

## 第6章 シンポジウム

### 1. シンポジウム概要

#### 【タイトル】

オニヒトデ大量発生メカニズムとその対策  
～これまでに分かったことから私たちに何ができるか考える～

#### 【日時】

2017年11月5日（日） 14:00から17:30

#### 【場所】

沖縄県立博物館・美術館 博物館講座室（定員100名）

#### 【主催・後援】

（主催）沖縄県、（後援）沖縄県サンゴ礁保全推進協議会

#### 【参加費】

無料

#### 【目的】

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の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ってきた。

シンポジウムでは、各講演者からオニヒトデが大量発生にいたるメカニズムについて、沖縄県の事業（オニヒトデ総合対策事業）の成果を交えながら説明し、大量発生を防止するための対策について、パネルディスカッションで議論する。オニヒトデの大量発生について、これまでにわかったこと、これから何をしたらよいかをフロアとのやり取りも交えて議論する。

## 【プログラム】

- 13:30 開場  
14:00 開演 自然保護課挨拶  
14:10 講演 1~4  
15:10 休憩 (質問表回収)  
15:20 講演 5~8  
16:20 休憩 (質問表回収・座席移動)  
16:35 パネルディスカッション (質疑応答含む)  
17:25 終演

## 【講演・パネルディスカッション】

### 講演 1. オニヒトデはなぜ大量発生するか? (15分)

岡地 賢 (コーラルクエスト)

概要:1960年代から沖縄をふくむ世界各地で大量発生を繰り返してきたオニヒトデ。これまでの研究により、現在もっとも有力とされている大量発生仮説を説明します。

### 講演 2. オニヒトデの大量発生はどうひろがってきたか (15分)

安田仁奈 (宮崎大学)

概要:大量発生したオニヒトデ集団が産み出す幼生は、時として別の場所へ海流で運ばれ、さらなる大量発生を引き起こします。このような現象が沖縄周辺だけでなく、九州や本州でも起きるようになった経緯と理由を解説します。

### 講演 3. オニヒトデ幼生はどこに向かうのか? (15分)

中村雅子 (東海大学)

概要:恩納村で産まれたオニヒトデの幼生は海流によってどこへ運ばれてゆくのか。GPSを搭載したブイを恩納村のサンゴ礁から流し、その航跡から幼生のゆくえを考察します。

### 講演 4. オニヒトデの幼生はどこへ着くか? (15分)

熊谷直喜 (国立環境研究所)

概要:過去十数年分の海流データを利用し、沖縄県各地や周辺諸国で産まれたオニヒトデがどの海域へどのくらいの確率で流されてゆくかをシミュレーションした結果を解説します。

### 講演 5. 沖縄の海の水質 (15分)

金城孝一 (沖縄県衛生環境研究所)

概要:オニヒトデの大量発生が繰り返し起きている沖縄本島西海岸の海水には、幼生が成長し、生き残るために必要な餌が十分に含まれているのか、最近4年間の水質モニタリング結果から考察します。

### 講演 6. オニヒトデがサンゴを食べるまで (15分)

岡地賢 (コーラルクエスト)

概要:海底に着いたばかりのオニヒトデ (稚ヒトデ) は、最初はサンゴモとよばれる海藻を食べ、6~7ヶ月目頃から徐々にサンゴを食べ始めます。もし、サンゴ

がなかったら稚ヒトデはどのような影響を受けるか、北谷町と恩納村とで成長率を比較して考察します。

講演7. 稚ヒトデトラップ (15分)

北村誠 (沖縄県環境科学センター)

概要：オニヒトデの大量発生を予測する方法のひとつとして、直径数センチの稚ヒトデを捕まえるトラップ(罟)を開発しています。稚ヒトデを誘い込むための匂い物質の探索と、稚ヒトデが逃げられないトラップの構造について解説します。

講演8. 陸からのオニヒトデ大量発生対策の可能性 (15分)

梶原健次 (宮古島市)

概要：オニヒトデの大量発生には、陸から海に流出した栄養塩(窒素やリンなど)が大きく関与しているとみられています。そのため栄養塩の流出抑制が大量発生の抑制につながると期待できます。宮古島市の地下水保全の経験から、栄養塩流出対策について考えます。

講演9. オニヒトデの大量発生は防げるか？ (パネルディスカッション)

パネリスト：岡地賢 (コーラルクエスト)、鹿熊信一郎 (沖縄県)、梶原健次 (宮古島市)、金城孝一 (沖縄県衛生環境研究所)、金城賢 (沖縄県)、酒井一彦 (琉球大学)、安田仁奈 (宮崎大学)

## 2. シンポジウム広報について

### 2-1. チラシとポスターの作成

シンポジウムの告知のためチラシ（図6-2-1）とポスター（図6-2-2）を作成した。作成したチラシおよびポスターは市町村や大学、研究機関などに配布した（表6-2-1）。また、開催案内を学会やサンゴ礁保全活動団体のメーリングリストへ投稿した。さらに、沖縄県をはじめとした主催・共催団体に加え、インターネット上の無料広告サイトへ開催案内の掲載を依頼し、地方新聞2紙に開催案内を掲載した。



図6-2-1. 作成したチラシ(A4)の表(左)と裏(右).

表6-2-1. 主な広報先と対象.

広報先	対象
新聞広告欄	一般
沖縄県立博物館・美術館	一般
県内図書館	一般
インターネット	一般
コミュニティFM	一般
県内ダイビング協会	ダイバー
県内漁協	漁業者
県内サンゴ礁保全団体	サンゴ礁保全
大学、専門学校等	学生
高校	学生
OIST 研究者	研究者
学会メーリングリスト	研究者
市町村担当部局	行政
行政機関	行政
マスコミ投げ込み	マスコミ
H25 受付簿の人たちへアナウンス	その他



図6-2-2. 作成したポスター(A2).

## 2-2. Web サイト作成

シンポジウムの告知のためホームページを作成した（図6-2-3）。ホームページからは参加の申込みができるようにフォームを作成し、事前参加を受け付けた。ホームページからの申込みは59件であった。

図6-2-3. ホームページ.



### 3. 配布資料の作成

シンポジウムの開催にあたり、配布資料を 250 部作成した（図 6-3-1）。

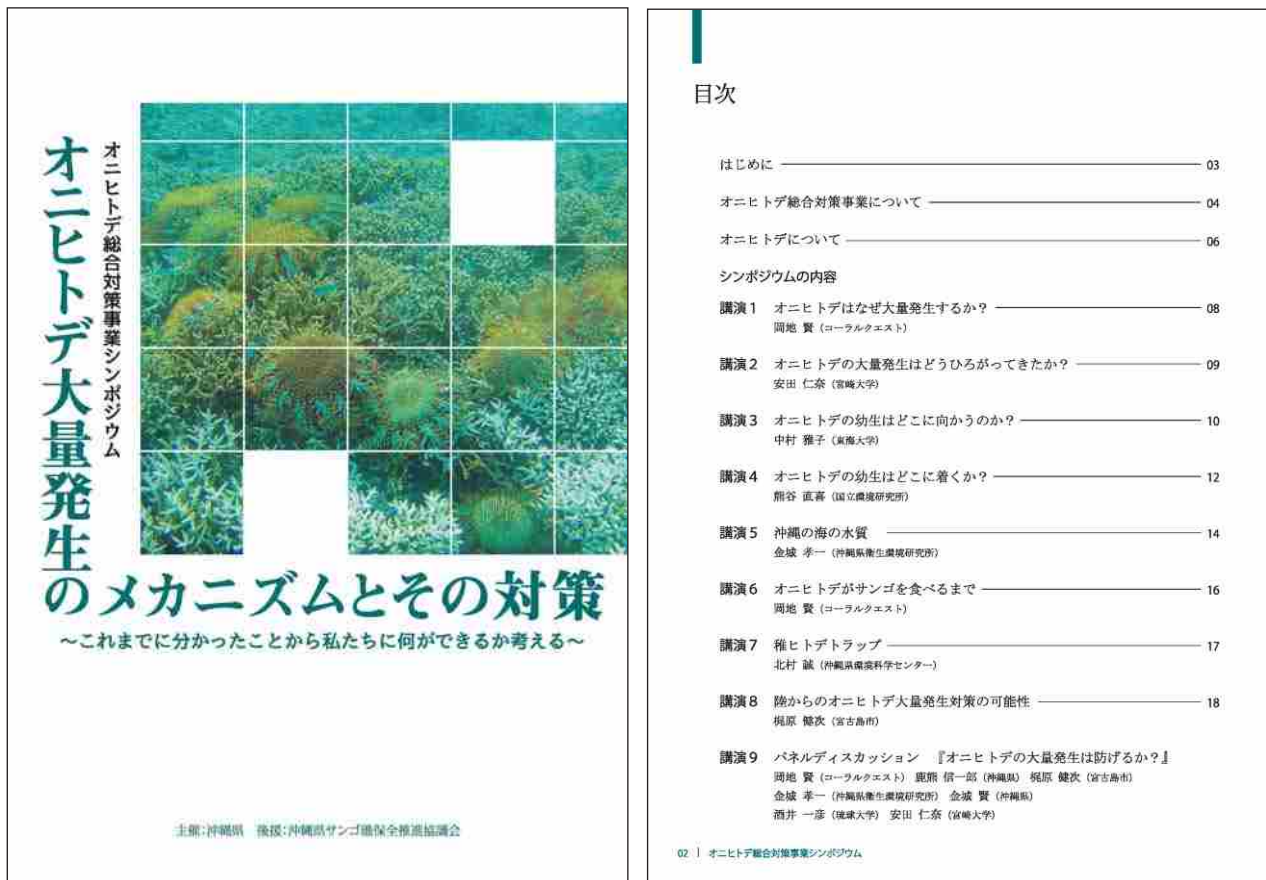
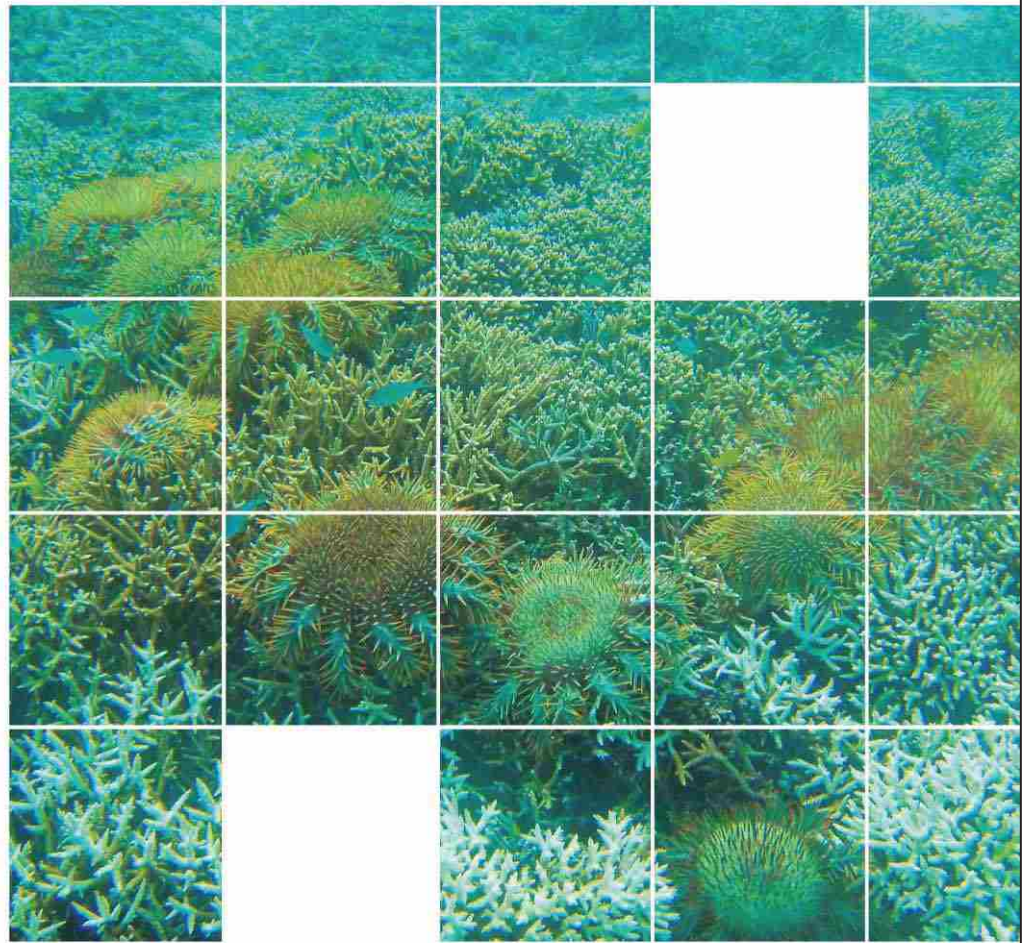


図6-3-1. 作成した配布資料(A4)の表紙(左)と目次(右)。

# オニヒトデ大量発生

オニヒトデ総合対策事業シンポジウム



## のメカニズムとその対策

～これまでに分かったことから私たちに何ができるか考える～

主催：沖縄県 後援：沖縄県サンゴ礁保全推進協議会

# 目次

はじめに	03
オニヒトデ総合対策事業について	04
オニヒトデについて	06
シンポジウムの内容	
講演1 オニヒトデはなぜ大量発生するか？ 岡地 賢 (コーラルクエスト)	08
講演2 オニヒトデの大量発生はどうひろがってきたか？ 安田 仁奈 (宮崎大学)	09
講演3 オニヒトデの幼生はどこに向かうのか？ 中村 雅子 (東海大学)	10
講演4 オニヒトデの幼生はどこに着くか？ 熊谷 直喜 (国立環境研究所)	12
講演5 沖縄の海の水質 金城 孝一 (沖縄県衛生環境研究所)	14
講演6 オニヒトデがサンゴを食べるまで 岡地 賢 (コーラルクエスト)	16
講演7 稚ヒトデトラップ 北村 誠 (沖縄県環境科学センター)	17
講演8 陸からのオニヒトデ大量発生対策の可能性 梶原 健次 (宮古島市)	18
講演9 パネルディスカッション 『オニヒトデの大量発生は防げるか？』 岡地 賢 (コーラルクエスト) 鹿熊 信一郎 (沖縄県) 梶原 健次 (宮古島市) 金城 孝一 (沖縄県衛生環境研究所) 金城 賢 (沖縄県) 酒井 一彦 (琉球大学) 安田 仁奈 (宮崎大学)	



## はじめに

沖縄県は、日本列島の最も南に位置し、東西約1000 kmにもおよぶ広大な海域には、大小160の島々が点在しています。それらの島々はサンゴ礁に縁取られ、海の中には美しい景観が広がっています。このサンゴ礁は、私たち県民に多くの恵みをもたらし、食や文化に大きな影響を与えてきました。しかしながら、世界的な規模で起こった海水温の上昇による白化現象や赤土等の流出、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ます。

その中でもオニヒトデの大量発生は、1957年頃から琉球列島を中心として、たびたび起こっていたことが記録されています。特に1970年代から1980年代にかけてと、2000年ごろから近年にかけて、全県的な大量発生が起こり、場所によっては壊滅的な被害を受けました。

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ました。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ります。そのため、沖縄県は、「オニヒトデ総合対策事業」において、オニヒトデの大量発生の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ってきました。

この度開催するシンポジウムでは、各講演者からオニヒトデが大量発生にいたるメカニズムについて、オニヒトデ総合対策事業の成果を交えながら説明があるとともに、大量発生を防止するための対策について、パネルディスカッションが行われます。パネルディスカッションでは、オニヒトデの大量発生について、これまでにわかったこと、これから何をしたらよいかを参加者も交えて議論します。

本シンポジウムがオニヒトデ対策に関わる行政機関、各関係機関、漁業関係者、ダイビング事業者等の多くの方の参加のもと、今後のオニヒトデ対策の一助となることを願います。最後に、シンポジウムの開催にあたり多大なるご協力をいただきました関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

# オニヒトデ総合対策事業について

沖縄県ではオニヒトデ大量発生メカニズムを明らかにし、根本的な対策を講じることを目的として、平成24年度からオニヒトデ総合対策事業を実施しました。オニヒトデ総合対策事業では、大量発生の予察やメカニズムを解明する調査研究、重要なサンゴ礁をオニヒトデ被害から守るための効果的・効率的な防除対策の検討を行ってきました。

## オニヒトデの大量発生の予察

オニヒトデは大量発生する前にいくつかの段階を経ます(図1)。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測しました。

## オニヒトデ大量発生メカニズム解明に関する調査研究

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)における生存率が高くなるのが原因だと考えられています(図2)。オニヒトデの生存率を左右する以下の要因について、大量発生メカニズム解明に必要なと考えられる様々な分野の調査研究を実施しました。

1. 水質(幼生の餌)——栄養塩と植物プランクトン
2. 幼生分散(幼生のゆくえ)——海流、着底場所
3. 個体群プロセス(稚ヒトデ)——捕食者、サンゴ

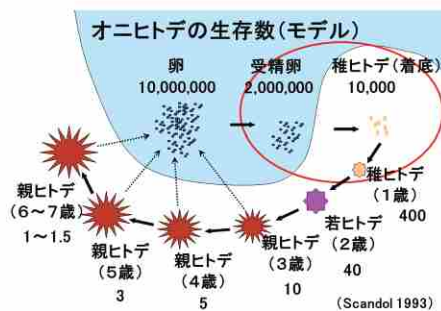


図2. オニヒトデの生活史における生存モデル。

受精卵から浮遊幼生を経て稚ヒトデになるまでの生存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ます。

## 効果的・効率的な防除対策の検討

防除の必要性と戦略、期待される効果、実施体制、支援内容と仕組みや規模などについて検討し、沖縄県のオニヒトデ防除のあり方を作成する予定です。

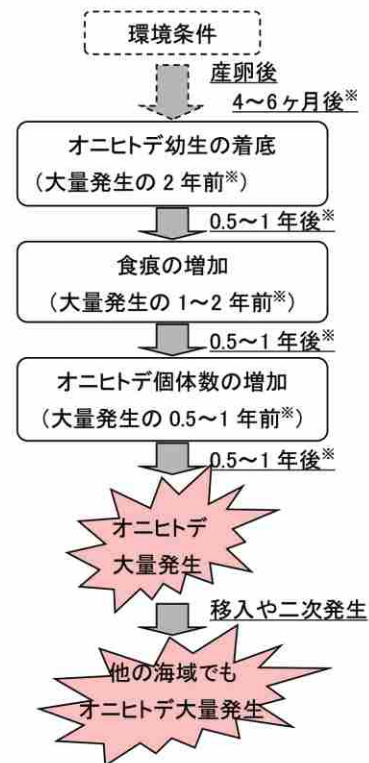
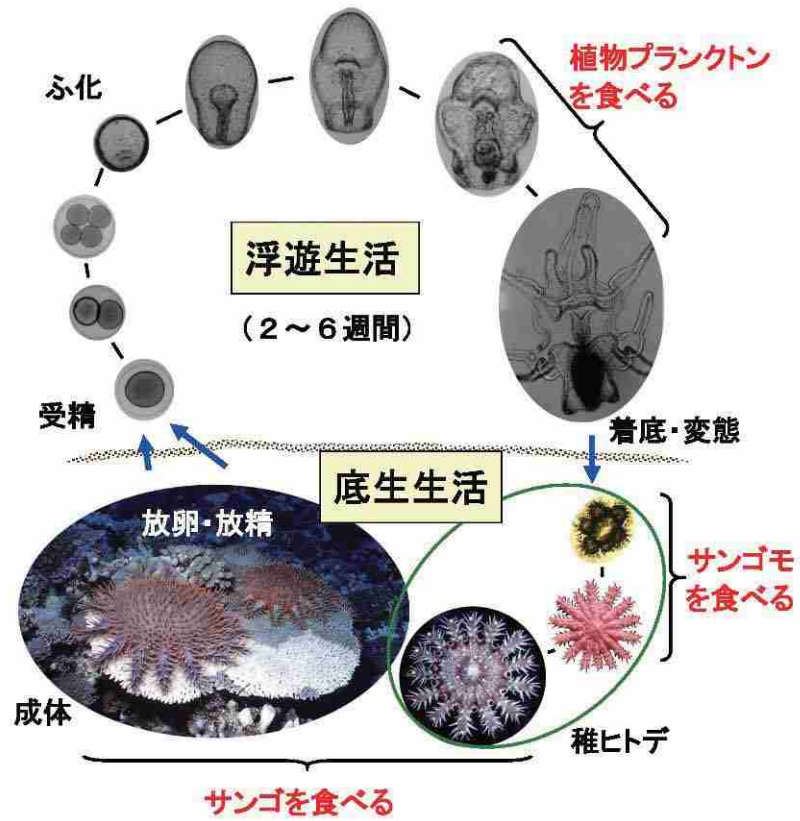


図1. オニヒトデ大量発生の段階。

※図中の期間はおおよその期間のため、環境条件等により変化する可能性があります。「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」となる場合もあります。

# オニヒトデの一生



(資料提供：横地洋之博士)



## オニヒトデについて

岡地 賢



写真1. 大量発生したオニヒトデ.

オニヒトデは熱帯・亜熱帯の海に生息する大型のヒトデです。大きさは直径20～30 cm、ときには60 cmをこえるものも見つかります。ヒトデの多くは5本腕ですが、オニヒトデは14～16本の腕をもち、多くの鋭いトゲで覆われているのが特徴です（写真1）トゲの表面には強い毒があり、うっかり手をふれて刺されると激しい痛みにおそわれ、腫れや発熱、時には激しいアレルギー反応を起こすこともあります。

色や大きさなど外見からは判断できませんが、オニヒトデは雌雄がわかれています。その比率はほぼ1対1です。沖縄では6月から7月にかけて雄が精子を、雌が卵をそれぞれ海中に産み出し、受精した卵は20～24時間後に孵化します。2日後には大きさ約0.5 mmの幼生となって海中を漂いながら餌を食べ始めます。これまでの研究により、幼生はおもに植物プランクトンをはじめとする大きさ数ミクロン（1ミクロンは1/1000 mm）の微小な餌を食べて育つと考えられています。幼生は餌が豊富にあるときは10日～20日、餌が少ないときは最長で50日間も海中を漂い、やがて海底のサンゴモとよばれる石灰質の海藻にとりついて5本腕の小さなヒトデ（稚ヒトデ）へと姿を変えます。このときの大きさは約0.5 mmです。稚ヒトデはサンゴモを食べてゆっくり成長し、約半年後、直径1 cm前後になると近くのサンゴを少しずつ食べ始めます。その後、サンゴが十分あると速く成長し、産まれてから1年後には直径3～4 cm、2年後には約20 cm、3年後には約30 cmに達します。水槽での飼育実験から、オニヒトデの寿命は7～8年と見積もられています。



オニヒトデがサンゴを食べるときは、体のなかに折り畳んだ胃袋を口から外に出してサンゴを包み込み、柔らかい組織だけを消化液で溶かして吸収します（写真2）。直径20 cm前後のオニヒトデが1回でサンゴを食べる量はおおむね手の平大です。これを年間に換算すると5~13 m<sup>2</sup>となります。サンゴが健全でオニヒトデの数が少ないときは、オニヒトデが食べる量よりもサンゴが成長する量のほうが大きいのでほとんど影響はないのですが、この関係はオニヒトデの数が一定数以上に増えると逆転します。過去に行われた試算によれば、オニヒトデが1 haあたり数十個体以上に増えるとサンゴは徐々に食べ尽くされるようです。それゆえ、サンゴを守るためにオニヒトデを駆除するときは、ただやみくもにオニヒトデを捕るのではなく、範囲を決めて繰り返し駆除を行うことが重要です。

もともとオニヒトデはどちらかといえば珍しいヒトデで、通常はサンゴ礁を何 kmもさがしてようやく1個体が見つかるかどうかというほどであったようです。しかし、1960年代なかばから1970年代にかけて、オーストラリアのグレートバリアリーフや熱帯太平洋・インド洋各地で大量発生し、広い範囲のサンゴ礁が被害をうけて衰退しました。沖縄でも1970年代に恩納村でオニヒトデが大量発生し、1980年代後半までに沖縄島のほぼ全域のサンゴ礁が被害をうけました。



写真2. 胃袋を出したオニヒトデ。

サンゴ礁をまもるため沖縄の各地で精力的な駆除が行われましたが、1996年には恩納村で、1990年代後半から2003年にかけては慶良間諸島、粟国・渡名喜島、伊是名・伊平屋島など周辺離島で、そして2008年には八重山諸島、宮古島で再び大量発生が起きました。なぜ、本来は数の少ないオニヒトデが、最近数十年で大量発生を繰り返すようになったのでしょうか？

太平洋のいくつかの国でオニヒトデを示す固有名詞が存在していることや、それらの国々での古老の証言、数百年前から生存している巨大な塊状サンゴの断面にオニヒトデに食べられたと思われる痕跡が多数みられたことなどから、過去にもオニヒトデが大量発生していたことがわかっています。しかし、もしその頻度が1960年代以降と同様であれば、世界各地のサンゴ礁で現在みられるほどサンゴは生息していなかったかもしれません。それゆえ、本来は数が少なかったオニヒトデが大量発生を繰り返し、沖縄のように場所によってはごくふつうにみられるようになったのは、サンゴ礁をとりまく環境が、おそらくは人為的な影響で最近数十年の間に大きく変化してきたためではないかと考えられています。

## オニヒトデはなぜ大量発生するか

岡地 賢

1960年代以降に世界各地でオニヒトデの大量発生が起きるようになって、多くの科学者がその原因を解明しようと研究を続けてきました。現在ではオニヒトデの生態に関する様々なことがわかってきて、大量発生のメカニズムとしていくつかの仮説が提案されるようになりました。そのうち、最も有力視されているのが「幼生生き残り仮説」です。

1個体のメスのオニヒトデは、繁殖期になると数百万個～数千万個の卵をもつようになります。オニヒトデの幼生は通常ほとんど死んでしまいますが、何らかの理由で生き残る率がわずかでも高まると、卵の数が多いため生き残る数も多くなります。これまでの研究で、陸からサンゴ礁の海に流れ込む様々な物質の影響により、幼生のおもな餌である「植物プランクトン」が増加することがその理由ではないかと考えられるようになりました。

多くのサンゴ礁では海水に含まれる植物プランクトンが少なく、オニヒトデの幼生は十分に成長できません。しかし、陸から流れ込む物質のうち、「栄養塩」とよばれるリンやチッ素の濃度が増えると、それらが肥料のようになって植物プランクトンが増加します。そして、植物プランクトンが一定量をこえるとオニヒトデ幼生が生き残る率は急激に高まります（図1）。このような現象が沖縄県沿岸でも起きているかどうか、もし起きているならば大量発生をふせぐためにどのような対策が必要か研究を行っています。

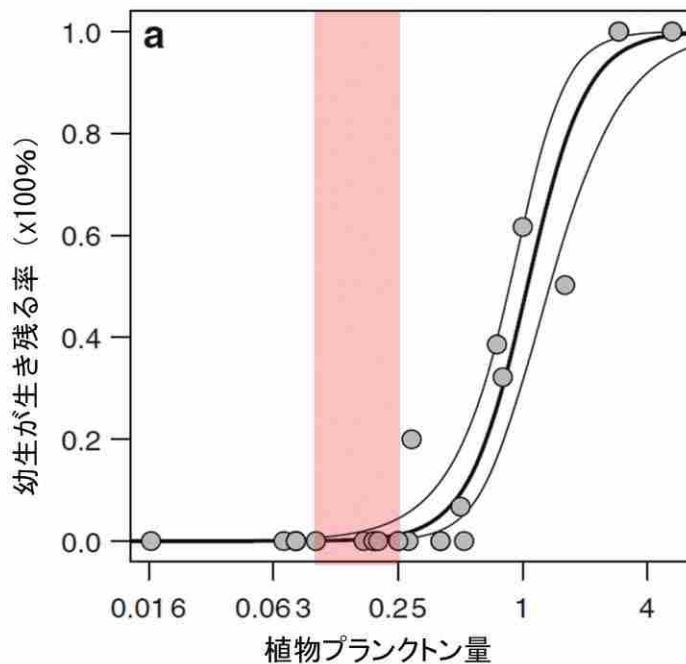


図1. 植物プランクトン量（横軸，単位はクロロフィルa量で  $\mu\text{g/L}$ ）と幼生の生き残り率（縦軸）の関係. 赤枠は通常のサンゴ礁の植物プランクトン量.

## オニヒトデの大量発生はどうひろがってきたか？

安田 仁奈

日本のオニヒトデの大量発生は黒潮に沿って連続的に起きることが知られています。これは、大量発生したオニヒトデが産みだす大量のプランクトン幼生(写真1)が海流に運ばれ、別の海域でさらなる大量発生を引き起こすからであると考えられます。過去のパターンでは、大量発生の伝播は、110 km以内の海域で特に頻繁に目撃されています。こうした大量発生は2次的大量発生といわれ、日本だけではなく、オーストラリアのグレートバリアリーフでも知られています。実際、日本国内では小笠原を除く全国のオニヒトデ集団が遺伝的によく似ていて、黒潮などの海流で幼生が流れていることがわかりました。しかし、日本では、黒潮が時々大きく変わるため、オーストラリアよりも2次的大量発生の予測は難しくなっています。

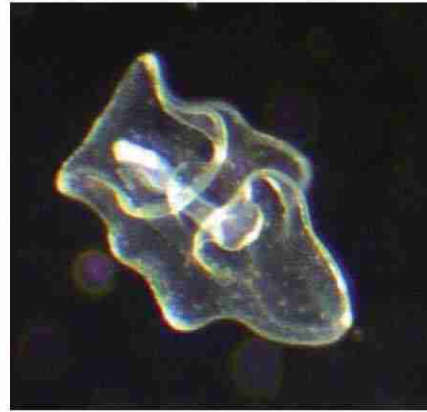
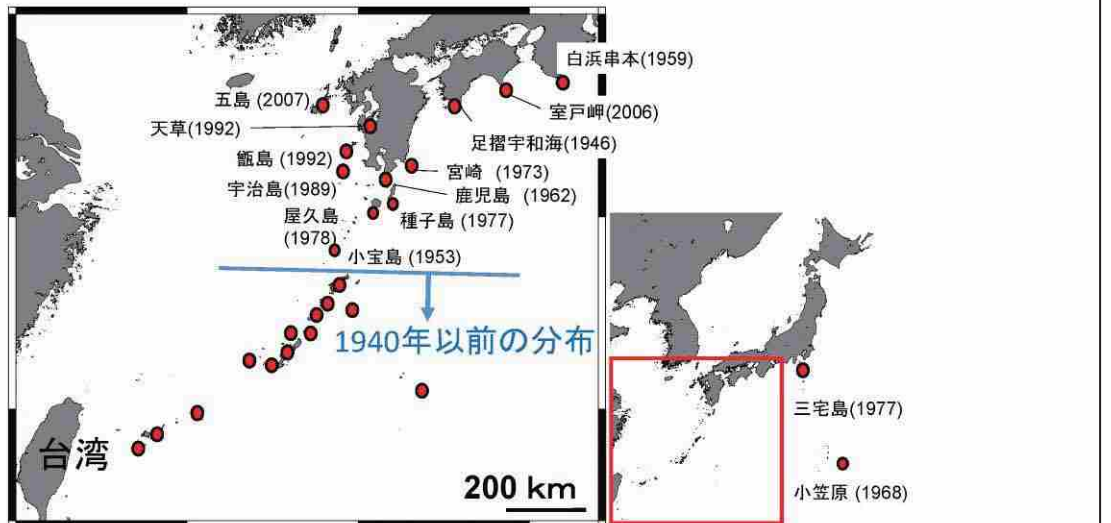


写真1. オニヒトデの幼生.



上の図は、それぞれの地域でオニヒトデが初めて発見された年を示しています。1940年代以前は奄美大島以南でしかみられなかったオニヒトデが、徐々に北へと分布域を広げています。他のサンゴ礁生物と同様に、温暖化に伴って冬場の海水温が上がり、冬越しできるようになったため、今後も、オニヒトデはますます北上する可能性もあるため、注意が必要です。



# オニヒトデ幼生はどこに向かうのか？ ～恩納村を例として～

中村 雅子

オニヒトデの幼生は浮遊性で9日から最長50日も海中を漂います。そのため、ある場所で生まれたオニヒトデの幼生は、海流にのり他の場所へ運搬されると考えられています。

沖縄島西海岸の恩納村沿岸には、オニヒトデが比較的高い密度で生息しています。恩納村漁業協同組合の記録によると、1969年からほぼ毎年、数千から数万個体のオニヒトデが駆除されています。これは、同村沿岸に毎年一定数の新しいオニヒトデの加入があることを示唆しています。では、この高密度な恩納村のオニヒトデ集団が生み出した幼生はどこに行くのでしょうか？

オニヒトデ幼生が浮遊していると考えられる期間に、恩納村沿岸からGPS搭載の漂流ブイ（写真1）を放流し、恩納村沿岸域で生まれたオニヒトデ幼生の分散パターンを推定しました。ブイはイリジウム衛星を通じてリアルタイムに位置情報を送信します（図1）。

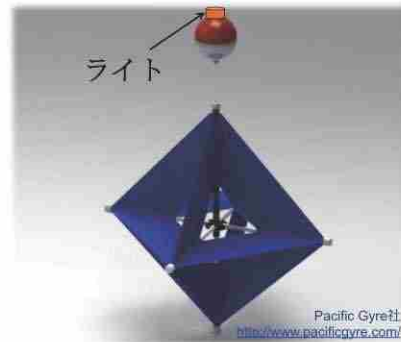


写真1. GPS搭載の漂流ブイ。  
(Pacific Gyre社製のブイにライトを付けたもの)

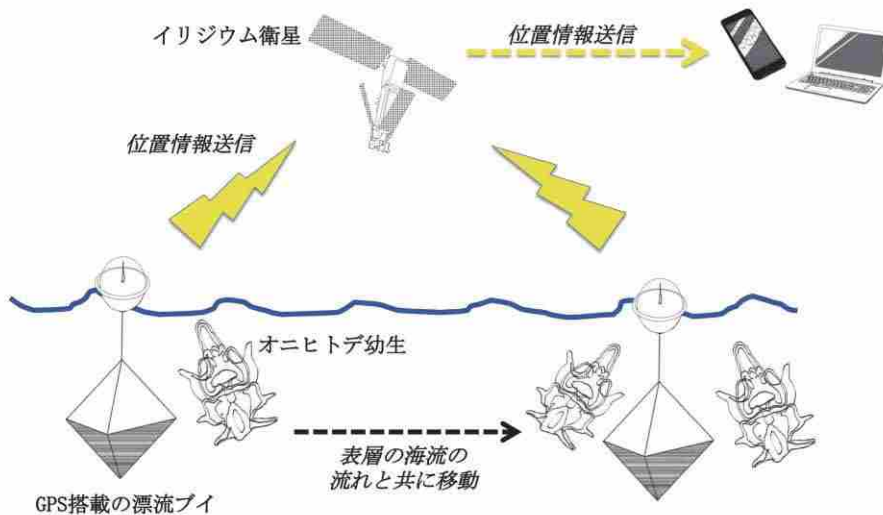


図1. GPS搭載の漂流ブイによるオニヒトデ幼生追跡の模式図。  
(安達颯太氏作成のイラストを転載)



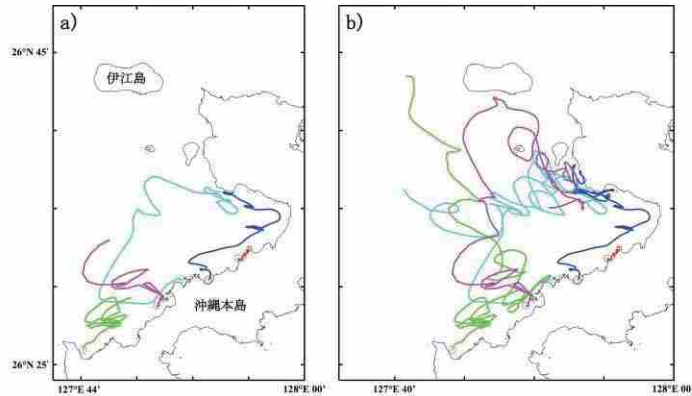


図2. プイの軌跡の例. a) 放流から3日間, b) 放流から7日間.

プイの動きを最大30日追うと、3～7日でプイは恩納村沿岸から離れてしまうことが明らかとなりました（図2）。これは、恩納村沿岸で生まれた幼生が同村沿岸域を出て分散していく可能性を示すとともに、恩納村沿岸域のオニヒトデが同村沿岸以外の場所からやってきている可能性を示しています。恩納村沿岸を離れたプイは、北上したり、南下したり、沖縄島の東海岸にまわったりと様々な動きを見せました（図3）。中には、九州、四国の南側を通って、紀伊半島の南西沖に到達したものや、放流から1ヶ月後も外洋を漂っていたものがあり、プイの移動距離は500～1358 kmにも及びました。これらの観察結果は、恩納村で生まれた幼生の分散過程がかなり複雑であり、様々な場所への加入が考えられること、また、その中には着底地を見つけれない幼生がいることを示しています。さらに、沖縄島周辺で生まれたオニヒトデの幼生が温帯域まで到達する可能性も示しています。近年、高知や和歌山など温帯域の沿岸でもオニヒトデの大量発生が観察され、オニヒトデの食害は、熱帯・亜熱帯域だけにとどまりません。オニヒトデの大量発生を防ぐには、幼生放出域となる場所での徹底した駆除がその拡大を免れる一つの方法であると言えます。

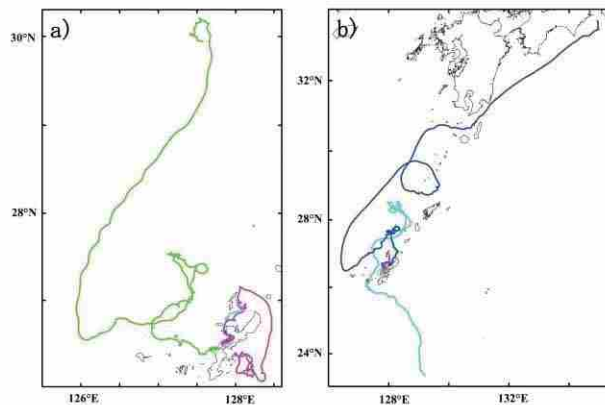


図3. 放流から30日間のプイの軌跡の例.

## オニヒトデの幼生はどこに着くか？

熊谷 直喜

オニヒトデの幼生は長ければ50日も海の流に乗って旅をします。それだけ長く流されると、もしどこかの海でオニヒトデが大量発生していたら、たくさんの幼生が遠くの海まで流されて、たどり着いた先の海でもオニヒトデが大量発生するかもしれません。逆に、もし生まれた海へと多くの幼生が戻ってきたら、その海ではオニヒトデがどんどん増えてしまうでしょう。旅をするあいだに、植物プランクトンのようなエサを十分に食べられるかどうか、オニヒトデの幼生が生きてたどり着くためには大事なことです。

オニヒトデの幼生がどこへ着くのかを知るには、海の流れがどこへ向かって流れているのか知る必要があります。日本の南側の海には黒潮が流れていますが（図1）、どのあたりを流れるのかは、季節や年によっても違ってきます。また、黒潮の周りには逆の方向へと渦を巻く流れ（反流）もあり、沖縄はこの反流の中に位置するので、周囲の流れはとても複雑です。そこで、世界中で観測された海の流れのデータをつなぎ合わせて、オニヒトデの幼生がどう流れてどこへたどり着くのかを再現してみました。

図2の赤い円が幼生の生まれた海、黄色が幼生の流された範囲、赤色が多くの幼生がたどり着いたことを表しています。図2は幼生がとくに広い範囲に流された年の例で、フィリピン北部から八重山諸島まで600 kmもの距離を旅することもあるようです。また、八重山諸島からは慶良間諸島までたどり着き、さ

らに沖縄島からトカラ列島を経てさらに東へ流される場合があります。しかし、これほど遠くに流されるのは数年から十年に一度、ごく限られた数の幼生で、多くの幼生は生まれた海の近くに戻ってくるのがわかりました（図3）。多くの幼生が戻りやすい海はオニヒトデの大発生がより早く起こりやすい海であることもわかりました。つまり、すでに大発生している海からたくさんのオニヒトデの幼生がやってきて新たに大発生が起こると言うよりは、幼生が戻ってきやすい海の周囲で餌が豊富なときに大発生が起きやすいと言えます。



図1. 黒潮とその反流.

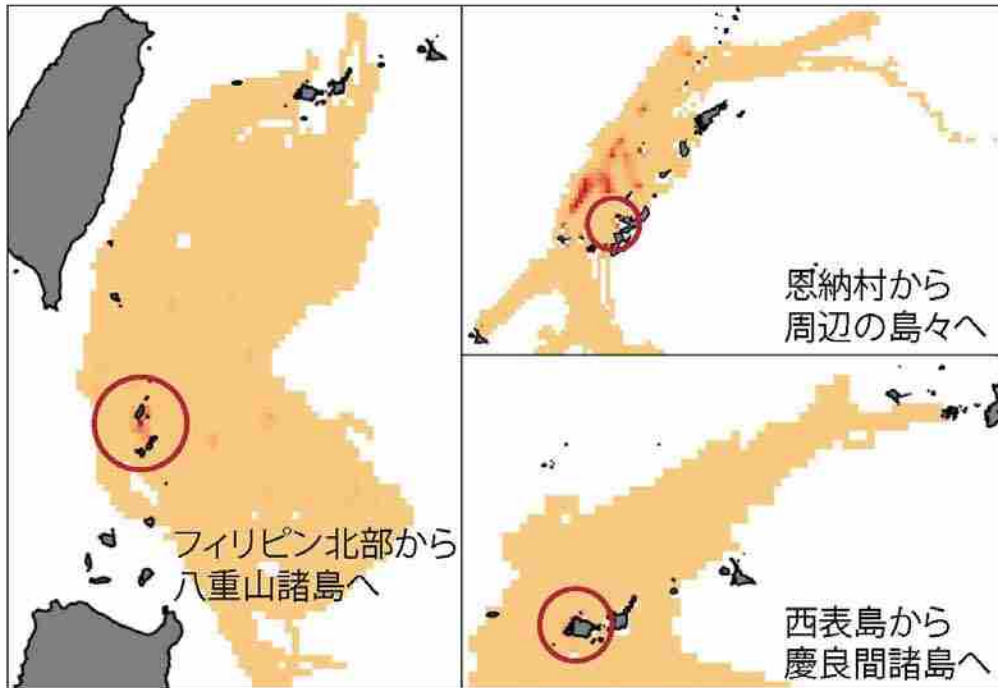


図2. オニヒトデの幼生が特に広い範囲に流された年の、産まれた場所（赤丸）と流された範囲（黄色）、多くの幼生がたどり着いた部分は赤色で示されています。



図3. 多くの年では、オニヒトデの幼生は産まれた場所に帰ってきやすい（西表島の例）。



## 沖縄の海の水質

金城 孝一

オニヒトデの大量発生によって、サンゴ礁が衰退してしまうことが沖縄やグレートバリアリーフ（オーストラリア）で繰り返して起こっています。オニヒトデが大量発生する原因のひとつとして水質悪化が考えられています。そこで私たちは水質に着目し、平成25年度から沖縄島西海岸の海の水質調査をしています（図1）。

オニヒトデは沖縄島周辺では6月から7月頃が産卵期で、この間に1個体の雌は数千万個の卵を産みます。そのため受精率や幼生の生存率のわずかな増加でも、その後の成体の数の大きな増加につながると考えられています。幼生の生存率を上げる原因は、その餌となる植物プランクトンの増加が疑われています。オーストラリアで行われた研究から、植物プランクトンの量をあらわすクロロフィル量が $0.25 \mu\text{g/L}$ 以下では、ほとんどのオニヒトデ幼生が餌不足で死んでしまうのに対し、 $0.8 \mu\text{g/L}$ 程度になると大部分の幼生が生き残ってしまうことが分かっています。このことは「幼生生き残り仮説」と呼ばれ、オニヒトデの大量発生仮説として有力視されています。このためグレートバリアリーフでは、クロロフィル量 $0.45 \mu\text{g/L}$ を超えないようにと指針値が設定されています。植物プランクトンは海水中に含まれる窒素やリンなど栄養塩によって増殖が促されます。その栄養塩の増加は、生活排水、畜産排水や化学肥料等が川を通して海へ流れ込むことが大きな原因なので、私たちの生活が、オニヒトデの大量発生に影響を与えている可能性があります（図2）。



図1. 水質の調査地点。  
赤丸は今年度（平成29年度）の調査地点、  
黒丸は過去に調査をした地点。

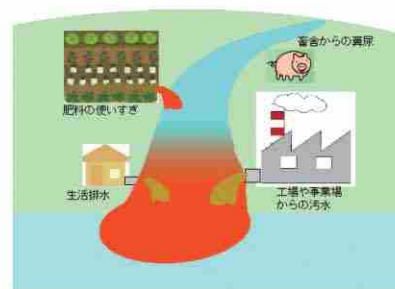


図2. 川や海を汚す可能性がある陸上の汚染源。



私たちは沖縄島西海岸でオニヒトデの産卵期である夏場を中心に定期的に水質のモニタリングを行っています(図1)。5年間のモニタリングの結果から、幼生の餌の量(クロロフィル量)は平均で0.20 µg/Lでした。平均値で比べるとオニヒトデの幼生がほとんど死んでしまう水準です。しかしクロロフィル量の分布を詳しく見てみると、宜野湾市や北谷町など沖縄島南西側の市街地の沿岸で高くなりやすいこと、比謝川河口近くのように河口に近い調査地点でも高くなりやすいことが分かってきました(図3)。また、台風や大雨などの数日後まで、クロロフィル量は高いままになっているようです。このように時期や場所によっては、グレートバリアリーフでの指針値(0.45 µg/L)やオニヒトデ幼生の大部分が生き残る0.8 µg/Lを超えることがあるので、安心できる環境ではありません。また幼生の餌を増加させているのは、栄養塩をたくさん含んだ水が川から流れ込んできたためと考えられます。

最近の調査結果から、オニヒトデ幼生は生きた植物プランクトンだけを選んで食べているのではなく、植物プランクトンの死骸や分解物などの様々な有機物を食べている可能性があるそうです。そこで、死んだ植物プランクトンの量(指標としてフェオフィチン量)を調査してみたところ、その量は生きた植物プランクトン(クロロフィル量)とほぼ同じ量から2倍量が含まれていることがわかりました。このことは、多くの餌が海水中にある可能性を示しており、沖縄島周辺の海には、オニヒトデ幼生の成長に必要な量の餌が含まれている可能性があります。陸からサンゴ礁の海に流れ込む様々な物質の影響により、オニヒトデ幼生の餌が増加していると考えられるため、陸からの負荷を減らす対策が必要です。

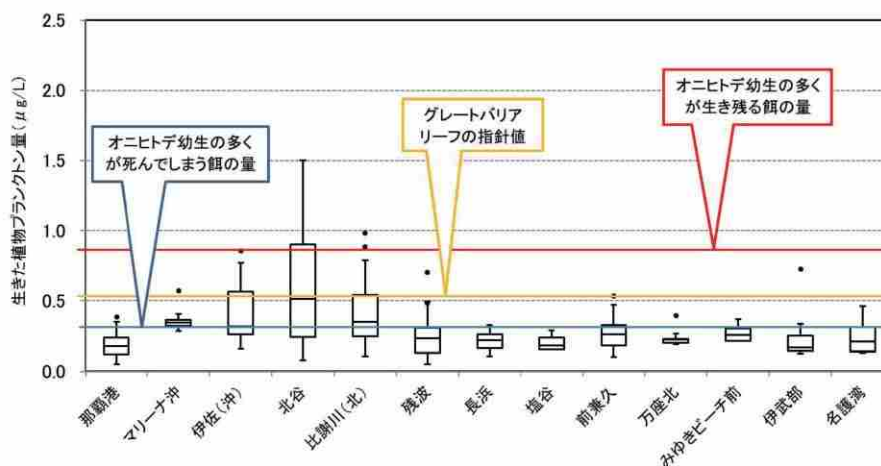


図3. 各調査地点における生きた植物プランクトン量(指標としてクロロフィル量)の分布。「□(箱)」は25%値から75%値、「—(箱の中の線)」は中央値、「I(上下の線)」の上端は最大値、下端は最小値、「・(黒点)」は外れ値をそれぞれ示します。

## オニヒトデがサンゴを食べるまで

岡地 賢

海中をただようオニヒトデの幼生は、ヒトデになる部分を発達させながら少しずつ海底へ沈んでゆきます。海底に着くとサンゴモとよばれる石灰質の海藻をさがし、その表面で稚ヒトデへと姿を変えます（写真1）。このときの大きさは約0.5 mm、腕は5本です。数日たつとサンゴモを食べ始め、3週目ごろに6本目の腕が生えてきて、以後はおよそ10日ごとに新たな腕が加わります。平均的な成長は、着底後1ヶ月で直径約2.4 mm、3ヶ月で約6.5 mm、6ヶ月で約9 mmに達します。

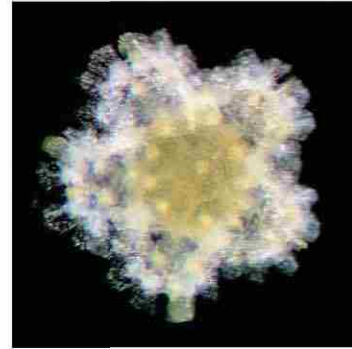


写真1. 着底直後のオニヒトデ。



写真2. 稚ヒトデと白い食痕。

稚ヒトデがサンゴモを食べると丸い形の食痕を残します（写真2）。新しい食痕はオレンジ色やピンク色で、日がたつにつれ薄緑色や白色になります。稚ヒトデはサンゴモの裏側や岩穴に隠れていますが、新しい食痕を目印にして探すことができます。

稚ヒトデは直径1 cm前後になる頃から少しずつサンゴを食べるようになり、1年目に直径3~4 cm、2年目に15~20 cm、3年目に25~30 cmに成長します（図1 青線）。しかし、砂辺海岸のようにサンゴが少ない場所では1年目でも直径2~3 cmにしか育つこと

ができません（図1 赤線）。オニヒトデが大量発生するためには、サンゴが豊富にあることが条件のひとつであると言えます。

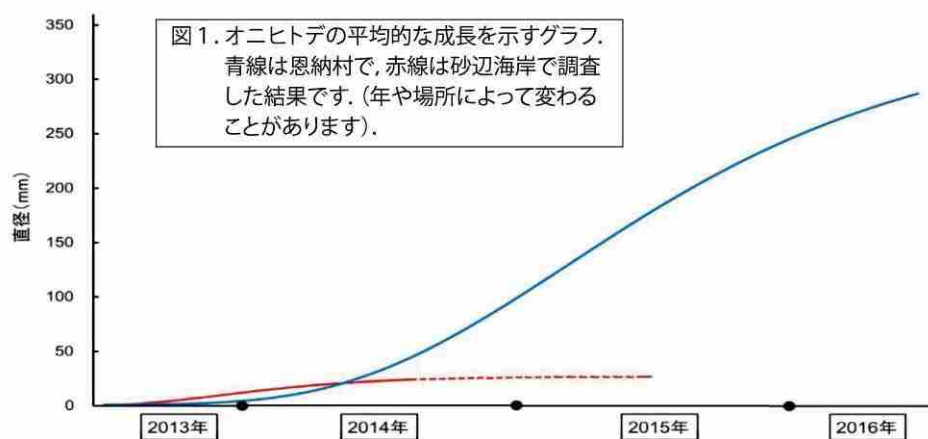


図1. オニヒトデの平均的な成長を示すグラフ。青線は恩納村で、赤線は砂辺海岸で調査した結果です。(年や場所によって変わることがあります)。

## 稚ヒトデトラップ

北村 誠

通常、海に潜っても夜行性で直径50 mmにも満たない若いオニヒトデ（稚ヒトデ）を見つけることは容易ではありません。しかし、野外の稚ヒトデの数を見積もることができれば、数年後の成体オニヒトデ数の予測に役立つと考えています。そこで、この研究では、生後1年未満の稚ヒトデ（直径10～40 mm）を捕まえる目的で「稚ヒトデトラップ」の開発を行っています。

サンゴ食期に入った稚ヒトデ（直径10 mm以上）は、サンゴを優先的に食べるようになります。サンゴから出る匂いをたよりに、サンゴを探しているのです。この匂い物質（誘引物質）を知ることが出来れば、その物質を使って稚ヒトデを特定の場所に誘い出すことができます。今までに、サンゴに含まれる水溶性分画（水によく溶ける物質）に稚ヒトデを誘引する作用があること、また誘引作用は複数の化学物質の組み合わせによって起こることがわかりました。

せっかく誘引物質を使って集めた稚ヒトデも、その匂いがなくなると、どこかに行ってしまう。そこでトラップ（罠）が必要となります。稚ヒトデのトラップには、①稚ヒトデを引きつける匂いを出すこと、②稚ヒトデが入りやすく脱出できない構造が必要です。この研究では、下の写真のようなトラップを作成し、野外での稚ヒトデの捕獲に成功しています（2ヶ月間で6個体）。今後、改良を加え稚ヒトデ捕獲率を上げることで、トラップを用いたモニタリング技術の確立を目指したいと思っています。

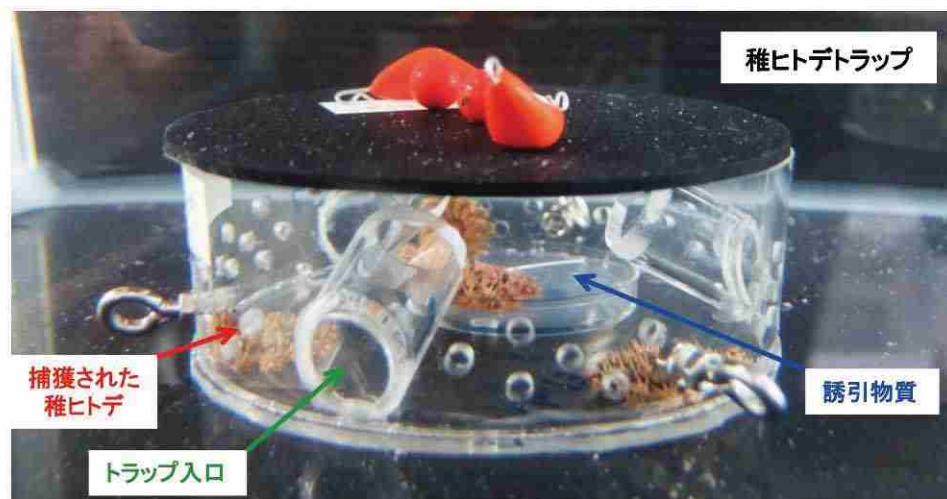


写真1. トラップに稚ヒトデが捕らえられた様子(水槽での試験). トラップの中に誘引物質を入れ、オニヒトデが入った水槽内に10時間設置したところ、5個体の稚ヒトデがトラップの中に入っていた。(青矢印:サンゴから抽出した誘引物質, 緑矢印:トラップ入口部分, 赤矢印:捕獲された稚ヒトデ)



## 陸からのオニヒトデ大量発生対策の可能性

梶原 健次

オニヒトデの大量発生は、繁殖期に産み出された幼生の餌となる植物プランクトンなどが増え、そのために多くの幼生が生き残ることが原因だと考えられています。植物プランクトンは、栄養塩と呼ばれる海水中のリンや窒素の濃度上昇により増えるのですが、サンゴ礁をふくむ沿岸海域ではおもに陸から栄養塩が流れ出します。したがって河川水や排水の栄養塩を減らすことがオニヒトデ対策には有効だと考えられます。

宮古島には大きな河川がなく、陸から海へ流れ出す水のほとんどが地下水です。この地下水に含まれる窒素濃度（水質の指標となる亜硝酸態窒素と硝酸態窒素の合計値）が異常に高くなった時期があります。1987年には、ある水源地で8.97 mg/Lという窒素濃度が記録されました（法律で定められた基準は上限10 mg/L）。1988年に排出源を調べてみると、肥料が35.6%、畜産糞尿が31.4%、生活排水が16.4%、自然由来が16.6%となっていました（中西 2002）。水道水の窒素濃度が高いと健康に被害を及ぼす可能性もあることから、行政は農作物への施肥方法や家畜の排泄物処理方法の改善、浄化槽設置補助や下水道整備などの施策を進めてきました。それぞれの対策の効果の程度は不明ですが、結果として、基準を十分に満たすレベルにまで戻りました（図1）。

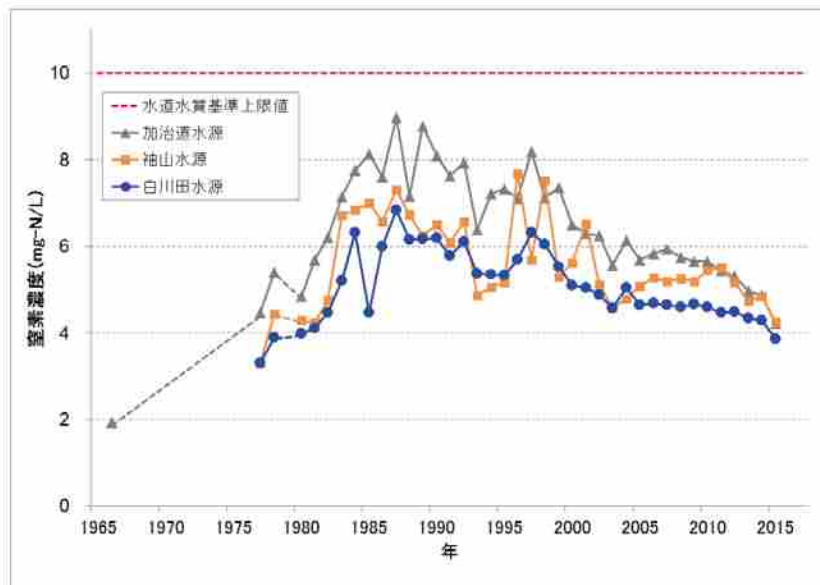


図1. 宮古島市主要水源地における窒素濃度の推移。  
窒素濃度は硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合計値。



1966年に測定された窒素濃度は1.96 mg/Lで、おそらくこの濃度が宮古島本来の自然、あるいはそれに近いものなのではないかと考えられます。この窒素濃度値は、飲料水としての更なる安全性を高めるだけでなく、健全なサンゴ礁生態系を維持するためにも掲げるべき目標と言えるでしょう。

沖縄島や石垣島などでは地下水だけでなく河川水にも目を向けなければならないのですが、沿岸海域への栄養塩流出を抑制する対策は宮古島と共通します。宮古島での例を挙げれば、次のような対策が挙げられます。

#### (1) 化成肥料対策

- ①雨の多い時期やその直前に速効性肥料を撒くのを避ける。
- ②緩効性肥料（ゆっくり溶ける肥料）の普及に努める（値段は高いが、肥料をまく回数が減って収益は向上する）。
- ③緑肥・堆肥の普及を進める。

#### (2) 畜産糞尿対策

- ①堆肥盤（堆肥を流出させない保管設備）の整備や糞尿処理システムの導入を進める。
- ②堆肥センターの整備・活用を進める。
- ③水道の水源地付近での放牧を制限する。

#### (3) 家庭排水対策

- ①合併浄化槽や下水道の整備。
- ②家庭排水の水質改善（食べ残しや薬品を流さない）。

#### (4) その他の対策

- ①緑地保護・森林整備。
- ②農地周辺の土壌流出対策（防風林やリュウノヒゲなどの植栽）。

これらの対策は、オニヒトデ駆除に比べると大変地味で、その効果が実感しにくいものですが、全ての人が無理なほどの貢献ができるものです。栄養塩の増加やその他の水質汚染は海藻類の異常発生やサンゴの病気などとの関連も指摘されていますので、小さな積み重ねこそが大きな効果になるものと期待されます。

#### 《栄養塩について》

栄養塩類は生物が生きていくのに必要な元素（窒素(N)・リン(P)・ケイ素(Si)・硫黄(S)など)です。植物の体を構成したり、エネルギー源となる栄養塩類は、アンモニウム(NH<sub>4</sub>)、硝酸(NO<sub>3</sub>)、亜硝酸(NO<sub>2</sub>)、リン酸(PO<sub>4</sub>)などの無機態の形で植物に取り込まれます。これらの栄養塩類は海洋での植物や植物プランクトンの増殖をコントロールする制限因子となっています。したがって、栄養塩類の増加は、植物の増殖を引き起こします。沖縄のサンゴ礁では栄養塩類が河川などから海へ流れ込み、海中の植物プランクトンや海藻などに取り込まれ、食物連鎖をたどります。

## プロフィール (50音順)

### 岡地 賢 博士

1987年に琉球大学理学部海洋学科を卒業後、オーストラリアのジェームズクック大学に留学、オーストラリア海洋科学研究所でのオニヒトデの研究成果により1996年に博士号を取得。パラオ国際サンゴ礁センター主任研究員などを経て、現在は有限会社コーラルクエストの代表取締役としておもに沖縄県内のオニヒトデやサンゴの調査研究に従事している。

### 北村 誠 博士

1994年に大阪産業大学大学院工学研究科を修了後、社近畿建設協会水質研究所に入社し水質分析業務に就く。その後2006年に名古屋大学大学院理学研究科において、サンゴ幼生に作用する着生誘引物質や忌避物質の研究により博士号を取得。現在、沖縄県環境科学センターにおいてオニヒトデ幼生や稚ヒトデ、グリーンアノールに作用するケミカルシグナル研究に従事している。

### 熊谷 直喜 博士

海辺の研究所を拠点として海に隣る地道な研究生活に始まり、温帯サンゴの1種に共生する甲殻類の研究によって2004年に筑波大学で博士号を取得。現在は(国研)国立環境研究所に在籍し、データ解析やシミュレーション技術を活かして、おもにサンゴ礁や藻場の行く末を予測する研究に従事している。

### 安田 仁奈 博士

2003年に早稲田大学を卒業、東京工業大学でのオニヒトデの個体群構造と幼生分散を対象とした研究成果により2008年に博士号を取得。宮崎大学テニユアトラック推進機構准教授。どのような環境下で何がオニヒトデの大量発生のカギとなるのか研究を進めつつ、水域生態系及び環境の保全に向け、海洋無脊椎動物の種分化や幼生分散の解明、身近な水域における侵略的外来生物に関する研究などを行っている。

### 梶原 健次 博士

1997年に東海大学大学院において、サンゴの成長と石灰化に関する研究により博士号を取得。同年より平良市栽培漁業センター(現宮古島市海業センター)勤務、2005～2017年には宮古島市にて地下水保全を担当した。現在は、宮古島市水産課にて水産振興に関する業務に携わりつつ、サンゴ礁モニタリングなども行っている。

### 金城 孝一 博士

2003年に沖縄県に採用され沖縄県衛生環境研究所研究員として勤務。その後2012年に東京工業大学大学院において、サンゴ礁生態系保全のための統合型管理に関する研究により博士号を取得。現在、沖縄県衛生環境研究所において、赤土汚染およびサンゴ礁海域の水質管理に関する調査研究に従事している。

### 中村 雅子 博士

2010年に琉球大学大学院理工学研究科において、サンゴの幼生生態に関する研究成果により博士号を取得。沖縄科学技術大学院大学の研究員を5年勤め、現在は、東海大学海洋学部水産学科講師。学生とともに、西表島から伊豆までの黒潮流域のサンゴ群集やオニヒトデ個体群を対象に調査研究を展開している。

## 平成29年度オニヒトデ総合対策事業 シンポジウム資料

平成29年11月

発行

沖縄県環境部自然保護課

〒900-8570 沖縄県那覇市泉崎1-2-2

編集

(一財)沖縄県環境科学センター・(有)コーラルクエスト

オニヒトデ総合対策事業共同企業体

## 4. シンポジウム開催結果

### 4-1. 参加者数

会場の入口に受付を設置し、参加者は名前等を記入するようにし、81名の記名があった。定員100名の会場は、ほぼ満席の状態であった。



図6-4-1. シンポジウム会場の様子.

### 4-2. アンケート

シンポジウムではアンケートを配布し、参加者にアンケートに答えてもらった。アンケートの質問内容は以下のとおり。

質問1. シンポジウムの内容について（選択）

1	満足した
2	どちらでもない
3	不満

質問2. シンポジウムの難易度について（選択）

1	理解しにくかった
2	どちらでもない
3	分かりやすかった

質問3. 今回のシンポジウムをどこでお知りになりましたか？（選択）

1	メーリングリスト
2	インターネット
3	新聞
4	口コミ
5	チラシ
6	その他（記述）

質問4. オニヒトデ対策として重要だと思う対策は何ですか？（複数回答可）

1	調査・研究
2	駆除
3	水質改善
4	普及啓発
5	教育
6	その他（記述）

質問5. 沖縄県が実施するオニヒトデ対策として最も重要だと思う対策は何ですか？（記述）

質問6. 今回のシンポジウムや、今後のサンゴ礁保全に関する取組への要望など、皆さまのご意見をお聞かせ下さい。（記述）

下記項目へもご回答ください。

【性別】 男・女・      【年齢】 ～10代・20代・30代・40代・50代・60代～

【職業】 農業・漁業・製造業・観光サービス業・官公庁・学生・その他（                      ）

【住所】 県外（都道府県名                      ）・県内（市町村名                      ）



### 4-3. アンケート集計結果

アンケートの回答者総数は48名であった。回答者は10代から60代以上まで幅広かった(図6-4-2)。回答者の職業はその他が一番多く、次いで学生、官公庁であった(図6-4-3)。休日の開催のためか、ダイビング業者などの観光サービス業は6%と少なかった。学生の割合が比較的多かったのは、県内の大学や専門学校、高校にシンポジウムの案内を行ったため、オニヒトデに興味を持っている学生が参加したものと思われる。

シンポジウムを知った媒体は、インターネット(22%)、口コミ(26%)、チラシ(24%)が多く、新聞が6%と少なかった(図6-4-4)。

シンポジウムの内容については回答者の98%が「満足した」と回答し(図6-4-5)、難易度についても「分かりやすかった」と90%が回答しており(図6-4-6)、内容と難易度については十分だったと考えられる。

オニヒトデ対策として重要だと思う対策については、水質改善が最も多く29%、次いで調査研究が28%であった。駆除(15%)と教育(14%)、普及啓発(12%)が同程度の割合であった(図6-4-7)。

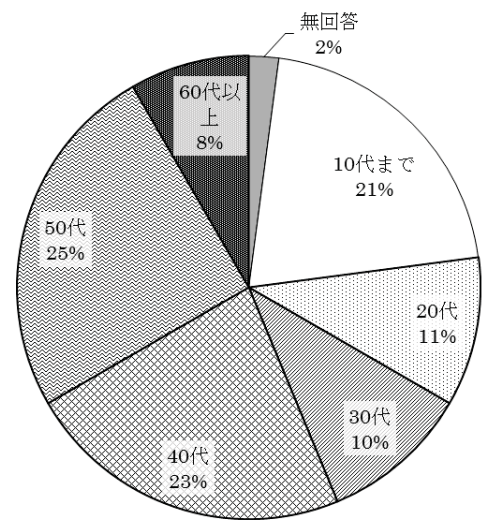


図6-4-2. 回答者属性(年代).

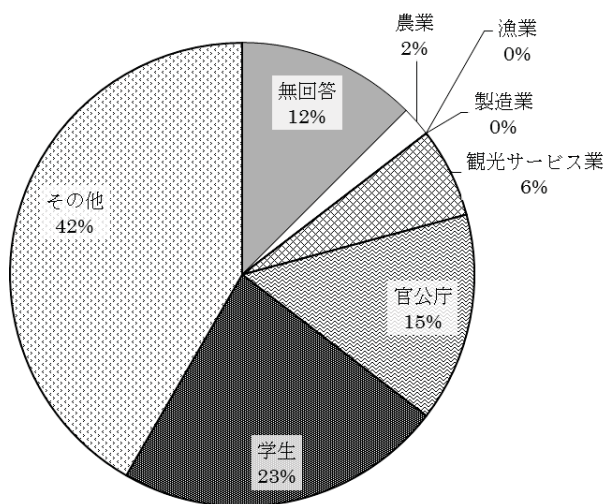


図6-4-3. 回答者属性(職業).

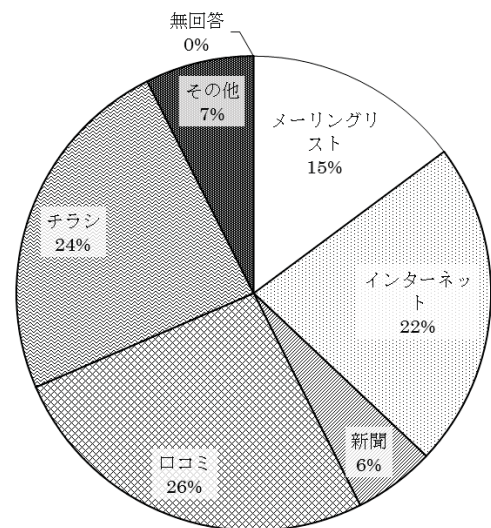


図6-4-4. シンポジウムを知った媒体.



図6-4-5. シンポジウムの内容について.

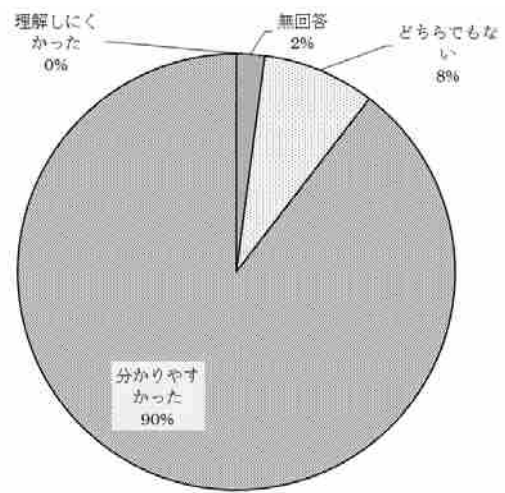


図6-4-6. シンポジウムの難易度について.

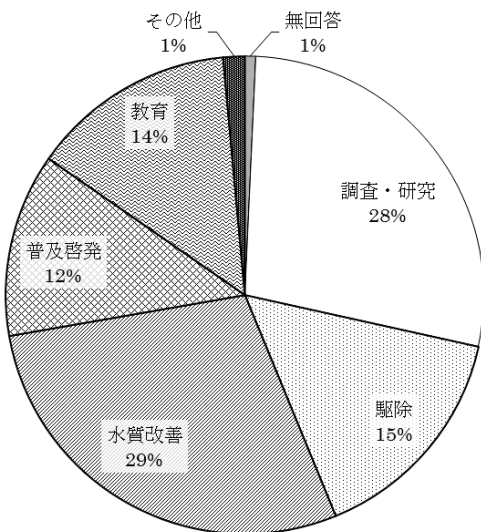


図6-4-7. オニヒトデ対策として重要だと思ふ対策.

質問5「沖縄県が実施するオニヒトデ対策として最も重要だと思う対策は何ですか？」に対する主な回答は以下のとおりであった。

対策分野	主な回答(記述)
調査・研究	<p>オニヒトデの生態についてもっと明らかにしていく            対策についての調査研究とその結果を行政的な施策につなげていくこと。            研究費            お金を使うことをためらわないこと（研究者への資金提供）            稚ヒトデの早期発見の為の調査・研究⇒稚ヒトデ駆除            調査・研究⇒普及啓発・教育            効率よく駆除するためにさらなる調査・研究            発生源の調査と稚ヒトデの研究</p>
駆除	<p>ゾーニング方式駆除            大発生時における重要海域の指定と集中的駆除            発生源を突き止め、駆除            重点的に駆除する地点を決定すること</p>
水質改善	<p>赤土流出問題、特に農地開拓を計画的に実施する（土地改良）。生活排出や化学物質            に対しての新たな知見を見直す            陸域からの有機物流出対策と関係者の方々からの理解と協力            下水道整備            海域への栄養塩流出防止            陸での対策とインフラ整備（排水・農地）            陸域からの栄養塩流出対策            河川に流入する化学肥料、生活排水、工業排水、畜産排水対策            水質の管理            山、川など陸域の環境保全。畜産排水、化学肥料の抑制。田舎の役場職員に今まで分            かった事（今日のようなシンポ）を啓発・指導。            オニヒトデ対策では単に駆除すれば良いと思っていたが、陸からの栄養類の流出や自            分達の生活に以外と関係しているのだと教える            実施してるか分かりませんが、陸上からの栄養塩の流入をもっともっとしっかり防い            だら良いのではないのでしょうか？本島で！</p>
普及啓発	<p>海のゴミを少なくする活動に気軽に参加できるような態勢をつくって欲しい。</p>
教育	<p>教育が水質改善に、そして研究者育成にも市井の自然に親しむ人々もつくるから</p>
その他	<p>統合対策の立案と実施（個別の対策に年中することではない）            全部            大陸型とは異なる島嶼型の対策も必要かもしれない            陸上での生活で私たちが海に及ぼす影響を知った            幼生を増やさないようにすること            トラップによる数の見積もり</p>



	<p>オニヒトデの発生量を調節する。温暖化の抑制。          トラップ          地域の漁業者やダイビング業者等の協力を維持しながら、継続的な事業（調査・駆除等）の実施</p>
--	--

質問6 「今回のシンポジウムや、今後のサンゴ礁保全に関する取組への要望など、皆さまのご意見をお聞かせ下さい。」に対する主な回答は以下のとおりであった。

- ・講演内容がストーリー仕立てのようになっていたので、話しが繋がってわかりやすかったです。
- ・後半では、岡地さんが話されている時間が長かったように感じたのですが、もう少し質疑応答の時間を延ばして欲しかったです。もう少し話しをまとめてから話して欲しいです。
- ・シンポは定期的に調査研究成果を公開・公表すること。保全事業はやらないよりマシと思うが、単に環境、水産、事業者の直接的ステークホルダーだけでなく、例えば陸域負荷に関わるジャンルの方々と一体となってやるのが重要でしょう。でも長年脈々と生きてきたサンゴやサンゴ礁生態系の保全なんておこがましいと思うレベルですね。
- ・とても良かったです。海外のデータや文献情報も紹介して下さいってわかりやすかった。
- ・網羅的でとても良かった。良い成果が出ていると思う。
- ・今後も、このようなシンポジウムを定期的に開催することで、地域住民への周知にもなり、意識改革を将来を見越して行う必要がある
- ・サンゴ自体の保全に力を入れること
- ・オニヒトデの大量発生の原因の一つが植物プランクトンの増加という事が良くわかりました。対策には予算が必要なことから、一案として海を利用する観光客から協力金を徴する（登山協力金を徴するような）。オニヒトデの天敵（ホラ貝）や幼生を捕食する生物を増やす。オニヒトデを取った量の買い取りを行う（ハブの買い取りの様な）。オニヒトデを書こうして土産とする（獲る量を増す）。毒を薬品としてかこうできないか。
- ・パネルディスカッションのみ参加するパネリストのプロフィールも資料に掲載して欲しい
- ・オーストラリア等オニヒトデ対策に取り組んでいる諸国と、より深く手を結ぶ必要があると思います。海は広い、深い。稚ヒトデトラップ、誘引物質の研究をより進めて欲しい。サンゴを食べる大きさに成長する前の駆除が一番効果的だと思います
- ・サンゴ礁保全の為に海からだけでなく陸からの保全、環境全体の保全に取り組んでいただけたらと思う
- ・状況証拠的に大分分かってきた。出来る事からアクションを起こすことが大切。梶原さん、金城孝一さんの講演が特に良かった。
- ・チラシを見て知った方も多いと思うので、もっと多くの場所にチラシを置いてもらいたい。オニヒトデ-ビルさんの存在をもっと全面的に。
- ・今度は、地球温暖化とサンゴの関係、対策法などを知りたい。
- ・どーにかしてオニヒトデを食べれるようにすれば良いと思います。
- ・県民の教育

- ・私は、今回のシンポジウムを通して、サンゴ礁を守るために外敵となるオニヒトデの事を知り、それをどうやって効率よく駆除するかを考え、それを実現していくために早急に準備をしていきたいです。また、オニヒトデの幼生生き残り仮説などの様々な生態を知る事が出来ました。
- ・サンゴ礁保全に対して一般の人達をもっと参加しやすいイベント（駆除・啓発イベント）が行われればいいと思う。
- ・内容は良いのですが、レベルの設定があいまいだと思いました。一般素人には分かりにくい事あり。
- ・科学に焦点を当てたシンポジウムでしたが（内容はどれもしっかりと調べられており、かつ、わかりやすかった）、その後の事、科学と生活が乖離しすぎているのが気になります。「生活排水を含む陸からの水の改善」と言う方が、どのように工夫して研究、そして生活を行っているのか？を是非ききたいです。

