

SELENE 搭載レーザ高度計 (LALT) による月地形観測

Topographic observation of the Moon by Laser altimeter (LALT) on board SELENE

荒木博志、田澤誠一、坪川恒也、浅利一善、野田寛大、劉慶会、河野宣之
Hiroshi Araki, Seiichi Tazawa, Tsuneya Tsubokawa, Kazuyoshi Asari, Hirotomo Noda, Liu qinghui, and
Nobuyuki Kawano

国立天文台 水沢観測所

National Astronomical Observatory, Mizusawa Astrogeodynamics Observatory

Abstract

We have developed laser altimeter (LALT) for Japanese lunar polar orbiter mission SELENE to be launched in 2006. The purpose of the mission is to refine lunar figure and topographic model constructed by Clementine-LIDAR mission. LALT will measure lunar global topography with the range accuracy of $\pm 5\text{m}$ with 1 or 2 km foot print spacing in the equatorial region for 1 year mission period. Manufacture of the flight model of LALT had been completed by the end of March 2003. The first integration test with SELENE main orbiter has been carried out successfully for checking specifications and functions of LALT till March 2004.

1、はじめに

月表層の全面探査を目的とした SELENE 月探査周回衛星(2006 年度打上げ予定)ではさまざまなリモートセンシング用機器が搭載され、その 1 つとして詳細地形探査を目的としたレーザ高度計(LALT)の開発が最終段階に達している。LALT は SELENE のサブ衛星 RSTAR、VSTAR による重力場計測ミッションとともに国立天文台の測月学研究グループ(RISE)を中心に開発が進められている。2003 年 3 月にフライトモデル(FM) が完成し、その後約 1 年間にわたり一次噛み合せ試験が実施され所期の機能性能を持つことを確認することができた。LALT の目標は、現状の月形状・月地形モデルを精度、データ密度、カバー領域のいずれも大きく改良したデータを取得することである。このデータは月地形学、月内部構造、さらには将来の月探査計画立案など、月科学・探査の基礎として重要な情報となることが期待されている。

2、LALT による月地形計測、サイエンス

LALT はレーザ測距装置であり、レーザパルスを発射して往復時間を自前のカウンターで計測することでターゲットまでの距離を測定する。Nd-YAG レーザを用い繰り返し頻度は1Hz、計測精度は $\pm 5\text{m}$ である。搭載する SELENE 主衛星は月の極軌道を高度 100km で約 1 年間周回するため、月全面の地形データを詳細に取得することができる。得られた測距データを月形状・地形のデータに変換するには衛星の位置(軌道)と姿勢(測距方向)のデータを利用する。測距性能を表1に米国の Clementine-LIDAR(1994)ミッションと比較して示す。Clementine-LIDAR の結果は GLTM-2 という月地形モデルにまとめられ、現在の標準的なモデルとして利用されているものの、機器の精度は 40m で、軌道の制限のために緯度 80 度以上の高緯度は計測できず、ミッション期間の制限のため測距間隔も赤道域で約 60km と荒い。一方 LALT では SELENE の極軌道と月の自転運動のため赤道域におけるデータの空間分解能は 2~3km、極域では平均約 100m に達している。データ量で見ると Clementine-LIDAR より 2 桁以上上回り、高分解能地形図の作成だけでなく比較的低次の形状決定に非常に有効であることが期待される。極域の地形データが初めてかつ高分解能で得られるのも特徴である。我々は LALT で得られる高精度・高分解能の地形データを用いて GLTM-2 で 72 次までしか行われていなかった地形の球面調和展開を 360 次まで行う予定である。低次地形では月起源・進化の議論の基礎となる月重心-月形状中心の約 2km のずれを高精度決定するほか、誤差の大きい極半径の再決定などを測月学の基礎となるモデル構築を行う。高次地形では地形カメラ画像との比較などのほか、RISEグループが SELENE で担当している月重力場高精度計測とともに解析する地形モデルの構築を行い月内部構造モデルの再決定の一翼を担う。さらに氷の存在など将来の月探査の有力なターゲットでもある極域の詳細地形図の作成も実施する。極域の地形図は星食データ解析にも有効であると期待されている。

Table 1 Comparison of range performance of SELENE-LALT with Clementine-LIDAR

	Clementine-LIDAR	SELENE-LALT
Accuracy	~40m	~5m
Along track	≥20km	~1.6km
Cross track	~60km(equator)	~2km(equator)
Footprint size	≥200m	~30m
Observable region	-79° ~81° (latitude)	-90° ~90° (latitude)
Num. of Obs.	72548	≥3150000

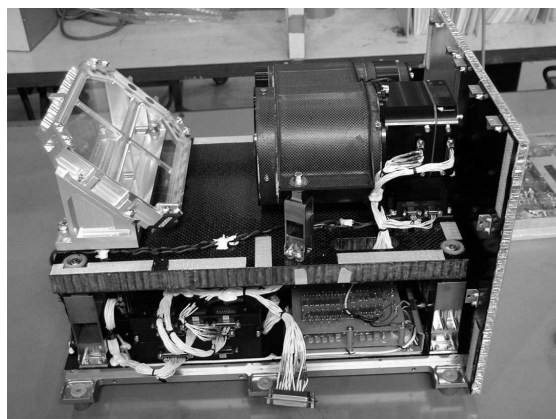


Fig. 1 LALT-TR without cover. Laser collimator/ telescope unit and beam bending mirror are on the 2nd floor optical bench.

3、LALT の構成・構造

LALT は LD 励起 Q スイッチトリガー方式 Nd:YAG レーザ(波長 1064nm)を採用し、パルス幅は 15nsec、パルスエネルギーは 100mJ、繰り返し頻度は 1Hz である。Q スイッチは LiNbO₃ ポッケルスセルを使用している。ビーム拡散幅は口径 7.5cm のガリレオ式屈折望遠鏡を通して 0.3mrad であり月面上でフットプリントサイズが 30m になる。月面からのリターンパルスは口径 10cm のカセグレン型反射望遠鏡を用いる。受光素子は Si-APD であり、直前に幅 10nm のバンドパスフィルターを取り付け高 S/N 観測を実現している。LALT はレーザ光送受信やアナログ信号処理を担う LALT-TR とデータ処理・コマンド送受信を担う LALT-E より構成される。LALT-TR は衛星構体表面に取り付けられ、サイズは 360mm×450mm×408mm、LALT-E は 241mm×301mm×88mm である。重量は CFRP を光学ベンチに導入するなど軽量化を図り、計 20.0kg 以下に抑えられている。LALT-TR は図1に示すように、高压電源部、Q スイッチドライバ、レーザダイオードドライバを 1 階に、送受信望遠鏡(鏡筒一体構造)、ビーム反射ミラー、リターンパルス信号処理部を 2 階に乗せた 2 階建ての構造をとり、スペースを有効活用している。

4、開発状況

レーザ高度計のフライトモデル(FM)製作は平成 14 年(2003) 3 月に終了し、平成 15 年度は SELENE 衛星本体との機械的・電氣的インターフェース、機器同士の電氣的干渉、機器動作試験などを確認するため、SELENE 噛み合せ試験及びそれに付属する諸試験が行われ、LALT の基本性能が出ていることを確認した。合わせて QL の開発も行われ動作確認まで行うことができた。今年(2004)秋からのインテグレーション試験に備え、現在いくつかの要改修項目を実施中である。また、データ処理・解析については、SELENE 地上データ処理・解析システムの仕様が確定したのに伴い LALT の公開用データについても概要が決定し、ソフトウェアの検討・開発が進められているところである。

参考文献

- Tsubokawa, K., Araki, H., Tazawa, S., Asari, K., and Kawano, N.: 2002, Development of Laser Altimeter (LALT) on board SELENE Orbiter, *Proc. of the 23rd International Symposium on Space Technology and Science*, 1986-1991.
- Smith, D. E., M. T. Zuber, G. A. Newmann, and F. G. Lemoine, "Topography of the Moon from the Clementine lidar", *J. Geophys. Res.*, **102**, No. E1, 1591-1611, January 25, 1997.