

学 位 論 文 題 名

Diatom biomarkers during the Eocene-Oligocene transition in the North West Pacific region

(北西太平洋域における始新世－漸新世境界期の珪藻バイオマーカー)

学位論文内容の要旨

約 3400 万年前の新生代始新世－漸新世境界期は南極氷床の形成・発達と急激な寒冷化によって特徴づけられている。この時期以降になって珪藻の珪質殻によって形成された大規模な珪質頁岩や珪藻の多様化が進行していることから、同時期以降に珪藻が急速に繁栄し、海洋における主要な一次生産者になったのではないかと予想されている。しかしながら、珪藻の珪質殻は溶解しやすいため、北太平洋地域に分布する堆積岩では、これまで始新世－漸新世境界期の時間連続的な珪藻殻化石の記録を得ることができなかった。また、珪藻殻化石の発見例も、わずかに 1, 2 例あるのみであった。始新世・漸新世境界期は、海洋珪藻の進化を理解する上で大変重要な時期であるにもかかわらず、北西太平洋地域では珪藻進化に関する実証的な知見はこれまでほとんど得られていない。本研究は、北西太平洋地域における始新世－漸新世境界期の海洋変動と珪藻進化を解明するため、(1) 新しい珪藻バイオマーカー有機分子の探索、そして(2) 同時期の堆積岩に含まれる珪藻バイオマーカーの検出と時系列変化の解明を目的としたものである。

(1) 珪藻バイオマーカー有機分子の探索

全ての生物は細胞を基本単位とし細胞膜という物理的境界によって外界から区別されている。細胞膜には膜脂質と呼ばれる脂質成分が含まれており、一部の膜脂質はそれぞれの生物群固有の生体情報を残したまま地質年代を通して長期間堆積物中に保存されることがある。また堆積物中の有機物の起源生物を推定する場合には、現生生物の脂質成分と比較する方法がとられる。そこで本研究では、堆積物に含まれるステランの前駆物質であるステロールを培養した現生珪藻を用いて同定し、現生珪藻と地質時代堆積物中の珪藻バイオマーカーとその特徴を解明した。結果、珪藻のステロール組成は、属または目のレベルにおいてその特徴が大きく異なっていることが明らかとなった。特に中心珪藻の *Thalassiosira* 属、*Chaetoceros* 属、*Coscinodiscus* 属は炭素数 28 個のステロールに富んでおり、また中心珪藻の *Rhizosolenia* 属では炭素数 27 個のステロールに富んでいた。また、*Rhizosolenia* 属からは高分岐イソプレノイド類 (Highly branched isoprenoids : HBIs) という特殊なバイオマーカーを検出した。これらのことから、珪藻殻化石が溶解して堆積岩から殻化石が検出されない場合においても、ステロイドバイオマーカー組成と

HBI バイオマーカー組成を組み合わせることにより、海洋珪藻の生活記録を復元することが可能である。

(2) 始新世—漸新世境界期の珪藻バイオマーカー

国際深海掘削計画 (ODP や IODP) によって南半球では始新世—漸新世境界期以降に珪藻の多様化が著しい速度で進行したと考えられている。しかしながら、北半球の北西太平洋地域では、同時代の珪藻殻化石の記録はこれまでほとんど得られていない。前述した珪藻バイオマーカーの探索に関する研究から、始新世—漸新世境界期の堆積岩中に存在する珪藻バイオマーカーに注目することによって、同時期における珪藻進化の記録を解読できるのではないかと考えた。そこで、北西太平洋のカムチャツカ半島北東部イルピンスキー地域、サハリン南部トマリ地域、そして北海道夕張地域においてフィールド調査を実施し堆積岩試料を採取した。バイオマーカーの定性・定量分析だけでなく、CHN 化学組成分析、無機元素組成分析、またカムチャツカの試料に対してはバイオマーカーの安定炭素同位体分析を行った。その結果、始新世—漸新世境界期の試料においては炭素数 25 の高分岐イソプレノイド類 (C_{25} HBI_s) が境界期を境に明瞭に漸増することを明らかにした。同じように、炭素数 27 のステランが境界期より増加していた。また、 C_{25} HBI alkane と C_{27} steroid の炭素同位体比は、漸新世の試料において同じようなトレンドを持っていた。よって、本研究で発見された C_{25} HBI_s は *Rhizosolenia* 属に由来するものであると考えることができた。また、HBI 濃度の増加にともない、 C_{25} HBI 炭化水素の安定炭素同位体比 ($\delta^{13}C$) は、次第に軽くなる傾向を示した。一般に、湧昇域など植物プランクトンの成長速度が高い場合には同位体分別効果が低下し $\delta^{13}C$ が大きくなる (^{13}C に富む) 傾向がある。したがって、北西太平洋の漸新世における HBI 濃度の増加と $\delta^{13}C$ の減少は成長速度の変化によって説明できない。これは、*Rhizosolenia* 属が細胞サイズを大きくするという環境適応を行い、比較的貧栄養な環境でも増殖できたためではないかと考察した。始新世—漸新世境界期を境に増加の傾向を示す C_{25} HBI_s は、一次生産に適さない時代において、*Rhizosolenia* 属が唯一繁栄した種であったことを強く示唆している。

始新世—漸新世境界期以降における HBI アルカンの増加傾向は、北西太平洋のカムチャツカ半島北東部イルピンスキー地域、サハリン南部トマリ地域、そして北海道夕張地域のいずれの地域においても同様に認められた。これは同時期の北西太平洋地域に広く広域的に *Rhizosolenia* 属が繁栄していたことを示している。 C_{25} HBI_s は同時期の北西太平洋を特徴づける珪藻バイオマーカーとして、層序の広域的な対比にも活用できる可能性がある。

学位論文審査の要旨

主査	教授	鈴木徳行
副査	教授	竹下 徹
副査	教授	中川光弘
副査	准教授	西 弘 嗣
副査	講師	沢田 健
副査	講師	渡邊 剛

学位論文題名

Diatom biomarkers during the Eocene-Oligocene transition in the North West Pacific region

(北西太平洋域における始新世－漸新世境界期の珪藻バイオマーカー)

新生代始新世－漸新世境界期（約 3400 万年前）は南極氷床の形成・発達と急激な寒冷化によって特徴づけられている。この時期以降になって珪質堆積岩が大規模に形成され、珪藻の多様化が進行していることから、同時期以降に珪藻が急速に繁栄し、次第に海洋における主要な一次生産者になったのではないかと考えられている。始新世－漸新世境界期の北西太平洋における地球環境変動や石油根源岩の形成を理解する上で珪藻は大変重要な一次生産者である。しかしながら、珪藻の珪酸殻は溶解しやすいため、北太平洋地域に分布する堆積岩では、これまで始新世－漸新世境界期の時間連続的な珪藻殻化石の記録を得ることができなかった。珪藻殻化石の発見例も、わずかに 1、2 例あるのみであった。始新世－漸新世境界期は、海洋珪藻の進化を理解する上で大変重要な時期であるにもかかわらず、北西太平洋地域では珪藻進化に関する実証的な知見はこれまでほとんど得られていない。

本論文は、始新世－漸新世境界期の北西太平洋域の珪藻進化と海洋環境変動を解明するため、新しい珪藻バイオマーカー有機分子の探索と、同時期の堆積岩に含まれる珪藻バイオマーカーの検出と時系列変化の解明を目的としたものである。珪藻バイオマーカー有機分子の探索では、培養された現生珪藻を用いてステランの前駆化合物であるステロール分析を行い、珪藻バイオマーカーの特徴について新しい知見が得られた。特に中心珪藻の *Thalassiosira* 属、*Chaetoceros* 属、*Coscinodiscus* 属は C_{28} ステロールに富んでおり、また中心珪藻の *Rhizosolenia* 属では C_{27} ステロールに富んでいることを明らかにした。本論文によって、珪藻殻化石が溶解して堆積岩から殻化石が検出されない場合でも、ステロイドバイオマーカーと C_{25} 高分岐イソプレノイド (C_{25} Highly branched isoprenoids : C_{25} HBIs) バイオマーカーを組み合わせることにより、始新世－漸新世境界期における特定の珪藻の生活記録を復元できることを示した。

本論文ではさらに珪藻バイオマーカー分析を始新世—漸新世境界期の堆積物に適用し、当時の北西太平洋域における珪藻の繁栄について検討した。北西太平洋のカムチャツカ半島北東部イルピンスキー地域、サハリン南部トマリ地域、そして北海道夕張地域においてフィールド調査を実施し堆積岩試料を採取した。バイオマーカーの定性・定量分析だけでなく、CHN化学組成分析、無機元素組成分析、またカムチャツカの試料に対してはバイオマーカーの安定炭素同位体分析を行った。その結果、始新世—漸新世境界期の試料においてはC₂₅ HBI_s が境界期を境に明瞭に漸増することを明らかにした。同じように、C₂₇ ステランが始新世—漸新世境界期以降から増加していた。また、C₂₅ HBI alkane と C₂₇ ステランの炭素同位体比は、漸新世の試料において同様に変化し、本研究で発見されたC₂₅ HBI_s は*Rhizosolenia* 属に由来するものであると結論づけることができた。これにより、同時期の北西太平洋地域に広域的に*Rhizosolenia* 属が繁栄していたことが初めて明らかになった。本論文は、C₂₅ HBI_s は同時期の北西太平洋を特徴づける珪藻バイオマーカーとして生層序対比にも活用できる可能性も示唆している。

以上のように、著者は、珪藻バイオマーカーに関する新知見を基にして始新世—漸新世境界期の北太平洋において珪藻 *Rhizosolenia* 属が次第に繁栄していったことを世界で初めて示した。また、珪藻殻化石による研究が直面していた問題に突破口を見いだし、始新世—漸新世の北太平洋における海洋環境変動と珪藻進化の解明に大きく貢献した。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認める。