

令和 6 年 9 月 23 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02019

研究課題名(和文)「地球最古の代謝を現存する生命」：共通祖先の細胞様式と始原代謝の実像証明

研究課題名(英文) Unseen deep biosphere: organic molecules in anoxic primitive prokaryotic cell.

研究代表者

高野 淑識 (TAKANO, Yoshinori)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋機能利用部門(生物地球化学センター)・センター長代理

研究者番号：80399815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：真核生物の起源の最有力候補としてロキアーキオータ(Lokiarchaeota)と呼ばれるアーキア(古細菌)が大きな注目を集めていた。理由は、「アーキアとユーカリア(真核生物)の共通祖先」とされるためである。しかし、世界のどの研究チームも単離培養に成功せず、科学的な観点での本質的な実像は、大きな謎のままであった。Imachi et al. Nature (2020)では、世界で唯一その共通祖先の単離培養に成功した。本研究は、地球最古の始原的な描像を現存している生命(=世界初の単離株)から、二大生物界の共通祖先となる細胞様式を示し、その初生的な代謝機構の実像を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界中の研究者らが、熱望している「アーキア(古細菌)とユーカリア(真核生物)の共通祖先」の単離株を初めて捕獲した。我々は、有機分子レベル分析技術を用いて、地球最古の「共通祖先」の細胞様式と始原的な代謝機構の実像を解明し、原核から真核へ生命の系統樹の進化を明らかにした(Imachi et al., Nature, 2020)。高精度な分析技術と先進的な物質科学の相乗効果である。このような技術基盤は、領域を超えた学術界への波及に限らず、革新的な研究開発を生み出す新知識の社会還元に貢献する。一連の実績評価を受け、米国科学協会(AAAS) Science誌のブレイクスルーオブザイヤーに選出された。

研究成果の概要(英文)：Archaea, called Lokiarchaeota, is a major focus of attention as the most promising candidate for the origin of eukaryotes. The reason is that it is considered to be the common ancestor of Archaea and Eukarya. However, their essential nature from a scientific point of view has remained a great mystery. Then, we have successfully isolated and cultured its common ancestor (Imachi et al., Nature, 2020). The purpose of this study was to clarify the cellular style of the common ancestor of the two major life forms from the oldest extant primitive depictions of life on the Earth (i.e., isolates), and to reveal the actual image of their primordial metabolic mechanisms.

研究分野：地球惑星科学・地球生命科学

キーワード：アーキア(古細菌) 共通祖先 有機分子レベル分析技術 生命の系統樹 ロキアーキオータ(Lokiarchaeota)

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

我々、ヒトを含む真核生物は、どのようにして誕生したのであるか？これまで真核生物の起源については、様々な仮説が提案されてきたが、原核生物（アーキアおよびバクテリア）と真核生物に移行する中間体が見つかっていなかったため、その仮説検証は困難であった。この始原的な共通祖先は、地球生命科学や微生物学を中心に学术界で熱く議論されてきた。その最中、2015年、北欧の深海底試料から驚異のアーキアが見つかった。「最も真核生物に近縁なアーキアの発見」の報告は、生命科学の学术界を超えて大きな議論を巻き起こした (Spang et al., Nature, 2015)。そのゲノムを解析すると、真核生物に固有とされる遺伝子が複数発見された。つまり、原核生物の祖先となるアーキアと真核生物の共通祖先とも言えるハイブリッド型であることを意味した。このアーキアは、北欧神話の「ロキ (Loki)」になぞらえ、ロキアーキオータ (Lokiarchaeota) と命名された。今、アーキアと真核生物の起源を巡る議論を大いに沸騰させている現況は、学術マーケットのスケールと分野横断的なインパクトの大きさを意味している。

本研究の主要対象である「アーキアと真核生物の共通祖先」は、平易に言えば、「あいのこ」 (= 共通祖先の性状を持つ混成種ともいう) である。ゆえに、生命の進化統樹では、生物界の大分岐を担う「特異点」とも表現できる。このため、その学術的価値と科学的意義は極めて高く、最先端の創造性を有する研究対象と言える。

2. 研究の目的

本研究の目的と概要は、以下に集約することができる。

その共通祖先は、アーキアと真核生物のどちらの「細胞様式」を強く反映したものなのか？ どの程度の定量性を有したハイブリッド型 (混成型) なのか？ 高精度な有機分子レベルのターゲット分析でその実像を明らかにする。世界に先駆けて獲得に成功した単離ロキアーキオータ株を用いることで、ゲノム解析だけでは決して明らかにすることができない化学記載を行う。

次に、生命系統樹の根源に近いことから、栄養性の応答をはじめ、始原的な「代謝機構」や生化学的な性状は、どちらを強く反映しているか。どのような進化プロセスを経て、アーキアと真核生物に独自に分岐したのか？この検証により、細胞・生理学的諸性質を明らかにし、アーキアと真核生物の起源研究を飛躍的に前進させる。本研究の達成により、地球生命科学だけではなく、生命圏を広く扱う境界領域へのブレイクスルーがあるだろう。

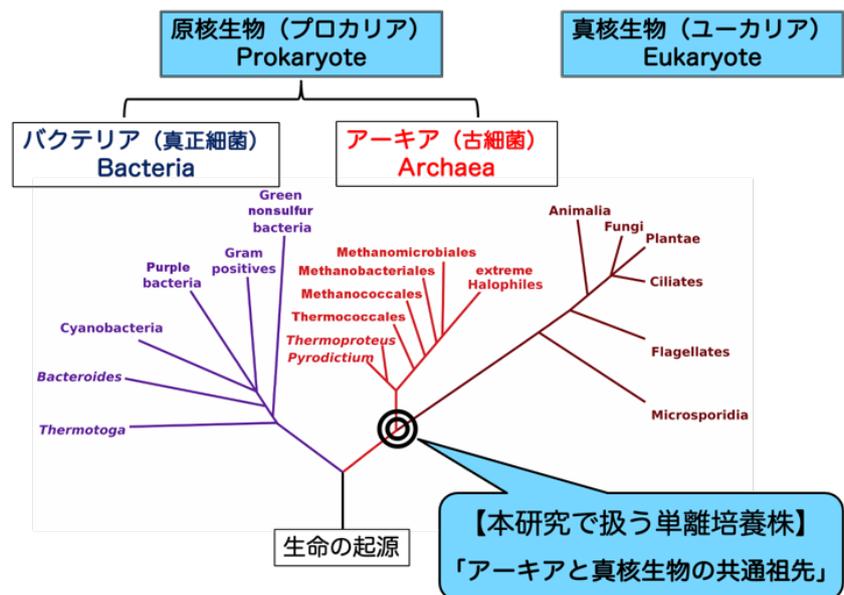


図1 生命の系統樹と「アーキアと真核生物の共通祖先」の生命科学的関係

3. 研究の方法

地球上のすべての生命は、3つのドメイン（生物界）に分類されている。アーキア、バクテリアそして我々人類を含む真核生物（ユーカリア）である。地球生命のうち、アーキアの細胞膜脂質は、エーテル結合とイソプレノイド型（分岐鎖炭化水素型）であり、真核生物とバクテリアの細胞膜の脂質型はエステル結合と脂肪酸型であり、両者は明瞭に異なることが知られる。仮に、ロキアーキオータが真核生物の起源に近いのであれば、エステル型の脂質骨格を持つことが予想されるし、他のアーキアと近似であればエーテル型である。

「アーキアと真核生物の共通祖先」は、どちらの脂質型なのか？この根源的な問いは、細胞の進化を考える上で重要な知見となる。「アーキアと真核生物の共通祖先」は、細胞サイズが小さく（ $\sim 0.1\mu\text{m}$ ）、細胞生育速度が極めて小さいため、新しい分析法の開発とともに、実験スケールの最適化を行った。細胞の進化を推定するための細胞膜脂質型の構造決定と細胞主組成の決定とともに、地球環境に存在するレファレンス試料の評価を合わせて行った。

4. 研究の成果

本研究では、世界最高の分析精度・確度の新しい方法論を用いて、地球生命科学的な観点から原核生物（アーキア）と真核生物（ユーカリア）の栄養共生のメカニズムを検証した。ここで重要になる第一義的な栄養基質が、アミノ酸である。あらゆる地球生命にとって、アミノ酸の栄養性要求は、「必須アミノ酸」と「非必須アミノ酸」に分けられる。「アーキアと真核生物の共通祖先」株から得られる遺伝子コードと共に実際それらが駆動されているか否か、精密な動態解析を行い、性状未知な生命の栄養性の応答を詳細に調査解析した。

次に、アミノ酸とともに短鎖ペプチド（ジペプチドやオリゴペプチド）の重要性も併せて評価した。これまでに研究代表者は、原核生物による短鎖ペプチドの吸収効率は、アミノ酸のそれよりも高く、重要な栄養基質であることを明らかにしている。つまり、アーキアと真核生物の進化を解く鍵として、栄養共生の理解は必須であり、アミノ酸および短鎖ペプチドの物質動態解析は、極めて決定的な要素と考えられた。「共通祖先」細胞の栄養性要求が明らかになると栄養共生（宿主細胞に対するゲスト細胞との共生への同化プロセス）のメカニズムが判明するため、現世の生命圏でも頻繁に起きている宿主-ゲスト共生との比較検証を行った。

ロキアーキオータは、世界中の海底堆積物に存在することが知られていることから、地球における物質循環を考える上でも極めて重要なアーキアである。このため、世界で唯一の「共通祖先」培養株の性状が記載できたため、本研究で行った一連の成果（e.g., Imachi et al., Nature, 2020）は、生命科学だけでなく地球惑星科学や地球史学等の学問分野にも大きな波及効果をもたらすであろう。

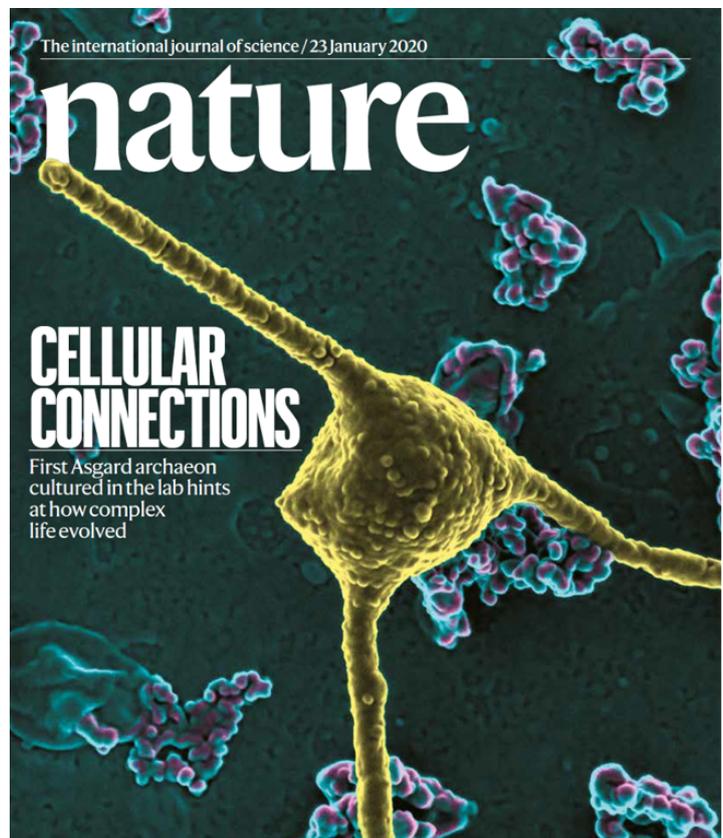


図2 「アーキアと真核生物の共通祖先」の実像（Imachi et al., 2020）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 16件）

1. 著者名 Urai Atsushi, Takano Yoshinori, Matsui Yohei, Iwata Hiroki, Miyairi Yosuke, Yokoyama Yusuke, Miyabara Yuichi, Ohkouchi Naohiko, Park Ho-Dong	4. 巻 6
2. 論文標題 Origin of Deep Methane from Active Faults along the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line between the Eurasian and North American Plates: 13C/12C and 14C/12C Methane Profiles from a Pull-Apart Basin at Lake Suwa	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 1689 ~ 1697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.1c00392	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 Ishikawa Naoto F., Ogawa Nanako O., Sun Yuchen, Chikaraishi Yoshito, Takano Yoshinori, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 20
2. 論文標題 Integrative assessment of amino acid nitrogen isotopic composition in biological tissue samples determined by GC/C/IRMS, LC x EA/IRMS, and LC x GC/C/IRMS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Limnology and Oceanography: Methods	6. 最初と最後の頁 531 ~ 542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/lom3.10502	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 Kobayashi Kensei, Nauny Philippe, Takano Yoshinori, Honma Chiho, Kurizuka Taihei, Ishikawa Yuto, Yogosawa Shusuke, Obayashi Yumiko, Kaneko Takeo, Kebukawa Yoko, Mita Hajime, Ogawa Mari, Enya Keigo, Yoshimura Yoshitaka, McKay Christopher P.	4. 巻 21
2. 論文標題 Biomarkers in the Atacama Desert along the moisture gradient and the depth in the hyperarid zone: Phosphatase activity as trace of microbial activity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Astrobiology	6. 最初と最後の頁 329 ~ 351
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1473550422000325	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 Choi Hyuntae, Choi Bohyung, Chikaraishi Yoshito, Takano Yoshinori, Kim Haryun, Lee Kitack, Lim Dongil, Shin Kyung-Hoon	4. 巻 9
2. 論文標題 Microbial alteration in marine sediments: Insights from compound-specific isotopic compositions of amino acids in subseafloor environments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 1030669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2022.1030669	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, Matsushita Makoto, Park Ho-Dong, Imachi Hiroyuki, Ogawara Miyuki, Iwata Hiroki, Kaneko Masanori, Ogawa Nanako O., Ohkouchi Naohiko, Takano Yoshinori	4. 巻 8
2. 論文標題 Detection of planktonic coenzyme factor 430 in a freshwater lake: small-scale analysis for probing archaeal methanogenesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-021-00450-7	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 Kaneko Masanori, Takano Yoshinori, Kamo Masashi, Morimoto Kazuya, Nunoura Takuro, Ohkouchi Naohiko	4. 巻 1
2. 論文標題 Insights into the Methanogenic Population and Potential in Subsurface Marine Sediments Based on Coenzyme F430 as a Function-Specific Biomarker	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JACS Au	6. 最初と最後の頁 1743 ~ 1751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacsau.1c00307	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 高野 淑識, 浦井 暖史, 金子 雅紀, 大河内 直彦	4. 巻 778
2. 論文標題 補酵素F430を経由するメタン生成とメタン酸化の多次元炭素同位体フィンガープリント法の展開	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本アイソトープ協会誌 Isotope News	6. 最初と最後の頁 36-40
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 -

1. 著者名 Sun, Y., Ishikawa, N.F., Ogawa, N.O., Kawahata, H., Takano, Y. and Ohkouchi, N.	4. 巻 34
2. 論文標題 A method for stable carbon isotope measurement of underivatized individual amino acids by multi-dimensional high-performance liquid chromatography and elemental analyzer/isotope ratio mass spectrometry.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 e8885
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcm.8885	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 Isaji, Y., Ogawa, N. O., Takano, Y. and Ohkouchi, N.	4. 巻 92
2. 論文標題 Quantification and carbon and nitrogen isotopic measurements of heme B in environmental samples	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 11213-11222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.0c01711	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 Takizawa, Y., Takano, Y., Choi, B., Dharampal, P., Steffan, S. et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 A new insight into isotopic fractionation associated with decarboxylation in organisms: implications for amino acid isotope approaches in biogeoscience	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-020-00364-w	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, A., Takano, Y., Imachi, H., Ishii, S.i., Matsui, Y., Ogawara, M. et al.	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 Sproson, D.A., Takano, Y., Miyairi, Y., Aze, T., Matsuzaki, H. et al.	4. 巻 256
2. 論文標題 Beryllium isotopes in sediments from Lake Maruwan Oike and Lake Skallen, East Antarctica, reveal substantial glacial discharge during the late Holocene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quaternary Science Reviews	6. 最初と最後の頁 106841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.quascirev.2021.106841	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 Takano, Y., Oba, Y., Furota, S., Naraoka, H., Ogawa, N.O., Blattmann, T.M. et al.	4. 巻 462
2. 論文標題 Analytical development of seamless procedures on cation-exchange chromatography and ion-pair chromatography with high-precision mass spectrometry for short-chain peptides.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 116529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijms.2021.116529	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 高野 淑識, 加藤 真悟	4. 巻 9
2. 論文標題 <入門講座> 『海底下の試料 (地球深部の堆積物および岩石)』 [依頼総説].	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本分析化学会誌 ぶんせき	6. 最初と最後の頁 314-319
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 -

1. 著者名 Imachi, H., Nobu, M.K., Nakahara, N., Morono, Y., Ogawara, M., Takaki, Y., Takano, Y. 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 該当する

1. 著者名 Oba, Y., Takano, Y., Naraoka, H., Furukawa, Y., Glavin, D.P., Dworkin, J.P. and Tachibana, S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Extraterrestrial hexamethylenetetramine in meteorites a precursor of prebiotic chemistry in the inner solar system.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 6243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-20038-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

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 木村凜太郎・萬年一剛・熊谷英憲・松井洋平・伊規須素子・高野淑識
2. 発表標題 真っ黒な殻の謎~大涌谷の黒たまご~
3. 学会等名 日本火山学会 2022 年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 孫 語辰, 小川 奈々子, 石川 尚人, 黒田 潤一郎, 高野 淑識, 大河内 直彦
2. 発表標題 Microbial Reworking of Organic Matter in Marine Sediments Revealed by Carbon Isotopic Compositions of Individual Amino Acids
3. 学会等名 日本地球化学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古賀 俊貴・高野 淑識・小川 奈々子・大場 康弘・大河内 直彦
2. 発表標題 プリンおよびピリミジン核酸塩基分子レベル窒素同位体比の分析法開発と展望
3. 学会等名 有機地球化学シンポジウム（横須賀シンポジウム）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Toshiki Koga, Yoshinori Takano, Nanako O. Ogawa, Yasuhiro Oba, Naohiko Ohkouchi
2. 発表標題 Analytical development of compound-specific ^{15}N measurement for underivatized pyrimidine and purine nucleobases
3. 学会等名 International Symposium on Isotope Physiology, Ecology, and Geochemistry 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Thomas M. Blattmann, Yoshinori Takano
2. 発表標題 High-affinity interactions between amino acids and phyllosilicates: Observations from the biosphere-geosphere interface
3. 学会等名 Latsis Symposium 2022: The Origin and Prevalence of Life @ ETH (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浦井暖史, 高野淑識, 松井洋平, 岩田拓記, 宮入陽介, 横山祐典ほか
2. 発表標題 断層湖堆積盆から湧出する深部メタンの起源と表層生態系への影響: 糸魚川静岡構造線と中央構造線の交点のカーボンサイクル
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 (JpGU2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅原 春菜・高野 淑識・滝沢 侑子・力石 嘉人
2. 発表標題 15Nに富むアミノ酸の分子レベル安定窒素同位体比測定における分析精度の検証
3. 学会等名 日本有機地球化学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Haruna Sugahara, Yoshinori Takano, Toshihiro Yoshimura, Nanako O. Ogawa, Naohiko Ohkouchi, Masayuki Uesugi, Akira Tsuchiyama
2. 発表標題 Assessing the irradiation effects by a synchrotron X-ray micro-computed tomography on the organic materials in carbonaceous chondrite: Examination at Spring-8 facility
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshinori Takano, Yasuhiro Oba, and Naohiko Ohkouchi
2. 発表標題 Recent development of seamless procedures on wet chemistry, cation-exchange chromatography and ion-pair chromatography with high-precision mass spectrometry for short-chain peptide molecules.
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nanako O. Ogawa, Toshihiro Yoshimura, Takeru Kochi, Junichiro Kuroda, Yoshinori Takano, Naohiko Ohkouchi
2. 発表標題 Sub-microgram sulfur isotope analysis for the biological, geological, and extraterrestrial samples by sensitivity-improved EA/IRMS
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浦井暖史, 高野淑識, 松井洋平, 岩田拓記, 宮入陽介, 横山祐典, ほか
2. 発表標題 断層湖堆積層における表層および深層のメタン：分子レベルの安定炭素・放射性炭素同位体比で捉える深層炭素と表層生態系へのインパクト
3. 学会等名 日本地球化学会第67回オンライン年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野 淑識
2. 発表標題 【招待講演】プロービングケミストリー：海底下にいる「地球最古の代謝を現存する生命」を化学で観る。
3. 学会等名 日本化学会 CSJ フェスタ 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計8件

1. 著者名 高野 淑識	4. 発行年 2023年
2. 出版社 地学団体研究会・平凡社	5. 総ページ数 -
3. 書名 『新版 地学事典』（増補・改訂版）【掲載確定】	

1. 著者名 高野 淑識	4. 発行年 2023年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 -
3. 書名 「生命起源の事典」（生命の起源と進化学会 監修）【掲載確定】	

1. 著者名 高野 淑識	4. 発行年 2022年
2. 出版社 下野新聞社・しもつけ随想（連載シリーズ）	5. 総ページ数 -
3. 書名 「科学の花を見るときは」	

1. 著者名 高野 淑識	4. 発行年 2022年
2. 出版社 下野新聞社・しもつけ随想（連載シリーズ）	5. 総ページ数 -
3. 書名 「小惑星リュウグウに挑む」	

1. 著者名 高野 淑識	4. 発行年 2022年
2. 出版社 下野新聞社・しもつけ随想（連載シリーズ）	5. 総ページ数 -
3. 書名 「日本とオーストラリアの絆」	

1. 著者名 高野 淑識	4. 発行年 2022年
2. 出版社 下野新聞社・しもつけ随想（連載シリーズ）	5. 総ページ数 -
3. 書名 「起源を探究する面白さ」	

1. 著者名 高野 淑識	4. 発行年 2022年
2. 出版社 下野新聞社・しもつけ随想（連載シリーズ）	5. 総ページ数 -
3. 書名 「太陽系大航海時代の眺望」	

1. 著者名 高野 淑識・分担執筆	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店.	5. 総ページ数 -
3. 書名 「生命起源の事典」（生命の起源と進化学会 監修）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

海洋研究開発機構 生物地球化学センター https://www.jamstec.go.jp/biogeochem/ プレート境界の断層湖で湧出する地下深部ガスの分子種特定と物質循環 https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20220615/Origin of Deep Methane from Active Faults https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsearthspacechem.1c00392 国立研究開発法人 科学技術振興機構 Researchmap https://researchmap.jp/read0194918 国立研究開発法人 海洋研究開発機構 http://www.jamstec.go.jp/j/ JAMSTECプレスリリース https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20210113/ JAMSTECプレスリリース https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20201208/ JAMSTEC_BGC https://www.jamstec.go.jp/biogeochem/ ETH Zurich, COPL (Centre for Origin and Prevalence of Life) https://copl.ethz.ch Researchmap https://researchmap.jp/read0194918

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	井町 寛之 (IMACHI Hiroyuki) (20361933)	海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門・上席研究員 (82706)	
研究協力者	延 優 (NOBU Masaru) (40805644)	海洋研究開発機構・超先鋭研究開発部門・主任研究員 (82706)	

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			
ドイツ	連邦地質調査所			
スイス	スイス工科大学			
韓国	漢南大学			
スイス	スイス工科大学			