

SELENE 計画 月レーダサウンダによるクレータ密集領域の月地下構造探査

Exploration of Lunar subsurface structure in heavily cratered terrain region by SELENE Lunar Radar Sounder

小林 敬生[1], 大家 寛[2], 小野 高幸[3]
Takao Kobayashi[1], Hiroshi Oya[2], Takayuki Ono[3]

[1] 東北大・理・地物, [2] 東北大・理・地球物理学, [3] 東北大・理
[1] Geophys. Tohoku Univ., [2] Geophysical Ist. Tohoku Univ., [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.

SELENE 計画の月レーダサウンダ (Lunar Radar Sounder : LRS) による月面クレータ密集領域の地下探査に関連し、コンピュータシミュレーションにより、地下反射エコー検出の可能性をデータ解析手法と合わせてそれぞれ有効性とその限界を調べた。クレータ密集領域では、B-スキャン形式のデータディスプレイによるデータ解析が地下反射エコー検出に有効であり、シングルパルスデータによる B-スキャンディスプレイでは確認されない地下反射エコーは、データの重ね合わせ処理により検出できること、その際、データの重ね合わせ数には適正值が存在し、それは表面直下点エコー強度の変化から推測可能であることが明らかとなった。

1. 序

月の地下構造の探査を主目的として、2003 年に探査機の打ち上げが計画されている SELENE 計画の科学ミッションに月レーダサウンダ (Lunar Radar Sounder : LRS) が搭載される。LRS 観測で得られるデータには月地下からの反射波だけではなく月表面の強いクラッタ成分も混入が避けられない。微弱な地下反射波の検出にはこのクラッタ成分の分離が不可欠でデータ解析はこの点に十分に配慮して行なわなければならない。LRS グループでは機器開発と平行して、コンピュータシミュレーションにより観測データ解析手法の開発とその評価を行ない、統一的なデータ解析手法を確立した。今学会で報告するのはその適用例として、月面クレータ密集領域において、現在計画されている運用モードに即し、連続 500 パルスの LRS 観測を行なった場合の、データ解析手法の地下反射エコー検出における有効性とその限界についてである。月表面の 80% はクレータに覆われており、その大部分はクレータが密集して複雑な表面地形を呈している。この、月面の大部分を占めるクレータ密集領域の観測の状況を把握することは今後の観測の方針を決める上で重要である。

2. シミュレーション条件

(1) LRS 観測：LRS パルス繰り返し周波数 20Hz で 500 パルスの連続観測を模擬した。LRS は FMCW 方式を採用しており、周波数を 4 MHz から 6 MHz まで直線掃引する。SELENE 探査機は月面上空 100km の円軌道を周回する計画で、シミュレーションでは月面平均面の曲率は無視しているが、本研究では実際の運用を模擬すべく上空 100km を速さ 1.6 km/s の等速直線運動をする場合について、したがって模擬された観測時間中の探査機の移動距離 40km について検出した。

(2) クレータ地形：クレータ密集地形はクレータ地形生成ルーチンにより数値的に作り出す。シミュレーション空間の広がりには 1 辺 240km の正方形で、その上に平均クレータ生成密度 100 [km^2] で半径 10m 以上のクレータを生成する。月面地下境界面の位置は月平均面基準深さ 1250m とし、深さは一定とした。

(3) 月地下物質誘電率：LRS パルスが伝播する月地下物質の誘電率は、(a) $4.0+i0.02$ (比較的減衰率が小さい場合)、(b) $4.0+i0.03$ (中程度の減衰率)、(c) $4.0+i0.04$ (減衰率が大きい場合) の 3 ケースとした。

3. クレータ密集領域の地下反射エコーの検出

クレータ密集領域では、その表面地形から容易に予測されるように、様々なレンジからの表面散乱エコーが受信データに混入して地下エコーの S/N を劣化させ、A-スコープデータのみでのその検出は困難になる。このような状況では、B-スキャン形式のデータディスプレイによる方法が有効である。B-スキャンは、A-スコープデータを時系列データとして並べた時刻対レンジの 2 次元ディスプレイ上で信号強度をカラーコードで表現した 3 次元のデータ表現形式である。B-スキャンディスプレイには、探査目標である地下反射エコーの他に月表面から返ってくる探査機直下点エコー、コヒーレント性の強いクレータ側方反射エコーそしてランダム信号とみなせる表面散乱エコーの 3 種のエコーが混在して現れている。地下反射エコーの特徴は探査機直下点表面エコーの場合と同様にレンジの変化率が非常に小さい。したがって、地下反射エコーは、B-スキャンディスプレイ上では探査機直下点エコーにほぼ平行なエコーパターンを描くことになる。シミュレーションでは、(a) の場合には弱いながらも表面エコーの間隔を縫うようにして存在する地下反射エコーの直線的パターンが確認でき、(b) の場合にはシングルパルスデータによる B-スキャンディスプレイでは同様なパターンは確認されないものの、データの重ね合わせ処理によりランダムな表面反射成分の強度が減ずるためコヒーレントな地下反射エコーが直線的パターンとして検出できることが確認された。しかし、適正な数を超えるデータの重ね合わせは地下エコーの強度をも減じることから、こ

の手法に限界があること、そして、その適正数はデータ重ね合わせ数に関する表面直下点エコーの強度変化から推測できることも確認された。さらに、(c)の減衰率が大きいと仮定する場合には地下反射エコーの検出が不可能であることも明らかとなった。