

令和 5 年度地球観測技術等調査研究委託事業
「将来の有人宇宙活動を支える
宇宙医学人材養成プログラムの創出」
委託業務成果報告書

令和 6 年 5 月
国立大学法人京都大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、国立大学法人京都大学が実施した令和 5 年度「将来の有人宇宙活動を支える宇宙医学人材養成プログラムの創出」の成果を取りまとめたものです。

目次

内容

1. はじめに.....	1
1.1. 委託業務の目的.....	1
1.2. 業務の方法.....	1
1.3. 当該年度における委託業務の結果概要.....	2
2. 実施内容.....	4
2.1. 宇宙医学講義の実施(宇宙医学基礎知識の習得を行う):.....	4
2.1.1. 京都大学での宇宙医学講義.....	4
2.1.2. 宇宙医学講義におけるコンセプトマップ解析(京都大学).....	15
2.1.3. 岐阜医療科学大学での宇宙医学講義.....	18
2.2. 模擬微小重力暴露実験の実施(講義で学んだ知識を実践的に体験・実施する):.....	19
2.2.1. ベッドレスト実験実施報告.....	19
2.2.2. 京都大学チームのベッドレスト被験者測定.....	26
2.2.3. 岐阜医療科学大学チームのベッドレスト被験者測定.....	29
2.2.4. ベッドレスト期間中の被験者ケア.....	31
2.2.5. ベッドレスト期間中の訪問者.....	33
2.2.6. ベッドレスト終了の被験者.....	35
2.3. 宇宙医学研究室の訪問見学実習(基礎研究の現場を体験する):.....	35
2.3.1. 2022 年度実施宇宙医学実習全体報告会の開催.....	35
2.3.2. 大分大学ならびに大分空港での体験実習.....	36
2.3.3. 東京慈恵会医科大学・細胞生理学講座での体験実習.....	41
2.3.4. IHI エアロスペースでの体験実習.....	45
2.3.5. ヒューストンでの体験実習.....	49
2.3.6. ベッドレスト実験での体験実習.....	57
2.3.7. 宇宙医学実習アンケート結果.....	65
2.3.8. 宇宙医学実習におけるコンセプトマップ解析(東京慈恵会医科大学における実習).....	74
2.4. 生命倫理を中心とした宇宙倫理的視点の構築(宇宙医学研究者としての倫理的観点の習得を行う): 77	
2.4.1. ワークショップ「宇宙医学と宇宙倫理の交差点」の開催.....	77
2.5. 宇宙関連学会・企業・機関との交流(宇宙医学と多方面との関わりを学ぶ):.....	78
2.5.1. 42th Annual ISGP meeting (International Society for Gravitational Physiology).....	78
2.5.2. 日本宇宙生物科学会第 37 回大会.....	79
2.5.3. 第 67 回宇宙科学技術連合講演会.....	80
2.5.4. 第 69 回日本宇宙航空環境医学会大会.....	80
2.5.5. The 3rd Japan-France International Symposium on Space Nutrition/Medicine.....	81

2.5.6.	Annual Meeting of the American Society for Gravitational and Space Research (ASGSR) 2023 81	
2.5.7.	ひらめき☆ときめきサイエンス・宇宙医学の開催	82
2.5.8.	パネルディスカッション-宇宙時代の医療ヘルスケア産業を考える	89
2.5.9.	SMJYC スタディツアーでの学生訪問	89
2.5.10.	宇宙開発フォーラム 2023 パネルディスカッション	90
2.5.11.	株式会社ワコールへの訪問	91
2.5.12.	宇宙ユニットシンポジウム	91
2.5.13.	元 NASA 研究者との交流	93
2.5.14.	アウトリーチ活動	94
2.5.15.	取材対応	94
2.5.16.	大分県先端技術挑戦課と教育庁ならびに岐阜県商工労働部航空宇宙産業課との打ち合わせ 96	
2.5.17.	セミナー開催	97
2.5.18.	外部評価会	97
3.	まとめ	103
4.	添付資料	104
4.1	有人宇宙医学講義シラバス	104
4.1.1.	第 1 回宇宙医学講義スライド集	106
4.1.2.	第 2 回宇宙医学講義スライド集	121
4.1.3.	第 3 回宇宙医学講義スライド集	131
4.1.4.	第 4 回宇宙医学講義スライド集	134
4.1.5.	第 5 回宇宙医学講義スライド集	154
4.1.6.	第 6 回宇宙医学講義スライド集	167
4.1.7.	第 7・11 回宇宙医学講義スライド集	190
4.1.8.	第 8 回宇宙医学講義スライド集	194
4.1.9.	第 9 回宇宙医学講義スライド集	203
4.1.10.	第 10 回宇宙医学講義スライド集	207
4.1.11.	第 13 回宇宙医学講義スライド集	214
4.2	岐阜医療科学大学での宇宙医学講義シラバス	218
4.3	ヒューストンでの宇宙医学実習の発表資料	219
4.4	宇宙倫理学委託費との合同 WS	224
4.5	大分県立高校での出前授業	226
4.6	外部評価会報告資料	236
4.7	学会等発表実績	243

1. はじめに

1.1. 委託業務の目的

将来の有人宇宙活動へ貢献できる即戦力となる宇宙医学の専門知識を持った人材の育成を行うことを目的とする。現在、国際宇宙ステーションが有人宇宙活動の中心となっているが、今後はアルテミス計画など月面周回軌道上の宇宙飛行士の滞在や月面有人活動、その後の火星有人活動など人類の宇宙進出は益々活況となる。そのような中、宇宙滞在によって、人体に生じる生理的变化を正しく理解し、それに対してどのような対策を講じるかを考察できる人材を育成することは、有人宇宙活動の根幹を支えることとなる。そのため、これまで京都大学で実施してきた有人宇宙医学プログラムを発展させ、講義と実践的な実習(模擬微小重力暴露実験: ベッドレスト実験)を通じて、微小重力環境下での生理的影響を深く学ぶことができる教育プログラムへ発展させ、これを実施する。各アカデミアとも連携し、多くの学生に宇宙医学を学ぶ機会を提供し、事業終了後も継続できる体制を整備する。

1.2. 業務の方法

令和5年度における実施内容は、以下の通りである。

これまで京都大学宇宙総合学研究ユニットで実施してきた宇宙医学講義を継続実施した上で、新たに講義で学んだ知識を実践的に活用する機会を提供する。具体的には模擬微小重力暴露実験(ベッドレスト実験)を行い、被験者からデータを取得しそれを解析することによって、微小重力環境下で生じる人体への生理的影響について学び、その対抗策についても考察する。さらに宇宙医学実験を行なっている日本全国の研究室訪問を通じて、基礎研究の現場を体験し宇宙医学研究についての理解を深める。宇宙医学的観点から、将来の有人宇宙活動における生命倫理についての議論を行い、文理を超えた幅広い見識を身につける。これら一連の活動を教育プログラムとして確立し、宇宙医学に関連する学会や大学などのアカデミアや宇宙関連団体と連携して、有人宇宙活動における宇宙医学の重要性ならびに宇宙医学と他分野との関連を継続して学んでいく。最終的に参加学生の理解度と教育プログラム内容を自己・外部評価する。プログラム成果は、シンポジウムを通じて広く公表する。

①宇宙医学講義の実施(宇宙医学基礎知識の習得を行う):

京都大学において、大学院横断科目として、Zoom を通じて分野を問わず全国の大学生の聴講も可として実施している「有人宇宙医学」講義、また、岐阜医療科学大学において実施している「宇宙医学」講義について、新たに模擬微小重力暴露実験に繋がる講義内容を検討しつつ実施する。また、講義内容に関する設問に対するレポートを提出させ、理解度を評価し、学生にフィードバックする。

②模擬微小重力暴露実験の実施(講義で学んだ知識を実践的に体験・実施する):

ベッドレスト実験は、被験者が6度頭低位に長期間臥床することにより、宇宙滞在で生じる筋骨の脆弱、体液シフト変化、神経系・循環器系への影響を模擬し、宇宙滞在中の人体影響を総合的に学ぶ機会となる。令和5年度は、被験者募集ならびに実験測定者としての学生募集を全国の大学から募り、模擬微小重力暴露実験(ベッドレスト実験)を実施する。食事・排泄・睡眠・入浴といった基本的な生活に必要な行動に対する介助方法の地上と宇宙・微小重力環境における差異と共通点を考察させるとともに、各種生体反応の測定を行い、実験手法の学習を行う。実習で得られたデータの解析を行い、その結果ならびに計測・処置の意義をプレゼ

ンテーションさせて理解度を評価する。また、取得したデータについて、学術データとしてまとめ、成果報告を実施する。

③宇宙医学研究室の訪問見学実習(基礎研究の現場を体験する):

京都大学でこれまで実施していた有人宇宙医学プログラムの研究室訪問を発展させ、日本国内の複数箇所の宇宙医学研究室を訪問し、複数の異なる視点から基礎研究の現場を体験するとともに、訪問先の異なる学生同士で交流することによりさらに知見を深める機会を提供する。訪問先は、日本宇宙航空環境医学会に所属している研究者を中心に依頼する。学生からアンケートを取得し効果を評価する。

④生命倫理を中心とした宇宙倫理的視点の構築(宇宙医学研究者としての倫理的観点の習得を行う):

宇宙医学研究は、人や実験動物を対象とするため生命倫理に深く配慮する必要がある。京都大学では令和3年度から宇宙航空科学技術推進委託費において「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」(代表: 嶺重慎)を実施しており、本業務の研究代表者も共同参画者として参加している。宇宙での生命倫理について宇宙医学と倫理学の間で学生間の議論を行い、前年度に検討した評価手法を基に、生命倫理についての理解度を評価する。

⑤宇宙関連学会・企業・機関との交流(宇宙医学と多方面との関わりを学ぶ):

宇宙分野に関係する学会活動への参加や企業・機関(JAXA や NASA 等)との交流や訪問を行う。また、他分野との融合の重要性を学ぶため、定期的にセミナーを開催する。学生アンケートを取得し効果を評価する。

1.3. 当該年度における委託業務の結果概要

令和5年度における業務の結果概要は、以下の通りである。

①宇宙医学講義の実施(宇宙医学基礎知識の習得を行う):

京都大学において、大学院横断科目として、Zoom を通じて分野を問わず全国の大学生の聴講も可として実施している「有人宇宙医学」講義、また、岐阜医療科学大学において実施している「宇宙医学」講義について、新たに模擬微小重力暴露実験に繋がる講義内容(過去のベッドレスト実験の結果の紹介)を追加しつつ実施した。また、講義内容に関する設問に対するレポートを提出させ、理解度を評価し、学生にフィードバックした。

②模擬微小重力暴露実験の実施(講義で学んだ知識を実践的に体験・実施する):

ベッドレスト実験は、被験者が6度頭低位に長期間臥床することにより、宇宙滞在で生じる筋骨の脆弱、体液シフト変化、神経系・循環器系への影響を模擬し、宇宙滞在中の人体影響を総合的に学ぶ機会となる。令和5年度は、被験者募集ならびに実験測定者としての学生募集を全国の大学から募り、模擬微小重力暴露実験(ベッドレスト実験)を実施した。食事・排泄・睡眠・入浴といった基本的生活に必要な行動に対する介助方法の地上と宇宙・微小重力環境における差異と共通点を考察させるとともに、各種生体反応の測定を行い、実験手法の学習を行った。実習で得られたデータの解析を行い、その結果ならびに計測・処置の意義をプレゼンテーションさせて理解度を評価した。また、取得したデータについて、学術データとしてまとめ、成果報告を実施した。

③宇宙医学研究室の訪問見学実習(基礎研究の現場を体験する):

京都大学でこれまで実施していた有人宇宙医学プログラムの研究室訪問を発展させ、日本国内の 2 箇所の宇宙医学研究室を訪問し、複数の異なる視点から基礎研究の現場を体験するとともに、訪問先の異なる学生同士で交流することによりさらに知見を深める機会を提供した。訪問先は、日本宇宙航空環境医学会に所属している研究者を中心に依頼した。学生からアンケートを取得し効果を評価した。

④生命倫理を中心とした宇宙倫理的視点の構築の検討(宇宙医学研究者としての倫理的観点の習得を行う):

宇宙医学研究は、人や実験動物を対象とするため生命倫理に深く配慮する必要がある。京都大学では令和 3 年度から宇宙航空科学技術推進委託費において「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」(代表: 嶺重慎)を実施しており、本業務の研究代表者も共同参画者として参加している。この課題と連携することで、宇宙での生命倫理について宇宙医学と倫理学の間で学生間の議論を行い、令和4年度に検討した評価手法を基に、生命倫理についての理解度を評価した。

⑤宇宙関連学会・企業・機関との交流(宇宙医学と多方面との関わりを学ぶ):

宇宙分野に関係する学会活動への参加や企業・機関(JAXA や NASA、IHI エアロスペース社、株式会社ワコール)との交流や訪問を行った。また、他分野との融合の重要性を学ぶため、定期的(2023 年 12 月、2024 年 3 月)にセミナーを開催した。学生アンケートを取得し効果を評価した。

2. 実施内容

2.1. 宇宙医学講義の実施(宇宙医学基礎知識の習得を行う):

2.1.1. 京都大学での宇宙医学講義

有人宇宙医学講義のシラバス(添付資料 4.1)に基づき、宇宙医学講義を京都大学総合生存学館の大学院生向け講義として実施した。

昨今の宇宙分野の状況として、人類の宇宙進出は、特に技術的發展に伴って益々活況となっている。スペースシャトルから国際宇宙ステーション(ISS)に宇宙ミッションが移行し、宇宙滞在が益々長期化している。今後は月面ミッションや火星ミッションなどで数年単位の滞在も現実のものになるであろう。しかし、地球環境に適応して進化した人類が、宇宙環境に滞在した際にどのような影響があるのかはすべて解明されているわけではない。そのため宇宙医学講義では、今後の有人宇宙活動に向けて、人への宇宙滞在の影響がどのようなものであるかを学び、将来的にその対策方法の解明に従事する人材育成を目的とする。また、地上での臨床医学との共通点や違いなどについても学習し、宇宙医学と地上医学の関わりについて検討する能力を得る。到達目標は、宇宙環境が人へどのような影響があるかを理解することである。そして今後数年単位に及ぶ宇宙滞在においてどのような問題点があり、それを解決するために何をすることが必要かなど、自身で考察する能力を養うことである。

有人宇宙医学講義の各項目で重要となるテーマの相関関係を図1に示す。宇宙環境は大きく分けて、微小重力・宇宙放射線・閉鎖環境・真空状態といった地上とは異なる環境であり、地上でのサポート体制も重要である。個々の影響における課題を考察してみる。

＜微小重力による影響＞(図1の上段、黄色の項目)

地上での1Gの環境に適応した我々の人体は、微小重力に晒されると自重を感じなくなる。そのため、機械的負荷の喪失により、骨格筋の萎縮や骨量減少が生じる。また、体液シフトにより心循環器系へ影響を与える。更に平衡感覚の乱れや視覚変化によって、宇宙滞在初期は宇宙酔いの現象が生じる。これら微小重力環境による身体影響を理解し、その対策を考慮することは今後の有人宇宙ミッションにとって引き続き重要な課題である。

＜宇宙放射線による影響＞(図1の中段左、緑色の項目)

ISSで暴露される1日の放射線量は、地上で半年程度浴びる放射線量に等しい。しかし、低線量で長期間被曝するという環境は、地上とは異なる。このような放射線状況下でどのような人体影響があるかを理解することは重要であり、酸化ストレスの増加による細胞への影響を学習する必要がある。

＜閉鎖環境による影響＞(図1の中段右、青色の項目)

ISSでの閉鎖環境生活は、我々の精神心理に大きく影響する。特に少人数で、なおかつ言葉や文化が違う宇宙飛行士が共同して長期間生活する環境は容易にストレスが蓄積する状況である。また、このような閉鎖状況で感染症などのリスクに対してどのように対応するかも大きな課題である。

＜低圧による影響＞(図1の中段中央、柿色の項目)

宇宙での真空環境における船外活動では、宇宙服のみが人体の保護を行う。宇宙服内部は低圧に保たれており、長期間の船外活動は低圧症の危険も大きくなる。低圧症が宇宙飛行士に及ぼす影響を学習する。

＜地上でのサポート体制＞(図1の下段、灰色の項目)

宇宙環境に適応した状態で地上に帰還する際には、地上の1G環境に再適応する必要がある。そのため、帰還後はリハビリテーションを行う必要があり、また打ち上げや帰還時、宇宙滞在時の宇宙飛行士への健康サポ

ート(医療体制)も大切な項目である。宇宙ミッション前・中・後にどのように宇宙飛行士をサポートしているのかを学習することが必要である。

上記の宇宙医学分野で重要なテーマについて学ぶことは、宇宙医学研究の発展にとって必須である。宇宙医学研究分野で即戦力として活用できる項目の習得を目的として、それぞれ専門家を招聘し、令和 5 年度後期も講義を実施した(図 2)。合計で 131 名(京大生 19 名、外部生 112 名)の参加があった。

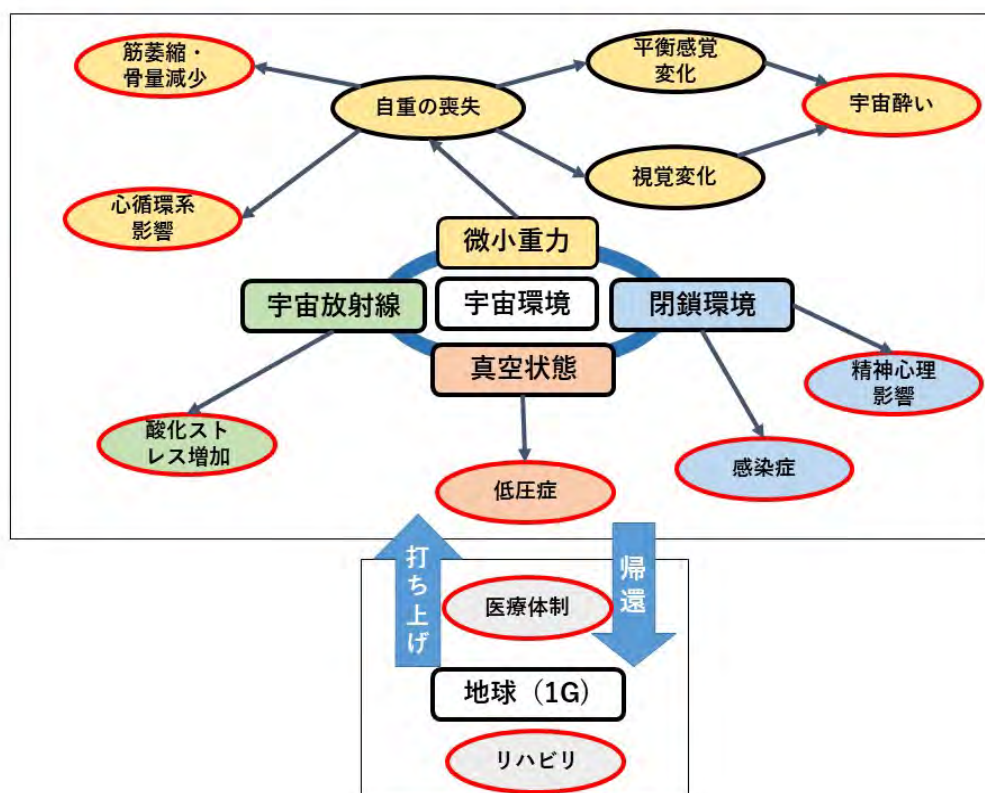


図 1: 宇宙医学における環境要因と人体影響の相関図

【授業計画と内容】(令和 5 年度後期実施)

- 【第 1 回】10 月 4 日 宇宙医学概要(寺田昌弘:京都大学)
- 【第 2 回】10 月 11 日 宇宙酔い(野村泰之:日大)
- 【第 3 回】10 月 18 日 宇宙生物実験(暮地本宙己:慈恵医大)
- 【第 4 回】10 月 25 日 フライトサージャンの役割(嶋田和人:筑波航研、元 JAXA 医師)
- 【第 5 回】11 月 1 日 宇宙での骨格筋への影響①(志波直人:久留米大)
- 【第 6 回】11 月 8 日 宇宙での自律神経系への影響(岩瀬敏:愛知医大)
- 【第 7 回】11 月 15 日 宇宙放射線の影響①(山敷庸亮:京都大学)
- 【第 8 回】11 月 29 日 宇宙飛行とリハビリテーション(山田深:杏林大学)
- 【第 9 回】12 月 6 日 宇宙での姿勢制御(萩生翔大:京都大学)
- 【第 10 回】12 月 13 日 宇宙服と減圧症(田中邦彦:岐阜医療科学大)
- 【第 11 回】12 月 20 日 宇宙放射線の影響②(山敷庸亮:京都大学)

【第 12 回】12 月 27 日 宇宙での医療行為と技術(瀧澤玲央:慈恵医大)

【第 13 回】1 月 10 日 宇宙での骨格筋への影響②(河野史倫:松本大)

【第 14 回】1 月 17 日 宇宙での骨格筋への影響③(谷端淳:慈恵医大)



図 2: 日大・野村先生の講義風景

以下に各講義テーマの概要を述べる。

【第 1 回 10 月 5 日 宇宙医学概要 寺田昌弘(京都大学)】(添付資料 4.1.1)

第 1 回宇宙医学講義では、前半にまず宇宙ユニットが実施している文科省委託費事業「将来の有人宇宙活動を支える宇宙医学人材プログラムの創出」における宇宙医学教育研究プログラムの全体像を説明した。月面及び火星に向けた中継基地として建設の始まった月軌道プラットフォーム「ゲートウェイ」、月の新たな領域を訪れて新たなサンプルを採取することを目的に人類を再び月へ送り込もうという「アルテミス計画」。これらの計画ではこれまで以上に多くの飛行士たちが、より長期間の宇宙ミッションに臨むことになる。地球低軌道に目を向ければ、民間企業による“商業宇宙ステーション”に向けた動きが加速している。厳しい選抜をくり抜けた職業飛行士のみならず、民間人を対象としたレジャーとしての宇宙滞在がビジネスとして軌道に乗ろうとしている。宇宙医学人材のニーズが急増することは明らかである。この現状を踏まえて、宇宙医学人材を育成するためには何が必要かを問う。その一つの案として、宇宙医学分野を理解するための実践的な教育プログラムを構築するにあたり、本プログラムの根幹をなす模擬微小重力暴露実験(ベッドレスト実験)があり、その実験に臨むために必要な基礎知識の習得をねらいとして、この宇宙医学講義があることを伝えた。また、後半では今後 13 回(+補講 1 回)にわたるオムニバス形式の宇宙医学講義の担当講師らの紹介と、各回で学ぶことになる宇宙環境における人体への影響についての概説を行った。

【第 2 回 10 月 11 日 宇宙酔い 野村泰之(日本大学)】(添付資料 4.1.2)

第 2 回宇宙医学講義では、ヒトの平衡バランス機能と重力変化について講義を行った。はじめに、20 世紀初頭にノーベル医学生理学賞を受賞したバラニー博士の三半規管におけるリンパ対流説(温度差による三半規管内のリンパ液の対流は重力による比重差で生じるという説)は、後年の微小重力下スペースシャトル実験によって

くつがえされたエピソードを紹介した。宇宙医学の中で「宇宙酔い」は、いまだに解決されていない難題の一つである。宇宙空間で生活すると、微小重力環境によって、多くの器官の機能が地上と違う変化を起こす。特に、重力の感覚器である耳石器や中枢の空間識(空間認識)に関して大きな変化が起こり、吐き気や嘔吐を起こす状態の宇宙酔いを代表とした症状が報告されている。宇宙酔いの原因として、以下の5つの発症仮説がある。①感覚混乱説、②体液シフト説、③耳石器左右非対称仮説、④耳石器傾斜再適応仮説、⑤位相差非同期適応仮説。しかしながら、実際には、単一仮説では捉えきれない複数の要因が重なることで発症するメカニズムが想定される。この中では①の感覚混乱説が最も重要視されている。地上では、目からの視覚情報のほかに、耳・前庭系(内耳)からの重力情報や、筋肉・健・皮膚感覚などからの体性感覚情報などをもとに姿勢を調節しているため、目を閉じても上下がわかる。しかし宇宙では重力情報がなくなるため、視覚情報に頼ることが多くなる。新しい環境に慣れるまで、感覚混乱をきたし、宇宙酔いが発生するという仮説である。この検証にあたっては地上での模擬微小重力実験やパラボリックフライト実験が進められてきた。地上での模擬微小重力実験によって、内耳への重力方向を変えても3~5日程度で耳石器が重力方向に適応することを確認した。宇宙酔いが治まるまでにかかる日数とほぼ同じである。※フライト中宇宙酔いに罹患したままであった宇宙飛行士もあるので個人差はある。パラボリックフライト実験では、視運動性眼振の応答に重力の閾値変化は認められず、相関があった。眼振速度について、初回飛行者には異常亢進が認められた。なお既経験者の眼振機能は順当に維持されていた。後半は、宇宙酔い、前庭機能系低下への対応・予防策について解説した。特に宇宙酔いでは吐しゃ物が船内を浮遊するリスクが問題視されるので、嘔吐を防ぐためには、前庭神経核から嘔吐中枢への信号をブロックする抗ヒスタミン薬等がある。

講義後の質疑応答を抜粋

Q. 高齢であるほど宇宙酔いにかかりやすい傾向はあるだろうか。

A. 宇宙飛行士に関していえば、選抜の過程で健康優良な方がパスされているので、年齢よりは飛行経験回数に影響されると思う。

Q. 耳石器に関する病(メニエール病等)の治療の一環として宇宙空間滞在療法などは想定されるか。

A. 内耳性のめまいではリンパ液の循環が悪くなることで眼震が起きるので、微小重力環境下で耳石器の左右非対称性が緩和される可能性はあるかも知れない。

Q. 宇宙酔い症状が出た際に、抗ヒスタミン薬等の投与を積極的に行った方が適応が早まるのか、あるいは薬は投与せずに自然に適応を待った方が結局は早く適応できるのか。

A. 酔い止め薬は事前に飲んでおくことが基本である。酔ってから服用しても効果は望めないなので、その条件では比較はできない。

Q. 民間の短期宇宙旅行にて予防的に酔い止め薬を服用すると副作用として眠気は避けられないのか。

A. そもそも眠ることで酔いを抑えるように薬は設計されている。短期宇宙旅行用の酔い止め薬として眠くなる副作用のない酔い止め薬の開発計画がある。

[第3回 10月18日 宇宙生物実験 暮地本宙己(東京慈恵会医科大学)] (添付資料 4.1.3)

第 3 回宇宙医学講義では、講師自身の宇宙医学における研究テーマを含めて、宇宙生物実験について講義を行った。宇宙医学とは「普通では生命維持が不可能な環境」へのヒトの滞在・活動をサポートする極限環境医学の一分野である。宇宙医学は、臨床医学であると同時に、宇宙飛行士を宇宙での労働者として捉えた場合は、彼らの健康を維持するための産業医学とも考えられる。宇宙医学の誕生は、人が宇宙に進出したときに始まり、すでに半世紀以上の歴史がある。これまでは宇宙医学の産業への波及効果は極めて少なかったが、地上よりも微小重力環境下で胚性幹細胞が効率よく細胞塊を形成できることに着目し、人工臓器形成法を開発テーマに再生医療への応用を目指す試みや、微小重力環境暴露と加齢による骨格筋の廃用性筋萎縮（サルコペニア）の類似性に注目し、宇宙での筋萎縮メカニズムを検討してサルコペニア防止に役立たせようという試みなど、宇宙医学の社会に対する還元の可能性が見えてきた。講義後半では講師が宇宙医学研究に携わるようになった経緯について、研究内容をあわせて紹介した。宇宙医学研究の出发点として、微小重力環境下では無対流、無浮遊・無沈降、無静水圧、無容器浮遊という4つの効果が細胞内でどのように制御されるのかというテーマがある。講師は当初から重力が生命に与える影響に関心があり、解剖学教室にて基礎研究を始めるにあたり、まずは自分自身の研究技術の独自性や専門性を確立することにした。分子生物学的研究が主流の中で、当時ユーザー数の減っていた電子顕微鏡ではあるが、汎用性が高く全身の臓器細胞を観察する形態解析技術に興味を持った。光学顕微鏡では解像度が足りないという不利はあるが免疫組織化学染色によりどこにどのような機能分子が局在しているかをはっきり示すことができる。より解像度の高い観察が可能な透過型電子顕微鏡や走査型電子顕微鏡をあわせて、3つの顕微鏡でひとつの細胞の状態を対比的に明らかにしていくという研究手法を最初に習得した。講師は自身の習得した形態学的研究手法と、共同研究者のオミックス解析、それは遺伝子発現や代謝物発現について網羅的な解析が可能である、を組み合わせることで、機能と形態の関係性を通した生命原理に深く迫ることができる研究手法を確立するに至った。続けて、遠心機を用いた人工重力負荷実験について紹介した。この実験では、ロケット打ち上げ時の過重力環境が再現できる。5G程度の人工重力をかけたマウスの下垂体前葉では機能たんぱく質の発現と局在が変化することを明らかにした。次に現在実施中の主な研究テーマ2つを紹介した。ISS で 35 日間滞在したマウス（微小重力環境下と遠心による人工重力 1G 環境下の 2 群）の胃や肝臓組織のサンプル提供を受けて、オミックスと形態学的解析手法を用いた研究を紹介した。宇宙環境では動脈硬化が起きやすく、それには血管内皮細胞が関与していることが知られている。地上に置いて模擬微小重力環境での細胞培養が可能な装置「GRAVITE」を用いて、動脈硬化予防に関わる因子を検討中である。

【第 4 回 10 月 25 日 フライトサージャンの役割 嶋田和人(筑波航研、元 JAXA 医師)】（添付資料 4.1.4）

第 4 回宇宙医学講義では、宇宙飛行士の健康管理を担う専門医（フライトサージャン）の実務について、講演者が JAXA フライトサージャンとして勤務した自身の経験談を交えながら、宇宙飛行士の医学運用について詳しく解説した。有人宇宙飛行に必要な支援活動について医学・医療を中心に述べた。国内では 1952 年の航空再開以来、有人飛行についての自主開発歴が乏しい。有人宇宙分野でも飛行士に関わる技術の開発経験は僅かである。有人宇宙開発については基盤である航空機の開発経験を積み、弾道飛行とその回収技術から習得するのが医学支援上も無理がない。我が国がこれから有人宇宙技術の自主開発にどう臨むのか、熟考する必要がある。講義では、JAXA フライトサージャンとして勤務した経験に基づき、宇宙飛行士の医学運用について解説した。軌道上での健康維持や帰還後のリハビリについても NASA や JAXA での運用方法について詳しく説明した。

[第5回 11月1日 宇宙での骨格筋への影響① 志波直人(久留米大)](添付資料 4.1.5)

第5回宇宙医学講義では、宇宙における筋萎縮に対する運動効果を中心に解説した。加齢性筋萎縮であるサルコペニアについてリハビリの臨床医の立場から詳細に説明した。筋肉の衰えに伴い、骨折などのリスクも高まるため、総合的な予防が重要となる。講師は、「宇宙空間で有効な骨格筋維持装置開発の研究」が2014-2017年度科研費等に採択され、2014年宇宙飛行士を対象にISS実験実施をした。その装置詳細と実験結果を紹介した。ハイブリッドトレーニング(HTS:Hybrid Training System)におけるハイブリッドとは、随意筋収縮と電気刺激筋収縮を指す。このシステムは、コンパクトな装置で重力に代わる運動抵抗を自身の体内で作製し、効率よく運動負荷メカニカルストレスを筋骨格系に与える。HTSの局所効果検証として、上肢実験の概要と結果は以下である。HTS被験者6名。ダンベルを用いた肘屈伸運動を1回に15分40秒。週3回を8週間継続。実験終了後、被験者らの上腕二頭筋断面積:14%増加、肘屈伸筋力:40%増加した。また、膝前十字靭帯再建術を行う被験者に対して手術前4週間のHTSによる膝屈伸運動を実施し、靭帯再建後の不要なsemitendinous muscleを解析したところ、筋タンパク合成、骨格筋幹細胞分化による筋再生の強化に関与する遺伝子EIF5A、筋損傷後の筋再生に強い関与をする遺伝子PEX6について発現が見られた。パラボリックフライト微小重力環境下や南極基地の閉鎖環境下でもHTSが期待通りの効果を上げることを確認した。ISSでのHTS試験は制約が多く、被験者は1名のみ。週3回、4週間のトレーニング。両脚運動の実験申請だったが、上肢左腕のみの実験となった。左腕にHTS装置を装着し、何もつけない右腕とともに同じダンベル運動を課した。MRIによる上腕筋容量を調べたところ、HTSを実施した左腕はコントロールの右腕に比べて明らかな筋肥大が見られた。フライト中に上腕周囲径を計測したところ、筋肥大の左腕に減少が見られたが、脂肪が減っていたためであった。ハイブリッドトレーニング機器などを用いれば、宇宙における筋萎縮を効果的に予防できる可能性がある。特に、地上での臨床現場での技術が宇宙に活かせることができれば、開発コストも抑えることができ、また宇宙から地上への還元にもつながり、有用な手段である。

講義後の質疑応答を抜粋

Q. ISSでHTSによる運動を行った左腕の脂肪が落ちた原因はHTS運動によるものか、微小重力環境によるものか。

A. なぜ左腕にのみ周囲径の減少が見られたのかについて明確な答えは得られていない。

Q. ISS滞在中の飛行士の骨量減少に一定の効果があつたBisphosphonateは破骨細胞の働きを阻害するが、骨芽細胞の活動をより活発にさせるというアプローチでの創薬研究はあるのか。

A. そのような骨粗しょう症治療薬として甲状腺ホルモン(PTH)製剤がある。動物実験では骨肉腫の発生報告があつた。

[第6回 11月8日 宇宙での自律神経系への影響 岩瀬敏(愛知医大)](添付資料 4.1.6)

第6回宇宙医学講義では、微小重力が循環機能、自律神経機能に及ぼす影響と対抗措置について講義を行った。ヒトが微小重力に曝露されると、神経前庭系、心血管系、筋骨格系、骨代謝系、造血・免疫系、体温調節系にそれぞれ「宇宙酔い」、帰還後の起立不耐性などの心循環系デコンディショニング、筋萎縮、骨粗鬆症、貧血・免疫力低下、鬱熱などの様々な身体的な不都合が起きる。特に、心血管系の不都合は、体液移動、循環血液量低下に伴うもので、その大きな変化の原因は自律神経系の変容にあると考えられる(微小重力暴露による

交感神経活動の変化は起立耐性維持に寄与している)。宇宙飛行後失神は、神経調節性失神であり、それに寄与する要因は、循環血液量の減少、下腿血液貯留量の増加、心拍数の増加に対する Bezold-Jarisch 反射の閾値低下、圧受容器反射の低下である。また、頭部方向への体液シフトが、緑内障、脳委縮を引き起こすリスクがある。このような不都合を解決する方法として、人工重力が提案されており、ベッドレスト実験により効果が実証されている。講師は、実際に人が搭乗可能な人工重力装置(大型遠心機)を製作し、これまで多くの実験を実施してきた。また、対照研究として人を長期間寝たきり状態にするベッドレスト実験なども行い、自律神経系からの新循環器への影響を研究してきた。とくに今年度は宇宙医学実習としてベッドレスト実験を実施する予定であることから、ベッドレスト実験とはどのような実験であるのか、過去のベッドレスト実験ではどのような結果が出ているのかなど模擬微小重力の比較として有用な点であることが強調された。まとめとして、宇宙空間での重力変化が様々な生理的影響を及ぼすため、地上と同様の重力を発生させる人工重力が実現すれば、宇宙での多くの問題が克服できる可能性を示唆した。

[第 7 回 11 月 15 日 宇宙放射線の影響① 山敷庸亮(京都大学)] (添付資料 4.1.7)

宇宙放射線とは宇宙から飛来する放射線のことであるが、そもそも放射線とは何であるか。まず電磁波としての放射線は、電離放射線(紫外線・X 線・ γ 線)と非電離放射線(可視光線・赤外線・マイクロ波・電波)に大別される。その正体は光子(フォトン)であり、光子は質量を持たないがエネルギーを有する。光子のエネルギーが大きく、DNA などの生体高分子を電離させる、あるいは励起させることで発がん等の顕著な生体反応を及ぼす波長域の放射線を電離放射線とする。一方、光子のエネルギーが小さく、DNA などの生体高分子にそのような影響をほとんど与えない放射線を非電離放射線とする。生体に有害な電離放射線には電磁波のほかに、粒子の流れである粒子線がある。粒子線はさらに電荷を持つ荷電粒子線(α 線、 β 線等)と電荷を持たない非荷電粒子線(中性子線等)がある。 α 線とは不安定な原子核が崩壊時に放出する He 原子核(陽子 2 個・中性子 2 個からなる)である。※He より大きい原子核が放出された流れは重粒子線と呼び、宇宙放射線にはこれらも存在する。 β 線とは原子核から放出される電子や陽電子の流れ。中性子線とは原子核が核分裂するときに放出される中性子の流れである。地球は地磁気によって守られているため、地上にいる限り宇宙放射線の影響と直接受けることはほとんどない。ISS は地上から 400 キロメートル上空を飛行しているが、地磁気によるシールドの効果は ISS にも及んでいない。そのため、ISS に滞在する宇宙飛行士においてもこれまで宇宙放射線の直接的な健康障害は報告されていない。しかし、ISS では低線量で長期間宇宙放射線に暴露しているという事実がある。ISS 滞在 1 日では地上で浴びる半年程度の放射線量を浴びることが知られている。また、今後は月面や火星などのミッションも計画されており、地球の地磁気の保護が及ばない場所でどのように宇宙放射線を防御すべきかということは非常に重要なテーマである。

※講義概要は第 7 回・11 回分をまとめて記載

[第 8 回 11 月 29 日 宇宙飛行士とリハビリテーション 山田深(杏林大学)] (添付資料 4.1.8)

第 8 回宇宙医学講義では、宇宙飛行士のリハビリテーションについて詳細に解説した。講師は、JAXA で生理的対策担当として宇宙飛行士のリハビリを担当している。実際に多くの日本人宇宙飛行士のリハビリを指導してきた経験をもとに宇宙飛行士のリハビリのスケジュールや運動内容などについて説明をした。宇宙長期滞在では、①微小重力環境、②宇宙放射線被ばく、③閉鎖環境(騒音)によって、筋萎縮、骨量減少、体液シフト、心肺機能低下、宇宙酔い、精神的ストレス、生体リズムの変化などの影響がある。筋萎縮・骨量減少・心肺機能低下

については、これを最小限に抑える対策として宇宙飛行士には ISS 滞在中に運動が課されるが、地球帰還後、運動耐容能の低下といった様々な変化が身体に生じており、リハビリテーションが必要となる。遅筋の萎縮については、ISS 初期はヒラメ筋や腓腹筋の筋断面積にして 10～15%の減少がみられていたが、現在はそれよりも減少を抑えることに成功している。骨密度については 6～9%の減少があり、飛行前の骨量にまで回復するには 3 年程度の時間を要するのが現状である。なお微小重力環境下では、地上では圧迫されていた椎間板の負荷がなくなり身長が 1～3%程度伸びる。この身長変化に伴い、宇宙飛行士の 69%が腰背部痛を報告している。飛行士たちへの調査によると腰背部痛の痛みはフライト初期に最も強く次第に軽減されるとあるが、地上帰還後の NASA 宇宙飛行士 321 名中、44 名が椎間板ヘルニアを罹患していた。これは NASA 地上勤務職員をコントロール群として比較すると 4.3 倍。脊柱変化を調査したところ、飛行前後で椎間板の水分含有量に有意な変化はなかったものの、脊柱前弯角度を算出したところ、その角度に飛行後に有意に減少が見られた。対策として、この背骨のカーブを抑えるために当該部分の筋肉を鍛えることが考えられている。続けて ISS における軌道上運動機器について解説をした。現在は有酸素運動、動的ストレッチング、抵抗運動、ファンクショナルトレーニング、体幹トレーニング、静的ストレッチングなどをリコンディショニングとして実施しているが、個人因子やコンディショニングにも配慮した多様なリハビリテーションプログラムの提供は今後の検討課題である。

講義後の質疑応答を抜粋

Q.宇宙飛行士の帰還後のリハビリメニューが 45 日間に設定されていることには理由があるか？

A. リハビリの効率化により 45 日かからずに目標値を達成し完了するケース増えてきている。一方、ロシアなど国によっては温泉療法を取り入れてゆっくりとリハビリを実施する国もある。日本独自のリハビリメニューを構築したい。

Q. リハビリメニューに性差はあるか？

A. 現状、宇宙飛行士に女性は少なく、女性特有の問題等もあるだろうから産婦人科からの意見取入れも今後には必要になるだろう。

[第 9 回 12 月 6 日 宇宙での姿勢制御 萩生翔大(京都大学)] (添付資料 4.1.9)

第 9 回宇宙医学講義では、微小重力が姿勢制御に及ぼす影響について、筋肉の活動や動作を分析して、脳が運動を作り出す法則を明らかにしようという運動制御学的なアプローチによる研究を紹介した。人は地上においては 1G の下、平衡感覚を保っている。我々の個々の動作は様々な器官が統合されて、一つの動作を行うことが可能である。つまり、様々な自由度の組み合わせによって特定の動作を行っている。一つ一つの自由度を脳が 1 対 1 の関係で制御する場合、膨大な情報を瞬時に処理する必要がある。そのため、脳と末梢器官(骨格筋)の間には、シナジーと呼ばれるパターンが存在することが提唱されている。筋電図データから特定の動作に関わっている筋シナジーパターンを算出することが可能である。これまで行ってきた宇宙飛行士対象の宇宙実験では、約 6 ヶ月軌道上に滞在して地上に帰還した宇宙飛行士の筋シナジーパターンは帰還後 3 ヶ月経過しても、軌道上滞在前のパターンに回復していないことが分かっている。この原因については現在計画している宇宙実験でさらに解明する予定である。

講義後の質疑応答を抜粋

Q. 生後約3日の新生児の歩行中の筋シナジーにおいては、2個の筋肉のグループ(足を伸ばす・足を上げる)を使っていたのに対して、11~14か月の幼児では更に2個の筋シナジー(重力に対して体を支えるためのもの)を獲得して4個の筋シナジーを得るとのことだが、成長の過程で原始反射の一つである原始歩行が失われるが、筋シナジーにはどのような影響があるか？

A. 調べていないのでわからないというのが本当のところだが、反射が失われても系としては残っているのでプログラム自体は変わらないと思う。

Q. 筋シナジーのパターンの数は成長とともに変わってくると思うが、学習の過程でシナジーが増えていくのが一般的なのか、あるいは一度増えてから減らす方向に進むのか？

A. 運動制御の考え方では、一旦増やして、いらぬものを淘汰していく。今あるシナジーで対応できないときに必要に応じて再編していく運動学習の一環である。

[第10回 12月13日 宇宙服と低圧症 田中邦彦(岐阜医療科学大学)] (添付資料 4.1.10)

第10回宇宙医学講義では、講師自身の宇宙服開発の経過を紹介した。有人宇宙活動において、宇宙服の開発は重要である。船内で着用している衣服も広義の意味では宇宙服であるが、今回は特に船外活動用の宇宙服について解説した。はじめに、現行のNASA船外活動用宇宙服の構造を説明した。基本となる宇宙服のレイヤーは、気密を守るためのナイロン層と、宇宙服の膨張を防ぐために伸び縮みしない丈夫なポリエステル繊維素材(ダクロン)の拘束層から成る。さらに温度変化の激しい宇宙空間で身を守るためにアルミ蒸着した布を6層程度重ねて覆っている。船外宇宙服は、内圧が高いと宇宙環境が真空のため極端に膨張し、可動性が下がることとなる。そこで現在NASAの船外活動用宇宙服では、純酸素で内圧が0.3気圧に維持されている。このとき1気圧の船内からこの宇宙服の内圧0.3気圧へ急激な気圧変化をすると、血液中に溶け込んだ窒素が気化して気泡が発生し、血液中の酸素供給を妨げる等の障害が発生し(これを減圧症と呼ぶ)、最悪の場合死にいたる。これを避けるため、スペースシャトル時代は、船外活動前にはほぼ丸一日かけて0.7気圧まで徐々に船内の気圧を下げて予備呼吸を行い、その後宇宙服を装着して0.3気圧まで減圧するという手順だったが、現在は予備呼吸の段階でエクササイズを行うことでより速やかに血液中の窒素を排出でき、船外活動準備開始から4時間半ほどで船外活動ができるようになった。宇宙服の開発は、減圧症リスクを下げようとして高与圧にすると可動性が失われ、可動性を保つために低与圧にすると減圧症リスクが高まるという二律背反にある。この問題を解決するため、講師はスーツ等での締め付けによる加圧を加えた宇宙服、弾性と圧スーツについて研究を行った。気圧、接触圧を問わず、0.3気圧を確保できれば減圧症にならない検証までは実施できたが、わきの下やまたぐらといった箇所、これらは太い血管が皮下に走っているのでここに圧力をかけられなければ減圧症を起こすのだが、均一に圧をかけることが困難であった。仮にストッキングのような素材で0.3気圧相当の圧力を全身にくまなくかけようとする、mmHg換算で220mmHg。これは健康な人の動脈血圧よりもさらに高い。このようなスーツを装着すると全身の血流が止まる。また、内圧0.3気圧で飛行士は船外活動を行うが、肺水腫のリスクに曝され続けており、活動上限は8時間に定められている。常時暴露可能な気圧は0.65気圧とする実験データがある(Webb et al. 1998)が、これは富士山頂上の気圧と同程度である。今後は、月周回軌道でのミッションなども計画されており、宇宙飛行士にとって効率的にミッションを実行できる宇宙服の開発が重要となってくる。

講義後の質疑応答を抜粋

Q. 弾性と圧スーツの課題として、凹部(わきの下やまたぐら)への均一な加圧が難しいとのことであったが、不足分について空気圧で補うといったハイブリッド形式ならばどうか？

A. 0.3 気圧相当、あるいは 0.65 気圧相当をかけようとするとうすつが膨らんでしまう。素材の強度不足で上手くいっていないというのが現状である。着眼点はとても良いと思う。

Q. 船外活動用宇宙服の開発にあまり大きな進展が見受けられないのは、予算の問題もあるのか。

A. アルテミス計画や今後の火星開発計画にあわせて宇宙服開発の動きもあるようだが、公表されている情報が非常に少なく、また公開されているものに関しても、これまでの宇宙服開発で判明した課題を解決しようとしているように見受けられない。与圧したうえで可動性を確保するのは難しいのだろう。

Q. スキューバダイビングにおいては、呼吸は別に確保して、皮膚だけならば 5 気圧程度までは耐えられるという話がある。宇宙服においてもそのような展開はできないのか。

A. できない。毛細血管は非常に繊細で破裂しやすい。

[第 11 回 12 月 20 日 宇宙放射線の影響② 山敷庸亮(京都大学)]

第 7 回の概要を参照

[第 12 回 12 月 27 日 宇宙での医療行為と技術 瀧澤玲央(東京慈恵会医科大学)]

今回から初めて宇宙での医療行為に焦点を当てて講義を実施した。まず宇宙環境の特殊性を説明し、地上での医療行為ではそのまま宇宙環境では適応できないこと、宇宙環境の特殊性を考慮した独自の医療行為が必要なことを解説した。点滴を例に挙げると、地上では点滴の薬液は重力勾配を利用して移動することができる。しかし宇宙環境では重力勾配がないため、地上の点滴技術を用いることができず、もし点滴を実施する場合には宇宙環境に特化した点滴方法を考慮する必要がある。地上は、1G で 1 気圧の環境であるが、宇宙では上下の感覚が喪失することによって、医療者自身の作業感覚も狂うことになる。現在は宇宙機関の宇宙飛行士が有人宇宙ミッションを担っており、彼らは健康体で厳格な医療管理ができる体制が整っている。しかし、今後は民間の宇宙旅行者なども宇宙に滞在する機会が増えることが予想される。特に民間人が宇宙に行く場合、すべての渡航者が健康体である保証もなく、特殊は持病などを抱えている者も含まれることもあり得る。その場合、それらの人達のケア方法も開発していく必要がある。有人宇宙ミッションが開始され半世紀以上が経過しているが、多様な人々が宇宙滞在する時代が到来することに伴って、医療行為も進化していく必要がある。

[第 13 回 1 月 10 日 宇宙での骨格筋への影響② 河野史倫(松本大)] (添付資料 4.1.11)

第 13 回宇宙医学講義では、衰えない筋肉を作るための骨格筋エピジェネティクス研究について講義を行った。14 日間の宇宙飛行がラット後肢筋に与える影響として、ヒラメ筋、腓腹筋に顕著な筋萎縮が認められたのに対して、前脛骨筋には顕著な筋肥大が見られたと報告されている。講師らはパラボリックフライトによる微小重力環境下でのラットの姿勢変化と筋電図の変化の関係性を確認し、微小重力環境で活動低下する筋肉に筋萎縮が起きる(廃用性筋萎縮)ことを明らかにした。次に他のグループ研究成果として、ISS で 90 日間の宇宙実験を行ったマウスの骨格筋繊維の変化に関する報告を紹介した。抗重力筋のヒラメ筋において一部遅筋繊維から速筋

繊維への変化が生じることが分かった。また、ISS 長期滞在(180 日)クルーにおけるヒラメ筋繊維サイズ変化のデータのばらつきを示し、ISS 滞在中の運動方法選択においてトレッドミルの「走る」運動の少ないクルーにヒラメ筋繊維サイズダウンの傾向があると考えられていることを紹介した。地上でも運動効果獲得における個体差があることがわかっており、遺伝的要因のみならず、生活習慣や運動歴等の後天的要因も存在するという仮説を講師は立てた。遅筋から速筋への置換では 7 割強もの遅筋が残っている事実講師は着目した。この仕組みを解明できれば速筋へ置換されにくい遅筋を作れるのではないかと。将来的には宇宙でも衰えない、萎縮しない筋肉を遺伝的に作ることができるかもしれない。これらの研究を動物実験で継続していくことが重要である。

講義後の質疑応答を抜粋

Q. 遅筋と速筋はエピジェネティック的にはどの段階で分かれると考えられるのか。

A. 未解明の部分なのではっきりとしたことは言えないが、損傷した遅筋が再生する際には速筋から速やかに遅筋に変わるが神経入力がないと遅筋にはならない。神経入力が遅筋の特徴を決めていることは間違いない。微小重力環境と人工重力による 1G環境を作る ISS のマウス実験にて、筋細胞が遅筋と速筋のどちらになるかを決定する遺伝子を特定しようとしているが、まだ決定的なものは見つかっていないようだ。

Q. 速筋に比べると、遅筋のほうが筋核は倍くらい多いが、遅筋のほうが修復しやすいという理解で良いか。

A. サテライト細胞数も遅筋のほうが若干多いので、再生能力に大きな差があるという報告はないが、サテライト細胞の増殖活性が高いために筋核が多いという考え方で間違いはないと思う。

Q. サテライト細胞自体は遅筋も速筋も同じものなのか。

A. サテライト細胞そのものは同じ。血流量や代謝物が異なればサテライト細胞の増殖の活性、分化には差が出るかも知れない。

Q. 遅筋への置換を目指すにあたって、筋萎縮が悪影響を及ぼすことはあるか。

A. たとえば廃用性筋萎縮の問題は、筋力低下ではなく、構造上の乱れにより筋力を発揮できなくなる点にある。今の性能のまま小さくなることには特に問題はない。

Q. 筋肉の修復が不利というが、筋肥大と筋繊維の性質は分けて議論すべきということか。

A. 生体の筋肉が一度壊れて再生すると、その時にあるサテライト細胞からしかできないのでせっかくの筋核の多様性が失われてしまう。再生後の筋細胞は血糖の処理が非常に早くなるが運動応答が見られなくなる。一度壊れて再生した筋繊維のほとんどが FOG 筋(速筋繊維 type2a)になる。エネルギー代謝には優れているが外の刺激には応答しない。筋核にも多様性が必要ではないか。運動に応答しやすい、代謝が強い、加齢や病気に対する耐性がある等々。

[第 14 回 1 月 17 日 宇宙での骨格筋への影響③ 谷端淳(東京慈恵会医科大学)]

第 14 回宇宙医学講義では、宇宙での骨格筋への影響について講義を行った。私たちの体は体重換算で約半分が骨格筋で出来ている。骨格筋の特徴としては、使えば使うほどに肥大し、使わなければ萎縮する。宇宙環境に滞在すると微小重力の影響により、骨格筋の萎縮が生じることはよく知られている。宇宙での筋萎縮は使

わないことにより生じる廃用性の筋萎縮であり、これらの現象は地上での高齢者の加齢性筋萎縮（サルコペニア）などとの相関も多い。講師は、これまで筋ジストロフィーにおける筋崩壊過程を研究してきた。筋の崩壊と萎縮にも共通する部分があり、その観点からの解説も行った。骨格筋を肥大させる調節因子として Myostatin の例を説明した。Myostatin 遺伝子に異常が生じると、筋骨隆々になることが知られている。また、筋分解系のシグナルとしてユビキチンプロテアソームとオートファジーについての解説をした。これらシグナル因子を調節することにより、筋分解と筋生成をコントロールでき、宇宙での筋萎縮予防にもつながる可能性がある。

講義後の質疑応答を抜粋

Q. 全身の筋肉をまんべんなく維持することが好ましいのか、部分的なものでも構わないのか。

A. 例えば、足の筋肉だけでも維持できれば痴呆を回避できるのか等のデータはないので、はっきりとした答えはないが、ほかの臓器に作用させるということを考えるのであれば、筋肉からサイトカインが出て血中を介して作用するので、どこかの筋肉が維持できていれば良いと個人的には思う。

Q. 微小重力環境下では完全には筋萎縮を回避できないと思うが、生活習慣病を予防するにはこれだけ筋肉量を維持できれば良いという目安は設定できるだろうか。

A. データがないのでわからないが、それがわかれば運動時間を最小限に留めることができるので重要なテーマであろう。

Q. 神経伝達に重要な役割を果たす一酸化窒素を考えると、果たして一酸化窒素合成酵素は、宇宙でも正常な機能を果たすだろうか。

A. 非常に興味深いが、ISS での実験にも多くの制約があり、検証するのは難しい。しかし大変興味深いテーマであると思う。

2.1.2. 宇宙医学講義におけるコンセプトマップ解析(京都大学)

有人宇宙医学講義を通し、宇宙医学に対して学生が持つイメージがどのように変化し、学生が何を学んだのかを可視化する目的で、コンセプトマップを講義の前後で作成してもらい、前後のコンセプトマップの構成を比較することで、学生の講義理解度を評価した。今回は、中心テーマを「微小重力への生体適応」とし、以下の作業を行った。

- i. 中心テーマ(ここでは「微小重力への生体適応」)を構成しているコンセプト(=中心テーマについて知っている事柄)を書き出す。
- ii. 関係性を考えながらコンセプト間をリンクで繋ぎ、可能な限りリンク語を書き入れる。

コンセプトマップは第1回目の講義(2023年10月4日)と、第14回目の講義(2024年1月17日)が終了した後にそれぞれ20分間作成する時間を設け、学生に作成してもらった。

【コンセプトマップ解析】

コンセプトマップにおいては、リンク数が多いノードほど学生が明確なイメージを形成している重要な概念であると考えられる。そこでリンク数が3つ以上のノードを抽出し、その変化を見ることで、講義がイメージ形成にどのように影響したかを解析した。

【コンセプトマップの分析結果】

ここで、①ノード数、②リンクの数、③3つ以上のリンクをもつノードの数、④③のノードのリンク数合計とし、おのこの平均値や増加率、標準偏差を比較した。①～④についてx軸を講義前、y軸を講義後として数をプロットし(図3)、講義前からの数的変化を範囲に分けて、ヒストグラムで示した(図4)。

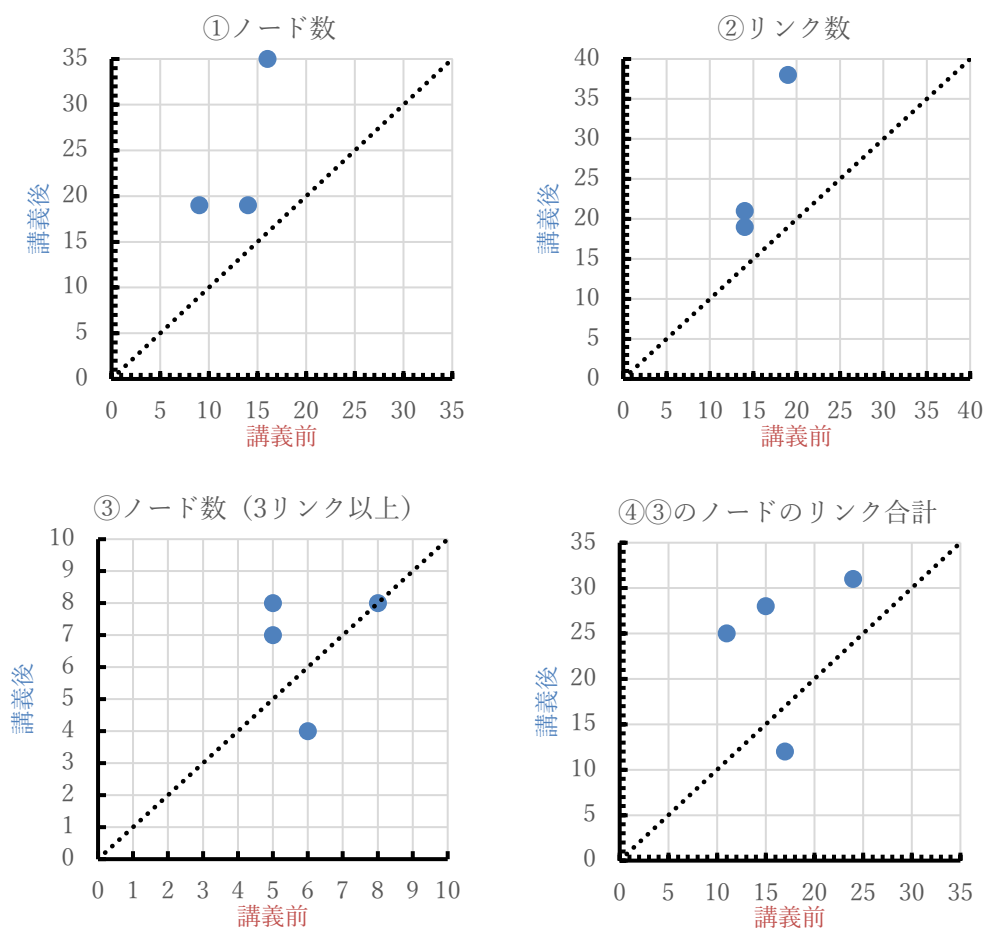


図3: コンセプトマップにおける講義前後の関係

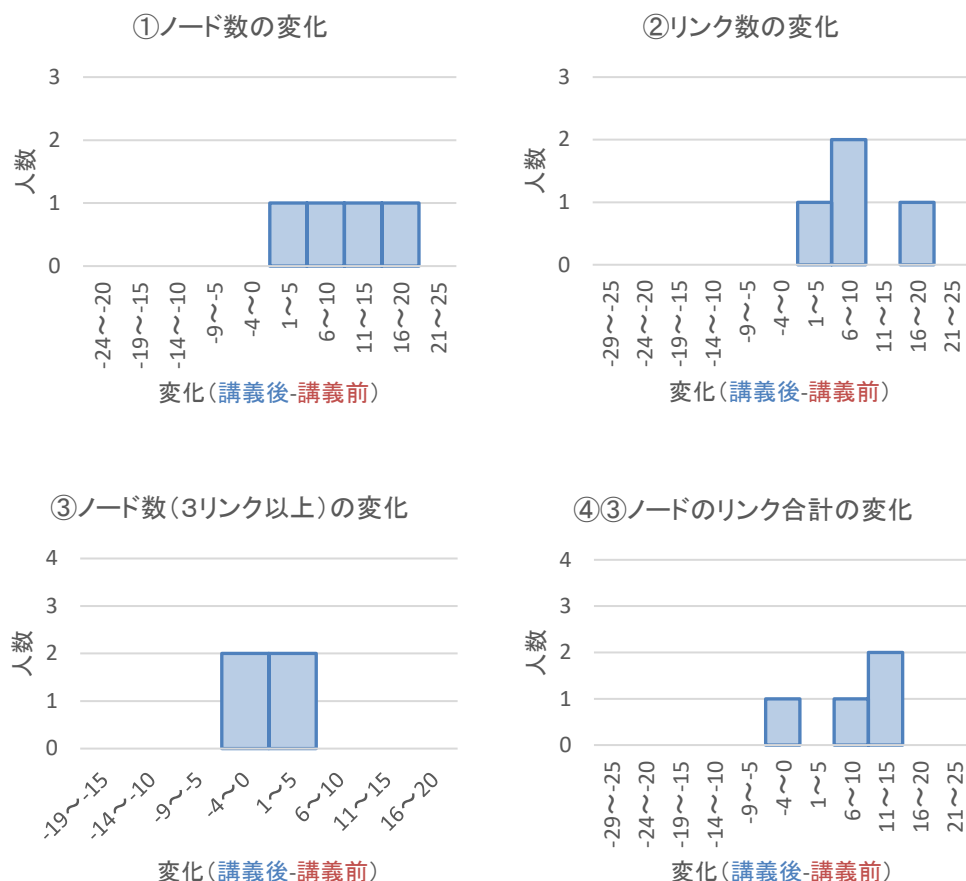


図 4: コンセプトマップにおける講義前後の変化量分布(ヒストグラム)

【ノード数の変化】

講義前の平均値は 17.0、講義後は 28.5 であり、約 1.68 倍となった。図 3-①と図 4-①のとおり、ほとんどの学生のコンセプトマップでノードは増加していた。講義を受講することによって専門的知識が増えたと想像できる。

【リンク数の変化】

講義前後で平均値の変化は 21.5 から 30.1 となり、約 1.4 倍となった。すべての学生のコンセプトマップでリンク数は増加していた。全体としては、コンセプトマップを見ると、講義内で触れた内容や専門外の単語も並ぶようになり、知識の幅が広がったように思われる。

【3リンク以上をもつノード数の変化】

平均値は講義前の 6.0 から講義後は 1.13 倍増加し、6.8 という結果を得た。変化に大きな個人差がないのは、図 4-③を見ても範囲にばらつきが少ないことから明らかである。講義前からノード数が多くなかった理由としては、今回の講義は宇宙医学に特化したものであったため、専門的な用語間の複雑な繋がりを具体的にイメージすることは若干難しかった可能性がある。

【3リンク以上をもつノードのリンク合計の変化】

平均値は 16.8 から 24.0 へと約 1.43 倍増加した。一方で図 4-④を見ると、14 増加した人もいれば、5 減少した学生もあり、学生間で変化量に大きな差があったことがわかる。今回の講義はオムニバス方式だったため、宇

宇宙医学としても広い範囲を網羅していたため、時間的にもノード間のつながりを整理できなかったことが原因の 1 つとして考えられる。

【ノードの内容変化】

- ・「宇宙放射線」、「筋萎縮」、「体液シフト」、「宇宙酔い」、「骨量減少」といったノードが複数の履修者に共通してみられるようになった。もともと宇宙で生じる変化のイメージとして、宇宙放射線や宇宙酔いといったポピュラーな用語を講義を受けることによって、さらにイメージ付けできたと思われる。
- ・講義前は微小重力の影響として、「免疫」、「精神ストレス」、「筋力」といったノードがみられていたが、講義後には「筋萎縮」、「骨密度低下」、「心循環低下」、「眼球変形」といったノードが多くの子でみられるようになってくることから、内容が具体的になり、バリエーションが増えたことがわかる。講義を受けることによって、これまで漠然としていたイメージがよりはっきりとイメージできるようになり、身体変化を想像できるようになったと思われる。

2.1.3. 岐阜医療科学大学での宇宙医学講義

岐阜医療科学大学では、前期・専門基礎分野・保健医療福祉と臨床検査・選択講義の環境医学概論として、宇宙医学講義を実施した。有人宇宙開発の歴史と、宇宙医療科学(宇宙空間の人体への影響、対抗策、地上での医療との共通点・相違点など)について講義を行った。受講生は岐阜医療科学大学の臨床検査学科の4年生であるため、医療関係者の視点から有人宇宙開発を理解してもらう目的である。

全8回の講義内容は下記の通りである(添付資料4.2)。

第1回 有人宇宙開発の概要:

世界の有人宇宙開発の概要を解説する。

第2回 循環器系:

重力変化に対する心・循環系への影響と高齢者医療との関連について解説・演習を行う。

第3回 運動系:

重力変化に対する筋・骨への影響と高齢者医療との関連について解説・演習を行う。

第4回 感覚器系:

重力変化に対する感覚器と高齢者医療との関連への影響について解説・演習を行う。

第5回 放射線影響:

有人宇宙開発に伴う放射線影響と人体における放射線障害について解説・演習を行う。

第6回 船外活動:

宇宙服の構造・機能と高地医学について解説・演習を行う。

第7回 宇宙医学史:

本邦の宇宙医学研究の歴史について解説する。

第8回 本邦の宇宙開発:

本邦の宇宙開発の展望について解説する。

2.2. 模擬微小重力暴露実験の実施(講義で学んだ知識を実践的に体験・実施する):

2.2.1. ベッドレスト実験実施報告

令和5年度の模擬微小重力暴露実験(ベッドレスト実験)として、令和6年3月7日～18日の日程で岐阜医療科学大学においてベッドレスト実験を実施した。10日間の「6度ヘッドダウン・ベッドレスト」を行い、その被検者のケアおよび計測を、宇宙医学に関心のある学生とともにいった。

同実験・実習は一定期間、被検者を床上で生活させ、食事・排泄といったすべての行為を床上でしかも臥位で行わせることによって、①身体を支持、移動させる筋・骨といった運動器、特に日常的に体重を支えている下半身及び体幹部の運動器に対する負荷を消失させる。またこのとき、臥位から立位、座位といった姿勢変化、つまり身体にかかる重力方向の変化も消失するため、②深部感覚あるいは内耳・前庭系といった平衡感覚器官への入力も消失する。この時、頭部方向を水平状態から6度低位にすることで、③頭部方向への血液移動を惹起させる。①～③の効果によって、地上1G環境において、微小重力環境における身体状況を模擬するものである。

ベッドレスト実験日程:

3月7-8日: ベッドレスト実験前のプレ測定

3月8-17日(10日間): ベッドレスト期間

3月17-18日: ベッドレスト実験後のポスト測定

当初ベッドレスト実験は、学生の夏季長期休暇中の9月に実施する方向で進めていたが、諸々の理由により年度末の3月での実施となった。その経緯も含めて、ベッドレスト実施までの取り組み事項を報告する。

まず年度当初に倫理申請を行った。倫理審査は、京都大学と岐阜医療科学大学の多機関共同研究における中央一括申請として、岐阜医療科学大学の研究倫理委員会へ申請した。研究倫理委員会へ申請した研究計画書の内容を記載する。

1. 研究課題名

模擬微小重力曝露に伴う身体的変化と内耳前庭系電気刺激の影響評価

2. 研究実施体制

岐阜医療科学大学 大学院保健医療学研究科 教授 田中邦彦

研究計画作成, 統括, 実験実施, 解析, 発表

同 教授 丹羽政美

MRI 検査実施・解析

同 講師 杉浦明弘

MRI 検査準備・実施・解析

同 教授 杉浦浩子

ベッドレスト準備・実施

京都大学 宇宙総合学研究ユニット 特定准教授 寺田昌弘

ベッドレスト実施・運動機能評価

3. 研究の目的及び意義

3-1. 研究の背景

提案者らは、内耳前庭系電気刺激が内耳由来の姿勢や血圧調節機能を改善させることを報告してきた。また、内耳前庭系が骨形成や免疫応答にも影響を及ぼしていることが明らかになってきた。人体が微小重力に曝露されると、血液の頭方移動、筋・骨への負荷低減、内耳前庭系への入力消失等によってさまざまな変調をきたす。提案者は長期宇宙滞在によって内耳前庭系機能が低下することを法億してきた。

3-2. 研究の目的と意義

微小重力環境曝露中も内耳前庭系に刺激を加えることでこの機能低下が抑制されるのではないかと考えられる。そこで本研究では、内耳前庭系の変調がほぼ確実な2週間弱、模擬微小重力環境(6度頭低位での臥床生活)に曝露し心・血管・筋・骨・免疫系にいかなる変調が認められるか、その変調が内耳前庭系への継続的電気刺激によって予防できるか否か、できるのであればどの程度可能かを定量的に検証する。

4. 研究の方法及び期間

4-1. 研究実施期間

許可日から 2027 年 3 月 31 日まで

4-2. 研究の方法

1. 被検者

- ・ 健常男性 12 名(令和 5 年度、令和 6 年度の合計)
- ・ 問診の結果から、研究者が被験者として実験に参加可能と判断した者。
- ・ 半数を刺激群、残りを対照群とする。

2. -6°ヘッドダウンベッドレスト(岐阜医療科学大学可児キャンパス 基礎・成人看護実習室・1号館 2111): -6°に頭部を下げた状態にセットしたベッド上で仰臥位姿勢になる。

- ・ 被験者は、頭を-6°下げた姿勢を保ってさえいれば、側臥位や伏臥位姿勢への寝返りを許可する。
- ・ 読書、PC 使用、勉強などは自由に行うことができ、被験者同士や訪問者との談笑も混乱を招かない範囲であれば許可するなど、必要以上に被験者の生活を制限しないこととする。
- ・ 生活上に不便が生じた場合は、専属の看護スタッフが補うこととし、看護スタッフや医師(看護スタッフは日中 2 名、夜間 1 名。医師は日中 1 名、夜間 1 名)が 24 時間体制で被験者の要望にできるだけ応え、話し相手をつとめたりして、実験中の被験者のストレスを出来るだけ軽減するようにする。看護師は岐阜医療科学大学職員および公募に応募してきた者に依頼する。時給 1250 円を支給予定。
- ・ 携帯電話通話も午前 10 時から午後 10 時まで、実験に差し支えない範囲で許可する。ベッドレスト中は規定食(朝、昼、夕)のみを摂取させ、約 2,200Kcal/日に規定する(給食業者に依頼)。
- ・ 水分摂取はミネラルウォーターか麦茶をペットボトルにて与え、脱水を避けるために前日の 1 日尿量と同じ量を最低限摂取するように指示する。不感蒸泄分は被検者の任意とする。
- ・ 食事や排泄はベッド上で仰臥位か側臥位で行い、必要時には看護スタッフが介助する。

- ・ 入浴の代わりにベッド上で清拭および洗髪を毎日行う。
- ・ 各ベッドはパーティションで区切り、可能な限りプライバシーの確保に努める。
- ・ ベッドレスト前中後で 4-3 の計測を行う。

3. -6°ベッドレスト中の内耳前庭系電気刺激 (Galvanic Vestibular Stimulation; GVS):

- ・ 刺激群の被験者は、1 日 10 分間の GVS を毎日行う。
- ・ 耳介後部に電極を置き 0.1~3.0 mA、振幅一定のホワイトノイズ波形による電気刺激を加える。
- ・ まず刺激を感じることができる体感閾値となる電流強度を確認する。刺激群(6 名)には体感閾値の 90%の強度で刺激を行う。刺激強度は期間中変更しない。対照群(6 名)には体感閾値確認後、0mA で 10 分間同様の手技のみ行う。

※刺激群・対照群の()内の人数は、令和 5・6 年度の 2 回分の実験の総数。各年度それぞれの群は 3 名。

4-3. 観察及び検査項目とデータの収集方法

1. ベッドレスト前後の計測

① 起立時血圧応答(1 号館 1221)

- ・ 0° および 60° で各 5 分間、姿勢を維持させ以下の項目を計測する
- ・ 心電図, 呼吸曲線(DL-320、S&ME)
- ・ 連続血圧、1 回拍出量(Human NIBP, AD Instruments)
- ・ 血管年齢(アルテット 2、ユメディカ)

② 重心動揺(岐阜医療科学大学可児キャンパス 1 号館 1221)

- ・ 直立時の重心動揺を計測する(重心軌跡測定装置、武井機器)
- ・ 開眼 1 分、閉眼 1 分の重心動揺距離・外周面積・X 軸 Y 軸それぞれの周波数応答を解析する。

③ 耳石機能検査(岐阜医療科学大学可児キャンパス 1 号館 1221)

- ・ 500Hz、持続時間 0.1msec の音を 1 秒間に 5 回、20 秒間、100 デシベル程度の大きさでヘッドフォンから聞かせたときの胸鎖乳突筋筋電図測定。

④ 骨・免疫代謝マーカー

- PTH-インタクト
- カルシトニン
- オステオカルシン
- BAP
- Ca
- IP
- 1,25-(OH)₂ ビタミン D
- リンパ球マーカー(CD4, CD8)

⑤ 骨密度

- ・ 頭蓋骨・上腕骨・肋骨・骨盤・腰椎・大腿骨・踵骨の骨密度(岐阜医療科学大学関キャンパス CT 室)

⑥ 胸腺容積(関キャンパス CT 室)

- ・ 胸腺のサイズを評価する

⑦ fMRI

- ・ 視覚誘導自己運動感覚に起因する脳内応答評価(岐阜医療科学大学関キャンパス MRI 室)

<京都大学>

⑧下肢拮抗筋の筋活動パターン測定

立位時ならびに歩行時の筋シナジー測定を実施する。立位時の筋シナジーは、床反力計上にて静止立位を維持した後、前方のディスプレイに呈示された 12 方向に設定されたターゲットにできるだけ足圧中心を一致させる立位課題を行い測定する。課題中、前後・左右方向の足圧中心位置および両脚のヒラメ筋、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、前脛骨筋、外側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋長頭、中殿筋よりワイヤレスの筋電計測装置 (FreeEMG1000) を用いて表面筋電図を導出する。足圧中心がターゲットまわりで安定した時間の筋電図データを用い、非負値行列因子分解により筋シナジー (筋シナジーから各筋への重みづけベクトル) とその活動度 (中枢神経系から筋シナジーへの運動指令) を算出する。歩行時の筋シナジーは歩行中に取得した筋電図データより算出する。

⑨歩行動作解析

動作解析カメラシステム (MICROCAM200-4) を用いて、ベッドレスト開始前ならびに終了後にベッドレスト被験者の歩行中の動作解析を行う。

⑩心電図測定

心電計 (Bittium Faros180) を用いて、ベッドレスト実験中のベッドレスト被験者の心電図をベッドレスト実施中に連続で測定する。

2. ベッドレスト前後の計測 (基礎・成人看護実習室)

① 血圧

- ・ 血圧測定装置を用いて毎日定時に計測。

② 深部温 (鼓膜温) と末梢温

- ・ 1 日 3 回定時に、鼓膜温計、体温計を用いた体温測定を行う。

③ 水分出納

- ・ 飲水量・食事量・尿量・便重を連日計測する。

5. 評価項目

【主要評価項目】

- 起立時血圧応答
- 京大: 歩行動作応答、心拍変動応答

【副次的評価項目】

- 重心動揺・耳石機能・代謝マーカー・骨密度・胸腺容積・fMRI
- 京大: 筋電図 (EMG) データ、床反力データ、カメラ動画データ、心電図データ

6. 研究対象者の選定方法

6-1. 選択基準

口頭、広告公募に対して応募してきた、岐阜医療科学大学学生を含めた健康ボランティア

6-2. 除外基準

重篤な循環器系・筋・骨・耳鼻科的疾患の既往のある者、治療中の者

7. 研究の科学的合理性の根拠

7-1. 目標数とその設定根拠

12 名

統計的有意水準を得るために 1 項目あたり最低 6 名が必要。刺激群と対照比較のため計 12 名。

7-2. 統計解析方法

t 検定・分散分析・ノンパラメトリック解析の内、実験方法ならびに得られたデータに応じて適切なものを採用する。総じて適切なものを採用する。

8. インフォームド・コンセントを受ける手続き等

研究責任者は、事前に研究倫理委員会で承認、学長の許可の得られた同意説明文書を研究対象者に渡し、文書及び口頭により十分な説明を行い、研究に参加するかどうかについて、十分考える時間を与えた後、研究対象者の自由意思による研究参加の同意を文書で得る。

9. 個人情報等の取扱い

本研究は、個人情報の取扱いに関して、「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する研究計画書についての細則」及び適用される法令等に従い、本研究計画書を遵守して実施する。

本研究で取り扱う試料・情報等は研究責任者が個人が特定されないように加工した上で、研究・解析に使用する。個人が特定されないように加工する方法については、試料・情報から個人を識別できる情報を削除し独自の符号を付す作業を行う。作成した対照表ファイルにはパスワードを設定した上でパスワードのかかる USB に保存し、鍵のかかる書庫に保管し、部屋から持ち出さない。

本研究の成果を学会及び論文で発表する際には、研究対象者の個人を特定できる情報は一切使用しない。

10. 研究対象者に生じる負担並びに予想されるリスク及び利益、これらの総合的評価並びに当該負担及びリスクを最小化する対策

10-1. 予想される利益

本研究に参加することによる研究対象者個人への直接的な利益は生じない。研究成果は内耳を介したあらたな調節系の発見、その高齢者等における新たな治療・リハビリ方法の開発、宇宙滞在における身体不調の新たな病態理解と治療・予防に有益となる可能性がある。

10-2. 予想されるリスク等

- 予定プロトコル終了時および被検者が中止を申し出た際には直ちに実験を終了する。
- ベッドレスト開始後 2-3 日目に頭痛が生じる場合があるが、軽度であり、4 日目以降は軽快する。許容範囲を超えた場合にはベッドレストを中止する
- 採血は 1 回 15mL 程度であり、健康な人体に影響はない。

- 前庭電気刺激は、非常に微弱なノイズ刺激であり、危険ではないが、被検者が不快感を訴えた場合には直ちに中止する。また、機器と人体からはアースを確実にとる。

11. 試料・情報の保管及び廃棄の方法

- 本研究の実施のために取得したデータ・情報については、研究責任者の所属する研究室内の外部から切り離された媒体に保存する。データは当該情報を取り扱う研究者のみがパスワード管理により利用できることとし、情報の紛失・遺漏等の防止を徹底する。また、同意の撤回（中止の申し出）があったデータ等については、登録時からすべてのデータを破棄する。
- 本研究終了後において、本研究で得られた研究対象者のデータ・情報を他の研究において使用することはない。取得したデータ・情報は「岐阜医療科学大学研究活動不正行為防止規程」第3条第3項及び第4項の規定に準じて適切に保管・破棄する。

12. 学長への報告内容及び方法

(1) 研究の実施の適正性若しくは研究結果の信頼を損なう事実等の情報を得た場合

研究責任者は、研究の実施の適正性若しくは研究結果の信頼を損なう事実又は損なうおそれのある情報を得た場合は、速やかにその旨を学長に報告する。

(2) 研究の倫理的妥当性若しくは科学的合理性を損なう事実等の情報を得た場合

研究責任者は、研究の倫理的妥当性若しくは科学的合理性を損なう事実若しくは情報又は損なうおそれのある情報であって、研究の継続に影響を与えられとされるものを得た場合は、遅滞なくその旨を学長に報告する。

(3) 進捗状況の報告

年1回研究の進捗状況及び研究の実施に伴う有害事象の発生状況を学長に文書で報告する。

(4) 研究終了（中止の場合を含む）の報告

研究責任者は、研究を終了したときは、その旨及び研究の結果概要を文書により学長に報告する。

13. 研究の資金源その他の研究機関の研究に係る利益相反及び個人の収益その他の研究者等の研究に係る利益相反に関する状況

13-1. 研究資金源

- 岐阜医療科学大学個人研究費
- 文部科学省 宇宙航空科学技術推進委託費

13-2. 利益相反

本研究は研究遂行にあたって、研究の結果及び結果の解釈に影響を及ぼすような「利益相反」は存在しない。

13-3. 知的財産

研究者及び岐阜医療科学大学、京都大学に帰属し、研究対象者へは生じない。

14. 研究に関する情報公開の方法

本研究の成果は、関連学会での発表及び論文発表を予定している。

15. 研究により得られた結果等の取扱い

本研究により得られる結果は、一般臨床で用いられている一般的な検査データと同様のもの、研究対象者の健康にとって重要な事実となり得る。また、その説明が研究業務の適正な実施に著しい支障を及ぼす可能性はないため、研究対象者に口頭および書面により説明する。ただし、インフォームド・コンセントを受ける際に、研究対象者より説明を希望しないと回答された場合は説明しないこととする。

16. 研究対象者及びその関係者が研究に係る相談を行うことができる体制及び相談窓口（遺伝カウンセリングを含む。）

研究対象者及びその関係者からの相談については、以下の相談窓口にて対応する。

【相談窓口】

岐阜医療科学大学 大学院保健医療学研究科 教授 田中邦彦

〒501-3892

岐阜県関市市平賀字長峰 795-1

岐阜医療科学大学

TEL: 0575-22-9401 ktanaka@u-gifu-ms.ac.jp

【苦情窓口】

岐阜医療科学大学 庶務課

〒501-3892

岐阜県関市市平賀字長峰 795-1

岐阜医療科学大学

TEL: 0575-22-9401 gumsj@u-gifu-ms.ac.jp

17. 研究対象者への経済的負担又は謝礼

研究対象者には、謝礼として 10,000 円/日を渡す。

以上の内容の研究計画書を臨床倫理委員会へ提出した。当初、「観察」研究であり「侵襲を伴わない（採血などの軽微な侵襲を除く）」研究として申請したが、「6 度ヘッドダウン・ベッドレスト」が「介入」であり「侵襲」にあたるとの指摘を倫理委員会側から受けた。そこで、侵襲を伴う介入研究としての様式を整え、再申請したところ、聞き取りが行われたうえで令和 5 年 8 月で承認となった。

審査に時間を要したため、当初 9 月中に実施予定であったが、年度末の 3 月に行うこととした。これは、岐阜医療科学大学看護学科が所有している「基礎・成人看護演習室」（図 5）において実施するため、岐阜医療科学大学学生が長期休暇中しか実施できないためでもあった。

今年度のベッドレスト実験の被験者募集は、「Space Medicine Japan Youth Community」という宇宙医学に関心のある学生でつくるコミュニティを通じて被験者を募り、予定通り 6 名のボランティアに参加していただいた（図 6）。

令和6年3月8日から17日にかけて10日間のベッドレスト実験を行った。ベッドレスト実験前後で、岐阜医療科学大学可児キャンパスにおいてプレ測定ならびにポスト測定を実施した。本年度は、被験者からデータを取得した。データ解析については、順次進めていく予定である。



図5： 岐阜医療科学大学可児キャンパス 成人・老年看護学実習室。



図6： 参加被験者の集合写真。(左)ベッドレスト開始前、(右)ベッドレスト終了1日後。6名全員健康な状態でベッドレストを終了することができた。

2.2.2. 京都大学チームのベッドレスト被験者測定

筋電計(FreeEMG1000、図7)を用いて、ベッドレスト開始前ならびに終了後にベッドレスト被験者の歩行中、両脚のヒラメ筋・腓腹筋・前脛骨筋・長腓骨筋・外側広筋・大腿直筋・大腿二頭筋・中殿筋の筋電図を測定した(図8)。我々が普段何気なく行っている身体運動は、極めて複雑な運動制御の結果行われている。人体には膨大な

筋が存在するために、中枢神経系が個々の筋をそれぞれ制御していると、処理すべき情報量が膨大となる。この問題に対し、中枢神経系は膨大な情報量を簡略化するための戦略として、機能的に類似した筋をまとめて支配する神経制御機構である「筋シナジー」という概念が提唱されている。筋電図データを用い、非負値行列因子分解により筋シナジー（筋シナジーから各筋への重みづけベクトル）とその活動度（中枢神経系から筋シナジーへの運動指令）を算出する予定である。



図 7: 筋電計 (FreeEMG1000) 装置。ワイヤレスで筋電図を測定することができ、被験者への負担が少ない。



図 8: 被験者にワイヤレス筋電計を貼付している様子。

動作解析カメラシステム (MICROCAM200-4、図 9) を用いて、ベッドレスト開始前ならびに終了後にベッドレスト被験者の歩行中の動作解析を実施するため、データを取得した。宇宙飛行士は、帰還直後には下肢骨格筋が萎縮し、歩行がスムーズにできないことも知られている。ベッドレストによる長期臥床においても、宇宙飛行士に

生じる歩行動作の変化が再現できると予想される。そのため4台のカメラを用いて歩行中の動作を記録した(図10)。ベッドレスト前後でどのように影響しているかを比較する予定である。



図 9: 動作解析カメラシステム(MICROCAM200-4)。4 台のカメラを用いて被験者の動作を 3 次元的に捉える。

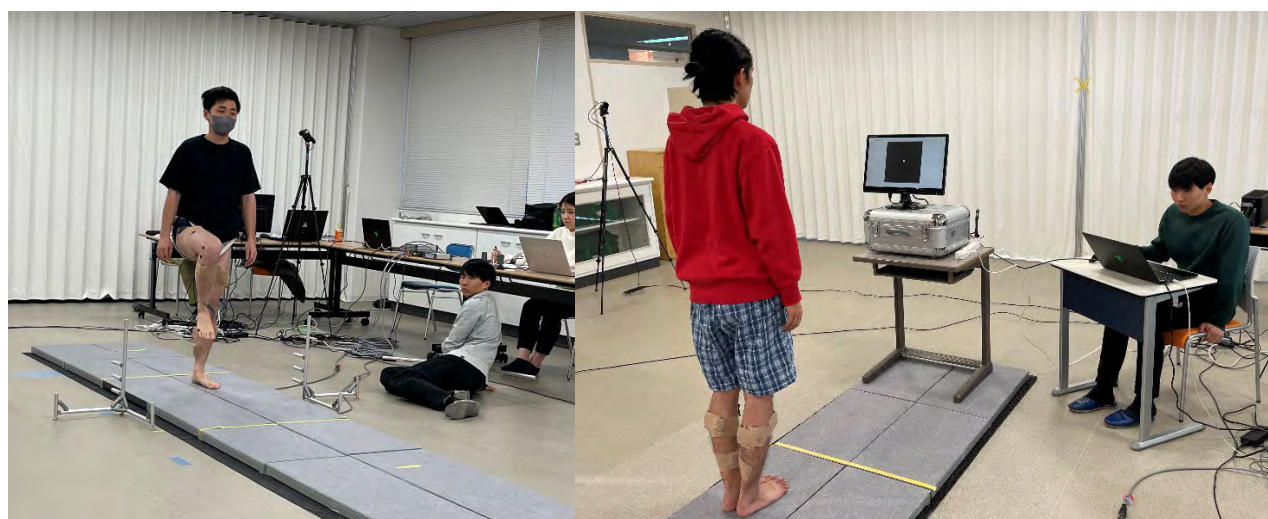


図 10: 筋電測定ならびに動作解析測定のためのデータ取得風景。

心電計(Bittium Faros180、図 11)を用いて、ベッドレスト実験中のベッドレスト被験者の心電図を測定した。宇宙飛行士は、軌道上滞在時に心拍変動などの体内リズムの乱れが生じ、睡眠の質が落ちるなどと言われている。心電図を測定することにより、そのデータを解析し交感神経と副交感神経のリズム(心拍変動)を測定することが可能である。ベッドレスト期間中、被験者にこの心電計を常につけてもらい、心電図データを取得し、ベッドレストによる体内リズムの変化を検討する予定である。



図 11: 心電計 (Bittium Faros180)。小型の心電計で 24 時間装着可能で、最大 2 週間連続で心電図を記録することができる。

2.2.3. 岐阜医療科学大学チームのベッドレスト被験者測定

6° ヘッドダウンベッドレストの前後で、循環調節機能ならびに平衡感覚機能評価を行うべく、データ測定を実施した。仰臥位から立位への姿勢変化、すなわち身体にかかる重力方向の変化を定量的に再現性を以ておこなうための姿勢変換装置を用いて測定した(図 12)。仰臥位から立位(60 度頭高位)あるいはその逆変化を任意の契機で行うことができるものである。血圧を連続的に計測しつつ姿勢変換を行わせることで、姿勢変化時の血圧調節機能を評価することができる。



図 12: 姿勢変換装置と連続血圧測定装置。

また、模擬微小重力曝露中、平衡感覚器官のひとつである内耳前庭系およびそこから求心神経である前庭神経一次ニューロンに人工的に刺激を加えるための刺激装置を用いて測定した。既成のミュキ技研製電気刺激装置をもちいて内耳前庭系電気刺激(Galvanic vestibular Stimulation: GVS)を行った。アイソレーター(SS-203J, ミュキ技研)を用いて、想定しているノイズ波形を発生させた(図 13)。同装置にノイズ波形を入力するため、PC で作成した刺激波形をアナログ変換する変換器 (USB-6218, National Instruments)を用いた(図 13)。すでに有しているプログラミングソフトにて振幅一定のホワイトノイズ波形を作成し、同変換機でアナログ信号に変換し、電源供給装置に送信した(図 14)。そこからアイソレーターに送信し、刺激として出力した。これらの装置にて GVS を行った。



図 13: 左図はアイソレーター(下)と電源供給装置(上)。右図はデジタル-アナログ変換器。



図 14: ベッドレスト中にノイズ波形で刺激している様子。学生が実験の様子を見学している。

血液検査： 本実験・実習に際しては血液検査、特に骨代謝にかかわる項目も検査し、考察させることを想定している。そこで診療目的のみならず、研究目的の血液検査も発注でき、会場である岐阜県内に在る株式会社メディック(岐阜県大垣市横曽根 3 丁目 2-8)に依頼することとした。

6 名のボランティアに説明を行ったうえで、書面による同意書を得た。

採血を行ったのち、体感閾値の 90%に相当する強度で GVS を 30 分間行った。刺激終了後、再度採血を行った。刺激前後で以下の項目を検査した。

1. 副甲状腺ホルモン(PTH)
2. カルシトニン
3. オステオカルシン
4. 骨アルカリフォスファターゼ(BAP)
5. Ca
6. IP
7. 1,25-(OH)₂ビタミン D
8. 免疫学的検査(リンパ球マーカー;CD4, CD8)

2～7 の項目については遠心処理が必要であったため、薬学科の協力を得て、室温で 15~20 分静置したのち、3000 回転 5 分で遠心(図 15)し、血漿成分と血球成分を分離させたうえで検体提出を行った。

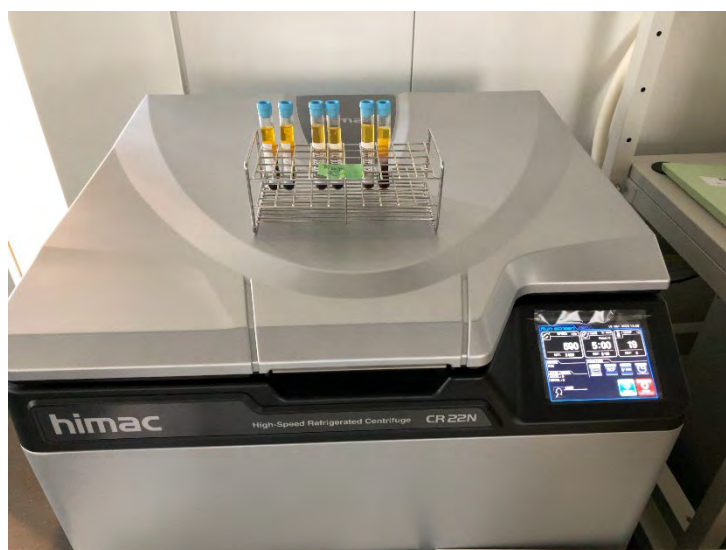


図 15: 薬学科実習室内の遠心装置。

2.2.4. ベッドレスト期間中の被験者ケア

前年度、模擬微小重力暴露実験・実習を行うための消耗品準備を完了させていた。被検者を床上で起き上がらせることなく生活させるため、身体ケアならびに環境整備に必要と想定される消耗品を準備し、ベッドレスト期間中はこれらの消耗品を用いて、被験者に快適に過ごしてもらえるようにサポートをした。被験者のベッドレスト期間中の身体ならびに精神的状況は測定の結果に影響を及ぼすため、できる限りストレスが蓄積しないように支援を行った。

表1: 準備した消耗品リスト

排泄用品	非接触消毒器専用スタンド		環境用品	温湿度計
	業務用アルコール製剤			パーティション
	業務用アルコール製剤容器			
	汚物処理キット			
	水洗式ポータブルトイレ 12L		衣服関係	サージカルマスク
	尿器掛			脱衣かご
	トイレットペーパー			グレディーバスケット
	洗剤			実習衣
採血用品	医療機器廃棄物容器		食事関係	ストロー
	R 防臭ペダルペール			ガーグルベース
	インジェクションパッド			食器
	カラー駆血帯			
	シリンジ 20ml 横口		健康管理	上腕式血圧計
	翼状針			皮膚赤外線体温計
	ステン角型パッド			体組成計
	ナビスジェルパッド(チューブ用溝付き)			ポータブル身長計
	クーラー BOX			
	検体ラック			

ベッドレストを実施した実習室内には、中央管理のエアコンが装備され、水道設備が造設されているため、被検者の身体を清潔に維持することが可能である。また常設している洗濯機による衣服の洗浄、被検者周辺のケア用品の洗浄ならびに消毒が同室内にて実施可能である。また、学内無線 LAN にアクセス可能であるため、インターネット使用による被検者の日中ストレス緩和が可能である(図 16)。さらに、実習用のリネンも有している。ベッド数が多いため、夜間のケアスタッフならびに本プログラムに参加する学生も同時に宿泊可能となっている。

ベッドレスト期間中は、看護師ならびに医師が常駐し、被験者のケアに当たり、緊急時に対応可能な状況を維持した(図 17)。

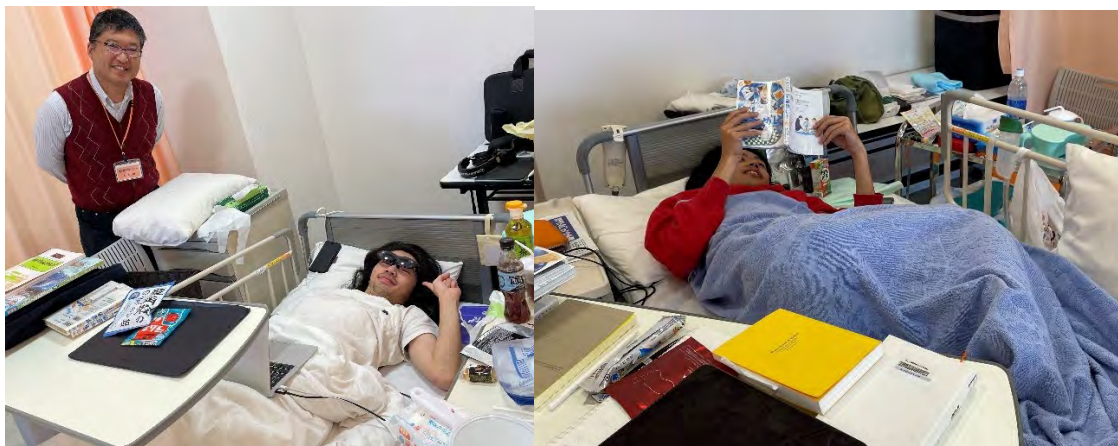


図 16: ベッドレスト中の被験者の様子。ベッドレスト中はパソコンを使用したり、読書をしたり、自由に過ごすことができた。



図 17: 洗髪の様子。ケアスタッフによりベッドレスト被験者は、定期的に洗髪などをしてもらえた。

2.2.5. ベッドレスト期間中の訪問者

ベッドレスト期間中は、10名の学生が見学に訪れ、ベッドレスト中の被験者の様子を観察し、被験者から感想などを聞き取り調査した。また、一部の学生はベッドレスト期間中の測定作業の手伝いも行った。学生の中には、大分大学から岐阜まで泊りがけで来てくれた子達もあり、貴重なベッドレスの現場を見学してもらえ、大変ありがたかった(図 18)。

また、岐阜工業高等学校の教諭である鷺見先生や、岐阜県内の企業である大堀研磨工業所の大堀社長も訪問され、ベッドレストの様子を見学したり、6度ヘッドダウンの状態を体験されたりした(図 19)。特に、鷺見先生と大堀社長には、宇宙医学研究におけるベッドレスト実験が、どのように教育や社会生活に応用できるかの議論をさせていただいた。ベッドレスト実験が、介護分野は高齢者医療への応用が期待できるため、大変興味を持っていた。その縁もあり、鷺見先生と大堀社長が参加している岐阜県が主催しているぎふ宇宙プロジェクトを紹介していただき、後日岐阜県庁商工労働部航空宇宙産業課の担当者と宇宙教育を通じてコラボレーションできないかという事で、打ち合わせをすることとなった。



図 18: 大分大学から参加してくれた学生との記念撮影。



図 19: 岐阜工業高校の鷺見教諭と大堀研磨工業所の大堀社長の訪問の様子。ベッドレスト状態も体験していただいた。

2.2.6. ベッドレスト終了の被験者

10 日間のベッドレスト後に介助者にサポートされながら、順番にベッドから起き上がった(図 20)。被験者の中には起き上がってすぐに立てる者や、しばらく立てず休憩後にやっと立つことができる者など様々な状態であった。めまいがひどい状態や重篤な体調不良を訴える被験者はおらず、数時間後にはすべての被験者が立ち上がり歩行できる状態であったため、順次ポスの測定を受けた。



図 20: 介助を受けながらベッドから起き上がる様子。すべての被験者が安全に起き上がった。

本年度は 6 名の被験者に参加してもらい、無事にベッドレスト実験を終えることができた。ベッドレスト期間中は多くの訪問者が訪れ、ベッドレスト実験の現場を見学した。被験者や見学者だけでなく、介助者などの参加によって安全にベッドレストを遂行できた。10 数年前に岐阜医療科学大学でベッドレストを実施した以来、我が国ではベッドレスト実験は実施されてこなかったため、今回のベッドレスト実験の成功は非常に貴重な経験となった。次年度は夏に再度ベッドレスト実験を計画しており、本年度を超える成果を得るよう努力していく。

2.3. 宇宙医学研究室の訪問見学実習(基礎研究の現場を体験する):

2.3.1. 2022 年度実施宇宙医学実習全体報告会の開催

2022 年度には、6 箇所(IHI、東京慈恵会医科大学、徳島大学、久留米大学、フクダ電子株式会社、東京理科大学)を訪問し、宇宙医学に関する施設・研究室見学や実験体験などを行った。合計 28 名の学生が参加した。まず、2022 年度に実施した宇宙医学実習の全体報告会を、2023 年 6 月 18 日に開催した。この報告会では、それぞれの場所を訪問した学生達の全体の報告会を行い、各場所でのどのようなことを学んだかの情報共有をした。全体報告会の報告内容については添付資料 2.3 に掲載する。

<2022 年度の訪問先>

- IHI エアロスペース
- 東京慈恵会医科大学・宇宙航空医学研究室
- 徳島大学・宇宙栄養研究センター
- 久留米大学・医療センター

- フクダ電子株式会社
- 東京理科大学・ペースシステム創造研究センター

＜全体報告会＞

- 日時：2023年6月18日(日) 13:00～16:00
- 会場：京都大学・理学研究科セミナーハウス(Zoom 接続によるハイブリット開催)
- アジェンダ：
 - ◆ 訪問先概要(15分)
 - ◆ 各班からの報告(90分)
 - ◆ 全体交流会(60分)
 - ◆ 今後の活動について(15分)

全体報告会では、それぞれの実習で何を学んだかを共有した。6 箇所の訪問先に参加した学生が情報共有できる機会になっただけでなく、今年度宇宙医学実習に参加したい学生への告知にもなった。全体報告会は、実習参加学生には大変好評で、次回も継続して実施する予定である。

2023年度は、4 箇所(大分大学、東京慈恵会医科大学、IHI エアロスペース、ヒューストン)を訪問し、宇宙医学に関する施設・研究室見学や実験体験などを行った。合計 15 名の学生が参加した。特に IHI エアロスペース見学には、15 名の学生から応募があり、7 名を選出した。また、ヒューストンでの実習には驚くべきことに 42 名の学生から応募があり、その中から 5 名を選出した。それぞれの実習では、参加学生から事後アンケートを取得して、次年度への改善点の洗い出しを行った。

2.3.2. 大分大学ならびに大分空港での体験実習

1. 実施日 :2023年9月21・22日
2. 実施場所 :大分大学(大分県由布市挾間町医大ヶ丘1丁目1番地)、大分空港
3. 参加学生 :3名

＜日程と概要＞

日程：

2023年9月21日(木)

- 14時30分：大分駅集合 徳丸先生と中沼先生が車で迎えに来て下さいました。
- 15時：大分大学 挾間キャンパス 見学
- 15時30分：北野正剛学長・杉尾賢二副学長による歓迎のご挨拶
猪股雅史医学部長による大分大学の宇宙医学プロジェクト構想
- 16時15分：徳丸治教授(元 FS)による宇宙医学の歴史と現在の課題

2023年9月22日(金)

- 9時：大分大学医学部の未来に向けた研究を覗く(AI surgery 中沼寛明先生)

10 時 40 分： AI を用いた手術支援システム見学
13 時： 大分空港・スペースポート(宇宙港)見学
13 時 45 分： 大分県の宇宙政策
15 時 30 分： 現地解散

【概要】

大分大学 北野正剛学長より挨拶を受け、その後、猪股雅史医学部長による大分大学の宇宙医学プロジェクト構想説明、徳丸治教授による宇宙医学の歴史と現在の課題を伺った。2 日目、中沼寛明先生に大分大学医学部の未来に向けた研究を伺い、AI を用いた手術支援システムを見学した(図 21)。午後からは大分空港・スペースポートへ移動し見学、大分県の商工観光労働部の方より大分県の産官学の連携でこれからの宇宙を切り口とした医療との連携、宇宙港としての地の利や今後の展望等や問題点について意見交換をおこなった(図 22)。



図 21： 大分大学での実習の風景。

【大分大学の宇宙医学プロジェクト構想】

プロジェクトの背景

猪股雅史医学部長により、大分大学医学部が高度救急医療から先端医療の提供に至る経緯や目標が語られました。

立地からの利便性とプラットフォームの役割

大分大学のアジアのプラットフォームとしての立地からの利便性が強調され、宇宙と繋ぐ「SPACEPORT

OITA」(大分空港)が特に重要視されました。

連携の重要性

国東市民病院と大分大学の連携で、特殊渡航医学の分野で協力することで、宇宙を含む未知なる場所への渡航における玄関口としての役割が期待されています。

健康チェックとメディカルツーリズム

渡航前後の健康チェックから、最先端の AI を使用した医療の提供までを含む「特殊渡航医学」の領域において、未知の状況に対処するための体制が整えられています。

産官学の連携で未来を切り開く

産官学の連携により、これからの未来を切り開くために協力して宇宙医学プロジェクトを進めていく意欲が表明されました。

これらの要点は、大分大学が宇宙医学分野において先進的なプロジェクトを展開する構想についての魅力的な概要を示してくださいました。

【宇宙医学の歴史と現在の課題】

元 NASDA フライトサージャンの徳丸治教授より、これまでの宇宙医学について「宇宙医学入門」と銘打たれた講義が行われました。この講義は、1 年間にわたって寺田昌弘先生から学んだ宇宙医学の内容を総復習するものであり、その要点が纏められていました。

宇宙環境へのヒトの適応、微細重力環境での人体の影響、筋肉と骨、視覚、宇宙酔い、圧力、宇宙放射線など、幅広い宇宙医学のトピックが 2 時間足らずの中に纏められました。宇宙環境での人体の特異な影響や健康への影響について包括的に学ぶことができ宇宙医学への理解が深まりました。

【大分大学医学部の未来に向けた研究を覗く】

2 日目の午前中は、中沼寛明医師より「宇宙開発時代における医学研究・医学教育・産官学連携のビジョン」をご講義賜りました。

アジアにおける宇宙医学の拠点としての必要性

大分がアジアにおける宇宙医学の拠点になる必要性和必然性が述べられ、大分大学医学部が AI を使った救急外科医療を提供する医師と環境の特異性が示されました。

スペースポート大分の利点

大分がなぜ選ばれたかについて、宇宙医学を進める上で宇宙生体材料の即時利用が必要であり、スペースポート大分を利用することで最短で病院や大学に届けられることができるという利点が説明されました。

医学研究・教育・産官学連携のビジョン

医学研究・教育・産官学連携のビジョンが明示され、臨床宇宙医学や宇宙医学教育の分野での連携が進められていることが紹介されました。

宇宙医学先端研究教育機構(ARTISM)

大分において産官学の協力実施体制が「宇宙医学先端研究教育機構(ARTISM)」として進められていることが言及されました。

AI を活用した内視鏡外科手術

最新の AI を活用した外科医療や、次世代型内視鏡外科手術「Smart Endoscopic Surgery」の構想についての

講義が行われ、医療技術の進化とその将来の可能性に焦点が当てられました。

Surgical Devices in Space のアイデア創出

医療技術の進化が人類が宇宙に拡大した際にも対応できる可能性について、Surgical Devices in Space のアイデア創出についての講義がありました。

AIによるディープラーニングの重要性

AIによるディープラーニングの重要性が強調され、より多くの術例を記録し AI に学ばせることが手術の正確性と安全性向上に寄与すると説明されました。

大分大学が宇宙医学において積極的な役割を果たし、医学研究・教育・産官学連携を通じて未来の医療技術の発展に貢献していることがわかった。

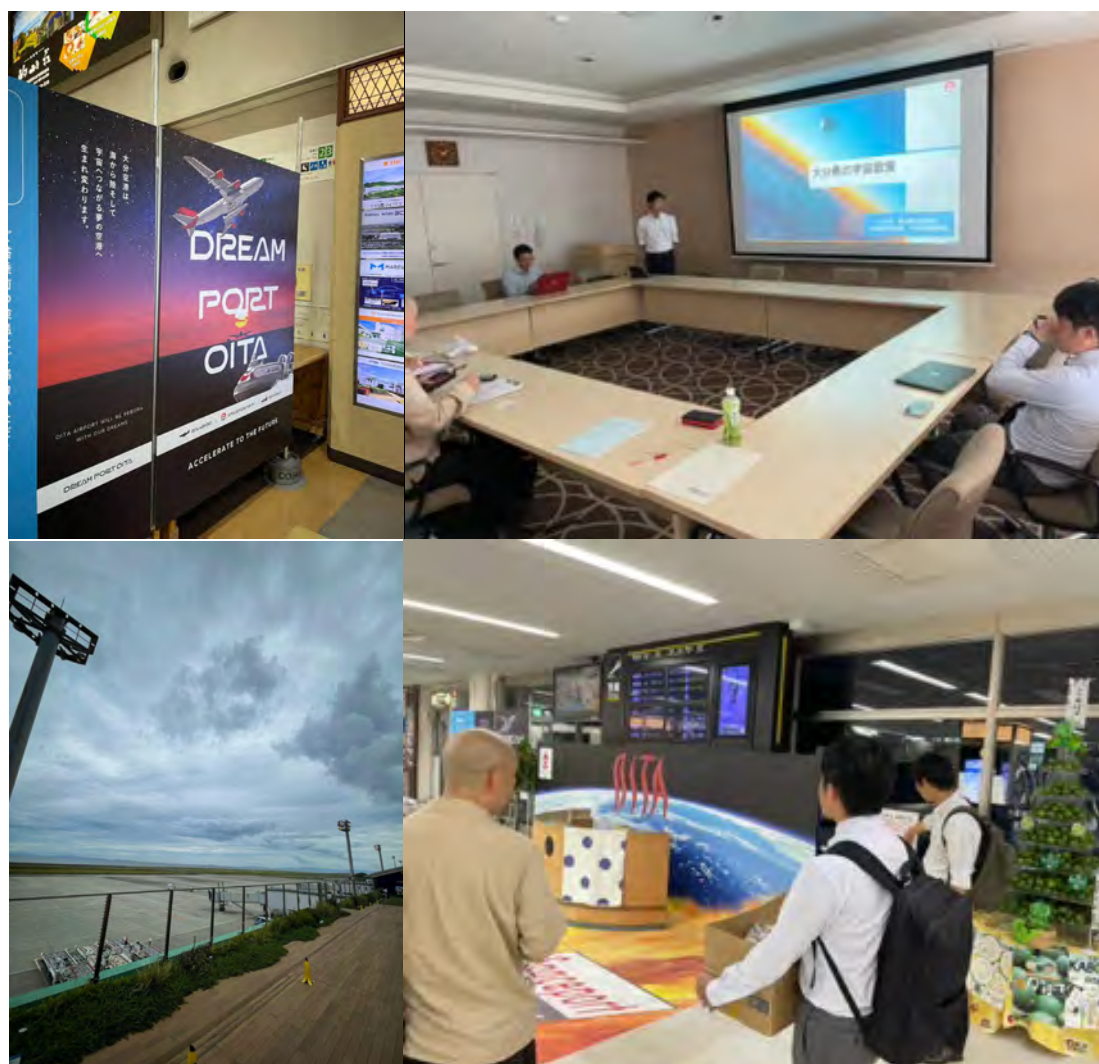


図 22: 大分空港の実習風景。

【大分県の宇宙政策】

大分県と宇宙産業の連携

大分県 商工観光労働部 先端技術挑戦課 宇宙開発振興班の担当者から、大分県が宇宙産業と連携を取る理由や意義について説明がありました。

宇宙産業の成長予測

民間人宇宙旅行者や職業宇宙飛行士の数、そして将来的な宇宙産業の市場規模と成長予測に関する情報が提供されました。2040 年には 160 兆円の市場が期待されているとのことです。

大分の目指す宇宙港

大分が目指す宇宙港は、広義には人工衛星やロケットの発射場から有翼型の機体で宇宙旅行を提供する施設まで含まれます。当面は後者の着陸を主とした宇宙港が計画されています。

大分空港の選ばれる理由

大分空港がスペースポートとして選ばれる理由として、3,000m 級の滑走路を持ち、東側に海が開けていることが挙げられています。

期待される効果

宇宙港の設立により、鉄鋼、石油、化学、半導体、機械、自動車、医療機器など多様な産業が集積し、宇宙利用のビジネスが活性化できる土壌が期待されています。また、観光資源も豊富なため、宇宙旅行の期間前後のニーズにも応えることが可能です。

大分県が宇宙産業の成長に対応し、宇宙港を通じて地域経済の発展と新たな産業の創出を期待していることがわかりました。

【今回の研修を通じて学んだ事項】

産官学の協力体制がしっかりと出来ていることが一番の印象に残りました。今回は官と学のみでしたが、お互いに連携を意識し取り組んでいることがはっきりとわかりました。この事は他の地域において産官や官学の連携はあっても産官学の三者が揃うことの難しさがあることも理解できました。

AI 医療においては、AI に任せるのではなく、AI にディープラーニングさせ、リアルタイムでの医療の補助をする技術、より正確により安全に手術する技術としてくみ上げられていることを知ることが出来ました。

【参加学生からの感想】

参加学生 A:

工学部でありながら、宇宙医学と銘された実習に参加することに、初めは緊張していましたが、大分大学や大分県の目指す space port 構想は、宇宙医学に限らない視野の広いものであり、実習ではそれらを医学を軸としながらも広く学ぶことができ、大変勉強になり刺激的な二日間でした。特に、印象的な点として、Spaceport が教育や研究の場であることと産官学民の連携があります。Spaceport 候補地である大分空港は近隣に病院や大分大学があり、着陸後の宇宙飛行士をすぐに検査することが可能で、これまで困難であった理論と実践の宇宙医学教育をする最高の場所となっており、宇宙から帰還した実験サンプル等も大学ですぐに解析することが可能で、より実践的な宇宙教育や研究を推進することができます。また、産官学民の連携も進めており、大分県の職員の方々のお話を直に聞くことができ、今後の産官学民事業を意識した講義を聞くことができました。宇宙医学というものを学べただけでなく、日本の宇宙開発の未来へ向けた現状や宇宙の学際性を再認識することができ、学びの詰まった実習でした。このような機会を設けてくださった先生方に深く感謝申し上げます。

参加学生 B:

大分大学で受けた講義はどれも面白く、宇宙医学について学び始めたばかりの私にとっては新鮮かつ貴重な

学びとなりました。宇宙医学についての基礎的なことから、大分で行われている宇宙産業の展望についてまで、現状の問題点なども含め、本当に多くのことを学ぶことが出来ました。今まで宇宙医学について研究する方々と交流する機会が無かったため、今回この実習で宇宙医学を学ぶ方々と交流することが出来たことも、私にとってとても貴重な経験となりました。皆さんとのディスカッションを通して、もっと宇宙医学について学びたいという刺激を受けることもできました。二日間ありがとうございました。

参加学生 C:

医療を中心に宇宙港との連携は、北海道の大樹町や和歌山県の串本と違い大変実用的で有意義な試みだと感じました。

今回の研修においても宇宙で死者がでることについては想定されていなかったことが確認できた。宇宙葬として地上より遺骨を宇宙に上げるビジネスモデルとしての話は聞いたが、宇宙倫理学を問うにおいて宇宙滞在中に亡くなる方が出て、そのときの死者への扱いを問うことは、必ず有人宇宙開発をする上において人と宇宙での繋がりのひとつとして宇宙に携わる方々と問うていきたいと考える。

2.3.3. 東京慈恵会医科大学・細胞生理学講座での体験実習

1. 実施日 :2023 年 9 月 25～29 日
2. 実施場所 :東京慈恵会医科大学・細胞生理学講座・宇宙航空医学研究室
(〒105-8461 東京都港区西新橋 3-25-8)
3. 参加学生 :2 名



図 23: 東京慈恵会医科大学での実習作業の様子。

【実習概要】

模擬微小重力(SMG)環境下で培養した培養細胞を用いて基本的な遺伝子解析や組織解析を体験し、宇宙医学に関する基礎研究を学んだ(図 23)。具体的には、SMG 下で培養した人臍帯内皮静脈細胞(HUVEC)に対して、ウェスタンブロッティング、免疫蛍光染色実験を行い、control(1G)群との比較、考察を行った。

【実習工程】

表 2 に本実習にて実施した実験、主要な実験項目等の工程をまとめた。免疫蛍光染色は 2～3 日目、ウェスタンブロッティングは 1～4 日目にかけて行われた。4～5 日目にかけて報告会のための実験データ整理と資料製作、報告会を行った。また、2 日目には慈恵医大理事長である栗原敏先生より、研究に対する向き合い方、ご自身の研究等についてのご講演をいただいた。実習初日と最終日にコンセプトマップを作成し、参加者が本実習を通して宇宙医学分野に対する認識がどのように変化したのかを確認した。

表 2 本実習の工程概略

9/25 (Day1)	9/26 (Day2)	9/27 (Day3)	9/28 (Day4)	9/29 (Day5)
	免疫蛍光染色			
	- 固定処理 - 透過処理 - ブロッキング - 一次抗体反応	二次抗体反応 共焦点イメージング		
	ウェスタンブロッティング			
タンパク質濃度測定	- タンパク質濃度調整 - 電気泳動 - メンブレン転写 - ブロッキング - 一次抗体反応 (標的タンパク質)	- 二次抗体反応 (標的タンパク質) - ストリッピング - 一次抗体反応 (内在性コントロール)	二次抗体反応 (内在性コントロール)	
- 施設紹介 - コンセプトマップ作成	講演		報告会関連	
			- 実験データ整理 - 報告会準備	- 報告会 - コンセプトマップ作成

【実習内容】

緒言:

宇宙空間、特に微小重力環境は、筋萎縮や骨量の減少、心血管系の変化等の影響を人体に与える。これらの影響は、長期間の有人宇宙探査ミッションにおける宇宙飛行士の健康リスクを増加させるだけでなく、宇宙旅行を今後普及させるうえで大きな障害となる。近年、宇宙飛行中の宇宙飛行士に閉塞性左内頸静脈血栓が偶発的に発見されたことが報告された。血栓の形成には、血管内皮細胞から生産および分泌され、1 次止血の初期段階において血小板凝集に寄与するフォンヴィレブラント因子(vWF)が関わっている。この因子の分泌調整機能の破綻は、異常な血液凝固反応を引き起こすことが知られている。

本実習では、微小重力環境における血栓形成に vWF の生産や分泌の異常が寄与している可能性があるとして仮定し、3D クリノスタット Gravite を用いて模擬微小重力環境下で 72 時間培養したヒト臍帯静脈内皮細胞(HUVEC)に対して、免疫蛍光染色、ウェスタンブロッティング実験を行い、SMG 環境が vWF の局在と分泌量に与える変化の定量を試みた。

【結果】

免疫蛍光染色：

血栓形成に関わるフォンヴィレブラント因子(vWF)、小胞体内に恒常的に発現する免疫グロブリン重鎖結合タンパク質(BiP)、ゴルジ体のシス層表面に局在するシスゴルジマトリックスタンパク質(GM130)、細胞核(DAPI) の4種類のタンパク質に対して染色処理を行った。共焦点顕微鏡を用いて観察・撮影した各タンパク質の蛍光像に対して、ImageJ内のプラグイン Colocalization Colormap を利用し、vWF-BiP 間、vWF-GM130 間の共局在率を算出した。図 24(C,D)に示すように、SMG 環境で培養した vWF と BiP、GM130 の共局在率はいずれも減少傾向にあることを示した。

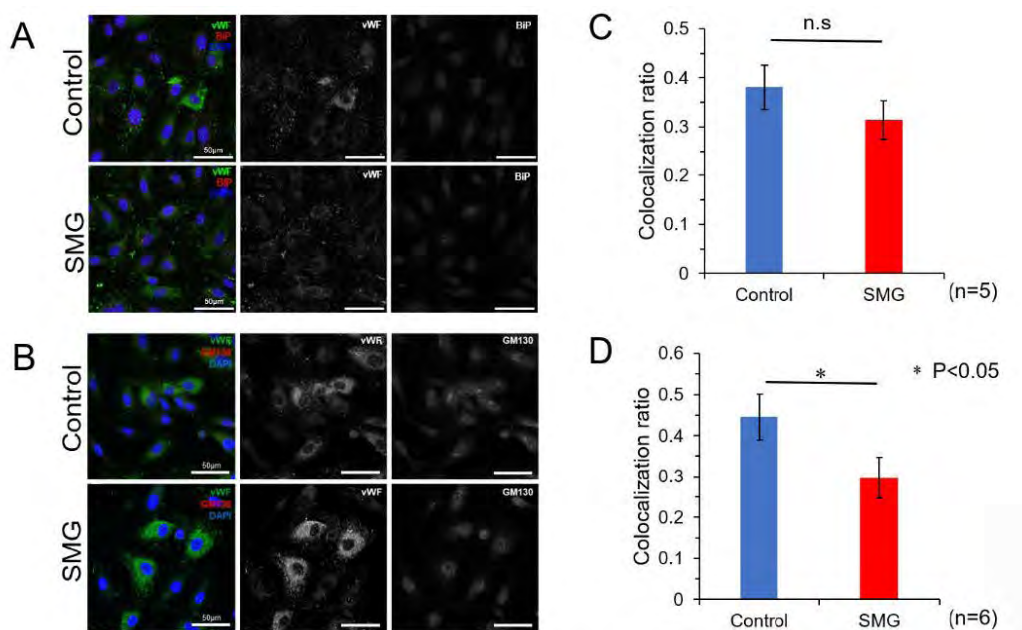


図 24: A,B) vWF-BiP、vWF-GM130 の免疫蛍光染色像。C) vWF-BiP の共局在率。control と比較して SMG の方が減少傾向にある。D) vWF-GM130 の共局在率。SMG の方が有意に減少している。

ウエスタンブロッティング：

一次抗体に abcam 社製の vWF 抗体、二次抗体にラビット由来の抗体を用いてウエスタンブロッティングを行った。その結果、図 25(A)に示すように vWF の分子量である 260kDa の位置にバンドが確認された。次に、内在性コントロール標識のために、一次抗体に cell signaling 社製の GAPDH 抗体、二次抗体にラビット由来の抗体を用いてウエスタンブロッティングを行った。その結果、図 25(B)に示すように GAPDH の分子量である 36kDa の位置にバンドが確認された。

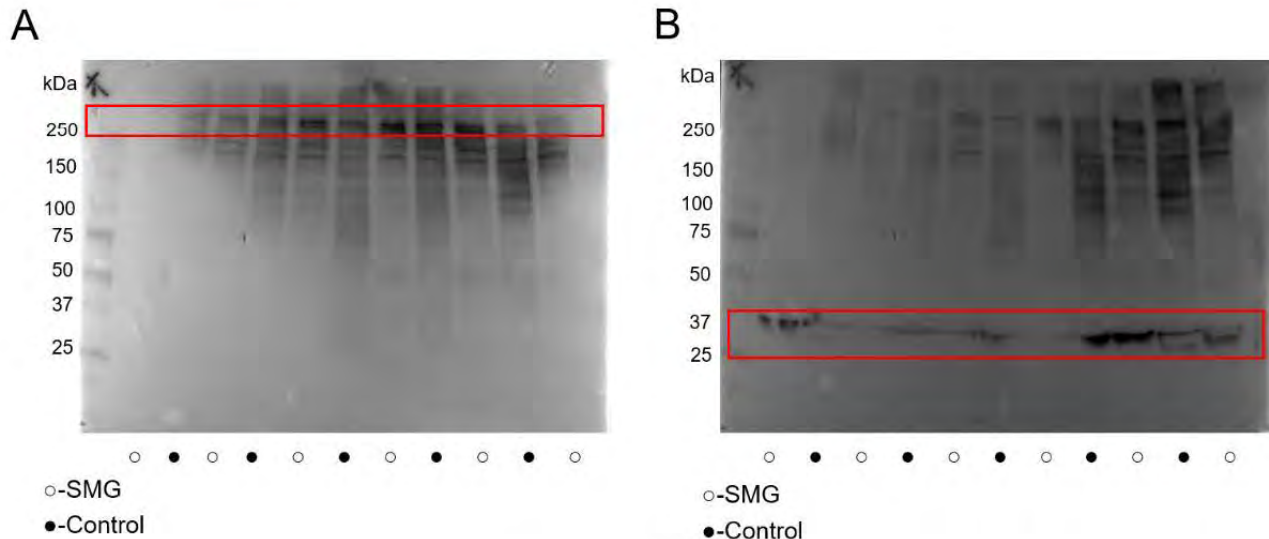


図 25: A) ウェスタンブロッティングによる vWF バンド標識。vWF の分子量である 260kDa の位置にバンドが確認される。(図内赤枠) B) ウェスタンブロッティングによる GAPDH 標識。GAPDH の分子量である 36kDa の位置にバンドが確認される。(図内赤枠)

【考察】

免疫蛍光染色:

小胞体表面にあるリボソームで合成されたタンパク質は、小胞体へ取り込まれゴルジ体へと輸送される。輸送されたタンパク質はゴルジ体内で濃縮され、細胞外に分泌される。緒言で述べたように微小重力環境下が血栓形成に寄与していると仮定した場合、vWF-BiP、vWF-GM130 間の共局在率が SMG 環境により減少したことは、vWF が細胞外へ多く分泌されたことを示唆していると考えられる。しかし、vWF の分泌量そのものが減少した可能性も考えられるため、タンパク質量そのものを定量するために、後述のウェスタンブロッティングを行った。

ウェスタンブロッティング:

タンパク質量の定量を行うために、ウェスタンブロッティングを行った。vWF の分子量である 260kDa の位置に濃いバンドが確認されたが、バンドの濃さがレーンによって異なっていた。このことから、タンパク質は検出されているが、サンプルのタンパク質濃度に差が生じてしまった可能性が考えられる。GAPDH を一次抗体としてバンドを観察すると、vWF の一次抗体を見たときに比べてはっきりと全体のタンパク質のバンドが標識された。この原因として、ストリッピングでタンパク質をしっかりと剥がせていなかったところに同じ動物種の二次抗体を乗せたため、二重に染色された可能性があること、発色液の付け方に差があったことの

2つが考えられる。また、タンパク質が標識されていることは分かるものの、目的のバンド以外も染まっており、メインの抗体が乗っていたかが分からなくなってしまった。バンドがはっきりと見えないところがある原因として、転写がうまくいっていない可能性が考えられる。また、抽出したタンパク質の状態が悪いと、バンドが縦に流れたり、スミアがみられたりするが、今回は分離できていたため、タンパク質の構造自体は壊れていないと考えられる。

【参加学生からの所感・感想】

参加学生 A:

本実習で行った実験を通して、宇宙飛行士から得られた症例をもとにした仮説立てから地上で行う模擬微小重力環境を利用した細胞レベルでの実験という、宇宙医学研究の流れを把握することができました。加えて、研究を遂行するにあたって、一般的な生命科学実験で用いられる検出手法の十分な理解と手技が求められると感じました。私はもともと機械工学を専攻しており、宇宙医学に関わる細胞を扱った生命科学系の実験は大学院から始めたため、本実習の実験はとても新鮮かつ学びの多いものとなりました。また、宇宙医学を専門とされる慈恵医大の先生方、学生の方々との交流とつながりを得ることができ、自身の研究方針、今後の身の振り方について大いに参考になりました。

参加学生 B:

5 日間の実習を通して、免疫染色やウエスタンブロットなど、多くの実験手法を学ぶことが出来ました。さらに、先生方から実験の手法以外にも沢山の宇宙医学に関するお話を聞けたり、動物実験を見させて頂いたり、予定していた以上に多くのことを学び、体験して帰ることが出来ました。また、普段大学で宇宙医学の分野を研究している人が自分一人であったために、慈恵医大にて同じように宇宙医学の研究をしている学生と交流することが出来たのも、私にとってとても貴重な機会でした。学生たちとの交流を通して、自身の宇宙医学の研究に対するモチベーションが向上し、今回の経験を生かしてもっと研究活動に精進したいと思うことが出来ました。

2.3.4. IHI エアロスペースでの体験実習

1. 実施日 : 2024 年 2 月 21 日
2. 実施場所 : 株式会社 IHI エアロスペース富岡事業所(群馬県富岡市藤木 900 番地)
3. 参加学生 : 7 名



図 26: IHI エアロスペースでの集合写真。

【はじめに】

2024 年 2 月 21 日(水)に群馬県富岡市にある IHI エアロスペース富岡事業所において京都大学宇宙ユニットから宇宙医学実習として見学をさせて頂いた(図 26)。宇宙医学に関心のある学生 7 名が参加した。

【実習で行ったこと】

- ◇ IHI エアロスペースが行う事業紹介
- ◇ IHI エアロスペースは宇宙開発部門だけでなく、航空事業、防衛産業、そして宇宙開発の 3 つの部門からなるという事業構成。
- ◇ 3 つの部門から全て 1:1:1 のまま事業の総額が 2 倍になるといった話しや、工場も人材も不足していくという話。
- ◇ 以前は陸上自衛隊の特殊装置を作ったりもしていた。
- ◇ 陸上自衛隊などに向けた陸上無人機の作成できる技術はあるものの今はあまり作られていない。
- ◇ IHI エアロスペースの職員の方々と参加者それぞれが持つ疑問をもとに様々なディスカッション
- ◇ FRP 複合材にもかなり力をいれている。
- ◇ IHI エアロスペースはノウハウなどが多くあり、例えば固体燃料をどんな形になるよう混ぜるといった混ぜ方や材料などに関するメモが多くあるという話があった。特許になっていない技術が多くあるとの話だった。
- ◇ 技術者への質疑応答
- ◇ 法整備担当者への質疑応答

【参加学生が実習から学んだこと】

参加学生 A:

私は普段医学科で勉強をしてきたため、宇宙産業の企業に関わる機会がなかなかなかった。今回の実習では日本の民間宇宙産業の代表の 1 つである IHI での実習に参加をさせて頂いた。IHI エアロスペースの実習で印象的だったのは名前から私自身が航空宇宙産業のみを取り扱っていると思い込んでいたが、防衛産業も事業の 3 本柱の大切な一つであると学んだ。IHI エアロスペースは防衛産業も扱っていることから、防衛産業という産業の性質上、防衛産業から航空宇宙産業への貢献もあるのではと感じた。また、本実習では普段医学生や医療系学生としか接する機会のない自分にとって工学系の参加者が他参加者として多かったのは大変刺激的だった。木製の人工衛星の作成をしている方や漆を使った宇宙芸術分野をしている方、火星ローバーの開発を行っている方、マッハ 6 を目指したスクラムエンジンの研究をしている方、とんでもなく航空機への知識や考察が深い方などの参加者がおり、将来有人宇宙開発に関わりたいという夢や国産の音速民間航空機を開発するといった強い情熱を持った参加者に会うことができた。このような参加者に会うことができ、私がまだまだ全く知らない航空宇宙開発の世界が広がっていることに気づかされたと同時に、今後、私自身の夢に向かうにあたって大変大きな刺激となった。私自身は将来、医師として宇宙飛行士になりたいという夢が有人宇宙開発に興味を持ったきっかけであった。宇宙医学から宇宙開発や人々に貢献したいという夢も今、抱いている。そして、医療×テクノロジーにも興味を抱いた。この分野を必要とする、目の前の患者さん、世界のどこかにいる患者さん、これからの患者さん、そして病や事故等々に機能を奪われた方々の、救いとなれるような医師像にも憧れを抱いた。これらのことから、私自身の興味分野として、医療×テクノロジー×有人宇宙活動がある。今回の実習では

有人宇宙開発が今後発展していく中で宇宙医学分野は必ず需要が増すと、日本を代表する民間宇宙産業のIHIの方々に言って頂いたことが自身が今後進んでいく際の勇気になった。

参加学生 B:

今回の実習には宇宙医学というテーマが設定されており、医学部の学生という立場で参加したが、医学的な関心よりむしろ工学的な関心のほうが強かった。宇宙空間という特殊な環境における生理学的な変化や長期的な影響にも興味はあったものの、個人的な趣味で航空宇宙分野の工学書を読むことが多く、工場見学や技術者、工学系の学生と交流ができるという点に魅力を感じていた。現地では様々な背景の学生が集まっており、衛星や推進など、聞けた話の内容は実に多彩で興味深い内容であった。学生の話もさることながら、やはり事業所の方々から聞けた話が私にとっては最大の収穫だったと考えている。富岡事業所で担当している技術に関して、当日まで詳細がわからなかったが、工場見学で材料の研究も行っていることがわかった。昨今の航空分野における複合材料の進出には目覚ましいものがあり、私もこれに深い関心を持っていたため、従来の金属材料との違いを中心に質問を行った。先方からは丁寧な回答を得たため、大いに勉強になった。私はこれまで、こうした技術系の内容を学習するときは、博物館などで可能な限り実物に触れることが一番重要であると考えてきた。写真や映像で見ただけでは知と努力の結晶が放つ圧倒的な空気感を感じ取ることは難しいからだ。今回もIHIという先端技術に関わる企業の工場で実物に触れ、その美しい製品に感動した。零式艦上戦闘機を開発した堀越二郎技師は機能的に優れているものは美しいと言ったそうである。哲学の分野では、真善美に触れたとき人は感動すると考えられているが、無駄のない最適解として技術が形になったとき、それはアイデアに近いものを内包するため感動をもたらすのだと私は考えている。現地で技術開発や法整備に奔走している方々の純粋で情熱的な態度がこれを生み出すと感じ、今後の学習に対する態度を再考する契機となった。

参加学生 C:

実習ではIHIエアロさんの会社説明や設備見学を通じて、学び続ける大切さを感じた。同社ではCFRPでできた航空機部材(ファンカバーやガイドベーン)の売り上げが増え、宇宙:航空:防衛の売り上げが1:1:1に均衡をとりつつある。またSPACEONEのカイロス固体エンジン、ISTのメタンエンジンターボポンプ等、ベンチャーへの出向によるブラックボックス技術の知見共有も積極的に行っている。加えて社内公募実験を募り、積極性のある若手への機会提供に取り組んでいるそうだ。

対応くださった方々は直接的な業務に限らず、法や工学・世界情勢に明るい多角的な視点を有していた。参加した学生が課外で取り組む、木製の衛星打ち上げや宇宙気球での漆工芸の制作などの面白い取り組みに対し、意見交換を行った。

また私は大学院で、マッハ6で飛行する極超音速航空機のスクラムエンジンを研究している。そして「国産の音速民間航空機を商用化する」という生涯をかけて成し遂げたい夢がある。研究開発・技術の側面でこの実現にむけた課題を論じたことはあったが、今回はSTM(宇宙の道路交通法)や事故発生時の法損害・責任所在など、製品として実現した未来を議論できたことが最大の収穫であった。宇宙開発や航空に対して意識の高い同年代と交流でき、今後も研究を頑張ろうと再度思った。

参加学生 D:

私は有人宇宙開発に焦点をあてた議論をできたことがとても学びになったと感じている。まず、ロケットに人を載せることの技術的な難しさについては工場見学の際、その規模と作業の複雑さに驚かされたと同時に、有人ロケット開発になるとこれ以上の精度保証や安全性の担保をする必要があると感じ、より一層難しいことのように感じた。また、法的な制約に関しては、「現状の法制度上、日本からの有人ロケット打上げを許可することができない」ことや、「海外の有人ロケットを輸入し日本で飛ばす方法でも法整備に5年かかる」などの難しさがあることを政府法整備に関わられている職員さんのお話から学んだ。このように技術開発や法整備の難しさはあったが、同時に将来実現可能になる希望がみえてきたとも感じている。議論させていただいた皆様は技術開発や法整備に政府と協力しながら着々と取り組まれているし、IHI エアロスペースがベンチャー企業と協力している体制があることで開発の土壌がしっかりしているものと考えたので、今後日本で有人宇宙開発をやる意義も十分にありと感じている。私もその一員として貢献できる仕方に関わっていこうと考えた。

参加学生 E:

私は物心ついたころから宇宙開発について興味を抱いており、大学では工学部の宇宙基礎工学コースに所属している。しかし、私の所属しているコースでは、理論についてを徹底的に学ぶというスタイルなので、機器の作成や実験などを行うことはあまり行わない。そんな中で、日本の航空・宇宙産業の第一線で活躍している民間企業の IHI エアロスペース様の方々の話を直々にお伺いできるというこの実習はとても魅力的なものであった。また、大学の授業において、有人宇宙学実習という人類が宇宙で社会を築くことを考える授業を受けたことがあるのだが、そこで、工学、理学からしか宇宙にアプローチできないわけではないことを知り、いろいろな視点で宇宙開発を考えてみたいと思うようになった。

このようなバックグラウンドを持って受講したこの実習は私にとって大変収穫のあるものとなった。

工場見学では大規模な生産ラインがあり、自動化も多くされているが人の手で作業する部分もまだまだあることを知った。効率的でかつ品質を向上させるのに、人と機械がうまく協力することが大事であることを知った。意見交換の場では、学生が様々な課外活動を行っていることを知った。また、IHI エアロスペースの方々は他の学生の方々の活動を聞いて、私の考えの及ばないような観点から航空・宇宙産業のビジネスへと話を展開していて、自分の視野の狭さを痛感することとなった。特に今回、宇宙開発を技術面からではなく、法律面からアプローチすることが多かったが、これは私にはなかった視点であり、とても勉強になった。アメリカと日本のロケット打ち上げの多さの違いに法律がかかわってきていることを知ってとても驚いた。日本の宇宙産業の発展に貢献できるようにより一層勉強を頑張っていこうと思う。

参加学生 F:

私は今回の実習で、宇宙開発の技術的な難しさや、法律上の制約など現場で働いている方々にしかわからないようなことを知ることができとても学びになった。特に、H3 ロケットなどの固体燃料モーターの開発について、自社での技術が引き継がれ様々な実験を経て今の性能になっているという点について、技術開発の実態に驚かされた。私が今回この実習に参加させていただいた理由の一つに将来宇宙開発に携わりたいという考えがある。そのため、今回の実習で宇宙開発がただ1社独断での技術で成しえるものではなく多くの企業や政府などと連携して進めていく必要があるという点が知れたということがとても有意義であったと感じた。工場での製造ラインでも大規模な工場なのにライン管理や製品の品質管理、また効率面でも考えられていてとても多くのことを

学ぶことができた。カーボンでのフィンの開発などでは、実際に開発を進めている方からお話を聞くことができ、独自の配合で品質が決まるという点についても企業としての研究意義があるのだということを痛感した。また今回一緒に参加していた方から、それぞれの方が宇宙開発にいろいろなアプローチで開発、研究に取り組んでいる姿を見て自分も将来宇宙開発に貢献できるようにこれからも頑張っていきたいと感じた。

2.3.5. ヒューストンでの体験実習

1. 実施日 :2024 年 2 月 19-25 日
2. 実施場所 :アメリカ合衆国テキサス州ヒューストン Johnson Space Center 周辺
3. 参加学生 :5 名

<主な実習内容>

- NASA 研究者 4 名による講演
 - Brandon Macias 博士(Overview)
 - Steve Laurie 博士(SANS)
 - Jason Norcross 博士(EVA)
 - Tim Macaulay 博士(Sensorimotor)
- NASA 研究者に向けたプレゼンテーション(学生発表)
- 伊藤恵梨さん(フライトサージャン候補生)との交流
- Space Center Houston の見学
- Lone Star フライトミュージアムの見学

NASA 研究者 4 名による講演:

本実習では、共同参画機関である岐阜医療科学大学の田中先生の旧知の研究者である Brandon Macias 博士を始め、Johnson Space Center で研究を行っている 4 名の現役研究者から、最新の宇宙医学研究の知見を紹介していただいた。

Brandon Macias 博士(Overview)

Brandon Macias 博士は、以前に田中先生が NASA Ames Research Center で研究をしていた時に知り合った研究者で、現在は NASA Johnson Space Center 内の Cardiovascular and Vision Laboratory で Director を務めている。同氏の発表では、循環器や視覚に関する内容を中心に、宇宙医学の全体像や、Johnson Space Center の研究施設に関することを学ぶことができた。

循環器系のリスクは、起立不耐症(Orthostatic Intolerance)や律動不整(Dysrhythmias)などのミッション中のリスクと、心血管疾患(Cardiovascular Disease, CVD)などの長期的なリスクに大別されるとのことだった。CVD に関しては、現在行われている地球低軌道の宇宙活動や、以前の月探査の疫学データでは、寿命リスクの短縮が示されていないとのことだった。一方、宇宙飛行中に酸化ストレスや炎症のマーカーが上昇することが明らかになっており、今後の火星探査では問題になる可能性があるとのことだった。また、CVD のリスクは、宇宙環境(放射線や精神ストレスなど)だけでなく、性別、年齢や遺伝的バックグラウンドによる影響も受けるとのことだった。今後、多くの人が宇宙に行くことが想定されるため、リスク評価の個別化が重要だと感じた。

Steve Laurie 博士(SANS)

SANS とは Space Flight-associated Neuro-ocular Syndrome(宇宙飛行に関連する神経眼症候群)の略であり、視神経乳頭の浮腫や眼球の平坦化を特徴とする、宇宙飛行後に生じる眼の異常である。2011 年頃に提唱された以前の仮説では、男性のみに生じる、右目に生じやすい、塩分摂取量と関連する、などと考えられていたが、最新の研究では、男性にも女性にも生じる、両目に生じる、食物中の塩分量を減らしても SANS が持続すると考えられているとのことだった。

また、近年の研究では、遺伝的バックグラウンドや解剖学的な違い(anatomical variability)による個人差があることが明らかになりつつあるとのことだった。そこで、日本人は SANS を発症しやすいですか、と質問してみたところ、まだ日本人の宇宙飛行士のデータは少なく、明らかになっていないとのことだった。今後、日本人についてのデータの拡充が必要だと感じた。

Jason Norcross 博士(EVA) (図 27)

EVA とは Extravehicular Activity(船外活動)のことであり、宇宙探査には欠かせないトピックである。これまでに国際宇宙ステーションでの軌道上の EVA や、アポロ計画での月面における EVA が行われてきた。しかし、それらの EVA がすべて順調に行われてきたわけではなく、予定時間までに作業が終わらなかったり、EVA 自体が延期されたりすることが多かったそう。今後の EVA を含めた宇宙探査ミッションでは、それらを見直し、効率的かつ計画的に EVA を企画する必要があると考えられる。

また、宇宙環境での EVA は、NASA の NBL(Neutral Buoyancy Laboratory)とよばれる巨大プール内で宇宙飛行士がトレーニングを行うことで、実現可能性を高めることができると教えてもらった。



図 27: Jason Norcross 博士の講演の様子

Tim Macaulay 博士(Sensorimotor)

普段私たちは視覚系や前庭系、体性感覚系からの感覚情報をもとに、その場に応じた適切な運動指令を出している。しかし、宇宙環境では、重力が地球上と大きく異なる(国際宇宙ステーションでは微小重力、月面では 0.16 G)ため、入力される感覚情報が大きく変化し、運動出力方法も更新する必要がある。宇宙環境に長期間滞在した際には、異なる重力での運動出力に適応した状態となるため、地球帰還後すぐは歩くだけでもふらつい

てしまう。この状態を調べるために、宇宙飛行士は帰還後すぐ、目を閉じた状態での歩行や指差し運動などによる検査を行うそうだ。この検査の実際の映像をたくさん見せてくださり、イメージが湧いたとともに、思った以上にふらふらな状態の宇宙飛行士をみて、宇宙からの帰還の過酷さを知った。

NASA 研究者に向けたプレゼンテーション(学生発表)

事前に用意したパワーポイントスライドを用いて、Brandon 博士に自身の研究紹介や自己紹介を行い、ディスカッションを行った。Brandon 博士は時折うなずきながら熱心に聞いてくださり、とても貴重な経験を積むことができた。下記のそれぞれの参加学生がまとめた自身の発表内容の概要を記載する。発表資料は添付資料 3.3 に掲載する。

参加学生 A

NASA のミーティングルームでの発表では、自己紹介、宇宙に興味を持ったきっかけ、将来どんなことをしたいか、について話した。私は中学校で宇宙についての授業を聞いて、宇宙について未知なことが多く、宇宙について考えると胸が躍って一瞬で宇宙に魅了された。一度は宇宙の研究者になることも考えたが、幼い頃から医療に興味があって、医師になる夢を諦めきれなかったので医学部に進むことを決めた。そんな中、フライトサーजनという職業を見つけ、医師として宇宙に関わる仕事ができることを知った。発表では、このような私のバックグラウンドを紹介することができた。

参加学生 B

私は大学 4 年間卒業してから、医師を志し今の大学に入学した。前の大学にいた時、研究はしていたもののコロナ禍であったこともあり、学会など人の前で発表したり、英語で発表する機会はほとんどなかったため、今回が初めてであった。まず、発表スライドを作る過程でも日本語と英語ではスライドの作り方が違い、とても勉強になった。自分の発表は、以前研究していたことといま現在興味のある研究について発表した。

当日はとても緊張してしまい、反省点も多くあるが、Brandon 博士をはじめとして、田中先生、寺田先生も優しく聞いて下さり、とても良い経験になった。質疑応答では、今まで興味を持って学んできたことと、医学をどのように結びつけていきたいかということ聞かれ、うまく答えることができなかった。想定質問を考えていったつもりであったが、言語化することができず悔しかった。その点に関して、医学部で勉強する中で、ブラッシュアップしていけたらいいなと思った。

参加学生 C

金属 3D プリンター材料を研究する工学科の学生として、宇宙医学の観点で金属 3D プリンターの火星で活用するプランを提案し、議論した。火星にも重力が存在するため、地球帰還時と似た身体的負荷が火星到着直後にも宇宙飛行士を襲うのではないかと、という仮説のもと、3D プリンターを使って火星の資源を活用しながら段階的に補助具を作製して対応していく案を発表した。Brandon 博士には、専門外ながらも最後まで真剣に発表を聞いていただき、製造の度に発生する材料の損失割合に関するご指摘を受けた。当然の事象として、天下り式に解釈していた特性にも定量的な観点で目を配る重要性を強く実感した。また、発表後には、他の学生メンバーからも予想していなかった視点からの質問をいただき、非常に刺激的なイベントになった。

参加学生 D

私は運動制御学を専門とし、月面低重力下で運動がどのように上手くなるか(適応するか)について調べている。発表では、始めに研究の意義について説明し、次に実験の方法について実験中の動画を用いながら紹介した。私は重りを用いて体重を軽くすることで模擬低重力環境を作っているが、発表を聞いてくださった Brandon 博士から、NASA ではばねを使った模擬低重力環境を用いて実験していることを教えてもらった。他にも研究活動に対して応援のコメントをいただき、今後の自信となった。英語での口頭発表は初めての経験で、とてもハードルが高く感じていたが、拙い英語でも大半は伝わることを体感し、今後も先入観を持たず様々なことに挑戦していきたいと思った。

参加学生 E

学生発表では、自身が行っている動物モデルを用いた発がん研究に関して発表した。事前に全員で集まって練習会をしたこともあり、Brandon 博士に研究の内容や重要性を理解して頂けたと自己評価している。Brandon 博士からは、同氏の研究と比べると私の研究は基礎研究的な側面が強く、どちらかというと Ames Research Center で行われている研究に近いという旨のコメントを頂くことができた。また、先だって行われた Brandon 博士の講演の中で、Johnson Space Center 内の同氏の研究グループが使っている建物に動物飼育施設があるとのことだったので、動物実験に関してディスカッションすることができた。

NASA の研究者に直接、研究紹介ができる機会はとても貴重な機会であり、Brandon 博士とのディスカッションはとても有意義だった(図 28)。



図 28: 発表会後の Brandon 博士を囲んで記念撮影

Space Center Houston の見学:

Johnson Space Center の隣にある Space Center Houston には、NASA のミッションや宇宙飛行の歴史に関するさまざまな展示物があった。ここでは、アポロ計画、スペースシャトル時代、そして国際宇宙ステーション(ISS)での現在の活動について学ぶことができた。また、マーキュリー計画、ジェミニ計画、アポロ計画のカプセルやスペースシャトル計画の部品や宇宙食、当時の宇宙船を見ることができ、シミュレーションなどで、宇宙ミッションを管理する様子を体験することもできた。さらに、船外活動訓練に使用されるシミュレーターや機器など、宇宙飛行士が宇宙ミッションに備えるために受ける厳しい訓練を紹介する展示もあった。

過去や現在のミッションに関する展示に加えて、アルテミス計画をはじめとした NASA の将来的なミッションの計画を紹介する展示もあり、月や火星への有人宇宙探査など NASA が目指すものについても知ることができた。その展示は、日本とは比べ物にならないくらい大規模で、没入感があり惹きつけるものがあった。

また、Space Center Houston では、館内での展示に加えてトラムツアーというツアーを実施している。このツアーに参加すると、普段は入ることができない Johnson Space Center 内の様々な施設を見学することが可能である。ツアーは 3 種類あり、それぞれ宇宙飛行士訓練施設、George W.S. Abbey Rocket Park、旧ミッションコントロールセンターを見学できる。本実習ではすべてに参加することができた。下記にそれぞれのトラムツアーの概要を記載する。

宇宙飛行士訓練施設

米国実験棟 (Destiny) の他、日本実験棟 (JEM) 等のモックアップが見学できた。ほぼ全ての実験棟が揃えられており、日本では決して体感することのできない「国際宇宙ステーション」としての規模を知ることができた。また、展示の説明文で「JEM の役割」として語られていたのは、数ある分野の中でも宇宙医学、生物学のみであり、当該分野に対する米国からの熱い信頼を感じとれた。

George W.S. Abbey Rocket Park

アポロ計画の月飛行全てで使用された、直径約 10 m、全高約 110 m を誇る超大型液体燃料ロケット Saturn V の実物を見学できた。各アポロ計画の概要を記述した説明文が Saturn V を格納する倉庫を覆い尽くすように展示されており、米国の宇宙開発の壮大さを実感させられた。

アポロ 13 号のモニュメントの説明文には、“remarkable success”という表現が見られた。米国宇宙開発の発展の源泉は、想定外の結果に価値を見出して「成功」と断言できるような価値観にあるのだらうと感じさせられた。

旧ミッションコントロールセンター

ジェミニ計画やアポロ計画を導いた旧ミッションコントロールセンター (管制室) を見学できた (図 29)。使用されていない施設をガラス越しに観察する形ではなく、当時のフライトディレクターである Gene Kranz 氏のナレーションとともに、アポロ 11 号着陸当時の室内の音声とモニター画面が流れた。月面着陸前後の的確な指示と応答が繰り広げられ、人類史上最大の偉業を成し遂げようとする者が背負う責任と覚悟を体感することができた。

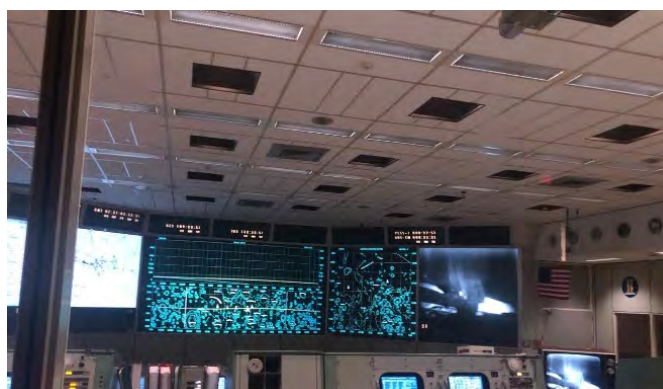


図 29: ミッションコントロールセンターの様子

伊藤恵梨さん(フライトサージャン候補生)との交流:

フライトサージャン候補生の伊藤恵梨さんとの交流は、壁一面に歴代の宇宙飛行士の写真やポスターが飾られている素敵なイタリアンのお店で行われた(図 30)。伊藤さんは初対面でありながらも壁を感じさせない、非常に明るくて親しみを覚える方だった。

今回の交流では、伊藤さんが医師になったきっかけやフライトサージャン候補生になるまでの軌跡、フライトサージャンが実際どのような仕事をしているかについてお話を聞かせていただいた。それによると、伊藤さんは整形外科医で、バスケットボール日本代表のチームドクターをしたことがあるとのことだった。伊藤さんの人柄と、臨床だけでなく特殊な経験をしていることが、フライトサージャン候補生に選出された要因であると感じた。

また、フライトサージャンは宇宙飛行士の健康管理をする重要な仕事だが、リハビリはリハビリ専門のトレーナーの指示で行われている他、宇宙飛行士の車での送迎やスケジュール管理などマネージャー要素が強く、私たちが想像するような仕事はあまりしていないとおっしゃっていた。加えて、フライトサージャンになるためには自衛隊で授業を受けなければならないなど、これまで知らなかったことをたくさん教えていただいた。私がフライトサージャンに憧れがあると伝えると、国際宇宙ステーションがもうすぐ運用を終了する予定であることから JAXA が今後もフライトサージャンを必要とするのかよくわからないとおっしゃっていたが、どこにそのチャンスが待っているかわからないし、何が自分の目標に繋がるかわからないのでとにかく色々な方面にアンテナを張って、チャレンジしてみることが大切だとアドバイスしてくださった。伊藤先生のアドバイスを心に刻んで、たとえ自分の目標に関係のないことのように思えても果敢に挑戦していきたいと思った。



図 30: 伊藤さん(右から 3 人目)を囲んで記念撮影

Lone Star フライトミュージアムの見学:

Lone Star フライトミュージアムには国内外のたくさんの戦闘機や、宇宙に関する展示があった。私の祖父は戦闘機が好きで、木や 3D プリンターで部品を作って小さな戦闘機のモデルを作っている。祖父の家で見たことのある戦闘機が幾つか展示されていて、見ていてとても楽しかった。その他にも、パイロットとして知っておく必要のある気候、気圧、温度、風などに関する説明と、実際に触れてそれぞれの効果を体感できる模型が置かれていた。

宇宙に関する展示としては、探査車のコンセプトや、Centaur と名付けられているヒューマノイドロボットの展示があった。また、スペースシャトルの乗組員が実際に使っていたシミュレーターも展示されており、宇宙に関する展示も充実していた。

参加者からの所感:

参加学生 A

宇宙医学実習の約 1 週間、初めて会う方々と過ごす日々は、初めは緊張の方が強くて不安な気持ちもあった。しかしどなたも優しく、宇宙や宇宙関連事業などにとても詳しく経験も豊富で、話していて刺激をもらえ、楽しかった。NASA の研究者の方々の発表の質疑応答の際には、質問するのを躊躇してしまってなかなか発言できなかったが、この貴重な機会を無駄にしてはならないと思い、その日の夜の Brandon 博士との会食ではたくさん質問してコミュニケーションを取ることができた。

私は宇宙に興味がある一方で産婦人科医になりたくて医学部に入ったが、その2つをどうしても関連づけられなくて将来どちらに進もうか、悩んでいた。しかし、Brandon 博士にこのことを話すと、産婦人科医は女性の体のスペシャリストで、今後女性の宇宙飛行士も増えていく可能性があるので、産婦人科医がフライトサーजनになることや、宇宙関連の研究に携わることは非常に意味のあることだと言ってくださって、一見関連のなさそうなことを繋げて何かを発展させていくことはとても面白そうだなと思うようになった。

この 1 週間で見聞きしたり、感じたりしたことを大切にして、チャレンジする気持ちを忘れずに、医学部の残り 5 年を過ごしていきたいと考えている。この度はこのような素敵なプログラムを企画していただき、本当にありがとうございました。

参加学生 B

Johnson Space Center で最先端の研究をされている研究者の方々が 4 人来てくださり、研究を英語で聞くことができたことは大変貴重な経験であったと思う。中でも特に印象に残っているのは、Brandon 博士に、宇宙医学を学ぶためにどうしたら良いかと聞いたときに、宇宙医学というのはあくまでもその延長線にある学問であって、それを目指しすぎるべきでないと仰っていたことだ。同様に、フライトサーजनを目指されている伊藤さんも、目指しすぎてなれるものではないから視野を広げるべきだと仰っていたことも印象に残っている。

医師を志すスタートラインに立ったばかりの自分にとって、すぐに研究の道に進むことは現時点では難しいと考えている。しかし、今回の実習に参加したことで、宇宙医学という学際的な分野の研究の最先端に触れることができ、研究者の方々がどのように考えて研究をされているかを知ることができた。このことは、私が将来様々な選択をしていく中できっと役に立つと感じた。これからも色々なことに興味を持ち、広い視野を持って生きていきたい。まずは医師になって、その延長線上で将来宇宙に関わることができたら嬉しいと思う。

そして何よりも、この実習に参加したことで、同じ医学部でも違う大学の友人と大学のことや興味のあることを話すことができたり、普段関わることのない理学系や工学系の修士課程や博士課程の友人と研究のことや興味のあることを話すことができ嬉しかったし、とても良い刺激になった。さまざまなバックグラウンドを持ち、宇宙が大好きな友人たちと出会えたことはかけがえのない経験であった。これからも人との繋がりを大事にしていきたいと改めて感じた 5 日間であった。参加することができて本当に良かった。Brandon 博士、田中先生、寺田先生、NASA の研究者の方々、参加者の友人たちに改めて感謝申し上げたい。ありがとうございました。

参加学生 C

Space Center Houston の見学では、アポロ計画を初めとした米国の宇宙開発の壮大さを実感するとともに、その発展の源となったであろう彼らの価値観を学びとることができた。将来、宇宙開発分野で活躍したいと考え

る私にとって、想定外の結果でも「失敗」と捉えず、意義を見出した上で「成功」と胸を張って断言するという考え方を学ぶことができたのは大きな成果になった。

また、JEM 内の装置を使って材料工学の研究をしている私にとって、実施されているのにも関わらず、専攻する分野の記載が「JEM の役割」の展示に一切されていなかったことが悪い意味で衝撃的だった。同時に、しっかりと記述のあった宇宙医学分野に見習うべきものは何かと考える視点が芽生え、異分野の人間ながらも、この分野をもっと知りたいと思う欲求が湧いた。

「宇宙」に共通の憧れを持ちながらも、異なるバックグラウンドを持った学生同士であったからこそ、毎日が刺激的で今後の人生においても大きな財産となる経験ができたと感じている。

参加学生 D

NASA の研究者の方へ自分の研究について発表したり、ヒューストンに詳しい先生方に終始案内してもらったりなど、非常に貴重な機会となった。中でも、様々なバックグラウンドを持った学生の皆さんと共に実習を進めることで、広い視野を得ることができた。実習の最後には、学生間で宇宙系学会の情報を交換したり、博士課程の話をしたりすることができ、今後も頼りにしたい仲間を得ることができた。宇宙研究に携わる学生が集う場として今後も今回のような実習を増やしてほしいと思った。

参加学生 E

本実習では、4 名もの NASA の研究者の方々に講演していただく等、とても貴重な経験を積むことができた。現地に行って専門家の方々と交流し、実物を見たりすることで、ネット上では知りえない情報を得ることができた。個人的には、Johnson Space Center のトラムツアーで見た、Saturn V ロケットの迫力がとても印象的だった。また、NASA の方々の講演では、宇宙飛行による健康リスクの個別化というのが今後の大きな課題の一つだと感じた。例えば、Steve Laurie 博士の講演では、遺伝的バックグラウンドが SANS の発症に関わる可能性が考えられているということを学んだ。これまでに宇宙に行った宇宙飛行士は、アメリカ人やロシア（旧ソ連）人の男性が多く、それに伴って NASA の方々が扱っているデータには人種や性別の偏りがあると思われる。実際に、日本人のデータが少なく、他の人種と比べて日本人が SANS を発症しやすいかは明らかになっていないとのことだった。今後、宇宙滞在時間の長期化や宇宙に行く人の増加が予想されるため、人種や性別などの個人差を踏まえた、より正確なリスク評価が必要だと感じた。

実習の内容に加えて、学年や専門が異なる学生の方々と過ごすことができたことも、貴重な経験になった。実習の期間中、参加者の誕生日を祝うなど、終始、和気あいあいとした雰囲気でも過ごすことができた。今回の実習中の Brandon 博士の講演は、田中先生が留学していた時のご縁で実現したものであり、日々のご縁を大切にしていきたいと改めて感じた。

このような素晴らしい機会を頂けたことに感謝し、有人宇宙活動を支える人材になれるよう、本実習で得た経験を活かしていきたいと思う。

2.3.6. ベッドレスト実験での体験実習

1. 実施日 :2024 年 3 月 7～18 日
2. 実施場所 :岐阜医療科学大学 可児キャンパス(〒509-0293 岐阜県可児市虹ヶ丘 4-3-3)
3. 参加学生 :15 名 (被験者、見学者、測定者)



図 31: ベッドレスト実験に用いたベッド。

【はじめに】

2024 年 3 月 7 日から 18 日の日程で、岐阜医療科学大学において模擬微小重力曝露実験(ベッドレスト実験)が行われた。図 31 は実習に用いたベッドの様子である。被験者は全国から集まった大学生・大学院生 6 名で、見学や測定を行う学生を集めると、15 名を超える学生が参加した。本報告書では、実習の様子を被験者・測定者・見学者それぞれの立場からまとめる。

【ベッドレスト前後の計測】

本実験では、6 名の被験者を 3 名ずつの 2 グループ(A、B)に分け、合計 4 日間(ベッドレスト前 2 日間+ベッドレスト後 2 日間)の測定を行った。測定項目は 11 あり、以下の日程で各グループに対し計測が行われた。

※1. グループ分けは健康状態、身体の状態によらず、ランダムに行った。

※2. 計測器具の不具合により、一部被験者の測定順序の変更があった。

※3. ベッドレスト開始前、ベッドレスト終了後は通常のベッドで就寝し立ち歩きも自由とする。

・ベッドレスト開始 2 日前 測定項目(グループごと)

A: 測定1・2・3・8・9

B: 5・6・7

・ベッドレスト開始 前日 測定項目(グループごと)

A: 4・5・7・10・11

B: 測定1・2・3・4・8・9・10・11

・ベッドレスト終了 当日 測定項目(グループごと)

A: 4・5・7・10・11

B: 測定1・2・3・4・8・9・10・11

・ベッドレスト終了 翌日 測定項目(グループごと)

A: 測定1・2・3・8・9

B: 5・6・7

各測定項目は以下の通りである。

1. 起立時血圧応答 (1 号館 1221)

0° および 60° で各 5 分間、姿勢を維持させ、以下の項目を計測します。

- 心電図,呼吸曲線(DL-320, S&ME)
- 連続血圧,1 回拍出量(Human NIBP, AD Instruments)
- 血管年齢(アルテット 2,ユメディカ)

被験者メモ:5 分間横になった状態から直立の姿勢に移る際に、血液が下方に流れる感覚、皮膚が下に引っ張られる感覚、指先が痺れる感覚、身体に重みが増す感覚が感じられた。ベッドレスト終了後には、血液が下方に流れ頭から血が引いていく感覚、身体が重くなる感覚がより鮮明に感じられた。

2. 重心動揺 (1 号館 1221)

直立時で「開眼 1 分」、「閉眼 1 分」、「閉眼+磁石での内耳前庭系刺激1分」、「閉眼1分」の重心動揺(重心軌跡測定装置、武井機器)

被験者メモ:「開眼 1 分」後に「閉眼 1 分」をやるにあたって、身体の揺れが大きくなった。その後に耳の後ろ側(内耳前庭系を刺激できる箇所)に磁石を装着することで、明らかに姿勢が安定する感覚を受けた。

ベッドレスト終了後には、バランス感覚の衰えでふらつきがあったが、初見でなかったこと、力まないことで身体のだらつきを抑えられることを知っていたため、想像以上にふらつくことはなかった。重心動揺の変化が実験者の想像以下のものではあったのならば、こういった事が要因としてあげられるだろう。

ただし、一度揺れ始めたあと姿勢を立て直すのは、ベッドレスト終了後の方が困難であった。

3. 耳石機能検査 (1 号館 1221)

500Hz、持続時間 0.1msec の音を 1 秒間に 5 回、20 秒間、100 デシベル程度の大きさをヘッドフォンから音を聞いたときの胸鎖乳突筋筋電図。

4. 骨・免疫代謝マーカー(採血 約 15mL・ベッドレスト前後で 1 回ずつ)

- PTH・カルシトニン・オステオカルシン・BAP・Ca・P・ビタミン D・スクレロステチン
- リンパ球マーカー (CD4,CD8)

5. 骨密度 (関キャンパス 3 号館 3 階実習室)

踵の骨密度測定(超音波骨密度測定装置 CM-300)

6. 筋肉量 (関キャンパス 超音波センター)

上下肢の超音波撮影による上下肢の筋肉量を評価する。

7. fMR I(関キャンパス MRI 室)

視覚誘導自己運動感覚に起因する脳内応答評価

8. 下肢拮抗筋の筋活動パターン測定

- 立位時ならびに歩行時の筋シナジー測定を実施します。立位時の筋シナジーは、床反力計上にて静止立位を維持した後、前方のディスプレイに呈示された 12 方向に設定されたターゲットにできるだけ足圧中心を一致させる立位課題を行い測定します。
- 課題中、前後・左右方向の足圧中心位置および両脚のヒラメ筋、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭、前脛骨筋、外側広筋、大腿直筋、大腿二頭筋長頭、中殿筋より表面筋電図を測定します。

被験者メモ:ベッドレスト終了後の測定では、バランス感覚の衰えが感じられ、運動量が上がれば上がるほど左右へのふらつきが大きくなった。

また、被験者によっては左右のバランス感覚の衰えを訴えていたが、私の場合は前後に重心を移動させた際のふらつきが強かった。

足の裏側全体で地面を踏ん張っている感覚が希薄で、底がカーブを描いている靴を履いているときと同じような感覚を受けた。

9. 歩行動作解析

動作解析カメラシステム(MICROCAM200-4)を用いて、ベッドレスト開始前ならび終了後にベッドレスト被験者の歩行中の動作を撮影、解析いたします(WinAnalyzer)

被験者メモ(千葉俊彦):ベッドレスト終了後、太もも、足の関節部分の感覚が鈍く、自身の身体が操り人形のようになってしまった感覚を受けた。

歩行時、上げた脚とは逆側に引っ張られる(ふらつく)感覚を受けた。

10. 体重測定

ベッドレストの前後での体重の変化を計測した。

11. 尿検査

ベッドレスト開始日の朝、ベッドレスト終了日の翌日朝に尿検査を実施した。

続いて、測定項目のうちいくつかに関して、その詳細をまとめる。(被験者学生の感想も含む)

【実験中 1 日の流れ】

3 月 8 日金曜日 15 時 41 分、ベッドレスト実験、つまり 10 日間のベッド生活が始まった。本節では、ベッド生活における 1 日の流れを簡単に紹介する。

◎起床と就寝

起床は 6～10 時くらい。被験者によってばらつきがあった。私はいつも PC 作業をして夜更かしをしていたので、いつも起きるのが 8 時過ぎだった。窓側のベッドで寝ていた被験者たちは、太陽の明かりで 6 時過ぎには必ず目が覚めるという健康的な生活を送っていたようだ。

消灯が 22 時。部屋全体が真っ暗になるが、私の周りからは 0 時頃まで PC のキーボードを叩く音が聞こえていた。

◎体温と血圧の計測

1 日 2 回、体温と血圧を計測していた。実験期間中、私の体温は 37℃前後を行ったり来たりしており、平熱(36.0℃)よりも高かった。

◎電気刺激

1 日 1 回、お昼ご飯の前後に、電気刺激を実施。「〇〇くん、”刺激” 良いか」という先生の声掛けが毎日の楽しみとなっていた。

◎食事

食事は 1 日 3 回。

朝は、黒糖クロワッサンと野菜ジュースのコンボ。(黒糖クロワッサンを食べるたびに、この実験参加のことを思い出すでしょう笑)

昼晩は、弁当とお茶。高齢者宅配専門の弁当だったこともあり、分量は多くなかったが、1 日中動いていなかったのも、私にとっては適量であった。毎日メニューが変わり、栄養バランスもしっかりしていたので、食事は 1 日の楽しみのひとつだった。

◎タオル拭きと洗髪

ベッドの上ではシャワーをあびることができないので、2 日に 1 回(看護師さんに頼めば、毎日対応可能)、体の汚れはタオル拭きで落としていた。基本的には自分自身で寝ながら体を拭くが、背中には看護師さんをお願いして、拭いてもらっていた。

また、洗髪も看護師さんをお願いしていた。介護でも使用する大きな専用ゴムバケツを利用して、シャワーで髪を洗う。

人によると思うが、私は昼食後の時間帯で実施することが多かった。

◎トイレ

タイミングはもちろん人によりけりだ。普段通りコンスタントに便を出す者もいれば、10 日間一度も大便を出さないまま実験を終える者もいた。

小便は専用のホースに、大便は専用の便器に出す。無事出し切ったら、看護師さんを読んで処理していただく。その際、重量を計測していた。

◎自由時間

「実験」といっても、この 10 日間は被験者にとって、寝たきりという条件以外は、基本的に自由だった。体勢を変えなければ、眠っていても、PC 作業をしていても、本を読んでも OK。各々が好きなように過ごしていた。

【fMRI】

ベッドレスト実験前後における測定の一つは fMRI を用いたものであった。岐阜医療科学大学関キャンパスにある MR 装置を用い、ある映像を見た際に脳のどの位置が活動しているかを調べた。装置の中には映像を映すことができないため、被験者は足元に置かれたスクリーンの映像の反射を、顔の上部に設置された鏡を通して見ることになる。映像は 2 パターン用意されており、どちらも多数の小さい円形の図形が動いているという点で共通している。それらの円は連動して同じ方向に動くが、その動いている方向が時間と共に変化していく。一つ目のパターンでは、円形の図形は全て同じ色になっており、映像に焦点を合わせながらも中心を見続けるように指示を受けた。二つ目のパターンでは、図形のうち一つだけが異なる色になっており、それを目の動きで追うことが求められた。二つ目の映像ではスムーズに映像を見ることができたが、一つ目の映像では、図形の動く方向が変わる際に目がピクツと動く感覚がある。これらの映像を見ている際に活発に活動する脳の部位を測り、実験前後での影響を調べるそうだ。実験による影響が見られたか、それらの事実からどのようなことが明らかになるのか、研究成果の公表が待たれる。

【血圧】

ベッドに寝て右腕に血圧測定機、左中指に心拍数測定器を装着し、横になったり起立したりを複数回(3 回だったと思う。)行った。起立する際、横になっていた後、血液の移動、下半身に集まる感覚を感じた。また、胸部の圧迫感、頭部は頭重感、指先に軽く痺れを感じた。ベットから降りた際には、視界がぼんやりしたり、一時的な目眩が認められた。

【重心動揺】

重心動揺の機械にのって、複数回(3 回だったと思う。)開眼、閉眼し結果を記録した。重心の不安定さについて、開眼時 1 分経った時点で、閉眼時 1 分を行うと身体の揺れが増加し、姿勢を安定させるのに苦勞した。その後、耳の後ろに磁石を装着すると、何をしなかった場合と比べ、姿勢が安定した感覚が得られた。

【筋エコー】

はじめに

私たちは本学の田中教授が開講した宇宙医学という授業を通して、宇宙空間が人体に与える影響に興味を持った。その中でも無重力空間で使用されない筋肉、特に抗重力筋が萎縮してしまうことを防ぐために様々なトレーニングが宇宙で行なわれていると知った。

その講義の中で今回のベッドレスト実験(模擬微小重力曝露実験)が本学で行われると知り、座学ではなく実際に体験したいと思い参加した。

実験の内容

この実験ではベッドレスト状態を課することで、模擬宇宙空間を再現している。そこで私たちは、微小重力環境下では宇宙空間と同様に、抗重力筋は通常より活動が少なくなるため萎縮し、抗重力筋でない筋は萎縮の影響が少ないとの仮説を立て実験を進めた。筋の萎縮指標には、筋骨格超音波検査によって測定した筋厚と皮下脂肪厚を測定した。

具体的な内容は以下に示した。

使用機器は、富士フィルムヘルスケア株式会社製 ARIETTA 850、探触子はリニア型プローブ(2-12MHz)を用いた。

測定項目は、上肢・下肢の周囲径と皮下脂肪厚および筋厚とした。

被検者肢位は上肢では肩関節下垂位、下肢は膝関節屈曲位にて下腿筋が収縮しないよう注意しながら足関節中間位とした。

測定部位の詳細については以下に示す。

○上肢

- ①. 上腕二頭筋: 肩峰と肘頭を結ぶ線の中点における筋厚および皮下脂肪厚(真皮層を含む)。
- ②. 上腕三頭筋: 肩峰と肘頭を結ぶ線の中点における筋厚および皮下脂肪厚(真皮層を含む)。

○下肢

- ①. 下腿三頭筋: 大腿骨外側顆と足関節外果を結ぶ線の近位 1/3 の点の延長線上にある腓腹筋内側頭・外側頭、およびヒラメ筋の筋厚と皮下脂肪厚。

【実験の見学・被験者へのインタビュー】

実験中の症状

初めの二日間は頭痛があったけれど、だんだんと順応していった。また、いつもよりも顔が熱く、平熱よりも高くなっていた。一方で、足先は冷たい感覚があり、毛布を使うなどして、体温調節を行うようにしていた。

また、のどの渇きが減退したとのことだった。頭に血が上り、下肢には血が流れにくくなったため、このような症状が生じていると考えられる。味覚と嗅覚が鈍化していたが、食べることがこの期間の一つの楽しみになっているという人もいた。お菓子などの甘いものを食べたいことがあるとのことだった。個人差はあるが、食欲の低下が見られるという被験者もいた。

実験に持ってきてよかったもの、実験に対する希望

持ってきてよかったものとして、印象的であったのはサングラス型ディスプレイである。サングラス型ディスプレイとは、サングラスに近い外観を持っており、着用してパソコンやスマートフォンと連携させれば、その画面が映画館のスクリーンに映し出されたように見えるものである。ベットレスト中は身体を起こすことができず、パソコンで作業をすれば首を曲げた状態を保たなければならない。しかし、このサングラス型ディスプレイを着用すれば真上に画面が映し出され、首の負担もかからず快適に作業ができると言われていた。

また、被検者の実験に対する希望としては、手を洗うことのできる蛇口、ものを整理できるような環境面、隣の人の物音などの対処があった。

実験で大変だったこと

大変だったこととして、排泄を挙げていた被検者が多かった。排泄の際、慣れるまで看護師の方の手助けが必要となるため、心理的な苦痛を感じたり、寝た状態で排泄することが初めてであるため、尿意や便意は感じてでも排泄できるまでに時間がかかったりして大変であったと言われていた。

実験後の感覚の変化

1 日目は目眩、脱水症状、個人差はあるが吐き気、後ろに引っ張られる感覚、頭を左右前後に振った際に、その方向にふらつく感覚、バランス感覚の衰え、関節が自由に動かない感覚、わずかな筋肉の減少、体重減少が見られた。

2 日目は 1 日目よりも改善されたが、後ろに引っ張られる感覚、頭を左右前後に振った際に、その方向にふらつく感覚、バランス感覚の衰え、関節が自由に動かない感覚が残っていた。普通に頭を振ってもふらつきはそれほどでもなく、お辞儀程度まで下げると、1 日目と同程度の目眩を感じた。走ることには恐怖を感じる。

3 日目は頭を下げた時のふらつきはあるが、ほとんどが平常時に戻った。走れるようになった。

【参加学生(被験者)の感想】

参加学生 A:

これまで宇宙に関する様々な講義を受ける中で、ベットレスト実験についてお話を聞いたことがあった。微小重力空間における人体の反応を調べるという点で有用な実験であるとのことだったが、医療倫理との兼ね合いや実験実施にかかる困難さからしばらく実験が行えていないということで、当時はまさか自分が被験者になることがあるとは思っていなかった。実際に参加してみると、実験に係る測定から生活のサポートまで非常に多くの人が関わって成り立っているのだと身に沁みて感じた。このような貴重な経験を与えてくださった先生や学生の皆様には頭の下がる思いである。十日間も寝たきりで過ごすというのは、もちろん初めての経験であり、寝ている間体調に問題はないかなど正直なところ心配な点も多くあった。しかし、実験が始まってみると、寝たきりの生活に慣れるまでの二日ほどは落ち着かなかったが、一度生活リズムが掴めると特に辛い点もなく快適に過ごすことができた。むしろ、日常の慌ただしさから離れ、健康的な生活ですらあったように思う。“無重力”を体験するというだけではなく、程度の大小はあれども被介護体験とともれる生活を行う中で、暖かいタオルに感動する・少しでも人と話すと気持ち上がるなど、いずれ介護する側・される側になる際に何を考えなければならないのかを考えるきっかけともなり有意義な経験であった。他の被験者をはじめ、様々なバックグラウンドを持つ学生との交流も新しい世界をすることができたとない機会となった。一生に一回の非常に貴重な体験となったように思う。

参加学生 B:

以前より田中先生の講義から重力変化に対する筋や感覚器、循環系への影響に興味があった。特に抗重力筋は無重力条件下では使われず萎縮、赤筋が白筋化することが印象的であった。そのため、今回測定補助という形でベッドレスト実験に参加して自分が学んできた分野が活躍する様子を体験できたことは非常に有意義なものであった。同時にもっと自分の専門性を高めることで、他の分野と交流したときに新しいアイデアや視点からより深く宇宙医学に関われるのではないかと感じ、勉強へのモチベーションとなった。

また、宇宙医学として行ったベッドレストは高齢者の寝たきりと類似しているため高齢化社会における医療としても役立てると考えているので、今回の経験を将来に活かしたい。

機会があればこれからも積極的に参加して幅広い知見を得たいと思った。

参加学生 C:

この度は、実験に参加させていただきありがとうございました。

田中先生の講義から重力に対する筋や感覚器、循環器への興味があった。そこで自分の専門分野と関連づけてみて、筋肉や、血管などの大きさ、長さを測定できるエコー検査を用いて、実際に、数値がどのように変化をするのかを明らかにしたかった。残念ながら、10 日間では劇的な変化は見られなかったが、模擬微小重力環境にいた被験者のエコーを取ることは、私にとって非常に良い経験になった。また、いつかは地球に帰ってきた宇宙飛行士さんの筋エコーをとってみたいと思った。

今回は、エコー検査しか行うことができなかったが、CK やミオグロビンなどの血液検査、MRI など、エコー検査以外の専門分野とも絡めて、検査をしてみたいと感じ、自分の専門分野の意欲がより湧いた。

また、他大学の学生さんと交流をして、宇宙医学という分野の幅広さを改めて実感した。私は医療の知識しかないが、他大学の学生さんを通じて、物理学などの他分野の知識も深めたいと感じた。

また、機会があれば是非参加したい。

参加学生 D:

今回ベッドレスト実験に参加させていただいた動機は3つある。

1つ目にベッドレストの実験が(規模・期間は異なるが)NASA でも同様の実験が行われていること。2つ目にJAXA の宇宙飛行士(もしくは宇宙飛行士候補者)の方々も実験前後で行われる測定を受けること。3つ目に実験後、無重力暴露後の身体の変化が体感できることがある。

宇宙飛行士を目指す私にとって、少しでも宇宙飛行士・無重力の体感に近づくことのできる今回のような機会はまたとない好機であった。

一方で、10 日間ほどで目に見えた変化が本当に訪れるのだろうか、長めの寝正月を経験するだけで自身の心情に変化を与えるには至らないのではないかという懸念もあった。

結果としては、良い意味で期待を大きく裏切られた。実験の最中は、平常に生活するのでは味わうことのできない逆境(排泄、不自由によるストレス)をいくつも乗り越えることとなり、極地で働く宇宙飛行士の感じるものを僅かではあるが体感しているようであった。

中でも大きな驚きを受けたのが、実験後も身体の変化であった。10 日間ぶりの起床時、これまでに受けた体験では説明することのできない感覚(頭を後ろに引っ張られるような感覚、大きめのふらつき)が私を襲い、「この体験をできただけでも本実験に参加した甲斐があった。」起床してすぐにそう思った。

ちょうど、我々よりも一足早く地上へ帰還した古川聡宇宙飛行士が X(旧 Twitter)にて、地上帰還後身体にどのような変化が見られ、平常状態へとどのような過程を経て回復していくのかを事細かにレポートしておられた。そこで書かれている、無重量暴露後の後遺症がベッドレスト被験者のものと多く重なり、自身が体感している感覚がまさしく宇宙飛行士のものであると確認できたことがとても嬉しく思えた。

本実験を通じてこのような体験を得られた裏には、実験を主導いただいた田中先生、寺田先生、測定にご協力いただいた京都大学、企業の方々、我々被験者をケアし、サポートいただいた看護師の皆様、岐阜医療科学大学の方々など多くの方々の努力と協力があった。

この場をお借りして、全ての関係者様に心より感謝申し上げます。

そして気さくな被験者仲間、彼らがいたからこそベッドでの生活も笑いのある素敵なものとなった。彼らにもこの場をお借りして感謝を申し上げておきたい。

最後にはなるが、本実験は日本の有人宇宙開発発展、民間の方々健康改善に繋がるものであると私は信じている。今回の結果をレポートを目にした人々が、人類の発展に寄与すべく実験に参加頂けることを願いつつ締めくくりとさせていただく。

参加学生 E:

今回、私が本実験に参加した動機は大きく 2 つあります。ひとつは、寝ているだけでバイト代をいただけるという点です。寝ている間は、研究を進めてもいいし、本を読んでいてもいいし、映画を観ていても良いというのです。こんな機会があつていいのでしょうか。それに加えてもう一つ、医学と有人宇宙開発の両面の発展に貢献できる点です。ベッドレスト、前後の試験を通じて得られるデータたちが巡り巡って、上記の発展に繋がると考えるとワクワクしますよね。

なんだか壮大なことを書き連ねましたが、ベッド生活 10 日間は思っていたよりもあっという間で、進めたい研究も進まなければ、読み終える予定だった本もほとんど開けませんでした。あまり集中力が持続しなかったのだ。いや、もともと集中力が無いただけなのかもしれませんが。

大変だったことは 2 つ。トイレと寝返りだ。トイレは、特に大便をいかにしてリリースするかに苦戦した。うまく踏ん張れないのだ。無重力空間で滞在する宇宙飛行士はもっと大変なのかもしれない。寝返りは 5,6 日目あたりにしんどくなった。先生曰く、寝たきり状態に順応した結果起こる症状だそうだ。

これ以外の体験については、#ベッドで無重力 というハッシュタグで、SNS(Instagram、X)でもリアルタイムで発信していました。この報告書をここまで丁寧に読んでくださった方には是非いいねを押しにきてほしいです。そして、「寝ること」でさえ、医学や宇宙開発といった発展途上の分野に貢献し得るということに、想像を膨らませてみてください。そんな妄想が、私達の日常を面白くできるんじゃないかと考えています。

いつか宇宙旅行している人が、当たり前になり電気刺激をする世界になっていたら、この実験に参加していたことを周りの人に自慢しようと思っています。

2.3.7. 宇宙医学実習アンケート結果

宇宙医学実習への参加終了後に、各参加者に対してアンケート調査を行った。アンケート内容としては、「見学に対して、何を期待して応募しましたか?」、「今回の訪問がその期待に応える内容であったか教えてください。」、「今回の実習で学んだことは何か?」、「一番印象に残ったことは?」、「改善した方がよい点や今後の要望」、

「今回の訪問によって、宇宙分野への想いや今後の進路などへの影響」の 6 点について主に回答してもらった。以下にそれぞれの回答を原文のまま記載する。

見学に対して、何を期待して応募したか？

- 宇宙医学について学びを深めること、同じ学問について学習している人たちと交流できること
- 宇宙医学と宇宙港がどの様に繋がりをもって官学民が連携しているかを知りたいと思いました。
- 宇宙医学について学びを深めることや、同じ学問の勉強をしている人たちと交流できることを期待して応募しました。
- 宇宙医学について学びを深めること、同じ学問について学習している人たちと交流できること
- 宇宙医学分野を専門とする方々とのつながり、自身の研究についての意見を伺うこと。
- 工場見学や技術者の方との対談
- IHI エアロ自体の施設見学。宇宙航空分野のエンジニアを目指すにあたり、乗客の健康も配慮した宇宙医学の知見を備える多角的視点をもつため
- 日本の航空・宇宙産業の最先端を走る企業である IHI の方々の生の声を聴くことによって、この分野の現状を肌で感じたいと思った。
- IHI 関係者との交流経験がほしかった。日本の民間宇宙産業の代表の 1 つである IHI の持つ宇宙医学に対する視座や情熱を肌で感じたかった。IHI での経験を今後の宇宙医学、地上の医学研究や開発、産業に活かし日本から世界の宇宙医学分野や産業に貢献したく、まずはこの機会に飛び込んで見たかった。
- 宇宙医学を研究している方に何が現状の課題か伺うこと
- NASA 研究者との交流。・NASA、ヒューストンについて詳しい先生方からの現地案内。
- NASA 研究者との交流や Johnson Space Center の見学により、最先端の宇宙医学研究の現場を学べることを期待して応募しました。
- NASA に行ったり研究者と話せたりすること
- 「有人宇宙活動への視野を広げること」です。将来的には宇宙飛行士として、火星の有人探査を成功させたいと考えております。そのために実際に NASA へ赴いて有人宇宙活動研究の最前線に携わっている方と議論して見聞を広めることは重要と考えておりました。
- 宇宙にいる体験をした人のエコーをとってみたいかったから
- 微小重力化における反応を身をもって体験する・交友関係を広める
- 宇宙医学や、ベッドレスト実験について知るため応募いたしました。
- 今まで経験した事の無い知識や経験を得る
- 寺田先生の特別講座を受けて初めて宇宙医学という分野があることを知り、興味を持ちました。そして、普段の大学では学べない内容であったため、ベッドレスト実験を見学することによって、宇宙医学の理解を深め、視野を広げるきっかけにしたいと思ったので参加を決めました。また、宇宙医学において、理学療法はどのような関わりがあるのか知りたいと思い応募しました。

- **今回の訪問がその期待に応える内容であったか？**
十分に期待に応える内容でした
- 最先端の AI を使用した医療の技術や宇宙港での大分県先端技術挑戦課の大分空港を宇宙港として地の利を生かした展望は充分期待に応えるものでした。
- とても期待に応えた内容でした
- 期待に応える内容でした
- おおよそ期待通りでした。
- 貴重な施設を見学でき、また実物を見ながらの意見交換ができた。
- 今回の訪問は、私の期待していたものを十分に満たすものだった。
- 今回の訪問では IHI 関係者との交流も深くあり、日本の民間宇宙産業の代表の 1 つである IHI の持つ宇宙医学に対する視座や情熱も肌で感じた。また、それ以上にこれまでされてきたことにも自負を感じた。また、他の参加者との交流もあり、大変刺激をもらった。今回の訪問は自身の期待以上の内容であった。
- 宇宙医学の研究の話が少なく感じたのが心残りだった。IHI でどのような実験や研究を行っているのか知りたかったが、それと同じくらい工学的な興味も大きく、当日はロケット開発の話に聞き入ってしまったしもっと長くお話を伺いたかったものの、宇宙医学のお話もたくさん聞けるとよかった。
- とても満足している。
- 今回の訪問は、応募時の期待を越える内容でした。実習では、想定を上回る 4 名の NASA の現役研究者から最先端の研究内容を紹介していただきました。また、当初の予定に加えて、フライトサーजन候補生の方と夕食を一緒にすることもでき、フライトサーजनのお仕事の内容や、候補生に至るまでの経歴等を教えていただきました。
- 研究員の話は難しかったが、その後の会食でたくさんお話できたり、フライトサーजन候補生の方と話せたりしたことが非常に印象に残っていて、刺激いっぱい訪問でした。本当に行けてよかったです。
- 期待を超える内容でした。「有人宇宙活動への視野を広げること」を目的としていた私にとって、Brandon 博士を初めとする NASA の研究者の方々との議論、フライトサーजन伊藤様との会食、アメリカの宇宙開発の歴史と規模を肌で感じる事ができたスペースセンターヒューストン見学、同じ宇宙に憧れをもつ異分野の学生との交流、材料工学の世界に留まるだけでは決して得られなかった幅広い考え方を学ぶことができ、今後の人生においても大きな財産となる体験ができました。
- エコーの検査はではあまり結果が出なかった。
- どちらの目的も達成することができた。
- ベッドレスト実験やその測定を見学させてもらえ、また内容も詳しく説明していただけたので、とても満足しました。
- 見学者ではあったが実験を実際に近くで見たり、試しに検査をやらしてもらえたり様々な、知識や経験を学ぶことができとても良かった

- 今回の実験において、筋電図などを用いてベットレスト前後で下肢の筋活動を評価していたので、その部分で理学療法士は関わっていけるのではないかと思いました。また今回のベットレストの実験の見学をすることによって、普段は関わることのない他大学の方と関わることもでき、他の分野でそれぞれ活躍する方のお話を聞くことができたので、私も大学のうちにたくさんのことに挑戦してみようと刺激を受け、参加して本当に良かったです。

今回の実習で学んだことは何か？

- 大分の宇宙港について、宇宙医学全般について、宇宙船内での手術などについて学びました
- 産官学がそれぞれの技術や良さを引き出し、協力実施体制がしっかり組まれているからこそ、地方創生が宇宙、医学を通して未来を描けるのだと実感しました。
- 宇宙医学とはどのようなものかということから、実験の手法まで学ぶことが出来ました。
- 細胞の免疫染色や遺伝子解析、ウエスタンブロッティングの手法など
- 純粋なバイオ系研究室の実験プロトコルや実験機器の扱いがた。
- 見学までに学習した内容のうち、出版物に記述されていない事柄やその関連事項
- IHI エアロが組立だけではなく複合材に力をいれていること、医学部の参加者の方で航空工学にすごく精通している方がいたこと(好きこそものの上手なれだと感じた)、他の参加者(とくに西日本の学生)が力をいれている活動を知ることができた
- IHI エアロスペースが防衛産業も行っていることを初めて知りました。また、日本とアメリカの宇宙産業の違いを学び、日本での研究開発の難しさについて知りました。
- IHI エアロスペースが行う事業紹介 ・IHI エアロスペースは宇宙開発部門だけでなく、航空事業、防衛産業、そして宇宙開発の 3 つの部門からなるという事業構成。 ・3 つの部門から全て 1:1:1 のまま事業の総額が 2 倍になるといった話や、工場も人材も不足していくという話。 ・以前は陸上自衛隊の特殊装置を作ったりもしていた。 ・陸上自衛隊などに向けた陸上無人機の作成できる技術はあるものの今はあまり作られていない。 ・IHI エアロスペースの職員の方々と参加者それぞれが持つ疑問をもとに様々なディスカッション ・FRP 複合材にもかなり力をいれている。 ・IHI エアロスペースはノウハウなどが多くあり、例えば固体燃料をどんな形になるよう混ぜるといった混ぜ方や材料などに関するメモが多くあるという話があった。特許になっていない技術が多くあるとの話だった。
- 民間における宇宙開発と法律面の問題、開発の障壁、特許制度など、自分が将来民間で宇宙開発に携わることを考えたときに知っておくべきことが多く学べた。
- 自分の英語力がどれだけ通用するか。正確に話さなくてもほとんど通じることは意外だった。
- 今回の訪問では、NASA の宇宙開発の歴史や現状、フライトサージャンのお仕事など、多くの事を学ぶことができました。特に、研究者の方から直接お話を伺えたことで、自信が疑問に思った細かい事についても質問することができました。例えば、SANS の発

症には個人差があるとのことでしたので、これまで調べた中で日本人の宇宙飛行士は SANS になりやすいですか？と質問することができました。（回答は、まだ日本人のデータが少なく不明とのことでした。今後、人種差（個人差）に関するデータの更なる拡充が必要とのことでした。）また、国際宇宙ステーションの実物大モックアップを見ることができました。サッカーコート1面分などとの表現を聞いたことがあり、大きさをイメージできていたつもりでしたが、実際に見てみるとその大きさに驚かされました。このように、実際に現地に行ってみると細かい疑問を質問できたり、実際の規模を体感したりすることができ、日本では得られない学びを得ることができました。

- 将来やりたいことと関係ないように感じることでどこでどう繋がるか、どこにチャンスがあるかわからないのでなんでもやってみることが大切、産婦人科医と宇宙は関係ないように思っていたが、女性の健康という面で重要な観点であるとアドバイスをいただいた。
- たくさんありますが、大別すると3点です。1.想定外の結果であっても、意義を見出すことで、「失敗」ではなく「成功」と胸を張って宣言する考え方が宇宙開発には必要だということ（スペースセンターヒューストンの展示より。）2.研究において、天下り式に解釈している前提に、定量的な視点で疑いを向けることで、見えなかった事実が見えてくるということ（Brandon 先生とのディスカッションより。）3.格好つけずに前向きに立ち向かう意識が、自身を大きく前進させてくれること（NASA の研究者の方々、ホテル、お店の従業員の方々との会話より。）
- 重力がない状態だと本当に筋肉が落ちてしまうこと。だから宇宙にいる時も運動をしなければ日常生活に戻れないことを計測を経て学んだ
- 筋肉の衰えや平衡感覚の狂いなどが実際に起きること。寝たきりの生活を送る、お世話をしていただくということがどうということかということ。
- ベッドレスト実験についての概要や、それぞれの測定の方法や目的について学びました。
- 学内メール
- 宇宙空間においては身体にかかる重力変化がなくなり、組織への血流や酸素供給の調節がうまく行われない可能性があるため、耳介に電極を貼り、内耳から前庭神経に微弱な電流を流すことで平衡感覚を維持しているということを学びました。

一番印象に残ったことは？

- 先生や学生たちと意見交換をしたこと
- 2日目の中沼寛明医師の「宇宙開発時代における医学研究・医学教育・産官学連携のビジョン」
- 大分での学生と教員を含めた意見交換です
- ウェスタンブロッドが難しかったこと
- 医大の研究室と工学系の研究室の雰囲気の違い。先生と学生の距離間がいい意味で近いと感じた。
- 炭素繊維を金属材料と比較した場合のメリット、デメリットや特性の違いについて技術者の方に質問できたこと
- 他の参加者が課外活動で行った、宇宙気球で漆のアートを作る試み

- 我々の訪問の対応をしてくださった IHI の方々が様々な観点から航空・宇宙産業というビジネスにつなげているということをおっしゃっていたこと。
- IHI エアロスペースという名前で航空宇宙産業のみを扱っているかと思っていたが、防衛産業も大きく担っていることが印象的だった。
- 工場見学でみた H3 ロケット SRB ブースターの製造現場
- フライトサージャンの方、NASA 研究者の方との交流。
- 訪問で最も印象に残った事は、スペースセンターヒューストンでサターン V ロケットを見た事です。事前に大きいとは聞いていましたが、実際に見てみると予想を遥かに越えていて、衝撃を受けました。
- わたしが興味があることもあり、フライトサージャン候補生の方と話せたのがとても嬉しかったです。
- NASA の研究者の方々とのディスカッションです。自身が取り組んでいる研究の盲点を突かれるご指摘や、コミュニケーションを取る上で大切な姿勢、宇宙医学分野の最先端の知識など、非常に多くのことを学ぶことができました。
- 寝たきり状態から、地上へ戻った時に目の焦点が全然あってなかったこと
- 暖かいタオル一枚に非常に感動したこと。
- 筋力の測定が、モーションキャプチャーのようでとても印象的でした。歩行時に使う筋の割合が宇宙に行く前後で変化するというお話も印象に残っています。
- 何日も無重力状態にいと歩き方が変わるという話を聞いた事
- 参加前は実験用のベットはすごいたくさんの特殊な装置がついているものなのかなと思っていました。しかし実際には通常の病院のベットの下にレンガをおいて傾斜をつけて簡易的なものであったので重力がある地球であっても少しの工夫で宇宙空間に近づけられるのだと思い、印象に残りました。いろんな発想で実験に取り組むことで実験の幅が広がるのだと感じました。

改善した方が良い点や今後の要望など

- とくにないです
- 大分大学の先生達のきめ細かなアシストに感謝しかありません。
- 特にないです
- 特にないです
- 私個人の能力面の問題が大きいとおもうが、実験スケジュールが予想よりタイトだったため、実験自体の理解度や実験を行うにあたっての背景理解が不十分になってしまったと感じた。また、今回の実習では事前に培養した試料を利用したが、できれば Gravite を使った培養実験自体も体験したかった。
- 広く門戸が開かれているおかげで私のような非工学系の学生も参加できた点は良い点だと考える。
- 宇宙医学との関連があまり見えなかった。私たちの活動紹介をする趣旨であれば、事前に知りたかった
- IHI の方々とまだまだ話したいことがありましたので、もう少し集合時間を早めて長く職員の方々との対話の時間を設けていただけたらと思います。
- IHI エアロスペースの訪問自体は大変よかった。可能であれば NASA での実習の募集人員を増やしてほしいです。

- 今回 IHI の方に割いていただいたお時間は本当にありがたいが、プログラムの目的を達成するにはやや短かったと感じた。宇宙医学の施設を見学したり、研究の情報交換を行おうとするとそれだけで 2 時間はかかるため、その目的にコミットできるような時間配分で実習できると良いと感じました。
- 特にありませんが、予算に余裕があれば来年も開講してほしいです。
- セキュリティの関係上とてもハードルが高いとは思いますが、実験室の様子等、Johnson Space Center の建物内の見学ができると、さらに充実した実習になると思います。
- NASA で研究したことのある先生方とアメリカに行けるだけでも貴重な経験なので、もっと早くに申請を出して NASA の構内にトラムツアーではない形で入ることができたらより良いと思います。
- 今後のご要望 スペースセンターヒューストンをもう少しだけじっくり見学したかったです…！ また、宇宙医学を専攻していない異分野の私にとって、今回の機会がなければ絶対に関わることができなかった皆様と一緒に実習に取り組めたことは非常に大きな財産です。次回もぜひ、異分野の学生も受け入れ、結びつきの弱い分野間の橋渡しをする機会を提供してくださると幸いです。
- 日数をもう少し増やしたり、枕を使ってはいけななどの縛りを増やしたり、寝たきり状態の時何をしていたかの情報があるとより結果に出やすくなったり、結果の考察に繋がると思った
- 排便・食事などのコツについて、寝る前に共有する時間があるとよりスムーズに実験を行うことができると思う。
- 特にありませんが、見学者にもかかわらず平衡感覚の実験を体験させていただけたのはとても面白かったので、今後見学に来る方にも継続していただけると面白いと思います。
- ないです
- 特にありません。

今回の訪問によって、宇宙分野への想いや今後の進路などへの影響

- 宇宙医学をもっと学びたいと思うようになりました
- 宇宙倫理学の最終発表の内容の後押しとなる意見の交換が先生達とで来たことは貴重な機会となりました。
- 宇宙医学をもっと学びたい、研究したいという思いが強くなりました
- 遺伝子解析はやってみたいと思いました
- 宇宙分野とのつながりが希薄な自分にとっては影響があると考えている。
- 他分野に在籍する方と交流の機会を持つことで気づくこともあると分かった。技術者の方のお話を伺うと、地上で行うような水準の医療を宇宙で行う未来はまだ先のことであるように思われた。しかし、こうしたパイオニア的な視点を持って活動することも興味深いと感じた。
- 他の参加者の活動や IHI エアロでの防衛・きぼう暴露部・副業のお話を聞き、宇宙への想いを熱く持ち続けたいと思った。
- もともと宇宙産業に生涯関わっていきたいと考えておりましたが、そのビジョンが鮮明になりました。
- 一層、医師の立場から有人宇宙開発に貢献をしたいと感じた。思いが強くなるという意味で影響があった。
- IHI エアロスペースの見学を通して、民間企業による宇宙開発のイメージが鮮明に想像できるようになり、学部卒業後大学院だけでなく就職、起業などさまざまな道での活躍の仕方が見え視野が

広がった。また、一緒に参加した友人と話すうちに、宇宙×医学のつながりようも思い描けるようになってきた。

- 進路を決めるうえで、イメージが具体的に湧くようになった。今回の経験を参考に、今後進路を決めていきたい。
- 今回の実習を通じて、宇宙飛行による人体影響には未だ不明なことが多く、特に日本人のデータが不足していることを学んだことで、宇宙での人の健康維持に貢献する研究者になりたいという想いが益々強くなりました。また、NASA の研究者との交流やサターン V ロケットなどの見学を通じて、宇宙開発における NASA (アメリカ) の強さを感じました。今回の実習を通じて、宇宙に関わる研究を発展させるために、少なくとも1度はNASAに留学したいという目標が新たにできました。
- 産婦人科医になっても宇宙に関係した仕事ができるかもしれないと思って医学の勉強に対するモチベーションが高くなりました。
- ありました。博士課程に進学し、NASA のポスドクターに挑戦してみたいという希望を抱きました。Brandon 先生とのディスカッションの終盤で、田中先生と天野さんも含めて、「NASA との研究は行いたいと思わないのか?」「募集がないなら自分でアクションをとればいい」という趣旨のお話をしている気がしました。これを聞き、「博士課程に行って、自分で予算を取ってくれば NASA と一緒に研究ができるのか…!」と衝撃を受けました。これに加えて、最終日前日の打ち上げの際に、寺田先生が「決して夢の世界ではない」と仰っていたことも強く印象に残っています。あれから、TOEFL の勉強を始め、10 月に参加予定の IAC で自分を売り込めるように研鑽に励んでいます。
- 地球では当たり前のことが宇宙では当たり前ではないということがよくわかった。そのため医療の面でこれからも携わっていけたらなと思った。また、宇宙医学を学べる大学院に行きたいと思った
- 微小重力にさらされるということがどういうことかについて実際に体験したため、宇宙旅行に関する解像度が上がったように思う。
- 今回の見学を通して宇宙医学という学問について知ることができ、今後の進路選択の幅も広がったように思います。
- 趣味程度で宇宙について興味がありましたが、今回の参加を通して今自分が学んでいる医学の分野の観点から宇宙に関係する事を学んだみたいと感じた。
- 今回、前庭系電気刺激により、平衡感覚を維持しているということを学びましたが、高齢になっていくと、次第に平衡感覚が衰え、その結果転倒が発生して、リハビリテーションが必要になる場合が多いです。そのため、宇宙医学だけではなく理学療法に関しても、電気刺激の装置を活用すれば、転倒予防につながるのではないかと思います。また理学療法士は他の職種よりも動作分析が得意分野であるため、宇宙医学においてもその点で理学療法士は活躍できるのではないかと感じました。今回の参加によって理学療法士は病院で働くだけではなく、このような宇宙医学においても関わりがある職業であると感じたので、大学生のうちにさまざまな経験をし、視野を広げていきたいと思いました。

その他

- この様な研修会は学生にとってとても有意義な貴重な経験となったので今後とも是非続けて頂きたいと思います。
- 個人的な趣味で航空分野に関する専門書を読んだり博物館に出かけたりしてきた。実機を実際に見ることで、知の結晶が放つ凄みに触れることを大切にしたいと考えており、今回もそれにならって参加を希望した。わざわざ本物を見に来るような学生は自分を圧倒するような方ばかりではないかと想定していたが、意外にフレンドリーな学生ばかりで交流の機会を持つことができた。
- 我々学生にこのような素晴らしい機会を設けていただきありがとうございました。
- 一週間ありがとうございました。
- 人生を変える貴重な機会を与えてくださり、本当にありがとうございました。アンケートや報告書には書ききれなかった想いもまだまだたくさんあります。宇宙開発、宇宙医学に関する学びはもちろんですが、ヒューストンでお会いした方々と接する先生方の背中からも、非常に多くのことを学ばせていただきました。英語が聞き取れず、内容が理解できていなさそうな学生に優しく日本語で言い換えてくださった田中先生の姿からは、将来自分が目指すべき研究者の理想像を学ばせていただきました。取り繕わずに明るく人と人をつ結びつけてくださる寺田先生からは、宇宙開発を引っ張っていく人材になるために必要な人間像を学ばせていただきました。異分野の私にも今回のような貴重な機会を与えていただいた恩返しのためにも、今度は私自身が、「宇宙」という共通の課題に立ち向かう上で、国境を超えて異分野をつ結びつけて発展させていく存在になりたいと考えています。今後もどこかでお会いできることを楽しみにしております。(9月のマイクログラビティ応用学会で京都に行きます。お邪魔でなければぜひ遊びに行かせてください。評価会後の飲み会の際に、田中先生も参加を検討されると耳にした気がします。ぜひお会いできれば嬉しいです。)
- とてもおもしろい実験だったのでまた機会があれば是非参加したいです
- 先生方や学生の皆様にサポートいただきストレスなく過ごすことができました。ありがとうございました。
- 今回の見学は、私にとって非常に貴重な経験になりました。また機会があれば実験に参加してみたいです。本当にありがとうございました。

アンケート内容から、参加学生はそれぞれ多くのことを学んだことが分かった。詳細は、実習内容の項で記載しているため割愛するが、それぞれの実習先での特徴を中心に学習できたと感じる。印象に残っている点としては、見学内容だけではなく、特に研究者や現場の方々との交流や意見交換などの内容が挙がっていた。普段接しない方々からの話などが参考になったと思われる。実習での内容によって、今後の宇宙医学的取り組みやそれぞれの専門分野への取り組みに影響すると答えた学生が多かった。このことは、参加学生を医学・医療系学生のみならず、様々な分野から募集したことと関連がある可能性がある。宇宙医学というと特殊な分野でなかなか外部から参入しにくいと感じていた学生もいたようだが、実習を通じて一般的な方法を用いることや医学分野以外の専門もかかわっている分野だと理解してもらえたのではないと思う。改善点で挙げられていた点としては、実習スケジュールがタイトだったため、もう少し余裕を持たした方がいいという意見もあったが、実験作業がある実習では受け入れ先の先生方との調整もあり、なかなか現状では改善が難しいかも知れない。特に短

期間で多くのことを行わせたいという思いもあるため、実習期間中は少しタイトなスケジュールとなってしまう。また、NASA への参加者を増やしてほしいという意見もあったが、旅費等の予算の都合上なかなか海外実習は多くの学生を連れていくことが難しく、資金面での課題は今後に残っていく可能性がある。これに関しては民間からのサポートを含めて何とか解決したいとは思っているが、現状ではなかなか困難な問題である。実習全体の会合として、昨年度と同様、次年度早々に全体報告会を開催し、今回実施した実習先でそれぞれ何を学習し、どう感じたかなどの成果共有を行う予定である。特に訪問後にも継続して宇宙医学分野の活動に参加できるような体制を整える必要があると考えている。

2.3.8. 宇宙医学実習におけるコンセプトマップ解析(東京慈恵会医科大学における実習)

有人宇宙医学実習を通し、宇宙医学に対して学生が持つイメージがどのように変化し、学生が何を学んだのかを可視化する目的で、コンセプトマップを東京慈恵医科大学での実習の前後で作成してもらい、前後のコンセプトマップの構成を比較することで、学生の実習理解度を評価した。今回は、中心テーマを「宇宙環境への生体適応」とし、以下の作業を行った。

- i. 中心テーマ(ここでは「微小重力への生体適応」)を構成しているコンセプト(=中心テーマについて知っている事柄)を書き出す。
- ii. 関係性を考えながらコンセプト間をリンクで繋ぎ、可能な限りリンク語を書き入れる。

コンセプトマップは実習初日と、実習5日間目の最終日にそれぞれ20分間作成する時間を設け、学生に作成してもらった。

【コンセプトマップ解析】

コンセプトマップにおいては、リンク数が多いノードほど学生が明確なイメージを形成している重要な概念であると考えられる。そこでリンク数が3つ以上のノードを抽出し、その変化を見ることで、講義がイメージ形成にどのように影響したかを解析した。

【コンセプトマップの分析結果】

ここで、①ノード数、②リンクの数、③3つ以上のリンクをもつノードの数、④③のノードのリンク数合計とし、おのおのの平均値や増加率、標準偏差を比較した。①～④についてx軸を講義前、y軸を講義後として数をプロットし(図 32)、講義前からの数的変化を範囲に分けて、ヒストグラムで示した(図 33)。

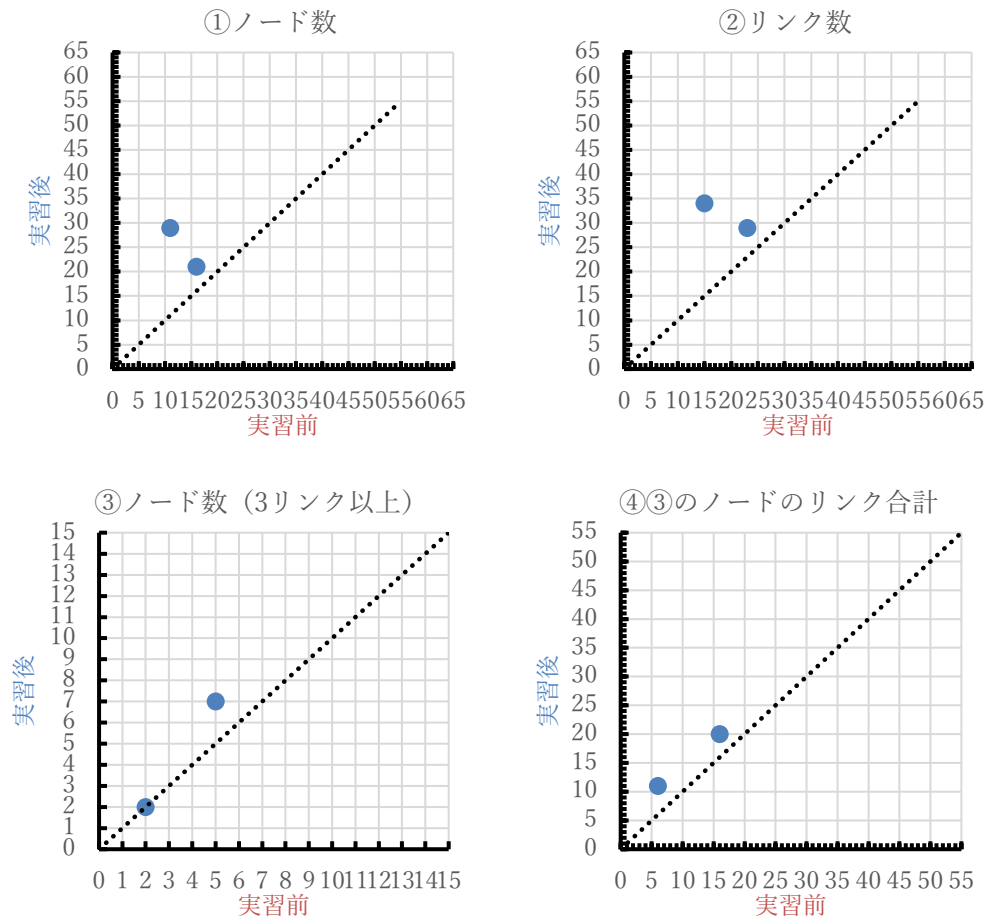


図 32: コンセプトマップにおける講義前後の関係

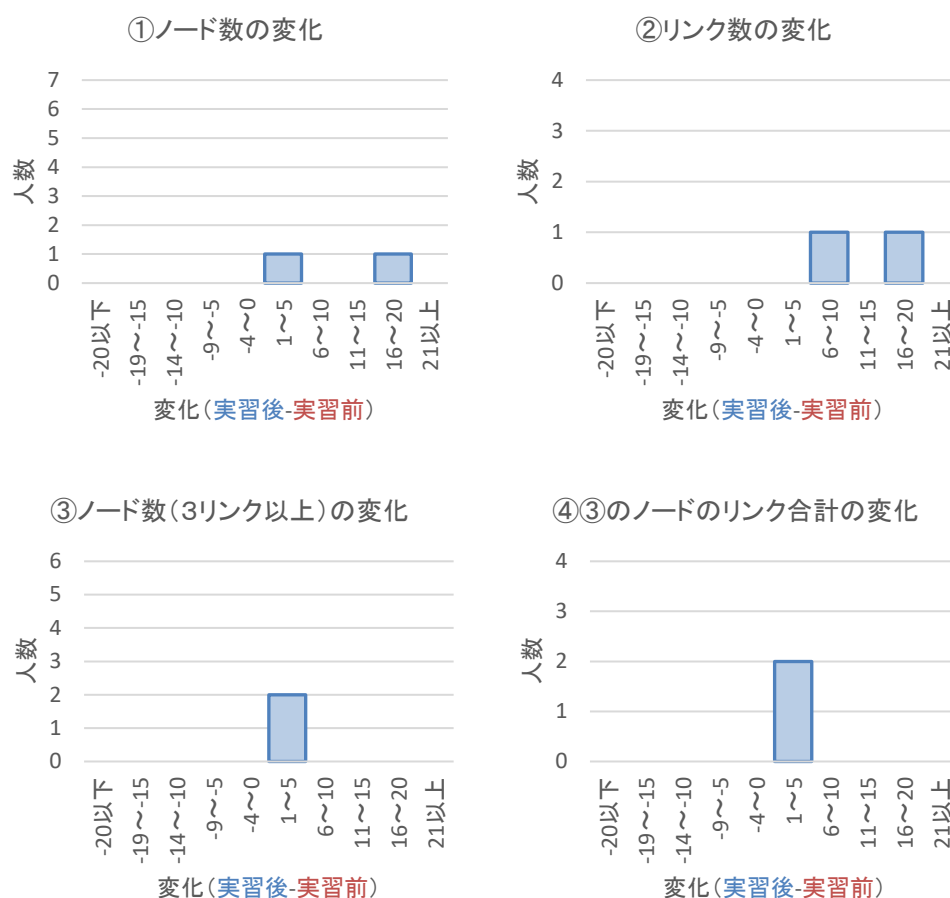


図 33: コンセプトマップにおける講義前後の変化量分布(ヒストグラム)

【ノード数の変化】

実習前の平均値は 13.5、実習後は 25.0 であり、約 1.85 倍となった。図 32-①と図 33-①を見てもわかるように、すべての学生のコンセプトマップでノードは増加していた。1 週間にわたる実習を体験することによって専門的知識が増えたと想像できる。

【リンク数の変化】

実習前後で平均値の変化は 19.0 から 31.5 となり、約 1.66 倍となった。こちらもすべての学生で増加した。実習後のコンセプトマップを見ると、実習内で経験した実験からの内容や専門外の単語も並ぶようになっており、知識の幅が広がったように思われる。

【3 リンク以上をもつノード数の変化】

平均値は実習前の 3.5 から実習後は 4.5 となり、1.29 倍に増加した。これは、1 つのノードから派生したことを示しており、一つ一つの事柄に対して多くのことを学んだ結果と考えられる。

【3 リンク以上をもつノードのリンク合計の変化】

平均値は 11.0 から 15.5 へと約 1.41 倍に増加した。図 33-④を見ると、2 名の学生とも 5 つほど増加していた。これは両名のコンセプトマップのパターンは異なるが、同様な学びの程度であった可能性がある。

【ノードの内容変化】

- ・実習前にみられた「筋萎縮」というノードに加え、「筋萎縮への対応」というノードを書く学生が多く、内容が具体化している。これは、実習期間中に筋萎縮についての講義を受け、とくに宇宙飛行士の筋萎縮と高齢者での廃用性筋萎縮の共通点が理解しやすかったためである。
- ・「筋萎縮」と「微小重力」をリンクさせていることは、Gravite を用いた模擬微小重力実験を経験した結果だと考えられる。実習内容の主要なテーマは筋萎縮であったため、実験作業中や講義中に見聞きした筋萎縮に関わる専門用語を記載する学生が多かったとみられる。

2.4. 生命倫理を中心とした宇宙倫理的視点の構築(宇宙医学研究者としての倫理的観点の習得を行う)：

2.4.1. ワークショップ「宇宙医学と宇宙倫理学の交差点」の開催

＜プログラム＞

- 13:30-13:40 開会挨拶
- 13:40-13:50 宇宙医学教育プログラムの紹介（添付資料 4.4）
- 13:50-14:00 宇宙倫理学教育プログラムの紹介
- 14:00-14:20 作業説明とグループ分け
- 14:20-14:30 休憩
- 14:30-15:15 グループワーク 1
- 15:15-15:45 結果の全体共有
- 15:45-16:00 休憩
- 16:00-16:45 グループワーク 2
- 16:45-17:30 結果の全体共有とディスカッション

2023 年 9 月 4 日にワークショップ「宇宙医学と宇宙倫理学の交差点」を京都大学理学研究科セミナーハウスで開催した(図 34)。このワークショップでは、宇宙総合学研究ユニットが実施している 2 つの文科省委託費事業(宇宙医学と宇宙倫理学)において今後共通して議論していく話題などを、グループディスカッションを通じて考察を深めていった。当日は 12 名が参加し 4 名ずつの 3 グループに分かれて、グループワークで活発な議論が行われた。グループワーク 1 では宇宙医学と宇宙倫理の両観点から共通して考察する必要のあるファクターについて、グループ内で出来る限り多くの事柄を洗い出した。その後、グループワーク 2 では、その要因の中から各グループが一つを選択し、より深めた考察をした。3 グループの内、2 グループが宇宙における生殖の話題を選択し、宇宙環境という特殊な環境でそもそも受精し生命誕生が可能であるのか、宇宙での妊娠する権利はどのように扱うべきなのかなどを話し合い、発表した。1 グループは宇宙病院構想など非常に興味深い話題について議論した。地上では活動が制限される筋ジストロフィーなどの疾患を持った患者さんが宇宙では筋力が必要ないため、QOL(生活の質)が向上するのではないか、そのような構想自体倫理的観点からどう考えるべきなのかなどを議論した。

どのグループも大変熱心に議論しており、今後の宇宙医学と宇宙倫理学のコラボレーションが益々楽しみである。



図 34: ワークショップ内でのグループワークの様子

2.5. 宇宙関連学会・企業・機関との交流(宇宙医学と多方面との関わりを学ぶ):

2.5.1. 42th Annual ISGP meeting (International Society for Gravitational Physiology)

2023 年 7 月 2ー7 日にベルギーの Antwerp で開催された 42th Annual ISGP meeting (International Society for Gravitational Physiology) への研究代表者の寺田と共同参画者の田中邦彦教授が参加した。この ISGP は重力生理学会という事で、NASA や ESA の研究者も多く参加し、宇宙での人への影響について多くの発表があった(図 35)。今回は寺田は宇宙教育という事で、本委託費事業である宇宙医学教育プログラムについて口頭発表した。また田中教授も、この宇宙医学教育プログラムで実施するベッドレスト実験の際に測定項目として計画している Galvanic Vestibular Stimulation (GVS: 前庭系を外から電気刺激する方法)について口頭発表した。多くの外国研究者の方から宇宙医学教育プログラムに興味を持ってもらえた。



図 35: 42th Annual ISGP meeting の様子

2.5.2. 日本宇宙生物科学会第 37 回大会

2023 年 9 月 23-24 日に長崎大学で開催された日本宇宙生物科学会第 37 回大会に参加した。大会中は様々な宇宙分野に関わる生物実験、植物実験の発表があった。若手研究者の育成なども話題になっており、宇宙医学教育プログラムにおいても宇宙生物科学会と密な協力をしていきたい。公開講座として、宇宙飛行士の土井隆雄先生の講演もあった(図 36)。



図 36: 公開講座の様子

2.5.3. 第 67 回宇宙科学技術連合講演会

2023 年 10 月 17 日に富山市で開催された第 67 回宇宙科学技術連合講演会に参加して、宇宙医学教育プログラムについて発表した(図 37)。

宇宙教育のセッションで発表だったが、同じ京都大学宇宙ユニットの委託費事業・宇宙倫理学の発表もあった。また、日本での高校や大学における様々な宇宙関連の教育プログラムの発表があり、宇宙分野での人材育成の重要性を改めて認識した。宇宙教育セッションでは、岐阜工業高等学校の鷺見教諭のキューブサットを用いた宇宙教育の発表もあり、発表後に鷺見教諭と意見交換を行った。それがきっかけで、後日岐阜工業高等学校に訪問する機会を得た。その後、鷺見教諭にはベッドレスト実験の見学も行ってもらい、宇宙教育という事で議論を続けている。



図 37: 宇宙教育セッションでの発表の様子

2.5.4. 第 69 回日本宇宙航空環境医学会大会

2023 年 11 月 10－11 日に岐阜で開催された第 69 回日本宇宙航空環境医学会大会において、本委託費業務について発表を行った(図 38)。

大会 1 日目には、宇宙惑星居住科学連合シンポジウムが開催され、その中で連合加盟団体の京都大学宇宙総合学研究ユニットとして宇宙ユニットの活動の紹介ならびに宇宙倫理学教育プログラムについて説明した。医学系の学会のため、倫理的観点から宇宙を検討するという宇宙倫理学には多くの方が興味を持ってくれた。大会 2 日目には、文部科学省・宇宙航空人材育成プログラムのセッションを設けていただき、我々の宇宙医学教育プログラムと徳島大学二川教授の宇宙栄養学のプログラムについて紹介した。宇宙栄養学プログラムでは、宇宙食と災害食などの関連が説明され、新たな視点からの取り組みとして注目された。市民公開講座では、JAXA の金井宇宙飛行士やフライトサージャンの方々の講演があった。



図 38: 日本宇宙航空環境医学会大会の様子

2.5.5. The 3rd Japan-France International Symposium on Space Nutrition/Medicine

2023 年 11 月 13-15 日の日程で、京都において The 3rd Japan-France International Symposium on Space Nutrition/Medicine が開催された(図 39)。このシンポジウムは、徳島大学の二川健教授によってオーガナイズされており、フランスから研究者を招き、宇宙食や宇宙医学について議論を交わした。本委託費プログラム代表者の寺田からは、宇宙医学教育プログラムの紹介と、このプログラム内で実施するベッドレスト実験について説明した。フランスの CNES はベッドレスト実験が盛んであり、フランス人研究者にベッドレスト実験経験者もあり、我々が日本で行うベッドレスト実験の際の被験者の食事管理はどのように実施するのかなどの質問が出て、議論を行った。



図 39: Symposium での様子。

2.5.6. Annual Meeting of the American Society for Gravitational and Space Research (ASGSR) 2023

2023 年 11 月 14-18 日の日程で、ワシントン DC で Annual Meeting of the American Society for Gravitational and Space Research (ASGSR) 2023 が開催された(図 40)。寺田はポスター発表で宇宙医学教育プログラムのベッドレスト実験の実施について報告した。本学会には多くの NASA 関係者も出席しており、学生交流についても議論した。本学会に参加していた Dr. Candice Ginn Tahimic に日本でのセミナー開催について相談し、3 月に Dr. Tahimic が来日してセミナーを開催する運びとなった。



図 40: Annual Meeting of the American Society for Gravitational and Space Research (ASGSR) 2023 の様子。

2.5.7. ひらめき☆ときめきサイエンス・宇宙医学の開催

2023 年 8 月 6 日に第1回目のひらめき☆ときめきサイエンス「宇宙医学ってなんだろう？ 宇宙飛行士が宇宙滞在中に受けている影響を学ぼう！」を開催した(図 41)。

このひらめき☆ときめきサイエンス宇宙医学では、宇宙医学という分野がどのような研究をしているかを小学生や中学生の子供たちに知ってもらうために、人が宇宙に滞在したらどのような生理的影響があるかを講義で解説し、実際に宇宙飛行士の実験で使用した測定機器の体験などを行った。講義では、宇宙環境(微小重力、宇宙放射線、閉鎖環境など)によって筋骨が衰える、体液シフトが生じる、放射線被ばくの可能性がある、視力が衰えるなどの影響があることを説明した。また現在どのような宇宙医学実験が地上や軌道上で実施されているのかについても話した。実習では宇宙飛行士の歩行実験で使用した足裏圧力の測定装置や筋活動測定装置などの実験をそれぞれ体験した。当日は、16 名の小中学生が参加し、10 時半から 17 時までみっちり宇宙医学について学んでもらった。最後には修了証をお渡しした。



図 41: 第 1 回ひらめき☆ときめきサイエンスの様子。

2023 年 8 月 26 日に第 2 回目のひらめき☆ときめきサイエンス「宇宙医学ってなんだろう？ 宇宙飛行士が宇宙滞在中に受けている影響を学ぼう！」を開催した(図 42)。

8 月 6 日に続いて、宇宙医学研究について知ってもらうために講義・実習を行った。今回も 19 名の小中学生が参加してくれ、宇宙医学について勉強した。

前回(8 月 6 日)と今回(8 月 26 日)に参加してくれて子供たちに回答してもらったアンケートによると、多くの皆さんが宇宙医学について楽しく学んでくれた様子が分った。ちょっと小学生の子たちには難しい内容もあったかもしれないですが、一生懸命取り組んで、最後まで長時間の講義も聞いてくれた。

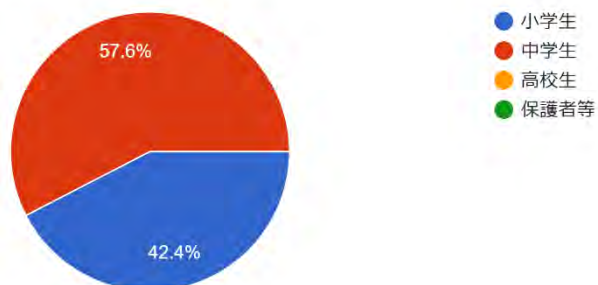


図 42: 第 2 回ひらめき☆ときめきサイエンスの様子。

【ひらめき☆ときめきサイエンスのアンケート結果】

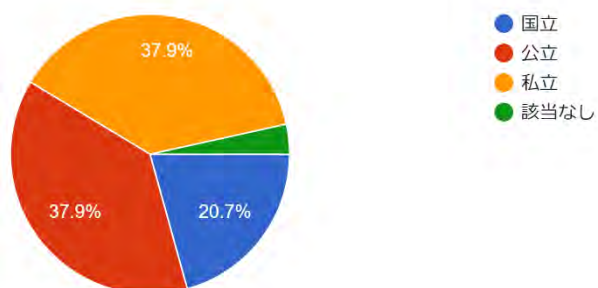
あなたがあてはまるものを選択してください（その①）。

33 件の回答



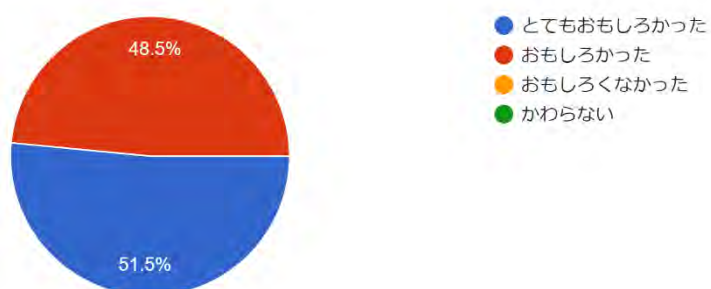
あなたがあてはまるものを選択してください（その②）。

29 件の回答



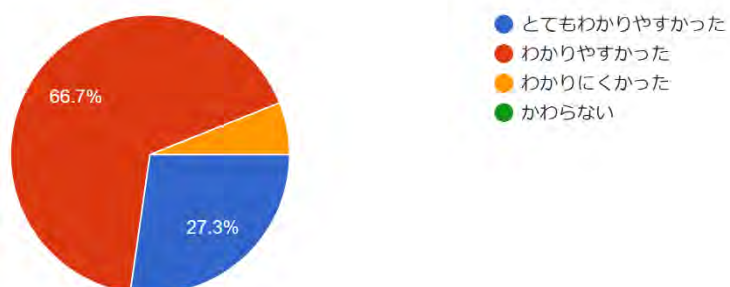
Q1.今日のプログラムは、いかがでしたか。あてはまるものを一つ選んでください。

33 件の回答



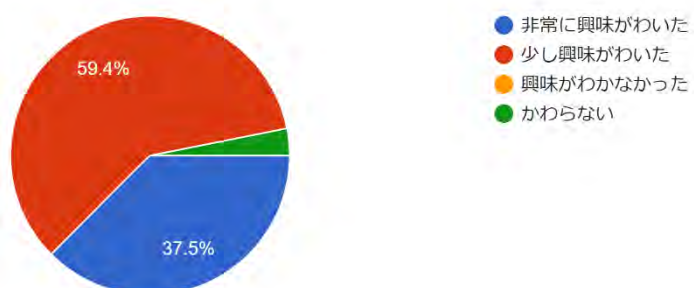
Q2.今日のプログラムはわかりやすかったですか。あてはまるものを一つ選んでください。

33 件の回答



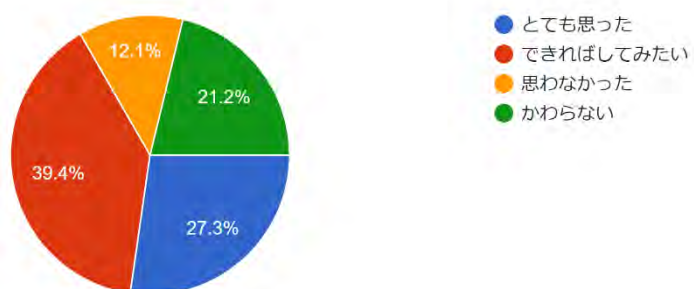
Q3.科学（学問）に興味がわきましたか。あてはまるものを一つ選んでください。

32 件の回答



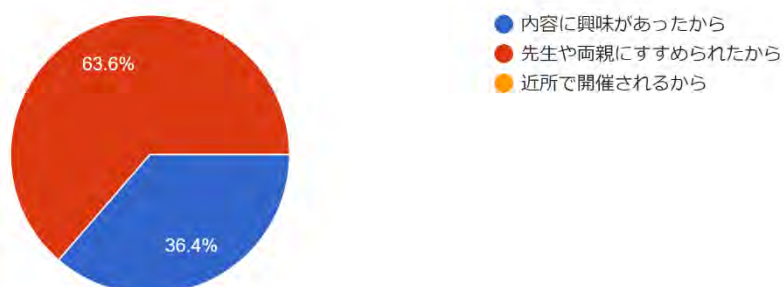
Q4.研究者（大学等の先生）からの話などを聞いて...将来、自分も研究をしてみたいと思いましたか。

33 件の回答



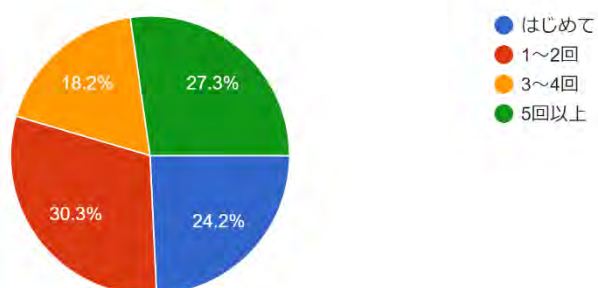
Q5.参加しようと思った理由について教えてください。あてはまるものを一つ選んでください。

33 件の回答



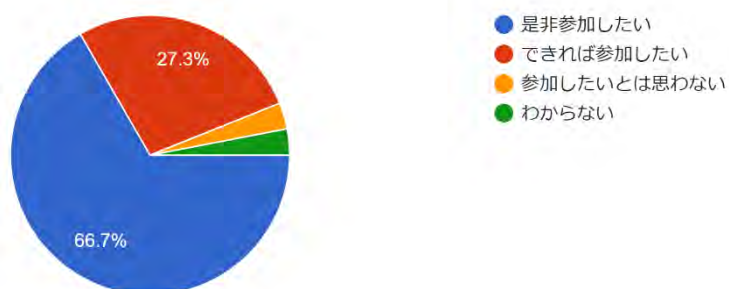
Q6.今までひらめき☆ときめきサイエンスのプログラムに何回参加したことがありますか。

33 件の回答

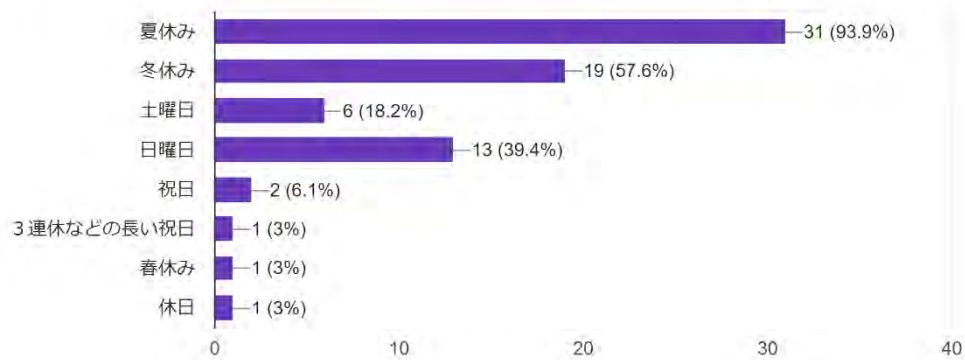


Q7.このような企画があれば、また参加したいと思...したか。あてはまるものを一つ選んでください。

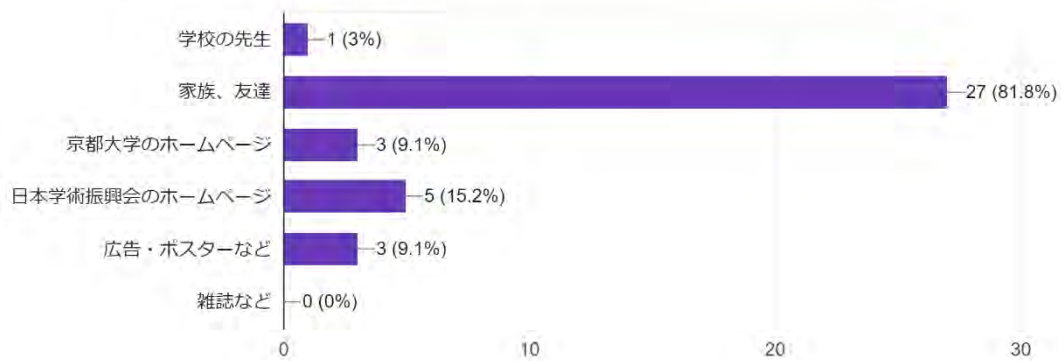
33 件の回答



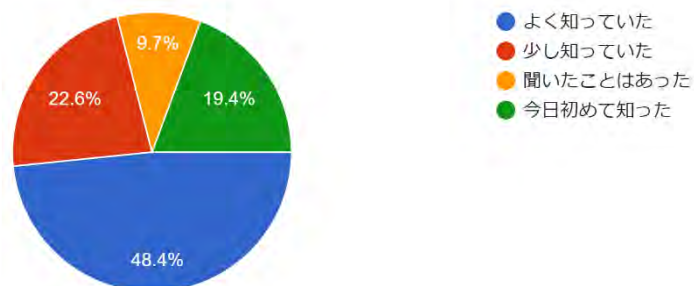
Q8.このような企画に参加しやすい時期はいつですか。あてはまるものを全て選んでください。
33 件の回答



Q9.このプログラムを誰から（どこで）知りましたか。あてはまるものを全て選んでください。
33 件の回答



Q10.科研費について知っていましたか。あてはまるものを一つ選んでください。
31 件の回答



◎意見・感想: (原文のまま)

- 受ける前、宇宙のイメージは夢のある、楽しいなど歡樂的な印象を抱いていました。しかし、先生の講義を受け、筋トレをかかさずしたり、言語の習得をするなど多くの努力があることを知り、イメージがネガティブになりました。だからと言って、宇宙に興味がなくなったわけではなく、より興味がわきました。
- とてもよかったです。宇宙について、知らないことも多くあったので、知ることができてよかったです。ありがとうございました。
- パワーポイントのコピペが多すぎる。
- かいぼうなど、化学的実験などを積極的にしたい。話が長かった。
- 楽しかったです。ありがとうございました。
- またこういう企画を開催してください。楽しかったです。今日はありがとうございました。
- 計るやつが宇宙飛行士さんも使っていたやつを使うことができてよかったです。足のきんにくがどうやったら動くのかなどを知ることができてよかったです。
- 今回、講義を聞いて、理由もなく抱いていた宇宙に対する漠然とした可能性や希望みたいなものが砕かれて(悪い意味ではないですが)、はっきりとした、意外にシビアで色々なリスクも伴う全体像が少し捉えられたように思いました。でも、そんな現状に対しての運動器具とか、そもそも将来は”宇宙で暮らす”という視点の転換なども説明されると、今までの信頼性もない夢ではなくて、もっと芯のあるイメージというか、メリットとデメリットが分かって興味深かったです。貴重な体験をさせていただきありがとうございました。
- 宇宙の現実などが知れて非常に良かったです。実験も資料が見れて面白かったです。是非、またこのような企画に参加したいと思います。これをきっかけに宇宙の印象が 180° 変わりました。
- すごく楽しかった。京都大学に行けてよかった。工夫や努力をかさねて宇宙に行っていると思った。宇宙に行くことにはデメリットもあるけど、地球の研究に役に立つので、やりたいと思った。ありがとうございました。
- お弁当がおいしかった
- とてもたのしかったです
- 宇宙医学とは、「宇宙でする医学(手術など)」と思っていたが、「宇宙で過ごした後のための医学」だったので、面白かった。ありがとうございました！！
- とても楽しかったです。とくに実験が面白かったです。宇宙飛行士の人と同じ実験を受けていると思うとたのしかったです。
- 僕は医学に興味があるので、足を運びました。大好きな宇宙と医学を組み合わせっていて、とても面白く、たくさん知ることができました。楽しかったです！
- まず僕は宇宙医学についてなじみがありませんでしたが、今日の宇宙のことについての説明を受けて、少し知ることができてよかったです。
- とても分かりやすく、あまりしらないぼくに興味がわきました。
- 宇宙医学は、とてもすごいと思いました。様々な技術を使って、様々な視点から見て、研究をされていて、とてもすごいと思います。本日はありがとうございました。
- さいしょはあんまり興味はなかったけど、スライドがおもしろかった。測定とかつくっている人とかか、それでデータをとって考える人は、すごいなと思った。
- 宇宙医学については、よく知らなかったので学べて良かった。
- おもしろかった。説明の仕方がとてもわかりやすかったです。スライドがわかりにくかった。
- しょう来、宇宙のことについて、研究したいです。

- 内容がむずかしい。スピーディーにやっていたので、覚えていない言葉などが出てきて、よけいに分からないこともあった。しかし、自分の知らないことも知れて宇宙について興味がわいた。データが少なかつたりして、あまり資料がないという事も、宇宙ならではのミステリアスなこともあって、知りたくなった。
- 宇宙飛行士が宇宙で宇宙放射線や骨密度が低下すること、筋肉が収縮することが分かった。
- わたしは、寺田先生のお話は興味があり、わたしも宇宙に行き宇宙いがかくをしごとにとできるようにするために、このことをもっと学んでいこうと思いました。

2.5.8. パネルディスカッション-宇宙時代の医療ヘルスケア産業を考える

2023 年 8 月 10 日に東京で開催されたパネルディスカッション-宇宙時代の医療ヘルスケア産業を考える-に本プログラム代表者の寺田昌弘がパネリストとして登壇した(図 43)。このパネルディスカッションでは、宇宙ビジネスをされている株式会社 Space BD の山崎さん、株式会社 IDDK の池田さんと一緒に、宇宙医療においてどのようにビジネスを実施していけるのかを議論した。寺田は研究者の立場から、どのようなことをビジネス分野に期待しているのかを中心に話した。大変多くの方に参加していただき、宇宙分野でのヘルスケアの注目度が高いことを実感した。



図 43: 「パネルディスカッション-宇宙時代の医療ヘルスケア産業を考える」のフライヤー。

2.5.9. SMJYC スタディツアーでの学生訪問

2023 年 8 月 18 日に SMJYC スタディツアーの学生さんが訪問してくれた(図 44)。SMJYC(Space Medicine Japan Youth Community)は宇宙医学に興味のある学生が運営する学生団体である。当日は関東から関西方面から 6 名の学生が参加した。まず講義では京都大学宇宙総合学研究ユニットの紹介を行い、宇宙飛行士の歩行研究のお話をした。その後、研究室に移動し、宇宙飛行士の歩行実験で使用了機器の見学を行い、足裏圧力測定を体験してもらった。ディスカッションでは、宇宙医学は今後どのような観点から研究していくべきか、宇宙医学の将来性はどのような方向が考えられるのかなど、全員で意見を述べながら議論した。



図 44: SMJYC スタディツアーの様子。

2.5.10. 宇宙開発フォーラム 2023 パネルディスカッション

2023 年 9 月 9 日に日本科学未来館で開催された宇宙開発フォーラム 2023 のパネルディスカッションに研究代表者の寺田が登壇した(図 45)。このパネルディスカッションでは「宇宙でよりよく生活するために」をテーマに、菊池優太さん(一般社団法人 SPCE FOODSPHERE)と澤田萌衣さん(有人宇宙システム株式会社:JAMSS)とともに月面での生活をしていく上での QOL(Quality of Life)の向上について、議論した。

菊池さんからは、宇宙での食料供給のお話や、宇宙を通じて地上への社会貢献のお話があった。澤田さんからは有人宇宙ミッション中に使用する匂い処理装置の開発のお話や JAMSS さんが取り組んでいる事業について説明があった。寺田からは宇宙医学分野の説明と、これまで行ってきた宇宙医学研究、そして今後必要となってくるであろう宇宙医学分野のお話をさせていただいた。朝一番のセッションでしたが、対面ならびにオンラインで多くの方に聴いていただくことができた。今後もこのように一般の方にも宇宙医学を知っていただく活動をしていく必要性を感じた。

10:45 - 12:30

パネルディスカッション 1 「宇宙でよりよく生活するために」

パネリスト

寺田 昌弘 様
京都大学宇宙総合学研究ユニット 特任准教授

澤田 萌衣 様
有人宇宙システム株式会社 副主任

菊池 優太 様
一般社団法人 SPACE FOODSPHERE 理事/事業開発部長

2024年、人々は再び月に降り立ち、月面での長期滞在、そして将来的に月面経済を構築するための基盤を築き上げようとしています。一方、宇宙で生活する上では多くの課題が残されています。本企画では大人数が宇宙で暮らす時代に生活で生じうる問題を取り上げ、宇宙で健康に、QOL (Quality Of Life) の高い暮らしをするために必要なことやそのための取り組みについて扱います。

また、これまでの有人宇宙開発とはどのような点が変わるのか、それに伴って新たに生じる課題はどのようなものかについても議論します。

図 45: 宇宙開発フォーラム 2023 パネルディスカッションのスケジュール。

2.5.11. 株式会社ワコールへの訪問

2023 年 9 月 25 日に、株式会社ワコールを訪問した(図 46)。この訪問は、京都大学の前期 ILAS ゼミとして行っていた宇宙生物・医学ゼミのまとめとして、宇宙分野を手掛けている企業訪問の一環としてお伺いさせていただいた。ワコールさんはアストロソックスとして宇宙飛行士の靴下を JAXA に納品してる。また、重力に負けない女性下着なども開発されている。

当日は、ワコール本社の美の博物館や研究所の見学させていただき、ワコールでの宇宙分野の取り組みのお話などをお聞いた。



図 46: 株式会社ワコールの訪問の様子。

2.5.12. 宇宙ユニットシンポジウム

2024 年 2 月 10 日(土)、11 日(日)に第 17 回宇宙ユニットシンポジウムが開催された。宇宙ユニットシンポジウムは、京都大学宇宙総合学研究ユニットが宇宙分野の情報発信のために毎年 2 月に開催しているアウトリーチ活動である。参加者は学内教員・学生に限らず、全国からの高校生や一般の方々も含めてバラエティ豊かな参加者が集まる。今年度のシンポジウム全体テーマは「人類、火星に向かう」であり、今後どのように宇宙ミッションが火星につながっていくのかを中心に議論した。

シンポジウム初日には、ポスターセッションとして一般からの出展も含め多くの方々との交流の場を提供した。今年度はポスター交流の時間を大幅に増やし、ポスター出展者と参加者の交流の機会を十分に確保した。ポスターセッションでは、本委託費事業での宇宙医学教育プログラムについてもポスター展示を行った(図 47)。すでに高校で宇宙を取り入れた教育を行っている教員の先生方ともお話ししていただき、宇宙医学分野に限らず宇宙分野全体としていかに教育課程が重要かを議論させていただいた。

シンポジウム 2 日目は 3 人の講演者による講演とパネルディスカッションを実施した。

倉本 圭(北海道大学)

生命居住可能惑星の成り立ちを探る火星衛星探査計画 MMX

速水 聡(宇宙航空研究開発機構)

宇宙飛行士の健康を地上から見守るフライトサーजनと医学運用チーム

岡本 慎平(広島大学)

「守るべき自然環境」に火星の大地は含まれるのか？ 環境倫理学の(文字通りの)フロンティア

本委託費事業としては、JAXA の速水先生をお呼びし、宇宙飛行士の健康管理を担当とするフライトサーजनの役割について講演していただいた(図 48)。現在に国際宇宙ステーションでの宇宙飛行士の健康管理を踏まえると、月や火星ミッションではまだまだ様々な懸念事項があり、それらへの対策を十分に立てないと安全に宇宙飛行士を火星に送り込めないのではないかという話題もあった。特に宇宙放射線の影響は予防や防御することが難しく、簡単に解決しない可能性がある。昨年度のシンポジウムでは、群馬大学の高橋昭久先生と日本原子力研究開発機構の佐藤達彦先生をお招きし、それぞれ「宇宙での放射線と重力変化の複合影響」、「宇宙飛行士を宇宙線被ばくから適切に護る——有人火星探査の被ばくリスクはどのくらい？」という題名で宇宙放射線への人体影響を中心に講演を行っていただいたため、その際の議論も踏まえて今後検討していく必要があると強く感じた。

パネルディスカッションでも引き続き速水先生には人体への懸念事項という事で議論していただいた。広島大学の岡本先生は倫理的観点から火星でのテラフォーミングは可能かなどの議論をされたが、人体への影響という点でも倫理的観点も考慮して検討していく必要がある。3 名の先生方からは、研究分野においては、いかに学生の将来的なキャリアを確保してあげることが長く研究を続ける際には重要であるが、現状では非常に困難な状況であるなど、今後の人材育成の取り組みに重要なご意見を、実際の現場の先生からお聞きすることができた。

今年度のシンポジウムでは大学の取り組みとして人材育成にさらに力を入れていく必要性を益々実感した。

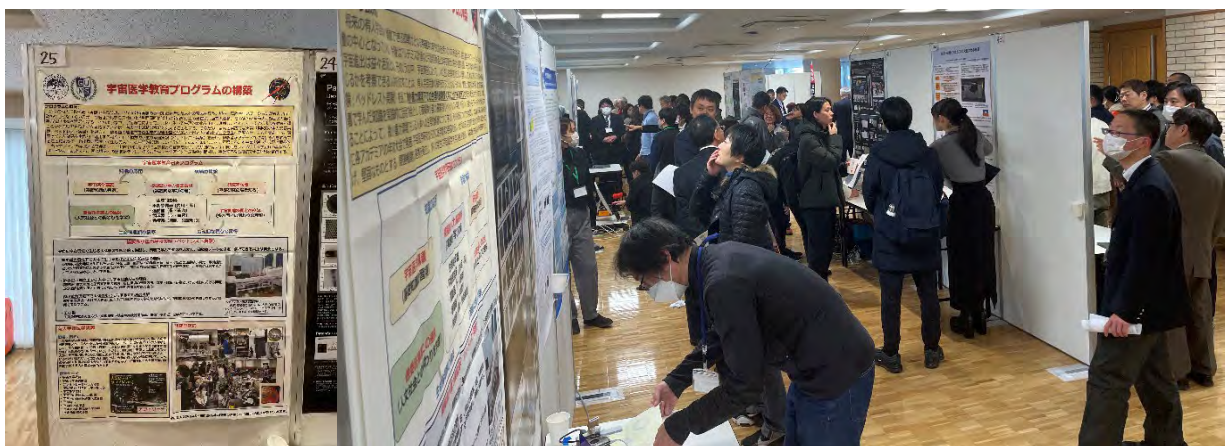


図 47: ポスターセッションで宇宙医学教育プログラムの展示をしている風景。



図 48: 速水先生の講演とパネルディスカッションの風景。

2.5.13. 元 NASA 研究者との交流

2024 年 3 月 20－23 日にアメリカ・フロリダ州から Dr. Candice Ginn Tahimic を招聘し、宇宙医学研究ならびにキャリア形成に関するセミナーを開催した(図 49)。Dr. Tahimic は本委託費事業の代表者の寺田が NASA Ames Research Center へ留学していた時の同僚であり、現在 University of North Florida に移り研究活動が続けている。Dr. Tahimic にはマウスを用いた宇宙実験に関して、「I'm sending mice to space: health challenges and solutions for human explorations beyond Earth」という題名で Zoom オンラインを併用した対面とのハイブリットセミナーで講演いただいた。参加者は、現地参加者が 5 名、Zoom での参加者が 30 名の合計 35 名ほど参加した。セミナーの中では NASA が中心となって行ったマウスを用いた宇宙での生物実験の研究結果について報告してもらった。学生からは実験結果についてのみではなく、宇宙医学分野でキャリア形成する際の重要な事柄についての質問などがあり、Dr. Tahimic は自らの経験を基に誠意をもって回答していたことが印象的であった。



図 49: Dr. Tahimic との交流会後の様子。

2.5.14. アウトリーチ活動

宇宙医学分野の啓蒙活動として、いくつかの出前授業を行った。まず 2024 年 1 月 31 日と 2 月 1 日に大分県で出前授業を行った(図 50)。この出前授業は、本委託費イベントの宇宙医学訪問実習で大分大学と大分空港を訪問したのをきっかけに、大分県庁・大分県教育委員会との繋がりができ、その一環として大分県側から要請があったものであり、本委託費プログラムの代表者の寺田と、大分大学の徳丸治教授の 2 名で、大分県立大分上野丘高等学校ならびに大分県立国東高等学校の 2 校で、「宇宙にヒトは住めるのか？宇宙滞在の現実」というテーマで講演を行った(参考資料 4.5)。寺田からは宇宙滞在中に人体にどのような影響が生じるのかを宇宙医学の観点から説明した。徳丸教授は NASDA でフライトサーजनとして勤務していた経験から宇宙医療の運用がどのようにされているのかを説明した。高校での出前授業に先立って、大分大学において寺田が宇宙医学の講義も行った。多くの大分の高校生・大学生に宇宙医学について知ってもらうきっかけになった。



図 50: 大分県立大分上野丘高等学校での出前授業の様子。

2.5.15. 取材対応

読売新聞の取材を受け、「宇宙分野における人材育成」というテーマで本委託費事業・宇宙医学教育プログラムについて掲載された(図 51)。

本委託費事業の宇宙医学教育プログラムを取り上げた記事広告「Exploring how microgravity impacts human health」が、国際的な総合科学雑誌 Nature オンライン版に、特集企画 Focal Point on Space Exploration and Development in Japan の一部として掲載された(図 52: スポンサー: 岐阜医療科学大学)。

ベッドレスト実験の実施については、中日新聞の岐阜県版の一面に、岐阜医療科学大学での無重力を模擬した実験として紹介された(図 53)。

2023/05/16 12:03

 この記事をスクラップする



犬用フリーダーバック
送料無料

www.i-de-al.com

全商品送料無料。多数のドッグフードを取り揃え。ワンちゃんお悩み解決

京都大は他の大学と連携して、宇宙医学人材を養成する教育プロジェクトを昨年10月から進めている。学生は宇宙医学に関する講義や実験、研究施設の見学を体験する。2月には東京慈恵会医科大学で大学生が、微小重力環境を再現する特殊な装置を使った医学実験に取り組んだ。

「宇宙人材」の育成が
日本で進んでいる

責任者の寺田昌弘・京大特定准教授（宇宙医学）は「無重力や強い放射線など特殊な環境の宇宙では、医学的な視点を持つ人材は不可欠だ」と語る。

10

- ◆宇宙生活による健康影響の研究
- ◆将来は医師の月面常駐なども視野に

(京都大など)

宋義・運動

- ★宇宙で必要な食事や運動の研究
- ★「宇宙栄養士」の認定

も検討 (徳島大など)

人工知能(AI)

- 宇宙の膨大なデータを分析するAI技術の獲得
- 宇宙に絡んだAI開発の競技会を実施

(金沢大など)



日本も参加する米主導の有人月探査「アルテミス計画」では、2025年にも飛行士が月面に降り立つ見込みで、月の資源探査や基地建設が本格化する。企業による宇宙旅行などのビジネスも進んでおり、宇宙旅行産業の世界市場規模は10年後の3年までに約130億ドル（約1兆8000億円）に達するとこの試算もある。

課題は人材不足だ。経済産業省によると、日本の宇宙関連産業の人口は約1万1000人。15万人超とされる米国の10分の1以下だ。文部科学省は今年度、宇宙人材育成などの事業予算として計約5億円を配分した。

この事業の一環で、金沢大などは高校生から大学院生までを対象に、宇宙分野でのAIの活用方法を教える取り組みを始めた。

また、徳島大は4月から大学院に「宇宙栄養学」のコースを設けた。宇宙での健康維持に必要な食事や運動を教え、課程を終えた学生には関連学会と協力し、「宇宙専門管理栄養士」などの新たな資格を与えることを検討している。同大の二川健教授（宇宙栄養学）は「学生たちには宇宙食の開発にも携わってもらいたい」と期待している。

図 51: 読売新聞の宇宙人材記事の中で、本委託費についても掲載された。

A UNIQUE SPACE-MEDICINE PROGRAMME, offered by several Japanese universities, allows students the chance to solve issues related to our sense of balance in the inner-ear and muscle atrophy.

Released in 2022, NASA's Moon to Mars strategy lays out the first blueprint for sustained human presence and interplanetary exploration of the Solar System. However, these lofty ambitions are clouded by questions over the impact of space travel on human health. Short exposures to a microgravity environment can trigger changes in the body's motor control system, while prolonged space missions can cause more serious effects such as bone loss and weakened skeletal muscles.

A new space medicine programme offered by Gifu University of Medical Science and Kyoto University in Japan aims to support future manned space activities by developing specialists capable of diagnosing microgravity-induced health issues and developing countermeasures for them.

Students in the programme gain practical experience with space medicine without leaving Earth, thanks to experiments

▲ A false-coloured SEM image of sensory cells in the inner ear (left), which can detect directional movement. A galvanic vestibular stimulation device (right) applies a small electric current to the inner ear.

"Our students learn how to conduct research on human subjects, but also have the chance to participate in microgravity experiments themselves," says Masahiro Terada, an associate professor at Kyoto University. "They can deepen their understanding of problems such as blood shift and immobility in simulated microgravity environments, and see if the coping methods presented in lectures are actually effective."

PRESSURE POINTS

Kunihiko Tanaka, a professor at Gifu University of Medical Science leads students through innovative research studying intricate connections between the vestibular systems, which are responsible for balance and spatial orientation — and the autonomic nervous system, which regulates various physiological functions including arterial pressure. These

The microgravity of space alters pressure gradients within the body, potentially upsetting the proper flow of blood and oxygen to tissues. To address this problem, Tanaka and his colleagues have investigated regulating arterial pressure using galvanic vestibular stimulation (GVS), a technique that involves applying a small electric current

By using different strengths of GVS signals, the team can identify conditions where arterial pressure at postural change can be controlled, particularly by focusing on the otolith organs in the inner ear. "Repetitive vestibular stimulation augments arterial pressure control, and the effect remains at least three days," says Tanaka. "It's basically a type of posture or motor control, and we think it should also be useful for prevent fainting in elderly people." Tanaka's current experiments simulate the effects of microgravity by putting

volunteers to remain in bed for 10 days with their heads tilted downwards by 6 degrees, and they confirm the effects of GVS.

BODIES IN MOTION

Tierada's research involves assessing muscle-activity patterns in the lower limbs of subjects before and after microgravity-simulating bedrest using electromyography and high-speed video. The interdisciplinary nature of his research mirrors the diverse skills needed for multifaceted challenges faced in space

"Our programmes are not just for medical students. I'd like students from a wide range of fields to learn about space medicine," says Terada. "But it's up to them how to use that knowledge, whether it's for bettering the environment on Earth, or tackling ethical issues for humans to live comfortably in space." ■



GUMS
UNIVERSITY
OF
MEDICAL SCIENCES

微小重力がヒトの健康にどのような影響を及ぼすかを探る

ユニークな宇宙医学プログラムを提供する日本の大学で、学生が内耳由来の平衡感覚や筋萎縮に関連する健康問題を解決する糸口に触れることができるという。

2022年に発表された、NASAの「火星へ大気層を戻す」戦略は、人類の持続的な生活と大気層の科学的探査とに深い意味で、これまでになく情熱を示している。しかし、この計画が実現するまでには、宇宙船の打ち上げ頻度によって影響が同時に懸念される。微小衛星開発への短時間機転に変化を引き起こし、従来の打ち上げスケジュールとは異なるフェーズでは、質量の減少やより強力な飛行低下などの、より深刻な影響を受けることが予想されている。

火星の地球環境科学データセンターが提供する新しい宇宙飛行計画は、火星の大気層によって引き起こされる健康問題と診断し、その対策を講じる必要のある青年の人口増加と、火星の地表からの人工言語を通じてサポートすることを目指すとしている。このプロジェクトに参加した学生は、微小衛星を模擬実験を通して、地球環境

[illegible]

を上置きおけるという重力方向に垂直な状態での重力力増強が、身体にかかわる重力方向のずれにより、組織への血流や酸素供給の調節が異なる可能性がある。この関係は、重力と血圧との関係性から推察される。重力と血圧との関係性は、中核から末梢へ順に微細な電流を流す内耳前庭系刺激装置(Galvanic Vestibular Stimulation: GVS)を使用して、内耳に対して動脈血圧を調節している。

研究テーマは、さまざまな重力のGVSを使用すること、で、姿勢変化時の動脈血圧の調節能力、特に耳石器官の機能を介して調節が可能かどうかである。

GVSを1週間継続し返すことで、絶対的な動脈血圧値の増加・減少が生じ、その効果も少なくとも7日間持続する。

これは基本的に姿勢や運動の一端であり、年齢差の有無を際にとり、生活習慣などにも考慮して、

田中教授の研究の軌跡

[illegible]

左：内耳前庭系電気刺激を被験者（下）に行う岐阜医療科学大学・田教授（左）と京都大学・寺田准教授（右）
右：内耳前庭系電気刺激。其介後部には付した電極から内耳から姿勢感覚を脳に送る前庭神経に電流を流す。

ボランティアに頭を下に6度傾けた状態で10日間ベッドに寝てもらうことで微小重力への曝露を模擬し、



GIJU UNIVERSITY
OF
MEDICAL SCIENCE
www.gifu-u.ac.jp

文庫・経済医療科学史

図 52: Nature オンライン版に掲載された本委託費の記事。左: 英語版、右: 日本語版。

能登半島地震のニュース・生活情報

[ニュース](#)
[経済](#)
[話題・評議](#)
[地元なび](#)
[動画を見る](#)
[検索](#)

ベッドの上だけで「無重力状態」岐阜医療科学大が実験中 健康保つ方法探る

2024年3月15日 05時10分 | 3月14日 00時19分更新

岐阜医療科学大（関市市平賀）と京都大の共同チームは、宇宙空間での体への負担を再現するため、被験者がベッドで横になり無重力に近い状態で10日間過ごす実験を進めている。狙いは無重力状態で平衡感覚の衰化を抑え、健康を保つ方法の解明。耳の奥（内耳）の平衡感覚をつかさどる「前庭神経」に電気刺激を与え、体の変化を比較する。



ベッドに横たわりながら耳元に電気刺激を受ける被験者＝関市市平賀の岐阜医療科学大可児キャンパスで

国際宇宙ステーション（ISS）や月面探査など宇宙空間の有人活動が見込まれる中、岐阜医療科学大の田中利彦教授は「平衡感覚の研究はまだ少ない」と話す。田中教授によると無重力状態で長期間過ごすことで筋肉の萎縮や骨密度の減少など体の機能が低下する。血液の量も減少するため地球に戻ると貧血に近い状態になる。姿勢を保てず平衡感覚が狂う「宇宙適応症候群」になり、無重力に慣れて地球に戻ると今度は「重力酔い」になるという。

被験者は成人男性6人。頭部を低くしたベッドで横になる「ベッドレスト」と呼ばれる実験は、6度傾けたベッドで、より多くの血液や体液が顔部に流れるようにすることで、体への負担が宇宙空間に近い「微小重力状態」をつくることができるという。食事や排泄、洗濯など身の回りの世話は岐阜医療科学大看護学科の教員が協力している。

毎日ランダムに選ばれた被験者は、両耳の裏に電極を貼り付ける。さまざまな周波数を混ぜた「ホワイトノイズ」を電気信号に変え被験者が感知できない程度の電流に抑えて、10分

間流す。田中教授の先行研究では、過度な刺激は姿勢の改善や血圧の維持機能に良い影響を与えることが判明しているという。

9日の昼過ぎ、可児市虹ヶ丘の可児キャンパスの実験室で、被験者で東京理科大4年、千葉利彦さん（23）が電気刺激を受けた。「特に何も感じることはない」と話すものの、ベッド上の生活が24時間を超え「視界が狭くて、日常の一つ一つの動作が人の手を借りないといけない」と不便さに苦笑い。宇宙飛行士を夢見る千葉さんは「過酷な実験を乗り越え、少しでも夢に近づきたい」と語った。



被験者の耳元に貼られた電極＝可児市虹ヶ丘の岐阜医療科学大可児キャンパスで

平衡感覚への注目には、研究が進んでいる「筋力や骨に関する対抗策」（田中教授）と一線を画す実験。京都大の寺田昌弘准教授らと共同で、将来の有人宇宙活動に貢献する人材育成を進める「宇宙航空人材育成プログラム」の一環として、18日まで続ける。

田中教授は「たくさんの人が月面やISSに行く時代になっても、健康なまま行って返ってくることであれば。高齢者の老化や女性の閉経後に伴う骨粗しょう症、筋萎縮の進行を抑えるなど、宇宙医学以外の身体変化にも良い影響が出てくれれば」と期待する。

（草原士文）

図 53： 中日新聞に掲載されたベッドレスト実験の記事。

2.5.16. 大分県先端技術挑戦課と教育庁ならびに岐阜県商工労働部航空宇宙産業課との打ち合わせ

2023 年 9 月に宇宙医学実習として大分大学ならびに大分空港に訪問した際に、大分県先端技術挑戦課の方に大分空港のスペースポート計画についてお話を伺った。そのことがきっかけとなり、その後、2023 年 1 月に大分県内の 2 校の高等学校で宇宙医学について出前授業を実施する機会を得た。出前授業を行った 1 校の大分県立国東高等学校では宇宙コースが新設されており、大分県教育庁の方とも宇宙教育についての議論を行った。宇宙医学を中心とした教育プログラムを高校レベルで実施できるか等を議論した。

また、2024 年 3 月に岐阜医療科学大学可児キャンパスで模擬微小重力暴露実験（ベッドレスト実験）を実施した際に、岐阜工業高等学校の鷺見教諭と大堀研磨工業所の大堀社長に訪問いただいた。その後、大堀社長が関わっている岐阜県の「ぎふ宇宙プロジェクト研究会」の担当をされている商工労働部航空宇宙産業課の方にご紹介をいただき、本委託費プログラムと岐阜県で協力できないかを議論した。その議論をきっかけに、岐阜かがみきは航空博物館において、「宇宙のきぼう」と題した企画展の中で本委託費プログラムのベッドレスト実験について紹介するコーナーを設けていただくこととなった（図 54）。



図 54: 岐阜かがみがはら航空博物館「宇宙のきぼう」企画展でのベッドレスト紹介ポスター案。

2.5.17. セミナー開催

宇宙医学分野に関するセミナーを開催した。2023 年 12 月 14 日(木)には、清水建設株式会社フロンティア開発宇宙開発部の藤井咲花さんに、「シミズの宇宙事業——ゼネコンが宇宙に携わる理由」という題名で講演をいただいた。宇宙分野のキャリア形成についての議論を中心に行った。

また、2024 年 3 月 22 日(金)には、Dr. Tahimic にマウスを用いた宇宙実験に関して、「I'm sending mice to space: health challenges and solutions for human explorations beyond Earth」という題名で Zoom オンラインを併用した対面とのハイブリットセミナーで講演いただいた。セミナーの中では NASA が中心となっていたマウスを用いた宇宙での生物実験の研究結果について報告してもらった。

2.5.18. 外部評価会

本年度実施した宇宙医学教育プログラムの実施内容について、外部評価者を指名して評価を行っていただいた。外部評価者は、昨年度の外部評価会と同様、石岡憲昭氏(帝京大学/JAXA)、泉龍太郎氏(日本大学)、鈴木一人氏(東京大学)の 3 名に引き続きお願いし、2024 年 2 月 26 日(月)に京都大学東京オフィス@丸の内で開催した(図 55)。この評価会は昨年に引き続き、関係者のみのクローズングではなく、広くプログラム内容について確認していただくために、一般の方も参加可能なオープン開催とした。そのため、開催告知は、宇宙総合学研究ユニット、日本宇宙航空環境医学会ならびに宇宙惑星居住科学連合のメーリングリストを通じて行った。特に宇宙惑星居住科学連合には、10 団体(日本マイクログラビティ応用学会(JASMA)、日本宇宙生物科学会(JSBSS)、日本宇宙放射線研究会(JASRR)、日本宇宙航空環境医学会(JSASEM)、生態工学会(SEE)、宇宙人類学研究会、京都大学宇宙総合学研究ユニット、東京理科大学スペース・コロニー研究センター、徳島大学宇宙栄養研究センター、同志社大学宇宙医科学研究センター)が加盟しており、多くの団体に告知した。その結果、外部から 15 名の登録があり、当日は zoom を通じたオンラインで参加していただいた。当日のプログラムについては下記の通りである。

<外部評価会プログラム>

- 14:00－14:30 2023 年度の京都大学での取り組みについて……寺田昌弘
- 14:30－15:00 2023 年度の岐阜医療科学大学での取り組みについて……田中邦彦
- 15:00－15:15 2023 年度宇宙医学実習参加学生からの報告……西方洸太郎
- 15:30－16:00 評価者コメント
- 16:00－17:00 全体意見交換

まず寺田から 2023 年度の京大での取り組みについて説明し、次に参画機関である岐阜医療科学大学での取り組みについて説明していただいた。その後、宇宙医学実習参加学生より実習体験について説明してもらった。それぞれの発表での質疑応答や議論を通じて、外部評価者からの評価をいただいた(添付資料 4.6)。評価内容については、表 3 に掲載する。

プログラムの最後には、外部参加者も交えて宇宙医学教育や宇宙医学研究分野の今後について自由討論を行った。宇宙医学教育については、我々のプログラムも好意的に受け止められている印象を受け、人材育成は最重要課題であることが確認できた。昨年度は、JAXA の閉鎖環境実験の不具合事案が公表され、宇宙医学分野の研究は現状ではなかなか進行していない。そのため、人材育成を通じて研究分野を活性化していくことも重要である。3 名の外部評価委員のそれぞれの専門性の観点からも、本プログラムに対するご意見や、今後の宇宙分野における展望など様々な意見を聞くことができた。今後も、外部からの意見を取り入れつつ、宇宙医学における研究ならびに人材育成について大いに貢献していく。



図 55: 外部評価会における意見交換の風景

表 3: 評価者コメント一覧

(1) 宇宙医学教育に期待するテーマについて	
取りあげべきテーマがあれば記述してください。	● 過去の宇宙医学データを活かしていくための研究フォーマット作り。月軌道におけるゲートウェイや月面での有人活動、さらには将来の火星での有人活動に向けて必要となるデータを洗い出し、それらを活用して次の宇宙医学の分野をリードする人材を育てるための手立てを確立するような方向性を出して欲しい ● 宇宙に行く、あるいは生活することにおいては、医学を含め、人間生活の全ての側面が課題となる。NASA の HRR(Human Research Roadmap)に代表されるように、宇宙医学に関わる課題を網羅し、体系化した上で、優先順位を付け、

	各参加者が、自身の専門性を踏まえて、どのような位置付けで、どのような取り組みを行うのかを、考えるようにすることが望まれる。 ● 将来の課題として宇宙での経世代、具体的には妊娠・出産、成長の課程は、未だほとんど検討されていない。この課題をクリアするための、ロードマップの作成に取り組むのも、一案かも知れない。・今後、民間人による短期の宇宙旅行が増えることを想定すると、微小/低重力-1G 間の、重力変動に伴う身体変化とその対応策も、重要な課題と考えられる。特にこれまでのように、選抜・訓練を受けた職業宇宙飛行士以外の一般人が宇宙に行く場合は、その影響と対策を考慮しておく必要がある。 ● 昨年度の評価でも記載したが、宇宙放射線の影響、それによる酸化ストレス、閉鎖環境のストレスによる精神心理の課題は重要と考える。 ● また、今後、月から火星へと人類が活動の場を広げ居住する場合の感染症や予防に関する課題、特にカビなどの真菌に関しては惑星保護も含めた研究として広がる可能性もあり、それらに関する研究テーマを進めることを期待したい。 ● さらに月、火星などでの低重力の影響や長期の惑星間飛行や宇宙観光旅行など有人飛行における渡航医学的視点の研究も望みたい。 ● 精度が高いとは言えないが、睡眠、血圧、血糖、心拍や心電図、血中酸素濃度、体温等の生理変化を個人データとしてスマートウオッチやスマホでリアルタイムで計測できる様になってきている現在、ビックデータ解析や AI 活用による診断など医療情報学に関するテーマの導入も必要と思われる。
(2) 教育プログラムの内容について	
評価できる点	● ベッドレスト実験を軸に、宇宙医学に関わる学生に実際にデータを取得し、宇宙医学に触れる機会を提供しているという点は評価出来る。 ● 宇宙医学に関わる分野を一通り網羅していると考えられる点。 ● 実際に宇宙医学研究に携わる研究室・メーカーを訪問している点。 ● 本プログラムで受講した結果を学会発表している点。 ● 昨年度に続き、宇宙医学に関わる分野を網羅的にとらながら、さらに京大の「倫理学を基盤とする宇宙人材育成プログラム」と連携して宇宙倫理学教育を進めているなど人材育成の輪を広げていることは評価できる。 ● また企業や宇宙機関との交流、宇宙関連学会への積極的な参加、発表などを通して、知識、人脈を広げているなどプログラムとして評価できる。 ● 多岐にわたる宇宙医学研究から、模擬微小重力実験としてベッドレスト実験、細胞実験を実施することで、実際の宇宙医学の必要性、重要性を身につけさせようとするプログラムは評価できる。 ● 対象年齢を小中高と広げることで将来の専門家を育成につなげる意味での啓蒙は評価できる。

改善できる点	● 座学での勉強とベッドレストだけが目立っていて、学生が中心となって進めるアクティビティも研究室訪問しかないので、より学生が自らコミットして研究できるようなプログラムを用意した方が良くように思える。 ● JAXA が取り組み、また国際的にも評価が高いマウス実験が取り上げられていない。既に多くの実験が実施されており、その実験結果や装置の概要等をプログラムに含めることが望まれる。可能であれば KSC での打ち上げ支援や帰還時のサンプル回収班に参加することも、JAXA の担当者と検討してみても如何か。 ● 宇宙環境の特徴は微小重力、宇宙放射線、真空、そして人にとって閉鎖であり、それぞれ宇宙医学的要素が含まれるが、実際はそれらの複合環境であることを念頭にシラバス、実験、研究等を考える必要がある。 ● 宇宙医学分野を網羅的にとらえる一方で、今後は内科学や外科学、感染学などを含め、宇宙医学にかかわる医療科学個々の課題の抽出を行い議論を進め、取り組むべき具体的課題を設定していくことも重要である。 ● 倫理に関連する法律に関して宗教、異文化との交流、ジェンダー等も含め、さらに生と死に関わる生殖医療や終末医療の議論の場を設けることを期待する。 ● 精神心理、ストレスの計測・評価と同時に改善策についても研究プログラムに取り入れることを望む。 ● ビックデータや AI の活用などによる解析、診断など医療情報学に関するプログラムの導入も必要と思われる。 ● SDGs の視点からのプログラムを加えてもよいのではないか。 ● 実際の実験結果や研究を通して宇宙医学の必要性、方向性を議論することも必要と考える。ただやっただけに留まらないためにも。
(3) 教育評価について	
評価できる点	● 学生は着実に宇宙医学への関心を高めていると思われる。これまで宇宙医学との関係が乏しかった学生にも感心が広まるという点では、一定の効果があると思われる。 ● 参加した学生に学会発表を求めている点は高く評価出来る。 ● 昨年同様に、学際性に偏ることない実践的教育であり、成果を学生自ら積極的に外部発信させるなどは評価できる。 ● さらに、海外の宇宙機関を訪問し、宇宙開発の実際を目の当たりにしながら海外の研究者と交流し議論するなど国際的視野に立った教育は評価できる。 ● 模擬微小重力実験としてベッドレスト実験、細胞実験を実際に経験させることは教育効果としては非常に高く評価できる。
改善できる点	● やや手を広げすぎている傾向はあるため、本来のプロジェクトの目的と課題に従ってアウトリーチを絞り込んでいく必要がある。 ● 最初のプログラムの発表の中で、昨年度の外部評価をどのように反映したのかが、全く触れられていなかった。これでは何のための外部評価が分からない

	い。指摘事項を全て受け入れる必要は無いが、少なくともどのように対応したのかは、説明に加えるべきと思われる。 ● また質疑応答の中で、昨年末に文部科学省の評価を受けたと報告されたが、その点に関しても報告資料に記載すべきと考えられる。 ● 講義、実習等に参加した学生にレポートの提出、または試験を行っているのかが記載されていない。可能であれば、単にアンケートだけでなく、レポートの提出を求め、本教育プログラムの一環とすることが望まれる。 ● 講義の受講生、各実習への参加者、及び学会発表者が、報告書では紐付けされていない。必ずしも個人名を出す必要はないが、各々のプログラムへの参加者と、学会発表者の関係性が分かる方が望ましいのではないかと。あるいは上記のレポート提出に代えることでも構わない。 ● この講義は大学院生向け講義とされているので、大学院生については単位認定されると思われるが、それ以外の学生については、単なる聴講に止まるのではないかと。受講認定書を発行しているのであれば、その証明書を含め、報告書に記載することが望まれる。宇宙医学の現状と実際を経験し、さらに生命倫理やメーカー等への訪問と議論についてまとめ、公開し、参加できなかった学生と情報共有し議論を広げる。 ● 宇宙医学の現状と実際を経験し、さらに生命倫理やメーカー等への訪問と議論についてまとめ、公開し、参加できなかった学生と情報共有し議論を広げる。 ● 昨年度も記載したが、学生自ら研究テーマを考え、実験等の計画を立案させ、実際に実施させるか、案を発表させ、内容について深くみんなで議論する。 ● コンセプトマップによる評価結果の意味を効果があっただけでなく、議論して、次の教育内容に繋げることが大事と考える。
(4) 上記以外の項目へのご意見、あるいは全体的なコメント	
(自由記述欄)	● 宇宙医学の分野はこれから国際的な競争が激しくなっていく分野で、これまではISSでの有人活動が中心であったのが、これからは月、火星と言った人類の活動する空間の幅が広がっていく。その意味でも、日本に宇宙医学の研究教育の基礎があり、人材のプールがあると言うことは重要であると思われる。こうしたプログラムをさらに継続し、進めていくためにも、このプログラムをより良いものにしていく必要があるだろう。 ● 評価会で議論となった、学生への旅費に関する問題に関しては、個人的には全てを出す必要は無く、少なくとも国内においては、自費を前提としても構わないのではないかと考えている。ただ、同じ年度内では、対応に不公平感が生じないように、明確に基準を定めて運用することが必要と考えられる。 ● 実際に宇宙飛行士・宇宙旅行者を対象としたデータ取得、あるいは宇宙生物実験を行うには、実験機会の少なさや、宇宙で行える実験手技の限界、搭載・帰還するサンプル量の問題から、非常に制約が多いことが実情である。そのような実情を踏まえた、宇宙実験への参加、またはシミュレーションをプログラムに

	加えることも一案ではないか。 ● 本プログラムの重要な目的である「有人宇宙活動へ貢献できる即戦力となる宇宙医学の専門知識を持った人材の育成」に立ち返りプログラムを再考する必要があるように思われる。今年度は前年度の延長から、さらに小中高生まで手を広げているが、これは決して悪いことではなく啓蒙としては大いに評価できるが、即戦力の専門家育成には程遠い。啓蒙と育成を明確に分けてプログラムを進めるべきである。 ● 専門家を育成するには実際何が 필요한のか、具体策のための議論を深めることが大事である。宇宙医学に関するセミナーの実施、研究者交流の継続実施等、実現可能な体制の構築はもちろん重要ではあるが、この分野が成長しない理由の一つに社会における認知度が決して高いとは言えず、またキャリア形成の場と将来の受け皿先が限られ、せっかくの人材を繋ぎ留められないところにあるように思われる。啓蒙に関しては一般企業や一般の人々に対しても行うべきであり、その延長線で専門家を目指す学生、研究者のために宇宙ベンチャー企業を含め宇宙に理解のある企業、大学や研究機関で一つのコンソーシアムを京大宇宙総合学研究ユニットが中心となり構築し、さらに NASA や ESA など国際的宇宙機関や国際宇宙大学(ISU)とも連携していく核となることを期待したい。
--	---

外部評価者からのコメントは昨年と同様に、おおむね本プログラムの重要性についてご理解いただいているかと感じたが、学生へのフィードバックの仕方などについては今後改善の余地があるかと考える。特に宇宙医学講義において、京大生には単位を与えることは可能であるが、外部受講生は現状では単位取得はできないため、それに代わる修了証の授与などが学生のやる気や達成感を促進するために重要ではないかとのご意見もいただいた。研究分野においてはどこまでこの教育プログラム中に細かくサポートしていくか考慮する必要があるが、複合的に宇宙環境の理解を深める取り組みも行っていきたいと考える。また、宇宙医学実習についての学生への旅費の支出についても議論となった。現在は委託費の予算によって学生旅費を支援しているが、委託費終了後も見据えて、学生から一部自己負担をしてもらうのもどうかという意見もいただいた。学生自らが支出してもいいというような魅力的な実習内容にすることが重要であるが、まずは手厚く費用面の支援をすることによってさまざまな協力者を募り、資金面の支援を得る必要があるのではないかと考える。また、本委託費プログラム単独での実施だけでなく、他の分野のプログラムとの協力関係を構築し、多くの学生に教育機会を提供するプログラム内容にしていきたいと強く感じた。

宇宙医学教育・研究分野の今後についての意見交換では、継続して人材育成を行っていく重要性を再確認した。また、宇宙医学の専門性を高めるような教育内容にするのか、より宇宙医学の社会的つながりを強調するような教育内容にするのか、様々な意見が出た。専門性を高めつつ社会的貢献にもつながる教育内容にすることが重要である。今後も外部評価会で出た意見やコメントを参考に、益々本宇宙医学教育プログラムを魅力的なものとしていきたい。

3. まとめ

昨年度は、宇宙医学教育プログラムの構築のための準備が中心であったが、本年度はその実施へと本格的な舵を切った。すでに京都大学宇宙総合学研究ユニットでは宇宙医学講義や宇宙医学実習の経験もあるため、その基盤を利用することにより、昨年度に引き続き今年度も座学や実習についてはある程度スムーズに学生に提供できたと思われる。宇宙医学講義については、協力研究者も確保できており、すべての先生方は宇宙医学における人材育成の重要性についてはご理解いただいていることもあり、充実した講義内容を提供することができた。宇宙医学実習については、昨年度は IHI エアロスペース、東京慈恵会医科大学、徳島大学、久留米大学、フクダ電子株式会社、東京理科大の 6 か所を訪問したが、今年度は IHI エアロスペース、東京慈恵会医科大学は変わらず訪問させていただき、それに加えて大分大学・大分空港へ訪問した。また、アメリカ・ヒューストンにも学生 5 名を連れていくことができ、NASA Johnson Space Center の研究者との交流も行うことができた。今年度はある程度事前に計画することができたが、実習自体が 2 月に重なることもあり、引率者のスケジュール調整がなかなか困難であった。本委託費プログラムのメインプログラムである模擬微小重力暴露実験(ベッドレスト実験)については、岐阜医療科学大学の田中先生のご尽力の下、3 月に 6 名の被験者が参加して実施することができた。岐阜医療科学大学の看護学科の実習室の利用、ならびに看護学科教員の協力等で 6 名の被験者は 10 日間のベッドレスト実験を安全かつ快適に過ごすことができたのではと思う。ベッドレスト実験前後では、各種測定作業も行うことができ、貴重なデータを取得できた。また、ベッドレスト期間中は多くの学生や企業の方々に見学に来ていただき、実験実施の成功だけでなく、ベッドレスト実験自体を宇宙医学研究の啓蒙活動として活用することができた。特に、見学に来ていただいた企業の方の橋渡しによって、岐阜県庁の方々と宇宙分野での協力について議論できたことは大変良かった点である。生命倫理の観点から宇宙倫理学委託費とのコラボレーションを行っており、合同ワークショップを開催することができた。宇宙倫理の観点からも宇宙環境における動物実験や人への影響についてともに議論することは、より具体的な事案を挙げながら議論することができ、大変有意義だったのではないと思う。引き続き、宇宙医学のみでなく有人宇宙活動には倫理的観点や様々な分野が重要であることをさらに議論していきたい。アウトリーチ活動については、国内外への学会参加ならびにセミナー開催、出前授業、国際交流などを行うことができた。国内外の多くの研究者の協力を得て、今後も継続して宇宙医学分野の魅力的な交流やイベントを実施していきたい。

次年度は本委託費事業の最終年度であるため、この貴重な実験・実習機会を活用して、今年度以上に人材育成に貢献できる内容を提供したいと思う。また、事業終了後にも本プログラムを継続できるような体制についても検討していきたいと考える。

4. 添付資料

4.1 有人宇宙医学講義シラバス

科目ナンバリング		G-LAS13 80009 LJ89		G-LAS13 80009 LJ95		G-LAS13 80009 LJ25			
授業科目名 <英訳>		有人宇宙医学 Space Medicine		担当者所属 職名・氏名		総合生存学館 教授 山敷 庸亮 特任准教授 寺田 昌弘 総合生存学館 准教授 水本 憲治			
群	大学院横断教育科目群		分野(分類)		健康・医療系		使用言語	日本語	
旧群			単位数	2単位	週コマ数	1コマ	授業形態	講義	
開講年度・ 開講期	2023・後期		曜時限			配当学年	大学院生	対象学生	全学向
(総合生存学館の学生は、全学共通科目として履修登録できません。所属部局で履修登録してください。)									
[授業の概要・目的]									
人類の宇宙進出は、特に技術的發展に伴って益々活況となっている。人の宇宙滞在もスペースシャトルから国際宇宙ステーションに宇宙プログラムが移行して、益々長期化し、今後は月面ミッションや火星ミッションなどで数年単位の滞在も現実のものになっている。しかし、地球環境に適応して進化した我々人が、宇宙環境に滞在した際にどのような影響があるのかはすべて解明されているわけではない。そのため本講義では、今後の有人宇宙活動に向けて、人への宇宙滞在の影響がどのようなものであるかを学び、将来的にその対策方法の解明に従事する人材育成を目的とする。									
[到達目標]									
宇宙環境が人へどのような影響があるかを理解する。そして今後数年単位に及ぶ宇宙滞在においてどのような問題点があり、それを解決するために何を必要とするかなど、自身で考察する能力を養う。									
[授業計画と内容]									
1. 宇宙医学概要 寺田昌弘 Outline of Space Medicine (Masahiro Terada, Kyoto University) 2. 宇宙での骨格筋への影響① 谷端淳 (慈恵医大) Influence on skeletal muscles in space 1 (Jun Tanihata, The Jikei University School of Medicine) 3. 宇宙での骨格筋への影響② 志波直人 (久留米大) Influence on skeletal muscles in space 2 (Naoto Shiba, Kurume University) 4. 宇宙での骨格筋への影響③ 河野史倫 (松本大) Influence on skeletal muscles in space 2 (Fuminori Kawano, Matsumoto University) 5. 宇宙での姿勢制御 萩生翔太 Attitude control in space (Shota Hagio, Kyoto University) 6. 宇宙での心循環系への影響① 南沢享 (慈恵医大) Effects on the cardiovascular system in space 1 (Susumu Minamisawa, The Jikei University School of Medicine) 7. 宇宙での心循環系への影響② 岩瀬敏 (愛知医大) Effects on the cardiovascular system in space 2 (Satoshi Iwase, Aichi Medical University) 8. 宇宙放射線の影響① 山敷庸亮 Effects on Cosmic Radiation 1 (Yosuke Yamashiki, Kyoto University) 9. 宇宙放射線の影響② 山敷庸亮 Effects on Cosmic Radiation 2 (Yosuke Yamashiki, Kyoto University) 10. 宇宙酔い 野村泰之 (日大) Space Sickness (Yasuyuki Nomura, Nihon University) 11. 宇宙医学に基づいた宇宙服開発 田中邦彦 (岐阜医療科学大) Space Suit development based on space medicine (Kunihiko Tanaka, Gifu University of Medical Science) 12. フライトサージャンの役割 嶋田和人 (JAXA)									
----- 有人宇宙医学(2)へ続く↓↓↓ -----									

有人宇宙医学(2)
----- The role of Flight surgeon (Kazuhito Shimada, JAXA) 1 3. 宇宙飛行士リハビリテーション 山田深 (杏林大学) The Rehabilitation for astronats (Shin Yamada, Kyorin University) 1 4. 閉鎖環境の影響 水本憲治 Impact of closed environment (Kenji Mizuoto, Kyoto University) 1 5. 宇宙生物実験 暮地本宙己 Space Biology Experiments (Hiroki Botimoto, The Jikei University School of Medicine)
【履修要件】
学部学生も聴講可能である。
【成績評価の方法・観点】
毎回の授業の際に小レポートを書かせ、毎回の教員が採点、全講義終了後に、全提出レポートの点数を総合して合否を判定する。なお、レポートは出席ではない。レポートを提出しても、0点となることがあることに注意。
【教科書】
使用しない
【参考書等】
(参考書) 授業中に紹介する
【授業外学修（予習・復習）等】
有人宇宙活動、宇宙医学に関して興味のある資料や文献、そしてメディア上の番組などは各自自習し、問題意識を持って取り組むこと。
【その他（オフィスアワー等）】
※オフィスアワーの詳細については、KULASISで確認してください。

4.1.1. 第1回宇宙医学講義スライド集

第1回
有人宇宙医学講義

京都大学宇宙総合学研究ユニット
寺田 昌弘

本日の内容

- ・ コンセプトマップの作成
- ・ 宇宙医学教育プログラムの紹介
- ・ 宇宙医学概要

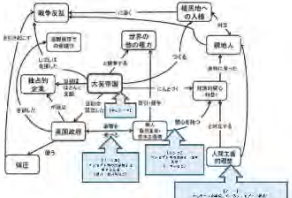
講義受講による習熟度評価

初回と最終回に各自にコンセプトマップを作成してもらい、講義受講前後のコンセプトマップの比較からどのような概念構成の変化があったのかを評価。

コンセプトマップ（概念地図）とは
コンセプト（概念）間の関係を、ノードとリンクとリンク語を使って描いた図 (Novak & Gowin, 1984)

コンセプトマップの作成手順

- ・ 授業で学んだことをできるだけ思い出す。
- ・ 別紙 (A 3) の中心テーマ「有人宇宙活動」の周りに、思い出したコンセプト (名詞・名詞句) を科目の関係性を考えながら配置し、リンクでつなぐ。
- ・ 可能な限りリンク語 (コンセプト間の関係性を説明する言葉) を書き入れる。
- ・ なお、覚えていない内容で作成することが重要であるため、授業の配布資料などを見ながら作成しないこと。



出典: 「宇宙医学」を学ぶための宇宙医学教育プログラム
出典: 「宇宙医学」を学ぶための宇宙医学教育プログラム (寺田昌弘, 2018)
【参考】 Novak, E. M. (1984). Learning how to learn. New York: Cambridge University Press.

宇宙医学教育プログラムの紹介

宇宙医学教育プログラムの紹介

今後の宇宙分野



アメリカの民間宇宙活動・・・



イーロンマスクの火星移住構想



民間主導の月探査
Blue Origin Blue Moon



初の民間人宇宙旅行に成功



©JAXA

2022年度 宇宙航空科学技術振興機構宇宙人材育成プログラム

将来の有人宇宙活動を支える 宇宙医学人材養成プログラムの創出

主管機関：京都大学
共同参画機関：岐阜医療科学大学

研究代表者		
寺田 昌弘	京都大学 学際融合教育研究推進センター 宇宙総合学研究所（宇宙ユニット）	特定准教授
共同参画者（京都大学）		
田口 真奈	京都大学 高等教育研究開発推進センター	准教授
西村 勉	京都大学 医学部附属病院	特定准教授
共同参画者（岐阜医療科学大学）		
田中 邦彦	岐阜医療科学大学 大学院保健医療学専攻	教授
杉浦 明彦	岐阜医療科学大学 保健科学部	講師

現状の課題・プログラムの目的・育成する人材像

現状の課題：

- ❖ 日本では、宇宙医学に関わる医療者・研究者は極めて少なく、医学系大学でさえも、組織的に宇宙医学に関わる人材育成の取り組みがなされていない
- ❖ 学生が有人宇宙開発や宇宙医学・医療に興味はあっても学習機会がなく、知識や人材の裾野も広がらない

プログラムの目的：

- ❖ 宇宙医学分野を理解するための実践的な教育プログラムの構築を行い、将来の有人宇宙活動への支援において即戦力となる人材を育成する

育成する人材像：

- ❖ 医学・医療分野の視点から有人宇宙開発を理解し、それを広く伝えるとともに、専門家としての技術を駆使することで、将来的に有人宇宙開発に貢献できる人材

これまでの取り組みの発展

これまで本委託費事業「有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムの開発と実施」(2019年度採択、代表：土井俊雄)の一部として有人宇宙医学プログラムを実施。

これまでの問題点：

- ・ 継続的に宇宙医学に関わる人材育成の取り組みがなされていない。
- ・ 体系的だった宇宙医学教育プログラムが存在しない。

実施後に判明した点：

- ・ 継続して宇宙医学を学ぶ者の需要の大きさや高さを認識
- ・ 宇宙医学関連学会との連携をもっと意識的にする必要があることを認識
- ・ 国内への情報伝播を促し、宇宙医学教育の推進に貢献

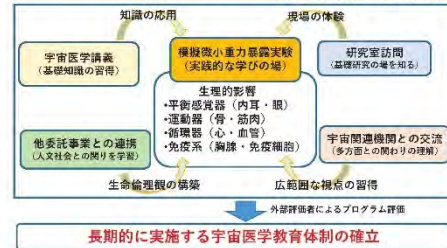
※参考スライド「アンケート結果、海外動向」を参照

- ◆ 宇宙医学を主軸とする教育プログラムの体系化
- ◆ 宇宙医学関連学会との連携を強化し、日本としての宇宙医学分野の人材育成プログラムを構築
- ◆ 医療・医学を専門とした者以外にも対象者を拡大し、広く宇宙医学の知識を学ぶ機会を提供

プログラム内容

宇宙医学教育研究プログラム

※対象：医歯系大学の学生、他分野の全国の学生



有人宇宙医学講義

対象学生：大学2年、学部2（医歯系）
 科目名：宇宙医学4単位
 場所：京都大学総合学生学館大講堂（2F）

概要・目的：

人類の宇宙進出は、時に技術的進歩に伴って加速度的に進んでいる。人の宇宙滞在もスペースシャトルから国際宇宙ステーションに宇宙プログラムが移行して、益々長期化し、今後には月面ミッションや火星ミッションなどで数年単位での滞在も現実のものになっている。しかし、地球環境に準じて進化してきた我々が、宇宙環境に滞在した際にどのような影響があるのかはすべて解明されているわけではない。そのため本講義では、今後の有人宇宙活動に際して、人への宇宙滞在の影響がどのようなものであるかを学び、将来にその知識の活用が期待される人材育成を目的とする。

2023年度の実施内容：

- 【第1回】 2月4日 宇宙医学概論（土井俊雄：京都大学）
- 【第2回】 2月11日 半導体（土井俊雄：京大）
- 【第3回】 2月18日 宇宙生物実験（栗田大輔：京大）
- 【第4回】 2月25日 フライタリージャンプの役割（橋本和人：筑波大学、元JAXA医師）
- 【第5回】 3月4日 宇宙での骨格変化への影響①（志保直人：京大）
- 【第6回】 3月11日 宇宙での骨格変化への影響②（志保直人：京大）
- 【第7回】 3月18日 宇宙での医療行為と医師（藤澤和弘：京大）
- 【第8回】 3月25日 宇宙飛行とリハビリテーション（山田孝：京大）
- 【第9回】 4月1日 宇宙での食生活①（林正人：京大）
- 【第10回】 4月8日 宇宙食と衛生（田中秀幸：京大）
- 【第11回】 4月15日 宇宙での睡眠①（山崎隆典：京大）
- 【第12回】 4月22日 宇宙での睡眠②（山崎隆典：京大）
- 【第13回】 4月29日 宇宙での排泄への影響①（河野史朗：京大）
- 【第14回】 5月6日 宇宙での排泄への影響②（河野史朗：京大）

模擬微小重力暴露実験（ベッドレスト実験）

実際に宇宙環境で生じる人体影響を総合的に模擬し、講義で学んだ知識を試し、被験者データを測定・解析できる貴重な機会となる



ベッドレスト実験装置の様子
 長期臥床状態を模した装置
 （左側）に横たわった状態で、右側のモニターで自身の身体状態を確認できる。

微小重力環境下で人体に生じる変化とその対処方法の理解

模擬微小重力環境で生活する際の食事・居住環境の整備方法、食事・起居・排泄といった活動における問題点の理解を深めるとともにそれらへの対処方法を考察できる。

微小重力環境下での人体に対する対処方法の理解

模擬微小重力環境における人体変化に対して対策を通じて学んだ対処法などが実際に有効かを検証しながらより深く考察できる。

その他

人材育成の実施方法（倫理審査手続きや実験計画作成、準備手順など）を学ぶことができる。

有人宇宙医学実習

東京慈恵会医科大学：

「微小重力への生体応答」というテーマで、クリノスタット（Gravile）での細胞培養実験を通じて微小重力環境が細胞へ及ぼす影響を解析



岐阜医療科学大学：

宇宙服開発におけるプロトタイプの見学と、Galvanic Vestibular Stimulation（GVS：前庭系を外から電気刺激する方法）を体験



21

評価方法

【コンセプトマップによる教育効果の評価】

各講義・実習において教育効果を定量的に評価するために、コンセプトマップを活用。前後のコンセプトマップを比較することによって、コンセプトマップによる学習の可視化が可能。

初年度で作成したコンセプトマップ



最終年度で作成したコンセプトマップ



【教育プログラム自体の評価】

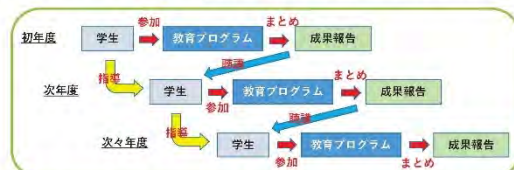
外部評価委員会を設立し、本プログラム内容について評価をしてもらう。
 外部評価委員は宇宙関連学会、企業・機関の中から指名する。

22

事業計画および事業期間終了後の方針

事業期間中：

- 国内外宇宙医学関連団体（日本宇宙航空医歯系学会、Space Medicine Japan Youth Communityなど）と協同連携を積極
- 本教育プログラムに参加した学生が、次年度卒業生とのメンターとして指導するという体制を構築



事業終了後の方針：

歴史的な教育体制を構築し、各団体と協力を継続し、事業終了後も宇宙ユニットの資源（予算・スタッフ）を活用し、教育プログラムを継続していく。

23

普及活動（事業成果の発信）

宇宙ユニットシンポジウム（国民との対話・双方向の交流）
◆ 毎年2月に京都大学で開催
◆ 小中高生・大学生、一般市民・企業の方々など200名以上が参加し、ポスター発表や講演などを通じて交流

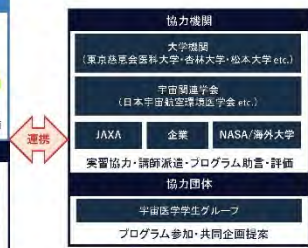
宇宙ユニットNEWS（最新の情報提供）
◆ 毎月発行、全国の関係大学・機関等に無料配布
◆ 宇宙ユニットの活動や研究紹介
◆ 宇宙における最新の話題も掲載

日本宇宙航空医学会年次大会（権野弘大）
◆ 日本の宇宙医学研究者が集う学会
◆ 青年の会もあり、学生セッションも開催
◆ 京都大学としてシンポジウムを担当

その他、宇宙医学ゼミや宇宙医学学生団体を
通じて普及活動を行う。



実施体制



実績のある機関との連携を行う。

まとめ

育成する人材像

人が安心・安全に宇宙で活動できるように、宇宙医学の専門知識を持ち、有人宇宙活動の根拠を支えることができる人材。

宇宙医学教育の必要性

日本国内における宇宙医学教育の需要が増し、海外においてもその必要性が増している状況。

本プログラムの特色

模擬微小重力暴露実験を用いることにより、総合的に宇宙環境での影響を再現でき、実践的に宇宙医学を学ぶことが可能。宇宙医学関連学会との連携を強化。

成果発信

年次シンポジウムなどを活用し、広く一般社会にも本プログラムの成果を発信する。

プログラム評価

コンセプトマップによる学習理解度の可視化。宇宙関連学会・企業によるプログラム外部評価。

今後の体制

屋根瓦式の教育体制を構築。事業終了後も宇宙ユニットが継続して教育プログラムを継続。

宇宙医学概要

なぜ宇宙へ？

NASAが地球に似た惑星を発見

水が存在する可能性あり→地球外生命はいるのか？

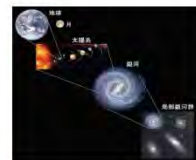
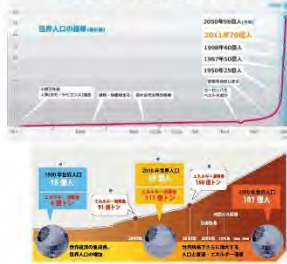


地球の生命はどこから来たのか？



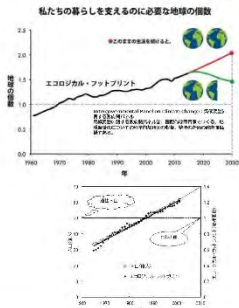
地球を考えよう

急激な人口増加は地球にとって危機
環境の悪化、資源の枯渇など。。。



世界人口とエネルギー消費量

エコロジカルフットプリントで見る



人類活動により消費される資源量を分析・評価する手法のひとつ。

例えば、

- 1) 化石燃料の消費によって排出される二酸化炭素を吸収するために必要な森林面積、
- 2) 道路、建築物等に使われる土地面積、
- 3) 食糧の生産に必要な土地面積、
- 4) 紙、木材等の生産に必要な土地面積、

などを合計した値として計算される。この場合、人間1人が必要とする生産可能な土地面積はアメリカで7.6ha、中国では2.2ha、日本4.3ha、インド0.9ha、世界平均1.8haとなり、先進国の資源の消費状況の差を示すものである。

1地球の自然生態系を踏みつけた足跡」と呼んでいる。

日本の全人口が地球の人口とした場合：
4.3÷1.8≒2.4 地球が2.4個必要になる！！

人はなぜ宇宙をめざすのか？

人類の憧れと知的好奇心

- ・天にとどきたい、空を飛びたい、空の向こうには何があるのか？わくわくした憧れ。
- ・人間の進歩に書き込まれた冒険心や好奇心、探求心に変え動かされて？
- ・科学技術を開発させ、気球や飛行機を作りだし、ロケットを開発し、月に降りた、ついには宇宙ステーション、国際宇宙飛行の時代へ。
- ・太陽系以外の存在が明らかになるにつれ、知的好奇心はますます大きくなり、生命の起源や地球外生命の存在、地球以外の遠征での居住の可能性などが議論されるようになってきた。
- ・宗教観・個々の価値観から地球と宇宙を見る時代から、科学により宇宙を知る時代へ。

地球から逃げて宇宙へ？

宇宙環境を利用して人類の未来に貢献

- ・宇宙環境を利用して人類の未来に貢献
- ・地球を住みやすい環境に変えていく。

トランプ危機時代に「宇宙軍」を国防政策に導入

火星、金星、木星、土星、天王星、海王星、冥王星、冥王星、冥王星

宇宙環境での人への影響

<宇宙ステーション軌道的环境>



微小重力
($10^{-6} \sim 10^{-4}G$)

宇宙放射線

高真空
($10^{-14}Pa$)

広大な視野

大気組成
酸素の割合が低い

太陽エネルギー
1kW/m²

軌道上熱環境
170℃～220℃

<帰還直後の様子>



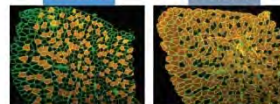
© TAKA

微小重力環境下での筋肉への影響

<骨格筋の特徴>

遅筋線維

速筋線維



遅筋線維：
赤色で、収縮が遅く瞬間的な大きな力は発揮できないが、持久性に優れている

速筋線維：
白色で、早い収縮を行い瞬発性に優れているが、疲れやすく持久力は弱い



微小重力環境下での骨・筋肉への影響

骨格筋への影響：

<筋萎縮>



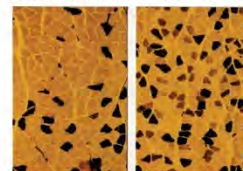
コントロール群 後肢筋群 (3ヶ月)

Kawano et al., Am J Physiol Cell Physiol 290: C458-47, 2006.

- ・抗重力筋（遅筋優位な筋肉）の萎縮が顕著
- ・短期飛行（スペースシャトル）では、約10%萎縮
腰部背筋：10.3%
ハムストリング：8.3%
下腿三頭筋：6.0%
大腿四頭筋：6.0%
- ・ミール宇宙船による長期滞在（115日）では、約20%萎縮
腰部背筋：18%
下腿三頭筋：18%
大腿四頭筋：12%

<筋線維のタイプ変化>

組織化学的染色を施したラットヒラメ筋横断面



コントロール群 宇宙飛行群 (14day)

Ohira et al., J Appl Physiol 73: 515-517, 1992.

・遅筋線維の速筋化が生じる

<筋力の低下>

- ・短期（1-2週間）の宇宙飛行でも筋力低下が生じる



© Chikuma no Jishu Kenkyu Kyozaikan 2005.11

【第5回】 11月1日 宇宙での骨格筋への影響①（志波直人：久留米大）

宇宙における筋萎縮に対する運動効果を中心に解説した。加齢性筋萎縮であるサルコペニアについてリハビリの臨床医の立場から詳細に説明した。筋肉の衰えに伴い、骨折などのリスクも高まるため、総合的な予防が重要となる。リハビリの現場では、ハイブリットトレーニングと呼ばれる電気刺激を利用した装置が用いられている。講師は実際にこの機器を宇宙に持っていき、宇宙飛行士で筋萎縮予防効果があるかを検討した。ハイブリットトレーニング機器などを用いれば、宇宙における筋萎縮を効果的に予防できる可能性がある。特に、地上での臨床現場での技術が宇宙に活かせることができれば、開発コストも抑えることができ、また宇宙から地上への還元にもつながり、有用な手段である。



【第13回】 1月10日 宇宙での骨格筋への影響②（河野史倫：松本大学）

宇宙環境に滞在すると筋肉が萎縮することは知られている。そのため、衰えない筋肉を作るといふ考えも非常に重要である。宇宙で萎縮する筋線維は主に遅筋と呼ばれるものであり、速筋はほとんど萎縮することはない。遅筋と速筋は遺伝的に異なり、通常は遅筋線維が速筋線維に、速筋線維が遅筋線維に遷移することはない。それぞれ持久的な性質や瞬発的な性質があり、異なる筋線維として運動を補っている。しかし、エピジェネティックのような遺伝子調節を改変することで、一つの筋線維で両方の利点を持った筋線維を構築できる可能性がある。将来的には宇宙でも衰えない、萎縮しない筋肉を遺伝的に作ることができるかもしれない。これらの研究を動物実験で継続していくことが重要である。

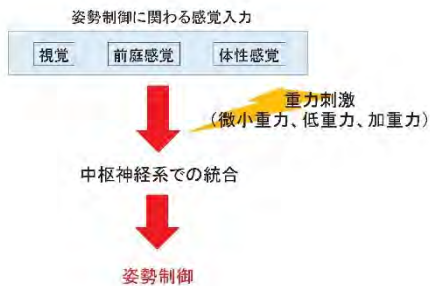
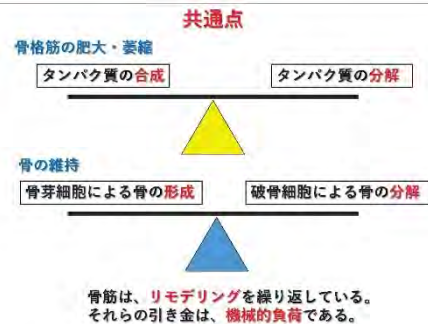


骨への影響：

<骨密度の低下>



- 骨からカルシウムが溶出し、骨量減少や骨折結石のリスクが高まる
- 骨量減少速度が、骨粗鬆症患者の約10倍早く進む



Apollo飛行士 月面での歩行



Gyoutube Apollo moon walk

～シナジー2-宇宙から帰還後の初期の骨格筋による筋線維型の変化によって多様な運動・体性感覚の再調整を促す～

背景・目的

シナジー研究は、過去の宇宙実験¹⁾で、宇宙飛行士の宇宙長期滞在の後に、大きな歩行動作に順応しないが、シナジー²⁾などの運動学習メカニズムは、帰還3ヶ月後でも十分に回復していることを観察している。

1) Synergy (2011) 帰還後3ヶ月間の運動学習メカニズム

2) Synergy (2011) 帰還後3ヶ月間の運動学習メカニズム

本研究の最終的な目的は、長期滞在の多い宇宙飛行士に、宇宙滞在時に適応した身体が、地上での生活に順応するための運動学習メカニズムを明らかにすることである。

3) 今回、骨格筋の運動学習メカニズムの再調整を、帰還後3ヶ月以上のデータ取得、骨格筋の運動学習メカニズムを明らかにし、地上での生活に順応するための運動学習メカニズムを明らかにし、検証する。

4) 宇宙滞在時の運動学習メカニズムの再調整、および、地上での生活・運動学習メカニズムの再調整を、地上での生活・運動学習メカニズムの再調整として検証する。

研究概要

1. 初期の運動学習メカニズムの再調整

2. 運動学習メカニズムの再調整

3. 運動学習メカニズムの再調整

4. 運動学習メカニズムの再調整

5. 運動学習メカニズムの再調整

6. 運動学習メカニズムの再調整

7. 運動学習メカニズムの再調整

8. 運動学習メカニズムの再調整

9. 運動学習メカニズムの再調整

10. 運動学習メカニズムの再調整

11. 運動学習メカニズムの再調整

12. 運動学習メカニズムの再調整

13. 運動学習メカニズムの再調整

14. 運動学習メカニズムの再調整

15. 運動学習メカニズムの再調整

16. 運動学習メカニズムの再調整

17. 運動学習メカニズムの再調整

18. 運動学習メカニズムの再調整

19. 運動学習メカニズムの再調整

20. 運動学習メカニズムの再調整

21. 運動学習メカニズムの再調整

22. 運動学習メカニズムの再調整

23. 運動学習メカニズムの再調整

24. 運動学習メカニズムの再調整

25. 運動学習メカニズムの再調整

26. 運動学習メカニズムの再調整

27. 運動学習メカニズムの再調整

28. 運動学習メカニズムの再調整

29. 運動学習メカニズムの再調整

30. 運動学習メカニズムの再調整

31. 運動学習メカニズムの再調整

32. 運動学習メカニズムの再調整

33. 運動学習メカニズムの再調整

34. 運動学習メカニズムの再調整

35. 運動学習メカニズムの再調整

36. 運動学習メカニズムの再調整

37. 運動学習メカニズムの再調整

38. 運動学習メカニズムの再調整

39. 運動学習メカニズムの再調整

40. 運動学習メカニズムの再調整

41. 運動学習メカニズムの再調整

42. 運動学習メカニズムの再調整

43. 運動学習メカニズムの再調整

44. 運動学習メカニズムの再調整

45. 運動学習メカニズムの再調整

46. 運動学習メカニズムの再調整

47. 運動学習メカニズムの再調整

48. 運動学習メカニズムの再調整

49. 運動学習メカニズムの再調整

50. 運動学習メカニズムの再調整

51. 運動学習メカニズムの再調整

52. 運動学習メカニズムの再調整

53. 運動学習メカニズムの再調整

54. 運動学習メカニズムの再調整

55. 運動学習メカニズムの再調整

56. 運動学習メカニズムの再調整

57. 運動学習メカニズムの再調整

58. 運動学習メカニズムの再調整

59. 運動学習メカニズムの再調整

60. 運動学習メカニズムの再調整

61. 運動学習メカニズムの再調整

62. 運動学習メカニズムの再調整

63. 運動学習メカニズムの再調整

64. 運動学習メカニズムの再調整

65. 運動学習メカニズムの再調整

66. 運動学習メカニズムの再調整

67. 運動学習メカニズムの再調整

68. 運動学習メカニズムの再調整

69. 運動学習メカニズムの再調整

70. 運動学習メカニズムの再調整

71. 運動学習メカニズムの再調整

72. 運動学習メカニズムの再調整

73. 運動学習メカニズムの再調整

74. 運動学習メカニズムの再調整

75. 運動学習メカニズムの再調整

76. 運動学習メカニズムの再調整

77. 運動学習メカニズムの再調整

78. 運動学習メカニズムの再調整

79. 運動学習メカニズムの再調整

80. 運動学習メカニズムの再調整

81. 運動学習メカニズムの再調整

82. 運動学習メカニズムの再調整

83. 運動学習メカニズムの再調整

84. 運動学習メカニズムの再調整

85. 運動学習メカニズムの再調整

86. 運動学習メカニズムの再調整

87. 運動学習メカニズムの再調整

88. 運動学習メカニズムの再調整

89. 運動学習メカニズムの再調整

90. 運動学習メカニズムの再調整

91. 運動学習メカニズムの再調整

92. 運動学習メカニズムの再調整

93. 運動学習メカニズムの再調整

94. 運動学習メカニズムの再調整

95. 運動学習メカニズムの再調整

96. 運動学習メカニズムの再調整

97. 運動学習メカニズムの再調整

98. 運動学習メカニズムの再調整

99. 運動学習メカニズムの再調整

100. 運動学習メカニズムの再調整

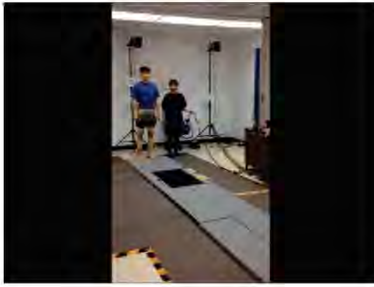
シナジー(Synergy)とは？

Nikolai Bernstein (1896-1966)

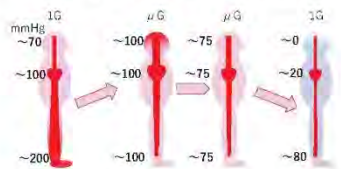
- 運動制御の本質は自由度の問題である。
- 自由度の問題
 - 生物は莫大な自由度をどのように制御しているか？
 - 関節数
 - 筋数
 - 神経系のニューロン数
 - 上位神経系ニューロン数



これら複数自由度の共同が存在すると考えられる→シナジー(Synergy)の概念



心循環系への影響は体液シフトから



宇宙ステーションに長期滞在し、無重力環境に過剰した心臓血管は、重力環境および重力環境下の運動姿勢に耐え続ける能力を低下するため、重力環境・地球上に帰還する時、

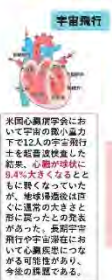
- 1) 尿量・腸管血管に重力が作用し、
- 2) 重力で重力過多を取り戻すために心臓血管が下腹部に「吸引」するまで移動し、心臓血管が過剰に膨らみ続け血圧調節が難しくなる。

いずれも意識なくつらくなり呼吸困難となり、血圧調節低下を起こす。

無重力環境下で心臓血管の収縮性を低下させる心臓の4つの問題

- 1) 脈管血容量の減少
- 2) 自律神経系の過剰な心臓血管の調節機能の低下

心循環器系への影響



への影響 宇宙より重力を介して伝わる重力波 (AGS) などの現象が観測される。さらにまたは一様に加速し、渦巻雲の中心部に向かう非対称性がある。

●4000円超えの1000台にA1標準ソフト：価格が上下に影響する

[illegible]

【第7回】 11月15日 宇宙での医療行為とそれを支える技術
(瀧澤玲央：慈恵医大)

宇宙環境での血管内皮細胞の動向についても解説した。宇宙では血管内皮細胞の形態が変化し、細胞内小器官にも変化が生じていることが知られている。これらの影響は地球上では3Dクローズドシステムを用いた模倣することができる。宇宙での血管内皮細胞の動向が解明できれば、宇宙での心循環系への影響を解決できる可能性もある。宇宙での心臓再生術などについても説明した。

東京慈恵会医科大学 細胞生理学講座宇宙航空医学研究室

宇宙航空医学研究室は昭和40年4月に宇宙医学研究室として開設されました。初代教授は佐伯誠教授でその後、井川幸雄教授、本田芳男教授、酒井紀教授、栗原敏教授と引き継がれました。平成7年6月に組織替へるため細胞生理学講座（当時生理学講座第2）の傘下となり、名称も宇宙航空医学研究室と改称し、宇宙航空医学および環境医学の研究と教育を行なっています。

【第9回】 12月6日 宇宙での姿勢制御（萩生翔大：京大）

人は表面上において1Gの下、平運動状態を覚えている。我々の慣性の動作は、様々な要因が絡み合っている、一歩の軌道計算上では可能である。つまり、自由と自由の間の関係によって特定の動作を行っている。一つ一つの自由度を脳が対応し、別々に制御する。脳の情報の増減に時間的に対応する必要がある。

その点、脳と運動器（骨格筋）の間には、センサーと呼ばれるインターンが存在するので問題はない。前記のように特定の動作に関する情報は常に存在している。したがって、人間の動きは、意識によるものではない。むしろ、手首や足指の神経系を通じて伝達される。このように、感覚器官は常に動作に関する情報を提供している。そして、脳はこれらの情報を処理して、適切な動作を行うように指示を出す。

人間は常に動作している。静止状態でも、心臓は跳動し、呼吸は繰り返され、手足は微細な動きをしている。このような動作は、すべて脳によって制御されている。脳は、身体の状態を感知し、必要な調整を行い、動作を実行させる。このように、人間の動作は、脳と身体との密接な連携によって実現されている。

ムーンフェイス



【第6回】 11月8日 宇宙での自律神経系への影響（岩瀬敏：愛知医大）

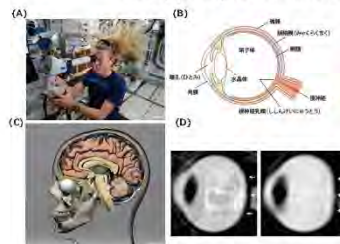
ヒトが重力に克服するために、神経筋系系、心血管系、筋骨格系、骨代謝系、消化系、免疫系、体温調節系にそれぞれ「準円頂」の「準後頭」の独立した部分の「偽循環系」で「デフレーション」が起る。骨、骨髄、軟骨、血、血液、汗、脂肪などの様々な身体的な不都合が起る。特に、心血管系の原因は、血液移動、偽循環系を通じて行われるもの、その大きな変化の都合は自律神経系の変容にあると考えられ、不都合を解決する方法として、人工重力が提案されている。講師は、実際に人工重力を可能な人工重力装置（大型型）を制作し、これまで多くの実験を実施してきた。また、対照研究として人を長時間無重力状態にするベッド上で実験なども行い、自律神経系から他の神経系への影響を研究して、人工重力が実現すれば、宇宙での多くの問題が克服できる可能性を示唆した。



体液シフトによる健康障害の可能性

視神經乳頭浮腫

SANS (Spaceflight-Associated Neuro-Ocular Syndrome)



A) 宇宙飞船上デーションで目の検査（顔正射）
ををするNASA宇宙飛行士
B) 顔の検査。2011年の論文では、5人の宇宙飛行士に「顔正射画像」が与えられた
C) 顔と顔にならなくなったより体面シフトにより顔に
体面が重なり、その中でより体面が重なる。
D) 顔（NASA）との顔の位置関係は、顔の正面から
なり、顔正射をしない。顔正射画像と顔を比べる。
E) 顔正射画像（sagittal oblique 2-weighted
MRI images）。(左図) 顔正射から右図へ順次
する前の顔の画像。(右図) の顔の顔正射からなっ
てくる（矢印）。(右図) 顔正射から右図へ順次
した後の顔の画像。顔正射からの矢印が
顔正射と顔の両方が顔正射になっている

宇宙飛行士の6割、脳わずかに変形

宇宙空間に約半年間滞在した18人と、約2週間滞在した16人について、打ち上げ前後に磁気共鳴映像法（MRI）で撮影した脳画像を比較。その結果、長期滞在の17人と短期滞在の3人で、帰還後に、脳の頭頂部付近にある「中心溝」と呼ばれる溝が狭まったことを確認。また、長期滞在12人と短期滞在6人では、脳の位置がわずかに頭頂部側にずれていたことも判明した。

長期滞在の宇宙飛行士、脳が「圧搾」状態に

宇宙飛行士34人（男性28人、女性6人）を対象に研究。その内、国際宇宙ステーション（ISS）に長期滞在した経験があるのは18人。脳脊髄液が増え、脳が頭蓋骨内部で上方に移動している。脳脊髄液の増加によって脳が「圧搾」され、脳の領域間の空間が狭小化している。

地磁気圏外における宇宙放射線環境

ISSAが目指す有人探査計画

ISS (2017) 月面探査 火星探査

地磁気圏外: 高線量放射線環境

将来有人探査ミッション: 長期間(数百~1,000日間)

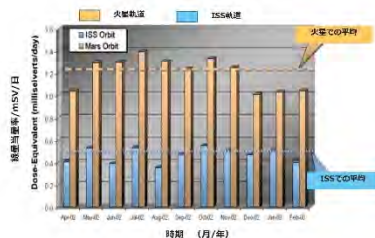
宇宙放射線が生物に与える影響

生物試料を用いた影響調査・研究
生体影響の大きいLET（線エネルギー付与）放射線の線量を低減する手段

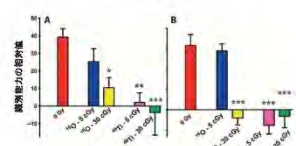
一次宇宙線
・銀河宇宙線: 定量的に発生
・陽子, α粒子, 重核 (Li-)

二次宇宙線
一次宇宙線と物質間の相互作用により発生
・陽子, α粒子, 中性子など

国際宇宙ステーション（ISS）と火星の軌道での放射線年平均



火星へ行く途中で脳に何が起こるか？ — 認知能力の低下 —



(A) 動物実験のバーチャルマウスでは、新設性の認知能力が減少によって示される脳機能低下が有意に減少した。

(B) オブジェクトインテリジェンスのバーチャルマウスでは、場所の記憶能力の大幅な減少を示し、新設性を低下させるための能力が著しく低下していた。

【第11・12回】 12月20日・27日 宇宙放射線の影響①②（山数康亮：京大）

地球は地磁気によって守られているため、地上にいる限り宇宙放射線の影響と直接受けることはほとんどない。ISSは地上から400キロメートル上空を飛行しているが、地磁気によるシールドの効果はISSにも及んでいない。そのため、ISSに滞在する宇宙飛行士においてもこれまで宇宙放射線の直接的な健康被害は報告されていない。しかし、ISSでは低線量で長期宇宙放射線に暴露しているという事実がある。ISS滞在1日では地上で浴びる半年程度の放射線量を浴びることが知られている。また、今後は月面や火星などのミッションも計画されており、地球の地磁気の保護が及ばない場所でのように宇宙放射線を防御するべきかということは非常に重要なテーマである。

宇宙での閉鎖環境

宇宙に人がいくと、精神心理にはどのようなストレスがかかるのでしょうか？大きく、以下の三つにわけて調査研究・対処法の検討が行われています。

- ・隔離：地上と隔離した環境で過ごす孤独感
- ・社会：異なる文化を持つ限られた人々と毎日生活を共にして暮らす対人関係上のストレス
- ・危険：危険な環境で過ごす緊張感

ISSでのストレス

宇宙ステーション・宇宙探査 国際宇宙ステーション

ISSでのストレス

宇宙ステーション・宇宙探査 国際宇宙ステーション

閉鎖環境の模擬実験 (Analog Mission 海外事例)

ハワイ大・NASA Hi-SEAS @ ハワイ 6名 1年



NASA @ JSC HERA 4名 45日間



地上の模擬実験

実験名称	名称	実施年	期間	人数	目的	主な成果	施設名
Microbial Life Support System	Life Support System	1970	100	4	100	100	Life Support System
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA
HERA	HERA	1970	100	4	100	100	HERA

Figure 6 Percent cytotoxicity of NK cells from astromatous before 10 days (0–1) and 3 days (2–3) after 2.5 h after (black) and 3 days after (grey) space flight.

Figure 1. Percent cytotoxicity of NK cells from astronauts before 10 days (L-10) and 3 days (L-3) and after 2-3 hr after (R+0) and 3 days after (R+3) space flight.

シャトル(10日間 10名) ⇔ 三二地球

生理ストレス（NK細胞数）などが、宇宙ではミッション後に低下し、ミニ地球の“閉鎖”環境でも同様の結果が得られた。（ミニ地球はグレーの部分が開鎖期間）

週1回宇宙飛行士専門の医師であるフライトサーजनが
テレビ電話などを用いて面談する。また、2週間に1度の
頻度で、精神科医や心理学の専門家のカウンセリングを行
い、心理的サポートをしている。

宇宙飛行士は打ち上げの10日前から外部との接触を断ち、隔離中で生活する（Quarantine）。このため、米航空宇宙局（NASA）はHSP（Health Stabilization Program）として隔離方法などを規定している。

帰航については、血液検査でチェックする。

Hazza Al Mansouri and Sultan Al Neyadi to be placed in clean environment to avoid bringing germs up to the International Space Station. (Sep. 2019)



宇宙での感染症対策も急務 寺田昌弘氏
ソフィア 京都府立文化会館
2020.04.04 12:05

[illegible]

軌道上滞在時に生じる筋・骨萎縮や有酸素性能の低下に対して、あらかじめ地上でこれらを向上させる目的で運動プログラムを行う

-

週6日、1日あたり2.5時間（準備・ストレッチ30分、心循環器運動45分、抵抗運動45分、片付け・着替え30分）の運動をする

有人宇宙活動において、宇宙船の開発は重要である。船内で着席している衣服などの重量では宇宙船であるが、今頃は特に地上活動用の宇宙服に十分に耐える。船外宇宙服は、内圧が高くなる宇宙環境と真空中の極端に低い圧力、可動性がなくなることなど、そこで現在NASAの船外活動用宇宙服は、内圧は100%に3段階に維持されている。しかし、この100%は地上の標準的な土壌は低圧症のリスクが高く、そのため、宇宙環境の真空状態と宇宙服の内圧のわずかな差により、可動性がより内部圧力が快適な条件を同時に満たすとは非常に困難である。この問題を解決するため、スーツ等での綿の付加による圧を加えた宇宙服などの開発がされている。今後は、月面回航などのミッションなどに計画されており、宇宙飛行士として効率的にミッションを要する宇宙服の開発が重要となってくる。



<飛行後>

帰還直後の転倒による骨折や捻挫を予防し、飛行前の体力に回復させることを目的に行われる

第1フェーズ (帰還3日後まで)	介助つき歩行、パイラバス、マッサージ、ストレッチ
第2フェーズ (帰還2週間まで)	水中運動、歩行訓練、マッサージ、ストレッチ、有酸素運動、抵抗運動
第3フェーズ (帰還2週間以降)	個人に合わせた積極的なトレーニング

Ohshima et al., Jpn J Rehabil Med 43: 186-194, 2006.

【第4回】 10月25日 フライトサージャンの役割 (嶋田和人：筑波航研、元JAXA医師)

有人宇宙飛行に必要な支援活動について医学・医療を中心に述べる。国内では1952年の航空再開以来、有人飛行についての自主開発歴が乏しい。有人宇宙分野でも飛行士に関わる技術の開発経験は僅かである。有人宇宙開発については基盤である航空機の開発経験を積み、弾道飛行とその回収技術から習得するのが医学支援上も無理がない。我が国がこれから有人宇宙技術の自主開発にどう臨むのか、熟考する必要がある。講義では、JAXAフライトサーजनとして勤務した経験に基づき、宇宙飛行士の医学運用について解説した。軌道上での健康維持や帰還後のリハビリについてもNASAやJAXAでの運用方法について詳しく説明した。



【第8回】 11月29日 宇宙飛行とリハビリテーション (山田 深：吉林大学)

宇宙飛行士のリハビリテーションについて、詳細に解説した。講師は、JAXAで生理的対応担当として宇宙飛行士のリハビリを担当している。実際に多くの日本人宇宙飛行士のリハビリを指導してきた。宇宙飛行士のリハビリのスケジュールや運動内容などについて説明をした。宇宙長期滞在では筋萎縮、運動耐容性の低下といった様々な変化が身体に生じ、リハビリテーションが必要となる。現在は有酸素運動、動的ストレッチング、抵抗運動、ファンクショナルトレーニング、体幹トレーニング、静的ストレッチングなどをリコンディショニングとして実施しているが、個人因子やコンディショニングにも配慮した多様なリハビリテーションプログラムの提供は今後の検討課題である。

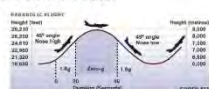


これまで行われてきた地上・宇宙実験 地上での模擬宇宙環境実験 <ヒト対象実験>

ベッドレスト実験



パラボリックフライト実験



© NASA

ウォーターマージョン



閉鎖環境適応訓練設備



下半身陸圧負荷装置



低圧環境適応訓練設備



前庭機能研究設備



【第2回】 10月11日 宇宙酔い (野村泰之：日大)

宇宙医学の中で「宇宙酔い」は、いまだに解決されていない難題の一つである。宇宙酔いの歴史、病態メカニズム、現在の対処法、将来へ向けての展望など、自分の所属していたNASAアメリカ研究チームの昨今の研究成果やエピソードもおりまぜて判りやすく解説した。平衡感覚を司る耳石器への無重力の影響をはじめ、宇宙酔いの生じるメカニズムについて説明した。特に視覚や平衡感覚など様々な感覚器の微妙なずれによって宇宙酔いが生じる可能性がある。宇宙飛行士の7割ほどに宇宙酔いの症状は現れるが、しばらくすると消失するためその対策については慣れが有効である。宇宙酔いの予防のための対処方法についても解説した。



<動物実験>

後肢懸垂実験



3Dクリノスタット



パラボリックフライト実験



落下塔での実験



実験手段	Gレベル	持続時間	回数	実験者招募
航空機実験 (パラボリックフライト)	0.01 G	20~30秒	10回程度/1フライト	可
落下塔実験	10 ⁻⁵ G	4.5秒 (岐阜) 10秒 (北海道)	20回程度 (岐阜) 5回程度 (北海道)	不可

模擬宇宙放射線研究



Assessing the risks of space radiation to human space travelers

As the National Aeronautics and Space Administration (NASA) prepares for future missions to the Moon and Mars, many of the health risks of cosmic radiation are still uncertain. To assess human space radiation risks, NASA is working with the Department of Energy's (DOE) Office of Science to establish the NASA Space Radiation Laboratory (NSRL) at DOE's Brookhaven National Laboratory. NSRL will conduct experiments to assess the risks of space radiation to human space travelers and equipment.



NASA Space Radiation Laboratory - Brookhaven National Laboratory

アカゲザルを用いた研究



**Animal Enclosure Module
(AEM)**



STS-107フライトでのラットサンプルシェア

「フグ」を題材にした授業動画に対する授業改善の取組	大森孝子 大塚由紀
「フグ」の授業では授業動画の活用と、生徒の学びの成果	大森孝子 大塚由紀
学校ウェブサイト上で授業動画を公開し、授業改善の取組	佐藤久美子 野村美佳
学校ウェブサイト上に公開した授業動画をAPC・ストリートビューで公開する	森本幸子 高橋光
英語での授業動画を公開する取組の取組	宮崎美子 宇佐美真一
「フグ」を題材にした授業動画を公開し、授業改善の取組	加藤美代子 堀江正己
「フグ」を題材にした授業動画を公開し、授業改善の取組	森田良子 佐々木大介
学校動画の活用と、授業改善の取組	吉澤裕子 佐々木大介
「フグ」を題材にした授業動画を公開し、授業改善の取組	加藤美代子 佐々木大介

スペースシャトルからISSでの生物実験



シャトルの打ち上げ

これまで何が分かったか？

地球の生き物は宇宙でも大丈夫か！？

地球上の生き物は生れてからずっと重力の中で進化してきた。重力が無くてもしなやかに活動するようにならないうえ、じょうぶな事がわかってきた。



宇宙で母から卵、親から子供へと渡ることができる地球の生き物
メダカが宇宙で自然と同じように子供が誕生した。その子供は、地球
に渡った途に子供を残した。一宇宙メダカの誕生



生まれてすぐの卵はかえない。
生まれて少し地上に置いといた卵はかえったぞ！

重力が無いと生き物にどのような影響があるのか、重力を利用したりが無くても生きていく仕組みについて解ってきた！

ヒトは宇宙でくらせる

ヒトは宇宙でくらえる

ロシアの宇宙飛行士ユリー・ポリャコフさんは1988年3月29日から1990年1月27日までの211日、地上、1994年11月8日から1995年3月22日までの133日間の宇宙ステーション・ミールで生活して、ヒトが長期宇宙生活にいても大丈夫であることを示した。

アメリカのジョン・グレン宇宙飛行士は77歳で90日間の宇宙飛行を行った。



ニワトリはちゃんと生まれるか？



産まれてすぐの卵が宇宙に行ってもダメ！
7～10日目に宇宙に持って行ってOK！
なぜなら(a)のようにになっているから

カエルの卵はどうなる？
ちゃんとカエルになるか？



A. 普通の卵の輪切り
B. 逆立ちにおいた卵の輪切り



重力がないと厚くなる



目と頭の大きさがちがう！

【第3回】 10月18日 宇宙生物実験 (幕地主宙己：慈恵医大)

宇宙医学は、環境医学であり、宇宙飛行医学と宇宙での労働者とに似た場合は、産業医学とも考えらる。宇宙医学の誕生は、人類宇宙に進出したときに始まり、すでに半世紀以上の歴史がある。医学研究者として、なぜ宇宙医学研究を志したのかをを紹介したい。地上で重要環境を再現するのは難しかった。遠心機を用いた過重力環境を作成し、細胞への反応を調べたのが、初めての宇宙医学実験であった。専門医科系では、初めて、電子顕微鏡解析技術が習得された。その後、宇宙医学が開始し、携行型、現在では地上で、重力環境を再現する装置が開発された。重力環境を再現する装置は、電子顕微鏡を用いた細胞解析を行っている。宇宙医学での胃腸機能の影響を解析するために、将来的には宇宙での消化器官の影響を調べる必要性がある。

「きぼう」の概要



主要仕様

(寸法)

箱内実寸法: 4.4m内径×11.2m長さ (円筒形)
箱外実寸法: 4.4m外径×4.2m長さ (円錐形)
箱外実装プラットフォーム: 5.9m巾×4.0m高さ×5.6m長さ

(機能)

箱外バレット: 4.9m巾×2.2m高さ×4.2m長さ (レーム形)
ロボットアーム (鉗子方式)
 アーム: 9.9m長さ
 アーム: 1.9m長さ

(駆動装置)

(電圧): 約24kW、120VDC
(寿命): 10年以上

(装置仕様): 通風2ヶ所、時間制御(3ヶ所)で最大4名
(搬送手段): スペースシャトル(2付)



Experiment Facilities in JEM Pressurized Module



細胞培養実験装置 (CBEF) (Cell Biology Experimental Facility)



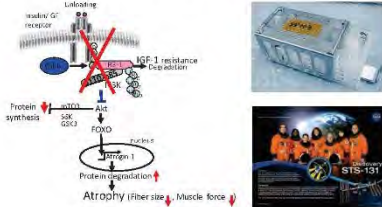
Biological Experiment Units (BEUs)
CEU, PEU, MEU, V-MEUの4種類、外観はほぼ同じ。
CEU (Cell Experiment Unit): 観測培養に特化したユニット
PEU (Plant Experiment Unit): 小型植物実験用。カメラ搭載。
MEU (Measurement Experiment Unit): CBEFとのインターフェースを持つマルチ機能ユニット。V-MEUはカメラ搭載。

(Myo Lab) タンパク質ユビキチンリガーCblを介した筋萎縮の新規メカニズム

代表研究者 徳島大学 二川健教授

目的 Cbl-bに注目しながら、どのようなメカニズムで筋肉が萎縮するかを明らかにする

概要 ラット筋芽細胞(L-6)をCBEFで培養し、10日後に筋肉成長因子(IGF-1)を加え、その後、地上で遺伝子・タンパク質について解析する



(Fish Scales) 宇宙空間における骨代謝制御：キンギョの培養ウロコを骨のモデルとした解析

代表研究者 金沢大学 鈴木信雄准教授

目的 骨芽細胞と破骨細胞に相当する細胞群を持つウロコを対象に、宇宙での骨代謝制御機構を解明する

概要 キンギョの再生ウロコを宇宙で3日間培養し、地球帰還後に細胞活性測定・遺伝子発現解析・骨代謝関連ホルモン解析・形態学的解析等を行う



Mice Drawer System (MDS)



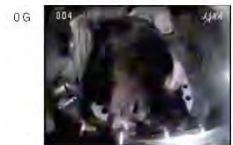
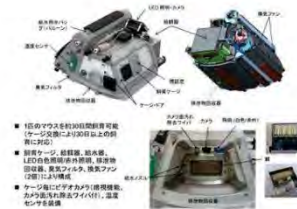
イタリア宇宙機関が作製。
2009年、6匹のマウスを3ヶ月間ISSで飼育。
内3匹が地上に帰還して、各国の研究者がサンプルシェアを行った。

マウスの宇宙での研究



(A) 国際宇宙ステーションきぼう実験室のマウス飼育実験装置 (MDS) で作業中のNASAの宇宙飛行士ニコル・スット。
http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/665.html#images
(B) 宇宙でのマウスの様子

JAXAマウス飼育装置



線虫 (C.elegans) を用いた老化・寿命の研究



C.elegansの顕微鏡写真



大きさはおとなで1mm程度

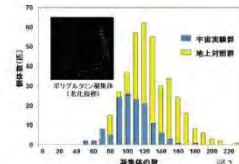
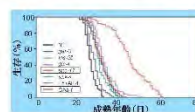


宇宙へ行く前



宇宙から帰った後

宇宙では線虫の寿命が延びる



微小重力の宇宙環境では、高齢化にどう影響するかよく理解されていない。
宇宙では、線虫 (C.elegans) の加齢とともに蓄積するポリグルタミン凝集体の形成が抑制された。
宇宙で発現が抑制された7つの遺伝子をそれぞれ不活性化させたC.elegansは、地上での寿命を延長した。

Twins Study

A study now to NASA took place throughout the historical One-Year Mission beginning in March 2015 and ending in March 2016. The landmark Twins Study helped scientists better understand the impacts of spaceflight on a human body through the study of identical twins. Retired astronaut Scott Kelly spent one year in low-Earth orbit aboard the International Space Station while retired astronaut Mark Kelly, his identical twin, remained on Earth. The twins' genetic similarity provided scientists with a reduced number of variables and an ideal control group, both important to scientific investigation.

Study investigations were selected as part of the Human Exploration Research Opportunities solicitation developed and managed by NASA's Human Research Program.



Scott Kelly (NASA astronaut, ISS)
© NASA, NASA



Mark Kelly (NASA astronaut, ISS)
© NASA, NASA



<地上の現象との共通点>

宇宙での筋・骨萎縮

(原因) 微小重力による廃用 (使わない) ことによって生じる



- ・長期臥床患者における下肢での現象
- ・高齢者での筋萎縮 (サルコペニア)
- ・骨粗鬆症患者

【第14回】 1月17日 宇宙での骨格筋への影響③ (谷端淳: 慈恵医大)

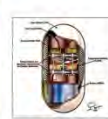
宇宙環境に滞在すると微小重力の影響により、骨格筋の萎縮が生じることはよく知られている。宇宙での筋萎縮は使わないことにより生じる廃用性の筋萎縮であり、これらの現象は地上での高齢者の加齢性筋萎縮 (サルコペニア) などの相関も多い。講師は、これまで筋ジストロフィーにおける筋崩壊過程を研究してきた。筋の崩壊と萎縮にも共通する部分があり、その観点からの解説も行った。骨格筋を肥大させる調節因子としてMyostatinの例を説明した。Myostatin遺伝子に異常が生じると、筋骨隆々になることが知られている。また、筋分解系のシグナルとしてユビキチンプロテアソームとオートファジーについての解説をした。これらシグナル因子を調節することにより、筋分解と筋生成をコントロールでき、宇宙での筋萎縮予防にもつながる可能性がある。

<宇宙実験からのスピノフ>

他分野でのスピノフ



血液分析装置

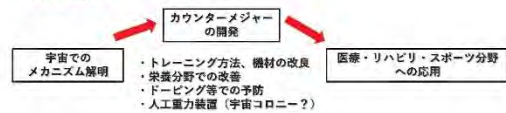


深部体温測定装置



加齢食事記録機

骨筋分野では?



一例:

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

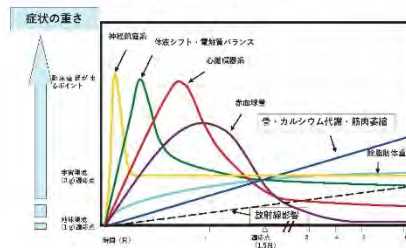
代表研究者 久留米大学 志波直人教授

概要 電気刺激と運動抵抗を与えるハイブリッドトレーニングにより、飛行前後における飛行士の筋力、筋量、骨量等を評価。筋骨格系廃用性萎縮の予防効果を確認する



人が宇宙で活動する時の課題発見!

宇宙開発の初期、宇宙環境に対するヒトの適応応答が系統的に調べられ、臨床医学的課題が明らかになった。



宇宙医学の限界:

- ・現在まで約500名ほどしか宇宙に行っていない。
- ・宇宙実験の機会が少ない。
- ・地上での宇宙の模擬実験は正確に宇宙環境を反映しているのか。

検証の機会が少ないため、正確な予測や予想ができていないのか??
現在の宇宙医学は、地球に帰還することをベースに考えている。

今後の宇宙医学では、どうすべき???

重要課題:

- ◆宇宙放射線の影響を解明すべき
- ◆精神心理的サポートを重視すべき
- ◆恒星間飛行中の娯楽を考えるべき

レポート課題:

「あなたは火星滞在ミッションを企画します。火星滞在ミッションへの出発から帰還までの過程で、医学運用面の観点から計画を作成してください」

上記の課題について、A4で最大4ページまでにまとめて提出して下さい。文字フォントについては問いませんが、文字サイズは11ポイントをお願いします。図や写真などを含めてもOKです。火星への渡航から帰還時の有人宇宙船内や火星環境下での滞在時における医学的問題点やその対処法などについて、有人宇宙医学講義の内容を参考に記載してください。どのようなミッション(宇宙飛行士の構成や任務かや、火星滞在期間)については各自で自由に設定してください。専門的な知識を評価するつもりはありませんので、生物や医療・医学を専門としていない学生もぜひ自由な発想で記述してください。科学的なエビデンスや実現性については、問いません。

講義歴修生に関しては、レポート評価(10点満点)と講義出席回数によって、総合評価をし単位を与えます。聴講生に関しては単位取得はしてもらえませんが、任意でレポート提出をお願いします(採点はしません)。

質問がある場合は、terada.masahiro.2m@kyoto-u.ac.jpまでお問い合わせください。

提出締め切り: 2024年2月2日 17時まで



Buck Up

人類が宇宙環境に適応するために
宇宙医学的に何が許される？

技術的な方法によって、宇宙環境に地上と同じような生活環境を持つていく

例:



スペースコロニー (=人工重力装置) によって、多くの生理的影響(筋骨の衰え、体液シフト、平衡感覚など)は解決する!

閉鎖空間でのストレス問題は??

居住面積を拡大させることで解決できる!

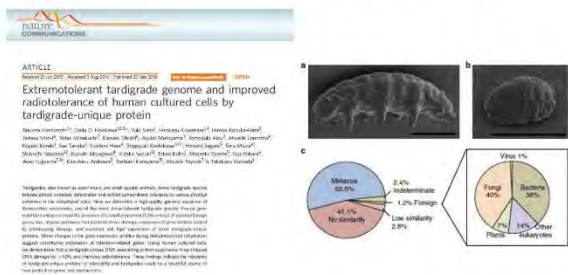
一番大きな懸念事項は??

宇宙放射線!!!!



宇宙放射線から防御する方法を考える必要がある!!

遺伝子改変によって、放射線耐性を持たせることは許される???

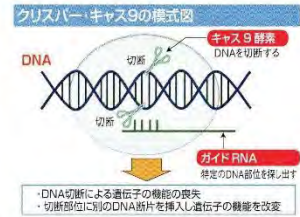


遺伝子改変技術:

2020年ノーベル化学賞受賞



エマニュエール・シャルパンティエ（左）とジェニファー・ドウドナ（右）



CRISPR-Cas9では、細胞の中の核に含まれるデオキシリボ核酸（DNA）を切断する機能を持つ人工酵素「Cas9」でDNAを切断し、切断した部分の遺伝子の働きを失わせたり切断部に別の遺伝情報を入れることで遺伝子を改変する。

天然痘ワクチンの開発者



エドワード・ジェンナー



牛痘乳などをして牛と接することによって自然に牛痘に感染した人はいなかった。牛痘は牛から人間に感染する能力が低く、感染しても重篤な病気を起こさなかった。ジェンナーはこれを発見し、1776年から1789年にかけて牛痘乳を接種した人々を調査し、1789年に牛痘に感染した人々の死亡率が天然痘に感染した人々の死亡率よりも低いことを示した。この結果は、牛痘乳が天然痘の予防に有効であることを示した。

ミオスタチン (myostatin) /別名 GDF-8 :Growth Differentiation Factor-8)

筋肉増殖の負の制御因子としての機能を担う。ミオスタチンは主に骨格筋で合成され、骨格筋の増殖を抑制する。



ヒトが宇宙環境を克服して、宇宙で健康的な生活ができるようになるためには、倫理的観点からも十分な思考をしながら研究を続けていく必要がある。

<2023年5月20日のニュース>

中国の軍事研究所がクマムシの遺伝子をヒトの胚性幹細胞に組み込む実験に成功との報道 「超人兵士」実現が近いのか



工場の作業員とヒト胚性幹細胞に組み入れたところ、ヒト胚性幹細胞はクマムシの遺伝子になったことが分かった。さらに、遺伝子発現による、実験された細胞の寿命には変化は見られず、細胞は正常に増殖し、また特定の免疫細胞では一部の幹細胞よりも長く生存したという。

最強生物「クマムシ」の遺伝子を人間の幹細胞に挿入する遺伝子実験を中国の軍事研究チームが実行、核攻撃の放射線に耐性を持つ「スーパーソルジャー」開発へ



中国の軍事研究所がクマムシの遺伝子をヒトの胚性幹細胞に組み込む実験に成功との報道 「超人兵士」実現が近いのか

4.1.2. 第2回宇宙医学講義スライド集

2023.10.11. (水) 京都大学
有人宇宙医学講義90分間

宇宙酔い

ヒトの平衡バランス機能と重力変化

野村泰之
日本大学 医学部 耳鼻咽喉・頭頸部外科学分野



COI：開示すべき利益相反はありません

宇宙航空環境医学会、昨年2022年。

2022年11月24、25日
大会長：日本大学耳鼻咽喉科 野村泰之 @渋谷

第68回 日本宇宙航空環境医学会大会
上を向いて

2022.11.24(土)・25(日)
会場：渋谷区立産業総合研究所 大会場

特別講演
野村泰之 (日本大学医学部)
Dr. Akihiko Nakamura (NASA Johnson Space Center - Combined Behavioral Sciences (CBS) Project Scientist (CBS))
高中国行先生 (大阪大学)
Prof. Yoon-Hyung Park (NASA Johnson Space Center - Human Research Program, NASA Johnson Space Center, NASA Johnson Space Center)

シンポジウム：宇宙酔いから宇宙酔い - 野村泰之

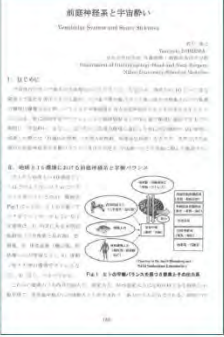
宇宙酔い〜めまい

宇宙航空医学に関する教科書もあります

Introduction to Aerospace Medicine
宇宙航空医学入門
監修 佐藤 昌
日本宇宙航空環境医学会・宇宙医学研究センター編集委員会
藤田 真敬



前庭神経系と宇宙酔い
Translation: Shigeru and Masayuki Nakamura



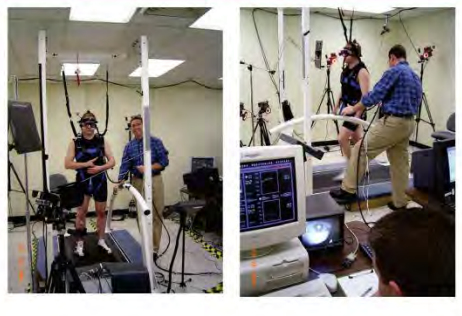
宇宙医学実験研究にまつわる話題

～宇宙酔いはなぜ生じるか？～

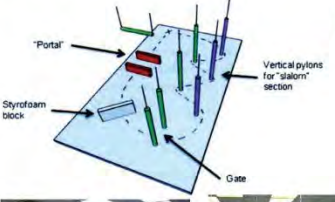
1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間認知失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



宇宙飛行士たちの平衡バランス失調対策



長期宇宙滞在前後の姿勢歩行動態

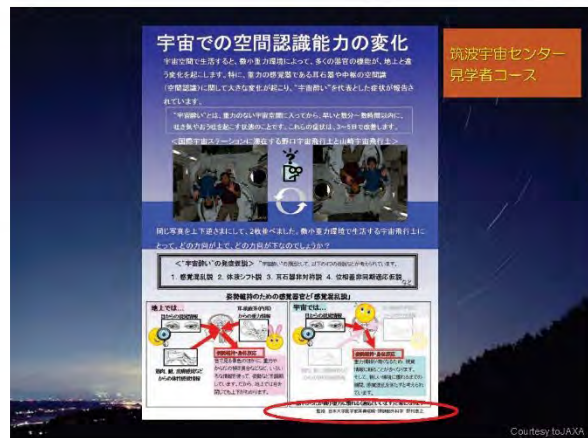




Michael Fincke 飛行士



カリフォルニア
本部 ワシントンDC
他にも全米各地に多くの施設
ヒューストン ジョンソン宇宙センター
フロリダ ケネディ宇宙センター



1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間認知失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



内耳の前庭平衡器 = 三半規管・耳石器



三半規管を調べるカロリック検査：バラニー博士



Dr. Robert Barany
(1876-1936)

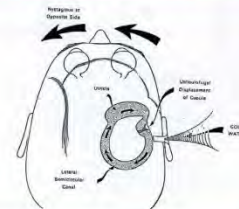
ウィーン大学に勤務
耳垢洗浄中に眼振に気付いた



Figure. Illustration from Barany's 1907 book showing his caloric test. (a) Collection basin, (b) rubber bag for injecting the water, and (c) inflatable rubber bag for injecting the water.

Baloh R et al. Neurology 55:1094-1098, 2002

カロリック検査など平衡前庭機能で1915年に
バラニー博士がノーベル医学生理学賞を受賞



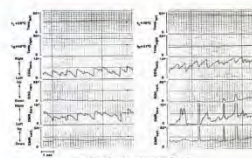
温度差による三半規管内の
リンパ液の対流は重力による
比重差で生じるもの



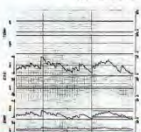
1915年 ノーベル
医学生理学賞

HFSchulze: Pathology of the Ear p136

スペースシャトルのカロリック実験で
眼振が出現してしまった！



1980年代ESAスペースシャトル内での
カロリックテストで眼振が記録された



温度変化によるリンパ液の容積変化？
受容器細胞の電気応答変化？

従来の定説 ⇒ 異重力環境研究 ⇒ 新事実解明

Reinhardt R. et al. Science 225: 100-103, 1984

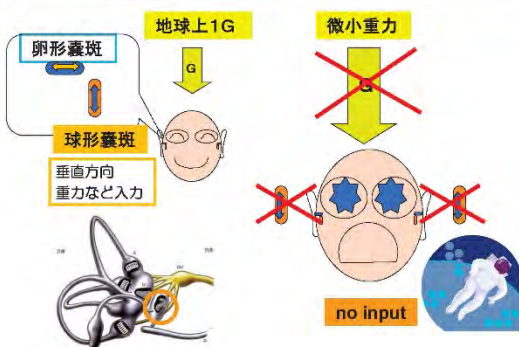
三半規管（前・水平・後半規管）と耳石器（球形嚢と卵形嚢）



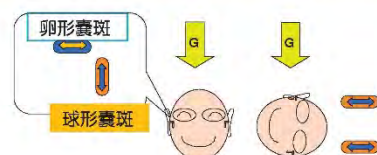
Otoconia(otolith)

耳石器

耳石器はいつも重力を頭上から受容している



地上で耳石器への重力方向を変えて実験してみよう



重力方向の変換に対して内耳前庭系は適応するのか？

地上研究としての「傾斜実験」や「ベッドレスト」

地上での模擬微小重力研究

JAXA筑波宇宙センター

以前は「NASDA：宇宙開発事業団」

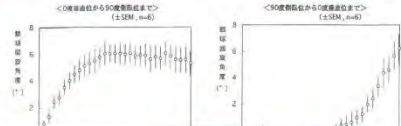


Tsukuba Space Center (TKSC)

The convergence of knowledge and experience from various fields is being developed in a national environment.



内耳への重力方向を変えた実験研究、 耳石器の話



内耳傾斜で耳石器の経時的な適応現象を確認

前研究「他」 日経医療新聞

内耳への重力方向を変えた実験研究、 耳石器の話：ベッドレスト研究

7日間ベッドレスト実験による視運動性眼振反射の計測



1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



火星へ



Mission to MARS

Photo: JAXA

月・火星の重力下での平衡機能測定

可変重力研究実験

従来の宇宙研究と重力値：

- 地球上の1G環境での研究実験
- ベッドレスト等の模擬微小重力環境の作成
- 地上での遠心重力装置による過重力環境の作成

1G

- 航空機弾道飛行（パラボリックフライト）による微小重力環境の作成

μG

- スペースシャトルや宇宙ステーション
地球周回軌道上の微小重力環境

μG

火星 = 0.38 G
月 = 0.17 G



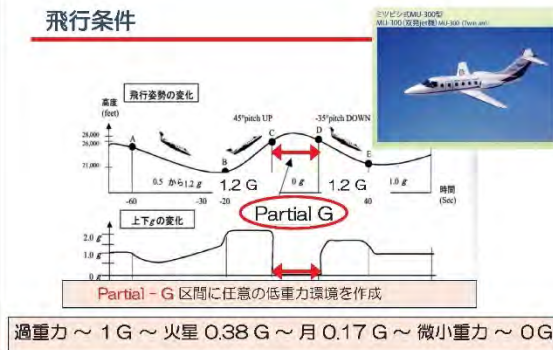
パラボリックフライト（弾道飛行）

日本では名古屋空港（三菱重工機：DAS）の利用のみ。
名古屋空港から離陸して海上空域で行動・実験する。



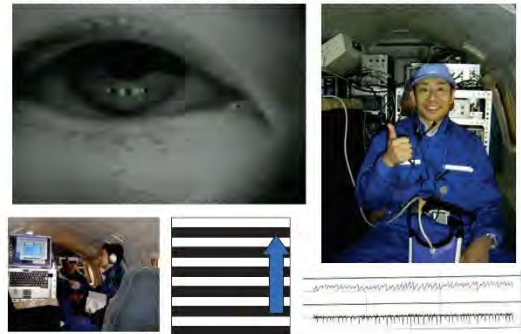
- 小型機（MU-300）と中型機（G-2）があるが、作成できる無重力時間は同じ（約25秒間）。
- NASAではジャンボ機やエアバス機等大型機を用いているが約30秒間という条件は変わらない（物質の自由落下時間は同じなので）

飛行条件

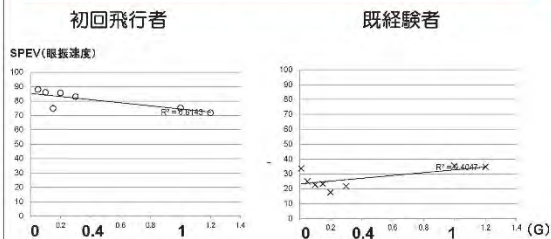


月・火星重力環境での前庭機能測定

重力変化への球形囊反応を垂直視運動性眼振で測定



可変重力値と相關する耳石器応答を認めた



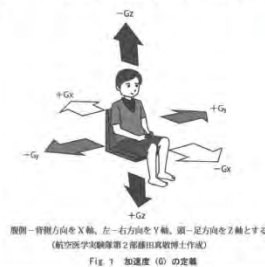
0.1 G以下で身体が浮く ⇒ どこかに重力閾値がある？
⇒ 視運動性眼振の応答に閾値変化は認めず、相關していた。

1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間識失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



重力下での空間識失調

(過重力・加速度刺激と適応障害)

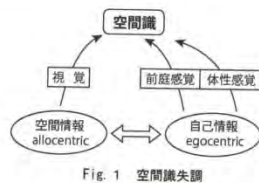


身体認知の経験値 (重力の規定下)

重力・加速度の変化

空間識失調

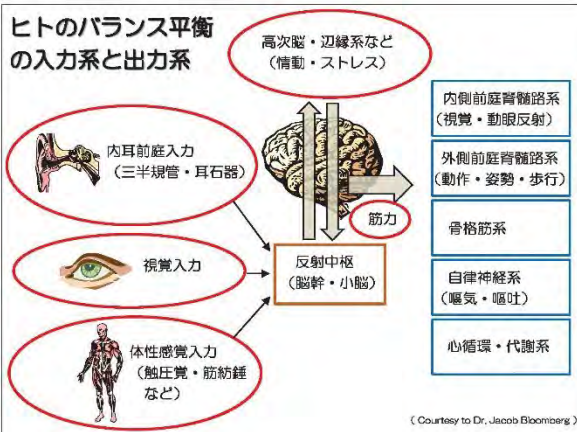
動揺病 (乗り物酔い、船酔い、宇宙酔い、
シミュレーター酔い、VR酔い、等)



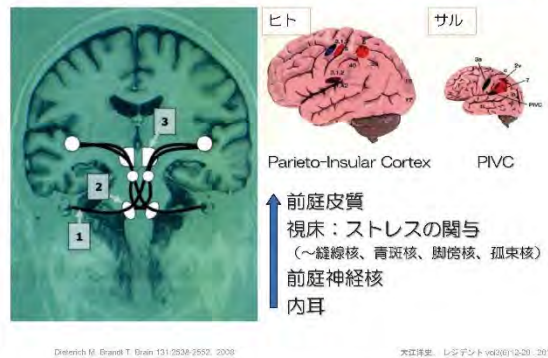
1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間識失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



ヒトのバランス平衡の入力系と出力系



酔いやすさ、めまいには中枢の感受性も関与



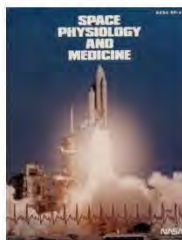
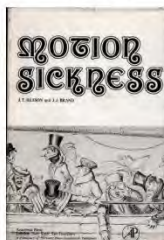
1. NASAの紹介、筑波宇宙センター見学コース
2. 前庭平衡器と地上実験
3. 月・火星探査時代と飛行実験
4. 空間認知失調
5. 身体平衡の維持
6. 宇宙酔いと抗動揺病、帰還後症候群
7. 地上医学へのスピノフ



宇宙酔い

～酔いの歴史

ヒポクラテス（紀元前5世紀）に船酔いの記載
nausea = ギリシャ語の「船酔い」が語源



「船酔い」から、究極の乗り物酔いである「宇宙酔い」の時代へ

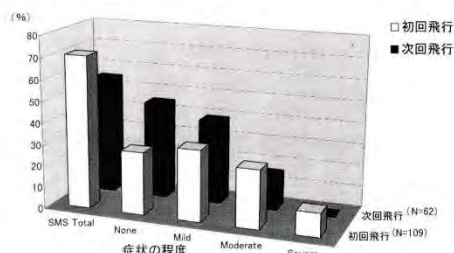
Space Physiology and Medicine : 4th edition



宇宙酔い罹患率：初回飛行士7割、2回目以降は減少

スペースシャトル36フライト171名：全体で65%の罹患率

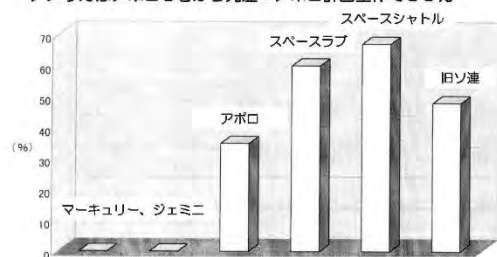
- ・初飛行109名の71%、それらの2回目以降（62名）では55%
- ・重症度：severeは初回飛行では11%だが、2回目以降では0%



宇宙船の大型化に伴って宇宙酔い罹患率は上昇

船内で動き回ると増悪しがち。

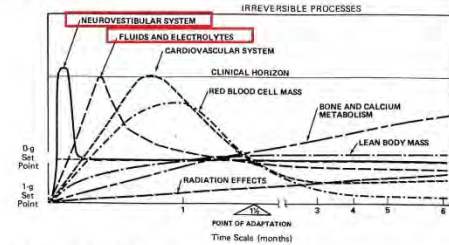
初報告：チトフ（旧ソ連2人目の飛行士・ポストーク2号）
アメリカはアポロ3号から発症：アポロ計画全体で35%



微小重力環境への曝露による様々な生体変化

宇宙酔いの多くは初期の数時間～4、5日でおさまる。

その発症には前庭平衡系の変化に加えて、体液シフトの関与が考えられる。



1 G ⇒ μG (微小重力環境曝露時)

Space Physiology and Medicine (Hogerman & P. 1982)

宇宙酔いの特徴・その3「いきなり嘔吐しがち！」

体液シフトの影響・ムーンフェイス

消化管運動の変化

嘔吐中枢への信号伝達変化、等々が示唆される



宇宙酔いの特徴

- ・微小重力環境に入った初期に発症する。
数時間から数日でおさまることが多いが長期間に及ぶこともある。
- ・嘔気から嘔吐に至ることが多く地上に比べて嘔吐を生じやすい。
- ・座席など身体や頭を動かさずにいると発症しにくい。逆に、空間内を動き回ると発症しやすい。
- ・地上の動揺病よりも発症率が高く、初回飛行のほうが発症しやすく飛行回数を重ねると発症しにくくなる。



宇宙酔いの成因諸説

- ・感覚混乱説
- ・体液シフト説
- ・耳石器左右非対称仮説
- ・耳石器傾斜再適応仮説
- ・位相差非同期適応仮説



等々の諸説がこれまでにあるが、単一仮説では捉えきれない複数の要因が重なることで発症するメカニズムが想定される。

宇宙酔いの成因諸説

・感覚混乱説

微小重力環境に突入後の急性期における前庭、視覚、体性感覚などのミスマッチを仮説の基本におき、諸仮説の主幹となる。

他の仮説と異なり、地上1 G環境における動揺病自体の解釈も可能である。

つまり体液シフト説、耳石器諸説などでは重力のある地上での動揺病の病態を説明しきれない。



微小重力環境への対応策

Table 2. Commonly used antiemetic drugs and their mechanisms of action.	Drug Name	Mechanism of Action	Comments
Antihistamines	Diphenhydramine (Benadryl)	H1 receptor antagonism	Effective for motion sickness.
Anticholinergics	Scopolamine (Transdermal patch)	Muscarinic receptor antagonism	Effective for motion sickness.
5-HT3 antagonists	Ondansetron (Zofran)	5-HT3 receptor antagonism	Effective for nausea and vomiting.
Dopamine antagonists	Metoclopramide (Reglan)	Dopamine receptor antagonism	Effective for nausea and vomiting.
Antagonists	Antagonists	Antagonists	Antagonists

Williams D, et al. CMAJ 2009.

宇宙酔い、前庭機能系低下への対応策

打ち上げ前

バーチャルリアリティ訓練、パラボリック飛行、航空機訓練、制吐薬

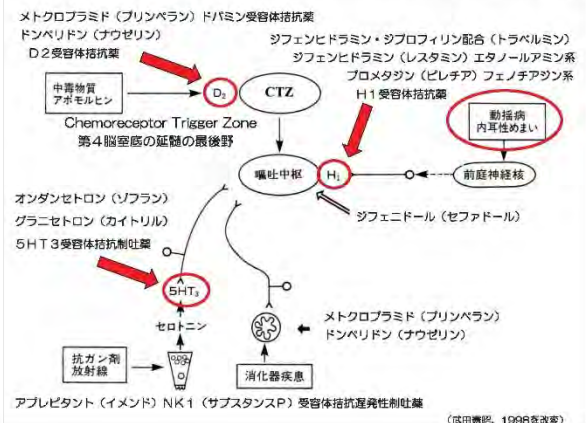
宇宙滞在中

制吐薬 (promethazine, scopolamine)
dextroamphetamine
運動負荷

帰還後

制吐薬静注、補液、平衡リハビリテーション

Williams D, et al. CMAJ 2009.



(成田善昭, 1998年改定)

本邦の乗り物酔い止め市販薬（合剤が多い）

トラベルミン®各種	適応： 最小5歳～成人 剤型： 錠、液、速溶錠、チュアブル錠など 成分： クロロフェニラミンマレイン塩塩、スコボラミン臭化水素酸塩水化物、ジフェンヒドラミンサリチル酸塩、ジプロピリン、無水カフェイン、ピリドキシン塩塩塩（VB6）、塩酸メクリジン、などの組み合わせ
センバア®各種	適応： 最小3歳～成人 剤型： 錠、液、速溶錠、チュアブル錠など 成分： クロロフェニラミンマレイン塩塩、スコボラミン臭化水素酸塩水化物、などの組み合わせ
アネロン®	適応： 最小5歳～成人 剤型： カプセル 成分： マレイン酸フェニラミン、アミノ安息香酸エチル、スコボラミン臭化水素酸塩水化物、無水カフェイン、ピリドキシン塩塩塩（VB6）、などの組み合わせ
マイトラベル®	適応： 最小5歳～成人 剤型： 錠 成分： サリチル酸ジフェンヒドラミン、ジプロピリン、などの組み合わせ

文野引用のため商品名のみ表示。 （野村幸之、2022）

あれ？「抗ヒスタミン薬」って花粉症の薬にも使うよね？

めまい用の抗ヒスタミン薬は
脳血液関門を通して脳へ。

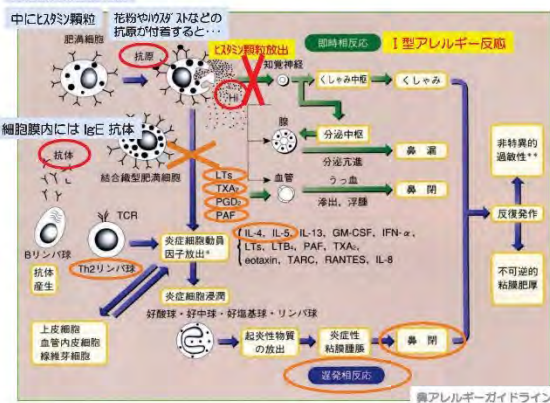
制吐作用に加えて
眠気による鎮静も有用な効果。

BBB

しかし花粉症薬は
眠気の無い方が良い。

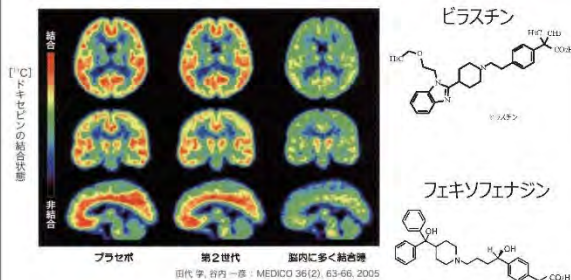
第2世代抗ヒスタミン薬

鼻粘膜内の記憶細胞



抗ヒスタミン薬：鼻アレルギーとしては脳内移行を減らす

第2世代はカルボキシル基やアミノ基等の付加で分子量を増加



「日本医事新報」2022年発行 Webコンテンツ

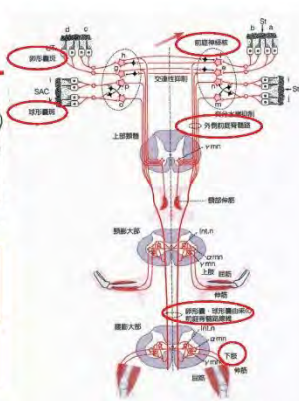
わかりやすい！重症度別
花粉症治療薬の使いわけ

微小重力では全身の姿勢等にも変化



重力入力には前庭神経路を介して全身姿勢反射と歩行に関与している

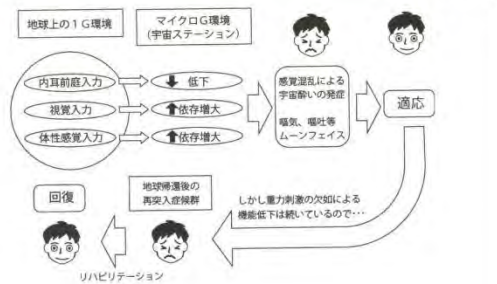
微小重力では屈筋優位になり猫背姿勢となる



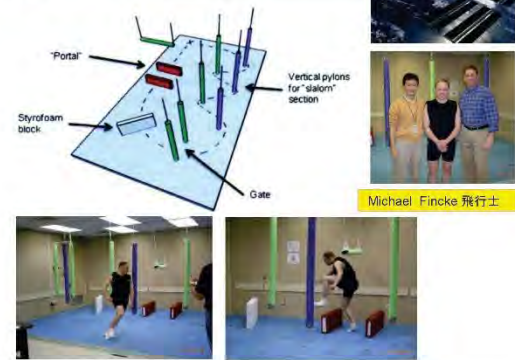
帰還後（再突入、再適応）症候群



帰還後（再突入、再適応）症候群

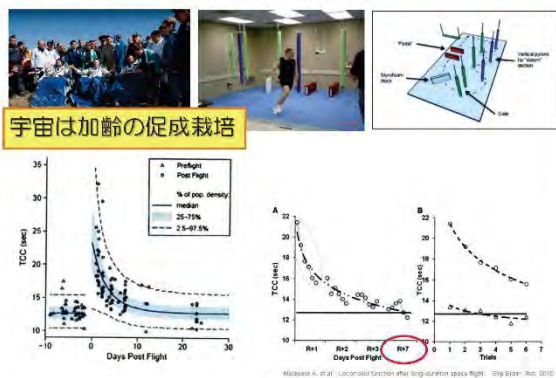


長期宇宙滞在前後の回復経過



Matsumoto A. et al. / Locomotor function after long duration space flight. Acta Astronaut. 2015.

長期宇宙滞在前後の回復経過



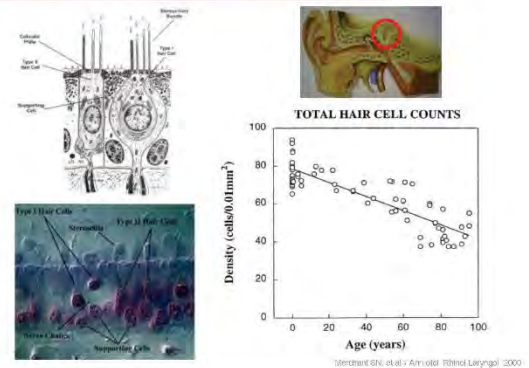
おわりに：

では、宇宙医学をどう地上医学に活かすか？
スピンオフの話：高齢者めまいバランスの改善

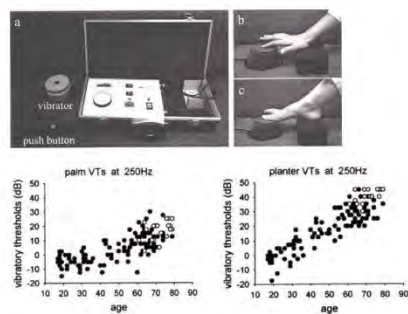
高齢者のめまいバランス障害 (加齢性平衡障害)

進行増悪するだけのこの病態に
前庭神経路から介入できないか？

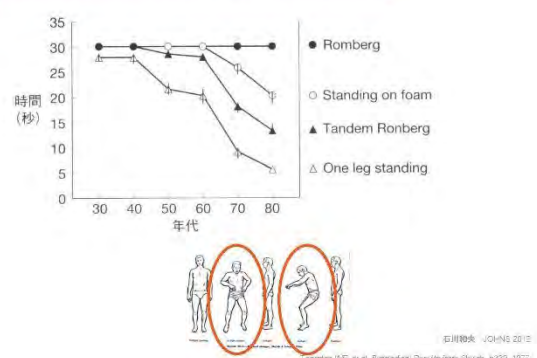
内耳・前庭有毛細胞の加齢による減少

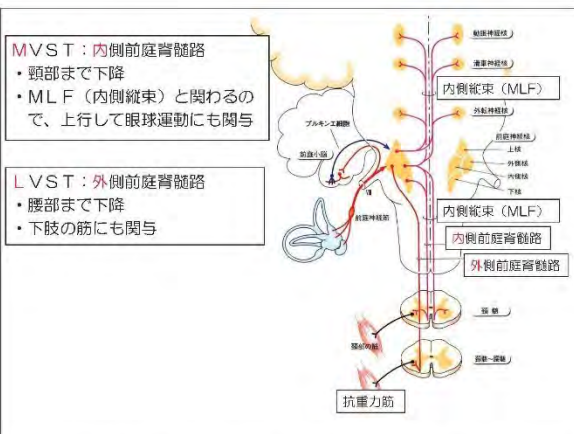


体性感覚・振動覚の加齢変化



起立平衡機能の加齢変化





高齢者のめまいバランス障害 (加齢性平衡障害)



進行増悪するだけのこの病態に
前庭神経路から介入できないか？

頸部3方向による内耳（内側前庭神経路）の運動療法

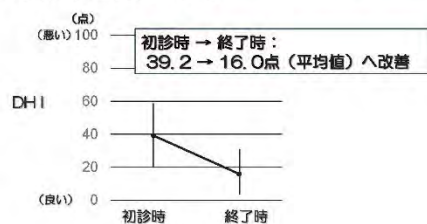


静的運動による外側前庭神経路の運動療法

ウツカターサナ（ヨガの「椅子のポーズ」） ：下肢筋力、感覚入力



- ・内訳：男2例、女9例 平均年齢73.1歳
- ・検討期間：1～25か月（平均 8.2か月）
- ・DHI (Dizziness Handicap Inventory) めまい質問票を用いて介入前後の主観的評価の改善を認めた



Time Flies. 少年老い易く、学成り難し



- ・Cradle 揺りかご
- ・赤ちゃんを抱っこで揺らす



電車やバスの車中での居眠りなど、そもそも「揺れ」はヒトにとって心地よいものである。

しかし乗り物やジェットコースターなどの加速度刺激が苦手な人もいる。

それでは「快」と「不快」の分岐はどこにあるのか？

「前庭感覚の混乱による情動不快」が関与？

ご清聴ありがとうございました



4.1.3. 第3回宇宙医学講義スライド集

東京慈恵会医科大学 2020/10/21 京都大学宇宙総合学ユニット
大学院分野横断型講義「有人宇宙医学」第3回

宇宙医学・生命科学研究

東京慈恵会医科大学細胞生理学講座
宇宙航空医学研究室

暮地本宙己

自己紹介

北海道出身

1999年3月 北海道旭川東高等学校 卒業
2006年3月 旭川医科大学医学部医学科 卒業
2008年3月 札幌徳洲会病院初期研修 修了
2012年3月 旭川医科大学大学院 修了(医学博士)

2012年4月 旭川医科大学解剖学講座 助教
2017年4月 帯広畜産大学保健管理センター 特任准教授
2019年4月 東京慈恵会医科大学宇宙航空医学研究室 講師

主な資格：
宇宙航空医学認定医
日本医師会認定産業医

仕事人生における究極の目標
宇宙医学分野の領域発展に貢献し、
日本の宇宙産業を振興させること！

慈恵医大宇宙航空医学研究室

メンバー

南沢孝教授

暮地本宙己 谷端淳助教

・ 慈恵医大宇宙航空医学研究室は昭和40年4月に開設され、日本の医学部で最古の50年以上の歴史を持つ宇宙医学研究施設である。
・ 重力制御装置を用いた模擬微小重力実験や、宇宙滞在した動物の解析を行っている。
・ 京都大学宇宙総合学ユニットと連携して宇宙人材育成を行っている。
・ 宇宙に行くとき生体に何が起こるのかを研究・解明することを使命としている。

宇宙医学とは

「普通では生命維持不可能な環境」へのヒトの滞在・活動をサポートする**極限環境医学**の一分野。

1903年 ライト兄弟の動力機初飛行(航空医学)
1953年 ヒラリーのエベレスト初登頂(高地医学)
1961年 ガガーリンの有人宇宙初飛行(宇宙医学)
1965年 アルゼンチン軍南極点到達(極地医学)

宇宙医学は宇宙空間における諸条件(微小重力や放射線(宇宙線)、船内閉鎖環境など)が人体・生命に及ぼす影響を解明し、
宇宙飛行士の有人宇宙活動を総合的にサポートする学問である。

臨床医学・産業医学(作業環境・健康管理) 基礎医科学研究

宇宙医科学を学ぶために

宇宙生命科学入門
宇宙航空医学入門

Space Physiology and Medicine

・ **宇宙生命科学入門**：宇宙生物実験について網羅的に、非常に分かりやすく書かれている。最もオススメ。
・ **Space Physiology and Medicine**：宇宙医学・生理学について系統的に学べる。手元に置き、隙を縫って学びたい一冊。
・ **宇宙航空医学入門**：日本の宇宙医学の学会である日本宇宙航空環境医学会刊行の教科書。航空医学に多くのページが割かれているが、宇宙医学についても学ぶことができる。

宇宙環境の特徴

宇宙環境の特徴：微小重力

重力がない環境では.....

無対流 無浮遊 無沈降

・ 微小重力下では「無対流」、「無浮遊・無沈降」のほか、「無静水圧」、「無容器浮遊」を加えた4つの効果が作用する。

宇宙環境の特徴：宇宙放射線

名称	素粒子	電荷	発生の特徴
α線	ヘリウム原子核	2+	
β線	電子(陽電子)	- (+)	不安定な素粒子が壊れ安定な素粒子になるときに発生する
γ線	光子	なし	電子の運動にブレーキがかかったときに発生する
中性子線	中性子		核分裂、核反応など

宇宙放射線の種類

・ 宇宙空間では太陽系からの放射線(太陽粒子線)や太陽系外からの放射線(銀河宇宙線)が存在する。
・ 地球の磁場で捕捉された放射線が赤道上空を帯状に取り囲む(ヴァン・アレン帯)。
・ 地表とISSでの放射線量は100-200倍程度の差がある。



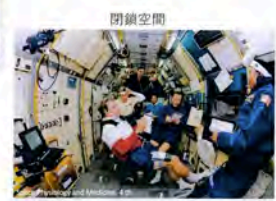
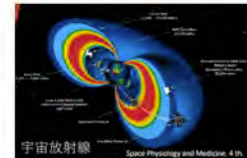
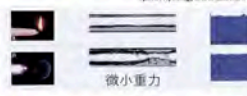
宇宙環境の特徴：閉鎖空間



- ISSなどの宇宙環境は、地上と隔絶されている。
- 事故や障害のリスク、対人関係などのストレスが非常に高まる。
- 閉鎖環境における微生物汚染・感染症の問題もある。



宇宙で生命科学研究する意義

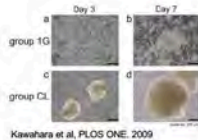


- 宇宙空間は物理的・心理的に大きく地上と異なる環境にある。
- 宇宙に滞在している宇宙飛行士の健康管理のために、基礎的知見となる基礎医学研究が必要。
- 宇宙空間へのアクセスが非常にハードルが高く、研究の絶対的な数が少ないため未知の部分が多い。→**新天地を開拓した人に向いた領域**である。



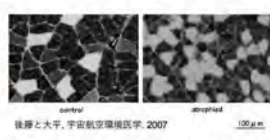
宇宙医学を社会に還元する

- 現在の宇宙医学は、宇宙飛行士の健康管理・作業環境管理を主眼に置いている。
- 現実的には**宇宙に滞在可能な人が宇宙飛行士にのみ限られている**ため、宇宙医学は地上でできる（大勢の）人々に直接には役立たず、産業への波及効果も小さい。
- 微小重力で起こる現象や生理変化を、再生医療へ応用したり、老化現象と比較し介入することで社会への貢献が試みられている。



Kawahara et al, PLOS ONE, 2009

例1:
地上よりも微小重力環境で幹細胞が効率的に細胞塊を形成できることに注目し、人工臓器形成法を開発することで**再生医療**に役立てさせる。



後藤と大平, 宇宙航空医科学, 2007

例2:
宇宙滞在による微小重力環境への曝露と、加齢による骨格筋の廃用性萎縮(サルコペニア)の類似性に注目し、宇宙での筋萎縮分子メカニズムを検討して**サルコペニア防止**に役立てさせる。



なぜ今、宇宙医学の推進が必要か



現在の日本の宇宙政策

宇宙基本計画の概要			
① 宇宙開発の推進 ② 宇宙利用の推進 ③ 宇宙産業の推進 ④ 宇宙教育の推進	⑤ 宇宙医療の推進 ⑥ 宇宙環境の推進 ⑦ 宇宙文化の推進 ⑧ 宇宙外交の推進	⑨ 宇宙技術の推進 ⑩ 宇宙人材の推進 ⑪ 宇宙施設の推進 ⑫ 宇宙データの推進	⑬ 宇宙産業の推進 ⑭ 宇宙サービスの推進 ⑮ 宇宙インフラの推進 ⑯ 宇宙セキュリティの推進



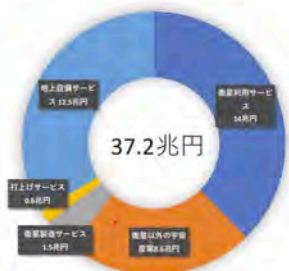
宇宙産業の歴史

宇宙開発の主な潮流	世界各国の動き	世界産業界の動き	日本の動き
① 米ソ中心の宇宙開発競争 ② 宇宙利用の国際プロジェクト ③ 欧米の産業化加速	欧：社会インフラとしての開発 欧：産業化の推進 新興国参加による多様化	国営・地域企業の誕生 巨大企業グループの誕生 ベンチャー・異業種参入	宇宙開発体制構築 ロケット・産業開発と有人宇宙 宇宙開発利用拡大

- 宇宙産業の構造は約60年間で大幅に変化している。



宇宙産業の加速：New Space



(2017 SIA State of Satellite Industry Reportより)

- 2017年の世界宇宙産業市場規模は約37兆円で、**10年間で倍増**している。
- 2030年頃までに**70兆円**に到達する予測となっている。
- 宇宙産業における消費者向けサービスが近年台頭している。



宇宙産業の加速：New Space

	企業向け	消費者向け
深宇宙 (月・火星・小惑星)	深宇宙探査・開発	宇宙旅行や宇宙ホテルなど
地球近傍宇宙	衛星インフラの構築 軌道上サービス (微小重力実験など)	
地上から宇宙へ	宇宙へのアクセス (ロケットや宇宙機の開発・製造・打ち上げ)	
地上	衛星および衛星データ活用 (IoTを通じた産業デジタル化への貢献)	

- 2017年の世界宇宙産業市場規模は約37兆円で、**10年間で倍増**している（内訳は宇宙へのアクセスと衛星活用が多い）。
- 宇宙産業における消費者向けサービスが近年台頭している。



宇宙産業における医学の位置付け



Space Medicine in the Era
of Civilian Spaceflight
N Engl J Med. 2019;
380: 1053-60.

*既に7名の民間人宇宙
旅行者が存在すること
が明記されている。

民間人宇宙飛行における宇宙医学上の留意点：

- ・事前の既往歴把握
- ・打ち上げ時の宇宙酔い
- ・食欲・栄養状態の変化
- ・腰痛の増悪
- ・尿閉
- ・骨密度低下
- ・宇宙飛行関連神経眼症候群（SANS）
- ・フライト中の心理的ストレス
- ・フライト中の限られた医療資源
- ・インフォームドコンセントを含む法的課題

宇宙医学は、宇宙飛行士に限定された領域から一般社会に直接貢献する領域へ進化途上にある。



今後、宇宙医学に求められること

1. 宇宙飛行士の作業環境管理・健康管理。
2. 宇宙環境が生体細胞に与える影響の基礎研究成果を地上の医学に還元・応用する。
3. 宇宙に滞在・活動する**民間人の診療・保健**。

宇宙医学は、地上の医学と同様に、一般人に直接的に必要な医学へと進化すると考えられる。



本日のまとめ

1. 将来的に、宇宙医学・生命科学領域の社会的重要性が増し、領域も拡大することが予想される。
2. 自身の専門技術や独自性を身につける。
3. 様々な分野の人との出会いを大切に、チャンスをつかむ。