



測地・力学的月・惑星研究：RISE計画

河野宣之，大江昌嗣

〈国立天文台地球回転研究系 〒023 岩手県水沢市星ガ丘町 2-12〉

e-mail : kawano@miz.nao.ac.jp, ooe@miz.nao.ac.jp

宇宙科学研究所の Lunar-A や Muses-C 計画に続き、大型ロケット H-IIa を利用した新たな月探査周回衛星 (SELENE) が計画され、我が国の月・惑星探査に新しい時代が到来している。国立天文台も将来の月面天文台の建設の検討や探査機による惑星形成の研究を進めている。この中で、RISE 計画は月・惑星の測地・力学的研究を目的に SELENE 計画において新しい技術を用いた 3 つの搭載器の開発検討を行っている。

1. 測地・地球力学的研究がいかに惑星の 1 つである地球の理解に貢献してきたか。

測地・地球力学が惑星の 1 つとしての地球の構造や振る舞いの理解に貢献してきたことは歴史が物語っている。地球がほぼ球形であることは測地学の始まりを告げ、洋梨状であることは地球を周回する衛星の重力場による軌道の変化から推定された。緯度変化や重力の変化からの極運動や地球潮汐の発見は地球内部が流体であることを明らかにした。近年、計測技術の目覚ましい発展で、VLBI による大陸間の距離変化からプレート運動が実証され、地球の殻が流体の上を移動していることや、大気の変化が 2～3 年から数日の時間スケールの地球の回転変動を引き起こしていることが明らかにされている。また VLBI による地球回転と超伝導重力計による重力の精密観測がコア・マンツルの力学的結合やマンツルの粘性の推定値を与えるなど、地球内部に関する新しい知見を与えてきた¹⁾。

このように、地表の位置、回転、重力、潮汐などの測地・力学的観測は 46 億年の歴史を持つ地球

の現在の振る舞いを捉え、起源や進化に迫ってきた。もちろん、地下物質の組成、地震波や磁場あるいは熱力学的な測定などの新しい測定法の貢献も大きく、これらの結果のみが現在の地球の認識を形成してきたと言うつもりはない。

月・惑星探査の科学的意義は太陽系がいかにして生まれ、どのように進化してきたか、そして将来どのようになっていくのか、にあることは言うまでもない。そのためには、先ず地球を例に見るように、測地・力学的観測により、現在の月・地球を含めた惑星の振る舞いを正確に捉え、クレーター等に刻まれた歴史を辿り、更に始原物質の探査や前述の新しい手段を加えて起源や進化に迫ることが重要である。起源や進化を語る時、一つの結果から結論を導くことは危険であり、いくつもの証拠が必要であろう。月惑星探査が一つの目的計測に陥らずに総合的な探査が望まれる。このことは目的を曖昧にし、何でも測定すれば何等かの成果が出ると主張しているのではなく、いろいろな切り口で見、それぞれの切り口が起源と進化に重大な判断材料を提供する計画をたてるのが肝要であると主張したい。

2. VLBI 技術と月面電波源および レーザ測距儀の開発

国立天文台では長年の実績を持つ各種地球計測技術の開発および測地・地球力学研究を月・惑星に展開すべく、相対 VLBI 技術、月面電波源やレーザ測距儀の開発も行ってきた。これらについて簡単に説明する。

1) 相対 VLBI

VLBI は現在のところあらゆる波長での天体観測で最も良い測角精度と分解能を持っているが、月・惑星の運動を正確に求めようとすると、その位置誤差は月において 1 m 以上、1 AU 離れた惑星では 450 m にもなり、地球で観測されている飛翔体の位置精度数 cm から数十 cm に遠く及ばない。

VLBI における測定誤差の要因は天体から発せられた電波が地上の観測局に到達する際の地球大気による伝搬遅延の影響にある。伝搬遅延は電離層によるものと、中性大気によるものに分けられ、電離層分については受信周波数の 2 乗に比例するので 2 周波数で受信すればその量を知ることができる。一方、中性大気分は周波数に依存しないため推定が極めて困難である。そこで、近接する（同一方向に見える）2 つの電波源を観測すると、双方からの電波の地球大気の通路は互いに近くなり、ほぼ同一の伝搬遅延を受け、従って一方を基準にしたもう一方の電波源の位置には伝搬遅延による誤差が含まれず、高精度が期待できる。このような VLBI を相対 VLBI (Differential VLBI) と言い、群遅延を観測量にする方法と受信信号の位相差 (フリンジ位相差) を観測量とする 2 つの方法がある。それぞれの観測量を示すと、

$$\tau_2 - \tau_1 = (d\Phi_2/d\omega) - (d\Phi_1/d\omega) \quad \dots (1)$$

$$\tau_2 - \tau_1 = (\Phi_2 - \Phi_1)/\omega \quad \dots (2)$$

ここで 1, 2 は 2 つの電波源を表している。2 つの式は一見等しく見えるが実は大きな差がある。(1) 式は通常の VLBI で行われている受信帯域幅

を広く取り、位相の周波数に対する傾きから遅延 τ をそれぞれ計算しそれらの差を求めているのに対し、(2) 式はフリンジ位相 Φ をそれぞれ測定してその差から遅延を求めている。(1) 式の方法は、広帯域受信の制限から測角精度は大気の影響が取り除かれるものの、通常の VLBI の 1mas より少し良いか同程度である。この方法は約 10 年前に背景の QSO を位置基準にした静止衛星の軌道決定などに用いられた。(2) の方法の測定精度を見積ってみよう。通常の VLBI で実現している位相測定精度 10 度、観測周波数 8 GHz を仮定すると天体の測角誤差は 0.07mas となり、月付近でも位置誤差は 13 cm であり、VLBI 装置を少し改善すると cm オーダーも可能になる。通常の VLBI と比較すると 1 桁以上の高精度を期待できる。

2) 月面電波源の開発

フリンジ位相差を観測量とする相対 VLBI の高精度を利用して複数の電波源を月面に遠く離して投下、埋設して相互の角度変化から月の秤動を精密に測定する計画がたてられた。これに類似した観測はアポロ計画で月面に設置された電波源と背景の QSO との間で、電波源の月面上の位置を推定する目的で実施され、数十 m の誤差と報告されている²⁾。その誤差は主に、月面上の電波源の周波数安定度、月の暦、観測局の位置精度が現在より 2 桁も悪かったためである。我々は目標測定精度を月面上で 4 ~ 7 cm に設定し、電波源の設計製作を行った。この電波源の特徴は、月面での夜間と昼間の温度差 (+80 度 C ~ -120 度 C) を避けるため、

- 1) 月面に投下、30 cm 埋設が必要であり、
- 2) 月面衝突時に受ける約 1 万 g の衝撃に耐えること、
- 3) バッテリー重量の軽減のため 1 つの搬送波のみの間欠発振

などである。衝撃実験等は宇宙科学研究所で行われ、ほぼ設計通り動作することが確認できた³⁾。図 1 は月面電波源の外観と発進部である。

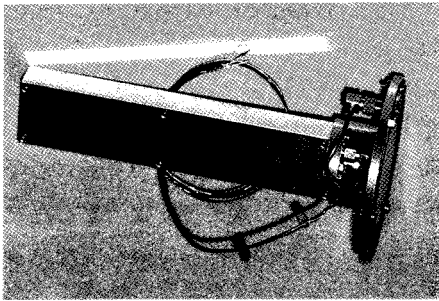


図1 相対 VLBI 用月面電波源月面下 30 cm に埋設を想定して開発された。電池は単3。

3) レーザ測距儀の開発

月周回衛星からレーザーパルスを照射し、その反射光の到達時間を測定することによって月の地形を調べる事を目的にレーザー高度計としてのレーザー測距儀の開発を行ってきた。現在、地上での実験を行っているところである。

レーザー高度計は、天体の周回観測に必要不可欠

な機器として、米国 NASA がアポロ計画以来、常に技術開発を維持発展し続けてきた基幹センサーである⁴⁾。我が国では従来、主として地上でのレーザー測距装置の開発と実用機の製造がなされてきた。宇宙での計測機への応用は経験がなく、その意味で開発要素は多いと言える。しかし、測定原理は地上装置と全く同じであり、月面に大気がほとんどないだけ計測が容易な点もあり、これまでの開発経験がそこに活かせると考えられる。図2はレーザー測距儀のブロック図である。

3. 月探査周回衛星 (SELENE) 計画 と RISE 計画の位置づけ

我が国の宇宙開発の指針を示す宇宙開発大綱が1996年1月に改定され、宇宙科学研究所と宇宙開発事業団が協力して、静止軌道に2~4トン級のペイロードを打ち上げる能力を持つH-IIaロケットを用いたSELENE (Selenological and Engineering Ex-

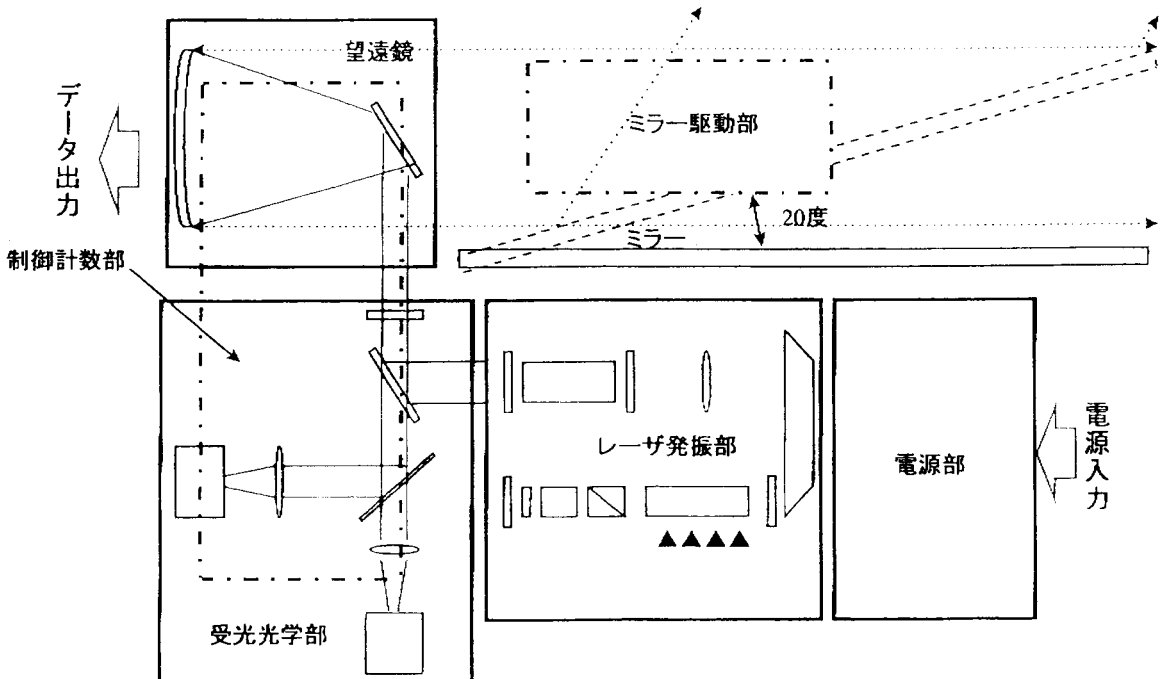


図2 レーザ測距儀のブロック図



表 1 SELENE 搭載機器候補 (月探査周回衛星計画パンフレット)

蛍光X線分光計	ガス蛍光比例計数管 (GSPC) によるAl, Si, Mg, Fe 分布の観測、空間分解能12km
ガンマ線分光計	高純度Ge半導体検出器によるU, Th, K分布のマッピング、分解能 120km
マルチバンドイメージャ	紫外・可視・赤外撮像分光、波長帯域0.35～1.0 μ m、10バンド(波長分解能10～30nm)、空間分解能20m
スペクトルプロファイラ	可視・近赤外連続スペクトル分光、波長帯域 0.5～1.9 μ m (サンプリング間隔5nm)、空間分解能 500m
地形カメラ	高分解能3次元カメラ、空間分解能10m
レーザサウンダー	HFサウンダー(送信周波数5MHz)による月表層構造のマッピング探査深度5km(分解能 100m)
レーザ高度計	Nd:YAGレーザ高度計、高度分解能5m、空間分解能 300m(パルスレート5Hz)
衛星電波源・月面電波源	周回衛星と着陸実験機に搭載された電波源を用いた相対VLBC(超長基線電波干渉計)
リレー衛星	周回衛星と地上局間のレンジング信号の中継による月の裏側の重力場計測、近月点高度 100km、遠月点高度 4,300km
磁力計	フラックスゲート型磁力計による磁場測定、感度 0.5nT
ダスト分析器	衝突プラズマ式ダスト計測器及び質量分析器(感度 m/dm:300)
プラズマイメージャ	月周回軌道からの地球磁気圏観測、極端紫外～可視
粒子線計測器	高エネルギー重粒子望遠鏡による観測、1-30MeV(低エネルギー)、8-300MeV(高エネルギー)
プラズマ観測器	荷電粒子エネルギー分析器(10eV/q～30keV/q)
月電波科学観測	S/X 帯電波による希薄な月電離層の検出

plorer) 計画が推進されることになった。国立天文台もこの計画に協力するため、搭載機器を提案することになった。月探査周回衛星計画の意義は、科学面では惑星形成に係わる起源と進化、環境及び月からの科学であり、技術面では将来の月利用に向けた調査と技術開発にあることは異論のないところであろう。これらの目的を達成するには、極めて広い科学・技術分野の結集が必要である。月の起源に限ってみても、岩石組成、始原物質、内部構造、磁場の研究が、宇宙科学研究所を始めとして、多くの大学で行われている。SELENE 計画は種々の測定器によるいろいろな切り口で月を探査することを目的としている。表 1 は現在提案されている搭載器とその目的である⁵⁾。また図 3 に SELENE のミッションプロフィール⁵⁾を示す。国立天文台の SELENE 計画への参加のスタンスは当面、

他の機関や大学と異なり、VLBI や電波技術、レーザによる測距や重力の測定技術による計測と、これまで進めてきた軌道運動、重力、変形などの測地・力学手法による計測・研究 (RISE: Research In Sele nodesy) にある。

4. 月探査周回衛星計画における RISE 計画

月探査周回衛星計画の中で、国立天文台は RISE 計画の一環として相対 VLBI 用電波源、レーザ高度計の開発担当、リレー衛星の開発協力を提案し⁶⁾、検討を進めている。これらの 3 つの機器で得られるデータは相補的であり、互いに組み合わせて初めて成果が得られる性質のものである。これらの 3 つの機器の役割を理解してもらうため、図 4 (表紙)

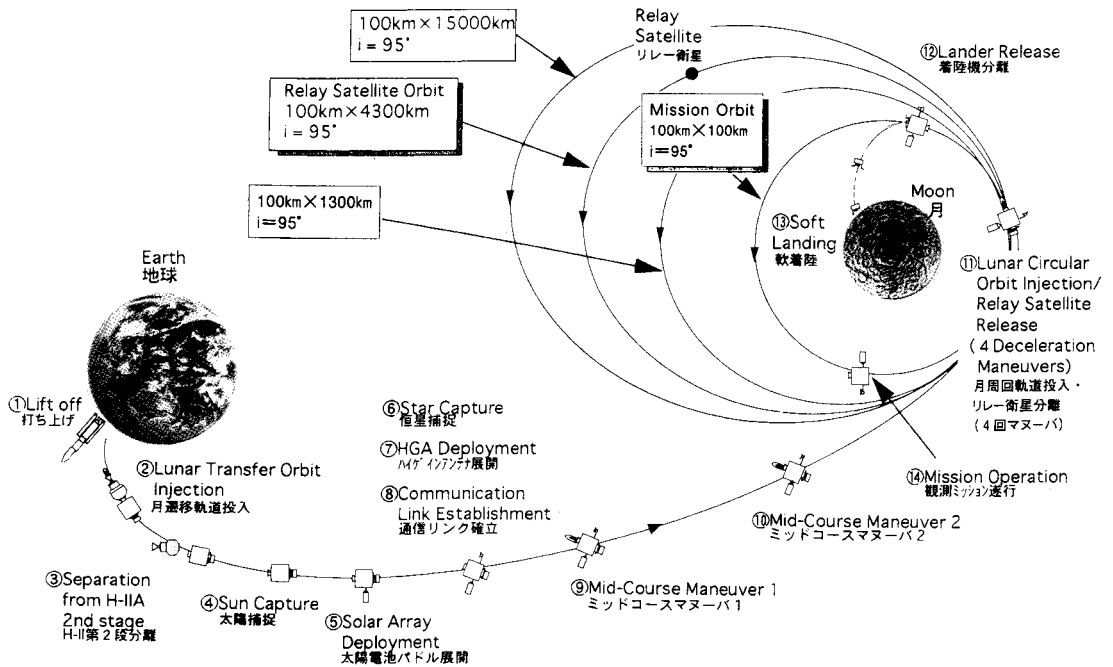


図3 SELENEのミッションプロフィール (SELENE 計画パンフレット)

に観測概要を示し、以下に観測シナリオについて説明する。

1) RISE 機器の観測シナリオ

(a) 着陸機の位置決定

相対 VLBI 用電波源は着陸機とリレー衛星に搭載される。まず着陸機の電波源と背景の QSO 間で相対 VLBI 観測を行い、LLR (月レーザ測距) で得られている月の暦を用いて着陸機の月面上の位置を粗く決定する。粗くと言ったのは、現在知りうる月の暦、月の形状と秤動では数十mの位置誤差が見積られるからである。QSO と電波源間の相対 VLBI 観測を1か月以上観測して月の暦を改良し、後で述べる月の形状と秤動を正確に求めた後、再度着陸機の位置を1m以下の誤差で推定し直さねばならない。地上の VLBI 局は、電波源の視線方向に垂直な平面での2次元位置を1m以下の誤差で推定するために、互いに2000km以上離れた3局が最低必要であり、現在国立天文台が

進めている VERA 計画の VLBI 局を想定している。
(b) リレー衛星の精密追跡による低次重力場の推定

次にリレー衛星と着陸機の電波源間で相対 VLBI 観測を行い、地上からリレー衛星と R & R R (距離及び距離変化率) の測定及びドプラー観測を行い、リレー衛星の軌道運動を100秒毎に1m程度の高精度で追跡する。リレー衛星は近月点高度100km、遠月点高度4300kmの楕円軌道を予定しており、周回衛星の円軌道高度100kmに比べて高高度であるので、月の重力場を球関数で展開した時の高次項の影響が小さくなり、地球の摂動(予測が割合容易)を受けるものの、月の慣性率の推定に必要な低次項の推定に有利となる。図5はこれまで行われてきたドプラーだけによる重力場の推定精度と相対 VLBI を加えた時の精度を比較している。観測期間が1か月の場合、1桁以上の高精度化が明らかである。

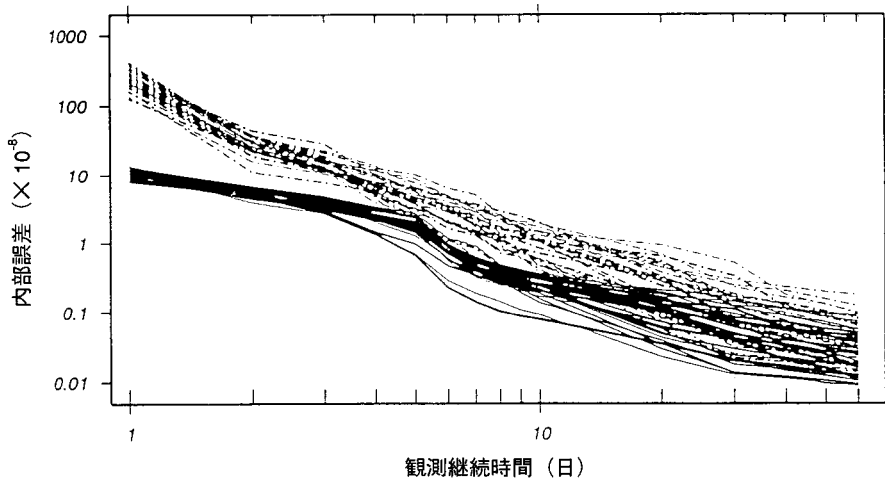


図5 ドプラー観測のみ（点線）とドプラー観測に VLBI 観測を加えたとき（実線）のリレー衛星による 5 次までの低次重力場の推定精度（国立天文台・日置氏による）

(c) 初の月裏側のドプラー観測

衛星が月の裏側に回ると地上と通信ができなくなるため、これまで月の裏側でのドプラー観測は行われていなかった。このため月裏側の重力場の推定精度は表側に較べて著しく劣っている。そこで、高度の低い周回衛星が月の裏側を航行中は高高度のリレー衛星を中継して初のドプラー観測することを試みる。もちろんリレー衛星が裏側に回ったときは観測不可能となるが、リレー衛星が長楕円軌道であるので二つの衛星が同時に月の裏側に回る時間は少ない。ドプラー観測は搬送波を地上ーリレー衛星一周回衛星の 4 つの通信路を経由させて測定（4 Way ドプラー観測）される。既に述べたように、リレー衛星の精密軌道追跡が行われるので、地上ーリレー衛星間のドプラーは補正され、リレー衛星一周回衛星間という間接的ではあるが、周回衛星の月の裏側でのドプラー観測が実現できる。周回衛星は低高度であるから、その軌道はリレー衛星とは逆にクレーターなどの局所的な重力変化に敏感であり、重力場の高次項の推定に有利である。月重力場の推定においては、1 つの軌道だけでは、相互相関の大きい項が生じるため、必ずし

も低次から高次の全ての項にわたって高精度で推定できるとは言えず、米国のクレメンタイン、ルナ・プロスペクター、我が国のルナ-A 等の月探査機のデータも加えた解析が必要となる。しかし、相対 VLBI によるリレー衛星と周回衛星の精密軌道追跡データを組み合わせ、更に月の裏側のドプラー観測を加えた新しい試みは、これまで得られている月重力場⁷⁾の大幅な高精度化を可能にする。

(d) レーザ高度計による月の形状と重力異常の測定

周回衛星に搭載されるレーザ高度計はレーザ光を発射し、月面で反射して往復する時間から周回衛星の高度を測定する。周回衛星の位置が前述のように重心を原点とする座標で決められているので、月面上の反射点の重心に対する位置が求められる。この測定は 1 年間継続され、ほぼ月の全面にわたって行われるので、月のグローバルな形状を知ることができる。月の重力場と形状から、言わば重力と形状の食い違いである重力異常が求められる。

2) RISE による月の科学

以上述べた観測データから月の起源と進化に関するどのような情報が得られるか述べてよう。



(a) 月のコアの密度から月の起源を探る

月は地球を回る軌道が傾斜を持ち、また楕円であり、質量分布が球対称でないため、潮汐力による強制秤動が生じる。すなわち、衛星の軌道から重力場を求める際に、強制秤動による重力場の振動を考慮しなければならない。従って、重力場の係数と月の秤動のパラメータは同時に推定される。月の強制秤動の振幅は力学的偏平率に比例する。力学的偏平率は慣性能率の簡単な関数で表され、月の重力場の2次の係数が分かれば慣性能率が求められる。月のコアの半径はLunar-Aに搭載される地震計で測定される予定であり、コアの半径と慣性能率からコアの密度を見積ることができ、更にコアの密度から親鉄元素の量が推定できる⁸⁾。月と地球のコアの親鉄元素の量を比較し、月が親鉄元素の少ない地球のマントルが分裂してでき(分裂説)たのか、親鉄元素がコアに沈み込んで密度が大きく、地球と同様にして生まれ(双子集積説)たのか、あるいはその他の説を支持するのか重要な判断材料が提供される。

(b) 重力異常の力学と歴史から月の進化を辿る

月の殻が新しいか古いかは、その地域のクレーターの数で推測される。一方重力異常はその空間スケールの違いによって異なるメカニズムが働いていると考えられている⁹⁾。このような考察はこれまでクレメンタインで得られた160 km程度の分解能と誤差約100 mの高度データによる重力異常では不可能であった。RISE 機器で求められる高精度重力異常分布により、地域毎の各スケールの重力異常からそのメカニズムと殻の厚さが推定できる。地域毎の重力異常のメカニズムに相違があるとすると、それは月殻の形成の歴史的变化を物語るものであり、月の殻の形成の歴史を辿る事が期待できる。

(c) 月の2分性と月の初期進化

月の表側と裏側の殻は厚さに大きな違いがあり、表側は60 km程度、裏側は100 km以上もあると考えられている。また月の形状中心と重力中心は1.6 kmもズレているとされている。このような月の2分性

は月の初期進化における最も基本的な問題である。RISEによる殻の厚さの分布、重力異常のメカニズム、重力場とグローバルな形状に関する情報は月の2分性の現在における振る舞いを捉えることができ、基本的な解決の糸口を与える可能性がある。

3) 月からの科学と月の利用可能性の調査への貢献

月は地球に最も近い天体であり、将来の月面での天文観測(月面天文台)や月資源の利用に関する調査もSELENE計画の重要な目的である。月の極地域は、常に夜であり、-190℃以下の環境にある。また地上観測で最も厄介な大気がなく、光赤外領域での理想的な観測環境にあると言われている。月面天文台の建設の可能性については、先ず常に夜で、且つ近くから太陽電池による電力の供給ができる場所が極地域にあるかどうか地形の調査、また温度や塵あるいは高エネルギー粒子の量などの環境調査が必要であろう。RISEの月からの科学と月の利用可能性の調査への貢献は以下の通りである。

(a) レーザ高度計の斜方視による極地域の地形調査

周回衛星は軌道傾斜角85度の極軌道に近く、レーザ高度計の斜方視によりおよそ緯度88度までの地域の地形を5 mの精度で得ることができ、しかも極地域では通過する衛星軌道の密度が高くなるので、信頼性の高い地形図が得られる。この成果は将来設置される月面天文台のための基礎資料となる。

(b) 高精度軌道決定技術の確率

将来の月面移動探査機、サンプルリターン機、月面天文台等のための大量物資を月面上に輸送、設置するには月を周回する衛星の高精度な軌道決定が必要である。このためには今回得られる高精度の重力場が不可欠である。

4) 搭載機の概要

(a) 相対VLBI用電波源

リレー衛星と着陸機に搭載予定であり、2GHz帯は8MHz、80MHz離れた3つの搬送波、8GHz帯は

1つの搬送波をそれぞれ送信する。リレー衛星と着陸機の周波数は位相差を求めるためにはそれぞれ等しいことが望まれるが、重なり合うため、最大ドプラー周波数以上離さねばならない。ほぼ等しい周波数の信号間で誤差10度以下で位相差を測定し、この位相差から周波数の違いの補正を行って遅延を求める。リレー衛星は時々刻々その位置を変えるので、 2π の不確定性を解くため前述の合計4波が必要となる。

着陸機に搭載する電波源はおよそ夜間-190度C、昼間100度Cの厳しい温度環境下で、重力場を相対精度 10^{-9} で決定するために最低必要な2ヶ月間動作しなければならない。重量の制限から一次電池の使用や、タイマーによる間欠発振、更に昼と夜の温度差を吸収するため顕熱の利用等を検討している。

電波源本体の主な仕様は以下の通りである。

重量約2 kg、容積10cm×10cm×12cm、送信搬送波2 GHz帯3波、8 GHz帯1波、右円偏波、クロスダイポールアンテナ、消費電力約5 W。

(b) レーザ高度計

本計画では、クレメンタインの5倍以上の精度と面密度を持ち、ほぼ極域全体の測定を可能にするものである。主な仕様は以下の通りである。重量10kg、消費電力28W、測定波長1064nm、送信電力60mJ、容積300mm×300mm×600mm、ビーム広がり角、0.3mrad、測定方向は直下と40度側方、測距範囲100～150km、レンジ精度5m、繰り返し周波数5Hz、観測要求期間1年以上としている。

(c) リレー衛星

地上局ーリレー衛星一周回衛星間の4 Wayドプラー観測のための信号の中継と相対VLBI電波源による低次重力場の推定をする役割を持ち、姿勢制御や軌道制御等の機能を持たないほぼ球形のスピ

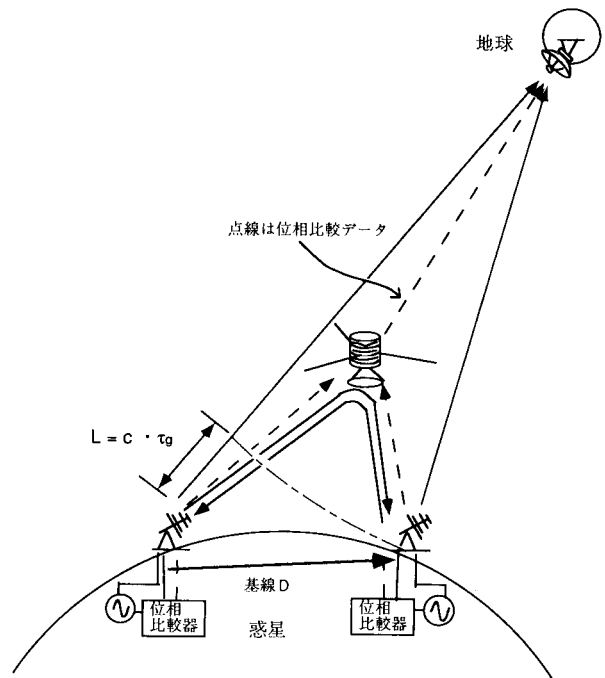


図6 同期電波源による惑星測地の概念図

ン安定型衛星である。リレー衛星は月周回軌道投入後の高度100kmの円軌道に入る前に周回衛星から切り離され、楕円軌道を取る。開発は九州大学、宇宙開発事業団等に国立天文台が協力して行われる。主な仕様は以下の通りである。

重量はおよそ30kg、直径50cmの球形、電力約30W、クロスダイポールアンテナおよび例えばコリニアアレイアンテナ。

5. 月から惑星力学の研究へ

惑星の一つである地球の起源や進化を探るには回転、運動、重力、潮汐、表面の位置とその変化等の測定手段が不可欠であることは既に述べた。しかし、惑星までの距離は月までのその10倍以上であり、周回衛星から直接測定するレーザ高度計や重力計等の惑星面上での直接測定を除き、同様の方法では原理的に高精度は期待できない。例えば相対VLBIをしても火星を周回する衛星の位置



誤差は数百 m にも達し、地球や月の場合の数 cm から 1 m の誤差と比較して大きな成果は期待できない。以下に多少の私見も交え、将来の観測手段に関して展望してみたい。

1) 同期電波源による惑星の観測

相対 VLBI は原理的には視線方向に垂直な平面での離角を測定する。従って距離に比例してその誤差が増加し、惑星への適用が困難になる。そこで惑星表面に複数の同期した電波源を設置し、これらの電波源の発する電波の位相差を測定すると、電波源までの距離に関係なく、惑星における電波源間の視線に垂直な平面上での距離変化を測定できる。電波源の同期には、惑星を周回する衛星を経由して、惑星上の複数の電波源の発振する搬送波の位相比較を行う。相互の位相差は惑星上で測定され、その結果を地球に送る。地上で測定する複数の電波源の発する電波の位相差に前述の電波源間の位相差を補正すれば、実質的に同期した複数の電波を受信していることと等しくなる。この観測法は惑星から地球を 1 つの電波源として VLBI 観測していることに相当し、多くの制約はあるが、惑星の回転運動や地殻変動を地上と同程度の精度で測定できる。図 6 は同期電波源による惑星観測の概念図である。

2) 新しいセンサーの開発

超伝導重力計は通常の重力計が μ gal の測定精度であるのに対し、現在数 $n(+1)$ gal という驚異的な分解能で重力変化を測定でき、現在地球力学に新しい知見をもたらしつつある。しかし、残念ながら 100 kg を越える重量であり、電源や He ガスの供給設備を入れると更に増加し、搭載は現時点では不可能である。しかし、現在の技術進歩は目覚ましく、近い将来小型・軽量化あるいはこれに匹敵する精度を持つ装置の開発も不可能とは言えない。

今後、先端技術に鋭いセンサーを向け新しい搭載機器の開発を目指したい。

最後に RISE 搭載器の開発検討は国立天文台の他、宇宙科学研究所、宇宙開発事業団、九州大学などの多くの研究者により進められていることを明記しておく。

参考文献

- 1) 大江昌嗣, 1994, 日本惑星科学会誌, 3, 73
- 2) Counselman C. C. et al. 1973, *Moon*, 8, 484
- 3) 河野宣之他, 1994, 日本惑星科学会誌, 3, 159
- 4) Dickey J. O. et al. 1994, *Science*, 265, 482
- 5) SELENE Project Team and ISAS/NASDA Joint Moon orbiting Satellite Project, 1996, SELENE PROJECT パンフレット,
- 6) 宇宙科学研究所, 月周回衛星ワーキンググループ, 1996, 月探査周回衛星計画提案書
- 7) Ferrari A. J. 1972, *Moon*, 5, 390
- 8) Hanada H. et al. 1993, *J. Geomag. Geoelectr.* 45, 1405
- 9) Zuber M. T. et al., 1994, *Science*, 266, 1839

Geodetic and Dynamical Study of the Moon and Planets: Project RISE (Research In Selenodesy)
Nobuyuki KAWANO and Masashi OOE
Earth Rotation Division, National Astronomical Observatory 2-12, Hoshigaoka, Mizusawa, Iwate 023

Abstract: Lunar-A and Muses-C plans of ISAS have proceeded, and the new lunar exploration project SELENE by using a large rocket H-IIA is being planned. The new era of Japanese lunar and planet exploration has come. National Astronomical Observatory also begins the investigation on the construction of an observatory on the moon and the study on the formation of the solar system by explorers. As a part of the investigation and the study, project RISE of NAO develops 3 flight equipments of SELENE by new techniques for geodetic and dynamical study of the moon and planets