

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05311

研究課題名(和文) 浮遊性有孔虫殻サイズの標準変動曲線の提唱

研究課題名(英文) Development of the standard curve for the temporal size change of planktonic foraminifera

研究代表者

林 広樹 (Hayashi, Hiroki)

島根大学・総合理工学研究科・准教授

研究者番号：80399360

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：中新世の代表的な年代指標種である *Paragloborotalia siakensis* について、東赤道太平洋での約16-11Maに至る長期間のサイズ変動を明らかにした。さらに、代表的な層準についてX線CT法による三次元形態測定を実施した。結果として、東部南極氷床の拡大イベントの最初期で顕著に小型化し、直後に急回復するという変動が観察された。また、赤道太平洋における東西対立の強化に伴い、サイズ分布の顕著な大型化が認められた。これは海洋の富栄養化に対する応答と考えられ、これまで進化モデルの文脈から議論されてきた dwarfing や gigantism のメカニズムとは異なるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We reconstruct the temporal size change pattern of the middle Miocene index species *Paragloborotalia siakensis* from 16 to 11 Ma at two drilling sites, namely, IODP Sites U1337 and U1338, in the eastern equatorial Pacific. The size change pattern was discussed with respect to previous geochemical and paleontological data. And tree-dimensional images of several specimens collected from characteristic horizons were acquired by the XMCT method. As a result of this study, rapid size changes of this species roughly correspond to isotopic events related to the EAIE. But we cannot determine the significant criterion between the size changes nearby the EAIE and background size changes. The Lilliput Effect model cannot explain for such background size changes. Consequently, the size changes of this species should be regarded as an environmental response following the EAIE.

研究分野：生層序学

キーワード：生層序学 浮遊性有孔虫 新第三紀 深海掘削計画

1. 研究開始当初の背景

生層序の高精度化は、地質情報の高精度な解析の基礎となるものである。微化石の個体サイズ変動を生層序に用いた例としては、石灰質ナノ化石 *Reticulofenestra* 属等が良く知られている (例えば Young, 1990 など)。このサイズ変化の要因については「環境説 (獲得要因)」と「進化説 (遺伝要因)」とに大きく議論が割れていた。実際の変動パターンを見ると、環境変動の時間スケールと比して長周期であり、大型化が漸進的に進行すること、また、しばしば顕著な二峰性が認められることから、いわゆる **Lilliput effect (Urbanek, 1993)**, すなわち大型脊椎動物や軟体動物でも認められるような大進化パターンに共通する要因を有する可能性が高いと考えられた。もし遺伝的要因であるならば、遺伝子プールを共有する地理的範囲内でその変動が共通して認められるものと予測され、それにより生層序としての利用の妥当性が保証されることになる。一般に、遠洋性プランクトン生物は広範囲にわたって遺伝子交流を示すため、国際対比でも有用な可能性が高い。実際に、石灰質ナノ化石ではサイズ変化が国際対比に用いられてきた。

浮遊性有孔虫の個体サイズ変動については、種の絶滅直前に顕著な殻サイズ減少イベント (絶滅前矮化現象: **pre-extinction dwarfing**) を示す例がいくつかの種群で認められ、国際誌上で特集号が企画されるなど (Wade and Twitchett, 2009), その進化的・古海洋学的意義が注目されつつあった。しかし、先述の石灰質ナノ化石の例のように、特定タクサに限定して長期間にわたり個体サイズ変動を明らかにした先行研究はなかった。

研究代表者は、統合国際深海掘削計画 (IODP) 第 321 次航海 (東赤道太平洋年代トランセクト計画: **PEAT**) に参加し、中新世以降の浮遊性有孔虫生層序を担当した (H23-25 若手(B): 23740377) (Hayashi et al., 2013)。この研究の中で、中期中新世に多産する重要な浮遊性有孔虫年代指標種である *Paragloborotalia siakensis* の殻サイズ変化を統計的に解析した結果、顕著な 3 回の殻サイズ減少イベントを認めた (Okada and Hayashi, 2013)。これらのイベントは、広域対比に有効とされる石灰質ナノ化石のサイズ変化パターンと類似していたため、その進化的・古海洋学的な意義の検証が必要と考えた。

2. 研究の目的

詳細な年代および酸素・炭素同位体比変動が既に明らかにされている深海掘削試料を用いて、浮遊性有孔虫種 *P. siakensis* の殻サイズ変動を明らかにし、顕著な殻サイズ減少イベント (**dwarfing**) を検出するとともに、広域対比の有効性を検証し、標準変動曲線を提唱する。また、同時に群集・形態解析を実施し、進化的・古海洋学的意義を考察する。

3. 研究の方法

- (1) 既に大局的な変動パターンが得られている東赤道太平洋 IODP Site U1338 で *P. siakensis* の殻サイズを測定し、サイズ変動の詳細パターンを得る。大量個体の殻サイズ測定を効率的に実施するため、計測機能を有するデジタルカメラシステムを導入する。また、認定されたイベント前後の層準で、マイクロ X 線 CT スキャナーを用いて三次元形態解析を行い、隠蔽種の有無を検討するとともに、既に手法が確立されている殻密度構造や成長率の解析を行う。
- (2) Site U1338 と隣接する Site U1337 で殻サイズの測定を行い、東赤道太平洋における実態を解明するとともに、群集解析や地球化学的分析の結果と比較する。
- (3) 浮遊性有孔虫生層序の高度化を目指し、各地で生層序学的研究を進める。

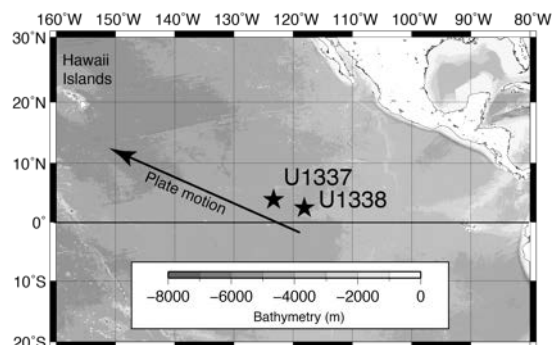


図1 IODP Site U1337 および Site U1338 の位置図

4. 研究成果

(1) *P. siakensis* について、約 16~11Ma に至る長期間のサイズ変動記録を明らかにした。解析した地点は東赤道太平洋の近接した 2 地点における深海掘削コア (IODP Site U1337, U1338) である。これら 2 地点では天文軌道要素校正による詳細な年代決定がされており、この 2 地点の詳細対比によって意図しないバイアスシグナル (人為的もしくは局所的要因による擾乱) の評価が可能になると考えた。各層準のサイズ分布を代表させるため、各試料 50 個体以上のサイズを測定した。得られた 2 地点のサイズ変動パターンは非常に類似しており、サイズ変動による対比の可能性が示された。海洋環境のプロクシと比較すると、東部南極氷床の拡大イベントの最初期で顕著に小型化し、直後に急回復するという変動が観察された。この小型化層準について X 線 CT スキャナーによって個体の成熟度を判別した結果、これら小型個体はいずれも成体であると判断された。

また、Matsui et al. (2017) により指摘された赤道太平洋における東西対立の強化 (ラーニャ的環境の強化) に伴い、サイズ分布の顕著な大型化が認められた。これは海洋の富栄養化に対する応答と考えられ、これまで

進化モデルの文脈から議論されてきた dwarfing や gigantism のメカニズムとは異なるものと考えられる。以上の結果は学会発表し、また論文準備中である。

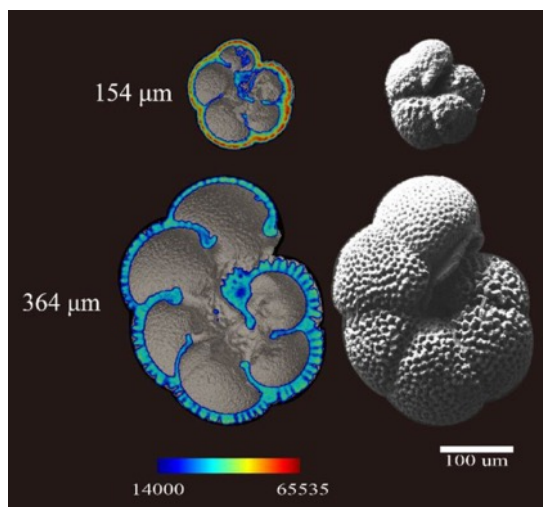


図2 IODP Hole U1338B, 28H-7における *P. siakensis* 小型個体と大型個体の X 線 CT 像の比較。

(2) 浮遊性有孔虫生層序の高度化を目的として、各地で生層序学的研究を実施した。主なものは以下の通りである。①房総半島養老川ルート、千葉セクションに分布する更新統上総層群国本層では、更新統中部・上部境界の GSSP 候補地として総合的な層序学的研究が進められている。本研究では、このセクションの浮遊性有孔虫生層序を詳細に分析するとともに、古海洋変動に伴う群集変化を明らかにした。この成果の一部は国際学会 (INQUA) のポスター講演で発表され、また投稿中を含むいくつかの論文で公表される。②宮城県仙台地域北部に分布する上部中新統青麻層について浮遊性有孔虫生層序を分析し、N. 16 帯上部～N. 17 帯下部付近に対比した。この成果は学会発表するとともに、論文投稿中である。

(3) 本研究で確立したサイズ計測システムにより、底生有孔虫のサイズ分布の研究にも取り組んだ。具体的には、①房総半島鋸山地域に分布する千畑礫岩層について、底生有孔虫および浮遊性有孔虫を分析し、従来よりも詳細な年代決定を行った。また、この礫岩層に特徴的に多産する底生有孔虫 *Burseolina* のサイズ分布を調べ、礫岩の堆積過程に伴う分級作用が特異な群集を形成したことを明らかにした。②2011年東北太平洋沖地震の陸上遡上津波堆積物に含まれる底生有孔虫のサイズ分布を調べ、分級作用によって上方および内陸側に向かって個体サイズが減少傾向を示すことを明らかにした。③日本海沿岸に生息する大型有孔虫 *Amphistegina* のサイズ分布を調査し、その個体群動態を解明した。これらの成果は学会発表により公表した。

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)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① 大信田彦磨・林 広樹 (2018) (4 名 3 番目) 愛知県知多半島, 中新統師崎層群に見られる小座岩脈 (碎屑岩脈) の浮遊性有孔虫化石. 豊橋市自然史博物館研究報告, 第 28 号, 1-9. [査読有]
- ② Hyodo, M., Hayashi, H., et al. (2017) (12 名 7 番目) Millennial-scale northern Hemisphere Atlantic-Pacific climate teleconnections in the earliest Middle Pleistocene. *Scientific Reports*, 7:10036. doi:10.1038/s41598-017-10552-2. [査読有]
- ③ Matsui, H., Hayashi, H., et al. (2017) (6 名 4 番目) Vertical thermal gradient history in the eastern equatorial Pacific during the early to middle Miocene: Implications for the equatorial thermocline development. *Paleoceanography*, doi:10.1002/2016PA003058. [査読有]
- ④ 平松 力・林 広樹 他 (2017) (6 名 6 番目) 島根県隠岐諸島島後の国立公園に分布する中新統の珪藻化石層序. 石油技術協会誌, 82, 131-142. [査読有]
- ⑤ Yasuhara, M., Hayashi, H., et al. (2016) (10 名 6 番目) Cenozoic dynamics of shallow-marine biodiversity in the Western Pacific. *Journal of Biogeography*, 44, 567-578. doi:10.1111/jbi.12880. [査読有]
- ⑥ Hayashi, H. et al. (2016) (3 名 1 番目) Data report: Pleistocene planktonic foraminifers from the Kumano forearc basin, IODP Expedition 338 Holes C0002K and C0002L. *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program*, 338. doi:10.2204/iodp.proc.338.205.2016. [査読有]
- ⑦ 佐々木 理 他 (2016) (5 名 1 番目) 計算微古生物学: 最新 3 次元イメージング技術の浮遊性有孔虫研究への応用. *化石*, 99, 63-72. [査読有]
- ⑧ Matsuzaki, K.M., Hayashi, H. et al. (2015) (7 名 4 番目) Early to Middle Pleistocene paleoceanographic history of southern Japan based on

radiolarian data from IODP Exp. 314/315 Sites C0001 and C0002. *Marine Micropaleontology*, 118, 17-33. doi:10.1016/j.marmicro.2015.05.001. [査読有]

- ⑨ Kase, T., Hayashi, H. et al. (2015) (6名6番目) A new cerithioidean genus *Megistocerithium* (Gastropoda; Mollusca) from the Miocene of Southeast Asia: a possible relict of Mesozoic "Eustomatidae". *Paleontological Research*, 19, 299-311. doi:10.2517/2015PR013. [査読有]
- ⑩ 平松 力・林 広樹 他(2015) (5名5番目) 島根県隠岐諸島島後の中新統久見層および都万層の珪藻化石層序. 石油技術協会誌, 80, 375-384. [査読有]
- ⑪ 鈴木拓馬・林 広樹(2015) 福島県東棚倉地域久保田層から産出する *Anadara* 属二枚貝化石の形態測定. 島根大学地球資源環境学研究報告, 33, 75-88. [査読無]
- ⑫ Iwasaki, S., Sasaki, O., et al. (2015) (6名3番目) Observation of the dissolution process of *Globigerina bulloides* tests (planktic foraminifera) by X-ray microcomputed tomography. *Paleoceanography*, 30, 317-331. doi:10.1002/2014PA002639. [査読有]

[学会発表] (計 24 件)

- ① 大信田彦磨・林 広樹 他 (2017) (5名2番目) 三重県に分布する一志層群上部の複化石層序. 日本地質学会第124年学術大会(愛媛大学, 2017年9月18日).
- ② 兵頭政幸・林 広樹 他 (2017) (12名7番目) 千葉セクションの高精度古海洋記録一千年~百年スケールの気候変化. 日本第四紀学会 2017年大会(福岡大学, 2017年8月28日).
- ③ 古澤明輝・林 広樹 他(2017) (6名4番目) フィリピン, レイテ島北西部に分布する新第三系の浮遊性有孔虫群集と古海洋. 日本古生物学会 2017年年会(北九州市立自然史・歴史博物館, 2017年6月11日).
- ④ 川口慶一郎・林 広樹(2017) 東赤道太平洋 IODP Site U1338における鮮新世の浮遊性有孔虫群集と古海洋. 地球惑星科学連合大会 2017年大会(幕張メッセ, 2017年5月23日).
- ⑤ 松井浩紀・林 広樹 他(2017) (6名4番目) 前期~中期中新世を通じた赤道太平洋温度躍層の発達史. 地球惑星科学連合大会 2017年大会(幕張メッセ, 2017年5

月23日).

- ⑥ 紫谷 築・林 広樹・池原 実(2017) 本州沖の黒潮流域におけるブリュンヌーマツヤマ逆転境界近傍の浮遊性有孔虫群集変動と古海洋. 地球惑星科学連合大会 2017年大会(幕張メッセ, 2017年5月22日).
- ⑦ Takuma SUZUKI, Hiroki HAYASHI and Osamu SASAKI (2017) Temporal size change of the middle Miocene planktonic foraminiferal species *Paragloborotalia siakensis* (LeRoy). JpGU-AGU Joint Meeting 2017(幕張メッセ, 2017年5月20日).
- ⑧ 山本秀忠・林 広樹 他(2017) (4名4番目) 鮮新-更新統千倉層群布良層における浮遊性有孔虫化石を用いた古海洋環境復元. 日本古生物学会第166回例会(早稲田大学, 2017年1月28日).
- ⑨ 佐多美香・林 広樹 他(2017) (4名3番目) 浮遊性有孔虫群集と酸素同位体比に基づく本州南方黒潮流域における MIS5 から MIS6 の古環境変動. 日本古生物学会第166回例会(早稲田大学, 2017年1月28日).
- ⑩ Moriaki YASUHARA, Hiroki HAYASHI et al. (2017) (10名6番目) Cenozoic dynamics of shallow-marine biodiversity in the Western Pacific. The 8th Biennial Conference of the International Biogeography Society (University of Arizona, Tucson, Arizona, 2017年1月9-13日).
- ⑪ Moriaki YASUHARA, Hiroki HAYASHI et al. (2017) (10名6番目) Cenozoic dynamics of shallow-marine biodiversity in the Western Pacific. Fall Meeting of the American Geophysical Union (Moscone Center, San Francisco, 2016年12月15日).
- ⑫ Moriaki YASUHARA, Hiroki HAYASHI et al. (2017) (10名6番目) Cenozoic dynamics of shallow-marine biodiversity in the Western Pacific. Annual Meeting of the Geological Society of America (Denver City, 2016年9月25日).
- ⑬ 林 広樹 他 (2016) (6名1番目) 2011年東北地方太平洋沖地震による陸上遡上型津波堆積物中の有孔虫遺骸群集. 日本地質学会第123年学術大会(日本大学文理学部, 2016年9月10日).
- ⑭ 古澤明輝・林 広樹 他(2016) (6名4番目) フィリピン, レイテ島北西部新第三系の浮遊性有孔虫生層序. 日本地質学会第123年学術大会(日本大学文理学部, 2016年9月10日).
- ⑮ 大信田彦磨・星 博幸・林 広樹(2016) 三重県一志層群上部の浮遊性有孔虫化石層序: 中新世の古地磁気-微化石年代尺度の高精度化を目指して. 日本地質学会

- 第 123 年学術大会 (日本大学文理学部, 2016 年 9 月 10 日).
- ⑮ 石川杏菜・亀尾浩司・林 広樹 (2016) 統合国際深海掘削計画 (IODP) 第 333 次研究航海 Site C0011 における鮮新統浮遊性有孔虫化石層序. 日本地質学会第 123 年学術大会 (日本大学文理学部, 2016 年 9 月 10 日).
- ⑯ 鈴木拓馬・林 広樹 他 (2016) (4 名 2 番目) 上部中新統青麻層の模式地における浮遊性有孔虫生層序の再検討. 日本古生物学会 2016 年年会 (福井県永平寺町福井県立大学, 2016 年 6 月 25 日).
- ⑰ 佐多美香・林 広樹 他 (2016) (4 名 3 番目) 浮遊性有孔虫群集に基づく本州南方黒潮流域における最終間氷期と MIS 6 の古環境変動. 日本地質学会四国支部年会 (高知大学, 2015 年 12 月 19 日).
- ⑱ 兵頭政幸・林 広樹 他 (2015) (9 名 8 番目) 上総層群の Matuyama-Brunhes 地磁気逆転: 千年スケールの特徴. 地球電磁気・地球惑星圏学会第 138 回総会及び講演会 (東京大学理学部小柴ホール, 2015 年 10 月 31 日).
- ⑳ Hiroki HAYASHI et al. (2015) (4 名 1 番目) Temporal faunal changes in fossil planktonic foraminifera across the Matuyama-Brunhes transition at Tabuchi, Chiba Prefecture, central Honshu, Japan. The XIX Congress of the International Union for Quaternary Research (Nagoya Congress Center, Nagoya City, 01-Aug-2015).
- 21 Masayuki HYODO, Hiroki HAYASHI et al. (2015) (8 名 7 番目) High-resolution Matuyama-Brunhes magnetic polarity transition record from an oriented core of the Kokumoto Formation at Tabuchi, Chiba, central Japan. The XIX Congress of the International Union for Quaternary Research (Nagoya Congress Center, Nagoya City, 01-Aug-2015).
- 22 林 広樹 他 (2015) (4 名 1 番目) 浮遊性有孔虫の現生アナログ法に基づく更新世の熊野沖の海洋環境の復元. 地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ国際会議場, 2015 年 5 月 28 日).
- 23 佐多美香・林 広樹 他 (2017) (4 名 3 番目) 浮遊性有孔虫群集に基づく本州南方黒潮流域における最終間氷期と MIS 6 の古環境変動. 地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ国際会議場, 2015 年 5 月 27 日).
- 24 兵頭政幸・林 広樹 他 (2015) (9 名 8 番目) 市原市田淵における国本層の掘削コアのマツヤマーブリュンヌ地磁気極性トランジション. 地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ国際会議場, 2015 年 5 月 25 日).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 広樹 (HAYASHI, Hiroki)
島根大学・総合理工学研究科・准教授
研究者番号: 80399360

(2) 研究分担者

佐々木 理 (SASAKI, Osamu)
東北大学・学術資源研究公開センター・准教授
研究者番号: 60222006

(3) 研究協力者

鈴木 拓馬 (SUZUKI, Takuma)