

SELENE-2における月広帯域地震観測：新しい月科学に向けて SELENE-2 Lunar BroadBand Seismometer: A key instrument to open a new window of lunar science

小林 直樹^{1*}, 白石 浩章¹, 竹内 希², 村上 英記³, 岡元 太郎⁴, 久家 慶子⁵, 趙 大鵬⁶, 小川 和律¹, 飯島 祐一¹, 鹿熊 英昭⁷, 田中 智¹, 山田 竜平¹, 川村 太一¹, 石原 靖⁸, 荒木 英一郎⁸, 早川 雅彦¹, 白井 慶¹, 藤村 彰夫¹, 山田 功夫⁹, フィリップ・ロニョーン¹⁰, デイビット・ミモウ¹¹, ドメニコ・ジャルジニ¹², アントニ・モケ¹³, ユーリッヒ・クリステンゼン¹⁴, ピーター・ツヴァイフェル¹², デイバー・マンズ¹², ヤン・テン・ピーリック¹², ラファエル・ガルシア¹¹, ジニン・キャンペインペイネイ¹⁰, セバスチャン・デロウコート¹⁰

Naoki Kobayashi^{1*}, Hiroaki Shiraishi¹, Nozomu Takeuchi², Hideki Murakami³, Taro Okamoto⁴, Keiko Kuge⁵, Dapeng Zhao⁶, Kazunori Ogawa¹, Yuichi Iijima¹, Hideaki Kakuma⁷, Satoshi Tanaka¹, Ryuhei Yamada¹, Taichi Kawamura¹, Yasushi Ishihara⁸, Eiichiro Araki⁸, Masahiko Hayakawa¹, Kei Shirai¹, Akio Fujimura¹, isao yamada⁹, Philippe Lognonne¹⁰, David Mimoun¹¹, Domenico Giardini¹², Antoine Mocquet¹³, Ulrich Christensen¹⁴, Peter Zweifel¹², Davor Mance¹², Jan ten Pierick¹², Raphael Garcia¹¹, Jeannine Gagnepain-Beyneix¹⁰, Sebastien de Raucourt¹⁰

¹ 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所, ² 東京大学地震研究所, ³ 高知大学理学部応用理学学科, ⁴ 東京工業大学大学院地球惑星科学専攻, ⁵ 京都大学大学院地球惑星科学専攻地, ⁶ 東北大学地震・噴火予知研究観測センター, ⁷ 財団法人地震予知総合研究振興会, ⁸ 海洋研究開発機構, ⁹ 中部大学, ¹⁰ パリ地球物理学研究所, ¹¹ トゥールーズ大, ¹² チューリッヒ工大, ¹³ ナンテ大, ¹⁴ マックスプランク研究所

¹ ISAS/JAXA, ² ERI, University of Tokyo, ³ Dept. Applied Science, Kochi Univ., ⁴ Dept. Earth and Planet. Sci., Tokyo Tech, ⁵ Dept. Geophysics, Kyoto Univ., ⁶ Dept. Geophysics, Tohoku Univ., ⁷ Assoc. Develop. Earthquake Predict., ⁸ JAMSTEC, ⁹ Chubu Univ., ¹⁰ IGP, ¹¹ University of Toulouse, ¹² ETHZ, ¹³ University of Nantes, ¹⁴ MPI

SELENE2 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和アポロの地震観測の結果に基づき設定した科学目標および地震計の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1000km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。

SELENE2では着陸機は1機のみであり, それ自体では地震観測網を作ることはできない。そのため, 上記(2)の問題を克服した高感度(アポロの約10倍)な広帯域(0.02-50 Hz)地震計を用い, 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。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。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っている。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。温度変化の激しい月面環境においてサバイバルモジュール技術は地震計測の成否の鍵となっている。こうした極端環境での観測に適した地震計測技術は地球環境下での観測にも応用が期待できる。本講演では, 月広帯域地震計(LBBS)の設計, 改良検討について昨年度の報告から進展した点についても紹介する。特に散乱の地震波観測への影響についての数値シミュレーションや欧州側の機器との電氣的・機械的な噛み合わせ試験の結果について報告する。

キーワード: 月震, 広帯域地震計, コア, 地殻, 月探査, 内部構造

Keywords: moonquake, broadband seismometer, core, crust, lunar exploration, internal structure