

## 解説

序文<sup>‡</sup>

北海道大学 低温科学研究所

田中 亮一<sup>\*</sup>

Samuel I. Bealeというアメリカ人の研究者がいる。彼は1970年代から2000年代前半にかけて、クロロフィル代謝研究の基礎をなす数々の発見をし、2000年代半ばに研究室をたたんだ。彼は研究者として優れていただけでなく、数々の卓越した総説を執筆し、当時の若いクロロフィル代謝研究者は、彼の総説から多くを学んだ。Bealeの（おそらく）最後の総説が2005年に出版された、“Green genes gleaned”（緑の遺伝子がすべて収集された）であり、この中で、彼はクロロフィル合成に関する「遺伝子ハンティング」が終了したことを述べたり。実際、植物において、クロロフィル合成の酵素をコードするすべての遺伝子がこの年までに同定されたと考えられており、一見すると植物のクロロフィル合成に関して、酵素、代謝経路などすべての基礎的な知見はすでに得られたように見えた。「クロロフィル合成」に関する重要な研究は既に終わったのだろうか？

その一つの答えを解説特集「光合成を支えるテトラピロール代謝の多様性」に見いだしていただければ幸いである。本特集では、クロロフィル、ヘムなど、光合成において中心的な役割を担うテトラピロールの代謝に関して、最新の研究を解説する。解説特集の最初の記事は、大久保（京大）の chlorophyll (Chl) *f* に関する記事である。一昨年、60年ぶりに新しいクロロフィル、Chl *f* がストロマトライトのラン藻から単離され、大きな話題になった<sup>2)</sup>。この Chl *f* は特殊なラン藻が合成する特殊なクロロフィルではないかと誰しも考えたが、驚いたことに、大久保らは琵琶湖に生息するラン藻を含めて、さまざまな環境に生息する12種類のラン藻がこの Chl *f* を合成することを明らかにした。ラン藻という生物の可塑性、環境適応能力をあらためて感じさせてくれる発見である。

本特集の2番目の記事では、青木、藤田（名大）が、「酸素を発生するラン藻に嫌気型の代謝経路は必要なのだろうか」という問題に迫った。もともと酸素に弱い代謝経路を持っていた生物が、自らが発生させた酸素による弊害を克服するために、新しい酵素を利用した、という洞察が大変興味深い。

続いて、3番目の記事では、伊藤ら（北大）もやはりクロロフィル代謝の酵素の多様性について論じている。この記事では、相同性情報の全くないところから、（それを逆手にとって）新規の酵素遺伝子を同定した研究が紹介され、同一の酵素反応を担う異なるタイプの酵素がさまざまなラン藻に混在すること、そして、その酵素の一つが緑色植物において「進化」して、新しい代謝経路を担うようになったことが解説されている。これらの研究は、多様な酵素の遺伝子が、遺伝子の水平移動を通じて、一つの「遺伝子プール」として機能し、新しい代謝系の出現につながった可能性を示唆している。

さらに、土屋（京大）は、*Acaryochloris marina* という Chl *d* を合成する特異な生物において、遺伝子導入系を開発し、さらに、*A. marina* が本来もっていない酵素の遺伝子を導入する事によって、この生物において新しい光合成色素、[7-formyl]-chlorophyll *d* を作り出したことを報告している。ラン藻間で頻繁に遺伝子の水平移動がおこったことを考えると、自然界において、同様な遺伝子の水平移動によって、新しい光合成色素が生まれてきたということが想像される。このような現象によって、次々と新しい色素が生まれ、自然界において試されたことが光合成の進化の大きな原動力になったのではないだろうか？

上記4編の解説記事とは対照的に、増田（東大）の記事は長い間、未解決であった問題に正面から取り組んだ研究を解説している。未解決の問題とはすなわち、細胞の中でどの程度の割合のヘムがどのような状態で存在す

<sup>‡</sup> 解説特集「光合成を支えるテトラピロール代謝の多様性」

<sup>\*</sup> 連絡先 E-mail: rtanaka@lowtem.hokudai.ac.jp

るのか、そして、ヘムを細胞内の正しい場所に的確に輸送するメカニズムは何かという問題である。植物を例にとると、ヘムは葉緑体、ミトコンドリア、核、小胞体、液胞、細胞質、細胞膜、アポプラストとあらゆる場所に存在する。植物の遺伝子のうち、2%以上はテトラピロール結合タンパク質をコードしていると予想されるが、その大半はヘム結合タンパク質である<sup>3)</sup>。増田らは、かつてない感度と正確さをあわせもつヘム定量法を開発し、細胞内のヘムの状態について新たな知見を提供しただけでなく、ヘムを細胞内の正しい局在に運ぶメカニズムに迫った。

最後の小林（東大）の記事でも、やはり「多様性」が解説されているが、その「多様性」は他の解説記事とは異なり、「代謝経路」ではなく「制御」の多様性である。テトラピロール合成は、酵素タンパク質の転写、翻訳、輸送、分解など、さまざまな段階で制御されていることが明らかになっているが、その分子機構は未解明な部分が多い。前述の青木・藤田の記事ではラン藻における転写制御についての知見を記載しているが、小林は高等植物に焦点を絞り、現段階で明らかになっている制御機構の全体像を記載している。和文だけでなく、英文においても、テトラピロール合成制御をここまで網羅した総説は少なく、多岐にわたる制御機構の研究の最前線を理解するために、貴重な解説文である。

これら6編の解説文から、光合成生物のテトラピロール代謝研究の現状と未来を感じていただければ幸いである。

#### 参考文献

1. Beale, S. (2005) Green genes gleaned, *Trends Plant Sci.* 10, 309–312.
2. Chen, M. et al. (2010) A red-shifted chlorophyll, *Science* 329, 1318–1319.
3. Mochizuki, N. et al. (2010) The cell biology of tetrapyrroles: a life and death struggle, *Trends Plant Sci.* 15, 488–498.