

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13585

研究課題名(和文) クランプトアイソトープによる最終氷期最盛期の日本海表層水温復元

研究課題名(英文) Sea-surface temperature reconstruction in the glacial Japan Sea based on clumped isotopes

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：大陸氷床発達に伴い海水準が低下した最終氷期に、日本海は閉鎖的な環境となり低温・低塩分化した。当時の海水温を定量的に復元するため、日本海若狭湾において海底堆積物試料を採取し、試料中に含まれる浮遊性有孔虫殻のクランプトアイソトープおよび珪質鞭毛藻群集組成分析を行った。クランプトアイソトープに関しては分析値の再現性向上に時間を要し、実試料の分析が充分に行えなかった。珪質鞭毛藻群集記録についてモダンアナログ法を適用し、最終氷期の若狭湾の水温を5℃と見積もった。また、1万2千年前の水温復元値は14℃と現在と同程度となったことからこの時までに対馬暖流の流入が完全に再開していたことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In order to reconstruct sea-surface temperature (SST) in the glacial Japan Sea, we have performed clumped-isotopes measurements on planktic foraminiferal tests and silicoflagellate assemblages in marine sediment from the Wakasa Bay in the Japan Sea. As for clumped isotopes, our efforts were focused on improvement of reproducibility. Based on modern analogue technique of silicoflagellate assemblage, we have reconstructed SST changes from 30 ka to 5 ka. During glacial period, reconstructed SST was ~5 degree C. Subsequent SST rise was found during deglacial period. Since 12 ka, reconstructed SST was ~14degree C, which was comparable to the modern values. This result suggest that the Tsushima Warm Current has resumed during then.

研究分野：古海洋学

キーワード：日本海 最終氷期 海表面水温 海表面塩分 対馬暖流

### 1. 研究開始当初の背景

日本列島の日本海側は冬季降水量が多く有数の豪雪地帯となっている。冬季降水は大陸からの乾燥した季節風が日本海上で対馬暖流起源の水蒸気を補給することでもたらされ、降水量の年々変動には対馬暖流の輸送量や貯熱量がモンスーン強度と並ぶ主要な要因となっている(日比野ら, 2008, 測候時報 75, S69-S76; Hirose and Fukudome, 2006, SOLA 2, 61-63)。現在の日本海貯熱量は、冬季季節風によって大気へ放出した分を、4-12月の対馬暖流による熱の移流という形で補われており(日比野ら, 2008), 対馬暖流の流入量変化が日本列島の気候に果たす役割は非常に大きい。

日本海は外海と浅い海峡(水深約 130 m)によってのみ繋がっており、現在よりも海水準が約 130 m 低かった最終氷期最盛期(LGM)には対馬暖流の流入が大幅に制限された。浮遊性有孔虫の酸素同位体記録( $\delta^{18}\text{O}$ )は、LGMにはその前後の時代に比べて約 2.6‰も軽い値を示し、対馬海峡からの海水流入が減少し低塩分水に覆われたことを示す(Oba et al., 1991, Paleocceanography 6, 499-518)。この表層環境は、日本列島の冬季降水量にも大きな影響を与えたことが容易に想像できるが、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当時の水温までは分からず、その具体的な影響の評価には至っていない。その他の古水温指標に関して、日本海 LGMの極端な低塩分が古水温復元に影響し(例えば Fujine et al., 2006, Org. Geochem. 37, 1074-1084), 現実的な復元水温の報告が未だない。

### 2. 研究の目的

本研究では、新規古水温指標である炭酸塩のクランプトアイソトープ古水温計を日本海堆積物中の浮遊性有孔虫化石に適用し、酸素同位体比と組み合わせて過去約 3 万年間の水温・塩分変化を復元する。また、同じ堆積物試料中の珪質鞭毛藻群集組成からベストモダンアナログ法により水温を復元する。これらの結果を基に塩分収支ボックスモデルを用いて日本海への対馬暖流流入量の時系列変化を復元し、日本列島の気候変動史の一端を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

2015 年夏季に海洋研究開発機構所属の研究船かいいい KR15-10 航海を実施し、日本海若狭沖から海底堆積物試料を採取する。海底堆積物試料から浮遊性有孔虫殻を拾い出し、放射性炭素年代測定(依頼分析)を行い、堆積物コア試料の年代モデルを構築する。過去 3 万年間の層準について浮遊性有孔虫殻のクランプトアイソトープおよび酸素安定同位体比の測定を行う。また、珪質鞭毛藻群集解析を行う。浮遊性有孔虫殻のクランプトアイ

ソトープから最終氷期の海表面水温を復元する。珪質鞭毛藻群集組成のベストモダンアナログ法により同じく最終氷期の海表面水温復元を行う。具体的には、表層堆積物試料中の現生珪質鞭毛藻群集と、水温の観測値から両者の関係式をつくり、それを堆積物コア試料の珪質鞭毛藻群集組成に適用する。これらの水温復元結果と浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比データを組み合わせ過去約 3 万年間の海表面塩分変化を復元する。これらの結果を基に塩分収支ボックスモデル(松井ら 1998, 第四紀研究 37, 221-233)を用いて日本海への対馬暖流流入量の時系列変化を復元する。

### 4. 研究成果

#### ・堆積物試料の採取

2015 年 6 月 30 日より 7 月 10 日まで、海洋研究開発機構所属の研究船「かいいい」KR15-10 航海を実施し(首席研究者: 佐川拓也)、日本海若狭沖において、海底堆積物コア試料を採取した(ピストンコア 6 本、マルチプルコア 8 本)。これらの試料のうち、WB6 コア(水深 847 m)を研究試料に選定した。

#### ・堆積物試料の年代モデル構築

WB6 コアの年代モデルを構築するため、浮遊性有孔虫殻の放射性炭素年代測定を行った。堆積物の 7 層準から浮遊性有孔虫殻を拾い出し、クリーニングを行ったのち、米国のウッズホール海洋研究所 NOSAMS に加速器質量分析を依頼した。その結果、本研究課題でターゲットとする最終氷期最盛期(LGM)がコア深度およそ 300 cm に相当することがわかった。

#### ・クランプトアイソトープ分析

炭酸塩クランプトアイソトープ分析の再現性を確かめるために均質な 2 種類の粉末試料(NBS-19 と Wako  $\text{CaCO}_3$  試薬)について繰り返し分析を行った。炭酸塩試料は約 12 mg を秤量し二股試験管にリン酸とともに導入した。試験管内を真空引きした後に 25℃の温度制御環境下で反応し  $\text{CO}_2$  ガスを発生させた。 $\text{CO}_2$  ガスは試験管を精製真空ラインに接続して水や炭化水素など分析に不要な成分を除去し、東京工業大学吉田研究室の MAT253 安定同位体質量分析計にて分析した。分析に際してバックグラウンド補正、同位体組成絶対表記のためにそれぞれ He et al. (2012, Rapid Comm. Mass Spectr., 26, 2837-2853) および Dennis et al. (2011, Geochim. Cosmochim. Acta, 75, 7117-7131) の方法に従って補正・計算を行った。繰り返し測定の結果、 $\Delta 47$  値 0.01‰ 以下 ( $1\sigma$ ) の誤差で分析が可能であることが明らかとなった。日本海水温の復元を目的に、ホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* の現生試料(養殖: 北海道浜益沖)と山口県沖の堆積物(水深 155 m)から産出した化石試料(放射性炭素年代により 22,209±92 cal. yr BP)に

ついてクランプトアイソトープ分析を行った。その結果、現生試料が LGM 試料よりも有意に低い  $\Delta 47$  値を示し、殻形成水温が高かったことが示された。しかしながら、現生試料と化石試料の両者とも粉末標準試料に比べて複数回分析の再現性が悪く、復元される水温にも大きなばらつきが見られた。これは、天然炭酸塩試料から発生させた  $\text{CO}_2$  ガスの精製時にコンタミネーションの原因となる炭化水素類の除去が完全ではない可能性が指摘される。

#### ・珪質鞭毛藻群集解析

約 30000 年よりも新しい層準から 30 試料を選び、珪質鞭毛藻群集解析に使用した。試料は乾燥重量を秤量後、過酸化水素水で有機物を除去したのち、目合い 20 マイクロメートルの篩で濾した残渣を光硬化樹脂によりプレパラートに封入した。光学顕微鏡下で各プレパラート 200 殻の珪質鞭毛藻個体を種ごとに計数した。また、200 殻の珪質鞭毛藻個体を計数するまでに視野に入った珪質微化石 (*Actiniscus pentasterias*, *Ebria tripartita*) および珪質鞭毛藻の奇形を計数した。

珪質鞭毛藻は水温に反応して鋭敏に群集組成を変化させることが知られている。本研究では、ベストモダンアナログ法により定量的な水温復元を行った。まず、表層堆積物試料中の現生珪質鞭毛藻群集と表層水温の関係式をつくるため、Poelchau et al. (1976, *Micropaleontology* 22, 164-193) による 96 試料の北太平洋表層堆積物中の珪質鞭毛藻群集組成および、新たに追加した 5 試料のオホーツク海表層堆積物の珪質鞭毛藻群集組成を統合したデータセットを構築した。表層水温データは World Ocean Atlas (2013) による  $1^\circ$  グリッドデータを使用した。Polygon 2.4.4 プログラム (Nakagawa et al., 2002, *Quat. Sci. Rev.* 21, 2099-2113) を用い、凸包分析を行い、構築した現生データセットが化石群集をカバーしていることを確認した上で、ベストモダンアナログ法による古水温復元を行った。

LGM から 15 ka にかけて、復元された若狭沖の年平均水温は  $\sim 5^\circ\text{C}$  となった。その後 11.5 ka 以降は、 $\sim 14^\circ\text{C}$  と現在と同程度の水温となり、12 ka 以降、現在の同程度の対馬暖流の流入があったことが示唆された。低塩分環境を指標する珪質鞭毛藻の奇形、*ctiniscus pentasterias*, *Ebria tripartita* はいずれも最終氷期に多く出現し、完新世には少なかった。定量的な塩分を復元するため、浮遊性有孔虫の酸素同位体比と、珪質鞭毛藻古水温を組み合わせた。松井ら (1998) の式に基づく塩分復元値は、LGM で 25-28 パーミルであった。

#### 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 0 件)

[学会発表](計 3 件)

・鈴木克明, 佐川拓也, 池原研, 中川毅, 入野智久, KR15-10 乗船研究者一同, 古気候記録の相互精密対比に向けた高精度な堆積物深度管理手法について, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 幕張メッセ, 2016/5/22-26

・佐川拓也, 日本海南部で採取された 2 本の堆積物コアから復元された千年スケール表層水温変動, 日本古生物学会 2016 年年会, 福井県立大学, 2016/6/25

・谷崎恭平, 岡崎裕典, 佐川拓也, 小野寺丈尚太郎, 珪質鞭毛藻群集に基づく最終氷期最盛期以降の日本海若狭沖における表層水温復元, 日本地球惑星科学連合 2017 年大会, 幕張メッセ, 2017/5/21-25

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

岡崎 裕典 (YUSUKE OKAZAKI)

九州大学・大学院理学院・地球惑星科学部門・准教授

研究者番号: 80426288

##### (2) 研究分担者

佐川 拓也 (TAKUYA SAGAWA)

金沢大学・理工研究域・自然システム系・助教

研究者番号: 40448395

(3)連携研究者

吉田 尚弘 (NAOHIRO YOSHIDA)  
東京工業大学・物質理工学院・応用化学  
系・教授  
研究者番号：60174942

(4)研究協力者

谷崎 恭平 (KYOHEI TANIZAKI)  
九州大学・大学院理学府・地球惑星科学専  
攻・修士課程

小野寺 丈尚太郎 (JONAOTARO  
ONODERA)  
海洋研究開発機構・主任研究員