

第1章 「きぼう」利用 現在・過去・未来

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 有人宇宙システム本部
宇宙環境利用センター 藤本 信義

Japan Aeronautics Exploration Agency
Space Environment Utilization Center Nobuyoshi FUJIMOTO

ABSTRACT Twenty five years ago, Japan selected three astronaut. It was a moment that we decided to start manned space mission. Since then six Japanese astronauts and one journalist had experienced space flights. Over the past one decade we are working for the ISS and the KIBO module construction and it had finished. In the mean time, Space shuttle will soon finished its role while the Soyuz is continue their service to transport astronaut/cosmonaut back and forth. We are in one of the big transition period of Manned Space program and its development history.

1. はじめに



S129E009243

This image was catalogued by Johnson Space Center of the United States (NASA) under

Photo ID: s129-e-009243.

写真は、2009年11月25日の撮影、ほぼ完成した宇宙ステーションをスペースシャトルから撮影したものである。宇宙ステーションのそもそもは、四半世紀以上前の1980年代にスペースシャトルの

完成をうけ、NASA・米国により立案された。そして当初の予定では1990年代に完成し、物資と人間を大量かつ快適に輸送するスペースシャトルと軌道上の宇宙ステーションが対になった巨大システムは、20世紀中に科学実験や人工衛星の修理、さらに遠方への宇宙飛行への基地などとして盛んな宇宙環境利用の活動を開始しているはずであった。当初の構想とは大分相違もあり、10年以上の遅れがあったが、今日「きぼう」の取り付けとともに、この宇宙ステーションはほぼ完成したと言ってよい。その反面、2回の大事故を経て、引き継ぐべき次世代の宇宙船の完成を見ないまま、スペースシャトルは引退の時期を迎えつつある。今後しばらくは、初登場から40年以上にわたって有人宇宙飛行を続けているソユーズ宇宙船が、地上と宇宙ステーションをつなぐ唯一の宇宙船となる。

私たち人類は宇宙年齢といわれる137億年の彼方へ理論の思索を延ばすこともできるし、太陽系外へ無人の探査機も飛行させることができる時代に生きているが、アポロ計画で月への訪問を達成できた、のべ人数にしてわずか27名の宇宙飛行士を除いて、人間は高々高度400kmの世界を超えてはいないし、そこでの安定した活動を行うことについても、まだ乗り越えるべき壁は高く、時間がかかりそうである。

今日、国際宇宙ステーションの活動を2020年より先まで延長しようという議論が進められているなかで、我々は有人宇宙開発の歴史の大きな転換の時期に立っているようである。この歴史の流れの中で、これまでに達成してきた宇宙実験の経験をもとに、今後の宇宙環境利用について考えてみたい。

2. 宇宙実験とはなんだろうか

いまから25年前に、毛利、向井、土井の3名の宇宙飛行士が選抜された。宇宙ステーション計画に参加する準備として、まずスペースシャトルに搭乗すること、スペースシャトルで科学実験を行うことが最初の目標であり、任務であった。スペースシャトルには、スペースラブと呼ぶイタリアが開発した科学実験用のモジュールを搭載することができ、これを利用した科学実験を目的とした飛行が何度も行われたが、毛利さんは1992年に、向井さんは1994年にそれぞれこのようなスペースシャトルの飛行に乗り組み、1週間から2週間という限られた時間の中で、数十種類の科学実験をこなした。日本にとって宇宙環境利用という言葉の前にあったのは宇宙実験であり、それは科学実験か宇宙技術の実証のどちらかを意味したのである。それでは、宇宙実験とはなんだろうか。宇宙で実験を実施するというのは、地上で実験を実施することと、どのような違いがあるのだろうか、その違いで何を探究できるのだろうか。

2.1 無重力(微小重力)を利用した実験

地球上にいるとなかなか気がつかないが、1Gという地球の重力は意外と大きな力である。この力が対流による物質の動きを作りだし、地球環境のダイナミズムを担っている一方で、ミクロの世界での物理化学現象で支配的な力を発揮したりする。無重力環境では、この力が消失することにより、より純粋な現象の観察ができる場合がある。流体の挙動の詳細な解析、純粋な結晶の成長といっ

た宇宙ならではの物理実験・材料実験ができるとして、当初より盛んに行われてきた分野である。

この場合、注意が必要なのは宇宙で地上では見られない流体の挙動が観察されたり、あるいは地上ではできない構造欠陥の少ない結晶ができたとしても、それは地上では再現不可能な現象であるし、また宇宙ステーションでは工業的に大量の生産ができるわけではないということである。

2.2 宇宙放射線環境を利用した実験

400kmの高度の宇宙ステーション船内では、普通に地上で生活する人が自然界から平均的に被ばくする1年分の被ばく量を数日で超えてしまうというかなり過酷な放射線環境となっている。これを考慮して積算で1000日前後までの宇宙ステーション滞在が一人の宇宙飛行士にとって許容可能な被ばくリスク内とされている。そこで宇宙飛行士個人個人の被ばく量をモニタすることがまず必要となる。また、この高度は地表には届かない重粒子線がやってくる環境であり、高エネルギーであるが、低線量率で被ばくを起こすという地上では再現しない特徴的な放射線環境が人間を含む生物に及ぼす影響や、宇宙船の材料に及ぼす影響を調べる実験が行われてきた。

2.3 宇宙飛行士を対象とした医学などの実験

人間が宇宙環境で1年以上暮らしていけることは、ソビエト-ロシア時代の宇宙ステーションミールでロシア人宇宙飛行士により実証されている。しかし、その一方で体にかかる負担、地上に帰還したときの衰えや障害が大きいことも分かっている。宇宙飛行士を被験者とした医学実験は、これら宇宙環境の人体への影響を正確に把握すること、それを現役の宇宙飛行士の健康管理と、将来より長期、遠方に進出するであろう宇宙飛行士の健康維持のための手段開発に役立てることが、宇宙飛行士を対象とした医学実験の狙いである。

毛利宇宙飛行士が1992年にスペースシャトルで7日間の宇宙飛行を行った際には、われわれは心電図、眼振図、筋電図、呼吸波などの生体信号を収集したほか、反射神経・運動神経の飛行中の変化などのデータを収集した。このように、採血、採尿など、地上で行う基本的な健康診断に加えて宇宙特有な骨量・筋肉の減少及び上下の区別のない無重力下での運動・平衡神経系や心循環系のデータ取得を継続して行っている。

2.4 宇宙実験を通して

宇宙ステーションと宇宙船を含むその支援システムの開発は高度な科学と技術に支えられている。宇宙環境利用において、科学と技術の実験が第一に考えられたのは必要かつ、自然な流れである。しかし、科学実験というのは数を重ね検証することにより信頼度を高めていくものである。数日という限られた時間とわずかな人数の宇宙飛行士という制約のなかで追試ができない宇宙実験の条件ではデータの有効性などに限界があった。宇宙でやってみたらこういう結果がでた、たとえば、宇宙と地上で(この1例では)生物のリズムは変わらなかった、とか、全体の2、3割のサンプルが地上よりきれいな結晶を生成できたなど、というところで終わってしまうことが多く、それが特殊な結果なのか、そうでないのかの検証に進むことがむずかしかったのがスペースシャトルでの実験の限界

であった。このことゆえに待ち望まれたのが、長期間にわたって活動できる宇宙ステーションであった。

「きぼう」は別の名称がJEM:Japanese Experiment Moduleであり、実験を専らにするためのモジュールである。「きぼう」はスペースラブの役割を宇宙ステーションで恒常的、連続的に担うことを目的として設計・開発されたものである。

3. 宇宙環境利用とはなんだろうか

時代がスペースシャトルから宇宙ステーションに移るにつれ、宇宙での実験活動は宇宙実験から宇宙環境利用と呼ばれるようになってきた。スペースシャトルに比べてコストが1桁、から2桁以上の資金を必要とする宇宙ステーション計画では、科学実験にとどまらない利用が求められる上に、「利用」:利益になるように物を用いること。役に立つように用いること。(広辞苑)という、実施した結果・成果が役に立つことがより強くもとめられるようになってきたといえる。現在では、宇宙実験という呼称はあまり使われず、宇宙環境利用の範疇の中で、それぞれ微小重力科学実験、生命科学実験、教育実験などと区分して呼ばれることが多い。

3.1 宇宙環境利用の定義

広い意味では、ロケットや人工衛星開発、天文学、気象衛星による天気予報、通信衛星による移動体通信やGPSも総称して宇宙環境利用といえそうであるが、ここでは有人宇宙飛行を伴って宇宙ステーションなどで行われる活動であり、かつ地上の人間生活に役に立ち利益になる活動を指すものとする。これは比較的狭い範囲であり、具体的には地球表面から約400kmという低高度を飛行する宇宙ステーションとその近傍で、微小重力(10のマイナス6乗Gレベル)、高エネルギー、低線量率の放射線、閉鎖環境(船内の場合)という3つの特徴を持つ環境を利用した宇宙ステーションを中心とする活動を宇宙環境利用と呼ぶこととする。

3.2 宇宙環境利用の実際

3.2.1 道具立て

宇宙環境利用を実施する場所は、第一に宇宙ステーション内外である(スペースシャトルの内外も可能であり、過去に実施されてきたのは、宇宙実験の項で述べたとおりであるが、ここでは除外する)。ここで使うことができるものは以下の通りである。

設備、機器:宇宙ステーションに運ばれ、設置される。

電力:宇宙ステーション本体の太陽電池で発電され供給される。

通信:米国のデータ中継衛星を通じて、Sバンド通信、Kuバンド通信のチャンネルがある、また最近日本のデータ通信衛星を経由するKaバンドが開通した。これらの回線により、地上から実験装置への指令を伝送したり、実験データを受信したりすることができる。また宇宙飛行士との通話やハイビジョンをはじめとする画像の伝送を行うことができる。

物資輸送:物資の輸送は4.2項に詳述するように、各国のロケット、宇宙船が行う。

宇宙飛行士：訓練を受けた宇宙飛行士が常時滞在し機器の操作や修理などを担当する。
 地上管制：各国の地上局（日本では筑波宇宙センター内にある）管制センターが24時間体制で
 宇宙ステーションでの装置の運転などの活動をコントロールしている。

3.2.2 段取り

宇宙ステーションを利用した活動を行うには、まず国際間でお互いの利用要求を出し合った上で、実施可能な計画の調整を行い半年単位でそれを計画文書に定義することになっている。この単位をプランニングピリオド、あるいはインクリメントと呼んでいる。

まず、実施の目標時期が決まったら、その実施時期に該当するプランニングピリオドの開始1年半前に行われる計画募集に応募し、計画文書に実施したい活動を定義する必要がある、これは各宇宙機関が窓口になり行っている。日本で「きぼう」を利用する場合は、JAXAの利用計画窓口に個別の利用計画を提出することから始まる。この段階で前項に示す、各種の施設設備や電力・通信・輸送・宇宙飛行士作業などがどの程度必要なのかを示す必要がある。計画担当は提案された複数の利用候補と、日本が使用可能な宇宙ステーションの能力の制限の中で、半年間の利用計画を調整立案し、実施計画が立てられる。この計画は国際パートナー同士でそれぞれの利害調整を行ったうえで最終的に承認されるものであるため、日、米、欧、加の多国籍による調整会議を繰り返しながら調整、作成されている。

3.2.3 実施

段取りまでが、確実に済んでいれば、実施は計画に沿って行われる。軌道上の宇宙飛行士と、地上の管制との協力の下、手順書に従い、実施自体は淡々と行われ、結果は処理された実験試料やデータとなって地上に戻される。データや試料の分析は地上で行われる。実際は、淡々ということではなく、日々変更や予想外のトラブルがあり、巨大システムの動きというのは、実にエネルギーな生物と同じある。

3.3 宇宙環境利用の展望

3.3.1 宇宙環境利用の分野とバランス

「きぼう」を利用した宇宙環境利用は、「きぼう」の与圧部が宇宙ステーションに到着し、機能確認が済んだ2008年8月中旬から始まり、2010年3月でほぼ1年半が経過した。宇宙環境利用については5つの分野と分野間での実施の割合について「きぼう」利用委員会で、検討を行った結果として下記に示すようなガイドラインを持って臨んできた。

- 生命科学と微小重力科学の実験を中心とする科学利用、60～70%
- 産業応用を視野に入れた応用実験を行う応用利用 5～10%
- 医学実験を含む有人技術開発 5～10%
- 教育・芸術・文化活動 5～10%
- 商業利用など、支払に応じて成果を独占できる有償利用 5～15%

3.3.2 宇宙環境利用の現状

宇宙ステーションの建設が長引いたため、科学利用、応用利用、技術開発、教育文化利用についてはすでに準備を進めつつ待っているテーマが山積しており、スペースシャトルが現役である2010年末までにこれらのすべてを完了するのが第一の目標であり現在までの進捗ではおおむね達成できそうなところである。

宇宙ステーションを利用するという実地経験を通じ、宇宙ステーションと宇宙飛行士をシステムとして使いこなせる体制が整ってきた。これから先、特に2011年以降は、スペースシャトルによる輸送がない宇宙ステーションという新しい状況に対応しつつ、利用を進めていくことになるが、そのために必要な基礎体力を持った人材とシステムの育成ができつつある。

現在、宇宙ステーションは当初の2015年までの運用を2020年から先にまで延長して、使い続けようという国際間の調整が進められている。延長するとなれば、毎年の運用コストをその分余計に要求とすることでもある。この運用コストをかける価値があるとすれば、それは何であろうか。私たちは宇宙ステーションや「きぼう」の存在そのものの価値を開拓していくことが重要であると考えており、そのための手段の一つとして、宇宙環境利用が生み出す価値をより高める必要がある。宇宙環境利用は、これからが成熟の時期である。

3.3.3 宇宙環境利用の今後

科学利用の分野では2011年のはじめに予定されているHTV2号機で、船内に温度勾配炉ラックと、多目的実験ラックが打ち上がる予定である。また、船外の曝露部装置で複数のミッションを同時に行うポート共有ミッションが次のミッションとして予定されており、さらに天文観測を行う大型のカロリーメーターなどが計画されている。

応用利用では、高品質タンパク結晶実験が、これまでの積み重ねの結果、高確率で品質の良い結晶を生成できるようになっており、半年サイクルで6回分の実験が進行中である。産業への応用利用として、最も期待されている分野の一つである。

技術開発では、今後の日本人宇宙飛行士の搭乗を支援しつつ、将来の有人宇宙活動の発展につなげるために、宇宙医学にかかわる研究を増強していく必要があり、医学のバックグラウンドを持つ宇宙飛行士と協力し、新しい実験を計画している。

芸術・文化利用は日本独自に開拓しつつある分野である。これまで科学技術一辺倒であった宇宙技術開発に、芸術を持ち込んだものであり、まだ手探りという面はあるが、宇宙ステーションの利用をより広く展開するために、今後発展させたい分野である。宇宙ステーション、その技術、あるいは地球や無重力といったそこに存在する宇宙の自然そのものは、そのままでも人を感動させることができる、ある意味芸術そのものであるし、素晴らしい芸術の素材になりうる。これらが多くの人に認識されることにより、宇宙ステーションの存在そのものが、人類の貴重な共有財産としての価値を持つことになるだろう。今後の宇宙環境利用はそのような豊かな方向を目指して展開していくことが期待される。

4. 「きぼう」利用とはなんだろうか

4.1 国際宇宙ステーションの中における「きぼう」の位置づけ

「きぼう」は国際宇宙ステーションに到着した最後の大型実験用のモジュールである。実験用モジュールとしては最大の規模であり、船内には10の実験用ラック、5つの保管ラックが設置でき、また船外プラットフォームには10か所に曝露実験装置を取り付けられるポートを持っている。

国際宇宙ステーションに関する日米間の協定に基づき、「きぼう」モジュールのこれらの機能をNASAと折半することになっているため、日本が占有できるのは、

- ・船内の5つの実験ラック設置場所
- ・船内の2.5ラック相当分の保管場所
- ・船外の5つの曝露ペイロードポート

ということになる。

これらの場所に設置する大型の実験装置(設備)は「きぼう」本体とは別に打ち上げられ、順次組み込みを行っており、2009年末の時点では

船内: SAIBO Rack (主としてライフサイエンス実験を実施する。細胞培養装置とクリーンベンチが装備されている)

RYUTAI Rack (主として微小重力科学実験を実施する。流体物理実験装置、溶液・結晶成長実験装置、タンパク質結晶実験装置及び画像取得処理装置が装備されている)

船外: SEDA-AP: 宇宙環境計測装置

MAXI: 全天X線観測装置

SMILES: 超電導サブミリ波リムサウンダー

が稼働している。残りの装置は今後のHTVで順次打ち上げ、整備される予定である。

4.2 「きぼう」への補給

「きぼう」で実験などの活動を行うためには、実験資材や修理資材の補給、実験試料の輸送、実験後の試料やデータの回収が必要である。これらの物資輸送は下記の宇宙船団が担っている。

HTV: 日本が打ちあげる補給輸送船、回収はなし。

ATV: ヨーロッパが打ち上げる補給輸送、回収はなし。

Progress: ロシアが打ち上げる補給輸送船、回収はなし。

Space Shuttle: 米国が打ち上げる有人宇宙船、宇宙飛行士のほか物資の輸送、冷凍庫、冷蔵庫保温庫などによる温度管理輸送、物資の大量回収にも対応できる。2010年末に退役予定

Soyuz: ロシアの打ち上げる有人宇宙船。基本的には人間の輸送のみ、少量の物資輸送、回収(数十キログラム)であれば対応可能。

これらの輸送量はまず国際宇宙ステーションそのものの保守、宇宙飛行士の生命維持(食糧・水)など宇宙ステーションを成り立たせる上で必須の輸送に使用され、それらを差し引いた残りの能力が利用活動に割り当てられている。

また、宇宙ステーションへの物資補給はバックアップ体制が十分あるが、回収については、スペースシャトルに依存しているシステムであり、宇宙ステーションの設計がスペースシャトルを前提としていたことがわかる。現在米国ではスペースシャトル退役後にその役割をになう宇宙船の開発を民間企業に委託しており、2010年中にデモンストレーションフライトを行うべく、準備中である。

補給、回収能力のうち、日本の使える分量については、まず2015年までの総輸送量について、合意書を取り交わしており、また、各輸送フライト毎にその都度の輸送量の12.8%を上限として権利を行使することができる。これらは日本の宇宙ステーションへの貢献度を元に算定し合意された権利である。

4.3 「きぼう」での宇宙飛行士の活動

宇宙で働く宇宙飛行士の労働時間は一日6.5時間である。これに2時間ほどの運動時間を加えた約9時間が標準の勤務時間である、このほかに食事、地上との毎日の作業確認のための交信、睡眠、その他の時間が加わる。土日は休みであるが、土曜日は宇宙ステーションの清掃などの雑務がある。このように計算すると、宇宙飛行士一人の1年間の労働時間は概算で

$6.5\text{時間} \times 5\text{日} \times 52\text{週} = 1690\text{時間}$ となる。

宇宙ステーションには、6人が常時滞在しているが、そのうち半分はロシア人クルーでロシアモジュールのための作業を行うため、残りの3名(米、欧、加、日)宇宙飛行士の総作業時間は $1690\text{時間} \times 3\text{名} = 5070\text{時間}$ ということになる。

現在のところ、宇宙飛行士の作業の65%程度が宇宙ステーション本体の組み立て、保守保全その他の作業、35%程度が科学実験などの利用に使われている。また、日本は宇宙ステーションへの貢献度合いから計算した結果に基づき、12.8%の利用権を持っており、これらをあてはめて計算すると、1年間あたり180時間から200時間を我が国の宇宙環境利用に振り分けられことになる。

このように考えると、国際宇宙ステーション全体で働く宇宙飛行士の総作業時間の約50分の1程度が、日本の利用に割り当てられることになる。一見すると少ないが、ほとんどすべての実験は地上からの支援を必要とするため、現在の地上の体制で支援しうる限界の活動量としては、ほぼ妥当なところとなっている。

4.4 「きぼう」で実施してきたこと、実施しようとしていること

4.4.1 「きぼう」の利用に投入した資源

約250kg、35kg、140時間。この数字は、2008年の10月から2009年の10月までの1年間に日本が国際宇宙ステーションにおいて、「利用活動」のために消費した、結果としての分量である。打ち上げた資材(大型の実験設備は除く)が250kg、回収した実験試料が35kg、軌道上で宇宙飛行士が費やした作業時間が140時間であり、これで20余種の「宇宙実験」を実施した。140時間は前項の数字に比べるとやや少ないが、2008年から2009年の前半にかけての期間では宇宙ステーションがまだ3人体制であったことによるものである。また、この期間の間に若田宇宙飛行士が137日間を宇宙ステーションで過ごし、日本人として初めての宇宙での長期滞在を行った。この長期滞在

では、新聞テレビなどの報道機関のほかに、インターネットのブログ活動やアマチュア無線との交信などを通じて、より多くの人々へ宇宙での活動の情報を提供することができた。

また、この間に次の各宇宙船が宇宙ステーションを訪れた宇宙船は下記の通りである。

1.1カ月に一機の割合で、何らかの宇宙船がステーションを訪れている計算になる。

スペースシャトル 4機

プログレス補給船 4機

ソユーズ宇宙船 2機

HTV補給船 1機

4.4.2 「きぼう」で実施してきた実験

(1) 技術開発と医学実験

宇宙放射線をはかる

隔壁で守られた「きぼう」の船内であっても、宇宙から降り注ぐ重粒子線をはじめとする高エネルギーの放射線を防ぐことはできない、その量は一日当たり1mシーベルトともいわれ、日本で通常に生活している人が年間に被ばくする自然放射線のほぼ半分に当たるといわれていた。これを正確に測りデータとして蓄積することは、宇宙飛行士の健康及び、生物実験の生物試料や、宇宙ステーションの機器材料への影響を評価するために必須である。

JAXAでは精度の高い受動積算型の線量計「PADLES」を開発し、「きぼう」の船内に設置して、運用開始から半年ごとに積算の放射線量を計測している。これと同型の線量計を日本人宇宙飛行士などが身につけて個人被ばくを計測し、また生命科学実験の生物試料では打ち上げから帰還までの線量計測に役立てている。これは小型で受動式というメリットを生かした運用となっている。この線量計で2008年10月から2009年3月まで、生物実験試料と一緒に約133日間の計測を行った結果、この間の放射線量が約71mシーベルト(1日当たり0.5mシーベルト)であったことがわかっている。現在太陽活動が低レベルになっており、これも影響して予想より低い計測値となったと考えている。

身体データのモニタと遠隔診断支援

宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士は身体的、精神的には過酷な環境にさらされて長期間を過ごす、宇宙飛行士の健康を維持するために、身体データを定期的にモニタし、体調の変化を未然にとらえること、地上の専門医が的確なアドバイスが行えることがのぞまれる。

18年前に毛利飛行士がスペースシャトルで飛行したときには、このような目的で身体データ計測を装着したがこれはランドセルほどの大きさのものを常時背負って活動しなければならず、負担が大きかった。現在、若田飛行士をはじめ多くの被験者に装着をし、24時間心電図計測を行っているホルター心電図は地上でも広く用いられている装置を宇宙用に適用したものであり、バッテリー、メモリを含めても小型のもので、負担なく長時間の計測を可能にしている。現在、ひとりの宇宙飛行士について、24時間連続の計測を滞在中の始め、中ごろ、帰還前の3回にわたり実施してもらい、地

上にいるときのデータと比較して、宇宙飛行による身体リズムの変化を調べる実験を継続している。

また、地上から専門医が問診する支援手段として、日本のハイビジョンシステムの検証を行った。宇宙ステーション用に開発したハイビジョンシステムは非常にクリアな映像をリアルタイムで伝送できる。これにより皮膚のかぶれのような微妙な変化も観察できることが確認できた。

骨と筋肉の衰えに対して

宇宙飛行中は重力の消失から、抗重力筋といわれる筋肉や体を支える骨への負荷を激減させる。このことが、筋肉や骨の中で起こっている再生と分解のバランスを変えてしまい、結果として筋肉の減少や骨からのカルシウム流失を増進させてしまうと考えられている。長期間の宇宙滞在を無事に過ごすための手法の開発と、その手法をさらに効果的にさせるために、これらの体に起こる変化の仕組みを詳細に知るための実験が必要とされている。

先に述べたように、このような体の衰えを回避するための一つの手段として、宇宙飛行士は毎日2時間程度の運動を行って、筋力の維持につとめているが、過去のデータが示すところでは、運動を続けたとしても下半身の大腿骨で2.5%程度の骨密度減少がみられている例がある。若田宇宙飛行士をはじめとして、現在多くの宇宙飛行士がビスフォスフォネート製剤の服用による対策の効果を調べる実験に参加している。この薬剤は、骨を分解する破骨細胞が骨にとりつくことを阻害することで、骨の再生と分解のバランスを維持することが期待されており、現在もデータの収集を継続している。

(2) 科学実験

生命科学実験

宇宙飛行士を被験者として使うだけでは分析することができない、たとえば遺伝子の発現変化などについては培養細胞を使った実験を行う。培養細胞は培養状態のまま、あるいは凍結した状態で宇宙ステーションに打ち上げ、至適な温度で培養を行った後、化学固定や凍結固定し地上に持ち帰って分析することができる。分析によって遺伝子レベルでの宇宙環境の影響をみることができるのである。微小重力が細胞分化に与える影響、宇宙放射線による、p-53遺伝子の発現変化、宇宙放射線による遺伝子へのダメージと修復能への影響などを調べる実験を順次行っている。

もう一つの分野は植物の分野である。植物は動物にくらべて重力の影響を植物自身の成長の形としてダイレクトに観察することができ、重力センサとなる細胞も見つかっている。よく知られるように、根は重力に向かって伸び、茎はその反対に伸びるという、重力を感受した屈性があるほか、体を支える細胞壁の強度も重力の強さを反映していると考えられている。これらを調べる実験、あるいは重力屈性がなくなることで、より明確になるほかの屈性を調べる実験、そしてこれらすべてを前提とした宇宙環境の中で、種から育てて次の世代の種までの生育を完了させ、完全な無重力世代を作りだして、影響を調べる実験を順次行ってきた。

微小重力科学実験

重力がなくなること、期待される効果の一つは、重力対流がなくなることによる結晶成長への好影響である。溶液中の結晶成長は、結晶化する原子・分子の輸送が対流で乱されることがなければ結晶成長の界面の動力学にのみ支配されるので、より欠陥の少ない結晶が得られると考えられており、これを応用しているのが高品質タンパク質結晶生成実験である。その一方で結晶成長の仕組みと重力の影響を詳細にしらべて理論を構築する研究を行っており、これまで樹状の結晶を生成する氷の結晶成長実験と、平らな面を生成するファセット結晶成長実験の2種類を実施した。

重力対流の消失にともない、逆に顕在化するマランゴニ対流という対流がある。これは液体の表面張力により発生する動きであり、自由表面があれば発生するのだが、地上では純粋にマランゴニ対流だけの流れを観測することが難しいため、理論を検証する実験が難しい。無重力状態を使うことで大きな自由表面を持つ円柱状の液注を安定して維持させることに成功し、この状態を使ってマランゴニ対流の詳細なデータを取得することができた。この実験は現在も継続しており、この対流の詳細を理解するための試みを続けている。

(3) 芸術実験

宇宙という空間に芸術の感性をもちこんだら、どんなアイデアが出るだろうか、このような課題に対して芸術分野から多くの提案をいただいた。

古来、人間は空を飛ぶ夢を追い続けて空を舞う天女など想像上の姿にそれを託して絵画として描いてきた歴史がある、いま、実際に人間が無重力の中で自由に舞い飛びまわる力を得たときに、その動きというのはどのような表現を可能にするのだろうか。お茶の水女子大学名誉教授の石黒節子先生が提案した「宇宙舞踊：飛天」は若田飛行士によって「きぼう」の空間で実施され映像記録された。その動きを素材として組み立てた 創作ダンス、散華の瞬間 飛天ファイナルが、最終作品として上演された。

また、宇宙では水球や水中花が容易に作れることに目をつけ、大きな水球を作り墨流しを行い和紙に写し取る試み、無重力空間を自由に回転・飛行する「独楽」に明滅するLEDを装着し、美しい光跡を創作する光の表現、宇宙飛行士による粘土を用いた造形などのテーマ提案を受け、宇宙飛行士が各自の感性を交えつつ挑戦した。

これらとは全く違った視点で、宇宙・天体そのものを芸術表現ととらえる取り組みも行っている。一つはMoon Score、宇宙に浮かぶ月を音符にみたて、宇宙ステーションからさまざまに変化して見える月の相を写真に収めて、音楽に変換する試みである。他にも宇宙空間そのものをメッセージとして切り取ってしまおうというチャレンジもあり、現在実施準備中である。

これらの芸術実験には、参加する宇宙飛行士も科学・技術とはまた違った関心で取り組んでいる。芸術の利用は、まだまだ理系・技術の世界では興味本位や異端の雰囲気があるが、今後成長させていくべき分野である。

