

## 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

横浜国大院工	小林憲正	岡山大理	奈良岡浩
大林組	石川洋二	筑波大院システム情報工学	
国立天文台	大石雅寿		橋本博文
静岡大理	加藤憲二	筑波大院数理物質	三田 肇
I A S	河崎行繁	東薬大生命	山岸明彦
東工大生命	小池惇平	宇宙研	山下雅道
北大低温研	香内 晃	兵庫県立大	内海裕一
産総研	高野淑識	N T T	高橋淳一
神戸大人間	中川和道	産総研	丸茂克美
広島大	長沼 毅		

## Astrobiology Experiments in Earth Orbit: Chemical Evolution Experiments by Using Solar Extreme UV Light and Other Subjects

*Kensei Kobayashi,<sup>1</sup> Yoji Ishikawa,<sup>2</sup> Masatoshi Ohishi,<sup>3</sup> Kenji Kato,<sup>4</sup> Yukishige Kawasaki,<sup>5</sup> Junpei Koike,<sup>6</sup> Akira Kouchi,<sup>7</sup> Yoshinori Takano,<sup>7</sup> Kazumichi Nakagawa,<sup>8</sup> Takeshi Naganuma,<sup>9</sup> Hiroshi Naraoka,<sup>10</sup> Hirofumi Hashimoto,<sup>11</sup> Hajime Mita,<sup>11</sup> Akihiko Yamagishi,<sup>12</sup> Masamichi Yamashita,<sup>13</sup> Yuichi Utsumi,<sup>14</sup> Jun-ichi Takahashi,<sup>15</sup> and Katsumi Marumo<sup>16</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>National Astronomical Observatory of Japan, <sup>4</sup>Shizuoka University,

<sup>5</sup>Institute of Advanced Science, <sup>6</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>7</sup>Hokkaido University,

<sup>8</sup>Kobe University, <sup>9</sup>Hiroshima University, <sup>10</sup>Okayama University, <sup>11</sup>University of Tsukuba,

<sup>12</sup>Tokyo University of Pharmacy and Life Science, <sup>13</sup>JAXA/Institute of Space and Astronautical Science, <sup>14</sup>University of Hyogo, <sup>15</sup>NTT, <sup>16</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Abstract: At the end of the 20 century, a new interdisciplinary field “astrobiology” was proposed by NASA. Astrobiology is defined as “origins, evolution, distribution and destiny of life in the Earth and elsewhere in space”. There have been many theoretical and experimental approaches to astrobiology, but most of them are done on ground. We propose here possible astrobiological experiments in Earth orbit. Abiotic formation and alteration of organic compounds in actual space environments are quite interesting since full spectrum of solar radiation including extreme UV light is available there. Other possible themes include collection of interplanetary dusts to detect microorganisms near International Space Station (ISS), observation of autonomous biological systems in space environments, and construction of space quarantine systems in ISS.

*Key words:* Astrobiology, chemical evolution, Extreme-UV light, amino acids, autonomous biological system, microorganisms, space quarantine, International Space Station

### 1. はじめに

20 世紀末に N A S A 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

まで多くの地上実験がなされてきた。近年、人工衛星、スペースシャトル、宇宙ステーション「ミール」などを用いた多彩な宇宙実験がなされ、また、国際宇宙ステーション上での宇宙実験の多く計画されている。しかし、アストロバイオロジーに関しては、

微生物の宇宙環境での生存可能性 [2]など、ごく一部のテーマが行われてきたにすぎない。

われわれは、平成 16 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[3]。この結果をふまえ、平成 17 年度は、可能性の高いテーマに絞り、さらに詳細な検討を開始した。それらは、(1) 太陽からの極端紫外光を用いた化学進化実験、(2) 宇宙ステーション上での微粒子の採取と微生物探査、(3)宇宙における小規模閉鎖生態系の挙動、(4)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。本稿では、(2)は別稿[4]にゆずり、(1)(3)(4)を中心に検討結果を照会する。

## 2. 太陽からの極端紫外光を用いた化学進化実験

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おり、特にアミノ酸の一部には地球生物が用いているL型の過剰が報告されている[5]。また、彗星中に星間空間にも多様な有機物が存在し、その地球生命誕生との関連が議論されている。

隕石や彗星中に見られる有機物の起源に関しては、種々の仮説があるが、代表的なGreenbergモデルに基づくと、以下のように説明される：(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紫外線があたり、まず有機物ができる。(2)これが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、隕石の母天体や彗星となった。

星間塵氷マントル中の分子としては、水の他、一酸化炭素、メタノール、アンモニアなどが主とされてきたが、これらに加えて、窒素の存在も明らかとなり[6]、星間化学反応の重要な材料であることが示唆された。

星間環境を模した種々の室内模擬実験が行われてきた。そして星間塵を模した環境下で紫外線もしくは放射線によりアミノ酸の前駆体が生成することが報告されてきた[7]。Fig. 1に、一酸化炭素・窒素・水の混合気体に種々の光（近紫外線～ $\gamma$ 線）や粒子

線を照射した時のグリシンのエネルギー収率を示す。MeV以上の粒子線や $\gamma$ 線でのグリシンのエネルギー収率（G値；100eV当たりのグリシン生成個数）は0.2と大きい値を示すのに対し、近紫外線・真空紫外線(10 eV以下)ではグリシンは生成しない(G=0)。X線(～1 keV)ではその間の値を示す。X線と真空紫外線の間の極端紫外光を用いた実験は困難であり、まだ行われていない。これは適当な窓剤がないためである。

さらに、分子雲中で生成した有機物は、星間塵が散光星雲中に移動すると、アイスマントルが昇華し、恒星からの光に直接暴露される。この場合も、極端紫外光の影響が考えられるが、そのような実験もまだ行われたことがない。

宇宙空間では、太陽放射のフルスペクトルが利用可能であり、これを用いた極端紫外光の化学進化実験（有機物の生成と変成）が期待される。われわれは、窓剤を用いないで回折鏡により太陽からの極端紫外光を増幅して試料に照射できる「スペースフォトンラブ」により、実際の宇宙環境下での有機物の合成と変成を調べる実験を提案してきた[8]。これは、比較的大型で消費電力が大きいという問題があった。より宇宙実験に適した小型の暴露装置の設計を検討している。

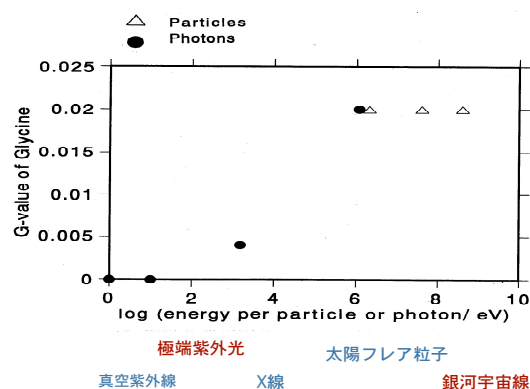


Fig. 1. G-value of glycine when a mixture of carbon monoxide, nitrogen and water was irradiated with various photons or particles. Glycine was determined after acid-hydrolysis.

### 3. 小規模閉鎖生態系の長期宇宙実験

地球上において、個々の生物は単独で生きているのではなく、動物・植物・微生物などが互いに相互作用しあい、物質やエネルギーを定常的に循環させながら、「生態系」を維持してきた。この生態系は1Gという重力下、放射線や紫外線から防護された地球独自の環境中ではぐくまれてきた。このような生態系が、それ以外の環境でも維持できるかどうかを知ることは、生態学の基本的な課題であるとともに、人類が月や火星など、宇宙に進出した時に新たな生態系を築くためにも不可欠と考えられる。

MacCallumらは1996年から淡水閉鎖生態系をSTS-77やMIRに搭載する実験が行い、地上対照実験や数値解析と組み合わせることにより、宇宙空間（0G）における小規模閉鎖生態系（魚類水槽、バイオリクター等）を長期安定化する手法の獲得を試みた。この時、生物種間のバランスの崩れ、個体形態の変形などの影響が現れたことが確認されている(Fig. 2) [9]。

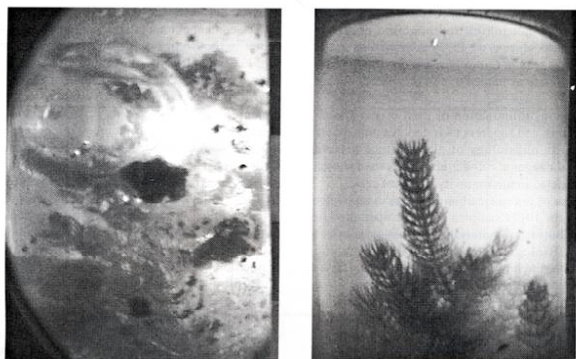


Fig. 2. Typical distribution of members of the ABS in space (left) and on ground (right).

この実験は、米国製の小型生態系モデルを用いた、米国主導のものであり、厳密な物質循環が解析できるものではなかった。日本においては、光源と熱環境制御装置を持ち、宇宙用にも改良された小規模淡水閉鎖生態系がAutonomous Biological System (ABS)として製作されている。これは小さな生物種を用いた生態系であり、生態系の維持にはより微妙なバランスが要求される。これを用いて、バイオマスの把握や、マスバランス、気相系の計測など、精密な計測計画をたてるとともに、数値モデルによる物質循環ダイナミクス解析手法を併用することに

より、世界でも類を見ない宇宙実験が可能となり、宇宙でのバイオリクター等の構築に必須なデータや、地球上での生態系のダイナミクスの解明が期待できる。

### 4. 宇宙ステーション上での宇宙検疫

地球外から持ち込んだ物質に病原性のものが含まれていると、地球生物にとって重大な結果をもたらす可能性が生じる。このようなことを防ぐのが宇宙検疫である。アポロ計画においては、月から帰還した飛行士や月の石をいったん隔離する措置が取られた。このような宇宙検疫の必要性はCOSPARなどによっても再三提唱されており、特に惑星物質のサンプルリターンには厳密な適用が必要とされている。一方、逆に地球から他の惑星に微生物を持ち込む危険性もあり、これを防ぐための「逆宇宙検疫」も必要である。

宇宙ステーションは、他の天体と地球とを結ぶ「宇宙港」としての機能を有するため、宇宙検疫所、あるいはバイオハザードとして用いることが考えられる。一方、宇宙ステーションのような閉鎖系での微生物管理も大きな問題であり、真菌（カビ）による日和見感染症、緑膿菌や黄色ブドウ球菌による感染症、ウイルス感染症などが問題になると考えられる。

宇宙検疫に関する基本的検討事項としては、閉鎖系での微生物生態の解明や、微小重力や宇宙放射線が微生物生態や変異にどのような影響を与えるか、有人および無人ミッションにおける殺菌技術、迅速で精度の良い微生物測定技術の確立などがあげられる。

### 5. おわりに

宇宙開発に民間も参入するようになった今日、民間とは別に科学的価値に重点をおいたものの継続が必要である。基礎科学のテーマとしては、宇宙・太陽系・地球・生命の起源と人類の将来を見据えたものが中心になるべきである。このような観点から、本WGでは「アストロバイオロジー」に関連した宇宙実験テーマを提案すべく検討を重ねていく予定である。

上記テーマの遂行のためには、まず地上でできる限りのシミュレーション実験や装置開発を行うことが必要である。例えば、宇宙用実験装置の開発や、宇宙検疫のための微生物計測には最近進歩のめざま

しい、マイクロチップ型実験装置などの宇宙への適用も重要な課題となる。

また、実際の宇宙環境を用いる実験のためには、与圧部に加えて暴露部を利用する実験が不可欠である。JEM 暴露部が完成すれば、この目的に最もかなったものと考えられるが、場合によっては、これまでの暴露部実験の経験の多い ESA との協力も考える必要があるかもしれない。

**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。

#### 参考文献

- 1) Soffen, G. A.; Astrobiology, *Adv. Space. Res.*, **23**, 283 (1999).
- 2) Rettberg, P., Horneck, G.; *Adv. Space Res.*, **26**, 2005 (2000).
- 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, *Space Util. Res.*, **21**, 280 (2005).
- 4) 山岸明彦, 小林憲正, 丸茂克美；宇宙ステーション高度での微生物, 有機物, 鉱物探査, 第 22 回宇宙利用シンポジウム, 東京 (2005).
- 5) Cronin, J. R., Pizzarello, S.; Enantiomeric excesses of meteoritic amino acids, *Science*, **275**, 951 (1997).
- 6) Knauth, D. C., Anderson, B.-G., McCandliss, S. R., Moos, H. W.; *Nature* **429**, 636 (2004).
- 7) 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).
- 8) Hashimoto, H., Brack, A., Colangeli, L., Greenberg, J. M., Horneck, G., Kobayashi, K., Kouchi, A., Navarro-Gonzalez, R., Raulin, F., Saito, T., Yamashita, M.; Conceptual design of apparatus for cosmo-biology experiment on international space station, *Biol. Sci. Space*, **12**, 106 (1998).
- 9) MacCallum, T., Anderson, G. A., Poynter, J. E., Ishikawa, Y., Kobayashi, K., Mizutani, H., Kawasaki, Y., Koike, J., Ijiri, K., Yamashita, M., Sugiura, K., Leigh, L. S.; The ABS (Autonomous Biological System): Spaceflight Results from a Bioregenerative Closed Life Support System, *SAE Paper*, 2000-01-2340 (2000).
- 10) 樺島麻理子, 笠松隆志, 河崎行繁, 小林憲正, 小池惇平, 小池和子, 越田智宏, 西村和子, 大島泰郎, 斉藤威, 清水一史, 田口英明, 第 12 回宇宙利用シンポジウムプロシーディング, 宇宙科学研究所 (1995) 119-120.