

蛍光スペクトルライダーによる諏訪湖水質の多成分計測

齊藤 保典¹, 角田 圭², 横山瑞穂², 富田孝幸¹, 朴 虎東³

¹信州大学学術研究院工学系 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

²信州大学大学院理工学研究科 (〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

³信州大学学術研究院理学系 (〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1)

Simultaneous Detection of Multiple Components in Water of Lake Suwa Using Laser-induced Fluorescence Spectrum Lidar

Yasunori SAITO¹, Kei KAKUDA², Mizuho YOKOYAMA², Takayuki TOMIDA¹ and Ho-Dong PARK³

¹Institute of Engineering, Academic Assembly, Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553

²Graduate School of Science and Technology, Shinshu Univ., 4-17-1 Wakasato, Nagano, Nagano 380-8553

³Institute of Science, Academic Assembly, Shinshu Univ., 3-1-1 Asahi, Matsumoto, Nagano 390-8621

Keyword: We have developed mobile and self-sufficient laser-induced fluorescence spectrum (LIFS) lidar based on preliminary experiments on Excitation-Emission-Matrix of the pond water sample and method for reducing solar background light using synchronous detection technique. The LIFS lidar demonstrated the potential of natural river/lake water quality monitoring at the Tenryu River/Lake Suwa. Three main components in the fluorescence data of the water, dissolved organic matter (DOM), phycocyanin, and chlorophyll were extracted by spectral analysis using the standard spectral functions of these components. Results of long term field observations using our LIFS lidar from 2010 to 2012 show the necessity of simultaneous multi-component detection to understand the natural water environment.

Key Words: Lidar, Fluorescence, EEM, Natural water, Lake Suwa

1. はじめに

内陸淡水域(貯水池や湖)のCODやBOD値の達成度は約55.6%と、ここ10年程横ばいの状況にある¹⁾。諏訪湖はその典型的な事例湖であると共に天竜川の源泉であることから、その水資源を利用する住民にとって、諏訪湖水質は常に大きな関心事となってきた。

本報告では、2010年~2012年に行った諏訪湖の蛍光ライダー観測の再解析結果を示し、水質調査における蛍光ライダーの有用性を議論する²⁾。

2. LIFSライダーの原理・設計・製作

2.1 原理と設計

計測原理は、物質をレーザー照射したときに得られる蛍光スペクトルから、物質に関する情報を得るというものである。本原理に基づくライダーをレーザー誘起蛍光(LIFS: Laser-induced Fluorescence Spectrum)ライダーと名付けた。

誘起レーザー波長と検出蛍光波長を決定するため、キャンパス内の池の水を採取しEEM(Excitation-Emission-Matrix)特性を蛍光分光光度計により測定した(Fig. 1)。本サンプル水においては、蛍光域が広く蛍光強度も大きな300nmでの誘起が最適であること、蛍光域が狭いものの500nm誘起時に最も強い蛍光が得られることなどが

示された。本研究ではフィールド観測を目的とするため、信頼性が高く小型化が可能なYAGレーザー(355nm)を用いることとした。355nm誘起蛍光は、可視全域に渡る中程度の強度を持つ。

日中での蛍光観測を可能にするために、蛍光に同期して短時間だけ検出器のゲートを開く同期検出法とした(Fig. 2)³⁾。ゲート時間を数10ns程度に設定することで、太陽背景光の影響を排除した観測が出来る。

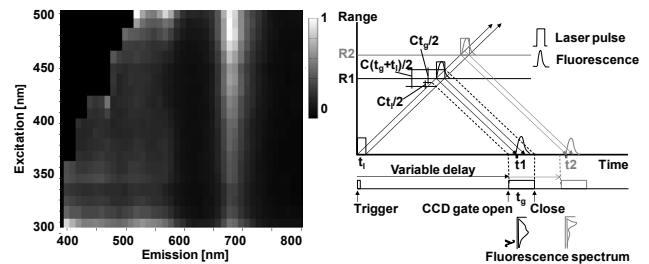


Fig. 1 EEM of pond water taken by a commercial spectrometer.

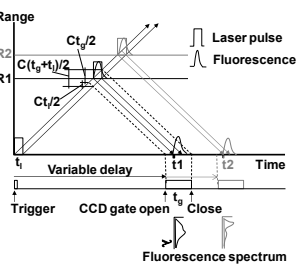


Fig. 2 Synchronous detection in lidar operations using a gated CCD detector. t_l and t_g are laser pulse width and gate width, respectively.

2.2 軽自動車搭載自立型 LIFS ライダー

諏訪湖での観測にあたり、小型発電機(900 V)で動作可能で小型軽ワゴン車(全長 3.4 m×幅 1.5 m×高さ 1.9 m)に搭載可能なライダーを開発した。

3. 観測事例

3.1 観測結果例と解析方法

天竜川河岸に LIFS ライダーを設置し 60 m 離れた諏訪湖釜口水門から流出する水の蛍光スペクトルを観測した (Fig. 3(a)). 水中成分として DOM, フィコシアニン (諏訪湖アオコ (珪藻) に含まれる有機物質), クロロフィルを想定してそれぞれの標準スペクトル関数を作り, これらの合成蛍光スペクトルが観測スペクトルを最も良く再現する各成分の強度を求めた (Fig. 3(b)).

サンプル水の化学分析結果よりフィコシアニンとクロロフィルの検量線を求めた. DOM の化学分析は困難であったため, サンプル水を精製水で希釈した試験水を作り, 試験水の LIFS ライダー計測値と比較した. それぞれの検量線を適用して求めた濃度結果を Fig. 4 に示す.

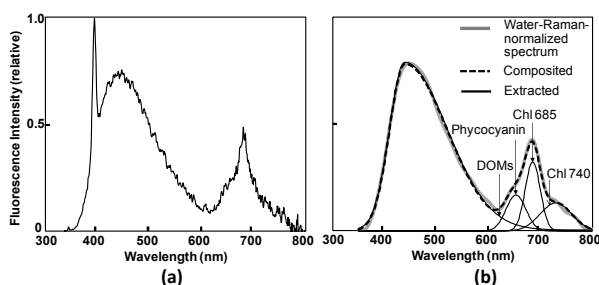


Fig. 3 (a) Representative lidair fluorescence spectrum (peak at 405 nm is the water Raman signal) and (b) spectrum analysis of lidair fluorescence spectrum shown in (a).

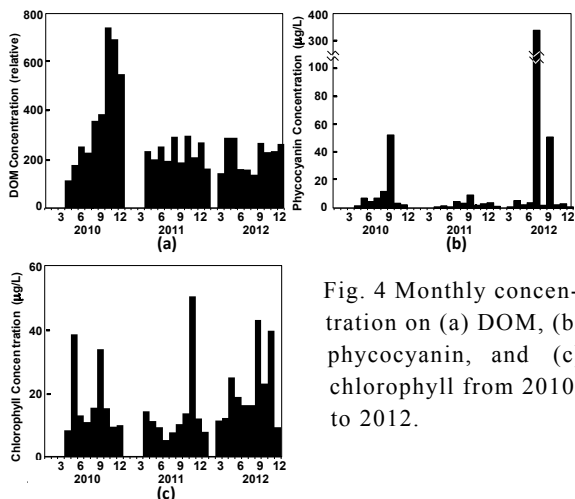


Fig. 4 Monthly concentration on (a) DOM, (b) phycocyanin, and (c) chlorophyll from 2010 to 2012.

4. 考察

4.1 設計と動作について

EEM 特性は, 最適誘起波長と最適検出蛍光波長の設定において非常に有効であった. 軽自動車搭載自立型 LIFS ライダーは観測に自由度を与え, Just-in-Time ライダーとして緊急観測等への活用が期待される. 実用性は, 諏訪湖という厳しい自然環境での 3 年間の長期観測により証明された.

4.2 水質評価について

WHO の水質ガイドライン⁴⁾を基に, 観測された諏訪湖の水質評価を行う. クロロフィル濃度が 30 µg/L を超えたのは 2010 年 5 月と 9 月, 2011 年 11 月, 2012 年 9 月と 11 月であった. この中でフィコシアニンの濃度が高かった日は 2010 年と 2012 年の 9 月であり, 両日の諏訪湖水質は健康リスクが高かったと推論される. 一方, 最大クロロフィル濃度を示した 2011 年 11 月のフィコシアニン濃度は平常値であり, 健康リスクは低いと推論される.

DOM 濃度とフィコシアニンやクロロフィル濃度の増減は逆相関を示した. DOM はその量が多く水中での光吸収効果が非常に大きいとされている⁵⁾. 上記逆相関は, DOM の量が多いと珪藻 (フィコシアニン) やクロロフィルの生育に必要な光量が制限されるためと考えられる.

5. まとめ

LIFS ライダーの設計から長期に渡る観測結果までを報告した. 水質環境の評価のためには多種類の有機物質に関する情報が必要である事を示した. 開発した LIFS ライダーはその要請に応える事が出来る.

謝 辞

本研究の一部は The Korean Institute of Civil Engineering and Bilding Technology (KICT) からの助成(20160168-001)により行われた.

参考文献

- 1) 2015 年環境白書, 環境省, 2015 年 11 月.
- 2) Y. Saito et al.: Applied Optics (in print).
- 3) Yasunori Saito: Proc. SPIE **6604**, 66041W (2006).
- 4) I. Falconer et al. Chap.5 in *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*, I.Chorus and J. bartram, eds. (E& FN Spon, 1999).
- 5) F. E. Hoge et al.: Limol.Oceanography **38** (1993) 1394.