

これまでの 10 倍の効率で花粉を地層から分取し 高精度年代測定を可能に —大型花粉によって今まで 諦めていた地層からの年代測定が実用化—

太田 耕輔^{1,2}・横山 祐典²・宮入 陽介²・オブラクタ スティーブン³・
山本 真也⁴・藤原 治¹

※本稿は、2024年7月19日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20240719_2/pr20240719_2.html) に加筆し、再編したものです。

1. 発表のポイント

- ◆これまで困難であった 100 μm 以上の大型花粉を、堆積物から高純度に抽出する新たな手法を開発したことで、従来の 10 分の 1 程度の花粉量で年代測定を可能とする、新たな分析法を実用化しました。
- ◆これにより、従来は測定対象試料を抽出することができなかった本栖湖の地層に対しても詳細な年代測定が可能となり、富士山の噴火活動に伴う湖沼の環境変動を明らかにすることができました。
- ◆本研究の成果は、放射性炭素年代測定の高精度化に寄与し、古環境研究や断層活動・火山の噴火の履歴解明など、過去の自然災害の発生時期や気候変動の詳細な解明を可能にします。

2. 概要

筆者らは、セルソーター^(注1)を用いることで、地層から効率的に花粉を抽出する技術を開発しました。これにより、従来よりも詳細な放射性炭素(¹⁴C)年代測定^(注2)を実現しました。

¹⁴C年代測定は、過去の出来事を記録した地層がいつの時代のものかを明らかにする技術ですが、目的の地層から年代測定に適した大型の試料が見つかる場合はまれです。一方、花粉はほとんどの地層に含有されているため、地層の年代を決定する上で有効な試料となる事が期待されていました。しかしながら、従来の手法では、抽出できる花粉の粒径が極微細なものに限定されており、地層(すなわち砂泥堆積物)から年代測定に十分な量の花粉を分離・抽出するには、大量の地層試料を長時間かけて処理する必要があったなど、研究を進める上で大きな障害となっていました。

本研究では、従来の手法では技術的な制約から抽出が困難であった花粉に比べて、直径が倍以上の大きな花粉に対しても適用できる技術を開発しました(第1図)。これにより、試料処理の効率化を達成するとともに、ボーリング試料の様に限られた量しか利用できない試料からも、年代測定に十分な量の花粉抽出を可能としました(第2図)。この技術を富士五湖の一つである本栖湖で掘削された堆積物で検証を行い(第3図)、高精度な測定が可能なることを明らかにしました。今回の研究結果は¹⁴C年代測定の高精度化によって、古気候・古環境研究だけでなく断層活動履歴や火山の噴火年代など、過去の自然災害の研究にも寄与することが期待されます。

3. 発表内容

¹⁴C年代測定は地質学や古環境学における重要な手法の一つで、堆積物に含まれる有機物の¹⁴Cを測定することで、地層の年代を正確に決定することができます。通常の¹⁴C年代測定では、地層に含まれる様々な植物遺骸をピックアップし、その年代測定を行います。地層形成との同時性の点からは、挟在される「葉片」が理想的な試料とされていますが、堆積物の中から見つかることはまれでした。そのため、近年では花粉に対する年代測定が着目されています。花粉は、ほとんどの堆積物に含まれているため、年代測定の試料として理想的ですが、その一方で、¹⁴C年代測定を行えるほどの量を抽出することは困難であり、研究例は限られています。

これまでの先行研究では 60 μm 程度の小さな花粉に着目したものが多く、そのような花粉の¹⁴C年代測定を行う場合、花粉が 50 万 - 100 万個程度必要とされ、膨大な時間がかかってしまうという問題がありました。そこで、本研

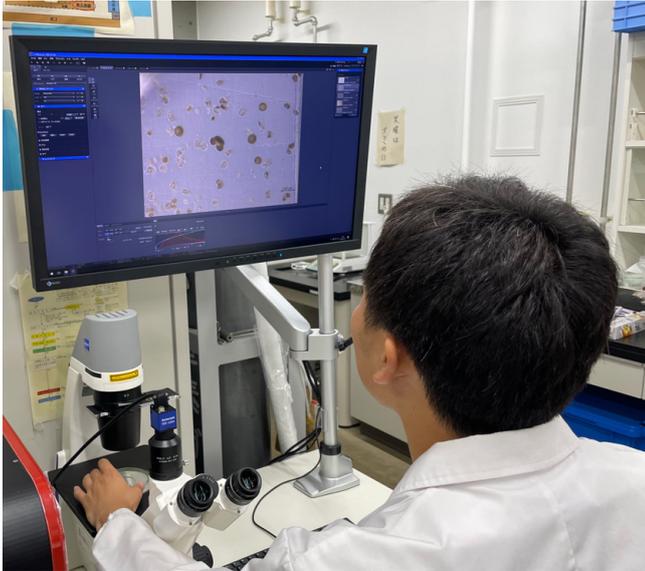
1 産総研 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門

2 東京大学 大気海洋研究所 〒277-8564 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

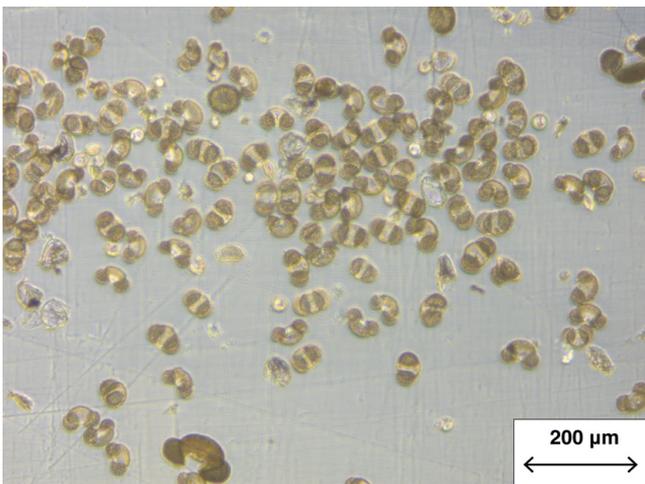
3 秋田大学 国際資源学研究所 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1

4 山梨県富士山科学研究所 〒403-0005 山梨県富士吉田市上吉田字剣丸尾 5597-1

キーワード：放射性炭素年代測定、古気候・古環境、花粉化石、ボーリングコア、富士五湖



第1図 花粉を抽出する様子。



第2図 抽出された花粉。

究チームは、 ^{14}C 測定に必要な花粉の数が少なく済む大きな花粉に着目し、マイクロ流路チップや新しい制御方式といった、最新の技術を搭載したセルソーターを用いることで100 μm を超える大きな花粉の抽出にも適用可能な手法を開発しました。これによって、花粉抽出作業の効率化だけでなく、微細な花粉だけでは年代測定に十分な量の抽出ができなかった地層からも、 ^{14}C 測定が可能になりました。

5年にわたる研究の成果では、セルソーターを堆積物中の大きな花粉抽出に効率的に活用するために、セルソーターの抽出パラメーターの開発と共に、堆積物の適切な物理化学処理法も開発しました。具体的には、事前に針状の不純物を取り除くための物理化学処理手法を検討すると



第3図 本栖湖における掘削調査の様子。湖面に見える三角がボーリング掘削の檣。

もに、花粉の蛍光強度に加え、花粉の大きさを判別可能な直方散乱光を抽出条件に加えることで、大きな花粉の抽出を実現しました。これにより、本手法では5万-10万個程度の花粉を抽出することで ^{14}C 年代測定が可能となりました。先行手法では50万-100万個の花粉が必要であったことに比較すると、約1/10の大幅な効率化が達成されました。

また、 ^{14}C 分析には、シングルステージ型加速器質量分析^(注3)装置(東京大学大気海洋研究所所有)を用いました。本手法で花粉のみを抽出したとはいえ、従来法による ^{14}C 年代測定を行うためには十分とはいえない炭素量です。そのため、測定には精度の高い測定技術と徹底した品質管理が必要であり、加速器質量分析の高い技術を擁する本研究所において手法の検証を行いました。

本手法を富士山北嶺に位置する本栖湖で採取されている堆積物に適用することで、先行研究により明らかにされている葉片や堆積物中有機物を用いた ^{14}C 年代値との比較を行いました。その結果、確度の高い年代を示すと考えられている地層中の葉片によって得られたものと、同じ年代値が得られただけでなく、本手法の方が測定誤差は小さいことが明らかになりました。さらに、葉片が発見されなかった9層の地層から、花粉を用いた年代測定を可能としました。

以上のように、本研究手法の開発は ^{14}C 年代測定の高精度化に貢献する成果であり、古環境研究や断層活動履歴、火山の噴火年代など、過去の自然災害の発生時期や気候変動の歴史などをより詳細に把握できるようになり、地球科学・古環境学の幅広い研究の進展に広く貢献することが期待されます。

○関連情報：

「プレスリリース①湖底堆積物から探る富士山の噴火史 — 本栖湖に残されていた未知の噴火の発見 —」(2018/10/10) <https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2018/20181010.html> (閲覧日：2024年6月20日)

「プレスリリース②富士五湖の水はどこからきているか？ — 炭素 14 をトレーサー (追跡子) とした検討によって、河口湖では御坂山地の地下水による影響を確認 —」(2021/9/21) <https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2021/20210921.html> (閲覧日：2024年6月20日)

発表者・研究者等情報

東京大学 大気海洋研究所
海洋地球システム研究系
横山祐典 系長・教授

兼：大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻教授
附属共同利用・共同研究推進センター
宮入陽介 特任助教

産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

太田耕輔 産総研特別研究員

研究当時：東京大学大学院理学系研究科 博士課程

研究当時：東京大学大気海洋研究所 特任研究員

藤原 治 研究部門長

秋田大学 大学院国際資源科学科

Stephen P. Obrochta 教授

山梨県富士山科学研究所

山本真也 主任研究員

論文情報

雑誌名：Quaternary Science Advances

題名：Development of an automated extraction and radiocarbon dating method for fossil pollen deposited in Lake Motosu, Japan

著者名：Kosuke Ota, Yusuke Yokoyama, Yosuke Miyairi, Stephen P. Obrochta, Shinya Yamamoto, A. Hubert-Ferrari, V.M.A. Heyvaert, Marc De Batist, Osamu

Fujiwara, the QuakeRecNankai Team

DOI：10.1016/j.qsa.2024.100207

URL：https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666033424000455

謝辞：本研究は、科研費「Monsoon variability and Holocene sea level in the Nankai Region(課題番号：16K05571)」, 「ヒブシサーマル：完新世の気温復元不一致問題に挑む(課題番号：23KK0013)」, JST CREST「微量高速 C-14 分析による水圏炭素動態解明手法の開発(課題番号：JPMJCR23J6)」, JST SPRING「JPMJSP 2108」の支援により実施されました。湖底堆積物の掘削調査はベルギー科学政策局 (Belgian Science Policy Office：BELSPO 課題番号：BRAIN-be BR/121/A2) 出資による国際共同研究「QuakeRecNankai プロジェクト」の支援により実施されました。

用語解説

(注 1) セルソーター

元々は生物学や医学の分野で開発された装置で、レーザー光によって性質の異なる細胞を高速で抽出することができます。この装置を堆積物に応用することができれば、堆積物から花粉を短時間で大量に抽出することができます。

(注 2) 放射性炭素 (^{14}C) 年代測定

炭素の質量数 14 の放射性同位体 (^{14}C) を用いて葉や花粉などの試料から年代を測定する手法です。植物は光合成によって ^{14}C を含んだ炭素を取り込みますが、生物が生命を終え大気から隔離された段階で、 ^{14}C が放射性崩壊の割合に従って減り続けます。そのため、試料の ^{14}C の量を調べることで年代を推定することができます。

(注 3) 加速器質量分析

^{14}C は、地球表層に 1 兆分の 1 以下と極めて少ない量しか存在しません。そのため、測定の妨害となる核種を取り除くために、加速器質量分析器が用いられます。本研究で用いたシングルステージ型加速器質量分析器は日本で唯一の装置となります。

OTA Kosuke, YOKOYAMA Yusuke, MIYAIRI Yosuke, OBROCHTA Stephen P., YAMAMOTO Shinya and FUJIWARA Osamu (2024) Development an efficient fossil pollen collection method from sediment for high-precision dating —Large fossil pollen allows dating that was previously unavailable—

(受付：2024年7月31日)