

令和元年6月5日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07475

研究課題名(和文) 国際連携に基づく新生代放散虫属の分類標準化

研究課題名(英文) Taxonomic Standardization of Cenozoic Radiolarian Genera

研究代表者

鈴木 紀毅 (Suzuki, Noritoshi)

東北大学・理学研究科・助教

研究者番号：60312542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：国際協力のもと、混乱していた新生代放散虫の約1,730属3,380種を検討し、60科430属1,860種に整理した。種数に関しては同物異名を別にしてあるので、実在する種数はさらに少ないと見込まれる。実態のわからない属については、ノマルスキー型微分干渉顕微鏡を使って骨格内部の微細構造を確かめた。成果は数年内を目処に、無料でダウンロードできる国際誌への掲載する予定。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放散虫は、一般向け図鑑に掲載されたり銀細工やおしゃれ雑貨として社会・国民的に目にする機会が増えてきている。ところが一般向けはもとより専門家向けにも新生代の放散虫の学名を決めるためのまとまったものが存在しなかった。本研究で国際協力の下、研究者レベルの混乱を検証し、国際動物命名規約にそって新生代放散虫を60科430属に整理した。放散虫を自力で鑑定できる基礎の提供は、学術的にも社会的意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：This project started under the International Radiolarists Association (InterRad) to synthesize the concept of Cenozoic radiolarian general following the International Code of Zoological Nomenclature. International members from Japan, Spain, Switzerland, France discussed on the taxonomic status of all Cenozoic 1,730 genera one by one, resulting in a total 430 practically valid genera. Taxonomic ambiguity was examined with Nomarski Differential Interference Contrast Microscope. All 3,380 Cenozoic radiolarian species was rearranged their taxonomic positions at genus level to conclude practical 1,860 available names under the Code. In consideration of molecular phylogeny, we concluded that Cenozoic radiolarians are consisted of 60 families, 430 genera and 1,860 species. This result will be published for an international journal.

研究分野：微古生物学

キーワード：放散虫 系統分類 分子系統解析 新生代

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 5億年の歴史をもつ放散虫には2500~2700属が提唱されている。放散虫の研究は1970年代から急速に進展したために、分類学的整理が追いついていない。この現状を改善するため、放散虫に関する諸問題を国際的に取り扱う国際放散虫者協会(以下、INTERRAD)が、古生代・中生代・新生代の作業部会をそれぞれ設け、この問題に取り組んでいる。中生代については2009年に、古生代については2017年に国際標準の属選定が公表された。新生代については、対象属のリストもなく、世界的な専門家が75歳を超えるご高齢のため、早急に国際標準の属選定作業をしなければならない状況にあった。

2. 研究の目的

(1) 現生と化石記録が連続時に充実している放散虫という海洋性プランクトン原生動物について、海洋生物研究者・微古生物学研究者が専門家の助けを借りずに属まで同定出来るようにする基盤を世の中に提供したい。

(2) 提供するにあたり、『放散虫の属分類の標準化』事業を本研究によって促進させる。

3. 研究の方法

(1) 本研究の対象となる新生代の属について、J.P. Cauletの「属記載データベース」、鈴木の「全放散虫のシノニムデータベース」と「ホロタイプ画像データベース」、協同研究らが互いに所有する放散虫関連論文6690編を基礎資料に全部の属を属の基準となるタイプ種の情報と合わせてリストアップする。属の生存期間を適切に見積もるため、新生代の既知種をリストアップする。

(2) 原記載論文からは把握できない重要な情報がある場合、2004~2006年のエーレンベルグ・ヘッケル計画時に提供された、新生代属のタイプ標本が得られた元試料の検討を東北大で進める。通常の生物顕微鏡観察では決着をつけられない微小形態構造については、本研究で購入したノマルスキー型微分干渉顕微鏡で特徴を特定する。共生藻類の有無を既設の蛍光顕微鏡観察で識別し、これまで言われてきた特定の放散虫分類群に共生藻類が存在するという仮説を検証する。分子系統解析に協力し、放散虫の科とそれより上位の高次分類を形態分類の成果と統合する。試料は海洋プランクトン試料、所有標本群、提供試料などさまざまである。

(3) 75歳を超えるご高齢の著名な新生代放散虫分類研究者と直接会合を開き、実質的に存在すると断言出来る属(有効名の属)を決め、その有効属と本来は使ってはいけない属名とを紐付けし(シノニム関係特定)、タイプ種の実態がわからないなど実質的に使用不可能な属(疑問名の属、無効名)、などを一属ずつ区分する。属の区分が整理されてから、同様な手順で既知種を各属に再配置する。

4. 研究成果

(1) 新生代の放散虫は1,730属3,338種が報告されていることが判明した。これらの属の内訳は、タイプ種の図が掲載されておらず実質上存在しないのが367属、既知の属に吸収合併される(新参同物異名)が792属、本来はまったく別な属だが同じ学名を公式に提唱してしまった属(異物同名)が41属、命名規約上の理由で学名を別名に正しく置き換えた(置換名)のは29属、命名規約上違反しているため承認されていない(無効名)80属、存在が疑わしいのが400属、放散虫以外の生物が21属となり、初めて正確な内訳が明らかとなった。その結果、新生代で実質的に存在するのは407属と整理された。

新生代の種3,338種のうち、実質的に命名規約上の条件を満たしている種(適格名)は1,860種と整理された。有効名はさらに少ないと見込まれる。科はおよそ400科提唱されているが、60科に整理できた。

(2) ノマルスキー型微分干渉顕微鏡による非破壊観察技術を完成させた。放散虫を顕微鏡スライド用に封入するときに、封入剤と放散虫骨格の屈折率に差が無くなるようにすることがこの微分干渉顕微鏡観察の理論的に満たさなければならない条件である。この条件を満たす封入剤を1社のみ受注生産できることを突き止めた。大気中では扱いが難しいが、低湿度コントロール化ですばやく作製する技術で解決することがわかった。このようにして永久プレパラートを作製できたうえ、内部構造を手軽にmicro-XCTよりも高解像度で撮影できるようになった。予期せぬ新発見としては、micro-XCTでは観察されたことが無い、10~30ミクロン程度の太さの骨格の断面に成長線を容易に発見できるようになった。

(3) 北太平洋30地点から2100標本328種の放散虫について、共生藻類の有無を蛍光顕微鏡で検証し、これまで予想されていた属や科で共生藻類の有無が分かれるという仮説を否定し、むしろ温暖~熱帯海域放散虫に共生藻類をもつ種が多いという環境要因との関係が強いことを明らかにした。

(4) 分子系統解析の対象はフェオダリア類と放散虫類6目で網羅するが、そのうちフェオダリ

ア類と放散虫類2目(アカンタリア目, コロダリア目)は本研究課題の前に私達のチームがすでに結果を公表している。試料採集方法が開発されていないタクソポディア目を除いた残り3目(スプレラリア目・ナセラリア目・エンタクチナリア目)の放散虫類の分子系統解析に引き続き参画した。ナセラリア目では科・上科レベルのほとんどは化石研究の成果を支持した一方, 上科の系統関係はどの化石研究も正しくなかったことが明らかとなった。エンタクチナリア目は古生代からの直接の生き残りと言格から想像されていたが, 完全に誤りであることを分子系統解析が示した。スプレラリア目は分子系統解析の結果が出そろう, 形態分類と照合できるようになった。

(5) 新知見が得られるたびに自分らの研究に適用していった。これらの成果を踏まえ, 国際誌 *Geodiversitas* 誌の投稿原稿を2019年に入ってから全員で執筆中である。また, 同定システム支援ソフトウェア Lucid を使ってコンピュータ上で非専門家が属を特定出来るようなシステムの構築を始めた。また, 社会への還元として, 日本プランクトン学会が監修して企画された「(新版) 海洋プランクトン検索図鑑」の放散虫類の担当が鈴木になった。このように社会への還元への確かな道を開くことが出来た。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7件)

- 1) Sandin, M.M., Pillet, L., Biard, T., Poirier, C., Bigeard, E., Romac, S., Suzuki, N. and Not, F. available online 22-Feb-2019. Time calibrated morpho-molecular classification of Nassellaria (Radiolaria). *Protist.* 170(2), p. 187-208 [<https://doi.org/10.1016/j.protis.2019.02.002>].
- 2) 仲村康秀・松岡数充・今井一郎・石井健一郎・桑田 晃・河地正伸・木元克典・鈴木紀毅・佐野雅美)・Landeira, J.M.・宮本洋臣・西川 淳・西田周平, 2019, プランクトンの分類・生態研究, その現状と最新知見. 日本プランクトン学会報 66(1):22-40 [https://doi.org/10.24763/bpsj.66.1_22]
- 3) Zhang, L.L., Suzuki, N., Nakamura, Y. and Tuji, A., 2018, Modern shallow radiolarians with photosynthetic microbiota in the western North Pacific. *Marine Micropaleontology*, 139, 1-27. [<https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2017.10.007>]
- 4) Matsuzaki, K.M. and Suzuki, N., 2018, Quaternary radiolarian biostratigraphy in the subarctic northeastern Pacific (IODP Expedition 341 Site U1417) and synchronicity of bioevents across the North Pacific. *Journal of Micropaleontology*, 37, 1-10. [<https://doi.org/10.5194/jm-37-1-2018> <https://doi.org/10.1144/jmpaleo2016-038>].
- 5) Zhang, L.L. and Suzuki, N., 2017, Taxonomy and species diversity of Holocene pylonoid radiolarians from surface sediments of the northeastern Indian Ocean. *Palaeontologica Electronica*, 20 (3), 1-68. [<https://doi.org/10.26879/718>]
- 6) Matsuoka, A., Suzuki, N., Ito, Tsuyoshi, Kimoto, K., Tuji, K., Ichinohe, R. and Li, Xin, 2017, Excursion guide to radiolarians of the East China Sea near Sesoko Island, Okinawa, Japan: A important research station for living radiolarian studies. *Science Reports of Niigata University (Geology)*, no. 32, 103-123.
- 7) Nakamura, Y., Somiya, R., Suzuki, N., Hidaka, M., Yamaguchi, A. and Lindsay, D. J., 2017, Optics-based surveys of large unicellular zooplankton: a case study on radiolarians and phaeodarians. *Plankton & Benthos Research*, 12, 95-103. [<http://doi.org/10.3800/pbr.12.95>]

[学会発表](計 29件)

- 1) 鈴木紀毅・仲村康秀. 放散虫やフェオダリアを利用する生物. 日本プランクトン学会 2019年度春季シンポジウム(東京海洋大学品川キャンパス). プランクトン群集における共生・

寄生 宿主個体群動態にインパクトを与える重要な一要因 (2019.3.24 口頭発表)

- 2) 仲村康秀・木元克典・鈴木紀毅 .海洋生態系における重要な構成要素としてのリザリア類(有孔虫, 放散虫およびフェオダリア) . 日本プランクトン学会秋期公開シンポジウム . No. 5 , 創価大学 , 八王子(2018.9.9 口頭発表) .
- 3) Bittner L., Meng A., Marchet C., Corre E., Peterlongo P., Alberti A., Da Silva C., Wincker P., Pelletier E., Probert I., Decelle J., Suzuki, N., Le Crom S., Not F. From genomic dark matter to symbiosis: innovative strategies to investigate holobiont transcriptomes. 17th International Symposium on Microbial Ecology. Leipzig, Germany (2018.8.12-17).
- 4) 仲村康秀・堀利栄・辻彰洋・大藤弘明・鈴木紀毅・木元克典 . 有殻リザリア類 (放散虫類・フェオダリア類) の骨格構造とその形成過程 . 2019 年微古生物学リファレンスセンター研究集会 (O-12) , 筑波大学 , つくば (開催期間 2019.3.1-3.3 . 口頭発表 2019.3.2) .
- 5) 鈴木紀毅 . 同定システム支援ソフトウェア Lucid を使った新生代放散虫属同定の標準化 . 2019 年微古生物学リファレンスセンター研究集会 (O-11) , 筑波大学 , つくば (開催期間 2019.3.1-3.3 . 口頭発表 2019.3.2) .
- 6) 奥修・鈴木紀毅 . 屈折調整法により初めて見える放散虫の内部構造 . 2019 年微古生物学リファレンスセンター研究集会 (O-07) , 筑波大学 , つくば (開催期間 2019.3.1-3.3 . 口頭発表 2019.3.1) .
- 7) 鈴木紀毅・新生代放散虫属標準化検討メンバー . 新生代放散虫の全属の生存期間の見積 . 日本古生物学会第 169 回例会 (神奈川県立生命の星・地球博物館)(開催期間 2019.1.25-1.27 . 口頭発表 2019.1.26) .
- 8) 张兰兰、鈴木紀毅。印度洋东北部全新世 pylonoid 类放射虫の分类及其种类多样性，第十二届全国第四纪学术大会, 青岛，2018.11.3-5，Poster.
- 9) Sandin, M. M., Pillet L., Biard T., Poirier C., Bigeard E., Romac S., Suzuki N., Not, F. Time calibrated morpho-molecular classification of Nassellaria. Young Researcher Day 2018. Poster.
- 10) 鈴木紀毅 . ヘッケルが描いた放散虫が美術になるまで . 日本プランクトン学会 2018 年度春季シンポジウム 『プランクトン研究、感性への原点回帰と新たな価値の創出』 . 東京海洋大学品川キャンパス . (2018.3.25 口頭発表) .
- 11) Hollis, C.J., Pascher, K.M., Kamikuri, S., Nishimura, A., Suzuki, N. and Sanfilippo, A. Towards an integrated cross-latitude event stratigraphy for Paleogene radiolarians. InterRad XV in Niigata 2017. (期間 : 2017.10.22–10.27 , 2017.10.26-27 ポスター発表) . *Proceedings of 15th InterRad, October 22–28 2017, Niigata, Japan*, p. 288–289.
- 12) Caulet, J.-P., O'Dogherty, L., Dumitrica, P. and Suzuki, N. An up-to-date catalogue of Cenozoic radiolarian genera and families: a review with illustrations of type species. InterRad XV in Niigata 2017. (期間 : 2017.10.23–10.27 , 2017.10.26-27 ポスター発表) . *Proceedings of 15th InterRad, October 22–28 2017, Niigata, Japan*, p. 286–287.
- 13) Zhang, L.L., Suzuki, N., Nakamura, Y. and Tuji, A. Modern shallow water radiolarians with photosynthetic microbiota in the western North Pacific. InterRad XV in Niigata 2017. (期間 : 2017.10.22–10.27 , 2017.10.26 口頭発表) . *Proceedings of 15th InterRad, October 22–28 2017, Niigata, Japan*, p. 124–125.
- 14) Suzuki, N. and Zhang, L.L. How to identify *Tetrapyle* and its related taxa for oceanographic studies. The 15th Meeting of the International Association of Radiolarists

- (Niigata, Japan). InterRad XV in Niigata 2017. (期間 : 2017.10.22–10.27 , 2017.10.23 口頭発表) . *Proceedings of 15th InterRad, October 22–28 2017, Niigata, Japan*, p. 122–123.
- 15) Hori, R.S., Shinki, T., Iwakiri, A., Matsuoka, A., Suzuki, N., Ogane, K. and Tuji, A. A growth model and strategy of forming siliceous skeletons of living Spumellaria (Radiolaria). InterRad XV in Niigata 2017. (期間 : 2017.10.22–10.27 , 2017.10.26 口頭発表) . *Proceedings of 15th InterRad, October 22–28 2017, Niigata, Japan*, p. 96–97.
- 16) Nakamura, Y., Iwata, I., Somiya, R., Honda, D., Tuji, A., Suzuki, N., Hori, R.S. and Ohfuji, H. Ultrafine structure and molecular phylogeny of living radiolarians – with a view to clarifying the fossil phylogeny. InterRad XV in Niigata 2017.. (期間 : 2017.10.22–10.27 , 2017.10.24 口頭発表) . *Proceedings of 15th InterRad, October 22–28 2017, Niigata, Japan*, p. 56–57.
- 17) Sandin, M. M., Pillet, L., Biard, T. Poipier, C., Le Gall, F., Bigeard, E., Romac, S., Colin, S., Bachy, C., Bitner, L., Danelian, T., Suzuki, N. and Not, F. Time calibrated morpho-molecular classification of Polycystine Nassellaria (Radiolaria). InterRad XV in Niigata 2017.. (期間 : 2017.10.22–10.27 , 2017.10.24 口頭発表) . *Proceedings of 15th InterRad, October 22–28 2017, Niigata, Japan*, p. 54–55.
- 18) 鈴木紀毅・张兰兰・仲村康秀・辻彰洋 . 共生藻類をもつ現生放散虫 . 日本古生物学会第 167 回例会 , 松山市 (愛媛県) (期間 : 2018.2.2 ~ 2.4 , 口頭発表 : (B21) , 2018.2.4, p. 30) .
- 19) Zhang L.L., Suzuki N., Nakamura Y., and Tuji A.. Modern shallow water radiolarians with photosynthetic microbiota in the western North Pacific. 4th Forum on Geoscience for Chinese Youth in Chengdu 2017. (Period: 2017.9.22-9.25, Oral).
- 20) 鈴木紀毅・张兰兰 . 熱帯指標の現生放散虫 *Tetrapyle* とその近縁分類群との区別 . 日本古生物学会 2017 年年会 , 北九州市立自然史・歴史博物館 , 北九州市 (福岡) (期間 : 2017.6.9 ~ 6.11 , 口頭発表 : (C13) , 2017.6.10, p. 35) .
- 21) Nakamura, Y., Somiya, R., Suzuki, N., Hori S. R. and Tuji, A., Phylogeny and ecological importance of phaeodarians (Cercozoa, Rhizaria), Protist-2016, session 7B-5, Moscow, Russia, (period: 6–10 June, 2016; presentation: 9 June, 2016; p. 51–52).
- 22) Nakamura, Y., Somiya, R., Tuji, A., Suzuki, N. and Hori S., R., Ecology and diversity of phaeodarians (unicellular zooplankton) around Japan, JpGU 2016, MIS-13-10, Makuhari, Japan, (period: 22–26 May, 2016; presentation: 23 May, 2016).
- 23) 鈴木紀毅・標準化作業 WG 参加者一同 . 新生代放散虫の属名の標準化事業の進展 (2016 年) . 日本古生物学会第 166 回例会 , 早稲田大学 , 新宿区 (東京) (期間 : 2017.1.27 ~ 1.29 , 口頭発表 : (C14) , 2017.1.29, p. 36) .
- 24) Zhang L.L., Suzuki N., Nakamura Y., and Tuji A.. Modern shallow water radiolarians with photosynthetic microbiota in the western North Pacific. Annual meeting of "Evolution of Deep Process in South China Sea", in Shanghai 2017. (Period: 2017.1.14-1.15, Poster).
- 25) Zhang L.L., Suzuki N., Nakamura Y., and Tuji A.. A preliminary result of modern shallow water radiolarians with photosynthetic microbiota in the western North Pacific. Annual meeting of MSG laboratory in Shenzhen 2017. (Period: 2017.1.4-1.6, Oral).
- 26) 仲村康秀・宗宮麗・辻彰洋・堀利栄・鈴木紀毅 . 黒潮域に生息する大型単細胞動物プランクトンの分布 , 生態および系統関係 . 第 49 回日本原生生物学会大会 , 岡山大学 (津島キャン

パス), 岡山 (期間 : 2016.10.8-10、口頭発表 (O-02): 2016.10.9 , p. 19).

27) 仲村康秀・宗宮麗・鈴木紀毅・梅津弥子・山口篤・Dhugal Lindsay . VPR を用いた大型単細胞動物プランクトンの光学的調査 . 2016 年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会 , 熊本県立大学 , 熊本 (期間 : 2016.9.7-10 , 口頭発表 (B08PM04): 2016.9.8 , p. 49).

28) Zhang, L. and Suzuki, N. Radiolarian studies in the South China Sea. 日本古生物学会 2016 年年会 , 福井県立大学 , 永平寺町・勝山市 (福井県) (期間 : 2016.6.24 ~ 6.26 , 口頭発表 : (A10) , 2016.6.25, p. 20)

29) 鈴木紀毅 . ポリキスティン放散虫の属・種多様性 . 日本古生物学会 2016 年年会 , 福井県立大学 , 永平寺町・勝山市 (福井県) (期間 : 2016.6.24 ~ 6.26 , 口頭発表 : (A01) , 2016.6.25, p.17).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年 :
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名 :

ローマ字氏名 :

所属研究機関名 :

部局名 :

職名 :

研究者番号 (8 桁) :

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 :

ローマ字氏名 :

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。