

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：82706

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06062

研究課題名(和文)花粉化石の炭素同位体比から読み解く第四紀の気候変動と人口動態の関連

研究課題名(英文) A linkage between paleoclimate and population dynamics in inland Japan revealed by carbon isotope analysis of fossil pollen

研究代表者

内藤 裕一 (NAITO, Yuichi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・ポストドクトラル研究員

研究者番号：10754848

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：人類の行動や文明の盛衰に与える気候変動の影響は多くの研究で取り上げられてきた題材である。本研究では比較的限定されたローカルスケールでの気候変動と人間活動の対応に焦点をあて、両者の関連を検証するための方法論的検討を主眼とした。特に内陸の気候復元のために堆積物中の花粉に着目し、その炭素同位体比を古環境の指標とする新しいアプローチを採用した。まず本邦の陸上植物のうち、花粉「スポロポレニン」の炭素同位体比が古環境の指標となるものを選定した。その結果アカマツ等の花粉で湿度に関係する気象観測データと有意な相関が認められた。今後の研究により堆積物の花粉化石を分析し、古気候復元に利用する方針を示唆できた。

研究成果の概要(英文)：Pollen composition in sediments is used for estimating paleoenvironmental change through Quaternary period because of its well preservation. Stable isotopic composition of pollen has also been proposed as paleoclimate indicators such as precipitation while the utility of this approach has not yet been confirmed for many plant species and regions. In this study, modern tree pollens that frequently appear in Holocene lake sediments in Japan were collected throughout the mainland and analyzed for carbon isotopic compositions to test their potential as a paleoclimate proxy. Some tree species such as a pine (*Pinus densiflora*) showed significant correlation between carbon isotopic composition and several types of meteorological data. The results suggest that carbon isotopic composition of pollen grains of the specific species from sediments could be used as local-scale paleoclimate proxies in Japanese archipelago.

研究分野：自然人類学

キーワード：古気候 花粉 炭素同位体比 古人口

1. 研究開始当初の背景

大気炭素リザーバーは全球的な気候と密接に関連しているだけでなく、海洋と生物圏の炭素リザーバーとリンクしており、短い時間スケールで見ると、急激な気候変動や大量絶滅等に見られる炭素循環の壊滅的な変化に中心的な役割を果たしている可能性がある。このような現在の気候変動の機序を理解するためには、過去の気候変動を知ることが有用である。

植物の光合成産物の炭素同位体比は環境変動の影響を直接受けるため、過去の気候変動を復元する指標（プロキシ）となりうる。植物の花粉化石は数百万年前より古い時代の地層からも見つかること、様々な湖沼堆積物中にみられること、多くの試料が抽出・保管されていることから、古気候復元の材料として有望視されてきた。一方で花粉の種類と出現頻度から気候を復元する従来の花粉分析法には、気候変動と植生変化との間にタイムラグがあること、短期間の著しい気候の変化を見逃す恐れがあること、等の方法論的な弱点がある。人類の生活にとっては数年の寒冷化でも大きな打撃となるため、過去の社会に対する気候変動の影響を評価するにあたり、上記の弱点は克服すべき課題となっている。

花粉の炭素同位体比は 2000 年代頃から古気候プロキシとしての有効性が積極的に検討されてきた。これまでに大気中二酸化炭素の炭素同位体比や(1)、PDSI (Palmer drought severity index) で表される水ストレスのプロキシとしての利用が提唱されている(2)。花粉の形成時間は約数週間と比較的短いため、その炭素同位体比は年輪のものよりも鋭敏に環境変動を反映する可能性がある。ただし、これらのプロキシとしての有効性は特定の木本・草本に限られる可能性もあり、種によって気候パラメータの反映の態様に違いがあると考えられる。本邦の陸上植物についてこれらの検討はほとんど行われていない。

現在の本州中部高地地域（以降、中部高地と略す）は、縄文時代中期に卓越した人口増加が起きたことが遺跡数の増加等から指摘されてきた(3)。反対に縄文時代後期に近づく著しい人口減少がみられ、花粉分析により気候の寒冷化の影響が指摘されている。本研究では、上述のような問題点を認識したうえで、従来法では検出が困難な短期間の内陸気候変動を復元し、古人口動態との関連を再検証する。

2. 研究の目的

上述したように中部高地地域は縄文時代前期から中期・後期にかけて顕著な人口変動がみられ、気候変動との関連が指摘されている。本研究では、堆積物中の花粉化石の炭素同位体分析という新しいアプローチを用いて第四紀の内陸地域の気候変動復元を試みる。さらに復元された気候変動と古人口動態

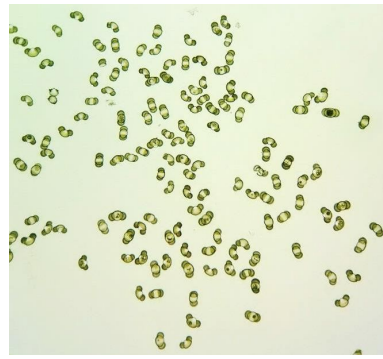


図 1. 顕微鏡観察下のアカマツ花粉粒子

(化学処理済み)

の関連を明らかにし、当時の人類社会に与えた気候変動の影響の実態を解明することが狙いである。

3. 研究の方法

(1) 花粉炭素同位体比の古気候プロキシとしての有効性をまず検証した。植物については先行研究で堆積物中に出現頻度の高かったマツ属、スギ属、コナラ属、ハンノキ属等を候補とした(4)。現生植物の花粉形成期の各種気象パラメータ（平均気温、湿度、降水量、日射量など）と花粉炭素同位体比の相関を明らかにし、パラメータと特に相関の良い植物花粉を選定した。(2) 次に堆積物に含まれる特定の花粉化石の炭素同位体比に基づき、中部高地の気候変動復元を試みた。堆積物試料として長野県・池尻川低地堆積物および野尻湖底堆積物コアを使用した。

具体的な花粉（化石）の前処理は以下の手順に従った(5)。

現生植物花粉あるいは堆積物を塩酸(HCl)、水酸化カリウム(KOH)、フッ化水素酸(HF)、硫酸(H₂SO₄)、次亜塩素酸(NaOCl)等の薬品で処理した。途中で様々なメッシュサイズの篩による夾雑物の除去を行った。

顕微鏡観察下でマイクロマンピュレータを用いて花粉の同定・選別・抽出を行った(図 1)。

選別した花粉を同位体分析用試料カップに充填し、オープン中で十分に乾燥させた。元素分析計/同位体比質量分析計(EA/IRMS)を用いて炭素同位体比を測定した。

4. 研究成果

候補とした現生陸上植物のうち、アカマツ (*Pinus densiflora*) の花粉炭素同位体比および $\Delta^{13}\text{C}$ 値がいくつかの気象観測データと有意に相関した。 $\Delta^{13}\text{C}$ とは次の式で与えられる値である。

$$\Delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = (\delta^{13}\text{C}_a - \delta^{13}\text{C}_p) / (1 + [\delta^{13}\text{C}_p / 1000])$$

ここで $\delta^{13}\text{C}_a$ 、 $\delta^{13}\text{C}_p$ はそれぞれ大気および花粉

の炭素同位体比を表す。これらの観測データには花粉形成期の平均相対湿度，日照時間，全天日射量（平年値）が含まれる。各気象要因が花粉炭素同位体比に与える相対影響度を調べるために重回帰分析も行ったが，単回帰分析の結果とほぼ同様に，上記の気象パラメータと炭素同位体比の相関が確認された。相対湿度については以前から指摘されている水ストレスと花粉炭素同位体比の相関と整合的な結果であった(2)。興味深いことに，近縁のクロマツ (*Pinus thunbergii*) ではどの観測データとも有意な相関がみられなかった。これらの結果から，アカマツ花粉の炭素同位体比が相対湿度や水ストレスの指標として利用できることが示唆された。クロマツで相関がみられなかった原因の1つとして，生育環境が比較的沿岸地域に限定されることが考えられる。

堆積物試料からの花粉抽出も逐次実施している。今後堆積物に含まれるアカマツの花粉化石を同位体分析することで，過去の内陸の環境変動を復元する方針を提示できた。ただし沿岸部のようにアカマツとクロマツが混在しうる環境では，花粉の形態判別が困難なため同位体比に基づく気候情報が攪乱される恐れがある。

<引用文献>

1. A. H. Jahren, N. C. Arens, S. A. Harbeson, Rev. Geophys. 46, RG1002 (2008).
2. D. M. Nelson, New Phytol. 195, 787–793 (2012).
3. S. Koyama, Senri Ethnol. Stud. 2, 1–65 (1978).
4. 野尻湖花粉グループ, 地球科学. 66, 129–139 (2012).
5. D. M. Nelson, F. S. Hu, R. H. Michener, The Holocene. 16, 819–825 (2006).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計11件)

内藤裕二. 2017. アイソトープを使い先史日本列島人の暮らしを窺う. 科学 87(2):158-161. <https://www.iwanami.co.jp/book/b280147.html>. 査読無し

Naito, Y.I., Germonpré, M., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N., Drucker, D.G., Hobson, K.A., Edwards, M.A., Wißing, C., Bocherens, H., 2016. Evidence for herbivorous cave bears (*Ursus spelaeus*) in Goyet Cave, Belgium: Implications for paleodietary reconstruction of fossil bears using amino acid $\delta^{15}\text{N}$ approaches. *Journal of Quaternary Science* 31:598-606. DOI: 10.1002/jqs.2883. 査読有り

Shutoh, K., Kaneko, S., Suetsugu, K., Naito Y.I., Kurosawa, T., 2016. Variation in vegetative morphology tracks the complex genetic diversification of the

mycoheterotrophic species *Pyrola japonica* sensu lato. *American Journal of Botany* 103(9):1618–1629. DOI:10.3732/ajb.1600091. 査読有り

Naito, Y.I., Chikaraishi, Y., Drucker, D.G., Ohkouchi, N., Semal, P., Wißing, C., Bocherens, H., 2016. Ecological niche of Neanderthals from Spy Cave revealed by nitrogen isotopes of individual amino acids in collagen. *Journal of Human Evolution* 93:82–90. DOI:10.1016/j.jhevol.2016.01.00. 査読有り

Wißing, C., Rougier, H., Crevecoeur, I., Germonpré, M., Naito, Y.I., Semal, P., Bocherens, H., 2016. Isotopic evidence for dietary ecology of Late Neandertals in North-Western Europe. *Quaternary International* 411:327–345.

DOI:10.1016/j.quaint.2015.09.091. 査読有り

Drucker, D.G., Naito, Y.I., Jerardino, A. 2016. Aquatic resource exploitation by prehistoric humans. *Journal of Archaeological Science: Reports* 6:621–622.

DOI:10.1016/j.jasrep.2015.12.021. 査読有り

Bocherens, H., Drucker, D.G., Haidle, M.N., Müller-Beck, H., Münzel, S.C., Naito, Y.I., 2016. Isotopic evidence (C, N, S) for a high aquatic dietary contribution for a Pre-Dorset muskox hunter from Umingmak (Banks Island, Canada). *Journal of Archaeological Science: Reports* 6:700–708.

DOI:10.1016/j.jasrep.2015.08.021. 査読有り

Naito, Y.I., Bocherens, H., Chikaraishi, Y., Drucker, D.G., Wißing, C., Yoneda, M., Ohkouchi, N., 2016. An overview of methods used for the detection of aquatic resource consumption by humans: compound-specific delta N-15 analysis of amino acids in archaeological materials. *Journal of Archaeological Science: Reports* 6:720–732.

DOI:10.1016/j.jasrep.2015.11.025. 査読有り

Umezaki, M., Naito, Y.I., Tsutaya, T., Baba, J., Tadokoro, K., Odani, S., Morita, A., Natsuhara, K., Phuanukoonnon, S., Vengiau, G., Siba, M.P., Yoneda, M., 2016. Association between sex inequality in animal protein intake and economic development in the Papua New Guinea Highlands: the carbon and nitrogen isotopic composition of scalp hair and fingernail. *American Journal of Physical Anthropology* 159:164–173.

DOI:10.1002/ajpa.22844. 査読有り

Naito, Y.I., Okuda, K., Koganezawa, M., Tsutsumi, T., 2015. Stable carbon and nitrogen isotopic composition of a whisker and fur from a stuffed 19th century specimen of the extinct Japanese river otter collected from inland Honshu, Japan. *Mammal Study* 40:265–269. DOI:10.3106/041.040.0407. 査

読有り

Naito, Y.I., Morita, A., Natsuhara, K., Tadokoro, K., Baba, J., Odani, S., Tomitsuka, E., Igai, K., Tsutaya, T., Yoneda, M., Greenhill, A., Horwood, P., Kevin, S., Phuanukoonnon, S., Siba, P., Umezaki, M., 2015. Association of protein intakes and variation of diet-scalp hair nitrogen isotopic discrimination factor in Papua New Guinea Highlanders. *American Journal of Physical Anthropology* **158**:359–370.
DOI:10.1002/ajpa.22798. 査読有り

〔学会発表〕(計5件)

Naito, Y. I. Stable isotope analysis of pollen grains for terrestrial paleoclimate reconstruction revisited. JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (幕張メッセ, 千葉県千葉市, May 23, 2017). Poster.

難波元生, 内藤裕一, 塘忠顕. 福島県裏磐梯地域に生息する外来底生動物(ウチダザリガニとフロリダマミズヨコエビ). 2016年度日本陸水学会第81回大会(琉球大学千原キャンパス, 沖縄県西原町, 2016/11/5)ポスター.

内藤裕一, 高野淑識, 山根雅子, 横山祐典, 永田俊, 大河内直彦. 爪ケラチンのアミノ酸¹⁴C分析による現代人の食習慣・移住の解析. 第70回日本人類学会大会(NSG学生プラザSTEP, 新潟県新潟市, 2016/10/9)ポスター.

Naito, Y.I., Chikaraishi, Y., Takano, Y., Ohkouchi, N. Decoding food habits in the past: emerging perspectives from compound-specific isotope analysis of archaeological human remains. World Archaeology Congress 8 (WAC-8) (同志社大学, 京都府京都市. September 1, 2016). Oral.

Naito, Y.I. Nitrogen isotopic composition of individual amino acids in bones: a tool for illuminating past human and animal behaviors. International workshop of Organic Geochemistry "Biomarkers and Molecular Isotopes" (箕面観光ホテル, 大阪府箕面市, 5th, July, 2016). Oral.

〔図書〕(計1件)

内藤裕一, 奥田 圭, 塘 忠顕. 2016. 元素分析計/同位体比質量分析計を用いた古生態研究—福島大学所蔵二ホンカワウソ剥製標本の分析を中心に—「裏磐梯・猪苗代地域の環境学」(塘 忠顕 編著), 260 p (33–37), 福島民報社.

6. 研究組織

(1)研究代表者

内藤 裕一 (NAITO, Yuichi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・生物地