

# イメージング蛍光ライダーによる 沖縄県竹富島周辺海域のサンゴ分布観測

## Coral Distribution Observation around Taketomi island in Okinawa Japan by the Fluorescence Imaging Lidar

篠野雅彦、山之内博、松本陽、桐谷伸夫、樋富和夫、田村兼吉

M. Sasano, H. Yamanouchi, A. Matsumoto, N. Kiriya, K. Hitomi and K. Tamura

海上技術安全研究所

National Maritime Research Institute

### Abstract

Coral reefs are fragile ecosystem affected by ocean-warming and ocean-acidification. The monitoring of coral distribution for large-area and long-term is regarded as particularly important in terms of the environmental impact assessment of global climate change. At present, in spite of diver's much work, coral monitoring is not enough.

The boat-based fluorescence imaging lidar system is developed and tested for coral monitoring. This system consists of an UV pulsed laser, a gated ICCD camera and two gated PMTs, and has a potential to observe live corals down to 30 m depth in clear water condition using a feature of fluorescence proteins.

In this paper, the live coral distribution around Taketomi island in Okinawa Japan is shown.

### 1. はじめに

造礁サンゴは、熱帯から温帯にかけての浅海域（水深 0~30m 程度）に生息しており、海洋温暖化と海洋酸性化のどちらにも脆弱な生態系として、白化や死滅の拡大が懸念されている<sup>1)</sup>。現状のサンゴモニタリングは、潜水調査<sup>2)</sup>と、衛星リモートセンシング<sup>3)</sup>の2つが主な観測手法となっているが、十分なモニタリングデータが得られているとは言えない。このため、より効率的な新しいサンゴ観測法が求められている。

造礁サンゴは、多くの種が蛍光タンパク質を有しており<sup>4)</sup>、UV 励起に対して青緑色を中心とした蛍光を発光する。また、サンゴ礁海域は貧栄養であることが多く、比較的海水透明度が高い<sup>5)</sup>。このため、船舶搭載 UV 励起イメージング蛍光ライダーを開発すれば、海底の蛍光イメージの移動観測による新しいサンゴ観測手法を確立することが期待できる。グラスボート搭載型イメージング蛍光ライダーによるサンゴ観測の概要図を Fig.1 に示す。

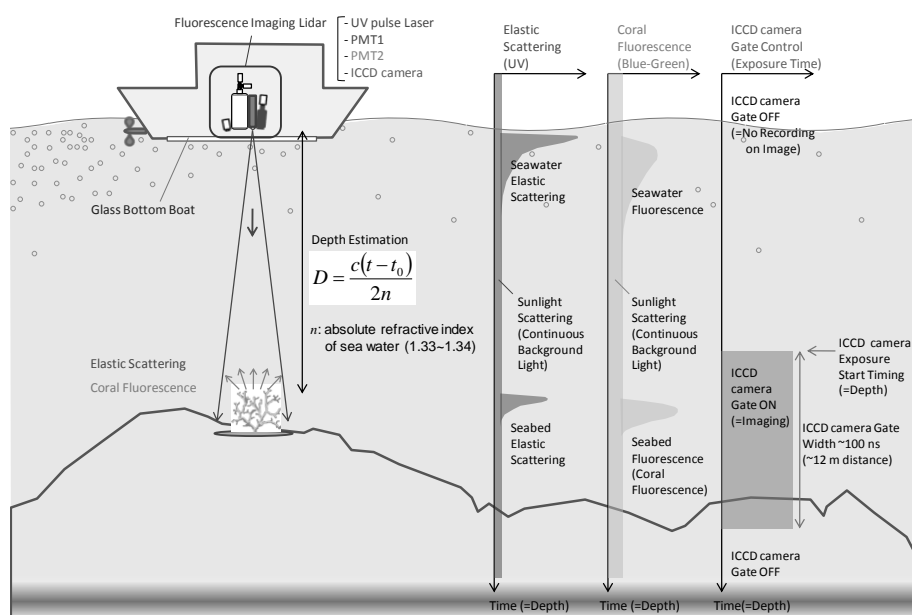


Fig.1 Schematics of fluorescence imaging Lidar for Coral monitoring.

## 2. イメージング蛍光ライダー装置の開発

サンゴの蛍光は、昼間の太陽背景光に比べて弱いため、一般的な照明およびカメラ撮影では日中のサンゴ蛍光イメージ取得は難しい。しかし、イメージング蛍光ライダーを用いれば、パルスレーザーとゲート ICCD カメラの同期によって露光時間を 100 ns 程度に抑制することが可能である。これにより、取得イメージに含まれる太陽背景光を大幅に抑え、昼間でも海底のサンゴの蛍光イメージ観測が可能となる。また、ICCD カメラのゲート機能による短時間露光撮影は、近傍（深度の浅い海中）での海水レーザー励起蛍光の影響を抑制する効果や、船体動揺に対する画像ブレの抑制効果も得られる。同時にライダー水深測定も可能である<sup>6)</sup>。これらの機能により、実際のサンゴ礁海域における船舶からの実用的なサンゴ観測装置とすることができる。本研究では、堅牢で大出力の Nd:YAG(3)パルスレーザー（波長 355nm）を用いた UV 励起蛍光ライダーを開発した。本ライダー装置の諸元を Table 1 に、ブロックダイアグラムを Fig.2 に示す。

Table 1 Specifications of the fluorescence imaging Lidar.

|                                                                                    |                            |                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|
| Laser<br>(Quantel<br>CFR400 +ICE450)                                               | Type                       | Nd:YAG(THG)                                   |
|                                                                                    | Wavelength                 | 355 nm                                        |
|                                                                                    | Energy                     | 90 mJ/pulse                                   |
|                                                                                    | Pulse Width                | 7 ns                                          |
|                                                                                    | Beam Spread Angle          | 45 mrad (with beam spread lens)               |
|                                                                                    | Repetition                 | 10 Hz (max)                                   |
| gated ICCD Camera<br>(Hamamatsu photonics<br>C10054-22<br>+Fujinon<br>C22x17A-M41) | Type                       | GaAsP, double MCP, usual OFF                  |
|                                                                                    | Image Resolution           | 640 * 480                                     |
|                                                                                    | Gain                       | $5 \times 10^6$ (max)                         |
|                                                                                    | Gate Time                  | >5 ns                                         |
|                                                                                    | Field of View              | 17 * 13 mrad (max zoom)                       |
|                                                                                    | Collecting Lens diameter   | 70 mm                                         |
| gated PMT<br>(Hamamatsu photonics<br>H10304-00NF<br>+Vixen VMC200L)                | Type                       | GaAsP, usual OFF                              |
|                                                                                    | Gain                       | $2 \times 10^6$ (max)                         |
|                                                                                    | Gate Time                  | >100 ns                                       |
|                                                                                    | Collecting Mirror diameter | 200 mm                                        |
|                                                                                    | Observation Wavelength     | 405 nm (water Raman)<br>450 nm (Fluorescence) |

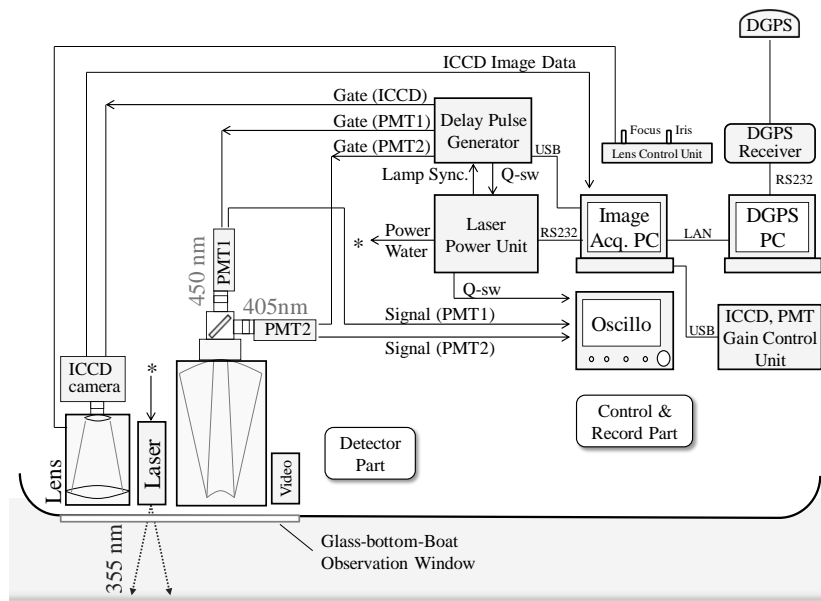


Fig.2 Block diagram of the fluorescence imaging Lidar system.

### 3. グラスボート搭載イメージング蛍光ライダーによるサンゴ観測

本研究で開発したイメージング蛍光ライダー装置を、沖縄県八重山郡竹富島のグラスボート船内に搭載し、船底のガラス窓を通してサンゴのライダー観測を行った。Fig.3 に、グラスボートとイメージング蛍光ライダー装置を設置した際の外観を示す。また、Fig.4 に、イメージング蛍光ライダーによるサンゴ観測例を示す。Fig.4 右上（生きた枝状サンゴ）と Fig.4 右下（死んだ枝状サンゴ骨格に藻類が付着したもの）を比較するとわかるように、生きたサンゴは 355nm UV レーザー励起に対して蛍光たんぱく質による強い蛍光が確認できるのに対し、サンゴが死滅し、サンゴ骨格に藻類が付着した状態のものに関しては、蛍光たんぱく質が分解されているため、UV 励起に対してほとんど蛍光が観測されない。この違いから、観測対象のサンゴが生きているか死んでいるかを判別することが可能となる。



Fig.3 Photographs of the glass-bottom-boat and the fluorescence imaging lidar on the boat.

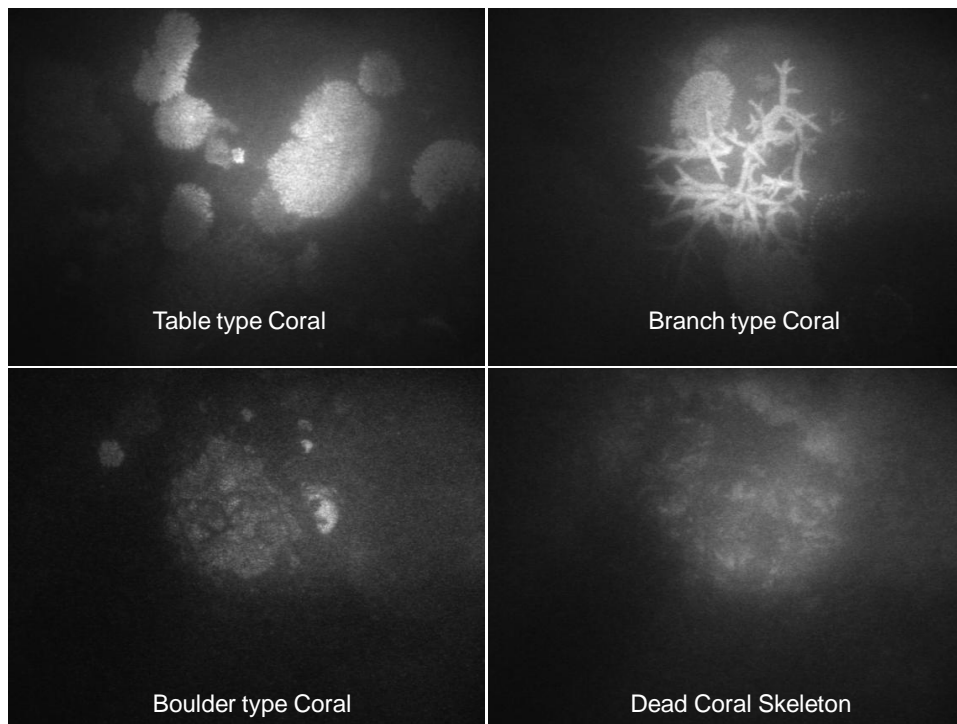


Fig.4 Examples of the coral observation by the fluorescence imaging lidar

また、グラスボートに DGPS を搭載し、サンゴ観測の正確な時刻と、誤差 1m 程度の緯度、経度情報の記録を行った。これにより、サンゴの蛍光イメージと、緯度、経度情報を統合し、グラスボート航跡に沿って生きたサンゴの分布マップを作成することが可能となった。2011 年 1 月 20 日に、沖縄県竹富島東海域から東北東向きに約 1.3km の距離を航行し、ライダー観測によって得たサンゴ分布結果を、Fig.5 に示す。

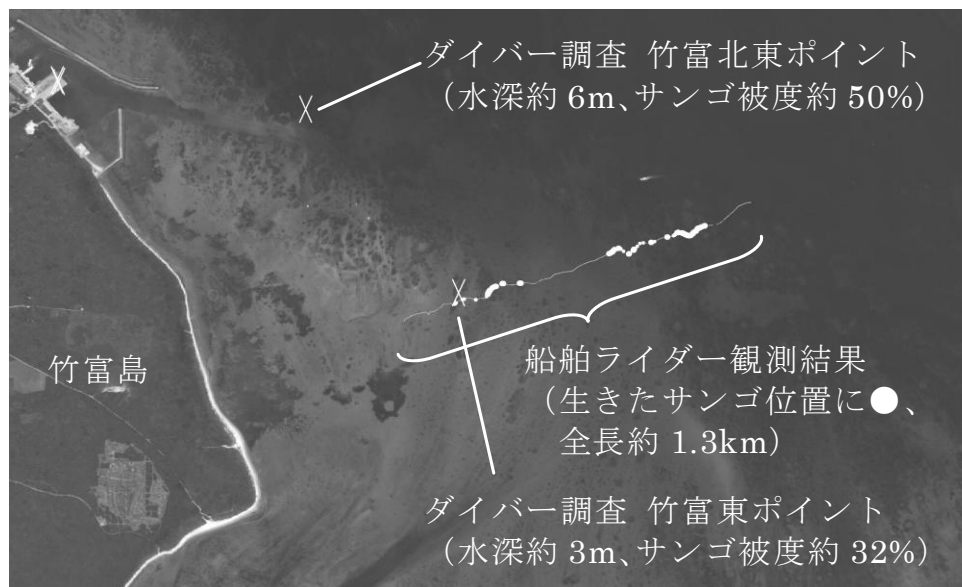


Fig.5 Live coral distribution observed by the fluorescence imaging Lidar (2011/Jan/20), overlapped with Satellite image (WorldView-2, 2010/Aug/14).

#### 4. まとめと考察

サンゴ観測にライダー技術を適用することを目指し、イメージング蛍光ライダー装置を開発した。また、この装置を用いて沖縄県八重山郡竹富島周辺海域のサンゴ観測を行い、グラスボート船上から、目視やビデオカメラ撮影よりも鮮明なサンゴ画像を得られることを確認した。さらに、DGPS による正確な位置情報と、蛍光イメージの生死判定から、生きたサンゴの分布をデータ化することに成功した。今後、さらにサンゴ観測を進め、イメージング蛍光ライダーによるサンゴモニタリング手法の確立を目指す。

#### 謝辞

本研究は、地球環境保全試験研究費により実施しており、関係各位に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) IPCC 第4次評価報告書第二作業部会報告書, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html).
- 2) 環境省生物多様性センター, 「サンゴ礁調査 (スポットチェック法)」, <http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/>
- 3) 国立環境研究所, 「平成20年度サンゴ礁マッピング手法検討調査業務報告書」(2009).
- 4) N. O. Alieva et. al., "Diversity and Evolution of Coral Fluorescent Proteins", PLoS ONE Vol.3 (2008) e2680.
- 5) 杉森康宏 他, 「海洋環境光学」東海大学出版会 (1985).
- 6) 齊藤秀太郎 他, 「イメージング蛍光ライダーによる海底環境観測のための水深計測」本シンポジウム(2011).