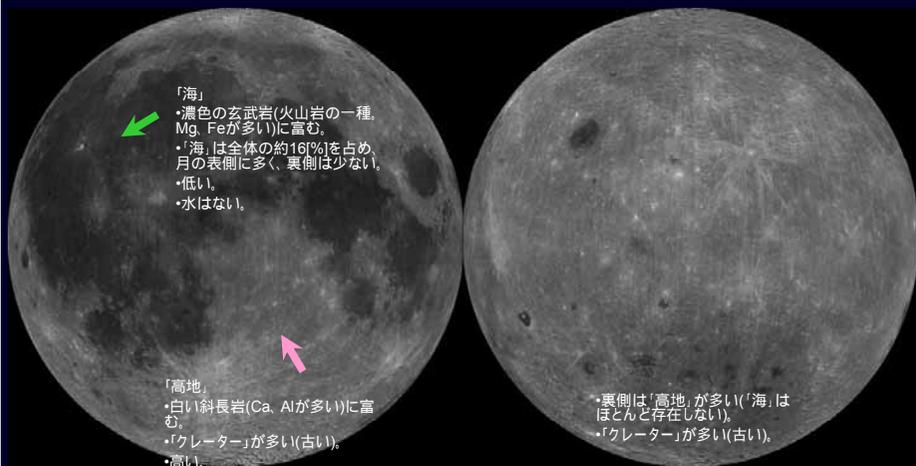




# 1. はじめに ~月の特徴~

<5>



「海」

- 濃色の玄武岩(火山岩の一種、Mg、Feが多い)に富む。
- 「海」は全体の約16%を占め、月の表側に多く、裏側は少ない。
- 低い。
- 水はない。

「高地」

- 白い斜長岩(Ca、Alが多い)に富む。
- 「クレーター」が多い(古い)。
- 高い。

•裏側は「高地」が多い(「海」はほとんど存在しない)。

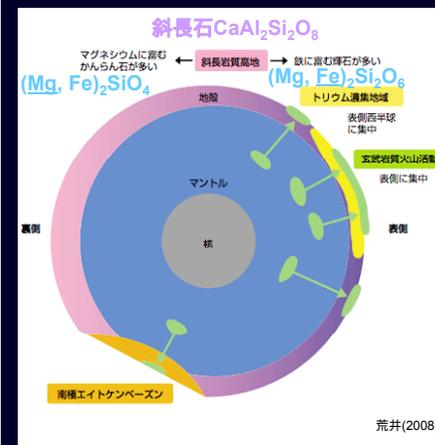
- 「クレーター」が多い(古い)。

【表側(Near-side)】(地球から見える面)

【裏側(Far-side)】(地球から見えない反対側)

# 1. はじめに ~月の特徴~

<6>



## 【起源(成り立ち)】

•「**巨大衝突(ジャイアントインパクト)説**」  
→原始地球に巨大な天体が衝突し、両天体の破片が集積して形成された。



## 【進化(熱史)】

•「**マグマの海(マグマオーシャン)**」  
→月の表層数百[km]を覆うマグマの海が冷えた。  
→大きく2層に分離、地殻・マントルが形成された。  
➢白く軽い**斜長岩質の上部地殻(高地の形成)**  
➢黒く重い**かんらん石や輝石に富む下部地殻やマントル**  
→次第に冷えて物質移動や化学分化を伴う火山活動(**海の形成**)は表側も約10億年前までに終了した。

荒井(2008)

# 1. はじめに ~月の特徴~

<7>



## 月の満ち欠けと月齢



•月面上の同一地点では、夜が約2週間、昼が約2週間継続する。  
→大気がない月面上では、夜は低温状態が続くため、**越夜対策**が必要。

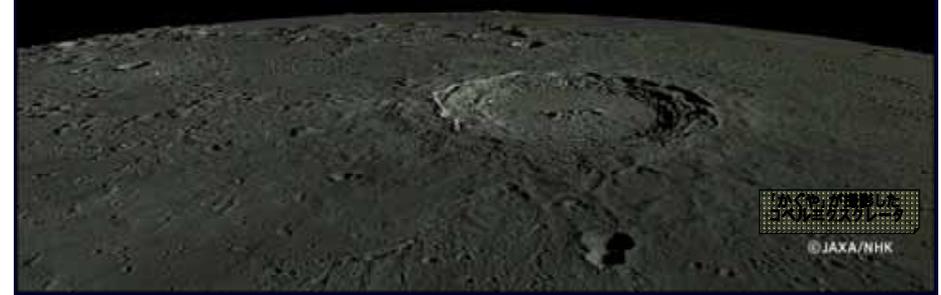


# 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果

<8>



1. はじめに
2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果
3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術
4. 日本 / 各国の月・惑星探査の動向



© JAXA/NHK

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~目的~

<9>



日本

➢かぐや(SELENE) 2007年9月14日打上げ。

→「かぐや」の目的は「月の起源(成り立ち)と進化(熱史)」を解明することにあり、手がかりとなる**元素分布**、**鉱物分布**、**地形**、**地下構造**、**重力場**、**磁場の強さ**などをより詳しく観測する。



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~観測ミッション~

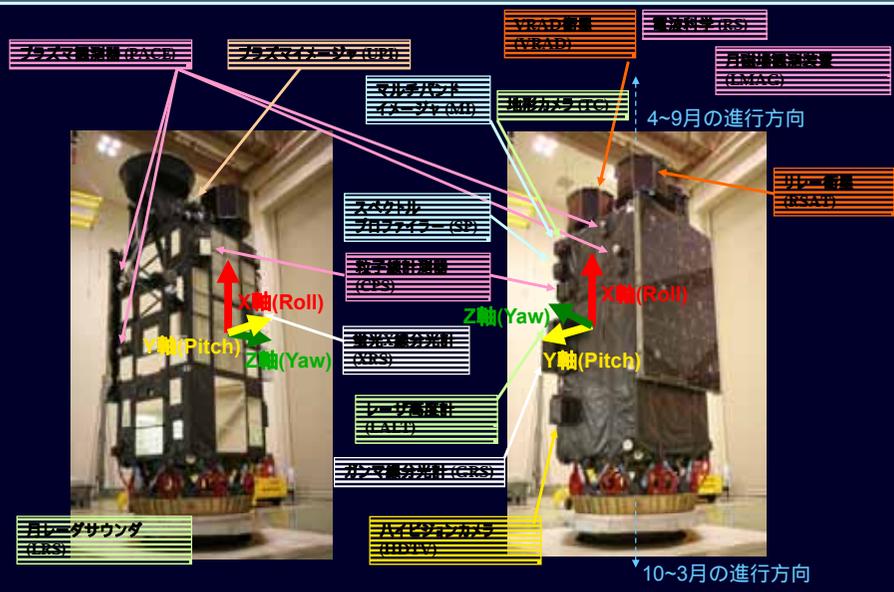
<10>



月の科学	元素分布	蛍光X線分光計 ガンマ線分光計	XRS GRS	放射線(X線、γ線)
	鉱物分布	マルチバンドイメージャ スペクトルプロファイラ	MI SP	電磁波(赤外~可視)
	地形	地形カメラ	TC	レーザ
		レーザ高度計	LALT	
	地下構造	月レーダサウンダー	LRS	電波
	重力場	リレー衛星中継器 衛星電波源	RSAT VRAD	
月での科学	磁場	月磁場観測装置	LMAG	磁場
	粒子、イオン	粒子線計測器	CPS	放射線 (α線、電子、イオン)
		プラズマ観測装置	PACE	
月の電離層	電波科学	RS	電波	
月から科学	地球磁気圏	プラズマイメージャ	UPI	電磁波(可視~紫外)

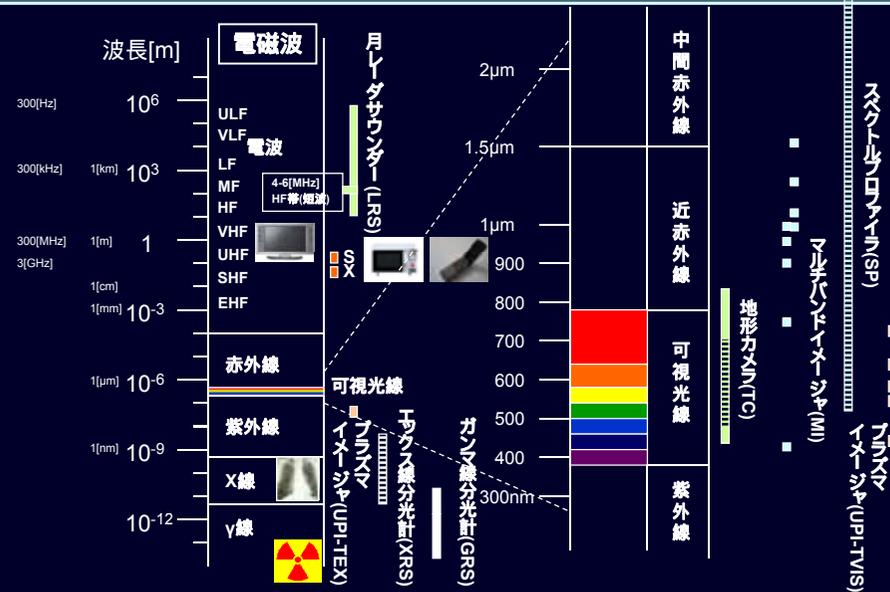
## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~観測ミッション~

<11>



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~観測ミッション~

<12>



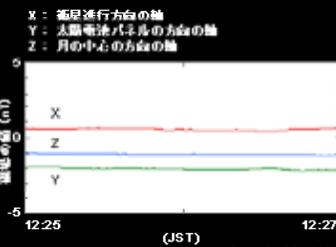
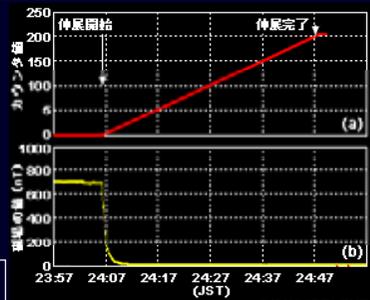


## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~初期運用~

<17>



- 測定周波数  
—DC~10[Hz]
- ダイナミックレンジ  
→ ± 64、256、  
1,024、65,536[nT]
- 16[bit]ADC  
(実効14[bit])



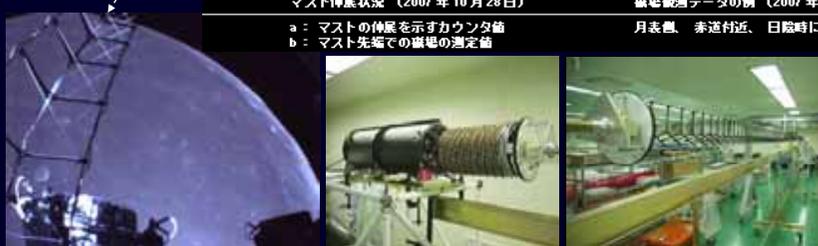
LMAG磁力計マスト (12m)

マスト伸張状況 (2007年10月28日)

磁場観測データの例 (2007年11月5日)

a: マストの伸張を示すカウンタ値  
b: マスト先端での磁場の測定値

月表側、赤道付近、日陰時に測定



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~初期運用~

<18>



LRS	送信機部: アンテナ駆動電圧供給回路-送信機部	受信機部: 受信機部	電力供給部
LRS-L	LRS-E	LRS-P	LRS-A
送信機部	受信機部	アンテナ駆動	電力供給

**LRSレーダアンテナ (15m x 4本)**  
→パイシステムアンテナ

赤で示した上側の板がホルルの上半断面になり、一本のアンテナとなります。

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

<19>



「おきな」(リレー衛星)  
「おうな」(VRAD衛星)  
「かぐや」

半径: 約1,738[km]  
かぐやの高度: 約100[km]  
118[分]で1周

地球方向

UTC(世界標準): 2008年05月01日(木)00:00:19  
JST(日本標準): 2008年05月01日(木)09:00:19

動作設定  
動画開始 [ ] 動画停止 [ ]  
動画速度: ×10000  
視点変更: 月 [ ] 標準視点 [ ]  
軌道面座標間隔: 50000[km]  
地球経緯度線: 90度 [ ] 月経緯度線: 90度 [ ]  
軌跡表示設定: SELENE [ ]  
設定期間: [ ]  
リレー衛星: VRAD [ ]  
設定期間: [ ]  
SELENEとの距離:  
地球中心まで(km): 377914  
月中心まで(km): 1025

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

<20>



モニタカメラ2画像の上側が+X軸(反進行方向)

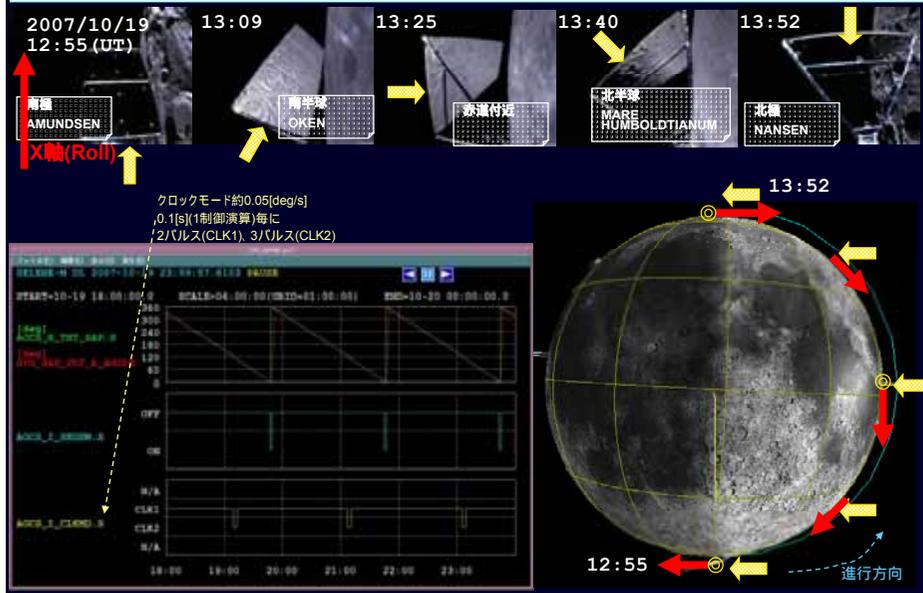
進行方向に対して右側に太陽がある位置関係

X軸(Roll)  
Z軸(Yaw) 方向  
Y軸(Pitch)

10~3月の進行方向

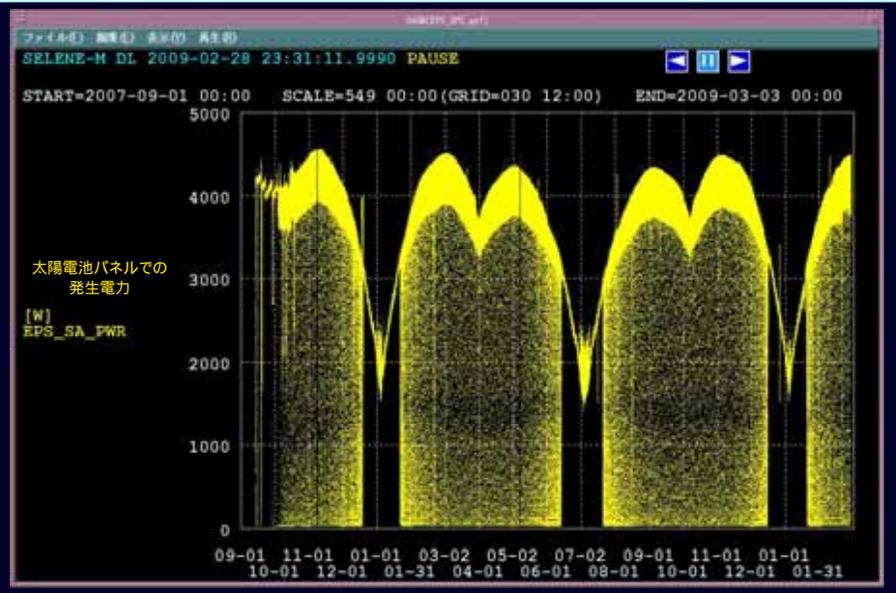
## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

<21>



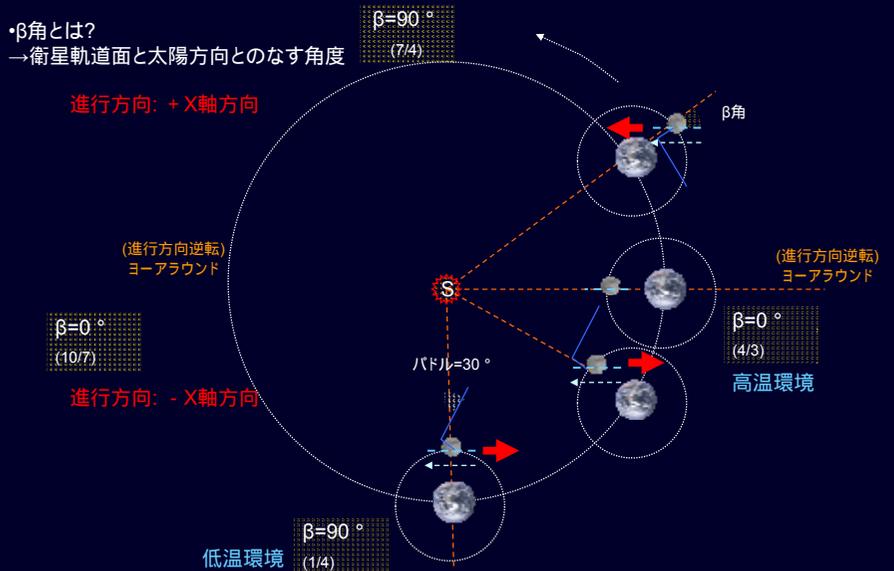
## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

<22>



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

<23>



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

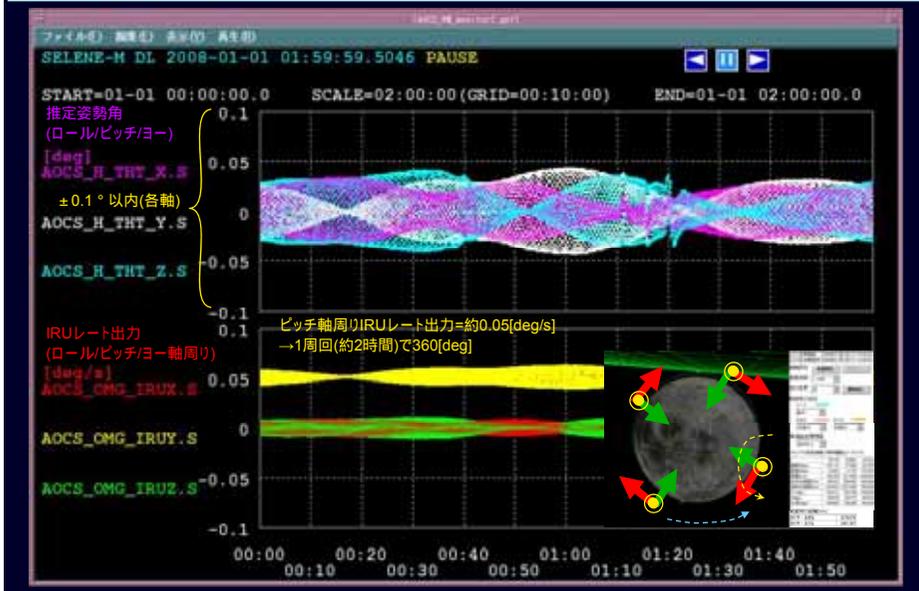
<24>



- +Z軸(Yaw)方向を月面に指向させる姿勢制御  
→リアクションホイールおよびスラスタによる制御
- リアクションホイール(RW)  
→太陽風(太陽からの粒子の流れ)や重力、薄い大気などの影響による外乱トルクを吸収するため、衛星内でコマのように回り、衛星自体の姿勢を安定させる(角運動量保存)。
- アンローディング(unloading)  
→RWには回転数の限界があるため、スラスタを使用して蓄積角運動量を落とす必要がある(月の磁場は微弱なことから磁気トルカ(MTQ)は使用できない)。

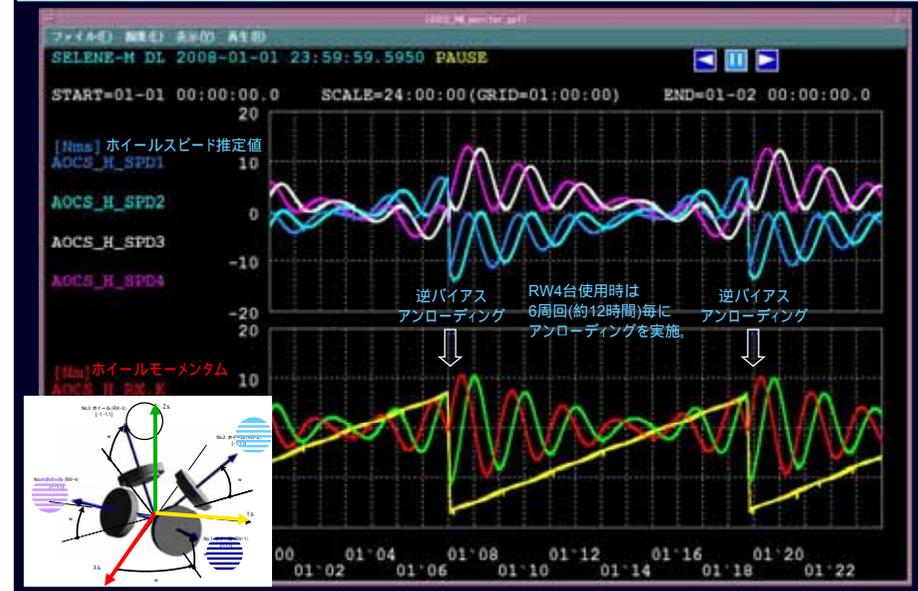
## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

<25>



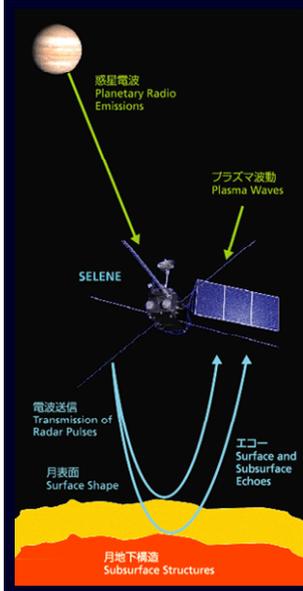
## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~運用~

<26>



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~月レーダサウンダ~

<27>



・サウンダー観測SDR(Sounder)→4-6[MHz]  
→LRSから、地下での減衰の少ない波長60[m]の電波をパルス状に送信する。月表面においても反射が起こるが、一部の電波は地下に伝搬し、地下物質の変化する場所から反射が返ってくる。この反射の返ってくるタイミングを厳密に測定することで、地下の様子を見ることができる。

- ・HF帯自然電波観測NPW(Natural Plasma Wave)
- ・VLF帯(低周波)プラズマ波動観測WFC(Wave Form Capture)

観測対象	観測モード	出力形式(周波数レンジ)	レート [kbps]	時間分解能 [sec]
地下構造	SDR-W	波形	488	0.05
	SDR-A	波形	80	0.4
自然波動	NPW-W	波形(20k ~ 10MHz)	488	0.1
	NPW-DS	スペクトル	16	2
	NPW-PL	(20k ~ 30MHz)	2	16
	NPW-A	波形(4 ~ 6MHz)	16	4
	NPW-S	スペクトル(4 ~ 6MHz)	4	8
プラズマ波動	WFC-H	スペクトル(1k ~ 1MHz)	160	0.5
	WFC-L	及び波形(100 ~ 100kHz)	80	0.5
	WFC-H	スペクトル (1k ~ 1MHz)	4	2
			2	4

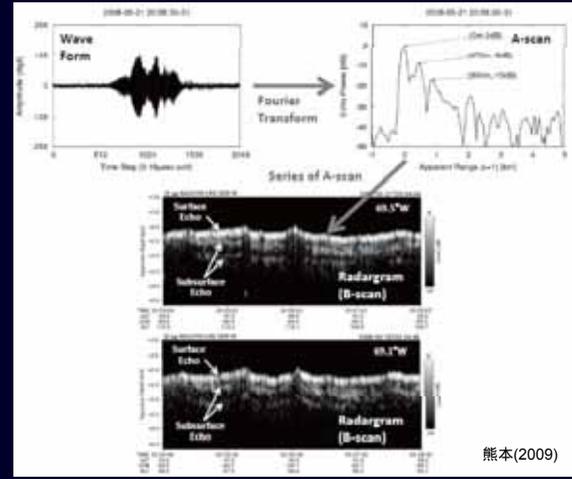
熊本(2009)

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~月レーダサウンダ~

<28>



・サウンダー観測SDRのデータ処理  
受信した波形データをFourier変換することによって、A-scan図(レンジ - エコー強度)、軌道に沿って並べることによってB-scan図(水平距離 - レンジ)を得る。B-scan図はレーダグラムとも呼ばれる。近接した軌道でのレーダグラムを対比することで側方からの表面エコーと地下エコーは識別が可能である。



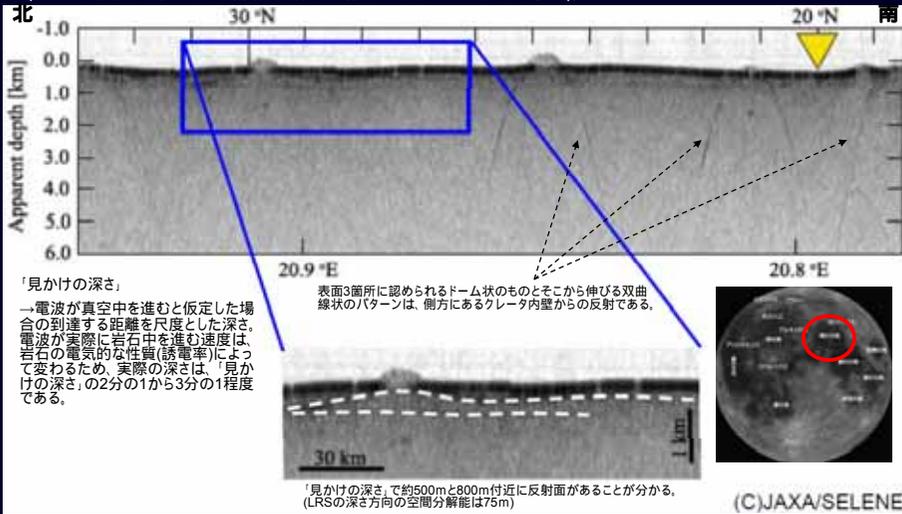
熊本(2009)

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~月レーダサウンダ~

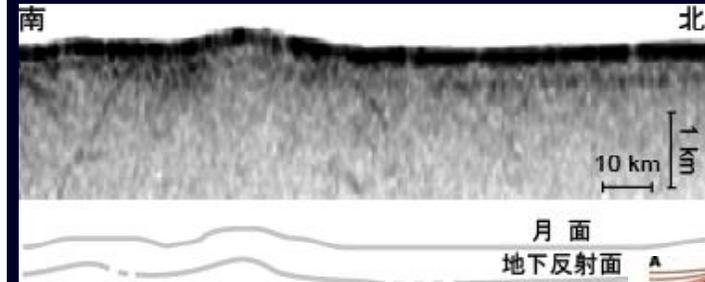


晴れの海の地下のレーダグラム(B-scan図)

→横軸を観測時刻、縦軸をレーダエコー反射面までの距離としたレーダの解析画像  
(ここでは横軸は月の地理緯度、縦軸は反射面の「見かけの深さ」を示す)



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~月レーダサウンダ~



・晴れの海の地下構造の観測

→地下の反射面は、地表のリッジの地形面と平行になっている。

→海の玄武岩は粘性が低かったために、冷えて固まったときには表面が水平な溶岩原をつくった。

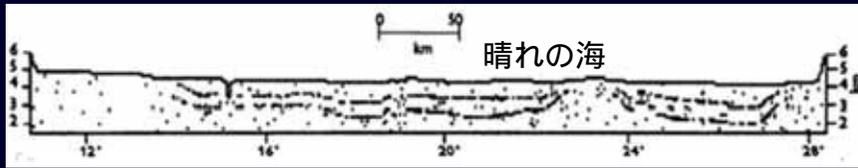
・褶曲構造が反射面と月面との間にある玄武岩の堆積後に形成された(地層が堆積し終えてから背斜が成長した)ことを示している。

→約28億4千万年前の玄武岩が覆っているため、それ以降にリッジが出来たことを示唆している。

リッジが形成された原因としては、28億年前を過ぎても全球的冷却の度合いが予想外に大きく、冷却により月全体が収縮し、表面に皺としてリッジができたものと考えられる。

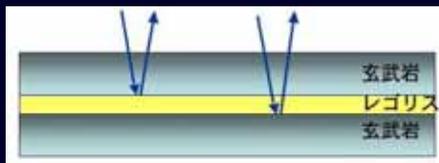
(例えば水星では、表面積の縮小によってできる断層が知られており、全球的冷却がその原因とされている。)

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~月レーダサウンダ~



・アポロ17号の実験的なサウンダ観測(ALSE, Apollo Lunar Sounder Experiment)(1972年, Peebles et al. (1978))

→縦軸はみかけの深さ[km]、横軸は経度(東経)。→アポロALSE観測で、晴れの海(北緯20度付近)において、表面からの「見かけの深さ」2.7kmと4.7kmに反射面が観測されている(LRSでは反射面は観測されていない)。



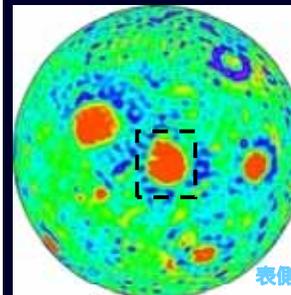
・地層群の模式図

→海の玄武岩が大規模な溶岩流として噴出した際に、次の溶岩流の噴出までの間に時間の差があり、その期間に玄武岩の上にレゴリスが数10cmから数mくらいの厚さで堆積した場合、さらに大規模な溶岩流がその上に流れると、溶岩流の間にレゴリス層がサンドイッチされたような構造になる。

## 2. 月周回衛星「かぐや」~リレー衛星中継器(RSAT)~



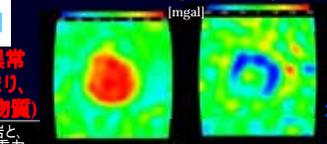
特徴: 月裏側の重力場計測(世界初)



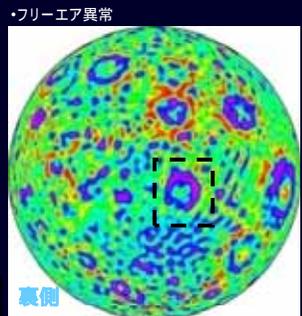
重力異常(gravity anomaly)→月の重力は一樣ではなく、地形や地下に存在する物質の密度に応じて、地点毎にわずかな重力の強弱がある。各地点での重力の実測値から月全体の平均値を引いた差を重力異常と呼ぶ。

・フリーエア異常→測定点の高さの影響を補正した標準重力との差。正の場合は地殻が浮き過ぎ、負の場合は沈み過ぎを意味する。

・ブーゲー異常→基準面(ジオイド、仮想海面(0[m]))から測定点までに平均的な岩石が存在すると仮定して、その岩石による重力の影響を取り除いた値。基準面より下の質量異常あるいは密度の大小が反映される。(正の場合は基準面下の質量が平均より大き(密度が大きく)、負の場合は平均より小さい(密度が小さい))



晴れの海では、地表面の玄武岩溶岩と地下のマントルの隆起によって正の重力異常が見られる。



負の重力異常 (地形の凹み、地下に軽い物質)

アポロ盆地 (36S/150W)

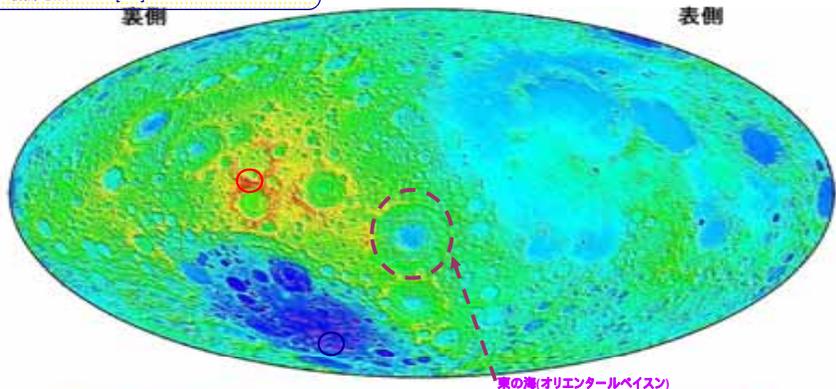


## 2. 月周回衛星「かぐや」～レーザ高度計(LALT)～

<33>



高度基準は重心原点の半径1737.4[km]の球面。  
 最高地点: +10.75[km]  
 最低地点: -9.06[km]

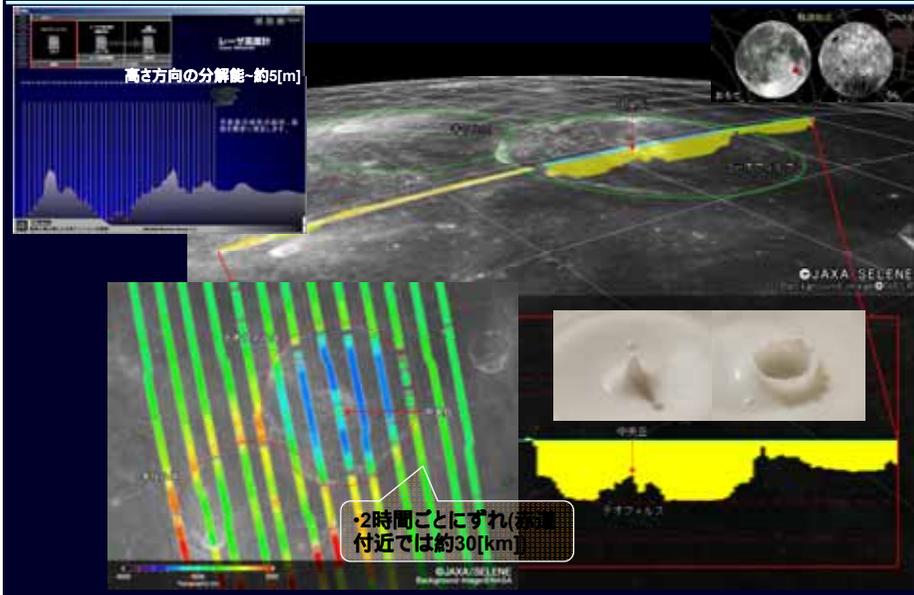


**知見1** 計測点数は2008年3月末の段階で約677万点。高度の精度は約4m(1σ)、位置の精度は約80m(1σ)、オリエンタルベイスン(東の海)の多重リング構造など、200-300km以下のサイズの地形再現が劇的に向上した。

**知見2** 月の最高地点はDirichlet-Jackson盆地の南端に(-158.64° E, 5.44° N, +10.75 km)、最低地点はAntoniadiクレータの内部にあり(-172.58° E, 70.43° S, -9.06 km)。高度差は従来考えられていたよりも2km以上大きく(19.81kmである(ULCN 2005では17.53kmとされていた)。

## 2. 月周回衛星「かぐや」～レーザ高度計(LALT)～

<34>



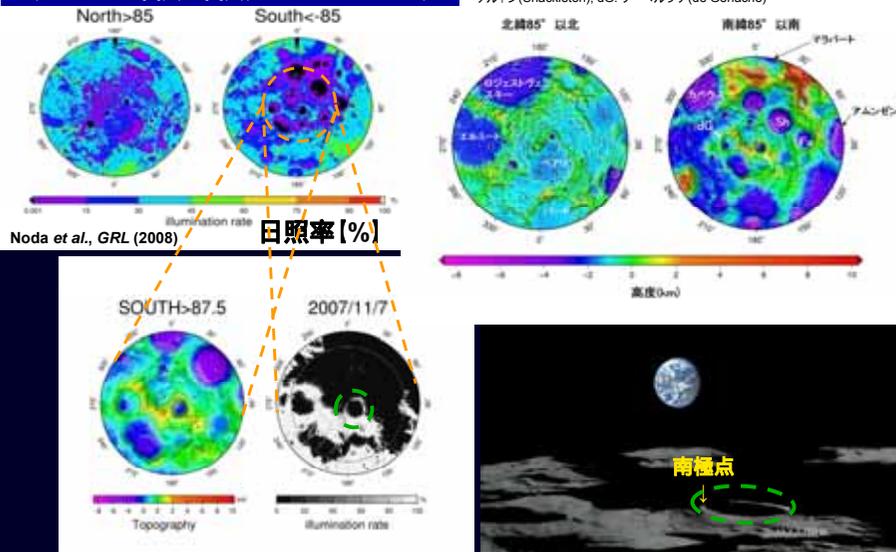
## 2. 月周回衛星「かぐや」～レーザ高度計(LALT)～

<35>



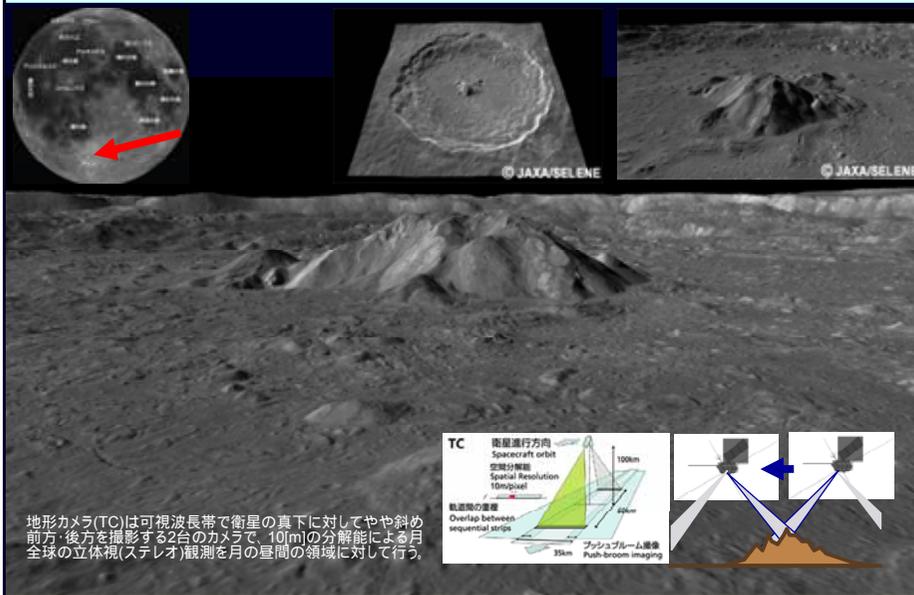
・黒い部分が「永久影」領域(2次散乱光は考慮していない)。永久日照は存在しない(最大の日照率は89%(北)、86%(南)(地球の1年の324日、314日相当)。

・Sh: シューメーカー(Shoemaker), Fa: ファウスティーニ(Faustini), S: シャクルトン(Shackleton), dG: デヘルラテ(de Gerlache)

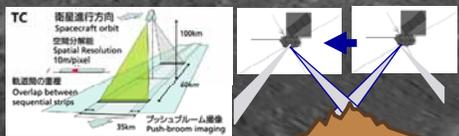


## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果～地形カメラ(TC)～

<36>

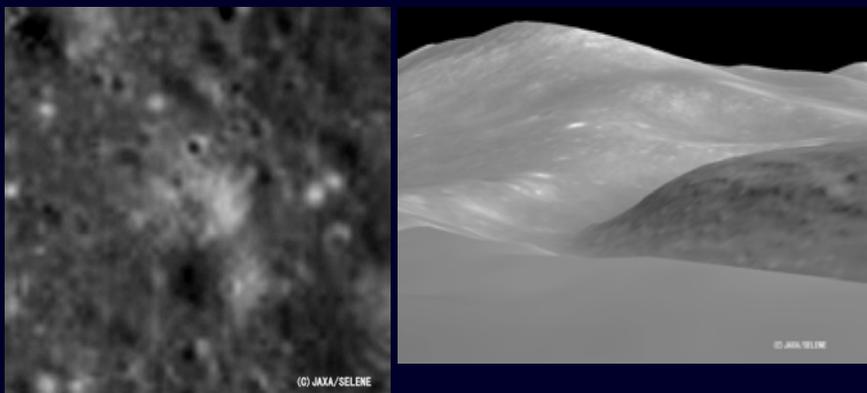


地形カメラ(TC)は可視波長帯で衛星の真下に対してやや斜め前方・後方を撮影する2台のカメラで、10mの分解能による月全球の立体視(ステレオ)観測を月の昼間の領域に対して行う。



## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~地形カメラ(TC)~

<37>



アポロ15号着陸地点  
(2008/2/24)LISM/TC

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~地形カメラ(TC)~

<38>



米科学誌「Science」,「かぐや」特別編集号  
(2009/2/13)



地形カメラによるモスクワの海の画像

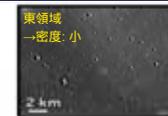
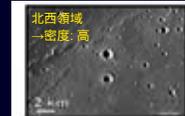
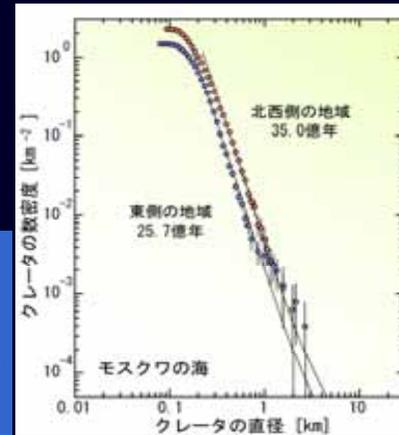


図2 図1の小域大画像 (左は西側→東側, 右は北西側)



・クレータ年代学手法: クレータの個数密度からその場所の形成年代を推定する手法。クレータの個数密度が高いほど古い。  
→これまで十分な研究がなされていなかった月の裏側の海(30数億年前に形成されたと考えられていたモスクワの海など)の形成年代を調べた。  
**知見** モスクワの海の一部領域などでは、クレーターの個数密度が小さいことから、月の裏側においても海を形成するような内部活動が、更に若い少なくとも約25億年前まで継続していたことが推定された。

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~地形カメラ(TC)~

<39>



左: 輝度強調前のシャクルトンクレータ(オルソデータから3次元化)。クレータ直径21[km]。

右: 左の画像を輝度強調したもの、内部は斜面上部からの散乱光で照らされ、直径6.6[km]の同心円状の平底が見出された。斜面の角度は30°、クレータの深さは4.2[km]に達する。中央には200~300[m]の小丘がある。

「氷水がクレータ底部の表面に露出した形で多量に存在する可能性がないことを明らかに」  
Science(2008/10/23(オンライン版))  
南極シャクルトンクレータの内部(2007/11/19撮像)  
→永久陰内を鮮明に映し出したが、氷と見られる高い反射率の場所は見られなかった。

## 2. 月周回衛星「かぐや」~ハイビジョンカメラ(HDTV)~

<40>



「かぐや」が月の南極付近で撮影した地球  
2008年5月2~3日撮影

2時間毎の撮影  
→地球の自転

進行方向

G8ポスター(環境省)

オンライン動画配信ポータルサイト「YouTube」でのHD映像!

地球の夜は、明るすぎる。

HDTV広角 - 北極付近で地球の入リ -

HDTV縮小 - 南極付近で地球の出 -

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~データ公開~

<41>



「かぐや」の科学データは、定常運用終了1年後(2009/11)から一般公開される予定で、検索や取得が可能。

## 2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果 ~データ公開~

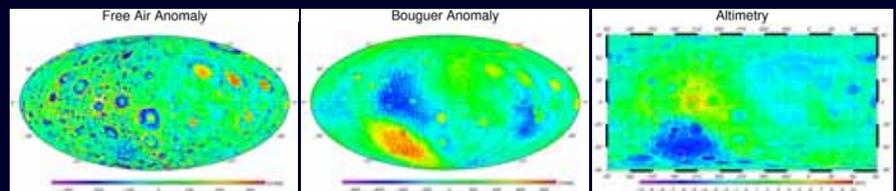
<42>



- 「かぐや」プロジェクトサイト  
<http://www.kaguya.jaxa.jp/>
- 「かぐや」画像ギャラリー  
<http://wms.kaguya.jaxa.jp/>



- 1度間隔のデータ(180度×360度=64,800点)が「かぐや」画像ギャラリーから公開されている。以下はGMT(Generic Mapping Tools)による描画例。
  - 重力異常(フリーエア異常、ブーゲー異常)
  - 高度データ

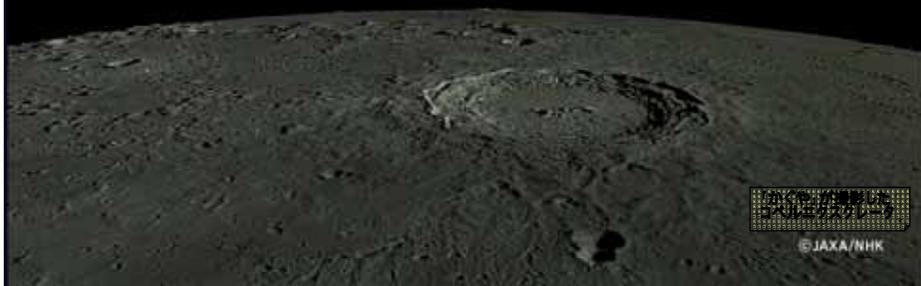


### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<43>



1. はじめに
2. 月周回衛星「かぐや」の状況と成果
3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術
4. 日本 / 各国の月・惑星探査の動向



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<44>



「かぐや」ミッションで使用されている電波通信

【「かぐや」】

- ・S帯TT&C(テレメトリ、コマンド、RARR)、X帯ミッション
- ・LRSレーダ

【「おきな」、「おうな」】

- ・「おきな」4wayドップラ

(臼田→「おきな」→「かぐや」→「おきな」→臼田)

- ・「おきな」「おうな」VLBI観測
- ・「おうな」RS電波科学

### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<45>



「かぐや」ミッションで使用されているアンテナ

【「かぐや」】

- ・通信用ハイゲインアンテナ(HGA): 1
- ・通信用オムニアンテナ: 4
- ・LRSレーダアンテナ: 4(送受信2対)

【「おきな」】

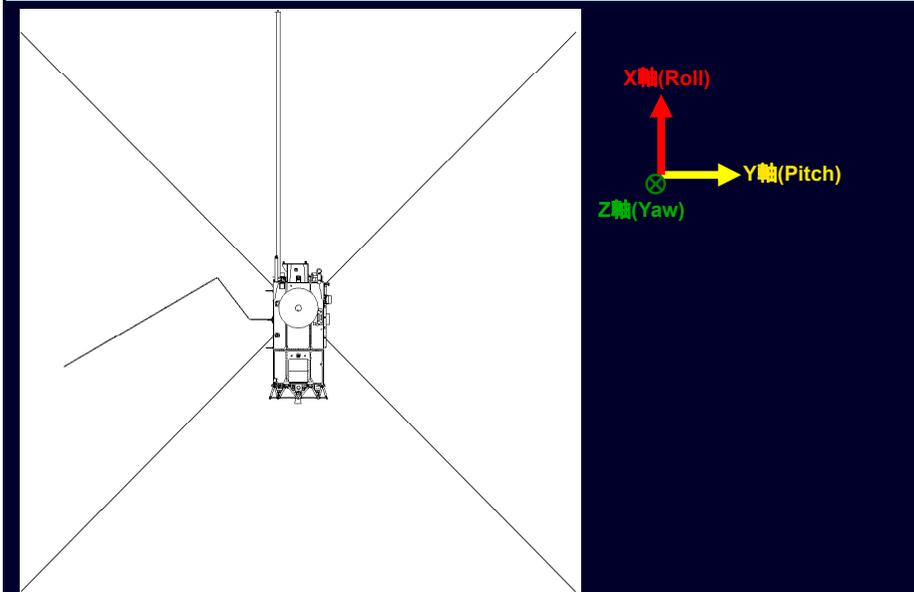
- ・通信用、VLBI用垂直アンテナ(対臼田局): 1
- ・4wayドップラ用平面アンテナ(対「かぐや」): 2

【「おうな」】

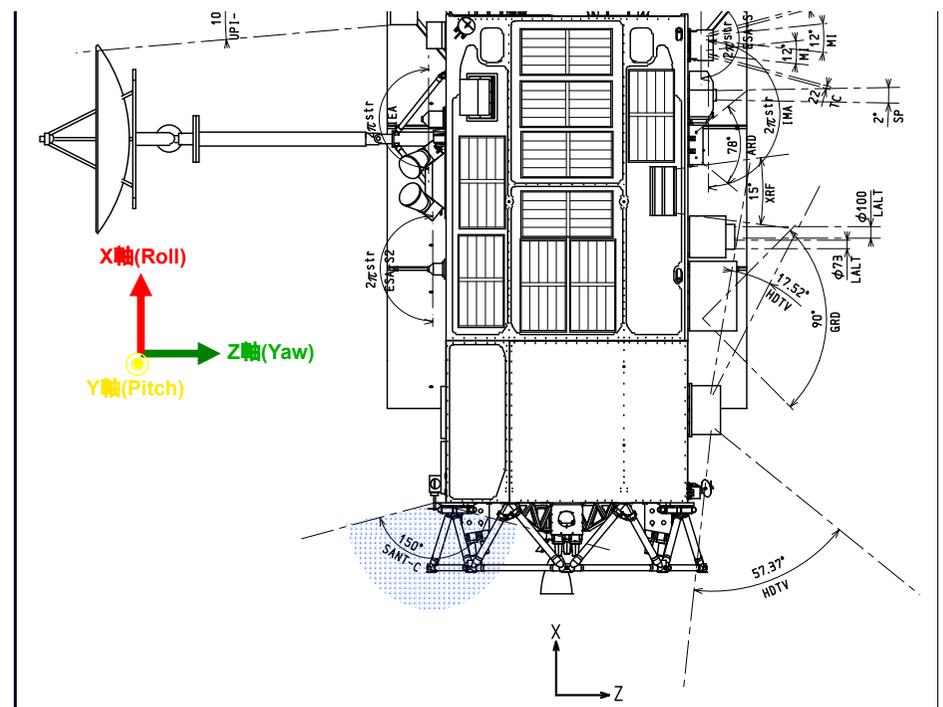
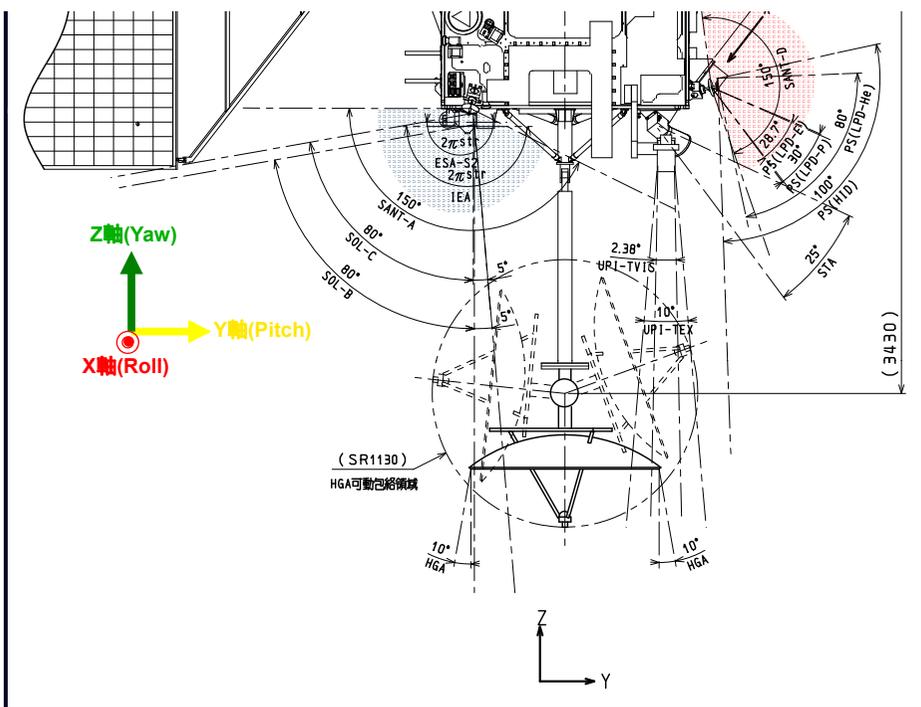
- ・通信用、RS電波科学用、VLBI用垂直アンテナ(対臼田局): 1

### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<46>

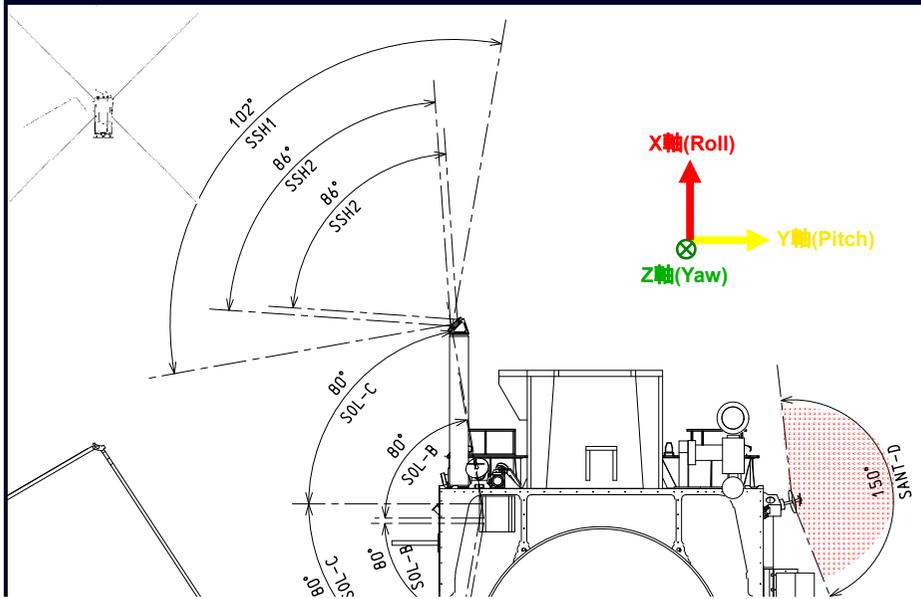






### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<53>

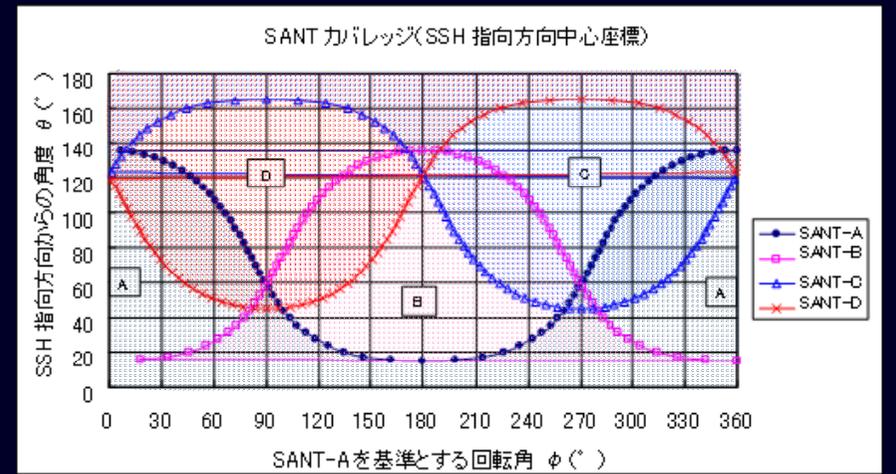


### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<54>

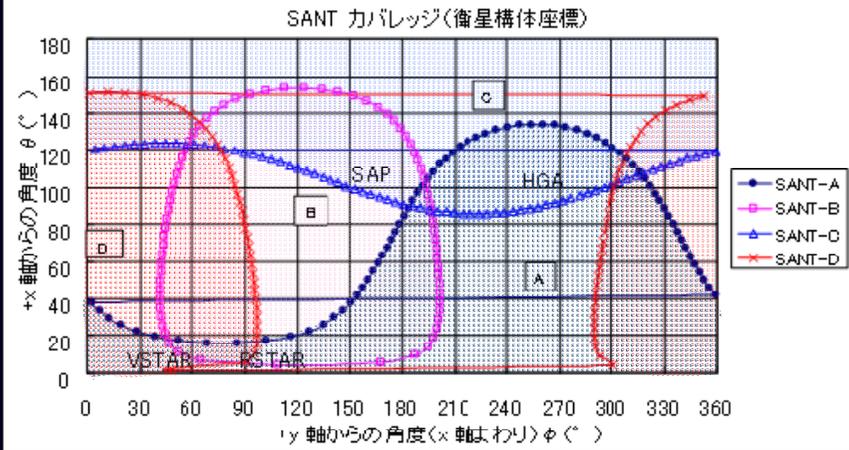


・SSH指向方向→軽負荷モードLow Light Mode(LLM)移行時は太陽指向姿勢に自律化により移行。



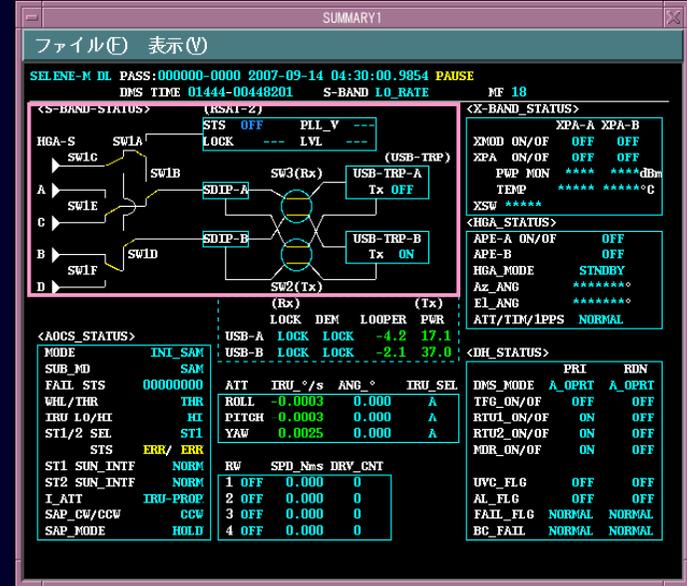
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<55>



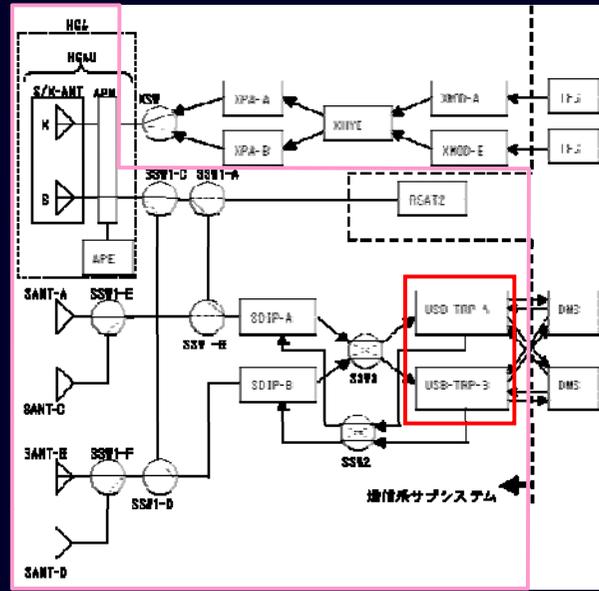
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<56>



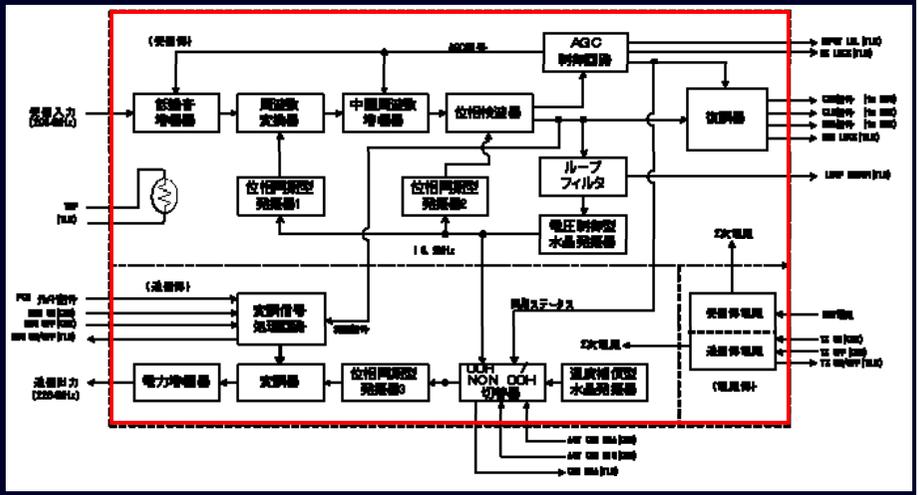
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<57>



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<58>

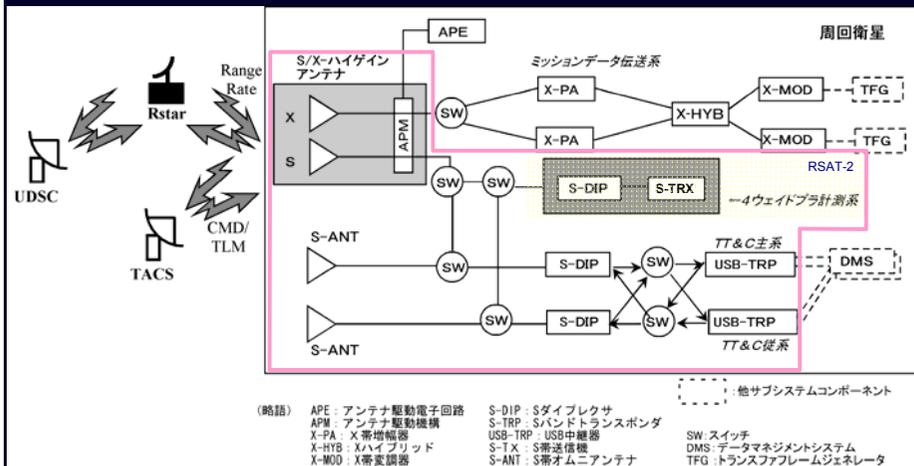


### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<59>

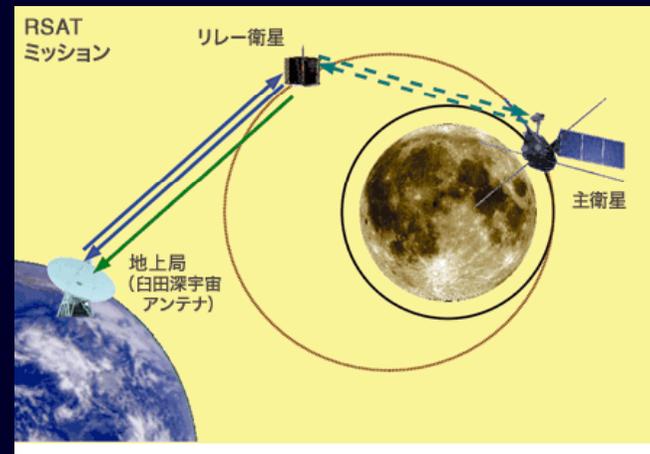


・(周回衛星)RSAT-2



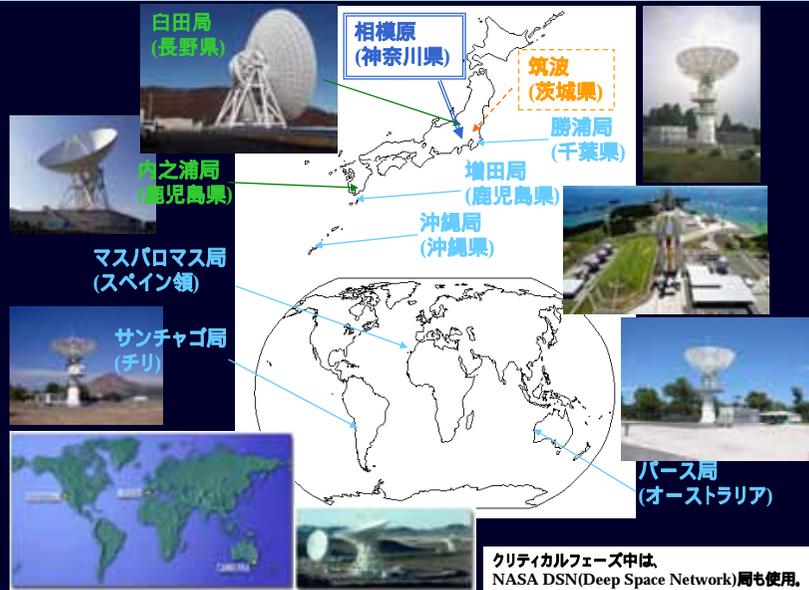
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<60>



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<61>



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<62>

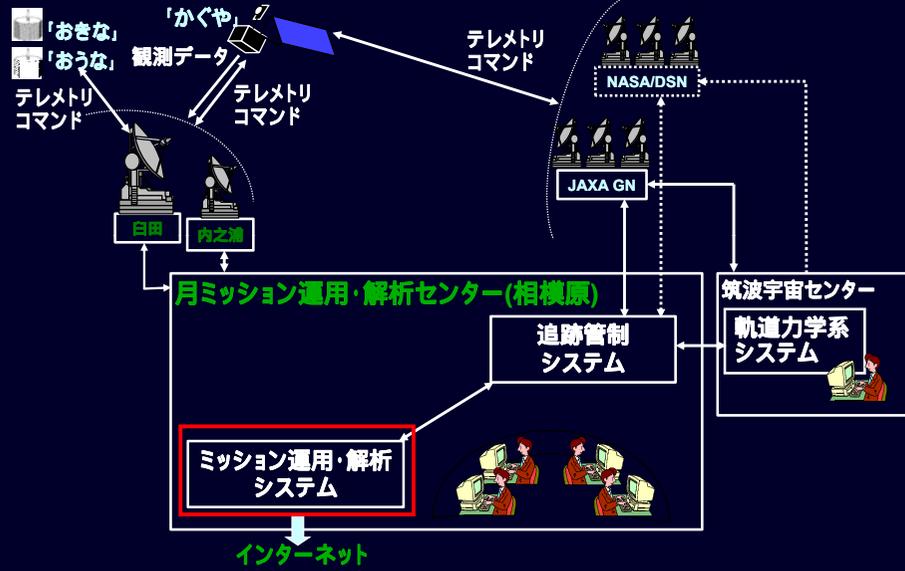


・「かぐや」「おきな」「おうな」は、長野県の白田宇宙空間観測所のアンテナ(64[m])を用いて、観測データを受信したり、指令コマンドを送っている。



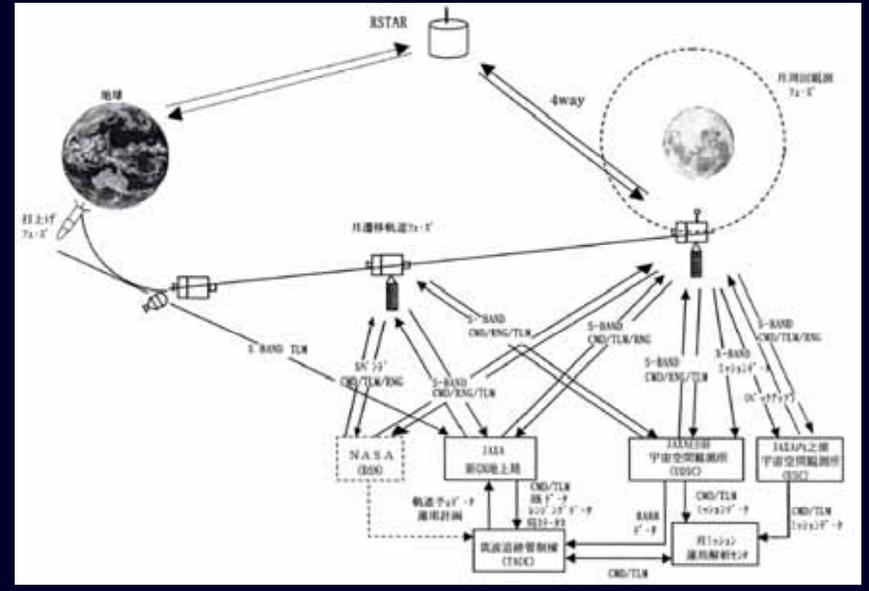
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<63>



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<64>



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<65>



回線計算(最悪値)	テレメトリ(X帯) / HGA→内之浦	テレメトリ(S帯) / HGA→GN	テレメトリ(S帯) / オムニ→白田	コマンド / GN→HGA
周波数	8488.507[MHz]	2263.602[MHz]	2084.4[MHz]	
EIRP	40.9[dBW](12.3[kW])	0.0[dBW](1[W])	1.0[dBW](1.3[W])	72.4[dBW]
自由空間損失 (=32.4+20logf+20logd)(通月点=40.6万km)	-223.2[dB]	-211.7[dB]	-211.7[dB]	-211.0[dB]
偏波/大気吸収/降雨損失	-0.7[dB]	-0.9[dB]	-0.8[dB]	-0.9[dB]
G/T	42.1[dB/K]	22.5[dB/K]	37.7[dB/K]	-9.0[dB/K]
雑音電力密度 (=システム雑音温度・228.6)	-204.0[dBW/Hz]	-206.9[dBW/Hz]	-204.3[dBW/Hz]	-201.6[dBW/Hz]
受信レベル(=受信C/N0・雑音電力密度)	-116.1[dBW]	-141.4[dBW]	-149.4[dBW]	-121.5[dBW]
受信C/N0(=合計+228.6)	87.7[dB・Hz]	65.5[dB・Hz]	54.8[dB・Hz]	80.1[dB・Hz]

### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

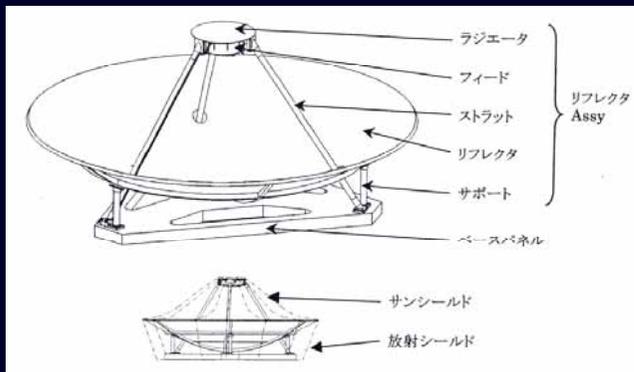
<66>



回線計算(最悪値)	テレメトリ(X帯) / HGA→内之浦	テレメトリ(S帯) / HGA→GN	テレメトリ(S帯) / オムニ→白田	コマンド / GN→HGA
周波数	8488.507[MHz]	2263.602[MHz]	2084.4[MHz]	
受信C/N <sub>0</sub>	87.7[dB・Hz]	65.5[dB・Hz]	54.8[dB・Hz]	80.1[dB・Hz]
変調方式	QPSK	PCM-PSK/PM	PCM-PSK/PM	PCM-PSK/PM
変調指数		1.1[rad]	1.1[rad]	0.4[rad]
ビットレート	10[Mbps]	40[kbps]	2[kbps]	1[kbps]
要求C/N <sub>0</sub>	82.1[dB・Hz]	58.6[dB・Hz]	44.0[dB・Hz]	60.6[dB・Hz]
回線マージン	5.6[dB]	6.9[dB]	10.8[dB]	19.5[dB]

### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

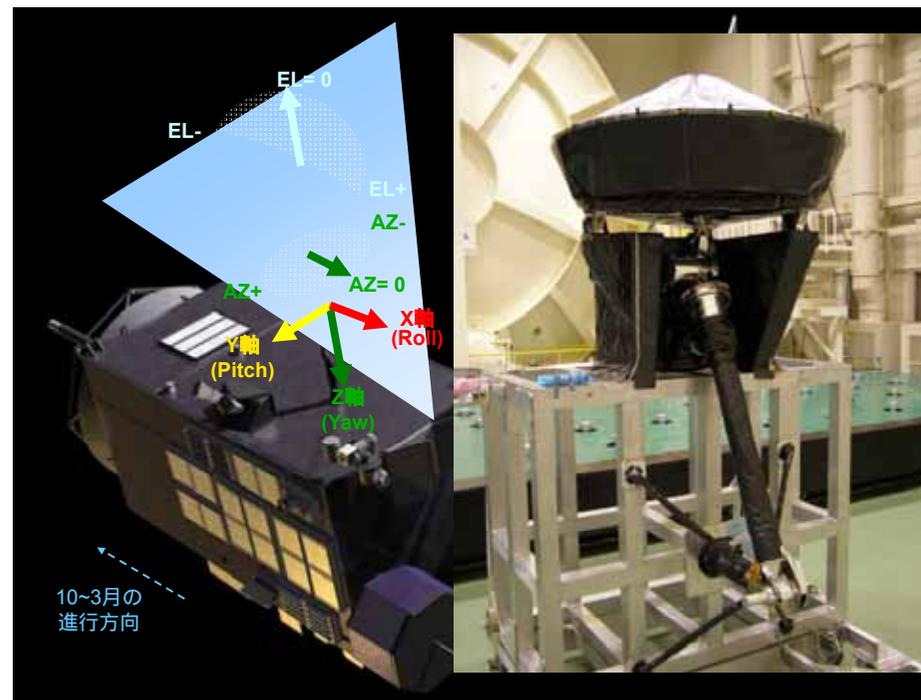
<67>



送信機 ©NEC



- ・センターフィードパラボラ
- ・1600mmΦ
- ・S/X帯共用
- ・利得~33dB@8GHz(X帯)、~24dB@2GHz(S帯)
- ・サンシールドとしてGeコーティングブラックカプトン使用  
→熱制御 + 電波透過 + 表面導電



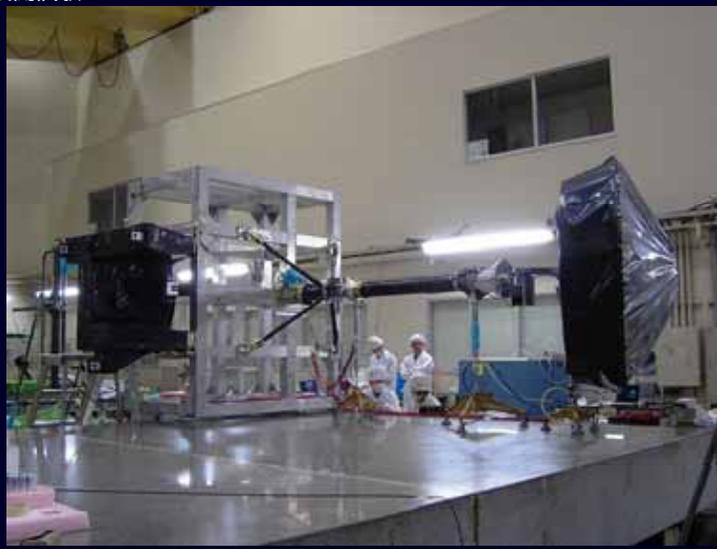
10~3月の進行方向

### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<69>



・HGA展開試験



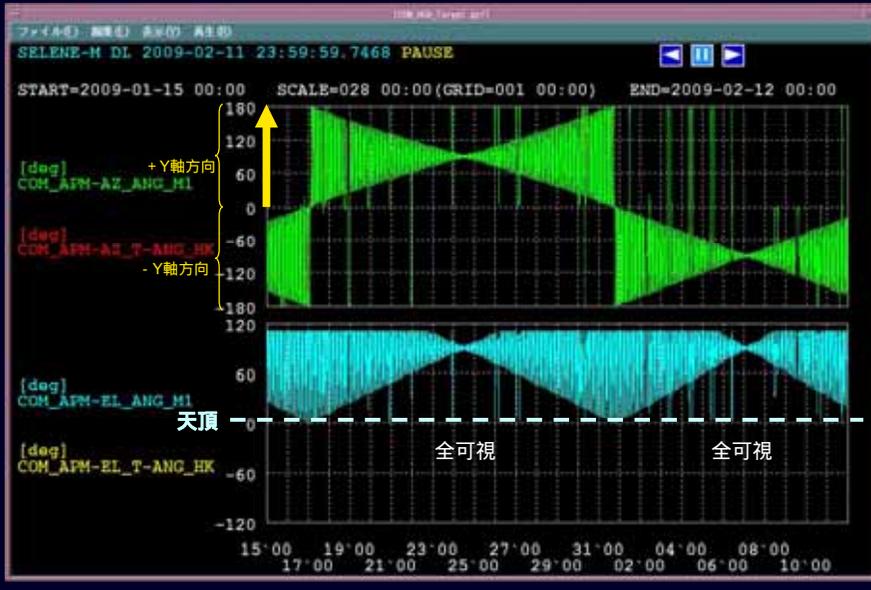
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<70>



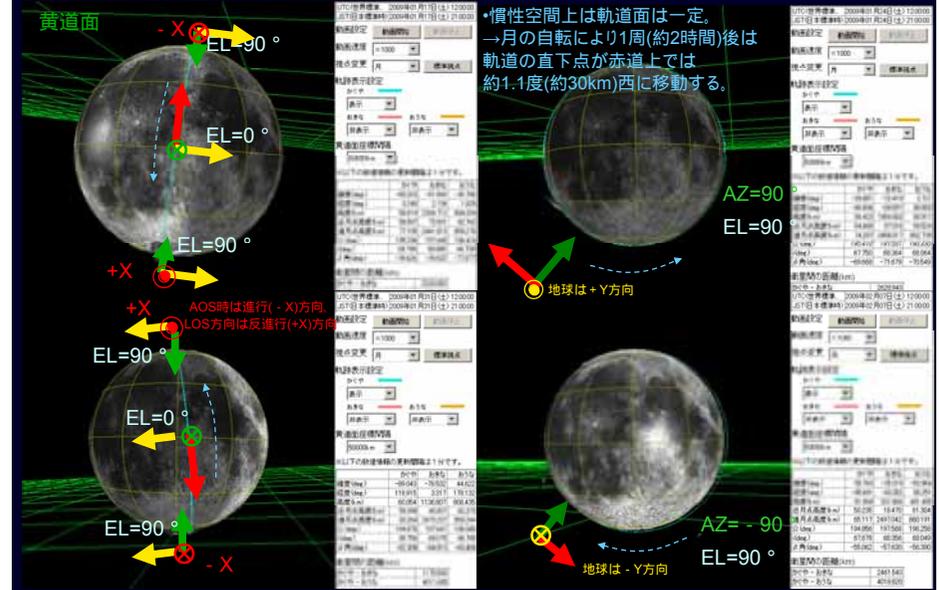
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<71>



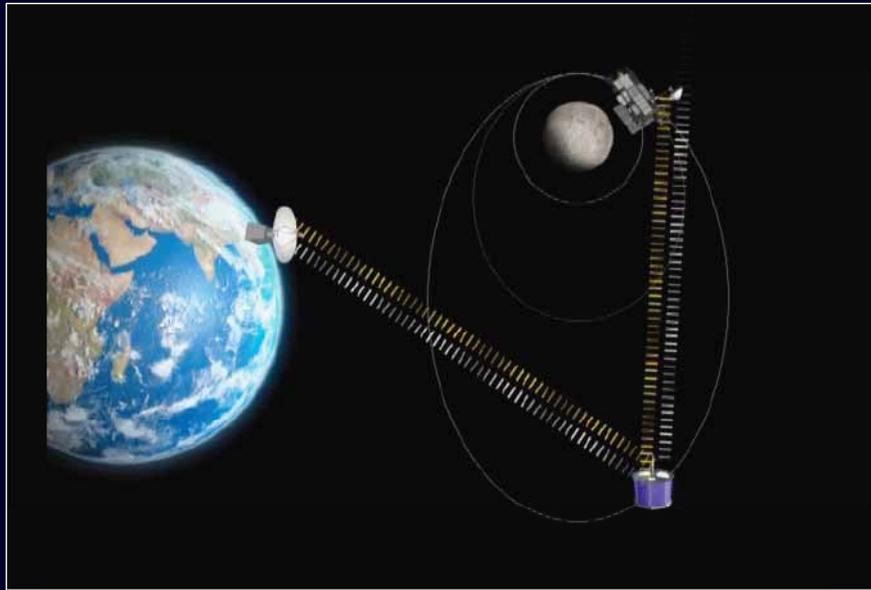
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<72>



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<73>

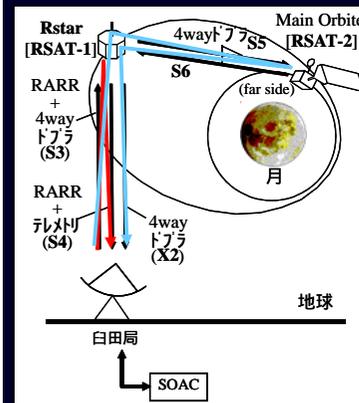


### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<74>



•RSATは、月重力場のグローバルマッピングを行うことを目的とした、4wayドップラ観測を行うための中継器である。リレー衛星(Rstar)に搭載されるリレー衛星搭載中継器(RSAT-1)と、周回衛星に搭載されるリレー衛星対向中継器(RSAT-2)から構成される。  
 •「おきな」の4wayドップラ:  
 白田→「おきな」(RSAT-1)→「かぐや」(RSAT-2)→「おきな」(RSAT-1)→白田 (S3→S5→S6→X2)

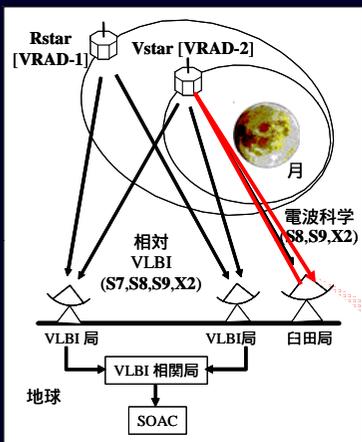


符号	周波数 [MHz]	経路	内容*
S3	2081.466	白田局→Rstar	コマンド, RARR, 4way-Dopp計測
S4	2260.416	Rstar→白田局	テレメトリ, RARR
S5	2241.579	Rstar→周回衛星	4way-Dopp計測
S6	2051.614	周回衛星→Rstar	4way-Dopp計測
X2	8456.125	Rstar→白田局	4way-Dopp計測



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<75>

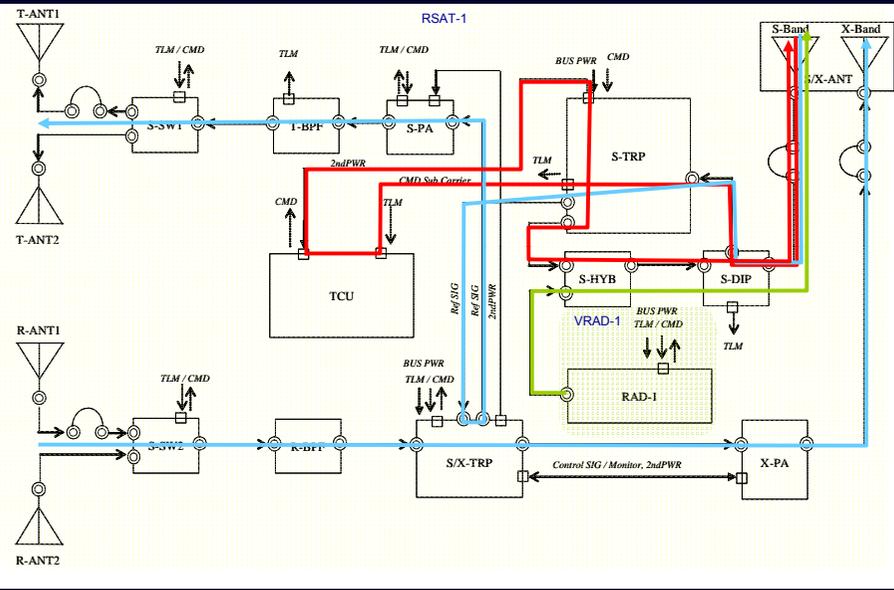


符号	周波数 [MHz]	経路	内容*
S3	2081.466	白田局→Vstar	コマンド, RARR
S4	2260.416	Vstar→白田局	テレメトリ, RARR
S7	2212.0	Vstar→VLBI局	相対VLBI
		Vstar→白田局	電波科学
S8	2218.0	Vstar→VLBI局	相対VLBI
		Vstar→白田局	電波科学
S9	2287.3125	Vstar→VLBI局	相対VLBI
		Vstar→白田局	電波科学
X2	8456.125	Vstar→VLBI局	相対VLBI
		Vstar→白田局	電波科学

テレメトリ, コマンド, RARRは、おきな, おうな, は同一。(よって、同時運用はできない。)

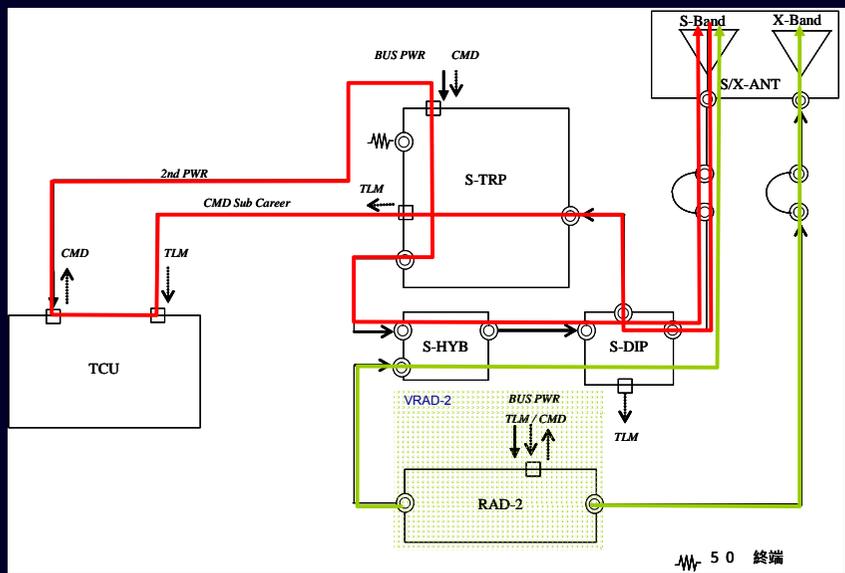
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<76>



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<77>

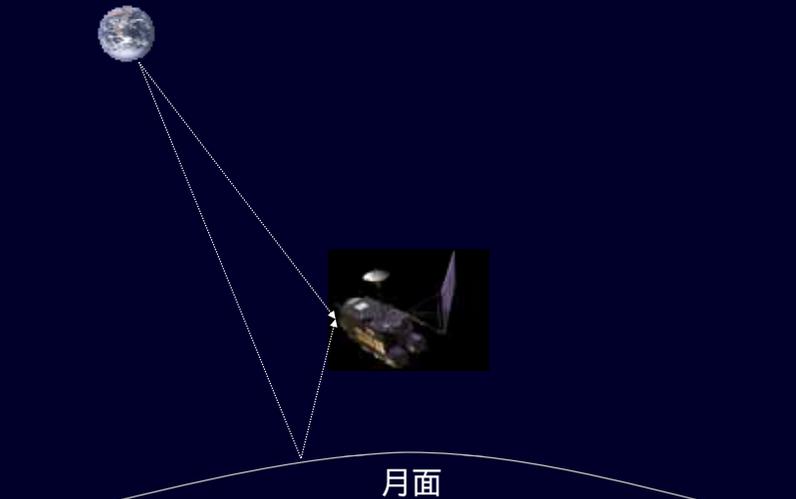


### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<78>



•コマンド送信時にマルチパスによる混信が発生。(特に高い送信機出力の局の場合)



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<79>



#### •電磁適合性EMC

→システムおよびサブシステム/コンポーネントがミッション遂行期間中に遭遇するあらゆる電磁環境下で、性能を劣化することなく機能を発揮する能力。

✓伝導雑音(Conducted Emission)限界CE  
(電源ライン・信号ライン・アンテナ端子スプリアス)  
→干渉雑音のうちで、導体中を伝わるもの。

✓伝導感受性(Conducted Susceptibility)限界CS  
(電源ライン・信号ライン・受信機入力端伝導感受性限界)  
→伝導雑音に対する感受性をいう。

✓放射雑音(Radiated Emission)限界RE  
(磁界・電界)  
→干渉雑音のうちで、空間に放出されるもの。

✓放射感受性(Radiated Susceptibility)限界RS  
(磁界・電界)  
→放射雑音に対する感受性をいう。

### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<80>



#### •月レーダサウンダー(LRS)

→衛星の仕様として5[MHz]の雑音をMIL-STD-461C(RE02)規格よりも低くする必要がある。

- 衛星内部に搭載する機器→10[dB]下
- 衛星外側に取り付ける機器→40[dB]下

→電気シールドとして伝導MLI(電気を通しやすい炭素が入った黒いサーマルブランケットとすることで遮蔽効果を高める)を使用している。

#### •Lunar Magnetometer(LMAG)

→月の残留磁気異常を検出するために、磁力計センサの磁気擾乱は0.1[nT]より低くなければならない。  
→磁気擾乱の効果を減少させるために12[m]長マストの先端に取り付けられる。太陽電池パネルのループ電流ができるだけ小さくなるようにする。

#### •Plasma energy Angle and Composition Experiment(PACE)

→測定に関しては、周回衛星の電気潜在的分配は1[V]未満となるべき。  
→要件を満たすために、伝導MLIが採用されて、太陽電池のコーティングは伝導として作られていて接地されている。

中澤(2008)

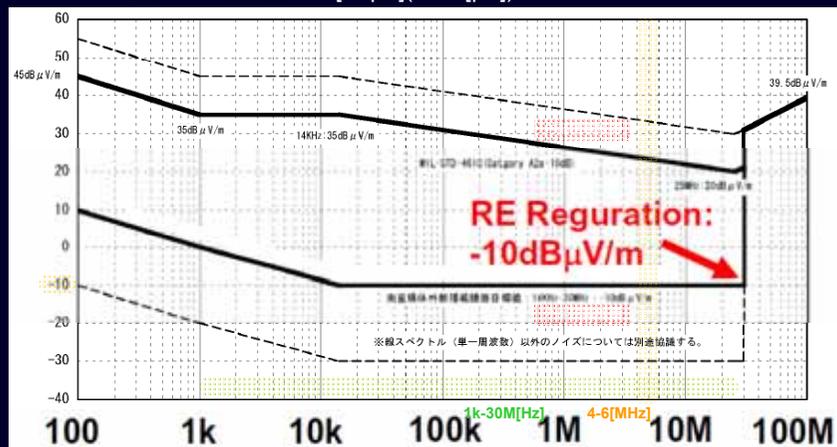
### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<81>



#### SELENEでのEMC対策

- 放射(RE)ノイズ規制値 =  $-10[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] (=0.1[\mu\text{V}/\text{m}])$
- コモンモード電流ノイズ規制値 =  $20[\text{dB}\mu\text{A}] (=100[\mu\text{A}])$



### 3. 「かぐや」ミッションを支える通信技術

<82>



#### SELENEでのEMC対策

- 放射(RE)ノイズ規制値 =  $-10[\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}] (=0.1[\mu\text{V}/\text{m}])$
- コモンモード電流ノイズ規制値 =  $20[\text{dB}\mu\text{A}] (=100[\mu\text{A}])$

