

令和 2 年 6 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04070

研究課題名（和文）気候ジャンプ時における海水温の季節変動幅の時系列変動と大陸氷床形成のタイミング

研究課題名（英文）Seasonal temperature variability and the timing of the initial Antarctic glaciation across the climate jump at the Eocene/Oligocene boundary

研究代表者

守屋 和佳（Moriya, Kazuyoshi）

早稲田大学・教育・総合科学学術院・准教授

研究者番号：60447662

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、統合国際深海掘削計画第342次航海により、カナダニューファンドランド沖から採取された、始新世/漸新世境界の堆積物を用いて研究を実施した。堆積物から抽出された浮遊性有孔虫化石の酸素同位体比、おなじく堆積物から抽出された有機分子のTEX86解析から、始新世/漸新世境界における平均的海水温、海水温の季節変動幅、および氷床量の時系列変動を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の地球は、南極およびグリーンランドに大陸氷床が存在する部分凍結状態にあるが、恐竜が陸上を闊歩していた白亜紀には大陸氷床が存在しない無氷床状態にあった。この無氷床状態から部分凍結状態への気候ジャンプは、始新世/漸新世境界に生じたことが知られている。しかし、その際の詳細な気候状態は、数値実験から予測されるのみで、データによる裏付けが不十分な状態であった。本研究では、これに対し、気候ジャンプ時における平均的海水温、海水温の季節変動幅、および氷床量の時系列変動をこれまでになく時間解像度で明らかにすることに成功した。

研究成果の概要（英文）：We described average sea water temperature, seasonal variability in sea water temperature, and timing of the onset of the Antarctic glaciation across the Eocene/Oligocene transition. We utilized sediments obtained by the Integrated Ocean Drilling Program, Expedition 342 at off Newfoundland, Canada. Carbon and Oxygen isotope ratios of selected planktic foraminifers recovered from the sediments of the late Eocene through early Oligocene in age were analyzed. In addition to these isotope analyses, organic molecules extracted from these sediments were also analyzed on high performance liquid chromatography to identify TEX86 temperature.

研究分野：古生物学・古海洋学

キーワード：古海洋学 海水温季節変動 気候ジャンプ 始新世/漸新世 地球化学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

温室地球時代から氷室地球時代への転換期における地球気候動態の詳細は、未だに明らかになっていない。過去 1 億年間の地球史においては、白亜紀から古第三紀中期までが、地球上に大陸氷床が存在しない温室地球時代であり[1, 2]、その後の寒冷化に伴い、始新世/漸新世境界(約 3 千 4 百万年前)に南極大陸に氷床が形成され、それまでの温室地球時代から、今日へと続く氷室地球時代へ転換したことが知られている[3-5]。この地球気候の転換点は、各々が安定な気候状態である、温室地球と氷室地球との間の急激な遷移、すなわち気候ジャンプによって特徴づけられる[6]。特に、大気中の二酸化炭素濃度($p\text{CO}_2$)の変化と気候システムの転換との関連を明らかにするために、現在に最も近い気候ジャンプである始新世/漸新世境界が盛んに研究対象とされてきた。この時代には、 $p\text{CO}_2$ が減少し[7, 8]、気候が急激に寒冷化したことで[9-11]、陸上生物や海棲生物の絶滅事変が発生し[12, 13]、陸上の風化過程が変化し[14]、海洋では炭酸塩補償深度が急激に深くなり[4]、炭素循環系が大きく変化する[15]など、地球気候システムに大規模な摂動が起きたことが報告されている。さらに、近年の数値実験によれば、この気候ジャンプ時には、地球の公転軌道の離心率の変動周期(10 万年周期)に合わせて南極氷床の大きさが変動し、夏の気温が最低になる、すなわち、夏-冬の季節変動が最低になる軌道周期に達したときに、急速に氷室地球へと転換することが予測されている[16]。

ところが、この時代の古環境の解析対象とされてきた深海底堆積物は、堆積速度が遅く、地球軌道要素の変動周期に対応した時間解像度でのデータが得られていなかった[4, 17]。 $p\text{CO}_2$ の変化に起因し、多数の生物の絶滅を引き起こし、地球システムの大転換期であった気候ジャンプ時における地球表層環境の動態を詳細に理解するためには、地球軌道要素の変動周期に対応する時間解像度で、海水温の季節性までも含めた海水温変動記録の解析と、南極氷床拡大のタイミングの解析が喫緊の課題である。

[1] Moriya, K. et al. *Geology* 35, 615-618 (2007). [2] Moriya, K. *Paleont. Res.* 15, 77-88 (2011). [3] Kennett, J.P., Shackleton, N.J. *Nature* 260, 513-515 (1976). [4] Coxall, H.K. et al. *Nature* 433, 53-57 (2005). [5] Zachos, J.C. et al. *Nature* 451, 279-283 (2008). [6] Ikeda, T., Tajika, E. *Geophys. Res. Lett.* 26, 349-352 (1999). [7] Pagani, M. et al. *Science* 309, 600-603 (2005). [8] Pearson, P.N. et al. *Nature* 461, 1110-1113 (2009). [9] Liu, Z.H. et al. *Science* 323, 1187-1190 (2009). [10] Bohaty, S.M. et al. *Earth Planet. Sci. Lett.* 317, 251-261 (2012). [11] Wade, B.S. et al. *Geology* 40, 159-162 (2012). [12] Norris, R.D. *Paleobiology* 17, 388-399 (1991). [13] Prothero, D.R. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 22, 145-165 (1994). [14] Salamy, K.A., Zachos, J.C. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 145, 61-77 (1999). [15] Merico, A. et al. *Nature* 452, 979-982 (2008). [16] DeConto, R.M., Pollard, D. *Nature* 421, 245-249 (2003). [17] Zachos, J.C. et al. *Paleoceanography* 11, 251-266 (1996). [18] Friedrich, O., Erbacher, J., bacher, J., Moriya, K. et al. *Nature Geosci.* 1, 453-457 (2008). [19] Ishimura, T. et al. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 18, 2883-2888 (2004). [20] Ishimura, T. et al. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* 22, 1925-1932 (2008). [21] Takagi, H., Moriya, K. et al. *Paleobiology* 41, 108-121 (2015). [22] Schouten, S. et al. *Geochem. Geophys. Geosy.* 14, 5263-5285 (2013).

2. 研究の目的

本研究では、始新世/漸新世境界(EOT; 約 3 千 4 百万年前)に生じた、温室地球時代から氷室地球時代への気候ジャンプに伴う氷床量と気候変動の動態を、およそ 800 年間隔という、これまでの EOT 研究史上にない超高時間解像度で明らかにする。これまでの EOT における地球化学代理指標のデータに基づく研究は、時間解像度が十分でなく、数値実験による気候モデルからの予測の検証ができていなかった。本研究で、(1)浮遊性有孔虫化石 1 個体ごとの酸素同位体比と(2)バイオマーカー分析による TEX_{86} の分析から、当時の(3)氷床量と夏季-冬季間の海水温季節変動幅の超高解像度時系列変動を明らかにすることで、EOT における気候ジャンプが、どのような時間スケールで、どのような順序で、そしてどの程度の規模で生じたのかを明らかにし、その支配要因とメカニズムを検討する。

3. 研究の方法

本研究では、最高で 800 年に 1 試料という、地球軌道要素の変動周期と対比できる時間解像度で、気候ジャンプ時の海水温や氷床量変動の動態を議論することを目指す。そのために、(1): 浮遊性有孔虫 1 個体の酸素同位体比分析から求められる海水温の季節変動幅の解析(2): 堆積物のバイオマーカー分析から求められる TEX_{86} 値に基づく平均海水温の時系列変動解析(3): 浮遊性有孔虫複数個体の酸素同位体比分析による海水温と海水の酸素同位体比の時系列解析(4):(2)と(3)の差分による、海水の酸素同位体比、すなわち氷床量変動の解析を行う。これらの結果の時間的前後関係や変動の規模を対比することで、気候ジャンプの発生時における環境変動の支配要因とその動態を議論する。

4. 研究成果

本研究には、統合国際深海掘削計画第 342 次航海によって、カナダ・ニューファンドランド島沖合の深海底から採取された堆積物を使用した。この航海では、温室地球時代から氷室地球時代

への気候ジャンプが起きた直近の例である，始新世／漸新世境界の堆積物が回収された．この始新世／漸新世境界を含む堆積物から，浮遊性有孔虫化石および有機分子化石を抽出し，これらの炭素・酸素同位体比分析および TEX_{86} 古水温解析を行った．

浮遊性有孔虫については，まず，1 試料中から複数種の分析を行い，各種の棲息深度の推定を行い，混合層中に棲息していたと考えられる種を特定した．その後，その種の 1 個体ごとの炭素・酸素同位体比分析を行い季節変動幅の解析を行った．有機分子化石については，分画後に，極性画分を高速液体クロマトグラフィー質量分析計にて分析し， TEX_{86} 古水温の算出を行った．

浮遊性有孔虫化石の酸素同位体比と， TEX_{86} 値との比較から，南極氷床の拡大時期を特定し，古水温の時系列変動を解析した．その結果，海水温の季節変動幅はミランコビッチ・サイクルに呼応して変動していることが示された．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 Batenburg, S., Friedrich, O., Moriya, K., Voigt, S., Cournede, C., Moebius, I., Blum, P., Bornemann, A., Fiebig, J., Hasegawa, T., Hull, P.M., Norris, R.D., Rohl, U., Sexton, P.F., Westerhold, T., Wilson, P.A.	4. 巻 51
2. 論文標題 Late Maastrichtian carbon isotope stratigraphy and cyclostratigraphy of the Newfoundland Margin (Site U1403, IODP Leg 342)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Newsletters on Stratigraphy	6. 最初と最後の頁 245-260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1127/nos/2017/0398	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 Takagi, H., Kimoto, K., Fujiki, T., and Moriya, K.	4. 巻 76
2. 論文標題 Effect of nutritional condition on photosymbiotic consortium of cultured Globigerinoides sacculifer (Rhizaria, Foraminifera)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Symbiosis	6. 最初と最後の頁 25-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s13199-017-0530-3	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 守屋和佳	4. 巻 102
2. 論文標題 温室時代における海洋表層環境	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化石	6. 最初と最後の頁 31-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.14825/kaseki.102.0_31	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 守屋和佳	4. 巻 102
2. 論文標題 東京の開発とともに歩んだ化石 東京産のトウキョウホタテ	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化石	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.14825/kaseki.102.0_1	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 Friedrich, O., Batenburg, S. J., Moriya, K., Voigt, S., Cournede, C., Mobius, I., Blum, P., Bornemann, A., Fiebig, J., Hasegawa, T., Hull, P. M., Norris, R. D., Rohl, U., Westerhold, T., Wilson, P. A., and IODP Expedition 342 Scientists	4. 巻 -
2. 論文標題 Maastrichtian carbon isotope stratigraphy and cyclostratigraphy of the Newfoundland Margin (Site U1403, IODP Leg 342)	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Climate of the Past, Discussion	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/cp-2016-51	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 Takagi, H., Moriya, K., Ishimura, T., Suzuki, A., Kawahata, H., and Hirano, H.	4. 巻 20
2. 論文標題 Individual migration pathways of modern planktic foraminifers: Chamber-by-chamber assessment of stable isotopes	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Paleontological Research	6. 最初と最後の頁 268-284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2517/2015PR036	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, H., Kimoto, K., Fujiki, T., Kurasawa, A., Moriya, K., and Hirano, H.	4. 巻 122
2. 論文標題 Ontogenetic dynamics of photosymbiosis in cultured planktic foraminifers revealed by fast repetition rate fluorometry	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Marine Micropaleontology	6. 最初と最後の頁 44-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marmicro.2015.10.003	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 Moriya, K., and Friedrich, O.	4. 巻 -
2. 論文標題 Data report: relative abundance of benthic foraminiferal morphotypes across the Eocene/Oligocene and Oligocene/Miocene boundaries (IODP Expedition 342 Site U1406, North Atlantic)	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program, 342	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) 10.2204/iodp.proc.342.204.2016	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

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Kazuyoshi Moriya, Kotaro Shirai, Kaoru Kubota, Naoko Sugihara and Kazushige Tanabe
2. 発表標題 Estimating a growth rate and habitat of the upper Cretaceous Eutrephoceras (Nautilidae, Cephalopoda) with stable isotope records
3. 学会等名 5th International Palaeontological Congress (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuyoshi Moriya, Toyoho Ishimura, and Paul A. Wilson
2. 発表標題 Assessment of sea surface temperature range in the Eocene with individual planktic foraminiferal isotope analyses
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 守屋和佳
2. 発表標題 中生代におけるアンモナイト類の生活様式の進化
3. 学会等名 日本地質学会第125年学術大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田亞理紗・長谷川 卓・後藤晶子・岩瀬優也・守屋和佳・Jim Haggart
2. 発表標題 カナダ太平洋沿岸に分布する上部カンパニアンからマーストリヒチアン階に関する有機地球化学的特徴
3. 学会等名 日本古生物学会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小布施 彰太・守屋和佳
2. 発表標題 続成作用によりアンモナイト類の殻室内に沈殿したカルサイトの累帯構造
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 内藤 陸・高木悠花・守屋和佳
2. 発表標題 始新世の温暖化イベント時における光共生性浮遊性有孔虫の動態
3. 学会等名 日本古生物学会第167回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuyoshi Moriya
2. 発表標題 Evolution of ecology and habitat of the Mesozoic ammonoids
3. 学会等名 GCP 630 Meeting in Japan, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 内藤 陸・守屋和佳
2. 発表標題 始新世の温暖化イベント時における光共生性浮遊性有孔虫の動態
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 守屋和佳
2. 発表標題 殻体の炭素・酸素同位体比分析から探るアンモナイト類の生息域の進化
3. 学会等名 日本古生物学会第166回例会シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Moriya, K.
2. 発表標題 Thermal structure and ocean circulation in the late Cretaceous Northwestern Pacific
3. 学会等名 Workshop for Cretaceous Climate (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Moriya, K., Wilson, P.A., Friedrich, O., Erbacher, J., and Takahashi, E.
2. 発表標題 Morphological plasticity and coiling ratio of the planktic foraminifer <i>Muricohedbergella delrioensis</i> across the mid-Cenomanian
3. 学会等名 International Conference on Paleoceanography (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 守屋和佳
2. 発表標題 過去2億年間でもっとも温暖であった時代・白亜紀の海水温と海洋循環
3. 学会等名 地球環境史学会2016年年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 守屋和佳
2. 発表標題 殻体の炭素・酸素同位体比分析から探るアンモナイト類の生息域の進化
3. 学会等名 日本古生物学会第166回例会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋恵里・守屋和佳
2. 発表標題 白亜紀中期セノマニアン期の浮遊性有孔虫 (<i>Muricohedbergella delrioensis</i>) の成長と古海洋環境変動
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016年大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

早稲田大学 進化古生物学研究室 守屋研究室 http://www.waseda.jp/sem-paleobiology/index.html
--

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	山本 正伸 (Masanobu Yamamoto) (60332475)	北海道大学・地球環境科学研究院・准教授 (10101)	

