

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00730

研究課題名(和文) 生命の生存限界を探る：海底下高温高压環境での活動的生命圏の限界と生き残り戦略

研究課題名(英文) Exploration of the limits and adaptations of life in subseafloor biosphere

研究代表者

諸野 祐樹 (MORONO, Yuki)

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

研究者番号：30421845

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生命の存続に必須の「栄養供給」と均衡する生命活動を明らかにするため、海底下地層環境を題材として、そこで連続的、経時的に変化する温度・圧力条件と生命およびその存続について観察することを目的とした。海底下にはマリンスノーなどが堆積して形成した地層が存在し、海底下深部へ向かって地層温度が上昇する。室戸岬沖の海底下、およびメキシコ東岸のグアイマス海盆等の試料を用いて微生物数の推移や周辺環境条件、生命の生存について解析を行い、極めて貧栄養かつ高温の環境においても微生物が存在していることを突き止めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命圏の限界に近づく環境に生息する生命について研究を行うことで、生命とは何か、存在形態が地上世界で想像可能なレベルを遥かに超えて多様であることを示すことが出来た。生命の存続に限界をもたらす物理化学的、生理学的因子についての知見も蓄積してきており、今後生命の適応メカニズム、進化学的な議論を展開することを期待している。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the life in subseafloor environments in the view of "nutrient supply (a critical requirement for sustaining life)" and "survival". The subseafloor sedimentary biosphere is characterized by gradual changes of parameters such as temperature, pressure, etc. In the deeper zones, both high temperature and pressure conditions restrict the survival of microbes. We investigated the profiles of microbial abundance and surrounding physicochemical parameters and found that even in extremely nutrient-poor environments, microbes can subsist and adapt to the surrounding environments.

研究分野：地球微生物学

キーワード：海底下生命圏 生命の存続限界

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

過去の複数の海洋科学掘削プロジェクトの成果により、地球表層の約 7 割を占める海洋のその下に、 2.8×10^{28} 細胞もの膨大な微生物から構成される海底下生命圏の存在が明らかになっている。この海底下微生物は、堆積物や玄武岩の亀裂を含めた多様な環境に存在している。堆積物や岩石などの地質環境は、太陽の光が直接届くことがなく、表層の土壌や海水とは異なり栄養源の供給が極度に少ない超低栄養状態の極限環境である。そのため、海底下に生息する多くの微生物は、陸や海水などから供給・埋没した有機物の残渣や、自らの遺骸の分解物をリサイクルするなどして自らの体 (DNA やタンパク質) の損傷を修復しつつ、数百年から数千万年にわたる生存を可能にしていると考えられている。それらの微生物活性は、極めて低いものであるが、膨大かつ広大な領域で起こる活動が地質学的時間スケールで集積することにより、天然ガス・メタンハイドレートなどの資源形成や地球規模の元素循環にとって重要な役割を果たしていると考えられている。

海底下の地層は海中から降り積もるマリンスノーなどの粒子が堆積することによって形成する。海洋表層の光合成一次生産産物であるプランクトン類や地表から風によって運ばれる塵など新たな堆積物が継続的に降り積もり続けるため、ある時に海底面だった地層は時間の経過とともに海底下深くの地層となっていく。この上から降り積もる堆積物が地下深部からの熱の伝達を妨げる毛布のような役割を果たすため、海底下では深くなるにつれて地層の温度が高くなっていく。一方、自然界の微生物はその種類 (好冷菌、常温菌、好熱菌、超好熱菌など) によって生息可能温度帯が異なる。冷たい海洋底の堆積物に生息する微生物が微弱な代謝活性を保ちながら長期生存状態になったとしても、その地層が微生物種としての生息可能温度の限界を超えてしまうと生存は物理的に困難になる。また、生命に必須の機能である DNA やタンパク質などの生体高分子の熱損傷速度は、50 前後から急速に高まる傾向がある。すなわち、海底下深部の高温の地層環境で生命が存在し続けるには、高温環境で生息可能な微生物種が、生体高分子の損傷を修復し生命機能を維持するための栄養・エネルギー供給を受け続けられなくてはならないということになる。冷たい海底下の堆積物に生息する微生物、徐々に高温化していく周辺環境、および極限的に不足する栄養条件でどのように生存し、群集構造を変えていくのか、それとも変わらないのか、高温の深部堆積物における生命圏の実態は全く分かっていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、海底下地層環境において連続的、経時的に変化する「温度」「圧力」条件に着目する。生命の存続に必須の「栄養供給」と均衡する生命活動を観察することで、地球内部、特に海底下での生命圏限界、限界をもたらず物理化学的、生理学的因子に関する知見を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するためには高温の海底下堆積物層にアクセスする必要がある。2016 年 9 月、高知県室戸岬の沖合約 160 km の地点 (サイト C0023 : 水深 4776 m) において、南海トラフ沈み込み帯先端部における海底下生命圏の温度限界の実態解明に向けた国際深海科学掘削計画 (IODP) 第 370 次研究航海 (通称「T-リミット」) が実施された。本研究航海の調査海域は、過去に海洋科学掘削による地質学的な調査が行われており、比較的地温勾配が高く、深度約 1.2 km の基盤岩の温度は超好熱性微生物の温度限界に相当する 120 付近に達することが予想されていた。航海では、地球深部探査船「ちきゅう」により掘削採取されたコア試料を船上の X 線 CT スキャンで分析し、微生物分析用のコア試料を船上で分取した後、それらのサンプルをヘリコプターで高知コアセンター (高知県南国市) に輸送し、クリーンルーム内で無菌的な (外部汚染のない) 処理を施した。また、掘削孔内の複数箇所に温度計を設置し、2018 年 3 月に行われた海洋研究開発機構による深海調査研究船「かいらい」と無人探査機「かいこう」を用いた深海調査 (KR18-04) において観測温度データの回収も実施した。

さらに、メキシコ北西部、北米大陸とパハ・カリフォルニア半島との間の南北方向に伸びる細長い湾であるカリフォルニア湾において、同じく IODP の掘削航海が 2019 年に実施された。UNESCO の世界遺産として登録されている「カリフォルニア湾の島々と自然保護区群」でも知られるカリフォルニア湾は、活発な海底の拡大と、表層海水からの有機物に富んだ堆積物の急速な堆積が同時に起こっている場所である。その中央部に位置するグアイマス海盆 (海盆とは凹んでいる海底地形のこと) では、マリンスノー等に由来する堆積した有機物とマグマの熱的作用により、エネルギー豊富な環境が形成され微生物の生命活動を支えていると共に、海底下・海底表層・海水の間での熱と物質の交換に大きな影響を及ぼしていると考えられていた。

これらの掘削試料を活用して研究目的を達成すべく細胞計数、安定同位体や放射性同位体による標識を施した基質による活性試験等を実施した。

4. 研究成果

<室戸沖海底下における海底下温度勾配と微生物分布、化学物質プロファイル>

「ちきゅう」の掘削により直接的に測定された温度データと堆積物コア試料の熱伝導率の測定データに基づき、掘削孔最深部（深度 1180 m）の温度は 120 ± 3 であることが示された。また、掘削航海後に実施した深海調査により、「ちきゅう」により設置された孔内温度観測のデータを回収、本温度データの有効性を確認した。

海底下約 190-400 m・30-50 までの深度区間において、深度・温度が増加するにつれて微生物細胞の密度が低下し、蛍光染色法による微生物細胞密度の定量限界値（ 1 cm^3 あたり 16 細胞）以下にまで減少する傾向が認められた（図 1A）。対照的に、ジピコリン酸（DPA）の濃度から算出したバクテリアの内生孢子の密度が増加し、深度 400 m 付近で 1 cm^3 あたり 2×10^5 個にまで達した（図 2B）。深度約 400 m・50 以上の深部環境では、 1 cm^3 あたりの定量限界値を上回る数百細胞/ cm^3 程度の微生物群が散逸的に検出された。75-90 に達する 200 m ほどの区間では、再び内生孢子の密度が増加し、85 において 1 cm^3 あたり 1.2×10^6 個にまで達した（図 1B）。また、深度 570-633 m・70 付近とプレート境界断層下部の 829-1021 m・90-110 の区間では、通常の微生物細胞も内生孢子も検出されない非生命環境に近いゾーンが存在した。しかし、1021 m を超えた堆積物 基盤岩境界までの深度区間（1021-1180 m・110-120）では、定量限界値（ 1 cm^3 あたり 4.2 ± 4.0 細胞）を上回る数の微生物細胞が検出され、深度が増加するにつれて細胞数が増加する傾向があった（図 1A）。

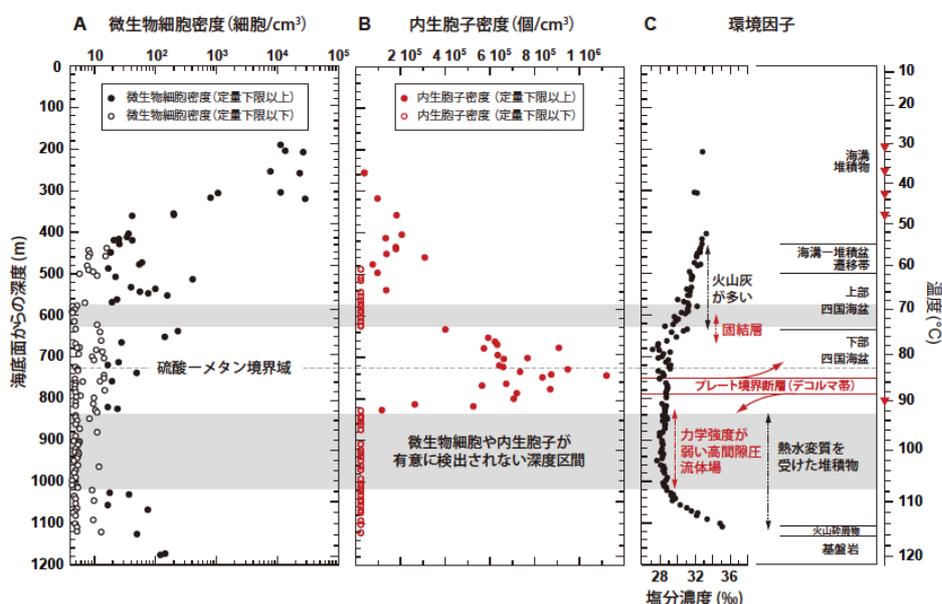


図 1. IODP 第 370 次研究航海で掘削地点 C0023 から採取された堆積物コア試料に含まれる微生物細胞と内生孢子の密度と環境因子の鉛直プロファイル。(A) 蛍光色素 (SYBR Green I) で染色した微生物細胞の密度プロファイル。定量下限値よりも高い細胞密度のプロットを ●、低いプロットを ○ で示す。(B) 内生孢子に特異的なバイオマーカーであるジピコリン酸の定量分析から推定される内生孢子の密度プロファイル。(C) 堆積物の間隙水中の塩分濃度、温度、堆積学的特徴の概略図。基盤岩に向けての塩分濃度の上昇は、基盤岩（玄武岩）の変質の影響を受けた流体が堆積物側に供給されていることを示している。灰色の区間は、蛍光染色による微生物細胞とジピコリン酸による内生孢子の両方が有意に検出されなかった深度（570-633 m と 829-1021 m）を示している。

一方、化学物質の濃度と放射性同位体を用いた微生物代謝活性試験からは、連続的に変化する環境において変遷する微生物活動に関する知見が得られた。深度約 730 m・80-85 付近には、基盤岩から堆積物にむけて供給される硫酸イオン濃度の減少と堆積物中のメタンの濃度増加が交差する硫酸-メタン境界域が認められた（図 2A）。メタンはその安定同位体の含有比によってその起源を推定することが出来る。硫酸-メタン境界域より上部の堆積物では、微生物によって生成されることを示す ^{13}C 含量が相対的に低い（軽い）炭素同位体比（平均 $-61.3 \pm 3.0\text{‰}$ ）を持つメタンが存在し（図 2B）、比較的高いメタン生成活性が認められた（図 2D）。また、それより深い堆積物では、 ^{13}C 含量が相対的に高い（重い）有機物の熱分解起源と推定されるメタンが低濃度で存在し、微生物のメタン生成活性も極めて低いか検出限界以下だった。また、80-85 の高温の堆積物環境において、メタンの炭素同位体が局所的に重くなる傾向が認められた（図 2B）。これは、メタンを硫酸還元などにより酸化化する嫌氣的メタン酸化反応を担う微生物生態系が存在することを示唆している。さらに、細胞数が増加する深度 1021-1180 m・110-120 の区間では、再びメタンの炭素同位体組成が軽くなる傾向とともに、メタンを生成する活性があることも明らかとなった（図 2B,D）。

深度 600 m・70 以上の深部堆積物では、メタン濃度や内生孢子密度の減少と対照的に、堆積物の間隙水中に含まれる酢酸の濃度が 10 mM（600 m より浅い深度の堆積物に含まれる酢酸の量の 400 倍以上に相当）を上回る高濃度まで上昇していた（図 2C）。深度 600-1000 m の区間では、

酢酸の濃度と炭素同位体比がほぼ一定の値を示していた（平均 9.2 ± 2.4 mM、 $-18.8 \pm 0.5\text{‰}$ ）。これは、この区間では何らかの理由（恐らく有機物の分解）で生成した酢酸の濃度に対して、微生物活性による消費が無視できるほど小さいことを示している。一方、1030 m を超える深度では、深くなるにしたがって酢酸の濃度が減少し、酢酸の炭素同位体比も -7.9‰ まで重くなっていた（図 3C）。この炭素同位体比の変化は、軽い炭素（ ^{12}C ）を選択的に消費する微生物反応が起こっていることを示しており、100 m を超える高温の堆積物 基盤岩境界域において、微生物がメタン生成や硫酸還元と共役した酢酸酸化反応を行っていることを示している。

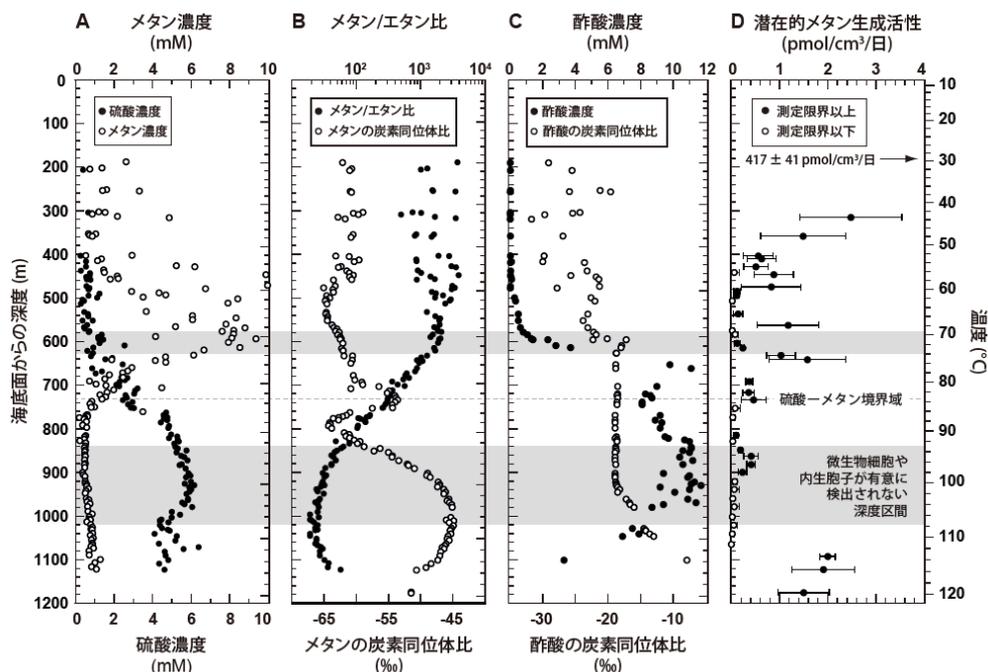


図 2. 掘削地点 C0023 におけるガス・間隙水の地球化学的特性とメタン生成活性の深度プロファイル。(A) 硫酸 (●) とメタン (○) の濃度。(B) メタン/エタン比 (●) とメタンの炭素同位体比 (○)。(C) 間隙水中の酢酸の濃度 (●) と酢酸の炭素同位体比 (○)。(D) ^{14}C で標識された CO_2 を放射性トレーサーとして用いた潜在的メタン生成活性 ($^{14}\text{CO}_2$ から $^{14}\text{CH}_4$ への転換量に基づく水素資化性メタン生成反応の速度)。定量下限値 (0.094 pmol/cm 3 /日) を超える測定値を ●、それ以下で検出された測定値を ○ で示す。深度 180 m での潜在的メタン生成活性は 417 ± 41 pmol/cm 3 /日とスケール外の値を示した。これらの活性値は、深度 360 m では 40、405-585 m の区間では 60、604-775 m の区間では 80、816 m 以上の区間では 95 でインキュベーションを行い測定された。

<グアイマス海盆海底下掘削>

カリフォルニア湾のグアイマス海盆は、活発な海底の広がりと生産性の高い表層海水からの有機物に富んだ堆積物の急速な堆積が特徴の海盆である。活発な拡大システムと組み合わさった高い堆積速度は、海底下において堆積物へマグマが火成岩として貫入する独特な海洋地殻を生み出す。どろどろの流動状態にあるマグマが有機物豊富な堆積物に貫入することで、マグマによる堆積物の過熱が起こり、様々な反応が起こる。その結果、元々は静的な海底下が動的な環境となり、拡大軸（海底が広がっている中心）上の熱水帯だけでなく、その周辺においても炭素を含む様々な元素のサイクルを駆動する。貫入したマグマからの熱は有機物に富む堆積物を熱的に変化させ、二酸化炭素、メタン、石油、その他の変質生成物を形成する。この熱はまた、移流による物質移動を推進し、海底下環境、及び海水中への拡散をもたらす。海底下堆積物中では、上記プロセスにより形成した温度及び化学勾配によりエネルギー豊富な環境が形成され、海底及び海底下において微生物の生命活動を支えていると考えられていた。これらのプロセスは、リソスフェア（岩石圏）と上層の海水との間の熱と質量の交換に大きな影響を及ぼし、有機物に富む堆積物中の炭素蓄積において長期的な動態を決定する可能性が高いと考えられていた。

掘削サイトはグアイマス海盆の広範囲にまたがって設定された（図 3）。グアイマス海盆北部の拡大軸地溝の北西約 52 km に位置するサイト U1545 および U1546 では、海底下約 540 メートル (mbsf) まで連続的に堆積物を採取した。サイト U1545 では厚さ数メートルの貫入岩層 (Si11) および U1546 では海底下約 355-430 メートルにわたって存在した巨大な Si11 の採取も実現した。拡大軸地溝の北西約 27 km に位置するサイト U1547 と U1548 は、アクティブな Si11 によって駆動される熱水系調査のために掘削を実施した。海底には幅 800 m の環状に地形の高まりが存在し、それに沿って熱水噴出域が分布していることから「リングベント」と呼ばれている。リングベントの下には浅部に Si11 が存在することが分かっており (U1547)、地熱勾配はリングベント周縁部 (掘削孔 U1548A ~ U1548C) に向かって急峻になり、自生炭酸塩の析出帯

と微生物細胞の存在量が最も多い帯は、それに応じて周縁部に向かって浅くなっていた。この Sill は数回の掘削により試料が採取され、多様な火成岩の組織、堆積物-Sill 境界、鉍脈などの変質鉍物が得られた。さらに拡大軸から離れメタン冷湧水が見られる U1549 および U1552、拡大軸地溝内の U1550 の計 8 サイトにおいて掘削を行い、試料を獲得した。

これらの試料について、JAMSTEC 高知コア研究所のスーパークリーンルームにおいて超高感度細胞カウントを実施した。海底下全体の細胞濃度分布としては室戸沖のサイトと類似し温度帯が 50 付近に向かって細胞濃度の減少が見られたが、さらに深部においても細胞が存在していることが明らかとなった。また、堆積物に貫入した Sill 近傍において細胞濃度が減少する様子は観察されなかった。Sill 貫入のモデルによれば、上下数十メートルにわたって堆積物が超高温化した期間が数年以上継続したことが示唆されている。滅菌温度以上になった堆積物内で何が起こったのかは依然として不明であり、現在観察される細胞が超高温期を潜り抜けたのか、それとも冷却後に移入してきた細胞なのかも依然として不明である。

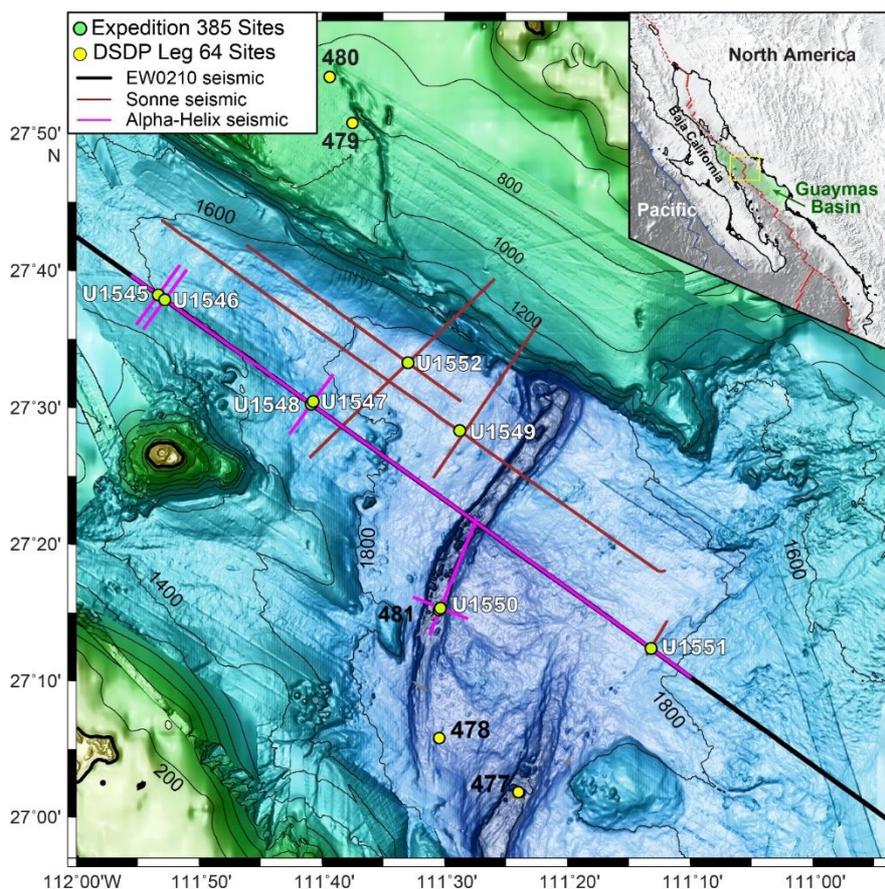


図 3. IODP 第 385 次グアイマス海盆掘削航海において掘削されたサイト

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Bowden, S. A., A. Y. Mohamed, A. N. F. Edilbi, Y. S. Lin, Y. Morono, K. U. Hinrichs and F. Inagaki | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Modelling the Shimokita deep coalbed biosphere over deep geological time: Starvation, stimulation, material balance and population models | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Basin Research | 6. 最初と最後の頁 804-829 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/bre.12399 | 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 Heuer VB, Inagaki F, Morono Y, Kubo Y, Spivack AJ, Viehweger B, Treude T, Beulig F, Schubotz F, Tonai S, Bowden SA, Cramm M, Henkel S, Hirose T, Homola K, Hoshino T, Ijiri A, Imachi H, Kamiya N, Kaneko M, Lagostina L, Manners H, McClelland H-L, Metcalfe K, Okutsu N, Pan D, Raudsepp MJ, Sauvage J, Tsang M-Y, 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 Hoshino, T., H. Doi, G. I. Uramoto, L. Wormer, R. R. Adhikari, N. Xiao, Y. Morono, S. D'Hondt, K. U. Hinrichs and F. Inagaki | 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 of the United States of America | 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, Y., M. Ito, T. Hoshino, T. Terada, T. Hori, M. Ikehara, S. D'Hondt and F. Inagaki | 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 9 |
| 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 Morono, Y., K. Kubota, D. Tsukagoshi and T. Terada | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 EDTA-FISH: A Simple and Effective Approach to Reduce Non-specific Adsorption of Probes in Fluorescence <i>in situ</i> Hybridization (FISH) for Environmental Samples | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Microbes and Environments | 6. 最初と最後の頁 1 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME20062 | 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 Suzuki, Y., S. Yamashita, M. Kouduka, Y. Ao, H. Mukai, S. Mitsunobu, H. Kagi, S. D'Hondt, F. Inagaki, Y. Morono, T. Hoshino, N. Tomioka and M. Ito | 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 9 |
| 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6件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 諸野祐樹 |
| 2. 発表標題 海底下の地層は微生物生命の楽園か、それとも永遠の牢獄なのか？ |
| 3. 学会等名 マリンバイオテクノロジー学会シンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuki Morono |
| 2. 発表標題 Discovery of living microbes from the ancient subseafloor sediment up to 101.5 million years old: How is it possible for microbes to survive for such a geological timescale? |
| 3. 学会等名 日本地球惑星連合 2021年大会 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Morono Y, Ito M, Hoshino T, Terada T, Hori T, Ikehara M, D'Hondt S, Inagaki F. |
| 2. 発表標題 白亜紀の超貧栄養海底下堆積物から生きて発見された生命 |
| 3. 学会等名 農芸化学会オンラインシンポジウム (招待講演) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 諸野祐樹、久保田健吾、塚越大介、寺田武志 |
| 2. 発表標題 EDTA-FISH: 環境試料のFluorescence in situ Hybridization (FISH)において非特異的プローブ吸着を抑制する効果的かつシンプルなアプローチ |
| 3. 学会等名 第21回極限環境生物学会年会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yuki Morono, Andreas Teske, Daniel Lizarralde, Tobias W Hofig, IODP EXPEDITION 385 SCIENTISTS |
| 2. 発表標題 IODP Expedition 385: Guaymas Basin Tectonics and Biosphere |
| 3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020: Virtual (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Morono Y, Ito M, Hoshino T, Terada T, Hori T, Ikehara M, D'Hondt S, Inagaki F. |
| 2. 発表標題 Aerobic microbial life in oxic sediment of South Pacific Gyre persists up to 101.5 million years |
| 3. 学会等名 AGU Fall meeting 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. 著者名 諸野祐樹 | 4. 発行年 2022年 |
| 2. 出版社 くもん出版 | 5. 総ページ数 96 |
| 3. 書名 生物がすむ果てはどこだ？ | |

〔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 | 伊藤 民武 (ITO Tamitake) (00351742) | 国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・上級主任研究員 (82626) | |
| 研究分担者 | 伊藤 元雄 (ITO Motoo) (40606109) | 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)・グループリーダー代理 (82706) | |
| 研究分担者 | 井尻 暁 (IJIRI Akira) (70374212) | 神戸大学・海事科学研究科・准教授 (14501) | |
| 研究分担者 | 阪口 昌彦 (SAKAGUCHI Masahiko) (70749001) | 大阪電気通信大学・情報通信工学部・准教授 (34412) | |
| 研究分担者 | 星野 辰彦 (HOSHINO Tatumiko) (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) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 | 山村 雅幸 (YAMAMURA Masayuki) (00220442) | 東京工業大学・情報理工学院・教授 (12608) | |
| 研究分担者 | 若松 泰介 (WAKAMATSU Taisuke) (60597938) | 高知大学・教育研究部総合科学系生命環境医学部門・准教授 (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 | | | |
|---------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------|
| | | | | |
| 米国 | University of Rhode Island | Woods Hole Oceanographic Institution | University of North Carolina | 他5機関 |
| ドイツ | University of Bremen | GEOMAR | GFZ | |
| 中国 | Ocean University of China | Hohai University | The Second Institute of Oceanography | |
| フランス | University Bourgogne | ULCO | IFREMER | |
| メキシコ | CICESE | UABC | UNAM | |