

## マイノリティとして生きる微生物

山本 京祐

「1グラムの土壤中に数千種が生息している」などしばしば表現される莫大な多様性は、微生物群集の大きな特徴の一つである。一般的に、微生物群集を構成する種の存在割合には大きな偏りがあり、ごくわずかな優占種が個体数の大半を占める一方で、その他の大部分の種は存在量がきわめて少ない「希少種」である（希少種の明確な定義はないが、「存在量が全体の0.1%もしくは0.01%以下の種」とすることが多い）。その存在量の少なさ（≡活発に増殖していない）ゆえに、希少種の細胞の多くは代謝活性が非常に低いか休眠状態にあり、それぞれの生育に適した環境が訪れるまでじっと息を潜めていると考えられてきた。そして群集の置かれている環境の変動に伴ってそれまでの優占種の活動が弱まると、取って代わるように多様な希少種コミュニティの中から新たな環境に適した種が活動を開始し、その存在量が増加する。つまり、希少種はあくまでもその環境条件下では一時的に代謝増殖活性が低くなっているにすぎず、環境変動に応答して希少種コミュニティの一部が増殖することで、群集全体としての生物活性や機能を維持すること（頑健性・回復性）に貢献すると考えられてきた。

こうした見方に加え、希少種はそもそも個体数が少ないゆえに培養が困難なものも多く生理生態学解析が難しいことから、安定的な環境における希少種の生物活性や、群集全体の機能に対する代謝的寄与についてはほとんど顧みられることがなかった。ところが、分子生態学的解析技術の発展により安定同位体を利用した培養非依存的な代謝機能解析が可能となり（stable isotope probing など）、長らく未知のままであった希少種の個々の機能と群集機能への寄与に光が当てられることとなった。Pesterらは泥炭地土壌の硫酸還元活性を解析し、活性の大半を担うある種の硫酸還元菌を同定した結果、その個体数は群集全体のわずか0.006%に過ぎないことを報告している<sup>1)</sup>。また、Bodelierらは河川氾濫原におけるメタン消費の大部分が一群の希少なメタン酸化菌によってなされていることを示した<sup>2)</sup>。こうして、上述のような群集機能のバックアップ的役割のみならず、実際には大変活発に代謝を行い、物質循環をはじめとする生態系機能の重要な部分を担っている希少種が存在することが明らかとなってきた。このような「活発に代謝はするが増殖はわずか」というライフスタイルは大変興味深く、中

には増殖に至適な環境が訪れれば旺盛に増殖するものもいるであろうが、あえて「増えずに生きる」道を選択しているものもいると思われる。たとえば、細胞密度が高ければ高いほどファージや原生動物などの寄生・捕食者に遭遇する確率が上昇することから、数的にマイナーな存在であることはこうした危険性を低減するのに好都合なのではないかと考えられている<sup>3)</sup>。

個々の種や特定の機能群に限定した解析に留まらず、希少種コミュニティ全体の挙動を捉える試みとして次世代シーケンズ技術を活用した群集構造の超高解像解析（16S rRNA ベースの解析、メタゲノム解析など）も行われている。Hugoniらの研究では、沿岸部の海洋表層において環境条件の季節変動に伴うアーキア希少種の個体数変化を解析した結果、定期的に優占種と希少種との間を往復するもの、代謝活性は常に低く外部環境から流れ着いたと思しきもの、そして代謝的に活発ではあるが常に個体数は少ないものがそれぞれ存在することが示唆されている<sup>4)</sup>。このように一口に希少種といってもその性質はさまざまであり、系統的・機能的にもライフスタイルとしても多様な希少種が一つの群集内に存在し、ダイナミックかつ活発に群集全体の挙動に寄与しているものもいると考えられる。

自然環境のみならず、リン除去リアクターのような（半）人工環境でも同様に群集機能に対する希少種の大きな貢献が示唆されている<sup>5)</sup>。排水処理をはじめとする複雑な微生物群集を利用する生物工学的プロセスにおいては、システムの高機能化・安定化につながるヒントが希少種コミュニティの挙動・役割の中に隠されているかもしれない。このように、希少種の挙動に注目することは微生物群集の持つ多彩で柔軟な生態系機能を理解、そして利用するうえでの重要な切り口となる可能性を秘めているといえるであろう。

- 1) Pester, M. *et al.*: *ISME J.*, **4**, 1591 (2010).
- 2) Bodelier, P. L. E. *et al.*: *ISME J.*, **7**, 2214 (2013).
- 3) Lynch, M. and Neufeld, J. D.: *Nat. Rev. Microbiol.*, **13**, 217 (2015).
- 4) Hugoni, M. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **110**, 6004 (2013).
- 5) Lawson, C. *et al.*: *Environ. Microbiol.*, **17**, 4979 (2015).