

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 青木 翔吾

地球は生命が躍動する活動的な惑星である。そこで、生命進化の原因の探求は地球・生命進化の解読に極めて重要な問題である。本論文では、縞状鉄鉱層の化学組成を基に海水中の遷移金属元素濃度の経年変化を復元し、それと生命進化とを比較することによって、地球と生命の共進化の事例を見出し、生命進化の原因について論じた。

本論文は 5 章から構成されている。第 1 章は序章であり、生命進化と表層環境進化の関連が生物学と地球科学の観点からまとめられている。近年のメタロミクス研究から、生物が有する特定の代謝に関連して、生命必須元素の割合が系統間で異なることが知られるようになり、生命の化学組成と海水組成進化の関係について議論がされるようになった。本章では、その関連性が期待される事例を例示し、それらの事例が地球と生命の共進化によるものであることを物質学的に実証するために、海水組成の経年変化を見積もることの必要性を説いた。そして、縞状鉄鉱層の化学組成を用いた海水の遷移金属元素濃度の経年変化を復元した先行研究を紹介した。一方で、この先行研究による海水組成の復元法の問題点を指摘し、より定量的に海水組成の経年変化を読み解く新しい復元法の開発とそれに基づく系統的な研究の重要性を説いた。

第 2 章および第 3 章では、グリーンランド・イスア表成岩帯（約 38 億年前）およびカナダ・ラブラドル地域ヌリアック表成岩類（約 39 億年前）中の縞状鉄鉱層の全岩化学組成分析をもとにした初期太古代の海洋の化学組成の推定結果が報告されている。特に、縞状鉄鉱層の化学組成は海水組成のみならず、岩相や砕屑粒子の混入によっても影響されることを示し、それらの影響を除く手法を提起し、それを適用した。また、太古代から原生代の異なる 4 つの時代の縞状鉄鉱層の化学組成のデータもまとめ、海水中の Ni, V, Zn, Co と U の遷移金属元素濃度の経年変化を復元した。特に、海水中の Ni 濃度は、先行研究が示唆した 25~27 億年前よりも 2~4 億年古い、29 億年前には既に減少しはじめていたことを示し、これを必須元素とするメタン生成菌の活動が、約 23 億年前の大酸化イベントよりも早くに律速されていたことを示唆した。さらに、この推定結果が、29 億年前の全球凍結時など、間欠的に大気中の酸素濃度が上昇したとされる地質記録とも調和的であることを示した。

第 4 章では、古原生代の南アフリカ・ホタゼル層の縞状鉄鉱層の全岩化学組成分析と局所イメージング分析をもとに推定された大酸化イベント時の海水中の遷移元素濃度が示されている。大酸化イベント後の縞状鉄鉱層は現世の鉄・マンガン団塊と同様に、Co などの遷移金属元素を濃集するマンガン酸化物相を含むため、縞状鉄鉱層の化学組成はマンガン酸化物相の混入によっても影響される。そこで、前述の砕屑粒子に加え、

マンガン酸化物相の混入の影響も除去する新しい古海水組成の推定法を開発し、それをホタゼル層の縞状鉄鉱層に適用し、当時の海洋中の遷移元素濃度を推定した。また、この手法を 39 から 23 億年前の縞状鉄鉱層のデータにも適用し、より定量的に、海水中の Co と Zn などの遷移元素濃度を推定した。その結果、29 億年前には海水中の Co 濃度が減少していたことがわかった。大量のマンガン酸化物相の沈殿が海洋中の Co を枯渇させたと考えられる。真核生物は原核生物に比べて Co への相対依存度が低く、一部のシアノバクテリアや多くの真核生物は Co タンパク質の機能を Zn タンパク質で代用していることが知られている。本研究の結果をもとに、後期太古代の海洋 Co 濃度の減少がシアノバクテリアなどの一部の原核生物を Co 依存度の低いものに進化させ、それらが後の真核生物の祖先になったことを提唱した。このことは Co や Zn 酵素の発現遺伝子の系統解析を行なった先行研究からも支持される。

第 5 章では、縞状鉄鉱層の化学分析により推定された海水遷移金属元素濃度の経年変化と生命進化との関連をまとめ、生命と地球表層環境の共進化が論じられている。生物の遷移金属利用と依存度は、その祖先生物が出現した時の海洋組成に強く関連し、獲得されたものであることを、新たに得られた海水の遷移金属元素濃度の経年変化の結果をもとに論じた。

以上のように、本論文は、地質学、地球化学と地球生物学の総合的な研究から、地球と生命の共進化における多くの新しい知見を与えた。以上の点から本論文は、学術的に大きな貢献が認められ、博士（学術）の学位を与えるのにふさわしい内容であると、審査委員会は全員一致で判定した。