

物性の温度依存性と表面ラフネスが小惑星 1999JU3 の表面温度に及ぼす効果について Effects of the temperature dependences and surface roughness of the asteroid 1999JU3 on the surface temperature mapping

滝田 隼^{1*}, 田中 智², 千秋 博紀³, 岡田 達明²

Jun Takita^{1*}, Satoshi Tanaka², Hiroki Senshu³, Tatsuki Okada²

¹ 東京大学大学院理学系研究科, ² 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, ³ 千葉工業大学惑星探査研究センター

¹Graduate school of science, Tokyo university, ²Institute of Space and Astronautical Science, JAXA, ³Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

はやぶさ2計画で実施される中間赤外カメラを用いた対象天体の表面温度観測で取得されたデータから、空間分解された表面温度分布を再現する仕組みの解明とそれを実現する計算手法を確立することが急務である。今回、数値計算上の制約から考慮されないことが多い熱伝導率や比熱の温度依存性を取り入れた計算を行い、また表面ラフネスが天体表面温度に与える効果について検討した。天体表面に細かな凹凸があることで生じる熱的な特徴に関しては、この構造自体が赤外カメラの持つ空間分解能を超えると同時に、仮に取得しても数値計算上現実的な節点数を大幅に上回ることから通常の熱モデルでは扱いが困難となる。しかし NEO やメインベルト小惑星の地上観測が行われた 90 年代当時から指摘されているようにこれは単に技術的な問題ではなく、表面輝度のライトカーブの再現には天体表面に見られる特徴的なミクロスケールの凹凸構造を適切に扱うパラメータが導入されている。また近年の米探査機の熱撮像データから明らかになった空間分解されたテンペル第1彗星やハートレイ第2彗星の表面温度分布の数値上の再現においても、近接撮像で取得できるレベルのマクロな形状モデルだけでは不十分で、やはりラフネスの効果なしでは成功していない。これの現状を鑑みると、温度分布およびその時間履歴から天体表面の物理的状態を解明するためには天体の軌道要素や固有の形状モデルだけではなく、天体の表面が持つ光学および熱的な表面特性をうまく近似するモデルの適用が必要である。こうすることでまた、表面の凹凸により天体表面の異なる面同士の間相互作用である輻射熱に起因する自己・相互加熱の効果も計算に含めることが可能となり、表面温度分布を大きく変える可能性が期待できる。

今回の検討では軌道6要素から天体の位置を計算し、これに自転軸の向きを合わせて考慮することで太陽からの距離変化と太陽光の入射角をシミュレートした。対象天体の形状に関しては球体を仮定し、この境界条件の下で非定常1次元熱伝導方程式を差分法で解くスキームを採用した。これを用いて天体表面の緯度経度をパラメータとして計算することで表面全体のマッピングを行った。天体の持つ物性に関しては、初期値は深さ方向に一様な値だが、温度で変化する熱伝導率と比熱を用いた。ただし密度は温度依存しないとした。これらの温度関数は月レゴリスの計測実験で得られた結果を応用したものである。熱物性の温度依存性を考慮した場合、例えば近日点付近においては1自転における最大温度が10K程度低くなるという結果が得られた。この結果は温度が高くなると熱慣性が大きくなることと整合的であるが、逆に TIR を用いた熱慣性の推定にはこの不確実性が無視できない可能性が高いことが今回示唆された。表面ラフネスに関しては、現状では初等的段階ではあるが、いくつかの簡単な近似モデルを適用してこれが表面温度に与える効果を見積もった。この結果も本講演で公表する予定である。

天体表面の熱慣性推定に対する TIR の適切な撮像レートを決定するためにも、表面温度に及ぼすラフネスや形状モデルのもつ幾何学的あるいは光学的な効果と、表面物質がもつ固有の熱慣性やその温度依存性をはじめとする熱的な効果とを明確に識別することが重要となる。これはまた、はやぶさ2探査で計画されている衝突装置によって人工クレータを生成する実験で発生するイジェクタ並びに衝突中心の観測可能性に対しても重要と思われる。

キーワード: はやぶさ2, 中間赤外カメラ, 熱慣性, 温度依存性, ラフネス, 熱伝導方程式

Keywords: Hayabusa2, thermal infrared imager, thermal inertia, temperature dependence, roughness, equation of heat conduction