

S2-1

微生物システムの起源と進化

山本 啓之

海洋生態・環境研究プログラム、極限環境生物圏研究センター、海洋研究開発機構

Earth's Microbial Ecosystem : Origin and Evolution

Hiroyuki Yamamoto

Research Program for Marine Biology and Ecology, Extremo-Biosphere Research Center (XBR), Japan
Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

Key words: Earth, biosphere, ecosystem, prokaryotes, evolution

1. はじめに

およそ 40 億年にわたる地球環境の変化に対応した微生物の系統進化により、現在の生物圏における生態系の基礎は作られた。地球において生物圏が拡大する時、最初に微生物が物質循環のシステムを造り出し、生態系の基礎を固めたと考えることができる。生息環境としての地球、環境に適応する生物、そのいずれにも変化を生み出す原動力があり、生み出された結果を我々は進化と呼んでいる。惑星進化と生物進化、かつては学問分野として別世界で論議されていた課題であるが、今や不可分の課題であり、相互の情報交換と知識の融合により新たな地球の姿を描き出している。

2. 微生物システムの始まりを推定する

30-40 億年前の地球環境を推定して、最初の微生物が形成した生物圏においてどのようなシステムが存在したのかを考えるには、微生物学の情報だけでは不十分である。過去の痕跡をたどるには、地質学や古生物学など地球科学の助けが必要である。

地球上に生命が誕生して生物圏を形成したのは 35-38 億年前ごろと推定されている。この年代推定の根拠は、堆積岩に残された生物活動の痕跡（有機炭素、安定同位体比）や微化石による。この研究では、生物痕跡が残された堆積岩を化学分析した結果から、これが 32 億年前の深海底熱水孔周辺で堆積し、そこに生息していたと推定される微生物の化石が発見された事例がある。この発見は、熱水依存型の生理生態を持つ微生物が太古代に生息していたことを示唆する結果である。

微生物の進化系統は、リボソーム RNA を基準とした系統樹から推定されている。この系統樹に現れてくる各微生物群の生理生態を見ると、始原生物には好熱性の化学合成微生物が系統を形成している。この結果は、太古の堆積岩の微化石が示している結果と整合性があり、地球の歴史と微生物の歴史が一致することを示している。では、なぜ好熱性化学合成微生物

は初期の生物圏を深海底に形成したのであろう。

惑星科学では、地球形成の過程をモデルにより解析している。この解析から導き出された初期地球の環境条件から、生体エネルギーとして持続的に利用できたのは熱水成分であり、宇宙線などから防御された安全な生息場所は深海底であると推定できる。すなわち生息空間として安定した環境条件が深海底の熱水孔周辺に存在し、ここで微生物は持続可能な群集を形成して簡単な物質循環システムを動かしていたと考えられる。

3. 生物圏の拡大と微生物生態系の形成

深海底の熱水孔周辺で形成された微生物システム（始原生態系）は、やがて複雑な経路で構成される生態系へと進化した。これは生物圏が拡大した歴史と捉えることができる。すなわち、熱水の化学成分に依存していた化学合成から、高分子有機物の分解、さらに光合成の機能を獲得することで、生物圏は深海底から海洋表層そして陸上へと拡大したと考えられる。

この過程、生物進化が主役を演じているように見える。しかし、舞台である地球もこの時期に大きな変動を演じていた。この時代、火山活動とプレートテクトニクスが活動的で、地球表面には小さな陸塊が生み出され、浅海域が形成され始めた。これにより有光層にまで海底が出現し、光合成微生物の生息域拡大を助けたと考えられる。また地球中心核の構造変化は磁場を強化して、太陽から吹きつける荷電粒子などを大気圏外で捕捉する効果をもたらし、地表の環境を安全な状態へと変化させた。これらの地球環境変動は、新たに生み出された新種の微生物に生息空間を与えたと考えられる。

現在の地球の生物圏では、植物から動物へと流れる直線的な食物連鎖が主流であるように見える。しかし、生態系を駆動しているのは、物質循環の要所において存続する微生物群である。現在の生物圏の物質循環では多様な物質が移送され、維持される物質量（生物量）も初期地球の時代よりはるかに大きい。また物質が変換される経路には多様な微生物群集が存在している。その存在は、海洋、陸水、土壌などの地球表層から地下数キロの深部、また動植物の体内にまで広がり、お互いが複雑な経路で結びついている。

4. おわりに

1980年代後半から遺伝子を基準に進められてきた微生物研究の成果は、微生物学だけでなく、生物進化にも新たな知見をもたらした。しかし遺伝子情報だけでは、微生物生態系のシステムと地球環境との関わりを理解することはできない。関連する複数分野の研究者との共同作業が求められる。またシステムが構築された歴史的な過程を考えることで、構造や機能を明確にできると考える。

山本啓之 : kyama@jamstec.go.jp