

(4) サンゴモニタリングデータの一元化データベースの作成

①海洋情報データベース構築

上記で述べた、ダイバー調査・船舶観測・衛星リモートセンシングの3手法によるサンゴ調査データ及び海洋環境調査データを、海洋情報データベースに蓄積することで、一元化して利用することのできるGISデータベースを構築した。

本研究のデータベースとして、基本GISソフトウェアにSuperMap Deskpro 6³¹⁾を採用した。このGISソフトウェアは、一通りのGIS機能を備えており、他の市販GISソフトウェアと比較して安価であるという特徴がある。また、本GISソフトウェアの機能限定版フリーソフトウェアSuperMap Viwerは、他のGISフリーソフトウェアと比較して機能が充実しており、利用希望者が任意のPCにインストールすれば、本研究で構築したSuperMap上の観測データの閲覧が可能となる。また、観測データの追加・編集等の作業がフリーソフト上でも限定的に可能である。さらに、観測データをシェープファイル形式等で保存することにより、他のほとんどの市販GISデータベース上で観測データを表示することが可能となる。

上記GISデータベースに統合した本研究の観測データの種類を、以下に列挙する。また、これらをプロットしたGISデータベースの画面を図2-69に示す。

- ダイバー調査データ
 - コドラート写真 (0.5m×0.5m)
 - 夜間 UV 励起蛍光コドラート写真 (375nm 励起、0.5m×0.5m)
 - 水中写真
 - 水中ビデオ映像
 - サンゴ被度解析データ
 - サンゴ白化度解析データ
- 船舶観測データ
 - ライダー蛍光イメージ
 - ライダー測深データ
 - 海底ビデオ映像
 - ソナー測深データ
 - DGPS 船体位置・姿勢計測データ
 - CTD 鉛直プロファイルデータ
(水深、水温、塩分、濁度、クロロフィル濃度、pH)
 - サンゴ分布解析データ
 - サンゴ被度解析データ
- 衛星リモートセンシングデータ
 - IKONOS 衛星画像 (波長 4 バンド、解像度 3.3m)
 - QuickBird 衛星画像 (波長 4 バンド、解像度 2.5m)
 - WorldView-2 衛星画像 (波長 8 バンド、分解能 2.0m)
 - クラスタ解析データ

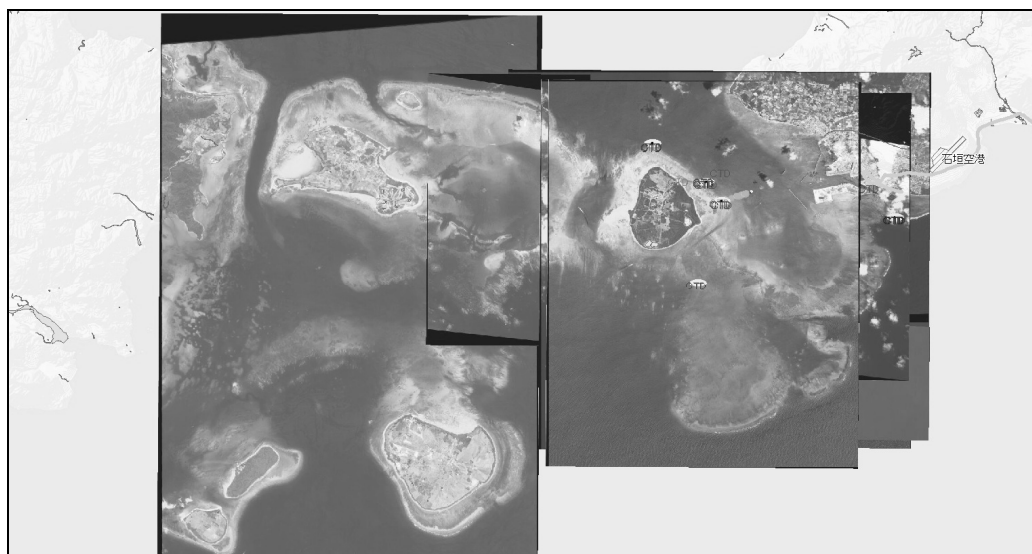


図 51 GIS データベース「SuperMap」上に統合した
ダイバー調査・船舶観測・衛星リモートセンシングデータ

②サンゴモニタリング連携体制

本研究の目的は、海洋温暖化および酸性化がサンゴに及ぼす影響を評価するためのモニタリング体制を整備することにある。このため、観測データはグローバルな規模で取得する必要がある。グローバルな調査を行うためには、現状の観測技術では、実質的に衛星リモートセンシングを主な観測手法とすることが必要である。しかし、現状で衛星リモートセンシング手法には、前節に挙げたような問題点があることに加えて、全サンゴ礁海域をカバーするだけの範囲について衛星画像を取得すると、費用が膨大になるという問題も存在する。また、サンゴ分布の時間変化を調査するためには、同一海域について時間を追って衛星画像を取得する必要があるため、さらに多くの費用がかかる。このため、本研究の枠内で全球の衛星画像を揃えることは困難であり、他機関が実施したサンゴ調査データと相互利用が可能な体制を構築することが重要となる。以上の理由により、GIS データベース上に他機関の観測データも統合した。現在、統合した外部機関のデータの種類を、以下に列挙する。

- 地形・海岸線データ
 - 国土地理院 数値地図 2500 ³²⁾
- 海底地形（水深）データ
 - 日本水路協会 海底地形デジタルデータ ³³⁾
- 広域サンゴ被度データ
 - 環境省 国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター サンゴ礁分布図データ ³⁴⁾
 - 環境省 生物多様性センター 自然環境情報 GIS サンゴ調査データ ³⁵⁾

この中で、環境省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターサンゴ礁分布図データは、

主に衛星画像のクラスター解析によって得たサンゴ被度マップであり、本研究の衛星リモートセンシング手法と基本的に同様の手法である。石西礁湖周辺のサンゴ礁分布図データを図に示す。また、環境省生物多様性センター自然環境情報 GIS サンゴ調査データは、主にダイバー調査のライントランセクト法およびコドラート法によって得られたサンゴ被度マップであり、本研究のダイバー調査手法と基本的に同様の手法である。石西礁湖周辺のサンゴ調査データを図に示す。

これらの図を同一地点について比較すると、サンゴ分布データがあまり一致していないことがわかる。これは、前者が衛星リモートセンシングにより得たサンゴ分布であり、後者がダイバー調査により得たサンゴ分布であることに起因した、モニタリング手法の違いの現れであると考えられる。実際に、環境省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターサンゴ礁分布図データ説明資料には、このデータについて「分類精度は70%程度」であり、「本データを初版と位置づけ、各地域の専門家や研究者、行政機関の方々による検証をお願いしたい」と記載されている。ここからも、衛星リモートセンシング手法の難しさが垣間見られる。本研究による観測データでは、船舶ライダー観測結果の一部において上記サンゴ分布データと同一観測地点があり、ダイバー調査に基づいた生物多様性センターの GIS データとよく一致していることがわかる。GIS データ上の比較を図に示す。

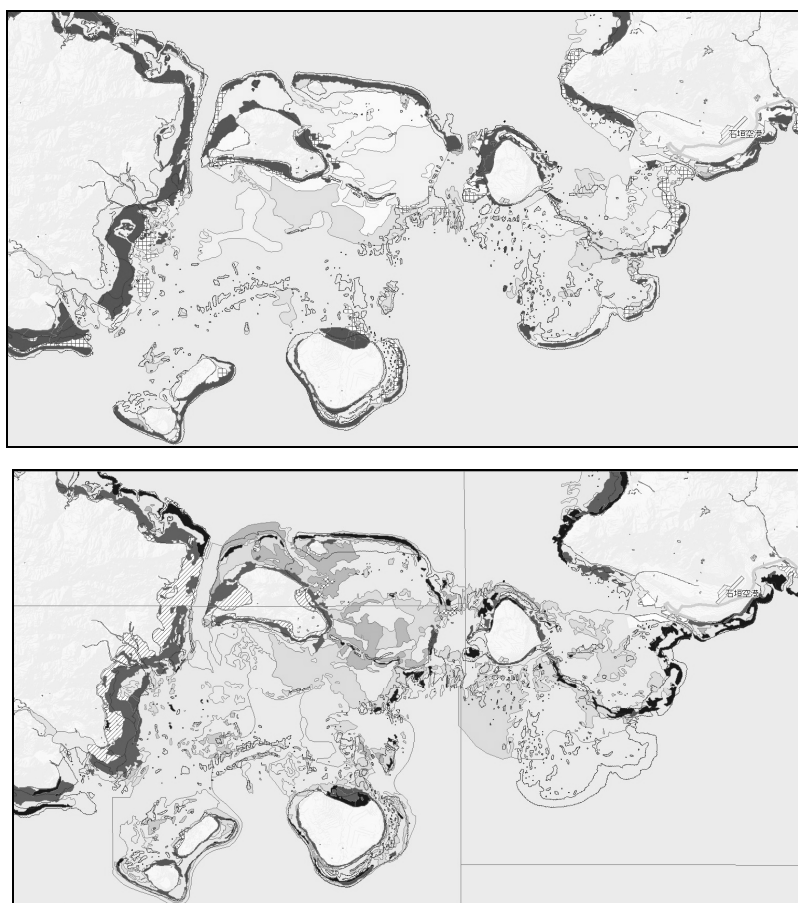


図 52 GIS データベース上に統合した石西礁湖エリアの外部機関サンゴモニタリング情報
(上：衛星リモートセンシング、下：ダイバー調査)

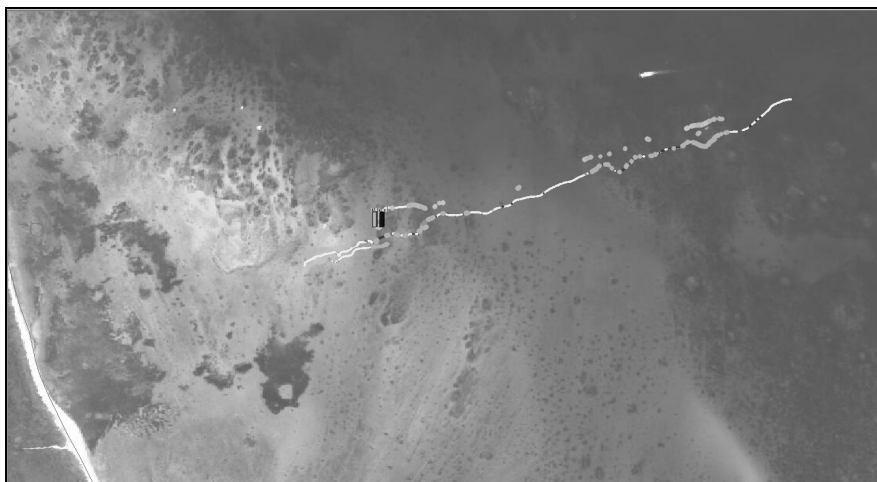


図 53 竹富島東海域における船舶ライダー観測によるサンゴ分布プロット

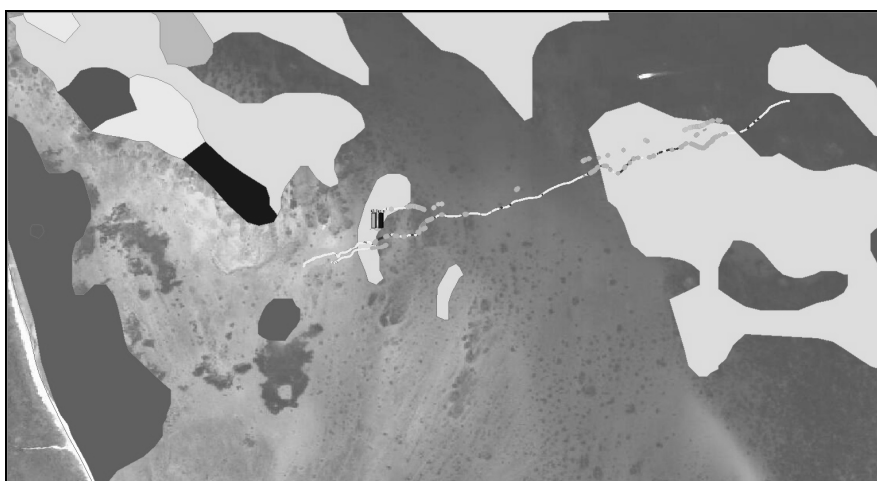


図 54 竹富島東海域における船舶ライダー観測によるサンゴ分布プロットと、
外部機関サンゴモニタリングデータの重ね合わせ
(上：衛星リモートセンシング、下：ダイバー調査)

4. 考察

本研究は、船舶搭載型イメージング蛍光ライダー装置による新しいサンゴ観測手法を開発し、この中域中分解能観測データをうまく用いることで、ダイバー調査データや衛星リモートセンシングデータとの連携を行って、サンゴ連携モニタリング体制の整備を実施した。

船舶観測は、DGPS で正確な位置観測をしつつサンゴ観測をすることができるため、GeoTiff 衛星画像と連携することが比較的容易である。一方、生きたサンゴ群体の形状をイメージ観測することができるため、ダイバーによるコドラート調査と連携することも比較的容易である。このため、複数モニタリング手法の連携に、船舶観測が有効であることがわかった。

また、これまでのサンゴモニタリングの問題点として、ダイバー調査は、観測ポイント1カ所に対して、通常業務で年に1回程度の観測であることが多かった。衛星観測も、これまでの観測実績では、年に1～2回程度の撮影となっている。このため、これらの従来手法と比べて容易に観測作業を行うことのできる船舶観測は、これらの観測時期の間隔を埋める方法としても有効であると考えられる。このため、本研究で整備したサンゴ連携モニタリング体制を活用し、海洋温暖化および酸性化に起因する急激で大規模なサンゴ死滅現象等に対して、有効なモニタリングを実施できることが期待される。

さらに、サンゴモニタリングを実施すべきサンゴ礁海域のうち、船舶ライダー観測でしかモニタリングを実施できない海域が、実際には相当面積存在する。そのような海域の場合、サンゴ連携モニタリングは実現が困難となってしまうが、他のモニタリング手法に比べて比較的波浪や潮流に強く、天候にも影響を受けにくく、深い水深(10m以上)まで観測可能で、サンゴの生死判別も可能な船舶ライダー観測は、今後、サンゴモニタリングにとって重要な手法となっていく可能性がある。

5. 本研究により得られた成果

サンゴ連携モニタリング体制の整備を目指し、ダイバー調査、船舶観測、衛星リモートセンシングの3つの手法について、それぞれの開発・改良を進めた。また、実際に石西礁湖においてサンゴ観測を行い、観測結果を一元化データベースにまとめることで、サンゴ連携モニタリング体制を確立した。

- ダイバー調査に関して、夜間 UV 励起蛍光コドラート法を開発し、サンゴ調査に有効であることを確認した。また、沖縄県竹富島及び千葉県館山市の定点観測ポイントにおいて、日中コドラート法と夜間 UV 励起蛍光コドラート法で、サンゴ被度調査結果に大きな差がないことを確認した。さらに、夜間 UV 励起蛍光コドラート法は、小さなサンゴ群体や、サンゴの死滅の検出に有効であることを確認した。一方、白化度調査に関しては、夜間 UV 励起蛍光コドラート法では生きたサンゴとして確認されることが示唆された。
- 船舶観測に関して、イメージング蛍光ライダー装置の開発を行った。海技研深海水槽にて性能確認を行い、沖縄県竹富島周辺海域にて実海域サンゴ調査を行った。これにより、竹富島周辺海域の生きたサンゴの分布データを得た。さらに、データ解析によりサンゴ

被度マップを得た。これらの船舶観測データは、生物多様性センターのダイバー調査結果を基に作成された、自然環境情報 GIS サンゴ調査データとよく一致していることが確認できた。

- 衛星リモートセンシングに関して、竹富島周辺海域の WorldView-2 衛星画像を複数枚入手し、サンゴ礁海域のクラスター分類法を確立して、クラスター解析を行った。本研究での解析結果は、同海域で他の衛星画像のクラスター解析を実施し作成された環境省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンターのサンゴ礁分布図データと、クラスター形状において大きな矛盾はなかった。また、クラスター解析結果から、サンゴ分布の可能性の高い海域を示すことができた。
- GIS ソフトウェアをベースとして、ダイバー調査、船舶観測、衛星リモートセンシングのサンゴモニタリングデータ及び海洋環境観測データを統合し、一元化データベースを構築した。また、他機関の調査した海洋情報やサンゴモニタリングデータ等も統合し、他機関とのサンゴモニタリングの連携方法を示した。

6. 引用文献

- 1) IPCC 第 4 次評価報告書第一作業部会報告書, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- 2) Richard A. Feely, et al, "Impact of Anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ System in the Oceans", *Science* Vol.305. No.5682 (2004) 362-366.
- 3) IPCC 第 4 次評価報告書第二作業部会報告書, <http://www.ipcc-wg2.org/>
- 4) 環境省生物多様性センター、「モニタリングサイト 1000 (サンゴ礁調査) スポットチェック法によるサンゴ礁調査マニュアル」
(<http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/index.html>)
- 5) 環境省国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター、「サンゴ礁分布図データ説明資料」
(http://coralmap.coremoc.go.jp/sangomap_jpn/explanation.html)
- 6) 樋富和夫 他、「ヘリコプター搭載型蛍光ライダーによる流出油のモニタリングについて」日本航海学会論文集 Vol.117 (2007) 143-150.
- 7) 篠野雅彦 他、「流出油モニタリングのための蛍光ライダー」可視化情報学会論文集 Vol.28 No.1 (2008) 9-14.
- 8) Hill J and Wilkinson C (2004) *Methods for ecological monitoring of coral reefs*, Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- 9) Nakajima R, Nakayama A, Yoshida T, Kushairi MRM, Othman BHR, Toda T (2010) An evaluation of photo line-intercept transect (PLIT) method for coral reef monitoring. *Galaxea, J Coral Reef Stud* 12 : 37-44.
- 10) 環境省生物多様性センター (2010) モニタリングサイト 1000 サンゴ調査平成 22 年度調査速報. 6 pp.
- 11) Loya Y. Sakai K. Yamazato K. Nakano Y. Sambali H. van Woesik R. (2001) Coral bleaching: the winners and losers. *Ecol Lett* 4 : 122-131.
- 12) Veron JEN and Minchin (1992) Correlation between sea surface temperature,

- circulation patterns and the distribution of hermatypic corals of Japan. Cont Shelf Res, 12 : 835-857.
- 13) Tioho H. Tokeshi M. Nojima S. (2001) Experimental analysis of recruitment in a scleractinian coral at high latitude. Mar Ecol Prog Ser 213 : 79-86.
 - 14) Baird AH, Salih A, Trevor-Jones A (2006) Fluorescence census techniques for the early detection of coral recruits. Coral Reefs 25 : 73-76.
 - 15) 紫外パルスレーザー(Quantel CFR400)
<http://www.quantel.fr/industrial-scientific-lasers/uk/gamme-2-47-cfr200-300-400.html>
 - 16) ゲート機能付 ICCD カメラ (浜松ホトニクス C10054-22)
http://jp.hamamatsu.com/products/camera/pd345/pd017/C10054-22/index_ja.html
 - 17) 集光レンズ (フジノン C22-17A-M41)
http://fujifilm.jp/business/material/cctv/telephoto_zoom/c2217am41/
 - 18) 遅延信号発生装置 (浜松ホトニクス C10149)
http://hamamatsu.com/resources/products/etd/jpn/html/pulsedelay_001.html
 - 19) ゲート機能付 PMT (浜松ホトニクス H10304-00NF)
<http://www.fa-mart.co.jp/hamamatsu/09.html>
 - 20) 集光鏡 (ビクセン VMC200L)
<http://www.vixen.co.jp/at/tube.htm#cao>
 - 21) DGPS 測位機 (Septentrio PolaRx2e@)
<http://www.septentrio.com/products/receivers/polarx2eat>
 - 22) ソナー測深機 (タマヤ計測システム TDM-9000B)
<http://www.tamaya-technics.com/tdm-9000b.html>
 - 23) CTD センサー (JFE アドバンテック ASTD102)
http://www.jfe-advantech.co.jp/products/pdf/ocean_catalog_J01A.pdf
 - 24) CTD センサー (IDRONAUT Ocean Seven 305)
http://www.idronaut.it/cms/view/products/multiparameter_probes/environmental_monitoring/ocean_seven_305/s298
 - 25) 宇宙技術開発株式会社 : <http://www.sed.co.jp/sug/default.html>
 - 26) 日本機械工業連合会・資源探査用観測システム・宇宙環境利用研究開発機構 :
 平成 18 年度マルチバンドレーザープロファイラに関する調査研究報告書 (2007)
 - 27) 和達清夫、土屋清他 : リモートセンシング、朝倉書店 (1984)
 - 28) 奥野忠一、久米均他 : 多変量解析法、日科技連 (1978)
 - 29) 佐藤義治 : 多変量データの分類—判別分析・クラスター分析—、朝倉書店 (2011)
 - 30) 上田尚一 : クラスター分析、朝倉書店 (2011)
 - 31) SuperMap Deskpro 6
<http://supermap.jp/products/supermap/deskpro/index.html>
 - 32) 国土地理院 数値地図 2500
<http://www.gsi.go.jp/MAP/CD-ROM/2500/t2500.htm>

- 33) 日本水路協会 海底地形デジタルデータ
<http://www.jha.or.jp/jp/shop/products/btdd/index.html>
- 34) 環境省 国際サンゴ礁研究・モニタリングセンター サンゴ礁分布図データ
http://coralmap.coremoc.go.jp/sangomap_jpn/
- 35) 環境省 生物多様性センター 自然環境情報 GIS サンゴ調査データ
<http://www.biodic.go.jp/trialSystem/info/sa.html>

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌)

なし (投稿中)

(2) 口頭発表

- ① 篠野雅彦、桐谷伸夫、樋富和夫、山之内博、松本陽、田村兼吉
 平成21年度 (第9回) 海上技術安全研究所研究発表会(2009)
 「サンゴモニタリング用船舶搭載型イメージング蛍光ライダーの開発」
- ② 松本陽、篠野雅彦、桐谷伸夫、樋富和夫、山之内博、田村兼吉
 平成21年度 (第9回) 海上技術安全研究所研究発表会(2009)
 「蛍光タンパク質の特性を利用したサンゴモニタリング手法の検討」
- ③ 篠野雅彦、田村兼吉、樋富和夫、桐谷伸夫、山之内博、今里元信、松本陽
 第27回レーザセンシングシンポジウム(2009)
 「海中・海底環境計測のための船舶搭載型蛍光ライダー」
- ④ 篠野雅彦、田村兼吉、樋富和夫、桐谷伸夫、山之内博、松本陽
 日本サンゴ礁学会第12回大会(2009)
 「広域サンゴモニタリングのための船舶搭載型イメージング蛍光ライダーの開発」
- ⑤ 松本陽、田村兼吉、樋富和夫、桐谷伸夫、山之内博、篠野雅彦、荒川久幸
 日本サンゴ礁学会第12回大会(2009)
 「蛍光タンパク質の特性を利用したサンゴモニタリング手法」
- ⑥ 松本陽、篠野雅彦、桐谷伸夫、樋富和夫、山之内博、田村兼吉
 平成22年度 (第10回) 海上技術安全研究所研究発表会(2010)
 「海洋温暖化および酸性化影響評価のためのサンゴ連携モニタリング」
- ⑦ 篠野雅彦、桐谷伸夫、山之内博、松本陽、樋富和夫、田村兼吉
 第28回レーザセンシングシンポジウム(2010)
 「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」
- ⑧ M.Sasano, A.Matsumoto, N.Kiriya, H.Yamanouchi, K.Hitomi and K.Tamura
 “A new method for coral monitoring using boat-based fluorescence imaging lidar”
 Techno-Ocean 2010, Kobe, Japan (2010)
- ⑨ A.Matsumoto, M.Sasano, N.Kiriya, H.Yamanouchi, K.Hitomi, K.Tamura and H.Arakawa
 “Coral damage assessment using fluorescence imagery. –Condition of Faviidae colonies at

southern Ishigaki island.-”

Techno-Ocean 2010, Kobe, Japan (2010)

- ⑩ 篠野雅彦、松本陽、桐谷伸夫、山之内博、樋富和夫、田村兼吉
日本サンゴ礁学会第13回大会(2010)
「紫外線パルスレーザーを用いた小型船舶からの新しいサンゴ観測法」
- ⑪ 松本陽、篠野雅彦、桐谷伸夫、山之内博、樋富和夫、田村兼吉、荒川久幸
日本サンゴ礁学会第13回大会(2010)
「枝状および卓状ミドリイシにおけるコロニー内の蛍光パターン」
- ⑫ M.Sasano, N.Kiriya, H.Yamanouchi, A.Matsumoto, K.Hitomi and K.Tamura
“Coral monitoring with fluorescence imaging lidar”
SPIE ISPDI 2011, Beijing, China (2011)
- ⑬ 篠野雅彦、桐谷伸夫、松本陽、山之内博、樋富和夫、田村兼吉
第11回海上技術安全研究所研究発表会講演集 (2011)
「浅海底サンゴ分布の計測技術開発」
- ⑭ 松本陽、田村兼吉、樋富和夫、桐谷伸夫、山之内博、篠野雅彦、荒川久幸
2011年度日仏海洋学会学術研究発表会予稿集 (2011)
「石垣島南部海域におけるキクメイシ科サンゴ群集のダメージ評価」
- ⑮ 篠野雅彦
平成23年 電気学会 電子・情報システム部門大会講演論文集 (2011)
「海洋計測ライダーの応用の現状」
- ⑯ 篠野雅彦、山之内博、松本陽、桐谷伸夫、樋富和夫、田村兼吉
第29回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2011)
「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」
- ⑰ 齊藤秀太郎、篠野雅彦、桐谷伸夫、山之内博、松本陽、樋富和夫、田村兼吉
第29回レーザーセンシングシンポジウム予稿集 (2011)
「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」
- ⑱ 桐谷伸夫、篠野雅彦、松本陽、山野博哉
日本航海学会第125回講演会予稿集 (2011)
「高分解能多波長衛星画像情報による沿岸海域における底質状況の評価」
- ⑲ 篠野雅彦、山之内博、松本陽、桐谷伸夫、樋富和夫、田村兼吉
日本サンゴ礁学会第14回大会予稿集 (2011)
「船舶搭載イメージング蛍光ライダーによる竹富島周辺海域のサンゴ分布調査」
- ⑳ 松本陽、篠野雅彦、桐谷伸夫、山之内博、樋富和夫、田村兼吉、荒川久幸
日本サンゴ礁学会第14回大会予稿集 (2011)
「竹富島周辺海域におけるサンゴ群集構造の季節変化」
- 21 Masahiko Sasano, Hiroshi Yamanouchi, Akira Matsumoto, Nobuo Kiriya, Kazuo Hitomi and Kenkichi Tamura,
Proceedings of International Coral Reef Symposium (2012),
"Development of boat-based fluorescence imaging lidar for coral monitoring"

(3) 出願特許

篠野雅彦:海上技術安全研究所;「形質計測装置及び形質計測システム」,特願2011-078936,
平成23年3月31日

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

- ① Laser Focus World Japan (2009年12月号、ICSコンベンションデザイン社) 34-37.
「ライダ技術によって可能になる詳細／広域なサンゴ礁調査」
- ② 海技研ニュース 船と海のサイエンス2011-Winter (2011) 13-17.
「紫外線レーザーで船からサンゴを観測する」

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

本研究成果の利用を前提とし、国立環境研究所と共同で応募した次期研究課題「船舶観測による広域サンゴモニタリングに関する研究」(H24～26)が地球環境保全試験研究費(地球一括計上)に採択された。