



自然界におけるメタンの嫌氣的酸化

田島 健治

メタンは天然ガスやメタンハイドレートとして世界中に広く分布しており、石油に代わるエネルギーとして注目されている。一方で、メタンは二酸化炭素の25倍の温室効果を示す温暖化ガスでもある。産業革命以来、大気中のメタン濃度は増加し続けており、自然界におけるメタンの分解機構を調べることは、地球温暖化や地球環境における炭素循環サイクルを明らかにする点からも重要である。メタンは好氣的条件下ではメタン酸化細菌と呼ばれる微生物によって分解、代謝されるが、近年、これとは異なる微生物による嫌氣条件下でのメタン酸化が注目されている。

メタンは自然界において嫌氣条件下、メタン細菌により生産される。自然界を発生源とするメタンは年間およそ $100 - 200 \times 10^{12} \text{g}$ であり、そのうち $70 \times 10^{12} \text{g}$ 以上が海水中の嫌氣条件下で発生する。しかし、嫌氣層で発生したメタンが海水中でほとんど検出されないことから、大部分は海水の嫌氣層中で分解されると考えられている。嫌氣条件下でのメタンの分解には、嫌氣的メタン酸化古細菌 (ANME) と呼ばれる微生物群が関わっていると考えられている¹⁾。この微生物は硫酸還元菌と共生しており、純粋培養が不可能であるため、その生理学的性質やメタン代謝機構についてはよくわかっていない。しかし、ANMEを含む共生系において嫌氣条件下、硫酸イオンの還元と共役したメタンの分解が観測されることから、ANMEがメタンを分解していると考えられている。

一方、化学的見地からは、硫酸イオンだけでなく、硝酸イオンの還元と共役した嫌氣的メタン酸化が存在することも予想されていた。硫酸イオンの還元と共役したメタン酸化の場合、そのギブスの自由エネルギー変化は -20 から -40 kJ であるのに対し、硝酸イオンと共役した場合は -765 kJ になる。このように化学的に有利な反応であるにもかかわらず、つい最近まで、硝酸イオンの還元と共役した嫌氣的メタン酸化が微生物により行われていることを実験的に証明した報告はなかった。硝酸イオンの還元と共役した嫌氣的メタン酸化を行う共生系が長らく分離できなかった理由として以下のことが挙げられる。この反応は海底表面のやや還元的な雰囲気でのみ進行すること、この反応に関わる微生物は増殖がとても遅いため、培養に時間がかかることが挙げられる。しか

し、昨年になって、硝酸イオンの還元と共役したメタン酸化を行う共生系の分離に成功したという報告がなされた²⁾。この論文では16ヶ月の集積培養の結果、共生系の集積培養に成功した。この共生系から抽出した遺伝子を真正細菌と古細菌のリボソームRNA遺伝子と比較した結果、共生系の主要な真正細菌はこれまでに分離されたグループと遺伝学的に大きく離れたグループに属していた。硫酸還元菌の遺伝子が検出されなかったことから、この反応がこれまで調べられていた硫酸還元菌と共生した嫌氣的酸化反応とは異なることが示された。一方、共生系中の古細菌は硫酸還元と共役した嫌氣的メタン酸化を行う微生物であるANMEやメタン細菌と比較的近いグループに属することがわかった。

では、メタンの嫌氣的酸化反応はどのような機構で行われているのであろうか？現在のところ、ANMEはメタン細菌と遺伝学的に近縁であることから、嫌氣的メタン酸化は、メタン細菌によるメタン生成反応の逆反応により行われていると予想されている。この仮説を支持する報告としては以下のものがある。嫌氣的メタン酸化反応が検出される微生物マットから抽出される総タンパク質の7%がメタン細菌のメタン生成経路における最終酵素である methyl-coenzyme M reductase と高い相同性を示すタンパク質であることから、このタンパク質がメタンの嫌氣的酸化反応に関わっていると考えられている³⁾。また、メタン細菌によるメタン合成は7段階の反応からなるが、ANMEを含む共生系の遺伝子について調べた結果、ANMEはこの内5段階目の酵素を除く、すべての酵素を有していることが明らかとなった⁴⁾。この結果はANMEはメタンを合成することはできないが、メタン合成反応の逆反応で生じた中間代謝物を利用できることを示唆している。

このように嫌氣的メタン酸化反応については近年、研究が報告されたばかりで、その環境に対する寄与や反応機構については不明な点が多く、今後の研究の発展が望まれている。

- 1) Hinrichs, K.-U. *et al.*: *Nature*, **398**, 802 (1999).
- 2) Raghoebarsing, A. A. *et al.*: *Nature*, **440**, 918 (2006).
- 3) Küger, M. *et al.*: *Nature*, **426**, 878 (2003).
- 4) Hallam, S. J. *et al.*: *Science*, **305**, 1457 (2004).