

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K06328

研究課題名(和文) 深海底に沈む木材をニッチとした深海生菌類：その多様性と未知有用機能

研究課題名(英文) The diversity and unexplored useful functions of deep-sea fungi inhabiting sunken woods

研究代表者

長野 由梨子 (Nagano, Yuriko)

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)・研究員

研究者番号：30512917

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：相模湾や東京湾、房総半島沖の深海平原など、水深約750m～5700mの深海底から植物片を回収し、直接観察、培養法、環境DNA法などにより真菌類多様性の調査を行った。

本研究により、深海底に沈む植物基質中には予想以上に深海生菌類が高頻度で存在していること、特定の科が優占していること、これまでに発見されていない種も存在していること、樹種特異性はあまりみられないこと、海域により分布の違いがありそうなことなどが明らかとなった。また深海環境中における植物由来有機物の分解には、Oceanitis属やCeriosporopsis属といった深海生菌類が貢献していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでにほとんど調査がなされていなかった深海底に沈む植物片をニッチとした深海生菌類の多様性やその分布の一端を明らかにした本研究は、国内外を通しても非常にユニークな研究であると言える。有機物の少ない深海において、難分解性物質は貴重なエネルギー源であり、そこをニッチとして適応進化している深海生菌類を研究する事によって、深海における菌類の真の多様性、海洋環境中における菌類の適応・進化プロセスを明らかにし、これまでの常識を覆すような新奇性をもった真菌群の発見、さらには深海生菌類が産生する生理活性物質の探索、産業利用が可能な新規セルラーゼやプラスチック分解酵素等の探索へと展開できる重要な研究である。

研究成果の概要(英文)：Sunken plant materials were collected from the deep-sea floor at depths ranging from approximately 750m to 5700m in Sagami Bay, Tokyo Bay, and off the coast of the Boso Peninsula to investigate fungal diversity using direct observation, cultivation methods, and environmental DNA analysis.

Our study revealed that obligate deep-sea fungi are more frequently present in sunken plant substrates than previously expected, with certain taxa dominating and unidentified species existing, showing no host-specificity. We also found differences in distribution between different marine regions. Additionally, our findings suggest that deep-sea fungi, such as those from the genera Oceanitis and Ceriosporopsis, may contribute to the decomposition of plant-derived organic matter in the deep-sea environment.

研究分野：微生物学

キーワード：深海生菌類 沈木 Oceanitis Ceriosporopsis Halosphaeriaceae 菌類多様性 海生菌類

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

深海環境に特殊に適応進化したと考えられている偏性深海生菌類は、世界でも6種が知られているのみで、全く研究が進んでいない。最近の調査により深海底には沈木を始めとした難分解性基質が相当の割合で点在している事が明らかとなり、深海底に沈む木材等をニッチとした未知深海生菌類が数多く存在するのではないかと考えた。しかしながら、その進化系統や生態については全くの未解明である。

2. 研究の目的

本研究では、これまでにほとんど調査がなされていない深海底に沈む木材等をニッチとした深海生菌類に注目し、その多様性や分布、形態的・生態的・代謝的・遺伝的特徴などを総合的に明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 相模湾、東京湾、房総半島沖の深海平原など様々な海域、深度より深海底に沈む木材を始めとした難分解性物質サンプルを回収した。回収サンプルは直接観察の他、寒天培地や液体培地を用いた培養法や、環境DNA解析を行い、そこに付着・生息する真菌類の多様性解析を行った。植物片サンプルに関しては、PCRによる簡易同定を行い、樹種の同定を行った。サンプルの分解具合や樹種によってはDNAが上手く回収できず、同定できないものもあった。

(2) 相模湾の初島沖冷湧水域、三崎沖、深海平原、明神海丘熱水域の異なる4地点の深海環境に4種の樹種を設置し、1年後、2.5年後に回収を行い、直接観察の他、寒天培地や液体培地を用いた培養法や、環境DNA解析を行い、木材に付着・生息する真菌類の多様性解析を行った。

4. 研究成果

(1) 新種と示唆された深海生菌類の発見



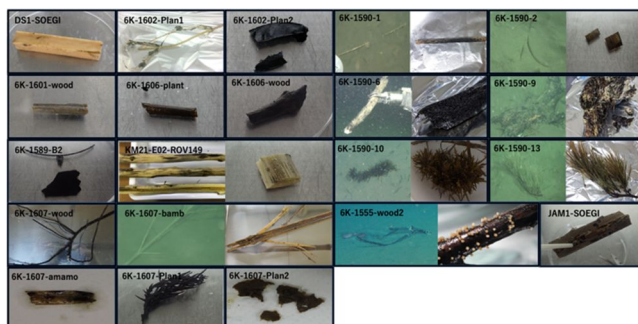
水深約5700mの房総半島沖深海平原より回収した木片において菌類の子実体が確認され、詳細な解析を行い、深海生菌類の一つ *Oceanitis scuticella* に近縁な *Oceanitis* 属の新種であることが示唆された。(現在、新種として論文投稿中。)

図1. 菌類の子実体が確認された沈木

(2) 深海由来真菌の培養株の取得

深海底より回収した植物片、プラスチックゴミ、設置木材、深海生物などから新たに約1000株の真菌分離株の取得に成功した。そのほとんどは陸上でも生息可能と思われる通性深海生真菌であるが、深海生菌類と思われる数株についても培養分離に成功した。

(3) 深海底より回収した植物片中の真菌アンプリコン解析



相模湾や東京湾三崎沖、房総半島沖の深海平原など、水深約750m~5700mの深海底から植物片19試料、海藻1試料、また浅海から植物片1試料を回収し、一部の試料については枝部分、葉部分、果球部分などに分け、計24試料よりDNAを抽出し、真菌類に特異的なプライマー ITS1-F_KY01/ITS2_KY02 を用いて真菌多様性解析を行った。

図2. 深海底から回収した植物片

その結果、23 試料から合計 543 の真菌 Amplicon Sequence Variants (ASVs) が検出された。アマモ 1 試料からは真菌類と同定される配列は検出されなかった。最も多くの ASVs が検出されたのはイチイガシの葉 (147ASVs)、次いでスギの葉 (131ASVs)、コナラの葉 (58ASVs) であった。このことから枝や幹サンプルよりも葉サンプルで多様な菌類が存在していることが示唆されたが、マツサンプルにおいて枝、葉、果球部分に分けて解析した結果は、枝部分が最も菌類の多様性が高いという結果であった。検出された ASVs は、綱レベルでは Dothideomycetes が最も多く (32%)、次いで Sordariomycetes (27%)、Eurotiomycetes (12%) が多かった。存在量 (配列リード数) としては、Sordariomycetes (76%) が圧倒的に多く、そのうちかなりの割合を Halosphaeriaceae 科が占めていた。

異なる水深や海域から回収した 8 試料中で深海生菌類 *Oceanitis scuticella* に高い相同性を示す配列が検出された。このことから *O. scuticella* の近縁菌は広範囲に渡る水深約 700~6000m の深海環境中の様々な樹種の植物基質に高頻度で存在することが明らかとなった。また水深 5m の浅海より回収した試料からは海生菌類である *Ceriosporopsis halima* と高い相同性を示す配列が優占して検出されたが、深海由来 5 試料からは、*C. halima* と近縁だが別種と推定される配列 (相同性約 86%) が優占種として検出された。このことから *C. halima* と近縁な深海種が存在することが示唆された。この配列は相模湾から回収した試料からのみ検出された。また先行研究で南西諸島沖より発見されていた深海生菌類 *Alisea longicolla* は、本研究で解析した試料からは検出されなかった。

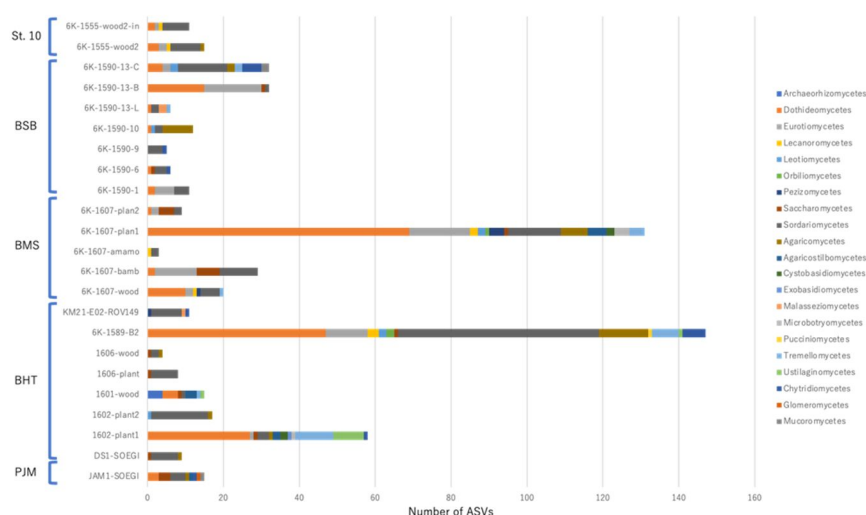


図3. 各サンプル中に検出された真菌 ASVs 数とその内訳

(4) 本研究により、深海底に沈む植物基質中に深海生菌類は予想以上に高頻度で存在していること、Halosphaeriaceae 科が優占していること、これまでに発見されていない種も存在していること、樹種特異性はあまりみられないこと、海域により分布の違いがありそうなことなどが明らかとなった。また深海環境中における植物由来有機物の分解には、*Oceanitis* 属や *Ceriosporopsis* 属をはじめとした深海生菌類が大きく貢献していることが示唆された。

研究期間全体を通し、様々な深海環境よりサンプリングを行い、深海底に沈む植物片をニッチとした深海生菌類の多様性や生態、有用機能について明らかにした。また、深海底で木材設置実験を行い、陸上木材に生息する真菌叢が深海環境でどのように変化するか、深海生菌類がどのタイミングで現れるかを解析中であり、今後も研究を継続していく予定である。また、研究期間を通して他研究機関と共同して深海環境より分離した真菌類が産生する生理活性物質の探索を進め、強力な抗菌活性を示すものを含め複数の新規化合物を発見した。また、主に深海環境から分離した真菌類のうち重要と思われる株をセレクションし、ゲノム解析に着手しており、今後さらに深海生菌類の生態解明を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Azami Haruki, Watanabe Yoshihiro, Sakai Kazunari, Nakahara Hiroki, Kojima Hiroki, Tokiwa Toshiyuki, Nonaka Kenichi, Noguchi Yoshihiko, Nagano Yuriko, Hirose Tomoyasu, Sunazuka Toshiaki, Matsui Hidehito, Arima Naoaki, Abe Kazutoyo, Hanaki Hideaki, Iwatsuki Masato	4. 巻 77
2. 論文標題 Antifungal profile against <i>Candida auris</i> clinical isolates of tyroscherin and its new analog produced by the deep-sea-derived fungal strain <i>Scedosporium apiospermum</i> FKJ-0499	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 The Journal of Antibiotics	6. 最初と最後の頁 156 ~ 162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41429-023-00696-x	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 -

1. 著者名 長野 由梨子	4. 巻 37
2. 論文標題 深海底に沈む木材等をニッチとした深海生菌類の多様性解明	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 発酵研究所助成研究報告集	6. 最初と最後の頁 126 ~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.60396/iforc.37.0_126	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 Wijayawardene Nalin N., Dai Don-Qin, Jayasinghe Prabath K., Gunasekara Sudheera S., Nagano Yuriko, Tibpromma Saowaluck, Suwannarach Nakarin, Boonyuen Nattawut	4. 巻 8
2. 論文標題 Ecological and Oceanographic Perspectives in Future Marine Fungal Taxonomy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Fungi	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jof8111141	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

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 6件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Y. Nagano, Y. Ishitani, N. Isobe, R. Nakajima, S. Ishii, H. Kashima, H. Nomaki
2. 発表標題 Fungal diversity in deep-sea sunken plant substrates
3. 学会等名 32nd Fungal genetics conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Y. Nagano
2. 発表標題 Diversity, ecological role and biotechnological potential of deep-sea fungi
3. 学会等名 第71回生態学会大会・シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 長野由梨子・石谷佳之・磯部紀之・坂尾優希・中嶋亮太・石井俊一・鹿島裕之・野牧秀隆
2. 発表標題 深海底に沈む植物片をニッチとした深海生菌類の多様性
3. 学会等名 第67回日本菌学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ishitani Yoshiyuki, Ishii Shunichi, Kashima Hiroyuki, Sakao Yuki, Isobe Noriyuki, Nagano Yuriko, Nakajima Ryota, Nomaki Hidetaka
2. 発表標題 Can plastic debris distribute microbes all over the ocean?
3. 学会等名 Japan Geological union - American geological union joint meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 東内原陸, 原田大地, 貞廣優作, 人羅勇氣, 長野由梨子, 塚本佐知子
2. 発表標題 トリプトファンによる真菌Arthrinium arundinisの二次代謝産物の産生誘導
3. 学会等名 第40回日本薬学会九州山口支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 貞廣 優作、人羅 勇気、本田 公洋、手島 徳哉、長野 由梨子、塚本 佐知子
2. 発表標題 Bioactive molecular networkingを利用した真菌由来20Sプロテアソーム活性化物質の探索
3. 学会等名 日本薬学会第136年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 手島 徳哉、人羅 勇気、長野 由梨子、塚本 佐知子
2. 発表標題 深海環境から単離した Arachnomyces 属真菌由来の新規二次代謝産物の探索
3. 学会等名 日本生薬学会69回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鹿島裕之、石井俊一、石谷佳之、長野由梨子、中嶋亮太、磯部紀之、野牧秀隆
2. 発表標題 深海底及び沿岸海底環境において汎用使い捨てプラスチック素材上に形成される微生物叢
3. 学会等名 日本微生物生態学会第36回浜松大会アジア微生物生態シンポジウム第13回大会浜松大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長野由梨子
2. 発表標題 深海環境における真菌多様性
3. 学会等名 第42回糸状菌遺伝子研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長野由梨子
2. 発表標題 深海生菌類 ー未知なる多様性と可能性ー
3. 学会等名 第82回海洋教育フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長野由梨子
2. 発表標題 深海調査研究のご紹介 深海生菌類の多様性と可能性ー
3. 学会等名 第93回日本衛生学会学術総会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 手島 徳哉、人羅 勇氣、長野 由梨子、塚本 佐知子
2. 発表標題 海洋由来の真菌を対象としたエキスライブラリの構築と生物活性物質の探索ー海底堆積物から 単離したPenicillium属真菌の成分に関する研究ー
3. 学会等名 日本薬学会第143年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長野由梨子
2. 発表標題 深海真菌 その未知なる多様性と可能性
3. 学会等名 第65回日本医真菌学会総会・学術集会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 布浦拓郎、長野由梨子、宮崎征行、澄田智美、出口茂	4. 発行年 2023年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 6
3. 書名 第12節 海洋研究開発機構(JAMSTEC)における深海微生物コレクション 微生物資源の整備と利活用の戦略	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	岩月 正人 (Iwatsuki Masato)		
研究協力者	塚本 佐知子 (Tsukamoto Sachiko)		
研究協力者	人羅 勇気 (Hitora Yuki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------