

## 地球周回軌道におけるアストロバイオロジー実験： 宇宙環境下での有機物・微生物・生態系を探る

横浜国大院工	小林憲正	筑波大院数理物質	三田 肇
大林組	石川洋二	東薬大生命	山岸明彦
兵庫県立大	内海裕一	ISAS/JAXA	山下雅道
ISAS/JAXA	奥平恭子	N T T	高橋淳一
I A S	河崎行繁	大阪大院理	癸生川陽子
東工大生命	小池惇平	大阪大院理	鈴木彰子
広島大	長沼 毅	相模女子大	杉浦 桂
岡山大理	奈良岡浩	分子研	加藤政博
筑波大院システム情報	橋本博文	高エネ研	小林克己
産総研	丸茂克美	ISAS/JAXA	矢野 創

### Astrobiology Experiments in Earth Orbit: Search for Organic Compounds, Microorganisms and Ecological Systems in Space Environments

*Kensei Kobayashi,<sup>1</sup> Yoji Ishikawa,<sup>2</sup> Yuichi Utsumi,<sup>3</sup> Kyoko Okudaira,<sup>4</sup> Yukishige Kawasaki,<sup>5</sup> Junpei Koike,<sup>6</sup> Takeshi Naganuma,<sup>7</sup> Hiroshi Naraoka,<sup>8</sup> Hirofumi Hashimoto,<sup>4,9</sup> Katsumi Marumo,<sup>10</sup> Hajime Mita,<sup>9</sup> Akihiko Yamagishi,<sup>11</sup> Masamichi Yamashita,<sup>4</sup> Jun-ichi Takahashi,<sup>12</sup> Yoko Kebukawa,<sup>13</sup> Akiko Suzuki,<sup>13</sup> Katsura Sugiura,<sup>14</sup> Masahiro Kato,<sup>15</sup> Katsumi Kobayashi,<sup>16</sup> and Hajime Yano<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Yokohama National University, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501

E-Mail: kkensei@ynu.ac.jp

<sup>2</sup>Obayashi Corporation, <sup>3</sup>University of Hyogo, <sup>4</sup>Institute of Space and Astronautical Science, <sup>5</sup>Institute of Advanced Science, <sup>6</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>7</sup>Hiroshima University, <sup>8</sup>Okayama University, <sup>9</sup>University of Tsukuba, <sup>10</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>11</sup>Tokyo University of Pharmacy and Life Science, <sup>12</sup>NTT, <sup>13</sup>Osaka University, <sup>14</sup>Sagami Women's University, <sup>15</sup>Institute for Molecular Science, <sup>16</sup>High Energy Accelerator Research Organization

**Abstract:** A new interdisciplinary field “astrobiology” was proposed by NASA in 1990’s, which is defined as “origins, evolution, distribution and destiny of life in the Earth and elsewhere in space”. We discussed possible subjects of astrobiological experiments in Earth orbit, including (1) formation and alteration of organic compounds in space environments, (2) survivability of terrestrial microorganisms in space environments, (3) Search of microorganisms in Earth orbit near ISS, (4) observation of autonomous biological system (microcosms) in space environments, and (5) space quarantine by using ISS. We performed some preliminary experiments on ground. Organic compounds and microorganisms were irradiated with high energy particles, UV light or X rays from accelerators. They were also subjected to high-velocity impacts by using a two stage light gas gun to verify possible capture of organic compounds and/or microorganisms in Earth orbit.

**Key words;** Astrobiology, chemical evolution, Extreme-UV light, X-rays, heavy ions, high-velocity impacts, amino acids, autonomous biological system, microorganisms

## 1. はじめに

20世紀末にNASAにより提唱された新学問分野「アストロバイオロジー」は、地球および宇宙における生命の起源、進化、分布と未来を扱う新学際領域と定義される [1]。これらの課題に対し、これまで様々な理論的研究、観測、実験がなされてきた。近年、惑星探査の本格化により、火星、エウロパ、タイタンなどでの生命の存在の可能性の検証が始まり、彗星や小惑星の物質探査を行うことにより、地球外有機物と地球生命との関連が様々な角度から議論されている。一方、人工衛星、スペースシャトル、宇宙ステーション「ミール」、国際宇宙ステーションなど、宇宙環境を能動的に用いた実験を行う機会が得られるようになってきた。宇宙環境と生命一般との関連を探る上で、このような宇宙環境利用は極めて有用な手段と考えられる。

われわれは、平成16~17年度に宇宙環境利用科学委員会地球周回軌道におけるアストロバイオロジー実験研究班WGを組織し、国際宇宙ステーションなどのを用いたアストロバイオロジー実験の検討を行い、可能なテーマについて議論を行った[2,3]。この結果 (1) 太陽からの極端紫外光や宇宙線などの宇宙環境を利用した化学進化実験、(2) 宇宙ステーション上での微粒子の採取と微生物・有機物・鉱物探査、(3) 宇宙空間での微生物の生存可能性、(4) 宇宙における小規模閉鎖生態系の挙動、(5) 宇宙ステーションを用いた宇宙検疫の可能性、などである。平成18年度、本WGでは、これらの課題についてさらに検討するとともに、(1)(2)(3)については地上予備実験を行ったので、報告する。なお、(2)の微生物探査に関しては山岸らの稿[4]、(3)に関しては長沼らの稿[5]にゆずり、ここでは(1)および(2)での有機物探査を中心に述べる。

## 2. 宇宙環境での有機物の生成と変成

地球外物質にも種々の有機物が検出され、それらと地球生命との関連が議論されている。例えば、炭素質コンドライトからは、アミノ酸・核酸塩基・カルボン酸など多様な有機物が抽出されている。Croninら[6]は、Murchison隕石から抽出したアミノ酸の一部には地球生物が用いているL型がD型よりも多いと報告した。また、NakamuraらはTagish Lake隕石中に、有機物からなる細胞状構造体を見

いだしている[7]。さらに、スターダスト計画によりWild 2彗星からサンプルリターンされたダストの分析から、彗星中には隕石中のものとは異なるタイプの様々な有機物が存在することが示された[8]。これらの新たな知見と、星間での有機物創生に関するGreenbergモデルから、星間での有機物生成から地上での生命誕生までのシナリオを以下のように描くことができる。

(1) 極低温 (~10K) の分子雲中の星間塵上に凍り付いた種々の分子に宇宙線や二次的の生成した紫外線があたり、まず有機物ができる。(2) これにより高温の散光星雲に漂い出し、氷のマントルが昇華してしまうと、この生成した有機物層に紫外線等があたり、変成が起きる。(3) このようなことが繰り返された後、原始惑星系が生成するときにこの星間塵が集まり、隕石母天体や彗星となった。この段階でも宇宙線や紫外線による変成は進む。(4) 彗星や隕石母天体中では、表面では紫外線により、中心部では宇宙線により変成が進む。隕石母天体中では水質変成や水熱変成も起きる。(5) これらの小天体や、それらから生じた惑星間塵が地球に有機物を運び込む。この時、衝突変成が起きる。(6) 原始海洋 (熱水系?) 中でさらに変成が起き、それらをもとに生命が誕生する。

これらの個々の過程のシミュレーションの一部は、地上実験でも可能である。例えば、星間塵氷マントル中に含まれる、水、一酸化炭素、アンモニアの混合氷に陽子線を照射し、生成物を加水分解すると種々のアミノ酸が生成することが確認された[9]。また、水、メタノール、アンモニアの混合氷に重粒子線を照射した場合も、アミノ酸前駆体が生じるが、そのキャラクタリゼーションを行うと、極めて複雑な分子量2000程度の有機物であることが示唆された。ただし、その極性や芳香属性をみると、「合成複雑有機物」<彗星有機物 (Stardust試料)<隕石有機物の順に芳香属性が高く成る (極性が低くなる) 傾向が見られる。これ

は分子雲で生じた有機物が宇宙線・紫外線・水質・衝突変成などにより芳香属性を増したことが示唆される。

### 3. 紫外線・宇宙線による星間有機物の変成

星間環境下での有機物の変成は、主として紫外線・宇宙線によると考えられる。その確認のため、種々のモデル有機物を星間に曝露する実験が考えられる。その予備実験として、種々の有機物に紫外線、X線、重粒子線を照射する実験を行った。

紫外線は、分子科学研究所の放射光施設 UVSOR II-FEL からの 230 nm 円偏光紫外線を照射した。X線照射は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の Photon Factory BL-27 からの波長 0.2 nm の X線を用いた。重粒子線は、放射線医学総合研究所の HIMAC 生物照射室において行った。用いたのは、290 MeV/u 炭素線などである。各照射試料は、そのまま、あるいは酸加水分解後、アミノ酸分析を行った。

これらの実験の結果、以下の予備的知見が得られた。

(1) イソバリン水溶液に紫外線を照射すると、分解が起こり、アラニンや2-ブチルアミンなどが生成する。遊離アミノ酸は特に水が共存すると分解しやすい。

(2) 遊離アミノ酸と高分子状アミノ酸前駆体を比較すると、後者の方が紫外線や放射線に対して安定である。

(3) 重粒子線とX線をタンパク質に照射した場合、同じ線量で前者の方が後者よりもより強く変成(分解)を起こす。

実際の星間環境では、これらの照射が同時に起きる。また、有機物の変成に重要な働きを考えると考えられる極端紫外光の照射実験の地上実験は、適当な窓剤がないため、地上では極めて難しい。今後、さらに予備実験を行い、星間での有機物の変成の可能性を調べ、宇宙実験のデザインを行っていく予定である。

### 4. 衝突による有機物変成：惑星間塵の捕獲と有機物分析の可能性

宇宙ステーション軌道周辺において惑星間塵を捕獲、分析することは、宇宙空間での微生物探査の他、惑星間塵中の有機物や鉱物の性質を知る上でも興味深いテーマである。しかし、宇宙ステーション軌道付近では惑星間塵などのダストと宇宙ステーションとの相対速度は数～数十 km/s と極めて高速であり、その捕獲法の検討が重要となる。われわれは、従来、宇宙デブリの捕獲に用いられてきた低密度シリカエアロゲルを用いてダストを減速・捕獲することを目指し、その予備実験を宇宙科学研究本部の二段式軽ガス銃を用いて行った。

図1に衝突実験の装置概略図を示す。試料としては、(a)アミノ酸(R- $\alpha$ -アミノ酪酸)粉末、(b)アミノ酸水溶液を多孔質シリカゲルに吸着させ、乾燥したもの、(c)アミノ酸水溶液を人工粘土(スメクトン SA)に吸着させ、乾燥したものを、を用い

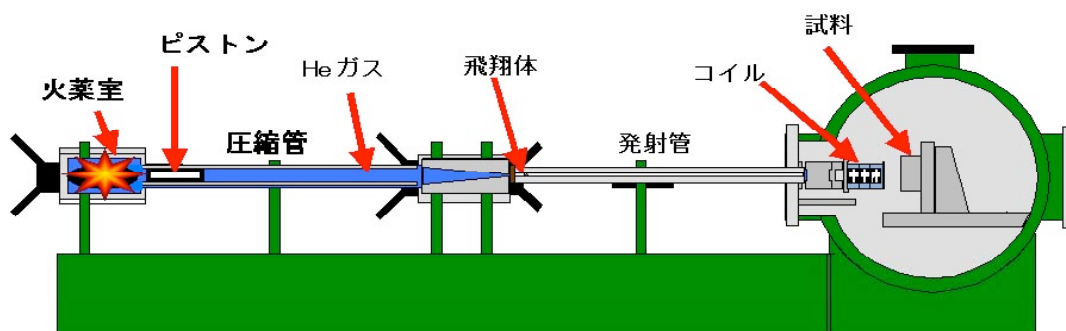


図1 二段式軽ガス銃による高速衝突実験装置の概略図

た。ブランクとしては、アミノ酸を加えない多孔質シリカゲルや人工粘土を用いた。各試料は、ポリカーボネート製のサボに入れ、銃にセットし、約 4 km/s で打ち出した。ターゲットには、試料を減速、捕獲するために低密度エアロゲルを用いた。

衝突後、軌跡を含むエアロゲルを切り取り、フッ酸分解、塩酸加水分解後、アミノ酸分析を行った。予備的な分析結果では、アミノ酸単独で衝突させた場合よりも鉱物マトリックス中に含まれるアミノ酸の方が多く回収できた。この結果をさらに確認するとともに、顕微赤外分光法などを併用することにより、衝突生成物の評価法を確立する予定である。

## 5. おわりに

本 WG で議論されたアストロバイオロジー関連テーマのうち、(1) 太陽からの極端紫外光や宇宙線などの宇宙環境を利用した化学進化実験、(2) 宇宙ステーション上での微粒子の採取と微生物・有機物・鉱物探査、(3) 宇宙空間での微生物の生存可能性のテーマに関して、地上予備実験を開始した。これらのテーマは、宇宙ステーションの曝露部を利用するテーマであり、今後の「『きぼう』日本実験棟船外実験プラットフォーム第 2 期利用に向けた候補ミッション募集」などに応募していく予定である。

**謝辞** 本研究は、JAXA 宇宙環境利用科学委員会・研究班 WG 経費により行われた。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金 (No.

17204050) により実施された。地上予備実験は、以下の方々の協力を得て行ったので感謝する (敬称略) : 金子竹男, 谷内俊範, 小川智也, 佐藤康之, 藪下さやか, 佐藤修二, 永縄一樹 (以上, 横浜国立大学), 横堀伸一, 川口寿太郎, Yienjie Yang (以上, 東京薬科大学), 保坂将人 (分子研)。

## 参考文献

- 1) Soffen, G. A.; *Astrobiology, Adv. Space. Res.*, **23**, 283 (1999).
- 2) 小林憲正ほか; 地球周回軌道におけるアストロバイオロジー実験, *Space Util. Res.*, **21**, 280-283 (2005).
- 3) 小林憲正ほか; 地球周回軌道におけるアストロバイオロジー実験: 極端紫外光利用実験を中心に, *Space Util. Res.*, **22**, 329-332 (2006).
- 4) 山岸明彦ほか, 宇宙ステーション高度での微生物, 有機物, 鉱物探査計画, 第 23 回宇宙利用シンポジウム, 東京 (2007).
- 5) 長沼毅ほか, 隕石・彗星内ハビタブルゾーンにおける大線量 X 線照射の影響評価に関する予察的研究, 第 23 回宇宙利用シンポジウム, 東京 (2007).
- 6) Cronin, J. R., Pizzarello, S.; Enantiomeric excesses of meteoritic amino acids, *Science*, **275**, 951 (1997).
- 7) Nakamura, K.-M., Messenger, S., Keller, L. P., Clemett, S. J., Zolensky, M. E., Organic globules in Taglish Lake meteorite: Remnants of the protosolar disk, *Science*, **314**, 1439-1442 (2006).
- 8) Stanford, S. A., et al., Organics captured from Comet 81P/Wild 2 by the Stardust spacecraft, *Science*, **314**, 1720-1724 (2006).
- 9) Kasamatsu, T., Kaneko, T., Saito, T., Kobayashi, K.; Formation of organic compounds in simulated interstellar media with high energy particles, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **70**, 1021 (1997).