

# 論文審査の結果の要旨

氏名 山岡香子

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクションであり、中央海嶺における熱水循環系に関する背景について述べられている。中央海嶺における海洋地殻の熱水変質は、沈み込む海洋プレートの組成や海洋の化学組成に影響を与えるため、全球的な物質循環を考える上で重要な因子である。しかし、実際の海洋地殻へのアクセスは難しいため、海洋地殻全体を通じた水-岩石反応についての知見は限られたものになっている。本論文では、過去の海洋プレートであるオマーンオフィオライトの連続的な海洋地殻岩試料を用い、酸素・水素同位体比、ホウ素含有量、ホウ素同位体比を分析した。以上の結果から、1) 中央海嶺熱水循環系地下での水-岩石反応、および 2) 海洋地殻全体の熱水変質が地球システムにおいて果たす役割、について議論した。

第2章では、オマーンオフィオライトの地質学的背景、および採取した岩石試料の詳細について述べられている。

第3章では、オマーンオフィオライト海洋地殻の酸素・水素同位体比について議論した。酸素同位体比の結果から、上部地殻には比較的長期間熱水の循環があったが、下部地殻へ浸透するのは高温の熱水に限られることを明らかにした。変質した下部はんれい岩は著しく低い酸素同位体比を示し、モホ面付近まで海水の浸透があったことを意味する。酸素同位体比から推定された温度条件をふまえ、鉱物の水素同位体比から熱水の水素同位体比を見積もったところ、1) 海水程度の水素同位体比を持つ熱水、2) 海水よりも低い水素同位体比を持つ熱水、3) 海水よりも高い水素同位体比を持つ熱水、の3種類の熱水の存在が示唆された。高温高圧下で海水の超臨界二相分離が起こるとき、気相の水素同位体比は増加、液相の水素同位体比は減少することが実験的に示されていることから、下部地殻では大規模な海水の超臨界二相分離が起こり、周囲の岩石と反応している可能性が示された。さらに、下部地殻の低い酸素同位体比がマントルへ持ち込まれることにより、長期的な海水の酸素同位体比増加に寄与している可能性を提案した。

第4章では、珪酸塩のホウ素同位体分析手法の開発について述べられている。海洋地殻のような低いホウ素濃度の試料の同位体比を精度良く測定するため、イオンクロマトグラフィーを用いたホウ素の化学分離について検討し、標準岩石試料を用いて分析法の精度・確度および再現性について評価した。本分析法で測定された標準岩石試料のホウ素同位体比はこれまでに報告された値と調和的であり、分析誤差  $\pm 0.1\text{--}0.2\%$  ( $2\sigma$ )と再現性も良好であった。従って、既存の分析法がホウ素  $1\ \mu\text{g}$  相当の試料を必要としたのに対し、本分析法ではその10分の1である  $100\ \text{ng}$  相当でのホウ素同位体分析が可能となった。

第5章では、オマーンオフィオライト海洋地殻のホウ素含有量、およびホウ素同位体比について述べられている。オマーンオフィオライト海洋地殻のホウ素濃度は、深度とともに減少傾向を示したが、海洋地殻全体を通して新鮮な岩石のホウ素濃度より高く、岩石中のホウ素は海水から付加されたことを意味する。一方、ホウ素同位体比は深度にそって増加傾向を示し、反応温度上昇にともなう同位体分別係数の減少を反映していると考えられる。また、ホウ素同位体比は酸素同位体比よりも鋭敏な水—岩石反応の指標となることが示された。下部地殻のホウ素濃度は上部地殻に比べると小さいが、厚みの違いを考慮すると、下部地殻は $^{11}\text{B}$ に富んだホウ素の大きなシンクとなっていることがわかる。沈み込み帯においては上部地殻のみならず下部地殻からもホウ素がメルトに付加されている可能性が示唆された。

第6章では、本研究で得られた同位体データから、中央海嶺熱水循環における水-岩石反応の条件（温度、水/岩石比）などを議論し、海洋地殻の変質が地球環境に及ぼす影響を評価した。

第7章では、研究全体の結論について述べられている。

本研究は、初めて岩石の水素同位体比から、中央海嶺地下において大規模な海水の超臨界二相分離が起こっていることを見出し、中央海嶺の熱水循環システムについて重要な知見を与えた。また、珪酸塩のホウ素同位体分析法について、ホウ素濃度が低い試料、あるいは少量の試料に適用できる高精度な分析手法を確立し、海洋地殻全体のホウ素含有量およびホウ素同位体比のプロファイルを初めて明らかにした。これらの研究成果は、沈み込み帯を含めた全球的な物質循環に適用可能な、極めて価値の高いものである。

なお、本論文は論文提出者が主体となって分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、審査委員会は本論文を提出した山岡香子氏に博士（環境学）の学位を授与できると認めた。