

宇宙総合学研究ユニット

NEWS 2021年11月号



新メンバーの紹介

清水雄也（しみず・ゆうや）氏

所属：学際融合教育研究推進センター 宇宙総合学研究ユニット 特定助教

専門：宇宙倫理学・科学哲学

自己紹介：来年度から始まる宇宙倫理学教育プログラムの開発を担当します。以前より宇宙倫理学研究会に参加し、伊勢田ほか（編）『宇宙倫理学』（昭和堂、2018年）では、第2章「宇宙倫理学とエビデンス—社会科学との協働に向けて」を執筆しています。研究分野としては、宇宙倫理学のほかに科学哲学を専門としており、因果概念・社会科学方法論・哲学方法論といったテーマに取り組んでいます。様々な分野の方々と関わりながら、宇宙ユニットの新しい教育プログラムを作り上げていけることを楽しみにしています。



宇宙倫理学教育プログラム（人文社会委託費）のお知らせ

2021年10月に発足した人文社会委託費プロジェクト「倫理学を基盤とした宇宙人材育成プログラムの開発と実践」について、準備状況や活動内容などを定期的にお知らせします。

1. 新スタッフの雇用

11月1日付けで特定助教として清水雄也さんが赴任しました（「新メンバーの紹介」参照）。

RAのお二人（先月号で紹介済み）とともに委託費プログラム推進の実務を担っていただいています。

2. 教育プログラムの策定

来年度から開始する教育プログラムは、文系・理系を問わず、それぞれの専門の勉強や研究を始めている／始めつつある学生（学部生・大学院生）が、いわば副専攻として、宇宙倫理学に関する知識を得、演習のスキルを身につけ、専門研究を実施するプログラムです。修了者には宇宙ユニットから修了証が発行されます。

教育プログラムは、①学部教育プログラム（講義、演習、専門研究ゼミ）、②大学院教育プログラム（講義、演習、専門研究ゼミ）からなります。このうち講義は京都大学が提供する正規の授業であり、演習・専門研究ゼミは宇宙ユニット独自の教育活動です。いずれも京大生はもちろん、学外の方も受講できるよう配慮します。（以下の情報は暫定的なものもあり、随時変更される可能性があります。）

① 学部教育プログラム

a. 講義

- 必修科目
 - * 科学哲学科学史特殊講義（宇宙倫理学入門）：文学部科目、前期月曜4限か5限（新設、宇宙倫理学で扱うトピックの入門講義）
 - * 宇宙総合学：全学共通科目（宇宙ユニット提供）、前期火曜5限（宇宙に関するテーマを網羅的に概観する講義）
 - * 系共通科目(倫理学A/B)：文学部科目、前期・後期金曜2限（倫理学に関する基礎的な講義、前期と後期は独立、いずれか一方が必修）
- 選択科目
 - * 宇宙科学入門（全学共通科目）、工学倫理（工学部）など現在選定中

b. 演習・専門研究ゼミ（内容策定中）

- * 宇宙倫理学演習：後期（新設、宇宙倫理学の諸テーマを論じるためのスキルを磨くもの）
- * 宇宙倫理学ゼミ：通年（新設、各自選びとったテーマについて1年間かけて考究を深めるもの）

② 大学院教育プログラム

a. 講義

- 必修科目（「宇宙学」以外は学部と共通）
 - * 宇宙学：大学院横断科目（理学研究科提供）、後期火曜5限（宇宙に関するテーマを概観し考究を深める講義）
- 選択科目
 - * 技術者倫理と技術経営（工学研究科）など現在選定中

b. 演習・専門研究（学部と共通、内容策定中）

現在、プログラムの修了要件、および学外受講者の受け入れ体制について検討中です。詳細は、決まり次第、ユニット NEWS でお知らせします。

今後の宇宙学セミナー・関連イベントなど

日時	内容	開催方法
11月22日(月) 15:00-16:30	<u>第6回宇宙学セミナー</u> 講師：片山 俊大 氏（一般社団法人スペースポ ートジャパン 共同創業者&理事/㈱電通） タイトル：「秒速でわかる！宇宙ビジネス～宇宙業界 と宇宙じゃない業界の、あたらしい関係性～」	Zoom による事前申込制のオンライン 開催です。下の URL からお申し込みくだ さい。  https://kyoto-u-edu. zoom.us/meeting/re gister/tZEude2pqjsr HNFILYhI1hEz31_UG p9duqdQ

※宇宙学セミナーの詳細は随時 Web ページ (<https://www.ussf.kyoto-u.ac.jp/seminar/>) で公開いたします。

国際宇宙ステーションの運用と閉鎖環境 - 交信担当 (CAPCOM)の役割

ISS Flight Controllers, Capsule Communicators, and Life in Closed Environment

嶋宮 民安

Tamiyasu Shimamiya

有人宇宙システム株式会社

Japan Manned Space Systems Corporation

人類史上最大の宇宙建造物、国際宇宙ステーション(ISS)。2000年に始まった有人運用はすでに20年を超え、これまでに200名を超える宇宙飛行士がISSへのフライトを果たしました。その管制センターは世界に複数あり、それぞれに交信担当がいます。宇宙飛行士との交信、その工夫や苦勞とは？ISSにおける閉鎖環境の不便さや対策と共にお話しします。

The international space station (ISS), the largest orbital research facility ever constructed in human history, has logged more than two decades of continuous manned operations and accommodated more than 200 astronauts. This article explains the role of flight controllers at ISS Mission Control Centers, focusing on the role of Capsule Communicators and the difficulties and measures of life in Closed Environment.

国際宇宙ステーションの運用管制室

国際宇宙ステーション(ISS)の主要な運用管制室 (Mission Control Center, MCC) はヒューストン、ハンツビル、ミュンヘン、モスクワ、筑波にあり、管制官は常に協調し運用しています。全体をリードす

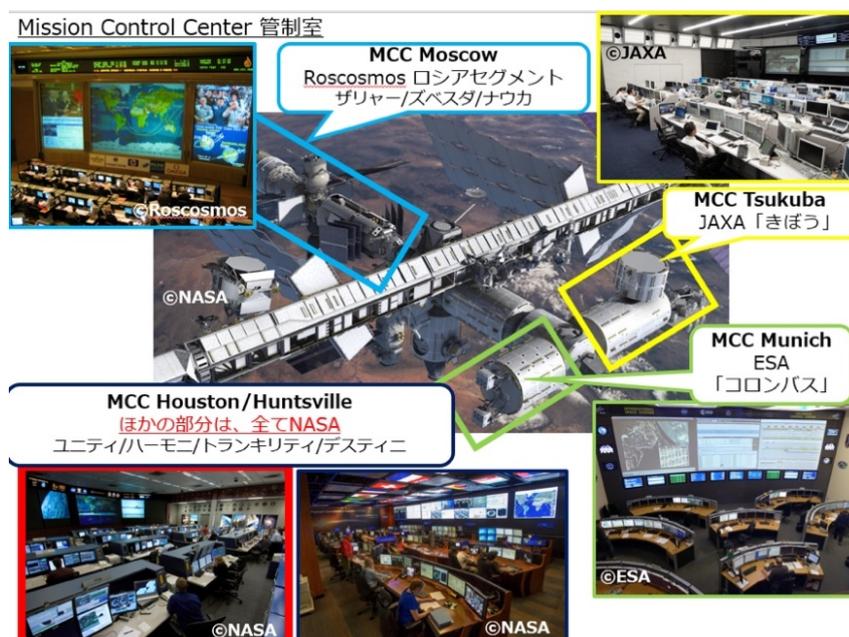


図 1 ISS の管制室

るのはヒューストンで、ハンツビルは NASA の実験運用を担います。モスクワはロシアセグメントを運用し、ミュンヘンは ESA のコロバス、筑波は JAXA の「きぼう」モジュールを運用しています（図 1）。

ISS 運用の管制官

ダイナミックな ISS 運用を知っていただくため、主にヒューストンの管制官の作業例とともに紹介します。今、地球の周回軌道には ISS と同速度（秒速 7.9km）で飛び交うたくさんの宇宙ゴミ（デブリ）があり問題となっています。例えばもし ISS にデブリが近づいてきたら管制官はどのように対処するのでしょうか。約 10 cm ほどのデブリは米国国防総省により識別されています。追跡を担当する管制官 TOPO (Trajectory Operations Officer) はデブリの衝突確率が高くなった場合、必要に応じモスクワの管制室に対しロシアセグメント側にあるスラスターの噴射を依頼します。これにより ISS の軌道が変更され、デブリを事前に避けることができます（図 2）。一方で細かいデブリは追跡できずいつの間にか衝突し、ISS を破損させている場合があります（図 3）。船内外には複数のカメラがあり状況を監視できますが、このような映像システムとともに制御システム、通信システムを所掌している管制官を CRONUS (Communication Radio Frequency Onboard Network Utilization Specialist) と言います。デブリは居住区画に衝突し穴を開けることも想定されています。衝突によりキャビンに減圧が生じた場合、クルーは緊急手順に従い自身の帰還船の健全性を確認した後、リーク発生源となった損傷箇所の特定制業を行います。このような減圧を含むクルーの生命維持に直結する緊急事態（他に火災や有毒物質の漏洩）に中心的な役割を果たすのは ETHOS (Environmental Thermal Operating Systems) という管制官です。ADCO (Attitude Determination Control Officer) はトラス部分に搭載された Control Moment Gyroscope (CMG) を所掌し平時の ISS の姿勢を制御しています。空気漏れ等で姿勢に影響を受ける際は、モスクワ管制室主導によるスラスターでの姿勢制御に移行します。姿勢維持ができないとソーラーパネルを太陽に向けることが困難になり SPARTAN (Station Power, Articulation, Thermal and Analysis) が所掌する電力システムや熱制御にも影響が出ます。このとき各 MCC の管制官は電力削減や実験運用制限をすることで協力します。また、通信アンテナが中継衛星を捉えられなくなると、交信やコマンドングが不可能になります。



図 2 デブリ回避運用

ISS 計画では全てが複合したこのような事態をこれまで経験したことはありません。しかしロシアが 1986 年から 2001 年まで 15 年間運用していた MIR (ミール) では、ドッキング試験をしていた貨物船プログレスが誤って MIR に衝突し、空気漏れから姿勢制御能を失い、電力消失や通信途絶を経験しています (図 4)。過去の経験と国際協力によって、このような事態が起こらないよう、ISS は運用されています。

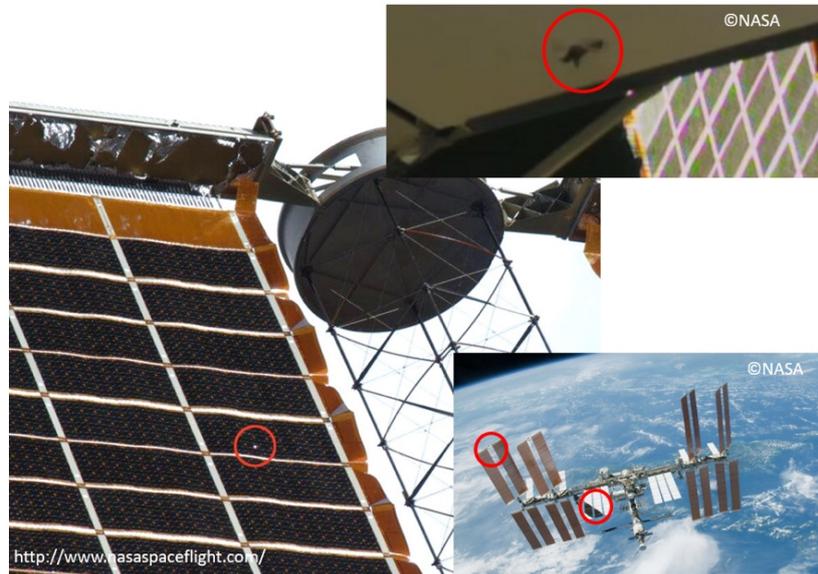


図 3 デブリによる破損



図 4 ミール宇宙ステーション

ISS 運用と閉鎖環境

ISS の生活は閉鎖環境を伴います。過去の知見から、閉鎖環境では人間関係、プライバシー、異文化、孤独、緊張などがストレスとなることが認識されていますが、運用者は宇宙飛行士の本音を認識することは、どれくらいできているのでしょうか。宇宙飛行士の本音はどうすれば知ることができるか、過去 Stuster J. が ISS クルーに対し行った JOURNALS という実験が良い示唆を与えてくれます。宇宙飛行

士が ISS 滞在中に日記を書き、その内容の分析から日々どのような事柄に関心があり、どのような不満を持ち何に満足を得ているかを知ること、最適な支援に寄与しようというものでした。日記は「その時」の気持ちをそのまま残すことができます。また、参加した宇宙飛行士は、書き残すことがストレスの発散になり振り返りの機会を得たと言います。参加した 20 名の宇宙飛行士はそれぞれ 4-6 ヶ月の滞在で、実験は 2003 年から 2016 年にかけて行われました。匿名かつ特定できる周辺情報は削除されたデータとして見るすることができます。内容は、共有物品の使いっぱなし、に關することから、共同生活によって生じる日常の些細な不満、自身は充実していても、地上に残した家族が気がかりというもの、娯楽の選択肢の少なさに關するもの、地上から常にカメラで一方向的にモニターされていること、軌道上の不便さ（物が散乱し置けないこと）の地上の無理解、スケジュールに裁量がないこと、間違っている作業手順書や収納手順書への不満、謝辞を多用する交信への不満、などがある一方で、地上や同僚飛行士とのチームワークの良さ、仕事の達成感に關する内容も多くありました。

このようなことから、軌道上作業については宇宙飛行士側の裁量をできるだけ増やすこと、管理部門の関与を減らすこと、地上要員と宇宙飛行士との接点を多く作ること、宇宙飛行士が積極的に交信担当業務を経験すること、手順確認作業を経験すること、経験のある宇宙飛行士が情報を共有することなどが推奨されています。これらの日記により、宇宙飛行士が軌道上での日々をどのように感じ生活しているのか、実感を持ってより具体的に伝わってきます。耳の痛いコメントも多いですが、留意すべき示唆に富む内容です。事実を知り慢心しないことが、より安心安全、そして快適な運用につながります。

交信担当 (CAPCOM) の役割

各 MCC には Flight Director がいて、その Flight Director が集約した地上の意思を宇宙飛行士に伝える交信担当がいます。交信担当は Capsule Communicator、または Spacecraft Communicator と呼ばれ CAPCOM (キャプコム) と略されます。NASA は有人宇宙計画初期からスペースシャトルの時代まで、搭乗員と宇宙船を知る立場として CAPCOM には予備クルーを充てていました。しかし ISS 計画は一度始まってしまうと 365 日運用が続き人員が不足するため、宇宙飛行士以外からも採用するようになりました。ヒューストンの交信担当は CAPCOM、ハンツビルの 実験交信担当は PAYCOM、ミュンヘンは EUROCOM、筑波は J-COM、モスクワは GRAVINI (Главный) と呼ばれます。

交信担当が宇宙飛行士へ伝達するときは、スムーズな理解のためにまず概要説明から入り、その後細かい手順指示へ入ることを心がけます。その際、他の管制官は作業を止め、交信担当が間違った情報を伝えていないか確認します (図 5)。このように宇宙飛行士への情報伝達は交信担当のみを通して行われますが、どうしてなのでしょう。その作業分野に精通した専門家たちに、宇宙飛行士と直接話をさせた方が効率もよく、伝言ゲームにならずに済むと考える人もいます。しかし、想像してください。ISS の一日は忙しく、宇宙飛行士は分刻みで修理や実験に注力し、たくさんの作業をこなします。そこにタイミングも考えず、複数人からまとまりなく作業指示が出たらどうでしょうか。行き違いによって作業ミスにもつながりますし、宇宙飛行士にストレスを与え、やる気を削いでしまうでしょう。さらに、軌道上の作業コストは桁違いに高く、かつ複数の作業が並行で行われています。交信をするチャンネルであるボイスループは常に忙しいため、交信はいつも正確、簡潔、そしてタイムリーであることが求められます。特殊な会話様式

に精通した交信担当の必要性がここにあります。また、交信担当はリアルタイムのやりとりだけでなく、宇宙飛行士が使用する作業手順書も事前に確認します。実はこれが不要な会話の往復を減らすための効果的な作業です。会話と同じく正確性、簡潔性、一貫性の他、見慣れない用語、わかりづらい図、遠回しな表現、情報過多、繰り返しが無いか、といった観点から俯瞰的にチェックします。要するに初見で速やかに頭に入らない手順や説明は、軌道上の貴重な時間の無駄使いになるのです。それに留まらず読み手（作業員である宇宙飛行士）の士気も下げかねません。言うまでもなく、交信担当自身の準備不足のせいで宇宙飛行士の作業を止めては本末転倒ですので、事前準備には多くの時間を費やします。予期せぬ計画変更や手順不備などにも対応できるよう、軌道上の作業を熟知することが宇宙飛行士の信頼につながります。

伝えることだけでなくさらに大切なことは、交信担当が“Crew Advocate”（“クルーの代弁者”が近い訳でしょうか）として、宇宙飛行士の視点から運用に臨むことです。宇宙飛行士はきびしい現場で作業しているので、地上がその意に沿えないときには納得できる理由が必要です。軌道上の状況を想像し宇宙飛行士に不利益になるような状況があれば躊躇なくチームに意見し調整します。距離が離れた顔の見えない相手には、対応が事務的になってしまう傾向が少なからずあります。そのため、交信担当は管制室と宇宙飛行士の心理的な距離感にはいつも敏感でなくてはなりません。宇宙飛行士たちはISSへのフライト前に数回、「きぼう」モジュールの訓練のために来日します。地上チームはお互いに知り合い「顔の見える運用」とするために、その時間を有効に利用します。宇宙飛行士だけでなく日々ボイスループのみで会話をしている他国の管制官や訓練インストラクターも来日することがあり、同じように親交を深めます。運用管制はチームワークであり、一人の力だけでできることは限られています。ここに述べたことは、交信担当だけでなくISSに携わる全ての管制官が身につける基本的な技量です。それぞれの役割が連携し協調することで日々のISSの安全な運行がなされます。このように、宇宙飛行士もすごいけど、宇宙を支える管制官たちも結構すごいこと、ご理解いただけましたでしょうか？



図5 交信中のCAPCOM

筆者紹介

1972年千葉県生まれ。北里大学衛生学部修士課程修了。1996年より山梨医科大学（現 山梨大学）でストレス反応の研究と教育に従事、博士（医学）。2008年、有人宇宙システム株式会社に入社し運用要員訓練を開始。2021年現在、有人宇宙技術部 JEM 運用管制/交信担当（J-COM）チームリード。

参考文献

1. The International Space Station Operating an Outpost in the New Frontier, NASA-SP-2017-634
2. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html
3. Beware the situation: how JSpOC tracks space debris: ROOM, Issue #1(1) 2014
4. Bryan Burrough; DRAGONFLY – An Epic Adventure of Survival in Outer Space., ISBN 0—6-093269-4
5. Stuster. J.; Behavioral Issues Associated with Long Duration Space Expeditions: Review and Analysis of Astronaut Journals Experiment 01-E104 (Journals): Final Report, NASA/TM-2016-218603
6. <https://www.masterclass.com/articles/what-is-capcom#3-essential-capcom-responsibilities>
7. Uhlig T., Mannel T., Fortunato A., and Illmer N.; Space-to-Ground Communication for Columbus: A Quantitative Analysis, Hindawi Publishing Corp., eScientific World Journal. Vol. 2015, Article ID 308031

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆様のご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

<https://www.usss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：名越俊平

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: usss@kwasan.kyoto-u.ac.jp