

月探査ミッション「かぐや(SELENE)」が目指す月の科学と利用-

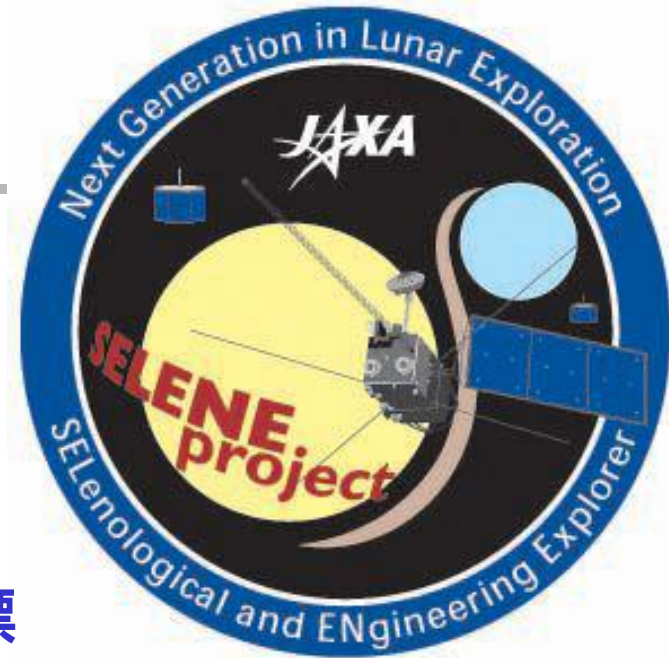
昨年9月に打ち上げられ、月探査を開始した科学探査機”かぐや”

かぐやとはどのような計画か？
何が搭載されているのか？
何が分かるのか？
どういう意義があるのか？

2008年1月

本講演の内容

1. 月探査機”かぐや”の目的と意義
2. 探査機の性能
 - 衛星本体(バス機器)の性能
 - 科学機器(ミッション機器)の観測目標
3. 探査機の運用(管制と月軌道投入シナリオ)
4. 開発経過と打ち上げ運用経過
5. 観測機器の詳細とこれまで得られた主要結果
(クイックルック)
6. 今後の運用計画
7. 月探査の将来(我が国及び諸外国の計画)





月探査機”かぐや(SELENE)”の目的

- 月科学

 - 月の起源と進化の解明

- 月利用の可能性の調査

 - 取得データは、将来の月面上活動や月利用のための調査にも使用

- 月探査技術の開発と蓄積

 - 月探査を体系的、継続的に進める上で必要となる基盤技術の開発及びノーハウの蓄積

- 宇宙開発と科学技術への国民の理解増進

 - ハイビジョンカメラによる「地球の出」等の印象的な映像取得

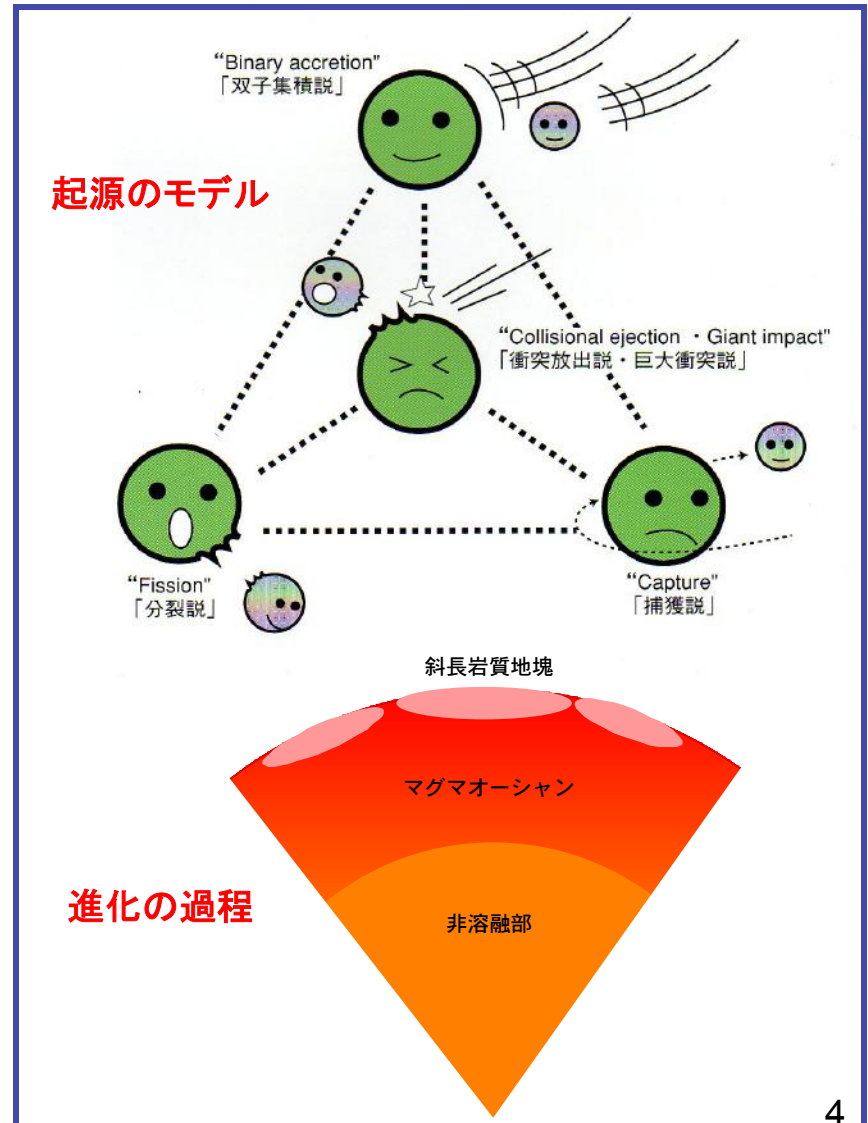
“かぐや”のめざす科学とは？

1. 月の科学(主目的)
月の起源と進化の解明



2. 月での科学
月面環境の解明

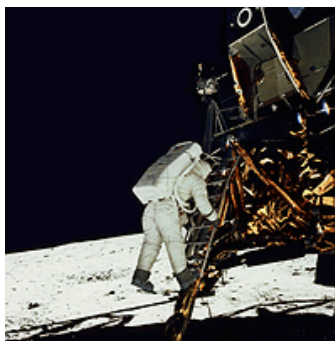
3. 月からの科学
太陽地球系プラズマ環境の解明
月面天文台等の候補場所調査



“かぐや”の月探査史上の位置づけ

(1) 1960年代から70年代の無人探査、有人探査(アポロ計画が代表例)

- ・月周回観測、サンプルリターンなどが行われたが、月へ人を送ることを主目的としたことから、科学的成果は限定的。
- ・月は約45億年前に形成された、表と裏の構造が大きく異なっていることなどを明らかにしたが、「月の起源と進化」については謎として残された。



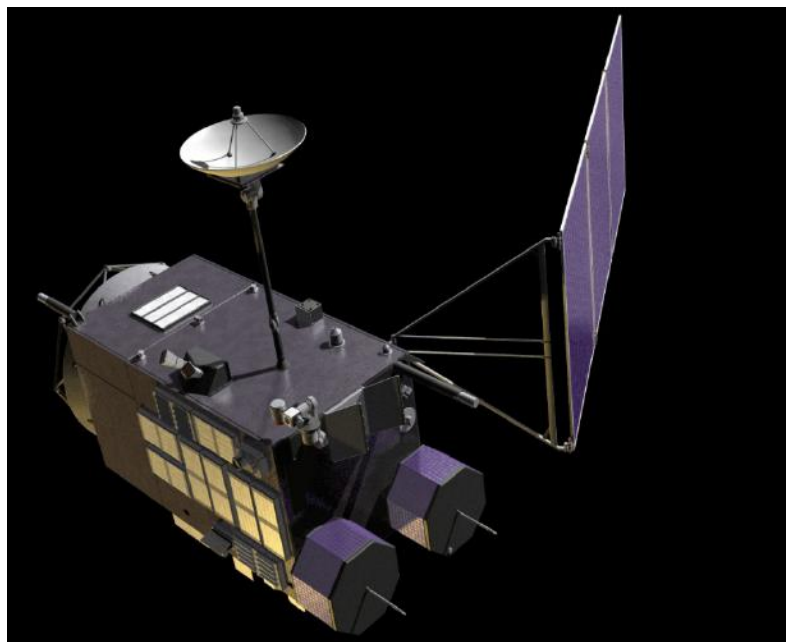
(2) 1990年代以降の無人月周回衛星(1994年のクレメンタイン(米)、1998年のルナ・プロスペクタ(米)、2004～2006年のスマート1(ESA))

- ・大まかな鉱物分布等の全域観測、極域に水氷がある可能性を示すデータを得たが、搭載観測機器の性能、観測軌道の制約のため、科学的成果は限定的。

(3) かぐやによる月周回探査

- ・月の起源と進化の解明のためには、月全域にわたり、元素・鉱物分布、表層構造、重力分布、磁場分布について、高精度なデータが必須であり、セレーネはこれらの全てのデータの取得を目的として開発された。

“かぐや”の性能



月遷移軌道飛行中の機体(想像図)

諸元

(主衛星)

質量: 約2.9ton(打上げ時)
(子衛星約50kg×2機を含む)
構体外形寸法: 約2.1×2.1×4.8m
姿勢制御方式: 3軸安定
発生電力: 約3.5 kW(最大)
ミッション期間: 約1年
観測軌道: 高度100km/傾斜角90度の円軌道

(子衛星)

質量: 約50kg
構体外形寸法: 約0.99×0.99×0.65m (八角柱状)
姿勢制御方式: スピン安定
発生電力: 約70W
ミッション期間: 約1年
観測軌道(分離時):
(リレー衛星): 高度100km×2400kmの楕円軌道
(VRAD衛星): 高度100km× 800kmの楕円軌道

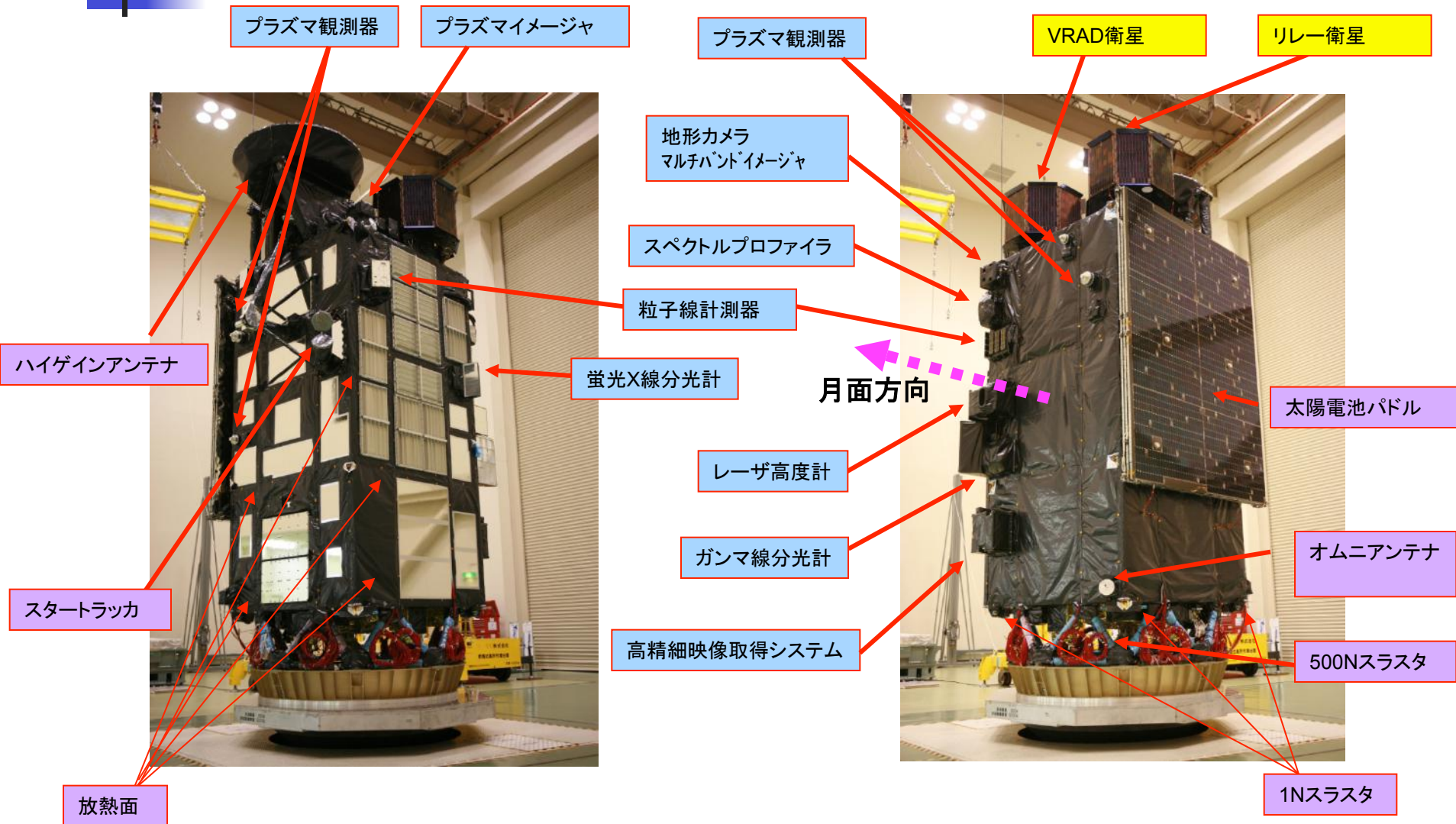
VRAD: VLBI RADio source

VLBI: Very Long Baseline Interferometry

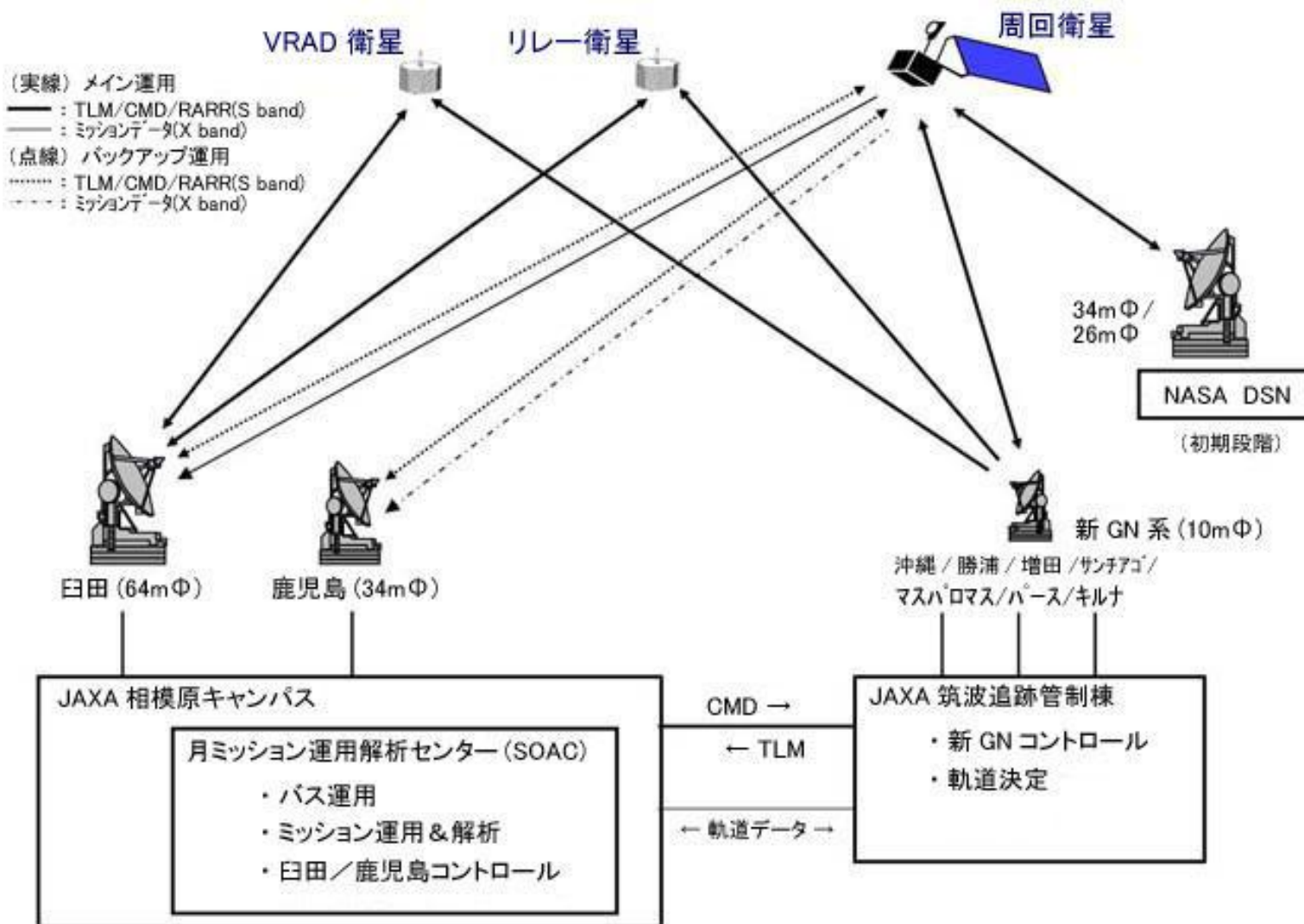
“かぐや”に搭載されている観測機器

	機器名称	観測項目	観測内容
1	蛍光X線分光計	元素分布	太陽からのX線を受けて月面から放射される二次X線を観測し、月表面のAl, Si, Mg, Fe等の元素分布を調べる。
2	ガンマ線分光計		月面から放射される γ 線を観測し、月表面の放射性元素(U, Th, K等)分布を調べる。
3	マルチバンドイメージャ	地質・ 鉱物分布	月面からの可視近赤外光を複数の波長で観測し、地質を調べる。
4	スペクトルプロファイラ		月面からの可視近赤外光における連続スペクトルを観測し、地質中に含まれる鉱物の組成等を調べる。
5	地形カメラ	地形・ 表層構造	高分解能(10m)カメラ2台のステレオ撮像により、標高を含む地形データを取得する。
6	月レーダサウンダ		月面に電波を発射し、その反射により月の表層構造(地下数km程度)を調べる。
7	レーザ高度計		月面にレーザ光を発射し、その反射時間により、地形の起伏、高度を精密に測定する。
8	磁力計	月面環境	月面および月周辺の磁気分布を観測する。
9	粒子線計測器		月周辺における、宇宙線や太陽から放射される高エネルギー放射線、及び月面から放射される α 線を観測する。
10	プラズマ観測器		月周辺の太陽風の電子とイオン及び月面からの反射電子と二次イオンを測定する。
11	電波科学		衛星のリム通過時に衛星からの電波の位相変化を測定し、希薄な月電離層を検出する。
12	プラズマイメージャ	地球プラズマ環境	月軌道から地球の磁気圏及びプラズマ圏のダイナミクスを画像として観測する。
13	リレー衛星中継器	月の重力分布	主衛星が月裏側を飛行中に地球局との4ウェイドップラ計測を行う。主衛星の軌道擾乱から月裏側の重力場データを取得する。
14	衛星電波源		2機の子衛星に搭載する電波源に対し地球局から相対VLBI観測を行い、両衛星の軌道を精密に計測する。これにより月重力場を精密に観測する。
15	高精細映像取得システム	映像取得	月面上の「地球の出」等のハイビジョン撮影を行う。

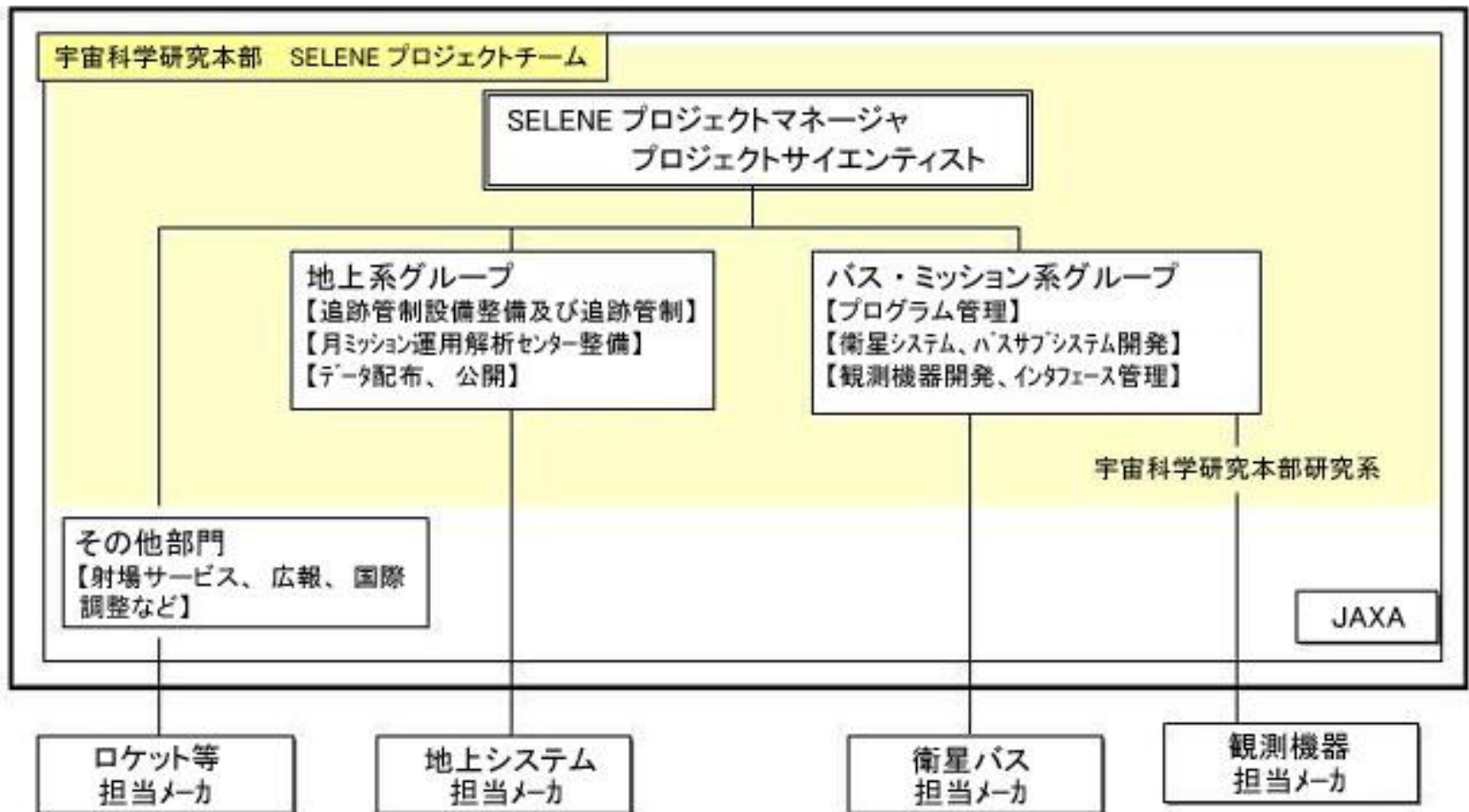
搭載機器の配置



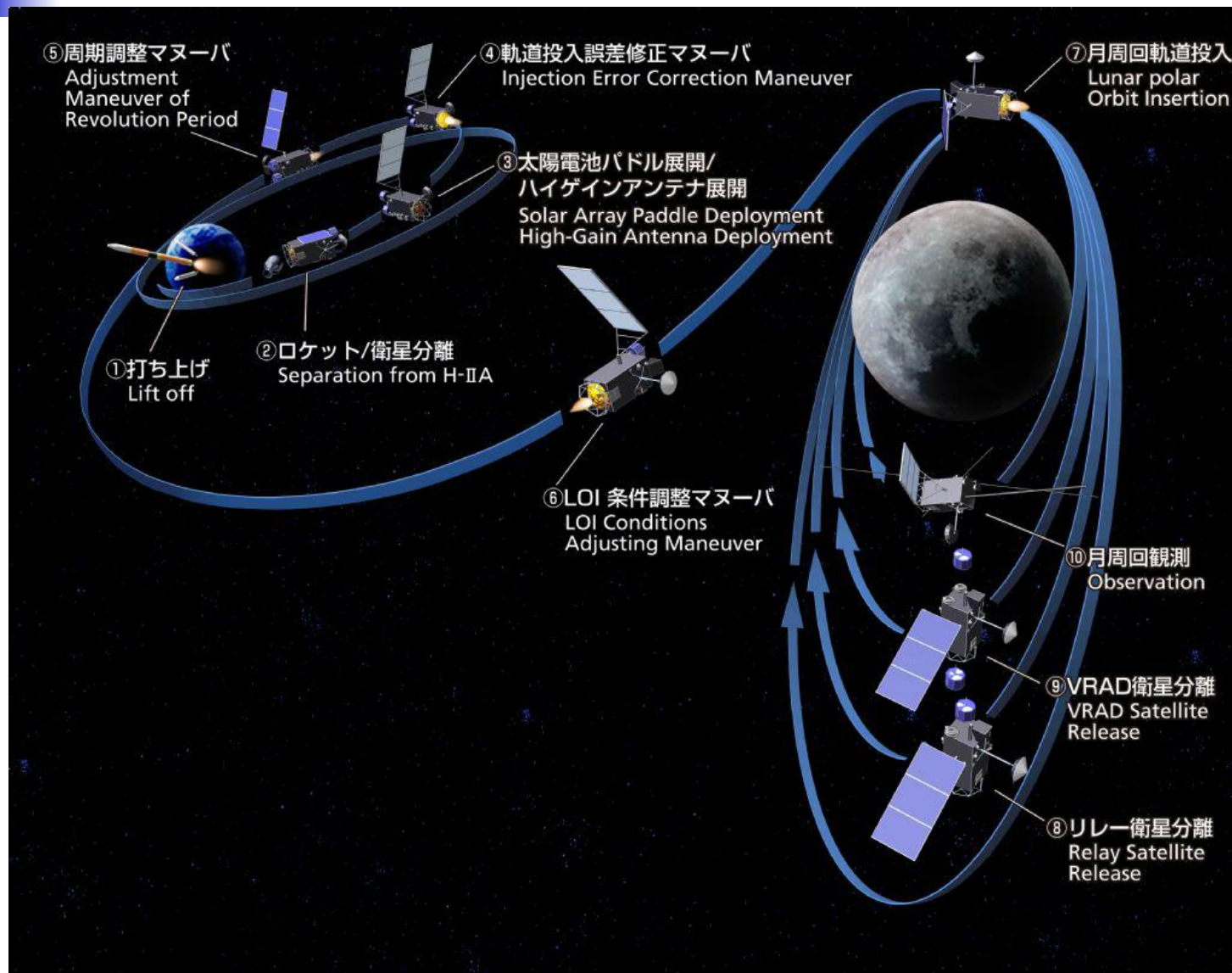
“かぐや”の追跡・運用管制



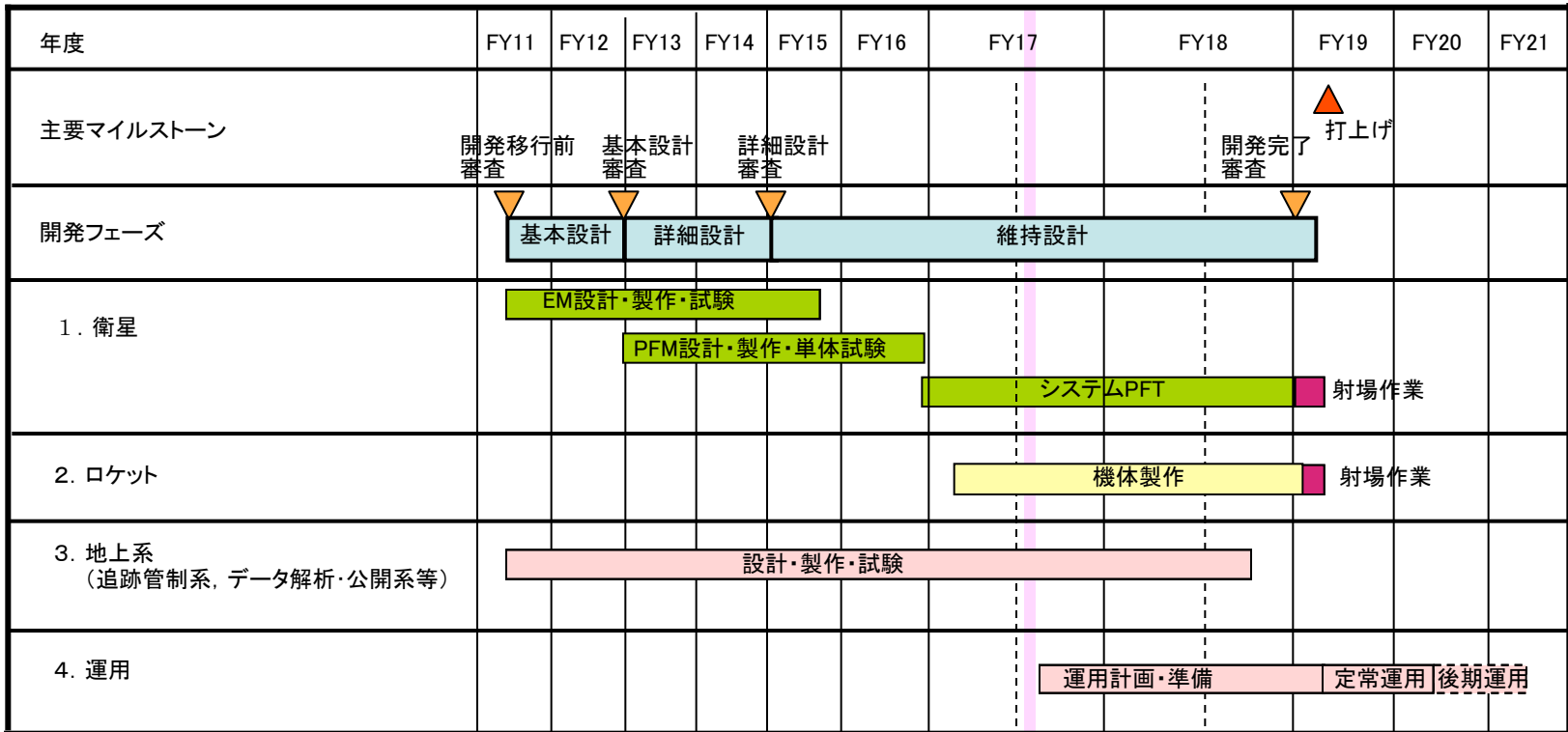
“かぐや”の開発・運用体制



“かぐや”の月軌道投入シナリオ



“かぐや”の開発の経緯



EM: Engineering Model
 PFM: Proto Flight Model
 PFT: Proto Flight Test

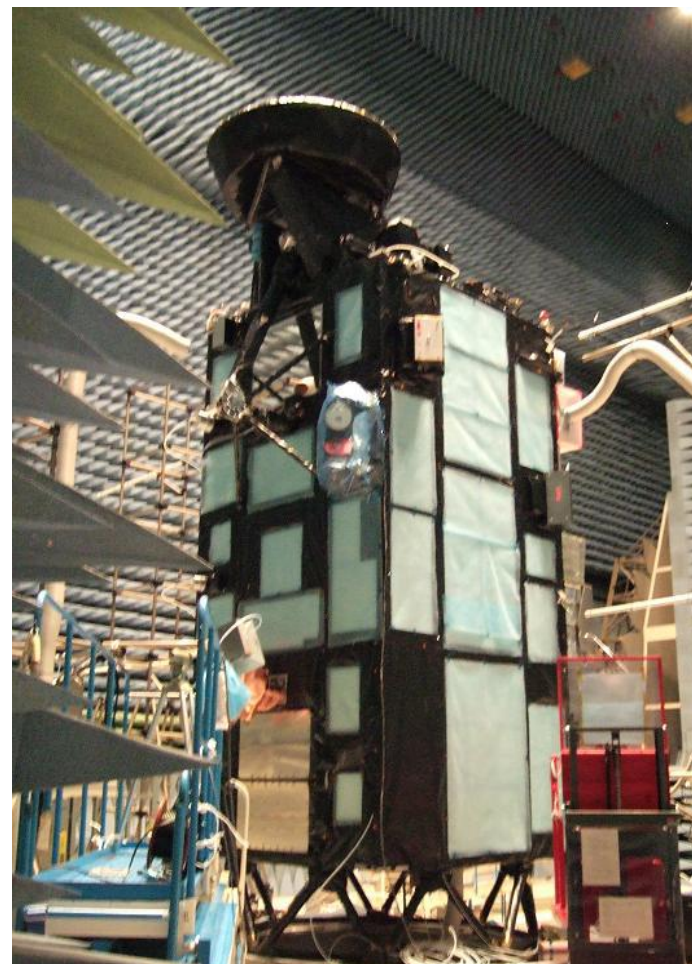
“かぐや”の地上試験



電気性能試験



熱真空試験



電磁適合性試験

“かぐや”の射場インテグレーションと打ち上げ



ロケットへの取り付け治具結合



ノーズフェアリング格納

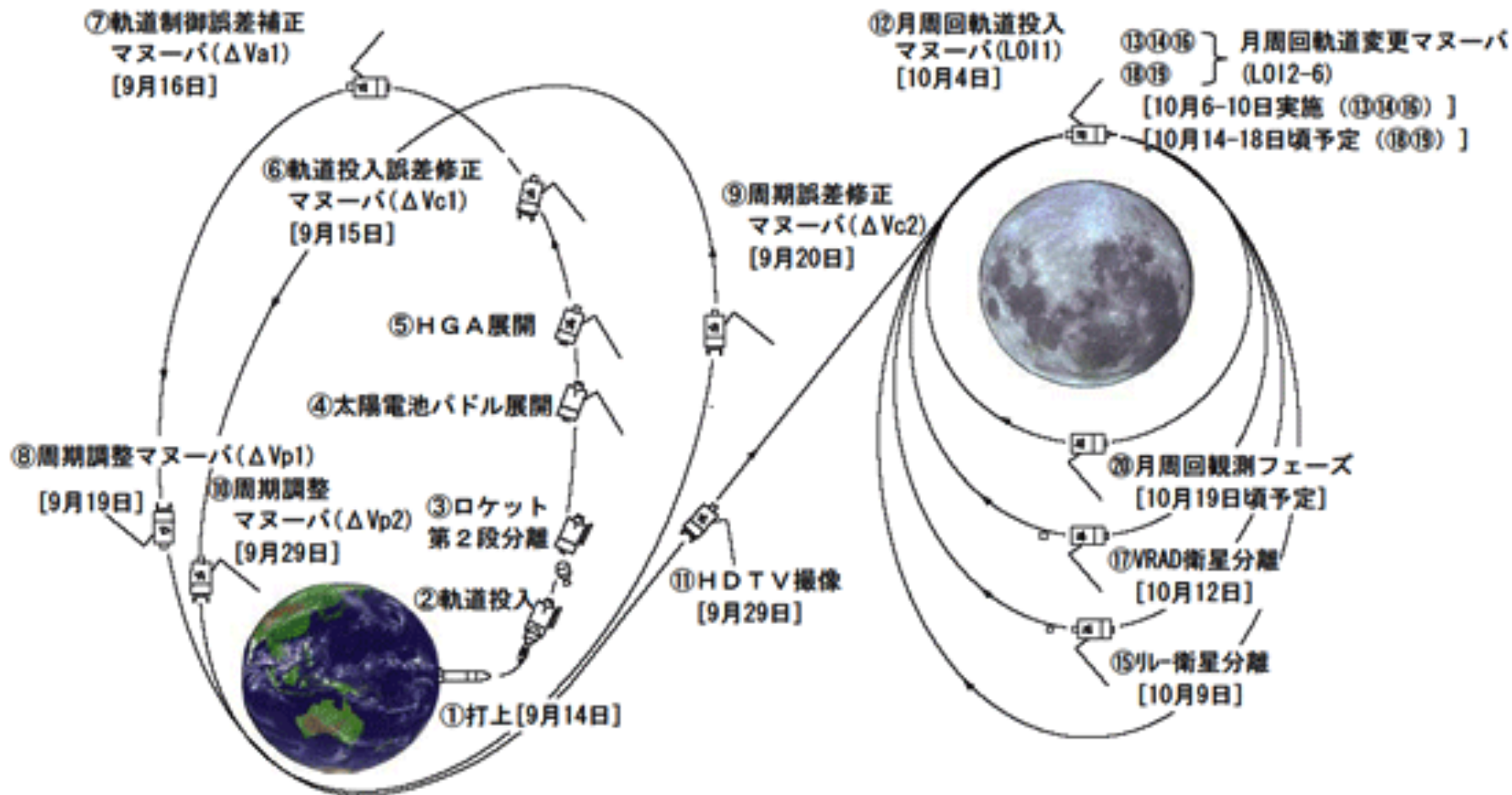


ノーズフェアリング結合



ロケット打ち上げ

“かぐや”の運用経過



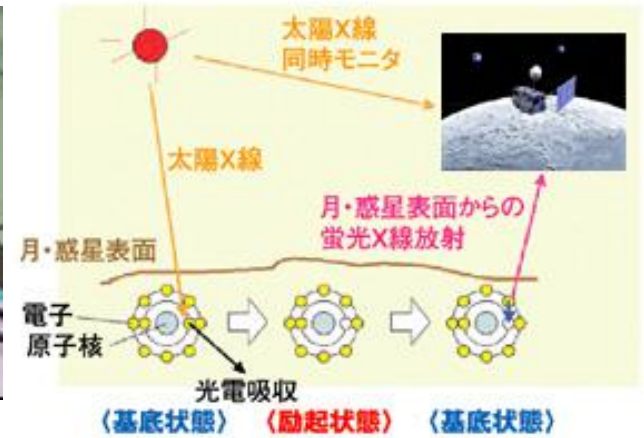
元素分布の観測

蛍光X線分光計

太陽X線によって励起された表層からの蛍光X線を分析
Al, Si, Mg, Fe 等の主要元素を計測
先進的な検出センサーCCDを使用
エネルギーレンジ 0.5-10keV
高い空間分解能 20km x 20km



X線分光計検出器 **オ**

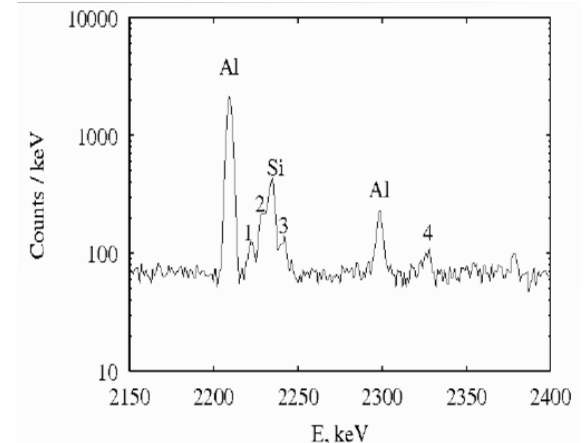


ガンマ線分光計

放射性元素、宇宙線励起のガンマ線を検出
K, U, Th, O, Mg, Al, Si, Ti, Fe, Ca, H などの元素全般を計測
高純度ゲルマニウム結晶 (250cm³) を用いた高いエネルギー分解能 (高い元素識別能力)
エネルギーレンジ 100 keV-10MeV
空間分解能 160km



ガンマ線分光計検出器 **オ**



水素の検出 **一**

鉱物分布の観測

マルチバンドイメージャ

可視～近赤外 ($0.4 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$)

9枚のフィルタで画像観測(バンド幅 10-30 nm)

空間分解能 20m

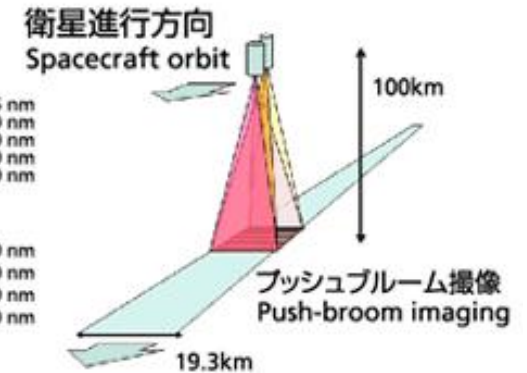


MI

MI-VIS:
20m/pixel



MI-NIR:
62m/pixel

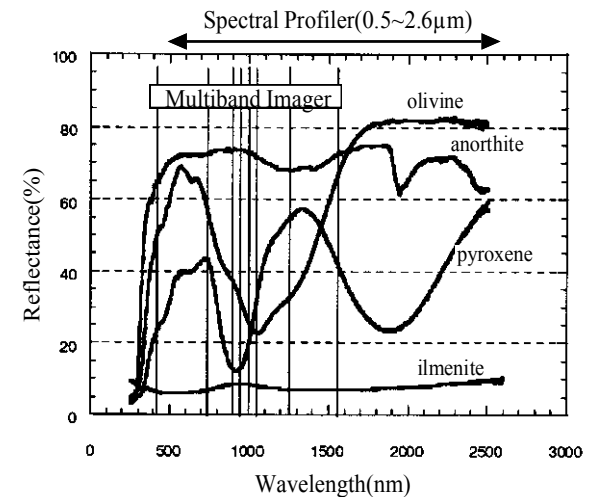
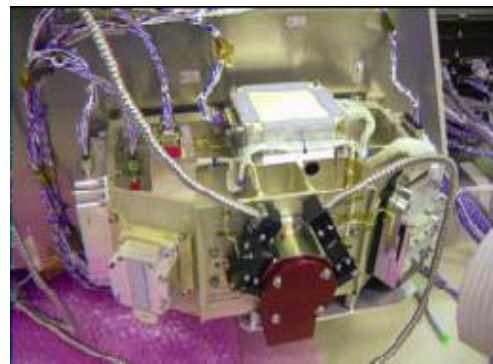


スペクトルプロファイラ

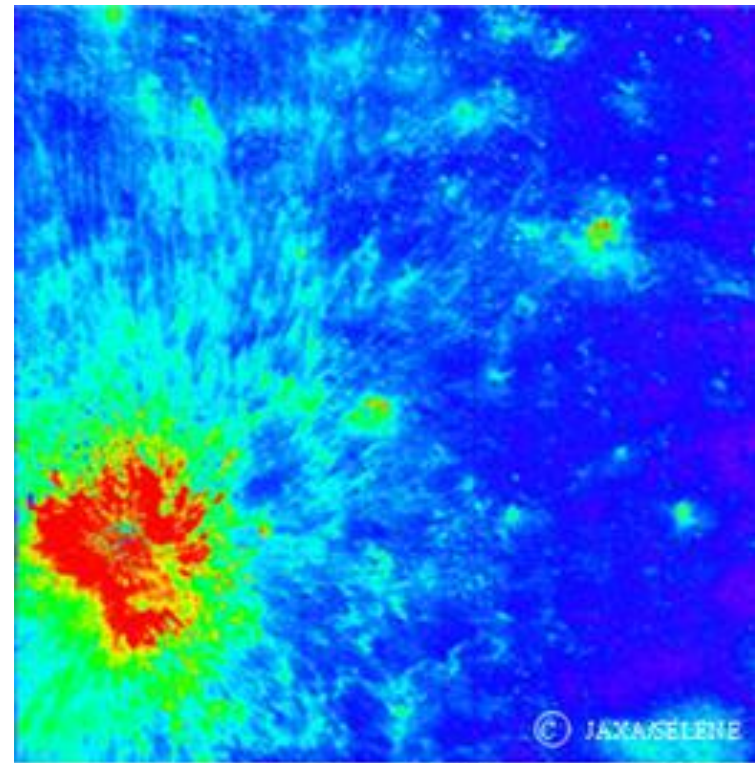
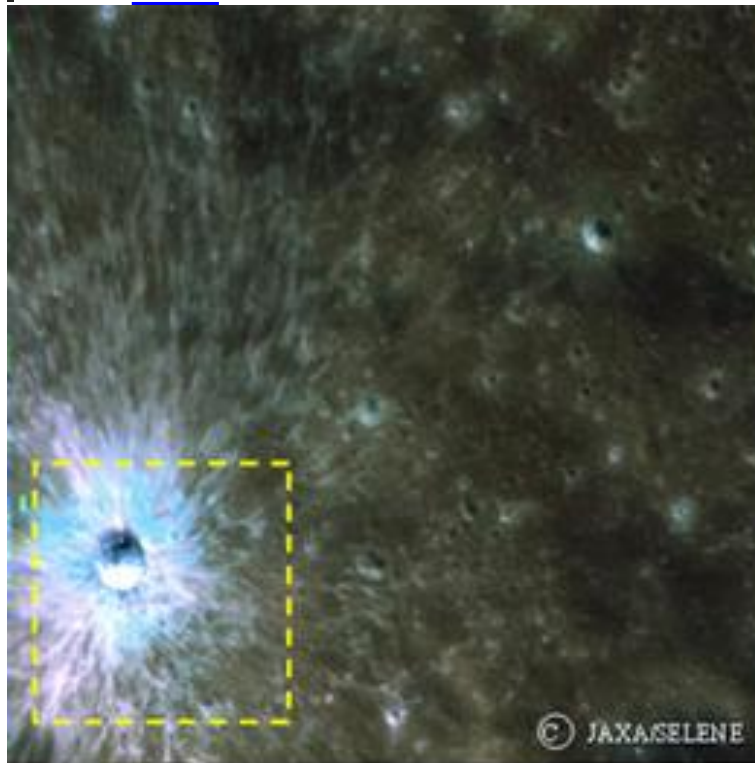
可視～近赤外 ($0.5 \mu\text{m} \sim 2.6 \mu\text{m}$)

連続分光(分解能5nm)

空間分解能 500m

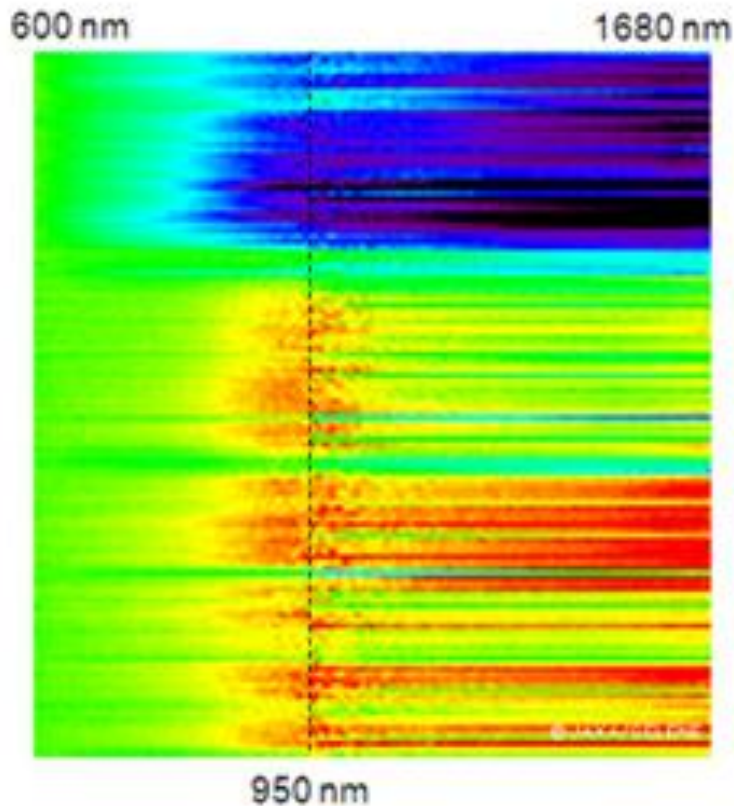


マルチバンドイメージャによる観測例

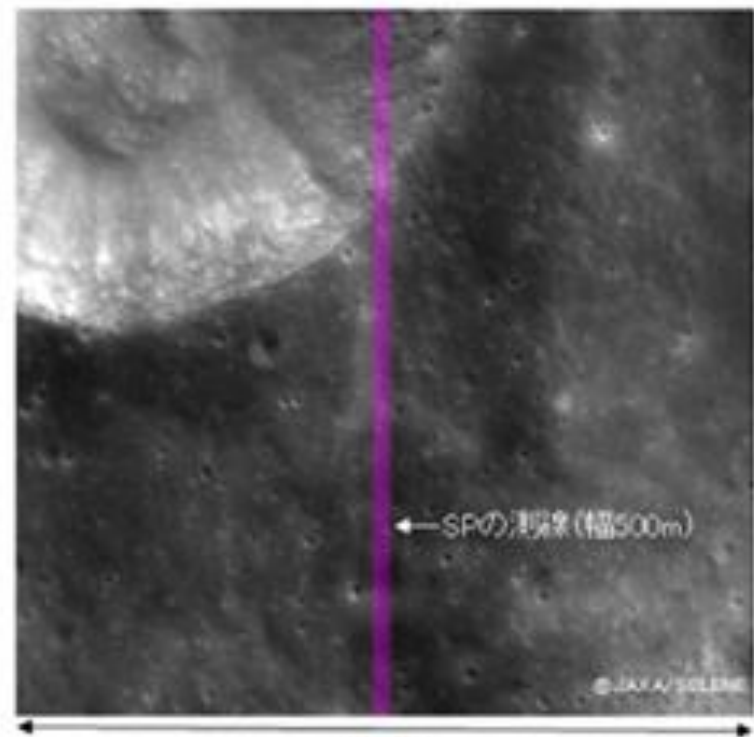


擬似カラー画像(左)は9つのバンドのうち、900nm、750nm、415nmの3つのバンドをそれぞれ赤・緑・青(RGB)に割り当てたもの。比演算画像(右)は、750nm/1000nmという2つのバンドの強度比を色であらわしたもの。複数の波長バンドの観測画像を画像処理することによって、クレータ形成の際の衝突の規模や方向などを知るために必要な月の内部から表面に掘り起こされた物質の量や飛散方向、及びクレータの地下に存在する鉱物の化学組成について知ることができる。単バンド画像と比べ、比演算を実施することによりクレータ周辺に飛散した物質の分布の不均一性がより鮮明にわかる。高地斜長岩表土(濃い青)の上にクレータ生成により掘り起こされた物質(強度比が大きい)が多い領域が赤～黄色～黄緑に見えているものと考えらる。

スペクトルプロファイラによる観測



北
↑
衛星進行方向
↓
南



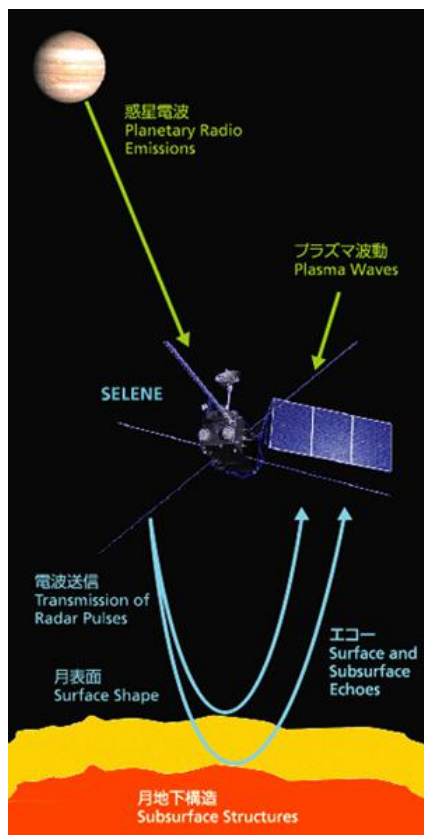
19 km
【↑クリックで拡大画像】

クレータ周辺のスペクトルプロファイラデータ及びマルチバンドイメージ画像 左:クレータ付近のスペクトルプロファイラデータ 右:左図のスペクトルプロファイラの観測場所のMI画像。右図中央のピンクの線はスペクトルプロファイラの観測領域。大きなクレータの斜面では、波長が長くなるにつれ反射光が弱くなっているため、新鮮な岩石、土壌が分布していると考えられる。一方、波長が長くなるにつれ反射光が強くなっている場所は、宇宙風化(*)の進んだ土壌、岩石が分布していると考えられる。(*)宇宙風化:月面表層が微小隕石の衝突や宇宙線の照射に長年さらされることによる変化。

表層構造の観測

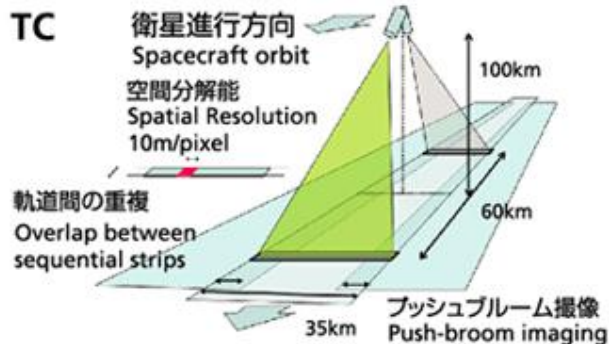
月レーダサウンダー

電波 (5 MHz) による地下構造探査
地下 5 km まで分解能 100m



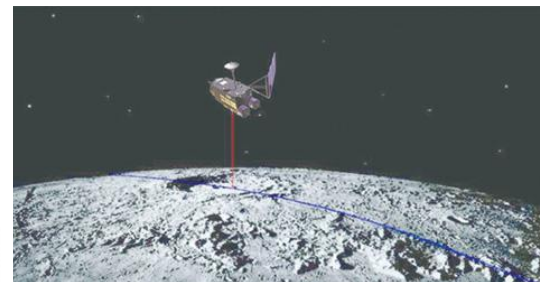
地形カメラ

2台のカメラによるステレオ撮像
空間分解能 10m

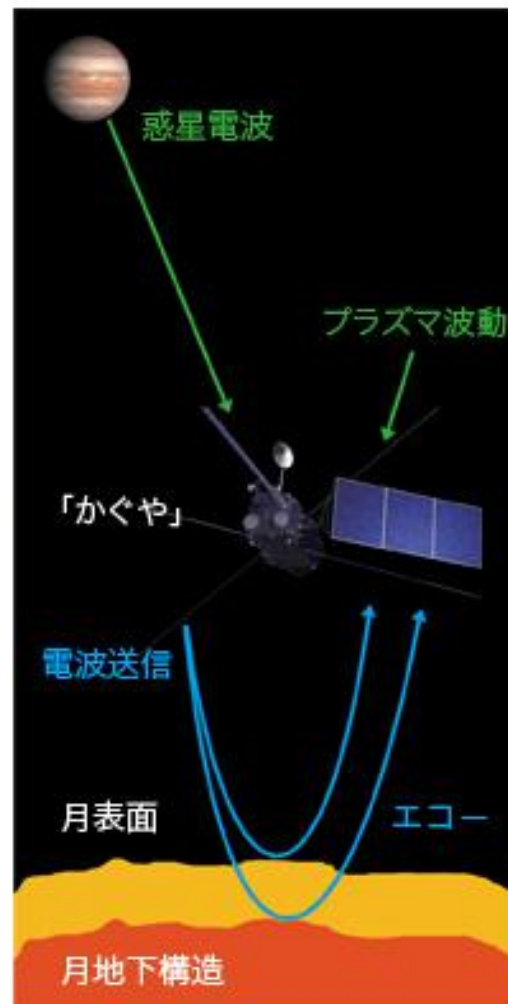
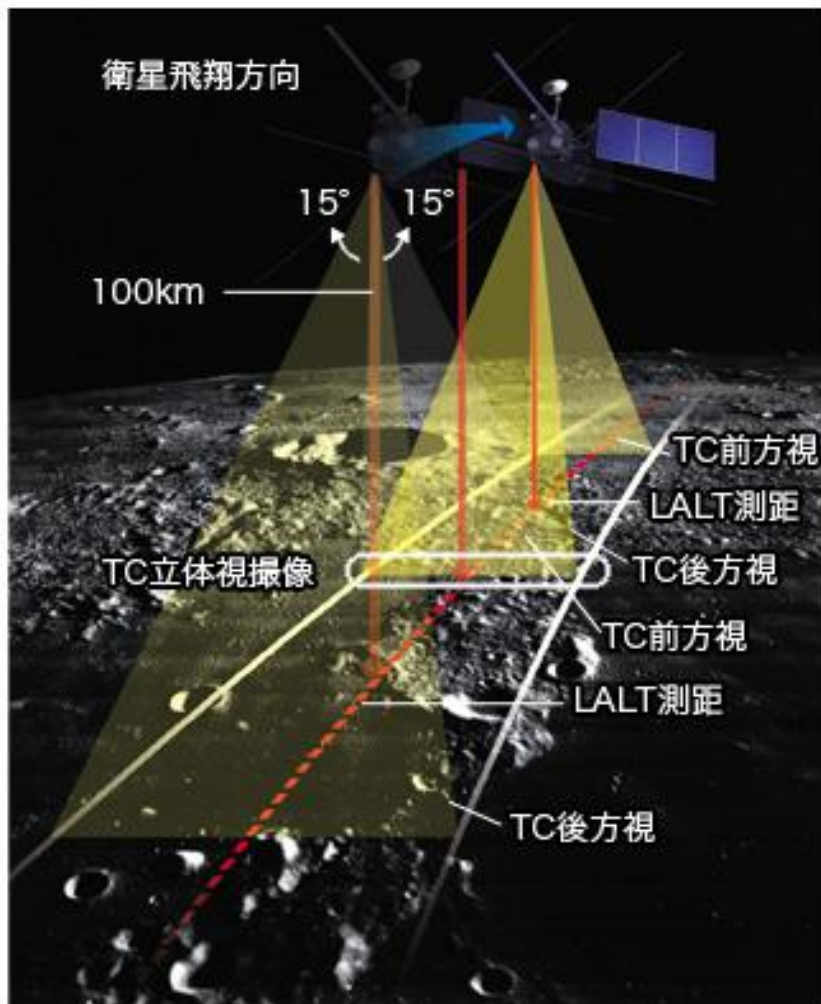


レーザ高度計

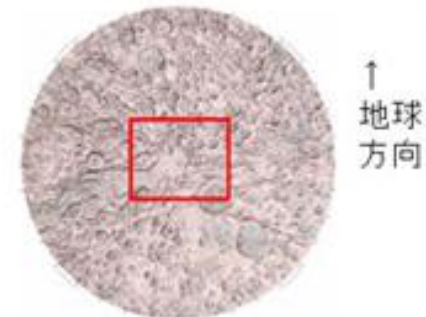
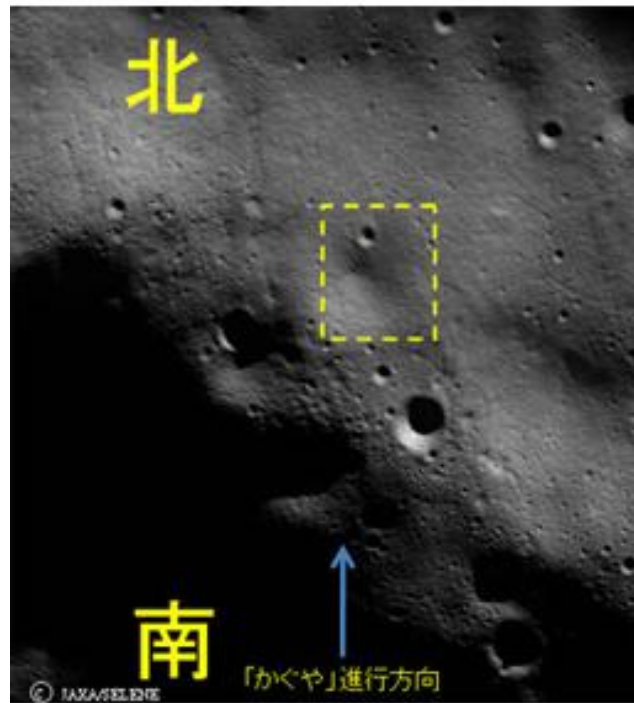
Nd:YAGレーザー
フットプリント 30m
高度分解能 5m,
空間分解能 1600m
(発振 1Hz)



3機器による表面・地下構造の観測



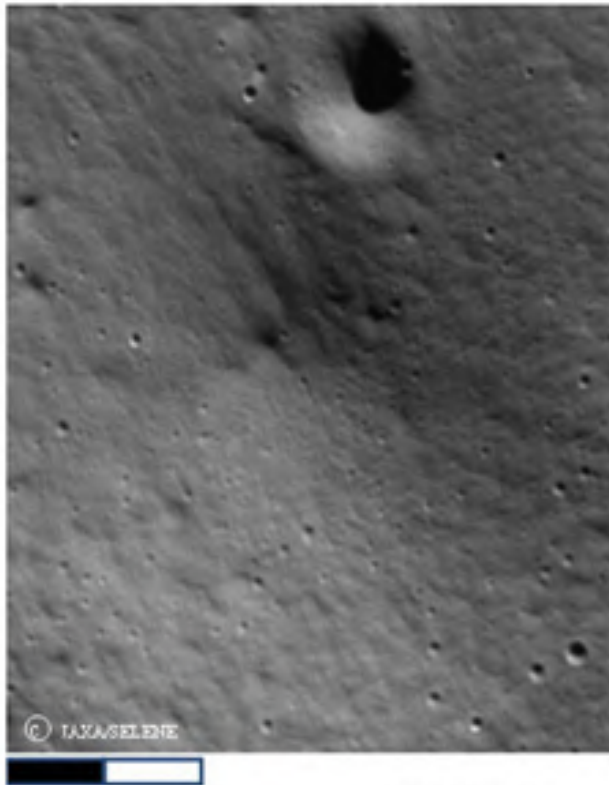
地形カメラによる観測(初期データ)



出典 <http://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog>

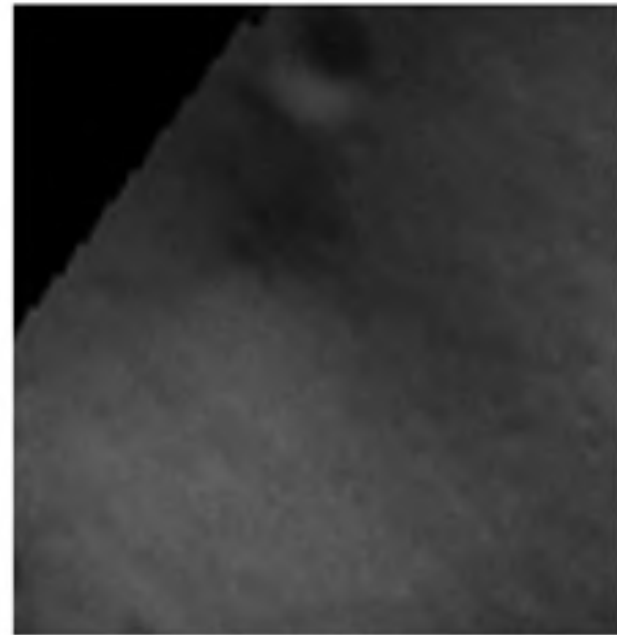
2007年11月3日に地形カメラの初期機能確認を行い、南極域の夏の時期の立体視観測に成功した(初画像)。月の裏側で、南極点から約30kmの位置(南緯89° 東経240°)。

かぐや地形カメラの性能



1km

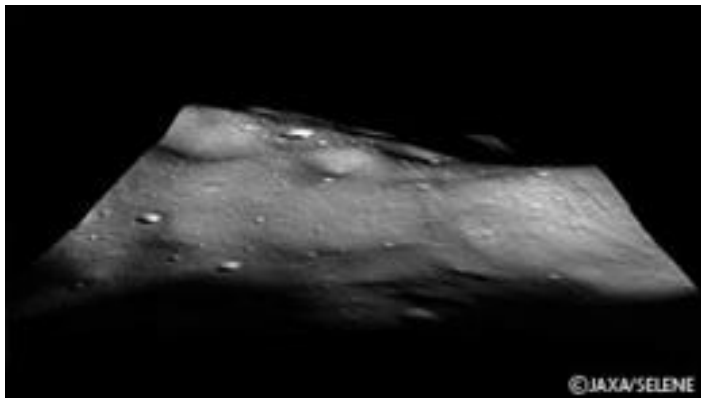
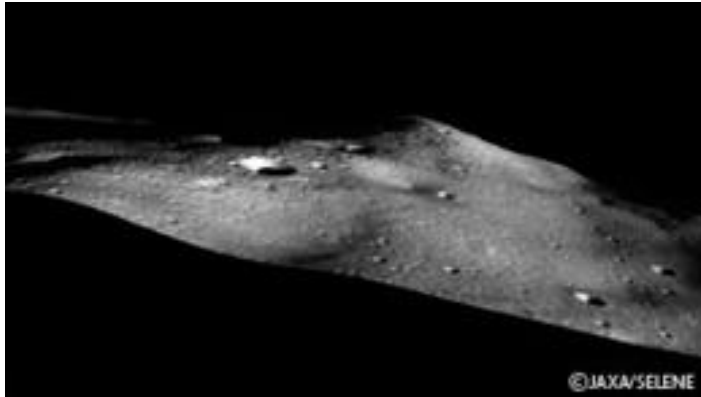
地形カメラ



クレメンタインHiRes (高空間分解能)カメラ
(出典 Clementine digital Image model
CD-CL_6022 version 1)

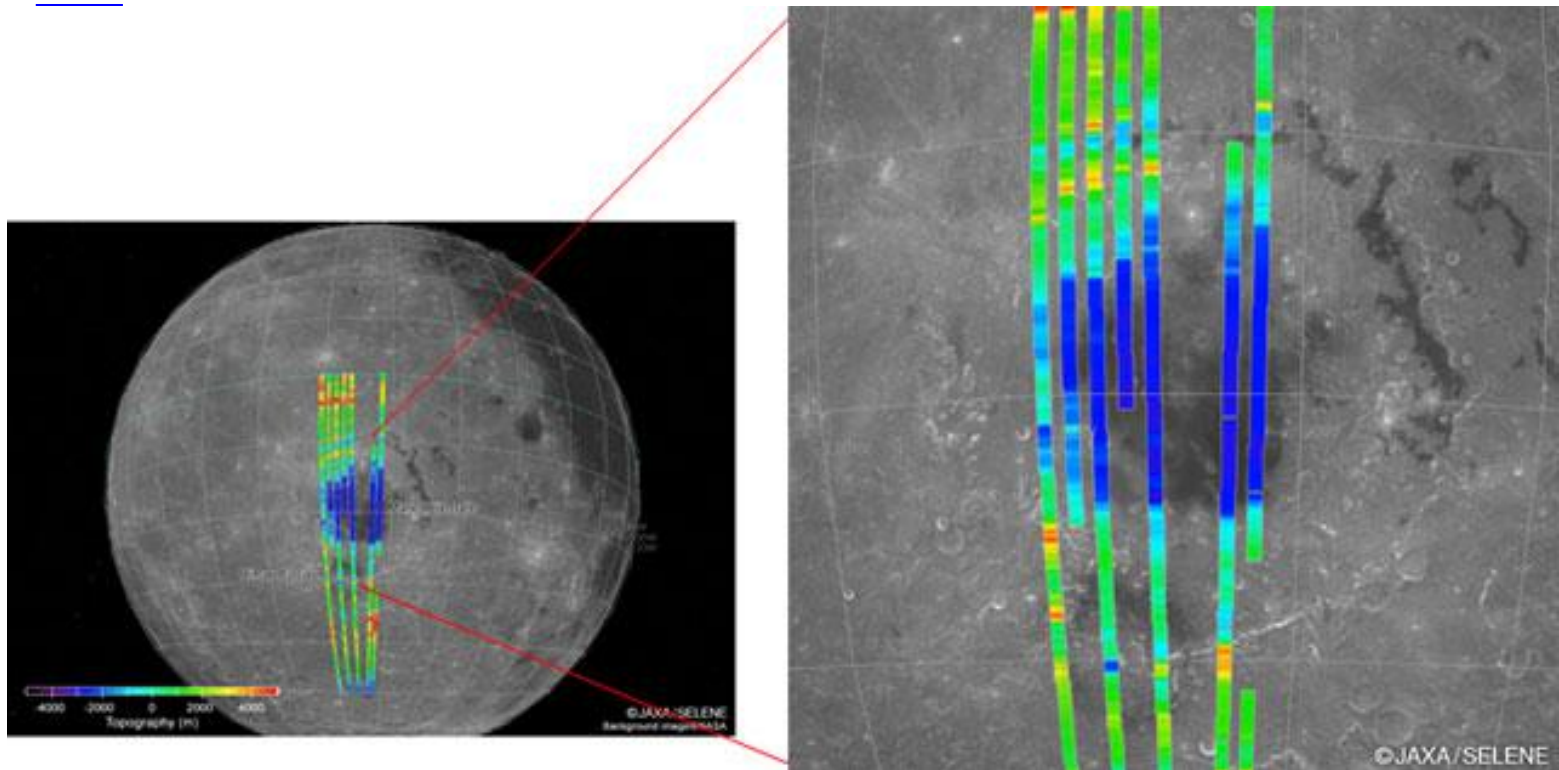
前スライド、黄色領域のかぐやの地形カメラとクレメンタイン(米国)の高空間分解能カメラの取得画像の比較。地形カメラでは、クレメンタイン高空間分解能カメラでは見られない、微細なクレータ(数10mサイズ)や、クレータ内の微細な構造が映し出されていることがわかる。

地形カメラによる立体観測



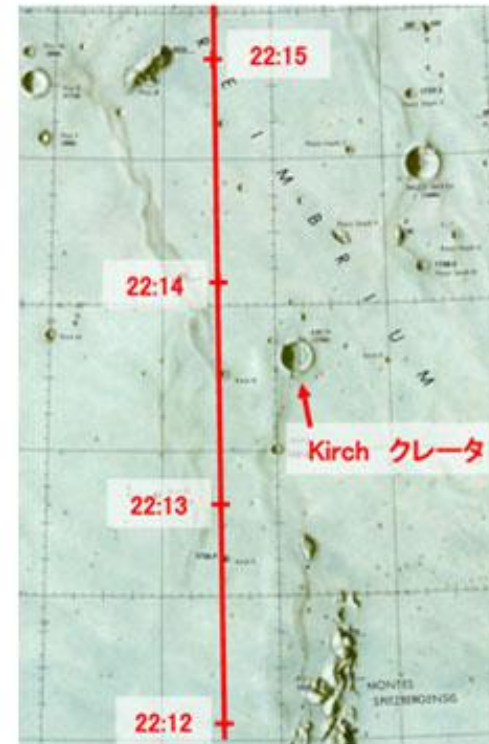
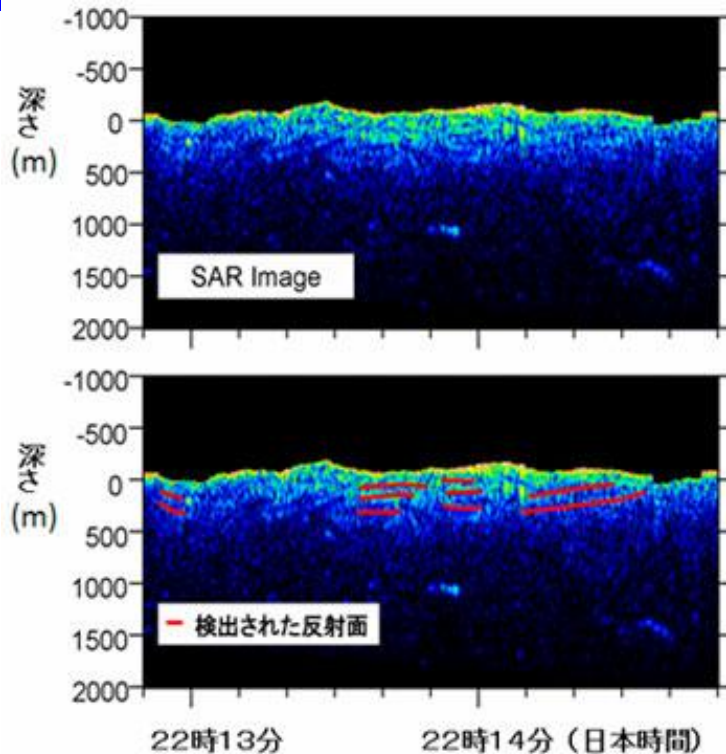
地形カメラ立体視データから作成した3次元地形画像。前スライドに示された範囲の立体視観測から作成したもの。左上の画像：西から東を見る。右上の画像：南から北を見る。左下の画像：北から南をみる。右下の画像：東から西を見る。

レーザー高度計による観測例



ALTから得られたオリエンタル盆地(19.4S/92.8W付近)の地形高度データ(Topography)。レメンタインに搭載されたレーザー高度計(LIDAR)は、垂直分解能が約100mであり、両極域のデータは観測されていない。また、クレメンタインによる観測データの間隔は、軌道沿いの平均間隔が20kmで、軌道間隔は約60km。一方、“かぐや”の高度計は、垂直分解能5m、赤道域で平均約2km四方に1点という間隔での月全球の観測が可能。観測日は2007年12月12日、25日。

レーダサウンダーによる観測例



2007年11月21日に得られた雨の海北東部Kirchクレータ(39.2N/5.6W 直径11km)付近の観測結果。左上図では、衛星直下の深さ500m程度まで存在する反射面を合成開口処理により検出した結果を示している。左下図には同定された反射面を示す赤い線が書き込まれている。測線長は約180km(衛星が2分間で移動する距離)なので、これらの反射面はほぼ水平に横たわっていることになる。表面から地下数キロメートルまでの地下構造を把握できる能力が確認された。

月重力場の観測

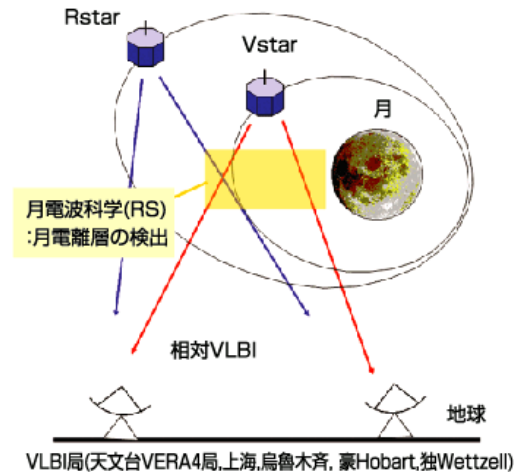
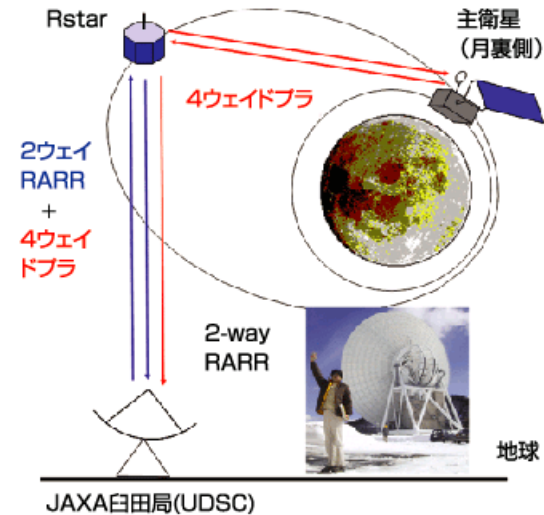
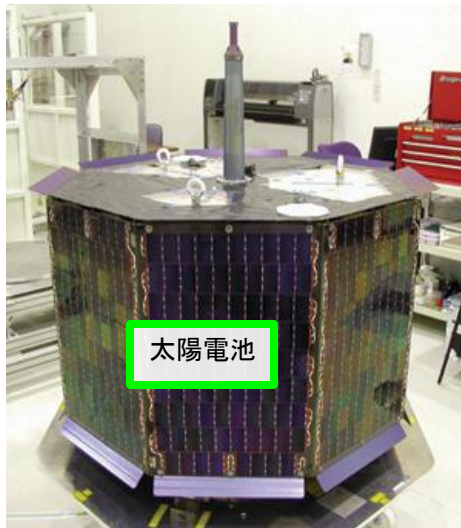
リレー衛星中継器

周回衛星の電波をリレー衛星(近月点100km, 遠月点2400km)に投入)で地上に中継し4ウェイドップラ観測を行う。これにより月の裏側の重力分布を計測。

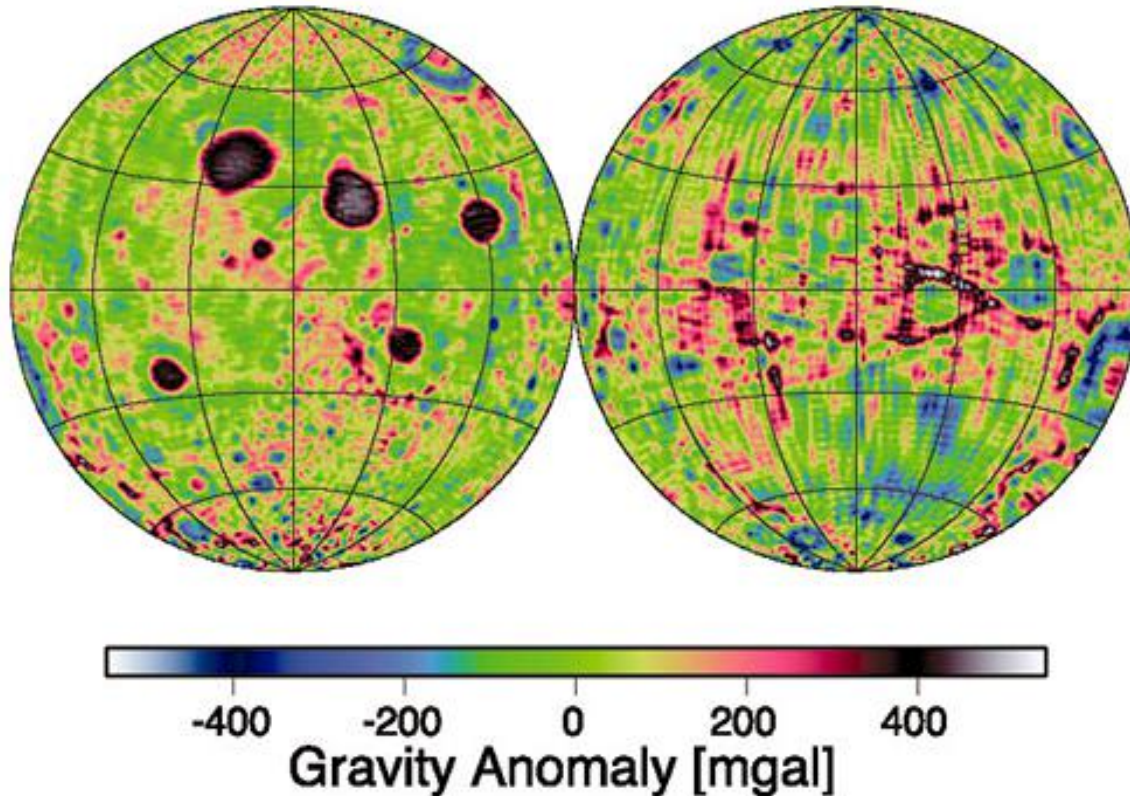
衛星電波源

Sバンド3波、Xバンド1波の電波源をリレー衛星、VRAD衛星(近月点100km, 遠月点800km)に搭載
地上からのVLBI観測(3局以上)により高精度軌道決定
これにより月全体の重力場を高精度で決定

子衛星
(RSTAR,
VSTAR)

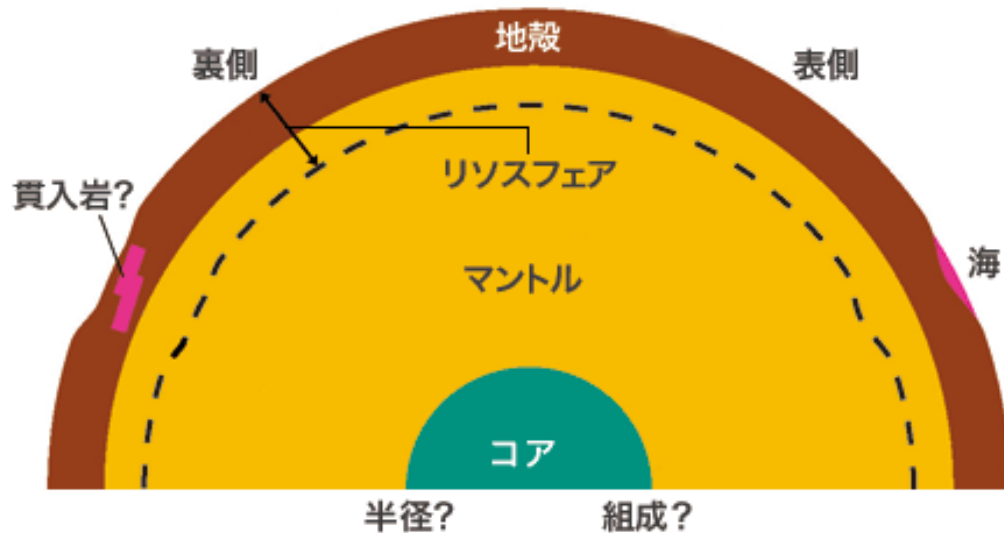


月重力場の観測



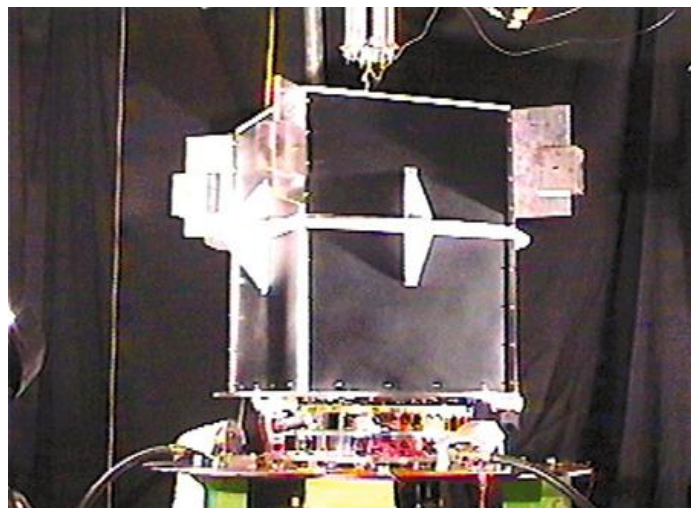
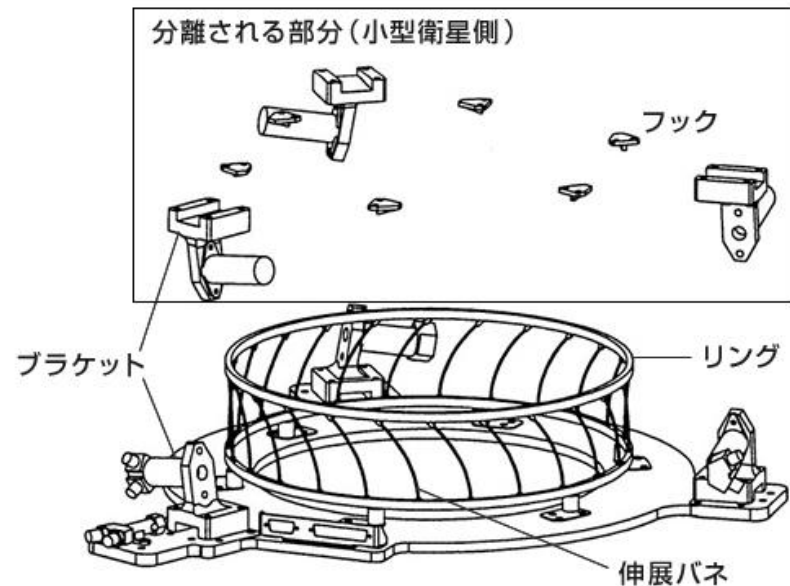
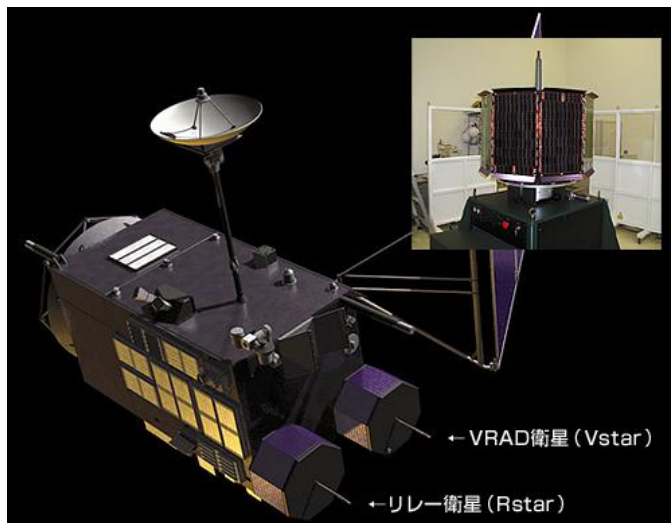
月の重力場モデルLP165Pによる重力異常の地図。左半分は地球から見えている表側，右半分は裏側(NASAのコノプリフ博士、2001年)，これまでの米国の探査機が取得したデータを総合的に解析した結果。重力異常により、地殻の厚さなどの内部構造を知ることができる。月の表側の丸く色の濃い領域は特に重力が大きい場所で、内部に質量が集中していると推定されマスコンと呼ばれている。重力異常の地図と地形図とを比較すると、マスコンの位置がちょうど大きなクレータに一致していることが分かる。月の進化の初期に巨大な隕石によってクレータが形成された際に、高密度マントル物質の貫入や盆地への溶岩の集積が起きたことを示唆していると考えられている。

月重力場の観測



重力観測の目標は、第一に全球の重力異常図を完成させること。月の表面は白く明るい「高地」と暗い「海」に分かれている。月の海を埋めている溶岩は高地の地殻よりも密度が高いため、海の上では高地よりも重力が強くなる。重力から地殻内部やマントル上部の構造を推測することができる。密度の高い溶岩は“重し”として月表層のリソスフェアをたわませる。誕生間もないころの熱く薄いリソスフェアは、大きくたわんだと考えられる。重力と地形(たわみ具合)をスペクトル解析することで、月の冷却過程についてのヒントを得ることができる。月は表と裏で地形・地質が大きく異なっており(二分性)、天体を二分するような要因が誕生直後にあったはずである。全球の重力異常図が完成することで、二分性の定量的な研究が可能となる。第二の目標は、月のコアの半径や組成に関する推定を絞り込んでいくこと。内部に鉄がどれだけ含まれているかは、月の起源にかかわる重要な情報である。そのため、VRADミッションでは重力ポテンシャルの二次の展開係数を解析する。その結果を秤動データと組み合わせることで、月の慣性モーメントを高精度で決定することができる。ただし、月の深部についてはまだ十分な観測データがない。マントル下部の密度やコアに含まれる軽元素を妥当な値に仮定して、コアの半径を制約する。

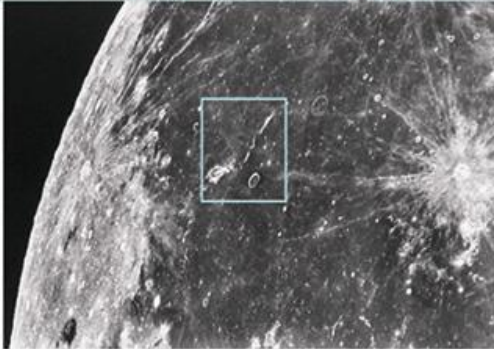
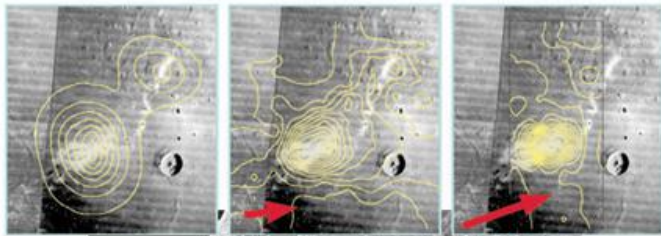
月重力場を観測するための子衛星の分離装置



ゴムひもで模擬衛星をつり下げて張力と重力が釣り合う位置に分離機構を置くことによって、微小重力を模擬する装置を考案して試験を行った。左図の中央にある箱が質量特性を小型衛星と一致させた模擬衛星、その上に見えているのが衛星をつり下げるショックコード。こうして得られたデータをもとに開発モデルを作成し、ピギーバック衛星 μ -Lab Satによる軌道上実証も行った。

磁場観測

微弱な月磁場
何故月に磁場が存在しているのか謎

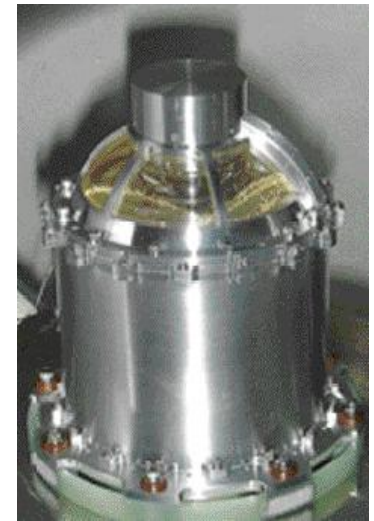


LO-IV-157-II-112, LO-IV-182-II, 112
of Digital Lunar Orbiter Photographic Atlas of the Moon
DV No. N9547C of Consolidated Lunar Atlas

磁力計
3軸リングコア型磁力
精度0.1 nT以上
マスト(長さ 12m)先端に取り
付けることにより衛星本
体の残留磁場の影響を回避



プラズマ観測器(電子エ
ネルギー分析器)
表面磁場により反射され
た太陽風電子を計測する
ことにより表面磁場を検
出(反射電子法)
計測範囲 5 eV~15 keV

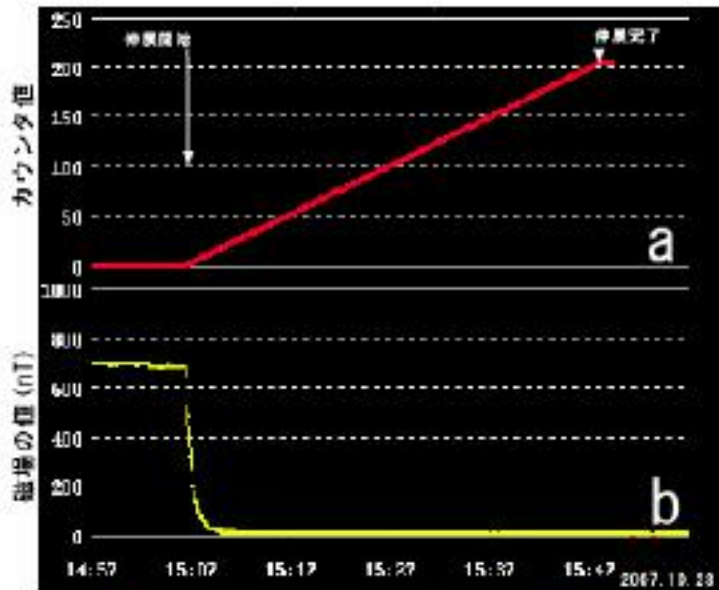


磁場観測装置のマスト(12m)の展開



モニターテレビでの観測

初期の磁場観測データの例



23:57

24:47

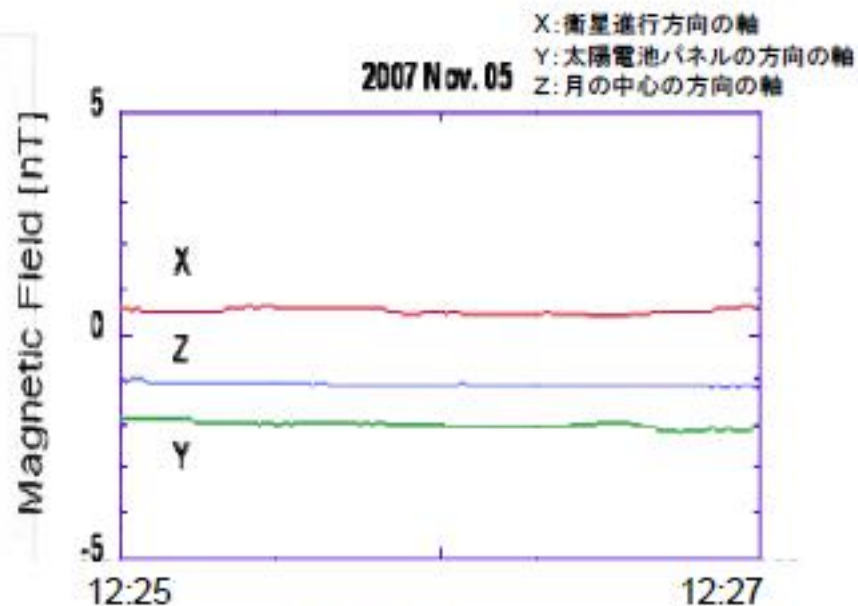
(日本時間)

©JAXA/SELENE

マスト伸展状況(10月28日)

a: マストの伸展を示すカウンタ値。

b: マスト先端での磁場の測定値。



12:25

12:27

(日本時間)

©JAXA/SELENE

磁場観測データの例

(平成19年11月5日、月表側、赤道付近、日陰時に測定)

月環境の観測

プラズマ観測器

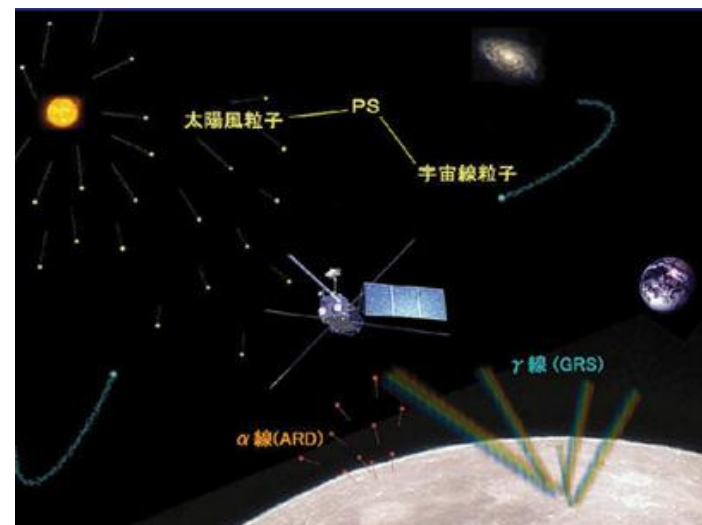
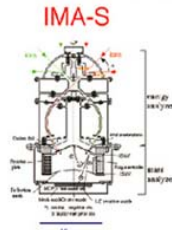
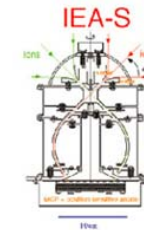
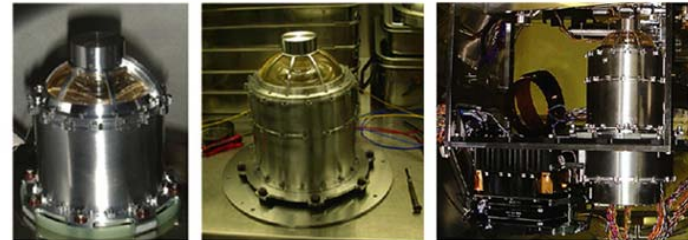
電子エネルギー分析器 5 eV-15 keV
イオンエネルギー分析器 5 eV/q-28 keV/q
イオン質量分析器 1-60 AMU

粒子線計測器

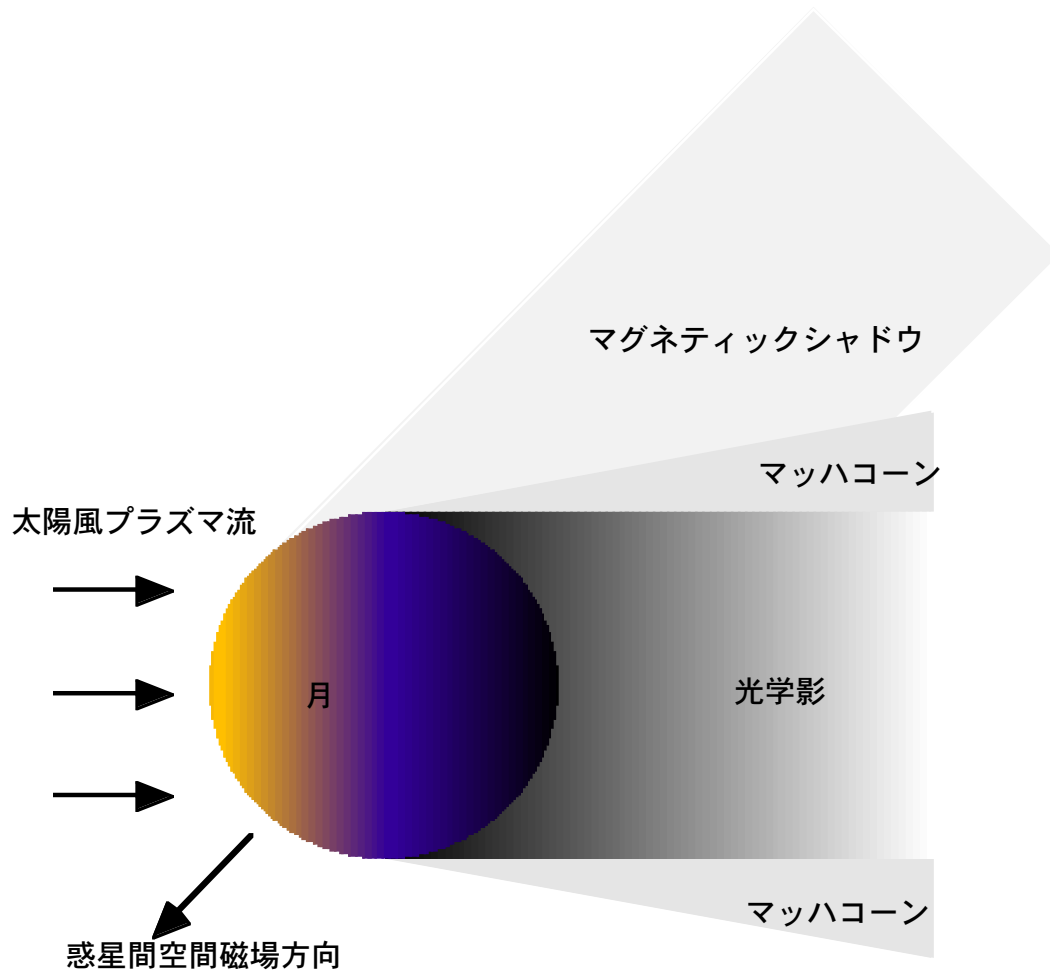
高エネルギー粒子の観測
電子 30keV~1MeV
プロトン100keV~60MeV
He2.5~30MeV, C,Fe,Kr最大370MeV
ラドンからの α 線 4-8MeV

電波科学

VRAD衛星からの電波が月表面を通過する時の電波の位相変化を観測して月電離層の検出を行う。



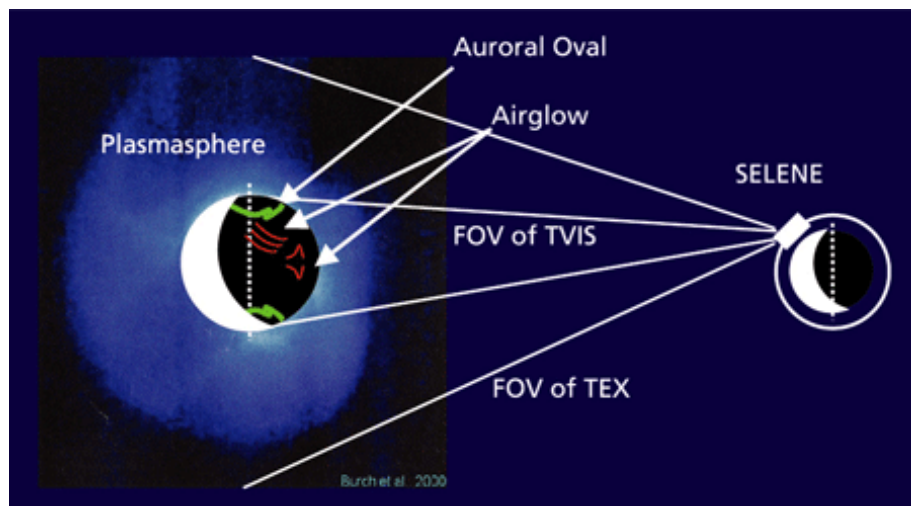
月環境の観測



月軌道からの太陽地球系環境からの観測

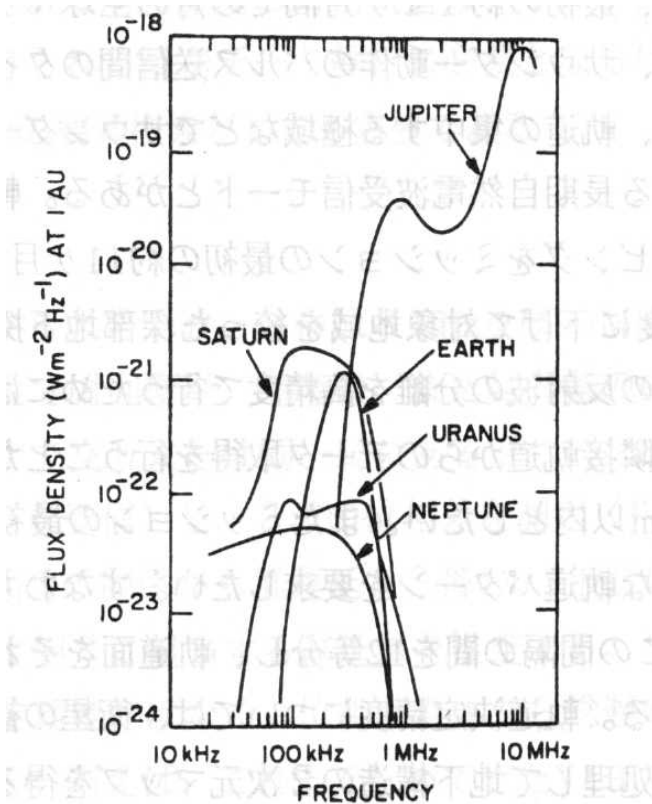
プラズマイメージャ

月軌道から地球プラズマ圏全体を画像として観測しオーロラやイオンの流出を観測する。



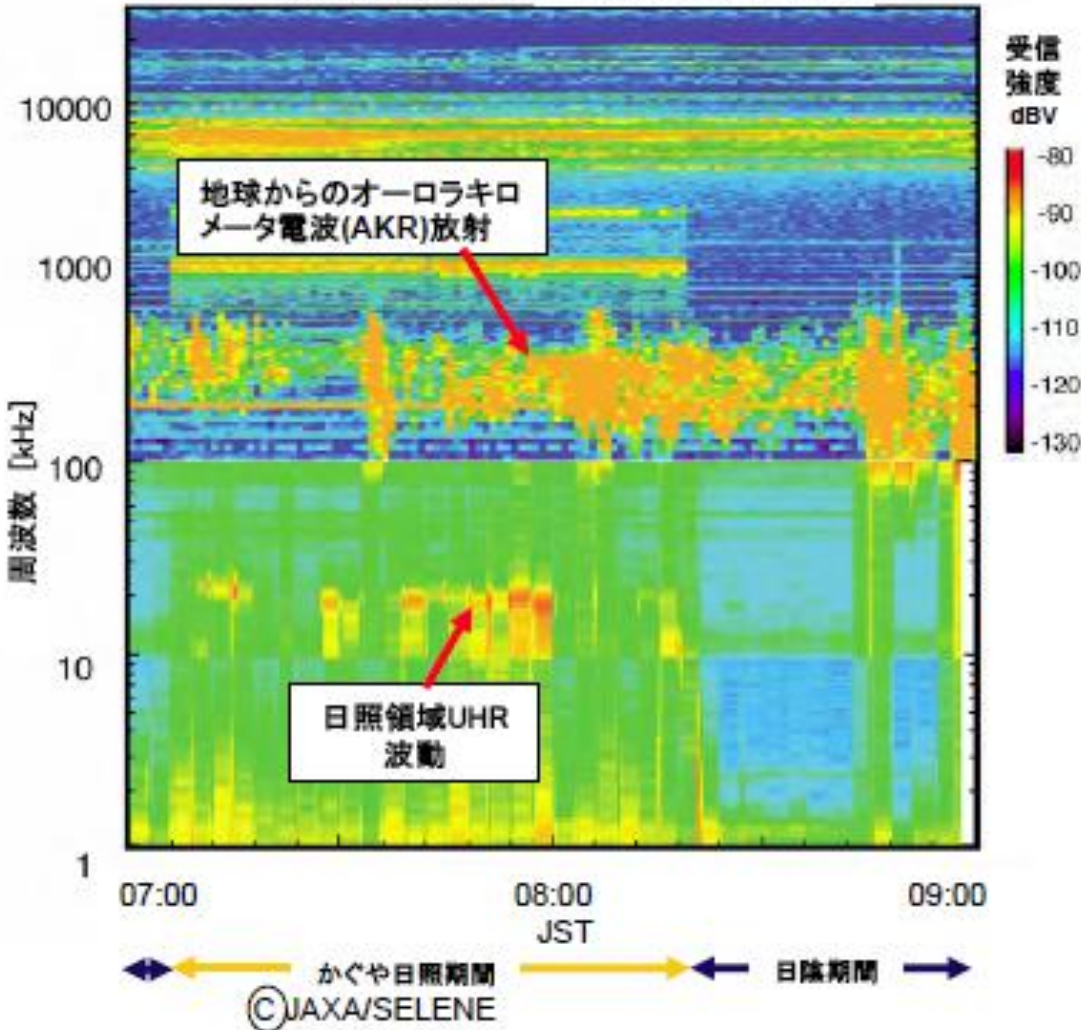
月レーダサウンダー(自然電波受信器)

月による太陽及び地球からの電波雑音の掩蔽を利用して微弱な惑星電波を観測(~ 30 MHz)

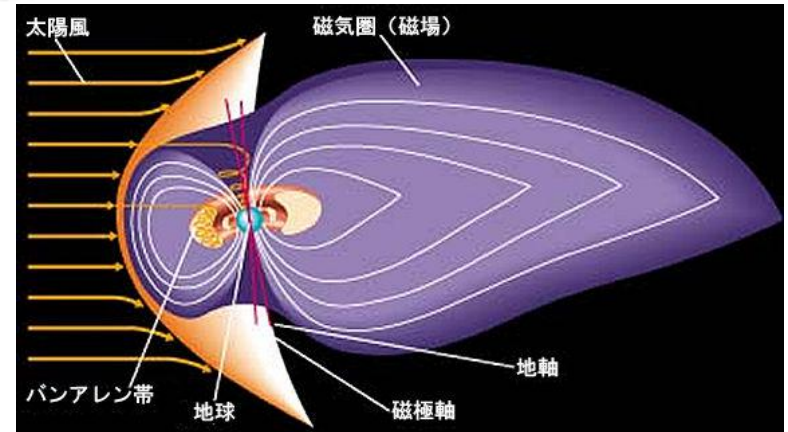


電磁波動の観測の例

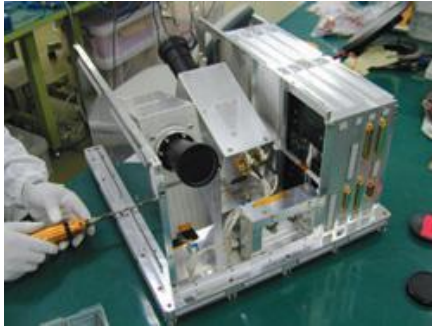
KAGUYA/LRS 平成19年10月31日



- ・太陽風と地球磁気圏の相互作用により発生する様々な波動
- ・惑星電波(木星、土星)



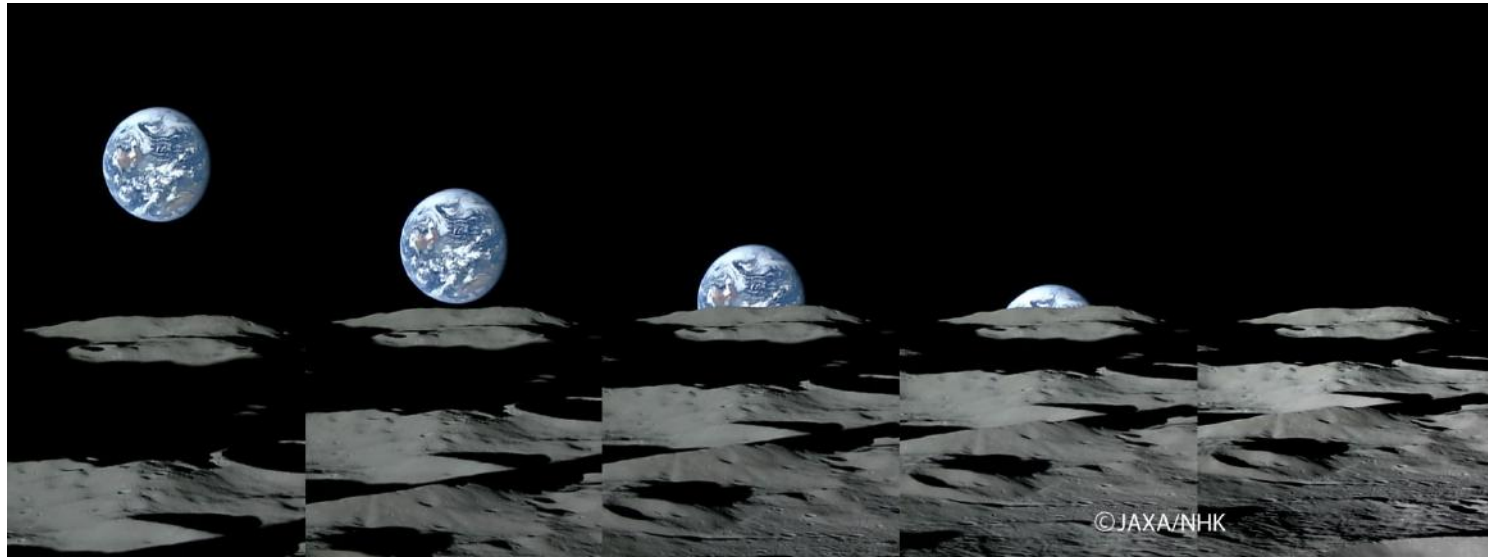
ハイビジョンカメラによる映像



寸法	46cm × 42cm × 28cm
質量	16.5kg
電力	50W
水平画角	44° (広角 Wide-angle)
	15° (望遠 Telephoto)

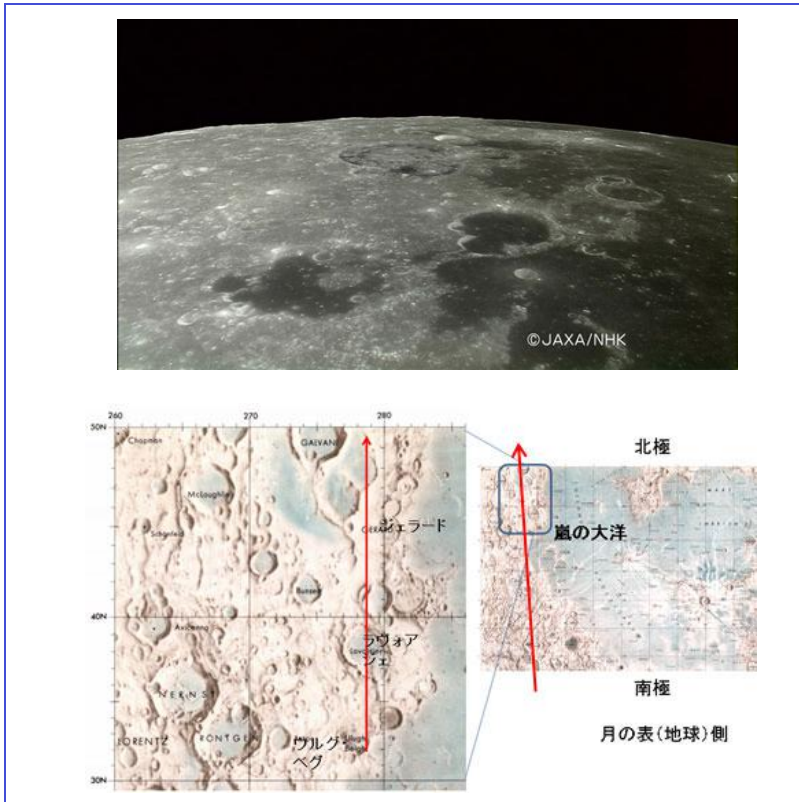


月へ向かう途上で撮影した映像

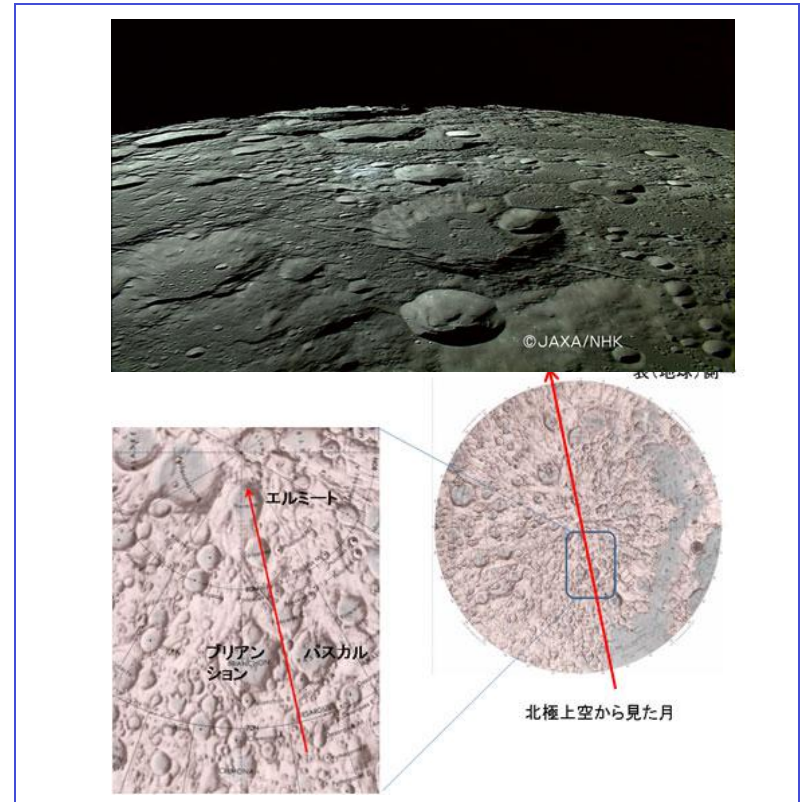


月周回軌道で観測された地球の入り

ハイビジョンカメラによる動画

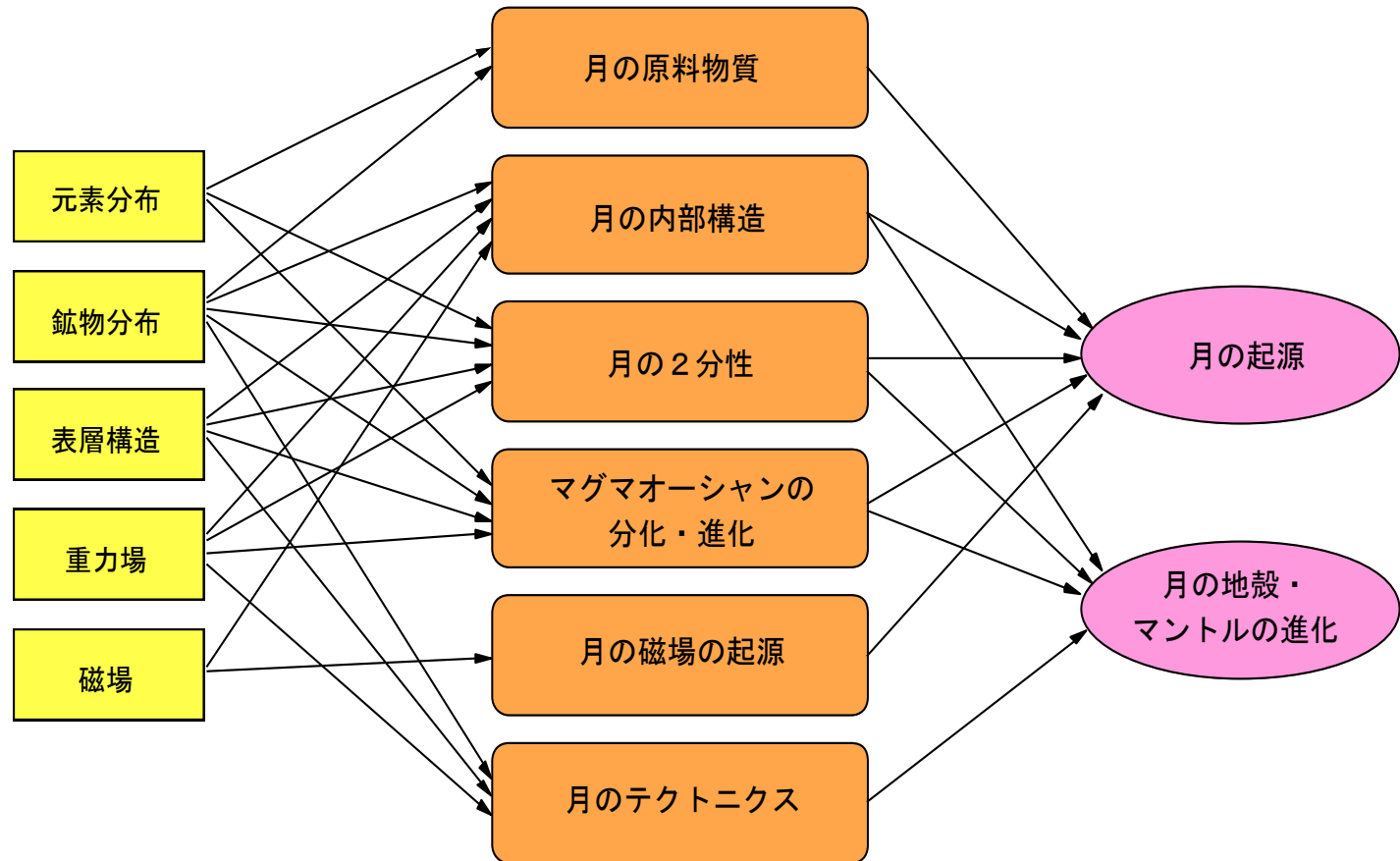


動画前半
嵐の大洋の西側



動画後半
北極付近

データの統合による月の起源と進化の研究





月利用可能性の調査の予定

SELENEデータの将来の月探査への利用可能性検討

- (1) 水氷マップの作成
- (2) 全日照・日陰域マップ作成
- (3) 極域DEM(Digital Elevation Model)
- (4) 表面組成マップ(ex. ilmenite-rich region)

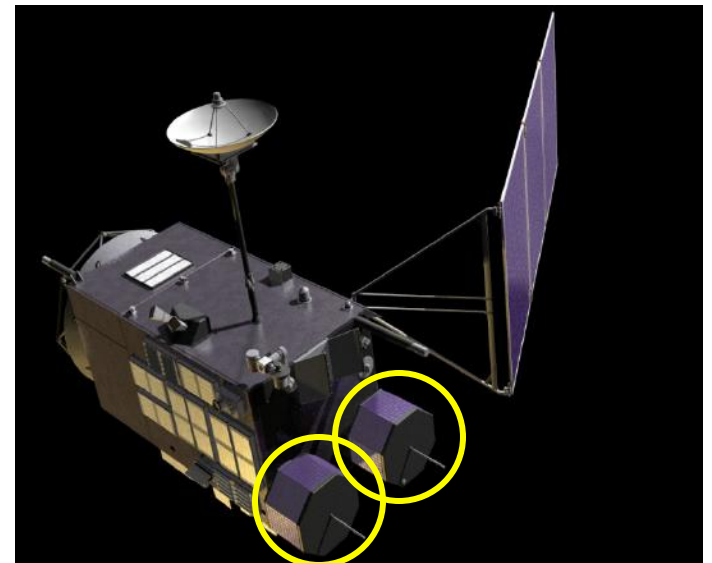
今後の予定

平成19年				平成20年
9月	10月	11月	12月	1月～10月
<p>▲ 打上げ</p> <p>クリティカルフェーズ (完了)</p>	<p>バス系 初期機能確認 (完了)</p>	<p>ミッション機器初期機能確認(完了)</p>	<p>1月現在</p> <p>↓</p>	<p>定常観測運用</p>

不具合の事例と教訓(lessons learned)

三菱重工業株式会社および宇宙航空研究開発機構は、平成19年8月16日に実施する予定としておりましたH-IIAロケット13号機による月周回衛星「かぐや(SELENE)」の打上げを、延期することとしました。理由は、超高速インターネット衛星WINDSの地上試験を進めている中で、コンデンサの極性が逆に取り付けられていることが発見されたため、「かぐや(SELENE)」において同様の問題がないか調査を行ったところ、子衛星に使用しているコンデンサの2個で同様の問題があることが判明したため、当該部品の交換を行うこととしたためです。なお、新たな打上げ日については決定し次第お知らせいたします(平成19年7月20日プレス発表)。

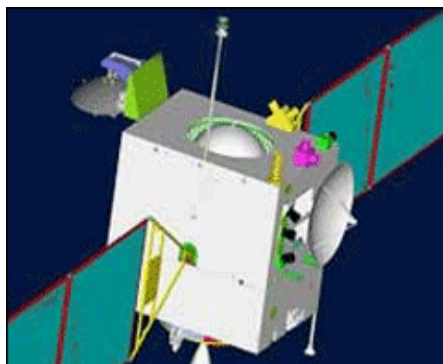
1. 試験で検知されない事象(タンタルコンデンサ極性逆付け)に対する目視検査の方法の改良(チェックリスト、ダブルチェックなど)
- 2 他プロジェクトの不具合情報の収集(水平展開)の重要性



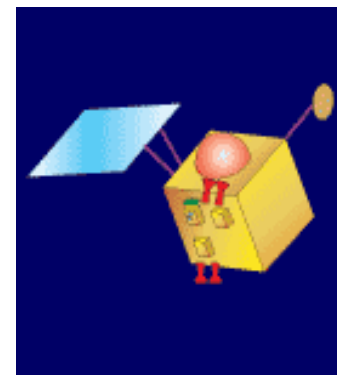
嫦娥1号, チャンドラヤーン1号のとの比較



SELENE



嫦娥1号



チャンドラヤーン1号

	かぐや(日本)	嫦娥1号(中国)	チャンドラヤーン1号 (インド)
打上げ時質量	2,885kg	2,350kg	1,050kg
月周回軌道高度	100km	200km	100km
定常運用期間	1年	1年間	2年間
打上げ時期	2007年9月	2007年10月	2008年4月

インド、中国の衛星ともSELENEと同様に月の科学をミッションとしている。インドの月周回衛星が観測する項目の性能はSELENEと同等レベル。一方、中国の観測性能は劣る。SELENEのみが観測する表層構造と重力分布と磁場分布は月の起源と進化において重要なデータである。

長期ビジョン全体ロードマップ

2005年

2010年

2015年

2020年

2025年 ……

安全で豊かな社会の実現への貢献

自立性と国際競争力を具備した産業の成長

活動領域の拡大
知の創造

自在な宇宙活動能力の確立

将来航空輸送のブレイクスルー

宇宙利用による
課題解決型の
社会システム

災害・危機管理に関する
観測精度と頻度の向上



高頻度高分解能観測による予報能力の向上と
モバイル警報・予報の配信

災害・危機管理情報収集通報
システムの実現
と
アジア・太平洋地域への展開

気候変動に関する
正確な観測手段の確立



亜大陸レベルの評価と
地域別政策への反映

政策ツールとしての
観測・予測統合
地球環境監視システムの確立

宇宙観測
太陽系探査

宇宙望遠鏡の展開と
多様な観測的科学的ミッション
の立上げ
小惑星への到達
太陽と月の観測

宇宙望遠鏡観測の全波長域
への展開
木星型惑星探査の開始と
地球型惑星の探査

宇宙で最初の銀河・ブラックホールの観測
太陽系外の地球型惑星での生命の存在の探査
太陽系全域への到達と地球型惑星の観測

宇宙科学の
トップサイエンスセンター

月探査・利用

月探査の技術開発及び実証

←▽→ 月の本格的な利用活動への展開の判断

月探査・利用技術の蓄積

月面拠点の構築と利用
のための技術の確立

有人宇宙
活動

国際協力による有人活動技術の蓄積
ISSを中心に基盤技術の蓄積

←▽→ 次期有人宇宙活動への展開の判断

次期国際有人宇宙計画を
活用した技術開発

独自の有人滞在・活動
を可能とする技術の確立

宇宙輸送
システム

輸送系基幹技術の確立
有人計画着手に向けた輸送系技術の実証

←▽→ 独自の有人輸送機開発着手への判断

再使用技術の実用化
有人輸送技術の確立

世界最高の信頼性と競争力
を有するロケットの実現
独自の有人再使用型輸送機
の開発開始

航空

国産小型旅客機の開発

「人に優しい旅客機」の開発

「インテリジェント航空機」の開発

航空機製造産業を
日本の基幹産業へ

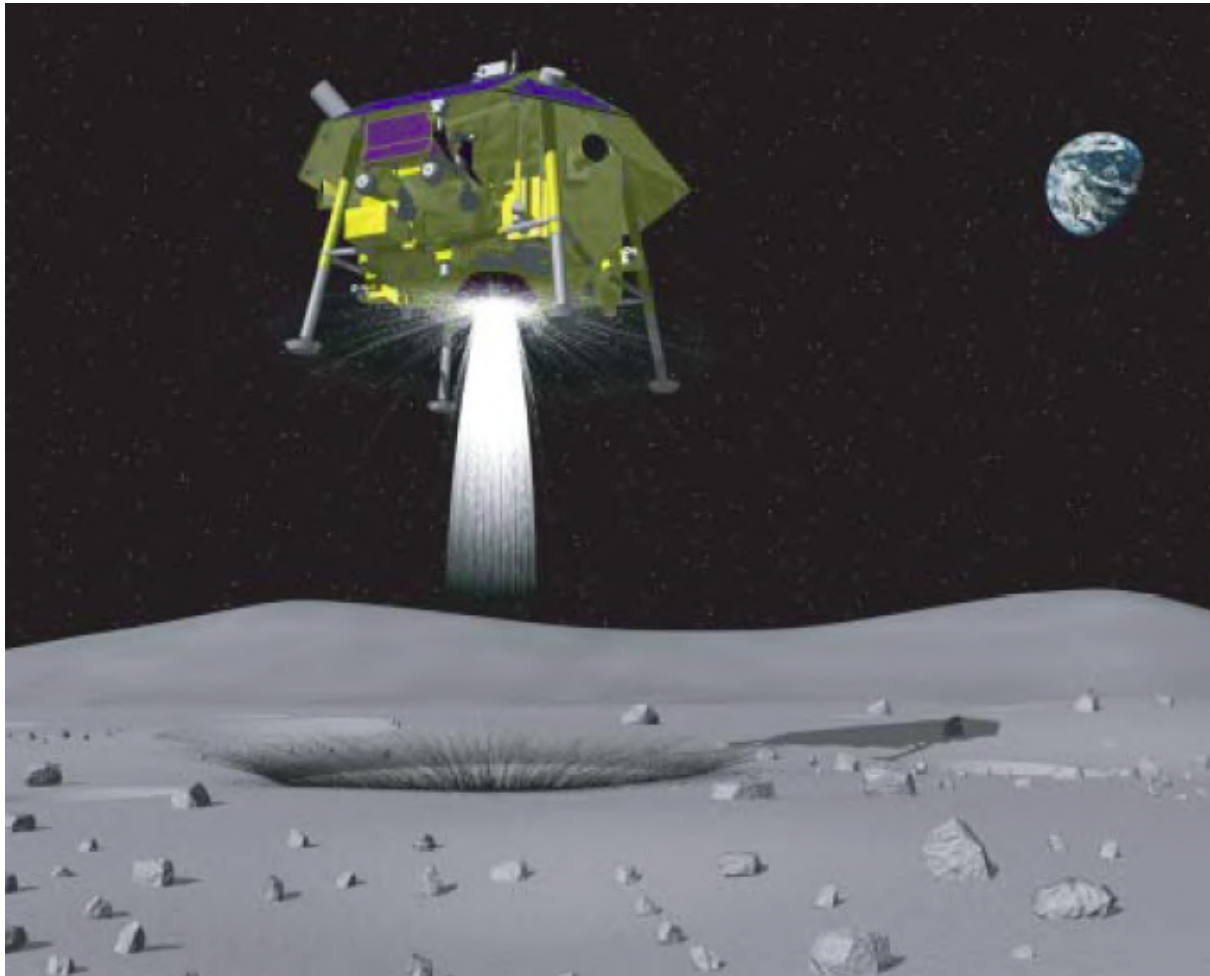
世界をリードする
超音速機技術の確立

超音速機技術の実用化
極超音速機技術実証を開始

超音速旅客機の国際共同開発
極超音速機のシステム実証

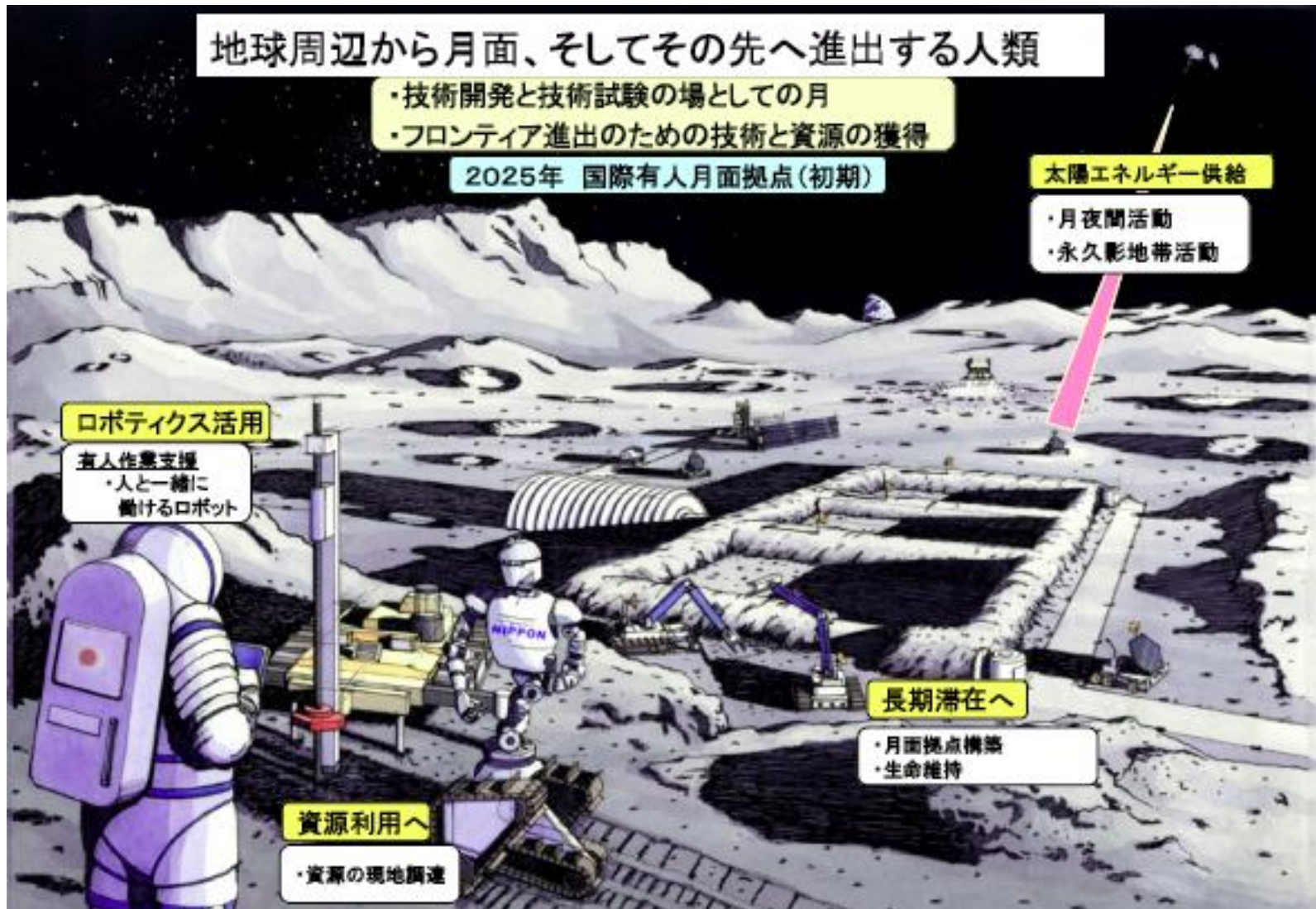
極超音速機の技術実証

我が国の次期月探査計画の目標



月面への着陸

我が国の月探査・利用の将来像



LRO is a vital link to Human Exploration of the Moon

LRO 2008

• Knowledge capture for human exploration

- Polar regions
- Thermal
- Terrain
- Hazards
- Resources
- Shielding



RLEP M2

- Benefits:
- Precision Landing
- Hazard Avoidance
- Robotic mobility
- Resource Identification
- Outpost site certification
- Landing Guidance
- Common, reusable systems



Enhanced M2?

- Benefits (extra):
- New capabilities
- ISRU demo?
- Scalable systems
- In Situ Resource Identification on global basis ?
- Leave-behind Comm relay infrastructure



By 2016

- ISRU capability
- Crew certification
- Human Landing site certified

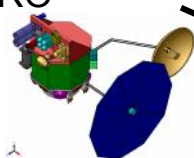


By 2020

- Comm infrastructure
- Site Infrastructure emplacement (outpost)

▽ 2008

LRO



▽ 2009/10



▽ 2010-11



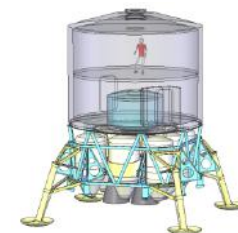
▽ 2015

▽ 2016

▽ 2020



~2018
Lunar Surface
Crew Ops

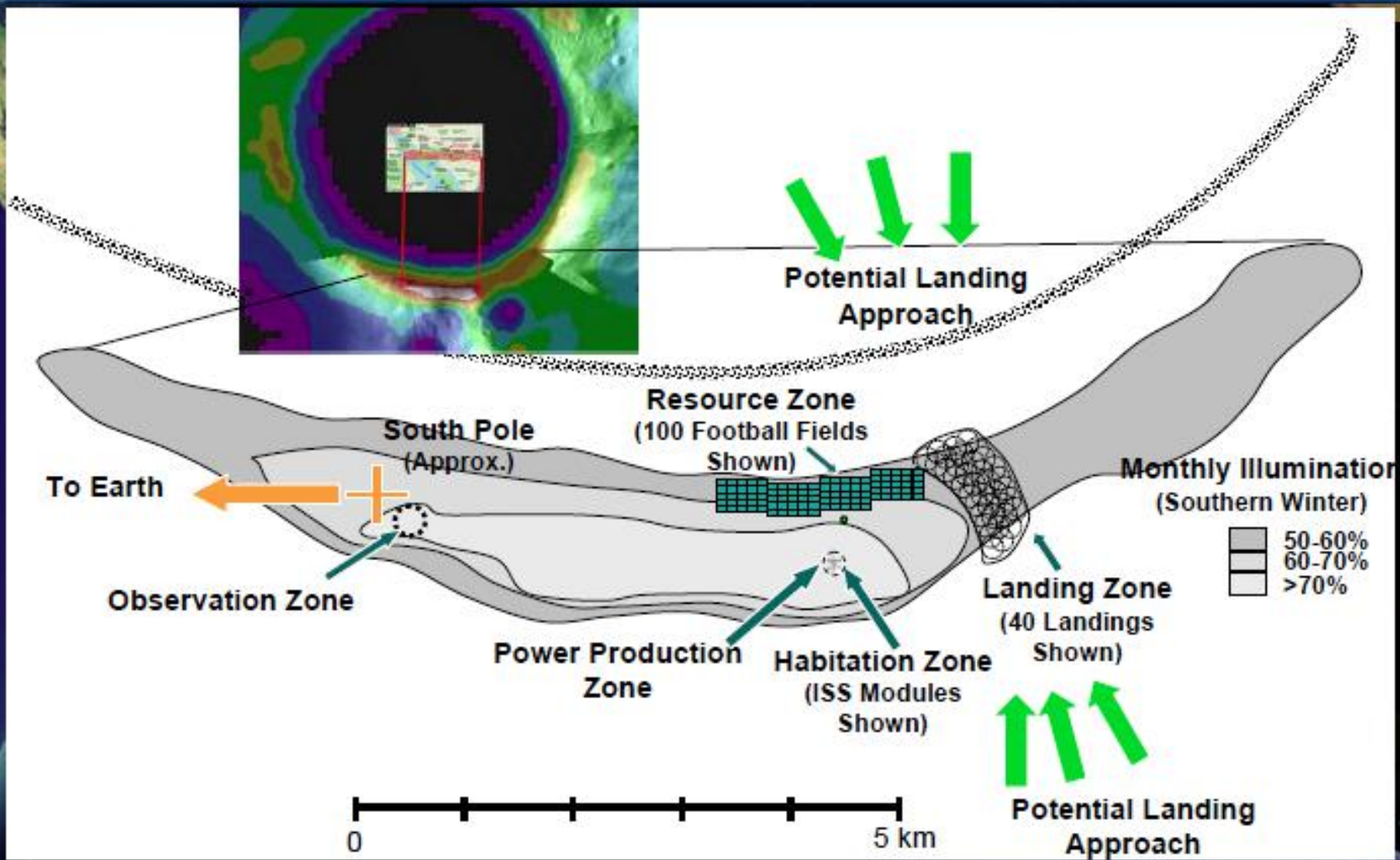
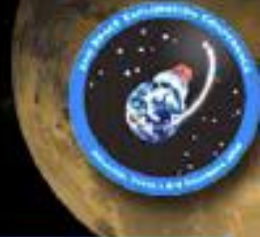


~2023
Long Duration
Crew Ops
(Outpost)

Human Lunar Lander

Lunar Surface Habitat

Shackleton Crater Rim with Notional Activity Zones



終わりに

かぐやとはどのような計画か？
何が搭載されているのか？
何が分かるのか？
どういう意義があるのか？



宇宙探査プロジェクトとはどんなものか
宇宙科学・宇宙開発の面白さ、夢

