

## 博士学位請求論文審査報告書

### 論文の内容の要旨

本研究は北海道北部名寄地域周辺から産出する新生代新第三紀中期中新世後期～後期中新世（約 13～11 Ma ; 1 Ma = 100 万年前, 以下同様）の葉化石を中心とした大型植物化石群について, その種組成や堆積環境, 気候条件を反映していると考えられる葉の形態的特徴を明らかにすることで, 化石の供給源となった植生と当時の環境とを復元し, 日本の植生がいつ頃からどのような環境下で現在のような様相を持つに至ったかを解明するための新証拠を提示するものである。

主たる材料は, 名寄地域西方の美深層湖南凝灰質砂岩泥岩部層植物化石群（湖南植物群, 13Ma）及び, 名寄地域東方のパンケ層植物化石群（上名寄植物群, 11-12Ma）から得た総計 5000 点を超える大型植物化石である。これらの化石群構成種の分類と記載を行い, 復元した古植生を現在の植生や国内及び近辺のアジア大陸東縁地域から知られている植物化石群が示す古植生と比較した。加えて, 葉の外部形態と生育地の気候条件とを統計的に関連づけて推定する葉相観解析という手法を用い, それぞれの植物群が存在した当時の古気候を復元した。湖南植物群は, ブナ属の *Fagus palaeojaponica* (アケボノイヌブナ) を優占種とし, カエデ属のチドリノキ近縁種 *Acer subcarpinifolium* やトウヒ属, カバノキ科（ハンノキ属, カバノキ属）, カツラ属, ヤナギ属などを含む 33 分類群から成り, 落葉広葉樹が優占する冷温帯落葉広葉樹針葉樹混交林であった。上名寄植物群は, 33 分類群から成るが, カツラ属や *Acer subcarpinifolium* 及びトウヒ属が優占する河畔植生と, シダ植物トクサ属や単子葉類タケ亜科, トウヒ属, ヤナギ属, ハンノキ属を主とする後背湿地植生, カツラ属, ヤナギ属, フジキ属が優占する湖岸植生, *Fagus palaeojaponica* が優占する湖周辺の山地斜面植生の 4 タイプの植生が識別された。堆積相と化石産状から判断して, 上名寄植物群の主要構成種の生育環境は, それらの近似現生種のものと同様であると考えられた。名寄地域植物化石群の組成は, 大局的には現在の北海道南部や東北地方, 中部地方の植生に類似している。少なくとも北海道においては, 生態的に現在の本州北部や北海道の植生に対比可能な群集が, 中期中新世後期には成立していたことを示す。

葉相観解析で推定した降水量は, 現在の北海道地方のそれよりやや大きな値となり, 年平均気温も現在よりやや高い値を示した。このことから, 名寄地域の中期中新世後期の古植生は, 現在の東北地方日本海側から北海道南部の気候に似た環境下にあったと推定された。

以上の結果に基づいて, 現在の北海道及び本州北部の植生及びその種組成が成立した時代について考察した。第一に, 現生種の出現, すなわち“種の現代化”が後期中新世以降に進んだという従来の通説に対し, 本研究で扱った名寄地域の植物群がまさにその初期過程の証拠であることを明示し, “種の現代化”の始まりは中期中新世後期まで遡れることを指摘した。第二に, 日本における後期中新世以降の植物化石群の組成変化は当時の気候寒冷化に起因するもので, 特に寒冷化がより顕著であった北海道のような北方地域でまず植生の変化が起こり, さらに同様の変化が後期中新世にかけて本州北部などに拡大したと推定した。

## 論文審査の結果の要旨

### 1) 論文の主題

「北海道名寄地域産中期中新世植物化石群の古植生と古環境」

Paleovegetation and paleoenvironment of middle Miocene fossil flora from Nayoro area, Hokkaido

### 2) 当該研究分野における位置づけ

本研究は、植物化石を用いて日本の植生成立過程を明らかにしようとする一連の研究の一つで、いわゆる古植物学に属する。古植物学は、生物学と地学の両分野にまたがる複合領域の理学、自然史科学である。生物学においては系統分類学、進化学、生態学などを包含する統合生物学分野に属しつつ、発生学、生理学などの基礎生物学分野とも連携する総合科学として、地球と生命の歴史を解明し、成果はSDGsの社会的啓蒙においても貢献している。

### 3) 論文の構成（目次と各章の概要）

要旨／Abstract	3
1. はじめに	7
2. 先行研究	11
3. 研究方法	16
3-1. 地質調査と地質情報	16
3-2. 化石試料	17
3-3. 古植生解析	17
3-4. 古気候解析	18
4. 得られた植物化石の記載	22
5. 湖南植物群	63
5-1. 結果	63
(1) 植物化石の産状と群集組成	63
(2) 花粉化石の組成	65
(3) 古気候解析結果	67
5-2. 考察	73
(1) 湖南植物群	73
(2) 古植生	74
(3) 湖南植物群の示す古気候	76
6. 上名寄植物群	78
6-1. 結果	78
(1) パンケ層の堆積相	78

(2) 植物化石群の産状と群集組成	78
6-2. 考察	88
(1) 上名寄植物群	88
(2) 古植生	89
7. 名寄地域のその他の植物化石群	94
7-1. モサシル層の植物化石群	94
7-2. 恩根内植物群	97
7-3. 川西植物群	100
8. 総合考察	103
8-1. 中期中新世の名寄地域の古植生	103
8-2. 現生植生との比較	104
8-3. 名寄地域の古植生の時代的意義	109
(1) 名寄地域の植物化石群の植物相型	109
(2) 三徳型植物群の出現と植物地理学的位置づけ	113
(3) 古気候と植生の変化	116
(4) 日本列島の固有種と三徳型植物群	117
8-4. 北海道における植物相型の再検討	120
9. 結論	124
10. 謝辞	127
11. 引用文献	128
付録 1. 古気候解析データ一覧および古気候解析に用いた葉相観データ一覧	144
付録 2. 算出された全ての古気候条件	145
付録 3. CLAMP から算出された古気候条件と東アジアの植生区分	146
化石図版	147

#### 4) 論文の独自性や成果

日本は先進諸国中では比類のない高い生物多様性を擁し、その恩恵を生かして多様で独自性の高い地域文化を培ってきた。にもかかわらず、その基盤である列島の起源や、現在の生物相が成立するまでの歴史的過程については、未解明の部分が多く残っている。たとえば、現在の日本各地で生態学的な相観を代表している森林植生について、その構成種と生態的住み分けがいつ、どのようにして成立してきたか、その成立過程にどのような環境要因が作用してきたかということさえ、完全には説明できずにいる。本研究は、そのような未解明部分に新たな科学的証拠を加えるものである。

これまで詳細な古植物学的研究が不足していた北海道名寄地域において、精力的な現地調査を行い、5000点を超える化石資料を採集し、堆積状況や年代推定などの詳細な地質学的情報を収集した。化石の分類と記載、及び堆積環境の解析に基づき、日本の新第三紀植物相

研究において情報の空白期であった中期中新世後期～後期中新世（13-11Ma）の古植生を、初めて詳細に復元した。

これまで新生代における日本の植生変遷については、Tanai (1961) が提示した過程が基礎となっている。本州と北海道においては、中期中新世前期まで台島型の暖温帯性落葉・常緑広葉樹林が存在した。後期中新世には冷温帯型落葉広葉樹針葉樹混交林からなる三徳型植物群が出現し、さらに前期更新世にはやや温暖化に適応した要素を含む落葉広葉樹針葉樹混交林である新庄型植物群へ移行したとされてきた。しかし、中期中新世から後期中新世については研究に適した化石産地が少ないことも起因して研究が不十分で、情報空白期となっていた。本研究は、名寄地域の植物化石群が、落葉広葉樹と針葉樹を含む三徳型植物群であることを示し、その起源が 13Ma に日本海周辺の北方域に出現した植物群にあることを示して情報の空白期を埋めるとともに、三徳型植物群が北海道では前期更新世前期まで継続して存在した可能性を指摘した。

以上の新知見に加え、湖南植物群について、葉相観解析の手法である全縁葉率法 LMA、多変量解析法 CLAMP、葉面積法 LAA を用いて解析し、当時の気温や降水量などの古気候条件を推定し、本州を含めた他の中新世化石産地から得られた既存の研究結果と比較した。その結果、中期中新世から前期更新世を通して、北海道では年平均気温が 8~10°C 程度の範囲内であって大きな変動は認められなかった。これは、中期中新世までは北海道より温暖であったが後期中新世以降寒冷化したとされる、本州の気温変動とは異なることを示唆している。年間降水量は、中期中新世前期から中期中新世後期、さらに前期鮮新世へと、段階的に降水量が増加していた。

本論文の内容は、以上のように十分な科学的独自性と成果を提示し、同様の研究における新たな展開を導くもので、関連学界においてその貢献度が高く評価されるものである。

## 5) 論文の課題

科学論文には、その内容と質の到達度に終点がないという宿命がある。本論文の完成度は高く、細部の課題を追求するよりは、本論文によって新たに明らかになってきた研究上の情報不足や今後の展開を課題とすることがより建設的である。

第一に、本論文でも一部導入しているように、より詳細な分類群組成が期待でき、層位学的変化の追跡に適した花粉化石研究をさらに進展させることが望ましい。第二に、北海道における三徳型植物群出現理由、及び、後期中新世後期以降に顕著となる北海道と本州での植物群の相違をもたらす要因となった環境変化をより明確にする必要がある。本論文では、可能性として降水量変化や地理的な違いに起因する環境条件の相違などに言及しているが、説明しきれないことも認めている。一方で、22Ma ごろから始まったとされるアジア・モンスーンの消長との関連を指摘し、アジア全域と地球規模の気候変化を視野に入れた研究への展望を示した。第三に、本論文では同定した分類群の組成をそのまま植生比較と環境推定に用いているが、たとえば本州と北海道で認識された三徳型植物群で優占種の筆頭に挙げられ

るブナ属の種については、本州ではムカシブナという別種も存在しており、それぞれの種の最適生育条件なども今後比較する必要がある。また、そのような種ごとの生態的なニッチの違いは、ブナ属全体の系統進化と合わせて解明されることが望ましい。本研究を通じて、後の研究に様々な課題が託されたことは、大いに生かされるべきである。

#### 6) 論文の評価

近代科学としての古植物学は 200 年の歴史を持つ。我が国においては、約 150 年前に明治の文明開化とともに導入され、時代とともに他分野の科学とともに進歩してきた。その中で、日本の特異な生物相の基盤となる植物相と植生の成立史解明については、その大きな基準点となった Tanai (1961)以降、新発見の追加と既存研究の見直しや相互検証が続けられている。加えて、葉化石分類手法の発展、年代測定や堆積学など地学分野での進歩、葉相観解析のような環境復元手法の開発は、植物化石研究の精度と貢献度をさらに高めている。本研究により、日本の植生変遷史の空白部分を埋める化石群集の内容と性質が少なくとも北海道において補填された。加えて当時の気候条件も具体的な推定値として明らかにされたことは大きく評価できる。本研究は、現時点において可能な手法を駆使し、精緻な現地調査と膨大な採集標本に基づいた信頼性の高い結果と発展性のある議論を導いており、成果は古植物学のみならず学界及び社会に広く貢献するもので、学位論文として相応の評価を与えるべきものである。

#### 7) その他

20 世紀後半から、生物学においては生命現象の分子機構解明が分子生物学と情報科学の発展に支えられて急速に進むとともに、成果は医薬方面での応用へと展開され、そこに社会の興味が集中する傾向にある。一方で、産業革命以降顕著となった人為的環境変化が悪化を続けている。人類及び生物全体の生活基盤となる生態系は、地球規模で転換点(tipping point)を迎えつつあり、将来の持続可能性が憂慮されている。健全な生態系を維持するには、生物多様性の保全が重要であるが、この点についての社会的理解は我が国において未だ貧困である。これを改善するには、次世代に対して生物多様性の意味と重要性を教育することが必要となる。本研究の成果は、日本の将来を担うべき次世代に向けた自然史科学的教養教育にも資するものである。