

月面の浅層地質探査に向けた小型地震探査システム LASP の開発

○辻 健¹, 坂本 和敏², 小林 泰三³

¹ 東京大学, ² 坂本サイエンティフィック・システムズ ³ 立命館大学

責任著者: 辻 健 tsuji@sys.t.u-tokyo.ac.jp

キーワード: アクティブ地震探査, 小型アレイ, 表面波, 自動化, ローバー搭載

月などの地球外天体で地震探査を実施し、地下構造を調べることは、理学と工学の両方から求められている。ここで検討しているアクティブ地震探査とは、加振器で発振し、地下を伝播した波動場をジオフォンで記録することで地下構造を探査する方法である。このアクティブ地震探査を実施すれば、地下の弾性波速度 (S 波速度) や反射断面図を取得できる。弾性波速度は地盤強度と関係があるため、月面での建造物の設計や、有人と無人ローバーの駆動部の設計に用いることができる。また氷の飽和度にも感度があるため、氷の探査にも利用できるとされている。

このアクティブ地震探査では加振器を利用する必要があるが、月面環境では大型の加振器を利用するのは困難であるため、我々は小型の加振器 (Portable Active Seismic Source; PASS) の開発を実施してきた (Tsuji et al., 2023a)。PASS では、周波数変調させた波を連続的に発生し、それを重合することで発振波形の S/N を向上させる。そのため小型モーターやピエゾ素子でも地下深部までの探査が可能になる。直径 40mm のモーターを利用すると、信号が水平距離 1 km も伝播することが示されている。また PASS は振動を人工的に発生させるため、着陸船やローバーからの振動ノイズ (環境ノイズ) が強い場合でも地下を探査することが容易になる。

本講演では、ローバーに搭載でき、月面下 1m まで探査することを目的に設計されたアクティブ地震探査システム (Lunar Active Seismic Profiler; LASP) を紹介する (Tsuji et al., 2023b)。この LASP は、全長 1 m のアレイ (アーム) の両端に小型の加振器 PASS が装着されており、その振動をアームに設置されている 8 個のジオフォンで受信する (Figure 1)。そのデータを解析することで、地下 1m までの S 波速度構造を推定するというものである (Figure 2)。

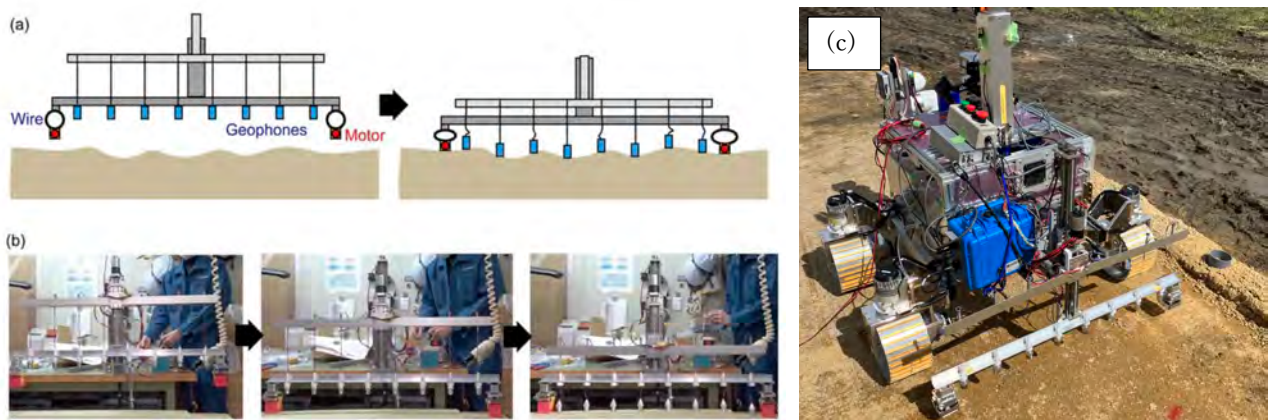


Figure 1. Lunar Active Seismic Profiler (Tsuji et al., 2023b). (a) Schematic diagram and (b) photos showing the operation of the LASP. (c) LASP deployed on the rover.

この LASP の性能を評価するために、立命館大学草津キャンパスの実験フィールド (9m×7m) で探査を実施した。具体的には、実験フィールド中心部に分布する凹状の地下構造と、ロードローラーの締固め回数 (地盤強度) の検出を試みた。合計 30 点で測定を行い、それらの観測波形から、分散曲線を算出し、3次元速度構造モデルを作成した (Figure 2b)。まずロードローラーによる転圧回数の多い場所では、S波速度が速いことが示された。つまり、地盤強度の違いを S波速度の変化として捉えることができたと考えられる。また凹状地形を低い S波速度帯として確認することができた (Figure 2a)。埋め戻した土壌の方が S波速度は低く、凹状の地下構造の影響を反映した結果が得られたと考えられる。以上のことから、本実験で行った表面波探査により、地下の三次元構造の可視化や地盤強度の推定に成功したと考えられる。

今後は、ローバーに搭載した LASP を利用して自動的に駆動するシステムを構築する。それにより、月面だけでなく、地上の浅層地盤探査を自動的に実施するシステムを構築する予定である。

引用文献

- Tsuji, T., S. Tsuji, J. Kinoshita, T. Ikeda, A.B. Ahmad (2023a), 4 cm portable active seismic source (PASS) for meter- to kilometer-scale imaging and monitoring of subsurface structures, *Seismological Research Letters*, 94(1), 149-158.
- Tsuji, T., T. Kobayashi, J. Kinoshita, T. Ikeda, T. Uchigaki, Y. Nagata, T. Kawamura, K. Ogawa, S. Tanaka, A. Araya (2023b), Lunar active seismic profiler for investigating shallow substrates of the Moon and other extraterrestrial environments, *Icarus*, 404, 115666. doi:10.1016/j.icarus.2023.115666.

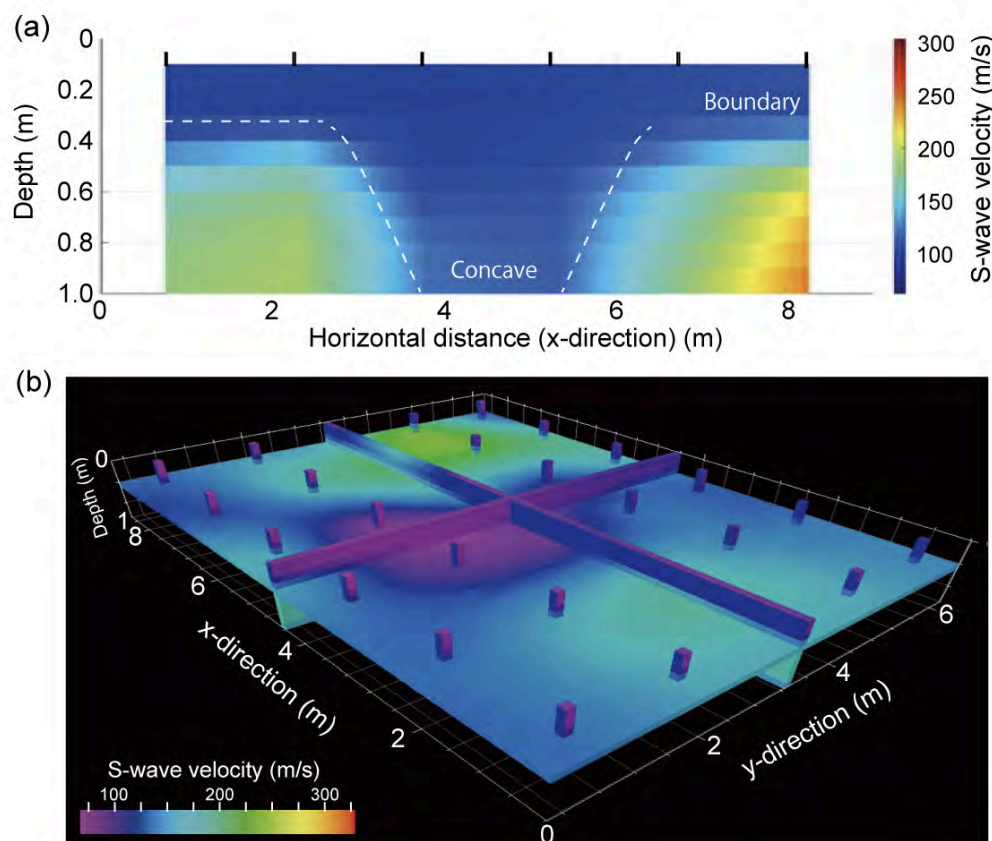


Figure 2. Three-dimensional S-wave velocity model of the test field. (a) Depth profile across the center of the test field. The white dashed line marks the lithological boundary between the geological substrate and the experimental cover sediment, including the conical excavation. (b) View of the estimated 3D S-wave velocity model obtained from 30 measurement points.