

蛍光ライダーによる諏訪湖でのアオコ濃度観測 II

Concentration monitoring of blue-green algae at Lake Suwa by a fluorescence lidar II

西部芳夫¹、横山瑞保¹、小林史利¹、大谷武志¹、小林一樹¹、斉藤保典¹
中村剛也²、朴虎東²、水谷耕平³、板部敏和³

Yoshio Nishibe¹, Mizuho Yokoyama¹, Fumitoshi Kobayashi¹, Takeshi Otani¹
Kazuki Kobayashi¹, Yasunori Saito¹, Nakamura Kouya², Park Ho-Dong²,
Kouhei Mizutani³, Toshikazu Itabe³

1 信州大学工学部、2 信州大学理学部、3 情報通信機構

1 Faculty of Engineering, 2 Faculty of Science, Shinshu University, 3 NICT

Abstract: Blue-green algae emits red fluorescence at around 650 nm by irradiation of ultraviolet. Concentration monitoring of the algae at Lake Suwa has been made by detection of the 650 nm-fluorescence using a laser-induced fluorescence lidar. Three years' observation from 2005 to 2007 showed that lidar fluorescence signal had a strong correlation with phycocyanin concentration containing in blue-green algae, and thus usefulness of the fluorescence lidar was confirmed. To improve the system accuracy, new fluorescence spectrum lidar, which was possible to monitor entire fluorescence spectrum in the whole visible wavelength range, was developed. Preliminary observation at Lake Suwa showed that several materials in water emitted fluorescence and some of the fluorescence overlapped with phycocyanin fluorescence at 650 nm. This suggests that the accuracy can be improved by distinguishing fluorescence spectrum of phycocyanin and others with spectral analytical method.

1. はじめに

諏訪湖畔は、周辺河川流域からの窒素、リン等の流入により湖水の富栄養化が進み、それによりアオコが大量発生し、湖水生態系に大きな影響を及ぼしている。現在のアオコ分析の主流である化学分析法は、サンプリングが必要であり時間もかかる。本研究で使用する蛍光ライダーは、レーザー誘起蛍光 (Laser induced Fluorescence) 法を用いており、サンプリングを必要とせず、遠隔かつ実時間観測が可能である。本稿では、諏訪湖釜口水門における3年間の観測結果を報告するとともに、現状での問題点を明らかにし、その解決策として遠隔蛍光スペクトル検出について報告する。

2. アオコの蛍光スペクトル測定

分光蛍光光度計を用いて培養したアオコの蛍光スペクトル(励起波長355nm)を測定した。結果を Fig. 1 に示す。波長650nm付近に他の藻類には見られない特徴的なピーク現れた。これはアオコのみに含まれる色素フィコシアニンの蛍光である¹⁾。よって、同波長のみを選択的に観測することにより、アオコの観測が可能であることが分かった。

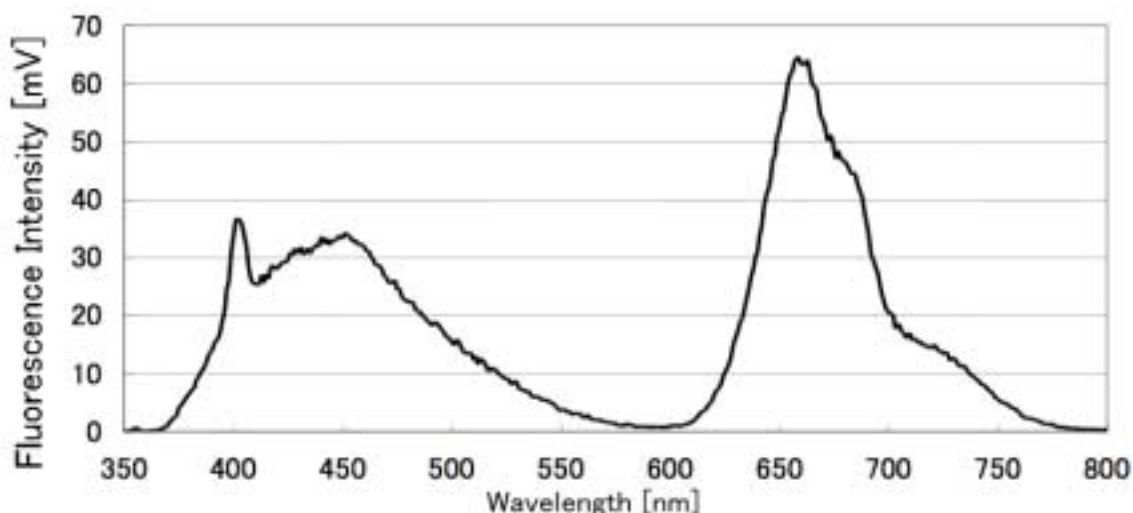


Fig. 1. Fluorescence spectrum of Blue-green Algae in solution obtained by a fluorescence spectral analyzer.

3. ライダーによる蛍光観測

蛍光ライダーのシステム構成と観測方法は、前回の報告²⁾のものと同じである。Nd:YAGレーザー(波長355nm、エネルギー26mJ、パルス幅7nm、繰り返し10Hz)を60m先の水門放水口に向けて照射する。アオコからの蛍光は望遠鏡(口径254mm)で集光された後、光学フィルタ(中心波長650nm、半値全幅10nm)で波長選択され、光電子増倍管で電気信号に変換し増幅器で5倍に増幅された。その信号をオシロスコープでA/D変換した後、ノートパソコンで解析する。

本蛍光ライダーは、アオコ濃度(蛍光強度)の変化を実時間で捉えることが可能である。積算回数128回で5分おきに約5時間にわたって取得した蛍光強度の時間変化を Fig. 2 に示す。

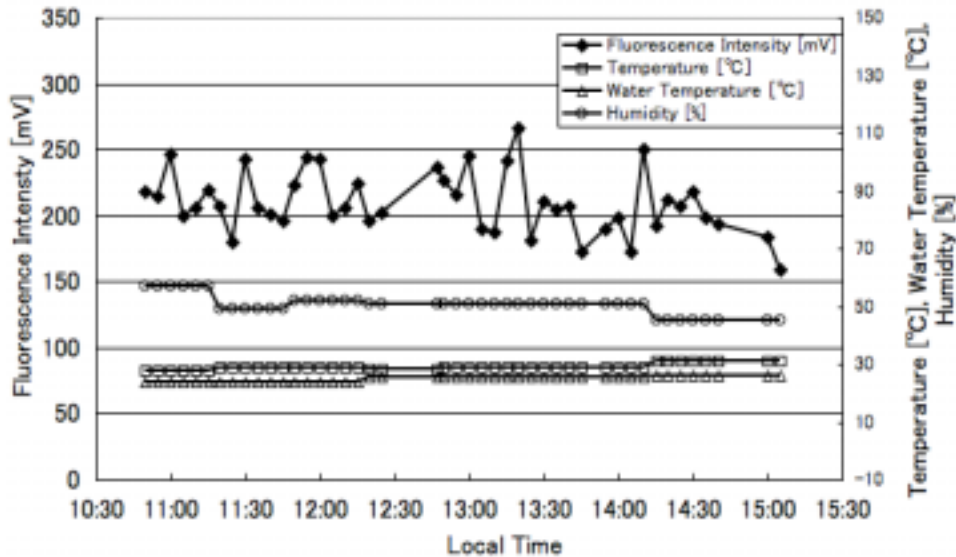


Fig. 2. Variation of fluorescence intensity obtained by the fluorescence lidar.

4. 観測結果(2005~2007年度)

2005~2007年の5月中旬から12月にかけて、月に一回の割合で継続観測を行った。Fig. 3に3年間の観測結果と化学分析による結果の比較を示す。蛍光強度の値は、現地諏訪湖にて実時間で得られたライダー信号である。フィコシアニン濃度は、湖水を採取し、化学手法で求めたものである。

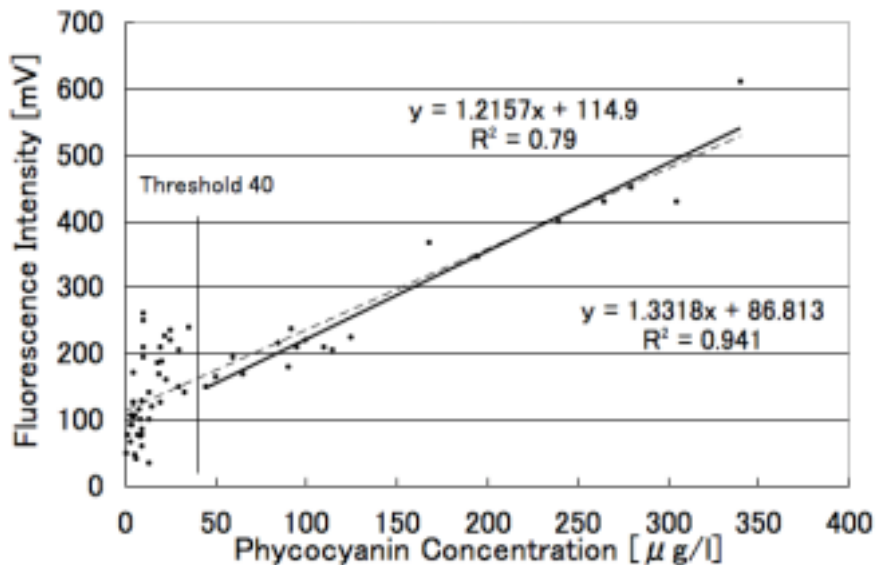


Fig. 3. Correlation between phycocyanin concentration measured by chemical method and fluorescence intensity obtained by the fluorescence lidar.

3年間のフィコシアニン濃度と蛍光強度の相関係数は0.79となり、ほぼ実用性を有するものと思われた。しかし、問題点として 1)フィコシアニン(アオコ)が低濃度時の蛍光強度の変動が大きい、 2)バイアスが加わっている(原点を通らない) 等があげられた。そこでフィコシアニンの濃度 $40 \mu\text{g/l}$ に閾値を定めると、相関係数は0.94と高い値が得られた。このことから、アオコ以外の藻類(珪藻や緑藻)や湖水に含まれる様々な有機物質の650nmでの蛍光の存在が検討された。

5. スペクトル観測

フィコシアニン以外の物質の蛍光スペクトルを調査する為に、2008年度からは新たにマルチチャンネル分光検出器を用いて、諏訪湖にて湖水の蛍光スペクトル遠隔計測を開始した。2007年度まで使用していたシステムのPMTを分光検出器と交換したシステムになっている。システム構成を Fig.4 に示す。直径1mmのファイバ(355nm除去フィルタ付)を望遠鏡焦点に置き、分光器まで受信光を導き、1次元配列のマルチチャンネルCCDにより分光蛍光スペクトルを検出した。また、背景光を減らす為に、遅延回路を用いて、蛍光が到達した時間のみ CCD ゲートを開いて検出する同期検出法を用いた。Fig.5 に本蛍光ライダーで得られた湖水の蛍光スペクトルを示す。

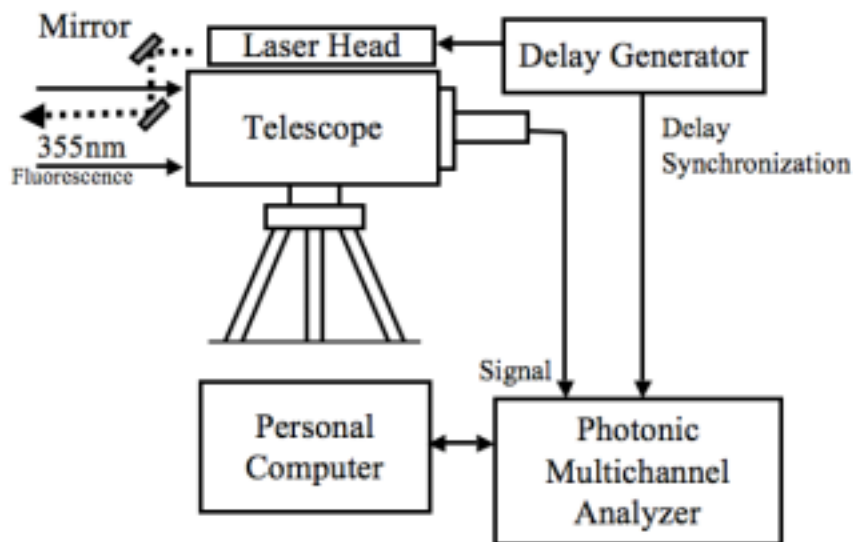


Fig. 4. Configuration of laser-induced fluorescence spectrum lidar (LIFS Lidar) system.

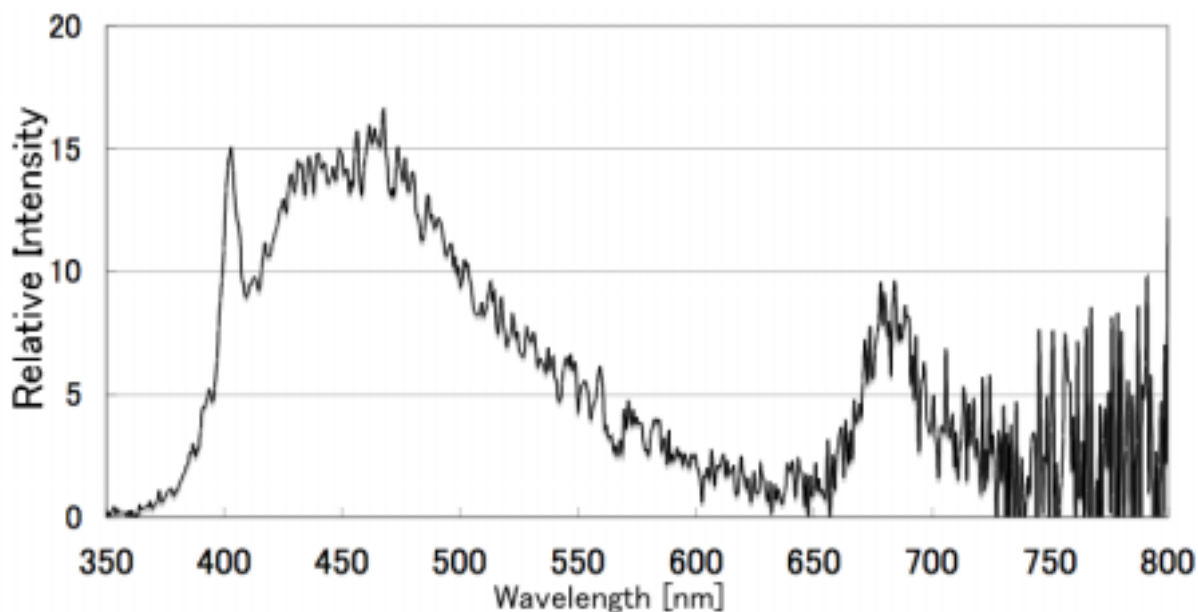


Fig. 5. Laser-Induced fluorescence spectrum of water of Lake Suwa.

Fig.5 のスペクトルは5月22日に取得したもので、アオコの発生時期からは外れているため、フィコシアニン以外の物質の蛍光の650nm付近への影響を調べることができる。スペクトル分離を行った結果を Fig.6 に示す。

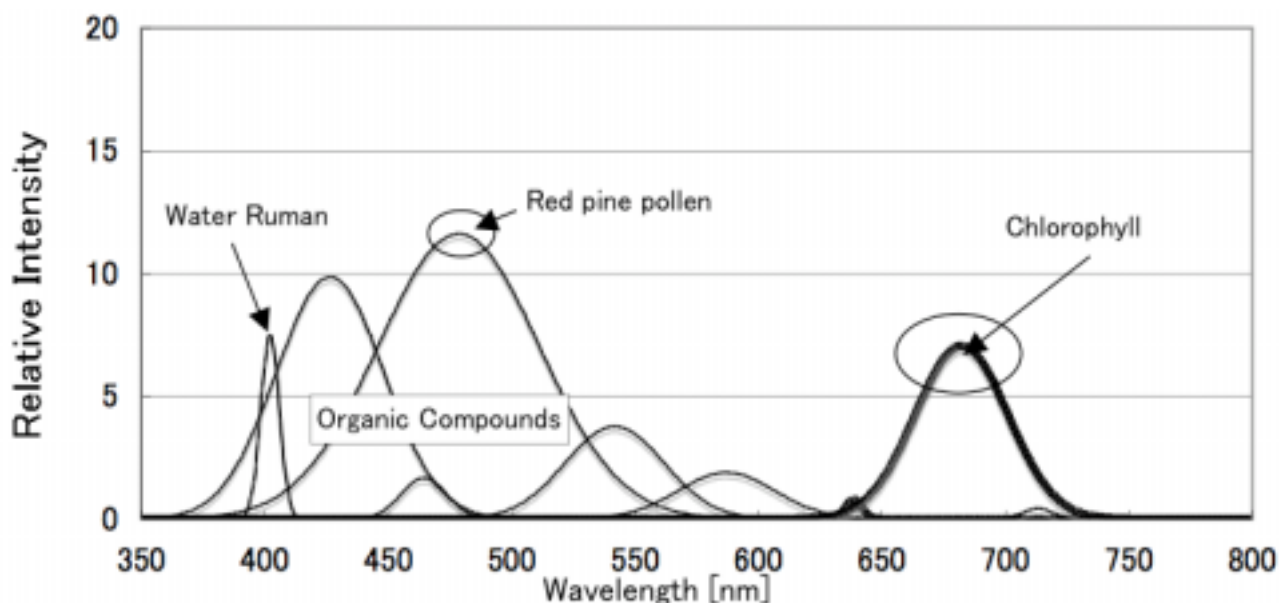


Fig. 6. Separation of spectrum Fig.5.

スペクトル分離解析の結果、400nmに水のラマン散乱、400～600nm付近にかけて水中溶解性の有機物、470 nmに赤松花粉、685nmにクロロフィルの蛍光スペクトルが見られた。今回の結果では、クロロフィル蛍光の短波長側、および有機物蛍光の長波長側のスペクトルが650nmに重なることが示された。Fig.3 のフィコシアニン低濃度時に得られた蛍光と思われる。現在、スペクトルの重なりからクロロフィルやその他の蛍光物質による影響を減算し、フィコシアニンの蛍光強度を正確に算出するプログラムを作成中である。

また、スペクトルから様々な情報が得られることが示された。アオコ発生に関与する窒素やリンの濃度変化とフィコシアニンの濃度変化の調査が可能であることも示された。

6. まとめ

諏訪湖において、蛍光ライダーを用いたアオコ濃度の遠隔観測を行った。アオコに含まれるフィコシアニンの濃度と蛍光強度との関係から、アオコ濃度の導出が可能であることを示した。アオコ低濃度時における計測精度を上げる為にスペクトル観測が可能な蛍光ライダーに改良した。スペクトル分析結果からは、650nmにおける有機物やクロロフィルの蛍光が示された。それにより蛍光の減算が可能であることも確認でき、計測精度向上の手がかりが得られた。今後、諏訪湖でのスペクトルの取得を継続して行い、アオコ低濃度時に見られる蛍光の減算手法を確立し、諏訪湖の水質評価・管理体制の構築を目指したい。

研究の一部は、河川環境財団の助成(2007年度)により行われた。関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) K. Takano et al., Blue-Green Algae Monitoring by a Fluorescence Lidar -Observation at Lake Suwa-, 8P-4, 23rd ILRC (24-28 July, 2006, Nara, Japan).
- 2) 斉藤、他、蛍光ライダーによる諏訪湖でのアオコ観測、P-23、第25回レーザーセンシングシンポジウム(2007)