

地球一括計上

|        |  |                         |                            |
|--------|--|-------------------------|----------------------------|
| 課題名    | 船舶観測による広域サンゴモニタリングに関する研究   |                         |                            |
| 担当研究機関 | 独立行政法人海上技術安全研究所<br>独立行政法人国立環境研究所   |                         |                            |
| 研究期間   | 平成24-26年度  | 合計予算額<br>(当初予算額<br>ベース) | 52,544千円 (うち26年度 16,364千円) |
| 研究体制   | <p>(1) 船舶搭載型イメージング蛍光ライダー装置によるサンゴ観測技術の整備<br/>(独立行政法人海上技術安全研究所)</p> <p>(2) 船舶搭載型ステレオカメラによるサンゴ3D形状観測技術の開発<br/>(独立行政法人国立環境研究所)</p> <p>(3) 国内造礁サンゴ生息海域の広域サンゴ船舶観測<br/>(独立行政法人海上技術安全研究所)</p>  |                         |                            |
| 研究概要   | <p>1. 序 (研究背景等)</p> <p>造礁サンゴ (以下、サンゴ) は、熱帯地域の沿岸環境を形成し、様々な生態系サービスを提供する重要な生物である。サンゴは褐虫藻を共生させており、生態系の中で一次生産を担うことで、貧栄養の熱帯海域において高い生物多様性および生物生産性の確保に貢献している。サンゴ礁はサンゴ礁地域に住む人々に水産資源、観光資源を提供するとともに、サンゴ礁地形が天然の防波堤となり、砂浜や州島を浸食から守る役割を果たしている。さらに、サンゴ礁海域の環境に根差した人々の暮らしは、文化遺産でもある。</p> <p>産業革命以降、大気中のCO<sub>2</sub>濃度は4割程度上昇し、この温室効果等によって海面から深度700mまでの平均海水温が、最近の40年間で0.4℃程度上昇したと報告されている。また、海洋へのCO<sub>2</sub>溶け込みにより、海洋表層がpH 0.1程度酸性化したとも報告されている。これらの海洋環境変化は、今後も進行すると予測されており、海水温上昇、海洋酸性化のどちらにも脆弱な海洋生態系として、サンゴの白化や大量死の拡大が懸念されている。また、熱帯地域の人口増加や埋め立て等、ローカルな陸域負荷の増大を起因とするサンゴの衰退も懸念されている。実際に、世界中の多くの造礁サンゴ分布海域で、生きたサンゴの分布が縮小し、保全の必要性が高まっているとの調査報告が存在する。また、冬季の海水温上昇に伴って、北半球での造礁サンゴの生息北限が北上するという海洋生態系変動も報告されている。このように、サンゴ礁は環境変動に対して急激に変化しており、観測による実態解明とモニタリングによる変化の把握を行い、それらに基づく保全活動を立案・実施することが急務である。</p> <p>現状のサンゴ観測手法は、潜水調査とリモートセンシングの2つが主流となっている。潜水調査は、観察者が直接、海中に入って行う調査であり、最も詳細なサンゴ調査を実施することができる。ただし、詳細な調査ほど時間がかかるため、実質的に調査海域は限定的となり、サンゴ礁海域全体に関する十分な観測データを得ることが難しくなる。一方、衛星リモートセンシングは、数100km程度の上空から観測する調査であり、数10km程度に渡るサンゴ礁海域を一度に観測することや、全球のサンゴ分布を統一された客観的手法で調査すること等が可能である。ただし、最高レベルの高分解能衛星画像でも、マルチスペクトル画像において分解能が2~3m程度であり、サンゴの種や群体の形状を識別することはできないため、高被度サンゴ群集の分布調査が中心となる。また、海底に分布するサンゴ群集の衛星画像においては、大気の影響に加えて、波浪および海水透明度の影響が大きく、多くの場合、観測可能水深が5m程度までとなる。</p> <p>このため、上記2手法の中間的な観測範囲と分解能を持ち、波浪や天候等の影響を比較的受けにくく、より深い水深の海域での観測にも対応することのできる船舶観測に、広域サンゴモニタリングへの適用の期待が高まっている。</p> |                         |                            |

## 2. 研究目的

本研究は、海水温上昇および海洋酸性化がサンゴに与える影響の評価を目的とし、まず、船舶による広域サンゴ観測手法を整備する。具体的には、イメージング蛍光ライダー観測法と、ビデオカメラステレオ観測法の2つについて、小型船舶曳航ブイまたは自律型無人ミニボートに搭載し、浅海底のサンゴ観測を実現可能とするように、観測技術の開発を行う。

次に、広域についてのサンゴの船舶観測を実施し、サンゴ分布状況を明らかにする。最終的に、この調査を国内造礁サンゴ生息海域の南方から北限域まで5カ所以上の海域について実施することで、サンゴ観測データ量を飛躍的に増大させる。これにより、熱帯域サンゴの白化・大量死状況や、温帯域サンゴの分布北上等、地球規模の気候変動のサンゴ分布への影響のモニタリングを目指す。

## 3. 研究の内容・成果

### (1) 船舶搭載型イメージング蛍光ライダー装置によるサンゴ観測技術の整備

これまでグラスボートを用いて観測を行っていたイメージング蛍光ライダー装置について、通常の小型船舶でも観測ができるように、ライダー装置収容ブイを製作し、観測性能の確認実験を行った。さらに、小型船舶甲板上に搭載し、ブイの着水・揚収作業を可能とする、小型の着水・揚収システムを開発した。これにより、現地船舶手配が可能な海域が増加し、サンゴの船舶ライダー観測の実施が容易となった。

### (2) 船舶搭載型ステレオカメラによるサンゴ3D形状観測技術の開発

水深5m程度のサンゴ生息域の広域観測を目的として、小型自律観測システムを開発した。本システムは、プログラムされた観測コースを正確にトレースする無人船舶、水中用ステレオカメラ装置と、新たに開発した画像処理プログラムによって構成される。ステレオ処理により水底の地形やサンゴの三次元形状を計測すると共に、水底のデジタル画像を正射投影することを実現した。加えて、広域な水底マッピングや経年変化などのモニタリングを可能とした。動力として電動船外機と車載用バッテリーを用い、1haの範囲の観測を2時間以内に終了することを確認した。

### (3) 国内造礁サンゴ生息海域の広域サンゴ船舶観測

国内5海域（竹富島、下地島、竜串、串本、館山）において、ライダーとステレオカメラの両手法によるサンゴ分布の船舶観測を実施し、広域サンゴ観測データを取得した。また、サンゴ分布情報としてGISデータベース上にまとめた。

表1 本研究で実施したサンゴの船舶観測  
(ライダー&ステレオカメラ合同観測)

| 観測日                          | 場所              | 備考  |
|------------------------------|-----------------|---|
| 2014/1/28～30<br>2015/1/24～25 | 沖縄県八重山郡<br>竹富島  | 船舶曳航ライダーブイ&<br>自律型無人ミニボート(2014,2015)  |
| 2013/10/30～31                | 沖縄県宮古島市<br>下地島  | 現地グラスボート&<br>自律型無人ミニボート(2013)   |
| 2012/11/28<br>2014/12/3～5    | 高知県土佐清水市<br>竜串  | 船舶曳航ミニボート&<br>有人操船ミニボート(2012)<br>船舶曳航ライダーブイ&<br>自律型無人ミニボート(2014)<br>(潜水コドラート調査と同時期観測) |
| 2014/9/18～19                 | 和歌山県東牟婁郡<br>串本町 | 船舶曳航ライダーブイ&<br>船舶搭載カメラシステム(2014)<br>(潜水コドラート調査と同時期観測)                                 |
| 2012/11/9<br>2014/10/30      | 千葉県館山市<br>坂田    | 船舶曳航ミニボート(2012)、<br>船舶曳航ライダーブイ(2014)  |

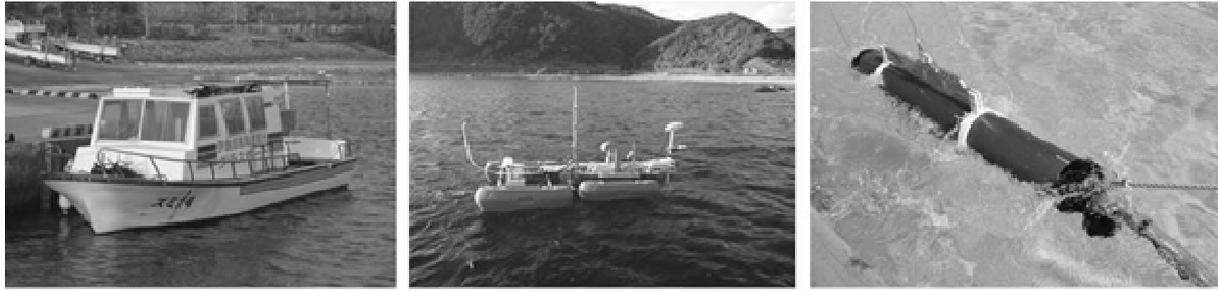


図1 サンゴ船舶観測の写真

左：グラスボート（下地島）、中：自律型ミニボート（竜串）、右：曳航ブイ（竹富島）

#### 4. 考察

本研究期間の H24 年度から 26 年度にかけて、高知県土佐清水市の竜串海中公園において、自律型無人ミニボートに搭載したステレオカメラで、コードラド調査区（3m×3m）を含む観測を行った（H24 のみ有人操船）。図 2 に観測例を示す。

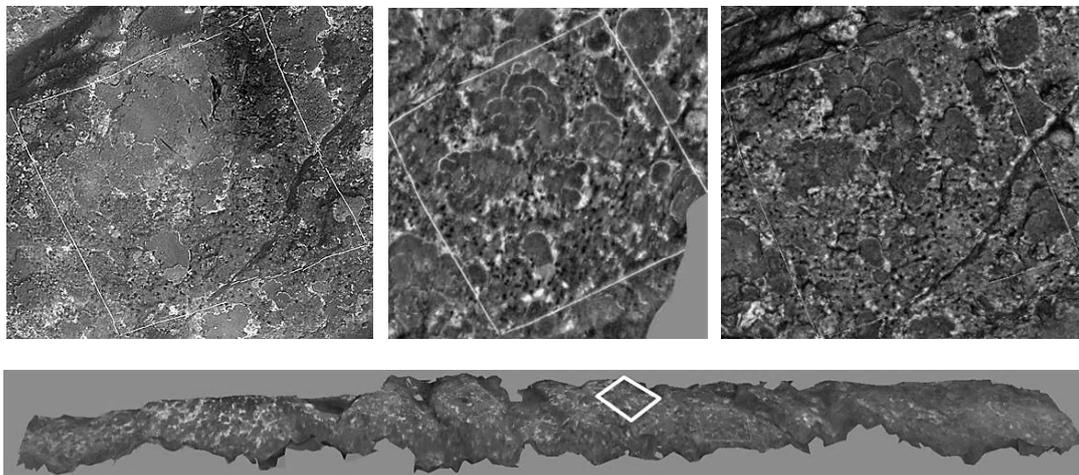


図 2 竜串の水中オルソ画像の例

上段左：2014 年 12 月、上段中：2013 年 12 月、上段右：2012 年 11 月  
 下段：5 コース分の観測から得られた広域水底三次元マップ（長さ 67m）  
 白枠部分が上段拡大図の範囲

観測期間の 3 年間で、数 cm サンゴが成長していることが判別できる。このことにより、本システムのサンゴモニタリングへの応用可能性が示され、今後データを蓄積することにより、温暖化等によるサンゴの変化を明らかにすることができると期待される。

また、小型船舶曳航ブイ搭載ライダーを用いた竜串でのサンゴ観測例を図 3 に示す。ビデオカメラによる自然光画像と、ライダーによる蛍光画像を比較することで、サンゴ群体の蛍光特性を確認できる。また、サンゴ群体の中で一部死んでいる箇所や、小さなサンゴ群体等も明瞭に確認できることがわかる。サンゴの蛍光特性は、サンゴ群体が死ぬと消えるため、サンゴの大量死の早期発見等に役立つと期待される。

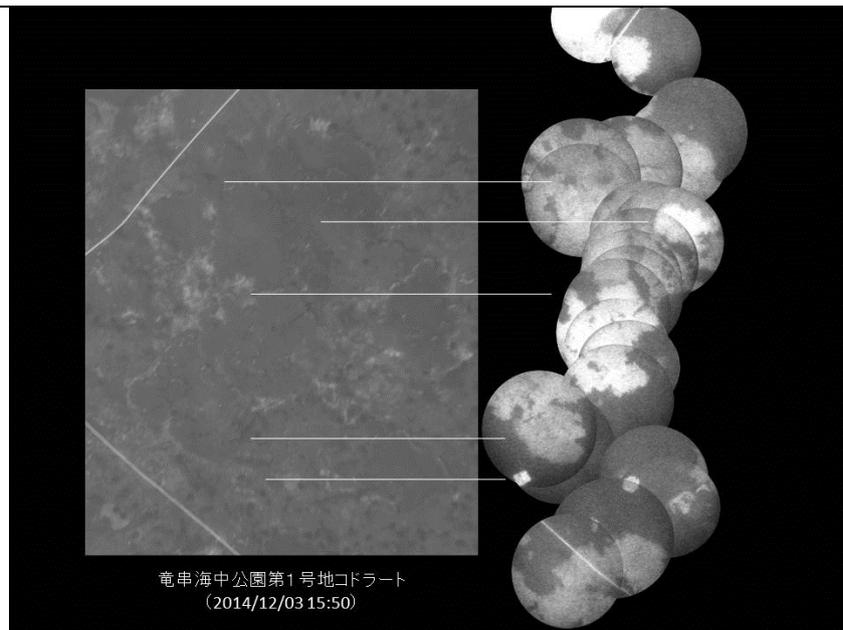


図3 竜串の船舶ライダー観測の例（2014年）  
 左：ビデオカメラによる自然光画像、右：ライダーによる蛍光画像  
 コドラート枠（3m×3m）の一部や、小さなサンゴも確認できる。

小型船舶曳航ブイによる観測では、船舶の機動力を活かし、長距離観測も可能である。2014年1月の竹富島一周の船舶観測において、ライダー観測による海底蛍光画像を目視判別し、蛍光を発するサンゴを生きたサンゴと判断して、その分布をGISデータベース上に統合したものを図4に示す。竹富島の周囲、測線全長約16kmの観測結果が約2時間の観測で得られており、生きたサンゴ分布の広域観測に有効であることがわかる。

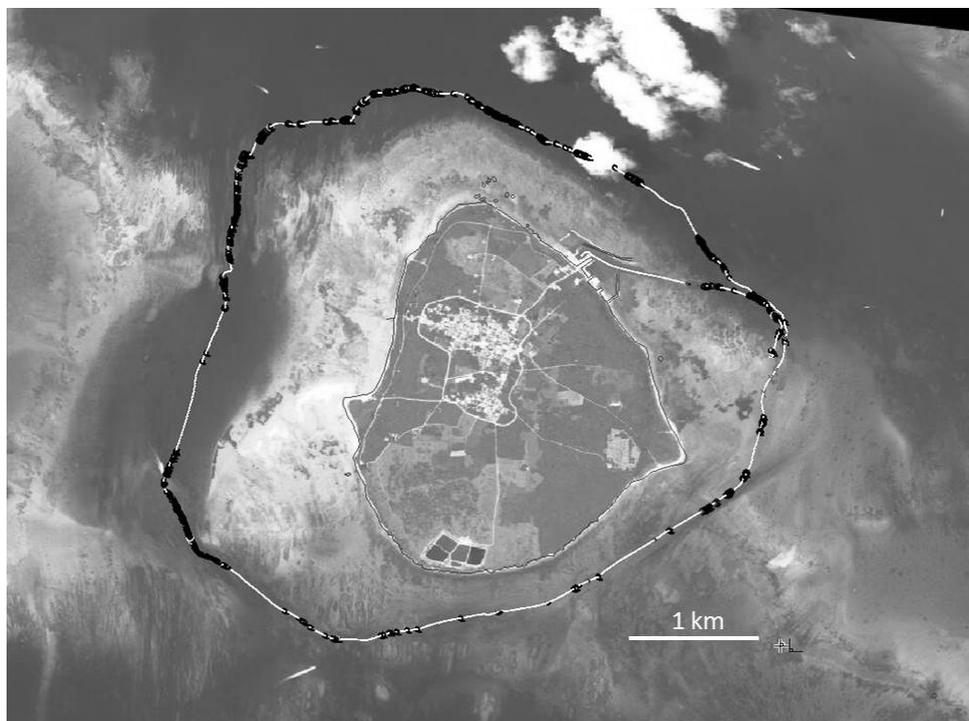


図4 沖縄県八重山郡竹富島周辺海域での船舶ライダー観測による  
 生きたサンゴの分布観測結果（2014.1.30 10:29～12:33）  
 V：生きた枝状サンゴ、●：生きた卓状サンゴ、×：死んだサンゴの骨格  
 （背景は2010.8.14撮影のWorldView-2衛星画像）

## 5. 波及効果

西伊豆海域において、自律型無人ミニボートを用い、サンゴの観測に加えて藻場の観測を実施した。観測機器としてステレオカメラシステムを用い、左右のステレオ視とアロング方向のステレオ視による藻場の三次元化を試みた。観測中は基本的に動かないサンゴに対して、潮流や波により常に位置が変化する海藻のステレオマッチングは前例がない。進行方法への重複フレームのみでは、船の移動中に海藻が動いてしまいマッチングは困難となる。一方、自律型無人ミニボートのシステムは左右のステレオペアの場合には撮影がほぼ同期しているフレームが存在することから、原理的には動いている対象であってもステレオ観測が可能である。

観測対象範囲は田子港付近の藻場とした。水深2 - 3m付近の藻場の撮影画像を切り出し、マッチングパラメーターをチューニングしつつDSMとオルソ画像を作成した。その結果、良好な藻場の三次元構造を作成することが出来た。図5はマメタワラの三次元画像の一例である。

これにより、本研究による観測システムが、地球規模海洋環境の変化によるサンゴの白化・大量死だけでなく、藻場の磯焼けのモニタリングにも有効であることが実証された。

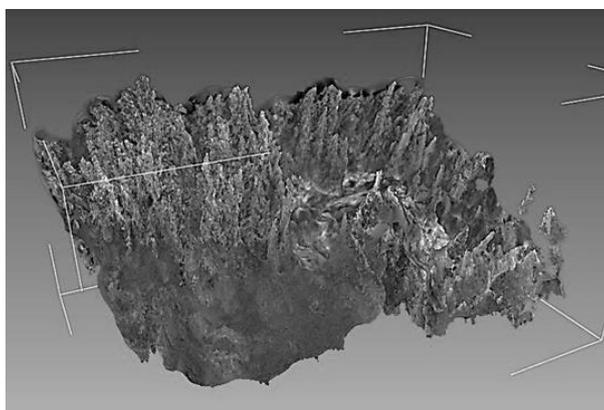


図5 マメタワラ群落の三次元構造

また、本研究のサブテーマ(2)の自律型無人ミニボートシステムについて、国環研からシステム開発を委託している朝日航洋株式会社は、この技術を「浅海底観測システム」として、国土交通省の「コンクリートのひび割れについて遠方から検出が可能な技術」の技術公募に応募し、H27年1月13日に認定されている。

(<http://www.senmonshi.com/archive/01/01A6SNZZL0RNRP.asp>)

さらに、朝日航洋株式会社は、みらい建設工業株式会社と協同で「ダム湖堆積物 電磁波レーダー探査システム」を開発しており、上記の自律型無人ミニボートシステムをその一部に組み込んで利用している。

(<http://www.c-robotech.info/現場検証技術db/水中維持管理部会db/水中-みらい建設工業/>)