

月探査の意義・目標(案) 補足資料

平成21年9月28日

長谷川 義幸

(宇宙航空研究開発機構)

月を知ることとは地球を知ること

地球上では、地殻活動や大気・水などの作用により、過去の記憶が失われている。20億年前より古い岩石は、ほとんど発見されていない。

月は、40億年前の状態を留めている地域があると同時に、比較的新しくできた地形もある。たとえば、地球～月系への隕石衝突の歴史は、月面の各年代の場所でのクレータ分布を測定することによって知ることができる。



「かぐや」ハイビジョンカメラによる「満地球の出」

月探査は、地球の誕生と進化の謎を解くばかりでなく、地球型惑星の進化のメカニズムの過程の解明にも役立つ。そして、地球の環境変動予測により将来の環境を予測し、私たちが地球の環境を保ちながら自然と調和した社会を築き上げることに貢献する。

【目次】

- 1 . 科学
- 2 . 技術
- 3 . 月探査の想定シナリオ(例)
- 4 . 月・惑星探査に関する海外の主な動向

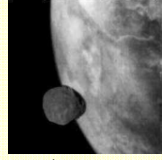
1. 科学

月とはどのようなものか - 未だに残る月の謎

月はなぜ、これほど大きいのか
 (地球に対する月の大きさの比率は、他の惑星の衛星と比較してとても大きい。月は他の衛星と異なる起源を持つのか)
 火星とその衛星フォボス

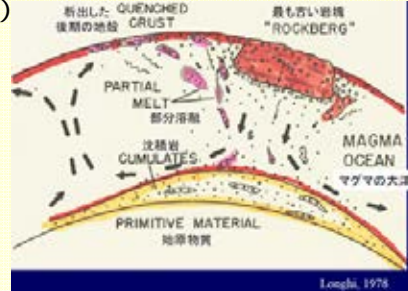


月の半径: 1700km
 地球の半径: 6400km
 月は地球の1/4の大きさ
 写真: (C) NASA



フォボスの半径: 13×11×9 km
 火星の半径: 3400km
 フォボスは火星の1/300の大きさ

マグマオーシャンはどんな様子だったか
 (月が誕生して間もない約46億年前には、マグマオーシャンがあったと言われていたが、実際にはどのような様子であったか)



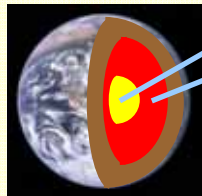
月の磁場はなぜ無くなったのか
 (地球と同じように、月にもかつて磁場があったと考えられているが、現在はほとんどない。どうしてなくなったのか)

- アポロ計画で持ち帰った月の石を調べるとわずかに磁場があることがわかった。
- 強い残留磁場がローカルに見られる。
- 現在の月磁場は地球の10万分の1

【これら全ての謎は、月の科学的解明を目指す上でもっとも根源的な謎「月の起源と進化の謎」に通ずる】
 月の起源?! - 月はどのようにしてできたのか?
 有力説: 原始の地球に火星サイズの原始の惑星が衝突して月ができた
 「ジャイアントインパクト説」
 月の進化?! - 月が今の姿になった理由は?



月の内部構造はどうなっているか
 (地球と同じような金属でできた核(コア)があるのか。あるとしてもどのくらいの大きさか。核と思われる部分の大きさの推定値も様々で定説がない)



固体の内核 **核**
 液体の外核 **マントル**

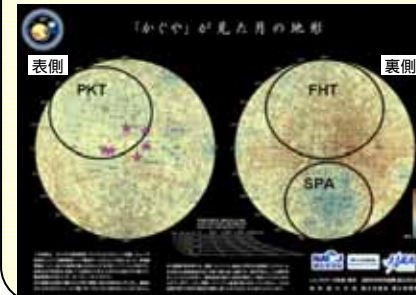


地球の核(半径)/地球の半径: 3500 / 6400 km
 月の核(半径)/月の半径: 250-450 ? / 1700 km

これらの謎を解き明かすために必要な探査とは?

本懇談会のテーマのひとつ

月の表側と裏側はなぜこんなに違うのか
 (月はいつも地球と同じ面(表側)を見せている。表側は比較的なだらかな海と呼ばれる地形が多く、逆に裏側は海が少なく、凹凸に富んだ険しい地形が多い)



月の地形図
 PKT: 「嵐の大洋」を中心とする月の表側のなだらかな地形の地域
 FHT: 月の裏側の険しい高地の多い地域(月の最高地点がある)
 SPA: 月の裏側にある月面最大の盆地の地域(月の最低地点がある)

月はどのようにしてできたのか？

- 月の誕生に関しては、親子分裂説、捕獲説、双子説などがあった。これまでの観測事実やアポロミッションで持ち帰った月岩石の分析結果に対して致命的な欠点があった。双子説では、月の化学組成の違いが説明できず、親子分裂説は、地球の自転の遠心力程度で分離させることは力学的に困難である。また、捕獲説では、都合良く地球軌道を周回させるような確率は非常に低い。
- 比較的多くの観測事実を大きな矛盾がなく説明できる説としては巨大衝突説(ジャイアント・インパクト説)が有力とされている。しなしながら、それを裏付ける証拠は不十分である。

- アポロ探査地点(表側の平坦な地域)以外の物質はどうなっているか、「かぐや」等の周回衛星で明らかになった、月の古い地形や新しい地形、深部の物質はどうか、中心部にあるとされる金属コアの大きさはどうなっているか等を解明することは、月の起源論に決定的な証拠を与えることができる。

親子分裂説



地球の一部がちぎれて月になった。

捕獲説



まったく違うところで生まれた月が地球の重力に捕らえられた。

双子説



太陽系ができたときに、地球と一緒に生まれた。

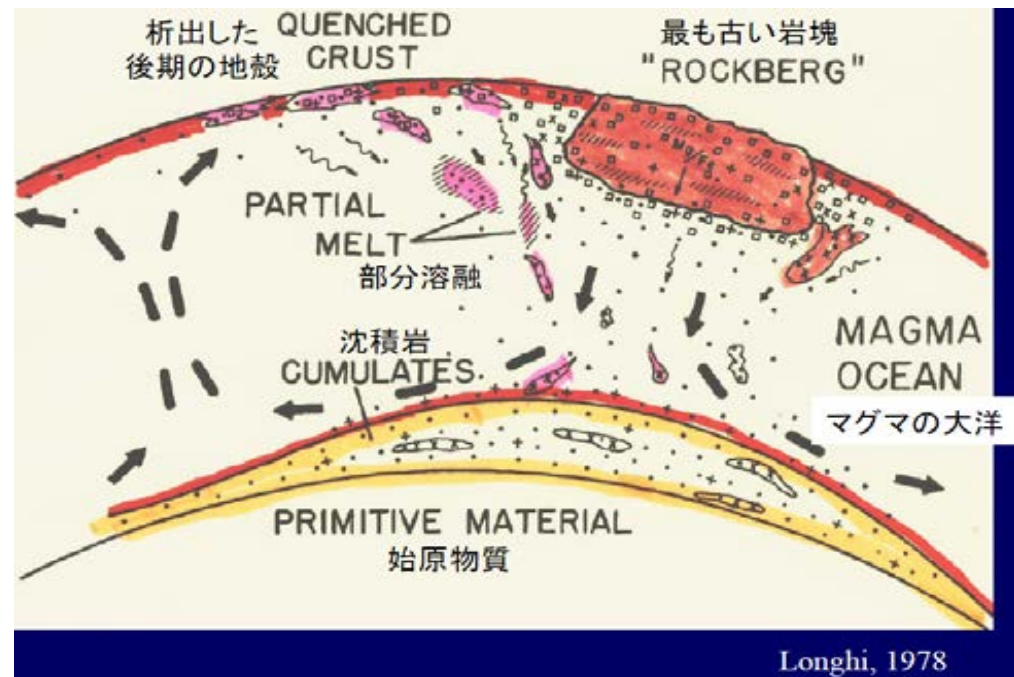
巨大衝突説(ジャイアント・インパクト説)



地球がほぼできあがったころ、火星ぐらいの大きさの星がぶつかり、地球の周囲に広がったかけらが集まって固まり、月ができた。

マグマオーシャンはどんな様子だったのか？

- 月は形成直後、大規模な溶融プロセス(マグマオーシャン)が存在したことがアポロミッションで持ち帰った岩石から示された。どの程度の規模で岩石が溶けマグマとなっていたのか、どのようにマグマが冷えていったのかについては月とそれ以外の惑星の進化を解明する上で重要であるが、ほとんどわかっていない。「かぐや」の観測で明らかになった大規模な斜長石岩体の発見により単純なマグマの溶融と冷却過程では説明がさらに困難になり、その謎はいっそう深まった。
- これらを解明するためには、マグマオーシャンの形成にかかわるさまざまな時期の岩石を詳細に分析することが必要である。とりわけ形成初期の岩石のサンプル分析が重要である。

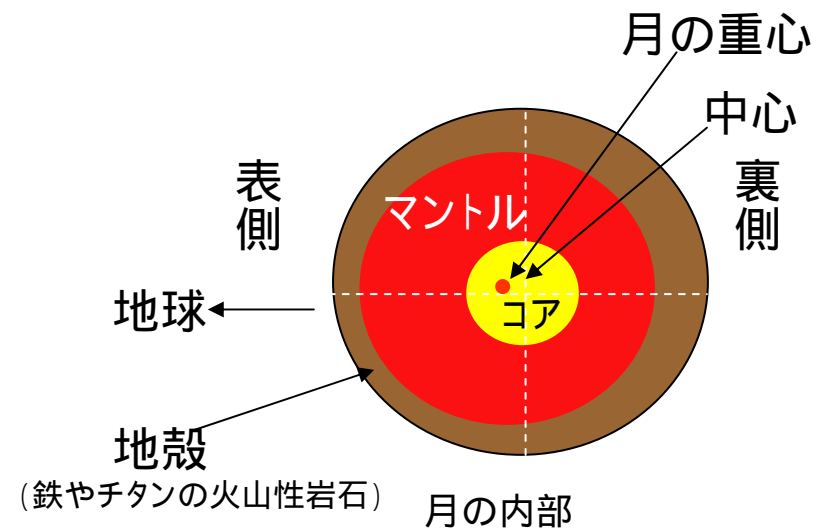
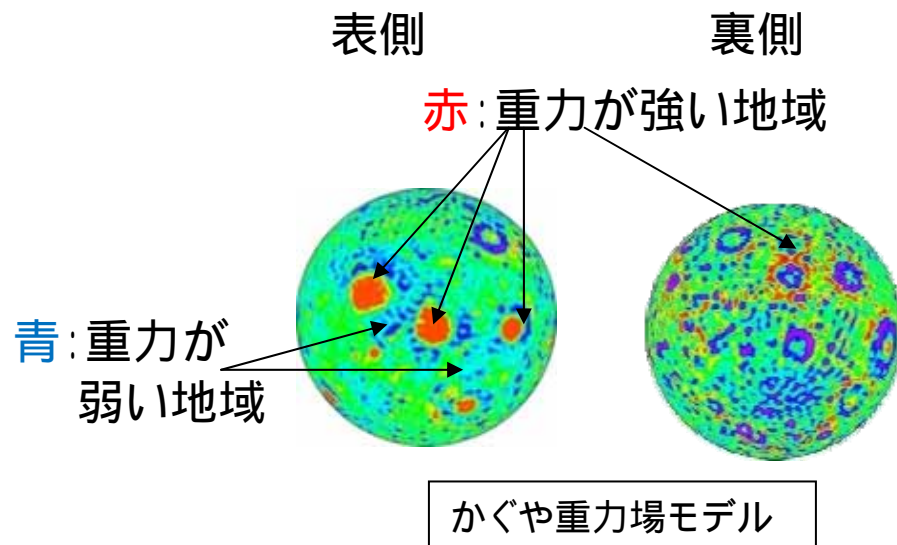


(注)「Longhi, J., Pyroxene stability and the composition of the lunar magma ocean, Proc. 9th Lunar Planet. Sci. Conf., 285-306, 1978.」より引用して作成。

月の表側と裏側はなぜこんなに違うのか？

- アポロ探査の時代、初めて月の裏側を目にすると、月は表側と裏側で様相が随分違う(表には「海」と呼ばれる平地が多いが、裏はほとんど無い)ことがわかった。
- 「かぐや」の重力場観測により、2分性は表層だけでなく、地下深部にまで及ぶことがわかり、月全体の大規模な進化過程を特徴づけるものである可能性が示唆された。

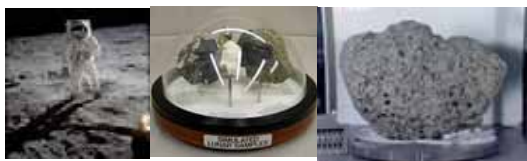
多くの惑星、衛星において2分性は普遍的に見られる大規模な構造である。月の2分性を解明することは他の天体の進化の過程を解明するためにも重要な手がかりとなる。



提供: JAXA/国立天文台/九州大学

これまでの月探査でわかったこと

月が地球の衛星としては異常に大きいことや、月の密度が低く全体的に軽い物質でできていることなどを説明する巨大衝突説が月の形成モデルとして有力である。一方、アポロ探査で持ち帰った月表層物質や、月の地震観測から推定される月のマントル物質には鉄分が多く地球とは異なることが指摘されているが、現状では精度が低い。他の地域での詳細な物質探査や高精度な内部構造探査による裏付けが必要である。



アポロ探査では、約4年間にわたり熱流量測定も行われ、平均熱流量値が出されている。しかし、計測地点が海と高地の境界付近であり地形の影響を受けていると考えられ、これらの影響が無い地域での精密測定が必要である。



月に設置された熱流量計 アポロ17号

アポロ探査で設置した地震計により、月にも微弱ながら地震が発生しており、地震波を使って内部構造が推定できることがわかった。しかし、アポロでは観測精度が低く、内部構造の決定には至っていない。高精度、多点、長期の観測が必要である。



月面上でのアポロの月震計

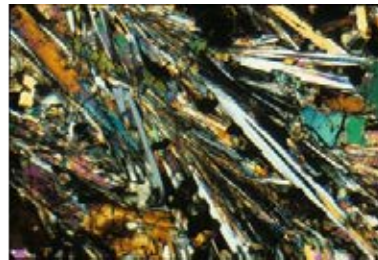
「かぐや」などの周回探査機により、月表層の元素分布、鉱物分布が測定されている。しかし深部物質はわからない。また、重力場測定、磁場測定などにより、月の内部構造に関する間接的な測定は行われ、詳細観測すべき場所は明らかとなった。しかし、月の誕生と進化の解明には、月面での直接観測が必要である。

月の地質探査

- 「かぐや」などの探査機が、周回軌道から全球の元素分布、鉱物分布を測定した。これにより月の地殻の形成過程に所定の制約を加えることができるが、直接的、決定的な証拠を得るためには、岩石内部の結晶構造を調べる必要がある。

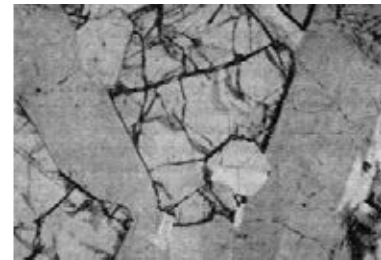
成因の異なる別種の岩石であっても、含まれる有色の鉱物の種類やその存在度が同程度なら、遠隔分光観測では区別できない

(横幅は全て 2 mm)



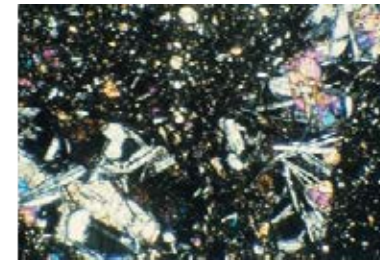
玄武岩 12002*1

マグマが溶岩として噴出し、地表で固まったもの



斑レイ岩 76255*2

マグマが地下深部で固まり、結晶が成長したもの

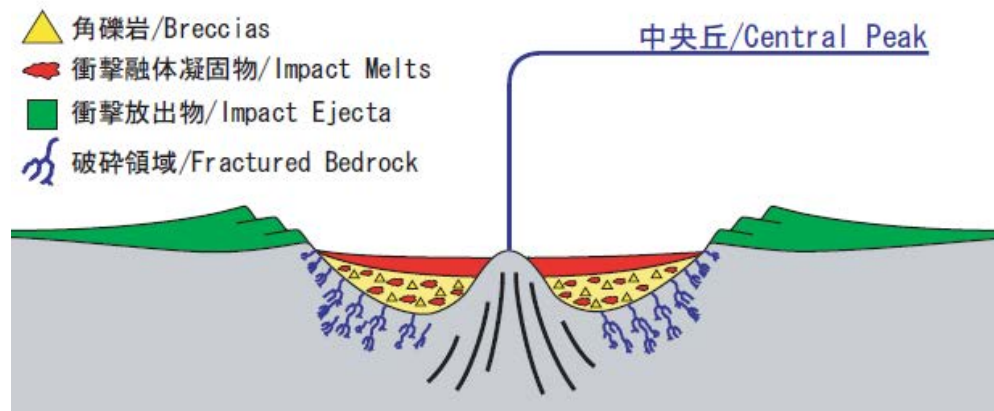
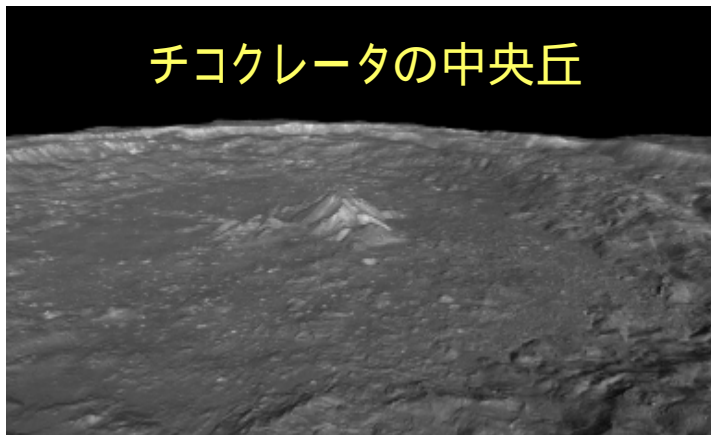


角レイ岩 72275*1

隕石衝突で粉砕された岩石が集積したもの

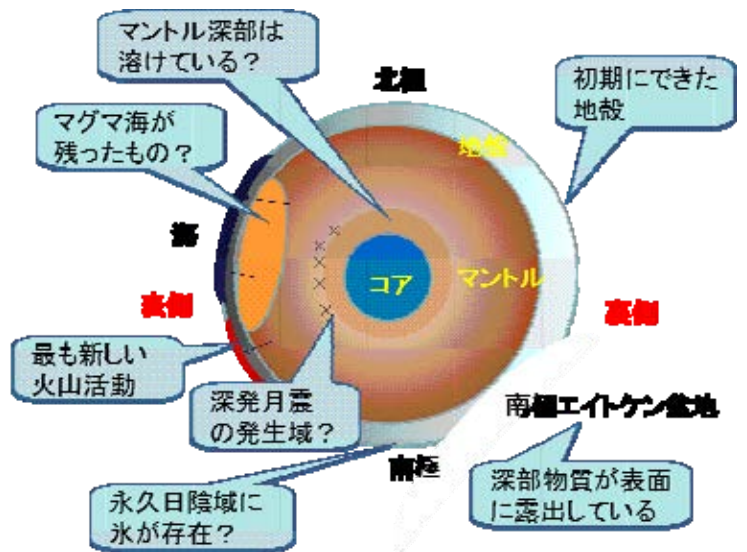
- 表面にある岩石だけでなく、地下にある岩石も重要。大規模クレータの中央丘は、地下物質が噴出してできたもの。ここを観測すると、月の深部もわかる。

チコクレータの中央丘

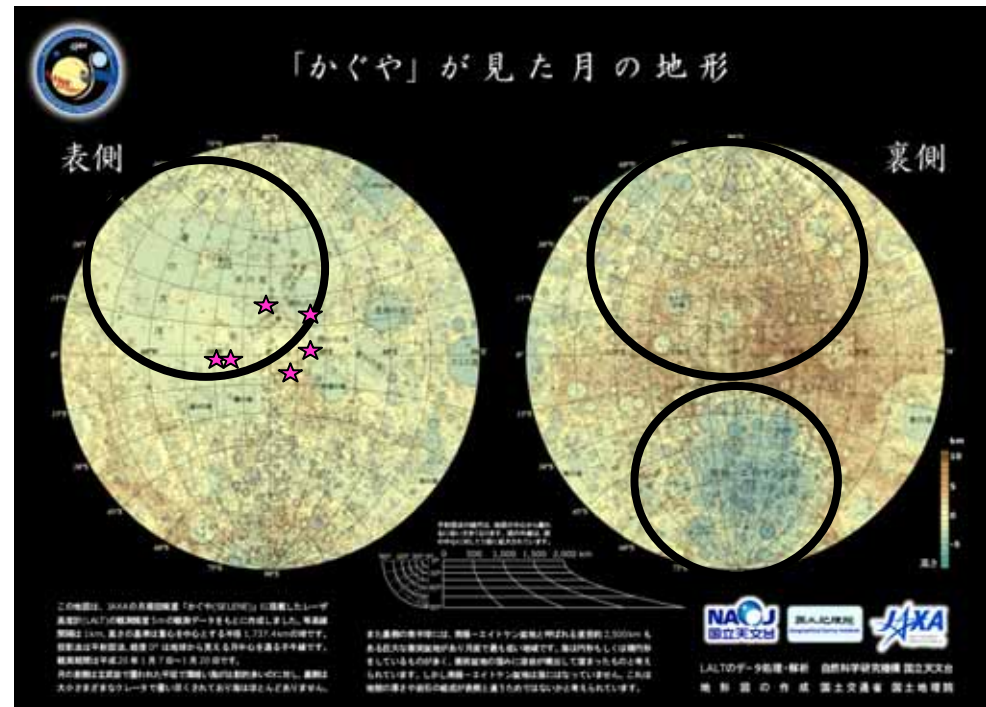


*1:LPI Lunar sample catalog <http://www.lpi.usra.edu/lunar/samples/>

*2:NASA Lunar sample catalog <http://curator.jsc.nasa.gov/lunar/catalogs/>



アポロ着陸地点



マグマの海が最後まで溶けて残っていたと言われる地域の大規模クレーターの中央丘は、比較的新しい地殻が露出しており、月の地殻形成のうち、後期段階の様子を知ることができる。露出している地域には岩石に取り込まれにくい元素が濃集しており、これらの元素の濃度や構成する鉱物を調べ、進化の過程を解明する。

マグマの海から最初に地殻が形成されたと言われる月の裏側の高地は、月の最も古い地形であり、月誕生直後の地殻形成の初期段階の様子を知ることができる。斜長岩の地殻で覆われ、いくつかのサンプルで生成年代と含有元素比率、鉱物の種類などを調べる。

大きな隕石の衝突により深部の物質が噴出している月の裏側の南極エイテン盆地には、月の最低高度地点があり、月の深部のマントルや下部の地殻の様子を知ることができる。直径2500kmの月面最大の衝突盆地であり、地域とは異なる鉱物の種類が異なることがわかったこの地域の物質を調べることで、地殻形成のプロセスや内部物質を解明する。

月の内部構造探査の方法

アポロ計画により設置された地震計により、月には微弱な地震が発生することがわかり、その地震波の伝わりかたから、月の内部構造が観測できる可能性が示された。また、熱流量計や電磁場計測によっても、月内部物質の特性を測定することが可能である。これらの観測を総合し、月の内部の層構造と構成物質を推定する。

地震計

地震波の波形を計測することにより、波の伝わる速度の違いから月内部の層構造や、構成物質を推定する。月震は地球の地震より1/10～1/100ぐらい微弱で、高性能の地震計が必要。複数点の観測により、月内部の3次元的な構造を調べる。

熱流量計

月内部から発生する熱を精密測定し、月内部の発熱物質(放射性元素)の量を推定する。

電磁場計測

月周辺の磁場環境は、太陽活動の影響で変化している。月周回衛星で測定する磁場環境の変化に応じた月面上の電磁場の変化を、月面の電磁場計測器で同時に計測することより、月内部の電気の伝わりやすさを計測することができる。複数点の観測により、月内部の3次元的な電気特性を調べる。

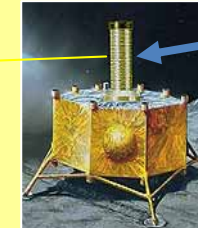
月面での電波天文台(イメージ)

- ・月面の環境として利用価値の高い点としては;
 - 約15日間続く長い夜
 - 非常に安定した地盤
 - 人工的に発生させたノイズ(電波など)の遮蔽(裏側)

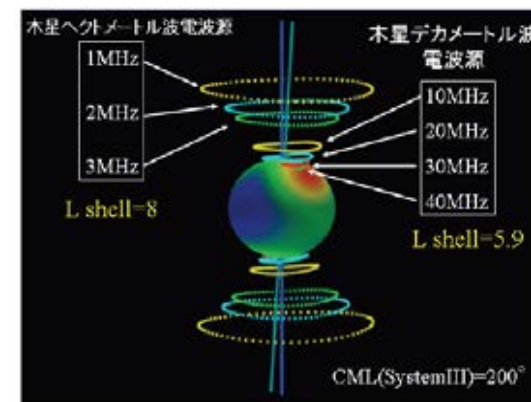
などがある。

- ・星の動きを定点観測することで惑星自体の動きを精密測定する「測地学的な」手法は、日本が世界トップレベルの技術を有している。
- ・人工ノイズを遮蔽した月の裏側で観測可能なMHz帯域の(低周波)電波観測はこれまでの長い歴史の天文観測で「最後に残された領域」として注目されており、我々が未だ解明していない天文学に大きな謎の解明(ダークマターなど)が期待される。
- ・惑星科学としても、惑星最大の電波発振源である木星が周波数帯の電波を多く発生しており、大型惑星が電波を発生するメカニズムの謎を解明が期待される。

天測望遠鏡



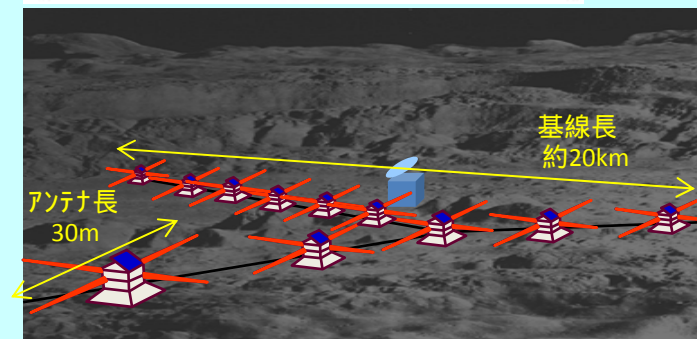
星の動きを長期観測することにより、月の内部構造を推定する天測望遠鏡
(資料提供: 国立天文台、岩手大学)



木星周辺から発生する電波源

(資料提供: 高知工業高等専門学校)

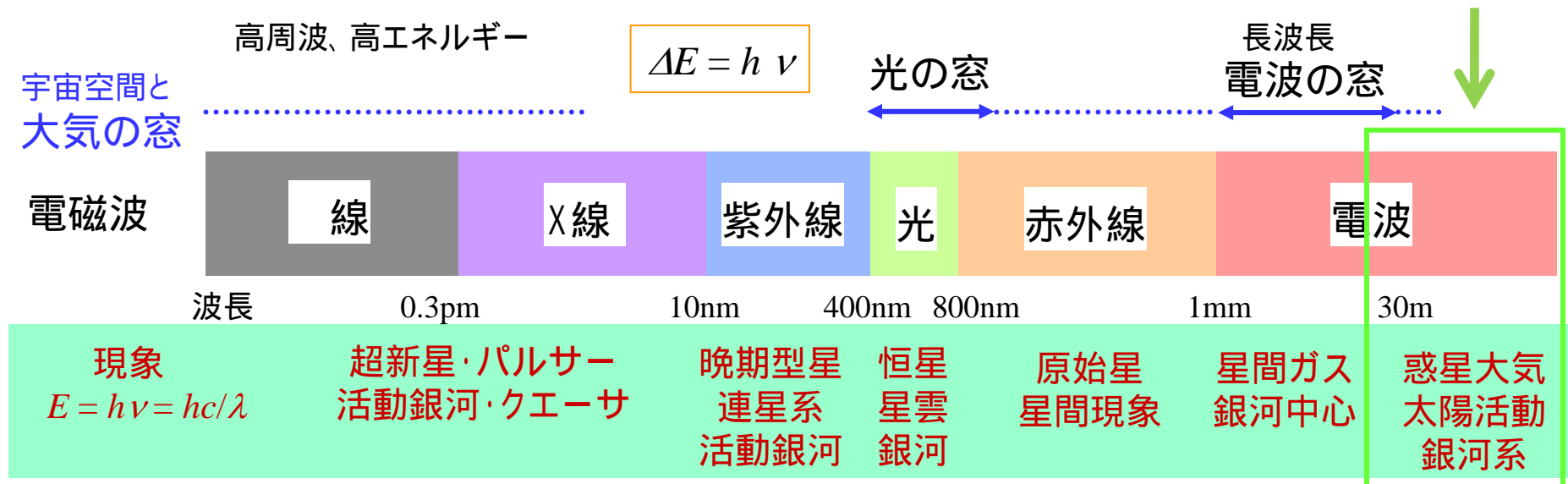
(各図は想像図)



低周波電波観測により、木星電波源等の観測を行い、天体からの電波放出メカニズムを解明する。

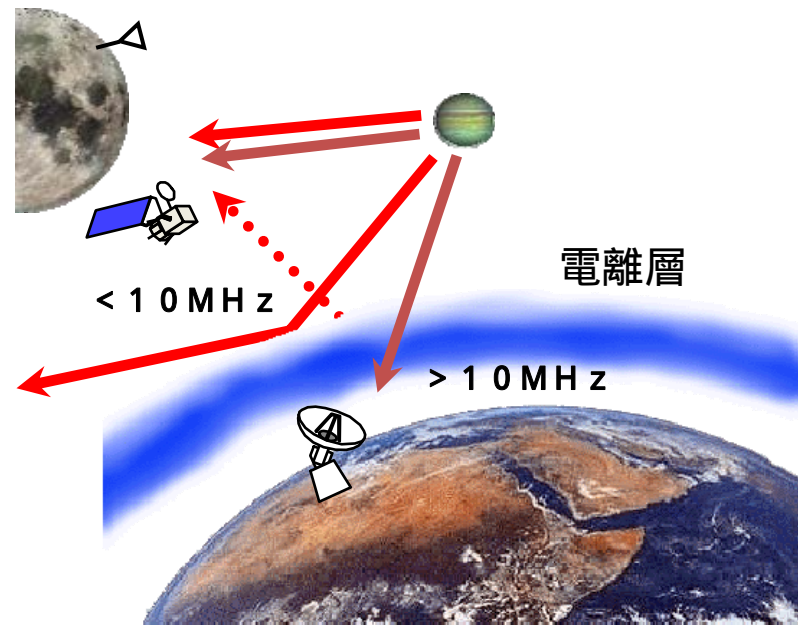
1-10

低周波電波の観測的制約



観測天文学の最後の未開拓地

低周波電波 ; $\nu < 10\text{MHz}$ ($\lambda > 30\text{m}$)



- 電離層の遮蔽効果
 - 地上 : 大気を透過しない
 - 軌道上 : 地球が雑音源
- 空間分解能 $\sim \lambda/D$ (D ; 口径・基線長)
 - 長い基線長を要する
 - ex. 10GHz, $\phi 30\text{m}$ 単一鏡
 - = 10MHz, 30km 干渉計

最近の月の科学的成果 - かぐやと諸外国との比較表

月全球の表層構造、重力分布及び磁場・プラズマ圏の3次元分布同時観測ができる機能を持つのは「かぐや」だけである。

観測項目と代表的な性能												
衛星名	運用期間	軌道高度	観測領域	元素分布	鉍物分布	地形、日照条件など	表層構造	重力分布	磁場分布	放射線環境	プラズマ環境	そのほか
				Al, Si, Fe, Ti等								
				エネルギー分解能								
かぐや SELENE	2007.9.14 ~ 2009.6.11	高度100km 50km以下 (後期)	全域	140eV	20m	10m	地下 5km までの 構造	全球、 裏側	月全域	高エネ ルギー 放射線	イオン、 電子の エネ ギー、 質量	UPIにより、地球 電磁気圏を観測
チャンドラ ヤーン 1号 (インド)	2008.10.22 ~ 2009.8.28	高度200km	全体の90- 95%程度	140eV (*1)	80m (*2)	8m (*3)	×	×	×	(*4)	(*5)	米国製の合成開 口レーダでの氷 観測
チャング 1号 (中国)	2007.10.24 ~ 2009.3.1	高度200km	全域	600eV	200m	120m	×	×	×			マイクロ波放射 計でレゴリス観 測
LRO (米国)	2009.6.18 ~	高度50km	極域など	×	×	0.5m	×	×	×		×	合成開口レーダ で氷観測

注1: はSELENEと同等の観測を行うことを示す。

注2: ×は観測を行わないことを示す。

注4: チャンドラヤーン1号搭載機器の補足

*1: 英国製機器(1機器)及びインド製機器(2機器)により、元素分布を計測。代表的な性能は英国機器の性能。

*2: 米国製機器(1機器)、ドイツ製機器(1機器)及びインド製機器(1機器)により、鉍物分布を計測。代表的な性能は米国機器の性能。

*3: インド製機器

*4: ブルガリア製機器

*5: スウェーデン製機器

注5: チャング1号(中国)には、全て、中国製の観測機器を搭載。

注6: 月の科学において重要な、月の裏側の重力分布はインド、中国は観測しない。

2 . 技 術

- **真空である**

- 液体などの蒸発しやすいものは、容器に密閉する必要がある。
- 可動部など露出しているものは、真空潤滑などの対策が必要。
- ほとんどの材料からは、微量ながら気体が蒸発する。蒸発したガスは、低温部分に再付着し、観測センサ等を汚すことがある。
- 高電圧を使う部分は、この蒸発したガスで放電することがある。(地球大気中や完全な真空中では放電しにくいですが、微量の気体があると放電しやすい。)
- 空気による対流がないため、熱の伝わり方は輻射と伝導のみ。電子回路などの放熱の設計が難しい。

- **放射線が強い**

- 大気や地球の磁場によって放射線粒子が減衰しない。
- 長期的に放射線があたり続けると、半導体部品や材料などが劣化する。
- 放射線粒子があたった時に電子回路が誤動作する。回路構成によっては、その誤動作が原因で、永久故障を引き起こすことがある。

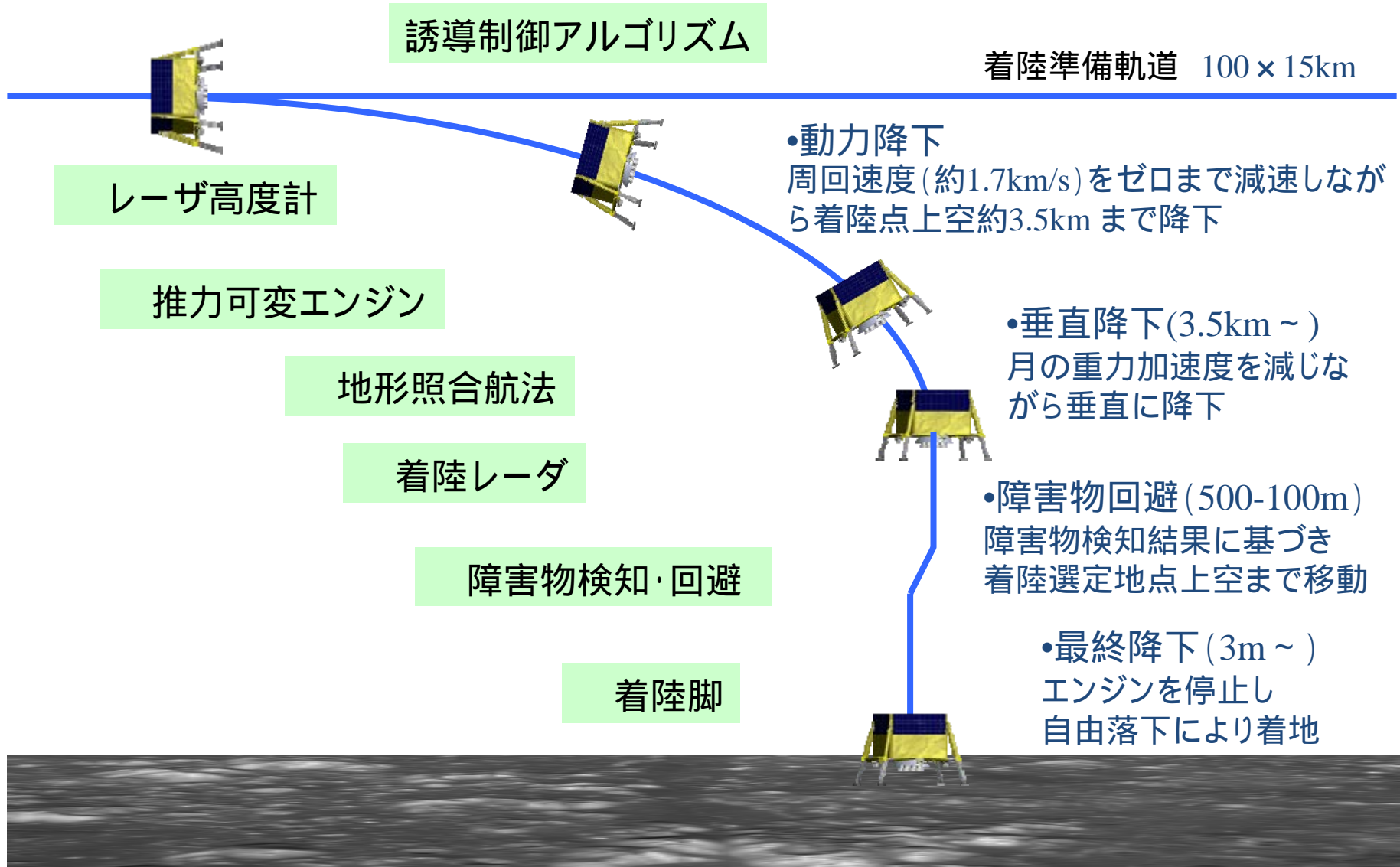
- **無重力(軌道上の場合)、低重力(月面の場合)**
 - 無重力の場合、重力を利用した機器の固定や姿勢の安定化ができない。
 - 逆に、機器を動かすことは楽になる。
 - 月面は1/6Gであるので、地上と軌道上の中間的な状況。
- **ロケット打ち上げ時の振動環境**
 - ロケット打ち上げ時の加速度、振動、衝撃がかかるため、これらの環境によって壊れない対策が必要。
- **(一般には) 打上げ後は修理ができない**
 - 高信頼性の部品、装置を開発する必要がある。
- **(月面上では) 昼が約2週間、夜が約2週間続く**
 - 夜間のエネルギー源確保の問題
 - 昼間の放熱設計の問題

月面着陸・探査に必要な技術

下記の月面着陸・探査に必要な技術は、米国とロシアのみが保有している技術である。後発ではあるが我が国として独自に技術を獲得しておかなければならない基盤技術であり、日本の得意分野を活かして段階的に獲得していく必要がある。

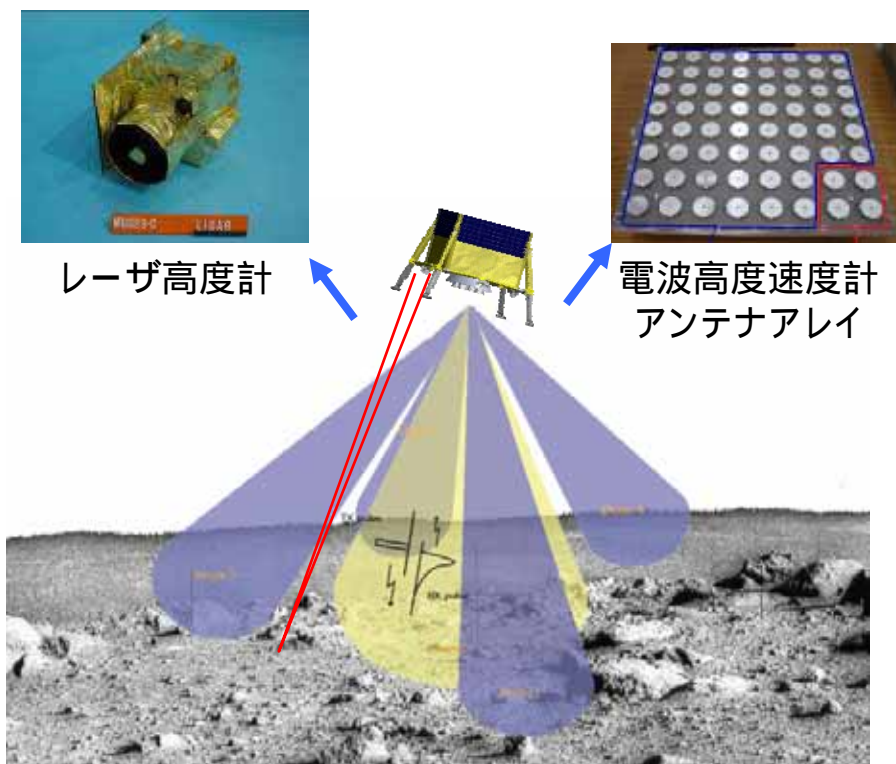
- (1) 着陸技術： 行きたいところに安全、確実に着陸する技術
 - 目標地点へ高精度にピンポイントで着陸する技術
 - 障害物があったらそれを検出して避ける技術
 - 大型で精密制御可能なエンジンの開発
- (2) 月探査ロボット技術： 表面を移動しながら作業する技術
 - 砂地、斜面でも走れる走行技術
 - ダスト環境高温・低温環境、放射線環境などに対応する技術
 - 観測・サンプル採取技術。構造物を設置、建設する技術
 - 通信時間遅れ等の制約の下で、ロボットを遠隔制御する技術
- (3) 越夜技術： 2週間以上にわたる月の夜を越える技術
 - 太陽電池が使えない夜に使う電源(再生型燃料電池等)の開発
 - 夜の低温から守る断熱設計技術
 - 昼の高温にも耐えられる、可変熱伝導技術
- (4) 地球帰還技術： サンプルリターン、有人探査に向けた技術
 - 月面から地球までの帰還機技術、誘導制御技術
 - 大気圏再突入技術

(1) 着陸技術



レーザ光度計、着陸レーダ(電波高度速度計)

- 探査機を高精度、安全に着陸させるためには、表面との相対速度を計測するセンサ(速度計)と高度を計測する高度計が必須である。
- 高高度での高度測定は「はやぶさ」「かぐや」で実績のあるレーザ方式、3km程度以下の低高度での測定用には、電波方式の着陸レーダを開発中。



- 電波高度速度計は、開発着手可能なレベルに到達(写真は、伊豆大島櫛形山周辺でのフィールドテストの様子)。



推力可変エンジン

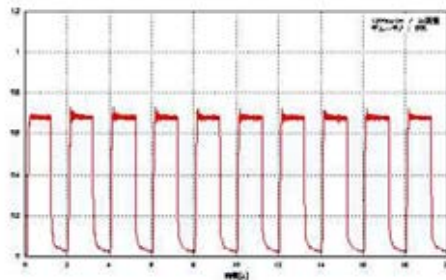
- 安全、確実、高精度に着陸するためには、推進力を精密に制御できるエンジンが必要。
- 月などの重力が比較的大きな天体に着陸するためには、通常の衛星の軌道変換に比べると、大型のエンジンが必要となる。



我が国で実績のあるエンジンは最大で500Nクラスであるので、これを複数本束ねて使用する。また、推力を可変にするバルブが未開発であるので、バルブのオン・オフ間隔を調整することで、精密制御を実施する。



エンジンのオン・オフ燃焼試験を実施中



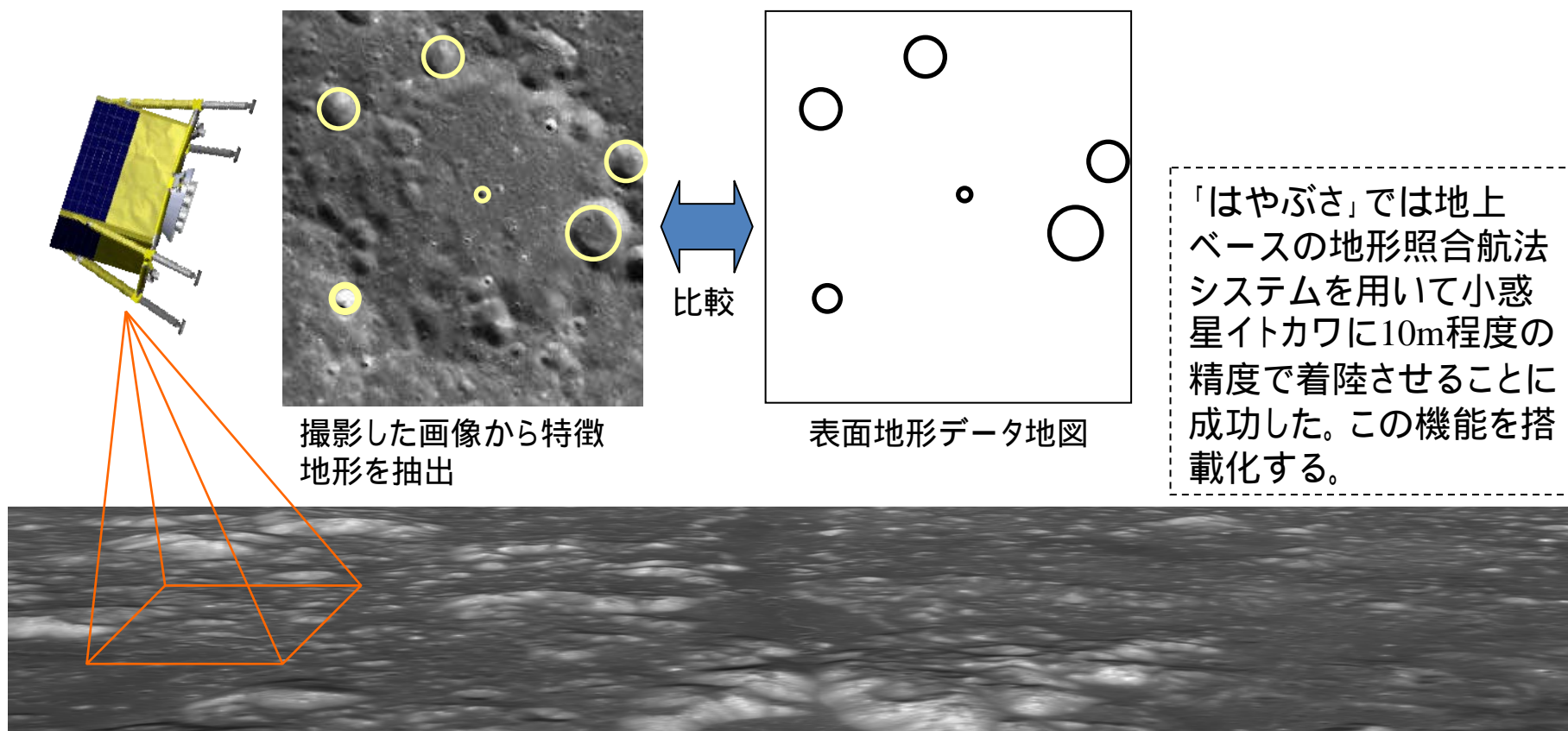
さらに大型の着陸機では、10kN以上の大型可変推力エンジンの開発が必須である。



写真はアポロ着陸船のTRW TR-201) (写真: (C)NASA)

地形照合方法

- 探査機が、搭載カメラ画像と表面地形データ地図を照合させながら、自分の飛んでいる位置を高精度に推定する。



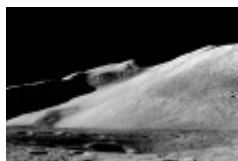
- 安全な着陸を妨げる物体や地形を避ける



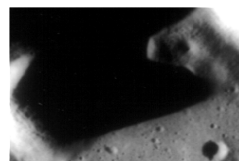
クレータ



大きな岩石

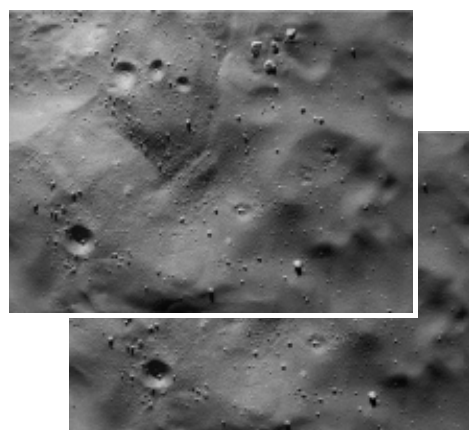


急傾斜



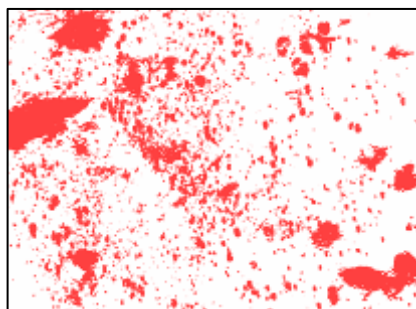
影

写真:(c)NASA



原画像

高精細な単眼カメラとステレオカメラの画像を組み合わせる

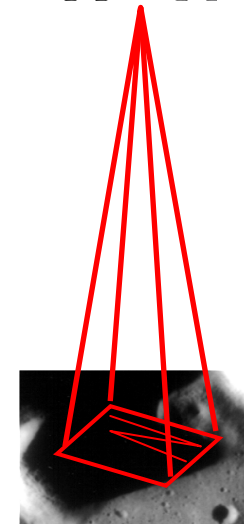
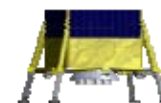


単眼方式による障害物検知(赤)
(微小岩石、影領域の検知)

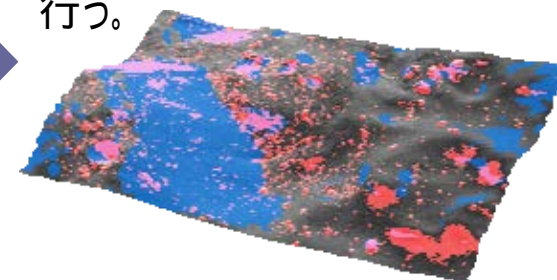


ステレオ方式による障害物検知(青)
(急斜面、クレータの検知)

日照条件の悪い極域などでも障害物を検知可能なLRF (レーザによる3次元画像の取得)をもちいる。



画像を用いた障害物検知を行う。



障害物検知の複合結果

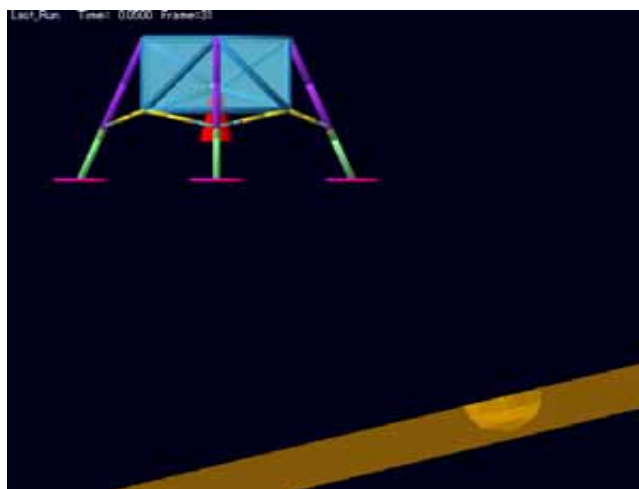
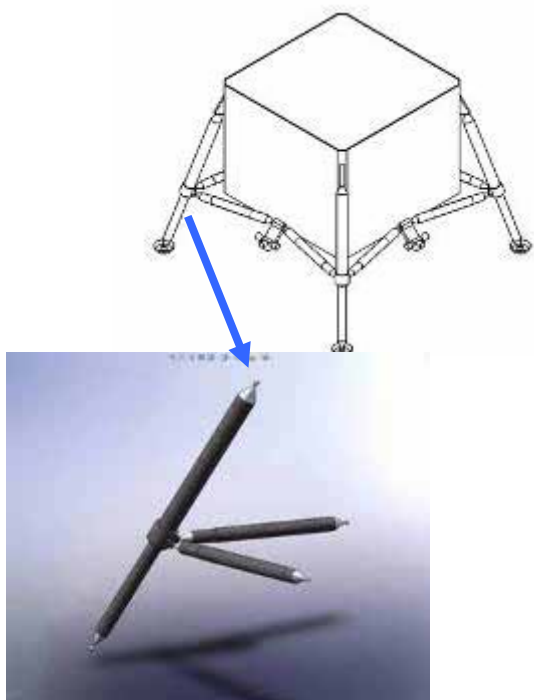
- 着陸時の衝撃を回避し、また転倒を防止できる軽量な着陸脚が必要。

例えば

- 降下速度 $<3\text{m/s}$, 水平速度 $<1\text{m/s}$, 月面斜度 $<30\text{deg}$, 機体姿勢 3deg , 角速度 0.1deg/s , 摩擦係数 無限大, 高さ $<50\text{cm}$ の障害物

の条件下で、

- 着陸時の鉛直方向加速度 10G 程度以下、水平方向加速度を 4G 程度以下とする
- 転倒しないこと



数値シミュレーション
による運動解析



レゴリスへの
着地特性実験

(2) 月探査ロボット技術

主要技術課題

作業技術

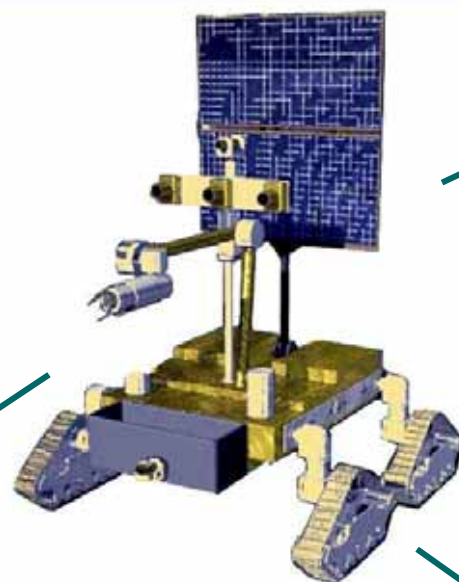
- ・把持、研削
- ・計測
- ・接続、組立

耐環境性

- ・日陰、低温
- ・電源供給
- ・レゴリス防塵

操作・制御系

- ・部分自律系
- ・LRF地形計測
- ・マッピング・経路生成



(想像図)

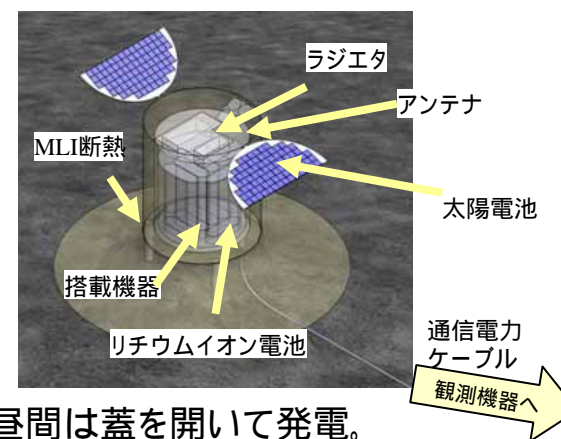
表面移動技術

- ・レゴリス上走行
- ・不整地走行、登坂
- ・リリース、収納

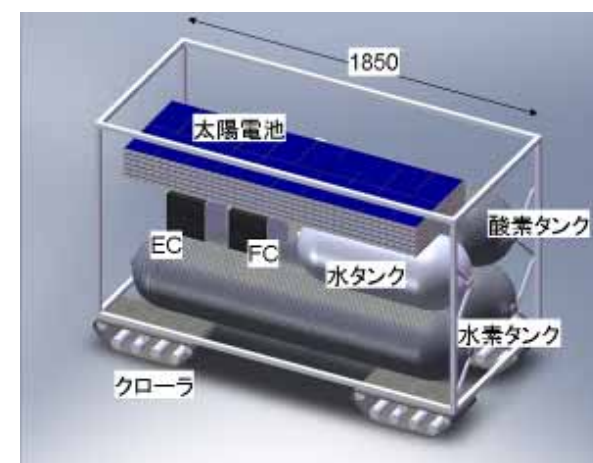
注記: 月探査ロボット技術は自体は後発であるが、不整地走行技術、自律誘導技術、観測支援技術などで世界最先端を狙う。建設ロボット・精密加工ロボットなどは、ロボット産業の中では日本の得意分野であり、宇宙への活用が期待される。

(3) 越夜技術

- 小型観測機器の越夜
 - 高度な熱制御技術の研究開発により、小型の観測機器であれば10W程度の電力で、越夜可能との見通し。
 - 優れた日本の電池技術(200Wh/kg級リチウムイオン電池)を活かす。
 - 実現するためには、観測機器、通信機器の低消費電力化が鍵となる。
- 探査機や大型ローバの越夜
 - 100Wクラスの電力が必要。リチウムイオンだと300kg以上となり、非現実的。
 - 再生型燃料電池では、リチウムイオン電池の1/3～1/5の重量を実現可能である。
 - 月面では水素、酸素および水は全て貴重であるため、発電して生成した水を燃料である水素と酸素に戻す必要あり。このための、再生技術が鍵となる。



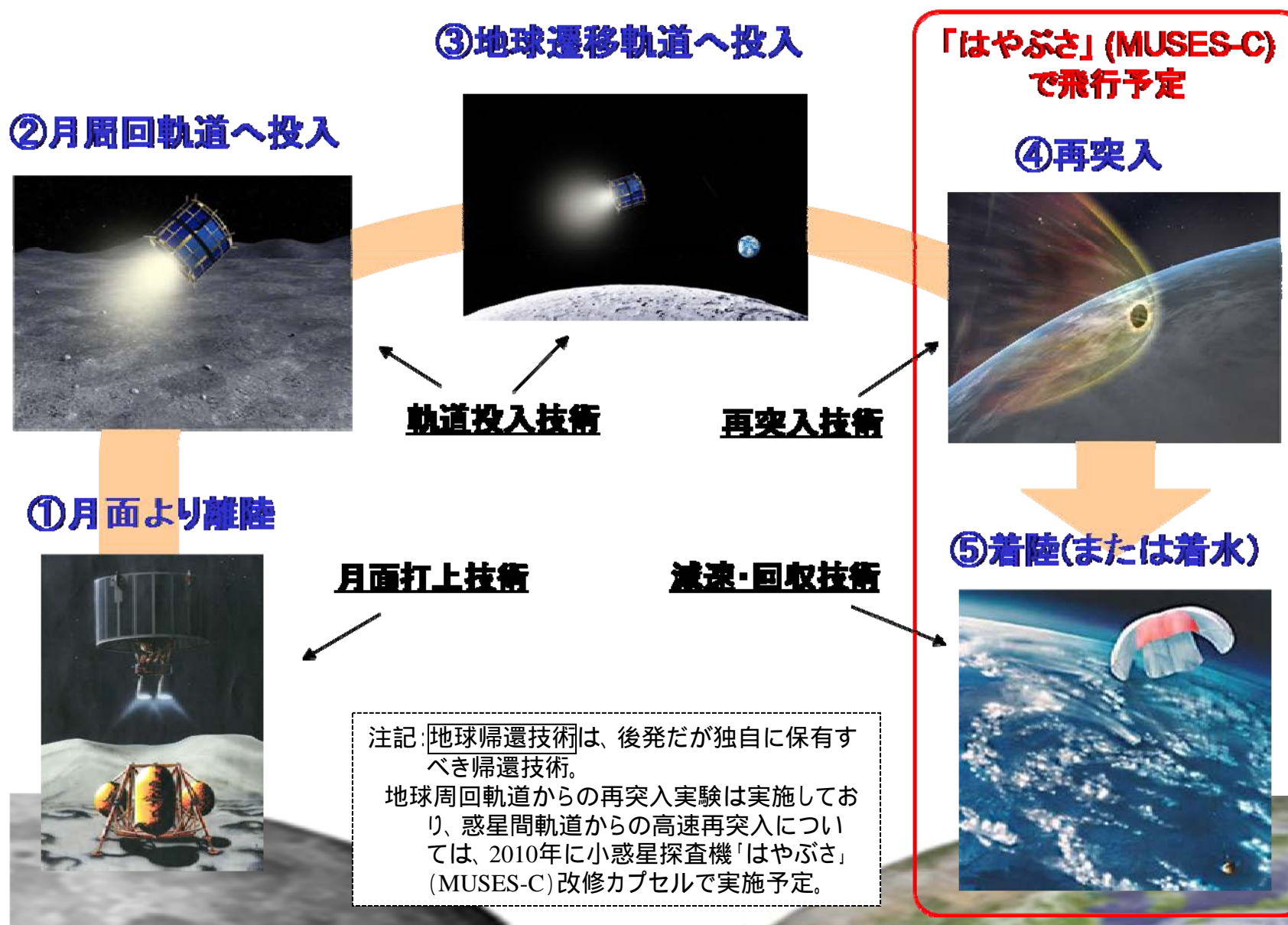
昼間は蓋を開いて発電。
夜間は蓋を閉じて保温し、観測機器へ電源供給



電気分解で発生した水素・酸素を超高圧(200-300気圧)で蓄える再生型燃料電池システムが必要。

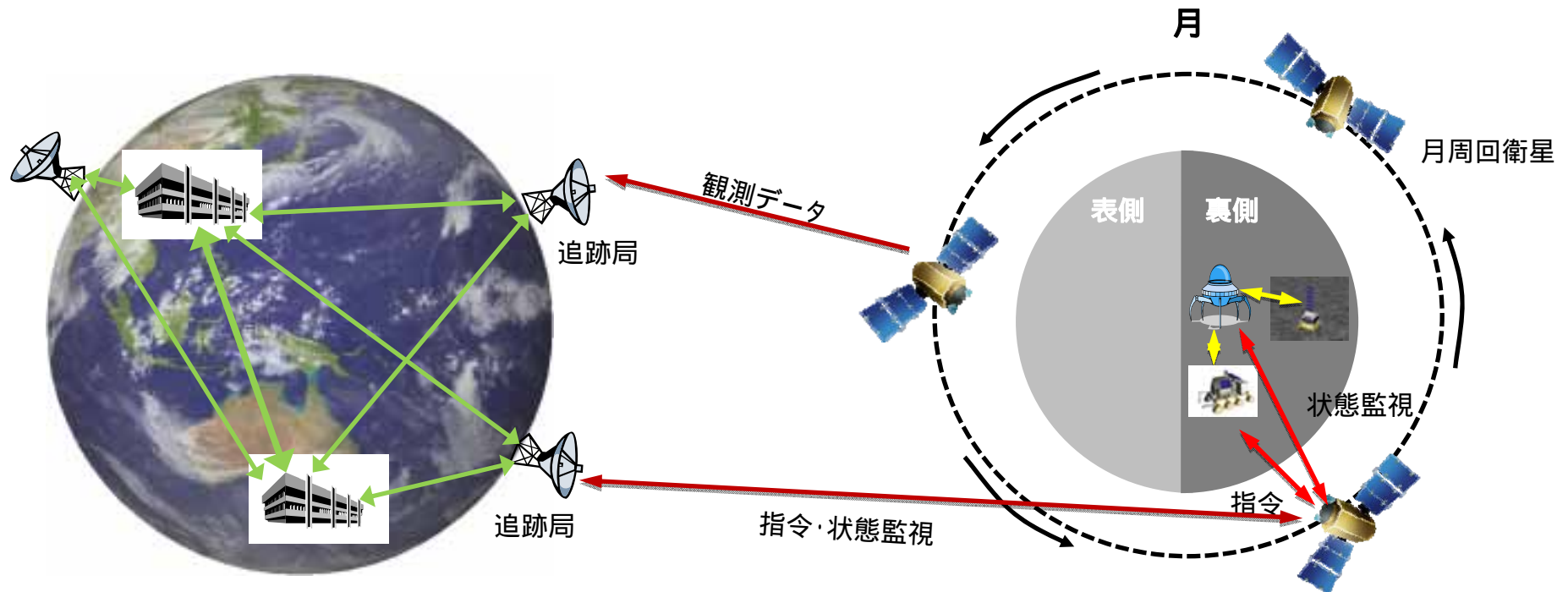
注記: 燃料電池は、地上用の開発で日本の産業界は世界トップレベルであり、宇宙用として「再生型」の研究は日本がもっとも進んでいる。
また、越夜のための熱設計技術は日本がもっとも進んでいる。

(4) 地球帰還技術



月の裏側と地球との通信案

(各図は想像図)

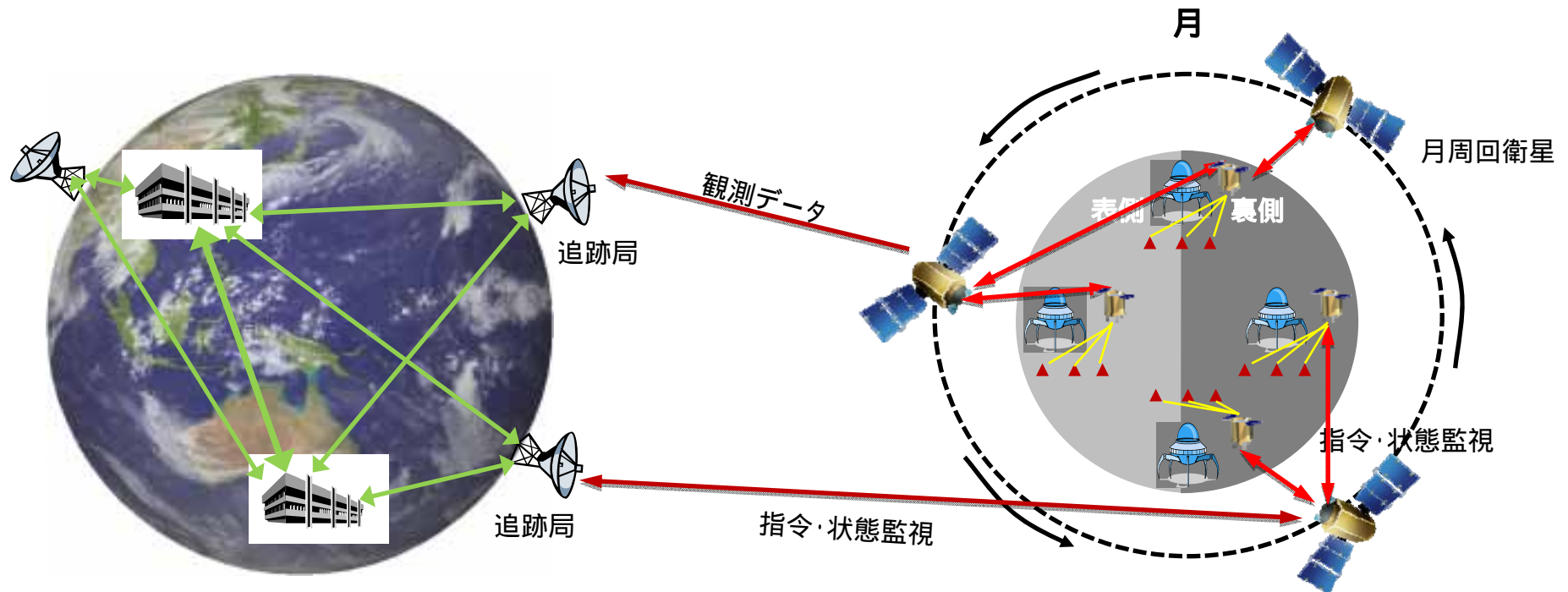


月の裏側と地球との直接通信はできないので、月周回衛星の高度を高くし、地球と直接通信ができる位置に複数配置する。

着陸やローバーの機能確認に時間的制約があるときは、その稼動状態を地球でリアルタイムでモニターし、必要な指令を送信できるようにする。

月面多地点同時観測のデータ伝送

(各図は想像図)

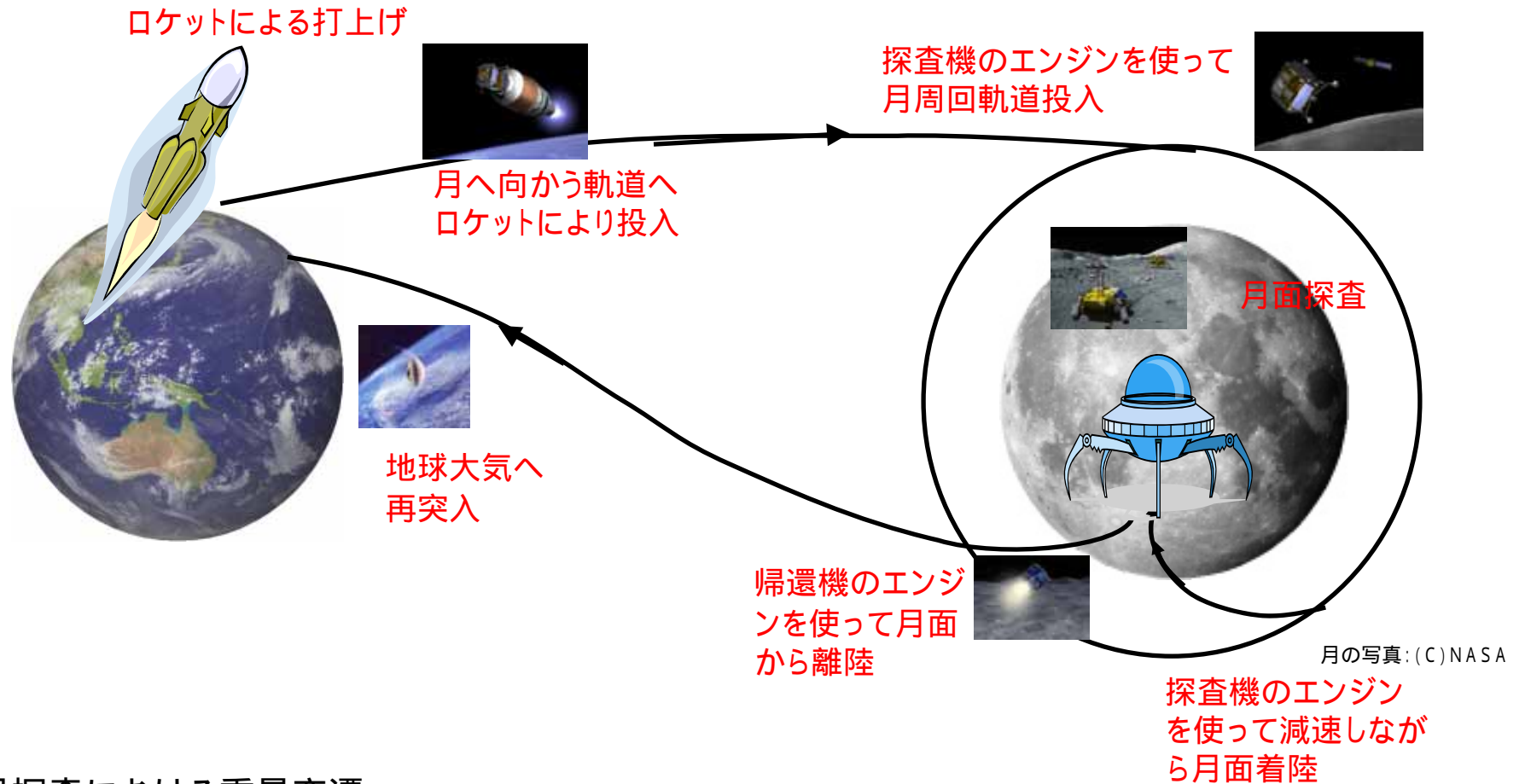


- 月の裏側と地球との直接通信はできないので、月周回衛星の高度を高くし、地球と直接通信ができる位置に複数配置する。
- 着陸やローバーの機能確認に時間的制約があるときは、その稼働状態を地球でモニターし、必要な指令を送信できるようにする。
- また月の裏側で受信した観測データは、衛星に受信・蓄積し、月の表側にきたときに地球へ伝送する。

3 . 月探査の想定シナリオ (例)

月探査の想定シナリオ (例) - ロボットによる月探査の一例

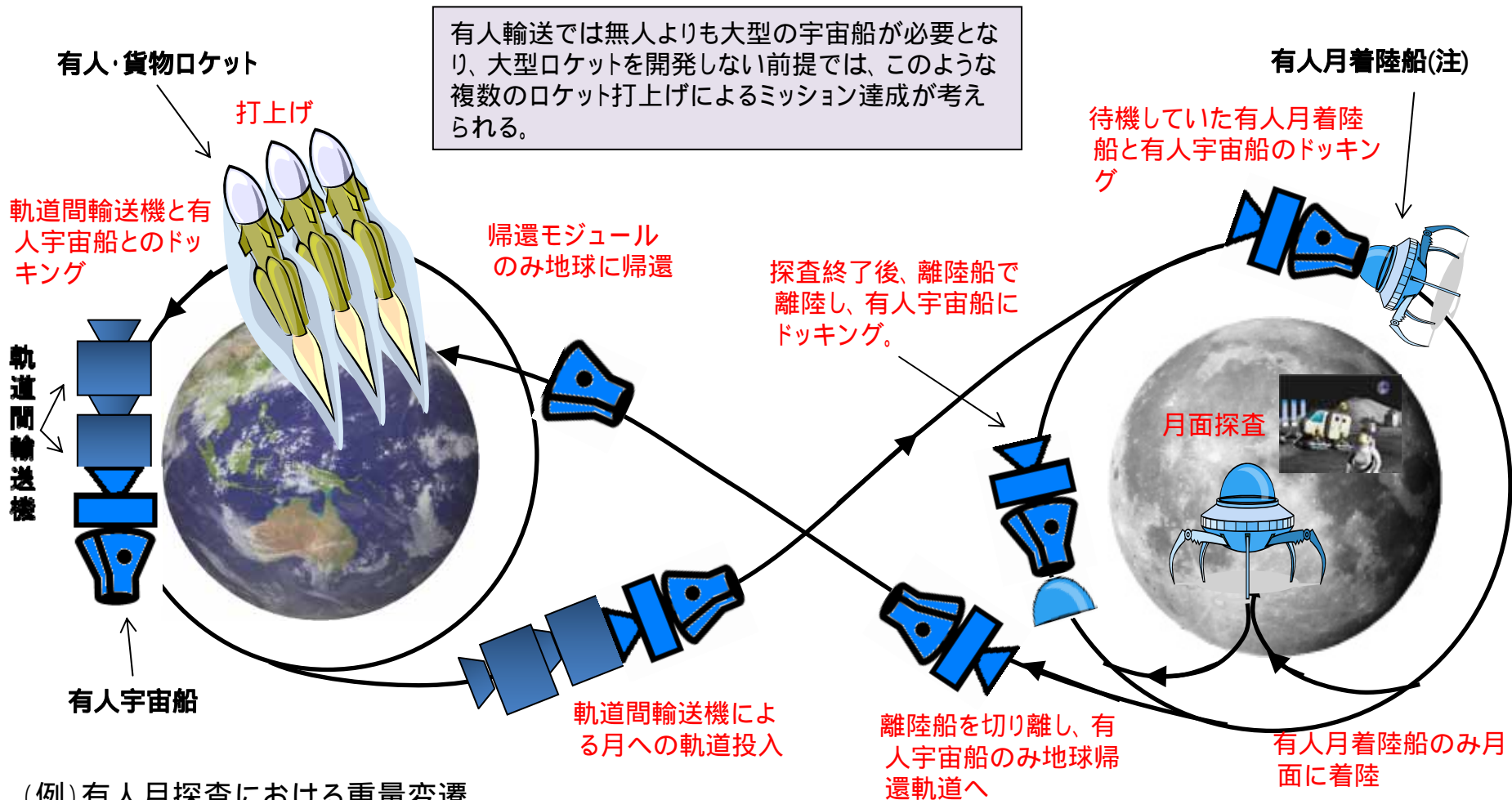
注: 写真はあくまでもイメージを示すもの。提供: JAXA・NASA



(例) 月探査における重量変遷

ロケット(例)	- 月への 軌道	月周回軌道	月面到達	観測機器等	地球帰還軌 道	地球帰還 (大気圏に突入)
H2B	5300 kg	2600 kg	1300 kg	600 kg	300 kg	20 kg

月探査の想定シナリオ(例) 一人とロボットとの連携による月探査の一例



(例) 有人月探査における重量変遷

	- 地球低軌道	月への軌道	- 月周回軌道	地球帰還軌道	地球帰還 (大気圏突入)
有人輸送(2人乗り)	67 t	26.9 t	17.0 t	9.5 t	4.0 t

(注) 有人月着陸船については同様に軌道間輸送機2機を使って月周回軌道にあらかじめ輸送しておく想定。その場合の月面着陸時の重量は約10t。うち離陸船は約5t。

月の写真: (C) NASA

4 . 月・惑星探査に関する 海外の主な動向

月・惑星探査に関する海外の主な動向(1/3)

米国(NASA 米国航空宇宙局):

(月探査に関する懇談会 第1回会合 資料3より抜粋し更新。)

- ・ ブッシュ政権では、新しい有人宇宙船の開発、有人での月再着陸、有人火星探査等を目標とする 宙探査構想に基づく計画が進んでいた。オバマ政権では、探査構想の中核をなすNASAの有人宇宙飛行計画について「米国有有人宇宙飛行計画再検討委員会(Review of U.S. Human Space Flight Plans Committee)」を設置し、再検討を行っている。スペースシャトル引退後の安全で革新的かつ適正な予算で持続可能な、有人宇宙飛行計画に関する選択肢等を検討中であり、2009年9月末を目処に検討結果の最終報告が米国大統領に提出される予定。
- ・ 上記再検討の結果により今後の計画、国際調整などに影響があると想定されるが、これまでの米国の動向については、概ね以下括弧内のとおり。

- ・ これまで、ブッシュ政権時代の宇宙探査構想に基づき、今後の探査計画について、国際宇宙探査協働グループ(ISECG:32ページ参照)ことをの枠組みに加え、ESA、JAXA等との協力に向けた2国間調整を行ってきた。
- ・ これからのISS(国際宇宙ステーション)の利用計画の一つの柱として、ISSを将来の探査プログラムのための技術実証の場として利用する構想中。
- ・ 有人月面拠点にむけた無人月探査として、2009年6月にLRO(ルナリコネッサンスオービター：着陸地点の決定、資源調査、月環境調査)及びLCROSS(永久影域の氷の存在調査)を打上げ実施。今後、LADEE(ダスト(塵)観測)及びGRAIL(重力場計測。着陸地点決定の精度向上に貢献。)を予定(2011-12年頃)。
- ・ ILN(国際月ネットワーク)構想()に、各国へ参加を呼びかけ、現在8機関が関心表明。
月面に6-8箇所の観測ポイントに観測機器(月震計や熱流計)を設置して科学観測を行うもの。
8機関:ASI:伊、BNSC:英、CNES:仏、CSA:加、DLR:独、ISRO:印、JAXA:日、KARI:韓。左記のほかCNSA :中もオブザーブ参加

欧州(ESA 欧州宇宙機関):

- ・ 2030年頃の有人火星探査を最終目的とした「オーロラプログラム」の前段として、月への無人着陸機(MoonNext等)や有人月探査の検討を行っている。
- ・ 有人月探査に関しては、将来の有人宇宙飛行及び探査における欧州の役割を分析するためのシナリオ検討等が行われており、ISECGの枠組みにおいて積極的に活動中。また、NASAとの協力に向けた、2国間の話し合いも進めている。

月・惑星探査に関する海外の主な動向(2/3)

中国(CNSA 中国国家航天局):

- ・独自の月探査計画(嫦娥(じょうが)計画、有人月探査)を進めている。2007年に嫦娥1号による月周回を実施。2011年迄に嫦娥2号により再び月周回、2012年迄に月面着陸、2017年に月面サンプル回収、2030年に中国初の有人月探査、2040年に有人の月面短期滞在、2050年に有人火星探査を計画中。
- ・月探査の目的として、国威発揚と、将来の資源利用を念頭に置いている模様。

インド(ISRO インド宇宙研究機関):

- ・無人月探査計画として、チャンドラヤーン1号(2008年:月周回)、同2号(2013年頃:着陸予定)を展開中。国際協力により月探査を実施(1号には欧米センサを搭載、2号では月面探査車をロシアが開発)。
- ・宇宙飛行士3名が搭乗可能な有人宇宙船の開発も計画している模様。

韓国(KARI 韓国航空宇宙研究所):

- ・2007年11月に決定された「宇宙開発プロジェクト詳細ロードマップ」の下、2020年までに月探査衛星1号機(周回機)を、2025年迄に月探査衛星2号機(着陸機)の打ち上げを計画中。
- ・また、2008年8月6日の韓米首脳会談で、米国との宇宙探査や宇宙科学分野での協力強化に合意したことで、米国のILN 計画への参加に積極的。

ロシア(ROSCOSMOS ロシア連邦宇宙局):

- ・ソユーズに替わる新型有人宇宙船(低軌道用)を計画中。
- ・有人月面拠点については、ISECGに参加しつつ、様子を見ているところ。
- ・無人月探査に関しては、ペネトレーターを搭載するluna-glob(月周回・月着陸探査)や月面探査車(印との協力)等を計画中。

イギリス(BNSC 英国国立宇宙センター):

- ・探査への関心はあり。ESAのオーロラプログラムへの参加が主。
- ・無人月探査では、NASAと協力しつつ、ペネトレータを積んだ月周回機(MoonLite)、着陸機(MoonRaker)を計画。

月・惑星探査に関する海外の主な動向(3/3)

カナダ(CSA カナダ宇宙庁):

- ・2008年に探査計画(Exploration Core Program)を開始し、概念検討等を実施。2009年には月・火星の探査車のプロトタイプ開発等に向けて予算面も含めて探査計画下の活動が活発になる様子。
- ・将来の探査プログラムでは、ISS計画等での実績をベースにロボティクスを中心にカナダ独自の技術貢献をすることを目指しており、有人月面拠点構想に対しては、カナダ人が月面到達するための協力調整(探査車、資源利用、軌道上サービス等)をNASAと開始している様子。
- ・ISS計画では、有人宇宙技術(特に宇宙飛行士の搭乗、医学関係研究等)とカナダアームに代表されるロボティクスを中心に取り組んでいる。

多国間国際協力の動向:

< 国際宇宙探査協働グループ >

- ・ブッシュ大統領の宇宙探査構想の発表を契機として、米国が世界の宇宙機関に対し国際協力を呼びかけ、2006年、14宇宙機関(日本はJAXA)による国際探査戦略(GES)の検討が開始された。その協働活動の枠組みとして、国際宇宙探査協働グループ(ISECG)が設立(インドを除く13宇宙機関が参加)。
- ・国際約束のような強制力を持った作業分担ではなく、各国の独自性を発揮しつつ、全体として整合性のあるプログラムの構想を目指す緩やかな分業が志向されており、主として国際協働の調整の場として活用されている。
- ・現在、各国において探査シナリオ等の検討活動が行われており、2010年6月頃を目処に、今後の検討にあたって参照すべき共通の国際探査構想のとりまとめが行われる予定だが、米国の有人宇宙計画の再検討の影響を受けるものと思われる。なお、会合には、各宇宙機関長の出席が求められている。

GES14宇宙機関: ASI(イタリア宇宙機関)、BNSC(英国国立宇宙センター)、CNES(フランス国立宇宙研究センター)、CNSA(中国、国家航天局)、CSA(カナダ宇宙庁)、CSIRO(オーストラリア連邦科学産業研究機構)、DLR(ドイツ航空宇宙研究センター)、ESA(欧州宇宙機関)、ISRO(インド宇宙研究機関)、JAXA(宇宙航空研究開発機構)、KARI(韓国航空宇宙研究所)、NASA(米国航空宇宙局)、NSAU(ウクライナ国立宇宙機関)、Roscosmos(ロシア連邦宇宙局)

GES: Global Exploration Strategy / ISECG: International Space Exploration Coordination Group