

論文審査結果の要旨

氏名 黒田 潤一郎

本論文は、白亜紀の海洋無酸素イベントにおいて堆積した有機質黒色頁岩について、今までにない高時間解像度で、さまざまな地球化学指標の変動を詳細に復元することで、このイベントにともなう古環境変動の復元を試み、その古海洋学的意義を議論した論文である。論文は全部で五章からなり、第一章が序論、第二章から第四章が各論、第五章が結論という構成になっている。

第一章ではまず、白亜紀の海洋無酸素イベントについて、黒色頁岩の時空分布など概要を説明したうえで、有機物が海底堆積物に豊富に保存されるプロセスとして注目されてきた海洋無酸素モデルと生物生産モデルの論争が、有機物の質に関する評価を無視して展開されているという問題点を指摘している。更に、提唱されている現世アナログ堆積物と黒色頁岩の間に大きな化学的相違があることを指摘して、黒色頁岩を全く異なる堆積物と捉え、さまざまな化学指標を用いた詳細なキャラクタリゼーションが必要であると主張している。さらに、今回注目した層厚1mの黒色頁岩(イタリア中部)の概要と、これが堆積した当時の堆積環境についても説明がなされている。

第二章では、黒色頁岩層の岩石薄片について、主要元素の二次元分布を10 μm グリッドでマッピングし、これをもとに堆積物コンポーネントの変動パターンをこれまでになく解像度で復元する手法について記載されている。これらの変動パターンと、1.5 mm 間隔で測定した有機炭素濃度の変動を比較した結果、黒色頁岩に発達する明暗色互層に対応して堆積物組成が変動する一例として暗色層で有機炭素や黄鉄鉱が豊富になり、明色層で生物源シリカや炭酸カルシウムが豊富になるといった傾向が認められる事を指摘し、さらに、明色層や暗色層内において、数100 μm 規模の微細なラミナが認められることから、堆積時に生物擾乱を受けておらず、海洋深部が定常的に無酸素環境であったと解釈している。

第三章では、第二章で化学的特徴が明らかになった試料をもとに、有機化合物の分析をおこない、有機物の起源生物について検討している。また、全有機炭素や全窒素同位体組成を加味し、黒色頁岩堆積時の海洋生態の変遷について考察している。黒色頁岩の暗色層はホパノイドを豊富に含み、軽い窒素同位体比(-3~0‰)を示すといったことから、シアノバクテリアが主要な基礎生産者であったことを指摘している。一方、明色層にはホパノイドが含まれず、窒素同位体比が高く(~3‰)、生物源シリカや炭酸カルシウムが豊富に含まれることから、珪藻や円石藻などの藻類が主要な基礎生産者であったと解釈している。これにより、明色層と暗色層の堆積期には基礎生産者が大きく異なっていたことを初めて系統的に明らかにした。

第四章では、1.5 mm 間隔で測定した全有機炭素同位体比の超高解像度変動記録と珪酸

塩の鉛同位体組成から黒色頁岩の成因について考察をおこなっている。分析の結果、黒色頁岩堆積層基底部に全有機炭素同位体比が負にシフトし、また同時期に鉛同位体比にもシフトを認めた。この負のシフトは、その後の回復に要する時間が海洋の溶存無機炭素の平均滞留時間の数倍であること、またさまざまな化合物の炭素同位体比にも同様に記録されていること、他地域の黒色頁岩にも似たような変動が認められることなどから、全球規模で海洋の溶存無機炭素同位体組成が負にシフトしたことを反映している可能性が高いと解釈している。一方、鉛同位体比の変動はこの時期に噴出した洪水玄武岩の鉛同位体比の方向にシフトしており、黒色頁岩の堆積が開始する時期に洪水玄武岩由来の珪酸塩鉱物の供給が相対的に増加したことを示唆し、炭素同位体比の負のシフトは、大規模火山活動に伴う脱ガスにより大気海洋系に大量の二酸化炭素が供給されたことが原因と考えている。本成果は、黒色頁岩堆積開始時に大規模火山活動が起きたことを初めて示唆し、海洋無酸素イベントが地球内部の変動と密接に関連している可能性を提唱したという点で極めて画期的である。

そして、第五章では、これらの各論から得られた結論とその相互関係を簡潔にまとめている。

審査委員会では、本論文を、堆積学的側面、有機地球化学的側面、古生物学的側面、固体地球科学的側面から、総合的に審査を行った。そして、i) 高空間解像度の無機化学分析法を確立して、シリカ、炭酸塩などの生物起源物質と有機物の変動様式の相互関係を調べて、いくつかの堆積モードが存在する事を示した点、ii) その結果に基づき有機化合物の詳細な分析を行って、それらの堆積モードが、海洋表層環境やそれに伴う生物生産者の変化の結果起こった物である事を突き止めた点、iii) そうした変化が、洪水玄武岩の大規模噴出に伴って起こった可能性を示した点、で極めて独創性が高く、白亜紀の海洋無酸素イベントについての理解を著しく進めたと高く評価した。

なお、本論文の第二章は大河内直彦、石井輝秋、徳山英一、平朝彦との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および議論をおこなったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断した。

上記の点を総合的に審査した結果、本論文は、有機、無機地球科学および古海洋学の発展に大きく寄与する物であり、博士(理学)の学位に十分値すると結論した。