

論文審査の結果の要旨

氏名 後藤 孝介

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、まず重金属元素 (Mo、U、Fe、Cr) の安定同位体を用いた酸化還元環境変動の解明に関する研究背景が述べられている、特に、本論文では太古代や原生代前期の鉄マンガン堆積物の Mo 同位体比 ($\delta^{98/95}\text{Mo}$) に基づく大気・海洋酸化還元環境の解明を行うことが紹介されている。また、この Mo 同位体比について、現世鉄マンガン酸化物の分析に基づく天然の Mo 同位体比変動に関する知見が不足していること、そのため太古代や原生代前期のデータに基づき当時の海洋の情報を読み解くことができていないのが現状であることが指摘されている。これを受けて、本論文において太古代・原生代における地球表層の酸化還元環境変動を理解することを目的に、以下の第2～4章の研究が行われたことが述べられている。

第2章では、ダブルスパイク法に基づく Mo 同位体分析法の確立について述べられている。これは、天然試料の同位体比を決定するために分析時の同位体分別を補正する必要があるため、ダブルスパイク法は、化学分離・測定時の同位体分別を補正し、確度・精度高く同位体比を求めることができる手法である。本研究で分析された岩石標準試料の同位体比は、再現性がよく、他の研究室の値と誤差の範囲で一致することが確認された。これらにより、第3章と第4章に述べられている Mo 同位体比を用いた地球史研究が可能になったと評価できる。

第3章では、現世熱水性鉄マンガン酸化物の系統的な Mo 同位体分析の結果と考察が述べられている。ここでは、Mo 同位体分析の結果、(1) 熱水性酸化物の $\delta^{98/95}\text{Mo}$ は熱水由来の Mo の影響により大きく変動し得ること、(2) 熱水性酸化物中の Mo の主な起源が海水であること、(3) マンガン酸化物だけでなく鉄酸化物への吸着に伴う Mo 同位体分別が起きること、が明確になった。次に、鉄マンガン堆積物における $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 変動と海水 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 変動の関係の理解を目的に、鉄およびマンガン酸化物への Mo 吸着と同位体分別を考慮した理論曲線の導出が行われた。その結果、現世海水 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ を仮定した理論曲線は、現世熱水性酸化物の $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 変動とよく一致したが、太古代や原生代前期の試料は明瞭なオフセット ($\Delta^{98/95}\text{Mo}$) を示した。この $\Delta^{98/95}\text{Mo}$ は、堆積時の海水の Mo 同位体比の違いを表している可能性が高く、 $\Delta^{98/95}\text{Mo}$ を用いることで、海水の $\delta^{98/95}\text{Mo}$ の変動および海洋酸化還元環境を議論することが可能であることが明らかにされた。

第4章では、原生代前期 Mn 鉱床の Mo 同位体分析の結果と考察が述べられている。これは、原生代前期における大気酸素オーバーシュート仮説の検証を目的としており、約 22 億年前に堆積したガーナ・ヌスタ Mn 鉱床を対象に Mo 同位体比の分析が行われた。その結果、ヌスタ鉱床の $\delta^{98/95}\text{Mo}$ は大きく変動することが確認されると共に、この結果に与える熱水系、続成作用、有機物の影響などを詳細に議論されると共に、第3章

で示された $\Delta^{98/95}\text{Mo}$ を用いた詳細な議論が展開されている。その結果、ヌスタ鉱床試料の $\Delta^{98/95}\text{Mo}$ から、(i) 約 23.5-21 億年の海水 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ が現在と同様の値であったこと、(ii) この値は 18.8 億年前や 25-30 億年前よりも重いこと、が指摘された。現在と同様の海水 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ は、マンガン酸化物による Mo の除去が普遍的に起きる酸化的な海洋環境であったことを示し、この鉄マンガン堆積物に見られる $\delta^{98/95}\text{Mo}$ および $\Delta^{98/95}\text{Mo}$ は、近年提唱されたオーバーシュート仮説を支持することが本論文により明確になった。

第 5 章では、本論文全体の成果と将来展望がまとめられている。

本論文は、 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ 同位体比の精密な分析と本論文で導出した理論曲線や $\Delta^{98/95}\text{Mo}$ を用いることで海水 $\delta^{98/95}\text{Mo}$ の変動や海洋酸化還元環境の復元を可能にした点で高く評価できる。本論文は、これらの議論を用いて、原生代前期における大気酸素オーバーシュート仮説を検証すると共に、原生代前期における酸化的な環境が長期的に安定ではなかった (=オーバーシュートであった) ことが、原生代前期における真核生物の多様化を妨げた可能性にまで言及しており、地球化学データを用いた地球惑星システム学の成果として非常に興味深く、重要な成果が得られたものと高く評価できる。

なお、本論文の内容は、下田玄、A. Anbar、G. Gordon、針金由美子、仙田量子、鈴木勝彦、J. Hein、伊藤孝、清川昌一の各氏との共同研究であるが、本論文全般に渡って論文提出者が主体となって研究を立案し、分析および検証を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断できる。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。