

# ふたたび 月へ



平成31年2月

# 講演の内容



1. 月とはどんな天体？
2. 月の探査 ちょうど50年前に人類は月に着陸  
…アメリカのアポロ計画
3. アポロ計画後の大型月探査…日本の“かぐや”
4. 再び月へ……世界の競争と協力で
5. 将来の夢



# 1. 月とはどんな天体？

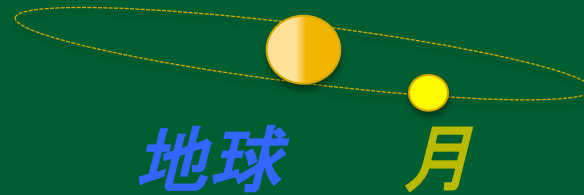
- ・月と地球と太陽の関係
- ・月の環境
- ・月についての謎

# 地球と月と太陽の関係

月は地球の周りを回り、地球は太陽の周りを回っている。



太陽



地球

月

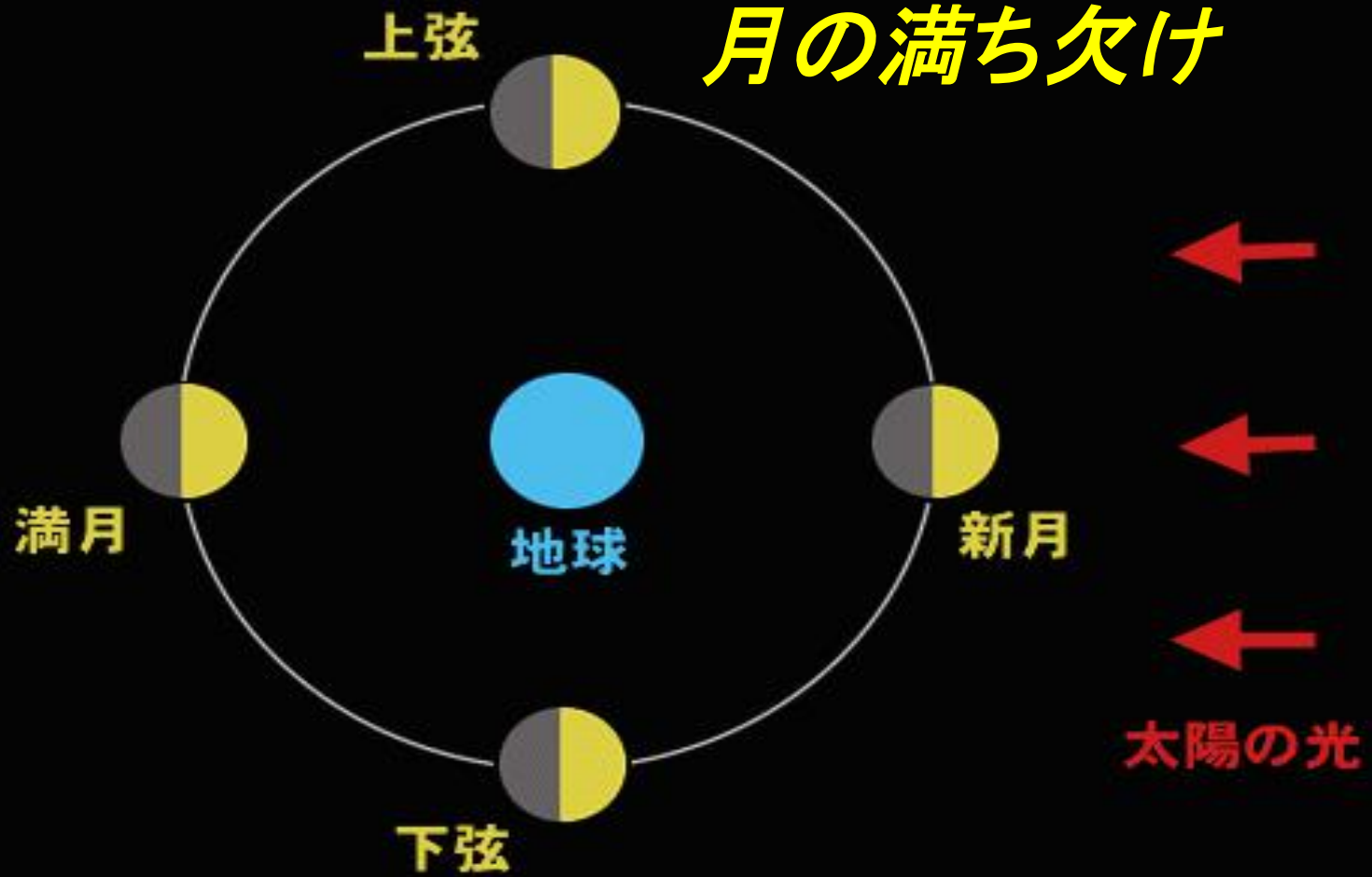


実際の距離は地球と月の距離の400倍



月が地球の周りを1周する間に地球は約27回転する。

# 月の満ち欠け



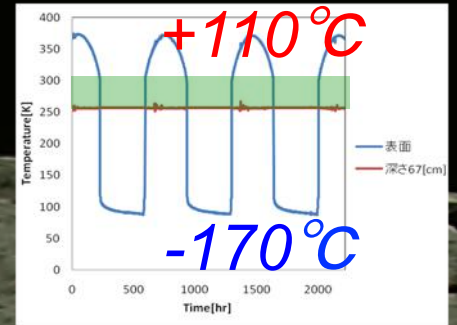
スーパームーン

# 月の環境

## 地球上の景色



- 地球と違い、空気も水も無い



- 温度は昼で+110°C、夜で-170°C (緑は地球上の温度)



- 重力は地球の1/6月面でスキップする飛行士達

© JAXA/NHK

# 月についての謎



- ・月は私たちに身近で、これまで最も良く調べられた天体です。
- ・でもまだたくさんの謎が残っています。
- ・どのような謎があるのでしょうか？

# 月の最大の謎: 起源一どのようにして生まれたのでしょうか?

まず、太陽や地球が生まれたころの様子(46億年位前)を見てみよう。



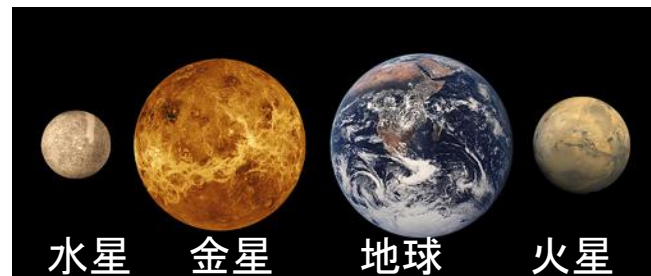
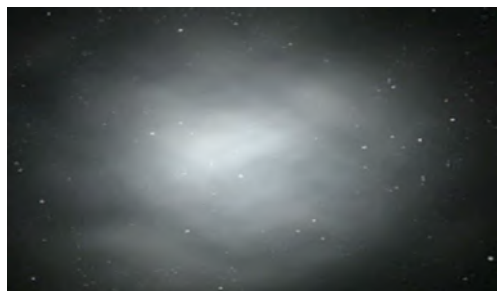
分子の雲  
(星のゆりかご)



集まって原始太陽と小さな惑星



小さな惑星が集まって大きな惑星





- ・アポロの宇宙飛行士が持ち帰った月の石から、地球が生まれたころ月も生まれたことが分かった。
- ・では、月はどのようにして生まれたのだろうか？



最も有力だが本当だろうか？



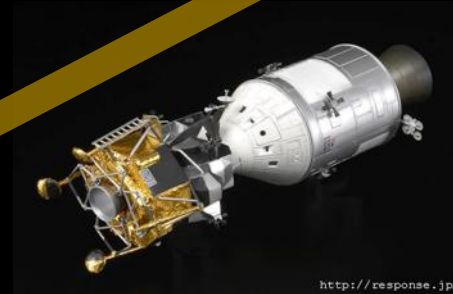
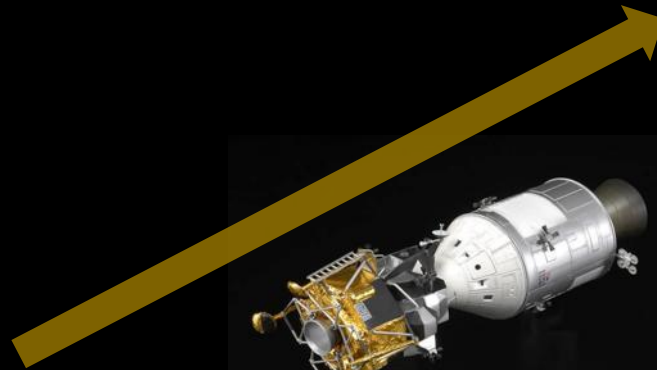
原始地球に火星くらい  
の大きな天体が  
衝突？



## 2. 月の探査

ちょうど50年前に人類は月に着陸・・・アメリカのアポロ計画

# 月へ行くには？



<http://response.jp/>

地球から月へは探査機で5～6日

# 月の探査(アメリカとソビエトの一番乗り競争)

1959年 月探査機が初めて月に到達(衝突)(ソビエト)

1961年 アメリカのケネディ大統領が10年以内に月に人を送ると宣言

1966年 月探査機が月に軟着陸(ソビエト)

1969年 人類が初めて月に着陸(アメリカ)

1972年 アメリカの有人月探査計画は終了



アメリカ ケネディ大統領 ソビエト フルシチョフ首相



アメリカ・ソビエトの国威発揚競争であったが、月についても色々なことがわかった。



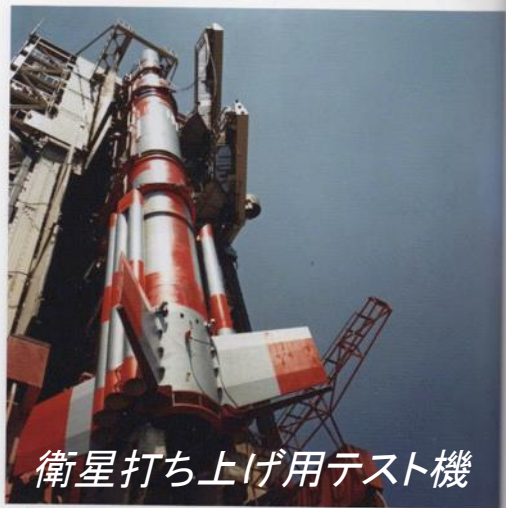
## 有人探査時代にわかったこと



- ・月のクレーターは火山ではなく、小さな天体の衝突でできた。
- ・月の海は火山活動でできた。
- ・昔マグマ(溶けた岩)の海があった。
- ・昔磁場があった。
- ・月の内部にコアと呼ばれる重い部分がある
- ・表と裏の地形が大きく違う(表は海、裏は高地が多い)



# その当時の日本の宇宙開発



ランチャにセットされたM-3D-1



浦内 ロケット、発射直前に暴発

二段目だけ飛び出す  
推進剤もれ発火

もし町に落ちたら  
全員消防団決死の消火



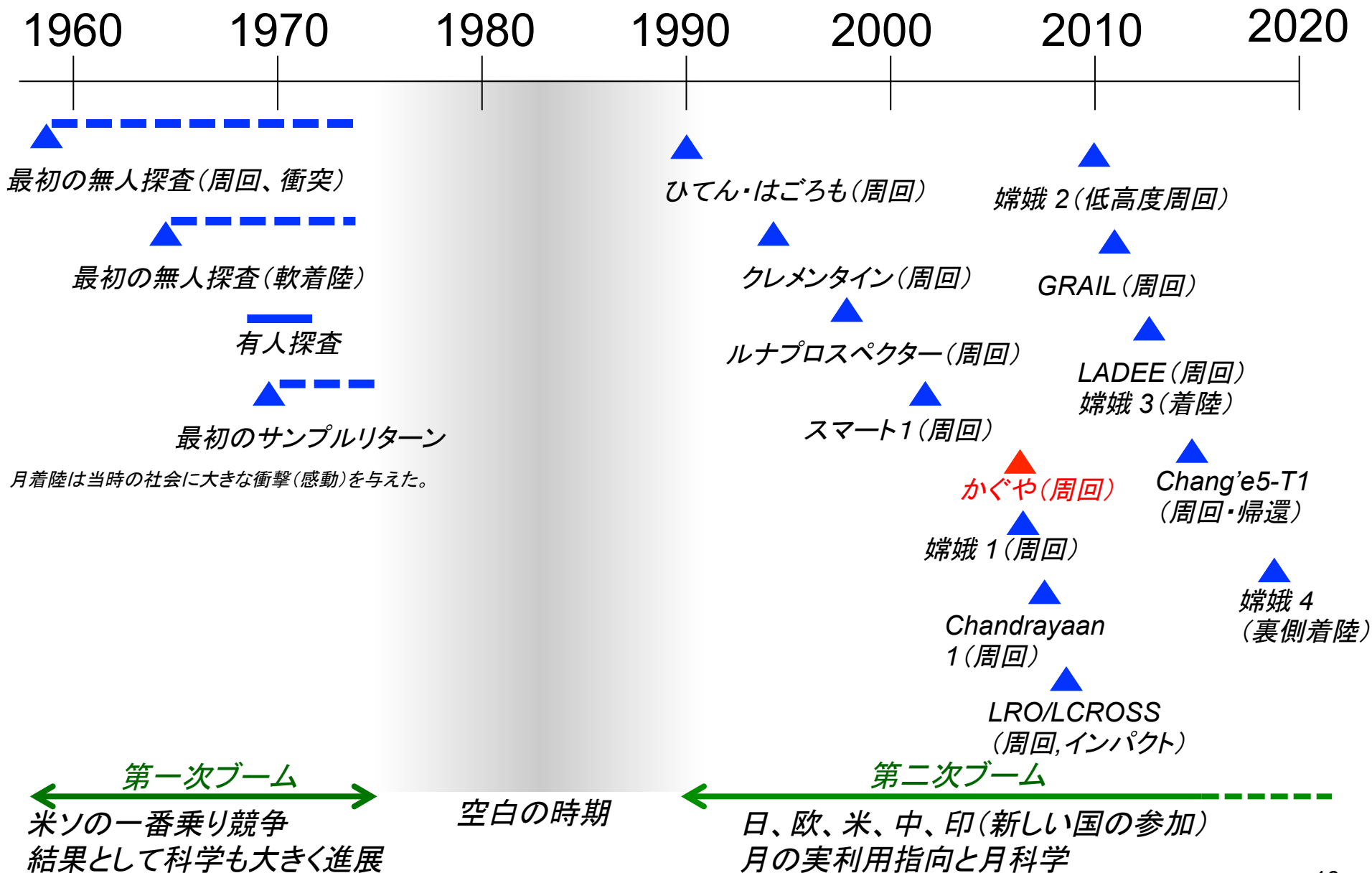
1969年衛星打ち上げに取り組む。 同年打ち上げ失敗もあった。

1970年日本で初めての衛星打ち上げ、5回目に成功(24kg)



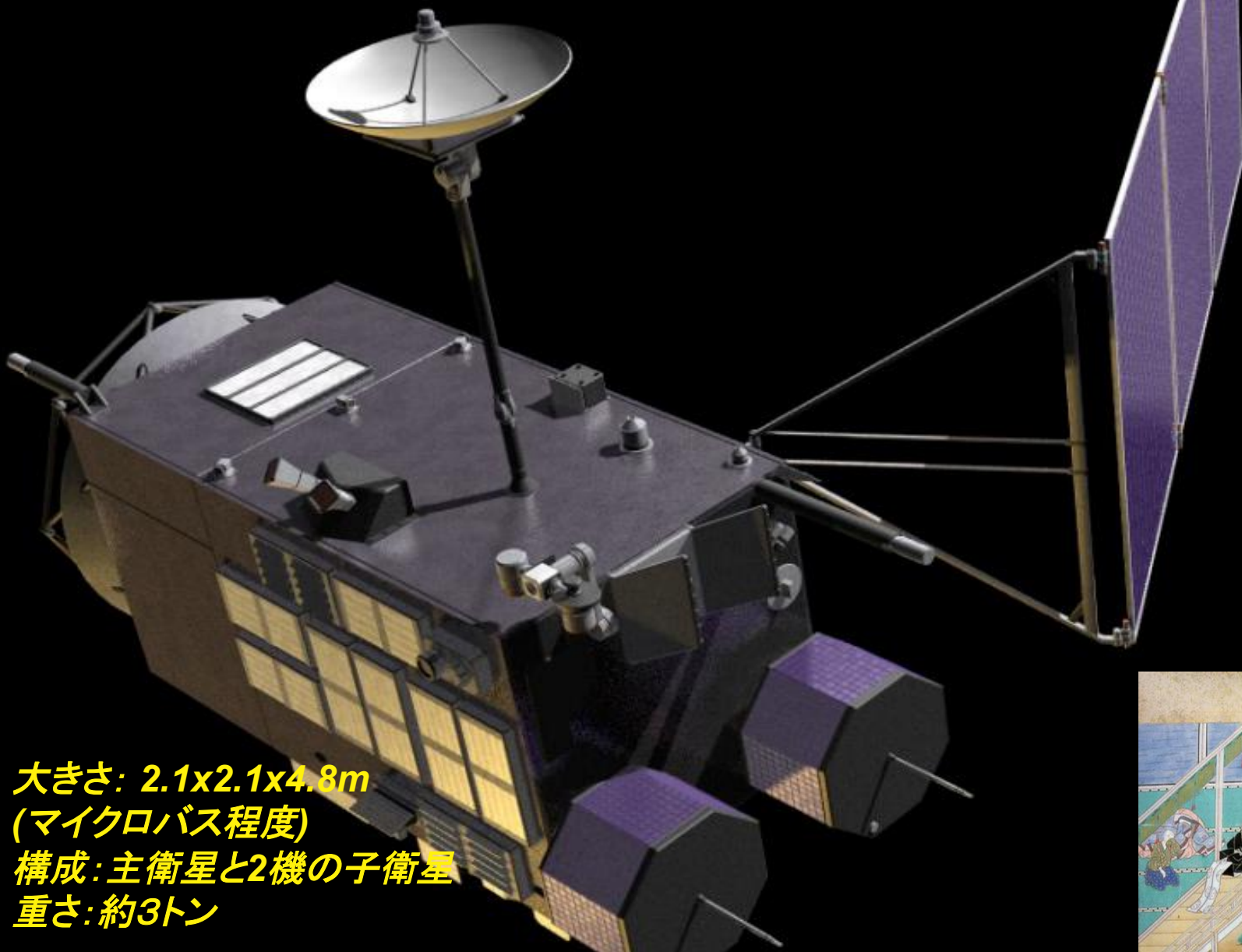
# 3. アポロ計画後の大型月 探査・・・日本の“かぐや”

# アポロのあとの月探査





# 月探査機“かぐや”



大きさ: 2.1x2.1x4.8m

(マイクロバス程度)

構成: 主衛星と2機の子衛星

重さ: 約3トン

たけとり物語



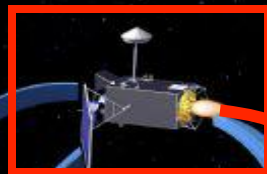


打ち上げ

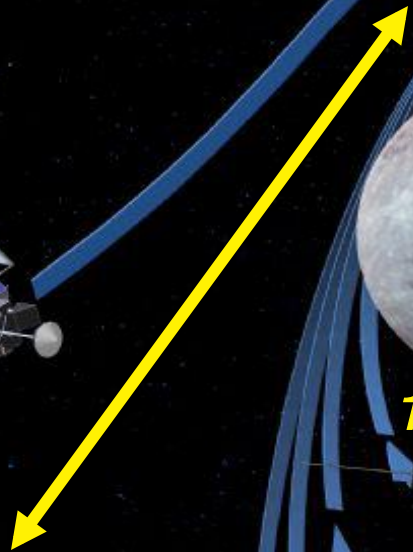


2007年9月14日

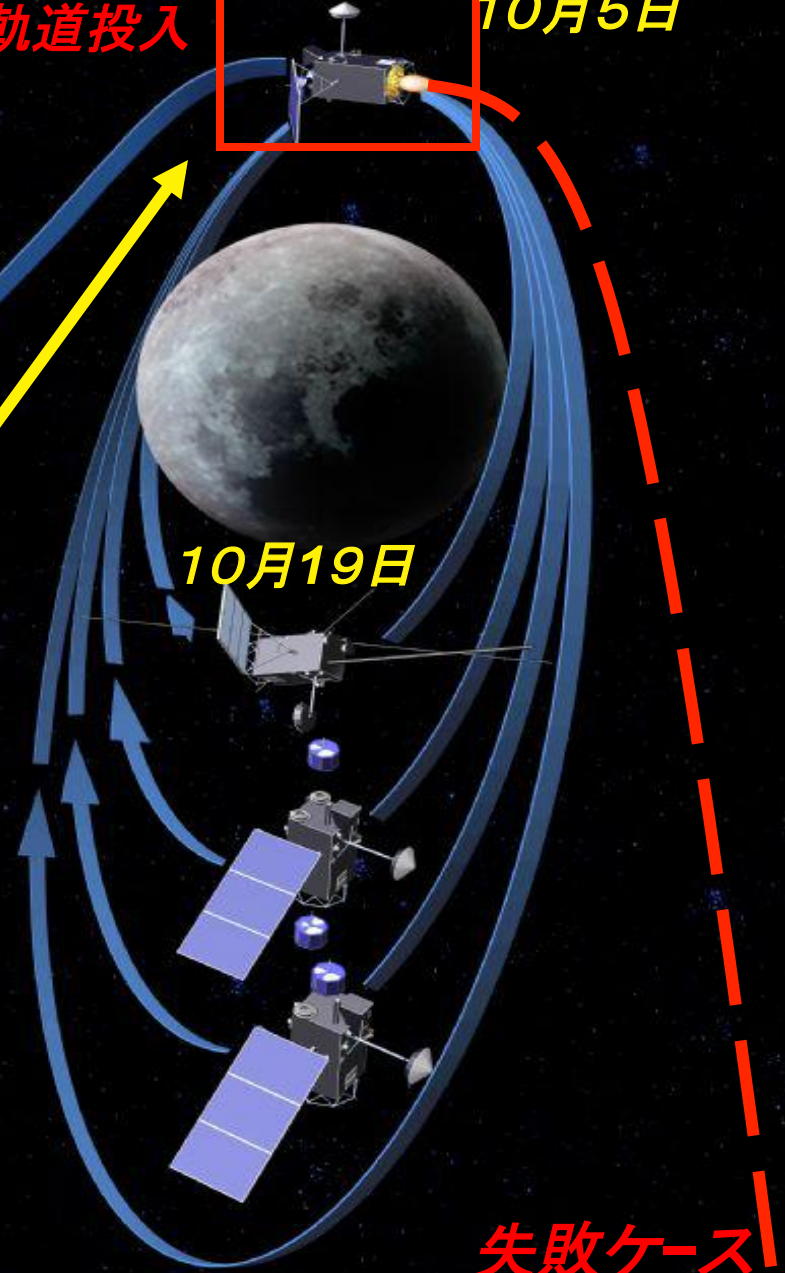
軌道投入



10月5日



10月19日

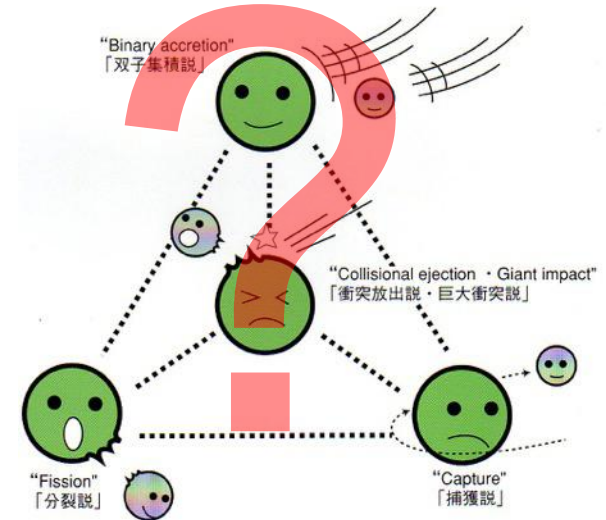


最も緊張した20分：月軌道投入

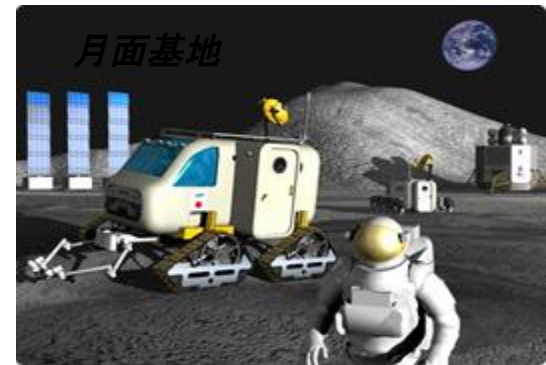
失敗ケース

# “かぐや”の目標

1. アポロ後も未だ謎の多い月の起源と進化を明らかにする。
2. 今後の月探査・開発のための技術の習得(月軌道投入、周回軌道運用、制御落下)。
3. 将来、人類が月で活動したり、月を開発利用するための調査(月のどこに基地を作るかなど)。

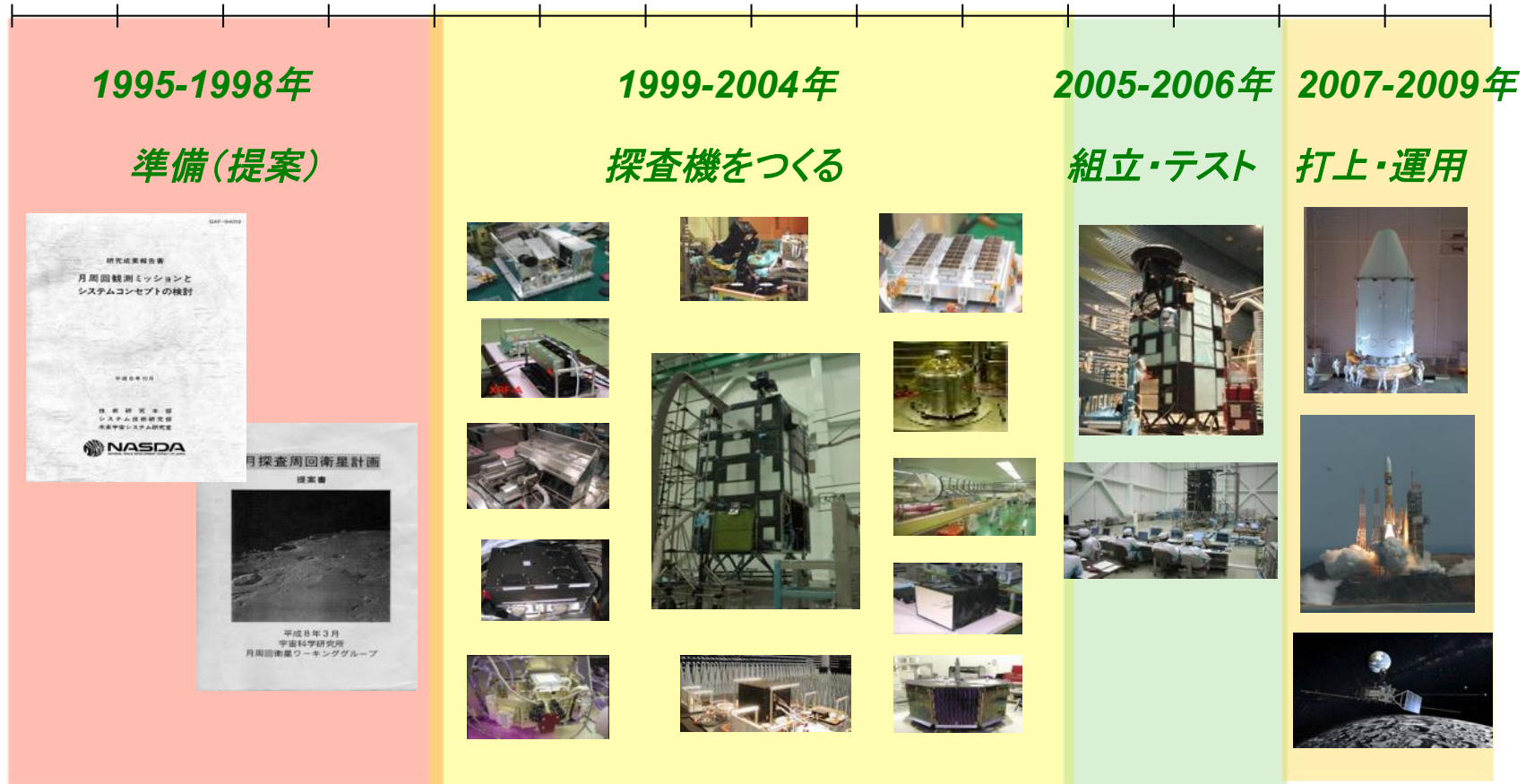


起源という基本的な問題がまだ謎



将来の月面活動のための調査

# “かぐや”のあゆみ:はじめから終わりまで14年もかかった!



国際的な月探査の競争があった。



- 2007年9月打ち上げ  
かぐや(日本)(2885kg) ▲
- 10月打ち上げ  
嫦娥1号(中国)(2350kg) ▲
- 2008年4月打ち上げ  
チャンドラヤーン1号(インド)(1050kg) ▲
- 2009年6月打ち上げ  
LRO(アメリカ)(1000kg) ▲

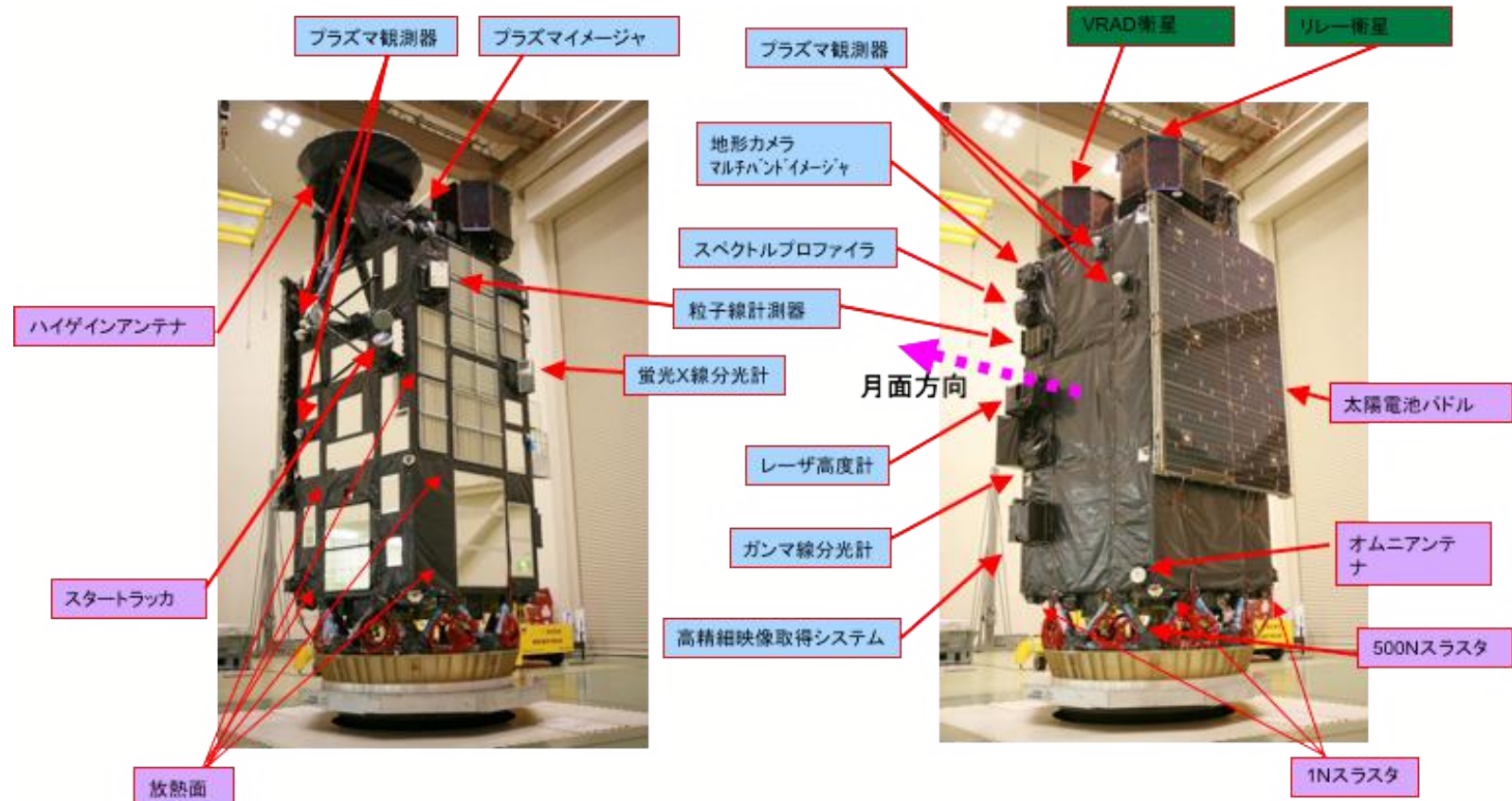
# 搭載観測機器

表面の物質の組成を調べる機器・・・4台  
表面の地形と地下の構造を調べる機器・・・3台  
重力場を調べる機器・・・2台  
環境を調べる機器・・・5台(1台は重力場用機器と同じ機器)  
広報用機器(ハイビジョンカメラ)・・・1台

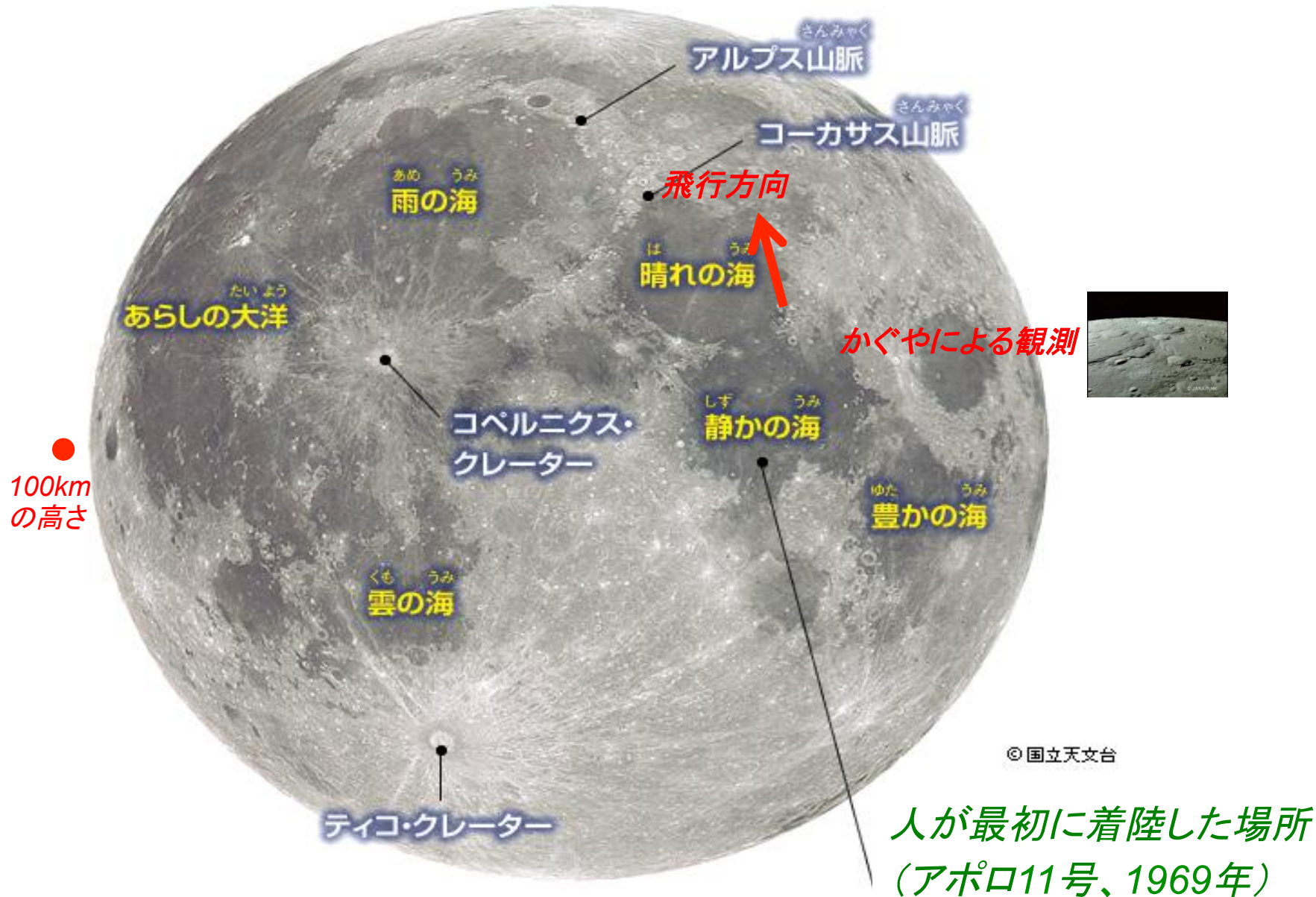
観測機器の開発と運用には200名程度の大学、研究機関の研究者が参加



お祭りミッションと呼ばれた  
(良い意味でも悪い意味でも)

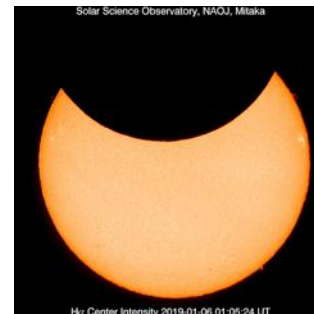
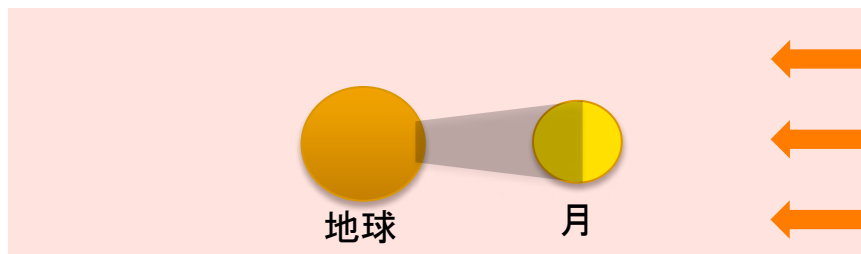


# 高さ100kmからの月面の観測 かんそく



# 月でも日食が見られました。なぜでしょう？

## 地球で見られる日食

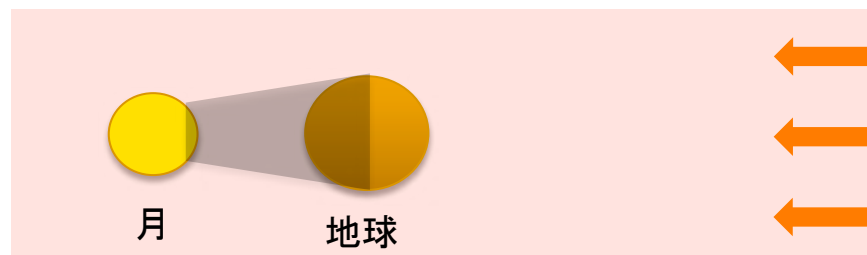


今年1月6日の部分日食



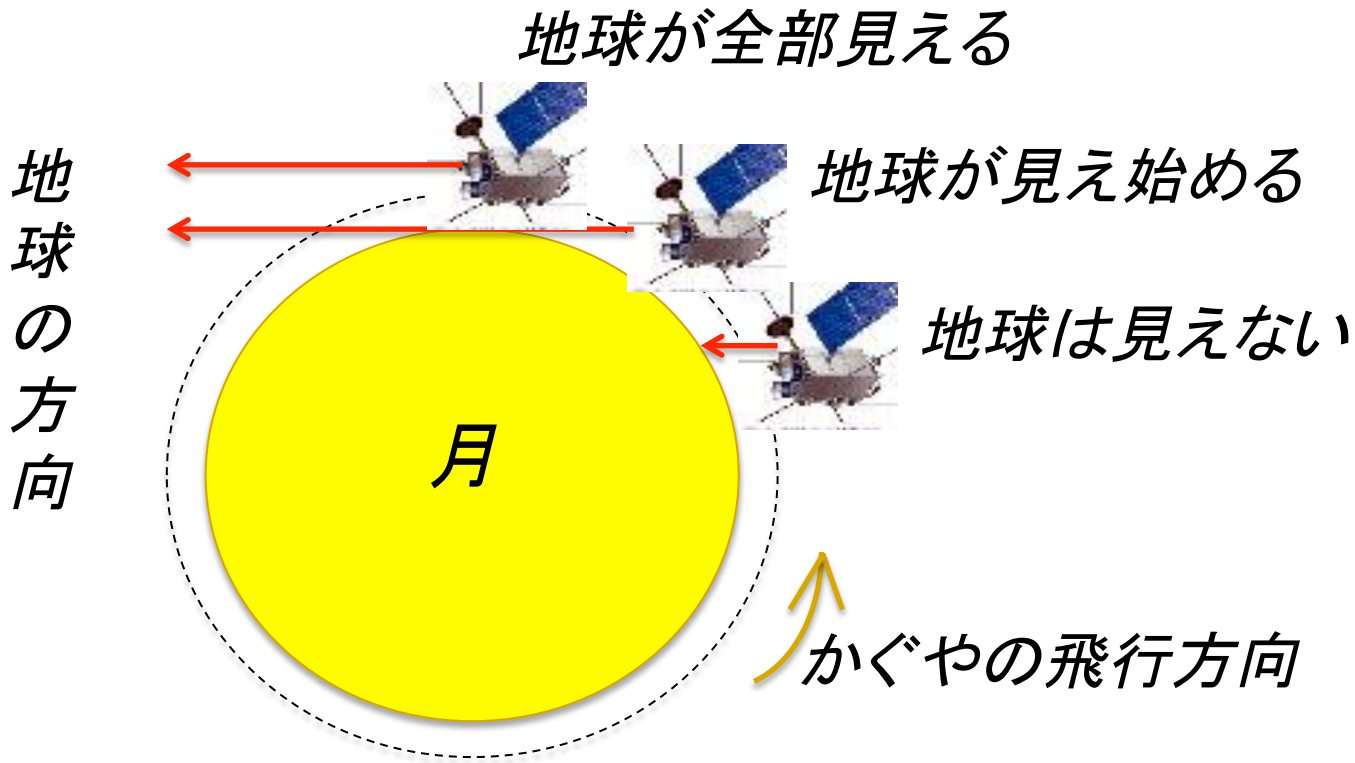
皆既日食

## 月で「かぐや」が見た日食



かぐやが月から見た皆既日食

# 月で地球の出がみられました。なぜ？



満地球の出





# 月はどのように生まれた？ の謎について、どれだけわかったでしょう？

**主な4つの考え**

			
地球と月はふたごで生まれた？	地球からわかれて出て行った？	地球がよそから来た天体をつかまえた??	地球がよそから来た天体とぶっつかった？

おこりやすい？

マグマの海？

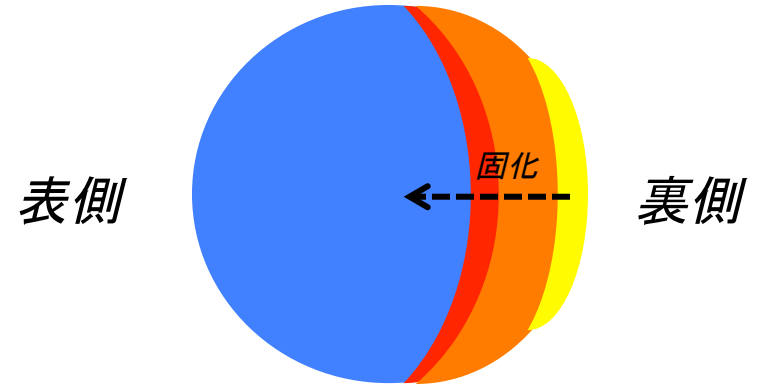
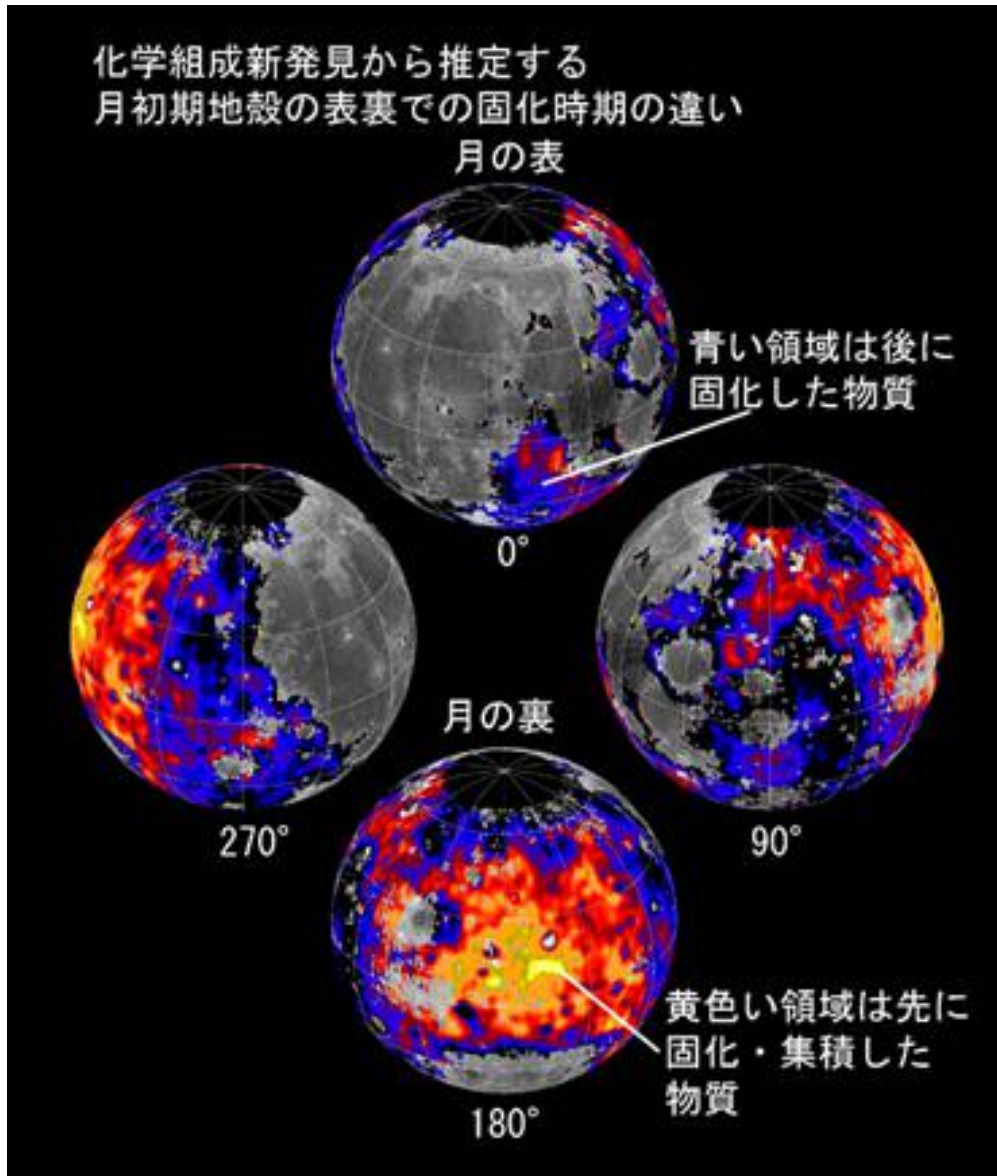
物質がにている？

中心の重い部分？



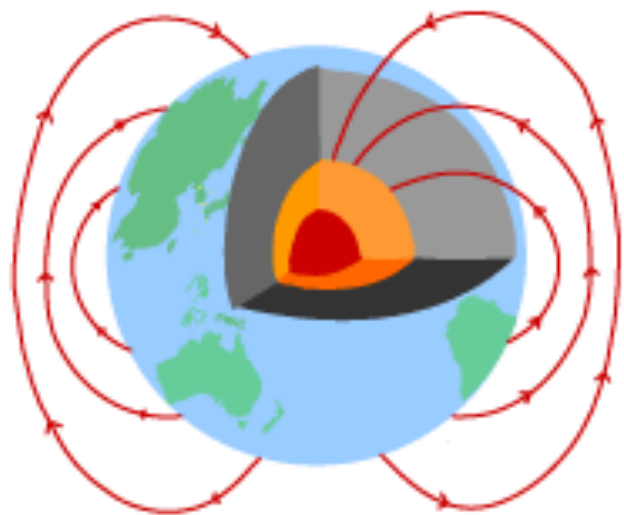
未だ結論は出ていない

# 月の表面がどのようにできたかが分かった



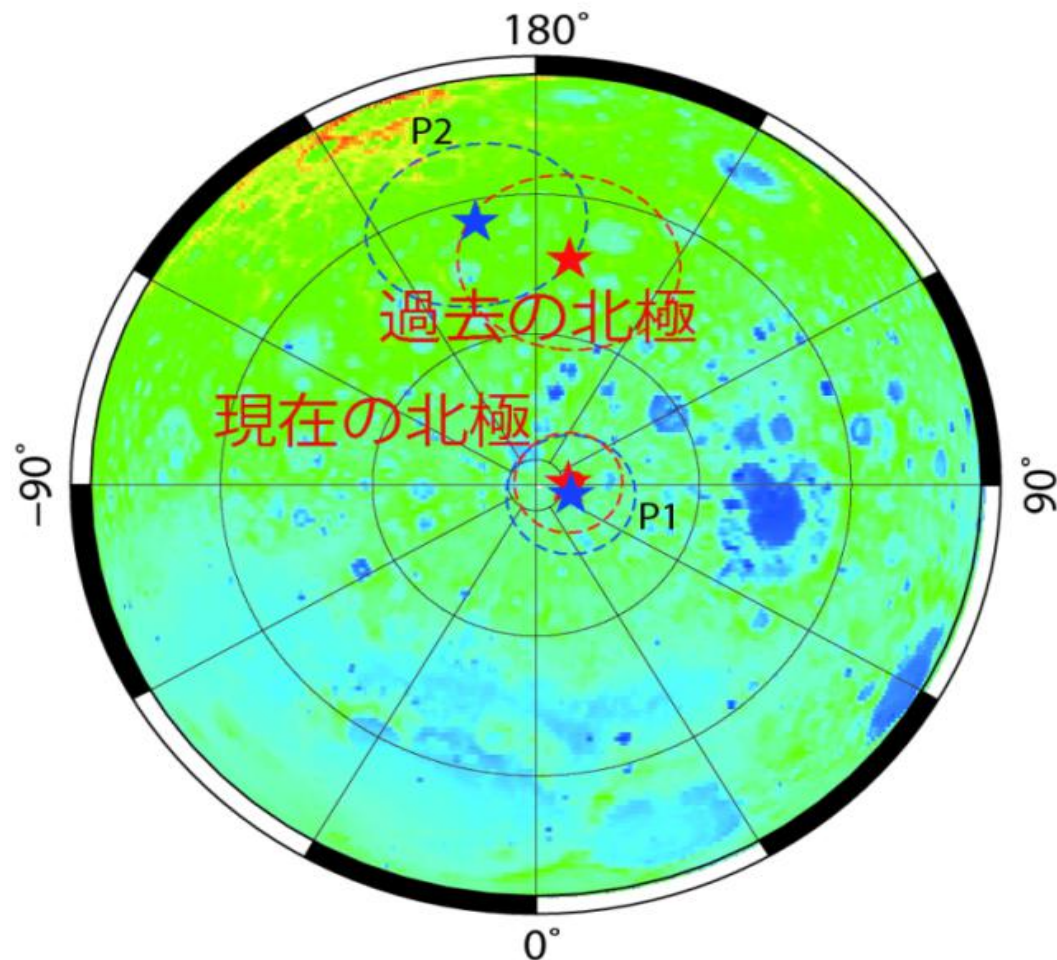
月は最初は全て溶けており、その後月の裏側の中央部分が最初に固まり、その後月の表側が徐々にかたまって硬い表面ができた。

# 月ができたころは地球と同じように磁場があった



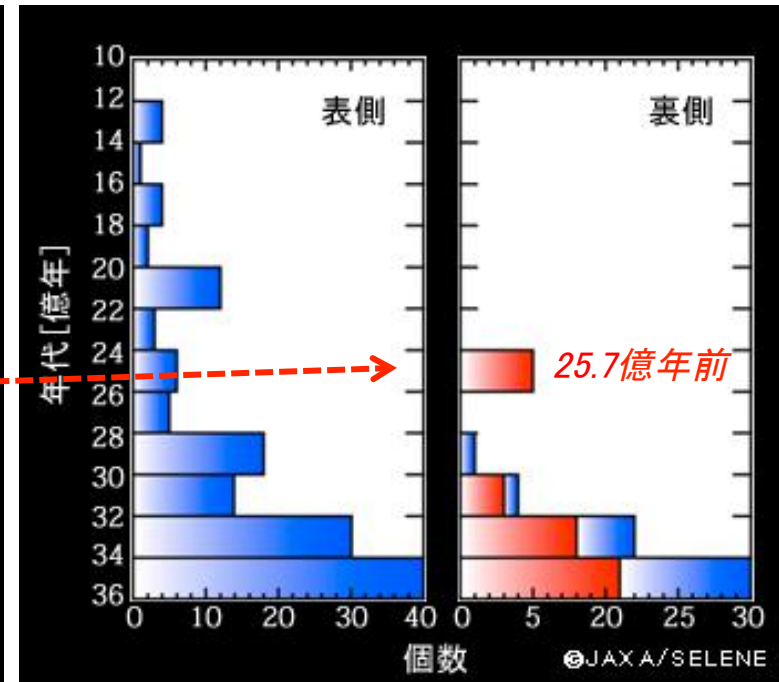
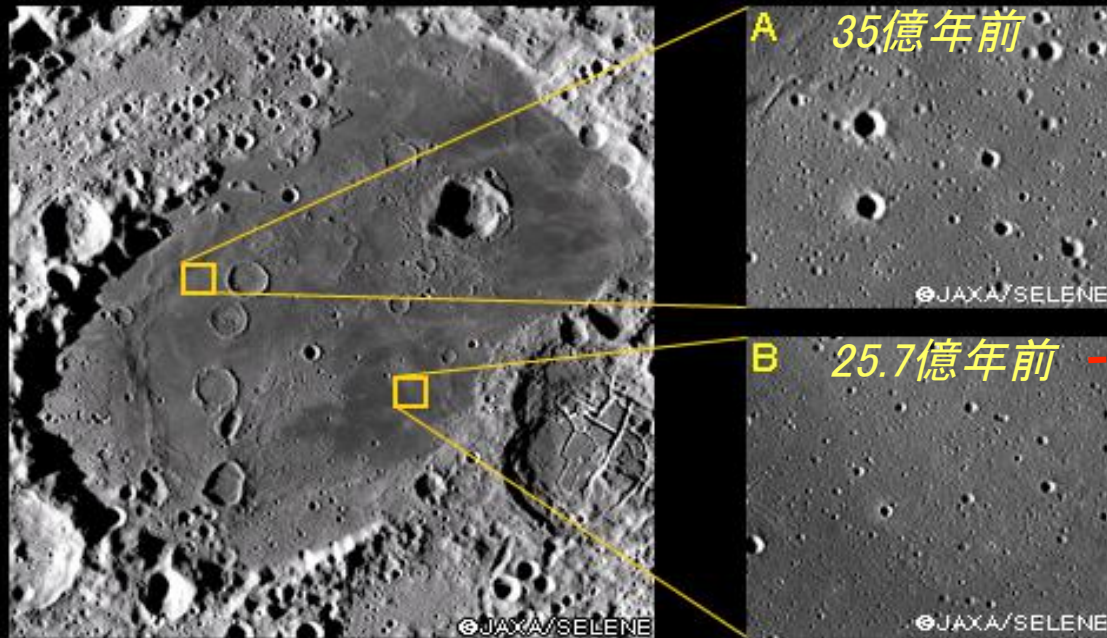
地球の大規模磁場(国土地理院ホームページ)

現在月には地球のような磁場はない。地球の磁気の1/100,000というとても弱い磁場の計測が可能な高性能磁力計により、過去には月にも磁場があったことがわかった。昔は月の内部は広く溶けていたことがわかった。



現在の月の北極と過去の北極  
(青い星印が「かぐや」のデータにり分かった過去の北極)

# クレータの分布から月面の年代が詳しくわかった



クレータの数を詳しく調べた結果、月では以前考えられたよりも10億年あとまで火山活動があったことがわかった。

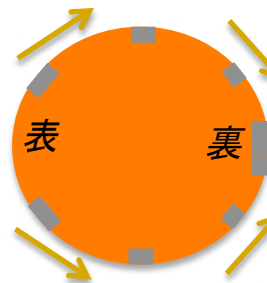
# 月はどのように進化した？ の謎について、どれだけわかったでしょう？

岩石が溶けた跡が月全体に見られたので、生まれたときには温度が高く月全体が溶けた時代があったようだ。

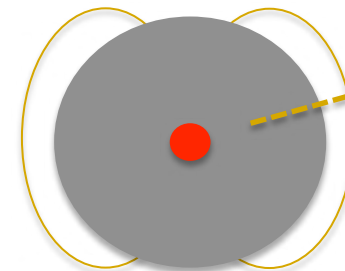
その後、少し冷えて固まった部分が流氷のように裏側に集まって、裏側からかたい表面が作られた。

生まれた後しばらくは、中心付近に溶けた金属のような場所があり、地球と同じような磁場があった。

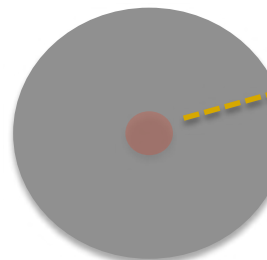
いまでも中心付近で溶けてやわらかい部分が少しある。



固まった  
かたい部分



溶けてい  
る部分



少しだけ溶  
けている部  
分

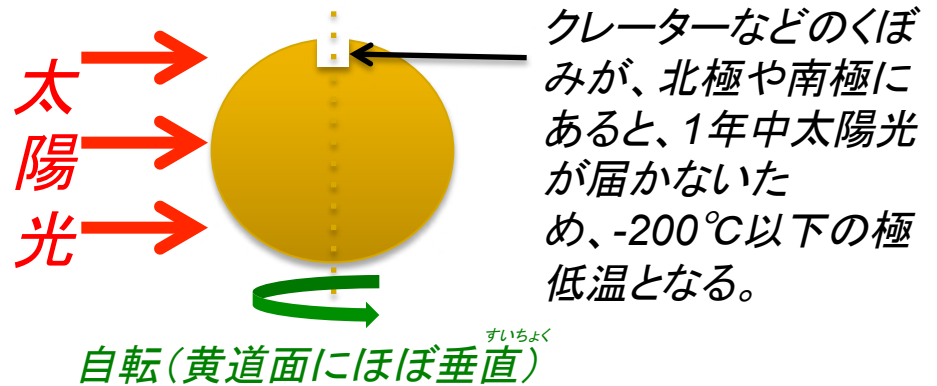
# 火星ではクレーターの底に氷が発見されています。月では？

## 火星の場合



火星の高緯度のクレーター(直径35km、深さ2km)で観測された氷。2005年ヨーロッパのマーズ・エクスプレスという探査機により発見。月では？

## 月の場合



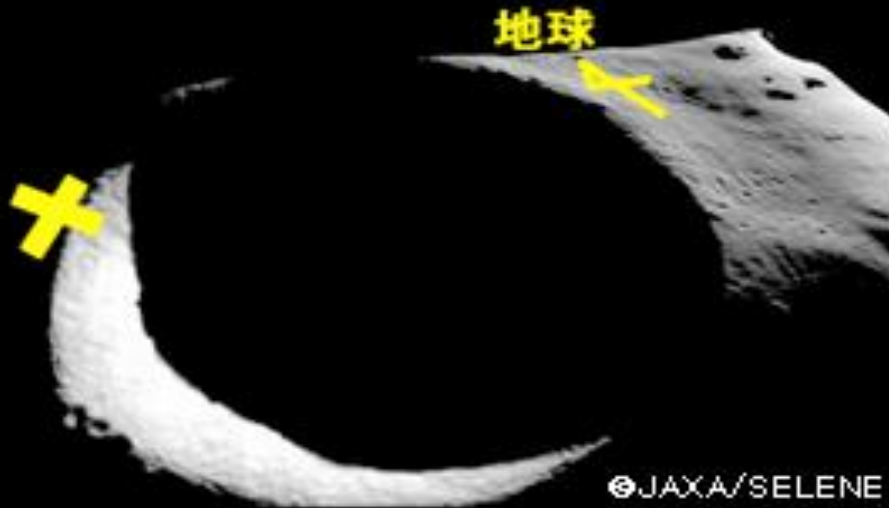
水を含んだ彗星や隕石が衝突すると水が氷として付着。



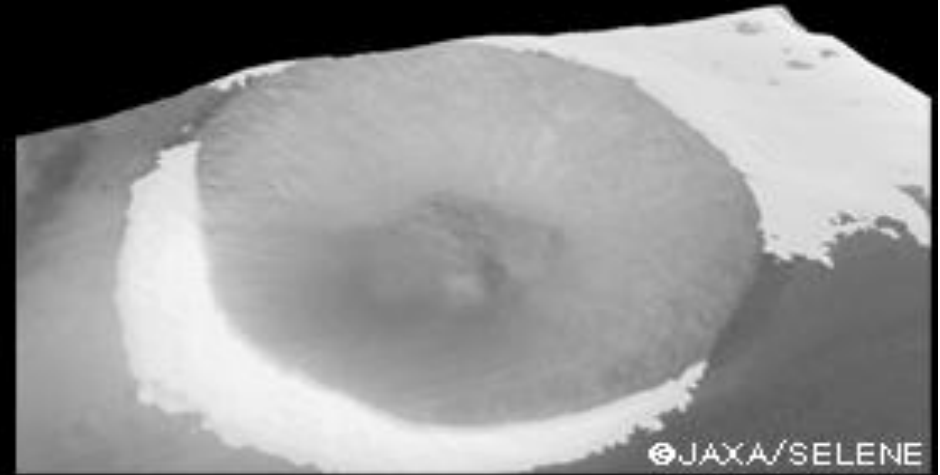
冷凍庫の例

# “月に氷があるのでは？”に答え

これまでの観測

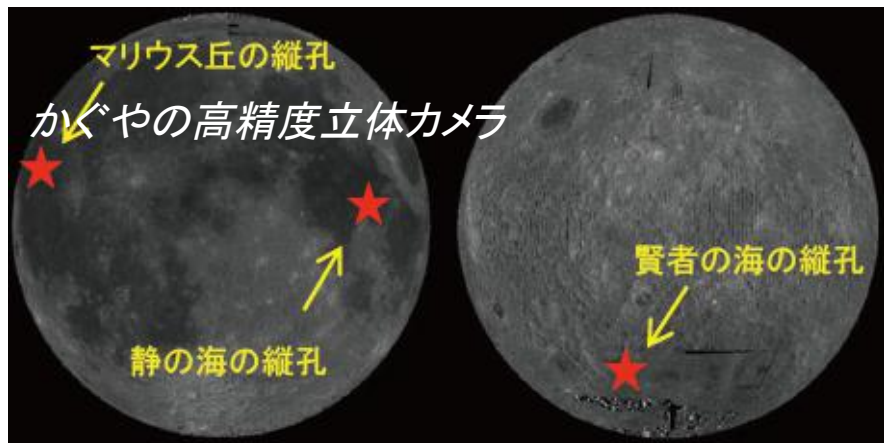


高性能地形カメラによる観測

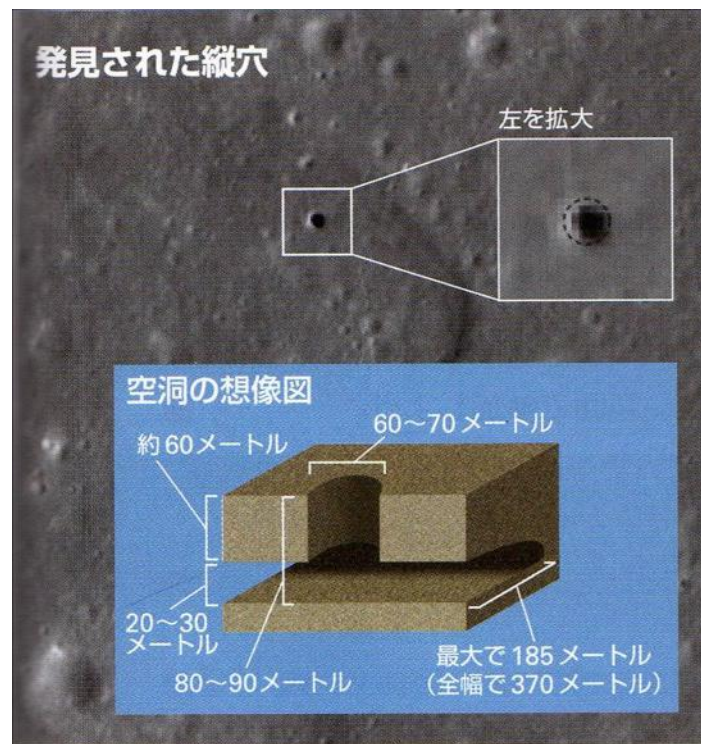
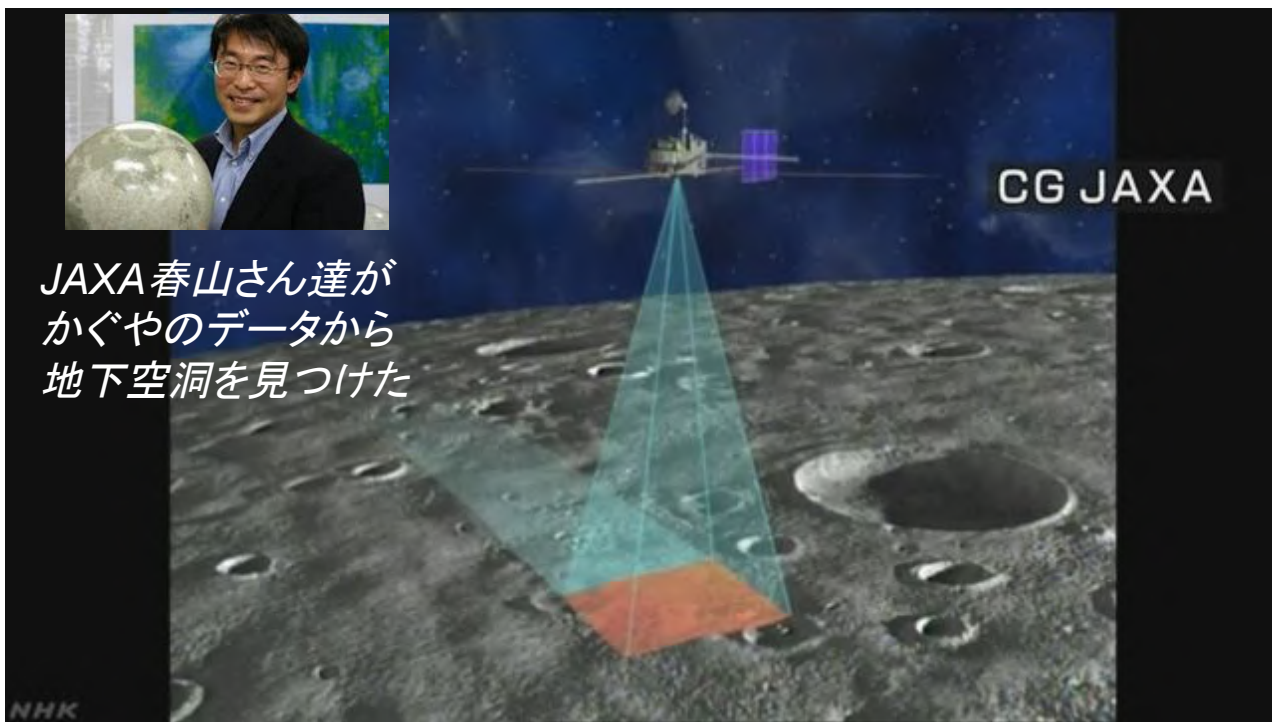


氷があるかもしれないと期待されていた南極付近のシャクルトンクレータ  
地形カメラが映し出したクレータの内部には、**氷のかたまりはないこと  
が分かった**。その後の探査で、現在では、氷は存在するが土と混ざっ  
ていたり、表面の砂に隠れてしまっていると、考えられている。

# 月に縦穴と巨大な地下空洞があることを発見

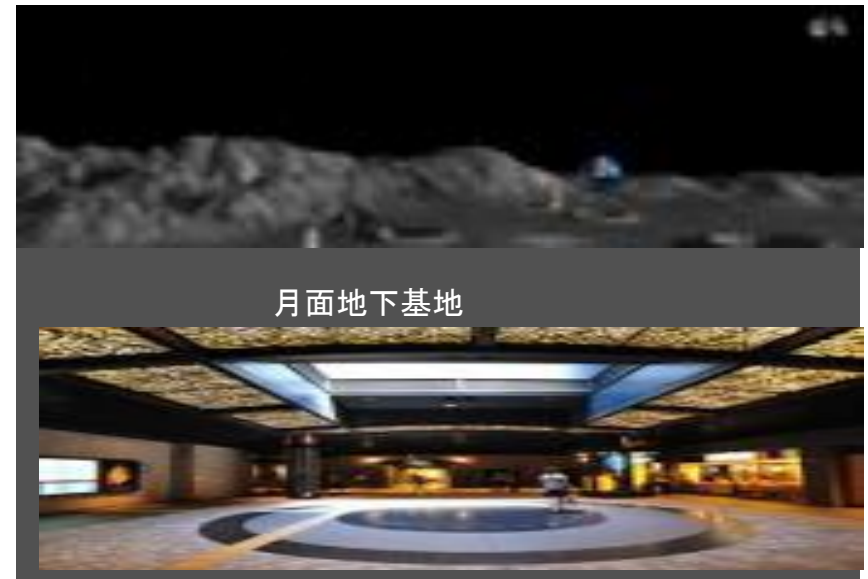


月面最大の火山地帯「マリウス丘」に巨大な地下空洞が見つかった。溶岩が流れたあとと思われる。



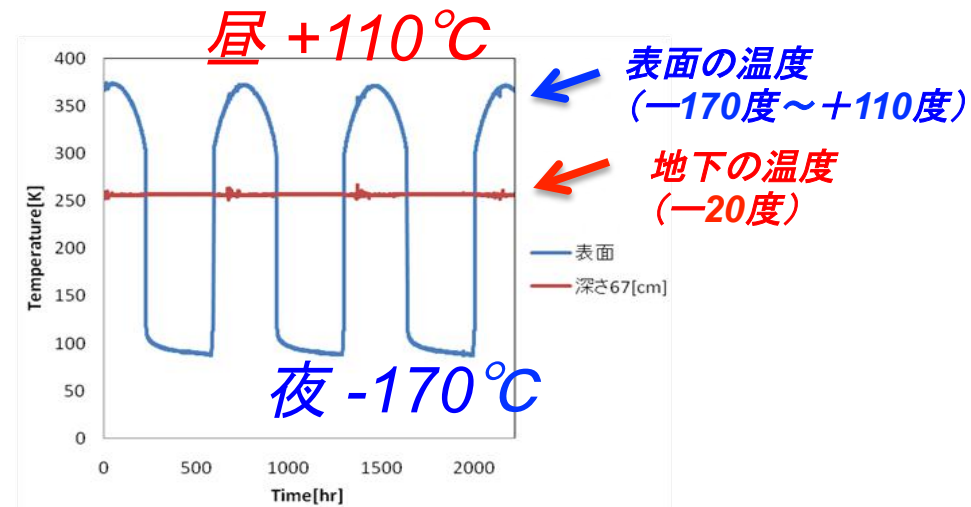


# 地下空洞は月面の地下基地として有望



月面地下都市の想像図

幅およそ100メートル、高さ数十メートル、全長はおよそ50キロ。都心から江の島までが地下空洞でつながっているイメージ。月面都市に使えそう。

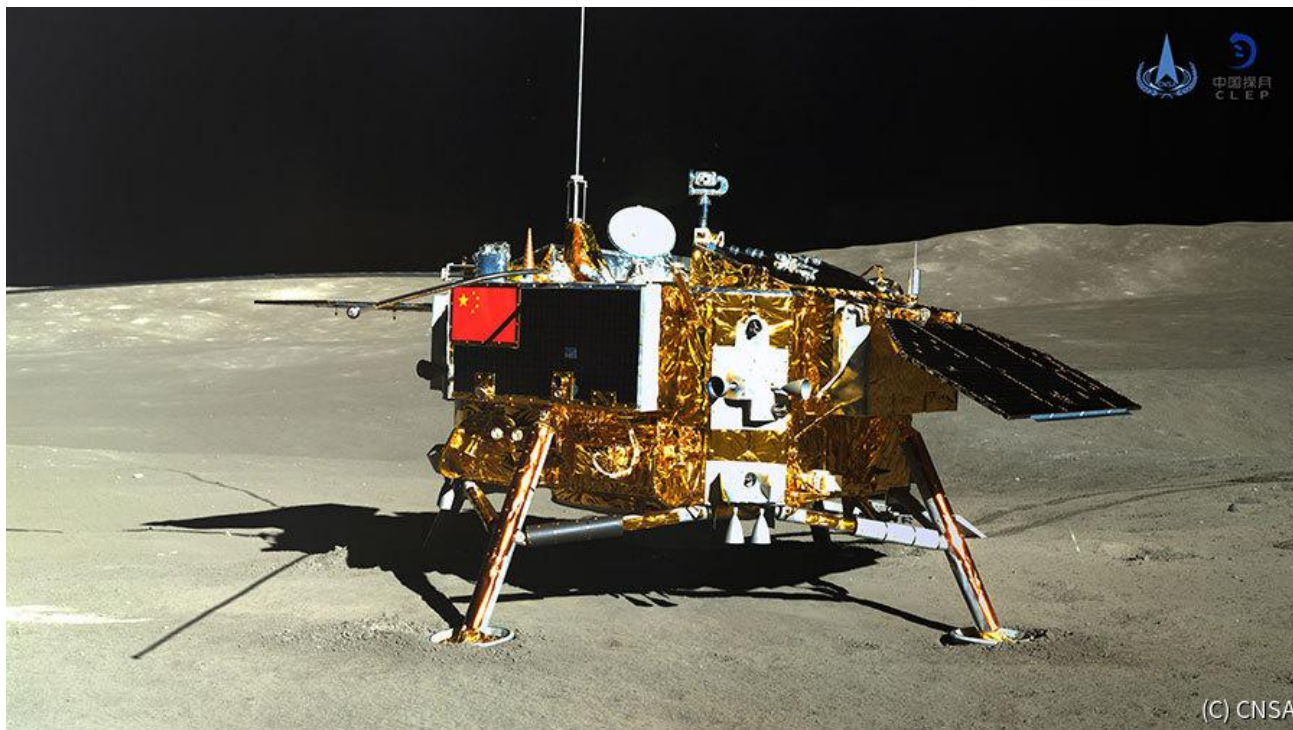




## 4. 再び月へ・・・世界の競争と協力で

- ・目覚ましい中国の月探査
- ・日本の月着陸計画—SLIM
- ・米国の深宇宙ゲートウェイ構想
- ・ふたたび始まる月への人類の訪問

# 中国の探査機 嫦娥4号



嫦娥4号は北京時間1月3日に月面裏側のフォンカルマンクレーターに着陸

月探査の動向などを公式に伝える「中国探月工程」の微信(ウィーチャット)から

月面に降りた探査車「玉兔(ぎよくと)2号」(140kg)。



ユーチューブ

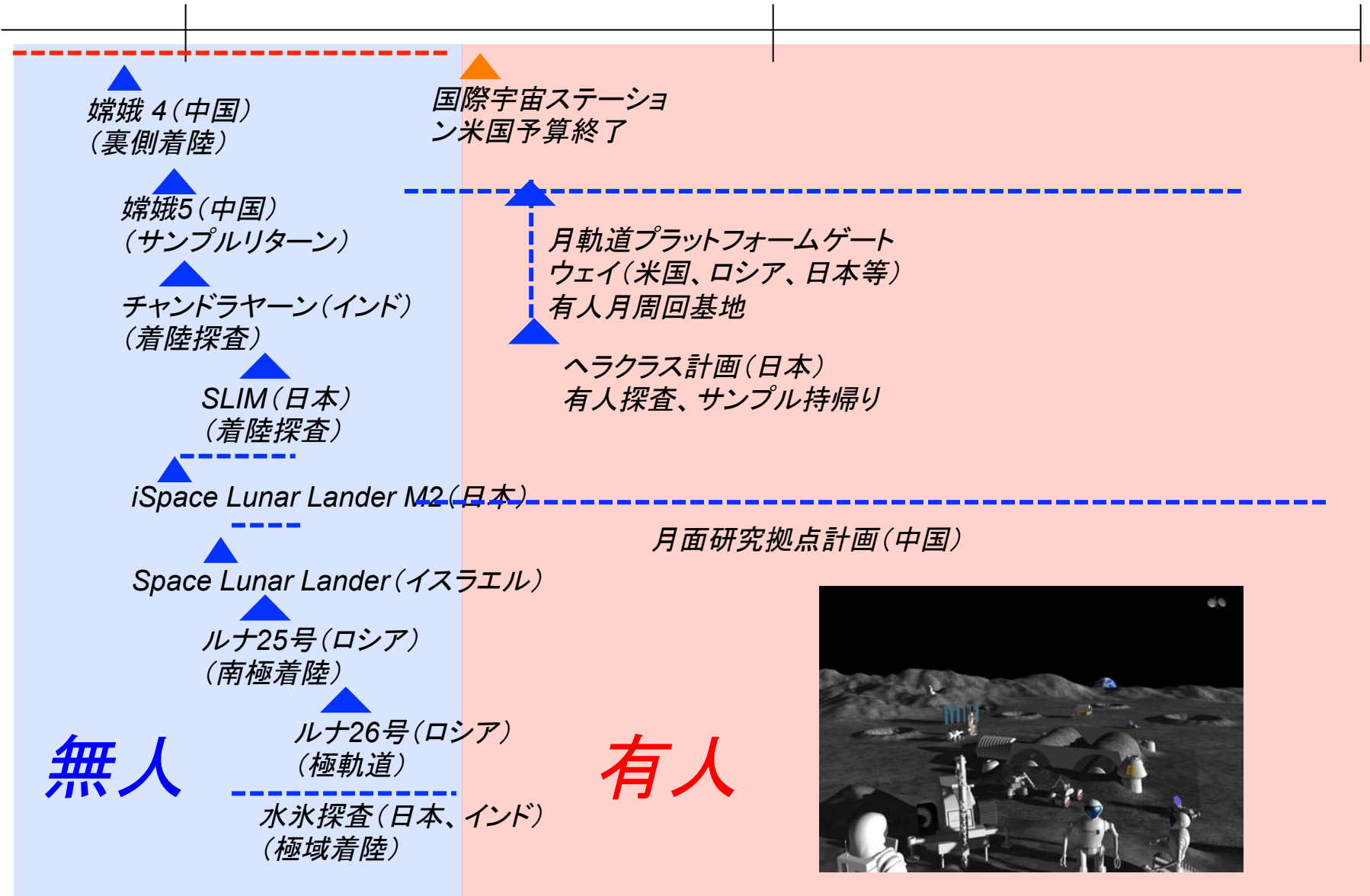
<https://www.youtube.com/watch?v=SCXMKgbSN0s>

# 今後の月探査・開発計画

2020

2030

2040

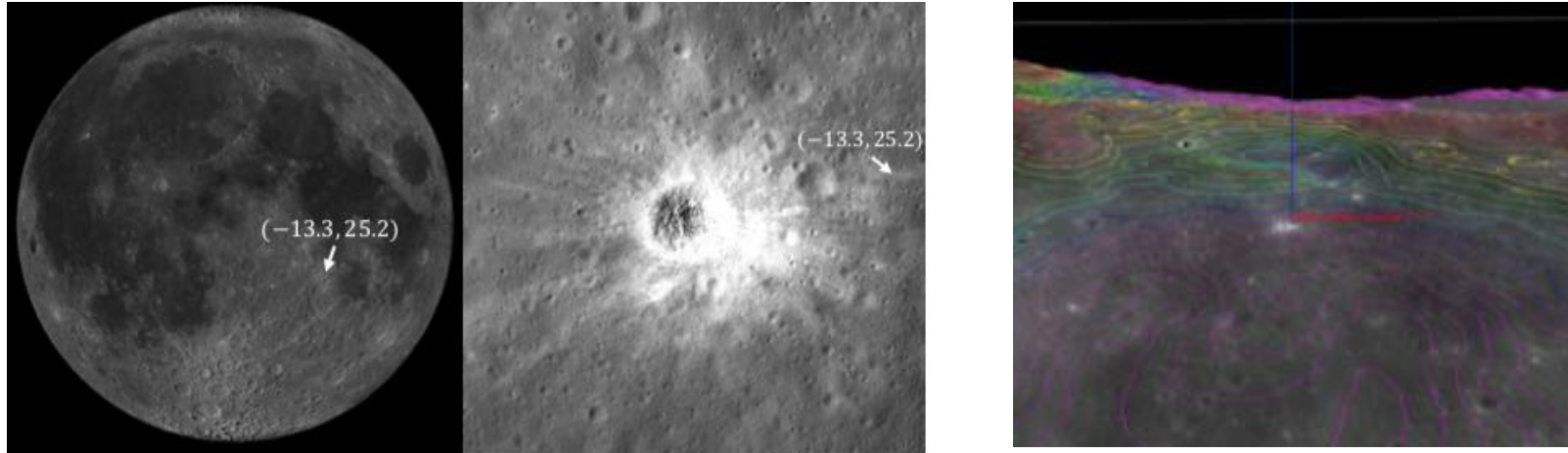


The image shows a small lunar lander, the SLIM, on the surface of the Moon. The lander is a cube-shaped vehicle with a gold-colored dome on top and blue solar panels on its sides. It is supported by four thin legs. The lunar surface is grey and rocky, with a large crater wall visible on the left. In the upper right corner, the Earth is visible as a blue and white sphere against the black background of space. The text is overlaid on the image in orange and yellow colors.

# JAXAの小型月着陸実証機計画 SLIM (打ち上げ目標は2021年度)

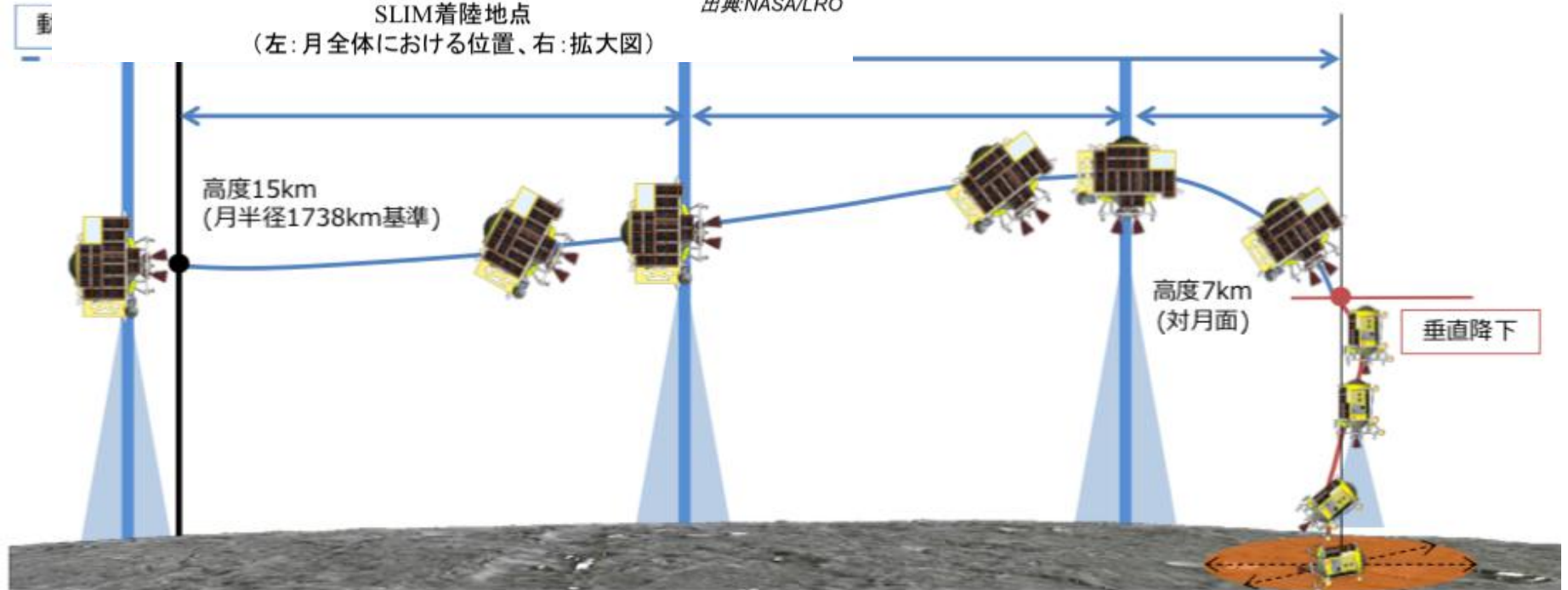
高精度着陸技術の実証  
軽量な月惑星探査機システム(約120kg)の実現

# SLIMの着陸予定地点と着陸運用



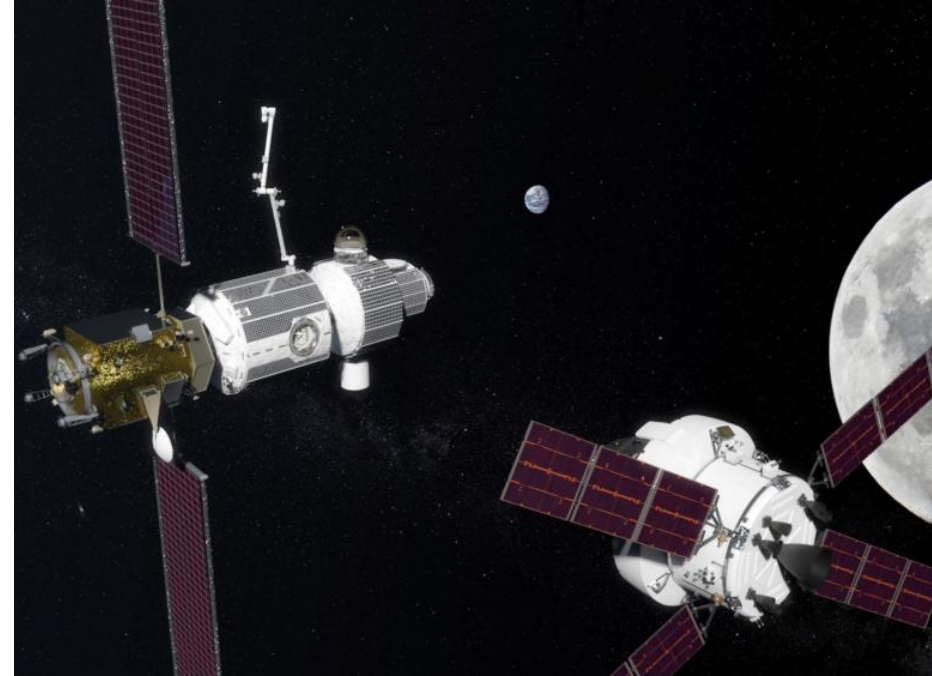
SLIM着陸地点  
(左: 月全体における位置、右: 拡大図)

出典: NASA/LRO



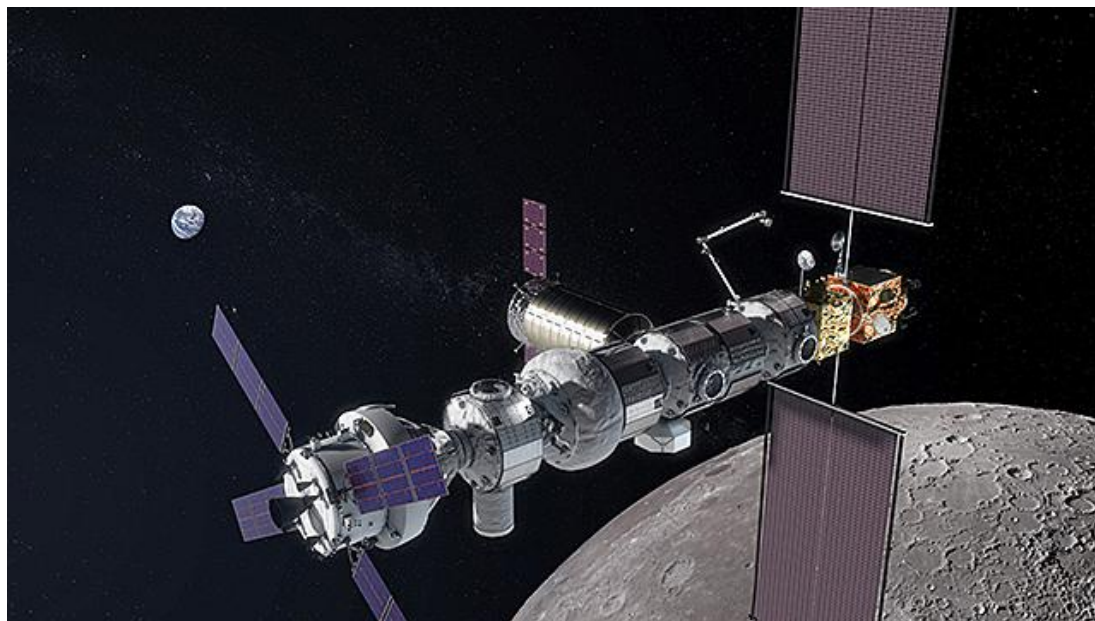
着陸シーケンス

# 月軌道プラットフォームゲートウェイ(LOP-G)

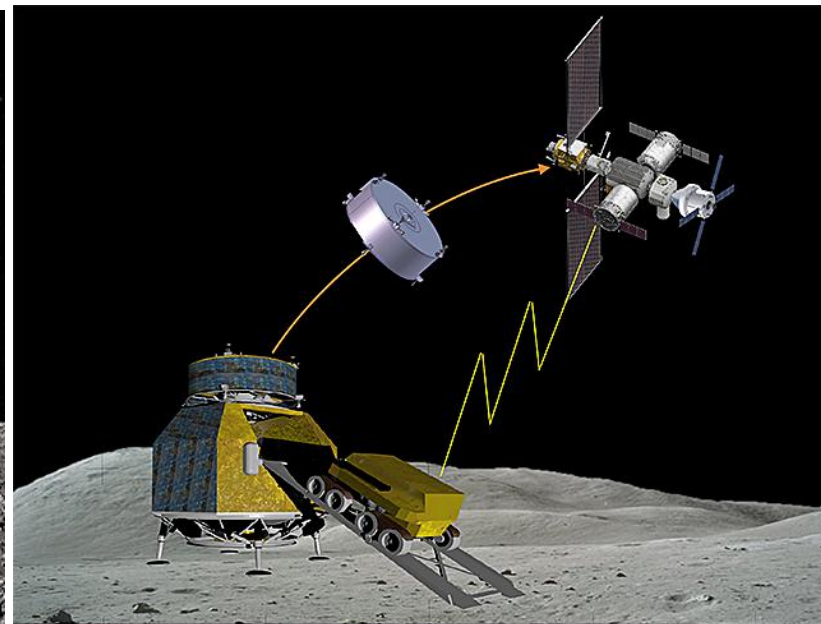


アメリカが計画している月上空の宇宙基地構想のイメージ。左側の宇宙ステーションに、右側の宇宙船がドッキングしようとしている。ロシア、欧州宇宙機関(ESA)、日本などが参加を検討している。

# 日本のゲートウェイ計画への参加



ゲートウェイのイメージ図



ヘラクレスのイメージ図

JAXAではゲートウェイ構想を利用して、月面に着陸し数十kmにわたる広域調査を行い、15kg程度の試料を地球に持ち帰るという「ヘラクレス計画」検討している。

引用: ファンファンJAXA



## 5. 将来の夢



- ・月での生存圏構築へのステップ
- ・月面観光
- ・月面都市
- ・月面オリンピック
- ・月面農場
- ・月面発電所



Dr. Gerard O' Neill

## 宇宙への生存圏の拡大

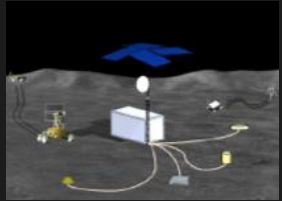


大林辰蔵先生

人類の歴史を見ると、アフリカに発生してアジア、ヨーロッパ、アメリカ大陸へと常に生存圏を広げ続けてきた。今後は地球を出て宇宙にも生存圏を広げていくであろう。

宇宙空間への拡大：まずは月、その後、軌道上植民地、火星など他惑星へ

# 月での生存圏構築へのステップ



無人探査サービス  
ステーション



短期滞在型有人拠点



常時滞在型有人拠点



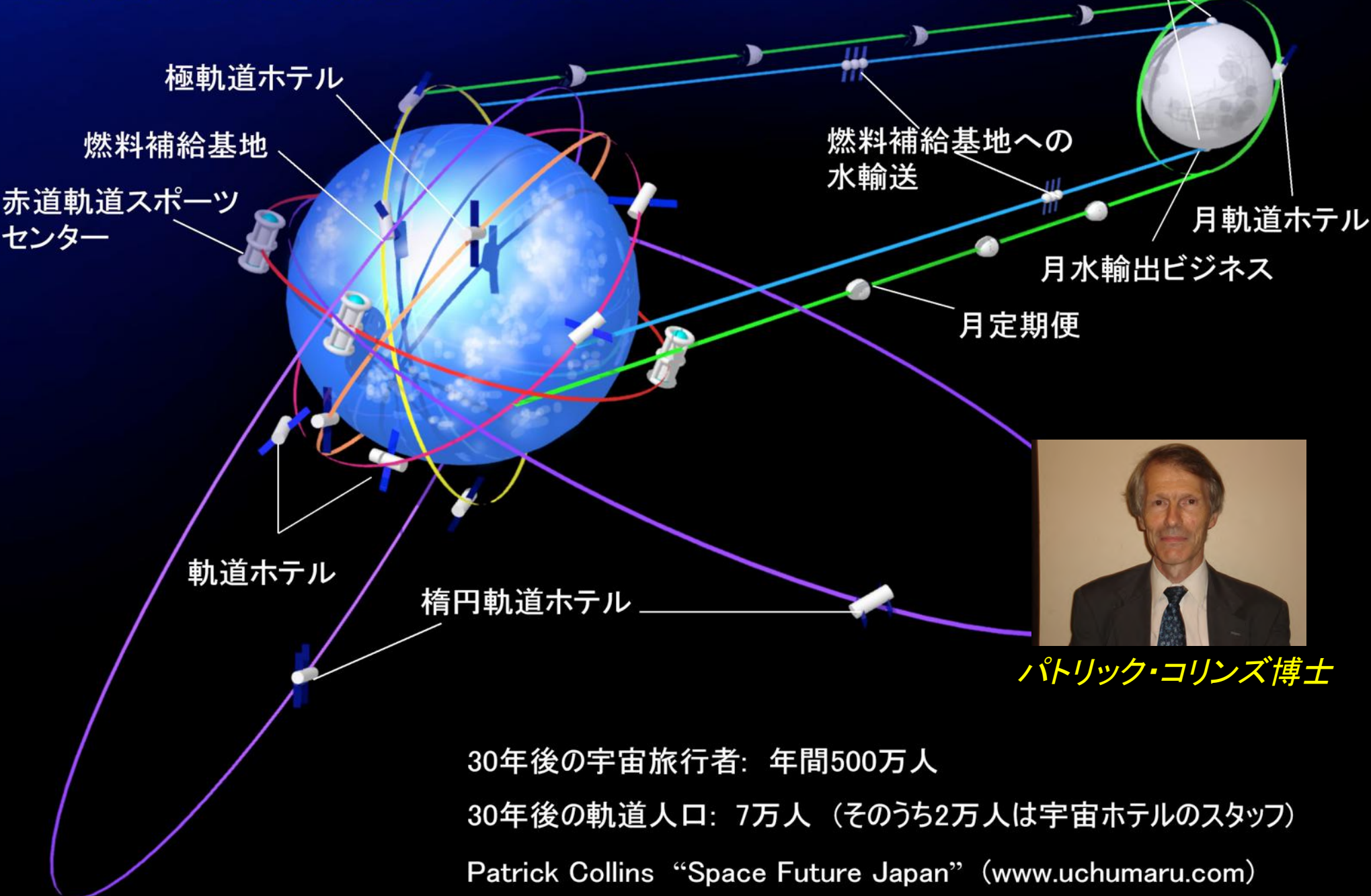
月面都市

--> 探査・調査

——> 開発

——> 移住

# < 30年後 > の宇宙観光ビジネスのビジョン



パトリック・コリンズ博士

30年後の宇宙旅行者: 年間500万人

30年後の軌道人口: 7万人 (そのうち2万人は宇宙ホテルのスタッフ)

Patrick Collins “Space Future Japan” ([www.uchumaru.com](http://www.uchumaru.com))

# 月面観光



【日程表】		宿泊	天体の様相	
			地球	月
3日前	集合(国内宇宙港) オリエンテーション	宇宙港		
2日前	準備トレーニング	宇宙港	「新地球」	満月
前日	ヘルスチェックと最終準備点検	宇宙港		
1日目	「ジャパンムーンエクスプレス」打上げ、軌道上の宇宙ステーションにて月移動船に乗り換え月へ	宇宙船内		
2日目	巡航ロケットで月に移動(約38万キロ)	宇宙船内	「三日地球」	
3日目	同上	宇宙船内		
4日目	月軌道上の「国際ムーンステーション」(IMS)に到着後、着陸船で月面にランディング 月面散歩など	月面ホテル		
5日目	月面観光 有名スポットとクレーター巡り	月面ホテル		
6日目	月面観光 月の裏側探査	月面ホテル	上弦 [「半地球」]	下弦 (半月)
7日目	月面観光 月面スポーツ体験、自由行動	月面ホテル		
8日目	月面基地より打上げ、IMS経由で地球に	宇宙船内		
9日目	巡航ロケットで地球に移動(約38万キロ)	宇宙船内		三日月
10日目	同上	宇宙船内		
11日目	宇宙ステーションを経由して、大気圏再突入、宇宙港帰還			

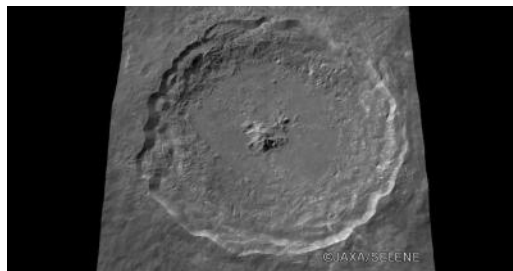
【参考】 14日後 「満地球」 新月

地球では見られない雄大な月の地形、月面から見える青く輝く地球、1/6の重力体験など、観光地として魅力がいっぱい。

# 月面観光を体験してみよう！

ティコレーター上空の遊覧飛行(かぐやのデータから作成したCG)

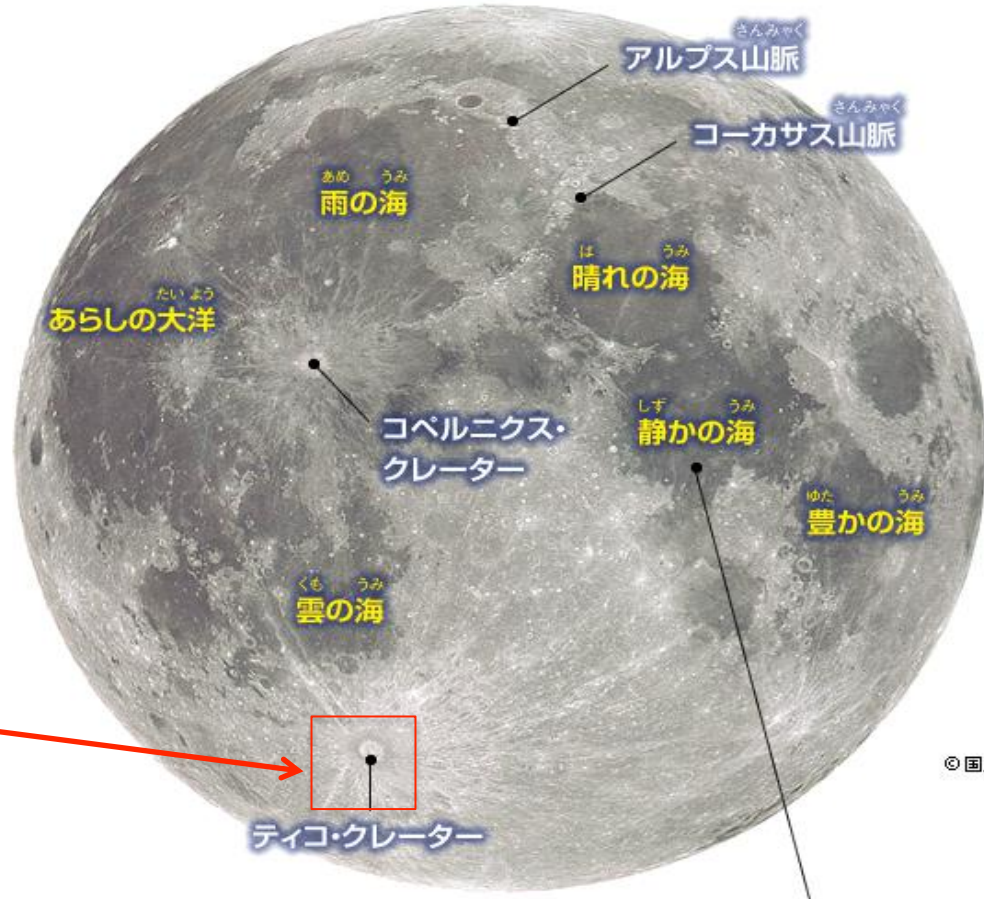
ティコレーター  
大きさ 85km  
中央に山がある。  
1.8億年前にできた新しいクレーター。  
地球からも長くのびた光の筋がよく見える。



ティコクレータ



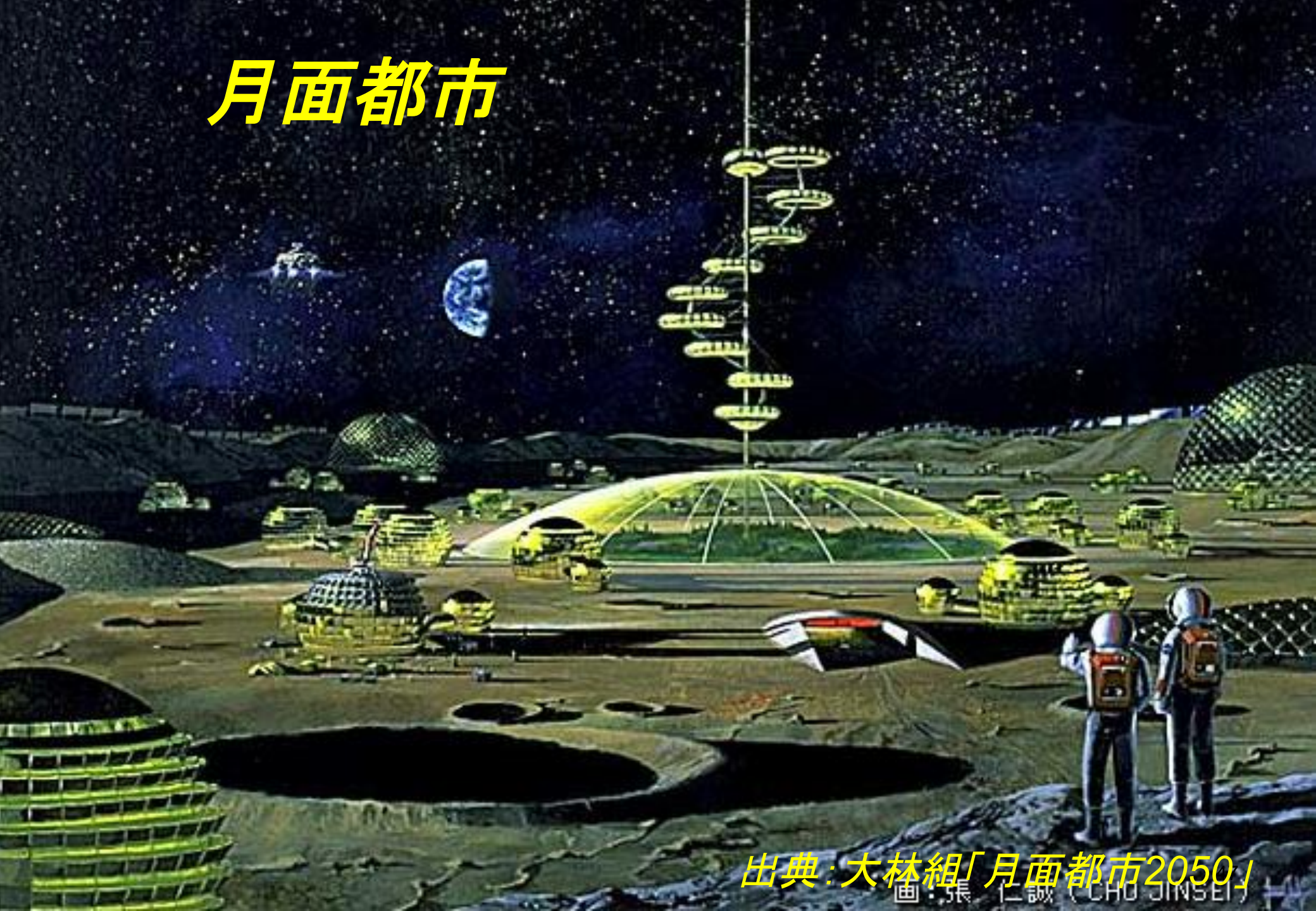
地上では恐竜が住んでいたころでした。



© 国立天文台

人類が最初に着陸した場所  
(アポロ11号、1969年)

# 月面都市



出典：大林組「月面都市2050」  
画：張 仁誠 (CHO JINSEI)

# 月面オリンピック

月面スキー



ホテル

屋根

観客席

米国の大学生の考案。月面のクレーター(500m)に建造される夢の五輪スタジアム・巨大なクレーターの内部に作られるスタジアムには10万人の観客が収容されるほか、競技の様子は全地球上に生中継される。

フィールド

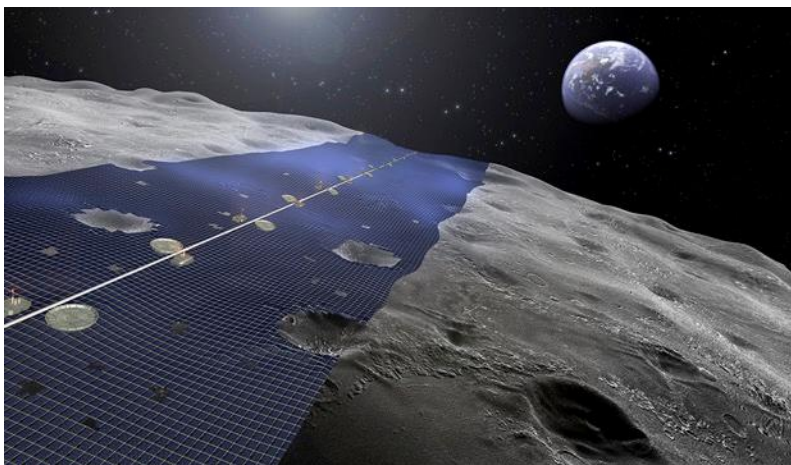


# 月面農業



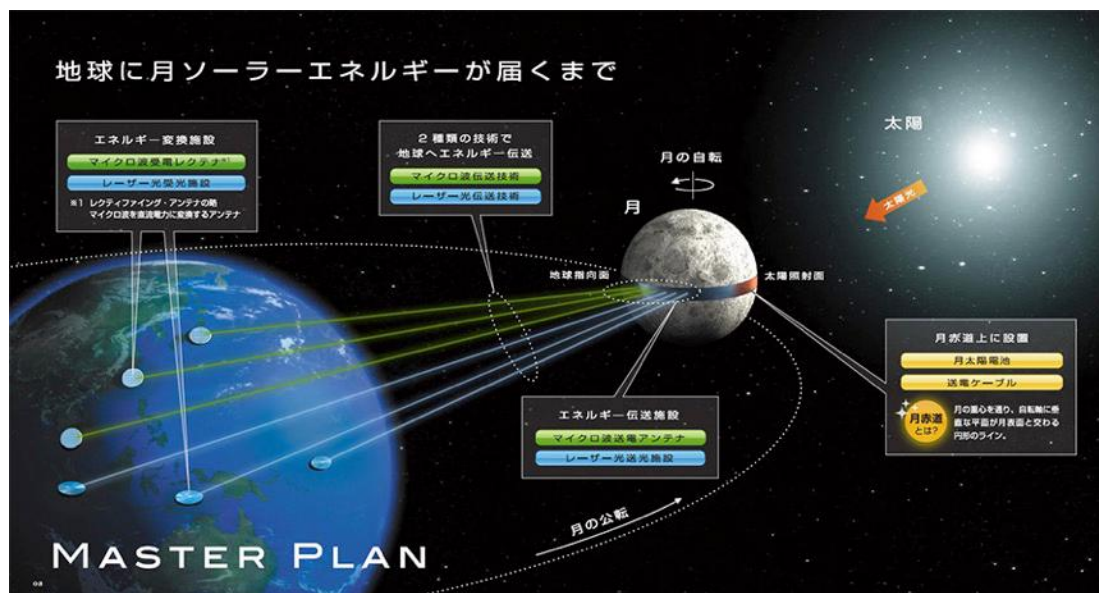
出典: *Farming on the Moon* Timbuktu Publishing, May 2017

# 月で発電して地上に送電 ルナリング



太陽電池  
有効幅 400km,  
全長 11,000km  
月資源を使って月面生産

人類が地球で使用する全てのエネルギーを賄う。



出典: 清水建設

# 月に行くにはロケットに乗る必要があります

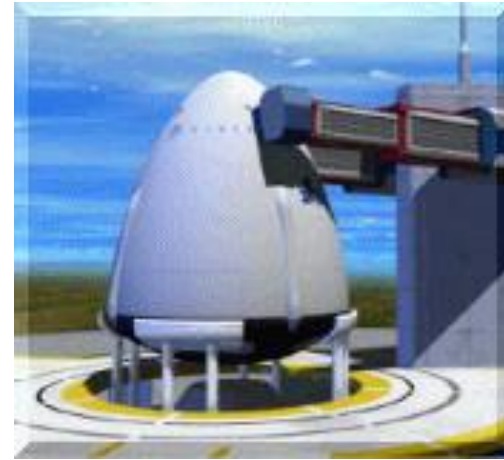
金井宇宙飛行士ら日米露の宇宙  
飛行士3人が乗ったソユーズロ  
ケットの打ち上げ(2017年12月)

スペースシャトルコロンビア  
シャトルの宇宙飛行士打ち  
上げの様子



ロケットの中は狭く快適ではなさそう。  
ロケットは使い捨てなのでコストが高い。

# 航空機のようなスペースプレーンや再使用ロケットがあれば良い



日本ロケット協会が検討した観光丸

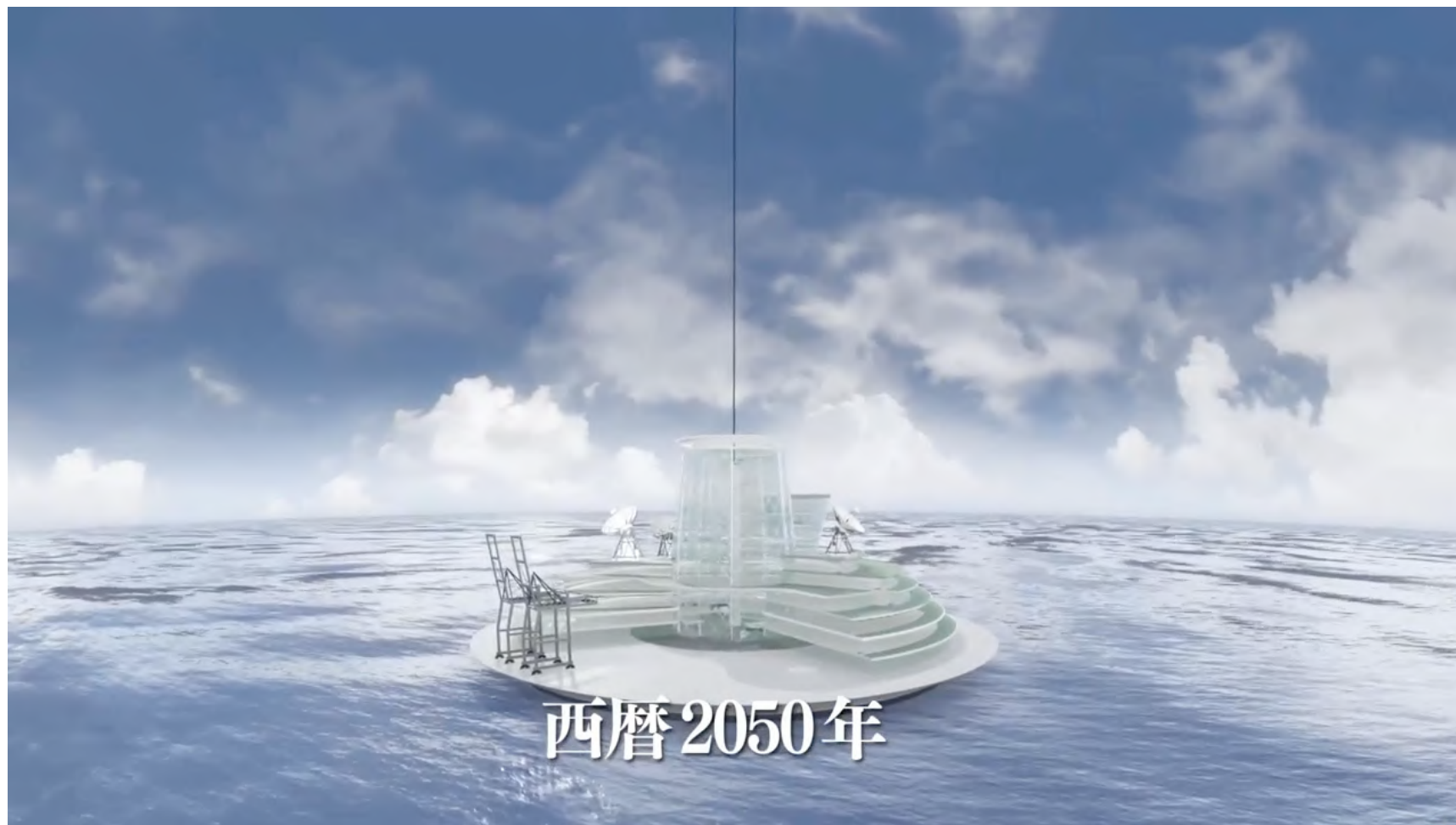


米国スペースプレーン実験機「XS-1」



日本の再使用ロケット実験機

さらに進んだ宇宙への輸送設備 宇宙エレベーター  
の構想もある。



NHK コズミックフロント 宇宙エレベーターの旅 - from YouTube

# おわりに

月は私たちに最も  
人類が探検におとづれ



身近な天体で、50年前に人  
ました。

その後、たくさんの無人探査機がおとづれ、月のことがとても  
よくわかり、人類にとって月が役にたちそうだということがわ  
かってきました。

あと5年くらいすれば、人類はふたたび月をおとづれ、今度は  
探検ではなく、滞在して月に進出する準備が行われことになり  
そうです。

その後は、月を観光したり、月を利用して人類社会に役立て  
たりする時代が来るでしょう。

© JAXA/NHK

A painting of a cherry blossom tree at night. The tree is covered in white blossoms, and a full yellow moon is visible in the dark blue sky. The text "ご静聴ありがとうございました。" is overlaid on the tree.

ご静聴ありがとうございました。

絵：満月祭宴(木村圭吾、1992)