

405nm LD ベース蛍光ライダーによる沿岸クロロフィル観測

Coastal Chlorophyll Observations by 405-nm LD-based Fluorescence Lidar

Jumar G. Cadondon^{1,2}, Edgar Vallar¹, Maria Cecilia Galvez¹, and Tatsuo Shiina³

¹Department of Physics, College of Science, De La Salle University Manila, 0922 Philippines

²Division of Physical Sciences and Mathematics, College of Arts and Sciences, University of the Philippines Visayas, 5023, Iloilo, Philippines

³Graduate School of Engineering, Chiba University, Chiba, Japan

Abstract: We have developed a portable laser diode (LD)- based fluorescence lidar system that provides information of seawater and chlorophyll-a (Chl-a) profiles in coastal waters. Seawater samples were collected in the coastal area of Chiba, Japan during summer season (July 2024). The observed seawater profiles showed higher fluorescence intensity values as compared to pure water samples. This is due to the presence of suspended particles and phytoplankton activities in the surface waters. The observed Chl-a showed an increasing trend with the water temperature.

Keyword(s): Portable fluorescence lidar; coastal waters; chlorophyll-a; suspended particles

1. Introduction

クロロフィル (Chl-a) 濃度による植物プランクトン生物量の推定は、水質モニタリングのために一般的に測定されている[1]。水中では、クロロフィル a の鉛直分布は一般的に不均一であり、水中の栄養状態や一次生産力の推定に寄与している[2]。これまでの測定は、グラブサンプリング法、その場測定、定点サンプリング、受動型衛星リモートセンシングによって実施されてきた。サンプリング手法に限界があるため、地域スケールにおける Chl-a の不均質な分布に関するより多くの情報が必要とされている。受動型衛星リモートセンシングは、Chl-a 濃度の推定に一般的に用いられている[3]が、収集される Chl-a プロファイルには限界がある。農業流出水や生活・工業排水の影響をさらに理解するためには、現場でのモニタリングが必要である。

本研究では、沿岸海域のクロロフィル a 濃度を把握するために、レーザーダイオード (LD) ベースの蛍光光検出・測距 (LDF-Lidar) 技術を用いることを提案した。ライダー測定から得られたクロロフィル a 濃度は、分光分析と正の相関を示した。夏期 (2024 年 7 月) に稲毛海岸 (北緯 35.614627 度、東経 140.063627 度) で海水サンプルを採取するキャンペーンを実施した。プランクトン活動の増加は、8 月までのこの数ヶ月間に多く観察された。このような現象は、水中の Chl-a 分布を調べるのに理想的なケースである。毎週日曜日に 10L の海水サンプルを採取し、海水と Chl-a プロファイルを研究室にて計測を行った。その他の測定項目は、気温と水温、総浮遊物質、pH、電気伝導度である。

2. Development of the lidar system

開発した LDF-Lidar の概略図を Fig.1 に示す。本研究では、励起波長 405 nm、最大出力 20 mW の可搬型 LDF-Lidar システムと、屈折望遠鏡、水のラマン信号と蛍光信号を分離するためのマルチエッジダイクロイックミラー、2 つの光電子増倍管からなる受信システムを開発した。LDF-ライダーシステムの仕様を Fig.1 (B) に示す。クロロフィル測定と水ラマン信号の励起発光マトリックス (EEM) 分光法を用いて予備測定を行った。EEM の結果から、表層水 (水面下 1m まで) の LDF ライダー測定が行われた。水ラマン信号とクロロフィル a 信号は、それぞれ 470nm と 680nm の光学フィルターを用いて同時に得られた。FPGA ベースの高速光子計数ボードを使用し、光電子増倍管を用いて微弱信号での光検出を測定した。フォトンカウンティング測定に関する詳細な考察は、以前に報告されている[3]。測定は室温の暗い環境で行った。モンテカルロシミュレーション[4,5]を用いて、生物光学モデルを構築し、拡散減衰係数(Kd)と Chl-a 濃度を算出した[6]。Chl-a 濃度は、ラマン信号と蛍光信号を用いて水面で校正した後に導き出すことができる。その場で測定されたすべての蛍光プロファイルは、指数関数的なパワー分布関数[7]によってカーブフィッティングされた。

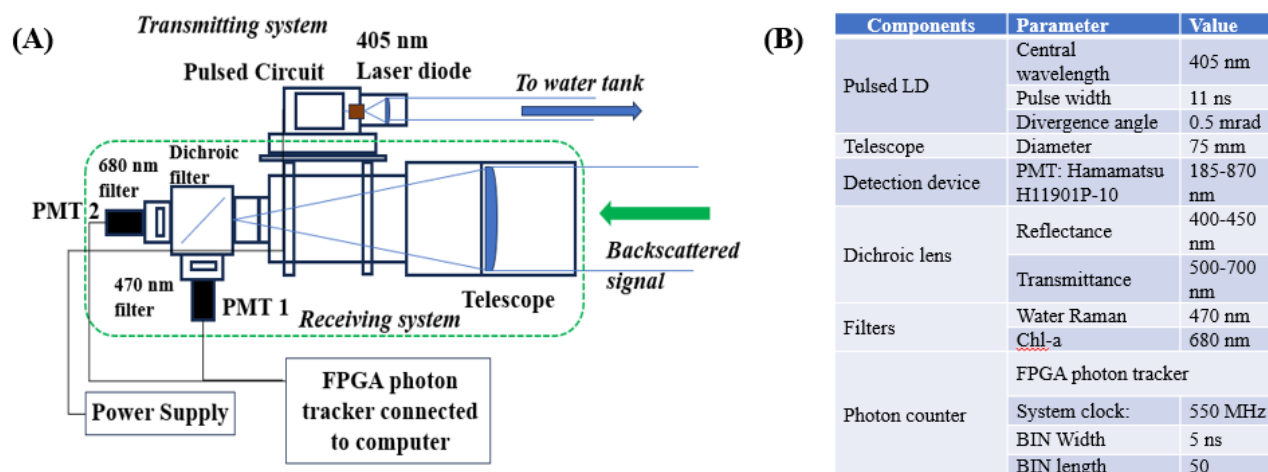


Fig. 1. (A) Schematic diagram of the LDF-Lidar System; and (B) Lidar specifications

3. Observations

LDF-ライダーシステムの実現可能性は、検出精度と浸透深度の両方について評価された。Fig.2 は、2024 年 7 月に採取された(A)海水試料と(B)Chl-a 濃度の時間範囲プロファイルを示している。

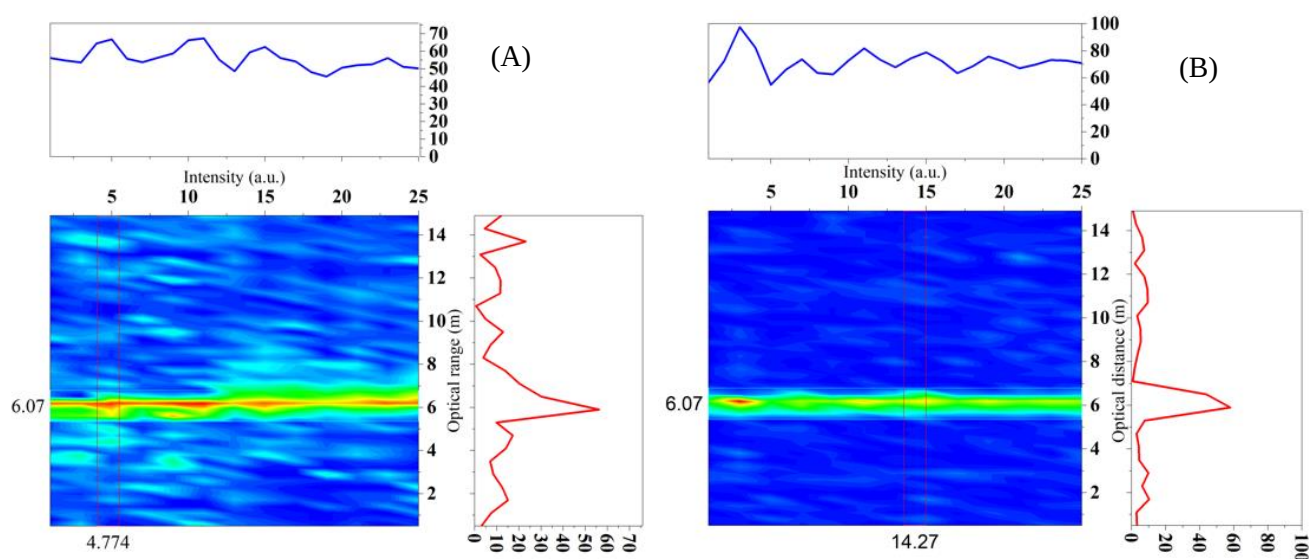


Fig 2. Time-range profile of (A) seawater and (B) Chl-a collected last July 28, 2024

蛍光強度のピークは、海水ライダー信号と Chl-a ライダー信号の両方で約 6.07 m に観測された。海水ライダーのピーク強度は 50-65 a.u.であるのに対し、Chl-a 濃度は 60-100 a.u.であった。収集された海水プロファイルの挙動は、同様の蛍光ライダー信号を示した ($R^2 = 0.73$, $n = 36$, $p < 0.05$)。一方、2024 年 7 月 28 日には、他のサンプリング時間に比べて高い Chl-a 濃度が観測された。これは、観測された水温が高く、表層水中の植物プランクトンの成長を可能

にしたためである。ライダー測定に影響を与えたいくつかの要因は、試料中に存在する吸収率の低い浮遊粒子によるものである。これは、以前[3]に提供したように、推定 Chl-a 濃度を測定することによって検証される。LDF-ライダーは、Chl-a の鉛直分布を観測する有望なツールであり、衛星パッシブ・リモート・センシング・データを補完するデータを提供できる。LDF-Lidar は、生活排水や農業排水の影響を受けた淡水の Chl-a データをリアルタイムでモニタリングすることができる。

4. Future works

現在開発中の可搬型蛍光ライダーシステムにより、船上での LDF-ライダーシステムによるクロロフィル a の鉛直分布を測定する予定である。これにより、ライダーシステムを用いた異なる季節の海水と Chl-a の光学特性、システム効率、S/N プロファイルの改善の可能性がさらに高まる。この研究は、沿岸水域の植物プランクトン活動と排水の影響の可能性をより深く理解することを目的としている。

References

- [1] J. Luo, et al. *Water Res.* **222**, 118912 (2022).
- [2] A. Mignot, et al. *Global Biogeochem. Cycles* **28**, 856-876 (2014).
- [3] J. Cadondon, et al. *Sensors* **8**, 2940 (2022).
- [4] M. Shangguan, et al. *Optics Express* **31**, 40393-40410 (2023).
- [5] H. Zhao, et al. *Environ. Sci. Technol.* **57**, 14226-14236 (2023).
- [6] A. Morel, S. Maritorena, *J. Geophys. Res.: Oceans* **106**, 7163-7180 (2001).
- [7] W. Xu, et al. *Sci. Total Environ.* **820**, 153243 (2022).