

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04069

研究課題名(和文) 最終氷期以降の太平洋子午面循環と気候変動

研究課題名(英文) Pacific meridional overturning circulation since the last glaciation

研究代表者

岡崎 裕典 (OKAZAKI, YUSUKE)

九州大学・理学研究院・准教授

研究者番号：80426288

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：最終氷期以降の北太平洋における海洋循環、特に黒潮と北太平洋中層水の挙動を復元するため、日本列島南方の九州パラオ海嶺北部と、伊豆-小笠原弧西方海域において海底堆積物試料を採取した。古水温復元から、最終氷期の黒潮流域における緯度方向の水温勾配は小さくなっていたものの、黒潮フロントの顕著な南下は無かったことが示唆された。底生有孔虫の炭素同位体比から氷期の栄養塩鉛直勾配が大きくなっていたことが示された。また、テフラ層の放射性炭素年代から、過去3万年間の北西太平洋の海洋レザバー効果を制約した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋大循環は膨大な熱と二酸化炭素などの物質の輸送を担い、数十年から1000年オーダーの気候変動の要といふべき存在である。本研究では現在と異なる気候モードにおける黒潮や北太平洋を含む北西太平洋の海洋循環像復元を行った。また、テフラ層を用いて最終氷期や最終退氷期における放射性炭素の海洋レザバー効果を成約したことで、海生試料の放射性炭素年代測定を行う上で重要な基礎情報を得た。

研究成果の概要(英文)：Sediment cores were collected from the northwestern Pacific near Japanese archipelago to reconstruct ocean circulation such as the Kuroshio Current and the North Pacific Intermediate Water since the last glaciation. Reconstructed paleo sea-surface temperature (SST) suggest that small latitudinal SST gradient in the glacial Kuroshio region without significant southward migration of the Kuroshio front. Benthic foraminiferal stable carbon isotope record showed increased vertical nutrient gradient in the glacial western North Pacific. Past regional marine reservoir ages of the western North Pacific were constrained based on age offset between tephra ages and planktic foraminiferal radiocarbon ages. Reconstructed marine reservoir ages were not very old but almost comparable to the pre-bomb values even during deglaciation.

研究分野：古海洋学

キーワード：海洋循環 北太平洋 最終氷期 最終退氷期 黒潮 北太平洋中層水

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

膨大な熱・塩・二酸化炭素などの物質の輸送を担う海洋大循環は、数十年から 1000 年オーダーの地球規模の気候変動の要である。海洋大循環は、風によって駆動され海洋表層を水平方向に循環する風成循環と、海水の密度差によって駆動され海洋深層まで達する熱塩循環から成る。海洋循環系の西端には、他の場所と比べ 10~100 倍も強い流れがあり西岸境界流と呼ばれている。北太平洋における西岸境界流は黒潮と親潮である。黒潮は北大西洋のメキシコ湾流と並び世界有数の強い海流で北太平洋の低緯度から高緯度へ膨大な熱と物質を輸送している。一方北太平洋の中深層には、オホーツク海を主要な起源域とする北太平洋中層水が水深 300-800 m に分布している。太平洋の深層には、北大西洋や南大洋起源の古い深層水が停滞している。2 万年前から 1 万年前の最終氷期から最終退氷期にかけて、海洋大循環が大きく変化してきたことが明らかにされつつある。

最終氷期においても北大西洋と南大洋起源の深層水が海洋大循環の駆動役を果たしていたが、北大西洋起源の中深層水塊は現在よりも勢力を弱めていた (e.g., Lynch-Steiglitz et al., 2007, *Science*, 316, 66-69)。その後、最終退氷期初期 (17,500 年 15,000 年前) に、北米氷床の大規模崩壊に伴う北大西洋高緯度域への淡水流入によって、北大西洋深層水形成が著しく弱化した (McManus et al., 2004, *Nature* 428, 834-837)。北太平洋においても、海洋大循環に顕著な変化が起こった。最終氷期には、黒潮の流路が現在よりも南下しており (Sawada and Handa, 1998, *Nature* 392, 592-595; Ujiie and Ujiie, 1999, *Mar. Micropaleontol.* 49, 335-364) 北太平洋中層水に対応する水塊 (氷期北太平洋中層水) が水深 2000 m 付近まで勢力を強めていた (Matsumoto et al., 2002, *Quat. Sci. Rev.* 21, 1693-1704)。ただし、氷期北太平洋中層水の主要起源域はオホーツク海ではなくベーリング海であるとする説が有力である (Ohkushi et al., 2003, *Quat. Sci. Rev.* 22, 1477-1484; Horikawa et al., 2010, *Geology* 38, 435-438)。研究代表者は、海底堆積物に記録された浮遊性および底生有孔虫殻の放射性炭素年代差と気候モデルシミュレーションにより、北大西洋深層水形成が弱化した最終退氷期初期 (17500-15000 年前) に、黒潮の強化により高温・高塩分水が北太平洋高緯度まで運ばれ、冷却されて水深 2500 m 付近まで深層水が沈み込み、現在とも最終氷期とも大きく異なる海洋循環様式が成立していたことを示した (Okazaki et al., 2010, *Science* 329, 200-204)。この成果は、後期第四紀の海洋大循環における北太平洋の役割を見直す契機となったが、北太平洋深層水形成の規模や黒潮の強さがモデルによって異なること (Chikamoto et al., 2012, *Deep-Sea Res. II* 61-64, 114-126) や、堆積物記録が充分ではないため、研究代表者らの考えが完全に受け入れられるには至っていなかった。特に、最終氷期の黒潮流路がどの程度南下していたのか、最終氷期から最終退氷期における 1000 年スケールの水塊構造変化に関する堆積物記録の不足が解決すべき課題となっていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、北西太平洋日本列島周辺海域において、海底堆積物コア試料を採取し、既存の堆積物コア試料とあわせて最終氷期から最終退氷期における海洋大循環変化を明らかにすることである。(1) 黒潮域の堆積物コア試料から黒潮流路の変化を復元すること、および(2) 深度トランセクトコア試料から氷期北太平洋中層水の勢力をはじめとした鉛直水塊構造を復元することを、主な研究対象とした。加えて、海底堆積物コア試料の年代決定と中深層水ベンチレーション復元を行う上で重要な放射性炭素の海洋レザバー効果を制約するため、日本列島周辺域の海底堆積物コア試料に挟在するテフラ年代とその上下の放射性炭素年代の比較を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究試料

2015 年と 2016 年にそれぞれ東海洋生態系調査研究船新青丸 KS15-4 航海、および学術研究船白鳳丸 KH16-6 航海を実施し、北西太平洋の九州 パラオ海嶺北部、西七島海嶺、遠州灘で 8 本の堆積物コア試料を採取した。このうち、採取した堆積物試料は、半遠洋性のシルト質粘土から炭酸塩軟泥であり、火山性の碎屑物を含んでいた。採取した海底堆積物試料は、船上で半裁、写真撮影、岩相記載、色測定を行った。下船後、高知コアセンターにおいて、マルチセンサーコアロガー測定、CT スキャン、および蛍光 X 線コアロガーによる非破壊分析を行い、個別分析用のサブサンプリングを行った。日本列島周辺域のテフラ層を挟在する海底堆積物コア試料を、海洋研究開発機構のコアデータベースの岩相記載に基づき選別し、高知コアセンターに保管されている試料のテフラ層とその上下の層のサブサンプリングを行った。

#### (2) 年代モデル

KS15-4 航海において九州 パラオ海嶺北部で採取した KS15-4 St3-PC2 コアの年代モデルは、10 点の浮遊性有孔虫殻の放射性炭素年代、底生有孔虫の酸素安定同位体比、およびテフラ層序 (K-Ah, AT, K-Tz, Ata) により構築され、過去 15 万年間の連続的な堆積物試料であることが

わかった。KH16-6航海で採取した堆積物コア試料のうち、遠州灘のSt2-PC、西七島沖のSt3-PC、St5-PCについて、2-3点の試料から浮遊性有孔虫を拾い出し放射性炭素年代測定を行った。高知コアセンターでサブサンプリングした日本列島周辺海域のテフラ層の同定を行うとともに、その上下の層準から浮遊性有孔虫を拾い出し放射性炭素年代測定を行った。

### (3) 個別分析

浮遊性有孔虫の酸素および炭素同位体比測定を、KS15-4 St3-PC2 コア、KH16-6 St2-PC コア、および KH16-6 St5-PC コアについて、国立科学博物館の炭酸塩デバイス付安定同位体質量分析計を用いて行った。その際、生息深度の異なる3種(*Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides sacculifer*, *Globorotalia inflata*)をそれぞれ拾い出し分析した。同じく底生有孔虫の酸素および炭素同位体比測定を、国立科学博物館において分析した。表在種である *Cibicides wuellerstorfi* を対象とした。同種は、KS15-4 St3-PC2 コアでは連続的に産出したが、KH16-6 St2-PC コアと KH16-6 St5-PC コア試料中では連続的に産出しなかった。加えて、KS15-4 航海および KH16-6 航海で採取した表層堆積物試料中の浮遊性有孔虫を種別に拾い出し、酸素および炭素同位体比を測定した。

アルケノン古水温分析を、KS15-4 St3-PC2 コア、KH16-6 St2-PC コア、KH16-6 St3-PC コア、および KH16-6 St5-PC コアについて行った。

炭酸塩の溶解・保存を調べるため、KS15-4 St3-PC2 コア試料中の浮遊性有孔虫の平均殻重量を調べた。この時、海洋の炭酸イオン濃度が大きく変化した氷期と間氷期の遷移期を対象とした。加えて、マイクロX線CTによる浮遊性有孔虫の殻密度も測定した。

珪藻と放散虫を対象に、微化石群集解析を、光学顕微鏡および電子顕微鏡を用いて行った。

## 4. 研究成果

最終氷期の表層水環境が、4本のコア試料のアルケノン水温と浮遊性有孔虫の酸素同位体比から復元された。4本のコアが採取された海域(北緯29°から33°)の現在の水温は、21°Cから25°Cまでの範囲で分布している。一方で最終氷期のアルケノン水温は、いずれも21°Cから22°Cの狭い範囲に集中していた。KS15-4 St3-PC2の浮遊性有孔虫 *Globigerinoides sacculifer* の酸素同位体比変化は、アルケノン水温変化と極めて良く一致した。このことは日本列島南方海域の緯度方向の水温勾配が小さくなったことを示している。また亜寒帯境界の顕著な南下は示唆されなかった。上記の知見はKH16-6 St5-PC コア中の珪藻群集組成が最終氷期以降おおむね安定していることから支持された。

最終氷期中の深層水循環については、主に底生有孔虫の表在種が連続して産出した KS15-4 St3-PC2 コア(九州パラオ海嶺北部、2787 m)の結果に基づき議論を進めた。底生有孔虫表在種の炭素同位体比は栄養塩水塊指標となる。KS15-4 St3-PC2 コアの15万年間の連続的な炭素同位体比データは、基本的には氷期-間氷期サイクルに対応して変化し、間氷期に重く氷期に軽い値を示した。海洋酸素同位体ステージ(MIS)2(最終氷期最寒期)4、6を比較すると、MIS6が最も軽く(-0.3‰ VPDB)、MIS2が最も重かった(-0.1‰ VPDB)。また完新世の炭素同位体比は0.5‰ VPDBであった。氷期-間氷期間の炭素同位体比差は0.6‰ VPDBと植生変化に起因する0.35‰ VPDBより大きく、このことは九州パラオ海嶺北部の水深2800 mの水塊の栄養塩濃度(リン酸濃度)が間氷期に低く、氷期に高くなったことを示唆する。ただし完新世の炭素同位体比の値は、現在のリン酸濃度から見積もられる値よりも顕著に重い。このような高い炭素同位体比を持つ水塊が、本州南方の亜熱帯循環北縁の水深3000 m付近に存在することが先行研究のMatsumoto et al. (2002)のデータに見つかっており、今後その精査が必要である。最終氷期から完新世にかけて殻重量が徐々に軽くなる傾向が見られ、マイクロX線CT測定により殻重量の軽い個体は殻の密度が低下していた。このことは氷期に炭酸塩の保存が良くなったことを示した。

日本列島周辺域の堆積物コア試料から、下記のテフラ層を同定した;鬼界アカホヤテフラ(7.2 ka)、十和田八戸テフラ(15 ka)、三瓶浮布テフラ(19 ka)、始良Tnテフラ(30 ka)。これらのテフラはいずれも水月湖の年縞堆積物やグリーンランド氷床コアから見つかっておりテフラ年代はよく制約されている(Abbot and Davies, 2012, Earth-Sci. Rev. 115, 173-191; Smith et al., 2013, Quat. Sci. Rev. 67, 121-137)。同定したテフラ層の直上と直下から拾い出した浮遊性有孔虫殻の放射性炭素年代を測定し、テフラ年代との差から、各テフラ降灰時の海洋レザパー効果を見積もった。その結果、いずれの時代においても水塊年齢が2000年を超えるような顕著に古い海洋レザパー効果は認められず、最終氷期から最終退氷期中の深層水塊が著しく停滞したことはなかったことが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3件)

1. 久保田好美, 最終氷期の黒潮の復元, 2018, 『科学』, 88, 610-615.
2. Kubota, Y., N. Suzuki, K. Kimoto, M. Uchida, T. Itaki, K. Ikehara, R.A. Kim, K.E. Lee, 2017, Variation in subsurface water temperature and its link to the Kuroshio Current in the Okinawa Trough during the last 38.5 kyr, Quaternary International,

JQI6863, DOI information: 10.1016/j.quaint.2017.06.021

3. Carter, A., S. Clemens, Y. Kubota, A. Holbourn, A. Martin, 2017. Differing oxygen isotopic signals of two *Globigerinoides ruber* (white) morphotypes in the East China Sea: Implications for paleoenvironmental reconstructions, *Marine Micropaleontology*, 131, 1-9, DOI: 10.1016/j.marmicro.2017.01.00

〔学会発表〕(計 7件)

1. 新田真也・岡崎裕典, 黒潮域の珪藻群集分布, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 幕張メッセ, 2018 年 5 月, MIS10-19
2. 新田真也・岡崎裕典, 黒潮域の現生珪藻群集, 第 3 回地球環境史学会年会, 九州大学, 2017 年 11 月, P-4
3. 稗島州悟・岡崎裕典, 九州 パラオ海嶺北部における浮遊性有孔虫殻重量に基づく過去 3 万年における炭酸塩保存・溶解復元, 第 3 回地球環境史学会年会, 九州大学, 2017 年 11 月, P-8
4. 岡崎裕典・池原研, 過去 3 万年間の日本周辺域におけるテフラ年代に基づく海洋レザパー効果の制約, 日本第四紀学会 2017 年大会, 福岡大学, C-09, 2017 年 8 月(招待講演)
5. Kubota, Y., K. Kimoto, R. Tada, Reconstruction of vertical temperature structure in the East China Sea to better understand the past Kuroshio variability, JpGU-AGU joint meeting 2017, Makuhari Messe, May 2017, AOS31-06.
6. Okazaki, Y. and K. Ikehara, Glacial-Holocene changes in radiocarbon reservoir ages in the western North Pacific off Japan, 12th International Conference on Paleooceanography, Utrecht, Netherland, P-039, 29 August 2016.
7. 久保田好美・鈴木希実・木元克典・内田昌男・板木拓也・池原研・Ryoung Ah Kim・Kyun Eun Lee, 2016. 沖縄トラフにおける最終氷期以降の鉛直水温勾配変動: 黒潮との関係. 日本古生物学会 2016 年年会, 福井県立大学, 2016 年 6 月

〔図書〕(計 1件)

1. 岡崎裕典・関室・近本めぐみ・原田尚美, 第 6 章 古気候古海洋変動, 海の温暖化 - 変わりゆく海と人間活動の影響, pp. 108-120, 日本海洋学会編, 朝倉書店, 2017.

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 池原 実

ローマ字氏名: MINORU IKEHARA

所属研究機関名: 高知大学

部局名: 教育研究部・自然科学系・理学部門

職名: 教授

研究者番号(8桁): 90335919

研究分担者氏名: 板木 拓也

ローマ字氏名: TAKUYA ITAKI

所属研究機関名: 国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名: 地質調査総合研究センター

職名: 主任研究員

研究者番号(8桁): 30509724

研究分担者氏名: 久保田 好美

ローマ字氏名: YOSHIMI KUBOTA

所属研究機関名: 独立行政法人国立科学博物館

部局名: 地学研究部

職名: 研究員

研究者番号(8桁): 80710946

研究分担者氏名: 佐川 拓也

ローマ字氏名：TAKUYA SAGAWA

所属研究機関名：金沢大学

部局名：自然システム科学系

職名：助教

研究者番号（8桁）：40448395

研究分担者氏名：杉崎 彩子

ローマ字氏名：SAIKO SUGISAKI

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：地質調査総合研究センター

職名：研究員

研究者番号（8桁）：20595128

研究分担者氏名：関 宰

ローマ字氏名：OSAMU SEKI

所属研究機関名：北海道大学

部局名：低温科学研究所

職名：准教授

研究者番号（8桁）：30374648

研究分担者氏名：堀川 恵司

ローマ字氏名：KEIJI HORIKAWA

所属研究機関名：富山大学

部局名：大学院理工学研究部（理学）

職名：准教授

研究者番号（8桁）：40467858

研究分担者氏名：松崎 賢史

ローマ字氏名：KENJI MATSUZAKI

所属研究機関名：東京大学

部局名：大気海洋研究所

職名：助教

研究者番号（8桁）：50728582

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。