

## 総説

百原 新<sup>1</sup>: 大型植物化石による植生史研究の成果と課題Arata Momohara<sup>1</sup>: Achievements and subjects of vegetation history researches based on plant macrofossils in Japan

**要旨** 本総説は、日本植生史学会が発足した1986年当時に議論された第四紀の大型植物化石に関連した話題の、その後の展開を解説する。最初に、日本の大型植物化石に基づく植生史研究が何を指して始まったかを再確認するために、三木 茂による第四紀の植物化石の先駆的な研究事例を紹介する。次に、1) 標本の保管・整理、2) データベース、3) 種の同定、4) 化石群集のタフォノミーといった、植生史研究を行う上での基礎的な問題の現状を解説する。  
キーワード: 大型植物化石, タフォノミー, データベース, 同定, 標本

**Abstract** This paper reviews subsequent development of the problem on Quaternary plant macrofossil researches which were discussed in 1986 in that Japanese Association of Historical Botany was founded. Shigeru Miki's pioneer work on Quaternary paleobotany is firstly reviewed to recognize the original subject of vegetation history research based on plant macrofossils in Japan. Next, reviewed is current status of basic subjects on vegetation history research, including 1) managements and arrangements of samples, 2) database construction, 3) identification of taxa, 4) taphonomy of fossil assemblages.

**Keywords:** database, identification, plant macrofossil, specimen, taphonomy

## 1. はじめに

日本植生史学会設立30周年を記念し、2016年12月に専修大学で開催された公開シンポジウムでは、「植生史研究のこれまでとこれから」というテーマで話題提供と活発な議論が行われた。本総説は、このシンポジウムで紹介した、第四紀の種実類や葉の化石に関連した話題をとりあげる。ただし、種実類や葉は過去の植生を構成していた植物の器官の一部なので、古植生を復元するには木材や花粉もあわせて検討することが必要である。別々の研究者が研究対象としてきた種実類、木材、花粉を同じ堆積物から取り出して比較し、それらの総合化によって古植生復元を行うことが普通になったことも、日本植生史学会の前身である植生史研究会の発足によって研究者間の情報交換が活発になった結果の一つである。

植生史研究会が発足した1980年代以降、日本の植生史研究をめぐる環境は、大きく変化した。例をあげると、1) 放射性炭素年代の測定技術の向上や火山灰層の対比の発展などによって、化石試料の高精度の編年が行えるようになったことや、2) 大規模な造成工事に伴った遺跡の発掘や、そこでの自然科学分析が盛んに行われるようになったこと、3) 中国やロシアといった日本の近隣の地域での現生植生や植生史の調査が行うことができるようになったこと、などがある。その結果、情報量が飛躍的に増加し、様々な分析・測定技術の進歩と相まって、分析対象とその手法が多様化

していった。しかしながら、これらの発展は1980年代に始まったわけではなく、それ以前からの技術の進歩の延長であり、それまでの研究成果の蓄積を基盤とした展開である。

本稿では、まず始めに、日本の大型植物化石に基づく植生史研究が何を指して始まったかを再確認するために、三木 茂による第四紀の種実化石の体系的・総合的な研究事例(Miki, 1933a)を紹介する。次に、植生史研究会の発足当時に提起された諸問題(辻, 1986; 南木, 1986)のうち、1) 標本の保管・整理、2) データベース、3) 種の同定、4) 化石群集の性質とタフォノミー(化石化過程)といった、植生史研究を行う上での基礎的な課題が、この30年の間にどのように展開したかを解説する。

## 2. 三木 茂による大型植物化石研究

三木 茂(1901-1974)が鮮新・更新世の植物化石を扱った最初の論文(Miki, 1933a)では、現在の古植物学分野で盛んに用いられている手法の多くがすでに試みられ、示唆に富む。この論文では、中期更新世前半の間氷期に対比されている、京都盆地南部の大阪層群の海成層から産出した23種の大型植物化石の形態記載と、化石群の種組成に基づく古環境復元が行われた。英文の論文とほぼ同じ内容の和文の報告は、京都府史蹟名勝天然記念物調査報告(三木, 1933b)として出版されている。

<sup>1</sup> 〒271-8510 松戸市松戸648 千葉大学大学院園芸学研究所

Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

この論文では、それぞれの植物の一つの器官だけではなく果実と葉の両方の形態が検討され、細脈を含む脈系や、種皮の表面構造、種皮断面の解剖学的特徴といった、詳細な検討が加えられた。一つの植物のあらゆる器官から過去の植物の全体の姿をできるだけ詳細に復元しようという姿勢 (whole plant paleobiology) は、古植物学の基本姿勢であり、葉とその表皮細胞、短枝、枝、球果、種子の化石に基づいてメタセコイア属 *Metasequoia* を設立した Miki (1941) の研究にも現れている。化石として産出するなるべく多くの種類の器官とその産状を調べることは、Miki (1941) がメタセコイアの落枝性を復元したように、植物の生態学的特性の復元にもつながる。

Miki (1933a) で試みられた古環境・古地形の推定は、対応する現生種やその近縁種の生態と分布特性に基づいて行われた。Miki (1933a) は化石群構成種の分布特性を海浜性、淡水性、湿地性、山地生の4つに分け、海浜性植物の産出と、材化石のフナクイムシによる穿孔に基づき、京都盆地にまで海進が起こったとした。植物化石産出層の標高が現在の海水面よりも高い位置にあったことから、この論文以降、三木は化石産出層の標高にまで海水面が上昇したと考え、海水準変動が植生や植物相に与えた影響を議論した。その後、三木 (1953) では化石産出層の標高の違いが地盤の隆起に基づくことや、Miki (1956) では気候変化の重要性を認めている。Miki (1956) は、現在の亜高山帯針葉樹林の分布下限の標高と気温の遞減率に基づき、更新世後期の氷期の気温が現在よりも約7°C低下したと推定した。

Miki (1933a) の古気候復元は、現在、世界各地で盛んに行われている、最も近縁な分類群 (nearest living relatives) にもとづく Coexistence approach (Mosbrugger & Utescher, 1997) の先駆けともいえる。この方法は、最も多くの化石群構成種 (化石種に最も近い現生種) の分布域の気温範囲が重なり合う範囲を、古気温の範囲とする推定法である。化石の堆積の場合よりも高い標高域に分布する植物が流入する場合にはむかぬが、同標高域の植生由来の化石群からの古気温推定に適している。Miki (1933a) は化石群構成種の「本邦に於ける分布 (現存せざるものは近きものに就き)」に基づいて、中期更新世前半の間氷期の山城盆地の気候が現在よりも少し暖かく、九州、四国、本州南部の現在の気候に近かったと結論づけた。

三木は、古植物学・古生態学的研究を始めるまで、水生植物の形態学的・分類学的研究や、地域フロアの研究を精力的に行ってきた。Miki (1933a) の研究は、それまでのフィールドワークと標本を用いた、詳細な形態観察の過程で培ってきた知識を結集した成果である。三木の研究は、現在の植物相や植生、分類群の形成過程の解明を目的に始

まった (三木, 1953) が、それは現在でも植物化石を用いた古植物学・古生態学の研究目的でもある。その目的を達成するためのインスピレーションが、フィールドと研究室での植物の形態や生態、地層の地道な観察から得られることは、今でも変わらない。

### 3. 標本の保管・整理

三木が収集した膨大な植物化石標本は、大阪市立自然史博物館に保管されていたが、粉川昭平、塚腰 実、南木睦彦らの尽力によって整理と同定が行われ、筆者も標本整理を手伝った。標本には番号がつけられ、標本目録 (粉川ほか, 2006) が出版された。三木コレクションだけではなく、国内外の植物化石資料が博物館や大学で保管されており、現在の古植物学研究の発展に大きく貢献している。日本産大型植物化石 (種実、葉、木材) のタイプ標本目録は、Uemura et al. (2002) によってまとめられ、記載された文献や標本の所在・標本番号がすぐに確認できるようになっている。

すでに記載された化石種が、タイプ標本の再検討によって分類学的扱いが変わることがある。安井コノが1928年に記載した *Pinites fujii* Yasui のタイプ標本が、Miki (1939) が瀬戸・土岐口陶土層から記載したオオミツバマツ *Pinus trifolia* Miki と同じものであることが、Yamada et al. (2015) によるタイプ標本の再検討により明らかになった。その結果、オオミツバマツの学名は *Pinus fujii* (Yasui) Miki emend. Yamada et al. になり、Miki (1939) が *Pinus fujii* (Yasui) Miki と同定したマツ属 (フジイマツ) は、*P. mikii* Yamada et al. という新種になった。

日本の植物化石は、アジア各地や北半球各地の植物化石と比較・検討され、植物の進化・絶滅や植物地理の形成過程を明らかにする上で、重要な材料となっている。Ozaki (1980) が中国固有の現生属の化石として後期中新世の辰巳峠化石群から記載した *Heptacodium hokianum* Ozaki は、北米西部から報告されていた化石と同一種であることが明らかになり、*Ozokia emeryi* (Manchester & Uemura, 2014) と命名された。

博物館等で保管されている第四紀の種実化石標本は、分類学的再検討の対象としてだけでなく、堆積年代や古環境、古植生に関する様々な情報が得られる貴重な資料である。三木コレクションの植物化石の加速器質量分析装置 (AMS) による放射性炭素年代の測定により、Miki (1956) が記載した更新世の氷期の化石群の一部が最終氷期最寒冷期に属すること明らかになった (百原ほか, 2015; 西内ほか, 2017)。三木コレクションのようにエタノールで液浸された植物化石の放射性炭素年代値は、エタノールの影響を受けないことがわかっており (工藤ほか, 2009)、再

測定が可能である。特に、ベータ線測定法による誤差の大きい年代値しか得られていない最終氷期の化石群の年代の再測定は、最終氷期最寒冷期の植物の分布を解明する上で必要不可欠である。

種実化石に付着した堆積物は、それが泥、泥炭、砂のうち何で構成されるか、あるいは、そこに含まれる珪藻の組成から、化石群の堆積環境が明らかになる。一方、西内ほか(2017)は、大型植物化石に付着した泥の花粉分析を行い、大型植物化石の組成と合わせて化石産地周囲の古植生の空間分布を復元した。このほか、安定同位体分析による母植物の生育環境の復元や古気候復元、葉化石の気孔密度からの大気中二酸化炭素濃度復元は、これまで蓄積された植物化石標本を用いることができる。保管された化石標本からのDNA塩基配列の解読も、変質したDNAからの遺伝子情報の復元技術が進めば、可能になってくるかもしれない。

このように、植物化石資料が保存・公開され、後世にわたって利用できるようにすることで、将来の研究の発展に貢献することは間違いない。それには、文献で用いた標本に番号がつけられ、文献情報と標本との対応関係が明確である必要がある。しかしながら、南木(1996)のように化石群を構成する種ごとに小瓶に分けて整理する方法は、多くの労力と時間、保管スペースが必要である。そこで筆者は、写真などで1個体の標本を指定した場合を除き、複数(最大8種類程度)の種を一つのサンプル管瓶にまとめて保管することになっている。

エタノールに液浸された数ミリ以下の小さな種実類は、数十年経つと種皮や果皮が溶けて消失することがある。溶失を避けるには乾燥状態で保存する必要があるが、乾燥によってサイズや形が変化したり、石膏が析出して化石を破壊してしまうリスクもある。したがって、標本の状態を常に観察して、保存方法を検討する必要がある。

#### 4. データベース

これまで日本の第四紀層や遺跡発掘現場で採取され、記載された植物化石(遺体)記録は膨大な量になる。植生史研究では、1985年から1990年までの毎年の植生史関連文献目録が、各文献の内容の簡単な紹介付きで掲載されたことがあったが、学会誌や大学・研究所の研究報告、地方自治体発行の遺跡発掘調査報告書の情報を集約するのは、多大な労力を要する。特に、大規模な開発が進んだ1980年代以降には、各地での遺跡発掘調査が盛んに行われ、自然科学分析の一環として膨大な数の大型植物遺体分析結果が報告された。しかしながら、刊行された全国各地の報告書が網羅され、閲覧・利用できる施設が限られているために、遺跡出土の大型植物遺体情報の利用が難しかった。

最近、国立歴史民俗博物館書庫に収蔵されていた全国の遺跡発掘調査報告書の悉皆調査が行われ、そこから得られた約63,000件の大型植物遺体の出土記録がデータベース化され、国立歴史民俗博物館データベースとして公開された(石田ほか, 2016)。植物遺体情報のデータベース化により、植物遺体の産出記録の時間・空間分布が明らかになるだけでなく、研究者間で情報が共有しやすくなる。その結果、研究者間で分析方法や同定のチェックが行われ、層位区分の修正やコンタミネーションの判断も確実になると考えられる(百原ほか, 2014)。一方、報告書の記載には同定の誤りや産出層位が不明瞭な事例も含まれている。したがって、データベースは一次資料にたどり着くために用いることができても、そのまま利用すると誤った結論を導いてしまう危険性がある。データベースのデータが一人歩きするのではなく、再検討のための遺跡出土植物遺体標本の重要性が高まり、標本の保管と公開が促進されることが望まれる。

第四紀の植物化石記録のデータベース化は、国立科学博物館で矢部 淳によって進められている(Yabe et al., 2017)。第四紀の植物化石記録は、かつては後期鮮新世とされたジェラシアン(約260~181万年前)が現在では前期更新世に区分されるなど、植物化石産出層の対比・編年が時代とともに変化してきているので、最新の地質学的情報を確認する必要がある。海外では、古生物学資料のデータベースであるPaleobiology Database (<https://paleobiodb.org/>)や、第四紀を中心に、鮮新世以降の花粉、種実類を含む様々な化石記録が蓄積されたNeotoma Database (<https://www.neotomadb.org/>)があるが、これらのデータベースには日本の情報がまだ少ない。

近年、国際的な比較基準を統一してデータベースを共有し、それをもとに古環境や植物の分布についての国際比較を行うことを目的とする国際プロジェクトが盛んに行われている。Coexistence approachを提唱したMosbruggerとUtescherが中心になって活動しているNECLIME (Neogene Climate Evolution in Eurasia)は、新第三紀のユーラシア大陸を中心としたフロラと古気候の変遷の復元を目的とした国際研究活動組織である(<https://www.neclimate.de/>)。そこでは年1, 2回のミーティングのほか、花粉化石属に対応する現生分類群の検討、植物分布情報のデータベース化といった、様々な国際ワークショップが定期的ないし、不定期に開催されている。

#### 5. 化石の同定

植物化石の同定には、南木(1986)が述べたように、現生植物標本を検討して種を識別できる、なるべく多くの分類学的形質を把握することが必要である。ここ30年間で、

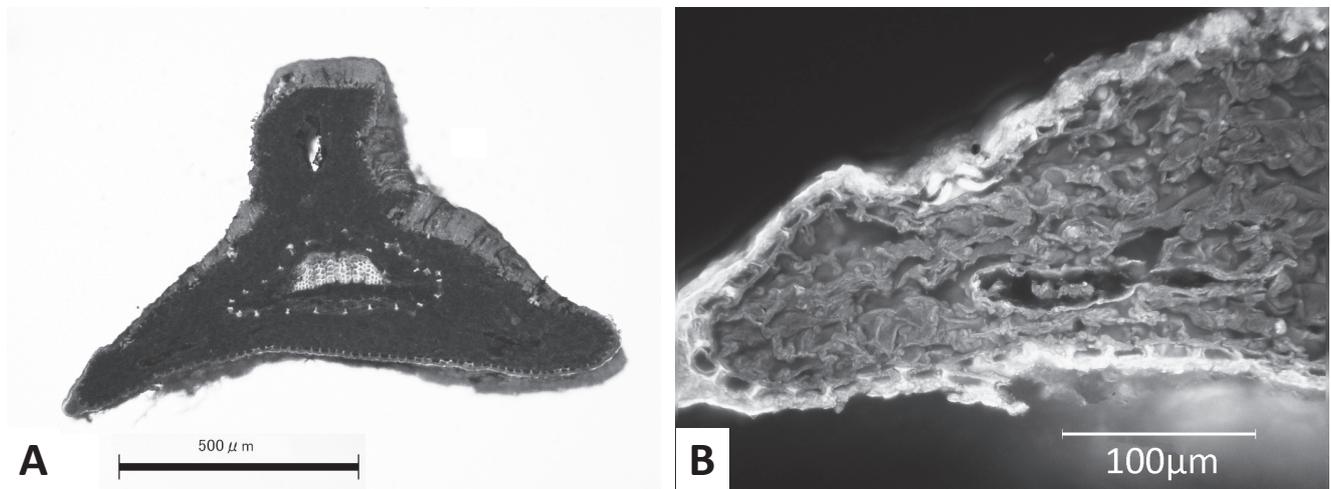


図1 三重県多度町から産出した最終氷期のチョウセンゴヨウ *Pinus koraiensis* Siebold et Zucc. 葉横断面の落射蛍光顕微鏡像 (三木茂コレクション F17653, 大阪市立自然史博物館所蔵より採取)。

草本の多くの分類群で種レベルの識別が可能になってきた。例えば、大型植物化石群での出現頻度が高いカヤツリグサ科スゲ属 *Carex* は、世界に約2000種、日本に269種が分布し、1つの属に含まれる種数が最も多い属である (勝山, 2015)。極めて種類が多く、種を識別する特徴が少ないため、オニナルコスゲ *Carex vesicaria* L., オニスゲ *C. dickinsii* Franch. et Sav. などのごく一部の種 (Miki, 1961) のほか、スゲ属アゼスゲ節 *Carex* sect. *Phacocystis* といったいくつかの節レベル以外の同定は行われてこなかった。しかし、近年、スゲ属アゼスゲ節で外部形態の比較や表皮細胞の走査電子顕微鏡 (SEM) 観察をもとに、種ごとの形態の違いが明らかになってきた (Jiménez-Mejías & Martinetto, 2013)。さらに、これまでに世界の古第三紀・新第三紀の地層から報告されたスゲ属化石について、分類学的な再検討が加えられた (Jiménez-Mejías et al., 2016)。

種実化石の種レベルでの形態学的検討に必要な、表皮細胞の形状や種皮の断面の細胞形態は、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた観察が主流であるが、最近では200倍程度の倍率が確保できる実体顕微鏡も利用できるようになった。落射蛍光装置を装着すると、蛍光を発する物質の分布によって蛍光の強度が異なることで、anticlinal wall (表面に対して垂直方向の表皮細胞の細胞壁) や、細胞表面の突起も観察できる。走査型電子顕微鏡だと表皮細胞の表面の観察に留まるが、落射蛍光観察では表面の下の構造も透視できる。針葉樹の横断面では、内皮、維管束、樹脂道、表皮を構成する細胞壁がより強く光る。それらの配置や列数で種が識別できるマツ属単維管束亜属の葉 (Minaki, 1983) では、マイクロトームで切片を作成しなくても実体顕

微鏡下で横断面を切り出し、落射蛍光下で観察することで簡単に種同定ができる (図1; 西内ほか, 2017)。

植物化石と現生種とを比較すると、化石分類群の形態変異が、対応する現生種の形態変異と異なっていることが多い。南木 (1987, 1989) は、第四紀の大型植物化石が、対応する現生種と形態や形態変異幅が異なることを示し、その進化学上の意味を議論した。例えば、南木 (1987) は最終氷期の江古田層から産出する球果の形態変異が、ヒメマツハダ *Picea shirasawae* Hahashi やイラモミ *P. alcoquiana* (Veitch ex Lindl.) Carr. といった現生個体群の形態変異よりも大きく、ヒメマツハダとイラモミの中間的な形態をとる球果が含まれることを明らかにした。さらに、それらが本州の低地の広域に分布が広がっていた時代と、現在のように分布域と個体数が極めて小さくなった時代とでは、形態変異の幅が異なっていることを指摘した。南木 (1987) は、このように現生種とは形態が異なる化石を、ヒメマツハダ近似種 *Picea* aff. *shirasawae* と「近似種」aff. をつけて区別した。

植物化石として産出する植物は、日本から絶滅して中国に現存する植物や、日本と中国の両方に分布する植物が多く、日本各地だけではなく中国大陸を含めた形態変異の調査が必要になる。日本のエゴノキ *Styrax japonica* Siebold et Zucc. の種子表面は一般に平滑であるが、中国の同種には、中国植物誌60巻2号 (Wu & Hwang, 1987) に記載されているように、種子表面に凹凸がある (図2)。このように表面に凹凸のある種子の化石は後期鮮新世よりも古い時代に中部日本から産出するザラムエゴノキ *Styrax rugosa* (Miki, 1941) に類似する。

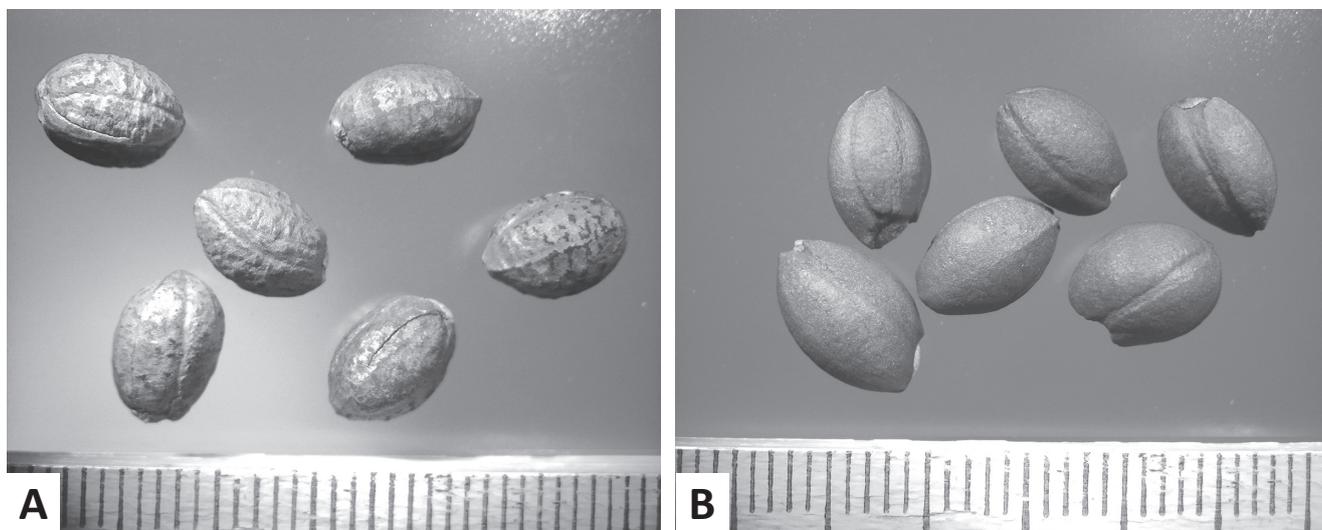


図2 中国 (A, 杭州植物園植栽, AMex26) と日本 (B, 千葉県松戸市, AM1025) のエゴノキ種子.

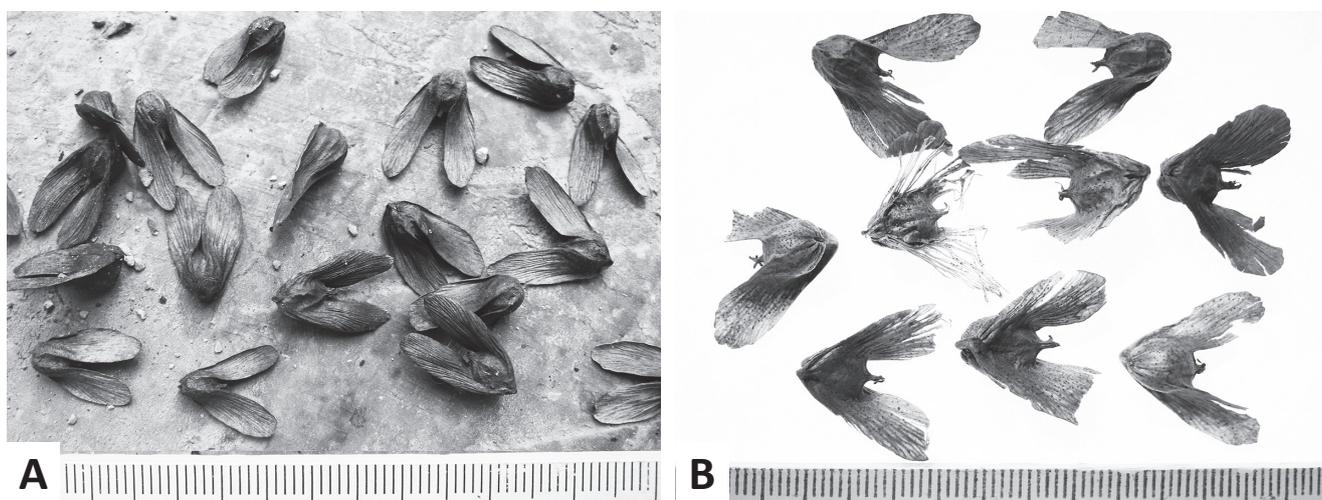


図3 シナサワグルミ果実の中国野生個体群 (貴州省梵浄山麓) と、日本の植栽個体 (千葉県松戸市, AM1781) の大きさの比較.

日本からの絶滅種と、日本に植栽されている植物の形態を比較する場合、その植物のごく限られた種内変異との比較になりがちである。日本の鮮新・更新統から産出するシナサワグルミ *Pterocarya stenoptera* C.DC. は日本に植栽されているシナサワグルミの果実よりもサイズが小さいので Momohara et al. (1990) では *Pterocarya* aff. *stenoptera* と同定した。しかしながら、中国南部、貴州省梵浄山山麓の野生個体群の翼を除く果実サイズは高さ 5 mm 前後で、日本の鮮新・更新統産化石果実と同じサイズであることを、筆者は確認している (図 3)。中国のハーバリウム標本との比較には、Chinese Virtual Herbarium のサイト (<http://www.cvh.ac.cn/>) が参照できる。ここでは、

中国のハーバリウムに登録されている標本を画像で閲覧することができ、形態だけではなく、ラベルに記載されている採取地点、標高、採取時期の情報を得ることができる。

## 6. 化石群のタフォノミーと古植生・古環境復元

現在行われている植物化石研究の多くが古植生・古環境の復元を目的としている。辻 (1986) や南木 (1986) は、植物化石群の形成過程 (タフォノミー) を検討することの重要性を指摘し、百原・南木 (1988) は、これまで国内外で行われた、大型植物化石群のタフォノミーの研究事例を紹介した。辻 (1986) でも氾濫堆積物の粒度組成と大型植物化石の種組成との対応関係が紹介されたが、その

後、大型植物化石を含む氾濫堆積物の堆積学的研究（百原・吉川，1997；實吉ほか，2000；中嶋ほか，2004）が進展し、河道や河川後背湿地での植物化石の堆積過程が明らかになった。海外でも、河道堆積物中の種実化石密集層の形成過程の研究が盛んに行われた（例えば Gee, 2005）。

これらの研究によって、堆積相に基づいて河川・湖沼堆積物の堆積環境を判断し、大型植物化石群の形成過程を推定することで、古植生復元がしやすくなった。さらに、種実化石とは運搬・堆積過程が異なる木材や花粉化石を、同じ堆積物から取り出して比較することで、堆積の場周辺の地形に対応した古植生の空間分布の復元を行うことができる。古琵琶湖層群の後期鮮新世末の化石林の研究（Yamakawa et al., 2017）では、自然堤防上や後背湿地の埋没樹幹に伴う原地性の大型植物化石群と、河道内に堆積した異地性化石群の種組成を比較し、さらに、花粉化石群にしか含まれない植物を区別した。それにより、低地の後背湿地、自然堤防上、扇状地上や山地の河川沿い、山地斜面や尾根上といった、それぞれ異なる地形に対応した植物の分布を考察した。

化石群を構成する各分類群の古植生中の分布量を復元する研究は、表層花粉と植生での出現率の比較（Davis, 1963）や、花粉生産量に基づく推定（Sugita, 2007a, 2007b）など、花粉化石群については盛んに行われてきた。一方、大型植物化石群の組成と古植生との量的関係の比較研究は、これまであまり行われてこなかった。近年、植生中の割合と河道に堆積した種実化石の量比の比較研究が Vassio & Martinetto (2012) によって行われ、それに基づいた古植生の復元法（Plant community scenario）が Martinetto & Vassio (2010) によって考案されている。

タフォノミーは植物化石群からの古気候復元にも大きく影響する。現在、植物化石による古気候復元研究の多くは、葉化石群構成種の葉の相観分析（全緑葉割合や CLAMP: Climate Leaf Analysis Multivariate Program; Wolfe, 1993; Wolfe & Spicer, 1999）か、前章で述べた Coexistence approach (Mosbrugger & Utescher, 1997) によるが、それらは化石となる植物の分布が同じ気温範囲に分布していたという前提にたっている。しかし、最近の著者ら（Wang, 2018）の前期更新世のブナ葉化石群の気孔密度にもとづく検討からは、1000 m 以上の標高差の範囲から運搬された葉で化石群が構成されている可能性が指摘された。日本での現生の植物化石群と流域の植生との比較研究は尾崎（1969）の研究例以降の研究は少なく、データの蓄積が必要である。

## 7. おわりに

本解説で取り上げた問題のほか、辻（1986）や南木

（1986）では、第四紀の環境変化（人為、気候、地形、火山活動）の影響や、系統進化・種の絶滅についての課題が取り上げられた。現在でも、これらは植生史研究の研究者にとって、日頃の研究活動の中心となっている課題で、毎年多くの知見が蓄積されている。これらの課題の解明にとって、過去 30 年間の火山灰の広域対比や放射性年代測定法による地層の対比・編年の進展は、きわめて重要な役割を果たした。地層の対比・編年が高精度になるほど、離れた場所で起こった現象を共通の時間軸に落とし込むことができ、それらの前後関係・因果関係がより明確になる。

植物化石を材料にした研究には、気候や人為がもたらした環境変化に、植物がどのように応答し、形態や生態、分布を変えていったかを明らかにすることを目的とする、生物学的研究がある。その一方で、個々の植物のもつ生態的特性や分布、環境因子と植物の形態との対応関係に基づいて、過去の環境やその変化の様相を復元することを目的とする、地球科学的研究もある。植物の環境変化への応答を明らかにする際の循環論をさけるためには、植物指標とは独立した環境指標を探す必要がある。しかし、地層の対比編年が進んだことで、酸素同位体比曲線で表現されるような全地球的ないし地域的な環境変化の傾向の中に、対象とする植物化石群を位置づけることができるようになった。

近年、分子遺伝学的解析技術と地理情報システム（GIS）の発展に伴い、植物化石資料を使わずに、過去の植物の分布変遷と進化プロセスが復元できるようになってきた。系統地理学の分野では、種内ないし種間の遺伝構造の地理分布とそれらの系統関係から、地理分布変遷や種分化過程を検討する研究が盛んに行われている。そこでは、現在の植物の分布とそれを制限する気候要因との対応関係を、推定された過去の気候条件にあてはめて分布変遷を復元する、生態ニッチモデリングの手法も多く用いられている（岩崎ほか，2014）。一方、化石記録（例えば Magri et al., 2006）や古 DNA 資料（例えば Parducci et al., 2012）を使った地理分布変遷の研究も増えており、日本の化石資料への適用が望まれる。そのためにも、植物化石が正確に同定され、高精度で正確な年代推定がされていることに加え、既存の文献に掲載した標本がデータベース化されて閲覧可能な状態になっていることが必要となる。

## 引用文献

- Davis, M. B. 1963. On the theory of pollen analysis. *American Journal of Science* 261: 897–912.
- Gee, C. 2005. The genesis of mass carpological deposits (bed-load carpodeposits) in the Tertiary of the Lower Rhine Basin, Germany. *Palaios* 20: 463–478.
- 石田糸絵・工藤雄一郎・百原 新. 2016. 日本の遺跡出土大型植物遺体データベース. *植生史研究* 24: 18–24.

- 岩崎貴也・阪口翔太・横山良太・高見泰興・大澤剛士・池田紘士・陶山佳久. 2014. 生物地理学とその関連分野における地理情報システム技術の基礎と応用. *日本生態学会誌* **64**: 183-199.
- Jiménez-Mejías, P. & Martinetto, E. 2013. Toward an accurate taxonomic interpretation of *Carex* fossil fruits (Cyperaceae): A case study in section *Phacocystis* in the Western Palearctic. *American Journal of Botany* **100**: 1580-1603.
- Jiménez-Mejías, P., Martinetto, E., Momohara, A., Smith, S. Y., Popova, S. & Roalson, E. H. A. 2016. Commented synopsis of the pre-Pleistocene fossil record of *Carex* (Cyperaceae). *Botanical Review* **82**: 258-345.
- 勝山輝男. 2015. ネイチャーガイド. 日本のスゲ, 増補改訂. 391 pp. 文一総合出版, 東京.
- 粉川昭平・塚腰 実・南木睦彦・百原 新. 2006. 三木 茂博士収集植物化石および現生植物標本目録, 大阪市立自然史博物館収蔵資料目録第 38 集. 254 pp. 大阪市立自然史博物館, 大阪.
- 工藤雄一郎・小林真生子・百原 新・能城修一・中村俊夫・沖津 進・柳澤清一・岡本東三. 2009. 千葉県沖ノ島遺跡から出土した縄文時代早期のアサ果実の  $^{14}\text{C}$  年代. *植生史研究* **17**: 27-31.
- Magri, D., Vendramin, G. G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J. M., Tantau, I., Van Der Knaap, W. O., Petit, R. J. & De Beaulieu, J.-L. 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: Palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist* **171**: 199-221.
- Manchester, S. R. & Uemura, K. 2014. *Ozakia*, a new genus of winged fruit shared between the Miocene of Japan and western North America. *Journal of Plant Research* **127**: 187-192.
- Martinetto, E. & Vassio, E. 2010. Reconstructing "Plant Community Scenarios" by means of palaeocarpological data from the CENOFITA database, with an example from the Ca' Viettone site (Pliocene, Northern Italy). *Quaternary International* **15**: 25-36.
- Miki, S. 1933a. On the Pleistocene flora in Prov. Yamashiro with the descriptions of 3 new species and 1 new variety. *Botanical Magazine, Tokyo* **47**: 619-631, pl.1.
- 三木 茂. 1933b. 山城盆地周辺に於ける洪積層の植物化石. 京都府史蹟名勝天然記念物調査報告 14 冊: 1-27, pls. 1-5.
- Miki, S. 1939. On the remains of *Pinus trifolia* n. sp. in the Upper Tertiary from Central Honshu in Japan. *Botanical Magazine, Tokyo* **53**: 239-246.
- Miki, S. 1941. On the change of flora in Eastern Asia since Tertiary Period (1). The clay or lignite beds flora in Japan with special reference to the *Pinus trifolia* beds in central Hondo. *Japanese Journal of Botany* **11**: 237-303, pls. 4-7.
- 三木 茂. 1953. メタセコイア (生ける化石植物). 141 pp, 4 pls. 日本地学研究会, 京都.
- Miki, S. 1956. Remains of *Pinus koraiensis* S. et Z. and associated remains in Japan. *Botanical Magazine, Tokyo* **69**: 447-455.
- Miki, S. 1961. Aquatic floral remains in Japan. *Journal of Biology, Osaka City University* **12**: 91-121, pls. 1-3.
- Minaki, M. 1983. Morphology of *Pinus armandii* aff. var. *amamiana* from the Middle Pleistocene of Japan. *Acta Phytotaxonomica Geobotanica* **34**: 48-157.
- 南木睦彦. 1986. 第四紀大型植物化石研究の課題と問題点. *植生史研究* No. 1: 19-27.
- 南木睦彦. 1987. 最終氷期の植物化石とその進化上の意義. *遺伝* **41**(12): 30-35
- 南木睦彦. 1989. 第四紀植物化石の進化研究上の重要性. *流通科学大学論集. 人文・自然編* **2**: 65-85.
- 南木睦彦. 1996. 大型植物遺体の保存と公開. *植生史研究* **4**: 71-75.
- 百原 新・南木睦彦. 1988. 大型植物化石群集のタフオノミー. *植生史研究* No. 3: 3-23.
- Momohara, A., Mizuno, K., Tsuji, S. & Kokawa, S. 1990. Early Pleistocene plant biostratigraphy of the Shobudani Formation, southwest Japan, with reference to extinction of plants. *The Quaternary Research (Tokyo)* **29**: 1-15.
- 百原 新・吉川昌伸. 1997. 蛇行河川内における大型植物化石群の堆積過程. *植生史研究* **5**: 15-27.
- 百原 新・工藤雄一郎・小林弘和・石田糸絵・沖津 進. 2014. 遺跡出土大型植物遺体データベースの意義. 国立歴史民俗博物館研究報告 No. 187: 491-494.
- 百原 新・三宅 尚・工藤雄一郎・塚腰 実・沖津 進. 2015. 三木茂標本の炭素年代測定に基づく中部-西南日本の最終氷期最寒冷期植物化石群の再検討. 第 30 回日本植生史学会北海道大会要旨集: 60-61.
- Mosbrugger, V. & Utescher, T. 1997. The coexistence approach—a method for quantitative reconstructions of Tertiary terrestrial palaeoclimate data using plant fossils. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **134**: 61-86.
- 中嶋雅宏・中山勝博・百原 新・塚腰 実. 2004. 中新統土岐口陶土層の堆積過程と産出する大型植物化石の水利的挙動—岐阜県多治見市大洞地区の例—. *地質学雑誌* **110**: 204-221.
- 西内李佳・百原 新・塚腰 実. 2017. 三木茂標本の大型植物化石と花粉化石から復元した最終氷期最寒冷期の中国地方北西部の針葉樹林. *植生史研究* **26**: 45-56.
- 尾崎公彦. 1969. 早川および酒匂川における植物葉の運搬距離の観察. *横浜国立大学理科紀要. 第二類, 生物学・地学* **15**: 95-108.
- Ozaki, K. 1980. Late Miocene Tatsumitoge flora of Tottori Prefecture, Southwest Honshu, Japan (III). *Science Reports of the Yokohama National University, Sec. II* No. 27: 19-45, 9 pls.
- Parducci, L., Jørgensen, T., Tollfsrud, M. M., Elverland, E., Alm, T., Fontana, S.L., Bennett, K. D., Haile, J., Matevovici, I., Suyama, Y., Edwards, M. E., Andersen, K., Ras-

- mussen, M., Boessenkool, S., Coissac, E., Brochmann, C., Taberlet, P., Houmark-Nielsen, M., Larsen, N. K., Orlando, L., Gilbert, M. T. P., Kjær, K. H., Alsos, I. G. & Willerslev, E. 2012. Glacial survival of boreal trees in northern Scandinavia. *Science* 335: 1083–1086.
- 實吉玄貴・中山勝博・塚腰 実. 2000. 河川堆積層における植物片の堆積過程—岐阜県多治見市小名田の中新統土岐口陶土層の大型植物化石の例—. *地球科学* 54: 127–143.
- Sugita, S. 2007a. Theory of quantitative reconstruction of vegetation I: pollen from large sites REVEALS regional vegetation composition. *Holocene* 17: 229–241.
- Sugita, S. 2007b. Theory of quantitative reconstruction of vegetation II: all you need is LOVE. *Holocene* 17: 243–257.
- 辻 誠一郎. 1986. 日本の第四紀植生史研究の諸問題. *植生史研究* No. 1: 3–18.
- Uemura, K., Nishida, H., Suzuki, M. & Momohara, A. 2002. Plant megafossils. “The database of Japanese fossil type specimens described during the 20th Century (part 2).” (Ikeya, N., Hirano, H. & Ogasawara, K. eds.) *Palaeontological Society of Japan, Special Papers* No. 40: 9–116.
- Yabe, A., Ishida, I., Kudo, Y. & Momohara, A. 2017. Integrating fossil and modern data to understand history of biodiversity changes during the Anthropocene. *Program of the 2017 ICOM NATHIST Conference ‘Anthropocene, Natural History Museums in the Age of Humanity’ (Pittsburgh)*: 46–47.
- Yamada, T., Yamada, M. & Tsukagoshi, M. 2015. Taxonomic revision of *Pinus fujiii* (Yasui) Miki (Pinaceae) and its implications for the phytogeography of the section *Trifoliae* in East Asia. *PLOS One* 10(12): e0143512
- Yamakawa, C., Momohara, A., Saito, T. & Nunotani, T. 2017. Composition and paleoenvironment of wetland forests dominated by *Glyptostrobus* and *Metasequoia* in the latest Pliocene (2.6 Ma) in central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 467: 191–120.
- Vassio, E. & Martinetto, E. 2012. Biases in the frequency of fruits and seeds in modern fluvial sediments in north-western Italy: The key to interpreting analogous fossil assemblages. *Palaios* 27: 779–797.
- Wang, Y., Ito, A., Huang, Y. J., Fukushima, T., Wakamatsu, N. & Momohara, A., 2018. Reconstruction of altitudinal transportation range of leaves based on stomatal evidence: An example of the Early Pleistocene *Fagus* leaf fossils from central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 505: 317–325.
- Wolfe, J. A. 1993. A method of obtaining climatic parameters from leaf assemblages. *US Geological Survey Bulletin* 2040: 1–73.
- Wolfe, J. A. & Spicer, R. A. 1999. Fossil leaf character states: multivariate analysis. “*Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*” (Jones, T. P. & Rowe, N. P., eds.), 233–239. Geological Society, London.
- Wu, Y. & Hwang, S. 1987. *Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 60 (2), Symplocaceae, Styracaceae*. 161 pp. Science Press, Beijing (in Chinese).

(2018年8月22日受理)