

万緑藻中紅一点：紅藻の科学

兼崎 友

万緑叢中紅一点。中国の王安石の作とされる詩にある言葉で、「緑の草むらの中に一つだけ赤いザクロの花が咲いて美しい」という意であるが、現代では最後の部分の「紅一点」だけが、集団の中で特に目立つ事象や女性を表す慣用表現として用いられている。

ここ数年、藻類によるバイオマス研究が強力に推進されているが、特にボトリオコッカス、シュードコリスティスなどの油生産に優れた特徴を持った緑藻の一群が常に話題の中心にいる。しかし培養条件の面で、常温、中性pHでしか培養できない藻類は、屋外での大規模培養時に他生物がコンタミするリスクがどうしても残る。一方、高温・強酸性・高硫酸の環境に棲息する単細胞性の紅藻類（イデユコゴメ綱）は、真核光合成生物としては最も高温の環境に棲息する極限環境生物であり、また重金属にも耐性を持つなど、コンタミリスクも小さく、産業応用性も高い藻類である。工場の煤煙や鉱山や鉄鋼業の排水など、高濃度の重金属や酸を含む水資源をベースにしたバイオマス物質生産系や、生物環境浄化系の構築、またさまざまな耐熱性酵素の応用研究を考える上で、極限環境紅藻類は優れた生物材料と言え、有用株の単離・育種が期待されている。

イデユコゴメ綱（Cyanidiophyceae）にはシゾン（Cyanidioschyzon）、シアニジウム（Cyanidium）、ガルデリア（Galdieria）の3属が含まれる。細胞壁を持たず、等分裂で増殖するシゾンに対し、シアニジウムやガルデリアは堅い細胞壁を持ち、オートスポアにより増殖する。シゾンとシアニジウムはともに光独立栄養生物であるが、ガルデリアは光独立栄養条件でも従属栄養条件でも培養可能である。イントロンの数はシゾンではわずか27個しかないが、ガルデリアでは約50%の遺伝子がイントロンを持つなど、これらの3属の比較解析により、極限環境紅藻類の中だけに留まらない進化的な考察も可能である。ゲノムの解読が100%完了し、遺伝子組換え実験も可能なシゾンに加え、シアニジウムやガルデリアでも続々とゲノム情報や分子生物学的研究基盤の整備が進められている。ごく最近明らかになったガルデリアのドラフトゲノム配列からは、多数の古細菌由来の遺伝子を水平伝搬により獲得していることも明らかとなった²⁾。

生態分布からはシゾンよりもシアニジウムとガルデリアのほうが広く分布しており、この2属は世界中の火山

帯のさまざまな高温酸性環境から見つかっている。シアニジウムにおいては、200 mMのアルミニウムイオンを含む条件でも生育可能であり、種々の重金属を細胞内に多量に蓄積することが報告されている³⁾。このことから、生物環境浄化に有用な微生物種であると思われる。また最近、より高濃度のアルミニウム耐性を持つガルデリアや、マンガンに対して高い耐性を持つシアニジウムも単離されてきており⁴⁾、今後さらなる有用株の単離が期待できそうである。既に、シゾンのアスコルビン酸ペルオキシダーゼ（APX）遺伝子を発現させることで、シロイヌナズナに高温耐性を付与することに成功した報告もあることから⁵⁾、より厳しい環境下から単離されたシアニジウムやガルデリアは優秀な環境ストレス耐性遺伝子資源となる可能性が高い。こうした株であれば、開放系での大量培養の際にも一時的に重金属濃度やpHなど変動させることで、コンタミした菌を殲滅することも可能であろう。

また、紅藻類は緑色植物とは異なり、葉緑体ではなく細胞質に紅藻デンプンと呼ばれるデンプンを蓄積する。藻類を用いた糖の生産を考える際に、初めから糖質が細胞質に蓄積していることは、代謝産物を取り出すステップにおけるアドバンテージの一つである。ただ、これらの代謝産物の代謝酵素や細胞内運搬の機構などの情報はまだまだ解明されておらず、今後の研究進展が待たれる。特に、ガルデリアは従属栄養条件でも培養可能なことから、糖の代謝や関連遺伝子の発現などの基礎研究に大いに役立つと考えられる。

さて、ここまで大いに極限環境紅藻類を用いた生物工学の可能性を宣伝してみた次第であるが、実は極限環境紅藻類は赤色の色素であるフィコエリスリンを持たないため、見た目は赤色ではなく青緑色である。しかし、極限環境紅藻類の学術的価値と応用研究への発展性は、緑色ばかりの藻類の世界において、やはり「紅一点」と呼ぶにふさわしいものがある。

- 1) Nozaki, H. *et al.*: *BMC Biol.*, **5**, 28 (2007).
- 2) Schönknecht, G. *et al.*: *Science*, **339**, 1207 (2013).
- 3) Yoshimura, E. *et al.*: *Soil Sci. Plant Nutr.*, **45**, 721 (1999).
- 4) 重信ら：第54回日本植物生理学会大会講演要旨集, (2013).
- 5) Hirooka, S. *et al.*: *Plant Cell Rep.*, **28**, 1881 (2009).