

第12回月惑星に社会を作るための勉強会

月・惑星社会
医学・ライフ分野検討G
の現状

2021年6月29日現在

日本大学

泉 龍太郎

医学・ライフ分野検討Gの目的

1. 月社会における医学的な課題とその対策

○月社会における医学的な課題の抽出

○月社会で必要とされる医療体制の見積もり

- ・ 人員体制
- ・ 診断・治療機器
- ・ 地球からの支援体制

○衣食住（生活環境）

○宇宙環境を利用した新たな医療

2. その他；2-1. 生命進化の観点

2-2. 将来を予測することの意義

前提として考えておくべきこと

○遠い将来の医療・ライフサイエンス技術の進歩を予測することは困難（せいぜい50～100年程度？）

○その一方で、宇宙放射線防護の方法が抜本的に進展しない限りは、ヒトの宇宙滞在期間は生涯で3年程度が限度（宇宙ステーション・惑星表面の場合；若年者の長期宇宙滞在は不可）

→ 100年後までには、対応策が講じられていると想定（？）

○50年後に実現している月社会は100～150人ぐらい？

○50年後に100～150名程度の社会が実現していれば、100年後の1,000人程度の社会は実現可能(?)。

○医学的な問題と基本的な対策は、100人でも1,000人でも、大きくは変わらないと思われる。但し、小児、継世代の問題は、別途、検討の必要あり。

月面社会構成のタイムスケール



NASA Artemis計画
2020年9月21日

2040年～
持続的な月面活動

2021年

2070年～
100名規模の月面社会



NASA
Artemis計画

2120年～
1,000名規模の月面社会

月惑星社会のイメージ(2070年頃)

- 100～150人程度の人員が常時滞在
- 滞在期間は1回1年程度、生涯で3年程度以内
(宇宙放射線の被ばく量に依存)
- 構成は多国間 (中露の参加は不明)
- 家族は同行しない (短期滞在での訪問はあり)
- 短期滞行者は500人～1,000人/年程度？
(旅行者を含む)
- 滞行者の主な業務は宇宙基地の建築、維持管理、研究開発、輸送等
↑ 現在の南極基地に近いイメージ
- 旅行者は旅行会社の人員がエスコート (いずれも短期滞在)

月惑星社会のイメージ(2120年頃)

- 1,000人程度の人員が常時滞在
- 滞在期間は制限無し；但し成人期以降
 - ※宇宙放射線被ばく対策が講じられていることを前提とする
- 継世代の問題を含めるかは要検討；但し妊娠した場合の対応は考慮しておく必要がある
- 構成は日本（主要各国が同程度の規模の社会を構成）
- 家族は同行する（子供の同行は要検討）
- 短期滞在者は5,000人～10,000人/年程度？
 - （旅行者を含む）
- 滞在者の主な業務は検討事項、永住を含めるか？

1,000人程度の社会の医療体制

- 医師は2名程度（内科系と外科系）
- プラス精神科医、または心理カウンセラー
- 看護師は医師の2倍、3名で1チーム。
- 他、事務、管理系のスタッフを要す。
- ※短期滞在者・旅行者への対応は、更に追加のスタッフが必要（？）
- 医療機器・薬剤；要検討
- 地上への緊急搬送の基準；要検討

宇宙環境が人体に及ぼす影響要因

宇宙放射線・電離線・磁場



宇宙船・基地 (=閉鎖環境)

生体への影響要因

生理的变化

- ・筋骨格系
- ・心循環器系
- ・神経・前庭系
- ・血液・免疫系
- ・生体リズム
- ・栄養代謝

精神心理面
への影響因子

- ・閉鎖隔離環境
- ・小人数集団
- ・多文化
- ・モニタリング/
プライバシー

環境因子

- ・空気
(含;温湿度)
- ・水
- ・騒音
- ・振動
- ・照明
- ・微生物/衛生
- ・その他

温度・
高真空

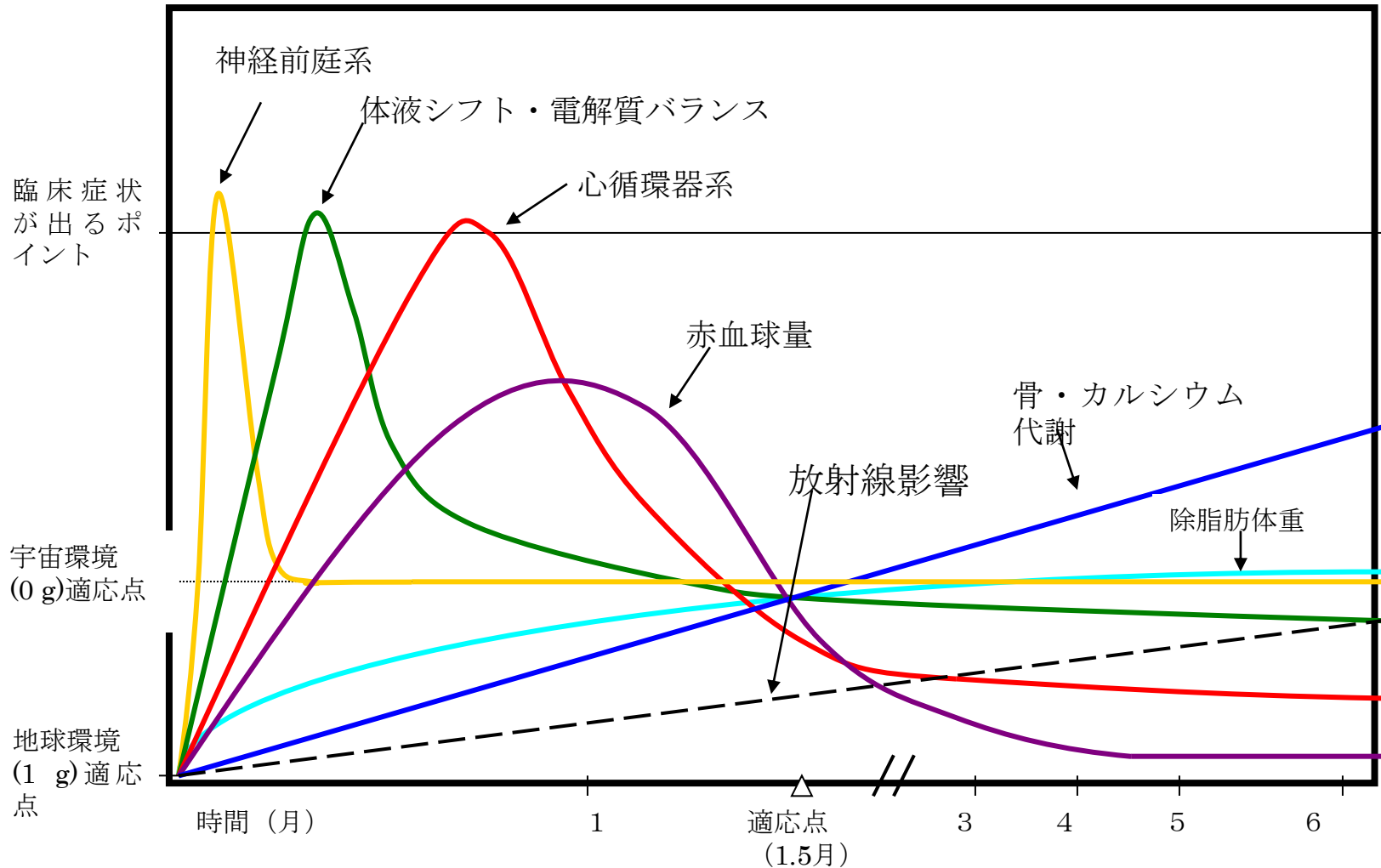


微小・低重力



宇宙環境が人体に及ぼす影響の概略

Nicogossianらの図を元に一部改変



検討の基本的考え方

医学的課題抽出のベース

○NASA Human Research Roadmap

○JAXA 宇宙医学・健康管理技術
ギャップ



検討課題の整理

	診断/モニター	治療/介入	予防
身体(内科系)			
身体(外科系)			
精神心理			
集団			

個別の検討分野（目次案）

I. 総論

II. 各論

- 月惑星社会時代の技術的進歩
- 人体への影響とその対策(筋骨格系、等)
- 宇宙放射線の影響とその対策
- 環境衛生(空気、水、等)
- 月惑星社会での医療体制
- 月惑星社会における人間工学
- 月惑星社会の生活環境(衣食住)
- 月惑星社会における倫理的課題
- 疫学、その他

III. ライフサイエンスと人類進化

- 人類進化の観点からの考察
- 将来を予測することの意義

医療・ライフサイエンス技術の進歩

○このような月・惑星社会が構築される時（50～100年後）、医療技術はどのように進歩しているか？



○AI（人工知能）

○医用工学系(小型機器、通信システム等)の発達

→ 特にウェアラブルな生理学的モニタリングシステムとその解析技術

○遺伝子工学の発達

○その他

技術の進歩 I : 人工知能 (=AI)

2019年12月18日

理化学研究所

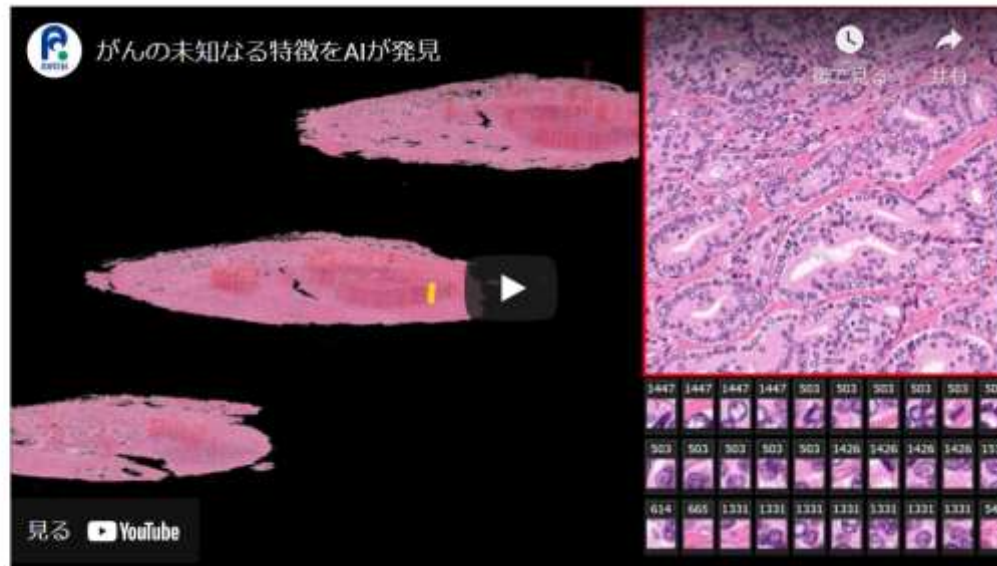
日本医科大学

日本医療研究開発機構

[← 前の記事](#) [↑ 一覧へ戻る](#)

がんの未知なる特徴をAIが発見

—がんの画像から、再発に関わる新たな知識を自力で獲得—

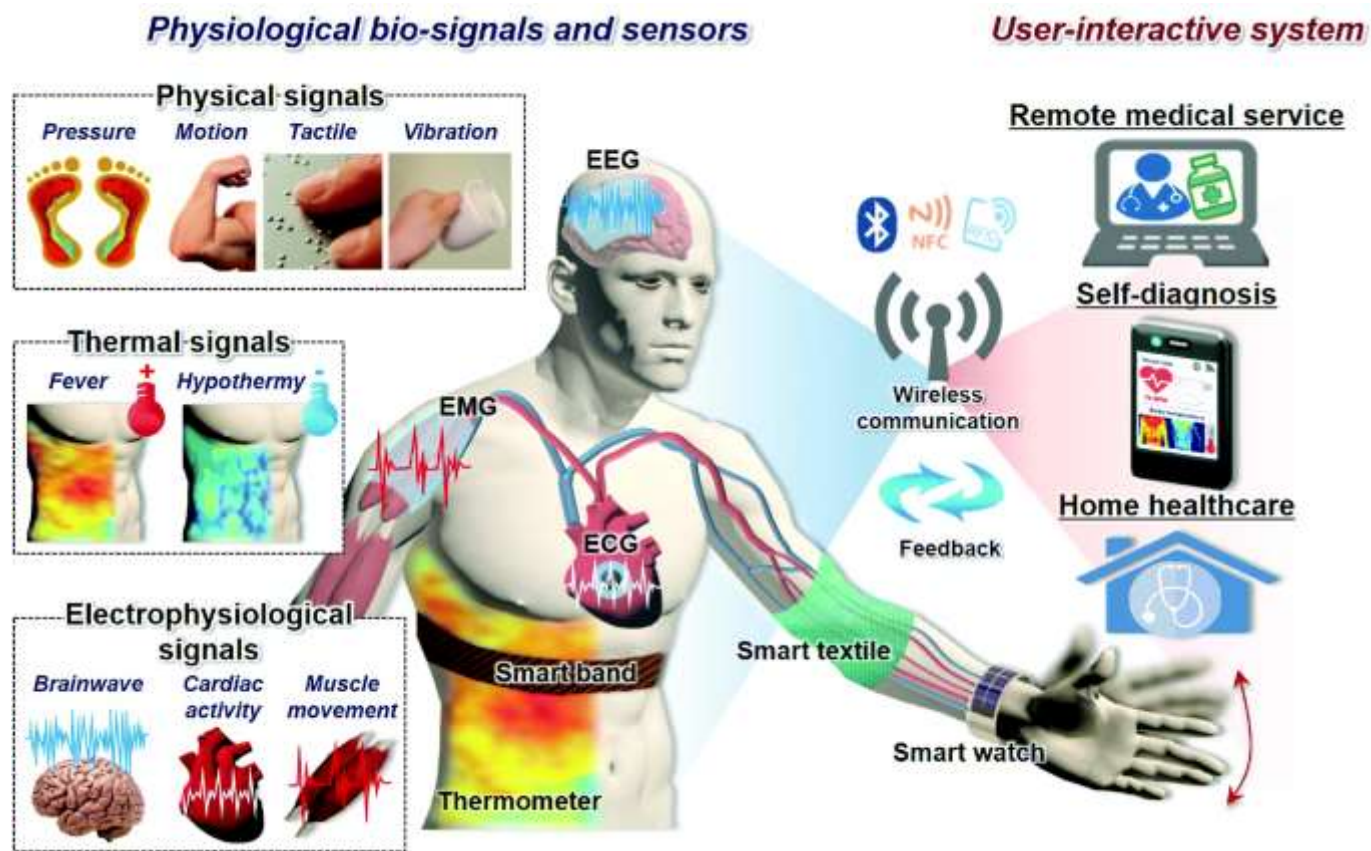


出典：理化学研究所

その他：心電図、各種画像診断、等

技術の進歩 II : 機器の小型化・高機能化

各種のウェアラブル・デバイス



Ha, et al. *J. Mater. Chem. B*, 2018, 6, 4043-4064

ストレス状態のモニタリング

現在、ヒトのストレス状態を一元的に示す指標は知られていない

様々な指標

○生理的；心拍数等

○行動学的；

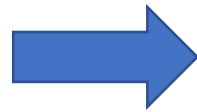
→ 睡眠パターン、食生活

○生化学的；コルチゾル等

→ 非侵襲的モニタリング

○心理学的；

→ 気分状態のフィードバック



その人個人の
精神心理状態
の把握と将来
予測

© dak



ビックデータ解析
&
多くのケース解析

必要に応じ介入
(カウンセリング等)

技術の進歩Ⅲ：遺伝子工学

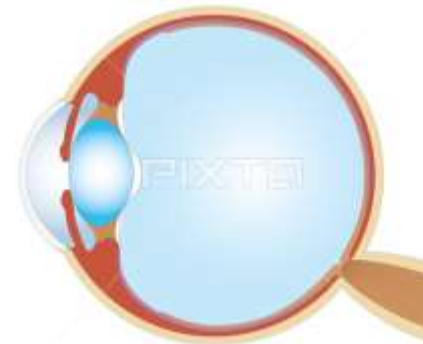
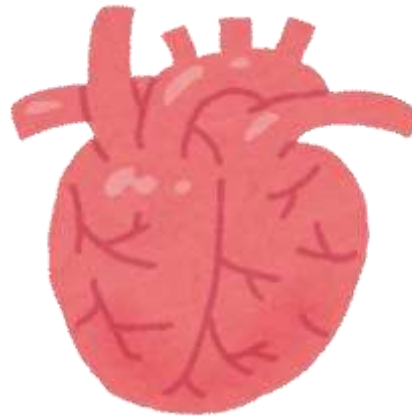
クローン生物



クローン羊 ドリー
1996-2003

Wilmot I, et al. Nature, 385,
810-3 (1997)

各種の臓器再生

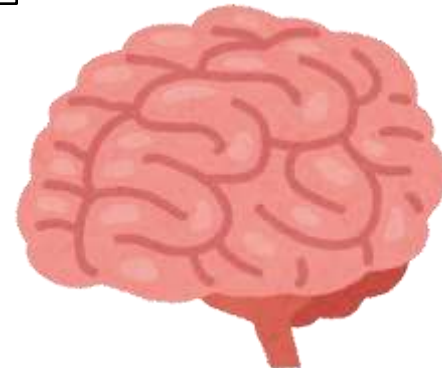


pixta.jp - 9346706

細胞移植治療



がん、
神経変性疾患
(含：痴呆?)



医学的課題；主な検討分野

- a) 神経・前庭系(含;感覚器系:視、聴覚)
- b) 心循環器系
- c) 筋骨格系
- d) 血液・免疫系(含;アレルギー)
- e) 呼吸器系(減圧、低圧、月面ダスト)
- f) 栄養代謝系
- g) 腎・尿管系(尿路結石)
- h) 消化器系(胆石)
- i) 外科系;外傷、火傷、歯科
- j) 精神心理
- k) 宇宙放射線

本日取り上げる4つの主要課題

○宇宙放射線

→ 保田先生（広島大学）

○無・低重力；筋骨格系

→ 山田(深)先生（杏林大医）

○精神心理

○月面ダスト（=レゴリス）

内科系疾患(診断・治療)

- 診断、患者説明、投薬まではAIが対応
→内科医の役割りは(?)
- 診断手法の発達；血液検査、画像診断
→ガンは細胞レベルで早期発見可能(?)
治療も、自己の培養細胞を用いることで
ガンは治療可能に(?)
- 神経系疾患（認知症等）
→神経細胞の培養・移植で認知力の回復(?)

内科系疾患(予防)

○月・惑星社会滞在者のスクリーニング



○事前の医学的データ、及び生理学的モニタリング装置による本人の行動パターン（食生活を含む）の解析を行い、1年間の月滞在中の身体状況を予測する。

外科系・環境要因

○外傷(隕石、飛来物を含む)

○火傷、凍傷

○空気漏出による減圧症、低酸素症

→ 場合により、地球に緊急帰還(?)

※特に視覚・聴覚系の機能低下・喪失

→ 人工網膜、聴覚器による機能補助(?)

○レゴリス(=月面ダスト)対策

低重力対策

- 効果的なトレーニング対策
 - 過重力負荷、
ゲームを利用した運動
- 電気刺激・振動による対策(?)
- 抵抗性衣服の発展型(?)
- 栄養補助

宇宙放射線対策

- モニタリング & 放射線被ばく管理
- 急性被ばく対策
- 慢性被ばく対策（がん、脳への影響、等）
- 放射線防護対策の研究開発

※3年以上の長期滞在、若年者の滞在、宇宙での継世代のためには、抜本的な宇宙放射線の低減対策が必要不可欠（放射線量 & 重粒子線）

現状では、月面地下深く（5 m以上？）で地上と同程度の放射線量と見込まれる

月面社会建設初期の屋外活動では、被ばく量が増大!!

確率的影響

③JAXAで制定した制限値

生涯実効線量制限値(全身)

初めて宇宙 飛行を行った 年齢	女	男
	(リスク)	(リスク)
27-29	600 (3.2%)	600 (2.9%)
30-34	800 (3.1%)	900 (3.1%)
35-39	900 (3.1%)	1000 (3.1%)
≥40	1100 (3.0%)	1200 (3.1%)

(単位:ミリシーベルト)

*リスク:放射線被曝により、がんで死亡する確率

出典: JAXA

宇宙放射線防護対策

○地下生活

○シールド方法

→ 建屋（ステーションを含む）、
移動手段（ロケット、月面車）、宇宙服

○人工磁場

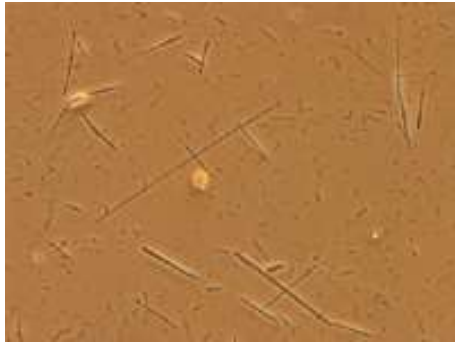
○空気層の創設・改変（テラ・フォーミング？）

○ヒトの放射線耐性の強化（薬剤等）

→ せいぜい1.X倍程度(?）、それも成人期以降(?)

月面ダスト (=レゴリス)

※仮にアスベストと同様の毒性を有する場合は、かなり深刻な問題

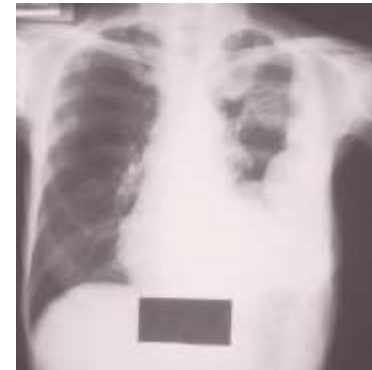


アスベスト顕微鏡写真
出典：大阪市環境科学
研究センター

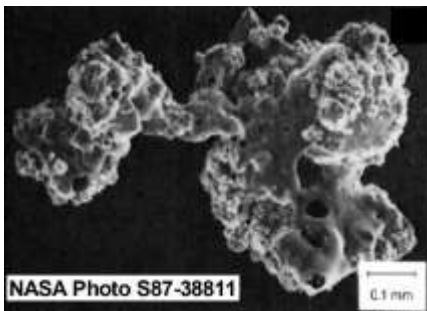


数年～数十年で
珪肺症、肺がん、
中皮腫等

中皮腫



出典：独立行政法人
環境再生保全機構



月面ダスト
(=レゴリス)
出典：NASA

対策：①防護
②誤吸引時

宇宙滞在者の資格要件

	2070年	2120年
長期滞在者	成年期以降の健全人(?)	
運航者		
短期滞在者		

運航者（パイロット）の資格要件

輸送手段の運行はほとんどが自動化



しかし、運航者（パイロット）の関与は
必要不可欠(?)



平衡感覚、自律神経系、判断能力を
平常に保つためには(?)

精神心理

○本人の身心状態のモニタリング

・ウェアラブルな機器による、行動パターンのモニタリング（勤怠管理を含む）；

生理的状态：心拍、体温、行動量（睡眠）

行動モニタリング（表情、音声、言語、メール等）による、精神心理状態のモニタリング

○心理的な落ち込みの予測と予防

→ AIによるカウンセリング

（またはロボット・ペット?）

○プライバシーとの兼ね合い

※本人が受け入れ可能な方法の検討

人間集団

○人間集団のモニタリング

→ 通信量、構成員の行動パターン

→ 集団としてのパフォーマンスの適性度、
必要に応じ、何らかの介入(?)

※プライバシーとの兼ね合い

※政治的・思想的な介入は除外し、あくまで業務の適性度のみを評価する

参考：ストレスチェック制度の発展型

※その集団が受け入れ可能な方法の検討

モニタリングの倫理的課題

個人の自由とモニタリングの範囲



Photo JAXA

月惑星社会
→危険との隣り合わせ

精神心理・人間集団モニタリングが受け入れられる条件(案)

○勤務時間に限定

○基本的情報は、本人のみにフィードバック
(組織としてはモニタリングしない)

○最低限、生死に関わる情報(心拍数、位置情報等)だけは、常時モニタリングが必要か？

精神心理→地上帰還前後のフォロー



特殊環境への長期滞在 → 地球帰還後への再適応

地球帰還後の長期的フォロー

宇宙放射線 → がん、
神経変性疾患（痴呆症）、等

無・低重力 → 骨粗しょう症、
ロコモ、フレイル

月面ダスト
（レゴリス） → 珪肺症、
中皮腫、肺がん

その他 → 宇宙環境の長期的影響
→ 寿命、死因、継世代

死亡時の対応

○看取り

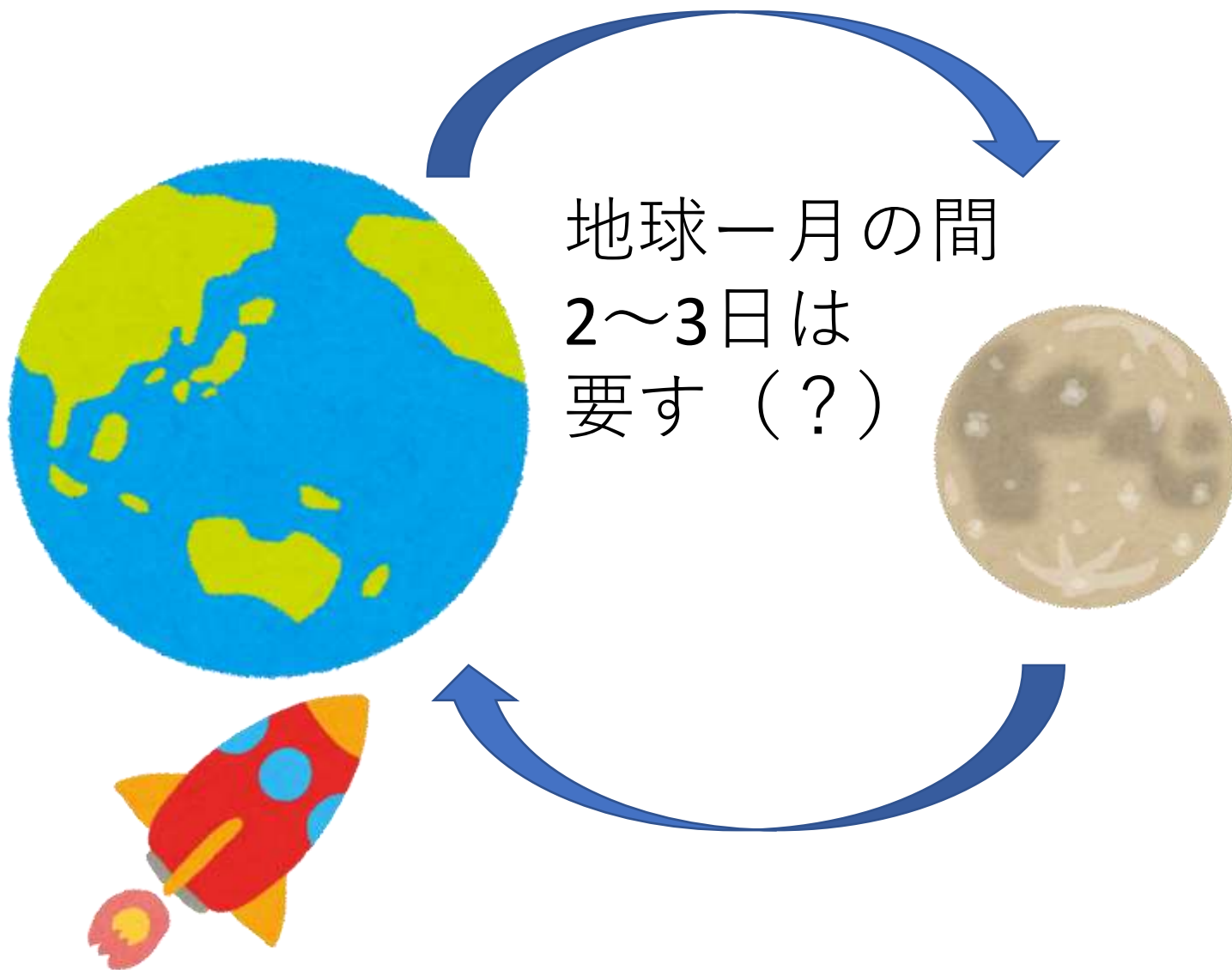
○事故死・不審死、自他殺(疑)

→ 検視、司法解剖

○死体の取り扱い → 火葬、埋葬(?)

→ 物質循環(?)

宇宙船・小チームの医療対応



環境因子

- 空気：気圧、組成（ O_2 、 CO_2 濃度）、温湿度
- 水：飲用、生活水
- 騒音・振動
- 照明
- 化学物質
- 微生物/衛生
- 個室空間の有無と広さ
- 船外・屋外活動時の条件
- その他

職場環境 → 産業保健衛生

生体・生活リズム

1日は24時間（？） ← 照度、太陽光

1年は365日（？） ← 季節感



人間工学的課題

ヒトと機器類のインターフェース



SpaceX コクピット

Photo JAXA



有人与圧ローバー

Photo JAXA



非常口 = ユニバーサルデザイン (?)

衣食住の課題（生活環境）

→ 別のサブ・ワーキング・グループ(?)



船内服：吸水速乾、抗菌消臭

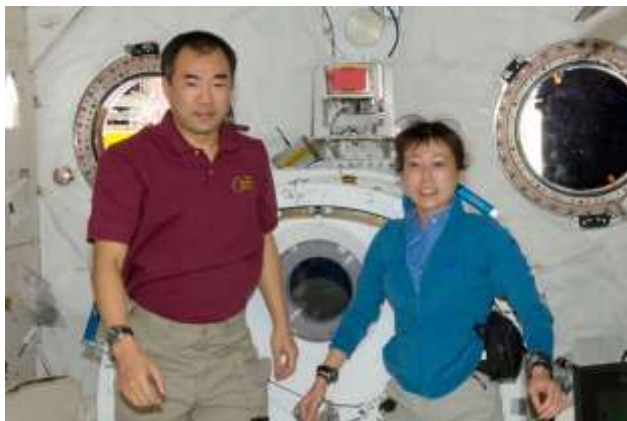


Photo JAXA



例えばトイレ



衛生、排泄物の
リサイクル



月面での食料生産
→ Space Foodsphere

本WG

→ 栄養学的検討、
食生活の側面

宇宙での食生活・娯楽



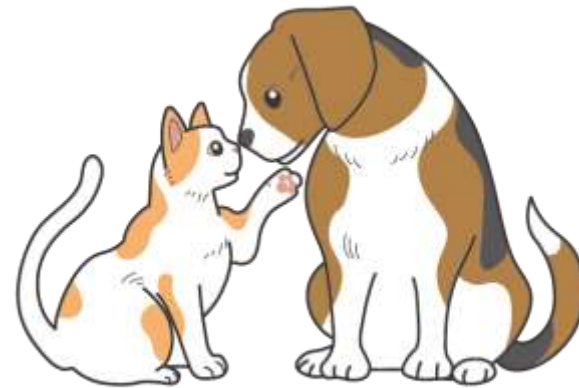
アルコールはO.K.か?



喫煙は不可?
大麻は合法?



食材の種類と
ソウル・フード
※南極では豊富な食材



ペットは?

宇宙環境での運動

運動はストレス
解消となるか？



シャノン・ルシッド飛行士
(シャトル・ミール計画)
→ 宇宙での運動はストレス
源と明言

Scientific American, May 1998

Photo NASA

「宇宙飛行士は運動
をするために宇宙に
行く訳ではない」
故黒田勲先生

娯楽と依存症



アルコール



ギャンブル



ゲーム

宇宙環境を利用した医療

○宇宙滞在の精神心理に及ぼす影響

→ うつ状態、引きこもり等への対処

○微小重力を利用した医療

→ リハビリ等(?)

地上における支援ロボットの発達で代替(?)



ロボットスーツHAL

At 筑波大学

生命進化の観点からの考察

月社会の構築は、人類進化のステップと考えられるか？

1)AIの発達とロボティクス、あるいは人工生命

→ 人類を越える生命体の創出(?)

2)個体としての人類の進化(または変化)

↑ 遺伝子改変等

3)集団としての人類の進化(または変化)

↑ 集合知、人類としての認識の共有化

将来を予測することの意義

- 望まれる人間社会の構築
- 望まれる技術開発の描出

スペース・コロニー2081

By ジェラード・K・オニール

1981年に100年後の世界を描出

10年後 → 100年後 → 1,000年後 → 10,000年後 → 100,000年後 →

有人宇宙開発に関する個人的意見

○宇宙環境は、非常に厳しい環境

→そこで生存するためには、生命活動を維持するために必要な要件が問われる（空気・水等の物理的要因だけでなく、社会構成等を含む）

→改めて「ヒトとは何か？ 生きるためには何が必要か？」が問われる。

○地球環境をコントロールできない人間が、宇宙での環境を維持できる訳がない。

（出典不明）

検討の進め方（案）

2021年6月29日：MV勉強会での現状報告と、今後の方向性に関する意見交換。

2021年6月～8月：分科会における検討

2021年8月～10月：関連学会等を中心に意見募集
（50～100年後の医療技術を含めて）

9月25日（土）16:30～ 宇宙生物科学会

2021年11月：宇宙航空環境医学会での発表

2022年1月：宇宙環境利用シンポジウムでの発表

2022年2月：宇宙基地医学研究会(?)

2022年X月：報告書作成

検討体制（案）

- 医療の未来像
- 低重力の影響、外科系：
- 宇宙放射線：高橋先生、JAXA
- 精神心理、人間集団：JAXA、筑波大・松崎研G
- 生理的モニタリング：TBD
- 月における医療体制：南極越冬基地
- 有識者：石岡憲昭氏(ライフ全般)、他