

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：82706

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06074・19K21197

研究課題名(和文)有孔虫殻の微量元素はなぜ種によって異なるのか-殻形成中の微細構造観察から迫る

研究課題名(英文)Foraminiferal elemental composition and calcification process

研究代表者

長井 裕季子(NAGAI, Yukiko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(超先鋭技術開発プログラム)・技術スタッフ

研究者番号：20822612

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：石灰質有孔虫殻の微量元素・同位体組成は様々な古環境間接指標として用いられているが、その組成は環境因子だけでなく種毎にも異なることが知られている。しかし種毎の組成変異の要因は未だ解明されておらず、また有孔虫殻の形成プロセスや細胞レベルでの元素の取り込みも明らかになっていない。本研究では殻のMg含有率の異なる3種の有孔虫を用いて、それぞれの殻形成の様子や殻形成時に殻形成部位を覆う有機膜の水密性に着目した。Mg含有率の異なるそれぞれの有孔虫の殻形成を観察したところMg含有率の高い有孔虫ほど石灰化にかかる時間が長い傾向がみられた。また殻形成時の殻形成部位への細胞質の関わり方がそれぞれで異なっていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Mg含有率の異なる有孔虫3種の殻形成過程の観察や殻形成部位の微細構造観察を行ったところ、殻形成に要する時間や殻形成部位への細胞質のアプローチに違いが見えてきた。このことから各々の有孔虫に異なる殻形成戦略があることが示された。地球科学的問題に対し生物学的なアプローチを加えたことで今日まで棚上げにされてきた種特異的な殻組成の変異の要因を知る緒を得た。今後は海水から殻への分配係数を把握することで、これまでの研究の信頼性をより高め、欠落していた環境因子に対する指標の開発にも繋がるだろう。他種での観察を続け、また細胞レベルでの元素の取り込み把握の為に細胞内外の元素の可視化を行う必要があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Trace element and isotopic compositions of calcareous foraminifera shells have been used as various paleo-environmental proxies, and their chemical/isotopic compositions are known to differ not only from environmental factors but also from species to species. This species-specific compositional variation has been called "vital effect". The cause of vital effect remains unclear, as do the formation process of foraminiferal shells and the uptake of elements with the cellular level. In the present project, we used three species of foraminifera with different Mg content in the shells. Furthermore, shell formation steps and the completeness of the organic membrane covering the site of calcification have been observed with these three species. Besides, the cytoplasmic ultra-structures of the site of calcification show different morphology in each species.

研究分野：細胞生物学

キーワード：電子顕微鏡 バイオミネラリゼーション 有孔虫 FIB(集束イオンビーム) カルサイト 微細構造観察

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球科学分野において、石灰質有孔虫を始めとする生物源炭酸塩骨格は堆積物中に化石となって長期間保存されるため、古環境を明らかにする上で重要な役割を果たしている。塩分、水温や海水中の元素・同位体組成の時代的な変遷は、地球システムのエネルギー循環、物質循環の変遷や生物分布史を考察する上で重要な情報である。しかし、それらの情報がそのまま堆積物に記録されるものではないために、適切な古環境間接指標（プロキシー）の開発が不可欠である。1990年以降、分析技術の飛躍的な向上も相まって、石灰質有孔虫の微量元素・同位体を用いたプロキシーの開発と応用が大きく発展してきた。たとえば、新生代に渡る氷床量の消長や海水温変動の復元 (Zachos, 2001) に代表されるように、有孔虫の酸素同位体比をプロキシーとして利用することで得られた地球史解明の基盤をなす重要な研究成果は枚挙にいとまがない。

石灰質有孔虫の炭酸塩殻は炭酸カルシウム( $\text{CaCO}_3$ )を主成分とし、有孔虫が生息していた当時の海水の組成を反映して、様々な元素や同位体が入り込まれる。そのため、元素ごとに海水から殻への分配係数を把握すれば、過去の海水の元素や同位体組成を推定できる。さらにこの分配係数が水温や塩分などの環境条件に強く支配される元素であれば、これらの環境因子の復元にも応用が期待できる。

多くの有孔虫種について様々な元素・同位体組成の測定事例が蓄積されるにつれて、分配係数、すなわち海水から殻への元素や同位体の取り込み量が種特異的であることがわかってきた。1950年代にすでに指摘されており、このような種特異性はバイタルエフェクトと呼ばれ、マグネシウム(Mg)の取り込み量は特にバイタルエフェクトの影響が大きいことが知られている。Mgの含有率については1995、1996年にNürnbergが水温及び塩分が、浮遊性有孔虫のMg含有率に与える影響を評価したことから注目を集め、古水温計として応用され、知見が蓄積した。2000年にはLearらが有孔虫のMg含有率と酸素同位体比を組み合わせると顕生代の氷床量消長を復元し、一定の評価を得て、現在でもプロキシーとして盛んに用いられている。有孔虫微量元素組成に関する論文は、Mgに限っても700報弱あり(Web of Science)、過去10年では年間40報程度が出版されている。Mgは海水に安定に含まれる元素で、海域・水深を通して濃度はほとんど変化しないにも関わらず、殻のMg含有率は0.1~10wt%と、種によって大きな違いがある。Mg含有率が二桁も異なる背景には種によって異なる有孔虫の殻形成戦略があると推測される。Mg含有率はすでに有力な古水温指標として応用されているため、水温など環境との比較した研究例は多いが、種によるMg含有率の違いが生じるメカニズムは追求されてこなかった。有孔虫を用いた古環境間接指標の発展とは対照的に、その論理的基盤たる有孔虫殻の元素・同位体組成を決定づける生物学的メカニズムに関する知見が欠落している現状は看過し難く、その解明は地球科学分野の発展に資する重要な学術的課題である。

研究代表者は博士課程の研究において、有孔虫の石灰化プロセス解明を目指して、殻形成中の有孔虫試料の断面を集束イオンビーム(Focused Ion Beam)走査型電子顕微鏡(FIB-SEM)を用いて微細構造観察する方法を確立した。石灰化中の有孔虫を時系列サンプリングし、臨界点乾燥法を用いて、石灰化部位の膜構造を破壊しないで in tact にできるだけ近い状態で走査型電子顕微鏡(SEM)観察する手法を開発した。さらに石灰化部位の横断面を観察するためにFIBを用いて微細加工を行い、SEM観察を行なった。すると驚くべきことに、膜状構造が不完全で海水が殻形成部位に侵入できるギャップ(孔)がある状態ですでに炭酸カルシウムの沈着が始まることが確認された(図1)。これは、石灰質沈着の初期では海水との隔絶が完全ではないために海水由来の微量元素が多く殻に取り込まれ、膜状構造が完成しギャップがなくなった後は海水の影響の少ない石灰分が沈着しているということを示唆している。そのため、*Ammonia*属では沈着初期の膜状構造に沿ってMg含有率が高いと考察される。予想されたこのシナリオは、有孔虫殻の元素分析から石灰化過程を予測した先行研究の結果と一致している。以上のことから、有孔虫の微量元素の取り込みが種によって異なるのは、殻形成時の膜状構造による外界との隔絶の度合いの差に起因するという着想に至った(図2)。本研究では、この方法をMg含有率の異なることが既知の3種に应用することによって、それぞれの有孔虫種の石灰化プロセス及び微量元素組成を比較・検討する足がかりとする。現時点において殻の形成部位とそれを取り囲む膜状構造の様子を in tact に近い状態で走査電子顕微鏡観察する方法は申請者が確立したものしか報告がない。有孔虫の微量元素・同位体組成が種によって異なるのか、という基盤的な疑問に細胞生物学的視点から取り組むという点でもユニークである。

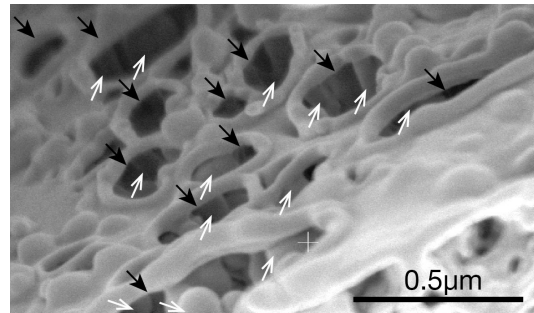


図1. 殻形成中の有孔虫の有機膜構造。石灰化部位を覆う有機膜状のギャップ(黒矢印)とギャップから覗く炭酸カルシウム結晶(白矢印)の様子。

## 2. 研究の目的

有孔虫殻の微量元素組成・同位体比がなぜ種によって異なるかは分かっておらず、プロキシシーの信頼性向上の為に元素の取り込みプロセスを細胞レベルで理解する必要性が高まっている。本研究では殻の Mg 含有率の種依存性が特に高いことに着目し、種による Mg 含有率の違いは殻形成時に形成部位を覆う有機膜状構造の「水密性」の違い、すなわち外界との隔絶の度合いの違いに起因するという仮説を立て、これを検証することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では殻形成部位へ海水がどの程度流入可能であるかを推測するために、自身の博士研究で確立した微細構造観察手法を用いて Mg 含有率の異なる 3 種の石灰質ガラス質有孔虫種の殻形成プロセスを観察し、有機膜状構造と沈着している炭酸カルシウム殻の電子顕微鏡観察から、膜状構造の水密性を検討する。

### (1). 飼育系の確立と石灰化誘導条件の探索

本研究では Mg 含有率の異なる *Cibicides* 属 (Mg/Ca 比で約 5mmol/mol) と *Rosalina* 属 (同約 20mmol/mol)、*Planolabratella* 属 (同約 100mmol/mol) の 3 種を対象として石灰化時の膜状構造の形成と沈着した石灰質の微細構造の観察・比較を行う。一桁ずつ Mg/Ca 比が異なる種を用いることで、石灰化時の微細構造にはっきりとした差が認められることが期待できる。本研究においては石灰化中の試料を必要とするため、石灰化の誘導条件を探索する必要がある。博士研究時に使用した *Ammonia* 属においては餌の与え方を工夫することで複数個体をほぼ同時に石灰化誘導させることに成功した。*Cibicides* 属と *Rosalina* 属ではこれと同様の石灰化誘導法を試みる。一方、細胞内に盗葉緑体を保持する *Planolabratella* 属においては光環境をコントロールすることで、石灰化誘導させられる条件を探索する。

対象となる 3 種の有孔虫が石灰化誘導に成功したら、まずは微分干渉顕微鏡を用いてタイムラプス観察し、個体レベルでの全石灰化過程を詳細に記載する。

### (2). 走査型電子顕微鏡観察

殻形成時の有機膜状構造を観察するために、石灰化を開始した有孔虫個体を生物固定し、その後臨界点乾燥法で脱水・試料作成を行い、走査型電子顕微鏡で石灰化部位の初生的な膜状構造の様子を観察する。さらに、FIB を用いて石灰化中のチャンバーの横断面を作成する。露出した横断面の観察から膜状構造と沈着した石灰分を観察すると同時に、EDS による元素マッピングを行う。

### (3). 成果のまとめ

SEM 観察で得られた膜状構造の形態及びその発達の様子、沈着した石灰質の様子から石灰化プロセスを推定し、上述の仮説を検証する。得られた成果は査読付き国際誌に投稿するとともに、日本地球惑星科学連合大会 (JpGU) や国際学会において発表し、専門研究者らと広く議論を行う。

## 4. 研究成果

研究対象としている Mg 含有率の異なる有孔虫 *Cibicides* 属 (Mg/Ca 比で約 5mmol/mol) と *Rosalina* 属 (同 20mmol/mol)、*Planolabratella* 属 (同 100mmol/mol) を岩礁地から採取し、有孔虫を単離した。単離した有孔虫をシャーレ内で飼育し、石灰化誘導条件を探索した。Biogeoscience に報告した *Ammonia* 属においては給餌するタイミングを工夫することで、複数個体をほぼ同時に石灰化誘導させることに成功している。*Rosalina* 属においては *Ammonia* 属と同様の方法で、石灰化誘導を行えることがわかった。細胞内に盗葉緑体を保持している *Planolabratella* 属においては明暗サイクルの暗条件下で石灰化を開始することがわかった。*Cibicides* 属においてはまだ誘導の条件はわかっておらず、また石灰化の観察例も限定的である。その為、*Cibicides* 属同様に Mg/Ca 含有率の低い *Elphidium* 属に切り替えて実験を行うこととした。*Elphidium* 属においては付着性の小型珪藻を密度濃く餌として与えかつ *Planolabratella* 属と同様に明暗サイクルの暗条件下において石灰化が誘導されるという知見が得られた。

石灰化誘導に成功した個体においては全殻形成過程を把握する為に殻形成が始まるとその様子を微分干渉顕微鏡を用い詳細なタイムラプス観察を行った。形成する殻の大きさにもよるが、殻形成にかかる時間は *Elphidium* 属では 6 時間程度、*Rosalina* 属では 8 時間程度、*Planolabratella* 属では 24 時間程度と属により大きく異なることがわかった。Mg 含有率が低い程、石灰化に要する時間が短い傾向が示された。石灰化中の石灰化部位に対する細胞質の動きを比較すると *Elphidium* 属では細胞質は殻形成の初期から新しく作られる殻の中に満たされて殻形成を促し、支持している様子が観察された。石灰化初期において数百 nm 程度の炭酸カルシウムが石灰化部位に島状に沈着している様子が観察された。*Rosalina* 属では殻形成の初期にお

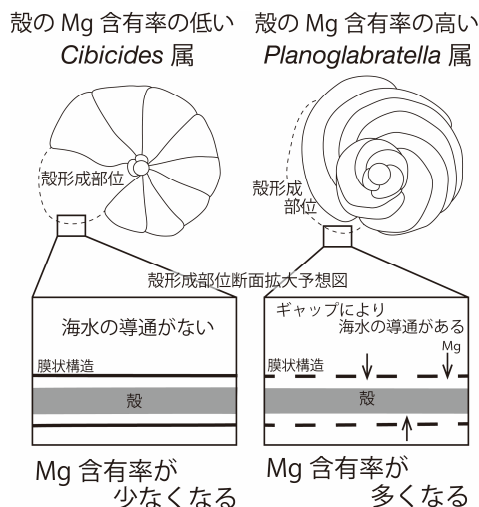


図 2. 本研究の概念図。種によって海水の導通が異なり、膜状構造にギャップが多いと石灰化部位に到達する Mg が増え、Mg 含有率が高くなる。

いて新しく作られる殻の中に細胞質が満たされ、炭酸カルシウムの沈着を促し、支持様子が見られ、細胞質によって殻の形を決めているように見えた。石灰化初期においては殻の形態通りに層状に炭酸カルシウムが沈着しているように見えた。しかし *Planoglabratella* 属では、殻がしっかりと形成され、最終段階で細胞質が移動するなど細胞質のアプローチに対しての種による違いが観察された。

本研究の期間中において日本地球惑星科学連合大会(JpGU)やエジンバラで開催された国際有孔虫会議(Forams 2018)、バイオミネラリゼーションシンポジウムなどで発表を行い、専門研究者らと議論を行った。また *Frontiers in Marine Science* に石灰化部位の経時的な発達と詳細な超微細構造観察に関する論文が、欧州地球科学連合(European Geoscience Union)の学会誌 *Biogeoscience* に *Ammonia* 属における全殻形成過程の詳細なタイムラプス観察と走査型電子顕微鏡による殻形成部位を囲む有機膜構造の構造形成と炭酸カルシウムの沈着の様子をまとめた論文が掲載された。加えて有孔虫の殻形成過程における pH の変動と殻形成部位の微細構造形成に関する論文等、国際共著を含む 7 報の共著論文を発表した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Nagai Yukiko, Uematsu Katsuyuki, Chen Chong, Wani Ryoji, Tyszka Jaroslaw, Toyofuku Takashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Weaving of biomineralization framework in rotraliid foraminifera: implications for paleoceanographic proxies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 6773 ~ 6789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.5194/bg-15-6773-2018">https://doi.org/10.5194/bg-15-6773-2018</a>	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 Nagai Yukiko, Uematsu Katsuyuki, Wani Ryoji, Toyofuku Takashi	4. 巻 5
2. 論文標題 Reading the Fine Print: Ultra-Microstructures of Foraminiferal Calcification Revealed Using Focused Ion Beam Microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.3389/fmars.2018.00067	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 Kuroyanagi Azumi, Toyofuku Takashi, Nagai Yukiko, Kimoto Katsunori, Nishi Hiroshi, Takashima Reishi, Kawahata Hodaka	4. 巻 34
2. 論文標題 Effect of Euxinic Conditions on Planktic Foraminifers: Culture Experiments and Implications for Past and Future Environments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Paleoceanography and Paleoclimatology	6. 最初と最後の頁 54 ~ 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1029/2018PA003539">https://doi.org/10.1029/2018PA003539</a>	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 Charrieau Laurie M., Filipsson Helena L., Nagai Yukiko, Kawada Sachiko, Ljung Karl, Kritzberg Emma, Toyofuku Takashi	4. 巻 138
2. 論文標題 Decalcification and survival of benthic foraminifera under the combined impacts of varying pH and salinity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Marine Environmental Research	6. 最初と最後の頁 36 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI:10.1016/j.marenvres.2018.03.015	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 Takashi Toyofuku, Yukiko Nagai	4. 巻 46
2. 論文標題 Shell formation of foraminifera -marine unicellular calcifiers-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Association for Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Fabrizio Frontalini, Maria Teresa Losada, Takashi Toyofuku, Jaroslaw Tyszka, Jan Golen;, Lennart de Nooijer, Barbara Canonico, Erica Cesarini, Yukiko Nagai, Ulf Bickmeyer, Tetsuro Ikuta, Remi Tsubaki, C Besteiro Rodriguez, E Al Enezi, S Papa, R Coccioni, Jelle Bijma, JM Bernhard	4. 巻 124
2. 論文標題 Foraminiferal ultrastructure: a perspective from fluorescent and fluorogenic probes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Biogeosciences	6. 最初と最後の頁 2823 ~ 2850
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1029/2019JG005113">https://doi.org/10.1029/2019JG005113</a>	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 Jun Kawano, Takashi Toyofuku, Kaede Nishimura, Akiyuki Ueda, Yukiko Nagai, Sachiko Kawada, Henry Teng, Takaya Nagai	4. 巻 19
2. 論文標題 Direct two-dimensional time series observation of pH distribution around dissolving calcium carbonate crystals in aqueous solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth and Design	6. 最初と最後の頁 4212 ~ 4217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b00045">https://doi.org/10.1021/acs.cgd.9b00045</a>	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 Tsubasa Kimura, Mihiro Takasaki, Ryosuke Hatai, Yukiko Nagai, Katsuyuki Uematsu, Yuya Oaki, Minoru Osada, Hiroyuki Tsuda, Takaaki Ishigure, Takashi Toyofuku, Shinji Shimode, Hiroaki Imai	4. 巻 10
2. 論文標題 Guanine crystals regulated by chitin-based honeycomb frameworks for tunable structural colors of sapphirinid copepod, Sapphirina nigromaculata.	5. 発行年 2020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) <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-020-59090-4">https://doi.org/10.1038/s41598-020-59090-4</a>	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 Chong Chen, Hiromi Kayama Watanabe, Yukiko Nagai, Takashi Toyofuku, Ting Xu, Jin Sun, Jian-Wen Qiu, Takenori Sasaki	4. 巻 15
2. 論文標題 Complex factors shape phenotypic variation in deep-sea limpets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biology letters	6. 最初と最後の頁 20190504
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0504">https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0504</a>	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21件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Yukiko Nagai, Takashi Toyofuku, Chong Chen, Katsuyuki Uematsu
2. 発表標題 Formation Process of Organic membrane within calcareous test and early calcium carbonate deposition of benthic foraminifera Ammonia .
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Toyofuku, Miki Y. Matsuo, Lennart Jan de Nooijer, Yukiko Nagai, Tetsuro Ikuta
2. 発表標題 Proton pumping accompanies calcification in foraminifera
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fabrizio Frontalini, Maria Teresa Losada, Takashi Toyofuku, Jaroslaw Tyszka, Jan Golen, Lennart de Nooijer, Barbara Canonico, Erica Cesarini, Yukiko Nagai, Tetsuro Ikuta, Remi Tsubaki, Stefano Papa, Rodolfo Coccioni, Jelle Bijma and Joan M. Bernhard
2. 発表標題 Foraminiferal ultrastructure: a perspective from fluorescent and fluorogenic probes
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Laurie Charrieau, Helena Filipsson, Yukiko Nagai, Sachiko Kawada, Karl Ljung, Emma Kritzberg and Takashi Toyofuku
2. 発表標題 Combined impacts of ocean acidification and desalination: culture experiments on the coastal species <i>Ammonia</i> sp. and <i>Elphidium crispum</i>
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Toyofuku, Yukiko Nagai, Katsunori Kimoto, Osamu Sasaki
2. 発表標題 Test density of <i>Ammonia</i> sp. under variable pH
3. 学会等名 JpGU meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukiko Nagai, Takashi Toyofuku
2. 発表標題 Ultra-microstructures of foraminiferal calcification observed using focused ion beam microscopy
3. 学会等名 JpGU meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yurika Ujiie, Yoshiyuki Ishitani, Shunichi Ishii, Yukiko Nagai, Yoshihiro Takaki, Takashi Toyofuku
2. 発表標題 Transcript assembly and quantification by RNA-Seq identifies candidate genes for foraminiferal biomineralization of <i>Ammonia beccarii</i>
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Yoshiyuki Ishitani, Yurika Ujiie, Euki Yazaki, Takashi Toyofuku, Yukiko Nagai, Yuji Inagaki
2. 発表標題 Phylogenomic approach to the early evolution of Foraminifera
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長井裕季子, 豊福高志
2. 発表標題 例外的に伸長が早い有孔虫の石灰化速度の推定
3. 学会等名 第13回バイオミネラリゼーションワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 豊福高志, 長井裕季子
2. 発表標題 石灰化有孔虫における殻形成プロセス研究の進捗-現生有孔虫観察が切り拓く新たな地平-
3. 学会等名 第4回地球環境史学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 氏家由利香, 石谷佳之, 石井俊一, 長井裕季子, 高木義弘, 豊福高志, 生田哲郎
2. 発表標題 有孔虫の炭酸塩の殻形成に関する分子機構-トランスクリプトーム解析から-
3. 学会等名 第13回バイオミネラリゼーションワークショップ
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 泉田健太, 高崎美宏, 長井裕季子, 緒明佑哉, 豊福高志, 今井宏明
2. 発表標題 浮遊性有孔虫の持つカルサイト針状突起の解析と類似体の合成
3. 学会等名 日本化学会秋季事業 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川野潤, 上田暁之, 豊福高志, 長井裕季子, 田中淳也, 永井隆哉
2. 発表標題 蛍光プローブを用いた可視化手法による炭酸塩鉱物の成長/溶解プロセスの観察
3. 学会等名 JpGU 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川野潤, 豊福高志, 長井裕季子, 田中淳也, 永井隆哉
2. 発表標題 蛍光プローブを用いた2次元可視化手法による結晶溶解プロセス観察
3. 学会等名 第47回結晶成長国内会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yukiko Nagai, Takashi Toyofuku
2. 発表標題 Estimation of the calcification rate of foraminifera -exceptionally fast extending of the shell-
3. 学会等名 JpGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Toyofuku, Yukiko Nagai
2. 発表標題 Estimation of foraminiferal calcification process from live imaging and FIB-SEM approach
3. 学会等名 JpGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yurika Ujiie, Yoshiyuki Ishitani, Shunichi Ishii, Yukiko Nagai, Yoshihiro Takaki, Tetsuro Ikuta, Takashi Toyofuku
2. 発表標題 Transcript assembly and quantification identify candidate genes for foraminiferal calcification
3. 学会等名 JpGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Laurie Charrieau, Yukiko Nagai, Kazuhiko Fujita, Multer D., Iona McIntosh, Takashi Toyofuku
2. 発表標題 The coral reef-dwelling Peneroplis brought to light: recalcification during culture experiment
3. 学会等名 The Micropalaeontological Society Foram-Nanno 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川野潤, 大澤康太郎, 豊福高志, 長井裕季子, 田中淳也, 永井隆哉
2. 発表標題 蛍光プローブによる炭酸塩鉱物の形成/溶解場の2次元可視化
3. 学会等名 JpGU 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊福高志, 長井裕季子
2. 発表標題 超微細構造などから推測される底生有孔虫Ammoniaの殻形成機序
3. 学会等名 第14回バイオミネラリゼーションワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川野潤, 矢崎誠, 豊福高志, 長井裕季子, Henry Teng, 永井隆哉
2. 発表標題 蛍光プローブを用いた2次元可視化手法による結晶の溶解/成長メカニズムの検討
3. 学会等名 日本鉱物学会2019年年会
4. 発表年 2019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