

マグマプロセスに伴う Sr 安定同位体分別メカニズム

Mechanism of strontium stable isotope fractionation in magma processes

関西学院大学大学院理工学研究科

化学専攻 壺井研究室 若杉 勇輝

安定同位体比は一定ではなく、天然における物質循環の過程で元素により大小の差はあるが変動している。このように安定同位体比が変動することを同位体分別といい、蒸発や凝縮などのプロセス依存で起こるので安定同位体比を指標とすることで現象や起源の推定に広く用いられている。Bigeleisen and Mayer (1947)は同位体効果が同位体間の相対質量差に比例し反応温度の二乗に逆比例することを報告している。質量分析技術の向上により、重元素における安定同位体比の変動が検出できるようになった。Heimann et al. (2008)により火成岩が形成されるような高温環境下では重元素である Fe の安定同位体分別が起こっていることが報告された。また、Sr 安定同位体組成($\delta^{88}\text{Sr}[\text{‰}] = [(\frac{^{88}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}})_{\text{sample}} / (\frac{^{88}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}})_{\text{NBS987}} - 1] \times 10^3$; NBS987 は Sr 同位体標準試料)についての研究として Wakaki et al. (2013)は異なる火成岩の Sr 安定同位体組成を測定し、 SiO_2 量の高い花崗岩類において同位体分別が起こっていることを示した。また木村(2010)は、単一花崗岩体における $\delta^{88}\text{Sr}$ 値の変動から、マグマの結晶分化の過程において Sr 安定同位体分別が起こると指摘し、斜長石が Sr 安定同位体分別の要因である可能性について言及している。Sr 安定同位体分別メカニズムの解明に向けて様々な環境における研究例を増やすことが必要となる。また Sr 安定同位体分別メカニズムを解明できれば、様々な地球化学的試料に対して Sr 安定同位体組成をトレーサーとして応用することが期待できる。

そこで本研究では、Sr のマグマプロセスに伴う Sr 安定同位体分別メカニズムについて火成岩の Sr 安定同位体組成を測定することにより考察した。研究対象として只見川古期花崗岩類と足摺岬複合火成岩類を選んだ。只見川古期花崗岩類は単一マグマ起源の花崗岩体で $\text{SiO}_2=59.6\text{--}76.1$ wt.%の広い組成範囲を示す(谷岡ほか, 2014)ので、マグマプロセスに伴う Sr 安定同位体分別メカニズムについてより詳細に理解するためのモデル岩体とした。また足摺岬複合火成岩類は複雑なマグマプロセスを経験し、A タイプ的な組成を示している。この火成岩類の成因解明のために Sr 安定同位体組成をトレーサーとして応用した。只見川古期花崗岩類および足摺岬複合火成岩類について XRF および ICP-MS を用いた全岩化学組成分析、DS(ダブルスパイク)-TIMS 法を用いた Sr 同位体組成分析を行った。さらに、只見川古期花崗岩類について LA-ICP-MS を用いたジルコンの U-Pb 年代測定を行った。

只見川古期花崗岩類の全岩化学組成分析において SiO_2 量は $59.6\text{--}76.1$ wt.%の範囲を示した。ほとんどの元素がハーカー図上で単一のトレンドを示したことから、これら花崗岩類は単一マグマ起源だと考えられる。ジルコンの U-Pb 年代測定から、帝釈山地と只見川流域に分布する岩体の固結年代は約 100 Ma であり、伊南川流域に分布する岩体の固結年代は約 60 Ma だと考えられる。また、只見川流域の岩体では、後期白亜紀の岩脈群の貫入に伴う再加熱による K-Ar 年代の若返りが起こった可能性がある。

足摺岬複合火成岩類の全岩化学組成分析において SiO_2 量は全体で $49.0\text{--}79.2$ wt.%の範囲を示した。足摺岬複合火成岩類は全体的に不適合元素に富む組成を示し、花崗岩類は A タイプ的な特徴を示した。ハーカー図上で複数の傾向がみられたことから、単一の起源マグマから結晶分化により形成された岩体ではなく、複数の起源マグマから分化して形成された岩体だと考えられる。また、ラパキビ花崗岩は他の花崗岩類と異なり斑れい岩と花崗岩類の中間的な組成を示したことから、斑れい岩と花崗岩類それぞれの起源マグマが混合することにより形成された可能性がある。

Sr 安定同位体組成では、只見川古期花崗岩類において $\delta^{88}\text{Sr} = -0.74 \sim +0.27 \text{‰}$ の範囲を示した。また、足摺岬複合火成岩類において $\delta^{88}\text{Sr} = -1.09 \sim +1.37 \text{‰}$ の範囲を示し、只見川古期花崗岩類において得られた $\delta^{88}\text{Sr}$ 値と比較して非常に広い範囲を示した。 $\delta^{88}\text{Sr}$ 値が SiO_2 量の増加に伴って系統的に減少していることから、結晶分化の進行に伴って Sr 安定同位体分別が起こっている可能性がある。また、アノーサイト量の減少と Eu 異常の度合いの増大にしたがって、 $\delta^{88}\text{Sr}$ 値が減少する傾向を示した。これら傾向は、斜長石の分別が Sr 同位体分別に影響していることを示唆している。以上のことから、マグマの結晶分化の過程において斜長石により重い同位体(^{88}Sr)が選択的に取り込まれ、それが分別しメルトから取り除かれることによって分化の進んだ花崗岩の $\delta^{88}\text{Sr}$ 値が減少したと考えられる。また、足摺岬複合火成岩類に産する塩基性の岩脈は高い $\delta^{88}\text{Sr}$ ($> +1.04 \text{‰}$) 値を示した。これは SiO_2 量の少ない塩基性火成岩においても Sr 安定同位体分別が起こることと Sr 安定同位体分別が起こる要因が斜長石中への重い Sr 同位体の濃集以外にも存在する可能性がある。