

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)

東京薬科大学生命科学部
横浜国立大学大学院工学研究科
宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部
千葉大学大学院自然科学研究科
大阪大学大学院理学研究科
会津大学
産業技術総合研究所
九州大学理学研究院
福岡工業大学工学部

山岸明彦、横堀伸一
小林憲正
山下雅道、橋本博文、矢野創、長谷川直
河合秀幸、田端誠
中嶋悟、癸生川陽子、藪田ひかる
奥平恭子
丸茂克美
奈良岡浩
三田肇

TANPOPO: Astrobiology Exposure and Micrometeoroid Capture Experiments

Akihiko Yamagishi, Shin-ichi Yokobori

Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences, 1432-1 Horinouchi, Hachioji-shi, Tokyo 192-0392

Kensei Kobayashi

Yokohama National University, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501

Masamichi Yamashita, Hirofumi Hashimoto, Hajime Yano, Sunao Hasegawa

ISAS/JAXA, 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara-shi, Kanagawa 229-8510

Hideyuki Kawai, Makoto Tabata

Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522

Satoshi Najima, Yoko Kebukawa, Hikaru Yabuta

Osaka University, 1-1 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka 560-0043

Kyoko Okudaira

The University of Aizu, Aizu-Wakamatsu City, 965-8580

Katsumi Marumo

AIST, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567

Hiroshi Naraoka

Kyushu University, 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812-8581

Hajime Mita

Fukuoka Institute of Technology, 3-30-1 Wajiro-Higashi, Higasiku-Ku, Fukuoka 811-0295

E-mail: yamagish@ls.toyaku.ac.jp

TANPOPO, dandelion, is the name of a grass whose seeds with floss are spread by the wind. We propose the analyses of interplanetary migration of microbes, organic compounds and meteoroids on Japan Experimental Module (JEM) of the International Space Station (ISS). Ultra low-density aerogel will be used to capture micrometeoroid and debris. Particles captured by aerogel will be used for several analyses after the initial inspection of the gel and tracks. Careful analysis of the tracks in the aerogel will provide the size and velocity dependence of debris flux. The particles will be analyzed for mineralogical, organic and microbiological characteristics. Aerogels are ready for production in Japan. Aerogels and trays are space proven.

生命は地球と他の地球外天体との間を移動したという考え方、すなわち地球外に生命の起源を求める「パンスペルミア仮説、胚種広布仮説 (panspermia)」は、生命の起源の議論のなかで古くから主張されてきた(Arrhenius (1908); Crick (1981))。火星由来の隕石中に微生物様の構造が見つけられたことで、この仮説が再び脚光を浴びた。他方、地球上に生まれた生物が隕石の衝突や火山の巨大噴火により地球の重力

を振り切り飛び出す可能性も否定できない。こうした可能性を検討するため、我々はこれまで、高々度における航空機と気球を用いた微生物採集実験を行い、採集された微生物の解析を進めてきた。ISSを用いることで、微生物採集高度を地球周回低軌道(約400 km)にまで広げることができる。また、いったん、地球から脱出した微生物が他の天体までの移動の間に宇宙空間環境で生存することができるのかを

テストすることも重要な研究テーマである。そのため、我々は ISS 曝露部上で、微生物が宇宙空間で長期に生存するための条件の検討を行うことも合わせて提案する。

生命の起源に関して他の重要な問題として、有機化合物の前生物的生成がある。地上での汚染の無い惑星間微小粒子の直接採取実験を行うことで、この可能性を直接検証できる可能性がある。さらに、地球外で生成した有機化合物が宇宙空間の環境下でどの程度変成するのかを推定することも重要な研究課題である。この目的で、ISS 上で模擬複雑有機化合物を直接宇宙空間に曝露し、その変成過程と変成によって生じる物質の解析を行うことも提案する。

我々は、これらのサブテーマを包含するミッションを「TANPOPO」と命名し、JEM/ISS の曝露部における実験ミッションとして提案した。これは、たんぼの綿毛のついた種子が風に乗って新天地に運ばれることを地球と地球以外の天体間で生命や生命の材料物質が移動することに擬えて命名したものである。

1. 宇宙空間での微生物捕集

我々は航空機を使って微生物捕集実験を行った。高度 0.8–12 km で採取された微粒子サンプルから、微生物が分離培養され、その遺伝子の解析が行われた。これらの分離株は *Streptomyces* 属、*Bacillus* 属、*Paenibacillus* 属という孢子形成種と、*Deinococcus* 属に関連する種であることが明らかとなった(Yang et al. 2008a; 2009)。

D. radiodurans は、最も放射線抵抗性を示す種として知られている。また、*D. radiodurans* は高い紫外線耐性を示すことも知られている。そこで、我々は高々度で単離された分離株について紫外線耐性を検討した。分離株のうちの 2 つは、*D. radiodurans* に比肩あるいは凌駕する高い紫外線耐性を示す新種であった (Yang et al. 2009)。高々度における紫外線量は、地表表面よりはるかに高い。従って、高々度分離株が高い UV 抵抗性を示すことはきわめて妥当である。

我々は、気球を用いた微生物サンプリング実験も行った。サンプリング装置は、真空ポンプと濾過システムで構成される。大気を真空ポンプで吸引し、限外ろ過膜で濾過した。サンプリングは、フィルタの前に置かれる弁でコントロールした。およそ 10 m³ (常大気圧下での体積に換算して) の大気を、20 から 35km までの高度で吸引した。4 種類の分離株が、気球サンプリング実験で得られた。これらは分子系統解析から孢子形成を行う *Bacillus* 属および *Paenibacillus* 属に属する株であることが明らかとなり、そのうち 1 株は少なくとも *Bacillus subtilis* よりも強い紫外線耐性を示した(Yang et al. 2008b)。

さらに高い高度で微生物の捕集を行うために、我々は ISS-JEM の微生物捕集実験を提案する。ISS の上の微生物/微粒子捕集は、真空環境下で行うため、航空機/気球を使用した捕集実験とは全く異なる採集方法を必要とするので、サンプリング実験のために超低密度エアロゲルを使う予定である。TANPOPO ミッションの千葉大学グループは、超低密度エアロゲルを作成する技術を有する。同じ方法で作成した日本製のエアロゲルは既に、微粒子サンプリング実験のために ISS Russian Service モジュールで使われた。エアロゲルトレイの基本的なデザインは、JAXA による MPAC-SEED でもテストされた。

微生物が ISS 高度で存在するならば、それらは地球周回軌道速度を持たなければならない。エアロゲルに対する微生物の相対速度は、ISS の進行方向と微生物の進行方向に依存し、これらが正反対の場合に最高の値 16km/s となる。事前に蛍光色素で標識した微生物を含んだ粒子を 2 段式軽ガス銃で 4 km/s まで加速し、エアロゲルに衝突させた。エアロゲルの蛍光顕微鏡観察により、蛍光を発する微小粒子がエアロゲルの衝突トラック内に見いだされた (山岸他 2007; Yamagishi et al. 2008)。

宇宙空間での微生物の生存可能性を考える場合には強力な紫外線照射も重要なポイントである。単一の微生物の細胞が強い紫外線照射下で生存することは考えられない。しかし、微生物が鉱物内に包み込まれている場合、微生物が生存する可能性は高いと考えられる。

2. 微小隕石様粒子の ISS 上での捕集

隕石の観察と収集は惑星科学の研究の中で、その母天体の研究を行うために進められてきた。黄道帯のダスト雲は地球表面からも観察できる。宇宙塵は南極で採取されたアイスコアに見いだされている。惑星間ダスト粒子は航空機を使って成層圏で採取されている。また、地球周回低軌道上の人工天体の表面への微隕石衝突が報告されている。これらの粒子の解析から、それらの起源とそれらの母天体についての情報を得ることができる。しかし、これまでの微隕石解析では地球由来の汚染の可能性が完全に除外できない。そこで、汚染のないかつ、できる限り破壊されていない微小隕石の捕集が望まれる。

エアロゲルタイルは、ISS-JEM 曝露部のいくつかの方向 (すなわち東、南、北面) を向けて設置されることが望ましい。信号接続は、全部の曝露期間の間に必要としない。地球周回低軌道での 1 年以上の曝露の後、トレイは EVA 作業員によって手で回収され ISS 与圧したモジュールで密封され、ソユーズ/STS/CEV で地球に帰還する。しかし、インターフェースの構造は今後調整される必要がある。この調整

は、開発期間以内で完了されなければならない。しかし、これらは十分可能であり、フェーズ A 研究の間に最終判断できると考えられる。

3. 宇宙空間での有機化合物の捕集

多種多様な有機化合物が隕石（炭素質のコンドライト）と彗星のような地球外天体で見いだされてきた。Chyba と Sagan は地球外天体由来の 100kt 以上の炭素が地球に届けられたと推定している (Chyba & Sagan (1992))。実際に、アミノ酸や核酸塩基のような生物関連有機化合物が炭素質コンドライトの熱水抽出物内に見いだされている。複雑有機化合物は、ハレー彗星探索のための宇宙観測機に搭載された質量分析装置による直接的な分析でも見いだされた (Kissel & Krueger (1987))。スターダストミッションにより回収された彗星のちりの予備的な有機分析でもまた、Wild 2 彗星コア (Standford et al. (2006)) で複雑な有機化合物の存在が示された。我々は、TANPOPO プロジェクトの一部として、有機化合物の分析のために、IDP の捕集を提案する。

4. 終わりに

ISS 上で生命の痕跡を直接検証しようという試みは、これまで無かった。この点で、TANPOPO はユニークな提案である。TANPOPO のコアグループは、エアロゲルの作製、細菌の分析、有機化合物分析と微小隕石分析においてすでに長い経験を有している。その上で国内外の研究グループと広く連携し、研究を推進する予定である。

参考文献

Arrhenius, S. (1908) *Worlds in the Making-the Evolution of the Universe*. (translation to English by H. Borns) Harper and Brothers Publishers, New York.

Chyba, C. and C. Sagan (1992) Endogenous production, exogenous delivery and impact-shock synthesis of organic molecules: an inventory for the origins of life. *Nature* 355, 125-132.

Crick, F. (1981) *Life Itself*. Simon & Schuster, New York.

Kissel, J. and F. R. Krueger (1987) The organic component in dust from comet Halley as measured by the PUMA mass spectrometer on board Vega 1. *Nature* 326, 755-760.

Sandford, S. A., Aléon J., Alexander, C. M. O'D., Araki, T., Bajt, S., Baratta, G. A., Borg, J., Bradley, J. P., Brownlee, D. E., Brucato, J. R., Burchell, M. J., Busemann, H., Butterworth, A., Clemett, S. J., Cody, G., Colangeli, L., Cooper, G., D'Hendecourt,

L., Djouadi, Z., Dworkin, J. P., Ferrini, G., Fleckenstein, H., Flynn, G. J., Franchi, I. A., Fries, M., Gilles, M. K., Glavin, D. P., Gounelle, M., Grossemy, F., Jacobsen, C., Keller, L. P., Kilcoyne, A. L. D., Leitner, J., Matrajt, G., Meibom, A., Mennella, V., Mostefaoui, S., Nittler, L. R., Palumbo, M. E., Papanastassiou, D. A., Robert, F., Rotundi, A., Snead, C. J., Spencer, M. K., Stadermann, F. J., Steele, A., Stephan, T., Tsou, P., Tylliszczak, T., Westphal, A. J., Wirick, S., Wopenka, B., Yabuta, H., Zare, R. N., and Zolensky, M. E. (2006) Organics captured from comet 81P/Wild 2 by the stardust spacecraft. *Science* 314, 1720-1724.

山岸明彦、矢野創、奥平恭子、小林憲正、横堀伸一、田端誠、河合秀幸 (2007) TANPOPO : 有機物と微生物の宇宙空間曝露と微隕石及び微生物の捕集実験。 *Biol. Sci. Space* 21: 67-75

Yang, Y.-J., S. Itahashi, S. Yokobori and A. Yamagishi (2008a) UV-resistant Bacteria isolated at high altitude. *Biol. Scie. Space*. 22:18-25.

Yang, Y.-J., S. Yokobori, J. Kawaguchi, T. Yamagami, I. Iijima, N. Izutsu, H. Fuke, Y. Saitoh, S. Matsuzaka, M. Namiki, S. Ohta, M. Toriumi, K. Yamada, M. Seo, & A. Yamagishi (2008b) Investigation of cultivable microorganisms in the stratosphere collected by using a balloon in 2005. *JAXA-RR*, in press.

Yang, Y.-J., T. Itoh, S. Yokobori, S. Itahashi, H. Shimada, K. Satoh, H. Ohba, I. Narumi, & A. Yamagishi (2009) *Deinococcus aerius* sp. nov., isolated from the high atmosphere. *Internatl. J. Syst. Evol. Bacteriol.* (in press)

Yamagishi, A., H. Yano, K. Kobayashi, K. Kobayashi, S. Yokobori, M. Tabata, H. Kawai, M. Yamashita, H. Hashimoto, H. Naraoka, & H. Mita (2008) TANPOPO: astrobiology exposure and micrometeoroid capture experiments. *International Symposium on Space Technology and Science (ISTS) Web Paper Archives*. 2008-k-05.