

阿嘉島のさんご礁海水における 粒子状有機物 -石垣島の伊土名沖さんご礁水 質との比較-

立田 穰*
一般財団法人電力中央研究所
環境科学研究所
岩尾 研二
阿嘉島臨海研究所

Particulate organic carbon in coral reef water at Akajima Island:
Comparison with reef water quality off Itona, Ishigaki Island

Y. Tateda* · K. Iwao
* E-mail: tateda@criepi.denken.or.jp

●はじめに

阿嘉島の海水の水質は、沖縄本島の北谷沿岸などと比較して、懸濁物量 (SS) やクロロフィル α (Chl- α) 濃度が低く、豊富な光量と貧栄養を好むサンゴの生育に適していた(木村ら 1993)。また、阿嘉島の生活排水の影響を受けやすいマエノハマとマジノハマについては、陸水が流れ込む地点に近いほど栄養塩濃度が高くなっており(青木・林原 1997; 岩崎 2005)、内湾性のサンゴがみられるこれらの地点の水質環境を具体的に示していた。さらに、クシバルとマジノハマにおける 2010 年から 2013 年の調査結果では、栄養塩環境の変動はあるものの、過去に健全なサンゴの生息がみられた他海域の水質環境との差は認められなかった(立田・岩尾 2014)。

一方、1998 年の全球的な海水高水温によるサンゴの白化や、2001 年から 2006 年にかけての沖縄海域のオニヒトデの大量発生(谷口 2010) などにより著しく衰退したサンゴ群集は、例えば阿嘉島のニシハマでは、その被度は 2013 年時点で 19%までの回復に留まっており、生息する魚類の出現数も極めて少ない(谷口・吉村 2014)。さんご礁生態系の衰退は、沖縄海域に共通してみられ(環境省 2014)、阿嘉島周辺のサンゴについても、同様である(谷口 2012)。

このようなさんご礁生態系の衰退や回復の遅れについて、単一の原因に帰することは困難である。地球温暖化に伴う高温海水による白化や、オニヒトデの大量発生が衰退の引き金となったことは間違いない。しかしながら、その後の回復の遅れを引き起こす可能性のある環境要因のひとつとして、人為的環境負荷の影響について検討しておくことは必要である。例えば、農業・酪農・水産増養殖、および宅地化などの土地利用変化に伴う沿岸の富栄養化は、サンゴより藻類の生育を促進することから、沖縄のみならず豪州におけるさんご礁生態系の衰退のひとつの原因として挙げられている(Fabricius 2005)。これに対して、阿嘉島では、陸水流入により栄養塩負荷を受けていることが示されたマジノハマのみならず、人為的な環境負荷が小さいと考えられるクシバルでも、サンゴの生育に影響しそうな富栄養化傾向は認められなかったことから(立田・岩尾 2014)、栄養塩環境が、阿嘉島のさんご礁生態系の回復の遅れに影響を及ぼしているとは考えにくい。他方で、潜水調査で受ける印象では、阿嘉島のさんご礁の海水における視程(透明度)は、1998 年の白化による大規模衰退以前に比較して必ずしも同等とはいえない。このような海水中の光量の不足は、生息するサンゴの成長や種組成に影響をおよぼすことから、光量に最も影響を及ぼす海水中の懸濁粒子量

などが、阿嘉島のさんご礁において、次に検討すべき環境要因である。阿嘉島周辺さんご礁における陸域からの栄養塩の流入は小さいことから、陸域からの粘土粒子の流入も大きくはないと考えられる。考えられる他の環境要因としては、海水中に懸濁している有機物粒子が挙げられる。そこで、本研究では海水中に懸濁している有機物粒子に着目し、阿嘉島の2地点で調査を実施した。このような有機物粒子が、阿嘉島の衰退したさんご礁から再懸濁したものか、あるいは沖縄海域の水塊に共通する広域的なものかを把握するために、石垣島の伊土名沖でも同様の調査を行った。得られた懸濁有機物粒子量と、有機物の炭素・窒素の比率から、阿嘉島のさんご礁に対するこの水質の影響を考察する。

●調査地点と測定方法

水質調査は、立田・岩尾(2014)に示す方法でマジヤノハマとクシバルで実施した。また、比較するために、石垣島中部の東シナ海に面する伊土名沖のさんご礁における、礁湖と礁嶺の2地点について、同様の調査を行った(図1)。懸濁有機物粒子試料は、スキングダイビングによりポリカーボネートビンに10L採取した。採取後ただちに実験室に持ち帰り、あらかじめ450℃加熱処理した47mmGF/Fフィルターでろ過し、ただちに冷凍保存した。懸濁有機物粒子における炭素と窒素

含量は、元素分析計(スミグラフNC-1000、島津)を用いて、アセトアニリドにより定量した。また、前報(立田・岩尾2014)で報告済みの阿嘉島における栄養塩濃度と比較するために、石垣島2地点についても同様の方法で栄養塩調査を行った。

●結果

阿嘉島のマジヤノハマとクシバルのさんご礁嶺(2010年4月から2011年3月)、および石垣島伊土名沖のさんご礁湖と礁嶺(2010年10月から2011年2月)における、表層水中の懸濁粒子状有機炭素(POC)と有機窒素(PON)濃度、およびそれらの濃度比(C/N)を図2に示す。

阿嘉島のさんご礁海水におけるPOC、PONは、5月のマジヤノハマにおける上昇を除いて、マジヤノハマおよびクシバルの両地点で、POC、PONが、各々30~90 $\mu\text{g-C l}^{-1}$ 、2~10 $\mu\text{g-N l}^{-1}$ の範囲にあった。

これに対して、石垣島伊土名沖では、11月のさんご礁嶺における上昇を除いて、礁湖内および礁嶺とも、POCは14~80 $\mu\text{g-C l}^{-1}$ の範囲にあったが、PONは、阿嘉島に比較してやや高め、2~18 $\mu\text{g-N l}^{-1}$ の範囲にあった。C/N比については、阿嘉島および石垣島の調査地点の双方で12月あるいは1月に上昇していたが、その他の期間については、およそ7前後の値であった。各地点間の比較では、POCは、阿嘉島におけるマジヤノハマとクシバル、および石垣島伊土名における礁湖と礁嶺各々の間では差はなかった。一方、マジヤノハマにおけるPOCは伊土名礁湖より高く(Welch t検定、 $p<0.01$)、クシバルにおけるPOCは伊土名礁嶺より高かった($p<0.05$)。また、阿嘉島のマジヤノハマにおけるPONは、クシバル($p<0.01$)および伊土名礁湖($p<0.05$)より高かった。

石垣島伊土名沖のさんご礁嶺と礁湖における2010年10月から2011年2月の調査期間における、表層

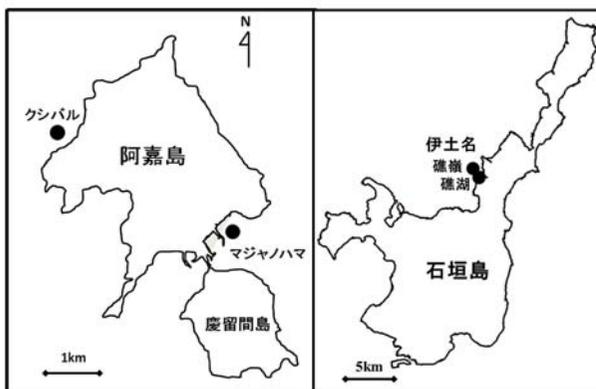


図1 阿嘉島(左)と石垣島(右)の採水地点

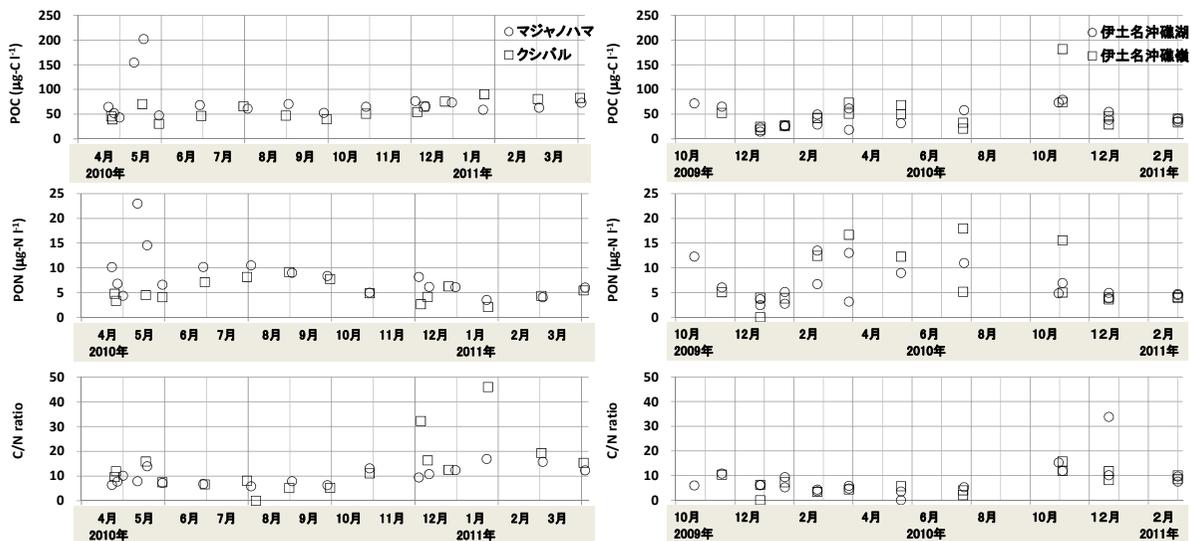


図 2 阿嘉島周辺さんご礁(左)のマジャノハマ(○)とクシバル(□)、および石垣島伊土名沖(右)の礁湖(○)と礁嶺(□)の表層海水における粒子状有機炭素、粒子状有機窒素および炭素濃度窒素比(最上段:POC濃度(μg-C l⁻¹),中段:PON濃度(μg-N l⁻¹),下段:C/N)

水中の硝酸態+亜硝酸態窒素 $\text{HNO}_x\text{-N}$ 、アンモニウム態窒素 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、リン酸態リン $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度を図 3 に示す。伊土名沖さんご礁の表層海水における $\text{HNO}_x\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、礁湖内および礁嶺の両地点で、各々 $\text{ND} \sim 3.7$ 、 $0.2 \sim 1.9 \mu\text{mol-N l}^{-1}$ 、 $0.04 \sim 0.3 \mu\text{mol-P l}^{-1}$ の範囲にあった。伊土名での $\text{HNO}_x\text{-N}$ は礁

湖より礁嶺で高く ($p < 0.05$)、また、伊土名礁湖・礁嶺における $\text{NH}_4\text{-N}$ は、阿嘉島マジャノハマ・クシバルより高かった ($p < 0.001$, $p < 0.001$)。同様に、 $\text{PO}_4\text{-P}$ についても、伊土名 2 地点は阿嘉島 2 地点より高かった ($p < 0.05$, $p < 0.001$)。

● 考察

阿嘉島のマジャノハマでは、2010 年 5 月に POC と PON の上昇がみられた。同時期に栄養塩の上昇も報告され、降雨との関係が示されている(立田・岩尾 2014)。従って、5 月のマジャノハマにおける懸濁有機物粒子は、降雨により陸上から流れ込んだものであると考えられる。

これに対して、阿嘉島の居住地区の影響がほとんどないと考えられるクシバルにおいて、12 月から 1 月の冬季に、懸濁有機物粒子における C/N 比の上昇が見られた。30~50 という値の C/N 比は、有機物の分解が進んだかなり古い有機物であることを示す。この期間の POC と PON が、他の期間に比較してもほとんど差がないことから、水柱における懸濁有機物量が多くなることは、これらの結果は、懸濁有機物が阿

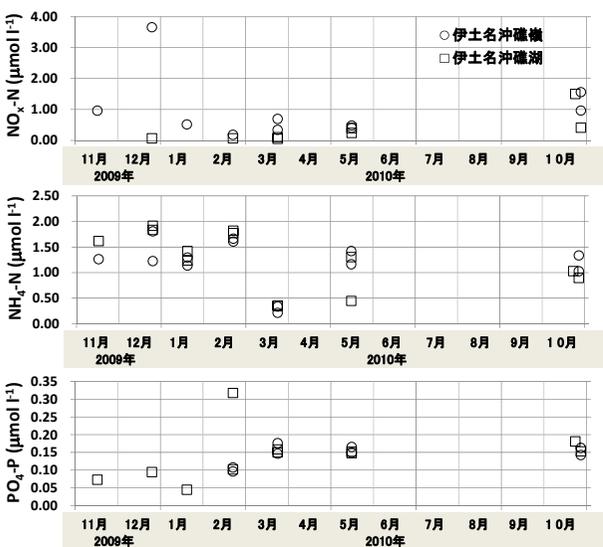


図 3 石垣島伊土名沖さんご礁の礁嶺と礁湖の表層海水における栄養塩濃度(μmol l⁻¹)(最上段:NO_x-N、中段:NH₄-N、下段:PO₄-N)

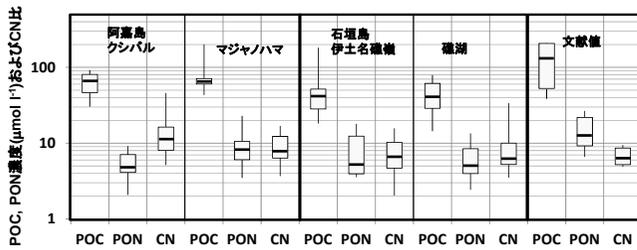


図4 阿嘉島クシバルとマジャノハマ、石垣島伊土名のさんご礁嶺と礁湖における POC、PON 濃度(2010、2011 年度; $\mu\text{g-C,N l}^{-1}$)と C/N 比、およびこれらの文献値の最大値、4分位範囲(0.25~0.75)、最小値、および中央値

嘉島ではなく、遠方から輸送されたものである可能性を示す。同様に、石垣島の伊土名礁嶺でも、2010 年 12 月に C/N 比およそ 30 の懸濁有機物粒子がみられた。阿嘉島や石垣島の東シナ海側では、冬季における北西の季節風の影響を直接受けるため、阿嘉島クシバルおよび石垣島伊土名沖さんご礁では、分解が進んだ懸濁有機物粒子が、大陸から風送流により東シナ海表層を運搬されて南西諸島に到達した可能性が高い。

石垣島伊土名沖では、2010 年 2 月から 7 月の期間において、礁湖および礁嶺のいずれにおいても、阿嘉島に比較して PON が高かった。石垣島伊土名沖さんご礁は、沿岸の吹通川マングローブ域に隣接しており、河川からの流入の影響も考えられる。しかしながら、およそ 6~7 の C/N 比は、懸濁有機物粒子が新しく生産された有機物であることを意味しているが、石垣島伊土名のサンゴの被度がきわめて低いことを考えると、サンゴから生産された有機物よりも、海水中の植物プランクトンにより生産された有機物である可能性が高い。

本研究で得られた POC と PON 濃度および C/N 比の範囲と、これまでの文献における報告範囲を図 4 に示す。

阿嘉島および石垣島伊土名さんご礁の POC、PON の濃度範囲は、ニューカレドニア (Houlbréque et al. 2006) や石垣島白保 (Tanaka et al. 2011) などのさ

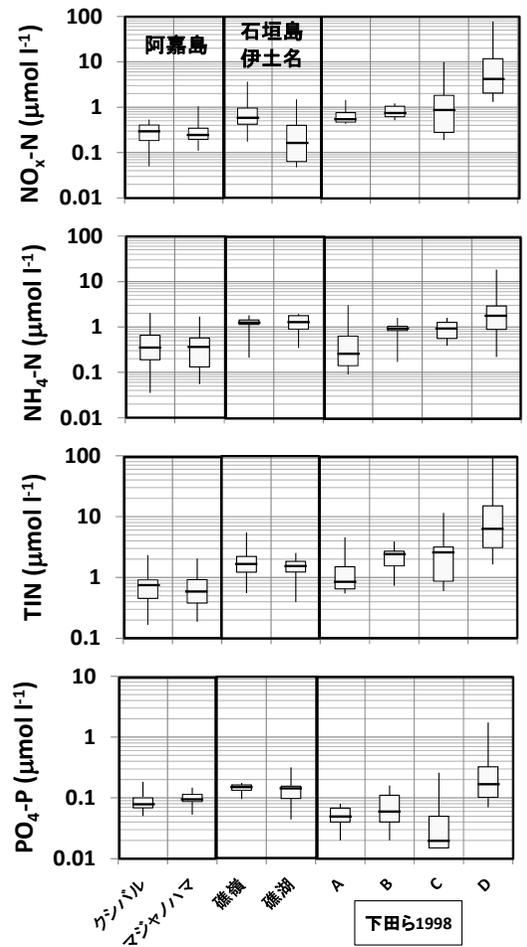


図5 石垣島伊土名のさんご礁嶺と礁湖における栄養塩濃度調査結果(2009、2010 年度; $\mu\text{mol l}^{-1}$)、および阿嘉クシバルとマジャノハマ(立田・岩尾 2014)、南西諸島における報告値(サンゴ生息状況 A:良好、B:生息あり、C:不良、D:生息なし; 下田ら 1998)の最大値、4分位範囲(0.25~0.75)、最小値、および中央値

んご礁で報告されているよりは低い濃度範囲にあった。また懸濁有機物粒子における C/N 比に著しい差はなかった。このことから、阿嘉島や石垣島伊土名のさんご礁における懸濁有機物粒子の濃度は、少なくとも報告されている上記のさんご礁に比較して、著しく光量を減衰させる原因となっているとは考えにくい。

一方、阿嘉島クシバルにおける懸濁有機物粒子の C/N 比は、サンゴに由来する有機物における C/N 比 5

(Nakajima et al. 2009) に比較して大きく、懸濁有機物粒子が阿嘉島以外の海域から輸送された可能性を示す。本研究では、GF/F フィルターを用いたが、その粒子保持能から推定すると、これは $>0.7\mu\text{m}$ の有機物粒子に関する検討結果と考えるべきである。今後は、 $<0.7\mu\text{m}$ (GF/F で弁別の場合) の溶存態有機物や、一般的に研究に用いられる濾過用フィルターで溶存態とされる $<0.45\mu\text{m}$ のような小さな無機物微粒子などによる光量への影響が、阿嘉島のさんご礁生態系の回復の遅れの原因として現実的かどうか、サンゴの生産力との関係の検討などが望まれる。

石垣島伊土名沖のさんご礁における水質環境を、阿嘉島 2ヶ所、および過去の沖縄他海域のさんご礁における報告値と比較した結果を図5に示す。本調査で得られた石垣島伊土名礁嶺と礁湖における栄養塩濃度は、下田ら (1998) が南西諸島においてサンゴの生育が良好 (A) とした海域における栄養塩濃度報告値に比較して、 $\text{NO}_x\text{-N}$ は礁嶺では著しい差はなく、また、礁湖では阿嘉島における濃度範囲に近かった。これに対して、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 TIN ($\text{NO}_x\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ のいずれも、サンゴの生育が良好 (A) とされた海域の報告範囲より高く ($p<0.01$, $p<0.05$, $p<0.01$)、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は不良 (C)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は生息なし (D) の範囲に近かった。

伊土名沖のさんご礁における $\text{NO}_x\text{-N}$ は、サンゴへの影響濃度とされる $1\mu\text{mol l}^{-1}$ (Fabricius, 2005) より低かったが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ については、礁嶺・礁湖 2 地点ともサンゴ幼生への影響が及ぶ可能性が提起されている影響濃度 $1\mu\text{mol l}^{-1}$ (Fabricius 2005) を上回っていた。また、 TIN についても、Bell et al. (2007) が示したサンゴへの影響濃度 ($<1\mu\text{mol l}^{-1}$) を上回っていた。さらに、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は、サンゴへの影響濃度 ($<0.1\sim 0.2\mu\text{mol l}^{-1}$) (Bell et al. 2007) に近かった。伊土名沖のさんご礁の 2013 年における被度は 10%未満できわめて不良であり (環境省 2014)、本調査で明らかとなった水

質も、サンゴの生息環境としては厳しい状態にあることを示していた。

本研究では、阿嘉島と石垣島伊土名沖のさんご礁における懸濁有機物粒子濃度の調査の結果、水中の光量を減じるような水質環境ではないことが明らかとなった。しかしながら、北西の季節風が卓越する場合は、大陸から古い有機物粒子が運搬されている可能性が示唆された。また、阿嘉島の栄養塩環境は、沖縄全域の過去の健全なさんご礁の水質環境に比較して、著しく損なわれているとは考えられなかったが、石垣島伊土名のさんご礁の 2010~2011 年における水質環境は、好適とは考えられなかった。同地点はマングローブ沿岸生態系に隣接しているが、同様の環境でも、過去には極めて良好なさんご礁生態系が形成されていたため、マングローブ生態系の河川からの流入物の影響は考えにくい。一方で、石垣島中部東シナ海沿岸は、集落も増加し、人為的な影響を完全に否定することはできない。さらに、懸濁有機物粒子の検討結果から示唆された大陸からの水塊による影響の多寡も確認する必要があると考えられる。経済発展の著しい大陸に隣接する南西諸島周辺海域では、栄養塩や有機物その他の起源の推定と、それらのさんご礁生態系への影響に関する今後の検討が望まれる。

尚、本研究は (一財) 電力中央研究所 環境科学研究所と (一財) 熱帯海洋生態研究振興財団との共同研究により実施された。

●引用文献

- 青木豊明・林原 毅 (1997) 阿嘉島のサンゴ礁における水質環境: クシバルにおける夏季の水質の日周変化. *みどりいし* (8): 11-15
- Bell P, Lapointe B, Elmetri I (2007) Reevaluation of ENCORE: Support for the eutrophication threshold model for coral reefs. *Ambio* 36(5): 416-424

-
- Fabricius K (2005) Effects of terrestrial runoff on the ecology of coral and coral reefs: Review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 50: 125-146
- Houlbr eque F, Delesalle B, Blanchot J, Montel Y, Ferrier-Pag es C (2006) Picoplankton removal by the coral reef community of La Prevoiyante, Mayotte Island. *Aquatic Microbial Ecology* 44: 59-70
- 岩崎誠二 (2005) 阿嘉島沿岸のエストロゲン様物質及びその他水質汚濁物質の実態. *みどりいし* (16): 16-19
- 環境省自然環境局 生物多様性センター (2014) 平成 25 年度モニタリングサイト 1000 サンゴ礁調査報告書. 177pp
- 木村 匡・林原 毅・下池和幸 (1993) 阿嘉島のサンゴ礁と水質、沖縄本島との比較(予報). *みどりいし* (4): 20-22
- Nakajima R, Yoshida T, Asman BAR, Zaleha K, Othman BHR, Toda T (2009) In situ release of coral mucus by *Acropora* and its influence on the heterotrophic bacteria. *Aquatic Ecology* 43: 815-823
- Tanaka Y, Miyajima T, Watanabe A, Nadaoka K, Yamamoto T, Ogawa H (2011) Distribution of dissolved carbon and nitrogen in a coral reef. *Coral Reefs* 30: 533-541
- 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
- 谷口洋基 (2012) オニヒトデの大量発生から 5 年、阿嘉島周辺のサンゴ礁の現状と将来の展望. *みどりいし* (23): 20-24
- 谷口洋基・吉村 強 (2014) 阿嘉島ニシハマにおける 15 年間のリーフチェック. *みどりいし* (25): 3-6
- 立田 穰・岩尾研二 (2014) 阿嘉島のさんご礁における水質環境：クシバルとマジヤノハマの栄養塩濃度. *みどりいし* (25): 7-11
- 下田 徹・市川忠史・松川康夫 (1998) 琉球諸島のサンゴ礁における栄養環境とそのサンゴ生育への影響. *中央水産研究所研究報告* 12: 71-80