

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05696

研究課題名(和文) 底生有孔虫類の遺伝的分化機構の解明：生態的な要因が遺伝的集団の分化に与える影響

研究課題名(英文) Evidence for genetic differentiation and recent succession of benthic foraminifers: effect of ecological factors

研究代表者

土屋 正史 (TSUCHIYA, Masashi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋生物環境影響研究センター)・グループリーダー代理

研究者番号：00435835

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)：本研究では日本沿岸の岩礁地性底生有孔虫(*Elphidium crispum*, *Pararotalia nipponica*)の遺伝的分化機構が、日本海の閉鎖といった地理的隔離だけではなく、内生微細藻類や宿主の環境応答様式などの生態的要因によることを、1) 分子系統地理学、2) 生態学、3) 同位体生態学の視点から明らかにした。両種は同様の有性生殖様式を持つが、遺伝的集団の規模が異なるだけではなく、遺伝的分化パターンが異なっていた。環境中から獲得する内生微細藻やその環境応答様式、有孔虫の餌資源利用形態の違いなどの生態的要因が、宿主の地域集団の形成や遺伝的分化に寄与する可能性が高いことを見いだした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋酸性化や温暖化など海洋環境変化は、基礎生産の一翼を担う有孔虫などの多様性や生物量にも影響を及ぼすため、個体や集団だけではなく、海洋生態系構造を変化させうる。その結果、海洋生態系の恩恵を享受する人間活動においても、影響を与える可能性が高い。環境変化に対して有孔虫がどのように微小生息空間に適応し集団を形成するのか、どのように遺伝的分化するのかを解明することで、将来起こりうる環境変動に対する石灰化生物の応答を評価できる。有孔虫を利用した海洋酸性化実験では、宿主や共生藻の種ごとに殻の溶解度が異なる。宿主の環境応答や代謝だけではなく、集団の形成にも共生藻類との相互作用の解明が必要であることを示す。

研究成果の概要(英文)：In this study, we demonstrated that the genetic differentiation mechanism of the rocky shore benthic foraminifera (*Elphidium crispum*, *Pararotalia nipponica*) living along the coast of Japan is not only influenced by geographical isolation such as the closure of the Sea of Japan, but also by endobiotic microalgae and host ecological factors from the perspectives of (1) molecular phylogeography, (2) ecology, and (3) stable isotope ecology. Although the two species have similar sexual reproductive behavior, they demonstrated different genetic differentiation patterns. We found that ecological factors such as endobiotic microalgal differences and its environmental response, and differences in the host foraminiferal food preferences are likely to contribute to the formation of local population and the genetic differentiation of the host foraminifera.

研究分野：分子生態学、分子系統学、原生生物学、海洋生態学、同位体生態学、実験古生物学

キーワード：層位・古生物学 系統進化 海洋生態 古環境変遷 底生有孔虫 同位体生態 分子系統学 共生

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

どのような要因が遺伝的分化・集団の分化に重要なのか？種分化の過程を明らかにすることは、多様性の創出機構を明らかにする上でも重要であり、生物学的・進化学的に解くべき重要な問いである。一般的に生物は様々な要因により種分化する(例えば、異所的、側所的、同所的種分化など)。地理的隔離による遺伝的分化は、大陸や島嶼、海洋の形成などの、遺伝的な交流を妨げる地理的障壁によって生じる。例えば、パナマ地峡の成立による陸上植物(Bacon et al. 2013)や、海洋生物の分断と遷移のように(Miura et al. 2012 など)、異所的種分化が多く生物で明らかとなっている。一方、原生生物は微小なため容易に分散する。このため「Everything is everywhere」の考えが一般的であった。有孔虫を含む原生生物は種多様性が高く、生物量も多いが(Fujikura et al. 2010, Snider 1984)、その種分化過程は不明な点が多く残されている。近年の分子系統解析により、有孔虫種内にも「隠蔽種」の存在が示され、これを利用した地域集団の遺伝的分化機構に関する議論が浮遊性有孔虫で開始された(Darling & Wade 2008, Weiner et al. 2012, Pawlowski et al. 2007, Ujiié et al. 2012)。これに対して、底生有孔虫は、生息場所や種ごとの生殖様式の違いによって遊走子の分散能力が異なるため、海陸分布や水塊構造の変化による地理的隔離が遺伝的分化を誘因しやすい種も存在する。一方、広範囲に同一の遺伝的集団が形成する場合もある。例えば、遊走子の分散能力が周囲の堆積物によって制限される堆積物内在性種(infaunal species)は、広範囲に遊走子を分散できないため、遺伝的な交流が制限されるのに対して、表在性種は遊走子を広範囲に分散させることができるため、遺伝的な集団の規模は大きいことが明らかになっている(Pawlowski et al. 2007)。また、遊走子の分散能力が低い岩礁地性底生有孔虫の場合、遺伝的集団の形成は、海陸分布や海流系の変遷などの地理的隔離や生殖的隔離が大きく影響を及ぼすことが明らかになっている(Tsuchiya et al. 2014)。

遺伝的な分化は生態的な要因にも起因するとともに、多くの生物では複合的な要因が遺伝的分化に作用する。カワスズメ科魚類(Albertson & Kocher 2003 など)の生態的種分化と、それを誘因する地理的隔離(Salzbüger et al. 2005 など)のように、種分化過程は、これらの複合的な要因によって生じる。しかし、有孔虫を含む微小な原生生物では、餌資源の利用形態の解析が困難であるため、生態的要因が遺伝的分化にどの程度影響を与えるかについては解明されていない。その結果、有孔虫類においても、海陸分布や水塊構造の変化といった外的要因が促す遺伝的分化機構ばかりが着目されており、生態的な要因や宿主-共生生物の関係、餌資源の利用形態などの内的要因による多様化については不明なまま残されている。

有孔虫は数千個体にもなる生物量を微小生息空間内に維持するが、そのメカニズムは明確ではなく、地理的に隔離した地域集団がどのように維持され、分化していくのかも不明な点が多い。資源や生物間の相互作用の下、個体や集団の生存率と繁殖率を上げ、集団を維持することは、種分化の重要なステップであり、集団は隔離や融合することで、遷移先での餌資源を巡る種間競争、ニッチ分割、微小生息空間の存在と環境への適応によって形成し維持される。先行研究では、栄養依存形態が行動の観察から推測されているものの(Lipps 1975 など)、有孔虫がどのような餌資源を利用し、膨大な生物量を維持したまま微小生息空間内に適応しているのか、また、それが集団の維持や融合、隔離にどの程度影響を及ぼし、集団の分化に寄与するのかは明らかではない。宿主有孔虫の環境耐性や餌資源の利用形態、環境中から獲得する共生藻類の環境耐性は、宿主底生有孔虫の生存に大きな影響を及ぼすが、このような生態的な要因が促す集団の形成機構や遺伝的分化機構については、ほとんど知見がない。

本研究では日本海を例として解析を行った。日本海は半閉鎖的な海洋であり、水深 130 メートルより浅い 4 つの海峡によって太平洋やオホーツク海、東シナ海と隔てられている。このため、周囲の海洋とは異なる海洋環境が形成されている。また、日本海は約 2000~2500 万年前にユーラシア大陸から分離することで形成され、450 万年前には日本列島の形成とともに半閉鎖的な海洋環境が形成された(Kozaka et al. 2018)。さらに、第四紀を通した氷期-間氷期サイクルに伴い周囲の海洋との隔離や融合が繰り返されたため、生物の進化にも大きな影響を与えた(Hirase et al. 2012, Takada et al. 2018)。このように、日本海は地理的隔離の影響の有無を明らかにするために適した海域であると言える。

日本海は最終氷期に海水準が低下することで、周囲の海洋から隔離された。この時期には、ユーラシア大陸からの淡水の流入により、海洋表層の塩分が 26~29、水温が $4.5 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ にまで低下したと推測されている(Oba & Tanimura 2012)。このような海洋環境において、800 m 以深は貧酸素化し(Oba et al. 1991, Tada et al. 1999)、深層の生物は死滅したことが知られている。日本海の生物相は、後氷期(1.8~1.7 万年)に北西太平洋から遷移(西村 1974, Oba et al. 1991)あるいは、海洋環境が維持されていた中層から深層に遷移したことが明らかになっている(Kojima et al. 2007, Kido et al. 2020)。一方、500 m 以浅では環境が維持され、中層の放散虫類(Itaki et al. 2004, 2007, Matsuzaki et al. 2018)や、対馬海峡周辺の貝類(Amano 2004)の集団は維持されていたと推測されている。また、低塩分の影響は珪藻集団に顕著に表れており、淡水~汽水の珪藻の増加が認められている(Oba & Tanimura 2012, Koizumi 1992, 2008)。これらの様々な生物集団の維持と遺伝的集団の形成において、本研究では、低塩分化の影響を強く受ける極表層(潮間帯下部)に生息する有孔虫集団の維持や遺伝的分化機構について明らかにした。

2. 研究の目的

本研究では、「餌資源の利用形態や内生生物(共生藻類や盗葉緑体)の存在形態といった生態

的要因が底生有孔虫の遺伝的集団の成立や分化を促す」ことの検証を目的とし、有孔虫の地域集団の成立過程を3つの視点(分子系統地理学的視点:宿主と内生生物の遺伝的多様性、生態学的視点:宿主や内生生物の環境応答,同位体生態学的視点:宿主の餌資源利用形態)から解明した。宿主-共生生物との関係における宿主の共生生物への依存度、適応機構と集団の維持機構を解析することによって、有孔虫の遺伝的分化に関する新たなメカニズムを提示することを目標とした。

研究では、日本沿岸の潮間帯下部の石灰藻の葉上に生息する岩礁地性底生有孔虫 *Elphidium crispum* と *Pararotalia nipponica* を用いた。得られた結果は、*Planoglabratella opercularis* (Tsuchiya et al. 2014) の解析結果と議論した。*Elphidium crispum* と *P. nipponica* は葉上生活性で、有性生殖時には遊走子を環境中に放出するが、*P. opercularis* は付着可動性で、gamontogamous pair を作り、殻の内部で遊走子を交換するため遊走子は環境中には放出しない。つまり、遊走子を環境中に放出する生殖様式からすると、前者の2種は、*P. opercularis* よりも地理的隔離の影響を受けにくいと考えられる。種分化プロセスは、地理的隔離や餌資源の利用形態や行動といった生態的要因などの複合的な要因によるが、同位体分析に基づく餌資源の利用形態や行動の観察が困難な微小な原生生物では、生態的な要因が遺伝的分化に与える影響についての研究例はほとんどない。アミノ酸の窒素同位体比分析は、餌となるベースラインのデータがなくとも、正確に目的生物の栄養段階を解明できるツールである。また、ごく微量の試料からも分析できることから、有孔虫においても栄養段階推定に用いることのできる強力なツールである。遊走子の分散能力や生息場所、個体の移動能力が異なる種を対比することで、地理的隔離の効果が種ごとに異なるのか、生態的な要因が種ごとに異なるのかを明らかにすることで、地理的隔離と生態的要因のどちらが集団の形成や遺伝的分化パターンに影響を及ぼしうるのかを推測することができる。地理的隔離などの分断分岐が有意な場合、地理的な分断と遺伝的分化パターンが有孔虫や内生微細藻類の種や生態によらず一致すると考えられる。また、遊走子の分散能力が強く影響を及ぼす場合、地理的な分断があっても(なくても)遊走子の分散能力が高ければ、遺伝的な交流が広範囲に起こり得る。一方、異なる種であっても遊走子の分散能力が同程度ならば、同じような分岐パターンを示すことが考えられる。餌資源利用形態や獲得する微細藻類の環境応答様式などの生態的な違いが誘因する遺伝的分化が生じている場合、遊走子の分散能力が同じでも、異なる分岐パターンを示すと考えられる。この場合、宿主や共生生物の温度・塩分耐性や宿主の餌の利用形態など、生態的な要因がどのような影響を及ぼしうるのかを明示することで、生態的な要因による種分化の影響を見いだすことができる。

3. 研究の方法

宿主有孔虫2種の分子系統地理学的解析は、核の小サブユニットリボソームRNA(rRNA)遺伝子およびそのスペーサー(ITS)領域の塩基配列を用いた。特にITSの塩基置換速度は速く、地域集団の分子マーカーとなることが知られている(Tsuchiya et al. 2014)。分子系統解析により、地域集団の遺伝型を識別し、地域集団の分岐パターンを明らかにした。また、分岐年代を推定することで、日本列島や日本海の形成史と比較した。さらに、次世代シーケンサーを用いて有孔虫細胞内の内生生物(共生微細藻類・盗葉緑体)の遺伝的多様性を葉緑体16S rRNA遺伝子から明らかにし、獲得する微細藻類の特異性の有無を判別した。有孔虫の栄養段階は、アミノ酸窒素同位体比分析に基づき推定し、各有孔虫種の餌資源利用形態を明らかにした。また、宿主有孔虫と内生生物の環境(塩分や水温など)耐性について整理した。

4. 研究成果

細胞内の微細藻類への依存度や特異性が高いほど、宿主の生存にも影響することを明らかにした。宿主が低温・低塩分環境で生育でき、獲得する珪藻が低温・低塩分環境で生育できる場合、それを獲得し利用することができるのであれば、最終氷期(など)における日本海の環境変化でも集団は維持することが可能であると推測できる。日本海の閉鎖による表層付近の低温・低塩分分化は、宿主有孔虫が利用できる珪藻種の生存にも影響を与えるため、それを利用する有孔虫集団の存続にも影響を与えた可能性が高い。その結果、宿主の遺伝的分化パターンは、宿主が利用する餌資源や獲得する内生藻類(あるいは盗葉緑体)の由来珪藻が持つ生態的な要因に強く影響されることが示唆された。宿主の餌資源利用形態の違いや獲得する珪藻の生態的要因が宿主の生存に影響を及ぼし、結果的に遺伝的分化に寄与した可能性が高いことが示唆された。

Elphidium crispum は、2つの遺伝型IとIIに大きく分かれていた。遺伝型IとIIの分岐は、日本海の形成年代に遡ることができた。一方、遺伝型IはIIに比べて広範囲に分布し、少なくとも4つのクレード(Ia~Id)が存在した。遺伝型Iaは北海道~津軽海峡、日本海、太平洋、四国など広範囲に分布する。遺伝型Ibは北海道と四国、遺伝型Icは北海道、津軽海峡、日本海、四国に分布する。遺伝型Idは日本海、津軽海峡、北海道に分布した。このうち、日本海~北海道にかけての遺伝型(Id)の分岐が最も早く、他の遺伝型の分布域とは異なるため、日本海表層の低温・低塩分分化時にも集団が維持していた可能性が高い。また、*E. crispum* は広範な塩分環境(淡水~海棲)の珪藻に由来する盗葉緑体を保持しており、多くのOTUsは海洋だけではなく、汽水域や淡水域に由来する珪藻葉緑体であった。アミノ酸窒素同位体比分析に基づく栄養段階は1.3であった。このことは、ほとんどすべての有機物(窒素源)を珪藻に由来する盗葉緑体の光合成に依存することを示した(Tsuchiya et al. 2018)。

一方、*Pararotalia nipponica* は、日本海沿岸と太平洋沿岸、北海道沿岸の集団でほぼ同一の配列を持つことから、地域的な遺伝的集団を認定することはできず、*E. crispum* のような日本海の遺伝的集団は存在しなかった。進化速度の速い ITS の解析においても、明瞭なクレードは形成されず、種レベルだけではなく集団レベルの変異も存在しなかった。ITS の変異が極めて小さいことから、進化速度が非常に速いか、同じ遺伝的集団が急速に遷移したかの可能性が考えられる。日本海から集団が消失した後に急速に太平洋側から遷移し、現在も遺伝的交流が生じていることが示唆された。また、*P. nipponica* は亜熱帯由来の海棲珪藻を特異的に共生させており、99.9%以上が同じ OTU で占められていた。アミノ酸窒素同位体比分析に基づく栄養段階は 2.4 であることから、窒素源は内生珪藻を捕食して得ていることを示した (Tsuchiya et al. 2018)。

Elphidium crispum と *P. nipponica* は、両種とも有性生殖時には遊走子を環境中に分散させるにもかかわらず、種間で遺伝的分化パターンが大きく異なっていた。また、両種とも葉上生活性の種であり、個体の分散の程度は大きくは変わらない (Kitazato 1994)。一方、*E. crispum* は、生殖様式が大きく異なる *P. opercularis* と類似した分岐パターンを示した (Tsuchiya et al. 2014)。したがって、地理的隔離や生殖的隔離の影響以外が遺伝的分化に寄与していることが推測できる。共生珪藻や盗葉緑体の多様性は、*E. crispum* と *P. nipponica* の間で大きく異なっていたが、*E. crispum* と *P. opercularis* は類似していた。

内生生物への依存度が高ければ高いほど、内生生物の特異性が高ければ高いほど、宿主の生存や適応に強く影響を及ぼすと考えられる。*Elphidium crispum* や *P. opercularis* の細胞内微細藻類の遺伝的多様性は高く、広範囲の環境に生息する珪藻の葉緑体を盗葉緑体として獲得していた。主に光合成産物から有機物を獲得しており、宿主も低温・低塩分環境で生存できるため、集団が維持できた可能性が高い。これに対して、*P. nipponica* の細胞内微細藻類の遺伝的多様性は低く、熱帯～温帯の海棲珪藻を特異的に獲得していた。日本海で頻繁に起こった低温・低塩分の閉鎖環境は、獲得する珪藻種の生存に影響を与え、海棲珪藻に特異性のある *P. nipponica* は低温低塩分環境では珪藻を獲得できず、細胞内共生藻類を餌として利用できなくなったと考えられる。その結果、日本海の低温・低塩分の閉鎖環境では生存が困難であったと考えられる。これに対して、*E. crispum* は様々な珪藻由来の葉緑体を利用できるため、宿主が低塩分で生存できれば集団が維持できると推測できる。この結果は、*P. opercularis* の解析結果と整合的である。以上の解析結果から、*E. crispum* と *P. nipponica* は遺伝的分化パターンの違いとして顕在化すると考えられる。両種の遺伝的分化機構は、地理的隔離といった地球科学的要素だけではなく、生態的な要因に強く影響を受ける可能性が高い。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Tsuchiya Masashi, Chikaraishi Yoshito, Nomaki Hidetaka, Sasaki Yoko, Tame Akihiro, Uematsu Katsuyuki, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 8
2. 論文標題 Compound specific isotope analysis of benthic foraminifer amino acids suggests microhabitat variability in rocky shore environments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 8380 ~ 8395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ece3.4358	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 -
1. 著者名 Ishikawa Naoto F., Chikaraishi Yoshito, Takano Yoshinori, Sasaki Yoko, Takizawa Yuko, Tsuchiya Masashi, Tayasu Ichiro, Nagata Toshi, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 16
2. 論文標題 A new analytical method for determination of the nitrogen isotopic composition of methionine: Its application to aquatic ecosystems with mixed resources	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography: Methods	6. 最初と最後の頁 607 ~ 620
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lom3.10272	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 -
1. 著者名 Voltski Ivan, Weiner Agnes K.M., Tsuchiya Masashi, Kitazato Hiroshi	4. 巻 154
2. 論文標題 Morphological and genetic description of <i>Syringamina limosa</i> sp. nov., the first xenophyophore (Foraminifera) from the deep Sea of Okhotsk	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography	6. 最初と最後の頁 32 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr2.2017.12.001	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 該当する
1. 著者名 Kitahashi Tomo, Watanabe Hiromi Kayama, Tsuchiya Masashi, Yamamoto Hideyuki, Yamamoto Hiroyuki	4. 巻 5
2. 論文標題 A new method for acquiring images of meiobenthic images using the FlowCAM	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 MethodsX	6. 最初と最後の頁 1330 ~ 1335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mex.2018.10.012	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 -

1. 著者名 Kashiyama Y, Yokoyama A, Shiratori T, Bachy C, Gutierrez-Rodriguez A, Not F, Hess S, Wang M, Chen M, Gong Y, Seto K, Kagami M, Hamamoto Y, Honda D, Umetani T, Shihongi A, Kayama M, Matsuda T, Taira J, Yabuki A, Tsuchiya M et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 Taming chlorophylls by early eukaryotes underpinned algal interactions and the diversification of the eukaryotes on the oxygenated Earth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 1899 ~ 1910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-019-0377-0	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 Bernhard Joan M., Tsuchiya Masashi, Nomaki Hidetaka	4. 巻 138
2. 論文標題 Ultrastructural observations on prokaryotic associates of benthic foraminifera: Food, mutualistic symbionts, or parasites?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Marine Micropaleontology	6. 最初と最後の頁 33 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marmicro.2017.09.001	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 該当する

1. 著者名 Jaufrais Thierry, LeKieffre Charlotte, Koho Karoliina A., Tsuchiya Masashi, Schweizer Magali, Bernhard Joan M., Meibom Anders, Geslin Emmanuelle	4. 巻 138
2. 論文標題 Ultrastructure and distribution of kleptoplasts in benthic foraminifera from shallow-water (photic) habitats	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Marine Micropaleontology	6. 最初と最後の頁 46 ~ 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.marmicro.2017.10.003	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 該当する

1. 著者名 Hayward Bruce W., Holzmann Maria., Tsuchiya Masashi	4. 巻 49
2. 論文標題 Combined Molecular and Morphological Taxonomy of the Beccarii/T3 Group of the Foraminiferal Genus Ammonia	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Foraminiferal Research	6. 最初と最後の頁 367 ~ 389
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2113/gsjfr.49.4.367	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 該当する

1. 著者名 Nakajima Ryota, Lindsay Dhugal J., Tsuchiya Masashi, Matsui Rie, Kitahashi Tomo, Fujikura Katsunori, Fukushima Tomohiko	4. 巻 6
2. 論文標題 A small, stainless-steel sieve optimized for laboratory beaker-based extraction of microplastics from environmental samples	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MethodsX	6. 最初と最後の頁 1677 ~ 1682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mex.2019.07.012	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 -

1. 著者名 Nakajima Ryota, Tsuchiya Masashi, Lindsay Dhugal J., Kitahashi Tomo, Fujikura Katsunori, Fukushima Tomohiko	4. 巻 7
2. 論文標題 A new small device made of glass for separating microplastics from marine and freshwater sediments	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PeerJ	6. 最初と最後の頁 e7915 ~ e7915
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7717/peerj.7915	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 -

1. 著者名 Toyofuku Takashi, Matsuo Miki Y., de Nooijer Lennart Jan, Nagai Yukiko, Kawada Sachiko, Fujita Kazuhiko, Reichart Gert-Jan, Nomaki Hidetaka, Tsuchiya Masashi, Sakaguchi Hide, Kitazato Hiroshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Proton pumping accompanies calcification in foraminifera	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 14145 ~ 14145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms14145	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 Tsuchiya Masashi, Nomaki Hidetaka, Kitahashi Tomo, Nakajima Ryota, Fujikura Katsunori	4. 巻 6
2. 論文標題 Sediment sampling with a core sampler equipped with aluminum tubes and an onboard processing protocol to avoid plastic contamination	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MethodsX	6. 最初と最後の頁 2662 ~ 2668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mex.2019.10.027	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 Zhu Chunmao, Kanaya Yugo, Nakajima Ryota, Tsuchiya Masashi, Nomaki Hidetaka, Kitahashi Tomo, Fujikura Katsunori	4. 巻 263
2. 論文標題 Characterization of microplastics on filter substrates based on hyperspectral imaging: Laboratory assessments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Pollution	6. 最初と最後の頁 114296 ~ 114296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.envpol.2020.114296	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 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Voltski I, Weiner AKM, Tsuchiya M, Kitazato H
2. 発表標題 Syringamina limosa sp. nov. and other xenophyophores from the north-west Pacific (the Sea of Okhotsk and Kuril-Kamchatka Trench region)
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Karoliina A. Koho, Iines Salonen, Hidetaka Nomaki, Myrsini Chronopoulou, Dewi Langlet and Masashi Tsuchiya
2. 発表標題 A comprehensive look on the endobiotic community and ecology of deep-sea foraminifera Bolivina subornata.
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Schmidt C, Morard, R, Burt J, Theara G, Vaughan G, Tsuchiya M, Kucera M
2. 発表標題 The adaptation potential of benthic foraminifera from extremely warm reefs in the Persian Gulf.
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 LeKieffre C, Jauffrais T, Geslin E, Koho KA, Tsuchiya M, Meibom A, Bernhard J
2. 発表標題 Cellular ultrastructure in benthic foraminifera: general observations and focus on kleptoplasts.
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nomaki H, Tsuchiya M, Tame A, Matsuzaki T
2. 発表標題 Variation in foraminiferal cytoplasm structures and its possible relationships between environmental conditions.
3. 学会等名 International Symposium on Foraminifera (FORAMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nomaki H, Rastelli E, Amaro T, Tsuchiya M, Seike K, Kitahashi T, Suga H, Miyamoto N, Ogawa NO, Danovaro R, Nunoura T, Ohkouchi N
2. 発表標題 Abyssal ecosystems and biogeochemical cycles revealed by in-situ experiments.
3. 学会等名 15th Deep Sea Biology Symposium 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kitahashi T, Sugime S, Nakamura M, Nishijima M, Inomata K, Tsuchiya M, Watanabe HK, Yamamoto H
2. 発表標題 Detecting the effect of scientific drilling on meiofauna with the traditional, metagenomic and image-based methods
3. 学会等名 15th Deep Sea Biology Symposium 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakajima R, Tsuchiya M, Kitahashi T, Lindsay D, Fujikura K, Fukushima T
2. 発表標題 A new small device made of glass for separating microplastics from marine sediments.
3. 学会等名 The Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北橋 倫, 杉目幸恵, 土屋正史, 渡部裕美, 山本啓之
2. 発表標題 深海底科学掘削に伴う掘削屑がメイオファウナ群集に与えた影響—イメージング・フローサイトメーターを用いた結果との比較
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土屋正史, 石渡祐一, 吉田尊雄, 藤倉克則
2. 発表標題 生態的要因による岩礁地性底生有孔虫の遺伝的集団の遷移と形成
3. 学会等名 日本古生物学会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土屋正史
2. 発表標題 有孔虫類の分子生物学的研究
3. 学会等名 日本古生物学会2018年年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 生田哲朗, 多米晃裕, 高木善弘, 齋藤正輝, 力石嘉人, 土屋正史, 藤倉克則, 吉田尊雄
2. 発表標題 掘足類ヤカドツノガイと経卵伝達される細菌の関係
3. 学会等名 第2回日本共生生物学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北橋 倫, 中村匡聡, 西島美由紀, 猪又健太郎, 土屋正史, 渡部裕美, 山本啓之
2. 発表標題 メيوفアウナを用いた環境影響評価手法の検討
3. 学会等名 ブルーアースサイエンス・テク2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋亮太, 土屋正史, 北橋 倫, Dhugal Lindsay, 藤倉克則, 福島朋彦
2. 発表標題 海底堆積物からマイクロプラスチックを分離するための新しい器具の考案
3. 学会等名 第53回日本水環境学会年会(2018年度)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋正史, 野牧秀隆
2. 発表標題 嫌気環境下における底生有孔虫Ammonia sp.の適応機構
3. 学会等名 日本古生物学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 北橋 倫, 杉目幸恵, 土屋正史
2. 発表標題 深海底科学掘削に伴う掘削屑がメイオファウナ群集に与えた影響
3. 学会等名 2017年日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 土屋正史, 力石嘉人, 野牧秀隆, 佐々木瑠子, 多米晃裕, 植松勝之, 大河内直彦
2. 発表標題 アミノ酸窒素同位体比に基づく栄養段階推定によって明らかになった微小生息空間内の多様な資源利用形態
3. 学会等名 日本古生物学会第167回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野牧秀隆, 土屋正史, 多米晃裕, 矢生晋介, 松崎琢也, 村山雅史
2. 発表標題 底生有孔虫 <i>Globobulimina affinis</i> の細胞立体構造・微細構造の特徴と貧酸素環境への適応戦略
3. 学会等名 日本古生物学会第167回例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 土屋正史
2. 発表標題 有孔虫の起源と進化
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(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石渡祐一, 土屋正史, 吉田尊雄, 藤倉克則
2. 発表標題 Elphidiidae科有孔虫の系統関係の解明
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
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuchiya M, Fujikura K
2. 発表標題 Ecological factors affecting the formation and persistence of genetic populations of rocky-shore benthic foraminifera.
3. 学会等名 TMS 2019, The Micropaleontological Society 's Joint Foraminifera and Nanofossil Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Salonen I, Chronopoulou P-M, Langlet D, Nomaki H, Tsuchiya M, Koho K
2. 発表標題 Metabarcoding reveals putative interactions between sediment bacteria and deep-sea benthic foraminifera.
3. 学会等名 MS 2019, the Micropaleontological Society 's Joint Foraminifera and Nanofossil Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuchiya M
2. 発表標題 Microplastic as a "micro"indicator for Anthropocene: understanding the actual condition of microplastic pollution by using agglutinated foraminifera.
3. 学会等名 TMS 2019, The Micropaleontological Society 's Joint Foraminifera and Nanofossil Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nomaki H, Frontalini F, Bouchet V, Langlet D, Tsuchiya M
2. 発表標題 A new threat for marine environments and foraminifera: micro- and nano- plastics (TMS Workshop)
3. 学会等名 TMS 2019, The Micropaleontological Society 's Joint Foraminifera and Nanofossil Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nomaki H, Tsuchiya M, Tame A, Matsuzaki T, Murayama M
2. 発表標題 ariations in 3-D cytoplasmic structures of foraminifera (protistan meiofauna): microfocus X-ray CT and TEM observations
3. 学会等名 17th International Meiofauna Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野牧秀隆, Chen Chong, 小田加也, 土屋正史, 松崎琢也, 多米晃裕, 植松勝之
2. 発表標題 底生有孔虫Chilostomella細胞内の板状構造と推察される役割
3. 学会等名 日本古生物学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋正史, 北橋 倫, 平 陽介, 斎藤仁志, 中嶋亮太, Lindsay DJ, 藤倉克則, 福島朋彦
2. 発表標題 ナイルレッド染色したマイクロプラスチックの自動検出法開発
3. 学会等名 第54回日本水環境学会 (2019年度)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北橋 倫, 中嶋亮太, 野牧秀隆, 土屋正史, 山口壮二郎, 朱春茂, 金谷有剛, Lindsay DJ, 千葉早苗, 藤倉克則
2. 発表標題 ハイパースペクトルカメラを用いたマイクロプラスチックの材質自動判別の試み
3. 学会等名 第54回日本水環境学会(2019年度)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋正史, 斎藤めぐみ, 辻本 彰, 野牧秀隆
2. 発表標題 人新世の微化石指標: 人為的なマイクロプラスチック化石の検出と変遷
3. 学会等名 日本古生物学会2019年年会(夜間小集会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋正史, 野牧秀隆, 木元克典, 中嶋亮太, 北橋 倫, 川村喜一郎, 生田哲朗, 小栗一将, 千葉早苗, 藤倉克則
2. 発表標題 人新世の微化石指標: 砂質有孔虫を用いたマイクロプラスチック汚染の実態把握
3. 学会等名 日本古生物学会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 土屋正史
2. 発表標題 砂質有孔虫を用いたマイクロプラスチック汚染の実態把握
3. 学会等名 2019年日本ベントス学会・日本プランクトン学会合同大会自由集会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 石谷佳之、土屋正史（「2.8.2自由生活性」「コラム 微化石」を分担執筆）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 152
3. 書名 アメーバのはなし	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>アウトリーチ</p> <p>1) (講演) 潜水調査船からも観える深海原生生物、底生有孔虫の遺伝的分化機構・特殊な共生機構について. 八戸工業大学(八戸市), 2017年10月16日</p> <p>2) (非常勤講師) Marine biogeography and paleontology, Basic Oceanography and Global Environmental Science. 上智大学地球環境学研究所地球環境学専攻, 上智大学四谷キャンパス(千代田区). 2017-2019年.</p> <p>受賞 日本古生物学会学術賞2017年6月</p>

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
連携研究者	力石 嘉人 (Chikaraishi Yoshito) (50455490)	北海道大学低温科学研究所・同位体物質循環分野・教授 (10101)	