

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01165

研究課題名(和文)フッ化型同位体分子計測による後期太古代の生物地球化学

研究課題名(英文)Fluorination isotopologue analysis for biogeochemistry in Late Archean

研究代表者

上野 雄一郎 (Ueno, Yuichiro)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：90422542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、有機分子の ^{13}C - ^{13}C 同位体分子計測という新たな分析手法を開発した。この手法は、分子のC-C結合のうち、炭素が2つとも希少な安定同位体である ^{13}C に置換された分子の存在度を計測するもので、環境中の分子の由来を推定する追跡指標として使用することができる。特に、我々の研究によって、生物起源エタノールや炭化水素は特徴的な ^{13}C - ^{13}C 存在度を示し、これは実験室や天然環境で非生物的に合成された分子よりも優位に高いことが示された。したがって、この新計測法は、分子の起源を判別するバイオマーカーとして有用である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で確立した新しい分析手法は、様々な宇宙・惑星環境での低級有機分子が、生物過程で形成した分子であるか否かを判別するための強力な手段となることが期待でき、今後の太陽系探査等における研究展開が期待される。また同手法は環境中に存在する有機分子の由来を判別するためにも応用可能であり、今後の環境計測技術としての発展も期待できる。

研究成果の概要(英文)：We have established a new method to trace origins of organic molecules called " ^{13}C - ^{13}C Isotopologue analysis". The method precisely determine abundance of C-C bonding both consisting of the rare stable carbon isotope ^{13}C . Especially, our experiments demonstrated that bio-synthetic ethanol and ethane show a specific ^{13}C - ^{13}C abundance, which is markedly higher than those observed in non-biological molecules synthesized in laboratory and nature. Therefore, the new tracer is useful as a "biomarker" for distinguishing biological and non-biological molecules in wide range of environment.

研究分野：地球化学

キーワード：安定同位体 同位体分子 環境計測

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

地球大気酸素濃度は約 23 億年前に上昇したとされ、大酸化事変(Great Oxidation Event : GOE)と呼ばれている。GOE の要因に着目した地球化学的研究は多数ある一方で、GOE の直前にあたる後期太古代には炭素、窒素、硫黄の安定同位体異常が報告されており、地球史のどの時代とも異なる特殊な惑星環境にあったと考えられるが、その実態は明らかでない(図 1)。特に 28 億から 25 億年前に見られる有機炭素同位体の負異常の原因については、(1)その時代に特徴的なメタンを利用する生物活動が活発化したことを反映すると考える説と、(2)還元的大気組成が現出し、その大気中で合成された有機物が地表に供給されたためであるとする説が提案されている。しかしながら、どちらの説が妥当であるのかは従来、判別が困難であった。

一方、研究代表者の上野らは、大気中で生じる硫黄の安定同位体の異常が生じるメカニズムを室内実験によって突き止め、紫外線によって駆動される光化学反応では、その波長に依存して同位体分別が異なることを明らかにした。これに基づき、当時の大気が CO を含むことによって、後期太古代の地質記録に残る硫黄同位体異常を再現可能であることを示した。同様の波長依存効果は炭素同位体の分別にも期待されることから、炭素と硫黄の安定同位体異常が同時に観測される事実は、当時の大気組成に原因があることを意味する。したがって、後期太古代に現出した特殊な惑星環境の実態を解明するためには(2)の還元大気説をさらに追求することが重要であると考えた。

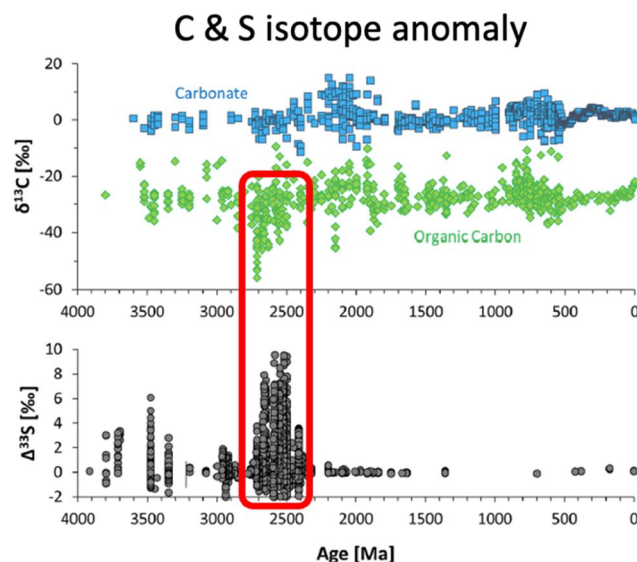


図 1 後期太古代に見られる炭素と硫黄の同位体異常(Stüeken, Ueno et al., 2020)

2. 研究の目的

後期太古代の軽元素同位体異常の原因を突き止めるため、本研究ではまず、分子レベルの安定同位体計測法を開発する(同位体分子計測)。独自のフッ化反応を利用することで、特に ^{13}C - ^{13}C 二重置換同位体分子を計測する新たな手法を確立する(フッ化型同位体分子計測)。この新たな計測法を用いて、生物過程と大気過程のそれぞれによって生成される分子がもつ ^{13}C - ^{13}C 二重置換度の特徴等を明らかにし、環境追跡指標を構築する。同位体異常を有する堆積有機物に、これらの新規計測法を適用し、後期太古代の特殊な生物地球化学循環を解明することを最終目的とした。

3. 研究の方法

同位体分子計測法の開発にあたっては、まず質量分析計コレクターシステムの改良を行い、質量電荷比 119 ($^{12}\text{C}_2\text{F}_5^+$)、120 ($^{12}\text{C}^{13}\text{C}\text{F}_5^+$)、121 ($^{13}\text{C}_2\text{F}_5^+$) の同位体分子イオンを同時計測可能とする。種々の分子はまず C_2F_6 に変換し、その質量分析を行うことで、原理的には C-C 結合を有するあらゆる有機分子の ^{13}C - ^{13}C 二重置換度を計測することができる。本研究では、エタン(C_2H_6)、エチレン(C_2H_4)、エタノール($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)等について、順次フッ化法の最適化を行い、計測法を確立する。この計測法を用いて、各種生物起源エタノール、天然ガス等の計測を行い、生物代謝による ^{13}C - ^{13}C 二重置換度の特徴を明らかにする。一方、実験室内において、放電実験および紫外線照射実験を行い、メタン等から非生物的に炭化水素を合成し、その ^{13}C - ^{13}C 二重置換度の特徴を明らかにする。これらの計測・実験結果の比較解析を行い、 ^{13}C - ^{13}C 二重置換度による環境追跡指標を構築する。最終的には太古代堆積岩試料から抽出したケロジェンの計測を行い、その結果をもとに古環境解析を行う。

4. 研究成果

^{13}C - ^{13}C 二重置換同位体分子計測を行うために必要なフッ化法を考案し、エタン(C_2H_6)、エチレン(C_2H_4)、エタノール($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)の三種それぞれについて、十分な回収率で C_2F_6 に変換する手法が確立された。同位体分子計測を行うためには、フッ化の際に C-C 結合の開裂を避ける必要があるが、これを実現するためには上記3種は F_2 との反応を液体窒素温度(-196°C)から室温まで順次昇温して行うことで達成できることが明らかになった。これらのフッ化により得られた C_2F_6 を、コレクターシステムを改良した安定同位体比質量分析計で繰り返し計測した結果、いずれの分子についても二重置換度($\Delta^{13}\text{C}^{13}\text{C}$ 値)を $\pm 0.1\%$ の精度で計測可能であることが示された(Taguchi et al., 2020)。エタンの ^{13}C - ^{13}C 二重置換度計測は、高質量分解能安定同位体比質量分析計を用いた例が一例報告されていたが、エチレンおよびエタノールの二重置換度計測は世界初であり、またフッ化法を用いることにより、従来よりも多様な分子に同位体分子計測を適用する道が開拓された。また、 ^{13}C 濃縮エタノール試料を用いて、計測法の標準化を行ったところ、二重置換度決定における質量分析のアーティファクトは無視できるほど小さいため、実験室間の相互比較は容易であることから、汎用性の高い計測法であることが示された(Taguchi et al., 2021)。

次に、確立した計測法を用いて、C3 植物、C4 植物、CAM 植物由来の生物起源エタノールの計測を行ったところ、それらエタノールの二重置換度は分析精度の範囲内で一致する特徴的な二重置換度を示すことが明らかになった(Taguchi et al., 2020)。また、この二重置換度は、幾つかの熱分解起源天然ガスから抽出したエタンの二重置換度ともほぼ同じ値となっており、生物代謝に特有の値であることが示唆される(図2)。一方、実験室内でエタンを合成する実験を行い、その二重置換度を計測した。実験は、メタンを出発物質として、A)火花放電、B)紫外線照射、および C)ガンマ線照射の3つの方法で行われたが、これら非生物的に合成したエタンは、生物起源エタンおよびエタノールと比較して、優位に ^{13}C - ^{13}C 二重置換度が低い特徴を持つことが明らかになった(図2)。この特異性は、生物代謝と異なり、C1 化合物の付加に伴う動的同位体効果を反映すると解釈され、したがって、 ^{13}C - ^{13}C 二重置換度は有機分子の生物・非生物の起源を判別する指標となりうることを示された。特に、B)の紫外線照射実験で得られたエタンの $\Delta^{13}\text{C}^{13}\text{C}$ 値は最も低く、これは大気中でメタンの重合によって形成される炭化水素の二重置換度を代表すると考えられる。したがって、当初の目的であった大気由来、生物由来の起源判別を行うために ^{13}C - ^{13}C 二重置換度は適していることが示された。

また、この手法をカナダ Kidd Creek Mine から採取された炭化水素に適用した。同炭化水素は、従来、炭素数と存在度の間のパターン等から、非生物起源の炭化水素であることが予測されていたが、二重置換度計測を行ったところ、無機合成エタンと同様にして、低い $\Delta^{13}\text{C}^{13}\text{C}$ 値を示すことが明らかになり、手法の有用性が示された。一方、太古代岩石試料から分離したケロジェンについては、ルテニウムイオン触媒酸化法等で抽出した酢酸等分子の計測を試みたが、正確な計測のためには、フッ化の前に存在する不純物の影響を排除する必要があることが明らかとなった。今後、これらの課題を解決し、堆積物試料の二重置換同位体分子計測を行い、その結果をもとに古環境解析を行う必要がある。

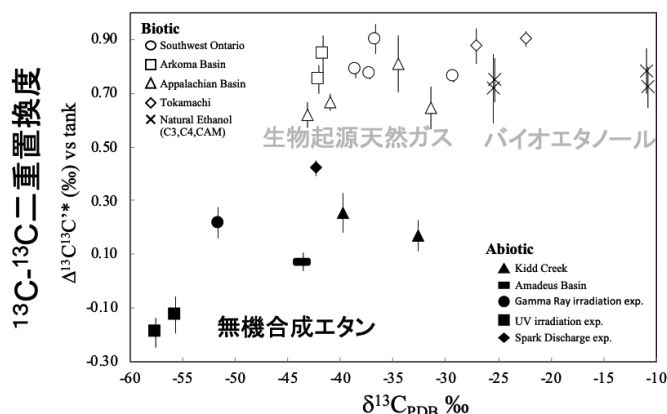


図2 生物起源・非生物起源のエタン、エタノールの ^{13}C - ^{13}C 二重置換度

文献

- Taguchi, K., Gilbert, A. and Ueno, Y., 2021. Standardization for ^{13}C - ^{13}C clumped isotope analysis by fluorination method. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 35: e9109.
- Taguchi, K., Yamamoto, T., Nakagawa, M., Gilbert, A. and Ueno, Y., 2020. A Fluorination method for measuring ^{13}C - ^{13}C isotopologue of C2 molecules. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 34: e8761.
- Stüeken, E.E., Som, S.M., Sproß, L., Tosi, N., Rugheimer, S., Scherf, M., Ueno, Y., Claire, M. and Lammer, H., 2020. Mission to planet Earth: the first two billion years. *Space Science Reviews*, 216:31.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Taguchi Koudai, Gilbert Alexis, Ueno Yuichiro	4. 巻 35
2. 論文標題 Standardization for ^{13}C ^{13}C clumped isotope analysis by the fluorination method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 e9109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/rcm.9109	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 Stueken E. E., Som S. M., Claire M., Rugheimer S., Scherf M., Spro? L., Tosi N., Ueno Y., Lammer H.	4. 巻 216
2. 論文標題 Mission to Planet Earth: The First Two Billion Years	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11214-020-00667-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 Taguchi Koudai, Yamamoto Tomonari, Nakagawa Mayuko, Gilbert Alexis, Ueno Yuichiro	4. 巻 34
2. 論文標題 A fluorination method for measuring the ^{13}C ^{13}C isotopologue of C_2 molecules	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Rapid Communications in Mass Spectrometry	6. 最初と最後の頁 e8761
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/rcm.8761	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 McGlynn Shawn E., Glass Jennifer B., Johnson-Finn Kristin, Klein Frieder, Sanden Sebastian A., Schrenk Matthew O., Ueno Yuichiro, Vitale-Brovarone Alberto	4. 巻 105
2. 論文標題 Hydrogenation reactions of carbon on Earth: Linking methane, margarine, and life	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 599 ~ 608
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2138/am-2020-6928CCBYNCND	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 Ward Lewis M., Idei Airi, Nakagawa Mayuko, Ueno Yuichiro, Fischer Woodward W., McGlynn Shawn E.	4. 巻 34
2. 論文標題 Geochemical and Metagenomic Characterization of Jinata Onsen, a Proterozoic-Analog Hot Spring, Reveals Novel Microbial Diversity including Iron-Tolerant Phototrophs and Thermophilic Lithotrophs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microbes and Environments	6. 最初と最後の頁 278 ~ 292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1264/jsme2.ME19017	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 Warke Matthew R., Di Rocco Tommaso, Zerkle Aubrey L., Lepland Aivo, Prave Anthony R., Martin Adam P., Ueno Yuichiro, Condon Daniel J., Claire Mark W.	4. 巻 117
2. 論文標題 The Great Oxidation Event preceded a Paleoproterozoic "snowball Earth"	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 13314 ~ 13320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2003090117	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 Gilbert Alexis, Sherwood Lollar Barbara, Musat Florin, Giunta Thomas, Chen Songcan, Kajimoto Yuki, Yamada Keita, Boreham Christopher J., Yoshida Naohiro, Ueno Yuichiro	4. 巻 116
2. 論文標題 Intramolecular isotopic evidence for bacterial oxidation of propane in subsurface natural gas reservoirs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 6653 ~ 6658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1817784116	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 Aoyama Shinnosuke, Nishizawa Manabu, Miyazaki Junichi, Shibuya Takazo, Ueno Yuichiro, Takai Ken	4. 巻 491
2. 論文標題 Recycled Archean sulfur in the mantle wedge of the Mariana Forearc and microbial sulfate reduction within an extremely alkaline serpentine seamount	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 109 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2018.03.002	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 Igisu Motoko, Yokoyama Tadashi, Ueno Yuichiro, Nakashima Satoru, Shimojima Mie, Ohta Hiroyuki, Maruyama Shigenori	4. 巻 16
2. 論文標題 Changes of aliphatic C-H bonds in cyanobacteria during experimental thermal maturation in the presence or absence of silica as evaluated by FTIR microspectroscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Geobiology	6. 最初と最後の頁 412 ~ 428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gbi.12294	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 Kitadai Norio, Nakamura Ryuhei, Yamamoto Masahiro, Takai Ken, Li Yamei, Yamaguchi Akira, Gilbert Alexis, Ueno Yuichiro, Yoshida Naohiro, Ono Yoshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Geoelectrochemical CO production: Implications for the autotrophic origin of life	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 7265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.aao7265	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 Endo Yoshiaki, Danielache Sebastian O., Ueno Yuichiro	4. 巻 46
2. 論文標題 Total Pressure Dependence of Sulfur Mass-Independent Fractionation by SO ₂ Photolysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 483 ~ 491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018GL080730	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 Gilbert Alexis, Sherwood Lollar Barbara, Musat Florin, Giunta Thomas, Chen Songcan, Kajimoto Yuki, Yamada Keita, Boreham Christopher J., Yoshida Naohiro, Ueno Yuichiro	4. 巻 116
2. 論文標題 Intramolecular isotopic evidence for bacterial oxidation of propane in subsurface natural gas reservoirs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 6653 ~ 6658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1817784116	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 Seki Kaori, Ohba Takeshi, Aoyama Shinnosuke, Ueno Yuichiro, Sumino Hirochika, Kanda Wataru, Yaguchi Muga, Tanbo Toshiya	4. 巻 81
2. 論文標題 Variations in thermal state revealed by the geochemistry of fumarolic gases and hot-spring waters of the Tateyama volcanic hydrothermal system, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of Volcanology	6. 最初と最後の頁 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00445-018-1264-7	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 Shimizu Kenji, Ushikubo Takayuki, Murai Tomokazu, Matsu'ura Fumihito, Ueno Yuichiro	4. 巻 53
2. 論文標題 In situ analyses of hydrogen and sulfur isotope ratios in basaltic glass using SIMS	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 GEOCHEMICAL JOURNAL	6. 最初と最後の頁 195 ~ 207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2343/geochemj.2.0559	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 Aoyama Shinnosuke, Ueno Yuichiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Multiple sulfur isotope constraints on microbial sulfate reduction below an Archean seafloor hydrothermal system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geobiology	6. 最初と最後の頁 107 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gbi.12268	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 Genda Hidenori, Iizuka Tsuyoshi, Sasaki Takanori, Ueno Yuichiro, Ikoma Masahiro	4. 巻 470
2. 論文標題 Ejection of iron-bearing giant-impact fragments and the dynamical and geochemical influence of the fragment re-accretion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 87 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2017.04.035	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 Mishima Kaoru, Yamazaki Rie, Satish-Kumar Madhusoodhan, Ueno Yuichiro, Hokada Tomokazu, Toyoshima Tsuyoshi	4. 巻 464
2. 論文標題 Multiple sulfur isotope geochemistry of Dharwar Supergroup, Southern India: Late Archean record of changing atmospheric chemistry	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 69 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2017.02.007	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 Saitoh Masafumi, Ueno Yuichiro, Matsu'ura Fumihiko, Kawamura Tetsuya, Isozaki Yukio, Yao Jianxin, Ji Zhansheng, Yoshida Naohiro	4. 巻 135
2. 論文標題 Multiple sulfur isotope records at the end-Guadalupian (Permian) at Chaotian, China: Implications for a role of bioturbation in the Phanerozoic sulfur cycle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Asian Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 70 ~ 79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jseaes.2016.12.009	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, Gilbert Alexis, Yamada Keita, Yoshida Naohiro, Ueno Yuichiro	4. 巻 206
2. 論文標題 Compound- and position-specific carbon isotopic signatures of abiogenic hydrocarbons from on-land serpentinite-hosted Hakuba Happo hot spring in Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 201 ~ 215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2017.03.008	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13件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Y. Ueno, T. Katsuta, T. Ishimaru, N. Yoshida
2. 発表標題 A new method for measuring 34S-18O clumping of sulfate
3. 学会等名 Goldschmidt Conference, Barcelona, Spain. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zang, X., Kawade, M., Ueno Y.
2. 発表標題 Photochemical synthesis of ammonia and amino acid
3. 学会等名 Goldschmidt Conference, Barcelona, Spain. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯田 健太、蔵 暁鳳、上野 雄一郎
2. 発表標題 CO大気の光化学で生じるグリオキシル酸
3. 学会等名 JpGU
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno and Shinnosuke Aoyama
2. 発表標題 Isotopic signatures of global-scale biological activity
3. 学会等名 PSA workshop, Tokyo, Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno
2. 発表標題 CO as a key to understand Early Earth and Mars
3. 学会等名 Goldschmidt Conference, Boston, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno
2. 発表標題 Extreme S and C isotope fractionations in atmosphere: A fresh insights into early Earth and Mars
3. 学会等名 ISSI Workshop, Bern, Switzerland (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno
2. 発表標題 Atmospheric S-MIF mechanism and application to Early Earth systems
3. 学会等名 Exploration workshop, University of Western Australia, Perth, Australia (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuichiro Ueno
2. 発表標題 The Late Archean CO-world or Hazy Atmosphere?
3. 学会等名 JSPS-DST Forum, Niigata Univ. Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ueno Y
2. 発表標題 Reducing early atmosphere and carbon cycle
3. 学会等名 DCO workshop on global geodynamical models (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ueno Y, Endo Y, Zang X and Kawade W
2. 発表標題 Revisiting Redox State of the Early Earth's Atmosphere and Prebiotic Synthesis
3. 学会等名 XVIIIth International Conference on the Origin of Life (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ueno Y
2. 発表標題 Large ¹³ C-depletion by solar UV CO ₂ photolysis and its implication to Late Archean ecosystem
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ueno Y
2. 発表標題 Decoding redox evolution before oxygenic photosynthesis
3. 学会等名 EON workshop "Cosmic perspective of Earth" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ueno Y
2. 発表標題 Late Archean Earth as a window to Astrobiology
3. 学会等名 IAU meeting Astrobiology 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ガス田の天然ガスを微生物が食べていた： 未知の大規模微生物生命圏の存在示唆
<https://www.titech.ac.jp/news/2019/044078.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	ジルベルト アレキシー (Gilbert Alexis) (20726955)	東京工業大学・理学院・助教 (12608)	

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