

LUNAR-A 搭載用月震計の改良とその性能評価

Improvement of the seismometer of LUNAR-A penetrator and its performance

山田 竜平[1], 白石 浩章[2], 小林 直樹[3], 竹内 希[4], 田中 智[5], 山田 功夫[6], 藤村 彰夫[5], 水谷 仁[5], 高木 義彦[7]

Ryuhei Yamada[1], Hiroaki Shiraishi[2], Naoki Kobayashi[3], Nozomu Takeuchi[4], Satoshi Tanaka[5], Isao Yamada[6], Akio Fujimura[5], Hitoshi Mizutani[5], Yoshihiko Takagi[7]

[1] 東大・理・地球惑星, [2] 宇宙研・惑星・比較惑星, [3] 東工大・理工・地球惑星, [4] 東大・地震研, [5] 宇宙研, [6] 名大・理・地震火山センター, [7] アカシ(株)

[1] Earth and Planetary Sci. Tokyo Univ, [2] Res. Div. Planetary Sci., ISAS, [3] Earth and Planetary Sci, TiTech, [4] ERI, Univ. of Tokyo, [5] ISAS, [6] Research Center for Seismology and Volcanology Nagoya Univ., [7] Co.Akashi

2004年に打ち上げが予定されているLUNAR-Aのミッションでは、ペネトレーターと呼ばれる槍型の装置を月面に貫かせ、月震計や熱流量計といった観測機器を月面に設置し、観測を実施することで、月の内部構造を探ることを目的としている。月面に設置する月震計は、磁気回路が作る静磁場中を支持バネに吊るしたコイルが相対変位することで発生する誘導起電力を利用した速度型の地震計である。月震計は小型軽量化を図っており、長さ5cm×直径5cmのサイズで350gである。LUNAR-Aで観測対象の一つとなる深発月震は、卓越周波数がおよそ1Hzの微小振動である事が過去の観測結果の解析により分かっている。そのため、月震計は1Hz付近で高い感度を実現できるよう、コイルの両端に鉄片を埋め込み、磁気回路との間に働く吸引力を利用して、長周期化を図っている。これにより、1.0~1.2Hzの固有周波数を実現している。

月震計のコイルがある一方の方向に振れた後の戻り位置と、その反対方向に振れた後の戻り位置に数十 μm のずれが見られた(中立戻り位置)。もし、この中立戻り位置ずれを引き起こすのが、コイルの動きに対する力学的な抵抗力であれば、これは深発月震のような微小振動に対してコイルが振れない可能性がある。本研究では、このずれを引き起こす原因を突き止め、中立戻り位置ずれを解消した。ずれを定量的に精度良く評価するため、0.5 μm 分解能のレーザー変位計を用いて、コイルの変位を直接的に計測するシステムを開発し、月震計で使用しているバネを換えたり、長周期化用の鉄片を取り除いたりした状態で、コイルの変位を計測した。その結果、ずれを引き起こす大きな要因が長周期化用鉄片の磁気的ヒステリシスにある事が分かった。

この鉄片の材質としては純鉄を用いているが、その純鉄と磁気回路との間に働く吸引力を高精度のロードセルを用いて計測したところ、コイル位置を数十 μm ずらす力を有するヒステリシスが存在する事が確認された。そこで、純鉄の代わりにヒステリシスが小さいパーマロイ78に変更した結果、ずれは計測誤差の範囲内まで解消できた。

中立戻り位置ずれを解消し、更に月面貫入衝撃を上回る10000Gの衝撃を3方向にわたって加え、耐衝撃性を確認した月震計、それにFM(フライトモデル)相当のプリアンプを接続したシステムを用いて長期間、およそ半年にわたり常時微動の観測を行い、微小振動に対する応答を見ることで性能を評価した。観測はなるべく地動ノイズレベルの低い(~10m/s)場所として名古屋大学の犬山地震観測所を観測場所として選んだ。比較検討用に、月震計の近傍に設置した、1Hzの移動観測用の地震計マークプロダクトL-4と広帯域地震計STS-2に常時微動観測に適するように100倍、1000倍アンプを介して観測を行った。その観測結果を比較検討する事を実施した。その結果、現状の月震計システムで観測された地動は月震観測に必要な周波数帯域で(実際には5秒~30Hzで)STS-2よりも良好である事がしめされた。