

超小型震源装置1台と地震計1台で地下探査を可能とする自律型地震探査装置の開発

東京大学、地球科学総合研究所、JAXA

はじめに

月面でのアクティブ地震探査

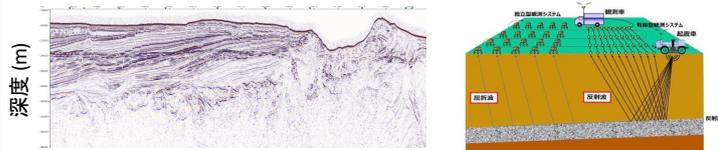
- ・ 地下の弾性波速度 (P波速度やS波速度) や反射断面図を取得できる
- ・ 短時間で結果が得られる

- ・ レゴリス層の物性 (強度など) や層厚、その下の岩相を探索
 - > 理学 (月の形成理解)
 - > 工学 (月面基地・天文台の建設・与圧ローバー駆動部の設計)

- ・ 氷や鉱物の有無と深度、空間分布、飽和度を調べる
 - > 資源

地球での地震探査

→ 多数の地震計を利用し、多数の点で発振作業を行う



地球での地震探査の結果 (反射断面図)

地球での探査の模式図 (地球科学総合研究所)

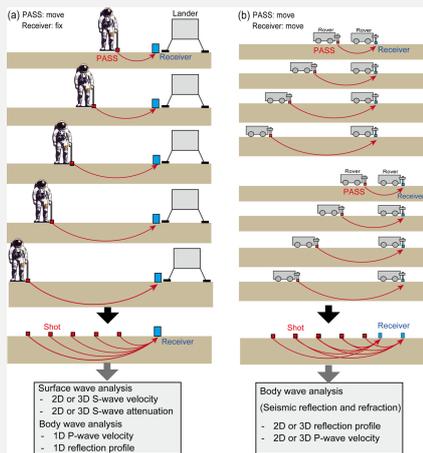
しかし、月面で地震探査を実施する際には、地震計や加振器を多く設置することは難しい



目的: 小型震源装置1台と地震計1台で地下探査を可能にする

探査方法

- ・ 同一の振動を繰り返し発信できれば、地球と同様の地震探査ジオメトリを実現できる。例えば、複数地点で発振し、その信号を1台の地震計で受信すればよい
- ・ 小型の震源装置であっても、信号を繰り返し発信・スタッキングすることで、地震波を遠方まで到達させることが可能である

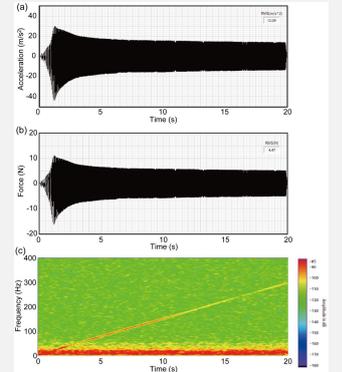
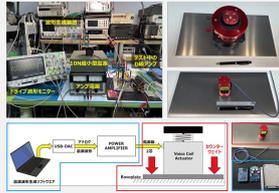


Surface wave analysis
- 2D or 3D S-wave velocity
- 2D or 3D S-wave attenuation
Body wave analysis
- 1D P-wave velocity
- 1D reflection profile

Body wave analysis (Seismic reflection and refraction)
- 2D or 3D reflection profile
- 2D or 3D P-wave velocity

Portable Active Seismic Source (PASS)

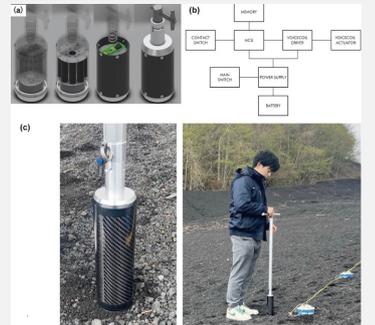
複数の実験機を用いた試験を通じて、超小型震源の基礎的特性を検証し、小型 (450g; 10N) でも表面波探査、実体波探査の用途に使用できることを確認



アルテミス4を前提に構築した宇宙飛行士用のPASS

Specification:

- ・ Weight: <1 kg (800g)
- ・ Standalone system
- ・ Total operational cycles: >100 emissions
- ・ Source type: Voice coil
- ・ Source signal: Chirp or pseudo-random sweeps
- ・ Frequency range: 10 - 125 Hz
- ・ Force output: 5-10 N
- ・ Operational mode: Signal generation during contacting the PASS with lunar surface



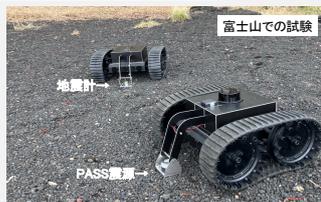
PASS operation concepts

1. The PASS internal clock shall be synchronized prior to launch.
2. During the survey, the PASS shall generate seismic signals when the astronaut presses the device through the extension arm firmly against the lunar surface.
3. Prior to the survey, a reference signal shall be emitted near the seismometer with an absolute time reference to synchronize the PASS clock.
4. The survey shall be conducted by generating seismic signals approximately three times at each position, with each signal emission lasting 10 seconds.
5. The PASS shall record only the timestamps of signal emissions; waveform recording on the PASS side is not required.
6. The astronaut shall move to successive positions at 2 m intervals along a line extending from the seismometer, and repeat the signal emission sequence.
7. The nominal total number of shot positions shall be 10.
8. Upon completion of the survey, an additional signal shall be emitted near the seismometer to verify synchronization with the PASS clock.
9. After the operation, onboard data storage shall be retrieved for data analysis.

ローバーでの運用を前提に構築したPASS

震源コントローラや地震計データロガーなどを小型化し、小型ローバにも搭載可能に

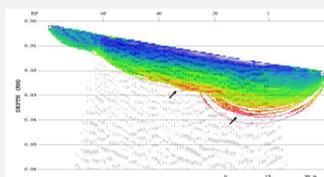
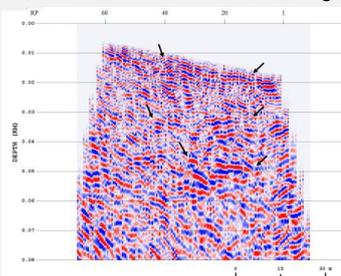
震源重量 (controller込み) : 500g程度
地震計重量 (データロガー込み) : 300g程度



富士山での試験

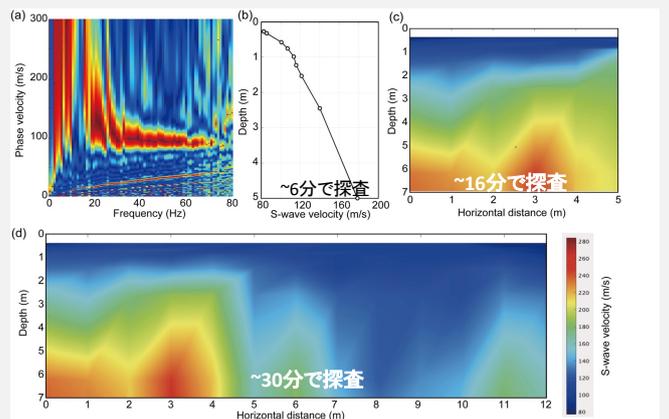
地震計

PASS震源



震源と地震計が離れているときに得られる反射断面図

震源と地震計が離れているときにトモグラフィで得られるP波速度



(a) 表面波探査に用いる分散曲線, (b) 6分の発振で探査する場合の結果, (c) 約16分で探査する場合の結果, (d) 約30分で探査する場合の結果