



北海道周辺における縄文時代を中心とした古気候・古海洋変動の復元-花粉と有孔虫分析に基づく古環境解析-

酒井, 恵祐

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2024-03-25

(Date of Publication)

2026-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8812号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100490037>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式4)

論文内容の要旨

氏名	酒井 恵祐
専攻	人間環境学専攻
指導教員氏名	大串 健一

論文題目（外国語の場合は、その和訳を併記すること。）

北海道周辺における縄文時代を中心とした古気候・古海洋変動の復元
ー花粉と有孔虫分析に基づく古環境解析ー

論文要旨

近年、全球的な地球温暖化が世界的に問題視されている。気候に対する人間の影響は確立された事実とされ、20世紀以降の温暖化は人間活動に伴って放出された二酸化炭素などの温室効果ガスによって引き起こされている。温暖化は、気候や海洋、生物圏などにおいて広範囲にわたる急速な変化が生じている。温暖化の海洋への影響は、海水温の上昇や溶存酸素量の減少などが問題となっており、海洋の貧酸素水域の拡大は、広範囲にわたる影響を及ぼしている。これにより、海洋生態系へのインパクトが大きく、多くの種の生存に重大な脅威をもたらしている。また、陸上でも植生の変動や分布の北上、特定の植物種の絶滅リスクの増大などが顕著に見られ、生態系や生物多様性に大きな影響を与えている。このような現代の気候変動を正確に理解し、将来の地球環境を予測するためには、過去の気候変動の研究が不可欠である。特に、過去11,700年間の完新世は、日本の縄文時代が成立した時代であり、この時代の古気候・古海洋環境を高精度で復元することは縄文文化に関する議論を深める上でも重要である。

日本の縄文文化（特に北海道・北東北）は、世界的にも価値が認められており、2021年に「北海道・北東北の縄文遺跡群」は世界遺産に登録された。この地域における縄文時代の研究は、主に遺跡の発掘や古環境の解析に焦点を当てているが、環境変動との関連性についてはまだ十分に理解されていない。気候変動は均一ではなく、北半球および高緯度、陸域でより強い影響を受け、地域によっても特有の影響を受けると解釈されている。そのため、日本では北海道が最も高緯度に位置し、現代の温暖化においても影響を受ける可能性が高い地域である。しかしながら、北海道における完新世の古気温の推定は未だ行われておらず、この地域の縄文遺跡群が成立した時期と古気温変動との関連は十分に理解されていない。

そこで、本論では、北海道周辺における完新世の古気候と古海洋環境の変動を復元し、最終的に縄文遺跡群の成立時期と古環境との関係を比較・検討することを目的とした。この研究目的のために、本論では北海道苫小牧沖の海底堆積物を用いた底生有孔虫分析、青森県下北半島東方沖の海底堆積物を用いた浮遊性有孔虫の酸素同位体比分析、北海道釧路

市の春採湖湖底堆積物を用いた花粉分析を行い、古海洋指標の有孔虫化石と古気候指標の化石花粉に基づく古環境学的研究を行った。また、これらの古環境変動の復元結果から北海道周辺において中期完新世が温暖であったことを明らかにし、その環境変化が縄文文化にどのような影響を与えたかを推定するために、先行研究で推定された縄文時代の人口変化と過去1万年間の海域（中層・表層）と陸域の環境変化を比較・検討した。

第2章では、北海道苫小牧沖の海底コアの底生有孔虫群集を解析し、海洋中層への温暖化の影響を評価した。底生有孔虫化石の群集解析に基づき、最終退氷期から完新世の海洋中層の溶存酸素濃度の変動を復元した。特に縄文時代草創期にあたるBølling-Allerød温暖期の溶存酸素欠乏層 (OMZ)の時空間変動を底生有孔虫化石群集から復元した。その結果、急激に温暖化したBølling-Allerød温暖期にDysoxic種が増加し、OMZが先行研究より浅い水深の777 mまで拡大していたことが分かった。その後、Younger Dryas寒冷期にはOxic種が優占し、OMZは縮小した。その後、更新世から完新世に移行する時期の温暖化によって再びOMZは拡大し、現在と同様な環境になったと考えられる。本研究では、急激な温暖化によってOMZの上限が先行研究よりも浅い水深777 mまで広がっており、その上限はさらに浅い可能性を示唆している。苫小牧沖の海底の環境変動では、縄文人の生活には直接的な影響はないが、生物生産等の間接的な影響が議論できる可能性があると考えられる。過去1万年間の有孔虫群集に基づく溶存酸素量の変化は、最終退氷期に比して小さな変動である。人口が変化すると推定された約7,000～4,200 cal BPにおいてSuboxic種が優占する環境へと一様に変化する、つまり酸素濃度がやや低下傾向を示す。これは、生物生産の影響である場合は、前期完新世から後期完新世にかけて生物生産が増加したことを意味する。

第3章では、完新世における北海道東岸から下北半島沖への暖流による温暖化の影響を評価するため、下北半島沖の海底堆積物の浮遊性有孔虫の酸素同位体比分析に基づき津軽暖流の変遷を復元した。現在の津軽暖流は、冬季は沿岸モード夏季には、渦モードで流れる。このような津軽暖流の季節性がいつ頃から形成されたのか海流の変動について、有孔虫の酸素同位体分析によって明らかにした。浮遊性有孔虫*N. pachyderma*と*G. bulloides*の酸素同位体比は、約9,000 cal BPから約4,200 cal BPにかけて、1.0‰程度の低下を示した。この酸素同位体比の1.0‰の低下は水温にして4℃程度上昇したことを示し、縄文時代草創期から中期に海洋表層が温暖化したことを示す。また、約7,000 cal BPには津軽暖流の卓越種である*N. incompta*が多産し、下北半島東方沖に津軽暖流が到達した可能性を示唆した。その後、暖流の影響が沖にも段階的に広がり、約7,000～6,000 cal BP頃の縄文時代早期頃に現在と同じように夏季には津軽海峡東方沖にまで張り出す渦モードを形成していた可能性が示された。これは、人口が増加し始めた約7,000 cal BPの時期と概ね対応しており、津軽暖流の流出が人口増加（縄文文化）に影響を与えた可能性を示唆している。

第4章では、現在から最も近い過去の温暖期である中期完新世（縄文時代早期～中期）の陸域の環境変動に注目した。北海道釧路市の春採湖のコアを用いて陸域の環境復元を行った。その結果、縄文時代草創期から中期にかけて針葉樹の出現はほとんどなく、広葉樹が優占した環境であり、温暖な時期であったと推定される。縄文時代後期から晩期にかけてはわずかに針葉樹が出現しており、この時期は気候が冷涼であった可能性を示した。また、植生の変化として約9,500 cal BPから広葉樹であるコナラ属コナラ亜属は出現しており、これは先行研究より早い時期から増加しており、春採湖周辺にレフュジアが存在した可能性

を示唆した。また、縄文時代早期にクルミ属の出現が顕著に変化を示し、約7,500 cal BPでピークを示した。これは、温暖化による降雨・降雪の増加に伴う河川の氾濫原に先駆的に優占したことを示唆した。さらに、花粉分析の結果を基にモダンアナログ法により年平均気温を定量的に復元した結果、中期完新世の温暖期の時期に、現在よりも2℃程度年平均気温が高かったことを示した。年平均気温は約8,000 cal BPから緩やかに高くなり、揺らぎはあるものの特に約7,000 cal BPから上昇幅が大きくなり、約5,600 cal BPまでで高い値を示した。年平均気温が約7,000 cal BPの上昇幅が大きくなった時期と縄文時代の人口がわずかに増加し始める時期は概ね一致しており、人口の増加は温暖な時期に対応することを示唆した。

本論では、陸域と海域の古環境の時空間的な復元を行い、陸域と海洋の環境変化は縄文文化に影響があったと推定した。特に花粉分析に基づく年平均気温推定と有孔虫分析に基づく海流系の復元との縄文時代の人口変化との比較では、気候変動が縄文時代の人口動態に密接に関連していた可能性を示唆している。本論の研究は、古環境学だけでなく、世界遺産「北海道・北東北の縄文遺跡群」を中心に北海道の縄文文化の成立や衰退について環境変動との関連性を議論する上で重要なデータを提供すると考えられる。

(注) 3,000～6,000字（英語の場合は1,000～2,000語）でまとめること。

論文審査の結果の要旨

氏 名	酒井恵祐		
論文題目	北海道周辺における縄文時代を中心とした古気候・古海洋変動の復元-花粉と有孔虫分析に基づく古環境解析-		
判 定	合 格・不 合 格		
審 査 委 員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	大串健一
	副 査	教授	伊藤真之
	副 査	准教授	谷 篤史
	副 査	岡山理科大学 学 准教授	藤木利之
	副 査	早稲田大学 教授	山田和芳
要 旨			
本論文は、世界文化遺産「北海道・北東北の縄文遺跡群」の発展・成熟に関わる環境要因の解明に資する北海道東岸古環境の復元を主要な研究目的とする。北海道南部及び津軽海峡を挟んだ地域に所在する縄文遺跡群は、漁労・採集社会による定住の開始、発展、成熟を示している。同遺跡群の発展・成熟には、気候の温暖化と暖流の流入が関わると考えられる。しかしながら、津軽海峡東方海域において暖流の時空間変動を明らかにした研究はまだなく、その実態は不明なままである。さらに、北日本において完新世の気温変動を定量的に復元した研究はまだない。よって本研究では、海生微化石である有孔虫を分析対象として古生物地球化学的分析により津軽海峡東方海域の古海洋環境解析を行っている。さらに、より北方に位置する釧路市沿岸域の陸上地層から化石花粉の古植生解析により古気候復元を行っている。最終的に海と陸の古環境を対比し、北海道の縄文人人口の推定値との比較検討をしている。論文は全体として6章からなる。 第1章の序論では、研究の背景として国内外の完新世の古気候研究事例や現代の温暖化に派生する海洋の貧酸素化問題、北海道の縄文遺跡群の環境変動との関連性等を概説し、北海道東岸域の古環境研究の重要性を指摘している。 第2章では、海洋の温暖化や生物生産変動に伴う貧酸素化と底生有孔虫群集の変遷を扱っている（査読論文（1））。貧酸素化は、温暖化問題だけでなく縄文人の漁労に関係する生物生産にも影響を受ける。酸素極小層の時空間変動を明らかにするため、苫小牧市南方沖の水深777mから採取した海底コアの分析を行っている。海底面上の酸素濃度指標となる底生有孔虫群集を解析し、過去16600年間の溶存酸素濃度の変動を復元している。分析の結果、北極圏で顕著な最終退氷期			

の急激な温暖化に同期した群集変動の検出に成功している．急激な温暖化が起こった初期の14600年前に，著しく貧酸素化することを明らかにしている．さらに，完新世に入ると酸素濃度は上昇し，比較的安定していたことも考察している．

第3章では，津軽海峡南東方に面する下北半島東方沖から採取した海底コアを用いて，有孔虫の酸素同位体比分析を行い，津軽暖流の変動を復元している（査読論文（2）の内容を一部含む）．結果，酸素同位体比は7000～6000年前に温暖化したことを示している．このことから，約10000年前には下北半島沖では寒冷的な親潮水が占めており，津軽暖流は沿岸域に限定して沿岸モードで流れていたが，その後，暖流が沖にも段階的に広がり，縄文海進のピークに達する7000年前以降には現在と同じように夏季には津軽暖流が津軽海峡東方沖にまで張り出す渦モードを形成していた可能性が初めて示されている．

第4章では釧路市春採湖で採取した堆積物の化石花粉から9500年以降の現代に至る植生復元を行い，古気温変動を議論している（査読論文（3））．結果，9500～3200年前では，針葉樹植物の花粉の産出はほぼなく，冷温帯種を中心とした広葉樹の花粉の産出が多かったことが示された．前期完新世においてコナラ属コナラ亜属は先行研究よりも早い時期から増加し，春採湖周辺にレフュジアが存在した可能性を指摘している．クルミ属は完新世前期～中期に増加を示し，氾濫原に先駆的に優占したことを示している．さらに，化石花粉に基づきモダンアナログ法を適用し年平均気温を復元した結果，年平均気温は8000年前以降5000年前頃まで現在よりも1～2℃高い値を示すことを北日本において初めて明らかにしている．

第5章では，本研究結果を先行研究の北海道人口推定と比較し考察している．結果，北海道の人口増加は，陸域が温暖化し，さらに津軽暖流の流入量が増加し，気候が安定化した後に起こっている可能性を示している．さらに，人口増加する時期には北海道沖では生物生産が増加する可能性も指摘している．

第6章では，本研究全体のまとめが述べられている．

本論文の研究は縄文遺跡群の発展・成熟への環境の影響評価に資する成果であり，第四紀の古環境学的研究として独創的な知見を得たものとして価値ある集積と認める．よって，本審査委員会は，学位申請者の酒井恵祐は博士（理学）の学位を得る資格があると認める．関連する査読付き発表論文は以下の5点がある．

- (1) K. Sakai, K. Ohkushi, A. Shibahara (2021) Biotic response of benthic foraminifera to OMZ variations in the northwestern Pacific since the last deglaciation, *Geo-Marine Letters*, 41, 12p.
- (2) K. Kubota, K. Sakai, K. Ohkushi, T. Higuchi, K. Shirai, M. Minami (2022) Salinity, oxygen isotope, hydrogen isotope, and radiocarbon of coastal seawater of North Japan, *Geochemical Journal*, 56, 240-249.
- (3) 酒井恵祐, 中西利典, 七山太, 藤木利之, 大串健一(受理)北海道東部春採湖の花粉分析による過去9,500年前から3,200年前にかけての古植生変遷, *Laguna*.
- (4) T. Fujiki, K. Sakai, M. Okuno(印刷中) Reconstruction of vegetation changes on Atiu Island, southern Cook Islands, East Polynesia, based on pollen analysis: Verification of human impacts, *The Quaternary Research*, 63, 14p.
- (5) T. Nakanishi, F. Nanayama, Y. Kondo, K. Yamada, K. Sakai, 他6名 (2023) Radiocarbon ages and tsunami deposits in laminated mud layers from the Lake Harutori, Pacific coast of Hokkaido, Northeast Japan, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 538, 173-178.