

かくや(SELENE)レポート～VRAD：月周回衛星SELENE(かくや)のVLBI観測～

劉慶会¹, 花田英夫¹, 菊池冬彦¹, 松本晃治¹, 原田雄司¹,
岩田隆浩², Sander Goossens¹, 浅利一善¹, 鶴田誠逸¹,
石川利昭¹, 石原吉明¹, 野田寛大¹, 並木則行³, 佐々木晶¹

(要旨) 月探査機SELENE(かくや)は主衛星と2つの子衛星RstarとVstarによって構成される。RstarとVstarを8局の電波望遠鏡の主ビームで同時に観測することによって、世界最高レベルのピコ秒精度のVLBI相対位相遅延の推定に成功した。更にVLBIデータとドプラーデータ・レンジングデータを併用することによって、RstarとVstarの軌道決定精度は従来のレンジング方式より2桁向上して数メートルに達し、月重力場モデルの精度も向上した。本文は、SELENEのVLBI観測について報告する。

1. なぜVLBI観測を行うのか

VLBI (Very Long Baseline Interferometer) とは二つ以上のアンテナでQuasarや衛星からの電波を同時に受信し、その電波の二つのアンテナへの到達時間の差(遅延時間)を計測し、電波源の位置などを精密に計測するシステムである。

月探査機SELENE(かくや)では、視線方向に感度を持つ2-wayドプラー観測や2-wayレンジング以外に、VRAD(VLBI用衛星電波源)を用いて、視線に垂直な方向に感度を持つVLBI観測も行う。両者を組み合わせることにより、より高精度な軌道推定と高精度な月重力場モデルの構築が可能となる。SELENEのVRADミッションでは、2つの子衛星RstarとVstarを電波望遠鏡の主ビームで同時に観測することによって、大気、電離層と観測装置による計測誤差をほぼ完全に取り除き、世界最高レベルのピコ秒精度のVLBI相対位相遅延の推定に成功した。更にVLBIデータとドプラーデータ・レンジングデータを併用することによって、RstarとVstarの軌道決定精度は従来のレンジング方式より2桁向上して数メートルに達し、月重力場モデルの精度も向上した。

2. SELENEのVLBI観測局

RstarとVstarは、SELENE主衛星が月周回軌道に投入された後にそれぞれ2007年10月9日と11日に主衛星から分離され、月周回軌道に投入された。地上のVLBI観測局は水沢、入来、小笠原、石垣の国立天文台水沢VERA観測所の4局と、Hobart(オーストラリア)、上海・ウルムチ(中国)、Wettzell(ドイツ)の海外4局である(図1)。VERA局、Wettzell局の電波望遠鏡の口径は20m、Hobart局は26m、上海・ウルムチ局は25mである(図2)。VERA4局は2007年11月から2009年6月までに、1ヶ月あたり約100時間のVLBI観測を行った。更に外国局は2008年1月、5～7月等に合計200時間、観測に参加した。なぜ外国局が必要かという、やはり基線が長くなるほど、軌道決定の精度は良くなるからである。Wettzell-Hobartの基線長は12247kmであり、ほぼ地球上で最長の基線である。

3. 電波望遠鏡の駆動と操作

SELENEのVRADミッションでは、衛星の予測位置情報を利用して、VLBI観測用スケジュールファイルを作成し各局に送信する。外国局の場合はその局の研究者に頼んで現地で電波望遠鏡の駆動操作を行う。VERA4局の場合は、図3に示すように、水沢から遠隔操作で4台の電波望遠鏡の駆動を行う。

1. 国立天文台RISE月探査プロジェクト

2. JAXA

3. 千葉工業大学

iuqh@miz.nao.ac.jp

4. VLBI観測システム

VLBI観測システムを図4に示す。このシステムでは、Rstar, Vstar, 主衛星とQuasarについてS帯とX帯の電波を電波望遠鏡で受信し、低雑音増幅器(LNA)で増幅した後、周波数変換器(down converter)によって数100 MHzのIF信号に変換する。これらのIF信号を更にビデオコンバータ(video converter)によって低い周波数に変換する。

RstarとVstarの場合には数10kHzの信号に変換した後、ローパスフィルタ(LPF)を通し、SRTPstationと呼ばれる記録装置でデータをハードディスク(HDD)に記録する。一方、主衛星とQuasarの場合には、X帯の信号を2MHzの信号に変換し、IP-VLBIと呼ばれる

記録装置でデータをハードディスクに記録する。いずれの場合も時間と周波数の基準は原子時計(水素メーザー)である。

5. SRTPstationの遠隔操作

VLBI観測データ記録遠隔操作システムは最大8局に対するデータ記録の制御および監視を行うもので、国立天文台水沢VERA観測所内に設置されている(図5)。ハードウェアとしてはWindows PC4台およびディスプレイ8台で構成され、8局分の制御・監視画面をそれぞれ独立なディスプレイに割り当てて同時に表示することが出来る。データ記録、簡易的なデータのチェック、ビデオコンバータの制御等は全てSRTPstation

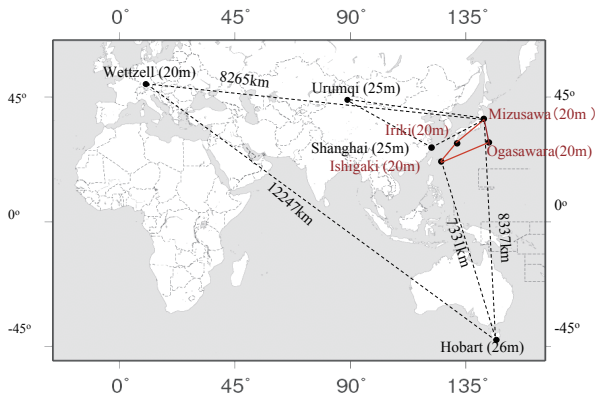


図1: SELENEのVRADミッションにおけるVLBI観測局

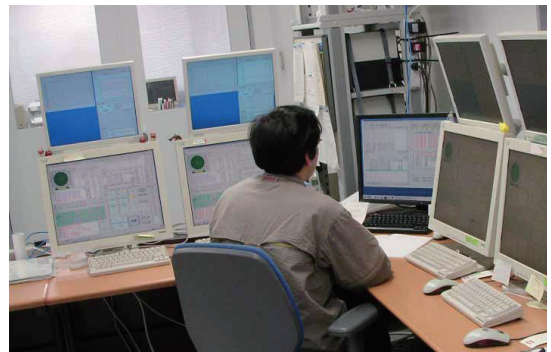


図3: VERA4局電波望遠鏡の遠隔操作室



図2: 各VLBI観測局における電波望遠鏡

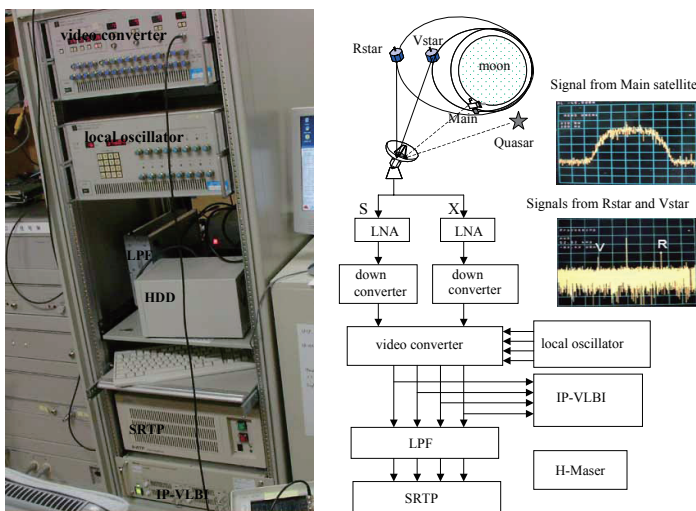


図4：VLBI観測システム



図5：VLBI観測データ記録遠隔操作システム。上：遠隔操作室，左下：SRTPDデータ収集制御画面，右下：ビデオコンバータとローカル発振器の制御画面。

上もしくはそれにプライベートネットワークで接続されている計算機上で行うように設計されている。オペレータは遠隔操作システムからVNCを用いて各局のSRTPstationへログインして操作を行う。

6. VLBIデータ解析システム

各VLBI観測局で取得されたデータを記録しているハードディスクを水沢に郵送し、水沢で観測したデータの解析を行う。VLBIデータ解析システムは各VLBI

観測局で取得されたデータを集約・解析し、軌道・重力場推定に必要な相対位相遅延の時系列データを生成するものである。システムの構成要素はゲートウェイマシン、計算ノード、ディスクアレイ、HDD接続マシンである(図6)。

2つの局で受信した電波の位相差を求めるといった相関処理は基線毎に処理が独立するタイプの計算であり、クラスタを構成するそれぞれの計算ノードに独立な基線処理を割り振り、20台のノードを同時稼働させることで全体的な処理時間の短縮を図っている(図7)。た



図6：VLBIデータ解析システム

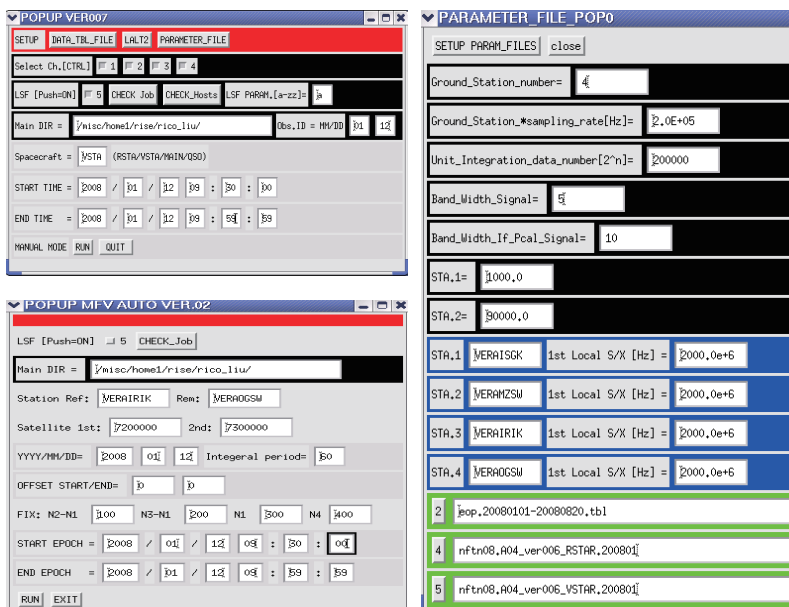


図7：VLBIデータ解析GUI画面。左上：相関処理用画面，左下：相対相遅延推定用画面，右：相関処理の際の各パラメータ設定用画面。

だし、ピコ秒精度のVLBI相対相遅延の推定は、決して簡単な操作ではなく、推定した結果の確認などにも時間と手間がかかる。2009年11月のデータ公開に間に合うように、現在、RISE月探査プロジェクトの研究者はがんばっている。

7. おわりに

VERA4局のアンテナの遠隔操作は国立天文台水沢

VERA観測所の研究者によって行われ、VLBI観測データ記録遠隔操作とデータ解析は国立天文台RISE月探査プロジェクトの研究者によって行われている。また、衛星の運用は、重力場観測・電波観測の合同ミッションチーム、(RSAT/VRAD/RSミッションチーム)、JAXAのSELENEプロジェクトチームによって行われている。これらの運用・解析に携わっている多くの方々によってこれまで観測・運用・解析が順調に行われてきた。ここに、関係の方々に感謝の意を表する。