

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02016

研究課題名（和文）地球気候の本質的理解に向けた温室地球時代の海水温季節変動動態の解析

研究課題名（英文）Analyses of seasonal temperature variations in the greenhouse interval toward an essential understanding of the Earth's climate system

研究代表者

守屋 和佳（Moriya, Kzuyoshi）

早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授

研究者番号：60447662

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地球温暖化時代の極相期の一つである、白亜紀中期セノマニアン期からチューロニアン期に生じた海洋無酸素事変を対象として研究を行った。当時の大気海洋系に起きた大規模な炭素循環の摂動に伴い、当時の動物プランクトン（浮遊性有孔虫）の組成が大きく変化した。また、このときの海水温は高い温度を維持していたことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の地球環境は、急激な温暖化に直面しており、人類を含めた地球上の生命に対しても大きな影響を及ぼしている。この要因は、人為起源の炭素の急激な放出にある。地球の歴史のなかにも、人為起源ではないが、地下に隔離されていた炭素が急激に大気海洋系に放出されたイベントが繰り返し発生してきた。そのなかでも、代表例の一つが、白亜紀中期の極温暖期に生じた海洋無酸素事変である。このイベントでは、突発的な大規模火成活動により大気中の二酸化炭素濃度が増加し、地球表層系に様々な変化が起きた。本研究では、この海洋無酸素事変を対象として研究を行うことで、近未来の温暖化の理解をより深く正確なものにしようとする意義がある。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Event that occurred during the Cenomanian/Turonian boundary, which is known as one of the archetypal global warming intervals. The fossil assemblages of zooplankton (planktonic foraminifera) at this interval changed drastically in response to the large-scale carbon perturbation in the atmosphere-ocean system at that time. The study also revealed that sea surface water temperatures remained extremely high during this event.

研究分野：古生物学・古海洋学

キーワード：白亜紀 温暖化 海洋無酸素事変 海水温 有孔虫 古環境学

### 1. 研究開始当初の背景

地球史に残された温室地球時代の気候システムの動態、とくに温室地球時代に特有の気候フィードバックについては、未だにその詳細の議論が行われていない。特に氷床の有無に着目した場合、誕生後の極初期を除き、地球の気候状態は、全球凍結状態、部分凍結状態（氷室地球）、および無氷床状態（温室地球）の3つに大別できることが知られている。現在は氷室地球時代であり、氷期／間氷期サイクルが存在するその地球気候システムは、プロキシ記録に基づく気候データの解析や数値実験から盛んに研究が行われ、直近に迫った地球温暖化時代の気候予測が行われている。

一方で、地球上の一部、あるいは全部が氷床で覆われていた期間は、地球の歴史のなかでも約10%程度の期間しかなく、残りの約90%の期間は地球上に全く氷床が存在しない温室地球時代であった。この温室地球時代の古気候の研究は、地球史における最近の例である白亜紀から古第三紀前半を対象として盛んに行われてきた。第四紀の古気候研究と同様に、地球温暖化時代の古気候についても、連続的に堆積した海底コアから得られた試料によるプロキシ記録解析（例えば炭酸塩化石の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) 分析や、アーキア膜脂質由来の有機分子 (TEX<sub>86</sub>) を用いた平均古水温推定) や (図1)、大気大循環モデル・海洋大循環モデルなどを用いた数値実験などにより、推し進められてきた。

これらの研究の蓄積により、プロキシ記録と数値実験との結果を対比させ議論が行われてきたが、白亜紀の研究においては、プロキシ記録で示された平均古水温の緯度勾配を数値実験では再現できない、という課題が長らく問題となっていた。これに対し、近年各国で開発された、大気循環と海洋循環を完全に結合し計算を行えるようになった新しい物理モデルを用いて再度白亜紀の海面水温の計算を行ったところ、第四紀の実験に使用するモデルと同じモデルで人為的な操作なしに白亜紀の海面水温の緯度分布が再現できることが明らかになった。これは、以前の物理モデルの欠点を浮き彫りにすると同時に、部分凍結状態と無氷床状態という不連続な地球気候状態も、本質的に同一の物理モデルで記述できる可能性を示したことになり、地球気候研究において極めて重要な進展と言える。

近未来に予想されている地球温暖化が、最も悲観的な、CO<sub>2</sub>排出量の多いシナリオのように進行した場合、大気中のCO<sub>2</sub>濃度は1000ppmを超え、白亜紀や古第三紀のような気候状態になることも予想されている。このような状況下において、急激に温暖化が進行したイベントにおいても、新しい物理モデルで無理なく記述できるかは、未だに検証されていない。

### 2. 研究の目的

このような背景のなかで、地球史における極端な温暖化イベントである、白亜紀中期セノマニアン期／チューロニアン期境界の海洋無酸素事変に着目し、プロキシ記録からその気候状態を明らかにすることが本研究の目的である。特に、1) 炭素循環の擾乱を伴う気候-炭素循環フィードバックの駆動時における平均古水温の変動、2) 平均古水温の変動に伴って生じると予想される古水温の季節変動幅の変化、3) 炭素循環擾乱の発生タイミングと上記で明らかになる古水温の詳細変動とのタイミングや持続時間の解析、を行うことを目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 大気海洋系の炭素循環の動態の解析

海洋表層で生産された炭酸塩、および有機炭素の炭素同位体比を分析し、大気海洋系の炭素循環の動態を示す。

#### (2) 海水温緯度勾配の解析

低緯度地域、および高緯度地域において採取された堆積物試料から産出した浮遊性有孔虫化石を用いて、その酸素同位体比を測定する。測定された値から古水温を産出し、低緯度—高緯度感の海水温勾配を示す。

#### (3) 海洋無酸素事変時の海水温の詳細解析

海洋無酸素事変時に着目し、高時間解像度で採取された堆積物試料を用いて、浮遊性有孔虫化

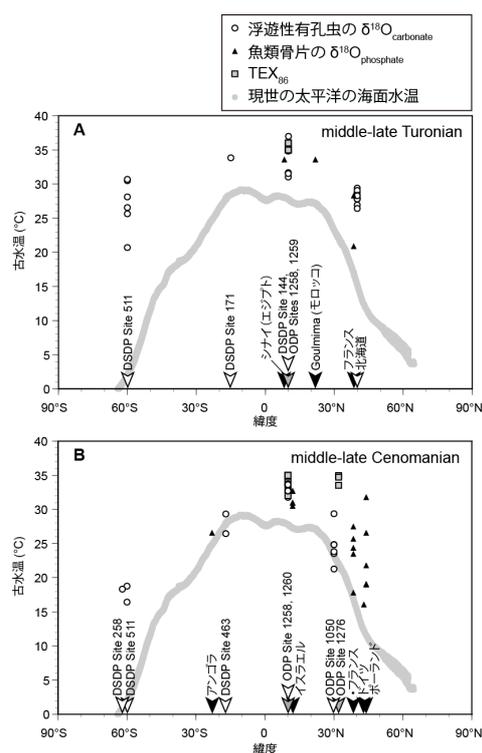


図1. プロキシ記録解析から示された白亜紀中期のチューロニアン期 (A) とセノマニアン期 (B) の海面水温の緯度分布。Moriya (2011)を改変。

石の酸素同位体比の時系列変動を示す。

(4) 炭素循環擾乱イベントに対する海水温の応答の解析

上記 (1) から (3) の結果を統合し、海洋無酸素事変時における炭素循環の動態と、それに応答する海水温変動を示す。

4. 研究成果

本研究により、高緯度地域における海洋無酸素事変時の炭素循環について、明瞭な記録を得ることに成功した。低緯度地域においては、先行研究により詳細な記録が得られていたが、高緯度地域においては本研究の記録がよく保存されている (図 2)。セノマニアン期 / チューロニアン期境界において、暗色層が沈殿し、暗色層では有機炭素濃度が著しく増加しており、海洋無酸素事変の特徴が示されている。同時に、有機炭素の炭素同位体比も大きく上昇する。

これまでは、高緯度地域では、海洋無酸素事変時の記録が断片的であったが、本研究により、低緯度地域から高緯度地域に至るまで、本質的に同一の炭素が関与する記録が残されていることが示された。これは、海洋無酸素事変における炭素循環の摂動が、グローバルなものであることを裏付けており、大気海洋系における炭素循環の摂動の記録である。

炭素循環系の摂動の記録と、海水温の記録をあわせることで、温室地球時代に発生した突発的温暖化のメカニズムを明らかにすることに繋がる。仮に、現代の地球温暖化が、極端に進行した場合、本研究から得られる知見がその将来予測に貢献すると期待している。

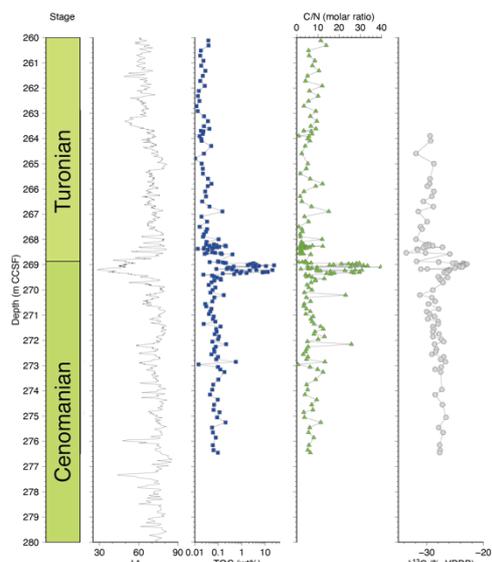


図 2. セノマニアン期 / チューロニアン期境界における炭素循環動態を示すプロキシ記録。有機炭素濃度の上昇とともに、炭素同位体に大きな正変位が認められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kuwae Michinobu et al.	4. 巻 10
2. 論文標題 Beppu Bay, Japan, as a candidate Global boundary Stratotype Section and Point for the Anthropocene series	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Anthropocene Review	6. 最初と最後の頁 49 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/20530196221135077	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 Kitamura Akihisa, Kameo Koji, Motoyama Isao, Moriya Kazuyoshi, Saito Takeshi, Watanabe Mahito, Mori Hideki	4. 巻 61
2. 論文標題 Unconsolidated mudstone gravels in embankment at the site of a landslide in the Izusan area, Atami City, Shizuoka Prefecture, Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu)	6. 最初と最後の頁 143 ~ 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4116/jaqua.61.2203	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 -
1. 著者名 Segawa Yudai, Yamamoto Masanobu, Kuwae Michinobu, Moriya Kazuyoshi, Suzuki Hitoshi, Suzuki Koji	4. 巻 127
2. 論文標題 Reconstruction of the Eukaryotic Communities in Beppu Bay Over the Past 50?Years Based on Sedimentary DNA Barcoding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JG006825	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 -
1. 著者名 Hull et al.	4. 巻 367
2. 論文標題 On impact and volcanism across the Cretaceous-Paleogene boundary	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 266 ~ 272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aay5055	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 Tanabe, K., Miyaji, T., Murakami-Sugihara, N, Shirai, K., and Moriya, K.	4. 巻 167
2. 論文標題 Annual shell growth patterns of three venerid bivalve mollusk species in the subtropical northwestern Pacific as revealed by sclerochronological and stable oxygen isotope analyses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Biology	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) 10.1007/s00227-019-3637-7	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 -

1. 著者名 Takagi Haruka, Kimoto Katsunori, Fujiki Tetsuichi, Saito Hiroaki, Schmidt Christiane, Kucera Michal, Moriya Kazuyoshi	4. 巻 16
2. 論文標題 Characterizing photosymbiosis in modern planktonic foraminifera	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 3377 ~ 3396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/bg-16-3377-2019	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 Tanabe, K., Misaki, A., Ikeda, T., Izukura, M., and Morya, K.	4. 巻 23
2. 論文標題 Taxonomic Relationships and Paleoecological Significance of Two Exceptionally Large Lower Jaws of Late Cretaceous Ammonoids from Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Paleontological Research	6. 最初と最後の頁 152 ~ 152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2517/2018PR015	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 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 守屋 和佳・古屋 俊和・宮倉 寧子
2. 発表標題 白亜紀後期北西大西洋における浮遊性有孔虫の多様性変動と有機炭素埋没
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 古市 剛久・天野 敦子・小川 佳子・守屋 和佳・藤光 康宏・南雲 直子・小口 千明・紺屋 恵子・宋 苑瑞
2. 発表標題 奇跡の惑星「地球」の誕生・歴史・現在・未来：JpGUによる女子中高生の理工系キャリアパス支援での地球惑星科学の紹介
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加 三千宣ほか
2. 発表標題 別府湾堆積物における人為痕跡数の急激な増加が人新世の始まりの明確な指標となる
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Andre Bornemann, Oliver Friedrich, Kazuyoshi Moriya, and Howie Scher
2. 発表標題 The Albian to Turonian record of IODP Site U1407 (SE Newfoundland Ridge)
3. 学会等名 EGU General Assembly 2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北村晃寿・亀尾浩司・本山 功・守屋和佳・齊藤 毅・渡辺真人・森 英樹
2. 発表標題 熱海土石流の発生源の盛土に含まれる軟質泥岩礫
3. 学会等名 日本古生物学会第172回例会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 白川総一・守屋和佳・宮倉寧子
2. 発表標題 Diachronic extinction of planktic foraminifers at the mid-Cretaceous Cenomanian/Turonian boundary
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 守屋和佳・宮倉寧子・長谷川卓・後藤晶子
2. 発表標題 Oceanic anoxic event 2 observed in Southwestern Newfoundland Ridge
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 守屋和佳・大山 琢・石村豊穂
2. 発表標題 Depth habitat of the late Eocene planktic foraminifers
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuko Miyakura, Kazuyoshi Moriya, Akiko S. Goto, Takashi Hasegawa
2. 発表標題 Organic carbon isotope stratigraphy across the Cenomanian/Turonian boundary at northern Atlantic
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Soichi Shirakawa, Ryo Nakanishi, Kazuyoshi Moriya
2. 発表標題 Planktic foraminiferal biostratigraphy across the mid-Cretaceous Oceanic Anoxic Events
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Oyama, T., Moriya, K., Ishimura, T., Kino, K., and Kaneko, S.
2. 発表標題 Variability in sea surface water temperatures and planktic foraminiferal paleoecology in the late Eocene with individual isotope analyses
3. 学会等名 1st Asian Palaeontological Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takagi, H., Kimoto, K., Fujiki, T., Moriya, K., and Saito, H.
2. 発表標題 Toward a better understanding of planktic foraminiferal proxies: Are they photosymbiotic or not?
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 舩井博紀・守屋和佳
2. 発表標題 中期始新世の温暖化イベントMECOにおける環境変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本古生物学会（編）	4. 発行年 2023年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 790
3. 書名 古生物学の百科事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>早稲田大学 進化古生物 守屋研究室  <a href="http://www.waseda.jp/sem-paleobiology/index.html">http://www.waseda.jp/sem-paleobiology/index.html</a>          早稲田大学 進化古生物 守屋研究室  <a href="http://www.waseda.jp/sem-paleobiology/index.html">http://www.waseda.jp/sem-paleobiology/index.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	長谷川 卓  (Hasegawa Takashi)  (50272943)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授   (13301)	
研究分担者	山本 正伸  (Yamamoto Masanobu)  (60332475)	北海道大学・地球環境科学研究院・教授   (10101)	
研究分担者	石村 豊穂  (Ishimura Toyoho)  (80422012)	京都大学・人間・環境学研究所・准教授   (14301)	

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			
ドイツ	BGR	Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg		
米国	University of South Carolina	Yale University		