

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02426

研究課題名（和文）環境ゲノム情報と培養技術で紐解く陸域地下圏未知アーキアの新機能

研究課題名（英文）Ecophysiology of yet-to-be cultured subsurface archaea using environmental omics and cultivation based approach

研究代表者

玉木 秀幸（Tamaki, Hideyuki）

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

研究者番号：00421842

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地球上で最も未知な生物群である「アーキア」の実態を明らかにし、その新たな生物機能の解明を通じて、地球規模での物質循環に果たす役割の解明に資する研究を行った。具体的には、エネルギー資源や水資源、地球環境問題の観点からも重要な陸域地下圏環境（深部油田、ガス田、石炭層、地下湧熱水環境、地下帯水層）などの陸域地下圏環境を対象とし、そこに棲息する未知アーキアとその周辺微生物の多様性と生理生態機能を、培養技術と環境ゲノム情報を活用して解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

陸域地下圏環境は、エネルギー資源や水資源を涵養する場であり、地球規模の物質循環にも多大な影響を及ぼす環境である。本研究では、陸域地下圏の未知アーキア・未知バクテリアの実態を解き明かし、地下圏環境に特有の根源有機物がどのように分解されメタンや二酸化炭素に至るのかを明らかにするものであり、天然ガス資源であるメタンの成因や地球規模での炭素循環に解明に資する研究である。また陸域地下圏から培養に成功した門や科レベルで新規な地下微生物とその新生物機能の発見の成果は、物質循環に果たす役割の解明だけでなく生物の細胞構造や系統進化に新たな洞察をもたらす学術的価値と波及効果の高い成果である。

研究成果の概要（英文）：Archaea, the third group of the whole creature, is the most unknown organism on the Earth due to the quite small number of the axenic cultures. In the present study, we conducted polyphasic approaches including cultivation, isolation, environmental omics, and geochemical analyses and revealed diversity and ecophysiology of archaea and the associated bacteria thriving in the terrestrial deep subsurface (oil and gas fields, coal seams, hot springs, subsurface aquifer, etc).

研究分野：微生物生態学

キーワード：未知微生物 未知アーキア 陸域地下圏 メタゲノム 培養 物質循環 新生物機能 生理生態

1. 研究開始当初の背景

近年、地下圏環境には、極めて多様かつ膨大な地下微生物が生息していることが明らかにされてきており、地下圏全体の体積を考慮すると、炭素循環をはじめとする地球規模での物質循環プロセスに、地下圏微生物が重要な役割を果たしている可能性が示唆されている。海洋地下圏の微生物群集の役割については、地球深部探査船「ちきゅう」による大規模な海底堆積物試料の採取がなされ、海洋研究開発機構をはじめとする国際共同研究チームが海洋地下圏における微生物の役割を明らかにしてきており大きな注目を集めている。一方で、陸域の地下圏については、油田やガス田、石炭層、地下滞水層など、人々の生活を支える重要な環境であるものの、サンプル入手の困難さ等の影響もあり、陸域地下圏微生物の生理学的・生態学的・生物地球化学的役割については未だ不明な点が多い。また地下微生物の中でも、アーキアというドメインに属する微生物については、硝化能力やメタンの生成・消費能力をもつものがいることが知られており、物質循環プロセスにおいて重要な役割を担っていることが示されているものの、そもそも純粋分離に至った数がバクテリアドメインに比べて桁違い少なく、その実態の多くは不明である。提案者らは、こうした陸域地下圏の未知アーキアとその周辺微生物の実態解明を目的とした研究をこれまででも実施してきており、石炭からメタンを作る新規アーキアの発見など、驚くべきアーキアの未知機能を明らかにしてきており、世界的にも地下圏アーキアの実態に高い関心が集まっている。

2. 研究の目的

本研究では、地下湧水環境、深部油田環境、深部ガス田環境、石炭層などの陸域地下圏に棲息する未知アーキアとその周辺微生物について、その実態を解明し、地球科学的に重要な物質循環プロセスに果たす地下圏微生物群の役割を明らかにすることを目的とした。特に、絶対嫌気性微生物の培養・ハンドリング技術を基盤とし、次世代シーケンサーを活用した環境オミクス情報解析(16S rRNA アンプリコン解析、メタゲノム解析、メタトランスクリプトーム解析)、代謝産物情報解析、有機地球化学的解析を相互補完的に用いながら、未だ知られざる陸域地下圏アーキアとその周辺微生物の系統、生理生態機能および物質循環プロセスへの寄与について詳細に明らかにすることを目指すこととした。

3. 研究の方法

(1) 陸域地下圏サンプルの採取・保存

国内外の地下湧水環境、深部油田環境、深部ガス田環境、石炭層などの陸域地下圏環境においてサンプル採取を行い、それぞれ地化学分析用(水分析、ガス分析、同位体分析等)、マイクロバイオーム解析用(DNA および RNA 抽出用)、集積培養用に分けて、基本的に酸素の混入を最小限に抑えるとともに、必要に応じて現場で急速凍結処理をするるとともに、培養に用いるサンプルは温度を適切に管理しつつできるだけ迅速にラボに持ち帰るように尽力した。実験室に持ち帰った後は、フレッシュな状態で実験が必要な集積培養等を迅速に実施するとともに、保存用サンプルは冷蔵庫やディープフリーザーに適切に保存・管理した。

(2) 未知アーキアとその周辺微生物群の集積培養系の確立と純粋分離

無酸素環境下で調整した絶対嫌気性微生物用の培地を用い、石炭や原油、ケロジェンあるいはそれに由来する地下根源有機物を基質として利用することで、地下アーキアならびに地下バクテリアの集積培養を実施した。また必要に応じて、地下環境をできるだけ再現して培養することを目的として、孔隙環境と高温高圧環境を維持可能な培養システムを考案・活用して集積培養化に挑戦した。未知アーキアもしくは未知バクテリアが存在する良好な集積培養系が得られた場合には、ロールチューブ法や限界希釈法などの従来法ならびにゲノム情報を利用して培養条件を設定し純粋分離を試行した。

(3) 環境オミクス情報解析

実環境試料や集積培養物を対象に環境オミクス情報解析を実施した。具体的には、16S rRNA 遺伝子アンプリコンシーケンシング解析により、対象環境中の微生物組成と多様性を解析するとともに、必要に応じて、シングルセルゲノム解析、メタゲノム解析、メタトランスクリプトーム解析を実施し、標的となる未知アーキアならびに未知バクテリアのゲノムを再構築するとともに、発現している網羅的遺伝子情報解析から、実環境あるいは集積培養系で実際に働いている代謝機能の推定を行った。配列解読は、Illumina iSeq、MiSeq、HiSeq、NextSeq や DNBSEQ などを用いて実施した。

(4) 代謝産物情報解析・有機地球化学的解析

採取した実環境サンプルについては、研究協力者(産総研 眞弓大介博士、坂田将博士ら)の協力のもと有機地球化学的分析(水分析、ガス分析、同位体分析等)を行うとともに、集積培養物が得られた場合には、HPLC や GC-IRMS などを用いて精緻な代謝産物分析を実施した。安定同位体標識した基質を用いて、代謝産物がラベルされるかどうかを調べる安定同位体トレーサー実験も必要に応じて実施した。

(5) 獲得した地下微生物の生理性状解析

純粋分離に成功した未知微生物については、Illumin MiSeq、HiSeq とロングリードシーケンサー (nanopore、PacBio) 活用して完全長ゲノムを解読・解析するとともに、電子顕微鏡 (SEM、TEM、クライオ) や光学・蛍光顕微鏡を用いて形態学的解析を実施するとともに、生育条件の決定、基質利用性試験や生理生化学試験、代謝産物分析を行った。また 16S rRNA 遺伝子と全ゲノム情報に基づいた分子系統解析を実施し、分離細菌の系統的位を確定した。

4. 研究成果

(1) 陸域地下圏アーキアと周辺微生物群のマイクロバイーム解析

様々な陸域地下圏環境からサンプルを採取し、16S rRNA 遺伝子アンプリコンシーケンス解析を実施し、陸域地下圏に棲息する微生物の組成と多様性を解析した。まず地域住民 80 万人の飲料水としても活用されている大規模陸域地下帯水層 (米国中西部の氷河堆積物環境) について 13 カ所に及ぶの井戸から水試料を採取し、直ちに急速冷凍保存し、そこから DNA (存在する微生物由来) RNA (活性のある微生物由来) をそれぞれ抽出して 16S アンプリコン解析を実施した。その結果、アーキアとして、既知のメタン生成アーキア (Methanobacteriales や Methanomicrobiales、Methanosarcinales 等) ならびに既知のアンモニア酸化アーキアに比較的近縁な微生物が検出される一方で、未知のアーキアとして、MCG 系統群、pMC2A209 系統群、pISA7 系統群、また ANME1 や Thermoplasmata に属する未培養系統群が多様に存在していることが明らかとなった。また同環境に棲息するバクテリアにおいても、WS3、OP3 (BD4-9)、OP3 (kol111) といった門レベルの未培養系統群が検出された。興味深いことに、DNA ベースの解析結果と RNA ベースの解析結果に大きな違いは見られず、本地下圏環境のアーキア・バクテリアはともある程度活性を保ったまま棲息している可能性が示された。また今回、全体のアーキア・バクテリアコミュニティと、全体の 0.1% 以下のポピュレーションしか示さないレアバイオスフィアに分けて、地化学分析結果とあわせて詳細な統計解析を行ったところ、アーキア、バクテリアいずれにおいても、全体群集とレアバイオスフィアが同じ傾向を示し、地下水のマンガン濃度や非揮発性有機物と相関があることを明らかにした。このことは、優占する微生物種からなる微生物群集のみならず、レアバイオスフィアもまた、環境要因の影響を大きく受けていることを示すものであり、この点を含めて成果をとりまとめ国際誌に発表している。

その他、北海道の複数の炭田環境や秋田・山形・新潟・千葉・長野など、国内の複数の地下圏環境から採取したサンプルを用いてアーキア群集ならびにバクテリア群集の多様性解析を精力的に実施した。その結果、門・綱レベルで未知なアーキア系統群 (MCG、SAGMEG、Asgard archaea、Thermoplasmata の未培養系統群、GoM-Arc2、DPANN 等) が存在していることを明らかにするとともに、いくつかの油ガス田環境では未知アーキアの一部が優占していることを見出している。またバクテリアについても、門・綱レベルの未知アーキア系統群 (OP1、OP3、OP9、JS1、OPB41、WWE1、OD1、GIF9 等) が様々な地下圏環境に無視できないポピュレーションで棲息していることを明らかにするなどの成果を得た。またいくつかの深部油田環境、石炭層、地下湧熱水環境からは環境ゲノム情報解読を行い、未知アーキアならびに未知バクテリアのゲノムを再構築し、コンタミネーションの少ない良質なゲノム情報を獲得している。本研究の派生的な成果であるが、バクテリアで全く新しい門レベルの系統群を見出し、本細菌系統群が蛇紋岩熱水系に特異的に棲息する全く新しいタイプの acetogens である可能性を見出しており、プレプリント論文として発表している。

(2) 陸域地下圏未知アーキアとその周辺微生物群の集積培養ならびに純粋分離の試み

陸域地下圏環境に棲息する未知アーキアおよびその周辺微生物群の集積培養化・純粋分離に挑戦した。具体的には地下に特異的に存在しうる根源有機物を基質として用い、無酸素環境下で現場の温度を考慮しながら培養条件を設定し、未知アーキア・未知バクテリアの集積培養を試みた。その結果、深部油田環境を模擬した高温高圧培養システムを活用し、できうる限り地下環境を再現して培養を試みたところ、山形県内の油田から採取したサンプルを用いて、原油成分 (トルエン等の芳香族アルカンや直鎖アルカン等) を分解してメタンを生成する地下微生物コミュニティの安定培養化に成功した。特に、主に芳香族アルカンを分解してメタンを生成する集積培養系と、直鎖のアルカンを分解してメタンを生成する集積培養系の 2 つを獲得した。また 13C 安定同位体標識したアルカン基質をこれらの集積培養系に添加して培養したところ、メタンが確実に標識されたことから、本培養系は確実にアルカンを分解してメタンを生成する能力があることを実証した。実環境 (油田) 由来の高温性アルカン分解メタン生成微生物群は世界的にみても獲得例が非常に少なく、重要な成果であることから、国際誌に本成果を発表した。今回獲得したアルカン分解メタン生成集積培養系の 16S アンプリコン解析を実施したところ、Methanothermobacter や Methanosaeta 等の水素資化性メタン生成アーキアならびに酢酸資化性メタン生成アーキアとともに系統的に非常に新規な未知アーキアや門レベルの未知バクテリアが 2~3 種類優占して存在していたことが明らかとなった。そこで、これらの集積培養系を標的に環境ゲノム情報解読を行い、標的微生物の高品質なゲノム情報を獲得するまでに至っている。今後、これらの集積培養物、ゲノム情報ならびにトランスクリプトーム情報、安定同位体標識代謝産物分析を駆使して、未知アーキアならびに未知バクテリアが、原油分解メタン生成プロセスにどのような役割を果たすかを明らかにしてゆく予定である。

本研究開始時に、根源有機物の一つの基質を用いることで既に安定した集積培養系を得られていた MCG アーキアを標的に、良質なゲノム情報に基づいて培養条件を検討しつつ純粋分離を試みた。特にゲノム情報・メタトランスクリプトーム情報から推定された代謝機能と利用可能な基質の情報を活用して限界希釈培養を試みたところ、ある条件において 95%以上の純度の MCG アーキアの培養物を得ることができた。しかしながら、共存するメタン生成アーキアの生育を抑えるために用いていた阻害剤が 2 度目以降は MCG アーキアに対しても阻害的に働いてしまい、最終的に純粋分離にまでは至っていない。一方で、高純度の MCG アーキアについては再現性よく培養できており、この高純度培養物を用いて、代謝産物分析なども併用することで MCG アーキアの新たな機能に迫る成果を得つつある。

陸域地下圏に棲息する未知バクテリアについては、2つの重要な地下微生物の純粋分離に成功した。一つは、深部油田環境から、地下根源有機物の一つであるメトキシ化合物を用いて単離した新規嫌気性細菌である。この細菌は、Firmicutes 門に属すが、16S rRNA 遺伝子解析ならびにゲノムベースの系統解析ならびにその他電子顕微鏡観察等に基づく形態学的解析、生理・生化学的解析の結果から、目レベルで新規な細菌種であることが明らかとなり、新目 (Koleobacterales ord. nov.)、新科 (Koleobacteraceae fam. nov.)、新属 (Koleobacter gen. nov.)、新種 (*K. methoxysyntrophicus* sp. nov.) の新学名提案を国際誌上で行い、国際命名委員会において正式に認定された。また培養実験とゲノム情報を活用し、本細菌の詳細な生理・代謝機能を調べたところ、興味深いことに、本新規細菌は単独では利用することができないメトキシ化合物を、水素・ギ酸資化性メタン生成アーキアとの共培養時にのみはじめて利用可能なユニークな新規嫌気共生細菌であることが明らかとなった。これまでメトキシ化合物を利用可能な微生物はホモ酢酸生成細菌 (acetogens) が石炭からメタンを作るアーキア (*Methermicoccus* 属細菌) など、いずれも単独で利用可能であり、メタン生成アーキアと共生してメトキシ化合物を利用する共生細菌は世界初の発見であり、今後地下圏環境における根源有機物分解メタン生成プロセスに解明に資する成果であると考えている。

もう一つは、ガス田環境から純粋分離に成功した新規細菌である。この細菌についても同様に詳細な系統解析、形態・生理・代謝機能、ゲノム情報について詳細な解析を行ったところ、本細菌は門レベルの未培養系統群 OP9 門に属する初の純粋分離株であることが明らかとなり、新門 (Atribacterota phyl. nov.)、新綱 (Atribacteria classis nov.)、新目 (Atribacterales ord. nov.)、新科 (Atribacteraceae fam. nov.)、新属 (Atribacter gen. nov.)、新種 (*A. laminatus* sp. nov.) の新学名提案を行い国際命名委員会に認定された。さらに重要なことに、本細菌の詳細な形態学的解析をクライオ電子顕微鏡観察等で実施したところ、本細菌が、本来真核生物の特徴であるとされる「ゲノムを包む膜」をもつ可能性を明らかにした。すべての生物は真核生物と原核生物に分けられるが、その最も重要な識別指標は、「ゲノムを包む膜の存在」、つまり核膜があるかないかであり、今回の発見は、生物学の常識の再考に迫る可能性にある学術的価値と波及効果の高い成果であり、著名な国際誌に発表している。またこの新門細菌はメタン生成アーキアとの共培養時に、有機物分解 = 生育が大きく改善されることが明らかとなった。本細菌の属する OP9 門は世界中の地下圏環境に広く優占して存在する系統群として知られており、本発見は地下圏環境の有機物分解メタン生成プロセスに果たす本新門細菌とアーキアの役割の解明に資する重要な成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kato Souichiro, Takashino Motoko, Igarashi Kensuke, Mochimaru Hanako, Mayumi Daisuke, Tamaki Hideyuki	4. 巻 10
2. 論文標題 An iron corrosion-assisted H ₂ -supplying system: a culture method for methanogens and acetogens under low H ₂ pressures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-020-76267-z	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., 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 1
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 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 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 Desulfobivrio 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 1
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 1
2. 論文標題 Unique metabolic strategies in Hadean analogues reveal hints for primordial physiology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 bioRxiv	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) 10.1101/2021.04.20.440570	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 Tamaki H	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 A, Tamazawa S, Tamamura S, Aramaki N, Badrul AKMA, Murakami T, Yamaguchi S, Yamagishi J, Tamaki H, Mayumi D, Naganuma T, Kaneko K	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 Geomicrobiol. J.	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) なし	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 Yamamoto K, Hackley CK, Kelly RW, Panno VS, Sekiguchi Y, Sanford RA, Liu WT, Kamagata Y, Tamaki H	4. 巻 9
2. 論文標題 Diversity and geochemical community assembly processes of the living rare biosphere in a sand-and-gravel aquifer ecosystem in the Midwestern United States	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sci. Rep.	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) 10.1038/s41598-019-49996-z	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 H, Nobu MK, Nakahara N, Morono Y, Ogawara M, Takaki Y, Takano Y, Uematsu K, Ikuta T, Ito M, Matsui Y, Miyazaki M, Murata K, Saito Y, Sakai S, Song C, Tasumi E, Yamanaka Y, Yamaguchi T, Kamagata Y, Tamaki H, Takai K	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 Akio Ueno, Satoshi Tamazawa, Shuji Tamamura, Noritaka Aramaki, A. K. M. Alam Badrul, Takuma Murakami, Shinji Yamaguchi, Junya Yamagishi, Hideyuki Tamaki, Daisuke Mayumi, Takeshi Naganuma & Katsuhiko Kaneko	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 Nozomi Nakahara, Masaru K Nobu, Yoshihiro Takaki, Masayuki Miyazaki, Eiji Tasumi, Sanae Sakai, Miyuki Ogawara, Naoko Yoshida, Hideyuki Tamaki, Yuko Yamanaka, Arata Katayama, Takashi Yamaguchi, Ken Takai, Hiroyuki Imachi	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 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 Catalina AP Hidalgo Ahumada, Masaru K Nobu, Takashi Narihiro, Hideyuki Tamaki, Wen Tso Liu, Yoichi Kamagata, Alfons JM Stams, Hiroyuki Imachi, Diana Z Sousa	4. 巻 20
2. 論文標題 Novel energy conservation strategies and behaviour of Pelotomaculum schinkii driving syntrophic propionate catabolism	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental microbiology	6. 最初と最後の頁 4503-4511
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/1462-2920.14388	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 Souichiro Kato, Ayasa Yamagishi, Serina Daimon, Kosei Kawasaki, Hideyuki Tamaki, Wataru Kitagawa, Ayumi Abe, Michiko Tanaka, Teruo Sone, Koza Asano, Yoichi Kamagata	4. 巻 84
2. 論文標題 Isolation of previously uncultured slow-growing bacteria by using a simple modification in the preparation of agar media	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Environ. Microbiol.	6. 最初と最後の頁 e00807-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1128/AEM.00807-18	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12件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 3件)

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 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、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 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
3. 学会等名 日本ゲノム微生物学会 2021年度大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉木秀幸
2. 発表標題 Cultivation Renaissance for discovery of novel functions of uncultured fastidious microorganisms
3. 学会等名 BioJapan2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中井 亮佑、玉木 秀幸
2. 発表標題 単離培養から紐解く稀少微生物たちの実態と多様性
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本 幸子、延 優、眞弓 大介、玉澤 聡、五十嵐 雅之、若山 樹、前田 治男、坂田 将、鎌形 洋一、玉木 秀幸
2. 発表標題 深部地下圏環境におけるメトキシ芳香族化合物 (MACs) 分解メタン生成共生系の発見
3. 学会等名 日本農芸化学会2020年度大会優秀発表賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S Sakamoto, MK Nobu, D Mayumi, S Tamazawa, M Ikarashi, T Wakayama, H Maeda, S Sakata, Y Kamagata, H Tamaki
2. 発表標題 Discovery of a novel subsurface syntrophic niche: methoxylated aromatic compound degradation
3. 学会等名 8th IWA Microbial Ecology and Water Engineering Specialist Conference (MEWE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 幸子、延 優、眞弓 大介、玉澤 聡、五十嵐 雅之、若山 樹、前田 治男、坂田 将、鎌形 洋一、玉木 秀幸
2. 発表標題 深部地下圏環境におけるメトキシ芳香族化合物分解メタン生成共生系の発見
3. 学会等名 日本微生物生態学会第33回大会
4. 発表年 2019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 玉木秀幸
2. 発表標題 冥王代類似環境微生物：環境ゲノム情報と培養技術で紐解くその存在と未知機能
3. 学会等名 日本進化学会第20回大会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobu Masaru Konishi, Ryosuke Nakai, Satoshi Tamazawa, Hiroshi Mori, Atsushi Toyoda, Itsuki Ijiri, Shino Suzuki, Ken Kurokawa, Yoichi Kamagata, Hideyuki Tamaki
2. 発表標題 New candidates for acetogenesis in early Earth
3. 学会等名 Hadean Bioscience International Symposium 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryosuke Nakai, Nobu Masaru Konishi, Satoshi Tamazawa, Hiroshi Mori, Atsushi Toyoda, Itsuki Ijiri, Shino Suzuki, Ken Kurokawa, Yoichi Kamagata, Hideyuki Tamaki
2. 発表標題 Unique acetogenic microorganisms inhabiting the serpentinite-hosted Hakuba Happo hot spring
3. 学会等名 Hadean Bioscience International Symposium 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 創一郎、高篠 素子、五十嵐 健輔、持丸 華子、眞弓 大介、玉木 秀幸
2. 発表標題 鉄腐食反応を利用した低水素濃度環境を好むメタン生成菌・酢酸生成菌の新規培養法
3. 学会等名 日本微生物生態学会第32回大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>真核生物誕生の鍵を握る微生物「アーキア」の培養に成功 https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20200116/pr20200116.html</p> <p>地下で発見！ゲノムが膜で包まれたバクテリア - 新しい門に分類される常識外れの細菌の培養に成功 - https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2020/pr20201214/pr20201214.html</p>
--

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

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
---------	---------