

ヴァン・アレン帯に挑むアストロバイオロジー実験

Astrobiology Experiment to Challenge the Van Allen Radiation Belt

橋本博文 (JAXA/ISAS), 横堀伸一 (東京薬科大学), 三田肇 (福岡工業大学), 高橋昭久, 吉田由香里 (群馬大学), 高橋和生 (京都工芸繊維大学), 稲富裕光 (JAXA/ISAS)

1. はじめに

アストロバイオロジーは、地球環境の淘汰圧下で進化してきた生物に対する「従来の生物学」をより普遍的な宇宙環境に拡張した「新しい生物学」である。この新しい生物学は、地球以外の天体での生命探査や生命の起源を考える際に必要となり、具体的には、極限環境、生命探査、生命起源などの研究テーマがある。将来、人類は月や火星に進出するとき、国際宇宙ステーション ISS での被ばく量をはるかに上回る放射線にさらされる可能性があり、その積算量は火星往復および滞在の旅程全体でおよそ 1Sv になる。有人惑星間飛行を実現するためには、まず、粒子線がトラップされているヴァン・アレン帯の壁を越えなければならず、その後は長期間、銀河宇宙線に耐える必要がある。そこはまさにアストロバイオロジーのテーマである極限環境である。そこで、これらの耐性実験の第一段階として、ヴァン・アレン帯を積極的に利用したアストロバイオロジー実験を計画する¹⁾。

ヴァン・アレン帯に到達する軌道としては、JAXA で運用中の「あらせ」(ERG) などが参考になるが、規模が大きく実現に時間がかかるので、まずは観測ロケット SS-520 による弾道飛行、さらに超小型衛星での実験を考える。超小型衛星では大きさの点で大きな制約があるが、ヴァン・アレン帯における生命科学実験は次世代の有人宇宙活動につなげる大きなインパクトを与えるに違いない。

2. ヴァン・アレン帯を通る軌道

生物の曝露実験としては、Horneck ら²⁾ による宇宙実験、日本の「たんぼぼ」³⁾ の実験等があるが、その多くは頑強な地球磁場に守られた数百 km 程度の国際宇宙ステーション (ISS) 等の低軌道高度での実験であった。次のステップとして、ISS 高度よりもはるか高い位置に存在するヴァン・アレン帯を積極的に宇宙被ばく実験場と捉え、この軌道高度での生物曝露実験を行うことを提案する。ここで得られる知見は、今後の有人惑星間飛行における放射線耐性や放射線防護を検討する上で非常に重要であると考えられる。

ヴァン・アレン帯は、アメリカ初の人工衛星エクスポローラ 1 号により発見された。地球磁場に捕捉された高エネルギー粒子線で構成されていて、地球を 360 度トーラス状に取り巻いている。さらに、内帯と外帯との二層構造になっており、赤道付近が最も層が厚く、極付近は層が極めて薄い。内帯は赤道上高度 2,000~5,000km に位置する比較的小さな帯で陽子が多いのに対し、外帯は 10,000~20,000km に位置する大きな帯で電子が多い。本提

案では、このヴァン・アレン帯に到達する軌道をターゲットにする。

ヴァン・アレン帯の軌道高度を探索する JAXA のプロジェクトとしては、ジオスペース探査衛星「あらせ」(ERG: Exploration of energization and Radiation in Geospace) があり、衛星の仕様が参考になる。「あらせ」は、2016 年 12 月 20 日に内之浦宇宙空間観測所からイプシロンロケット 2 号機によって打ち上げられた。「あらせ」の諸元は、質量 350kg、近地点 440km、遠地点 32,000km、軌道傾斜角 32 度の楕円軌道、公転周期 570 分である。「あらせ」の軌道はヴァン・アレン帯の内帯と外帯を貫通しており、本提案のアストロバイオロジー実験に必要な軌道要素を満たしている。「あらせ」の軌道に衛星を打ち上げれば、理想的な実験ができる。

3. 観測ロケット SS-520 による弾道飛行

しかし、これらを実現するためには、衛星の基本設計から予算取り、広報活動を経て、運が良ければ採択、実施という過程が考えられる。仮に順調に行っても、近年の科学衛星の大型化により順番待ちの列は長く、その実現は数十年後になるであろう。そこで、まずは観測ロケット SS-520 を用いた弾道飛行や超小型衛星により、前述の構想を凝縮させたコンパクトなアストロバイオロジー実験を実行し、一般社会や JAXA に対してインパクトを与え、次世代につなげる戦略を考える。

SS-520 は 2 段式観測ロケットで、直径 520mm、打上げ時の質量 2,600kg で、140kg のペイロードを 800km の高度まで打上げる能力を持つ。ペイロード重量を減らして、到達高度を上げることにより、弾道飛行の頂上部でヴァン・アレン帯に到達できる可能性がある。これを利用し、生物をヴァン・アレン帯の高放射線領域を弾道飛行させることにより曝露実験を行う。曝露実験に用いる試料としては、微生物、植物、小動物、有機物を想定している。今までの生物曝露実験がほとんど孢子や休眠状態であったのに対し、今回は活動状態でも実験できるようにする。ペイロードには試料のほかに記録機能付きの線量計や温度計、回収機構も打ち上げ、これら一式を海上で回収し、飛行後解析で遺伝子の損傷等を調べる。

4. 観測ロケット SS-520 による超小型衛星の打ち上げ

SS-520 に小型の第 3 段ロケットを付け加えることによって地球周回軌道に超小型衛星を打上げることも可能である。2018 年 2 月 3 日、この SS-520 を使って東京大学で開発された超小型衛星「たすき」(TRICOM-1R)⁴⁾ が打ち上げられた。「たすき」は、地球を周回しながら地上端末から送られるデータを収集し、衛星が管制局上空に来た時にコマンドにより地上局にデータを転送する Store and Forward ミッションや、搭載したカメラを用いた地球撮像ミッション、また、打上げ・軌道投入後ただちに自律的に地球撮像を実施して、地上との最初の通信で観測データを地上へ送る即時観測ミッションを行った。その諸元は、寸法 116mm×116mm×346mm (アンテナ以外)、質量 3.2kg、軌道は近地点 178km、遠地点 1,978km、軌道傾斜角 31 度の楕円軌道である。

この超小型衛星「たすき」を参考にして、前述のヴァン・アレン帯における生物曝露実験を実行することを考える。「たすき」の遠地点は、1,978km であるが、これではヴァン・アレン帯の内帯（2,000～5,000km）にわずか届かない。そこで、もう少し軽量化して 3.2kg の質量を 2kg まで減らすと、力学的考察から遠地点が 2,000km を超える軌道に変えることが可能になると思われる。これで、何とかヴァン・アレン帯をかすめる軌道に衛星を打ち上げることが可能となるが、衛星の質量は 2kg に制限され、大きさも「たすき」と同じ 116mm × 116mm × 346mm 程度に収める必要がある。

5. USB (Ultra-Small Bio-Satellite)

このアストロバイオロジー実験を行う超小型衛星、および、このプロジェクトを下記のように呼ぶことにする。

和名： 超小型バイオ実験衛星

英名： Ultra-Small Bio-Satellite

通称： USB

USB は、試料として植物や小動物等を用い、打ち上げ直前にレイトアクセスで給水し、実験を開始してから打ち上げる。軌道上では、植物が発芽して成長する様子や小動物が動き回る様子をビデオカメラで撮影し、データを蓄積、近地点で地上局へダウンロードする。可動部なしのシステムで、衛星の機能としては、参考にした超小型衛星「たすき」とほとんど変わらない。つまり、現存の技術ですべて可能な状態にある。

この USB に関しても、3 段階の展開戦略を考える。まず、1 号機は、可動部なし、既存の技術だけで手堅く臨む。失敗すると再開は困難なので、確実に成功する形で挑む。インパクト重視である。次に、2 号機では、衛星をスピニングさせて、人工重力を発生させ、1G コントロールを実現し、対照とする。仮に、回転半径 10cm の位置において 1.6rps で 1G の遠心力が得られる。この対照と比較することにより、微小重力の放射線被ばくへの影響を調べることができる。さらに、3 号機では USB を回収型カプセルにして、地上回収し、より詳細な試料解析を可能にする。ここまでできると遺伝子解析等、かなり高度な解析が期待できる。そして、これらのシリーズ実験により蓄積した技術やデータを次世代となる「あらせ」規模のバイオ衛星に生かす。

6. おわりに

ヴァン・アレン帯の中を周回する人工衛星の中で、植物が発芽して育ち、小動物が動き回る姿をビデオ画像でリアルタイムに観察する。この実験の科学的な成果はささやかであるとしても、一般社会や JAXA に与えるインパクトは大きい。このインパクトによりアストロバイオロジーの生命科学衛星による実験が軌道に乗れば、戦略としては大成功であろう。このように USB は戦略優先のプロジェクトであるが、将来的には新しい大きな宇宙科学成果をもたらすに違いない。

参考文献

- 1) 橋本博文, 横堀伸一, 三田肇, 高橋昭久, 吉田由香里, 稲富裕光: ヴァン・アレン帯に挑む生命科学実験, 宇宙環境利用シンポジウム 第 32 回: 平成 29 年度, SA6000117022, G-17, 2018.
- 2) Horneck, G., Klaus, D.M., and Mancinelli, R.L.: Space microbiology, *Microbiol Mol Biol Rev* 74, 121–156, 2010.
- 3) Kawaguchi, Y., Yokobori, S., Hashimoto, H., Yano, H., Tabata, M., Kawai, H., and Yamagishi, A.: Investigation of the Interplanetary Transfer of Microbes in the Tanpopo Mission at the Exposed Facility of the International Space Station, *ASTROBIOLOGY*, 16-5, ©Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/ast.2015.1415, 2016.
- 4) 青柳賢英, 松本健, 中須賀真一: 3U-CubeSat 「TRICOM-1」衛星バスの開発, 第 61 回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1I18, 2017.