

C-N-S 安定同位体システムティックスの帯水層中微生物還元プロセス研究への応用 Carbon-nitrogen-sulfur isotopic tracing method to understand different anaerobic bacterial processes in aquifer systems

細野 高啓^{1*}, 徳永貴大², 對馬あかね³, 嶋田純⁴

Takahiro Hosono^{1*}, Takahiro Tokunaga², Akane Tsushima³, Jun Shimada⁴

¹ 熊本大学大学院先導機構, ² 熊本大学自然科学研究科, ³ 北海道大学低温科学研究所, ⁴ 熊本大学自然科学研究科

¹Priority Organization for Innovation and Excellence, Kumamoto University, ²Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, ³Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, ⁴Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

脱窒は地下水硝酸汚染に対する自然浄化機能となる観点から、そのプロセス研究が重要なトピックとなっている。本研究では、脱窒やその他の嫌気性生物化学反応に関与する主要元素である炭素、窒素、硫黄の安定同位体比 ($^{13}\text{C-DIC}$ 、 $^{15}\text{N-NO}_3$ 、 $^{34}\text{S-SO}_4$) を微生物反応履歴のネットレコーダーとして用いる方法を提案する。我々は上記三つの同位体比を組み合わせたトレーサー法 (carbon-nitrogen-sulfur isotopic tracing method: CNS-IT 法) の有効性をテストするため、 $^{15}\text{N-NO}_3$ により脱窒特性が良く理解されている熊本地下水流動系において、新たに $^{13}\text{C-DIC}$ と $^{34}\text{S-SO}_4$ の分析を行った。その結果、本地域では流動に伴う脱窒の進行 (最大 38% の $^{15}\text{N-NO}_3$ 上昇) に追従し、顕著な硫酸還元 (最大 55% の $^{34}\text{S-SO}_4$ 上昇) が認められた。脱窒に伴う $^{34}\text{S-SO}_4$ の減少が見られた地域は (最大 8% の $^{34}\text{S-SO}_4$ 減少) 局所的であった。したがって、脱窒についても従属栄養的なプロセスが卓越しており、逆に独立栄養脱窒は局所的に起こっているのみである可能性が高いと解釈された。加えて、地下水流動系の始まりである涵養域において帯水層地下水の $^{13}\text{C-DIC}$ は既に -21 ~ -17% と低く、脱窒以外の微生物有機物分解等により既に有機物由来の DIC に富んでいる実態が明らかとなった。しかし、脱窒ホットスポットでは顕著な $^{13}\text{C-DIC}$ の上昇 (最大 8% の $^{13}\text{C-DIC}$ 上昇) が確認され、これはメタン発酵の痕跡であると解釈された。

本研究の結果より、 $^{15}\text{N-NO}_3$ に加えて $^{34}\text{S-SO}_4$ と $^{13}\text{C-DIC}$ が heterotrophic な硫酸還元とメタン発酵反応進行のシグナルとみなせる性質を利用し、対象地域で起こった脱窒が従属栄養的か独立栄養的かどちらのプロセスで進行する可能性が高いかを評価するというアイデアが提案できる。また、本地域では CNS-IT 法が脱窒タイプの区別を含め、その他のメジャーな生化学還元反応プロセスを総合的に理解するツールとして上手く機能しているように見受けられる。系のより詳細な理解には有機炭素濃度、メタン濃度、 $^{13}\text{C-CH}_4$ 、微生物種の解析をあわせ、更に検証・確認する必要があるかと思う。それでもなお、同位体比は還元微生物反応の履歴を刻んだ貴重な証人であり、その重要性は際立っている。地下水環境の還元化に伴うメジャーな微生物反応系列の基礎を念頭に置いて CNS-IT 法を活用するコンセプトは今まで強調されることはあまりなかったが、新しい重要な研究アプローチになると期待できる。今後更なる研究例が付け加わることで CNS-IT 法の改良と脱窒を含めた帯水層中での嫌気微生物プロセス研究の進展が望まれる。

キーワード: 安定同位体比, 地下水, 熊本, 脱窒, 独立栄養型, 従属栄養型

Keywords: isotope ratios, groundwater, Kumamoto, denitrification, heterotrophic, autotrophic