

4.2 岐阜医療科学大学での宇宙医学講義シラバス



岐阜医療科学大学

ヘルプ

シラバス管理

講義名	環境医学概論		
〈副題〉	4M		
開講責任部署	保健科学部臨床検査学科		
講義開講時期	前期	講義区分	講義・演習
基準単位数	1	時間	15.00
代表曜日		代表時限	
校地	岐阜医療科学大学 関キャンパス		
実務経験のある教員による授業科目（○/×）	○		
科目概要・必修/選択	専門基礎分野 保健医療福祉と臨床検査・選択		
対象学科・年次	臨床検査学科 4年		
ナンバリングコード	HM_INS_HCW_3_05		

担当教員

職種	氏名	所属
教授	◎ 田中 邦彦	薬学部 薬学科

授業概要	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・相違点等）について講義・演習を行う。
到達目標	宇宙医学の基本について説明できる。
教員の実務経験	国内外において有人宇宙開発研究に従事

授業計画表

回	担当教員	テーマ	内容
第1回	田中 邦彦	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	田中 邦彦	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	田中 邦彦	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	田中 邦彦	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	田中 邦彦	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	田中 邦彦	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	田中 邦彦	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	田中 邦彦	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。

学位授与の方針との関連性	関心・意欲 知識・理解 態度 思考・判断 技能・表現
準備学習の内容	事前：該当部分をネット検索する。（2時間） 事後：必ず当日に復習する。（2時間）
成績評価基準	宇宙医療科学を適切に理解し、説明できることを評価基準とする。
成績評価方法	定期試験（筆記）100%
課題へのフィードバック等	定期試験終了後に質問があれば受け付けます。
学生へのメッセージ	医療関係者の視点から有人宇宙開発を理解してほしい。
オフィスアワー	各学期ごとに掲示板にて連絡する
教科書	特になし
参考書	指定しない

ウインドウを開く

4.3 ベッドレスト成果発表資料

反復内耳前庭系電気刺激は 模擬微小重力による姿勢調節機能変化を抑制する。

Repetitive galvanic vestibular stimulation depresses
postural control deconditioning during simulated microgravity.

田中邦彦¹, 杉浦明弘¹, 榎田雄大¹, 丹羽政美¹, 渡邊恒夫¹, 萩生翔大², 寺田昌弘²

Kunihiko Tanaka¹, Akihiro Sugiyama¹, Yudai Umeda¹, Masami Niwa¹, Tsuneo Watanabe¹,
Shota Hagio², Masahiro Terada²

¹岐阜医療科学大学 大学院保健医療学研究科 ²京都大学 宇宙総合学研究所

¹Gifu University of Medical Science, Graduate School of Health and Medicine

²Kyoto University, Unit of Synergetic Studies for Space

ABSTRACT

Exposure to **microgravity** or weightlessness environment causes deconditioning for the human body, especially for the cardiovascular, motor, and vestibular system. The **vestibular system** and the related function is highly **adaptive**, and thus even short term exposure can change the function before the other function is affected. In the present study, we hypothesized **repetitive galvanic vestibular stimulation (GVSt)** could depress the deconditioning in postural control via the vestibular system.

12 healthy young subjects were exposed to simulated microgravity, i.e., **6 degrees of head-down bed rest for 10 days**. This study was approved by the Institutional Review Board of Gifu University of Medical Science, and written informed consent was obtained from all participants. For 6 subjects, GVSt of amplitude-constant white noise was applied for 10 min a day, every day (**Stim**). The amplitude was set at 0.1 mA below somatosensory threshold. The other 6 subjects determined the threshold but was not stimulated (**Cont**). Before and after bedrest, posturography was performed. The subjects stood barefoot on a foam rubber placed on the stabilometer to interrupt the somatosensory inputs, and with their eyes closed to block the visual inputs. They maintained an upright position with their feet together. The center of pressure was measured and recorded continuously at a rate of 20 samples/s for 60s. Trajectory length (Length) and envelopment area (Area) was analyzed.

After bedrest in Cont subjects, both Length and Area were significantly increased, compared with those before bedrest. However, those were **not changed significantly** in Stim subjects. The GVSt is considered to be able to use as **countermeasure** for vestibular deconditioning due to microgravity environment.

Background

① Adaptation and deconditioning in microgravity condition

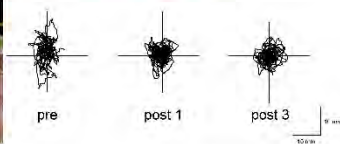


- Space travel is expanding to civilian populations in addition to trained astronauts.

Exposure of human body to microgravity condition, various alterations are induced.

- Especially, **vestibular** and the related functions are highly adaptive, and the alteration is observed from a very early time.

② Daily Galvanic Vestibular Stimulation (dGVSt) + Posturography



- GVSt or electric stimulation for the vestibular nerves has been used for research of vestibular related function. Recently, we found that applying subsensory (0.1mA below somatosensory threshold) GVSt 10 min/day for a week improves postural sway.

Hypothesis and Purpose

dGVSt prevents vestibular deconditioning induced by microgravity environment

1. Simulated microgravity exposure
2. With and without dGVSt
3. Posturography before and after simulated microgravity exposure

(This research is funded by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)

(There is no COI to disclose concerning this study)

Method 1: Simulated microgravity

- Healthy Male Volunteers, n = 12 (20-27 y.o., 153 – 172 cm Ht., 51 – 66 kg Wt.)

- 6 degrees of head-down bedrest for 10 days



Method 2: dGVSt

- Stim: n = 6

- Somatosensory threshold was defined before bedrest
- **Subsensory** (0.1mA below somatosensory threshold) GVSt
- The amplitude did not change during bedrest
- 10 min/day for 10 days

- Cont: n = 6

- Somatosensory threshold was defined before bedrest
- The procedures were similar to Stim subjects, but electric current was not applied.

Method 3: Posturography

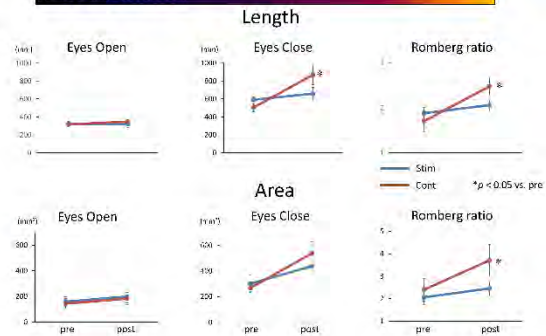
- Center of gravity trajectory measurement (Takei Instruments) + foam rubber (ANIMA)

- Eyes Open
- Eyes Close
- 1 min
- Before (pre) and after (post) bedrest

- Analysis

- Trajectory length (Length)
- Sway area (Area)
- Romberg Ratio (Eyes Close/Eyes Open) for Length and Area

Results and Discussion



After 10 days of bedrest, Length and Area with Eyes open, Eyes close, and the Romberg ratio did not change, compared to those in pre condition.

However, Length with eyes close and the Romberg Ratio of both Length and Area in Cont subjects increased, compared to those in pre condition.

Thus, vestibular-related posture control was declined, but **dGVSt prevented the decline**.

Eyes-related posture control and muscle function is not considered to be changed.

2023 年度宇宙医学実習全体報告会 報告資料

[illegible]

はもって大成功のかもしれない。悪魔はいろいろ目あたりにしんどくなった。先生曰く、魔がかり状態に陥ると判断が正確なはずが、
これ以外の問題については、コンピュータで解題の というハッシュの多さで、
Onsiden 12 でもリアルタイムで数値を吐き出さず、この問題集をここまで丁寧に
に読んでくたさったのは、是非ともお礼を言わねばなりません。そして、「解るこ
と」である。読者や解題者といった読者以上の分母に読者というように、解
題を解らせてみてほしい。そんな読者が、読者の目覚めを促すことができるんじやない
かと考えています。

いつか解題者になっている人、思えば前に読者解題をする読者になっていしも、こ
の読者に参加していただくことを望む人にも感謝しようと思っています。

4.5 NASA 研究者によるセミナーのフライヤー

宇宙医学教育プログラム セミナー

NASA研究者による Spaceflight Mission (BioSentinel, LEIA)の紹介

NASA Ames Research CenterのDr. Sergio R. Santa Mariaが来日し、京都大学でセミナーを行います。

Dr. Santa MariaはBioSentinel spaceflight missionならびにLEIA spaceflight missionのPI (Principal Investigator) であり、今回はBioSentinelとLEIA missionについて紹介していただきます。NASA研究者と直接交流できる機会ですので、ぜひご参加ください。

BioSentinel:

<https://www.nasa.gov/ames-engineering/spaceflight-division/biosentinel/>

LEIA:

[LEIA - NASA Science](#)

問合せ先:

terada.masahiro.2m@kyoto-u.ac.jp

(京都大学・宇宙総合学研究ユニット 寺田昌弘)

日時: 2024年11月26日(火) 16時~ ※

場所: 京都大学 南部総合研究1号館・医研1号館 1階セミナー室

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

(オンライン配信あり)

※ Dr. Sergio R. Santa Mariaの到着時間によっては、セミナー開始時刻が遅れる場合があります。



Sergio R. Santa Maria
Research Scientist

参加登録はこちらのQRコードから



Biography

- NASA Principal Investigator, BioSentinel spaceflight mission (2019-Present)
- NASA Co-Principal Investigator, LEIA spaceflight mission (2022-Present)
- NASA Space Biology Principal Investigator, ORGANA: Oxidation-Reduction potential and Genetic Assessments for New mission Applications (2020-Present)
- NASA Space Biology Principal Investigator, Acquisition of beneficial mutations through adaptive evolution under simulated microgravity (2020-Present)
- NASA Project Scientist, BioSentinel spaceflight mission (2014-2019)

宇宙×医学 ワークショップ

宇宙にヒトは住めるのか？ －宇宙に最も近い大分の高校生と考える－（仮）



NASAによる月面探査計画や民間人の宇宙旅行、人類の宇宙での活動領域が急速に拡大する中で、今後重要になる宇宙での医学について、専門家の先生方をお招きして講演会・ワークショップを開催します。

日	時	令和7年2月20日（木） 10:25 ～ 12:15
会	場	大分舞鶴高校 視聴覚教室



講師 徳丸 治 氏
(大分大学福祉健康科学部教授)

防衛医科大学卒業後、航空自衛隊、宇宙開発事業団宇宙医学研究開発室医長、東京女子医科大学などを歴任し、平成28年から現職。
令和3年からは大分大学減災・復興デザイン研究センター兼任、令和4年からは同校クライシスマネジメント機構兼任



講師 寺田 昌弘 氏
(京都大学宇宙総合学研究ユニット特定准教授)

大阪大学大学院生命機能研究科修了後、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、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、NASA Ames Research Center等での勤務を経て、平成30年より現職。

主催：大分県商工観光労働部先端技術挑戦課、大分県教育庁高校教育課
共催：国立大学法人京都大学、国立大学法人大分大学

宇宙×医学ワークショップ

宇宙に人は住めるのか？ —宇宙に最も近い大分の高校生と考える—

2025年2月20日（木）・2月21日（金）

京都大学宇宙総合学術ユニット
京都大学理学研究科サイエンス連携探索センター宇宙学術研究グループ
寺田 昌弘

自己紹介

2009年3月： 大阪大学大学院生命機能研究科 修了
2009年4月～2014年3月： JAXA研究員
2014年4月～： 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
2014年10月～2017年9月： NASA Ames Research Center 留学
2017年10月～2018年3月： 東京慈恵会医科大学 復職
2018年4月～： 京都大学宇宙総合学術ユニット 兼任



JAXA・向井研で



NASA Ames Research Centerで

専門は宇宙医学

宇宙医学とは？

宇宙空間における人体の生理的変化とその対応策、病気の予防、宇宙環境を利用した病気の治療、宇宙空間における人間の生活設計などを対象とする医学。（大辞林）

人間が宇宙空間で生命を維持し、人体を防御する際に遭遇する諸問題を、医学的、心理学的、生理学的あるいは生化学的に研究する学問。（世界大百科事典）

宇宙医学の目的

宇宙の環境が健康にどのような影響があるかを研究して、健康が害されるメカニズムをつきとめ、対策を生み出し、それらの影響を最小限に抑える努力を行って宇宙飛行士の健康と体力を維持することが「宇宙医学」の目的です。（JAXA HPより）

宇宙飛行士の健康管理

宇宙環境を利用した医学研究

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）
1965年 アルゼンチン東南極点到達（極地医学）
1961年 ガガーリンの有人宇宙初飛行（宇宙医学）



© JAXA

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協力的にサポートする学問である。

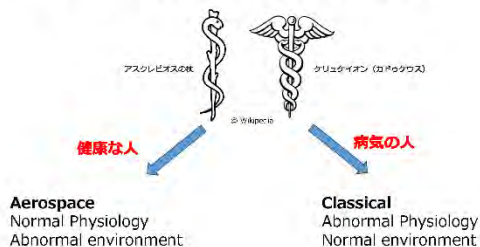


基礎医学研究

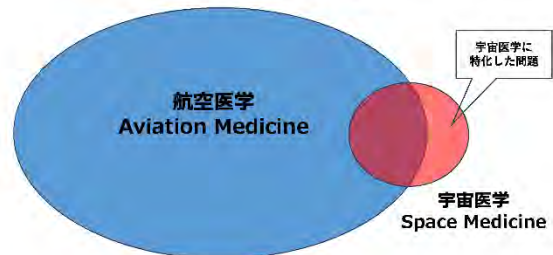


臨床医学・産業医学（作業環境・健康管理）

航空宇宙医学と臨床医学はどう違うのか？



航空宇宙医学 Aerospace Medicine



Flight Surgeon 航空宇宙医師

フライト・サーजन(FS)とは地上と宇宙を往還し宇宙空間に滞在する飛行士（旅行者）の健康管理に携わる、宇宙医学の知識を有する専門医のことである。もともと航空機に乗ることを職業とする人が、航空環境で身体に受ける身体的・心理的影響を研究する領域を航空医学といい、その専門医をFSと称したが、航空パイロットの数が多く、また早くから有人宇宙飛行に取り組んできたアメリカでは、すでに100年近い歴史がある。

© 航空医協



© Official United States Air Force Website



© NASA

NASA Johnson Space Centerのクリニック

At flight medicine clinic, astronauts get fixed before they go to space



© Haeckel Creative

NASA JSCの製剤師



© Pharmaceutical Journal

How Tina Bayuse became the first pharmacist at NASA

After leaving a pharmaceutical research group in space, Tina Bayuse thought there might be a role for pharmacists in the space programme. She now runs the pharmacy at Johnson Space Center in Houston, Texas.

宇宙に行くため（宇宙飛行士になるため）の求められる資質が問われ、選抜・訓練を経て「宇宙飛行士」が誕生

- ・ストレス耐性
- ・協調性
- ・健康体
- ・専門能力
- ・言語能力
- ・宇宙に行きたい！



厳しい選抜試験・長い訓練期間

↓

宇宙飛行士

© JAXA

1. JAXA宇宙飛行士採用経緯

宇宙飛行士に転職だ。



採用年度	採用人数	採用職種	採用年齢
2017年度	12名	宇宙飛行士候補者	20歳以上27歳以下
2018年度	12名	宇宙飛行士候補者	20歳以上27歳以下
2019年度	12名	宇宙飛行士候補者	20歳以上27歳以下
2020年度	12名	宇宙飛行士候補者	20歳以上27歳以下
2021年度	12名	宇宙飛行士候補者	20歳以上27歳以下

© JAXA

「与圧ローバによる月面探査に関する文部科学省と米航空宇宙局の実施取決め」への署名

2024年4月10日（日本時間）、盛山正仁文部科学大臣とビル・ネルソンNASA長官との間で、「与圧ローバを使用した月面探査に関するアメリカ合衆国航空宇宙局と文部科学省の間の実施取決め」が署名されました。

本実施取決めでは日本は有人と与圧ローバの提供の役割を担います。また、日本人宇宙飛行士2名の月面活動機会が規定されています。




© JAXA

宇宙飛行士の軌道上滞在中の精神心理対策

週1回宇宙飛行士専門の医師であるフライトサージャン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。

ストレス問題を語るときは、「第3・4半期が要注意！！」

↓

宇宙ではストレスコーピング（ストレス発散法）が限られている

宇宙（閉鎖環境）での感染症対策

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、隔離室で生活する（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。

精核については、血液検査でチェックする。

UAE astronauts to be quarantined ahead of historic launch

Mohammed bin Zayed and his wife Alia bint Al Hussein will be the first to board the historic mission to the International Space Station (ISS) on May 15, 2021.



宇宙での感染症対策も重要 寺田弘弘氏
ソフィア 寺田が文化放送

© JAXA

宇宙環境で生じる生理的影響への対策（主に筋・骨）：

<飛行前>

軌道上滞時に生じる筋・骨萎縮や有酸素能力の低下に対して、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

- ・打ち上げ1年前から体カトレーニングが開始される
- ・週3回、1日2時間（準備・ストレッチ30分、心肺運動45分、抵抗運動45分、片付け・着替え30分）の運動をする

<飛行中>



西6日、1日あたり2.5時間（準備・ストレッチ30分、心肺運動45分、抵抗運動45分、片付け・着替え30分）の運動をする

© JAXA

ISSにある運動機器：

トレッドミル（TVIS）（米） 自転車エルゴメータ（CEVIS）（米） 自転車エルゴメータ（露）



改良型エクササイズ装置（ARED）（米）を使用した運動



© JAXA

ペンギンスーツ



© NASA

© ITSP

スーツに弾力バンドがついており、弾力によって体に負荷がかかる

軌道上での運動

1

帰還後のリハビリテーション

①有酸素運動

エルゴメータ/トレッドミルなど

②ウォームアップ・動的ストレッチ

頸部・体幹の前後屈・側屈・回旋

自重スクワット

動的ストレッチ

③抵抗運動

マシントレーニング

フリーウェイトトレーニング

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

山田 整形外科 災害外科 62(6): 705-712, 2019より一部改題

mobalanceception:
mobile+balance+ception
環境に適応するために前庭・体性感覚系の情報を統合し、移動性、バランスに関する機能の向上をはかる運動

④ファンクショナルトレーニング

メディシンボールエクササイズ

ラダー/コーン/バー

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

動的ストレッチ

有酸素運動

自転車エルゴメータ から開始し、トレッドミルへ移行



今般整形外科クリニック
<https://imakiire-sc.jp/>

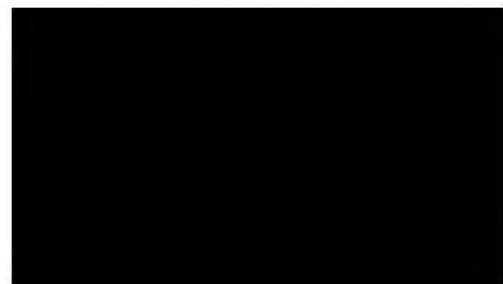


AlterG



<http://www.alterg.com/>

帰還後のリハビリテーション



これまで行われてきた地上・宇宙実験

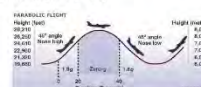
地上での模擬宇宙環境実験

<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

模擬微小重力暴露実験の実施

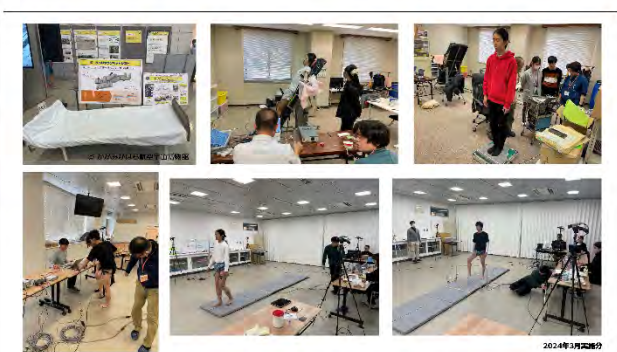
ベッドレスト実験は、被験者が6週間仮位に長期臥床することにより、宇宙滞在で生じる筋骨の萎縮、体液シフト変化、骨密度・血液成分への影響を模倣し、宇宙滞在の人体影響を事前に予測する機会となる。

2024年3月7-18日にベッドレスト実験を実施。
6名の健康な男性被験者が10日間寝たきりの状態で過ごした。

実験で生活→実験後が変化（変化の影響）
実験で下へ向ける（心臓・血管への影響）
実験で下へ向ける（心臓・血管への影響）
実験で下へ向ける（心臓・血管への影響）

実施予定項目：
運動量と心拍数測定
脳電図（FreeEMG1000）
骨密度測定（DEXA）
心電図（Einthoven's Lead II）

会場：和歌山県立大学 看護学科



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 日間滞在、従来の最長記録を3日以上更新

ヒトは宇宙：ロシアの宇宙飛行士がISSで15日間滞在し、従来の最長記録を更新した。

地球の生き物は宇宙でも大丈夫か？

宇宙で育つ植物、動物、微生物の成長を監視する装置が、ISSで実験された。

生まれてすぐの卵はかえ！
生まれて少し地上に置いてみる

重力が無いと生き物にどのような影響があるか？

ニワトリはちゃんと生まれるか？

地上の卵：卵の殻が硬くなり、呼吸ができる。

宇宙の卵：卵の殻が柔らかくなり、呼吸ができない。

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) のようになっているから

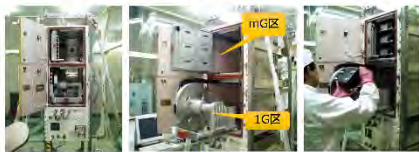
「きぼう」の概要

主要構成要素：
船内実験室：4.4m×11.2m×2.2m（内部）
船外実験プラットフォーム：4.4m×4.2m×5.6m（内部）
船外実験プラットフォーム：5.0m×4.0m×5.6m（外部）

船内実験室：4.4m×11.2m×2.2m（内部）
船外実験プラットフォーム：4.4m×4.2m×5.6m（内部）
船外実験プラットフォーム：5.0m×4.0m×5.6m（外部）

船内実験室：4.4m×11.2m×2.2m（内部）
船外実験プラットフォーム：4.4m×4.2m×5.6m（内部）
船外実験プラットフォーム：5.0m×4.0m×5.6m（外部）

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



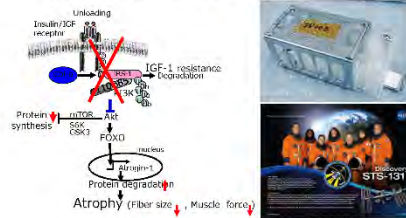
Biological Experiment Units (BEUs)
CEU, PEU, MEU, V-MEU04機種。外観はほぼ同じ。
CEU (Cell Experiment Unit): 細胞培養に特化したユニット
PEU (Plant Experiment Unit): 小規模培養実験用。カメラ搭載。
MEU (Measurement Experiment Unit): CBEFとのインターフェースを持つマルチ対応ユニット。V-MEUはカメラ搭載。

(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日後に筋内成長因子(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：キンギョの培養ワロコを骨のモデルとした解析

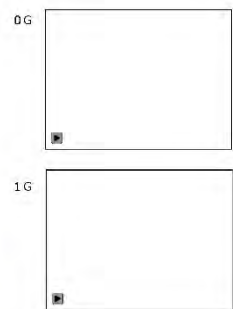
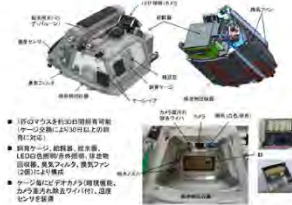
代表研究者 金沢大学 鈴木健雄准教授

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

概要 キンギョの再生ワロコを宇宙で3日間培養し、地球帰還後に組織活性測定・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



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



大きさはおよそ1mm程度

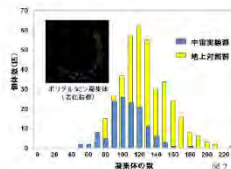
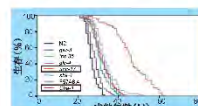


宇宙へ行く前



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はよく理解されていない。
夢では、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。

夢で実現が示された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 new 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, Ret.)
Credits: NASA



Mark Kelly (NASA astronaut, Ret.)
Credits: NASA



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っていく

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！



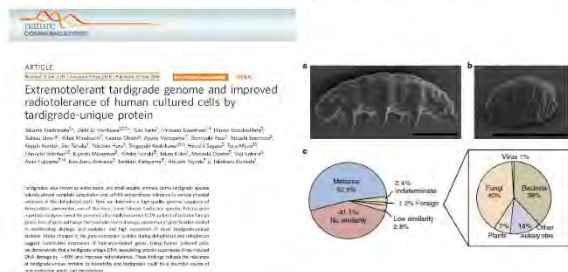
一番大きな懸念事項は??

宇宙放射線！！！！



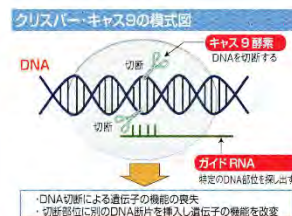
宇宙放射線から防御する方法を考える必要がある！！

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???



遺傳子改變技術：

2020年ノーベル化学賞受賞



クリスパー・キャス9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「キャス9」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挿入することで遺伝子を改変する。

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幹細胞に組み込む実験に成功との報道 「超人巨大」実現が近いのか



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

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幹細胞に組み込む実験に成功との報道 「超人巨大」実現が近いのか

月面から見た地球

Thank You

宇宙での生活（現状）

宇宙での生活：宇宙飛行士だって一人の時間が欲しい？



宇宙での楽しみ



みんなで楽しくお食事会



現在の国際宇宙ステーションの宇宙食



宇宙のトイレと尿の再処理



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



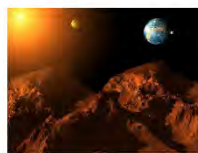
民間主導の月探査
Blue Origin Blue Moon

火星移住計画



2016年民間宇宙ステーションに荷物を運ぶ宇宙船を帰降した初の民間企業SpaceX社のイーロン・マスクCEOが、火星に1人あたり10〜20万ドル（約1100〜2200万円）で100万人を送り込むという構想を明らかにした。

2012年マーズワン（オランダの民間宇宙開発団体）は、2025年までに、人類初の火星移住をしようとしている。オランダの企業家、バース・ランズドルプ氏が代表。その計画は、片道飛行で火星に行き、定住しようというもの。
 ・2013年4〜9月に火星への移住候補者を募集。世界中から20万人の候補者。
 ・2013年12月に、1055人と選んだ。
 ・2015年2月、100人に絞られた。
 ・2016年9月に、24人が選ばれた。
 ・2016年以降に、数人で火星に打ち上げ予定。（2年毎6回）連続して2018年にまず着陸を成ることに・・・
 ・2025年に、最初の4人を火星に移住。
 ・その後、2年ごとに、4人ずつ増やしていく予定。



惑星の環境を改造して地球のように住もう (テラフォーミング)



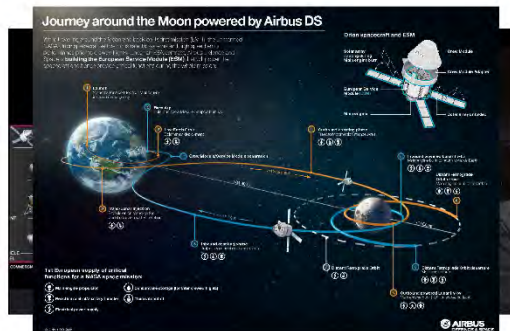
火星を温暖化するキュロスラディ（想像図）
 火星の土壌に水が生まれる（2013年撮影）

火星の気温を太陽熱や温室効果を利用して上げる。
 水の二酸化炭素や水の氷を溜める。
 植物による二酸化炭素の吸収と酸素の生産。



シアロバクテリア（らん菌）の利用
 らん菌は、寒いところでも生きられ、酸素を発生させる。地球と同じように光合成をし、生息地を持つ。地球上へ生命が移した火星に移植し、生命を維持して大気中に酸素を生産し、地球と同じように住めるようにしている。

300年〜1000年後？



民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中

民間人の宇宙滞在が進行中



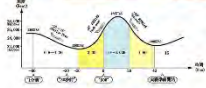
Space X Twitter



初の人間宇宙飛行に成功

©TXNニュース（テレビ東京）

宇宙で手術は可能か？

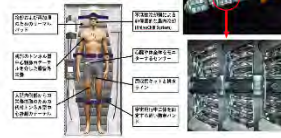


バラボリックフライトを利用した微小重力下での腫瘍摘出手術に成功した。

冬眠してもっと遠くへ、まずは火星に



2014年、NASAが2030年の火星有人ミッションに「人工重力」を活用するための技術開発を開始を発表。
2016年、NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC) プログラムで人工重力のアイデアがフェーズⅡに入り助成金。
食料、酸素などの生命維持物資の少量化や、**低重力下や宇宙空間で作業するためのトレーニング設備などの施設スペースを省く**直接的なコスト削減に大幅なコスト削減につながる。



NASAが計画するスペースワークス社が開発した人工重力の計画では、「サイノ・チル・システム」と呼ばれる方法が検討されている。重力を発生させる方法は、6時間かけて林道を31.7km×33.9kmに入らせ、外壁から円柱を削り、壁は削りながら円柱の中心になるが、内側が冷やしていくことが重要で、**壁に穴を空けよう**。冬場中は壁に穴を空けた点滅から周囲を照らす。壁の穴は徐々に穴に入れた穴が円筒的に剥離。剥離した後の**空室は全面壁で覆われる**。夏場は、冷気を送り、約7〜8時間かけて円筒と外壁の間に空気を通せるようにする。スペースワークスは2018年から実験施設を創設して、短期的に人体実験をしていく予定のようである。




宇宙×医学ワークショップ

宇宙にヒトは住めるのか？ —宇宙に最も近い大分の高校生と考える 健康管理編—

徳丸 治, MD, PhD, MPH

国立大学法人大分大学
福祉健康科学部・大学院福祉健康科学研究科・医学系研究科・クライシスマネジメント機構

令和7年2月20日(木)・2月21日(金)
大分県立大分県立高等学校・国東高等学校

自己紹介

- 1964 京都府宇治市生まれ
- 1983 京都府立宇治高等学校 卒
- 1990 近畿医科大学 卒
- 1990-1999 航空自衛隊 (第8航空団, 米空軍上級航空医学課程, 航空医学実験隊)
- 1999-2002 宇宙開発医官 (現・JAXA) 医長
- 2020- 大分県立大分県立高等学校 教員
- 2020- 国東高等学校 教員



自己紹介

特異なこと

- 逆の順序に学位を取得
 - 博士 (東京女子医大, 2000)
 - 修士 (University of Texas, 2002)
 - 学士 (放送大, 2008)
- 軍・民両方の航空医学課程を履修
 - 航空自衛隊 航空医官課程 (1992)
 - アメリカ空軍 上級航空医学課程 (1995)
 - テキサス大学・NASA 航空宇宙医学課程 (2001)

宇宙ってどんなところ？

- 微小重力 (無重量)
- 高真空
- 宇宙放射線
- 温度 (>200 ~ -100°C)
- 閉鎖環境
- 異文化交流・異文化共存



©NASA

宇宙開発の初期は「生存」が課題

- 生きて帰ること自体が任務
- 生命維持と安全確保に必要な最低限の技術
- 「宇宙医学」= 宇宙飛行士の生存の確認
⇒ 心電図のモニター

宇宙環境へのヒトの適応

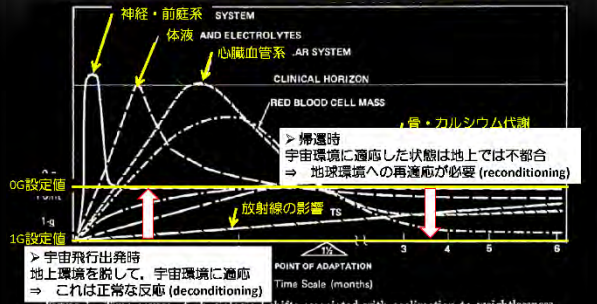


Figure 1. Time course of physiological shifts associated with acclimation to weightlessness

宇宙に最初に行った人類

- ユーリ・ガガーリン (ソ連)
ボストーク1号, 1961年4月12日 (108分間)
「地球は青かった」?
初期の宇宙飛行士は、ソ連軍のテストパイロットから選抜
- アラン・シェパード (アメリカ)
マーキュリー3号, 1961年5月5日 (15分28秒)
アイゼンハワー大統領の命令により、軍のテストパイロットの中から選抜



Mercury Seven

現在でも

- NASA宇宙飛行士候補生10名のうち (2021年採用)
 - 軍人5名 (うちパイロット3名)
 - 科学者4名
- NASAテストパイロット1名 (元・海兵隊テストパイロット)



宇宙飛行士の健康管理は 軍のパイロットの健康管理が原型

- NASA
 - ✓身体検査は軍とほぼ同じ
 - ✓空軍・海軍軍医がNASAに出向
- ロシア
 - ✓空軍施設で飛行士を養成
 - ✓空軍軍医が健康管理を担当

それ故に航空自衛隊から
宇宙開発事業団に移り、
宇宙飛行士の健康管理に
携わることができた

宇宙飛行士の特性

- 厳しい教育訓練
- 厳しい労働環境
- 養成に時間と費用がかかる

⇒ ミッションを成功させることが重要

宇宙飛行士の健康管理

- 一般的な職場で働く人の健康管理の目的
 - ✓健康状態の把握・継続的観察
 - ✓疾病・異常の早期発見と事後措置
 - ✓就業の可否の判断
 - ✓適性配置・職場適応の確認
- 宇宙飛行士の健康管理の目的
ミッションを成功裡に完遂するために、
 飛行士の身体的・精神的状態を最良に保つこと



宇宙飛行士の選抜（医学選抜）

- 目的：宇宙飛行士として適切な医学・心理学的適性を有した候補者の選抜
 - 優秀な宇宙飛行士になるであろう者を選ぶ
 - 訓練を完遂できる可能性が大きい者を選ぶ
 - 任務を成功裏にやり遂げる可能性が大きい者

医学選抜の流れ（JAXA, 2022）

- 0次選抜
英語試験，一般教養試験
- 1次選抜
医学検査，特性検査
- 2次選抜
医学検査，面接等
- 3次選抜
最終候補者による1週間の閉鎖環境隔離試験

志願者 2260名

↓
205名

↓
50名

↓
10名

最終合格者2名

年次医学検査

- 年に一度実施
- 実施場所：
筑波宇宙センター／NASAジョンソン宇宙センター
- 航空自衛隊の航空身体検査と基本的に同じ
 - 循環器：12誘導心電図，負荷心電図，血圧
 - 呼吸器：胸部X線，呼吸機能
 - 消化器：内視鏡，腹部超音波
 - 眼科：視力，色覚，視野，眼底
 - 耳鼻咽喉科：聴力，喉頭鏡，平衡覚
 - 血液検査：生化学，血球，感染症，内分泌
 - 泌尿器科・婦人科
 - 歯科

不適格疾患

- 宇宙飛行や訓練の遂行に支障をきたす状態を生じさせる恐れのある疾患
- 宇宙飛行や訓練により増悪する可能性のある疾患
- 上記疾患の危険因子

⇒ 宇宙飛行士として不適格

（例：高血圧，不整脈，気管支喘息，糖尿病，がん，嚙歯）

医学認定

- 宇宙飛行士候補者であるための必要条件
 - ✓医学的な適性がないと、課程を履修できない
 - ✓特殊な訓練時には、臨時の健康診断
- 候補者が宇宙飛行士に認定される際の必要条件
- 宇宙飛行士としての身分を保つための必要条件
- 特定の飛行ミッションに任命されるための必要条件

医学認定



医学認定がなければ、宇宙飛行士の業務に従事できない

参考：自衛隊や民間航空のパイロットも
技能証明 + 航空身体検査証明 がないと飛行業務に従事できない

危険を伴う訓練

例

- 船外活動訓練（潜水）
- 低圧室飛行訓練（低圧低酸素）

事前の健康診断と
医師による立会い



危険を伴う訓練

- サバイバル訓練



宇宙飛行時の健康管理



飛行時の健康管理体制（NASA）

- 主治医制度
 - 2名の担当医が任命される（Crew Surgeon, CS）
 - 搭乗員の任命時から、訓練、飛行、飛行後まで一貫して医学的側面を支援
 - 飛行中は、管制チームの一員として、ミッションを支える
 - 日本人飛行士が搭乗する場合，“J-CS”がNASA-CSと共に支援にあたる

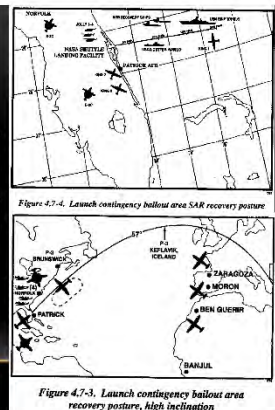
健康安定プログラム Health Stabilization Program

- 打ち上げ直前の搭乗員を“隔離”
- 感染症の予防が目的
 - ✓アポロ13号
- 家族の面会は可能
- 屋外のランニングも可能



打ち上げ時

- 健康状態の最終チェック
- 救護所に待機
- 米空軍・海軍も救難体制



飛行管制業務

- ・ ミッション管制センター（ヒューストン）
 - ・ 医学データを常にモニターしている訳ではない
 - ・ 船内環境モニター
 - ・ 空気組成／気圧／気温
 - ・ 水／汚物
 - ・ 放射線



ジョンソン宇宙センター（テキサス州ヒューストン）

宇宙酔い

- 初回飛行の67%
- 2回目飛行の46%
- 打ち上げ後数分から数時間で出現
- 症状
 - 頭痛、倦怠感、上腹部不快感、食欲不振、吐気、突然の嘔吐

(Davis et al., 1988)

宇宙酔い

- 2日目までに症状のピークを迎え、平均36時間までに急激に症状が消失
 - ・ 古川聡飛行士は1週間続いたという
 - ・ 金井宣茂飛行士は全く酔わなかった
(元・海上自衛隊医官、船酔いはするらしい)
- 職業宇宙飛行士 < 科学者宇宙飛行士
 - 女性 < 男性
 - 2回目 < 初回 (全て有意差はなし)

(Davis et al., 1988)

宇宙酔いの病因

- 体液シフト説
 - ・ 体液シフトによる頭方向への体液の移動
 - ・ 宇宙酔いにおける「突然の嘔吐」が頭蓋内圧上昇時の嘔吐と似ていることから提唱
- 感覚葛藤説／神経ミスマッチ説
 - さまざまな感覚情報による空間認識の不一致
 - ・ 前庭感覚と視覚の不一致
 - ・ 前庭感覚内の不一致

体の感覚が変化する

無重力の宇宙で、寝ようとくつろいで目を閉じると、自分の手足がどこにあるのか分からなくなる。



飛行3時間前
目を閉しても上下左右を区別できる

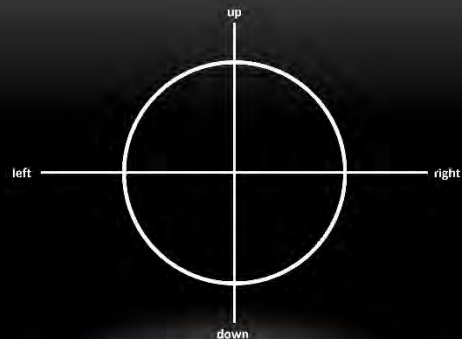


宇宙飛行中
目を閉じると上下左右を区別できない



帰還2週間後
目を閉しても上下左右を区別できる

(Money & Cheung, 1991)



(Money & Cheung, 1991)

「宇宙」
何度かある
無重力」
向井千秋

宇宙では地上では難しいことが
簡単に出来るが、
逆に地上で簡単に出来る着地が
宇宙では出来ない。

船外活動 (宇宙遊泳)





高く上がると空気は薄くなる

- 地表 760mmHg (1気圧)
- 機内与圧: 2,000 m相当 (600mmHg, 0.79気圧)
- 富士山頂: 3,776 m, 480 mmHg (0.63気圧)
- 10000m (10km) 199mmHg (1/4気圧)
- 40,000 ft (12 km): 141 mmHg (0.19気圧), 加圧呼吸
- 50,000 ft (15 km): 87 mmHg (0.11気圧); 肺内はCO₂ (40 mmHg)と水蒸気 (47 mmHg)で占められる
- 19000m (19km) 47mmHg (0.06気圧)
⇒ 生存のためには宇宙服が必要 (体液が沸騰)
- 30000m (30km) 8.2mmHg (1/100気圧)
- 100km: 宇宙との境 (Strughold, 1951)
- 200km 1.02 × 10⁻⁶mmHg: 空気抵抗無視できる
- 700km 2.50 × 10⁻¹⁰mmHg: 分子の衝突は不可

酸素濃度が低下すると，どうなるだろう？

酸素分圧の低下 ⇒ 低酸素症
⇒ 脳機能の低下 ⇒ 意識消失 ⇒ 死亡

25,000 ft (7,620 m) で酸素オフ

1 / 3 気圧の空気で呼吸すると

低酸素症体験用紙

氏名	NO	年齢	性別	TUC	区分
1000-999-998	997 996 995 994 993 992 991 990	899 898 897 896 895 894 893 892 891 890	799 798 797 796 795 794 793 792 791 790	699 698 697 696 695 694 693 692 691 690	599 598 597 596 595 594 593 592 591 590

598 枠に収まらず，計算も誤りだけに

高度25,000 ft (7,620 m)

(航空自衛隊)

では，酸素マスクさえあれば宇宙遊泳ができるだろうか？

気圧が低くなると

- 高度が高くなると，気圧が低くなる
- 気圧が低くなると，水の沸点が下がる
 - ・ 海水面: 100°C
 - ・ 富士山 (3776 m): 87°C
 - ・ エベレスト(8850 m): ≈70°C
- 地上19 km: 37°C
⇒ 体の中の水 (体液) が沸騰!

©JASDF

- 宇宙遊泳するためには宇宙服を着て，体全体を加圧する必要がある
- もしこれをしなければ，体の中の水が沸騰 (体液沸騰症)

高真空

宇宙飛行と気圧

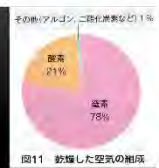
- スペースシャトル：1気圧
ソユーズ：1気圧
国際宇宙ステーション：1気圧
- 宇宙服の中は0.3気圧、100%酸素
⇒ 酸素は十分にある
体液も沸騰しない
- しかし、宇宙服を着て直ぐに
宇宙船の外に出ることはできない



高真空

減圧症

- 空気：O₂（21%）とN₂（78%）
体中の組織にはN₂ガスが溶けている
- 気圧が低くなると、溶けられなくなる
⇒ 体の中に窒素の気泡が出現：**減圧症**
 - ・ 関節の中に泡が出現 ⇒ 関節痛
 - ・ 皮下に泡が出現 ⇒ 皮膚掻痒感、痛み
 - ・ 血管に出現 ⇒ 空気塞栓
 - ・ 神経を泡で圧迫 ⇒ 麻痺
 - ・ 重篤な場合、死亡することもある



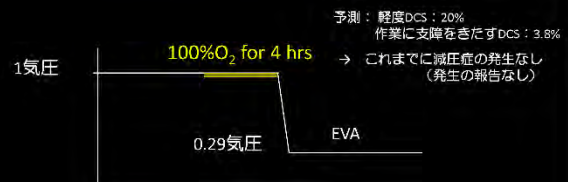
高真空

窒素の泡ができないようにするには

- 体の中に窒素ガスがあるから泡ができる
⇒ 事前に窒素を追い出しておけば安全
- 船外活動前に100%酸素を吸って
体中の窒素を追い出す（脱窒素、prebreathing）
- 問題：その間、何もできない！

高真空

脱窒素プロトコール



高真空

(NASA)

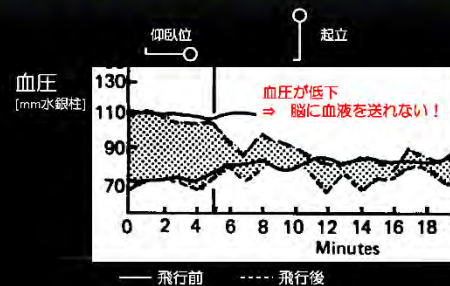
地球に帰ってくるとき...

- 地上では重力に逆らって脳に血液を送る必要あり。
- ところが、微小重量環境に順応した宇宙飛行士の循環器系（抑制された圧受容器反射など）は、重力に逆らって脳に血液を送ることに再適応していない。

脳に血液が十分に送られない
⇒ 気を失ってしまう！

無重力・血液循環の変化

地上に帰還すると（起立試験）



(Berry & Catterson, 1967)

気を失わないために

下半身を圧迫して、
血液が下半身に下らないようにしましょう！



耐Gスーツ

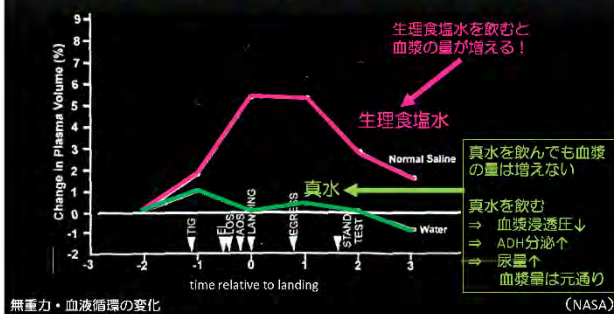
腰部、大腿、下腿で膨らむ
(50-125 mmHg)

気を失わないために

- 血液の量をむりやり増やしてやろう！
 - ・ 0.9%食塩水（生理食塩水）を1.2L飲む
（コンソメスープも可）
 - ・ 血漿が6~8%増加する
- ソユーズは、真水2L + 食塩の錠剤

無重力・血液循環の変化

生理食塩水を飲むと血漿が増える



Private Medical Conference (健康面談)

- 飛行士と主治医との間に専用回線
- 毎日1回(シャトル)
毎週1回(宇宙ステーション)
- 国際パートナー飛行士が搭乗している場合は、当該国のCSが母国語で行うこともある(船長及びNASA-CSの判断で)

家族のケア

- クルーと家族ぐるみの関係を築く
- 宇宙飛行中、副CSは家族の宿泊するホテルに常駐、サポートに当たる

飛行後の健康管理

- 次回の搭乗に備えた健康管理(飛行前と同様)
- 健康管理データベースへのデータ蓄積
- 引退後も年次医学検査を提供し、宇宙飛行の長期的影響を調査

宇宙飛行士の健康の縦断的研究 Longitudinal Study of Astronaut Health

- NASAの宇宙飛行士の死亡率、罹患率を前向きに調査
- 仮説：宇宙飛行士は地上勤務の場合とは異なる危険にさらされる
 - ✓死亡率(全体、特定の疾患別)
 - ✓罹患率(全体、特定の疾患別)
- 宇宙飛行士は
 - ✓事故による死亡率は有意に高い
 - ✓慢性疾患による死亡率は有意差なし
 - ✓同一地域の一般住民よりがんによる死亡率は有意に低い

(Hamm, et al., 2000)

航空事故

- 様々な専門家による事故調査が行われる
- 目的：事故の原因を明らかにし、問題を是正することによって、将来の事故を防止すること
- 事故の多くは、人為的なエラーが原因
 - ⇒ 医療系の専門家の役割が重要



令和6年1月2日 羽田空港

令和7年1月29日 ワシントンD.C.

事故調査講習

アメリカ空軍



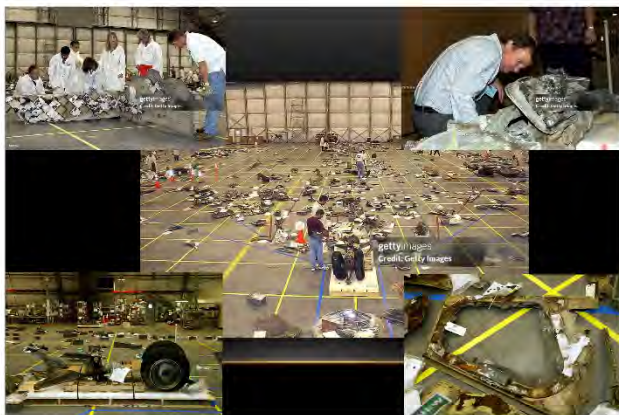
NASA



STS-107 SPACE SHUTTLE COLUMBIA



2003年2月1日 帰還時に空中分解、クルー全員が死亡



家族のケア

- 緊急事態発生時
 - 規則上は、CSは速やかに事故現場に急行、クルーと面会すると定められている
- STS-107 コロンビア事故時
 - 事故現場には別のFSを派遣
 - CSはクルーの家族のケアに従事

宇宙飛行中に病人発生！

- 誰が治療するか？
- どんな医療器材が使えるか？
- 微小重力環境での治療手技

誰が治療するか？

衛生担当搭乗員 (Crew Medical Officer)

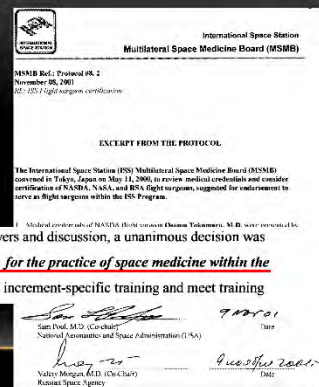
- 船長が搭乗員のなかから2名を指名。
- 医師が搭乗しているとは限らない
- 地上で約18時間の講義・実習 (ISSは60時間)
- ミッション管制センターのCSの指示により、必要な処置を行う

どこの国の医師免許が必要か

- 管制センターのある米国テキサス州の免許？
- モスクワ管制センターにはロシア人医師
- 日本実験モジュールの管制権は日本にある
⇒ モジュール内での医療行為は日本の法律による？

宇宙医学国際委員会 MULTILATERAL SPACE MEDICINE BOARD

国際宇宙ステーション プログラムでの 医療行為を認定



どんな医療器材が使えるか？

- シャトル搭載の医療キット
- 宇宙ステーション搭載の医療キット

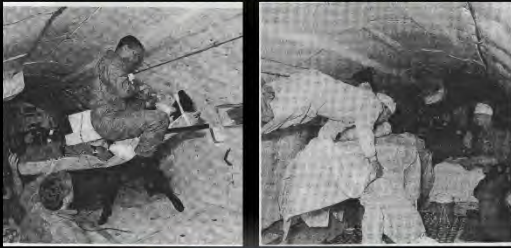


地上では基本的な処置だが...

- 宇宙船内でも同様に行えるとは限らない
- 患者の固定
- 輸液
- 心肺蘇生



体を固定しないと診察できない



(Lloyd, 1991)

診察するには、患者と医師の固定が必要



地上では
診察台に横になるだけでいいが・・・

採血はできる 出血は？



動脈性出血

静脈性出血

注射の準備ができません



重力がないと、薬の溶液と空気が分離しない

(Lloyd, 1991)

無重力での心肺蘇生



ISSで発生しうる疾病と予後の予測

- 虫垂炎（穿孔）：軌道上では生存不可能
- 3度熱傷（ $>20\%$ TBSA）：軌道上では生存不可能
- 髄膜炎：軌道上では生存不可能または起こり得ない
- 心筋梗塞：起こりうる、軌道上で生存可能
- 消化性潰瘍（穿孔）：軌道上では生存不可能
- 脳卒中：起こりうる、軌道上で生存可能

(Bacal et al., 2001)

宇宙ステーション上の医療体制のレベル

- ステーションの医療キットは、緊急帰還船で地上に帰還するまでの応急処置を想定
- 予算削減により、NASAは開発を断念
- ソユーズは患者の輸送を想定していない



→ 「ISSの医療レベルはエベレスト登山隊並み！」

1980年代～1990年代 スペースシャトル～国際宇宙ステーション

- 「生存」から「健康」へ
- どんな仕事をしたかが問われる時代
- 一定の基準を満たした科学者が宇宙で仕事
- 「仕事場は宇宙」 向井千秋（1998）



ジョン・グレン

JOHN HERSCHEL GLENN JR. (1921-2016)

- ・アメリカ人で最初の周回飛行（1962.2.20, 40歳）
- ・最高齢で宇宙飛行（1998.10.29-11.7, 77歳）



2000年代以降：ISSの時代

- 「健康」から「快適」へ
- ・長期滞在して仕事
- ・快適な環境で仕事



日本人宇宙飛行士の背景

東大	7
慶応	2
北大	1
九大	1
防大	1
防医	1
理工系	9
医学部	4
国立	9
私立	2
文部省所管外	2



国際宇宙ステーション（ISS）

- 「快適」に仕事をするために
- ・食事
- ・排泄
- ・環境
 - ✓水
 - ✓空気

労働環境管理

初期の宇宙食

- ゲルマン・チトフ宇宙飛行士（ソ連）
宇宙で初めて食事
初めての宇宙酔い・嘔吐
（ボストーク2号, 1961.8.6）
- ジョン・グレン宇宙飛行士
米国人で初めて食事
（マーキュリー6号, 1962.2.20）



マーキュリー〜ジェミニ時代の宇宙食

スペースシャトルの宇宙食

- 温度安定化食品（レトルト食品）
- 加水食品（フリーズドライ食品）
- 半乾燥食品
（乾燥フルーツ、ビーフジャーキー）
- 自然形態食（ナッツ、クッキー）
- 生鮮食品（果物、野菜）
- 放射線照射食品（ビーフステーキ）



労働環境管理

宇宙日本食



イオンドリンク（大塚製薬） サバの味噌煮（マルハニチロ） マヨネーズ（キューピー） チューイングキャンディー（森永）
しょうゆラーメン（日清） レトルトビーフカレー（ハウス） 粉末緑茶（三井製茶） 栗羊羹（山崎製パン）
トマトゲテップ（カゴメ） 白米（東亜食品） プルーンエキストラクト（三基製菓） 黒飴（ヤマザキビスコ）

労働環境管理

食事をしたら．．．

- 地上では重力で落下（大も小も）
- 無重力環境では落ちない！
⇒ 吸引する
- アメリカとロシアに1台ずつ
➢米のトイレは尿を回収
⇒ 水再生装置へ



労働環境管理

水再生装置

- 米のトイレから尿を回収
⇒ 水再生装置へ
- 蒸留して水に再生、空気中の湿度
使用済みの水と一緒にろ過／浄化处理
- 「“ミニ地球”だと実感」
(若田飛行士)



Water recovery system



尿から再生した飲料水で乾杯！

労働環境管理

飲料水

- 水は貴重
 - ・ 一人当たり1.2 L/日の飲料水
 - ・ 加水食品にも必要
 - ・ 輸送費（「こうのとりの場合」）
110億円 / 6 t ⇒ 183万円 / kg
コップ一杯の水の輸送コストは30-40万円！

労働環境管理

酸素と二酸化炭素

- 酸素
 - ・ 水を電気分解して発生させる
 - ・ 一人当たり450 L (20 mol) ⇒ 水 720 mL必要
- 二酸化炭素
 - ・ 一人当たり0.6 – 1 kg (一回換気量500 mL、呼吸数16回/分なら0.88 kg or 460 L)
 - ・ 吸着して除去
 - ✓ 除去しなければ、0.3%/日上昇（6人搭乗の場合）
10日で二酸化炭素中毒、20日で致命的

宇宙服（普段着）

- 洗濯はできない
- 下着は日数分持参
- その他は地上と変わらない服装



労働環境管理

より遠くへ：月

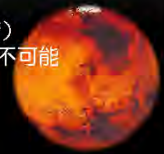
- 真空
- 重力：地球の1/6
- 宇宙放射線・太陽風
- マイクロメテオロイド
- エネルギーや食糧の調達は？



© NASA

より遠くへ：有人火星探査

- 超長距離飛行：片道6000万km（最短で）
地球からの補給は不可能、緊急帰還も不可能
- 超長期ミッション：16 ~ 36ヶ月
- 放射線被曝：>1 Sv/3年
- 重力：地球の1/3
長期無重力環境の後、立って歩くことは可能か？
- 通信に20秒の遅れ：リアルタイムの交信不可能



(Shimura et al., 2016)

より遠くへ：有人火星探査

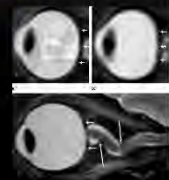
- 国際宇宙ステーションでは
 - ・ 2週間に1回の面接で心の問題を支援・評価
 - ・ 急病人に対して遠隔医療実施可能
- 火星探査ではリアルタイムの交信不可能
 - ・ 面接による心の支援や評価は不可能
⇒ クルー自らが自律的な評価が必要
 - ・ 急病人が発生しても遠隔医療は不可能
⇒ 自律（自立）的医療が必要

(Shimura et al., 2016)

宇宙飛行と視覚機能

シャトル搭乗前後のNASA宇宙飛行士に

- ・ 眼球後部の扁平化
- ・ 視神経の隆起や屈曲



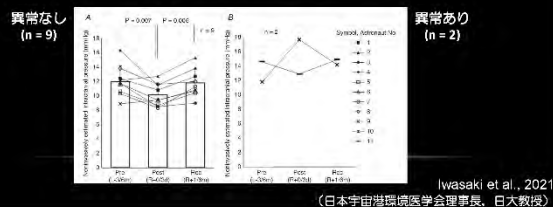
- ・ 頭蓋内圧亢進が原因と当初考えられた
(Visual impairment and intracranial pressure syndrome, VIIP)

(Kramer et al., 2012)

spaceflight-associated neuro-ocular syndrome (宇宙飛行関連神経眼球症候群, SANS)

多くの宇宙飛行士で、宇宙飛行後に頭蓋内圧は低下

- ・異常がなかった9名では全員が内圧低下
- ・異常を認めた2名のうち、1名は上昇、1名は低下



spaceflight-associated neuro-ocular syndrome (宇宙飛行関連神経眼球症候群, SANS)

- 情報の8割は視覚由来
- 国際宇宙ステーション後の有人宇宙開発
 - ・月面探査
 - ・火星探査
- 「21世紀最大のリスク」

宇宙飛行士は

- 地上とは異なる環境 (異常環境) で働く。
- 過酷な環境でも、健康で元気に働けるように世話をする医師が必要。



Flight surgeon

- flight (飛ぶこと) + surgeon: (医師)
「飛ぶことを仕事にしている人の医師」
- 宇宙飛行士や飛行機のパイロットの主治医
- 異常な環境下で働く健康な人を対象とする医師
↔ 普通環境下にある不健康な人を対象

Flight surgeon

- 航空会社
- 航空自衛隊, 海上自衛隊
- 宇宙開発 (JAXA)



宇宙に関わる仕事は 理学や工学ではありません



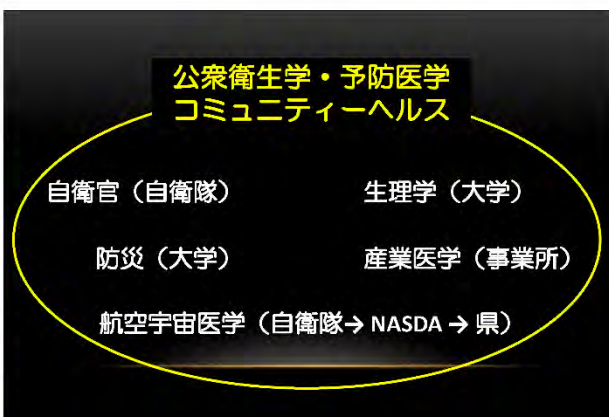
数年前までは、これで話は終わりでした

民間主導の有人宇宙開発

- ・「宇宙港大分」構想
- ・大分県と米国Sierra Space社、兼松株式会社との3者がパートナーシップを締結
大分空港を宇宙往還機 Dream Chaser®のアジア拠点として活用
- ・しかし、「宇宙渡航者」に対する健康管理の基準は未定
2021年より国際グループ (IAASS 国際宇宙安全推進協会) による検討が行われている



2024/01/24-25



今日



高校生
十年後は？



今から十年後



山崎 直子 氏
宇宙飛行士候補者に選抜（28歳時）



米田 あゆ 氏

"Failure is not an option"

“失敗という選択肢はない”

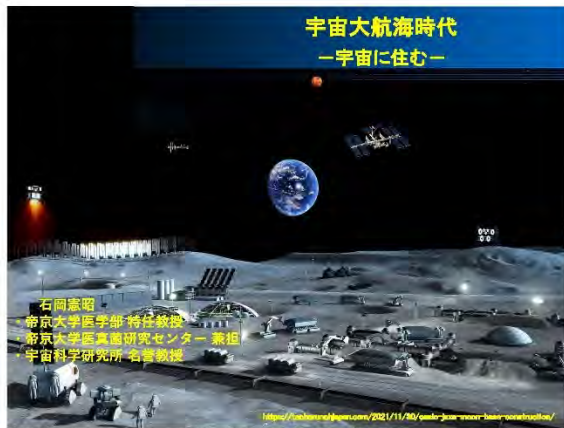


Gene Kranz,
Flight Director of Apollo 13

Any questions?



4.7 宇宙医学セミナー 石岡教授



海の大航海から宇宙の大航海へ

大航海時代、15世紀～17世紀、ヨーロッパ人によるインド航路、新大陸到達など、世界の一体化が進んだ時代。ポルトガルによるアフリカ西海岸進出に始まり、インド航路開拓、それに対抗したスペインが、思いがけずアメリカ大陸を発見し、さらにマゼランの世界周航でピークに達した。経済的動機は航路確保を促したもっとも大きな動機である。

航海中の病：新鮮な果実や野菜を摂取することができなかった船員たちの間で「壊血病」と呼ばれる病気が流行。当時、200万人の船乗りが壊血病で命を落とすと推定。(ビタミンCの欠乏)
コロシダスの交換（感染）：物資の交換等以外にヨーロッパに入った梅毒（風説あり）やマダニ、アステカ・インカを襲撃に追いやった天然痘やコレラ、麻疹、ペスト等々の持ち込み。

宇宙大航海時代：20世紀～未来
宇宙に何を求める。世界の一体化は？
惑星汚染の交換：？
未知なる病原体
既知病原体の蔓延と変異
宇宙居住
宇宙食物生産
宇宙医療・居住医療（感染症等）などなど



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。
- ・人間の遺伝子に書き込まれた冒険心や好奇心、探求心に突き動かされる？
- ・科学技術を開発させ、気球や飛行機を作り、ついにはロケットを開発し、月に向かい、今、宇宙ステーション、火星、惑星間飛行の時代に。
- ・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、地球以外の惑星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・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。

悪化する地球環境から逃げる？

軍事利用

・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寛いでいく。
・宇宙で暮らす。

創薬、新材料、新技術、新しい価値観など

明るい未来へと続く???

NASA、アルテミス計画の新ロードマップを発表！

2024.4.10 SpaceNewsニュース

2020年4月2日、NASAは、アルテミス計画での持続的な月の探査と開発に関する計画を公表

NASAが計画している有人月面活動で、ギリシャ神話の月の女神にちなんで名付けられた、2024年までに月面にアメリカ人の宇宙飛行士（最初が女性、次に男性）を派遣する計画。月面周回宇宙ステーション「Gateway」、月面基地、月面車(LTV)などのモビリティシステムなどが整備される予定。

アルテミスI：無人計画。SLSロケットとOrion宇宙船を地球から月へ輸送するためのテスト。(2023年11月18日打上げ、12月12日帰還。月を周回する28日間)の試験飛行)
アルテミスII：有人計画。SLSロケットとOrion宇宙船で月を周回し、地球へ帰還する。2024年予定。ミッション期間は10日。(2023年4月4日NASAが月を周回する試験飛行に参画する宇宙飛行士4人を発表)
アルテミスIII：アルテミスIIの計画後の月周回プラットフォーム「Gateway」の整備などを経て、2025年以降、宇宙飛行士を月面に着陸させる。その後、月面基地を拠点として、火星を目指す計画。

1年後倒しになった「アルテミス計画」
昨年12月6日に行われた記者会見の中で、NASAは「アルテミスII」と「アルテミスIII」の再延期を発表。宇宙船「オリオン」での初となる有人飛行は2025年9月から2026年4月へ、アポロ時代以来となる有人月面着陸は2026年ではなく2027年の中頃へとずれ込んだ。

民間の動き：宇宙の商業化⇒みんなで宇宙へ行こう



宇宙ステーションに立ち寄り、月に行くコースや、さらに火星へと、そんなこんな物語を具体化するべく、実際、日本でも(株)クラブツーリズム・スペースツアーズ社や(株)PDエアロスペース社(2016年10月にHIS、ANAとともに宇宙旅行をはじめ宇宙輸送の事業化に向け資本提携した)では、宇宙旅行を「宇宙ビジネス」の一環として検討している。

クラブツーリズム「宇宙旅行」
https://www.club-t.com/spacel

2019年 Nippon Startup News
https://mag.startupnews.jp/club-t/

ついに始まった宇宙旅行！「宇宙旅行ビジネス」の現状とその費用、企業紹介 | 宙畑 (sorabatake.jp) https://sorabatake.jp/12241/

宙畑に宇宙旅行サービスを展開している4社

会社名	サービス名	料金	特徴
ダイナミック・スペース	サブorbital	200万円	2000年
ダイナミック・スペース	サブorbital	200万円	2000年
ダイナミック・スペース	サブorbital	200万円	2000年
ダイナミック・スペース	サブorbital	200万円	2000年

現在、宇宙ビジネスで実現に向けて動きがある旅行サービスは、大別すると大きく以下の4つがある。

- 1.無重力を体験できる小宇宙旅行
- 2.滞在する宇宙旅行
- 3.宇宙を経由した旅行(移動)
- 4.月・火星への移住

ついに始まった宇宙旅行！「宇宙旅行ビジネス」

米ヴァージン社の宇宙旅行

Yahoo!ニュース
https://news.yahoo.co.jp/articles/204862bb1b08d30f0f00e3088ef77424c565
2021年7月11日に行われた4回目の宇宙飛行試験では、ブランソン氏ら6人を乗せて飛行。
● 商業運航に向けた準備を着々と進めつつある。
● 専用航空機で高度約14キロまで運ばれ、切り離された後に約85キロまでロケットエンジンで上昇した。

2023年6月16日には、初の商業飛行が6月27日以降に行われることを発表。2023年6月29日に、同社として初の商業飛行を行い、見事成功。2023年は計5回の商業飛行を行い、商業宇宙旅行開拓の1年と言っても過言ではない1年となった。https://sorabatake.jp/12241/



https://www.jpj.com/jstide/7c+2021071200138&int



https://www.natouhabet.com/t/virgin-galactic-u2aya-aka-bla-bla-maya-bla-bla-1835-004.htm

アマゾン創業者ベゾス氏 宇宙旅行に成功 10分後に無事帰還

NHKニュース
https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210720/k1001315107_1000.html
● 2021年7月20日、テキサス州西部にある「ブルーオリジン」のロケット打ち上げ拠点から打上げ、初めての有人宇宙飛行となる。
宇宙船にはベゾス氏と弟のマーク氏、およそ60年前に宇宙飛行士を目指していた82歳の女性ウオリ・ファンクさん、オークションで権利を落札(30億円)した18歳の男性オリバー・デーメンさんの4人が搭乗。
高度100キロメートル以上の宇宙空間に到達、3分間の無重力状態を楽しんだのち、打ち上げからおよそ10分後に無事、軟着陸した。



月面に小型、中型、そして大型の荷物を届ける可能性のある着陸機。飛行中にキューブサット(小型の衛星)を放出したり、月面に小型探査車を降ろしたりと、数トンの貨物運搬を強んで飛べる。

月面着陸船BLUE MOON! Amazon CEOベゾスの宇宙事業Blue Originが発表。2024年までに月面の有人探査も2026年12月 日経工業新聞 https://www.nikkei.com/article/view/00510036

スペースX社が「クルードラゴン」打ち上げ、民間人4人搭乗 3日間の地球周回旅行 2021.9.15-18



世界で初めて民間人だけで「宇宙旅行」をするスペースXのプロジェクト「Inspiration4（インスピレーション4）」
●クルー4人が、地上から約360マイル（約579km）の上空で3日間を過ごしたあと地球に帰還。

スペースX、史上初「民間人船外活動」を完了 米富豪ら2人が10分間ずつ宇宙遊泳 2024年9月12

宇宙船クルードラゴンに搭乗する米実業家富豪のジャレッド・アイザックマン（41）ら民間宇宙飛行士2人による史上初の商用船外活動を完了した。同社は宇宙旅行の商業化をめざしており、国家機関に属さない民間人のみで行う宇宙飛行計画「ポラリス計画（Polaris Program）」は画期的な一歩を歴史に刻んだ。

<https://forbesjapan.com/articles/detail/73679>



「2023年月の旅」へ...スペースX社が試作宇宙船公開 2019年9月30日公開

SpaceXの大型宇宙船Starshipが3度目の試験飛行で高度10kmまで上昇〜着陸に成功

2021年9月04日
<https://jp.techcrunch.com/2021/09/04/2021-09-04-spacex-starship-prototype-flies-to-32000-feet-and-sticks-the-landing-in-third-flight-test/>



28日、米テキサス州で公開されたスペースX社の大型宇宙船「スターシップ」の試作機。右は同社が2008年に初めて打ち上げた成功したロケット「ファルコン1」

2023年に予定されている月周回への宇宙旅行に、ZOZOの前社長、前沢友作氏が乗客として契約していたが、宇宙船完成のめどが立たないため、月周回旅行の中止を発表（2024年6月17日13分）。

アメリカのSpaceX社は、2060年までに100万人を火星に移住させる計画を発表。
●巨大宇宙船「スターシップ」は、再利用ロケットで、月や火星に一度に100人の人間を送り込むことができる規模。

SpaceXの大型宇宙船Starshipが3度目の試験飛行で高度10kmまで上昇〜着陸に成功

2021年9月04日
<https://jp.techcrunch.com/2021/09/04/2021-09-04-spacex-starship-prototype-flies-to-32000-feet-and-sticks-the-landing-in-third-flight-test/>



前澤友作さん（48）が2021年12月8日、ロシアの宇宙船「ISS」へと出発し、同日夜（日本時間9日未明）にISS内に入り、滞在を開始した。

●現行10番目の試験機体「SN10」を打ち上げた。
●SpaceXが開発施設を置くテキサス州ボカチカから離陸したSN10は、約10kmの高さまで上昇。
●摩耗を利用した着陸降下に向けて巧みな操縦を行い、体勢を立て直し着陸した。

宇宙に滞在しよう

宇宙ホテル、膨らむ期待 量んで運搬、増築コスト減 2016/5/22付 日本経済新聞

<https://www.nikkei.com/article/DGKKZ00036756006A0C021M1Y0007>



宇宙滞在できる「宇宙ホテル」が実現に向けて動き出した。
●米スペースX社が4月、居住性の試験機を国際宇宙ステーション（ISS）に打ち上げた。
●宇宙空間で風船のように膨らむことで、低コストでの打ち上げを可能にした。
●宇宙ホテルの開発は、宇宙ベンチャーのピグロウ・エアロスペース社

宇宙ホテルの構想発表、2027年のオープン目指す 2019年9月21日 CNN

<https://www.cnn.com/2019/09/21/space-hotel/index.html>



●宇宙空間に浮かぶ巨大な車輪のようなホテルの建設構想が発表された。
●2025年打ち上げ、27年の本格オープンを目指す。
●米カリフォルニア州の新興企業、グロートウェイク・フュンダーションが開発を予定。
●ドイツ生まれのロケット技術者ヴェルナー・フォン・ブラウン博士にちなんで「フォン・ブラウン・ステーション」と名付けられている。
●ホテルを構成するモジュール
●車輪型のホテルは24のモジュールで構成され、最大450人まで収容できる。船内はカーペット敷きの客室やシックなバーなど、どこか地上を思わせるデザイン。

NASA、国際宇宙ステーションに高級ホテルを追加

2020年1月28日
メルネスト (merne.com) <https://merne.com/article/hotel-coming-to-international-space-station/>

NASAは、民間企業が2020年代半ばに国際宇宙ステーション（ISS）に「商業目的の地中モジュール」を恒久的にドッキングすることを許可すると発表。最近のNASAのポスト（Gizmodo経由で発表）で発表された商用目的の地中モジュールは、ヒューストンに拠点を置く宇宙ステーションメーカー、アキシムスペースによって構築され、運営される。

NASAとAxiom Spaceが初の民間人のみによる国際宇宙ステーションへの宇宙飛行について発表 2021年5月12日
TechCrunch Japan <https://jp.techcrunch.com/2021/05/12/2021-05-12-axiom-space-and-nasa-detail-first-fully-private-human-launch-to-the-space-station-set-for-january-2022/>

Axiom Space（アキシム・スペース）とNASAは、国際宇宙ステーションに向かう初の民間有人ミッションとなる「Axiom Mission 1（アキシム・ミッション1）」の詳細を、米国時間5月10日に発表。
Axiom Mission 1（AX-1）は、2022年1月に4人の民間宇宙飛行士を国際宇宙ステーション（ISS）に送り込む予定。8日間のミッションは、SpaceXのCrew Dragonロケットを使用し、フロリダ州にあるNASAケネディ宇宙センターから打ち上げられる。



現在、計画は遅延している

日本でも

清水建設の宇宙ホテル構想

https://www.shimizu.co.jp/press/2019/05/20190520_01.html

- 宇宙ホテルは、全長240mで、エネルギー・サプライ、客室モジュール、パブリック・エリア、プラットフォームの4つの部分で構成される大型宇宙構造物
- 低軌道に浮かぶ宇宙ホテルでは、訓練を受けていない一般の人々が宇宙旅行を楽しむことができる
- 宇宙旅行の楽しさを伝えること
- 旅行者は透明なブルーに輝く地球、深い大気のベール、美しい星、地球の夜明けを見ることが出来る。また、天体観測や無重力空間でのスポーツや食事、地球との交信などを通して過ごす。



宇宙/軌道エレベーターで宇宙へ行こう

宇宙エレベーター
https://www.okayashi.co.jp/ikan_okayashidetailidokan_63_ides.html



●日本には、宇宙エレベーター協会（JSEO）がある。
●2008年から宇宙エレベーター技術開発を主催。
●2012年の2月には大林組が2060年の実現を目指した「宇宙エレベーター建設構想」を発表。
●「宇宙エレベーター」の実用化により、宇宙に行く費用は、1人80万円程度の格安になると試算。
●宇宙エレベーターの実現に向けた基礎実験。
●ISSの宇宙実験として静岡大学を中心に実施。ISSから放出する超小型衛星「STARS-O」で、宇宙ステーションと地上をケーブルで結ぶ基礎実験。
●1辺10cmの正六面体の緩衝と子機、それに両端をつなぐ長さ100メートルのテザーからなる。

日本に浮島のスペースポート構想、宇宙旅行を都市の身近な存在に

Space Port Japan | スペースポートジャパン (spaceport-japan.org)
<https://www.spaceport-japan.org>



●日本の大都市の超高層ビル群のイメージ図をバックに、スペースポート（宇宙港）が浮島にそびえ立つ。
●このスペースポートから宇宙への日帰り旅行に出发し、地球の湾曲を眺めたり、無重力を体験したり、さらにこのスペースポートの巨大な展望を上空から見ることが出来る。
●建築設計地味設計/メイズアーキテクツは、電通、デザイン会社カナリア、一般社団法人スペースポート・ジャパンと共同でこのコンセプトを設計した。同社は、都市景観の一部としての新世代のスペースポートの建設が今後数年の間に実現することを期待している。

日本がアジアにおける宇宙旅行ビジネスのハブになることを目指す



●Space Port Japan は、日本にいち早くスペースポートを開港すべく、国内外の関連企業や団体、政府機関等と連携。
●スペースポートから離陸するスペースプレーン・有人ロケットなどの開発・運用を行う企業との連携。
●宇宙とはこれまで接点が多かった業界の働き込みも推進。
●目的
日本にスペースポート（宇宙港）を開港することをもって、広く日本の宇宙関連産業を振興。
●主な活動
当法人が日本におけるスペースポートのハブとなり、以下の活動を行う。
1.ビジネス協会の創出
2.国内外の関連企業および団体との情報交換および連携
3.情報発信、勉強会・イベントの開催



宇宙環境が人体に及ぼす影響要因

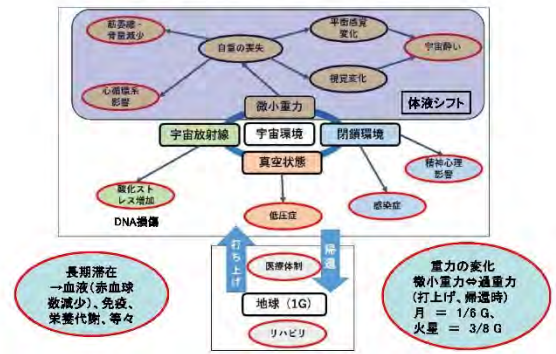
- **重力の変化**
微小重力(ISS) ⇔ 過重力(打上げ、帰還時)
月 = 1/6 G、火星 = 3/8 G
- 体液の移動、循環系への負担→体液シフト 老化様現象の要因?
- 神経・平衡感覚系の変化 → 宇宙酔い
- 筋骨格系の変化→筋萎縮・骨量減少 → 老化様現象?
- 長期 → 血液、免疫、栄養代謝、等
- 精神・心理への影響
- **宇宙放射線**
○ 酸化ストレス がん化、老化様現象の要因?
- DNA損傷
- **閉鎖環境**
○ 精神・心理への影響(ストレス)

宇宙船内、居住区、居住区

宇宙環境ストレス要因

- ・ 微小重力や月、火星の重力状態
- ・ 宇宙放射線被曝
- ・ 閉鎖空間・宇宙飛行士の異文化
- ・ 精神ストレス
- 水、閉鎖環境における循環システム
- 空気、閉鎖環境における化学物質
- 微生物、宇宙放射線等の影響による変異の可能性

宇宙閉鎖環境による人体への影響



中田先生、野間先生資料より引用改定

人への影響: 宇宙医学≒宇宙渡航・居住医学?

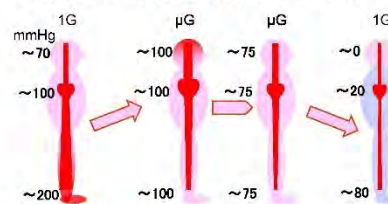
宇宙渡航・居住医学分野

- 「宇宙空間で人間の心身はどうか」を追求する学問
- 「人間をどんな環境に置くか」によって分類したうちの宇宙空間の人間にとって地球上と大きく異なる環境の特徴
- 「微小重力環境 放射線環境 閉鎖環境」
こんな環境に行った時、人間の心身に一体何が起きるか?
- 「宇宙飛行中の健康を保つ」「宇宙という空間の特殊性を活かした実験の結果を、地上の医学に反映する」
- 「宇宙空間、月、火星など惑星上での医療行為」が必要。
- ◆ どんな形の医療行為になるのか?
- ◆ 何を遠隔で行うか? 宇宙医師とロボットとの共存と分担は?
- ◆ 宇宙メディカルセンターができるのか?
- ◆ 宇宙空間や惑星上での手術は?

➢ 今までに無かった全く「新しい医療」の登場

<http://square.umin.ac.jp/pacmedicine/about.html>

心循環系への影響は体液シフトから



- 体液シフトの結果: 起立耐性が低下、地球帰還時にふらつき、めまい、頭痛、複視や視野狭窄・眼前暗黒感、四肢あるいは全身のしびれ、気が遠くなるなどの症状が起こることがある。
- 宇宙ステーションに長期間滞在し、無重力環境に適応した心血管系は、重力刺激、重力環境下での起立姿勢に耐える機能が低下する。重力環境(地球上)に帰還する際、突然心血管系に重力がかかり、血液量が下肢方向に「吸引」される様に急速に移行し、血圧低下により脳血流量が減少するために起こる。
- 無重力環境下で起立耐性を低下させる直接の因子
1) 循環血流量の減少 2) 自律神経系の適応による心血管系の調節機能の低下

心循環系への影響

宇宙飛行 心機能や大きさに影響する

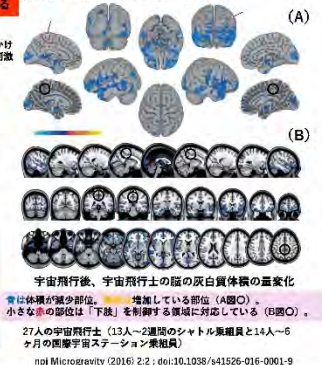
最初のトリガーは、**体液シフト**
体液が上方に移動する→上方での血流量の増加(肩かけの血圧上昇)→副交感、交感神経、心臓の圧受容体を刺激
2-4% 体重の減少
6-15% 血流量の減少(PV)

10~12日間宇宙飛行で、運動心一瞬圧受容体反射は有意に減少する。2~6ヶ月間宇宙ステーション(ISS)に滞在した宇宙飛行士の圧受容体反射を測定したところ、25~34%減少していた。

2014年3月29日米心臓病学会において宇宙の微小重力下で12人の宇宙飛行士を超音波検査した結果、心臓が現状に3.4%大きくなるともに厚くなっていたが、地球帰還後は直ぐに通常の大きさへと戻ったとの発表があった。長期宇宙飛行や宇宙滞在において心臓疾患につながる可能性があり、今後の課題である。

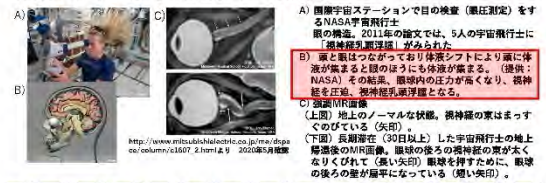
<https://www.afpbb.com/articles/-/3011281>

宇宙飛行による脳の構造的変化(微小重力と体液シフト)



npj Microgravity (2016) 2:2 | doi:10.1038/s41526-016-0061-9

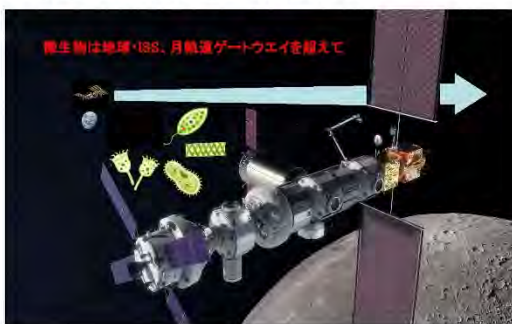
体液シフトによる健康障害の可能性 - 視神経乳頭浮腫 -



双子の宇宙実験(Twins)

NASAが行った双子の宇宙飛行士を被験者とした実験「双子研究(The Twins Study)」
統合オミクス・宇宙飛行経験によって引き起こされる多岐にわたる変化に人体がどのように適応できるかの回復力と適応性を捉えた。結果、スコーットの反応の多くが、研究の終わりに飛行前のレベルに戻った。これらには、免疫応答、エピソード記憶の変化、腸内細菌、体重、血漿代謝物が含まれていた。また遺伝子発現、テロメア短縮、DNA損傷、運動神経、目の変化、および一部の認知機能の小さな変化が見られた。

感染症のリスクは増大する?



日本の宇宙微生物実験

宇宙船内水圏環境微生物のオンボードモニタリング法の開発	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士
研究内容: 宇宙飛行士が乗る宇宙船内には、微生物が繁殖する可能性がある。そのリスクを評価するために、宇宙船内の水圏環境に微生物をモニタリングする方法を開発した。	山崎 浩一	宇宙飛行士

2021年10月22日付けで発表されたJAXAのプレスリリース。
JAXA、竹中工務店、キリンホールディングス、千葉大学、東京理科大学は、国際宇宙ステーション(ISS)「きぼう」日本実験棟内で、世界初となる宇宙での袋型培養槽技術によるレタス生育の実証実験を実施。

【▲「きぼう」内の実験装置設置場所 (Credit: JAXA/NASA)】

【▲密閉した袋内で栽培されたレタス(地上に回収する前の様子) (Credit: 竹中工務店)】

【▲月面農場のモデルイメージ (Credit: 竹中工務店)】

宇宙栽培レタスが宇宙飛行士を救う！ 月面農場や火星探査も視野に入れた実証実験 - ライブドアニュース (livedoor.com) <https://news.livedoor.com/article/detail/21920084/>

2022年3月

火星や月での農業が実現する日がやってくる？ 「月面の土」で植物が育ったことの意味

NASAのアポロ宇宙船が月面から持ち帰った土壌を用いて植物を育てることに、米国の研究チームが成功⇒将来的に火星や月、地球外での農業実現の可能性を秘めている。

Plants grown in Apollo lunar regolith present [arise-associated transcriptomes](#) that inform prospects for lunar exploration | Communications Biology (nature.com) <https://www.nature.com/articles/s43586-022-00584-8>

Wired.jp <https://wired.jp/article/researchers-green-tiny-planets-in-moon-dirt-collected-decades-ago/>

a 月サンプルの顕微鏡写真。
b 48ウェルの細胞培養プレートに、アポロ11号(A11)、アポロ12号(A12)、アポロ17号(A17)のJSC-1Aシミュラントウェルと月レゴリス3ウェル(各プレートに1ウェルずつ)を入れた。
c 各ウェルには、0.45ミクロンのフィルターとロックウールのおの上に重ねた900mgのレゴリスを入れ、水に懸濁したシロイヌナズナの種子を3〜5粒蒔いた。

月の土作り
レゴリスの改良
菌を使った土壌改良は、真夏の暑さでほぐす
菌類の利用と共生

月面土壌形成計画研究に基づいた砂漠緑化プロジェクト
植える菌、石、菌類、菌類菌糸 曹大
月レゴリスでのバックダイコン栽培実験 (25℃、28日経)

2021.2.25 Making Soil for Space Habitats by Seeding Asteroids with Fungi - NASA
<https://www.nasa.gov/gen/earth/making-soil-for-space-habitats-by-seeding-asteroids-with-fungi/>

月と火星のレゴリスにおける作物と菌類の共生を探る
Lunar and Planetary Science Conference - LPSC 2024
Exploring Crop-Fungal Symbiosis in Lunar and Martian Regolith: Implications for Sustainable Agriculture in Extraterrestrial Environments.
<https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2024/pdf/1704.pdf>

Arbuscular mycorrhizas - アーバスキュラー菌類
https://en.wikipedia.org/wiki/Arbuscular_mycorrhizas

1: シュロフタトコギョウ 1%
2: シュロフタトコギョウ 1%
3: シュロフタトコギョウ 1%
4: シュロフタトコギョウ 1%
5: シュロフタトコギョウ 1%
6: シュロフタトコギョウ 1%
7: 菌糸、シュロフタトコギョウ 1%
8: シュロフタトコギョウ 1%
9: シュロフタトコギョウ 1%
10: 土
11: シュロフタトコギョウ

月に基地・村(Moon Village)をつくって住もう
閉鎖環境で地球と同じ環境をつくる???

「月面」で自給自足の村(ムーンビレッジ)開発
● SOM (Skidmore, Owings & Merrill) と欧州宇宙機関が提唱する、「恒久的に」住むための月面開発。
● 人類がいかに共生し、資源を活用するか、という課題に向けた新しい方策を探る。これは地球上の問題にも応用できる知見を提供する。
● エネルギーは太陽光。月の資源を活用し消耗品や生命維持に必要なものの生成。月面には凝結した揮発性物質や水があり、人間が呼吸するための空気やロケットの燃料を生成することができる。

宇宙で物質循環・自給自足の人間生存環境
を創るための閉鎖生態系生命維持システム
<https://living-in-space-jaxa.jp/public-research/2016-2017/001-5/index.html> より改定

遺伝子組み換え稲 火星に似せた土壌で発芽実験に成功

第54回惑星学会(LPSC)で実験結果が発表(54th Lunar and Planetary Science Conference 2023 (LPI Contrib. No. 2806))

● 遺伝子組み換え稲であれば火星で発芽が可能なが証明された。
● ただし、強力な酸化剤を大量に含んだ土壌では、遺伝子組み換え稲であってもどれも発芽できなかった。

米アーカンソー大学フルブライト芸術科学大学のピーター・ジェイムズ・ガン氏が率いる生物学者チームは、3種類の稲を使用(そのうち2種類は遺伝子組み換え稲)。
➢ 稲の成長をつかさどるタンパク質の遺伝子に変化を加え、塩素系土壌、低水分、干ばつ、栄養素不足に強い性質に改良。
➢ 実験のために肥培水と火星の土壌に似せた土をグラム入れた。複数の小型の植木鉢を使用。
➢ 植木鉢は、それぞれ異なる濃度の強力な酸化剤過酸化マグネシウムを入れた。
➢ 温度は日中は33度、夜は23度に保たれた。

結果、遺伝子組み換えの稲は酸化剤の少ない火星の土壌で発芽。一方、酸化剤の多い土壌では3種類とも発芽することができなかった。この実験の結果は、遺伝子組み換え稲であれば火星でも発芽は可能であることを示した。<https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2023/pdf/2890.pdf>

小惑星リュウグウの砂や石を再現した土で野菜を育てることに成功…宇宙での食糧確保につながるか

宇宙航空研究開発機構の探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウから持ち帰った砂などを再現した土で野菜を育てることに成功: 岡山大学の村中三特任教授

岡山大は、成分を忠実に再現した土で野菜を育てた成分を忠実に再現した土を作り、ソバやレタス、ルッコラなどの植物を栽培。ソバは花が咲き、レタスは食べられる大きさまで育ったという。

村中特任教授は、「リュウグウの砂の成分には生命の起源である水素、炭素、窒素が豊富に含まれている」と説明。さらに、リュウグウのものに似た成分の砂や石がある小惑星は少ないことから、それらを上手に活用すれば、理論上は、月でも農業ができるはずだとした。

⇒⇒⇒小惑星をキャッチして月の穴に埋めて土作りする?

宇宙空間にコロニーをつくって住もう

月と地球の引力のつり合った領域にスペースコロニーをつくる。
内部は人工重力を利用して地球と同じ環境(空気、水、自然)をつくる。

1974年プリンストン大学のオニール博士考案のシリンドラ型コロニーの想像図
上図: 外観、下図: 内観

NASAは1970年代にいろいろなスペースコロニーを構想していた。

2016年11月22日 ナサのニュー・フロンティア計画
<https://dailynewsagency.com/2016/11/22/new-frontier-plan/>
<https://www.nasa.gov/press/20161122/new-frontier-plan/>

ガンダムの世界

村から都市へ

これが、2040年の「月面都市」だ!

「日本のベンチャー企業が構想する月面都市「ムーンバレー2040」」
あなたも月で暮らす日が? 月面都市の全貌にせまる - クローズアップ現代 - NHK <https://www.nhk.jp/p/gondai/ts/RY6NG16G/blog/bl/pkEdmV08R/bl/pYyb5xom5Y/>
公開: 2023年1月18日(水)午後5:33
更新: 2024年3月13日(水)午後4:24

遠心力で重力をつくる？ 月や火星に住むための人工重力施設「ルナグラス」(msn.com)

「ルナグラス」は、鹿島建設と京都大学が共同研究している人工重力居住施設。宇宙空間や月や火星で、遠心力を利用して地球上と同等の重力を発生させる技術。



海に浮かぶ島のような写真は構造物内部のイメージ図。コップの内側のようになっていて、側面に広場や、人が住む建物がある。

「ルナグラス」は、月・火星で生活における重力問題を解決する居住施設。青いカップのような月面のルナグラスは、半径100m、高さ400mの大きな器のような建造物を、20秒で1回転させることで、仮想的に遠心力を重力として発生させる。

参考：京都大学と鹿島建設株式会社は、月や火星に住むための人工重力施設の共同研究を開始します | 京都大学 (kyoto-u.ac.jp) <https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news/2022-07-11> (2022年07月11日 公開)

惑星の環境を改造して地球のようにして住もう (テラフォーミング)

火星を探索するキュリオシティ (想像図) 火星の土壌に水が含まれる (2013年発見)



- 火星の気温を太陽熱と温室効果を利用して上げる
- 極の二酸化炭素や水の氷を溶かす
- 植物による二酸化炭素の吸収と酸素の生産

シアノバクテリア (らん藻) の利用



300年~1000年後？

らん色細菌、あるいはらん藻とも呼ばれ、原核生物に分類される。単細胞ながら、植物と同じように光合成をし、生物時計を持つ。地球上へ生命が誕生した初期に出現し、光合成を通して大気中に酸素を生産し続けた。単純な生物なので実験に適している。

火星移住計画

「イーロン・マスクが火星での都市建設は20年かかるとの見方を語る」 2016年国際宇宙ステーションに荷物を運ぶ宇宙船を開発した初の民間企業SpaceX社のイーロン・マスクCEOが、火星に1人当たり10~20万ドル (約1100~2200万円) で100万人を送り込むという構想を明らかにした。



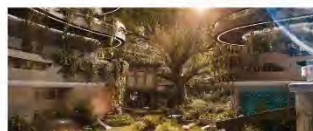
<https://www.nasa.gov/content/casas/multimedia/images/2005/futureexploration.html> より

2050年までに火星都市建設は可能。イーロン・マスクがツイッターでコメント 2019年1月30日 exciteニュースより https://www.excite.co.jp/news/article/Kanapala_527255/

感染症や疾病のリスクを下げる？ 宇宙放射線によるダメージを抑える？

人工冬眠技術の開発に向けて

2016年SF映画 バッセンジャーより



120年後の宇宙船内：地球の様に

惑星間飛行を冬眠で、まずは火星！NASA

「火星に向かう宇宙飛行士は人工冬眠すべき」という研究結果

2014年、NASAが2030年の火星有人ミッションに「人工冬眠」を活用するための技術検討を開始を発表。

2016年、NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC)プログラムで人工冬眠のアイデアがフェーズ2目に入り助成金。

● 食料、酸素などの生命維持用品の少量化や節約、筋力低下や骨密度減少を抑えるためのトレーニング設備などの設置スペースを削減し宇宙船をコンパクト化で大幅なコスト削減につながる。

NASAが助成するスペースワークス社が開発した人工冬眠の計画では、「ライノ・ホム」が中心となる。ライノ・ホムは、冬眠中に生命維持に必要な酸素と水を再生する装置。

● 冬眠中は訓練された点検から栄養補給、尿・排泄物は体内に入れた管から自ら排出し排出、排泄物たちの排泄は自動で処理される。

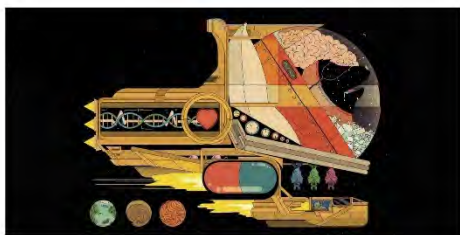
● 冬眠は、冷気を止め、約6~8時間かけて自然と冬眠から目覚めるようにする。



2018年のNASAのワークショップとスペースワークス社の冬眠技術に関する報告書

NASAの「宇宙冬眠ワークショップ」へようこそ：火星旅行者のための冬眠ガイド | WIRED.jp

<https://wired.jp/membership/2023/02/20/mars-hibernators-guide-to-the-galaxy/>



ESAは、宇宙飛行士を休眠状態にすることで長期的宇宙探査ミッションを実現する、という研究の初期の成果を発表 2019年11月19日

http://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Enabling_long-term_missions_with_hibernation

もしSFの宇宙船にハイパードライブが搭載されていない場合、通常、代わりに冬眠カプセルが取り付けられている。2001年の映画「スペースジャーズ」からインスピレーション、「エイリオン」、「バウンサー」まで、長期的宇宙飛行士は「休眠状態」で、広大な宇宙を渡す。ESAは、リファレンスとして8人の人間を火星に送り、6年のタイムスケールで置き換えるというミッションを打ち上げ、クルーの冬眠が宇宙ミッション計画にどのように影響するかを調査した。



冬眠モジュールのスケッチを作成し、20年以内に冬眠する人間を火星に送るためのアプローチを達成するためのロードマップを作成した。

ESA - Hibernate for a trip to Mars, the bear way

file:///C:/Users/tshicks/Desktop/ESA%20-%20Hibernate%20for%20a%20trip%20to%20Mars,%20the%20bear%20way.html
3/10/2022

HIBERNATION
Astronaut pods for space exploration

Why? To make long duration space exploration more feasible.

How? Hibernation is an induced state that reduces the metabolic rate of an organism.

- Alters metabolism, blood flow and hormone levels to adjust metabolism
- Reduces energy requirements of most physiological functions
- Works on hibernation

Benefits:

- Body temperature is lowered.
- Metabolism is reduced.
- Heart rate slows.
- Oxygen intake is reduced.
- Gene activity and protein biosynthesis slow down.



自己紹介

石岡憲昭

【主な経歴】
埼玉県立総合高等学校
東京理科大学理学部・大学院理学研究科
インディアナ大学 博士研究員
東京慈恵会医科大学医学部 講師

宇宙航空研究開発機構(JAXA)
宇宙科学研究所宇宙環境利用科学研究室 教授

【現在】
東京大学医学部 特任教授
医食薬研究センター 兼任
JAXA宇宙科学研究所 名誉教授

【現在の専門分野】
宇宙生命科学、宇宙感染症学

【著書】
宇宙生命科学入門 石岡憲昭 著 共立出版 2017年

宇宙生命科学入門

英国宇宙機関は「宇宙時代」病院を設計する計画

2023年4月14日

英国政府の医療インフラ計画の一環として、宇宙技術を利用して医療の課題に取り組むために、ハンブシャー州ギャザー病院と医療サービスプログラムの近代化と共同イニシアチブを支援するために、最大500万ポンドの英国宇宙機関の資金を利用。

このプロジェクトは、2030年までにイギリス全土に40の新しい病院を提供するという政府の計画の一部を形成。

英国のアマンダ・ソロウェイ科学大臣は、「英国は、宇宙技術とデータを使用して地球上で直面する課題に取り組む世界的リーダーであり、このイニシアチブは、最も緊要しているセクターの1つが日常生活の改善を推進している例です」。

「COVID-19パンデミックからより良く立ち直るにつれて、英国の大小の企業が、この宇宙時代の病院を設計し、最終的に命を救うのに役立つ、真に長期的な意を起させるアイデアを生み出すと確信しています。」

UK Space Agency launches drive to design 'space age' hospitals | MicroHealthNews
https://www.microhealthnews.com/news/uk-space-agency-launches-drive-design-space-age-hospital

カーク船長宇宙へ

2021. 10. 13

俳優ウィリアム・シャトナーさん、「信じられない」宇宙体験語る。国際ニュース：AFPBB News
https://www.afpbb.com/articles/-/3370709?pid=23840843

米人気SFドラマ「スタートレック／宇宙大作戦」(1966年～)のジェームズ・T・カーク船長役で知られる俳優のウィリアム・シャトナーさん(90)が、米宇宙開発企業ブルー・オリジンが実施した宇宙旅行に参加。

地球に帰還後、「信じられない」体験だったと振り返った。

「宇宙で死ぬ」

もし、何らかの故障や事故で宇宙飛行士が死んだら、遺体はどうにする？
ISSには遺体を収納しておくポディバッグは搭載されていない。
宇宙船に遺体を入れてロケットに搭載しておく？
【美しい問題はどうする？】
地球上に埋葬し続けるか、他の惑星や月と一緒に大気圏突入の際に燃やしてしまう？
船外活動の際に宇宙に放り出してしまう？(この場合、小型ロケット等で打ち上げが必要。ただ船外に出すだけで、宇宙船と同時スピードで飛んでいく。)

遺体が生物学的に貴重な取扱いが必要で「Biohazard」であること、安置に必要な場所が不足しているという点が問題になる。クルーは遺体を活動室に入れ、どこか温度の低いところに保管する。ハドフィールド氏は、著書「An Astronaut's Guide to Life on Earth」, Chris Hadfield, Random House of Canada, 2013」で語っている。

NASAでは詳細な遺体の取扱い手順を作成していないが、実際には過去に取扱いの方法について検討がなされた。その1つが、スウェーデンの企業「Promessa」が開発した「The Body Backpack」だ。宇宙空間の電圧と磁場環境でフリーズドライにするというもの。水分が抜けかけた遺体はその後、復元を待たずに粉砕することで宇宙船内でも保管できるようになり、体量が50kgあった人の場合はわずか23kgまで圧縮することが可能とのこと。

宇宙空間に「投棄」することも選択肢の一つ。国連では宇宙空間における廃棄物の取扱いに制限を設けているが、「人体」に関しては規定が存在しない。実際に遺体を宇宙空間に打ち出すためには、小型のロケットなどを用いて宇宙船の軌道から遺体を分離させる必要がある。

火星へ人が行った時にどうすればいいか、その問題についてハドフィールド氏は「地球に帰るのとは違って、その場で埋葬することになる」と述べている。遺体を地球に送り返すには多くのエネルギー、そして費用が必要となるため、最も現実的な方法といえる。NASAで惑星環境の健全性について研究するキャスリーン・コンリー氏は「人体を含む、有機物を火星に投棄することについては、地球からの微生物が死滅している状態であれば特に制限を設けていません。そのため遺体を火星に投棄することが必要になるでしょう」と述べている。

GIGAZINE
https://gigazine.net/news/20170123-die-in-space/より

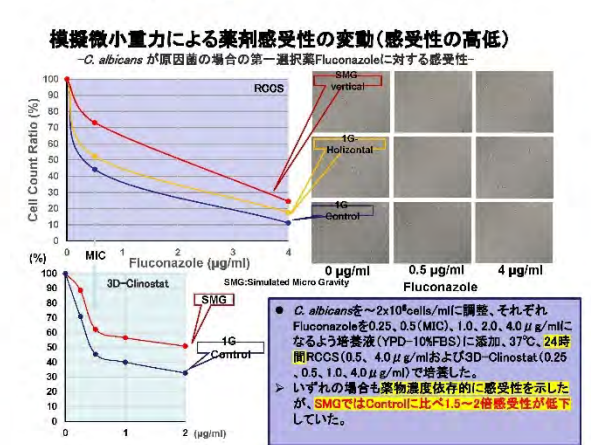
ロシアの研究者、惑星間飛行中の宇宙飛行士の「冬眠」方法を開発中

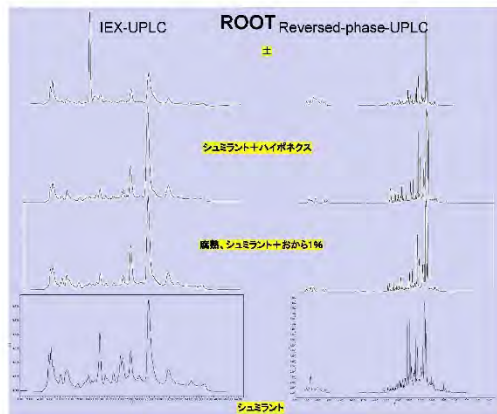
2018年05月21日
2018年05月25日

長時間に及ぶ惑星間飛行中に宇宙飛行士が「冬眠状態」に入るための薬の開発が現在、ロシアの研究者らによって進められている。

人工睡眠は惑星間飛行をする宇宙船内の食料や酸素、エネルギーを節約することにつながる。薬の動物実験は成功したとの報告がされた。

「遠い宇宙の開拓技術の開発の際に用いられると思う。なぜなら、そういった目的は、酸素消費量、並びに宇宙飛行士の身体エネルギー源の消費量を減少させることによってのみ達成可能だからだ」
アナトリー・コヴァツェン教授





発芽したすべての植物について遺伝子検査を実施。植物がどの代謝の仕組みを使って環境に適應しているのかを突き止めた。その結果、苗が**ストレス反応を示したことがわかった**。
⇒金属や塩類が多すぎる土壤に囲まれた植物が、自身を健康に保つために努力していた！？

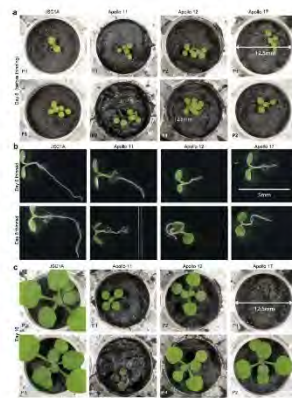
研究チームは、月面での植物栽培の可能性について素直な見通しを立てている。特に**実際のレゴリスでの植物栽培は、次世代のための土壌改善につながるからだ**。

「苗に**ストレス反応**が見られたり、生育に失敗したものがあったりしても、地球人は、塩分や乾燥が進む環境下で植物を育てる方法について多くの経験を積んでおり、月面の土壤で植物を栽培する方法を見つける」と、今回の研究論文の共著者でもあるロバート・ファールは語る。

宇宙航空研究開発機構の探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウから持ち帰った砂などを再現した土で野菜を育てることに成功。岡山大の中村栄三特任教授
2023/11/29(木)

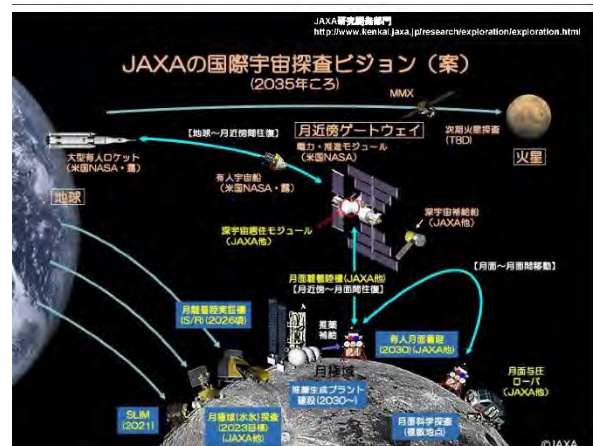
中村特任教授は、「リュウグウの砂の成分には**生命の起源である水素、炭素、窒素が豊富に含まれている**」と説明。さらに、リュウグウのものと似た成分の砂や石がある**小惑星は少なくないことから、それらを上手に活用すれば、理論上は、月でも農業ができるはず**だとした。

⇒⇒小惑星をキャッチして月の穴に埋めて土作りする？



a 発芽率は、アポロ17のレゴリスのすべての供給源で100%に近く、JSC-1Aのシュミラントの発芽率と区別できない。JSC-1Aおよび各アポロサイトの代表的な2つのウェルが示されている。
b 6日目または8日目に各ウェルから開引かれた苗は、**月のレゴリスでの種の成長がJSC-1Aほど強固ではないことを示している**。
c 発芽は対照区と月面で均一であったが、月面のレゴリスで育った苗はJSC-1Aの対照区に比べて生育が不十分であった。

培養プレートのウェルの直径は12.5mm (cのスケールバー)。
bの顕微鏡画像はすべて同じ縮尺で表示 (スケールバーはアポロ17号の画像に記載)。
e



一点一画だけで、建築空間で用いたセットの土を記述された紙面(スタート・ボード)の位置を定めます。図面の間に立体的なハードルの配置されました(矢張り)で、矢張りには、これらの配置から、空間の動きを制約するだけでなく、配置の位置に設置されたセッから多岐の動きを制約する。



図1-1-1



図1-1-2

1. 1. 1. 1. 1.

「MUSEUM OF MODERN ART」を模して、建築空間の構築空間に記述する図面(記述空間)を作成。建築空間は、空間の動きを制約するだけでなく、配置の位置に設置されたセッから多岐の動きを制約する。



1. 1. 1. 1. 1.

「MUSEUM OF MODERN ART」を模して、建築空間の構築空間に記述する図面(記述空間)を作成。建築空間は、空間の動きを制約するだけでなく、配置の位置に設置されたセッから多岐の動きを制約する。

1. 1. 1. 1. 1.

「MUSEUM OF MODERN ART」を模して、建築空間の構築空間に記述する図面(記述空間)を作成。建築空間は、空間の動きを制約するだけでなく、配置の位置に設置されたセッから多岐の動きを制約する。

「MUSEUM OF MODERN ART」を模して、建築空間の構築空間に記述する図面(記述空間)を作成。建築空間は、空間の動きを制約するだけでなく、配置の位置に設置されたセッから多岐の動きを制約する。

1. 1. 1. 1. 1.

「MUSEUM OF MODERN ART」を模して、建築空間の構築空間に記述する図面(記述空間)を作成。建築空間は、空間の動きを制約するだけでなく、配置の位置に設置されたセッから多岐の動きを制約する。

「MUSEUM OF MODERN ART」を模して、建築空間の構築空間に記述する図面(記述空間)を作成。建築空間は、空間の動きを制約するだけでなく、配置の位置に設置されたセッから多岐の動きを制約する。

売場も出展しており、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。



【日本宇宙科学学会会館出展】
2021年9月22日に山形大学で開催された日本宇宙科学学会第56回大会に参加した。大会では、宇宙医学委員会と宇宙教育委員会が主催のポスターセッションを開催し、宇宙医学に関わる学生有志のグループがMUTU Space Medicine Japan Youth Conferenceから発表を実施した。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、学会の懇話会においても、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。

15



【宇宙科学教育委員会出展】

2021年11月5～7日の日程で長崎県長崎市において開催された第3回宇宙科学教育委員会懇話会に参加した。宇宙医学教育委員会において、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。



21

【日本宇宙科学学会会館出展】

2021年11月5～7日に東京体育大会大学で開催された日本宇宙科学教育委員会第3回大会に参加した。この学会は、本学教育における宇宙医学教育プログラムと最も関係が深く、教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。



27

【ASOのポスターセッション】

2021年12月10～11日にアムステルダムで開催された ASOBS (Association for Space Operations and Business) の Annual Meeting に参加した。宇宙医学セッションにおいて、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。



【ASOBSのポスターセッション】
宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。

31

文庫である書籍展覧会となった。



【研究員らから学びたいという声の発信】

宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。また、宇宙医学教育プログラムの認知を行った。



37

4.10 学会等発表実績

委託業務題目「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」

機関名 国立大学法人京都大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所(学会等名)	発表した時期	国内・外の別
Performing the bedrest study for the space medicine educational programs (ポスター発表)	Masahiro Terada	43 nd International Society for Gravitational Physiology annual meeting	May 20, 2024	国外 (Dubai)
宇宙医学教育プログラムの発展に向けて (口頭発表)	寺田昌弘	第 68 回宇宙科学技術連合講演会	2024 年 11 月 7 日	国内(姫路)
The bedrest study as the space medicine educational programs in Japan (口頭発表)	Masahiro Terada	ASGSR (American Society for Gravitational and Space Research) 2024 Conference	December 5, 2024	国外 (Puerto Rico, USA)

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所(学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
Performing the bedrest study for the space medicine educational programs	Masahiro Terada	Annual proceedings with Frontiers in Physiology journal	March, 2025	国外
宇宙医学教育プログラムの発展に向けて	寺田昌弘	宇宙科学技術連合予稿集	2024 年 12 月	国内