

月地下エコー検出のためのLRS データ解析方法の検討

LRS data analysis methods for the detection of lunar subsurface echoes

押上 祥子 [1]; 望月 憲悟 [2]; 渡辺 志穂 [3]; 渡辺 俊樹 [4]; 山口 靖 [5]; 山路 敦 [6]; 小野 高幸 [7]; 熊本 篤志 [8]; 中川 広務 [9]; 小林 敬生 [10]; 笠原 禎也 [11]

Shoko Oshigami[1]; Kengo Mochizuki[2]; Shiho Watanabe[3]; Toshiki Watanabe[4]; Yasushi Yamaguchi[5]; Atsushi Yamaji[6]; Takayuki Ono[7]; Atsushi Kumamoto[8]; Hiromu Nakagawa[9]; Takao Kobayashi[10]; Yoshiya Kasahara[11]

[1] 名大・環境; [2] 名大・環境・地環; [3] 名大・理; [4] 名大・環境; [5] 名大; [6] 京大・理・地球惑星; [7] 東北大・理; [8] 東北大・理; [9] 東北大・理・地球物理; [10] KIGAM; [11] 金沢大

[1] Nagoya Univ.; [2] Earth and Environmental Sciences, Nagoya Univ.; [3] Nagoya Univ.; [4] RCSV, Nagoya Univ.; [5] Nagoya Univ.; [6] Div. Earth Planet. Sci., Kyoto Univ.; [7] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [8] Tohoku Univ.; [9] Dept. of Geophysics, Tohoku Univ.; [10] KIGAM; [11] Kanazawa Univ.

かぐやに搭載された Lunar Radar Sounder (LRS) のサウンダシステムは月表層部地下構造の推定を目的とする機器である。LRS は HF バンドの FM-CW レーダであり、誘電率が前後で不連続的に変化する月地下境界面からの反射波を検出する。LRS の真空中でのレンジ分解能は 75 m である。LRS では史上初めて月全球のサウンダ観測を行い、検出された地下エコーのマッピングにより全球の地下表層構造モデルの構築を目指す。これまでの LRS データ解析で、Mare Serenitatis を始めとする海では地下数百 m の深さに境界面が存在することを示唆するエコーが見つかっている。一方、地表面が複雑に変形した高地の LRS データには、地表面からの無数のクレータエコーが記録されており、信頼できる地下エコーは未だ確認されていない。しかしながら、我々が目指す月全球の地下表層構造モデルの推定の為には、月の地表面の約 80 % を占める高地の地下境界面を示唆するエコーの検出は非常に重要な課題であると考えられる。最初に、我々がプロダクトとして生成する B-scan データに対する処理について紹介した後、現在検討中の海、高地それぞれに対する LRS データ解析手法について説明する。

受信エコー強度をレンジの関数としてプロットしたものを A-scope、これらを飛行方向に並べた画像データを B-scan と呼ぶ。LRS では予測される衛星 - 地表面距離に応じてデータ記録のタイミング (計測遅延時間) を変えているため、衛星から見た観測範囲がパルス毎に異なる。さらに、極円軌道で周回するかぐやの飛行高度は実際には数 10 km の範囲で変動するため、A-scope を飛行方向に並べただけの B-scan 画像の地表エコーのトレースは実際の地形と対応しない。B-scan 画像の地表エコーによって地形を再現するためには、計測遅延時間と衛星飛行高度の変動に対する補正が必要となる。我々はこれらの補正を行った B-scan データを PDS フォーマットプロダクト (BScan-high ver.2) として作成する予定である。さらに、BScan-high ver.2 をもとに飛行方向の分解能を落とした PDS データプロダクト (BScan-low) を作成する予定だが、適用する処理については現在検討中である。

我々は期待される地下境界面からのエコー検出を目的として、計測遅延時間と衛星飛行高度の補正を行った LRS データについて、(1) 飛行方向平均、(2) コントラスト強調処理、(3) マイグレーション処理の適用を試みた。A-scope データの中で最も強い信号は直下地表面からのエコーである。A-scope データには更に周辺地表面からの後方散乱エコー、そして観測機器、地球の放送電波等に由来する様々なノイズが含まれる。したがって、期待される地下境界面からのエコーはこれらのエコーやノイズに埋もれていると考えられる。我々はまず、滑らかな地表面を持ち、地表面からの後方散乱エコーが比較的少ない海の B-scan 画像に対する処理の検討を行った。始めに、B-scan 画像に含まれるランダムノイズを除去するために、飛行方向への A-scope データの足し合わせを行った。更に、飛行方向平均後の B-scan 画像に対してコントラスト強調処理を行った。その結果、地下境界面起源と考えられるエコーが明瞭に浮かび上がってきた。

滑らかな表面を持つ海に対し、主に衝突クレータによって表面の凹凸が激しい高地ではこれら衝突クレータに起因する表面クラッタが非常に多く観測される。周辺地表面の反射点から連続的に観測される非常に強い表面クラッタは、B-scan 画像上で双曲線状のパターンとして現れる。海の B-scan 画像に対して行った飛行方向平均とコントラスト強調処理だけでは、これらの表面クラッタの中から期待される地下境界面からのエコーを検出することはできないと考えられる。我々は、観測波形データにマイグレーション処理を施し、双曲線状の表面クラッタを除去することを試みた。マイグレーションとは、主に反射法地震探査のデータ解析に用いられる手法である。送信パルス伝播速度を与えることによって、反射波形データから個々のエコーの反射点位置 (深度) を得る。我々は地震波データ処理ソフトウェア、Seismic Unix に組み込まれたマイグレーションプログラムを応用した。飛行方向平均した波形データについてマイグレーション処理を行った結果、双曲線状の表面クラッタは表面クレータ像に収束した。マイグレーションは高地での地下エコー検出に有効な解析手法となりうると考えられる。