

SELENE-2月広帯域地震計の進捗

Present status of SELENE-2 Lunar BroadBand Seismometer

小林 直樹^{1*}, 村上 英記⁵, 白石 浩章¹, 竹内 希², 岡元 太郎³, 久家 慶子⁴, 趙 大鵬⁸,
鹿熊 英昭⁶, 田中 智¹, 早川 雅彦¹, 小川 和律¹, 飯島 祐一¹, 白井 慶¹, 藤村 彰夫¹,
川村 太一¹, 石原 靖⁷, 荒木 英一郎⁷, 山田 功¹⁵, 蓬田 清⁵, 谷本 俊郎¹⁶,
Philippe Lognonne¹⁰, David Mimoun¹¹, 山田 竜平¹¹, Domenico Giardini¹²,
Ulrich Christensen¹⁴, Antoine Mocquet¹³

Naoki Kobayashi^{1*}, Hideki Murakami⁵, Hiroaki Shiraishi¹, Nozomu Takeuchi², Taro Okamoto³,
Keiko Kuge⁴, Dapeng Zhao⁸, Hideaki Kakuma⁶, Satoshi Tanaka¹, Masahiko Hayakawa¹,
Kazunori Ogawa¹, Yuichi Iijima¹, Kei Shirai¹, Akio Fujimura¹, Taichi Kawamura¹,
Yasushi Ishihara⁷, Eiichiro Araki⁷, Isao Yamada¹⁵, Kiyoshi Yomogida⁵, Toshiro Tanimoto¹⁶,
Philippe Lognonne¹⁰, David Mimoun¹¹, Ryuhei Yamada¹¹, Domenico Giardini¹²,
Ulrich Christensen¹⁴, Antoine Mocquet¹³

¹宇宙航空開発研究機構宇宙科学研究本部, ²地震研究所, ³東京工業大学, ⁴京都大学, ⁵高知大学, ⁶中央大学,
⁷海洋開発研究機構, ⁸東北大学, ⁹北海道大学, ¹⁰パリ地球物理学研究所, ¹¹トゥールズ大学,
¹²スイス連邦工科大学チューリヒ校, ¹³ナンテス大学, ¹⁴マックスプランク研究所, ¹⁵中部大学,
¹⁶カリフォルニア大学サンタバーバラ校

¹ISAS/JAXA, ²Earthquake research center, ³Tokyo Tech, ⁴Kyoto University, ⁵Kochi University, ⁶Chuo, ⁷JAMSTEC,
⁸Tohoku University, ⁹Hokkaido University, ¹⁰IPGP, ¹¹University of Toulouse, ¹²ETHZ, ¹³University of Nantes,
¹⁴MPS, ¹⁵Chubu University, ¹⁶UCSB

SELENE-2ミッションは我が国初の月着陸探査である。着陸機に搭載する科学観測機の有力な候補として我々は広帯域地震計を提案している。本発表ではアポロ探査で行われた月震観測を踏まえ広帯域地震観測の必要性と科学目標を論じそれに見合う地震計の設計と開発状況を紹介する。

1970年代に行われたアポロ月探査ミッションでは12, 14, 15, 16号の各着陸地点に長周期地震計(3成分)と短周期地震計(1成分)を設置し、一辺が約1000kmの三角形の観測ネットワークを構成して月震観測を行った。観測は1977年9月まで7年以上に亘り月震の活動(発震機構, 時間・空間分布, 頻度分布)に関する情報や深さ約1000kmまでの地殻およびマントル構造の概略を決定するなど多くの成果をもたらした。しかし, (1)ネットワークの規模が1000 kmと限られること, (2)最も頻繁に発生する深発月震の振幅は観測感度限界付近であり, 感度幅も0.17Hz程度の非常に狭い帯域での観測であった。感度の限界近くの上長時間に及ぶ散乱コーダにより, 地震波の到達時刻の読み取りには数秒から数十秒以上の誤差が生じている。そのため, 特に深発月震の記録に頼らざるを得ない200km以深の月構造の不確定さは大きい。

SELENE-2の着陸点は1点のみであるので地震観測の効果があるネットワーク観測が行えない。そのため広帯域地震計ではアポロ月探査の持つ上記(2)の問題を克服するため高感度(アポロの約10倍)かつ広帯域(0.02-50 Hz)な地震計を開発し, 微弱な月震波形からより多くの情報を引き出すことを試みる。ランダム不均質媒体の散乱波計算の結果より, アポロに見られた卓越した散乱波の継続時間を説明するにはメガレゴリス層などの表層極低速層が必要となる。Nakamura (1981)の月モデルでの地殻散乱特性の卓越周波数は0.12Hzほどであり, これより長周期で観測すれば内部の不連続面での反射, 変換波が明瞭となるはずである。不連続面での反射, 変換波の検出は不連続面の位置だけでなく, 速度不連続量を制約し内部物質の情報をもたらす。長周期広帯域波形は月深部構造の解明に役立つであろう。一方, 短周期成分では深発月震のコーナー周波数の決定を目指す。深発月震のコーナー周波数は地球の地震や浅発月震のものに比べ低

いことが指摘されているがアポロ地震計の帯域問題のためはっきりしない。コーナー周波数の決定は深発月震の発生領域の物理状態を知る手掛かりにもなる。

こうした高感度広帯域低ノイズ地震計を限られた開発期間で実現するためにLunar-Aで開発された短周期速度型地震計(SP)とExoMars計画の搭載機器として開発が進められた仏のVBB広帯域地震計(LP)をパッケージ化する。更に両者を月面環境に合わせて最適化を行なう。過酷な月面環境で長期観測を可能にするためのサバイバルモジュールの開発も進めている。それにより温度環境は -10°C から $+30^{\circ}\text{C}$ 程に納めることが可能となる。SPの特徴は軽量、高衝撃耐性、高い発電感度を持つことである。山田等の解析からブラウンノイズが主要なノイズ源であることが分かっている。Lunar-A計画より数倍ノイズレベルを小さくするために高真空での動作が可能な改良を目指す。LPは火星地震計をベースに変位検出コンデンサーの容量アップやフィードバック回路の低ノイズ化を施し、周期1秒から10秒にかけてはアポロのLP PEAKEDモードの1/10以下の低ノイズ化を行なう。またVBBには温度変化を補償する機構が付加されており、一月で 40°C 程変化する環境で長周期計測を行う機能を有する。今後、デザインレベル、試験機レベルで実装された機能の実証を行ない、月面広帯域地震観測の実現を目指していく。

キーワード:月震,広帯域地震計,月内部構造,コア半径,地殻厚,深発月震

Keywords: moonquake, broadband seismometer, lunar internal structure, core radius, crustal thickness, deep moonquake