

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400499

研究課題名(和文) 絶滅した放散虫の生息深度分布 - 浅海 / 深海堆積物の群集比較と形態収斂からの推定

研究課題名(英文) Depth distribution of extinct radiolarians estimated from the comparison between fossil assemblages from shallow and deep-water sediments and morphological convergence

研究代表者

栗原 敏之 (Kurihara, Toshiyuki)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：10447617

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、後期白亜紀の放散虫化石群集から種毎の深度棲み分けの識別を行うことを目的として、日本(和泉層群・蝦夷層群)とオマーン(スヘイラ層・ザビアト層)の浅海・深海堆積物を対象に、群集の種構成差異の比較を行った。その結果、浅海堆積物には大型の平板状Spumellariaが卓越すること、および水塊構造の発達に伴う特徴的な種群の占有を確認した。また、表層種と判断された種群は、現生の表層生息種と同様な形態的特徴を有しており、生息環境への適応戦略としての形態収斂であることを示唆する。以上の結果は、化石群集から深度棲み分けの識別が可能であることを示す。

研究成果の概要(英文)：The comparative research for Late Cretaceous radiolarian faunas within shallow-marine and deep-water sediments of Japan (Izumi and Yezo groups) and Oman (Suhaylah and Zabyat formations) was conducted to distinguish the depth distribution of each species from fossil assemblages. As a result, it confirmed that large discoidal spumellarians occur abundantly the shallow-marine sediments. Characteristic faunal compositions were also observed corresponding to the development of peculiar water mass structures. In addition, the fossil species considered to be a surface dweller has the same morphological features as recent shallow-water species. It implies that these common characteristics are attributed to a morphological convergence as an adaptive strategy for the shallow-marine environment. These findings indicate that it is possible to distinguish the depth distribution of radiolarians from the fossil assemblage.

研究分野：地質学

キーワード：放散虫 白亜紀 生息深度

### 1. 研究開始当初の背景

放散虫は、シリカ骨格の化石により顕生累代を通して進化史を追跡できる数少ない生物であり、1970年代以降、世界各地で化石帯の設定と対比が行われ、中・古生代放散虫の示準化石としての有用性は一定の水準に達した。しかし、中・古生代放散虫を用いて、古生物地理や堆積深度など、過去の地質体から形成時の環境情報を抽出する試みは未だ少ない。その理由としては、プランクトンとしての放散虫は最適生息温度・温度耐性に依存し水柱において深度・水塊構造に応じた棲み分けを行っているが、死後は殻が海底に沈下し全て同じ堆積物中に含まれてしまうことや、一般に浅海層からは放散虫の良質なデータを得ることが難しい、などが挙げられる。この問題を解決する上でまず必要となるのは、化石群集における種毎の深度棲み分けの識別である。

### 2. 研究の目的

中・古生代放散虫について、主要な種の深度分布を知ることができれば、古生物地理や堆積深度など、読み取れる情報が格段に増えることになる。本研究では、後期白亜紀の放散虫をモデルケースとして、以下のとを組み合わせることで、代表種の生息深度分布を明らかにすることを目的とした。

同時代の浅海・深海堆積物中において、化石群集の比較に基づき、種毎の生息深度分布を推定する。

骨格の機能形態的な収斂について、生態の明らかな現生の表層種と形態の類似する絶滅種との比較を、X線マイクロCTによる3次元数値データ等を用いて検討する。

これによって、放散虫群集から種の生息深度分布を識別する論理構造を構築し、それを基に古生物地理や堆積深度などの情報を抽出することを目指した。

### 3. 研究の方法

3年間の研究計画では、後期白亜紀放散虫の深度分布を明らかにするために、次のとを対象として、同時代の浅海・深海堆積物中における化石群集の種構成差異の比較を行った。

造構運動により生じた明瞭な深度差のある堆積盆の堆積物(和泉層群)。

同時代の浅海陸棚と遠洋深海の堆積物(和泉層群、オマーンオフィオライトの深海堆積物、蝦夷層群)。

これと並行して、現生の表層種と形態の類似する絶滅種における機能形態的な収斂性について検討するために、現生表層種の形態的特徴をX線マイクロCTによる3次元数値データ等を用いて把握した。さらに、現生表層種の生体および骨格標本の沈降実験データも合わせ考察を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 上部白亜系和泉層群における深海/浅海相の放散虫化石群集組成の比較

白亜紀の横ずれ堆積盆を埋積し形成された和泉層群には、主埋積体である主部相と堆積盆北縁に分布する北縁相があり、前者がより深海性で、後者は極浅海成層を含み前者よりも浅海性である。これら深海性の主部相と浅海性の北縁相の放散虫群集組成について、愛媛県新居浜地域および香川県観音寺地域に分布する地層から採取された試料を対象に行った。その結果、主部相(新居浜層の泥岩)と北縁相(楠崎層の石灰質ノジュール)ともCampanianの年代を示すが、種構成に顕著な差が検出された。すなわち、主部相の群集は塔状Nassellariaを主体とするのに対し、北縁相では少量のNassellariaと多量のスポンジ状や平板状(円盤状)を呈するSpumellariaからなる(図1)。

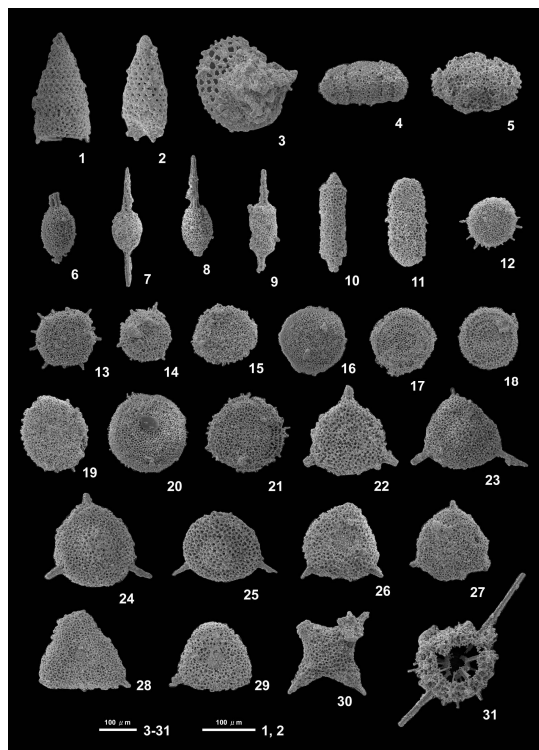


図1. 和泉層群北縁相の放散虫化石群集。1-3がNassellaria, 4-31がSpumellaria。

特に北縁相の群集では、大型(300 μm以上)で膨らみをもった平板状で密なスポンジ状の骨格をもつ*Pseudoaulophacus*属の放散虫(図1の23-25)が主たる構成要素となっており、このグループは表層生息種と推定される。

#### (2) オマーンオフィオライトの上部白亜系スヘイラ層・ザビアト層における放散虫群集と水塊構造から推定される構成種の生息深度

オマーンオフィオライトの上部白亜系スヘイラ層・ザビアト層は、テチス海中央部で形成された海洋地殻最上部の噴出溶岩層を被覆する遠洋性深海堆積物である。これらの

地層を対象として、本研究では、後期 Cenomanian ~ Coniacian の放散虫の精密生層序、全岩化学組成に基づく堆積環境の推定、Cenomanian/Turonian 境界付近の群集変化と水塊構造から推定される構成種の生息深度、の検討を行った。

#### 後期 Cenomanian ~ Coniacian の放散虫の精密生層序

テチス海の遠洋性深海堆積物であるスヘイラ層とザビアト層は、前者が熱水性のメタリフェラス堆積物・赤色泥岩・チャート・ミクライトからなり、後者は赤色泥岩とオフィオライトの崩壊堆積物である礫岩からなる。これらの地層は放散虫化石を多産するため、本研究では、まず各種の層序分布を詳細に把握した。さらに、それらの情報に基づき、下位から *Guttacapsa gutta* 帯, *Rhopalosyringium scissum* 帯, *Foremanina schona* 帯, *Eostichomitra perapedhia* 帯の4帯に区分した。

これらの放散虫化石帯の年代は、ヨーロッパで検討された化石帯との対比から、*G. gutta* 帯は中期 Cenomanian ~ Cenomanian 最後期、*R. scissum* 帯は Cenomanian 最後期 ~ 前期 Turonian、*F. schona* 帯は Turonian 中期、*E. perapedhia* 帯は後期 Turonian ~ Coniacian である。なお、*R. scissum* 帯はイタリア・グッピオの OAE2 (Oceanic Anoxic Event 2) 前後の放散虫の層序分布との比較から、本帯下部に Cenomanian/Turonian 境界 (C/T 境界) が存在すると考えられる (Hara and Kurihara, 2017; 主な発表論文等の雑誌論文)。

#### 全岩化学組成に基づく堆積環境の推定

スヘイラ層・ザビアト層の赤色泥岩・チャート・ミクライトについて、蛍光 X 線分析装置と ICP-MS を用いて主要・微量・希土類元素の全岩化学組成を測定した。それらの化学組成値を Murray (1994) の判別図上にプロットすると、メタリフェラス堆積物は ridge の領域に、赤色泥岩およびミクライト質石灰岩は遠洋域にプロットされる (図 2)。

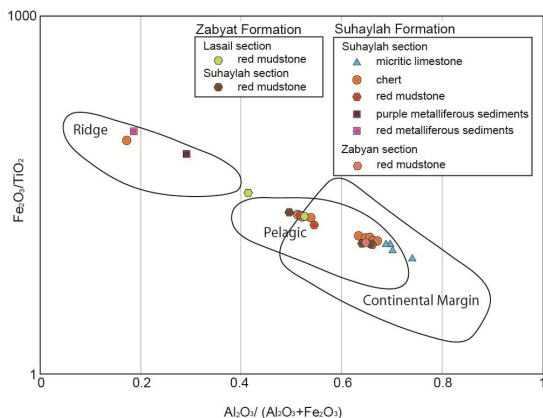


図 2.  $Al_2O_3/(Al_2O_3+Fe_2O_3)$  versus  $Fe_2O_3/TiO_2$  のプロット。領域は Murray (1994) に基づく。

この結果から、テチス海の遠洋域においてオフィオライト形成の中央海嶺ステージの溶岩層 (V1 溶岩) が噴出した後、後期 Cenomanian からスヘイラ層が堆積したといえる。また、スヘイラ層の後期 Cenomanian の地層は衝上初期のステージに形成された溶岩層 (V2 溶岩) も覆っていることから、中央海嶺から衝上初期への変化は極めて短期間に起こったと考えられる。また、衝上がある程度進んだ後に堆積したザビアト層も、遠洋域で堆積したと考えられる。

#### Cenomanian/Turonian 境界付近の群集変化と水塊構造から推定される構成種の生息深度

スヘイラ層における放散虫群集組成を詳細に検討した結果、C/T 境界付近では *Hemicryptocapsa* 属や *Holocryptocanium* 属などの大型・球状のナッセリアが多産する産状が認められた。また、段階的な種の消滅も確認できた。これらの特徴は、黒色頁岩が堆積したヨーロッパの OAE2 層準においても認められている (Bak, 2011)。

テチス海西部では、Cenomanian 末期に LIPs の影響による環境変動 (極端な温暖化など) から、有機物が過剰供給され分解が停滞する状況が生まれ、中・深層に無酸素水塊が発達したことが推測されている。これと前述した C/T 境界付近で認められる *Hemicryptocapsa* 属と *Holocryptocanium* 属の増加を併せて考えると、これらが大気とのガス交換が活発な表層に生息し、無酸素水塊の影響を受けなかったことを意味する。

#### (3) 蝦夷層群における放散虫化石群集組成の特徴

北海道中央部に分布する蝦夷層群は、全層厚数千メートルに達する白亜紀の厚い前弧海盆堆積物である。本研究で対象とした新冠地域の蝦夷層群は、大型化石を多産する同層群に比べ沖合相と考えられ、放散虫化石に富む傾向がある。また、複数の凝灰岩層を挟有することも特徴である。本研究では、蝦夷層群における後期白亜紀の放散虫群集の特徴とその変遷を数値年代を付与した時間軸に沿って明らかにすることを目的とし、以下の検討を行った。新冠地域の蝦夷層群の岩相層序区分、凝灰岩に含まれるジルコンの U-Pb 年代測定、産出する放散虫群集の特徴の把握。

#### 新冠地域の蝦夷層群の岩相層序

本研究では、新冠地域に分布する蝦夷層群を下位から春別川層と新冠川層に区分した。春別川層は、岩相の特徴からさらに3つに細分され、最下部は厚い白色凝灰岩層、下部は主に砂岩優勢の砂岩泥岩互層、上部は青灰色の泥岩からなる。上部の泥岩は、放散虫化石を多く含む。新冠川層は、下部の砂岩泥岩互層と上部の暗緑色の泥岩からなる。下部の砂

岩はタービダイト性で、級化構造や底痕が発達する。上部の泥岩は放散虫化石を豊富に含み、しばしばイノセラムスが含まれる。

#### 凝灰岩のジルコンの U-Pb 年代

春別川層の凝灰岩 2 試料 (895, 931-02), 新冠川層の 2 試料 (916-27, 906) について、ジルコンの U-Pb 年代を測定した。それぞれの試料で約 100 粒子について測定し、得られた最若ピークのクラスターを Isoplot/Ex 4.15 の Unmix Ages ルーチンを用いて解析し、堆積年代を求めた。その結果、試料 895 は  $100.5 \pm 0.85$  Ma, 試料 931-02 は  $100.38 \pm 0.31$  Ma, 試料 916-27 は  $93.25 \pm 0.47$  Ma, 試料 906 は  $90.23 \pm 0.45$  Ma の年代が得られた。これらの年代は、Gradstein et al. (2012) に基づくと、試料 895 と 931-02 が Albian 最末期 ~ Cenomanian 最前期、試料 916-27 が Turonian 最前期、試料 906 が Turonian 最末期に相当する。

#### 放散虫群集の特徴

これらの地層から採取した泥岩計 238 試料のうち、9 試料から保存良好な放散虫化石が得られた。産出する放散虫群集は、含まれる種の組み合わせに基づき 4 つの群集に区分した。群集 1 は、*C. triangulare* および *P. paronai* などからなる。群集 2 は、*D. silviae*, *H. barbui*, *P. spinosa*, *P. pentacolaensis* および *P. tiara* などから構成される。群集 3 は、*P. pentacolaensis*, *Stichomitra* sp. および *S. stocki* が含まれる。群集 4 は、*A. superbum*, *A. bipartitum*, *D. formosa*, *H. polyhedra*, *P. putahensis*, *P. lipmanae* および *P. urna* から構成される。

これらの群集について Pessagno (1977) および O'Dogherty (1994) に基づき年代を推定すると、群集 1 は *C. triangulare* や *P. paronai* が産出することから後期 Albian ~ 前期 Cenomanian, 群集 2 は *D. silviae* や *P. tiara* が産出することから Cenomanian, 群集 4 は *A. superbum*, *A. bipartitum* および *P. urna* が産出することから後期 Turonian ~ Coniacian とする。群集 3 は、群集 2 と 4 との層序関係から後期 Cenomanian ~ Turonian と考えられる。これら放散虫群集から推定された年代と各層の凝灰岩の数値年代を比較すると、両者はよく一致する。

この年代論に基づくと、前期 Turonian の群集 3 は、他の層準に比べて種数が少なく、*Stichomitra* 属に占められることが特徴である。さらに、テチス海で見られるこの時代の特徴種が認められず、O'Dogherty (1994) や Hara and Kurihara (2017) で報告されている群集と大きく異なる。特にテチス海で OAE2 後の前期 Turonian に繁栄する *Rhopalosyringium* 属が見られないことは注目に値する。前期 Turonian の *Rhopalosyringium* 属放散虫は、OAE2 時にテチス海の無酸素水が発達した表層以深の水塊が徐々に酸化環境に回復していく過程において、その空いたニッチに適

応して進化放散した日和見種である。蝦夷層群が堆積した北西太平洋において前期 Turonian にこのグループが産出せず、Turonian 末期の群集 4 で世界的に共通性の高い群集になるというコントラストは、前期 Turonian においてテチス海と北西太平洋で表層以深の水塊の交流が絶たれており、Turonian 末期にかけて徐々に混合が進んでいったことを示す。これを生息深度的な観点からみると、*Rhopalosyringium* 属に代表される前期 Turonian にテチス海域のみで報告されている種群は、表層以深の水塊に生息していた可能性があるといえる。

#### (4) 表層種の機能形態的な収斂

現生種の生態的情報を活用するため、生息条件が表層で、かつ光合成を行う藻類を共生させていることがわかっている平板状の Spumellaria (*Dictyocoryne truncatum* 等) について、X 線マイクロ CT を用いた 3 次元数値データの取得を行った。その結果、これらが重厚かつ密なスポンジ状のシリカ骨格を有することが可視化された。また、*Dictyocoryne* 属の生体・骨格標本にて行った沈降実験では、これらの放散虫が *Nassellaria* 類より有意に大きい沈降速度を有することが明らかになった。

このような個体の形態と沈降実験の結果からは、表層に生息する平板状・スポンジ状で重量化した骨格をもつ放散虫は、仮足の抗力と海水の擾乱(表層の対流)を利用し浮遊していることが考えられる。加えて、このグループは生体の表面に共生藻を有しており、平板状の殻に効率よく日射を受けるためには、浮遊中に姿勢を一定に保つ必要がある。すなわち、擾乱の大きい表層環境においては、重量のある骨格を持つことが姿勢の安定に優位に働いていることを意味する。この観点からは、後期白亜紀の和泉層群から得られた *Pseudoaulophacus* 属は、現生の平板状 Spumellaria と同様な平板かつスポンジ状で重量のある骨格を有しており、本属を表層生息種とする深海/浅海相の群集組成から得られた推定と矛盾しないといえる。今後、他の絶滅した放散虫についても、化石に残った骨格の重量や表面積のデータを取得できれば、それらが擾乱の大きい表層環境に生息していたものか、より静穏な表層以深のものであるのか、ある程度推定可能となる。

#### <引用文献>

- Hara, K. and Kurihara, T., 2017, Radiolarian age and lithostratigraphy of Late Cretaceous pelagic sediments overlying basaltic extrusive rocks, northern Oman Mountains. *Ofioliti*, 42, 21-38.
- Murray, R.W., 1994, Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: General principles and applications. *Sed. Geol.* 90, 213-232.

Bak, M., 2011, Tethyan radiolarians at the Cenomanian-Turonian Anoxic Event from the Apennines (Umbria-Marche) and the Outer carpathians: Palaeoecological and palaeoenvironmental implications. *Studia Geol. Polonica*, 134, 5-279.

O'Dogherty, L., 1994, Biochronology and paleontology of Mid Cretaceous radiolarians from northern Apennines (Italy) and Betic Cordillera (Spain). *Mém. Géol., Lausanne*, 21, 1-415.

Pessagno, E.A., 1977, Lower Cretaceous radiolarian biostratigraphy of the Great Valley sequence and Franciscan complex, California Coast Ranges. *Cushman Foundation for Foraminiferal research, Spec. Publ.*, 15, 1-87.

## 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3件)

Hara, K. and Kurihara, T., 2017, Radiolarian age and lithostratigraphy of Late Cretaceous pelagic sediments overlying basaltic extrusive rocks, northern Oman Mountains. *Ophiolite*, 42, 21-38. (査読有)

DOI: 10.4454/ophiolite.v42i2.446

Nakae, S. and Kurihara, T., 2017, Preliminary report on the radiolarian age of the Upper Cretaceous Matoya Group (Shimanto belt) in the Toba District, Mie Prefecture, Southwest Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 68, 57-86. (査読有)

野田 篤・栗原敏之, 2016, 四国東部観音寺地域の和泉層群から産出した後期白亜紀放射虫化石群集 地質調査研究報告, 67, 119-131. (査読有)

[学会発表](計12件)

伊藤祐輝, 原 康祐, 栗原敏之, 植田勇人, 2017, 北海道新冠地域に分布する蝦夷層群の岩相層序と産出したアルビアン~コニアシアン放射虫化石群集. 2016年度微生物学リファレンスセンター研究集会・第13回放射虫研究集会合同山形大会, 58, 2017年3月5日, 山形大学(山形県・山形市).

伊藤祐輝, 原 康祐, 栗原敏之, 植田勇人, 2016, 北海道新冠地域に分布する蝦夷層群の岩相層序と産出したセノマニアン~コニアシアン放射虫化石群集. 日本地質学会第123年学術大会, 209, 2016年9月10日, 日本大学文理学部(東京都・世田谷区).

一戸 凌・椎野勇太・栗原敏之, 2016, 受動的空間行動から読み解く放射虫ナセラリア類の採餌様式. 2016年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会講演要旨集, 141, 2016年9月8日~9月9日, 熊本県立大学(熊本県・熊本市).

一戸 凌・椎野勇太・栗原敏之, 2016, 静

水環境下における現生放射虫の姿勢と受動的空間行動. 日本古生物学会2016年年会, 39, 2016年6月25日, 福井県立大学(福井県永平寺町).

原 康祐, 栗原敏之, 2016, オマーンオフィオライト Wadi Jizzi 地域における後期白亜紀遠洋性堆積物の放射虫生層序. 日本地球惑星科学連合2016年大会, MIS13-09, 2016年5月23日, 幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市).

栗原敏之, 原 康祐, 安喰由実, 2016, オマーンオフィオライト Wadi Hilti 地域における遠洋性堆積物の岩相層序と放射虫化石年代: 特に V2 溶岩層の噴出年代について. 日本地球惑星科学連合2016年大会, MIS13-08, 2016年5月23日, 幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市).

安喰由実・原 康祐・栗原敏之, 2015, オマーンオフィオライト Wadi Hilti 地域に分布する V2 溶岩層上の遠洋性堆積物から産出した後期 Cenomanian の放射虫化石. 日本地質学会第122年学術大会, 243, 2015年9月11日, 信州大学(長野県・長野市).

Hara, K., Kurihara, T., 2015, Radiolarian biostratigraphy of the Suhaylah Formation (Upper Cretaceous) in the Oman ophiolite. The 14th meeting of the International Association of Radiolarian Paleontologists, 75-76, 2015年3月26日(トルコ・アンタルヤ).

栗原敏之, 原 康祐, 林 里奈, 安喰由実, 2014, オマーンオフィオライト Wadi Jizzi 地域のザビアト層から産出した後期白亜紀放射虫化石. 日本地質学会第121年学術大会, 239, 2015年9月15日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市).

安喰由実, 原 康祐, 栗原敏之, 2014, オマーンオフィオライト Wadi Hilti 地域における遠洋性堆積物の層序と放射虫年代. 日本地質学会第121年学術大会, 238, 2015年9月15日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市).

林 里奈・原 康祐・栗原敏之, 2014, オマーンオフィオライト Wadi Jizzi 地域 Lasail セクションにおけるザビアト層の層序と放射虫化石年代. 日本地球惑星科学連合2014年大会, MIS25-P04, 2014年4月28日, パシフィコ横浜会議センター(神奈川県・横浜市).

安喰由実・原 康祐・栗原敏之, 2014, オマーンオフィオライト Wadi Hilti 地域における後期白亜紀遠洋性堆積物の層序と形成過程. 日本地球惑星科学連合2014年大会, MIS25-P03, 2014年4月28日, パシフィコ横浜会議センター(神奈川県・横浜市).

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
野田 篤 (NODA, Atsushi)  
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・  
主任研究員  
研究者番号：50357745

原 英俊 (HARA, Hidetoshi)  
産業技術総合研究所・地質情報研究部門・  
主任研究員  
研究者番号：60357811

(4)研究協力者  
原 康祐 (HARA, Kousuke)