

2014 年度 宇宙医学研究センター 年次活動報告

J-CASMPHR Annual Report 2014



国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

宇宙医学研究センター

JAXA Center for Applied Space Medicine and Human Research

**2014 年度
宇宙医学研究センター
年次活動報告**

J-CASMPHR Annual Report 2014

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構

宇宙医学研究センター

JAXA Center for Applied Space Medicine and Human Research

目次

はじめに	1
2014年4月～2015年3月のトピックス.....	3
2014年度の主なイベント.....	6
新聞・報道.....	7
宇宙飛行士運用技術部の立場から	8
宇宙医学生物学研究室の紹介	9
宇宙飛行士健康管理グループの紹介.....	10
有人宇宙環境利用センターの紹介	11
宇宙医学研究センター（J-CASMHR）メンバー紹介.....	12
宇宙医学生物学研究室研究テーマと概要.....	15
（1）国際宇宙ステーション利用実験テーマ	15
（2）地上研究テーマ.....	16
1. 生理的対策分野.....	17
骨量減少対策チーム	17
骨格筋量減少対策チーム	18
免疫チーム	19
視神経機能対策チーム	20
2. 精神心理支援分野.....	21
交替勤務対策チーム	21
ヴィジランス測定チーム.....	22
3. 軌道上医療分野.....	23
生体リズムチーム.....	24
4. 宇宙船内環境分野.....	25
微生物モニター Myco チーム.....	25
5. アウトリーチ・教育分野.....	26
6. 搭載準備・軌道上実験運用分野.....	27
宇宙飛行士健康管理グループ活動内容.....	30
1. 研究テーマ	30
宇宙日本食パッケージの改良.....	30
2. 健康管理.....	31
フライトサージャン（FS）.....	31
環境管理	32

放射線被ばく管理.....	33
精神心理支援.....	34
運動生理的対策.....	36
宇宙食・生活用品.....	37
宇宙環境利用センター活動内容（ヒト対象研究分野）.....	38
宇宙環境利用センター船内利用ミッショングループ 生命科学ミッション推進担当.....	38
宇宙環境利用センター きぼう有償利用担当.....	42
調布航空宇宙センター活動内容（ヒト対象研究）.....	43
マネジメント活動実績.....	45
個別活動報告.....	48
（独）宇宙航空研究開発機構の組織図（2015年3月時点）.....	54
筑波宇宙センターへのアクセス.....	55

はじめに

宇宙と医学

—安全な暮らしを支える宇宙開発—

宇宙航空研究開発機構(JAXA)
有人宇宙環境利用ミッション本部
宇宙医学研究センター長
向井千秋

宇宙でも地球でも安全・安心な生活を確立するうえで、医学や医療技術は大きな役割を担っています。また、宇宙開発は有人・無人の探査を通じて人の生活圏の拡大や科学・技術の発展を目指しています。

有人宇宙探査(Human Space Exploration)を支える医学・医療技術:

1961年に Yuri Gagarin が人類初の宇宙飛行をしてから 50 年余りが経ちます。人類はこの間に重力を振り切り宇宙飛行をするロケット技術、地球周回軌道に長期滞在する技術、地球帰還技術等の有人宇宙技術を獲得してきました。日本でも1985年には宇宙飛行士が訓練を開始し、これまでに9人の日本人が17回の宇宙飛行(初のソユーズ商業利用で飛行した日本人ジャーナリストを含む)を行い、人類の活動圏を地球から宇宙にまで広げてきています。今や「宇宙で生活し仕事をする」ことが日常茶飯事になりました。当初は米ソの国威発揚が原動力で推進された宇宙開発も現在では国際協力が必要不可欠で、この国際協力の象徴的なプロジェクトが国際宇宙ステーション(International Space Station, ISS)計画です。地球の低軌道を周回するISSは、重力レベルが微小重力環境というユニークな多目的施設で、材料科学、生命科学、技術開発、天体や地球の観測、そして、教育等に利用され



提供: NASA/JAXA

宇宙医学研究センター長
向井千秋 宇宙飛行士

ています。日本人宇宙飛行士も2年に3人程度の頻度で、6ヶ月程度の宇宙滞在を行っています。

宇宙飛行を健康で安全に行うために医学が果たす役割は非常に大きく、そのチャレンジの多くは、地球低軌道より遠い月や火星に人類の活動を展開(Exploration)するための医療技術を開発し、その技術を地上に還元することです。さらに、職業飛行士だけではなく、一般の老若男女が宇宙旅行を楽しめるようにするための医療技術を開発していくことも大事なことです。また、この分野を支える研究は、重力や上下の空間識が人や生物に果たす役割を究明していくものです。宇宙航空研究開発機構(JAXA)は日本人宇宙飛行士の健康管理技術をより確実なものにするために、2007年4月に宇宙医学生物学研究室(JAXA Space Biomedical Research Office, J-SBRO)を、そして、2012年には宇宙医学研究センタ

一(JAXA Center for Applied Space Medicine and Human Research)を設立しました。JAXAは宇宙飛行の医学的なリスクの軽減、健康管理技術の向上、基礎医学研究、研究コミュニティの連携強化、成果の地上社会への貢献等を目的に、生理的対策、精神心理支援、宇宙放射線被ばく管理、宇宙船内環境整備、遠隔医療技術開発を推進しています。また、「宇宙医学は究極の予防医学」、そして、「社会に役立つ宇宙医学」をモットーに、その成果を宇宙飛行士のみならず社会に還元すべく研究を行っています。

宇宙基盤技術の人間生活への応用:

多くの宇宙開発技術が地上に還元されていますが、とくに人工衛星を利用した通信技術や地球環境の観測技術は、人間生活の安全保障に不可欠です。宇宙飛行士にとっても究極の遠隔地である宇宙と地球を結ぶ手段として遠隔通信は必須で、これは宇宙飛行士の健康管理(遠隔医療)をはじめ、遠隔教育、機材の遠隔操作等に使われていて有人宇宙飛行を支える大きな基盤技術となっています。ま

た、様々な人工衛星から地球を観測するとオゾン層の破壊、火山活動、台風・降雨状況、流水分布、海面温度や植物性プランクトン生息、植生分布などが監視でき、天気予報、災害防止、地球温暖化防止、海洋汚染防止、森林破壊防止、砂漠化防止などに役立っています。これらの情報を地球規模の健康管理技術や公衆衛生に役立てていく試みもなされてきています。

今後、宇宙開発は宇宙商業利用の促進はもとより、一般人の宇宙旅行がそう遠からぬ未来に実現可能となる時代を迎えようとしています。そして、宇宙開発は

“人類のための宇宙開発 (Space for Humanity)”を合言葉に、開発技術を地上に還元していくことが強く求められています。このような時代に医学や生物学が宇宙開発に果たす役割は非常に大きいのです。この年報はJAXAが関与する宇宙医学、生物学研究についてまとめてあります。宇宙医学、生物学の発展のためにこの冊子を多くの皆様に利用していただければ幸いです。(向井千秋)

2014年4月～2015年3月のトピックス

レジオン・ドヌール勲章を受賞！ 2015年2月

向井センター長がフランスの勲章(レジオン・ドヌール勲章シュヴァリエ)を受章しました。

JAXA 宇宙医学研究センター長の向井千秋宇宙飛行士は、フランス レジオン・ドヌール勲章シュヴァリエに叙され、2015年2月3日、フランス大使館においてティエリー・ダナ駐日フランス大使により勲章を授与されました(写真)。

レジオン・ドヌール勲章とは、フランスの最高勲章で、ナポレオン・ボナパルトによって 1802 年に創設されました。軍人や文化・科学・産業・商業・創作活動などの分野における民間人の「卓越した功績」を表彰することを目的としたものです。今回の受賞は向井宇宙飛行士の国際宇宙大学(フランス・ストラスブール)における人材育成への貢献に対して授与されたものです。



国際統合睡眠医科学研究機構で講演！ 2015年1月



世界トップレベル研究拠点プログラム(WPI)のひとつである筑波大学の国際統合睡眠医科学研究機構(IIIS)において、阿部高志研究員がセミナーでの講演を行いました。阿部研究員は、これまでの研究成果である高ストレス環境下での睡眠障害や、眼球運動を用いた睡眠覚醒評価について発表しました。

JAXAと筑波大学の間には包括的な連携協力協定が結ばれており、この協定のもとで宇宙医学領域についても共同研究の可能性などについて活発な情報交換が行われています。

Human Research Program のワークショップに参加 2015年1月



NASA Human Research Program (NASA/HRP)と National Space Biomedical Research Institute (NSBRI) が主催する Investigators' Workshop(2015年1月13日から15日)が開催され、向井センター長をはじめ宇宙医学研究センターのメンバー(村井、野沢、相羽)が参加しました。

本ワークショップでは、NASAを中心におこなわれている有人宇宙探査に関する研究の計画、途中経過、結果について多数の発表があり、活発な議論が行われていました。2015年のテーマは、"INTEGRATED PATHWAY TO MARS" で、全体として有人火星探査を目標にした、目標志向型の学際的統合研究が積極的に行われていることが印象的でした。

NASA/HRPは、JAXAの宇宙医学研究センターに対応した組織として位置づけることができますが、人員予算ともに規模が大きく、宇宙医学研究センターの目指す目標でもあります。NASA/HRPの活動については、下記のアドレスより年報をダウンロードすることができますので、興味のある方はご覧ください。

<http://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/hrp-fy2014-annual-report-web.pdf>



2014年度の主なイベント



新聞・報道



「遠隔疫学」の推進提唱
JAXA宇宙飛行士・向井千秋氏

「遠隔疫学」の推進提唱を訴えている向井千秋氏。背景には、宇宙飛行中の健康状態のモニタリングと、地上からの遠隔医療の重要性が示されている。

毎日新聞 2014年12月26日



人類が火星に向かうための 研究成果を これからも地上の 医学に役立てます

宇宙飛行士が火星に向かうための研究成果を、地上の医学に役立てます。Soyuz-MS2の打ち上げと、宇宙飛行中の健康モニタリングに関する研究が紹介されています。

宇宙飛行士の 若返り術

向井千秋

筋肉・骨・心の老化を食い止める宇宙からの処方箋。宇宙飛行士としての経験と、健康維持のための科学的アプローチが紹介されています。

雑誌「ゆほびか」2015年4月号

IN THE SPACE
[健康環境とストレス]

宇宙飛行士もうつに? 地上から点検

外 宇宙飛行士もうつに? 地上から点検。宇宙飛行中のストレスと、地上からの健康チェックに関する記事が紹介されています。

宇宙飛行士は、地上から点検を受け、健康状態を確認します。記事では、宇宙飛行中のストレスと、地上からの健康チェックに関する情報が提供されています。

朝日新聞(Globe) 2015年2月1日

LcS菌 継続摂取

宇宙環境で腸内環境どう変化?

JAXAとヤクルト ISSで共同研究

宇宙飛行士の健康状態改善期待。民間ニーズ発掘課題。JAXAとヤクルトがISSで共同研究を行い、宇宙飛行士の腸内環境改善と健康状態の向上を目指す取り組みが紹介されています。

科学新聞 2014年4月4日

宇宙飛行士運用技術部の立場から

-これからの有人宇宙開発および宇宙医学研究-

総括医長／宇宙飛行士運用技術部長 緒方 克彦

皆さんはわが国の宇宙開発予算が増加していることを知っていますか？ 残念ながらJAXA 予算はほぼ横ばいですが、政府全体の関連予算は着実に伸びており、内閣府、外務省、経済産業省、防衛省などの関係各省庁の合算額は、JAXA 予算に相当するほどに成長しています。そこには宇宙開発技術を気象観測や津波などの災害対策といった従来型の活用に加えて、我が国の幅広い安全保障や、更には宇宙システムで取得するビッグデータを活用して新サービス、新産業を創出していこうという政府の方針が反映されていると言えます。このような新分野における開発要求が、先端科学技術や関連する産業を活性化することも大きな効果と言えるでしょう。

こうした技術応用分野の拡大を宇宙開発事業の横軸的進展とするならば、縦軸は宇宙探査への挑戦でありましょう。国際宇宙探査は、国際社会が月や火星を目指して人類の活動領域を拡大するという挑戦であり、有人で参加する宇宙参加国はこぞって参入の意思を明確にしています。アメリカは火星に、ロシアは月に目標を定め、JAXA も一定の条件を満たせば月を目指すことを想定して日夜頑張っているわけです（注：残念ながら日本人の月面有人探査が正式に決定した訳ではありません）。言うまでもなく宇宙探査を実施可能とする技術開発には長期の年限がかかるため、相当長い視野を以て事業に取り組みかねばならない訳です。

考えてみると有人宇宙探査技術に関わる研究の中でも宇宙医学研究は最も早期に取り

組まなければならない分野です。有人宇宙船が進出し、宇宙空間または或る天体に滞在し、任務を達成して帰還するためには、人体への影響とその保護、取り分けカウンターメジャーの確立が欠かせないからです。

目的地によって異なるものの、月・火星探査を睨んだ中長期的な研究目標を定めることが、我々宇宙医学分野に携わる者にとっての最重要課題となっています。現在宇宙飛行士運用技術部の総力を挙げて課題の設定に向けて取り組んでいるところです。このような地球周回軌道を超えた宇宙の滞在においては、これまで経験したことのない超長期に亘る微小重力の影響や、より多くの宇宙放射線被ばくからの防護、果てしなく遠い閉鎖環境の中で被る親しい人々との別離、本格的な疾病の発生に対処するための高精度遠隔医療の必要性など、新たな課題が目白押しに並んでいます。JAXA内部では、これらの中から、どの分野の課題をどのように解決していくかの視点に立って、種々の研究計画の選定・評価を実施しているところですが、まさにこれらの分野において、NASA、ESA他の国際的研究機関、我が国の大学・研究組織と大胆かつ先鋭的に共同研究を模索しているところです。願わくばこのJCASMHR活動を通じて、関係の先生方にも是非我々の研究活動及び関連の議論にも積極的に参加して頂ければ幸甚です。また、これからの宇宙医学研究を進展する事が出来るよう、我々JAXAの医学関係者一同も一丸となって頑張っている所存です。

宇宙医学生物学研究室の紹介

宇宙医学生物学研究室長 古川 聡

地上から約 400km の軌道上を周回する国際宇宙ステーション (International Space Station, ISS) に「きぼう」日本実験棟が取り付けられた 2008 年以來、日本の本格的な宇宙環境利用が開始されました。2015 年 3 月時点で、これまでのべ 5 人の日本人飛行士が一度に 4-6 ヶ月間 ISS に長期滞在し、様々な科学実験を行っています。今後も日本人宇宙飛行士が定期的に長期宇宙滞在し、宇宙環境を利用した様々な研究が行われます。

微小重力環境、宇宙放射線環境、閉鎖環境などが特徴である宇宙環境が人体へ影響を及ぼし、骨の脆弱化、筋肉の廃用性萎縮、免疫力低下、精神的ストレス、不眠、自律神経変調等の身体変調などが報告されています。これらは長期宇宙滞在時により顕著になるとされます。宇宙環境で身体がどう変化し、健康にどう影響するかを研究、健康が害される場合、そのメカニズムをつきとめ、対策を生み出して影響を最小限に抑えるのが宇宙医学です。

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では 2007 年 4 月に宇宙医学生物学研究室 (JAXA Space Biomedical Research Office; J-SBRO) を設置し、宇宙医学および関連した生物学の研究を続けています。対象としている研究領域は 5 分野で、1) 生理的対策、2) 精神心理支援、3) 放射線、4) 軌道上医療、5) 船内環境です。“ホルター心電計を用いた心臓自律神経活動

研究”、“薬剤 (ビスフォスフォネート) の予防的投与による骨量減少・尿路結石予防効果研究”、“宇宙放射線量測定”などが宇宙ですで行われ、科学論文として発表されています。腸内細菌と免疫の研究が近く開始される予定で、準備が進んでいます。

2014 年 1 月、米国にて国際宇宙探査フォーラムが開催され、国際協力による有人宇宙探査が各国の閣僚レベルで議論されました。今回は 2016-7 年頃日本で開催予定です。そこで議論されるであろう有人での火星往復飛行といった計画を実現させていくために必要不可欠なものの一つが医学的研究です。今後、国際宇宙ステーションを研究の足場とし、宇宙医学生物学の研究が更に進んでゆく中、宇宙医学生物学研究室員一同、日本の有人宇宙技術を支える基盤作りに邁進して参ります。

一方、地上から隔絶された宇宙飛行士を守る医療技術は、医療過疎地に住む多くの人たちの健康を守る遠隔地医療技術に応用されています。また、宇宙の微小重力環境で筋肉や骨の機能が低下することを防止する医療技術は、高齢者の運動機能の維持向上への応用が考えられるなど、宇宙での医療技術が地上の医療に貢献できると確信しています。「宇宙医学は究極の予防医学」そして「社会に役立つ宇宙医学」をモットーに、その成果を宇宙飛行士のみならず社会に還元すべく、研究を進めてゆきたいと考えております。

宇宙飛行士健康管理グループの紹介

宇宙飛行士健康管理グループ長 佐藤 勝

1992年(平成4年)9月、毛利衛宇宙飛行士が宇宙開発事業団(現 JAXA)の宇宙飛行士として初めてスペースシャトルで宇宙に飛び立ってから20年以上が経ちました。

この間、日本人宇宙飛行士はスペースシャトルによる短期飛行を11回、数ヶ月間の国際宇宙ステーション(以下「ISS」)長期滞在を5回完了し、現在は油井亀美也宇宙飛行士がJAXAとして6回目のISS長期滞在に向けて準備を行っています。

日本人宇宙飛行士の健康管理責任は、スペースシャトルミッションでは米国航空宇宙局(NASA)にありましたが、ISS長期滞在ミッションではJAXAにあります。

そのためJAXAは筑波宇宙センター(TKSC)に独自の宇宙飛行士健康管理体制を構築し、且つNASAや各極と協同しつつ、ISS長期滞在の前・中・後における宇宙飛行士の健康管理を主体的に行っています。

ISS長期滞在中の宇宙飛行士の健康はフライトサーजन(Flight Surgeon、以下「FS」)を中心に、FSを支える看護師、健康管理技師(Biomedical Engineer、以下「BME」)、放射線被ばく管理担当、精神心理支援担当、生理的対策担当、環境管理担当からなるJAXA医学管理チーム、そして宇宙食担当と生活用品担当からなる搭載品チームが支えています。

宇宙での長期滞在中では、微小重力、閉鎖空間、放射線環境、異文化交流など地上と異なる環境での生活のため、人に対して様々な影響を与えることとなります。

宇宙飛行士健康管理グループでは、このような過酷な環境に曝される宇宙飛行士を打上げ前から、宇宙滞在中、そして帰還し体力が充分回復するまで、サポートを行います。

宇宙飛行士が国際宇宙ステーションに滞在中は、地上の管制センターからの作業状況のモニタや定期的な交信による医学面談の実施、宇宙飛行士が軌道上で行った医学検査のデータの評価等を通じて宇宙飛行士が常に健康でミッションを遂行できるように健康管理を行います。

現在、特に留意している代表的な身体への影響は、「骨カルシウムへの影響」、「閉鎖環境による精神心理面への影響」、「心循環器系の変化」、「宇宙酔い」、「血液・免疫への影響」、「放射線被ばくや目への影響」などです。

これらの対策はこれまでの実績や地上での研究をもとに立てられますが、まだその多くの影響について、詳細な機序は解明されていません。このため、関係する研究機関との協力により、問題解決に向けた検討を進めていきます。

有人宇宙環境利用センターの紹介

宇宙環境利用センター長 三好 寛

宇宙環境利用センターは、国際宇宙ステーション(ISS)計画において、日本の実験棟「きぼう」を利用して行う宇宙実験の準備段階から実施、その後の成果のとりまとめまでを担当するセンターです。

「きぼう」で行われる実験には、ヒトやマウスを使った研究を含む生命科学実験や物質・物理科学分野の研究、さらに船外実験プラットフォームで行う地球や宇宙の観測実験や企業による技術開発実験などがあり、JAXA内外の研究者や企業から実験テーマの提案を受けて採択しています。

これらの実験を「きぼう」の中で実現するためには、実験の準備や「きぼう」での実験方法、打上げ／回収時の作業について、通常の地上の研究室での実験とは大きく異なる配慮や手段が必要な場合も多く、それらの作業計画を事前に十分に検討した上で宇宙実験を実施する必要があります。当センターでは、「きぼう」での実験を行う際に必要となる知識・経験を有する職員が、実験計画の立案から実施まで、実験テーマを提案した研究者と協力しな

がら行っています。

また、それぞれの実験に必要な「きぼう」での実験機材の開発も行っています。当センターのある筑波宇宙センターには、「きぼう」で使用している実験装置と同じ機能を持った地上用装置が設置してあり、事前に「きぼう」で行う実験の方法や手順を検討したり、地上対照データの取得や宇宙飛行士への実験操作訓練等にも活用しています。

さらに、これから宇宙実験を行うことを考えている研究者や企業から、宇宙での新たな実験アイデアや利用方法について相談を受けたり、逆に宇宙環境が有望な分野については、JAXAから「きぼう」の利用を研究者や企業に積極的に提案して、新しい利用実験を開拓することも当センターの業務です。

今後、当センターでは、ISS・「きぼう」利用による成果の最大化を目指し、国の戦略的な施策に合った課題解決型の研究分野や民間企業の競争力強化に貢献できる研究分野に重点化しつつ、さらなる利用促進を図っていく計画です。

- ・安西 耕 招聘研究員 横浜労災病院
- ・水野 康 招聘研究員 東北福祉大学 子ども科学部 准教授
- ・浅香 智美 招聘研究員 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 特任研究員
- ・加藤 完 招聘研究員 理化学研究所 総合生命医科学研究センター 研究員

○宇宙飛行士健康管理グループ

- ・佐藤 勝 グループ長(主幹開発員)
- ・三木 猛生 副グループ長(主任開発員)
- ・松本 潤 主任開発員
- ・岩佐 俊一 主任開発員
- ・宮本 正明 主任開発員
- ・松本 暁子 医長(主任開発員)
- ・菊地(小笠原) 知子 医長(開発員)
- ・石橋 寧子 保健師(主事)
- ・神山 慶人 開発員(2014年9月退職)
- ・齊藤 久美子 開発員
- ・松村 智英美 開発員
- ・金子 祐樹 開発員
- ・富士原 亨 医長(開発員)
- ・鈴木 豪 医長(開発員)
- ・阿部 宏恵 主任開発員
- ・山村 侑平 開発員

○宇宙飛行士健康管理グループ 招聘職員

- ・松崎 一葉 招聘研究員 筑波大学 大学院人間総合科学研究科 教授
- ・小池 右 医長 オアシス脳神経クリニック

(2) 宇宙環境利用センター(ヒト研究担当)

- ・三好 寛 JCASMHR 副センター長
宇宙環境利用センター長(上席開発員)
- ・田崎 一行 グループ長(上席開発員)
- ・白川 正輝 技術領域リーダ(主幹開発員)
- ・坂下 哲也 技術領域リーダ(主幹開発員)
- ・芝 大 主任研究員
- ・梅村 さや香 開発員

(3) 飛行技術研究センター(ヒト研究担当)

- ・嶋田 和人 飛行技術研究センター(主任開発員)

○宇宙医学研究センター（J-CASMHR）メンバー



宇宙医学生物学研究室研究テーマと概要

(1) 国際宇宙ステーション利用実験テーマ

分野	テーマ	研究者	実施状況
生理的対策	ビスフォスフォネート剤を用いた骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究 (Bisphosphonate)	PI: 松本俊夫(徳島大学) CI: 中村利孝(国際医療センター)・郡健二郎(名古屋市立大学)・大島博(徳島大学、国際医療センター、名古屋市立大学との共同研究)	実施中
生理的対策	長期宇宙滞在宇宙飛行士の毛髪分析による医学生物学的影響に関する研究 (Hair)	PI: 向井千秋 CI: 寺田昌弘・東端晃・石岡憲昭・山田深・大島博(鹿児島大学との共同研究)	解析中
軌道上医療	長期宇宙飛行時における心臓自律神経活動に関する研究 (Biological Rhythms)	PI: 向井千秋 CI: 大島博・山本直宗・水野康・大塚邦明(東京女子医科大学)(東京女子医科大学との共同研究)	解析中
軌道上医療	長期宇宙飛行時における 48 時間心臓自律神経活動に関する研究 (BLR48)	PI: 向井千秋 CI: 大島博・山本直宗・水野康・大塚邦明(東京女子医科大学)(東京女子医科大学との共同研究)	実施中
宇宙船内環境	国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価 (Myco)	PI: 槇村浩一(帝京大学)、杉田隆(明治薬科大学) CI: 太田敏子・山田深・東端晃・石岡憲昭・向井千秋(帝京大学、明治薬科大学との共同研究)	実施中
生理的対策	国際宇宙ステーションに長期滞在する宇宙飛行士の筋骨格系廃用性萎縮へのハイブリッド訓練法の効果 (Hybrid)	PI: 志波直人(久留米大学) CI: 大島博・山田深(久留米大学との共同研究)	解析中
生理的対策	無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立 (IPVI)	PI: 岩崎賢一(日本大学) CI: 向井千秋(日本大学との共同研究)	実施中
生理的対策	宇宙環境における健康管理に向けた免疫・腸内環境の統合評価 (Prebiotics)	PI: 大野博司(理化学研究所) CI: 服部正平(東京大学)、菊地淳(理化学研究所)、太田敏子、山田和彦(女子栄養大学)、加藤完、向井千秋(理化学研究所、東京大学、女子栄養大学との共同研究)	計画詳細化中

(2)地上研究テーマ

分野	テーマ	研究者	実施状況
生理的対策	骨格筋機能低下に対する温熱刺激を用いた予防策の実用化に向けた研究	PI: 大平宇志 CI: 寺田昌弘・太田敏子・二川健・須藤正道・大島博・向井千秋 (筑波大学との共同研究)	実施中
精神心理支援	「きぼう」運用管制チームの生活および睡眠実態調査	PI: 水野康 CI: 大島博・松本暁子・相羽達弥・山口孝夫	実施中
軌道上医療	眼球関連情報を用いたヴィジランス評価法の開発	PI: 阿部高志 CI: 水野康・太田敏子・須藤正道・緒方克彦・大島博・向井千秋 (精神・神経医療研究センター、東京医科大学との共同研究)	実施中
放射線被ばく管理	低線量率・長期被ばくに対する宇宙放射線の生物影響研究	PI: 向井千秋 CI: 永松愛子・浅香智美	終了
アウトリーチ・教育	「ミッションX」を活用した健康増進と宇宙医学生物学研究的理解増進	相羽達弥・須藤正道・太田敏子・尾田正二・石田暁・山田深・大島博・向井千秋	実施中

1. 生理的対策分野

骨量減少対策チーム

大島 博

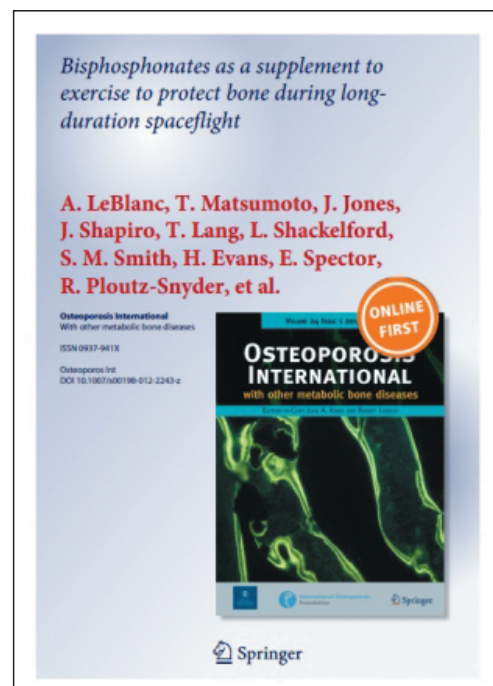
微小重力環境では、骨への荷重負荷がなくなるので地上の骨粗鬆症の約 10 倍の速さで骨量は減少する。6か月間の長期宇宙飛行では、週 6 日間、毎日 2 時間の運動を実施しているが、大腿骨頸部海綿骨の骨量はqCT で平均 15%減少する。著しい骨吸収亢進と骨形成は不変から、骨リモデリングのアンカプリングが生じ、急速な骨量減少が荷重骨に生じる。

そこで、骨粗鬆症治療薬として約 10 年前から臨床に用いられ、骨量増加と骨折発症率低下のエビデンスが多数あるビスフォスフォネート(骨吸収抑制剤)を予防的に投与することを考案し、90 日間のベッドレスト研究でその有用性を確認した。その成果をもとに、ライフサイエンス国際公募に応募して採択され、NASA と共同でビスフォスフォネートを用いて長期宇宙飛行に伴う骨量減少と尿路結石リスクを軽減する宇宙実験を行っている。

8 人の飛行士が、経口薬投与への研究参加を同意し、飛行 2 週間前から飛行終了時までビスフォスフォネートを毎週服用した。筋力運動(ARED 使用)により骨量減少は軽減するが、筋力運動にビスフォスフォネートを併用すると、骨量はほとんど減少しなかった。ARED (ARED 以前の抵抗運動機器)と ARED の筋力運動では、宇宙飛行の骨吸収増加と尿中Ca排泄増加を抑制できないが、ビスフォスフォネートを併用すれば、骨吸収亢進は抑制され、尿中Ca排泄増加も抑制でき、その結果を下記の論文発表した(図)。当初コントロール群(インクリメント 17まで)は、旧式の抵抗運動機器(iRED)を用い

て筋力トレーニングを行っていた。本薬剤の予防投与の最初の被験者(インクリメント 18)から、改良型抵抗運動機器(ARED)を用いた筋力トレーニングが開始された。そこで薬剤投与と筋力トレーニングの効果をより適切に検討するために、新たなコントロール群(ARED を用いて筋力トレーニングし、薬剤を服用しない)に対する医学データ取得を開始した。(徳島大学 松本俊夫センター長、国際医療センター病院 中村利孝院長、名古屋市立大学 郡健二郎理事長との共同研究)

LeBlanc A, Matsumoto T, Jones J, Lang T., Shackelford L, Smith S, Evans H, Spector E, Ploutz-Snyder R, Sibonga J, Keyak J, Nakamura T, Kohri K, Ohshima H: Bisphosphonates as a Supplement to Exercise to Protect Bone during Long Duration Space Flight. *Osteoporosis Int* 24:2105-14, 2013



骨格筋量減少対策チーム

大平宇志・寺田昌弘（宇宙科学研究所）・太田敏子・二川健・須藤正道・大島博・向井千秋

研究課題「骨格筋機能低下に対する温熱刺激を用いた予防策の実用化に向けた研究」

骨格筋が形態および機能的特性を維持するためには、適切な運動に伴う様々な刺激（ストレス）が重要である。通常、地球上では、日々の抗重力活動が適度な刺激となるため、急激に骨格筋の機能が低下することはない。一方、微小重力環境である宇宙では、意図的に骨格筋を刺激しなければ、特に抗重力活動の際に重要な抗重力筋に萎縮や速筋化が生じ、発揮張力や疲労耐性が低下してしまう。そのため、国際宇宙ステーション（ISS）に滞在する宇宙飛行士は、1日約2時間、週6日、運動することにより、骨格筋の特性維持に努めている。しかし、その効果は十分には得られておらず、新たな運動プログラムが必要であるとする報告が存在する。また、今後の月・火星を目指した有人宇宙探査で用いられる宇宙船内の限られた居住空間では、宇宙飛行士が運動するためのスペースの確保が難しくなることも予想される。したがって、骨格筋の機能低下に対する運動以外の予防策についても検討しておくことが重要である。

そこで、簡便に実施可能で尚かつ服薬に比べて利用する際の精神的抵抗が少ない“温熱刺激”に着目し、その骨格筋の機能低下に対する予防策としての有効性を検証する実験を行った。右の坐骨神経を切除することにより、右後肢の骨格筋に萎縮を誘発させたラットを温熱刺激をする群としない群に分けた。温熱刺激

には、吸入麻酔下のラットの後肢を42℃の湯に30分間浸ける方法を採用し、坐骨神経を切除した1日後から2日に1回の頻度で行った。温熱刺激中の麻酔の影響を除いて評価するため、温熱刺激をしない群にも同時間、同頻度で吸入麻酔を行った。2週間後にそれぞれの群のラットから摘出したヒラメ筋の湿重量、水分含有率および筋線維横断面積を比較した結果、温熱刺激による筋萎縮抑制効果を確認することができた。したがって、温熱刺激は、神経系を介さず骨格筋に作用することが示唆された。また、坐骨神経を切除していない左後肢のヒラメ筋を比較した結果、温熱刺激は筋肥大も促進させることが明らかとなった。現在は、温熱刺激が骨格筋にもたらす効果のメカニズムについての解析を進めている。

本研究により、温熱刺激は、骨格筋の形態および機能的特性の維持・向上を促す刺激源となることから、微小重力環境に滞在し日常的に骨格筋に刺激を与えることが困難な宇宙飛行士の骨格筋の機能低下を予防する新たな処方として有効である可能性が示された。

謝辞

本研究の実施にあたり、筑波大学 生命科学動物資源センターの高橋智教授ならびに横浜市立大学 先端医科学研究センターの平野久教授には多大なるご支援ご協力をいただいた。

免疫チーム

加藤完・大野博司

研究課題「宇宙環境における健康管理に向けた免疫・腸内環境の統合評価」

宇宙環境は、微小重力、閉鎖・隔離環境、宇宙放射線の影響により、骨量低下、筋萎縮、睡眠障害、免疫障害などの生理的リスクを与えることが報告されている。宇宙開発技術の向上により長期滞在が可能となり、宇宙食も充実されてきたが宇宙滞在に起因する腸内細菌叢と免疫機能の変動を統合的に評価した研究はなく、今後重要性が増すと考えられる機能性宇宙食の影響も明らかになっていない。

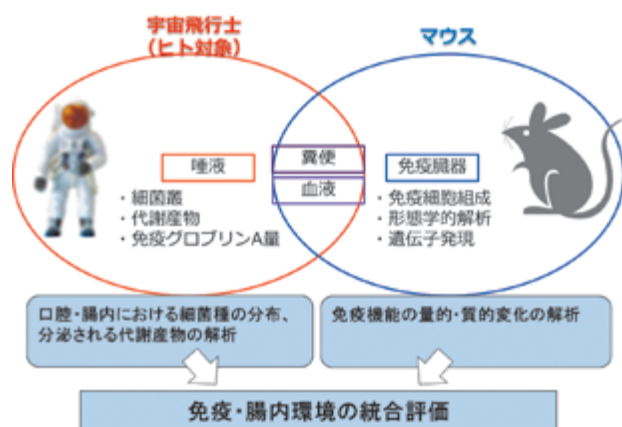
本研究では、地上におけるボランティアおよび宇宙飛行士にプレバイオティクスとして知られるフラクトオリゴ糖を摂取させ、その際の糞便、唾液、血液を経時的にサンプリングし、これらの細菌叢、代謝産物、免疫系への影響を評価・統合することで宇宙環境によるストレスのバイオマーカーを探索する。加えて、地上および軌道上で飼育したマウスに同様にフラクトオリゴ糖を摂取させ、その際の臓器、糞便、血液から、腸内環境および、免疫系の変動を評価し、フラクトオリゴ糖の効果を検証する。

地上ボランティアによるフラクトオリゴ糖摂取試験においては、血液中のリンパ球の組成（T細胞、B細胞、NK細胞等含む20種）をフローサイトメーターにより解析し、血漿からは代謝物の変動およびサイトカインの測定を行う。加えて糞便、唾液試料は試料中のIgAレベルを測定するとともに細菌組成、代謝物の変動を分析する。糞便中の解析では、細菌叢、代謝物、IgA量の全てにおいて個体

差が大きく反映される結果であったが、フラクトオリゴ糖摂取期間に *Bifidobacterium* の増加、代謝物プロファイルの変化、IgA量の増加等の傾向が見られた。

地上でのマウス対象試験においては、運動負荷量低下のモデルとして両後肢ギプス固定マウスモデルを使用し、運動拘束によるストレス評価およびストレス下でのフラクトオリゴ糖の影響を評価する。現在、試験は終了し、今後、ヒトでは採取することのできない免疫臓器である脾臓や胸腺における免疫機能関連遺伝子の発現変動やリンパ球組成の変動を分析する。またヒト対象試験と同様に糞便を解析することにより腸内細菌叢の変動と免疫機能との関連を明らかにする。

地上および軌道上試験において、ヒトおよびマウスの両者から得られた各種データは、データマイニング技術を利用し、統合することで免疫機能、細菌叢の変動を評価する。（理化学研究所 大野博司、菊地淳、東京大学 服部正平、女子栄養大学 太田敏子、山田和彦、香川雅春 共同研究）



軌道上試験概要

視神経機能対策チーム

岩崎賢一

研究課題「無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立」

近年、宇宙飛行士に、失明のリスクも伴う「視神経乳頭浮腫」が散見されている。宇宙飛行に伴い体液が上半身へシフトし、頭蓋骨内部の圧力が上昇し、その状態が長期に持続することが原因機序として最も有力視されている。しかしながら、その仮説を検証できるデータはいまだほとんどなく、別の機序も考えられる。

そこで、本研究は「長期宇宙滞在後に頭蓋内圧の上昇が生じている例が存在し、そうした宇宙飛行士では同時に視神経乳頭浮腫や視機能変化が生じている」という仮説を検証することを目的として企画提案した。本研究では、国際宇宙ステーションに長期滞在する宇宙飛行士を対象として、飛行の前後に、非侵襲的に血圧と脳血流速度の波形を記録し、それらの波形の関係解析から、頭蓋内圧値の推定と脳循環調節機能の評価を行う。

2014 年度中には、間もなく国際宇宙ステーション滞在を開始する宇宙飛行士 4 名から、飛行前のデータ測定を行った。並行して、解析方法の更なる精度向上のための地上実験や検討作業を継続的に行っている。また、軌道で行う、顔面浮腫確認用の写真撮影と、関連症状に関する地上からの問診について ODF 作成などを進めている。

飛行前データ測定は、ヒューストンの NASA ジョンソン宇宙センター (JSC) にて実施している (下写真)。頭蓋内圧の推定と脳循環調節機能の評価に必要な、脳血流速度波形を経頭蓋ドプラ血流計を用いて中大脳動脈から、連続血圧波形を橈骨動脈および指動脈から非侵襲的に取得している。

頭蓋内圧測定は、頭や腰に針を刺して測定するのが一般的であるが、針などを刺さない非侵襲的な方法で簡単に頭蓋内圧を推定できる本方法は、将来の長期ミッションにおける頭蓋内圧変化のモニターへの応用などが期待できる。



写真:

研究チームスタッフを模擬被験者とした JSC でのリハーサルの模様。

解析用データの記録は、この座位以外に、仰臥位とバルサルバ手技中にも行っている。

2. 精神心理支援分野

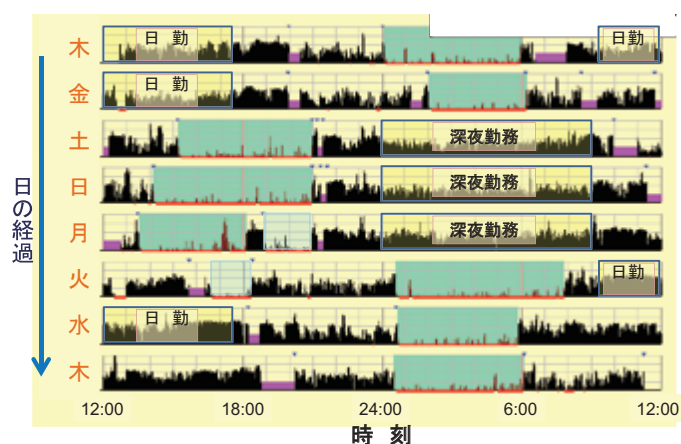
交替勤務対策チーム

水野康・阿部高志・大島博・松本暁子・相羽達弥・山口孝夫（宇宙環境利用センター）

研究課題「『きぼう』運用管制チームの生活および睡眠実態調査」

2008年3月より、国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の運用が開始され、以来、筑波宇宙センターでは、総勢70名を超える「きぼう」運用管制チームが3交替24時間体制の勤務に従事している。看護師や工場、サービス業をはじめ、一般的な就業者の約2割が夜勤を含む交替勤務者と言われているが、「きぼう」運用管制業務は、航空管制のような監視・交信を主としながら、「きぼう」運用に関する高い専門性とチームワーク（1チーム7～10人）が必要なこと、国際宇宙ステーションの運用がグリニッジ時刻（日本から-9時間の時差）であり、宇宙飛行士の活動時間帯が日本時間の夕方～早朝となること、管制業務中の休憩時間が国際宇宙ステーションとの通信の途絶える1時間あたり5～10分という短時間であること等の特殊性を有している。これらの背景から、本研究では「きぼう」運用管制チームを対象とした睡眠および生活実態の調査と交替勤務対処案の構築を目的として研究を進めている。

2013年度には質問紙調査を実施し、看護師では約2～3割と言われている交替勤務性の睡眠障害（Shift Work Disorder: SWD）が、夜勤に従事する管制員ではより高率に存在する可能性を示唆する結果を得た。一方、質問紙から得られた夜勤時の睡眠パターンや生活習慣等とSWDの有無との間に明瞭な関係は認められなかった。これらのことから、夜勤時における睡眠・覚醒リズムをより詳細かつ客観的に評価することを目的として、2014年度には深夜勤務期間前中後における約1週間のアクチグラフィを実施し、7人の管制員の協力を得た。得られた結果を元に面談を行い、深夜勤務時における睡眠実態に関する情報収集を行ったところ、交替勤務への主観的適応度の高い対象では、連続する深夜勤務期間中におけるほぼ安定した睡眠時間（合計約6～9時間）が認められた。一方、深夜勤務期間中における睡眠の問題点として、何らかの理由による睡眠時間の確保困難、および長すぎる睡眠が認められ、これら睡眠状態の客観的な把握が適正な睡眠パターンの獲得に有効である可能性が示唆された。



睡眠・覚醒リズムの客観的評価に用いたAMI社製アクチグラフとその記録例。

記録は横軸が時刻で両端が12時の24時間、上段から下段にかけて日が経過する8日分の記録。細い黒線は毎分の活動量を示し、青緑の帯が就寝時間帯。赤い細線が活動量から睡眠と判定された部分を示す。紫の帯はアクチグラフを外した時間帯。黄色の帯で勤務時間帯を重ね書きした。深夜勤務連続中にも日中にほぼ適正な睡眠が確保されているのがわかる。

ヴィジランス測定チーム

阿部高志・水野康・太田敏子・須藤正道・緒方克彦・大島博・向井千秋

研究課題「眼球関連情報を用いたヴィジランス評価法の開発」

【宇宙飛行士の覚醒度計測法】宇宙滞在中の覚醒度計測法として精神運動ヴィジランス課題(Psychomotor Vigilance Test: PVT)が用いられている。PVTは2秒から10秒に1回の割合でカウンターが動き出したらすぐにボタン押しを行うという検査であり、所要時間は10分である(Basner & Dinges, 2011)。反応時間、500 ms以上の反応遅延、反応する必要がない時に反応した数などをパフォーマンスの指標とする。国際宇宙ステーション(International Space Station:ISS)ではテスト実施時間を3分間に短縮したPVT-B(Brief PVT: Basner et al., 2011)が用いられている。地上での実験室実験により4時間睡眠及び6時間睡眠を続けた者は、PVT中の反応遅延数が日ごとに増加し、覚醒度が低下することが報告されている(Van Dongen et al., 2003)。また、7時間睡眠を7日間続けた場合もPVTの成績が低下していくことが分かっている(Belenky et al., 2003)。一方、自覚的眠気の増加のペースは日を追うごとに減少することから、自覚的眠気は過小評価されやすいことが示されている(Van Dongen et al., 2003)。宇宙飛行士の覚醒度を客観的に計測することが重要である。

【スペースシャトル・ISSでの覚醒度計測】宇宙飛行士の活動量計測により、スペースシャトル滞在時の宇宙飛行士の平均睡眠時間は5.96h、ISS滞在時は6.09hであることが報告された(Barger et al., 2014)。また、全測定日のうち6時間未満の睡眠を示した日の割合は、スペースシャトル滞在時は47.1%、ISS滞在時は43.8%であった(Barger et al., 2014)。宇宙滞

時の睡眠時間は地上研究では覚醒度が低下するレベルにあるため、宇宙滞在時も覚醒度の低下が起こりうる(Barger et al., 2014)。実際にスペースシャトルでPVTを実施した研究では、打ち上げ直前(7日前)と宇宙滞在中にPVTの成績がその前後と比較して低下していた(Dijk et al., 2001)。また、予定していたISSでのPVTデータの取得が既に完了しており、宇宙飛行士24名のデータを対象として2000回分のデータの解析が進められている(Basner & Dinges, 2014)。

【宇宙探査に向けた新規覚醒度評価法の必要性と我々の試み】宇宙探査時は生体リズム脱同調や高ストレス状況に伴う睡眠悪化により、覚度低下が深刻な問題となりうる。現状ではPVT測定中に他の作業を行えないこと、各回5分以上を要するため測定回数が限られることが宇宙探査での覚醒度計測における問題点となりうる。そこで、宇宙探査に向けて、短時間かつ簡便で宇宙飛行士の作業を妨げない覚醒度計測法が必要になる。現在、我々は宇宙探査での実用化に向けた覚醒度計測法を確立するため、短時間かつ高精度に覚醒度を評価する指標を検討している。眼鏡型のウェアラブル装置や非接触型の眠気計測法が国内外で開発されているが、我々が検討中の指標はこれらの装置による覚醒度計測の性能を向上させることができる。宇宙滞在中でも安全・簡便・高精度に覚醒度を測定できる装置を開発し、この装置を宇宙飛行士の覚醒度評価に活用することで、宇宙飛行士の健康維持とパフォーマンス向上に貢献し、宇宙探査をより安全に遂行できるようになる。(国立精神・神経医療研究センター 精神生理

研究部・三島和夫部長、東京医科大学 睡眠学講座・井上雄一教授、University of Pennsylvania, Division of Sleep and

Chronobiology・David.F.Dinges 教授との共同研究)

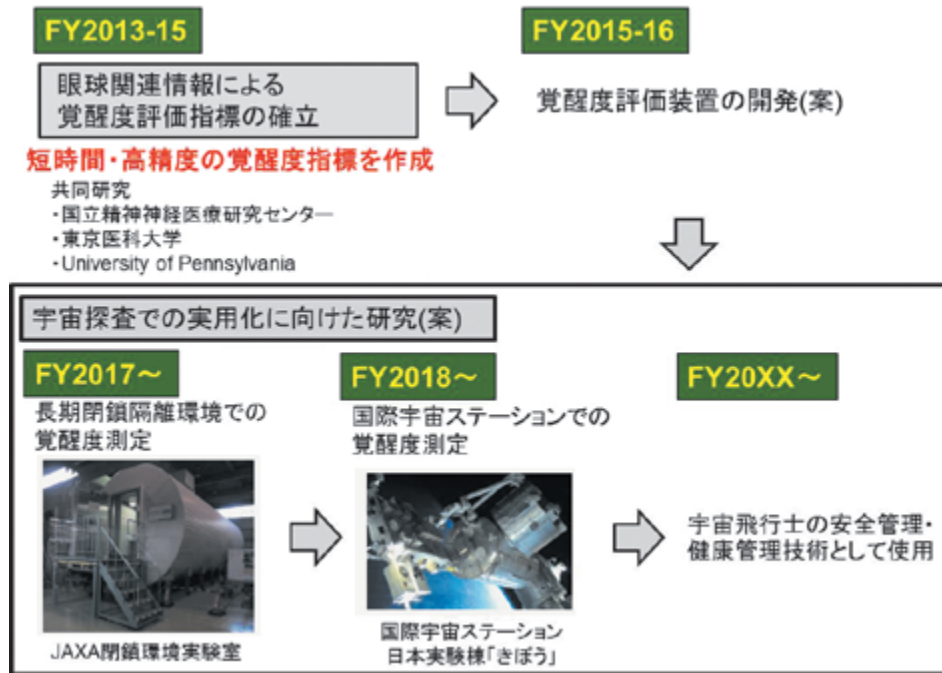


図 1: 宇宙飛行士の覚醒度計測に関する我々の試み

3. 軌道上医療分野

生体リズムチーム

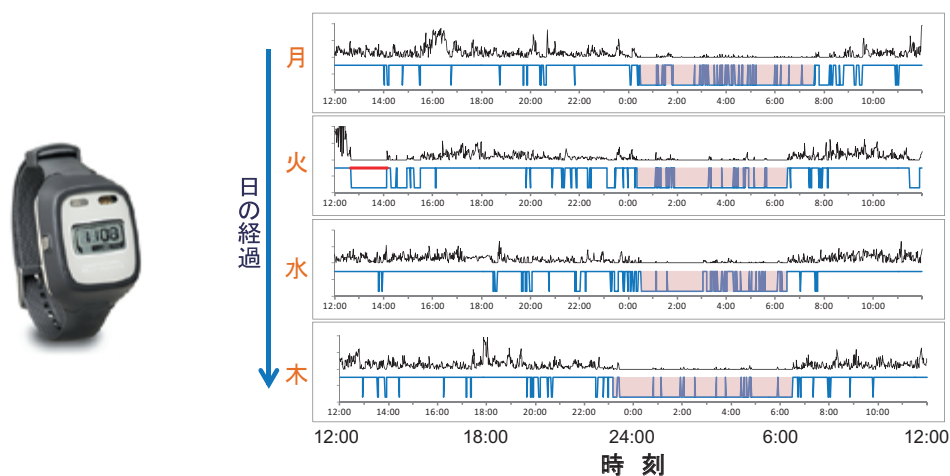
山本直宗・大島 博・水野 康・石田 暁・相羽達弥

研究課題「長期宇宙飛行時における 48 時間心臓自律神経活動に関する研究」

宇宙船内環境は日中の太陽光の無い低照度環境であり、地上で重要な覚醒刺激となる立位・座位の姿勢維持も微小重力環境では労力を要しない。これら環境要因から、宇宙滞在時における生体リズムの変調や不眠の可能性が示唆されており、睡眠時間の短縮を示すデータも公表されている。本研究では、その前段階として2011年度末までに国際宇宙ステーション長期滞在宇宙飛行士の24時間ホルター心電図記録による心臓自律神経活動のリズム評価を実施しており、計10人の結果から、24時間を超える周期のリズムを認めている。そこで本研究では、ホルター心電図の記録時間を倍の48時間に延長し、さらに手首の活動量から睡眠・覚醒リズムを評価するアクチグラフィをホルター心電図記録の2日前から記録終了まで実施するプロトコルで長期滞在宇宙飛行士のデータ取得を進めている。飛行士1人あたり、飛行前後および長期宇宙滞在前期および後期の計4回のデータ取得を行い、2012～2014年度末までに計5人

のデータ取得が完了し、2016年度中に予定した10人のデータ取得を終える見込みである。

ホルター心電図の結果は現在解析中であるが、アクチグラフィの結果では、飛行前後に比して飛行中2回の睡眠において、就寝～起床時刻のタイミング(睡眠位相)、就寝～起床までの長さ、および、夜間就寝中の睡眠効率(睡眠と判定された時間の割合)などがより安定した傾向を示し、24時間ホルター心電図のリズム解析結果からも示唆された宇宙滞在中における規則的な生活リズムの影響が考えられた。一方、飛行中の睡眠位相には朝型/夜型の個人差が認められ、就寝時刻で最大約2時間、起床時刻で最大約1時間の幅が認められた。飛行中の睡眠効率は85～95%という年齢相応のほぼ標準的な結果を示し、アクチグラフィによる睡眠の量的な評価からは、ほぼ問題ない睡眠であることが考えられた。今後、48時間のホルター心電図記録のリズム解析を進めるとともに、睡眠時間帯における心臓自律神経活動評価の解析から、睡眠の質的評価についても解析を進める予定である。



睡眠・覚醒リズムの評価に用いたフィリップス社製アクチウォッチとその記録例。

記録は横軸が時刻で両端が12時の24時間、上段から下段にかけて日が経過する4日分の記録。後半の2日間でホルター心電図を記録している。ギザギザの黒線は毎分の活動量を示し、薄赤の帯が就寝時間帯。青線が上段だと覚醒、下段だと睡眠の判定を示す。赤線はアクチウォッチを外した時間帯。

4. 宇宙船内環境分野

微生物モニター Myco チーム

相羽達弥・石田暁・太田敏子・山田 深・大島 博・向井千秋
山崎丘・東端晃・石岡憲昭（宇宙科学研究所）

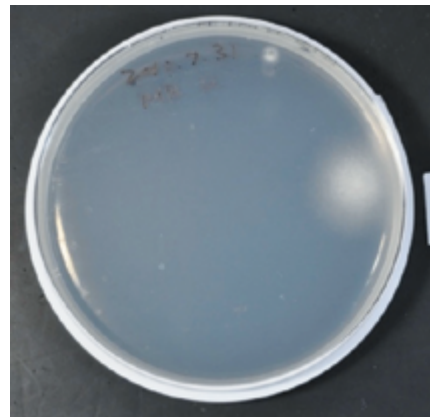
研究課題「国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌層評価研究(Myco)」

ISS に滞在する宇宙飛行士は入浴ができないため、清浄度を地上の生活と同じレベルに保つことは難しい。また、船内を漂う環境微生物は感染症やアレルギーを惹起するリスクファクターである。これらは宇宙飛行士の安全、健康を維持するためにおいて解決すべき重要な課題である。これまでに ISS で活動する宇宙飛行士 20 名 (ISS 長期滞在クルー10 名および、スペースシャトルミッションによる短期滞在クルー10 名) を対象として真菌叢評価を行った結果、宇宙飛行士の皮膚表面の真菌種の多様性は減少し、皮膚常在菌であるマラセチア属の増加が認められた。マラセチア属は皮膚を保護する善玉菌である。しかしながら皮膚の清浄度や免疫力が低下した場合には、マラセチア属菌量が極端に増加したり、菌種間のバランスが崩れることがある。皮膚マラセチア属の極端な変化は脂漏性皮膚炎や癬風、アレルギー等を惹起するリスクが高まっていることを示すものである。これまで最長で約半年間 ISS に滞在する宇宙飛行士を被験者として研究を行ってきたが、年単位に亘る超長期宇宙滞在時に皮膚の常在真菌叢

の変化(菌種の多様性減少、特定属種(マラセチア属など)の増加)が宿主(ヒト)の免疫応答や健康状態にどのような影響を及ぼすか、現時点では不明な点が多いばかりか、予測するための基本的な知見も十分ではない。

本研究では、これまでに実施された 20 名の宇宙飛行士を対象とした研究に引き続き、1 年間 ISS に滞在する宇宙飛行士を対象に鼻腔、咽頭、皮膚から資料を採取し、真菌量および真菌属種の継時的変化を解析し、評価する。また、短期滞在、半年滞在の宇宙飛行士 20 名から得られた解析結果と併せて、フライト期間や生活習慣(一般的なスキンケア等)等との関係についても明らかにする。

サンプルから培養された真菌のコロニー



5. アウトリーチ・教育分野

相羽達弥・須藤正道・太田敏子・尾田正二・石田 暁・山田 深・大島 博・向井千秋

宇宙医学生物学の重要性や波及効果を広く一般の国民や次世代を担う子どもたちに伝え、宇宙医学生物学の発展及び宇宙環境利用の促進につなげることを目的に、我々は宇宙医学生物学研究のアウトリーチ活動に取り組んでいる。

1. 宇宙医学生物学研究の成果の公表

【展示室・講義室】

これまでに地上や軌道で行われてきた宇宙医学生物学研究の成果を公表するため、筑波宇宙センター内の専用展示室において、ポスター掲示や宇宙医学生物学研究に利用する物品等を用いて研究紹介を行っている。また、「宇宙環境下で生じる生理学的変化」を題材とした体験を取り入れた展示、展示室に併設している講義室を利用して医学部生などに向けた宇宙医学生物学研究の講演を行っている。

2. 宇宙医学生物学研究の理解と健康増進

【国際教育プログラム「ミッション X」】

体力は人間の発達や成長を支える基盤であり、創造的な活動をするために重要な役割を果たすとともに、意欲や気力といった精神面の充実にも大きく関わっている。将来を担う子どもの体力向上は人類の発展のために重要な課題であり、豊かな人間性を育むためにも、幼少期から健康に配慮し、基礎的な体力の向上をはかる習慣を身につけることは不可欠である。

現代社会が抱える肥満等の健康・生活習慣問題に対して宇宙医学生物学研究を利用した

わかりやすく魅力的な児童向け教育プログラムを利用する取り組みを進めている。NASA を中心として、児童(8~12歳)への健康教育(栄養と運動)を主たる目的に、宇宙飛行士の健康管理をモチーフにした児童向けのトレーニングプログラム「Mission X: Train Like an Astronaut、ミッション X: 宇宙飛行士のように心身を鍛えよう」に2011年より協力し、日本国内での活動を進めている。栄養と運動に関する国際間共通教材の他、有人宇宙活動・微小重力環境における体の変化について当研究室独自の教材を作成し、ミッション X の導入授業も併せて行っている。2011年度のミッション X 参加開始から2013年度まで、約3,400名を超える日本国内の児童が参加し、世界全体では50,000名も参加する大きなイベントに成長している。2014年度は日本国内だけでなく、アジア諸国に向けてミッション X プログラムを紹介し、2015年3月のクロージングイベントでは、日本国内の児童とともに、アジアのいくつかの国と交信する国際交流を計画している。宇宙教育センターとも連携し、教員研修、出張講演などを進め、ミッション X を通じて宇宙医学の理解増進を図っている。



6. 搭載準備・軌道上実験運用分野

石田暁・相羽達弥・野沢佑子

1. 軌道上実験の準備段階と実際の実験運用

宇宙医学生物学研究室では、国際宇宙ステーション(ISS)に長期滞在する宇宙飛行士を対象とした医学研究データの取得を確実にするため、研究者側からの要求や運用上の制約等を踏まえて、軌道上実験の準備段階から実際の実験運用まで、国内外の関係者と随時調整を行いながら以下の作業を実施している。

●実験用機器の搭載準備

(軌道上で取得したデータ・試料サンプルの帰還回収準備を含む)

ロケットへの搭載やISSでの運用にあたり、事前に必要な実験機器の地上検証試験や改修整備、その結果に基づく安全審査、射場作業や打上げの計画調整、軌道上実験後の取得データを地上へダウンロード、試料サンプルを帰還回収するための計画調整等を行っている。

●軌道上での実験運用の事前準備・計画調整

軌道上実験のスケジュール調整、宇宙飛行士の軌道上作業時間の確保、軌道上運用手順の作成・調整、ISS内のインフラ使用計画や地上運用チームの支援計画を含む実験運用の前提・制約などの調整を行っている。

●宇宙飛行士への訓練・飛行前データ取得

宇宙飛行士が飛行する前に、軌道上実験内容の訓練、飛行前のベースラインデータ取得を行っている。

●実際の実験運用

実験運用管制室にて作業の進行を確認し、

宇宙飛行士の作業を地上から支援、実験の成否確認(取得データをダウンロードした場合のクイックレビュー等)、必要に応じて研究者側への技術支援、実験機器に不具合が発生した場合の対応等を行っている。

●軌道上実験後の試料サンプル回収、飛行後データ取得、デブリーフィングの実施

帰還回収された試料サンプルの射場処置(輸送準備)、宇宙飛行士の飛行後のベースラインデータ取得を行っている。また、飛行後の技術デブリーフィングを実施し、今後の軌道上実験に反映すべき課題等を整理している。

2014年度は以下の医学研究実験について、搭載準備・軌道上実験運用を実施した。

(1)「長期宇宙飛行時における48時間心臓自律神経活動に関する研究」

2011年度に軌道上実験が終了した24時間心電図測定の結果から、より長周期の心電図データを獲得する必要があるという研究者側の要求に応え、2012年度から48時間連続の心電図測定を開始した。心電図測定に加えて、その2日前から心電図測定終了までの96時間にわたり睡眠覚醒状態を把握する必要もあることから、並行して活動量の測定も開始した。長時間にわたる安定した測定を維持するため、計測機器の運用手順や飛行士への訓練内容、想定される不具合への対処方法の充実を図った。

2014年度までに、7名分のデータ取得を完了するとともに、1年長期滞在ミッション参加飛行士の飛行前ベースライン用データ取得を

行った。1年滞在する宇宙飛行士のデータも含めて、1年以上の宇宙滞在が、生体リズムにどのような攪乱を惹起するかについても検討することとしている。

(2)「ISSに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価研究」

身体に付着したISS船内菌を起床時の洗面前に採取することとし、サンプルの採取時期と地上への回収方法の運用上の制約から冷蔵・冷凍保存の形態を使い分けている。

2014年度は1年長期滞在ミッション参加飛行士の飛行前ベースラインデータ用のサンプルを回収し、研究者への引渡しを完了した。

(3)「宇宙環境における健康管理に向けた免疫・腸内環境の統合評価」

飛行士から糞便・唾液を採取し、冷凍保存にして地上へ回収するもので、2015年開始予定の軌道上実験に向けて必要な実験器具の

地上検証試験や安全審査、打上げの計画調整を行った。また、並行して軌道上実験のスケジュール調整、宇宙飛行士の軌道上作業時間の確保、軌道上運用手順の作成・調整を行っている。

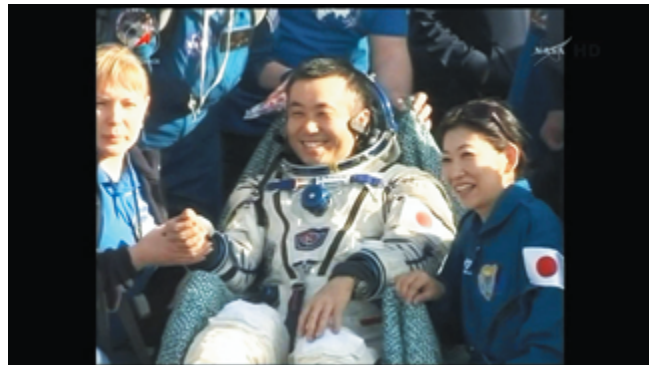
(4)「無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立」

長期宇宙滞在後の頭蓋内圧の上昇と視神経乳頭浮腫や視機能変化との関係性を評価するために、飛行の前後に、地上にて非侵襲的に血圧と脳血流速度の波形を記録・解析する。軌道上では顔写真データの取得と問診を行い、取得されたデータは随時衛星回線を使用してダウンリンクする。

2014年度は半年滞在飛行士3名分及び1年長期滞在ミッション参加飛行士1名分の飛行前ベースライン用のデータ取得を行い、研究者への引渡しを完了した。



クルー打上げ



クルー帰還



冷凍庫にサンプルを保管

2. 国際宇宙ステーション 1年長期滞在ミッションでの宇宙医学実験の参加

長期間での宇宙環境における人体への影響を理解し、火星や小惑星への有人ミッションの医学的リスク管理評価を目的とし、2名の宇宙飛行士が2015年3月から国際宇宙ステーションにおける1年長期滞在ミッションを開始する。

将来の有人ミッションは国際協力が不可欠であり、この1年長期滞在ミッションでも、国際宇宙ステーション参加各国間がデータ共有し、最小限の資源で多くの医学的知見を得ることを目指している。宇宙医学生物学研究室は、1年長期滞在ミッションに参加し、3つの医学実験のデータ取得をおこなう予定である。選定された以下二つのテーマについて、2013年4月よりプロジェクト移行審査および軌道上実験移行審査に向けた準備・調整作業が開始されている。



NASA

宇宙飛行士健康管理グループ活動内容

1. 研究テーマ

宇宙日本食パッケージの改良

宮本正明・佐藤勝・齋藤久美子・岩佐俊一

惑星探査や月面滞在等の有人宇宙長期ミッションを見据え、宇宙日本食の長期賞味期間を実現することを目的として、宇宙日本食用パッケージの開発を進めている。

食品劣化の大きな要因として「大気中の酸素に起因する食品酸化」が挙げられる。保存食として加工された宇宙日本食は、通常脱気包装され1.5年の常温保存に耐え得るように包装されている。しかし、パッケージ内に残された残留酸素や、極僅かではあるがスパウトやセプタム部分を通して漏れ込む酸素分子により、食品は長期(3~5年以上)保存中に、徐々に酸化が進行し風味が損なわれていくものと推定される。

本改良においては、従来の加水型(W)パッケージにセパレータとして酸素透過フィルムを用いて2層化し、食品と脱酸素剤を分離包装する構造とした。

本構造を採用することで、従来の加水型(W)パッケージに脱酸素剤による酸素吸着機能を付加し、食品劣化対策と加水食品の調理性を両立させた「新型の加水型(W)パッケージ」を試作した。

新型の加水型(W)パッケージに、食品と脱酸素剤を封入し内部酸素量の時間変化を評価した結果、十分な脱酸素機能(図1参照)を確認することが出来たため、従来1.5年の賞味期限であった宇宙日本食「白飯」「赤飯」「山菜おこわ」「おにぎり鮭」「緑茶」「ウーロン茶」「わかめスープ」を「新型の加水型(W)パッケージ」に梱包(図2参照)し最長5年間の保存試験を開始した。

今後、保存試験の結果を評価し、対象とした宇宙日本食の製造企業には、1.5年の賞味期限を延長する変更申請を実施していただく予定である。

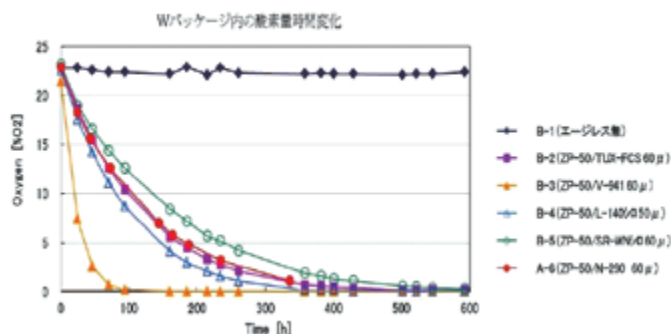


図1 Wパッケージ内の酸素量時間変化



図2 新型の加水型(W)パッケージ

2. 健康管理

フライトサーजन (FS)

富士原亨・菊地知子・鈴木豪・松本暁子・三木猛生・小池 右・緒方克彦

○はじめに

国際宇宙ステーション(ISS)に滞在する宇宙飛行士は、軌道上だけではなく、地上に置いても飛行前、飛行後の健康状態に十分に留意する必要がありますが、彼らを総合的に健康管理するのがフライトサーजनである。本稿では、平成26年度のFSの活動を紹介します。

○体制

FSは医師の資格を持った者が、航空医学、宇宙医学、産業医学、潜水医学などの専門知識を学び、国内審査会にて認定されたのちに、ISS加盟5極が参加する医学委員会にて認定され、ISS FSとして実運用に携わる。

本年度はJAXAから2名のISS FSが誕生した。また、FS経験者の中から非常勤として業務をサポートする体制も整ってきた。

○ミッションサポート

1. ISSミッションサポート：第38次/第39次長期滞在若田飛行士医学支援を、専任FSを中心に、平成25年11月7日から平成26年5月13日までの188日間のフライト期間、および飛行前、帰還後で実施した。

2. NEEMO18ミッションサポート：平成26年7月21日から29日までの9日間、長期滞在向けた訓練の一環として、星出彰彦宇宙飛行士が第18回NASA極限環境ミッション運用(NASA Extreme Environment Mission Operations: NEEMO)に参加し、フロリダ州キーラーゴでの現地医学支援を実施した。

3. 冬季サバイバル訓練サポート：平成27年2月2日から3日間、モスクワ郊外、ガガー

リン宇宙飛行士訓練センターでの大西宇宙飛行士の冬季サバイバル訓練の医学支援を実施した。

4. ロシア水上サバイバル訓練サポート：6月30日から5日間、モスクワ郊外ノギンスクのロシア非常事態省の施設内にて大西宇宙飛行士の医学支援を実施した。

○国際会議

毎月開催される多数者間医学運用パネル(Multilateral Medical Operation Panel: MMOP)および多数者間宇宙医学委員会(Multilateral Space Medicine Board)に参加し、ISSにおける医学運用上の問題や、宇宙飛行士の医学認定を実施、MMOPの作業部会のうち、精神心理ワーキンググループ(8月4日~8月8日)、放射線ワーキンググループ(10月20日~23日)、微生物サブワーキンググループ(10月28日~30日)、空気質サブワーキンググループ(3月16日~19日TBD)の会議が日本で開催された。

○今後の展開

ISS長期滞在ミッションへのJAXAの参加は若田飛行士の第39次をもって5回を数え、医学支援も定常化しつつある。今後、我々はISS医学運用を確実に遂行すると共に、蓄積された医学支援技術をもって、宇宙医学生物学研究室と表裏一体となり、地球低軌道を越えた有人宇宙探査に向けて、具体的なシナリオに基づいた課題の抽出と解決策の検討を実施していく。

環境管理

山村侑平・嶋宮民安・馬場尚子・京田真理・三木猛生

ISS 環境管理

○はじめに

国際宇宙ステーション(ISS)の船内環境は滞在する宇宙飛行士の生命維持のみならず、健康状態、作業パフォーマンスに影響する。本稿では、ISS 船内環境を監視し、環境上の諸問題に対処する環境管理担当(Health Environment Specialist;HES)の活動について紹介する。

○ISS 環境監視の現状

ISS には生命維持、環境監視機器が搭載されており、船内圧力、酸素、二酸化炭素濃度など、生命に直結するものを含め様々なデータを各極の地上管制局が 24 時間体制で監視し続けている。一方、軌道上の環境監視機器のみでは分析しきれない化学物質や微生物の詳細な分析については空気や水サンプルを地上に持ち帰り、医学運用チームに属する各極の環境管理担当が分析、評価を行う。空気、飲料水、表面に存在する微生物は軌道上で採取、簡便なコロニー計測がなされるが、詳細な種の同定は地上に持ち帰り行われる。飲料水の有機炭素含有率は軌道上で計測されるが、化学物質や微量元素の分析は同様に持ち帰り行われる。空気の揮発性有機物(VOC)についても持ち帰ることが必要である。

○JAXA 環境管理担当の役割

ISS の環境監視システムのデータ、および地上分析結果は各極に共有される。JAXA では環境管理担当(J-HES)がデータの評価を行う。日本人宇宙飛行士がISS滞在中は平日1日1回、それ以外の期間は1ヶ月に1回、評価結果を関係者に報告する。ISS 船内環境に異常が

認められた場合には、経過や原因究明、問題処置状況の確認を速やかに実施する。

○環境上の諸問題への対処

ISS の主要な生命維持、環境監視システムはNASA/ロシアが維持しているが、ISS 船内環境上の課題や諸問題は各極が連携して対処する。MMOP (Multilateral Medical Operations Panel)に環境管理ワーキンググループ(EHWG)が設置されており、専門領域ごとに空気質、水質、微生物、騒音のサブワーキンググループが構成されている。J-HES は其々のサブグループの協議に参加し、横断的に活動する。各サブワーキンググループでは、年に1度 Face to Face 会議が開催され、2014 年度は空気質、微生物サブワーキンググループの会議を筑波宇宙センターで開催した。

○今後の展開

ISS の環境監視機器や手法については生命維持システムに比べ自律性、リアルタイム性に乏しい。想定される国際宇宙探査では、低軌道のISSと異なり、サンプルを頻りに地上回収することができない。そこで、宇宙船内で結果を得られる計測手法が必要となる。船内は容積・電力といったリソースに制約があり、各極は分析装置の小型・省力化に取り組んでいる。また、限られたクルータイムを極力ミッションへ配分するため、分析機器の操作は簡便かつ短時間である必要がある。EHWG の各サブワーキンググループでは、例えば軌道上で微生物の種を同定できる分析装置といった自律的かつリアルタイムで利用できる環境監視システムの開発検討を進めている。

放射線被ばく管理

松村智英美・金子祐樹・佐藤勝

ISS 搭乗宇宙飛行士に対する放射線被ばく管理運用について

JAXAにおける放射線関連業務に関して、宇宙飛行士の健康管理の一環で行っている放射線被ばく管理運用について紹介する。

地上から約 400km上空を飛行する有人宇宙施設である国際宇宙ステーション(International Space Station; ISS)では、宇宙放射線により人体被ばくし、その量は一日で約 0.5~1mSv(地上の約半年分)におよぶ。そのため、ISS に滞在する宇宙飛行士への宇宙放射線等による健康への影響を最小限に抑えるために、ISS に

参加する各機関と協力し、JAXA では放射線被ばく管理運用を行っている。

運用としては、ISS 搭乗宇宙飛行士に特化した生涯線量制限値を JAXA として定め、この値を超えないように管理を行っている。特に宇宙飛行士の ISS 搭乗中の被ばく管理運用においては、宇宙環境の変動により宇宙放射線量が激しく増減するため、即時の対応を行うために宇宙環境監視と宇宙天気予報による情報取得を行っている。また、緊急帰還時の線量評価のために、バイオドシメトリ運用(被ばくする線量により染色体異常が発生し、その量から被ばく線量を求める手法)も行っている。

JAXAの定めるISS搭乗宇宙飛行士の生涯実効線量制限値

初めて宇宙飛行を行った年齢	男性の制限値	女性の制限値
27~30歳	0.6Sv	0.5Sv
31~35歳	0.7Sv	0.6Sv
36~40歳	0.8Sv	0.65Sv
41~45歳	0.95Sv	0.75Sv
46歳以上	1.0Sv	0.8Sv

※Sv：シーベルト

※出典：[国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士被ばく管理規程（2013年6月26日改正）](#)

精神心理支援

菊地知子

国際宇宙ステーション(ISS)に長期滞在する宇宙飛行士の精神心理的健康状態の維持は、ミッションを成功に導く上で必要不可欠な要素である。地上から隔絶された国際宇宙ステーション(ISS)での生活は、地上生活とは異なり、様々な精神的ストレス因子が生じる。例えば、閉鎖環境生活での情報制限による孤独感、異文化コミュニケーション、危険を伴う環境下による緊張感、職住境界がないことなどが挙げられる。また、補給船やソユーズのISS到着対応として定期的に生じる Sleep Shift(起床・就寝時刻の変更)も身体的ストレス因子として見過ごせない。JAXA 精神心理支援担当は宇宙飛行士の精神心理的適応状態を適宜確認し、必要な場合には適切な対策を講じるほか、リラクゼーションのための情報や娯楽コンテンツをISSに提供している。

日本人宇宙飛行士のISS滞在中には、定期的にテレビ電話を用いた精神心理支援担当との面談(Private Psychological Conferences; PPC)を実施する。PPCと併せて実施する認知機能検査や情動評価テストの結果を加味して、作業能率や全般的な心理的負荷の評価を行う。テレビ電話による面談は隔離感や孤独感の低減を目的としても用いられており、家族・友人との会話(Private Family Conference; PFC)を毎週末行うことができる。職場の同僚や同窓生、母校などとの交信イベント(Private Special Conference; PSC)も不定期に実施される。他には、宇宙飛行士への情報提供用Webページ(Crew Personal Webpage; CWP)を用いたニュースやTV・ラジオ番組などの提供のほか、書籍等や家族からの差し入れ(手紙や食品など)がCrew Care Package(CCP)としてISSに届け

られる。家族との会話や交信イベントで得られる楽しみ、娯楽によるリラクゼーションはストレス軽減に大きく貢献している。2013年11月～2014年5月の若田宇宙飛行士のISS長期滞在時にはこれらの精神心理支援を行った。

宇宙飛行士に生じる精神心理的な諸問題は、所属する各機関が責任を持ち対処する。一方、ISSで共通する精神心理的課題や諸問題は各極が連携して対処する。多数者間医学運用パネル(Multilateral Medical Operations Panel)の傘下に精神心理ワーキンググループ(Space Human Behavioral Health Working Group; SHBPWG)が設置されており、2014年度にはISS運用における脱同調(Circadian Desynchrony)ガイドラインを制定した。睡眠や時差ボケに関する教育と訓練、睡眠評価、投薬と副作用の評価、そして、出張・シフト勤務計画時の相談等、訓練を含むISS搭乗に係り生じうる脱同調に対し指針を整備した。JAXAでは、閉鎖環境でのストレス評価や装備品開発の検討を進めており、ガイドラインで定めた睡眠評価への寄与が期待されている。他にも、SHBPWGは2015年の米露の宇宙飛行士2名によるISS1年滞在ミッションに向けて、MMOPへ精神心理的観点からの勧告を策定した。尚、SHBPWGは年1度、Face to Face会議を開催しているが、2014年度、我国には初となるホスト国を経験した。

現在ISSで用いられている精神心理支援の手法はリアルタイム通信が前提となっている。想定される宇宙探査では、低軌道のISSと異なり、従来の手法をそのまま適用できない。そこで、新たな精神心理支援の手法が必要となる。現在、JAXAの将来探査訓練の構想を基に

精神心理的リスク評価、精神心理的対策案作成など、精神心理訓練の開発研究に取り組んでいる。

2015年5月から油井飛行士がISSへの長期滞在を開始する。ミッション成功に向け、精神心理支援の内容を更に充実させていきたい。

運動生理的対策

金子祐樹・神山慶人・川島柴乃・山田深・大島博

長期宇宙滞在有人ミッションにおいては、宇宙飛行士の健康を最適な状態で維持し、最適なパフォーマンスを保つことが重要である。宇宙国際ステーション (International Space Station; ISS) のような微小重力下の曝露による、約 6 ヶ月後の滞在では、滞在前より大腿部近位部の骨量は 10% 程度、下腿三頭筋量は 30% 程度、最大酸素摂取量は 11% 程度低下することが報告されている。これらの生物学的悪影響への対策は運動が主となるため、JAXA 運動生理的対策担当者は Exercise Countermeasure を主領域として担当している。

飛行士に対する生理的対策は、ISS 搭乗に指名されるまでの 1. 飛行任務期間外、指名後 ISS に搭乗する前までの 2. 飛行前、ISS 搭乗中の 3. 飛行中、ISS から地球へ帰還した後の 4. 飛行後と期間を大別し、各期間で目的別に対策を講じている。各期間の運動について下表 1 に整理した。

これらの中で、飛行中の運動は宇宙飛行士の限られた時間を費やして実施されるため、より効率的な運動プログラムの構築へ向けた研究なども軌道上実験として進められている。

また、ISS へ搭載されている運動機器の運用及びメンテナンスに関する情報管理なども長期滞在ミッションに関わる運動生理的対策の範疇となる。

我々 JAXA 運動生理的対策は各局との協体制を維持発展しつつも、独自の運動生理的対策運用へ受けたノウハウの獲得と技術向上を図り、引き続き継続される ISS 長期滞在ミッションの成功、更には月・火星などを視野に入れた長期にわたる有人深宇宙探査プログラムの実現へ向け、最適な運動プログラムを提供し、国際的にも貢献できるよう役割を果たしていきたい。

表1. 各期間における運動について

	1. 飛行任務期間外	2. 飛行前(打ち上げ約2年前~)	3. 飛行中 (ISS滞在中)	4. 飛行後(帰還後45日間)
目的	宇宙飛行士に必要な各種訓練時の外傷等の予防 各種訓練を効果的に遂行するための体力の維持向上	ISS搭乗及びISSでの活動に必要な各種訓練時の外傷等の予防 各種訓練を効果的に遂行するための体力の維持向上 微小重力による筋萎縮や心肺機能の低下に備えた体力の向上 ISSでの運動に素早く適応できるための運動フォームの獲得/運動機器操作の習熟	ミッションを無事完遂するための外傷等の予防及び体力の維持向上 船外活動に向けた体力維持 帰還後リハビリテーションを効率的に実施するための体力維持	日常生活への早期復帰 飛行前の体力水準への回復
頻度及び時間	飛行士各自で設定	週2回、2時間	週6回以上、2.5時間	毎日2時間(休日除く)
種目	有酸素、抵抗運動	有酸素、抵抗運動	有酸素、抵抗運動	有酸素、抵抗運動、柔軟運動、体幹運動、ファンクショナルトレーニング

宇宙食・生活用品

岩佐俊一・松村智英美・宮本正明・齋藤久美子・佐藤 勝・相羽達弥

1. 宇宙日本食の現状と今後の展開

○はじめに

宇宙食は、国際宇宙ステーション(ISS)の宇宙飛行士に供される食品です。宇宙食は当初、米国とロシアの宇宙食のみでした。しかし2004年に「ISS FOOD PLAN」が整備され、現在では日本を含むISS計画の国際パートナー各国が、ISSに滞在する自国の宇宙飛行士に宇宙食を供給しています。

○宇宙日本食の新規認証

JAXAでは、宇宙日本食の認証基準を定め、2007年から認証を開催しています。2014年9月に3食品を新たに認証し、現在は31品目(14社)となっています。

○宇宙食メニューに向けた候補食品募集と選定

宇宙日本食を用いた宇宙食メニューを検討中ですが、宇宙日本食には、「おかずとなる主菜や副菜」が少ないため、宇宙食メニューの作成に向け充実を図るため、認証候補食品を募集し33品目を選定しました。選定された候補食品が全て認証されると既存の認証食品と合わせて、64品目となります。

宇宙食メニュー作成では、栄養バランスや宇宙飛行士の健康維持に必要な栄養素等の観点で、不足する栄養素やそれら栄養素を補う食品等を専門家を交えて検討中です。

○今後の展開

今回の宇宙食メニューの検討結果により、次回以降の募集の必要性について検討しています。また、今後は、軌道上での滞在時の

人体リスクを低減する機能性を持った宇宙食の開発について検討を進める予定です。

2. 生活用品の現状と今後の展開

○はじめに

ISSに搭載する物品は、候補となる市販品をJAXA内で評価した上、「ISS生活用品カタログ」に掲載し、宇宙飛行士に提供していません。

○船内被服の機能評価のための評価基準・方法の設定

日本の繊維技術は世界的にもトップレベルの技術であり、様々な機能を持った繊維が生まれています。これらの高い技術を、宇宙飛行士の船内被服に取り込むことを目的に、船内被服の公募を行う計画です。これらの機能をもった被服を客観的に評価するため、吸水性、速乾性、抗菌、防臭、消臭等の機能についての評価基準と評価方法を取りまとめました。

○船内被服の毛羽低減技術の開発

ISS内のダストの7割を占める繊維クズの軽減を図るため、船内被服の毛羽低減のための加工技術を、「宇宙オープンラボ」共同研究制度を活用し、つくば繊維技研との間で共同で開発中です。

○今後の展開

検討した船内被服の機能評価の手法を用いて、高い機能を持った船内被服の公募を行い、民間企業との協力関係を構築する予定です。

宇宙環境利用センター活動内容（ヒト対象研究分野）

宇宙環境利用センター船内利用ミッショングループ 生命科学ミッション推進担当

白川正輝・三好寛

1. 概要

宇宙環境利用センターでは、国際的な枠組みや国内研究者を対象に公募し、「きぼう」を利用する実験テーマとして ISS・きぼう利用推進委員会を経て選定された、ヒト(宇宙飛行士)を対象とした研究、及び植物、細胞、線虫、水棲生物、小動物(マウス)等のモデル生物を用いた研究を推進している。このための実験装置・機器の開発、実験計画の策定、実験準備等を実施し、きぼう利用成果の創出を図っている。また、これらの宇宙環境を利用した研究を通して、宇宙飛行士のパフォーマンス向上、健康・医療に関する国の戦略的な研究の推進や地上における健康長寿社会実現への貢献を目指している。

本稿では、宇宙環境利用センター(生命科学ミッション推進担当)が2014年度に実施した有人分野(ISS 搭乗員対象実験)の実験概要と進捗、またヒトにつながるモデル生物として、マウスの「きぼう」内での飼育装置の開発を進めており、その概要を報告する。

2. 2014 年度に実施した ISS 搭乗員対象実験

(1) V-C Reflex「前庭-血圧反射系の可塑性とその対策」(代表研究者:岐阜大学 森田啓之)

前庭は頭の傾きや重力を感知する器官で、血圧の調節に重要な役割を果たす(前庭-血圧反射)。代表研究者らは、ヒトに対し、非侵襲的・可逆的に前庭-血圧反射を遮断する方法として、前庭系を外部から電気刺激する Galvanic Vestibular Stimulation (GVS)を考案した。

前庭系は、外部の環境によりその働きが変わりやすい器官であり(可塑性)、宇宙の微小重力環境のような地上とは異なる重力状況にいる宇宙飛行士は、前庭-血圧反射の調節力が低下し、宇宙から帰還直後は、立った時に血圧が低下して、起立耐性が低下する可能性がある。本実験は、宇宙滞在により前庭-血圧反射の調節力の変化を調べることを目的とする。

実験は、地上のみで実施し(軌道上実験なし)、宇宙飛行士に 60° の起立試験を行った場合の血圧、心電図、下腿容積を測定する(図 1)。条件は、GVS の有無およびその刺激の強さによって、①GVS なし、②強い GVS 印加(前庭-血圧反射をブロック)、③弱い GVS 印加とする。測定は、前庭-血圧反射の調節力が宇宙滞在によりどの様に変化するか、及び帰還後の回復経過を調べるため、打上げの 3~1 ヶ月前、帰還後 3 日以内、2 週間後、2 ヶ月後の計 4 回の実験を行う。2012 年度より実験(データ取得)を開始し、既定の被験者数になるまで継続する。図 2 は 2 名の時点でのデータの一例を示す。これまでの結果から、長期(4~6 ヶ月)の宇宙滞在により、前庭-血圧反射が全く働かなくなるが、約 2 ヶ月かけて徐々に回復してくることが分かった。

起立性低血圧、起立時のふらつきや転倒は、帰還直後の宇宙飛行士と高齢者に共通の症状であり、前庭系の機能低下が共通の原因である可能性がある。本実験の成果は、地上の高齢者の健康維持にも役立つと期待される。

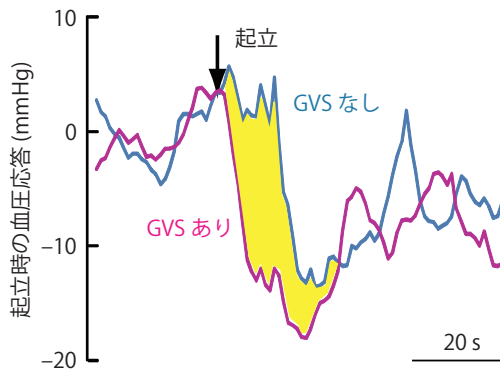
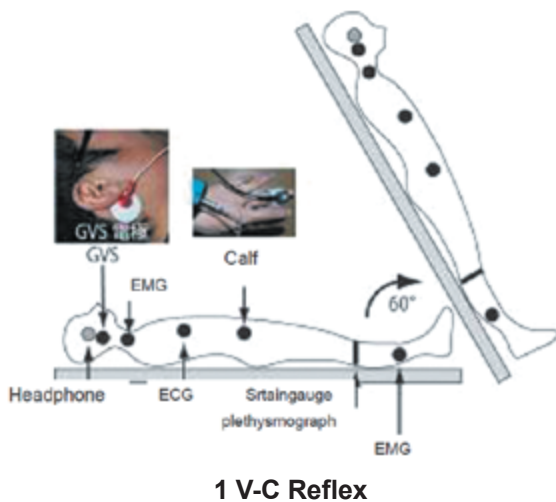


図2 宇宙滞在前の起立時の血圧応答。GVSなしとGVSありの血圧応答の差（黄色の部分）が前庭-血圧反射の大きさを表す。

(2) Hybrid Training「国際宇宙ステーションに長期滞在する宇宙飛行士の筋骨格系廃用性萎縮へのハイブリッド訓練法の効果」(代表研究者:久留米大学 志波直人)

筋肉や骨は負荷が加わらないと廃用性萎縮を起こすことが知られている。宇宙に長期間滞在する宇宙飛行士の大きな問題のひとつは、微小重力による筋肉や骨の廃用性萎縮であり、宇宙飛行士はISSにおいても日常的に運動を行っている。ISSでの筋肉トレーニング用装置はラック1台分と非常に大きいが、代表研究者らは、宇宙飛行士の筋肉や骨に効率よく負荷を与え、維持するための小型で簡易なトレーニング装置として、ハイブリッド訓練装置(HTS)を提案した(図2)。HTSは、肘を伸ばす運動を

行う際に、同時に肘を曲げるための反対側の筋肉に電気刺激を加え収縮させて伸ばす運動の抵抗にする、という原理の装置で、曲げる運動ではこの逆となる。10回の屈伸運動をすると、曲げる筋肉と伸ばす筋肉は電気刺激による収縮と自身の意思による収縮を交互に10回ずつ繰り返すため、それぞれ合計20回収縮する。骨には、これら収縮する筋肉の合計の負荷が20回加わることになり、効率よく筋肉や骨に負荷を与えることができる。

HTSのISSでの最初の検証実験として、2014年に、宇宙飛行士の片側上腕の筋肉の萎縮を防ぐ効果を確認し、宇宙での機能や操作の検証を行った。

実験の結果、装置の不具合や宇宙飛行士への有害事象の発生は無く、予定した12回のトレーニングを予定通り完了し、HTSは微小重力環境でも問題なく使用できることが分かった。また、筋肉や骨の廃用性萎縮予防効果の可能性を示唆するデータが取得できた。



図3 ハイブリッドトレーニング用電気刺激装置(左)、上肢電極等装着用サポータ(右)

(3) Synergy「長期宇宙滞在飛行士の姿勢制御における帰還後再適応過程の解明」(代表研究者 JAXA 石岡憲昭)

宇宙飛行士は、帰還直後には歩行がスムーズにできないことが知られている。特に宇宙飛行士の健康維持という観点からは、骨密度の低下や筋肉の萎縮に対する研究が数多くなされてきている。しかしながら、長期宇宙滞在からの帰還後の下半身の様々な骨格筋の働きの関係や平衡感覚などの体のバランス感覚(体性感覚)がどのように地上に再適応してい

くかに関する総合的な研究は非常に少ない。

本研究では、長期宇宙滞在からの帰還後の宇宙飛行士における下半身の骨格筋の活動パターンとバランス感覚の適応過程に注目し、宇宙飛行士の帰還後のリハビリテーション法に応用できるデータを計測することを目指している。具体的には、長期宇宙滞在前・帰還後の宇宙飛行士における拮抗筋の筋活動パターンを比較すること、ふくらはぎ側の血流を測定すること、帰還後の重心移動を明らかにすることによって、長期宇宙飛行に生じるそれらの生理的な問題点を検討し、この問題点を解決するための基礎的なデータを得ることを目的としている。

本実験では、宇宙飛行士における帰還直後の歩行が困難となる原因は、長期宇宙滞在に適応した拮抗筋の拮抗状態が変化すること、および前庭系・小脳でのバランス感覚調節が帰還直後に地上に再適応しきれていないという仮説に基づいて、長期宇宙滞在した宇宙飛行士の軌道上滞在前・帰還後からの、①拮抗筋の共収縮、②脚の血流、③バランス感覚の地上への適応過程を観察する。2014年度は、実験の準備を完了し、最初の宇宙飛行士に対する飛行前、帰還直後のデータ取得を行った。

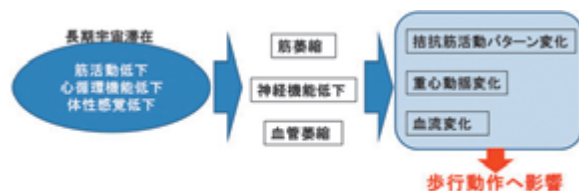


図 4 長期宇宙滞在による歩行動作への影響の要因

3. 「きぼう」での小動物実験準備

2016年以降の国際宇宙ステーション(ISS)計画への参加継続方針を踏まえ、国際宇宙ステーション・きぼう利用推進委員会において、2020年までを見通した「きぼう」利用シナリオを2012年4月にとりまとめた。きぼう利用シナリオ(生命科学分野)において、基礎科学研究のみならずヒトへの応用を視野に入れたモデル生物として小動物(マウス等)を用いた実験環境が必須と提言された。これを受けて、JAXAとして小動物を用いた宇宙実験に主体的に取り組むことを目指し、JAXAと科学コミュニティが一体となって小動物実験環境の整備を進めている。

ISSでのマウスを用いた実験は、イタリア宇宙機関が2009年に実施し、米国(NASA)も2014年から実施している。JAXAの実験装置は後発ではあるものの、以下のような他国にない特徴を有し、国際協力による相互の実験環境の補完や連携によりISS全体として成果の拡大が可能である。

- ① 軌道上の微小重力環境と遠心機による人工重力環境の両方で飼育でき、両群の比較により重力の影響を詳細に調べることが可能(ISSでの哺乳類の人工重力実験は世界初)
- ② 地上の研究者による専門的な解剖や組織保存、回復過程の観察が可能となるよう、生存回収を目指す。
- ③ 個別ケージでの飼育により、マウスの性別や種別に大きな制約がなく、各個体の詳細な観察が可能。

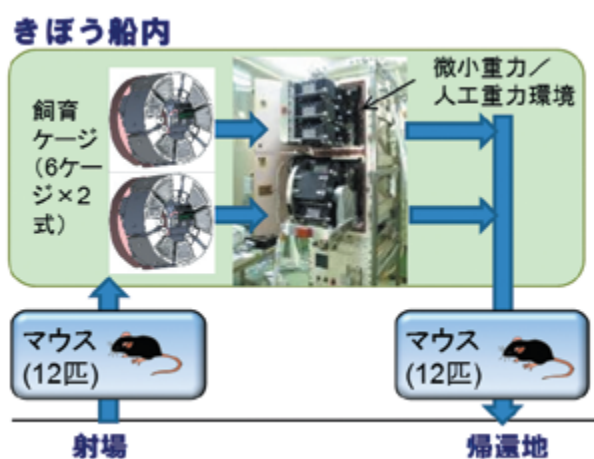


図5 JAXA 小動物実験のコンセプト

本装置の軌道上飼育ケージのイメージを図5に、主な仕様を表1に示す。2014年度に本装置の詳細設計審査を完了し、フライト品の製作・試験に着手している。また、本装置を用いる実験テーマとして、選定された生命科学分野及び宇宙医学分野の重点課題が2012年に選定されており、2015年度の実験実施を目指し実験準備を進めている。

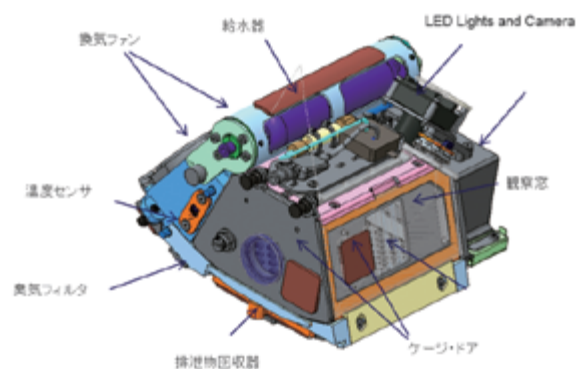


図6 軌道上ケージシステム

表1 軌道上飼育ケージの主な仕様

飼育数	マウス 12 匹 ($\mu\text{G} : 6$, 人工重力:6) オス又はメス
飼育方法	個別飼育 (1 匹/ケージ)
飼育期間	30 日 (ケージユニットの交換により最大 6 か月間)
給餌・給水機能	固形餌の押し出し。自動給餌/給水 (クルーが定期的に補充)
排泄物処理	ケージ外部に排泄物回収器を設置し集積 (クルーが定期的に交換)
観察	<ul style="list-style-type: none"> ・暗視機能付ビデオカメラ (1 台/ケージ) による連続撮影 ・観察面清掃機能 (ワイパ)
照明	<ul style="list-style-type: none"> ・白色照明 (約 50lx) 及び赤外照明 (夜) ・昼夜サイクル時間の設定可能

宇宙環境利用センター きぼう有償利用担当

大島博・木村雅行 (株)ヤクルト本社)・坂下哲也

研究テーマ名：「閉鎖微小重力環境下におけるプロバイオティクスの継続摂取による免疫機能及び腸内環境に及ぼす影響の検討」 (JAXA/株)ヤクルト本社の共同研究)

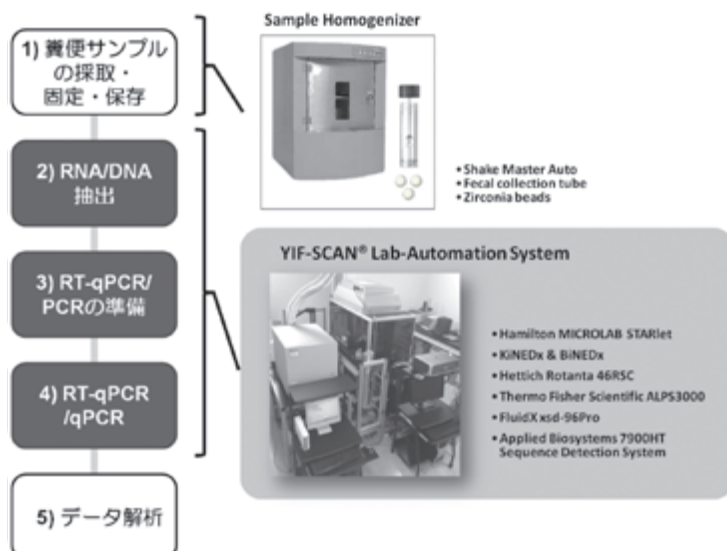
【背景】ISS長期滞在は、免疫機能(NK細胞活性)の低下 や腸内細菌叢の乱れなど、宇宙飛行士の身体リスクが増大することが知られている。本研究は、これまでに 80 年の歴史を持つ(株)ヤクルト本社のプロバイオティクス製造技術と JAXA の宇宙技術の連携により実現した。本研究により、宇宙飛行士の健康管理、乳酸菌の宇宙食への応用、地上における健康長寿への応用などへの成果の波及が期待される。

【目的】地上では整腸作用や免疫因子の活性化作用が評価されているプロバイオティクスの継続摂取が国際宇宙ステーション(ISS)に長期滞在する宇宙飛行士の免疫機能に及ぼす影響を検証するとともに、宇宙飛行士の糞便の腸内菌叢を解析して免疫機能との関連性を考察する。

【方法】本研究は、乳酸桿菌L.カゼイ・シロタ株(LcS 菌)を宇宙飛行士に摂取してもらい、宇宙滞在中、及び飛行前飛行後の宇宙飛行士の糞便、唾液および、血液サンプル(血液は飛行前後のみ)をそれぞれ採取し、唾液・血液中の免疫パラメータ、および糞便中の腸内菌叢をハイスループットな菌叢解析装置:YIF-SCAN®(図)を用いて比較解析することにより、宇宙環境におけるLcS菌の効能を評価する。被験者は、摂取群 5人、非摂取群 5人とし、合わせて 10人の宇宙飛行士の承諾を得る予定である。

【状況】これまでに科学的な評価、および技術的検討状況の審査、日本国内の倫理委員会の審査を完了し、現在は運用準備フェーズに入っている。また、本テーマが初の試みとなる、生きた菌の打上げおよび軌道上での摂取に向けて、生菌の打上基準を整備中である。

今後、地上でのサンプル取得計画や軌道上運用計画の詳細化を行う。並行して、国際倫理審査および安全審査を受審し、実験の準備を進めていく予定である。



(図) 菌叢解析システム:YIF-SCAN®

出典:腸内細菌学雑誌 29:9-18, 2015

調布航空宇宙センター活動内容（ヒト対象研究）

ヒト対象研究

嶋田和人

ヒト対象研究について実施している研究の概要および進捗を以下に報告する。

1) 高々度飛行用与圧手袋への異方性素材の応用

JAXA では超音速機の開発を行っている。クルーシステムの一部である与圧服の手袋部分について従来と異なる構造にすることにより差圧による手指の機能低下を防ぐ検討を計画中。今年度は手袋に差圧をつけるグラブボックスの調達を行った。

2) 小型無人機と人体の衝突解析

運航システム・安全技術研究グループにて人体ダミーを用いて 5kg の飛翔体による外傷の測定を実施しており、その解析に参加中。

3) 微小重力下における質量測定研究

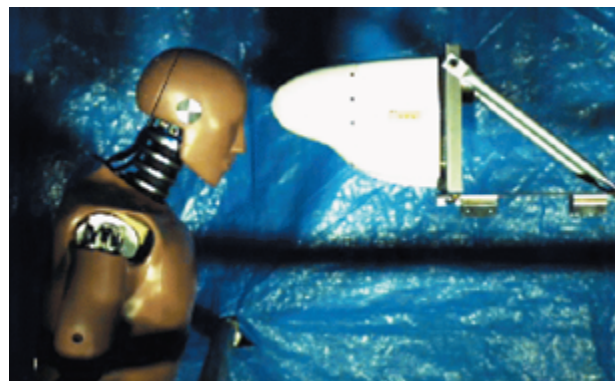
スカイラブで開発に使用された測定器の地上モデルのハードウェアの力学特性を群馬大学藤井研究室で測定しており、共同で論文を執筆予定。

4) ナノバブル水の応用研究

保存タンクを含む飲料水のライフサポートシステムでの消毒のためにナノバブル水を利用する検討を実施中。九州大学大平研究室にてナノバブル水中のバブル濃度・サイズ測定に目途がつき、人工組成によるナノバブル水の製造も可能となったため機材の素材との適合検査を企画中。

5) 安価な動脈血酸素飽和度計の実用性に関する研究

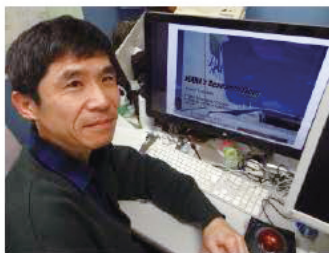
高々度での低圧生理に関連し、安価な動脈血酸素飽和度計の実用性についての検討を準備している。



ダミーを用いた衝突計測（高速度カメラ）

2014年 調布航空宇宙センター (ヒト関連研究担当)

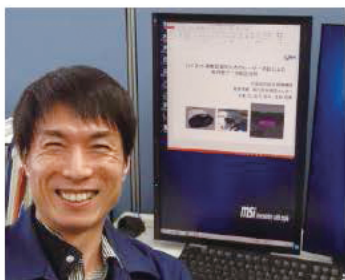
飛行技術研究センター



船引 浩平
Royal Aeronautical Society で
「JAXA's Research Fleet」口演



若色 薫
回転翼機ドームシミュレータの
プロジェクターシステム交換を
内作で低コストで完成



土屋 元
第 52 回飛行機シンポジウムで
「パイロット視覚認識のための
レーザー測距による実時間デー
タ検証技術」口演

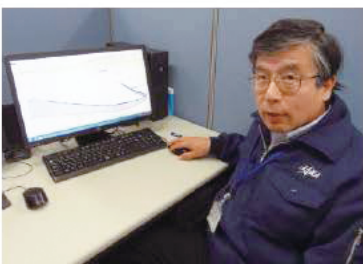


加藤 雅之
第 52 回飛行機シンポジウムで
「初等操縦訓練における Threat
and Error Management の理解
度の調査」口演



ATS シンポジウムで「滑走路誤
進入防止について」口演

野田 文夫



Quick Access Recorder の実デ
ータでクルーの操作を PC 上で
再現



Timo Riedel
ドイツからの実務研修生

機体システム研究グループ



中 右介
ソニック・ブームのシミュレ
ーションを実施中

Yusuke Naka. Subjective
evaluation of loudness of sonic
booms indoors and outdoors.
Acoust. Sci. & Tech. 34, 3
(2013): 225-228.

運航システム・安全技術研
究グループ

平林 大輔
無人機(5kg)の人体衝突につい
てダミー測定を実施

平林大輔, 石川和敏, 金子宣彦, 村
山勉「小型無人機の衝突安全の
研究」ISSN 1349-1113,
JAXA-RR-13-002, 2014.

マネジメント活動実績

● 有人サポート委員会 宇宙医学研究推進分科会 (開催場所：東京)

開催回	開催日	主な議題
第42回	2014年 2月3日	(1)研究進捗評価(審議) 1) 長期宇宙飛行時における48時間心臓自律神経活動に関する研究 2) 薬剤を用いた宇宙飛行中の骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究 3) 「きぼう」日本実験棟の運用管制職員を対象とした睡眠・生活習慣調査 4) 眼球関連情報を用いたヴィジランス評価法の開発 1) 長期宇宙飛行時における48時間心臓自律神経活動に関する研究 2) 薬剤を用いた宇宙飛行中の骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究 (2) 宇宙医学生物学研究に関する計画文書の改訂および制定に向けて(報告)
第44回	2014年 9月25日	(1)第43/44/45/46次(1年滞在)ミッションへJAXA宇宙医学研究テーマの参加について(審議) (2)研究進捗報告(報告) 1) 眼球関連情報を用いたヴィジランス評価法の開発 (3)国際宇宙探査に向けたJAXAの状況等について(報告) (4)「きぼう」利用テーマの進捗について(報告) (5)新規研究計画紹介 1) 惑星探査にむけたストレス蓄積評価および対策に関する研究 (6)若田飛行士のISS長期滞在飛行結果報告(報告)
第45回	2015年 1月9日	(1)研究終了評価(審議) 1) 低線量率・長期被ばくに対する宇宙放射線の生物影響 (2)新規研究計画評価(審議) 1) 惑星探査にむけたストレス蓄積評価および対策に関する研究 (3)フライト実験準備移行審査:外部科学評価(審議) 1) 閉鎖微小重力環境下におけるプロバイオティクスの継続摂取による免疫機能及び腸内環境に及ぼす影響の検討
第46回	2015年 3月6日	(1)書類審査結果の報告 1) 閉鎖微小重力環境下におけるプロバイオティクスの継続摂取による免疫機能及び腸内環境に及ぼす影響の検討 (2)新規研究計画評価(審議) 1) 惑星探査にむけたストレス蓄積評価および対策に関する研究 (3)研究終了評価(審議) 1) 骨格筋機能低下に対する温熱刺激を用いた予防策の実用化に向けた研究 (4)研究進捗評価(審議) 1) 眼球関連情報を用いたヴィジランス評価法の開発 2) 「きぼう」日本実験棟の運用管制職員を対象とした睡眠・生活習慣調査 3) 薬剤を用いた宇宙飛行中の骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究 4) 長期宇宙飛行時における48時間心臓自律神経活動に関する研究 5) 国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価 6) 無重力での視力変化等に影響する頭蓋内圧の簡便な評価法の確立

●有人サポート委員会 宇宙医学研究推進分科会 委員

	氏名	所属と役職
分科会長	里宇 明元	慶應義塾大学 医学部リハビリテーション医学教室 教授
専門委員	相澤 好治	北里大学 名誉教授
専門委員	石原 昭彦	京都大学 大学院人間・環境学研究科 教授
専門委員	河合 康明	鳥取大学 医学部 生理学講座 適応生理学分野 教授
専門委員	清野 宏	東京大学 医科学研究所 炎症免疫学分野 教授
専門委員	酒井 一博	公益財団法人 労働科学研究所 所長 常務理事
専門委員	関口 千春	医療法人美篤会 中原病院 副院長
専門委員	武田 洋幸	東京大学 大学院理学系研究科 教授
専門委員	立崎 英夫	独立行政法人放射線医学総合研究所 REMAT 医療室長
専門委員	田中 博	東京医科歯科大学 難治疾患研究所 生命情報学 教授
専門委員	松永 直樹	日本航空株式会社 健康管理部 主席医師
専門委員	山口 朗	東京医科歯科大学 大学院医歯学総合研究科 口腔病理学分野 教授
専門委員	横田 篤	北海道大学 大学院農学研究院 応用生命科学部門 微生物生理学研究室 教授

●人間を対象とする研究開発倫理審査委員会 委員

	氏名	所属と役職
委員長	飛鳥田 一郎	社会福祉法人 竹生会 理事長
委員	伊藤 正義	伊藤・清水法律事務所 所長
委員	奥田 純一郎	上智大学法学部法律学科 教授
委員	小川 明	一般社団法人共同通信社 客員論説委員
委員	中西 美和	慶應義塾大学理工学部管理工学科 准教授
委員	百村 伸一	自治医科大学附属さいたま医療センター センター長 (2014年12月退任)
委員	薄井 紀子	東京慈恵会医科大学 教授
委員	由利 伸子	サイテック・コミュニケーションズ 代表取締役
委員	横田 裕行	日本医科大学大学院 医学研究科外科系緊急医学分野 教授

●宇宙医学生物学ワークショップ

テーマ	開催日	場所	講演者（講演順）
「宇宙滞在による自律神経・循環機能の変化と対策—ISSでの研究成果と、今後の挑戦—」	2015年 2月20日	東京	大塚邦明 東京女子医科大学 客員教授 森田啓之 岐阜大学大学院医学系研究科 医科学専攻 神経統御学講座 生理学分野 教授 早野順一郎 名古屋市立大学 学院医学研究科医学 医療教育学分野 教授
「MissionXを題材とした科学コミュニケーションに関するワークショップ」	2015年 3月18日	東京	相羽達弥 JAXA 宇宙飛行士運用技術部 宇宙医学生物学研究室開発員 猿渡智衛 横浜市立永谷小学校 教諭 神奈川県生涯学習審議委員 高柳 雄一 多摩六都科学館 館長

●研修・見学

医学系大学（慈恵医科大学、杏林大学医学部、筑波大学医学類、自治医科大学医学部などの見学）に加え、中学・高校からの研修や見学、つくばサイエンスアカデミーによるサイエンスセミナーの受入も積極的に行っている。

個別活動報告

○大島 博

【論文】

1. 大島博: 無重力と骨・骨代謝 骨粗鬆症治療 13:108-112, 2014
2. 大島博: 宇宙飛行の骨量減少: 特徴、リスク評価、および予防対策 Medical Practice, 31:1943-1944, 2014
3. Matsuo T, Saotome K, Seino S, Eto M, Shimojo N, Matsushita A, Iemitsu M, Ohshima H, Tanaka K, Mukai C. Low-volume, high-intensity, aerobic interval exercise for sedentary adults: VO₂max, cardiac mass, and heart rate recovery. European Journal of Applied Physiology, 114:1963-72, 2014
4. Matsuo T, Saotome K, Seino S, Shimojo N, Matsushita A, Iemitsu M, Ohshima H, Tanaka K, Mukai C : Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on VO₂max and cardiac mass. Med Sci Sports Exerc. 46:42-50, 2014
5. Yamamoto N, Otsuka K, Kubo Y, Hayashi M, Mizuno K, Ohshima H, Mukai C.: Effects of long-term microgravity exposure in space on circadian rhythms of heart rate variability. Chronobiol Int. 13:1-14, 2014

【総説・著書】

1. 大島博: 宇宙医学と筋ジストロフィー ZSZ 療育 10-24, 2013
2. 大島博: 適度な負荷が骨量減少を予防する-骨に重力が必要な理由-Bon 立ち姿美人 夏号:11-12, 2014
3. 大島博: 「究極の予防医学」に挑戦する宇宙医学の可能性 TMDC Mate 284:6-7, 2014

4. 大島博: 運動と骨 イラストで徹底理解する骨疾患キーワード事典 (in press), 羊土社

【シンポジウム・講演会】

1. 大島博: 長期臥床と宇宙飛行の骨量減少リスクの予防、SAT テクノロジー・ショーケース 2014、2014年1月24日、つくば市
2. 大島博: 「宇宙と運動」-健康づくりへの運動継続の重要性-、若田宇宙飛行士国際宇宙ステーション交信イベント、2014年1月23日、つくば市
3. 大島博: 宇宙医療に学ぶ健康長寿、第4回 中信臨床研究会、2014年1月30日、松本市
4. Hiroshi Ohshima: J-SBRO's activities and future perspective, International Science and Technology Center Workshop on "Probiotics and human health in severe environments such as space habitat ", March 17, 2014, Osaka
5. 大島博、中村利孝、郡健二郎、松本俊夫: 薬剤を用いた宇宙飛行中の骨量減少・尿路結石予防対策に関する研究 JAXA 宇宙医学研究センター(JCASMHR)平成 25年度 研究開発報告会、2014年3月24日、つくば市
6. 神山慶人、金子祐樹、川島紫乃、山田深、大島博: 宇宙飛行士の運動プログラム 平成 25年度宇宙医学生物学的研究ワークショップ第2回「宇宙飛行士の運動トレーニングと体力医学研究」2014年3月7日、秋葉原
7. 大島博: 宇宙医学に学ぶ健康増進の秘訣 第29回ワタフルエイジング研究会 2014年3月20日、汐留
8. 大島博: 宇宙医学に学ぶ健康長寿 第 115

回東葉臨床医学セミナー 2014年5月1日、佐倉市

9. 大島博: 宇宙医学に学ぶ健康長寿の秘訣 名古屋市医師会協同組合通常総会講演会、2014年6月14日、名古屋市
10. 大島博: 宇宙飛行の骨量減少に対する予防策 Eisai Lecture Meeting 2014年7月15日、つくば市
11. Hiroshi Ohshima: JAXA's Space Medicine and Bed Rest Study International Symposium on Space Medicine and Nutrition, July 2, 2014, Tokushima
12. 大島博: 宇宙医学に学ぶロコモ予防の秘訣 川口市医師会整形外科部会講演会 2014年8月7日、川口市
13. 大島博: JAXA ウオーキングキャンペーン 2014 ープラス 10 分歩こうー COI-T 研究成果発表会 2014年8月30日、東京
14. 大島博: 宇宙医学に学ぶロコモ予防の秘訣 第4回関東ロコモティブ・シンドローム研究会 2014年10月3日、前橋市
15. 大島博: 健康寿命をのばす秘訣 創造会フェスタ 2014年11月23日、我孫子
16. Hiroshi Ohshima: Medical problems in human space flight and space medicine research, 21st APRSAF December, 2, 2014, Tokyo
17. 大島博: 宇宙医学に学ぶ健康寿命の延伸 草加市スポーツ健康づくり講演会 2014年12月1日、草加市

【学会発表】

1. 大島博、中村利孝、松本俊夫: 宇宙飛行士の骨量減少予防対策 第16回日本骨粗鬆症学会 2014年10月24日、東京
2. 大島博、中島良洋、内田理恵子、富永知美、石橋寧子、古田日可、大澤千恵子、相羽達弥、三木猛生、川上憲人、服部陽児、有賀輝: JAXA ウオーキングキャンペ

ーン 2014 ープラス 10 分歩こうーの概要 JAXA 宇宙医学研究センター平成 26 年度 研究開発報告会、2014年11月29日、御茶ノ水

【講演】

1. Adrian LeBlanc, Toshio Matsumoto, Jeffrey Jones, Jay Shapiro, Thomas Lang, Linda Shackelford, Scott M. Smith, Harlan Evans, Elisabeth Spector, Robert Ploutz-Snyder, Jean Sibonga, Joyce Keyak, Toshitaka Nakamura, Kenjiro Kohri, Hiroshi Ohshima, Gilbert Morales: Bisphosphonate ISS Flight Experiment ASBMR, Sep. 11, 2014, Houston
2. Adrian LeBlanc, Toshio Matsumoto, Jeffrey Jones, Jay Shapiro, Thomas Lang, Linda Shackelford, Scott M. Smith, Harlan Evans, Elisabeth Spector, Robert Ploutz-Snyder, Jean Sibonga, J Keyak, Toshitaka Nakamura, Kenjiro Kohri, Hiroshi Ohshima, Gilbert Morales: Update of the Bisphosphonate ISS Flight Experiment, HRP Investigator's WS, 2014.2.12-13, Galveston

【取材等】

1. 大島博: 宇宙医学と健康 Space Navi @ Kibo 2014. 1
2. 大島博: 運動のポイントは「重力負荷」 NHK「あさイチ」4月16日放送
3. 大島博: 宇宙医学は究極の予防医学 富山大学医学部卒業生だより 卒業生インタビュー企画第2回 8:1-3, 2014
4. 大島博: 宇宙飛行士のトレーニングを公開 雑誌ターザン 11月号:102-105, 2014
5. 大島博、白川正輝: これからの長期滞在、月・火星探査に向けた宇宙飛行士の新・健康管理術、JAXA's 58:6-7, 2014

【講義】

1. 大島博: 宇宙飛行の骨量減少に対する予防策: 信州大学医学部インターシップ、2014年7月22日、つくば市
2. 大島博: JAXA 宇宙医学研究: 筑波大学宇宙医学アドバンスコース, 2014年10月17日、つくば市
3. 大島博: 宇宙医学研究: 大分大学医学部学生講義, 2014年9月10日、つくば市
4. 大島博: JAXA 宇宙医学研究: 筑波大学医学学群生社会医学実習 2014年10月17日、つくば市
5. Hiroshi Ohshima: Medical problems in human space flight and space medicine research: Post Graduate Seminar of Tsukuba University, November 21, 2014, Tsukuba

○大平 宇志

【学会発表】

1. 大平宇志: 骨格筋機能低下に対する温熱刺激を用いた予防策の実用化に向けた研究、生理学研究所 TRP研究会2014、2014年6月5-6日 岡崎

○阿部 高志

【論文】

6. Goel, N., * Abe, T., * Braun, M.E., Dinges, D.F. (2014). Cognitive Workload and Sleep Restriction Interact to Influence Sleep Homeostatic Responses. *Journal SLEEP*. 37(11), 1745-1756. (*Co-first authors.)

【総説・著書】

1. Abe, T., Mollicone, D., Basner, M., Dinges, D.F.: Sleepiness and Safety: Where Biology Needs Technology. *Sleep and Biological Rhythms*, 12, 74-84. (2014)
2. 阿部高志: 客観的眠気評価と労働災害防

止 白川修一郎・高橋正也(編) 睡眠マネジメント-産業衛生・疾病との関わりから最新改善対策まで- エヌ・ティー・エス pp126-132(第1編、第4章、第2節)、2014年

3. 阿部高志: 客観的眠気検査の有用性と職場での応用 *睡眠医療*, 8, 29-35. (2014)
4. 阿部高志: 脳波基礎律動 山田富美雄・坂田省吾(編) 改訂 *生理心理学 第I巻* 北大路書房(印刷中)
5. Abe, T., Goel, N., Basner, M., Mollicone, D., Rao, H., Dinges, D.F.: Integration of sleep need and fatigue mitigation into human system operation. In: *Handbook of Human Systems Integration*, (Eds.) Boehm-Davis, D., Durso, F., Lee, J. American Psychological Association. Washington, DC. (in press)
6. 阿部高志: 覚醒低下とは 公益社団法人自動車技術会(編) *自動車技術ハンドブック* 第3分冊「人間工学編」(印刷中)
7. 阿部高志: 覚醒度計測 公益社団法人自動車技術会(編) *自動車技術ハンドブック* 第3分冊「人間工学編」(印刷中)
8. 阿部高志: 眠気検出装置の現状と展望 *睡眠医療*(印刷中)
9. 阿部高志: 覚醒と眠気の評価法 鈴木直人・片山順一(編) 改訂 *生理心理学 第II巻* 北大路書房(印刷中)

【シンポジウム・講演会】

1. 阿部高志・鈴木豪・緒方克彦: 宇宙探査での実用化に向けた覚醒度評価法の開発(認定医推奨セッション#A「宇宙精神心理学上の諸課題と対策」) 第60回日本宇宙航空環境医学会、2014年11月28日、東京
2. 緒方克彦・鈴木豪・阿部高志: 宇宙精神心理学上の諸課題と脱同調ガイドライン(認

定医推奨セッション#A「宇宙精神心理学上の諸課題と対策」第60回日本宇宙航空環境医学会、2014年11月28日、東京

3. 鈴木豪・阿部高志・相羽達弥・緒方克彦: 長期閉鎖環境における日本独自のストレス蓄積評価法及び対策に関する検討(認定医推奨セッション#A「宇宙精神心理学上の諸課題と対策」第60回日本宇宙航空環境医学会、2014年11月28日、東京)
4. Abe, T. Space somnology: Development of a new vigilance monitoring system for space exploration. 50th WPI-IIIIS Seminar., Tsukuba, Japan, 2015. 1.14

【学会発表】

1. 阿部高志・三島和夫・井上雄一・水野 康・肥田昌子・北村真吾・中崎恭子・元村祐貴・太田敏子・須藤正道・緒方克彦・大島博・向井千秋: 宇宙飛行士のヴィジランス評価における新規指標の必要性 第39回日本睡眠学会学術集会、2014年7月14日、徳島

○緒方 克彦

【シンポジウム・講演会】

1. 緒方克彦: 航空宇宙医学概論、日本宇宙航空環境医学会・認定医講習会、2014年3月19日
2. 緒方克彦: 航空患者搬送と宇宙飛行士帰還後の搬送、日本宇宙航空環境医学会・認定医講習会、2014年3月20日

【学会発表】

1. 緒方克彦: 宇宙飛行士帰還後の搬送、日本航空医療学会、2014年11月15日
2. 緒方克彦: 宇宙精神心理諸課題と脱同調ガイドライン、日本宇宙航空環境医学会、2014年11月28日

○嶋田 和人

【論文】

1. 嶋田和人「国際宇宙ステーション医学運用と JAXA 航空宇宙医師」宇宙航空環境医学.51(1):13-18, 2014.
2. N. Chanthima, K. Shimada, J. Kaewkhao. The Photon Attenuation Coefficients of Building Materials Containing with Lead Carbonate (PbCO₃). Advanced Materials Research Vol. 979 (2014) pp 395-400. doi:10.4028
3. K. Shimada. Fatal aeromodelling accidents in Japan. Aviat Space Environ Med 2014; 85(3):218.

【学会発表】

1. 嶋田和人:「アウトリーチ:UZUME にはライバルがいる」第4回月と火星の縦穴・溶岩チューブ探査研究会、2014年3月6日。
2. 嶋田和人:「減圧症は低圧でも起こるか？」日本高気圧環境・潜水医学会 第8回北海道地方会、2014年7月13日
3. 春山純一 久保田孝 西堀俊幸 山本幸夫 岩田隆浩 大槻真嗣 川勝康弘 佐伯和人 橋爪光 清水久芳 諸田智克 西野真木 小林憲正 横堀伸一 長谷部信行 白尾元理 片山保宏 加藤裕基 妻木俊道 香河英史 升岡正 神澤拓也 石上玄也 有隅仁 山海嘉之 古谷克司 上野誠也 岩崎晃 吉田和哉 嶋田和人:「月の縦穴・地下空洞探査が拓く、日本の月惑星科学の未来」第47回月・惑星シンポジウム、2014年8月5日。
4. J. HARUYAMA, I. Kawano, T. Kubota, M. Otsuki, H. Kato, T. Nishibori, T. Iwata, Y. Yamamoto, A. Nagamatsu, K. Shimada, Y. Ishihara, T. Hasenaka, T. Morota, M.N. Nishino, K. Hashizume, K. Saiki, M. Shirao, G. Komatsu, N. Hasebe, H. Shimizu, H. Miyamoto, K. Kobayashi, S. Yokobori, T.

Michikami, S. Yamamoto, Y. Yokota, H. Arisumi, G. Ishigami, K. Furutani, Y. Michikawa. Unprecedented Zipangu Underworld of the Moon Exploration (UZUME). EPSC Abstracts Vol. 9, EPSC2014-465-1, 2014 European Planetary Science Congress 2014年9月8日

5. 嶋田和人:「縦穴探査と検疫」第五回月と火星の縦孔地下空洞探査研究会、2015年3月3日.
6. 嶋田和人:「マイクロ・ナノバブル水の有人宇宙飛行への応用課題」日本マイクロ・ナノバブル学会 2014年度第一回医学部会、2015年1月23日

【講演】

1. K. Shimada.: Collaboration Topics. International Seminar on Solutions for Global Problems2014. 2014年4月17日
2. K. Shimada.: Possible Collaboration Topics. International Seminar on e-Energy and Sustainable Development. 2014年6月5日
3. 嶋田和人:「お月さまのはなし」宇宙少年団分団 サイエンスキッズみたか、2014年9月28日.
4. 嶋田和人:「宇宙開発とナノバブル + 米国高圧酸素治療装置見学」二豊マイクロ・

ナノバブルフォーラム 2014、中津、2014年11月5日

5. 嶋田和人:「身近な宇宙技術～有人宇宙技術のスピノン・スピノフ～」南栄会倶楽部・クリエイティブクラブ講演会、2014年11月13日
6. 嶋田和人:「2020年未知なる宇宙へ行こう！～宇宙ステーションでの暮らしと健康～」第10回旭市生涯学習フェスティバル文化講演会、2014年11月16日
7. 嶋田和人:「医工連携@宇宙」群馬大学工学部講演会、2014年11月27日
8. 嶋田和人:「宇宙飛行士の人間ドックはどうやるの？」日本放射線技術学会 第61回関東部会研究発表大会 市民公開講座、2014年12月14日

【大学講義】

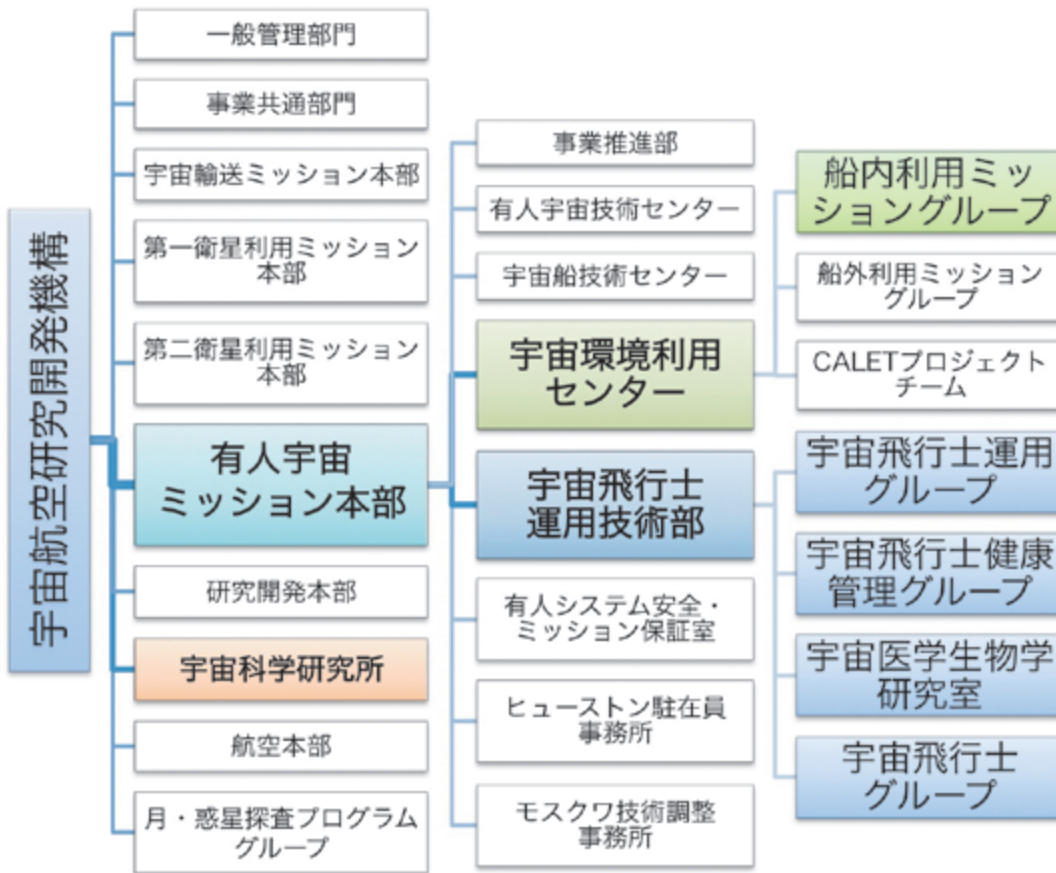
1. 嶋田和人: 筑波大学 宇宙医学運用 Nakhon Pathom Rajabhat University(タイ)
 - ① Preventive Medicine, Geriatric Medicine.
 - ② Astronaut Life in Space.
 - ③ Glass application in space
2. 嶋田和人: 群馬大学 産学連携・知的財産戦略室

リンク集

タイトル	内容	URL
宇宙医学	宇宙医学全般について記載されています。	http://iss.jaxa.jp/med/
JAXA レポジトリ	JAXA が刊行する文献や学術雑誌論文、学位論文等を公開するシステムで、文献検索を行うことができます。	http://repository.tksc.jaxa.jp
宇宙航空文献情報公開システム	宇宙航空文献交換を通じて収集した国内外の航空宇宙分野を中心とした文献を登録したシステムです。文献交換の登録をいただくと NASA の文献を検索することが可能となります。	http://airex.tksc.jaxa.jp (JAXA 文献データベースの利用者マニュアルは以下の URL をご確認ください) http://airex.tksc.jaxa.jp/help/userguide.html
日本実験棟「きぼう」での実験	日本実験棟「きぼう」で行われている実験を紹介しています。	http://iss.jaxa.jp/kiboexp/
日本実験棟「きぼう」での生命科学分野での実験テーマ	日本実験棟「きぼう」で行われている生命科学分野での実験を紹介しています。	http://iss.jaxa.jp/kiboexp/field/scientific/
宇宙医学にチャレンジ	古川宇宙飛行士が長期滞在中に行った宇宙医学実験です。	http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/furukawa/exp2/igaku/
	星出宇宙飛行士が長期滞在中に行った宇宙医学実験です。	http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/hoshide/exp-igaku
施設見学 筑波宇宙センター	筑波宇宙センターの施設見学内容について紹介しています。	http://fanfun.jaxa.jp/visit/tsukuba/tour.html
ビデオライブラリ	古川聡宇宙飛行士の活動をまとめたビデオライブラリです。	http://iss.jaxa.jp/iss/jaxa_exp/furukawa/library/video/
「宇宙医学に学ぶ健康長寿」パンフレット	JAXA・日本体力医学会・日本整形外科学会・日本リハビリテーション学会が制作した健康増進に関するパンフレットです。	和文 PDF http://iss.jaxa.jp/med/reference/no_1.pdf PDF (English version) http://iss.jaxa.jp/med/0220jaxa_kenkotyoyju_english.pdf
Mission X	体育と食育を中心とした国際教育プログラム「Mission X」を紹介しています。	JAXA が紹介する Mission X ホームページ http://iss.jaxa.jp/med/missionx/ Mission X の公式ホームページ http://trainlikean astronaut.org/
NASA Human Research Program	NASA の「人を対象とした実験」について紹介しています。	http://www.nasa.gov/exploration/humanresearch/index.html
ESA research human space flight and exploration	ESA の「人を対象とした実験」について紹介しています。	http://www.esa.int/esaHS/research.html
人類への恩恵	国際パートナーとまとめた国際宇宙ステーションでの実験から得られた研究業績をまとめています。	http://iss.jaxa.jp/kiboresults/benefits/

(独) 宇宙航空研究開発機構の組織図 (2015年3月時点)

●組織図



●事業所



筑波宇宙センターへのアクセス



●電車

・JR常磐線「荒川沖駅」下車
→タクシー(約15分)または
関鉄バス「筑波大学中央」行き
「物質材料研究機構」下車 徒歩1分

・つくばエクスプレス線「つくば駅」下車
→タクシー(約10分)または
関鉄バス「荒川沖駅」行き
「物質材料研究機構」下車 徒歩1分

●バス

「東京駅(八重洲南口)」
→「筑波大学」行き(ハイウェイバス)「並
木一丁目」下車 徒歩1分

●タクシー

「荒川沖駅」より約15分
「土浦駅」より約20分
「つくば駅」より約10分

●車

- ・常磐自動車道 桜土浦インター→筑波宇宙センター(3.5km、約7分)
- ・国道6号線 学園東大通り線入口→筑波宇宙センター(5km、約10分)

【カーナビゲーションシステムをご利用のお客様へ】

カーナビゲーションの登録は下記住所にてご検索ください。

「〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1」

電話番号検索をすると、違った場所を案内されることがありますので、ご注意ください。



国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
宇宙医学研究センター
〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

Japan Aerospace Exploration Agency
Tsukuba Space Center
2-1-1, Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505