

連載 理学のキーワード 第1回



「対称性とその破れ」

牧島 一夫（物理学専攻 教授）

「対称性」は、本研究科の21世紀COEプログラムの1つに標題として使われているように、物理学を貫く普遍的な考えである。宇宙空間に出てしまうと、地上とは違って上や下という特別な方向はない。これは「空間の回転に対し系が対称性をもつ」と表現され、その結果、力学でおなじみの角運動量の保存法則が現れる。同様に、考えている系が空間の並進に対して対称性をもつと運動量の保存則が成り立ち、時間の原点を変えても系の挙動が変わらなければ、エネルギー保存則が成り立つ。保存法則は、対称性の結果なのである。

人体はほぼ左右対称だが、心臓の位置や右利き左利きの違いなど、微妙な非対称をもつ。このように対称性が微妙に崩れていると、話はさらに面白くなり、これを物理学では「対称性の破れ」と呼ぶ。電荷を逆符号にして空間を反転すると、

粒子は完璧に反粒子に変わるはずだが、相原教授らが追求しているように、ごくわずかな差が残る。それが巡り巡って、この世には物質ばかり存在し、反粒子の集合である反物質は存在しないと考えられるが、その機構はまだ謎だらけである。早野教授らは、反粒子から成る原子を生成し注目を集めている。

鉄は770℃のキュリー温度より高温では常磁性だが、それ以下では強磁性となり磁石にくっつく。火山のマグマが冷えるとき、その時点での地磁気を記憶するので、この現象は古地磁気学の手段となる。このように強磁性体が磁化すると、外部磁場を0にしても磁化の方向を自ら保持する。しかし、基本となるシュレディンガー方程式は特定の方向をもたず、空間の回転に対して対称である。このようにミクロな基本方程式がある対称性をもつが、それに従う系が対称性を破っているとき、「対称性が自発的に破れている」と呼ぶ。

対称性の自発的な破れは、相転移と密接に関係しており、たとえば氷が解けるのは、並進対称性が自発的に破れた状態（氷）と、その回復した状態（水）との転移である。対称性が自発的に破れると、それを回復しようとして系が揺らぎ、その量子として、フォノン、マグノンなど、質量ゼロの準粒子が登場する。これを一般的に述べたのが、本研究科OBである南部陽一郎先生らが1961年に発見した、南部・ゴールドストーンの定理である。

駒宮教授らが巨大加速器で追いつめているヒッグス粒子、素粒子論研究室の課題の1つである超対称性、統計物理学のグループが研究している協同現象、佐藤教授らが提唱しているインフレーション宇宙論なども、すべて「対称性とその破れ」という立場で位置づけられる。

駒宮教授らが巨大加速器で追いつめているヒッグス粒子、素粒子論研究室の課題の1つである超対称性、統計物理学のグループが研究している協同現象、佐藤教授らが提唱しているインフレーション宇宙論なども、すべて「対称性とその破れ」という立場で位置づけられる。



「プレートテクトニクス」

井出 哲（地球惑星科学専攻 講師）

プレートテクトニクスは過去約40年間、固体地球科学を支えてきた理論である。テクトニクスとは耳慣れない言葉であるが、地形などの構造がどのように形成されるか説明する理論のことである。地球の表面には約100kmの深さまで弾性体的にふるまう層（リソスフェア）が存在し、その下には長いタイムスケールで粘性的にふるまう層（アセノスフェア）が存在する。リソスフェアは10数枚に分割され、それぞれをプレートと呼ぶ。プレート同士は相対運動していて、その境界では地震や火山噴火のような地殻活動が起きたり日本列島のような島弧が作られたりする。

日本の周りは世界的にもプレート運動による地殻活動が激しいところであり、高度に整備された観測体制がプレー

トテクトニクス理論の限界を試すところでもある。東日本は北米プレート（東京が北米に属するというのはある意味自然？）に、西日本はユーラシアプレートに乗っていて、南東から伊豆などを乗せたフィリピン海プレート、東から南島を乗せた太平洋プレートが沈み込んでいる。国土地理院の地殻変動情報サイト（<http://mekira.gsi.go.jp/>）ではこれらのプレートの相対運動とその結果日本列島が変形する様子が手にとるように見える。日本列島の乗るプレートは剛体ではなく伸びたり縮んだりしているし、ところによってはプレート境界でないところの変形がめだつ。これらの観測事実はわれわれに考え方の修正を迫る。昔は世界的にも10数枚しかなかったプレートがさらに多数に分割されるようになっている。

日本列島の所在地も北米プレート、ユーラシアプレートから独立したオホーツクプレートとアムールプレートと考えることが多いし、さらに南九州や沖縄を別のプレートにわけることもある。

とはいえプレートテクトニクス自体は十分成熟した理論であり、最先端の大規模プロジェクトもそれを当たり前のものとして進められている。地球惑星科学専攻でも木村教授はプレート境界の物質構造を調べるための国際海洋掘削計画をリードし、2007年からはいよいよ海面下10kmの大掘削をめざす。また松浦教授はプレート運動が地震を引き起こす仕組みのモデル化を進め、高速計算機「地球シミュレーター」を用いて地震活動予測問題に取り組んでいる。

ご愛読いただいた「科学英語を考える」に続くシリーズとして、今年度から、新連載「理学のキーワード」が始まります。これは理学にとって基本的、かつ研究の最先端の動向を象徴するような概念を選び、その意味をわかりやすく解説しようというものです。2005年3月に研究科諮問会から頂いたアドバイスをもとに、編集委員会で練り上げた新企画です。「どこかで耳にしたけれど正確には知らない」というコトバの意味を知ること、理学研究という広大な土地への扉を開ける、「鍵」を手にしてください。

広報誌編集委員長 牧島 一夫



「オレフィンメタセシス」

山根 基 (化学専攻 助手)

2005年のノーベル化学賞は、「有機合成におけるメタセシス反応の開発」の研究業績を称えてY. ショーバン (Yves Chauvin), R. H. グラッブス (Robert H. Grubbs), R. R. シュロック (Richard R. Schrock) の3氏に授与された。メタセシスという聞き慣れない言葉の語源は、ギリシャ語の *metatithenai* に由来し、本来「位置を交換する」という意味をもつ。言語学では、「音位転換 (転位)」と訳され、文字通り音の位置が逆転することをいう。子供がよく口にする「エレベーター」は、「エレベーター」のメタセシスである。化学でいう「メタセシス」は、2つの化学結合間で結合の組み替えが起こる反応のことをいう。N. カルデロン (Nissim Calderon) らが1967年に名づけた「オレフィンメタセシス」は、二種類のオレフィン間での炭素-炭素二重結合の組み替え反応である。

金属触媒存在下オレフィン間で二重結

合のスクランブルが起こることは、1950年代半ばから報告されていた。1970年にJ.-L. エリソン (Jean-Louis Hérisson) とY. ショーバンがその反応機構を提唱し、

1980年以降、R. R. シュロックらがタンタルやモリブデン錯体が高活性を示すことを明らかにした。1992年にR. H. グラッブスらは、空气中安定で取り扱いの容易なルテニウム錯体が高活性を示すことを見いだした。以来、いろいろな化合物に適用できるこの触媒反応は、他の方法では合成が難しい生理活性物質や機能性材料など有用化合物の合成に爆発的に利用されることとなり、今回のノーベル化学賞につながった。

ところで、「秋葉原」は昔「あきはばら」と呼ばれていたそう。旧国鉄が駅を造った際にその駅を「あきはばら」と名付け



たことからこれが定着しているが、最近若者の間では「あきば」と略される。メタセシスが2回起こり音順が元に戻った例ともいえる。オレフィンメタセシスを理解する上で大事なことは、それが平衡反応であることである。反応が2回起これば原料系に戻る。望みの生成物を得るためには工夫が必要になるが、一方で、強固な二重結合を可逆的にたやすく組み替えられることがこの反応の大きな魅力にもなっている。

昨年末、仰天ニュースが飛び込んだ。「61万円で1株」のつもりが「1円で61万株」。2005年はまさにメタセシスの年であった。



「ゲノム」

武田 洋幸 (生物科学専攻 教授)

ゲノムはドイツ語 Genom の日本語読み。英語では genome。ジーノウム [dʒi:noum] と発音する。語源は、遺伝子「gene」と全てを意味する「-ome」を合わせた造語。この言葉は、1920年にウィンクラー博士 (H. Winkler) によって「配偶子が持つ染色体の一組」として定義され、後に木原均博士 (1930年) が、「ある生物をその生物たらしめるのに必須な遺伝情報」として概念的に定義し直した。現在では、ゲノムは「染色体上の遺伝子が持つ全遺伝情報」を意味するというのが一般的である。また、木村博士は「地球の歴史は地層に、生命の歴史はゲノムに刻まれる」という名言を残されている。

ゲノムの持つ遺伝情報は、デオキシリボ核酸 (DNA) の4種類の塩基 (A, T, G, C)

の組み合わせからなる。例えば、ヒトゲノムは約30億塩基対である。真核生物に限れば、ゲノム解読 (全塩基配列の決定) の流れは1997年のパン酵母に始まり、2000年のヒトゲノム概要配列決定で一つのピークに達した。これらにより生命の設計図が莫大なデジタル情報としてもたらされ、生命科学の研究にインパクトを与えている。

ゲノム情報を前に科学者が最初に持った印象は、「生物、特に高等な生物のゲノムの大半は、いわゆるジャンク (がらくた) 配列で占められている」というものであった。しかし、最近この考え方が急速に変わり始めている。例えば、マウスゲノム (26億塩基対) の95%はタンパク質をコードしていないが、そ

の70%以上の領域がRNAとして転写されていた。一般にRNAはタンパク質の設計図として遺伝子領域から転写される。しかし、タンパク質をコードしないRNAが多数存在し、それらが他の遺伝子の発現制御に深くかかわっていたのである。

このような流れの中で理学系研究科生物科学専攻においても、ゲノム情報から生物進化を探る研究 (進化多様性生物学大講座一平野研究室、野中研究室、人類科学大講座一植田研究室など) が進められている。また最近、動物科学大講座・武田研究室が国立遺伝学研究所・小原研究室、新領域創成科学研究科・森下研究室と共同でメダカゲノム (7.8億塩基対) の概要配列を完成させている。