

SELENE計画における月地下レーダサウンダ観測での表面反射波の分離法：反射点位置決定に関するコンピュータシミュレーション

Positioning of Reflectors on Lunar Surface for Discriminating from Subsurface Echoes :
Computer Simulations on SELENE LRS Mission

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.

月高地領域を中心とする地下構造探査のためのレーダサウンダ観測に際しては、密集するクレータ斜面から様々なレンジにおいて表面側方反射エコーが反射されることが予想される。したがって、データ解析に際しては地下境界面からの反射エコーと、同レンジから返ってくる表面反射クレータ斜面からの側方反射波を分離することが必要となる。本研究では、合成開口レーダ解析手法のひとつであるDoppler Beam Sharpening (DBS)法を応用して、ダイポールアンテナを用いたLRS観測においても表面反射点位置同定が可能であることを示し、データ解析手法を確立した。そして、シミュレーションによって解析手法の妥当性を確認した。

2003年に探査機の打ち上げが計画されている月探査計画、SELENE計画の科学ミッションのひとつとして搭載される月レーダサウンダ (Lunar Radar Sounder : LRS) は、月の地下構造の探査を主目的としている。この観測装置の中心となるサウンダ技術はEXOS-B,C,D衛星での実績を持ち、現在PLANET-B探査機に搭載されているプラズマサウンダ観測装置の開発で培われてきたものを応用し、開発されている。レーダサウンダによる月地下構造探査は、Apollo17号のレーダサウンダ実験 (R.J.Phillips et al.1973) について2度目であるが多くの点で開発の最初に生じる問題を解決しつつ進めている。そして、LRSグループでは機器開発と平行して、観測データの解析手法の確立を目的として、コンピュータシミュレーションによる観測データ解析手法の研究を行なっている。

電波を取り扱うシミュレーションコードはKirchhoff理論に基づいてつくられ、月表面および地下境界面での電磁波の反射・屈折の現象を波動論的に扱っており、LRSダイポールアンテナによるレーダパルスの送信から、受信点である飛翔体 (SELENE) における反射波の電場ベクトルの計算、および受信波データの解析までを統一的に扱っている。これまで、このコードを用いて海の領域におけるLRS観測シミュレーションを行ない、海の領域の観測では、受信波形データの重ね合わせが地下からの微弱なエコーの検出に有効であること、また、月面および月地下境界面のランダムな凹凸は月地下境界面のSELENE直下点エコーの強度にほとんど影響を及ぼさないこと、さらに、アポロ計画におけるサウンダ観測実験結果 (R.J.Phillips et al. 1973) とシミュレーション結果の比較から月面海領域の表面粗さパラメータの定量的見積もり等を行なってきた (小林、大家、小野1998)。

本研究では、クレータが密集している月高地領域で月地下探査を行なう場合信号の分離を目的としたサウンダ観測手法を確立すべく、クレータ地形の表面反射観測シミュレーションを行なった。

シミュレーションに用いた高地クレータ地形は、Pike (1974) により示されたクレータ形状の統計的性質とBaldwin (1964) によるクレータ分布の統計的性質を地形ルーチンに組み込み、コードの中で数値的に作り出した。

高地領域の特長は表面が多様な大きさを持つクレータに群によって複雑な様相を呈していることである。このため、サウンダ観測では様々なレンジにおいて、クレータ斜面からの表面側方反射エコーが受信されることが予想される。そこで、高地領域のサウンダ観測による地下構造探査では地下境界面からの反射エコーと、等しいレンジ点から返る表面クレータ斜面からの側方反射波を区別する必要がある。一方、SELENE LRSで用いるアンテナはダイポールアンテナでありそのビームパターンはアンテナ軸対称等方的に広がる。このため、1パルスによる観測で、受信される反射波の到来方向 (反射点) を同定することは不可能である。

この問題を解決するため、本研究では、合成開口レーダ解析手法のひとつであるDoppler Beam Sharpening (DBS) 法を応用したデータ解析手法を確立した。DBS法では、ドップラ偏移周波数と反射源の方向とは (進行方向に関する左右の任意性を別として) 1対1に対応することを利用し、各レンジピン内での反射点の方位角方向を決定することが可能となる。

LRS送信波の周波数は4 ~ 6 MHzであり、SELENEの対月面速度は約1.6 km/sであるので、受信波のDoppler周波数の大きさは観測レンジ内で高々37Hz以下である。したがって、パルス長が200 μ sのLRS観測では1パルスの観測でDoppler周波数を検出することは不可能である。そこで本研究では連続する複数の観測データを解析することによりDoppler周波数を検出する方法を見出した。すなわち、各レンジピンでのデータの位相に対する時間変化を計測することでDoppler周波数を検出する。進行方向に関する左右の任意性が残る問題は隣り合う軌道の観測結果との相関をとって反射点位置の決定をすることで解決する。

シミュレーションの結果からこの手法の有効性を確認した。

参考文献

R. J. Phillips et al. Apollo Lunar Sounder Experiment Apollo 17 Preliminary Science Report, 1973

R. J. Pike Depth/Diameter Relations of Fresh Lunar Craters : Revision from Spacecraft Data, G.R.L. vol.1 p.291, 1974

R. B. Baldwin Lunar Crater Count , Astronomical Journal Vol.69 p.377,1964

小林、大家、小野 コンピュータシミュレーションによるSELENE計画における月レーダサウンダ月面下構造観測の検討 第104回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、 1998