

月内部構造探査のための最適地震計ネットワークの設計

Design of the optimized seismic network to investigate the lunar interior structure

山田 竜平^{1*}, ラファエル・ガルシア¹, マリー・カルベ¹, ジャニーン・ガニユパン-ベイネ²

Ryuhei Yamada^{1*}, Raphael Garcia¹, Marie Calvet¹, Jeannine Gagnepain-Beyneix²

¹トゥールーズ大学, ²パリ地球物理観測所

¹Toulouse University, ²Institut de Physique du Globe de Paris

月の起源や進化を解明するうえにおいて、月内部構造の情報を得ることは必要不可欠であり、地震観測はそのための有力な手法である。1960-70年代に実行されたアポロミッションでは、月面に4点の観測点から成る地震（月震）観測ネットワークの構築が行われ、月震イベントや月内部構造に関する多くの情報を得ることに成功している。しかし、設置された地震計の性能、ネットワークの幾何学的な配置等に起因して、アポロの観測データからは未だ月中心核のサイズや組成、マントル深部の構造に関しては十分な情報が得られていない。

そのため、現在多くの宇宙研究機関において、地震計を再び月面に設置し新たな月震データを取得することが検討されている。例えば、JAXAのSELENE-2ミッションでは1-2点、NASAでは2-4点の地震観測点の設置が計画されており、International Lunar Network計画では、これらの統合が検討されている。もし、国際協力により、観測点の同時設置が実現されれば、高感度・広帯域の地震計から成るアポロを上回る広域な地震観測ネットワークを構築することも可能と成り得る。

本研究では、これら将来に計画されている月地震観測において最大の科学的成果が得られるような地震計の幾何学的配置について検討を行った。現在、月の科学における主要な課題の一つは月中心核のサイズ、組成を明らかにし、月起源物質やその形成過程に関する情報を得ることである。アポロでの観測より月深部では潮汐力に起因して同一の震源から繰り返し発生するイベント（深発月震）が存在する事が確認されている。そこで、アポロで震源位置が同定された深発月震イベントを利用することを考え、それら全ての震源から発生するコアフェイズ(PKP波)の走時と波線を計算し、最も多くコアフェイズが検出可能な地点を選んだ。この場合、P-S時間差などから、観測されたイベントの震源を特定する事ができれば、最低1点であってもコアに関する情報を得る事が可能である。本研究では、コアサイズが未知であるため、測地学的、磁気的な観測情報に基づき200Km~450Kmの液体核(P波速度:5km/s)を仮定して、コアサイズを変化させながら最適位置の調査を行った。

また、マントル内部の地震波速度構造、特に速度不連続面の有無、深さなどに関する情報は月の進化、特にその分化過程を知る上での重要な制約と成りうる。本研究では、既知の深発月震源と月面で一樣に分布すると仮定した隕石衝突による振動源を用いて、これらの震源位置とマントル内部の速度構造を最も良く決めることができる地震計の幾何学的な位置について調べた。その最適な配置は、観測データより線形インバージョンを用いて震源位置と速度構造を求める際のposteriorな誤差が最小となるように決定される。ここでは、3-4点の地震観測点を用いて、モンテカルロシミュレーション(Neighborhoodアルゴリズム)により、その位置の組み合わせを変化させ、最適なネットワーク配置を決定した。

本発表ではミッション上の制約や観測要求を基に、上述した科学目標を良く達成できるよう設計した地震観測ネットワークの例を示すと共に、新しい観測によって達成され得る月内部構造モデ

ルの改善について議論する。また、地上観測に基づき位置決定される隕石衝突イベントを用いた場合の月内部構造の決定について検討した結果も示したい。

キーワード:惑星探査,月地震探査,月震,地震計ネットワーク,最適化問題,
モンテカルロシミュレーション

Keywords: planetary exploration, lunar seismic exploration, moonquake, seismic network,
optimization problem, Monte Carlo simulation