

平成20年3月28日

平成19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

横浜国立大学大学院工学研究院 小林憲正

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
山下 雅道	JAXA 宇宙科学研究本部
山岸 明彦	東京薬科大学生命科学部
丸茂 克美	産業技術総合研究所地質情報研究部門
橋本 博文	筑波大学大学院システム情報工学研究科
奈良岡 浩	九州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
小池 惇平	東京工業大学生命理工学部
奥平 恭子	JAXA 宇宙科学研究本部
石川 洋二	株式会社大林組土木技術本部
河崎 行繁	アイ・エイ・エス総合研究所
内海 裕一	兵庫県立大学高度産業科学技術研究所
長沼 毅	広島大学大学院生物圏科学研究科
中嶋 悟	大阪大学 大学院 理学研究科
三田 肇	福岡工業大学工学部
今井 栄一	長岡技術科学大学
河合 秀幸	千葉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

福島 和彦	名古屋大学大学院農学研究科
吉村 義隆	玉川大学農学部
鈴木 彰子	大阪大学大学院理学研究科

2. 本年度 WG 会合開催実績

- (1) 第1回：平成19年9月28日
- (2) 第2回：平成19年10月8日
- (3) 第3回：平成19年11月9日
- (4) 第4回：平成19年12月7日
- (5) 第5回：平成19年12月10日
- (6) 第6回：平成20年2月16日

3. 活動目的

平成16-18年度の本WG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い、その中で「有機物・微生物の宇宙曝露と宇宙塵・微生物の捕集（たんぽぽ）」を宇宙ステーションきぼう曝露部実験として提案するに至った。本年度は、この延長として、また新規のテーマとして、どのようなものが考えられるかについて議論を行うことを目的とした。また、このようなテーマを遂行するにあたって必要となる実験技術（高速衝突実験・放射線照射実験・微生物や有機物の微量分析）の検討も行った。

4. 活動内容

1. たんぽぽ計画から派生した問題

たんぽぽ計画においては、宇宙ステーション曝露部において超低密度エアロゲルを用いて宇宙塵を捕集し、微生物や有

機物の検出を試みる。実際に宇宙塵を捕捉する場合、相対速度数 km 以上で衝突してくるものを微生物や有機物となるべくこわさずに捕捉する必要がある。そのために実際に有機物や微生物を含む微粒子を二段式軽ガス銃で射出し、超低密度シリカゲル（エアロゲル）で捕捉・分析する予備実験を行った。この時、問題となるのが、ダストサイズの極微量の試料中の微生物や有機物の検出法である。類似の実験として、NASA の Stardust 計画において、Wild 2 彗星のダストをエアロゲルで捕集して持ち帰って分析した例が報告されている。この報告では、アミノ酸は検出されず、TOF-SIMS という顕微質量分析法のひとつを用いることにより、多環芳香族炭化水素 (PAHs) などの検出には成功した。しかし、質量分析法では特定のグループの化合物が選択的に検出可能性もあり、さらに検討が必要である。また、アミノ酸分析に関しては、Murchison 隕石と同等なダストを捕捉した場合、フェムトモルレベルのアミノ酸が期待できるが、そのような微量アミノ酸分析法の開発も必要である。

微生物検出に関して、特に細胞の生死を判断する方法も難しい。われわれは顕微蛍光法について検討した。

2. 有機微量分析法

2. 1. 超微量アミノ酸分析の課題

宇宙試料中でアミノ酸がアミノ酸として存在するのでなく、酸加水分解をするとアミノ酸として検出されるため、酸加水分解やそれに代わる処理を施さないと分析ができない。従来法の改良では、超微量試料のハンドリング法の開発と、現状の 100-1000 倍の分析の高感度化を達成することで、宇宙塵中のアミノ酸分析が、光学異性体比の測定を含めて可能になる。一方、適度な分解とソフトなイオン化を組み合わせることも検討課題になる。

宇宙物質中のアミノ酸においては、そのエナンチオマー (D/L) の分離が不可欠である。地球上で回収された隕石などの

分析から宇宙の中でホモキラルな世界が存在するのかを判断するのが困難であることから、地球生物の汚染がない、宇宙環境で直接、分析試料を回収することには大きな意義がある。

2. 2. 不溶性有機物の局所分析

Stardust 計画では、官能基分析を目的としたものと、多環式芳香族炭化水素分析 (PAHs) を目的としたものに分けられる。官能基分析では、カルボニル、アミン、ニトリルといった含窒素・酸素基が豊富に含まれており生命の誕生に結びつきそうであるが、化合物の同定では PAHs のみで、不溶性有機物の詳細な構造が明らかになるまでには至っていない。これらの分析法の中で TOF-SIMS は、Stardust 計画では PAHs の分析しかできていなかったが、名大・福島らはリグニンの構造推定で有効に活用できることを示している。含酸素芳香族であるリグニンの構造解析技術を、炭素質隕石の微細構造解析や微細な宇宙塵試料の解析に適用することで、これまで以上の構造情報が得られると期待される。

3. 微生物検出法

地下、南極などの地球極限環境下にも微生物活動が検出され、また、火星などの太陽系諸天体上の生命の可能性が議論されている。このような極限環境微生物のように性質が未知の微生物はその検出は困難である。河崎・吉村らは、適当な蛍光色素を用いた顕微蛍光法を火星などの未知生物圏の検出に提案している。

本法では、生物の特性、例えば膜、核酸、酵素などを有することに対応して蛍光を発する色素を用いる。例えば、土壌中の微生物の識別は困難だが、エステラーゼ活性によって加水分解されて蛍光を発する色素を加えた場合、微生物が蛍光を発するため、周りの環境との識別が可能となり、生存している微生物の検出法として有用である。これをフィールドや宇宙ステーション、惑星探査機で利用する場合は軽量小型化が必要となる。

4. 宇宙環境での有機物生成の検証

彗星・隕石中の有機物は、星間塵上に凝縮した揮発性分子を原材料とし宇宙線や紫外線が作用して生成すると考えられる。これまでに模擬宇宙環境下での有機物の合成・分解実験により、単純な化合物から宇宙線や紫外線によりアミノ酸前駆体などの有機物が生成可能であることがわかった。しかし、この地上での実験条件は紫外線、高エネルギー粒子、高真空、微小重力などの多様な要素が同時にはたらく実際の宇宙空間とは異なる。そこで、宇宙環境下において星間塵上の凝縮相を模擬的に生成し、それに太陽紫外線や宇宙放射線を照射することにより、その生成物を分析して評価、定量することを目的とする宇宙実験を提案する。本実験には、概念設計段階にあるスペース・フォトン・ラボ(SPL)を用いることを議論している。

5. まとめ

以上で述べたほかにもいくつかのアストロバイオロジー関連の宇宙実験が考えられる。例えば、隕石からエナンチオ過剰を有するアミノ酸が検出され、生体分子のホモキラリティーの起源が宇宙に存在するとの仮説が提出されている。この検証のための宇宙実験においては、カイラルな偏りを有するアミノ酸などの分子が宇宙の紫外線環境下に曝露し、どの程度ラセミ化をまねがれ得るかを明らかにする。

この他、有機物や微生物を用いる宇宙実験においては惑星検疫の問題はさけて通れない。宇宙ステーションなどを利用した惑星検疫の方法の提案なども必要である。

5. 成果

原著論文

・小林憲正・遠西寿子・坪井大樹ほか、星間での複雑有機物の生成と変成—生命の素材は宇宙でつくられた—, 低温科学, in press (2008).

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

・ Y. Oba and H. Naraoka: Carbon and hydrogen isotope fractionation of acetic acid during degradation by ultraviolet light. *Geochim. J.* **41**, 103-110 (2007).

・ Y. Oba and H. Naraoka: Carbon and hydrogen isotope fractionation of low-molecular-weight organic compounds during ultraviolet degradation. *Org. Geochem.* in press (2008).

・ H. Naraoka: Characteristics of organic matter in carbonaceous chondrites with relevance to its occurrence on asteroids. *ASP Conf. Ser.* in press (2008).

学会発表

・ Y. Oba and H. Naraoka, Isotopic variations of macromolecular organic matter from CM chondrites during hydrous pyrolysis. 31st Antarctic Meteorite Symp. Tokyo, June, 2007.

・ 橋本博文, アストロバイオロジーの未来を拓く「たんぼぼ」, 日本宇宙生物科学会第21回大会, 東京, 2007年9月.

・ 藪下さやか, 永縄一樹, 金子竹男ほか, 宇宙ステーション高度でのダスト採取と有機物分析の基礎的検討, 日本宇宙生物科学会第21回大会, 東京, 2007年9月.

・ 小川智也, 保坂将人, 加藤政博ほか, 紫外線および種々の放射線照射によるイソバリンの分解, 日本宇宙生物科学会第21回大会, 東京, 2007年9月.

・ 中嶋悟・癸生川陽子・鈴木彰子, 赤外・ラマン分光による有機物探査, シンポジウム「宇宙をわたる生命」, 東京, 2007年10月.

・ 小林憲正, 石川洋二, 内海裕一ほか, 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活動報告” 第24回宇宙利用シンポジウム, 東京, 2008年1月.

・小林憲正，谷内俊範，小川智也ほか，
星間での高分子量複雑有機物の生成とその
安定性，日本化学会第 88 春季年会，
東京，2008 年 3 月．

・谷内俊範，細貝知弘，高野淑識，吉田
聡，金子竹男，小林憲正，地球外環境下
での複雑有機物の生成と変成，生命の起
原および進化学会第 33 回学術講演会，
八王子，2008 年 3 月．

・藪下さやか，金子竹男，小林憲正，山
岸明彦，たんぼぼ WG，アミノ酸の高速
衝突および放射線照射実験，生命の起原
および進化学会第 33 回学術講演会，八
王子，2008 年 3 月．

学位論文

・藪下さやか，地球周回軌道上での宇宙
塵捕獲および有機分析に関する起訴研究，
修士（工学），横浜国立大学大学院工学
府

・小川智也，紫外線照射および種々の放
射線によるイソバリンの分解，修士（工
学）横浜国立大学大学院工学府

・佐藤康之，模擬星間複雑有機物の衝突
及び X 線に対する安定性，修士（工学）
横浜国立大学大学院工学府

競争的資金獲得・応募状況

・科研費 基盤 S 「地球惑星生命物質の
ミクロ・ナノ分析と有機無機相互作用の
その場分光観測」 中嶋悟(代表) 196400
千円（申請中）

・科研費 基盤 A 「模擬実験と隕石分析
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」小林憲正（代表），
36140千円（平成17-20）

・科研費 萌芽 「超新星爆発をトリガー
とするアミノ酸不斉創生説の検証」小林
憲正（代表） 3400千円(平成19-20年度)