

SELENE-2搭載機器候補 LLR/iVLBI の検討状況報告

iVLBI: 菊池冬彦, 松本晃治, 花田英夫, 鶴田誠逸, 河野裕介, 浅利一善, 石原吉明, 佐々木晶 (国立天文台), 岩田隆浩 (ISAS)
 LLR: 野田寛大, 荒木博志, 片山真人, 佐々木晶, 田澤誠一, 花田英夫, 鶴田誠逸 (国立天文台), 國森裕生 (NICT), 大坪俊通 (一橋大)

1.概要 ~iVLBI~

次期月探査計画SELENE-2の搭載機器候補である逆VLBI電波源(iVLBI)では、月周回衛星(オービター)ならびに月面サバイバルモジュールにVLBI用電波源を搭載し、同一ビームVLBI(Kikuchi et al.,2009*)という手法を用いてオービターと月面サバイバルモジュールの精密軌道決定を行い、潮汐応答を表すラブ数 k_2 と低次重力場係数を従来の成果を上回る精度にて推定する。

*F. Kikuchi et al., Pico-second Accuracy VLBI of the Two Sub-satellites of SELENE (KAGUYA) using Multi-Frequency and Same Beam Methods, *Radio Science*, 44, doi:10.1029/2008RS003997.2009

2.科学目標

現状で不確定性が非常に大きい1000km以深の月内部構造について制約を与える。特にコアの物理状態(固体か流体か)、そして流体であればそのサイズを推定する。

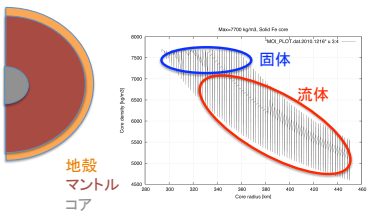


図2.1 最新の月重力場モデル(SGM100h)の低次項から月の慣性モーメントを推定し、コアの半径、密度を制約した結果。コア密度の上限値を7700kg/m³(Solid Fe)とした場合、**コア半径の下限値が290kmと制約されるが、コアの状態(固体か流体か)は未だ判別できていない。**

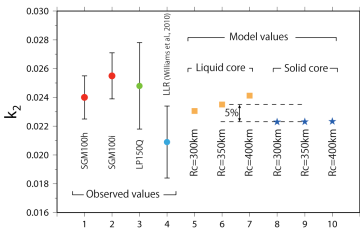


図2.2 k_2 の観測値および核の大きさ・状態と k_2 モデル値との関係。核の半径が350kmである場合、核の状態が液体か固体かによって k_2 の値は約5%変化する。

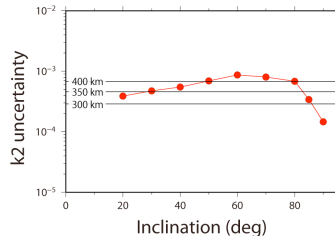


図2.3 同一ビームVLBI観測(下記参照)を3ヶ月間行った場合の k_2 誤差。Formal errorの10倍として評価。重力場係数と k_2 との間に相関があるため、 k_2 誤差は周回衛星の軌道傾斜角に依存する。

4.要求性能

(サバイバルモジュール搭載)

出力周波数: S1: 2212.0000MHz S2: 2218.0000MHz S3: 2287.3125MHz X: 8456.1250MHz
 出力電力: S帯: +20.7dBm X帯: +19.2dBm
 送信機能: S帯3波の交互送信、S帯1波の連続または間欠送信、X帯1波の連続または間欠送信
 アンテナ利得: 天頂方向より±30度以内+5dBi以上、±60度以内0dBi以上、±70度以内-5dBi以上

(周回衛星搭載)

出力周波数: 同上
 出力電力: S帯: +20.6dBm X帯: +17.8dBm
 送信機能: S帯3波の連続送信、X帯1波の連続送信
 アンテナ利得 (対地球用垂直ダイポールアンテナ): 全方位に対して水平面から±20度の範囲で-1dBi以上

5.重量、消費電力

iVLBI電波源	サバイバルモジュール搭載			周回衛星搭載		
	形状・寸法 [mm]	質量 [kg]	電力 [W]	形状・寸法 [mm]	質量 [kg]	電力 [W]
RAD	215×145×127.5	1.85	3.41 / 2.33 (*)	215×145×127.5	2.75	7.15 / 7.66 (*)
一次電池セル	(*)	3.2	—	—	—	—
電池ケース	200×200×150	1.1	—	—	—	—
充填剤等	(*)	1.5	—	—	—	—
アンテナ	175×175×70 (*)	0.6	—	φ84×541.7 (φ)	1.5	—
合計	—	8.35	3.41 / 2.33 (*)	—	4.25	7.15 / 7.66 (*)

(*) 風洞モードによる (**) ノミナル/最大値 (**) 電池ケースを含む
 (φ) 対地球用垂直ダイポールアンテナ (φ) 対地球用垂直ダイポールアンテナ

6.主な開発状況、開発課題

1)同一ビームVLBI用電波源の概念検討

かぐや/VRAD搭載機器のリサイジングとしてリソースを算定した。電波信号の間欠/交互送信方式を新たに採用することにより、800gの軽量化と50%以上の消費電力削減を実現した。



観測開始後、最初の10分のみS/X帯4波を用いてアンビギュエティを推定し、その後はX帯のみ送信する。

2)サバイバルモジュール(SM)搭載アンテナの概念検討

月面温度環境下(-200°C~+120°C)にて使用可能なアンテナとして、**アルミナ基板のパッチアンテナ**を選定した。熱衝撃試験(常温から液体窒素)にて、基板の強度、パターンの物理強度、電気特性に優位な変化がなく、アンテナ単体にて月面温度環境に耐えることを確認した。

今後、アンテナ素子と給電部分の設計を行い、保存温度範囲の解析、動作時のアンテナパターン解析を行う。また、評価モデルを製作し、温度環境印可試験を行い、機械的検査、VSWR特性試験による温度耐性の評価を実施する。



3.観測手法:同一ビームVLBI

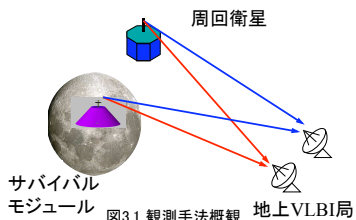


図3.1 観測手法概観

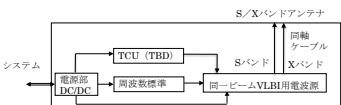


図3.2 機器構成

同一ビームVLBI

周回衛星、サバイバルモジュールからS帯3波、X帯1波の電波信号を送信し、地上の2つのVLBI局にて信号を同時に受信する。これらの信号を相互相関処理し、図中4つの経路の相対距離を計測する。

【目標計測精度: 1mm】

2つの電波源を同時に観測することにより、大気、電離層遅延を除去し、通常のVLBIに比べて一桁以上高精度に遅延時間を求める。

かぐや/VRADの同一ビームVLBI観測との違い

本手法では、電波源の片方が月面に固定されており、これを基準とした、より高精度な周回衛星の軌道決定が期待される。