

第25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

2022年10月14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

月惑星社会検討の方向性

構成・目的	月面基地（ボトムアップ）	宇宙移民（トップダウン）
時期	50年後（2070年頃）	未定（200年後ぐらい？）
人数	100～150名	数百～1,000人程度？
人員構成	基地の維持・建設、観測、研究 開発等に関わる人員 家族は同行しない	制限無し（家族、永住者を含む）
滞在期間	1回1年、生涯で最大3年程度 （宇宙放射線被ばく量に依存）	制限無し（経世代を含む）
社会のイメージ	ISSの延長線上、南極越冬隊に 近いイメージ	同人数の社会（離島など）
地球との関係	地球を母体とした社会 観光者は10,000人/年程度？	人員・物質等で地球との交流は保た れていると仮定
医学的課題の 検討の方向性	現在の医療技術の延長線上で想 定	このような社会の構成に必要な医学 的課題のリストアップとその対応策 の検討（宇宙放射線対策、経世代を 含む）

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

宇宙環境の特徴

- 高真空
 - 温度
- そのままでは生存不可
(宇宙船・宇宙服の必要性)

→ 閉鎖環境

- 微小重力
- 宇宙放射線
- 磁場



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

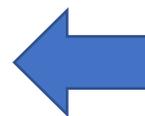
精神心理面
への影響因子

- ・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

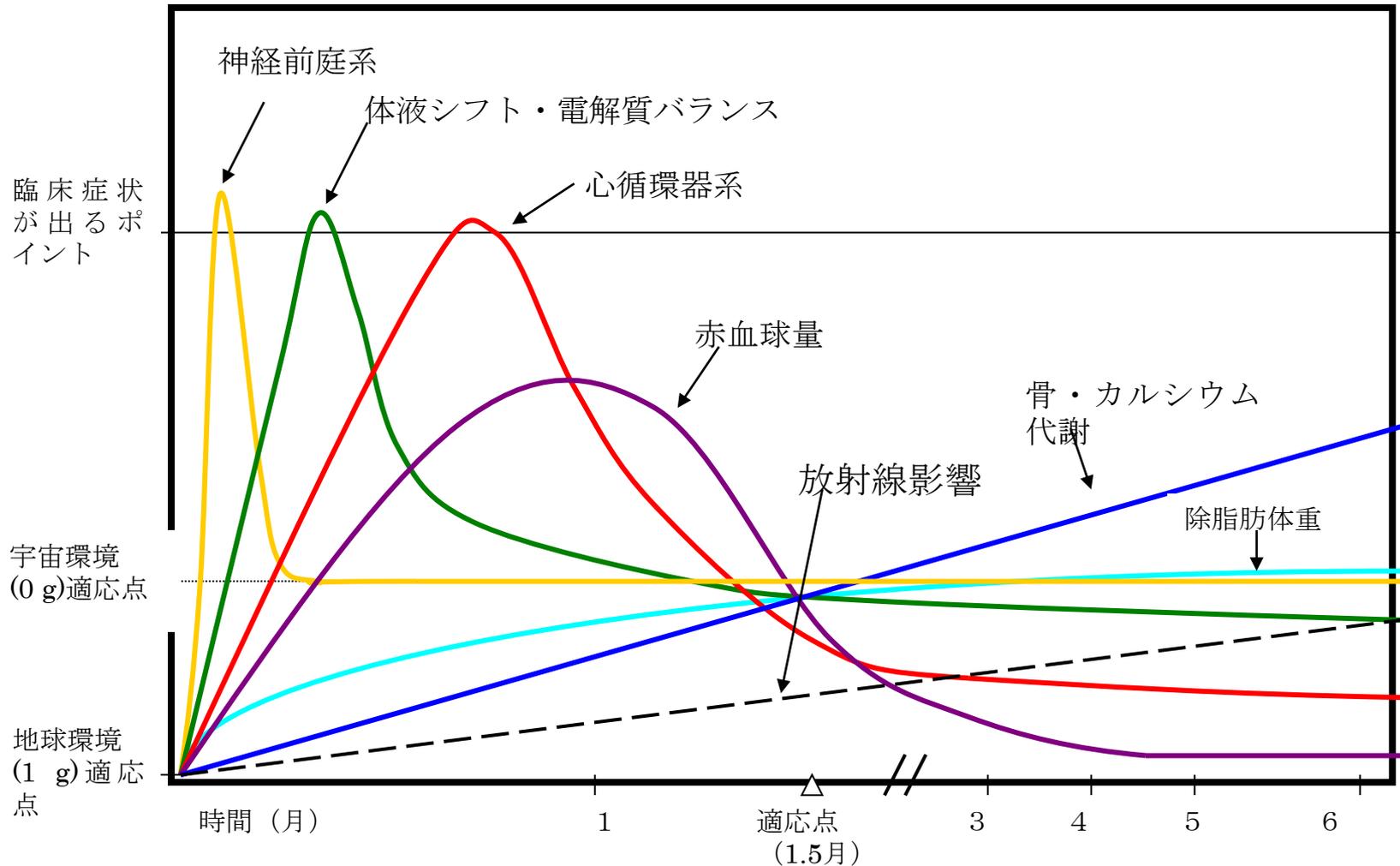


宇宙環境が人体に及ぼす影響

- 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 = 1 / 3 G
 - ◎ 体液の移動、心循環器系への負荷
 - ◎ 神経・平衡感覚系の変化 → 宇宙酔い
 - ◎ 筋骨格系の変化（萎縮）
 - ◎ 長期 → 血液、免疫、栄養代謝、等
- 宇宙放射線の影響

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）

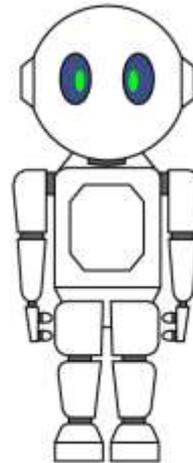
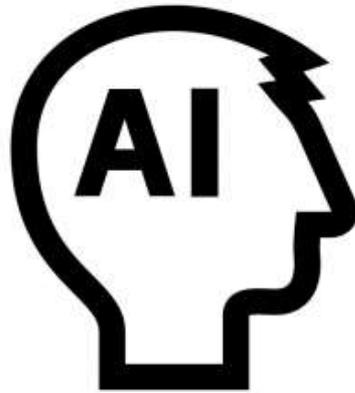
○医用工学系(小型機器、通信システム等)の発達

→ 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) & ロボティクス



© dsk

- AI/ロボットは、いずれヒトの能力を超える(?)
- 50年後にはヒトと同等、100年後には(?)
 - 小型化・高機能化の継続
 - 医療行為はロボットが代行(?)

人工知能の方向性

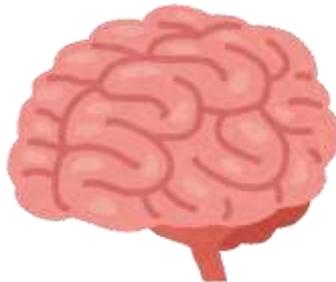
○計算能力の向上 → 人知を越える（？）

2045年問題； AIが人知を越える

AIがAIを開発するようになる(?)

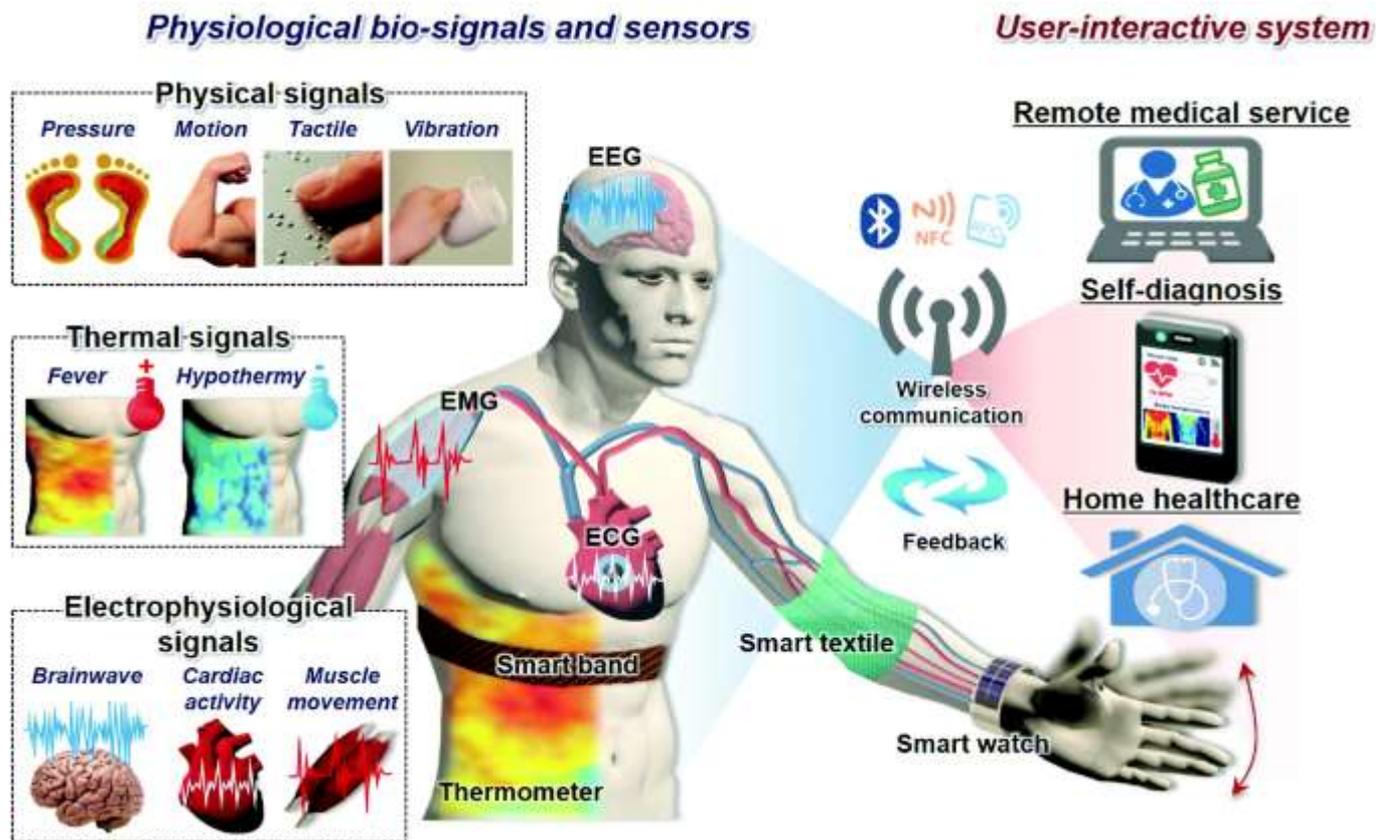
○ヒトの思考・記憶パターンの解明

→ ヒトの持つ記憶内容のデコード（？）



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；

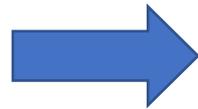
→ 睡眠パターン、食生活

○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



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)

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

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

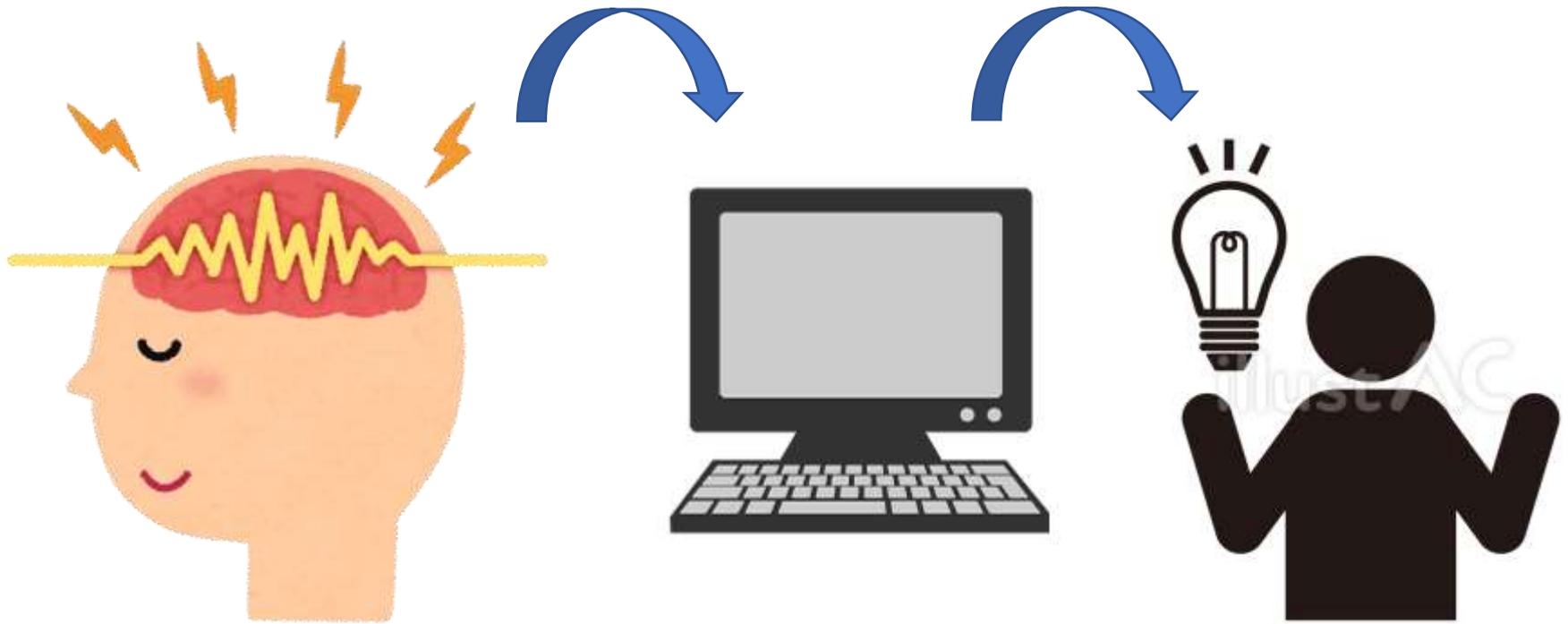
精神心理・人間集団モニタリングが受け入れられる条件(案)

○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？

脳信号の解読



脳信号（＝その人の考えていること）を解読
→ 第三者に伝える
通信革命（？）

技術の進歩Ⅲ：遺伝子工学

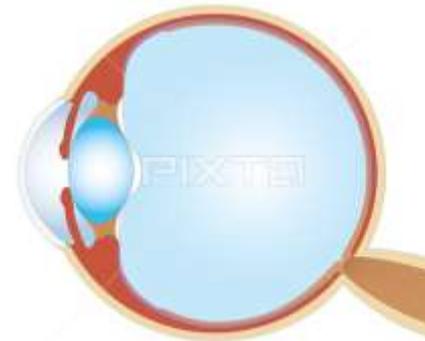
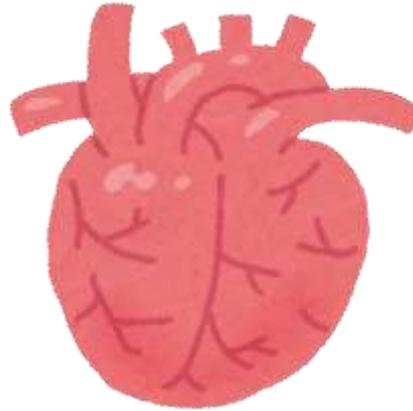
クローン生物



クローン羊 ドリー
1996-2003

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

各種の臓器再生

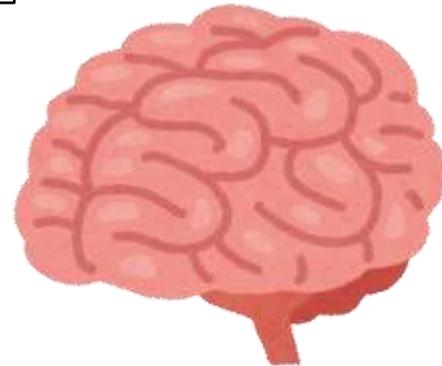


pixta.jp - 9346706

細胞移植治療



がん、
神経変性疾患
(含：痴呆?)



有人宇宙開発と遺伝子工学

○長期宇宙滞在者 ← 遺伝子診断の活用(?)

※現在、遺伝子診断の結果は厳しい制限

○遺伝子治療・改変(?)

→ ガン、遺伝子疾患の治療

遺伝子の改変による生体改造(?)

例；放射線耐性の向上、筋骨格系の増強

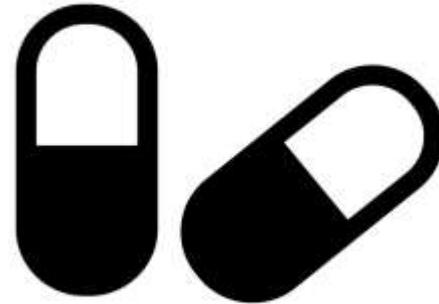
遺伝子ドーピング

技術の進歩**IV**：化学合成

○薬剤・食品の、化学合成

細胞レベル・分子レベルからの合成？

→ 問題はコストのみ(?)



技術の進歩 **V** : 常温超電導

今世紀中に実現？

低電力で強力な磁場の
形成が可能？

磁気シールドの実用化？

小型でモジュール単位でも可？

但し、人体・機器影響の評価が必要



By 米チオ・カク 2011
(訳；NHK出版)

小型MRI (画像診断) の普及？

技術の進歩**VI**：寿命・人工冬眠

○寿命の延伸 → ヒトの不死化(?)
記憶のみデコード(?)

※倫理的課題；死ぬ権利(?)

○人工冬眠

→ 寿命に影響しない、数年単位の冬眠
実用化は500年後(?)

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

各分野の検討状況

	100人(～2070年)	1,000人(～2120年)	永住(～2200年?)	～数名/狭空間/数年間(～2030年?)
状況(課題)				
技術予測				
予防				
診断				
治療				
備考				

有人宇宙滞在における 5つの主要課題

- 宇宙放射線
- 精神心理
- 無・低重力
- 月面ダスト (=レゴリス)
- 経世代

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
- 人工重力装置

宇宙環境での運動

運動はストレス
解消となるか？

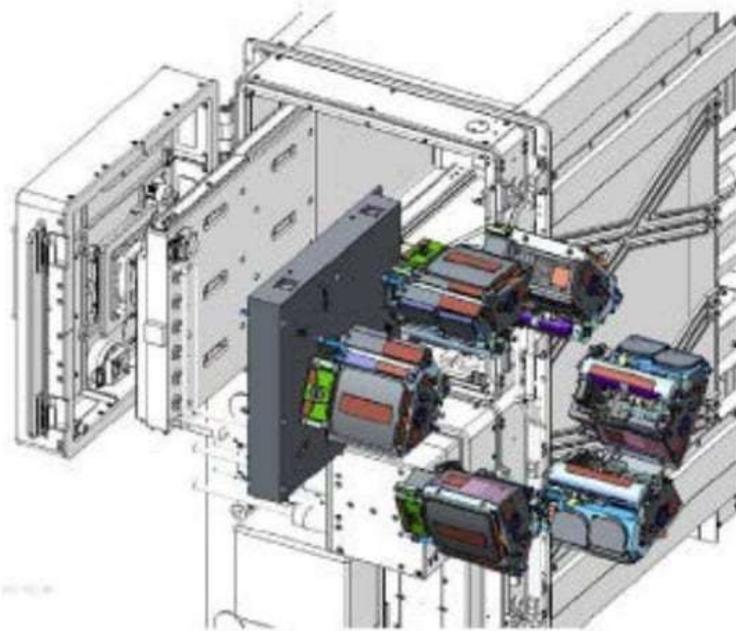


シャノン・ルシッド飛行士
(シャトル・ミール計画)
→ 宇宙での運動はストレス
源と明言
Scientific American, May 1998
Photo NASA

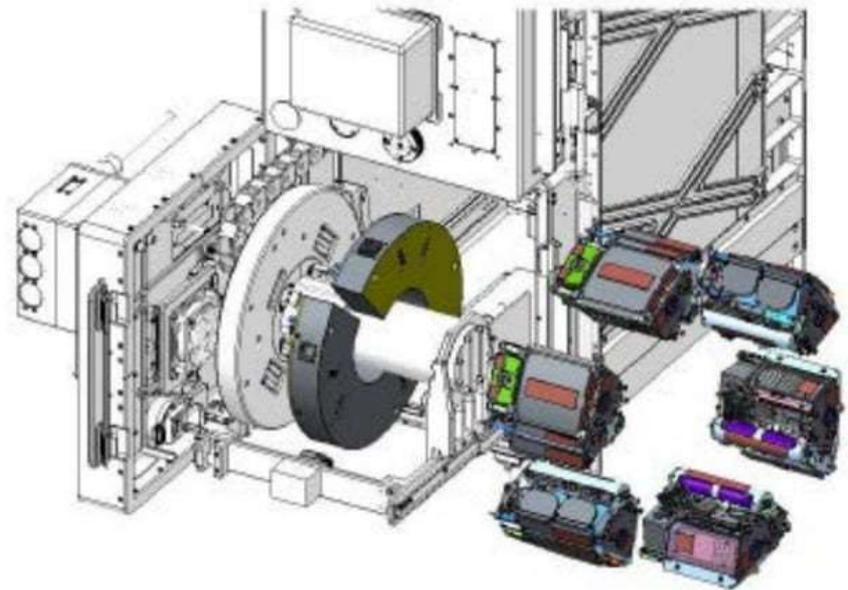


「宇宙飛行士は運動
をするために宇宙に
行く訳ではない」
故黒田勲先生
Photo 日本ヒューマン
ファクター研究所

人工重力装置（小動物用）



(a) 微小重力区への設置



(b) 人工重力区への設置

Photo by JAXA

宇宙放射線対策

○生物影響とその対策

→ 薬剤、遺伝子修復技術、
がん対策

○予測 → 宇宙天気予報

※特に太陽フレアの予測

○シミュレーション

○放射線防護

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(?)

精神心理的支援

1. 選抜：長期間の閉鎖環境滞在のストレスに耐えられる飛行士を選ぶ
2. 訓練：各種の精神心理訓練
ストレス対処訓練、サバイバル訓練
3. 地上からの支援：
家族との交信；1週間に1度、15分程度のTV交信
空いた時間で電子メール交信、ハム通信、IP電話等
4. 精神心理専門家による定期的な遠隔心理面接：
2週間に1度、15分程度、精神心理専門家が、TVカンファレンス
→ 評価と支援を同時に行うことの難しさ

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

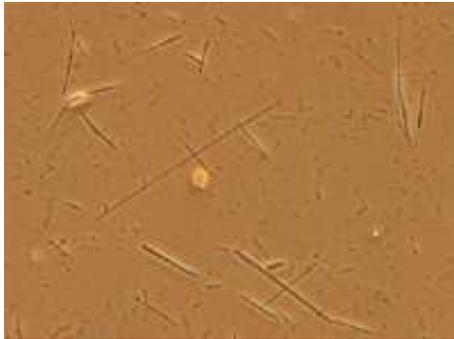


Photo JAXA

月惑星社会
→危険との隣り合わせ

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

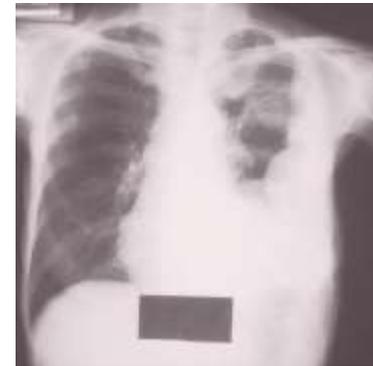


アスベスト顕微鏡写真
出典：大阪市環境科学
研究センター

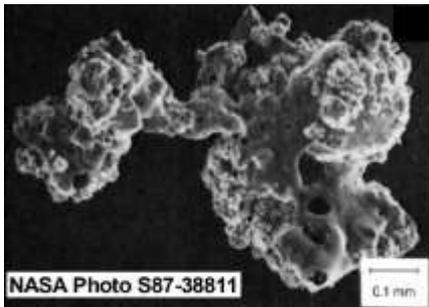


数年～数十年で
珪肺症、肺がん、
中皮腫等

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

経世代の問題

妊娠

出産

成長



メダカは経世代が実証;
水棲生物飼育(JAXA)

重力
放射線
人工環境

死亡時の対応

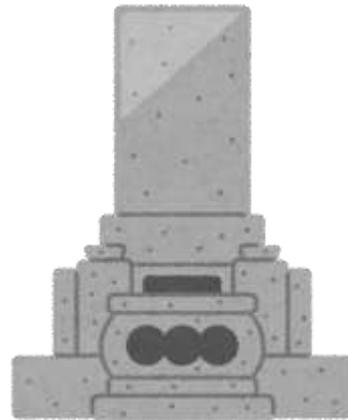
○看取り

○事故死・不審死、自他殺(疑)

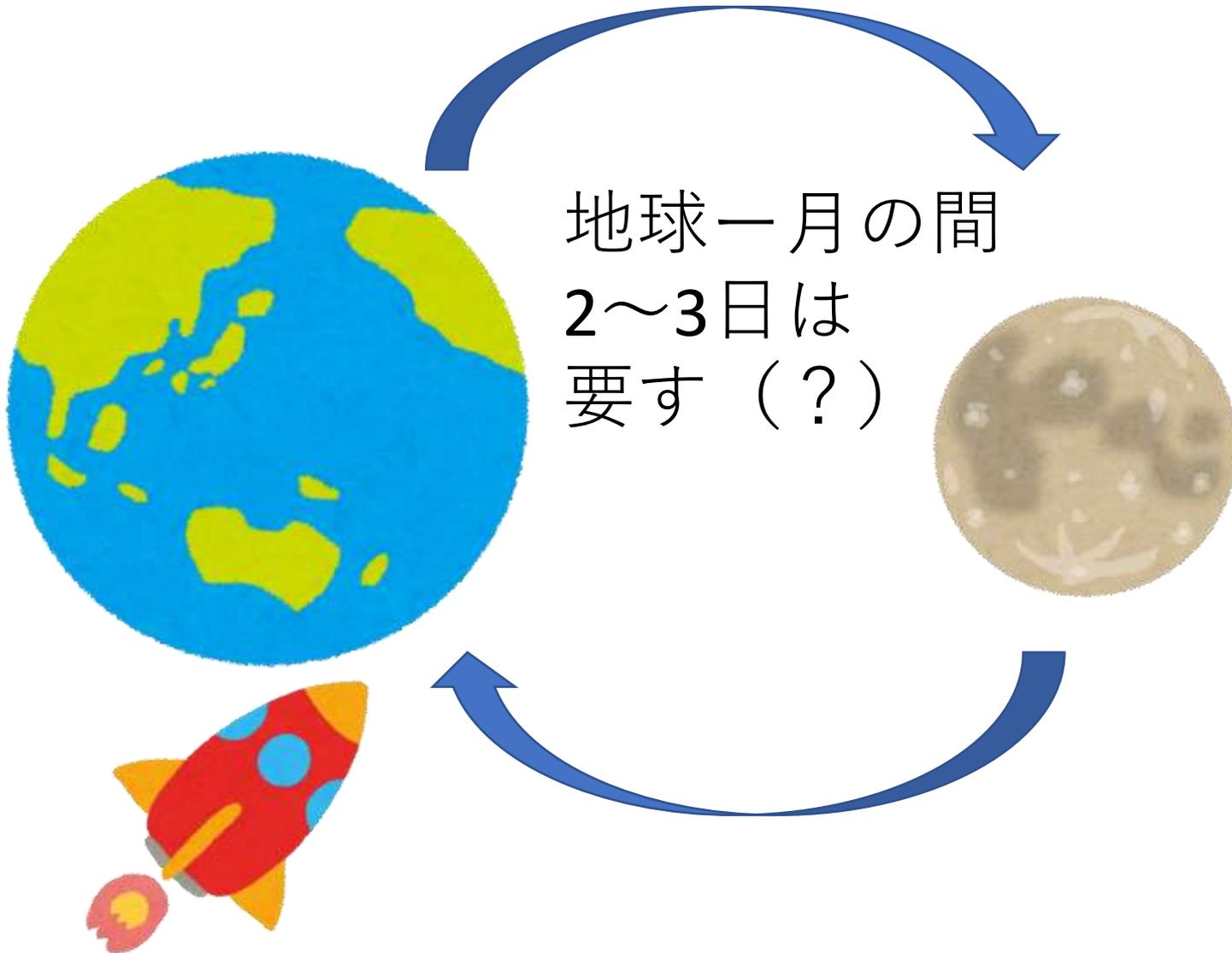
→ 検視、司法解剖

○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



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



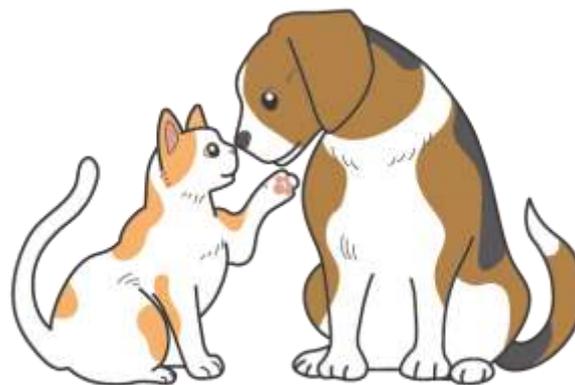
アルコールはO.K.か?



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

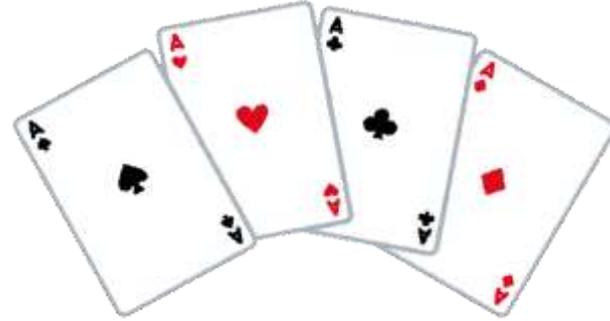


ペットは?

娯楽と依存症



アルコール



ギャンブル

宇宙での気分転換



ゲーム



NASA

長期宇宙滞在は、以外と退屈？

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

人類・宇宙の進化

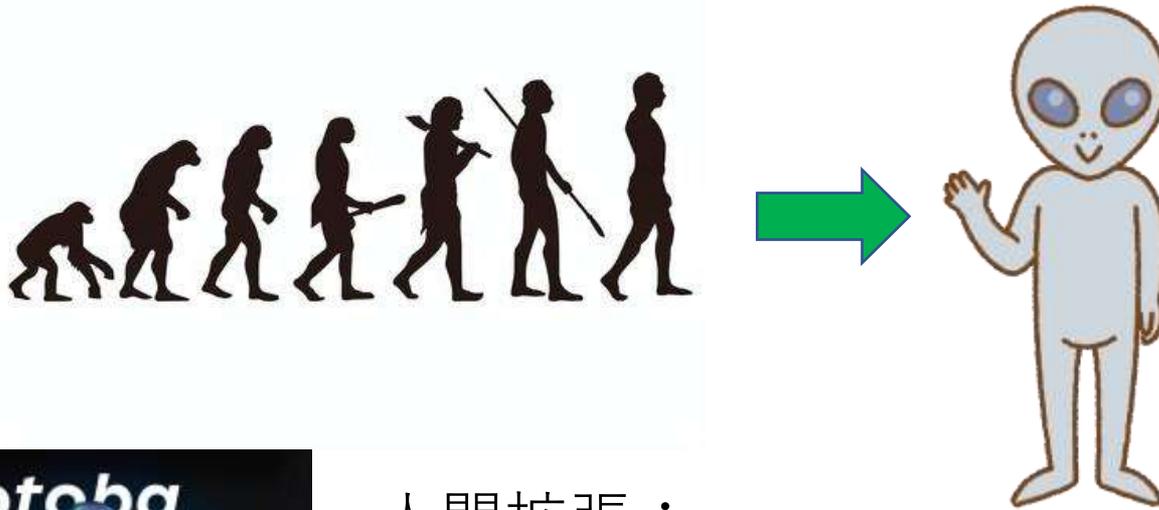


2021年2月刊
講義自体は1997年～2002年
(その一部)



ティヤール・ド・シャルダン
1881年～1955年
フランス人のカトリック司祭、
古生物学者・地質学者
Photo Wikipedia

人類の次なる進化



人間拡張：
ネオ・ヒューマン
ポストヒューマン
→ 遺伝子改変、人工臓器、
サイボーグ化？

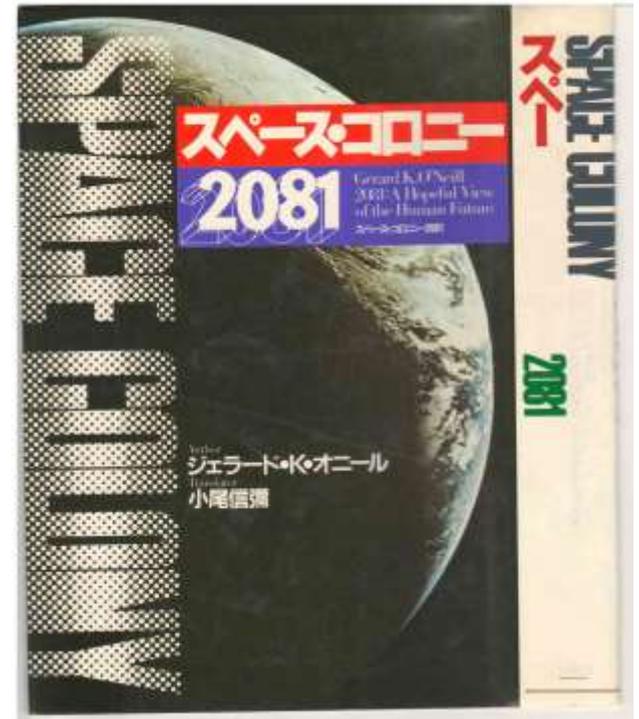
kotoba（集英社）2021年秋号

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 →

カルダシェフ・スケール

宇宙文明の発展度；エネルギーに基づく

0. 天然資源：現在の地球文明は**0.72**
1. 核融合（=惑星文明）： **10^{16} W**以上
2. 恒星エネルギー（=恒星文明）
3. 銀河エネルギー（=銀河文明）、反重力
4. 人工ワームホール
5. ホワイトホール
6. 多次元文明=時空の超越
7. 創造主文明

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）

検討協力者

○医療の未来像

○低重力の影響、外科系：山田(深)先生(杏林大)

○宇宙放射線：高橋先生(群馬大)、JAXA、放医研

○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：岩崎先生G(日大)

○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

ご清聴ありがとうございました
<m(_ _)m>



有人宇宙開発は、
牛歩かな(?)
でも、着実に!