

7-2-4. 沖縄本島西海岸の水質

平成 25 年から 29 年まで、オニヒトデが繁殖する初夏～夏期を中心に沖縄本島西海岸での採水・分析により取得されたクロロフィル a 濃度の総平均値は 0.20 $\mu\text{g/L}$ であった (表 3-7-2)。この結果だけをみると、Fabricius et al. (2010) が提唱したオニヒトデ幼生の生存下限としたクロロフィル a 濃度の 0.25 $\mu\text{g/L}$ を下回っている。しかし、このことはただちに、沖縄本島西海岸の海水にはオニヒトデ幼生の生存に必要な餌 (植物プランクトン) が恒常的に不足していることを意味するものではない。5 年間の採水地点別の水質データをみると、平均クロロフィル a 濃度は南部でしばしば 0.25 $\mu\text{g/L}$ を超えて、特にクロロフィル a 濃度が高い北谷や伊佐、比謝川では幼生の多くが餌量の制限をうけず生き残るレベル (0.80 $\mu\text{g/L}$ 前後) に達していた (図 3-7-11)。

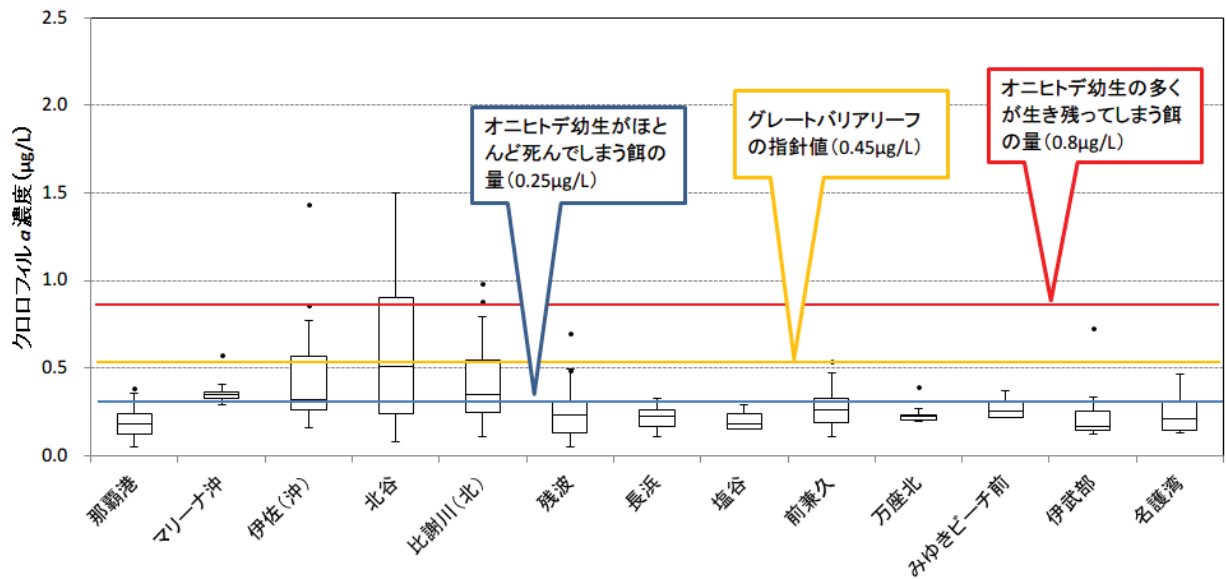


図3-7-11. 各調査地点におけるクロロフィル a 濃度の分布。「□(箱)」は 25 %値から 75 %値,「—(箱の中の線)」は中央値,「I (上下の線)」の上端は最大値, 下端は最小値,「・(黒点)」は外れ値をそれぞれ示す(平成 29 年度オニヒトデ総合対策事業普及啓発冊子「オニヒトデ大量発生 of の仕組みとその予測・沖縄の海の水質(金城孝一)」より転載)。

場所の違いに加え、クロロフィル a 濃度は年により、また、季節や天候によっても変動することもわかった。クロロフィル a 濃度(総平均)の年変動をみると、平成 25 年～29 年の順に、0.30 $\mu\text{g/L}$ 、0.15 $\mu\text{g/L}$ 、0.27 $\mu\text{g/L}$ 、0.19 $\mu\text{g/L}$ 、0.19 $\mu\text{g/L}$ と、最大で 2 倍の差があった。さらに、オニヒトデの繁殖期中の変動をみると、降雨後にクロロフィル a 濃度は全般的に上昇し、平成 26 年度の例では平常時の平均 0.19 $\mu\text{g/L}$ に対し降雨後は平均 0.31 $\mu\text{g/L}$ で、特に残波岬以南では顕著な増加がみられた (図 3-7-12)。さらに、クロロフィル a 濃度値の頻度は、0.25～0.80 $\mu\text{g/L}$ の範囲に含まれた測定値が平常時は全体の約 40%であったが、降雨後は約 70%に増加した。このような降雨による一時的なクロロフィル a 濃度の上昇は、陸域からの栄養塩流出によるものと予想されたため、河口域に近い、那覇港、牧港、伊佐、前兼久、屋嘉田の 5 地点で岸側と沖側の栄養塩濃度および

クロロフィル a 濃度を測定したところ、どちらも沖側より岸側のほうが高くなっていた。平成 29 年度に本島西海岸の主要河川で採水を行ったところ、市街地を流れる河川で各水質項目は比較的高い値を示した一方、山林部を流れる河川で各水質項目は比較的低い値を示した。これらの調査結果から、降雨後の市街地からの排水が海域の水質に影響をあたえやすいことが示唆される。

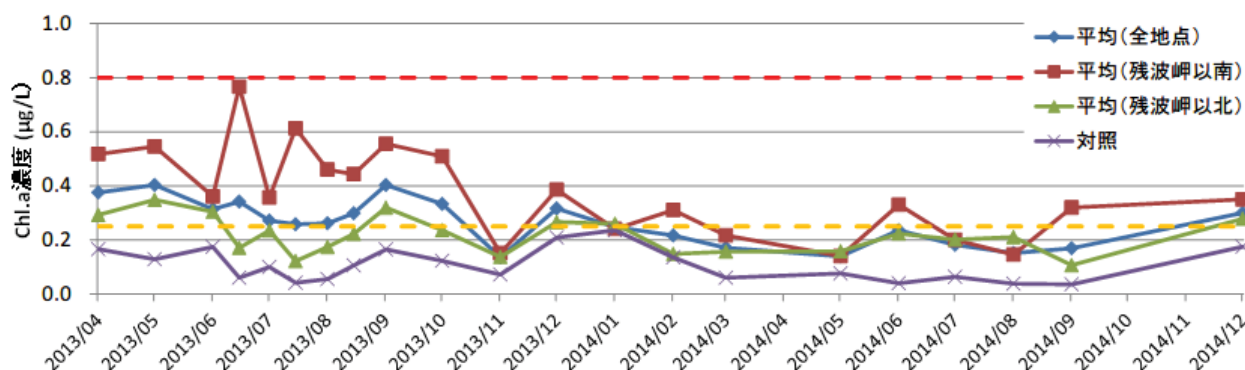


図3-7-12. 平成 25 年～26 年のクロロフィル a 量の変動. 採水地点の全地点平均値(青線)、残波岬以南の平均値(赤茶色線)、残波岬以北の平均値(緑線)および沖合対照地点の平均値(紫線)(平成 29 年度オニヒトデ総合対策事業シンポジウム講演資料・沖縄の海の水質(金城孝一)より転載).

降雨による栄養塩流出の影響がどの程度継続するかについては、前項の幼生餌料研究で測定した本部町山川港の水質データが参考となるであろう。この研究では、自然海水でオニヒトデ幼生を飼育して、どのサイズの粒子をおもに捕食するかを調べるのが目的であったため、山川港で採取した海水中に含まれる、バクテリア、ナノ鞭毛虫、クロロフィル a 濃度を餌の指標として、2015 年 7 月 8 日から 20 日まで、台風の影響が強かった 7 月 10 日をのぞいて毎日測定した。台風接近にともなう降雨量は、7 月 9 日に 12.5mm、10 日に 270mm、11 日～13 日が 4.5mm、14.0mm、10.5mm と記録されており(気象庁ウェブサイトより)、港川から山川港周辺に大量に流れ込んだ陸水や、波浪による底泥巻き上げなど影響で、海水中のアンモニア態窒素(NH₄)、リン酸態リン(P₀₄)、硝酸・亜硝酸態窒素(N₀₃+N₀₂)、ケイ素のいずれも 11 日から 12 日にかけて増加のピークがあり、台風前のレベルに戻ったのは 17 日であった(図 3-7-13)。

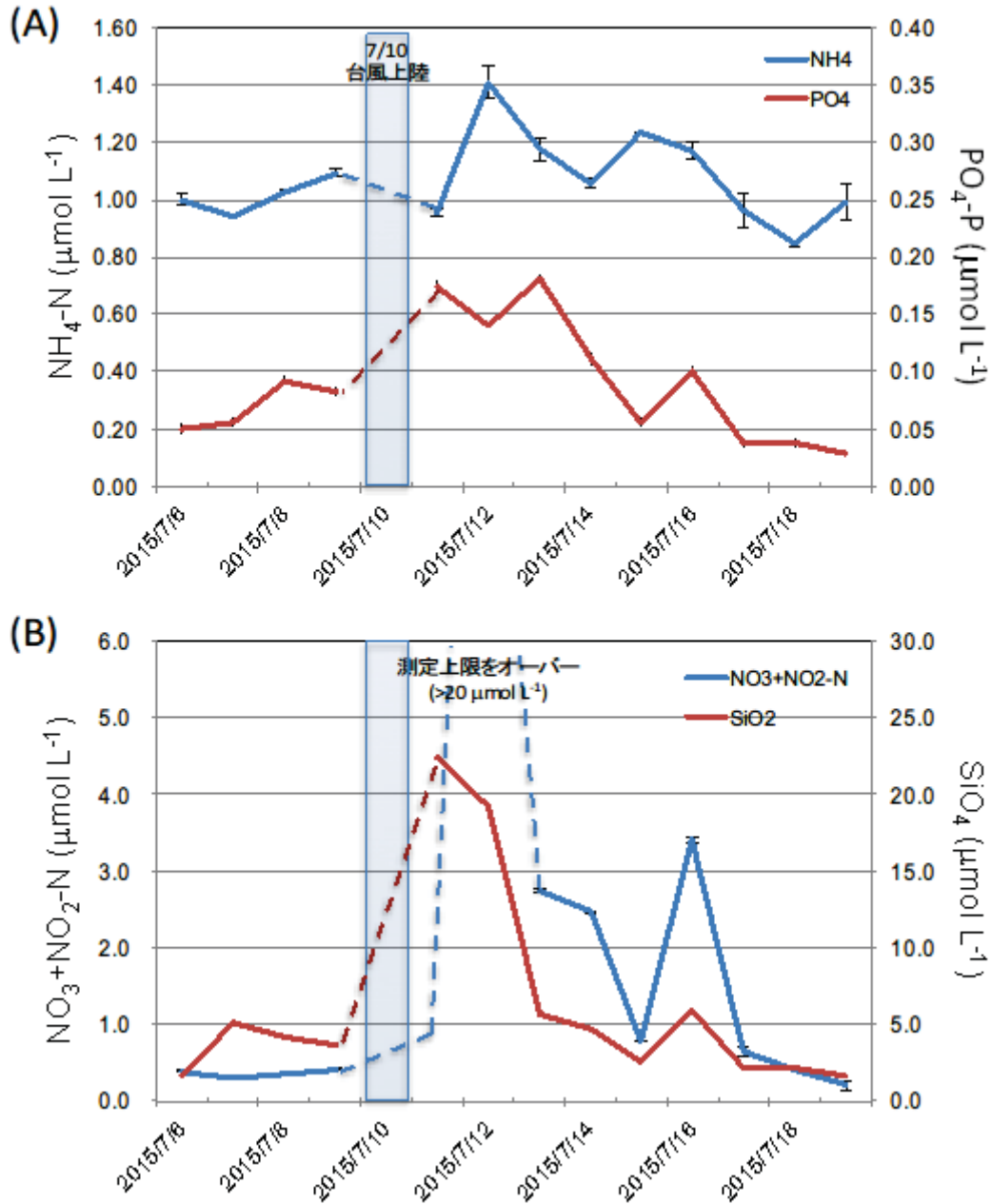


図3-7-13. 平成27年7月6日～19日にかけて山川港で採取した海水中の (A)アンモニア態窒素とリン酸塩, (B) 硝酸・亜硝酸態窒素とケイ酸塩. 青枠は台風上陸時を示す. 平成29年度報告書(第3章-2.)より転載.

一般的に、栄養塩流入に対する生物の反応はサイズが大きいほどタイムラグも大きく (cf. Nakajima et al. 2017)、バクテリアとナノ鞭毛虫は12日に増加のピークがあったが、植物プランクトンの増殖を示すクロロフィル a 濃度は14日から15日にかけてピークがみられた。降雨前と比較した増加量は、バクテリアが約2.5倍、ナノ鞭毛虫が約1.2倍、クロロフィル a 濃度は <20μm が約2.5倍、<2μm は約2.6倍であった (図3-7-14)。台風前の7月7日にはバクテリアのピークが、8日にはナノ鞭毛虫とクロロフィル a 濃度のピークがそれぞれみられるが、これらも7

月6日の局地的大雨(17mm)の後である。7月19日にはさらに強い大雨が観測され(29.5mm)、その翌日には $<20\mu\text{m}$ のクロロフィルa濃度が2倍近く上昇した。観測期間全体を通じると、海水中には幼生の生存を支える最低限の餌料が維持されつつ、降雨による一時的な植物プランクトンの増加は幼生の成長が見込まれる範囲であったと言える。実際に、この採水地点の海水で飼育した幼生が初期ブラキオラリアまで成長したことは前項で述べたとおりである。降雨による栄養塩流出量や、それに続くバクテリアやクロロフィルa濃度、ナノ鞭毛虫の増加量や変動パターンは降雨量や時期によって異なるであろうが、河口に近い海域においては、降雨後の数日間はおニヒトデ幼生が生存し、場合によってはゆるやかに成長できる程度の餌が海水中に存在する可能性が高いと考えられる。

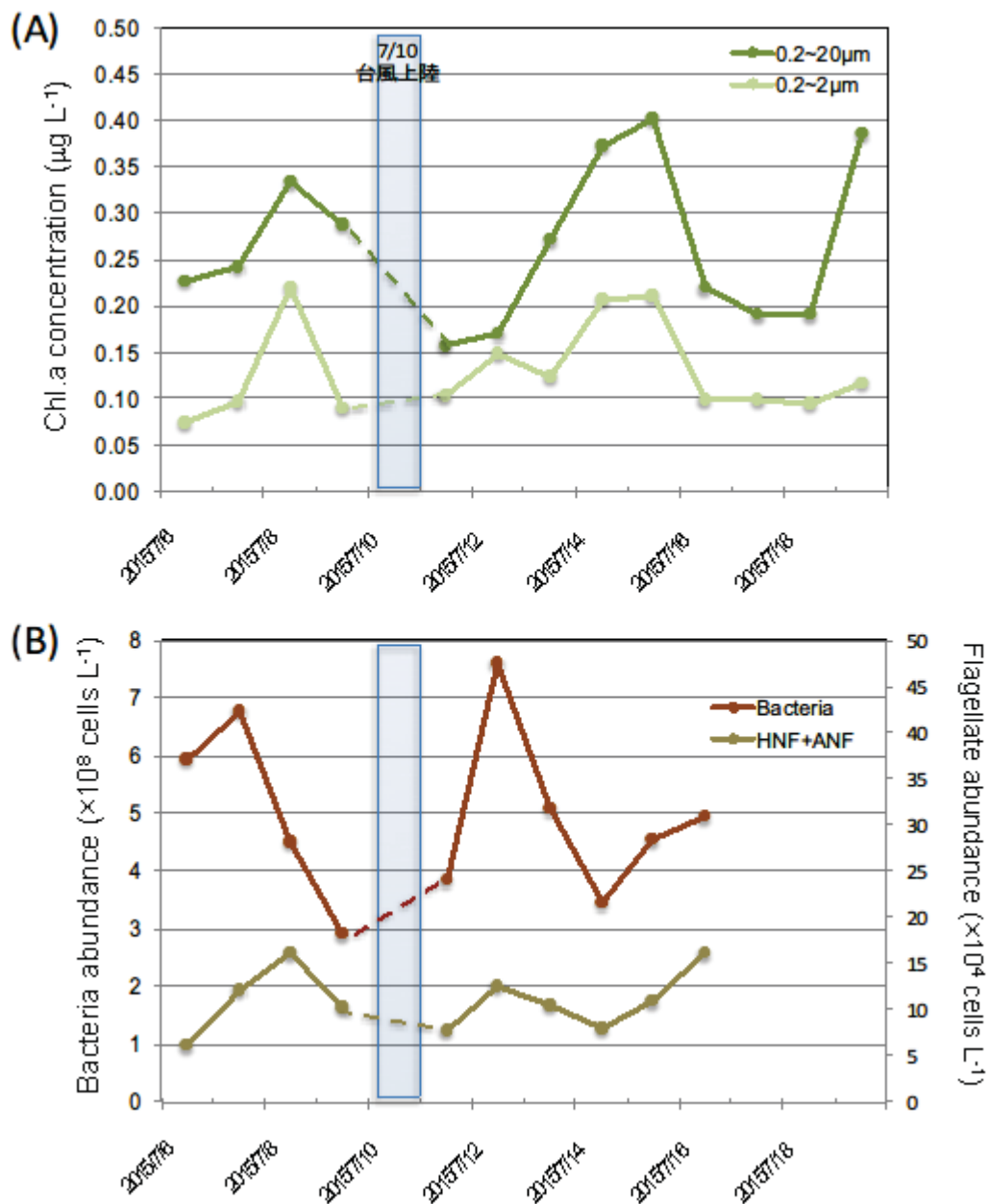


図3-7-14. 平成27年7月6日~19日にかけて山川港で採取した海水中の (A)各サイズ画分クロロフィルa濃度, (B) バクテリアとナノ鞭毛虫の細胞密度. 青枠は台風上陸時を示す. 平成29年度報告書(第3章-2.)より転載.

幼生餌料研究の結果から、オニヒトデ幼生が植物プランクトン以外の POM も餌として利用していることが示唆されたため、平成 28 年度と 29 年度は死滅した植物プランクトン量の指標となるフェオフィチン a 濃度も分析項目に加えた。サンゴ礁における通常の水分析では、フェオフィチン a 濃度はクロロフィル a 濃度の数%~十数%だが (cf. Brodie et al. 2007)、本事業で採水したすべての地点でフェオフィチン a 濃度はクロロフィル a 濃度と同等~約 2 倍程度であった。これは、降雨で陸域から流入した栄養塩類を吸収して増殖、死滅した植物プランクトンが蓄積していたか、または採水から分析の途上でクロロフィル a からフェオフィチン a への分解が進行したという 2 つの理由が考えられるが、どちらであるにせよ、本島西海岸から沖合まで広い範囲にかけての海水中には、クロロフィル a 濃度から推定されるより多くの植物プランクトンが一時的にでもオニヒトデ幼生の生存と成長を支える密度に達していた可能性がある。

フェオフィチン a 濃度を構成する植物プランクトン遺骸を幼生が利用できるかどうか調べる試みとして、平成 29 年度の幼生餌料研究で、培養植物プランクトンを加熱処理 (80°C・1 分) で死滅させた粒子を与えて飼育した幼生と、同じ量の生きた植物プランクトンを与えて飼育した幼生との間で同位体比および成長を比較した。その結果、加熱処理した植物プランクトンは、餌として幼生に同化されたことは確認できたが、成長にはほとんど寄与しないことがわかった (表 3-7-8)。自然状態で死滅した植物プランクトンと、加熱処理した植物プランクトンとは、タンパク質や脂質の熱変成により栄養価が異なるかもしれないが、この実験結果からはフェオフィチン a が有効な餌の指標だとは判断できない。一方、生存を支える補助的な餌であることが示唆された細菌やデトリタス、サンゴ粘液または粘液と POM の複合体といった植物プランクトン以外の POM や、海水中から直接吸収利用することがわかっている遊離アミノ酸など (Hoegh-Guldberg 1993; Okaji et al. 1997)、幼生が利用できる有機物を包括的に評価できる水質項目としては TOC (全有機炭素量) があげられる。しかし、サンゴ粘液とそれを栄養源とする細菌やナノ鞭毛虫の密度と、植物プランクトン由来のデトリタスは時間的・空間的に大きく変動するし (Nakajima et al. 2010; Nakajima et al. 2017)、他の生物由来デトリタスの動態も詳細に把握できていないため、クロロフィル a 濃度と併用すべきオニヒトデ幼生の餌料を評価する水質項目は、有機物のうちのどの画分が餌として重要かを今後の研究で特定する必要があるだろう。

7-2-5. 沖縄県におけるオニヒトデ大量発生メカニズム

これまでの議論をまとめると、本事業の調査研究により得られた幼生生き残り仮説に関する重要な示唆は次のとおりである：

- オニヒトデの幼生は、沖縄県内の3つの島嶼グループ（八重山諸島・宮古諸島・沖縄島）の間で双方向に分散するが、全般的には南から北への流動が卓越しているため沖縄島がシンク（幼生の加入先）になりやすい。
- 幼生分散シミュレーションの結果、長距離分散の可能性も示されたが、大半は産まれた海域やその近隣海域に戻って着底する確率が高いことがわかった（約60%が100km以内、約30%が100 - 250km）。オニヒトデの個体群維持は、島嶼グループが基本スケールとなる、どちらかといえばローカルな現象である可能性が高い。
- 幼生分散シミュレーションにおいて、2002年以降に各島嶼グループ内でコネクティビティが高まっている理由として、同年からのクロロフィル a 濃度の増大が考えられる。
- オニヒトデ幼生は、植物プランクトンのほかにも、バクテリア、デトリタス、サンゴ粘液を、これまで物理的に捕食できないと考えられていた2 μm以下の画分も含め、補助的な餌として利用できる。
- 沖縄本島西海岸において、植物プランクトン密度を示すクロロフィル a 濃度は、平常時はオニヒトデ幼生の生存下限（0.25 μg/L）をやや下回っていることが多いが、降雨により河川水が流出すると、生存および成長が見込まれる範囲（0.25 μg/L以上）に上昇しやすい。
- 降雨により河川水が流出すると、まずバクテリアなど微生物が増加し、やや遅れてクロロフィル a 濃度が上昇するため、河口に近い海域では降雨後数日間にわたってオニヒトデ幼生が生存し、場合によってはゆるやかに成長できる餌環境になる可能性が高い。

本項では、幼生生き残り仮説に関する既報の知見と本事業で得られた示唆に基づき、沖縄県におけるオニヒトデ大量発生がどのように起きたかを振り返ったうえで、それらの大量発生がどのように起きたかを仮説的に推論してみたい。

（1）一次発生と二次発生

オニヒトデの大量発生は一次発生と二次発生に2種類に分けられる（Birkeland and Lucas 1990）。一次発生とは、広い範囲でオニヒトデがほとんどみられない低密度の状態が少なくとも5~6年以上継続していた海域に、突如として数十万~数百万個体の成体集団が出現する大量発生を、二次発生とは、一次発生集団の繁殖により産生される莫大な数の幼生が加入することにより近隣海域に新たな集団が形成される大量発生と定義付けられていた（Potts 1981）。しかし、1980年代後半には、幼生の分散距離には限界があることや、潜在的な大量発生集団の発見が困難だとわかり、一次発生と二次発生を単純に分けることが容易ではないと理解されるようになった（Moran 1988）。その後、フィジーやグレートバリアリーフで継続的に行われた野外調査によって、一次発生は「突如として」起きるのではなく、数年間にわたって徐々に個体数が増加した後で起きることがわかり（eg. Zann et al. 1990; Stump 1996; Pratchett 2005）、現在では、複数年にわたる加入の増大で個体密度が蓄積的に高まり、そのうちの1つ以上の年級群の繁殖が成功して起きる可能性が高いと考えられている（Uthicke et al. 2009; Pratchett et al. 2014, 2017）。

(2) 1960年代以前のオニヒトデ大量発生

小卵多産型でプランクトン幼生期をもつ棘皮動物のいくつかの種は、定常状態はきわめて低い密度でも、時折、その数十倍～数十万倍という高密度へ大きく変動することが特徴的で、オニヒトデはその代表として位置付けられる (Uthicke et al. 2009)。オニヒトデの大量発生が世界的な問題となる以前の野外調査によれば、太平洋の広い範囲でオニヒトデの密度はきわめて低く、サンゴ礁を数キロメートル踏査したときに個体がまったくみられないか、みられても数個体以下であった (Weber and Woodhead 1970)。グレートバリアリーフでは、大量発生が拡大する以前の密度は1ヘクタールあたり0.06個体以下と報告されている (Endean 1974 cited in Birkeland and Lucas 1990)。沖縄本島や奄美諸島における通常状態のオニヒトデ密度に関する記録はないが、一般的ではないにせよオニヒトデをさす方言は存在するので (Yasuda 2018)、他のサンゴ礁域と同様に低密度で生息していたものと推察される。雌のオニヒトデは1個体あたり数千万個もの卵を繁殖期にもつが (Babcock et al. 2016)、それほど多産であっても成体密度が低く保たれていたのは、受精から加入に至るまで、すなわち、浮遊幼生期における生存率が低いことがおもな理由だと考えられている (Birkeland and Lucas 1990)。

わが国におけるオニヒトデ分布の記録をまとめた Yasuda (2018)によれば、沖縄県内で確認された範囲においては、1942年に瀬底島で起きた大量発生が最も古い記録である (表3-7-18 (1))。当時の資料をもとに推定された相対密度 (15分の遊泳観察でみられる個体数) は50個体以上で、1970年代に同海域で起きた大量発生と似た規模だったと報告された。しかし、1942年の大量発生後には特にオニヒトデに関する記録は残されていない。以後、1949年、1952年～1953年に鳩間島 (八重山)、1951年～1954年に伊平屋・伊是名島、1958年に川平湾 (八重山)、1957年～1958年にかけて宮古島でそれぞれ大量発生が起きた記録がある (図3-7-18 (1))。これらの記録を見ると、1960年代以前の大量発生は散発的で比較的短期間で収束したようである (横地 2004)。

(3) 1960年代以降のオニヒトデ大量発生

1959年から1968年にかけて、八重山から本州に至る広範囲の海域でオニヒトデの大量発生記録は残されていない (表3-7-18 (1))。そのため、1969年に恩納村で始まった大量発生が、様々な文献や資料で沖縄県における一次発生とみなされた (Nishihira and Yamazato 1974; 沖縄県観光開発公社 1976; Birkeland 1982)。このときは恩納村役場が予算を拠出し、瀬良垣周辺のサンゴ礁を中心に約2万個体が駆除されたが (沖縄県観光開発公社 1976)、1970年、1971年と集団の分布は徐々に恩納村北部へと拡大し、1972年には恩納村から本部半島、国頭村にかけて西海岸の広い範囲に大量発生が拡大した (Nishihira and Yamazato 1974)。1972年以降も行政が多額の予算を投じた駆除活動が沖縄本島西海岸を中心に行われたが、1975年から1977年にかけて大量発生は沖縄本島東海岸と南部にも拡大し、東海岸の一部では1981年頃まで高密度集団が存在した (Yamaguchi 1986; 表3-7-18 (2))。沖縄本島西海岸の大量発生は、食害によるサンゴ被度の低下とともに1970年代末に収束したが、定常状態より高い密度の個体群が消滅することはなく、1980年代前半には、サンゴ群集の回復した後を追うように小規模集団が発生する、いわゆる慢性状態となった (Sakai et al. 1988)。

表3-7-18(1). 琉球列島および九州・四国・本州の各地でオニヒトデの大量発生が起きた年と大量発生の規模(15分観察の個体数を5段階評価):0-個体なし□, 1-低密度■(0-1個体), 2-要注意■(2-4個体), 3-準大量発生■(5-9個体), 4-大量発生■(10-49個体), 5-大規模大量発生■(50個体以上). 着色されていぬマス目は, 聞き取りや資料で確認できなかったことをあらわす. 原図は Yasuda(2018)より, 著者と出版社の許諾を得て転載. 表中の”Okinawa W(沖縄本島西海岸)”と”Okinawa E(沖縄本島東海岸)”は順序が入れ違いである(著者確認済).

Table 9.3 (continued)

Region	Latitude	Longitude	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956
Honshu Choshi	35.70433	140.87738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Honshu Tateyama	34.98333	139.81667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyusuh NW Tsushima	34.26697	129.32529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NE Nobeoka	32.58912	131.72087	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oagasawara Chichijima	27.04727	142.18268	0	0	0	0											
Izu Nijima	34.37053	139.22938	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izu Miyake	34.04719	139.49619	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izu Hachijyo Jima	33.14901	139.74068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Honshu Kushimoto	33.47767	135.72431	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Shikoku E Muroto	33.27030	134.15907	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Shikoku W Ashizuri-uwakai	32.76247	132.86831	0	0	0	0	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kyushu W Goto (Fukue)	32.74684	128.86777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu W Amakusa	32.19311	129.99381	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu W Koshikijima	31.84601	129.90373	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu W Ujishima	31.20592	129.47001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu E Miyazaki south	31.46933	131.39251	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu S South Kagoshima	30.99628	130.67078	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ohsumi Tanegashima	30.39915	130.98550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ohsumi Yakushima	30.46281	130.49343	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tokara Kodakara	29.16006	129.20978	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami Kikaijima	28.33752	129.96209	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami Amami	28.47767	129.60981	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1
Amami Tokunoshima	27.86615	128.96590															
Amami Okinoerabu	27.41105	128.63056															
Amami Yoron	27.05149	128.45914	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	1	1
Okinawa Izena/Iheyajima	26.96472	127.92218									2	3	3	3	3	2	
Okinawa Higashi daiojima	25.87377	131.24963															
Okinawa Okinawa W	26.05195	127.76872															
Okinawa Okinawa E	26.61478	128.18058	5														1
Okinawa Kerama	26.20314	127.26717															
Okinawa Kume	26.33156	126.82681															
Miyako Miyako	24.90050	125.25964															
Yaeyama Yaeyama (Hatoma, Ishigaki, Sekisei)	24.31366	124.02195								4				4			
Yaeyama Hateruma	24.07135	123.77215															
Region	Latitude	Longitude	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Honshu Choshi	35.70433	140.87738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Honshu Tateyama	34.98333	139.81667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyusuh NW Tsushima	34.26697	129.32529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NE Nobeoka	32.58912	131.72087	0	0	0												
Oagasawara Chichijima	27.04727	142.18268												1	1	1	1
Izu Nijima	34.37053	139.22938	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izu Miyake	34.04719	139.49619	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Izu Hachijyo Jima	33.14901	139.74068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Honshu Kushimoto	33.47767	135.72431	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Shikoku E Muroto	33.27030	134.15907	0	0													
Shikoku W Ashizuri-uwakai	32.76247	132.86831	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kyushu W Goto (Fukue)	32.74684	128.86777															
Kyushu W Amakusa	32.19311	129.99381															
Kyushu W Koshikijima	31.84601	129.90373															
Kyushu W Ujishima	31.20592	129.47001															
Kyushu E Miyazaki south	31.46933	131.39251															
Kyushu S South Kagoshima	30.99628	130.67078						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohsumi Tanegashima	30.39915	130.98550						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohsumi Yakushima	30.46281	130.49343						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tokara Kodakara	29.16006	129.20978	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami Kikaijima	28.33752	129.96209	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami Amami	28.47767	129.60981	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami Tokunoshima	27.86615	128.96590															
Amami Okinoerabu	27.41105	128.63056															
Amami Yoron	27.05149	128.45914	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Okinawa Izena/Iheyajima	26.96472	127.92218															
Okinawa Higashi daiojima	25.87377	131.24963				1											
Okinawa Okinawa W	26.05195	127.76872															
Okinawa Okinawa E	26.61478	128.18058	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	4	5	
Okinawa Kerama	26.20314	127.26717	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Okinawa Kume	26.33156	126.82681	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	
Miyako Miyako	24.90050	125.25964	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Yaeyama Yaeyama (Hatoma, Ishigaki, Sekisei)	24.31366	124.02195	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	
Yaeyama Hateruma	24.07135	123.77215															

表3-7-18(2). 琉球列島および九州・四国・本州の各地でオニヒトデの大量発生が起きた年と大量発生の規模(15分観察の個体数を5段階評価):0-個体なし□, 1-低密度■(0-1個体), 2-要注意■(2-4個体), 3-準大量発生■(5-9個体), 4-大量発生■(10-49個体), 5-大規模大量発生■(50個体以上). 着色されていないマス目は, 聞き取りや資料で確認できなかったことをあらわす. 原図は Yasuda(2018)より, 著者と出版社の許諾を得て転載. 表中の”Okinawa W(沖縄本島西海岸)”と”Okinawa E(沖縄本島東海岸)”は順序が入れ違いである(著者確認済).

Table 9.3 (continued)

	Region	Latitude	Longitude	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Honshu	Choshi	35.70433	140.87738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Honshu	Tateyama	34.98333	139.81667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NW	Tsushima	34.26697	129.32529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NE	Nobeoka	32.58912	131.72087		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oogasawara	Chichijima	27.04727	142.18268	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Nijima	34.37053	139.22938	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Miyake	34.04719	139.49619	0	0	0	0	0	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1
Izu	Hachijyo Jima	33.14901	139.74068	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Honshu	Kushimoto	33.47767	135.72431	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Shikoku E	Muroto	33.27030	134.15907									1	1	1	1	1	1	1
Shikoku W	Ashizuri-uwakai	32.76247	132.86831	1	4	3	3	3	4	4	4	3	3	2	1	1	1	1
Kyushu W	Goto (Fukue)	32.74684	128.86777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu W	Amakusa	32.19311	129.99381	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu W	Koshikijima	31.84601	129.90373															
Kyushu W	Ujishima	31.20592	129.47001															
Kyushu E	Miyazaki south	31.46933	131.39251		2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1
Kyushu S	South Kagoshima	30.99628	130.67078	1	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1
Ohsumi	Tanegashima	30.39915	130.98550	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohsumi	Yakushima	30.46281	130.49343	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tokara	Kodakara	29.16006	129.20978	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Kikaijima	28.33752	129.96209	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Amami	28.47767	129.60981	1	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4
Amami	Tokunoshima	27.86615	128.96590		1	1	1	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3
Amami	Okinoerabu	27.41105	128.63056											4	4	4		
Amami	Yoron	27.05149	128.45914		5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	2
Okinawa	Izena/Iheyajima	26.96472	127.92218		4	4	5	5	5	5	5							
Okinawa	Higashi daiojima	25.87377	131.24963									1	1	1	1	1	1	1
Okinawa	Okinawa W	26.05195	127.76872	1	1	1	4	4	5	5	5	4	4	4	4			
Okinawa	Okinawa E	26.61478	128.18058	5	5	5	5	5	5					3	4	3	3	
Okinawa	Kerama	26.20314	127.26717	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Okinawa	Kume	26.33156	126.82681	5	5	3	3											
Miyako	Miyako	24.90050	125.25964	1	4							5	5	5	5	4		
Yaeyama	Yaeyama (Hatoma, Ishigaki, Sekisei)	24.31366	124.02195	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	3
Yaeyama	Hateruma	24.07135	123.77215													5	4	3
	Region	Latitude	Longitude	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Honshu	Choshi	35.70433	140.87738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Honshu	Tateyama	34.98333	139.81667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NW	Tsushima	34.26697	129.32529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NE	Nobeoka	32.58912	131.72087	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Oogasawara	Chichijima	27.04727	142.18268	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Nijima	34.37053	139.22938	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Miyake	34.04719	139.49619	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Hachijyo Jima	33.14901	139.74068	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Honshu	Kushimoto	33.47767	135.72431	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Shikoku E	Muroto	33.27030	134.15907	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Shikoku W	Ashizuri-uwakai	32.76247	132.86831	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Kyushu W	Goto (Fukue)	32.74684	128.86777	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu W	Amakusa	32.19311	129.99381	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Kyushu W	Koshikijima	31.84601	129.90373				2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kyushu W	Ujishima	31.20592	129.47001	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kyushu E	Miyazaki south	31.46933	131.39251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kyushu S	South Kagoshima	30.99628	130.67078	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohsumi	Tanegashima	30.39915	130.98550	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohsumi	Yakushima	30.46281	130.49343	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tokara	Kodakara	29.16006	129.20978	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Kikaijima	28.33752	129.96209	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Amami	28.47767	129.60981	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	5
Amami	Tokunoshima	27.86615	128.96590	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
Amami	Okinoerabu	27.41105	128.63056															
Amami	Yoron	27.05149	128.45914	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
Okinawa	Izena/Iheyajima	26.96472	127.92218				3	3										
Okinawa	Higashi daiojima	25.87377	131.24963	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Okinawa	Okinawa W	26.05195	127.76872					4						5				
Okinawa	Okinawa E	26.61478	128.18058	2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	5	5	3	3	3
Okinawa	Kerama	26.20314	127.26717	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
Okinawa	Kume	26.33156	126.82681				4		1									
Miyako	Miyako	24.90050	125.25964															
Yaeyama	Yaeyama (Hatoma, Ishigaki, Sekisei)	24.31366	124.02195	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Yaeyama	Hateruma	24.07135	123.77215	2	1							1	1	1	1	1	1	1

表3-7-18(3). 琉球列島および九州・四国・本州の各地でオニヒトデの大量発生が起きた年と大量発生の規模(15分観察の個体数を5段階評価):0-個体なし□, 1-低密度■(0-1個体), 2-要注意■(2-4個体), 3-準大量発生■(5-9個体), 4-大量発生■(10-49個体), 5-大規模大量発生■(50個体以上). 着色されていぬマス目は, 聞き取りや資料で確認できなかったことをあらわす. 原図は Yasuda(2018)より, 著者と出版社の許諾を得て転載. 表中の”Okinawa W(沖縄本島西海岸)”と”Okinawa E(沖縄本島東海岸)”は順序が入れ違いである(著者確認済).

Table 9.3 (continued)

	Region	Latitude	Longitude	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Honshu	Choshi	35.70433	140.87738	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Honshu	Tateyama	34.98333	139.81667	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NW	Tsushima	34.26697	129.32529	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kyushu NE	Nobeoka	32.58912	131.72087	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ogasawara	Chichijima	27.04727	142.18268	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Nijijima	34.37053	139.22938	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Miyake	34.04719	139.49619	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Izu	Hachijyo Jima	33.14901	139.74068	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Honshu	Kushimoto	33.47767	135.72431	2	1	4	4	4	3	4	2	1	2	2	2	2	2
Shikoku E	Muroto	33.27030	134.15907	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Shikoku W	Ashizuri-uwakai	32.76247	132.86831	2	2	3	3	3	3	3	3	4	5	4	3	3	3
Kyushu W	Goto (Fukue)	32.74684	128.86777	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Kyushu W	Amakusa	32.19311	129.99381	2	2	1	1	1	1	2	3	3	2	2	1	1	1
Kyushu W	Koshikijima	31.84601	129.90373	1	1	1	1	1	1	1	1	4	3	2	2	2	1
Kyushu W	Ujishima	31.20592	129.47001	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Kyushu E	Miyazaki south	31.46933	131.39251	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2	2
Kyushu S	South Kagoshima	30.99628	130.67078	1	2	2	2	1	4	3	1	2	5	4	3	3	3
Ohsumi	Tanegashima	30.39915	130.98550	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ohsumi	Yakushima	30.46281	130.49343	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tokara	Kodakara	29.16006	129.20978	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Kikaijima	28.33752	129.96209	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Amami	28.47767	129.60981	5	4	2	3	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Tokunoshima	27.86615	128.96590	3	3	3	2	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Okinoerabu	27.41105	128.63056				2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Amami	Yoron	27.05149	128.45914	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2		
Okinawa	Izena/Iheyajima	26.96472	127.92218	3	3			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Okinawa	Higashi daiojima	25.87377	131.24963			3	3	3	3				1				
Okinawa	Okinawa W	26.05195	127.76872	4	4	3	3	1	1	1	1	1	1				
Okinawa	Okinawa E	26.61478	128.18058	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Okinawa	Kerama	26.20314	127.26717	5	4	4	4	3	1	1	1	1	2	2			
Okinawa	Kume	26.33156	126.82681		1	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Miyako	Miyako	24.90050	125.25964			4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	3	
Yaeyama	Yaeyama (Hatoma, Ishigaki, Sekisei)	24.31366	124.02195	1	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	4	4	3
Yaeyama	Hateruma	24.07135	123.77215	1	1	1			3	3	4						

1969年、恩納村の大量発生と同時期に、八重山諸島の鳩間島でもオニヒトデの大量発生が始まっていた(表3-7-18(1))。鳩間島では、1969年から個体数が増加し、1972年10月には約1万個体が駆除された(環境庁1974)。同島のサンゴ分布域が約200ヘクタールであることから(約54個体/ha; スポットチェック法では10個体/2500m²で大量発生)、集団の密度は恩納村と同等以上だったと思われる(福田1976; 環境庁自然保護局1994)。鳩間島での大量発生は1973年にピークをむかえ、同年9月には約3万8千個体が駆除された。1976年には鳩間島の大量発生が収束に向かった一方で、竹富島と黒島の周辺で大量発生が始まり、ピークの1981年には約52万個体が駆除された(表3-7-18(2))。その後オニヒトデ集団は石西礁湖北側の小浜島周辺へと移り、1980年代末にほぼ消滅した(亀崎ら1987)。

沖縄本島沿岸で続いたオニヒトデ発生の慢性状態は、1990年代初めには収束したと認識されていた(表3-7-18(2); Yasuda 2018; 横地2004)。しかし、1990年~1991年にかけて読谷村や本部半島周辺でサンゴ群集が残っていた海域では、マンタ法調査でオニヒトデが普通にみられる状況が続いていた(環境庁自然保護局1994)。恩納村漁業協同組合のオニヒトデ駆除記録を見ても、1990年から1993年までの駆除個体数は約1万5千~1万7千個体で推移し、慢性化が解消されたとは言えない状態であった。1994年には恩納村中部で個体数が増加し始め、駆除個体数は約3万1千個体と前年までのほぼ2倍、1995年は約2万1千個体とやや減少したかに見えたが、1996年になると大量発生集団があらわれ、同年の駆除個体数は約9万6千個体、1997年には約17万個体に達した。この2年間に受けた食害と、1998年の世界的な白化現象の影響を受けて恩納村沿岸のサンゴ群集被度が低下したためか、1999年にはオニヒトデ集団は消滅し、駆除個体数も大量発生前のレベルにいったんは低下したが、2000年に再び上昇し、約5万個体が駆除された(Nakamura et al. 2014)。2002年以降はオニヒトデの駆除個体数は減少を続け、2004年から2010年までの7年間は1万個体を割り込んでいたが、2011年に再び増加し、2015年まで約1万5千個体~2万2千個体で推移した(恩納村漁業協同組合 比嘉氏提供データ)。2003年から継続されている恩納村漁業協同組合による駆除活動では、船上においてすべてのオニヒトデ個体について5cm刻みで直径が測定されており、その記録によれば、恩納村沿岸で駆除されるオニヒトデの直径頻度分布は、毎年つねに15cm~25cmに最頻値がある単峰型であった(Nakamura et al. 2014; 2016)。このことは、少なくとも2003年以降は毎年、恩納村沿岸での幼生加入が安定的であったことを示している。

慶良間諸島では2000年頃からオニヒトデの密度が高まり始め、2001年には局所的に集団が形成されるようになり、2002年から2005年にかけて全域で大量発生状態となった(谷口2010)。同時期には奄美諸島(2000年~2006年)でも大量発生が報告されている(奄美群島サンゴ礁保全対策協議会ホームページ; www.amami-sango.com/onihitode)。やや遅れて、2004年から2005年にかけては久米島で、2004年から2013年にかけては宮古島で、さらに、2003年頃から個体数が増加した石西礁湖では2008年から2014年にかけて、それぞれ大量発生が起きた(Yasuda 2018; 表3-7-18(3))。

1969年の恩納村と鳩間島を皮切りとして、八重山諸島から奄美諸島にいたる琉球列島のほぼ全域に拡大したオニヒトデの大量発生は1970年代末まで続き、一部の海域ではその後の10年間も慢性化するに至った。1990年代に入ってから、沖縄県内の沿岸には高密度の個体群が存在し続

け、1990年代後半から2000年代には各地で大量発生が頻発した。1960年代以前、オニヒトデは定常状態ではきわめて密度が低い稀少種で、大量発生して繁殖しても数年でふたたび低密度に戻っていたのに、1960年代以降はあたかも普通種のような個体群密度で何世代にもわたって維持されたのは幼生加入の成功率が高まっていたからに他ならないが、そのメカニズムを考えるためには、幼生のおもな供給源がどこかを知る必要がある。グレートバリアリーフやフレンチポリネシアでは、二次発生が幼生分散を通じて伝播するのは数キロ～百キロの範囲であることがわかっており (Moran et al. 1992; Timmers et al. 2012)、本事業で実施した幼生分散シミュレーションでも同様な示唆が得られているが、わが国では黒潮によって沖縄から本州へと伝播したとされるケースがある (Yamaguchi 1987)。もし、黒潮の上流域から沖縄へ大量の幼生が定常的に供給されているのであれば、沖縄の大量発生は海流に支配された二次発生ということになるからである。

北西太平洋地域で1960年代にオニヒトデ集団が顕在化したのは、グアムとパラオで1967年 (Chesher 1969; Marsh and Bryan 1972)、台湾やフィリピンでは1970年以降 (Randall 1973; Alcalá 1976) と報告されている。オニヒトデは産まれてから約2年で性成熟をむかえるので (Yamaguchi 1974; Lucas 1984)、グアムやパラオで大量発生していた集団と、恩納村や鳩間島で1969年にみられたオニヒトデ集団の親世代が産まれた年は一致する。しかし、Yasuda et al. (2009) の集団遺伝研究によれば、フィリピンから琉球列島の間ではオニヒトデの遺伝子は均質だが、フィリピンとパラオの間では分化がみられたので、両国間の幼生分散は希であったはずである。フィリピンから見てパラオよりさらに遠いグアムとは、さらに幼生分散の機会は少ない。また、本事業で実施した幼生分散シミュレーションでは、グアムやパラオを含むマイクロネシア海域から琉球列島へ幼生は到達しなかった (第3章5.)。したがって、1967年にグアムやパラオの大量発生集団から生み出された幼生が、沖縄県沿岸に加入して1969年に集団を形成したとは考えにくい。さらに、1967年に北西太平洋で大量発生が起きるよりやや早く、恩納村では1965年頃からオニヒトデの個体数が増加していたことが漁業者などにより認識されていた (恩納村ホームページ; www.vill.onna.okinawa.jp/business/agriculture/1484815657/1484815719/)。沖縄本島の他の海域や鳩間島でそのような個体数増加がみられたかどうかは不明だが、1959年から1968年にかけて琉球列島内に目立った高密個体群や大量発生集団は存在しなかった (Yasuda 2018; 表3-7-18 (1))、恩納村で1969年に起きた大量発生は、同村沿岸かまたは近隣海域の個体群が幼生の供給源となった一次発生である可能性が高い。

1973年にはフィリピン各地でオニヒトデの大量発生が起きて (Alcalá 1974)、繁殖によって莫大な量の幼生が産み出されていたと思われるが、シミュレーションの結果からは、一世代でフィリピンから琉球列島へまとまって分散することは難しいと思われる (平成28年度報告書)。1970年代前半、沖縄本島ではすでに大量発生が西海岸北部へ拡大しており、かりにフィリピンから沖縄本島へ直接分散できる海流条件が整っていたとしても、長距離を拡散しつつ沖縄本島沿岸に加入する幼生の割合は、琉球列島内に存在していた大量発生集団由来の幼生が回帰加入する割合よりはるかに低かったであろう。同じことが、鳩間島の大量発生集団が先行していた、1974年以降の石西礁湖の大量発生や、1980年代の沖縄本島における慢性化状態についても言える。1990年代から2000年代前半にかけて台湾からオニヒトデの大量発生は報告されておらず、フィリピン (レイテ島) の大量発生記録は2002年から2004年にかけてであることから (eg. Rivera-Posada 2012;

De Dios 2014)、1996年に恩納村で起きた大量発生や、2000年代前半に慶良間をはじめ各地の大量発生を引き起こした幼生の供給源もやはり沖縄本島とその周辺離島か、遠くても琉球列島内の集団ないしは個体群であったと推察される。沖縄県におけるオニヒトデの大量発生は、1969年に恩納村と鳩間島で起きた一次発生と、その後40年あまり各地で増減を繰り返した二次発生とに分けられ、いずれも幼生のおもな供給源は琉球列島内とみて差し支えないであろう。

(4) 沖縄県におけるオニヒトデ大量発生のメカニズム

I. 多雨と大量発生

オニヒトデの大量発生仮説として、捕食者減少説も多くの研究者が支持している(Pratchett et al. 2017)。この仮説を最初に提唱したPearson and Endean (1969)は、ホラガイの乱獲が原因だと主張した。幼生や稚ヒトデの捕食者として数十種類の生物が特定されており、捕食による減耗率も実験的に測定されているが(Keesing and Halford 1992)、野外での捕食者の密度あるいは群集構成変動にもよってオニヒトデの生存率がどのように影響をうけるかは不明である(Cowan et al. 2017)。生態学的には、被食者が増えると捕食者も増えるとする理論はあるが(Type II Functional Response)、野外での実態を評価する材料がまったくないため、ここでは、幼生の生存率が上昇すると加入量も増えるという幼生生き残り仮説の前提は変えずに考察をすすめる。

幼生生き残り仮説を最初に提唱したBirkeland (1982)は、恩納村を含む太平洋各地の高島で、オニヒトデの繁殖月とその前2ヶ月(論文では4月~6月の3ヶ月降水量を採用)の降水量が1000mmを超えた年の3年後に大量発生が起きることを統計的手法で証明し、陸水や土砂が多量に流出することによる植物プランクトン増殖がオニヒトデ大量発生の原因だと主張した。そこで、Birkeland (1982)が用いたデータを含む、1965年から2015年までの名護市と石垣市における降水量データに、オニヒトデ大量発生にもなう恩納村と石西礁湖での駆除個体数データを重ね、大量発生と降水量の関係を再考してみたい(図3-7-15、3-7-16)。

沖縄県で1969年に大量発生が起きる3年前、1966年に名護市で記録された4月~6月の3ヶ月降水量は1193.1mmであった(Birkeland 1982; 図3-7-15)。この値は現在公表されている平年値(1981年~2010年の4~6月降水量)の降水量617.8mmと比較してもはるかに多く、データを掲げた期間では2位である。梅雨期(5月11日~6月14日)の前線が活発であったことと、2個の台風が接近したことで5月から6月にかけて多雨が集中した(沖縄気象台より聞き取り)。沖縄本島ではオニヒトデの産卵ピークが7月上旬、すなわち、幼生の浮遊期と多雨の時期がややずれているが(Okaji 1991; Yasuda et al. 2010)、同年5月~7月の降水量は1050.5mmで、やはりBirkeland (1982)の作業仮説と同じく1000mmを超えていた。鳩間島で大量発生が起きた3年前に石垣島で記録された3ヶ月降水量も(4月~6月、5月~7月)、1000mmを超えて過去最大であった(図3-7-16)。これらの一次発生をみる限りでは、多雨が大量発生の引き金であったことはBirkeland (1982)の主張どおりに思える。

しかしながら、1980年代の慢性化状態や、1990年代以降の恩納村におけるオニヒトデ大量発生と、降水量の関係はあまり明瞭ではない(図3-7-15)。1989年から開始された恩納村漁協による定期的な駆除活動では、おもに成体になったばかりの20cm前後(2歳齢)の個体が駆除されるようになっていたので、1996年に大量発生した集団が産まれたのは1994年である。その年の3

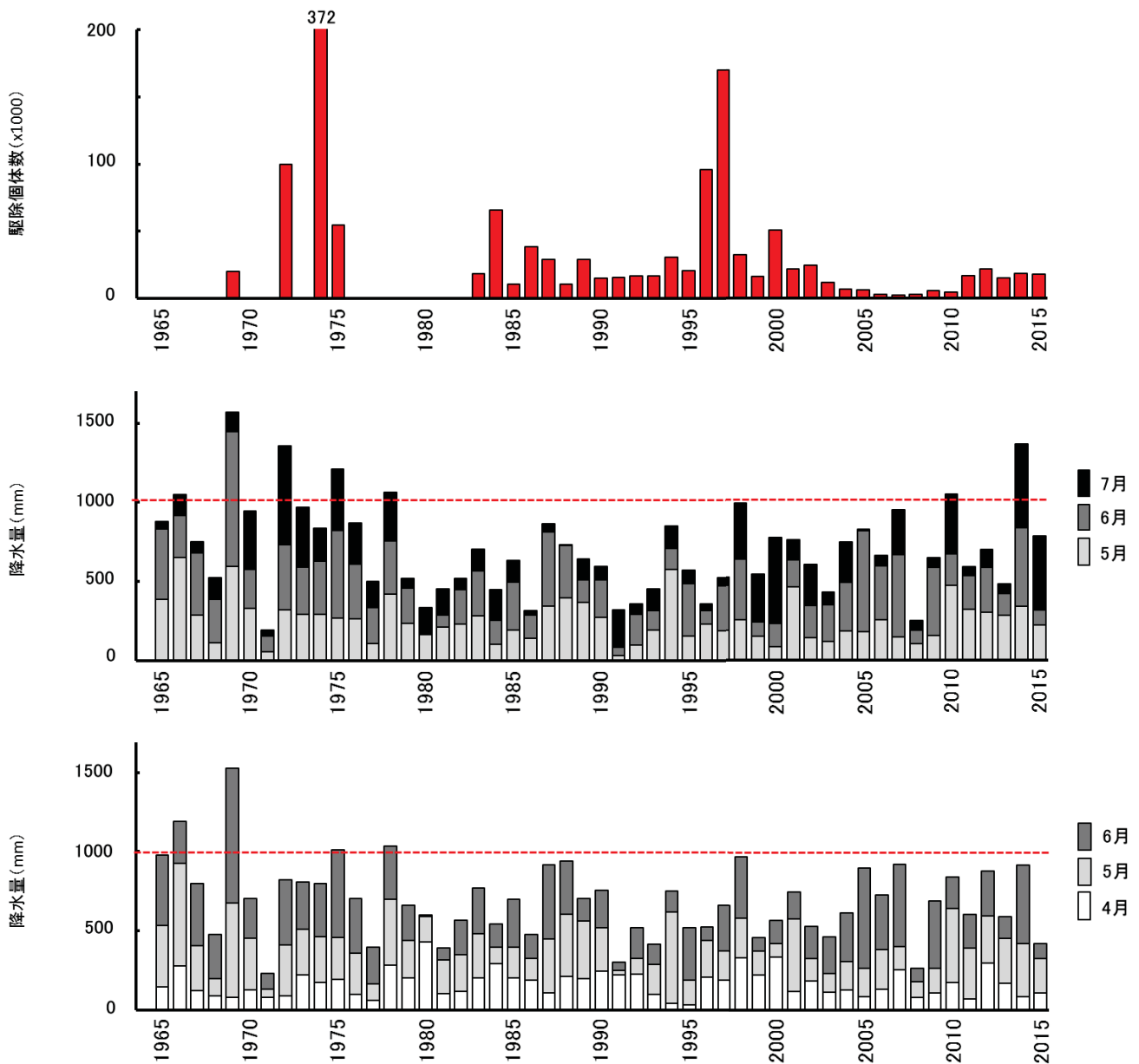


図3-7-15. 上：恩納村沿岸におけるオニヒトデ駆除個体数記録の推移。1972年は恩納村，1974年と1975年は沖縄県観光開発公社、1983年以降は恩納村漁業協同組合の記録に基づいている(資料提供：恩納村漁業協同組合 比嘉氏)。

下：沖縄県名護市における、1965年～2015年の3ヶ月降水量の推移(5～7月と4～6月)。赤線はBirkeland(1982)が仮説で使用した3ヶ月降水量1000ミリを示す。降水量データはおもに気象庁ウェブサイトよりダウンロードしたが、1965年は名護での観測が開始されていないため那覇のデータを使用した。また、1966年1月～7月は気象庁ウェブサイトでは公開されていないため、当時の沖縄気象要覧に記載されている公式の降水量データを沖縄気象台より入手した。

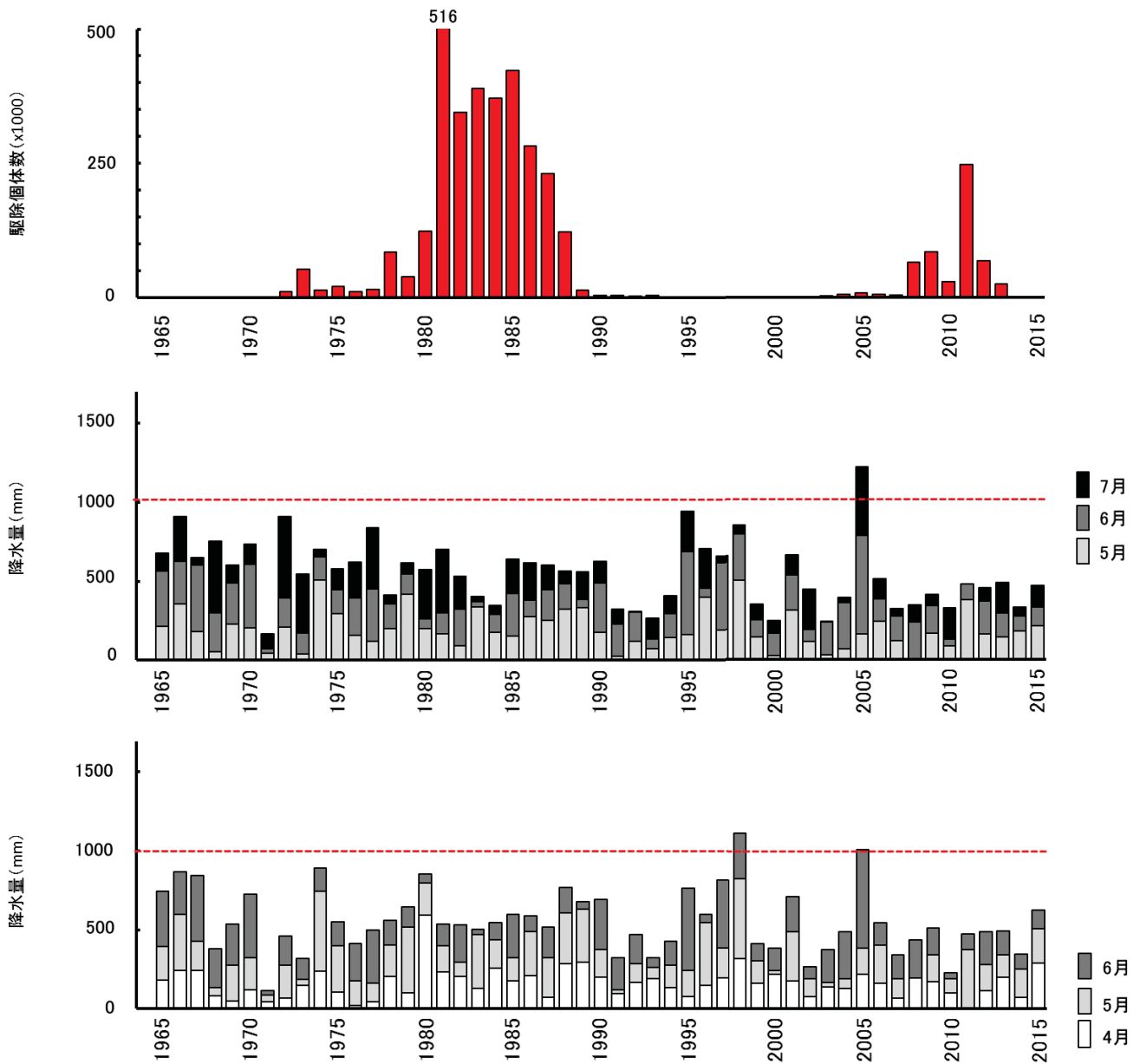


図3-7-16. 上：石西礁湖におけるオニヒトデ駆除個体数記録の推移。1969年～1973年は福田（1976）より、1974年以降は亀崎ら（1987）と沖縄県自然保護課提供のデータを使用。なお、1974年と1975年は鳩間島と石西礁湖の合計駆除個体数である。
 下：沖縄県石垣市における、1965年～2015年の3ヶ月降水量の推移（5～7月と4～6月）。赤線はBirkeland（1982）が仮説で使用した3ヶ月降水量1000ミリを示す。降水量データは気象庁ウェブサイトよりダウンロードした。

ヶ月降水量は比較的多かったが、1000 ミリは超えていない。2000 年に再度現れた集団の生まれ年もおそらく 1998 年で、3 ヶ月降水量は 1000 ミリ近かったが、2000 年代から 2010 年代にかけて同じレベルかそれ以上の降水量はしばしばみられたが大量発生は起きなかった。この時期は 1996-1997 年の大量発生による食害と、1998 年の大規模白化現象で恩納村沿岸のサンゴ被度が低下していたことと、駆除の効果で大量発生が抑えられていたという理由が考えられる。ただし、大量発生しなかったとはいえ、2003 年以降の駆除個体から得られた単峰型の直径頻度分布データが示すように、恩納村沿岸では毎年オニヒトデの安定した加入があった。

2000 年代に起きた石西礁湖の大量発生では、最初の集団が現れたのは 2008 年で（環境省自然環境局生物多様性センター 2008）、その年級群が生まれた 2005 年の 3 ヶ月降水量は 1000 ミリ弱であった。石西礁湖では 2003 年にオニヒトデの個体数増加が観察され、その後徐々に個体群密度が高まったと報告されており（環境省那覇自然環境事務所 2008）、前兆的な個体数増加がみられた時期にあった多雨の 3 年後に爆発的発生が起きたという状況は 1969 年の恩納村と似ている。しかし、1970 年代の大量発生は降水量とさほど関係が強いようには見えない。石西礁湖では 1976 年から 1977 年にかけて個体数が徐々に増加し、1978 年にと 1980 年にそれぞれ小集団が、1981 年に大集団が現れた（亀崎ら 1987）。一方、Birkeland (1982) が一次発生の引き金になるとした 4 月～6 月の 3 ヶ月降水量が 1000 ミリを超えたのは 1974 年、5 月～7 月の 3 ヶ月降水量が 1000 ミリ近くだったのは 1977 年である（図 3-7-16）。

Ⅱ. 沖縄県沿岸の水質と大量発生

1960 年代から 1970 年代の沖縄本島では、様々なセクターの開発行為が急激に進んだ時期であった。農業セクターで筆頭にあげられるのは、1963 年以降の急速な化学肥料の普及によってピークに達したサトウキビ農業で、統計が残っている 1965 年から 1970 年にかけての生産量は 174 万トン～198 万トンと、最近 10 年間の 74 万トン～94 万トンと比較してほぼ 2 倍であった（沖縄県農林水産部 2017）。パイナップル生産も同様に、1967 年に作付け面積が、1969 年に生産量がそれぞれ最大となった（清水 2004）。土木・建設セクターでは、1968 年頃から恩納村一帯で国道工事やゴルフ場建設、土地改良事業などの陸域開発が進み、降雨にともなう赤土流出が問題視された（翁長ら 1999）。さらに、1960 年代は、右肩上がりに増加する人口の需要に追いつくように上水道整備が進められた一方で、中部と那覇市以外の地域では下水道整備が遅れ、生活排水や畜産排水のほとんどが未処理であったと思われる（沖縄県下水道事務所 2016）。適正な排水処理施設や、排水に関する規制がないに等しかった状況で多雨があると、沿岸海域には 1960 年代以前と比較して大量の土砂とともに栄養塩が流出したことは想像に難くない。

一方の鳩間島は、人口数十人規模の低島で、1980 年に水道（西表島からの送水管）が整備されるまでは井戸水が使われていた。また、港など交通インフラの公共工事は 1980 年代後半末なので（竹富町ホームページ；www.town.taketomi.lg.jp/administration/ayumi/1531187888/）、1960 年代にはサンゴ礁に影響を及ぼすような人間活動はほとんどなかったと思われる。隣接する西表島には 1950 年前後から入植が始まり、1960 年代には農地が開拓されて、1965 年頃にサトウキビ生産がピークをむかえた（生産量約 1 万 3 千トン）と報告されており（農畜産業振興機構ホームページ；sugar.alic.go.jp/japan/view/jv_0301b.htm）、沖縄本島と同様に主要な土砂流出源であ

ったかもしれないが、鳩間水道を隔てて数キロ離れた鳩間島へ影響があったかどうかはわからない。

Birkeland (1982) は、オニヒトデ幼生の餌となる植物プランクトンの増殖をまねく原因が陸水・土砂の流出だと主張したが、大量発生海域の水質データがほとんどなく、また、パラオやアメリカンサモアなど自然状態のサンゴ礁でも大量発生が起きたため、人間活動の影響には言及しなかった。Nishihira and Yamazato (1974) が指摘した人間活動によって排出される栄養塩との関係については、それを引用したうえで、栄養塩が原因であるなら今後も大量発生は頻発するかもしれないと述べるにとどめた。その予見のように、大量発生が繰り返されたグレートバリアリーフでの調査研究の結果、オニヒトデの大量発生を引き起こす植物プランクトン増殖の原因は、農地から流出する溶存態無機窒素 (DIN) であると特定された (eg. Brodie et al. 2005; Fraser et al. 2017)。

沖縄県には 1960 年代の水質データは存在せず、土地利用状況や流域の地勢がオーストラリアとは異なるので、様々な汚濁負荷源のどこから、どの程度の栄養塩が排出されていたのかはわからない。しかし、降雨によって栄養塩を含んだ河川水が沿岸海域に流れ込むことでクロロフィル濃度が上昇するという現象自体は、過去も同じように起きていたはずなので、1969 年に恩納村で起きたオニヒトデの大量発生は、幼生生き残り仮説によって説明することがもっとも妥当であろう。1965 年頃からオニヒトデ個体数が徐々に増加したとの恩納村での観察報告から、1960 年代に入って進行した海域の汚濁とともに、複数年にわたって幼生の生存率が上昇し、蓄積的に増加した成体から多くの幼生が産み出されるようになったときに、1966 年の多雨によって飛躍的に加入量が増大したというシナリオが考えられる (cf. Pratchett 2005; Pratchett et al. 2014)。

一次発生が起きて大集団が形成されると、高密度化によって産卵が同調しやすく (Okaji 1991)、また、個体間距離が近いために受精率が飛躍的に高まって (Babcock et al. 1994)、その結果として莫大な規模の幼生群が産み出される。たとえ海水中の餌が少なく、浮遊期の生存率が低かったとしても、母数が大きいため加入数も増えて二次発生が起きると考えられている (Birkeland and Lucas 1990)。ただし、このシナリオが成立するのは、産み出された幼生群が外洋の長距離分散によって拡散しにくく、海流によるコネクティビティが高い島嶼内や列島内などに範囲が限られることが多い (Pratchett et al. 2014)。1969 年に恩納村で始まった大量発生が、1972 年により大きな規模で恩納村北部から本部半島にかけて拡大したのは、一次発生集団が形成された 1969 年の繁殖期に過去最大規模の多雨があり (図 3-7-15)、海域のさらなる富栄養化によって生存率も高まったためであろう。さらに、1972 年、1975 年、1978 年と、それぞれの年に 3 歳齢となる年級群の繁殖にあわせて多雨があったことで、恩納村-本部半島海域とコネクティビティが高い沖縄本島内の海域へ幼生群が加入して 10 年余りも大量発生が続いたと考えられる。

1980 年代、回復しつつあるサンゴ群集を追うようにオニヒトデの高密度個体群が現れる、いわゆる慢性化状態は、沖縄県だけの特異的な現象ではなく、フィジーやスウェイン礁群 (グレートバリアリーフ南部) からも報告している (Zann et al. 1990; Sweatman et al. 2000)。スウェイン礁群はグレートバリアリーフの最南端に位置するが、北部から南部へ千キロ以上も二次発生で伝播した過去 3 回の大量発生とは関係なく、被度が高いサンゴ礁にオニヒトデの高密度個体群が慢性的に発生し続けた。スウェイン礁群の外洋側では、湧昇流によって供給される栄養塩で恒常

的に植物プランクトンが増殖し、幼生の生存率が底上げされて安定した加入が続くと考えられている (Wooldridge and Brodie 2015; Sweatman pers. comm.)。着底・変態の数日前まで浮遊しているオニヒトデ幼生の遊泳能力は乏しく、着底場所を能動的に選択することはできないので、サンゴ群集が存在する場所に個体群が形成されるのは、広範囲にわたって幼生の加入が成功し、適切な時期にサンゴへ食性転換できた稚ヒトデ群が成長した結果であろう (本報告書 第3章3.)。

沖縄本島西海岸の慢性化状態についても、スウェイン礁群のケースと同様に、散在する高密度個体群から産み出される幼生の生存率が高まり、全般的に加入が安定したことによって維持されたものと推察される。ただし、沖縄本島では、幼生の生存率を高める要因となる栄養塩の供給源は陸域である。1980年代から1990年代初めにかけては、沖縄県の復帰後に行われた多額の投資によって陸域開発が拡大して赤土流出が加速したことに加え (翁長ら 1999)、人口増にともなう上下水道利用で生活排水も増大した (沖縄県下水道事務所 2016)。この頃の沿岸水質を推定するには、1981年から水質汚濁防止法に基づいて測定が開始された公共用水域の全窒素 (T-N) と全リン (T-P) の公表値が利用できる (図3-7-17)。環境基本法で一般的に使用されている水質基準のI類型 (自然環境保全) は、T-Nが0.2 mg/L、T-Pが0.02 mg/Lである。もともと、これらの値は閉鎖性海域の富栄養化を防止する目的で設定されているため、開放性海域の沖縄県には適用されない。しかし、1980年代から1990年代初めにかけて、沖縄県沿岸 (全地点平均) におけるT-NとT-Pの平均値はI類型を大きく、またはしばしば超えて、明らかに富栄養化と言える状態であった。平均値の推移と那覇港の推移は似たパターンを示しており、都市部の排水が栄養塩負荷源として相対的に大きかったことがうかがえる。名護湾や伊佐海域ではI類型の基準はほぼ達成できているが、金城 (2017) が沖縄県内の良好なサンゴ群集の指標として提案した、T-Nが0.08 mg/L以下、T-Pが0.01 mg/L以下という目標値はしばしば超えていた。

1980年代後半には沖縄県内で赤土等流出防止対策連絡協議会が設置されるなど沿岸水質を改善する機運が高まり、サトウキビ基準施肥量の第二次改訂 (1993年) や赤土等流出防止条例 (1995年) が施行されて以降、陸域からサンゴ礁へ流出する赤土や土砂に含まれる栄養塩は徐々に抑制されていった (大見謝 2004; 金城 2017)。特に、赤土等流出防止条例によっては、土木・建設セクターの陸域開発にともなう赤土流出量が大きく減少した (翁長ら 1999)。しかしながら、公共用水域の測定値を見るかぎり、1990年代後半から2000年代にかけて、T-N、T-Pは必ずしも減少したとは言えず、T-Nはむしろ微増傾向である (図3-7-17)。赤松ら (2011) の土地利用に基づく解析によれば、沖縄県の河口域における年間総窒素負荷量は1961年と比較して2006年は大きく増加していた。特に中南部でその傾向が強いのは、流域内の人口増加と市街地化が進んだためだと考えられている。また、海水中の有機物汚濁の指標である化学的酸素要求量 (COD) は全般的に上昇している (図3-7-18)。COD値の上昇は、生活排水や下水処理場排水中の難分解性有機物に代表される陸域からの汚濁負荷、とくに都市排水の負荷が増加していることを示している。本事業で平成26年と27年に実施した原単位法による汚濁流出源評価調査によれば、平成17年から平成20年の土地利用 (作成の基礎となった空中写真は平成5年~平成18年) に基づいて試算した河川汚濁負荷のうち、約51%は畜産排水、約25%が家庭排水で、農地や山林からは5%以下であった (但し、BOD原単位法による算出)。CODの上昇は外洋域の一次生産 (植物プランクトン) の残渣有機物が一因だとの指摘もあるが (矢吹ら 2017)、現在の沖縄県沿岸の水質は都市

排水の影響をより強く受けているように思われる。本事業を実施した5年間についても、栄養塩濃度、クロロフィル a 濃度ともに、残波岬以南の都市部の沿岸で相対的に高く、降雨時にその傾向はさらに顕著になった（平成 27 年度報告書）。海域への全般的な汚濁負荷の上昇の影響として、植物プランクトン構成が大型よりシフトすることで、かりにクロロフィル a 濃度が同じであっても幼生にとって好ましい餌環境がつくられ、その状態が頻繁に起きることでオニヒトデの二次発生が悪化すると示唆されている（Brodie et al. 2005; 2017）。

沖縄県沿岸の水質は、1960 年代に加速した農地開発と生産量増加や、沿岸域での開開発行為にもなって、肥料や赤土・土砂に含まれる栄養塩の流出量が急増し、いわゆる富栄養化の状態となった。1969 年に発生したオニヒトデ集団が存在したなかでもたらされた 1970 年代の記録的な多雨は、沿岸の富栄養化をさらに促進し、多量の植物プランクトンなどが増殖したことで、それらを餌とするオニヒトデ幼生が生き残って二次発生が拡大、継続したと思われる。1980 年代になっても沿岸海域の水質はオニヒトデ幼生が生き残れる範囲に保たれて、サンゴ群集が回復した場所に連続した加入が続いて高密度個体群が維持された。1990 年代以降は赤土・土砂流出にともなう栄養塩流出は改善されたが、都市部からの汚濁負荷が徐々に増加し、降雨時には富栄養化状態になりやすくなったのであろう。沖縄県におけるオニヒトデの大量発生は、かつては一過性であったが、1960 年代以降は陸域の様々な人間活動に由来する栄養塩など汚濁物質の恒常的な流出によって幼生の生存率が高められ、その結果、長期間にわたって継続するように変化してきたと考えられる。以上をふまえると、今後のオニヒトデ対策は、生き残ってサンゴ礁に加入する幼生をどのように減らすかということが重要となってくる。恩納村などではすでに行われている取り組みだが、成体のオニヒトデが多く分布している海域で繁殖期前に駆除努力を集中することで、産み出される幼生数を抑制できるであろう。そして、より抜本的には、幼生が生き残りにくいように沿岸の水質を改善することが求められる。そのためには陸域から沿岸へ流出する栄養塩や有機物を減らさなくてはならず、様々なセクターを巻き込む組織的な取り組みを検討しなくてはならないだろう。

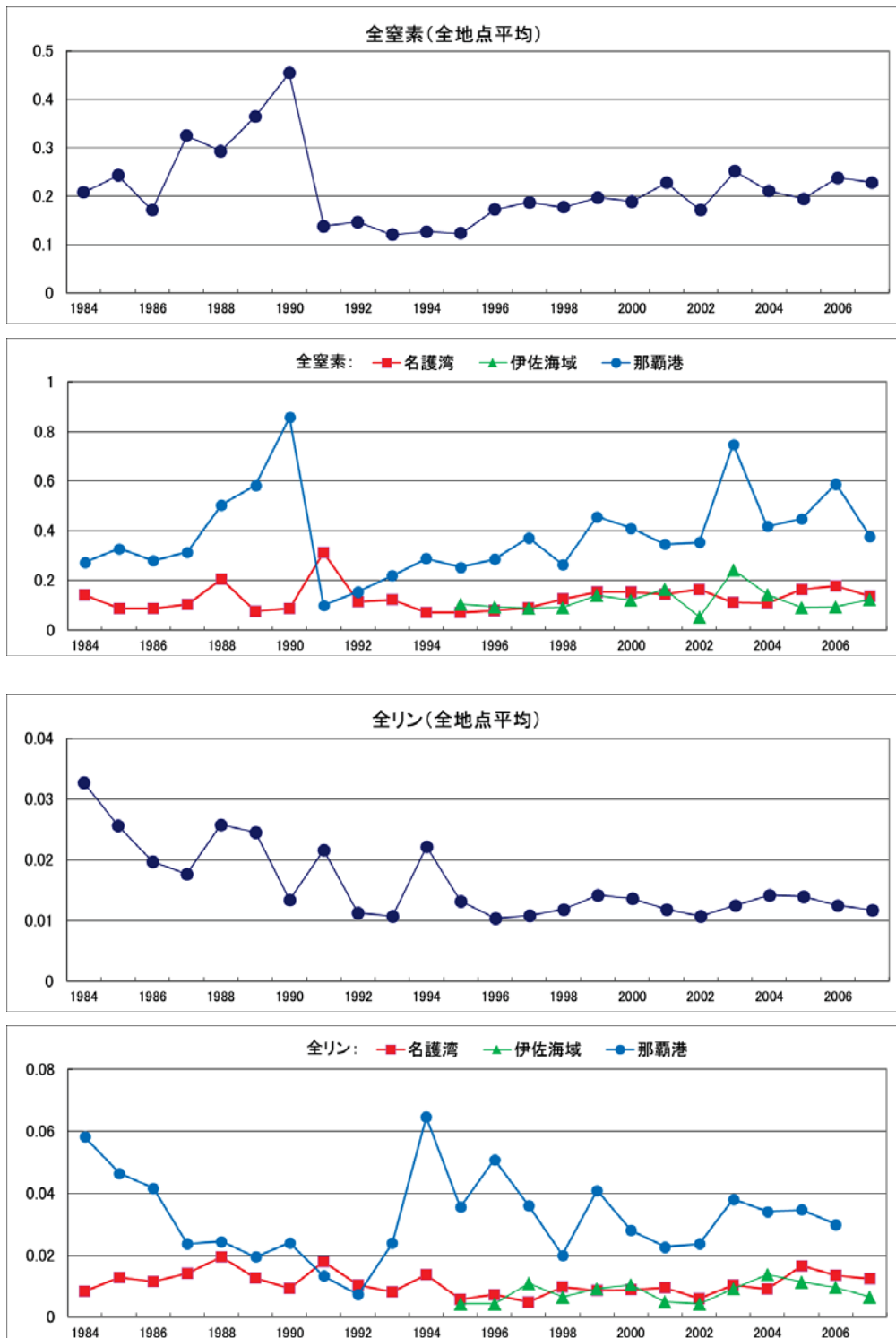


図3-7-17. 沖縄県の公共用水域で測定された全窒素と全リンの平均値の推移(全地点平均と, 那覇港, 伊佐海域, 名護湾の平均). 測定値は国立環境研究所・環境数値データベースよりダウンロードした検体値データを集計した.

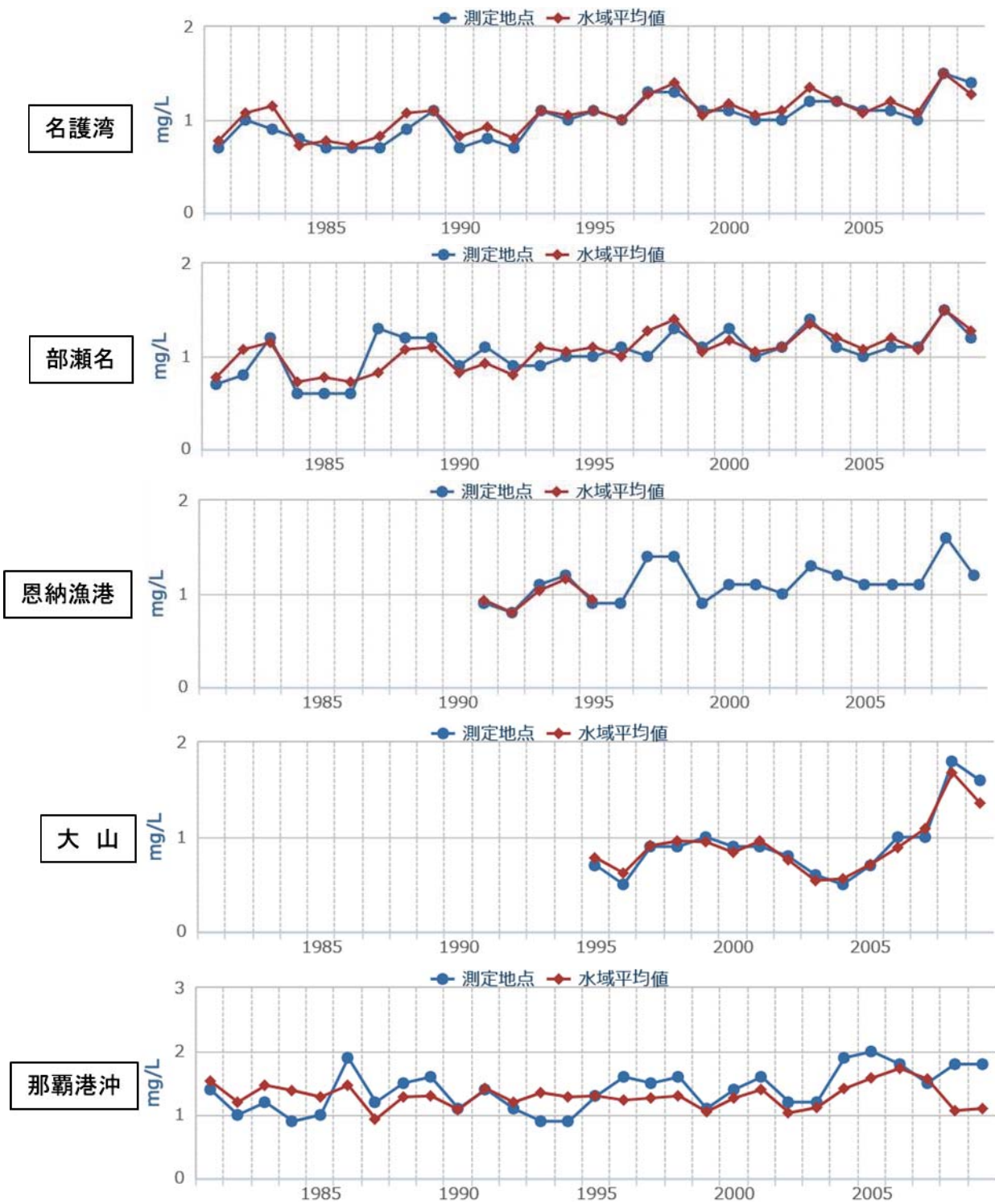


図3-7-18. 沖縄県の公共用水域で測定された化学的酸素要求量(COD)の平均値の推移. 国立環境研究所・環境 GIS よりグラフをダウンロードした.

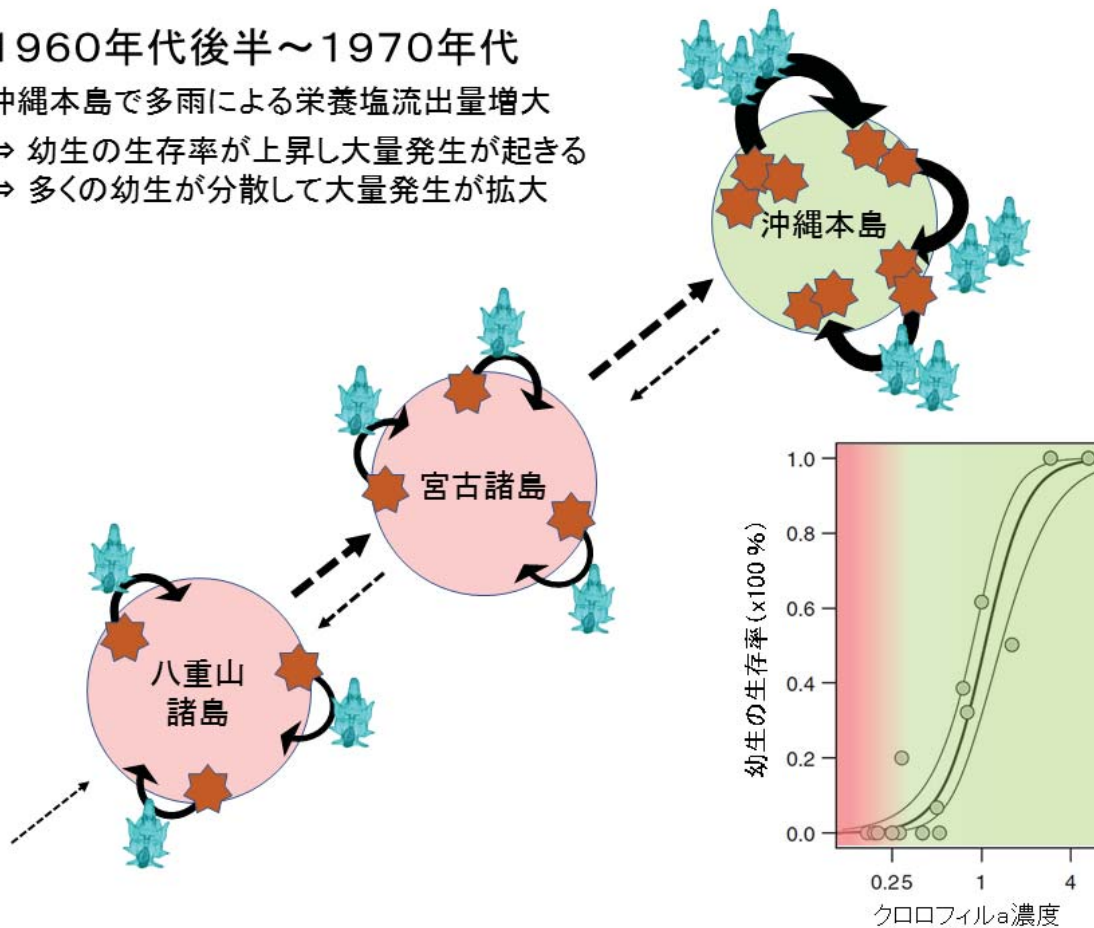
- 1970年頃からは、人為的な影響により海域の栄養塩の影響が高くなるにつれて、オニヒトデ幼生が生き残れる確率も高まり、ある場所の大量発生が他の地域の大量発生を引き起こす頻度が高くなったと考えられる。そのため、それまで小規模で収束していた大量発生が、次の大量発生を引き起こし（二次発生）、沖縄県内の広い範囲に広がるようになった。
- 1980年ごろまでのオニヒトデの大量発生は、大規模な降雨と小規模な大量発生のタイミングが重なった時に、広い範囲（島嶼間規模）での大量発生となっていたと考えられる。大規模な降雨により海域の栄養塩濃度が一時的に高くなって餌が増えた結果、オニヒトデ幼生が生き残ることが可能となり、周辺の海域へオニヒトデが分散し広い範囲の大量発生を引き起こす場合が多かったと考えられる。

1960年代後半～1970年代

沖縄本島で多雨による栄養塩流出量増大

⇒ 幼生の生存率が上昇し大量発生が起きる

⇒ 多くの幼生が分散して大量発生が拡大



- 1980年以降は人為的な影響により海域に流れ込む栄養塩の量が多くなり、大規模な降雨がなくてもオニヒトデ幼生が生き残る可能性が高くなり、降雨と大量発生との関係が不明瞭になった。
- 2000年以降も海域の人為的な栄養塩の影響は変わっておらず（公共用水域の水質調査結果より）、条件（主にサンゴの量がたくさんある状態）が整えば、小規模な大量発生が起こり、広い範囲（島嶼間規模）に大量発生が広がっていった。
- 現在の沖縄島周辺（残波以南の西海岸）の栄養塩濃度は、オニヒトデ幼生が生存できる餌条件を作り出している。このような場所が一次発生前段階のソースとなり、恩納村や周辺海域で大量発生（一次発生）を引き起こし、各地に大量発生が伝播する可能性が大きいと考えられる。このような場所の栄養塩対策や周辺海域の一次発生個体の駆除を行うことで、大量発生が広範囲に及ばないように対策を行うことが効率的である。

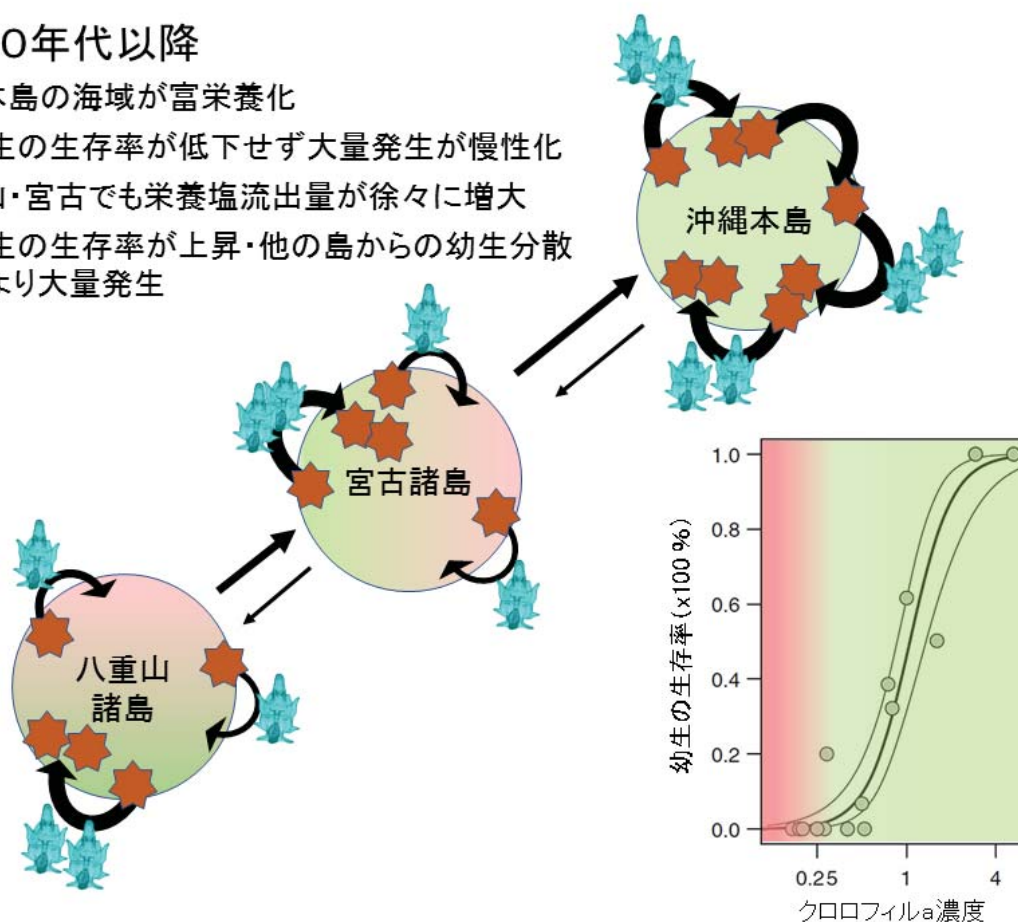
1980年代以降

沖縄本島の海域が富栄養化

⇒ 幼生の生存率が低下せず大量発生が慢性化

八重山・宮古でも栄養塩流出量が徐々に増大

⇒ 幼生の生存率が上昇・他の島からの幼生分散により大量発生



<参考文献>

- Alcala AC (1976) Population densities of the crown-of-thorns starfish in two Philippines reefs. *Silliman J.* 23:279-285.
- Ayukai T (1994) Ingestion of ultraplankton by the planktonic larvae of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*. *Biol. Bull.* 186: 90-100.
- Babcock RC, Mundy CN, Whitehead D (1994) Sperm diffusion models and *in situ* confirmation of long-distance fertilization in the free-spawning Asteroid *Acanthaster planci*. *Biol. Bull.* 186: 17-28.
- Babcock RC, Milton DA, Pratchett MS (2016) Relationships between size and reproductive output in the crown-of-thorns starfish. *Mar. Biol.* 163:234.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00227-016-3009-5>.
- Birkeland C (1982) Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea). *Mar. Biol.* 69:175-185.
- Birkeland C, Lucas JS (1990) *Acanthaster planci*: major management problem of coral reefs. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 272pp.
- Black KP, Moran PJ (1991) Influence of hydrodynamics on the passive dispersal and initial recruitment of larvae of *Acanthaster planci* (Echinodermata: Asteroidea) on the Great Barrier Reef. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 69:55-65.
- Brodie J, Fabricius K, Dea' th G, Okaji K (2005) Are increased nutrient inputs responsible for more outbreaks of crown-of-thorns starfish? An appraisal of the evidence. *Mar. Poll. Bull.* 51: 266-278.
- Brodie J, De' ath G, Devlin M, Furnas M, Wright M (2007) Spatial and temporal patterns of near-surface chlorophyll a in the Great Barrier Reef lagoon. *Mar. Freshw. Res.* 58: 342-353.
- Brodie J, Devlin M, Lewis S (2017) Potential enhanced survivorship of Crown of Thorns Starfish larvae due to near-annual nutrient enrichment during secondary outbreaks on the central mid-shelf of the Great Barrier Reef, Australia. *Diversity.* 9: 17. doi:10.3390/d9010017
- Caballes CF, Pratchett MS, Buck ACE (2017) Interactive effects of endogenous and exogenous nutrition on larval development for Crown-Of-Thorns Starfish. *Diversity.* 9:15. doi:10.3390/d9010015
- Chesher RH (1969) *Acanthaster planci* impact on Pacific coral reefs. Final report to U. S. Department of the Interior, Washington, D.C. Research Laboratories Westinghouse Electric Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, October 15, 1969. 62pp.
- Cowan ZL, Pratchett M, Messmer V, Ling S (2017) Known predators of Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster* spp.) and their role in mitigating, if not preventing, population Outbreaks. *Diversity.* 9: 7. doi:10.3390/d9010007

- De Dios HHY, Dy DT, Sott FB (2014) Abundance and size structure of an *Acanthaster planci* population (Echinodermata: Asteroidea) in Sogod Bay, Southern Leyte, Philippines. *Asia Life Science*. 23(1): 65-73.
- Fabricius KE, Okaji K, De' ath G (2010) Three lines of evidence to link outbreaks of the crown-of-thorns seastar *Acanthaster planci* to the release of larval food limitation. *Coral Reefs*. 29:593-605.
- Fraser G, Rohde K, Silburn M (2017) Fertiliser management effects on dissolved inorganic nitrogen in runoff from Australian sugarcane farms. *Environ. Monit. Assess.* 2017: 189-409. DOI 10.1007/s10661-017-6115-z
- Hoegh-Guldberg O. (1993) Is *Acanthaster planci* able to utilize dissolved organic matter (DOM) to satisfy the energetic requirements of larval development? *In*, Lassig B., Engelhardt U. (eds.) The possible causes and consequences of outbreaks of the Crown-of-Thorns Starfish. Great Barrier Reef Marine Park Authority Workshop Series No. 18. 168pp.
- Houk P, Bograd S, Van Woosik R (2007) The transition zone chlorophyll front can trigger *Acanthaster planci* outbreaks in the Pacific Ocean: Historical confirmation. *J. Oceanogr.* 2007, 63, 149-154.
- Houk P, Raubani J (2010) *Acanthaster planci* outbreaks in Vanuatu coincide with ocean productivity, furthering trends throughout the Pacific Ocean. *J. Oceanogr.* 2010, 66, 435-438.
- James MK, Scandol JP (1992) Larval dispersal simulations: correlation with the Crown-of-Thorns Starfish outbreaks database. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.* 43: 569-582.
- Keesing JK, Halford AR (1992) Field measurement of survival rates of juvenile *Acanthaster planci*: techniques and preliminary results. *MEPS*. 85: 107-114.
- Kennington RA (1978) The crown-of-thorns crisis in Australia: a retrospective analysis. *Environmental Conservation*. 5(1): 11-20.
- Lane DJ (2012) *Acanthaster planci* impact on coral communities at permanent transect sites on Bruneian reefs, with a regional overview and a critique on outbreak causes. *J. Mar. Biol. Assoc.* 92: 803-809.
- Lucas JS (1982) Quantitative studies of feeding and nutrition during larval development of the coral reef asteroid *Acanthaster planci* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 65: 173-193.
- Lucas JS (1984) Growth, maturation and effects of diet in *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) and hybrids reared in the laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 79(2): 129-147.

- Marsh JA, Bryan PG (1972) Resurvey of Palau district, March, 1972. A report submitted to Marine Resource Division, Trust Territory of the Pacific Island. Marine Laboratory, University of Guam, Anana, Guam, March, 1972. 9pp.
- Miller I, Sweatman H, Cheal A, Emslie M, Johns K, Jonker M, Osborne K (2015) Origins and implications of a primary Crown-of thorns starfish outbreak in the Southern Great Barrier Reef. *Mar. Biol.*
- Moran PJ (1988) The *Acanthaster* phenomenon. Australian Institute of Marine Science Monograph Series 7. Townsville, Queensland, Australia.
- Moran PJ, De'ath G, Baker VJ, Bass DK, Christie CA, Miller IR, Miller-Smith BA, Thompson AA (1992) Pattern of outbreaks of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci* L.) along the Great Barrier Reef since 1966. *Australian J.Mar. Fresh. Res.* 43(3): 555-567.
- Mumby PJ, Steneck RS (2018) Paradigm lost: dynamic nutrients and missing detritus on coral reefs. *BioScience.* 68(7): 487-495. doi.org/10.1093/biosci/biy055
- Nakajima R, Yoshida T, Othman BHR, Toda T (2010) High detritus/phytoplankton content in net-plankton samples from coral reef water: source of over-estimation in zooplankton biomass by measuring seston weight. *Plankton and Benthos Research*, 5(2): 69-73.
- Nakajima R, Nakatomi N, Kurihara H, Fox MD, Smith JE, Okaji K (2016) Crown-of-thorns starfish larvae can feed on organic matter released from corals. *Diversity* 8:18. doi:10.3390/d8040018
- Nakajima R, Tanaka Y, Guillemette R, Kurihara H (2017) Effects of coral-derived organic matter on the growth of bacterioplankton and heterotrophic nanoflagellates. *Coral Reefs.* DOI 10.1007/s00338-017-1608-3
- Nakamura M, Okaji K, Higa Y, Yamakawa E, Mitarai S (2014) Spatial and temporal population dynamics of the Crown-of-Thorns Starfish, *Acanthaster planci*, over a 24-year period along the central west coast of Okinawa Island, Japan. *Mar. Biol.* 161: 2521-2530. doi: 10.1007/s00227-014-2524-5.
- Nakamura M, Kumagai NH, Sakai K, Okaji K, Ogasawara K, Mitarai S (2015) Spatial variability in recruitment of acroporid corals and predatory starfish along the Onna coast, Okinawa, Japan. *MEPS.* 540: 1-12.
- Nakamura M, Higa Y, Kumagai NH, Okaji K (2016) Using long-term removal data to manage a Crown-of-Thorns Starfish population. *Diversity.* 8:24. doi: 10.3390/d8040024.
- Nishihira M, Yamazato K (1974) Human interference with the coral reef community and *Acanthaster* infestation of Okinawa. *Proc. 2nd Intern. Coral Reef Symp.* 1:577-590.
- Olson RR (1987) In situ culturing as a test of the larval starvation hypothesis for the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci*. *Limnol Oceanogr* 32: 895-904.
- Okaji K (1991) Delayed spawning activity in dispersed individuals of *Acanthaster planci* in Okinawa. *In: Yanagisawa T. et al. (eds.) Biology of echinodermata: proceedings of*

- the 7th International Echinoderm Conference, Japan (Atami) 9th – 14th September 1990. p. 291–295.
- Okaji K (1993) *In situ* rearing of COTS larvae. *In*, Engelhardt U, Lassig B (eds.), The possible causes and consequences of outbreaks of the Crown-of-Thorns Starfish, Proceedings of a workshop held in Townsville, Queensland, Australia, 10 June 1992. Workshop Series No. 18. Great Barrier Reef Marine Park Authority. p55.
- Okaji K (1996) Feeding ecology in the early life stages of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.). Ph.D. dissertation, Zoology Department, James Cook University of North Queensland, February 1996. pp121.
- Okaji K, Ayukai T, Lucas JS (1997a) Selective feeding by larvae of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.). *Coral Reefs*. 16: 47–50.
- Okaji K, Ayukai T, Lucas JS (1997b) Selective uptake of dissolved free amino acids by larvae of the crown-of-thorns starfish, *Acanthaster planci* (L.). *In*, Proc. 8th Intern. Coral Reef Symp. 1: 613–616.
- Pearson RG, Endean R (1969) A preliminary study of the coral predator *Acanthaster planci* (L.) (Asteroidea) on the Great Barrier Reef. *Fisheries Notes*. Queensland Dept. Harbours and Marine. 3: 27–55.
- Potts DC (1981) Crown of thorns starfish – man-induced pest or natural phenomenon? *In*: Fitching RL, Jones RE (eds.) *The ecology of pests. Some Australian case histories*. CSIRO, Melbourne. p55–86.
- Pratchett MS (2005) Dynamics of an outbreak population of *Acanthaster planci* at Lizard Island, northern Great Barrier Reef (1995–1999). *Coral Reefs*. 24: 453–462.
- Pratchett MS, Caballes CF, Rivera-Posada JA, Sweatman HPA (2014) Limits to understanding and managing outbreaks of crown-of-thorns starfish (*Acanthaster* spp.). *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 52:133–200.
- Pratchett MS, Dworjanyn S, Mos B, Caballes C, Thompson CA, Blowes S (2017a) Larval survivorship and settlement of Crown-of-Thorns Starfish (*Acanthaster* cf. *solaris*) at varying algal cell densities. *Diversity*. 9:2. doi:10.3390/d9010002
- Pratchett MS, Caballes CF, Wilmes JC, Matthews S, Mellin C, Sweatman HPA, Nadler LE, Brodie J, Thompson CA, Hoey J, Bos AR, Byrne M, Messmer V, Fortunato SAV, Chen CCM, Buck ACE, Babcock RC, Uthicke S (2017b) Thirty years of research on Crown-of-Thorns Starfish (1986–2016): scientific advances and emerging opportunities. *Diversity*. 9:41. doi:10.3390/d9040041
- Randall JE (1973) Chemical pollution in the sea and the crown-of-thorns starfish (*Acanthaster planci*). *Biotropica*. 4(3): 132–144.
- Reef Water Quality Protection Plan Secretariat (2013). *Securing the health and resilience of the Great Barrier Reef World Heritage Area and adjacent catchments*. The State of Queensland: Australian Government, Queensland Government.

- Rivera-Posada J, Prattchet M (2012) A review of existing control efforts for *A. planci*; limitations to successes. Report to the Department of Sustainability, Environment, Water, Population & Communities, NERP, Tropical Environmental Hub. Townsville, June 5, 2012. 26pp.
- Roche RC, Pratchett MS, Carr P, Turner JR, Wagner D, Head C, Sheppard CRC (2015) Localized outbreaks of *Acanthaster planci* at an isolated and unpopulated reef atoll in the Chagos archipelago. *Mar. Biol.* 162, 1695-1704.
- Sakai K, Muzik K, Nakamura S, Nisihira M (1988) A note on resurvey of coral communities and *Acanthaster* populations around Okinawa Island, Japan in 1984. *Galaxea*. 7(1): 42-52.
- Southgate PC, Lucas JS (2008) The pearl oyster. Elsevier Science. 544pp.
doi.org/10.1016/B978-0-444-52976-3.X0001-0
- Stump R (1996) An investigation to describe the population dynamics of *Acanthaster planci* (L.) around Lizard Island, Cairns section, Great Barrier Reer Marine Park. CRC Reef Research Center Technical Report No. 10. Townsville, CRC Reef Ressearch Center. 56p.
- Sweatman HPA, Cheal AJ, Coleman GJ, Fitzpatrick BM, Miller IR, Ninio R, Osborne K, Page CM, Ryan DAJ, Thompson AA, Tomkin P (2000) Long-term monitoring of the Great Barrier Reef. Status Report No. 4. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia. 117pp.
- Timmers M, Bird CE, Skillings DJ, Smouse PE, Toonen RJ (2012) There' s no place like home: Crown-of-Thorns Outbreaks in the Central Pacific are regionally derived and independent events. *Plos One*. 7(2):e31159.
- Uthicke S, Schaffelke B, Byrne M (2009) A boom-bust phylum? Ecological and evolutionaru consequences of density variations in echinoderms. *Ecological Monographs*. 79(1): 3-24.
- Uthicke S, Liddy M, Patel F, Logan M, Johansson C, Lamare M (2017) Effects of larval density and food concentration on Crown-of-Thorns seastar (*Acanthaster cf. solaris*) development in an automated flow-through system. *Scientific Reports*. 8: 642.
DOI:10.1038/s41598-017-19132-w
- Wallberg P, Jonsson PR, Johnstone R (1999) Abundance, biomass and growth rates of pelagic microorganisms in a tropical coastal ecosystem. *Auat. Micro. Ecol.* 18:175-185.
- Weber JN, Woodhead PMJ (1970) Ecological studies of the coral predator *Acanthaster planci* in the South Pacific. *Mar. Biol.* 6(1):12-17.
- Wolfe K, Graba-Landry A, Dworjany SA, Byrne M (2015) Larval starvation to satiation: influence of nutrient regime on the success of *Acanthaster planci*. *PLoS One*.
Doi.org/10.1371/journal.pone.0122010

- Wolfe K, Graba-Landry A, Dworjanyn S, Byrne M (2017) Superstars: Assessing nutrient thresholds for enhanced larval success of *Acanthaster planci*, a review of the evidence, Marine Pollution Bulletin. Doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.079
- Wooldridge SA, Brodie JE (2015) Environmental triggers for primary outbreaks of crown-of-thorns starfish on the Great Barrier Reef, Australia. Marine Pollution Bulletin. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.08.049
- Yamaguchi M (1974) Growth of juvenile *Acanthaster planci* (L.) in the laboratory. Pacific Science. 28(2): 123-128.
- Yamaguchi M (1986) *Acanthaster planci* infestations of reefs and coral assemblages in Japan: a retrospective analysis of control efforts. Coral Reefs. 5: 23-30.
- Yamaguchi M (1987) Occurrences and persistency of *Acanthaster planci* pseudo-population in relation to oceanographic conditions along the Pacific coast of Japan. Galaxea. 6:277-288.
- Yasuda N, Nagai S, Hamaguchi M, Okaji K, Gerard K, Nadaoka K (2009) Gene flow of *Acanthaster planci* (L.) in relation to ocean currents revealed by microsatellite analysis. Molecular Ecology. doi: 10.1111/j.1365-294X.2009.04133.x
- Yasuda N, Ogasawara K, Kajiwaru K, Ueno M, Oki K, Taniguchi H, Kakuma S, Okaji K, Nadaoka K (2010) Latitudinal differentiation in the reproduction patterns of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* through the Ryukyu Island Archipelago. Plankton Benthos Res. 5(4): 156-164. doi.org/10.3800/pbr.5.156
- Yasuda N (2018) Distribution expansion and historical population outbreak patterns of Crown-of-Thorns Starfish, *Acanthaster planci* sensu lato, in Japan from 1912 to 2015. In, Iguchi A, Hongo C (eds.), Coral reef studies of Japan, Coral Reefs of the World 13. Springer Nature Singapore Pte. Ltd., 2018. p125-148.
- Zann L, Brodie J, Vuki V (1990) History and dynamics of the crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* (L.) in the Suva area, Fiji. Coral Reefs 9: 135-144.
- 赤松良久, 古澤広隆, 大澤和敏, 神谷大介 (2011) 沖縄本島における陸域負荷の変遷とその影響. 土木学会論文集 G (環境), 土木学会, 2011年9月. 67(5): 211-216.
- 大見謝辰男 (2004) 陸域からの汚濁物質の流入負荷. 日本のサンゴ礁, 環境省・日本サンゴ礁学会編. p.66-70.
- 沖縄県観光開発公社 (1976) オニヒトデのサンゴ礁生物群に与える影響 (オニヒトデ大発生に関して). 110pp.
- 沖縄県下水道事務所 (2016) 沖縄県流域下水道維持管理年報 (平成28年度). 沖縄県下水道事務所, 平成29年8月. 144pp.
- 沖縄県農林水産部 (2015) 農業関係統計. 沖縄県農林水産部, 平成27年3月. 209pp.
- 沖縄県農林水産部 (2017) 平成28/29年期さとうきび及び甘しゅ糖生産実績. 沖縄県農林水産部, 平成29年8月. 90pp.

- 翁長謙良, 米須竜子, 新垣あかね (1999) 沖縄における赤土流出の経緯と対策. 琉球大学農学部
学術報告. 46: 71-82.
- 環境省自然環境局 (2011) 平成 22 年度西表石垣国立公園石西礁湖及びその近隣海域におけるサ
ンゴ礁モニタリング調査報告書. 環境省自然環境局 生物多様性センター, 平成 23 (2011)
年 3 月. 138pp.
- 環境省那覇自然環境事務所 (2008) 石西礁湖自然再生事業環境省事業実施計画. 環境省那覇自然
環境事務所, 平成 20 年 6 月. 22pp.
- 環境省自然環境局生物多様性センター (2008) 平成 20 年度西表石垣国立公園石西礁湖及びその近
隣海域におけるサンゴ礁モニタリング調査報告書. 平成 21 (2009) 年 3 月, 環境省自然環
境局生物多様性センター. 139pp.
- 環境庁 (1974) 浅海における海中の生態系に関する研究, オニヒトデ異常発生メカニズムとそ
の対策に関する研究 (継続). 環境庁, 1974 年 3 月. 65pp.
- 環境庁自然保護局 (1994) 第 4 回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査報告書(干潟・藻場・サ
ンゴ礁調査)第 3 巻サンゴ礁. 262pp.
- 金城孝一 (2017) 陸域からの環境負荷対策について. 日本サンゴ礁学会誌. 19: 87-94.
- 亀崎直樹, 野村恵一, 宇井晋介 (1987) 石西礁湖海域のイシサンゴ類およびオニヒトデの動態
(1983-86 年). 海中公園情報. 74: 12-17.
- 清水徹朗 (2004) 沖縄の農業 - その変化と現状 -. 調査と情報, 農林中金総合研究所, 2004 年.
210: 15-21.
- 谷口洋基 (2010) 阿嘉島周辺のオニヒトデ被害と駆除活動の効果. みどりいし. 21: 26-29.
- 福田照雄 (1976) 鳩間島におけるオニヒトデの集団移動. 海中公園情報. 38: 7-10.
- 矢吹芳教, 小野純子, 相子伸之, 中嶋昌紀, 田中咲絵, 駒井幸雄 (2017) 日本近海の太平洋外洋
水の COD の長期変動と瀬戸内海の COD に及ぼす影響. 水環境学会誌. 40(5): 189-197.
- 横地洋之 (2004) サンゴ食害生物. 日本のサンゴ礁, 環境省・日本サンゴ礁学会編. p. 51-57.

表3-7-19. 平成25年度～29年度沖縄県オニヒトデ総合対策事業で実施した調査研究の成果発表リスト.

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	サンゴ食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バ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	黒潮流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思われていた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る。
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

表3-7-19. 平成25年度～29年度沖縄県オニヒトデ総合対策事業で実施した調査研究の成果発表リスト.

年度	発表者	日時	形式	発表場所	発表タイトル	発表概要
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。
27	Masako Nakamura ほか5名	H27.11.26	論文	Marine Ecology Progress Series 540: 1-12, 2015	Spatial variability in recruitment of acroporid corals and predatory starfish along the Onna coast, Okinawa, Japan	恩納村沿岸において、造礁サンゴのミドリイシ類とその捕食者であるオニヒトデの加入パターンを空間的に比較し、両者とも北部へより多く加入することがわかったが、GPSパイの軌跡を解析するとオニヒトデは恩納村外から流れてきていると考えられた。
28	田場 凌	H28.6.9	ポスター	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会2016 神奈川県横浜市	水中ロボットのための単眼カメラを利用した高度維持システムの開発	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、定速で曳航した際の基礎実験について報告する。
28	平山 慶太	H28.6.9	ポスター	日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門講演会2016 神奈川県横浜市	曳航型水中調査ロボットの開発	マンタ法利用は従来、人手で行なっているが、これを水中ロボットに置き換える。水深30mまで潜ることができる曳航型の水中ロボットの開発を行なう。ここでは、仕様と設計・製作について報告する。
28	S.Kasai ほか2名	H28.6.21	ポスター	13th International Coral Reef Symposium Honolulu, Hawaii, June 19-24, 2016	Characterizing chemical composition of size-fractionated particulate organic matter in a fringing coral reef of Malaysia	マレーシアと沖縄の裾礁海水中の粒子状有機物(POM)を2μm、20μm、100μm、180μmのメッシュでサイズ分画し、それぞれのPOM中の炭素安定同位体比を調べた。その結果、2μm以下のPOMの大部分がシアノバクテリアであったことは共通だが、2-20μmと20-100μmのPOMはマレーシアと沖縄とは異なっていた。これは両地点のナノプランクトンおよびマイクロプランクトンの組成比を反映していると考えられる。
28	Y.Tadokoro ほか5名	H28.6.21	ポスター	13th International Coral Reef Symposium Honolulu, Hawaii, June 19-24, 2016	Evaluation of size-fractionated particulate organic matter as a food source for Crown-of-Thorns Starfish larvae	オニヒトデ幼生をブラキオラリア期まで飼育した海水中に含まれていた、植物プランクトン、バクテリア、鞭毛虫、デトリタスのそれぞれの存在量を測定し、炭素量に換算して幼生の要求量と比較した。その結果、植物プランクトンが全炭素量の7-20%であったことに対し、デトリタスは53-91%にものぼっていた。オニヒトデ幼生は植物プランクトン以外にもデトリタスを餌料としていたと考えることが妥当であろう。
28	N.Nakatomi ほか5名	H28.6.24	口頭	13th International Coral Reef Symposium Honolulu, Hawaii, June 19-24, 2016	Elucidating food sources for larval stage of Crown-of-Thorns Starfish by stable isotope analysis.	沖縄のサンゴ礁海水を20μmのフィルターで濾過した海水で飼育した幼生はブラキオラリア期まで発達し、それらの体組織の窒素と炭素の安定同位体比は海水中の粒子状有機物(POM)の安定同位体比に近づいた。2μm濾過海水で飼育した幼生はビピンナリア期までしか発達しなかったが、同位体比はやはりPOMと同等になった。一方、POMを除去した海水で飼育した幼生は約1週間で萎縮し、同位体比は未受精卵と変わらなかった。POMは幼生の有効な餌料だと考えられる。
28	武村 史朗	H28.9.9	口頭	日本ロボット学会学術講演会2016 山形県山形市	サンゴ調査のための曳航型水中調査ロボットの基礎実験	マンタ法利用は従来、人手で行なっているが、これを水中ロボットに置き換える。水深30mまで潜ることができる曳航型の水中ロボットの開発を行なっている。ここでは、製作した曳航型水中ロボットの基礎実験について報告する。
28	R. Nakajima ほか5名	H28.10.6	論文	Diversity 8(4): 18, 2016 doi:10.3390/d8040018	Crown-of-Thorns Starfish larvae can feed on organic matter released from corals	生きたサンゴ群体に炭素安定同位体(13C)と窒素安定同位体(15N)を取り込ませ、これら同位体を含む粘液を取り出して飼育環境下のオニヒトデ幼生に与えた。幼生を固定してその体組織を分析したところ、粘液を与えた幼生の体組織に含まれていた同位体は対照区(粘液なし)と比較して優位に高かった。この実験結果はオニヒトデ幼生が植物プランクトンではない、粒子態あるいは溶存態の有機物を補食、同化できる証拠である。
28	武村 史朗	H28.10.21 ～ 10.23	ポスター	第40回沖縄の産業まつり2016 沖縄県那覇市 奥武山公園 県立武道館	曳航型水中調査ロボットの開発	マンタ法利用は従来、人手で行なっているが、これを水中ロボットに置き換える。水深30mまで潜ることができる曳航型の水中ロボットの開発を行なっている。一般来場者に向け、曳航型水中ロボットについて紹介する。
28	M.Nakamura ほか4名	H28.11.16	論文	Diversity 8(4): 24, 2016 doi:10.3390/d8040024	Using long-term removal data to manage a Crown-of-Thorns Starfish Population	恩納村沿岸で2003年から2015年にかけて実施されたオニヒトデ駆除から得られた駆除個体数データを解析し、1歳令の駆除個体数から翌年の駆除個体数を推定する簡便なモデルを得た。そのモデルから恩納村沿岸の5つの駆除範囲において残存個体数を推定し、当該年に投入すべき人員など海域管理に利用している。
28	C. Mellin ほか4名 (AIMS共同*)	H28.11.24	論文	Preprints (www.preprints.org) doi:10.20944/preprints201611.0124.v1	Selective feeding and microalgal consumption rates by Crown-of-Thorns Seastar (Acanthaster cf. solaris) larvae	これまでは短時間の補食実験でのみ比較されていたオニヒトデ幼生の餌の選択性を、複数の種類の餌を大量発生が引き起こされると考えられている密度に調整し、最長18時間にわたって飼育することにより評価した。その結果、幼生の培養でよく使われる5種類の微細藻(Dunaliella sp., Chaetoceros sp., Phaeodactylum tricornutum, Pavlova lutheri, Tisochrysis lutea)のうち、栄養価が高い前2者への選択性が強いことがわかった。
28	田所良幸 ほか5名	H28.12.2	ポスター	日本サンゴ礁学会第19回大会 沖縄県那覇市	安定同位体対比分析を用いたオニヒトデ幼生の餌資源の解明	オニヒトデ幼生の餌資源を検討するために、サイズの異なる有機物粒子(POM)を含む現場濾過海水と単一の培養藻類を添加した人工海水を用いて培養を行い、それぞれの実験区における幼生の成長度合いと餌の捕食の関係を炭素安定同位体比分析によって解析した。その結果、植物プランクトン以外のPOM(鞭毛虫、バクテリア、デトリタス)も餌資源として重要であることがわかった。
28	A. Matsuda ほか4名	H28年 出版	論文	IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization, v-17, 2016	Extraction method of texture features on monitoring image of coral reef	
28	松田朝陽 ほか4名	H28年 出版	論文	第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, p0569-0571, 2016.	サンゴ被度の自動検出に向けたテクスチャ解析	
28	高橋 悟 ほか7名	H29年 (採択済)	論文	信号処理学会論文誌	海洋観測に向けた海中ランドマークの生成手法	

*沖縄県とAIMSとの研究協力覚書にもとづき、JVの岡地が2014年にAIMSを訪問した際に協力した実験結果。

表3-7-19. 平成25年度～29年度沖縄県オニヒトデ総合対策事業で実施した調査研究の成果発表リスト.

年度	発表者	日時	形式	発表場所	発表タイトル	発表概要
29	田所良幸 ほか5名	H29.8.30	ポスター	第35回日本有機地球化学シンポジウム 高知県高知市	安定同位体比を用いたオニヒトデ浮遊幼生期の食性解析	自然海水、デトリタス化した海水を用いたオニヒトデ幼生の培養実験を行い、クロロフィルa量、安定同位体比、幼生が餌から得た炭素・窒素置換率、成長率の指標を用いて自然海水やデトリタス化した海水などを餌としての評価を行った。
29	研究コンソーシアムメンバー・JV	H29.11.5	シンポジウム	オニヒトデ総合対策滋養シンポジウム 沖縄県立博物館	オニヒトデ大量発生メカニズムとその対策 ～これまでにわかったことから私たちに何が出来るか考える	シンポジウム前半では、沖縄県オニヒトデ総合対策事業で調査研究を実施した研究コンソーシアムメンバー4名と検討委員会委員1名、JV担当者2名が研究成果を一般向けにわかりやすく概説した。後半はコンソーシアムメンバー2名、検討委員会委員2名、沖縄県自然保護課課長とJV担当者1名による「オニヒトデの大量発生は防げるか？」をテーマにパネルディスカッションを行った。
29	熊谷直喜 ほか	H29.11.23	口頭	日本サンゴ礁学会第20回大会 東京工業大学	オニヒトデ幼生分散のコネクティビティから大発生を予測できるか？	海面流速を用いた幼生分散に加え、分散経路のクロロフィルa環境に応じた幼生の生存確率を組み込んだオニヒトデ幼生の分散シミュレーションを行い、さらに、これを同期間の沖縄県内のオニヒトデの発生・サンゴ被度の変化のデータを用いた時系列統計モデルと組み合わせて解析し、オニヒトデ大量発生メカニズム解明・予測に取り組んだ。
29	岡地 賢 ほか	H29.11.23	口頭	日本サンゴ礁学会第20回大会 東京工業大学	稚仔期オニヒトデの成長と死亡率	オニヒトデの個体群形成プロセスにおいて重要と考えられる稚ヒトデ期の成長率を恩納村と北谷町と比較し、餌としてのサンゴ被度が影響をあたえていることを示唆した。また、北谷町において稚ヒトデの死亡率を推定する試みについても発表した。
29	田所良幸 ほか5名	H29.11.23	ポスター	日本サンゴ礁学会第20回大会 東京工業大学	安定同位体比を用いたオニヒトデ浮遊幼生期の食性解析	オニヒトデ幼生の餌資源を検討するため、培養藻類を添加した濾過海水、加熱殺処理した培養藻類を添加した濾過海水と、デトリタス化したPOM(有機物粒子)を用いてオニヒトデ幼生を飼育し、それぞれの実験区における幼生の成長度合いと餌の捕食の関係を炭素安定同位体比分析によって解析した。その結果、殺処理した培養藻は同化して生存維持には貢献しているが、成長促進はしていないことがわかった。
29	樋口純平 ほか5名	H29.11.23	ポスター	日本サンゴ礁学会第20回大会 東京工業大学	オニヒトデの幼生期における飢餓耐性:ピピンナリア期の場合	オニヒトデ幼生がどの程度の飢餓状態に耐えられるかを調べるため、孵化後に摂餌を開始したピピンナリア幼生を; 連続的に餌(培養槽)を与える; 5日目から餌を与える; 8日目から餌を与える; 餌を与えない、という4つの実験区で飼育し、それぞれの体長変化を測定した。その結果、ピピンナリア幼生は孵化後8日間は飢餓に耐えられるが、11日以上は成長が阻害されることがわかった。
29	城 聖人 ほか5名	H29.11.23	ポスター	日本サンゴ礁学会第20回大会 東京工業大学	オニヒトデの幼生期における飢餓耐性:ブラキオラリア期の場合	オニヒトデ幼生がどの程度の飢餓状態に耐えられるかを調べるため、ブラキオラリア期に変態した幼生を; 連続的に餌(培養槽)を与える; 変態後3日目から餌を与える; 変態後6日目から餌を与える; 餌を与えない、という4つの実験区で飼育し、それぞれの体長変化を測定した。その結果、初期ブラキオラリア幼生は変態後3～6日以上は成長が阻害されることがわかった。
29	北舩峻 ほか3名	H29.12.21	ポスター	第18回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会	サンゴ被度検出に向けたテクスチャ解析	サンゴ礁の状態観測として海洋生物が持つテクスチャに着目し、テクスチャ解析に基づくサンゴの検出とその識別手法を提案する。マンタ法により撮影した動画画像から抽出した海中画像に映る物体を卓状サンゴ、枝状サンゴ、他のサンゴ、その他(砂地・岩礁等)の4クラスに判別を行う。