

フロンティアビジネス研究会
公開シンポジウム

宇宙開発の未来共創2021

2040年の月ビジネス実現に向けて
～パネルディスカッション～

居住WGリーダー
株式会社船井総合研究所
稲波紀明

居住WG概要

【参加企業（順不同）】

清水建設、三菱電機、三菱地所、大林組、有人宇宙システム、高砂熱学工業、ダイモン、宇宙システム開発、大成建設、蘆田設計事務所、山一ハガネ、ユニバーサル園芸、日本テレビ

【これまでの取り組み】

2018 住環境に着目したビジネスを検討するWG
（月面リゾートのビジネス試算等）

2019 宇宙での「暮らし」から課題を検討するWG
（暮らしアイデア、月のホテルの具現化等）

要求価格設定 試算例 結果

1日当たりのその他販管費 = 13.7億円/日 ※人件費、福利厚生費を除く

- ◆ 人間らしい暮らしをするために1日に最低限必要な水の量
 $50\text{L}/\text{人} \cdot \text{日} \times 60\text{人} = 3,000\text{L}/\text{日} (3\text{m}^3/\text{日})$
- ◆ 生命維持の必要最低消費電力
 $3\text{kW}/\text{人} \times 24 \text{hr}/\text{日} \times 60\text{人} = 4,320\text{kWh}/\text{日}$
- ◆ 必要カロリー
 $2,000\text{kcal}/\text{人} \cdot \text{日} \times 60\text{人} = 120,000\text{kcal}/\text{日}$
- ◆ データ通信料
 $100\text{MB}/\text{人} \cdot \text{日} \times 60\text{人} = 6\text{GB}/\text{日}$

【参考】プラン設定（目標価格）

- ◆ 宿泊プラン： 1泊4億円、2泊～
- ◆ アトラクション利用料： 1億円/日
- ◆ イベント： 30億～

水	< 9.1万円/L	（その他販管費20%相当）
電力	< 2.2万円/kWh	（その他販管費7%相当）
食糧	< 2.1万円/kcal	（原価率30%相当）
通信費	< 1,100万円/GB	（その他販管費5%相当）

要求価格設定 in 2040

「人」に着目した暮らしアイデア分類

（回答から一部抜粋）

「暮らし」をテーマに集めたので、それによつたアイデア、「ニーズ」が多く寄せられた

SCENE 1 - Entrance

SCENE 3 - Activity Space

SCENE 4 - Bed Room

宇宙旅行をもっとリアルに！

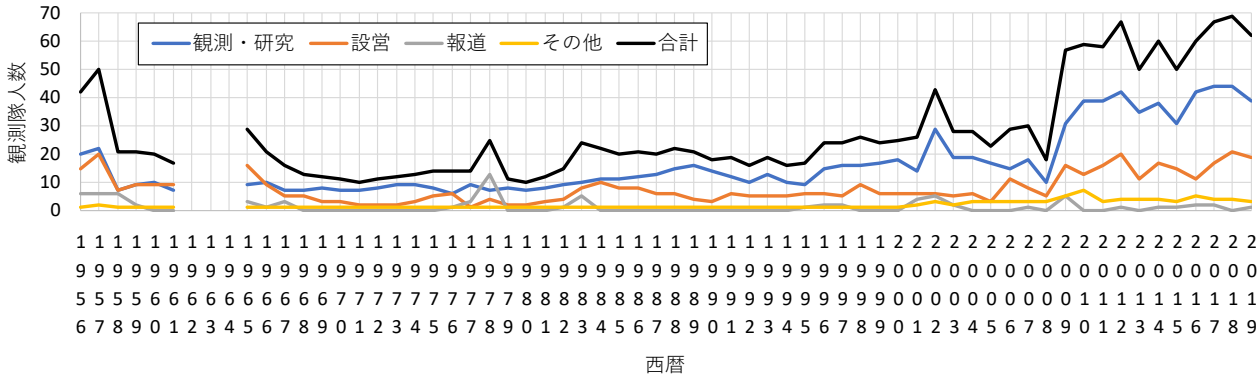
都市構造WG 月面都市はどのように発展し、どのような営みがされているのか

適地選定WG 月にはどんな地形があり、どんな営みがどこでされているのか

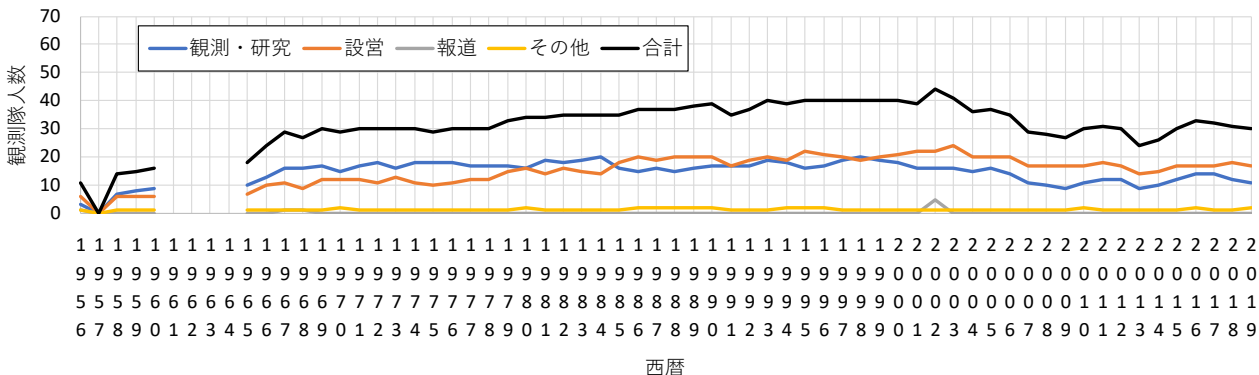
具現化WG 誰が何を目的に月に訪れ、何を体験するのか

都市構造：参考事例は地球の南極！？

人が定住しない地域での都市形成事例は、月での都市形成に対しても参考事例となり得る。



(a) 夏隊の観測隊人数



(b) 冬隊の観測隊人数

月面入植期における課題

- 月面都市の入植期において直面する課題は以下。これら課題の解決が月面都市には不可欠である。
- これらの解決のための技術開発・研究に従事する、建設業、製造業、インフラ業、研究開発が入植期の産業分類の大部分を占めると考えられる。

安全の確保

放射線からの防御

隕石・デブリからの
防御

通信の確立

ロボットによる危険
作業代替

居住地の
選定・確保

居住モジュールの
建造

物資の確保

水の供給の確立

空気の供給の
確立

エネルギー供給の
確立

安価な輸送手段
の確立

レゴリスの建築資
材化の確立

食料の生産手段
の確立



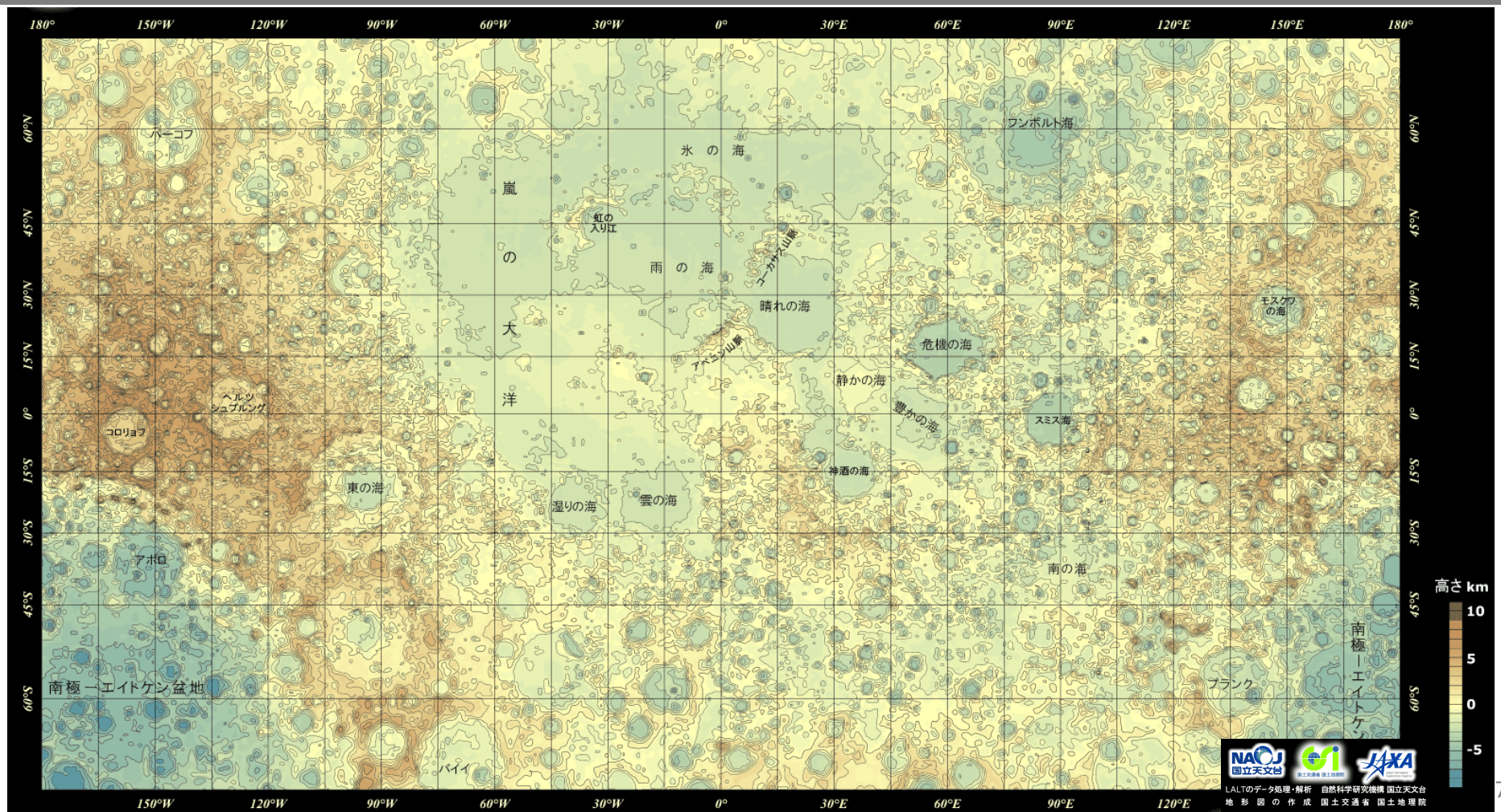
課題解決により、月面上の居住地は“開拓地”から“都市”へと拡大できる

入植期から拡大期での産業構造変化

- 経済産業省の産業分類をベースに月面で各産業に従事する人員の推移を検討。
- 入植期では第2次産業がほとんどを占めているが、拡大期では宿泊業、飲食業、サービス業などの第3次産業の従事者も一定の割合を占めると想定。
- 食料の地産地消化も進み、第1次産業従事者も想定。

大分類	中分類	小分類(例)	入植期	拡大期
第1次産業	農業	畜産業、水産業、漁業、養殖業		○(追加)
	林業	植林業		
第2次産業	鉱業	採掘業	○	◎(拡大)
	製造業	アグリビジネス、医療製薬産業、半導体産業、化学工業、自動車産業、製紙業、機械工業	○	◎(拡大)
	建設業	建設業、建築土建業	○	◎(拡大)
	鉄鋼業	製鉄業、3Dプリンター	○	○
	石油産業	石油業、シェールオイル産業		
	インフラ業	電力産業、水道業、エネルギー産業、空気	○	◎(拡大)
第3次産業	情報通信業	気象関連事業、情報通信業、ラジオ産業、軍需産業	○	◎(拡大)
	運輸業	ロケット産業、港湾運送業、郵便業	○	◎(拡大)
	金融業	銀行業、証券業、保険業		
	不動産業	住宅産業、土地販売業、開発事業、施設運営会社		
	宿泊業	ホテル事業		○(追加)
	飲食業	食品業、外食産業、食品梱包業、醸造業		○(追加)
	サービス業	サービス事業、コンサル業、清掃業、葬儀業		○(追加)
	娯楽業	映画産業、音楽産業、観光業、賭博業、スポーツ産業、ゲーム産業		○(追加)
	服飾産業	衣類産業		
	教育業	学術研究、教育業、学習支援業、言語産業		
	医療・福祉	福祉産業	○	
	商業	医薬品販売、百貨店		
	労務業	人材派遣		
	公務	研究開発	○	○

適地選定：地球同様、月にも様々な地形がある。優れた環境で都市は発展する。



適地選定：月での居住域に求められる条件

①利便性：勤務地＞発着陸拠点＞商業施設＞観光地へのアクセス

勤務地に近い（できれば宇宙服の離脱着不要な感じがいい）ことはマスト

地球への輸送、避難などしやすい打上基地に近いほうがいい？ ⇒ 赤道付近？

②安心・安全：隕石＝放射線＞地震＞治安

隕石・放射線対策 ⇒ 基本は地下空洞の活用？

水・酸素へのアクセス ⇒ 氷がある極域が良い？

電源の確保 ⇒ 24h、太陽光発電ができると良い（極域なら可？）

③快適性：日照(が強すぎない)＞振動＞広さ・間取り＞眺望＞騒音

地球や月面他拠点との通信 ⇒ 山の上などが良い？人工衛星でOK？

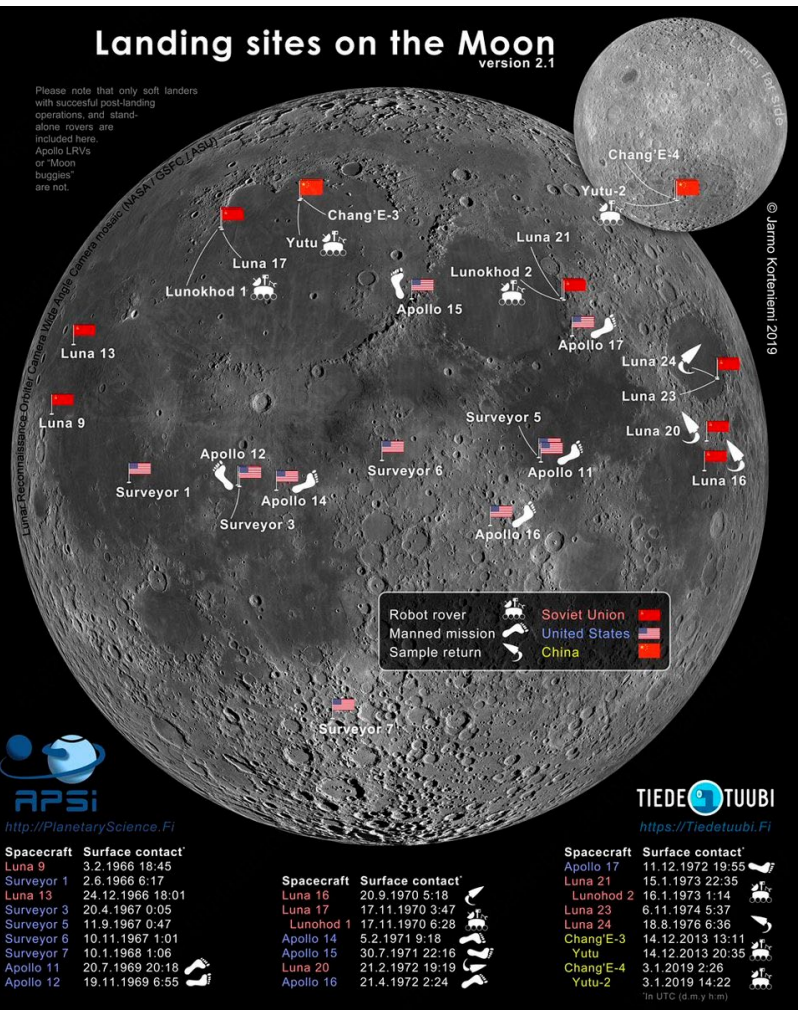
部屋からの眺望でなくともよいが、裏側ではなく表側に住みたい

快適な居住空間を設けられる構造物をつくりやすい場所は？

⇒ 平坦で堅い場所はどこに？

→ 赤道付近、極域、地下空洞について、深掘り

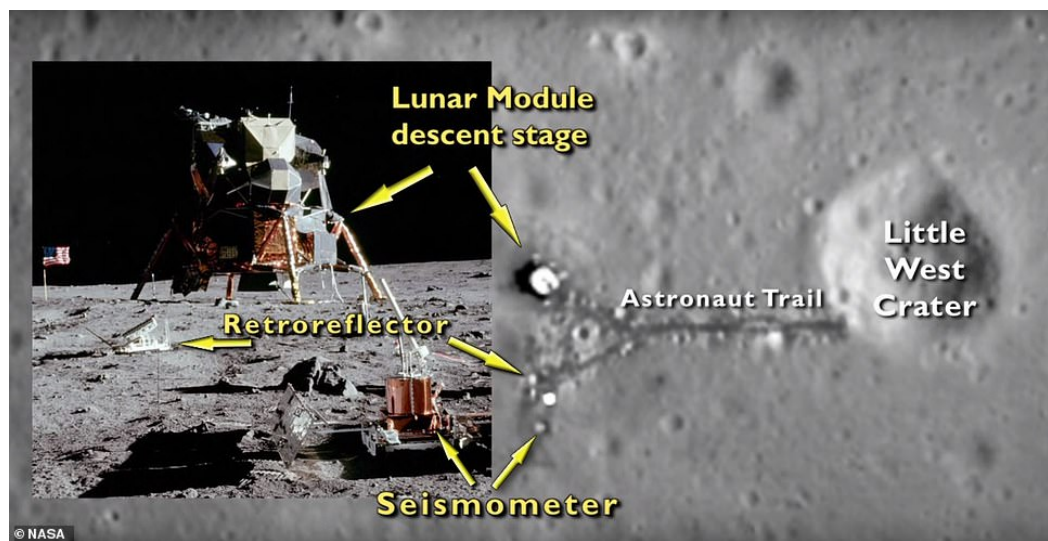
適地選定：赤道付近は平坦な地形が多い



比較的平坦な土地が多い

- ・着陸地点として利用しやすい
- ・新たな建設をする場合も、建設が容易
- ・過去多くのプロジェクトで着陸しており、観光地としても有用

- ・微小重力によるジャンプや新スポーツ体験
- ・水製造や植物製造などの工場見学
- ・月で取れた食料
- ・アルコールでのフルコース、太陽熱でのBBQ
- ・地下洞窟探検
- ・月面歩行体験



適地選定：極域には水の可能性

(参考) J. L. Heldmann, et. al., "Lunar Polar Volatiles: Assessment of Existing Observations for Exploration," 2016

- 直接には**水素**が見つかったいるだけでその**実際の状態 (Ground Truth)**はわかっていない
- **水素全てを水として換算**したときの重量% (wt%) がよく言われる「**含水率0.5 wt%程度**」
- 水素の反応が見られる場所が、年間最大表面温度が低いところ (永久影、クレーター) に特に集中して見られるため、これが水 (氷) なのではないかと考えられてきた。
- かぐやの観測で**表面に水氷が浮き出ていることはほぼない**ことがわかっている。
https://www.jaxa.jp/article/special/kaguya/seika02_j.html
- **全ての極域クレーターで氷が検出されているわけではない**

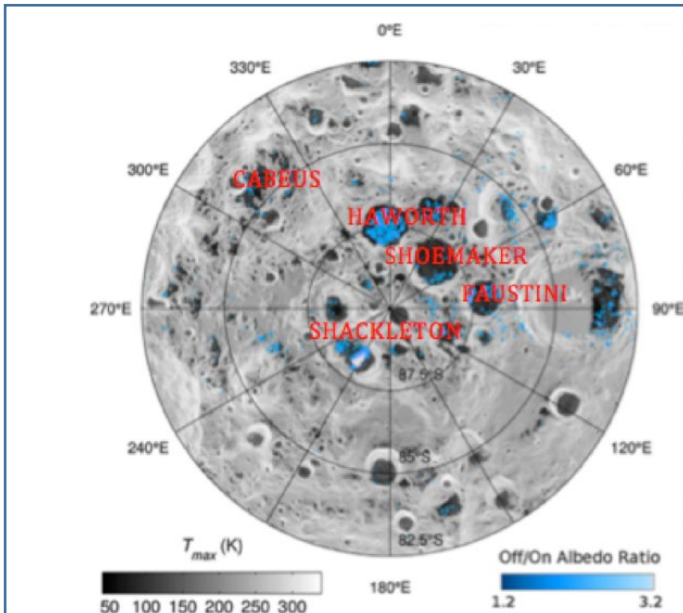


Figure 2. (Hayne et al. 2015) Map of the lunar south polar region showing the maximum temperature (gray scale) from LRO Diviner measurements and the surface frost (blue scale) from LRO LAMP measurements of the 165-nm feature.

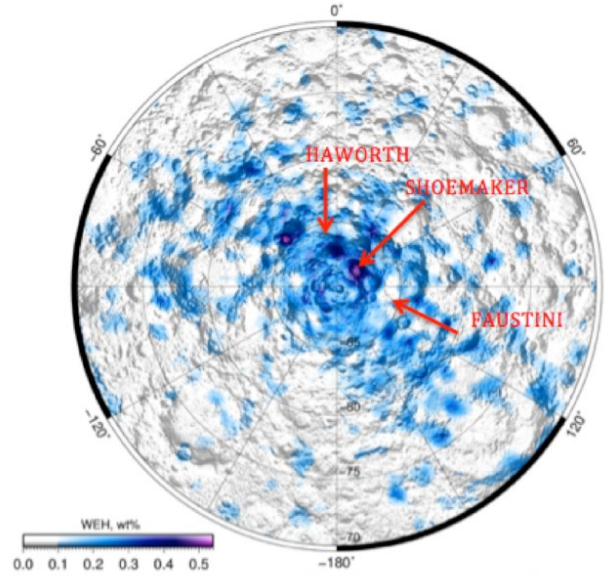


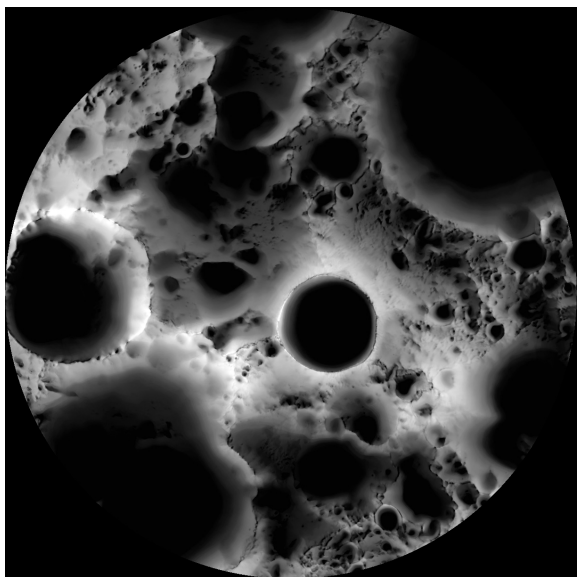
Figure 3. (Sanin et al., submitted) **Hydrogen** content in the top meter of regolith in the south polar region measured by the suppression of neutrons in the epi-thermal energy range by LRO LEND. The values are converted to the equivalent amount of water that bears that hydrogen. Heterogeneity would produce local enhancements and depressions around these average values.

【参考】 南極の土壤の想定含水率
 JAXA **0.5 wt%程度**, NASA **~10 wt%程度**まで

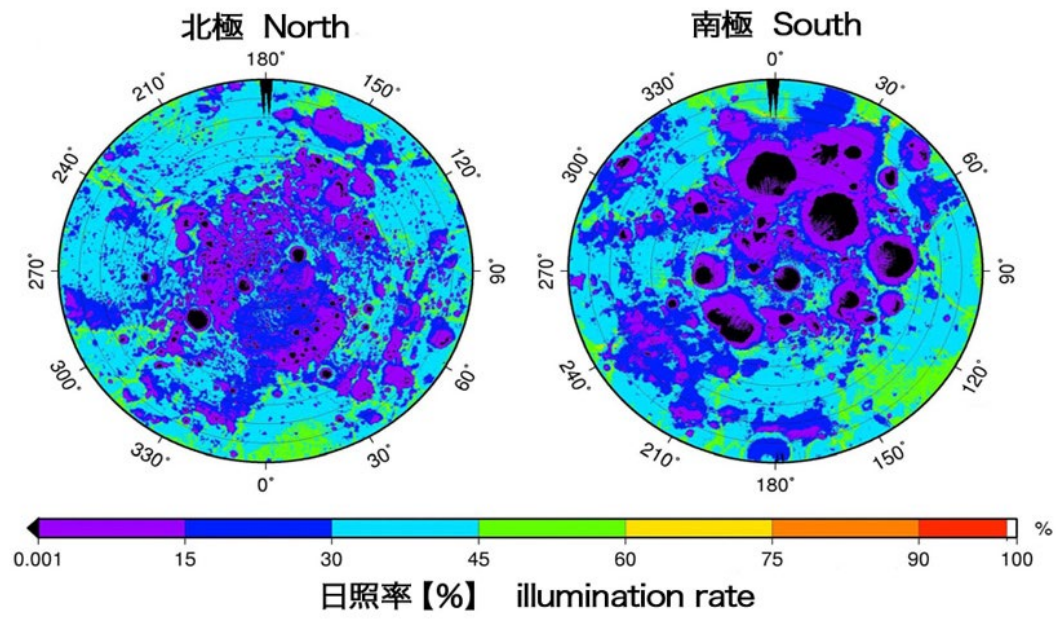
適地選定：極域には日照率が高く、太陽光発電のしやすい場所も

(参考)
◆ https://www.jaxa.jp/article/special/kaguya/seika01_j.html
◆ <https://www.nasa.gov/feature/moon-s-south-pole-in-nasa-s-landing-sites>

- 永久日照（1年中日照が確保できる場所）は極域には存在せず
- 最大日照率は北極で89%，南極で86%
（例：ある場所では1年のうち86%の時間は太陽光が当たる）



©NASA/GSFC/Arizona State University
（中央にシャクルトンクレーター，白いほど日照時間が長い）



https://www.jaxa.jp/article/special/kaguya/seika01_j.html

適地選定：ただし、極域での候補地は限られている

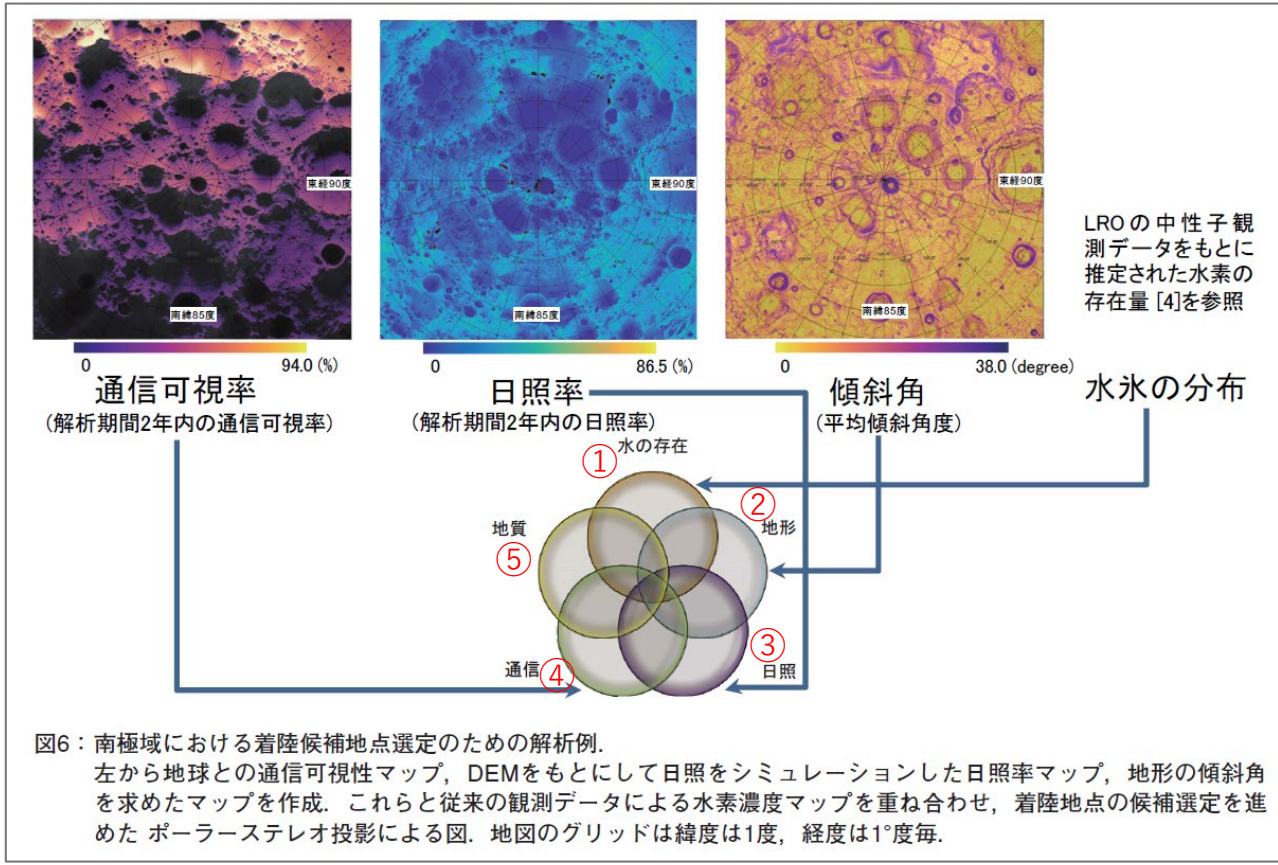
着陸地点は意義のある場所
 ≡ 将来基地を建設する候補地

候補地の条件

- ① 水氷が付近に存在
- ② 目的地にアクセスが可能
- ③ 電力を確保可能
- ④ 地球と通信が可能
- ⑤ 安定した地盤

→大量の水が見つかったとしても電力が確保できなかつたり、クレーターのリム（周縁）が切り立っていてアクセスできない場所は候補地として適さない。

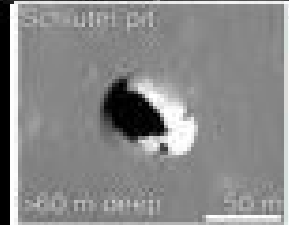
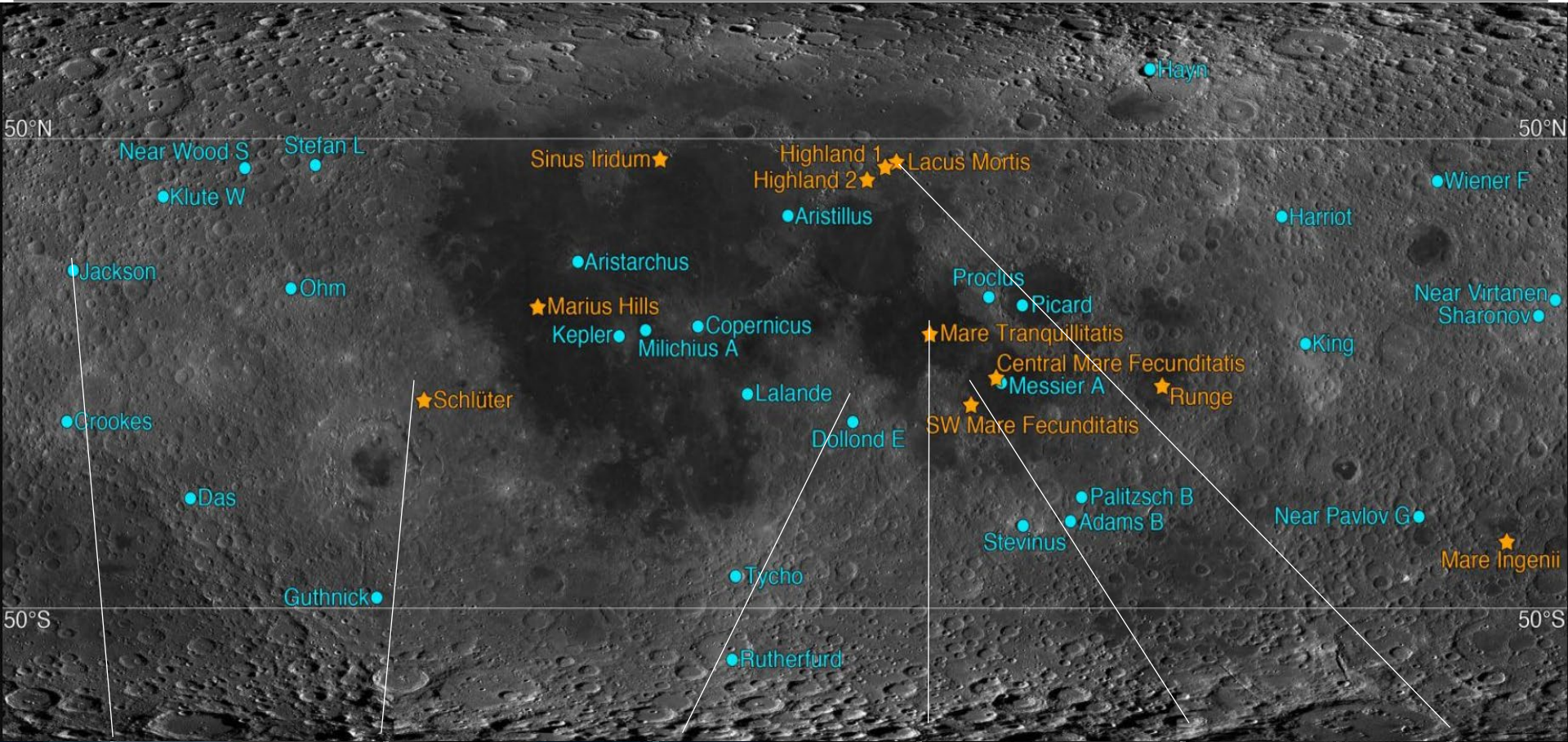
→実際の候補地は数えるほど（十数か所）しか存在しない



(参考) 大竹 真紀子 他、「水氷資源利用可能性評価を目的とする月極域探査紹介」、日本惑星科学会誌 Vol. 28, No. 1, 2019

適地選定：地下空洞は広域に分布している

<https://i.stack.imgur.com/PpYAt.jpg>



適地選定：地下空洞には優れた居住環境があるが、アクセスの課題もある

背景 月の地下空洞(溶岩チューブ)の特徴
地下空洞は**基地建設地**や**科学探査**に適している

- **天井の存在**
地下空洞の中は、放射線、紫外線、隕石衝突などから機器や人が守られ、また定常な温度環境 (例えば赤道域で、-20℃付近)
- **広大な空間**
地球からの類推で、数十mの高さ、数百mの広さの空間
- **月の火山活動の歴史**
月の火山活動史の詳細な情報を有している
- **月の固有のガス成分**
空洞形成時に溶岩内に水などのガス成分を捕獲している可能性
- **月の固有の磁場**
月に固有磁場が生じたか否かの情報を有している可能性

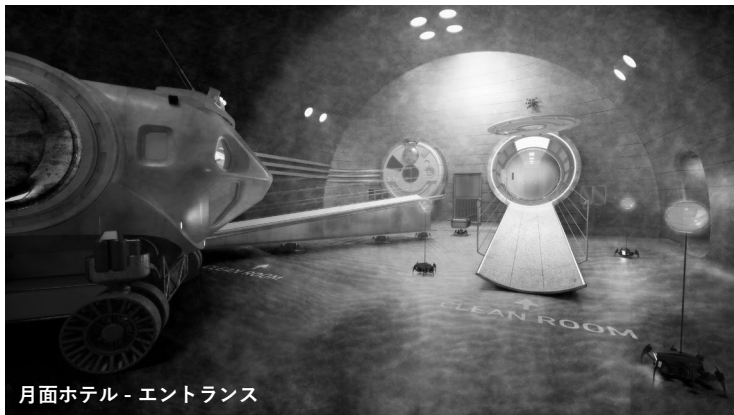
月基地として最適な縦孔・地下空洞

The diagram shows a cross-section of a lunar lava tube. At the top, two vertical shafts (縦孔) lead down to a large, dark, arched interior space. The ceiling is labeled as being several meters thick. The interior is shown to be wide and stable, with a smooth floor. Red wavy lines above the ceiling represent radiation and UV light being blocked. A horizontal line at the bottom indicates a width of approximately 100 meters.

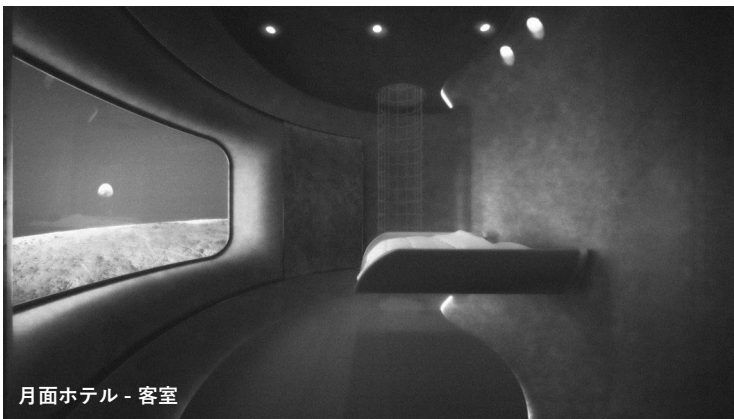
- **天井の存在**
放射線・紫外線・隕石衝突、隕石衝突の際の飛散物から機器や人が守られる
- **定常な温度**
赤道域で、-20℃付近
- **広大な空間**
数10mの高さ 100mに及ぶ幅 数km以上の長さのところも？
- **高い密閉性**
- **塵の無い空間**
- **平滑で堅固な床面**
- **安定な光環境**

具現化：月面生活ではどのようなアクティビティが存在するか

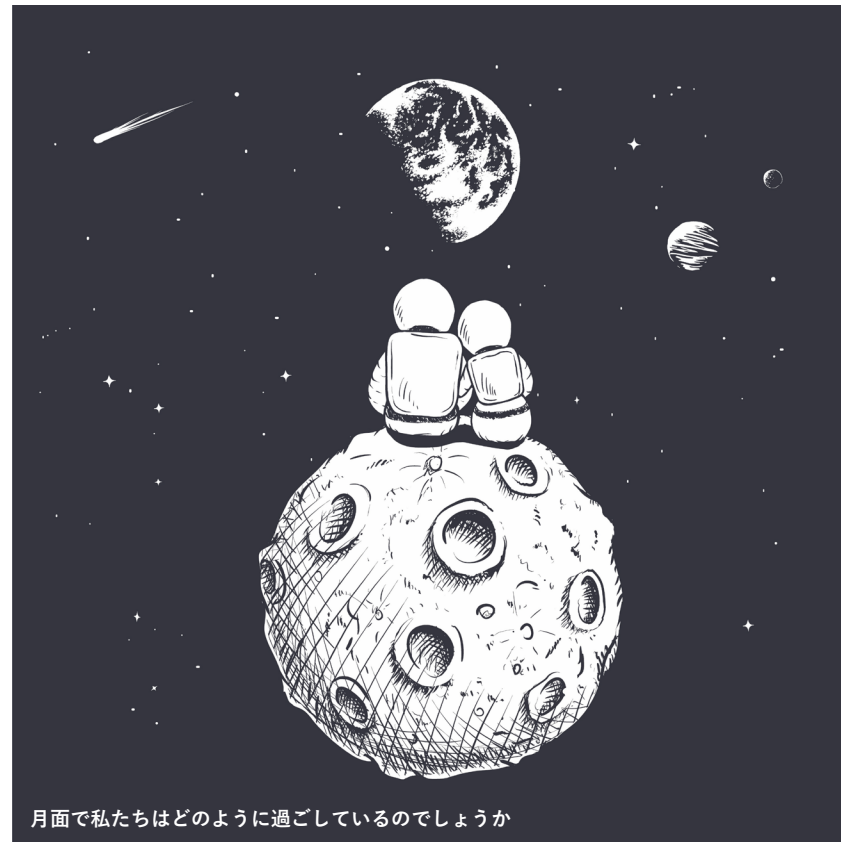
月面での居住空間の視覚化から月面でどのようなアクティビティが行われうるかの視覚化へ



月面ホテル - エントランス

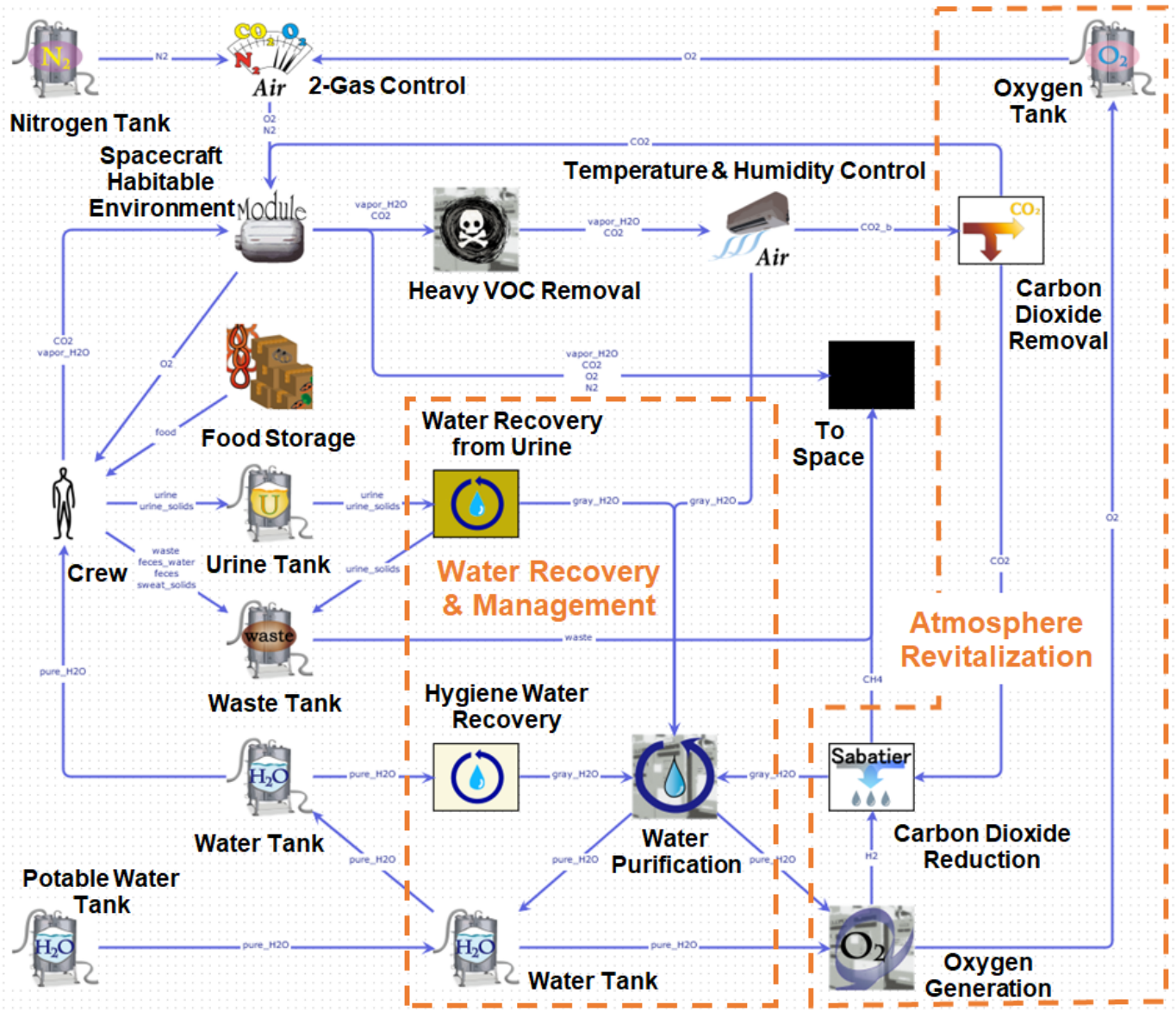


月面ホテル - 客室



月面で私たちはどのように過ごしているのでしょうか

具現化：生命維持 & 物質循環の検討



物質循環制御システム研究開発用シミュレータ(SICLE)による設計例
 ©宇宙システム開発(株)

宇宙には健康リスクが付き物
 フライト前／中／後の万全な医療体制を検討
 例) 健康診断、月面常駐医師・看護師、遠隔医療

具現化：健康リスク（宇宙医療）

宇宙環境特有の健康リスク

原因	フェーズ	健康リスク	対処方法
無重力環境	地球と月の移動中	宇宙酔い（めまい、吐き気、嘔吐、頭痛など）	服薬
放射線被ばく	常に	発がんリスクの上昇	フライト後の健康観察の継続
	太陽活動活発時	急性放射線障害	緊急避難シェルター／シールド
隔離閉鎖空間	常に	ストレス性障害（適応障害、睡眠障害など）	カウンセリング、服薬など
概日（サーカディアン）リズム	常に	生活リズムのずれ（時差ぼけ、睡眠障害など）	服薬など

その他の健康リスク

緊急性がなく地球帰還後に治療できるものを除き、応急処置や緊急手術が必要になる可能性があるもの

- ケガ
- 急性疾患（例：脳梗塞、心筋梗塞、急性虫垂炎など）
- 歯科治療（例：詰め物が取れるなど）



具現化：月の歴史から月との付き合い方を考えてみる

月の歴史を辿りながら未来を想像する

月に行けるようになったのはここ最近の話だが、人類はそのはるか前から月に関心を抱いてきた。日本で竹取物語が書かれたのは9世紀後半から10世紀の頭にかけてであり、1609年にはイギリスのトーマス・ハリオットによって初めての月面のスケッチが作成された。過去の月との付き合い方を見ていく中で私たちが今後どのように月と向き合っていくかを考えていく

月の歴史

History of the moon



月は、古くは物語に引用されるなど、文化的に重要な存在でした。16世紀にはいと、天文学の発達とともに、身近な天体である月の観測が活発化し、科学的な成果も置多くみられるようになりました。20世紀にはいと米国とソ連の宇宙開発競争の的となり、アポロ11号が初の月面着陸を果たしますが、その後、20年程度、月の開発は停滞期を迎えてしまいます。そして2020年頃から再び月を目指す計画が具体的に動き出し、月旅行時代の幕開けとなりました。

- 約45億5000万年前 誕生
- 約41億年前-38億年前 後期重爆撃期
- 9世紀後半~10世紀 竹取物語が成立
- 1609年 イギリスのトーマス・ハリオットが初の月面スケッチを作成
- 1610年 ガリレオ・ガリレイがスケッチを描く
- 1645年 ベルギー人天文学者ミヒャエル・ラングレンが世界初の月の地図を描く
- 1647年 ヨハネス・ヘヴェリウスの論文「月面学」出版
- 1656年 フランス人作家シラノ・ド・ベルジュラックの「月世界旅行記」出版
- 1728年 アイルランド人作家ムルタ・マクダーモットが「A Trip to the Moon」出版
- 1753年 クロアチア人天文学者ルジェル・ヨシブ・ボスコヴィッチが、月に大気がないことを発見
- 1865年 フランス人作家ジュール・ヴェルヌが小説「月世界旅行」を発表
- 1882年 「星世界旅行 千万無量」 貴名駿一 著
- 1888年 「夢幻現象政海之破裂」 井口源一郎 著
- 1901年 「月世界最初の人間」 ハーバート・ジョージ・ウェルズ 著
- 1906年 「月世界探検」 羽化仙史 著
- 1915年 「怪飛行艇月世界旅行」 石松夢人 著
- 1936年 ソ連で公開された月旅行をテーマにしたSF映画、無重力などリアルな宇宙飛行を表現した最初期の映画。



ガリレオ・ガリレイのスケッチ



星世界旅行 千万無量の表紙

具現化：月の歴史から月との付き合い方を考えてみる

月の歴史を辿りながら未来を想像する

アメリカとソビエト連邦による月探査競争 パイオニア計画vsルナ計画

1959年1月	ルナ1号(ソ連)が月近傍への送り込みに成功。 初の人工惑星に
1959年3月	パイオニア4号(米国)が月探査に成功
1959年9月	ルナ2号(ソ連)が月面衝突。 月を訪れた初めての人工物となる
1959年10月	ルナ4号(ソ連)が月の裏を撮影
1961年	米国大統領ジョン・F・ケネディ大統領が、 月面有人探査を10年以内に達成すると表明
1966年	ルナ9号(ソ連)が、初めて月面に軟着陸
1966年	ルナ10号(ソ連)が、初の月周回人工衛星となる
1966-1967年	ルナ・オービター計画(米国)5機の探査機により、 アポロ計画のため月面の99%を高解像度で撮影
1969年7月	アポロ11号(米国)が、史上初の有人月面着陸に成功 ニール・アームストロングが初めて月面に降り立つ。 アポロ計画により計5回の月面着陸が行われる。
1970年	大阪万博において「月の石」が展示。
1972年12月	アポロ17号によるアポロ計画最後の飛行。 2020年現在、人類が他の天体の上に降り立った最後の 事例となっている。

月探査の停滞期から、再開へ

1990年	探査機ひてん(日本)が月を訪れ、 日本が月軌道に達した3番目の国に。
2003年	欧州宇宙機関が、月周回探査機スマート1を打ち上げ
2007年	中国が月周回衛星嫦娥1号を打ち上げ
2007-2018年	民間初の月面無人探査コンテストGoogle Lunar XPRIZE が開催。勝者のないままに終了。
2008年	インドが月周回衛星チャンドラヤーン1号を打ち上げ
2009年	月周回衛星かぐや(日本)打ち上げ。NHKのカメラを搭載
2018年	中国の嫦娥4号が、史上初の月の裏側への着陸に成功

再び世界は有人月面着陸を目指す。 ニュースペースと呼ばれる民間宇宙開発も加速し、大宇宙旅行時代へ

2021年	日本で月探査に向けた宇宙飛行士募集
2022年	アルテミス計画(米国ほか)月軌道の宇宙ステーション 「Gateway」建設開始
2023年	実業家の前澤友作がSpaceX社のStarshipで月周回旅行
2024年	アルテミス計画(米国ほか)による有人月面着陸
2028年以降	日本人宇宙飛行士が初めて月面着陸
20XX年	初の月面ホテル開業
20XX年	月面旅行者が1000人を突破

具現化：より具体的な月でのアクティビティを想像する

月の年間スケジュールを想像する

2040年に月がフロンティアリゾートとしてセレブの旅行先になっているという設定をベースに月の年間スケジュールを考えました。地上で行われているイベントが月だとどのように変化するかや月ならではのイベントとしてはどのようなものがありうるのかを想像した。月産の豆は月面キャビアと呼ばれており、それを使った豆まきがあるのではないかやお月見ではなくお地球見なるイベントがあるのではないかといったユニークなアイデアが生まれた。

月を楽しもう。

世界中のセレブが訪れるフロンティアリゾート「月」
人類の憧れの星「月」で体験できる
月面ならではのイベントをご紹介します

2040年月面イベントカレンダー

1月 月のお正月

月のお正月には家族で羽根つきを
1/6重力でアクロバティックな
羽根つき体験を楽しもう！
●開催場所：ホテル月面



2月 月の豆まき



月面のキャビアと呼ばれる、貴重な月産豆
1/6重力で飛び交う豆をかいにくれるか！？
地球から、あの赤鬼も参加！
●開催場所：月スタジアム

3月 Moon University Summit

自然科学系の最高学府「月大学」
月面研究発表会には、世界のIT・バイオ・
エネルギー系企業や政府関係者、投資家が大集合！
●開催：月大学・大講堂



5月 こども月探検隊

親子で宇宙を実体験できるこどもの日限定イベント
「こども月探検隊」として月面資源探索や、月の
ウサギ探しなど体験できます！

7月～8月 宇宙花火大会

7月、8月は毎週末、宇宙花火大会を開催
漆黒の宇宙を花火と3Dサウンド、
ホログラムで奏でる宇宙エンターテインメント
月にお越しの方はどなたでもご覧いただけます。
●開催場所：月の海



9月 お地球見

地球上のお月見とのコラボイベント
地球からも参加できるウサギ型
アバターロボットで月面を駆け巡れます



10月 月面スポーツフェスティバル

1/6重力で老若男女問わず参加できるスポーツフェス。
月面プロ野球、月面W杯サッカー、月面世界陸上など
地球では考えられないスーパープレイを堪能できます！
●開催場所：月スタジアム、地球生中継（日テレ系）



12月 クリスマスイベント

星とツリーが織りなすイルミネーション
宇宙カクテルを片手に、大切な人と過ごす
最高に贅沢な月のクリスマス体験を
●場所：ホテル月面SpaceLounge



具現化：月面でのイベントを視覚化しアイデアを育てる

月面イベントを視覚化する01

2030年の月面生活がどうなっているかを想像した。この時期の主な滞在者を(A)研究者や技術者(B)お金持ちの月面旅行者と想定することで月面で具体的に何が行われているかを想像した。3Dプリンティングによる料理やメンタルヘルスのためのペット飼育などニッチな部分にまでアイデアが及んだ。



具現化：月面でのイベントを視覚化しアイデアを育てる

月面イベントを視覚化する02

2040年には研究者以外の居住者や観光客が増加しているという設定のもと『月面ウェディング』を提案する。地球からも月からも見える巨大な宇宙花火や月で栽培した葡萄で醸造したシャンパン、ロケットで火星に向かう新婚旅行などいろいろな角度から月面でのイベントを提示した。

