

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02014

研究課題名（和文）模擬実験による原始地球上での生命誕生における太陽エネルギー粒子の役割の検証

研究課題名（英文）Experimental Studies on Roles of Solar Energetic Particles in the Generation of Life on the Primitive Earth

研究代表者

小林 憲正（Kobayashi, Kensei）

横浜国立大学・大学院工学研究院・名誉教授

研究者番号：20183808

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：初期地球上での化学進化における太陽高エネルギー粒子(SEP)の役割を、加速器を用いた実験により検証した。初期地球大気が強還元型ではなくCO₂、CO、N₂を主とするものだったとしても、SEPがCO、N₂から十分な量のアミノ酸を生成しうることが示され、また、従来考えられていたようなStrecker合成のような平衡化学的な反応ではなく、新たな化学進化の道筋の存在も示唆された。さらに大気中で温室効果の高いN₂Oを生成することにより初期地球の凍結を防いだ可能性も示された。SEPにより生じるスピン偏極ミュオンがアミノ酸の不斉に関わった可能性も示唆されたが、そのさらなる検証が今後の課題である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命の誕生に必要なアミノ酸などの有機物の生成の場としては地球大気と地球外環境が考えられているが、近年では初期地球大気は弱還元的で有機物生成に不利とされてきた。本研究では太陽フレアに由来する太陽高エネルギー粒子のエネルギーを考慮すれば、弱還元的な初期地球大気からも大量のアミノ酸生成が可能であったことを模擬実験により示した。この時の反応機構は従来広く考えられてきたストレッカー合成のような平衡反応ではないことも示され、新たな化学進化の道筋の探索の重要性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Roles of solar energetic particles (SEPs) in prebiotic chemistry in early Earth was examined experimentally. It was shown that SEPs could yield a large amount of amino acids from the early Earth atmosphere even if it was such weakly reducing one as a mixture of carbon dioxide, carbon monoxide / methane, nitrogen and water. The amino acid formation pathway driven by SEPs suggested was not the conventional equilibrium reaction like the Strecker synthesis. Nitrous oxide, which has large greenhouse effect, was formed, and it might have prevent the early Earth from freezing under the faint young Sun. SEPs would generate spin-polarized muons after the interaction with atmospheric molecules. It was suggested that such asymmetric muons may have produce the seeds of amino acid homochirality by irradiation of DL-alanine with muons.

研究分野：アストロバイオロジー

キーワード：太陽エネルギー粒子 銀河宇宙線 生命の起源 一酸化炭素 有機炭素 アミノ酸 陽子線照射 紫外線照射

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

供給が必要である。1950-60年代、原始地球大気が強還元型だったとする仮説のもと、メタン・

(1) 前生物化学的なアミノ酸の起源：地球上での生命の誕生に先立ち、アミノ酸などの有機物のアンモニアを多く含む混合ガスに原始地球上で得られる種々のエネルギーの寄与を模擬した実験が多数行われた。その結果、いずれのエネルギーでもアミノ酸が生成することが確認され、有機物生成にはフラックスが大きい紫外線や雷の寄与が大きいと考えられた[1]。近年、原始大気は二酸化炭素・窒素を主とするが、若干の還元型気体（メタン、一酸化炭素など）を含む「弱還元型」とする説が有力である。この場合、最もフラックスの大きい紫外線や、雷ではアミノ酸の生成は極めて限定的となる。われわれは、これまで銀河宇宙線(GCR)の作用を想定し、弱還元型模擬原始大気に陽子線を照射することにより、アミノ酸前駆体の生成を確認した[2]。GCRのエネルギーフラックスは、他のエネルギー源と比較すると低いが、紫外線や放電でのアミノ酸類の生成が困難であることから、宇宙線が主要なエネルギーと考えられた。

これに代わって注目されたのが、地球外有機物である。隕石（炭素質コンドライト）中には80種類ほどのアミノ酸など、多様な有機物の存在が確認されたほか、彗星や惑星間塵中にも多様な有機物が存在することがわかった。Chybaら[3]は、原始地球上での有機物の供給量を推定し、惑星間塵が最大の有機炭素の供給源であると結論した。

(2) 初期地球のハビタビリティ：初期の太陽は現在の70%の光度しかなく、その場合、初期地球は凍結していた可能性が考えられる。しかし、初期地球で生命が誕生したならば、凍結していなかったはずである。これは「暗い太陽のパラドックス」[4]と呼ばれ、地球の凍結を防ぐ機構が必要であった。

(3) アミノ酸の不斉の起源：アミノ酸はキラルな分子で、L体とD体があるが、地球生物はL体を選択的に用いており、その理由が議論されてきた。Croninらは隕石中のアミノ酸にL体過剰が存在することを見出した[5]。L体過剰の理由としては、星間で生成したアミノ酸が円偏光の作用などによりL体過剰となり、それが隕石などにより地球に届けられ、生命の素材となったというシナリオが有力であった。

(4) 太陽型星のスーパーフレアの発見とその生命の起源との関連：近年、太陽に似た若い恒星がスーパーフレアを起こすことが観測され[5]、若い太陽もそのような巨大なフレアを起こした可能性が高いこと、今後も太陽が想定外の巨大フレアを起こす可能性が示唆された。Airapetianら[6]は巨大フレアにより生じた高フラックスの太陽高エネルギー粒子(SEP)が初期地球大気中の有機物生成や、温室効果の高い N_2O の生成に寄与した可能性を理論的に示した。一方、Globusら[7]はSEPや宇宙線などの高エネルギー粒子が大気分子と衝突した時に生じるスピン偏極粒子によりアミノ酸の不斉が生じる可能性を提案した。

2. 研究の目的

本研究では、SEPにより初期地球大気からアミノ酸や温室効果ガス(N_2O)、さらにアミノ酸の不斉が生じるかを実験的に検証すること、具体的には

- (1) 弱還元型初期地球大気中からSEPによって有機物（特にアミノ酸などの生体有機物）が生成可能であるか、またその量は、地球外起原有機物の供給と較べて多いのか。
- (2) SEPによりどのくらい N_2O が生じ、惑星環境にどのような影響を与えるか。

(3) SEPにより生じるスピン偏極ミュオンによりアミノ酸の不斉が生じるか。つまり、原始地球環境下での化学進化において不斉アミノ酸が生成するかの。

を加速器実験によって解き明かすことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 初期地球大気を模した混合気体（種々の混合比のCO₂, COまたはCH₄, N₂）と液体の水をガラス製容器（Havar箔の窓つき）に入れ、東京工業大学のタンデム加速器からの2.5 MeV陽子線、もしくは東京都市大学のタンデム加速器からの2.0 MeV陽子線を照射した。

比較として同様な混合気体への紫外線照射(450 W キセノンランプ使用)や火花放電（テストコイル使用）も行った。出発物質中のCOを安定同位体(¹³C)ラベルした実験も行った。

(2) 照射後、気相生成物はGC/MS（島津GCMS-QP2020; カラム：Poraplot Q）で分析した。水にとけた生成物はそのまま、もしくは酸加水分解後、HPLC（島津LC-10ATアミノ酸分析システム）もしくは誘導体化後にGC/MS（島津GCMS-QP2020; カラム：CP-Chirasil-L-Val）で分析した。カルボン酸はそのまま、もしくはアルカリ加水分解後にGC/MS（Agilent Model 6890 GC + Model 5975 MS）で分析した。加水分解前の試料は島津全有機炭素計による全有機炭素分析、HPLC法、限外ろ過法などによりアミノ酸前駆体分析を行った。

(3) (2)の結果をもとに、40億年前の初期地球上でのSEPによるアミノ酸生成量を推定し、隕石などで地球にもたらされるアミノ酸量との比較を行った。

(4) 大強度陽子加速器施設(J-PARC)の物質・生命科学研究所施設(MLF)において、円盤状に成形したDL-アラニン（固体）にミュオン(μ⁺, μ⁻)を照射した(Fig.1)。照射後、GC/MS（島津GCMS-QP2020; カラム：CP-Chirasil-L-Val）でアラニンのD/L比を測定した。

4. 研究成果

(1) CO₂, CH₄, N₂, H₂O 混合気体からのアミノ酸・カルボン酸生成

混合ガス比率を N₂=50%, CO₂ + CH₄ = 50%として、陽子線照射 (2 mC)および火花放電を行った。酸加水分解前はいずれの生成物からもアミノ酸は痕跡量しか検出されなかったが、酸加水分解後には、出発物質の組成により火花放電・陽子線照射生成物からはグリシン(Gly)やアラニンなど種々のアミノ酸が検出された。紫外線ではアミノ酸は検出されなかった。以後、最も多く生成した Gly のエネルギー収率(G=生成分子数/100 eV)を中心に議論する。Fig. 2 に火花放電と陽子線照射によるグリシン生成の G 値を示す。rCH₄ は混合ガス中の CH₄ 比率である。火花放電実験では、CH₄ 比率 10%以下では Gly の生成は確認できなかったが、CH₄ 比率 15%では少量の Gly の生成が確認され、CH₄ 比率 10%~15%間にアミノ酸生成の閾値があることが示唆された。陽子線照射実験では CH₄ 比率 0.5%でも Gly が

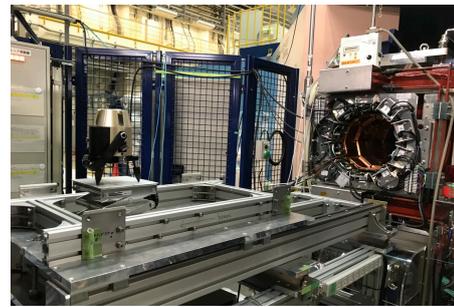


Fig. 1. J-PARC の MLF における DL-アラニンへのミュオン照射実験

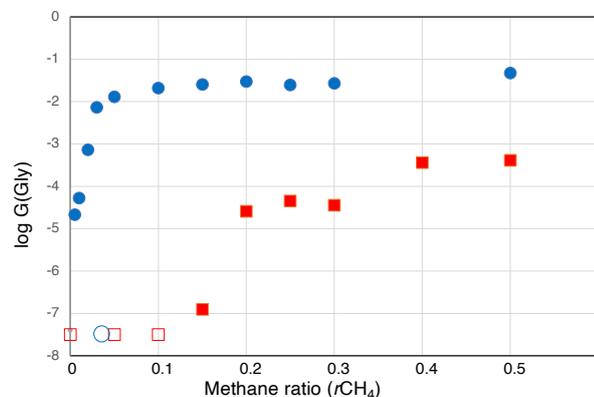


Fig. 2. 種々の混合比の CO₂, CH₄, N₂, H₂O 混合気体からのグリシン生成の G 値。●陽子線照射, ■火花放電。

生成し ($G = 2.1 \times 10^{-5}$) , アミノ酸生成に対する CH_4 濃度の閾値がないことが示唆された。実際の弱還元型原始地球大気の CH_4 比率は極めて低いと想定されるため、雷や紫外線をエネルギー源としたアミノ酸生成の可能性は低いと考えられるが、宇宙線であればアミノ酸前駆体が生成された可能性が高いと思われる。

カルボン酸分析を行った全ての系(火花放電, 陽子線照射)で、ギ酸, 酢酸, シュウ酸などの遊離カルボン酸が検出された。主な生成物であるギ酸のエネルギー収率は、例えば CH_4 比率 5% の陽子線照射実験では $G = 5.3 \times 10^{-2}$ であり、アミノ酸よりもカルボン酸の方が多く検出された。

(2) $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{N}_2, \text{H}_2\text{O}$ 混合気体からのアミノ酸生成

混合ガス比率を $\text{N}_2=50\%$, $\text{CO} = 8\%$ (または 0%), $\text{CO}_2 = 42\%$ (または 50%) として、陽子線照射(2 mC), 火花放電(24 h), 紫外線照射(16 h)を行った。 $\text{CO} = 8\%$ での陽子線照射以外ではほとんどアミノ酸は検出されなかったが、CDNW8%では Gly ($3.2 \mu\text{mol}$)の他に Ala, Asp, Ser, α -ABA, β -Ala などのアミノ酸が検出された。よって $\text{N}_2, \text{CO}_2, \text{CO}, \text{H}_2\text{O}$ 系の初期地球上のアミノ酸生成において、 CO と SEPs が重要であることが示唆された。

$\text{CO} = 8\%$ の時の Gly 生成量から、SEPs ($> 3 \times 10^{24} \text{ eV m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ [8]) による初期地球(4 Ga)での Gly 生成率を推定すると $1.9 \times 10^9 \text{ kg/yr}$ となったが、これは 4 Ga での隕石や惑星間塵によるアミノ酸供給量の推定値 ([3][9]より試算) : $< 3 \times 10^5 \text{ kg/yr}$ と比べ、はるかに多量のアミノ酸が初期地球大気中で生成した可能性を示す。

(3) 種々の混合気体からの N_2O 生成

GC/MS を用いて種々の混合ガスの陽子線照射後の N_2O と CO の分析を行った。Fig. 3 に生成物中の $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2$ 比を示す。 N_2 濃度は照射前後であまり変化しないため、 N_2O 濃度は炭素源によらず、照射線量に比例して増大することがわかった。なお、2 mC 照射した場合の $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2$ 比は 0.15% となった。これは N_2O の生成と消費がほぼ平衡に達した値と考えられる。このことにより、SEP により極めて温室効果の高い N_2O が生成し、それにより初期地球が表面に液体の水を保持できた可能性が実験的にも検証された。

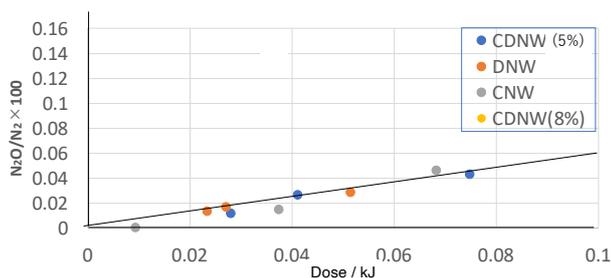


Fig. 3 陽子線照射による N_2O 生成

$\text{N}_2: 50\%$, $\text{CO}: 0\%$ (DNW), 5%, 8%, 50% (CNW), CO_2 : balance.

(4) アミノ酸前駆体の検索と反応機構の考察

初期地球や、地球外環境でのアミノ酸生成の機構として Strecker 合成が考えられてきた。もしそうならば、加水分解前のアミノ酸前駆体はアミノニトリル類であることになる。陽子線照射実験での生成物(加水分解前)の分析を行ったところ、アミノアセトニトリル(グリシンの前駆体)の溶出時間付近にピークは検出されなかった。つまり、陽子線照射でのアミノ酸生成は Strecker 合成ではないことが示された。アミノ酸前駆体の候補としてはヒダントインも考えられるが、生成物の逆相クロマトグラムのヒダントイン溶出時間付近には小さいピークしか検出されず、これも主要なアミノ酸前駆体でないことがわかった。 $\text{CO}_2, \text{CO}, \text{N}_2, \text{H}_2\text{O}$ 混合気体への陽子線照射により、分子量数百の高分子態の有機物が生成することがゲルろ過 HPLC 法により示唆されている

る[10]ため、そのような高分子態のアミノ酸前駆体が生成した可能性が考えられる。

反応機構の推定のため、 ^{13}C 8%, CO_2 42%, N_2 50%の混合気体を用いて陽子線照射を行い、生成物を加水分解した後、GC/MSで分析を行った。その結果、 ^{13}C を含むグリシン、アラニンが検出されたため、照射により生成するアミノ酸が実験由来であることが示された。また、グリシン、アラニンのフラグメントのマススペクトルから、それぞれのカルボニル炭素の多くが CO_2 由来、 α 炭素の多くが CO 由来であることが示唆された (Fig. 4)。Strecker 合成機構では、カルボニル炭素は HCN 由来となるが、一般に CO よりも CO_2 から HCN が多く生成することは考えにくく[11]、このことも本実験のアミノ酸生成経路は Strecker 合成でないことの根拠となる。

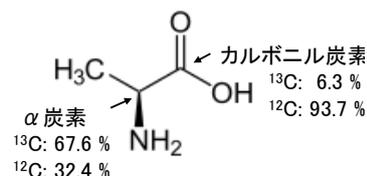


Fig. 4. ^{13}C , ^{12}C から生成したグリシンの同位体分布

(5) DL-アラニンへのミュオン照射による不斉創生

大強度陽子加速器施設(J-PARC)物質・生命科学実験施設(MLF)のミュオンビームライン D1 と S1 にて、正および負ヘリシティにスピンの偏極した正電荷ミュオンビームをラセミ体アミノ酸である DL-アラニンに照射し、生成物を GC/MS で分析したところ、いずれのケースも若干の D-アラニン過剰が生じた。

銀河宇宙線や SEP の主成分である陽子と大気成分原子核との衝突によりパイオンが生成するが、これはすぐに崩壊してミュオンとなるが、これは地球上に降り注ぐ二次宇宙線の主成分である。生成されたミュオンのスピンは、弱い相互作用のパリティ対称性破れにより片方向に偏極している。今回の結果から、スピン偏極ミュオンがアミノ酸の不斉を誘起する可能性が示唆された。ただし、D-アラニン過剰となった理由などは明らかでなく、今後の継続的な研究が必要である。

(6) まとめ

これまで、化学進化のエネルギーとして宇宙線や SEP はそのフラックスが低いとされ、重要とは考えられてこなかった。本研究により、初期地球大気が強還元型ではなくても、SEP が CO , N_2 から十分な量のアミノ酸を生成しうることを示され、また、従来考えられていたような平衡化学的反応ではない、新たな化学進化の道筋の存在も示唆された。さらに温室効果の高い N_2O を生成することにより初期地球の凍結を防いだ可能性が示された。SEP により生じるスピン偏極ミュオンがアミノ酸の不斉に関わった可能性も示唆されたが、そのさらなる検証が今後の課題である。

<引用文献>

- [1] S. L. Miller and H. C. Urey, *Science*, **130**, 245-251 (1959). [2] K. Kobayashi et al., *Orig. Life Evol. Biosph.*, **28**, 155-165 (1998). [3] C. Chyba and C. Sagan, *Nature*, **355**, 125-132 (1992). [4] C. Sagan and Mullen, *Science*, **177**, 52-56 (1972). [5] J. R. Cronin and S. Pizzarello, *Science*, **14**, 951-955 (1997). [6] V. Airapetian et al., *Nat. Geosci.*, **9**, 452-455 (2016). [7] N. Globus and D. Blandford, *Astrophys. J. Lett.*, **895**, L11 (2020). [8] K. Kobayashi et al., *Life*, [9] M. A. Sephton et al., *Nat. Prod. Rep.*, **19**, 292-311 (2002). [10] K. Kobayashi et al., *Adv. Space Res.*, **19**, 1067-1076 (1997). [11] G. Schlesinger and S. L. Miller, *J. Mol. Evol.*, **19**, 383-390 (1983).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Kobayashi Kensei, Ise Jun-ichi, Aoki Ryohei, Kinoshita Mie, Naito Koki, Udo Takumi, Kunwar Bhagawati, Takahashi Jun-ichi, Shibata Hiromi, Mita Hajime, Fukuda Hitoshi, Oguri Yoshiyuki, Kawamura Kimitaka, Kebukawa Yoko, Airapetian Vladimir S.	4. 巻 13
2. 論文標題 Formation of Amino Acids and Carboxylic Acids in Weakly Reducing Planetary Atmospheres by Solar Energetic Particles from the Young Sun	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 1103 ~ 1103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life13051103	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 Enya Keigo, Ymagishi Akihiko, Kobayashi Keinsei, Yoshimura Yoshitaka	4. 巻 12327
2. 論文標題 Comparative study of methods for finding extraterrestrial life based on solar system exploration and the role of microscopy in it	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 1232711
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2654536	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 Kobayashi Kensei, Kebukawa Yoko	4. 巻 7
2. 論文標題 Miller's spark	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Reviews Chemistry	6. 最初と最後の頁 598 ~ 599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41570-023-00530-w	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 Enya Keigo, Yamagishi Akihiko, Kobayashi Kensei, Yoshimura Yoshitaka, Tasker Elizabeth J.	4. 巻 23
2. 論文標題 A Comparative Study of Methods for Detecting Extraterrestrial Life in Exploration Missions to Mars and the Solar System II: Targeted Characteristics, Detection Techniques, and Their Combination for Survey, Detection, and Analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 1099 ~ 1117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2022.0148	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 Akari, Kebukawa Yoko, Kobayashi Kensei, Yoda Isao	4. 巻 14
2. 論文標題 Gamma-Ray-Induced Amino Acid Formation during Aqueous Alteration in Small Bodies: The Effects of Compositions of Starting Solutions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Life	6. 最初と最後の頁 103 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/life14010103	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 小林憲正	4. 巻 52
2. 論文標題 化学進化説の100年 オーバーリン, ミラーから今日まで	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Viva Origino	6. 最初と最後の頁 -
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 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 Enya Keigo, Yamagishi Akihiko, Kobayashi Kensei, Yoshimura Yoshitaka	4. 巻 34
2. 論文標題 Comparative study of methods for detecting extraterrestrial life in exploration mission of Mars and the solar system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Life Sciences in Space Research	6. 最初と最後の頁 53 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lssr.2022.07.001	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 Enya Keigo, Yoshimura Yoshitaka, Kobayashi Kensei, Yamagishi Akihiko	4. 巻 218
2. 論文標題 Extraterrestrial Life Signature Detection Microscopy: Search and Analysis of Cells and Organics on Mars and Other Solar System Bodies	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Space Science Reviews	6. 最初と最後の頁 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11214-022-00920-4	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 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 Kebukawa Yoko, Asano Shinya, Tani Atsushi, Yoda Isao, Kobayashi Kensei	4. 巻 8
2. 論文標題 Gamma-Ray-Induced Amino Acid Formation in Aqueous Small Bodies in the Early Solar System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Central Science	6. 最初と最後の頁 1664 ~ 1671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscentsci.2c00588	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 小林憲正	4. 巻 114
2. 論文標題 生命の起源における放射線の役割	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 放射線化学	6. 最初と最後の頁 3-11
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 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 小林憲正, 横堀伸一, 春山純一	4. 巻 JSASS-2020
2. 論文標題 UZUME計画: 月縦穴環境での宇宙実験と有機物・微生物探査	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第64回宇宙科学技術連合講演会講演集	6. 最初と最後の頁 4440 (6 pp)
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 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 Kobayashi Kensei, Mita Hajime, Kebukawa Yoko, Nakagawa Kazumichi, Kaneko Takeo, Obayashi Yumiko, Sato Tomohito, Yokoo Takuya, Minematsu Saaya, Fukuda Hitoshi, Oguri Yoshiyuki, Yoda Isao, Yoshida Satoshi, Kanda Kazuhiro, Imai Eiichi, Yano Hajime, Hashimoto Hirofumi, Yokobori Shin-ichi, Yamagishi Akihiko	4. 巻 21
2. 論文標題 Space Exposure of Amino Acids and Their Precursors during the Tanpopo Mission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 1479 ~ 1493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2021.0027	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 小林 憲正、小川 麻里、吉田 聡、佐藤 修司、伊藤 有希、中本 早紀、栗塚 泰平、高野 淑識、大林 由美子、金子 竹男、葵生川 陽子	4. 巻 49
2. 論文標題 ホスファターゼ活性を用いた極限環境試料中の微生物活動評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Viva Origino	6. 最初と最後の頁 7 (13 pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.50968/vivaorigino.49_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 -

1. 著者名 Yamagishi Akihiko, Yokobori Shin-ichi, Kobayashi Kensei, Mita Hajime, Yabuta Hikaru, Tabata Makoto, Higashide Masumi, Yano Hajime	4. 巻 21
2. 論文標題 Scientific Targets of Tanpopo: Astrobiology Exposure and Micrometeoroid Capture Experiments at the Japanese Experiment Module Exposed Facility of the International Space Station	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 1451 ~ 1460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2020.2426	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 小林憲正, 横堀伸一, 春山純一	4. 巻 JSASS-2020
2. 論文標題 UZUME計画: 月縦穴環境での宇宙実験と有機物・微生物探査	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第64回宇宙科学技術連合講演会講演集	6. 最初と最後の頁 -
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 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 -

〔学会発表〕 計100件（うち招待講演 20件 / うち国際学会 27件）

1. 発表者名 小林 憲正, V. Airapetian, 宇土拓海, 癸生川陽子, 高橋淳一, 柴田裕実, 三田肇, 福田一志, 小栗慶之
2. 発表標題 COを含む惑星大気からのアミノ酸・核酸塩基の前生物的生成
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Udo, K. Kobayashi, Y. Kebukawa, V. A. Airapetian, H. Fukuda and Y. Oguri
2. 発表標題 Evaluation of the effects of solar-energy particles on amino acid production in early Earth atmosphere
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Kikuchi, K. Kobayashi, Y. Kebukawa, I. Yoda, Y. Oguri, H. Fukuda
2. 発表標題 Stability of nucleobases in small solar system bodies
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 N. Imai, Y. Kebukawa, K. Kobayashi
2. 発表標題 Investigation of amino acid formation simulating hydrothermal process in asteroids: Effects of reaction durations and temperatures
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Fujii, Y. Kebukawa, K. Kobayashi
2. 発表標題 Effects of ammonia and olivine for formose-type monosaccharide formation during hydrothermal processes in meteorite parent bodies
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木政紀, 癸生川陽子, 小林憲正
2. 発表標題 炭素質コンドライト母天体の形成位置の制約に向けた有機物形成実験
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安部隼平, 癸生川陽子, 依田功, 小林憲正
2. 発表標題 隕石母天体内部の水質変成を模擬したホルモース型反応による糖類の生成-ガンマ線や出発材料の影響-
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 櫻井悠貴, 木村智樹, 小林憲正, 鳥越秀峰, 寺田直樹
2. 発表標題 初期の地球・火星大気における太陽高エネルギー粒子照射による複数種アミノ酸の解離と合成の化学サイクルの再現
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Kobayashi, V. S. Airapetian, T. Udo, Y. Kebukawa, J. Takahashi, H. Shibata, H. Mita, H. Fukuda, Y. Oguri, N. Hagura
2. 発表標題 Endogenous Production of Amino Acids in Early Earth Atmosphere by Solar Energetic Particles: Comparison with Exogenous Delivery
3. 学会等名 Origins 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 火星地下空洞での生命探査
3. 学会等名 第6回月と火星の縦孔・地下空洞探査研究会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 ホスファターゼ活性を用いた生命探査
3. 学会等名 第2回リンと生命の起源研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 J. Takahashi, M. Kobayashi, G. Fujimori, K. Kobayashi, H. Ota, Y. Taira, M. Katoh, K. Matsuo Y. Kebukawa, H. Nakamura
2. 発表標題 Quantum Chemical Calculations of Circular Dichroism in Metal Complexes Coordinated by Chiral Organic Molecules
3. 学会等名 19th International Conference on Chiroptical Spectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Nakamura, M. Murai, K. Kobayashi, S. Usami, M. Yajima, Y. Goto, M. Kobayashi, M. Kato
2. 発表標題 MD simulation from chiral nanoneedle fabrication to amino acid precursors creation
3. 学会等名 19th International Conference on Chiroptical Spectroscopy (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 櫻井悠貴, 木村智樹, 小林憲正, 鳥越秀峰, 寺田直樹
2. 発表標題 初期の火星・地球大気における太陽高エネルギー粒子照射による複数種アミノ酸から構成されるペプチドの非生物合成
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 隼平, 癸生川陽子, 依田功, 小林憲正
2. 発表標題 隕石母天体内部を模擬したガンマ線照射による糖の生成: 照射線量依存性の検討
3. 学会等名 日本地球化学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菊地智紀, 小林憲正, 癸生川陽子, 依田功, 小栗慶之, 福田一志
2. 発表標題 太陽系小天体内での核酸塩基類の安定性の評価
3. 学会等名 日本地球化学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤森玄, 高橋淳一, 小林政弘, 小林憲正, 太田紘志, 松尾光一, 平義隆, 加藤政博, 中村浩章, 癸生川陽子
2. 発表標題 円偏光真空紫外照射によって誘起されるアミノ酸のキラル非対称性の検証
3. 学会等名 日本地球化学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池田伊吹, 癸生川陽子, 小林憲正, 依田功
2. 発表標題 星間起源のアミノ酸とその前駆体の小天体内部における安定性
3. 学会等名 日本地球化学会第70回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Kobayashi, I. Ikeda, A. Ishikawa, N. Imai, Y. Kebukawa, H. Mita, J. Takahashi, H. Shibata, I. Yoda, H. Fukuda, Y. Oguri, K. Nakagawa, I. Sakon, S. Yokobori, H. Yano, Tanpopo2 Research Team
2. 発表標題 Stability of complex amino acid precursors of interstellar origin in space
3. 学会等名 EANA 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Mita, S. Yokobori, T. Fujita, K. Tomita-Yokotani, M. Sugimoto, Y. Bessho, K. Nakagawa, K. Kobayashi, Y. Kebukawa, H. Shibata, S. Kimura, A. Kume, Y. Hiwatashi, T. Milojevic, M. Ong, C.-H. Maeng, H. Katoh, T. Abe, K. Okudaira, H. Yano, A. Yamagishi
2. 発表標題 Current status of the post-Tanpopo space exposure experiments
3. 学会等名 EANA 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 櫻井悠貴, 木村智樹, 小林憲正, 鳥越秀峰, 寺田直樹, 奥村宣明
2. 発表標題 初期の火星・地球大気における太陽高エネルギー粒子照射による複数種アミノ酸から構成されるペプチドの非生物的合成
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会 2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Kobayashi
2. 発表標題 Origins of Terrestrial Bioorganic Compounds: Endogenous Production vs. Exogenous Delivery
3. 学会等名 8th International Conference on Space Science and Communication (ICONSPACE 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 J. Takahashi ¹ , M. Kobayashi, H. Ota, G. Fujimori, K. Matsuo, K. Kobayashi, Y. Taira, M. Katoh, H. Nakamura, Y. Kebukawa
2. 発表標題 Polarized quantum beam irradiation and high magnetic field application on chiral organometallic coordination complexes
3. 学会等名 学会等名 Frontier of Soft X-ray Spectroscopy for Chemical Processes in Solutions (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Kobayashi, J. Takahashi, H. Ota, G. Fujimori, K. Matsuo, K. Kobayashi, Y. Taira, M. Katoh, Y. Kebukawa
2. 発表標題 Study of Chirality Emergence and Structural Change of Organic Molecules by Circularly Polarized Lyman-alpha (121.6nm) Irradiation in UVSOR-III
3. 学会等名 Frontier of Soft X-ray Spectroscopy for Chemical Processes in Solutions (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宇土拓海, 小林憲正, 癸生川陽子, V. S. Airapetian, 羽倉尚人, 福田一志, 小栗慶之
2. 発表標題 初期地球のハビタビリティに及ぼす太陽エネルギー粒子の影響
3. 学会等名 日本惑星科学会2023年秋季講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林憲正, 横堀伸一, 春山純一
2. 発表標題 火星地下空洞の有機物探査
3. 学会等名 第66宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横堀伸一, 小林憲正, 春山純一
2. 発表標題 アストロバイオロジーと月縦孔・地下空洞
3. 学会等名 第66宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 生命の起源と放射線-模擬実験からのアプローチ-
3. 学会等名 2023年度日本アイソトープ協会シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋淳一, 小林政弘, 藤森玄, 小林憲正, 太田紘志, 松尾光一, 加藤政博, 平義隆, 癸生川陽子, 中村浩章
2. 発表標題 偏極量子ビーム照射と強磁場印可による生体有機分子への光学活性発現
3. 学会等名 第37回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 M. Murai, H. Nakamura, K. Kobayashi, M. Kobayashi, S. Usami, Y. Goto
2. 発表標題 Molecular dynamics simulation for synthesis route of amino acid precursor in space
3. 学会等名 16th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials (ISPlasma2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 藤森 玄, 高橋淳一, 小林政弘, 太田紘志, 小林憲正, 松尾光一, 平義隆, 加藤政博, 中村浩章, 癸生川 陽子
2. 発表標題 アミノ酸への円偏光ライマン 照射による光学活性の発現と磁場印加による光学活性の変化
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 黒田智明, 小林憲正
2. 発表標題 高分子量有機物のアルキル化による 20 種類のアミノ酸の生成仮説
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 今井直希, 癸生川陽子, 小林憲正, 依田功
2. 発表標題 小惑星を模擬した環境におけるガンマ線と加熱によるアミノ酸生成の検討
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 高橋淳一, 藤森玄, 柴田裕実, 小林憲正, 久保謙哉, 川崎常臣, 嶋 達志, 三宅康博, 癸生川陽子, Noemie Glubus, Vladimir. S. Airapetian
2. 発表標題 スピン偏極ミュオン照射が有機分子の光学活性に与える効果
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小林憲正, V.S. Airapetian, 宇土 拓海, 癸生川陽子, 高橋淳一, 柴田裕実, 三田肇, 羽倉尚人
2. 発表標題 初期地球上での生命誕生における太陽エネルギー粒子の役割
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 安部隼平, 依田功, 癸生川陽子, 小林憲正
2. 発表標題 ガンマ線による糖類の生成におけるオリビンの影響
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 池田伊吹, 二見涼太, 癸生川陽子, 小林憲正, 依田功
2. 発表標題 星間起源のアミノ酸とその前駆体の初期太陽系における小天体内部での生成と安定性
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 村井優志, 中村浩章, 小林憲正, 小林政弘, 宇佐見 俊介, 後藤勇樹
2. 発表標題 分子雲におけるアミノ酸前駆体生成の分子動力学法による研究
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第48回学術講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 A. Ishikawa, Y. Kebukawa, I. Yoda and K. Kobayashi
2. 発表標題 Amino Acid Production by Heating and Gamma-ray Irradiation Experiments Simulating the Process of Aqueous Alteration Inside Asteroids
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Udo, Y. Kebukawa, K. Kobayashi, H. Fukuda, Y. Oguri and V. S. Airapetian
2. 発表標題 Formation of Organic Compounds in Slightly-Reducing Planetary Atmosphere
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Kobayashi, T. Udo, M. Kinoshita, K. Naito, S. Mouri, Y. Kebukawa, B. Kunwar, K. Kawamura, H. Fukuda, Y. Oguri, V. Airapetian
2 . 発表標題 The Rise and Development of Habitability Through Formation of Organic Compounds on the Early Earth via Solar Energetic Particles
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 N. Imai, Y. Kebukawa and K. Kobayashi
2 . 発表標題 Effect of Temperatures and Molar Ratios for Amino Acid Formation from Formaldehyde and Ammonia Simulating Aqueous Alteration in Small Bodies
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Kobayashi, T. Udo, Y. Kebukawa, H. Mita, J. Takahashi, H. Shibata, H. Fukuda, Y. Oguri, V. S. Airapetian, G. Gronoff
2 . 発表標題 Roles of Solar Energetic Particles in Prebiotic Formation of Bioorganic Compounds in Early Earth and Mars Atmospheres
3 . 学会等名 44th COSPAR Scientific Assembly 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Kobayashi
2 . 発表標題 Origins of Bioorganic Compounds and Their Homochirality: Approaches from Simulation Experiments
3 . 学会等名 The 41st JSST Annual International Conference on Simulation Technology (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正, 癸生川陽子, 三田肇, 高橋淳一, 柴田裕実, 宇土拓海, 石川あかり, 今井直希, 福田一志, 小栗慶之, 左近樹, 矢野創, 山岸明彦, V. Airapetian, たんぼぼRT, たんぼぼ2RT
2. 発表標題 初期地球上のアミノ酸の起源: Endogenous vs. Exogenous
3. 学会等名 日本地球化学会第66年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川あかり, 依田功, 小林憲正, 癸生川陽子
2. 発表標題 小惑星内部の水質変質模擬実験におけるガンマ線照射によるアミノ酸の生成
3. 学会等名 日本地球化学会第66年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安部隼平, 癸生川陽子, 依田功, 小林憲正
2. 発表標題 隕石母天体内部での前生物的な糖生成におけるガンマ線とアンモニアの影響
3. 学会等名 日本地球化学会第66年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 癸生川陽子, 安部隼平, 石川あかり, 依田功, 小林憲正
2. 発表標題 太陽系初期の小天体におけるガンマ線によるアミノ酸や糖類の形成
3. 学会等名 日本分析化学会第71年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 憲正, 宇土 拓海, 葵生川 陽子, 河村 公隆, B. Kunwar, 高橋 淳一, 柴田 裕実, 三田 肇, 福田 一志, 小栗 慶之, V. Airapetian
2. 発表標題 二酸化炭素・窒素を主とする混合気体への陽子線照射生成物の分析: 生命起源における太陽エネルギー粒子の役割の検証
3. 学会等名 日本分析化学会第71年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川あかり, 今井直希, 清水航介, 葵生川陽子, 三田肇, 中川和道, 柴田裕実, 高橋淳一, 福田一志, 小栗慶之, 左近樹, 矢野創, 小林憲正
2. 発表標題 たんばぼ2におけるアミノ酸関連分子の宇宙曝露実験
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第36回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 量子ビーム照射によるアミノ酸およびそのエナンチオ過剰の創成と生命の起源
3. 学会等名 日本放射化学会第66回討論会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 宇宙線による星間・初期惑星でのアミノ酸生成
3. 学会等名 宇宙線で繋ぐ文明・地球環境・太陽系・銀河 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正, 横堀伸一, 春山純一
2. 発表標題 UZUME計画: 生命探査の場としての火星地下空洞
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kobayashi
2. 発表標題 Prebiotic Formation of Amino Acids and Their Homochirality: With a Focus on the Roles of Cosmic Rays
3. 学会等名 The 31st International Toki Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 春山純一, 河野功, 安光亮一郎, 臼井基文, 永田泰一, 中塚潤一, 角有司, 桜井誠人, 香河英史, 吉光徹, 岩田隆浩, 西堀俊幸, 前田孝雄, 石上玄也, 上野誠一, 樋口丈浩, 本田力, 辻健, 清水久芳, 小林憲正, 横堀伸一, 眞部広紀, 古谷克司, UZUME WG
2. 発表標題 月の縦孔・地下空洞直接探査WG (UZUME)
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 矢野 創, 三田 肇, 葵生川 陽子, 小林 憲正, 左近 樹, 横谷 香織, 新井 和吉, 遠藤 いずみ, 両角 聖来, PINAULT Lewis, 和久井 毅貴, 藤島 皓介, 今井 栄一, 木村 駿太, 中川 和道, 奥平 恭子, 佐々木 聡, 田端 誠, 富田 勝, 山岸明彦
2. 発表標題 たんばぼ2 曝露・捕集実験試料の地球帰還後分析の科学成果
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山岸明彦, 橋本博文, 矢野創, 横堀伸一, 河口優子, 小林憲正, 三田肇, 藪田ひかる, 東出真澄, 田端誠, 河合秀幸, 今井栄一
2. 発表標題 たんぼぼ計画：全宇宙曝露試料の帰還と試料解析の現状
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 春山純一, 河野功, 安光亮一郎, 臼井基文, 前田孝雄, 石上玄也, 辻健, 清水久芳, 小林憲正, 横堀伸一, 新井真由美, 小松吾郎, UZUME WG
2. 発表標題 火星の縦孔・地下空洞の周囲とその中の探査の科学的重要性
3. 学会等名 第23回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三田肇, 矢野創, 横谷香織, 杉本学, 藤田知道, T. Mилоjevic, 横堀伸一, 別所義隆, 中川和道, 小林憲正, 葵生川陽子, 山岸明彦, 加藤浩, 阿部智子, 木村駿太, オン碧, Maeng Chang-Hyun, 鈴木利貞, 浅野真希, 日渡祐二, 久米篤, 奥平恭子, たんぼぼチーム
2. 発表標題 ポストたんぼぼ計画での宇宙曝露実験の進捗情報報告 2022
3. 学会等名 第37回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林憲正, 横堀伸一, 春山純一
2. 発表標題 火星地下空洞生命探査
3. 学会等名 第7回重力天体シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 J. Takahashi, M. Kobayashi, G. Fujimori, K. Kobayashi, H. Ota, K. Matsuo, Y. Kebukawa, . Yoshimura, H. Nakamura
2. 発表標題 Optical Activity Measurement of Amino-acid Films Irradiated with Circularly Polarized Lyman- Light
3. 学会等名 The 27th Hirohima International Symposium on Synchrotron Radiation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安部隼平, 葵生川陽子, 依田功, 小林憲正
2. 発表標題 ホルモース様反応での線による糖類の生成の促進
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第47回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 菊地智紀, 小林憲正, 葵生川陽子, 依田功, 小栗慶之, 福田一志
2. 発表標題 太陽系小天体内での核酸塩基類の安定性の評価
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第47回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池田伊吹, 葵生川陽子, 小林憲正, 依田功, 久保謙哉
2. 発表標題 星間起源のアミノ酸とその前駆体の初期太陽系での小天体内部における安定性
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第47回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Kobayashi, V. S. Airapetian, T. Udo, Y. Kebukawa, B. Kunwar, K. Kawamura, J. Takahashi, H. Shibata, H. Mita, H. Fukuda, Y. Oguri
2. 発表標題 Formation of Bioorganic Compounds in Weakly Reducing Atmospheres by Solar Energetic Particles from the Young Sun
3. 学会等名 生命の起原および進化学会第47回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Kobayashi, K. Naito, T. Sakamoto, Y. Kebukawa, J. Takahashi, H. Shibata, K. Kubo, H. Fukuda, Y. Oguri, V. Airapetian
2. 発表標題 Possible roles of solar energetic particles in the formation of amino acids and their enantiomeric excesses in early Earth atmosphere
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 小林憲正
2. 発表標題 宇宙に化学進化のミッシングリンクを探す
3. 学会等名 生命の起原および進化学会夏の学校 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kobayashi, S. Mouri, T. Udo, Y. Kebukawa, H. Mita, H. Fukuda, Y. Oguri and V. Airapetian
2. 発表標題 Roles of Solar Energetic Particles in Habitability of the Early Earth: Experimental Approaches
3. 学会等名 EANA 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 癸生川陽子, 古賀優志, 松岡萌, 左近樹, 小林憲正, 伊藤元雄, 山下翔平, 武市泰男, 高橋嘉夫, 三田肇, 矢野創
2. 発表標題 太陽系小天体の表面過程の理解のための有機物の宇宙曝露実験
3. 学会等名 日本地球化学会第65回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林憲正, 毛利駿介, 内藤弘毅, 宇土拓海, 癸生川陽子, 高橋淳一, 柴田裕実, 三田肇, 福田一志, 小栗慶之, N. Globus, V. S. Airapetian
2. 発表標題 初期惑星のハピタピリティーにおよぼす太陽エネルギー粒子の役割
3. 学会等名 日本惑星科学会2021年秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林憲正, 三田肇, 癸生川陽子, 中川和道, 金子竹男, 大林由美子, 佐藤智仁, 横尾拓哉, 峰松沙綾, 福田一志, 小栗慶之, 依田 功, 吉田 聡, 神田一浩, 今井栄一, 矢野 創, 橋本博文, 横堀伸一, 山岸明彦
2. 発表標題 たんぼぼ計画での有機物曝露実験のまとめと展望
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第35回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 生命起源の探求を目指すアストロバイオロジー研究
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第35回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古賀優志, 癸生川陽子, 左近樹, 小林憲正, 三田肇, 矢野創
2. 発表標題 たんぼぼ2計画における国際宇宙ステーションでの隕石有機物やその模擬物質の宇宙曝露実験
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第35回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 宇宙が語る生命の起源と未来
3. 学会等名 化学フェスタ2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横堀伸一, 春山純一, 小林憲正
2. 発表標題 火星の縦孔における生命の可能性とUZUMEによる探査
3. 学会等名 第65回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kobayashi, T. Sato, S. Kuramoto, Y. Kebukawa, H. Mita, H. Shibata, H. Fukuda, Y. Oguri, and K. Kanda
2. 発表標題 Formation and Robutness of Complex Amino Acid Precursors with Large Molecular Weights in Space
3. 学会等名 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三田肇, 矢野創, 左近樹, 小林憲正, 癸生川陽子, 横谷香織, 中川和道, 杉本学, T. Milojevic, 山岸明彦, 横堀伸一, 別所義隆, 加藤浩, 阿部智子, 遠藤いずみ, 木村駿太, オン碧, 大森正之, 藤田知道, 鈴木利貞, 浅野眞希, 奥平恭子, 今井栄一
2. 発表標題 ポストたんばぼ計画の進捗状況
3. 学会等名 第36回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 初期惑星のハビタビリティと生命誕生におよぼす太陽エネルギー粒子の役割
3. 学会等名 第23回惑星圏研究会 (SPS 2022) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋淳一, 坂元俊紀, 柏原大樹, 柴田裕実, 久保謙哉, 川崎常臣, 島達志, 三宅康博, N. Globus, V. Airapetian, 癸生川陽子, 小林憲正
2. 発表標題 スピン偏極ミュオン照射が生体有機分子の光学活性に与える効果II
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古賀優志, 癸生川陽子, 左近樹, 小林憲正, 三田肇, 矢野創
2. 発表標題 隕石有機物やその模擬物質の宇宙曝露および紫外線照射による分子構造変化
3. 学会等名 第46回生命の起原および進化学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正, 宇土拓海, 毛利駿介, 癸生川陽子, 高橋淳一, 柴田裕実, 三田肇, 福田一志, 小栗慶之, V. S. Airapetian
2. 発表標題 太陽エネルギー粒子による初期地球大気からのアミノ酸前駆体生成
3. 学会等名 第46回生命の起原および進化学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋淳一, 坂元俊紀, 柏倉大樹, 癸生川陽子, 小林憲正, 柴田裕実
2. 発表標題 スピン偏極ミュオン照射による有機分子への不斉発現の可能性
3. 学会等名 第46回生命の起原および進化学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山岸明彦, 橋本博文, 矢野創, 横堀伸一, 河口優子, 小林憲正, 三田, 藪田ひかる, 東出真澄, 田端誠, 河合秀幸, 今井栄一
2. 発表標題 たんばぼ初号機成果概要
3. 学会等名 2021年度ISAS宇宙生命探査シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 たんばぼ・たんばぼ2計画におけるアミノ酸関連分子の宇宙曝露
3. 学会等名 2021年度ISAS宇宙生命探査シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 癸生川陽子, 古賀優志, 松岡萌, 左近樹, 小林憲正, 伊藤元雄, 山下翔平, 武市泰男, 高橋嘉夫, 三田肇, 矢野創
2. 発表標題 たんぼぼ2における小天体有機物の宇宙曝露実験
3. 学会等名 2021年度ISAS宇宙生命探査シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三田肇, 矢野創, 左近樹, 小林憲正, 癸生川陽子, 横谷香織, 中川和道, 杉本学, Tetyana Mилоjevic, 山岸明彦, 横堀伸一, 別所義隆, 加藤浩, 安倍智子, 遠藤いずみ, 木村駿太, オン碧, 大森正之, 藤田知道, 鈴木利貞, 浅野真希, 奥平恭子, 今井栄一, 浜瀬健司, 古庄仰, 中山美紀, 中島香織, 白水まどか
2. 発表標題 たんぼぼおよびポストたんぼぼ2計画での有機物の捕集と曝露実験
3. 学会等名 2021年度ISAS宇宙生命探査シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 アミノ酸とそのホモキラリティの起源-模擬実験からのアプローチ
3. 学会等名 プラズマ科学のフロンティア2021研究会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中島佳織, 三田肇
2. 発表標題 アミノ酸薄膜の真空紫外線曝露
3. 学会等名 令和3年度物理化学インターカレッジセミナー兼日本油化学会界面科学部会九州地区講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三田肇, 白水まどか, 小柳陸希, 中川和道, 別所義隆, たんぼぼチーム
2. 発表標題 きぼう曝露部を利用した液体反应用宇宙曝露装置
3. 学会等名 第46回生命の起原および進化学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Abe, Y. Kebukawa and K. Kobayashi
2. 発表標題 Evaluation of the aldonitrile acetate ester derivatization method for aldose analysis in products from chemical evolution experiments
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 生命の起源へと至る道
3. 学会等名 Astrobiology on Line (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林憲正
2. 発表標題 宇宙に生命の起源を探る
3. 学会等名 第21回比較グライコム研究会・糖の起源と進化-宇宙&深海- (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林憲正, 横堀伸一, 春山純一
2. 発表標題 UZUME計画: 月縦穴環境での宇宙実験と有機物・微生物探査
3. 学会等名 第64回宇宙化学技術連合講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林憲正, 木下美栄, 毛利駿介, 坂元俊紀, 癸生川陽子, 高橋淳一, 柴田裕実, 久保謙哉, 福田一志, 小栗慶之, V. Airapetian
2. 発表標題 初期地球での生命誕生における太陽エネルギー粒子の役割
3. 学会等名 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 小林憲正
2. 発表標題 アストロバイオロジー研究における宇宙実験
3. 学会等名 第35回宇宙環境利用科学シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三田肇, 矢野創, 左近樹, 小林憲正, 癸生川陽子, 横谷香織, 中川和道, 山岸明彦, 杉本学, Tetyana Milojevic, 別所義隆, 中山美紀, 白水まどか, 横尾卓哉, 佐藤智仁, ポストたんぼぼ研究チーム
2. 発表標題 ポストたんぼぼ計画における宇宙曝露実験
3. 学会等名 第35回宇宙環境利用科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋淳一, 坂元俊紀, 癸生川陽子, 小林憲正, 柴田裕実, 久保謙哉, 嶋達志, 三宅康博, N. Globus
2. 発表標題 偏極ミュオン照射による有機分子への光学活性発現
3. 学会等名 第11回Muon科学と加速器研究
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kobayashi, K. Naito, T. Sakamoto, Y. Kebukawa, J. Takahashi, H. Shibata, K. Kubo, H. Fukuda, Y. Oguri, V. Airapetian
2. 発表標題 Possible roles of solar energetic particles in the formation of amino acids and their enantiomeric excesses in early Earth atmosphere
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 三田肇, 矢野創, 左近樹, 小林憲正, 癸生川陽子, 横谷香織, 中川和道, 山岸明彦, 杉本学, T. Milojevic, 別所義隆, 加藤浩, 阿部智子, 遠藤いずみ, 木村駿太, オン碧, 横尾卓哉, 佐藤智仁, 中山美紀, 白水まどか, 大森正之, 藤田知道, 鈴木利貞, 浅野眞希, 横堀伸一, 奥平恭子, 今井栄一
2. 発表標題 たんばぼ3を中心としたポストたんばぼ計画の曝露実験について
3. 学会等名 第21回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Shiromizu, K. Nakagawa, Y. Bessho, and H. Mita
2. 発表標題 The safety assessments of reaction vessels used for the space exposure experiments in order to synthesize nucleotide by UV irradiation
3. 学会等名 pGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計8件

1. 著者名 西原寛, 中田宗隆, 小林憲正, 西田昌治, 山口雅彦, 黒田智明, 西原祥子, 堀井明, 伊藤真人, 小木知子, 葉袋佳孝, 一本松正道	4. 発行年 2023年
2. 出版社 東京化学同人	5. 総ページ数 216
3. 書名 教養の化学	

1. 著者名 小林憲正	4. 発行年 2024年
2. 出版社 講談社	5. 総ページ数 302
3. 書名 生命と非生命のあいだ	

1. 著者名 M. Gargaud et al. eds., K. Kobayashi et al.	4. 発行年 2023年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 3376
3. 書名 Encyclopedia of Astrobiology, Third Edition	

1. 著者名 藪田ひかるほか編, 小林憲正ほか	4. 発行年 2024年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 312
3. 書名 生命起源の事典	

1. 著者名 田村元秀, 井田茂, 田近英一, 山岸明彦編, 小林憲正ほか著	4. 発行年 2024年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 300
3. 書名 アストロバイオロジー	

1. 著者名 小林 憲正	4. 発行年 2021年
2. 出版社 中央公論新社	5. 総ページ数 296
3. 書名 地球外生命	

1. 著者名 渡部潤一、井田 茂、佐々木晶編, 小林憲正ほか分担執筆	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 336
3. 書名 太陽系と惑星 第2版	

1. 著者名 日本地球惑星科学連合編, 井田茂, 小林憲正, 他	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 272
3. 書名 地球・惑星・生命	

〔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	三田 肇 (Mita Hajime) (00282301)	福岡工業大学・工学部・教授 (37112)	
研究分担者	癸生川 陽子 (Kebukawa Yoko) (70725374)	東京工業大学・理学院・准教授 (12701)	

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	NASA			