

- 7—A. Saxena & P. Carninci: *Bioessays*, **33**(11), 830(2011)
8—A. Aravin et al.: *Nature*, **442**(7099), 203(2006)
9—A. Girard et al.: *Nature*, **442**(7099), 199(2006)
10—A. Kanhere et al.: *Mol. Cell*, **38**(5), 675(2010)
11—A. Grishok et al.: *Cell*, **106**(1), 23(2001)
12—R. C. Lee et al.: *Cell*, **75**(5), 843(1993)
13—M. Lagos-Quintana et al.: *Science*, **294**(5543), 853(2001)
14—W. Filipowicz et al.: *Nat. Rev. Genet.*, **9**(2), 102(2008)
15—S. Francia et al.: *Nature*, **488**(7410), 231(2012)

コラム 分子で地球を読む No.7

分子化石の系譜

大河内直彦 おおこうち なおひこ
独立行政法人海洋研究開発機構

過去の地球環境を復元する研究は、地質学の中でも特に歴史の古い一分野である。その研究は、堆積物の中に化学的、物理的、あるいは形態として刻まれているさまざまな記録を読み解くところから始まる。6500 万年前に恐竜が絶滅したことも、その直前に隕石が落ちたことも、あるいは2 万年前に 130 m あまり海面が低下していたことも全て、堆積物の中に刻まれた記録の一つひとつ丹念に繙くことによって明らかにされてきたものだ。つまり、堆積物とは地球史の記録媒体であり、その中にさまざまなルールによって書かれた暗号を解読することによって、私たちは見てきたかのように昔の地球環境について話ができるようになってきたのだ。

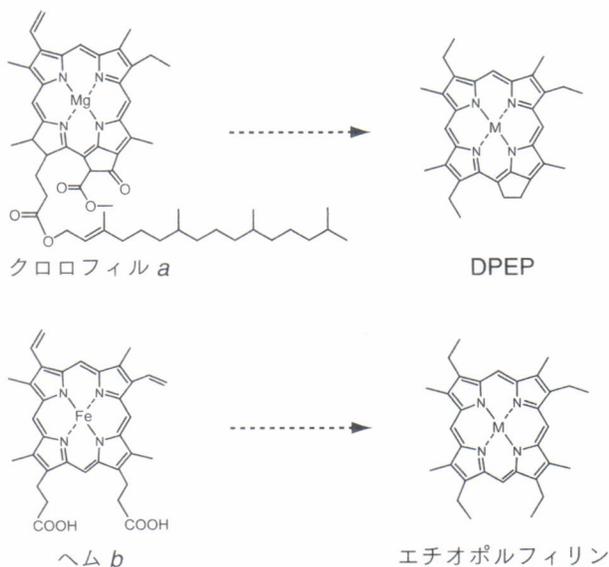
中でも化石は、昔から重要な情報源であり続けている。恐竜の骨や貝などの殻はもちろんのこと、微小な細胞の形をした「構造物」でさえ化石である。それらが生物しか作り得ない物質であることを、私たちが経験的に知っているからだ。それならば、生物しか作り得ない構造をもつ有機分子だって化石と呼べるだろう。天然中で複雑な分子が化学的に作り上げられる確率はほぼゼロに等しい。つまり、生き物が作り出した物質という点においては、化石と特に差はない。生物によって作られたこういった残存有機物は、かつて「分子化石」と呼ばれた。近年は「バイオマーカー」と呼ばれ

ることも多くなったが¹、その利用はここ 20 年ほどの間に大きく広がりを見せた。今や地質時代の生物相だけでなく、海水温、栄養塩濃度、二酸化炭素濃度、古生物の食性などといった多様な環境情報も、有機分子として刻まれた情報を元に復元されるケースが多い。

堆積物の中から特定の有機分子を探して昔の地球環境を復元するという一見地味な研究だが、その系譜には華がある。源流の一つは、ミュンヘン工科大学のハンス・フィッシャーの研究室だ。フィッシャーは血液に含まれる赤い色素、つまりヘムの有機合成と構造決定の業績により 1930 年にノーベル化学賞を受賞した。その後、クロロフィルがヘムと似た化学構造をもつことを知ったフィッシャーは、クロロフィルの合成に血道を上げた。その一方で、当時フィッシャーの研究室で助手を務めていたアルフレッド・トライブスは、少し異なる視点を研究室に持ち込んだ。

スイス南東部の山中で油を染み出している頁岩の中に、赤い色素が含まれていることを知ったトライブスは、その化学構造の決定に乗り出すのである。数年後の 1934 年、その色素がクロロフィルやヘムときわめて似た構造、つまり 4 つのピロール環がつながって閉じたテトラピロール構造であることを見いだす(図)²。この証拠をもとにトライブスは、生き物がかつて作り出した有機物が、構造を比較的保持したまま堆積物の中に保存されることを確信するのである。質量分析計も核磁気共鳴装置もない時代のことだ。当時クロロフィルの全合成へ向けて、フィッシャーの研究室では、さまざまな側鎖をもつテトラピロールが合成されており、それらの吸収スペクトルが構造決定の唯一の頼りだった。トライブスによる構造決定の正しさは、およそ半世紀後に新しい分析技術によって次々と証明されることになる³。しかしその後の歩みは、決して平坦な道のりではなかった。

1945 年 3 月 31 日、ミュンヘン市内は連合軍の爆撃を受けた。長年にわたって知を生み出し続けたフィッシャーの研究室は、一晩にして灰燼に帰す。焼け落ちた研究室を見て、絶望に駆られた



図—クロロフィル a とヘム b が地層中で変質してできるテトラピロール(それぞれ DPEP とエチオポルフィリン)構造中の M は金属元素を表す。

フィッシャーは発狂し、自ら命を絶つのである。戦後、瓦礫の山と化した大学で研究室の復興を指揮したのがドライブスだった。新たな研究室でドライブスは、フィッシャーの遺志を継いでクロロフィルの全合成に再び乗り出す。ゼロからの再出発だった。それから 15 年近くを経て、クロロフィルの全合成の名誉はタッチの差でハーバード大学のロバート・ウッドワードにさらわれ、そのウッドワードがノーベル賞を受賞する。しかし、その間ドライブスは、有機化学の地球科学への応用にも興味を失うことはなく、1982 年に亡くなる直前まで地球科学関連の学会に足を運び、何人もの学生を育てた。

重要な系譜は、アメリカにもある。一人は長らく Science 誌の編集長を務めたフィリップ・エイベルソンである。核物理学者としてマンハッタン計画に参画したエイベルソンだったが、戦後は生化学の分野に転じた。自ら設立に尽力したカーネギー研究所では、特に数千万年前の貝化石からアミノ酸を抽出したり⁴、その炭素安定同位体組成 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比) が環境復元に役立つことを示した⁵。

また、光合成の暗反応プロセスの解明で知られるカリフォルニア大学バークレー校のメルビン・カルビンもその一人だ。もともと学際研究を好ん

だカルビンだったが、ノーベル賞受賞後は特に生化学と地球科学の融合に熱を上げた。1969 年に出版されたカルビンの名著『化学進化：宇宙における生命の起源への分子進化』⁶を読めば、その熱意がひしひしと伝わってくる。当時の試行錯誤は、現在広く用いられている方法論の原型というべき視点に満ちている。

科学における新しい考えは、えてして既存の研究分野の外側、つまり分野と分野の間で生まれる。過去の地球環境を復元する研究も、80 年近く前にまで遡る、分野の枠にとらわれない研究が重要な礎となっている。何十年も経た後に新しい情報を次々と生み出すツールに化けるとは本人たちも考えなかったかもしれないが、巨人の肩の上に乗って始めて遠くを見通せるのは⁷、ニュートンの時代も今も変わらないのである。

文献・注

- 1—医学では、別の意味をもつバイオマーカーという用語が用いられているので注意が必要。
- 2—A. E. Treibs: *Angew. Chem.*, **49**, 682 (1936)
- 3—E. W. Baker et al.: *J. Org. Chem.*, **33**, 3144 (1968)
- 4—P. H. Abelson: *Science*, **119**, 576 (1954)
- 5—P. H. Abelson & T. C. Hoering: *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **47**, 623 (1961)
- 6—M. Calvin: *Chemical Evolution: molecular evolution towards the origin of living systems on the earth and elsewhere*. Oxford: Clarendon Press (1969) (江上不二夫・他共訳: 化学進化：宇宙における生命の起源への分子進化, 東京化学同人)
- 7—アイザック・ニュートンが論敵のロバート・フックに宛てた手紙の一節として知られる。ただし、背が低かったフックをニュートンが皮肉った表現という見方もある。

これでいいのか意見聴取会

原発規制庁審議ウォッチ・グループ

検討委員会から意見聴取会へ

今号の小岩氏の解説では、「高経年化技術評価に関する意見聴取会」での驚くべきやりとりが取り上げられている。そもそも「意見聴取会」とは