

## 月惑星熱流量観測のための伸展式プローブの開発 Development of the extending probe for lunar and planetary heat flow measurement

堀川 大和<sup>1\*</sup>, 田中 智<sup>2</sup>, 小川 和律<sup>2</sup>, 小林 泰三<sup>3</sup>, 藤村 彰夫<sup>2</sup>

HORIKAWA, Yamato<sup>1\*</sup>, Satoshi Tanaka<sup>2</sup>, Kazunori Ogawa<sup>2</sup>, Taizo Kobayashi<sup>3</sup>, Akio Fujimura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>3</sup> 福井大学

<sup>1</sup>Tokyo University, <sup>2</sup>Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>3</sup>Fukui University

月惑星における熱流量観測は、その惑星の内部活動状況や形成初期の熱的状态、材料物質に制約を与える手法として重要である。特に月の地殻熱流量は、内部に含まれる U や Th などの放射性発熱元素量に大きく寄与していると考えられており、また放射性発熱元素は難揮発性元素、液相濃集元素であるので、熱流量観測によって放射性元素の量や分布に制約を与えられれば、巨大衝突説やマグマオーシャン説の検証に関して不可欠な情報が得られる。これまで地球以外で熱流量観測が直接実施されたのはアポロ 15、17 号の観測のみであるが、熱流量プローブの一部が地表に達しており、この部分を介して計測機まで表面昼夜間温度差の影響を受けると考えられるため、正確な熱流量値を測定できなかった可能性がある。またペネトレータなどの貫入プローブにおいては、地表には露出していないが、貫入プローブ表面にある温度計やヒーターが周りのレゴリスに対して露出していること、貫入による周りのレゴリスの圧密や貫入プローブの熱伝導による周りの温度分布の変化を考慮すると、惑星本来の熱流量値を精密に決定することは困難である。

そこで本研究では、温度計やヒーターを入れた細い伸展プローブを貫入プローブの側面から伸ばし、貫入プローブから離れた位置で温度勾配や熱伝導率を計測することを提案する。この新方式を用いれば貫入プローブによるレゴリスの物理的状态変化から熱流量観測値を補正する必要がなくなる。さらにニードルプローブ法による熱伝導率の絶対値計測を可能にし、熱流量決定精度を大きく向上させることができる。また、惑星本来の熱流量を求められるだけでなく、貫入プローブからグラスファイバーを伸展し、先端を開けてスペクトル分析を行うことで、表層下での地質・生命探査も可能となる。

伸展プローブを開発するにあたって、特に伸展プローブの長さ・直径・材料について検討していく。

貫入プローブの熱数学モデルに基づくシミュレーション解析によって、貫入後のレゴリスの温度変化を推定し、貫入プローブ表面から熱屈折が働かない位置までの最短距離を伸展プローブの長さとする。もちろん観測前は伸展プローブを貫入プローブに収納させておくので、伸展プローブの長さによっては、収納・伸展が困難になる可能性がある。伸展プローブの長さだけでなく貫入プローブでの収納・伸展方法の検討も行う。

伸展プローブの直径は、できるだけ細い方が良い。それはラインヒートソース法を用いて熱伝導率を測るとき、伸展プローブ自体の熱伝導による誤差を極力低減させるためである。またレゴリスに伸展させるとき、その伸展にかける力をより小さくするためである。しかし伸展プローブを細くしすぎると、レゴリスの力学物性によっては座屈してしまう可能性もある。月惑星表層での力学特性に近づけた圧密模擬レゴリスと伸展プローブの試作機による貫入試験を行うことで、座屈しない細さを目指す。

伸展プローブの材料はステンレスが一般的である。しかし貫入プローブに収納できないときは、伸展プローブの材料として超弾性材料や形状記憶合金などを使用し、変形させて収納することができる。また材料の質量や熱伝導率などは計測しておく必要があり、できるだけ軽質量・低熱伝導率のものを選ぶ。

今回の発表では、伸展プローブに関わる解析・実験・開発などの進捗状況を報告する。

キーワード: 熱流量, 月, 惑星, レゴリス

Keywords: heat flow, moon, planet, regolith