

「はやぶさ」タッチダウン降下時のXRS熱放射計測データを用いた小惑星イトカワの表面熱物性

Thermal radiometry to estimate physical properties of asteroid Itokawa during the touchdown with the temperature profile of XRS

井上 達年 [1]; 山本 幸生 [2]; # 岡田 達明 [2]; 加藤 学 [2]
Tatsutoshi Inoue[1]; Yukio Yamamoto[2]; # Tatsuaki Okada[2]; Manabu Kato[2]

[1] 東大・理・地球惑星; [2] 宇宙研
[1] Earth and Planetary Sci., Tokyo Univ; [2] ISAS/JAXA

直径 1 km よりも小さい小惑星の表面は月面のような細粒のレゴリスに包まれていないと考えられてきた。小惑星は重力が小さいため脱出速度が小さく、隕石が衝突した際に放出された破片はほとんど表面に残らないと考えられるためである。しかし、20km サイズの小惑星 (433) Eros の表面は厚い砂礫状のレゴリスに覆われている (Lim, et al., 2002) ことから、より小さい小惑星表面にも細粒のレゴリスが存在する可能性が指摘された。小惑星の表面の典型的な粒径を調べる手法として小惑星表面の温度変化を近赤外、赤外の波長領域で地上観測する手法が用いられてきた。そして小惑星表面の温度変化に影響を与えるパラメータとして熱慣性がある。熱慣性は物質の温度変化に対する抵抗の度合である。小惑星表面が細粒のレゴリスに覆われている場合、熱慣性の値は小さく ($100 \text{ [J m}^2 \text{ s}^{0.5} \text{ K}^{-1}]$ 、以下の熱慣性は同じ単位) 温度変化しやすく、また岩が露出したような状態だと熱慣性の値は大きく (1000) 温度変化しにくい性質をもつ。本研究では、小惑星イトカワの表面熱慣性の最適値を観測データとモデル計算により求め、イトカワ表面の物理状態に制約を与えることを目的とする。

本研究では小惑星イトカワの表面熱物性を調べるために、「はやぶさ」搭載蛍光 X 線分光計 (XRS) の温度センサで計測した温度データを使用する。XRS の温度センサは本来 X 線 CCD を受動的に冷却する熱放射板を外表面に貼ったフードの温度計測を行うためのものであるが、熱真空試験により較正されており、小惑星の表面温度を知るために利用できる。

小惑星からの熱放射量を見積もるため、先ず小惑星イトカワの形状を考慮した熱モデルを作成し、2005 年 11 月に「はやぶさ」が探査していた時期の小惑星イトカワの表面温度分布を求める。イトカワ形状モデルには Aizu モデル (ポリゴンモデル) を使用した。各ノードに対して、熱伝導方程式を有限差分法で解き、表層で太陽光入射や放射を計算した。表層熱物性として、熱慣性の値を細粒から岩石まで模擬するため、135 ~ 1350 の範囲で変化させた。熱慣性の値によって表面温度の増減幅が異なり、熱慣性が小さいほど地形による温度分布が顕著になること、それらが観測可能な数 K 以上の差異として見られることが分かる。

次にこの小惑星モデルに「はやぶさ」がタッチダウンする際の XRS の温度センサで観測される温度変化を数値的に再現する。温度センサで観測される温度は小惑星イトカワからの輻射熱の影響を受ける。そこで小惑星イトカワの表面が砂状から岩塊まで様々な熱物性をもつ場合について、タッチダウン時の温度センサの温度変化を再現し、観測結果と最も合う熱慣性値を推定した。高高度では小惑星の広い範囲からの熱放射、低高度では局所的な場所からの熱放射を受けて平衡に達している。温度計測、XRS 熱モデルなど誤差は $\pm 3\text{K}$ とし、観測結果との整合性を調べた。

その結果として、熱慣性が 300 から 600 程度の物質が妥当という結果になった。それは粗粒のレゴリスから砂利程度の表面状態に相当し、「はやぶさ」がタッチダウン時に撮像した高解像度の写真との整合性も見られる。また、地上からの熱放射の観測値 (Mueller et al, 2005) である 750 と比べて小さい値であるが、地上観測が小惑星全体の平均的な熱慣性を示すのに対し、今回はタッチダウン地点付近の局所的な熱慣性情報を得ることができたと考えられる。撮像データからタッチダウン地点の粒径が小さいと推定されることを考慮すると妥当な結果であるということが出来る。