

令和 2 年 6 月 7 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05694

研究課題名(和文) B. bigelowii 化石に基づいた海洋のMg/Ca変動の復元

研究課題名(英文) Reconstruction of paleo-seawater chemistry from Mg/Ca ratio of pentoliths of B. bigelowii

研究代表者

萩野 恭子 (Hagino, Kyoko)

高知大学・海洋コア総合研究センター・助教

研究者番号：90374206

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：円石藻B. bigelowii の培養株を確立し、石灰化過程の観察を行った結果、石灰化は暗黒環境下で生じること、鱗片の外縁部と内部では異なった結晶から成ること、そして、全鱗片の石灰化に必要な時間は12時間未満であることが分かった。北西太平洋と北西大西洋から採取された第四紀の深海底コア試料中の、B. bigelowii 化石の大きさ・形態の変遷を調べた。その結果、両海域でB. bigelowii のサイズの多様化が同時に進行することが分かった。石灰化した培養株に使用されていた培地と石灰質鱗片、並びに化石のB. bigelowii の微量元素組成を比較したところ、年代による傾向の違いが見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

円石藻Braarudosphaera bigelowii は海生の植物プランクトンで、白亜紀後期(1億年前)までさかのぼる化石記録を持つ。このB. bigelowii の石灰質鱗片の化学組成は、鱗片形成当時の海水の微量元素化学組成を記録している可能性が高い。白亜紀後期の地球はいまよりも温暖であったと考えられている。本研究でB. bigelowii の培養株が確立されたことにより、B. bigelowii 化石の化学組成への理解が進展し、温暖期の古海洋環境の復元に、B. bigelowii を活用するための準備が大きく進展した。

研究成果の概要(英文)：The calcification process of pentoliths of B. bigelowii has been studied based on microscopic observations of the culture strains of B. bigelowii first established in this study. Calcification of B. bigelowii occurred while the strains were incubated in dark periods, and took less than 12 hours for the formation of all 12 carbonate pentoliths surrounding a cell. Stratigraphic changes in size and fine morphology of the pentoliths of B. bigelowii were examined using marine core sediments collected from Northwest Pacific and Atlantic Oceans. Size range of the pentoliths of B. bigelowii changed synchronously in both the oceans. Chemical compositions of the pentoliths from both culture strains and fossil pentoliths from Northwest Pacific and Atlantic Oceans were also evaluated by SEM-EDS. The compositions slightly varied among samples/ages; it would reflect differences in environmental conditions at the timing of calcification.

研究分野：微細藻類

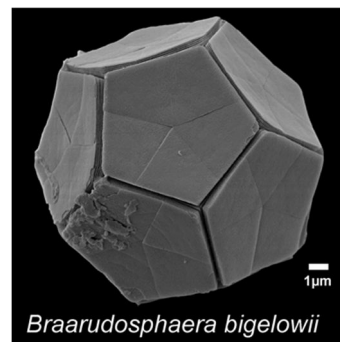
キーワード：円石藻 石灰質ナノプランクトン 多様性 進化 分子系統

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Mg/Ca 比などに基づいた古海洋環境の復元には、無機的に沈殿した炭酸カルシウムや、生物由来の石灰質の化石が用いられてきた。その中で微化石は、試料が連続的に得られるという点が、環境復元の材料として優れている。ただし、生物は種によって生理作用や生息環境が異なるため、化石の元素組成を古環境復元に用いる際には、可能な限り同一種で行うのが望ましい。

炭酸カルシウムの微化石の代表としては、有孔虫と円石藻(石灰質ナノ)化石が挙げられる。そのうち有孔虫化石の元素組成や同位体組成は、古環境解析に広く用いられてきた。その一方で、一般的な円石藻の石灰質鱗片(石灰質ナノ化石)は Mg 等の量が極めて少なく、化学的手法を用いた古海洋環境解析にはあまり用いられてこなかった。また、円石藻化石のサイズが小さく、拾い出しが困難であるということも、実験上の障害であった。



本プロジェクトの研究対象である *B. bigelowii* は、白亜紀後期までさかのぼる化石記録を持つ円石藻である。*B. bigelowii* の石灰質鱗片(写真:細胞表面を覆う五角形の板)は、他の円石藻の石灰質鱗片(コッコリス)と違って Mg に富み、石灰化時の水塊環境を記録している可能性が高い(Hagino, Tomioka et al. 2016, *Mar. Micropaleontol.* 125, 85-94)。この *B. bigelowii* の石灰化(=石灰化細胞の産出)は、中緯度域では5-6月のうち、各地で1週間程度のごく短い期間に限定されており(Hagino et al. 2015, *Mar. Micropaleontol.*, 116, 28-37)(高緯度域では7-8月に石灰化:Konno et al. 1997. *J. Nannoplankton Res.*, 29, 78-87)その点も、石灰化を通年行う他の微化石形成種と異なる特徴である。

炭酸カルシウム殻の元素・同位体組成に基づいた古海洋環境の研究に、よく用いられている有孔虫化石は、中生代と新生代で種組成が全く異なっている。そのため系統や生息環境が異なる可能性が高い中生代と新生代の有孔虫から得られた Mg/Ca を、直接比較することは出来ない。また、化石の形成された季節の特定も出来ない。その一方で *B. bigelowii* は、白亜紀後期～現在まで継続した化石記録を持ち、しかも石灰化の季節が限定されている。このことは、*B. bigelowii* の化石の Mg/Ca 比が、白亜紀後期～現在までを1種でカバーする、‘初夏の古海洋環境指標’として極めて有望である。

2. 研究の目的

現生 *B. bigelowii* 鱗片の Mg/Ca 比と周辺海水環境の関係の解明
化石の *B. bigelowii* 化石の Mg/Ca 比から古海洋環境の復元への挑戦

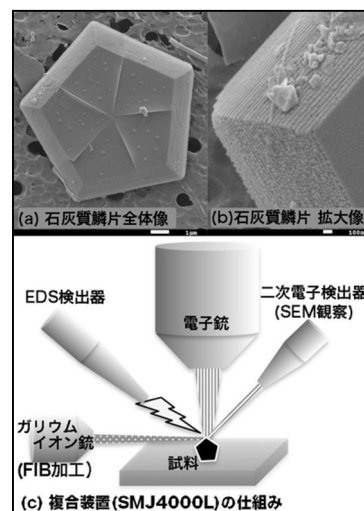
3. 研究の方法

B. bigelowii の培養株の確立にはこれまで誰も成功していなかったため、本プロジェクトでは、*B. bigelowii* の石灰質鱗片と海水の Mg/Ca 比の関連の調査は、自然の海水試料を用いて行った。その結果に基づいて、*B. bigelowii* 化石の Mg/Ca 比から、石灰化時の水温を復元するための換算式の確立を試みた。

B. bigelowii の培養は難しいと考えられているとはいえ、もし培養株の作成に成功すれば、培養環境下でより高い精度の実験が行えるようになる。そのため、本研究では、*B. bigelowii* の培養株の確立にも挑戦した。

自然海水・培養実験によって得られた *B. bigelowii* の石灰質鱗片の形態観察、クリーニング、そして測定までを一貫して、SEM-FIB-EDS 複合装置(Hitachi SMJ4000L)を用いて行った。化石の表面を集束ガリウムイオンビーム(FIB)で除去すると、汚染の無い内部が露出する。表面除去後のクリーンな化石内部の元素組成を、付属するエネルギー分散X線分光器(EDS)で測定した。

北西大西洋や北西太平洋から採取された深海底コア試料を用いて、第四紀の *B. bigelowii* 化石の形態学的な多様性の変遷と Mg/Ca 比の変化調べた。



4. 研究成果

Braarudosphaera bigelowii の研究の重要性と将来の展望を解説するレビュー論文を発表した(萩野ほか、2017)。さらに、現生試料のサンプリングの過程で明らかになった、*B. bigelowii* をふくめた円石藻群集の季節変化についてまとめた論文を発表した(Hagino et al. 2018)。

IODP Exp. 370 によって高知沖の北西太平洋から採取されたコア試料中の、*B. bigelowii* 化石を含む石灰質ナノ化石の層序学的変化を調べ、その結果を、Hagino et al. (2018) として論文発表した。

生物学的・古生物学的手法に基づいた、以下の研究を行った。

< 生物学的研究 >

培養株が存在しない *B. bigelowii* は、実験環境下での石灰化実験はできないという認識のもと、自然海水からのサンプリングを3年間で計81回行った。そのなかで、*B. bigelowii* の石灰化細胞を採取出来たのは僅か3回(計28個)に留まった。本研究の目的には足りない個数であり、自然試料を用いた現生の *B. bigelowii* の解析には残念ながら失敗した。しかしながら、予定外に *B. bigelowii* の培養株の確立と実験環境下での石灰化に成功し、結果として実験用の数千個の現生の *B. bigelowii* の石灰化鱗片を入手することができた。

培養に成功したことにより、*B. bigelowii* 石灰化途中の鱗片の観察が可能になった。その結果、石灰化初期の結晶の配置状況が初めて明らかになった。また、*B. bigelowii* が全12枚の石灰質鱗片の石灰化に必要な時間が12時間未満であることが分かった。この観察結果により、石灰質鱗片の化学組成が、ごく短い時間の周辺海水の環境を反映していることが分かった。この観察結果は、*B. bigelowii* 化石の微量元素組成の解釈の上で重要な情報である。

この培養環境下で形成された石灰質鱗片の形態と化学組成を、SEM, EDS, FIB, TEM を用いて調べた。また、*B. bigelowii* の石灰化が観察された海水試料の化学組成との関連を調べた。

< 古生物学的研究 >

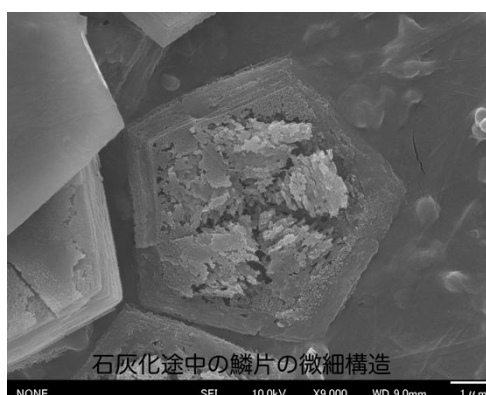
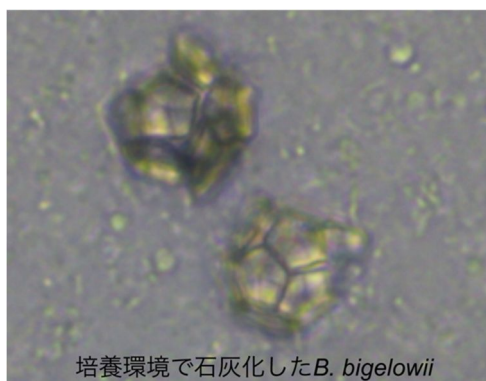
北西太平洋(「ちきゅう」慣熟航海, Hole C9001)と北西大西洋(ODP Leg 164, Hole 994C)から採取された第四紀堆積物中の *B. bigelowii* 化石の形態・サイズの多様性を連続的に調べて比較した。その結果、北西太平洋と北西大西洋の両方において、第四紀の始めには、現在には存在しない大きなサイズの *B. bigelowii* 個体群が存在していたこと、それがほぼ同時期に両地点の化石記録から姿を消したこと、そして、第四紀の後半に大西洋と北西大西洋で同時進行的に、*B. bigelowii* 化石のサイズの多様化が生じたことが分かった。これらの結果は、*B. bigelowii* の石灰質鱗片の大きさの違いが、個体差ではなく種分化に対応するものであるという、これまでの分子系統解析の結果を支持するものである。

また、北西太平洋(襟裳岬沖)から採取された SCORE Hole C9023 の第四紀堆積物中の *B. bigelowii* 化石を含む石灰質ナノ化石の層序学的変化を調べ、そこで観察された *B. bigelowii* 化石個体群の構成が、Hole C9001 と調和的であることを確認した。

さらに、*B. bigelowii* の観察の途中で、新種の *Braarudosphaera* 属の化石を発見した。この石灰化プロセスを推察するために、FIB で化石の切片を作成して断面を観察し、石灰化に関与すると考えられる膜状構造と炭酸カルシウム結晶の関係を明らかにした。

< 総合的議論 >

上記の化石の検鏡から明らかになったこれらの知見を、現生種の採取の際にあわせて取得した分子系統解析(18S rDNA 塩基配列)の結果や、鱗片の Mg/Ca 比の測定結果と環境因子の関係をあわせて議論するための論文を、現在準備中である。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kyoko Hagino-Tomioka, Natsuko Tomioka and Naotaka Tomioka	4. 巻 Special Issue 4
2. 論文標題 Seasonal succession of living coccolithophores in the coastal waters of Tomari Port, Tottori, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Nannoplankton Res.	6. 最初と最後の頁 1-15
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 Kyoko Hagino and the Expedition 370 Scientists	4. 巻 370
2. 論文標題 Data report: calcareous nannofossils from the middle Miocene to Pleistocene, IODP Expedition 370 Site C0023	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Ocean Discovery Program	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） 10.14379/iodp.proc.370.201.2018	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 萩野 恭子, 大沼 亮, 高野 義人, 富岡 尚敬, 堀口 健雄	4. 巻 60
2. 論文標題 Braarudosphaera bigelowii研究のこれまで・これから	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 月刊海洋特別号	6. 最初と最後の頁 115-124
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 無
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 Bendif El Mahdi, Nevado Bruno, Wong Edgar L. Y., Hagino Kyoko, Probert Ian, Young Jeremy R., Rickaby Rosalind E. M., Filatov Dmitry A.	4. 巻 10
2. 論文標題 Repeated species radiations in the recent evolution of the key marine phytoplankton lineage Gephyrocapsa	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	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） https://doi.org/10.1038/s41467-019-12169-7	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8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 宇都宮正志、萩野恭子、田中裕一郎
2. 発表標題 ODP Site 709（西インド洋赤道域）における円石藻 <i>Umbilicosphaera sibogae</i> の出現と推定される祖先種
3. 学会等名 日本古生物学会第168回例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichiro Kuroda, Saneatsu Saito, Yoichi Usui, Kyoko Hagino, Paul R. Bown, Kan-Hsi Hsiung, Saburo Sakai, Ron I Hackney, Naohiko Ohkouchi
2. 発表標題 Stratigraphy of the Cretaceous-Paleogene transition interval at the Lord Howe Rise, southern Pacific
3. 学会等名 2018 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Hagino, E.M. Bendif, I. Probert, J.R. Young
2. 発表標題 Molecular phylogenetic position of <i>Reticulofenestra sessilis</i>
3. 学会等名 16th International Nannoplankton Association Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Utsunomiya, K. Hagino, Y. Tanaka
2. 発表標題 Stratigraphic variation in abundance, species composition, and morphology of the genus <i>Umbilicosphaera</i> (Calcidiscaceae) in the Pliocene-Pleistocene of ODP Site 709C core (western equatorial Indian Ocean)
3. 学会等名 16th International Nannoplankton Association Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 萩野恭子
2. 発表標題 円石藻の進化の歴史とその未来
3. 学会等名 2017年度・微生物学リファレンスセンター研究集会 つくば大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塚越智夏，鈴木重勝，中村篤，萩野恭子，石田健一郎
2. 発表標題 ハプト藻 <i>Chrysochromulina parkeae</i> とその内部共生体の形態および系統
3. 学会等名 第1回日本共生生物学会（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 E.M. Bendif, B. Nevado, E.L.Y. Wong, K. Hagino, I. Probert, J.R. Young, R.E.M. Rickaby, D.A. Filatov
2. 発表標題 Integrating molecular genomic and palaeobiological data on the evolution of the Gephyrocapsa-Emiliana clade
3. 学会等名 17th International Nannoplankton Association meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Utsunomiya, K. Hagino, Y. Tanaka
2. 発表標題 Morphological variation in the genus <i>Umbilicosphaera</i> from the Pliocene through Pleistocene of ODP 709C (western Indian Ocean) and 994C (northwestern Atlantic) cores
3. 学会等名 17th International Nannoplankton Association meeting
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
研究 分担者	富岡 尚敬 (Tomioka Naotaka) (30335418)	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(高知コア研究所)・主任技術研究員 (82706)	
研究 分担者	若木 重行 (Wakaki Shigeyuki) (50548188)	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(高知コア研究所)・技術研究員 (82706)	