

学位論文題名

Organic biogeochemical study on angiosperm-derived molecules in Cretaceous sediments, Hokkaido, Japan

(北海道白亜系堆積物中の被子植物由来分子の生物地球化学的研究)

学位論文内容の要旨

被子植物は現在の陸上植物のうち最も多様化した分類群である。被子植物は、白亜紀の初期に出現して急速に多様化したと考えられているが、出現時期および祖先分類群との類縁関係は未だに統一的な見解が得られておらず、その分布拡大過程についても未解明な部分が多い。白亜紀は地球史においてもっとも温暖化が進んだ時代のひとつである。高い光合成能力をはじめとする被子植物の特徴から、その進化が白亜紀以降の地球環境にあたえた影響も注目されている。過去における陸上植生復元の研究はおもに大型化石や花粉化石などを用いて行われてきたが、白亜紀初期における植生復元は進んでいない。近年、陸上植物に由来する有機分子のうち、特に化学分類学的指標性・保存性がともに高いテルペノイド化合物を用いて過去の植生を復元する研究が提案されている。そこで本研究では、多様なテルペノイド化合物に由来する有機分子を用いて白亜紀における被子植物植生を反映する古植生指標を確立し、実際に北海道に分布する白亜系堆積岩の幅広い年代においてこれを応用し、これまで明らかにされてこなかった高時間解像度での被子植物植生の出現・変遷過程を復元することを目的とした。

被子植物植生を復元する古植生指標の開発を目的として白亜紀および古第三紀晩新世の被子植物および裸子植物化石のバイオマーカー分析を行った。検出された被子植物および裸子植物由来のテルペノイドの組成と続成過程の検討から、芳香族炭化水素画分に含まれる被子植物トリテルペノイドおよび裸子植物ジテルペノイドを用いた新指標 *aromatic angiosperm/gymnosperm index (ar-AGI)* を確立した。*ar-AGI* は従来注目されていた脂肪族化合物を用いた指標と比較して高感度に被子植物植生を反映する。

次いで、北海道大夕張地域に分布する前期白亜紀の堆積岩においてこれを応用し、古植生復元を行った。芳香族被子植物トリテルペノイドは従来報告されていたアルビアンにおける最古の被子植物化石記録より古い後期アプチアンの層準から連続して検出され、その植生が徐々に増加したことが明らかに成った。さらに、従来知られていなかった短い時間スケールで大規模な植生変化が起こっていたことを明らかにした。前期白亜紀の被子植物植生が湿潤環境の変化と連動していたことも示唆された。

北海道苫前地域の前期-後期白亜系堆積岩において、セノマニアンからカンパニアンにいたる長期にわたる連続的な古植生変動が復元された。被子植物植生はセノマニアン-チューロニアン境界をはじめとする既知の古環境変動イベントとよく一致していた。

これらの二つのセクションにおける有機物の保存状態は大きく異なっていたにも関わらず、本研究で提案した *ar-AGI* をはじめとする古植生指標はその変動傾向および値においてよ

く整合しており，本指標が白亜紀における被子植物植生の復元をはじめとした古植生研究において有効であることが確かめられた。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	鈴 木 徳 行
副 査	講 師	沢 田 健
副 査	教 授	竹 下 徹
副 査	講 師	渡 邊 剛

学 位 論 文 題 名

Organic biogeochemical study on angiosperm-derived molecules in Cretaceous sediments, Hokkaido, Japan

(北海道白亜系堆積物中の被子植物由来分子の生物地球化学的研究)

被子植物はその化石記録から白亜紀初期に出現して急速に多様化したと考えられているが、分子時計を利用した研究ではジュラ紀以前に出現した可能性も指摘されている。さらに、祖先分類群との類縁関係についても未だに統一的な見解が得られてなく、その分布拡大過程についても未解明な部分が多い。また、白亜紀は地球史においてもっとも温暖化が進んだ時代の一つであり、両極に氷床の存在しない典型的な温室期として長期的に安定な気候条件であったと考えられてきたが、近年では短期的な氷床の存在が議論されるなど気候変動があったことが明らかになりつつある。過去における陸上植生復元の研究はおもに大型化石や花粉化石を用いて行われているが、化石情報の不完全性のために白亜紀初期における高時間分解能の植生復元は進んでいない。被子植物の出現年代の解明や初期進化過程の解明は白亜紀以降の地球環境・生態系の進化史を議論する上で重要な課題であり、従来の古植物学的研究に加えて新しい地球化学的指標の開発・検討によりさらなる知見を得ることができれば、古植物学的にも環境変動予測の観点からも有意義である。近年、陸上植物に由来する有機分子のうち、特に化学分類学的指標性・保存性の優れたテルペノイド化合物を用いて過去の植生を復元する研究が提案されている。しかし、本質的な植生情報を得るにはまだ体系的に調査・検討した研究はほとんどないといってよい。そこで本論文では、白亜紀における被子植物植生を反映する古植生指標を確立し、被子植物の出現年代や植生拡大過程を復元することを目的として、白亜紀の植物化石および堆積物中の陸上植物由来のテルペノイドなどの有機地球化学的分析から研究を行った。具体的な研究調査の対象として、白亜紀から暁新世の植物化石と、北海道白亜系蝦夷層群の前期白亜紀から後期白亜紀の堆積岩の収集・採集、有機地球化学的分析を行った。その結果、おもに次のような新しい知見が得られた。

1. 被子植物植生を復元する地球化学的指標を検討するため、白亜紀および暁新世の被子・裸子植物化石試料を用い、バイオマーカー分析を行った。化石からは多様な脂肪族・芳香族テルペノイドを網羅的に同定した。被子植物由来トリテルペノイドにおいて芳香族成分が卓越し、脂肪族成分の割合が著しく低下していることが明らかになった。した

がって、植物化石や堆積岩中における被子植物バイオマーカーの探索においては芳香族成分に着目する必要があることを確認した。そして、芳香族炭化水素画分に含まれる被子植物トリテルペノイドおよび裸子植物ジテルペノイドを用いた芳香族テルペノイド被子/裸子植生指標 (ar-AGI) を提案した。ar-AGI は脂肪族化合物を用いる既存指標と比較して、被子植物化石の化学分類学的特徴をよく反映し、白亜紀や暁新世のような古代堆積岩における被子植物の植生トレーサーとしてより高い感度と信頼性を発揮することが示された。

2. 北海道大夕張地域に分布する前期白亜紀の堆積岩においてテルペノイド植生指標を応用し、古植生復元を行った。芳香族被子植物トリテルペノイドは従来報告されていたアルビアンにおける最古の被子植物化石記録より古い後期アプチアンの層準においても検出され、日本における初期被子植物記録の中でも最古の証拠である。ar-AGI 値は短時間スケールで顕著に変動し、後期アルビアン期にかけて増加傾向を示した。このことから、白亜紀前期の蝦夷層群の後背地において従来知られていたよりも短時間スケールで大規模な植生変化が繰り返し起こっていたことが明らかになった。さらに、アルビアン期における ar-AGI 値の増加傾向は陸源有機物の炭素同位体比変動から示唆される後背地の湿潤化と連動していた可能性が示唆された。

3. 北海道苫前地域に分布する蝦夷層群後期白亜系堆積岩において、テルペノイド植生指標を用いてセノマニアンから前期カンパニアンまでの長時間スケールの被子植物植生および針葉樹植生の変動を復元した。ar-AGI は長期的にはおおまかに白亜紀を通じた世界的な温暖化傾向の強弱と連動していたほか、短期的に顕著な変動を示し、セノマニアン-チューロニアン(C/T)境界環境擾乱事変および中期セノマニアン事変と同時的に極大に達することが明らかになった。C/T 境界事変においては全球的に極端な温暖化が進行したほか蝦夷層群の後背地で湿潤環境が拡大したことが示唆されており、湿潤環境の拡大と被子植物植生の拡大の関連性が示された。

本論文は、以上のように白亜紀初期における東アジア東端地域の被子植物植生の出現時期や年代変化を、新しいバイオマーカー古植生指標を検討してそれを応用し、海洋堆積物から生物・有機地球化学的分析によって復元し、さらに踏み込んで古気候変動に関する議論を得ることができた。また、ar-AGI の応用によって、花粉化石や大型植物化石の報告が乏しい白亜紀初期の堆積岩中において被子植物植生のシグナルを検出し、その変動についても連続的な議論が可能になったことは、今後の古生物地理学的研究に新しいブレークスルーを与えるものと考えられる。これを要するに、著者は、白亜紀に限らず地球史の陸上植生変動の研究における、生物地球化学的新手法を加えた新しい知見を示したものであり、古生物学、地球（環境）化学、地球史研究に対して貢献するところ大なるものがある。

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あるものと認める。