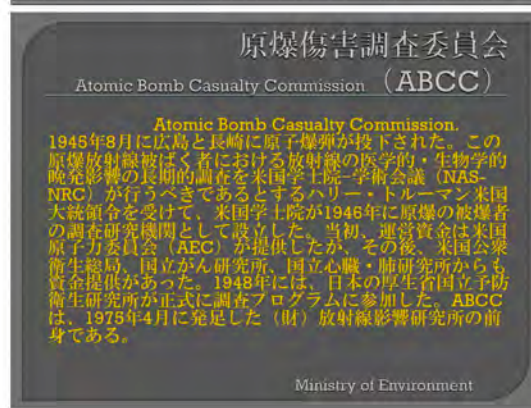
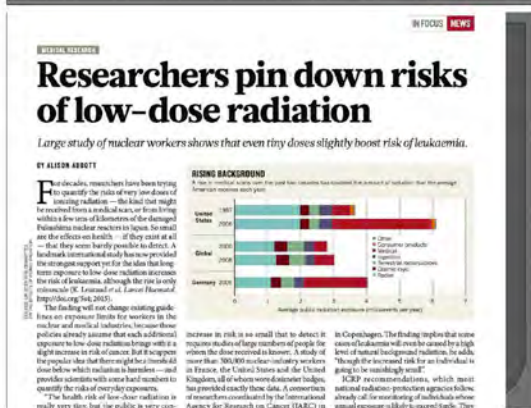
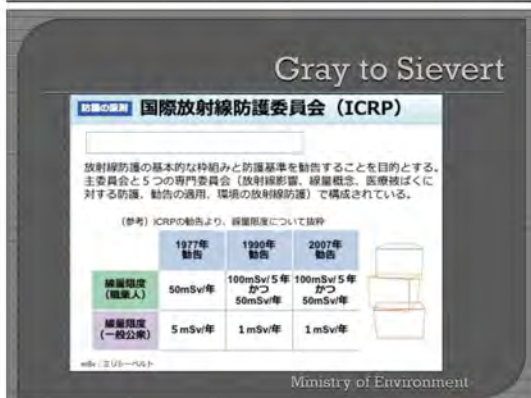
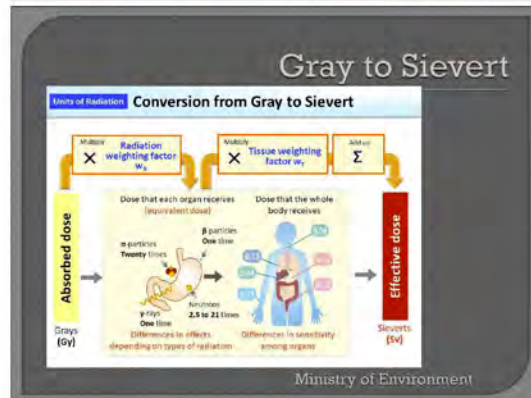
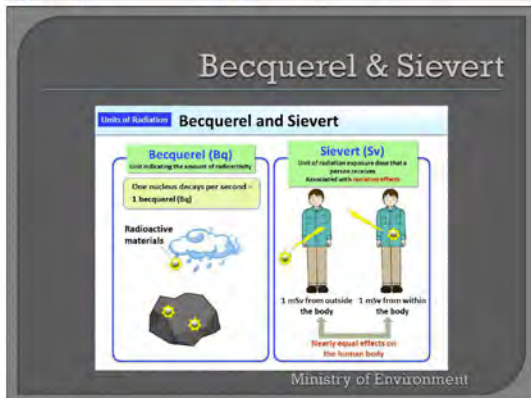
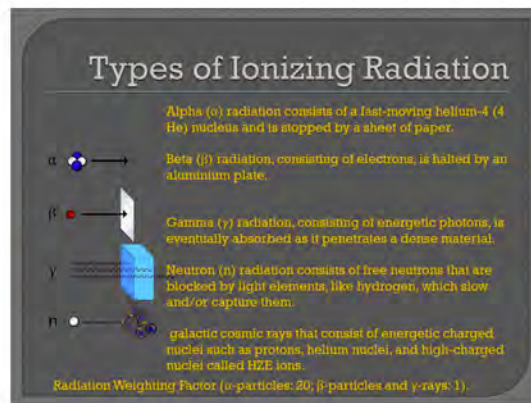
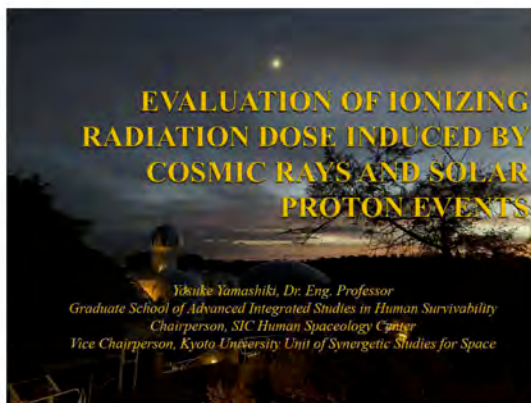
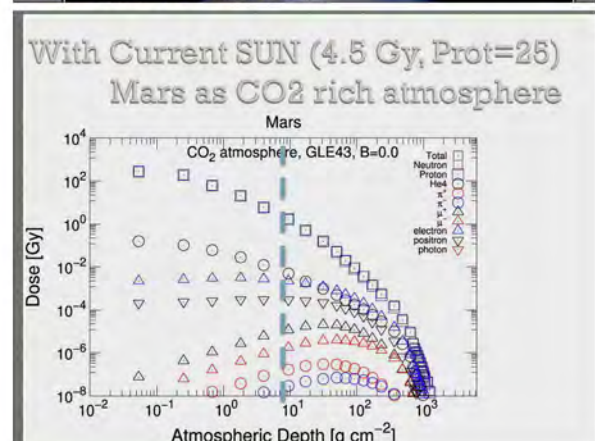
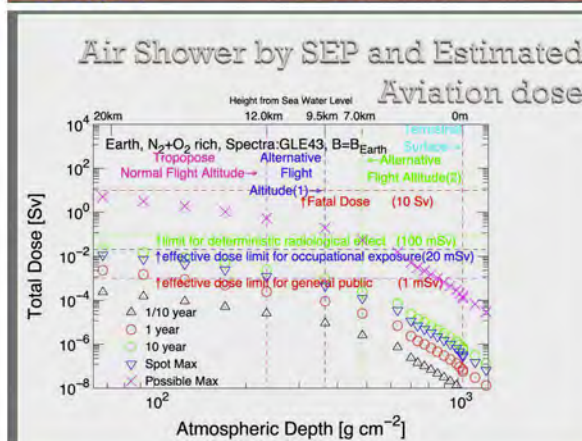
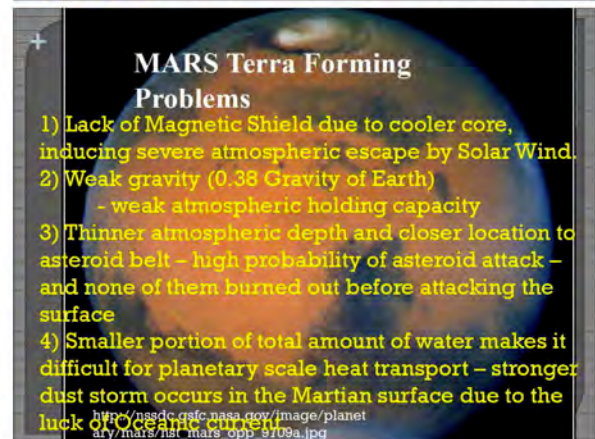
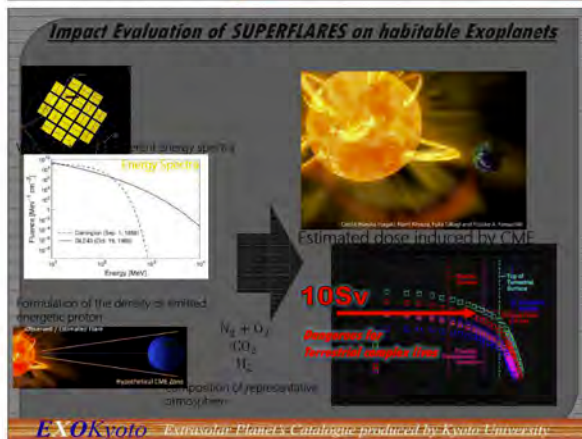
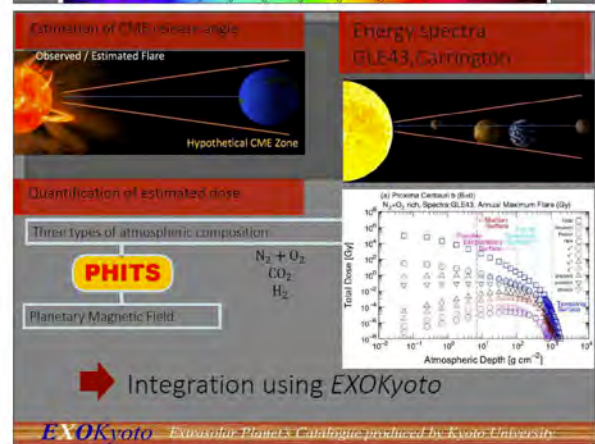
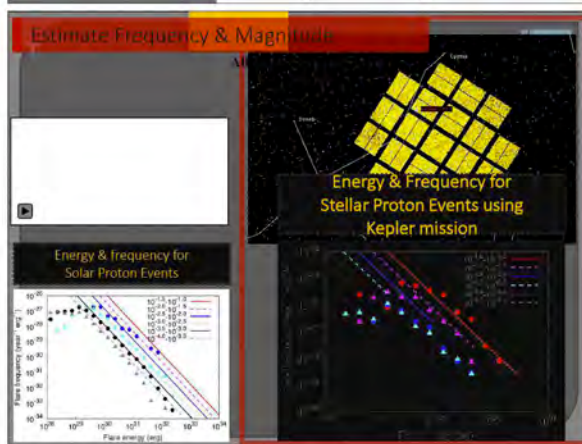
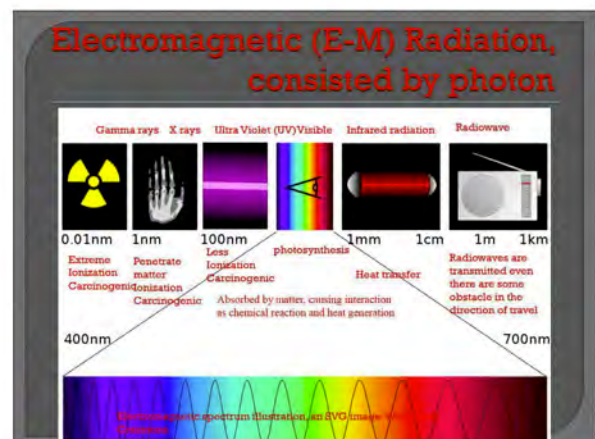
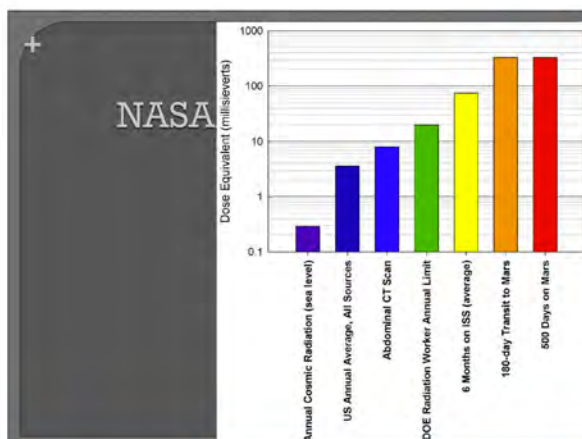
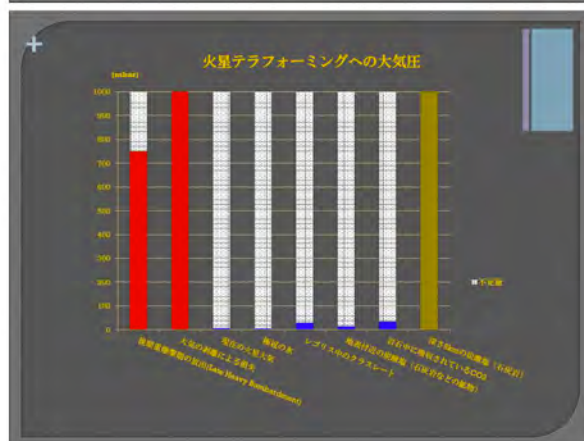
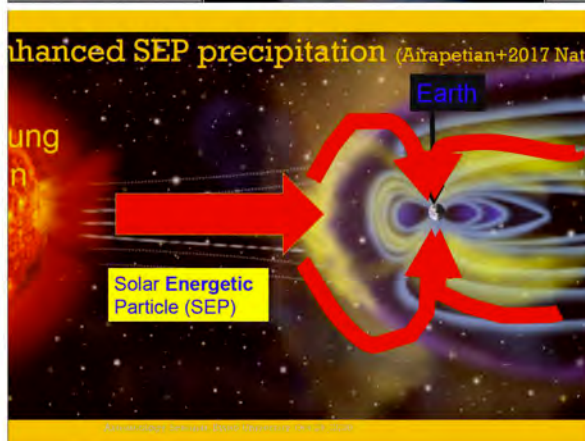
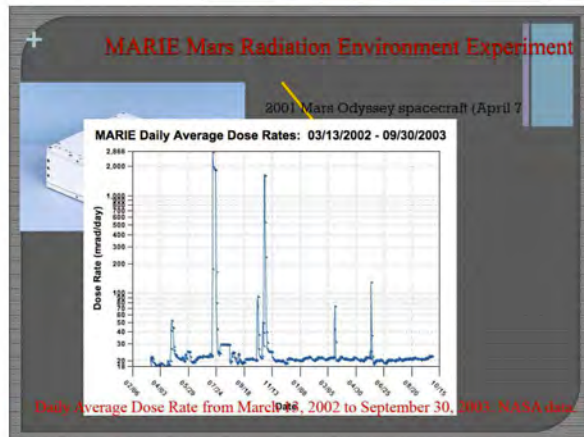
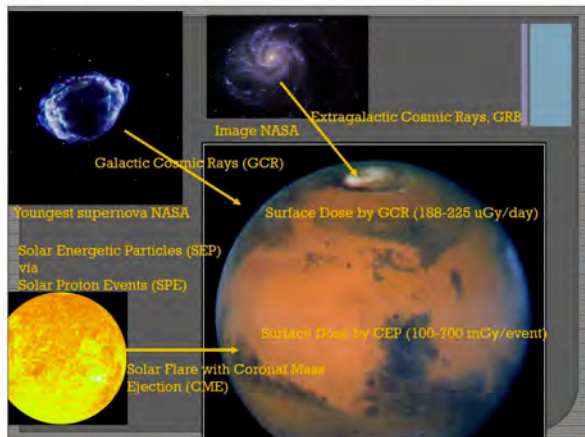
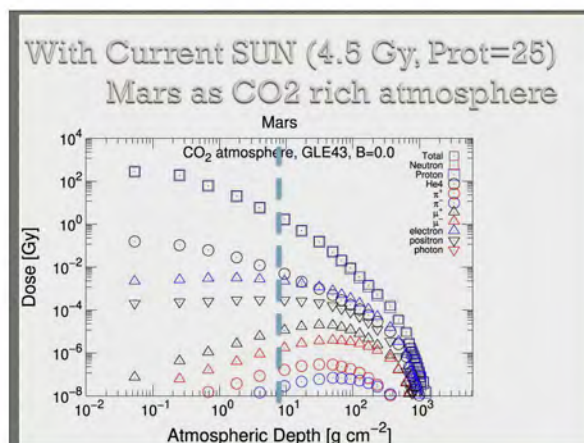
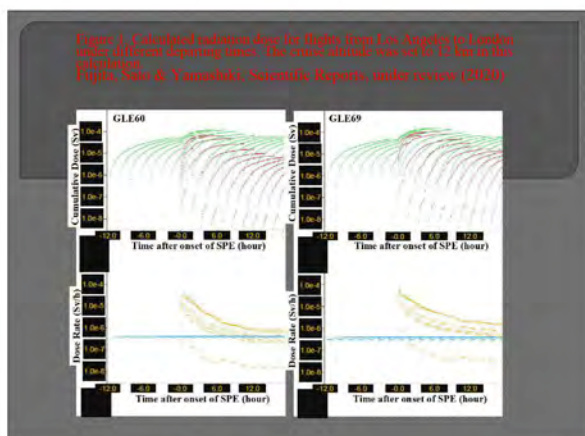


4.1.7. 第 7・11 回宇宙医学講義スライド集







放射線被ばく

- 年間1 mSv のリスクは、およそ 1 万人に1人が健康被害により死亡するリスク
- クリアランスレベルで考えると、年間10 マイクロシーベルトで100万人に1人のリスクとなる。
- 自然放射線で年間1 mSv以上被ばくするので、年間10 マイクロシーベルト と設定することにはほとんど意味がない。

航空機被ばく

- 航空機一回の搭乗で、銀河宇宙線(GCR)による被ばくで、だいたい30-80 uSv被ばくする
- フレア発生時は、それが上昇し、200-300 uSv被ばくする。
- 1回の飛行で1ミリシーベルトに達する確率は50-70年に一度(Fujita et al. 2021 under revision)。
- しかし、パイロットやCAなどは、回数を飛ぶので、健康に影響がある可能性は否定できない。

宇宙飛行士の被ばく

- 宇宙飛行士は、例えばISSであれば、50-500 mSv被ばくするとされる。
- 宇宙空間での滞在日数によるが、しかしながら、それ以上に、滞在中に高エネルギー粒子にさらされたかどうかで被ばく量は決まる。
- 本来500 mSv被ばくすると、大ごと(確定的影響の閾値(100 mSv)よりも相当大きいレベル)。
- しかし、例えば、現在宇宙に600人弱の人間しか飛び立っておらず、疫学的影響を調査するには少なすぎる。(百人に1人のリスクであったとしても、たった8人) また、有人宇宙飛行の他のリスク(ロケットの爆発等)に比較して小さい
- ただし、だからといって、影響がないわけではない。これから民間人がたくさん中に株立つ時代がくると、その影響を確定的に評価する必要がある。

惑星空間の被ばく

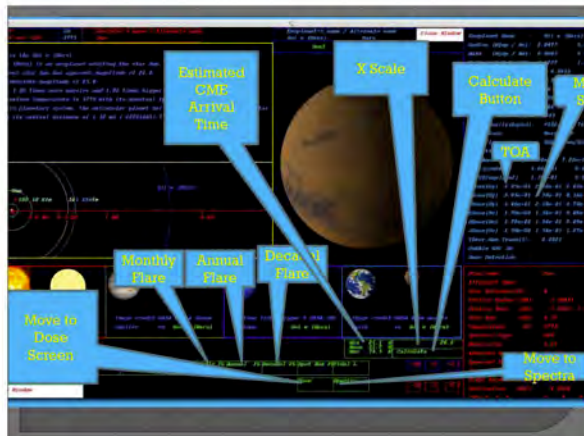
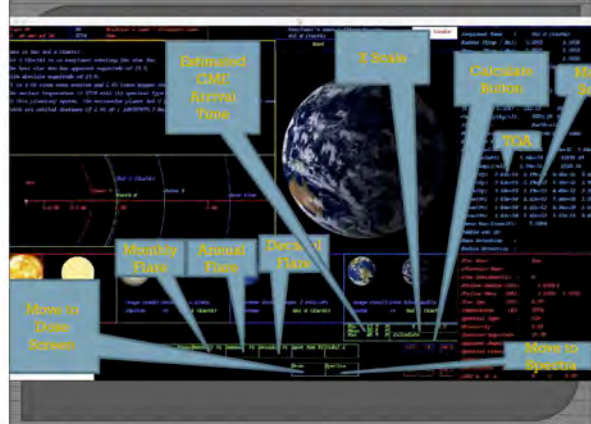
- 地球の磁気圏を抜けると、直接荷電粒子にさらされるため、高エネルギーの陽子などの直撃を受けるため、被ばく量は著しく上がる。そのため、ISSよりも月へのミッション、火星へのミッションのほうが被ばく量が多くなる。
- 惑星空間において、銀河宇宙線(GCR)はバックグラウンド値としてあまり変わらないとするが、実際は変動周期がある。
- 一方、磁気圏での放射線被ばく量の予測は、磁場のダイナミクスを考慮しなければならないため困難である
- 月・火星およびそのミッションでの被ばく計算では、太陽嵐、すなわちCMEがどちら向きに放出されるかによって全く異なる結果となる。

Cancer prevalence among flight attendants compared to the general population
Eileen McNeely¹, Irina Mordukhovich^{1*}, Steven Staffa², Samuel Tideman², Sara Gallet and Brent Cosale

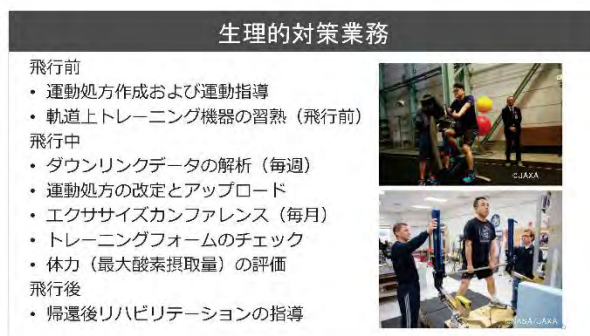
Table 1 Comparative age-adjusted cancer prevalence in the FAS and NHANES

Cancers	Gender	FAS cases (n=10,000)	NHANES cases (n=10,000)	Prevalence FAS, %	Prevalence NHANES, %	SPR (95% CI)
Breast Cancer	Female	105	25	3.4	2.3	1.51 (1.02-2.04)
Colorectal Cancer	Female	27	2	0.53	0.13	3.81 (0.81-18.18)
Cervical Cancer	Female	48	18	1.6	0.70	1.48 (0.73-3.00)
Gastrointestinal Cancer ^a	Female	30	4	0.43	0.27	1.53 (0.55-3.88)
Metastatic	Female	100	13	3.3	0.98	3.37 (1.77-6.46)
Male	Male	24	10	1.2	0.68	1.81 (0.72-4.51)
Non-Melanoma Skin Cancer	Female	418	27	14	1.8	4.99 (2.70-8.92)
Male	Male	65	10	2.3	2.3	1.01 (0.58-1.78)
Thyroid Cancer	Female	33	2	0.67	0.26	2.59 (0.53-12.68)

(*) confidence interval, FAS flight attendants health study, NHANES National Health and Nutritional Examination Survey, SPR standardized prevalence ratio
^aincludes colon, stomach, esophagus, liver, and pancreatic cancers



4.1.8. 第8回宇宙医学講義スライド集



宇宙飛行と運動・生理的対策

Neutral Body Postureと免荷の影響



微小重力環境での生活により

- 筋萎縮
- 骨量減少
- 柔軟性低下
- 心肺機能低下
- 平衡機能障害

宇宙飛行と運動・生理的対策



筋萎縮

ISS初期
• 筋断面積の減少
10~15%

ヒラメ筋

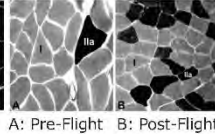


A: Pre-Flight

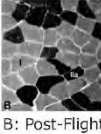


B: Post-Flight

腓腹筋



A: Pre-Flight



B: Post-Flight

Fitts RH, et al. J Appl Physiol 115(5): 667-79, 2013

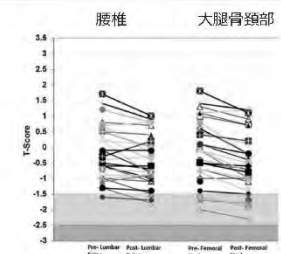
骨密度の低下

ISS初期
• 骨密度の低下
6~9%

LeBlanc et al. J Musculoskeletal
Neuronal Interact 1(2):157-60, 2000



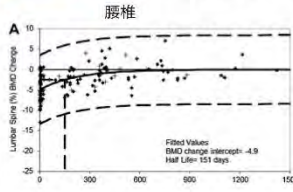
NIH. JAMA 14;285(6):785-95,
2001



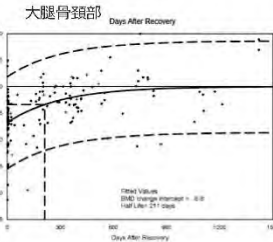
※T-score: 若年成人平均値との比較
Lang, et al. JBMR 19(6): 1006-12, 2004

骨密度の低下

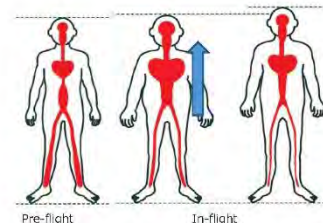
ISS初期
• 骨量の回復には3年程度を要する



Sibonga JD, et al. Bone 41(6): 973-8, 2007



身体構造の変化

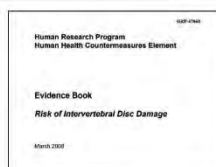


身長は1~3%程度伸びる

Thornton WE, et al. NASA SP-377: 330-338, 1977

©NASA

腰部椎間板ヘルニア



- 69%の宇宙飛行士が腰痛を訴えた
- ヘルニアのリスクは4.3倍

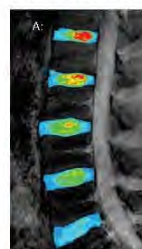


症状のあった宇宙飛行士の腰椎MRI

Bailey JF, et al. Spine J 18 (1): 7-14, 2018

脊柱の変化

椎間板水分含有量および脊柱前弯



N=6
ISS astronauts

A 椎間板の水分含有量をT2緩和時間より算出
➢ 飛行前後で有意な変化なし

B 脊柱前弯角度を算出
➢ 飛行前と比較し、11.1°の減少 (p=.009)

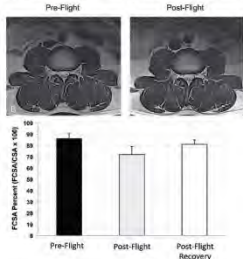
Bailey JF, et al. Spine J 18 (1): 7-14, 2018



Been E, Kalichman L. Spine J 14 (1): 87-97, 2014

傍脊柱筋の変化

傍脊柱筋の断面積(第3腰椎/第4腰椎)



N=6
ISS astronauts

- 除脂肪筋が筋全体の断面積に占める割合は、飛行前の86%から72%にまで減少 ($p < 0.05$)

Chang et al.
Spine 41 (24): 1917-24, 2016

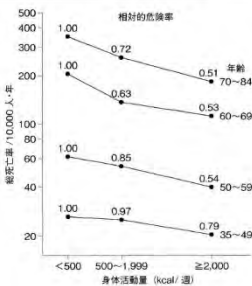
宇宙飛行士に運動が必要な理由

フライトミッションのために

- ・軌道上での運動
- ・身体機能の維持
- ・健康の維持
- ・運動習慣の維持・獲得
- ・リスクの低下
- ・加齢に抗う
- ・外傷の予防
- ・身体的負荷の高い業務
- ・船外活動
- ・緊急脱出



宇宙飛行士に運動が必要な理由



リスクの低下

身体活動量と総死亡率

- ・16936名を12~16年にわたって調査。
- ・週当たりの身体活動量が2000 kcal以上の群は、2000 kcal未満の群に比べて総死亡率が28%低かった。

Paffenbarger RS Jr, et al: N Engl J Med 1986; 605-613

宇宙飛行士に運動が必要な理由

外傷の予防



Ramachandran V et al.
Current Pathobiology Reports. 2018

宇宙飛行士に運動が必要な理由

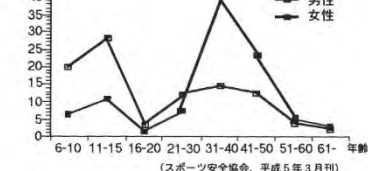


アキレス腱断裂に注意!

スポーツと外傷

スポーツ傷害

発生頻度



(スポーツ安全協会、平成5年3月刊)

宇宙飛行士に運動が必要な理由

船外活動

Extravehicular Activity: EVA

STS-118 EVA1 (4:46 h:mm)

平均 375.63 Kcal/hr

最大 689.56 Kcal/hr

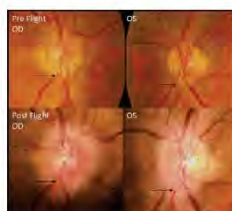
Activity	Met Rate (kcal/hr)
Resting	77
Walking	140
Swimming	500
Tennis	500
Jogging	800
Walking up stairs	1100

<https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20080014832/downloads/20080014832.pdf>

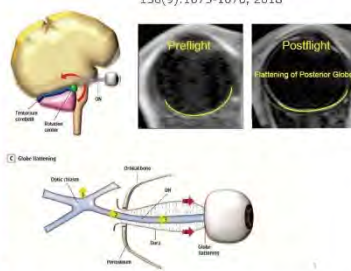


Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome

SANS: 飛行士4人に3人が視力障害の訴え



Stenger, et al. NASA Evidence Report, 2018



Shinojima, et al. JAMA Ophthalmol 136(9):1075-1076, 2018

体力トレーニング

長時間運動を続けるために

・酸素の供給と運搬

～酸素摂取量能力に関わる要因～



- ・肺に入る空気量 (換気量)
- ・肺の毛細血管中の血液へ酸素を取り込む能力 (肺拡散能力)
- ・心臓から送り出す血液の量 (心拍出量)
- ・酸素を運搬する赤血球やヘモグロビンの量
- ・送られてきた酸素を効率的に取り込む筋肉

増田和典 (2011) 山地啓司ほか、スポーツ運動生理学概説、昭和出版、pp99-119

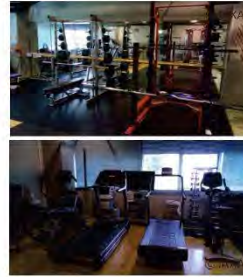
体カトレーニング



- 筋力
 - 筋持久力
 - 全身持久力
 - 柔軟性
 - 俊敏性
 - 巧緻性
 - 平衡性
 - 抵抗運動
 - 持久カトレーニング
 - ストレッチング
- 週3回、1日2時間程度



軌道上での運動



軌道上では？



20世紀の軌道上運動機器

Skylab 1-G Trainer



<https://spacecenter.org/>

Treadmill-like Exercise Device



<https://www.flickr.com/photos/nasa2explore/11456762794>

軌道上での運動

ISSにおける軌道上運動機器

Cycle Ergometer with Vibration Isolation and Stabilization System: CEVIS



Max 350 Watt

2023~ Teal CEVIS Max 500 Watt



ISSにおける軌道上運動機器

Treadmill with Vibration Isolation System: TVIS



Max 11.3 km/h

2009~Treadmill 2



Max 19.3 km/h

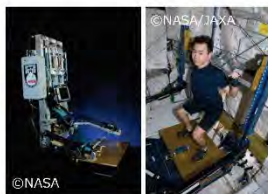
ISSにおける軌道上運動機器

interlimb Resistive Exercise Device: iRED



Max 300 lbs

2009~Advanced Resistive Exercise Device: ARED



Max 600 lbs

軌道上での運動



• 毎日2.5時間（有酸素1時間、抵抗運動1.5時間）が計画

6:00	7:30	9:00	12:00	13:00	14:00	17:00	20:00	21:00
睡眠 (8.5時間)	朝食・身だしなみ (1.5時間)	仕事準備 (1.5時間)	仕事 (1時間)	昼食 (1時間)	仕事 (約6.5時間)	風呂 (0.5時間)	運動 (1時間) 食事 (1時間)	夕食・身だしなみ (2時間)

軌道上での運動

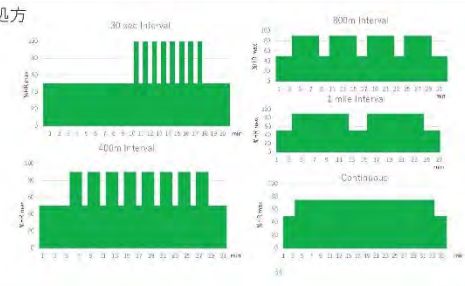
・主な種目と強度

部位	バージョンA	バージョンB	バージョンC	バージョンD	バージョンE	バージョンF
大腿筋	Squat	Shuttle Leg Squat	Same Squat	Squat	Shuttle Leg Squat	Same Squat
下腿筋	Heel Raise		Heel Raise	Heel Raise		Heel Raise
足関節	Dead Lift	Same Dead Lift	Dead Lift	Dead Lift	Same Dead Lift	Dead Lift
肩関節	Romanian Deadlift		Romanian Deadlift	Romanian Deadlift		Romanian Deadlift
胸部	Shoulder Press	Shrug	Shoulder Press	Shrug	Shoulder Press	Shrug
背筋	Bent Over Row	Bent Over Row	Bent Over Row	Bent Over Row	Bent Over Row	Bent Over Row
腕部	Biceps Curl	Bench Press	Biceps Curl	Biceps Curl	Bench Press	Biceps Curl
体幹部	Crunches/Sit up	Crunches/Sit up	Crunches/Sit up	Crunches/Sit up	Crunches/Sit up	Crunches/Sit up

※ 12 reps (70% RM) 中 8 reps (80% RM) 高 6 Reps (85% RM)

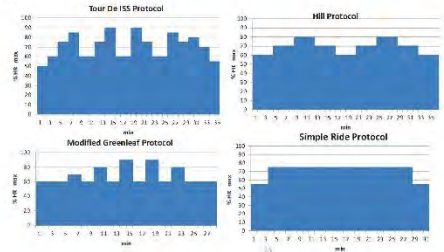
軌道上での運動

T2処方



軌道上での運動

CEVIS処方

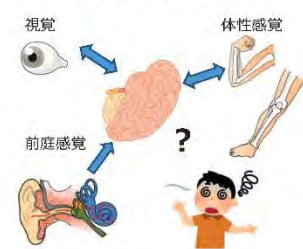


まるで「首の据わらない赤ん坊」だ。



重力環境への再適応

感覚・知覚と運動の統合



最適な運動様式を再学習

リハビリテーション

- ・手足を協調させ、より制限のない（自由度の高い）運動を素早く行う
- ・運動の難易度を徐々に高める

帰還後のリハビリテーション

フェーズ	目標
フェーズ0 (帰還当日)	介助歩行
フェーズ1 (7日後まで)	重力環境への再適応
フェーズ2 (14日後まで)	段階的に体力をつける ⇒日常生活は概ね問題ないレベル
フェーズ3 (45日後まで)	飛行前体力へ回復

帰還後のリハビリテーション

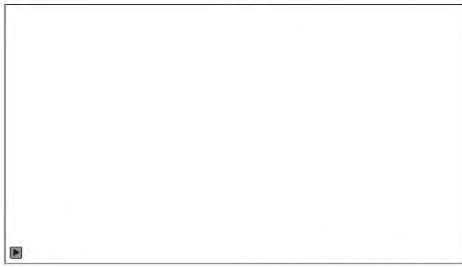
①有酸素運動 エルゴメータ/トレッドミルなど	山田, 彰形・災害外科 62(6): 705-712, 2019より一部改題
②ウォームアップ・動的ストレッチング 頸部体幹の前後屈・側屈・回旋 自重スクワット 動的ストレッチング	mobialanception: mobile+balance+ception 環境に適応するために前庭・体性感覚系の情報を統合し、移動性・バランスに関する機能の向上をはかる運動
③抵抗運動 マシントレーニング フリーウェイトトレーニング	④ファンクショナルトレーニング メディシンボールエクササイズ ラダー/コーン/バー
④体幹トレーニング・クールダウン・静的ストレッチング	

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



AlterG



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

帰還後のリハビリテーション

動的ストレッチング



帰還後のリハビリテーション

ファンクショナルトレーニング



帰還後のリハビリテーション

ファンクショナルトレーニング



pg.44

帰還後のリハビリテーション

体幹トレーニング



帰還後のリハビリテーション

静的ストレッチング



pg.46

帰還後のリハビリテーション

2009年 若田飛行士 ～	- NASAに支援を依頼 ・ ジョンソン宇宙センター (JSC) で45日間のリハビリを実施。 ・ NASA ASCRが指導し、JAXA ASCRはオブザーバー参加。
2016年 大西飛行士	・ NASA監督下でJAXA ASCRが運動プログラムを管理。 ・ JSC帰還後21日で日本に帰国。
2018年 金井飛行士	・ JAXA ASCRが運動プログラムを管理。(必要に応じてNASAに助言を求める) ・ JSC帰還後9日で日本に帰国。
2021年 野口飛行士	・ COVID-19流行下 ・ NASAの支援を得つつ実施

帰還後のリハビリテーション



帰還後のリハビリテーション



飛行前後の身体機能・運動能力

ファンクショナルフィットネステスト

種目	内容
長座位体前屈	腰部とハムストリングスの柔軟性
コーンアジリティ	移動と方向転換における敏捷性
腕立て伏せ	2分間に反復できる回数
懸垂	連続して実施できる回数
腹筋	2分間に反復できる回数
ベンチプレス	スミスプレスマシン(1RM※)
レッグプレス	スクワットプレスマシン(1RM※)
握力	握力計



※ 1RM :
1回持ち上げること
できる最大負荷量
(one repetition
maximum)

飛行前後の身体機能・運動能力

種目	飛行前	飛行後
長座位体前屈(インチ) *	17.29 ± 3.53	15.88 ± 3.49
コーンアジリティ(秒) *	12.87 ± 1.02	14.23 ± 1.37
腕立て伏せ(回/2分)	48.35 ± 17.19	46.21 ± 16.7
懸垂(回)	9.13 ± 5.35	8.27 ± 4.35
腹筋(回/2分)	102.8 ± 30.8	100.0 ± 26.9
ベンチプレス (kg)	76.9 ± 22.3	76.8 ± 21.6
レッグプレス(kg)	169.6 ± 49.1	169.5 ± 47.6
握力(ポンド)	102.3 ± 19.7	96.7 ± 18.0

Laughlin MS, et al. Aerospace Medicine and Human Performance 86(Sup. 1):A87-91, 2015

N=24-34
* p < 0.01

飛行前後の身体機能・運動能力



あるESA飛行士の
長座位体前屈

飛行前 37 cm
飛行後 31 cm

Petersen N, et al:
Musculoskeletal Science and Practice
27(1), 2017, 523-531

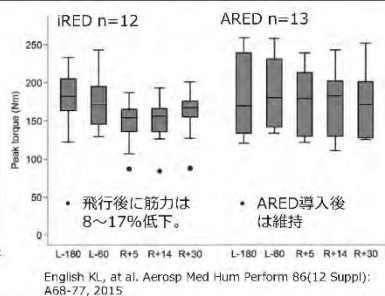
<https://www.truconnect.com/best-sit-and-reach-boxes/>

飛行前後の身体機能・運動能力

筋力(等速性収縮)

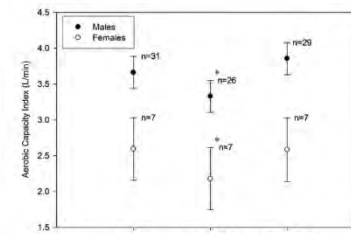


<https://www.pols.pl/rib3/laborat-oria-2/ibnrc/biooxsystem1pro/>



飛行前後の身体機能・運動能力

有酸素能力



飛行後の有酸素能力の低下は1か月程度で飛行前の水準まで回復



Moore et al. Aerosp Med Hum Perform. 2015 Dec;86(12 Suppl):A78-A86

飛行前後の身体機能・運動能力

骨密度



NIH. JAMA 14;285(6):785-95, 2001

	iRED (Sibonga 2015)	ARED (Sibonga 2015)	ARED (English 2020)
腰椎	-3.7%	-2.6%	-1.7%
大腿骨頭部	-6.1%	-4.1%	-1.7%

Sibonga JD, et al. Aerosp. Med. Hum. Perform. 2015;86:A38-A44.
Sibonga JD, et al. Clin. Rev. Bone Miner. Metab. 2008;5:249-261.
English KL, NPJ Microgravity. 2020 Aug 18;6:21

ISSでの20年

ISSにおける6ヶ月の滞在 (近年では1年滞在も)

- 軌道上運動機器の進歩
メジャーな筋力は概ね維持
骨量低下も抑
体幹柔軟性、敏捷性が課題
- 飛行中運動プログラム
現状は週6日で運用中
- 帰還後リハビリ(45日)





次のミッションに向けて

- ・ T2、AREDにより高強度の運動が可能
⇒骨密度、筋力、持久力の維持に貢献
⇒帰還後の歩行、走行にも影響
- ・ 設置にスペースが必要
⇒往還宇宙機には搭載が困難
(月面基地には設置が可能)

機器とプロトコール開発

- ・ 軽量小型
- ・ 頻度 (3~6回? /週)
- ・ 継続性、効率性
- ・ 耐久性
- ・ 消費カロリー

©NASA

Gatewayへ向けた運動機器の開発

Resistive Overload Combined with Kinetic Yo-Yo (ROCKY)

European Enhanced Exploration Exercise Device (E4D)

<https://danishaerospace.com/>

JAXA-HIAT

高強度インターバルトレーニング (High-Intensity Interval Training: HIIT)

短時間で有酸素運動能力と無酸素運動能力の両方の向上に効果

	Contents	Total time	Energy Expenditure including 3h-EPOC
SIT	30 sec (120%VO _{2max}) 15 sec (rest)	Repeat 7 times 5 min	109 kcal
HIAT	3 min (50%VO _{2max}) 2 min (50%VO _{2max}) 3 min (50%VO _{2max}) 2 min (50%VO _{2max}) 3 min (50%VO _{2max})	13 min	182 kcal
MICT	40 min (60~80%VO _{2max})	40 min	363 kcal

SIT: sprint interval training
MICT: moderate-intensity continuous training

Matsuo et al, BMC Res Notes. 21: 5:646, 2012

週5回/8週間

NASA Sprint Study

運動時間を短縮できないか?

	SPRINT	CONTROL
Aerobic Exercise	High intensity 3 d/wk Continuous 3 d/wk	6 d/wk
Resistance Training	3 d/wk (high/moderate/low)	6 d/wk
Duration	6 h/wk	9-10 h/wk

English KL, NPJ Microgravity. 2020 Aug 18;6:21

©JAXA/NASA

NASA Sprint Study

Table 5. Subject characteristics.

	CON (n = 17; 14M/3F)	SPRINT (n = 9; 8M/1F)	All (N = 26)
Age (y)	46 ± 6	48 ± 7	47 ± 6
Height (cm)	176 ± 6	178 ± 5	176 ± 6
Weight (kg)	80.6 ± 10.5	77.7 ± 12.0	79.6 ± 11.4
Mission duration (d)*	165 ± 42	152 ± 24	160 ± 36

NASA Sprint Study

Table 2. Isokinetic muscle strength and endurance before and after long duration spaceflight with standard of care exercise or Sprint exercise prescription.

	CON				SPRINT			
	Preflight	R + 5	R + 14	R + 30	Preflight	R + 5	R + 14	R + 30
Knee ext, 60° s ⁻¹	208 ± 11	194 ± 11*	191 ± 11*	195 ± 11*	191 ± 15	177 ± 15*	186 ± 11*	188 ± 15*
Knee flex, 60° s ⁻¹	113 ± 6	102 ± 6***	103 ± 6***	107 ± 6***	100 ± 7	100 ± 7*	102 ± 7*	103 ± 7*
Knee ext, 180° s ⁻¹	2657 ± 121	2466 ± 121***	2509 ± 121*	2599 ± 121	2500 ± 161	2207 ± 161*	2381 ± 161*	2406 ± 161
Knee flex, 180° s ⁻¹	1573 ± 77	1403 ± 77*	1439 ± 77*	1489 ± 77*	1518 ± 103*	1394 ± 103*	1461 ± 103*	1515 ± 103*
Ankle conc. PE, 30° s ⁻¹	134 ± 6	120 ± 6*	123 ± 6*	132 ± 6	131 ± 8	116 ± 8*	120 ± 8*	133 ± 8
Ankle ecc. PE, 30° s ⁻¹	191 ± 11	172 ± 11*	180 ± 11	189 ± 11	193 ± 15	161 ± 15*	174 ± 15	198 ± 15
Trunk ext, 60° s ⁻¹	446 ± 26	—	408 ± 27**	423 ± 27	400 ± 35	—	429 ± 36*	393 ± 35
Trunk flex, 60° s ⁻¹	225 ± 10	—	196 ± 12*	210 ± 11	196 ± 14	—	172 ± 14*	181 ± 14

Data are mean ± SE and represent peak torque for the single highest repetition (Nm) or total work for an entire set of repetitions (J: knee extension and flexion at 180° s⁻¹) during isokinetic dynamometry conducted approximately 50 days preflight (L-50) and 5, 14, and 30 days postflight (R + 5, R + 14, and R + 30). Per protocol trunk strength is not assessed at R + 5 testing. CON control group that performed the ISS standard of care exercise prescription, SPRINT experimental group that performed a high intensity/lower volume exercise prescription, ext: extension, flex: flexion, conc: IF concentric, plantarflexion, ecc: IF eccentric plantarflexion.

*Simple main effect for time relative to preflight (P < 0.05).
**Simple group × time interaction effect relative to preflight (P < 0.05).

NASA Sprint Study

Table 4. Cardiorespiratory parameters before and after long duration spaceflight with standard of care exercise or Sprint exercise prescription.

	CON			SPRINT		
	Preflight	R + 3	R + 30	Preflight	R + 3	R + 30
VO _{2peak} (L min ⁻¹)	3.36 ± 0.19	3.12 ± 0.19*	3.32 ± 0.19	3.22 ± 0.23	2.91 ± 0.23*	3.23 ± 0.23
VO _{2peak} (mL kg ⁻¹ min ⁻¹)	41.8 ± 1.6	39.7 ± 1.6*	41.8 ± 1.6	41.6 ± 1.9	38.2 ± 1.9*	42.0 ± 1.9
Ventilatory threshold (L min ⁻¹)	2.22 ± 0.15	1.97 ± 0.15*	2.25 ± 0.15	2.08 ± 0.16	1.79 ± 0.18*	2.00 ± 0.18
Peak workload (W)	302 ± 14	281 ± 14*	304 ± 14	269 ± 17	256 ± 17*	288 ± 17
Peak heart rate (beats min ⁻¹)	173 ± 3	174 ± 3	174 ± 3	178 ± 4	176 ± 4	176 ± 4

Data are mean ± SE and were collected approximately 50 days preflight (L-50) and 1 (Sprint) or 3 (CON) days and 30 days postflight (R + 1/R + 3 and R + 30). No group × time interaction effects were detected (P > 0.05). CON control group that performed the ISS standard of care exercise prescription, SPRINT experimental group that performed a high intensity/lower volume exercise prescription.

*Simple main effect for time relative to preflight (P < 0.05).

- ・ 筋力、持久力に両群に大きな差なし (一部の膝伸展、屈曲などではSprintが優れる)
- ・ 時間の短縮、機器の寿命延長に効果あり

将来のミッションへ向けて

より遠くへ、より安全に

- ・運動機器
- ・処方（種目、頻度、強度）
- ・リハビリテーション
- ・薬理学、栄養学

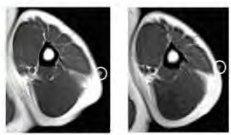


運動機器の開発

Hybrid Training

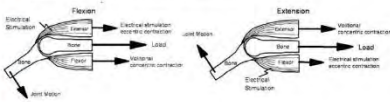



電気刺激で筋肉を鍛える。小型軽量・高効率



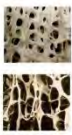
・エクササイズ側三頭筋筋量は+11.7%、コントロールでは-0.1%
・BMDはエクササイズ側+4.6%、コントロールで-1.2%

Shiba, 2015



Bisphosphonates as a Countermeasure to Space Flight Induced Bone Loss (Bisphosphonate)

PI: Adrian LeBlanc (USRA), Toshio Matsumoto (Tokushima Univ.)




ビスフォスフォネート：破骨細胞による骨吸収の際に特異的に破骨細胞に取り込まれ、破骨細胞のアポトーシスを引き起こす→骨吸収を抑制

Location	ISS Controls (n=14)	Bisphosphonate Subjects (n=5)
Forearm Wrist	-1.08%	-0.25%
Tracheal	-0.25%	-0.15%
Total Hip	-0.85%	-0.15%
Lumbar Spine	-1.08%	-0.15%

Legend: ● Controls, ■ Bisphosphonate, ▲ Control Mean, ◆ Bisphosphonate Mean

* p-values corrected by age, sex, when Fisher correction for multiple comparisons is applied

(Le Blanc AD, Matsumoto T, et al. The Annual Meeting of the ASBMR, San Diego, 2011)

月面歩行



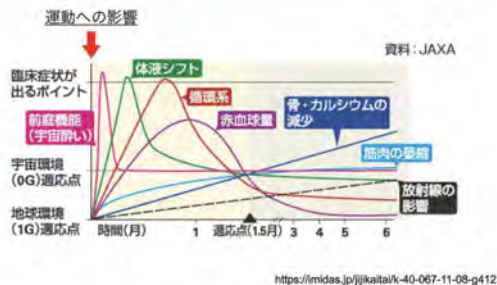
4.1.9. 第9回宇宙医学講義スライド集

2020年度後期 有人宇宙医学講義
担当：萩生 翔大（京都大学）

宇宙での姿勢制御

- 宇宙環境で運動できるのか？
- 身体運動における重力の影響とは？
- 長期間の宇宙滞在によって運動の仕方が変わる？

宇宙環境が人体に及ぼす影響



立位姿勢制御



自己紹介



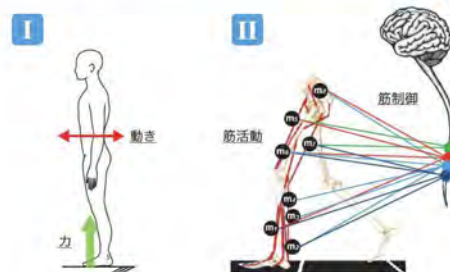
萩生 翔大 (Hagio Shota), Ph.D

京都大学 大学院人間・環境学研究科 専任講師
宇宙総合学ユニット

専門分野：身体運動制御学、神経科学
キーワード：自由度、運動学習



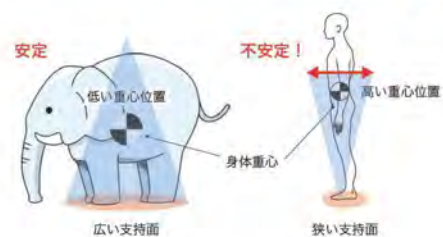
本講義の進め方



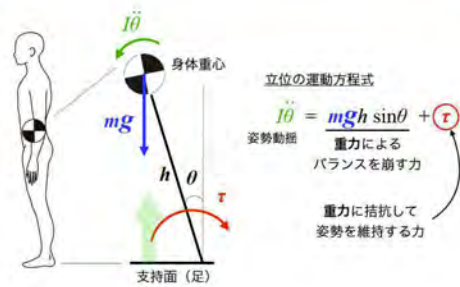
講義のアウトライン

- I 宇宙での運動を考えるための姿勢制御
宇宙滞在によって生じるバランス制御能力の変化
- II 宇宙滞在のために考えるべき筋制御問題
長期宇宙滞在によって生じる筋制御の変化
惑星探査ミッションを目指した今後の研究

ヒトの静止立位は非常に不安定



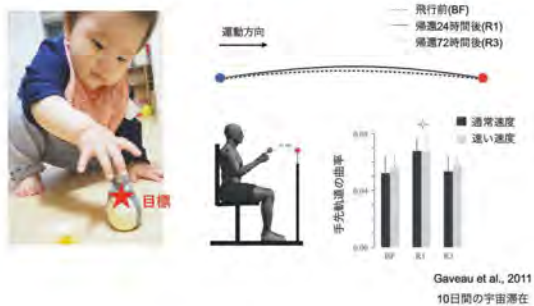
バランスを崩す力



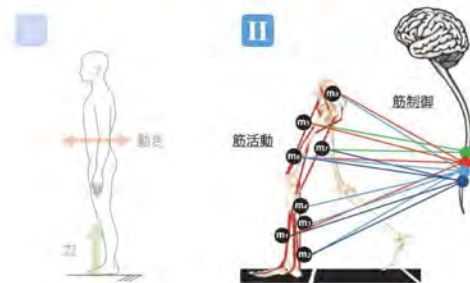
宇宙環境が運動を変える



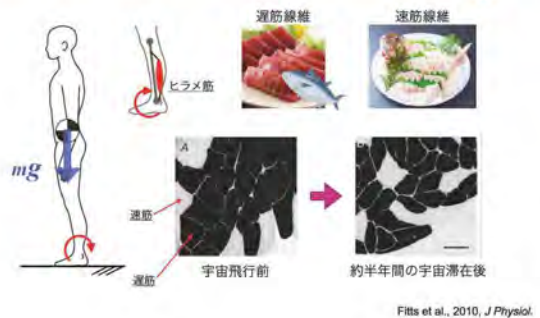
宇宙滞在前後のリーチング運動軌道の変化



講義のアウトライン



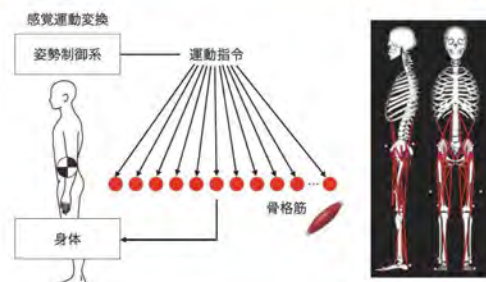
抗重力筋の萎縮



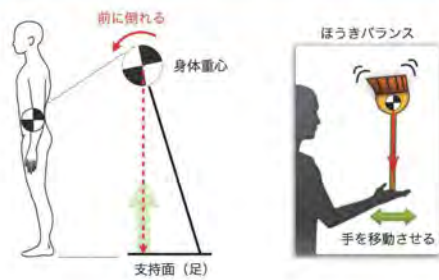
筋萎縮を抑えるための筋力トレーニング



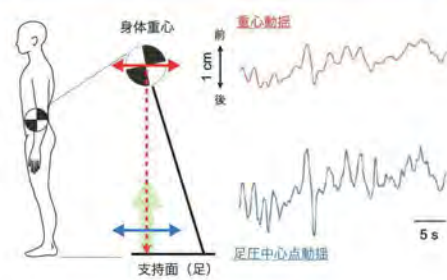
多くの筋活動が運動を生み出す



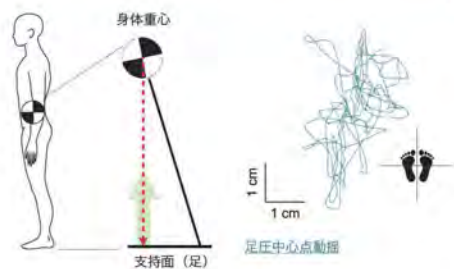
絶え間のないバランス制御



揺れながらバランスをとっている



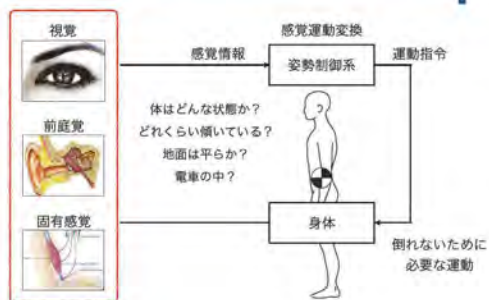
揺れながらバランスをとっている



立位を維持するための感覚運動制御



姿勢制御に関わる感覚センサー



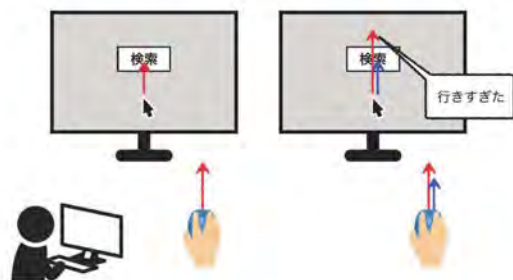
感覚運動変換はあらゆる運動制御の基礎



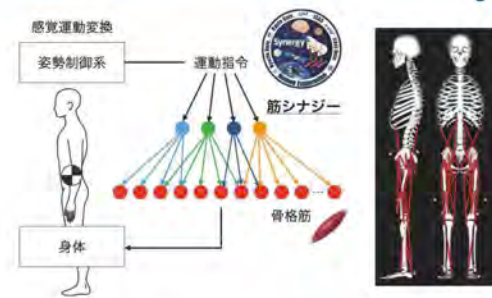
知識があるから運動できる



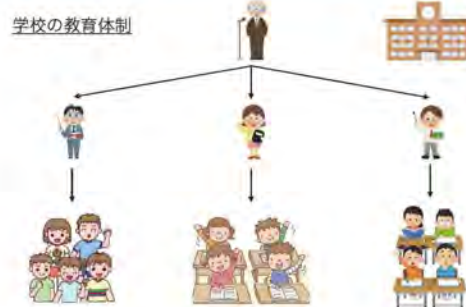
運動の知識は日々蓄えられている



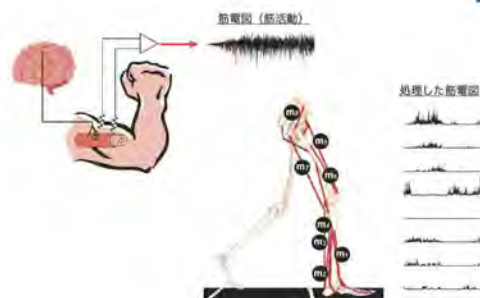
膨大な数の筋を制御するための仕組み



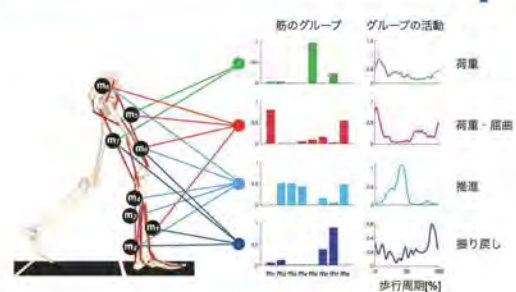
シナジーによる制御の簡略化



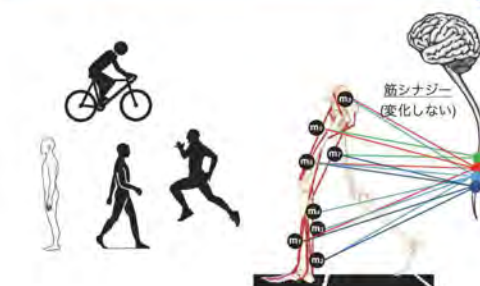
筋シナジーを定量する



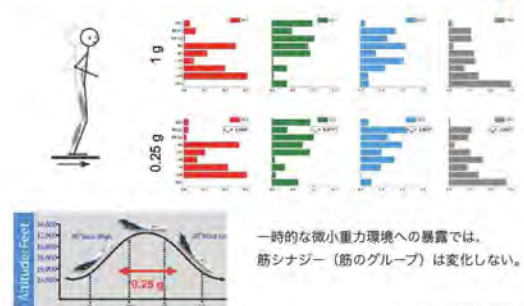
筋シナジーを定量する



筋シナジーはあらゆる運動の基礎

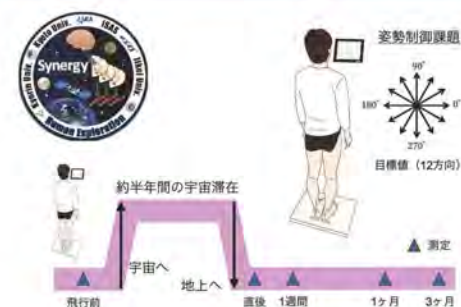


微小重力環境での筋シナジー



Holubarsch et al., 2019

長期宇宙滞在前後の立位筋シナジーの定量



本日のまとめ

- ヒトは重力に抗して姿勢を制御している。
- 宇宙の新たな重力環境では、運動の知識を更新する必要がある。
- 長期宇宙滞在によって、筋シナジー（筋のグループ）が変化する。
- 筋シナジーが変化することで、帰還後、姿勢の安定性が低下する。

※授業後質問のある方は下記の共生e-mailへお願いします。

hagio.shota.3r@kyoto-u.ac.jp

4.1.10. 第 10 回宇宙医学講義スライド集

宇宙服

田中邦彦

岐阜医療科学大学
大学院保健医療学研究科
ktanaka@u-gifu-ms.ac.jp



JAXAについて (英語版) プロジェクト (英語版) ファンファンJAXA! (英語版) サイトコンシェルジュ (英語版)

宇宙服の未来

宇宙服を着た宇宙飛行士は、2012年7月中旬より約4ヶ月間、国際宇宙ステーションに長期滞在し、初めての船外活動に挑戦しました。これは日本人として初の船外活動で、宇宙医学の分野は日本人の宇宙飛行士の安全と健康を確保するために、宇宙服の船外活動を担う役割は、船外活動の宇宙服の現状と課題、日本の宇宙服の研究について紹介します。

船外活動を支えたチームの不屈の精神力
Akimasa Hoshino
JAXA宇宙飛行士

宇宙医学に基づいた人にやさしい宇宙服
Kumiko Tanaka
岐阜医療科学大学
保健科学部 放射線医学科 教授

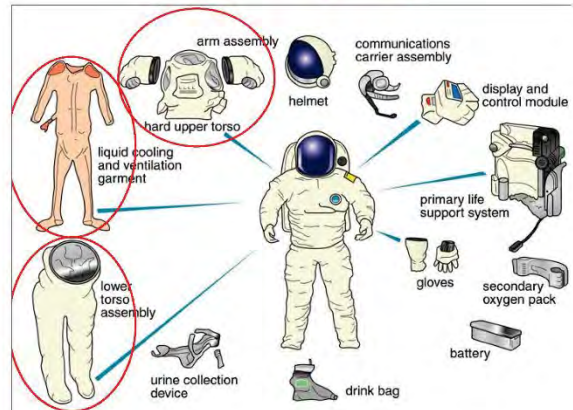
1. 宇宙服の構造
2. 減圧症の病態生理
3. 宇宙服メイドインジャパンを目指して

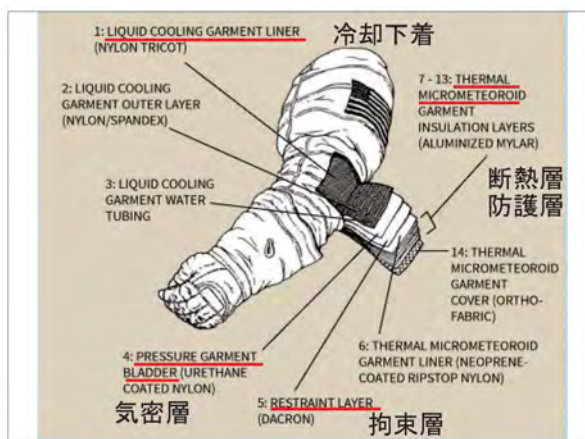


船外活動用宇宙服
= Extravehicular Activity Suit



アメリカ製
Extravehicular Mobility Unit

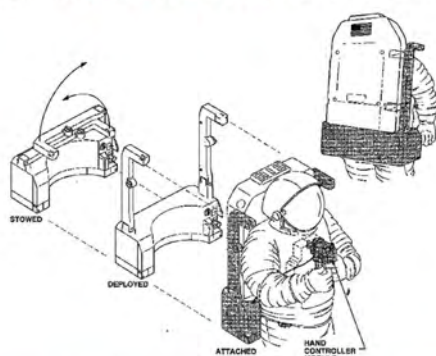




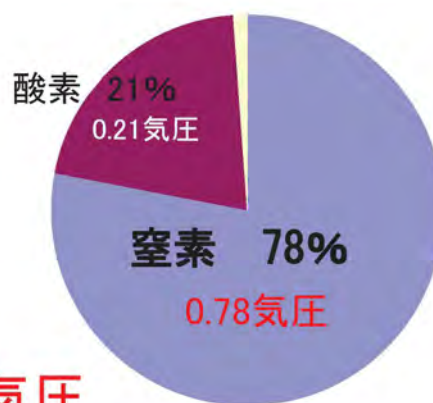
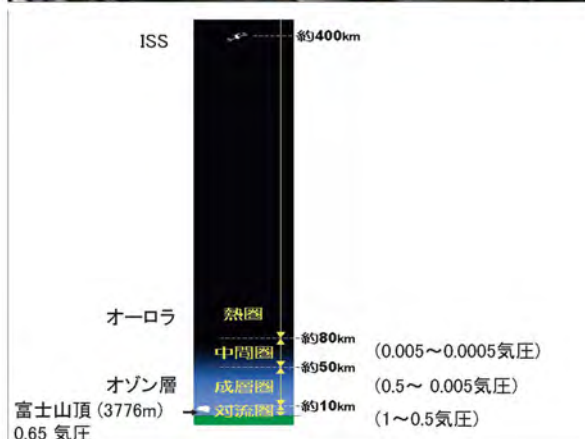
Simplified Aid for EVA Rescue : SAFER



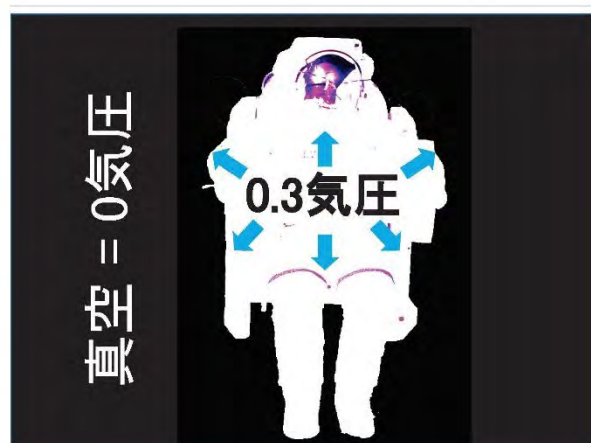
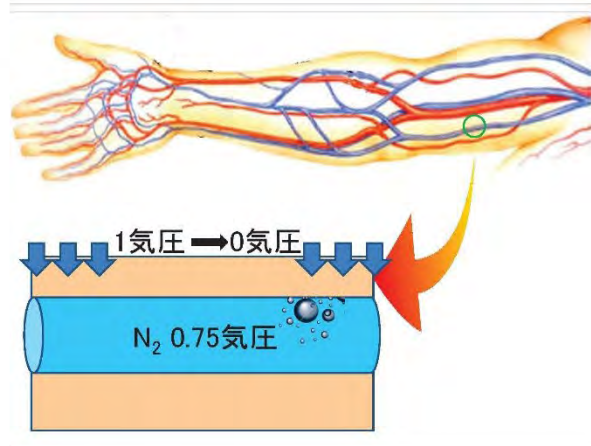
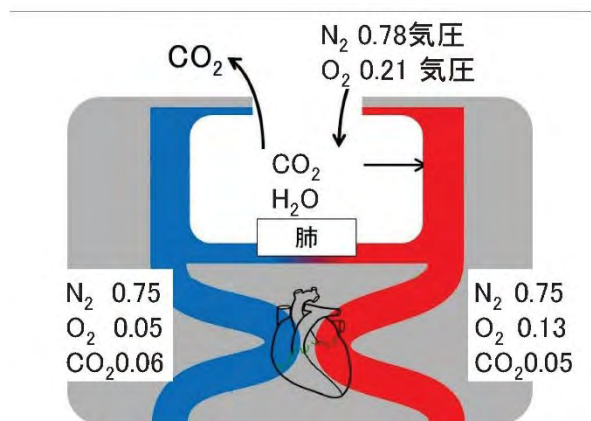
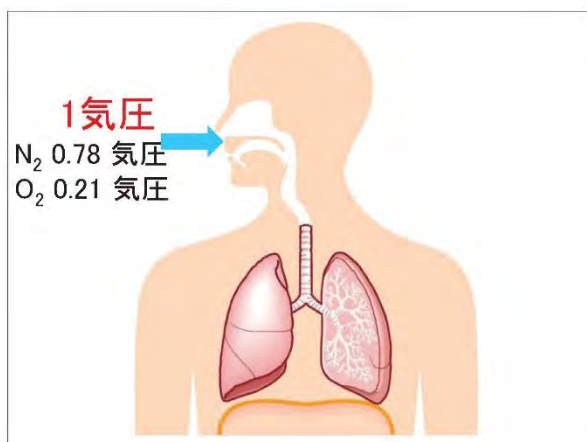
Simplified Aid for EVA Rescue : SAFER

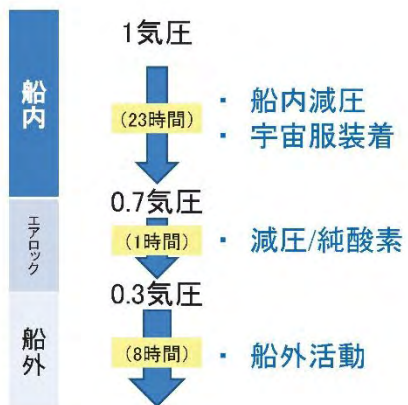


減圧症



1気圧





	高与圧	低与圧
減圧症リスク	低	高
可動性	低	高



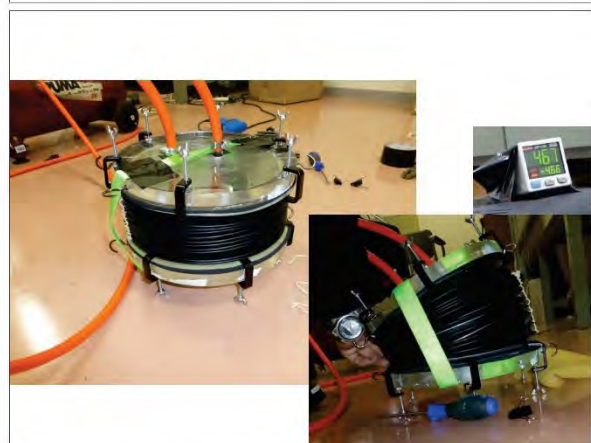
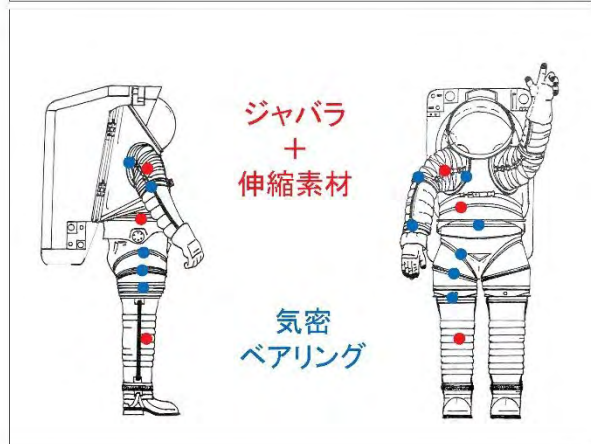
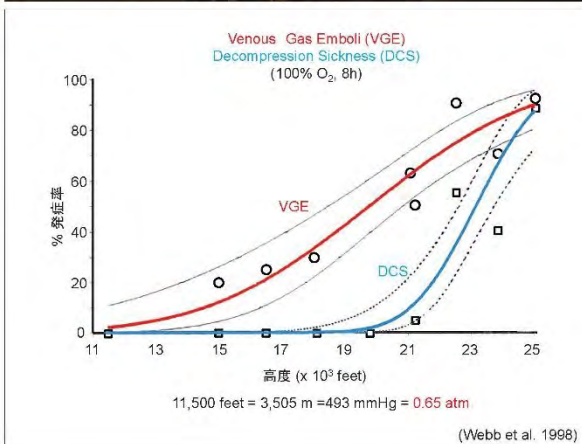
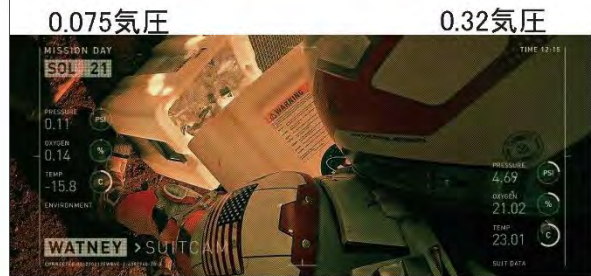
Hard Suit

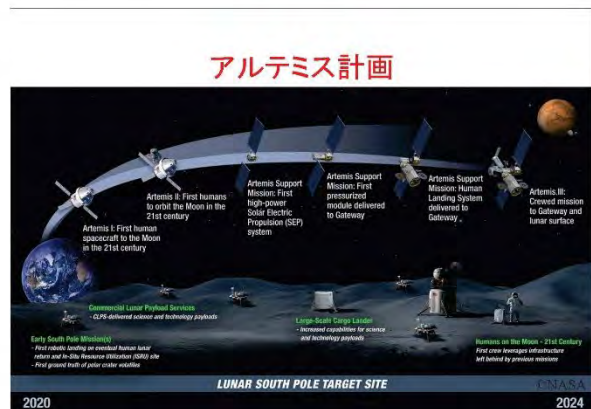
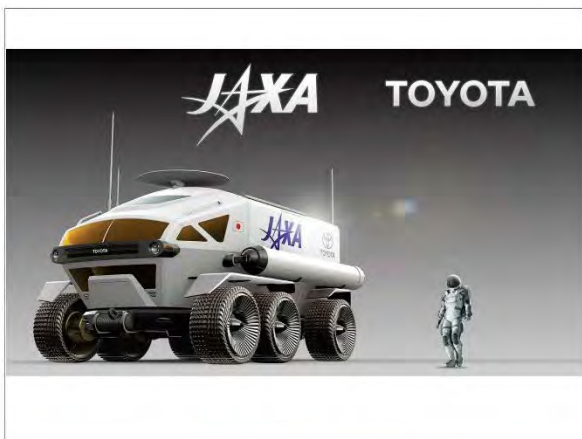


AX-5

Mechanical Counter Pressure Suit 弾性与圧スーツ







NASAの月面探査計画、24年までの達成困難か 宇宙服開発の遅れで

© 2021.08.11 Web Japan 10:42 JST

米宇宙局（NASA）が掲げる、米国宇宙飛行士を2024年までに再び月へと送り込むという「アルテミス計画」の目標について、米国のポール・ウェイツ（Paul Weitz）氏は、宇宙服の開発が遅れているため、計画は実現しないとの見解を示した。

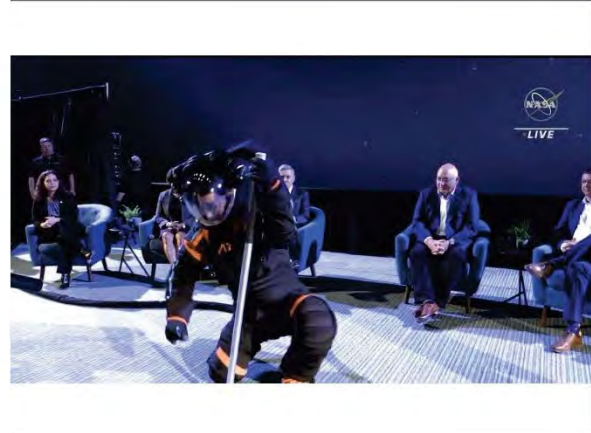
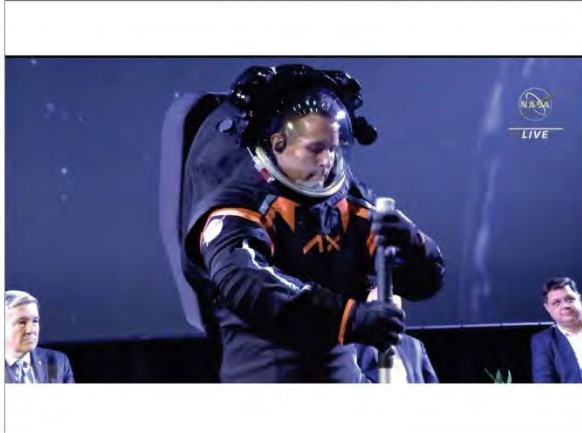


NASAの月面探査計画（NASA）の目標について、米国のポール・ウェイツ（Paul Weitz）氏は、宇宙服の開発が遅れているため、計画は実現しないとの見解を示した。

（CNN）米宇宙局（NASA）が掲げる、米国宇宙飛行士を2024年までに再び月へと送り込むという「アルテミス計画」の目標について、米国のポール・ウェイツ（Paul Weitz）氏は、宇宙服の開発が遅れているため、計画は実現しないとの見解を示した。

米宇宙局はNASAが2024年までに100億ドル（約1000億円）規模の予算を投入するとしているが、その中で最も重要な部分は、宇宙服の開発に費やされる。ウェイツ氏は、宇宙服の開発が遅れているため、計画は実現しないとの見解を示した。

米宇宙局は計画の遅れについて、資金不足および新型コロナウイルスの影響を理由に説明している。



- (船外活動用)宇宙服は純酸素**0.3**気圧
- 急激な気圧低下は**減圧症**を引き起こす
- 呼吸には気圧が必要、でも活動には邪魔
- **接触圧**でも気圧の代用可
- 次世代の宇宙服**メイドインジャパン**は？



文部科学省 令和4年度宇宙航空科学技術推進委託費 採択課題

課題名	機関及び代表者名	終了予定年度
(1) 宇宙航空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	京都大学 寺田昌弘 (岐阜医療科学大学 田中邦彦)	令和6年度
(2) 宇宙航空脱炭素技術等創出プログラム		
CFRPの真空対応ケミカルリサイクルシステム	京都府立大学 富藤久士	令和6年度
宇宙木材産業の創出をめざした宇宙材料としての木材利用の探究	京都大学 土井隆雄	令和6年度
(3) 宇宙探査基盤技術高度化プログラム		



おつかれさまでした。

4.1.11. 第 13 回宇宙医学講義スライド集

「衰えない筋肉をつくる」ための骨格筋研究

河野 史倫

松本大学・大学院健康科学研究科



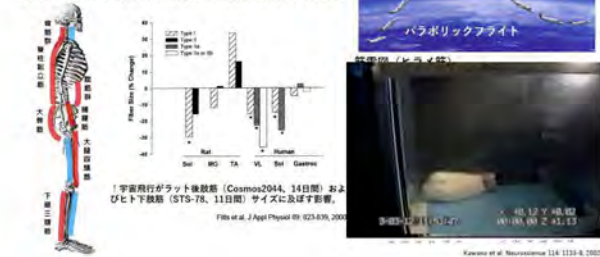
宇宙開発の展望と宇宙医学



宇宙滞在中の骨格筋変化と対処法

抗重力筋

重力下において姿勢保持のために持続的に活動する骨格筋

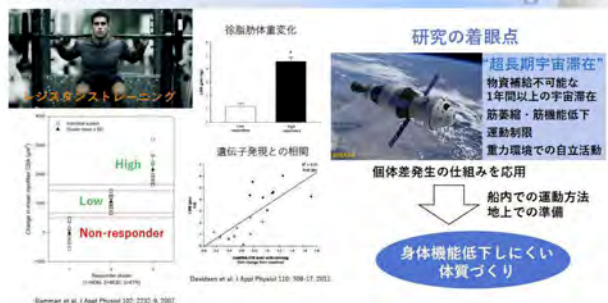


宇宙滞在中の骨格筋変化と対処法

ISS長期滞在（約180日）クルーにおけるヒラメ筋線維サイズ変化

クルー No.	サイズ比 (vs. 飛行前)	ISS滞在中の運動方法選択	
		エアロビックス (分/週)	レジスタンス (kg)
A	28%	E: 170, T: 85	6日
B	111%	E: 296, T: 312	数日
C	63%	E: 128, T: 32	3~5日
D	62%	E: 123, T: 71	3~5日
E	72%	E: little, T: 200	情報なし
F	24%	E: 55, T: 77	5日
G	78%	E: 135, T: 198	ほぼ毎日
H	74%	E: 90, T: 274	ほぼ毎日
I	89%	E: 110, T: 146	ほぼ毎日

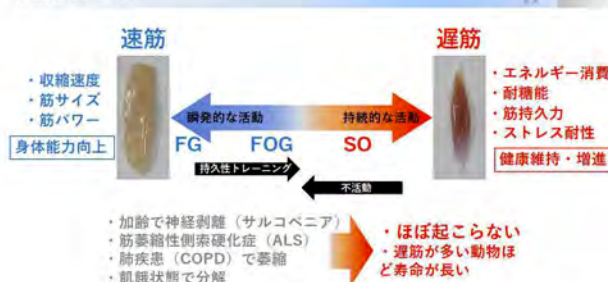
運動効果の個体差



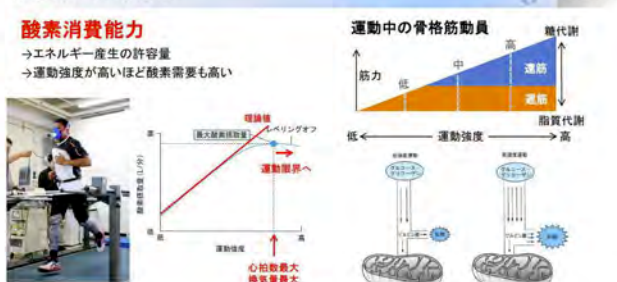
骨格筋の種類



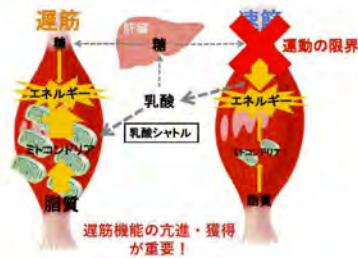
骨格筋の種類



骨格筋と運動能力

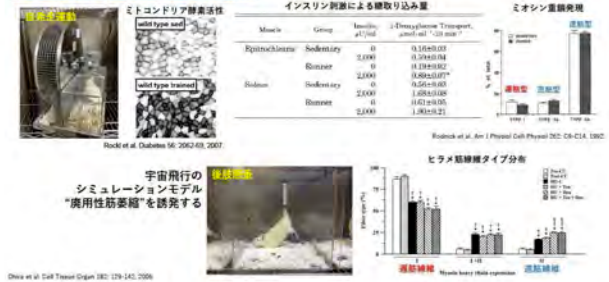


骨格筋の特徴と運動限界



骨格筋の“変わりにくさ”

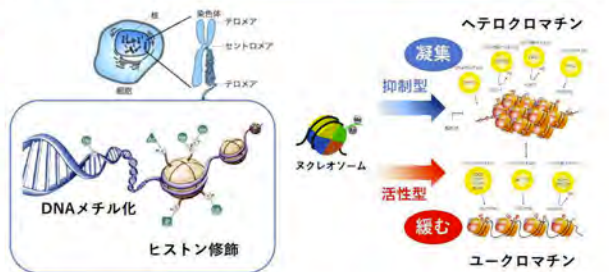
適応変化の限界を示唆する実験結果



骨格筋の種類

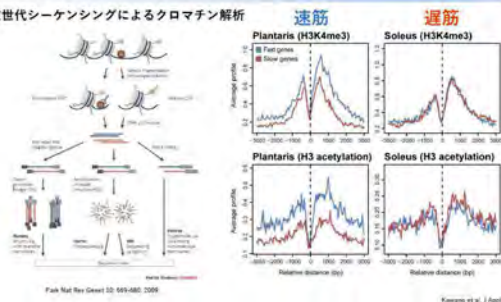


エピジェネティクス



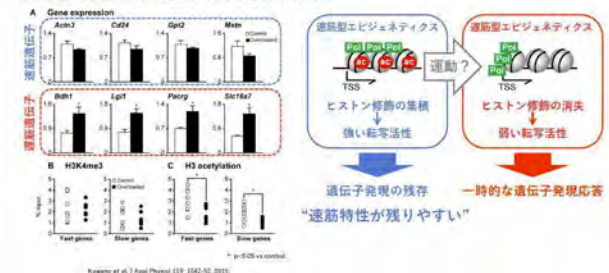
骨格筋に発生するエピジェネティクス

次世代シーケンシングによるクロマチン解析



エピジェネティクスによる骨格筋の制御

なぜ遅筋には完全な遅筋化が起こらないのか？



運動による“ヒストンターンオーバー”の発見と応用



マウスを用いた長期間の宇宙実験



国際的な共同研究チーム

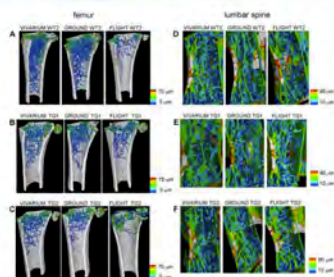
日本での地上実験実施



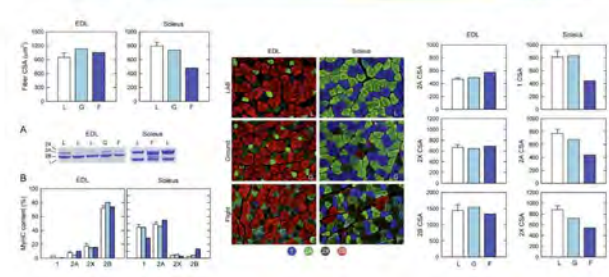
科学論文の発表



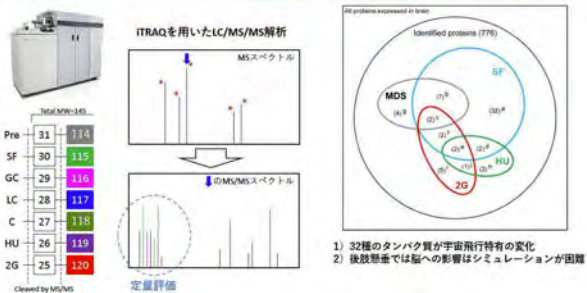
骨構造への影響



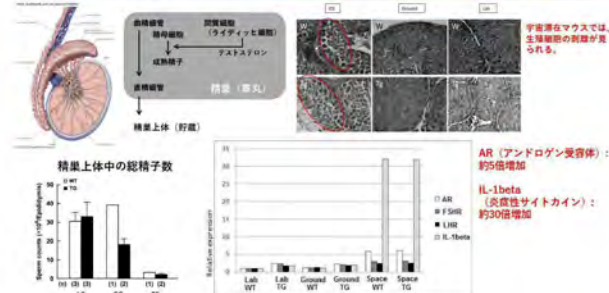
骨格筋への影響



脳への影響

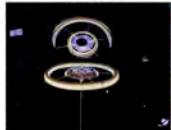


精子形成への影響



人工重力 (Artificial Gravity)

1970年代にイメージされたスペースコロニー



NASAが構想するノースラスX



MDSを使用した過重力実験

MDS-HyperG

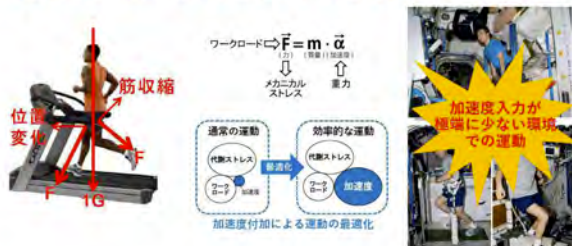


2019年～現在進行中
2019年5月 サンプルシミュレーション
2019年7月 ドライラン
2020年3月 本実験 (中止)

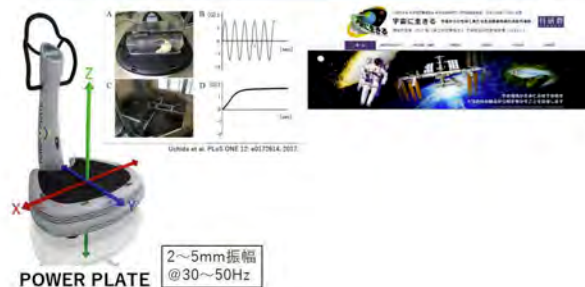


“加速度”という生理刺激パラメータ

仮説：運動効果の一部は“加速度”によって獲得されているのでは？

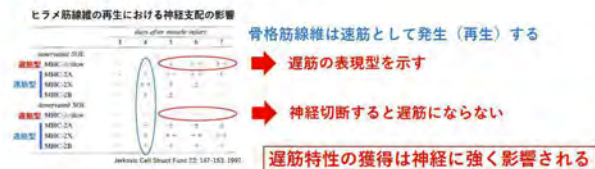


全身振動による加速度刺激

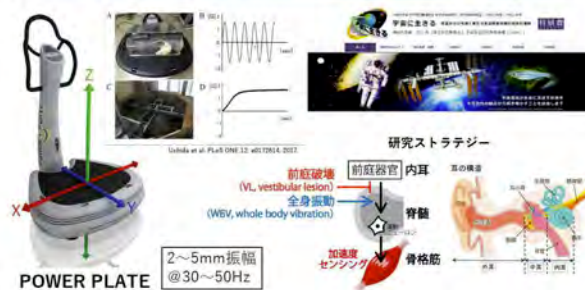


骨格筋の神経支配

運動しても完全な遅筋にはならないのに・・・
遅筋は発生的に遅筋になれるのは何故？



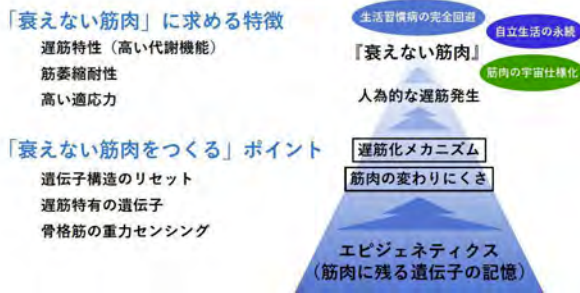
全身振動による加速度刺激



最適な運動



まとめ



Thank you
for
your attention.



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

ウインドウを閉じる

4.3 ヒューストンでの宇宙医学実習の発表資料

2024/2/21

Introduction of my study

"How can we walk well on the moon??"

1 G 0.16 G

My profile

Asahi Haraguchi

Kyoto university master's degree student

Hobby : running

Major : Motor control ,
medicine of manned space exploration

I complete ultra-marathon(100 km) three times.

Human-crewed Lunar mission

1961~

Apollo program

⇒ 12 persons landed on the moon

2017~

Artemis program

⇒ New person will land on in 2026

Moon's particular environment

- ⇒ low gravity
- ⇒ low pressure
- ⇒ high radiation
- ⇒ closed environment

⇒ we should understand influences BEFORE Artemis mission

Human-crewed Lunar mission

1961~

Apollo program

⇒ 12 persons landed on the moon

2017~

Artemis program

⇒ New person will land on in 2026

However, only 12 astronauts landed on.

There are little data ...

↓

Studies with simulation on the earth → preparation

Safety

Moon's particular environment

⇒ low gravity

- ⇒ low pressure
- ⇒ high radiation
- ⇒ closed environment

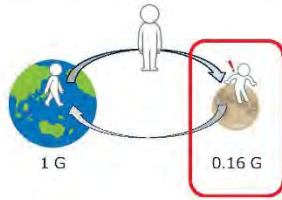
How will the motion be on lunar low gravity?

1 G 0.16 G

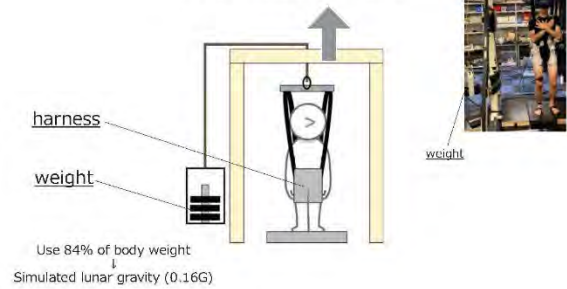
How it will be on lunar low gravity?

Recorded during Apollo program

How can I simulate low gravity?



How to simulate low gravity

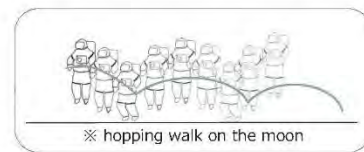


What movement I investigate?



Astronaut should adapt this walk as soon as possible

What movement I investigate?



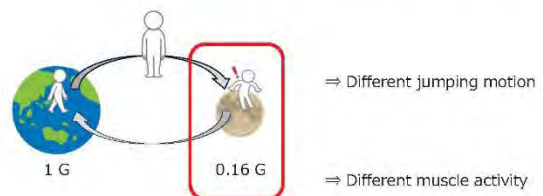
How do simple jump in low gravity??

What movement I investigate?

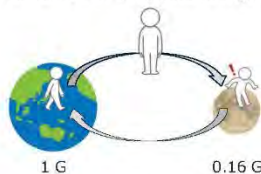
Measure: Subject movement
Ground reaction force
Muscle activity



What happen to human in simulated low gravity



what happen to human in simulated low gravity



Future, the process of adapting
↓
Artemis crew's training before launch

Advanced Strengthening Techniques for Metal 3D Printing and its Potential for Manned Space Activities



Koei KADOI
Department of Applied Mechanics and
Aerospace Engineering,
School of Fundamental Science and Engineering,
Waseda University

Profile

p.2

Koei KADOI



Affiliation	1 st year Master's student
Major	Applied Mechanics and Aerospace Engineering
Research	Advanced Strengthening Techniques for Metal 3D Printing
Aspiration	Exploration as an astronaut

Motivation Inspiring words from a respected figure

p.3

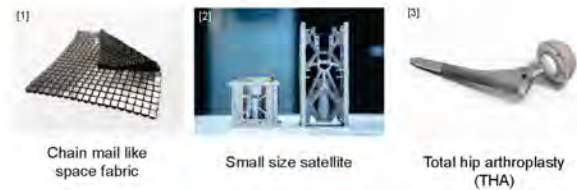
Social gathering after the academic conference...



I want to actively learn as much as possible!
Please share your valuable insights with me!

Question What do these objects have in common?

p.4

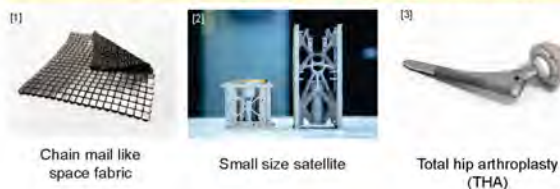


(1) Chain mail like space fabric: "Metallic Space Chain Mail" used for "Space" (2014). (2) Small size satellite: "Small Satellite" (2014). (3) Total hip arthroplasty (THA): "Total hip arthroplasty" (2014).

Question What do these objects have in common?

p.5

These are **all** made using **metal 3D printing technology** !



(1) Chain mail like space fabric: "Metallic Space Chain Mail" used for "Space" (2014). (2) Small size satellite: "Small Satellite" (2014). (3) Total hip arthroplasty (THA): "Total hip arthroplasty" (2014).

My mission Objective of this presentation

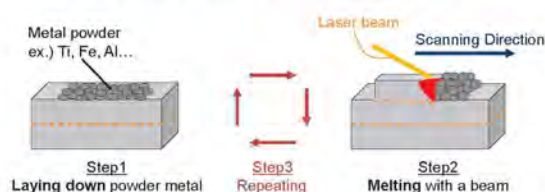
p.6

To explore creative avenues for enhancing
metal 3D printing opportunities in space activities
through an **engaging discussion**

Introduction What is metal 3D printing ?

p.7

Metal 3D printing involves a **layer-by-layer fusion process**
using **powdered metal** to produce intricate objects



Introduction Advantages of 3D printing

p.8

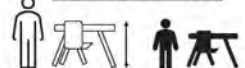
1. Realize complicate shapes

ex.1) Curved structure

ex.2) Lattice structure



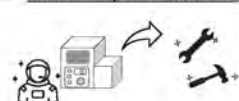
3. High customization for individual needs



2. Remake by change into powder

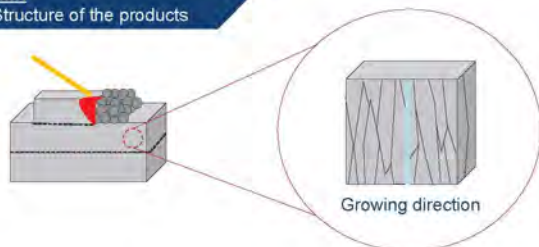


4. "Made in Space" initiative



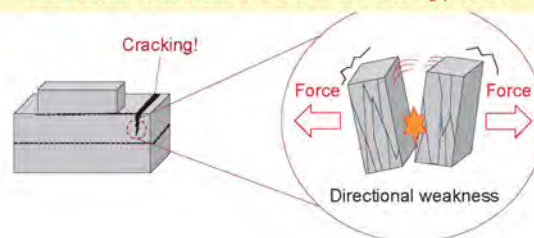
Question What is challenges of 3D printing? p.8

Hint
Structure of the products



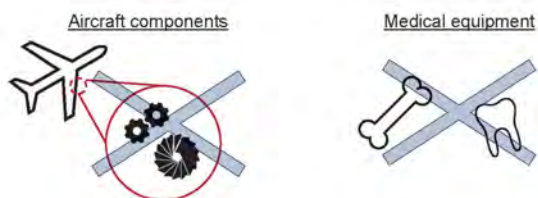
Question What is challenges of 3D printing? p.10

Answer:
Directional weakness due to the manufacturing process



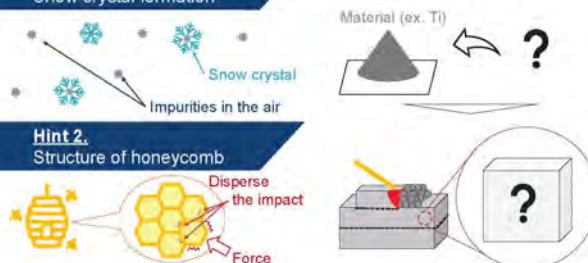
Question What is challenges of 3D printing? p.11

Answer:
Directional weakness due to the manufacturing process
⇒ **Inapplicability** to objects requiring **high reliability explained**



Question How can we prevent the cracking? p.12

Hint 1.
Snow crystal formation



Question How can we prevent the cracking? p.13

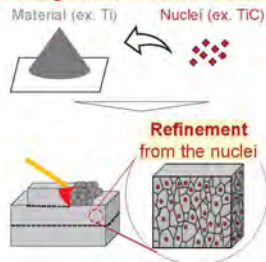
Hint 1.
Snow crystal formation



Hint 2.
Structure of honeycomb



Answer:
Adding nuclei of solidification



How can we unleash
the potential of this technology
in the expanse of space?

Exploring How to expand opportunities for 3D printing in space? p.15

Let's take a moment to reflect.

Consider

- What scenarios?
ex.) Mars
- What advantages to leverage?
ex.) "Made in space" initiative
- What can be achieved?
ex.) Constructing the residence by regolith



*NASA's Crew Health and Performance Exploration Analog & Mars
Dune Alpha Habitat, 13 Feb. 2024. <https://www.nasa.gov/newsroom/space/cheperahabit/> Accessed 13 Feb. 2024.

Idea Scene: Immediately after arrival on Mars p.16

Challenges astronauts will face



The paper^[1] said after 1-2 weeks of space flight, muscle strength declines;
Lumber extensors: 23%, knee extensors: 12%, abdominal muscle: 10%, ankle
dorsiflexors: 8%, knee flexors: 6%

[1] Greenstein MC, Hayes JC, Simonsen SF, Moore AD. Functional performance evaluation. In: Extended Duration Orbiter Medical Project Final Report 1989-1995 (ed by Savin CF, Taylor GR, Smith WL). Vol.3, NASA, 1999. pp1-24

Idea Achievement: **Creating assistive devices** p.17

These devices are already developed

Exoskeleton robotic suit



"3D printed exoskeleton helps paralyzed users walk again"
15 May, 2014, <https://www.ck12.org/301-470-05-3d-printed-exoskeleton-helps-paralyzed-users-walk/> Accessed 13 Feb. 2024

Leg brace
for the knee joint



"How to 3D Print Effective Leg Braces," 20 May, 2023,
<https://www.sprtm.com/news/3d-printed-leg-braces/> Accessed 13 Feb. 2024

With updates for space missions, they'll excel in space!

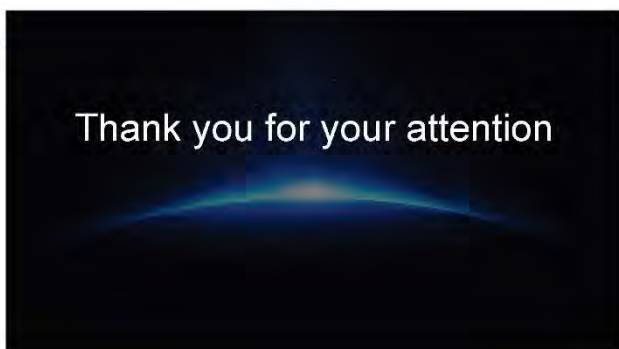
Idea Leveraging Advantages: **All** p.18

Plan for leveraging metal 3D printing

1. Send 3D printers to the Mars base in advance 	2. Bring only the minimal device 
3. Move to the base using minimal device 	4. Upgrade to a robot suit with reliable strength 
5. After adapting to gravity, transform into powder and remake 	

Exploring How to expand opportunities for 3D printing in space? p.19

- What scenarios?
 - Immediately after arrival on Mars
- What can be achieved?
 - The safety of activities during gravity adaptation on Mars
- What advantages to leverage?
 - ✓ 1. Realize complicate shapes
 - ✓ 2. Remake by change into powder
 - ✓ 3. High customization for individual needs
 - ✓ 4. "Made in space" initiative
 - ✓ 5. Crack resistance achieved through nucleation site addition



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、遠征で学んだ知識を活かし、被験者データを測定・解析できる貴重な機会となる



ベッドレスト実験実施の様子:
長時間の安静を要する状態
(「微重力感」を体験することにより、宇宙滞在(微小重力下)での身体影響を把握できる。)

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した人体、特に心臓・血管などの循環器系、筋・骨などの運動系、視覚・平衡感覚といった感覚系にどのような変化があるか、またそれらを定量的評価する方法を考察し、実際に体験することによって理解を深めることができる。

微小重力環境下での人体に対する対処方法の理解

模擬微小重力環境で生活する際の衣料・居住環境の整備方法、食事・睡眠・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。

微小重力環境下で人体の変化に対する対処法の理解

微小重力環境における人体変化に対して講義を通じて学んだ対処方法などが実際に有効かを体験しながらより深く考察できる。

その他

人対象研究の実施方法(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 (Gravite) での細胞培養実験を通じて微小重力環境が筋細胞へ及ぼす影響を解析



岐阜医科大学:

宇宙服開発におけるプロトタイプの見学と、Galvanic Vestibular Stimulation (GV5: 前庭系を介して電気刺激する方法) を体験



10

有人宇宙医学講義

対象学生: 大学院生、学部生(聴講可)
曜日: 水曜日4限
場所: 京都大学総合生命学館大講義室(2F)

概要・目的:

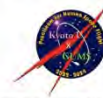
人類の宇宙進出は、特に技術的発展に伴って益々活況となっている。人の宇宙滞在もスペースシャトルから国際宇宙ステーションに宇宙プログラムが移行して、益々長期化し、今後は月面ミッションや火星ミッションなどで数年単位の旅も現実のものとなっている。しかし、地球環境に適応して進化してきた我々が、宇宙環境に滞在した際にどのような影響があるのかはすべて解明されているわけではない。そのため本講義では、今後の有人宇宙活動に向けて、人への宇宙滞在の影響がどのようなものであるかを学び、将来的にその対策方法の解明に役立する人材育成を目的とする。

2023年度の実施内容:

- 【第1回】10月4日 宇宙医学概論(寺田昌弘: 京都大学)
- 【第2回】10月11日 宇宙酔い・野村命之: 日大)
- 【第3回】10月18日 宇宙生物実験 (毒地本宮: 慈恵医大)
- 【第4回】10月25日 フライトサーージャンの役割(崎田和人: 筑波研、元JAXA医師)
- 【第5回】11月1日 宇宙での骨格筋への影響①(志波重人: 久留米大)
- 【第6回】11月8日 宇宙での自律神経系への影響(佐藤敬: 愛媛大)
- 【第7回】11月15日 宇宙での心臓循環系への影響(南沢孝: 慈恵医大)
- 【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(森生剛大: 京都大学)
- 【第10回】12月13日 宇宙服と減圧症(田中明彦: 岐阜医療科学大)
- 【第11回】12月20日 宇宙放射線の影響①(山崎廣亮: 京都大学)
- 【第12回】12月27日 宇宙放射線の影響②(山崎廣亮: 京都大学)
- 【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(谷津澤 慈恵医大)

Thank you for your attentions.

宇宙医学HP



This program is supported by MEXT Coordination Funds for Promoting AeroSpace Utilization; Grant Number JFJ000959.

4.5 大分県立高校での出前授業

出前授業@大分県立大分上野丘高等学校・国東高等学校

宇宙にヒトは住めるのか？宇宙滞在の現実 ～宇宙でどうなる？～

2024年1月31日（水）・2月1日（木）

京都大学宇宙総合学ユニット

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ユニット 兼任



JAXA・向井研で

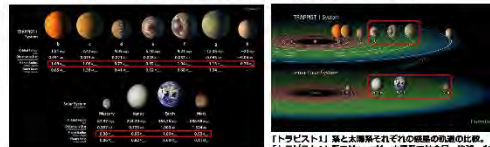


NASA Ames Research Centerで

専門は宇宙医学

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→地球外生命はあるのか？



・「みずが氷の方向に約40光年離れた惑星「トランジット1」の周りに、大きさが地球の0.76～1.13倍の惑星7つを発見。
・1つは金星で、2つは地球と似た大きさの惑星。このうち2つは地球に似た位置で、後者でできているとみられる。
・別の解とあるNASAのスピッツァー宇宙望遠鏡などで観測。
・少なくとも2つの惑星は表面に水が液体の状態で存在する可能性がある。
・惑星は金星からの距離が約1.24倍（生命が住むのに適したゾーン）にある。水が存在するほど熱すぎたり、冷たすぎたりすることは無い→**生命が存在する**？



地球の生命はどこから来たのか？



「はやぶさ2」が帰還したのは、小惑星リュウグウ。リュウグウには、水素と炭素が豊富にあり（今から約46億年前の地球とほぼ同じ）、今でも生きていると見られる。地球の生命はここから来たのか、生命が地球に到達する可能性がある。そこで考えたのは、生命が宇宙から来たのか？



なぜ「生命」の起源が「海」なのか？
ミネラルと共に進化した生命



地球の誕生 約46億年前
生命の誕生 約38億年前
生命の起源
・化学起源説
・地球外起源説（パンスペルミア説）
地球の生命の起源は地球ではなく他の天体で発生し、生命の母星が地球に到達したもので、とする説で、1963年に、スウェーデンのスヴァンデ・アレニウスが提唱。

火星からの隕石に微生物のような組織？
火星に水→生命？

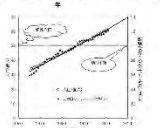
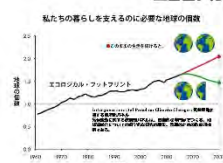
地球を考えよう

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える



人間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) 化石燃料の燃焼によって排出される二酸化炭素や他の気体によって大気中の温室効果ガスが増える。
2) 森林、草原等に伐採される土地面積。
3) 食糧の生産に必要な土地面積。
4) 鉱山、森林の伐採に必要な土地面積。
などを合計した値として計算される。この場合、**人間が消費する資源可能な土地面積**はアメリカで7.6ha、中国では2.2ha、日本4.3ha、インド6.9ha、世界平均1.8haとなり、**先進国の資源の消費割合の減少を示すものである。**
人間が地球環境に及ぼす影響の大きさを、**「地球の自然生態系を維持するための土地」**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

・天にどこまでい、空を飛びたい、空の向こうには何かあるの？ 深くむくした憧れ。
・人間の遺伝子に書き込まれた好奇心や好奇心、探求心に促されて？
・科学技術を開発させ、地球や飛行機を作ったり、ロケットを開発し、月に向かい、ついには宇宙ステーション、無重力飛行の時代へ。
・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。
・実数値、星々の距離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？

月や火星に定住して生活したい

・宇宙資源を利用して人間の生活に貢献
・地球を住みやすい環境に変えていく。

トランジット時代に「宇宙」を人類が意識し始める

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

宇宙環境での人への影響

＜帰還直後の様子＞

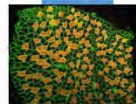


© JAXA

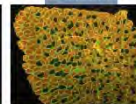
微小重力環境下での筋肉への影響

＜骨格筋の特徴＞

速筋繊維



遅筋繊維



速筋繊維：
赤色で、収縮が速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

遅筋繊維：
白色で、早い収縮を行い興奮性に優れているが、疲れやすく持久力は弱い



宇宙環境での骨格筋への影響：

＜筋萎縮＞



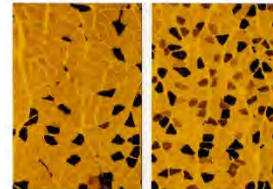
コントロール群 後肢懸垂群（3ヶ月）

Kawano et al., Am J Physiol Cell Physiol 295: C458-67, 2008.

- ・抗重力筋（速筋優位な筋肉）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%

＜筋繊維のタイプ変化＞

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（14days）
Ohira et al., J Appl Physiol 73: 515-575, 1992.

・速筋繊維の**速筋化**が生じる



© c.hodanaka.ne.jp/taekwondo/taekwondo200511

＜筋力の低下＞

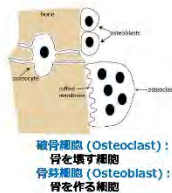
- ・短期（1～2週間）の宇宙飛行でも筋力低下が生じる

宇宙環境での骨への影響：

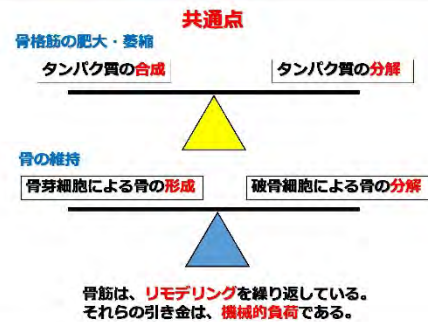
＜骨密度の低下＞



健康骨 骨粗鬆症患者
© pabara.net/reu.com/reu.html



- ・骨からカルシウムが溶出し、骨量減少や尿路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



無重力環境下で心血管系の起立耐性を低下させる直接的因子

- 1) 循環血液量の減少
- 2) 自律神経系の適応による心血管系の調節機能の低下

A man in a white lab coat is working with laboratory equipment, possibly a microscope or a similar instrument. He is looking down at the equipment with a focused expression. The background shows other laboratory equipment and a large circular structure, possibly a centrifuge or a large container.

5 TAXA

[illegible]

Shinojima, Kakeya et al., Association of Space Flight With Problems of the Brain and Eyes. *JAMA Ophthalmology* 136 (9), 1075-1076, 2018.

JAXAの目指す有人探査計画

- ISS (2017)
- JAXAの目標
 - ・月近傍ステーション
 - ・月面探査
 - 火星表面探査
- 地上
 - 0.001 m/s (JUNICAR 2008 観測音)
- 地球気圏内
- 宇宙飛行
 - 1 m/s (NASA MSRL 実用)
- 地球気圏外

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

外界 (環境)

脳外

脳内

$P_1, a, L_1, \dots$

$P_2, a, L_2, \dots$

一次宇宙線

- ・銀河宇宙線：常時的に到来
- ・陽子、 α 粒子、重核 (L_1)

二次宇宙線

- ・一次宇宙線と物質との相互作用
ならびに核反応により生成
- ・陽子、 α 粒子、中性子など

<飛行中>



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

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



ペンギンスーツ



スーツに弾力バンドがついており、張力によって体に負荷がかかる

<飛行後>

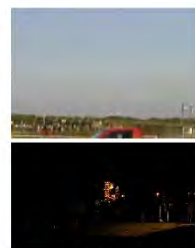
帰還直後の転倒による骨折や捻挫を予防し、飛行前の体力に回復させることを目的に行われる

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.

これまで行われてきた宇宙実験

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まれてからずっと重力の中で進化してきたけど重力が無くてもだいじょうぶな事がわかってきた



宇宙で育ち、微重力から子孫へと受け継がれてきた生き物。メダカが宇宙で自然に子孫を残した。その子孫は、地球に帰った時に子孫を残した。→宇宙メダカの卵



生まれてすぐの卵はかえらない。
生まれて少し地上に置いた卵はかえったぞ！

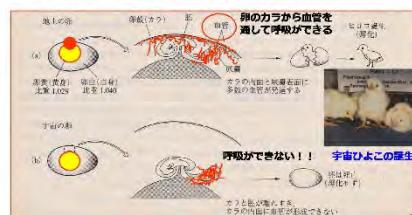
重力が無いと生き物にどのような影響があるのか、重力を利用したり無くても生きていく仕組みについて解ってきた！

ヒトは宇宙でくらす

ロシアの宇宙飛行士フレイリー・米リャコフさんは1998年9月23日から1998年12月21日まで約91日間、1998年12月21日から1999年1月28日まで約38日間の宇宙ステーション・ソールで生活して、ヒトが長期宇宙生活に必要となることを示した。アメリカのジョン・グレン宇宙飛行士は77歳で9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) のようになっているから

宇宙実験の変遷

「きぼう」の概要

主要諸元

(寸法)
 船内観望室： 4.4m外幅×11.2m長さ (円筒部)
 船内実験室： 4.4m外幅×4.2m長さ (円筒部)
 船外実験プラットフォーム：
 5.0m幅×4.0m高さ×5.6m長さ

(機材)
 船外バレット： 4.9m幅×2.2m高さ×4.2m長さ
 プレーム架： (船外方式)
 ロケットアーム： 9.9m高さ
 アーム： 1.3m高さ
 機材： 約 2.7
 電圧：48VDC, 120VDC
 (電源)： 太陽電池
 (品質保証)： 10年保証、無故障時間で最大4年
 (機体寿命)： スペースシャトル(3回)

Experiment Facilities in JEM Pressurized Module

Saibo Rack Orbital

Cell Biology
Experiment
Facility (CBF)
Cell culture
incubation

Glass bioassay (GB)

High Definition TV System Orbital

HDV camera Multi Protocol
Converter

Kobairo Rack Orbital

Gradient
Heating
Furnace
(GHF)

Material
processing

Ryukyu Rack Orbital

Fluoride analyzer
physical
spectrometer (cellar
microgravity)

Fluoride
Analyzer
Spectrometer
Radioisotope
facility
(RPF)

Protection
Control panel
Facility
(CCF)

Image
Processing
Unit (GPU)

**Launched in
2011, HTV-2**

Multi-Purpose Small payload Rack

To be launched in 2012

Aquatic
Habitat Fluorescence
Microscope Electronic
Neutralizer

(Myo Lab) タンパク質ユビキチンリガーゼCbl-1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-1に注目しながら、どのようなメカニズムで筋内に蓄積するかを明らかにする

概要 ラット胎母細胞(L-6)をCBEFで増殖し、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

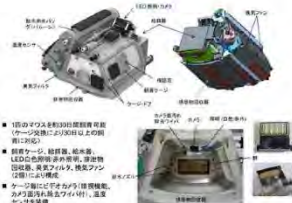
(Fish Scales) 宇宙空間における骨代謝制御：キンギョの培養ウロコを骨のモデルとした解析

代表研究者 金沢大学 鈴木徹雄准教授

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、地球帰港後に組織活性測定・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

Figure 1 consists of two panels. Panel (A) is a photograph of astronaut S. Kobayashi inside the International Space Station, sitting in a specialized chair and operating the Mouse Development System (MDS) experiment. Panel (B) is a grayscale image showing a grid pattern, which represents the mouse in space, used for the experiment.



OG

1G

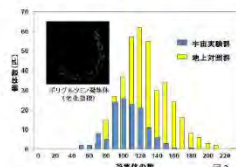
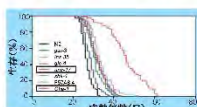
大きさはおとなで1mm程度



宇宙へ行く前



宇宙から帰った後



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。

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重合体の形成が抑制された。

宇宙で発見が抑えられた7つの遺伝子をそれぞれ不活性化した *C.elegans* は、地上での寿命を延長した。

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 system 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



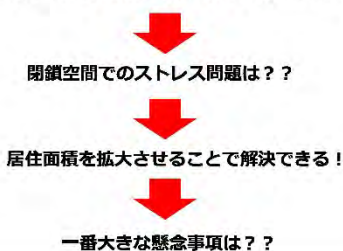
技術的な方法によって、宇宙環境に地上と同じような生活環境を持っていく

例：



©NASA

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！



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！！

[illegible]

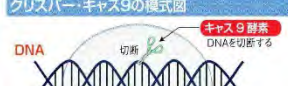
遺伝子改変技術：

2020年ノーベル化学賞受賞



エマニュエル・シャルパンティエ（左）とジェニファー・ダウドナ（右）

クリスパー・キャス9の模式図



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。

[illegible]

宇宙での生活（現状）

宇宙での生活：宇宙飛行士って一人の時間が欲しい？

「ハーモニー」
(第23区画) に
設置されたサレ
ン飛行士の個室

船体から出てきた占川飛行士

15%の日本人の
数「第23区」に
おる野口飛行士
の個室。狭い
が、ある。

船体内で寝るに
むくくして野田
飛行士

ロシアモジュール・ズベズダの
船室でパソコン作業中のバラン
飛行士

宇宙での楽しみ



みんなで楽しくお食事会

宇宙食の役割

- ・宇宙飛行士の健康を維持するための栄養の確保
- ・おいしくバラエティ豊かな食事をとることによる精神的ストレスの軽減
- ・気分をリフレッシュし、パフォーマンスの維持・向上を図る



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



火星の土壌に水が含まれる（2013年9月）



らん色細菌、あるいはらん菌とも呼ばれ、環境中に分散される。繁殖しながら、根瘤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の酸素を生産し続けた。華那は生きたので実験されている。

300年～1000年後？

[illegible]

読売新聞 オンライン

④読売新聞オンライン



@Space X Twitter



初の民間人宇宙旅行に成功

※TXNニュース（テレビ東京）

The image displays two movie posters side-by-side. The left poster is for 'Human Stasis' and features a close-up of a person's face in a futuristic, possibly medical or scientific setting, with a large, glowing blue sphere in the background. The right poster is for 'Advanced Technologies: Treason' and features a dark, atmospheric scene with a large, glowing blue sphere in the background, similar to the one in the left poster. The poster includes the SpaceWorks and ATRAC logos at the top, the title 'ADVANCED TECHNOLOGIES: TREASON' in large letters, and the subtitle 'HUMANITY FOR HUMAN CIVILIZATION' below it. It also lists the director 'Directed by: JAMES H. HANCOCK' and the cast 'Mark Feltz and John Feltz'.

2014年、NASAが2030年の火星有人ミッションに「人工重力」を適用するための技術検討を開始を発表。
2016年、NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC)プログラムで人工重力のアイデアがフェーズIIに入り進捗。
食料、酸素などの生活維持用品の少量化や、低圧下や薄気圏で歩行するためのトレーニング設備などの投資スペースを削減す術をコンパクト化で大幅なコスト削減につながる。



NASAが作成するスペースワークス社が発表した人工衛星の計画で、「サターン・シェパード」と呼ばれる宇宙船が、7月14日に打ち上げられ、乗客が乗船して宇宙に進入し、2時間かけて体温を31.7度～33.9度まで下げる。乗客が体温を下げた後は3度の熱帯の環境につきながれ、内部が凍りやうしていくことが予定とされている。

図に示したように、冬場は寒さに耐えられた点から自然凍結、体温37度は体内に入れた後から自然に放出。温度変化の体温は**白色で示された**。夏場は、体温を上げ、約2～3時間かけて自然と熱を放出させようとする。

スペースワークスは10月20日に打ち上げ開始し、乗客が人工体実験をしていく予定のようである。

Thank You

[illegible]

Animal flight history @ Smithsonian museum



Apollo space food @ Smithsonian museum



4. これまでの成果の概要：生命倫理を中心とした宇宙倫理的視点の構築

宇宙倫理教育プログラムとの交流

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員会において「倫理学を基盤とした宇宙人育成プログラム開発と実践」(代表：機重慎)を実施しており、宇宙医学における生命倫理をテーマに宇宙での倫理学的理解を促進させるため、双方の委託費事業の交流を行う。

<令和4年度>

京都大学宇宙総合学術ユニットで実施している宇宙倫理教育プログラムに参加している中島浩志氏に生命倫理の観点からインタビューを行った。中島氏は、京都市内のお寺の住職でもあり、宇宙で人が亡くなった際の対処方法などについて倫理的観点からの解決策などについて、宇宙倫理教育プログラムで学んでいる。そのため、宇宙医学的観点からも人の死についてどのような対応ができるかなどをインタビューを通じて議論した。



中島氏へインタビューの様子

<令和5年度>

ワークショップ「宇宙医学と宇宙倫理学」の交流点を京都大学宇宙総合学術ユニットで実施した。このワークショップでは、宇宙総合学術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意見を交わした。当時は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を行った。

ワークショッププログラム
13:30-14:00 参加受付
14:00-14:30 宇宙医学と宇宙倫理学の紹介
14:30-14:40 宇宙倫理教育プログラムの紹介
14:40-14:50 作業説明とグループ分け
14:50-15:00 休憩
15:00-15:15 グループワーク
15:15-15:45 結果の発表とディスカッション
15:45-16:00 休憩
16:00-16:45 グループワーク
16:45-17:30 結果の発表とディスカッション



ワークショップの様子

4. これまでの成果の概要：宇宙関連学会・企業・機関との交流

アウトリーチ活動としての宇宙関連学会・企業・機関との交流

<令和4年度>

- ◆ 2022 ASGSR (American Society for Gravitational and Space Research) meeting@ヒューストンへの参加
- ◆ 第68回日本宇宙航空環境医学会大会@渋谷への参加
- ◆ カザフスタン研究者との交流
- ◆ 宇宙ユニットシンポジウムでの宇宙医学セッションの開催
- ◆ NASA研究者との交流
- ◆ ノートルダム学院の学校での宇宙医学出前授業の実施



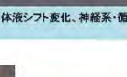
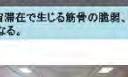
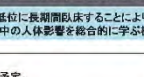
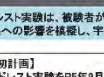
<令和5年度>

- ◆ 42nd Annual ISGP meeting (International Society for Gravitational Physiology) @ベルギーへの参加
- ◆ バネリスカッション「宇宙時代の医療ヘルスケア産業を考える」への参加
- ◆ SMJVS (Space Medicine Japan Youth Community) ステディファターの学生受け入れ
- ◆ ひらめきときめきサイエンス「宇宙医学ってなんだ？」の学生受け入れ
- ◆ 宇宙開発フォーラム2023「バネリスカッション」への登壇



<令和5年度>

- ◆ 42nd Annual ISGP meeting (International Society for Gravitational Physiology) @ベルギーへの参加
- ◆ バネリスカッション「宇宙時代の医療ヘルスケア産業を考える」への参加
- ◆ SMJVS (Space Medicine Japan Youth Community) ステディファターの学生受け入れ
- ◆ ひらめきときめきサイエンス「宇宙医学ってなんだ？」の学生受け入れ
- ◆ 宇宙開発フォーラム2023「バネリスカッション」への登壇



4. これまでの成果の概要：宇宙関連学会・企業・機関との交流

ひらめき☆ときめきサイエンス

- ◆ 2023年6月6日と26日にひらめき☆ときめきサイエンス「宇宙医学ってなんだ？」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
- ◆ それぞれ、15名と18名の小中学生が参加
- ◆ 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どもたちにも知ってもらうために、人が宇宙に滞在した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体験で使った測定機器の体験などを実施
- ◆ 講義では、宇宙環境(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と説明、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
- ◆ 実演では宇宙飛行士の歩行実験で使った足裏圧力の測定装置や底活動測定装置などの実験をそれぞれ体験した



4. これまでの成果の概要：模擬微小重力暴露実験の実施

模擬微小重力暴露実験の実施準備状況

ベッドレスト実験は、被験者が6度傾斜位に長期間臥床することにより、宇宙滞在中に生じる筋骨の萎縮、体液シフト変化、神経系・循環器系への影響を模倣し、宇宙滞在中の人体影響を総合的に学ぶ機会となる。

【当初計画】

- ◆ ベッドレスト実験をR5年9月に実施予定。
- ◆ 【現状計画】
- ◆ ベッドレスト実験を令和5年(中)3月7-18日)に実施予定。
- ◆ 【実施時期が遅くなった理由】
- ◆ 人対倫理審査の承認に時間を要し、R5年8月に最終承認を得たため、当初予定の9月実施に準備等(被験者募集開始など)が間に合わなかったため。

測定予定項目：



4. これまでの成果の概要6：アウトリーチ

アウトリーチ活動

宇宙医学並びに宇宙医学教育プログラムの認知度を上げるために、様々なメディアを通じて、アウトリーチ活動を行なった。

「宇宙人」は、行方不明、失踪、一歩一歩と「宇宙人」になる。人間は宇宙にどうやって生きていくのか。宇宙医学とは何か。宇宙医学とは、宇宙空間での人間の健康を維持するための学問である。宇宙医学は、宇宙空間での人間の健康を維持するための学問である。宇宙医学は、宇宙空間での人間の健康を維持するための学問である。

EXPLORING HOW MICROGRAVITY IMPACTS HUMAN HEALTH

左図：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。

右図：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 Space Explorationに、特集全国Focal Point on Space Exploration and Development in Japanの一部として掲載された(スポンサー：岐阜医療科学大学)。

4. これまでの成果の概要6：アウトリーチ

アウトリーチ活動

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

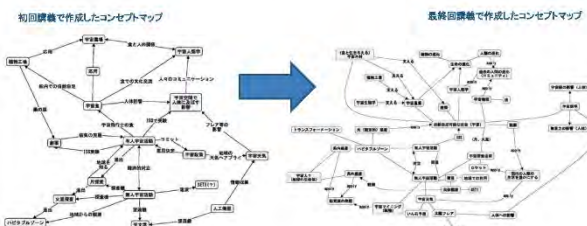
人類、火星に向かう

2.10.2 2.11.2 2.11.2

4. これまでの成果の概要7：評価方法

コンセプトマップ

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。



5. 成果に関する事後自己点検の方針

＜アウトプットに関する事後自己点検の実施方針＞

実施項目	ミニマムサセス	フルケタス
①宇宙医学講義の実施	宇宙医学に関する講義を実施し、京都大学生に宇宙医学を学習する機会を提供する。	宇宙医学に関する講義を実施し、京都大学生のみならず、全国の大学生に宇宙医学を学ぶ機会を提供し、将来のキャリア選択に有用な知識を提供してもらう。
②宇宙医学研究の最新見学実習	宇宙医学・生命科学研究を実施している研究室を訪問し、参加学生が実験を通じて宇宙医学研究の重要性を理解し、将来の研究分野への興味を喚起する。	宇宙医学・生命科学研究を実施している研究室に宇宙分野に突出している機関を訪問し、参加学生が実験を通じて宇宙医学研究の重要性を理解し、将来の研究分野への興味を喚起する。
③生命倫理を中心とした宇宙倫理学的視点の構築	宇宙医学における生命倫理をテーマに宇宙での倫理学的理解を促進させる。	宇宙医学における生命倫理をテーマに宇宙での倫理学的理解を促進させる。宇宙での倫理学的理解を促進させる。宇宙での倫理学的理解を促進させる。
④宇宙関連学会・企業・機関との交流	宇宙分野に属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い、他分野との融合の重要性を学ぶ。	宇宙分野に属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い、他分野との融合の重要性を学ぶ。また、将来の具体的な協力関係を構築する。
⑤模擬微小重力暴露実験の実施	宇宙滞在中に生じる筋骨の萎縮、体液シフト変化、神経系・循環器系への影響を模倣し、宇宙滞在中の人体影響を総合的に学ぶ。	参加学生が機能的に実験を遂行し、宇宙滞在中に生じる筋骨の萎縮、体液シフト変化、神経系・循環器系への影響を模倣し、宇宙滞在中の人体影響を総合的に学ぶ。

＜アウトカムに関する事後自己点検の実施方針＞

医療系のみならず理工系、人文社会系など様々な分野の学生に広く学際的な宇宙医学教育プログラムの参加を促し、宇宙医学に関わる多くの知見を蓄積する。その評価のため、学内外の学生に向けた宇宙医学教育プログラムを継続し、専門別の参加学生を集計する。また、実験や見学を通じて学んだ内容を参加学生同士で共有できる機会を提供し、相互交流の促進を行う。学生が習得した内容については、コンセプトマップなどを用いて客観的に評価する。また、アンケートを実施し学生の率直な意見を集め、改善点があれば迅速に対応する。

5. 成果に関する事後自己点検の方針

<事後自己点検の取組方法>

実施項目	評価点	評価内容
①宇宙医学機軸の実施	機軸の実施、機軸内容をZoom配信	参加人数の集計、アンケートマップとアンケート結果による評価
②宇宙医学研究の訪問見学実習	宇宙医学・生命科学研究所を実施している研究施設訪問	参加人数の集計、アンケート結果による評価
③生命倫理を中心とした宇宙倫理学的視点の養成	宇宙倫理教育プログラムとのコラボレーション実施	参加人数の集計、アンケート結果による評価
④宇宙関連学会・企業・機関との交流	宇宙分野に貢献する学実習への参加や企業・機関(JAXAやNASA等)との交流や訪問	参加人数の集計、アンケート結果による評価
⑤模擬小重力環境実験の実施	模擬小重力環境実験を実施	参加人数の集計、アンケート結果による評価、所感発表などの評価

17

7. 事業期間終了後の展望

本事業は学会や大学といったアカデミアとの連携だけでなく、宇宙機関や民間企業との交流も主軸に置いている。事業終了後も、これらの連携を通じて宇宙医学に関するセミナーの実施や研究者交流を継続して実施し、構築された教育プログラムを連携して実施可能な体制とする。さらに、宇宙ユニットでは様々な宇宙分野に関連した教育活動を行っており、今後も宇宙ユニットシンポジウムでの発表の機会を提供したり、併任教員の協力の下、宇宙医学研究の実施の場を与え、引き続き学生教育を行うことが可能である。また、他分野との連携もしながら宇宙ユニットの資源(運営費や宇宙ユニット基金などの資金と専任教員)を用いて人材育成を継続する。

<おおよその資金の割合>

	事業期間中(一学期前半)	(%)	事業期間中(学期後半)	(%)
正職員給与	90			
自己資金	10		30	
学術機関からの資金			30	
企業・民間からの資金			30	
その他			10	

18

6. 費用対効果

<宇宙医学機軸の実施>

機軸への交通費ならびに機軸の支払い等することによって、円滑に宇宙医学機軸が実施できている。

<宇宙医学研究の訪問見学実習>

参加学生の交通費・宿泊費の支出ができるため、遠方の学生でも実習に参加することが可能である。実習参加を通じて、宇宙医学分野への学習の意欲が向上し、他のイベントへ自己資金で参加する学生も増えており、宇宙医学の理解を深めることに大いに貢献している。

<生命倫理を中心とした宇宙倫理学的視点の養成>

宇宙倫理教育プログラムと共同でワークショップが開催でき、これまで宇宙医学・宇宙倫理学に携わったことのない学生も参加しており、宇宙関係における医学・倫理学の重要性を学ぶことができた。

<宇宙関連学会・企業・機関との交流>

学会参加や海外からの研究者の招聘の費用が支出できたため、主に宇宙医学教育プログラムの紹介が行え、また海外研究者と日本人学生の交流も実現できたため、国際交流の促進にもつなげた。

<模擬小重力環境実験の実施>

ベッテリット実験装置のための必要物品や装置の購入が完了し、円滑に実験準備ができた。後継装置の遅れにより、実験実施期間をずらす必要が生じたが、試験者募集や実験実施など円滑に進めていく予定である。

<費用対効果の算出>

実施項目	費用(1日1名参加人数) (円)
①宇宙医学機軸の実施	1
②宇宙医学研究の訪問見学実習	2
③生命倫理を中心とした宇宙倫理学的視点の養成	0.5
④宇宙関連学会・企業・機関との交流	1.5
⑤模擬小重力環境実験の実施	10
計	15

18

岐阜医療科学大学での
取り組みについて

岐阜医療科学大学
大学院保健医療学研究科
田中 邦彦

1.会場(ベッドレスト)

岐阜医療科学大学 可児キャンパス



1.会場(ベッドレスト)



1.会場(ベッドレスト)

基礎・成人看護実習室



模擬微小重力曝露
(6° ヘッドダウンベッドレスト)
実習

- 1.会場(ベッドレスト)
- 2.計測(生理機能)
- 3.日程・被検者

1.会場(ベッドレスト)

岐阜医療科学大学 可児キャンパス



1.会場(ベッドレスト)



1.会場(ベッドレスト)



2. 計測(生理機能)

- ・ 循環器系 (岐阜医療・田中)
- ・ 運動器系 (京大・寺田)
- ・ 平衡感覚 (岐阜医療・渡邊)
- ・ 免疫系 (岐阜医療・田中/
株式会社メディック)

2. 計測(生理機能)



2. 計測(生理機能)



2. 計測(生理機能)



3. 検体検査経路



今後の予定

2014年3月7日～18日
被検者6名確定

2014年9月中旬
pre-test: 10 days bedrest: post test

被検者ケア担当

日勤2名: 9:00 - 17:00
当直1名: 17:00 - 翌9:00

3月8日	3月9日	3月10日
日	土	日
Day #1	Day #2	Day #3

3月11日	3月12日	3月13日	3月14日	3月15日	3月16日	3月17日
月	火	水	木	金	土	日
Day #4	Day #5	Day #6	Day #7	Day #8	Day #9	Day #10



2023年度宇宙医学実習 参加学生からの報告

芝浦工業大学大学院 西方洸太郎

参加動機

- 宇宙学分野の研究に取り組む方々とのつながり
 - 講演や学会参加では得難い密度の濃い交流
 - 実習以降も交流する機会を得たい
- 自身の研究テーマ推進のため
 - 所属研究室で宇宙医学に関する研究に取り組んだ前例がない
 - 研究方針についての意見を伺える
 - 自作3Dクリノスタット、培養試料の評価方法

自己紹介

- 所属：芝浦工業大学大学院 機能制御システム専攻 博士課程2年
生物微小流体工学研究室

■ 研究内容

- 毛細血管網の長期灌流培養が可能な臓器チップの開発及び培養
- 模擬微小重力環境下が血管網の形態や遺伝子発現に与える影響



實習概要

- 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
- 実施期間：2023/9/25~29
- 参加者：西方洸太郎，保田夏野(群馬県大宮市立高等学校2年)
- 実験概要
- 模擬微小重力(SMG)環境下で培養したヒト臍帯静脈内皮細胞(HUVEC)に対して以下の実験を行い，control(1G)群との比較，考察を行った
- ウェスタンブロッティング
 - 免疫蛍光染色
- 



<https://spacebio-lab.com/gravite/>

實習工程

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		
	ウエ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)	
	実験結果発表 講義		報告会	
コンセプトマップ作成		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	

實習內容 | 背景、目的

- 宇宙飛行中、左内頸静脈に血栓が形成される症例
- von Willebrand因子(vWF)の分泌異常が寄与している可能性
 - 血管内皮細胞から生産、分泌
 - 1次止血の初期段階において、血小板凝集に寄与

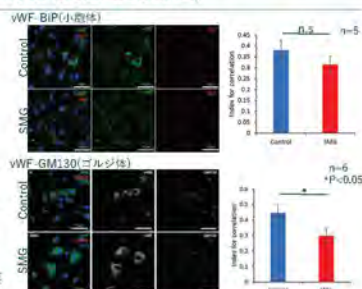
模擬微小重力環境がHUVEC内のvWF分泌量、局在に与える影響を調査

アプローチ

局在の可視化：免疫蛍光染色
分泌量の定量：ウエスタンブロッティング

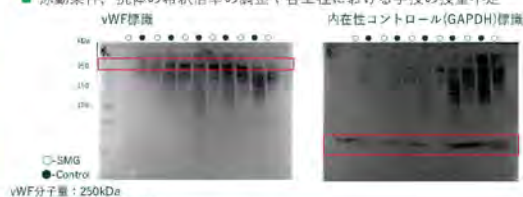
實習內容 | 實驗結果・考察(免疫蛍光染色)

- **染色対象**
 - vWF
 - BiP(小胞体)
 - GM130(ゴルジ体)
 - DAP(細胞核)
 - **vWFの共局在率**
 - SMGの方が減少傾向
 - タンパク質は小胞体→ゴルジ体→内皮下組織の順で移動
 - 細胞外に多く移動したことを示唆
 - **vWF分泌が抑制された可能性**
 - 免症ではタンパク量の定量的困難
 - WBによるタンパク量の定量が必要



実習内容 | 実験結果・考察(ウェスタンブロッティング)

- 非特異的なバンドが多く、不明瞭なバンドも存在
- 内在性コントロールのバンドも不均一なため定量困難
- 泳動条件、抗体の希釈倍率の調整や各工程における手技の技量不足



実習内容 | 結論

- 宇宙飛行中、左内頸静脈に血栓が形成される症例
 - von Willebrand因子(vWF)の分泌異常が寄与していると仮定
- 免疫蛍光染色：分泌されたvWFの局在を把握
 - SMGがvWFの輸送を促進し、血液凝固を促している
 - または
 - SMGがvWF自体の分泌量を抑制
- ウェスタンブロッティング：vWF分泌量の定量
 - 非特異的、不明瞭なバンドが多く定量困難
 - 実験条件に改善の余地、手技の技量不足

所感・学んだこと

- 宇宙医学研究の流れを把握
 1. 宇宙飛行士から得られた症例をもとに仮説立て
 2. 模擬微小重力環境を利用し、細胞レベルで実験・検証
 3. ISS上での細胞・モデル生物を用いた実験
 4. 対策を生み出し、宇宙だけではなく地上にも還元
- 細胞レベルの研究において、特別な実験方法があるわけではない
 - 免染。ウェスタンブロットも一般的な生命科学実験で用いられる検出手法
 - 十分なプロトコルと原理の理解、手技が求められる
- 学際的に捉える必要がある
 - 将来的には医学、生物学的知識以外の視点も必要になる



4.7 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
The implementation of the educational programs for space medicine in Japan (口頭発表)	Masahiro Terada	42 nd International Society for Gravitational Physiology annual meeting	July 6, 2023	国外 (Antwerp, Belgium)
京都大学における宇宙医学教育プログラムの紹介(口頭発表)	寺田昌弘	第 67 回宇宙科学技術連合講演会	2023 年 10 月 17 日	国内(富山)
京都大学における宇宙教育活動の紹介(口頭発表)	寺田昌弘	第 69 回日本宇宙航空環境医学会大会	2023 年 11 月 10 日	国内(岐阜)
京都大学における宇宙医学教育プログラムの紹介(口頭発表)	寺田昌弘、田中邦彦	第 69 回日本宇宙航空環境医学会大会	2023 年 11 月 11 日	国内(岐阜)
Report on Practical Training Content of Space Medicine Education Program (ポスター発表)	Masahiro Terada	ASGSR (American Society for Gravitational and Space Research) 2023 Conference	November 16, 2023	国外 (Washington DC, 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
The implementation of the educational programs for space medicine in Japan	Masahiro Terada	Annual proceedings with Frontiers in Physiology journal	March, 2024	国外
京都大学における宇宙医学教育プログラムの紹介	寺田昌弘	宇宙科学技術連合予稿集	2024 年 10 月	国内

(注)発表者氏名は、連名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。