

## 1 1. ケミカルシグナルを利用した大量発生予測手法開発

北村誠（沖縄県環境科学センター）

### 1 1 - 1. 目的

オニヒトデの初期生活史における「浮遊後期幼生（後期ブラキオラリア）から稚ヒトデへの着生現象」と「サンゴモ食期稚ヒトデの摂餌行動」に着目し、それぞれの現象を司る化学物質（着生誘引物質・摂餌行動刺激物質）の探索研究と、それら化学物質を用いた幼生・稚ヒトデトラップを開発し、将来のオニヒトデ大量発生予察手法としての利用を検討する。具体的な研究課題は、以下の4つである。

- ①後期ブラキオラリアの着生誘引物質を用いたトラップ開発
- ②直径 2mm 以下の稚ヒトデの摂餌行動刺激物質を用いたトラップ開発
- ③直径 15mm～49mm の稚ヒトデの摂餌行動刺激物質を用いたトラップ開発
- ④海洋におけるトラップ実用性の検討

①に関する昨年度までの研究で、グアム島で採集された無節サンゴモ *Hydrolithon reinboldii*（以後、コブイシモと示す）のエタノール抽出物に着生誘引活性が観察され、その活性を指標に分離・精製を繰返した結果、着生誘引物質が2つあることが判っている（Inducer A と Inducer B、H25 年度結果）。Inducer A は、NMR や MS による構造決定の結果、推定構造が判明し化学合成を行ったが、その合成物質には着生誘引活性がなかった。よって、単離したピークのマイナー物質が活性に関与している可能性が示唆された。しかし、H26 年度の誘引試験では、そのマイナー物質と Inducer A が含まれるピークにも活性が現れなかった。さらにそれまであまり活性の強くなかった Inducer B に強い着生誘引活性が現れた。したがって、Inducer B を用いてトラップに保持させる担持素材の探索を行った。しかし、試験に用いられた素材に有効なものはなかった（ろ紙、寒天、PVB 樹脂、セルロース TLC ガラスプレート、C-18 TLC ガラスプレート）。Inducer A 及び Inducer B を含む活性フラクションは、現在微量しか残されていない。したがって、本年度は、Inducer A と B の構造決定に集中し、活性試験を指標にした分離・精製を目指すことを大きな目的とした。

②に関する昨年度までの研究では、着生後 10 日以上した個体に生きたサンゴモに対する摂餌行動刺激活性が現れた。しかしながら、サンゴモ抽出物の水溶性・脂溶性フラクションのいずれも活性がなかった。また、成体の摂餌行動刺激物質として知られているベタインやアラキドン酸にも活性を示さなかった。本年度は活性のなかったサンゴモ抽出物の水溶性・脂溶性フラクションの更なる分離を進め、活性試験を継続する。

③に関する昨年度の研究では、直径 20-40mm の稚ヒトデが用いられ、ベタインやリノレン酸の  $10^{-2}$ M 寒天濃度で摂餌行動刺激活性が観察された。また、トラップの原型も出来上がり、非常に単純な構造でありながら、一度入った稚ヒトデを逃がさない特徴を備えていた。しかしながら、活性試験に用いた個体数（5 及び 6 個体）、物質添加量（ $10^{-2}$ M 寒天濃度）、繰返し数（n=1）など様々な不安材料が残された。ベタインは、もともと成体オニヒトデの摂餌行動の一部である「腕持ち上げ刺激活性（arm-rearing activity）」を比較的低濃度（ $10^{-3}$ M）で引き起こすとして報告されている（Moor & Huxley 1976）。これら現象は、高濃度（ $10^{-2}$ M）のアルギニン、グルタミン酸、プロリ

ン、トリプトファン単一物質でも起こる。さらに低濃度混合アミノ酸 ( $10^{-3}\text{M}$  Pro, Arg, Glu, Trp) と  $10^{-5}\text{M}$  ベタインの混合物質が強い活性を示すことも報告されている。リノレン酸は、成体オニヒトデの摂餌行動刺激物質として、ラッパウニ (*Toxopneustes pileolus*) から抽出された報告 (Teruya, 2001) がされているが、稚ヒトデの摂餌行動刺激活性の報告例はない。

④は、本年度からの取組みであり、実験室内で行われた基礎研究手成果や手法等が実海域で通用するかが検討された。また、実海域におけるトラップの強度や操作性の向上も検討された。Teruya ら (2001) は、成体オニヒトデを対象とし、網カゴ状トラップ (1.5 $\text{m}^2$ 、誘引剤：リノレン酸) を用い、7 匹/9 日 (本部町沿岸)、3 匹/4 日 (恩納村沿岸) の割合で捕獲に成功している。海域でのオニヒトデトラップ捕獲の報告例は Teruya らのみである。

## 1 1 - 2. 方法

### 1 1 - 2 - 1. 後期ブラキオラリアの着生誘引物質を用いたトラップ開発

成体オニヒトデは、瀬底島周辺と恩納村沖で採集し、琉球大学熱帯生物圏研究センターの室内水槽にて飼育した。受精は 6/25、7/1、7/11、7/17、7/27 と計 5 回行い、発生段階の異なる幼生を同時に沖縄県環境科学センター内にて飼育した。着生誘引活性試験は、分離した各フラクションを 6 穴プレートに添加し、溶媒を真空ポンプで蒸発させる。その後、人口海水 3mL、後期ブラキオラリア幼生 10 匹をいれ、48 時間経過した後、実体顕微鏡にて観察した。活性ありの定義は i) 着底盤によりしっかり付着していること ii) ヒトデ原基以外の部分の十分な体縮とした。

### 1 1 - 2 - 2. 直径 2mm 以下の稚ヒトデの摂餌行動刺激物質を用いたトラップ開発

本年度は、9 月上旬でも後期ブラキオラリア幼生が活性を保ったまま、沖縄県環境科学センター内で飼育されていたため課題 1. を優先的に研究した。

### 1 1 - 2 - 3. 直径 15mm~49mm の稚ヒトデの摂餌行動刺激物質を用いたトラップ開発

H26 年から H27 年の砂辺・恩納村における夜間潜水調査にて捕獲した稚ヒトデ 19 匹が摂餌行動刺激活性試験に用いられた。これら稚ヒトデの直径は 15-49mm で、昨年度実験に用いた 20-40mm の稚ヒトデよりさらにサイズの違いが大きい。これら稚ヒトデは恩納村漁業協同組合から提供を受けた養殖サンゴ (*Acropora tenuis*) を 1 回/week の頻度で餌として与え、以下の条件で試験を行った。



図3-11-1. 室内試験用トラップ.

- i) 試験海水と容量：人口海水、15L
- ii) 容器：市販ガラス水槽 (エアーレーション有り)
- iii) 稚ヒトデ：19 匹 (直径 15-49mm)
- iv) トラップ：直径 90mm、高さ 35mm、開口部 13mm、誘導管先端部 10mm、3 穴式 (図 3 - 1 1 - 1)

- v) 試料：40mm シャーレのフタに試料を添加し、真空ホンプで溶媒を蒸発させる。その後、3mL の 0.5%寒天溶液を添加し、固まる前によく攪拌する
- vi) 試験時間：約 9 時間

#### 1 1 - 2 - 4. 海洋におけるトラップ実用性の検討

実験室内で使用している図 1 のトラップを実際の海域に設置し、その効果が試された。試験海域として、通年稚オニヒトデが観察される砂辺の北谷（水深 7-9m）とし、現在までに 2 度の野外試験を行った。トラップ設置期間は、当日の午後から翌日の朝までとし、標的とする稚サンゴ幼生のサイズは、室内実験の結果から直径 15-50mm とした。各実験の詳細を表 X- 1 1 - 1 に示す。

表 3-11-1. 野外トラップ試験条件.

Entry	Data	Trap type (bores)	Depth (m)	Inducer	Method of fixation	Distance between feeding marks and trap
1-1	6/9-10	Lab. Type (2)	8.5-9.2	Butter 2.4g	Nails and rubber bands	50cm
1-2		Lab. Type (3)		Betaine 1.0g		30cm
1-3				Betain 0.3g & butter 1.7g		15cm
2-1	10/16-17	Square Type	7.0-9.2	Live <i>A. tenuis</i> (ca. 10g)	Sinkers (torus-shape lead)	No feeding marks
2-2		Round Type				
2-3				(300uL/3mL 0.5% agaer)		
2-4						
2-5						
2-6						

野外設置に伴い、トラップ内のベタイン量はかなり高濃度に調整した (Entry 1-2 [2.8M]、1-3 [0.85M])。またバターには、リノレン酸が 0.3% (V/V) の割合で含有していることが知られており、Entry 1-1 では 7.2mg、No. 2 では 5.1mg のリノレン酸がバターに含有している計算になる。

### 11-3. 結果および考察

#### 11-3-1. 後期ブラキオウリアの着生誘引物質を用いたトラップ開発

本年度の進行状況を、図3-11-2の青と赤の線で示す。HPLCの移動層溶媒をアセトニトリルに変更して Inducer B フラクションを分離したところメインピークが大きく一本現れる HPLC チャートを得る結果となった(図3-11-3左、Fr. 2)。活性試験結果からその大きなピークには活性がなく、Fr. 3に活性が現れた。それらマイナーピーク群を更に分離し(図3-11-3中)、最終的にシングルピーク青 Fr. 3-4-2(図3-11-3右、青矢印)を得ることに成功した。

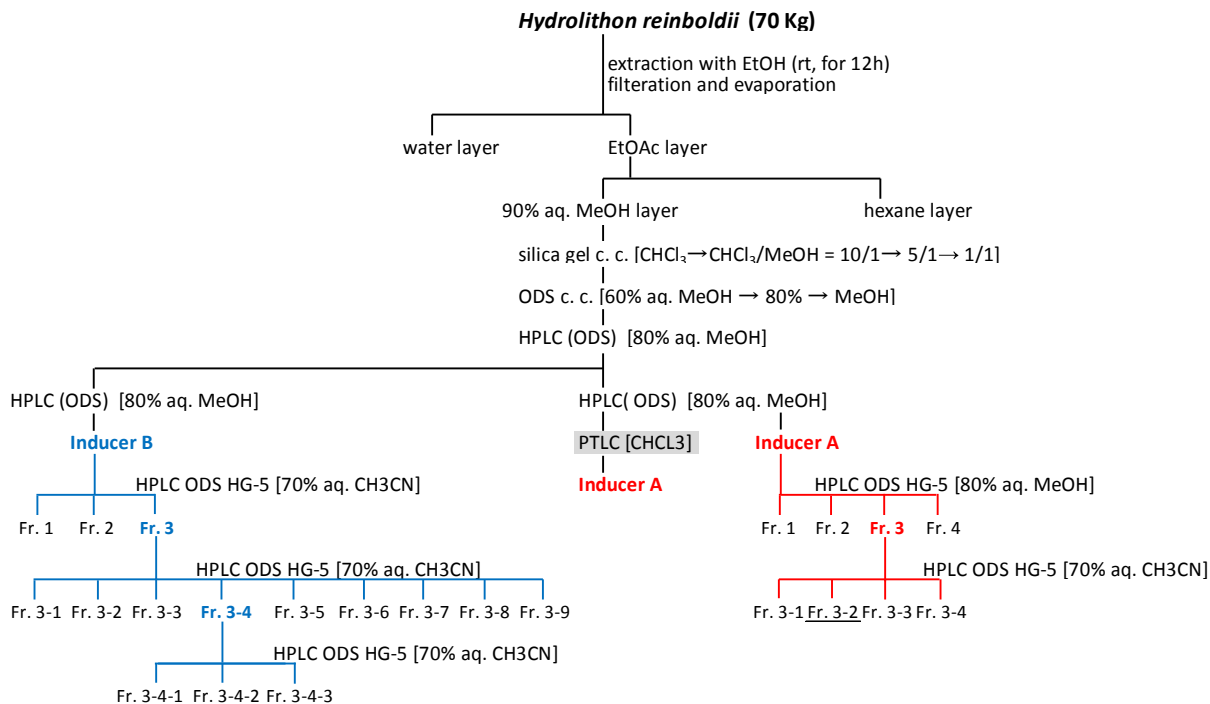


図3-11-2. コブイシモ由来の着生誘引物質の分離スキーム。

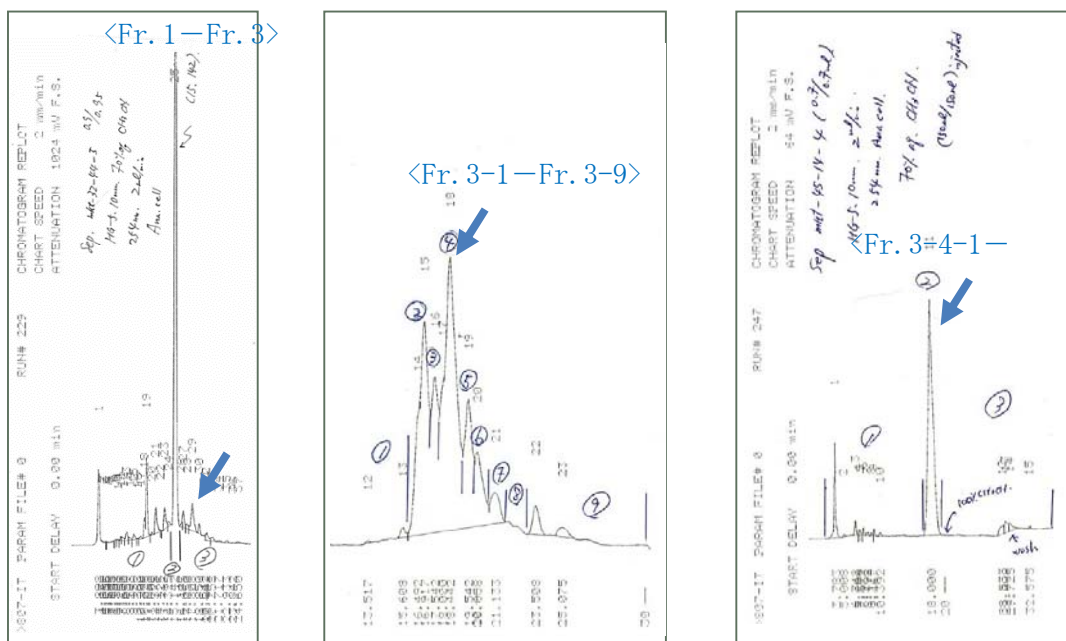


図3-11-3. Inducer B の HPLC チャート。

また、Inducer A では、昨年度誘引活性がなくなった PTLC（薄層クロマトグラフィー）フラクションより上位の HPLC フラクションを活性試験で試した結果、良好な着生誘引活性が観察された。したがってさらに HPLC によって分離を続け、赤 Fr. 3 ピーク（図 3-11-2）を 2 つのピークに分離することに成功した。この図 3-11-4 のマイナーピーク（赤矢印）が活性本体と考えている。

今後、これら物質を高分解能質量分析計によって分析し、構造解析を進める。

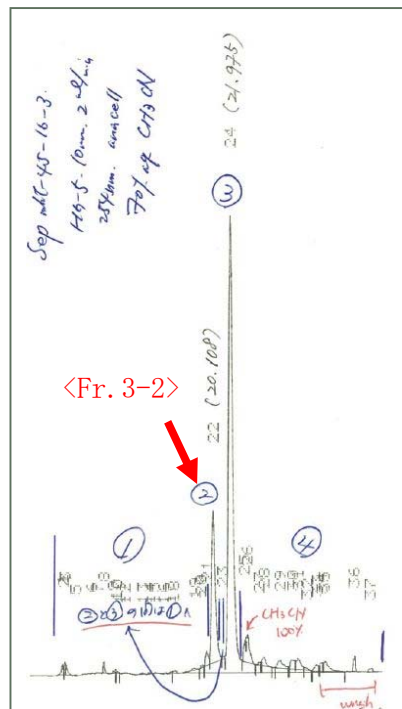


図3-11-4. Inducer A の HPLC チャート.

### 11-3-2. 直径 15mm~49mm の稚ヒトデの摂餌行動刺激物質を用いたトラップ開発

摂餌行動刺激活性試験の結果を、表 3-11-2 に示す。生きたサンゴ (*A. tenuis*) 片をトラップ内に導入すると試験に用いた全個体数 (19 匹) の半数以上は必ずトラップ内に捕獲されることが判った (Ent. 1)。しかしながら、同試験条件を使っても  $10^{-3}M$  及び  $10^{-2}M$  ベタインは、コントロールに比べ有意な捕獲数の差は観察されなかった (Ent. 2, 3)。昨年度は、トラップ開発を最重要課題として研究に取り組んでいたため、活性試験にコントロールトラップを設置していない場合が多かった。したがって、ベタインを誘引剤としたトラップに偶然入ったオニヒトデを、活性ありと判断していた可能性が高い。本年度のベタインを使った活性試験 (Ent. 2, 3) においても、コントロールトラップに 26% の稚ヒトデ誘引されている。またベタインに混合アミノ酸を同時添加した結果も、コントロールに比べて有意な差は観察されなかった (Ent. 4, 5, 6)。そこで、恩納村漁協から提供された *A. tenuis* (1.1kg) を予備試験的にエタノール抽出し、水と酢酸エチルで分配し、活性試験を試みた結果、水層フラクションに強い活性を観察した (Ent. 7)。その水層を CG300M (ポリスチレン系樹脂) を充填したカラムによって分離した結果、25% aq. EtOH 溶出フラクションに強い活性があった (Ent. 9)。さらにそのフラクションを ODS (C-18) カラム

によって分離した結果、20% aq. MeOH 溶出フラクションに活性があることが判った (Ent. 10)。今後、さらに活性分画の分離・精製を進め、摂餌行動刺激物質の同定を行う。また、現在までの恩納村漁協から提供された約 3kg の生きた *A. tenuis* をエタノールによって抽出処理しており、分離・生物活性試験のための量的供給に備えている。

表3-11-2. 室内水槽トラップの結果.

Number of Acanthaster			
Entry	Control trap	Trap with live <i>A. tenuis</i> (d=10-15mm x 30-40mm) x 4	Outside of trap
1-1	4	11	4
1-2	3	12	4
1-3	1	10	8
1-4	1	14	4
1-5	3	11	5
1-6	1	15	3
Entry	control trap with 0.5% ager	10 <sup>-3</sup> M Betain	Outside of trap
2-1	4	2	13
2-2	8	3	8
Entry	control trap with 0.5% ager	10 <sup>-2</sup> M Betain	Outside of trap
3-1	4	2	15
3-2	4	4	11
Entry	control trap with 0.5% ager	Proline, Arginine, Betaine, & Glutamic acid (10 <sup>-3</sup> M mix)	Outside of trap
4-1	2	2	15
Entry	control trap with 0.5% ager	Pro, Arg, & Beta (10 <sup>-2</sup> M mix) & Glu (10 <sup>-3</sup> M)	Outside of trap
5-1	4	4	11
Entry	control trap with 0.5% ager	Pro, Arg, Beta, & Glu (10 <sup>-2</sup> M mix), & Linolenic acid (30μL) with Tryptophan	Outside of trap
6-1	4	2	13
Entry	control trap with 0.5% ager	Water layer of <i>A. tenuis</i> EtOH extract	Outside of trap
7-1	2	12	5
7-2	2	12	5
7-3	2	7	10
Entry	control trap with 0.5% ager	CG300M 50%aq. EtOH elution	Outside of trap
8-1	0	10 (41&49mm)	9
8-2	1	3	15
Entry	control trap with 0.5% ager	CG300M 25%aq. EtOH elution	Outside of trap
9-1	5	10	4
9-2	3	9	7
Entry	control trap with 0.5% ager	ODS 20%aq. MeOH elution	Outside of trap
10-1	3	8	6



### 11-3-3. 海洋におけるトラップ実用性の検討

現在までの海域におけるトラップ試験では、稚ヒトデの捕獲に成功していない。1回目のトラップ試験以降に、すでに報告されている成体オニヒトデの摂餌行動刺激物質には、稚ヒトデへの誘引がないことが、我々の室内試験により判明し、2回目の試験では、生きた *A. tenuis* とその抽出物の水溶性分画（表3-11-2、Ent. 7）を誘引剤として用いた。10月における砂辺海岸の稚ヒトデ体長は、まだ10mm以下なことが昨年度までの研究で判明しており、時期的な要因で稚ヒトデのトラップ誘引ができていない可能性が考えられる。本年度3月には、稚ヒトデ体長が10mmを越える個体が多くなることが判っており、今後海域におけるトラップ試験を継続する。また、2回目のトラップは、水深7.0-9.2mに設置されたが、その後の稚ヒトデ調査により、同地点付近では、水深15mあたりの岩礁に稚ヒトデ食痕が多く観察された。したがって、本年度3月のトラップ試験では、その水深の食痕付近にトラップを設置する予定である。

稚ヒトデ捕獲には至らなかったが、実用化に向けた耐久試験、操作性の向上という点では、改善があった。1回目で使用された室内実験用トラップは、トラップの強度にかなり問題があり、海中では繰り返し使いにくいものであった。また、トラップ設置方法も岩礁にコンクリート釘を打ち込み、それを足がかりに平板ゴムで固定した。多くの場合、食痕が残っている無節サンゴモ周辺の岩盤は非常にもろく、釘を打ち込むと岩盤が崩れる結果となり、食痕近傍（10cm以内）やその付近の稚ヒトデが潜んでいそうな窪み内へのトラップ設置が困難であった（図3-11-6A）。そこで3mmの肉厚の亚克力素材を用い、ビス4本止めの四角型トラップ（図3-11-5A）を製作した。さらに水中での操作性（トラップの開閉など）を考慮し、ビスの1本止めによる蓋の固定構造、狭い空間への設置を考えた円形型トラップも製作した（図3-11-4B）。これら四角型・円形型トラップの設置は、鉛をドーナツ状に加工したおもりによって固定され、岩盤への釘の打ち込み作業は行わず、岩礁にある窪み形状を利用して設置した（図3-11-6）。今後、誘引物質のトラップからの流出効果を高めるための工夫など、改良を加える予定である。

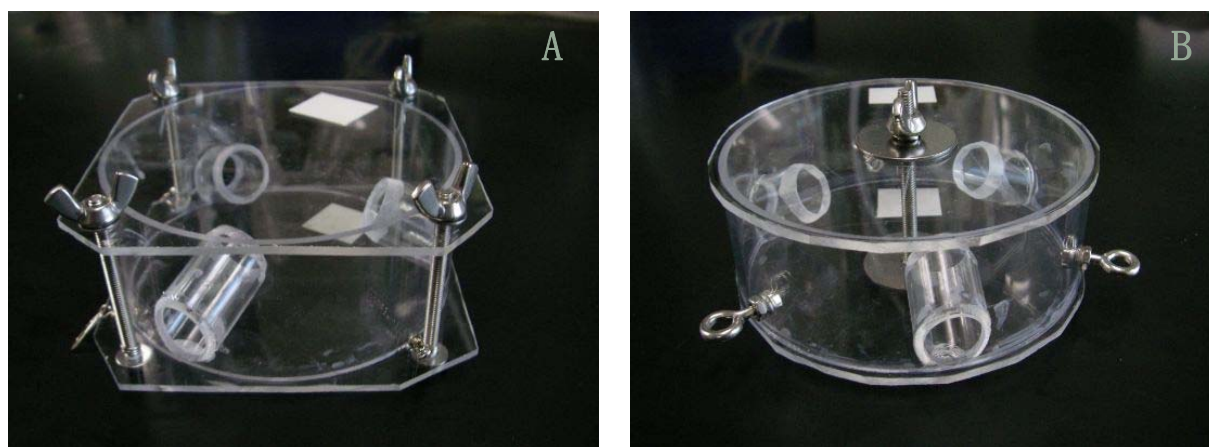


図3-11-5. 野外ヒトデトラップ. A) 四角型トラップ, B) 円形型トラップ.

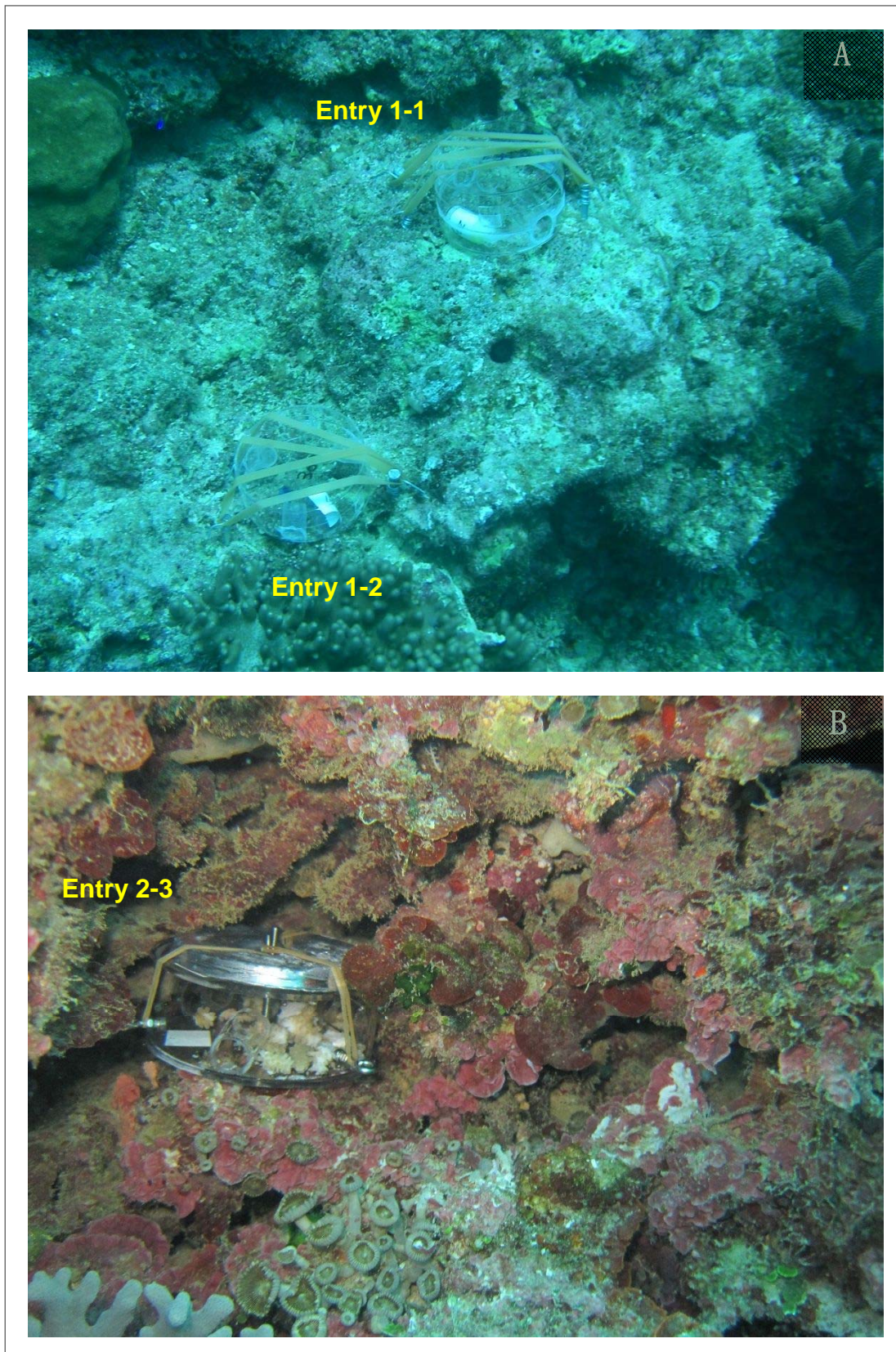


図3-11-6. 野外トラップ設置状況. A) 室内試験用トラップ, B) 円形型トラップ.



## 12. サンゴ礁モニタリングロボット等の研究開発

平成27年度からの新規テーマとして「サンゴ礁モニタリングロボット等の研究開発」を実施した。主な目的は、潜水では困難な水深帯のモニタリングおよびモニタリングの省労力化等であり、つぎの4つの研究テーマを実施している。

表3-12-1. サンゴ礁モニタリングロボット等の研究開発の研究分担.

氏名	所属	担当テーマ	研究概要
武村 史朗	沖縄工業高等専門学校	10～30mの水深帯で使用可能な水中モニタリングロボット等の開発	サンゴ礁のモニタリング手法であるマンタ法を深場で実施するため、海底との距離計測・保持機能及び障害物回避機能等を有した水中ロボット等の開発
高橋 悟	香川大学	サンゴ礁モニタリング画像からサンゴ被度及びオニヒトデ食痕の自動検出技術の開発	サンゴ礁モニタリングの自動化技術の開発 ・画像内の生きたサンゴの抽出と画面上の割合算出 ・画像内のオニヒトデの食痕の抽出と画面上での割合算出
川端 邦明	日本原子力研究開発機構		
相良 慎一	九州工業大学	サンゴ礁モニタリング画像からオニヒトデの自動検出技術の開発	サンゴ礁モニタリングは通常、熟練した調査員によって行われるものの、その労力は多大である。このため、画像から自動的に算出できる技術の開発を行う。 ・画像内のオニヒトデの抽出
鈴木 剛	東京電機大学	サンゴ礁定点観測システムの開発	サンゴの産卵やオニヒトデ等の遠隔監視 ・サンゴ礁での定点観測技術や通信技術等の開発

## 1 2 - 1. 10~30m の水深帯で使用可能な水中モニタリングロボット等の開発

沖縄工業高等専門学校 武村 史朗

### 1 2 - 1 - 1. 目的

従来、人が行っていたマンタ法による水中モニタリングを水中ロボットで行うための、機器開発、要素機能の確認を行う。本ロボットの仕様は大まかに以下のものとする。

1. ~5ノット（1ノット=約0.5m/s）で曳航可能
2. 深度30mまで利用可能
3. 障害物回避機能（上下）、高度維持機能を有す
4. カメラ搭載、水温計測機能搭載

これらの仕様を満たす水中ロボットの設計を行ない、現在製作中である。また、海底からの高度維持機能を実装するための基礎実験を行なっている。

### 1 2 - 1 - 2. 実施概要

#### (1) 曳航型水中ロボットの設計

##### I. 設計指針

ダイバーが曳航されながら調査を行うマンタ法は、曳航速度が2~3ノット(1m/s ~ 1.5m/s)程で、水深5m~7mの海域を調査する。また数分毎に停止し、ダイバーがサンゴの被度等を記録する時間もあり短時間での広範囲調査、比較的深い深度での調査には向かない。そのためダイバーを水中ロボットへ置き換え、効率よく水中調査を行えるように以下の3点を目標とし設計を行う。

- ・浅海域を5ノット(2.57m/s)で曳航(図3-12-1)
- ・サンゴの被度をカメラ映像で記録するため、海底面との距離を一定に保つ
- ・障害物を回避するための移動機構

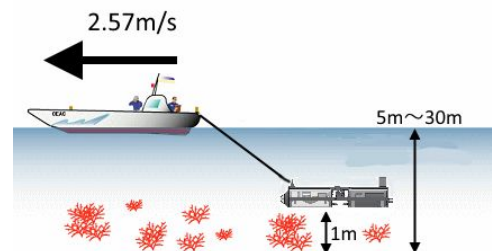


図3-12-1. 曳航型水中ロボット使用時のイメージ.

## II. 曳航索

曳航用ロープ1本、電源・通信用ケーブル1本とする。ともに150mの長さとする。電源の全体図を図3-12-2に示す。

通信にはPLC(電力線搬送通信)を用いており、AC100Vの電源が必要となる(図中点線が通信経路)。電力線を用いて通信を行うことにより、配線の着脱が安価なコネクタで可能となる、という利点がある。

ACコンセントにしているため、長時間駆動時には発電機を使用し、1~2時間の短時間使用には、バッテリーを使って運用することができるよう対応している。曳航型水中ロボットの電源としては、供給されるAC100V電源をDC360Vに変換し供給する。アンビリカルケーブルの長さが150mのため、水中ロボットに届くまでに電圧降下が起こる。電圧降下は以下の式で計算できる。

$$e = (35.6 \times L \times I) / (1000 \times A) = (35.6 \times 150 \times 2.78) / (1000 \times 0.75) = \text{約 } 19.8 [\text{V}]$$

ここで、e:電圧降下[V]、L:電力線の長さ[m]、I:電流[A]、A:電線の断面積[mm<sup>2</sup>]とする。電圧降下しても供給される電圧は約340Vとなり、支障なく運用できる。

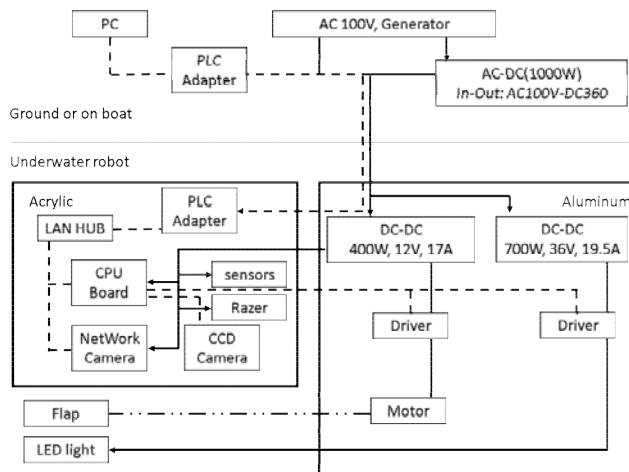


図3-12-2. 電装系.

## III. 強度計算

### III-1. アルミ円筒とアクリル円筒の厚さ

今回は容器にA16063とアクリル材を使用する。耐圧容器の計算は浦らの式[1]を用いて計算した。

$$t = \left( \frac{p r^3 (1 - \nu^2)^{3/4}}{0.807 E} \right)^{1/3} \text{ mm}$$

安全率: 2、深度: 30[m]、許容応力:  $p = 2 \times 30 \times 10 \times 103 = 600 [\text{kPa}]$

アルミ円筒長さ:  $l = 335 [\text{mm}]$ 、アルミ円筒内半径:  $r = 85 [\text{mm}]$ 、アルミポアソン比:  $\nu = 0.34$

アルミ縦弾性係数:  $E = 68 [\text{GPa}]$ 、アクリル円筒長さ:  $l = 380 [\text{mm}]$ 、アクリル円筒内半径:  $r = 80 [\text{mm}]$

アクリルポアソン比:  $\nu = 0.35$ 、アクリル縦弾性係数:  $E = 3.2 [\text{GPa}]$

上記式と仕様により、アルミ円筒厚さ:  $t = 1.51 [\text{mm}]$ 、アクリル円筒厚さ:  $t = 5.05 [\text{mm}]$ となる。よって、規格の都合上、アルミ円筒厚さ5[mm]、アクリル円筒厚さ10[mm]とする。

### Ⅲ－２．アルミ蓋

今回は耐圧容器蓋に A16061 材を使用する。計算は円筒厚さ同様に浦ら[1]の式を用いて計算した。

$$t = \sqrt{\frac{2.1Pa^2 + 2.2\pi Pb^2}{\sigma}}$$

安全率：5、深度：30[m]、許容応力： $P=5 \times 30 \times 10 \times 103=1500$ [kPa]

円筒外半径： $a=90$ [mm]、穴半径： $b=10.5$ [mm]、降伏応力： $\sigma=274$ [MPa]

上記式と仕様により、蓋厚さ  $t=9.84$ [mm]となる。よって、規格の都合上、蓋厚さ： $t=10$ [mm]とする。

### Ⅳ．曳航型水中ロボットの構成

曳航型水中ロボットは主に電装系を搭載したアクリル容器、電源系を搭載したアルミ容器、上下運動を行う為のフラップ機構の3つで構成されている。アクリル容器内部には以下の機器が搭載されている(図3-12-3)。

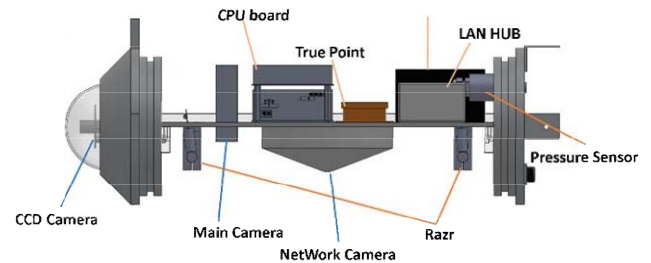


図3-12-3. アクリル円筒内.

- ・ CCD カメラ：前方の様子を観察
- ・ メインカメラ：海底面の記録
- ・ ネットワークカメラ：海底面の記録、レーザーポイントの観察
- ・ CPU ボード：ロボットの制御用
- ・ TruePoint：姿勢センサ
- ・ LAN ハブ：各種機器と接続
- ・ 圧力センサ：深度情報の取得
- ・ レーザーモジュール：海底面との高度維持に使用

アルミニウム容器には以下の機器が搭載されている(図3-12-4)。

- ・ マグネットカップリング：モータの動力を容器外に伝達
- ・ モータードライバ：モータと LED ライトの制御に使用
- ・ モータ：フラップの駆動に使用
- ・ DC/DC コンバータ：機器の使用電圧への返還

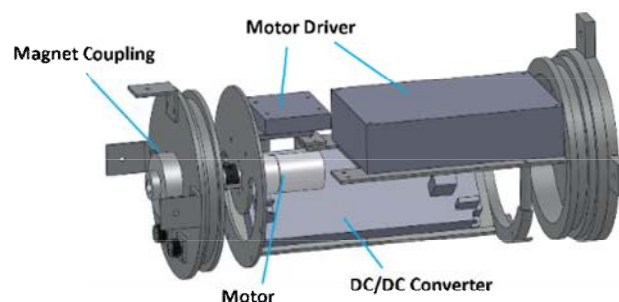


図3-12-4. アルミ円筒内.



フラップ機構を図3-12-5に示す。マグネットカップリングから伝達した回転はウォームギアと平歯車で大きく減速し、平行リンク機構を使って動作させる。翼は対称翼を用い、揚力が発生する翼弦長の前方から1/4の箇所を回転軸にして、角度可変の機構となっている。

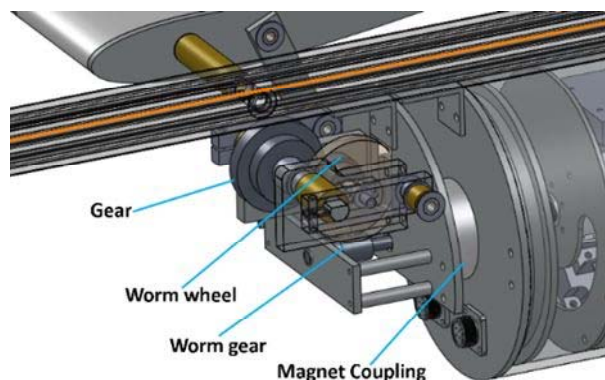


図3-12-5. フラップの駆動部.

## V. 揚力計算

翼に生じる揚力と曳航体にかかる浮力と重力の合力を取り、主翼の迎角で上下運動可能か計算を行う。なお上向きの力が正、下向きの力を負とする。翼に生じる応力は次の式で計算できる。

$$F_l = C_d \times \frac{1}{2} \times \rho \times U^2 \times S$$

$$F_l = 1.0 \times \frac{1}{2} \times 1020 \times (2.57)^2 \times 0.105 \approx 353.6 \text{ [N]}$$

ここで、 $F_l$ : 揚力[N]、 $C_d$ : 揚力係数(迎角  $10^\circ$  の場合 1.0)、 $\rho$ : 海水密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $U$ : 曳航速度[m/s]、 $S$ : 主翼面積[m<sup>2</sup>]である。

曳航体にかかる重力と浮力の合力は

$$F = (\rho_f - \rho_s) \times V \times g$$

$$F = (1020 - 1079) \times 0.256 \times 9.8 \approx -148.0 \text{ [N]}$$

ここで、 $\rho_f$ : 流体密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $\rho_s$ : 曳航体密度 [kg/m<sup>3</sup>]、 $V$ : 曳航体体積[m<sup>3</sup>]、 $g$ : 重力加速度[m/s<sup>2</sup>]とする。

2つの力の差分は

$$F_l - F = 353.6 - 148 \approx 205.6 \text{ [N]}$$

となり、上向きの力が発生することがわかる。計算結果から、翼形状は上下方向の揚力を十分に発生することができる。

## VI. 曳航型水中ロボットの全体図

設計した曳航型水中ロボットの全体図を図3-12-6に示す。

表3-12-2. 仕様

全長	約 1 [m]
横幅	約 59 [cm]
高さ	約 21 [cm]
翼型	対象翼
主翼長さ	片翼 21 [cm]
重さ	約 30 [kg]

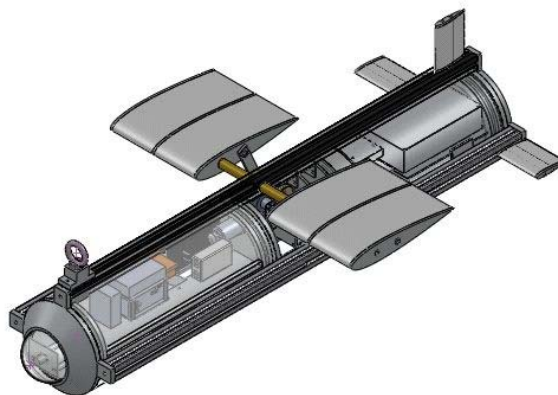


図3-12-6. 全体図

## (2) . 高度維持システム

### I. 距離計測の原理

装置の概略図を図3-12-7に示す。レーザー光を対象物に向かって照射し、レーザー光の反射点を単眼カメラで観測する。単眼カメラの画角 $\theta_c$ は固定され、幅 $W_c$ の範囲がカメラ画像として取得される。対象物と装置との高度 $A$ [m]が変化することで $\alpha$ と $\beta$ の比が変化し、図3-12-8のようにカメラ座標系では反射点の $x$ 座標 $W_{Ri}$  ( $i=1, 2$ ) [pix.]が変化する。画像の中心を原点とした時、レーザーの反射点の $x$ 座標 $W_{Ri}$  ( $i=1, 2$ ) [pix.]と $A$ [m]の関係式より、距離計測ができる。レーザー光の反射点は画像処理を用いて検出する。レーザー光の反射点が海底の起伏により隠れた場合を想定し、装置に冗長性を持たせる目的としてレーザーモジュールを2基搭載する。

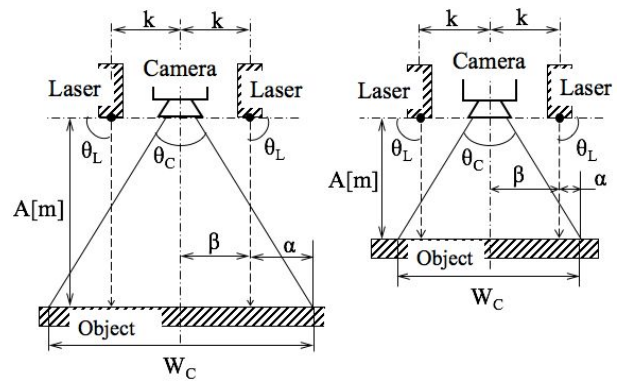


図3-12-7. 計測原理.

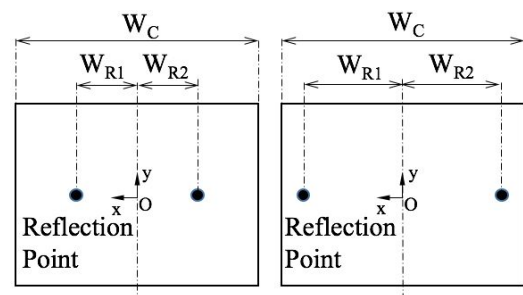


図3-12-8. 画像上のレーザーの見え方.

## II. 高度維持機能の基礎実験

### II-1. 実験方法

レーザーモジュール2基と単眼カメラのアセンブリを図3-12-9に示す。治具は樹脂材料を利用した3Dプリンタで作成した。図12-1-7に示した各値は $\theta_L=90$ [deg.]、 $k=26$ [mm]とした。本研究室にある水中ロボット(図3-12-10)に図3-12-9の距離計測装置を下向きに搭載し、性能評価する。圧力容器の制約上 $k=26$ [mm]とした。

レーザーの反射点の $x$ 座標 $W_{Ri}$  ( $i=1, 2$ ) [pix.]と $A$ [m]の関係式をあらかじめ求めておく。この関係式より、目標高度のときの画像上のピクセル値を目標値として、現在の画像上のピクセル値との差を偏差として、PID制御を用いて目標高度に追従させる実験を行なう。

垂直スラストを高度維持システムで制御して評価実験を行った。透明度が高く、水深1.19[m]かつ底が平坦なプールで実験を行っ

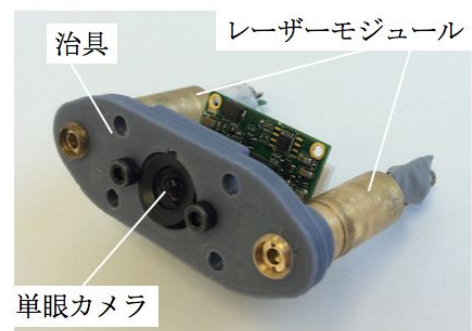


図3-12-9. レーザー・カメラ固定具.

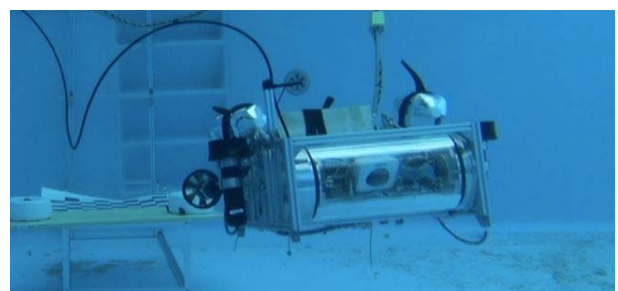


図3-12-10. 実験時の水中ロボット.

た。水中ロボットは垂直スラストを停止させるとゆっくり沈む状態にある。図3-12-10に実験風景を示す。水深1.19[m]の制約があるため、高度維持する目標高度は0.5[m]のみで行う。水中ロボットを水中に投入した後、操縦者による遠隔操作で高度をおおよそ0.3[m]付近まで潜水させる。目標高度を0.5[m]として高度維持制御を開始し、水中ロボットを定位置でホバリングさせる。実験中、図3-12-11に示した位置に搭載された深度計で深度を計測し、

$A[m] = 1.19[m] - (D[m] + 0.145[m])$  から算出した高度  $A[m]$  を使って高度維持システムの性能を評価する。

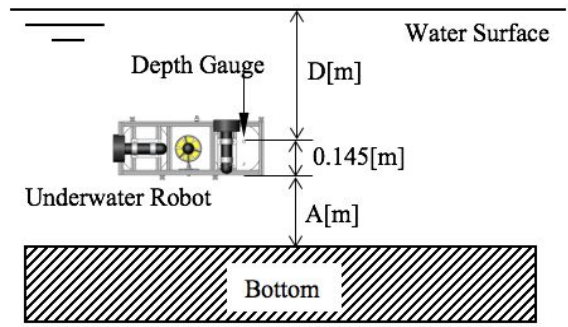


図3-12-11. 高度維持実験方法.

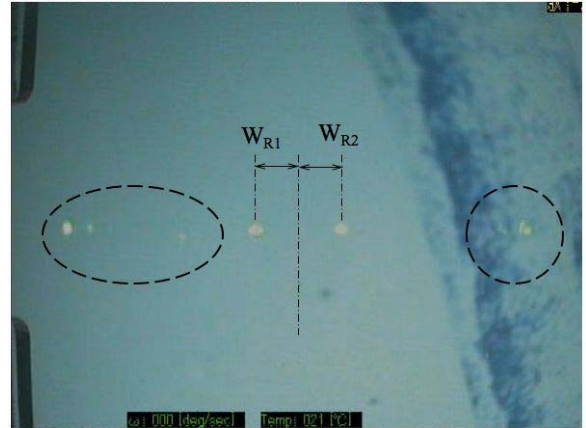


図3-12-12. 実験時のカメラ画像.

## II-2. 実験結果

目標高度0.5[m]で維持した時の単眼カメラの画像を図3-12-12に示す。破線円で囲まれた白い点は圧力容器に反射したレーザー光であり、トリミング処理により画像処理対象外とする。図3-12-13、14に深度計から算出した高度と、画像での  $W_{Ri}$  ( $i=1, 2$ ) [pix.] から近似式を用いて算出した高度を示す。0[s]から高度維持制御を開始した。約3[s]には約0.33[m]に収束し、約3[s]から21[s]まで高度0.32[m]を維持している。目標高度との差の補正が必要であるが、高度を維持していることが実験結果よりわかる。高度データの振動は感度の良さを示している、とも考えられるが、高度維持に対して振動的な要因とならないようローパスフィルタの実装など、対策を検討する必要がある。さらに、実環境で性能を発揮できるように、様々な想定実験を行ない、高度維持システムの信頼性を高める必要がある。

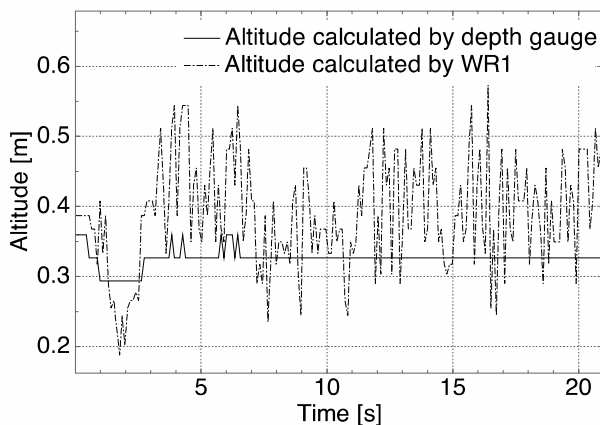


図3-12-13. 左側レーザーでの高度.

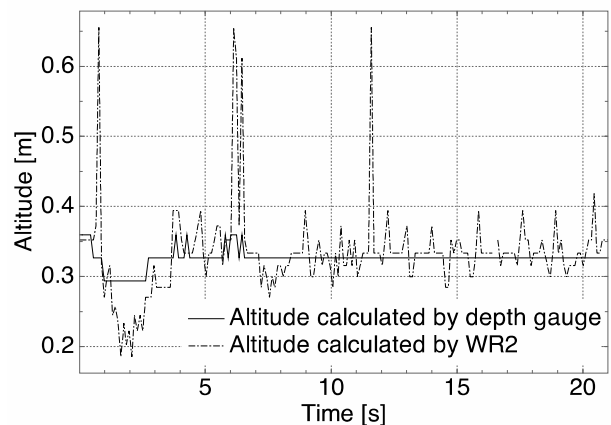


図3-12-14. 右側レーザーでの高度.



### 1 2 - 1 - 3. 今後の予定

#### (1) 曳航型水中ロボットの設計

今年度は、製作を行ない、来年度8月にプールにおける曳航実験、9月に海での曳航実験を行なうことを予定している。障害物回避機能検証のための映像を取得しながら、遠隔操作による曳航動作の確認を優先して行なう予定である。

#### (2) 高度維持システムの基礎実験

屋外環境下での水中下で距離計測 3m ができることを確認し、定点での高度維持実験を行なっている。さまざまな状況を想定した実験を引き続き実験を行なう。今年度内に曳航に近い、水中ロボットをロープで引っ張った状態での基礎的な高度維持実験をプールにて行なう。高度維持機能・障害物回避機能の検証を次年度以降、行っていく。

### 1 2 - 1 - 4. 参考文献および学会発表成果

[1] 浦環、高川真一：「海中ロボット総覧」, p. 153-154 (1994)

国際会議発表（査読付）

R. Taba, K. Hirayama, F. Takemura, S. Tansuriyavong, K. Kawabata, S. Sagara, K. Ogasawara, "Development of an altitude maintenance system for underwater robots using laser beams", The Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016), pp. 395 - 399, January, 2016

## 12-2. サンゴ礁モニタリング画像からサンゴ被度及びオニヒトデ食痕の自動検出技術の開発

高橋 悟（香川大学）・川端 邦明（日本原子力研究開発機構）

### 12-2-1. 目的

海底画像データ解析に向け、新たな動画画像処理手法を導出し、その成果及び進捗について報告する。

- 1) 沖縄県国頭郡本部町瀬底周辺海域にて撮影した海底画像に対して、輝度変化にロバストな方向符号照合法を適用し、特徴点として海中タグの抽出が可能か検証した。さらに、海中タグを追跡するロバストトラッキング手法を応用し、海底画像に対する有効性を実証実験した。
- 2) 海底画像中の各種サンゴ、オニヒトデ、砂地などを分類する上で重要となるテクスチャ解析手法の内、有益となる Haralick のテクスチャ解析手法を用いることを検討検証した。さらに、Haralick の条件に従い得られたテクスチャデータに対して、主成分分析手法、線形判別手法を組み合わせることで、海底画像中のより詳細なテクスチャ分類が可能なことを検証した。

### 12-2-2. 実施概要

- 1) 海中タグ生成のため、対象画像の探索領域内に含まれる方向符号の情報が多くの領域、すなわちエントロピーに基づく豊富度高い領域を選択する。また、複数の海中タグを同時生成する場合は、豊富度高い領域から順次選択し、複数タグを決定する。実際、図 12-2-1 に対象画像とその豊富度画像を表し、豊富度の高い領域から任意数として 10 箇所の中タグを示す。図 3-12-15 にロバストトラッキング手法に基づき得られた海中タグの追跡精度を表示する。

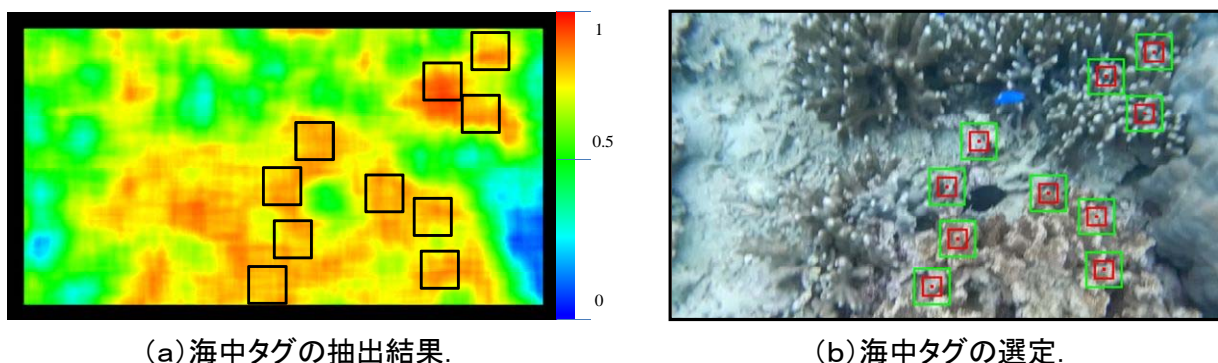
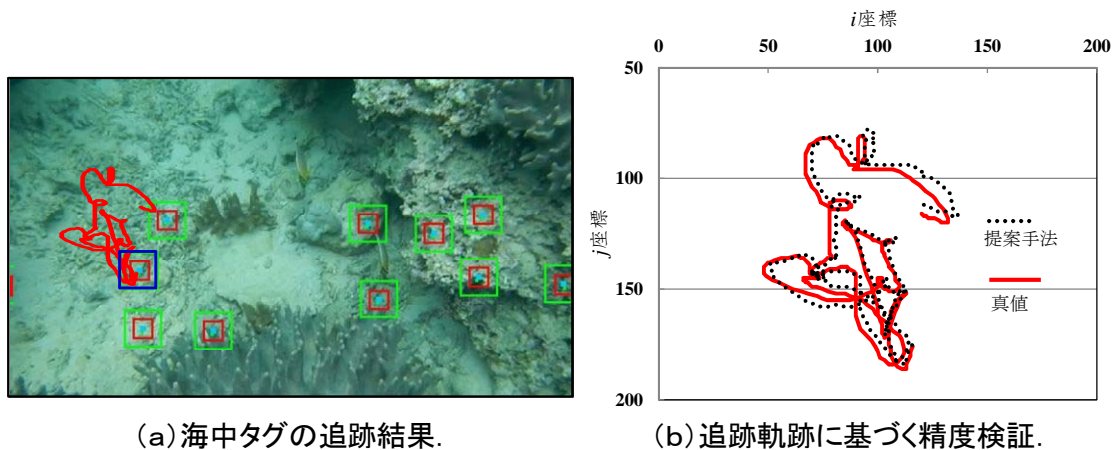


図3-12-15. 海中タグの抽出結果.



(a)海中タグの追跡結果.

(b)追跡軌跡に基づく精度検証.

図3-12-16. 海中タグの追跡結果.

図3-12-15、3-12-16から、明らかに海底画像上に特徴点として海中タグの抽出、かつ追跡が高精度で可能なことがわかる。

- 2) Haralick の条件に基づくテクスチャ解析に従い得られるテクスチャデータに従い、主成分分析手法、線形判別手法を施し、実際に海底画像がテクスチャに基づき分類可能であるか検証した。このとき、次のステップに従い処理を実行し、図3-12-17、図3-12-18の結果が得られた。

- S1) 入力画像のグレースケール変換
- S2) 小領域に分割
- S3) Haralick の濃度共起行列に基づくテクスチャデータの抽出
- S4) 主成分分析手法に基づく S3) データの分析
- S5) 線形判別分析に基づく S4) データの識別



図3-12-17. 原画像(4領域:サンゴ1、サンゴ2、砂、その他).

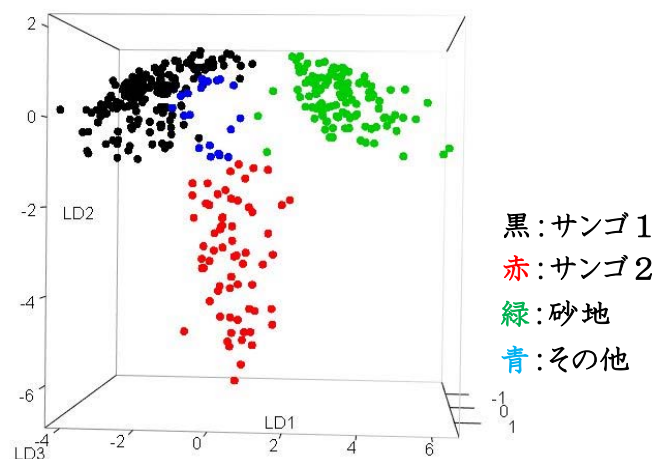


図3-12-18. 線形判別分析に基づく識別結果(S5).

図3-12-18の結果より、提案手法の有効性がわかる。従って、海底画像のテクスチャ分析に基づくサンゴ等の識別分類が可能なが言える。

### 12-2-3. 今後の予定

課題1に対して、特徴点として海中タグを抽出、かつ追跡することが可能な事を実証し、成果が得られた。従って、課題1における現状の問題はクリアできたため、平成28年度はより課題2に特化した体制にて研究開発を進める。

課題2をより高精度にするために、上記S4)、S5)手法の改良及び改善を行う。さらに、S6)として、サンゴ、オニヒトデ、海底の領域分離を行うことを追加し、海底画像上におけるサンゴ被度、およびオニヒトデ食痕の検出を進める。

### 12-2-4. 参考文献および学会発表成果

- A. Ono, S. Takahashi, K. Kawabata, T. Suzuki and F. Takemura, “Method of position measurement for stationary sensor node based on marine tag” , *Proceedings of IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 1725-1730, 2015.
- A. Ono, S. Takahashi, K. Kawabata, S. Kaneko, T. Suzuki, F. Takemura and H. Ishihara, “An attitude correction method for underwater image captured by stationary sensor node” , *Proceedings of the 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 2047-2052, 2015.
- A. Matsuda, S. Takahashi, K. Kawabata, F. Takemura and K. Ogasawara, “Extraction method of texture features on monitoring image of coral reef” , *accepted by Proceedings of the IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization*, March 2016.



## 1 2 - 3. サンゴ礁モニタリング画像からオニヒトデの自動検出技術の開発

相良 慎一（九州工業大学）

### 1 2 - 3 - 1. 目的

モニタリング画像から自動的にオニヒトデを検出する方法として、AdaBoost 型 Cascade 識別器を用いた機械学習による方法と、画像処理アルゴリズムによる方法の二通りで検討を進めている。

1. 機械学習では、一般に、正解画像 7000 枚程度、不正解画像 3000 枚程度が学習のために必要と言われており、まず、収集していた正解画像 300 枚に対して、図 3-12-19 に示すような鏡像・回転・歪などの加工を施し、12000 枚の正解画像を用意した。また、不正解画像についても 5000 枚用意した。つぎに、機械学習では、学習用画像枚数は予め用意している画像枚数より少なくする必要があるため、学習枚数を不正解画像は 3000 枚と固定し、正解画像は 7000 枚、9000 枚など変化させて種々の学習を行うとともに、検出精度向上を図った。

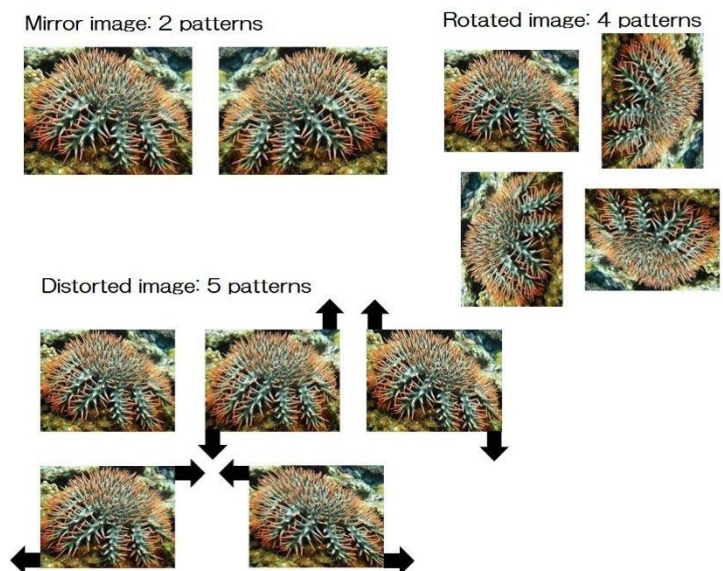


図3-12-19. 画像加工パターン(鏡像・回転・歪).

2. アルゴリズムによる方法は、オニヒトデの特徴であるトゲの検出を目指して、次の手順で基本アルゴリズムの開発を行った(図 3-12-20)。

- (1) 読み込んだ RGB 画像を GRAY 画像に変換
- (2) コーナー(鋭角エッジ)抽出
- (3) エッジ抽出
- (4) 鋭角エッジ周辺の矩形領域内のエッジ走査
- (5) 矩形領域内の線分の両端座標取得
- (6) 鋭角エッジの角度計算、(7) 角度がある閾値以下であれば特徴量とする
- (8) 特徴量が多く見られる領域にオニヒトデがいると判断

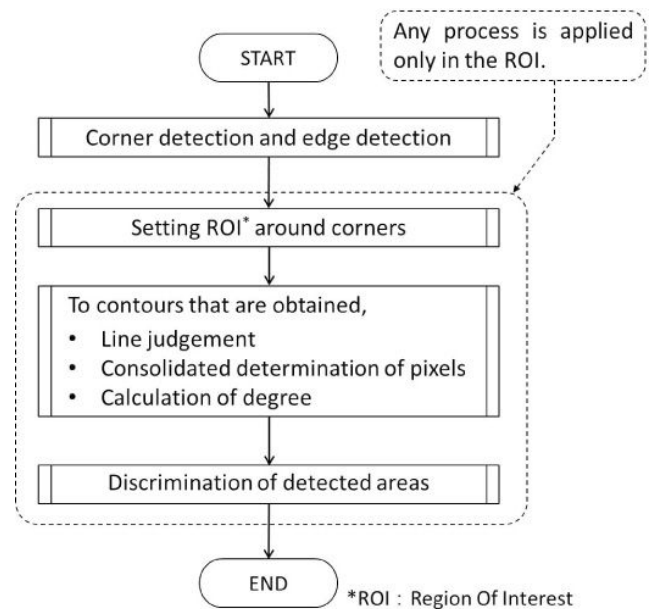


図3-12-20. アルゴリズムの流れ.

## 12-3-2. 実施概要

1. 機械学習では、図3-12-21の検証用画像に対して、種々の学習を行った分類器を適用した。代表的な分類器の学習区分を表3-12-3に示す。

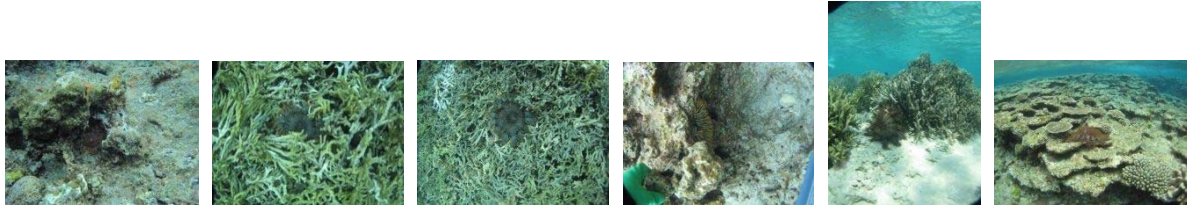


図3-12-21. 検証用画像.

表3-12-3. 分類器の学習区分.

分類器	学習部位	Positive 画像数	Negative 画像数
A	全体	9000	3000
B		7000	
C			5000
D			7000
E	足		5000
F	胴体		

まず、学習正解画像枚数の増加を検討したが、現状のところ結果について大きな変化は見られなかった。つぎに、誤認識した部分の画像を不正解画像として採用し、学習用不正解画像枚数を増やしたところ改善傾向が見られた。なお、オニヒトデ全体ではなく、足と胴体だけの学習も検討を始めたが、まだ検討段階までは至っていない。表1の分類器による識別結果例を図3-12-22に示す。

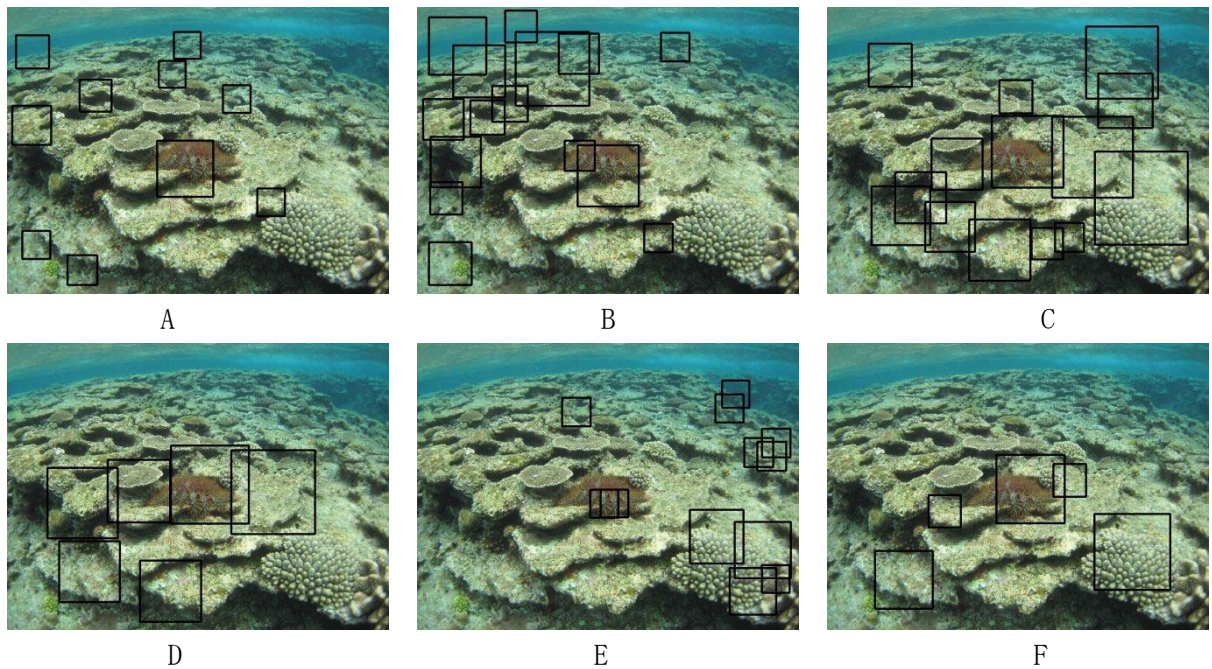


図3-12-22. 認識結果例.

2. コーナー検出とエッジ検出としてそれぞれ、Harris 法と Canny 法を採用し、図 3-12-20 のフローに基づいた基本アルゴリズムを用いた特徴量(トゲ)抽出例を図 3-12-23 に示す。図中で (a)はコーナー検出結果、(b)はエッジ抽出結果、(c)は検出した特徴量(黄色の丸)を示している。基本アルゴリズムによりトゲの抽出が行われていることがわかる。なお、抽出されていないトゲが存在するが、図 3-12-24 に示すように、手順(5)矩形領域内の線分の両端座標取得における線分端点の誤抽出が原因であることが分かっており、今後、線分端点抽出法の改善を図っていく。

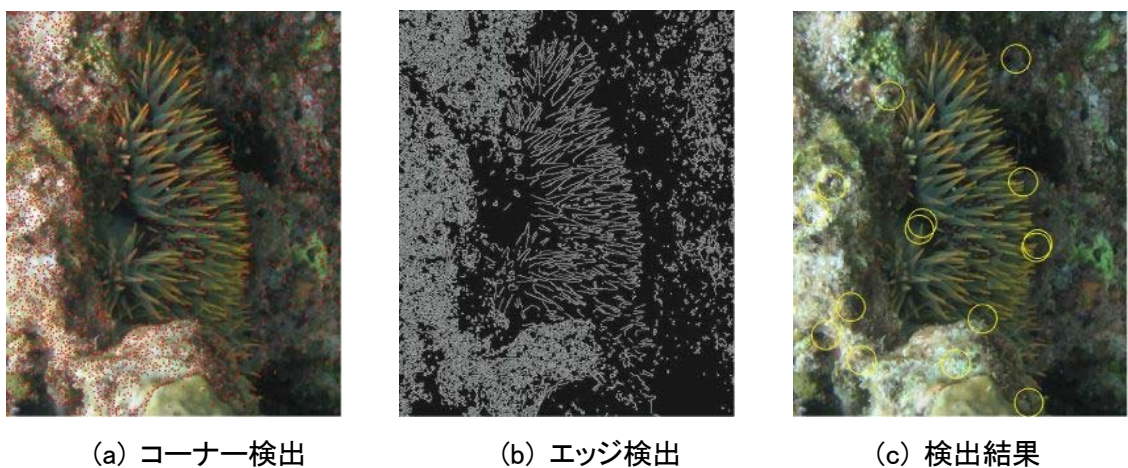


図3-12-23. 特徴量(トゲ)抽出例.



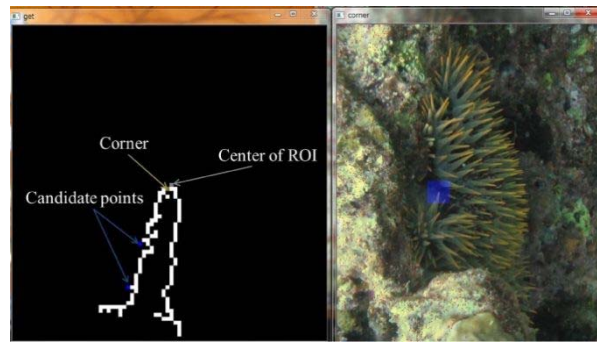


図3-12-24. 線分端点の誤抽出例

### 1 2 - 3 - 3. 今後の予定

機械学習、画像処理アルゴリズムによる方法のいずれも、H28年度も識別精度向上のための改善に取り組んでいく。現在の計画としては、機械学習では、顔認識で良く用いられているマルチスケール検出アルゴリズムを適用した誤認識の減少や不正解画像の収集と学習、また、アルゴリズムによる方法としては、手順(5)の改善を図る予定である。

### 1 2 - 3 - 4. 参考文献および学会発表成果

Masahiro Suganuma, Shinichi Sagara, “Development of an automatic detection method for crown-of-thorns starfish using contour information”, The Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016), pp. 400 - 404, January, 2016

## 12-4. サンゴ礁定点観測システムの開発

東京電機大学 鈴木 剛

### 12-4-1. 目的

近年、海水温の上昇による白化現象や、オニヒトデ等による浸食被害などの大規模発生の問題から、サンゴ礁生態系の保全・管理が急務となっている。保全活動計画や対応策の立案などには、サンゴの状態変化とその環境要因の長時間かつ継続的な観測が必要不可欠である。現状では、主としてダイバーら人手による観測が行われているが、これには潜水時の肉体的・精神的負荷などによる様々な制限がある。

そこで、本研究では、センサネットワーク技術を用いた海洋生態系観測・記録支援システムを提案している。本システムは、定点センサノードと移動センサノードから構成される。定点センサノードを対象領域の複数地点に設置し、各センサノードが任意の周期で並列的・継続的に定点観測を行う(図1)。定点センサノードで観測できない箇所等は、移動センサノードを操作して情報収集を行う。

本課題では、定点観測に用いる定点センサノードの開発、実地機能試験、および、データ収集とその評価を目的とする。これまでの進捗として、8月までに行ったセンサノードの試作および機能試験の結果より、定点センサノードの課題を明らかにし、改良を行った。

### 12-4-2. 実施概要

8月までに試作した定点センサノードで明らかになった表3-12-4に示す主な課題について検討し、定点センサノードの試作を行った。

表3-12-4. 定点センサノード試作機の課題と改良点.

課題	改良点
センサノードの浮力が大きいと、水中への係留が困難	・ 構成部品の見直しとシステム構成の変更によるセンサユニットの小型化 ・ 係留用おもりの設置方法と係留方法の検討
GPSの時刻同期に時間がかかる	・ RTCモジュールによる時刻同期に変更
ソフトウェア動作が不安定	・ 各センサモジュールの動作確認 ・ ソフトウェアのブラッシュアップ

図3-12-25および図3-12-26に定点センサノードの外観およびハードウェア構成を示す。センサユニットの構成変更では、大型化の要因となっていたDC-DCコンバータなどの電子部品を変更し、また、これまで通信ユニット側にあったメインコントローラをセンサユニット側に搭載することで、省配線化を図った。

時刻同期については、これまでNTPサーバをGPSに同期させることで時刻を取得していたが、GPSが安定するまでに時間がかかるため、RTCモジュールを搭載することとした。



定点センサノードは、計算機の電源管理基板により任意の設定時間で間欠動作を行う。起動後、RTCモジュールに基づく時刻同期、次回起動時刻設定等を行った後、指定回数分のデータを取得し、終了する。取得データは、画像、温度、加速度、GPSデータであり、画像データは取得時刻をファイル名として保存され、その他のデータは画像データの取得時刻に対応してCSVファイルにテキストデータとして保存される。表3-12-5に取得データの例を示す。

しかし、ソフトウェアについては、まだ不安定なところがあり、継続的に改良を続ける必要がある。現状では、一部のセンサモジュールに不具合が生じると、データ収集シーケンスが停止しまうため、今後、残った機能だけでも安定してデータが取れるように修正を行う。

図3-12-27は試作した定点センサノードを海中に設置した様子である。



図3-12-25. 定点センサノード試作機の外観.

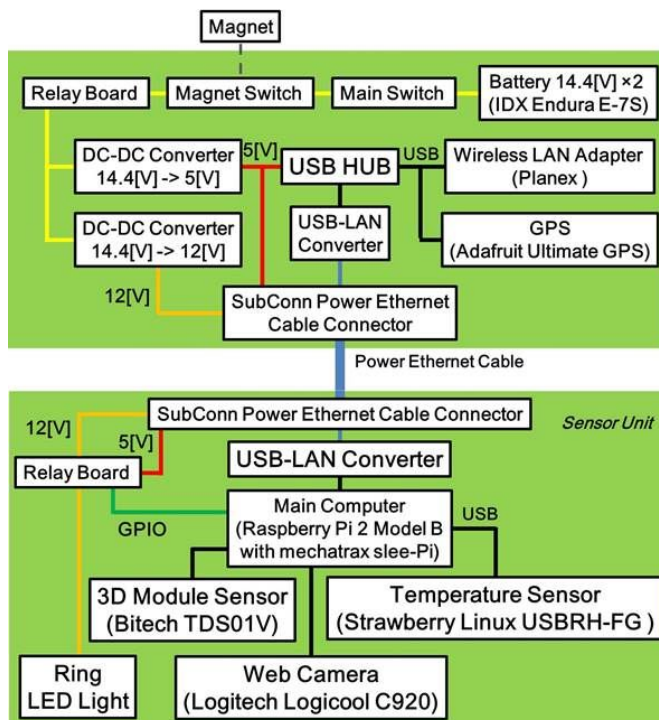


図3-12-26. 定点センサノード試作機の構成.

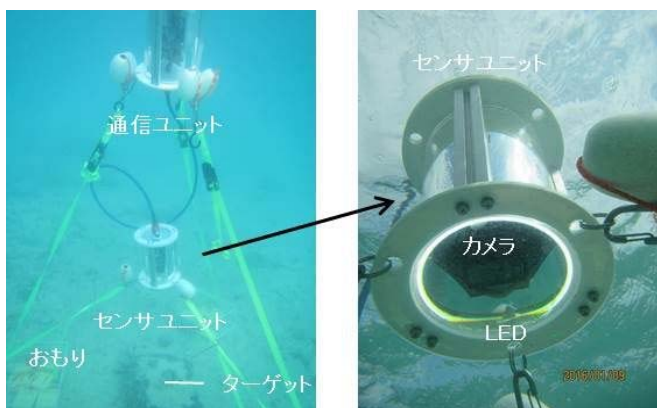


図3-12-27. 定点センサノード試作機設置の様子.

表3-12-5. センサノードの取得データ例.

取得情報	データ
水温(°)	23.09
加速度(m/s <sup>2</sup> )	x: 0.34, y: -0.73, z: -0.46
画像容量(kB)	21.205
GPSデータ (GPRMC)	\$GPRMC,123434,A,2638.1644,N,12751.9 232,E,0.03,311.89,60815,,,A*64

### 12-4-3. 今後の予定

引き続き、現在の定点センサノードの課題抽出、必要機能の追加および動作確認、計測精度等の評価を行うとともに、天候への対応なども含め、サンゴの長時間観測方法について検討する。1日～数日の安定設定を目標とし、定点センサノードのまた、複数台の定点センサノードの開発および観測対象領域への設置展開方法の検討、観測情報のデータベース化や複数地点観測情報の総合的な分析手法など、実際の運用への検討を進める予定である。

## 13. 研究総括

岡地 賢（コーラルクエスト）

### 13-1. 研究計画とスケジュール

オニヒトデ総合対策事業における調査研究の目的は、研究コンソーシアムとの連携のもと、オニヒトデが大量発生するメカニズムを明らかにし、人為的要因が関与しているならば、それらを低減または除去する抜本対策を検討することである。

初年度にあたる平成24年度に過去の研究成果をレビューし、大量発生の要因として特に重要な、水質（幼生期の餌）、海流（幼生分散）、捕食者（稚ヒトデ期の生残）、サンゴの量（稚ヒトデの餌と成長）の相対的な重要性を評価するための研究課題および研究計画を定めた。その計画に基づいて平成25年度に10件の研究課題に着手、平成26年度には新規の課題2件を追加した。これら12件のうち2件は26年度で終了とし、平成27年には別の2件を新たに追加して合計12件の研究課題を実施した。

研究課題ごとの平成25年度から29年度までの実施スケジュール（以下、スケジュールと省略）を表3-13-1にまとめた。表中では平成27年度分として14件の課題が掲げられている。これらのうち2件、II-C-3（幼生餌料制限）とV-B-2（モニタリングロボット開発）は新規採択した課題である。前者を採択したのは、オニヒトデが恒常的に発生している恩納村沿岸のクロロフィル量が生残下限付近であったために、幼生が野外でどのような餌をどのくらい必要とするかを再検証するためである。後者は、大量発生メカニズムの解明による抜本対策とあわせて実施されるべきオニヒトデ関連モニタリングの省力化を目指した技術開発のために採択した。

また、別の2件、II-A-1（海流：流動解析）とIV-A-2（大量発生要因時間空間解析）は実質的な独立課題としていない。前者は既存の海流データを利用してIV-A-1（統計モデリング）のなかで実施した。後者はIV-A-1（統計モデリング）に恩納村の駆除データを提供する作業であるため、やはりIV-A-1に含めている。

各課題の目標および実施概要は表3-13-2にまとめた。これら課題で計画していた野外調査や試験・実験等はすべて平成26年度内に完了し、その結果として大量発生要因に直接的、間接的に関連する多くの成果が得られた一方、来年度以降の継続実施にむけた検討事項も明らかになってきた。次項目に大量発生メカニズム解明に関係する課題の進捗、成果概要と平成28年度に向けた検討事項を概説する。

## 1 3 - 2. 調査研究の成果と次年度に向けた課題

### 1 3 - 2 - 1. 水質：栄養塩・植物プランクトン変動

オニヒトデの分布密度が慢性的に高い恩納村を中心に、沖縄島西海岸の13地点で定期的な水質モニタリングを実施し、オニヒトデの繁殖期に幼生の餌指標であるクロロフィル量が相対的に高くなりやすいかどうか、また、クロロフィル量が幼生の生残を支えるために十分であるかどうか調べることを目的としている。昨年度までの結果から、本島西海岸のクロロフィル量はオニヒトデ幼生が生残可能な領域 ( $0.25 \mu\text{g/L}$  以上) に一時的には達するが、多くの場合はそれより低いことがわかった。そこで、平成27年度はサンプリング地点数を減じ、その代わりにオニヒトデの産卵期に集中的にモニタリングを実施した。また、植物プランクトンに代わってDOC (溶存態有機物) が餌となる可能性があるため、DOCとして代表的な遊離アミノ酸および単糖類の分析を試みた。

平成27年度のクロロフィル量モニタリングの結果、ほとんどのオニヒトデ幼生が死滅するとされる  $0.25 \mu\text{g/L}$  以下は全体の66% (151/229)、生残率が高くなる  $0.8 \mu\text{g/L}$  以上は全体の4% (9/229) であった。残波岬付近を境界にして、南側で比較的高く、北側で低くなる傾向や、夏季にクロロフィル量が高くなる傾向は昨年度と同様であった。暫定的な分析結果だが、遊離アミノ酸の濃度レベルは  $<0.2 \mu\text{M} \sim 3 \mu\text{M}$  ( $15.0 \mu\text{g/L} \sim 225 \mu\text{g/L}$ , 炭素換算すると  $\sim 0.07 \text{mg-C/L}$ )、単糖類は  $0.5 \mu\text{M} \sim 2.6 \mu\text{M}$  ( $0.10 \text{mg/L} \sim 0.48 \text{mg/L}$ , 炭素換算すると  $0.04 \text{mg-C/L} \sim 0.19 \text{mg-C/L}$ ) と、他の熱帯海域と比較してやや高くなっていた。

これらの結果から、オニヒトデ幼生がおもに植物プランクトンに栄養を依存しているならば、沖縄島西海岸を浮遊中に幼生が遭遇する餌環境は量的には生残に十分ではないと考えられる。ただし、植物プランクトンの不足分をDOCやフェオフィチンが補う可能性もあるため、来年度はこれらの分析精度を高めて植物プランクトンに加えてDOC等のポテンシャル物質やそれらの変動も含めた餌環境の総合的な評価を行いたい。また、将来のオニヒトデ対策で水質モニタリングを行う際に参考となる効率的なモニタリング手法についても検討する。

### 1 3 - 2 - 2. 幼生分散：海流・コネクティビティ・幼生餌料制限

前項でも述べたように、既存の海流データを利用した幼生分散シミュレーションは統計モデリング研究のなかで実施しているが、ここでは大量発生要因としてコネクティビティや幼生餌料制限とあわせて論じる。平成27年度は、オニヒトデ幼生の加入プロセスとして幼生供給の時間的・空間的パターンに着目し、既存の海流データによるオニヒトデ幼生の分散をシミュレーションするプログラミングを試み、フィリピン北部から沖縄島にかけての24区画について10年分の幼生コネクティビティの結果を得た。

シミュレーションにより、各海域からの分散パターンに興味深い違いがみられた。恩納村を幼生の出発点とすると、他海域への分散は少なく、ほとんどの年で本島沿岸と慶良間諸島に留まった。慶良間諸島からは沖縄島のみならず宮古諸島、八重山諸島へも広く分散した。宮古諸島からは諸島内で留まる年も多かったが、八重山への分散も多く見られた。八重山諸島からは南方と北東方向に広く分散し宮古諸島や久米島まで到達した。24区画に分けた詳細シミュレーションでも、沖縄島のシンク傾向が強いことが確認された。このシミュレーションで使用しているクロロフィル量データは衛星で取得されており、必ずしも絶対量をとらえているのではない。しかし、分散

期間を経て生残した幼生が浮遊中に遭遇したクロロフィル履歴がつねに  $0.1 \mu\text{g/L}$  以上であったという結果は、生残要因として一定以上のクロロフィル量が必要であることを示唆している。これらのシミュレーション結果から見えてくるのは、恩納村のオニヒトデ集団が self-seeding (産まれた海域に戻って着底する) により維持されている可能性である。このことを仮説として示すためには、分散経路を明らかにするとともに、その経路のなかで幼生が会う餌環境がどうかを検証しなくてはならない。

コネクティビティ研究として野外で幼生を捕獲する試みを平成 26 年度から開始したのは、上述した分散経路を、すくなくとも沿岸域において推定することが重要と考えられたからである。平成 26 年と同じく平成 27 年度も恩納村南部で採取されたプランクトンサンプル中にオニヒトデ幼生が見出されたが、サンプリング時のろ水量が一定ではなかったため、幼生の密度や分布状況を客観的に判断することはできなかった。幼生サンプリングは海流シミュレーションと相互に補完する分散経路推定の有効な手法なので (Uthicke et al. 2015)、平成 28 年度はサンプリングの手法を船舶曳きに変更し、ネットの目合も粗くして十分なる水量を確保してサンプルを採取し、オニヒトデ幼生の密度や発生段階が比較可能なデータを取得する。

水質モニタリングの項で述べたように、野外のオニヒトデ幼生が植物プランクトン以外の餌、とりわけ炭素源として豊富なデトリタス (懸濁有機物粒子) やバクテリア (これらをあわせて POM と称する)、あるいは DOC (溶存態有機物) に栄養を依存しているかどうかは、幼生き残り仮説を検証するうえで避けては通れない議論である。かつては胃内容物観察の結果に基づいて直径  $2 \mu\text{m}$  以上の植物プランクトンが主食だと考えられていたが、平成 27 年度から開始した実験では飼育海水中の餌の炭素/窒素安定同位体比とオニヒトデ幼生の体組織の安定同位体比を比較することで、補食や胃内容物観察をすることなく POM や DOC を同化していることがわかった。さらに、ほとんど補食できないと考えられていた  $2 \mu\text{m}$  以下の微小生物も餌資源として幼生がビピンナリア後期までは成長し、少なくとも 2 週間は生存することも明らかとなった。このことは、野外におけるオニヒトデ幼生の餌料制限が、従来の幼生き残り仮説で考えられていたよりも緩やかであることを示唆している。ただし、 $2 \mu\text{m}$  以下の POM しか含まない海水中で幼生はビピンナリア期以降に成長しないことから、主要な栄養源はやはり植物プランクトンだとみなされるので、植物プランクトンが不足したときにどの程度 POM に依存するか、あるいは、POM のなかでもどの粒子が重要で、栄養要求をどの程度満たしているかを定量的に調べ、野外での餌料制限が従来と比較してどのくらい緩やかなのかを評価する。

### 13-2-3. 個体群プロセス：稚ヒトデ調査・成体調査・サンゴ群集調査

平成 25 年夏に着底した稚ヒトデの成長を追跡し、恩納村でも西表島やフィジー島と同様な成長式を得ることができた (着底 1 年で 37mm、2 年で 188mm)。これにより、大量発生が顕在化する直径 15~20cm のオニヒトデ集団が 2 歳とみなされること、そして逆に言えば、大量発生要因を検証する場合は 15~20cm の集団が発見された 2 年前に注目すべきであることが沖縄島でも確認できた。一方で、北谷町での成長は、最も差が少ないと仮定した場合でも恩納村の 2/3 程度であった (着底 2 年後の推定値; 恩納村 188mm vs. 北谷町 120mm)。この 2 地点間の差異は成長だけではない。平成 25 年の稚ヒトデ密度は、食痕と個体を併せた推定値で、北谷町が恩納村の数倍~100 倍高くなっていた。しかし、その 2 年後の成体密度調査では、北谷町が 15cm 以下の小型個体が中心で成体食痕もほとんどみられなかったことに対し、恩納村では 16cm 以上の 2 歳個体



が中心で成体食痕も多かった。さらに、北谷町では過去数十年間にわたってオニヒトデの大量発生は起きていないが、恩納村では毎年のように千個体以上が駆除される。

このような成体個体群サイズの差異が生じるのは、加入量（着底量）に差があるか、稚ヒトデ期以降の個体群形成過程における死亡率に差があるかのどちらか、またはその両方である。北谷町では餌となる造礁サンゴが少ないために稚ヒトデの食性転換がスムーズにできず成長が遅れ、それだけ補食圧を受ける期間が長くなって死亡率が相対的に高くなると思われる。平成26年から実施している捕食者調査では、北谷町のベントス相が恩納村より多様でバイオマスも大きいという結果が得られており、現時点では北谷町での死亡率が高いことが重要ではないかと推察されるが、まだ結論にはできない。なぜなら、恩納村ではサンゴ礁基盤の地形が複雑なために真の稚ヒトデ密度を観測できていない可能性があるためだ。

稚ヒトデ期の死亡率を見積もる目的で、平成25年からランダムコドラート法による密度調査を行ってきたが、発見数が安定しないと推定幅が大きくなったり、推定計算自体が破綻することもあった。次年度の調査ではランダムコドラート法ではなく、固定コドラートの内部の稚ヒトデを探索するなど正確な推定ができる手法を検討する。

#### 13-2-4. ケミカルシグナルを利用した大量発生予測手法開発

これまでに幼生の着生誘引活性が確認されている Inducer A と Inducer B の構造決定にむけて分離精製を行い、それぞれ活性本体と思われるピークを得ることができた。稚ヒトデについては野外で使用可能な構造をもつトラップを作成し、また、摂餌行動刺激活性物質として *Acropora tenuis* から抽出物を新たに得た。今後、これらを使用してサンゴ食期個体の捕獲試験を行う。

#### 13-2-5. サンゴ礁モニタリングロボット等の研究開発

潜水では困難な水深帯のモニタリングおよびモニタリングの省労力化等をめざして、ロボット開発、サンゴ被度・オニヒトデ食痕の自動検出技術開発、オニヒトデ個体の自動検出技術開発、サンゴ礁定点観測システム開発という4つの研究開発を実施している。今年度はロボット用高度維持機構を試作してテストを行った。画像解析によるオニヒトデ個体の検出にはアルゴリズムの改善が必要だが、テクスチャ分析によるサンゴ等の識別分類が可能ながわかった。

### 13-3. 学会発表等

平成25年から27年12月までに、オニヒトデ総合対策事業で実施した調査研究の对外発表リストを表3-13-3にまとめた。これまでに国際学会での口頭発表が6件、ポスター発表が1件、国内学会での口頭発表が10件、ポスター発表が3件、それぞれ行われた。また、国際学術雑誌 (*Marine Biology*) にオリジナルペーパーが1件掲載された。

平成27年11月に慶應大学で開催された日本サンゴ礁学会では、特定のテーマでまとめた発表時間枠が与えられ、一般参加も可能なテーマセッションが企画されたので、オニヒトデ総合対策事業で調査研究を実施している沖縄県及び6名の研究者が発表の機会をもった。当日の会場は盛況で、発表後の討議の時間には、オニヒトデの成体の移動も重要ではないかといった意見が寄せられ、サンゴ礁の問題として一定の関心が持たれていることがうかがえた。

<参考文献>

Uthicke S, Doyle J, Duggan S, Yasuda N, McKinnon D (2015) Outbreaks of coral-eating Crown-of-Thorns creates continuous cloud of larvae over 320km of the Great Barrier Reef. *Scientific Reports*. 5, 16885; doi: 10.1038/srep16885.

表3-13-1. オニヒトデ大量発生メカニズム解明に係る調査研究事業の実施スケジュール(平成27年度).

テーマ	研究分野	研究課題	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	備考・変更点等		
I 水質	A 栄養塩変動	1 栄養塩濃度調査	本島西岸中心に通年・広範囲	本島西岸中心に通年・広範囲	主要13地点で採水	主要海域・高頻度採水		水質 とりまとめ	H27年度からは、過去の分析結果やオニヒトデ発生状況を参考にして調査地点を13地点に絞り込んだ。	
		2 流出源評価		GIS構築・データ入力	GISデータ更新・追加				GISデータを利用して陸からの負荷量を推定。H27年度は特定事業場のデータを追加した。	
	B 植物プランクトン変動	1 クロロフィル分布調査	栄養塩と同地点・採水とCTD	栄養塩と同地点・採水とCTD	主要13地点(2地点で高頻度)	主要13地点(2地点で高頻度)				栄養塩モニタリング地点での調査に加え、恩納村と北谷町の2地点では遊泳採水による高頻度調査も実施。
		2 クロロフィル衛星データ解析	衛星画像の取得・解析手法検	画像解析試行	画像追加・解析					利用可能なクロロフィル衛星データを取得、解析して野外の観測地と比較する。
II 幼生分散	A 海流	1 流動解析			分散パターンの試行計算	データ追加・モデル改善			IV-A-1 統計モデリングのなかで実施。公表されている海流データを用いてオニヒトデ幼生の分散方向を試行的に推定する。	
	B メタ個体群	1 集団遺伝解析	県内各地の集団を解析	遺伝子流動の方向性を推定				幼生分散 とりまとめ	H26年度で完了	
		2 コネクティビティ	着底場所特定+GPSプイ	着底場所特定+GPSプイ	プランクトンサンプリング	プランクトンサンプリング			H26にプランクトンサンプリングにより野外でオニヒトデ幼生を捕獲。H27は地点・頻度を増やして調査を実施。	
C 幼生生態	3 幼生餌料制限			同位体比分析による餌料特定	生残に必要な餌要求量の推定				幼生き残り仮説で提唱されている幼生の餌料要求量を、同位体比分析を中心とする新しい手法で推定する。	
III 個体群プロセス	A 個体群動態	1 稚ヒトデ調査	恩納村沿岸	恩納村沿岸	恩納村沿岸			個体群動態 とりまとめ	稚ヒトデモニタリングは毎年9月～12月。ただし、1歳個体(10cm前後)が多数みられる場合は適宜実施する。	
		2 成体個体群調査	沖縄県全域とモデル海域	沖縄県全域とモデル海域	沖縄県全域とモデル海域	沖縄県全域とモデル海域			H27年から恩納村(万座地区)において駆除個体のサイズ測定を実施。	
		3 サンゴモニタリング	沖縄県全域とモデル海域	沖縄県全域とモデル海域	沖縄県全域とモデル海域	沖縄県全域とモデル海域			成体個体群調査を実施している2地点(恩納村万座と北谷町砂辺)において、年1回のサンゴ被度調査を実施。	
IV 大量発生予察	A 大量発生パターン解析	1 個体群統計モデリング	既存データに基づいてモデル化	モデル改善検討	モデル改善検討	調査研究成果を加え再モデル		大量発生予察 とりまとめ	恩納村の駆除データにもとづき個体群変動を推定する。	
		2 大量発生要因時間・空間解析		GIS構築・データ入力	データ追加・更新	データ追加・更新			IV-A-1 統計モデリングの付随課題。恩納村の駆除データをGISデータ化する。	
	B ケミカルシグナル	1 幼生・稚ヒトデトラップ開発	幼生トラップ開発・室内実験	稚ヒトデトラップ開発	幼生・稚ヒトデトラップ野外実験	幼生・稚ヒトデトラップ野外実験			H26に稚ヒトデトラップを試作して室内実験を実施。H27はトラップ改善と誘引実験を継続。	
V 効果的防除	A 駆除手法	1 注射駆除効果検証		酢酸注射効果検証室内実験				効果的防除 とりまとめ	H26年度で完了	
	B モニタリング手法	2 モニタリングロボット開発			搭載機器・システム試験	搭載機器・システム試験			H27は航行・画像処理・観測通信など、モニタリングロボットに搭載される予定の各種機器やシステムの設計、製作および試験を行う。	
	C 研究成果とりまとめ	3 成果発表抜本対策検討			サンゴ礁学会での発表		総合まとめ・シンポジウム開催		中間年度にはサンゴ礁学会等で、最終年度にはシンポジウムを開催して成果を発表する。	



表3-13-2. 平成27年度調査研究課題、目標、コンソーシアムメンバーおよび結果概要.

No	研究課題	平成27年度の目標	コンソーシアムメンバー	進捗状況 (H27年12月末時点)
1	栄養塩濃度調査	オニヒトデの繁殖期を中心とした、本島西海岸沿岸における栄養塩濃度変化の把握	沖縄県衛生環境研究所 JV	オニヒトデ幼生の餌となる植物プランクトンの指標であるクロロフィル量と栄養塩濃度(窒素やリン)のモニタリングを沖縄島西海岸で実施した。調査地点数は、過年度までの水質調査結果およびオニヒトデ幼生の発生地域を考慮し、23地点から13地点に変更した。分析項目はこれまでの10項目(TN, DTN, DIN, TP, DTP, DIP, 濁度, TOC, DOC, Chl. a)に、遊離アミノ酸と単糖類を追加した。現在は詳細分析中である。
2	流出源評価	各種の流域データ(土地利用、降雨量、赤土流出量等)を利用して陸域からの負荷量を推定	JV	これまで土地利用現況図と統計資料に基づき流域ごとの負荷量を算出したが、今年度は統計資料に反映されなかった特定事業場の負荷量(BOD負荷量)を追加した。今回算出した結果、畜産からの負荷量の割合が最も高く約51%、家庭排水は水道業を含めると30%近い割合を占めていた。BOD負荷と栄養塩負荷は異なるなど注意が必要だが、広範囲で傾向を把握できることが利点であろう。
3	クロロフィル分布調査	オニヒトデの繁殖期を中心とした、本島西海岸沿岸におけるクロロフィル量変化の把握	沖縄県衛生環境研究所 JV	クロロフィル量測定値のうち、幼生の生残が影響をうけないクロロフィル量0.8μg/L以上は4%であったのに対し、幼生が死滅する0.25μg/L以下は66%を占めた。全体平均は0.27μg/Lである。夏季に高くなるという季節変動の傾向が今年度のモニタリングでも確認でき、繁殖期中(7月22~23日)には全地点の平均が0.25μg/Lをこえることもあった。
4	クロロフィル濃度分布衛星観測データ解析	衛星によって取得された沖縄周辺海域のクロロフィル量データの収集と解析	JV	2013年4月~2014年12月までの水質モニタリングデータのべ516地点のうち、外れ値を除いた同日同地点の衛星観測データは合計400地点分であった(TERRA衛星225地点、Aqua衛星175地点)。モニタリングによる実測データと、各衛星のデータの相関はほとんどなかった。衛星観測データを用いたクロロフィルa濃度解析は、現時点では広い範囲での相対的な傾向を把握するために用いることが妥当と考えられる。
6	コネクティビティ	沖縄島西海岸におけるプランクトンサンプルによってオニヒトデ幼生の分布状況を把握	JV	沖縄島西海岸の22地点において6月から8月にかけてネットサンプリングを行い、211サンプルを検鏡したところ8サンプル中から9個体のオニヒトデ幼生が確認された。しかし、ネットの目詰まりによりろ水量が不足するなど、当初の目的である幼生分布の把握や密度の定量的な評価が困難である。来年度はろ水量を増やすため、ネットの仕様や曳き方を改善する。
7	幼生餌料制限	異なる餌料環境下での飼育実験により、野外でのオニヒトデ幼生の主食とその要求量の推定	山本修一・中富伸之(創価大学) 中嶋亮太(JAMSTEC) JV	自然海水を20μm、2μm、0.2μmのフィルターで濾過した飼育水や、重炭素、重窒素で標識した生物粒子を含む飼育水でオニヒトデ幼生を一定期間飼育し、飼育水と幼生体の炭素/窒素同位体比を測定した。また、自然海水を濾過した飼育水中に含まれる生物粒子の量や比率も求めた。実験・測定の結果、オニヒトデ幼生はデトリティスや2μm以下の微生物、サンゴ粘液を栄養源として利用でき、植物プランクトンが不足していてもある程度は生存できることがわかった。
7	稚ヒトデ調査	恩納村と北谷町での稚ヒトデ集団の密度変化と成長率の把握および捕食者となる可能性のあるベントスの探索	JV	H25、26年度に引き続き、北谷町と恩納村で稚ヒトデ調査(密度・成長追跡)、成体ヒトデ対象のトランセクト調査とサンゴ群集調査、捕食者探索のためのベントス採集を行った。H25年夏に着底した稚ヒトデ群の成長式を推定し、恩納村ではこれまで報告されている西表やフィジーの事例と同様、着底後1年で4cm前後、2年で18cm前後に達することがわかった。
8	オニヒトデ成体個体群調査	県内各地におけるオニヒトデ個体群密度調査	酒井一彦(琉球大) JV	H27年3月~5月に稚ヒトデ調査地点において幅4m x 長さ50m x 5本のベルトトランセクト調査を行って成体および食痕密度を求めた。また、県内広域(本島・慶良間・久米島)の34地点で目視観察によるオニヒトデ成体および食痕密度調査を行った。慶良間、久米島ではほとんどオニヒトデはみられないが、恩納村では前回と比較して個体数が増加した。
9	サンゴ群集調査	サンゴ群集被度および群集構成変化の把握	JV	H27年3月に上記の稚ヒトデ調査・成体調査で設置したトランセクトに沿って海底写真を撮影し、ポイントカウント法によりサンゴの合計および科別被度のほか、付着性ベントス、海藻、底質の被度も求めた。平均サンゴ被度は恩納村(万座)で約12%、北谷町で約2.6%であった。
10	個体群統計モデリング	オニヒトデ発生確率基礎モデル、駆除効率推定統計モデルおよび幼生分散モデルの改善	熊谷直喜(国立環境研究所)	公表されている海流データを利用してオニヒトデ幼生の分散傾向のシミュレーションを行い、フィリピンから沖縄島までの24海域について過去10年間のコネクティビティ(各海域間のソース・シンク関係)を解析した。全体的には、八重山と慶良間を出発点としたときは広く分散し、宮古や本島を出発点としたときはさほど分散せず周辺に留まる傾向がみられた。しかし、コネクティビティ解析の結果は海域よりもむしろ年によって大きく異なっていた。
11	ケミカルシグナル利用した大量発生予測手法開発	オニヒトデ幼生の変態誘引物質および稚ヒトデの摂餌誘引物質を利用した水槽実験と誘引試験	JV	これまでに幼生の着生誘引活性が確認されているInducer AとBの構造決定にむけて分離精製を行い、それぞれ活性本体と思われるピークを得ることができた。稚ヒトデについては野外で使用可能な構造をもつトラップを作成し、また、摂餌行動刺激活性物質として <i>Acropora tenuis</i> から抽出物を新たに得た。今後、これらを使用してサンゴ食期個体の捕獲試験を行う。
12	サンゴ礁モニタリングロボット等の研究開発	潜水では困難な水深帯のモニタリングを自動化・省力化するロボットを開発	武村史郎(沖縄高専) ほか4名	潜水では困難な水深帯のモニタリングおよびモニタリングの省力化等をめざして、ロボット開発、サンゴ被度・オニヒトデ食痕の自動検出技術開発、オニヒトデ個体の自動検出技術開発、サンゴ礁定点観測システム開発という4つの研究開発を実施している。今年度はロボット用高度維持機構を試作してテストを行った。画像解析によるオニヒトデ個体の検出にはアルゴリズムの改善が必要だが、テクスチャ分析によるサンゴ等の識別分類が可能になったことがわかった。





表3-13-3. 沖縄県オニヒトデ総合対策事業 発表等業績一覧表（平成25～27年度）.

年度	発表者	日時	形式	発表場所	発表タイトル	発表概要
25	安田 仁奈	H25. 6. 23	口頭	第3回アジア太平洋サンゴ礁学会（APCRS） 台湾・墾丁市	Genetic connectivity along Kuroshio Current	黒潮がサンゴ礁生物の幼生分散やメタ個体群構造にどのような影響を与えるかについて、浮遊幼生期の異なるヒトデ類・サンゴ類を対象に集団遺伝構造を調べた。浮遊幼生期の長いオニヒトデなどのヒトデ類では特に強い遺伝子流動が黒潮流域で確認でき、黒潮がこれらのメタ個体群構造に大きな影響を及ぼすことがわかった。
25	中村 雅子	H25. 6. 23	口頭	第3回アジア太平洋サンゴ礁学会（APCRS） 台湾・墾丁市	Larval recruitment and dispersal processes of Acroporid corals in the central Ryukyu Islands	恩納村沿岸域で申請者が行っているサンゴの幼生加入量と群集調査の結果から、サンゴ幼生分散過程や回復力について考えたもの。その中で、2013年のオニヒトデ分布調査データとサンゴ群集データを比較する。
25	安田 仁奈 ほか3名	H25. 12. 14	ポスター	日本サンゴ礁学会第16回大会 沖縄県・OIST	大量発生したオニヒトデの詳細遺伝構造-フレンチポリネシアと沖縄の比較	サンゴ害害種オニヒトデの大量発生集団についてミトコンドリア及びマイクロサテライト遺伝子座を用いて集団遺伝解析及び系統地理解析を行い、遺伝的多様性及び、集団の均一性や遺伝分化を検出して沖縄内及びフレンチポリネシア間で比較する。
25	中村 雅子	H25. 12. 14	口頭	日本サンゴ礁学会第16回大会 沖縄県・OIST	恩納村沿岸域のオニヒトデの生態	恩納村漁業協同組合により収集されたオニヒトデ駆除データをもとに、恩納村沿岸域のオニヒトデ個体群動態に発表するとともに、現在展開している、オニヒトデ幼生分散過程に関する研究結果の一部を紹介する。
25	中村 雅子	H26. 2. 28	口頭	Ocean Science Meeting 2014 ハワイ・ホノルル市コンベンションセンター	Larval dispersal and recruitment of corals and Crown-of-thorns Starfish around Okinawa Island, Japan	恩納村沿岸域で申請者が行っているサンゴ幼生加入量と、本プロジェクトで収集された稚ヒトデの分布データを比較し、幼生分散機構を推定しようとしたもの。
26	中村 雅子	H26. 6. 29	口頭	持続可能な島嶼社会の発展に関する専門家会議 沖縄県・OIST（環境省主催）	地域と連携したサンゴ礁生態系の研究	申請者が行っているサンゴ礁での研究を紹介し、サンゴ礁生態系の研究における地域連携の重要性を論じるものである。その中で沖縄県のオニヒトデ対策事業との関わりについて発表したいと考えています。
26	中村 雅子	H26. 8. 24	論文	Marine Biology Mar Biol (2014) 161:2521-2530	Spatial and temporal population dynamics of the crown-of-thorns starfish, <i>Acanthaster planci</i> , over a 24-year period along the central west coast of Okinawa Island, Japan	恩納村沿岸域におけるサンゴとオニヒトデ幼生の加入パターンを比較し、GPSブイ軌跡との関係などを論じたもの。
26	熊谷 直喜 ほか4名	H26. 10. 11	口頭	個体群生態学会 茨城県つくば市・筑波大学	Multinomial mixture modelによるオニヒトデ捕獲除去データからの駆除達成率の推定	恩納村のオニヒトデ駆除データを用いた統計解析により、駆除達成目標や生息数を推定した結果を発表する。
26	中村 雅子 ほか5名	H26. 11. 27	ポスター	日本サンゴ礁学会第17回大会 高知県・高知城ホール	恩納村沿岸域におけるオニヒトデとサンゴの幼生加入パターン	恩納村沿岸域で申請者が行っているサンゴ幼生加入量と、本プロジェクトで収集された稚ヒトデの分布データを比較し、幼生分散機構を推定しようとしたもの。
26	安田 仁奈 ほか3名	H26. 11. 27	口頭	日本サンゴ礁学会第17回大会 高知県・高知城ホール	黒潮海域におけるサンゴ礁無脊椎動物の遺伝構造比較	黒潮流域に生息するサンゴ礁無脊椎動物複数種について遺伝子流動解析を行い、遺伝構造を比較し、生物ごとにどのような特性があるかを比較し調べた。
26	金城 孝一 ほか5名	H26. 11. 28	ポスター	日本サンゴ礁学会第17回大会 高知県・高知城ホール	沖縄島西海岸沿岸域における栄養塩濃度およびクロロフィルa濃度	オニヒトデ大量発生の要因の一つに、陸からの栄養塩の流入による植物プランクトンの増加が示唆されている。そこで沖縄島西海岸の沿岸域において、栄養塩濃度およびクロロフィルa濃度の現状把握を目的に調査を実施した。その結果について報告する。
26	熊谷 直喜	H26. 12. 11	口頭	統計数理研究所共同利用研究会 東京都立川市・統計数理研究所	発見率の低い有害生物の駆除データからの残存生息数の推定：サンゴ捕食者オニヒトデのmultinomial mixture model	恩納村のオニヒトデ駆除データを用いた統計解析により、駆除達成目標や生息数を推定する統計学的な仕組みやプロセスについての発、研究手法についての議論を行う。
27	岡地 賢 ほか6名	H27. 11. 29	口頭	日本サンゴ礁学会第18回大会 東京都品川区・慶應大学三田キャンパス	セッション要旨：オニヒトデの大量発生	サンゴ礁学会での新たな発表の場として一般参加も可能なテーマセッションが開催されることとなったため、オニヒトデ総合対策事業で実施している調査研究の進捗状況ならびに成果を発表し、今後の方向性と課題を検討する。
27	金城 孝一 ほか4名	H27. 11. 29	口頭	日本サンゴ礁学会第18回大会 東京都品川区・慶應大学三田キャンパス	沖縄島西海岸におけるオニヒトデ浮遊幼生期の水質	残波岬を境にして南北で水質に有意な差があり、市街地が広がる中南部で比較的高くなり、浮遊幼生期と重なる5-7月にクロロフィルa量は高くなる。その傾向は、2014年のモニタリング結果でも同様な傾向であったが、2013年と比較して相対的に低く、その差は小さくなった。
27	中富 伸幸 ほか5名	H27. 11. 29	口頭	日本サンゴ礁学会第18回大会 東京都品川区・慶應大学三田キャンパス	安定同位体比分析による浮遊幼生期の餌資源の解明	実験室内で飼育したオニヒトデ幼生の全炭素・全窒素の安定同位体比を測定し、自然海水で飼育した幼生の同位体比は、自然の粒子（POM）の同位体比に近づいたことから、オニヒトデ幼生は植物プランクトンだけでなく2μm以下の微小粒子も捕食できることがわかった。
27	安田 仁奈 ほか3名	H27. 11. 29	口頭	日本サンゴ礁学会第18回大会 東京都品川区・慶應大学三田キャンパス	オニヒトデの遺伝子流動とconnectivity推定	琉球列島で大量発生したオニヒトデの集団に対し、遺伝子データを用いてCoalescent解析を行い、遺伝子流動を推定した。沖縄本島・石西礁湖・宮古島の間において2集団ずつそれぞれ推定したところ、これまでひとつの均一な遺伝子プールとされていた3集団は実は、個々に独自性を持っており、その上で双方向の遺伝子流動が存在していることがわかった。
27	熊谷 直喜 ほか4名	H27. 11. 29	口頭	日本サンゴ礁学会第18回大会 東京都品川区・慶應大学三田キャンパス	統計モデリングによるオニヒトデの生息数と大量発生要因の推定	(1) オニヒトデ駆除効率モデルによる、駆除前の生息数、駆除達成率の推定結果、(2) オニヒトデ大量発生予測の統計モデリングによる大量発生に関連する環境要因の推定結果、(3) オニヒトデ幼生海流分散シミュレーションの結果
27	岡地 賢 ほか4名	H27. 11. 29	口頭	日本サンゴ礁学会第18回大会 東京都品川区・慶應大学三田キャンパス	沖縄本島恩納村と北谷町におけるオニヒトデの成長率	沖縄本島西海岸の2地点、恩納村と北谷町でオニヒトデの成長率を測定した。恩納村での成長は、過去に西表島などから報告された事例と同じく、2年で直径約20cmとなることがわかった。しかし、北谷町では成長が遅く、サンゴが少ないためではないかと思われた。
27	尾関竜太郎 ほか6名	H27. 12. 6	ポスター	The 6th International Conference on Advanced Mechatronics 東京都・早稲田大学	Study of Functions for Stationary Underwater Sensor Node and Information Browser in Underwater Monitoring Sensor Network System	サンゴ礁定点観測システムおよび観測画像閲覧システムの紹介
27	田場 凌	H28. 1. 20	口頭	International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 大分県別府市	Development of an altitude maintenance system for underwater robots using laser beams	マンタ法利用の水中ロボットには海底からの高度を維持するための機能が必要になる。単眼カメラとレーザーモジュールを用いた画像処理による距離を計測する手法を元にした、水中ロボットの高度維持制御の方法ならびに、基礎実験について報告する。
27	Masahiro Suganuma	H28. 1. 20	口頭	International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 大分県別府市	Development of an automatic detection method for crown-of-thorns starfish using contour information	サンゴ礁モニタリング画像から自動的にオニヒトデを検出する技術開発として、オニヒトデの特徴の一つであるトゲを特徴量として検出する方法を提案した。