

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05295

研究課題名（和文）深部地下圏における根源有機物からの生物的メタン生成機構の解明

研究課題名（英文）methanogenesis from root organic matters in deep subsurface

研究代表者

鎌形 洋一（Kamagata, Yoichi）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・招聘研究員

研究者番号：70356814

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 148,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では地下生命圏に焦点をあて、地下有機堆積物をメタンに転換する微生物群の実体解明に取り組んだ。地下圏を模擬する独自の培養装置を駆使しながら、極めて新規性の高いアーキアおよびバクテリアの分離に成功するとともに、それらが炭化水素やメトキシ芳香族化合物などを分解しメタンに転換する新規な代謝経路をもつことを明らかにした。また同位体分別によるメタンの生成起源を評価する手法に新知見をもたらした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地下圏は微生物学・地球化学・資源工学分野において極めて重要な生命圏である。油田、ガス田等の地下圏に存在し、これまでに全く知られていなかったメタン生成に関わる微生物やその代謝経路、生存戦略ならびにメタンの同位体分別・安定同位体比に及ぼす地下微生物の影響を明らかにした本成果は、クリーンエネルギーとしてのメタン、温暖化ガスとしてのメタンの生成起源を包括的に理解する上で極めて重要な知見をもたらす。

研究成果の概要（英文）：Our research focused on microbial communities in terrestrial deep subsurface environments to reveal the entity of microbes responsible for methanogenesis from subsurface organic compounds. By taking advantage of newly developed high pressure cultivation apparatus, we were successful in isolation of novel archaea, bacteria, and their highly enriched cultures that greatly contribute to the conversion of organic compounds such as hydrocarbons and methoxylated aromatic compounds into methane. We also obtained new insights into the origin of methane based on stable isotope fractionations with highly elaborate culture-based experiments.

研究分野：環境微生物学

キーワード：メタン生成アーキア 地下生命圏 有機堆積物 メタン生成 未培養微生物 安定同位体 高圧培養 種間水素伝達

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ガス田・油田・炭田などの地下環境に賦存するメタンの埋蔵量は膨大であり、世界の総エネルギー需要の約24%を担っている。天然ガス中のメタンの生成起源については、深部地下圏に埋没した堆積有機物の熱化学分解にともなう生成（熱分解起源）ならびに堆積有機物の熱分解生成有機物の生物的分解にともなう生成（生物起源）という2つの可能性がある。しかし、特定の地下圏に埋蔵されているメタンの生成起源を推定するのは時として容易ではない。それでも生物起源のメタンの埋蔵量は少なくとも地球上の天然ガス資源の20%以上と見積もられている。生物学的メタンの起源については多くの議論はあるものの、深部地下圏の高温域から超高温域（非生物生存域）において堆積有機物の部分分解で生成した有機物が生物生存域で地下圏微生物によってメタンに転換された結果と考えるのが最も妥当である。しかしメタン生成アーキアや発酵性バクテリアなどからなる地下生命圏を支える基質が何なのか、そしてそれらはどのように供給されるのか、という謎は明らかにされていなかった。また、CやHの安定同位体比からメタンの生成起源を特定する手法が広く用いられているが、その数値や解釈をめぐる多くの議論があった。

2. 研究の目的

本研究では微生物学・地球化学・資源工学にまたがる未解明かつ本質的な問題に焦点をあて、地下圏の温度・圧力を模擬する培養実験装置を駆使し、新たな微生物培養手法の開発を進めながら、次のような課題を明らかにすることを目的に研究に取り組んだ。

- (1) 地下有機堆積物からどのような物質群が熱反応によって生成しうるのか？それらは地下圏微生物によって利用可能か？
- (2) 油田、水溶性ガス田、その他国内の特徴的な地下圏にはどのような微生物群がメタン生成に深く関与しているか？
- (3) 炭素や水素の安定同位体比はメタンの生成起源を推定する上で重要な指標として使われているが、メタン生成アーキアに直接基質を与える従来の培養実験では、地下圏のメタンと溶存無機炭素・水の間炭素・水素同位体比の差、すなわち同位体分別を再現するデータが得られていない。深部地下圏由来の微生物を用いることによって、同位体分別はどのような値をとるのか？またその支配要因は何か？

3. 研究の方法

試料は油田の油層水（山形県、秋田県）、水溶性天然ガス付随水（千葉県）、蛇紋岩熱水（長野県白馬八方温泉）などを用いた。本研究におけるユニークかつ中核的な手法は、嫌気高压培養装置ならびに共生培養である。嫌気高压培養装置は開発以来10年以上にわたり改良を加え続け、150気圧の静水圧で高温培養に耐えるものである（図1）。シリンジポンプで静水圧を保ち、圧力損失を伴わず培養液のサンプリングが可能なシステムである。

共生培養手法は有機物を基質として水素を生成する発酵微生物と水素を消費するメタン生成アーキアを共培養するシステム

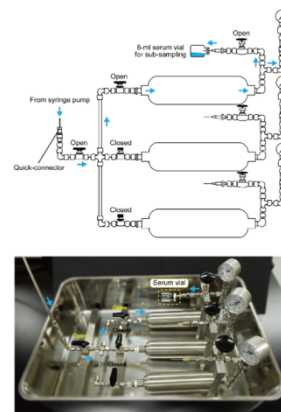


図1. 高压培養装置

である。水素生成微生物の多くは発酵性バクテリアであるが、自ら生成する水素によって著しい生育阻害を起こす。これは熱力学的制約による生育阻害だが、水素を消費する水素資化性メタン生成アーキアを共培養することによって水素が速やかに除去され、熱力学的制約から解放された発酵微生物の生育が促されると共に、メタンの生成がもたらされる (図2)。本手法はメタン生成アーキアと共生する微生物を捕捉するときに極めて有効であるのみならず、適切な基質と水素生成微生物を選ぶことによって、メタン生成アーキアに供給される水素濃度を段階的に変えることができるという大きな利点がある。本研究ではこれらの手法と従来から用いられている嫌氣的培養手法、メタゲノムならびにメタトランスクリプトーム解析、質量分析等を駆使することによって実験を進めた。

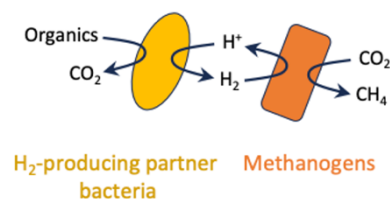


図2. 発酵細菌とメタン生成アーキアの種間水素伝達による共生

4. 研究成果

(1) 多様な有機物が深部地下生命圏を支えている

地下生命圏を支えるエネルギー源は原油や石炭、さらには根源有機物にまで遡ることができる。しかし巨大分子構造を有する有機堆積物が直接地下生物圏のエネルギー源になるとは考えにくく、熱分解によって生じる有機物を想定する必要がある。モデル有機堆積物として褐炭の熱分解を試みたところ、中鎖鎖脂肪酸のほか、ヒドロキシ安息香酸、ナフトール、直鎖炭化水素、イソプレノイドアルカン、メトキシ芳香族化合物などが検出され、こうした多様な有機物が地下の微生物活動を支えている可能性が示唆された。

深部地下油田環境に生息する微生物群集構造を 16S rRNA 遺伝子アンプリコンシークエンシングにより解析した。その結果、秋田油田では、高温性酢酸酸化共生細菌として知られている *Thermacetogenium* 属細菌と水素資化性メタン生成菌として知られる *Methanothermobacter* 属古細菌が優占しており、これらの微生物群が油層環境における酢酸からのメタン生成反応において重要な役割を担っていることが示唆された。一方、原油の生分解が認められた山形油田においては、門レベルの未培養系統群に属する機能未知の細菌が水素資化性メタン生成アーキアと共に優占していることを明らかにした (後述)。

こうした地下環境から未知微生物の分離培養を試みた。その結果、水溶性ガス田からはメタン生成アーキアと共存して生育可能な *Atribacter laminatus* の分離培養に成功した (Nature Communications 2020)。本菌はかつて OP9 候補門として知られていた門に属するもので、本発見により *Atribacterota* 新門が国際原核生物分類命名委員会において公式に承認された。

Atribacter 属細菌は同じく地下圏から発見されている *Thermotoga* や *Dictyoglomus* 属細菌同様、外膜構造から大きく隔てられた内膜構造を持ち、さらにゲノム DNA を内包する核膜様内々膜を有していた。これらの結果は地下深部生命圏における原核生物はきわめて特異な進化を遂げつつ、メタン生成と密接な関わりを保ってきたことを示している。さらに、こうしたガス田地下圏から別の新門微生物の発見・分離培養にも成功した。本微生物は、生存に直結する重要な細胞構成成分である細胞壁の合成を他種に委ねることで、細胞の構築に必要

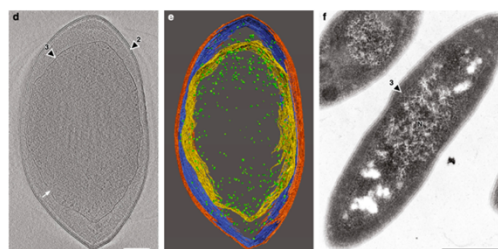


図3. *Atribacter*細菌の電子顕微鏡像
左2つがクライオ電顕、右端はTEM

ている可能性が強く示唆された。そこで hexadecane ならびに heptadecane を基質として集積培養に添加し LC-MS/MS による検出を行ったところ、hexadecyl-S-CoM ならびに heptadecyl-S-CoM の生成が確認された (図 5)。このことはメタン生成アーキアが長鎖の n-アルカンを直接分解することを初めて示唆するものだった。しかし、我々の発表の直前に、同じく集積培養を用いた同様の研究成果が中国ならびにドイツの共同研究によってもたらされた (Laso-Pérez et al: Nature Microbiology 2019, Zhou et al: Nature 2021)。引き続き本微生物の完全分離培養を進めていると同時に、先の論文では未解明の新たな代謝経路の推定に至っており、その実証実験を鋭意進めているところである。

枯渇油田に大量に残留する原油を分解して得られるメタンは石油石炭に比較してクリーンなエネルギーであり、その効率的回収は重要な課題である。そこで山形油田で集積された微生物群集をメタン生成活性が極めて低い秋田油田の油層水と原油に添加し、メタンの生成が向上するか否かを調べた。その結果、集積培養とともに酵母エキスや無機塩培地を添加することで、メタンの生成が顕著に増大した (図 6)。本結果は、油田地下圏微生物群を他の油田に移植する操作がメタン増収 (Microbial Enhanced Energy Recovery: MEER) に有効であることを示したものである (Journal of Petroleum Science and Engineering 2021)。

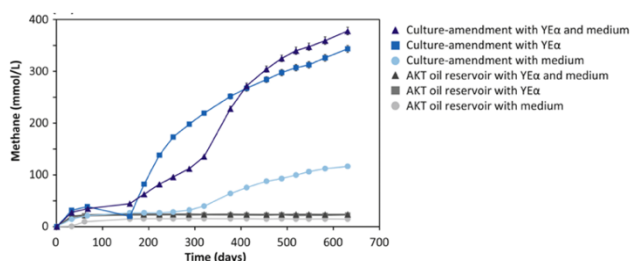


図6. 山形油田から構築した集積培養を秋田油田の原油と輸送水に添加したときのメタン生成の経時変化

(4) 地下圏生物起源メタンの安定同位体比は高压培養でのみ再現できる

メタンの炭素や水素、分子内アイソトポログの安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$ と δD , $\Delta^{13}\text{CH}_3\text{D}$ と $\Delta^{12}\text{CH}_2\text{D}_2$) はメタンの生成起源 (熱分解起源か生物起源か)、生成経路 (H_2/CO_2 、酢酸、メチル化合物からのメタン生成のうち、どの経路を経て生成したか)、温度 (どのような温度帯で生物的メタン生成が起きたか) の指標として地球化学や資源工学、古環境学、環境微生物学など広い分野で利用され、天然ガスの賦存量評価を行う上でも欠かせない指標の一つとなっている。しかし、こうした安定同位体識別法 (stable isotope fingerprinting) が長年抱える問題は、地下圏の生物起源メタンの同位体比がメタン生成アーキアの培養実験で再現されたことが一度もなく、生物起源メタンに対する当該識別法の信頼性が担保されていない点にある。例えば、ある種のメタン生成アーキアを 60°C で培養して生成したメタンの分子内アイソトポログの同位体比で推定される温度は 400°C を超える (Wang et al., Science, 2015)。このような結果をもたらす最大の要因としては、メタン生成アーキアの培養実験が地下環境と全く異なる条件 (高水素濃度・常圧条件) で行われていることが挙げられる。そこで我々は地下環境を忠実に模擬する条件 (圧力、温度、基質濃度など) でメタン生成アーキアの培養実験を行い、地下圏の生物起源メタンの同位体比を再現することを試みた。その結果、低水素・高静水圧条件で生成したメタンは、従来の高水素・常圧条件で生成したメタンとは全く異なる同位体比を示し、地下圏の生物起源メタンに特徴的な同位体平衡を示した。また、本研究により、このような同位体平衡はメタンが生成する間にその逆反応であるメタン酸化が顕著に起こることによって達成されることが世界で初めて実験的に証明された (論文投稿中)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Suda Konomi, Ikarashi Masayuki, Tamaki Hideyuki, Tamazawa Satoshi, Sakata Susumu, Haruo Maeda, Kamagata Yoichi, Kaneko Masanori, Ujiie Tomomi, Shinotsuka Yumi, Wakayama Tatsuki, Iwama Hiroki, Osaka Noriko, Mayumi Daisuke, Yonebayashi Hideharu	4. 巻 201
2. 論文標題 Methanogenic crude oil degradation induced by an exogenous microbial community and nutrient injections	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Petroleum Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 108458 ~ 108458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.petrol.2021.108458	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 Kurth Julia M., Nobu Masaru K., Tamaki Hideyuki, de Jonge Nadieh, Berger Stefanie, Jetten Mike S. M., Yamamoto Kyosuke, Mayumi Daisuke, Sakata Susumu, Bai Liping, Cheng Lei, Nielsen Jeppe Lund, Kamagata Yoichi, Wagner Tristan, Welte Cornelia U.	4. 巻 15
2. 論文標題 Methanogenic archaea use a bacteria-like methyltransferase system to demethoxylate aromatic compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 3549 ~ 3565
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-021-01025-6	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 該当する
1. 著者名 Suda Konomi, Aze Takahiro, Miyairi Yosuke, Yokoyama Yusuke, Matsui Yohei, Ueda Hisahiro, Saito Takuya, Sato Tomohiko, Sawaki Yusuke, Nakai Ryosuke, Tamaki Hideyuki, Takahashi Hiroshi A., Morikawa Noritoshi, Ono Shuhei	4. 巻 585
2. 論文標題 The origin of methane in serpentinite-hosted hyperalkaline hot spring at Hakuba Happo, Japan: Radiocarbon, methane isotopologue and noble gas isotope approaches	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 117510 ~ 117510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2022.117510	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 Okazaki Yusuke, Nakano Shin-ichi, Toyoda Atsushi, Tamaki Hideyuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Long-Read-Resolved, Ecosystem-Wide Exploration of Nucleotide and Structural Microdiversity of Lake Bacterioplankton Genomes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 mSystems	6. 最初と最後の頁 e00433-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/mSystems.00433-22	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 Nobu Masaru Konishi, Nakai Ryosuke, Tamazawa Satoshi, Mori Hiroshi, Toyoda Atsushi, Ijiri Akira, Suzuki Shino, Kurokawa Ken, Kamagata Yoichi, Tamaki Hideyuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Unique H ₂ -utilizing lithotrophy in serpentinite-hosted systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 95 ~ 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-022-01197-9	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 Okazaki Yusuke, Nguyen Tuyen Thi, Nishihara Arisa, Endo Hisashi, Ogata Hiroyuki, Nakano Shin-ichi, Tamaki Hideyuki	4. 巻 38
2. 論文標題 A Fast and Easy Method to Co-extract DNA and RNA from an Environmental Microbial Sample	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME22102	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 Katayama Taiki, Yoshioka Hideyoshi, Kaneko Masanori, Amo Miki, Fujii Tetsuya, Takahashi Hiroshi A., Yoshida Satoshi, Sakata Susumu	4. 巻 16
2. 論文標題 Cultivation and biogeochemical analyses reveal insights into methanogenesis in deep subseafloor sediment at a biogenic gas hydrate site	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The ISME Journal	6. 最初と最後の頁 1464 ~ 1472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41396-021-01175-7	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 SAKATA Susumu	4. 巻 2021
2. 論文標題 Elucidation of methanogenic processes by subsurface microorganisms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Synthesiology	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5571/synth.2021.3_1	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 Katayama Taiki, Nobu Masaru K., Kusada Hiroyuki, Meng Xian-Ying, Hosogi Naoki, Uematsu Katsuyuki, Yoshioka Hideyoshi, Kamagata Yoichi, Tamaki Hideyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Isolation of a member of the candidate phylum 'Atribacteria' reveals a unique cell membrane structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-20149-5	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 Sakamoto Sachiko, Nobu Masaru K., Mayumi Daisuke, Tamazawa Satoshi, Kusada Hiroyuki, Yonebayashi Hideharu, Iwama Hiroki, Ikarashi Masayuki, Wakayama Tatsuki, Maeda Haruo, Sakata Susumu, Tamura Tomohiro, Nomura Nobuhiko, Kamagata Yoichi, Tamaki Hideyuki	4. 巻 44
2. 論文標題 Koleobacter methoxysyntrophicus gen. nov., sp. nov., a novel anaerobic bacterium isolated from deep subsurface oil field and proposal of Koleobacteraceae fam. nov. and Koleobacterales ord. nov. within the class Clostridia of the phylum Firmicutes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Systematic and Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 126154 ~ 126154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.syapm.2020.126154	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 Ueno Akio, Tamazawa Satoshi, Tamamura Shuji, Murakami Takuma, Kiyama Tamotsu, Inomata Hidenori, Amano Yuki, Miyakawa Kazuya, Tamaki Hideyuki, Naganuma Takeshi, Kaneko Katsuhiko	4. 巻 71
2. 論文標題 Desulfovibrio subterraneus sp. nov., a mesophilic sulfate-reducing deltaproteobacterium isolated from a deep siliceous mudstone formation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	6. 最初と最後の頁 126154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1099/ijsem.0.004683	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 Nobu Masaru K., Narihiro Takashi, Mei Ran, Kamagata Yoichi, Lee Patrick K. H., Lee Po-Heng, McInerney Michael J., Liu Wen-Tso	4. 巻 8
2. 論文標題 Catabolism and interactions of uncultured organisms shaped by eco-thermodynamics in methanogenic bioprocesses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbiome	6. 最初と最後の頁 111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40168-020-00885-y	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 Preiner Martina, Igarashi Kensuke, Muchowska Kamila B., Yu Mingquan, Varma Sreejith J., Kleinermanns Karl, Nobu Masaru K., Kamagata Yoichi, T?ys?z Harun, Moran Joseph, Martin William F.	4. 巻 4
2. 論文標題 A hydrogen-dependent geochemical analogue of primordial carbon and energy metabolism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 534 ~ 542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41559-020-1125-6	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 Chen Ya-Ting, Zeng Yan, Wang Hui-Zhong, Zheng Dan, Kamagata Yoichi, Narihiro Takashi, Nobu Masaru Konishi, Tang Yue-Qin	4. 巻 80
2. 論文標題 Different Interspecies Electron Transfer Patterns during Mesophilic and Thermophilic Syntrophic Propionate Degradation in Chemostats	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbial Ecology	6. 最初と最後の頁 120 ~ 132
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00248-020-01485-x	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 Imachi Hiroyuki, Nobu Masaru K, Nakahara Nozomi, Kamagata Yoichi, Tamaki Hideyuki, Takai Ken et al	4. 巻 577
2. 論文標題 Isolation of an archaeon at the prokaryote?eukaryote interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 519 ~ 525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-019-1916-6	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 Kato Souichiro, Terashima Mia, Yama Ayano, Sato Megumi, Kitagawa Wataru, Kawasaki Kosei, Kamagata Yoichi	4. 巻 35
2. 論文標題 Improved Isolation of Uncultured Anaerobic Bacteria using Medium Prepared with Separate Sterilization of Agar and Phosphate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 ME19060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME19060	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 Tamaki Hideyuki	4. 巻 34
2. 論文標題 Cultivation Renaissance in the Post-Metagenomics Era: Combining the New and Old	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 117 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME3402rh	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 Ueno Akio, Tamazawa Satoshi, Tamamura Shuji, Aramaki Noritaka, Alam Badrul A. K. M., Murakami Takuma, Yamaguchi Shinji, Yamagishi Junya, Tamaki Hideyuki, Mayumi Daisuke, Naganuma Takeshi, Kaneko Katsuhiko	4. 巻 36
2. 論文標題 Improvement of terrestrial groundwater sampling method affects microbial community analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geomicrobiology Journal	6. 最初と最後の頁 303 ~ 316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01490451.2018.1534900	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 Nakahara Nozomi, Nobu Masaru K., Takaki Yoshihiro, Miyazaki Masayuki, Tasumi Eiji, Sakai Sanae, Ogawara Miyuki, Yoshida Naoko, Tamaki Hideyuki, Yamanaka Yuko, Katayama Arata, Yamaguchi Takashi, Takai Ken, Imachi Hiroyuki	4. 巻 69
2. 論文標題 Aggregatilinea lenta gen. nov., sp. nov., a slow-growing, facultatively anaerobic bacterium isolated from subseafloor sediment, and proposal of the new order Aggregatilineales ord. nov. within the class Anaerolineae of the phylum Chloroflexi	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology	6. 最初と最後の頁 1185 ~ 1194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1099/ijsem.0.003291	査読の有無 無
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 Kato Souichiro, Wada Kaoru, Kitagawa Wataru, Mayumi Daisuke, Ikarashi Masayuki, Sone Teruo, Asano Kozo, Kamagata Yoichi	4. 巻 34
2. 論文標題 Conductive Iron Oxides Promote Methanogenic Acetate Degradation by Microbial Communities in a High-Temperature Petroleum Reservoir	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 95 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME18140	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 Katayama Taiki, Nobu Masaru K., Imachi Hiroyuki, Hosogi Naoki, Meng Xian-Ying, Morinaga Kana, Yoshioka Hideyoshi, Takahashi Hiroshi A., Kamagata Yoichi, Tamaki Hideyuki	4. 巻 online
2. 論文標題 A Marine Group A isolate relies on other growing bacteria for cell wall formation	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nature Microbiology	6. 最初と最後の頁 see DOI
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41564-024-01717-7	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23件 (うち招待講演 14件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 眞弓大介、中原望、風呂田郷史、金子雅紀、延優、玉澤聡、須田好、前田治男、鎌形洋一、坂田将、玉木秀幸
2. 発表標題 原油を分解するメタン生成菌を発見
3. 学会等名 日本微生物生態学会34回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Mayumi
2. 発表標題 Methane production from crude oil by a single methanogen
3. 学会等名 JpGU 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideyuki Tamaki
2. 発表標題 Cultivation Renaissance in the Post-Metagenomics Era: Combining the New and Old
3. 学会等名 2021 NeLLi Symposium on New Lineages of Life (JGI, USA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉木秀幸
2. 発表標題 Cultivation Renaissance: 未知の微生物を"培養"して新たな生命機能を探る
3. 学会等名 第69回日本放線菌学会学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉木秀幸
2. 発表標題 未知の微生物を"培養"して新たな生物機能を探る -未利用微生物遺伝子資源開拓と利活用に向けて-
3. 学会等名 創立100周年記念第74回日本生物工学会大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 須田 好、阿瀬 貴博、宮入 陽介、横山 祐典、松井 洋平、上田 修裕、齋藤 拓也、佐藤 友彦、澤木 佑介、中井 亮佑、玉木 秀幸、高橋 浩、森川 徳敏、小野周平
2. 発表標題 白馬八方蛇紋岩温泉の深部起源メタン
3. 学会等名 日本地球化学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 片山 泰樹、NOBU MASARU KONISHI、草田 裕之、孟 憲英、細木直樹、植松勝之、吉岡 秀佳、鎌形 洋一、玉木 秀幸
2. 発表標題 ゲノムが膜で包まれた新門 Atribacterota 細菌株の単離と特徴付け
3. 学会等名 日本微生物生態学会第34回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須田 好、阿瀬 貴博、宮入 陽介、横山 祐典、松井 洋平、上田 修裕、齋藤 拓也、佐藤 友彦、澤木 佑介、中井 亮佑、玉木 秀幸、高橋 浩、森川 徳敏、小野周平
2. 発表標題 白馬八方蛇紋岩を母岩とする強アルカリ性温泉のメタンの起源
3. 学会等名 InterRidge Japan研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須田 好、坂本 幸子、玉木 秀幸、井口 亮
2. 発表標題 GC-MSを用いたギ酸および酢酸分子内の炭素位置ごとの ¹³ Cラベル率の定量法
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本幸子, Nobu Masaru Konishi, 眞弓大介, 玉澤聡, 中原望, 草田裕之、米林英治、岩間弘樹、五十嵐雅之、若山樹、前田治男、坂田将、田村具博、野村暢彦、鎌形洋一、玉木秀幸
2. 発表標題 地下根源有機物を巡るFirmicutes門新目細菌の生存戦略
3. 学会等名 日本微生物生態学会35回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中原望、延優、玉澤聡、原英里、眞弓大介、前田治男、坂田将、玉木秀幸、鎌形洋一
2. 発表標題 Actinobacteriota 門の新目の C1 代謝経路の理解と生態学的意義
3. 学会等名 2022年度日本水環境学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本 幸子、NOBU MASARU KONISHI、眞弓 大介、玉澤 聡、米林英治、岩間弘樹、五十嵐雅之、若山樹、前田 治男、坂田 将、田村 具博、野村暢彦、鎌形 洋一、玉木 秀幸
2. 発表標題 深部地下圏でメトキシ芳香族化合物分解を担う新規共生細菌の生存戦略
3. 学会等名 日本農芸化学会2021年度仙台大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本 幸子、NOBU MASARU KONISHI、眞弓 大介、玉澤 聡、米林英治、岩間弘樹、五十嵐雅之、若山樹、前田 治男、坂田 将、田村 具博、野村暢彦、鎌形 洋一、玉木 秀幸
2. 発表標題 深部地下圏でメトキシ芳香族化合物分解を担う新規共生細菌の発見及び生存戦略の解明
3. 学会等名 第15回日本ゲノム微生物学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌形洋一
2. 発表標題 Deep subsurface microbes involved in the degradation of complex organic materials
3. 学会等名 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLIED MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY IN OIL SYSTEMS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 Importance of isolation in metagenomic era
3. 学会等名 Annual Conference and International Symposium, Chinese Society of Microbial Ecology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 Cultivation of fastidious anaerobes
3. 学会等名 EMBO workshop, Wageningen, The Netherlands (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 Exploring novel and functionally important organisms in natural environments
3. 学会等名 International Meeting of the Microbiological Society of Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 Syntrophic/symbiotic associations with different species of microbes
3. 学会等名 Conference and International Symposium, Chinese Society of Microbial Ecology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 Cultivation-based microbial ecology
3. 学会等名 Plenary talk at the 17th International Symposium on Microbial Ecology, Leipzig, Germany (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉木秀幸
2. 発表標題 未知の微生物を ” 培養 ” して深淵な生命機能を探る
3. 学会等名 第32回日本微生物生態学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 Deep subsurface microbes involved in the degradation of complex organic materials
3. 学会等名 International Symposium on Applied Microbiology and Molecular Biology in Oil Systems (ISMOS-8), New Castle, UK and online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 Methanogenic degradation of aromatic compounds
3. 学会等名 International Union of Microbiological Society (IUMS), Daejeon, Korea and online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kamagata, Y
2. 発表標題 What I learnt from syntrophy
3. 学会等名 The International Forum on Advanced Environmental Sciences and Technology (iFAST) online (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

地下で発見！ゲノムが膜で包まれたバクテリア
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20201214/pr20201214.html

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	玉木 秀幸 (Tamaki Hideyuki) (00421842)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・生命工学領域・研究グループ長 (82626)	
研究分担者	眞弓 大介 (Mayumi Daisuke) (30549861)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員 (82626)	
研究分担者	坂田 将 (Sakata Susumu) (70357101)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・上級主任研究員 (82626)	定年退職に伴い2019年から研究分担者を外れた。

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	マサチューセッツ工科大学			
オランダ	Radboud 大学			

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	University of Dusseldorf	Max-Planck-Institut Kohlenforschung	Universitätsmedizin Berlin	
米国	University of Oklahoma	University of Illinois		
中国	Sichuan University	City University of Hong Kong		