

P5-032 ペネレータを用いた月内部構造探査戦略

村上英記(高知大), 竹内希(東大), 石原靖(JAMSTEC), 岡元太郎(東工大), 久家慶子(京大), 趙大鵬(東北大), 山田竜平(国立天文台), 田中 智, 小林直樹, 白石浩章, 早川雅彦, 早川基, 後藤健, 水野貴英, 石井信明, 小松敬治(ISAS/JAXA), 月内部構造探査WG



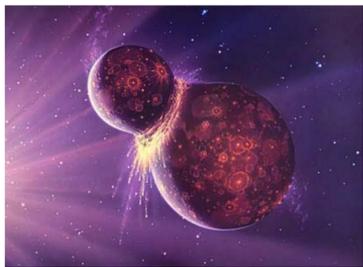
1. 概要

衝突貫入型探査プローブであるペネレータ(地震計と熱流量計を内蔵)技術の完成が2010年8月の実証試験で確認された。月・惑星内部構造探査の新たなツールとしてのペネレータは次のような特性を有している; 1) 月表面ではなく地中に貫入するため温度制御システムが不要あるいは簡略化できる, 2) そのため着陸機に比べて軽量であるために1度のミッションで複数機の展開が可能となる。月内部構造を解明するための手法の一つである月震観測では, 複数地点に月震計を配置し同時観測することで自前の震源決定が可能となり, 内部構造の精度の向上が期待できる。

月内部構造に関する情報は, アポロ計画における月震観測, その後のリモートセンシングなどにより既存データの再解析や統合化による研究が進められている。しかしながら, 月深部マントル・コアあるいは地殻についても情報不足や仮定の妥当性などの問題があり解明済みとはいえない。

本研究では, 4機のペネレータを用いて地殻構造, マントル構造, コア構造のそれぞれを精度良く求めるためのペネレータの最適配置やその他のサイエンスゲインについて紹介する。4機のペネレータで一度に月内部のすべての領域について精度良く構造を求めることはできない。しかし, 他国のミッションの状況や研究の動向を考慮して研究の重点領域とすべき領域を研究するのに最適なペネレータ配置を選択できるという有利さがペネレータにはある。

2. 科学目標 一月の起源と分化

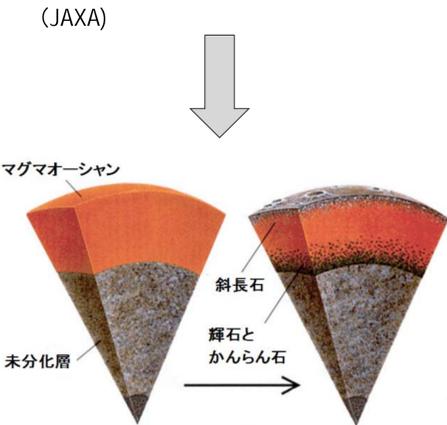


(月起源) ジャイアント・インパクト仮説

初期地球に火星質量程度の天体がななめ衝突することにより, 衝突天体のマントル物質が地球周辺にばらまかれ, 円盤が形成され, この円盤から月が集積してきた。

地球-月の共進化を解明するためには月の起源が重要なキーとなる。

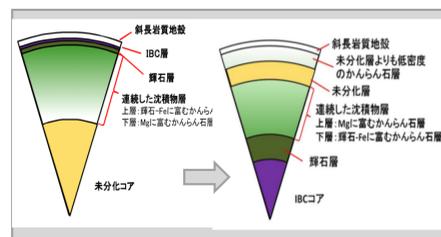
大きな金属コアは形成されない
慣性モーメント $I=0.394$
核の存在(サイズ)・状態?
中心部を通過する地震波は観測されていない



(月分化) マグマオーシャン仮説

初期の月は表層数百km以上が完全融解しその後徐々に冷却することにより結晶分化が起きた。晶出の順番はカンラン石, 輝石, 斜長石の順番で軽い斜長石は浮上する。

マグマオーシャンはどこまで溶けたのか?
公認推定値“深さ500km”(Nakamura, 1983)
速度モデル作成上の任意性がある
最近のモデルでは速度境界は不明瞭「かぐや」等による表裏の不均一性



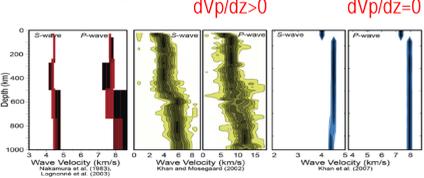
(月分化) 初期マントル転倒仮説

カンラン石の中でも溶融温度の高い $MgSiO_4$ から沈積始める。結晶分化の最終ステージでFeなどの液相濃集元素を多く含むイルメナイトに富む沈積物層(IBC層)が最後に生じるため重力不安定が生じる。

マグマオーシャン仮説から導かれる仮説であり, リモートセンシングやサンプルからの直接的証拠はない

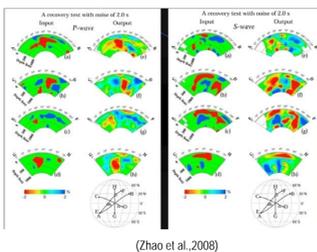
(現状のモデル)

マントル1次元モデル



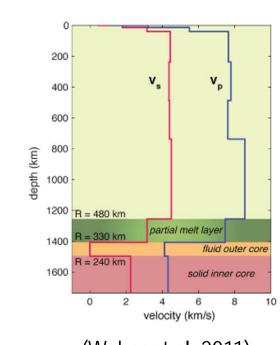
マントル不連続面あり ← ? → マントル不連続面なし

マントルトモグラフィ

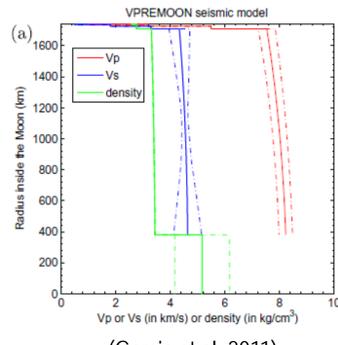


走時の読み取り精度・震源の精度に依存
裏側の解析は現状ではできない

コア1次元モデル



(Weber et al., 2011)

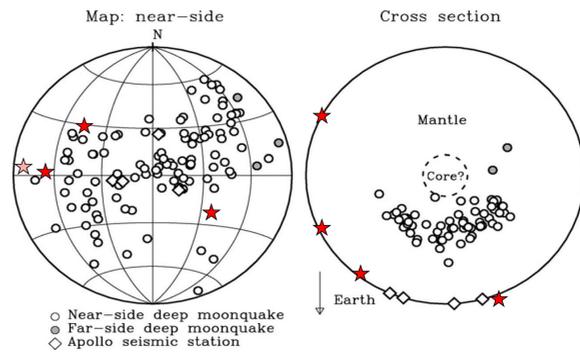


(Garcia et al., 2011)

透過波の観測・新たな反射波の観測による独立な検証が必要

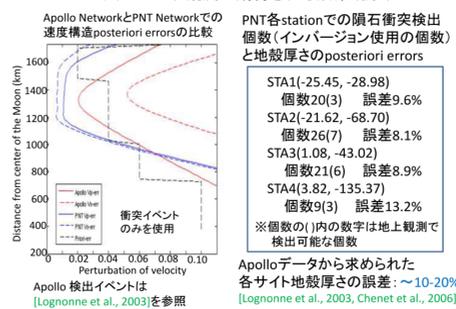
3. ペネレータ展開戦略 ケース・スタディー

■ 衝突月震イベントと深発月震イベントを使った地殻～上部マントルの精密化

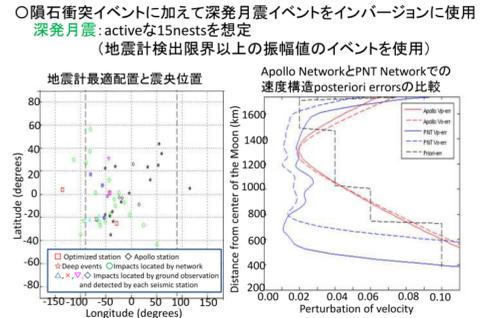


衝突発光の地上観測により隕石衝突の震源の精度の向上が期待できる

PNTネットワーク観測で期待される成果(例1)

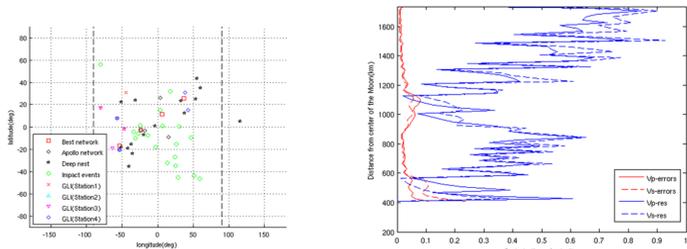
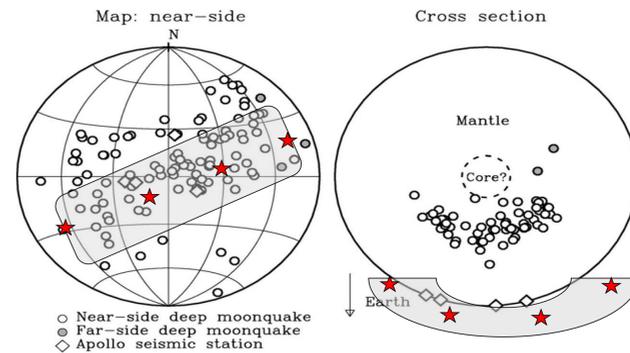


PNTネットワーク観測で期待される成果(例2)



配置間隔によるペネレータ通信運用の制約が比較的少ない。同一バス中にPNT2本と連続してリンクする可能性が低い。熱流量が表・裏側と地殻厚・薄地域に分散して観測できる。

■ 表側マントル1次元速度の精密化



1000kmの最適配置

速度構造の誤差と解像度

アレイ状に4機を1000~1200kmで等間隔に配置し角距離を稼ぎ表側マントルの1次元速度構造の精密化を狙った配置例。但し, 震源決定には向かない配置なので, 表側1機(アポロ12号サイトの近く)で深発月震グループを同定することが前提となる。
配置間隔によるペネレータ通信運用の制約が少ないが, 熱流量観測が表側に限定され, 高緯度地域(>35°)に設置される号機がある。ただし, 衝突イベントを含めた改善度を考慮すると, 深発月震ベルトに倣って配置する必然はないと思われる。

これ以外に, 発生頻度の高い月震(A1など)の震源決定精度の向上に特化したペネレータ配置も考えられる。

■ コア(内部)1次元速度の精密化 - チャレンジング・プラン -

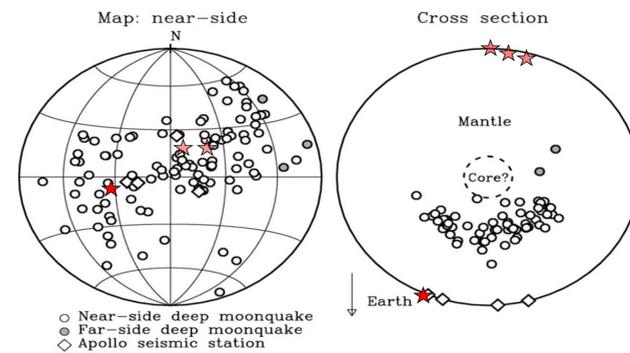


表1機・裏3機を角距離5°程度の間隔で配置しマントル深部からコア内部の構造を主に屈折波を使い精密化する。表側1機(アポロ12, 14号の近く)で深発月震グループを同定し, アレイ配置した裏側3機でマントル深部からコア内部からの屈折波を観測する。
1パスの同一時間帯にPNT2機ないし3機のアンテナパターンが重なる見込みだが, あえて長期間観測を狙える配置。熱流量観測は表側・裏側の2か所に実質的に限定される。