

連載 理学のキーワード 第3回



「分化全能性」

杉山 宗隆（植物園 助教授）

分化全能性（全分化能、英語では totipotency）は、個体を構成するさまざまな種類の細胞のどれにも分化することができる潜在能力である。動物でも植物でも、すべての細胞の起源となる受精卵は、明らかに分化全能性をもっている。次の受精卵につながる生殖系列の細胞も、分化全能性を保持しているとみなされる。問題はそれ以外の体細胞の分化能力である。

植物においては、体細胞が分化しても、必ずしも分化全能性は失われない。これは、数々の細胞培養実験の結果から、1960年代にはすでにかなりははっきりしていた。たとえば、ニンジン細胞から不定胚を経て個体の全部を再生させた実験などは、植物体細胞が分化全能性を有することを端的に示している。分化全能

性のより厳密な証明は、その後タバコ葉肉プロトプラストから植物体を再生することによってなされたが、これには本研究科生物科学専攻の長田教授が大きな貢献をしている。

動物の場合は、1個の体細胞から個体を再生する、というような荒技は基本的に不可能である。一般には、初期発生の際に個々の動物細胞の分化能力は次第に限定され、分化全能性は失われるとされている。これとの対比から、分化全能性はしばしば植物細胞の特徴として強調され、植物科学の固有のテーマのようにも扱われてきた。しかし近年では、動物細胞の分化全能性が維持もしくは喪失されるさいの分子機構が精力的に解析されており、分化全能性の研究はもはや植物分

野の専売特許ではなくなっている。とくに再生医療を見据えた、胚性幹細胞の分化全能性（に近い多分化能）の研究は、社会的にも注目を集めている。

植物の分化全能性の研究も、この10数年の間に著しく進展した植物分子生物学の恩恵を受け、いま新しい段階に入っている。なかでも個体再生など、分化全能性が発現する過程の解析はやはり植物ならではであり、多くの新知見が期待される。

この方面の研究は、本研究科では、前述の長田教授、同じく生物科学専攻の福田教授、附属植物園の私（杉山）の研究室で行われている。また、本学新領域創成科学研究科には、全能性を冠した、その名も植物全能性制御システム解析学という研究室（馳澤教授）がある。



「恐竜の絶滅と巨大隕石衝突」

杉田 精司（新領域創成科学研究科 助教授
理学系研究科地球惑星科学専攻 助教授 兼任）

「なぜだろう？」と考えるのが理学部の仕事だと思うのだが、恐竜ほど「なぜだろう？」とわれわれを考えさせるものも多くはないのではないと思う。その疑問の一つが、「なぜ恐竜は地上から姿を消してしまったのだろうか？」というものだ。恐竜の絶滅は突然起きて、多くの他の生物種も一緒に絶滅した（まとめて K-T 絶滅事件と呼ぶ）となると、疑問はさらに強まる。

この恐竜の絶滅の謎への最初の大きな手掛かりは、アルバレッズ博士（L. W. Alvarez）らが1980年に発表した K-T 境界層へのイリジウム（以後 Ir と表記）濃集の発見である。地球の地殻やマントルには、Ir はほとんど含まれていない。堆積物中に微量に見つかる Ir は、基本

的に宇宙塵などの地球外起源物質である。この Ir が K-T 境界層から大量に見つかったのである。その Ir の濃集は世界中に広がっており、総量を推計すると直径 10 km もの巨大隕石がもち込む Ir 量に相当することも分かった。これは、恐竜絶滅時に巨大隕石衝突があったことを如実に示している。その後、メキシコのユカタン半島の堆積層下に埋もれている直径約 180 km の巨大クレーターが発見され、さらにクレーター形成年代も K-T 絶滅事件の年代とぴったり一致することも分かり、1990年代半ばには K-T 大絶滅の巨大隕石衝突説はほとんどの科学者に受け入れられるようになった。

しかし、まだ大きな謎が残っている。天体衝突がどのような機構で大絶滅に

至ったのかよく分かっていないのだ。当初は、衝突で大気中に巻き上げられた大量の粉塵が長期間にわたり日射を遮断し、生物を大量に死なせたと考えられたが、大気中の滞留時間が長い微小粉塵の量が過大評価されていたことなどが判明して、この「衝突の冬」仮説は旗色が悪い。ほかにも、硫酸エアロゾルによる衝突の冬、大規模火災、CO₂ 大量放出による急激な気候温暖化、激しい酸性雨などが提案されているが、どれも決定打を欠いている。この絶滅機構の解明が、K-T 絶滅研究の現在の最大の課題である。

理学部からは、松井孝典教授、多田隆二教授、田近英一助教授らが中心となって毎年キューバやメキシコで詳細な地質調査を行い、K-T 絶滅の謎を追いかけている。



「第一原理計算」

常行 真司（物理学専攻 助教授）

第一原理（first principles）計算というのは「もっとも基本的な原理に基づく計算」という意味で、電子間、原子核間、および電子-原子核間のクーロン相互作用から出発し、量子力学の基本法則に立脚した電子状態理論を使って電子分布を決め、物質の諸性質を計算することを指す。実験では分からないミクロな情報を補うことで、実験結果の理解に役立つのはもちろん、最近では、まだ合成されていない新物質や、実験困難な極限条件下の物質科学研究のために、欠くことのできない研究手法となりつつある。「非経験的電子状態計算」とも呼ばれる。経験パラメータを含んだ簡単なモデルを使った計算は、第一原理計算にくらべて計算規模が小さく、物理現象の本質を見極めるのに役立つことが多い。一例は、原子間の相互作用を経験的なレナード・ジョーンズのポテンシャルで表現して

行う、分子動力学の計算である。しかしこれらの場合、モデルの任意性や研究者の思い込みによって、間違った結論に到達することも少なくない。そこでモデル化を避け、虚心坦懐に物質をシミュレーションするのが、第一原理計算の流儀である。

では第一原理計算の難しさはどこにあるのだろうか。電子分布を決める多体問題は複雑すぎて解けないので、なんらかの近似を導入する。もっとも単純なのは、着目する電子以外の電子分布を平均分布で置き換える平均場近似である。これはたとえば、車で走る道を選ぶのに、積算平均された通行量を見て考えるようなものである。何も知らずに道を選ぶよりは渋滞に巻き込まれる確率は低いが、道の混み方はその時々で違うし、そもそも平均分布だけを信じて運転しようものなら、目の前の車にだって衝突するに決

まっている。実際の電子はクーロン斥力によって互いに避け合いながら分布する。この効果（電子相関効果）をどのように取り入れるか、つまり平均場近似をいかにして超えるかが、第一原理計算の最大の課題である。

計算機の進歩とそれに見合った方法論の発展によって、第一原理計算は以前より手軽で信頼性の高い実用的な手法となり、応用範囲が着実に広がっている。本研究科では、筆者の研究室で、表面吸着系や超高压下の物性研究への応用と、新しい方法論の開発を行っているほか、物性研究所の杉野修助教授（物理学専攻協力講座）のグループで、電極反応のシミュレーションを目指した研究が進められている。またいくつかの研究室では、商用パッケージソフトを使った第一原理計算を、実験の補助的に利用しているようである。



「フラーレン」

磯部 寛之（化学専攻 助教授）

今から約 20 年前の 1985 年 11 月、雑誌「ネイチャー」に一報の論文が掲載された。「C60 : Buckminsterfullerene」と銘打ったこの論文が、現在 [60] フラーレン(C60)として知られる分子の「科学」の始まりだった。この発見によりノーベル賞を与えられた Kroto, Curl と Smalley らが、「How the news that we were not the first to conceive of soccer ball C60 got to us (サッカーボール C60 を初めて考え出したのはわれわれではなかった、どういことをいかに知ったか)」という論文で紹介しているように、フラーレンはもともと 1970 年に大澤映二（当時は京都大学、現在は株式会社ナノ炭素研究所に所属）が考え出した分子であった。

60 個の炭素原子がサッカーボール状に共有結合したこの分子は、発見当時は煤の中にごくわずかに含まれる分子だった。1990 年にはアーク放電による大量合成法が開発され、さらに最近、トルエンを不完全燃焼させるだけでフラーレンを作り出す方法が工業化されることで、世界に先駆け日本で企業化・量産が始まった。フロンティアカーボン社により年間千トンを超える本格的工業生産が開始され、1990 年にはダイヤモンドより高いと言われた C60 は今や、1 グラム 500 円と以前の 600 分の 1 の価格で手に入るようになっている。ボーリングボール、ゴルフクラブ、メガネフレーム、バトミントン・テニスラケット、エアコンオイルなどわれわれの身近なものに利

用され始めている。

フラーレンが注目されている最大の理由のひとつは、その比較的高い化学反応性にある。その化学反応性を利用して化学修飾したフラーレンには、「フラーレンそのもの」にはない機能性が見出されており、次世代の材料としての期待がさらに高まっている。

理学系研究科化学専攻では、物理有機化学研究室の中村栄一教授らが有機化学の手法を利用し、化学修飾を施した有機フラーレンの科学研究を進めている。現在、有機フラーレンを使って、材料化学や生命科学分野などの周辺領域に波及効果をもつ機能性物質が生み出されている。本号 P. 15 の記事も参照されたい。