

# 植生ライダーによる地表面計測

水谷 耕平<sup>1</sup>, 石井 昌憲<sup>1</sup>, 青木 誠<sup>1</sup>, 落合 啓<sup>1</sup>, 大塚 涼平<sup>2</sup>, 浅井和弘<sup>3</sup>, 佐藤 篤<sup>3</sup>, 今井 正<sup>4</sup>, 境澤大亮<sup>4</sup>, 室岡 純平<sup>4</sup>, 三橋 怜<sup>4</sup>, 木村 俊義<sup>4</sup>, 林 真智<sup>4</sup>, 澤田 義人<sup>5</sup>, 梶原 康司<sup>6</sup>, 本多 嘉明<sup>6</sup>, 遠藤 貴宏<sup>7</sup>, 下田陽久<sup>8</sup>

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

<sup>2</sup>首都大学東京 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

<sup>3</sup>東北工業大学 (〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

<sup>4</sup>宇宙航空研究開発機構 (〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1)

<sup>5</sup>国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

<sup>6</sup>千葉大学環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

<sup>7</sup>リモート・センシング技術センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3 丁目 17-1 虎ノ門ビル 2 階)

<sup>8</sup>東海大学情報技術センター (〒151-0063 東京都渋谷区富ヶ谷 2-28-4)

## Ground surface measurements with a vegetation lidar

Kohei MIZUTANI<sup>1</sup>, Shoken ISHII<sup>1</sup>, Makoto AOKI<sup>1</sup>, Satoshi OCHIAI<sup>1</sup>, Ryohei OTSUKA<sup>2</sup>, Kazuhiro ASAI<sup>3</sup>, Atsushi SATO<sup>3</sup>, Tadashi IMAI<sup>4</sup>, Daisuke SAKAIZAWA<sup>4</sup>, Junpei MUROOKA<sup>4</sup>, Rei MITSUHASHI<sup>4</sup>, Toshiyoshi KIMURA<sup>4</sup>, Masato HAYASHI<sup>4</sup>, Yoshito SAWADA<sup>5</sup>, Koji KAJIWARA<sup>6</sup>, Yoshiaki HONDA<sup>6</sup>, Takahiro ENDO<sup>7</sup>, and Haruhisa SHIMODA<sup>8</sup>

<sup>1</sup> National Institute of Information and Communications Technology, 4-2-1 NukuiKita, Koganei, Tokyo 184-8795

<sup>2</sup> Tokyo Metropolitan University, 6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo 191-0065

<sup>3</sup> Tohoku Institute of Technology, 35-1 Yagiyama-Kasumi, Taihaku, Sendai, Miyagi 982-8577

<sup>4</sup> Japan Aerospace Exploration Agency, 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki, 305-8505

<sup>5</sup> National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki, 305-8506

<sup>6</sup> Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522

<sup>7</sup> Remote Sensing Technology Center of Japan, Toranomon Bldg.2F, 3-17-1 Toranomon, Minato-ku, Tokyo 105-0001

<sup>8</sup> Tokai University Research & Information Center, 2-28-4 Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo 151-0063

Air-borne vegetation lidar experiment was implemented and many return signals were obtained from forest region, town area and bare field. The output beam of Nd:YAG laser at 1064nm and 532nm was expanded to about 0.6 degree. Each of 4 circular Si-APD detectors for 1064nm had a FOV of 0.21 degree with separation of 0.23 degree. The FOV of each detector corresponded to 24m at an observation from an altitude of 6500m. The system included detectors for 532nm P and S polarizations. The FOV of 532nm Si-APD detectors was 0.5 degree. 1064nm data showed wide varieties of full-waveform signals of ground objects.

**Key Words:** lidar, altimeter, canopy, elevation

## 1. はじめに

森林における炭素蓄積量の推定や森林保護に資するため宇宙ステーション搭載植生ライダー (MOLI) によるグローバルな樹高測定が計画されている。MOLI では近接した地点で得られる地盤高度の違いから地面傾斜を推定し、樹高推定精度を改良できると考えている。そこで、衛星観測を模擬するための航空機搭載用の植生ライダーを開発し、航空機実験を行った。ここでは装置と実験の様、得られた反射信号の例を紹介する。

## 2. 植生ライダー装置の概要

航空機搭載植生ライダー (Fig.1) では 20Hz の Nd:YAG パルスレーザーの基本波と 2 倍波を広角送信する。6500m の高度から観測した場合に地上面ではビームが約 60m に広がる。反射光は 10 cm Φ の屈折望遠鏡で集光し、1064nm では 4 方に配置した 4 素子のアバランシェホトダイオード (APD) で検出する。送信ビーム内に約 24m の検出視野が

4 個入る。532nm では偏光で分離された光が各々約 60m の視野で APD により検出される。APD からの波形信号は 500MHz で A/D 変換され、サンプリングの距離分解能は 0.3m になる。1064nm 検出器の視野間距離は約 25m になり地面反射が検出されれば、傾きが 4 個の検出器のタイミングの違いから計算できるはずである。また、1 素子で 60m を覆うよりも、分割することだけでも地面及び樹冠高を緻密に精度よく測ることが可能である。



Fig.1 air-borne set-up of vegetation lidar

### 3. 地上実験

航空機実験に先立ち 2016 年 9 月 30 日に山梨県上野原市四方津において地上実験を行った。実験では、距離 230m, 4200m, 8200m にある山に向かってレーザ光を照射し、静止状態及びスキャンしながらの測定を行った。この実験では約 8200m の距離にある山に対し 100%出力(50mJ/p)での実験を行ったが、装置に大きな問題はなく、傾斜面からの森林の反射を計測することができた(Fig.2)。

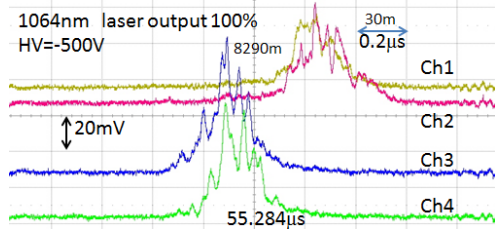


Fig.2 4 channel APD outputs to time

### 4. 航空機搭載実験

2016 年 11 月 14 日から 18 日にかけて小牧空港発着で KingAir200T による航空機搭載実験を行った。14 日の社検フライトと 15 日の官検フライトに続き、16 日午前テストフライト、16 日午後から 18 日まで 3 日連続で観測フライトを行った。観測フライトでは志摩、室戸、下呂、恵那、三重、伊豆等の森林を含む地表を 5-10%出力で計測した。社検フライトの最初に航空機の窓からのレーザ光反射により検出器の 1 つを壊したため、観測フライトではレーザ送信方向を調整し、反射光の望遠鏡への入射を減らし、3 素子で計測を行うこととなった。3 素子でも地面の傾きは推定できるはずである。航空機の窓に 1 画面/s のカメラを設置し、このカメラ画像と航空機位置姿勢情報、さらにライダー信号を考慮して計測位置を約 5m 程度以内で推定した。Fig.3 は室戸で位置情報を得るために使ったデータ例で、この様な同定を多数行い、航空機からライダーの視野がどの方向を向いているかを決定し、その後は航空機位置姿勢情報から計算により計測位置を算出するようにした。

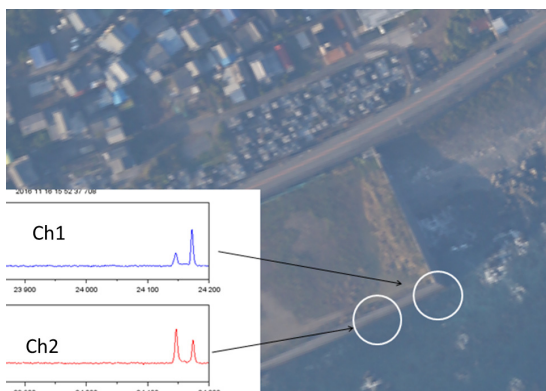


Fig.3 Measured position and signal

### 5. 森林からの反射信号

Fig.4 は室戸の木に覆われた小さな谷からの 3 素子の出力を示している。横軸は最小目盛りが 3m の高度に対応する。地面の傾きや木の分布が推定できそうなデータが得られている。また、

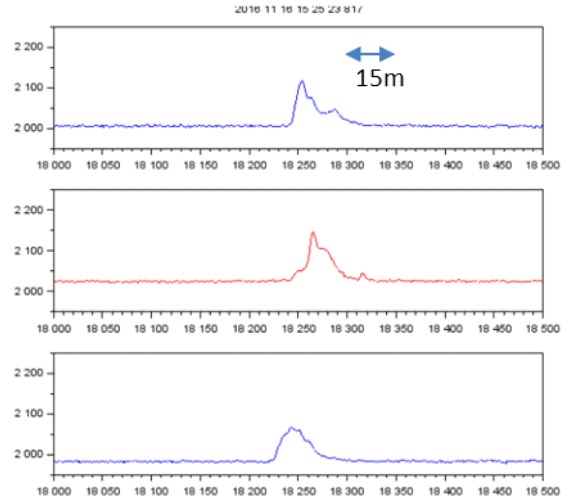


Fig.4 A/D value to data number (altitude)

Fig.5 には薄雲の状況下でのデータを示した。この場合は見やすいように高度方向のデータを 11 点(3.3m)で移動平均してある。図に示したデータは図中のライダーデータのすぐ右側の小山に雲

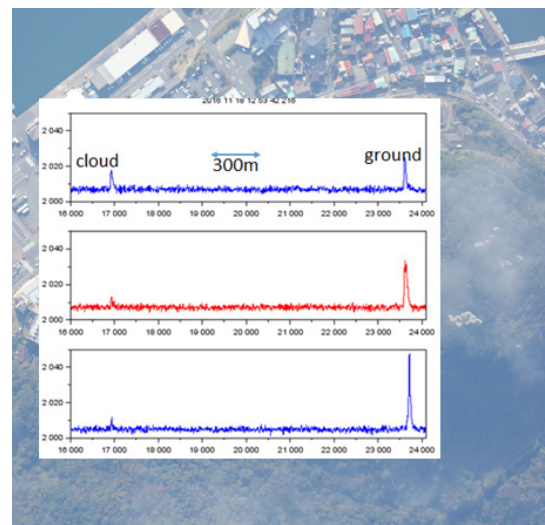


Fig.5 A/D value to data number (altitude) and an image of the observed area.

がかかっている場所での測定である。ライダーにより植生とともに雲の分布についてもある程度の情報が得られることが示された。

### 6. むすび

植生ライダーによる航空機実験を行い、地表面の様々な対象からの反射信号と雲からの信号を受信することができた。今後は、地面高度の推定と樹冠高度推定から精度の良い樹高推定ができるようアルゴリズムを開発する予定である。