

# 論文審査の結果の要旨

氏名 原田 真理子

地球大気は酸素が主成分であるという他の太陽系惑星にはない特色を持っている。これは酸素発生型光合成生物の活動に起因している。一方、酸素濃度の上昇は、嫌気的環境から好気的環境へという劇的環境変化であり、生物進化に大きな影響を与えたはずである。酸素濃度の上昇とその生物進化への影響は、地球史学における最大の研究課題のひとつであるが、その詳細はよく分かっていない。本論文は、海洋生物化学循環モデリングによってシアノバクテリアの光合成活動による酸素濃度上昇のメカニズムを明らかにすると共に、シアノバクテリアの分子系統解析に基づき酸素濃度上昇期における酸素代謝酵素の発現量の変化を調べることによって、地球環境と生命の共進化の実態に迫ろうとするものである。

本論文は大きく4部から構成される。第一部は全体のイントロダクションであり、先行研究とそれらの問題点が述べられている。地球史において酸素濃度が急上昇した「大酸化イベント」が25~20億年前の原生代初期に生じた。とりわけ、同時期に生じた全球凍結イベント直後に酸素濃度の上昇が起こったらしいことや、大酸化イベント時に1億年スケールで酸素濃度が「オーバーシュート」したらしいことが最近分かってきた。しかし、大酸化イベントの原因やオーバーシュートのメカニズムは未だ不明である。一方、約20億年前には最古の真核生物化石が産出しており、酸素濃度上昇と生物進化の密接な関係が示唆されている。しかし、酸素濃度上昇と生物進化の関係を調べた研究はこれまでない。そこで本論文では、全球凍結イベントと酸素濃度上昇との関係およびオーバーシュートのメカニズムを明らかにするとともに、シアノバクテリアが持つ酸素代謝酵素の発現量の変化を明らかにする、ということが述べられている。

第二部はPart Iとして、原生代初期の全球凍結イベントによって酸素濃度の安定レベル間の遷移が生じたことを、海洋生物化学循環モデリングによって明らかにした、ということが述べられている。酸素濃度の挙動を調べるために、大陸の化学風化作用による海洋への栄養塩供給の推定結果に基づいてシアノバクテリアの光合成活動を制約する海洋生物化学循環モデルに大気化学モデルと気候モデルを結合させた地球システムモデルを構築し、それに全球凍結脱出直後の高温な気候状態を初期条件として与えると、激しい化学風化作用の帰結として、酸素濃度の急激な上昇とそれによる安定レベル間の遷移、1億年スケール

ルで現在とほぼ同様の酸素レベルにまでオーバーシュートする現象、が必然的に生じることを、詳細なパラメータスタディを通じて明らかにした。全球凍結イベントが生物地球化学循環に大規模な擾乱を与えた結果、酸素濃度上昇とオーバーシュートが必然的に生じることを定量的に示したことは大変画期的であり、きわめて重要な貢献といえる。

第三部は Part II として、酸素濃度上昇とオーバーシュートが生物に与えた影響を評価するために、海洋最上部の有光層に生息するシアノバクテリアを対象として、酸素に係わる代謝酵素である RubisCO と Fe-SOD のプロモーターに着目し、それらの分子系統解析と祖先型配列推定を行うことによって、これらの酵素の発現量の時代変化を推定した、ということが述べられている。その結果、光呼吸を触媒する RubisCO については目立った変化はみられなかったものの、抗酸化酵素である Fe-SOD の発現量は、25-20 億年前に急激に増加したことが明らかになった。このことは、環境中の酸素濃度の急激な上昇を反映したものであることを強く示唆する、きわめて興味深い重要な知見である。プロモーターに注目して代謝酵素の発現量の変化を推定するという手法とそれに基づき生命活動と地球環境史との関係を調べるという研究は、これまでにないまったく独創的なものであり、大変高く評価できる。

第四部は結論であり、論文全体の結果をまとめ、将来の展望が述べられている。

本委員会は、平成28年2月1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った。本研究によって、地球大気中の酸素濃度が上昇する大酸化イベントをもたらしたシアノバクテリアの大繁殖が、全球凍結イベントの帰結として生じたこと、その際、必然的に酸素濃度のオーバーシュートが伴われること、そして、シアノバクテリアが持つ酸素代謝酵素のプロモーター配列の分子系統解析を行うことで、大酸化イベントと同時期に抗酸化酵素の発現を増加させるような適応進化が起こった可能性を示したことは、特筆すべき重要な成果である。とくに、プロモーター配列の分子系統解析を地球環境史と結びつけて議論するという新しいアプローチはきわめて高く評価できる。

なお、本論文の Part I は田近英一、関根康人各氏との、また Part II は山岸明彦、田近英一各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって、数値計算、分子系統解析、考察等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する。

以上により、本論文は地球惑星科学、とくに地球惑星システム科学の発展に寄与するものと判断し、博士（理学）の学位を授与できると認める。