

平成 28 年度オニヒトデ総合対策事業
報告書 概要版

平成 29 年 3 月

沖 縄 県 環 境 部 自 然 保 護 課

平成28年度オニヒトデ総合対策事業の概要

沖縄県のサンゴ礁は、その多様性や固有性において世界的にも高い評価を受けているとともに、漁業資源、観光資源としての役割や天然の防波堤としての機能など、様々な生態系サービスをとおして県民生活や県経済に多くの恩恵を与えている。しかしながら、平成10年に起こった白化現象をはじめ、赤土等の流出や慢性的なオニヒトデの大量発生等により、沖縄県のサンゴ礁は危機的な状況にあり、その保全・再生が緊急の課題となっている。

沖縄県では、オニヒトデの食害からサンゴ礁を守る取り組みとして、平成19年3月に「オニヒトデ対策ガイドライン」を定め、地元関係者の協力・合意のもと保全区域を定め、定期的なモニタリングを行いつつ、保全区域を守るための駆除を促してきたところである。今後も、本ガイドラインに沿って、保全区域に選定したサンゴ礁をオニヒトデ被害から効果的・効率的に保全していくとともに、陸域からの影響等も視野に入れた大量発生メカニズムを明らかにし、根本的な対策を講じつつサンゴ礁の保全再生を図っていく必要がある。

そのため、「オニヒトデ総合対策事業」では、オニヒトデの大量発生予察と大量発生メカニズムを解明する調査研究及び重要なサンゴ礁をオニヒトデ被害から守りきるための効果的・効率的な防除対策の検討を行うものとする。平成28年度のオニヒトデ大量発生予察の実証事業では、モデル海域でのモニタリングを実施し、オニヒトデ大量発生可能性が高い場所や時期を予測するとともに、過去の予測結果の検討を行った。大量発生メカニズム解明に関する調査研究事業では、研究コンソーシアムの研究者と共に、メカニズムを解明するための研究を実施した。

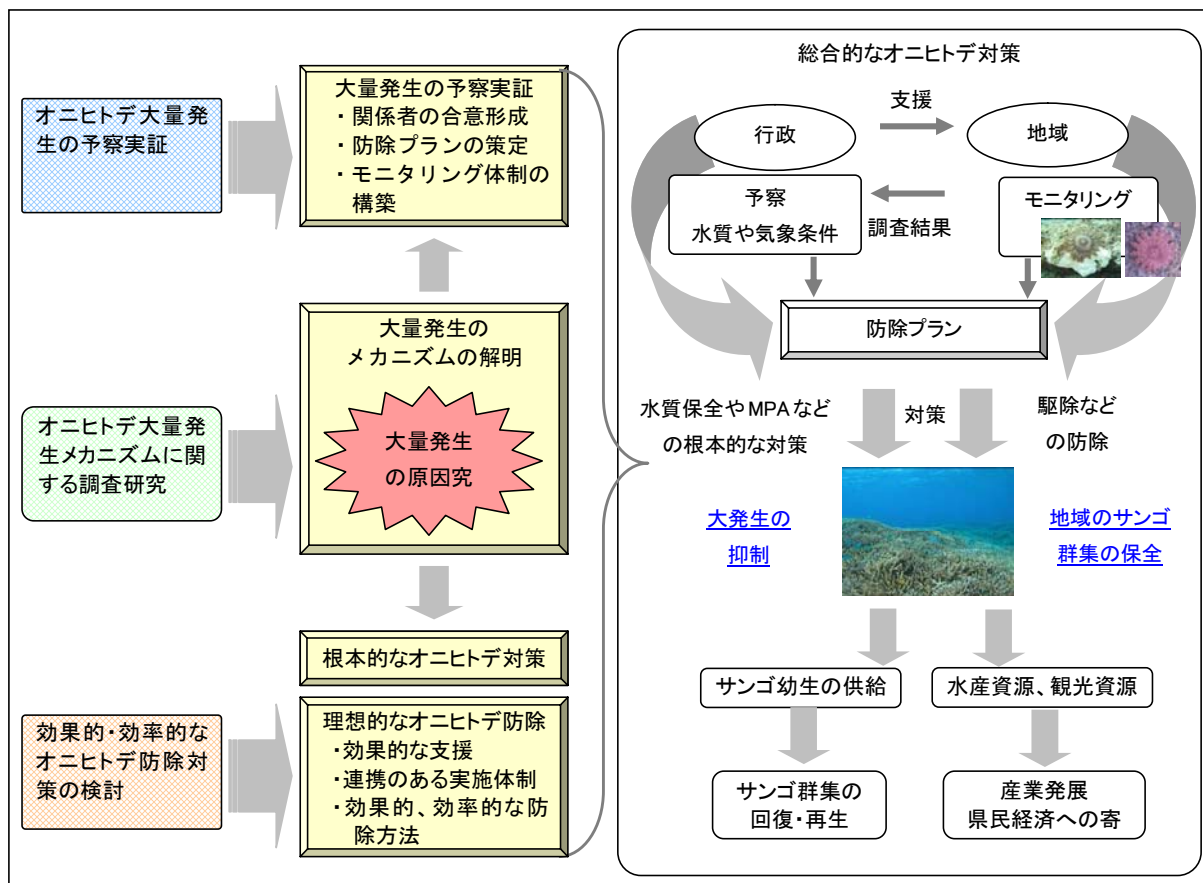


図1. オニヒトデ総合対策事業の効果のイメージ。

1. オニヒトデ大量発生の予察実証

予察実証事業では、モデル海域（恩納村および慶良間）において、モニタリングを実施し、オニヒトデ大量発生の可能性が高い場所や時期等を予察し、大量発生に備えるために調査等を実施している（図2）。モデル海域では、稚ヒトデ調査、マンタ法調査、スポットチェック法調査、地元関係者との情報共有等を実施した（表1）。

恩納村では 2014 年以降は稚ヒトデの食痕群数及び稚ヒトデ確認個体数は減少しており、2014 年～2016 年加入個体群による数年後（2016～2019 年）の大量発生の恐れは低いと考えられる。しかしながら、現在の予察の精度では恩納村周辺で 2 万個体程度の個体群や小さなエリアで高密度となる個体群を予測することは困難であり、近年の駆除数を考慮すると 2 万個体程度の個体群は次年度も発生するものと考えられる。

慶良間では 2013 年以降全体的に稚ヒトデは少なく、2013 年・2014 年はスポット的に稚ヒトデが多く見られた地点があったものの、2015 年、2016 年はスポット的に多い地点も見られなかった。2013 年に久場島西の 1 地点で稚ヒトデが多く確認されたが、2 年後の 2015 年のオニヒトデの成体の確認数は少なかった（スポットチェック法で 0.5 個体）。2014 年に座間味島の北東で稚ヒトデが多く確認された地点の近くでは、2016 年の調査でオニヒトデと食痕が確認されたが、その数は多くなかった。限られた地点で確認される、いわば小規模な稚ヒトデの集団は、その後の大規模な大量発生につながらない可能性がある。

図3に恩納村における 2013 年の稚ヒトデモニタリング結果と、2015 年及び 2016 年のオニヒトデ駆除数を示す。2013 年の稚ヒトデ調査では、恩納村北部で稚ヒトデが多く確認され、2015 年以降の大量発生が懸念されていた。2015 年度の駆除前後調査で 20cm 程度のオニヒトデを 10 個体以上/15 分間、駆除数でも 20cm 前後のオニヒトデが多く確認された。2015 年に駆除されたオニヒトデは 20cm 前後が多いことから、調査研究の成果による稚ヒトデの成長率から推定すると、2013 年に確認され

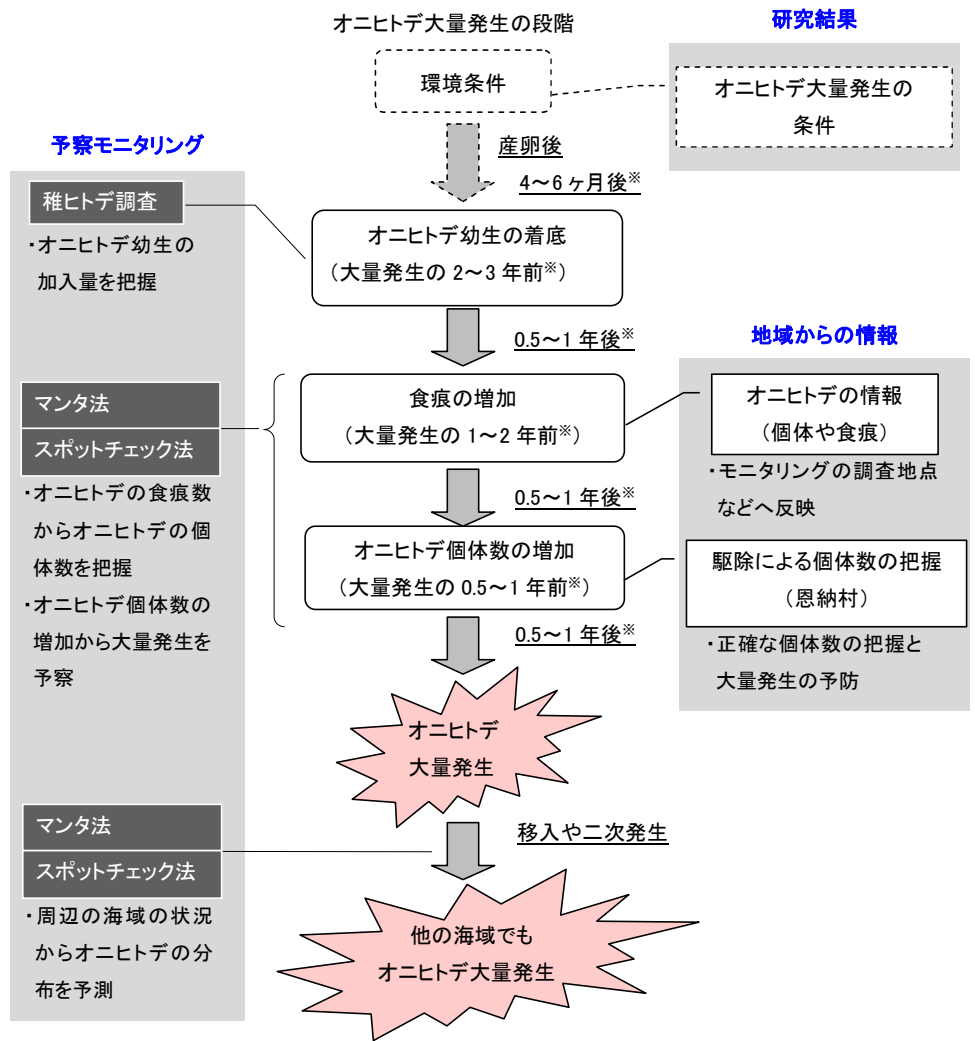


図2. モニタリングによる予察のイメージ。

*この期間はおおよその期間であり、環境条件等により変化する可能性がある。

予察イメージ通りであれば、モニタリングによりオニヒトデ大量発生の 1.5~3 年程度前からの予察が可能である。ただし、「食痕の増加」の後に、「オニヒトデ個体数の増加」を経ずに、「オニヒトデ大量発生」となる場合もあるため、予察前の期間が短くなることもありうる。

た稚ヒトデは、ほぼ 2015 年に駆除された集団と考えられ、恩納村北部で多く発生するとした予察と合致した。ただし、小さい地域でみると、オニヒトデが最も多く駆除されている最北部の部瀬名の稚ヒトデ個体数（6 個体）はその南（21 個体）に比べ少なかったことや、恩納村中央部に位置する谷茶でオニヒトデは 228 個体しか駆除されていないなどの違いも見られた。

表 1. 平成 28 年度オニヒトデの発生状況.

地域 項目	恩納	慶良間
稚ヒトデ モニタリ ング	2016 年に確認された稚ヒトデは 2015 年と同程度であった。→2016 年度の加入個体群による大量発生 の恐れは低い	2016 年に確認された稚ヒトデは 2015 年と同程度であった。→2016 年度の加入個体群による大量発生 の恐れは低い
マンタ法	オニヒトデの食痕と白化の区別がつかなかったため、ほとんどの区間はデータ無しとなった。	オニヒトデは通常分布。 ただし、前島の周辺や座間味島の北側や阿嘉島の西側で食痕が確認されている。
スポットチ ェック法	恩納村北側のかりゆしでオニヒトデが確認された。サンゴの白化のため、オニヒトデを見つけることが非常に困難であり、オニヒトデの個体数は過小になっている可能性がある。 駆除の効果調査ではオニヒトデが大量発生レベルになっている地点は 5 地点であった。特に、ホーシューでは多くのオニヒトデが確認されている。	オニヒトデは通常分布。 ただし、嘉敷島南東のハタキジや座間味島北東、座間味港前でオニヒトデが確認されている。
地元との 情報共有	漁協が実施している駆除データを GIS で整理解析	オニヒトデが多いという情報は無かった

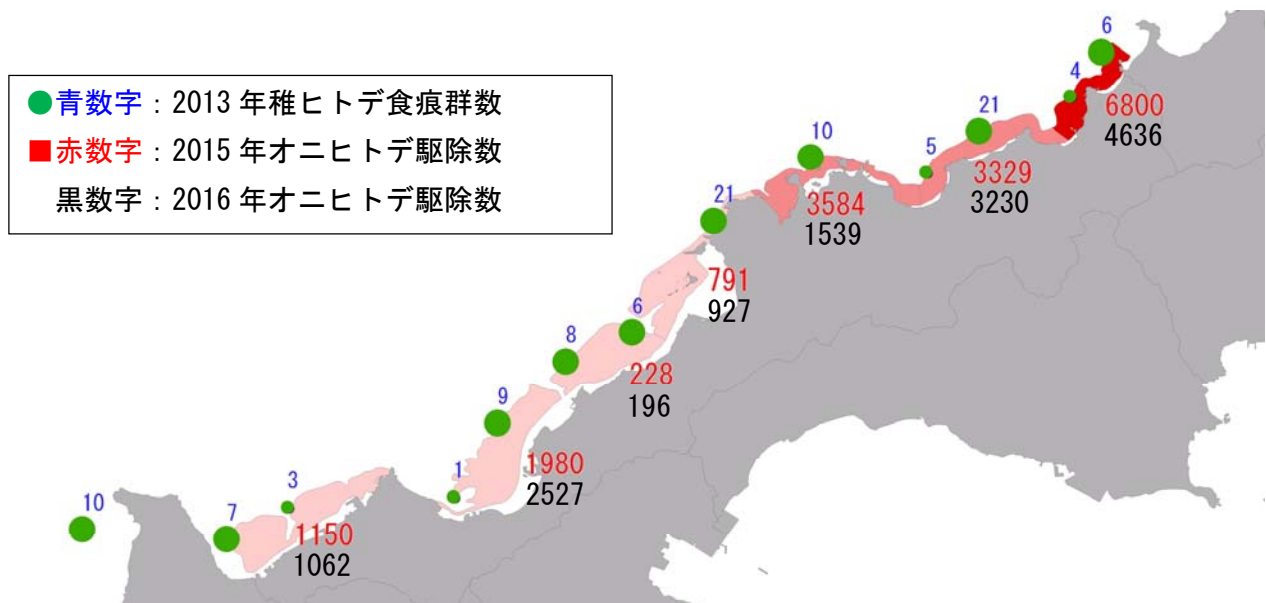


図3. 稚ヒトデモニタリング結果(2013 年)とオニヒトデ駆除数(2015 年)の比較.

2. オニヒトデ大量発生メカニズム解明に関する調査研究

本事業で実施する調査研究の目的は、大学や研究機関との連携のもと、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。

オーストラリア・グレートバリアリーフでの研究により、オニヒトデの大量発生は初期生活史（浮遊幼生期および稚ヒトデ期）における生残率が高まることが原因だと考えられている（図4）。生残率に影響をあたえる要因は、水質、海流、捕食者、餌サンゴ被度などで、これらを組み合わせていくつかの大量発生仮説が提唱されてきた。とりわけ、サンゴ礁海域が陸水流出のために富栄養化して植物プランクトンが増殖し、それらを餌としてオニヒトデの浮遊幼生の生残率が高まって大量発生につながるという人為的影響による「幼生生き残り仮説」は最も有力視されている。しかし、ハワイやバヌアツなど太平洋の他の島嶼では、植物プランクトンの増殖が海域の基礎生産量の変動やモンスーンにともなう湧昇流によって起きるとの示唆があり、大量発生が自然現象に支配されている可能性は排除できない。沖縄県の周辺海域における植物プランクトンの動態は十分に把握されているとはいえず、県内のサンゴ礁地形や各種の環境条件もグレートバリアリーフと様々な面で異なっているので、本事業で実施する調査研究では「幼生生き残り仮説」の検証にとどまらず、他の仮説や自然現象説も含めて総合的に議論するためのデータを取得すべきだと考えられる。

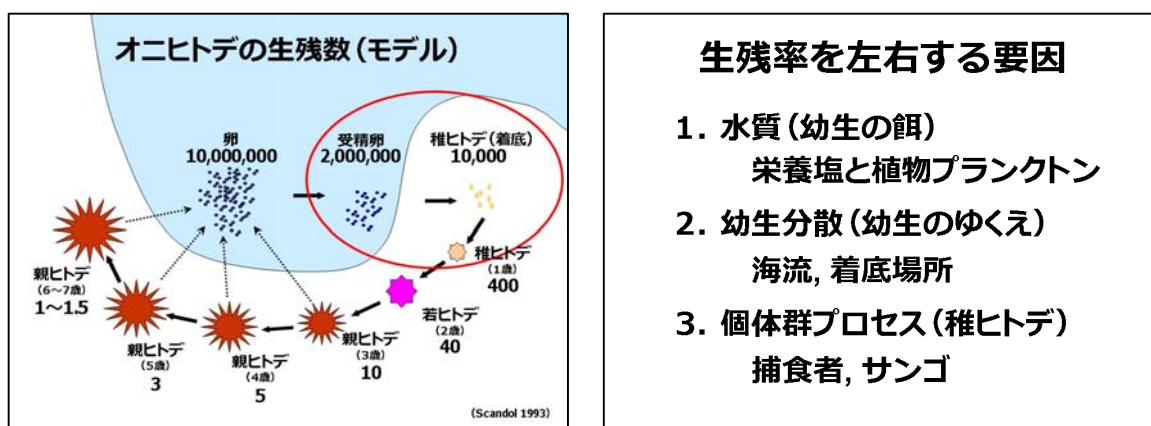


図4. オニヒトデの生活史における生残モデル(左)。受精卵から浮遊幼生を経て稚ヒトデになるまでの生残率のわずかな変化が親ヒトデの個体数に大きな影響をあたえる。生残率は右図に示した要因で主に变化する。

オニヒトデの大量発生に関わる重要な要因は下記の5つである：

- 繁殖 : 繁殖期の個体密度
- 水質 : 繁殖期の植物プランクトン量とその変動を支配する栄養塩類
- 分散 : 着底が近い浮遊幼生を適切な場所へ運搬する海流
- 捕食 : おもに稚ヒトデを食べる生物の種類と量
- サンゴ : 稚ヒトデから成体へと成長し繁殖するために必要な餌

これら要因の各々について、大量発生が起きやすいと思われる海域での相対的な重要性を評価し、そして、その結果重要だと認められた要因が、大量発生が起きなかった（または起きにくい）海域と比較してどのように異なるか調べることを調査研究の目標とし、オニヒトデの大量発生メカニズム解明に必要だと考えられる様々な分野の調査研究を実施した（次頁表）。

表2. 平成 28 年度の研究課題と目標.

No	研究課題	平成 28 年度の目標	コンソーシアム メンバー
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
2	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
3	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
4	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餌料要求量の推定	山本修一・中富伸 之 (創価大学) 中嶋亮太 (SCRIPPS) JV
5	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	JV
6	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
7	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
8	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)
9	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
10	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

JV:オニヒトデ総合対策事業共同企業体

<水質：栄養塩変動・栄養塩濃度調査、：植物プランクトン変動：クロロフィル分布調査>

既存の研究から、オニヒトデの大量発生は初期生活史（浮遊幼生期および稚ヒトデ期）における生残率が高まることにより起きるとされ、生残率に影響を与えている要因として餌料としての植物プランクトン密度を示すクロロフィル量が挙げられる。オニヒトデの分布密度が慢性的に高い恩納村を中心に、沖縄島西海岸を調査対象として定期的な水質モニタリングを実施することで、オニヒトデの繁殖期にクロロフィル量が相対的に高くなりやすいかどうか、そして、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モニタリングすることを目的とし、水質モニタリング調査を実施した。また、クロロフィル量の変動をモニタリング調査によって把握し、沖縄県にお

るオニヒトデ大量発生要因としての重要性を評価することを目的とした。

過年度のモニタリング結果から、一時的にはクロロフィル量は、オニヒトデ幼生の生残率が最大で半分をとる危険領域 ($0.25 \mu\text{g/L}$ 以上) に達するが、オニヒトデ幼生の浮遊時、常に危険領域に入っているとは限らずに、低い濃度で維持されている可能性があることを示した。しかし昨年度までのクロロフィル量とは、クロロフィル a のみを対象としていた。これはオニヒトデ幼生が、餌として主に生きた植物プランクトンを捕食していると考えたためであるが、本事業における様々な研究報告から、オニヒトデ幼生の餌として生きた植物プランクトンのみではなく、死んだ植物プランクトンなどの種々の有機物も取り込むことが示唆されている。そこで今年度からクロロフィル a (Chl. a) の分解生成物であり、死んだ植物プランクトン量の指標となるフェオフィチン a (Pheo. a) を新たに分析項目に加えた。抽出溶媒中における Chl. a および Pheo. a の存在比 (Pheo. a / Chl. a) は平均値で 1.86 であった。これは、オニヒトデ幼生が死んだ植物プランクトンなどの種々の有機物を生きた植物プランクトンと同様に餌として利用できるならば、半数あるいはそれ以上の幼生が生残できるレベルである。クロロフィル総量 (クロロフィル a + フェオフィチン a) は、沿岸から離れた沖側の 2 地点は、他の 15 地点と比較して有意に低かった。

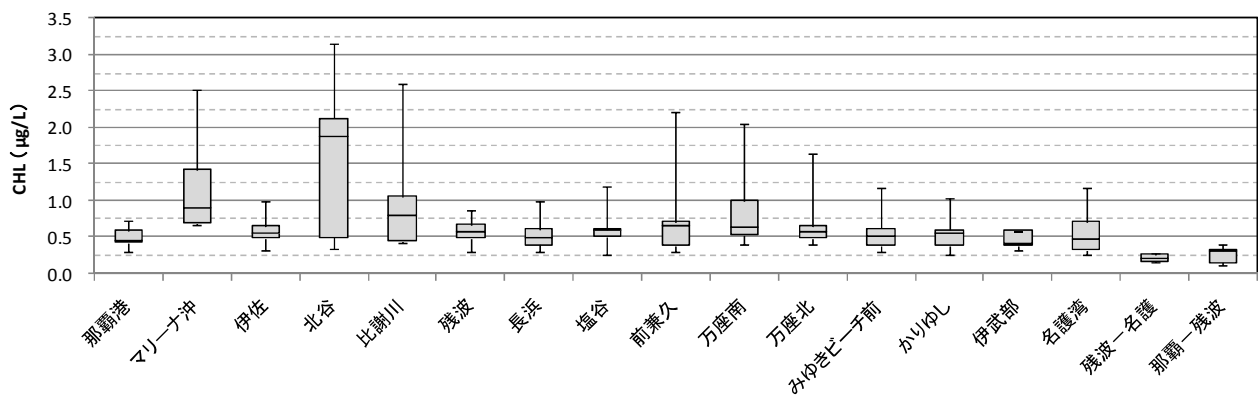


図5. 各地点におけるクロロフィル総量のボックスプロット(平成 28 年度分析結果)。

<幼生分散：海流・コネクティビティ・幼生餌料制限>

個体群統計モデリングにおいて、計算済みの値が公開されている海流のシミュレーション結果を利用し、その海流に従った時の幼生の分散パターンを計算した。過去 17 年分の幼生分散シミュレーションを行ったところ、広い海域間で幼生のコネクティビティが成立しているものの、沖縄島内、宮古諸島内、八重山諸島内でより高い傾向にあることがわかった。また、オニヒトデ成体、サンゴ被度、幼生シミュレーションの結果を組み合わせた個体群動態シミュレーションでは、定常の低密度状態のオニヒトデ個体群から大発生が起こりうるということが解析的に示された。これらの結果から、オニヒトデの大量発生は南方海域からの過剰な幼生供給によって引き起こされたというよりは、沖縄県内に低頻度に生息していた成体がソース個体群となったと解釈できる。これに関連する環境の変化として、2002 年以降の全般的なクロロフィル濃度の増大の影響が考えられた。

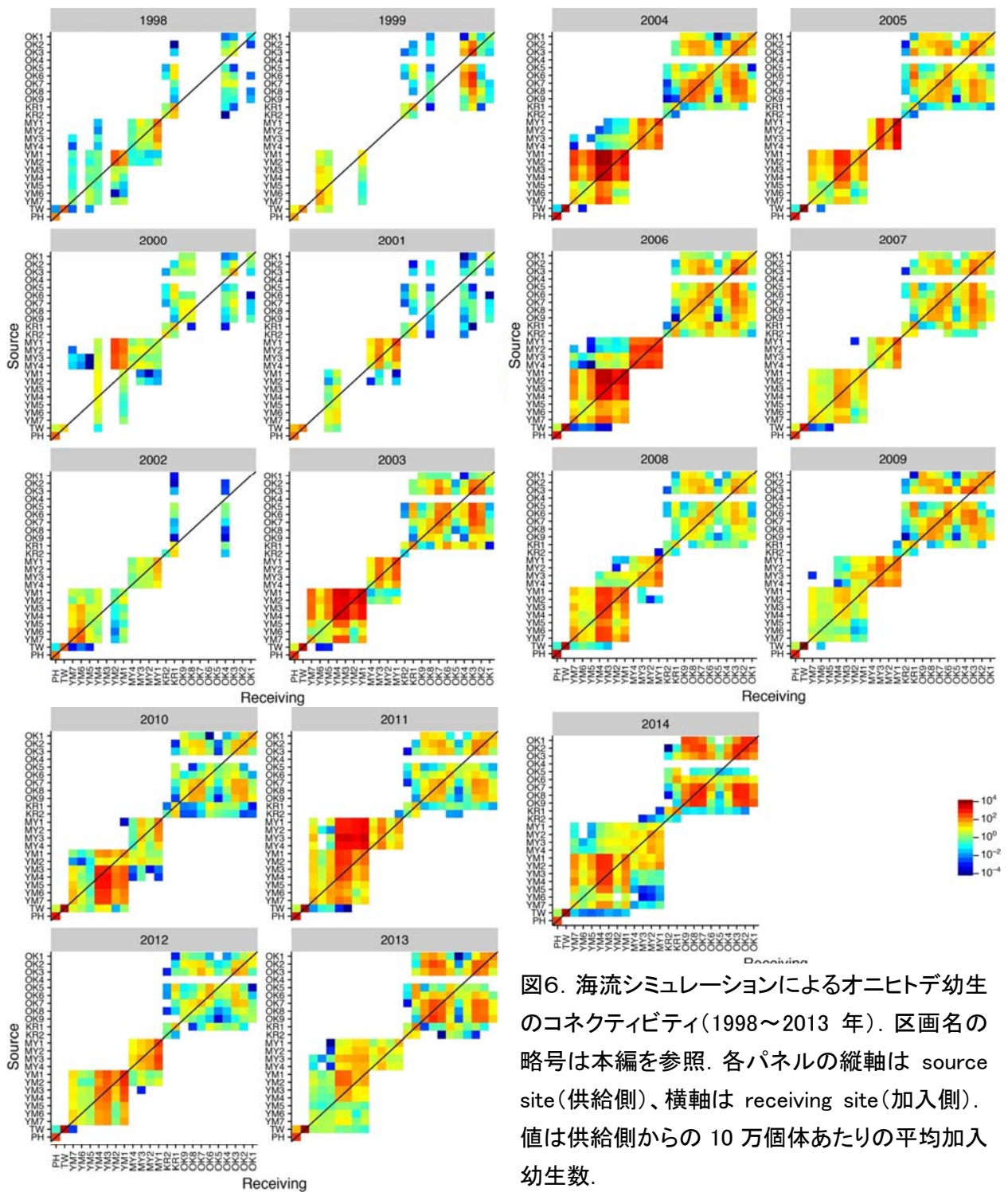


図6. 海流シミュレーションによるオニヒトデ幼生のコネクティビティ(1998~2013年). 区画名の略号は本編を参照. 各パネルの縦軸は source site(供給側)、横軸は receiving site(加入側). 値は供給側からの10万個体あたりの平均加入幼生数.

幼生餌料制限では、オニヒトデ幼生が植物プランクトン以外の有機物粒子 (POM) を構成するどの画分の有機物を同化しているのか、特にデトリタスの餌資源としての意義を明らかにすることを目的とした。具体的には、POMの中からデトリタスだけを分離することは不可能であることから、オートクレーブを用いて海水中に含まれるPOMを加熱処理することで有機物を非生物(デトリタス)化し、それらを餌として幼生の成長の度合いを観測すること、また餌としての同化の程度は炭素・

窒素安定同位体比を継時的に測定して、デトリタスの餌としての寄与を明らかにすることを目的とし実験を行った。

生物態有機物を含んだ自然海水で培養した幼生の方が、加熱処理をした海水で培養した幼生より成長し、より多くの餌を同化していたことがわかった。これは非生物態有機物（デトリタス）よりも生物態有機物がオニヒトデ幼生の成長および生存により貢献していることを示している。また、幼生にとってデトリタスは利用しづらい、または積極的に捕食しない有機物であるが、同位体比の変化よりその同化は可能であることもわかった。さらに、自然海水と培養藻類を添加した海水では、自然海水の平均クロロフィル濃度が低いにも関わらずより高い成長率を示していたことから、単一の餌（培養藻類）よりも多様な餌（天然藻類、鞭毛虫、バクテリアなど）を含む自然海水の方が餌としての質が高いことが明らかとなった。

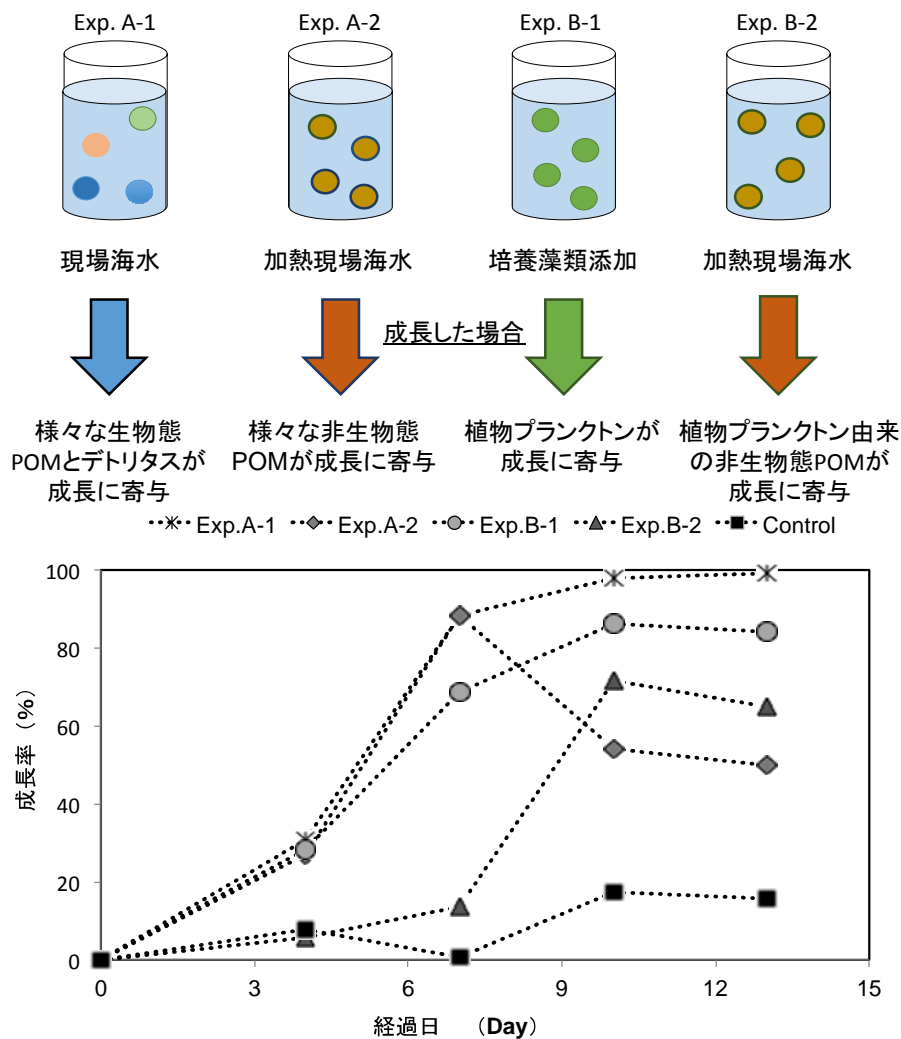


図7. 各実験区におけるオニヒトデ幼生の成長に寄与し得る主な餌資源と各実験区のピピンナリア後期以降まで成長した幼生の割合（最終成長率）の継時変化.

< 個体群プロセス：稚ヒトデ調査・成体調査・サンゴ群集調査 >

野外におけるサンゴモ食期稚ヒトデの密度変化から死亡率の推定を試みたが、時期により、あるいは年による加入数により、稚ヒトデの発見数が密度変化をマスクするほど変動した。そこで、稚ヒトデがサンゴモ上に残す新鮮な食痕を追跡することで死亡率を推定した。その結果、調査期間の1日あたり死亡率は0.88%となった。

これまで報告されているサンゴモ食期稚ヒトデの直径と1日あたり死亡率をプロットすると、直径と死亡率の間には有意な相関がみられ ($P < 0.0401$)、回帰式 $Y = 8.4175 \exp(-0.5328X)$ が得られた (図8)。この回帰式に今回の稚ヒトデサイズ9.2mmを代入して得られた死亡率の期待値は0.063%となるので、今回の調査で求めた死亡率はその約14倍もの値である。ただし、今回の調査では、ある回の調査で死亡と判定された場合は、約2週間前の前回調査までの生残として取り扱ったため、1日あたりに換算した死亡率は実際より高くなると考えられる。

稚ヒトデ成長率推定では、平成25年10月から平成28年7月までの約2年9ヶ月にわたり、恩納村万座と北谷町砂辺の礁斜面で稚ヒトデおよび成体個体の直径データを取得した。

平成28年7月までに取得できた成体の直径データから、恩納村万座における平成25年着底群の成長式を推定したところ、図9のゴンペルツ式が得られた。この成長曲線に基づいて算出したオニヒトデの直径は、着底後1年が約35mm、2年が約184mm、3年が約293mmとなった。

万座と砂辺で今年度まで3年間継続してきたサンゴ群集調査で明らかになっているとおり、砂辺海岸では成体の餌となるサンゴがほとんどないためサンゴ食期に移行した稚ヒトデが十分に成長できないと考えられる。

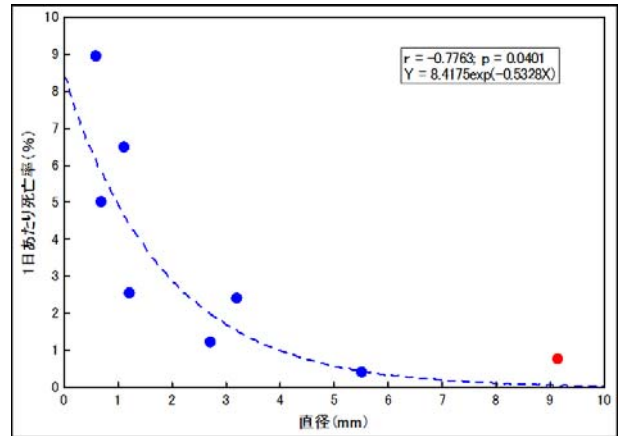


図8. 過去に報告されたサンゴモ食期稚ヒトデの1日あたり死亡率(青丸)と回帰式(青点線)および今回調査で得られた1日あたり死亡率(赤丸)。

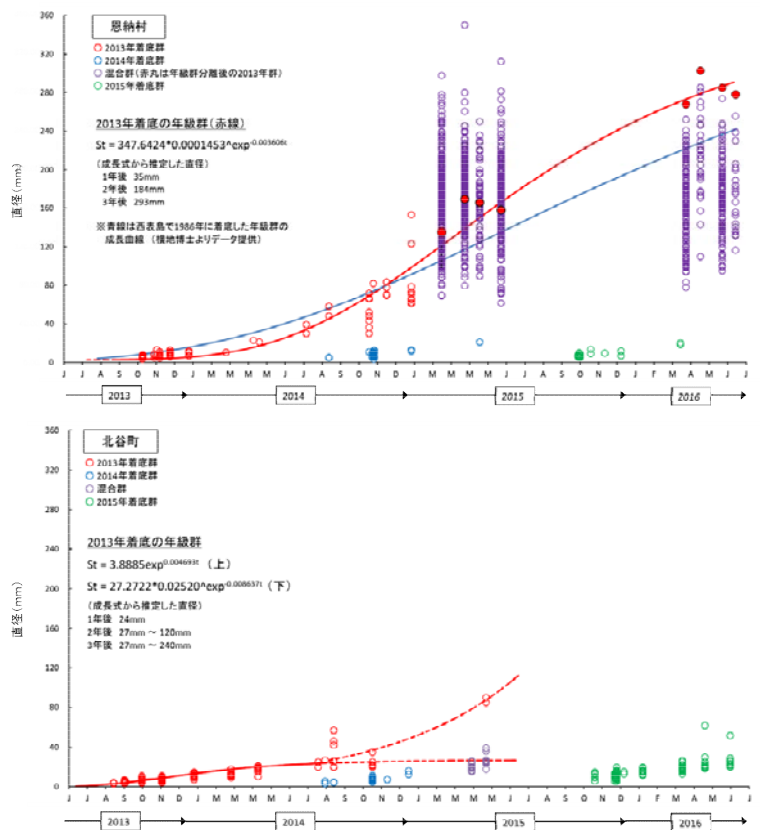


図9. 恩納村と北谷町におけるオニヒトデの成長データ(赤丸は2013年着底群、青丸は2014年着底群、紫丸は混合群、緑色は2015年着底群)。恩納村の成長曲線のうち赤実線は2013年着底群のデータから、青実線は1986~1989年に西表島で取得されたデータから推定した。北谷町の成長曲線は、赤点線で最大(上)と最小(下)の両方を示している。

<大量発生予察：トラップ開発：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着生誘引物質（Inducer A、B、及びA'）の質量分析を行い、いくつかの分子量ピークを観察することができた。

平成27年度までの室内トラップ試験において、生きた *Acropora tenuis*（ウスエダミドリイシ）及びその水溶性抽出分画を誘引剤として用いた場合、比較的良好な捕獲率を得た（それぞれ64.0%, n=5 と 54.4%, n=3）。しかし、分離をさらに進めると誘引活性が減少した。また本年度は、試作したトラップを実海洋へ設置しその効果を検証した。室内試験において実績のあるType3トラップは、海洋での稚ヒトデ捕獲に成功した。しかし捕集率及び誘引力が低いため、さらなる改良が必要であった。

<効果的防除：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。

ロボット開発はプールで水中ロボットのピッチ角制御、深度維持制御の曳航基礎実験を行なった。プール実験の後、いくつかのハードウェア・ソフトウェアの改善を行ない、海実験を行なった。さまざまな課題が抽出された。

画像解析は、マンタ法により撮影された動画像に対し、基本アルゴリズムを適用することでサンゴの検出・識別及びサンゴ被度の算出が可能であることがわかった。

