

かぐやが拓く月惑星内部のイメージング観測

中川 広務
東北大学

1. はじめに

月は我々の住む地球の唯一の衛星であり、最も近い天体である。地球と月の起源と進化は密接に関係する一方、両者は全く異なる進化を経て現在に至っている。また、月には現在の地球表面では地殻やマントル活動のために消滅してしまった太古(30-40 億年前)の太陽系の情報が残されている。これまでリモートセンシングやサンプル分析など、さまざまな角度から月の研究が行われているが、研究が進むにつれ、その多様性が明らかになり、謎は深まっている。

2. かぐや搭載月レーダーサウンダー装置

月がどのような進化を経て現在の姿をとっているのかを理解する上で、月の地下構造は月の過去の状態を知るための重要な手がかりとなる。2007 年 9 月 14 日(JST)に打ち上げられた日本初の大型月探査衛星「かぐや」搭載の月レーダーサウンダー観測装置(Lunar Radar Sounder experiment: LRS)は、月の地下を数 km に渡って透過することのできる波長の長い電波(5MHz)を高度 100km の月周回軌道から送信し、その反射エコーを観測することによって月表層地下構造観測を行っている¹⁾²⁾。LRS のレーダー方式は FMCW 方式であり、送信波周波数は 200μsec の間に 4MHz から 6MHz まで直線掃引される。レンジ分解能はパルス圧縮処理後、真空中で 75m である。

VHF~HF 帯の電磁波を能動的に発射し、月の表面と地下を観測しようという試みは、1970 年代前半にアポロ 17 号の Apollo Lunar Sounder Experiment (ALSE)によって初めて実施された。この実験では、月表面からの反射による地形計測を行っただけでなく、乾燥したレゴリスやイジェクタなどの表層堆積物を透過して地下約 3km 程度までの地質構造を捉えたことが報告されている³⁾⁴⁾。しかし、軌道 2 周回の一部でしかデータ所得が行われなかったため、極めて限られた地域のもののみである。LRS は、2007 年 11 月以来約 10 か月間の運用で月全面

でのレーダーサウンダー観測を完了した。図 1 に、実際に 2007 年 12 月 30 日 5 時 25 分に観測された波形データならびに FFT 処理によって得られたスペクトルデータを示す。

3. 月表側の海領域における層状構造の発見

これまでに月表側の比較的平坦な“海”領域で集中的にデータ解析が行われ、その結果、月の表側の幾つかの領域で、予想よりも遥かに浅い地下数 100m の深さに溶岩質の層状構造を発見した。レンジ分解能が 1200m だった ALSE では検出不可能な地下構造である。“雨の海”(経度 39.2 緯度 5.6 付近)で観測された地下エコーの事例を図 2 に示す。これら海のエコーは、35 億年前に月表面だったレゴリス層がその後の難度かの溶岩噴出で地下に埋まったものと推定される⁵⁾。

また、月全球における HF 帯電波の地表付近の反射エコー強度分布を作成し(図 3)、海と高地で明確な強度差が存在することを示した。海領域での非一様性、南極エイトケン盆地の磁気異常領域における減衰傾向から、地表付近の反射エコー強度は表面物質の誘電率やラフネスが支配的であることが推定される。

4. 開発の歴史

LRS は、これまで地球電離圏・プラズマ圏電子密度分布の遠隔観測装置として確立された歴史をもつ、プラズマサウンダーを原型としている。電離圏・プラズマ圏における電子プラズマ波動伝搬の特性周波数は LF~HF の周波数領域に入ることから、大型のダイポールアンテナ(全長 40~120m)を衛星より展開して、100kHz より 10MHz に至る周波数帯でのプラズマサウンダー観測が行われてきた。我が国の衛星搭載用レーダサウンダーの開発実績が積み重ねられ、特に火星探査衛星のぞみ搭載プラズマサウンダーの開発は、かぐや搭載 LRS と技術的に共通する部分が多く、実現に大きく貢献した。

5. おわりに

今回のかぐやの観測の成功によって将来の月・惑星・太陽系小天体探査においても、レーダーサウンダー装置は有力な地下探査観測手段となっていくものと期待されている。

参考文献

- 1) Ono, T., H. Oya, Earth Planets Space, 52, 629-637, (2000).
- 2) Ono, T., A. Kumamoto, Y. Yamaguchi, A. Yamaji, T. Kobayashi, Y. Kasahara, H. Oya, Earth Planets Space, 60, 321-332, (2008).
- 3) Phillips, R.J., G.F. Adams, W.E. Brown Jr., R.E. Eggleton, P.L. Jackson, R. Jordan, W.I. Linlor, W.J. Peeples, L.J. Porcello, J. Ryu, G. Schaber, W.R. Sill, T.W. Thompson, S.H. Ward, J.S. Zelenka, NASA Spec. Publ., 330, 22-1 - 22-26, (1973).
- 4) Peeples, W.J., W.R. Sill, W.M. Thomas, S.H. Ward, R.J. Phillips, R.L. Jordan, E.A. Abbott, T.J. Killpack, Jour. Geophys. Res., 83, B7, 3459-3468, (1978).
- 5) Ono, T., A. Kumamoto, H. Nakagawa, Y. Yamaguchi, S. Oshigami, A. Yamaji, T. Kobayashi, Y. Kasahara, H. Oya, Science, submitted.

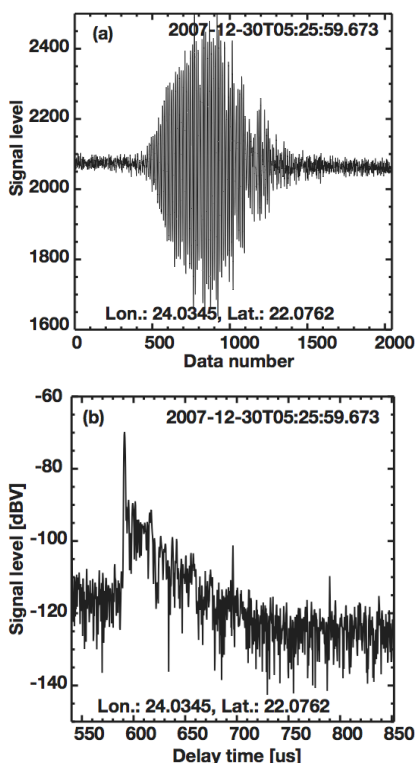


図 1:(a) An example of LRS receiver waveform observed at 05:25:59(UT), on Dec. 30,2007.(b) Intensity-time diagram (A-scan data) of LRS data after applying the Fourier transformation on the waveform data of plate (a).

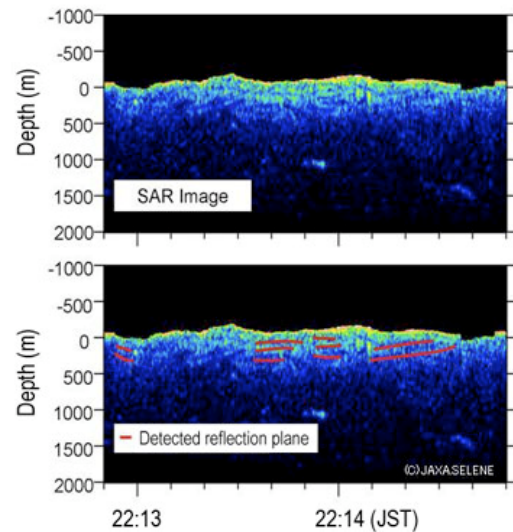


図 2:The synthetic aperture radar (SAR) image and strata identification of the northeastern part of the Mare Imbrium near the Kirch crater (39.2N, 5.6W, 11 km dia.) retrieved from the LRS sounder mode observation data on November 21, 2007, from 22:13 to 22:15.

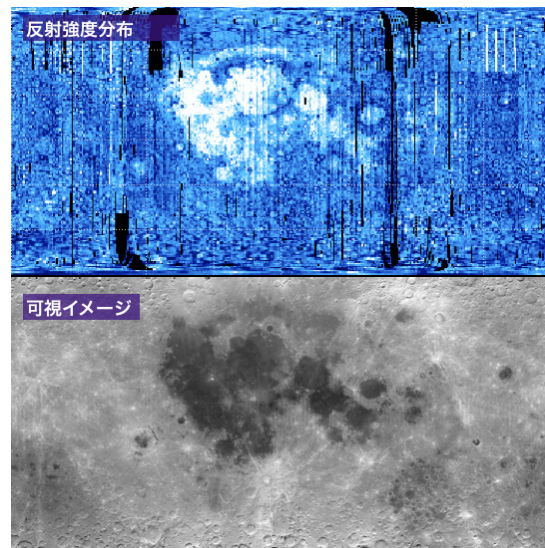


図 3: Global map of the surface echo power (upper panel), and visible image (bottom panel).