

## 研究会・学会スケジュール

第18回名古屋大学理学懇話会「星雲の宇宙をめぐる」  
 開催日：2009年10月24日(土)  
 開催場所：名古屋大学野依記念物質科学研究館講演室  
 主催：名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報委員会  
 講演者：金田英宏 理学研究科 准教授  
 犬塚修一郎 理学研究科 教授  
 問い合わせ：理学部庶務掛  
 kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2394  
 http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/  
 ※懇話会終了後、「高校生のためのサイエンスカフェ in 名大」を開催。

シリア・ユーフラテス河中流域の環境変遷史国際シンポジウム  
 Geo-environmental Research in the Middle Euphrates, Syria  
 開催日：2009年11月26日(木)13:00～17:00  
 開催場所：名古屋大学理学部E館127号室  
 主催：特定領域研究計画班  
 「環境地質学、環境化学、<sup>14</sup>C年代測定にもとづく  
 ユーフラテス河中流域の環境変遷史」  
 問い合わせ：田中 剛 環境学研究科 教授  
 tanakat@nagoya-u.jp / 052-789-2595

2009年国際ワークショップ「LHC時代の強結合ゲージ理論」  
 2009 International Workshop on Strong Coupling Gauge Theories  
 in LHC Era (SCGT 09)  
 開催日：2009年12月8日(火)～11日(金)  
 開催場所：名古屋大学野依記念学術交流館  
 主催：名古屋大学グローバルCOE「宇宙基礎原理の探求」SCGT 09組織委員会  
 問い合わせ：山脇幸一 理学研究科 教授  
 yamawaki@eken.phys.nagoya-u.ac.jp / 052-789-2862

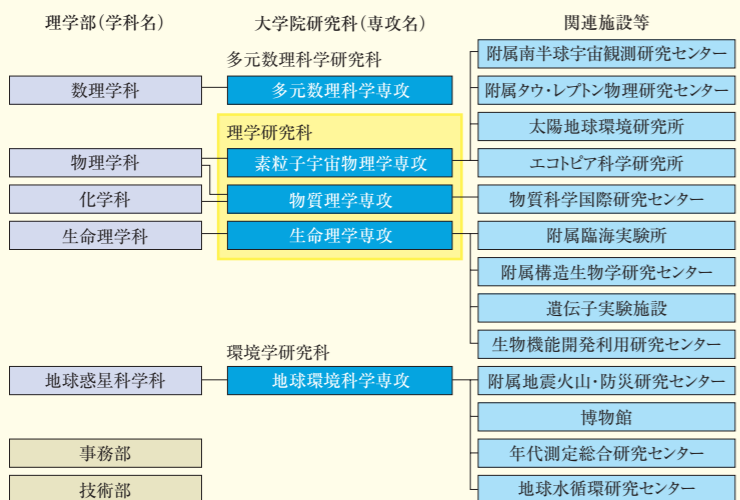
ワークショップ「動植物の受精とアロ認証機構」  
 開催日：2009年12月10日(木)  
 開催場所：パシフィコ横浜(横浜市)  
 主催：日本分子生物学会  
 問い合わせ：澤田 均 理学研究科 教授  
 hsawada@bio.nagoya-u.ac.jp / 0599-34-2216

新学術領域研究「揺らぎと生体機能」第3回公開シンポジウムおよび  
 第2回日韓生体分子科学セミナー「実験とシミュレーション」  
 開催日：2009年12月20日(日)～23日(水)  
 開催場所：名古屋大学豊田講堂(前半)および名古屋大学シンポジオン(後半)  
 主催：文部科学省科学研究費補助金(新学術領域研究)および  
 日本学術振興会「アジア研究教育拠点事業」  
 問い合わせ：岡本祐幸 理学研究科 教授  
 okamoto@phys.nagoya-u.ac.jp / 052-789-3528

第8回坂田・早川記念レクチャー  
 開催日：2009年12月26日(土)  
 開催場所：名古屋市科学館サイエンスホール(名古屋市)  
 主催：名古屋大学大学院理学研究科・名古屋市科学館  
 問い合わせ：杉山 直 理学研究科 教授  
 naoshi@a.phys.nagoya-u.ac.jp

## 組織図

理学部・理学研究科・多元数理科学研究科・環境学研究科(地球環境科学専攻)



## 編集だより

今回の『理フィロソフィア』の特集では、「小林・益川理論を超えて」と題して、素粒子物理学の最先端研究を理論と実験の両面から紹介した。気がつけば、名古屋大学を湧かせた、小林・益川両先生そして下村先生のノーベル賞受賞から、早くも1年が過ぎようとしている。この間、素粒子実験が専門の私自身も小林・益川理論やその検証を行ったBファクトリー実験に関する解説を方々でさせていただく機会を得た。そこで、聴衆の素粒子に対する関心の高さとともに、研究の中身を伝えることの難しさを痛感した。素粒子は目に見えない、視覚化できないことが説明をより困難にする。とくに、小林・益川理論が説明した粒子-反粒子対称性の破れでは、位相という素粒子の波の性質が鍵を握っている。なかなか理解しがたい量子力学の側面であるが、実際に巨大な粒子加速器を使って実験を行ってみると、この位相が本当にあることがわかり、さらに数%の精度で理論の予想通りであることが確かめられた。これは実際に実験を行った一人として、感動すべき一瞬であり、自然の法則性に畏怖の念を抱かずにはいけない。研究の内容を厳密に伝えることは難しいが、こういった自然の神秘さや、それにふれた研究者の興奮、研究の醍醐味、といったものは可能な限り伝えていきたいものである。(飯嶋徹)

## 表紙説明

ジュネーブ郊外に設置された巨大加速器LHC(赤い円)によって、人類未踏の超高エネルギー状態をつくり出し、新現象の発見を目指す実験が始まる。向こうには、レマン湖、モンブランの山並みが見える。式は、上から余剰次元、質量の起源、小林・益川の各理論の基礎を与えるもの。(本号P.8参照)



## 理 philosophia — No.17 October 2009 2009年10月20日発行

広報委員 國枝秀世(研究科長)  
 篠原久典(副研究科長)  
 松本邦弘(評議員)  
 吉田健一(数理学科)  
 福井康雄(物理学科)※委員長  
 飯嶋 徹(物理学科)  
 岡本祐幸(物理学科)  
 吉久 徹(化学科)  
 杉山 伸(生命理学科)  
 瀧口金吾(生命理学科)  
 川邊岩夫(地球惑星科学科)  
 伊藤政彦(事務長)

編集発行 名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報委員会  
 〒464-8602 名古屋市千種区不老町

ご意見、ご感想をお待ちしています。  
 本誌の原稿執筆や取材などにご協力いただける方を求めています。  
 広報委員会までご連絡ください。  
 なお、ご投稿などの採否については当委員会にお任せください。  
 次号は2010年4月頃発行の予定です。

制作 株式会社電通

・本誌記事、写真等の無断複写、転載を禁じます。

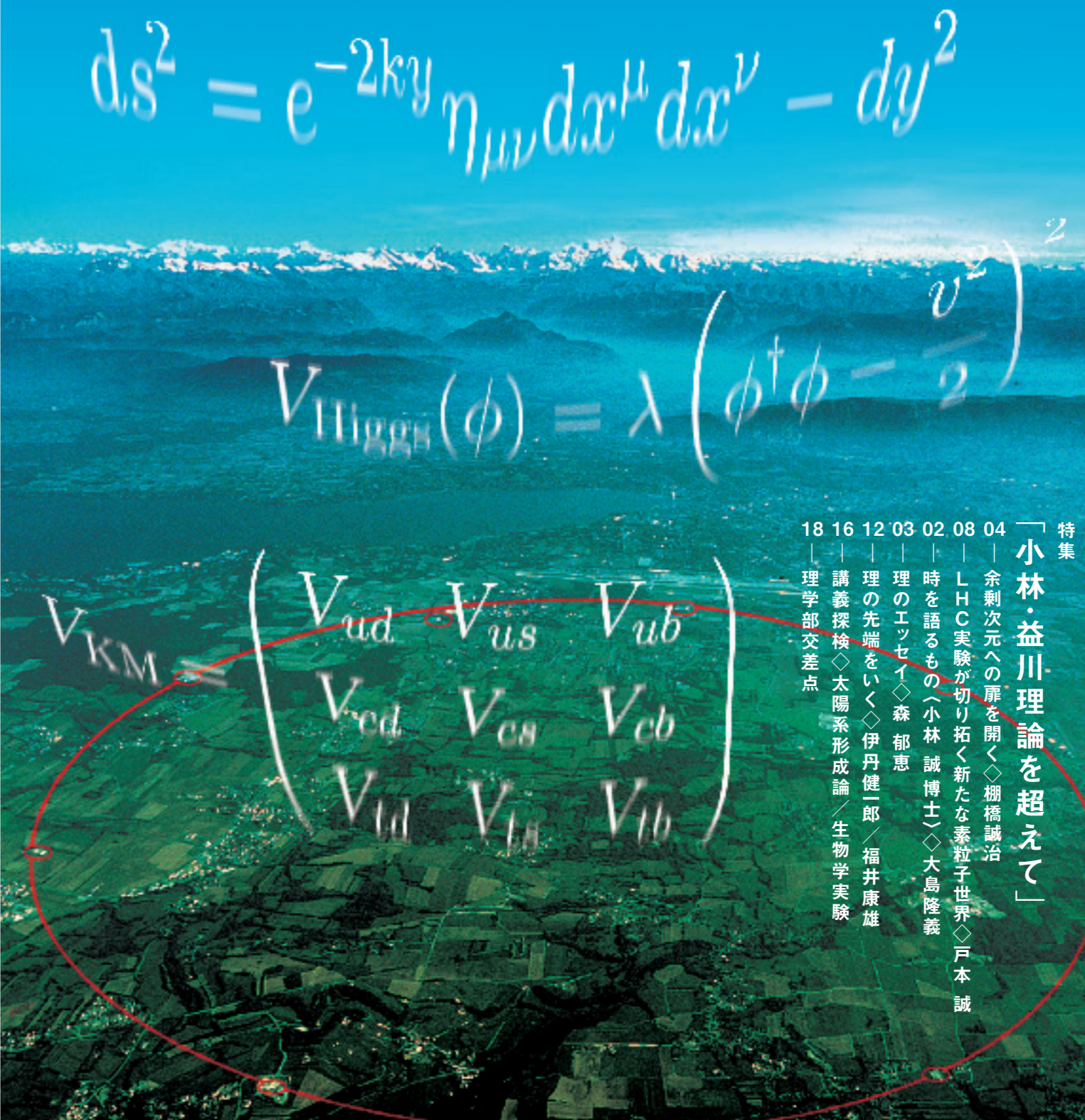
TEL 052-789-2394 FAX 052-789-2800 E-mail kouhou@sci.nagoya-u.ac.jp URL http://www.sci.nagoya-u.ac.jp/kouhou/

# 理

名古屋大学理学部・大学院理学研究科広報誌  
 [理フィロソフィア] October 2009

17

philosophia



特集 「小林・益川理論を超えて」  
 04 余剰次元への扉を開く◇棚橋誠治  
 08 LHC実験が切り拓く新たな素粒子世界◇戸本誠  
 02 時を語るもの(小林誠博士)◇大島隆義  
 03 理のエッセイ◇森郁恵  
 12 理の先端をいく◇伊丹健二郎/福井康雄  
 16 講義探検◇太陽系形成論/生物学実験  
 18 理学部交差点

## 小林誠博士 — 実験家とともに素粒子の謎にせまる



1964年に中性K中間子\*1の崩壊においてCP対称性の破れ\*2が発見されて以来、対称性の破れを説明する多くの理論が提唱された。小林・益川理論の発表は1973年である。理論的な研究と並行して、K中間子以外の他の素粒子反応での探索が行われたが検出されず、理論、実験とも行き詰まり始めていた。1981年、三田一郎博士\*3が、小林・益川理論に基づいて、B中間子崩壊に大きなCP対称性の破れが現れることを示唆した。そして、我が国と米国において高強度の電子陽電子衝突型加速器、通称Bファクトリーの建設が始まった。実験は、斬新な加速器技術の導入や、非対称エネルギーでの衝突実験、B中間子の崩壊点を検出する高精度位置検出器の採用など、ハイテク、新技術の集大成であった。1999年に衝突実験が始まり、

2年後に実験データが発表された。まさに、小林・益川理論の勝利であった。その後の実験の進展により、今では数%の精度でCP対称性の破れが測定できるようになった。この間、小林博士はBファクトリーを擁する全国共同利用研究所(高エネルギー加速器研究機構)において、最前線で活躍する実験研究者の理論的指導役を果たし続けた。クォーク種が変遷するとき、波としての位相\*4が変化する。これがCP対称性の破れの要因であることが判明した。では、位相は、なぜ測定された値をもつのか。その物理的機構は—。標準理論を超えた新しい物理世界でも位相のもつ意義は大きいと考えられる。(大島隆義 附属タウ・レプトン物理研究センター長)



こばやし まこと  
小林 誠(1944—)  
名古屋大学理学部卒、  
同大学院理学研究科修了(1972)  
高エネルギー加速器研究機構  
特別荣誉教授(2008—)  
独立行政法人日本学術振興会理事(2007—)  
同学術システム研究センター所長(2009—)  
名古屋大学特別教授(2009—)  
文化勲章(2008)、ノーベル物理学賞(2008)

### ◆写真の説明

小林・益川理論が提唱されたのは1973年、その検証がB中間子の崩壊で可能となることを三田一郎博士たちが予想したのは1981年である。しかし、そのためには、加速器の強度を1000倍に増強し、わずか1兆分の1秒の寿命しかないB中間子の崩壊を精密に測るという当時としては常識破りな実験技術が必要であった。高エネルギー加速器研究機構に建設された「KEKB加速器」(上の写真)は、世界最高のビーム強度を達成し、年間約2億対のB中間子と反B中間子をつくり出す。そして、衝突点に設置された「Belle(ベル)粒子測定器」(下の写真)は、B中間子の崩壊過程を精密に測定する。背景の図は観測されたB中間子の崩壊事象の一例である。この実験を名古屋大学の高エネルギー素粒子物理学研究室が中心になって進めている。20年以上の歳月をかけて、このような高度な実験技術の進歩があり、理論がついに検証されたのである。(写真提供:高エネルギー加速器研究機構)

### \*1 中性K中間子

中間子は、クォークと反クォークが強い力で結合した粒子。現在クォークは、u、d、s、c、b、tの6種類が知られている。中性K中間子はdクォークと反sクォークが結合した粒子、中性B中間子はdクォークと反bクォークが結合した粒子である。素粒子には、質量やスピンなどが同じで、電荷の正負が逆転した反粒子がある。電子の反粒子として陽電子が存在することは、よく知られた例である。

### \*2 CP対称性

CP対称性は粒子と反粒子の対称性を意味する。素粒子レベルでは、この対称性が破れており、これが、我々の宇宙が物質のみで構成され反物質がないことを説明するのに必要である。

### \*3 三田一郎(1944—)

神奈川大学教授。名古屋大学名誉教授。1992年から2006年まで名古屋大学素粒子論研究室の教授を務めた。1981年、当時未発見であったB中間子の存在を予測して、100%近い大きなCP非保存が存在することを予言した。

### \*4 位相

量子力学では、素粒子は粒子とともに波としての性質ももち、この波の位相がCP対称性の破れを引き起こす。

## 女性として科学者を生きる

森 郁恵 生命理学専攻教授



数年前、ある高校から出前授業を頼まれた。体育館で講義の準備をしていたら、高校生がぞろぞろと入ってきた。体育館に置かれた椅子が、だんだんと埋まってくるのを見ると、奇妙なことに気がついた。男子生徒は、とてもリラックスしている様子で、ずっとおしゃべりを続けている。それに対して、女子生徒は、脇見もせず、じっと静かに座っている。出前授業のコーディネートをした関係者に、後になって聞いてみた。「あの高校に、女性の教諭はいませんか」。「よく、わかりましたね」とびっくりされたが、わたしの専門は行動学であり、かつ、わたしは女性科学者である。高校生の行動から、高校教諭が全員男性であると推論することは、それほど難しくなかった。男子生徒の堂々としてリラックスした雰囲気は、自分と同じ男性である先生たちに期待されている自信の現れではないかと思ったのだ。

さて、大学はどうか。女子学生や女性ポスドクが、科学者として生き抜いていく覚悟をもてない現実がある。その原因の1つは、女性教員の割合が極めて少なく、女性が女性として、自分らしさを発揮しながら学問を続けるためのロールモデルが、ほとんど見当たらないことにある。実際、助教、准教授、教授と職位が上がるにつれて、女性教員の割合は激減する。気がつけば、わたし自身も、名古屋大学の理学部に所属する約65人の教授の中で、ただ一人の女性である。この現象は、あからさまな女性差別もないのに起きるため、「ガラスの天井」とよばれる。我々教員は、女子学生に対して、男子学生と同じように希望と期待をもって科学者として歩みだせるよう育成する任務を負っている。それを果たすためには、女子学生が自分の将来をイメージできるような女性教員を、まず増やすことが肝要であろう。大学を1つの反応系ととらえるならば、偏ったまま安定した男女比は、小手先のパラメータを変えても本質的な変化は望めない。思い切って反応の初期条件を変えてみる、つまり、大学教員の男女比をリセットすることが、最も効果的と考えることもできる。

女子学生が上を見上げた時に、視界に入る女性科学者が存在しないことのむなしさや居心地の悪さが「ガラスの天井」の本質であることを、大学教員全員が、まず認識しなければならぬ。そして、数少ない女性教員は、彼女たちに、学問を追求する者として、希望に満ちあふれた将来を映し出してみせる鏡にならなければならない。

*Ikuo Mori*

1957年生まれ。Washington University博士課程修了。九州大学理学部助手、名古屋大学大学院理学研究科助教を経て、2004年より現職。専門は行動遺伝学、分子生物学。「何度読んでも新しい発見がある」といわれる論文を書き、「奥深く美しい」と形容される研究をするのが目標。

## 小林・益川理論を超えて

ノーベル賞受賞で一躍注目を集めた小林・益川理論が発表されたのは1973年のこと。

今、素粒子物理学は、小林・益川理論では理解ができない現象に挑んでいる。

素粒子物理学の新たなチャレンジがはじまった。

(2009年6月13日、第17回理学懇話会より)

## 余剰次元への扉を開く

棚橋 誠治 素粒子宇宙物理学専攻教授



Masaharu Tanabashi

1964年生まれ。1992年、名古屋大学大学院理学研究科博士課程修了。博士(理学)取得。高エネルギー物理学研究所日本学術振興会特別研究員、客員研究員、助手、東北大学大学院理学研究科助教授を経て、2007年より現職。専門は素粒子理論。とくに素粒子現象に興味をもち、標準模型を超える物理の可能性について、理論研究を行っている。

### 量子力学の不思議

われわれが現在生きている空間は、3次元空間です。3次元空間とは、前後、上下、左右と、自由に動くことのできる方向が3つあるということです。そして空間とは別に時間という次元があり、普通「4次元時空」に生きていると考えています。しかし、われわれはただ「そう考えているだけ」かもしれません。

たとえば綱渡りをしている曲芸師にとっては、綱渡りのロープは1次元に見えます。でも、ロープの太さよりも小さなノミにとっては、同じロープでもその表面は2次元に見えるのです。われわれ人間はミクロな素粒子からみるとすごく大きい。それに比べて極小の素粒子の世界にはもっとたくさんの次元があるかもしれません。

われわれがいま知っている以外の余分な次元を「余剰次元 (extra dimensions)」といいます。そして余剰次元があると考えることで、「現在解決できないままになっている素粒子の問題を解決できる可能性がある」というのが今日の話のテーマです。

まずは、素粒子を理解するために、量子力学\*1の不思議な性質を紹介したいと思います。量子力学の世界では、素粒子は粒子であると同時に波のようにふるまいます。量子力学を理解するために「電子線の2重スリット実験」を考えてみましょう(図1)。

1つの電子を飛ばすとスクリーン上の1点が明るく光ります。スクリーンに電子が当たって光ったのです。このように、電子はたしかに粒子の性質をもっています。しかし、何度も同じ実験を繰り返すと、

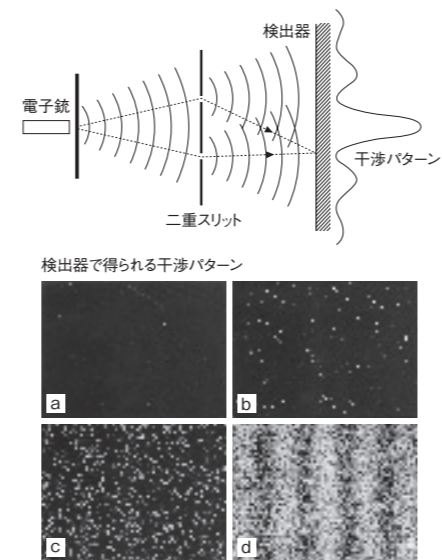


図1 電子線の2重スリット実験

電子銃から放出された電子は、2つの穴が開いている2重スリットを通してスクリーンに到達する。スクリーン上では、1つの電子があたるとその点が光るようになっている。最初はa図のようにポツポツと輝点が見えはじめるが、時間がたつにつれて、b、c図のように輝点が増え、やがてd図にあるような干渉縞が観測される。(写真提供:株式会社日立製作所フェロー外村彰)

スクリーン上で電子が当たりやすい場所と当たりにくい場所がだんだんとはっきりしてきて、スクリーンに縞模様が見えるようになります。この縞模様は干渉縞\*2といって、電子が「波の性質」をもつと考えないと理解できません。2つのスリットをとる波が重なりあって干渉がおきます。非常に奇妙ですが、素粒子は粒子であり波なのです。

重要なことがもう1つあります。2重スリット実験において、どこが光って、どこが光らないのかはたまたまの偶然です。われわれが量子力学で計算できるのは、どこが明るくなりやすいか、どこが暗くなりやすいのかという確率だけなのです。そして、この確率は量子力学の基礎方程式として知られるシュレディンガー方程式によって計算することができます。



図2 「標準理論」における素粒子像 物質を構成する最も基本的な粒子はクォークとレプトンであり、それぞれ3世代6種類に分類されている。クォークとレプトンの相互作用は、「力を媒介する粒子」により伝えられ、電磁相互作用、強い相互作用、弱い相互作用のそれぞれに、グルーオン、光子、WボソンまたはZボソンが対応する。これ以外に、質量の起源とされるヒッグス粒子が予想されており、LHC実験での発見が待ち望まれている。

クォークの壊れ方

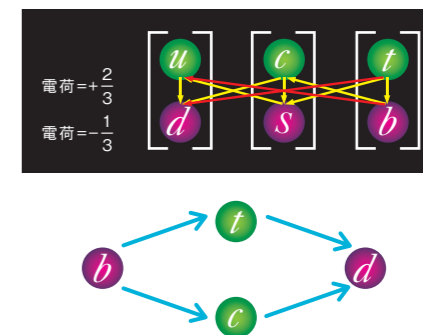


図3 CP対称性の破れ

小林・益川理論によると、クォークは3世代6種類があり、上図の矢印で示すように、弱い相互作用によって、世代を超えて変化する。すると、bクォークがdクォークに変化する場合には、一度tクォークになってからdクォークになる場合と、一度cクォークになってからdクォークになる2通りの可能性があり、2重スリット実験の時と同じように、2つの波が干渉を起こす。

### 「CP対称性の破れ」とは

次に素粒子の話をしします。素粒子は点でもあり波でもあるという量子力学の世界を思い描きながら、話を聞いてみてください。物質をつくる原子の大きさは $10^{-10}$ メートルぐらいです。原子は $10^{-14}$ メートルぐらいの原子核と、そのまわりをまわっている電子からなります。電子の大きさは $10^{-18}$ メートル以下です。電子の大きさを計測するということは電子を粒子ととらえるということで、大きさを計らなければ波として広がって原子核のまわりを漂っていることになります。これが量子力学の考え方です。原子核は中性子や陽子でできています。大きさは陽子も中性子も原子核より1桁小さい $10^{-15}$ メートルぐらいです。ではこの陽子や中性子をつくっているものは何でしょうか。それがクォーク\*3です。大きさは $10^{-19}$ メートル以下だと知られています。ではクォークは、いくつ種類があるのでしょうか。

「クォークは6種類なければいけない」。これを予言したのが、小林誠、益川敏英両先生的小林・益川理論です。

当時、実際に見つかっていたクォークはアップクォークとダウンクォーク、そしてストレンジクォークだけでした。アップクォーク、ダウンクォーク以外のクォークは寿命が短くてすぐに壊れてしまい、他のクォークになってしまいます。加速器を使った実験ではつくることができますが、われわれの世界にはほとんどありません。先ほど原子をかたちづけていたのは原子核と電子だといいましたが、電子の仲間のレプトンがやはり6種類あります。電子は、ミューオン、タウや、それらと対をなす電子ニュートリノ、ミューオンニュートリノ、タウニュートリノなどと、レプトンというグループを形成します。ニュートリノは電荷をもたず、質量もごくごく小さい素粒子です(図2)。

これらに加え、電荷が逆で質量が等しい「反粒子」が存在することもわかっています。たとえば

電子に対しては陽電子があります。電子は電荷が-1ですが、陽電子は+1です。陽子に関しても電荷が逆で質量が等しい反陽子があります。これは理論で予言され、実験で確認されています。粒子と反粒子はぶつくと消えてしまってエネルギーを放出します。電子と陽電子の消滅の場合だと、エネルギーは光子となって放出されます。

粒子と反粒子はほとんど同じ性質をもっていると説明しました。これが「CP対称性」です。電荷を除いて完全に粒子と反粒子の性質が同じであれば、CP対称性があるということになります。長い間、CP対称性は厳密な対称性だと思われていましたが、1964年に行われたK中間子\*4の実験により、CP対称性が少し破れていることが発見されました。この現象を理論的に説明したのが、小林さんと益川さんです。実は、粒子と反粒子の性質を異なるようにすることは、なかなか難しいのです。具体的にいうと、クォークは、当時は3種類、多くても4種類だと思われていました。しかし、クォークが4種類しかないモデルでは、どうしてもCP対称性の破れは説明できません。小林・益川論文では、いろいろな可能性が検討され、その1つとしてクォークの数を6種類にするという仮説が検討されました。どうして6種類だとCP対称性が破れるのかを説明するのは、なかなか難しいのですが、ここでも、素粒子が波のように干渉を起こすことが重要になります。たとえば、ボトムクォークがダウンクォークに変化する過程を考えると、トップクォークを経由する場合( $b \rightarrow t \rightarrow d$ )とチャームクォークを経由する場合( $b \rightarrow c \rightarrow d$ )があり、あたかも電子線の2重スリット実験のように、2つのクォークの波( $b \rightarrow t \rightarrow d$ と $b \rightarrow c \rightarrow d$ )が干渉します。この干渉が粒子の場合と反粒子の場合で異なりCP対称性が破れるのです(図3)。

その後、小林・益川理論の予言する6種類のクォークが続々と発見され、さらにはB中間子という

粒子についても小林・益川理論に基づく予言どおりのCP対称性の破れがおきることが日本のBelle実験\*5やアメリカのBaBar実験\*6によって検証され、小林・益川理論が確立することになります。

しかし、小林・益川理論は実は完全な理論ではありません。少なくともわれわれの身のまわりの宇宙には粒子ばかりが存在して、反粒子はめったに存在しません。これはなんらかのCP対称性の破れに起因するはずなのですが、小林・益川理論の枠内ではこのことを説明することには成功していないのです。小林・益川理論を超えるなんらかの物理法則が必要とされています。

#### \*1 量子力学

極微の世界を記述する物理法則。状態の時間発展はシュレディンガー方程式によって記述される。

#### \*2 干渉縞

2つの波を重ね合わせることで、波の山同士が重なって大きな山ができた、山と谷が重なってほとんど振動しない部分ができたりしてきた縞模様のこと。

#### \*3 クォーク

強い相互作用をする素粒子。アップ(u)、チャーム(c)、トップ(t)の各クォークは電荷2/3をもち、ダウン(d)、ストレンジ(s)、ボトム(b)の各クォークは電荷-1/3をもつ。強い相互作用のために、クォークは単体では存在せず、必ず他のクォークないしは反クォークと結合状態をつくる。電子やニュートリノなどのレプトンは強い相互作用をしない素粒子であり、単体で存在できる。

#### \*4 K中間子

クォークと反クォークが結合状態を中間子とよぶ。K中間子は、ストレンジクォークと反ダウンないしは反アップクォーク、あるいは、反ストレンジクォークとアップないしはダウンクォークとの結合状態である。同様に、B中間子は、ボトムないしは反ボトムクォークを含む中間子である。

#### \*5 Belle実験

つくばにあるKEK(高エネルギー加速器研究機構)で、行われている電子・陽電子衝突実験。大量のB中間子を生成し、その崩壊を調べることで、小林・益川理論の検証や素粒子標準模型を超える物理を探る。小林・益川理論を実験的に検証することで、2008年の小林・益川のノーベル物理学賞受賞に貢献した。

#### \*6 BaBar実験

アメリカのSLAC(スタンフォード国立線形加速器研究所)で、行われている電子・陽電子衝突実験。Belle実験とともに小林・益川のノーベル物理学賞受賞に貢献した。

## 標準模型の限界

現在の素粒子物理学は、素粒子標準模型を基本にしています。小林・益川理論とともに、標準模型を形成しているのが、素粒子同士に相互に働く力、相互作用についての理論です。相互作用は4つの種類があります。1つは重力\*7です。地球がわれわれを引いている力です。もう1つが電磁気\*8、電磁気も身近に感じることができます。それから3つ目は強い力\*9(相互作用)です。強い力はクォーク同士を結びつけて、陽子や中性子をつくっています。4つ目は弱い力\*10(相互作用)です。

では、力はどのように媒介されているのでしょうか。たとえば磁石のS極とS極をくっつけてと反発します。これは磁石同士が相手に直接力を及ぼしているわけではありません。磁石のまわりには磁場(磁界)ができ、磁場を経由して磁石同士は反発しあったり引き合ったりしています。このように、相互作用を考えると、「場」が重要な役割を果たします。磁石の場合には、それが磁場なのです。そして、我々が目で見ている光は、電場・磁場が波となって空間を伝わっているものです。量子力学で考えると、光の波に対応する粒子が存在し、この素粒子を光子とよびます。

次に弱い相互作用を考えてみましょう。弱い相互作用は、中性子が、陽子、電子、反ニュートリノになるβ崩壊を引き起こす相互作用です。弱い相互作用にも「場」が存在します。この「場」をW(weak)場とよぶことにしましょう。電場・磁場と同様に、W場の量子力学を考えると対応する素粒子であるW粒子が存在します。中性子のβ崩壊\*11では、中性子のなかに含まれるダウンクォークがアップクォークとW粒子に変化しています。このW粒子は「一瞬」しか存在せず、すぐにニュートリノと電子に変化してしまいます(図4)。

電磁気のすべての相互作用が電場・磁場を経由して引き起こされるのと同じように、弱い相互作用もW場が媒介することで引き起こされるのです。電磁気との違いは何かというと、電磁気的光子は質量が0だったのに対して、W粒子は質量がすごく大きいことです。しかし質量の違いはあるものの、電磁気も「弱い相互作用の場」も基本的には同じ相互作用になっています。これらが同じ相互作用だということをまとめたのが素粒子標準模型です。

ただ、同じ相互作用だとまとめるためには、質量があるW粒子と質量がない光子を同じ素粒子だと



みなす必要があります。同じ素粒子だとみなすためにはW粒子の質量がどこから出てきたのかを説明せねばなりません。これが「質量の起源」の問題です。

標準模型では、W粒子が質量をもつためにはヒッグス粒子(h)\*12が必要とされています。でも、どうしてヒッグス粒子が必要とされるのでしょうか。W粒子はW粒子同士で相互作用することが知られているのですが、それには3種類の場合があり、あたかも3重スリットのように3つの波が干渉を起こします(図5)。

この干渉を考慮して、W粒子の相互作用の確率を計算すると、仮にヒッグス粒子が存在しないと

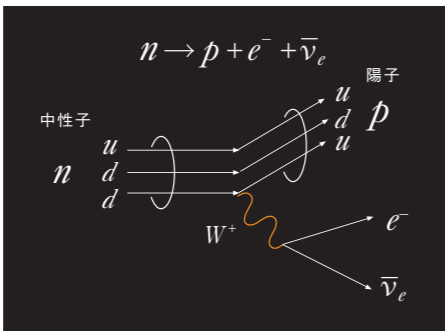


図4 弱い相互作用  
中性子のベータ崩壊は、クォークとレプトンの弱い相互作用による応答として理解できる。

場合、つまり3つ目のスリットが閉じられた場合には、この確率が1を超えてしまうのです。確率が1を超えるなんてありえません。ヒッグス粒子が存在しないと、W場の量子力学が矛盾してしまうのです。ちょっと難しい話ですが、ここでもまた、粒子が波のように干渉する量子力学の特徴が重要になっています。

ヒッグス粒子は存在するはずだといいましたが、残念ながら、まだみつかっていません。これが発見されるかもしれないのが、2009年の秋から再開されるLHC実験\*13です。あと何年かすれば実験結果が出ます。ヒッグス粒子が存在すれば必ず発見されます。近い将来にも素粒子質量の起源が、実験的に解明されることが期待されています。

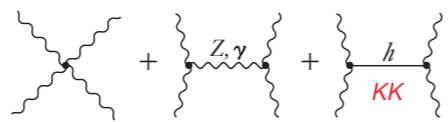


図5 標準模型でのWW散乱振幅の計算を表す「ファインマングラフ」

一番左のグラフがW粒子同士の直接の相互作用による振幅を、まんなかのグラフがZ粒子や光子を媒介とする振幅を、最後のグラフがヒッグス粒子を媒介とする振幅を表す。量子力学ではこれらをすべて足して、絶対値の自乗をとることで「散乱確率」が計算される。散乱の途中過程で3つの状態をとり得るので、あたかも3重スリットのように振幅が干渉する。余剰次元模型では、一番右のファインマングラフで、標準模型のヒッグス粒子の代わりにカルツァ・クライン粒子が散乱を媒介し、この場合であっても散乱確率が1を超えないようにできる。

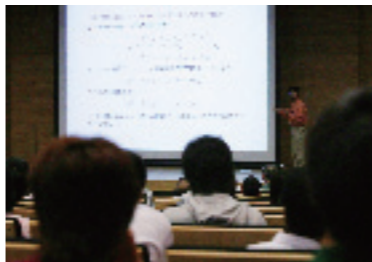
## なぜ余剰次元が必要なのか

標準模型は弱い相互作用と強い相互作用と電磁相互作用までは説明できました。しかし、われわれが一番身近に感じている重力は説明できていません。重力を説明するために皆が頭を悩ませています。1つの可能性として超弦理論が示唆されています。ここから余剰次元の話になります。われわれは3次元空間に住んでいると思っているわけですが、「空間次元が9つないと重力は説明できない」というのが超弦理論\*14の予言です。

われわれは重力まで含んだ統一理論\*15を考えたいのですが、重力の相互作用の大きさは電磁気の相互作用と比べて $10^{-41}$ しかありません。これでは力の大きさが違いすぎて話になりません。4つの相互作用をすべて統一する理論をつくり上げたいというわれわれの野望を果たすためには、どうしてそんなに小さいのかを説明する必要があります。どうすればいいのでしょうか。

空間の次元は3次元ではなくて、隠れた小さい次元があるかもしれないと最初にお話しました。こう考えると重力の相互作用だけが非常に小さいことを説明できます。ここでは「ワープした余剰次元」とよばれる、歪んだ余剰次元を考えてみましょう。歪んだ余剰次元のなかで、重力場の粒子であるグラビトン\*16を考えます。余剰次元の方向に関してグラビトンの場所を測定しているわけではないので、グラビトンは波動関数、確率として余剰次元のなかで広がっています。歪んだ余剰次元を考えると、グラビトンの存在確率が局在し、グラビトンの存在確率が大きな場所と小さな場所ができます。この模型では、クォークやレプトン、さらにはヒッグス粒子といった通常の素粒子も余剰次元のどこかに局在していると考えられるのですが、質量の起源であるヒッグス粒子の局在している場所でグラビトンの存在確率が非常に小さくなっていけば、重力の相互作用が非常に弱くことが明快に説明できます(図6)。

最後に、私が研究している余剰次元と質量の



起源を結びつける話をしましょう。標準模型では、ヒッグス粒子が存在しないとイケないと話しましたが、これはどの程度本当なのでしょう。図5で説明したように、ヒッグス粒子が存在しないと、W粒子の散乱確率が1を超えてしまいます。では、ヒッグス粒子以外のもので、W粒子の散乱確率を1以下にできないのでしょうか。余剰次元理論では、カルツァ・クライン粒子(KK)\*17という、余剰次元方向に波動関数が広がっている新しい粒子が予言されました。実はヒッグス粒子が存在しなくても、カルツァ・クライン粒子を計算に入れると散乱確率は1を超えないことが保障されます。

余剰次元理論を考えると、重力相互作用だけが非常に弱い理由を説明すると同時に、必ずしもヒッグス粒子を導入しなくて質量の起源の問題が解決できるのです。

LHC実験では、ヒッグス粒子を探すと同時にカルツァ・クライン粒子を探します。ヒッグス粒子の代わりに、カルツァ・クライン粒子がみつかる可能性があります。そうすると質量の起源の問題は、現在の標準模型とはかなり違う姿で説明されることになります。これにより、小林・益川理論や標準模型を超える新たな理論が誕生するかもしれません。LHC実験には実はこんな可能性もあるのです。本日はどうもありがとうございました。

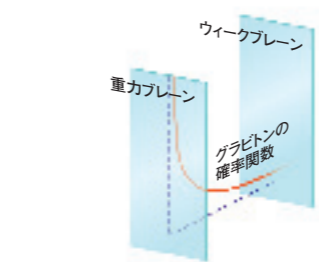


図6 余剰次元模型におけるグラビトンのイメージ  
ランドール・サンドラム模型におけるグラビトンは、余剰次元の方向に量子力学的な波として広がっている。ウィークプレーンに我々が住んでいると仮定すると、我々がグラビトンを観測する確率が非常に小さくなり、重力相互作用が極めて弱い理由が説明できる。



\*7 重力  
粒子のもつ質量やエネルギーに比例して働く相互作用。万有引力ともよばれ、地球が我々を引力として我々が日常感じる事ができる相互作用である。ニュートンによる重力理論は、アインシュタインの一般相対性理論として修正を受けて古典理論として完成したが、まだ対応する量子理論は完成していない。

\*8 電磁気  
電気や磁気のあいだに働く相互作用であり、電場や磁場によって媒介される。電場や磁場を記述するマクスウェル方程式は量子化され、量子電磁気学(QED)として完成している。光子は電磁場が量子化されたものである。

\*9 強い力  
クォークや反クォークを結びつけ中間子や核子をつくる相互作用。クォークのもつ色荷に働く。色場によって媒介される。色場を量子化した理論は量子色力学(QCD)として知られており、よく検証されている。グルーオンは色場が量子化されたものである。

\*10 弱い力  
中性子のベータ崩壊などを引き起こす相互作用。クォークやレプトンのもつ弱荷に働く。W場によって媒介される。電磁気と弱い力を統一した量子理論であるワインバーグ・サラム理論はよく検証されている。W粒子はW場が量子化されたものである。

\*11 中性子のベータ崩壊  
中性子はアップクォーク1つとダウンクォーク2つでできた複合粒子であり、陽子は、アップクォーク2つとダウンクォーク1つでできた複合粒子である。陽子と中性子がいくつか集まって原子核を構成する。単体の中性子は不安定であり、陽子、電子、反ニュートリノに崩壊する。このように電子線(ベータ線)を放出する崩壊のことをベータ崩壊とよぶ。

\*12 ヒッグス粒子  
標準模型が存在を予言する素粒子のうち、唯一未発見の素粒子。素粒子物理学における未解決問題である質量起源問題に深く関わっているとされる。

\*13 LHC実験  
スイス、ジュネーブのCERN研究所にある Large Hadron Collider(LHC)で行われる実験。ヒッグス粒子の探索の他に、超対称性粒子や、余剰次元の探索が行われる予定。

\*14 超弦理論  
重力の量子力学として最も着目している理論。素粒子を振動している弦と考える。近年、いくつかの驚くべき発見があり、重力の量子論としての応用を超えて広い展開を見せている。時空の概念を拡張するなど、あらたな数学としての側面ももつ。

\*15 統一理論  
すべての素粒子と相互作用を統合する、未完成の究極理論。

\*16 グラビトン  
重力場を量子化したときに現れると期待される素粒子。まだ未発見である。

\*17 カルツァ・クライン粒子  
余剰次元理論で予言される新素粒子。余剰次元方向に広がったすべての場に付随して予言される。



# LHC実験が切り拓く新たな素粒子世界

戸本 誠 タウ・レプトン物理研究センター准教授

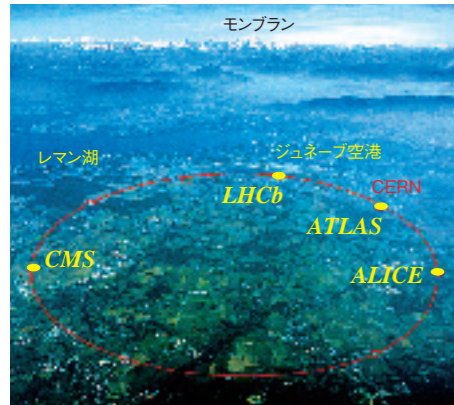


図1 CERNとLHC加速器  
CERNはスイスとフランスの国境にあるLHC加速器を有する国際共同研究機関。周長27キロメートルのLHC加速器には、4つの衝突点があり、そこで素粒子実験が行われている。その中で、名古屋グループが活躍するATLAS実験は、CERN研究所内部に位置する。



Makoto Tomoto

1971年生まれ。2001年 名古屋大学大学院にて博士課程を修了。高エネルギー加速器研究機構のCOE研究員、米国フェルミ研究所のリサーチ・アソシエイトを経て2006年より現職。Bファクトリー実験とテトロン実験の経験を生かし、LHC実験にて新しい素粒子の発見に挑んでいる。

## 素粒子実験の最前線

昨年、小林さん、益川さん、南部さんがノーベル賞を受賞されたわけですが、ノーベル賞の受賞理由を述べた文章の末尾に、「おそらくCERNの新しい加速器LHCが、いまだ我々を悩ますこのような謎の一部を明らかにするであろう」とあります。「CERN(Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)\*1」と「LHC(Large Hadron Collider)\*2」、これが今日の話のキーワードになります。

CERNはスイスのジュネーヴ郊外のフランスとの国境にあります。CERNはLHC加速器を有する大がかりな研究所です(図1)。

どかな田園風景の中には似つかわしくなく、世界中の研究者がここに集結し、しのぎを削って

素粒子研究をしています。たとえば、LHC実験の1つATLAS(A Toroidal LHC ApparatuS)実験\*3では、同じ興味をもった世界中の共同研究者、2000人以上が競争、協力して基礎科学を探索しており、最先端の素粒子実験と、国際社会交流を楽しむ場となっています。

LHC加速器は2008年の9月10日に陽子ビームの周回に成功しました。そのときには私も現場にいましたが、世界各国から2000くらいの報道機関がCERNに集まってお祭り騒ぎでした。

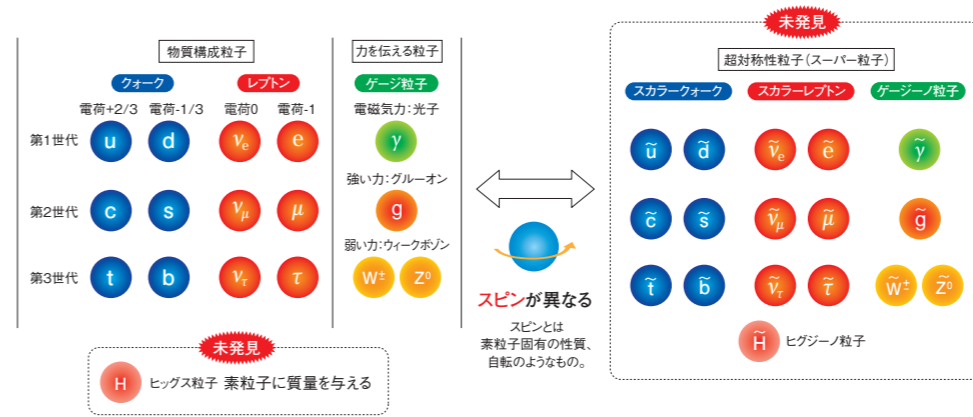
今日の話「LHC実験が切り拓く新たな素粒子物理」では、LHC実験でどのような素粒子研究を行うのか、それと同時に、LHC加速器と、その加速器を使ったATLAS実験の紹介をします。

## 今わかっている素粒子たち

素粒子物理研究とは、自然界にあるすべての物質を細かく砕いていったときに最終的に何が残るのか。つまり、素粒子を探る研究です。同時に、素粒子同士に働く力のメカニズムを追究する研究です。

このような考えは今に始まったことではありません。古代ギリシャの時代には、空気、火、水、土の四大元素が素粒子だと考えられていました。その後、素粒子に対する理解は時代とともに進化してきました。

自然界の物質を分子、原子…と細かくしたとき、電子、電子ニュートリノの2種類のレプトン\*4、アップとダウンの2種類のクォーク\*5にたどりつきます。このレプトンとクォークが現在考えられている素粒子です。これらの素粒子は、実験的に、 $10^{-18}$ メートルより小さいことが確かめられています。そして、その後の素粒子研究の成果により、合計で6種類のクォークと6種類のレプトンが存在することがわかりました。アップクォーク、ダウンクォーク、電子ニュー



トリノ、電子が第1世代、チャームクォーク、ストレンジクォーク、ミュー粒子、ミューニュートリノは第1世代のコピーで、第2世代とよびます。トップクォーク、ボトムクォーク、タウレプトン、タウニュートリノを第3世代とよびます。世代の違いは、質量が異なることを表しています。

素粒子は、「重力」「電磁気力」「弱い力」「強い力」の4つの力によって、物質として構成されます。重力と電磁気力は、無限遠まで到達することができるので、皆さんになじみのある力となっています。弱い力と強い力が我々になじみがないのは、力の到達距離が素粒子規模の非常に短いものからです。電磁気力は(+)と(-)の電荷を感じて力が働きますが、同じように、弱い力は弱電荷、強い力は3種類の色電荷を感じて力が働きます。素粒子の世界では、力は粒子を交換することによって働くと考えます。たとえば、別々のボートに乗った2人の人がキャッチボールしている場面を想像してみましょう。1人がボールを投げるとき、ボートはボールを投げる方向とは反対側に動くことが想像できます。ボールを受け取った側の人も後ろ側に動きます。素粒子は、「ゲージ粒子\*6」という仲間の素粒子をボールにしてキャッチボールをしています。電磁気力は光子、強い力はグルーオン、弱い力はウィークボソンがゲージ粒子になります。

実は、素粒子はレプトン、クォーク、ゲージ粒子だけではなくありません。素粒子に質量を与える役割であるヒッグス粒子が必要不可欠なのです。ヒッグス粒子は未だ発見されていませんが、LHC実験で発見されることは確実です(図2)。

## 新たな素粒子たち

宇宙はビッグバンにより誕生し、膨張し、そして137億年を経て冷えた現在の宇宙となりました。ビッグバンの $10^{-14}$ 秒後の宇宙は高温、高エネルギー

状態( $100\text{GeV}^*$ 程度)で、先ほど説明した $10^{-18}$ メートル以下の大きさをもつ素粒子が支配する世界でした。未発見のヒッグス粒子も存在していたはずですが、それよりもっと前の世界ではどうか。その世界では、4つの力が1つに統一され、超対称性や余剰次元とよばれる新たな現象が支配していたかもしれません、それ以上に人類が想像さえできない世界であったかもしれません。

我々研究者は、宇宙創成時の高温、高エネルギーの世界では、力の大きさはまったく同じで、宇宙の膨張とともに4つに分岐したと考えています。実際に、力の大きさがエネルギーとともに変化していることは、実験的にも確かめられています。この実験データをもとにして、単純に高エネルギー世界での力の世界を予測すると力の大きさは1つになり得ません。ところが、「超対称性粒子」が存在すると力の統一が実現できるのです。「超対称性粒子」のことを今日は「スーパー粒子」とよみましょう(図2)。

素粒子固有の性質を表すものの1つに、自転のような性質をもつスピンというものがあります。クォーク、レプトンはスピン1/2、ゲージ粒子はスピン1、ヒッグス粒子はスピン0です。スーパー粒子は、我々が知っている素粒子と比べて、スピンの1/2だけ異なり、残りの性質はまったく同じ粒子のことをいいます。このスーパー粒子の質量が $1000\text{GeV}$ 程度の実験的に手に届く範囲にあれば力の統一が現実的となり、LHC実験はこの発見に挑みます。

我々が知っている素粒子でできている物質は全宇宙組成の中で4%にしかすぎません。残りの73%は暗黒エネルギー、23%は暗黒物質とよばれる謎の物質です。スーパー粒子は、暗黒物質の最有力候補であり、それが本当ならば、我々は宇宙組成の4分の1を理解することになるのです。

図2 これまでの研究で既知の素粒子とLHC実験で発見をめざす素粒子の概念図

クォーク、レプトン、ゲージ粒子が既知の粒子である。ヒッグス粒子は、素粒子が質量を獲得するために必要不可欠な粒子で、LHC実験での発見が確実視されている。スーパー粒子は、電磁気力、弱い力、強い力の統一へと導く新しい素粒子である。さらに、暗黒物質の有力候補となる。LHC実験はスーパー粒子に代表される新しい素粒子の発見に挑む。

\*1 CERN(欧州合同原子核研究機構)  
1954年に設立された国際共同研究機関。最先端の加速器を用いて素粒子の基本法則や現象を探索することを主目的とする研究所である。これまでに、W粒子、Z粒子の発見などの基礎科学研究的な偉大な業績があるだけではなく、ウェブ発明などの基礎研究を超えた分野でも優れた実績をもつ。現在は、60か国を超える国々から約1万人のユーザーが共同研究を展開している。

\*2 LHC(大型ハドロン衝突型加速器)  
ヒッグス粒子や超対称性粒子などの新しい素粒子の発見を目指し、建設された陽子・陽子衝突型加速器。周長27キロメートルの加速器によって7兆電子ボルトの陽子同士の衝突を実現する。14年間の建設期間を終え、2008年に陽子ビームの周回に成功し、2009年秋に再稼働する。

\*3 ATLAS(アトラス)実験  
LHC加速器の陽子・陽子衝突を測定し、ヒッグス粒子や超対称性粒子を探索することを主目的に進められている実験。陽子ビーム衝突点に高さ25メートル長さ44メートル、総重量7000トンのATLAS検出器を有し、37の国と地域から2000人以上の研究者が参加している。

\*4 レプトン  
物質を構成する素粒子の1つの種類。なじみのあるものでは、電子がレプトンの仲間である。その他、ミュー粒子、タウ粒子、電子ニュートリノ、ミューニュートリノ、タウニュートリノを含む6つがレプトンの仲間である。強い力が働かない物質構成粒子である。

\*5 クォーク  
物質を構成する素粒子の1つの種類、陽子などを構成する素粒子である。レプトンと異なり強い力が働く。その結果、たとえば陽子は、アップクォーク2つとダウンクォークで構成される。その他、チャームクォーク、ストレンジクォーク、トップクォーク、ダウンクォークを含む6種類がクォークの仲間である。

\*6 ゲージ粒子  
力を媒介する素粒子。電磁気力を伝える光子、弱い力を伝えるウィークボソン(W粒子とZ粒子)、強い力を伝えるグルーオン、重力を伝える重力子(未発見)がゲージ粒子の仲間である。

\*7 eV(電子ボルト)  
エネルギーの大きさを表す単位。1ボルトの電位差の中で電子が獲得するエネルギーが1eVである(=1.60217733×10<sup>-19</sup>ジュール)。素粒子物理では、運動量、質量なども電子ボルトで表す。小さい単位であるため、メガ電子ボルト(MeV=10<sup>6</sup>eV)、ギガ電子ボルト(GeV=10<sup>9</sup>eV)、テラ電子ボルト(TeV=10<sup>12</sup>eV)がよく用いられる。参考までに、陽子の質量はおよそ1GeVである。

## 素粒子をどう観るのか？

では、どうやって極微の素粒子世界を観ているのでしょうか。顕微鏡では光を当て、その光の反射や屈折のさまから物のかたちを観察します。光の波長よりも大きな物に光を当てると光は反射や屈折をしますが、光の波長よりも小さなものでは光は反射や屈折をせずにすり抜けてしまいます。目に見える光は100ナノメートル、つまり $100 \times 10^{-9}$ メートル程度の波長なので、顕微鏡ではその程度の大きさまでしか観察できません。さらに極微な素粒子は、 $10^{-18}$ メートル程度の波長の光が必要となることとなります。光のエネルギーは波長と反比例の関係にあり、波長が短いほどエネルギーは大きい。つまり高エネルギーの光を当てれば、より小さいものを観ることができます。これは粒子を当てても同じです。高エネルギーの粒子をぶつけるほどより小さな物質の構造を観ることができるのです。

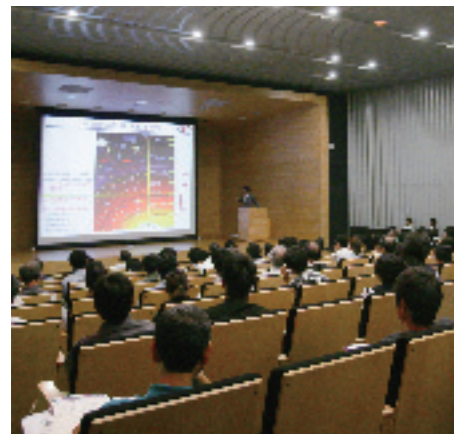
新しい素粒子をつくるためにはどうすればよいのでしょうか。電子と陽電子を衝突させると対消滅をしますが、電子と陽電子がもっていたエネルギーは残ります。有名な $E=mc^2$ 式によると、残ったエネルギーだけの未知の素粒子を生成することが可能であることがわかります。つまり、粒子の衝突エネルギーが大きければ、質量の重い未知なる素粒子をつくり出すことが可能となるわけです。過去の実験で、45GeVの電子と陽電子をぶつけて、90GeVの質量であるZ粒子をつくり出すなど実績があります。未知の素粒子とは、既知のエネルギーでは生成が不可能であることを意味します。この手法から、今度は、ヒッグス粒子や超対称性粒子をつくり出そうと考えているのです。素粒子の構造を探ったり、新しい素粒子をつくり出したためには高エネルギーの粒子が必要となるのです。

高エネルギーの粒子は加速器によってつくり出されます。加速器の原理はシンプルです。(+)の電極板と(-)の電極板の間に(+)に帯電した粒子を置くと、電場によって(-)電極の方向に力を受け、粒子は加速します。N極とS極の磁石で挟まれた空間に電荷をもった粒子を動かすと、磁場によって粒子は曲がり円運動を始めます。磁界を強くし、円運動の半径を大きくすることで、粒子の加速度は増します。このように電気や磁気の簡単なメカニズムを応用しているのが加速器なのです。円形加速器は、荷電粒子を円運動させるための電磁石と、加速するために設置した加速用電極からなります。荷電粒子は、電極を通るごとに加速され、それに応じて磁石の磁場を大きくすることで、粒子は、同じ半径の円形加速器内をまわるたびに加速度を増していきます。



余談ですが、いままでの説明では、1つの粒子を加速しているような印象を与えたかもしれませんが、実際には粒子の塊を加速させています。たとえば、LHC加速器の場合、陽子の塊が2835個並んでいて、1つの塊のなかには $10^{11}$ 個の陽子が入っています。

現在、実験稼働中の加速器の中で世界最高エネルギーは、アメリカのフェルミ研究所にあるテバトロン加速器\*8で、2000GeVの衝突エネルギーです。この加速器によって、唯一未発見であった最も重いクォーク、トップクォークを発見しました。我々は、衝突エネルギーの高い加速器をつくり、より重い粒子を発見し、現代素粒子物理学を成功へと導きました。今日の話の主役であるLHC加速器は、テバトロン加速器よりも7倍高い14TeV(1TeV=1000GeV)という衝突エネルギーを実現させ、ヒッグス粒子、スーパー粒子、あるいは、サブライズな素粒子の発見をめざします。



## 巨大加速器と巨大検出器

LHC加速器は周長27キロメートルの円形加速器です。ちょうど、名古屋市営地下鉄の名城線1周ほどの大きさです。1232本の超伝導磁石が27キロメートルの加速器を覆い、14TeVの世界最高エネルギーを実現します。超伝導磁石は液体ヘリウムで冷却して、1.9K\*9に冷却している状態で運転しています。27キロメートルの加速器のリングは、地下100メートルに設置されており、合計4つのビーム衝突点、つまり実験施設があります。我々名古屋大学のグループが参加している実験はATLAS実験です。

地下100メートルの実験ホールに、直径25メートル、長さ44メートルの巨大円筒形をしたATLAS検出器があります。陽子と陽子を円筒の中央で衝突させ、新しい素粒子をつくり出します。新しい素粒子は、何百、何千もの我々が知っている粒子に崩壊してATLAS検出器に痕跡を残します。何千もの粒子は、小さな検出器で観測するよりも大きな検出器で観測した方が、より良い分解能で粒子を観測できるので、このような巨大な検出器が必要になるのです。光が残したピクセル(点)を分析して、我々の姿を写しだすデジタルカメラのように、この巨大検出器を使って粒子が残した検出器の痕跡(点)を集め、それを解析することによって、衝突点で発生した新しい素粒子の像をみます。検出器の読み出し数は、1億6000万チャンネルですので、1億6000万画素のデジタルカメラといってもよいでしょう。ただし、この検出器は、光、だけでなく、電子、ミュー粒子、陽子など、いろいろな粒子を判別する能力も持っています。

検出器の建設工事は100メートルの穴掘りから始まりました。検出器建設の土台を固めた後に検出器のパーツごとにインストールをしました。2005年には検出器の骨組みができ始め、そして、10年以上の歳月をかけ2008年、検出器が完成しました(図3)。素粒子実験という何か机の上で細かいことだけをしているような印象を受けそうですが、現実とは違います。何百トンの重量物を運ぶクレーンで物を運んだり、はしご車に乗って20メートルの高さでハーネスとよばれる命綱を装着して回路の設営をしたりと大がかりな建設工事をしたりもするのです。

名古屋大学のグループは、直径25メートルの円盤の検出器の仕事の主をしています(図3)。やる気とガッツをもつ若い研究者たちが研究の



図3 ATLAS検出器

写真は、円筒検出器の筒部分とふた部分の境界から撮影したもの。名古屋大学グループはとくに、写真右側にある円盤形ミュー粒子検出器の建設や運転の分野で活躍している(写真提供:CERN-ATLASグループ)。

主役です。現在、我々のグループでは、3人の学生と1人の研究員がCERNで主体的な研究をしています(図4)。彼らは「当たって砕ける」の精神で現地での研究を楽しんでいます。まさに粒子と粒子を当てて砕けさせる研究をしているわけですから、彼らはこの研究にぴったりの人材です。素粒子物理学が難しいと思っている人でも、ある程度の知識と体力に自信があり、1つの目標に向かって突っ走る研究への情熱があれば実験室として活躍できる場があるでしょう。

## 未知の素粒子の発見に向けて

講演のはじめに、ATLAS検出器が完成し、2008年9月10日、陽子ビームがLHC加速器を周回したことを紹介しました。しかしながら、その9日後の19日に加速器で事故がありました。超伝導磁石間に電気を通すケーブル接続部の抵抗が増加し発熱、放電しました。その結果、1.9Kに冷やした液体ヘリウムが真空容器に漏れだし、温度が上昇し酸化したことで容器の圧力が急上昇し、20台以上の超伝導磁石が移動し破損しました。53台のマグネットを地上に取り出し修理しないといけなくなり、現在、その修理と今後同じ事故が起らないような改善策が施されています。この

修理は、まもなく終わり、2009年の秋にLHC加速器の運転再開が予定されています。

我々実験室は加速器が動いていなくても、検出器のチューニングはできます。我々は、先日の陽子が周回したときのデータももっていますし、空から降ってくる素粒子である宇宙線を使って検出器が正しく応答しているか確認しています。こうしたデータから問題点も多く見つかり、何十メートルの検出器を文字通り縦横無尽に走り回りながら改善もしました。たとえ今日、陽子を衝突させても、新しい物理が観られそうならいまだ検出器は仕上がっています。さらに、2009年の秋以降、未知の素粒子が発生した場合に備え、シミュレーションを使って新発見を先取りした物理解析を実施しています(図5)。

小林・益川理論を超える素粒子世界をめざし、LHC実験が始動しました。LHC実験は、ヒッグス粒子を発見し、さらに超対称性や余剰次元などの新しい素粒子世界を開拓するために、最先端技術を凝縮させた素粒子実験装置であることは間違いありません。今は、まさに、素粒子物理学の革命前夜です。これからの素粒子研究はますます面白くなります。とくに、ここにいる若い人たち、私といっしょに新しい素粒子を見つけませんか。



図4 CERNで活躍する名古屋大学グループのメンバー

研究の主役は若手研究員や学生たちだ。彼らは未知なる素粒子の発見をめざし、世界中の共同研究者との現場研究を楽しんでいる。

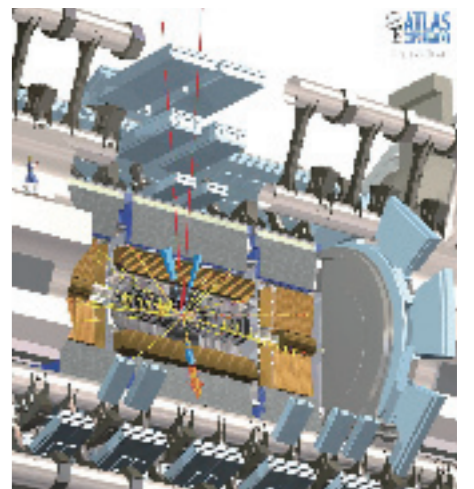


図5 ヒッグス粒子のシミュレーション事象

2009年秋からの陽子衝突によって、ヒッグス粒子をつくり出した時、ATLAS検出器では図のように見える。図は、ヒッグス粒子が2つの電子と2つのミュー粒子に崩壊したシミュレーションのイメージ図である。図は、円筒内部を詳細に観測したもので、赤線がミュー粒子、青線が電子の飛跡を示す。こうした電子やミュー粒子の飛跡を再構成して衝突点でヒッグス粒子が生成されたことを立証することが物理解析の肝となる。

\*8 テバトロン加速器

シカゴ近郊にあるフェルミ国立加速器研究所が有する陽子・反陽子衝突型加速器。周長約6キロメートルの加速器によって1兆電子ボルトの陽子と反陽子を衝突させる。現在稼働している加速器の中で最高衝突エネルギーを誇り、トップクォークの発見などの実績をもつ。

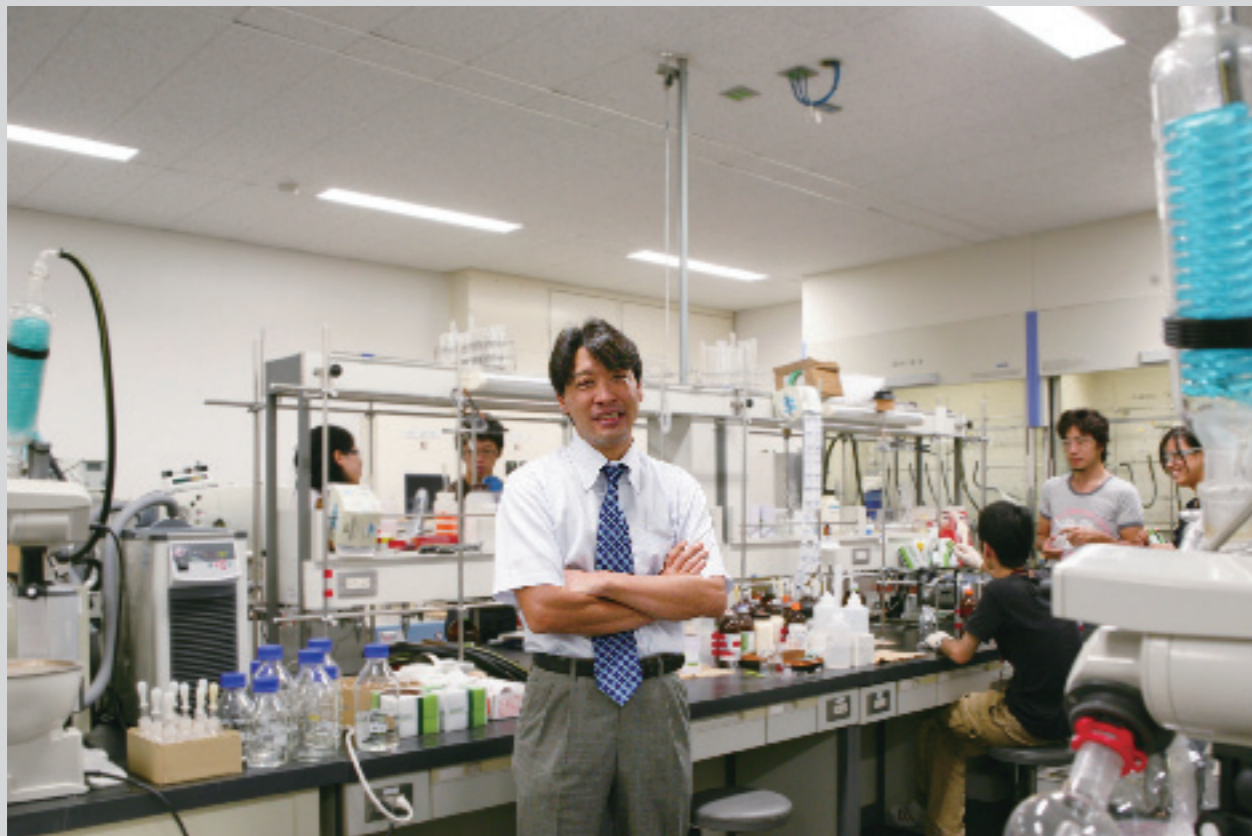
\*9 K(ケルビン)

温度を表す単位。絶対零度0Kは摂氏-273.15度に相当する。

# 分子をつなげて価値を生む有機合成化学

## — ナノの世界の建築家をめざして —

伊丹 健一郎 物質理学専攻教授



Kenichiro Itami

1971年生まれ。1998年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。1998年同研究科助手、2005年名古屋大学物質科学国際研究センター助教授を経て、2008年より現職。専門は有機合成化学。

### 有機合成化学という“ものづくり”

化学には、ほかの学問にはない多くの特別の性格が付与されている。特権といってもよい。最大の特権は、原子や分子でサイエンスを語れることである。あるいは物質に対するそうした理解や知識の蓄積を活用することによって、原子・分子レベルから物質をビルドアップできるという権利だ。有機合成化学とは、そのような権利を最大限に活用し、あらゆるニーズにこたえながら物質を供給する立場にある学問である。野依良治教授の言を借りれば「創造的であり経済効果をもたらす責任科学 (Responsible Science)」である。合成の

重要性は、化学(物質)の階層性を言語の階層性にたとえるとわかりやすい。単独ではあまり意味をなさない原子(アルファベット)が、あるつながりをもったとき、分子(単語)という意味をもつ。さらに、それらが適切に集まると、分子集合体(文章)という機能体を生む。こうした機能や価値が生まれるプロセスにおいて、“合成”の重要性は明白であろう。

我々の研究室では、「誰もがほしがる有機骨格を、誰もが望む方法で提供する」、「農薬・複雑天然物や機能性有機材料をつくる」、「前人未踏の有機骨格をビルドアップする」という課題に焦点

を当てながら、分野横断型の合成化学研究を推進している。ここでは、最近の代表的な成果について紹介する。

### “機能”が約束された化学反応、芳香環連結反応の革新

芳香環-芳香環結合をもつビアリール骨格は、有機化合物の機能発現における最も重要な基本構造のひとつである。医薬や生物活性天然物に頻繁に見受けられるのみならず、近年興隆する有機エレクトロニクス材料の基本骨格としても活用

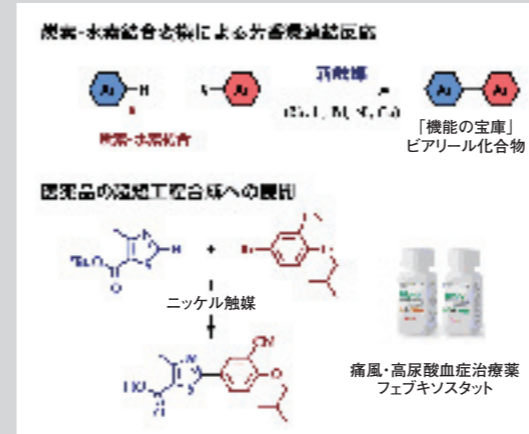


図1 炭素-水素結合変換による芳香環連結反応  
(上)独自の遷移金属触媒の開発、(下)応用例:痛風治療薬フェブキソスタットの超短工程合成法の確立

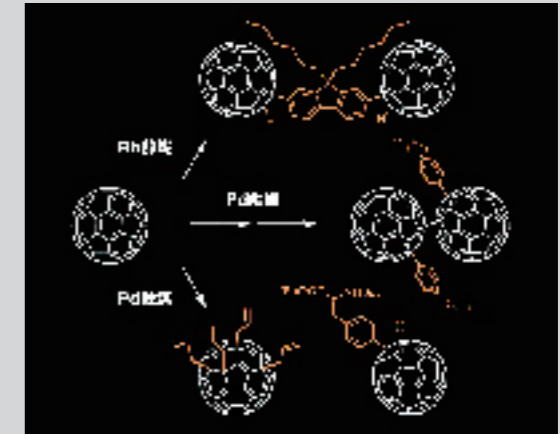


図2 遷移金属触媒を用いたフラレーンの化学修飾  
RhやPd触媒の作用により、C-C形成、C-C切断、C-H変換、C-H二量化など、多様な化学変換がフラレーン誘導体で可能になった。アミノ酸やπ共役系化合物などの機能性有機ユニットとフラレーンのハイブリッド分子や、キラルフラレーン類の迅速合成も可能な手法である。

されている。この“機能”が約束されたビアリール骨格をいかに構築するか、一世紀以上にわたって有機化学の中心に居座り続けてきた課題である。我々は、合成化学的に最も理想的な方法で、ビアリール骨格を構築する新反応・新触媒を数多く開発することに成功した。独自の分子設計を施した遷移金属触媒(Rh, Ir, Pd, Ni, Cu)の作用によって、有機化合物に最も豊富に存在する“炭素-水素結合”を直接的に変換しながら、芳香環同士の連結が可能になるというものである。これらの新反応・新触媒の出現は、多くのユニークな機能性物質を圧倒的なスピードで世に送り出すことを可能にした。たとえば、炭素-水素結合の直接変換触媒を用いることで、40年ぶりの痛風新薬として脚光を浴びているフェブキソスタット(februxostat)の、超短工程合成に成功した(図1)。なお、フェブキソスタットは年間1000億円規模の医薬となるのが期待されている。

### 新しいナノカーボン材料の創製

フラレーンやカーボンナノチューブなどのナノカーボン類は次世代マテリアルズサイエンスの主役となる物質群であり、新しいナノカーボン材料を効率的に提供する合成化学の開拓は、この分野の発展の鍵を握る。我々は、分子触媒化学のエッセンスをこの分野にもちこむことで、従来法ではアクセスできなかった新しいナノカーボン物質を

創製することに成功した。

たとえば、フラレーン表面での位置選択的な化学修飾を可能にするロジウム(Rh)触媒やパラジウム(Pd)触媒を開発することに成功した(図2)。アミノ酸やπ共役系化合物などの機能性有機ユニットとフラレーンのハイブリッド分子の迅速合成も可能な手法である。パラジウム触媒を用いたキラルフラレーン類の一段階合成にも成功している。これらの成果は、単にフラレーンを化学修飾する新手法の開拓であるばかりでなく、「ナノカーボン科学の進展に寄与する分子触媒化学」という新しい方向性を提案するものとしても注目されている。

さらに最近では、市販の薬品からわずか6段階で“最短カーボンナノチューブ”であるシクロパラフェニレンを合成することに成功した(図3)。シクロパラフェニレンはベンゼンをパラ位で環状につなげただけのシンプルで美しい分子だが、75年以上の長きにわたって合成化学者の挑戦をことごとく退けていたものでもあった。我々の合成は、太さと長さの決まった「純正カーボンナノチューブ」の完全化学合成の道を拓く第一歩として、大きな期待が寄せられている。

目に見えない10億分の1メートルレベルの話だが、それでも設計図を描きながら確実にモノをつくれるというのが、有機合成化学の醍醐味である。目の前のフラスコの中で世界初の「分子つなぎ」が行われていることを知ったときの興奮は、何にも

代え難いものである。それを予め計画していればかなりの陶酔感を味わうことになる。あるいは、それをまったく予期していなかった場合は、自らの不才を嘆くが、それに倍して自然の偉大さと単純明快さに感動する。これらの出会いと発見こそが、私にとっての有機合成化学の最大の魅力である。「原子・分子レベルから意のままに物質をつくりあげ、空間と機能を自在に操る」という、化学者の共通の夢の実現に貢献したいと考えながらも、ただ日常は実験室の小さな発見に学生といっしょになって一喜一憂する合成化学者でありたいと考えている。

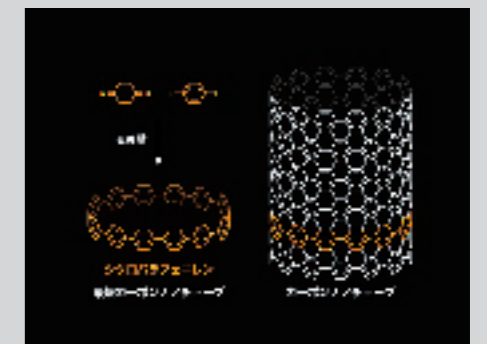
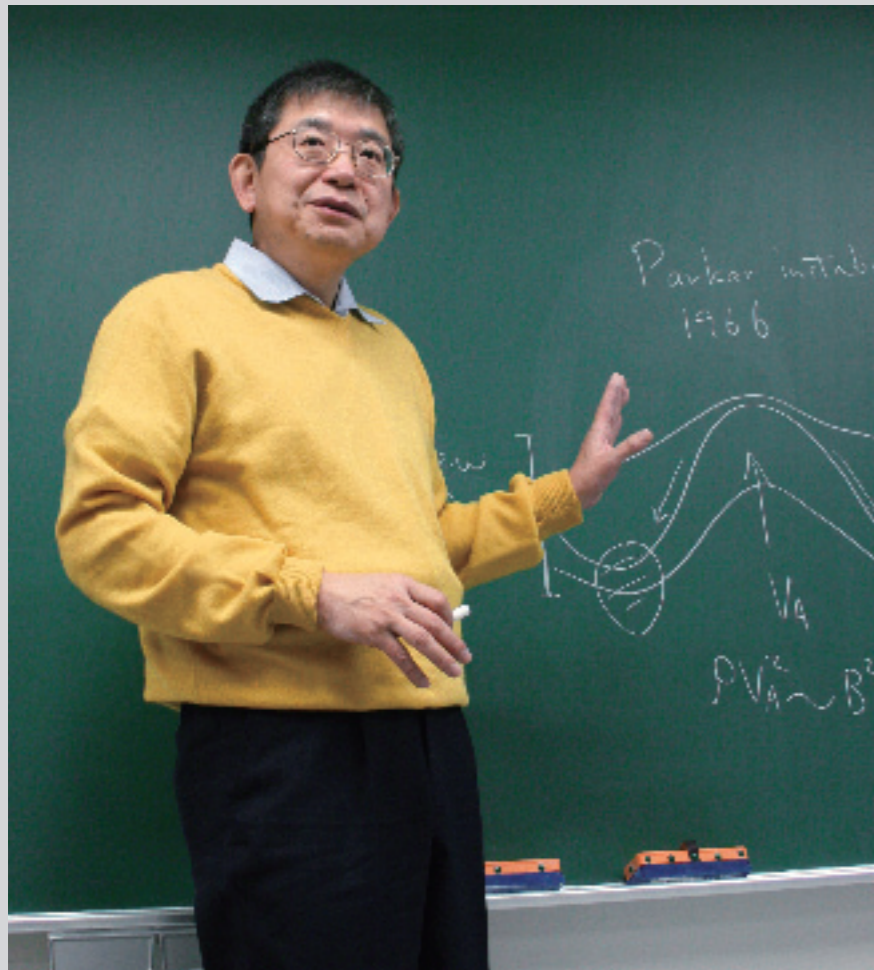


図3 “最短カーボンナノチューブ”の化学合成  
太さと長さが明確に決まった、分子式として表せる「純正カーボンナノチューブ」の合成は、究極の課題のひとつとされている。今回、それにむけた第一歩として、直径が明確に決まった最短カーボンナノチューブ、[12]シクロパラフェニレンを選択的に合成する新しい方法論の開発に成功した。鍵はシクロヘキサベンゼン環を「曲がったベンゼン前駆体」として用いるという戦略である。今後、「カーボンナノリング」ともいべきシクロパラフェニレンの一次元集積化が達成できれば、直径が均一なカーボンナノチューブの合成が可能になると期待されている。



Yasuo Fukui

1951年大阪市生まれ。東京大学理学部卒(1974)、同大学院理学系研究科天文学専攻修了(1979)。専門は電波天文学。チリ共和国に電波望遠鏡「なんてん」を設置し、星の生まれるガス雲の観測を行っている。

## 銀河の中心で磁場が「弾ける」 — 40年を経て理論的予想を検証 —

福井康雄 附属南半球宇宙観測研究センター長

### ガスのループが運動を起こす

天の川の中心部に、太陽表面と同じ磁気浮上ループが発見された。1000光年前後にわたる巨大なガスのループが弾けて激しく運動している。40年前の理論的予想が、初めて観測で実証された。

太陽面には、プロミネンス\*1や黒点\*2などの活動が見られる。これらの活動は、磁場が原因になって起こる。磁場はいわばスプリングである。ガスが磁場に巻きついて、激しい運動を引き起こす。電荷

をもつ電子や陽子は、磁場のまわりに巻きついて回転するためである。

銀河系の中心部は、恒星の密度が太陽付近の100倍以上と高い。その銀河系の中心では毎秒100キロメートルにおよぶ激しいガス運動が観測される。なぜこのような激しい運動が起きるのか、ここ30年以上におよぶ大きな謎であった。

銀河系の中心部は星座でいえば、いて座に

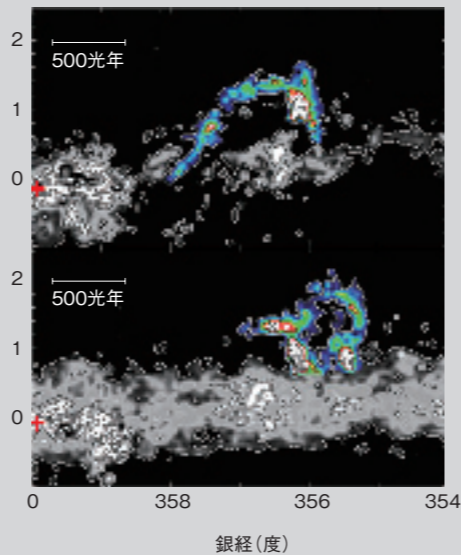


図1 「なんてん」によって発見された2つの磁気浮上ループ(上)視線速度-180km/秒から-90km/秒の範囲にあるループ1、(下)視線速度-90km/秒から-40km/秒の範囲にあるループ2。ここで用いた銀河座標系では、銀河系中心(赤十字)がほぼ原点にあり、銀河面(天の川)に沿って銀経が変化し、それとは垂直方向に銀緯が変化する。(Fukui, Y. et al. 2006, Science 314, 106)

ある。日本からは、いて座は南天に低く観測しにくい。南半球から見ると、天頂高く絶好の条件で観測できる。「なんてん」はこの星座をくまなく観測し、世界最高のガス雲の地図をつくった。

2006年、この「なんてん」の地図を詳しく解析してループが発見された(図1)。2つのループは銀河面から1000光年もの高さに浮き上がっている。これらのループが、太陽と同じ磁気浮上で、数百万年をかけてつくられていることが明らかになった。注目されるのは、ループの根元で強い電波が発生していることである。ガスの集中が両端の根元で起きている。理論によれば、磁場がガスを支える釣り合いは不安定である。なにかのきっかけがあると、すぐに磁場が浮き上がってくる。これをパーカー不安定\*3とよぶ。浮上したガスは磁力線に沿って銀河面に落下し、根元で圧縮される(図2)。ここで観測されたガスは、ほとんど電荷をもたない中性の水素分子ガスである。陽子は1000万分の1しか含まれない。なぜ、このガスが磁場に巻きつくのか不思議に思われる。秘密は、水素と陽子の

衝突にある。長い間に、陽子は何回も水素と衝突するため、ガス全体が磁場といっしょに運動するのである。

浮上プロセスは2つの量で決まる。1つは、ガス層の典型的な厚みスケールハイト\*4であり、これはガス圧と星の重力の比で決まる。もう1つは、磁場の強さとガス密度のかねあいで決まるアルペーン速度\*5である。磁場が強くなると、この速度は速くなり、密度が高くなると、遅くなる。磁気浮上ループの高さはスケールハイトの2、3倍、ループ全長は10倍強と予想され、図1の観測とよく合う。また、磁場の強さを推定すると150マイクロガウスと求められる。これは銀河系全体の平均値の100倍以上の強い磁場である。磁場の振動は毎秒30キロメートルで伝わるので、磁気浮上は数百万年で起こる現象である。

### 強い磁場がガス雲を形成する

この発見の意義は大きい。まず、磁場が強くとガス運動に本質的に効いていることが明らかになった。しかも、ループの根元で際立ってガス運動が大きくなっており、理論が予想したように、根元で衝撃波が発生している。ここでは、落下したガスの運動が一気に熱エネルギーに変換されていると考えられる。

1966年、シカゴ大学のパーカー\*6は磁場が銀河規模でループをつくる可能性を理論的に予言した。40年を経て、この予想が初めて実証されたことに

なる。パーカーが指摘したように、これはガス雲形成の仕組みにもなっている。根元のガス塊が、その証拠である。

太陽表面のプロミネンスも磁気浮力によって形成される(図3)。規模ははるかに小さいが、両者を比較することで現象に対する理解が深められる。太陽表面の磁場は数百ガウスであり、アルペーン速度は毎秒10キロメートルである。銀河系中心部の1兆分の1のスケールだが、物理は共通している。太陽表面の現象の中に、銀河ループを理解するヒントがあり、逆に銀河ループから太陽へのヒントもくみ取れる。

### ループから見える銀河進化

この研究では、ループ発見の当初から観測家と理論家が密に連携した。我が国に磁気流体力学の理論研究の伝統があり、強力なグループが活躍していたことが背景にある。理論的な数値シミュレーションの計算結果を見ると、大きな傾向として銀河系中心の片側に大きなループが偏り、反対側に濃いガスが集まる傾向がある。これはループが銀河系中心の右側に偏り、反対側に濃いガスが集まっている観測事実とよく合う。一般に、ガスが薄い方が、磁気浮力が効いてループが大きく成長できるためである。今後も、理論と観測のキャッチボールが、ループの理解を深めると期待される。

磁気浮上ループは星の形成にも深く影響を与える。

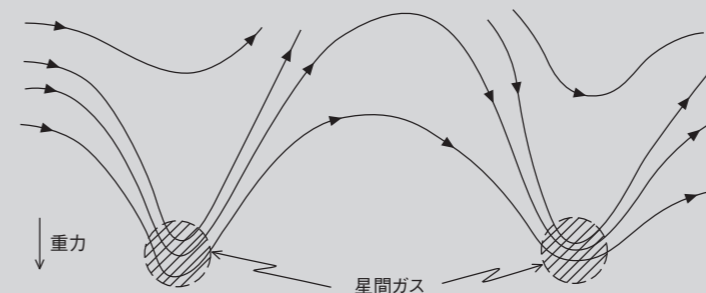


図2 パーカー不安定を描いたモデル 浮き上がった磁力線がループとなり、磁力線に巻きついたガスが重力で下に落下し、根元に集まってガス雲をつくる。(Parker, E. N. 1966, Astrophysical Journal 145, 811)



図3 太陽表面で観測されたコロナ・ループ (写真提供: TRACE/NASA)。

ループの根元では、ガスが大量に圧縮され、ガスから巨大星団が生まれやすくなる。銀河系中心部には実際、数千個の星を含む、銀河系で最大規模の星団が3個ある。銀河系中心では、普通は磁場がスプリングとして効き、ガスの収縮をさまたげるために星は形成されないが、ループの根元ではガスが集中して巨大星団ができる。星の形成が磁場に制御されて、銀河は進化を遂げる。100億年をこえる銀河系の歴史の新たな1ページがループの発見を通して見えてきた。

\*1 プロミネンス 太陽の下層大気である彩層の一部が、磁力線に沿って、上層大気であるコロナ中に突出したものである。

\*2 黒点 太陽表面を観測したときに黒い点のように見える部分のこと。太陽の自転とともに東から西へ移動する。

\*3 パーカー不安定 ガスの集まりがあったとき、そこに水平に磁場が走り、垂直に重力が作用した場合に起こる磁場の波打ち現象。1966年にE.N.パーカーにより理論的に予想された。

\*4 スケールハイト ある量(ここではガス層の気圧)が高さとともに指数関数的に減少するときに、1/e (eは自然対数の底)まで減少する高さをスケールハイトとよぶ。一般的には、大気の厚さを表す尺度として使用される。

\*5 アルペーン速度 磁力線に沿って伝播する磁気流体波のことをアルペーン波とよび、その速度をアルペーン速度とよぶ。

\*6 E.N.パーカー(1927-) アメリカの物理学者。地球・太陽・宇宙にわたる電磁流体現象の研究により、太陽風をはじめとする多くの基礎概念を提案した。



## 「理」を学ぶということ

【太陽系形成論／1年前期】——荒川政彦 地球環境科学専攻准教授

「この講義においてとくに気をつけたのは、“学生たちが納得できるような話”をする、ということです。物事の理屈、現象の理由というものがわかりやすいような教え方を心掛けた。

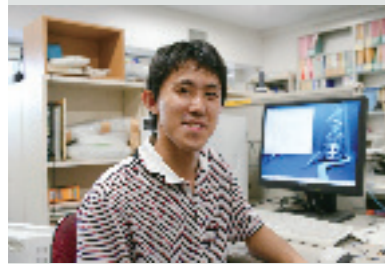
講義をする際のポリシーは、という問いに対して荒川先生はこうに答えられた。学部1年生向けに行われたこの「太陽系形成論」の内容を振り返ると、随所にこの考えを実感できる工夫が凝らされていたことがわかる。

荒川先生が展開された講義の内容を順に追ってこよう。まず現在の太陽系の大まかな構成が、最新の探査機による美しい映像とともに紹介される。映像という直感的なアプローチはまず何よりも「わかりやすい」。これに加えて「天体はどのようにして形成されたのか」という問いを發することで、学生たちの惑星形成論に対する興味を引いていく。その後は分子雲の重力的な収縮から始まって惑星が形成されるまでを筋道を追って解説する。さらに視点を地球に絞ることによって、その地質学的進化や生命進化といった惑星環境を俯瞰する構図へと行き着く。一つひとつの事象が関連し合い、次のステップへと進んでいく様が大変わかりやすく、幅広い分野の知識を必要とする地球惑星科学の魅力がこれでもかというほどに詰め込まれていた。

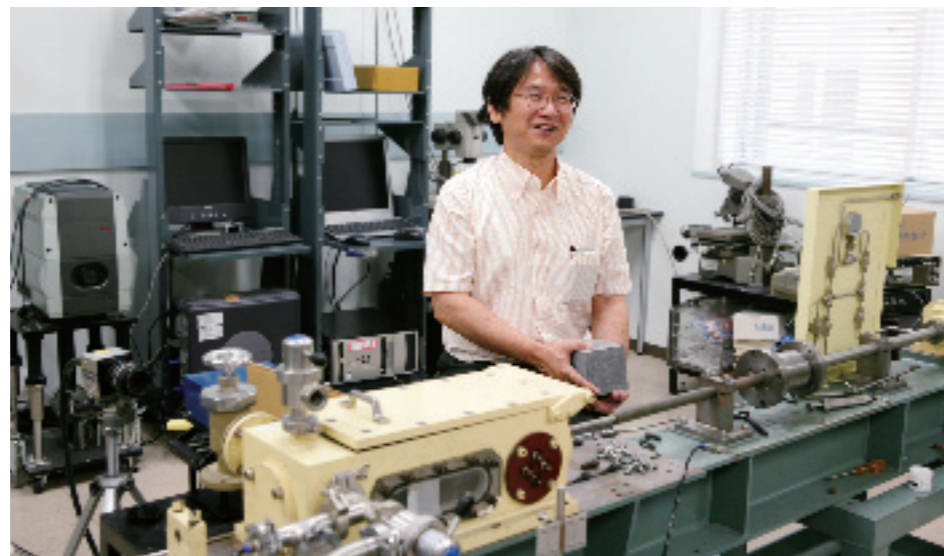
また当講義では毎回学生からの質問や感想を集め、次の回の冒頭にこれに回答する、というかたちをとる。この質問回答の時間は毎回20分ほど用意されていた。さらに、質問内容から発展して講義の内容を柔軟に変更していくこともある。学生たちの疑問を解決しよう、より理に適った話の展開をしよう、という先生の熱意を感じ取ることができる講義方式であったと思う。

荒川先生の講義を聴いて、ふと思ったことがある。私たちが今立っている大地は太陽系の第3惑星「地球」であり、またその太陽系は銀河に無数に存在する星系の一つにすぎない。現代なら多くの人が共通認識として持つこの描像だが、ほんの数百年前はどうかであったであろうか。現代に生きる私たちは、これまで人類が培ってきた科学知識という遺産を存分に享受することができる。多くの人々が現象の理由を追い求め、一つひとつの論理を積み重ねていった結果だ。荒川先生の講義には、この「理」の積み重ねの面白さ、重要さを伝えようとする意思が満ち溢れていた。

大学受験における勉強は、とすれば知識の詰め込みに終始しがちである。「理」を学ぶとはどういうことなのか。この講義を通じて、きっと多くの学生が感じ取ってくれたことと思う。



◎取材・文  
岩月 傑 *Saguru Iwatsuki*  
(素粒子宇宙物理学専攻博士前期課程2年)



*Masahiko Arakawa*

1965年福井県生まれ。名古屋大学理学部卒(1987)、同大学院理学研究科地球科学専攻修士課程修了(1989)、1995年博士(理学)名古屋大学。北海道大学低温科学研究所助手を経て2005年より現職。専門は、宇宙雪氷学・実験惑星学。

<http://www.eps.nagoya-u.ac.jp/geophys/index.html>

## 五感で学ぶ生物学講義

【生物学実験／1年前期】——金森 章 生命理学専攻助教

皆さんは、生命の危機が身近に感じられない現在においても、自然淘汰とは別の圧力にさらされていることをご存じだろうか。個体の形質を後世に伝えるためには、生存競争に勝ち抜く以外に、子孫を残すことができるか、という淘汰の圧力に対抗しなくてはならない。性淘汰の過程では、クジャクのオスの華麗な羽根のように、独特な形質の発達が、異性を獲得する上で有利となる。ものが豊かな時代や場所においては、この性淘汰の圧力がかり、独特な形質が時間とともに支配的になるということである。この事実を身をもって体験し、生物学の魅力や垣間見ることのできる講義が、「生物学実験」の1コマで開催された。

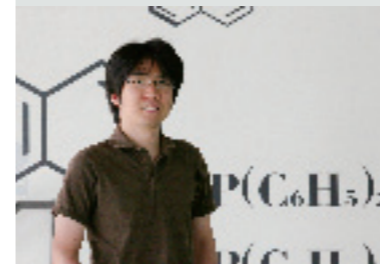
理学部1年生向けのこの講義は、名古屋市東山動物園内の「世界のメダカ館」で、館内の裏方を含めたあらゆる場所から性淘汰に関わる事象を拾い集め、進化と生物の多様性を学ぶ体験型授業である。まず、私たちは園のスタッフの方が実演するメダカを用いた実験を観察した。学生たちが熱心に見守る中、スタッフの方は慣れた手つきで一連の操作をこなす。この実験を通して、メダカが環境に順応して体色を変化させる能力をもつことと、景色の変化で自らの位置を知ることが学ぶことができた。

次に、私たちは、館内の200種1万5000匹にも

及ぶ世界のさまざまなメダカを思うがままに観察してまわり、生殖という観点からメダカの生態を知る努力をした。オスとメスの違いを意識して水槽の中を眺める機会というのは、普段あまりないことではないかと思うのだが、卵胎生、性転換、自家受精などの言葉とともに珍しいメダカたちを観察していると、メダカの個体ごとの違いが性淘汰へどのように結びつくのかを垣間見ることができた。学生たちは水族館さながらに楽しくメダカを観察し、剣のように長く伸びた尾をもつ個体や色鮮やかなオスを見つけてにつけ、私も含め、ともに議論を戦わせた。

さらに、裏方へまわり、メダカの飼育を担当されている園のスタッフの方々から、どのようなメダカが存在するのか、どのようにして飼育しているのかなどを、直接聞くことができた。これもまた普段見聞きすることのない領域に足を踏み入れたと喜々としながら、スタッフの方に、ここで誕生した一風変わったメダカから、新発見へとつながる解析がなされるのかなど質問した。答えはイエス。その際の処置やラボ間の交渉などについても懇切丁寧に教えていただいた。

この講義を通して、学生たちは楽しみながら生物学の魅力や存分に味わうことができたのではないかと。私も、個々の生命体が織りなす神秘的に肌で触れ、一層学問に対して造詣を深められそうである。



◎取材・文  
森 俊輔 *Shunsuke Mori*  
(物質理学専攻博士後期課程2年)



「世界のメダカ館」での講義風景



*Akira Kanamori*

横浜生まれで東京の田舎育ち。大学院修士課程の途中で東京から岡崎へ移り、博士号取得後は名古屋、Baltimore、三重県玉城町を経て2000年から名古屋です。研究の興味は生殖細胞のオスメス分化。名古屋では今池と大須が好きです。

金森 章ホームページ <http://www.bio.nagoya-u.ac.jp/gcoe/member/kanamori.html>

同窓生から

月探査機「かぐや」の運用を終えて

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 准教授  
岩田隆浩 (Takahiro Iwata)

2007年9月の種子島での打ち上げ成功以来、私の生活は月探査機「かぐや」を中心としたものになりました。「かぐや」は、2009年6月にミッションを終了するまでに、月の起源と進化に関する数々の貴重なデータを取得するという大役を果たしました。この間に、「おきな」と「おうな」という2機の子衛星が「かぐや」とともに、月の重力の詳細な地図の作成に活躍していたことを、ご存じでしょうか。わたしは、この子衛星の開発と運用を担当してきました。

「おきな」と「おうな」が「かぐや」から分離したのは打ち上げの翌月。それ以来、「かぐや」が月の裏側に隠れた間に、「おきな」は地球からの電波を「かぐや」に送り届け、それをまた地球に送り返す4ウェイドップラー計測という方法で、月の裏側の重力場の分布を明らかにしてきました。一方「おうな」は、電波の干渉を利用した精密な観測方式によって「おきな」の軌道決定を支えてきました。

「おきな」と「おうな」は、名前こそ「かぐや」を育てたおじいさん・おばあさんですが、私にとってはかわいい我が子のように。「果たして無事に分離するだろうか」「4ウェイという難しい通信を、きちんとこなすだろうか」と、心配と感動を繰り返した1年余りでした。そして軌道上で一度も不具合を起こすことなく、予定どおりミッションを完遂したことに、大きな誇りを感じています。とはいえデータを解析して本格的な科学成果を出すのは、これからです。活躍してくれた探査機に「ありがとう」といつつ、月の起源と進化の解明に向けて、私たちはこれからも頑張ります。(宇宙理学専攻博士後期課程1989年修了)



子衛星「おうな」の最後の運用(中央が筆者)

キャンパス通信

理学部にクレイグス カフェ登場!

生命理学専攻助手  
杉山 伸 (Shin Sugiyama)

久しぶりに理学部を訪れた人は耐震工事が進んだ建物群の様変わり驚く。しかし、何よりもびっくりするのは特徴を欠いていた風景の中にお洒落なカフェが登場したことではないだろうか。経営するのはアメリカ人のクレイグ (Craig Harris) さん。思わぬところから大学の国際化が進んでいるものである。モダンな内装の店内に座り、シアトル風のコーヒーを味わえば、自分が学内にいることを忘れさせられる。カフェ経営で15年の経験のある彼は、当初、情報文化学部で開店するよう提案を受けたそうである。しかし、もう1つの候補地として現在の場所を見て、すぐにお店のイメージが浮かび、進出を決めたとのこと。これまで行ったさまざまな国の要素を取り入れ、アメリカのキャンパスにもないようなカフェを実現させたといっている。最初は心配していた理学部の女性人口の少なさだが、この男性諸君が意外にもスイーツ類が大変好きであることが判明し、四谷通をはさんだキャンパスや隣の南山大学からもファンが来るようになり、スタートは順調なよう。調理メニューを徐々に充実させており、おいしいものだけでなく、フレンドリーサービスを提供していくそうである。店内に液晶プロジェクターが設置され、プレゼンテーションなどをする場所として利用でき、憩いだけでなく教育研究のサポートを提供していただけるのもうれしい。

これまで、理学部の中に商業施設が開業したことはなかったが、いざできてみると違和感はなく、どうしてこれまでなかったのだろうと思うほどである。こういうところにも、大学が急速に変化しつつあることを感じる。



名誉教授だより

諏訪兼位名誉教授、  
2008年朝日歌壇賞を受賞

附属南半球宇宙観測研究センター長  
福井康雄 (Yasuo Fukui)

2009年1月、諏訪兼位<sup>すわ かねのり</sup>名誉教授が朝日歌壇賞に選ばれた。受賞したのは、昨年6月の事件を詠んだ一首。

寸寸を何と読むかと娘の問いぬ  
秋葉原悲しはずたど読みば  
佐佐木幸綱 選

諏訪名誉教授にとっては、2度目の受賞となる。今回の朝日歌壇賞は、2008年朝日歌壇入選作から4人の選者が各一首を選出し、四首選ばれた中の一首。

諏訪名誉教授は、理学部地球科学科において地質学と岩石学を研究した。学生時代から短歌を「読む」ことを楽しんできた諏訪名誉教授が、短歌を「詠む」ようになったきっかけは、1968年、40歳のときに出かけた東アフリカの地質調査だったという。アフリカ大地溝帯の雄大な景観や、植民地支配から解放された現地の人々の熱気にふれたことから短歌を詠みはじめる。しかし、調査を終えて帰国すると短歌が沸き上がってくるのがなくなった。このあと10年間の空白を経て、1979年、アフリカ調査に赴いた諏訪名誉教授はサバンナを移動するヌーの大群に出合い、再び短歌を詠む。以降、現在まで作歌を続けているという。

著書「科学を短歌によむ」(岩波書店、2007年)には、湯川秀樹をはじめ科学者が詠んださまざまな短歌が紹介されている。そのなかには飯島宗一元名古屋大学総長、上田良二元名古屋大学理学部・工学部教授、関戸弥太郎元名古屋大学理学部教授のつくった短歌もある。そうした短歌のなかでも、大きな魅力を感じるの、やはり研究の現場で詠まれた短歌であろう。走査電顕、大断層、染色体、研究棟、巨大加速器といった科学の言葉が文語体の五七五七七に折り込まれたとき、歌にはそこはかとなくユーモアが感じられる。そしてそこには研究室の熱気や発見の喜びを垣間見ることができる。

キャンパス通信

全国大会優勝を目指す将棋部

素粒子宇宙物理学専攻博士後期課程1年  
森部那由多 (Nayuta Moribe)

将棋は本来、理詰めですべての結果が確定するゲームである。しかし、終局に至るまでの分岐が膨大であるため必勝法が確定しておらず、近年のネット将棋の普及も相まって競技人口の裾野は大きく広がっている。難解な局面を己の機知によって打開し、真理に迫っていくという有様は理学の研究にも通ずるものがある。そのせいか、理工系の研究者には囲碁将棋の愛好家が多く、中にはコンピュータ将棋のための人工知能を研究する人もいる。

大学生の将棋界では各地方の学生が連盟をつくり、毎年春と秋に地区大会を、その勝手で争う全国大会を夏・冬に開催する。名古屋大学の将棋部も、連盟の団体戦への参加を中心に活動している。7人制の団体戦では、各校は事前に14名の順位付けした名簿を見せ合った後、試合に出る7人の選手を相手に伏せたまま順不同で抜き出して決定する。そこで、名簿の順位決めとそこから誰を試合に出すかという盤外の戦略要素が生じ、団体戦の醍醐味のひとつとなっている。

名古屋大学は一般の全国棋戦優勝者も数名が輩出した中部地方では最大の実力校だ。目下のところ地区大会においては春秋併せて32連覇中であるが、それでも全国大会では過去一度は優勝しているもの、おむね関東・関西勢に後れを取ってきた。しかし、近年は全国クラスの実力者が数人入部したこともあり、5人制の夏の大会では一昨年に3位、去年は準優勝と、栄冠にあと一步というところまで迫ってきている。彼らの出場が最後となる今年こそは優勝を狙うために、準主力や控え選手も含めて一層の発奮を将棋部OBの一人として期待したい。



2009年8月4日から開催された全国大会の様子