



# **Moon Villageと勉強会のゴール設定**

## **リファレンスモデル構築の提案**

**再開第1回月惑星に社会を作る勉強会  
(ムーンビレッジ勉強会)**

**2020年7月31日**

**稲谷芳文**

## 月・火星を巡る内外の活動状況

---

### 日本の政府ミッション

#### 月火星科学ミッション

国際有人探査への貢献=HTV-X, 有人環境制御, 与圧ローバなど

### 国際有人探査

ポスト ISS, 月ゲートウェイ, Artemis計画……

米欧, 中国, インド, ロシア, UAE……などの月, 火星科学探査の活動

### 民間の活動

SpaceX, BlueOriginの月火星を巡る独自活動

国際有人探査の土俵における, 民間からの調達や民間支援

ispaceの月輸送サービスとビジョン

---

### フロンティアビジネス研究会

…月での資源ビジネス・民間事業の可能性研究

### 商業月利用勉強会

…民間活動の具体化, 宇宙基本計画改定による民間活動エンカレッジと官民連携

### JAXA, トヨタ, MHI

…月面有人モビリティを中心とした活動

---

## The 3rd International Moon Village Workshop/Symposium

MVAが開催する3回目の会合。東京理科大学、慶應義塾大学、京都大学の連名により、日本でのホストを提案。国際公募を経て開催決定。LOC事務局長は稲谷芳文JAXA特別参与（ISAS前副所長）。

### 【開催概要】

日程：2019年12月5日（木）～12月8日（日）

場所：東京理科大学（神楽坂キャンパス）、京都大学（吉田キャンパス）

主催：Moon Village Association

東京理科大学・スペース・コロニー研究センター

慶應義塾大学・宇宙法研究センター

京都大学・宇宙総合学研究ユニット

後援：JAXA、宇宙惑星居住学連合

### 概要：

- 参加国数：21カ国、参加人数：237名
- 東京会場：日、米、中、印の月探査計画の紹介、産業界（各企業）の構想やアカデミアからの研究発表【計60件】、5つの分科会セッション、Mission Prize 2019\*の表彰
- 京都会場：高校生を含む学生のポスター展示/発表、教育/アウトリーチに関する研究報告【計25件】

- 第1回ワークショップ（2017年11月19日～21日）国際宇宙大学（ISU）ストラスブール

<https://moonvillageassociation.org/event/international-moon-village-workshop-november-2017/>

- 第2回ワークショップ（2018年11月4日～5日）南カリフォルニア大学（USC）南カリフォルニア州

<https://moonvillageassociation.org/event/the-2nd-international-moon-village-workshop-symposium/>

（過去2回のいずれも150名規模の参加実績）



産業界も国内外から多数参加。トヨタなどの非宇宙企業、ispaceなどのニュースペース、SpaceX、Blue Originなどの海外企業も参加し構想を発表

京都会場では、学生と国内外の専門家が月にちなんだ研究テーマを活発に議論



第3回会合の様子  
（東京理科大）

\*MVAの目的に沿い、かつ月に焦点を当てた優れたミッションに贈る賞（本年が初回）



## 「探査の将来を考える勉強会」の開催実績(第一回を除きクロス日本橋)

・第1回 2019年8月30日(金)

稲谷 芳文 (宇宙研・教授)「ムーンビレッジのゴールを定義してみる」

高橋 昭久 (群馬大・教授)「宇宙での長期滞在:宇宙放射線とガン死リスク」

・第2回 2019年9月18日(水)

泉 龍太郎 (日本大学・教授)「宇宙に滞在する人間の健康管理」

小林弘明 (宇宙研・准教授)「宇宙でのその場資源利用(ISRU)と水素エネルギー社会構築活動の接点」

・第3回 2019年10月4日(水)

石川 正道 (理研・coordinator)「月面ラボを拠点としたその場資源利用」

内田 敦 (三菱総研・主任研究員)「宇宙資源ビジネスの創出に向けたフロンティアビジネス研究会の活動」

・第4回 2019年10月28日(月)

北宅 善昭 (大阪府立大・教授), 唐原 一郎 氏(富山大・教授)

「宇宙での食料生産・物質循環・健康維持機能を担う植物システムの構築」

・第5回 2019年11月11日(月)

伊巻 和弥 (有人宇宙システム株式会社)「1000人の月面社会を運用する」

秋元 茂 (ミサワホーム(株)技術部)「南極昭和基地をベースにした宇宙での住まいの提案」

井上 夏彦 (JAXA有人宇宙技術部門)「長期宇宙滞在時の精神心理的課題と対策について」

・第6回 2019年11月26日(火)

村上 祐資 (極地建築家/特定非営利活動法人フィールドアシスタント代表)「閉鎖環境の暮らしと人間社会」

小塚 荘一郎 (学習院大学・教授)「宇宙長期滞在の時代と法的課題」

春山 純一 (ISAS・助教)「月探査の将来を考えるにあたっての科学的知見」

# 「月惑星に社会を作るための勉強会」(略称:ムーンビレッジ勉強会)

<http://www.jasma.info/moonvillagestudy/>

協賛 宇宙惑星居住科学連合, 日本ロケット協会

人類の宇宙活動の行く先として, 宇宙に作るであろう持続的な社会の描像をすることを考えたいと思います. この考察は最近の月を巡る活動の次の目標を作るという文脈においても有意義なことでしょう. 大規模な持続的有人活動のための工学技術的な課題のみならず, 地球への依存を減らし, 自立性の高い社会を構成するための経済性や事業性, 法的および文化的な側面に至るまで, 既に確立した宇宙開発の成果やその手法を超えた, 人類の新しい活動の土俵を作るための考え方や方法論について議論しておくことが求められます.

「月惑星に社会を作るための勉強会」は, 持続的に宇宙に人が存在し社会を構築するために考えておくべきことを幅広く捉え, 月を手始めとして以下に述べるようなテーマについて議論するプラットフォームとしたいと思います.

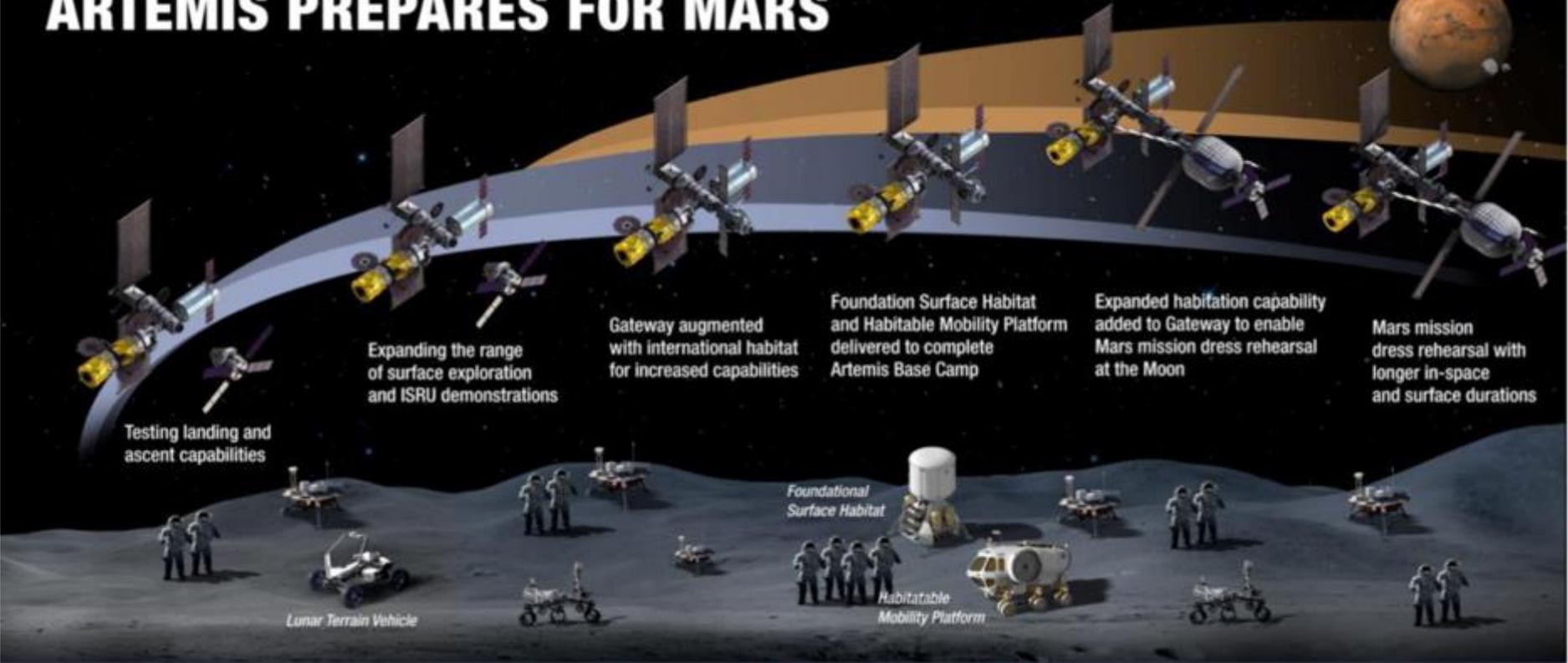
- ・地球外の人類社会というシステムを構築するときの方法論
- ・政治, 経済, 倫理・哲学など持続可能な社会の仕組みや法規など
- ・ヒューマニティ, 人文科学的に考えるべき事
- ・経済的自立性や商業利用・事業成立性
- ・有人滞在, 資源エネルギー, 輸送サプライチェーンなど新しいアーキテクチャー



## 国際有人宇宙ステーション(ISS)

有人・持続的運用, 大規模国際協力, 長期にわたる計画と運用  
建設が終了し運用が始まった途端にいつ止めるんだという話が出る……なぜか？

# ARTEMIS PREPARES FOR MARS

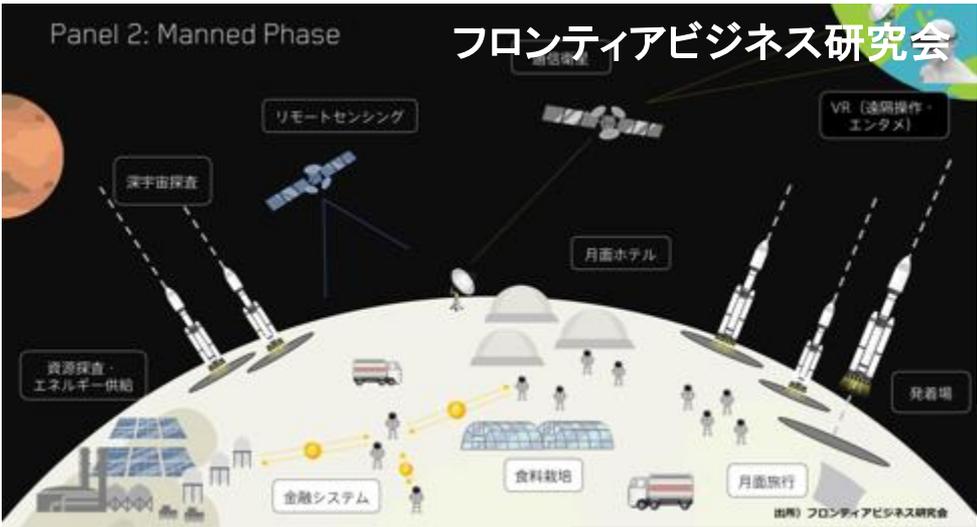


## SUSTAINABLE LUNAR ORBIT STAGING CAPABILITY AND SURFACE EXPLORATION

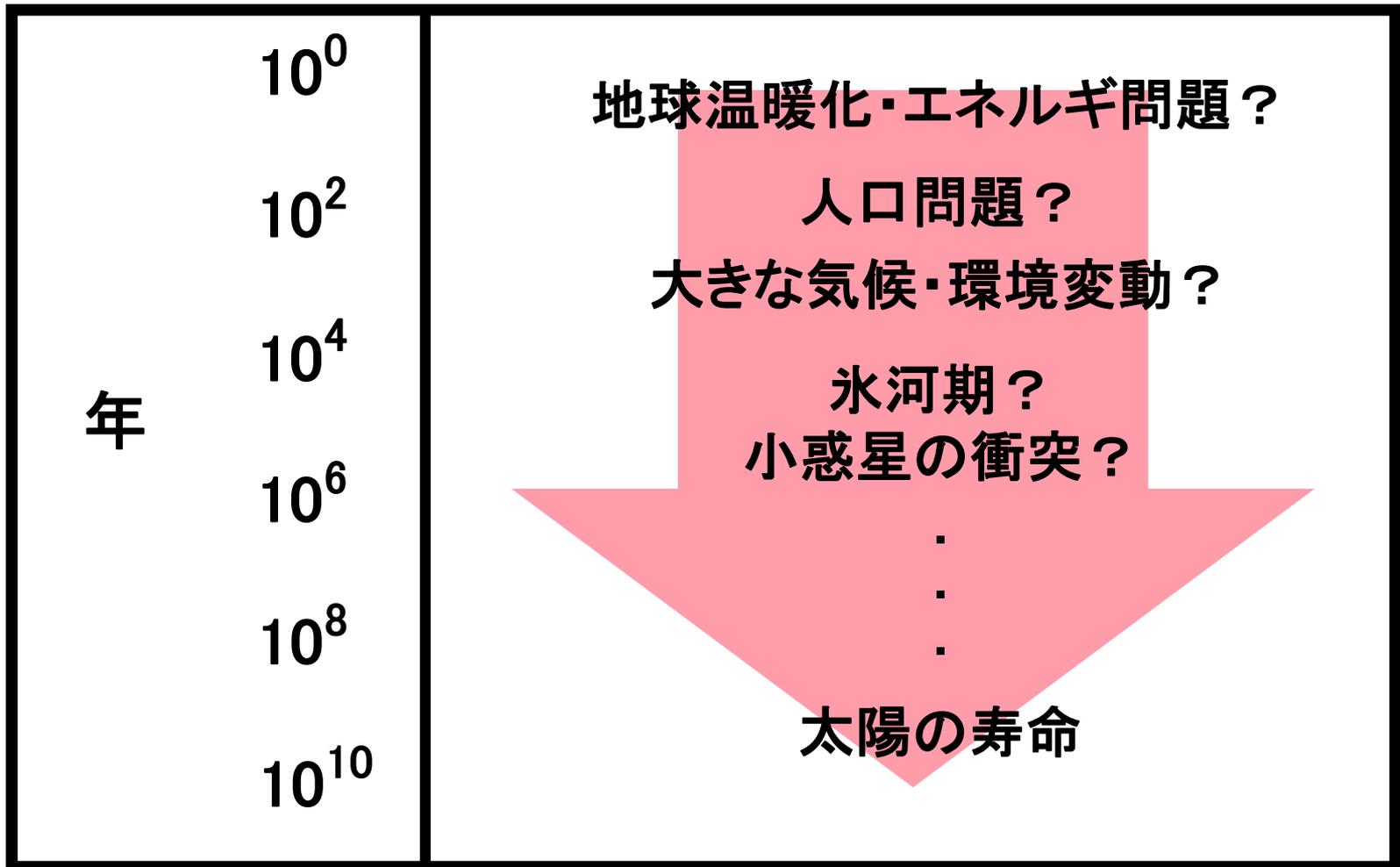
MULTIPLE SCIENCE AND CARGO PAYLOADS | INTERNATIONAL PARTNERSHIP OPPORTUNITIES | TECHNOLOGY AND OPERATIONS DEMONSTRATIONS FOR MARS



Artemis計画における民間からの有人月着陸船の調達と提案



より長い時間のスケールで考えると...



人類のサバイバルの視点

# 人類が絶滅する6のシナリオ

Fred Guterl, “The fate of the species”, 2013

世界を滅ぼすスーパーウイルス

繰り返される大量絶滅

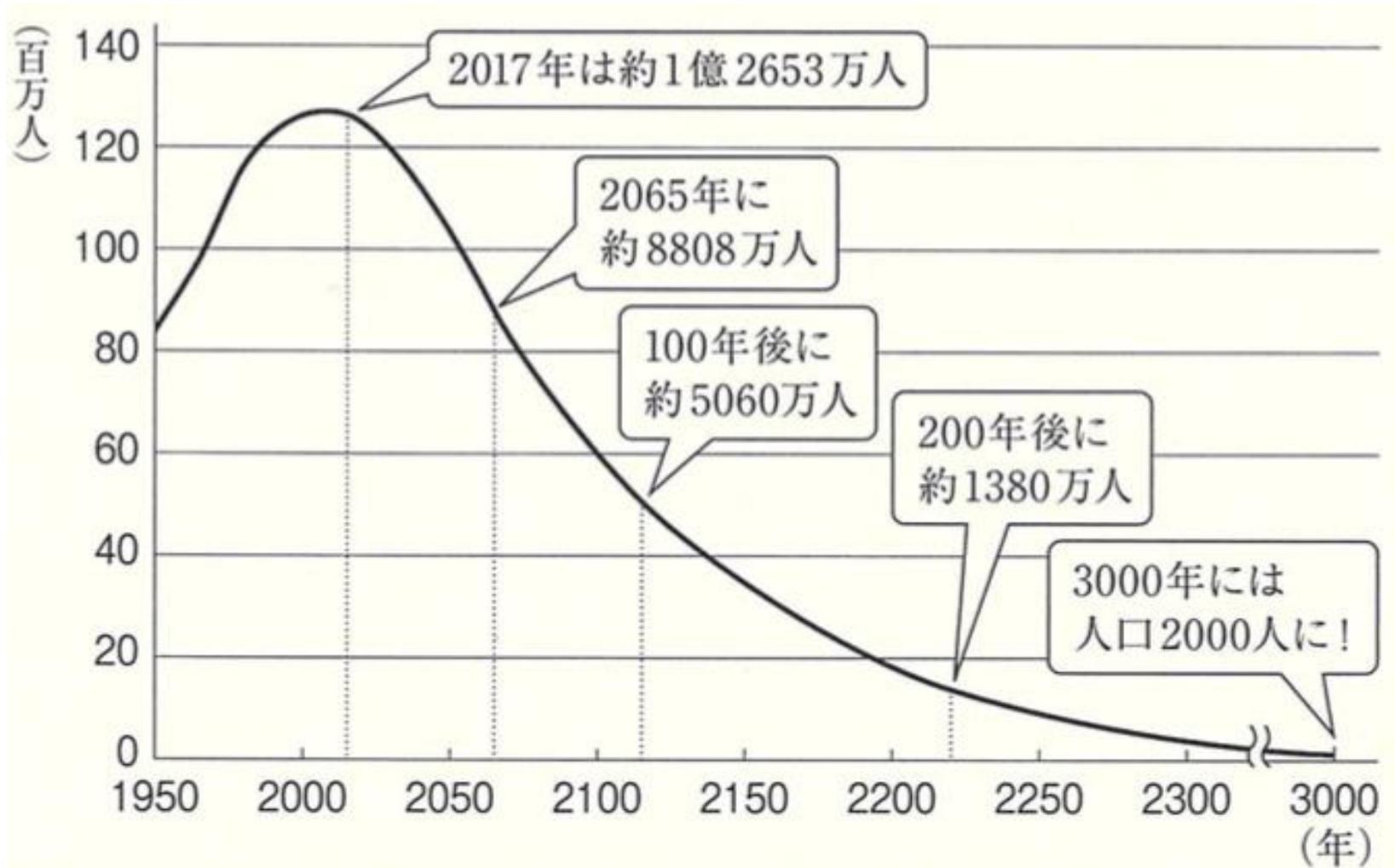
突然起こりうる気候変動

生態系の危うい均衡

迫り来るバイオテロリズム

暴走するコンピュータ

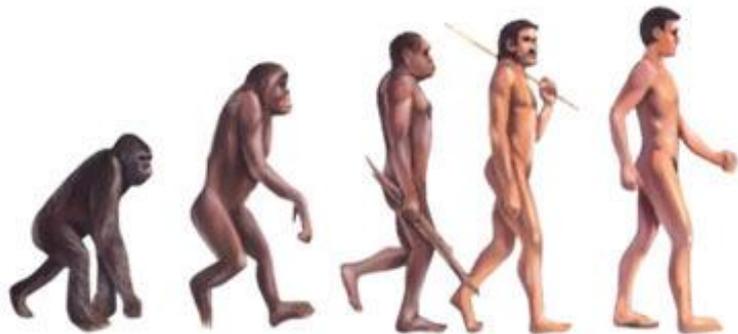
# 日本の人口の予測



国立社会保障・人口問題研究所「人口統計資料集」(2017年)より

# 人類の進化のことも考える？

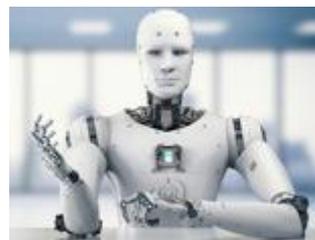
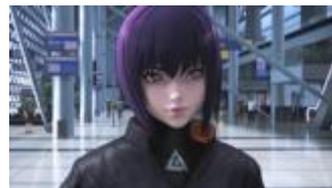
500万年前



500万年後

???

ダーウィンの進化？



ポストヒューマン？

新しい環境に合わせて進化する？

技術の方が先に進む？

# さてそれでもサバイブして地球に住めなくなったらどうするのか？

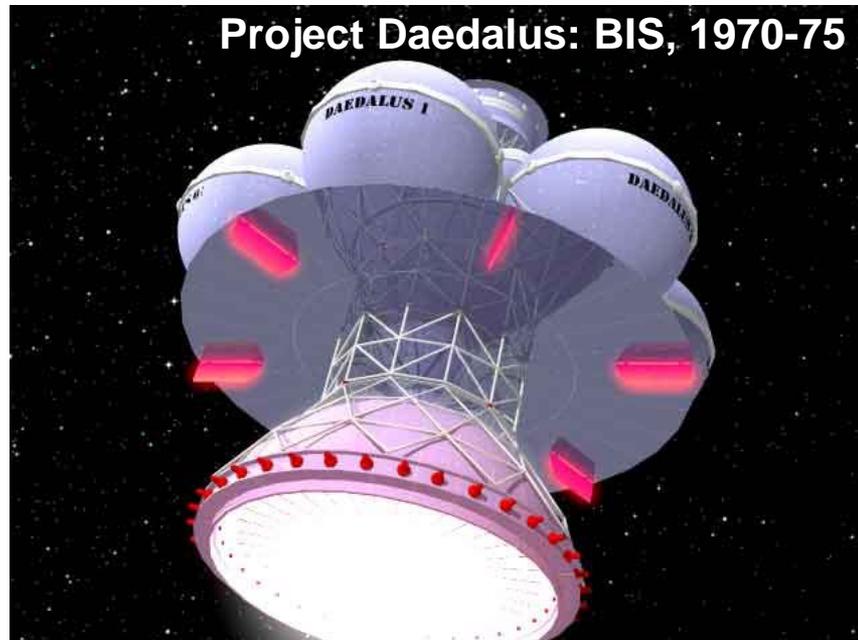
軌道上への移住  
スペースコロニーのコンセプト



テラフォーミング ??  
火星を人間が住める環境に変える



さらに太陽系に住めなくなったらどうするのか？



核融合推進恒星間飛行宇宙船

技術の問題もそれ以外の問題もどうやったらよいかまだ人類は分かっていない



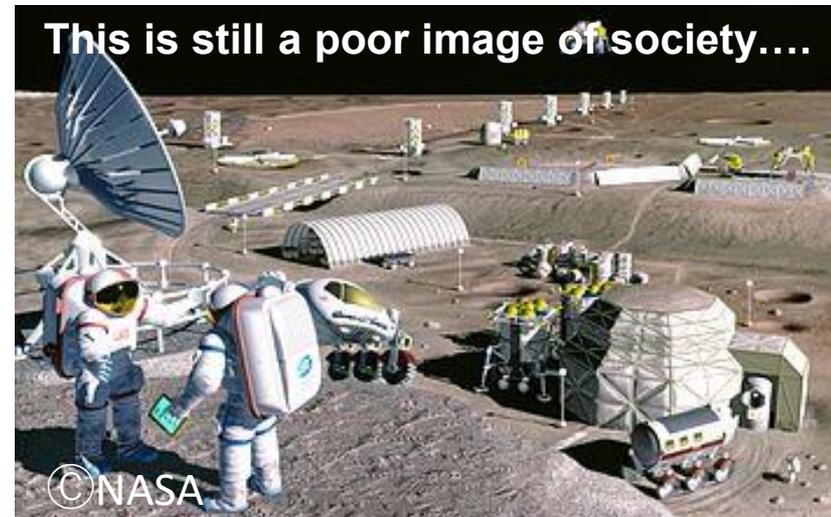
もっと新しい物理や飛躍的な技術の進歩も期待してよい??

# 月の上に社会を作る

考えておくべきことは……

1. ソサエティの目的は？
2. どのような活動をする？どのような価値を生み出す？
3. ソサエティの規模・何人の持続的滞在？移住？永住？
4. 人間は超長期間の持続的滞在に適応できる？
5. 地球との関係は？経済的に自立する？
6. ソサエティ運営のルールは？
7. 新しい文化を作る, 世代を継ぐ？
8. 持続的に滞在できる仕掛けは？

.....



# 月で何をして価値を生み出すのか?

---

科学探査

資源採掘・・・水, 金属, レアメタル, He3・・・

エンターテインメント

教育・広告・宣伝

テレオペレーション・ゲーマー

旅行・観光

ツーリスト・ビジターへのアコモデーション, サービス

セメタリーサービス

生産・建設, 維持管理サービス

ビジネスサービス

.....

MVA, Space Settlement Summit @LA 2018での議論などから

# Size of Crew / Team / Community / Society in Space

APOLLO



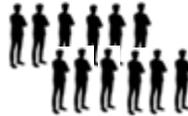
ISS



Gateway/Artemis

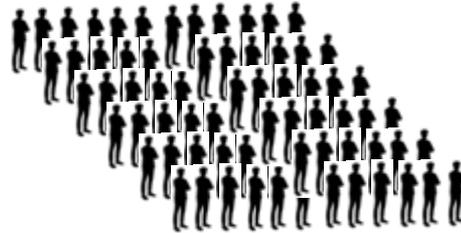


Initial Moon Base?



Dunbar's Number  
150-250

“Everybody knows  
Everybody” Community



1000 society members  
Rules to maintain  
Society needed



# What analogs/similarity with Moon Village ? どう言う社会に近いか？

## Antarctic Base



Amundsen-Scott south pole station  
200 in summer, 100 in winter (isolated)

## Cruise Liner



3000 guest & 1000 operating crew

## 与論島



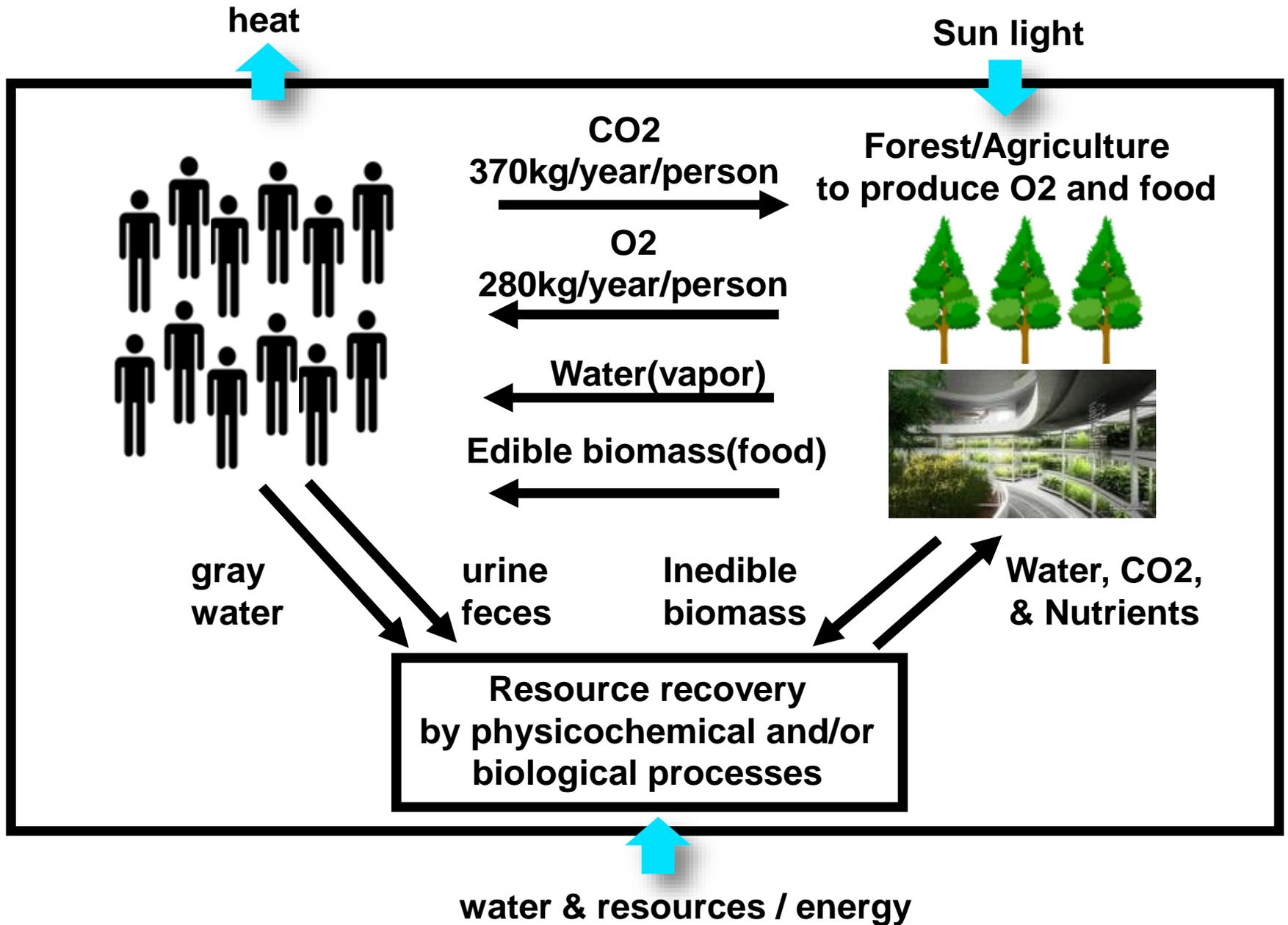
人口 = 5000人, 観光客 = 15万人  
年間総生産 = 130億円

## Coal mining / Science Village Longyearbyen & Ny Alesund

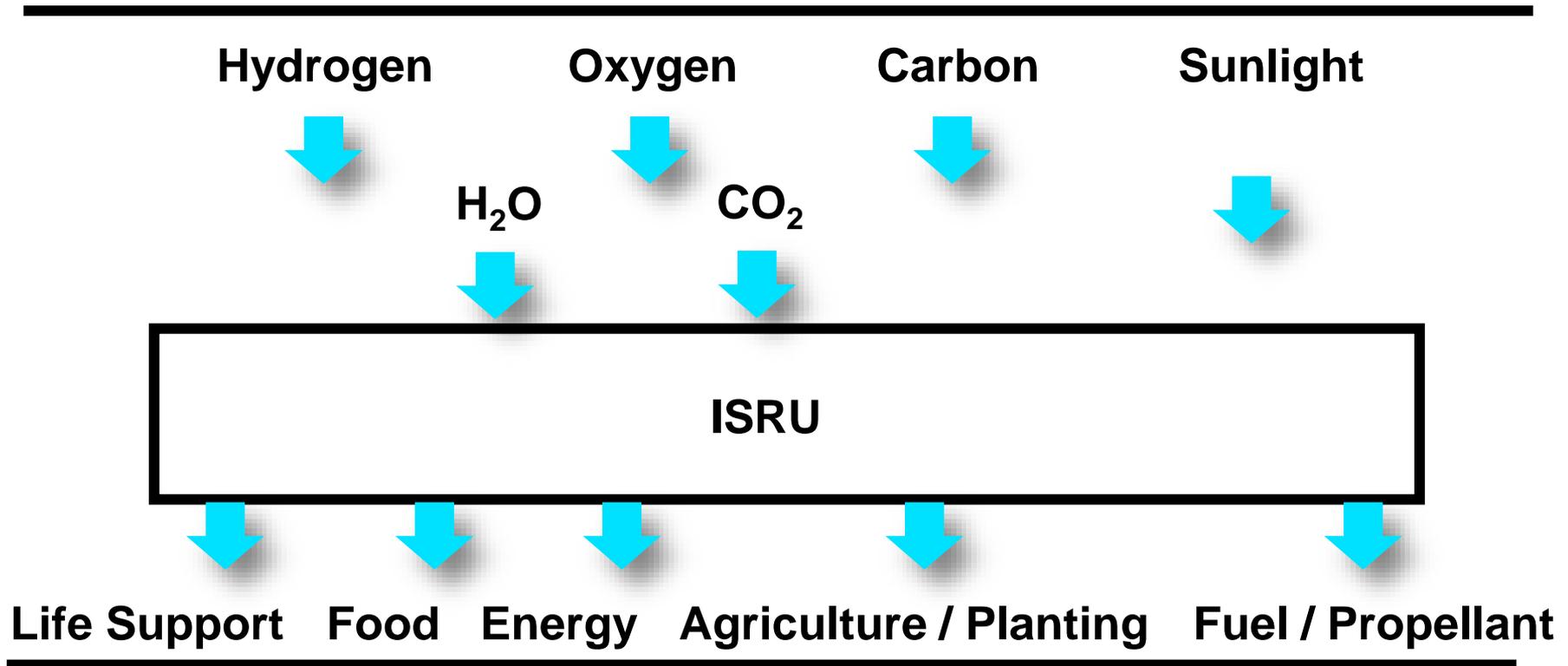


Former Coal Mining Base  
operated by private company  
50 researchers & 20 operators

# Human life support / Closed Cycle Environmental Control / Food



# 有人持續滞在に必要な主要元素, 資源



Hydrogen / H<sub>2</sub>O  
Possibly found in the South Pole

Carbon / CO<sub>2</sub> from Earth ?  
Residual Propellant of Landers / Human Waste / Abandoned Stuff ....

# 月では炭素をどう調達するか

C-type (C=Carbonaceous) 小惑星を炭素をリソースとする？



Total Number of Near Earth Asteroid: 18937  
C-type (Carbonaceous) Asteroid: ~50  
Comets: 107

C-concentration of Carbonaceous Chondrite  
= 2-3%: Hayabusa2 team will make sure by  
Sample Return & Analysis

Ryugu	Volume	0.38km <sup>3</sup>
	Average density	1.2
	Mass	456 × 10 <sup>6</sup> ton

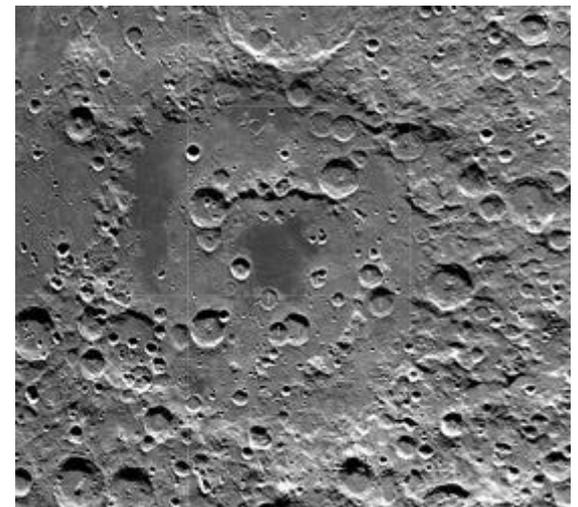
Total Carbon on Ryugu : 10 million ton  
(assuming ~ 2% fraction)



Internal Asteroidal body : Rubble pile ??  
easy to remove & carry small portion ?

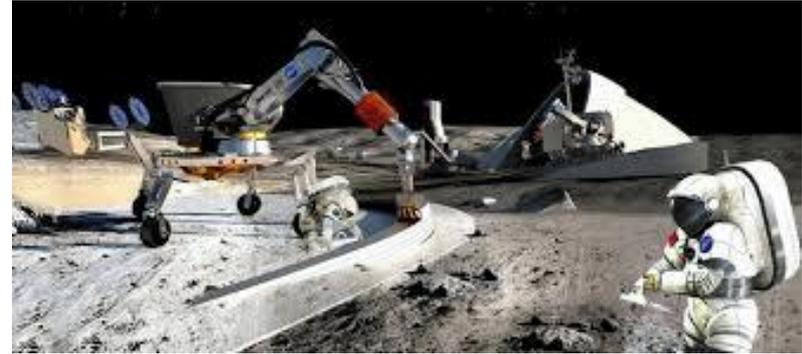
C型小惑星から採掘して輸送？

過去に多くのC型小惑星が既に月に衝突している??



# 月面滞在施設・インフラの建設

## Construction Material from Regolith & 3DP / Additive manufacturing



# 月など深宇宙における持続的有人滞在の システムアーキテクチャー

故障しない信頼性, 冗長性と, 故障に対する耐性から  
現地での再構成, 修理, 製造へ

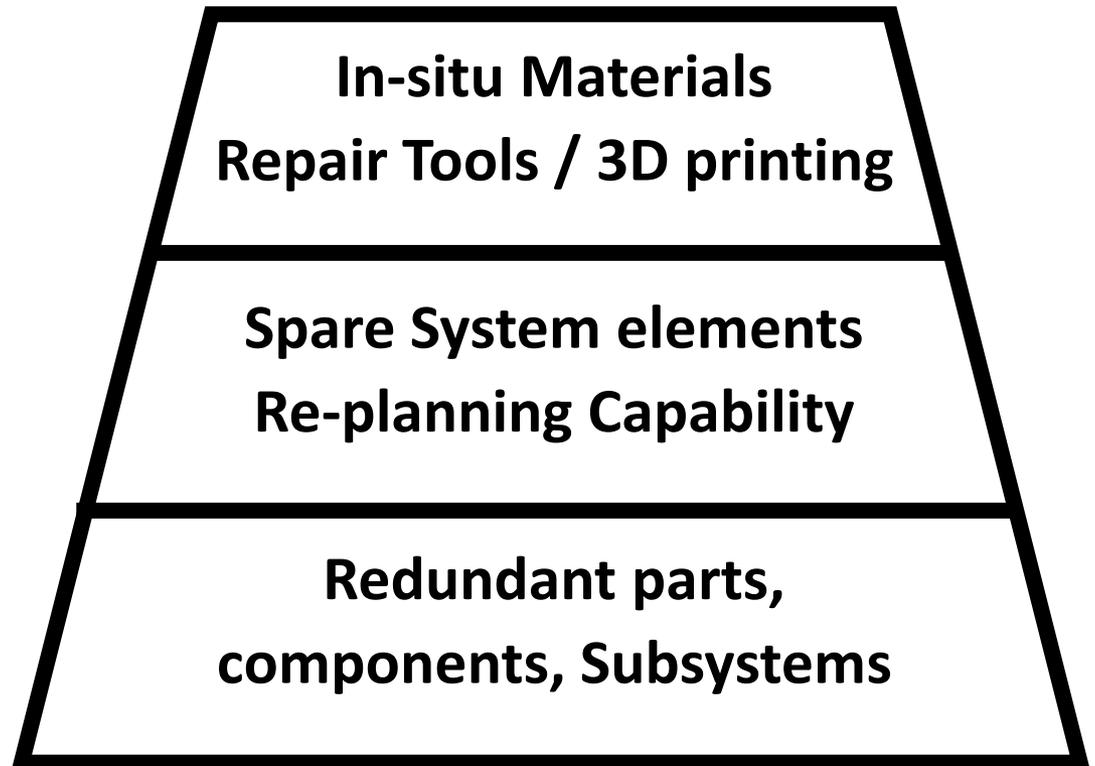
• **Survivability**



• **Flexibility**



• **Reliability**

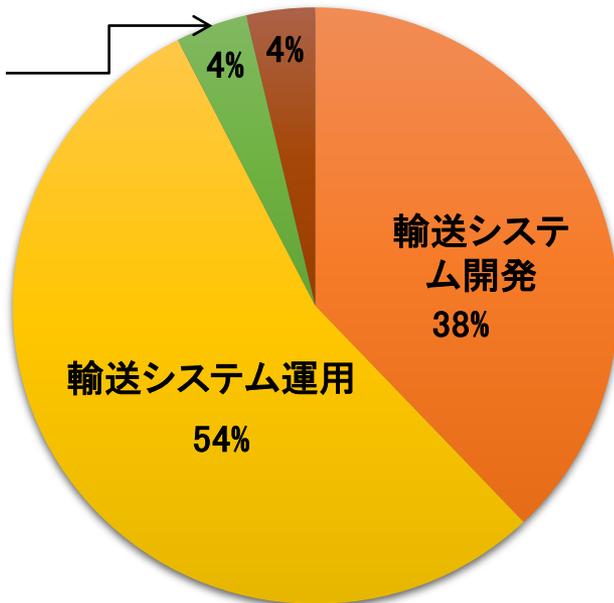


# 現在のアーキテクチャによる月滞在構想の世界 SLS, Orion, Gateway and Lander for Artemis



探査システム開発・運用

月面基地  
開発・運用



月面滞在施設建設および有人滞在運用試算

建設に5年間(SLSによる輸送=15回)  
完成後10年間の定常運用  
有人滞在=4人, 全期間の10%程度  
(一回の滞在期間=40日, 10回繰り返す)

経費総額=約10兆円(15年間)

# 大規模かつ持続的な月面上での社会的活動

高頻度な物資や人の移動・・・

地球・月間でのトラフィックネットワーク＝定期便の運航

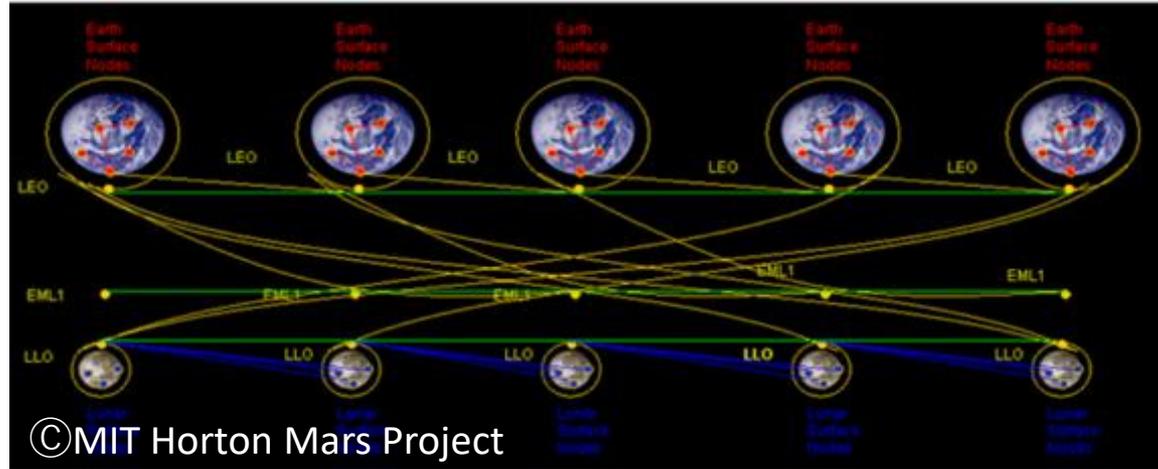
day 1

day 2

day 3

day 4

day 5



持続的有人滞在



Space Logistics and  
Supply Chain Management



新しい輸送アーキテクチャ



## 動機と問題意識

Moon Villageや月での社会構築とか言っても、多くの議論では現実と非現実が錯綜している。ぼんやりしたまま話を続けるのも悪くはないが、それぞれイメージがバラバラでは、きれいな絵は描けても、議論が進んでいく感じがしない。

国家のプログラムの話をするのか、ビジネスの議論をするのか、夢だけを語っておればよいのかさえもはっきりしない、と言う批判もある。

議論の土俵をそろえ、物事を定量化し、月での社会構築をどのようにしたら実行できるのか、何が課題で何を解決すれば現実のことになるのかをあぶり出しておくことは有意義であろう。

合意可能な仮定をおいて、前提条件を整え、物事を定量化した上で、技術の問題もそれ以外の問題についても、何が課題なのかを抽出できるようにしてみてはどうか？

これをリファレンスモデルと呼ぶことにして、このモデルを作ってみたら、議論が具体化し、課題の抽出や実行の方法論の議論などが具体的に出来るだろう。

# 月に社会を作る時に「定量的かつ現実的に」考えておくべきこと

多くの変数やパラメータがあるがこれらを合理的な仮定をして定量化した上で  
どのような課題があるかを考えることは有意義だろう



何人の規模の社会を想定？.....100, 1000, 10000, それ以上.....  
滞在している人は？.....住人, 移住者, 仕事, 訪問者.....  
何を生産し価値を生み出すか？.....ビジネスとモデルの必要  
どの程度の期間の滞在・生活を想定するのか？.....週, 月, 年, 10年, 生まれてから死ぬまで  
居住・生活の質は？...アポロ級, ISS級, ホテルルーム級, アpartment, 一軒家...?  
地球への依存の程度.....物質的, 経済的, 社会的?  
社会を運営するためのシステム？.....収支, 課税, 行政, 法規  
人類的・人文科学的側面.....新しい文化, 新しい人類, 子孫, 教育.....  
.....





もうちょっと定量的に考えてみる

社会構築に対する「要求」をまとめてみる = 変数を仮定する



例えばこういう仮定で定量化や課題抽出をしてみてもどうか？

1000 人の住人（居住者，作業者，訪問者・・・）

価値を生み出す事業 = 資源採掘と利用，ツーリズム，アミューズメント，  
ビジネスパーク，アミューズメントパーク，その他の価値の生産

地球への依存・・・可能な限り減らす

達成時期・・・ = 2050 - 2100

・・・その他に必要な仮定をよく考えてみる





## 月面上に構築する社会のモデル(Reference Model)を考えてみる…

### ● アーキテクチャーの議論

持続的有人滞在, 居住施設建設と運用, 物質・資源調達=サプライチェーンマネジメント, エネルギー供給, 深宇宙長期滞在のアーキテクチャー, 長期滞在のライフサイエンス(フィジカル・メンタル, 世代), 耐放射線対応, child-bearing and growth …

### ● 価値の創造と経済活動, 収支・利益と拡大

### ● 人文社会科学的考察…

社会運営の法規…管轄権, 刑事裁判権, 知的財産権…

…地球の既存政府・国家との関係, 独立…月条約との関係?

経済活動の規制, 独立性, 課税…そもそも誰が管轄するのか?

超長期滞在の人类的文化的課題…学校, 病院, 警察, 世代の継続…

新人類?

## Reference-Model を考えるチーム案

- 社会システム構築の科学
- 価値を生み出す活動，ビジネス，商業活動
- 有人滞在環境制御，生命維持，生活の質，対放射線
- ISRU，サバイバビリティオリエンテドアーキテクチャ
- ロジスティクス，サプライチェーン，輸送システム
- インフラ，居住施設建設
- 民間事業運営と社会を運営するための法制度
- 人文科学的，人類的考察

.....

## 「月惑星に社会を作るための勉強会」 (略称:ムーンビレッジ勉強会)

国の仕事や学術研究に偏らず、民間やベンチャーなど事業の意識の高い人も一緒に、自由にかつ積極的に参加できる環境を作り、それぞれの活動の紹介や意見交換が出来る場を作ることを目指したいと思います。

皆さんと一緒に考えましょう。