

# 小型船舶搭載イメージング蛍光ライダーによるサンゴ観測 Coral Observation by the Boat-based Fluorescence Imaging Lidar

篠野雅彦、桐谷伸夫、山之内博、松本陽、樋富和夫、田村兼吉

M. Sasano, N. Kiriya, H. Yamanouchi, A. Matsumoto, 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 for large-area and long-term is regarded as particularly important in terms of the environmental impact assessment of global climate change. The current two typical methods for coral monitoring are the diving investigation and the satellite remote-sensing.

The boat-based fluorescence imaging lidar system is developed for building the framework of cooperative coral monitoring. This system consists of a Nd:YAG(3) UV pulsed laser, a gated ICCD camera and two gated PMTs, and has a potential to observe corals down to 30 m depth using a feature of fluorescence proteins.

In this paper, we describe the overview, design and the first results of the system.

## 1. はじめに

産業革命以降、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は 4 割程度増加した<sup>1)</sup>。この温室効果によって海洋温暖化が危惧され<sup>2)</sup>、海洋表層への CO<sub>2</sub> 溶け込みによって海洋酸性化が懸念されている<sup>3)</sup>。また、これらの影響とも考えられる海洋生態系の変動が地球規模で報告されており<sup>4)</sup>、広域で詳細な海洋環境調査を長期的に行うことの重要性が増している。しかし、陸上と比較して海洋の環境調査は技術的に困難であり、観測データが乏しいのが現状である。

本研究では、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、サンゴの観測に注目する。現状のサンゴ観測は、シュノーケリング又はダイビングによる潜水調査<sup>5)</sup>と、人工衛星による広域リモートセンシング<sup>6)</sup>の2つが主な手法となっている。しかし、どちらの観測手法も実施時の気象・海象条件に強い制限を有する。また観測可能水深が数 m 程度であり、造礁サンゴの分布する水深 30 m 程度に比べて浅い範囲のみの調査となっている。このため、ライダー観測技術を海底のサンゴ観測に適用することができれば、小型船舶に搭載して広域を長期的に安定して観測できることに加えて、これまで観測の難しかった、水深 10~30 m の海域のサンゴ観測も期待することができる。

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>7)</sup>、近紫外線励起に対して緑色を中心とした蛍光を発光する。また、サンゴの生息する低緯度の海域は貧栄養であることが多く、中緯度の沿岸域と比べて海水の透明度が高い<sup>8)</sup>。このため、造礁サンゴは、他の海底生物に比べて、比較的ライダー観測を行うことが容易な対象であると考えられる。ここでは、サンゴ観測のために開発を進めている小型船舶搭載イメージング蛍光ライダーの概要 (Fig.1 参照) 及び初めてのサンゴ観測例を示す。

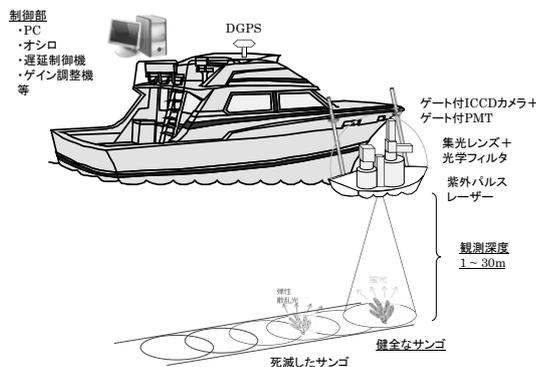


Fig.1 Overview of the boat-based fluorescence imaging lidar for coral monitoring.

## 2. サンゴの近紫外線励起蛍光

サンゴはクラゲと同様、刺胞動物門に属する動物であり、体内に蛍光タンパク質を有するものが多い。特に水深 0~30 m の浅海域に生息する造礁サンゴは、太陽光で光合成を行う褐虫藻と共存しており、緑色蛍光タンパク質に代表される蛍光色素を有するという特徴を持つ。このため、健全なサンゴに近紫外線等の励起光を照射すると、緑色等の蛍光が見られる。Fig.2 に、夜間に可視光（デジタルカメラフラッシュ光）及び近紫外光（波長 375 nm の LED ライト光）を照射したときの沖縄県竹富島周辺海域のサンゴ（卓状ミドリイシ）の水中写真を示す。また、Fig.3 に、別のサンゴ（枝状ミドリイシ）に可視光（デジタルカメラフラッシュ光）を照射したときの水中写真および、近紫外光（波長 365 nm の LED 光）を照射し、その蛍光を分光器で分光して得られたスペクトルを示す。

これらの蛍光は、健全なサンゴに含まれる蛍光タンパク質が発光しているものであり、死滅したサンゴ骨格からは、Fig.3（左）のような蛍光スペクトルのピークは見られない。また、サンゴ以外の藻類や海草類も、クロロフィル-a 等の葉緑素による赤色蛍光（波長 680 nm 付近）以外は蛍光のピークを持たない。このため、近紫外線励起による青色から橙色付近（波長 450~600 nm）のサンゴ蛍光を観測することで、サンゴ被度等のモニタリングが可能になると考えられる。

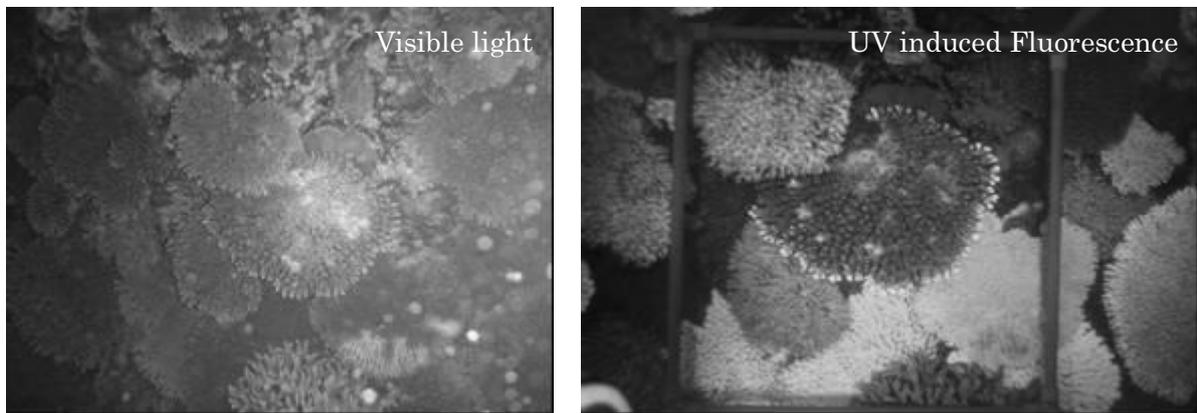


Fig.2 Pictures of Night Corals illuminated by Visible light (left) and Near Ultra Violet light (right) taken by an underwater camera.

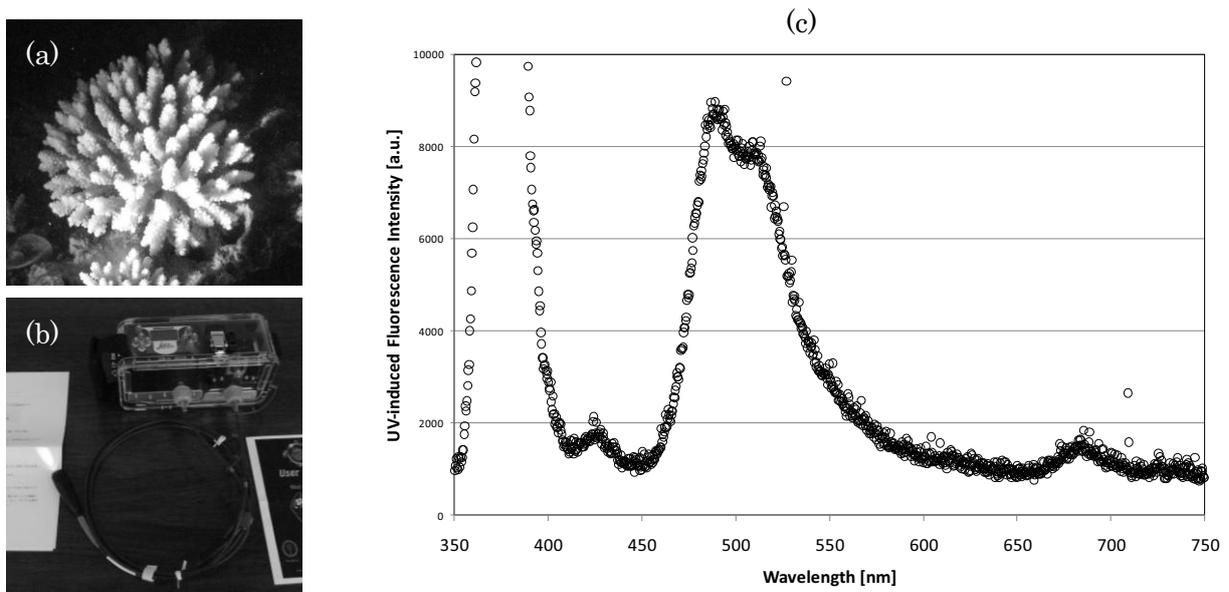


Fig.3 Picture of (a) Coral illuminated by visible light, taken by an underwater camera, (b) Underwater UV(wavelength 365 nm)-induced spectrometer, and (c) UV-induced fluorescence spectrum of the coral.

### 3. 小型船舶搭載イメージング蛍光ライダー装置の開発

サンゴの近紫外線励起蛍光の強度は、日中の太陽背景光の強度に比べて小さい。このため、ダイバーによる水中 UV 励起蛍光カメラ撮影では、日中の強い太陽背景光を避けるため、対象となるサンゴ全体を遮光シートで覆って太陽散乱光を遮るか、太陽散乱光のない夜間に潜水調査を行う必要がある。一方、小型船舶搭載イメージング蛍光ライダー装置では、パルスレーザーとゲート ICCD カメラの同期によって、1回のイメージ撮影の露光時間幅を 100 ns 程度に抑制することが可能であるので、太陽背景光を大幅に抑え、昼間でもサンゴ蛍光のイメージ観測が可能である。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（深度の浅い位置）での海水レーザー励起蛍光を除去する効果や、搭載船舶の動揺に対する画像ブレの抑制効果も望むことができる。ただし、サンゴの蛍光が最も大きくなる励起光は青色の波長範囲であるのに対し、本装置では、大出力パルスレーザーが必要であることから、Nd:YAG レーザー第3高調波（波長 355 nm）の近紫外線を励起光として用いることとした。本ライダー装置ブロックダイアグラムを Fig.4 に、装置諸元を Table 1 に示す。

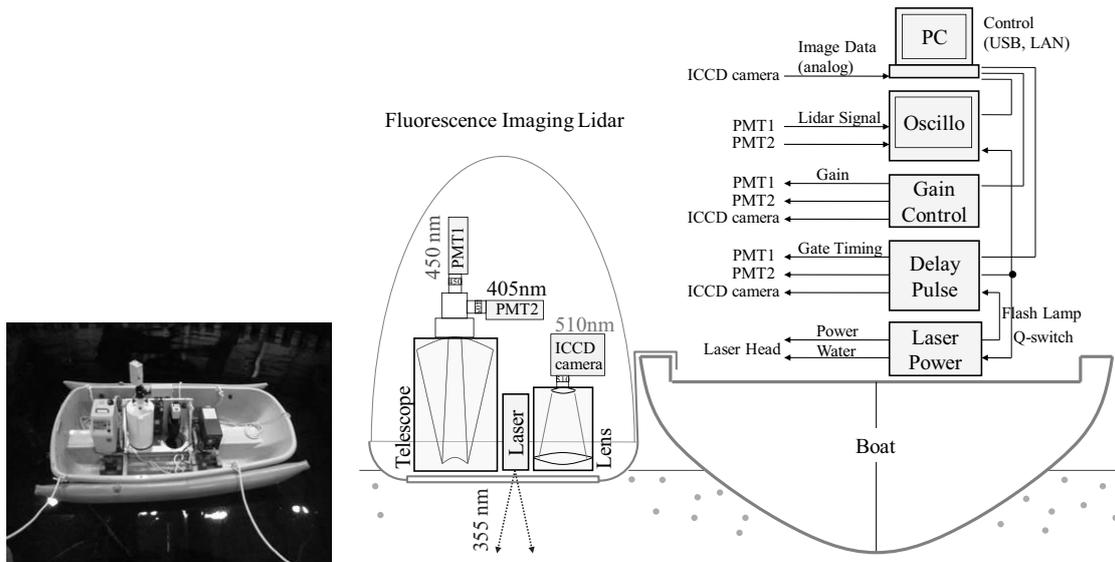


Fig.4 Picture and Block-Diagram of the boat-based fluorescence imaging lidar for coral monitoring.

Table 1 Specifications of the fluorescence imaging lidar.

Laser (Quantel 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 (Hamamatsu photonics C10054-22 +Fujinon 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 (Hamamatsu photonics H10304-00NF +Vixen VMC200L)	Observation Wavelength	400 – 700 nm
	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) 450 nm (Fluorescence)	

#### 4. イメージング蛍光ライダーによるサンゴ観測例

このイメージング蛍光ライダー装置のサンゴ観測性能を評価するため、Fig.4 のミニボートを用いる前段階として、沖縄県八重山郡竹富島のグラスボート船内に紫外パルスレーザーとゲート ICCD カメラを搭載し、船底のガラスを通して海底のサンゴのライダー観測を行った。観測場所は竹富港から南東方向の水深 3~5 m の海域、観測時刻は 2010 年 2 月 5 日の 10:00~11:30 である。当日の天候は快晴であった。Fig.5 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。

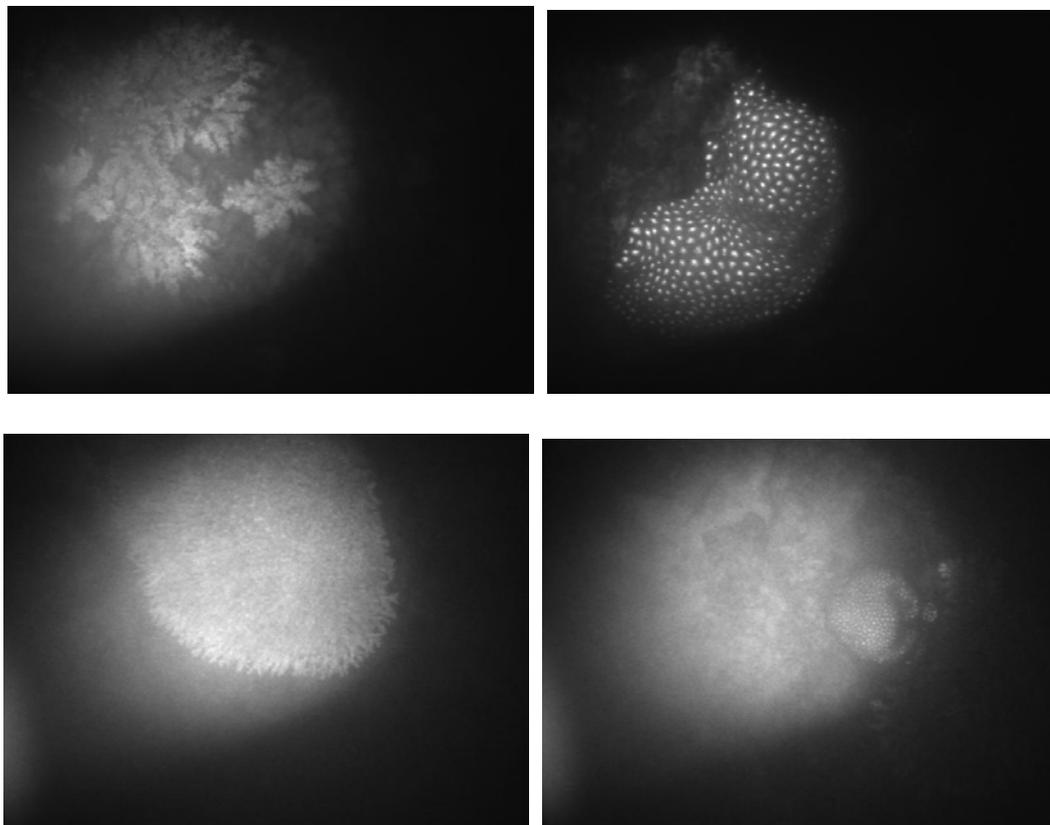


Fig.5 Examples of the coral observation results by the fluorescence imaging lidar mounted on the glass bottom boat. (Feb.2.2010 offshore Taketomi Is.)

#### 5. 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、小型船舶搭載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。今後、さらに装置開発を進め、小型船舶で移動しながら広範囲のサンゴ観測を行う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 次評価報告書第一作業部会報告書, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html)
- 2) 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).
- 3) R. Feely, et.al., "Impact of Anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> System in the Oceans", Science Vol.305 No.5682 (2004) 362-366.
- 4) 田所和明 他, 「海洋生態系に対する地球温暖化の影響」, 海の研究 Vol.17 No.6 (2008) 404-420.
- 5) 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/>
- 6) 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).
- 7) N. O. Alieva et. al., "Diversity and Evolution of Coral Fluorescent Proteins", PLoS ONE Vol.3 (2008) e2680.
- 8) 杉森康宏 他, 「海洋環境光学」東海大学出版会 (1985).