

論文審査の結果の要旨

氏名 嚴 智瑗

本論文は、オマーン・オフィオライトを参照ケースとして、同位体地球化学の手法を用いて、海洋地殻と上部マントルにおける流体－岩石相互作用に関する研究を扱ったものである。これは5章から構成され、最初の第1章は、全体のイントロダクションとなっている。本研究の分析対象であるマグネシウム(Mg)の性質、地球表層環境における動態などに関するこれまでの知見が整理されている。さらに、海洋プレートの拡大軸で海洋地殻とマントルが生成し、沈み込み、衝上して陸上に露出したと推定されるオマーン・オフィオライトの基本的情報や最新の研究成果などが紹介され、課題が述べられている。現代の海洋地殻を深く掘削することが技術的に難しいことから、オフィオライトは半世紀以上にわたり重要な海洋プレートの研究のプロキシとして探求されてきた。一方で、オフィオライトは、現代の海洋地殻の性質と全く同じものではないことが指摘されてきた。本論文は、海洋地殻や上部マントルを対象として、流体－岩石の相互作用を研究し、生物地球化学に大きな影響を与える海洋リザーバーのMg循環を扱うとともに、オフィオライト形成にとって重要な、沈み込み時に起こる同位体の変化を解析したところに特徴がある。

第2章では、西太平洋域の背弧を含む熱水系から採取された高温熱水のMg同位体組成を分析した結果が扱われている。熱水流体中のMgは主に除去メカニズムとされる。高温熱水端成分の $\delta^{26}\text{Mg}$ 値は $\alpha = 1.00008$ の分別係数をもつことを示した。次に、海洋リザーバーにおけるMgの除去流量は、過去半世紀にわたり重要な課題となってきた。この問題に関連し、本論文の分析値より収支計算を行い、河川のMg投入量の7～26%が高温熱水Mgシンクによって除去されると示唆した。これは、Mottl and Wheat(1994)による10～40%の熱推定よりも小さく、従来の説を変更するものである。さらに、現代の海水の $\delta^{26}\text{Mg}$ 値を説明するには、低温熱水変質・ドロマイト化などの他の除去メカニズムが必要とされることを指摘した。

第3章では、オフィオライトの堆積物、地殻構成岩、およびマントルかんらん岩のMg同位体組成を分析し、オマーン・オフィオライト形成に伴う流体-岩石相互作用におけるMg同位体挙動を研究した。地殻断面の $\delta^{26}\text{Mg}$ 値は、 -0.58‰ から -0.04‰ の範囲で、熱水Mgの沈み込みが深さ2km以内に限られていたことを示した。本論文で扱ったマントルセクションの岩石は、世界のマントル岩の平均値である $\delta^{26}\text{Mg}$ 値 $-0.25 \pm 0.04\text{‰}$ に比べ、 -0.39‰ から -0.07‰ の範囲を示した。 $\delta^{26}\text{Mg}$ 値の増加原因は、海底の風化によるもの、 $\delta^{26}\text{Mg}$ 値が局所的に減少していた原因は、沈み込みに伴う流体-岩石相互作用とされた。

第 4 章では、オマーン・オフィオライトの形成過程を解析するため、Mg より敏感なストロンチウム (Sr)、ネオジウム (Nd)、硫黄 (S) の同位体組成を分析・解析した。マントル最上部の岩石には、白亜紀の海水より $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が低い ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.7074$) 試料があり、これらはマントルへの深層水循環の証拠を示している可能性がある。一方、当初の予想に反し、白亜紀の海水よりも $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が高いかんらん岩 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.7074$) 試料が多く見つかった。これは、沈み込みの際に、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が高い堆積物由来の Sr がマントルセクションに付加したためと説明された。 $\epsilon\text{Nd}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 図上での解析より、オマーンのマントルかんらん岩への、沈み込むプレート上の堆積物成分の寄与を示した。さらに、硫黄含有量と負の -20.0‰ などの低い $\delta^{34}\text{S}$ 値を示す硫化物の証拠は、この見解を支持した。Sr、Nd、および S 同位体の整合的な変動から、北フィズ山塊では、広範囲にマントルの同位体成分が改変されたことを示唆した。特に、沈み込みに関連した硫黄の同位体は、下部マントルセクションで強く、沈み込むスラブに由来する成分が寄与したことを意味した。

第 5 章では、全体をまとめ、得られた新知見に基づいてオフィオライト形成史を議論した。本論文は、生物地球化学循環で重要な Mg に関し、高温での Mg の分別係数を推定するとともに主要な除去プロセスと推定される海底熱水系の役割を定量的に示した。さらに、オマーン・オフィオライトで記録された環境履歴を、数種の同位体を駆使して復元し、拡大軸付近の熱水活動が主要な変質プロセスである海洋地殻に対し、上部マントルでは沈み込みに伴う流体がオフィオライトの岩石と反応したことを明白に示した。

なお、本論文第 2 章、第 3 章、および第 4 章は共同研究の下に実施されたが、論文提出者が主体となって分析及び解析を行ったことは明らかで、論文提出者の大きな寄与があったと判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。