

第14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9月8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

目次案：医学・ライフ分野

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

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。

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

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？

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

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



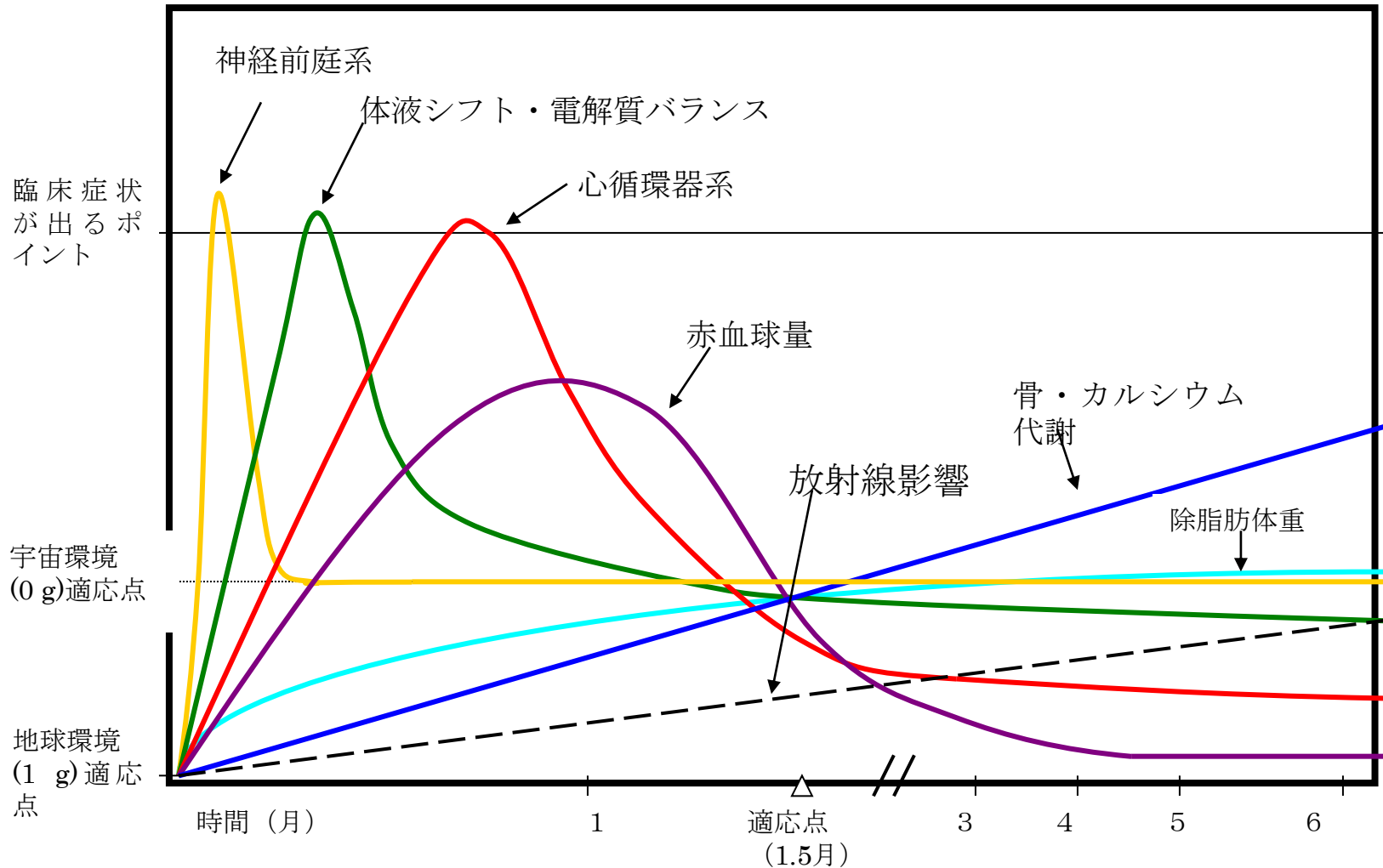
環境因子

- 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

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



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

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			

4つの主要課題

- 宇宙放射線対策
- 無・低重力対策
筋骨格系・生理学系
- 精神心理
- 月面ダスト (=レゴリス)

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!!

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 (リスク)	男 (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

米国科学アカデミーより **600 mSv** に統一するよう提言が出された

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）

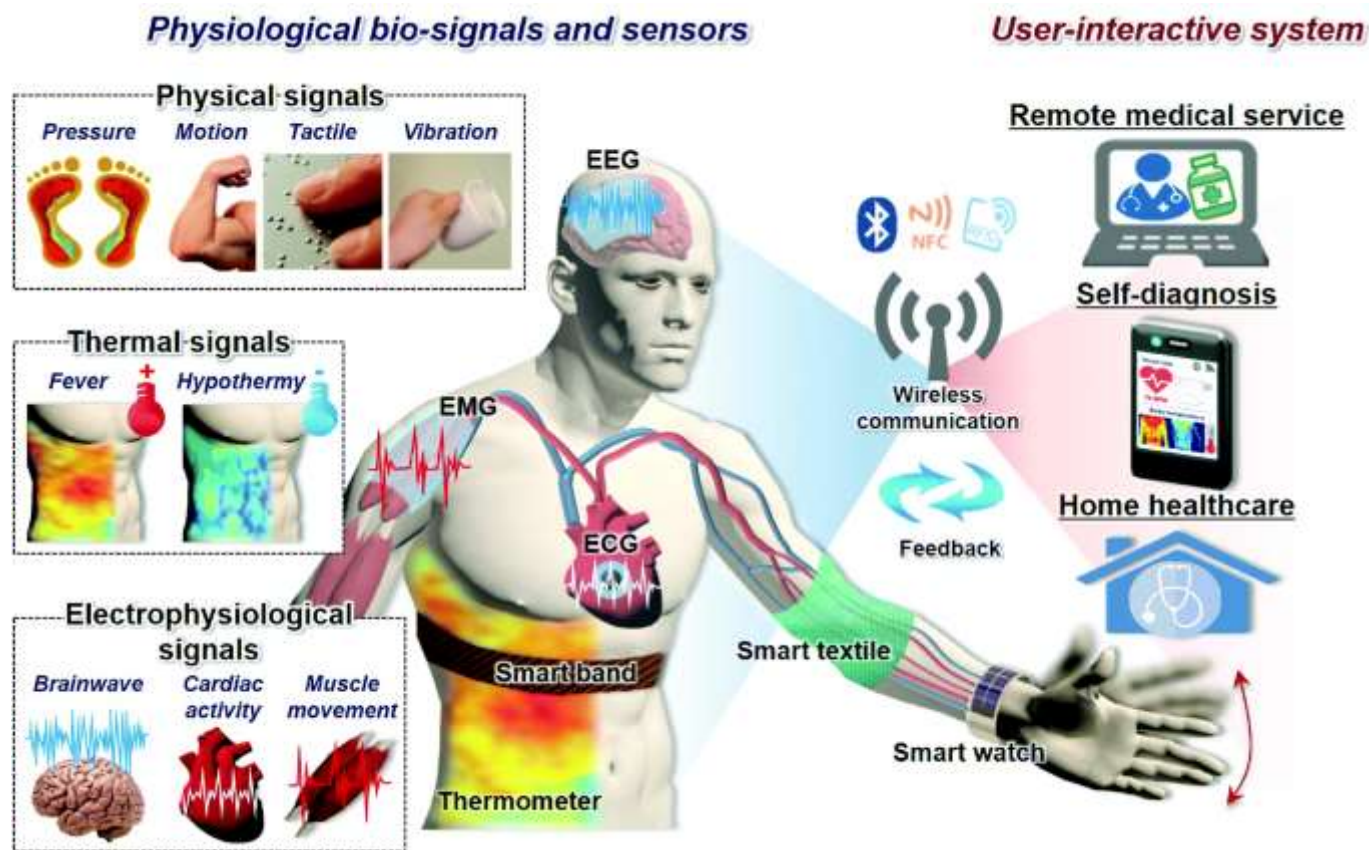
→ せいぜい1.X倍程度(?）、それも成人期以降(?)

低重力対策：筋骨格系

- 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

技術の進歩：機器の小型化・高機能化

各種のウェアラブル・デバイス



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



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)

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

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)

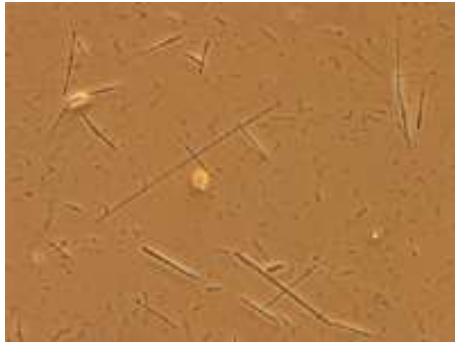
○勤務時間に限定

○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？

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

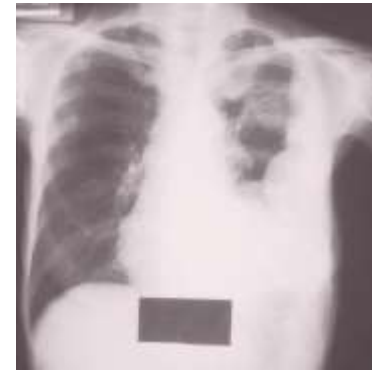


アスベスト顕微鏡写真
出典：大阪市環境科学
研究センター

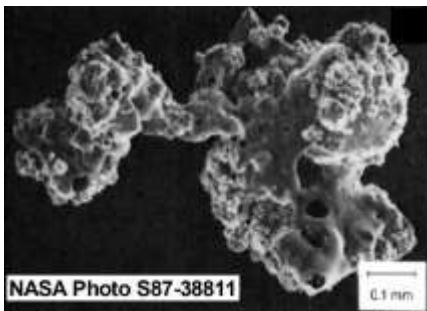


数年～数十年で
珪肺症、肺がん、
中皮腫等

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

精神心理→地上帰還前後のフォロー



NASA Artemis計画



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

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・惑星社会の構築は、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)

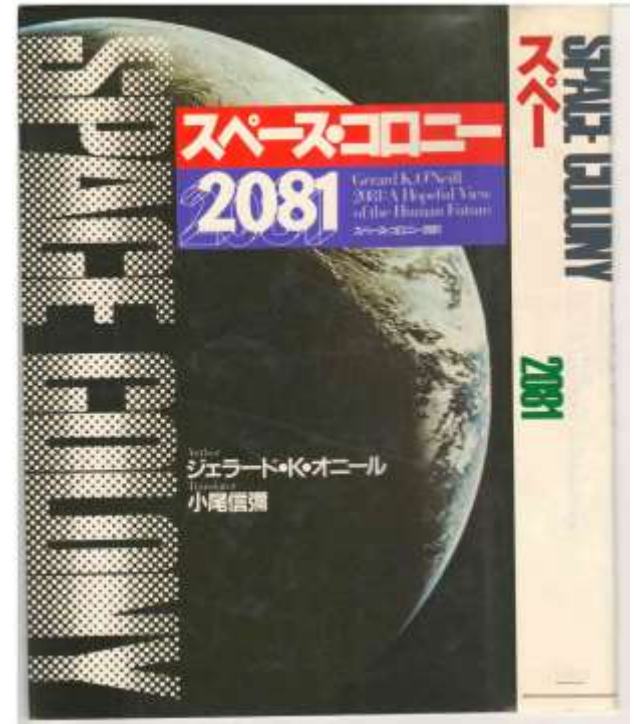
↑ 集合知、人類としての認識の共有化

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 →

検討の進め方（案）

2021年9月25日（土）16:30～ 宇宙生物科学会

2021年11月20日（土）16:00～：

日本宇宙航空環境医学会

2022年1月：宇宙環境利用シンポジウム

2022年2～3月：宇宙基地医学研究会

2022年X月：報告書作成

検討体制（案）

- 宇宙放射線：高橋先生(群馬大)、JAXA
- 低重力の影響：
 - 筋・骨格系対策；山田先生(杏林大)、他
 - 生理的対策；倉住先生(日大・岩崎研)、他
- 精神心理、人間集団：JAXA、筑波大・松崎研G
- 月における医療体制：南極越冬基地
- 医療の未来像：検討中
- ライフサイエンス：石岡先生(帝京大)、他