

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 28 日現在

機関番号：17701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870051

研究課題名(和文)年縞堆積物の高時間分解の花粉化石データを用いた過去1万年間の定量的な古気候復元

研究課題名(英文)Quantitative palaeoclimatic reconstruction from over the last 10,000 years taken from a high resolution pollen record of varved sediments

研究代表者

吉田 明弘 (YOSHIDA, AKIHIRO)

鹿児島大学・法文教育学域法文学系・准教授

研究者番号：80645458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：青森県小川原湖の年縞堆積物における花粉化石データから過去1万年間の気温と降水量を定量的に復元し、数十年～千年規模の気候変動の特徴を明らかにし、その原因や伝播過程を検討した。その結果、1)小川原湖において10～20年精度の花粉化石データを構築した、2)花粉化石データを基に気温と降水量を定量的に復元し、この復元から過去1万年間で10回の寒冷期が存在した、3)気温変動は宇宙線生成核種の変動と一致することから、太陽活動が影響している可能性が高いことが明らかとなった。本研究による過去1万年間の定量的な古気候復元には、数十年～千年規模の気候変動の特徴や伝播過程を明らかにする上で重要な情報になる。

研究成果の概要(英文)：The purposes of this study were: to develop high-resolution pollen data from over the last 10,000 years from varved sediments of Lake Ogawara, northeastern Japan; to reconstruct quantitative temperature and precipitation using the pollen data; to examine the characteristics for climate change and global climate teleconnection during the Holocene. The main results were that 1) the pollen record from Lake Ogawara with a 10-20 year-timescale was established, 2) the reconstructed temperature indicated that ten cooling events occurred during the Holocene, 3) the fluctuation of reconstructed temperature matched well with that of the cosmogenic nuclides ^{14}C and ^{10}Be , and this corresponding would suggest that sun activities controlled global climate changes during the Holocene. The results in this study provide important information for discussion about characteristics of climate change and global climate teleconnection.

研究分野：自然地理学、第四紀学

キーワード：年縞堆積物 古気候 完新世 花粉分析 東北日本

1. 研究開始当初の背景

日本における気象観測の歴史は、約 100 年前まで遡ることができる。しかし、現在の気象観測データの蓄積量では、数十年～数万年規模の長期的な気候変動を解明することは困難である。そのため、長期的な気候変動に関する研究では、過去の気候変動を記録した氷床コア (Anderson et al., 2004) や樹木年輪 (Malcom et al., 2011)、鍾乳石 (Wang et al., 2005) などの天然記憶媒体を用いて、過去の気温や降水量を定量的に復元し、これを基にして議論が進められている。

過去 1 万年間における気候変動は、人類繁栄の基盤となった古環境の解明、地球温暖化や生態系変動の将来予測をする上で重要な役割を果たしているため (IPCC, 2007) “いつ・どの程度の気候変動が起きたのか?” を正確に、また詳細に把握する必要がある。ゆえに、過去 1 万年間における気候変動の解明のためには、正確な時間指標に基づき、高時間分解能で気温や降水量を定量的に復元することが重要である。

近年、湖沼堆積物でも、樹木年輪のように 1 年毎に縞模様を形成した年縞堆積物が発見され、日本各地の湖沼でも見つかった (Kitagawa and van der Plicht, 1998)。すなわち、年縞堆積物を 1 枚 1 枚カウントすることで、堆積物を 1 年単位で年代決定することができる。一方、ヨーロッパを中心にして、堆積物中の花粉化石データから、過去の気温や降水量を定量的に復元する技術 (モダンアナログ法) が発展し、客観的に気候変動を議論できるようになった。すでに日本でも、この復元技術に必要な花粉データが整備されている (Nakagawa et al., 2002)。申請者は最終氷期の古気候研究で使用した実績がある (Yoshida & Takeuti, 2009)。また、この復元技術を用いて、花粉化石データを基に晩氷期の日本における寒冷化イベントについて議論が進められている (Nakagawa et al., 2003, 2005, 2006; Yoshida & Takeuti, 2009 など)。したがって、年縞堆積物中の花粉化石を用いることで、年単位で気温や降水量を復元することができ、過去 1 万年間の気候変動の解明について、価値の高い情報を提供できる状況にある。

このように新試料の発見や技術進歩を背景に、世界では高精度の気候復元を基にした古気候研究が活発に行われている。しかし、日本や東アジアでは、これまで過去 1 万年間の気温や降水量を復元した研究例はない。また、世界で議論される数十年～千年規模の気候変動を日本で解明するためには、数年毎と言う高時間分解の花粉化石データを基にして、気温や降水量を定量的に復元する必要がある。このように定量的に古気候を把握できれば、様々な統計解析が行えるようになり、我が国の古気候研究は飛躍的に進展すると考えられる。

そこで、研究代表者は年縞堆積物を試料に

して花粉化石データを正確な時間指標に沿って構築し、これを基に過去 1 万年間の気温と降水量を定量的に復元し、さらにこの復元結果を基にして統計解析を行うことで、日本の気候変動の特徴やその原因を検討するのではないかと考え、本研究課題を開始した。

2. 研究の目的

本研究では、すでに年縞堆積物が認められている青森県小川原湖における堆積物を用いて、正確な時間指標に沿って高時間分解の花粉化石データを構築し、これを基に過去 1 万年間の気温と降水量を定量的に復元する。さらに、この復元結果から過去 1 万年間の日本における数十年～千年規模の気候変動の特徴と原因を検討することを目的とした。具体的な目的は、以下の 3 つである。

(1) 過去 1 万年間における高時間分解の花粉化石データの構築: 数十年規模の気候変動を検出するためには、過去 1 万年間の気温や降水量を数年毎で定量的に把握する必要がある。そのため、本研究では、年縞堆積物を確実に入手するために、放射性炭素年代測定と年縞計測によって過去 1 万年間の年縞堆積物が確認される青森県小川原湖の既存のボーリングコア試料を再利用し、数年～十数年毎と言う高時間分解の花粉化石データを実現する。

(2) 花粉化石データから気温と降水量を定量的な復元: “いつ・どの程度の気候変動が生じたのか?” を具体的に解明するためには、正確な時間指標に沿って過去の気候変動を定量的に把握する必要がある。放射性炭素年代測定と年縞計測に基づいて花粉化石データの年代決定を行い、さらにモダンアナログ法によって青森県小川原湖の花粉化石データから過去 1 万年間の気温と降水量を定量的に復元する。

(3) 過去 1 万年間における数十年～千年規模の気候変動の特徴や原因を検討: 気候変動の特徴や原因を検討するためには、様々なデータとの比較や統計解析をする必要がある。本研究では、これまで研究代表者が東北地方各地で得た花粉化石データから定量的に気温と降水量を復元し、これらと青森県小川原湖の高時間分解の気候復元結果を比較することで、気候変動の地域的な特異性や共通成分を明らかにする。また、青森県小川原湖で復元された気温と降水量について時系列解析を行って周期成分を抽出し、太陽活動や古地磁気変動データ等と類似度を比較することで、数十年～千年規模の気候変動の原因を検討する。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するために、本研究では 3 つの方法に従って研究を遂行した。

(1) 花粉分析によって過去 1 万年間における高時間分解の花粉化石データを構築: 数十年規模の微小な気候変動を検出するために

は、数年毎と言う高時間分解の花粉化石データを作成する必要がある。そのため、本研究では、過去1万年間の年縞堆積物が確認される青森県小川原湖の既存のボーリングコア試料を用いて、1cm毎にサブサンプリングを行った。このサンプリングによって得られた試料について花粉分析を行い、約数年～十数年毎と言う高時間分解で過去1万年間の花粉化石データを作成した。

花粉分析の試料は、花粉濃度 (grains / cm³) と花粉流入量 (grains / cm² / year) を算出するために、一定濃度のヒマラヤスギ花粉のマーカートを添加した。試料は10% KOH 溶液によりフミン酸を除去と泥化をし、約250μメッシュの金網で物理的ろ過を行った。そして、10% HCl 溶液でカルシウムを除去し、ZnCl₂ 飽和溶液 (比重1.68~1.70) を用いて比重分離を施した。抽出した試料は、アセトリシス混合液 (無水酢酸9:濃硫酸1) によってセルロースを溶解した後、残渣をグリセリンゼリーにて封入した。花粉化石の同定作業は、250~1000倍の光学顕微鏡下で行った。

花粉化石の計数作業は、Gotanda et al. (2002) によってまとめられた気候を反映する32分類群の高木花粉が400粒以上になるまで行い、その間に出現した低木花粉と草本花粉、シダ類孢子、コケ孢子を同定した。なお、湿地や湿原、湖沼周辺に生育するハンノキ属は、花粉を大量に生産するため、花粉組成を歪める可能性が高い。そのため、本研究ではハンノキ属を32分類群の高木花粉からは除外した。出現率は、高木花粉はこの総和を基数として、その他の花粉・孢子化石は出現したすべての総和を基数として、百分率を算出した。

本研究では時系列解析によって気候変動の周期性を検討する。そのため、古気候復元の根本となる花粉化石データは、分析過程で混入する可能性のある周期成分を完全に除去しておく必要がある。したがって、技術的な工夫として、本研究では全試料番号にランダム番号を付してから花粉分析を行うことで、時系列解析に供することのできる高品質の花粉化石データを構築した。

(2) 花粉分析試料の年代決定と花粉化石データを用いた古気候の定量的復元: 花粉化石データのすべてについて年代を決定する必要がある。そのため、本研究は、青森県小川原湖の年縞堆積物における放射性炭素年代測定及び年縞計測の結果を基にして、花粉化石データの年代決定を行う。この作業によって、過去1万年間に起きた気候変動の年代を正確に把握する。

また“どの程度の気候変動が起きたのか?”を具体的に解明するためには、過去の気温と降水量を定量的に復元する必要がある。そのため、本研究ではモダンアナログ法 (MAT法; Guiot, 1990; Nakagawa et al., 2002; Gotanda et al., 2002) を用いて、花粉

化石データから過去1万年間の気温と降水量を定量的に復元する。この復元には、日本の気象観測データと植物群系の地理的な対応関係に基づき開発されたコンピュータプログラム Polygon (Nakagawa et al., 2002; Gotanda et al., 2002) を用いた。

(3) 地域比較と時系列解析による数十~千年規模の気候変動の特徴と原因の解明: 気候変動の特徴を示すためには、地域の特異性と共通成分を明確に区分する必要がある。本研究では、これまでが東北地方各地で構築した低時間分解の花粉化石データを援用し、これを基に気温と降水量を定量的に復元する。さらに、この復元結果を小川原湖における高時間分解の復元結果と相違点や類似点を比較し、気候変動の地域による特異性と共通成分を明らかにする。

過去1万年間における数十年~千年規模の気候変動の原因を検討するため、定量的に復元された気温と降水量について周期解析を行うことで、過去1万年間の気候変動の周期性を明らかにする。さらに、気候変動の原因となり得る太陽活動や古地磁気の変動データと対比を行い、過去1万年間における気候変動の原因について検討する。

4. 研究成果

本研究の主要な成果として、以下の3つを挙げる。

(1) 過去1万年間における高時間分解の花粉化石データの構築: 本研究では青森県小川原湖の湖沼堆積物から1cm間隔で、約2,000個のキューブ状試料 (1.44cm³) を採取に成功した。この試料のうち、2cm間隔で1,000試料を花粉分析に供した。以下、大まかではあるが、青森県小川原湖の過去1万年間における花粉組成の特徴は、以下の通りである。

約10,000~9,000年前はコナラ亜属が優占し、これにブナ属やクマシデ属-アサダ属などの落葉広葉樹が伴う。ブナ属は約9,500年前から増加し、約9,000~6,400年前にはコナラ亜属を上回る出現率となる。約6,400~約1,500年前にはコナラ亜属が高率となるが、約1,500~1,000年前にはブナ属が再び増加する。約1,000年前以降はコナラ亜属が優勢となる。

また、低率ではあるが、クリ属が約5,500年前と約5,000年前に一時的に増加した。東北地方北部の縄文時代中期 (約5,400~4,400年前; 関根, 2014) には、考古遺跡における発掘調査から、遺跡の土層からクリ果実やクリ花粉が多数発見されており (Kitagawa & Yasuda, 2004, 2008 など) 食料資源としてのクリ林の存在が指摘されている。よって、このクリ属の微小な増加は、縄文時代における人間のクリ利用の影響である可能性が高い。

約400年前以降になると、マツ属複維管束亜属やスギ属が増加する。これらの増加は、人間活動によって小川原湖周辺で森林植生

の攪乱が生じ、アカマツ林やスギ林が増加したことを示しているものと考えられる。

(2) 花粉化石データから気温と降水量を定量的な復元：本研究によって作成した花粉化石データを基にして、モダンアナログ法の Polygon2.8 (Nakagawa et al., 2002; 中川, 2008) を用いて、各月の気温と降水量を定量的に復元した。

この結果、過去 1 万年間における小川原湖の 7 月の平均気温は、約 15.5 ~ 21.2 の間で変動していることが明らかとなった。また、平均は約 19.8 であり、これは現在の三沢における気象観測データが示す 7 月の平均気温とほぼ一致することがわかった。このことは、本研究で得られた古気候の復元結果が信頼性の高いであることを裏付けている。

また、この復元データを基にして、過去 1 万年間における小川原湖の寒冷期の抽出を行った。その結果、約 240 ~ 400 年前、約 800 ~ 1,000 年前、約 2,400 ~ 2,700 年前、約 3,300 ~ 3,600 年前、約 4,100 ~ 4,800 年前、約 5,700 ~ 6,000 年前、約 6,800 ~ 7,100 年前、約 7,300 ~ 7,800 年前、約 8,300 ~ 8,500 年前に、比較的長期間の寒冷化が生じたことが明らかとなった。

この寒冷期のうち、約 8,300 ~ 8,500 年前には、約 8,300 年前と約 8,500 年前の 2 度に渡る、短期間の寒冷期が認められた。とくに、前者は北大西洋地域で広く認められる 8.2 ka event (Alley et al., 1997 など) に一致する。Berbar et al. (1999) は、ローレントイド氷床の氷河湖の決壊が約 8,300 年前と約 8,500 年前の 2 度に渡って生じていたことを指摘している。Ellison et al. (2006) は、約 8,300 年前と約 8,500 年前の 2 度に渡って、北大西洋の表層海水温が低下し、北大西洋子午線循環が不活発になったことを明らかにしている。また、Mayewski et al. (1997) は GISP2 氷床コアのカリウム濃度から約 8,300 年前と約 8,500 年前の極渦の拡大があったことを指摘している。小川原湖における 2 度の短期的な寒冷期はこれらのデータとよく一致しており、北大西洋の海洋循環の異常が原因で生じた短期間の寒冷化イベントが、ほぼ同時に小川原湖でも生じたことを記録している。

小川原湖周辺の夏季気温は、オホーツク海高気圧の停滞がもたらす冷涼な北東風(やませ)によって、極端な低下することが知られている。すなわち、小川原湖の短期的な寒冷化は、夏季におけるオホーツク海高気圧の出現頻度が増加したことを示唆している。また、オホーツク海高気圧の停滞は亜寒帯ジェット気流の蛇行に伴うブロッキングが主な原因であることから、極域における大気循環の変動によって短期的な寒冷化イベントが伝播したものと考えられる。この成果は、気候変動の伝播過程を明らかにする上で、重要な証拠となり得る。

(3) 過去 1 万年間における数十年 ~ 千年規模の気候変動の特徴や原因を検討：青森県小

川原湖で得られた定量的な気候復元データを基にして、周期成分の解析を行なうとともに、北大西洋における氷山データや太陽活動などと比較・検討した。

その結果、小川原湖の気候復元データは、Bond et al. (2001) が示した北大西洋の氷山頻度のサイクルにほぼ一致する。さらに、太陽活動の代替指標となる宇宙線生成核種である氷床コアの ^{10}Be フラックスや ^{14}C 生成率とも調和的な変動であることがわかった。したがって、過去 1 万年間の気候変動は、太陽活動の変化の影響を受けたものである可能性が高く、1,500 年周期のボンド・サイクル (Bond et al., 2001) を裏付ける結果となった。

以上のように、本研究によって我が国において初めて高時間分解の花粉化石データを基にして、過去 1 万年間の定量的な古気候復元データを提示することができた。また、この古気候復元データを基にして、気候変動の伝播過程や周期性など様々な議論に発展できる可能性が示された。今後、日本各地で発見される年縞堆積物でも様々な分析によって定量的に古気候が復元される可能性が高い。これらの復元データのネットワーク化が図れば、気候変動の地域性や複雑な気候システムの詳細を明らかにできる可能性があると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Yoshida, A., Kudo, Y., Shimada, K., Hashizume, J., Ono, A. Impact of landscape changes on obsidian exploitation since the Palaeolithic in the central highland of Japan, *Vegetation History and Arceobotany*, 査読有, Vol. 25, 2016, 45-55.

吉田明弘・叶内敦子・神谷千穂、長野県広原湿原における花粉分析と微粒炭分析からみた過去 3 万年間の植生変遷と気候変動、*長野県中部高地における先史時代人類誌*、査読無、1 巻、2016、253-268

吉田明弘、長野県広原湿原における珪藻化石群集に基づく最終氷期以降の堆積環境、*長野県中部高地における先史時代人類誌*、査読無、1 巻、2016、292-301

吉田明弘、長野県広原湿原における過去 3 万年間の景観変遷と気候変動、*長野県中部高地における先史時代人類誌*、査読無、1 巻、2016、305-315

吉田明弘、日本列島の最終氷期における古環境研究、旧石器研究、査読有、11 巻、2015 年、1-12

吉田明弘・佐々木明彦・大山幹成・箱崎真隆・伊藤晶文、晩氷期の鳥海山における植生復元とグイマツの立地環境、*植生史研究*、査読有、23 巻、2015、21-26

吉田明弘・鈴木三男、宮城県多賀城跡の高精度植生復元からみた古代の森林伐採と地形形成への影響、季刊地理学、査読有、2013、155-172

〔学会発表〕(計16件)

吉田明弘、青森県小川原湖の高時間分解の花粉分析データを用いた過去1万年間の定量的な古気候復元、日本植生史学会、2015年11月8日、北海道博物館(北海道、札幌市)

Yoshida, A., Kudo, Y., Shimada, K., Hashizume, J., Ono, A. Impact of landscape changes on obsidian exploitation since the Palaeolithic in the central highland of Japan, XIX INQUA2015 (国際学会)、2015年7月29日、Nagoya (Japan)

Takahara, H., Hayashi, R., Igarashi, Y., Momohara, A., Miyake, N., Sasaki, N., Sugita, S., Tumura, Y., Yoshida, A., Vegetation map during the Last Glacial Maximum in Japanese Islands and its vicinity based on recent palaeoecological and genetic data, XIX INQUA2015 (国際学会)、2015年7月28日、Nagoya (Japan)

吉田明弘、年縞堆積物の高時間分解の花粉分析データを用いた過去1万年間の古気候復元 - 青森県小川原湖の研究事例と今後の発展性、鹿児島大学史学会、2015年7月4日、鹿児島大学(鹿児島県、鹿児島市)

吉田明弘、青森県小川原湖の花粉化石データからみた完新世の気候変動シグナル、日本植生史学会、2014年11月23日、鹿児島大学(鹿児島県、鹿児島市)

吉田明弘・紀藤典夫・鈴木智也・鈴木三男、北海道万豊敷湿原における植生変遷と気候変動、日本植生史学会、2014年11月23日、鹿児島大学(鹿児島県、鹿児島市)

Ono, A., Shimada, K., Hashizume, J., Yoshida, A., Hori, K. Natural resource environment and humans around obsidian exploitation in the central highland, Japan, Asian Paleolithic Association (国際学会)、2014年11月12日、Gongju (Korea)

吉田明弘、中部高地における旧石器時代以降の景観変化と黒曜石の獲得方法の連動性、日本第四紀学会(招待講演)、2014年9月6日、東京大学(千葉県、柏市)

島田和高・橋詰 潤・吉田明弘・小野 昭、長野県広原遺跡群の発掘調査と中部高地におけるEUP石器群、日本第四紀学会(招待講演)、2014年9月6日、東京大学(千葉県、柏市)

吉田明弘、長野県広原湿原の花粉組成か

らみた最終氷期の森林限界の変遷、日本地球惑星科学連合大会、2014年5月1日、パシフィコ横浜(神奈川県、横浜市)

鈴木毅彦・笠原天生・八木浩司・今泉俊文・吉田明弘、山形盆地北部、村山市浮沼における盆地地下堆積物と第四紀後期テフラ、日本地理学会、2014年3月28日、国土館大学(東京都、世田谷区)

長谷川陽一・吉田明弘・三嶋賢太郎・高田克彦、スギ花粉化石のDNA解析のための秋田スギ天然林のcpSSR多型分析、日本森林学会、2014年3月28日、大宮ソニックシティ(埼玉県、さいたま市)

吉田明弘、長野県広原湿原の花粉組成からみた最終氷期以降の垂直的な植生分布の変遷、日本植生史学会、2013年12月1日、高知大学(高知県、高知市)

吉田明弘・松本秀明・鈴木三男、宮城県宮戸島における完新世の自然災害と植生変化、日本地理学会、2013年9月28日、福島大学(福島県、福島市)

吉木岳哉・吉田明弘、岩手県久慈地域における近世～近代の製鉄産業の盛衰と自然環境への影響、日本地形学連合、2014年9月14日、東北学院大学(宮城県、仙台市)

永嶋郁・瀬戸浩二・吉田明弘・篠塚良嗣・山田和芳・米延仁志、青森県小川原湖における汽水湖沼堆積物に記録された近年の堆積環境の変化、日本地球惑星連合、2013年5月21日、幕張メッセ(千葉県、千葉市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 明弘(YOSHIDA Akihiro)
鹿児島大学・法文教育学域法文学系・准教授
研究者番号：80645458

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし