



システムとして理解する

二又 裕之

自然科学を対象とする研究者にとって、究極的な目標は“自然の理解”であろう。そして多くは、その機能を有効的に活用/抑制することを目指している。そのために昔から、1つ1つの現象が詳細に解析されてきた。しかし、あたかもジグソーパズルのピースのような個々の現象を集めることで、本当に全体像を把握し理解できるのだろうか。ここでは全体像（システム）の理解を試みる研究の一例として、微生物の生態系に関する研究を紹介する。

Harutaらは、好気静置回分培養集積下において、セルロース（主として稲わら）分解能を発揮する培養系を構築し、その微生物群集構造を解析した。その結果、20回以上の継代培養にも関わらず微生物相は安定しており、セルロース分解能を持つ嫌気性細菌 *Clostridium straminsolvens* CSK1株と5種の好気性非セルロース分解細菌が常在していることが示された¹⁾。興味深いことに、CSK1株の純粋培養系やCSK1株と他の1菌株との2菌株混合系では分解能が不安定であったのに対し、他の好気性細菌を含む3菌株以上の混合系においてのみ安定したセルロース分解が生じることが明らかとなった。そこで、セルロース分解集積培養系における主要菌株の役割と他の菌株へ及ぼす影響を調べるため、主要な分離5菌株を用いてセルロース分解混合培養系を人工的に再構築した²⁾。ここで彼らが用いた解析手法は“knockout communities”と名づけられたものである。すなわち、5菌株中の1菌株のみを欠落させた系を構築し、各系における菌数の変動、分解能力および有機酸蓄積の有無などを調べることで、系における各菌株の役割を類推していくものである。これらの解析の結果、セルロース分解菌であるCSK1株以外の菌は、CSK1株の生育に必要な嫌気環境の創出および代謝産物の更なる無機化を担っていたことが明らかとなった。この無機化は、代謝産物によるCSK1株の増殖阻害を回避すると共に、他の菌株の生育がCSK1株の代謝に依存していることを示していた。

一連の実験から、①嫌気条件下のみでは反応効率の低い高分子物質の高分解と有機酸の分解を好気性細菌の共存により効果的に進めていること、②分解物質除去によ

る一次分解者の活性化という見事なネットワークが複数の微生物種の安定な共存を可能にしていると考えられた。また、セルロース分解フロー以外の代謝による生育促進や抑制作用も示唆されており、混合培養系において、構成細菌群が安定した共存を図るためには、菌株間の相互作用（正と負の両面からなる）によるバランスの維持が重要との知見を導いている。

一方、Hashshamらはメタン生成バイオリアクターにおける機能的安定性の要因を調べるために、グルコース添加による系の攪乱を誘発し、その微生物相と代謝産物との関係を調べた。その結果、グルコースから1種類ずつ分解産物を生産する（serial substrate processing）微生物集団よりも、複数の物質を同時に生産できる（parallel substrate processing）微生物集団の方が、攪乱に対してより安定していたことを報告している³⁾。

このように、一つの系に生息する複数の異なる細菌同士があたかも協力し合うことで全体としての機能を発揮していることが、さまざまな系においても次第に明らかになってきている。システムが安定して維持される場合、炭素源やエネルギー源の種類や量、そして生息している微生物の機能的多様性が豊富であることは容易に想像がつく。系を構成している要素同士を結びつける視点として、バランスの維持（あるいは補完し合う機能というべきか）という考え方は重要であろう。

近年、既知微生物の混合ではなく自然を模倣した微生物集団の構築によって、新たな、あるいはこれまで以上の機能を発揮させることが期待されるようになってきた。システムが外部からの刺激に対して崩壊せず安定して機能を発揮し続ける、そのバランスがいかんして保たれるのか、あるいは崩れていくかの解明は、今後の重要な課題であるといえよう。

- 1) Haruta, S. et al.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **59**, 529 (2002).
- 2) Kato, S. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **71**, 7099 (2005).
- 3) Hashsham, S. A. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **66**, 4050 (2000).