

# 日中における植物蛍光と周辺大気ラマン散乱の同期計測が可能な 分光型ライダー

齊藤 保典<sup>1</sup>, 土井 光<sup>2</sup>, 宇都宮 成弥<sup>3</sup>, 切中 拓矢<sup>3</sup>, 菅野 悠真<sup>2</sup>, 河合 恭之介<sup>2</sup>,  
細川 哲也<sup>2</sup>, 大谷 武志<sup>4</sup>, 椎名 達雄<sup>5</sup>, 矢吹正教<sup>6</sup>, 平藤 雅之<sup>7</sup>

<sup>1</sup>信州大学学術研究院工学系, <sup>2</sup>信州大学工学部, <sup>3</sup>信州大学大学院総合理工学研究科, <sup>4</sup>信州大学技術部,  
(〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

<sup>5</sup>千葉大学大学院融合理工学府 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

<sup>6</sup>京都大学生存圏研究所 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

<sup>7</sup>東京大学大学院農学生命科学研究科 (〒188-0002 東京都西東京市緑町 1-1-1)

## Spectroscopic (SPEC) Lidar Possible Synchronous Measurement of Plant Fluorescence and Raman Signals of the Surrounding Atmospheric in day time

Yasunori SAITO<sup>1</sup>, Akira DOI<sup>2</sup>, Seiya UTSUNOMIYA<sup>3</sup>, Takuya KIRINAKA<sup>3</sup>, Yuma KANNO<sup>2</sup>,  
Tetsuya HOSOKAWA<sup>2</sup>, Takeshi Otani<sup>4</sup>, Tatsuo Shiina<sup>5</sup>, Masanori YABUKI<sup>6</sup>, Masayuki HIRAFUJI<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Institute of Engineering, Academic Assembly, <sup>2</sup>Faculty of Engineering, <sup>3</sup>Graduate School of Science and Technology,

<sup>4</sup>Technical Department, Faculty of Engineering, Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Inageku, Chiba 263-8522

<sup>5</sup>Graduate School of Science and Engineering, Chiba Univ., 1-33 Yayoicho, Nagano, Nagano 380-8553

<sup>6</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ., Gokesho, Uji, Kyoto 611-0011

<sup>7</sup>Graduate School of Agricultural and Life Science, Tokyo Univ., 1-1-1 Midoricho, Nishitokyo, Tokyo 188-0002

**Abstract:** We developed a spectroscopic (SPEC) lidar which is possible to measure plant fluorescence and Raman signals of the surrounding atmosphere. Synchronized detection technique that varies a gate open (delay) time and a gate time-width of CCD detector in measurement targets and conditions was powerful especially for daytime measurement of them. For measurement of the plant fluorescence, they were adjusted to fit the location and the size of the plant. Raman signals of N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> of the atmosphere were measured by setting larger gate time-width of the detector than that of the fluorescence measurement, because Raman signals were smaller than the plant fluorescence. Aerosol fluorescence was observed in the event of an inversion. In night time operation, we could also get water-vapor Raman and N<sub>2</sub> Anti-Stokes-Raman signals.

**Key Words:** Spectroscopic lidar, plant fluorescence, atmospheric Raman signal, aerosol fluorescence

## 1. はじめに

地球環境は多くの構成要素が絡み合っていることから、できるだけ多くの要素をできれば同じ環境作用因子で統一的に評価できることが望ましい。

本報告では、植物生育と生育に係る大気条件の取得を目指して開発を行っている、分光型 (SPEC) ライダーについての現状を紹介する。

## 2. 手法論

### 2.1 基本概念

地球が現在の環境形態をとるまでには、太陽からの光エネルギーが強くなってきたことは疑いがない。そこで本研究では、光を環境作用因子とし、その反応スペクトルを取得可能な分光型ライダーを検討する。

ライダーの計測対象を植物と大気とし、両者の関わりについての時間差のない情報取得を試みる。具体的には生育情報は植物蛍光により、また生育に係る大気環境情報は大気分子からのラマン信号により得る。また植物の本質は光合成活動にあることから、太陽光下の日中でも動作可能な装置の開発を目指す。

### 2.2 同期検出法

CCD 検出器にゲート動作を施し、レーザー照射時間に対応した短い反応時間内に検出を終了する方法で<sup>1)</sup>、計測される太陽背景光の減少を狙う。

植物計測時には、植物生育場所 (距離) に合わせて検出器のゲートを開き計測を開始し、植物の大きさ (広がり) に合わせて計測距離幅をゲート時間幅で設定する。

大気ラマン信号計測時には、植物蛍光強度より小さいことを考慮し、ゲート時間幅は広めに設定

することで長めの計測区間距離での積分による信号増加を狙う。ゲート時間幅に合わせて太陽背景光も多くなるため、実際には両者の信号強度の兼ね合いを見てゲート時間幅を設定する。

### 2.3 分光型ライダー装置

微弱なラマン散信号に対応するため従来の蛍光ライダー<sup>2)</sup>の、望遠鏡から検出部分までの光導入部を微調整可能な精密光学部品で再構築した。主な特性仕様は、レーザーは355nm, 10 mJ, 6 ns, 10 Hz, 望遠鏡直径25 cm, CCD分光検出器(浜松ホトニクスPMA12)である。

### 3. 計測例

実験の様子および配置図等を図1に示す。前方約40mに生育するケヤキ樹木を植物蛍光計測対象とし、ライダーから樹木までの区間を大気観測域と設定した。それぞれの計測区間はCCD検出器のゲート開始とゲート時間幅で決定された。レーザー500パルス積算平均で、レーザー有り・無し(背景光)の計測を行い減算処理を行った。

日中観測例を図2に示す。図2(a)はケヤキ樹木区間の計測結果である。植物の青・緑蛍光と赤・近赤(クロロフィル)蛍光が得られた。図2(b)は大気のみでの計測結果である。エアロゾルによるミー散乱(355 nm), 酸素と窒素のラマン散乱(376 nm, 387 nm)が得られた。計測に必要な時間は(a)(b)全部(背景光計測も含め)約20分であった。植物・大気の完全同時観測とは言えないが、両者の同期観測が実施できた。

冬季の逆転層発生時に見られたエアロゾル蛍光を図3に示す。蛍光400-600nm間積分値は窒素ラマン信号の15倍であった。

大気のみでの夜間観測では、水蒸気ラマン(408 nm)と窒素のアンチストークスラマン(328 nm)も得られた。

### 4. まとめ

環境構成間の相互理解のために、蛍光とラマン散乱計測が可能な分光型ライダーを開発し、野外実験を試みた。同期検出法を用いることで日中においても大気のみでの情報(ラマン)、植物のみの情報(蛍光)を区別して計測できた。水や土壌との関係調査にも適用可能である。

#### 謝辞

研究の一部は千葉大学CEReSおよび京都大学MU観測所の共同利用研究として行われている。

#### 参考文献

- 1) Y. Saito et al., Appl. Opt. **55**, 6727-6734, 2016.
- 2) 宇都宮他, 第37回LSS, P11, 2019.

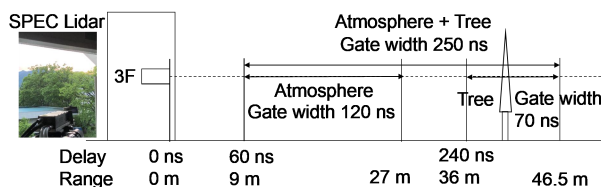


Fig. 1 Experimental configuration and conditions.

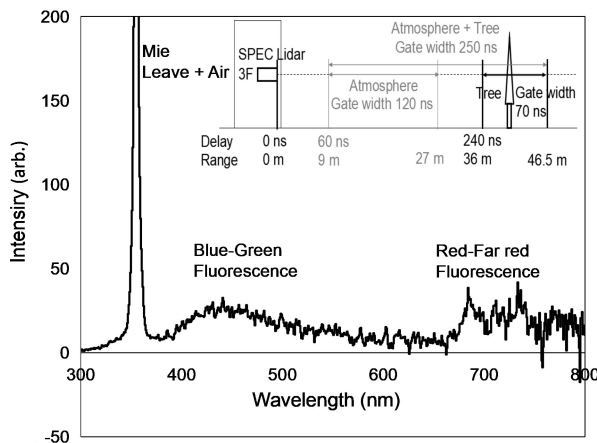


Fig. 2(a) 2020/05/28 11:13: Spectrum of tree fluorescence and Mie-signal.

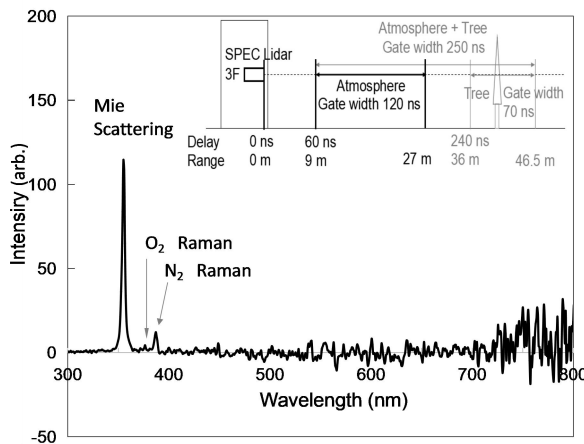


Fig. 2(b) 2020/05/28 11:21: Spectrum of O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> Raman signals and Mie-signal of the Atmosphere.

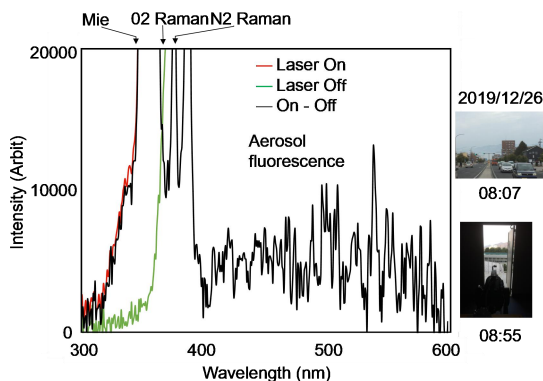


Fig. 3 Aerosol fluorescence in the event of an inversion.