

# 論文審査の結果の要旨

氏名 柳川勝紀

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、嫌気環境下において硫酸還元菌とペアでメタン酸化を行う嫌氣的メタン酸化古細菌 (ANME) に関するこれまでの研究がレビューされ、地球上の炭素循環に占める研究の意義が簡潔にまとめられている。

第2章では研究対象の1つである第四与那国海丘熱水活動域の特徴、海洋調査の概要、微生物学的な解析手法、および得られた結果について詳しく議論されている。この熱水域は、熱水から供給される高濃度の CO<sub>2</sub> により酸性環境下にあるものの、堆積物試料から RNA 分子を抽出し分子系統学的解析を行ったところ、嫌氣的メタン酸化活性が検出され、酸性環境に適応した ANME-2 と硫酸還元菌が存在していることを明らかにした。これは従来の微生物系統学的研究の枠を越えて、実際にそこで起こっている代謝に注目した研究として特筆に値する。ここで、ANME-2 は ANME-1 とともに ANME の中で卓越するグループである。

第3章では、もう1つの研究対象である日本海上越沖のメタン湧水域において、堆積物コア中の ANME-1 と-2 の鉛直分布と間隙水の化学分析結果とを比較している。その結果、前者は硫酸塩が枯渇した環境に、後者は硫酸塩に富む環境に優占することが明らかになった。海洋環境における嫌氣的メタン酸化は硫酸還元と密接にリンクしており、反応式では硫酸がメタンを酸化し、重炭酸と硫化水素が生成すると表現される。ところが、今回の詳細は研究により、硫酸イオンが殆ど存在しない還元的環境に ANME-1 が多産するという予想しなかった結果が明らかにされた。ANME-1 の活性に硫酸イオンは必要ないのか、どのような反応と共役するのか、また観察された ANME-1 は本当にメタン酸化を行なっているのかなど、間隙水組成の深度プロファイルと対比させながら ANME-1 と ANME-2 の分布と活性を調べた結果、微生物の役割について重要な課題が抽出された。

第4章では、上記の微生物生態学的な結果を説明するために、間隙水中の反応基質濃度や環境因子などのデータを基に、化学合成に用いられる代謝反応について化学熱力学的検討を加えている。その結果、第四与那国海丘では pH ではなく、硫酸塩濃度の減少に伴う化学エネルギー上の制約が ANME の分布を規制している可能性が明らかになった。

第5章では上記の結果に基づいて包括的な議論がなされている。ANME-1 による嫌氣的メタン酸化では、その過程で硫酸還元を利用できないが、反応速度論

的計算から、メタンから酢酸が生成する反応、もしくは嫌氣的メタン酸化の逆反応が進みメタン生成が起こっている可能性を示唆した。このように、本研究により、ANME の生息限界はこれまでの知見から予想されるよりもはるかに広いことが明らかとなった。

これは、微生物生態と地球化学の複合的な情報を組み合わせることによって初めて可能になったことで、ANME の代謝戦略について新たな知見を与えるものであるばかりでなく、地球発達史の中で ANME が炭素の地球化学的物質循環にどのような影響を与えて来たのかを知る上でも、重要な指針を与えるものである。

なお、本論文第 3 章は蛭田明宏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が充分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。