

論文審査の結果の要旨

氏名 尾崎 和海

近年、地質学的・地球化学的情報が蓄積し、年代層序が高精度化するにつれて、過去の地球環境変動と生物地球化学循環の関係を吟味、検討することが可能になってきた。特に、「海洋無酸素イベント」(Oceanic Anoxic Events; 以下 OAE) と呼ばれる現象は、大規模な海洋の酸化還元状態の変化、海洋酸性化で特徴づけられ、生物大量絶滅の主要因の一つとされる注目すべき現象であり、地球環境変動に生物地球化学循環が深く関わった典型例と目される。そのため、これまで OAE の実態解明を目指して数多くの研究がなされてきた。しかし、海洋の酸化還元状態に影響を及ぼしうる要因の定量的かつ系統的な評価がなされていなかったため、OAE の発生条件や発生原因はいまだ明らかでない。本論文は、精力的にコンパイルした地質学的、地球化学的情報に基づいて新たに開発された数値モデルを用いた系統的な数値実験によって、この問題を定量的に解明しようとしている。

本論文は、六章からなる。第一章では、序論として地球の大気 - 海洋の酸化還元状態と生物地球化学循環の関係、特にリン循環が海洋の酸化還元状態に果たす役割について記述している。また、OAE 発生メカニズムについての先行研究の問題点を指摘し、特に海洋の酸化還元状態が大きく変化する条件においても適用可能な新しい数値モデルの必要性を指摘している。

第二章では、新たな海洋生物化学循環モデルの具体的内容について記述している。特に、先行研究で考慮されて来なかった貧 - 無酸素水塊中で卓越する種々の生化学反応過程について、その理論的裏付けや観測データについてのレビューを交えながら詳細に記述している。

第三章では、数値モデルの検証が行われており、モデルが現在の海洋物理場をよく再現できていることを確認している。また、海洋における各生元素の鉛直分布やフラックスについて、観測データとの比較検討を行うとともに、海洋表層での生物源粒子の生成フラックスや海洋内部での溶解、堆積、埋没フラックス等についても、観測データとの詳細な比較を行い、モデルの妥当性を述べている。更に、海洋の酸化還元状態を評価する新たな指標の導入についても述べている。

第四章では、海洋の酸化還元状態に影響を及ぼすと考えられる主要な要因（海洋循環率、リンの河川流入率、溶解度、大気酸素濃度、浅海域面積）についての系統的な感度実験の結果を示すとともに、海洋の生物化学循環の挙動特性についても記述している。特に、海洋に流入するリンの供給率を変化させた実験によって「浅海域の無酸素化が、堆積場からのリンの選択的溶脱を促進することで大規模な強還元環境を生み出す」こと

を示し、その原因として、「還元的な堆積場での選択的なリンの溶脱が、海洋表層における生物生産の増大をもたらす結果、海洋の貧酸素化を強化する」という正のフィードバック効果（アノキシア - 生物生産フィードバック；以下 A-P フィードバック）の存在を提唱し、A-P フィードバック効果が、浅海のように有機物フラックスの大きい堆積場で強く機能することを示している。さらに、海水準変動に伴う浅海域面積の変化が海洋の生物化学循環に大きな影響を与えることを示し、海洋の酸化還元状態に浅海域面積が重要な役割を担っていた可能性を指摘している。

第五章は大きく3つの節から構成される。第一節では、海洋無酸素イベントの発生において A-P フィードバックが重要な役割を担っていたことを指摘し、A-P フィードバックを抑制する5つのメカニズムについて議論している。第二節では、気候と海洋酸化還元状態の関係について議論している。とくに、OAE が頻発したことが知られている温暖な気候条件下においては、大陸からの高い栄養塩供給率と酸素の海水への溶解度低下のために、海洋環境を富酸素状態に維持できないというパラドックスを指摘している。そして、温暖期に拡大する傾向にある浅海域面積についての感度実験から、「広大な浅海域が栄養塩の主要な堆積場となれば、温暖かつ富酸素な海洋環境が実現する」ことを定量的に示している。第三節ではそれまでの議論を応用し、顕生代を通じた海洋の酸化還元状態の変遷の復元を行っている。その結果、広大な浅海域が広がっていたことで古生代前期 - 中期や中生代白亜紀といった温暖条件でも海洋が富酸素な環境に維持されること、しかしながら中生代ジュラ紀前期や白亜紀前期は海洋無酸素イベントが発生しやすい条件にあったことを示している。

第六章では本論文の結果についてまとめている。

本委員会は、平成24年2月6日に学位論文の内容および関連事項について口頭試験を行なった。本研究によって、海洋における酸化還元状態の諸制御要因についての定量的かつ系統的評価が初めて行われ、その結果を基に海洋無酸素イベントの発生シナリオを定量的に議論したこと、そのメカニズムとして海洋内部におけるリン循環の重要性を示したこと、は地球システム科学における重要な進展をもたらす業績であると判断し、審査委員全員一致で合格と判定した。

なお、本研究の第二章は田近英一、田島薫雄との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって開発と数値実験を行なったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断される。

上記の点を鑑みて、本論文は地球惑星科学、とくに地球システム科学の発展に寄与するものと認め、博士（理学）の学位を授与できると認める。