理学にて研究員など	
1949年	東京大学理学部物理学助手	ダニー・ハイネマン賞(1970年)、ロバート・オープンハイマー賞(1977年)、文化勲章(1978年)、アメリカ国家科学賞(1983年)、マックス・プランク・メダル(ドイツ、1985年)、ディラック賞(1986年)、ウルフ賞物理学賞(イスラエル、1994年)など、数多くの賞を受賞している。
1949年	大阪市立大学助教授	
1950年	大阪市立大学教授	
1952年	理学博士(東京大学)	
1952年	プリンストン高等研究所	
1956年	シカゴ大学助教授	
1958年	シカゴ大学教授	
1991年	シカゴ大学名誉教授	

南部陽一郎先生のノーベル賞受賞をお祝いして

理学系研究科・理学部長 山本 正幸
(生物化学専攻 教授)

南部陽一郎先生(米シカゴ大名誉教授・大阪市立大名誉教授)が、小林誠氏、益川敏英氏とともに2008年度のノーベル物理学賞を受賞されたことは、私たち理学の基礎研究に携わるもの一同にとってまことに勇気づけられる快挙であり、心からお祝い申し上げます。とりわけ南部先生は本学理学部の卒業生であり、小柴特別栄誉教授のノーベル賞受賞から6年を経て、理学系研究科・理学部に新たな慶事をもたらされました。

南部先生は1942年に理学部物理学学科を卒業された後、理学部の研究嘱託、研究員を経て、1949年には物理学科の助手を短期間お務めになりました。その後大阪市立大学の助教授・教授を経て、1952年に渡米され、米国を拠点に研究を続けておられます。これまで理学部・理学系研究科にはたびたびお見えいただき、最近も集中講義や数多くの講演を通じて、私たちに大きな感銘を与えてくださいました。先生は1952年に本学で博士の

学位を取得されており、理学部を研究生活の原点とお考えくださっているとすればこれに勝る喜びはありません。

南部先生は素粒子の質量の起源、超伝導現象など、さまざまな物理現象に共通する「自発的対称性の破れの発見」を中心として、東洋的な深い思索性に満ちた研究成果を重ねられ、広い領域に影響を与え続けてこられました。南部先生のご研究に触発された多くの分野で、すでに多数のノーベル賞が誕生したと聞きおよびます。今回直接の受賞対象となったお仕事から40余年を経て、先生のご業績は現代の物理学研究にますますその深い指導性を発揮しているとのことであり、まさにノーベル賞の中のノーベル賞であると申し上げてよいでしょう。ご受賞を衷心よりお慶び申し上げます。ご健勝でますますご活躍下さることを祈念いたします。

南部陽一郎先生のノーベル賞受賞によせて

物理学専攻長 大塚 孝治(物理学専攻 教授)

南部陽一郎先生は東大物理学科の

ご卒業で、卒業後も物理学教室に助手などとして在籍されておりました。私も物理学教室の大先輩にあたる方で、このたびのご受賞を物理学専攻を代表して心からお祝い申し上げ、また、私どもへの激励とさせていただきますと存じます。

ここでは、「自発的対称性の破れ」とはどういうことか、考えてみましょう。真空中にグニャグニャした物体があったとします。真空は四方八方どこも同等ですから、この物体は球形になるのが基本と考えられます。いっぽう、この物体を構成する要素どうしの間に働く力によっては、外部から何も力を加えなくても、球形ではなく、自発的にアメリカンフットボールのように楕円形になることがあるかもしれません。楕円は球とは違って、ある特定の方向を向いています。元々はすべての方向が同等だったのに、特定の方向が意味をもってしまいます。これを自発的対称性の破れといいます。陽子と中性子が集ってできる原子核がその一例で、自発的対称性の破れの結果、楕円に変形することがあります。いっぽうでは、破れた対称性を回復しようと、細長い原子核は回転を始めます。回転に

SSBの一般的性質	Examples
Dynamical degeneracy of the ground state ← symmetry	• Superconductivity (SC) s wave d wave (high T_c)
Continuous symmetry → continuous degeneracy	• Superfluid ^3He p wave $j = 0$ (B phase), $j = 2$ (A phase)
Degrees of freedom $N \rightarrow \infty$ (thermodynamic limit) → Superselection rule → NG (Nambu-Goldstone) modes, $\omega_{\text{NG}} \sim 1/\lambda$ (restoration of lost symmetry)	• P-P and N-N pairing in nuclei s wave • Interacting boson model (IBM) ?
No. of NG modes = No. of broken symmetry operations (with exceptions) $N = G/H$	• QCD-hadron chiral dynamics • Weinberg-Salam electroweak theory • Flavor dynamics (Higgs mechanism) ? • Color SC ?

■ 図1：2005年11月に来日された時に南部先生が用いられたプレゼンテーションの一部

よりいろいろな方向を向くので、空間の対称性が回復するのです。結晶の格子振動も、同様な例です。このような回転や振動は、量子力学では新しい粒子の発生と見ることができ、それを「南部・ゴールドストーンボソン」とよびます。ここに挙げた以外にも、いろいろなものが当てはまります。3次元空間ではなく、もっと抽象的な空間も同じように扱え、自発的対称性の破れは多くの異なる現象を表す共通の言葉です。先生はそれを素粒子の質量の起源の解明にも当てはめました。

先生が2005年に物理学教室で行った談話会でのスライドから2枚を紹介しましょう(図1)。1枚では「SSB(自発的対称性の破れ)の一般的性質」とあり、特定の場合によらない一般的な性質が示されています。もう1枚には、自発的対称性の破れの発現の一例である超伝導現象が、金属でのものから素粒子のヒッグス機構まで、いかに多くの物理システムで起きているかが示されています。

このように、南部先生の業績は量子論の普遍的、原理的な性質に関わるもので、これまでノーベル賞が授与されてきたさまざまな業績の礎になるものといえます。先生の実際のご業績や現在の最先端の研究との関わりについて、この特別記事でいくつか紹介されています。

自発的対称性の破れと素粒子物理学

柳田 勉(物理学専攻 教授)

自発的対称性の破れはわれわれの日常生活の中にも見られる現象のひとつである。たとえば、ここに丸いテーブルがあると考える。テーブルの表面にはその面に垂直な方向に一樣な重力がかかっているとす。そのテーブルの中心に1本の細長い棒を垂直に立てておく。この考えているテーブルの表面での力学系は、テーブルの回転に対する対称性をもち、何も特別な方向はない。しかし、この棒が立っている状態は安定な状態ではない。時間がたつとその棒は倒れてしまう。棒が倒れた状態では特別な方向が発生し、もはや上記の回転対称性は破れている。このように、力学の基本方程式は対称性をもつのに、そこに生じた基底状態の対称性が破れる現象を、自発的対称性の破れという。

南部先生はこの対称性の破れが素粒子の世界でも起きていると考えた。素粒子物理学は場の量子論で記述されるので、スカラー場 $H(x)$ を用いて説明しよう。この $H(x)$ は複素数の場で、そのポテンシャルが $V = -m^2|H|^2 + k|H|^4$ で与えられるとする。このポテンシャルは明らかに H の位相変換 $H \rightarrow H e^{i\alpha}$ のもとで不変である。さてこの系の基底状態(真空)を考え

てみる。もし $m = 0$ なら、このポテンシャルはU字形で、その極小点として真空は $H=0$ である。位相 α を変えても0は0のままだから、この真空では位相変換の対称性が保たれる。いっぽう m が0でないと、ポテンシャルはW字形となり、その極小点は $|H|^2 = m^2/(2k)$ で与えられる(およその形状は本特集記事の横山教授の記事を参照)。われわれの住む真空は1つなので、そこでは H の位相は1つに定められており、 H の位相を変えると(たとえば $H \rightarrow -H$)、こんどは H が0でないため、別の真空になってしまう。ちょうど上記の例で倒れた棒の方向が決まってしまうように、この真空では位相変換の対称性が破れているのである。

興味深いことに、この真空のもとでは位相方向の自由度が質量0のスカラー場として現れる(南部・ゴールドストーンボソン; 理学のキーワード第1回)。南部先生はこの場をパイ中間子と考えた。現在ではこの南部先生の考えは正しいと認められている。南部先生の考えはその後、電弱統一理論(「弱い力」と「電磁力」を統一した素粒子理論)を構築するさいの基礎的考えになった。また現在、われわれは素粒子の標準理論を越える新たな理論の構築を考えているが、上記の南部先生の考えを基にして研究を発展させている。南部理論の画期的なのは、真空には

場が詰まっっていて、そのために対称性が破れて見えると考えたことにある。それまでは真空には何もないと考えてきた。このように南部理論は、真空に対する概念の変更をもたらした。現在、この真空にある H 場に相当する粒子を見つける LHC (Large Hadron Collider) 実験が始まろうとしている。その H 粒子 (ヒッグス粒子; 理学のキーワード第 6 回) が発見されれば、素粒子の標準理論が確立すると同時に、南部理論の歴史的価値がさらに確認されるだろう。

超伝導の BCS 理論と南部理論のつながり

青木 秀夫 (物理学専攻 教授)

「対称性の自発的破れ」ー。

何という基本的かつ美しい概念だろうか。これがまさに南部先生の素粒子論におけるノーベル賞受賞理由である。これほど簡にして要を得た受賞理由は珍しいのではないだろうか。対称性の自発的破れという概念それ自身は、昔から知られており、典型的には、強磁性体に対して、ハイゼンベルク (W. K. Heisenberg) がスピン回転対称性の自発的破れを 1920 年代に論じた。これに対し、超伝導が 20 世紀初頭に発見されて以来、その機構は約半世紀にわたる謎だったが、1957 年にバーディーン (J. Bardeen) らによる BCS 理論 (理学のキーワード第 15 回「高温超伝導」参照) が出て、電子 2 個のペアのボース凝縮と

いう描像を与えた。ここで自発的に破れているのは、ボース凝縮体を記述する波動関数の、位相の任意性 (ゲージ対称性; 上田教授の記事を参照) である。これとともに、BCS 基底状態からの励起は質量 (エネルギー・ギャップ) をもつことになる。南部理論の偉大なところは、このようなゲージ対称性破れの描像が、一般のゲージ場理論としての素粒子論に適用できる、というアイデア (Swedish Academy の言葉では, bold assumption) を、BCS の数年後にして構築したことといえる。基底状態は素粒子理論では「真空」に対応するので、「真空が超伝導状態なら素粒子が質量をもつ」と表現される。いわば、ゲージ対称性破れが、ローカル・スタンダード (超伝導) からグローバル・スタンダード (場の理論) になった。

もちろん、エネルギー・ギャップが粒子の質量という対応は同じとしても、素粒子論に適用する際には、さまざまに違いがある。当時はクォーク理論が登場する以前なので、ゲージではない対称性の破れが考えられた。対称性の破れた状態をもたらす粒子間相互作用は、BCS 理論ではフォノンというボソンが媒介するのに対し、核子間の相互作用は、湯川理論によるパイ中間子が媒介するが、南部理論は、対称性の破れという視点からの新たな分野を発展させたことになる。その後、素粒子のワインバーグ・サラム理論 (柳田教授の記事では「電弱統一理論」) が出たが、これも超伝導をモデルにしている部分がある。さらに、対称性の破れた状態からの励起には、南部・ゴールドストーンにより見出された定理が成り立つ (理学のキーワード第 1 回を参照)。超伝導体は完全反磁性という特殊な性質をもっているが、これは電子の凝縮体が、アンダーソン (P. W. Anderson) ・ヒッグス (P. W. Higgs) が考えた「粒子に質量を与える場」の役を果たして、光子が質量を獲得した (理学のキーワード第 6 回「ヒッグス粒子」参照)、と見ることもでき、

いろいろ現代的な問題と直結する (詳細は、ノーベル財団ホームページや図 2 を参照)。

ひとつ思い出されるのは、南部先生ご自身が「科学」という雑誌 (1990) で、何か新しい物理現象解明にあたって物理学者の思考形態は 3 つに分類できると言われていることである: すなわち「湯川モード」(原理を変えるのではなくて、たとえば新粒子の導入を検討)、「アインシュタイン・モード」(原理を変えるべきかどうかを検討)、「ディラック・モード」(可能な原理の中で美しい理論を選択)。南部理論はいわばディラック・モードが自然に適用されたといえないだろうか。今後この流れに沿ったさらなる発展が期待される。

目で見る対称性の破れ

上田 正仁 (物理学専攻 教授)

物理法則の中で、「原子やクォークなどの素粒子の性質がわかればすべての物理がわかる」という還元主義的な見方が通用しない (粒子数が減少すると消滅する) ものが 2 つある。それは、大数の法則に支配される統計力学の法則と、南部陽一郎博士のノーベル物理学賞の対象となった「自発的対称性の破れ」である。物理学には、エネルギーの保存則や運動量の保存則などさまざまな保存則が存在するが、それらが成り立つ背後には、時間や空間の原点をどこに選んでもよいという対称性が潜んでいる。このような時空の対称性のほかに、自然現象の時空間発展を記述する基礎法則もさまざまな力学的対称性を有している。しかし、不思議なことに、対称な時空と対称な物理法則から生み出される自然現象はしばしばもとの対称性を自発的に破る。たとえば磁石では、それを構成する原子のスピンの方向がそろい、磁化が空間のあるひとつの方向を向いて空間の等方性を破る。液体が固体になると、原子は空

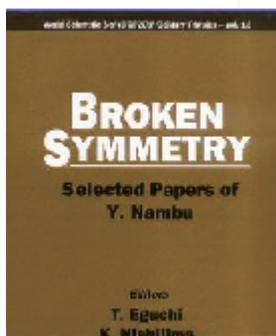


図 2: 南部先生の論文集「対称性の破れ」の表紙

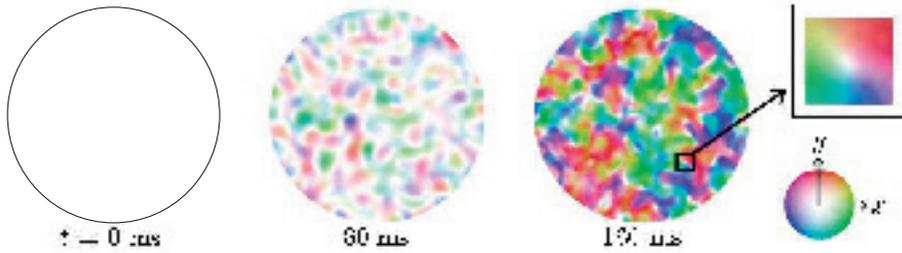


図3：ボース・アインシュタイン凝縮体 (BEC) における対称性の破れ。BEC を構成する原子のスピンの方向が時間の経過とともにそろっていく様子を示している。色が各点での磁化の方向、濃淡がその強さを表しており、真っ白の状態から色が出現するというのが対称性の破れである。四角で拡大している部分が「スピン渦」で、渦の周りを一周すると、磁化の方位が 360° 変化しているために中心部分の磁化は方向が決まらない特異点となっている(齋藤弘樹博士、川口由紀博士提供)。

間の並進対称性を破り、離散的な格子点上に周期的に並ぶ。

南部博士は、このように自然界でしばしば見られる対称性の破れが、場の理論の真空(基底状態)というもっとも基本的なレベルで起こっている、という大胆なアイデアを提唱した。この考え方は、超伝導や超流動現象を理解する上でも本質的である。ここでは破れている対称性が、「いろいろな場所でのマクロな量子系の位相(ゲージ)がそろおう」という抽象的な概念であるため、直感的な理解を困難なものにしてきた。マクロな量子系の波動関数の位相は通常は、位置や時刻によりばらばらでゲージ対称性が保たれている。しかし、ひとたびボース・アインシュタイン凝縮(BEC)が起こると、巨大な数の粒子が位相を共有し、異なった点間の相対的な位相差が決まり(これをゲージ対称性が破れるという)、超伝導現象のようなマクロに「見える」量子現象が出現する。

1995年に原子気体のBECが実現されたことにより、マクロな量子状態間の相転移を自在に制御できるようになり、その結果、この現象を視覚的にとらえることが可能になった。図3は、ある基底状態から別な基底状態へとBECが相転移(理学のキーワード第9回「相転移」参照)するダイナミックスのシミュレーションを図示したものである。位相がランダムな対称な初期状態が自発的に対称性を破り、その結果、量子化された渦が発生してい

ることがわかる。この現象は、実験でも観測されており、無の状態からビックバンによって生じたとされる宇宙の構造形成(横山教授の記事を参照)との類似性も指摘されている。

CP対称性の破れの起源の解明

相原 博昭(物理学専攻 教授)

電子には陽電子、陽子には反陽子というように、すべての粒子には電気的性質が逆でそれ以外の性質がほとんど同一な「反粒子」が存在する。電気を帯びていないエネルギーから始まった原始宇宙には、粒子と反粒子が同数ずつあったはずである。しかし、誕生から約137億年たった現在の宇宙は、粒子だけからできており、反粒子でできた反宇宙は存在しない。宇宙の進化の過程で、反粒子は消滅したことになる。すべての物理法則が粒子と反粒子の入れ替え(CP変換)で不変(CP対称)であるならば、宇宙の進化を説明できない。つまり、CP対称性は破れていなければならない。

素粒子に働く4種の力のうちのひとつ「弱い力」がわずかにCP対称性を破ることは1964年発見されていた。弱い力は、粒子がより軽い複数の粒子に崩壊する原因となる力であり、宇宙の進化に不可欠な力である。

なぜ、弱い力だけがCP対称性を破るのか謎であったが、1973年に小林誠と益川敏英は、陽子や中性子を構成する素粒子クォークは2種でひとつの世代をつくり、2種類×3世代=6種類のクォークが存在すればCP対称性が破れるとする理論を発表した。素粒子研究者のほとんどが、クォークは、実在の素粒子ではなく単なる数学的モデルで、しかも3種類あれば十分であると思っていた頃の話である。

その後、高エネルギー加速器を使った実験によって、クォークは実在し、しかも6種類あることが明らかになった。6種類目のクォークが発見されたのは1995年である。小林・益川理論のエッセンスは、3世代のクォークがあって初めてCP対称性が破れるという点にあるから、第3世代に属するクォークからなる粒子B中間子を使って、予言どおりCP対称性が破れるかどうかを測れば検証できる。高エネルギー加速器研究機構(KEK)の実験グループは、B中間子ファクトリー加速器を使って2001年夏、小林・益川の予想が正しいことを示す実験結果を得ることに成功し、クォークのCP対称性の破れの起源の解明に終止符を打った(図4)。現在、小林・益川理論は、南部の示したゲージ対称性の自発的破れのメカニズムときわめて整合性がとれた形で、素粒子理論の骨格をなしている。自然のもつ対称性には深淵な意味がある。が、対称性の破れには、さらに深淵で根源的な意味があるのである。

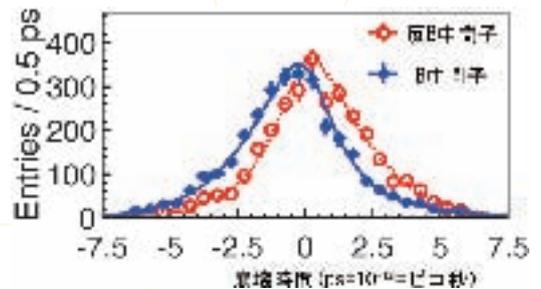


図4：小林・益川理論の正しさを証明した実験データ：KEKのBファクトリーを使って得られたB中間子と反B中間子の崩壊時刻を時刻の原点にとっている。二つの分布の違いがCP対称性の破れを意味しており、違いの大きさが小林・益川理論に基づく予想と一致した。

南部陽一郎博士の業績の宇宙論へのインパクト

横山 順一 (ビッグバン宇宙
国際研究センター 教授)

南部博士の受賞対象は「対称性の自発的破れ」の提案であるが、これは宇宙論にとっても、大きな意味をもっている。そのことを紹介したいと思う。

このアイデアを一目で理解するため、ワインの瓶の底を覗いてみよう。ワインは清酒ほど精製されていないので、注ぐときに漑が舞い上がらないように、底の中心が盛り上がっている。瓶は円い筒型だから360度どの方向から見ても同じ形に見える。つまり、回転対称性をもっている。さて、ワインの空瓶にパチンコ玉を落としてみよう。もし図5Aのように底の中心にぴたりと命中してそこに止まったとしたら、どの方向から見てもパチンコ玉は同じ場所に見える。しかし、実際には、底の中心は盛り上がっていて不安定なので、図5Bのように端に落ちるはずである。こうしてパチンコ玉が瓶の隅に落ちた後、瓶の周りを回ってみると、パチンコ玉が右に見えたり、奥に見えたりすること

になる。図5Aではどこから見ても同じように見えるのに、図5Bは違う。これが対称性(ここでは回転対称性)の破れた状態である。パチンコ玉を真ん中にそっと置こうと思っても勝手に滑り落ちてしまうので、対称性の自発的破れと言うのである。図5Aの状態よりも図5Bの状態の方がパチンコ玉の位置エネルギーが低く、より安定なので、ワインの瓶の中ではこのようなことが起こるのである。

今日の宇宙論の研究によると、宇宙の始まりには、図5Aのようにパチンコ玉がワインの底の真ん中にあり、高いエネルギーをもっていたような状態がしばらく続いていたことが指摘されている。宇宙の膨張率はエネルギー密度の平方根に比例するので、このようにエネルギー

の嵩上げされた状態が続くと、宇宙は急膨張し、加速的に大きくなる。この急膨張のお陰でわれわれが暮らすような一様・等方な大きな宇宙ができた。これが本研究科物理学専攻・ビッグバン宇宙国際研究センターの佐藤勝彦教授らの提案したインフレーション宇宙論である(理学のキーワード第9回「相転移」も参照)。素粒子物理の場の量子論の言葉では、ここでいうパチンコ玉とは宇宙の各点で一様な値をもつスカラー場の値であり、ワインの瓶とはそのポテンシャルである(その数学的な形の一例は、本特集記事の柳田教授の記事を参照)。私たちの宇宙をつくったワインの瓶がどのような形をしていたのか、現在、観測と理論の両面から活発に研究が続けられている。

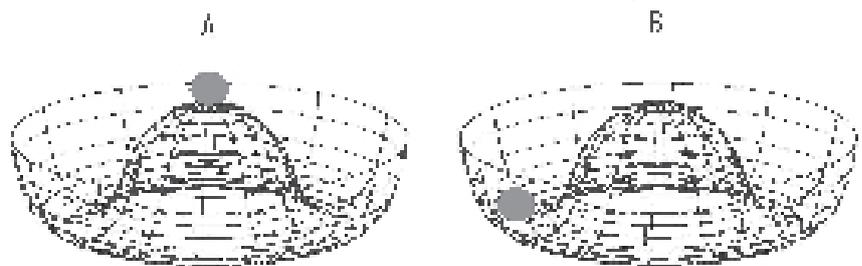


図5: 対称性の自発的破れを表すモデル。Aは対称性(この場合回転対称性)を保っているが、不安定である。Bは対称性の破れた状態。宇宙論への応用では、この立体はスカラー場のポテンシャルエネルギー、パチンコ玉の位置はスカラー場の値を表す。

南部博士のノーベル賞受賞を記念した臨時談話会

広報誌編集委員会

南部陽一郎博士のノーベル物理学賞受賞が決まったのが2008年10月7日(火)の夜。その直後より物理学専攻の教授陣は緊急講演会の開催に向けて動き始めた。そして翌週の17日(金)、17時より小柴ホールにおいて物理学教室臨時談話会「対称性の破れとは何か? - 南部陽一郎博士のノーベル賞受賞業績と今後の展望 -」は開催された。

南部先生は本学理学部物理学科のご卒業で、1949年には同物理学科で助手を務めた、理学系研究科とはゆかりの深い方である。その南部先生のノーベル賞受賞は理学系研究科にとってたいへん喜ばしいことであり、受賞まもないこの時期に談話会を開いて、今回の受賞理由である「対称性の自発的破れ」について、幅広い分野の学生や教職員を対象にわかりやすく解説し、その業績と今後の展望について考える機会をもつこととなった。

南部先生ご自身を招聘し、お話を聞くことは、南部先生がご多忙なため今回かなわなかったが、物理学専攻の柳田勉教授による「対称性の破れと現代物理学」、

同じく物理学専攻の上田正仁教授による「マクロな量子現象における対称性の破れ」の講演は、質疑応答を含め1時間ずつ行われ、おおいに盛り上がりを見せた。大学院生や学部学生をはじめとする多くの人々で小柴ホールは満席となり、立ち見が出ただけでなく、ホワイエのモニター席も50名ほどの人でいっぱいになり、会場は熱気に包まれた。訪れた報道関係者も5社を数えた。

講演のあとには参加者からの熱心な質問が相次ぎ、終了時間を超過する勢いであつたが、司会役を務めた大塚専攻長のたくみな進行により、19時を少しすぎたころ、会は盛況のうちに幕を降ろした。

田嶋文生教授が日本遺伝学会 木原賞を受賞

■ 野崎 久義 (生物科学専攻 准教授)

生物科学専攻の田嶋文生教授は、「進化集団遺伝学に関する理論的および統計学的研究」の功績により、日本遺伝学会木原賞を受賞されました。木原賞は、日本遺伝学会の最高位の賞で、遺伝学の分野で優れた業績をあげた者に授与されるものです。東京大学からは、堀田凱樹教授(1995年、本研究科物理学専攻)、大坪栄一教授(1998年、分子細胞生物学研究所)について3人目の受賞です。田嶋教授は福岡県生まれ、国立遺伝学研究所で助教授を務められた後、1995年に本研究科生物科学専攻に進化多様性生

物学大講座が設立されたとき教授にられました。

田嶋教授のおもな研究テーマは、「DNA多型の保有機構および進化機構の解明」で、とくに「Tajima's D」はDNA多型データから自然選択の有無を検定する統計量として世界的に知られています。遺伝学の分野でもっとも権威のあるアメリカ遺伝学会の学会誌「Genetics」によりますと、この雑誌に掲載された全論文の「もっとも引用された論文トップ50」に田嶋教授の論文が2編選ばれています。ひとつは1989年発表の「Tajima's D」の論文で4位、もうひとつは1983年発表の「遺伝子系図学の理論」の論文で23位です。これ以外にも集団遺伝学や分子進化に関する研究は高い評価を受けています。

進化多様性生物学大講座の設立以来、



■ 田嶋文生教授

田嶋教授は学生の教育にも献身的に尽くされていて、進化集団遺伝学分野の有能な後継者を輩出しています。田嶋先生には、今後ますますご活躍されますよう祈念いたします。

「東大理学部で考える女子高校生 の未来」を12月に開催

■ 広報誌編集委員会

来る2008年12月14日(日)に、理学部1号館小柴ホールにおいて、「東大理学部で考える女子高校生の未来」を開催します。これは、理学系研究科の広報委員会と男女共同参画委員会が共同で企画したもので、午前のPart1と午後のPart2の2つのイベントから成っています。

Part1は、「女子高校生のためのサイエンスカフェ本郷」で、「高校生のためのサイエンスカフェ本郷」の第5回目にあたるものです。定員は50名、対象は女子高校生です。理学系研究科天文学専攻の卒業生でオーストラリア国立大学ストロムロ主任研究員の小林千晶さんによる「銀河考古学 - 星の化学組成が語る宇宙の歴史 -」の講演のあと、昼食を

とりながら大学生活や研究のことについて大学院生と気軽に話をする時間を設け、そのあと研究室見学を行うというもので、午前10時から午後1時30分までの間で行われます(午前9時30分開場)。

引き続き行うPart2は、女子学生の将来を考えるシンポジウム、「理学ってこんなにおもしろい! - 理学部で将来を考える親子参加のシンポジウム -」です。3名の先輩女子学生が「私が理学を選んだ理由」というテーマでお話し、生物科学専攻、真行寺千佳子准教授による「自然科学の魅力と私が来た道」の講演のあと、上記4名の先輩女性によるパネルディスカッション、「理学を思いっきり楽しもう! 大学生活とその後の進路」を行います。午後2時30分から午後5時の間で行われ(14時開場)、定員は100名、対象は女子高校生・保護者・高校教師で、必ずしも親子で参加する必要はありません。Part1あるいはPart2のみの参加も可能です。詳しくはホームページ(<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/girls08>)をご覧ください。

Science Cafe Hongo

東大理学部で考える女子高校生の未来 Part 1
2008年12月14日(日)
東大1号館小柴ホール1F
開場9時30分 10:00開演
13:30閉演

女子高校生のためのサイエンスカフェ本郷
女子学生が活躍する未来を一緒に考えてみましょう!

講演者: 真行寺千佳子 准教授 (生物科学専攻)

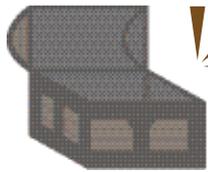
10:00 開演

東大理学部で考える女子高校生の未来 Part 2
2008年12月14日(日)
東大1号館小柴ホール1F
開場14:00 14:30開演
17:00閉演

理学ってこんなにおもしろい!
女子学生が活躍する未来を一緒に考えてみましょう!

講演者: 小林千晶 准教授 (天文学専攻)

14:30 開演



失われた幕府献上魚図の発見

赤坂 甲治（臨海実験所 教授）

江戸時代の魚介図「衆鱗手鑑」^{しゅうりんてんかがみ}とみられるパネル画が三崎臨海実験所に存在することが明らかになった。魚図は描かれた原紙から輪郭に沿って正確に切り取られ、絹張りの和紙に貼り付けてある。極彩色の細密画は思わず息を呑むほどの迫力と美しさである。

発見の経緯は、昨年（2019年）の三崎臨海実験所創立120周年記念シンポジウムに始まる。出席されていた磯野直秀慶應義塾大学名誉教授が、研究棟ロビーの展示ケースに入れられていた魚図に気づかれ、1年におよぶ調査が行われた。その結果、「衆鱗手鑑」の原本である可能性がきわめて高いことが明らかになった。

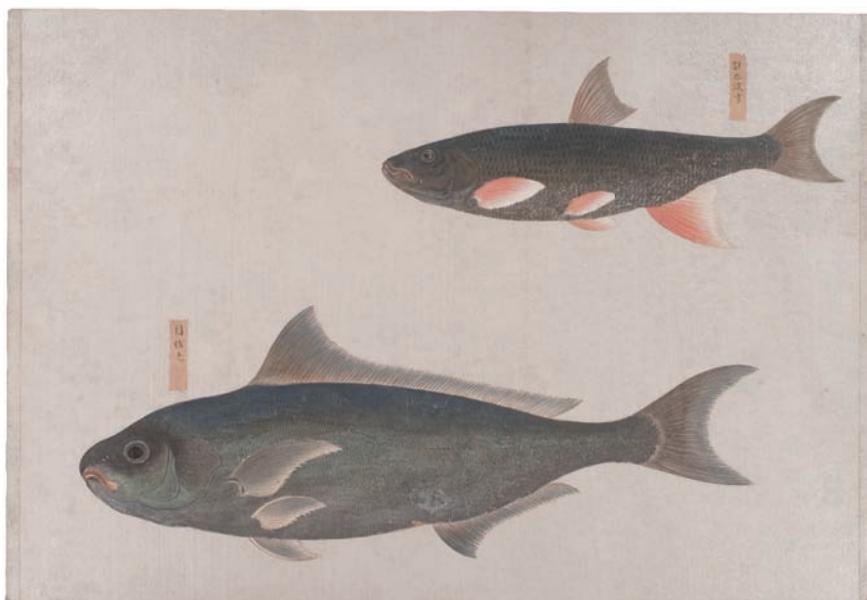
「衆鱗手鑑」は、18世紀中期の讃岐高松藩主松平頼恭が10代将軍徳川家治の依頼を受けて献上したものである。頼恭は画家に数々の動植物を描かせて収集する大名として名を馳せていた。高松城は、瀬戸内海に直接面する海城

であり、海水を引き込んだ堀が三重に城を囲んでいた。その規模は、軍艦が城内に入れるほど大きかったという。「衆鱗手鑑」に収められた461点の魚図は、淡水と海水が入り混じる城の堀に棲息していた魚介類のものと思われる。頼恭は献上後も、「衆鱗手鑑」をもとに転写改訂した「衆鱗図」をつくった。「衆鱗図」は高松の松平家に現存する。しかし、原本の「衆鱗手鑑」は行方不明となり、魚介の名前を記した目録だけが松平家に残っていた。度重なる江戸城西ノ丸の火災の騒動で散逸したものと考えられている。三崎臨海実験所で発見された魚図が原本であることは、絵の精巧さと、魚の名前の漢字表記法からうかがえたが、決め手は「衆鱗手鑑」の魚介目録とほぼ完全に一致したことである。

江戸城から消えた「衆鱗手鑑」は、経緯は不明であるが、1900年来日し、東京帝国大学臨海実験所（現三崎臨海

実験所）で魚類の研究をしていた米国コロンビア大学教授のバッシュフォード・ディーン（Bashford Dean）が手に入れた可能性が高い。日本の魚介類図鑑としても価値があったと思われる。のちに、37枚、145点の魚図はコロンビア大学に寄贈された。魚図の帰国に貢献されたのは小林英司8代目臨海実験所所長（1972-1975）だった。小林先生はコロンビア大学で研究をされていたこともあり、絵の存在をご存知だった。1979年の再訪の折、三崎臨海実験所とコロンビア大学の交流の記念として4枚、18点の魚図を譲り受け、三崎臨海実験所に寄贈された。しかし、受け入れのさいに混乱があったのか、磯野先生に発見されるまで、その価値は知られることなく、西川藤吉氏が描いた絵として研究室や廊下に無造作に飾られていた。なお、西川氏は東京大学で動物学を学び、初代臨海実験所所長の箕作佳吉教授と御木本幸吉氏とともに三崎臨海実験所で養殖（ミキモト）真珠の開発をした人物である。

「衆鱗手鑑」の再現は、明治時代から120年以上続く三崎臨海実験所と欧米の研究者の活発な交流の賜物といえよう。今後は、数奇な運命をたどった日本の文化財を理学のお宝として三崎臨海実験所で大切に保管し、年間延べ2万人の国内外の実験所利用者にいつでもご覧いただけるよう展示する計画である。



上：「計太波寸」（ケタハス，ハスア） 下：「目佐之」（めさし，メダイの幼魚）

※（ ）内は、「衆鱗図」記載名，現和名。

参考文献：「衆鱗手鑑残欠の出現」磯野直秀，慶應義塾大学日吉紀要（自然科学43号，75-89，2008）。



酒造り～匠の技と科学の融合～

北山 賀隆（大阪国税局）

お酒は神話の中にも登場しているほど、人類と縁深いものである。およそ優れた食文化をもっている民族は誇る価値のある固有の酒をもっているといえよう。わが国の清酒（日本酒）や焼酎もそのような酒のひとつである。現在私は国税局で、酒類製造業者に対する製造技術指導を行い、お酒の製造技術および品質の向上に貢献することを仕事のひとつとしている。

国税局がなぜお酒の技術指導を行っているか不思議に思われる向きがあるかもしれない。国税局の上級官庁である国税庁の使命には「内国税の適正かつ公正な賦課および徴収の実現」と並んで「酒類業の健全な発達」が掲げられており、いわゆる業所管庁として酒類業界をカバーしている。その中で技術的事項を担うセクションである鑑定官室というところに技官として所属し、製造指導などを行っているわけである。具体的には、酒類の各製造場を訪問したりすることなどを通じ、目指している品質とそこに至るために抱えている技術的な問題点を明らかにし、より高品質の製品を造るための方法を製造者と共に考え、実現に向けて助言を行ったりしている。とくに私が現在所属している大阪国税局には、灘（兵庫県）

や伏見（京都）といった清酒の主産地も地方の地酒メーカーもあり、素晴らしい酒を生みだしている銘醸蔵がたくさんある。また、ワイン、梅酒の優れた原料（ブドウ、梅）の産地も擁しており、これら酒類の造り手と研鑽し合っている日々である。

たとえば清酒造りでは「杜氏」という、卓越した技能をもつ者が製造の現場を担っており、良酒を醸している。優れた技術者のものづくりは、世代を超えて磨かれ受け継がれてきた手法とその人が試行錯誤の上で体得した勘に立脚した「匠の技」の世界である。これ自体はひじょうに属人的なものであり、人から人への伝承に依存している部分が多い。いっぽう製造者としては消費者に対して、より良い品質の製品を継続して提供していくことが持続的成長の上で必須であるが、残念なことに、杜氏に代表されるような伝統的技術者集団の数は減少傾向にある。

もし伝承が途絶えてしまうと失われてしまいかねない儚さをもつ匠の技の世界と、科学的な醸造の橋渡しを行うことがわれわれの仕事のひとつであり、科学の視点から理解、説明、実証していくことで再現性のある、目的に叶った酒造りの実践



■ 図2：赤ワイン醸造作業中の筆者

PROFILE

北山 賀隆（きたやま よしたか）
 1996年 東京大学理学部生物学科卒業。
 1999年 東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻修士課程中退。石川県庁入庁。
 2000年 国税庁入庁。
 現在、大阪国税局所属。

をサポートしていくことを目指している。

また、税務行政および酒類産業行政の専門技術分野を支えるスペシャリストの行政官として、税法のみならず関連諸法規を理解したうえで職務にあたる必要があり、技術だけでなく幅広い知識を求められる職場といえよう。そのような中、職場には農学、工学系の出身者も多く、それぞれのもち味を生かし補い合いながら問題解決に当たっている。

学生時分は生物学科（植物学課程）に所属し、アルコール発酵の担い手である酵母をいじっていたこともあった。また、酒の原料は穀物や果実が原料であるということも植物という点でも縁があったのだろう。酒造りに関して学んだのはこの職に就いてからであり、学生時分のテーマとは全然異なることに携わっていることになる。しかし、その根っこには理学を通じて学んだ自然科学の考え方が役に立っていると感じている。



■ 図1：フランス、ボルドー地方のシャトー（ワイナリー）のブドウ畑にて

波を使って海を拓く技術官僚となること

吉田 剛（海上保安庁）

天文学の学生が海上保安庁の官僚になる、と聞くとたいへん奇異に感じるかもしれない。しかし、私の場合、官僚となって変わったことは、スーツを着て朝決まった時間に出勤することと給料がもらえることだけで、実際にやることはそれほど大きな違いはなかった。私は、学部では電波による観測を、修士課程では衛星を使った軟X線による太陽の観測を、博士課程ではロケットを使った極紫外線による太陽の観測を行った。今は、海上保安庁で、超音波を使った海底地形探査、地震波を使った地殻構造探査を行っている。PhotonがPhononに変わっただけで、やっていることは波をつかった実験物理学である。

私が所属する海上保安庁海洋情報部は、航海の安全に必要な情報を調査収集し海図等の発行や航行警報等の発令を行っており、関連して、領海等の排他的区域を確保するための調査を行っている。わが国は四方を海にかこまれた海洋国家であり、外国との交易の大部分が船舶によっている。われわれの正確な調査に基づく精密な海図等の情報が船舶の安全な航行の礎のひとつとなっており、社会に大きく貢献している。したがって、私が所属する組織の所掌する事項が必然的に技術的になっており、私のような少数の技術官僚がその技術を支えている。

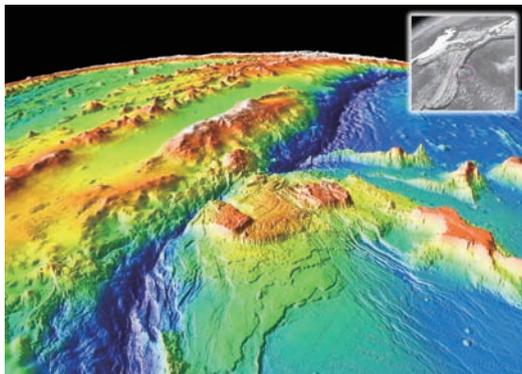


図1：関東の南1200 kmにある小笠原海台の鯨瞰図。太平洋プレート上の小笠原海台が伊豆小笠原海嶺に衝突、変形し、巨大な断層を多数発生させている。

技術官僚の具体的な仕事は、国民・国家のために調査をすることである。調査を企画立案し、実行し、誤差を評価し、結果を発表する。私の場合、入庁早々に日本周辺の深海域の海底地形データの収集と管理を一手に任された。海上保安庁では海洋権益の確保のための調査を長年にわたり実施しており、集められたデータは世界でも群を抜く膨大かつ精密なものである。この成果をもとに、この冬に、日本が排他的権利をもつ海底の区域（法的に「大陸棚」という）を拡張する申請が国連に対し行われる予定である。

私の現在の仕事の内容について、大学のとくに理学系における実験物理学との違いは、極言すると、目的が“科学研究のため”か、“国民・国家のため”かのみである。この違いは大きな意義をもつ。いくら科学的意義がある調査であっても、国民・国家のためにならなければ実行不可となる。逆に、あまり研究として価値のない調査であっても、国民・国家のためになるものであれば実行する。私の場合のように、日本周辺の350海里までの海域の海底地形を科学的意義に関係なくすべて均一、均質に精密調査するというのは、大学では到底不可能であろう。私は技術官僚として海洋調査に携わり、計らずも世界でもっとも膨大な深海域の精密海底地形データを管理する技術者という榮譽を得ることとなった。

私の出身である理学系の大学院というと、なかなか崇高な学府で、研究内容も社会からかけはなれたものという印象があるかと思う。私自身もそう思っていた。しかし、大学以外の道を模索する過程で、自分が大学でやっていることは、目的が高尚なだけであって、



図2：地殻構造探査に用いる海底地震計を点検中の筆者

PROFILE

吉田 剛（よしだ つよし）

- 1994年 東京大学理学部天文学科卒業。
- 1996年 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻修士課程修了。
- 1999年 同博士課程修了，博士（理学）海上保安庁入庁。
- 2006年 米国ニューハンプシャー大学大学院 GEBCO 日本財団大洋調査課程修了。国際水路機関カテゴリーA水路測量士資格取得。現在、海上保安庁海洋情報部大陸棚調査官。

社会のいたるところで必要とされる技術の仕事とそれほど変わらないと知った。そして、より自分が能力を発揮し、対価も得られる場所として、現在の職場を見つけた。

世の中には理学系の技術が必要とされているところが意外に多くある。とくに最近は各方面で技術的事項が高度化し、理学系の高度な物理および数学の知識および経験が各所で必要とされている。私のように大学以外の道も選択肢として人々には、そのような社会に目を向けてみることを勧める。その中でも技術官僚はお勧めのひとつだ。“国民・国家のため”と目的に縛りがかかるが、その範囲の中で、理系技術者が技術的に楽しむことができる余地はかなりある。

植物の幹細胞を負に制御するペプチド性シグナル分子の機能と分業

平野 博之 (生物科学専攻 教授)

植物の葉、茎、花や根などの器官や組織は、すべて、幹細胞といわれるあらゆる細胞に分化する能力をもつ1群の細胞に由来している。この幹細胞をいかに正常に維持するかは植物の形づくりにとってひじょうに重要である。われわれは、単子葉植物のモデル生物イネを研究材料として、この幹細胞を維持するために必要な、2つの負の制御因子の機能とその分業を明らかにした。

植物のシュート(茎葉部)の先端には、茎頂分裂組織や花分裂組織が存在し、この中に幹細胞が維持されている。幹細胞は自分自身を複製して増殖するとともに、その一部を葉や花などの器官に分化するための細胞として提供する。この自分自身の増殖と細胞分化とのバランスを保つことが、幹細胞の維持制御である。もっとも研究の進んでいる真正双子葉植物のシロイヌナズナでは、ブッシュェルと

いう正の制御因子とクラバータ伝達系(シロイヌナズナの幹細胞の増殖を抑制するシグナル伝達系)を構成する負の制御因子との細胞間コミュニケーションにより、このバランスが巧妙に保たれていることが知られている。しかし、そのほかの植物の幹細胞研究は大きく立ち後れている。

これまで、私たちは、単子葉植物のイネにおいても、クラバータ系と同じような仕組みが花分裂組織を維持するための負の制御系(フォン伝達系)として働いていることを示し、幹細胞維持のメカニズムが進化的に保存されていることを明らかにしてきた。フォン伝達系の遺伝子に変異がおこると、負の制御がなくなるため花分裂組織の幹細胞は異常に増殖し、おしべやめしべの数が増加する。逆に、フォン伝達系のFON2というシグナル分子の量を人為的に過剰発現させると幹細胞が欠乏し、その結果、おしべやめしべの数が大きく減少する。しかしながら、フォン伝達系は、葉や茎をつくり出す茎頂分裂組織では働いていない。

今回、私たちは、FCP1という因子を発見し、この因子が茎頂分裂組織の幹細胞を負に制御することを明らかにした。

FCP1を人為的に過剰発現させると、小さな異常な葉を数枚分化した後に、枯死する(図1左)。この個体を詳細に観察すると、茎頂分裂組織が消失しており、幹細胞が使い尽くされていることが判明した(図2左)。また、FON2の受容体である*fon1*変異体でも、FCP1の過剰発現の効果は同様に起こる。いっぽう、このような異常なことは、FCP1と類似したタンパク質であるFON2の過剰発現では、まったく起こらない(図1右)。これらのことから、FCP1とFON2は、異なる伝達系のシグナル分子として機能していることが推測される。

FCP1とFON2は、最終的に、12個のアミノ酸からなる小さなペプチド性のシグナル分子として機能すると考えられている。2つのペプチドの間では4つのアミノ酸が異なっているが、このうち、10番目のアミノ酸が、FCP1の機能にとって重要な働きをしていることを明らかにした。また、FON2とは異なり、FCP1は根の分裂組織も制御していることも判明した。

私たちの今回の研究の主要な点は、イネには、幹細胞の維持を制御する2つの制御系が存在し、その中で働くシグナル分子に機能分化がおきていることを明らかにしたことである。これは、シロイヌナズナでは、クラバータ伝達系のみが幹細胞の負の制御系として知られているのとは対照的で、幹細胞維持の制御系の進化として興味深い。今後は、FCP1の受容体や正の制御因子を見いだすことが課題である。本研究は、植物研究でもっとも権威のあるPlant Cell誌(Suzaki *et al.*, 20, 2049-2058, 2008)に掲載された。

(2008年8月6日プレスリリース)



図1: FCP1(左)とFON2(右)の過剰発現体。FCP1を過剰に発現すると、葉は異常に肥大し、数枚を生じた後に枯死する。FON2を過剰発現体は、正常な芽生えとまったくかわらない。

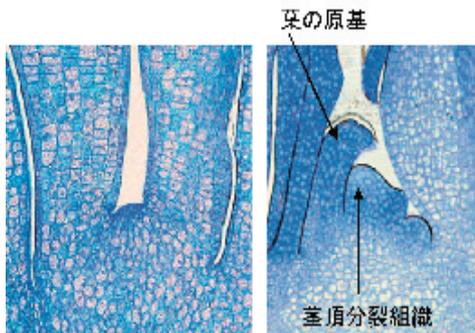


図2: FCP1を過剰発現体(左)と野生型(右)の茎頂部。野生型で見られるドーム状の茎頂分裂組織は、FCP1を過剰に発現させると消失し、葉の原基も形成されなくなる。

タンパク質のアルファベットを拡張する

大木 健二 (生物化学専攻修士*), 横山 茂之 (生物化学専攻 教授)

英語には 26 文字のアルファベットが存在するが、生命にもアルファベットとよべるシステムがある。DNA 分子は 4 種類の塩基 (AGCT) で遺伝情報をすべて記述しており、タンパク質は 20 種類のアミノ酸から構成されている。アミノ酸は A, C, D … などの 1 文字で表記されるので、タンパク質はまさに 20 文字のアルファベットをもっている。「翻訳」というしくみによって、DNA のアルファベットはタンパク質のアルファベットへと変換される。わたしたちの研究チームは、自然界にない人工のアミノ酸をタンパク質に組み込む研究を行ってきた。今回、翻訳過程で働く酵素の改変をおこなって、タンパク質のアルファベットを拡張することに成功した。アルファベットに新規に加わったアミノ酸は、DNA 上でも対応する位置を占めることになる。

今回の研究のポイントは、酵素の「間違い」をなくすことであった。アミノ酸は、細胞内の「工場」で遺伝情報にしたがって

タンパク質に組み立てられる。工場までアミノ酸を運ぶ分子 (tRNA) が存在し、酵素の働きでこの分子にアミノ酸が結合する。アミノ酸の種類にあわせて 20 個の「tRNA-酵素」のペアが存在している。酵素がアミノ酸を tRNA に結合する手際は、まさに「正確」のひとつことに尽きる。間違っただアミノ酸を結合することは、遺伝情報から外れたタンパク質をつくることになり、重篤な病気の一因となることがある。非天然型アミノ酸をタンパク質に組込むことは、精密な「tRNA-酵素」のペアに、21 番目のペアを付け加えることである。

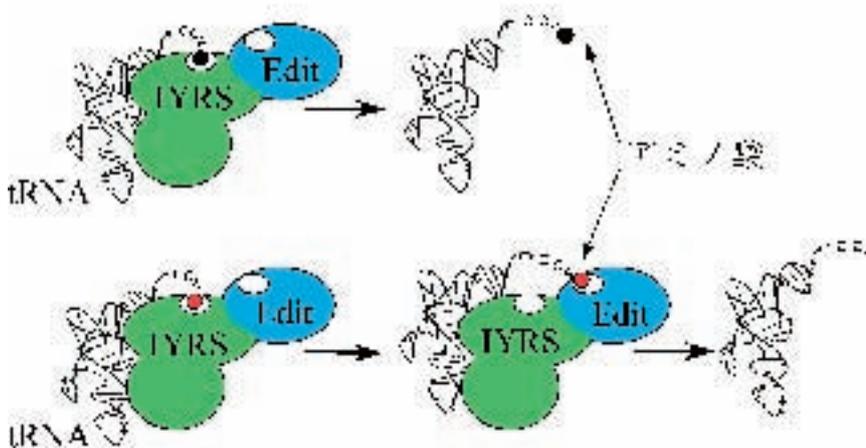
私たちの研究室でこれまでに創られた酵素のひとつ (IYRS) は「間違いを犯しやすい」酵素であり、非天然型アミノ酸であるヨードチロシンだけでなく、チロシンという天然のアミノ酸も tRNA に結合する性質をもっていた。ヨードチロシンは、チロシンにヨード原子が付加した化学構造をもっていて、チロシンによく似たアミノ酸である。なんとか

天然の酵素並みの精度を実現したいと考え、いったん間違えて tRNA に付けたチロシンをすぐに外すという機能を、酵素に与えることを思いついた。

このような「校正」機能をもつ酵素は天然に存在していて、天然の酵素がアミノ酸を正確に見分けられる理由のひとつである。そこで、このような酵素から校正に働く部分 (校正ドメイン) を取り出して IYRS に融合することを試みた。ひとつのまとまった構造をとっているタンパク質では、その一部を取り換えたり、ほかのタンパク質の一部を取り入れたりとすると、タンパク質の立体構造が壊れて働かなくなるおそれがある。さまざまな試行錯誤をくりかえして、ようやく酵素の融合に成功した。得られた酵素は、その 3 分の 2 が IYRS であり、残り 3 分の 1 がまったく生物種の異なる酵素から得られた校正ドメインである。IYRS 部分と校正ドメインは、互いに協調して働くことで、ヨードチロシンのみを間違いなく tRNA に付けることが示された。

今回の結果は、精密な働きをする酵素が大胆な改造を許すという好例である。DNA からタンパク質への翻訳に働く天然の酵素の中に、そもそも校正機能をもつものがあるという事実は、生命のシステムが大胆な実験をくりかえすことで成立・進化したのでは、と思わせる。本研究は、K. Oki *et al.*, *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, **105**, 13298-13303, 2008 に掲載された。

(2008 年 8 月 18 日プレスリリース)



IYRS と校正ドメイン (Edit) の融合タンパク質は、正しいアミノ酸 (黒丸) を tRNA の末端 (CCA) に結合するが、間違っただアミノ酸 (赤丸) の場合には、校正ドメインの働きでいったん結合したアミノ酸をすぐに tRNA から外すことができる。

* 2008 年 3 月 24 日付で修士課程を修了。

ネアンデルタール人の脳サイズから探るヒト生活史の進化

近藤 修 (生物科学専攻 准教授)

われわれヒトはチンパンジーとくらべ特徴的な成長パターンをもつ。ヒトの新生児は例外的に大きな脳(約400 cc, チンパンジーの成体に近い)で生まれ、母親の産道サイズとの兼ね合いによりヒトの出産を困難にしている。さらに出産後もヒトの脳は速い成長を続け小児段階(約6歳)で成人サイズ(平均1350 cc)の90%に到達する。

このヒトに特徴的な脳の成長パターンはいかに進化したのだろうか?今回われわれは、ヒトにもっとも近縁な化石種、ネアンデルタール人(ホモ・ネアンデルター

レンシス)の脳の出生と初期成長を調べ、この問題に取り組んだ。コンピュータによる仮想復元技術を用い、3個体の若年ネアンデルタールの骨格を復元した。

1個体はロシア、クリミア半島のメツマイスカヤ(Mezmaiskaya)洞窟出土の新生児、他の2個体はシリアのデデリエ(Dederiyeh)洞窟出土の生後19ヶ月と24ヶ月の個体である。さらに、われわれはイスラエル、タブン(Tabun)洞窟出土の成人女性ネアンデルタールの骨盤を復元した。これらの個体をもとに、ネアンデルタール人の出産における産道と新生児頭蓋サイズの関係、

さらにネアンデルタール人の脳の成長パターンを推定し、これらを現代人、チンパンジーと比較することによりヒト特有のライフヒストリーの進化を考えた。

新生児ネアンデルタールの頭蓋復元より推定した脳サイズは、すでに現代人とほぼ同じであった。このことから、「大きな新生児の脳」はホモ・サピエンスとホモ・ネアンデルタレンシスの共通祖先段階ですでに獲得された特長であったと考えられる。このヒト的な特徴は進化的に古くから獲得されていたようだ。

復元された成人女性ネアンデルタールの骨盤は現代人女性骨盤よりも幅広であったが、ネアンデルタール新生児の頭蓋はさらに大きな顔面をもち、ネアンデルタール人、ホモ・サピエンス両種ともに新生児の頭は母親の産道にちょうど

フィットするサイズといえる。すなわち、ネアンデルタール人はホモ・サピエンスと同様の困難な出産を経験していたと予想される。おそらく母親の骨盤構造には二足歩行のための制約が課せられており、400 ccの脳サイズは進化上の上限であったのではないだろうか。

ネアンデルタール人の脳の成長パターンについては、絶対的な大きさ比較からネアンデルタール人は現代人よりも速く成長したといえる。一方、成人段階の大きさを基準とした相対比較においては、ネアンデルタール人と現代人の成長曲線はほぼ一致した。このことは生後、ネアンデルタール人の脳は現代人よりもより速く成長する一方で、その成長期間は現代人と違わなかったことを示す。すなわち「脳の成長期間」という生活史パラメータにおいてネアンデルタール人と現代人に差はなく、ネアンデルタール人の脳の速い成長は成長の早期停止を意味するものではない。今回明らかになったネアンデルタール人の脳の成長パターン「大きな脳を速く成長させる」には生後の成長期におけるエネルギーの集中投与が必要であり、母親による子供への大きな投資というコストとのバランスにより成り立っていると考えられる。現代人(ヒト)ではこの時期に子供の学習が行われることを考えると、ネアンデルタール人にも同様の学習行動がすでにあったのかもしれない。本研究はスイス、日本、ロシアの共同チームにより行われたもので、Marcia Ponce de León *et al.*, *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, **105**, 13764-68, 2008 に掲載された。

(2008年9月8日プレスリリース)



ネアンデルタール幼児骨格の仮想復元。左：メツマイスカヤ新生児(生後1週目)；右：デデリエ1号幼児(19ヶ月)(提供 クリストフ・ツオリコファー、チューリッヒ大教授)。



「クリックケミストリー」

狩野 直和（化学専攻 准教授）

PCの前でマウスを「カチッ」とクリックする作業を毎日何十回も行っている。化学式描画ソフトではマウスをクリックすれば簡単に結合を作れるが、実際の実験では収率が悪かったり、分離作業に時間がかかったりと、簡単にいかないことが多い。

2001年のノーベル賞受賞者であるK. B. シャープレス (K. B. Sharpless) によって、「カチッ」と音を立ててシートベルトを締めるように、二つのパーツを高収率で副生成物を出さずに結合させる反応で、汎用性の高い基質特異的な反応のことを「クリックケミストリー」とよぶことが提唱された。1961年にR. ヒュズゲン (R. Huisgen) によってアジド(-N₃原子団をもつ化合物)とアルキン(炭素-炭素三重結合化合物)から1,2,3-トリアゾールを形成する1,3-双極子

付加環化反応が開発され、Huisgen反応とよばれている。2002年に銅触媒によってHuisgen反応が飛躍的に加速することが発見されて以来、多くの論文でこの反応が利用されたため、「トリアゾール形成反応」＝「クリックケミストリー」とされる場合もある。

上記の定義以外のクリックケミストリーの特徴および利点は、操作が簡便なこと、精製操作が必要ないこと、基質と生成物が水や酸素に対して安定で水中を含む多様な反応条件で進行することである。アジドおよびアルキンは多くの官能基や生体分子に対して不活性であり、両者からトリアゾールを生成する反応は発熱的な熱力学的に有利な反応である。すなわち、生体分子などの多様な分子にアジドおよびアルキンをタグとして導入してもタグ

自体は反応せず、両者を反応させることで初めて結合形成が起こる。アルキン側とアジド側の組み合わせを変えるだけで多様な生成物のライブラリーが構築できるため、酵素阻害剤の探索などに使われてきた。高分子合成や、医薬品などの機能性物質の開発への応用まで研究が進んでいる。化学専攻の中村研究室では病原性大腸菌が産生する毒素タンパク質に対して阻害能を有する糖結合フラワーレンの合成が行われ、橋研究室でタンパク質のN末端のみを選択的にベータカルボニン化する反応について研究が行われている。

PCの画面上ではなく、フラスコの中でアルキンやアジドのタグの付いた試剤を組み合わせることで「クリック」することで有用な機能を発現させることができる便利な方法である。



「低分子ペプチド」

澤 進一郎（生物科学専攻 准教授）

近年の健康ブームによって、大豆ペプチドなどの健康食品だけでなく、コラーゲンペプチドなど美肌に効果的とうたわれる美容食品までもが登場し、「ペプチド」は、広く知られるようになってきた。ペプチドとは、アミノ酸同士が脱水縮合して結合（ペプチド結合）したアミノ酸鎖の総称である。習慣的に、10アミノ酸程度までを低分子ペプチド、100アミノ酸程度までを（ポリ）ペプチドといい、それ以上はタンパク質とよぶ。甘味料のアスパルテームは2アミノ酸からなる低分子ペプチドだ。

生体内で機能するペプチド性因子としては、約50アミノ酸からなるインシュリンが1921年に報告され、現在はヒトの糖尿病治療において、なくてはならない存在になっているのはご存知の通りである。これまでに、植物から同定されたペプチド

はまだ数個程度であるが、近年、たった4アミノ酸で機能するPSK (phytosulfokine, 細胞分裂の促進に関与する) や12アミノ酸からなるCLE (CLAVATA3/EMBRYO-SURROUNDING REGION-RELATED, 多細胞植物の形態形成等に関与する) など、さまざまな低分子ペプチドが相次いで発見され、その機能に注目が集まっている。

さて、その植物は、動物とは異なり移動できない為、さまざまな環境刺激に応じて、さまざまな対応を余儀なくされている。そこで、植物は各器官（細胞）間で、動物よりもさまざまな情報のやりとりを活発に行っているとも言われており、細胞間情報伝達機構のよい研究材料となっている。たとえば、シロイヌナズナの場合、受容体型キナーゼが、登録されているEST (expressed sequence tag, 生体内で機能すると考えられる遺伝子の転

写産物を利用した指標) の0.6%を占める。ちなみに、ショウジョウバエの場合はたった0.003%であり、実に植物の200分の1しかない。このように多様な受容体に直接結合するシグナル因子として、CLEなどのたくさんの低分子ペプチドが同定されてきており、低分子ペプチドが位置情報の付与など、さまざまな細胞間情報伝達に寄与することが明らかになってきた。現在も低分子ペプチドがどのようにつくられ、近隣の細胞に対してどのように働くのか、という研究が進んでいる。

世界的にみてもたいへん競争の激しい分野となってきているが、当研究科においては、生物科学専攻の植物科学大講座（福田教授、川口准教授、筆者）や、進化多様性大講座（平野教授）において、このような低分子ペプチド研究への取り組みがなされている。



「小惑星」

宮本 英昭（総合研究博物館 准教授，地球惑星科学専攻 准教授 兼任）

日本の探査機「はやぶさ」が探査した小惑星イトカワは、これまで探査機が訪れた天体としてはもっとも小さく、大きなビルほどの大きさであった。表面重力が地球の数万分の1であるこの天体に、砂利が敷き詰められたような地形が見つかったことは、大きな驚きであった。

小惑星が最初に発見されたのは1801年である。セレスとよばれる小さな天体が、火星と木星の間に見つかった。当初は新惑星の発見と考えられたが、あまりにも小さく、さらに似たような天体が近くにいくつも見つかったことから、小惑星とよばれるようになった。その後小惑星は、望遠鏡の性能の向上と共に次々と発見されて、今では太陽系全体に数百万個

存在すると推定されている。

小惑星は小さいために、地球から観測するのに困難を伴う。実際ほとんどの小惑星は、形状や表面状態ですら謎に包まれている。そこで無数の小惑星を反射スペクトルの形状に基づいて分類し、これを隕石と比較する博物学的な研究が行われてきた。その結果、太陽から離れるほど揮発性成分が多いことがわかってきたが、これが太陽系の形成初期の名残なのか、長期間にわたる複雑な衝突過程の結果なのかはよくわかっていない。「はやぶさ」探査機がもち帰る予定の、小惑星のサンプルに期待がかかる。

理論的研究や観測から、小惑星は互いに衝突をくりかえしてきたと考えられている。すると重力の小さな天体では、

衝突の衝撃で土砂が宇宙空間にまき散らされるので、表面には小さな瓦礫すら存在しないだろうと考えられてきた。ところが予想に反してイトカワには無数の岩塊が存在し、しかもそれらが地滑り地形や堆積構造などを形成していたため、この考え方は修正を余儀なくされた。おそらくイトカワは岩塊の集合体であり、それらが衝突に応じて粉体として振舞っているのであろう、と最近は考えられている。しかしこれが他の小惑星でも生じている普遍的な現象なのか、他にも微小重力下でさまざまな現象が生じているのか、謎は深まるばかりである。小惑星や隕石に関する研究は地球惑星科学専攻の宇宙惑星科学講座や地球惑星システム講座で行われている。



「半導体微細化の物理的限界」

入江 英嗣（情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 助教）

PCでお馴染みのインテル CPU では、いよいよ8コア構成のモデルが登場する。使われているプロセスルールは45 nm。「リーク電流によってCMOS微細化は限界」という悲観論が出ていたが、high- κ 素材などさまざまな技術の投入により、少なくとも2, 3世代以上延命した形となっている。

半導体微細化は、計算機性能、ひいては情報技術の進歩の原動力となってきた。「ムーアの法則」に代表される急速かつ堅調な微細化は、さまざまな研究の背景となるいっぽうで、常に終焉がささやかれてきた。40年以上続いた微細化により、今では原子ひとつひとつの顔が見えており、微細化限界の影はより身近である。

微細化の物理的な限界には、素子特性と、製造手段の面がある。素子特性はおもに

リーク電流の問題で、短チャネル効果やトンネル効果など、理想素子なら流れない電流を抑制できなければ限界となる。製造手段では、おもに露光精度の問題である。用いる光の波長が、言わばペンの太さに相当する。可視光波長は紫色で400 nm。現行プロセスには太すぎるペンである。

ところが、明確そうなこれらの物理的限界の予測は難しい。素子特性は短チャネル効果を経験した1 μm 時にすでに限界だったはずだが、拡散層への不純物注入、材料の工夫など、問題の毎に新技術が投入されてきた。製造手段でも、16メガビット以上のDRAM製造には加速器が必要、とまで言われたが、その後、紫外線レーザー露光によって微細化は継続した。これらの努力によって、

それぞれ説得力のあった終末論も1 μm , 0.5 μm , 0.25 μm , 100 nm, ... と後退を続けている。high- κ 素材技術によりひとつの山を越え、国際半導体技術ロードマップでは、2022年にチャンネル長は4.5 nmという堅調な微細化を予測している。

現在、CMOSの限界は5 nm程度と言われている。しかし、平面上の微細化に加えて、三次元の集積技術も活発に研究されており、また、FinFETや単電子デバイスなどの新デバイスの研究も進んでいる。原子サイズという壁も実は壁でないかもしれない。微細化、高集積化限界の予測の難しさは、技術の進歩には際限がないこと、またいっぽうで「終末論」は実態以上に説得力をもってしまうこと、をよく表している。



「ソリトン」

時弘 哲治（数理科学研究科 教授）

ソリトンは粒子性をもつ波である。通常見られる波は伝播してゆくに連れて形が変化し最後には崩れるものだが、ソリトンは同じ形を保ったまま伝播し、さらにソリトンどうしが衝突してもそれぞれの形は変化しない。

ソリトンの研究は、1834年のスコット・ラッセル（John Scott-Russell）の安定な孤立波の観測に始まると言われている。彼は実験的にこの孤立波の存在と特性を研究し、1895年、コルテヴェーグ（Diederik Korteweg）とドゥブリース（Gustav de Vries）が流体力学の基礎方程式から浅い水を進行する波の方程式（KdV方程式）を導きその結論を理論的に説明した。その後、1965年にザブスキー（Norman Zabusky）とクラスカル（Martin Kuruskal）

は熱拡散の問題を解析する過程でKdV方程式を再発見し、数値的に解いたところ孤立した波どうしが粒子のように散乱するのを見出し、“solitary wave”（孤立波）に粒子性を示す接尾語“on”をつけこの波を“soliton”と名づけた。

ソリトンを解にもつ微分方程式は、非線形シュレディンガー方程式、KP（Kadomtsev-Pitviashvili）方程式、戸田格子方程式などひじょうにたくさんある。これらはすべて、無限個の独立な保存量をもつ、線形方程式の両立条件として表示できる、広田の双線形方程式で記述できる、初期値問題が逆散乱法により解ける、などの良い性質をもち、無限次元非線形可積分方程式とよばれる。1980年前後に、佐藤幹夫は無次元

非線形可積分方程式に関する統一理論を構築し、数学・物理学のさまざまな分野に大きな影響を与えた。戸田、広田、佐藤と言う名前が出てきたように、ソリトンの研究では日本人の研究者が常に世界の第一線で活躍してきた。

工学的には、1990年頃より光ファイバー中のソリトンを利用した光ソリトン通信の研究が盛んに行われてきたが、現在では大容量のブロードバンド通信の研究が主流のようである。理論面では、現在は、離散系のソリトン研究が主として行われており、数理科学研究科ではウィロックス（Ralph Wilcox）准教授や筆者の研究室で離散ソリトン方程式や超離散可積分系とよばれる完全に離散的な系を理論的に研究している。



「三体力」

酒井 英行（物理学専攻 教授）

質量をもつ二つの物体（粒子）には万有引力が働く。これは、二つの粒子の間に働く「二体力」である。物体が三つになった時には、三粒子はお互いに二体力により関連しあい三体相関が生じる。三体相関は二体力の和で表現できる。けれども、三粒子間に二体力の和で表せない力が生ずることがある。それが「三体力」である。三体力の存在を実験的に検証するには、三体系の運動方程式が解けなければならない。ニュートン力学による三体系の運動方程式には一般解がないことはポアンカレなどによって証明されている（理学のキーワード第4回「ポアンカレ予想」参照）。

原子核は量子力学で記述される世界である。その原子核は陽子と中性子で構成され、それぞれの粒子（陽子や中性子）

間には核力が働いている。この核力は湯川秀樹が1935年に予言した中間子の交換で生ずる二体力である。しかし、原子核では「三体」核力が生まれることを、1957年に本学部物理学教室の藤田純一と宮沢弘成が予言した。3粒子の中のひとつがデルタ粒子に一瞬変化することにより、残りの2粒子と中間子（おもにはパイ中間子）を同時に交換するというモデルである。藤田・宮沢型三体力とよばれている。

量子力学における三体系の運動方程式は、1964年にファデーエフ（L.D. Faddeev）により導かれた。これは厳密に解くことができるが、実験と比較するためには正確な二体力の確定が必要である。三体力効果が小さく、強い二体力効果によって容易に

隠されてしまうからである。1990年代になって4000点の実験データを再現する現象論的な二体力が完成し、体系の散乱実験と比較しうるファデーエフ理論の計算が実現した。

最近、筆者の研究室を中心とするグループは、陽子と重陽子の弾性散乱の精密測定を行い、ファデーエフ理論計算値との比較によって三体力の検証に成功した。二体力だけを使った計算では実験データが再現されず、三体力を含めることで実験データが再現されたのである。藤田・宮沢三体力の予言から半世紀近い年月が経っている。われわれの検証を受け、三体力の存在を前提とした核反応や核構造の理論計算や、三体力のより詳しい解明を目指した実験が始まっている。

追悼 吉川虎雄先生

茅根 創 (地球惑星科学専攻 教授)

吉川虎雄名誉教授(地理学専攻*)は、2008年8月19日に逝去されました。享年86才でした。

先生は、1944年に東京帝国大学理学部地理学科を卒業、お茶の水女子大学助教授を経て、1952年に東京大学理学部講師、1953年助教授、1961年教授として、1982年に退官されるまで30年にわたって、理学部地理学教室において研究・教育と教室の運営に尽力されました。2講座だけの教室の運営はたいへんだったと思いますが、少人数の特色を活かした密度の濃い教育体制がつけられていました。

先生のご研究は地形学で、過去数十万年(第四紀)の地球環境変動の枠組みの中で地形発達を解釈する新しい地形学の構築を、湿润変動帯に位置する日本の特色を存分に活用して進められました。

海岸段丘が、地殻変動と氷期-間氷期の海面変動との所産であることを明らかにした論文は、欧米の研究に10年以上先んじるものでした。公表当時は欧米の研究者には、地殻変動がそんなに速いはずがないと信じてもらえなかったとおっしゃっておられました。

通説に寄りかかることなく、野外調査や観察に基づいて客観的に解釈を導く研究姿勢は一貫しており、退官後も大陸棚の形成についてこれまでの通説とは異なる解釈を提示されました。

吉川先生のおと地形学の完成に尽力された米倉伸之先生も、退官直後にすでに逝去されました。おふたりの世代がつけられた新しい地形学は今では地球科学の常識となっています。私たちはこれを基盤として次のステップに進めていかな



■ 故・吉川虎雄先生

ければなりません。

先生のご冥福を、心からお祈り申し上げます。

* 現在は地球惑星科学専攻に改組。

東京大学大学院理学系研究科・博士学位取得者一覧

(2008年8月、9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9月26日付学位授与者(2名)			
課程博士	地惑	鹿倉 洋介	有限要素を用いたプレート沈み込み帯の力学的-熱的構造発達シミュレーション(※)
課程博士	生化	有本 京子	細胞質内ストレス顆粒形成によるストレス応答MAPK経路の制御(※)
2008年9月30日付学位授与者(10名)			
課程博士	物理	坂井 南美	低質量形成領域における「暖かい炭素鎖化学」の発見とその宇宙物理学的意義(※)
課程博士	物理	辰巳 創一	粉体系の動力学と不安定性に関する実験的研究
課程博士	地惑	岩前 伸幸	深海における潮汐混合のパラメタリゼーションの改良に向けた数値的研究(※)
課程博士	地惑	久保 泰	足跡化石から推測される陸棲四肢動物の姿勢進化(※)
課程博士	地惑	齋藤 実穂	サブストーム開始を担う磁気圏プラズマ過程の観測的研究(※)
課程博士	地惑	佐藤 広幸	火星地すべり地形の多様性の研究～火星環境変動への意義～(※)
課程博士	地惑	鈴木 絢子	火星衝突クレーターにみられるDouble Layered Ejectaの形成過程(※)
課程博士	地惑	宮地 鼓	日本の完新世沿岸気候変動に対するカガミガイの殻成長特性の応答(※)
課程博士	生科	近藤 江里	カタコウレイボヤ卵による精子誘引制御機構の研究(※)
課程博士	生科	劉 中美	クラミドモナス新規突然変異株を用いたダイニン外腕重鎮の機能に関する研究(※)

人事異動報告

所属	職名	氏名	異動年月日	異動事項	備考
植物園	技術専門員	高橋 弘行	2008.8.4	退職	
地惑	技術職員	小林 明浩	2008.9.1	採用	
化学	学術支援専門職員	村本 育世	2008.9.1	採用	
物理	助教	樋上 和弘	2008.9.30	辞職	鳴門教育大学大学院学校教育研究科准教授へ
化学	准教授	唯 美津木	2008.9.30	辞職	自然科学研究機構分子化学研究所准教授へ
化学	助教	本倉 健	2008.9.30	辞職	東京工業大学大学院総合理工学研究科講師へ
生科	特任准教授	堀口 吾朗	2008.9.30	辞職	立教大学准教授へ
物理	講師	原田 崇広	2008.10.1	採用	福井大学大学院工学研究科講師から
物理	助教	坂井 南美	2008.10.1	採用	
スペクトル	事務室主任	檜山 宏司	2008.10.1	配置換	教育学部・教育学研究科主任から

あとがき

本年4月に生物科学専攻の上田貴志准教授と交代して初めての編集担当ということで戸惑っていた矢先の10月14日、「南部陽一郎先生ノーベル賞受賞」というたいへんおめでたいニュースが報道されました。この日から本11月号の構成が大きく変わり、急遽今回の特別記事が加わった次第です。きわめて短期間でこのように内容の充実した特別記事が掲載されたのも、ひとえに物理学専攻の先生方のお蔭であると感謝しています。

「発掘 理学の宝物」は、三崎の臨海実験所の廊下に無造作に飾られていたという「幕府献上魚図」の発見です。私は毎年、植物課程の臨海実習で実験所を利用していますが、当然この魚図の存在にまったく気がつきませんでした。見る人が見ないとももの価値はわからないということでしょう。臨海実験所

所長の赤坂甲治教授によると、臨海実験所にはまだまだお宝がたくさんあるとのこと。さすが日本最古の臨海実験所です。今回の「理学からはばたけ」の一人は夢の職業、「酒の鑑定官」の北山さんです。ぶどう畑での写真は「国税庁」というイメージを一新すると思います。もう一人は海上保安庁の吉田さんで、こちらも天文学のイメージを一新するものとなっています。

今回の広報誌のキーワードはなんといっても南部先生の「自発的対称性の破れ」だと思います。これにより素粒子のことから宇宙のはじまりまで説明できると、生物科学専攻の私なりに理解したつもりです。対称性が破れて急激に成長した宇宙のように、大きなポテンシャルをもつこの広報誌も将来的に大きく成長し、ますます良いものになっていくと期待しています。というわけで、新米の編集委員です。よろしくお祈りします。

野崎 久義 (生物科学専攻 准教授)

第40巻4号

発行日：2008年11月20日

発行：東京大学大学院理学系研究科・理学部

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

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

野崎 久義 (生物科学専攻) nozaki@biol.s.u-tokyo.ac.jp

HP担当：

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

柴田 有 (情報システムチーム) yuu@adm.s.u-tokyo.ac.jp

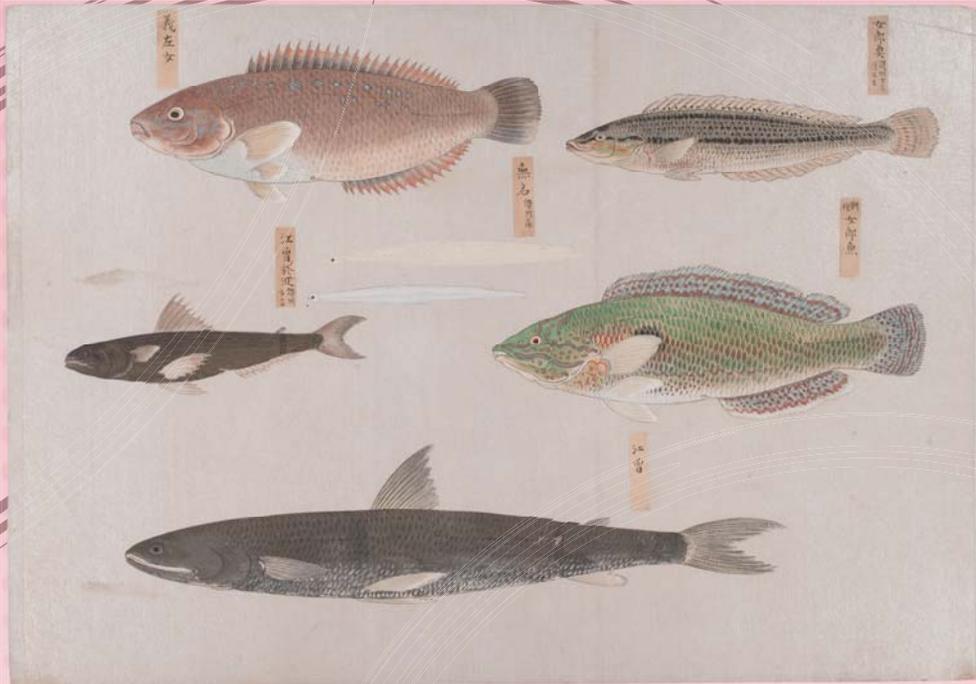
斉藤 直樹 (庶務係) nsaito@adm.s.u-tokyo.ac.jp

HP & ページデザイン：

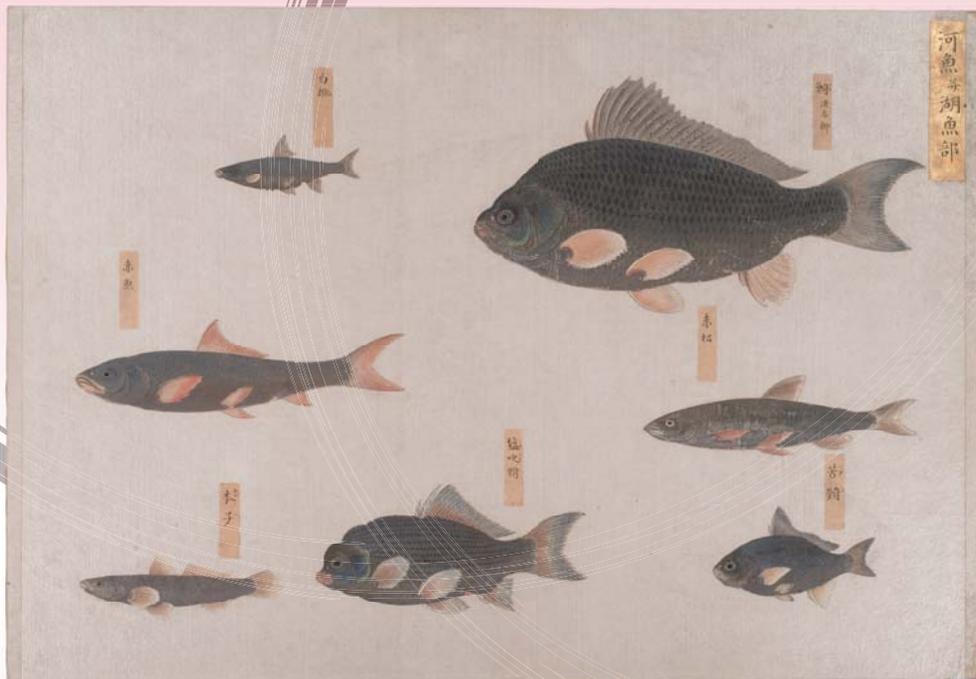
加藤 千恵 (庶務係) c-kato@adm.s.u-tokyo.ac.jp

大島 智 (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



左上から、「義左女」(きざめ, ホシササノハベラみ), 「女郎魚 讃州方言 邊 呂古」(べろこ, キウセン♀), 「無名 讃州産」(該当項目ナシ, マアナゴの葉形仔魚[2匹とも]), 「江曾ノ於波 讃州方言」(糸そのをば, オキエソ), 「別種 女郎魚」(あをべろこ, キウセン♂), 「江曾」(糸そ, マエソ)。



左上から、「白鱗」(白ハエ, ハス幼魚), 「鮒 漢名鯽」(鮒, ギンブナ), 「赤魚」(赤魚, ウグイ), 「赤松」(赤松カカラ, オイカワ), 「本子」(ボンノコ, ハゼ科の一種), 「塩吹鮒」(シオ吹鮒, ギンブナ狹頭個体), 「苦鮒」(ニガ鮒, ヤリタナゴ)。

※ ()内は「衆鱗図」記載名, 現和名。

～発掘 理学の宝物「衆鱗手鑑」より～