

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05213

研究課題名(和文) 温室地球と氷室地球の分岐点：カナダ太平洋岸白亜系の水溫変動記録から探る

研究課題名(英文) Turning point between green house and ice house earths: investigation of paleothermometry from Cretaceous at Canadian Pacific Coast

研究代表者

長谷川 卓 (Hasegawa, Takashi)

金沢大学・自然システム学系・教授(リサーチプロフェッサー)

研究者番号：50272943

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：カナダ国ブリティッシュコロンビア州バンクーバー島近傍の小島であるホーンビー島の海蝕台に露出する上部白亜系カンパニアン階-マーストリヒチアン階の地質調査を行い、得られた地質試料の酸素および炭素同位体比分析を行った。

最も重要な成果は、長径約2mの炭酸塩コンクリションがメタン冷湧水性炭酸塩であることを同定したこと、そしてその酸素同位体比から、カンパニアン期後期には東太平洋の水深約200mの海底に約8℃という、深層水に匹敵する低温の水が存在したことが明らかになったことである。このことは、この場所に深層からの湧昇流が存在したことを示唆し、北東太平洋の古海洋を考察する上で非常に重要である。

研究成果の概要(英文)：Upper Campanian sequence exposed on a tidal flat around Hornby Island nearby Vancouver Island, British Columbia, Canada, was geologically surveyed. Oxygen and carbon isotopes from the samples obtained from there were analyzed.

A carbonate concretion with 2 m in the major axis was found and identified as a cold methane seep carbonate based on internal structure and carbon isotope signatures. As it was formed just on the sea bottom, the oxygen isotope values were used for paleothermometry of bottom water at depositional depth (~200 m). Surprising low paleotemperature as low as 8℃ indicates domination of cool water mass that is comparable with deep water over upper bathyal depth of middle latitude North Eastern Pacific. This paleothermometry is important for paleoceanographic reconstruction of North Eastern Pacific during late Campanian.

研究分野：地質学・古環境学

キーワード：北東太平洋 白亜紀 カンパニアン 古水溫 酸素同位体比 メタン湧水

1. 研究開始当初の背景

氷室地球から温室地球への移行が危惧される現在の地球環境：

大規模氷床を有する現在の地球は「氷室地球」である。今後、温暖化の進行に伴って氷床を失い、「温室地球」と呼ばれる白亜紀型の地球に移行しようとしている。この移行はある閾値を超えた際に極めて急速に進む可能性がある(気候ジャンプ; 田近英一 2009, 凍った地球, 新潮社)。現在の地球はどこまで人為的な放射強制力の増加に堪えて氷室地球であり続けられるのか、どこが「超えてはならない閾条件」なのか。それを理解することは地球科学者に課された大きな課題である。

温室地球から氷室地球への移行は一度失敗していた：

白亜紀の約 72Ma, カンパニアン(C)/マーストリヒアン(M)期境界における海底水温(世界各地の底生有孔虫の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}$)データ)は、始新世後期(約 40Ma)に相当するほど寒冷だった。72Ma 以降地球は再び温暖化し初期始新世温暖化極大(EECO)を迎える。一方 40Ma 以降、始新世末には大規模氷床が形成(Oi-1)され氷室地球に突入した。C/M 境界の地球環境は、温室地球から氷室地球への突入寸前だったと言える。なぜ温室地球に戻ってしまったのか? その閾条件を知ることが、現在危惧される氷室地球=>温室地球のジャンプを理解する重要なカギである。

北太平洋における C/M 境界の古水温データの欠如：

IPCC 第五次報告では過去の温暖化極相として始新世が議論されている。2009 年以降 EECO 後の 40-35Ma(氷室地球突入直前)の寒冷化に関する研究が多数公表され、知識量が飛躍的に増した。一方、40Ma とほぼ同じ海底水温と CO_2 分圧条件(Ekart, 1999 Am. J. Sci.)でありながら温室地球を維持した C/M 境界について他海域では古水温データの蓄積(深海コア等)が進む。物理モデル研究は北太平洋高緯度域を白亜紀末期の中深層水形成場と推定しているが(Otto-Bliesner et al. 2002, Geophys. Res.), 同海域周辺の古水温情報は殆どない(Zaharov et al. (2013) Sed. Geol. の $\delta^{18}\text{O}$ データは明らかに続成を受けており、参考になるが数値は信頼性が乏しい)。高解像 $\delta^{13}\text{C}$ 層序の構築と国際対比精度の向上：

近年 C/M 境界付近の詳細な $\delta^{13}\text{C}$ (炭素同位体比)層序が国際層序模式地の GSSP を始め欧州、北大西洋、赤道太平洋等から報告され、高精度で国際対比が可能になった。

カナダ太平洋岸の白亜系/予備調査の進展：

代表者の長谷川と現地協力者 Haggart 博士は文科省所管の 3 つの経費(科研費基盤 B 海外、頭脳循環を加速する若手派遣、特定国

派遣研究者)により別の層準の古環境解析を進める際に、予察的に本研究に用いる Hornby 島の下見(地質調査)と予察的分析を行った。その結果、堆積水深は一貫して暴風時波浪限界以深(テンペスタイトが確認されない)と推定された。また研究先進地と対比し得る $\delta^{13}\text{C}$ 層序を得た。一部試料からアラゴナイトが保存され、虹色に輝く化石片を確認した。

2. 研究の目的

本研究では、白亜紀当時巨大な地球表面を支配していた北太平洋における中・深層水が温室地球に向かうか、氷室地球に向かうかの重要な鍵であると考えた。そこでカンパニアン期末期、約 72Ma における北太平洋中・深層水の古水温変動を探り、作業仮説「72Ma の寒冷化を主導したのは北太平洋寒冷中層水である」の検証を到達目標とする。

3. 研究の方法

議論の流れは、次の①～④の通り。

①カナダ国ブリティッシュコロンビア州バンクーバー島に隣接する Hornby 島西岸に露出する上部白亜系カンパニアン階のノースアンバーランド層について現地協力研究者である J. Haggart 氏と共に詳細地質調査を行い、堆積場水深の評価(確かに暴風時波浪限界以下-下部陸棚以深か)を確定する。カナダ太平洋岸最北部の Queen Charlotte(QC)諸島でも同じ作業を行う(図 1)。



② $\delta^{13}\text{C}$ (有機物)、大型化石、古地磁気、浮遊性有孔虫の統括層序を構築し、 $\delta^{13}\text{C}$ イベントを認定し GSSP などリファレンスセクションと詳細な国際対比を行う。古地磁気と大型化石データは既公表。

③ 海底で形成されたと解釈できる炭酸塩(底生有孔虫、二枚貝などを含む)の $\delta^{18}\text{O}$ により海底古水温変動を解読する。

④ 上記①～③に基づいて北太平洋中層水発達の有無、有ならばその発達時期などを論じる。

泥質岩の全岩有機炭素同位体比分析に関しては、Hasegawa et al. (2013, Cret. Res. 40)に示した方法と同様な手法で、金沢大学長谷川研究室設置の元素分析装置 ThermoQuest NCS2500 直結型の質量分析装置 ThermoFisher 社の Delta V Advantage を用いて測定した。標準試料の繰り返し測定による誤差は 0.11‰以下と評価された。

炭酸塩岩及び化石炭酸塩の酸素・炭素同位体比については、Jenkins et al. (2017, Palaeo-3, 487)に報告したとおりで、ThermoFisher 社の GasBenchII + Delta V Advantage を用いて分析し、標準試料の繰り返し測定による誤差評価は酸素、炭素同位体比共に 0.1‰以下である。

炭酸塩の酸素同位体比から古水温を算出するにあたり、霰石試料（大型化石）は以下の Grossman and Ku (1986, Chem. Geol., 59)の式：

$$T(^{\circ}\text{C}) = 20.6 - 4.34 (\delta^{18}\text{O}_{\text{sp}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}) \quad \dots (1)$$

また無機沈殿した炭酸塩ノジュール（方解石）については Kim and O'Neil (1997, Geochim. Cosmochim. Acta, 61)の式：

$$1000 \ln \alpha = 18.03 (103 T^{-1}) - 32.42 \quad \dots (2)$$

分別係数 α は以下の式：

$$\alpha = \{1 + (\delta^{18}\text{O}_{\text{sp}} / 1000)\} / \{1 + (-29.94) / 1000\} / \{1 + (\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}} / 1000)\} \quad \dots (3)$$

で求めた。ただし式(1)、(3)における $\delta^{18}\text{O}_{\text{sp}}$ は試料の酸素同位体比(‰ vs. VPDB)、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ は海水の酸素同位体比(-1.0‰ vs. VSMOW)である。さらに XRD 分析によって推定した MgCO_3 のモル含有量を用いて、Tarutani (1969, Geochim. Cosmochim. Acta, 33)の示した補正方法によって(3)の温度推定に用いた $\delta^{18}\text{O}_{\text{sp}}$ 値を補正した。

4. 研究成果

地質調査

Hornby 島西岸のナナイモ層群ノースアンバーランド層詳細地質調査の結果、堆積場水深は少なくとも暴風時波浪限界以下であることが明らかになった。得られている化石の多様性は高く、一部は良好に保存されているため、200m 程度の水深を示唆しているものと考えられる。一方でノースアンバーランド層上位のジオフレイ層はチャネル堆積物で、ノースアンバーランド層を削剥して堆積している。大陸東縁にあり大陸棚やコンチネンタルライズを伴わずに陸から 200m 以深まで連続して相対的に急傾斜であったために 200m 程度の水深でも深海に見られるようなチャネル堆積物が堆積したものと考察される。

本研究ではホーンビー島のナナイモ層群

に属するノースアンバーランド層、ジオフレイ層、スプレイ層およびガブリオラ層から泥質岩試料を約 130 個採取し、全岩有機炭素の同位体比を分析した。

Hornby 島の調査では、大潮の干潮時のみに

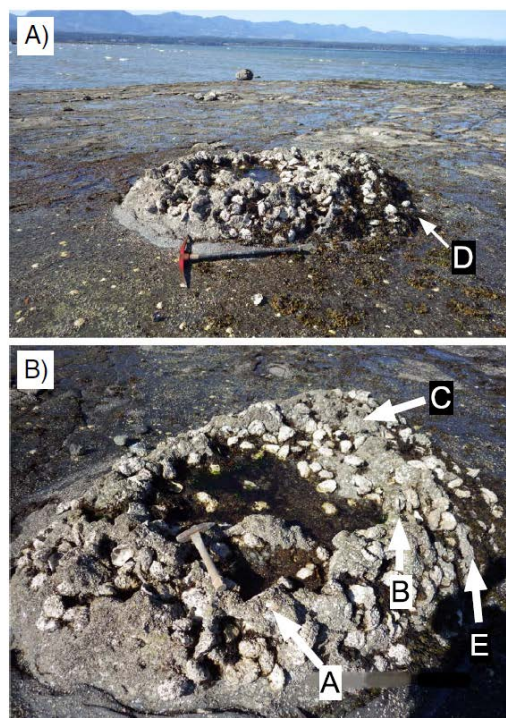


Fig. 2. Crater-shaped geometry of the studied carbonate mound. Large individuals of Miyagi oysters, barnacles, and algae are attached firmly to the irregular surface of the rock, making detailed observation difficult. A). General view of the MNP-103 carbonate mound and sample location of MNP-103D. The pick axe is 89 cm long. Note horizontal orientation of surrounding strata. B). View from above down on to "crater mound" showing location of samples MNP-103A, -103B, -103C, and -103E. Hammer on left is 34 cm long.

図2. Hornby 島の上部白亜系カンパニアン階で見つかったクレーター状炭酸塩コンクリーション(Jenkins et al., 2017). A-E で示す位置で試料採取を行った。

露出する海蝕台の縁辺部に、火山火口あるいはクレーター状の、長径約 2 m に達する炭酸塩コンクリーションを発見した(図2)。これについては Jenkins et al. (2017)にて詳細に記載を行い、メタン冷湧水に伴って形成された炭酸塩であることが分かった。このような炭酸塩は海底面付近で形成される。従って、内部構造を詳細に調査して最も初生的に沈殿した部分の酸素同位体比を測定すれば、これから海底面付近の古水温を推定できる。このことについては、のちに詳細に述べる。

クイーンシャーロット諸島グレアム島の東海岸(53° 25' 14.2" N, 131° 54' 53.5" W 付近)に露出する白亜系は約 1000m² 余りの海蝕台に点在する露頭に露出する暗灰色シルト岩で、しばしば大型化石を含む石灰質団塊を伴う。柱状図を作成し、約 20 個の分析用泥岩と大型化石試料を採集した。化石試料の検討の結果、続成のため本研究に不適であることが判明した(以後本報告では触れない)。

クレーター型炭酸塩岩体

図2のA~Eの5試料を採取し、断面を研磨し、一部については薄片観察も行った。図3にその一部を示す。ミクライト部分にはク

ロテッドファブリックが観察され、ラディアクシアルブレイデッドカルサイトなど、メタン湧水性炭酸塩に特徴的な構造がよく残っており、メタン冷湧水性炭酸塩岩体であると同定された(Jenkins et al., 2017に報告済)。

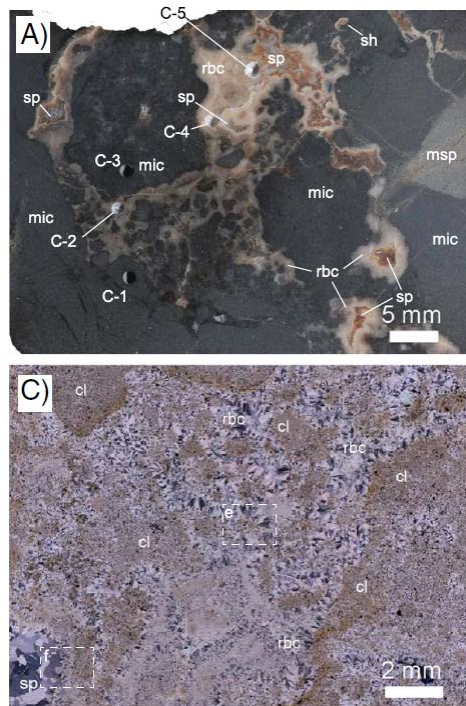


図3. A). 炭酸塩岩の断面に見られる内部構造。試料は図2のCの部位から採取されたもの。C-1からC-5の位置で酸素・炭素同位体比分析用サブサンプルを採取した。C). 図3Aの中上部付近のカウンターパートから作成した薄片写真。ミクライト部分にはクロテッドファブリックが観察される(Jenkins et al., 2017)。

炭素同位体比層序

ナナイモ層群のように、陸源碎屑物で構成される地層中の有機物は、ほぼ例外なく陸上高等植物片がその主体を担っており、炭素同位体比層序は陸上高等植物の平均的な組成

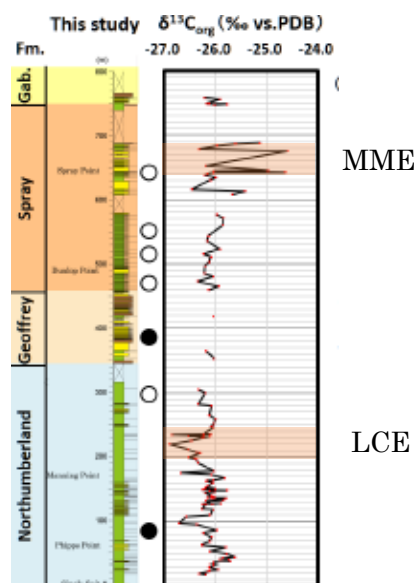


図4. Hornby島の白亜系炭素同位体比層序 ●および○はEnkin et al. (2001, Can. J. Earth Sci. 38)に示された古地磁気磁極。投稿準備中データであるため、解像度を落として示す。

を反映しているものと理解できる。本研究では Late Campanian Event (LCE)および Middle Maastrichtian Event (MME)を認識することができた。図4中の約200-240m付近に見られる最も低い値をとるエクスカッション、およびダブルピークを持つ、本セクションで最も高い値を持つ640-680m付近の正エクスカッションがそれぞれLCEとMMEに対応すると判断した。この判断には、Enkin et al. (2001)による古地磁気およびノースアンバーランド層からカンパニアン階を指標するアンモナイト化石等が産出することも考慮に入れたものである。その成果の詳細については現在投稿準備中である。

クレーター型炭酸塩の炭素・酸素同位体比

クレーター型炭酸塩岩体からは、合計5か所からブロック試料を採取し、更にこれの断面を作成し、構造別に区分しながらサブサンプルを採取した(図3Aに例を示す)。炭素同位体比は、-45.5‰から5.5‰までの50‰に及ぶ幅広い分布を示した。一方、酸素同位体比も-9.7‰から0.7‰までの大きな範囲を示している。図5にそのクロスプロットを示す。データの分布域は3つのグループに区別される。グループIは酸素同位体比が正の0から1‰の狭い範囲の値を持ち、炭素同位体比が-40から-46‰の低い値を持つもの。グループIIは酸素同位体比が-6から-10‰で、炭素同位体比が0から-30‰の比較的広い範囲を取るもの、グループIIIは酸素同位体比が-4から-6‰で、炭素同位体比が約4‰付近の正の値を取るもの、である。

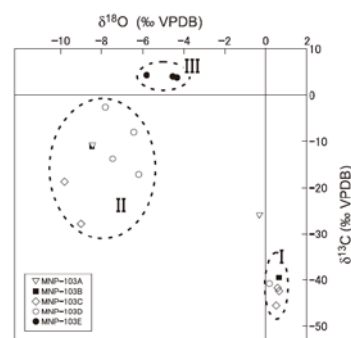


図5. Hornby島のクレーター型炭酸塩岩体から採取した試料の酸素・炭素同位体比 (Jenkins et al., 2017)。

この中で、特にグループIが重要である。これらの炭素同位体比は、炭素の起源が生物由来メタンであることを示しており、この炭酸塩岩体がメタン冷湧水性炭酸塩であるという記載証拠を支持する。メタン冷湧水炭酸塩は、硫酸還元によってメタンが嫌氣的に酸化する際に生じる重炭酸イオン HCO_3^- の濃度が高まることによって形成されるので、透水性の低い泥底においては常に海水から硫酸イオンの供給がある海底面付近で形成されたものと考えられる。グループIの値を示すものは、最も初生的に沈殿したと考えられるミクライト部分(クロテッドファブリックを持つものを含む)であり、これらが炭酸塩岩形成の最初期に海底面付近で形成されたことを示唆する。これらの炭酸塩が形成される際に HCO_3^- のOは周囲に豊富にある H_2O の

Oと同位体平衡に達した後に炭酸塩を形成すると考えられるので、これらの酸素同位体比から、海底古水温を推定することが可能だと判断した。酸素同位体比が非常に狭い範囲に分布することも、このことを支持する。

これら5試料から酸素同位体比古水温を算出したところ、7.1–8.9°Cの範囲に値が分布していた(8.0±0.7‰, 得られた5点の平均と標準偏差)。この値が、この海域の海底水温だと推定される。

グループIIの試料は、分布範囲が広いこと、炭素同位体比が-30‰以上で、光合成植物分解由来の炭素であることを示唆すること、酸素同位体比は埋没続成の過程で形成される一般的な二次的な方解石や炭酸塩ノジュールの値に近いことなどから、海底面直下ではなく、続成の過程で堆積物内部で形成されたものと判断する。微生物によって¹²Cに富むメタンが生成される際に¹³Cが残留するCO₂に濃集するが、グループIIIについてはそのCO₂に由来する値だと評価できる。

大型化石の酸素・炭素同位体比

同島の調査では、非常に保存の良いアンモナイトやイノセラムスなどの大型化石が一部層準から得られた(図6にその例を示す)。それらについてはCochran et al. (2010, American Journal of Science)の指標に基づき酸素同位体比に基づく古水温推定が可能であると判断した。

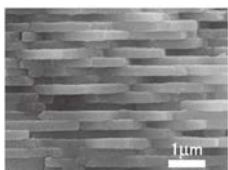


図6. クレーター型炭酸塩岩体付近から得た *Baculites occidentalis* の殻構造。殻石のタブレットがよく残っており、Cochran et al. (2010) では保存指標 PI=4 に相当する(Jenkins et al., 2017)。

また、微化石抽出の過程で $\delta^{18}\text{O}$ 法による古水温推定に用いることができるアンモナイト片も複数得た。しかしそれらは上部カンパニアン階の特定の層準に集中して産しており、層序的に連続して追跡することはできなかった。石灰質微化石(浮遊性有孔虫、底生有孔虫)も保存良好であったが、再結晶が見られたため、 $\delta^{18}\text{O}$ 法による古水温推定に用いることはできなかった。

Cochran et al. (2010)によれば、保存指標(PI)が3以上であれば初生的な酸素同位体比を保存していると考えられるが、本研究ではこれに該当する試料としてアンモナイト片8試料およびイノセラムス片(内層)2試料の分析を行った。これらはすべてクレーター炭酸塩岩体のわずかに下位から得られたもので異地性の化石であり、斜面上部から運搬されてきた可能性がある。これらの試料の古水温は15–24°Cの範囲に分布しており、クレーター型炭酸塩の8°Cという数値とは大きく異なっていた。

古水温・古海洋に関する総合議論

本研究で得られたHornby島の海底水温は約8°Cであり、当時の赤道太平洋の約1500mの水深から得られている約9°Cという数値に

近い。このことは約8°C–9°Cという低温の水塊が、太平洋の赤道付近から東太平洋までの広域にわたって広く分布しており、東太平洋の大陸縁辺においては沿岸湧昇流などにより、深海の水塊と表層水塊の境界が200mよりも浅い場所まで上昇していたと解釈できる。また、この地では約200mの水深差の水柱において表層水と海底の古水温差は9°C–16°Cとかなり大きく、強い温度躍層が存在していたことも分かった。

本研究この新知見を得た層準は、上部カンパニアン階の炭素同位体比イベント・LCEの直上で、年代としては約75Maと推定される。わずかに1地点におけるデータであり、古海洋を評価するには十分とは言えないが、大規模な寒冷中・深層水の存在を示唆することとなった。今後の研究の方向性を示すことができたと考えている。

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)
- Miyajima, Y., Watanabe, Y., Jenkins, R. G., Goto, A. S. and Hasegawa, T. (2018 in press), Diffusive methane seepage in ancient deposits— examples from the Neogene Shin'etsu sedimentary basin, central Japan. *Journal of Sedimentary Research*.
- Morishita, T., Tani, K.-I., Soda, Y., Tamura, A., Mizukami, T., Ghosh, B. (2018) The uppermost mantle section below a remnant proto-Philippine Sea island arc: insights from the peridotite fragments from the Daito Ridge. *American Mineralogist*, in press.
- Jenkins, R.G., Hasegawa, T.(責任著者), Haggart, J. W., Goto, A. S., Iwase, Y. and Nakase, C. (2017). Cool eastern rim of the North Pacific during Late Cretaceous time: A seep-carbonate paleothermometry from the Nanaimo Group, British Columbia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 487, 407-415. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.09.027>.
- Batenburg, S. J., Friedrich, O., Moriya, K., Voigt, S., Cournède, C., Moebius, I., Blum, P., Bornemann, A., Fiebig, J., Hasegawa, T., Hull, P. M., Norris, R. D., Röhl, U., Sexton, P. F., Westerhold, T., Wilson P. A. and the IODP Expedition 342 Scientists (2017). Late Maastrichtian carbon isotope stratigraphy and cyclostratigraphy of the Newfoundland Margin (Site U1403, IODP Leg 342). *Newsletters on Stratigraphy*, 51/2, 245–260.
- 守屋和佳, 2017. 温室時代における海洋表層環境。化石, 102, 31-42. (in Japanese with English abstract).
- 長谷川卓, 2017. 白亜系の国際対比: 最近の動向。化石, 101, 75-80. (in Japanese with English abstract).
- Maeda, A., Fujita, K., Horikawa, K., Suzuki, A., Yoshimura, T., Tamenori, Y., Kawahata, H. (2017) Evaluation of oxygen isotope and

Mg/Ca ratios in high-magnesium calcite from benthic foraminifera as a proxy for water temperature. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*, 122. 185-199.

Miyajima, Y., Watanabe, Y., Yanagisawa, Y., Amano, K., Hasegawa, T. and Shimobayashi, N. (2016). A late Miocene methane-seep bearing methane-trapping silica minerals at Joetsu, central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 455, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.05.002>

Yamamoto, M. and Kobayashi, D. (2016) Surface ocean cooling in the subarctic North Pacific during the late Pliocene suggests an atmospheric reorganization prior to extensive Northern Hemisphere glaciation. *Deep-Sea Research II*, 125-126, 177-183.

小平智弘・堀川恵司・張勁・千手智晴 (2016), 日本海対馬暖流域における海水の酸素同位体比と塩分の関係, *地球化学* v.50, 263-277.

[学会発表] (計 13 件)

Hasegawa, T., Muta, S., Goto, A. S., Crampton, J., Response to Cretaceous Cenomanian/Turonian OAE2 in southern high latitude, Pacific. International Symposium "Permian-Triassic Climatic & Environmental Extremes and Biotic Response (IGCP 630)", June 14-16, 2017, Tohoku University, Sendai, Japan.

Moriya, K. Evolution of ecology and habitat of the Mesozoic ammonoids. IGCP 630 Meeting in Japan, 2017 (Permian-Triassic Climatic & Environmental Extremes and Biotic Response). June 14-16, 2017, Tohoku University, Sendai, Japan.

長谷川卓, Jenkins, R. G., Haggart, W. J., 後藤(桜井)晶子, 岩瀬優也, 中瀬千遥. 白亜紀最寒期のメタン冷湧水炭酸塩岩の新発見: 北東太平洋における寒冷中層水の証拠. 日本古生物学会 2017 年会, 2017 年 6 月 11 日, 北九州市立自然史・歴史博物館, 北九州市.

守屋和佳. 2017. 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. 日本古生物学会第 166 回例会シンポジウム「硬組織に秘められた化学的古生態情報を読み解く」. 早稲田. 2017 年 1 月.

Hasegawa, T. and Kobiyama, Y., Syndepositional formation of calcareous nodules on muddy sea floor: elucidating depositional history by C, O, S isotope characterization. Goldschmidt Conference 2016, June 27, 2016, Yokohama, Japan.

岩瀬優也・長谷川卓, 北海道穂別稲里地域の上部白亜系の地質と年代. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016 年 5 月 25 日, 幕張メッセ, 千葉市.

長谷川卓, 牟田 宗一郎, 後藤(桜井) 晶子, ジェームス・クランプトン, 白亜紀セノマニアン/チューロニアン境界の OAE2 に対する南半球高緯度の反応. 日本地球惑星科学連合大会 2017 年会, 2017 年 5 月 24 日, メッセ, 千葉市.

Moriya, K. Thermal structure and ocean circulation in the late Cretaceous Northwestern Pacific. Workshop

for Cretaceous Climate. Yokosuka, 2016 年 3 月.
守屋和佳. 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. 地球環境史学会 2016 年年会トピックセッション「温室地球時代の地球システム」. 早稲田. 2016 年 11 月.
長谷川卓. 白亜紀の同位体比層序と国際対比: コメント. 第 165 回日本古生物学会例会, 2016 年 1 月 29 日, 京都大学, 京都市.

Hasegawa, T., Kobiyama, Y., Yonezawa, S., Suzuki, T. and Mori, T., Syndepositional formation of calcareous nodules on Cretaceous muddy sea floor: potential muddy nodule paleothermometry. Geological Society of America 2015 Annual Meeting, 2015. Nov. 4, Baltimore USA.

牟田宗一郎, 長谷川卓, Jim Haggart, 白亜紀 OAE2 期におけるカナダ太平洋岸の陸域気候変動シグナル, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 28 日, 幕張メッセ (千葉市).

Yamamoto, M., Kuwae, M., Abe, M., Ichikawa, N., Moriya, K., Yoshimori, M., Abe-Ouchi, A., Takemura, K., Ikehara, K., and Kobash, T. (2015) Sedimentary record of the Pacific Decadal Oscillation during the last 2900 years. XIX INQUA Congress, 名古屋, 2015/7/31,

[図書] (計 1 件)

森下 知晃 (監修), 高橋 拓真 (著) (2017) 講談社のマンガ図鑑 MOVE COMICS NEXT 地球と生命の大進化! 地球 46 億年のひみつ (講談社の動く学習漫画 MOVE COMICS)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長谷川 卓 (HASEGAWA, Takashi)
金沢大学自然システム学系教授
研究者番号: 50272943

(2) 研究分担者

- 森下 知晃 (MORISHITA, Tomoaki)
金沢大学自然システム学系教授
研究者番号: 80334746
- 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
- 山本 正伸 (YAMAMOTO, Masanobu)
北海道大学大学院地球環境科学院准教授
研究者番号: 60332475
- 神谷 隆宏 (KAMIYA, Takahiro)
金沢大学自然システム学系教授
研究者番号: 80194976
- 堀川 恵司 (HORIKAWA, Keiji)
富山大学大学院理工学研究部(理学)准教授
研究者番号: 40467858

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

- 後藤(桜井) 晶子 (GOTO, S. Akiko)
金沢大学自然システム学系博士研究員

(5) 海外研究協力者

- James W. Haggart
カナダ国地質調査所主任研究員
- James Crampton
ニュージーランド地質核科学研究所主任