

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K12222

研究課題名（和文）西部北太平洋縁海における珪質微化石を用いた海洋環境復元

研究課題名（英文）Paleoceanography in the marginal seas of the western North Pacific based on siliceous microfossils

研究代表者

岡崎 裕典（Okazaki, Yusuke）

九州大学・理学研究院・教授

研究者番号：80426288

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：東シナ海・日本海・オホーツク海・およびベーリング海で採取した海底堆積物試料中の珪質微化石（珪藻・放散虫・珪質鞭毛藻）群集を調査し、約2万年前の最終氷期最盛期から現在までの海洋環境変動復元について主に以下の成果を得た：（1）大陸系沿岸水から黒潮系水への東シナ海北部の表層水塊の勢力交代；（2）最終氷期最盛期の日本海若狭沖における年平均表層水温が約4°Cと現在のオホーツク海並みであったこと；（3）北太平洋に生息する珪質鞭毛藻のカタログ作成。

研究成果の学術的意義や社会的意義

わたしたちが暮らす日本列島の気候や風土がどのような環境変動を経て成立したか、2万年前の最終氷期最盛期における日本海古水温復元に初めて成功し、日本海への対馬暖流に流入タイミングを新たに成約した。大陸氷床消長にともなう海水準変動によって日本列島周辺域の海流が大きく変化し、現在の日本列島の気候が成立していた様子について新たな知見を得た。

研究成果の概要（英文）：We have investigated siliceous microfossils such as diatoms, radiolarians, and silicoflagellates in sediment samples from the East China Sea, Japan Sea, Sea of Okhotsk, and Bering Sea. Our study on paleoceanographic changes for the past 20 kyrs since the last glacial maximum suggests that (1) surface water change from the Chinese coastal water to the Kuroshio water in the northern East China Sea; (2) annual mean surface water temperature in the southern Japan Sea was 4 degree C, comparable to the present Sea of Okhotsk; and (3) to prepare a catalog of silicoflagellates in the North Pacific surface sediments.

研究分野：古海洋学

キーワード：北太平洋 縁海 珪質微化石 最終氷期 海流

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

島弧や半島などの地形的な高まりによって大洋と隔てられた半閉鎖的な海域を縁海と呼ぶ。西部北太平洋には、北からベーリング海・オホーツク海・日本海・東シナ海(黄海)・南シナ海まで縁海が連なっている。隣接する陸域から河川(ユーコン川・アムール川・黄河・長江など)や大気(風成塵)を通じて供給される豊富な栄養塩により、縁海の生物生産は外洋域と比べて高く、活発な物質循環が起こっている。最近、ベーリング海の中層水に蓄積された栄養塩とオホーツク海中層水が運ぶ溶存鉄が、アリューシャン列島と千島列島の海峡部における活発な鉛直混合により表層へもたらされ西部北太平洋の高い生物生産を支えていることが明らかにされた(Nishioka et al., 2020, PNAS 117, 117, 12665-12673)。またこれら西部北太平洋の縁海は、アジアモンスーンや黒潮・親潮変動の影響を強く受けている。例えば、熱帯から中緯度へ膨大な熱・塩を運ぶ黒潮は、北太平洋の西縁を北上し、東シナ海を経由して日本列島の南岸を東進する。東シナ海で分枝した対馬暖流は日本海へ流入し、対馬暖流からの蒸発量の変化が日本海側の降雪に大きな影響を与えている(Hirose and Fukudome, 2006, SOLA 2, 61-63)。また、冬季アジアモンスーンの強弱は、季節風による寒気の吹き出しを通じ、極東の冬の気候に決定的な役割を果たし、オホーツク海の海水分布に影響を与えている。このように、現在の西部北太平洋の縁海が、日本を含む極東の気候や物質循環に大きな役割を果たしていることが明らかにされつつあった。過去2万年間の地球の気候は、北半球に大規模な氷床が発達する寒冷な氷期(最終氷期)から、温暖で安定した間氷期(完新世)へと遷移した。20500年前に最終氷期は最盛期(LGM)を迎え、氷床の成長に伴い海水準は130m低下していた(Yokoyama et al., 2018, Nature 559, 603-607)。海水準低下により西部北太平洋の縁海は一層閉鎖的になり、広大な大陸棚の陸化や、海峡部の狭窄(アリューシャン列島・千島列島・津軽海峡・対馬海峡・琉球列島)と陸橋化(ベーリング海峡・間宮海峡・宗谷海峡・台湾海峡)が起こった。大規模な地形の変化は西部北太平洋の縁海と外洋の間の海水交換を減少させ、表層が低塩分化した。最も閉鎖化が進んだ日本海では、塩分成層の発達により鉛直混合が停滞し深層が無酸素化した。東シナ海では黒潮の流入が減少し、低塩分の大陸系沿岸水が勢力を拡大した。ベーリング海やオホーツク海では海水被覆域が拡大し被覆期間も長くなった。これらの顕著な海洋環境変化は、日本を含む極東の気候や物質循環に大きな影響を与えたとはいえない。

縁海の低塩分化は古環境指標に影響を与え、過去の海洋環境復元を困難にする。LGMの日本海古水温復元について、既存の古水温指標は極端な低塩分の影響を受け、現実的な水温復元値を示さない。浮遊性有孔虫の酸素同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ )は、LGMにはその前後の時代に比べて2‰以上も軽い値を示し、低塩分水に覆われた強い証拠となっている(Sagawa et al., 2018, PEPS 5:18)。有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ は塩分と線形関係にある“海水の $\delta^{18}\text{O}$ ”と“水温”の両方を反映するため水温を定量的に復元できていない。アルケノン古水温計はアルケノン合成するハプト藻が極端な低塩分の影響を受け、異常に高い復元値を示す(Ishiwatari et al., 2001, Org. Geochem. 32, 57-67)。有孔虫Mg/Ca古水温計もLGMに高い復元値を示し、その理由としてLGMに海水のMg/Caが変化した可能性や海水からマグネシウムを取り込む際の分配係数が変化した可能性が挙げられている(佐川, 2010, 地質学雑誌 116, 63-84)。オホーツク海も同様に、低塩分化の影響に加えて低いアルケノン濃度や有孔虫の保存が悪いことから、信頼できるLGMの古水温復元記録は得られていない(Harada et al., 2012, Deep-Sea Res. II 61-64, 93-105)。LGMの東シナ海における黒潮の流路については盛んに議論されている(例えばUjiie et al., 2003, Mar. Micropaleontol. 49, 335-364)が、低塩分の大陸系沿岸水の分布域の変動については有効な水塊指標が無いためよくわかっていない。このように西部北太平洋の縁海は、LGMの氷床成長による海水準低下による閉鎖化した低塩分環境から、退氷期の氷床融解による海水準上昇を経て、現在では外海と活発な水交換を行う高塩分環境へと遷移した。この過程で海流の流路・強さや大陸棚の冠水、海水域の縮小などが起こり、日本列島を含めた西部北太平洋の気候や物質循環に大変化をもたらしたはずである。しかし、低塩分環境で使用できる古環境指標が確立されていないため、その詳細は明らかにされていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、閉鎖的環境で低塩分化が進んだLGM以降の西部北太平洋縁海における海洋環境変化を、対象海域の堆積物に豊富に含まれる多様な珪質微化石を用いて数百年から千年の時間スケールで復元することである。

・独自に開発した北太平洋域における珪質鞭毛藻群集のモダンアナログ法を、西部北太平洋縁海海底堆積物試料に応用し、LGM以降の植物プランクトンが生息する海洋表層付近の水温変化を復元する。特に、これまで信頼できる復元値が得られていないLGMの日本海古水温を復元し、対馬暖流の流入時期を制約する。

・オホーツク海海水域の沈降粒子試料中の珪藻群集季節変化から明らかにした海水珪藻種を用いて、LGMのベーリング海とオホーツク海における海水被覆変化を復元する。

・これまでほとんど古環境復元に活用されていない低塩分環境に対応した珪質鞭毛藻・渦鞭毛藻 *Actiniscus pentasterias* に注目し、新たな低塩分指標の確立を行う。

### 3. 研究の方法

ベーリング海・オホーツク海・日本海・東シナ海の海底堆積物試料を用い、LGM 以降の層準について、珪藻群集・珪質鞭毛藻群集・渦鞭毛藻 *Actiniscus pentasterias* の群集組成変化を明らかにする。珪質鞭毛藻群集については、最新の分類体系に合わせてカタログを作成する。珪質鞭毛藻群集データを花粉群集用に開発されたモダンアナログ法ソフトウェア (Polygon 2.4.4, 中川 2008, 第四紀研究 47, 355-374) に応用することで、LGM 以降の水温変化を復元する。特に復元した水温変化から、日本海の退氷期における対馬暖流流入時期を制約する。モダンアナログ法に必要な北太平洋広域における表層堆積物中の珪質鞭毛藻群集組成データは申請者により構築済だが、水温復元精度向上のため太平洋亜寒帯境界域の表層堆積物 20 点を追加しデータセットを公開する。ベーリング海とオホーツク海については、申請者が現在のオホーツク海氷域において見出した海水珪藻種に注目して海水被覆変化の復元を行う。両海域における先行研究の大半は光学顕微鏡観察によるものであったが、海水珪藻種は電子顕微鏡観察に適した数  $\mu\text{m}$  の小型珪藻が多いため走査型電子顕微鏡観察を行う。

### 4. 研究成果

東シナ海北部男女海盆から採取した海底堆積物試料 KY0704-PC01 (31°38.35'N, 128°56.64'E, 水深 758 m) 中の珪藻群集解析を行い、最終氷期以降の表層水塊変遷を復元した (Shirota et al., 2021, Prog. Earth Planet. Sci. 8: 66)。海水準が 100 m 以上低下していた最終氷期から退氷期初期にかけて大陸系沿岸水が東シナ海北部に分布しており、その後の海水準上昇により黒潮の勢力が強くなり、黒潮から分岐した対馬暖流が男女海盆を北上するようになったことを示した (図 1)。

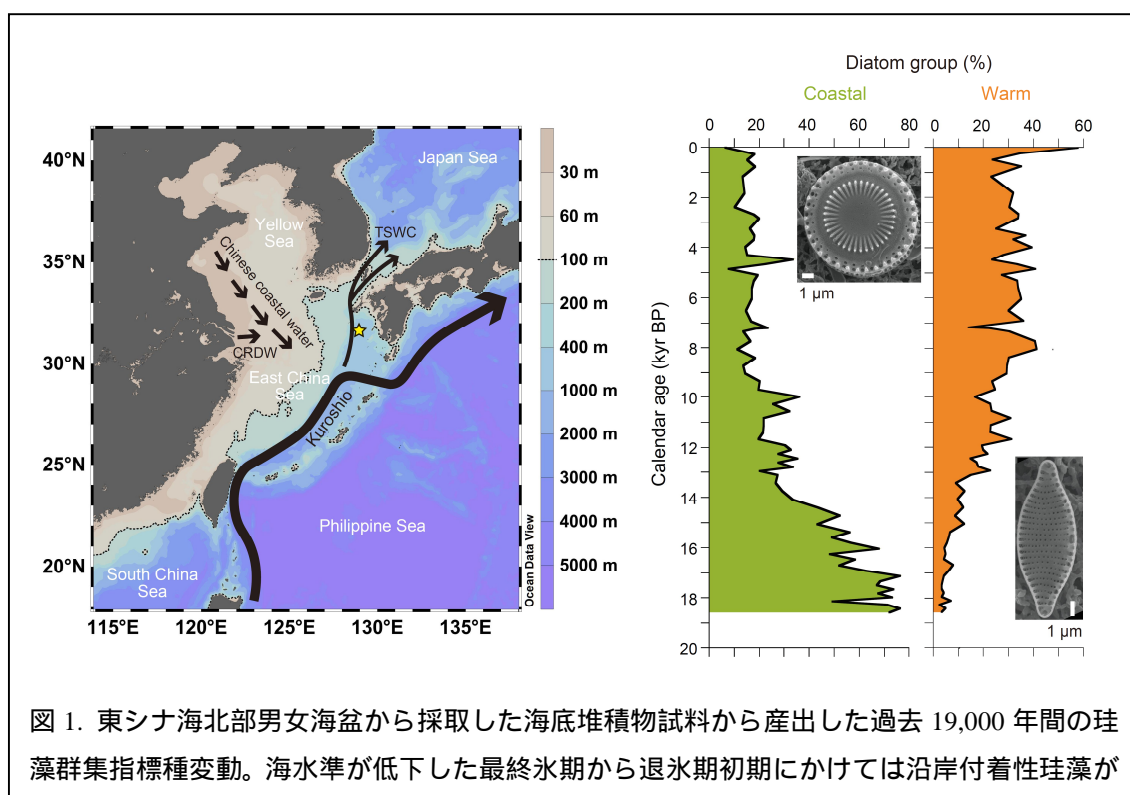


図 1. 東シナ海北部男女海盆から採取した海底堆積物試料から産出した過去 19,000 年間の珪藻群集指標種変動。海水準が低下した最終氷期から退氷期初期にかけては沿岸付着性珪藻が

日本海若狭沖で採取された海底堆積物試料 KR15-10 WB6 (36°29'N, 135°26'E; 水深 847 m) および北海道西方武蔵堆で採取された海底堆積物試料 GH98-1232(44°48'N, 139°42'E; 水深 838 m) 中の珪質鞭毛藻群集組成変化を調べた。また、北太平洋広域表層堆積物中の珪質鞭毛藻群集組成データを 20 点追加して表層データセットを更新した。表層データセットの珪質鞭毛藻群集組成と World Ocean Atlas 2018 による年平均海表面水温データを紐づけ、モダンアナログ法により最終氷期以降の水温変化を復元した (図 2)。その結果、最終氷期最盛期の現実的な水温復元に初めて成功し、若狭沖の海水面水温が現在のオホーツク海並みであったことを示した。また、退氷期の対馬暖流流入タイミングにリンクする水温上昇時期が制約でき、若狭沖で約 14,000 年前、北海道西方で約 10,000 年前と推定された。また、北太平洋の表層堆積物試料中から産出した 2000 以上の珪質鞭毛藻個体の写真撮影を行い、現行分類体系に合わせて整理しカタログを作成した。このほか、渦鞭毛藻 *Actiniscus pentasterias* の産出状況を調べ、日本海がより閉鎖的になり低塩分化が進んだ氷期に産出が増加したことを明らかにした。これらの成果をまとめ、Prog. Earth Planet. Sci. 誌に論文を投稿した。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

|  |                    |
|--|--------------------|
| 1. 著者名<br>Shirota Keiko, Okazaki Yusuke, Konno Susumu, Miyairi Yosuke, Yokoyama Yusuke, Kubota Yoshimi                               | 4. 巻<br>8          |
| 2. 論文標題<br>Changes in surface water masses in the northern East China Sea since the Last Glacial Maximum based on diatom assemblages | 5. 発行年<br>2021年    |
| 3. 雑誌名<br>Progress in Earth and Planetary Science  | 6. 最初と最後の頁<br>1-17 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1186/s40645-021-00456-1  | 査読の有無<br>有         |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-          |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>岡崎 裕典、関 宰、高橋 孝三                            | 4. 巻<br>82              |
| 2. 論文標題<br>オホーツク海の古海洋研究                              | 5. 発行年<br>2024年         |
| 3. 雑誌名<br>低温科学                                       | 6. 最初と最後の頁<br>119 ~ 133 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.14943/lowtemsci.82.119 | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）                | 国際共著<br>-               |

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Jonaotaro Onodera, Alan E.S. Kemp, Richard B. Pearce, Keiji Horikawa, Kozo Takahashi                 |
| 2. 発表標題<br>Interannual change of diatom fragment composition for the mid-Pleistocene in the southern Bering Sea |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2022年大会  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>岡崎裕典・谷崎恭平・西園史彬・江頭一騎・友川明日香・佐川拓也・池原研・板木拓也・堀川恵司・小野寺丈尚太郎 |
| 2. 発表標題<br>珪質鞭毛藻群集のモダンアナログ法による氷期日本海表面水温の復元                      |
| 3. 学会等名<br>地球環境史学会2021年度年会                                      |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>岡崎裕典・緒方健人・山本愛佳・関宰                           |
| 2. 発表標題<br>ベーリング海パウアーズ海嶺コア堆積物に記録された退水期の海洋環境と炭酸カルシウムピーク |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2023年大会                           |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>岡崎裕典                                      |
| 2. 発表標題<br>最終氷期以降の北太平洋亜寒帯域、ベーリング海、オホーツク海における海洋生物生産変化 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2023年大会                         |
| 4. 発表年<br>2023年                                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>村川怜央・岡崎裕典・サイディマツソウ・久保田好美                |
| 2. 発表標題<br>東シナ海沖縄トラフ陸棚斜面堆積物における浮遊性・底生有孔虫殻の酸素同位体比変動 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2023年大会                       |
| 4. 発表年<br>2023年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>山崎夏那・岡崎裕典  |
| 2. 発表標題<br>Spatial distribution of diatom assemblages in surface water along the continental shelf margin of the Okinawa Trough in the East China Sea in January 2021 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2023年大会  |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>岡崎裕典・朝日博史・岩崎晋弥・久保田瑠珂・高橋孝三   |
| 2. 発表標題<br>過去5万年間のベーリング海南部の1000年スケール変動 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2024年大会           |
| 4. 発表年<br>2024年                        |

|                                |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名<br>岡崎裕典・関幸・高橋孝三        |
| 2. 発表標題<br>オホーツク海の高海洋研究：レビュー論文 |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2024年大会   |
| 4. 発表年<br>2024年                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>木村駿介・岡崎裕典・佐川拓也  |
| 2. 発表標題<br>Fluctuation in silicoflagellate assemblages in the Japan Sea sediments off Wakasa |
| 3. 学会等名<br>日本地球惑星科学連合2024年大会   |
| 4. 発表年<br>2024年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|                   | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                             | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)  | 備考 |
|-------------------|---|--|----|
| 研究<br>分<br>担<br>者 | 小野寺 丈尚太郎<br><br>(Onodera Jonaotaro)<br><br>(50467859) | 国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境<br>変動総合研究センター)・主任研究員<br><br><br>(82706) |    |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|