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¹⁾。現状のサン ゴモニタリングは、潜水調査²⁾と、衛星リモートセンシング³⁾の2つが主な観測手法となっているが、 充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⁴、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⁵。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。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。

-		0 0
Laser	Туре	Nd:YAG(THG)
(Quantel	Wavelength	355 nm
CFR400 +ICE450)	Energy	90 mJ/pulse
	Pulse Width	7 ns
	Beam Spread Angle	45 mrad (with beam spread lens)
	Repetition	10 Hz (max)
gated ICCD Camera	Туре	GaAsP, double MCP, usual OFF
(Hamamatsu photonics	Image Resolution	640 * 480
C10054-22	Gain	5*10 ⁶ (max)
+Fujinon	Gate Time	>5 ns
C22x17A-M41)	Field of View	17 * 13 mrad (max zoom)
	Collecting Lens diameter	70 mm
	Observation Wavelength	400 – 700 nm
gated PMT	Туре	GaAsP, usual OFF
(Hamamatsu photonics	Gain	$2*10^{6}$ (max)
H10304-00NF	Gate Time	>100 ns
+Vixen VMC200L)	Collecting Mirror diameter	200 mm
	Observation Wavelength	405 nm (water Raman)
		450 nm (Fluorescence)

 Table 1
 Specifications of the fluorescence imaging Lidar.



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.

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).