

学位論文題名

Oceanographic and plaeoceanographic study
in the Sea of Okhotsk based on Organic Geochemistry

(有機地球化学的解析による現在および第四紀後期のオホーツク海の研究)

学位論文内容の要旨

第四期後期は 10 万年周期の水期-間氷期サイクルが卓越した時代であり、海洋はこの気候変動に重要な役割を果たしている。南極アイスコアの研究から氷期-間氷期サイクルに同調して大気中二酸化炭素濃度が変動していたことが明らかにされたが、海洋藻類が大気中二酸化炭素濃度を調節しているのではないかと考えられている。北太平洋高緯度は生物生産性が高くその大部分が高栄養塩低クロロフィル海域なので、大気-海洋間の二酸化炭素収支に関して重要な役割を果たしている可能性を持った海域である。それにもかかわらず北太平洋高緯度域の古海洋変遷はほとんど明らかにされてこなかった。

オホーツク海は北太平洋の北西部に位置する世界有数の広さを持つ縁辺海であり、水深は浅く北太平洋高緯度域のなかでは最も古海洋の研究に適している海域である。オホーツク海は季節海水域であり、海水形成にともなうブライン水の排出により中層水が形成される。また北西の広大な大陸棚には極東ロシア最大級の河川であるアムール川の河口があり、大量の陸源物質を海洋に輸送している。そして北西部の広大な陸棚で形成される中層水は朝夕混合で巻き上がった物質を南の海盆へ輸送する働きをする。この中層水がどのような有機物をどのくらいの量で輸送しているかを明らかにすることは炭素循環を考える上で重要である。

本研究では有機地球化学的手法を用いて、氷期-間氷期変動に伴うオホーツク海の古環境変遷(生物生産・古水温・陸源物質の供給)を復元し、古環境変遷の原因および気候変動に対するオホーツク海のひいては北太平洋高緯度域の役割を考察することを第一の目的としている。オホーツク海の古海洋変遷を時空間的に解析するためにオホーツク海の東から西のサイトにかけて採取した 3 本の堆積物コア試料(過去約 10 万年)の脂質化合物バイオマーカーを測定した。また現在のオホーツク海における詳細な生物地球化学的諸過程および物質循環を明らかにすることを第二の目的として、サハリン沖の南北 2 地点で 2 年間採取した沈降粒子中の様々な起源のバイオマーカーを分析した。

環境試料中に含まれる炭素物質のうち生合成される有機分子のなかでも脂質化合物は起源特異性を持つものが数多く存在する。それらはバイオマーカーと呼ばれ、特定の生物に関する生物活動および環境情報を有し、現在および過去の生物地球化学的諸過程を解明するうえで有力な手段である。特にアルケノンは過去の表層水温と円石藻の古生産変動の復元に用いられる重要なバイオマーカーである。堆積物と沈降粒子試料からは長鎖 n -アルカン・ n -アルコール(陸上高等植物起源)、アルケノン(円石藻起源)、ダイノステロール(渦

鞭毛藻起源)、ブラシカステロール(珪藻と円石藻起源)などをはじめとした起源特異的なバイオマーカーが多数検出された。それらの時空間的解析から以下に示す古環境変動が明らかになった。

陸上植物起源バイオマーカー堆積速度の年代変化をみると、融氷期で劇的に増加する現象が見られた。また西側のサイトほど顕著な増大が確認できた。これはアムール川の水量の増加、大気や海水による輸送の増加では説明できない。オホーツク海が縁辺海であることを考えると、融氷期の劇的な海面上昇によって北西部の広大な陸棚が水没し、潮汐混合により巻き上がった陸源有機物が、東サハリン海流や中層水を通して南へ大量に輸送されていたと解釈できる。この現象は縁辺海固有のメカニズムであると考えられる。藻類バイオマーカーの結果をみるとオホーツク海の生物生産性は海水の消長に規定されていることが明らかになった。海水が拡大していた氷期には生物生産が低く、融氷期になって海水が後退するにつれ南東のサイトから増大していったと考えられる。さらに藻類バイオマーカーを個別で見ると、植物プランクトンの優勢種が気候変動に対応して変化していた事が明らかになった。融氷期にはアルケノン沈降流量が卓越し、この時期は現在や氷期と比べ円石藻(*E. huxleyi*)の生産が劇的に増加したと考えられる。円石藻は他の藻類と違い海洋表層の二酸化炭素濃度を増大させ大気中に放出する働きをする。オホーツク海における融氷期の円石藻生産増大イベントの発見は北太平洋高緯度域が融氷期の大气中二酸化炭素濃度の増加に実質的な役割を果たしていた可能性を示唆する重要な成果である。またアルケノン古水温法を用いて過去 8.5 万年の表層水温を復元した。復元された古水温は最終氷期で最も寒い期間(LGM)で現在と同じ程度の高い値を示したが、氷期のそれ以外の期間では平均 4°C の値を示し、氷期における大部分の期間の表層水温は現在よりも 4°C も低かったことが明らかになった。これは氷期には現在よりも海水が多く形成されていたという説を裏付ける結果である。

次にオホーツク海の 2 地点で 2 年間にわたり採取されたセジメントトラップ試料のバイオマーカーを分析し現在の生物地球化学的プロセスとの比較を行った。その結果オホーツク海では明瞭な藻類活動の季節性が見られ、春と秋の両方で珪藻のブルームが起り、円石藻(*E. huxleyi*)の生産は秋ブルームの後半でしか起こっていないことが明らかになった。アルケノンから推定された水温は秋の水深 20-30m の温度躍層と一致した。堆積物コアに記録された LGM における異常に高いアルケノン水温の原因として、過去における円石藻の生産季節の夏季への移行や生息深度の表層混合層への移動が起こっていた可能性が示唆される。円石藻の生産期が限定されている海域でこの手法を用いる際には過去の円石藻の生態が変化したかどうかを十分に検討する必要があると言える。また陸起源バイオマーカーの沈降流量はアムール川の流量が最大になる夏から秋にかけて増加し、98 年秋の upper トラップで観測された大きなフラックスを除けば upper より lower トラップの方が高い沈降流量を示した。この結果からアムール川が陸源有機物の主な供給源であり、東サハリン海流や中層水、大陸斜面の濁度流により陸源有機物が輸送されていることが示された。しかしながら、有機物と無機物の陸起源の指標の間にはあまり良い相関が得られなかった。ステロール群の組成比をみると春のブルームと秋のブルームで、また生産が活発な夏季と生産が少ない冬季で大きく異なる結果を示した。春と秋のブルーム期では植物プランクトン起源のステロールの相対量が卓越し、冬季は動物プランクトン起源ステロールの相対量が卓越していた。また春と秋のブルームにおいては植物プランクトン起源ステロールの組成比が大きく異なっていた。この結果は沈降粒子中のステロールの組成比により有機物の起源となるプランクトンやその季節的な遷移を推定出来る新たな可能性を示唆している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 河 村 公 隆

副 査 教 授 乗 木 新 一 郎

副 査 教 授 南 川 雅 男

副 査 教 授 岡 田 尚 武 (北海道大学大学院理学研究科)

副 査 助 教 授 中 塚 武

学 位 論 文 題 名

Oceanographic and plaeoceanographic study in the Sea of Okhotsk based on Organic Geochemistry

(有機地球化学的解析による現在および第四紀後期のオホーツク海の研究)

第四期後期は 10 万年周期の氷期-間氷期サイクルが卓越した時代であり、南極アイスコアの研究から氷期-間氷期サイクルに同調して大気中二酸化炭素濃度が変動しており氷期には間氷期に比べ大気二酸化炭素濃度が約 80ppm 低かったことが明らかにされた。このメカニズムを解明することは地球の気候システムを理解する上で非常に重要な課題である。大気中二酸化炭素濃度の調節には南太洋が大きく貢献していると考えられたが、近年は否定的な結果も報告され、他の海域における生物生産の研究の重要性が示唆されている。

北太平洋高緯度は深層水循環の終着点であり、栄養塩濃度の高い水塊が表層に供給されているので生物生産性が高い。そのうえ大部分の海域は高栄養塩低クロロフィル海域なので、大気-海洋間の二酸化炭素収支に関して重要な役割を果たしている可能性がある。しかしながらこの海域の大部分は水深が炭酸カルシウム補償深度以深であり堆積物中に炭酸カルシウムが保存されていない。そのため有孔虫の殻から堆積物の年代を決めることが出来ないために北太平洋高緯度域の古海洋変遷はほとんど明らかにされていない。

オホーツク海は北太平洋の北西部に位置する世界有数の広さを持つ縁辺海であり、水深は浅く北太平洋高緯度域のなかでは古海洋の研究に適した海域である。本研究では有機地球化学的手法を用いて、氷期-間氷期変動に伴うオホーツク海古環境変遷を復元し、古環境変遷の原因および気候変動に対するオホーツク海の影響を明らかにすることを第一の目的としている。古海洋変遷を時空間的に解析するためにオホーツク海の東西のサイトで採取した 3 本の堆積物コア試料(過去約 10 万年)の脂質バイオマーカーを測定した。また現在のオホーツク海における詳細な生物地球化学的諸過程を明らかにすることを第二の目的として、サハリン沖の南北 2 地点で 2 年間採取した

沈降粒子中のバイオマーカーを分析した。

環境試料中に含まれる炭素物質のうち生合成される有機分子のなかでも脂質化合物は起源特異性を持つものが数多く存在する。それらはバイオマーカーと位置づけられ、特定の生物に関する生物活動および環境情報を有し、現在および過去の生物地球化学的諸過程を解明するうえで有力な指標である。特にアルケノンは過去の表層水温と円石藻の古生産変動の復元に用いられる。堆積物と沈降粒子試料からは長鎖 n -アルカン・ n -アルコール（陸上高等植物起源）、アルケノン（円石藻起源）、ダイノステロール（渦鞭毛藻起源）、ブラシカステロール（珪藻と円石藻起源）などをはじめとしたバイオマーカーが多数検出された。それらの時空間的解析から以下に示す古環境変動が明らかになった。

陸上植物起源バイオマーカー堆積速度の年代変化をみると、融氷期で劇的に増加する現象が見られた。また西側のサイトほど顕著な増大が確認できた。これはアムール川の水量の増加、大気や海水による輸送の増加では説明がつかない。オホーツク海が縁辺海であることを考えると、融氷期の劇的な海面上昇によって北西部の広大な陸棚が水没し、潮汐混合により巻き上がった陸源有機物が、東サハリン海流や中層水を通して南へ大量に輸送されていたと解釈できる。この現象は縁辺海固有のメカニズムであると考えられる。藻類バイオマーカーの結果をみるとオホーツク海の生物生産性は海水の消長に規定されていることが明らかになった。海水が拡大していた氷期には生物生産が低く、融氷期になって海水が後退するにつれ東のサイトから増大していったと考えられる。さらに藻類バイオマーカーを個別で見ると、植物プランクトンの優勢種が気候変動に応答していた事が明らかになった。融氷期にはアルケノン沈積流量が卓越し、この時期は現在や氷期と比べ円石藻(*E. huxleyi*)の生産が劇的に増加したと考えられる。円石藻は珪藻とは異なり海洋表層の二酸化炭素を大気中に放出する作用をする。オホーツク海における融氷期の円石藻生産増大イベントは北太平洋高緯度域が融氷期の大气中二酸化炭素濃度の増加に実質的な役割を果たしていた可能性が示唆された。

次にセジメントトラップ試料のバイオマーカーを分析し現在の生物地球化学的プロセスとの比較を行った。その結果明瞭な藻類種の季節性が見られ、春には珪藻の、秋には円石藻(*E. huxleyi*)のブルームが起こっていることが明らかになった。アルケノン古水温法から推定された水温は秋の水深 20-30m の温度躍層と一致した。これは円石藻の生産期が限定されている海域でこの手法を用いる際には過去の円石藻の生態が変化したかどうかを検討する必要性が指摘された。また陸起源バイオマーカーの沈積流量はアムール川の流量が最大になる夏から秋にかけて増加し、98 年秋を除けば upper より lower トラップの方が高い沈降流量を示した。この結果からアムール川が陸源有機物の主な供給源であり、東サハリン海流や中層流により陸源有機物が輸送されていることが示された。ステロール群の組成比は大きな季節変化を示した。春と秋のブルーム期では植物プランクトン起源のステロールの相対量が卓越し、冬季は動物プランクトン起源ステロールの相対量が卓越していた。また春と秋のブルームにおいては植物プランクトン起源ステロールの組成比が大きく異なっていた。この結果は沈降粒子中のステロールの組成比により有機物の起源となるプランクトンやその季節的な遷移

を推定出来る新たな可能性を示唆した。

審査員一同は、申請者の研究成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や単位取得なども併せて、申請者が博士（地球環境科学）の学位を受けるに値する十分な資格を有するものと判定した。