様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ３０ 年　 ６ 月 ２８ 日現在

機関番号：１３１０１
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2015～2017
課題番号：１５Ｋ０５３２９

研究課題名（和文）形と機能から探る放散虫の系統進化学的研究

研究課題名（英文）Radiolarian evolution inferred from form and function

研究代表者
松岡　篤（Matsuoka, Atsushi）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：００１８３９４７

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,600,000円

研究成果の概要（和文）：　放散虫の系統関係を検討する優先順位として，閉室ナセラリアは白亜紀のTurbocapsula属を選び，チベット南部のセクションにおいて，形態形質が系統的に変化すること明らかにした．現生多節ナセラリアのEucyrtidium属２種（E. hexagonatumとE. hexastichum）の殻孔の配列パタンは，中生代の分類基準を適用すると科のレベルの違いがあることが判明した．
　第15回国際放散虫研究集会を開催した．この国際会議では，社会認知度の低い放散虫を一般社会に普及する活動も展開した．マイクロCTを用いた放散虫の3次元模型は，普及活動に有効であることが示された．

研究成果の概要（英文）：　Cretaceous closed Nassellarian genus Turbocapsula exhibits an evolutionary lineage, showing phylogenetic changes in skeletal morphology, which was clarified by our research in southern Tibet, China. Two species within recent Nassellarian genus Eucyrtidium show a variation in pore arrangement, which is a family-level difference in radiolarian taxonomy.
　The 15th International radiolarian meeting was held in Niigata in 2017. This meeting contributed not only to scientific field but also to outreach activities using enlarged models of radiolarian skeletons produced by macro-CT technique and 3D printing methods.

研究分野：古海洋学

キーワード：放散虫　系統進化　形　生態観察　マイクロCT　3Dプリンター

１．研究開始当初の背景

(1) 放散虫は世界のさまざまな海域に生息するプランクトンで，最も古い化石は５億年以上前の古生代カンブリア紀の地層から産出している．放散虫はシリカの殻をもつため化石として保存されやすく，５億年の進化史を化石記録から追跡することが可能である．一方で，近年，放散虫の生物学的検討が行われ，生体情報をとおして系統関係が明らかになりつつある．

(2) 現在示されている放散虫の系統関係の認識は不十分であり，詳細な形状情報の不足がその原因である．近年は，放散虫の殻形態をより正確に把握するという観点から国内共同研究を展開し，X 線マイクロ CT 技術を適用した微化石の模型の作製やそれを活用した研究を展開している（Matsuoka et al., 2012).

(3) 1990 年代初頭からは，現生放散虫の研究も手がけ，生体観察・飼育実験をつうじて，放散虫の殻形成，成長，捕食行動，放散虫と他の微生物との共生・寄生関係など生物学的な側面についても成果を上げてきた．また，沖縄近海ならびに日本海の放散虫群集についても，季節変化などの観点から検討している．さらに，放散虫の分子生物学についても共同研究者と検討を行い，いくつかの研究成果を公表してきた.

(4) 本研究は，X 線マイクロ CT 技術を駆使して得た放散虫の詳細な形状情報と，生体観察・飼育実験から得られる生体情報という２種類の独立な情報を統合し，放散虫の系統進化を解明するものである．

２．研究の目的

(1) 本研究は，放散虫の系統進化を精密形状解析と生体観察・飼育実験から明らかにすることを目的とする．各地質時代の放散虫群集の全容は，過去 30 年間の研究によりその大綱が明らかにされてきた．しかしながら，多様に記載された分類群の系統関係は，必ずしも十分に把握されてはいない．本研究では，実用段階に入ったマイクロ CT 技術を駆使し，放散虫の形状情報を把握した上で，殻形態に基づき放散虫の系統関係を推定する．

(2) 現生放散虫の生体観察・飼育実験により，軟体部の特徴や行動などの生体情報から放散虫の系統関係を推定することができる．２つの独立したアプローチから得られた系統樹を比較することによって，より信頼性の高い放散虫の系統進化を解明する．

３．研究の方法

(1) 本研究は，精密形状解析と生体観察・飼育実験の２つの研究の柱をもち，それぞれある程度の独立性をもって研究を進めることになる．

精密形状解析の主要な検討項目は，マイクロ CT 技術を用いた化石の精密形状情報にもとづき，形態形成の構造力学的，材料工学的，形の科学（空間性質）的な視点をも考慮し，化石放散虫の系統樹を描き出すことにある．一方，生体観察・飼育実験からは，現生放散虫の細胞生物学的および行動学的検討から放散虫の系統樹を求めることができる．２つのアプローチから得られる検討結果を比較検討し，より合理的な系統樹を導き出す．

４．研究成果

(1) 放散虫の系統関係を検討する優先順位として，閉室ナセラリアからは ***Turbocapsula*** 属を選び，集中的に研究した．***Turbocapsula*** 属の系統進化については，チベット南部のセクションにおいて，形態形質が系統的に変化すること明らかにした．この進化系統をもちいて，放散虫化石帯の整備も行った．検討した分類群のうち，白亜紀古世の１新種（***Turbocapsula tetras*** Li and Matsuoka）および１新亜種（***Turbocapsula costata multicostata*** Li and Matsuoka）を記載した．***Turbocapsula fugitiva*** の祖先種から ***Turbocapsula fugitiva*** への進化は，殻室の減少により特徴づけられる．***Turbocapsula fugitiva*** から ***Turbocapsula costata*** への進化は，肋の発達により特徴づけられる．白亜紀古世の ***Tubocapsula*** 属の進化は，ジュラ紀中世の ***Striatojaponocapsa*** 属の系統進化と類似点があることが判明した．すなわち，両系統において，進化の初期に４殻室から３殻室への減少が生じている．

(2) 系統関係を検討する優先順位として，多節ナセラリアの中からは ***Eucyrtidium*** 属を選び，集中的に取り組んだ．検討した ***Eucyrtidium*** 属２種（***E. hexagonatum*** Haeckel と ***E. hexastichum*** (Haeckel)）の殻形態の違いである殻孔の配列パタンは，中生代の多節ナセラリアの分類基準を適用すると科のレベルの違いをもつといえる．仮足に代表される軟体部の形態にも明らかな差異が認められる．その一方で，分子生物学的検討からは非常に近縁であるとの結果が示されている．この検討により，殻および軟体部の形態と分子生物学的なデータとは必ずしも整合的でないことを示す一例を認識することができた．どういう形態形質が本質的なのかをつきとめるのかが今後の研究の鍵となる．

(3) 中国チベット南部の珪質岩セクションにおいて古第三紀放散虫の検討を行い，３新種（***Lychnocanium? pyramis*** Li and Matsuoka, ***Lychnocanium? stypticum*** Li and Matsuoka, ***Pterocyrtidium sinense*** Li and Matsuoka）を含む放散虫群集について記載論文を公表した．本研究にともない，古第三紀の放散虫について，進化系統を把握することができた．

(4) 沖縄近海の表層海域に生息する放散虫29種について，カタログを作成した．1種につき1葉からなるカタログは，放散虫生体の光学顕微鏡写真，殻の光学顕微鏡写真および殻の走査型電子顕微鏡写真を含む．今後，現生放散虫を研究するうえで利用価値の高い基本データになると期待される．沖縄での現生放散虫研究について，過去 20 年にわたる研究史を振り返るとともに，研究方法についての解説書を英文で出版した．2016 年度に執筆した現生放散虫の英文カタログを併用することにより，未経験の人でも現生放散虫研究に親しむことができる．

(5) 新潟県糸魚川地域の礫岩中の珪質岩礫から，古生代シルル紀の放散虫化石を見いだした．これは新潟県最古の化石である．日本列島の含放散虫礫としても最古の記録である．この研究については，新潟大学，産業技術総合研究所，糸魚川市との合同でプレス発表を行った．2016 年 12 月に新潟日報，朝日新聞（新潟版），産経新聞（新潟版）などで，研究成果が報じられた．

(6) 後述する InterRad XV 特集号とは別に，スロベニア，スペイン，スイス，アメリカの研究者との共著による中生代放散虫層序についての総説論文を執筆し，Revue de Micropaleontologie 誌に投稿した．化石帯を設定するにあたり，放散虫の系統進化を認識することが重要であることが強調されている．1970 年代に開始された中生代放散虫層序がどのように発展してきたかが跡づけられ，今後の展望が述べられている．

(7) 第 15 回国際放散虫研究集会(InterRad XV in Niigata 2017)を 2017 年 10 月 22 日－27 日の会期で新潟大学において開催し，世界の放散虫研究者との交流を深めた．16 カ国から 187 人の参加者があった．この国際会議にかかわる巡検案内書を新潟大学理学部紀要（Science Reports of Niigata University (Geology)）第 32 号（補遺）として出版した．また，InterRad XV の概要は，新潟大学理学部紀要第 33 号に英文で報告されている．なお，この国際研究集会の論文集は，Island Arc, Paleontological Research，Revue de Micropaleontologie，地質調査研究報告の 4 誌の特集号として出版される．6 編の原著論文をこれらの特集号に投稿中である．InterRad XV では，社会認知度の低い放散虫を一般社会に広報する活動も展開した．アーティストとのコラボレーションにより，放散虫の銀細工，Tシャツ，カレンダー，研究集会のロゴなどを作成した．また，国際会議に連携させて放散虫の企画展を開催し，一般社会への普及を図った．この国際会議のプログラムブックレットも，一般市民の参加者を意識して作成されている．

＜引用文献＞

①Matsuoka, A., Yoshino, T., Kishimoto, N., Ishida, N., Kurihara, T., Kimoto, K., Matsuura, S., Exact number of pore frames and their configuration in the Mesozoic radiolarian ***Pantanellium***: an application of X-ray micro-CT and layered manufacturing technology to micro-paleontology. Marine Micropaleontology, 88-89, 36-40, 2012.

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 32 件）

① Li, X., Li, Y., Wang, C., Matsuoka, A., Paleocene radiolarian faunas in the deep-marine sediments near Zhongba County, southern Tibet. Paleontological Research, 22(1), 37-56, 2018.査読有.
doi:10.2517/2017PR009

② Ito, T., Ibaraki, Y., Matsuoka, A., Outline and history of the Itoigawa UNESCO Global Geopark in Niigata Prefecture in central Japan, with radiolarian occurrences in Itoigawa. Science Reports of Niigata University (Geology), No. 32 (Supplement), 71–90, 2017. 査読有.
http://hdl.handle.net/10191/48672

③ Matsuoka, A., Suzuki, N., Ito, T., Kimoto, K., Tuji, A., Ichinohe, R., Li, X., Excursion guide to the radiolarians of the East China Sea near Sesoko Island, Okinawa, Japan: An important research station for living radiolarian studies. Science Reports of Niigata University (Geology), No. 32 (Supplement), 103–123, 2017. 査読有.
http://hdl.handle.net/10191/48676

④ Ito, T., Kurihara, T., Hakoiwa, H., Ibaraki, Y., Matsuoka, A., Late Silurian radiolarians from a siliceous rock pebble within a conglomerate, Kotaki, Itoigawa, Niigata Prefecture, central Japan. Science Reports of Niigata University (Geology), No. 32, 1–14, 2017. 査読有.
http://hdl.handle.net/10191/47654

⑤ Matsuoka, A., Catalogue of living polycystine radiolarians in surface waters in the East China Sea around Sesoko Island, Okinawa Prefecture, Japan. Science Reports of Niigata University (Geology), No. 32, 57–90, 2017. 査読有.
http://hdl.handle.net/10191/47653

⑥ Li, X., Matsuoka, A., Li, Y., Wang, C., Phyletic evolution of the mid-Cretaceous radiolarian genus *Turbocapsula* from southern Tibet and its applications in zonation. Marine Micropaleontology, 130, 29-42, 2017. 査読有.
http://doi.org/10.1016/j.marmicro.2016.11.002

⑦ Li, X., Matsuoka, A., Li, Y., Wei, Y., Wang, C., Middle Jurassic to Early Cretaceous radiolarian assemblages from the chert blocks in the mélange along the Yarlung-Tsangpo Suture Zone, near Zhongba County, Southern Tibet. News of Osaka Micropaleontologists (NOM), Special Volume, No. 16, 79–94, 2016. 査読有.

⑧ Onoue, T., Sato, H., Yamashita, D., Ikehara, M., Yasukawa, K., Fujinaga, K., Kato, Y., Matsuoka, A., Bolide impact triggered the Late Triassic extinction event in equatorial Panthalassa. Scientific Reports, 2016. 査読有.

〔学会発表〕(計 96 件)

① Teshima, Y., Nakagawa, T., Kimoto, K., Matsuoka, A., Development of Enlarged Skeleton Models of Radiolaria (with Hands-on Exhibition).The 15th Meeting of the International Association of Radiolarists, Niigata, Japan. 2017.

② 松岡　篤・Li, X., 現生多節ナセラリア（放散虫）*Eucyrtidium* 属の生物学. 日本古生物学会 2016 年年会, 2016 年

③ 松岡　篤・Li, X., ジュラ紀中世の *Striatojaponocapsa* および白亜紀中期の *Turbocapsula* 属の系統進化と信頼性の高い放散虫生層序区分. 日本地球惑星科学連合 2016 年大会, 2016 年

〔図書〕(計　1 件)

① Kojima, S., Hayasaka, Y., Hiroi, Y., Matsuoka, A., Sano, H., Sugamori, Y., Suzuki, N., Takemura, S., Tsujimori, T., Uchino, T. 2b. Pre-Cretaceous accretionary complexes. The Geology of Japan. Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T., Gibbons, W. (eds.) The Geological Society of London, 61–100, 2016.

〔その他〕
ホームページ等
新潟大学コア・ステーション「形の科学研究センター」
http://www.katachi.niigata-u.ac.jp/index.html

６．研究組織

(1)研究代表者
松岡　篤 (MATSUOKA, Atsushi)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：００１８３９４７

(2)研究分担者

(3)連携研究者
栗原　敏之 (KURIHARA, Toshiyuki)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号：１０４４７６１７

吉野　隆 (YOSHINO, Takashi)
東洋大学・工学部・教授
研究者番号：６０２６９４９６

岸本　直子 (KISHIMOTO, Naoko)
摂南大学・理工学部・准教授
研究者番号：６０４５０７１４

(4)研究協力者
伊藤　剛 (ITO, Tsuyoshi)

大河内　春香 (OHKOUCHI, Haruka)

リ　シン (LI, Xin)