

令和 5 年 6 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18793

研究課題名（和文）サンゴと有孔虫の飼育実験による白亜紀末の生物絶滅現象の検討

研究課題名（英文）A study of the extinction of marine organisms at the end of the Cretaceous using corals and foraminifera breeding experiments

研究代表者

鈴木 淳（Suzuki, Atsushi）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長

研究者番号：60344199

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：白亜紀末の生物絶滅の影響は、円石藻類で大きく、珪藻類で小さかったとされ、これは「衝突の冬」による光合成阻害説よりも「硫酸雨による海洋酸性化説」と調和的である。「硫酸雨による海洋酸性化説」は、飼育実験手法による検証が可能であると考えて、本研究課題を実施した。まず、サンゴ（ミドリイシ類の初期ポリプ）と有孔虫（サンゴ礁棲底生種）の硫酸添加試験に取り組み、添加量の増加とともに、サンゴ初期ポリプの面積が減少する傾向が認められた。次に、白亜紀の海水組成を模した高アルカリ度海水を調製し、サンゴ初期ポリプの成長試験を試みた。白亜紀海水は、炭酸塩飽和度が近似する現在の海水とほぼ同程度の石灰化速度を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題による取り組みは、生物絶滅現象の新しい研究手段としての生物飼育実験法を提唱するものである。また、今回の予察的な結果は、海水の炭酸飽和度が石灰化に重要なパラメータであることを確認するとともに、将来の地球温暖化の緩和を目指して検討が進められている海洋ネガティブエミッション・海洋アルカリ増進技術の試みに関係した示唆にも富む。

研究成果の概要（英文）：The impact of the extinction of marine organisms at the end of the Cretaceous was greater for coccolithophytes and smaller for diatoms, which is more in harmony with the "ocean acidification by sulfuric acid rain" theory than the "photosynthesis inhibition by impact winter" theory. First, we tested the addition of sulfuric acid to corals (early stage polyps of *Acropora* spp.) and foraminifera (reef dwelling benthic species), and found that the area of early stage coral polyps tended to decrease as the amount of sulfuric acid added increased. Next, we prepared highly alkaline seawater that mimicked the composition of seawater during the Cretaceous period and tested the growth of early coral polyps. The Cretaceous seawater showed a calcification rate similar to that of present-day seawater with similar carbonate saturation.

研究分野：生物地球化学

キーワード：海洋酸性化 飼育実験 石灰化

1. 研究開始当初の背景

白亜紀末 (K/Pg 境界) の生物大量絶滅は、ユカタン半島に落下した巨大隕石の衝突によるものである。しかし、隕石の衝突が、どのように各種生物の大量絶滅を引き起こしたかについては未解明である。本研究課題の申請者の一人、大野は硫酸酸性雨による海洋酸性化現象が、表層海洋の有孔虫や植物プランクトンの絶滅を引き起こしたとする新説を提出した。表層海洋に pH6.5 までの硫酸による酸性化が数ヶ月程度の比較的短期間生じたとする結果は、申請者らが開発している飼育実験技術で石灰化生物への影響を検証できる仮説である。サンゴ、有孔虫を対象に、硫酸酸性による海洋酸性化影響実験を試みる。生物絶滅現象の新しい研究手段としての生物飼育実験法を提唱する。

2. 研究の目的

ユカタン半島の巨大隕石の衝突地点には大量の石膏 (CaSO_4) を含む岩石が分布する。本研究課題の申請者の一人、大野は隕石を模した金属片を秒速 20 km に加速し、石膏に衝突させて発生するガス成分を分析したところ、亜硫酸 (二酸化硫黄、 SO_2) ではなく、大部分は三酸化硫黄 (SO_3) であった。三酸化硫黄は、大気中ですぐに硫酸 (H_2SO_4) の雲粒となり、非常に強い酸性雨となって、地上や海洋に降り注ぎ、表層海洋に深刻な海洋酸性化をもたらしたと考えられる (Ohno et al., 2014)。

「硫酸雨による海洋酸性化説」は、白亜紀末 (K/Pg) 境界の生物絶滅現象にみられる多くの特徴をうまく説明することができる。石灰質殻を持つ円石藻類には大きな絶滅が見られたが、珪藻のグループへの影響は少なかったと考えられている。これは、「衝突の冬」による光合成阻害説よりも「硫酸雨による海洋酸性化説」と調和的である。この「硫酸雨による海洋酸性化説」は、海水の酸性度予測の定量性が高く、時間スケールも数ヶ月程度と短く、挑戦的研究の研究期間内に生物飼育培養実験手法による検証が可能であると考えて、我々は研究チームを組織し、本研究課題を申請した。

3. 研究の方法

まず、硫酸酸性海水でのミドリイシ類の初期ポリプやサンゴ礁棲底生有孔虫の2週間から約2ヶ月の飼育実験を行い、石灰化量を計測する。次に、白亜紀の海水組成を再現した飼育実験系を構築する。白亜紀は、大気中の二酸化炭素分圧 (pCO_2) が 1000 μatm 以上と現在の数倍の高濃度で、長期的に平衡に達する海洋表層の pCO_2 も同程度と考えられるため、予想される pH は 7.6 と低い。ただし、当時の堆積物に大規模な溶解の証拠は見られないため、白亜紀海水の全アルカリ度は、今の約2倍であったと考えられている。飼育実験の開始にあたり、高全アルカリ度・低 pH の白亜紀の海水組成を再現した飼育実験海水の調整システムを、小型 CO_2 インキュベータを用いて作成した。炭酸カルシウムの二酸化炭素ガスの注入下で溶解により目的の白亜紀海水組成を得た。

4. 研究成果

研究期間前半は、サンゴ(ミドリイシ類の初期ポリプ)と有孔虫(サンゴ礁棲底生種)を対象にした硫酸添加海水による成長評価試験に取り組んだ。昨年度までにサンゴ(ミドリイシ類の初期ポリプ)と有孔虫(サンゴ礁棲底生種)を対象にした予察的な飼育実験系を構築して、予備的な検討を実施した(図1)。さらに、硫酸添加海水の調製法について、いくつかの改善を行い、海水のバブリングにより目的の pH を

迅速に得られるようにした。この操作により実験の再現性が向上すると考えられる。初期ポリプについても、ガラスベースディッシュ 1 枚あたり約 10 個体を用いて、ポリプの重なりを防止するなどの改善を進めた。初期ポリプの実験では、過年度に実施した実験の繰り返し実験として、硫酸添加により pH を 8.0 (対照区、あられ石飽和度 3.0) から 7.5 (あられ石飽和度 0.3) に至る 5 つの実験区を設定して 16 日間の暴露実験を実施し、初期ポリプの面積及び重量を計測した。この間、3 日おきに硫酸添加海水を交換して飼育環境の維持に努めた。硫酸添加量の増加とともに、わずかに面積が減少する傾向が認められた。

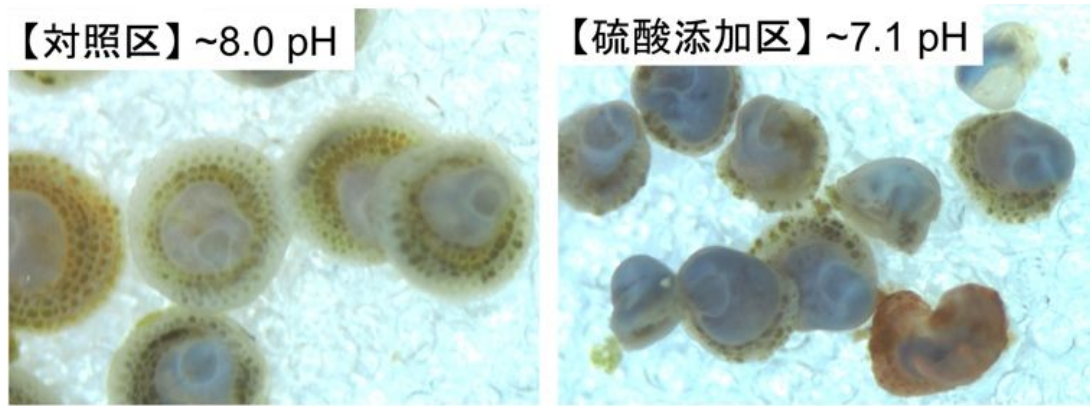


図 1 予察的に実施した硫酸酸性海水によるサンゴ礁棲有孔虫ゼニイシ(*Amphisorus kudakajimensis*) の飼育実験 (2週間)。無性生殖によるクローン個体を用いた。硫酸添加区で石灰化及び成長の阻害が見られた。

研究期間後半は、白亜紀の海水組成を模した高アルカリ度海水を調整し、サンゴ(ミドリイシ類の初期ポリプ)の骨格成長評価試験を試みた(実験区 1)。また、将来の海洋酸性化状況を模した通常のアルカリ度・低 pH の実験区(実験区 2)、白亜紀の海水を現在の気二酸化炭素分圧の下で平衡化させた実験区(実験区 3)、そして対照区(現代の表層海水)を設定した。白亜紀海水の炭酸塩飽和度は、対照区と同程度に設定された。1 ヶ月のポリプ飼育により、実験区ごとに石灰化量及びマイクロフォーカス X 線 CT による観察で顕著な違いみられた。白亜紀海水の実験区は、対象区とほぼ同程度の石灰化速度を示した(図 2)。実験区 3 では、4 つの実験区で最大の石灰化量を示し、実験区 2 は最小であった。今回の結果は、海水の炭酸飽和度が石灰化に重要なパラメータであることを確認するとともに、地球温暖化の緩和を目指して検討が進められている海洋ネガティブエミッション・海洋アルカリ増進技術の試みに関係した示唆にも富む。白亜紀海水を用いた硫酸添加海水による成長評価試験は、今後の検討課題として残されたが、その準備は整ったと考えられる。

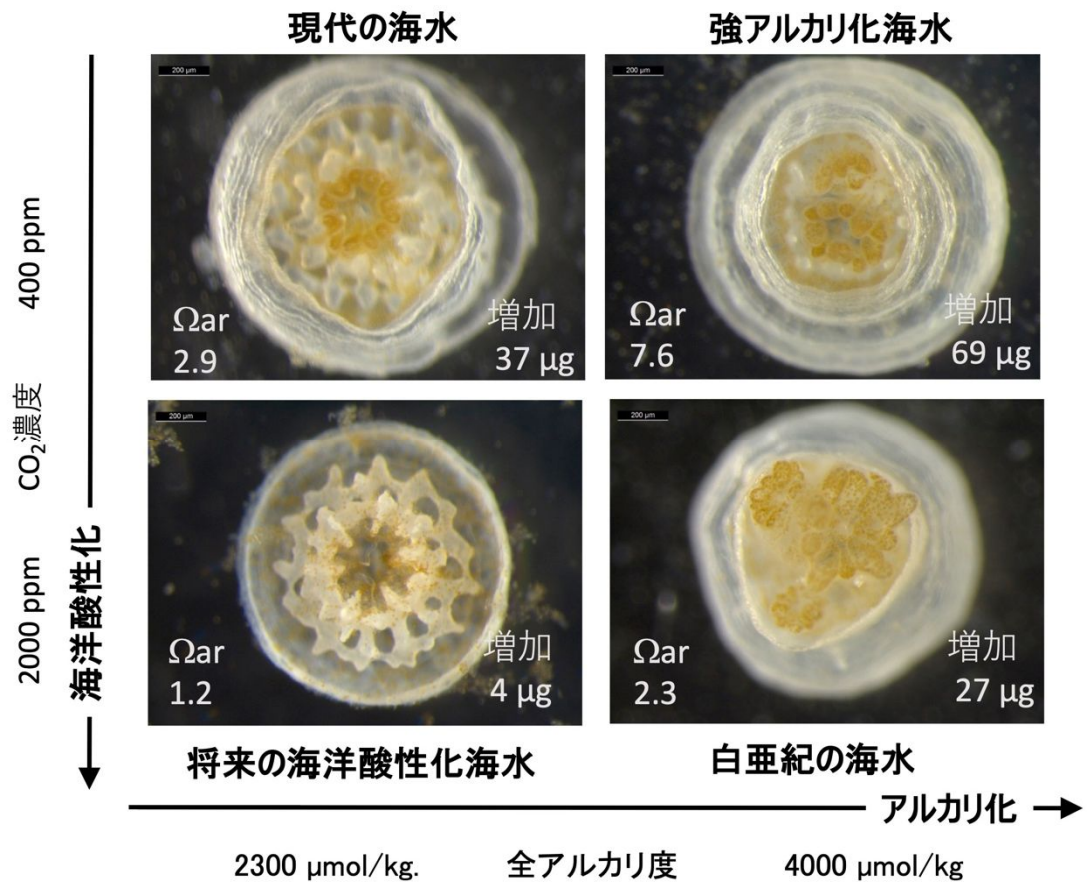


図 2 白亜紀の海水組成を模した高アルカリ度海水を調整して実施したサンゴ初期ポリプの成長試験の結果(飼育期間1ヶ月)。典型的なポリプの写真に、各実験区のあられ石に対する炭酸塩飽和度 (Ω_{ar}) 及び飼育期間1ヶ月の骨格重量増加量を示した。高い pCO_2 条件下でも、海水に炭酸塩粉末を添加して全アルカリ度を増加させると、現在の海水とほぼ同程度の石灰化が維持された。

<引用文献>

Ohno, S. et al. (2014) Production of sulphate-rich vapour during the Chicxulub impact and implications for ocean acidification. Nature Geoscience, 7, 279-282.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kuroyanagi Azumi, Irie Takahiro, Kinoshita Shunichi, Kawahata Hodaka, Suzuki Atsushi, Nishi Hiroshi, Sasaki Osamu, Takashima Reishi, Fujita Kazuhiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Decrease in volume and density of foraminiferal shells with progressing ocean acidification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-99427-1	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 -
1. 著者名 Yoshimura Toshihiro, Wakaki Shigeyuki, Kawahata Hodaka, Hossain H. M. Zakir, Manaka Takuya, Suzuki Atsushi, Ishikawa Tsuyoshi, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 9
2. 論文標題 Stable Strontium Isotopic Compositions of River Water, Groundwater and Sediments From the Ganges-Brahmaputra-Meghna River System in Bangladesh	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/feart.2021.592062	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 Kajita Hiroto, Maeda Ayumi, Utsunomiya Masayuki, Yoshimura Toshihiro, Ohkouchi Naohiko, Suzuki Atsushi, Kawahata Hodaka	4. 巻 2
2. 論文標題 Biomarkers in the rock outcrop of the Kazusa Group reveal palaeoenvironments of the Kuroshio region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Communications Earth & Environment	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s43247-021-00154-2	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 Kinoshita Shunichi, Kuroyanagi Azumi, Kawahata Hodaka, Fujita Kazuhiko, Ishimura Toyoho, Suzuki Atsushi, Sasaki Osamu, Nishi Hiroshi	4. 巻 163
2. 論文標題 Temperature effects on the shell growth of a larger benthic foraminifer (Sorites orbiculus): Results from culture experiments and micro X-ray computed tomography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Micropaleontology	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.marmicro.2021.101960	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 Yoshimura, T., Maeda, A., Tamenori, Y., Suzuki, A., Fujita, K., Kawahata, H.	4. 巻 7
2. 論文標題 Partitioning and chemical environments of minor elements in individual large benthic foraminifera cultured in temperature-controlled tanks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2019.00124	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 Maeda, A., Yoshimura, T., Araoka, D., Suzuki, A., Tamenori, Y., Fujita, K., Toyofuku, T., Ohkouchi, N., Kawahata, H.	4. 巻 20
2. 論文標題 Magnesium isotopic composition of tests of large benthic foraminifers: implications for biomineralization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	6. 最初と最後の頁 4046-4058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GC008314	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 -

[学会発表] 計4件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 飯島真理子, 安元純, 井口亮, 中村崇, 酒井一彦, 廣瀬美奈, 安元加奈未, 水澤奈々美, 鈴木淳, 天野春菜, 神保充, 渡部終五, 安元剛
2. 発表標題 沿岸域の底質に吸着したリン酸塩はサンゴ稚ポリプの骨格形成を阻害する
3. 学会等名 2021年度日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田 歩, 黒柳 あずみ, 吉村 寿紘, Gaye Birgit, Rixen Tim, 鈴木 淳, 川幡 穂高
2. 発表標題 Calcification depths of planktic foraminifers constrained using geochemical signatures in the sediment trap samples collected from the Bay of Bengal
3. 学会等名 2021年度日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木 淳, 井口 亮
2. 発表標題 海洋炭酸系の基礎と海洋酸性化
3. 学会等名 2018年度地球環境史学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木下 峻一, 鈴木 淳, 井口 亮, 飯島 真理子, 大野 良和, 安元 剛, 川幡 穂高
2. 発表標題 炭酸塩の飽和度とサンゴポリプの石灰化影響について
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	黒柳 あずみ (Kuroyanagi Azumi) (20536510)	東北大学・学術資源研究公開センター・助教 (11301)	
研究分担者	井口 亮 (Iguchi Akira) (50547502)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	
研究分担者	大野 宗祐 (Ohno Sohuke) (80432631)	千葉工業大学・惑星探査研究センター・上席研究員 (32503)	

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	酒井 一彦 (Sakai Kazuhiko) (50153838)	琉球大学・熱帯生物圏研究センター・教授 (18001)	

	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 協 力 者	飯島 真理子 (Iijima Mariko)		

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