

生葉クロロフィル蛍光寿命計測ライダーのための解析手法の検討

Discussion on fluorescence lifetime measurement of intact leaves

by laser-induced fluorescence lifetime (LIFL) Lidar

○志摩達也、津島武、一志和哉、小林史利、大谷武志、小林一樹、斉藤保典

Tatsuya Shima, Takeru Tsushima, Kazuya Isshi, Fumitoshi Kobayashi,

Takeshi Otani, Kazuki Kobayashi, Yasunori Saito

信州大学工学部

Faculty of Engineering, Shinshu University

Abstract:

We performed lifetime measurement of intact leaves by laser-induced fluorescence lifetime (LIFL) Lidar. To confirm the system accuracy of the lifetime measurement, lidar data were compared with those measured by a streak scope. According to the results several modifications of the hardware and introduction of a new analysis software could improve the system performance. Lidar data became to be a good agreement with those measured by a streak scope.

1. はじめに

環境が変化することにより、植物は生理活性状態を変化させる。その結果として植物の生長速度の変化や、障害や枯死など、様々な変化を引き起こす。この変化の前兆をとらえることができれば、生育変化の予測が可能となり、植物の枯死に対して防止策をとることができる。本研究では、光合成活性度と関係のある植物クロロフィルの蛍光寿命に注目した。植物クロロフィルの蛍光寿命は、対象の傾きや表面状態に影響を受けにくく、より信頼性の高い植物遠隔計測といえる。今回の報告では、ストリークスコープによって蛍光寿命の変化を取得した結果と、本システムの解析手法の問題点と改善点について報告する。

2. 蛍光寿命計測ライダー (laser-induced Fluorescence lifetime (LIFL) lidar) ^{1) 2)}

LIFL ライダーのシステム構成は、前回報告^{1) 2)}のものと同じである。蛍光寿命は非常に短い現象であるので、応答速度や立ち上がり速度のできるだけ速いものを使用している。

3. ストリークスコープによる蛍光寿命取得

LIFL ライダーで取得した蛍光寿命の正確性を確かめるために、ストリークスコープ(浜松ホトニクス、C4334)を用いて蛍光寿命を計測した。Nd:YAG レーザを 30m 離れたミラーを介して室内に置かれた植物生葉(レッドロビン)に照射した。葉からの蛍光寿命はファイバー(開口数 0.2, 径 0.3mm)を通してストリークスコープで計測した

(Fig. 1)。23°Cの室内で採取してから枯れていく葉の蛍光寿命の変化を計測した。Fig. 2は、蛍光寿命と採取してからの日数経過の関係を示したものである。採取してから2日間は0.5ns程度の寿命を継続したが、枯死に近づくにつれて長くなった。一方、本LIFLライダーで得られた蛍光寿命は、0.2~0.4nsの変化にとどまっておらず、蛍光寿命の変化を取得出来ないことがわかった。

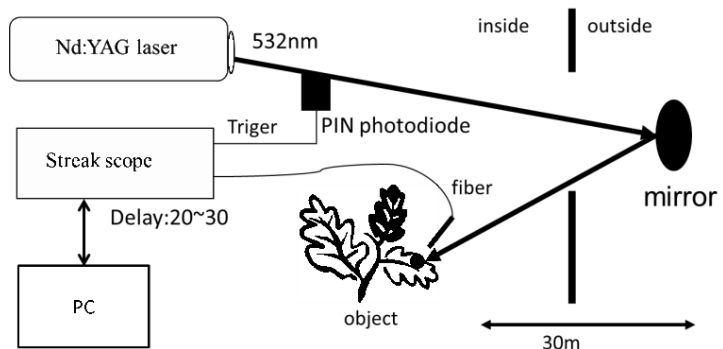


Fig.1 Setup for fluorescence lifetime measurement of tree leaves by a streak scope

4. LIFL ライダーによる蛍光寿命取得と解析方法の検討

LIFL ライダーでは、蛍光寿命計測の際に蛍光 (685nm, 740nm) だけでなく散乱光 (532nm) を別々の光電子増倍管 (PMT) で同時に取得している。これは、解析によって、装置関数を取り除くためである。しかし、PMT にはそれぞれの個体差があり、非常に高速の反応である蛍光寿命の計測においては、その差が影響すると考えられた。改善後は、蛍光と散乱光を同一の PMT により取得するよう変更した。

解析においては、短時間励起レーザパルス (40ps) により取得した散乱波形には、装置関数が含まれているとみなし、散乱光と任意の蛍光式とを畳み込みした計算値と、実測した蛍光変化を比較することで蛍光寿命を算出している。これはストリークスコープの解析手法と同一である。この解析において、正しい蛍光寿命が得られない原因に蛍光に要素数の違いが挙げられた。要素数とは、任意の蛍光式、

$$F(t) = A_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right)$$

における項数の数である。この式の要素数を二つにすることで、より正確な蛍光寿命が取得できると考えられる。また、 A_1 , A_2 , τ_1 , τ_2

はそれぞれの要素の蛍光の強さと蛍光寿命を表す変数である。4つの変数を変化させ、実測値に近い値を決定した。4つの値の決定にはそれぞれの初期値が必要となるが、この値は条件に近いストリークスコープによる蛍光寿命を参考にした。Fig. 3は、要素を二つにした時の蛍光波形の計算値と実測値を比較したグラフである。破線は計算値、実線は蛍光 (740nm) を表す。Fig. 3のように二つの値を比較し、蛍光寿命を算出する。この時の蛍光寿命は τ_1 が0.05ns、 τ_2 が5nsとなり、2つの要素の蛍光寿命を取得することができた。今後、より正確な蛍光寿命を算出するため、さらに検討を行ないたい。

5. まとめ

ストリークスコープによって、枯れていく葉の蛍光寿命の変化を取得した。LIFL ライダー観測結果とストリークスコープ観測結果を比較し、実験手法や解析方法に問題点があることがわかったため改善を行った。解析方法は、任意の蛍光式の要素の数に問題があると考えられたため、要素の数を2つに増やして解析を行った。今後は、ストリークスコープの結果をふまえて、さらに検討を行っていく。

参考文献

- 1) 齊藤、天白、他 第25回レーザセンシングシンポジウム p-25, September 13-14, 2007.
- 2) 齊藤、原、他 第24回レーザセンシングシンポジウム p-2, September 21-22, 2005.
- 3) I. Moya et al., EARSel Advance in Remote Sensing, 3, (1995), 188.

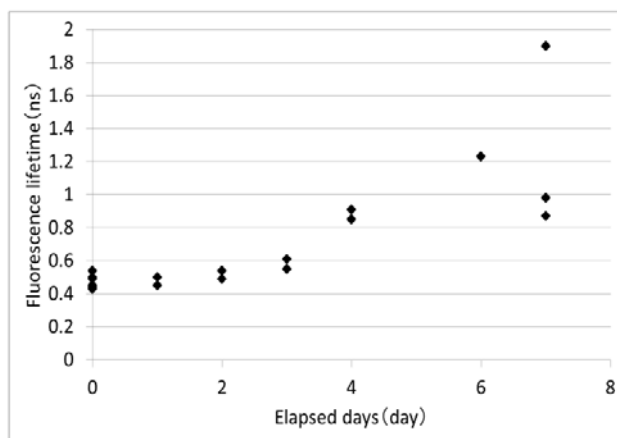


Fig. 2 Change of fluorescence lifetime during one week we assured by streak scope

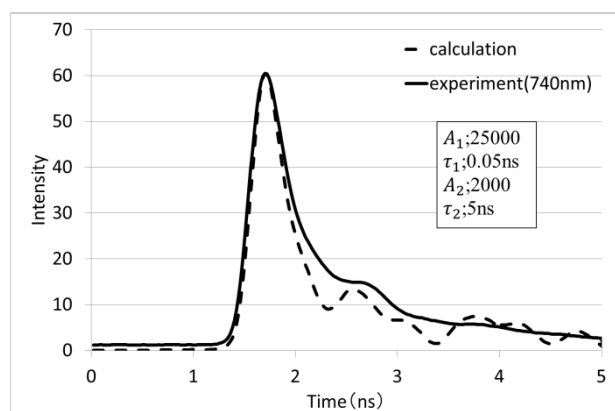


Fig. 3 Comparison of Calculated lifetime and fluorescence