

西オーストラリア産堆積岩中の窒素同位体組成から読み解く原始地球の表層環境

Deciphering primordial environmental information from nitrogen trapped in Archean sedimentary rocks

橋爪 光 [1]; 杉原 昭代 [2]

Ko Hashizume[1]; Akiyo Sugihara[2]

[1] 阪大・理・宇宙地球; [2] 阪大・理・宇宙地球

[1] Earth and Space Sci., Osaka Univ; [2] Earth & Space Sci., Osaka Univ.

本研究では、地球の誕生直後の姿、特に、その表面の様子を、岩石試料に記録された生命・大気指標元素（バイオマーカー）の同位体的証拠から復元することを目指す。ここでは、特に窒素同位体に注目する。これは、窒素が最も敏感に黎明期の生命活動の様子を反映し得る元素だからである。特定のバクテリアにより合成された有機窒素が生命圏を循環するサイクルの中には、大気中の酸素の多少などを反映して、材料と生成物の間で窒素の同位体比組成が変化するプロセスの存在が知られている。窒素同位体組成を詳細に調べることで、生命圏や大気組成などの様子が詳しくわかる可能性がある。しかしながら、複数の研究室で進められている分析結果は今のところ必ずしも一致を見ない。また、形成年代・産地が同じ試料でも同位体分析結果に相当なばらつきがあるため、データに立脚した焦点の絞れた議論を進め難いのが現状である。私たちは、このばらつきの主な原因は、堆積岩形成以後の諸々の変成・変質作用が窒素同位体組成に与える効果、捕獲相からの窒素の部分的逸失等による同位体分別作用や後世の二次的な成分の付加、を正しく評価出来ていないためではないかと考える。窒素を含めたバイオマーカーは高揮発性元素であり、岩石相から示唆される変成度が低くても、それが必ずしもバイオマーカーの始原情報の保持を保証するものではない。本講演では、始生代岩石中の窒素始原情報の解読を目指した私たちの最初の取り組み - 窒素の捕獲相と捕獲（化学）形態の正確な把握に向けた作業をご紹介します。

本研究においては、仏・Orlean 大 Frances Westall 博士に西オーストラリア Pilbara Craton, Kitty 's Gap に産するチャートを提供して頂き分析を進めた。本試料の U-Pb 年代は 3.5 Ga である。本試料を含む岩体の変成相が緑色片岩相であることから、本試料の変成度は低いことが示唆される。本試料は石英を主成分とし、K-Al-Si を含む粘土鉱物や若干の Ti 鉱物などを含む。試料は数 mm 厚の層が重なった縞模様を示しており、層毎に鉱物組成がやや異なる。本研究では試料を層毎に分離し分析を行い、更に、重液分離を施し石英とそれ以外（主に粘土鉱物）に分離して同様に分析した。各試料から段階燃焼法により揮発成分を抽出し、窒素同位体組成を中心に、アルゴン同位体組成 ($40\text{Ar}/36\text{Ar}$)、炭素・水の濃度の分析を行った。各試料中の窒素濃度はそれぞれの K, Al 濃度と良い相関を示し、窒素の大部分は粘土鉱物に捕獲されているのではないかと考えられる。本研究から、粘土鉱物にはどうやら 2 つ以上の同位体組成の異なる窒素成分が捕獲されているらしいことがわかった。窒素同位体組成 ($d15\text{N}$) は -4 ‰ から +10 ‰ 以上の広い範囲が見られた。この広い範囲は分析中に起こり得る（同じ相からの部分抽出を繰り返すことに起因する）同位体分別では説明できないことは確認した。負あるいは 0 前後の $d15\text{N}$ を示す成分は比較的低温 (600°C) で大量の放射壊変起源 40Ar や水を伴って抽出される。一方、+6 ‰ を中心とした正の $d15\text{N}$ を示す成分は、前者より高い温度 (800°C) で抽出されるがそこで見られる 40Ar や水は少ない。興味深いことに、同位体組成が大きく異なる上記の二つの成分は共に粘土鉱物に濃縮していた。前者 ($d15\text{N}$ 値が負か 0 付近の成分) は粘土鉱物中の K を置換した NH_4^+ 形態の窒素と考えられる。後者 ($d15\text{N}$ 値が正の成分) の詳細な捕獲形態はまだ明らかではないが、ここでは、最初に有機窒素を含む流体が粘土鉱物の層間を満たしていたが、その後の続成作用により脱水し収縮した層間に窒素が捕獲されたのではないかと推察する。後者の方が $d15\text{N}$ 値が高いのは、続成作用の際に部分的に窒素も失われ同位体分別したためだと解釈する。

現段階では、まだ明らかではない点が残っており、今後の検証を待たなければならないが、仮に上述のような解釈が成り立つ場合、同位体比の全岩値だけを単純に分析しそれを始原情報と仮定して議論を進めると、誤った結論に至る可能性がある点を指摘する。例えば、我々が今回分析した試料中では、二次的な作用により同位体分別した窒素が始原情報（に近いと思われる）同位体比組成を保持する窒素に比べ、量的に数倍から 10 倍以上多く、前者が同位体比の全岩値を決めるためである。