ミニレビュー

水生生態系における天然トレーサとしての
ストロンチウム同位体

中野孝教

ストロンチウム (Sr) 同位体は岩石の年代やその起源を知る手段として、固体地球科学の分野で広く用いられている。Sr には 4 種類の核種が天然で安定に存在しているが、このうち ^{87}Sr は ^{87}Rb の β 壊変 (半減期: 489 億年) によっても生ずる。Sr 同位体は通常質量数 87 と 86 の比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) で表現されるが、岩石形成過程での Rb と Sr の分別は大きく、岩石圏の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比は地質過程の多様性を反映して 0.7 - 0.8 程度の変動を示すことが知られている¹⁾。質量分析装置により達成される分析精度は 0.00001 程度であるから、この変動は広い範囲に及んでいることがわかる。一方、Sr 同位体は軽元素安定同位体で見られるような、蒸発・拡散・酸化還元といった物理化学過程や生物における代謝過程での同位体分別が無視できると考えられており、異なる Sr 同位体組成をもつ物質の混合過程によってのみ値が変化するという特徴がある。生物に含まれる Sr 濃度は炭酸塩、リン酸塩など動物の硬質部を除くと一般に微量だが、現在の分析技術では数 ng 程度の Sr でも分析可能となっているので²⁾、試料からの Sr の分離・抽出およびその過程でのコンタミネーション等に問題がなければ測定上における大きな支障はない。Sr 同位体を生物圏に適用した研究は少ないが、上記した性質を利用することにより、地球表層における物質循環のトレーサとして新たな情報を Sr 同位体はもたらしてくれると期待される。

大洋海水の Sr 同位体組成は非常に均質で地域による有意な違いは認められていない³⁾。これに対して、陸水の Sr 同位体組成は周囲の地質の影響を受けて広域的にも局所的にも大きな変動を示している³⁾。図 1 は日本の淡水湖沼に

おける湖沼水とそこに成育する水草や貝類など生物の Sr 同位体組成の関係を示したもので、流域の地質の相違を反映して水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比はそれぞれ特徴的な値をもっていることがわかる。このような水と地質の間に見られる密接な Sr 同位体的関係は、河川水や浅層地下水においても知られており、湖沼水や河川水に含まれる Sr は主に周囲の岩石鉱物からの溶脱によりもたらされていることがわかる。一方、湖沼生物の Sr 同位体組成は湖沼水と同じ値を示しており、水-生物間での Sr 同位体分別のないことがわかる。したがって、貝殻形成後の変質を無視できれば、淡水湖沼産の貝殻の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比を追跡することにより、過去の湖沼水の変化を読み取れる可能性が示唆される。北欧の湖沼の場合には、最近になって貝殻 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比の急激な変化が認められている⁴⁾。変化の原因の一つは、湖沼の酸性化を防ぐために多量に散布されている石灰に含まれる Sr によるものらしい。一方、日本の湖沼について検討した例では、貝殻の生長に伴う Sr 同位体変化は認められていない⁵⁾。湖沼水や河川水の Sr 同位体組成は雪解けや豪雨などを除けば一般に変動が少ない。このことは、これら水の Sr が岩石起源であるという考えを別の観点から支持しているものといえる。いい換えれば、Sr 同位体はシジミなど淡水生物の産地を推定する地球化学的手法として高い可能性を秘めているといえるだろう。Ericson はこうした考えをさらに進め、

図 1 日本の淡水湖沼における水と生物の Sr 同位体的関係

動物の骨や歯の Sr 同位体組成から居住地に関する情報が得られる可能性を指摘している⁶⁾。ただし Sr は海産物に多く含まれるので、その影響が Sr 同位体組成の上に過剰に表れるおそれがある。それでも中国の洞窟で発見されたギガントピテクスの歯は 0.7104 と大陸に特有の高い値を示しており、こうした手法の可能性を期待させている。

降水-土壤-植物にまたがる物質循環の理解は、酸性雨やそれに伴う森林・土壤破壊の原因やプロセスを理解する上でも重要である。降水には海塩に加え、気団や降雨地域に由来する水溶性エアロゾルに由来する成分を含むと考えられている。各ソースの Sr 同位体組成はそれぞれ特徴的な値をもつと考えられるので、大気環境のモニターとしての Sr 同位体法の適用が期待される。たとえば、Andersson らは北欧の雪の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ として 0.710-0.719 と海塩に比べて明らかに高い値を報告している⁷⁾。彼らは、その原因としてこの国に広く分布する ^{87}Sr に富む土壤・植物に由来する Sr の関与を考えている。また日本のように季節変化が明瞭なところでは、気団に含まれる Sr の起源の違いを反映して降雨の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が明瞭に季節変動することも最近明らかにされている⁸⁾。

植物に含まれる陽イオンは土壤水に由来すると考えられるが、土壤水の組成には降雨、林内雨、樹幹流、地下水など多様な水に由来する成分が関与している。それらの水は Sr 同位体的に識別可能であり、植物-土壤間での Sr 同位体分別が無視できることから、植物が吸収している水を特定することが可能となる。Graustein は樹木、土壤水および降雨の Sr 同位体組成を比較検討し、木に含まれる Sr の 70-90% は大気起源であろうと推定している⁹⁾。また Hurst と Davis は火力発電所に由来する石炭灰に Sr が多量に含まれること、土壤と石炭灰の Sr 同位体組成が異なることに注目して、石炭灰の植物への影響を評価する方法として Sr 同位体法の適用を試みている¹⁰⁾。彼らは、アメリカ西部の砂漠土壤では含まれる石炭灰が 0.25% でも植物の Sr 同位体組成が石炭灰と同

じ値を示すことから、植物が石炭灰成分を積極的に吸収していると指摘している。Åberg らは、北欧における樹木の Ca 濃度と $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が年とともに減少する傾向を見だし、酸性雨と関係づけて解釈している⁴⁾。彼らは、Sr 同位体組成の変化を降水起源の Sr の土壤水への寄与が近年になって増大したと解釈し、木に見られる Ca 濃度の減少は、酸性雨の原因である硫酸イオンと Ca が反応して石膏を形成した結果、植物が吸収する土壤中での可溶性 Ca イオン濃度が減少したためであろうと推論している。

このように、岩石圏にラベル化された Sr 同位体的特徴は水圏-大気圏を通して生物圏にさまざまな形で反映されている。Sr 同位体は、生物の産地や食物連鎖等についてユニークな情報を与えてくれるが、同位体分別の大きい軽元素安定同位体と組み合わせれば、水生生態系や生物内での物質循環に関するより詳細な情報が得られるはずで、今後多様な分野への適用が期待される天然トレーサといえる。

Key Words: strontium isotope, natural tracer, material transport, lithosphere, aquatic-ecosystem

文 献

- 1) Faure, G.: "Principles of Isotope Geology, 2nd ed.", pp. 589, John Wiley and Sons, N.Y. (1986)
- 2) Birck, J. L.: *Chem. Geol.*, **56**, 73-83 (1986)
- 3) 中野孝教: ハイドロロジー (印刷中) (1993)
- 4) Åberg, G., Jacks, G. et al.: *Catena*, **10**, 1-11 (1990)
- 5) Nakano, T. and Noda, H.: *Ann. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba*, **17**, 52-55 (1991)
- 6) Ericson, J. E.: "Stable Isotopes in Ecological Research", pp. 252-259, Springer-Verlag (1989)
- 7) Andersson, P., Löfvendahl, R. and Åberg, G.: *Atom. Environ.*, **24A**, 2601-2608 (1990)
- 8) 中野孝教, 田中 正, 他: 日本地球化学会講演要旨, 2B11-3 (1992)
- 9) Graustein, W. C.: "Stable Isotopes in Ecological Research", pp. 491-512, Springer-Verlag (1989)
- 10) Hurst, R. W. and Davis, T. E.: *Environ. Geol.*, **3**, 363-367 (1981)

(筑波大学地球科学系)