

This image is a collage of research posters from the Kyoto University Space Life Sciences Research Project, organized into four main sections:

- A02班: 宇宙を生きる** (Left Top): Focuses on life support systems, including plant cultivation and genetic repair.
- A04班: 宇宙を作る** (Right Top): Focuses on creating a space environment, including a human-robotics simulation experiment and a habitat model.
- 新規の技術開発** (Top Center): A general section on new technology development.
- 宇宙環境工学 (スペース・ハビタビリティ)** (Center Left): A graph showing the habitable zone around the Sun, comparing Earth's conditions to other planets like Venus and Mars.
- A01班: 感星科学的見地による生命条件の構築** (Top Right): Focuses on life conditions based on exoplanet science, involving remote sensing, data calculation, and atmospheric modeling.
- A02班: 宇宙における生命維持システムの構築** (Right Center): Focuses on life support system construction, including plant cultivation, water recycling, and habitat design.
- A03班: 行動学的見地による人類環境適応指標の構築** (Bottom Left): Focuses on behavioral science, including medical, psychological, and cognitive studies.
- A04班: 有人宇宙活動を支えるエンジニアリングの構築** (Bottom Right): Focuses on engineering for human space activity, including robotics, life support, and communication.

総合生存学館 SIC 有人宇宙学研究センター (2020)

有人宇宙学研究センター

- 1 宇宙木材研究** 宇宙での木材利用を推進し、木造人工衛星の開発を視野にしている。
実施会社: 住友林業株式会社
- 2 宇宙居住研究** 将来世代の人類の太陽系内外の惑星での居住を想定し、宇宙建築物をデザインする。また、居住可能な太陽系内外の惑星に関する情報収集を行う。
実施会社: 藤島建設株式会社 (実施交渉)
- 3 宇宙放射線影響研究** 航空機や宇宙ステーション、そして将来的宇宙探査機への周辺宇宙線や太陽粒子線の影響を評価する。
実施会社: アクセンチュア(予定)
- 4 宇宙教育研究** 宇宙における教育活動を実践し、有人宇宙搭乗者やSCB2 (Space Camp at Biosphere 2) と連携して行う。
実施会社: 三共精機株式会社・西部高工株式会社
- 5 宇宙・地球探査技術研究** 人工衛星リモートセンシングや、画像認識を用いた地球観測技術を検討し、将来の宇宙観測に資する。
実施会社: DMG森精機株式会社

SIC有人宇宙学研究センター

木造CubeSat(木造人工衛星)の開発

黒田工房の木工職人による構体プロトタイプ(ホオノキ製)

木造キューブサットの目的

- 複合的な宇宙環境の影響の検討
- 宇宙における木材資源の実用性の調査

木造キューブサットの利点

- 宇宙・層雲・海洋の汚染を防止
- 電磁波を遮蔽しないことによる、衛星バスシステムの新たな可能性
- 優れた耐熱性のため、極寒環境にも耐えられる

SIC有人宇宙学研究センター

真空木材暴露実験

長期間の高真露暴露試験 (2018年7月~)
暴露環境: 1Pa以下(10^5 気圧以下)
実験方法:
105°C × 24時間乾燥機にて真空暴露
1ヶ月毎に大気圧に開放して、形状・重量変化と曲げヤング率を測定
曲げヤング率測定(ZTS-500N IMADA):
破壊荷重の20%まで負荷し非線形、変位と荷重の傾きからヤング率を計算

SIC有人宇宙学研究センター

真空暴露実験結果(ヤング率相対変化)

計測樹種: シギ(七ノ木)
広葉樹(散丸材): ホオノキ/ブナ/ヤマザクラ
広葉樹(環丸材): センダン/ケヤキ/キリ/カシ

木材は真空中で劣化しない!

SIC有人宇宙学研究センター

低圧下における樹木育成実験

目的1: 低圧下における樹木の育成可能性を探求する
目的2: 火星環境(1/100気圧・CO2大気)における樹木の育成をめざす
→ 宇宙植林

低圧チャンバー 大気圧チャンバー 低圧実験システムダイアグラム

SIC有人宇宙学研究センター

樹木育成実験: ポプラ 0.1気圧

0.50気圧
大気圧コントロール
実験開始 1st week 2nd week 3rd week 実験終了(566h)

**A02. 宇宙を生きる
計算(代表)**

宇宙を生きる(ヒント)

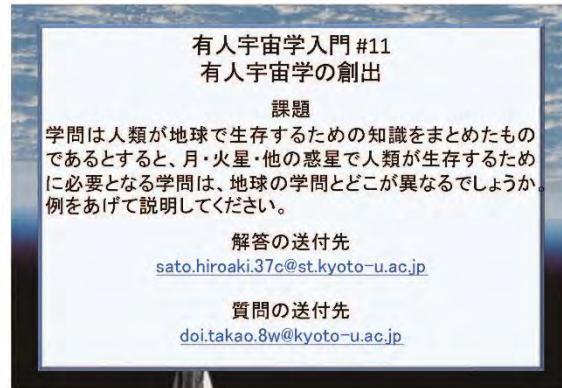
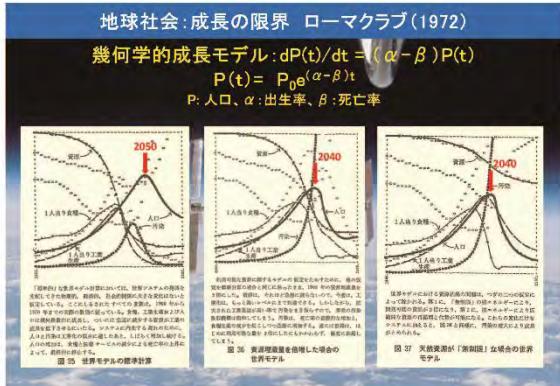
質問: ヒトが生きるために何本の樹木が必要か?

- ヒトひとりに必要な酸素量: 5000/day
https://ispp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=1519
- ヒトひとりが吐二酸化炭素量: 5000/day=982g/day=358kg/year
 $500/22.4 \times 44 = 982\text{g/day}$, 1気圧0°C 1モルのガスの体積: 22.4L
- 杉1000本で1年に8800kgの二酸化炭素を吸収する
http://www.rinya.maff.go.jp/sin_rivou/ondanke/20141113_topics2_2.html
- 杉1本で1年に8800/1000=8.8kgの二酸化炭素を吸収する

↓

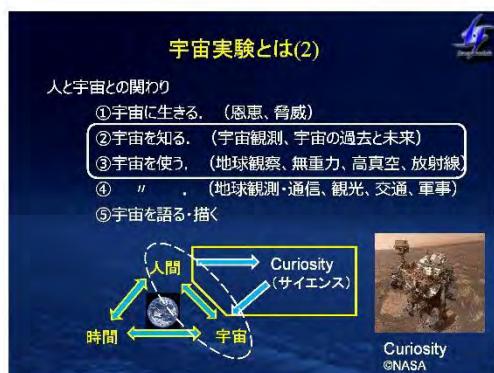
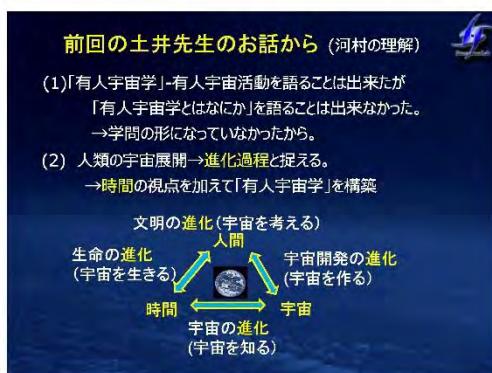
ヒト1人当たり、 $358/8.8 = 40.7$ =40本の杉が必要である
直径120メートルドーム(甲子園球場)に10m²に1本の杉を植える
 $\Rightarrow 12,000 \div (40 \times 10) = 30$ 人が暮らせる!

地球外森林の構築

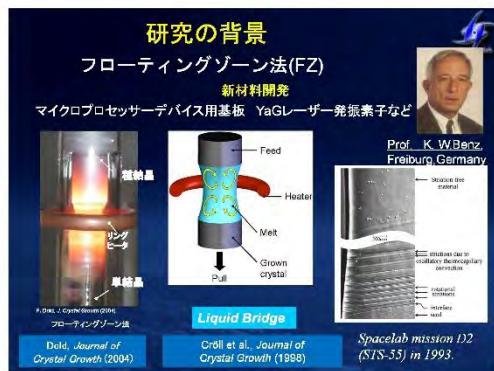


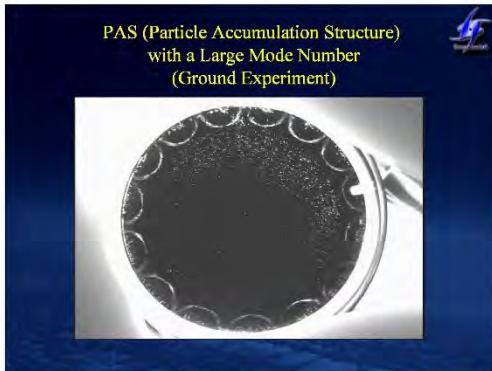
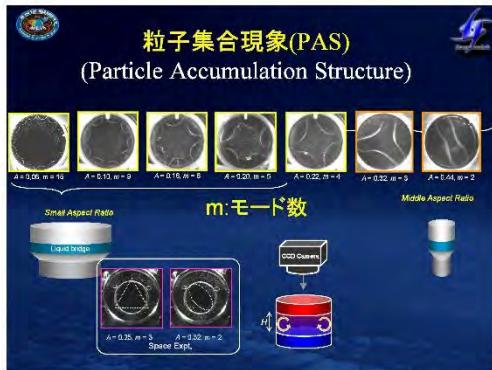
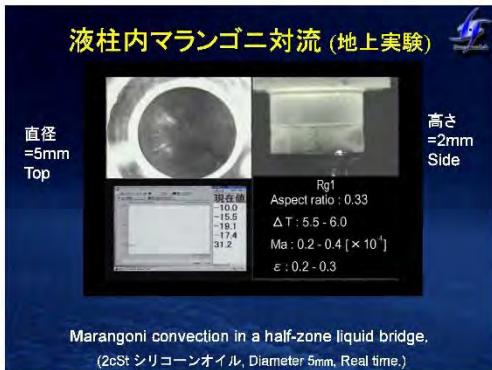
参考資料 2-12

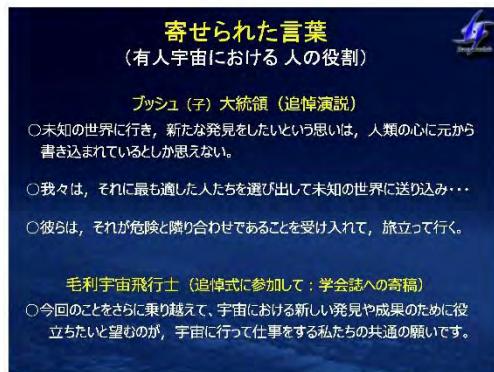
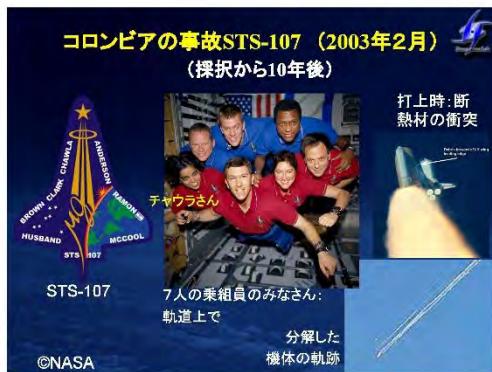
宇宙実験 : 2021/07/01 : 河村洋

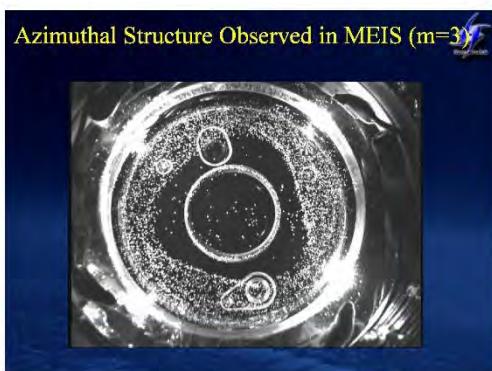
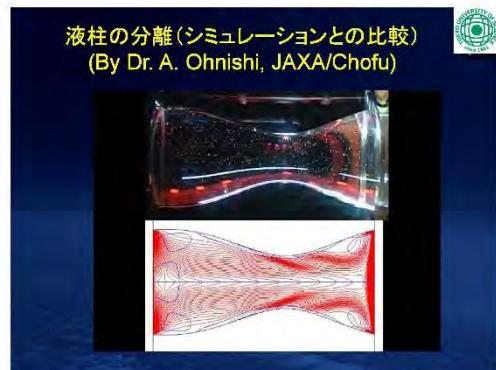
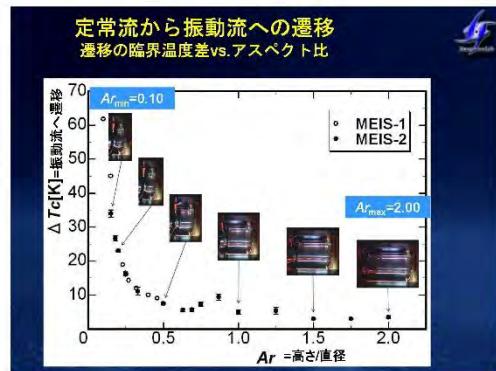










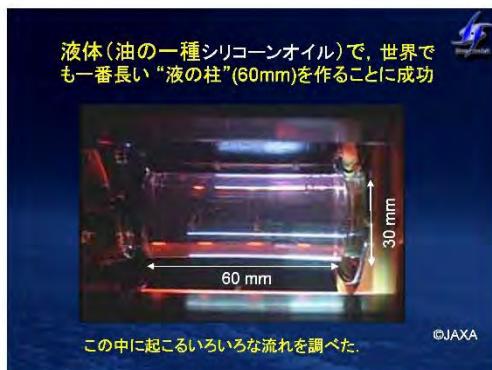
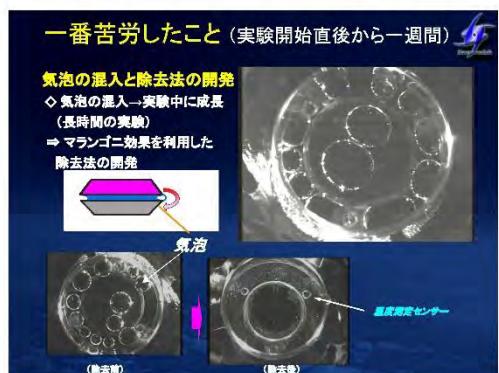


実験開始が迫っての準備

実験手順書: ODF(Operation Data File)

< Report >

河合さん: JAMSS
©宇宙女子
音電社

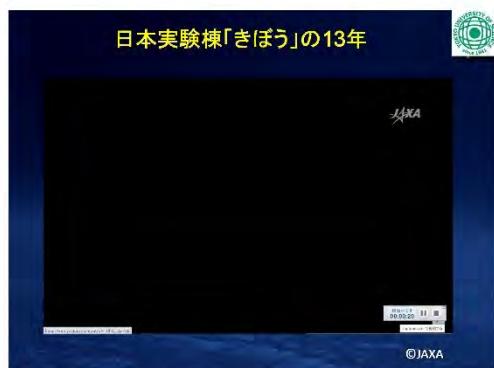
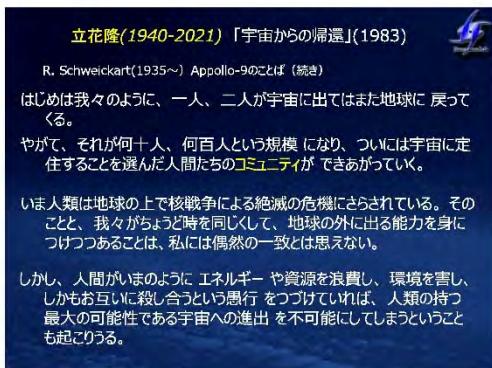
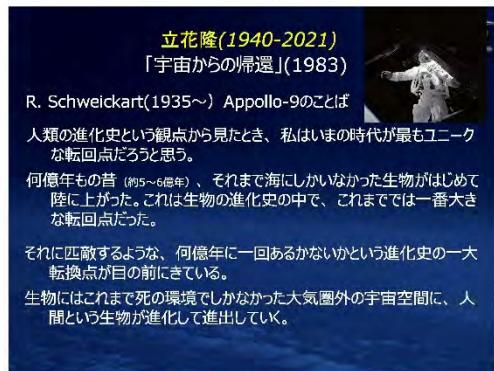


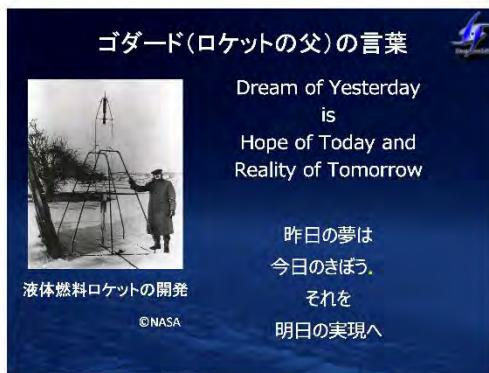
MEISの成果



- (1) マランゴニ対流の振動流発生条件の解明
- (2) 高品質結晶成長、リソグラフ等への寄与
- (3) マイクロ流体の取り扱い
とくに μ -TAS (Total Analysis System)
(微量化学分析、DNA解析、医療・環境検査)
- (4) 「きぼう」に於ける
有人・リモート操作併用型科学実験体制の構築







有人宇宙学入門 #12

宇宙実験

課題

○「きぼう」を利用した実験や利用のなかから一つを選んで、その内容や成果の概要をまとめ、それについての感想、とくにその実験や利用を行う意義について考えを述べて下さい。(A4で2~3枚程度)

解答の送付先
sato.hiroaki.37c@st.kyoto-u.ac.jp

質問の送付先
doi.takao.8w@kyoto-u.ac.jp

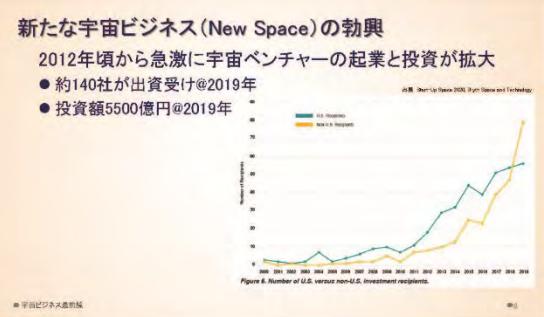
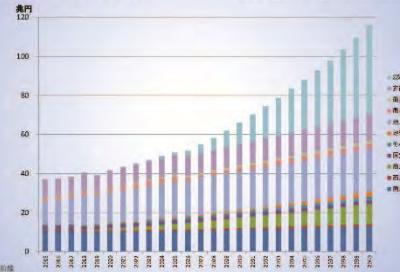
参考資料 2-13

宇宙ビジネス最前線：2021/07/08：淺田正一郎



宇宙ビジネスの規模

出典: <http://www.morganstanley.com/ideas/investing-in-space>



New Spaceの勃興の背景

- ① 先人の成功例
 - IT長者によるSpace-Xの成功
- ② 参入障壁の低下
 - 衛星の小型化
 - 小型衛星打上げ用ロケット
- ③ 新しい宇宙データ利用
 - 宇宙ビッグデータ×AIによる情報サービス

※ 宇宙ビジネス資料

② 参入障壁の低下-衛星の小型化

Surrey Satellite

- 英国Surrey大学発として1985年に起業のベンチャー企業
- 小型衛星(500kg以下)の草分け的企業

CubeSat

- 大学の研究室などが製作する数kg程度の超小型衛星として始まる
- 1999年CS-Stanford大学などが規格化し、最小単位は10cm × 10cm
- 2003年に東大と東工大の衛星を含む最初のCubeSatが打ち上げられ、現在までに100機程度が打ち上げられている
- 最近は商業向けにも利用が拡大



※ 宇宙ビジネス資料

■ 11

2003年CubeSatに始まる大学衛星の開発熱
～14年間に40機以上の大学衛星が開発～



UNISEC(大学連携組織)が支援。教育から実用へ

③ 新しい宇宙データ利用

- 宇宙ビッグデータ×AIにより情報提供
- 金融/ 保険等
- 農林業
- 漁業/ 水産
- エネルギー/ 資源
- 製造/ 建設
- 気象/ 環境/(災害対策)
- 交通/ 地図
- 教育/ サイエンス

※ 宇宙ビジネス資料

② 参入障壁の低下-小型衛星の打上げ数の増加

Historical data
Forecast

Single mission
Commercial

Source: PeC Launch Database, more than 75 constellations projects are considering in the forecast.

■ 12

New Spaceによる宇宙ビジネス領域の拡大



※ 宇宙ビジネス資料

SPACETIDE COMPASS vol.3から抜粋

■ 13

日本の宇宙ベンチャー

日本の宇宙ベンチャーへの投資額
は米国、中国に次いで3位
WorldSpace 2013, World Space & Industry Report

宇宙データ・技術利活用	輸送	衛星インフラ構築・運用
Synspective, Sigma-SAT, SpaceShift, Umitron, Polar Star Space, 里慈、Solafund, DATAFLUCT, 天地人, Axelspace, ALE, JAXA, Spacebridge, Aeronautics, Orbital Map Platform, Global Positioning Augmentation Service, Hokkaido Satellite, Our stars, Ridge I, Sagri, Sakura Internet, SIGNATE, SpaceBalloon, Space Basil, Space Bio-Laboratories, Space NTK, TOWING	Intertel Technologies, SpaceOne, Astro Ocean, PD Aerospace, Space Walker, OUTSENSE, annulapo, Club Tourism Space Tours, euiglena, Integriculture, ONETARIUS, OUTSENSE, Space Art and design, TOWING, Yspace	Axelspace, IQPS, Synspective, Infostellar, Skygate, WarpSpace, バッヂコニックス, Space Cubics, 天の技, オリガミTS, Pale Blue, Our Stars, Terra Space
軌道上サービス・エンタメ・教育	宇宙航行・滞在・移住	宇宙探査・資源開拓
Astrocale, ALE, ASTROFLASH, Gital, SpaceRD, 株式会社うらわら、スペース・パラジル, ABLab, ElevationSpace	PD Aerospace, Space Walker, OUTSENSE, annulapo, Club Tourism Space Tours, euiglena, Integriculture, ONETARIUS, OUTSENSE, Space Art and design, TOWING, Yspace	iSpace, TOWING, Dymon, Avatarin, METIN MMJ, SEA, Televistence

※ 宇宙ビジネス資料

宇宙データ・技術利活用

■ 宇宙ビッグデータ×AI

- Orbital Insight, SpaceKnow, Descartes Labs, URSAなど
;衛星画像データ等からのグローバル経済情報分析
- Synspective, Sigma-SAR, SpaceShiftなど；衛星レーダー画像データを用いた情報分析
- Umitron;衛星画像データ等からの商業資源情報分析
- GPS電波掩蔽(GPS Radio Occultation)を利用して気象予測
 - SPIRE;地上観測による局所的な気象予測
 - PlanetIQ, GeoOptics;超小型衛星コンステレーションを用いた気象予測
- GPS利用
 - クボタ;GPSを駆使した農作業を行う自動運転トラクタ、田植機、コンバイン
- AIS(自動船舶防護装置)利用
 - MarineTraffic;衛星による船舶位置分析

※ 宇宙ビジネス資料

■ 17

参考資料 3-1
令和3年度有人宇宙学シラバス

科目ナンバリング		G-LAS15 80002 LB70					
授業科目名 <英訳>	有人宇宙学 Human Spaceology: The Study of Human Space Activities				担当者所属 職名・氏名	総合生存学館 特定教授 土井 隆雄 総合生存学館 教授 山敷 庸亮 講師研究員兼任准教授 田口 真奈 霊長類研究所 教授 湯本 貴和 総合生存学館 関係教員	
群	大学院横断教育科目群	分野(分類)	複合領域系		使用言語	日本語及び英語	
旧群		単位数	2単位	週コマ数	1コマ	授業形態	講義
開講年度・ 開講期	2021・後期	曜時限	水5	配当学年	大学院生	対象学生	全学向
(総合生存学館の学生は、全学共通科目として履修登録できません。所属部局で履修登録してください。)							
【授業の概要・目的】							
有人宇宙活動を宇宙に恒久的に人類社会を創造する活動であると定義する時、人類が宇宙に展開するための新しい総合科学：人間－時間－宇宙を繋ぐ有人宇宙学が必要となる。有人宇宙学は、宇宙－時間（宇宙の進化）、時間－人間（生命の進化および文明の進化）、人間－宇宙（宇宙開発の進化）の4つの進化過程を司る学問である。それは、宇宙に人間社会を創ろうとする試みが、自然科学分野のみならず、人文社会科学分野にも幅広く関係していることによる。この講義では、人類が宇宙における持続可能な社会基盤を構築するために何が必要なのか、自然科学的・人文社会科学的に解説する。理工系ばかりではなく人文社会系学生が、宇宙における持続的社会の構築という命題の中に、自分の研究分野との接点を見つけ、自分の研究の新たな意義と新しい方向性を見出すことをめざす。							
【到達目標】							
人類の宇宙進出が地球文明にとって何を意味するかを理解し、人類が宇宙に持続可能な社会基盤を構築することが可能であるのかを、有人宇宙学、宇宙環境工学、宇宙探査工学、宇宙生命科学、宇宙生物学、宇宙医学、宇宙霊長類学、宇宙人類学、宇宙法、宇宙居住学など幅広い学問分野の融合から探求することを学ぶ。							
【授業計画と内容】							
<p>【第1回】 10月 6日 有人宇宙学1（土井・山敷・田口） 【第2回】 10月13日 宇宙環境工学（山敷） 【第3回】 10月20日 宇宙探査工学（清水） 【第4回】 10月27日 有人宇宙学演習1 【第5回】 11月10日 宇宙生命科学（保尊） 【第6回】 11月17日 宇宙木材工学（村田） 【第7回】 11月24日 有人宇宙学演習2 【第8回】 12月 1日 宇宙霊長類学（湯本） 【第9回】 12月 8日 宇宙医学（寺田） 【第10回】 12月15日 宇宙法（青木） 【第11回】 12月22日 宇宙人類学（岡田） 【第12回】 1月 5日 有人宇宙学演習3（土井・山敷） 【第13回】 1月12日 宇宙居住学（稻富） 【第14回】 1月19日 有人宇宙学演習4（土井・山敷・田口） 【第15回】 1月26日 フィードバック</p>							
講師の都合により、講義日程が前後する可能性がある。							
----- 有人宇宙学(2)へ続く↓↓↓ -----							

有人宇宙学(2)**【履修要件】**

学部学生も聴講可能である。有人宇宙学入門を履修していることが望ましい。

【成績評価の方法・観点】

講義への出席、3回の有人宇宙学演習において各講義要素の理解度と積極性・創造性及び最終レポートによって評価する。

【教科書】

使用しない

【参考書等】

(参考書)

授業中に紹介する

【授業外学修（予習・復習）等】

なし

【その他（オフィスアワー等）】

なし

オフィスアワーの詳細については、KULASISで確認してください。

火星に生命の火を灯す

有人宇宙学 火星班

出発する前に、、、

1 火星環境

- 大気
・大気圧 : 0.007気圧未満
・大気成分 : CO₂(95%)、N₂(3%)、Ar(1%)
・大気圧を上げる必要あり
・酸素を生成する必要あり
- 水・土壤
・液体の水は見つかっていないが、地下に存在する可能性あり
・大気中にある0.03%水蒸氣が存在
・有益であるコリスが存在
・(過塩素酸塩が含まれる)
・水の生成、農業法を考える必要あり
- 地力・磁場・放射線
・磁場 : 固有磁場なし
・放射線 : 宇宙船の被曝量は年間100~200mSvと推測
・いかにも地図量を少なくするかが課題

8 火星ビジネス

社会システム

7

- 意思決定
・リーダーは定めない
・審議討論のため、各环节で専門家や専門者を立てる
・裁判所で任を立てる
- 司法
・裁判は一律の法規で決めておく
・原則は地球法で決めておく
・それ以外の法律に際しては150人で話し合い、決める
- 貨幣制度
・生活必需品は支給
・輸出は一律支給で、嗜好品などの法規。
・原則は地球法で決めておく
・貨幣は貴重な資源多
・使わなければ電子通貨を用いる



9 150人の社会完成



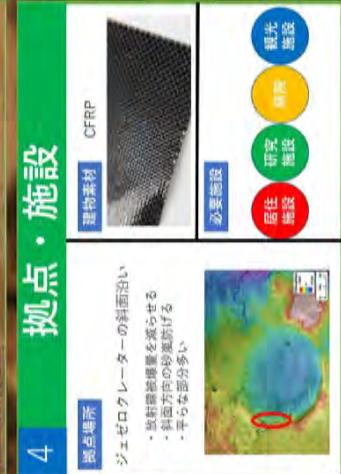
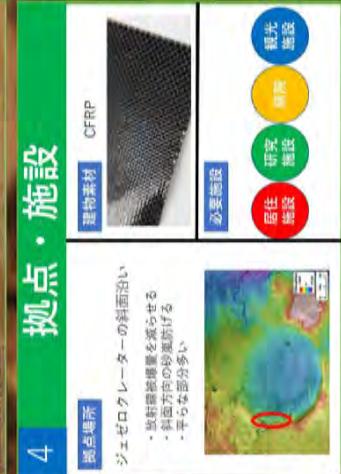
2 火星移住目的

- 主
・火星開拓により、人類の活動領域を広める
・生命循環装置、惑星形成過程の研究を行う
■ 目
・火星の資源により、地球上の不足資源を補完する
・火星ビジネスを開拓する



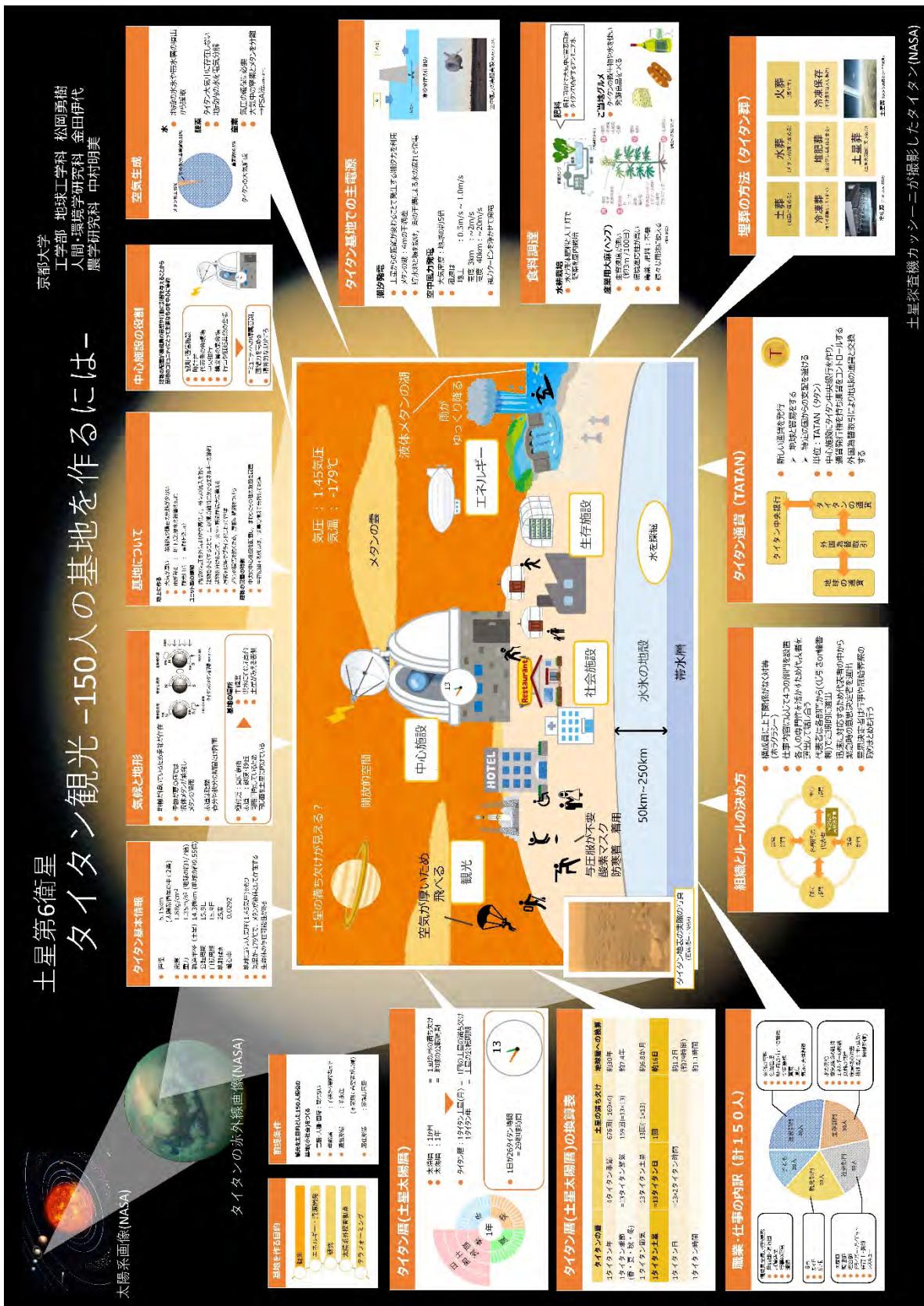
3 人選

- 出発!
 国籍は問わないが、英語が話せる
 18~55歳である
 食べれる物に制限がない
(食べれる物が限られる、黒豆食もあり得るため)
 集団行動に支障をきたさず、閉鎖空間での生活に耐性がある
(技能訓練、面接、懇親生活で育る)



參考資料 3-3

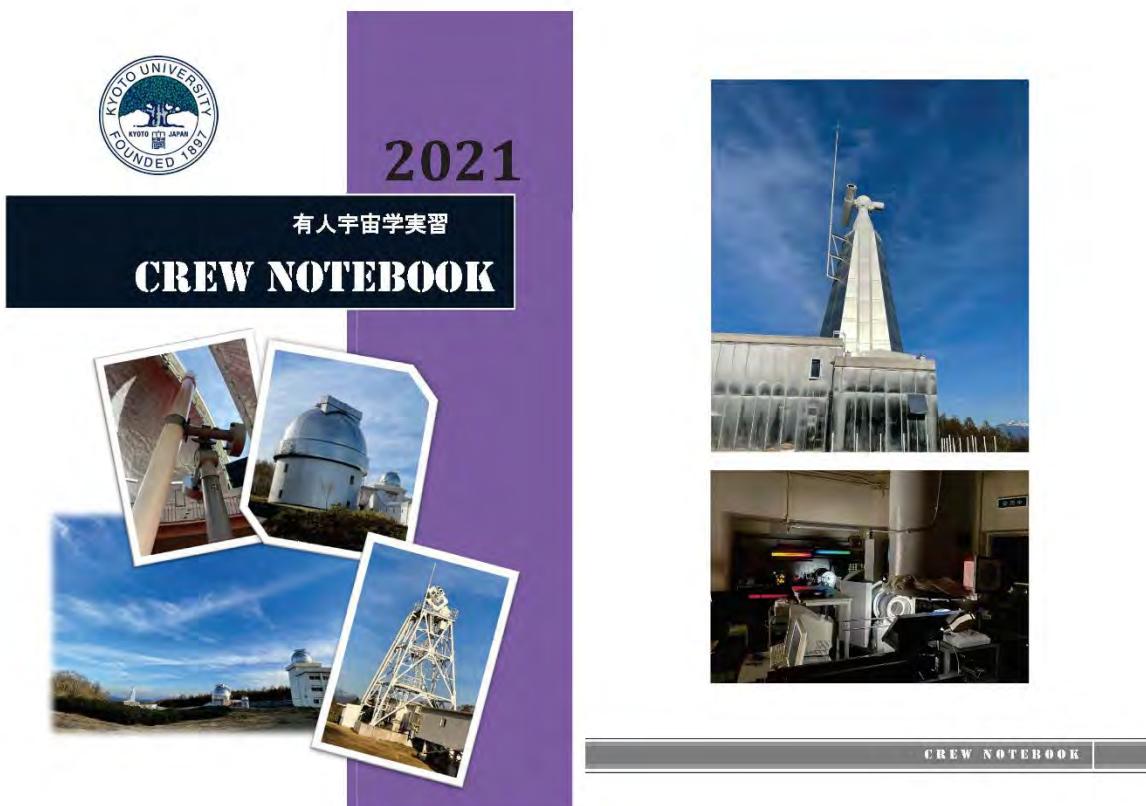
有人宇宙学演習：タイタン班ポスター [画像提供：NASA・JAXA]



参考資料 4
令和3年度有人宇宙学実習シラバス

科目ナンバリング	U-LAS70 10001 SJ50													
授業科目名 <英訳>	ILASセミナー：有人宇宙学実習 ILAS Seminar :Experimental Exercise on Human Space Activities			担当者所属 職名・氏名	宇宙総合学研究ユニット 特定准教授 寺田 昌弘									
群	少人数群	単位数	2単位	時間数	30時間	授業形態	ゼミナール							
開講年度・開講期	2021・ 前期集中	受講定員 (1回生定員)	9(9)人	配当学年	主として1回生	対象学生	全学向							
曜時限	集中 オリエンテーション：5/15、 合宿準備：6/12、 7/10、8/28、実習：8/29-9/4 6泊 7日	教室	飛騨天文台			使用言語	日本語							
キーワード	有人宇宙学 / 天体観測実習 / 模擬微小重力実験 / 閉鎖環境実習													
[授業の概要・目的]														
有人宇宙活動は高度な工学、理学のみならず、医学、倫理学、法学等、幅広い分野の有機的連携を必要とする総合科学であり、「有人宇宙学」は有人宇宙活動に関わる全ての分野を学問として大系的にまとめていく新しい学問である。実習では、集中講義形式を用いて、系外惑星を観測する天体観測実習、生命（植物）に対する重力の影響を観察する模擬微小重力実験、宇宙滞在の特殊な環境について体験を通じて学ぶ閉鎖環境実習を行う。宇宙ミッションを模擬したスケジュールに沿って計6日間体験してもらい、分野横断型学習から有人宇宙活動に関する包括的な視点と基礎知識を身につける。														
[到達目標]														
天体観測実習では天体観測に関する正確な知識と経験を獲得するとともに、自分の力で観測できるよう基礎的なノウハウを身につける。模擬微小重力実験では、重力に対する植物の応答を観察することで微小重力状態が生命に与える影響について好奇心と探究心を持てるようにする。閉鎖環境実習では宇宙での生活環境について体験を通して理解し、人間が宇宙に展開する意義・問題点を考える。														
[授業計画と内容]														
オリエンテーション#1：2021年5月15日 合宿概要講義 オリエンテーション#2：2021年6月12日 合宿準備-ハンズオン訓練（体験訓練） オリエンテーション#3：2021年7月10日 合宿準備-ハンズオン訓練（体験訓練） オリエンテーション#4：2021年8月28日 合宿準備-ハンズオン訓練（体験訓練）														
実習：2021年8月29日-9月4日 場所：京都大学飛騨天文台 内容：8月29日；移動（飛騨天文台着）、合宿開始 8月30日-9月3日；各種講義、実習開始（天体観測実習/模擬微小重力実験/閉鎖環境実習） 9月4日；成果発表、合宿終了、帰着														
1. 天体観測実習 系外惑星天体の講義の後、系外惑星天体の夜間観測を行う。夜間観測では、3人ずつのチームを作り、1チーム5-6時間の観測をする。全観測終了後、チームごとに観測結果を解析する。 ----- ILASセミナー：有人宇宙学実習(2)へ続く↓↓														

参考資料 5
有人宇宙学実習：クルーノートブック

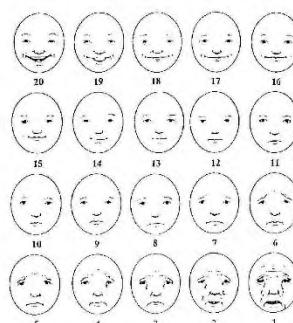


フェイススケール

今の気分をもっともよく表している表情を、
番号で答えてください。
練習1：_____ 練習2：_____



記入時刻	スコア	記入時刻	スコア
1日目開始 (:)	_____	開タ (:)	_____
2日目朝 (:)	_____	開タ (:)	_____
3日目朝 (:)	_____	開タ (:)	_____
4日目朝 (:)	_____	開タ (:)	_____
5日目朝 (:)	_____	開タ (:)	_____
6日目朝 (:)	_____	終了 (:)	_____



天体観測手順書

観測天体：系外惑星天体

v1.1

【解析】

1. Dark Matter を作る (CCDPS) -
2. Dark Frame を取る (CCDPS)
3. 各 Light Frame に対して Dark/Fit 处理を行う。
4. Photometry Calibration を行う (Maxim DL) -
5. Photometry 解析を行う (Maxim DL) -
6. 光度曲線を解析する (MS EXCEL)

【天文台知識】

- ① 天体の距離は、赤経（経度に相当する）、赤緯（緯度に相当する）によって表される：
-赤経：24時間制 (0~24時)
-赤緯：北天 0°~90 度 南天 -0°~90 度
- ② 星は年齢によって若がれど、M=ε=5~5logD
-M：绝对等級 [星が太陽から 10 パーセクの距離にあると仮定した時の明るさ]
-ε：見かけの等級
-D：太陽から星までの距離 (パーセク)
-1 パーセク = 3.26 光年
- ③ 太陽
-半径：6.9550x10⁹km
-質量：1.9831x10³⁰kg
-全放射エネルギー：3.846x10²⁶W/kg/s
- ④ 地球
-半径：6378km (赤道) 6356km (極)
-質量：5.9736x10²⁴kg
-軌道半径：1 AU=1.496x10⁹km
- ⑤ 月
-半径：1737km
-質量：7.3491x10²²kg
- ⑥ 火星
-半径：3394km
-質量：6.4186x10²³kg
-木星
-半径：6.9311x10⁹km
-質量：1.8986x10³⁰kg

【観測準備 1】（新規観測室）

1. 観測日誌を作成する。
-日付
-開始時間
-天候、気温、湿度
-系外惑星天体データ
-一眼鏡
2. 観測データホルダーを作成する。
-観測記録保管場所 KISU/Exoplanet/
-観測記録ダウンロード：<http://www.hick.kyoto-u.ac.jp/ExoPlanet/>
3. 観測データホルダー内に Dark, Flat, Light ホルダーを作る。

【観測準備 2】（宿舎）

1. 望遠鏡を起動する。
2. CCD カメラを起動する。
3. ラップトップ上で TheSkyX と CCDPS を起動する。
4. TheSkyX 上で観測鏡コントロールを確立する。
5. TheSkyX 上で CCD カメラコントロールを確立する。
-初期温度：-20°C
-露点チェック
-Dark frame / Light frame を撮影する。
6. 系外惑星天体を導入する (TheSkyX)。
7. あらかじめ天体の撮影を開始する (CCDPS)。
-露出時間：30s~45s
-AUTOGRAF

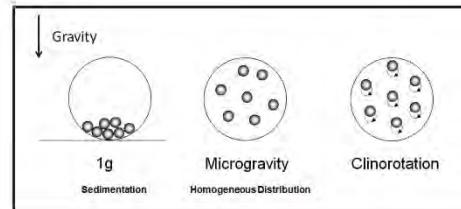
【観測】（新規観測室）

1. リモートコントロール用パソコンを起動する。
2. リモートスクリーンを起動する。
3. 観測モニタを開始する。
-星の画像の変化
-者の通過
-観測システム異常

CREW NOTEBOOK



模擬微小重力実験



CREW NOTEBOOK

模擬微小重力実験手順書

植物実験

種子：ガーデンクレス

v1.3

【成長観察】

- ガーデンクレスの根が約5ミリ成長していることを確認する。
- 3個のベトリ皿をクリスマット・地上対照実験装置1・地上対照実験装置2に取り付ける（両面テープを使用する）。
- 地上対照実験装置1では、根が垂直下方方向を向くように回転座を固定する（黒線が垂直方向を向く）。
- 地上対照実験装置2では、根が水平方向を向くように回転座を固定する（赤色が垂直方向を向く）。
- 1回目の撮影を行う（各ベトリ皿に対して回転撮影する）。
- クリスマットを所定の回数で回転させる。
- 30分間隔で撮影を続ける。
- 乾燥中、気付いたことを記録する。

【調査観察】

【実験準備】

- 4個のベトリ皿の裏側に黒マジックで直線を引く（直線に沿う）。
- 1箇所のベトリ皿のうち1箇所のベトリ皿の裏側に赤マジックで直線に垂直に直線を引く（直角に沿う）。
- 4箇のベトリ皿の上側（ベトリ皿側壁）にマーク（黒色又は赤色）を付ける。

【茎実培地作り】（ベトリ皿4枚分）

- ビーカーに1kgのagar-agar（寒天粉末）を入れる。
- 100mlの水を加えて、十分溶解する。
- 瓶に詰めて移す。
- 電気コンロで炎上で加熱しながら、搅拌する。
- 90度まで温またら弱火にし、2分程度温める（溶液が完全に透明になる）。
- 電気コンロから下して60度になるまでさしか温めながら冷ます。
- ベトリ皿に均等に分注する。
- 瓶の上まで蓋をして冷ます（寒天は37度で以下で固む）。

【培養】

- ガーデンクレスの根をiWipeの上に出す。
- 培养型紙をベトリ皿の下に素き印の上にビニセッテで挿入していく。
- 種の根が出てくる直ぐにして反対側を寒天に半分程度埋め込む（根の半分程度を寒天の中に入れる）。
- ベトリ皿にラベルで止める。
- 水槽器を構ってベトリ皿を直す（ナグ）に立ててスタンドに挟む。
- 乾燥まで是ガチャッパーに入れておく。
- 発芽（根）は約24-30時間で起こる。

【鏡検査装置】

- 伸びた根の先端 3mmほど切る。
- 希釈したヨウ素液にて根の先端が染まるのが分かるまで温め。
- メスルを用いてヨウ素液を吸い取らし、様子を見る。
- カバーガラスをかぶせ鏡検査で観察する。
- デンブンは（黄色に染色されている）を検査する。
- デンブンの分布を観察する。
- デンブンの大きさを測定する。
- 根・細胞・デンブン体をスケッチする。

【回音解析】

- 対物レンズを低倍率（4x）に設定する。
- スコアを最大まで上げる。
- 接物レンズで肌などスチージを下げていき、ピントを合わせる。
- 対物レンズを高倍率（10x, 20x, 40x）にあげていくときライトや絞りを調整する。

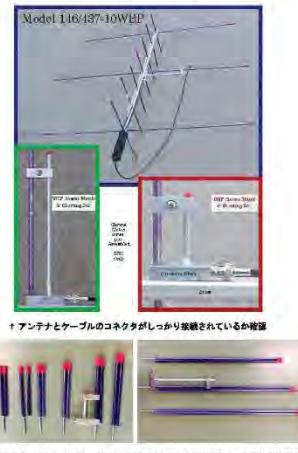
CREW NOTEBOOK

CREW NOTEBOOK

宇宙無線通信実験

宇宙無線通信実験

1. ハムアンテナの組み立て方



† アンテナとケーブルのコネクタがしっかりと接続されているか確認
† 同じ長さのエレメントがペア、グリップから長い順に取り付ける（コネクタは2番目）

CREW NOTEBOOK

CREW NOTEBOOK

参考資料 6-1
有人宇宙活動：2021/08/30：土井隆雄

2021年度 ILAS有人宇宙学実習

有人宇宙活動

2021年8月30日
土井 隆雄

1. 有人宇宙活動史
2. スペースシャトル
3. 國際宇宙ステーション
4. 宇宙・無重力の世界（STS-123）
5. 宇宙・真空の世界（STS-87）
6. Q/A

2008年3月11日午前2時28分(米国東部東時間) NASAケネディ宇宙センターより
スペースシャトルエンデバー号 打上げ



UNITED NATIONS
Office for Outer Space Affairs
国連ウイーン事務所
(ニューヨーク、ジュネーブ、airobiに係く4箇目の国連都市)



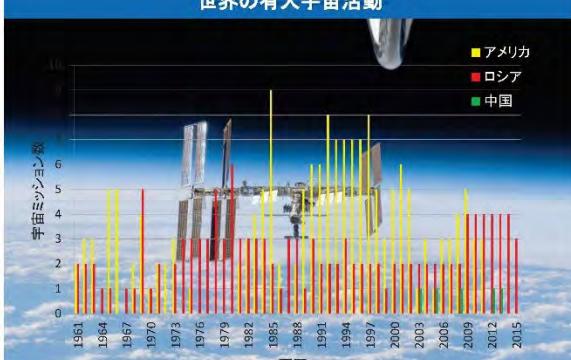
国連 193ヶ国
国連宇宙部(所在:国連ウイーン本部)
1. 宇宙の平和利用を推進する
2. 宇宙科学技術の恩恵を世界に展開する

UNITED NATIONS
Office for Outer Space Affairs
国連宇宙応用プログラムの変遷 (1971-2010)



Natural Resources Management & Environmental Monitoring
Space Communication, Tele-Health & Tele-Medicine
Space Technology
Space Science & Space Law
Enabling Space Technology (GNSS)
Others

世界の有人宇宙活動



Year	アメリカ	ロシア	中国
1961	3	0	0
1964	5	0	0
1967	2	0	0
1970	1	0	0
1973	3	0	0
1976	6	0	0
1979	4	0	0
1982	5	0	0
1985	2	0	0
1988	6	0	0
1991	3	0	0
1994	5	0	0
1997	3	0	0
2000	6	0	0
2003	3	0	0
2006	5	0	0
2009	6	0	0
2012	3	0	0
2015	3	0	0

有人宇宙活動の裾野拡大・社会的効果



社会的効果 地球から宇宙に広がる新しい社会の構築

日本の有人宇宙開発



スライド提供: JAXA

日本の国際宇宙ステーションミッション

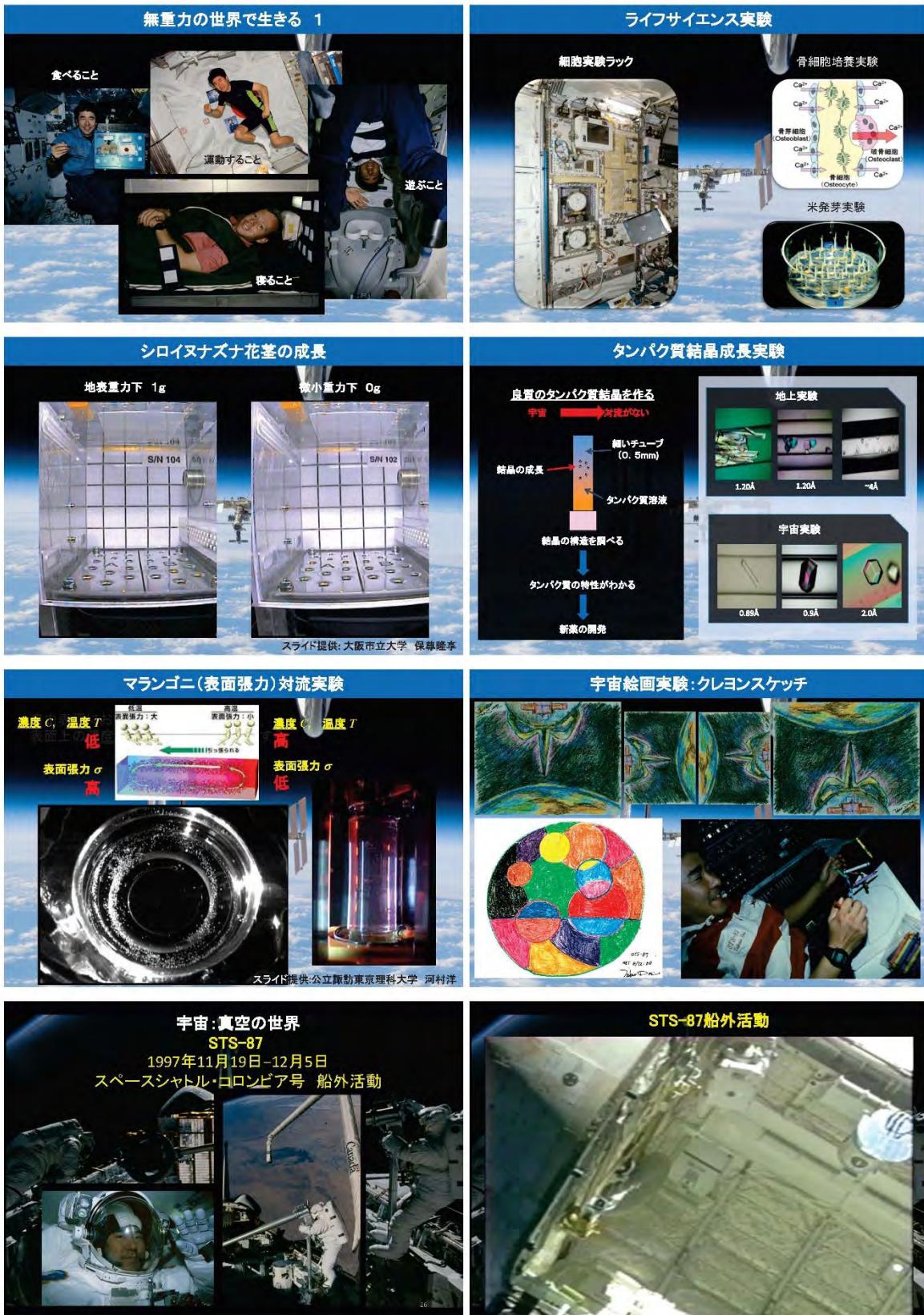


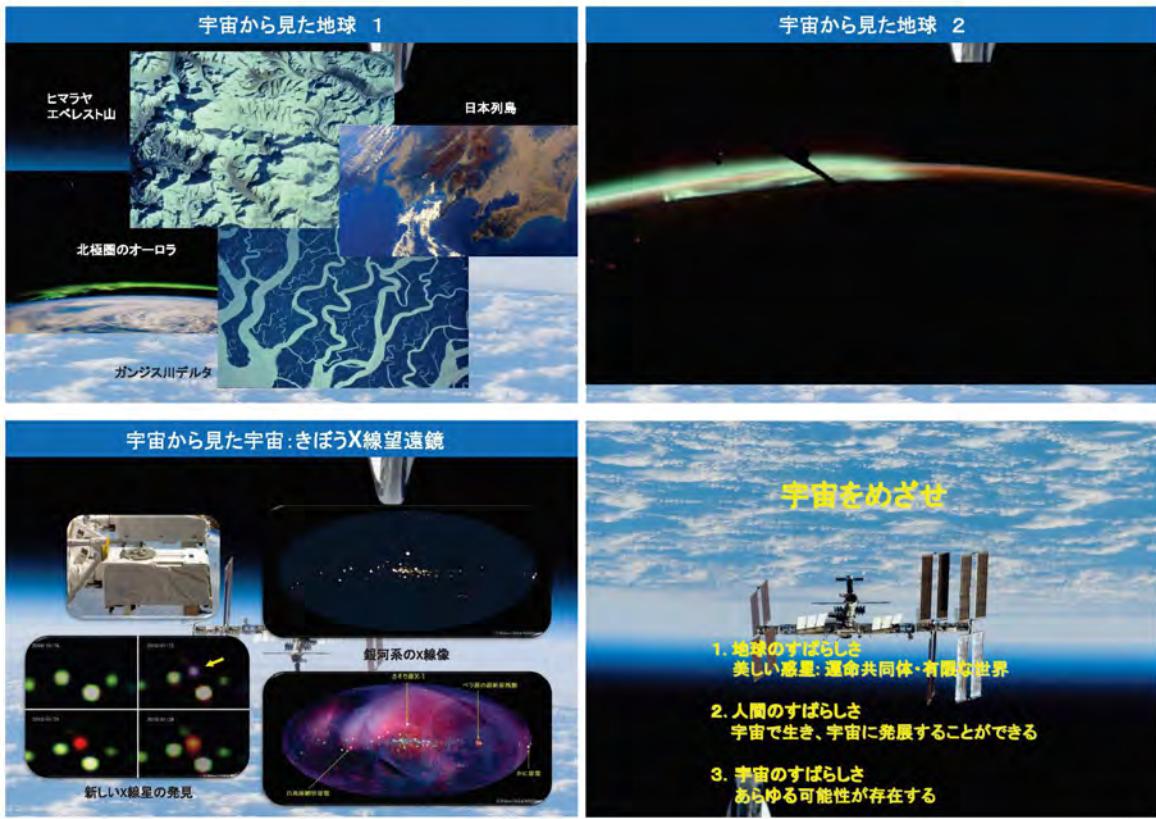
スライド提供: JAXA

日本の有人宇宙貨物船: こうのとり



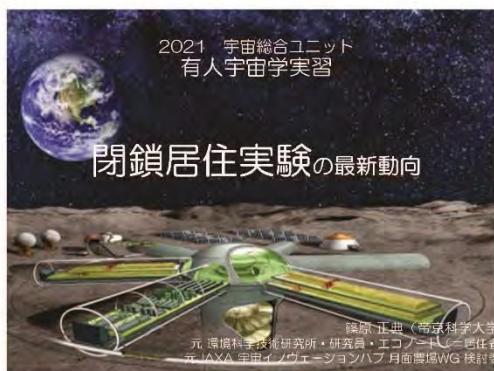






参考資料 6-2

閉鎖居住実験の最新動向 : 2021/08/30 : 篠原正典



宇宙(地球生物圏外)環境の特殊さ

無重力(微少重力)

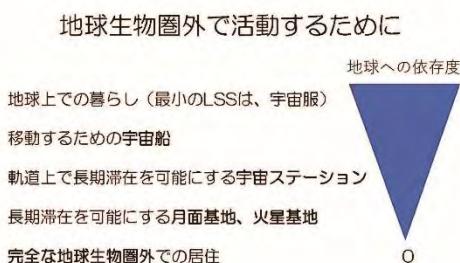
強い放射線 強い太陽光

低温 低圧

閉鎖環境

限られたメンバー(性・国・文化)・通信環境

水も空気も食料も・・



地球から模擬的に切り離し
地上での閉鎖居住実験が

生命維持 (LS=Life Support) ができるか

↓

健康と活動(パフォーマンス)を維持できるか

↓

長期を目指し、水、空気、食糧を再生産できるか

繰り返し行われてきた



日本でも完全閉鎖型の生態系での
居住実験が2000~2007年まで

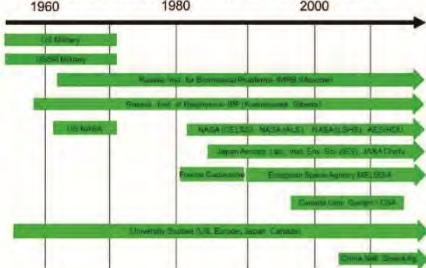


閉鎖居住実験が繰り返し行われてきた
宇宙航空環境医学会での嶋宮のまとめ

開拓実験 名称	実施年	期間	被験者数	国籍	年齢	施設名
MacDonnell Douglas Long-duration Life Support Program	1985-1988	30, 60, 90, 120 days	4	US	60 Day - Males 26, 30, 60 Day mission Sedatamonica, 90 Day mission Huntington Beach	
BIOS-3	1972-73	180	3	Russians Unknown	28, 25, 22	IBMP, Russia
Lunar-Mars Life Support System Test Project (LMLSTP)	1995 to 1997	15, 30, 60, 90 days	4(1)	US	20-60	JSC,
HYDRENISS	1989	72	4(1)	Intl	20-40	COREX hyperbaric chambers, HYDRA IX experiment.
ISENS (Isolation Study for the European Manned Space Infrastructure)	1990	28	6	Intl	6 males with NEUTEC hyperbaric Chamber 2 back ups	Complex
EXEMST (Experimental Campaign for the European Manned Space Infrastructure)	1993	60	4(1)	Intl	25-35(26-38)	ESA
HUEES(Human Behavior Study)	1995	135	3	Russian	3 males, 34, 32, 35	MIR Space Station, Simulator, IBMP
Simulation of Flight of International Crew on Space Station: SPINCESS-95	1996	120, 240	4	Intl, Russian	27-40	IBMP, Russia
MINI-EARTH	2003-	7, 14, 28	2	Japanese	36-40	IRES, Aomori, Japan
BIOSPHERE2	1991-1994	2 years 8(4)	Intl		27-42 and 67	BIOSPHERE2 Arizona, USA
MARS500	2007-2011	15, 105, 6	Intl		24-37	IBMP, Russia

閉鎖居住実験が繰り返し行われてきた

生物型生命維持システム (BLSS) の歴史
JAXA月面農場検討WGレポートより 矢野幸子(JAXA)



閉鎖居住実験が繰り返し行われたが

固体廃棄物(solid waste)の処理方法の検討、また、
実際の統合しての循環実験は不十分

- 物質の閉鎖度は、94%、98%などと報告するが、
- 日本・ミニ地球（CCEF）では、物理化学処理（高温高圧での湿式酸化）設備を要したが統合はせず、計算のみ
- JAXA月面農業検討WGでは、高温メタン発酵で処理と速度的な計算もしてデザインも実験されたことは・・
- 中国・月宮1号では、固体廃棄物の33%が回らずストック。将来的には発酵により、小麦の肥料に戻す予定。

閉鎖居住実験が繰り返し行われ

(水があり)10年運用をするならば、現在のISSでの空気・水循環より高効率な居住が可能だと試算
JAXA月面農場検討WGレポートより 宮崎(国際医療福祉大)



図 7.9 5つのシステム構成の ESM 時間変化比較

閉鎖居住実験が繰り返し行われたが

固体廃棄物(solid waste)の処理方法の検討、また、
実際の統合しての循環実験は不十分 (月宮は発酵を使う?)

bioRxiv doi: <https://doi.org/10.1101/2021.01.12.426282>

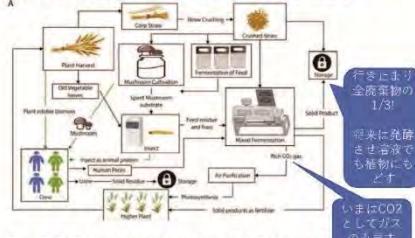
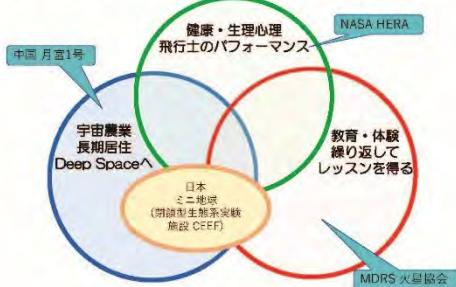


Fig. 3 Solid waste processing. (A) Solid waste

大きく三つの目的・方向性に分けて整理したい



宇宙(地球生物圏外)環境の特殊さ
ゆえ 生理・心理に影響がある

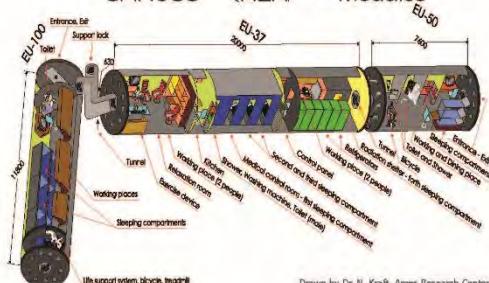
It is known that in space flight many adverse factors affect the health of crew members (risk to life and health, communication limitations, isolation, confined and limited space, high level of professional workload, monotony, etc.), which have a significant impact on the psychophysiological activity of cosmonauts, group dynamics, and crew interaction with ground services

V. I. Gushchin, et al Human Physiology 45, (2019)

大きく三つの目的・方向性に分けて整理したい



ロシア IBMPの閉鎖実験モジュール SFINCSS (NEK) - Modules



NEKを用いた米日合同実験 “SIRIUS”

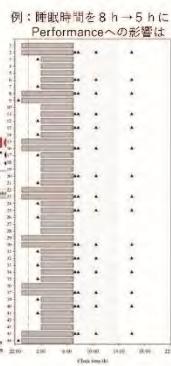
11月より3度目のSIRIUS-21スタート
8名（それぞれ4名）、8か月



生理・心理に目的を絞った閉鎖居住実験も
現在進行形(HERA@NASA,JSC)

OPEN Changes in performance and bio-mathematical model performance predictions during 45 days of sleep restriction in a simulated space mission

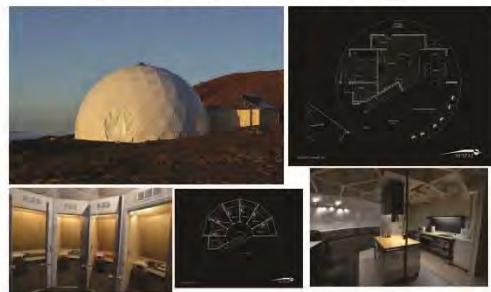
Erin E. Flynn-Evans^a, Crystal Kotite^a, Mileneia Young^a, Nicholas Battarbee^a, Kevin Gregory^b, Verena Vogelzang^b, Albert End^b, Steven Hilleman^b, Yvonne Pecena^b ^aInstitute for Space and Astronautical Science, University of Southern California, Los Angeles, CA, USA; ^bHawai'i Space Exploration Analog and Simulation (HI-SEAS), University of Hawai'i at Mānoa, Mānoa, HI, USA



生理・心理に目的を絞った閉鎖人体実験も 現在進行形(HERA@NASA,JSC)



米国 ハワイ大学がNASAと協力して
HI-SEAS ハワイ・マウナロア山腹



米国 NASA
Mars Dune Alfa
1年間の“火星生活”を地上で試す! NASA
が準備中の「マーズ・デューン・アルファ」を
のぞいてみた



sorae.jp 宇宙研究 JAXAの第2回「閉鎖環境滞在試験」が終了 7人が先に、1人は

JAXAの第2回「閉鎖環境滞在試験」が終了 7人が先に、1人は体調不良で退室に

2016/09/06

宇宙飛行士

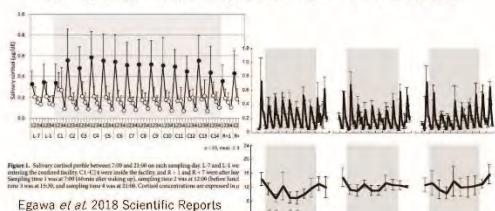
日本 JAXAの閉鎖環境適応試験設備



日本 旧海洋科学技術センターの閉鎖実験

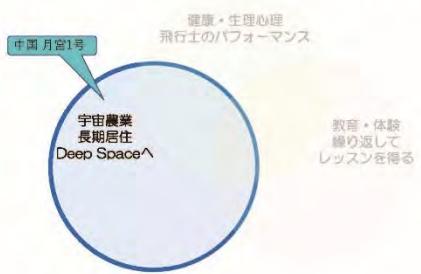


「閉鎖環境適応試験」では
コルチゾールの日周リズムや
顔（表情）の非対称性とストレスの関連性



Shimamini et al. 2007 ICES Sci. Report.

大きく三つの目的・方向性に分けて整理したい



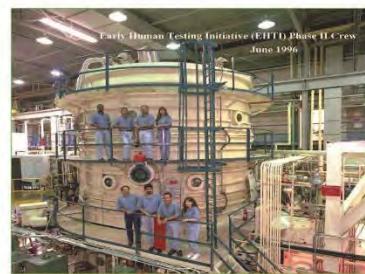
長期閉鎖居住の生活デザインも様々



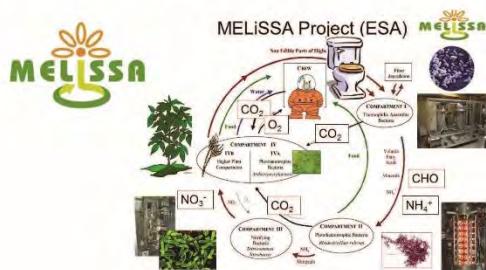
Biosphere 2 • 米国



NASAのLunar-Mars LSS 実験



MELiSSA ESA 微生物利用



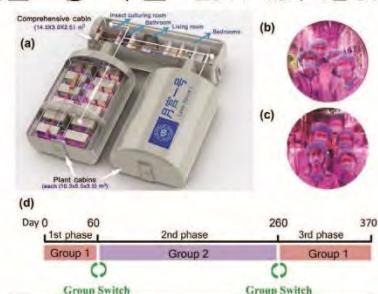
MELiSSA 研究会を継続

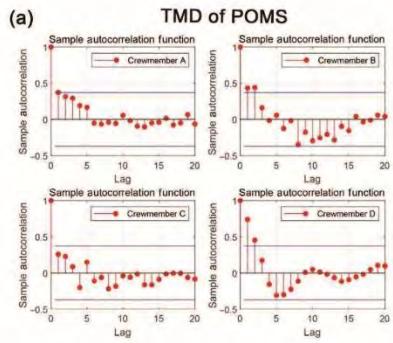
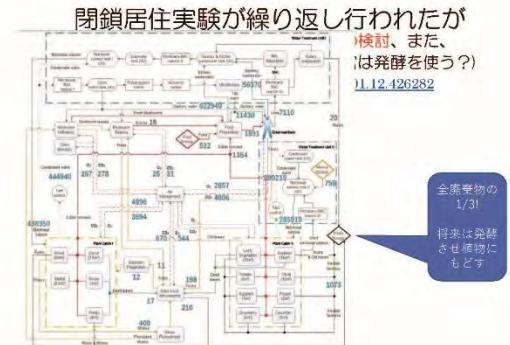
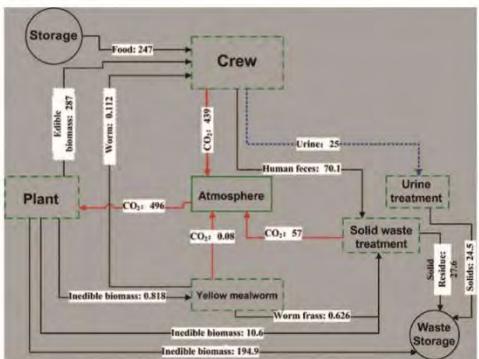


EDEN ISS • 南極ドイツDRL



月宮一号 中国 2017-18年 4名 370日





各閉鎖居住実験の“閉鎖度”

ミッション/バーグル/施設 mission vehicle/base	実施国 年代(yr)	再生の程度(regeneration ability)			
		空気 Air	水 Water	食料 food	固形廃棄物 solid waste
Apollo	USA 1960s~	X	X	X	X
Space Shuttle	USA 1980s~	X	X	X	X
Mir	COOP 1980s~	△	△	X	X
Biosphere	USA 1990s~	○ → X	○	○ → △	○
L-M-LSS	USA 1990s~	○	○	△	X
ISS	INT 2000s~	○	×	○	X
ミニ地球(CEEF)	JPN 2000s~	○	○	○	○?
月宮一号	CHN 2010s~	○?	○?	○?	○?
McLissa	EU 2020s??	○?	○?	○?	○?

物質循環リサイクルシステムを導入する
も像の実現です



Martianは誰ぞ!



栽培作物

- イネ (4.3%、13/30) 塩水化物
- ダイズ (2.3%、7/30) タンパク質
- ラッカセイ (2.0%、6/30) 脂質
- サトウダイコン (3%、1/30) 甘味
- 野菜類 (1.0%、3/30) ビタミン、ミネラル
カブ、ダイコン、ニンジン、タマネギ
ホウレンソウ、コマツナ、レタス、ハクサイ、
キャベツ、ミツバ、シunjingik、ニラ、ハネギ、
エンドウ、インゲン、ピーマン
トマト、キュウリ
オオバ

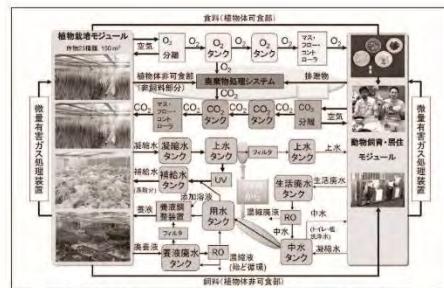
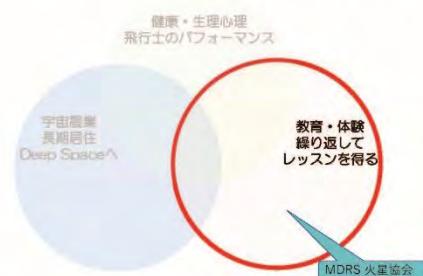


図2 閉鎖型生態系実験施設の植物実験施設・動物飼育・居住実験施設を組合して行った閉鎖居住実験における物質循環 (O2分離: 圧力サイクルによってモレキュラーシートへの吸脱着を繰り返すことによる窒素ガスを分離し酸素ガスを濃縮、CO2分離: 圧力及び温度サイクルにより固体アミノ酸の吸脱着を繰り返し酸化炭素を分離、UV: 第外線殺菌、RO: 逆浸透膜を使った水処理システム、廃棄物処理システム: 廃化処理の後に燃焼処理)

ミニ地球の中の食事メニュー



大きく三つの目的・方向性に分けて整理したい



MDRS 米国 火星協会



Mars Arctic 365 米国 火星協会



エデンプロジェクト 英国



火星1号基地 中国 (ゴビ砂漠)



マーズ・サイエンス・シティ
・ドバイ (建設予定)



Biosphere 2 米国



初学者向けの科学書啓蒙書にも



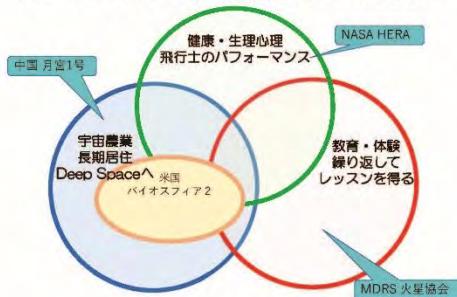
教育・啓蒙の場として



京都大学とアリゾナ大学の実習地として



大きく三つの目的・方向性に分けて整理したい



教育・啓蒙の場として



博物館、メディアを利用して (日本科学未来館HPより)



『ミニ地球体験村』



©環境科学技術研究所

月面農場検討WGでの宇宙農場のデザイン

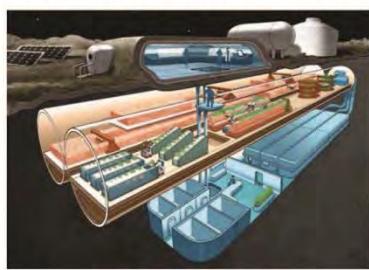


図7.3 レゴリストで覆われた月面拠点

月面農場検討WGでの宇宙農場のデザイン

3.3 月面農場における1日の摂取量の決定²⁹

本ワーキンググループでは、地獄か心の補給ごとにらず月面農場で栽培された植物で自給自足を行うことを前提条件として検討を進めた。それぞれの栽培作物の栄養素的特性を踏まえ、「食事摂取基準」の示す範囲を目指し、はじめに、エネルギーとともに大栄養素のバランスを考慮、LSI作物種の1日量を決定した。

ビタミン・ミネラルは可能な限り推奨量(RDA)を目指し、推定平均必要量(EAR)から耐用量(UL)の範囲を目標値とし、内容を調整した。最終的に玄米400g、サツマイモ150g、ジャガイモ75g、大豆(10)120g、エダマメ50g、リーフレタス150g、レタト200g、キュウリ100g、イチゴ50gを本ワーキンググループにおける1日量として決定した。

8種の栽培候補作物

玄米 サツマイモ、ジャガイモ 大豆（枝豆）
レタス トマト、キュウリ、イチゴ

月面農場検討WGでの宇宙農場のデザイン

表3.4 8作物種から得られる栄養量と日本人の食事摂取基準(2015年版)基準値との比較

3.3で決定された6作物種の摂取量で、一般的な家庭料理を参考に1日の食事イメージを作成した。

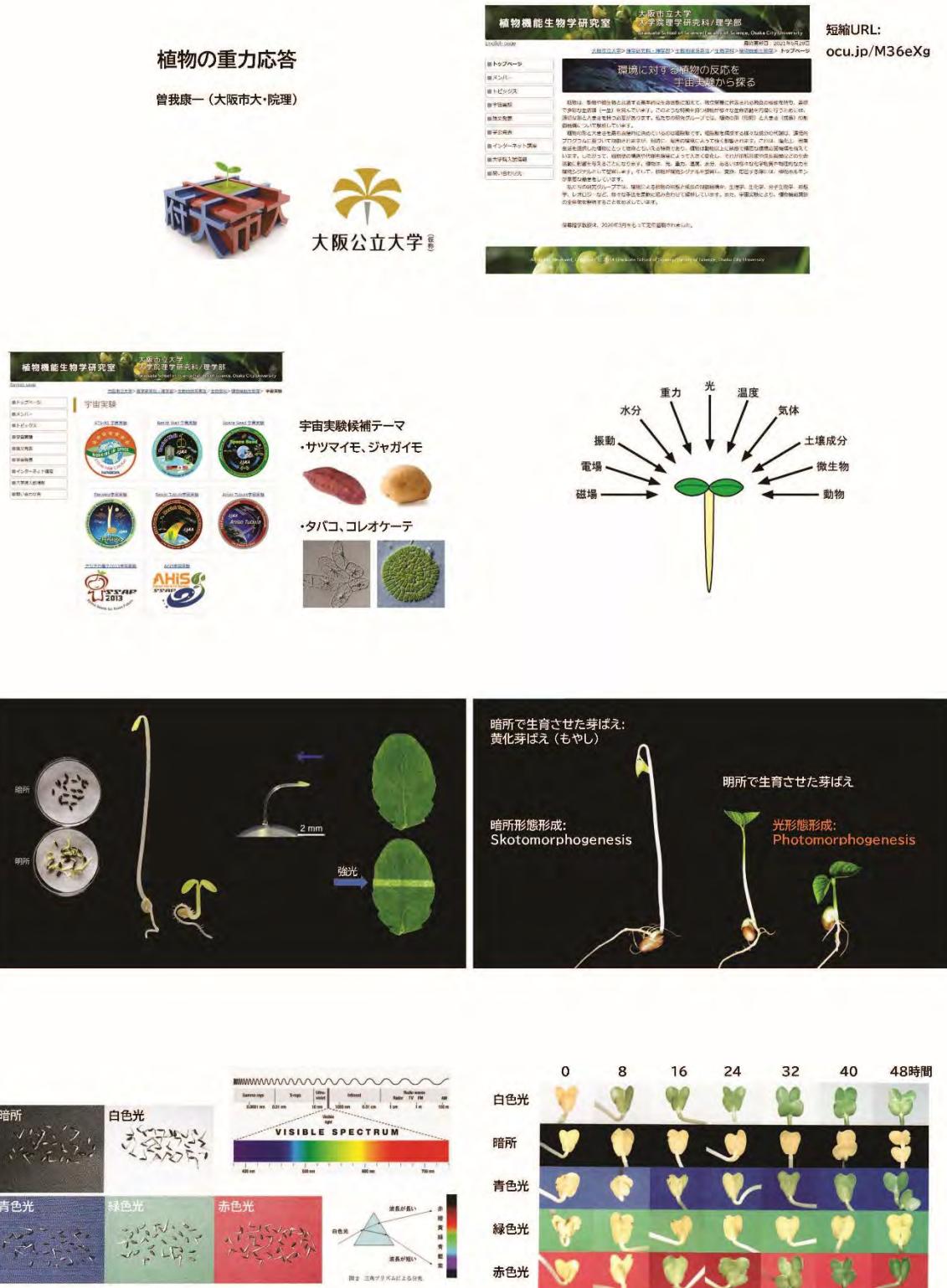
表3.10 1日の食事イメージ

8作物から
調理可能な
食事Image

まだ、検討が足りないことや、
検討に加えるべきことがある？

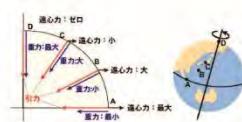


参考資料 6-3
植物の重力応答 : 2021/08/30 : 曽我康一





重力とは？



赤道に近づくほど遠心力が大きくなり、重力の大きさが小さくなる。
北極・南極に近づくほど、遠心力が小さくなり、重力の大きさが大きくなる
遠心力の影響は、とても小さいので、地球の重力と引力はほぼ同じである。
北極・南極と赤道上での重力の大きさの差は、およそ0.5%である。

重力(重力加速度)の単位

空気抵抗を無視すると、地表近くで自由落下する物体の速度は毎秒9.81 m/sずつ増加する。単位の1つとして、m/s²がある。

地球の標準重力加速度は、北緯45度の海上の重力加速度の値である9.80619920 m/s²と定められている。



また、重力加速度は、gravityの頭文字を取って g で表されることもある。地球の重力を1 gとしている。

物質に対して質量当たりにかかる力という観点から、N/kgの単位を使うこともある。

重力の影響を調べるには？

- ・大きさ(なくす、小さくする、大きくする)
- ・方向(方向を変える、方向をなくす)



○図13 根と茎の重力屈性



屈性(くっせい):

茎や根が刺激の方向に対して一定の方向に屈曲する運動。

光屈性:

茎は光源に向かって屈曲し(正の光屈性)、根は光源から遠ざかるように屈曲する(負の光屈性)。

水分屈性:

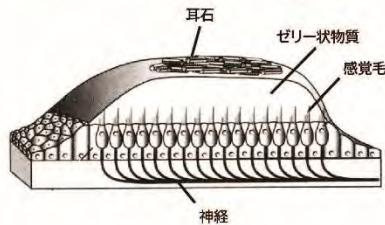
根が湿度の高い方へ屈曲する(正の水分屈性)。

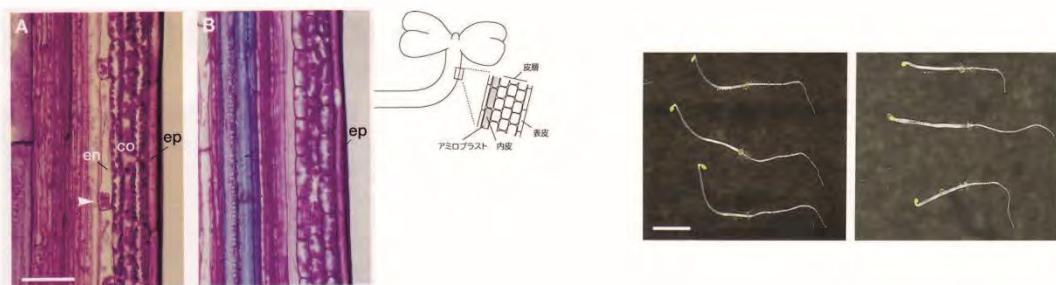
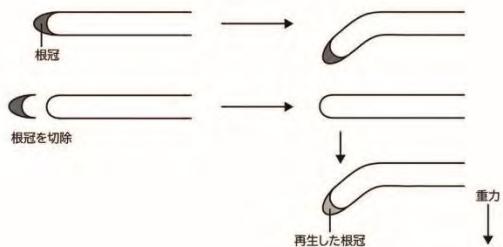
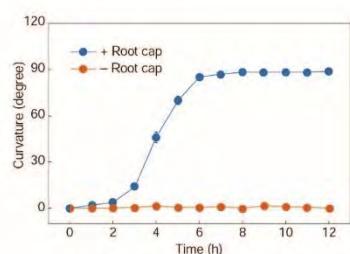
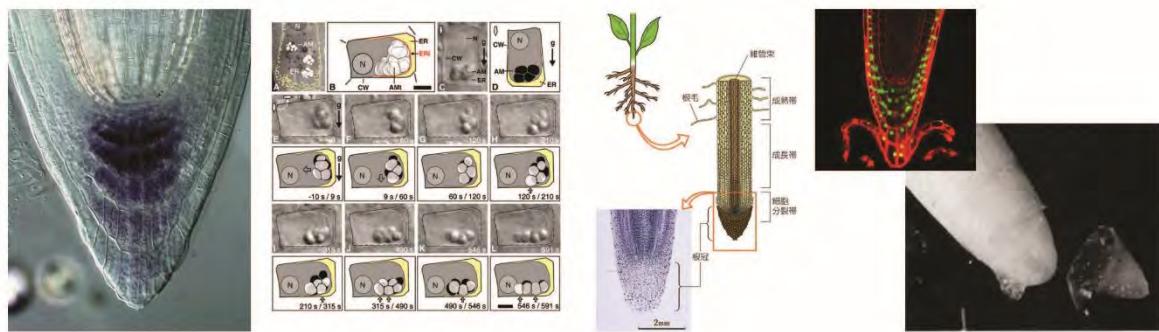
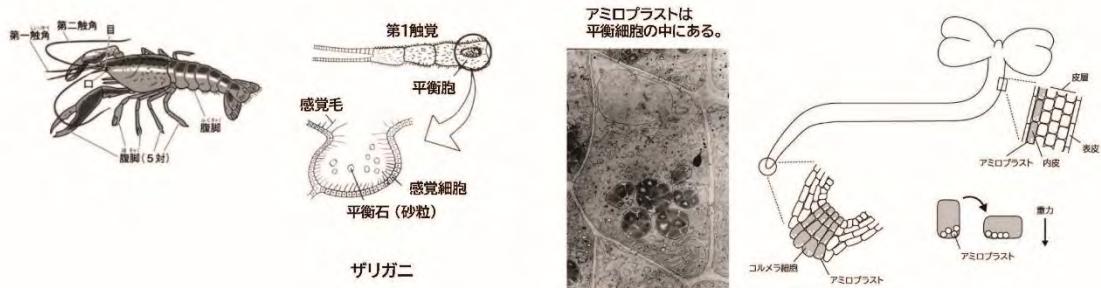
重力屈性:

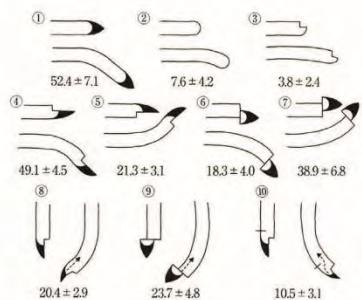
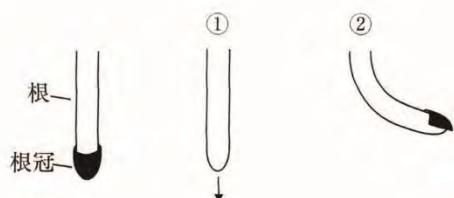
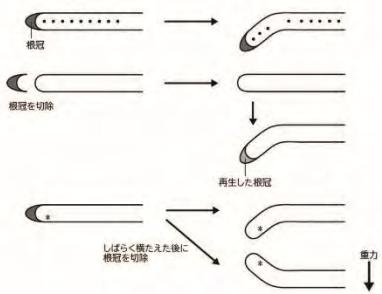
茎は重力と逆方向に屈曲し(負の重力屈性)、根は重力方向に屈曲する(正の重力屈性)。



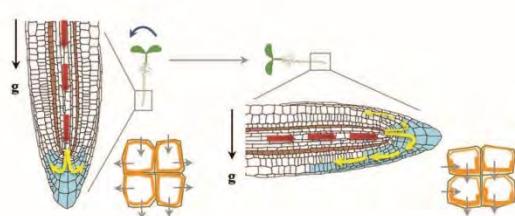
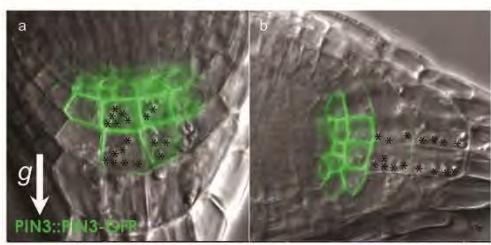
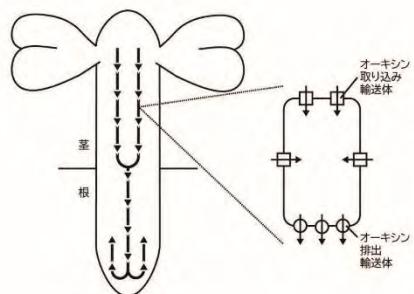
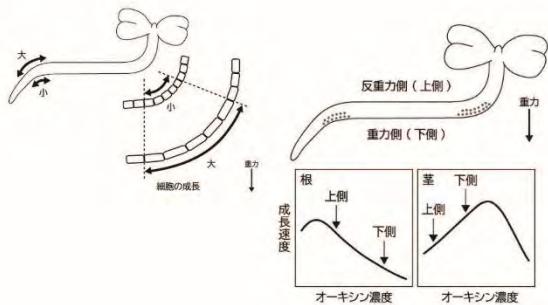
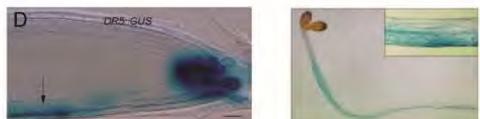
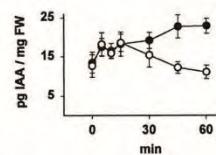
脊椎動物では内耳にある耳石器官が重力受容器であり、平衡石(耳石)の位置によって、重力方向を感じている。

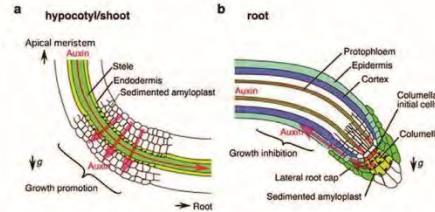
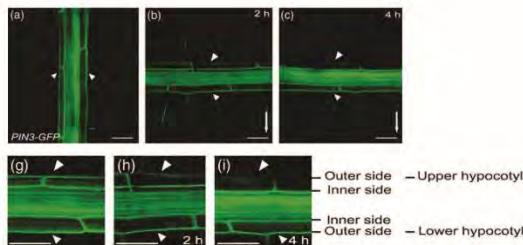




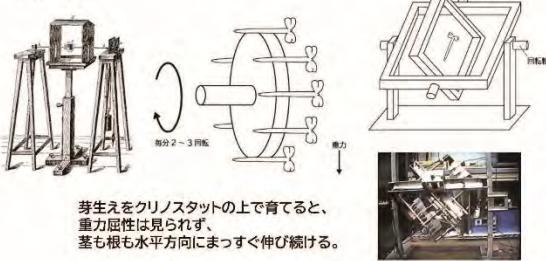


Material	IAA in ng	
	per g FW	per g DW
Upper part (U)	27.8 ± 0.9	221.1 ± 5.8
Middle part (M)	35.1 ± 1.3	264.3 ± 10.2
Lower part (L)	32.1 ± 1.1	242.8 ± 6.8





クリノスタット



クリノスタットの上で、種子を発芽・成長させると



茎や根が重力や光などの影響を受けないで、自身が持っている性質に従って形を決めることが自発的形態形成という。

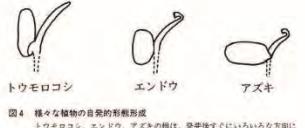
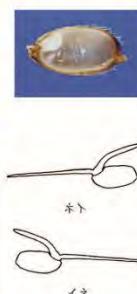
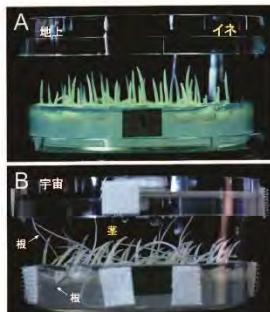
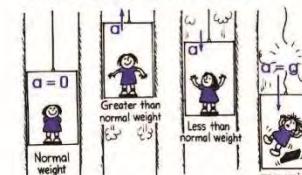


図4 様々な植物の自発的形態形成
トマトコシ、エンドウ、アズキの根は、地中直ぐにいろいろな方向に伸びるようになる（図では省略）。



ヒトが重力を感じる(自分の重さを体感する)

水平な地表面に立つと、地表面からの力(垂直抗力)を受ける。
垂直抗力は、ヒトの重さの反作用なので、この大きさがヒトの重さ。
エレベーターが上昇する際には、自分の重さが重くなったと感じ、
下降する際には、軽くなつたと感じる。

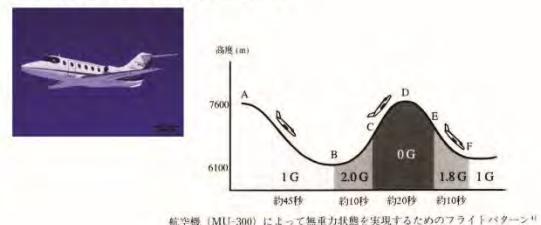


自由落させることで、垂直抗力をなくす。

落下塔

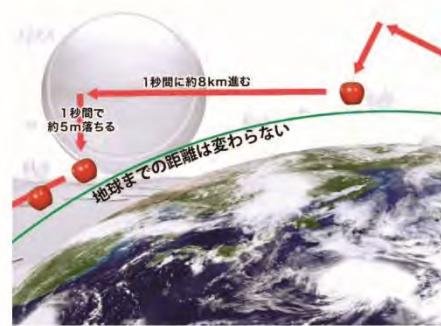


航空機の放物線飛行(パラボリックフライト)

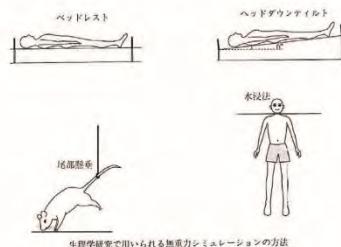
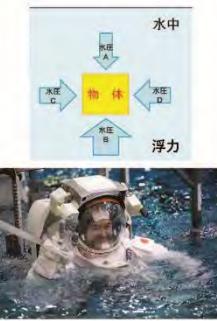
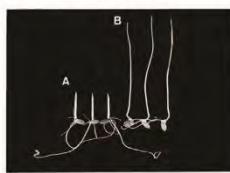


地球の直径は、約12700 km

高度約400 kmだと、地球の引力の影響を大きく受けている。

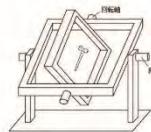


水浸 $10^{-2} \sim 10^{-3} g$ 無限



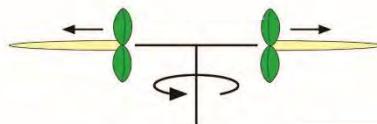
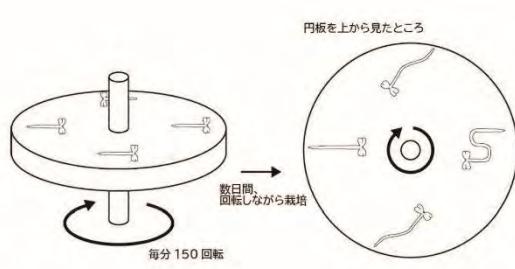
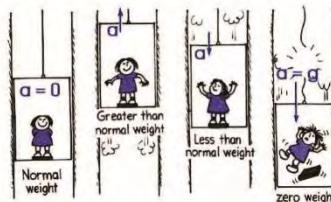
微小重力(Microgravity)シミュレーション
方法 重力の大きさ 時間

落下塔	$10^{-3} \sim 10^{-5} g$	数秒
航空機	$10^{-3} \sim 10^{-4} g$	数十秒
小型ロケット	$10^{-3} \sim 10^{-4} g$	数分
水浸	$10^{-2} \sim 10^{-3} g$	無限
クリノスタット	$1 g$	無限



重力の影響を調べるには?

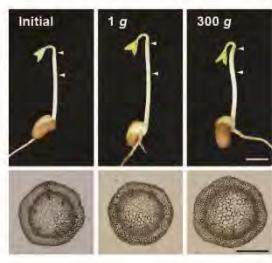
- ・大きさ(なくす、小さくする、大きくする)
- ・方向(方向を変える、方向をなくす)



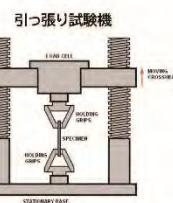
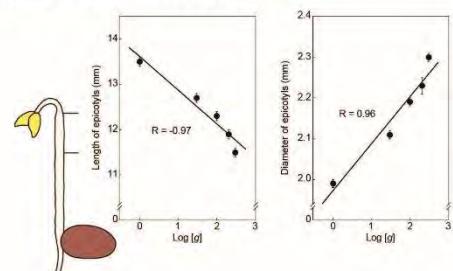
遠心分離機



遠心過重力環境において、5時間生育させたアズキ芽ばえ

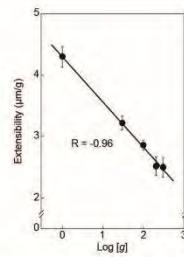


抗重力反応: 植物が重力に対抗できる体をつくる反応。



細胞壁の伸展性(Extensibility):
一定荷重をかけたときの細胞壁の伸び

伸展性が小さい = 細胞壁が伸びにくい = 細胞壁がかたい

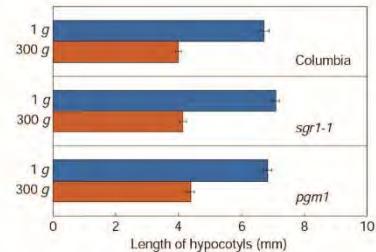
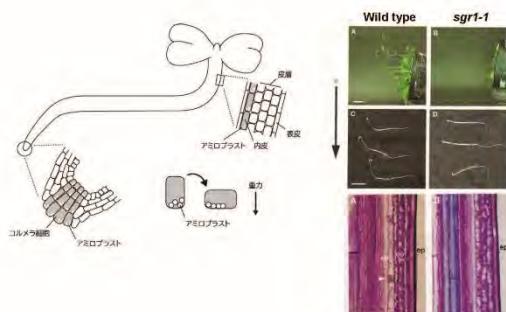
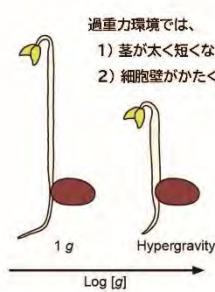


過重力環境では、

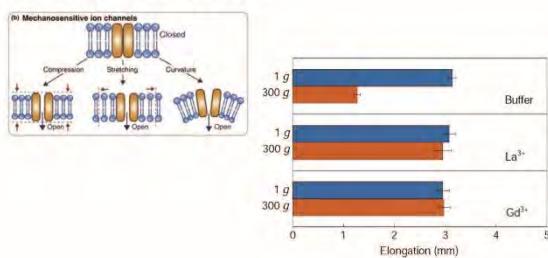
1) 茎が太く短くなる

2) 細胞壁がかたくなる

茎の形態や細胞壁のかたさを調節して、重力に対抗して体を支えている。



機械刺激受容チャネル(メカノレセプター)

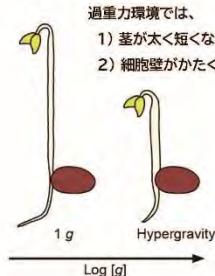


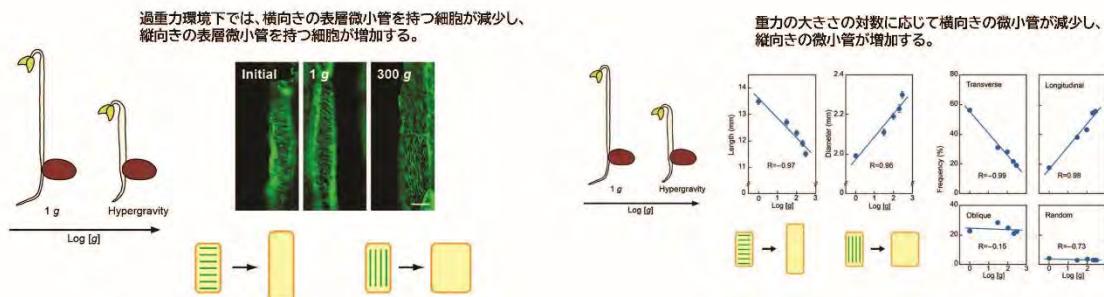
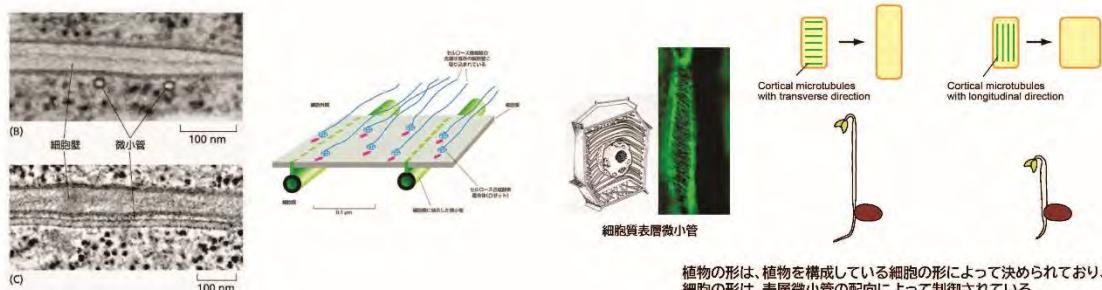
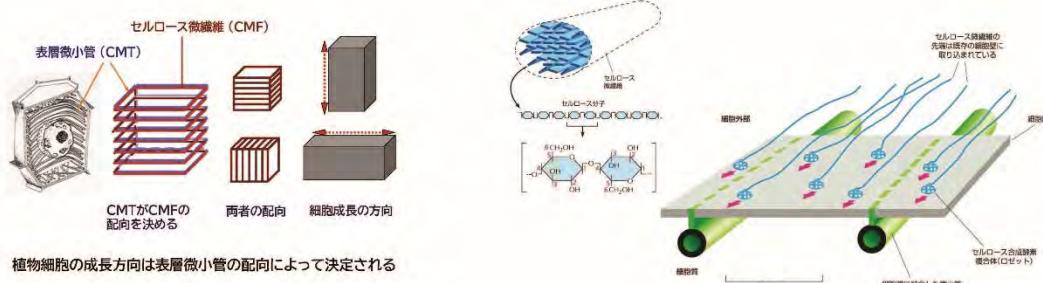
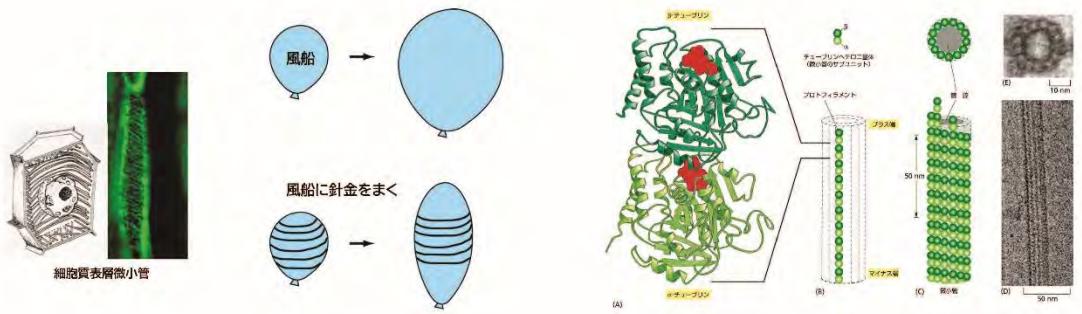
過重力環境では、

1) 茎が太く短くなる

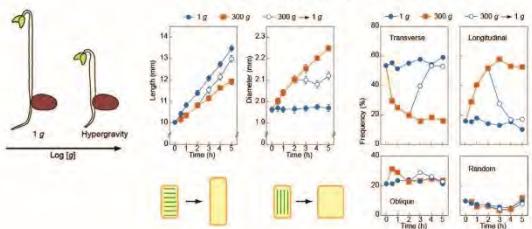
2) 細胞壁がかたくなる

茎の形態や細胞壁のかたさを調節して、重力に対抗して体を支えている。

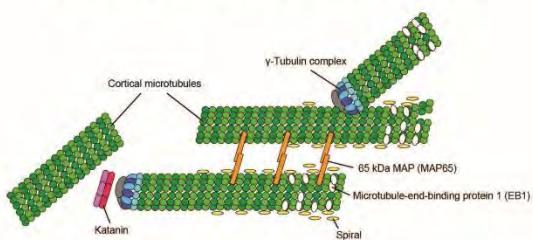




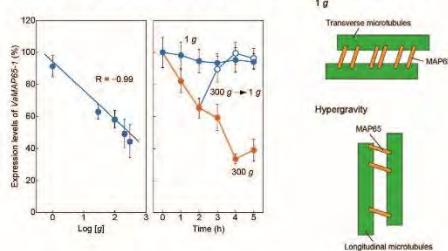
表層微小管の横向きから縦向きへの配向変化は
茎の成長方向の変化に先行して観察される。



微小管結合タンパク質(MAPs)は、微小管の動態を制御している。



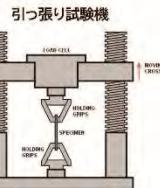
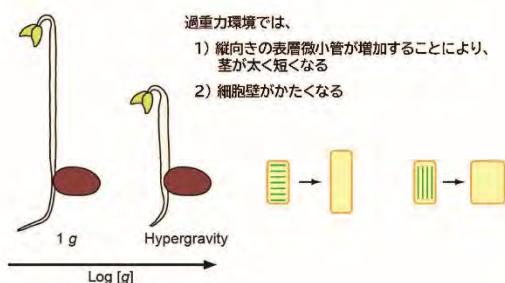
微小管を横向きに維持する働きのあるMAP65-1のレベルが
過重力によって低下することにより、縦向きの表層微小管が増加する。



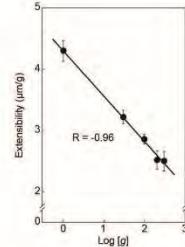
過重力環境では、

1) 縦向きの表層微小管が増加することにより、
茎が太く短くなる

2) 細胞壁がかたくなる

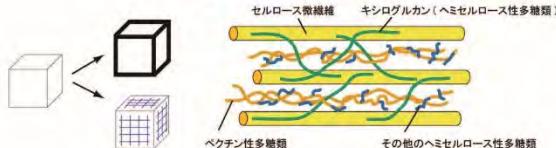


細胞壁の伸展性(Extensibility):
一定荷重をかけたときの細胞壁の伸び



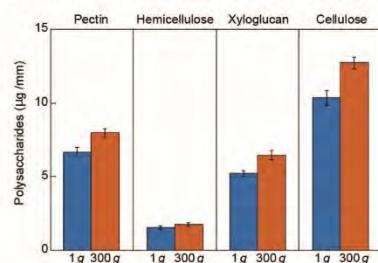
伸展性が小さい = 細胞壁が伸びにくい = 細胞壁がかたい

双子葉植物の細胞壁

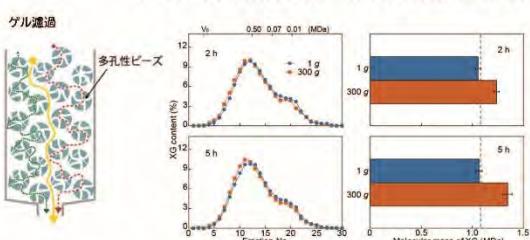


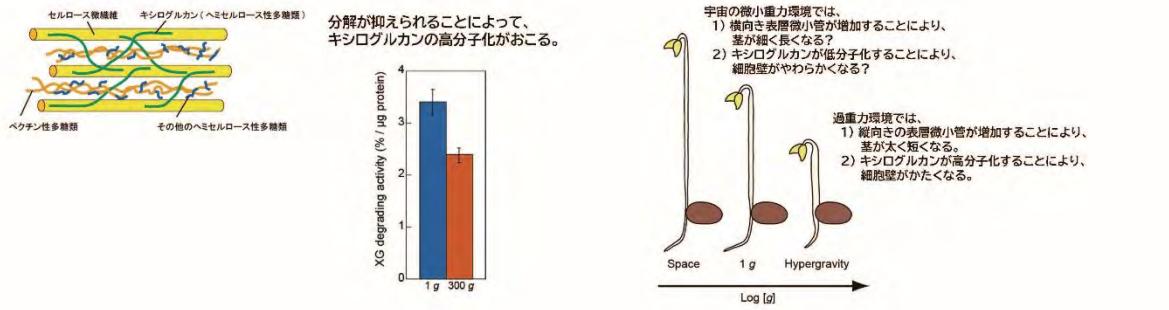
細胞壁の伸展性は、
細胞壁多糖の量(細胞壁の厚さ)と
分子量によって規定されている。

細胞壁多糖の量(細胞壁の厚さ)が増加することにより、伸展性が低下する。



キシログルカンが高分子化することにより、伸展性が低下する。



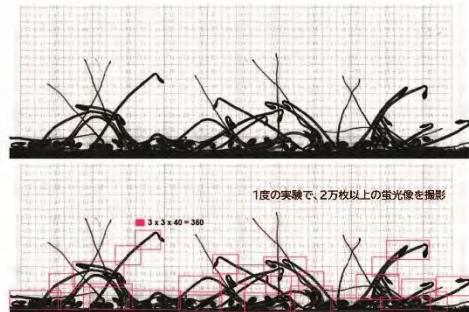


Aniso Tubule

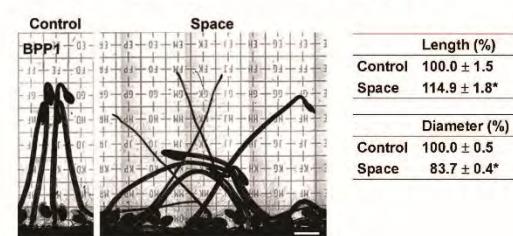
- 1) シロイヌナズナの茎形態を解析
 - 2) 表層微小管と微小管結合タンパク質の動態を
緑色蛍光タンパク質(GFP)を導入した
遺伝子組換えシロイヌナズナを用いて解析
- 宇宙飛行士に蛍光顕微鏡をセットしてもらった後、
すべての観察は、地上から蛍光顕微鏡を遠隔操作して行う。



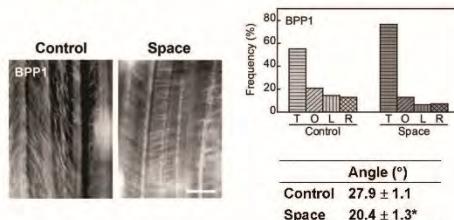
『週刊若田』(Vol.16)
「植物を用いた科学実験『Aniso Tubule』を行う若田飛行士」



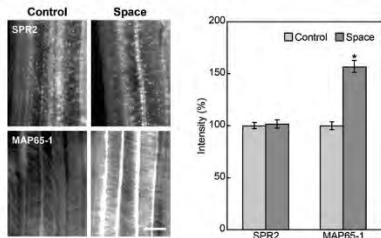
宇宙の微小重力環境では、茎が細く長くなる。



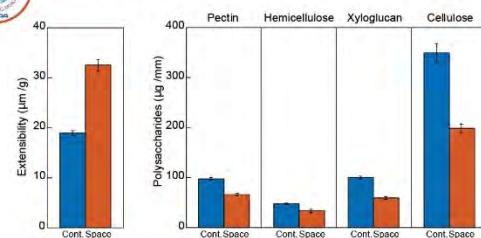
宇宙の微小重力環境では、横向きの微小管が増加することにより、
茎が細く長くなる。



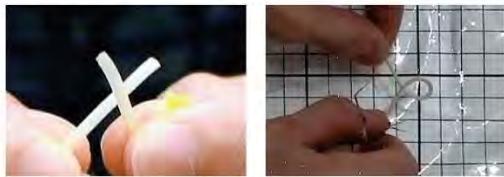
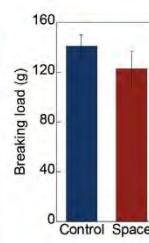
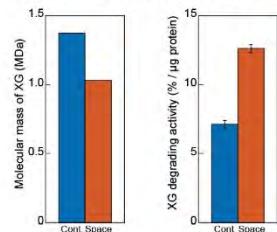
宇宙の微小重力環境では、微小管を横向きに維持する働きのある MAP65-1のレベルが増加することにより、横向きの表層微小管が増加する。



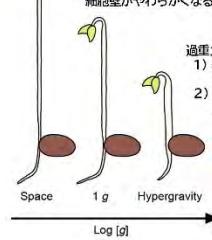
宇宙の微小重力環境では、細胞壁が薄くなり、伸展性が増加する。



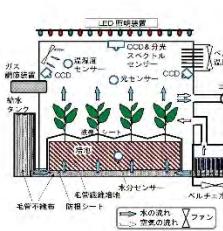
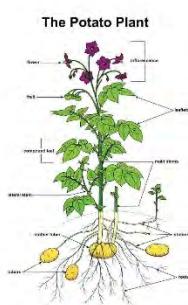
宇宙の微小重力環境では、キシログルカンの分解が促進され、キシログルカンが低分子化し、伸展性が増加する。



宇宙の微小重力環境では、
1) 横向き表層微小管が増加することにより、
茎が細く長くなる。
2) キシログルカンが低分子化することにより、
細胞壁がやわらかくなる。



過重力環境では、
1) 表層微小管が縱向きになることにより、
茎が太く短くなる。
2) キシログルカンが高分子化することにより、
細胞壁がかたくなる。





第11卷 2020年索引 BSJ-Review vol. 11 (2020)