

小惑星形状から考える表面地質と内部構造

平田成 (会津大学CAIST ARC-Space/コンピュータ理工学部)

小惑星探査において、対象天体の形状測定は重要な観測項目の1つである。主に画像やレーザ高度計などのデータを元に、天体形状が測定されている。形状はその天体の基礎情報であり、体積の導出や表面地形の解析に用いられている。しかし、その他にも天体形状から直接的な科学的知見を得ることも可能である。本稿ではその一例として、小惑星表面の地質構造の分布と形状との関係について考えてみることにする。

小惑星イトカワは、はやぶさ探査機によって詳細な観測が行われた。その結果、イトカワの表面は smooth terrain と rough terrain という対照的な二種類の地質要素に区分できることが明らかになった (Fujiwara et al., 2006ほか)。smooth terrain は数 cm 径の細粒の物質で覆われた平坦な地形を持つことが特徴であるのに対し、rough terrain は数 10 cm から数 m に及ぶ boulder で覆われた、起伏の激しい地形で特徴づけられる。イトカワ上では smooth terrain は 3 カ所に分布している。このうち、南極域の MUSES-C 地域、北極域の Sagamihara 地域の 2 カ所が最大の広がりを持つ。Sagamihara 地域に隣接する Uchinoura 地域は、全二者よりは小規模な smooth terrain である。

はやぶさの観測によって得られたイトカワの形状モデルと、イトカワ全体の平均密度 1950 kg/m³ (Abe et al., 2006) と均質な内部構造を仮定して、表面の重力ポテンシャルを求めることができる。このようにして得られた重力ポテンシャルマップと smooth terrain の分布を比較すると、smooth terrain はポテンシャルの低い領域に分布し、その表面はほぼ等ポテンシャルになっていることがわかる。これは、隕石衝突などに伴う振動によって移動しやすい細粒の物質が、低ポテンシャルの地域に溜まって smooth terrain が形成されたという説明 (Miyamoto et al., 2007) とよく対応する。

イトカワの場合、全体形状が両極方向に強く扁平しているため (軸比約 1.2)、両極に引力の低ポテンシャル域が現れる。そこに細粒の物質が溜まった結果、MUSES-C 地域と Sagamihara 地域の二つの smooth terrain になったと解釈できる。Uchinoura 地域はその形状から衝突クレーターと考えられる (Hirata et al., 2009)。クレーター底もまたローカルな低ポテンシャル域であり、そこに細粒の物質が溜まったものであろう。この解釈は小惑星一般に適用可能である。すなわち、内部質量分布が均質であれば、形状の最短軸が自転軸となるのでその周辺に引力の低ポテンシャル域が現れる。細粒物質の量が全球を覆うほど多くなければ、それは低ポテンシャル域に集中し、smooth terrain が形成されることになる。

小惑星の自転状態も、表面の重力ポテンシャル分布を決める要素である。遠心力が作るポテンシャルは、極域では高く、赤道域では低くなる。遠心力によるポテンシャルの上下方向は全体形状による引力ポテンシャルとは逆である。天体の重力ポテンシャルは引力ポテンシャルと遠心力ポテンシャルの和である。自転周期が短くなれば、赤道域と極域の遠心力ポテンシャル差は大きくなり、いずれ引力ポテンシャルによる高低差を打ち消して、赤道域に重力の低ポテンシャル域が生じることになる。近地球型小惑星 2008EV₅ はそのような状態にあると考えられる。レーダー観測で推定された形状から求められる軸比は 1.05 と 1 に近く、自転周期は 3.725 h と短いため、重力ポテンシャルの分布はイトカワとは逆に低緯度域が低ポテンシャルになっている (Busch et al., 2011) ただし、2008 EV₅ は赤道上に ridge を持つため、赤道域は再度ポテンシャルが上がっている。

このように、小惑星の形状と自転状態がわかれば、表面のどこが低ポテンシャル域になり、smooth terrain が形成される可能性があるのかを推定することができる。小惑星探査機はやぶさ 2 の対象天体である 1999 JU₃ についてこの推定を行ってみる。1999 JU₃ はライトカーブ観測による、自転状態と形状の推定が行なわれている。自転軸方向や形状の確度を持った推定はまだ成功していないが、自転周期は 7.63 h と見積もられている (Müller et al., 2011)。また、形状推定も少なくとも軸比の概算は行なえる状態にはあると考えられる。Müller et al. (2011) の形状モデルから求められた軸比は約 1.2 であった。ここから引力ポテンシャルと遠心力ポテンシャルの関係を求めると、1999 JU₃ 表面ではやや引力ポテンシャルが勝っているものの、ほぼ両者が釣り合った状態にあることがわかった。従って、この小惑星表面で smooth terrain が形成されている場合、その分布はやや極域に偏っているか、あるいはクレーターなどのローカルな低地にあることが予測される。このような推定は探査機の運用・観測の計画を立てる上でも有用な情報を与えるものである。