

LUNAR-A・ペネトレータによる月熱流量計測システムと開発の現状

Development of the lunar heat flow measurement system by the Lunar-A Penetrators

田中 智[1], # 吉田 信介[1], 白石 浩章[2], 山下 靖幸[3], Hagermann Axel[1], 早川 雅彦[1], 藤村 彰夫[1], 水谷 仁[1], 宝来 帰一[1], 平井 研一[4]

Satoshi Tanaka[1], # Shinsuke Yoshida[1], Hiroaki Shiraiishi[2], Yasuyuki Yamashita[3], Hagermann Axel[1], Masahiko Hayakawa[1], Akio Fujimura[1], Hitoshi Mizutani[1], ki'ichi hourai[1], Ken'ichi Hirai[4]

[1] 宇宙研, [2] 宇宙研・惑星・比較惑星, [3] 宇宙研・次世代探査機研究センター, [4] IHI エアロスペース
[1] ISAS, [2] Res. Div. Planetary Sci., ISAS, [3] CAST, ISAS, [4] IA

ペネトレータには月熱流量計として7個の絶対温度計と11個の相対温度計(内5個は熱伝導率計としても使用する)が搭載されている。これらセンサーと熱数学モデルの精度なども考慮した上で約30%程度の精度で熱流量値を得ることを期待している。1998年の実機仕様機体の貫入試験で熱伝導率センサーの耐衝撃性が十分保証できない事が判明したため、センサーの充填材を変更する破損箇所の強化対策を行い、1999年実施の貫入試験で良好な結果を得た。2001年5月には実機相当の貫入試験を実施する予定である。この機会に熱真空試験も予定され、熱数学モデルのさらなる高精度化のために試験コンフィギュレーション改良を計画している。

LUNAR-A計画の主要観測機器であるペネトレータは最大直径約15cm、長さ80cmの槍型の科学観測プローブである。合計2機のペネトレータを母船から投下して月面に貫入させて月震観測や熱流量計測などを実施し、月内部の科学的情報を得ることを目標としている。現在本ミッションは2003年度打ち上げを目標に最終的な開発試験に臨もうとしている。ここでは熱流量計測システムと開発の現状を報告する。

月の内部から表面に出てくる熱流量は月の内部の温度を推定する上で最も基礎的なデータであると同時に内部発熱源であるU, Th, Kなどの放射性発熱元素の存在度を推定する上でも重要な情報を与えてくれる。特に月の平均的な熱流量値が月を構成する物質存在度の指標の一つになるために、とりわけ重要である。熱流量の実測値はアポロ15、17号の2地点のデータが存在するのみである。月全体の平均的な熱流量を推定するためには熱流量計測データとリモートセンシング観測、特に線スペクトロメータ観測得られる全球範囲にわたる表層の放射性発熱元素存在量データとの関連性を明らかにすることが必要である。アポロ計測点のわずか2地点で熱流量値と表層元素存在度の関連性を仮定するのは不十分である。ペネトレータ投下地点は表層Th濃度が比較的高い部分と、最も低い部分でありアポロ計測結果とあわせて上記関連性を明確にする点においても重要な意味を持っている。

月の熱流量を計測するためには月の内部で温度勾配と熱伝導率を測定する必要がある。月ペネトレータではこの計測のために7個の絶対温度計と11個の相対温度計(内5個は熱伝導率計としても使用する)を搭載する。なお、5つの相対温度計は温度計近傍でヒーター加熱することにより熱物性(熱伝導率)を計測する目的としても使用する。これまでの精密な温度キャリブレーションシステムの構築と耐衝撃試験前後の性能変化を調べた結果、 $\pm 1/100$ 度以下の温度計測精度、および10%程度の熱伝導率決定精度のセンサー開発に成功した。センサーとは別に、本機体を構成する熱数学モデルの精度が計測精度に直接影響している。これは各構成部品やペネトレータ全体の熱物性計測結果に基づき構築してきた。各構成部分の熱数学モデルは約10%程度の精度での計測に成功している。上記に述べた温度計測精度と熱数学モデル精度に起因する熱流量計測精度は20%程度であると考えている。

高精度の計測を実現するためにはペネトレータと月レゴリスが熱的に定常状態になることが望まれる。ペネトレータは月震観測や通信のために内部発熱(最大で8W程度)するために長期間放置しても定常状態には達しない。また、現状のペネトレータ投下シーケンスでは月面貫入時にはペネトレータの温度はレゴリスの温度よりも数十度程度高い場合があると推定されているために貫入時の状態も定常状態ではない。そこで、貫入後約2週間程度は通信や月震観測は行わず、1日1回の温度計測のみを実施して内部発熱を極力抑え定常状態に近い状態を実現させることで精度の高いデータを得る運用を考えている。

なお、高精度の温度センサーだけでは精度の高い計測は不可能であり、本機体に搭載される傾斜センサーや加速度センサーデータから姿勢や貫入深さの情報が必要である。これら全ての精度を考慮した上で約30%程度の計測が可能であると考えている。

1998年12月に実施した実機仕様の貫入試験において(KFM2機体)5個中2個の熱伝導率センサーの表面に顕著な亀裂が見出され、本実験QT条件下(323m/s、迎え角8.6度、貫入温度-19)で耐衝撃性が十分保証できないことが判明した。センサーを充填しているエポキシ樹脂を変更するなど(破断歪がこれまで使用してきたものの2倍以上を有する)の改良を行い、1999年5月に実機サイズのモデル機体にダミーセンサーを搭載した貫入試験(SRM機体)を実施した。我々の対策結果は良好で、充填部分に多少のクラック存在は認められたものの断線などの不具合は生じなかった。今後2001年5月に実機仕様モデルの貫入試験を実施する

予定である。また、本年5月の試験実施に伴いペネトレータ全体の熱数学モデルを検証する試験（全機熱試験）ではさらなる高精度化を狙った改良を実施して試験に望む。主な改良点はペネトレータからの放熱（吸熱）を制御していたテープ材を部分的にアルミテープに変更すること、さらに可能な部分にヒーターをとりつけ一定温度環境下でペネトレータ本体に温度勾配を定常的に実現することなどである。の小さいテープ材の部分的な採用により機軸方向の熱流を大きくし、温度勾配と熱物性の感度を高めることを狙っている。講演では上記試験結果などもあわせて報告する。