

平成19年 4月20日

平成18年度「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」 活動報告書

代表者 横浜国立大学 小林憲正

1. 構成メンバ

氏 名	所属
小林憲正	横浜国立大学 大学院工学研究院
石川 洋二	株式会社大林組 土木技術本部
内海 裕一	兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所
奥平 恭子	JAXA/宇宙科学研究本部
河崎 行繁	アイ・エイ・エス
小池 惇平	東京工業大学大学院生命理 工学研究科
長沼 毅	広島大学大学院生物圏科学 研究科
奈良岡 浩	岡山大学大学院 自然科学研究科
橋本 博文	筑波大学大学院 システム情報工学研究科
丸茂 克美	産業技術総合研究所
三田 肇	筑波大学大学院数理物質科 学研究科
山岸 明彦	東京薬科大学生命科学部
山下 雅道	JAXA/宇宙科学研究本部
杉浦 桂	相模女子大学
鈴木 彰子	大阪大学大学院理学研究科
癸生川陽子	大阪大学大学院理学研究科
高橋 淳一	NTT マイクロシステム研究 所
矢野 創	JAXA/宇宙科学研究本部
横堀 伸一	東京薬科大学生命科学部

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第1回：平成18年11月18日
- (2) 第2回：平成18年12月 9日
- (3) 第3回：平成19年 3月15日

3. 活動目的

平成16-17年度のWGの活動において、国際宇宙ステーションなどを利用した、地球周回軌道上でのアストロバイオロジー実験として、どのようなものが提案可能かについて議論を行った。その結果、(1)宇宙ステーション高度での微生物、有機物、鉱物探査、(2)宇宙極端紫外光および宇宙線を用いた有機物合成・変成実験、(3)閉鎖生態系の動的構造解析、(4)宇宙検疫などが重要かつ、申請可能なテーマとして結論に達した。

これらのうち、(1)(2)のテーマは曝露部での実験提案に発展させることを目的とし、極限環境平成18年度のWGにおいて、その実現可能性を探るための地上予備実験（高速衝突実験・放射線照射実験）を行った。また、(3)(4)に関しては、将来の実験提案に向け、研究会で議論を行った。

4. 活動内容

4-1. 宇宙ステーション高度での微生物、有機物、鉱物探査に関する予備実験 地球上の生命の起源については、生命が地球上で誕生したという説と、地球外で誕生した（パン・スぺルミア）という説の二つが古くから知られている。ここにおいては、個々の天体における生命が独自に誕生したのかあるいは相互に移動しているのかが大きな科学的課題である。一方、生命が地球で誕生したとする場合でも、生命の出現に必要な有機物（アミノ酸や核酸塩基、糖などの生体高分子の構成成分）が天体間を移動した可能性が考えられる。こ

これらの可能性を議論するためには、実際に生物や生命の材料となり得る有機物が天体間で見いだすことができるかの採取実験が有効である。そこでまず、地球由来の生物の存在がどの高度まで確認できるのか、また、その生物が生きているか否か、についての検討を行った。

大気圏での微生物採集実験に関して。山岸らは航空機を用いて12kmまでの大気を採集し、その中の微生物の単離とその解析を行い、5株の細菌株を得た。また、それらの細菌株の紫外線耐性を調べたところ、そのうちの2株がこれまで最も高い紫外線耐性を持つとされている*D. radiodurans*と同等かあるいはそれ以上の紫外線耐性を示した。さらに上層の大気での紫外線耐性菌の存在を検討するために大気球を用い、吸引した大気をろ過することにより微生物の採集実験を行い、多数の微生物株の単離に成功した。次のステップとしては、より高い高度での微生物採取であるが、われわれは、国際宇宙ステーション(ISS)の日本実験棟「きぼう」の暴露部における微生物採取と微生物密度の推定のための実験の実現可能性を検討することとした。高度50kmを超えた高々度で、長期間の曝露部での微粒子採集実験を行うことのできる研究装置としては、現在では「きぼう」を使用する以外に選択肢はない。そこで、私たちは、既に宇宙空間での運用実績のあるエアロゲルを微生物・有機物の採取に使用することを検討することとした。

地球由来の微生物・有機物が軌道高度に存在する想定した場合、そのISSとの相対速度はISS進行方向前面では最高16km/s、側面で最高8km/s、背面で微生物の軌道に依存した軌道間差速度となる。このような高速で衝突する微粒子は、衝撃による蒸発、原形をとどめないほどの破壊、が予想される。しかし、ターゲットとして低密度エアロゲルを用いることにより微生物を生きた状態で捕獲できる可能性が考えられる。

本予備実験では、これらの検証のために、2段式

軽ガス銃で4km/sに微生物や有機物粒子を加速し、エアロゲルをターゲットとして打ち込み、エアロゲルに作られたトラック中に微生物や有機物が検出できるか検討を行った。

実験方法は、微生物の衝突実験では、以下の通りである。①コンタミネーションした微生物と識別することと、衝突実験後の微生物の検出を容易にするため、微生物を蛍光色素で染色する。②これを鉱物に吸着させ、乾燥してサンプルとする。③2段式軽ガス銃によって秒速4kmまでサンプルを加速し、シリカエアロゲルで微生物に吸着させた鉱物を捕獲する。④蛍光顕微鏡でエアロゲルを観察し、微生物の存在を確認する。

微生物を吸着する鉱物として、モンモリロナイトとパーライトを選択した。これらの鉱物は粒径を0.1mm、0.2mm、0.3mmにそろえたものを使用した。

衝突実験の結果、衝突で生じたトラック内に強い赤色蛍光が観察された。この赤色蛍光が、赤色蛍光色素で染色した微生物に由来する可能性は高い。しかし、鉱物ガラスの中には蛍光を発する物があり、それと微生物の区別はまだ課題として残っており、このスポットが本当に微生物由来であるのか、今後の検証が必要である。

有機物に関しては、今回は非タンパク質アミノ酸である α -アミノ絡酸(AABA)を用いた衝突実験を行った。AABAの粉末、および惑星間塵を模してAABAを吸着させたHPLC充填材用シリカゲルの衝突実験を行った。衝突実験の方法は微生物の場合と同様である。衝突後、ターゲットのエアロゲルをフッ酸分解、塩酸加水分解後にアミノ酸分析したところ、AABA粉末を用いた時はAABAはブランクレベルだったのに対し、シリカゲルに吸着させたAABAは、エアロゲル中に有意量検出された^[12]。今後、種々の有機物を鉱物等に吸着させたものを用いた実験を行うとともに、解析法として顕微赤外法なども検討する予定である。

4-2. 宇宙極端紫外光および宇宙線を用いた有機物合成・変成実験

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され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必要がある。

5. 成果

原著論文

1) Role of Extraterrestrial Complex Organics in Chemical Evolution toward Origins of Life, by K. Kobayashi, H. Tonishi, T. Tsuboi, N. Suzuki, T. Kaneko and Y. Takano, *Origins Life Evol. Biospheres*, **36**,

206-208 (2006).

2) Asymmetric Synthesis of Amino Acid Precursors in Interstellar Complex Organics by Circularly Polarized Light, by Y. Takano, J. Takahashi, T. Kaneko, and K. Marumo and K. Kobayashi, *Earth Planet. Sci. Lett.* **254**, 106-114 (2007).

3) 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, 小林憲正, 石川洋二, 内海裕一, 奥平恭子, 河崎行繁, 小池惇平, 長沼 毅, 奈良岡浩, 橋本博文, 丸茂克美, 三田 肇, 山岸明彦, 山下雅道, 高橋淳一, 癸生川陽子, 鈴木彰子, 杉浦 桂, 加藤政博, 小林克己, 矢野 創, *Space Util. Res.*, **23**, 410-413 (2007).

4) 宇宙空間での微生物・有機物・鉱物探査計画, 横堀伸一, 山岸明彦, 川口寿太郎, Yang Yinjie, 奥平恭子, 矢野創, 小林憲正, 丸茂克美, 山下雅道, 平成18年度スペースプラズマ研究会プロシーディング、印刷中。

5) 微生物採集装置の開発,” 飯嶋一征、井筒直樹、福家英之、斉藤芳隆、川崎朋実、松坂幸彦、並木道義、太田茂雄、鳥海道彦、山上隆正、山田和彦、瀬尾基治、山岸明彦、横堀伸一, 宇宙研究開発機構研究開発報告:大気球報告 2006 ISSN1349-1113, JAXA-RR-05-012. pp. 117-128

6) 高エネルギー粒子線および光子による模擬星間物質からのアミノ酸前駆体の合成, 小林憲正, 小川智也, 増田仁美, 遠西寿子, 金子竹男, 高野淑識, 高橋淳一, 斉藤威, 村松康行, 吉田聡, *電気学会論文誌C*, **127**, 293-298 (2007).

学会発表

1). 山岸明彦、小林憲正、丸茂克美、山下雅道. 大気圏上空での微生物、有機物、鉱物探査の試み. 日本地球惑星科学連合2006年大会、2006/5、東京

2) 藪下さやか、永縄一樹、金子竹男、小林憲正、奥平恭子、矢野創、山岸明彦. 宇宙ステーション高度でのダスト採取と有機物分析(1) ブランク測定. 日本宇宙生物科学会第20回大会、2006/9、大阪

3) 山岸明彦、横堀伸一、南川純一、清水久美子、山上隆正、斉藤芳隆、井筒直樹、福家英之、飯島一征、松坂幸彦、並木道義、太田茂雄、鳥海道彦、山田和彦、尾瀬基治、川崎朋実. 大気球を用いた成層圏における微生物採集. 日本宇宙生物科学会第20回大会、2006/9、大阪

4) 山岸明彦. 成層圏の微生物探査. 大気バイオエアロゾルシンポジウム、2006/10、名古屋

- 5) 山岸明彦、Yang Yinjie、川口寿太郎、横堀伸一、柄沢伸治、山上隆正、飯島一征、井筒直樹、福家英之、斉藤芳隆、松坂幸彦、並木道義、太田茂雄、鳥海道彦、山田和彦、尾瀬基治。成層圏における微生物採集。大気球シンポジウム、2007/1、相模原
- 6) 山岸明彦、川口寿太郎、Yang Yinjie、奥平恭子、矢野創、小林憲正、丸茂克己、山下雅道。宇宙空間での微生物・有機物・鉱物探査計画。宇宙利用シンポジウム、2007/1、東京
- 7) 小林憲正、石川洋二、内海裕一、奥平恭子、川崎行繁、小池惇平、長沼毅、奈良岡浩、橋本博文、丸茂克己、三田肇、山岸明彦、山下雅道。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。宇宙利用シンポジウム、2007/1、東京
- 8) 横堀伸一、山岸明彦、川口寿太郎、Yang Yinjie、奥平恭子、矢野創、小林憲正、丸茂克己、山下雅道。宇宙空間での微生物・有機物・鉱物探査計画。平成18年度スペース・プラズマ研究会、2007/3、相模原
- 9) 藪下さやか、永縄一樹、金子竹男、小林憲正、奥平恭子、矢野創、山岸明彦。宇宙ステーション高度でのダスト採取と有機物分析。生命の起源と進化学会第32回学術講演会、2007/3、神戸
- 10) Yamagishi, A.. TANPOPO: Astrobiology exposure and micrometeoroid capture experiments on the EUSO. International Symposium on Astronomy and Astrophysics of Extreme Universe. 2007/3, Wako
- 11) 重粒子線照射により模擬星間物質から生成した複雑有機物のキャラクタリゼーション、小林憲正、鈴木宣成、谷内俊範、栢沼優二、金子竹男、吉田聡、第67回分析化学討論会、秋田、2006年5月。
- 12) 星間複雑有機物から地球生命へのシナリオ、”小林憲正、鈴木宣成、金子竹男、高野淑識、日本地球惑星科学連合2006年大会、千葉、2006年5月。
- 13) Formation of Complex Precursors of Amino Acids by Irradiation of Simulated Interstellar Media with Heavy Ions, by K. Kobayashi, N. Suzuki, T. Taniuchi, T. Kaneko and S. Yoshida, 36th COSPAR Scientific Assembly, Beijing, China, July, 2006.
- 14) 地球と宇宙における化学進化、小林憲正、日本進化学会2006年大会、東京、2006年8月。
- 15) 星間および惑星での有機物の生成・変成と生命の起源、”小林憲正、宇宙生命小研究会、名古屋大学、2006年9月。
- 16) 重粒子線照射によるタンパク質の変成過程の解析、酒井貴博、成川由佳、金子竹男、小林憲正、吉田聡、日本宇宙生物科学会第20回大会、大阪、2006年9月。

- 17) 星間でのアミノ酸の光分解:自由電子レーザからの円偏光を照射したイソバリンの分析、小川智也、谷内俊範、高橋淳一、保坂将人、加藤政博、金子竹男、小林憲正、日本宇宙生物科学会第20回大会、大阪、2006年9月。
- 18) 星間での化学進化における宇宙線と紫外線の役割、小林憲正、日本惑星科学会2006年秋季講演会、神戸、2006年10月。
- 19) 宇宙環境利用の学術研究 ―生命科学、小林憲正、第7回宇宙科学シンポジウム、相模原、2007年12月。
- 20) 紫外線およびX線によるイソバリンの分解、小川智也、佐藤康之、加藤政博、保坂将人、小林克己、金子竹男、小林憲正、生命の起原および進化学会第32回学術講演会、神戸、2007年3月。
- 21) 星間および惑星大気中での有機物生成・変成における宇宙線・紫外線の役割、小林憲正、高野淑識、高橋淳一、V. Tsarev、斉藤威、生命の起原および進化学会第32回学術講演会、神戸、2007年3月。
- 22) 陽子線照射により生成した模擬星間有機物の安定性、佐藤康之、金子竹男、長谷川直、小林克己、長沼毅、小林憲正、生命の起原および進化学会第32回学術講演会、神戸、2007年3月。
- 23) 放射線によるタンパク質変成過程の解析、”酒井貴博、成川由佳、金子竹男、吉田聡、小林克己、長沼毅、小林憲正、生命の起原および進化学会第32回学術講演会、神戸、2007年3月。

学位論文

- 1) 大気球を用いた成層圏微生物の研究、東京電機大学、柄澤信治（学士卒業論文）
- 2) 放射線照射したヒト血清アルブミン中のアミノ酸分析、横浜国立大学、成川由佳（学士卒業論文）
- 3) 放射線によるタンパク質変性過程の解析、横浜国立大学大学院、酒井貴博（修士論文）

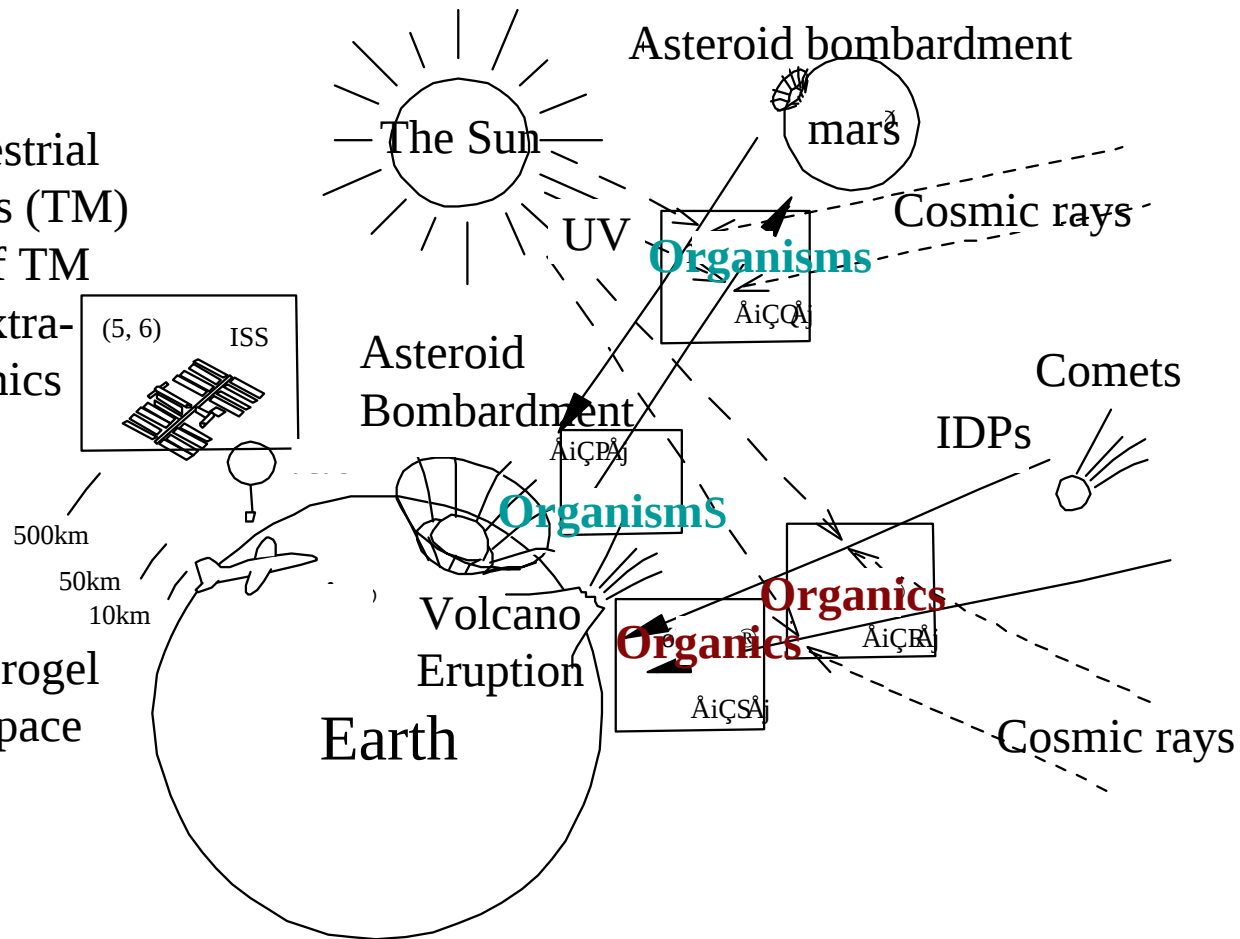
競争的資金獲得・応募状況など

- 1) 科学研究費補助金基盤(B)海外学術
北極圏成層圏の微生物と生体有機物に関するロシアとの共同学術調査（応募中）山岸明彦（代表者）
- 2) 科学研究費補助金基盤(A)一般
隕石分析と模擬実験による星間有機物から生命構築分子系への進化シナリオの構築（H17-20）小林憲正（代表者）
- 3) きぼう選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
ミッション名：たんぽぽ（地球と宇宙空間の微生物と有機物の双方向伝播）山岸明彦（代表者）

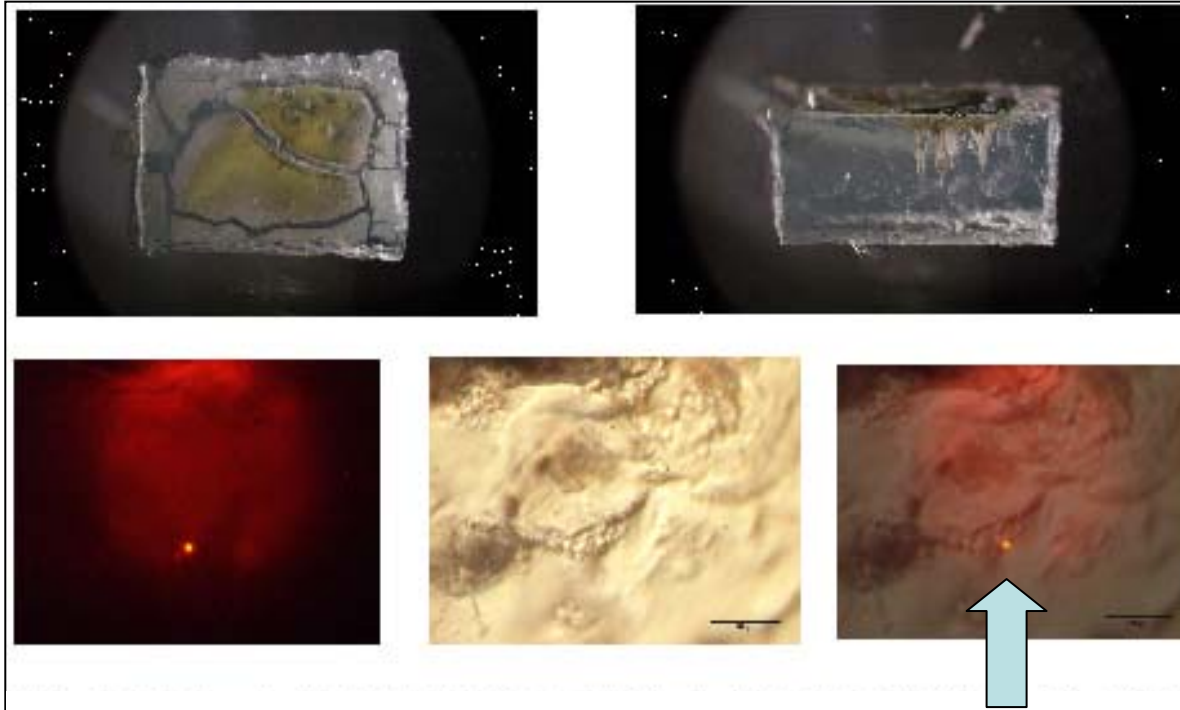
Concepts of “The Tanpopo Project”: Proposed Astrobiology Experiments in Earth Orbit

Sub-themes:

- (1) Collecting terrestrial microorganisms (TM)
- (2) Survivability of TM
- (3) Alteration of extra-terrestrial organics (EO)
- (4) Collecting EO
- (5) Development of high-performance aerogel
- (6) Evaluation of space debris



Preliminary Experiments for *the Tanpopo Project*: High Velocity Impact Experiments by Using a Two-Stage Light Gas Gun



Red-dyed Bacteria mixed with montmorillonite was shot at 4 km/s and captured in ultra low-density silica gel (*aerogel*) to test their survivability. Red spot in a track may be trace of microorganisms.