

安定同位体比の性質と農村環境の解析 Properties of Stable Isotope Ratio for Analysis of Rural Environment

森 淳・柚山義人
MORI Atsushi, YUYAMA Yoshito

1. はじめに 生物を形作る物質は、食物網の中で上位消費者に受け渡されることによって移動し、分解を経て水・土壌などの環境要素に戻る、大きな循環を成している。この循環において、水は流域内で発生した物質を下流へ運搬している。森林生態系や河川生態系などと連続し、流域レベルの生態系の一部として位置づけられる農村生態系では、近年安定同位体比法による食物網解析が行われている。この解析は、流域内において物質循環の重要な一部分を担っている農村空間における、生物を媒体とした物質循環ルートの解析と理解することができる。本稿では安定同位体比の性質とともに、物質循環の追跡に適したこの手法を、環境解析のどのような分野で利用できる可能性があるか報告する。

2. 安定同位体の性質 同じ元素でありながら中性子数が異なるため質量の異なる原子を同位体という。同位体には、放射性同位体と安定同位体がある。炭素を例にすれば、地球上の炭素に占める¹³Cの割合は1.1%であり、残りのほとんどは¹²Cである。分子間のわずかな質量差は、分子の安定性、反応時間、拡散性などに影響を与え、物理的・化学的効果(同位体効果)が異なる。このとき同じ物質でも、質量差に起因して物質に含まれる同位体の

$$= \frac{(R_{\text{sample}}) - (R_{\text{standard}})}{(R_{\text{sample}})} \times 1,000 (\text{‰}) \text{ (式 1)}$$

: 水素安定同位体比(D), 炭素安定同位体比(¹³C), 窒素安定同位体比(¹⁵N), 酸素安定同位体比(¹⁸O)

R_{standard}: 標準平均海水(SMOW: Standard Mean Ocean Water)の同位体比:¹⁸O/¹⁶O, D/H
サウスカロライナ州ピーディー層産ベレムナイト化石:¹³C/¹²C
空気中の窒素ガス:¹⁵N/¹⁴N

R_{sample}: 試料の同位体比:
(D/H, ¹³C/¹²C, ¹⁵N/¹⁴N, ¹⁸O/¹⁶O)

存在比が変化する。これを同位体分別という。安定同位体比の定義(式1)からわかるように、重い分子が多く含まれるほど値が高い。

3. 水の安定同位体比 降水の¹⁸OとDは地域により異なり、高緯度ほど、あるいは標高が高いほど軽いなどの性質がある。安原ら(2002)は、栃木県の降水のDは-84.4~-47.3 ‰と、茨城県の-60.5~-38.1 ‰より軽い値を示すと報告している。降水が河川水や地下水として移動する過程でこの値は変化しないから、安定同位体比は地下水の起源など水文循環の解析に利用される。農村環境においても、広域的な地下水の挙動など水循環の解析に有効と考えられる。降水に含まれる硝酸態窒素など無機態窒素の¹⁵Nはマイナスの値を示し、河川下流では都市下水や畜産排水などの影響を受けて高い値を示す。一般にこのような環境の影響を受けて生育した植物や藻類の¹⁵Nは高い。一方、硝酸イオンが嫌気的条件下で脱窒されると、まず¹⁴Nが窒素ガスとなって揮散して残存物の¹⁵Nが上昇する。従って、無機態窒素濃度と¹⁵Nを組み合わせることにより流域の窒素動態をより詳細に知ることが出来る。すなわち、下流側の硝酸態窒素の濃度が減少し¹⁵Nが上昇していれば、脱窒が発生した可能性が高い。石塚・小野寺(1997)は地下水に含まれる無機態窒素の¹⁵Nを用いて窒素起源や地下水の挙動を推定している。農業用水域における無機態窒素の¹⁵N

*農業工学研究所(National Institute for Rural Engineering)

キーワード: 安定同位体比, 同位体分別, 農村生態系, 食物網, 物質循環

解析は、農業用水域の窒素動態の解析や汚濁物質の除去機能を有する自然循環型水路の開発などを通じて、農村環境の保全・形成に配慮した基盤整備の実施に寄与すると期待される。水に含まれる溶存態無機炭素の ^{13}C は、光合成時の同位体分別とともに藻類の ^{13}C を決定する。

4. 生物の安定同位体比 従属栄養生物である動物の体を構成する物質は植物に由来する。植物の ^{13}C は光合成回路のタイプにより異なる。樹木やイネなど C_3 植物は -27‰ 前後の低い値を示し、エノコログサなど C_4 植物は -13‰ 前後の高い値を示す。この違いは、 C_3 植物では光合成回路の酵素 (Rubisco) が同位体分別を起こすため

生じる。また、藻類は -20‰ 前後の値を示す。捕食者の ^{13}C は被捕食者とほとんど同じか 1‰ 程度高く、 ^{15}N は 3‰ 程度高い。安定同位体比による食物網解析は以上の性質を利用している (図 - 1)。 C_3 植物の同位体分別は C_4 植物に比べて変動しやすいが、小貝川上流域ではイネは $-26 \sim -27\text{‰}$ 、里山の樹木は -30‰ 前後を示すことが多い。同様に、陸域の上位消費者の ^{13}C は $-22 \sim -24\text{‰}$ 程度を示す。この値は陸上植物における C_4 植物の生産割合、狭食者をかなり含む草食動物の分布および群集構造と関係し、食物網や生態系の構造解析のベンチマークとなる。この値は生態系によって異なる可能性がある。このほか、生物の安定同位体比を、水田生態系における動物の行動生態や水際の植物群落による栄養塩類の吸収・浄化機能解析などに用いることが出来るだろう。

5. これまでの知見 水田生態系では、ア. 食物網は陸起源有機物に依存していること、イ. 一方、礫床水路では藻類を生産者とする食物網がみられること、ウ. 畜舎、人家などから排出された窒素が水際の植物や藻類を経て動物に転移していること、エ. 里山で生産された陸起源有機物を生物が利用する炭素循環が存在することなどが明らかになってきた。

水田生態系および食物網の安定同位体比による解析は、主に水路を中心に進められており、有機物生産の場として極めて重要な役割を持っている水田と溜池における解析の進捗が待たれる。水田と溜池に関してこれまで多少得られたデータは、生物群集の ^{13}C が水田によって差があること、溜池では藻類が光合成として用いている水の無機態炭素の ^{13}C に固有値があることを示唆している。

6. おわりに 生物体の安定同位体比は、生息環境の物質的な特徴を刻印する finger print であり、この値によって環境要素の特性を過去に遡って推定できる。分析機器の普及に伴って環境要素に含まれる物質フローの安定同位体比を容易に解析できるようになった。安定同位体比法は、農村環境における物質の起源や変化に関する時空間情報を与える。

引用文献

安原 正也, 稲村 明彦, 牧野 雅彦 (2002): 関東・甲信越地域の天水の酸素・水素安定同位体比について, 地球惑星科学関連学会2002年合同大会

石塚成宏, 小野寺真一 (1997): ^{15}N 値による平地林浅層地下水における脱窒の検証 : 茨城県南西部常総台地の例, 日本土壌肥科学雑誌, 68(1), 1-7.

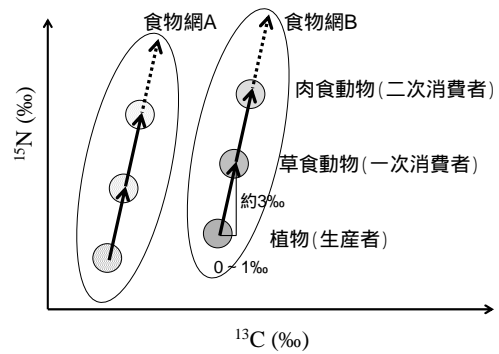


図 - 1 ^{13}C - ^{15}N マップと食物網の関係
Relation between ^{13}C - ^{15}N map and food webs