

深海熱水系における還元性気体の生物地球化学

Biogeochemistry on reduced gases at deep-sea hydrothermal systems.

(提出先：東京大学大学院農学生命科学研究科，2009年3月)

川口慎介 (Shinsuke Kawagucci) 所属：東京大学海洋研究所海洋化学部門海洋無機化学分野

深海熱水活動と生命活動のリンクを把握するために、熱水生態系の主要な一次生産代謝基質である還元性気体成分の挙動を明らかにすることは重要である。還元性気体成分の中でも水素 (H_2) は、たとえば二酸化炭素や硫酸イオンといった熱水および海水に溶存する主要成分と発熱的に反応するため、あらゆる熱水生態系で消費される。また、ともに熱水に溶存する H_2 と二酸化炭素を用いた化学合成代謝は、光合成に由来する海水の酸化物質を必要としないため、光合成生物の爆発的増加が起こる以前の始原的地球や地球外天体の熱水環境における生命活動に関与する代謝系として注目されている。

しかしながら、これまで熱水生態系環境における H_2 の挙動を調べた研究はほとんどない。安定同位体を指標に用いることは、ターゲットとする物質の挙動解析を行う上で有用であり、 CH_4 の炭素安定同位体比などが精力的に利用されている一方、 H_2 の安定同位体比が用いられた例はほとんどない。その主たる原因として、分析にかかる技術的な問題が挙げられる。熱水生態系環境では、海水による希釈と生物活動による消費のため、 H_2 の濃度は非常に低く、また、試料採取量も採水器の容量によって制限されることから、安定同位体比を定量するには、高感度な分析技術が要求される。これ以外に、熱水の化学分析を担った地球化学者が、熱水生態系環境での生物地球化学プロセスにそれほど関心を持たなかったことも一因といえるかもしれない。

そこで本研究では、高感度安定同位体分析法である連続フロー法を用いた H_2 の濃度および安定同位体比 (δD) 分析法を開発した。従来の手法が、 H_2 の精製に液体ヘリウムデバイスなど特殊な装置を必要とした一方で、本研究で構築した手法では、市販のガスクロマトグラフ用充填剤と液体窒素などの一般的な冷媒のみを利用している点で汎用性が高く、さらに従来と同様の精度を保ったまま10倍程度の高感度分析を実現している。この手法を用いて、熱水生態系環境における H_2 の観測を実施した。

熱水端成分に近い組成の熱水が噴出する高温熱水噴出口の周辺には、海底下で海水と混合した後に海洋へと染み出す低温熱水がある。低温熱水が噴出する直前に滞留する地殻内環境は、還元的な熱水と酸化的な海水が混ざるため大きな酸化還元勾配

を持ち、かつ、微生物の生息環境としての固相が存在することから、非常に活発な微生物活動が予想されている。そこで、複数の高温熱水噴出域において潜航調査を実施し、採取した高温熱水と低温熱水について H_2 濃度と δD_{H_2} 値を計測した。高温熱水中の δD_{H_2} 値は、熱水噴出温度に依存し、熱水域によらずほとんど同等の値を示し、これは既往研究の結果と調和的であった。一方、本研究で初めて観測した低温熱水中の δD_{H_2} 値は、 H_2 の起源である高温熱水とは明確に異なる組成を示した。海水にはほとんど H_2 が含まれていないため、熱水と海水の単純な混合による δD_{H_2} 値の変化は無視できるほど小さい。したがって上記の結果は、低温熱水が滞留する地殻内環境での微生物活動によって、 δD_{H_2} 値が変化していることを示唆しており、言い換えると、 δD_{H_2} 値が熱水生態系における微生物 H_2 代謝を定量的に把握する指標となる可能性を秘めていることを示している。

観測により δD_{H_2} 値の挙動解析指標としての可能性が示唆されたが、 H_2 代謝時の δD_{H_2} 値の変化に関する知見は依然乏しく、現時点では定量的な指標として用いることはできない。そこで、深海熱水活動域から分離した H_2 代謝を行う微生物を、重水素ラベル環境下で培養し、 H_2 消費量と δD_{H_2} 値の変化の関係を調べた。 H_2 代謝微生物として、二酸化炭素、硫黄、および硫酸イオンを H_2 で還元する化学合成代謝を行う微生物を選定した。実施したすべての培養系に共通して、 δD_{H_2} 値は、 H_2 と H_2O の間での水素安定同位体の平衡値へ向かって変化した。これは、 H_2 代謝酵素 hydrogenase が H_2 と H_2O の間での同位体交換 (平衡) 反応の触媒として働くと考えられる既往研究の知見と一致する。微生物を培養せずに行った対照実験では、 δD_{H_2} 値に変化は見られず、同様の環境であれば無機的な反応による δD_{H_2} 値の変化は無視できるほど小さいことが示唆された。また、 H_2 消費量と δD_{H_2} 値の変化には、明瞭な直線相関が確認され、この直線関係は H_2 を利用する代謝経路 (酸化物) ごとに異なることがわかった。培養実験で得た知見と熱水生態系での観測値から、 δD_{H_2} 値を用いた熱水生態系における H_2 消費量の見積もり、あるいは熱水生態系で H_2 消費に用いられた酸化剤を推定する方法を提案した。

2009年4月以降所属

独立行政法人海洋研究開発機構 システム地球ラゴプレカンブリアンエコシステムラボユニット