

地下高温環境における導電性鉱物を介した 電子移動に基づく共生的メタン生成

応用生物科学専攻 生命分子化学講座 微生物新機能開発学 和田 薫

1. 背景と目的

微生物による有機物からのメタン生成は、嫌気環境における有機物分解において重要な役割を占めている。酢酸はメタン生成過程における重要な中間代謝産物である。酢酸からのメタン生成経路として、酢酸資化性メタン生成アーキア単独、あるいは酢酸酸化水素発生細菌と水素資化性メタン生成アーキアの共生の2種類のみが知られていた。近年、導電性鉄鉱物を流れる電流が酢酸酸化鉄還元細菌とメタン生成アーキア間の電子移動を媒介し効率的にメタン生成をおこなう新たな共生的経路（電気共生）が提唱された。電気共生によるメタン生成はこれまで中温環境でしか報告されていないが、地下圏などの高温で鉄鉱物が豊富に存在する環境下におけるメタン生成にも大きく寄与していると予想される。本研究では地下高温環境サンプル（原油貯留層構造水）を微生物源としメタン生成微生物群集を集積培養し、鉄鉱物の存在がメタン生成活性、微生物群集構造に与える影響を調べた。

2. 結果と考察

山形県新堀油田の原油貯留層構造水を微生物源とし、メタン生成基質として酢酸を加えた人工海水培地を用いて、55°C、嫌気条件下で集積培養をおこなった。その結果、導電性酸化鉄であるマグネタイトの添加時に酸化鉄非添加時よりも高いメタン生成速度が観察された。¹³Cラベル酢酸を使用した代謝経路解析により、マグネタイト添加時に酢酸分解反応が有意に高まっていることが確認され、電気共生が起こっていることが示唆された。また絶縁性酸化鉄であるフェリハイドライトの添加によってもメタン生成が促進された。添加したフェリハイドライト粒子は培養過程で黒変し、培養後の粒子はX線回折（XRD）解析によりマグネタイトを含んでいることが確認された。この結果は微生物によるフェリハイドライトの還元によりマグネタイトが生成し、そのマグネタイトを介した電気共生反応が起こっていることを示唆する。

4回の集積培養ののうち集積微生物群集からDNAを抽出し、バクテリア、アーキアそれぞれに対して16S rRNA遺伝子のクローンライブラリー解析をおこなった。アーキアは全ての培養系で酢酸資化性の*Methanosaeta*属が優占種であった。酸化鉄を添加しない条件で優占したバクテリアは発酵性の*Anaerobaculum*属細菌のみであり、メタン生成は*Methanosaeta*属が単独で行っていると考えられた。マグネタイト、フェリハイドライト添加時のバクテリア群集構造は類似しており、いずれも鉄還元能を持つと考えられる*Flexistipes*属、*Petrotoga*属細菌が優占していた。一方でフェリハイドライトに加えメタン生成アーキアの特異的阻害剤を添加した培養系では*Flexistipes*属や*Petrotoga*属細菌はほとんど検出されず、それらとは異なる種類の鉄還元細菌が優占していた。この結果は*Flexistipes*属、*Petrotoga*属細菌は単純な鉄還元ではなく、導電性鉄鉱物を介した*Methanosaeta*属アーキアとの電気共生に依存して増殖していることを示唆する。本研究は高温環境においても電気共生による酢酸からの共生的メタン生成反応が起こりうることを初めて明らかにしたものであり、電気共生が地下環境における物質・エネルギー循環に大きく寄与していることを示唆するものである。