

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的研究(開拓)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H05503・20K20429

研究課題名(和文)地球最古の地下水圏環境に生息する微生物群のゲノム進化と存続メカニズムの解明

研究課題名(英文)Elucidating genomic evolution and survival strategies of microbial communities inhabiting the oldest subterranean aquifer of the Earth

研究代表者

稲垣 史生(Inagaki, Fumio)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・研究プラットフォーム運用開発部門・室長

研究者番号：50360748

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,800,000円

研究成果の概要(和文)：カナダ・オンタリオ州のキッド・クリーク鉱山には、始生代約26.4億年前のものと推定される世界最古の地下水圏環境の存在が発見されている。本研究では、カナダ・トロント大学と共同で、地下約2.4 kmの水平抜水井に中空糸膜フィルターを設置し、膜に捕集された地下水圏微生物群集のメタゲノム及びメタトランスクリプトーム解析を実施した。その結果、地下水1 mLに100細胞程度のProteobacteria門やFirmicutes門に属する活動的な細菌群が存在し、アルカン分解や水素・炭素・硫黄・ヒ素化合物の酸化還元反応等の生物地球化学的な元素循環に寄与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

陸域や海底下深部において微生物生態系が存続するには、水と栄養・エネルギー基質の持続的な供給があり、それらの供給フラックスが生命・生態系の維持に必要な最低限のエネルギー消費量を上回っている必要がある。本研究では、世界最古(約26.4億年前)の地下水圏環境に生息する微小な微生物群集が、非生物学的な岩石・水反応により生じる栄養・エネルギー基質を基幹物質として利用しつつ、地質学的な時間スケールで生態系機能を維持してきた可能性がある。本研究成果は、準閉鎖的な極限環境における生命・生態系存続メカニズムの学術的理解を深化させ、惑星地球や他の天体における生命居住可能性や持続可能性の理解に貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：The world's oldest subterranean aquifer has been discovered at the Kidd Creek mine in Ontario, Canada, which was estimated to be ~2.64 billion years old in the Proterozoic era. In this study, in collaboration with the University of Toronto, we conducted metagenomic and metatranscriptomic analyses of subterranean microbial communities. Microbial cells were collected by membrane filter units installed in a horizontal water extraction well at ~2.4 km below the land surface. The results suggest that metabolically active bacterial communities, predominantly belonging to the phylum Proteobacteria and Firmicutes in about 100 cells/mL, contribute to biogeochemical cycling, including alkane degradation and other redox reactions of hydrogen, carbon, sulfur, and arsenate compounds.

研究分野：地球微生物学、微生物生態学

キーワード：地下生命圏 微生物群集構造 生命居住可能性 メタゲノム解析 メタトランスクリプトーム解析

1. 研究開始当初の背景

カナダ・オンタリオ州ティミンズの北東に位置するキッド・クリーク鉱山は、始生代に形成されたグリーンストーンベルトを母岩とする世界最大級の火山性塊状硫化鉱床であり、黒鉱鉱床に類似する銅、亜鉛、銀などの金属を生産している(図1)。本鉱山は、1963年に発見されて以降、露天掘り鉱山として鉱石の生産を開始し、現在は地下3 km以上の坑道からなる地下鉱山に発展している。2000年以降、カナダ・トロント大学のBarbara Sherwood Lollar教授を中心とする国際研究チームにより、同鉱山地下2.4 km付近の地下水及びガス成分の同位体化学組成に関する分析研究が実施され、11~26.4億年前にトラップされた地球最古の地下水であることが報告された(Holland et al., *Nature*, 2013)。また、本地下水圏環境は、北大西洋中央海嶺の蛇紋岩体から湧出する水素や炭化水素の濃度を大きく上回る濃度の還元物質を含有しており、それらは非生物学的な岩石-水反応や不均化反応等により生成されたと考えられている(Li et al., *Nature Communications*, 2016)。キッド・クリーク鉱山の地下水に含まれるメタンや水素の量は、北大西洋中央海嶺ロストシティサイトにおける蛇紋岩大きく上回る量であり、その量は、硫化鉱物の放射改変により生じる硫酸(電子受容体)の量から試算すると、地下水1 Lあたり100~3,000細胞の水素酸化性硫酸還元菌の存続を支えるエネルギー量に相当する。本研究の開始当初、トロント大学を中心とする研究チームの予察的な研究により、当該地下水圏環境には培養可能な硫酸還元菌が生息していることが示されていた(Lollar et al., *Geomicrobiol. J.*, 2019)。しかし、微生物群集全体の正確なバイオマスや群集構造組成等は不明であった。

これまでに研究代表者らは、主に海底堆積物や海洋地殻の微生物生態系について研究を進めてきた。それらの海底下環境は、プレートテクトニクスにより規定される開放系の生命居住空間であり、海嶺で海洋地殻が誕生してから海溝に沈み込む数千万年~1億年程度までのプロセスが時間軸の対象である。一方、本研究の対象である陸域の地下水圏環境は、地球大気に大量の酸素が供給される以前の始生代20億年スケールの深部時間(Deep Time)を反映する(準)閉鎖系の生命居住空間であり、地下生命圏がハビタブルであるための時間軸の対象を大幅に拡大する可能性を秘めている。

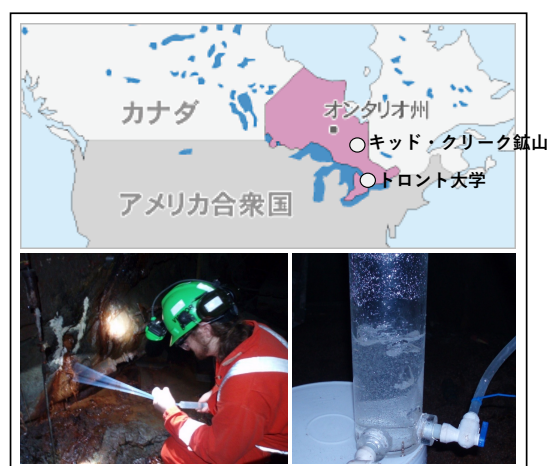


図1. キッドクリーク鉱山の位置と坑道内でのサンプリングの様子。

2. 研究の目的

本研究では、キッド・クリーク鉱山の地下約2.4 kmの坑道にある水平抜水井に中空糸膜フィルターを設置し(図2)、現存する地球最古の地下水圏に生息する微生物細胞を捕集する。それらの微生物細胞から環境ゲノムDNAを抽出・精製し、デジタルPCR(dPCR)法によるバイオマス定量分析、PCRにより増幅された16S rRNA遺伝子断片の解読による網羅的な微生物群集構造解析、メタゲノム解析及びメタトランスクリプトーム解析を実施する。それにより、当該極限環境に生息する微小な微生物群集のゲノム進化的特徴や環境適応を含む生態系機能の特徴、長期存続メカニズム等に関する新たな知見を獲得する。

3. 研究の方法

(1) 分析試料の採取

カナダ・トロント大学のSherwood Lollar教授の協力の下で、キッド・クリーク鉱山の地下2.4 km付近に位置する水平抜水井から10 Lの地下水を採取し、メンブレンフィルターを用いたろ過を行い、DNA一次分析と細胞計数・観察のための試料を採取した(図1)。また、同じ水平抜水井に中空糸膜のカートリッジを設置し、地下水圏環境に生息する微生物細胞を捕集した。採取した中空糸膜カートリッジは、ノーザンカレッジ及び鉱山施設にてサンプル処理を行った。農林水産省による輸入許可を得て、トロント大学から海洋研究開発機構高知コア研究所に冷凍・冷蔵サンプルを輸送し、その後の分析研究を実施した。



図2. 回収された中空糸膜カートリッジ。

(2) 微生物バイオマスの定

地下 2.4 km 付近の水平抜水井から採取した地下水 1 L をフィルター濾過し、蛍光色素で染色した細胞を直接顕微鏡下で計数し、微生物細胞密度を算出した。また、中空糸膜カートリッジにより濃縮された細胞から環境ゲノム DNA を抽出・精製し、マイクロ流体デバイスを用いた dPCR 法 (Hoshino and Inagaki, *Syst. Appl. Microbiol.*, 2012) により 16S rRNA 遺伝子のコピー数を定量することで、微生物バイオマスの推定とバクテリアとアーキアの存在比率を推定した。

(3) ゲノムライブラリーの構築とシーケンシング

水平抜水井から回収した中空糸膜カートリッジを上流側と下流側の二つのフィルター部位に分割し、メタゲノム解析及びメタトランスクリプトミクス解析用の環境 DNA・RNA の抽出・精製を行った (図 2)。その後、Illumina 社のシーケンサーを用いてメタゲノム解析に必要な DNA シーケンスと *de novo* ゲノムアッセムブリを行い、約 400Mbp の塩基配列を得た。その結果、カートリッジ内上流と下流のサンプルに差異がほとんどなく、地下水に含まれる微生物細胞が均一に中空糸膜に捕集されていることが確認された。そのため、上流側と下流側の同時アッセムブリによるゲノムビニングを行い、メタゲノム・アッセムブリ・ゲノム (MAG) に基づく優占種のシーケンスデータの高品質化を図り、得られた MAG の遺伝子配列を KEGG データベースとアノテーションすることで、それらの代謝経路等を推定した。また、フィルターより抽出・精製された環境 RNA を用いて RNA シーケンス及び *de novo* アッセムブリを行い、遺伝子発現量のノーマライズ及びメタゲノムデータと照合することで、高発現 mRNA の機能推定と遺伝子発現量の定量及び由来微生物種の特定制を行った。

4. 研究成果

キッド・クリーク鉱山の地下 2.4 km の地点の水平抜水井から採取した世界最古 26.4 億年前のものと同定される地下水には、1 mL あたり 100 細胞程度の微生物群集が存在していた。中空糸膜カートリッジにより捕集された微生物群集のメタゲノム解析の結果は、PCR 法により増幅された 16S rRNA 遺伝子配列に基づく群集構造の結果と概ね相補的であり、北米大陸北東部のマーセラス頁岩における地下 2.5 km の水圧破砕 (Hydraulic Fracturing によりシェールガス/シェールオイルを抽出する工法) の影響を受けた地下環境から検出された群集構造 (Daly et al., *Nature Microbiology*, 2016) と類似しており、Proteobacteria 門や Firmicutes 門が優占種として検出された (図 3 A, B)。具体的には、アルカンや BTEX 等の炭化水素資化性を示す *Marinobacter* 属や *Sphingohabbus* 属等に近縁な通性嫌気性のプロテオバクテリアとそのハロアルカン脱水素酵素やベンゼン・トルエン酸化酵素等の機能遺伝子群、マーセラス頁岩で検出された Firmicutes 門の優占種 *Candidatus Frackibacter* に近縁な水素と二酸化炭素からのホモ型酢酸生成やベタイン分解を行う化学合成細菌、水素や酢酸を基質として高アルカリ地下水圏環境でも生育可能な通性嫌気性細菌として知られる *Serpentinimonas* 属 (Suzuki et al., *Nature Communications*, 2014) や、南アフリカの金鉱山でも検出された *Sulfuricella* 属や *Thiobacillus* 属、*Thauera* 属等に近縁な硫黄酸化や硫黄分別に関連する細菌とその機能遺伝子の他、ヒ素還元や炭素・窒素固定代謝系に関連する機能遺伝子が検出された。同フィルターサンプルから抽出した環境 RNA を用いたトランスクリプトーム解析の結果は、これらの機能遺伝子の mRNA が現場環境において高発現していることを示した (図 3C)。

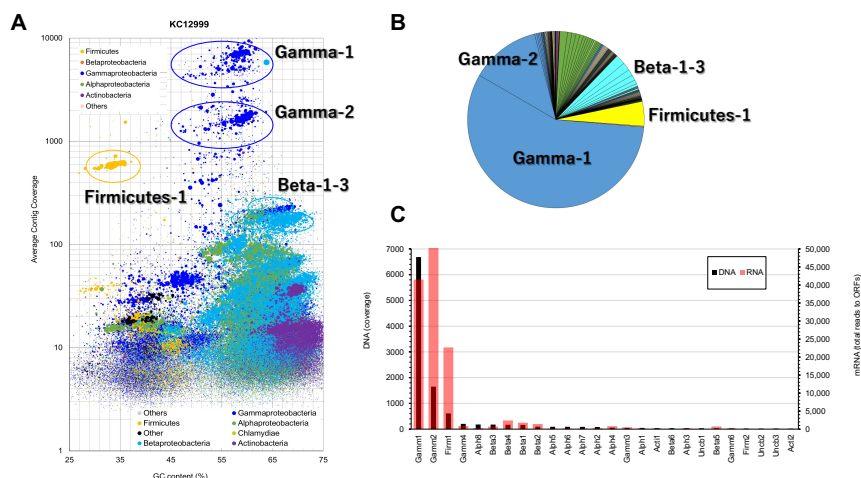


図 3. キッドクリーク鉱山の地下水圏環境に生息する微生物群集のメタゲノム及びメタトランスクリプトミクス解析の結果。(A) メタゲノム解析に基づく遺伝子出現パターン。(B) メタゲノム解析に基づく微生物群集構造。(C) メタトランスクリプトミクス解析に基づく mRNA の発現頻度。Gamma-1, 2 や Firmicutes-1 の優占種からの mRNA が多く検出された。

【考察と展望】

本分析により検出された微生物群集は、坑道の採掘に用いられる陸上からの工業用水（SW：サービスウォーター）に含まれる微生物群集と比べて明らかに組成が異なっていた。従って、水平抜水井に設置した中空糸膜カートリッジに SW からの外部汚染が生じた可能性は考えにくい。興味深いことに、当該微生物群集からはメタン菌などの生態系ノード機能を担うアーキアは検出されなかった（図 3）。仮にアーキアが存在していたとしても、正確な定量やゲノム解析が困難なレベルの極希少種であることが推察される。

キッド・クリーク鉱山の地下 2.4 km の地下水圏環境に生息する微生物群集の由来の可能性として、①26.4 億年前に閉じ込められた微生物群集が世代交代や自然淘汰を繰り返して現在の微生物生態系の姿になった可能性や、②始生代の同位体化学成分を保持した地下水溜まりに、ある地殻変動のタイミングで、断層などを通じて海水などから同位体マスバランスに影響を与えないレベルの微小な微生物群集（を含む流体）が混入した可能性が考えられる。また、③水平抜水井（横穴）の作井時に泥水などに含まれる外来微生物が混入したケースや、④それにより現場の微生物が活性化されたケースなどが考えられる。本研究により検出された微生物群集がマーセラス頁岩の水圧破砕法により人為的に改変された地下水圏環境から検出された微生物群集と類似している事実を考慮すると、本環境に生息する微生物群集の由来は③または④の可能性が高い。

本研究で調査したキッドクリーク鉱山の地下水圏環境は、同位体地球化学的手法により 26.4 億年前の状態を保持する地球最古の地下水圏と同定されており、プレートテクトニクスを保持しない極めて特殊な未知生命（微生物生態系）が存在し、火星の地下圏などにおける生命探査や生命居住可能性に対する知的好奇心を彷彿とさせる。しかし、本研究で得られた分析成果は、人為的な影響による地下水圏環境の変化に微生物が極めて敏感に応答・適応し、（準）閉鎖的環境の中で低エネルギー環境に適応した可能性が高い。一方で、本環境にはアルカン分解や硫酸酸化・ヒ素還元を担う細菌や *Hydrogenophila* 属に近縁な水素資化性独立栄養細菌、高アルカリ性 *Serpentinimonas* 属細菌等、地下圏を含む極限環境から検出される細菌が生息しており、当該環境における生態学的役割や存続可能性は依然として興味深い。今後、本研究で得られた MAG の詳細なゲノム構造とリファレンスゲノムとの比較に基づく系統進化学的解析やマーセラス頁岩の水圧破砕環境から報告された MAG との比較分析等により、新たな知見が得られることが期待される。

<引用文献>

Holland, G., et al. (2013) Deep fracture fluids isolated in the crust since the Precambrian era. *Nature*, 497: 357-360. doi: 10.1038/nature12127

Li, L., et al. (2016) Sulfur mass-independent fractionation in subsurface fracture waters indicates a long-standing sulfur cycle in Precambrian rocks. *Nature Communications*, 7: 13252. doi: 10.1038/ncomms13252

Lollar, G. S., et al. (2019) 'Follow the Water': Hydrogeochemical Constraints on Microbial Investigations 2.4 km Below Surface at the Kidd Creek Deep Fluid and Deep Life Observatory. *Geomicrobiology Journal*, 36: 859-872. doi: 10.1080/01490451.2019.1641770

Hoshino, T., and Inagaki, F. (2012) Molecular quantification of environmental DNA using microfluidics and digital PCR. *Systematic and Applied Microbiology*, 35: 390-395. doi: 10.1016/j.syapm.2012.06.006

Suzuki, S., et al. (2014) Physiological and genomic features of highly alkaliphilic hydrogen-utilizing Betaproteobacteria from a continental serpentinizing site. *Nature Communications*, 5: 3900. doi: 10.1038/ncomms4900

Daly, R. A., et al. (2016) Microbial metabolisms a 2.5-km-deep ecosystem created by hydraulic fracturing in shales. *Nature Microbiology*, 1: 16146. doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.146

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Koster Male, Kars Myriam, Schubotz Florence, Tsang Man Yin, Maisch Markus, Kappler Andreas, Morono Yuki, Inagaki Fumio, Heuer Verena B., Kasten Sabine, Henkel Susann	4. 巻 22
2. 論文標題 Evolution of (Bio) Geochemical Processes and Diagenetic Alteration of Sediments Along the Tectonic Migration of Ocean Floor in the Shikoku Basin off Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochemistry, Geophysics, Geosystems	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) 10.1029/2020GC009585	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 Hirose T., Hamada Y., Tanikawa W., Kamiya N., Yamamoto Y., Tsuji T., Kinoshita M., Heuer V. B., Inagaki F., Morono Y., Kubo Y.	4. 巻 126
2. 論文標題 High Fluid Pressure Patches Beneath the D?collement: A Potential Source of Slow Earthquakes in the Nankai Trough off Cape Muroto	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	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) 10.1029/2021JB021831	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 Umino, S., Moore, G. F., Boston, B., Coggon, R., Crispini, L., D'Hondt, S., Garcia, M. O., Hanyu, T., Klein, F., Seama, N., Teagle, D. A. H., Tominaga, M., Yamashita, M., Harris, M., Ildefonse, B., Katayama, I., Kusano, Y., Suzuki, Y., Trembath-Reichert, E., Yamada, Y., Abe, N., Xiao, N., and Inagaki, F.	4. 巻 29
2. 論文標題 Workshop report: Exploring deep oceanic crust off Hawai'i	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Drilling	6. 最初と最後の頁 69 ~ 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/sd-29-69-2021	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 Urai Atsushi, Takano Yoshinori, Imachi Hiroyuki, Ishii Shun'ichi, Matsui Yohei, Ogawara Miyuki, Tasumi Eiji, Miyairi Yosuke, Ogawa Nanako O., Yoshimura Toshihiro, Inagaki Fumio, Yokoyama Yusuke, Kawano Kenjiro, Murai Daisuke, Park Ho-Dong, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 5
2. 論文標題 Origin of Deep Methane Associated with a Unique Community of Microorganisms in an Organic- and Iodine-Rich Aquifer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.0c00204	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 Heuer, V. B., Inagaki, F., Morono, Y., Kubo, Y., Maeda, L., Spivack, A., et al.	4. 巻 370
2. 論文標題 Temperature limits to deep seafloor life in the Nankai Trough subduction zone	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1230 ~ 1234
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.abd7934	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 Inagaki Fumio	4. 巻 369
2. 論文標題 Lower power limit to seafloor life	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 639.8 ~ 640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.369.6504.639-h	査読の有無 無
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 Hoshino Tatsuhiko, Doi Hideyuki, Uramoto Go-ichiro, Wormer Lars, Adhikari Rishi R., Xiao Nan, Morono Yuki, D' Hondt Steven, Hinrichs Kai-Uwe, Inagaki Fumio	4. 巻 117
2. 論文標題 Global diversity of microbial communities in marine sediment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 27587 ~ 27597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1919139117	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 Morono Yuki, Ito Motoo, Hoshino Tatsuhiko, Terada Takeshi, Hori Tomoyuki, Ikehara Minoru, D' Hondt Steven, Inagaki Fumio	4. 巻 11
2. 論文標題 Aerobic microbial life persists in oxic marine sediment as old as 101.5 million years	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	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) 10.1038/s41467-020-17330-1	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 Tsang Man-Yin, Inagaki Fumio	4. 巻 8
2. 論文標題 Microbial Life Deep Under the Seafloor? A Story of Not Giving Up	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers for Young Minds	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) 10.3389/frym.2020.00070	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 Kubo Yusuke, Inagaki Fumio, Tonai Satoshi, Uramoto Go-Ichiro, Takano Osamu, Yamada Yasuhiro, the Expedition 910 Shipboard Scientific Party	4. 巻 27
2. 論文標題 New Chikyu Shallow Core Program (SCORE): Exploring mass transport deposits and the subseafloor biosphere off Cape Erimo, northern Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Drilling	6. 最初と最後の頁 25 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/sd-27-25-2020	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 Suzuki Yohey, Yamashita Seiya, Kouduka Mariko, Ao Yutaro, Mukai Hiroki, Mitsunobu Satoshi, Kagi Hiroyuki, D' Hondt Steven, Inagaki Fumio, Morono Yuki, Hoshino Tatsuhiko, Tomioka Naotaka, Ito Motoo	4. 巻 3
2. 論文標題 Deep microbial proliferation at the basalt interface in 33.5?104 million-year-old oceanic crust	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	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) 10.1038/s42003-020-0860-1	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 11件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 稲垣史生
2. 発表標題 深淵なる海底下生命圏を解明せよ!
3. 学会等名 一般財団法人バイオインダストリー協会, 「宮田満のバイオ・アメイジング: 緊急対談バイオのあの話題はこれからどうなる?!」 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲垣史生
2. 発表標題 極限環境でも生き抜く微生物
3. 学会等名 日本地球掘削科学コンソーシアム (J-DESC) シンポジウム「地球掘削科学の近未来の課題：人新世の未来に向けて」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumio Inagaki
2. 発表標題 Exploring the deep biosphere-frontier beneath the ocean: A geobiological perspective on the oceanic crust and the underlying upper mantle
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海野進, 稲垣史生, Damon Teagle, 山下幹也, Gregory Moore, Benoit Ildefonse, Steven D' Hondt, Laura Crispini, 羽生毅, Michelle Garcia, 森下知晃
2. 発表標題 M2Mマントル掘削計画と951-フルプロポーザル: ハワイ沖ノースアーチの成熟した地殻掘削
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲垣史生
2. 発表標題 海底下の微生物起源ガスシステムに関する地球微生物学的考察
3. 学会等名 石油技術協会春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲垣史生
2. 発表標題 The nature and limits of the deep seafloor biosphere: A geomicrobiological perspective on the oceanic crust and upper mantle
3. 学会等名 The Tokai University Workshop “Challenges of Marine Observations and Development of International Collaboration” (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木志野
2. 発表標題 極限環境微生物から読み解く地球外生命の可能性
3. 学会等名 第31回 自然科学研究機構シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木志野
2. 発表標題 惑星ハビタビリティの拡大：不溶性リン酸塩鉱物の生命利用
3. 学会等名 第9回宇宙における生命ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 稲垣史生, 倉本真一, 平朝彦	4. 発行年 2022年
2. 出版社 海洋出版株式会社	5. 総ページ数 151
3. 書名 号外地球, 海洋科学掘削によるマントル到達への挑戦 - 地球最大のフロンティアに挑む -	

〔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
研究分担者	鈴木 志野 (Suzuki Shino) (10557002)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授 (82645)	
研究分担者	星野 辰彦 (Hoshino Tatsuhiko) (30386619)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門(高知コア研究所)・主任研究員 (82706)	
研究分担者	浦本 豪一郎 (Uramoto Go-Ichiro) (70612901)	高知大学・教育研究部総合科学系複合領域科学部門・講師 (16401)	

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			
カナダ	トロント大学			