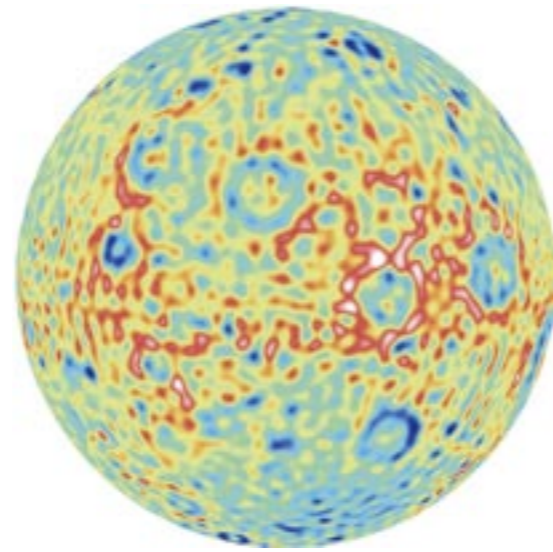


裏側の地形図  
標高の高い地域が赤色、低い地域が青色で描かれている。下側の標高の低い地域が南極イイトケン盆地で、大きな衝突により形成された。



裏側の重力分布図  
重力が強い地域が赤色、弱い地域が青色で描かれている。

図5 月の裏側の地形図と重力分布図（フリーエ重力異常図）（国立天文台/JAXA）

### 重力分布から月の内部を探る

天体の進化を探るためには、表面の物質の分布や地質構造を調査するだけでは限界がある。内部構造を知ることで、はじめて議論できることは多い。

内部構造を知るための有効な手段は、地震波による探査である。アポロ計画のときに月面に月震計が設置され、4台が地球の潮汐力によって発生する「月震」や隕石の衝突による震動などのデータを長期間送ってきた。しかし、アポロ計画の着陸点は表側の限られた領域であり、測定された地殻の厚さの分布は限定されている。

内部構造探査でもう一つ重要なのは重力探査である。重力は、表面地形だけではなく内部の密度によっても変化するため、天体の内部構造を調べるための有力な手段である。図2は、内部構造と重力の関係を示している。地球型惑星や月で

は、岩石質マントルの周囲を、密度の低い岩石で構成される数10 kmの厚さの地殻が覆っている。AとBは同じような表面地形だが、地殻で支えられている場合と、地殻・マントルの境界が変形している場合では、重力の分布が異なってみえる。

重力分布は、天体を周回する探査機の運動を追跡することで求められる。探査機の速度変化はドップラー効果を計測して取得できる。また、探査機の天球上の位置はVLBI観測で定めることができる。

月はいつも地球に表側を向けているため、月の裏側にいる探査機を直接追跡することができない。そのため、これまでの月の重力のデータは、表側の探査機の軌道から間接的に推定した誤差の大きなものであった。図3のように、「かぐや」は、リレー衛星「おきな」を使い、月の裏側にいるときの主衛星の運動を追跡する。これにより、月全体の正確な重力場を取得することができる。さらに、「おきな」

とVLBI衛星「おうな」からの電波を同時に複数のアンテナで観測することで、「おきな」の軌道を正確に求めて重力場の精度を向上させることができる。

「かぐや」は2007年9月14日に打ち上げられ、10月9日にリレー衛星「おきな」、12日にVLBI衛星「おうな」の分離に成功した。そして11月6日、リレー衛星経由で初めて、月裏側の主衛星の軌道計測に成功した。つまり、月の裏側の重力を測定できたことになる。また、2つの子衛星を同時にとらえるVLBI観測にも成功した。1年以上にわたり重力観測に活躍した「おきな」は2009年2月12日、役目を終えて月面に衝突した。

### レーザーで地形をみる

月の地形の探査も重要である。レーザー高度計は、衛星から月面に向かってレーザー光パルスを発射し、月面で反射された光が戻るまでの往復時間を測定す

ることで、衛星と天体表面の間の直線距離を測る装置である。この方法により、北極や南極（極域）のクレーター内など日の当たらない場所の地形も測定できる。クレメンタイン探査機にもレーザー高度計は搭載されていたが、空間解像度は40 kmほどで、しかも緯度75度以上の極域データは取得できていなかった。

「かぐや」は、高度100 kmの極軌道（南極と北極を通る軌道）をとる。高度計は昼夜ともにデータを取得できるので、月の自転とともに、ほぼ2週間で月全球の高度データを取得することができる。この地形データは、地域的な地質構造を解析するのに有用である以上に、重力のデータと組み合わせて内部構造の情報を求めるのに使われる（図2）。

月周回軌道でのレーザー発射試験は、他の観測機器の試験が終わった後の11

月末に予定されていた。11月26日午前1時22分、レーザー発射のコマンドを送信した。そして、モニター画面に高度を示す100 km前後の数値が現れて、計測成功を確認した。ちょうど月の南極付近であったため、衝突クレーターに覆われた表面の変化を反映して、数値はかなり変動する。海に入ると、一転して変動は少なくなった。皆で苦勞してきた機器が順調に月面を観測していることに感動を覚えたひとときであった。そして12月末から、レーザーパルスを連続して送信する定常運用が始まった。

「かぐや」には、電波により数kmまでの浅い内部構造を探る観測機器「レーザーサウンダー」も搭載されている。特に玄武岩の海の内部構造や、高地で地下に隠れている玄武岩地層の確認などが期待される。

ところで、観測機器の試験が行われている11月は、データ送信量に余裕がある。そのため、広報用のハイビジョンカメラによるビデオ撮像が集中的に行われた。図4は、11月7日に取得した地球の入り画像である。

### 「かぐや」で見た月の素顔

月の地図 レーザー高度計が動きだして2週間あまりたった2008年1月半ば、月全球のデータを取得した。この時点で、世界で初めて両極の地形データが得られただけではなく、月全球のデータ精度も高まった。初期のデータをもとに、国土地理院の協力を得て月の地形図を作成して公開した。<http://gisstar.gsi.go.jp/selene/> これは大きな反響を呼び、地図学会の優秀地図にも選定された。おそらく、地球以外の地図が選ばれたのは初めてのこ

## 月のまわりの電離大気

今村 剛

総合研究大学院大学准教授 宇宙科学専攻／宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部准教授

私たちは、「かぐや」ではやや変り種のテーマとして、月面から高度数十kmにまで広がる月の電離大気を調べています。これは、月周回衛星と地球の受信局とを結ぶ電波を用います。衛星が受信局から見て月の裏側に隠れるとき、電波が月の縁をかすめます。そこに電離大気があると、周波数がわずかにずれるのです。

この電離大気、実は多くの研究者が存在を疑っているものです。というのは、月にはアルゴン (Ar) やネオン (Ne) を主成分とする非常に薄い大気があるのですが、それらが太陽紫外線を浴びて生成する電子やイオンは大変微量なはず。しかも、月面には太陽風という磁気を帯びた希薄な電離ガスが吹き付けて周辺の電離ガスを持ち去ってしまうので、ほとんど何も残っていないはずなのです。

理論的に予想される電子密度は1 cm<sup>3</sup>あたり1個程度です。しかし、1970年代の旧ソ連の月探査機によって、1 cm<sup>3</sup>あたり1000個もあるというデータがもたらされました。この結果はあまり信じられていないのですが、もし本当であれば電離気体の未知の供給源の存在を意味しており、これは一大事です。

この観測の難しいところは、電波の経路上には月の電離気体

よりもはるかに濃い地球の電離層があり、これが観測データに大きな誤差をもたらすことです。それでも私たちは、これまでに200回を超える観測を行い、昼側の月面近くを電波が通過する際に電波経路上の電子量が増える傾向があるといった、興味深い結果を得つつあります。30年来の謎に決着をつける日はすぐそこに来ているようです。

