

植物生育評価のためのレーザ誘起蛍光イメージングライダー

Laser-induced Fluorescence Imaging Lidar for Vegetation Monitoring

斉藤 保典、斉藤 竜太、野村 英司、川原 琢也、野村 彰夫

Y. Saito, R. Saito, E. Nomura, T. D. Kawahara and A. Nomura

信州大学工学部

Faculty of Engineering, Shinshu University

Abstract: A laser-induced fluorescence (LIF) imaging lidar system have been developed for terrestrial vegetation monitoring. Through outdoor experiments with the LIF imaging lidar, parameters related to the chlorophyll content of poplar leaves, which were about 60m away from the system, were remotely estimated and visualized. The variation of the intensity ratio at 740nm to 685nm showed a good correspondence with the chlorophyll content in leaves measured by a High Pressure Liquid Chromatography.

1. はじめに

植物は生物圏内の炭素循環や水循環において重要な役割を担っている。本研究では、このような植物の生育や生理機能に関する情報を、生育したままの状態です遠隔的にモニタリングすることの可能な手法として、レーザ誘起蛍光法を従来のライダー計測技術に適用した手法¹⁾を検討している。今回の報告では、光合成活動に直接影響を及ぼす葉内含含有クロロフィル濃度の遠隔的推定・評価方法についての実験結果²⁾を述べる。

2. 手 法

植物生葉はレーザ照射により、生葉内有機物に由来する特有な蛍光（Laser-induced Fluorescence:LIF）を発し、生葉内有機物の変化はそのままLIFスペクトルに反映される。従ってLIFスペクトル変化を調査することで、植物生体内に関する様々な生理情報を得ることが可能である。Fig.1 はポプラ生葉（緑葉）に532nm のパルスレーザを照射した際に生じるLIFスペクトルを示したもので、685nm と740nm 付近に特徴的なスペクトルが生じている。これは生葉内に含まれるクロロフィルからの蛍光であることが確かめられている。このようなLIFスペクトルを調べることで、光合成などの生理機能情報を捕らえることができる。

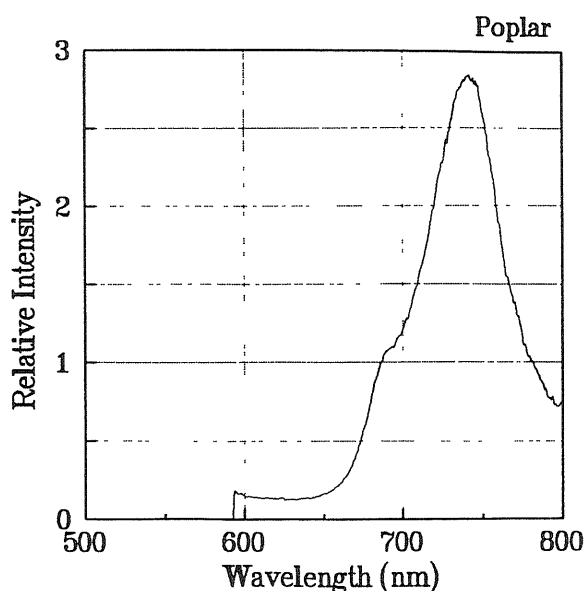


Fig. 1 The LIF spectra of green poplar leaves by a 532nm pulse laser excitation.

また両者の強度比 (F_{740}/F_{685} : F は各波長の強度) は含有クロロフィル濃度と良い相関を示すことが報告されており³⁾、クロロフィル濃度推定用のパラメータとして利用される。

3. L I F イメージングライダーシステム

Fig. 2 にシステム構成を示す。レーザ (532nm, 10Hz, 10ns, 10mJ) を凹レンズで 150mrad. の広がりで、約 60m 離れた自生のポプラ樹木 (高さ 15m、幅 3m) に照射した。蛍光は直径 20mm のレンズで集められ、冷却型 (-30°C) C C D カメラで検出された。レンズ前面には、クロロフィル蛍光に対応する 685nm と 740nm に中心透過波長を有する干渉フィルターが用意され、交換しながらそれぞれの波長に対応した L I F 画像 (900 パルスの積算) を得た。全ての実験は夜間に行われた。

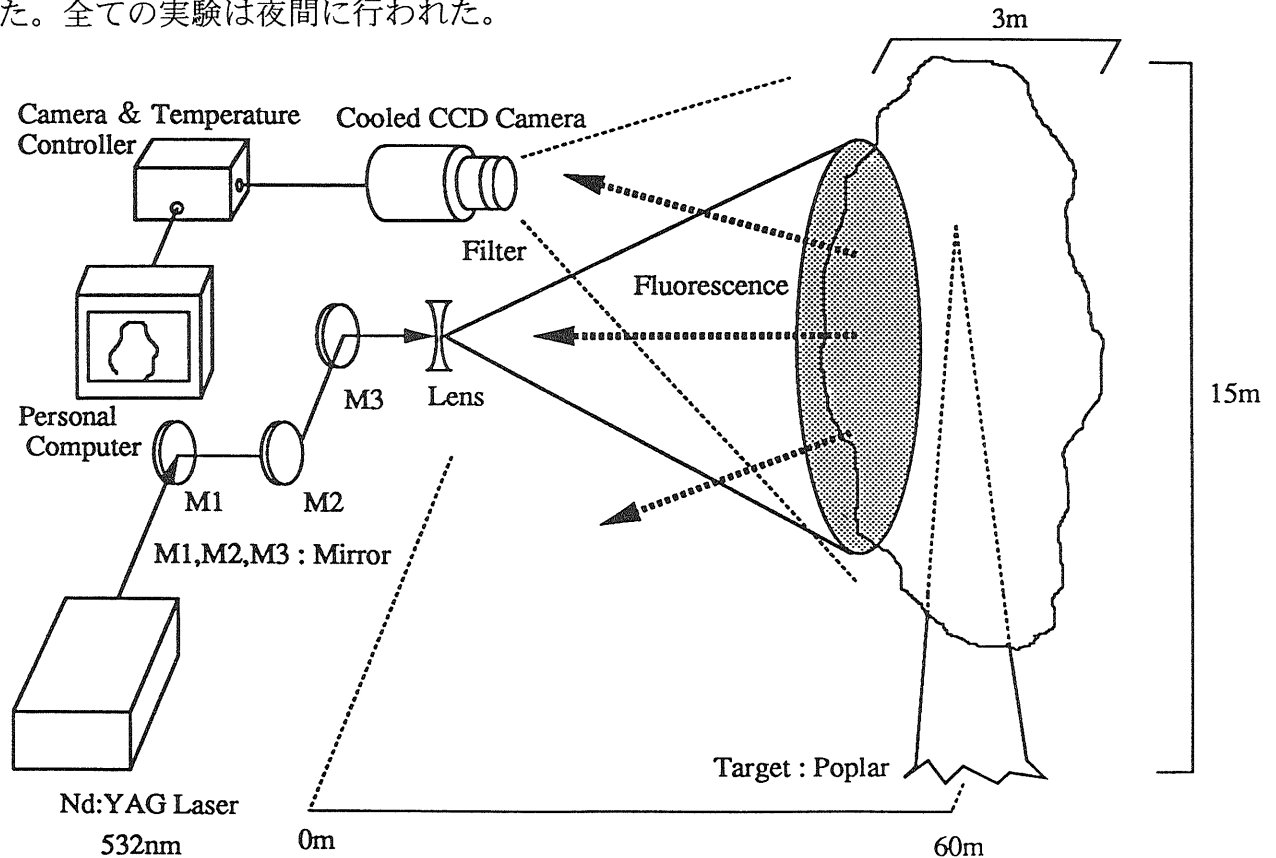


Fig. 2 The LIF imaging lidar system and the experimental configuration.

4. 結果と検討

例として 10 月 29 日の L I F 画像を Fig.3 に示す。当日のポプラの生育状況としては、樹木南側 (画像右側) は黄葉に変化し始めており、北側 (画像左側) は完全に緑葉のままであった。特に 740nm の画像では、黄葉側の強度が緑葉側の強度に比べて減少し、L I F 画像が生育状況を良く反映していることが判る。右側の図は採取したポプラ生葉の L I F スペクトル (室内での実験) であり、緑葉 (実線) は Fig. 1 と同様の形状を示すのに対して、黄葉 (破線) からは 740nm の蛍光は検出されなかった。生葉内有機物が変化したことを示すものである。同様の計測を 9 月から 11 月にかけて行い、強度比 (F_{740}/F_{685}) として表したものが Fig. 4 である。生葉が緑-黄-茶-落葉と変化するにつれて、強度比が減少していく様子が示された。

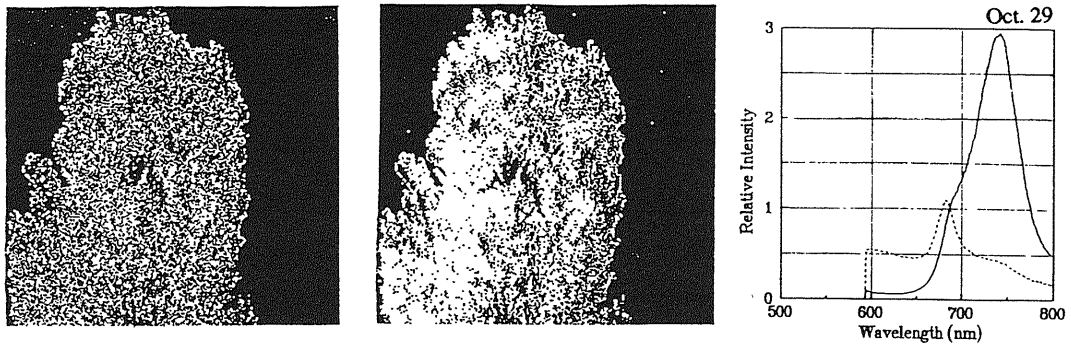


Fig. 3 The LIF image of the poplar. The relative value becomes lower from white to black.

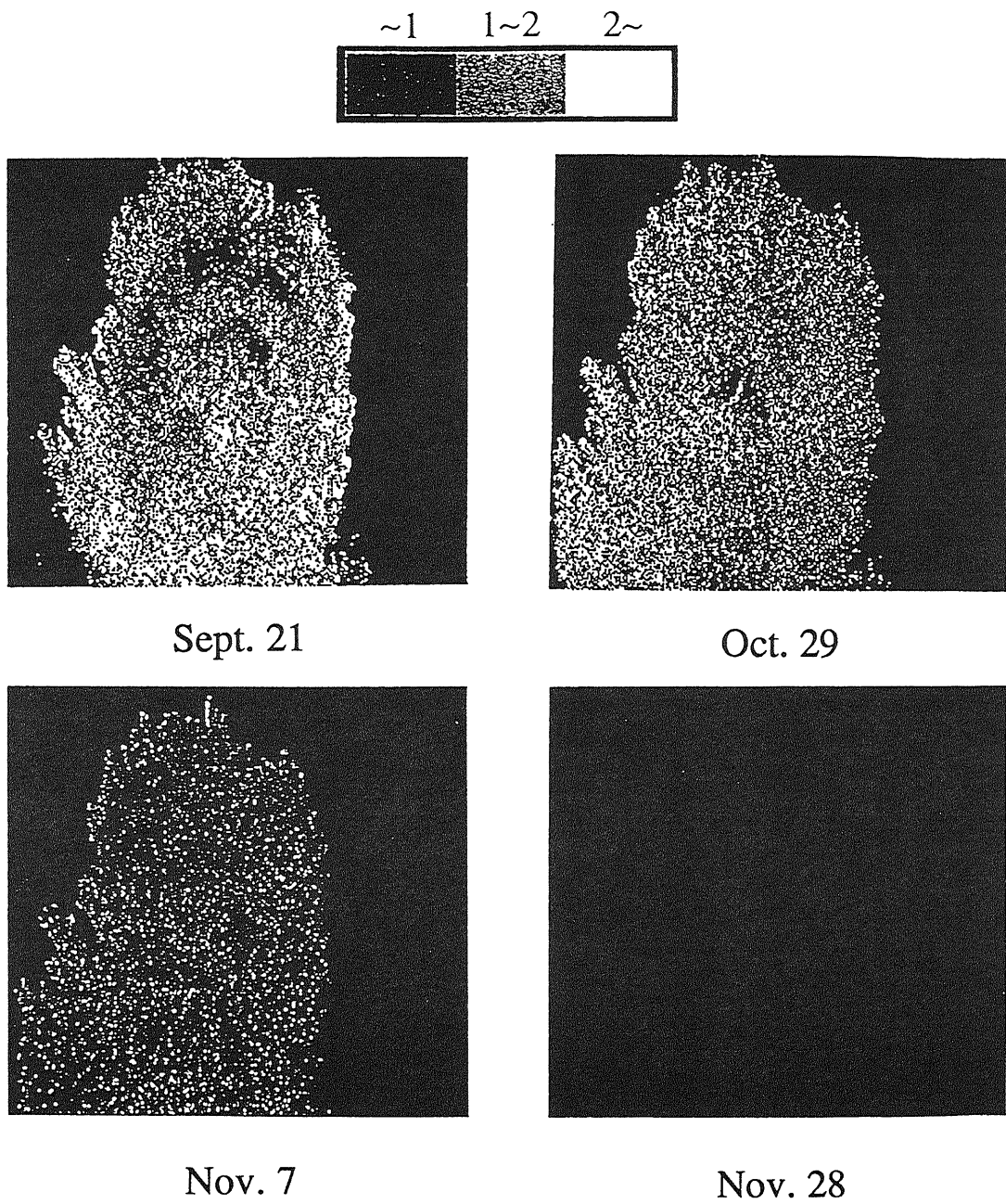


Fig. 4 The ratio image of F740/F685.

クロロフィル濃度との対応を調べるため、高速液体クロマトグラフィー (HPLC) により定量化されたクロロフィル濃度との比較を行った。結果を Fig. 5 に示す。採取した生葉を用いた L I F スペクトルによる強度比とクロロフィル濃度は非常に良い対応を示し、強度比 1 がクロロフィル濃度の約 $1 \mu \text{ mol/g}$ に相当している。L I F 画像の結果では、緑葉時期および緑葉・黄葉混合時期には低めの値を示し、落葉直前期には高めの値を示したが、変化の傾向は一致した。この差は、L I F 画像から求めた強度比は全画素の平均値として与えられたことに由来したため月間の変化が小さめに現れたものと思われる。

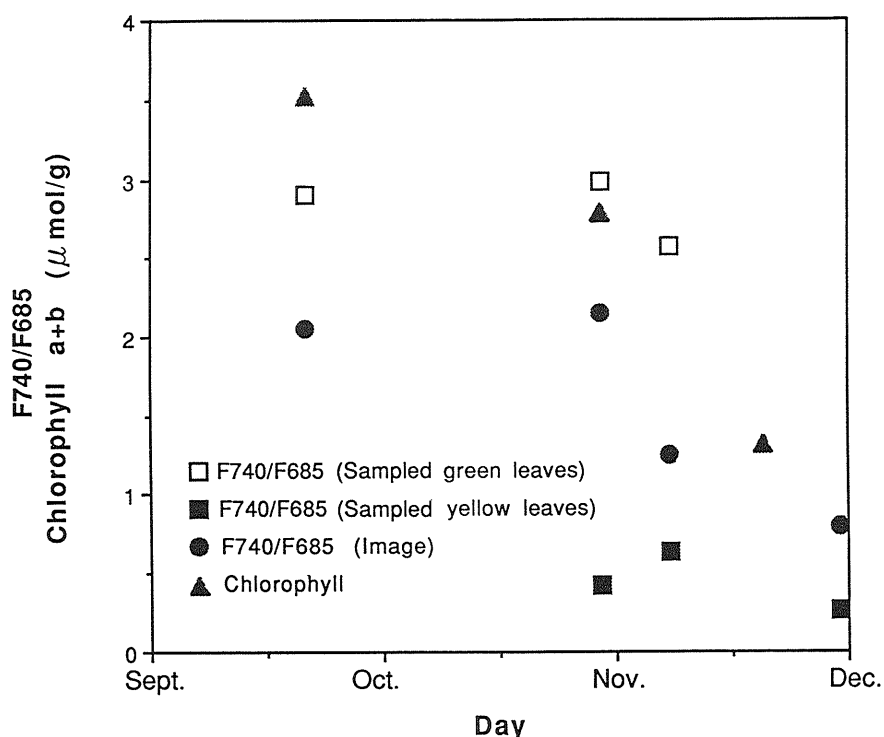


Fig. 5 Comparison of the ratio obtained from the LIF image (in-vivo) and the LIF spectra (sample leaves) with chlorophyll content measured by a HPLC.

5. おわりに

レーザ誘起蛍光法をライダー計測技術に応用して、L I F イメージングライダーを製作した。ポプラの L I F 画像は生育状況を良く反映し、さらにクロロフィル蛍光の 685nm と 740nm の強度比は葉内含含有クロロフィル濃度と非常に良い一致をみた。

これらの結果は、L I F イメージングライダーが、樹木や植物の生育評価や生理機能等に関する情報の in-vivo かつ遠隔的なモニタリングに有効であることを示すものである。

参考文献

- 1) Y. Saito et al., Advances in Atmospheric Remote Sensing with Lidar, A. Ansman et al. (eds.), (Springer-Verlag, Berlin, 1996), pp. 475-478.
- 2) Y. Saito et al., SPIE Proceedings Vol. 3059, Advances in Laser Remote Sensing for Terrestrial and Oceanographic Applications, (1997), in print.
- 3) U. Rinderle et al., Applications of chlorophyll fluorescence, H. K. Lichtenthaler (ed.), (Kluwer Academic Publishers, London, 1988), pp. 189-196.