

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K18601

研究課題名(和文) 深海環境から多量出現する未知原始的真菌群：その実像と生態から真菌の初期進化を探る

研究課題名(英文) Revealing unknown basal fungal groups abundantly detected in deep-sea environments

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：深海化学合成生物群集域より採集した堆積物サンプルから直接DNAを抽出し、次世代シーケンサーによる原始的真菌群を含む真菌類の網羅的な多様性解析を行った。本研究を通して、深海環境における真菌多様性、その新規性、未知原始的真菌群が相模湾メタン冷湧水域だけではなく、鯨骨化学合成生態系域にも存在する事、またその存在傾向などを明らかにした。さらに共同研究を通じて、深海環境より分離した真菌類から抗ミズカビや抗腫瘍、抗酸化といった有用生理機能を持った新規化合物の発見にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して深海環境、特に深海化学合成生態系から多量検出される原始的真菌群の多様性や存在傾向などが明らかとなった。原始的真菌群は菌類の初期進化を理解する上で非常に重要なグループであり、また深海環境中の真菌を対象とした研究は国内外を通して非常にユニークな研究であると言える。さらに、真菌類は古くから抗生物質を始めとした人類に有用な生理活性物質を産生する事で知られており、深海環境中に生息する真菌類は生物資源としても非常に貴重なりソースである。本研究では数多くの深海由来分離株を取得できたほか、有用機能を持った新規化合物の発見にも繋がった。

研究成果の概要(英文)：Fungal diversity, including unknown basal fungal groups in deep-sea chemosynthetic communities was investigated using next-generation sequencing. Through this study, the fungal diversity in deep-sea environments and its novelty, the domination of unknown basal fungal groups, not only in Sagami Bay methane cold-seep but also in the whale-fall chemosynthetic ecosystems were revealed. Furthermore, through collaborative research, novel compounds with useful physiological functions, such as anti-oomycete, anti-tumor, and antioxidant, was discovered from fungi isolated from the deep-sea environments.

研究分野：微生物学

キーワード：真菌類 深海 化学合成生態系 原始の菌類 鯨骨

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

深海・地殻環境中には地上でも見られる様な真菌種が多く存在する一方、環境 PCR 法による網羅的な解析により、地上のそれとは異なる多様性をもった新規性の高い真菌類が多く存在する事が明らかとなっていた。中でも相模湾初島沖メタン冷湧水域の堆積物中からは多量の新規配列が検出され、その多くは真菌類の中でも原始的な性質をもった系統群に含まれる事が示唆されていた。未知原始的な真菌系統群は菌類の初期進化を理解する上で、非常に重要なグループだと考えられるが、その大多数は分離培養はおろか、実像の観察すら行われておらず、その実態や生態は未だ謎に包まれている。

2. 研究の目的

本研究では、相模湾メタン冷湧水域に多量出現する謎に包まれた原始的な真菌群の形態的・生態的・代謝的・遺伝的特徴を総合的に明らかにし、真菌類の初期進化の解明、特殊な新奇真菌群の発見、新規生理/生態機能や代謝系の発見へと繋げる事を大目的とした。

具体的には、まずは深海環境における原始的な真菌系統群の地理学的分布を明らかにし、相模湾以外のメタン冷湧水域でも未知原始的な真菌系統群が多量に検出されるのか？メタン冷湧水だけではなく、他の深海化学合成生態系(熱水噴出孔や鯨骨)においても同じ現象が見られるのか？を明らかにするために研究を開始した。

3. 研究の方法

深海化学合成生物群集域(メタン冷湧水域、熱水噴出域、鯨骨群集域)より堆積物・生物試料のサンプリングを行い、異なる深度や異なる海域など、様々な環境からできるだけ多くのサンプルを入手する。また、リファレンスとして化学合成生物群集域以外のサイトからも何地点かサンプリングを行う。

深海化学合成生物群集域から採集した堆積物・生物試料から直接 DNA/RNA を抽出し、次世代シーケンサーによる原始的な真菌群を含む真菌類の網羅的な多様性解析を行う。解析結果と試料採取地点の様々な情報を比較し、原始的な真菌群の出現傾向やその役割・生態などを考察する。

4. 研究成果

(1) 深海環境における原始的な真菌系統群の地理的分布を調査するために、相模湾メタン冷湧水域の堆積物サンプル、鹿児島湾とブラジル沖鯨骨化学合成生態域の堆積物サンプル、ブラジル沖サンパウロ海台のアスファルト湧出域サンプル、鹿児島湾熱水噴出域サンプルのサンプリングを行った。

(2) ブラジル沖サンパウロ海台で発見されたアスファルト湧出域(湧出域 16、非湧出域 6 サンプル)における深海底泥中の真菌多様性を環境 DNA 解析により調査したところ、既存のデータベースとは相同性を示さない同定不可能な種も含め、多種多様な真菌が検出された。しかし、その存在量を解析すると、*Penicillium*、*Cadophora*、*Rhodospiridium* の 3 種がほぼ優先していることがわかり、相模湾メタン冷湧水域の様な未知原始的な真菌群の優占は認められなかった。また、アスファルト湧出域と非アスファルト湧出域の真菌相を比較したところ、有意差がないことも明らかとなった。アスファルト湧出域には多量のアスファルトが存在し、その周辺には海綿やエビなどの大型生物が存在するなど、他の深海環境とは明らかに異なっていたが、化学合成生態系の存在は認められなかった。この結果は論文として発表した。(Nagano et al. 2017)

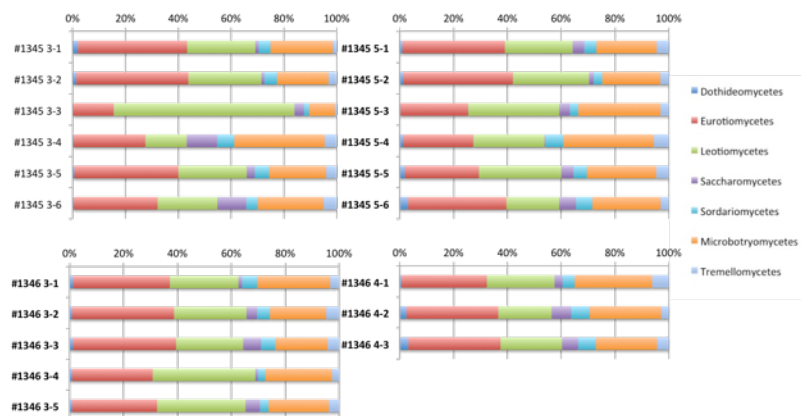


図1 アスファルト湧出域の各サンプル中から検出された網レベル分類ごとの存在量率 (太字サンプルはアスファルト湧出域サンプルを示す)

(3) 鹿児島湾(人工設置、水深 101m)とブラジル沖サンパウロ海嶺(自然発生、水深 4, 204m)という地理的にも物理的にも非常に異なる 2 地点に存在する鯨骨化学合成生態系における真菌多様性解析を行った。調査を行った両 2 地点の鯨骨化学合成生態域において、共通して未知原始的菌類が優占して存在する事、またその存在量は鯨骨からの距離によって(鯨骨に近い堆積物中では腐生菌類が多くなり、鯨骨から遠い堆積物中では未知原始的菌類の存在量が多くなる)違いがあることなどを明らかにした。この結果は論文として投稿した。(Nagano et al. accepted)

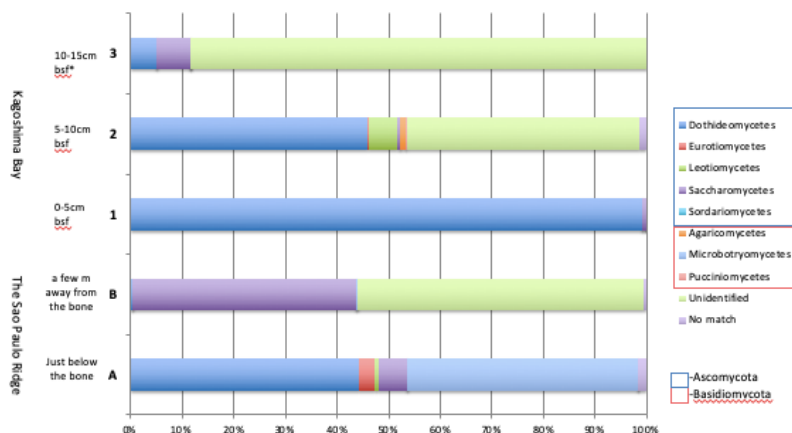


図2 鯨骨化学合成生態域の各サンプル中から検出された綱レベル分類ごとの存在量率

(4) 深海化学合成生態域の環境 DNA 解析による真菌多様性の調査を進めると共に、得られた堆積物や生物サンプルから真菌類の分離培養も行った。新種を含む数多くの深海由来真菌株の取得に成功した。深海環境に特殊に進化適応していると考えられる偏性深海生真菌 *Alisea longicolla* の取得にも成功し、論文として発表した。(Nagano et al. 2019)

深海環境由来真菌株からの新規有用物質の探索なども北里大学生命科学研究所の研究協力者と共同で行い、抗ミズカビ活性や抗腫瘍活性、抗酸化作用を有する新規化合物を発見し、論文発表を行った。

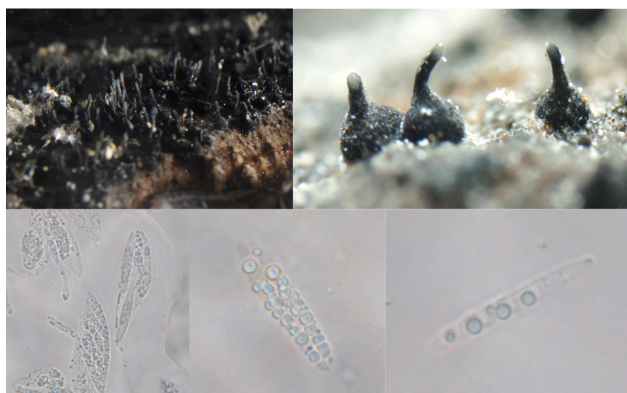


図3 深海に設置した沈木から発見された *Alisea longicolla*

本研究を通して、深海環境における真菌多様性、その新規性、未知原始的真菌群が相模湾メタン冷湧水域だけではなく、鯨骨化学合成生態系域にも存在する事、またその存在傾向などを明らかにした。さらに共同研究を通じて、深海環境より分離した真菌類から抗ミズカビや抗腫瘍、抗酸化といった新規有用生理機能の発見にも成功した。

近年、深海のみならず様々な海洋環境中における未知原始的真菌の存在が明らかになり始めており、その起源や分散機構、生態など今後はさらなる解明をめざして研究を進めていく必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yuriko Nagano, Toshiko Miura, Taishi Tsubouchi, Andre O Lima, Masaru Kawato, Yoshihiro Fujiwara and Katsunori Fujikura	4. 巻 -
2. 論文標題 Cryptic fungal diversity revealed in deep-sea sediments associated with whale-fall chemosynthetic ecosystems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Mycology	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） なし	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 Matsuo Hirotaka, Mokudai Takayuki, Higo Mayuka, Nonaka Kenichi, Nagano Yuriko, Nagahama Takahiko, Niwano Yoshimi, Takahashi Y?ko, ?mura Satoshi, Nakashima Takuji	4. 巻 72
2. 論文標題 Cipralphelin, a new anti-oxidative N-cinnamoyl tripeptide produced by the deep sea-derived fungal strain <i>Penicillium brevicompactum</i> FKJ-0123	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Antibiotics	6. 最初と最後の頁 775 ~ 778
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1038/s41429-019-0208-6	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 Nagano Yuriko, Fujiwara Yoshihiro, Nishimoto Atsushi, Haga Takuma, Fujikura Katsunori	4. 巻 60
2. 論文標題 Deep-sea endemic fungi? The discovery of <i>Alisea longicolla</i> from artificially immersed wood in deep sea off the Nansei Islands, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mycoscience	6. 最初と最後の頁 228 ~ 231
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.myc.2019.03.004	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 Matsuo Hirotaka, Nonaka Kenichi, Nagano Yuriko, Yabuki Akinori, Fujikura Katsunori, Takahashi Yoko, Omura Satoshi, Nakashima Takuji	4. 巻 82
2. 論文標題 New metabolites, sarcopodinols A and B, isolated from deep-sea derived fungal strain <i>Sarcopodium</i> sp. FKJ-0025	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 1323 ~ 1326
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/09168451.2018.1467264	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 Takahashi Konami, Sakai Kazunari, Fukasawa Wataru, Nagano Yuriko, Sakaguchi Sakiko Orui, Lima Andre O., Pellizari Vivian H., Iwatsuki Masato, Takishita Kiyotaka, Yoshida Takao, Nonaka Kenichi, Fujikura Katsunori, Omura Satoshi	4. 巻 71
2. 論文標題 Quellenin, a new anti-Saprolegnia compound isolated from the deep-sea fungus, Aspergillus sp. YK-76	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Antibiotics	6. 最初と最後の頁 741 ~ 744
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41429-018-0053-z	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 Nagano Yuriko, Miura Toshiko, Nishi Shinro, Lima Andre O., Nakayama Cristina, Pellizari Vivian H., Fujikura Katsunori	4. 巻 146
2. 論文標題 Fungal diversity in deep-sea sediments associated with asphalt seeps at the Sao Paulo Plateau	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography	6. 最初と最後の頁 59 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr2.2017.05.012	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 該当する

1. 著者名 Takahashi Konami, Sakai Kazunari, Nagano Yuriko, Orui Sakaguchi Sakiko, Lima Andre O, Pellizari Vivian H, Iwatsuki Masato, Takishita Kiyotaka, Nonaka Kenichi, Fujikura Katsunori, ?mura Satoshi	4. 巻 70
2. 論文標題 Cladomarine, a new anti-saprolegniasis compound isolated from the deep-sea fungus, Penicillium coralligerum YK-247	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Journal of Antibiotics	6. 最初と最後の頁 911 ~ 914
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ja.2017.58	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 Yuriko Nagano, Masaaki Konishi, Takahiko Nagahama, Takaaki Kubota, Fumiyoshi Abe, Yuji Hatada	4. 巻 20
2. 論文標題 Retrieval of deeply buried culturable fungi in marine subsurface sediments, Suruga-Bay, Japan	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Fungal Ecology	6. 最初と最後の頁 256-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.funeco.2015.12.012	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 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Yuriko Nagano
2. 発表標題 Fungal diversity in deep-sea environments
3. 学会等名 The 15th International Marine & Freshwater Mycology Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuriko Nagano, Toshiko Miura, Andre O Lima, Taishi Tsubouchi, Masaru Kawato, Yoshihiro Fujiwara and Katsunori Fujikura
2. 発表標題 Fungal diversity in whale fall chemosynthetic ecosystems
3. 学会等名 30th Fungal Genetics Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋こなみ、酒井一成、長野由梨子、大類穂子、Andre O Lima、Vivian H. Pellizari、岩月正人、瀧下清貴、野中健一、藤倉克則、大村智
2. 発表標題 深海由来糸状菌培養物からの抗ミズカビ化合物の探索
3. 学会等名 ブルーアース2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋こなみ、長野由梨子、瀧下清貴、藤倉克則
2. 発表標題 深海由来真菌の分子同定および抗生物質の探索
3. 学会等名 日本菌学会60周年記念大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高橋こなみ、酒井一成、長野由梨子、大類穂子、Andre O Lima、Vivian H. Pellizari、岩月正人、瀧下清貴、野中健一、藤倉克則、大村智
2. 発表標題 深海由来糸状菌培養物からの抗ミズカビ化合物の探索
3. 学会等名 日本農芸化学会2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuriko Nagano, Toshiko Miura, Andre O Lima, Taishi Tsubouchi, Masaru Kawato, Yoshihiro Fujiwara and Katsunori Fujikura
2. 発表標題 Unprecedented fungal diversity revealed in whale fall chemosynthetic ecosystems
3. 学会等名 Asian mycology Congress 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Nagano Yuriko, Miura Toshiko, Nishi Shinro, Fujikura Katsunori
2. 発表標題 Fungal diversity in asphalt seep at the Sao Paulo Plateau
3. 学会等名 Annual meeting of Mycological society of America in Botany 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 高橋こなみ、長野由梨子、瀧下清貴、藤倉克則、横田賢史
2. 発表標題 深海由来真菌の分子同定および抗生物質の探索
3. 学会等名 日本農芸化学会2016年度大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔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	野中 健一 (NONAKA Kenichi)		