



「クロスカップリング」

辻 勇人 (化学専攻 准教授)

有機反応は一般に、プラスを帯びた部分とマイナスを帯びた部分がくっつくように進行する。ここで、プラスの方を求電子剤、マイナスの方を求核剤とよぶ。

クロスカップリング反応は、ハロゲン化アリアルとよばれる、ベンゼン環に臭素やヨウ素などのハロゲン原子が結合した物質等を求電子剤、マグネシウム等の典型金属が炭素に結合した有機金属反応剤を求核剤として、遷移金属触媒を用いることで、それぞれの物質中の炭素-ハロゲン結合と炭素-金属を切断し、新たに炭素間に結合を形成する反応の総称である。

先駆的な報告が、1972年に当時京都大学の熊田誠、玉尾皓平らのグループと、

フランスのコリュエらのグループによってなされている。求核剤として有機マグネシウム反応剤、触媒としてニッケル錯体を用いたものであり、この反応は熊田-玉尾-コリュエ反応とよばれている。その後、パラジウム触媒と種々の有機金属反応剤を用いたバリエーションが次々に報告され、それぞれ開発者の名前が冠されている。おもなものに、根岸反応(亜鉛)、鈴木-宮浦反応(ホウ素)、小杉-右田-スティル反応(スズ)、檜山反応(ケイ素)などがある。これを見てわかるように、日本人が開発した反応が多く、日本のお家芸とも言える分野である。

これらの反応は、天然物の全合成や、医薬品、有機電子材料等の機能性物質の

合成に今や欠かせないものとなっており、有機合成のみならず広い分野に波及効果を及ぼすものとしてノーベル賞の対象として期待されている。

最近ではニッケル、パラジウムといった毒性の問題や枯渇のおそれがある金属に替わって、低毒性かつ豊富に存在する鉄を触媒として用いる反応が、化学科の物理有機化学研究室の中村栄一らによって報告されている。また、ハロゲン化アリアル炭素-ハロゲン切断を経由する反応に替わって、ベンゼン類似物質の炭素-水素結合を切断してクロスカップリング生成物を得るという直截的な反応も開発されている。アイアン(鉄)は地球を救う、と期待したい。



「ゴルジ体コンセンサス会議」

中野 明彦 (生物科学専攻 教授)

生命の最小単位である細胞の中には、さらに膜に包まれたさまざまな区画—細胞小器官が存在する。ゴルジ体(Golgi apparatus)は細胞小器官の1つであり、その名前は発見者であるカミロ・ゴルジ(Camillo Golgi, 1843-1926)に由来する。ゴルジは、神経組織を顕微鏡観察しているうちに、クロム酸銀によって細胞内の網目構造(ゴルジ体)が染色されることを見出し(1898年)、その業績によって1906年にノーベル生理学・医学賞を受賞した。

ゴルジ体を電子顕微鏡で観察すると、一般的に平たい袋状の膜構造(槽とよぶ)が数枚積み重なった美しい層板構造が見られる。そのおもな機能は、タンパク質の修飾と選別輸送にある。DNAの情報にしたがって細胞質で新たに合成されたタンパク質のうちの半分くらいが、小胞体という細胞小器官にまず一旦移行し、

その後、ゴルジ体を経てさまざまな目的地に配送される。どこに運ばれるかという運命は個々のタンパク質の構造の中に書き込まれており、それを見分けて選別し、正しく配送するというのがゴルジ体のもっとも重要な機能である。

ゴルジ体の層板には方向性があり、小胞体から新たなタンパク質が入ってくる側をシス、目的地に向けて送り出す側をトランスとよぶ。シスからトランスに向けてタンパク質が輸送されるにつれ、糖鎖付加やペプチド切断などのさまざまな修飾が加えられ、タンパク質の構造が成熟し完成することになる。

さて、このゴルジ体層板内をタンパク質はどのように運ばれるのだろうか。個々の槽が安定な区画であり、その間を小さな膜小胞が運ぶという説と、シス側に新しい槽ができ、これがトランス側に

移動しながら次第に性質を変えていくという説が、世界中のゴルジ体研究者を二分して、10数年にわたる大論争が続いていた。生物科学専攻の中野のグループとシカゴ大学のグリック(B. Glick)らは、酵母細胞を用い、ゴルジ体の異なる槽を異なる色の蛍光タンパク質で標識してライブイメージングを行い、槽が時間と共に性質を変えることを示して、この論争に1つの決着をつけた(2006年)。しかし、その分子機構はまだ謎に包まれている。

今年の6月、中野とグリックを含め、ゴルジ体の研究者13名がバルセロナに集まり、ゴルジ体の理解について現在何が不足しているか、今後どのようにして明らかにしなくてはならないかについて徹底的に議論した。ゴルジ体コンセンサス会議とよばれることになったこの会議の合意について、近く出版される予定になっている。



「赤方偏移」

土居 守 (天文学教育研究センター 教授)

赤方偏移は、光の波長が伸びて観測される現象を指す。天体現象において赤方偏移を生じる状況は3つに分けられる。第一には天体がわれわれから遠ざかる運動をする場合に、音の場合のドップラー効果と同様に、光の波長が長くなる現象である。天体が近づく場合には波長が短くなり青方偏移となる。第二には宇宙論的な赤方偏移で、宇宙膨張のため、光が飛ぶ間に空間が伸び、波長が伸びて観測される。第三に、強い重力場をもつ天体からの光は、重力ポテンシャルを脱出するさいにエネルギーを失い赤方偏移を生じる。ここで「光」と表現をしているが、実際には電磁波に共通の現象で、相対性理論で理解できる。

宇宙論的な赤方偏移は、遠方の天体の距離を表すことにしばしば用いられる。

宇宙論的赤方偏移が z のとき、光の波長は $(1+z)$ 倍となる。たとえば赤方偏移が1であれば、光が天体を出てわれわれに届くまでに波長が $1+1=2$ 倍伸びている。標準的な宇宙モデルによると、赤方偏移が1の天体から出た光は、約75億年間飛んでわれわれに達するため、距離は約75億光年となる。

人類の知る限りでもっとも最も遠くから届いている光は、宇宙背景放射である。これは赤方偏移約 10^{89} に相当し、約140億年前に出発した光である。ビッグバン後電離水素が再結合する時期の放射で近赤外線にピークをもっていたが、波長が 10^{90} 倍に伸びたため、おもに電波で届いている。最遠天体については、いくつか候補が挙げられる。分光観測で赤方偏移が精度良く測られた

銀河では、すばる望遠鏡で国立天文台の家正則教授らが発見した赤方偏移6.96の銀河が最速である。赤方偏移が7を越えると地球大気の影響で分光観測はたいへん難しくなるが、多色測光データからある程度推定することができ、銀河については測光赤方偏移10程度まで、10個以上の候補が報告されている。またガンマ線バーストとよばれる爆発現象では分光と測光をあわせて得た赤方偏移8.3が最速である。

赤方偏移を、天体までの距離とともに測定すると、宇宙膨張の速さが時間の関数として測定できる。宇宙背景放射・銀河・超新星などの観測により、宇宙膨張は現在加速してみえ、加速させるための謎のエネルギー源はダークエネルギーとよばれ、たいへん注目をあびている。



「量子ホール効果」

岡本 徹 (物理学専攻 准教授)

半導体界面など電子を閉じ込めた2次元平面に垂直に磁場をかけると、電流と直交する方向にホール効果による電圧(ホール電圧)が生じる。ホール電圧と電流との比、すなわちホール抵抗は磁場とともに増えていくが、低温・強磁場下では階段状に増加し、有限の磁場範囲で一定値をとるプラトーが現われる。これが量子ホール効果である。このとき電流に沿った方向の電圧降下は完全にゼロになる。

整数量子ホール効果は、強磁場中の電子の円運動が量子化されてランダウ準位とよばれる離散的なエネルギー・スペクトルが形成されることに起因する。プラトーでのホール抵抗は、プランク定数 h 、電気素量 e および電子に占有されたランダウ準位の本数 i を用いて $R_H =$

$h / i e^2$ と表される(h / e^2 は約 $26 \text{ k} \Omega$)。驚くべきことはその精度で、絶対値は8桁の精度で、また量子化ホール抵抗同士の直接比較測定により普遍性は10桁の精度で確かめられており、1990年より電気抵抗の国際標準として使用されている。

高品質の試料では、 $R_H = h / \nu e^2$ と表したときの ν の値が $1/3, 2/5, 2/3$ といった分数の場合に対しても、1ケルビン以下の極低温領域においてプラトーが出現する。この分数量子ホール効果は、多数の電子がお互いの斥力を巧みに避けるような量子力学的状態をつくり出すことに起因する。これまでの研究の過程で分数電荷、エニオン、複合粒子などのきわめて重要な概念が導入され、さらに検証実験が行わ

れている。物理学の進展への貢献は、整数量子ホール効果よりも大きいかもしれない。ノーベル物理学賞が、整数量子ホール効果の発見については1985年に、分数量子ホール効果の発見および理論的解明には1998年に贈られている。

最近、単層のグラファイトシート(グラフェン)において電気伝導測定が行われるようになり、整数量子ホール効果が観測された。グラフェン中の電子は質量のない相対論的粒子のようにふるまう。この特異性から今後の研究の進展が大いに期待されている。

量子ホール効果に関連した研究は、理学系研究科では物理学教室の青木秀夫教授のグループ(理論)や筆者のグループ(実験)などで行われている。



「仮想化」

萩谷 昌己（情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻 教授）

日本語の「仮想」とは違って、英語の virtual には、「本物ではないが、実質的に…だ」という意味がある。virtue には美德のほか、効力とか効能という意味があるので、virtual は、「本物ではないが効能は同じ」という感じだろうか。「仮想化」とは、いうまでもなく、「virtual にする」ことである。情報の分野で頻繁に出てくる言葉である。

たとえば、「仮想メモリ」は半導体メモリが高価だった時代に開発された技術であり、ハードディスクなどのより安価な記憶装置にデータを退避することにより、あたかも、本物の半導体メモリよりもはるかに巨大なメモリが存在するように見せかける。

仮想化はメモリにとどまる技術ではない。コンピュータ全体を仮想化した結果が「仮想マシン」である。少々乱

暴だが、「仮想マシン」とは、ファミコンやゲームボーイなどのゲーム機のエミュレータを効率よくしたような技術である。仮想メモリと同様に、「仮想マシン」も、コンピュータがひじょうに高価だった時代に、1台の本物のコンピュータによって、仮想的にたくさんのコンピュータを提供することを可能にしてくれた。しかし、コンピュータがありふれた現在でも、「仮想マシン」の技術は廃れるどころか、近年、ますます広く利用されるようになってきた。たとえば、VMWare を使っている人は多いだろう。

仮想化されたコンピュータは、実際に使われている部品だけが本物の部品に対応する。使われていない部品は実体がなくてもよい。つまり、仮想化によってコンピュータ全体の利用効率が向上する。

また、部品によっては、ネットワークの向こう側にあっても構わない。つまり、ネットワークでつながれたコンピュータ上にある部品を、自由に組み合わせて、その時々に必要な仮想的なコンピュータを構成することができるのである（クラウドコンピューティング）。

コンピュータの構成技術を中心に解説したが、仮想化という言葉は、情報技術全体を代表していると言っても過言ではない。仮想現実（virtual reality）とは、本当の現実ではないが、現実のような世界を、コンピュータグラフィックスやセンサーを用いて実現する技術の総体を意味する。ここにおいて、virtual という言葉は意味深である。なぜなら、本物ではないが、人間にとっては実質である、という主張が含まれているからである。



「双対性」

加藤 晃史（数理科学研究科 教授）

1つの対象に対し2つの等価な記述法が存在するとき、2つの記述法を取り替える操作を双対^{そうついで}とよぶ。より一般に、2つの記述法（概念・理論・モデル・…） $\$A\$$, $\$B\$$ が、どちらも同じ対象を表す（と信じられる）とき、 $\$A\$$ と $\$B\$$ は互いに双対であるという。双対性は知りたい対象について特定の記述法を越えた深い構造を浮かび上がらせるため、数学や物理の最前線で活発に研究されている。

射影幾何学の双対原理は古くから知られている：「射影幾何学においてある命題が成立すれば、『平面』と『直線』、『含む』と『含まれる』を交換した命題（双対命題）もまた成立する」。記号論理学（Boole 代数）における双対原理も、その特別な場合である。

フーリエ変換も双対性の典型的な例である。量子力学の用語を借りれば、位置を対角化する基底から、運動量を対角化する基底に移るとい、基底の取り替えがフーリエ変換である。この場合、双対性は「粒子と波動の相補性」を意味する。状態ベクトルという基底によらない概念の導入により、波動力学と行列力学がどちらが正しいかという不毛な議論は過去のものとなった。

数学では図形 $\$X\$$ を調べるさい、 $\$X\$$ のホモロジーとコホモロジーという2つの代数的対象を考える。前者は部品（単純な図形）から $\$X\$$ へ向かう写像を用いて、後者は逆に $\$X\$$ から部品へ向かう写像を用いて定義される。この両者も双対的な概念であり、情報量として

は同等であることが期待される。実際、 $\$X\$$ がコンパクトかつ向き付け可能な多様体の場合、両者が互いに双対であるというのがポアンカレ（Poincaré）双対性定理の主張である。より一般の特異点をもつような図形の場合に双対性を拡張するのは重要なテーマである。

群論において、その共役類を考えることと既約表現を考えることは双対性的一种であり、フーリエ変換の非可換版と見なすことができる。有限群の場合、両者は個数が一致し、指標表という基底の取り替え行列で結びついている。ポントリャーギン（Pontryagin）やラングランズ（Langlands）双対性はその発展形で、場の理論の双対性とも深い関係があり、大きな注目を集めている。