

ISS 日本人宇宙飛行士健康管理運用事業の構成

(1) 概要

宇宙飛行士の健康管理は、医学的・心理学的観点から、どのような宇宙飛行士を選抜したらよいかという問題に始まって、打上前／宇宙滞在中／帰還後のリハビリテーション、繰り返しの宇宙滞在、そして引退後に至るまで、計画的に実施しています。

宇宙飛行士は、ミッションに指名されていなくても年 1 回の医学検査を行い、その検査結果をもとに宇宙飛行士として認定されています。宇宙飛行士は、地上で訓練やミッション支援業務を行っている間も、健康状態を管理・維持する必要があります。

ミッション任命後は、身体・精神的に最高のコンディションで打上げに臨めるように努めます。宇宙滞在中に、病気や怪我をした場合にも要員・設備に限られます。医師の飛行士も多数いますが毎回搭乗している訳ではありませんし、器材の量は救急車に及びません。この範囲内でベストの治療が行えるよう、事前に準備を行います。全飛行士向けに医療訓練もしています。帰還後は、飛行前の体力と健康状態に戻れるよう、計画的にリハビリテーションを行います。

(2) 構成

宇宙飛行士の健康管理を含む医学運用は次の 3 つの時期に大別できます。

- 飛行前
- 飛行中
- 飛行後

さまざまな課題に対応するために、フライトサージャン（航空宇宙医学専門医）だけでなく、運動生理学、神経生理学、精神・心理学、放射線防護、環境衛生学、栄養学など、各分野の専門家の支援が必要です。JAXA を含む各国際パートナーは、その所属の宇宙飛行士の健康管理のために、医学管理チームを設置して宇宙飛行士の健康管理を行っています。ISS 医学管理チームは、フライトサージャン（航空宇宙医師）、健康管理担当、医療システム技師（BME）、生理的対策担当、精神・心理担当、放射線被ばく管理担当、環境衛生担当、その他の専門家から構成されます。

(3) 飛行前健康管理

- 飛行前の健康管理

宇宙飛行士の健康管理は、宇宙飛行士選抜から始まります。宇宙飛行士は選抜されても実際

のミッションに任命されるまで、何年も地上訓練を続けなければなりません。その間も、ミッションに従事できる健康状態を保つことが要求されます。宇宙飛行士は毎年年度医学検査を受けます。その結果をもとに JAXA 医学審査および ISS 国際医学審査を受けて医学認定を行います。毎年実施する体力測定データからは個々の宇宙飛行士の体力評価を行い、適切な運動指導を行います。また、食事状況の調査結果等をもとに栄養指導を行います。

・訓練中の健康管理

地上での模擬訓練などでは、NASA の JSC にある無重量環境訓練施設（Neutral Buoyancy Laboratory: NBL）の巨大なプールを使用して行う船外活動訓練や、遠心加速器を用いた訓練、海中滞在を行う NASA 極限環境（NEEMO）ミッション、サバイバル訓練などは、危険を伴い体調を崩す懸念もあるため、フライトサージャンが立ち会い健康管理を行います。

・ミッション任命後～打上げまでの健康管理

宇宙飛行士が特定の飛行ミッションに任命されると、打上げ日に向けた健康管理スケジュールが組まれます。国際宇宙ステーション（ISS）に1カ月以上滞在する宇宙飛行士は、「医学運用要求（Medical Operations Requirement Document；MORD）」に基づき、軌道上での医学運用の訓練に参加します。打上げ1年前からは医学検査要求（Medical Evaluation Document; MED）に従って医学検査が始まり、当日まで医学検査、フライトサージャンの診察などの健康管理を実施します。打上げ前には「検疫隔離」が実施されます。クルーは専用の宿舎で起居し、接触する人間は予め健康診断を受けた大人に限られ、感染源になりやすい子供との接触はさせないようにします。

（4）飛行中健康管理

・ISS 長期滞在中の医学運用

飛行中の宇宙飛行士の健康管理は、主にヒューストンのミッション・コントロール・センター（MCC-H）の JAXA 専任のフライトサージャンと、筑波宇宙センターの医療管理チームにより、遠隔で実施します。国際宇宙ステーション（ISS）に1カ月以上滞在する宇宙飛行士は、MED に規定される各種の医学検査を飛行前／飛行中／飛行後に行うよう定められています。ISS の宇宙飛行士の健康管理は、この医学検査結果（問診、診察、検査、各宇宙飛行士の体力、栄養状態、精神心理状態）及び環境モニタリング結果（生命維持システムの状況、放射線環境（船内／個人）、船内環境）を使って総合的に行います。

・船内環境（空気・水・微生物）

ISS では、医学運用要求として、船内の空気、水、壁面のふき取りサンプルを採取して、定期的に分析しています。また、ISS 船内の空気は、酸素を発生させる装置と二酸化炭素を吸収する装置で、HEPA フィルタ、脱臭フィルタ、熱浄化装置で空気組成が制御されています。

また、有毒なガスや微生物（細菌やカビ）に汚染されていないかを常に監視しています。二酸化炭素濃度の上昇や、騒音レベルの上昇、微生物の増殖などは時々起こる課題であり、その都度解決策を検討し対処する必要があるため、継続的な監視が必要です。ISS では、医学運用要求の一環として、以下のような環境モニタリングを行っています。

- 船内の空気モニタリング（含サンプリング）
- 船内の微生物モニタリング
- 飲料用水の水質モニタリング
- 騒音モニタリング

・ 船内環境（放射線）

被ばく状況を適切に監視することも宇宙飛行士の健康管理には欠かせません。ISS では医学運用要求として、宇宙飛行士が各自装着している個人線量計の累積値（飛行後に分析）、ISS 内に設置された放射線測定装置によるリアルタイムモニタが行われています。また、宇宙飛行士の放射線管理では、宇宙天気予報（太陽活動の観測による太陽－地球圏の放射線環境等の推定）等のデータも活用しています。太陽の活動が活発化する時期には、監視を強化し、太陽からの陽子が多くなる時期には、飛行士を ISS 内の隔壁の厚い部分に一時避難させて被ばくから防護する必要もあります。

・ 精神心理支援

宇宙飛行士の精神心理的健康状態は、悪化すると作業効率や疲労へも悪影響を及ぼし得るため、ミッション成功の大きな鍵となります。ISS では医学運用要求として、宇宙飛行士のプライベートな精神心理面談を行い、また定期的に家族と電話をする時間を設けることで、宇宙飛行士の精神心理支援を行っています。

・ 船外活動中のモニタ

宇宙空間という極限の環境下で、船外活動を可能にしているのが宇宙服です。NASA のものは EMU（Extravehicular Mobility Unit）と呼ばれます。EMU ではおよそ 6～7 時間の船外活動ができます。宇宙服内は真空より 0.29 気圧高く 100%の酸素が満たされています。船外活動時には、宇宙飛行士の心電図などが地上のミッションコントロールセンターから、リアルタイムでモニタします。

・ 帰還直前の健康管理

軌道上で約半年間のミッションを終えた宇宙飛行士は、今度は微小重力状態から重力環境へと戻ります。微小重力に適応した身体は、重力環境に戻った直後には、起立性の低血圧、激しい場合は失神が生じる危険性があります。帰還の 2 日前からは、ISS の医学運用要求として、宇宙飛行士は毎日、フライトサージャンが問診し、水分や塩分補給についてのアドバ

イスを行います。

(5) 飛行後健康管理

・飛行後の健康管理

約半年におよぶ ISS 滞在では、重力に対抗する筋力の低下や骨量減少など、さまざまな生理的变化が起きているため、すぐに通常の生活に戻るわけにはいきません。そこで、宇宙長期滞在から帰還した宇宙飛行士は、コンディションを飛行前の状態へと回復させるため、45日間程度、飛行後に特化して計画的なリハビリテーションプログラムを行います。通常のリハビリテーションプログラムでは、第1フェーズ（帰還後3日ぐらいまで）は、マッサージやストレッチ、補助付き歩行を中心とし、第2フェーズ（帰還2週間まで）では水中歩行、自転車エルゴメータ、軽い歩行など多種の運動に移行し、第3フェーズでランニングや筋力トレーニングの負荷を増し、45日以降は個人の回復状況を見ながら通常の生活に復帰させることとなります。身体機能と体力の回復は、年齢、飛行期間などにより、個人差が出るため、担当のフライトサージャンとリハビリプログラム担当者の管理の下、個人個人に合わせた進め方で実施します。このリハビリプログラムと並行に、身体機能、体力、健康状態のチェックを実施します。

・帰還後の精神心理支援

宇宙長期滞在の場合、精神心理面の健康管理も重要です。宇宙飛行士は、ミッションに任命されてからは、厳しく忙しい訓練のために家族を残して各国を渡り歩き、飛行後も帰国報告会やVIP訪問、記者会見などで多忙を極めます。飛行前から、家族と離れての生活が頻繁にありますので、サラリーマンの長い単身赴任からの家庭復帰が時に困難なように、飛行士も家庭復帰に支援が必要となる場合があります。宇宙飛行をきっかけに人生観や価値観ががらりと変化する宇宙飛行士や、大きな目標を成し遂げた後の虚脱感・抑うつ感（燃え尽き症候群）に襲われる宇宙飛行士もいます。日本人飛行士の場合、飛行後に世間の注目を浴び、スケジュールが多忙を極めるケースが多く、飛行ミッション自体よりも飛行後のスケジュールに忙殺される恐れもあり、飛行後のスケジュールをコントロールすることも健康管理の重要な役割となります。

(6) 医学管理チーム

ISS 長期滞在中の宇宙飛行士の健康は、フライトサージャン、生理的対策担当者、精神心理支援担当者、放射線被ばく管理担当者、環境管理担当者及びバイオメディカルエンジニア（BME）です。

・フライトサージャン

フライトサージャンは、航空宇宙医学の知識を持ち、宇宙飛行士の健康管理を行う医師です。

・バイオメディカルエンジニア (BME)

ISS 滞在中の宇宙飛行士の健康管理は、地上の医療機関とはと大きく異なる点がいくつかあります。その最も代表的なものは、すべてを「遠隔」で対応しなければならないという点です。このため、遠隔通信機器や管制業務に詳しいバイオメディカルエンジニア (BioMedical Engineer: BME) がフライトサーजन(航空宇宙医学専門医)の支援をします。BME は、搭載している医療機器、運動機器などの状況把握、飛行士の健康管理に関するスケジュールの調整、遠隔問診や面接の準備、健康管理文書の維持管理などを担当します。

・生理的対策担当者

生理的対策担当者は、ISS に長期滞在する日本人宇宙飛行士の運動処方を計画・作成します。打上げ 1 年前から飛行後に宇宙飛行士が飛行前の体力に回復するまで、長いスパンにわたって、宇宙飛行士の体力・健康増強スケジュールを管理します。飛行中は、週 7 日、2.5 時間/回の運動処方を計画します。これらの飛行中の運動の記録は地上に送信されます。帰還後は、飛行前の体力に戻すことを目標として、約 45 日間にわたり毎日 2 時間のリハビリテーションを行います。帰還後の体力状況を考慮しながら、元の状態に効率よく回復するよう計画します。

・精神心理支援担当者

ISS 長期滞在ミッションでは、ミッションの成功に向けて精神心理的健康状態を健常に保つことが重要です。精神心理支援は打上げ前／宇宙滞在中／飛行後の各フェーズに応じて行います。

- ① テレビ電話装置を用いた面談
- ② スケジュール分析・調整による疲労の軽減、特に睡眠のシフト
- ③ コミュニケーションインフラの提供
- ④ 情報の提供
- ⑤ 物品の提供

・放射線被ばく管理担当者

宇宙では、宇宙放射線と呼ばれる放射線があり、宇宙飛行士に与える影響が問題となります。JAXA では、ISS 搭乗日本宇宙飛行士の被ばくを適切に管理するため、被ばく線量制限値を設定し以下の管理を実施しています。

A. ISS 内の放射線環境の変動をリアルタイムに把握しミッション中の被ばく線量を可能な限り低く抑えること

A-I 太陽-地球圏の宇宙環境リアルタイムモニタ

A-II ISS 船内の放射線環境リアルタイムモニタ

B. 宇宙飛行士が実際に被ばくした線量を把握し、被ばく線量を制限値以下に抑えること

B- I 宇宙飛行士個人レベルの放射線量計測

・環境管理担当者

環境管理担当者は、軌道上の宇宙飛行士が生活する船内環境（水、空気、騒音、微生物など）をモニタしています。日本の宇宙輸送船「こうのとり」の環境もモニタしています。

(7)医学運用以外の健康管理業務

医学運用以外の健康管理業務として、宇宙日本食と生活用品関連業務があります。

・宇宙食関連業務

ISS に長期滞在する宇宙飛行士の栄養維持、精神的ストレスの低減、パフォーマンスの維持に寄与することを目的とし、宇宙日本食を ISS の日本人宇宙飛行士に提供します。宇宙日本食は、食品メーカーが提案する食品を JAXA が評価し、宇宙食としての基準を満足している場合に宇宙日本食として認証するもので、国際宇宙ステーション（ISS）長期滞在を予定している日本の宇宙飛行士に、日本食の味を楽しんでもらい、長期滞在の際の精神的なストレスを和らげ、ひいては仕事の効率の維持・向上につながることを目的として開発したものです。

宇宙日本食の運用は、宇宙日本食の認証、宇宙日本食の調達及び ISS への搭載、それに関連する業務になります。

・生活用品関連業務

宇宙飛行士の軌道上での快適な生活の支援及び任務の確実な遂行に寄与することを目的とし、日本の優れた民生品及び民間・JAXA 共同開発品を ISS の日本人宇宙飛行士に提供します。生活用品の運用は、搭載する生活用品の選定/決定、調達および ISS への搭載、それに関連する業務になります。

(8)JAXA の役割

ISS 日本人宇宙飛行士健康管理運用業務においては、今後、契約相手方の責任/裁量を大きくし、JAXA の役割は以下に留めることを想定しています。

① 契約相手方への健康管理運用に関する要求文書（国際文書及び JAXA 文書）の維持・改訂

- ② 国際パートナーとしての権威・信用が必要な業務（宇宙飛行士の医学選抜・認定、フライトサーजन認定、上位方針を策定する国際会議（MMPB、MSMB、MMOP 本会）への出席）の実施
- ③ 宇宙飛行士に身体異常（疾病、外傷含む）が起きた際の方針立案・計画承認
- ④（必要な場合）各企業間のインターフェイス調整

以 上