

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01279

研究課題名(和文) 新生代後期の北半球氷床拡大と熱帯太平洋大気海洋相互作用の関係解明

研究課題名(英文) Relationship between Tropical Pacific Ocean-Atmosphere Interaction and Northern Hemisphere Glaciation during the late Cenozoic

研究代表者

佐川 拓也 (Sagawa, Takuya)

金沢大学・地球社会基盤学系・助教

研究者番号：40448395

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：全海洋で最も温暖な西部熱帯太平洋域における過去の鉛直水温構造の変化と全球的な気候変動の関係を理解するために、国際深海科学掘削計画で採取した堆積物コアに含まれる浮遊性有孔虫3種の殻の化学分析を行った。過去400万年間にわたる表層から亜表層にかけての鉛直水温記録を復元することで表層暖水塊の厚さの変化を推定した。その結果、熱帯太平洋の暖水塊厚さの変化は熱帯-極域の温度勾配の変化と連動していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

西部熱帯太平洋は全球で最も温暖な海水が存在し、大気に向けて熱や水蒸気を供給し大気循環を駆動する役割を果たしている。そのため、当該海域の水温や暖水塊厚さの時間的変化と全球気候の関係性を理解することが、地球気候システムの理解の一助になる。本研究で明らかになった熱帯-極域の温度勾配と西部熱帯太平洋の暖水塊厚さが連動していたことは、極域の温度変化にともなう南北温度勾配の変化が大気循環を通じて熱帯域の大気海洋相互作用に変化を与える可能性を示唆する。

研究成果の概要(英文)：To investigate the relationship between changes in vertical temperature structure in the western tropical Pacific and global climate change, I analyzed planktonic foraminiferal shell geochemistry for three species picked from sediment core drilled in the International Ocean Discovery Program. The thickness of surface mixed layer was estimated by reconstructing vertical temperature structure from surface to subsurface for the last 4 Myr. The results suggested that the vertical temperature structure change has been associated with the meridional temperature gradient from tropics to polar region.

研究分野：古気候・古海洋学

キーワード：西部熱帯太平洋 鉛直水温構造 浮遊性有孔虫 鮮新世 更新世

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大気 CO<sub>2</sub> 分圧(pCO<sub>2</sub>)が現在と同程度(250-400ppm)であった鮮新世(533 万年前 ~ 258 万年前)は、前期の約 200 万年間にわたって全球平均気温が現在よりも 2-3 度温暖な時代が続き、海水準は 25 m ほど高かったと考えられている。また、後期鮮新世の約 275 万年前以降、pCO<sub>2</sub> の減少に伴って温暖から寒冷な気候へと移行し、北半球氷床の拡大(Northern Hemisphere Glaciation: NHG)とともに更新世に特徴的な氷期間氷期サイクルが強化された。鮮新世における温暖気候の維持とそれに続く寒冷化のメカニズムについては、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)でも今後の温暖気候を予測する上で注目されているが、最新の気候モデルを用いても当時の気候状態を十分に再現できていない。根本的な気候支配要因である日射量には特筆すべき変化がないことを考えると、NHG の主要因は地球の気候システムに内在する何らかのフィードバックに求められ、その特定と影響力の理解は将来予測に欠かせない気候モデルの精度向上という面でも急務である。

これまでに蓄積された世界各地の海洋表面水温(Sea Surface Temperature: SST)記録を総合すると、NHG 期以降に極域 - 熱帯域の SST 勾配の増大、沿岸湧昇域の拡大、熱帯域東西 SST 勾配の増大などが漸移的に起こった。SST 勾配の増大は大気循環を活発化させ、その大気循環がさらに海洋に影響を及ぼす大気海洋相互作用を強化する。熱帯太平洋では、NHG の前後を通して安定した高温だった西部と、湧昇強化によって低温下した東部の SST 東西勾配が増加した。全海洋で最も海水温の高い熱帯太平洋域は、対流活動の駆動源として大気循環を生み出すだけでなく、膨大な熱と水蒸気を大気へと供給しており、大陸氷床の消長に多大な影響を与える。故に、熱帯太平洋の大気海洋相互作用の長期動態を理解することが NHG メカニズム解明には必要不可欠である。

NHG における熱帯太平洋 SST 東西勾配の変化は、大気海洋相互作用が発達したことで、エルニーニョの状態からラニーニャの状態へと移行したことが原因と指摘されている。現在、東西方向の大気ウォーカー循環によって表層水が東から西へ押しつけられ、東部では表層水を補償する低温湧昇流によって西高東低 SST パターンが形成される。この海洋の SST パターンも海面気圧差を生みだし、ウォーカー循環を維持する相互関係が成り立っている。NHG 期において、大気循環の漸移的強化が東部水温躍層の浅化を引き起こしたならば、躍層東西勾配の増大が予想される。西部熱帯太平洋の水温躍層は表層暖水塊の存在によって比較的深く維持されている。もしも SST 東西勾配の増大がラニーニャの状態への移行によるものならば、西部水温躍層の漸移的な深化が同時に起こっていたことが予想される。しかしながら、水温躍層の長期的変化に関する地質学的証拠による検証は不十分である。

### 2. 研究の目的

- (1) 鮮新世から更新世への長期的水温躍層変化のパターンを明らかにし、熱帯域ウォーカー循環の強化と北半球氷床拡大の関係の理解
- (2) 北半球氷床発達期の氷期 - 間氷期サイクルにおける、熱帯水温躍層の高緯度気候とのリンクの解明

### 3. 研究の方法

過去の水温情報は浮遊性有孔虫の殻化石に記録されている。炭酸塩でできた浮遊性有孔虫殻の Mg/Ca は殻形成時の周辺水温によって変化する。そのため、堆積物コアに含まれる浮遊性有孔虫殻の Mg/Ca を分析し、そのコア深度方向の変化を調べることで、過去の水温の時系列変化を理解することができる。また、浮遊性有孔虫は種によって異なる生息水深を持ち、海洋表層から中層まで分布している。生息水深の異なる複数種の浮遊性有孔虫を用いて水温変化を復元すれば、鉛直的な水温構造の変化の理解へとつながる。

本研究では国際深海科学掘削(International Ocean Discovery Program: IODP)の第 363 次航海において U1488 サイトで掘削された堆積物コアを主に用いた。U1488 サイトでは海底下約 315 m まで掘削された。本研究ではそのうち上部 100 m の堆積物について分析を行った。2 cm 厚でサンプリングされた試料を 63 μm のふるい上で水洗し、残渣を乾燥させた。乾燥試料から浮遊性有孔虫を拾い出し、化学分析に用いた。本研究で使用した浮遊性有孔虫種は、*Globigerinoides ruber* (sensu stricto)、*Trilobatus trilobus*、*Pulleniatina obliquiloculata* の 3 種である。それぞれの生息水深から、表層種、亜表層種、躍層種として用いた。

拾い出した有孔虫殻は実体顕微鏡下で粉碎しマイクロチューブへと移し、不純物除去のために物理的、化学的方法で洗浄を行い、酸素同位体分析と微量元素分析を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) IODP Site U1488 の高精度年代モデル作成

有孔虫殻の酸素同位体は大陸氷床量の変化に起因する海水の酸素同位体変化を記録する。氷床量変化にともなう海水酸素同位体変化は全海洋共通のシグナルであると考えられるため、標準カーブ LR04 に対比させることで年代層序の構築に用いられる。本研究では浮遊性有孔虫 *G. ruber* (ss) の酸素同位体を約 2500 年間隔で分析し、その変動を LR04 カーブと対比した。また、同位体変動が不明瞭な部分については底生有孔虫の酸素同位体分析も行うことで、LR04 カーブとの対比を確実にした。対比に基づくと U1488 サイトの深度 100 m が過去 370 万年間に相当し、全ての氷期・間氷期を認定することができた。酸素同位体層序は船上における古地磁気層序とも一致した。

##### (2) 過去 370 万年間における西部熱帯太平洋の表層水温の変遷

浮遊性有孔虫の表層種 *G. ruber* (ss) の Mg/Ca を過去 370 万年間にわたり約 2500 年間隔で分析した。過去 100 万年間の表層水温は先行研究の結果とよく一致し、水温変化の振幅の増大と氷期・間氷期サイクルの周期性の変化が認められた。酸素同位体ステージ 11 は完新世よりも 1 以上温暖であったことが示唆された。

中期鮮新世温暖期（約 320 万年前）は大気二酸化炭素濃度が 400ppm 程度で現在と近い濃度であったことが有孔虫のホウ素同位体の結果から推測されている。この二酸化炭素濃度が高かった時代について表層水温や様々な気候状態のプロキシ記録による復元や、物理モデルによるシミュレーションなどの比較研究が行われている。西部熱帯太平洋における表層水温については復元に用いるプロキシによってその結果が異なっているのが現状である。本研究で復元した中期鮮新世温暖期の表層水温は完新世と比較すると 1 程度高かったが、同位体ステージ 11 ほどは高くなかったことが明らかになった。こうした復元水温の結果は、有機分子を用いて 2 高かったとする結果とは異なる一方、モデル比較プロジェクトに用いられたシミュレーション結果の多くと一致する結果となった。

##### (3) 西部熱帯太平洋における鉛直水温構造の変化と全球気候変動

亜表層や水温躍層に生息する浮遊性有孔虫の Mg/Ca 分析によって、過去 370 万年間にわたる鉛直水温構造の復元を行った。亜表層水温は過去 170 万年にわたって表層との水温差が一定であったが、それ以前の時代では表層と亜表層の水温差は大きかったことが本研究で初めて明らかになった。こうした水温差の変化は、表層混合層の厚さの変化として解釈できる。つまり、170 万年前以前は混合層が比較的薄かったため、表層と亜表層の水温に差があった。その後、170 万年前に表層混合層が厚くなることで表層と亜表層の水温差が小さくなった。170 万年前は北半球と南半球の亜寒帯域において表層水温の低下が起こり、熱帯と高緯度域との水温差が拡大した時期である。熱帯と高緯度域の水温差の拡大は南北方向の大気循環（ハドレー循環）を強めたであろう。ハドレー循環の一部は熱帯域の貿易風として地表面を流れているため、貿易風も強化したことが予想され、その結果、熱帯域東西方向の大気循環（ウォーカー循環）も強化した可能性がある。ウォーカー循環の強化は表層水を西へと押しつけ、暖水塊の厚さを増す方向に働いた。本研究で熱帯太平洋域の鉛直水温構造の変化が全球寒冷化と密接にかかわっていることが示された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Paul N. Pearson, Takuya Sagawa, and IODP Expedition 363 Shipboard Scientific Party	4. 巻 37
2. 論文標題 A deep-sea agglutinated foraminifer tube constructed with planktonic foraminifer shells of a single species	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Micropalaeontology	6. 最初と最後の頁 97-104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/jm-37-97-2018	査読の有無 有
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Rosenthal, Y., Holbourn, A.E., Kulhanek, D.K., Sagawa, T. and the Expedition 363 Scientists	4. 巻 363
2. 論文標題 Western Pacific Warm Pool	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Ocean Discovery Program	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14379/iodp.proc.363.2018	査読の有無 無
オープンアクセス 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 該当する
1. 著者名 Li Jiayi, Yamazaki Toshitsugu, Usui Yoichi, Sagawa Takuya, Kubota Yoshimi, Kuroda Junichiro	4. 巻 127
2. 論文標題 Understanding the Role of Biogenic Magnetite in Geomagnetic Paleointensity Recording: Insights From Ontong Java Plateau Sediments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2022JB024387	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yamamoto Masanobu, Kikuchi Takafumi, Sakurai Hiromichi, Hayashi Ryoma, Seki Osamu, Omori Takayuki, Sulaiman Abdullah, Shaari Hasrizal, Abdullah Mohd Zulhilmy, Melling Lulie	4. 巻 48
2. 論文標題 Tropical Western Pacific Hydrology During the Last 6,000?Years Based on Wildfire Charcoal Records From Borneo	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2021GL093832	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Matsuzaki Kenji, Noritoshi Suzuki, Ryuji Tada	4. 巻 48
2. 論文標題 Supplemental Material: An intensified East Asian winter monsoon in the Japan Sea between 7.9 and 6.6 Ma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geology	6. 最初と最後の頁 919-923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1130/geol.s.12331130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 佐川拓也、久保田礼実、牧野梨沙子、久保田好美、Yair Rosenthal
2. 発表標題 後期鮮新世以降の西太平洋暖水塊における表層・亜表層水温
3. 学会等名 地球環境史学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水野 文人、佐川 拓也、向田 圭祐、久保田 好美、山崎 俊嗣、黒田 潤一郎
2. 発表標題 過去100万年間の西赤道太平洋暖水塊における鉛直水温構造の復元
3. 学会等名 地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Sagawa, Risako Makino, Yukimi Kubota, Yoshimi Kubota, Yair Rosenthal
2. 発表標題 Evolution of meridional and zonal sea surface temperature gradients in the Pacific Ocean during the Quaternary period
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2021 conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Fumito Mizuno, Takuya Sagawa
2. 発表標題 Pliocene thermocline stability in the western Pacific warm pool inferred from the individual foraminifera analysis
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2021 conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Misaki Urakami, Takuya Sagawa, Yoshimi Kubota
2. 発表標題 Integrated stratigraphy of the sediment core retrieved from the Manihiki Plateau in the central Pacific and the paleotemperature change for the last 800 kyr
3. 学会等名 Japan Geoscience Union 2021 conference
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>プロジェクト紹介 IODP Expedition 363  <a href="http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/~tsagawa/project_Exp363.html">http://earth.s.kanazawa-u.ac.jp/~tsagawa/project_Exp363.html</a></p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松崎 賢史  (Matsuzaki Kenji)  (50728582)	東京大学・大気海洋研究所・助教    (12601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山本 正伸  (Yamamoto Masanobu)  (60332475)	北海道大学・地球環境科学研究所・教授    (10101)	
研究分担者	久保田 好美  (Kubota Yoshimi)  (80710946)	独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・研究主幹    (82617)	

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1件

国際研究集会 Kanazawa University SAKIGAKE International Symposium	開催年 2021年～2021年
--	--------------------

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			
英国	University Collage of London			
ドイツ	Kiel University	Bremen University		
米国	Rutgers University	University of California, Santa Cruz		