

ISS 搭載植生ライダー (MOLI) の開発

三橋 怜¹, 室岡 純平¹, 境澤 大亮¹, 今井 正¹, 木村 俊義¹,
浅井 和弘², 水谷 耕平³

¹宇宙航空研究開発機構 (〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1)

²東北工業大学 (〒982-8577 仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

³情報通信研究機構 (〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1)

Development of Vegetation Lidar (MOLI)

Rei MITSUHASHI¹, Jumpei MUROOKA¹, Daisuke SAKAIZAWA¹, Tadashi IMAI¹, Toshiyoshi KIMURA¹,
Kazuhiro ASAI² and Kohei MIZUTANI³

¹Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1 Sengen, Tsukuba-city, Ibaraki, 305-8505

²Tohoku Institute of Technology, 35-1Yagiyama Kasumi-cho, Taihaku-ku, Sendai 982-8577

³National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 Nukui-kita, Koganei, Tokyo 184-8795

Abstract: Knowledge of precise forest biomass is important to evaluate its contribution to global carbon cycle. Since forest biomass correlates with forest canopy height, global measurements of canopy height enable us to understand the global carbon cycle much precisely. Space-borne lidar has a unique capability for measuring forest canopy height. A vegetation lidar named “Multi-footprint Observation Lidar and Imager (MOLI)” which is designed to measure precise canopy height has been studied by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) in cooperation with some researchers. We have been conducting a laser lifetime test for MOLI and confirmed that the laser has been operating well over 1 year. Also, we carried out the forest canopy height observation experiment using an airborne lidar. This paper show the overview of MOLI and these test.

Key Words: Vegetation Lidar, the International Space Station (ISS), Canopy height

1. はじめに

現在、人為起源の二酸化炭素排出量管理の必要性が国際的に指摘されている。2015年に開催された COP21 において採択されたパリ協定の発効によって途上国も含む各国は 2020 年から二酸化炭素排出量の申告を義務化された。これを実施するにあたり、人為起源の二酸化炭素排出量の評価精度を上げる為には、大気中二酸化炭素量を測った上で、森林や海洋等による吸収量を正確に評価する必要があるが、現状では森林の吸収及び蓄積源評価の誤差が最も大きいとされている¹⁾。陸域の炭素蓄積量の指標となるものは森林バイオマスであり、この値の正確な測定方法は、現地にて直接樹木の乾燥重量を測る方法である。この方法では直接樹木を切り倒して測定する必要があるため、広域データを取得するには限界がある。一方、これまでの研究により森林バイオマスと樹冠高の間には一定の相関関係が認められており、ICESat²⁾を用いた先行事例では全球の樹冠高マップが作成され、バイオマス研究において利用価値があることが示されている³⁾。

JAXA では、外部有識者らと共に、Multi-footprint Observation Lidar and Imager (MOLI)と呼んでいる植生ライダーの研究開発を行っている。このミッションの主な目的は、バイオマス推定に有効なパラメータである樹冠高を宇宙から高精度で広域に測定することである。本稿では、植生ライダーMOLIの概要と、実現に向けた実証実験について報告する。

2. 植生ライダーMOLI

植生ライダーMOLIは、国際宇宙ステーション (ISS) の曝露部に搭載予定で、パルス駆動のレーザーを用いて出射レーザーパルスの往復時間を測定し、その波形情報を解析することで樹冠高の情報を取得する。ICESatによる樹高計測において、1 フットプリント照射領域の地盤面傾斜が計測誤差の主要因であると報告されており⁴⁾、我々は Fig 1. に示す通り、2本のレーザーを出射することで2つの領域を2つの検出器を用いて同時に計測し、計測結果から算出された各フットプリントの標高から地盤面の傾斜を推定して樹冠高を補正する高精度な測定方法を検討している。

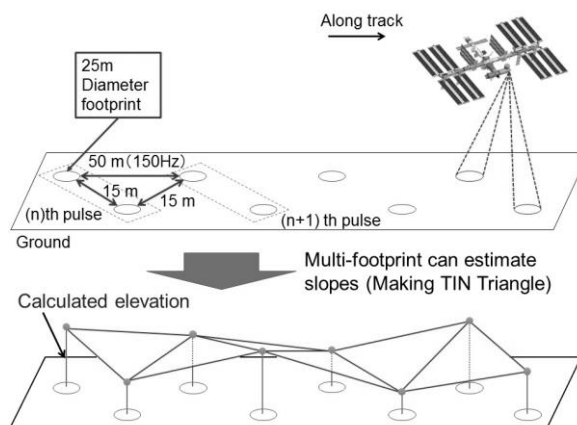


Fig1. MOLI's sampling design.

3. MOLI 実現に向けた実証試験

3.1 レーザ長寿命化試験

宇宙などの高真空環境下においてレーザの高輝度光により光学薄膜上に分子状コンタミネーション (LIC; Laser Induced Contamination) が発生し、光学素子が焼損する為にレーザの寿命が設計寿命に比べて大幅に短くなる現象が ICESat 衛星等で報告されている。この現象への対策として、コンタミネーション発生を抑制するためレーザを与圧容器に封入する対策が行われている。

JAXA でも高出力パルスレーザの長寿命化に係る研究に取り組んでおり、内製で衛星搭載用高出力パルスレーザ (6W クラス) を試作し、真空中での寿命試験を実施した。Table 1. に試作したレーザの諸元を示す。真空中に配置した試作レーザの連続照射を 2015 年 12 月より実施し、2017 年 7 月までレーザ出力が急激に減衰することなく動作した。試験開始から試験終了までのレーザ出力、ビーム品質及びパルスレーザのショット数を Fig 2. に示す。施設内の停電等により一部データが欠損しているが、MOLI ミッションで想定している 40 億ショット強を超える 60 億ショットを達成した。

Table 1. Main specification of MOLI's laser transmitter

Item	Value
Laser wavelength	1064 nm
Laser power	6W (average)
Laser energy	40mJ
Laser PRF	150Hz
Laser pulse width	7 ns
Pressurized	About 1atm

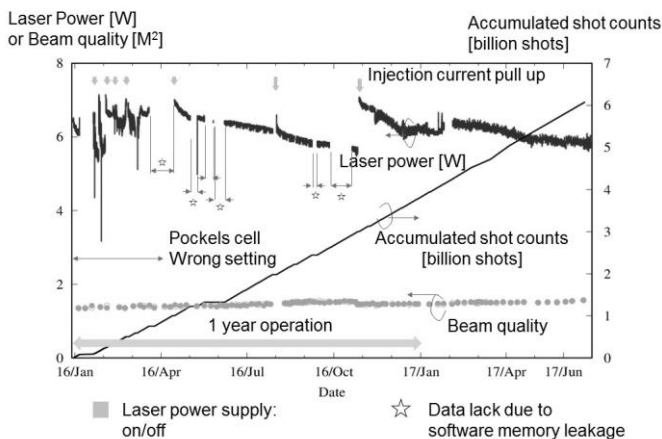


Fig 2. Result of long-term vacuum test for laser life-time estimation.

3.2 航空機観測実験

森林を観測したライダー波形について、S/N が 10 を下回ると、樹高推定精度が悪化する傾向が示されている⁴⁾。我々はこの値を超えるよう MOLI のシステム設計を行い、ライダー受信望遠鏡直径の設計値や送信レーザ出力値などのパラ

メータをライダー S/N 計算式に用いて S/N = 13.5 の見積もりを得た。このシステム設計で使用したライダー S/N 計算式による検討の妥当性を確認する目的として、MOLI の観測コンフィギュレーションを模擬した航空機観測実証実験を実施した。

我々はシステム設計の検討に使用した S/N 計算式に航空機観測実験におけるパラメータを代入した場合の S/N を計算した。また、実際の観測で得られた波形から S/N を計算し、結果を Table 2. に示す。Fig 3. に実際に観測した波形と S/N の一例を示す。この結果から航空機実験において S/N 計算式を用いて求めた S/N と実際の観測波形から得られた S/N が同等であり、航空機観測実験をスケールアップした MOLI のシステム設計検討で使用した S/N 計算が妥当であることを確認した。

マルチフットプリントの有効性については、ごく一部のデータで確認しており、今後は観測したデータ内すべてにおける地形や植生の違いに対してどの様に適応するか検討を進める。

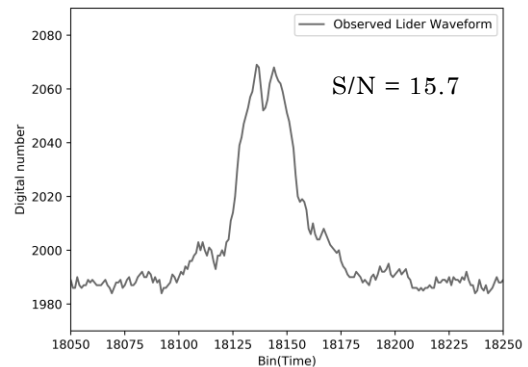


Fig 3. Observed LIDAR wave

Table 2. Result of S/N calculation

Item	Value
S/N with an estimate of MOLI	13.5
S/N calculated from parameters of the airborne lidar experiment	15.0
S/N calculated from waveform of the airborne lidar experiment	17.8

参考文献

- 1) IPCC, "Working Group I Contribution To the Ipcc Fifth Assessment Report Climate Change 2013 : the Physical Science Basis"(2013)
- 2) B. E. Schutz, H. J. Zwally, C. A. Shuman, D. Hancock, and J. P. DiMarzio, "Overview of the ICESat mission" Geophysical Research Letters. (2005)
- 3) M. A. Lefsky, "A global forest canopy height map from the moderate resolution imaging spectroradiometer and the geoscience laser altimeter system" Geophys. Res. Lett.,(2010)
- 4) M. Hayashi, N. Saigusa, H. Oguma, and Y. Yamagata, "Forest canopy height estimation using ICESat/GLAS data and error factor analysis in Hokkaido, Japan" ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 81, (2013) p. 12-18,