

平成 28 年度オニヒトデ総合対策事業
報告書

平成 29 年 3 月

沖 縄 県 環 境 部 自 然 保 護 課

目次

第1章 事業概要	1
1. 事業の背景および目的	1
2. 事業期間	1
3. 事業内容	2
3-1. オニヒトデ総合対策事業の業務内容	2
3-1-1. オニヒトデ大量発生の予察実証	2
3-1-2. オニヒトデ大量発生メカニズム解明に関する調査研究	3
3-1-3. 海外研究機関等との協定業務補助	4
3-1-4. 検討委員会の実施	4
4. 平成28年度オニヒトデ総合対策事業の概要	5
4-1. オニヒトデ大量発生の予察実証	5
4-2. オニヒトデ大量発生メカニズム解明に関する調査研究	7
第2章 オニヒトデ大量発生の予察実証業務	15
1. 稚ヒトデ調査	15
1-1. 調査方法	16
1-1-1. スイムカウント法	16
1-1-2. コドラート法	16
1-2. 調査地点	17
1-3. 調査結果	18
1-3-1. スイムカウント法	18
1-3-2. コドラート法	20
1-4. 考察	21
1-4-1. 過年度調査結果との比較（スイムカウント法）	21
1-4-2. 過年度調査結果との比較（コドラート法）	27
1-4-3. 稚ヒトデの調査時期について	27
1-4-4. 2013年に稚ヒトデが多かった要因について（降水量、台風、吹送流）	34
2. マンタ法調査およびスポットチェック法調査	45
2-1. 調査方法	45
2-1-1. マンタ法調査	45
2-1-2. スポットチェック法調査	46
2-2. 調査範囲	47
2-3. 調査結果	47
2-3-1. 恩納村海域	48
2-3-2. 慶良間海域	68
3. 地元関係者との情報共有等	80

3-1. 恩納村海域における情報共有等	80
4. モデル海域における予察まとめ	91
4-1. 平成 28 年度オニヒトデの予察結果まとめ	91
4-2. 成長を加味した駆除数の集計	97
第 3 章 オニヒトデ大量発生メカニズムの解明に関する調査研究業務	104
1. 水質モニタリング（栄養塩濃度調査）	104
1-1. 目的	104
1-2. 調査方法	104
1-2-1. 採水方法（採水地点や日程等）	104
1-2-2. 分析方法	108
1-3. 調査結果	109
1-3-1. 多項目水質計による野外測定結果	109
1-3-2. 栄養塩濃度	116
2. 水質モニタリング（クロロフィル濃度調査）	122
2-1. 目的	122
2-2. 調査方法	122
2-2-1. 蛍光強度野外測定	123
2-2-2. クロロフィル a およびフェオフィチン a 濃度分析	123
2-3. 調査結果	123
2-3-1. 蛍光強度野外測定結果	123
2-3-2. クロロフィル a・フェオフィチン a 濃度分析結果	127
2-4. 考察	130
2-4-1. 平成 28 年度分析結果	130
2-4-2. 地点ごとにクロロフィルの分布	131
2-4-3. クロロフィルの経年変化	131
2-4-4. 室内分析結果と多項目水質計との関係	132
3. コネクティビティ	134
3-1. 目的	134
3-2. 方法	134
3-2-1. 幼生採集	134
3-2-2. 幼生の種同定	135
3-3. 結果および考察	135
4. 幼生餌料制限	139
4-1. 目的	139
4-2. 炭素・窒素安定同位体比分析によるオニヒトデ幼生の餌起源の解明	139
4-2-1. 背景	139
4-2-2. 試料および方法	142

4-2-3. 結果および考察	146
4-2-4. まとめと今後の課題	151
4-3. オニヒトデ幼生初期の餌濃度と必須脂肪酸の同化に関する研究	153
4-3-1. 背景	153
4-3-2. 試料および方法	154
4-3-3. 結果および考察	155
4-3-4. 今後の課題	161
5. 稚ヒトデ調査・成体個体群調査・サンゴ群集調査	162
5-1. 目的	162
5-2. 方法	163
5-2-1. 稚ヒトデ食痕調査	163
5-2-2. 稚ヒトデ成長率推定	166
5-2-3. 成体個体群調査	166
5-2-4. サンゴ群集調査	167
5-3. 結果と考察	167
5-3-1. 稚ヒトデ食痕調査	167
5-3-2. 稚ヒトデ成長率推定	170
5-3-3. 成体個体群調査	172
5-3-4. サンゴ群集調査	174
6. 個体群統計モデリング	186
6-1. 緒言	186
6-2. 方法	186
6-2-1. 幼生分散モデル	186
6-2-2. 幼生海流分散シミュレーション概要	186
6-2-3. モデルの比較・改良の詳細	187
6-2-4. 海流データ、クロロフィル <i>a</i> データと幼生分散時期の設定	187
6-2-5. 幼生の分散プロセスの設定	188
6-2-6. 幼生加入と成体発生変動の時系列統計モデル、個体群動態シミュレーション	189
6-3. 結果	189
6-3-1. 幼生海流分散シミュレーション	189
6-3-2. 幼生加入と成体発生変動の時系列統計モデル	190
6-4. 考察	190
7. ケミカルシグナルを利用した大量発生予測手法開発	200
7-1. 目的	200
7-2. 方法	201
7-2-1. 着生誘引物質	201
7-2-2. 稚ヒトデの摂餌行動刺激物質を利用したトラップ開発	201
7-3. 結果および考察	202

7-3-1. 着生誘引物質	202
7-3-2. 稚ヒトデの摂餌行動刺激物質を利用したトラップ開発	203
8. サンゴ礁モニタリングロボット等の研究開発	211
8-1. 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	212
8-1-1. 目的	212
8-1-2. 実施概要	212
8-1-3. 今後の予定	218
8-2. 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	219
8-2-1. 目的	219
8-2-2. 実施概要	220
8-2-3. 今後の予定	225
8-2-4. 研究成果発表	225
8-3. 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	226
8-3-1. 目的	226
8-3-2. 成果の概要	226
8-3-3. 今後の予定	230
8-4. サンゴ礁定点観測システムの開発	231
8-4-1. 目的	231
8-4-2. 成果の概要	231
8-4-3. 今後の予定	234
第4章 海外研究機関等との協定業務補助	247
1. 概要	247
2. 訪問行程および協議スケジュール	248
3. 訪問先機関での情報交換および協議の概要	253
3-1. オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO)	253
3-1-1. エバ・プラガニイ博士のプレゼンテーション概要	254
3-1-2. シャロン・ティッケル氏のプレゼンテーション概要	255
3-1-3. ジョン・キーシング博士のプレゼンテーション概要	255
3-2. クイーンズランド州グレートバリアリーフ事務所 (GBR Office)	257
3-2-1. エリサ・ニコルズ所長のプレゼンテーション概要	258
3-2-2. ニッサ・ヘンリー氏のプレゼンテーション概要	259
3-2-3. クリス・ジョンソン氏のプレゼンテーション概要	260
3-2-4. ピーター・ブラムウェル氏のプレゼンテーション概要	261
3-2-5. ジャン・エルバッカー氏のプレゼンテーション概要	262
3-2-6. ワイリー・ロス博士のプレゼンテーション概要	263
3-3. オーストラリア海洋科学研究所 (AIMS)	265
3-3-1. スベン・ウチッケ博士のプレゼンテーション概要	266

4. 付録（プレゼンテーション資料）	267
4-1. エバ・プラガニイ博士の資料	267
4-2. シャロン・ティッケル氏の資料	270
4-3. ジョン・キーシング博士の資料	272
4-4. エリサ・ニコルズ所長の資料	274
4-5. ニッサ・ヘンリー氏の資料	277
4-6. クリス・ジョンソン氏の資料	280
4-7. ピーター・ブラムウェル氏の資料	283
4-8. ジャン・エルバックー氏の資料	284
4-9. ワイリー・ロス博士の資料	286
4-10. スベン・ウチッケ博士の資料	289
第5章 検討委員会	292
1. 第1回検討委員会	292
1-1. 第1回検討委員会概要	292
1-2. 第1回検討委員会次第	293
1-3. 第1回検討委員会議事概要	294
1-3-1. 検討委員会設置要綱の確認及び委員長選出	294
1-3-2. 過年度事業概要及び平成28年度事業計画	294
1-3-3. オニヒトデ大量発生の予察実証について	294
1-3-4. オニヒトデ大量発生メカニズム解明に関する調査研究	294
2. 第2回検討委員会	297
2-1. 第2回検討委員会概要	297
2-2. 第2回検討委員会次第	298
2-3. 第2回検討委員会議事概要	299
2-3-1. 第1回検討委員会の議事録確認	299
2-3-2. オニヒトデ大量発生の予察実証	299
2-3-3. オニヒトデ大量発生メカニズム解明に関する調査研究	300

第 1 章 事業概要

第1章 事業概要

1. 事業の背景および目的

本県のサンゴ礁は、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。

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年度は、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。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する。

2. 事業期間

平成28年4月1日から平成29年3月31日

3. 事業内容

3-1. オニヒトデ総合対策事業の業務内容

オニヒトデ総合対策事業では以下の3つの事業を平成24年度から平成29年度にかけて実施する。

- ・オニヒトデ大量発生の予察実証事業
- ・オニヒトデ大量発生のメカニズムを解明に関する調査研究事業
- ・効果的・効率的なオニヒトデ防除対策の検討事業

3-1-1. オニヒトデ大量発生の予察実証

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、調査等を実施した。

(1) モデル海域でのモニタリング

平成24年度オニヒトデ総合対策事業で選定したモデル海域（恩納村と慶良間）を対象として、モニタリングを実施した。モニタリングの手法は以下のとおり。

- I. マンタ法：モデル海域全域の礁斜面（各海域30km程度）
- II. スポットチェック法：モデル海域（各海域5地点程度）
- III. 稚オニヒトデ（以下「稚ヒトデ」）モニタリング：各海域5地点程度

調査頻度は年1回、時期は4～10月（マンタ法、スポットチェック法）、10～12月（稚ヒトデモニタリング）の間を基本とした。ただし、モニタリングは事業終了後も地域関係者が主体となって実施することが望ましいため、必要に応じて勉強会を開催した。

(2) 大量発生の予察

モデル海域でのモニタリング結果やオニヒトデ大量発生に関わる情報を整理し、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た。

(3) 防除プランの検討と関係者の合意形成

大量発生の予察情報をもとに、漁業者やダイビング業者などの地域関係者と調整し、オニヒトデ大量発生に備えた防除プランを検討した。防除プランの検討にあたっては、関係者と合意形成に努めた。

(4) 駆除の実施

恩納村では予察結果に基づいたオニヒトデ駆除を実施した。駆除の地点と時期は恩納村漁協と調整して決定した。また、オニヒトデ駆除データをまとめて、駆除の効果を把握した。

3-1-2. オニヒトデ大量発生メカニズム解明に関する調査研究

平成 24 年度オニヒトデ総合対策事業で組成した研究コンソーシアムの研究者と共に、以下の研究課題について研究を実施した。

(1) 栄養塩濃度調査

オニヒトデの浮遊幼生が餌とする植物プランクトンが増殖する要因を推定するため、那覇から名護にかけての沖縄島西海岸周辺の 10 地点程度において、オニヒトデ産卵期（5 月～9 月）に 5 回程度採水した。採水した海水の分析は研究コンソーシアムメンバーである沖縄県衛生環境研究所に依頼し、TN（全窒素）、TP（全リン）等について分析を行った。

(2) クロロフィル分布調査

栄養塩濃度と植物プランクトン密度の関係を調べるため、栄養塩濃度調査の調査地点において、蛍光センサーを備えた水温・塩分・深度測定器を使用し、現地でクロロフィル濃度の指標となる蛍光強度を測定した。蛍光強度の測定にあたっては、現地で採水したサンプル海水中のクロロフィル濃度分析を、研究コンソーシアムメンバーである沖縄県衛生環境研究所に依頼し、現地で測定した結果を室内分析結果と比較検討した。

(3) コネクティビティ

沖縄島周辺でプランクトンネットによるプランクトン採集を行った。プランクトン採集は、オニヒトデ産卵期（5 月～9 月）を中心とした。採集したサンプルを分析し、オニヒトデ幼生の分布状況を調べた。また、プランクトン採集地点で採水しクロロフィル濃度等の水質分析を実施した。水質分析にあたっては、研究コンソーシアムメンバーである沖縄県衛生環境研究所に依頼し、ヒトデ幼生のいる水塊といない水塊の水質の違いについて比較検討した。

(4) 幼生餌料制限

オニヒトデ幼生が植物プランクトン以外の餌を補食するかどうか調べるために、水槽内で採取した幼生を用いた飼育実験を 2 回以上行った。

(5) 稚ヒトデ調査

オニヒトデ幼生着底後の成長率と生存率を推定するため、沖縄島周辺で稚ヒトデの個体密度や個体サイズなどの生息状況を調査した。調査の時期はオニヒトデが着底する時期（10～12 月）を中心に 2 週間から 1 ヶ月の間隔で 3 回以上実施した。

(6) オニヒトデ成体個体群調査

オニヒトデの個体集団が形成される過程を推定するため、年 1 回、海底に設置した測線に沿ってオニヒトデ成体の個体数と食痕数を調査すること（ライン調査）。

・沖縄県内全域の 20 地点以上の調査地点において、年 1 回、一定範囲の遊泳観察によってオニヒトデの個体数と食痕数を調査すること。

(7) サンゴ群集調査

オニヒトデの個体集団の形成とサンゴ群集の関係を調べるため、オニヒトデ成体個体群調査の際に設置する測線に沿って海底の写真を撮影し、サンゴ群集の被度と科別の構成を調査した。調査頻度と場所はオニヒトデ成体調査のライン調査と同じとした。

(8) 個体群統計モデリング

オニヒトデの個体集団が発生するパターンを統計的に推定するため、恩納村漁協などオニヒトデ駆除を継続的に実施している地域の駆除記録を収集し整理した。

クロロフィル量や海岸線の凹凸などのデータを用いて統計モデル解析を実施した。

(9) ケミカルシグナルを利用した大量発生予測手法開発

オニヒトデ浮遊幼生の変態を誘引する化学物質（変態誘引物質）や、稚ヒトデの摂餌を誘引する化学物質（摂餌誘引物質）を利用した水槽実験および誘引試験を行った。

(10) サンゴ礁モニタリングロボット等の研究開発

サンゴ礁モニタリングに役立つロボット等の開発を行う。ロボット等の研究開発にあたっては、基本的な性能のほか、10m～30m の水深帯でのマンタ法に必要な能力等に加え、サンゴやオニヒトデの自動解析機能、定点観測機能等、サンゴ礁モニタリングに役立つ機能について検討したうえで、試行機器等の研究開発を行った。

3-1-3. 海外研究機関等との協定業務補助

平成 25 年度業務で沖縄県と海外研究機関との間で締結された協定について、情報交換や人材交流等の補助を行った。

3-1-4. 検討委員会の実施

事業を総合的に検討するための検討委員会を設置し、平成 28 年度中に 2 回開催した。

4. 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り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。

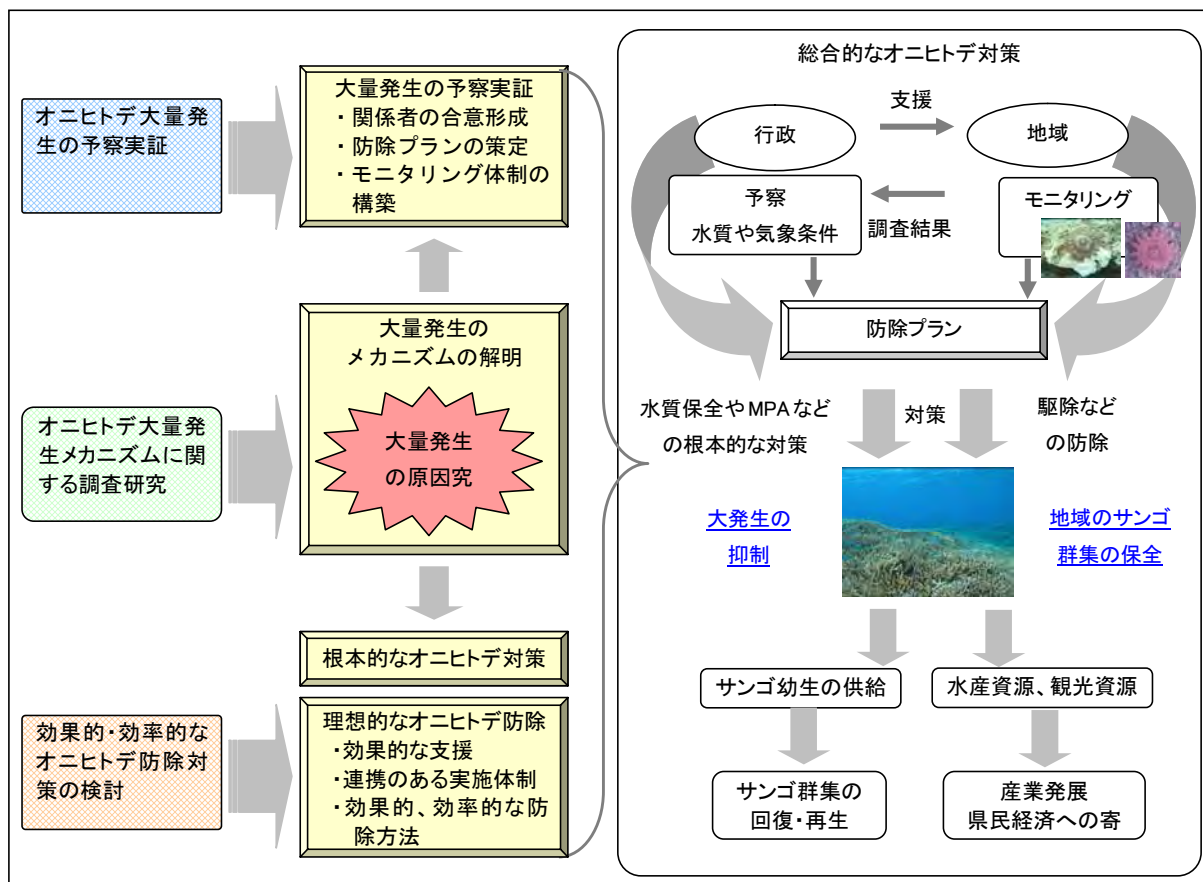


図1-4-1. オニヒトデ総合対策事業の効果のイメージ。

4-1. 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1-4-2）。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1-4-1）。

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る可能性がある。

図1-4-3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

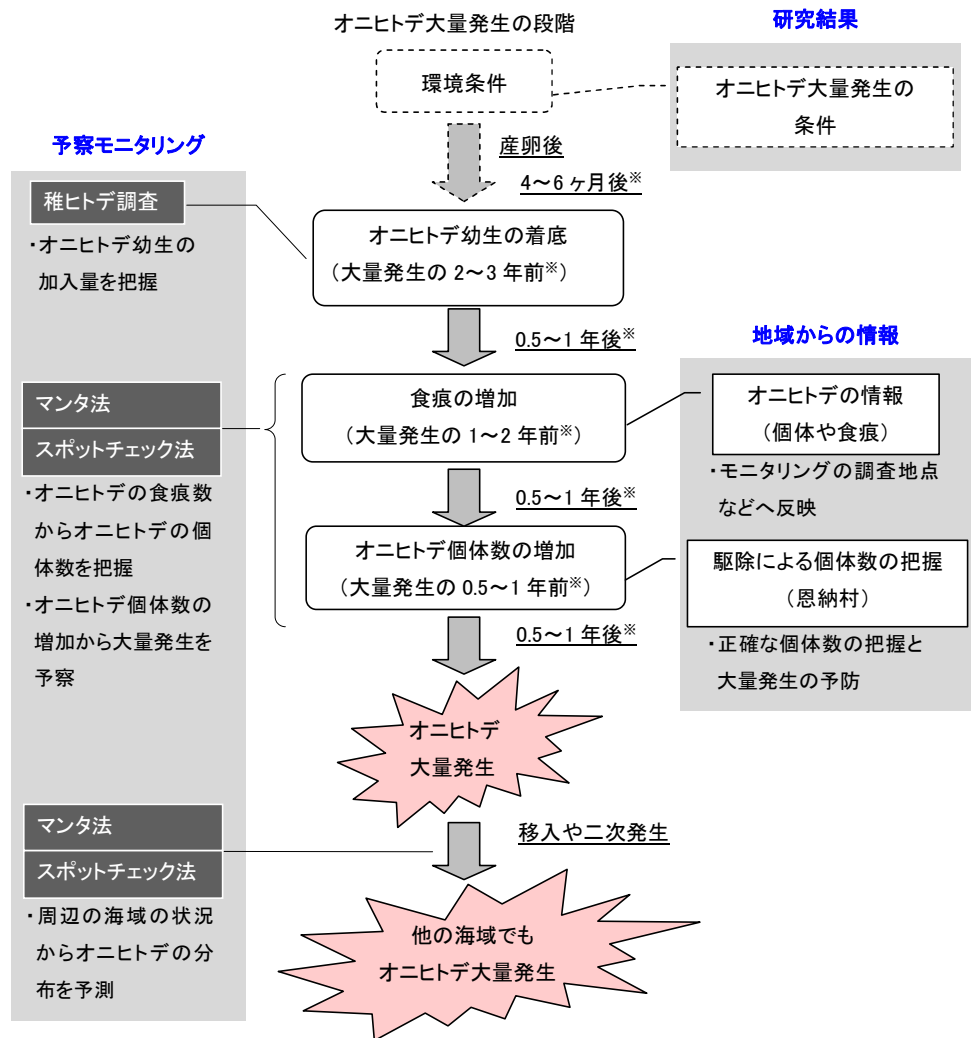


図1-4-2. モニタリングによる予察のイメージ。

※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。

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 1-4-1. 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

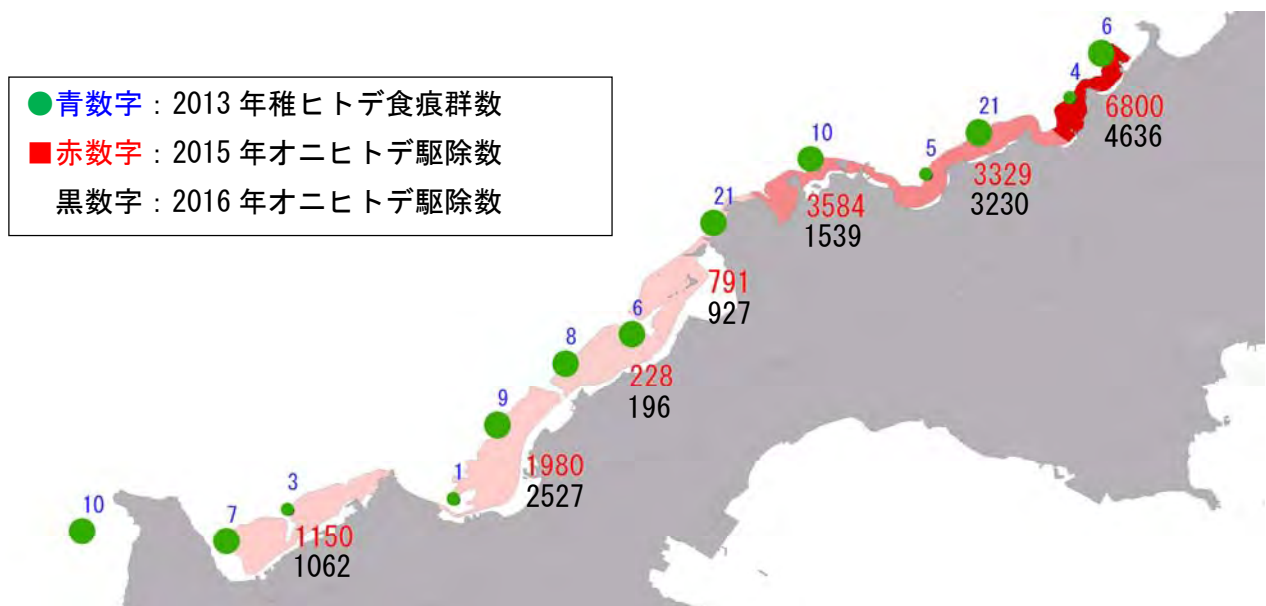


図 1-4-3. 稚ヒトデモニタリング結果 (2013 年) とオニヒトデ駆除数 (2015 年) の比較.

4-2. 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1-4-4）。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ると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ため、本事業で実施する調査研究では「幼生き残り仮説」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。

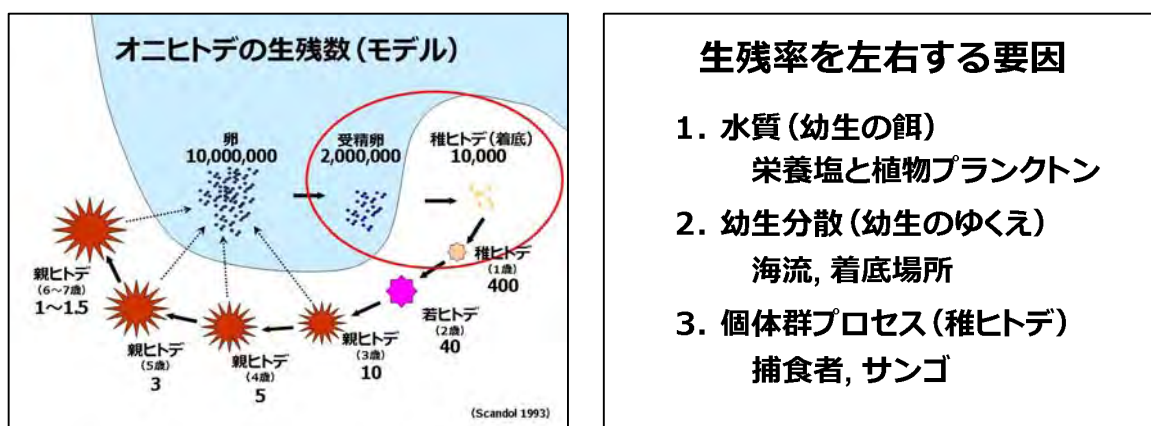


図1-4-4. オニヒトデの生活史における生残モデル(左)。受精卵から浮遊幼生を経て稚ヒトデになるまでの生残率のわずかな変化が親ヒトデの個体数に大きな影響をあたえる。生残率は右図に示した要因で主に变化する。

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1-4-2. 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、沖縄県におけ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。

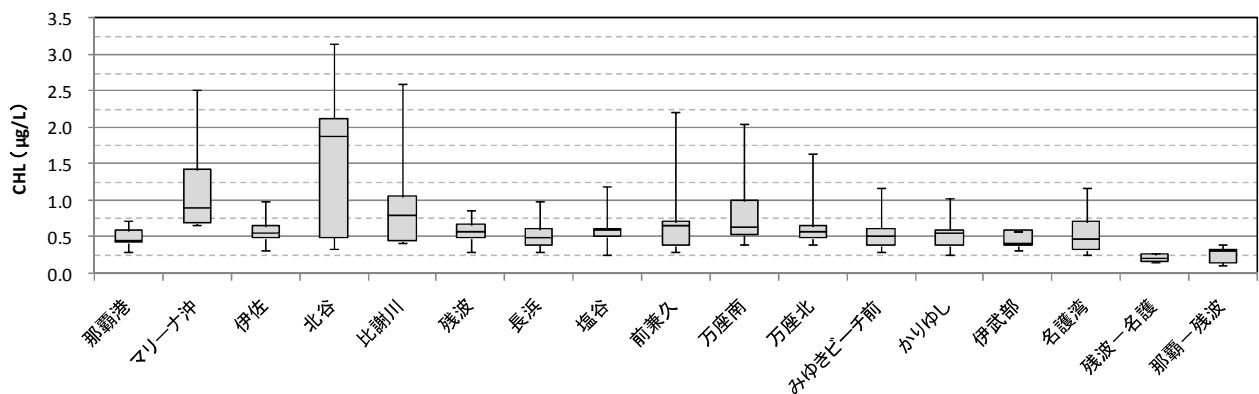


図1-4-5. 各地点におけるクロロフィル総量のボックスプロット(平成 28 年度分析結果).

< 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。

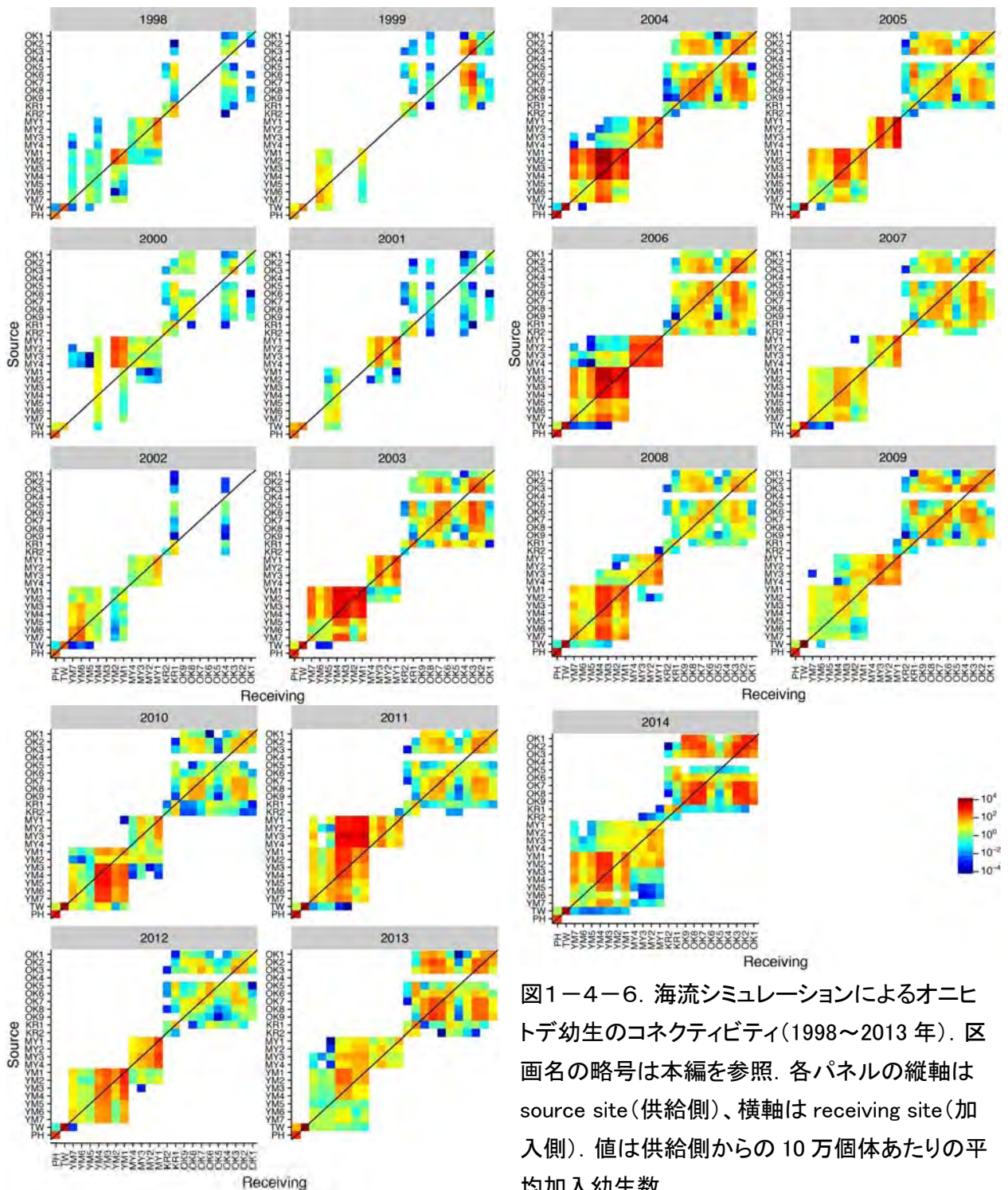


図1-4-6. 海流シミュレーションによるオニヒトデ幼生のコネクティビティ(1998~2013年). 区画名の略号は本編を参照. 各パネルの縦軸は source site(供給側)、横軸は receiving site(加入側). 値は供給側からの10万個体あたりの平均加入幼生数.

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。

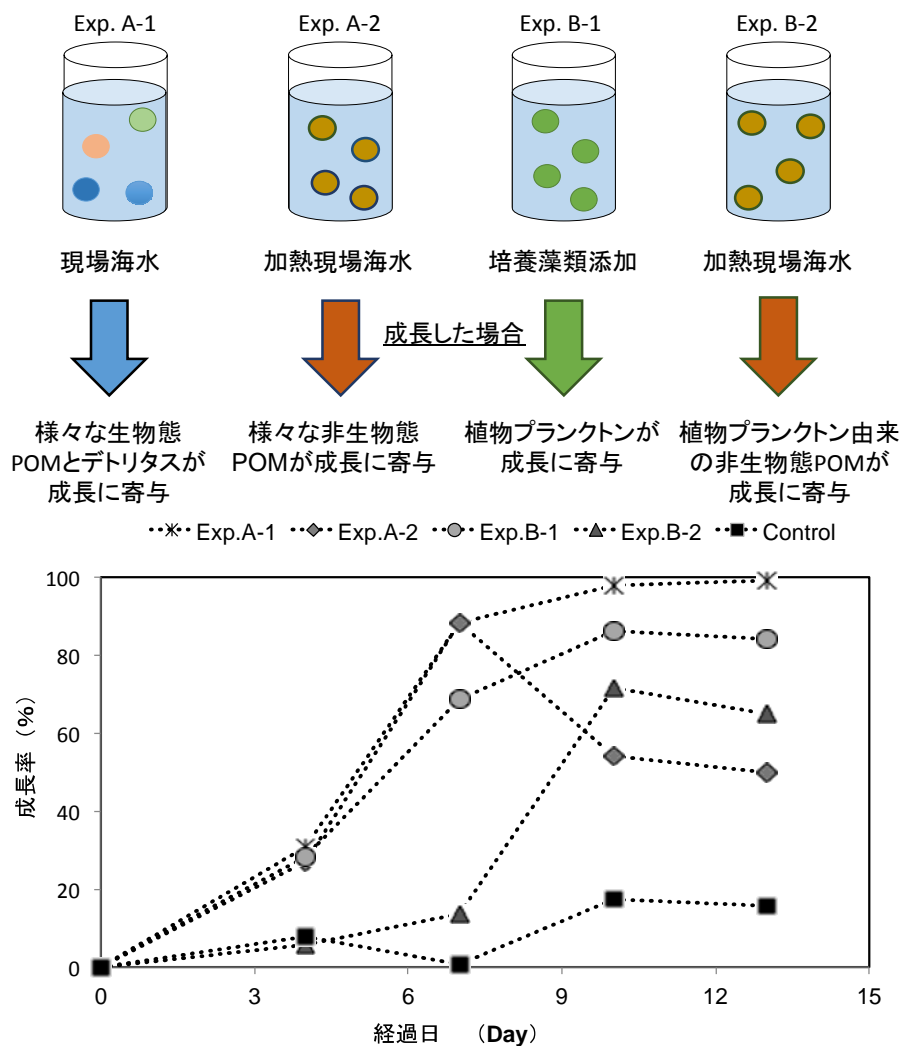


図1-4-7. 各実験区におけるオニヒトデ幼生の成長に寄与し得る主な餌資源と各実験区のビピンナリア後期以降まで成長した幼生の割合（最終成長率）の継時変化。

＜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1-4-8)。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。

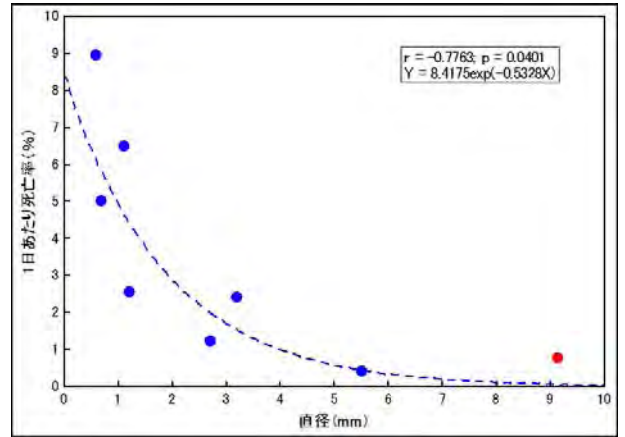


図1-4-8. 過去に報告されたサンゴモ食期稚ヒトデの1日あたり死亡率(青丸)と回帰式(青点線)および今回調査で得られた1日あたり死亡率(赤丸)。

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1-4-9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。

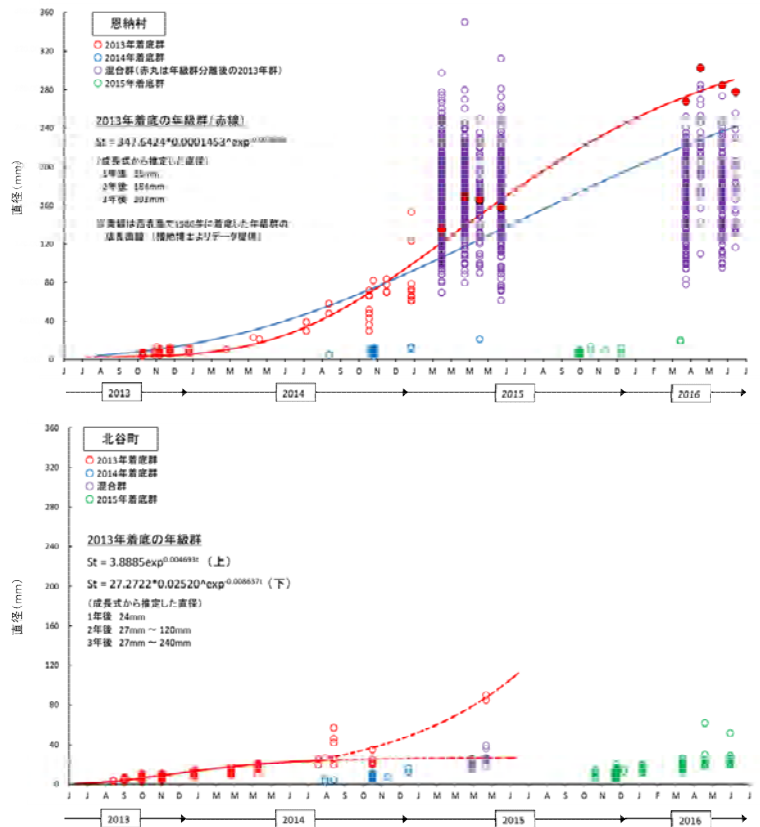


図1-4-9. 恩納村と北谷町におけるオニヒトデの成長データ(赤丸は 2013 年着底群、青丸は 2014 年着底群、紫丸は混合群、緑色は 2015 年着底群)。恩納村の成長曲線のうち赤実線は 2013 年着底群のデータから、青実線は 1986~1989 年に西表島で取得されたデータから推定した。北谷町の成長曲線は、赤点線で最大(上)と最小(下)の両方を示している。

<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。