

平成 27 年度オニヒトデ総合対策事業
報告書 概要版

平成 28 年 3 月

沖縄県環境部自然保護・緑化推進課

平成27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27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可能性が高い場所や時期を予測するとともに、平成25年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。

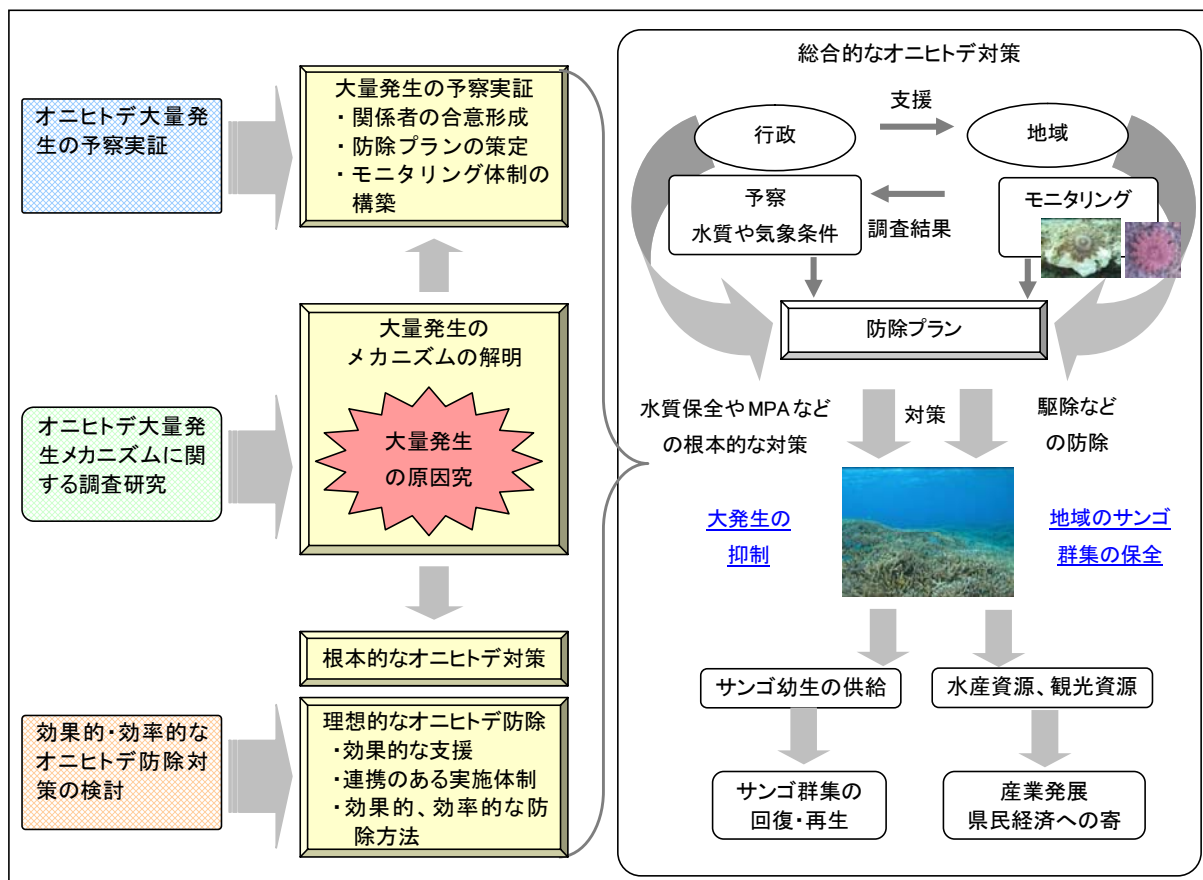


図1. オニヒトデ総合対策事業の効果のイメージ。

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）。

恩納村では稚ヒトデは2013年と比較して2014年以降減少した。2014年には恩納村南部で稚ヒトデの密度が高い地点があったが、2015年は全体的に少なく、2年後の2017年の大量発生の恐れは低いと考えられた。

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年後の今年度（2015年）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）。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量発生につながらないのかもしれない。

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。今年度（2015年）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。

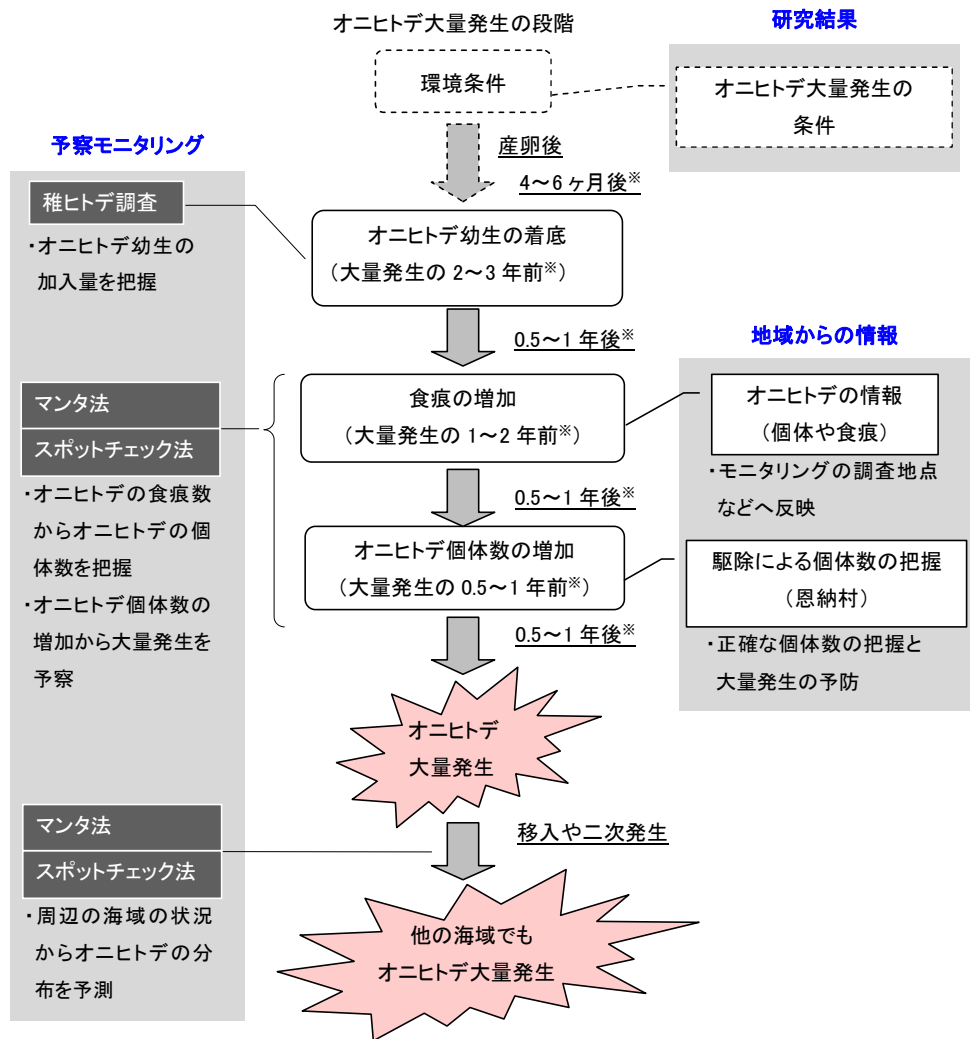


図2. モニタリングによる予察のイメージ。

※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る。

2015年に駆除されたオニヒトデは20cm前後が多いものの、その他の大きさの個体、すなわち別の年に生まれた集団も含まれていると考えられる。2年目以降は、オニヒトデが大きく成長する時期でもあり、駆除された個体の月と大きさから、より細かく何年生まれなのかを解析し、整理する必要がある。

表1. 平成27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	2015年に確認された食痕群数は各地点で0~6個であり、15地点中6地点で食痕は確認されなかった。 →今年度の加入個体群による大量発生の恐れは低い	2015年に確認された食痕群数は各地点で0~3個であり、44地点中30地点で食痕は確認されなかった。 →今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	確認されたオニヒトデ個体数、食痕数ともに少なかった。	オニヒトデは通常分布。 ただし、渡嘉敷島の東側や座間味島、阿嘉島周辺で食痕が確認されている。
スポットチ ェック法	恩納村北側でオニヒトデが確認された。特にかりゆし、万座毛、安富祖、塩屋などで多かった。駆除の効果調査ではほとんどの地点が準大発生から大発生のレベルとなっていた。 →2013年に稚ヒトデモニタリングで確認した集団	オニヒトデは通常分布。 ただし、渡嘉敷島の東側や座間味島、阿嘉島周辺で食痕が確認されている。
地元との 情報共有	予察結果に基づいた駆除を実施。 漁協が実施している駆除データをGISで整理・解析。	渡嘉敷島南西のヒナクシでオニヒトデが多いとの情報があった。

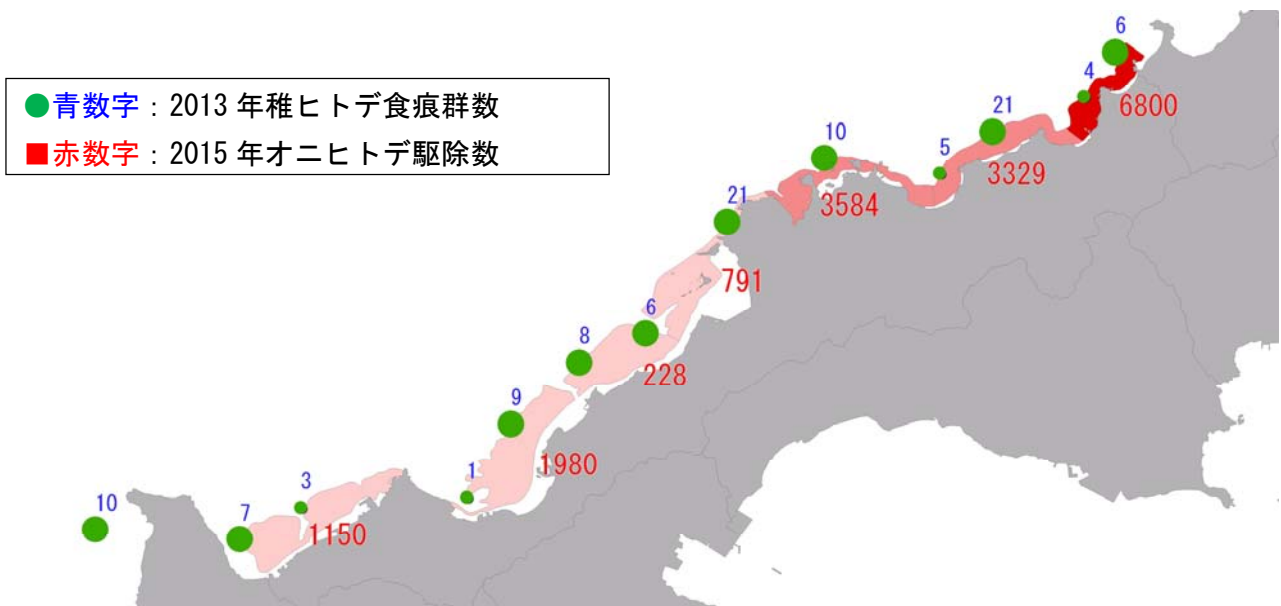


図3. 稚ヒトデモニタリング結果(2013年)とオニヒトデ駆除数(2015年)の比較.

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。

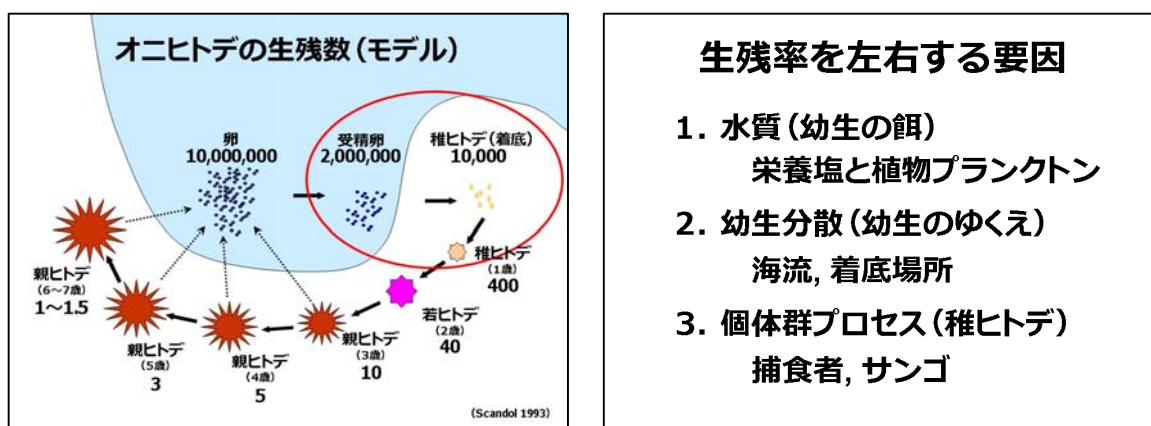


図4. オニヒトデの生活史における生残モデル(左)。受精卵から浮遊幼生を経て稚ヒトデになるまでの生残率のわずかな変化が親ヒトデの個体数に大きな影響をあたえる。生残率は右図に示した要因で主に変化する。

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 27 年度の研究課題と目標.

No	研究課題	平成 27 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、沖縄島西海岸沿岸における栄養塩濃度変化の把握	衛生環境研究所
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	JV
3	流出源評価	各種の流域データ(土地利用、赤土流出量等)を利用した陸域からの負荷量の推定	JV
4	クロロフィル濃度分布 衛星画像解析	衛星によって取得された沖縄周辺海域の衛星画像解析によるクロロフィル量変化の把握	JV
5	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
6	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
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
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	JV 酒井一彦 (琉球大)
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
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)
11	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 北村誠
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

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>

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が目的としている。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; Dissolved Organic Carbon) 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。

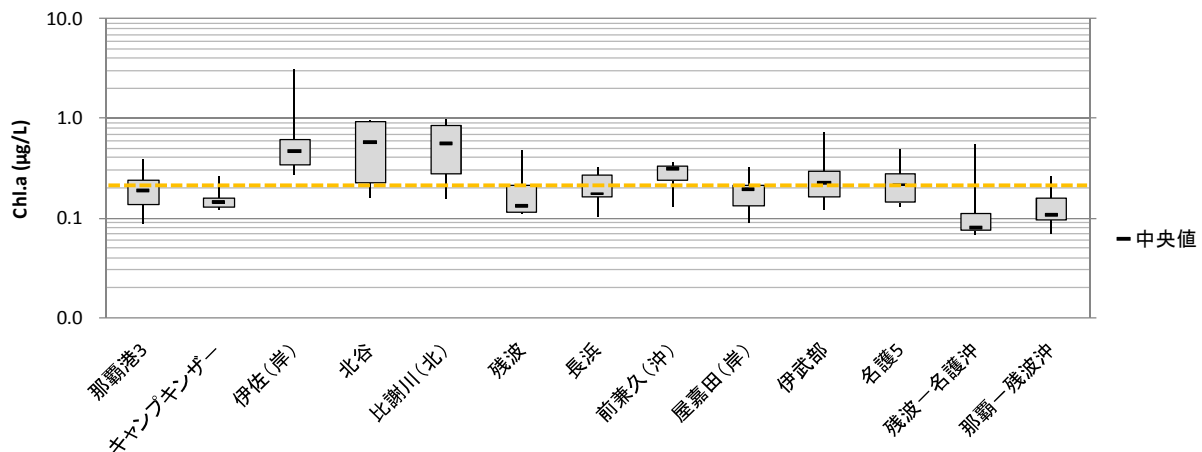


図5. 各地点における chl.a 分析結果の箱ひげ図(H27).

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った。

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、来年度はそ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。

*クロロフィル分解物の一種。藻類が死ぬとクロロフィルがフェオフィチンに変化するため、藻類の死細胞量の指標として、フェオフィチンが用いられることがある。

<幼生分散：海流・コネクティビティ・幼生餌料制限>

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、沖縄島周辺に留まる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たのではない。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える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

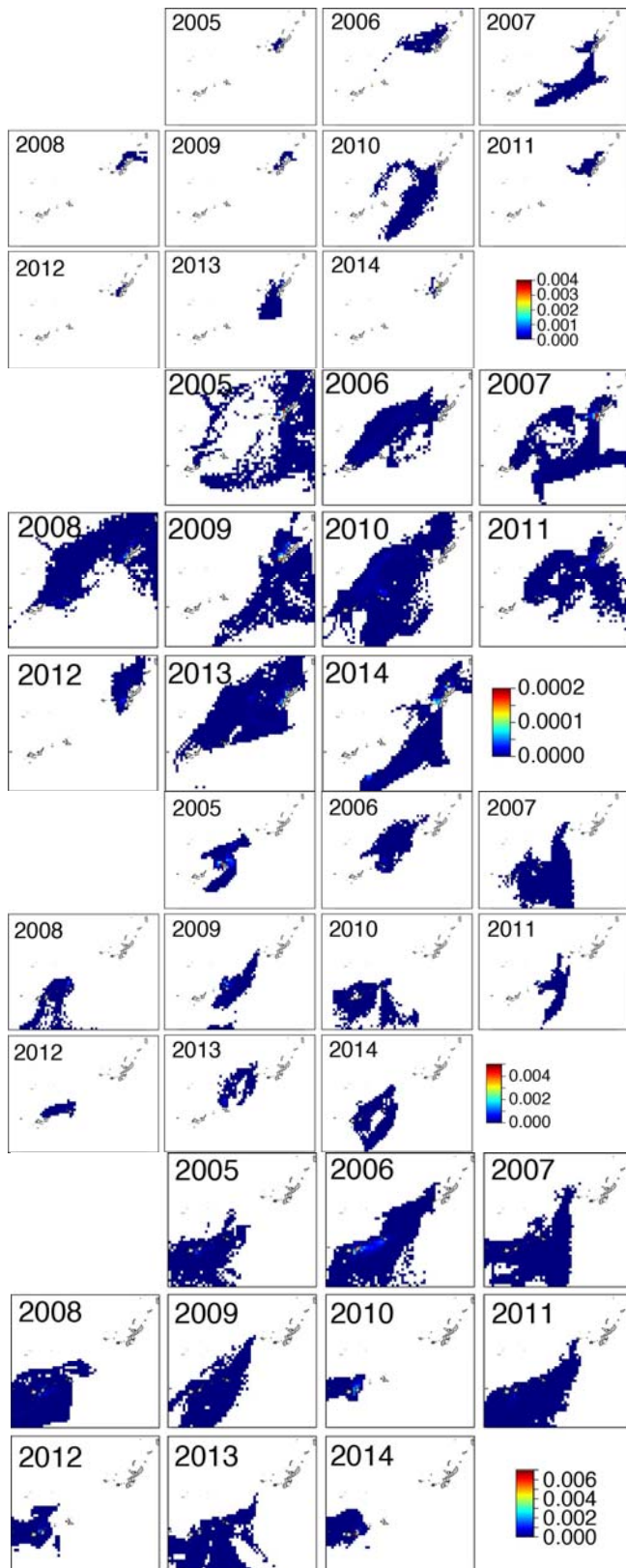


図6. 恩納村(a)、慶良間諸島(b)、宮古諸島(c)、八重山諸島(d)から放出された場合の、幼生分散シミュレーション結果(予備解析)。単位は個体あたりの平均到達確率。

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粒子状有機物 (Particulate Organic Matter: POM、いわゆるデトリタスと呼ばれる懸濁有機物やバクテリア)、あるいは溶存有機物 (Dissolved Organic Carbon: DOC) に栄養を依存しているかどうかは、幼生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 週間は生存でき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。そのため、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。

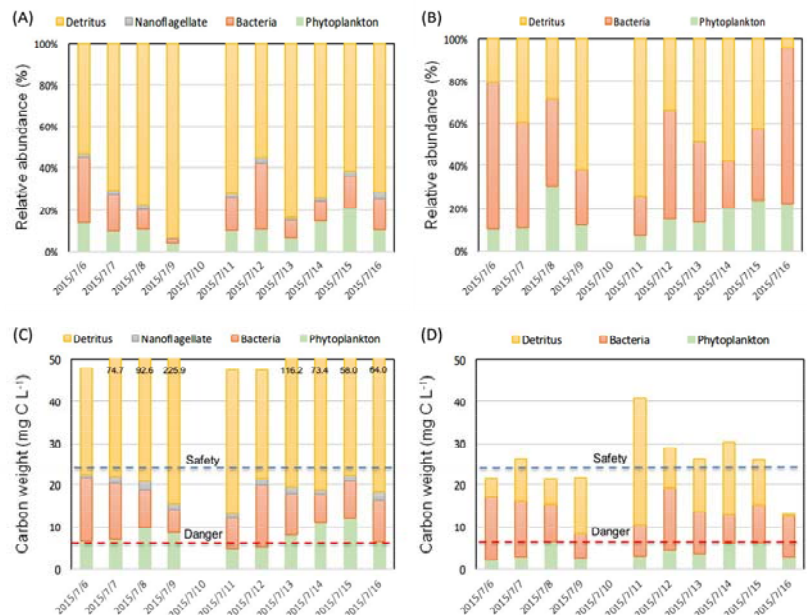


図7. 炭素量換算した POM 中を構成する植物プランクトン、バクテリア、ナノ鞭毛虫、デトリタスの相対存在比と濃度. (A) $< 20\mu\text{m}$ の POM 中の相対存在比、(B) $< 2\mu\text{m}$ の POM 中の相対存在比、(C) $< 20\mu\text{m}$ の POM 中の濃度、(D) $< 2\mu\text{m}$ の POM 中濃度。図中の赤点線は餌欠乏状態の濃度 (Chl. a = $0.25\mu\text{g/L}$ を炭素量換算)、青点線は幼生の餌要求量を満たす濃度 (Chl. a = $0.80\mu\text{g/L}$ を炭素量換算) を示す。

< 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 $15\sim 20\text{cm}$ 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 $15\sim 20\text{cm}$ 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以下の小型個体为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歳個体为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。

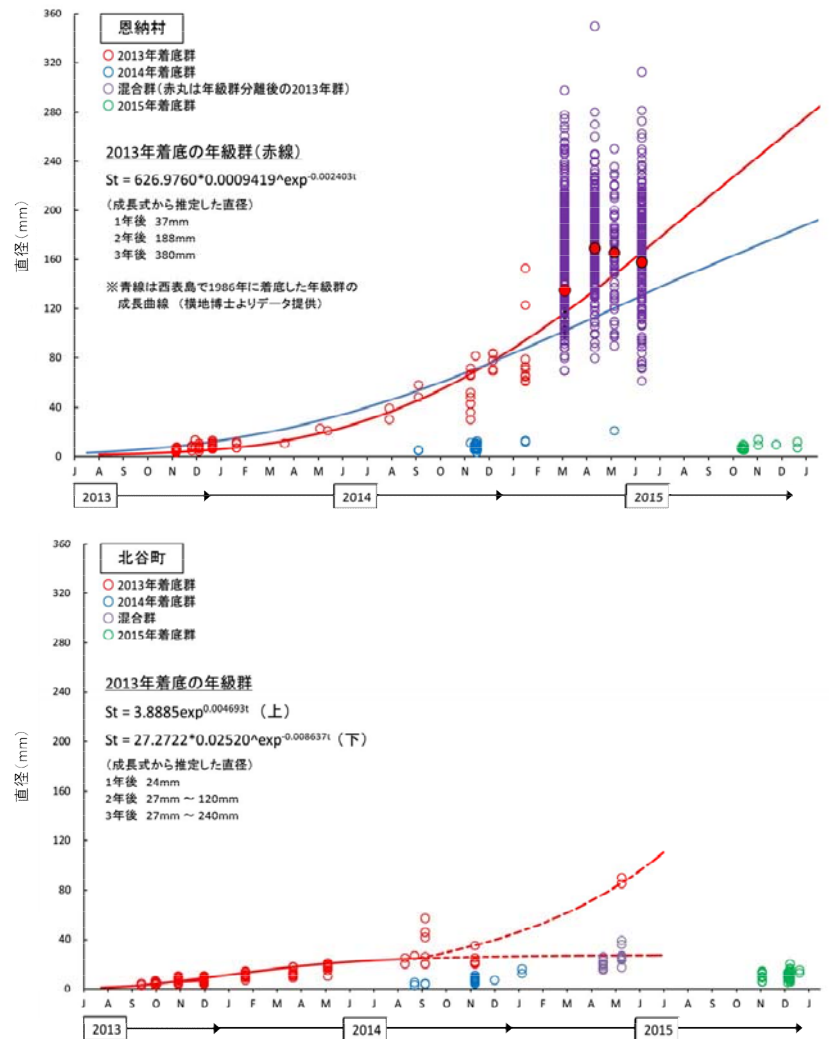


図8. 恩納村と北谷町におけるオニヒトデの成長データ。恩納村の成長曲線のうち赤実線は2013年着底群のデータから、青実線は1986～1989年に西表島で取得されたデータからそれぞれ推定した。北谷町の成長曲線は、赤点線で最大(上)と最小(下)の両方を示している。

<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 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。

<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。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。

