

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—

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

Water quality of coral reefs at Akajima Island: Nutrient levels at Kushibaruru and Majanohama

Y. Tateda* · K. Iwao

* E-mail: tateda@criepi.denken.or.jp

●はじめに

阿嘉島臨海研究所では、サンゴの生育環境としてのさんご礁の水質の変化を明らかにするために、1991年より調査を行ってきた。1992年の調査結果では、阿嘉島周辺のさんご礁の水質は、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 a(Chl-a)濃度が低く、かつ海水の透明度が高く、サンゴの生育に適した環境が保たれていた(木村ら 1993)。また、1994年と2003年の阿嘉島周辺のさんご礁海域の栄養塩濃度調査結果では、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ヤノハマでは、陸水が流れ込む地点に近いほど栄養塩濃度が高くなることが示された(青木・林原 1997; 岩崎 2005)。以上の調査結果では、阿嘉島周辺のさんご礁海域では、一部に生活排水の影響による栄養塩濃度の上昇に伴う水質変化の可能性は認められているものの、全般的にはサンゴの生息状況への大きな影響は認められてはなかった。

しかしながら、1998年の世界的な海水の高水温によるサンゴの白化現象により、阿嘉島周辺のサンゴ被度は低下し、原因は明らかではないが、以前に比較して海水の透明度の低下が懸念されている。また、2001年から2006年にかけてのオニヒトデの大量発生(谷口 2010)後、阿嘉島周辺の西岸ではオニヒトデ被害後に新たに加入した群体がみられるものの、東側では幼群体が少なかったことから、集落や港、海水浴場な

どによる水質環境への人為的な負荷が、サンゴの生育環境や被度の回復に影響している可能性も示唆されている(谷口 2012)。

そこで、本研究では、特に生活排水や土地利用に伴う阿嘉島周辺のさんご礁海域の水質への、2010年以降の人為的な影響を把握するために、これまでに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ヤノハマ、および人為的な環境負荷が小さいと考えられるクシバル地点について、海水中の栄養塩濃度の調査を実施した。

●調査地点と測定方法

水質調査は、阿嘉島西岸で礁が北方向に発達する



図1 採水地点

クシバル、および東岸で陸から南方向に礁が発達するマジャノハマで行った(図 1)。水質調査は、2010 年 4 月から 2011 年 3 月の 1 年間、および 2012 年 4 月から 2013 年 2 月までのおよそ 1 年間の計 2 ケ年中に、おおむね月 1 回の頻度で行った。クシバルとマジャノハマの採水は、海岸汀線から各々 150m および 200m 沖において、礁嶺上の表層 30cm の海水を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、GF/F フィルターでろ過した。最初のろ液で洗浄済みテフロンビンに 3 回共洗いのち、栄養塩分析用試料として、ろ液 100ml をこれに採取し、ただちに冷凍保存した。分析用試料は 2 試料ずつ採取した。ろ過海水中の栄養塩濃度は、栄養塩分析装置(TRACCS-800 ブラン・ルーベ社)を用いて、硝酸態+亜硝酸態窒素 $\text{NO}_x\text{-N}$ 、アンモニウム態窒素 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、リン酸態リン $\text{PO}_4\text{-P}$ として、濃度を定量した。各栄養塩濃度の検出限界は、各々、0.05、0.03、0.03 $\mu\text{mol l}^{-1}$ であった。

●結果

およそ 2 ケ年の調査期間(2010 年 4 月から 2011 年 3 月、2012 年 4 月から 2013 年 2 月)における、クシバルとマジャノハマのさんご礁の礁嶺上の表層水中栄養塩濃度を図 2 に示す。阿嘉島周辺のさんご礁において、陸地からの栄養塩の流入が報告されているため(岩崎 2005)、陸水の流入量に影響を及ぼす降水との関係を比較するために、日間降水量(気象庁慶良間アメダスデータ)を併せて図 2 に示す。ただし、栄養塩分析のための採水は、必ずしも降水直後に行っていないため、採水前数日間の降雨に基づく陸水流入との関係を把握するために、採水への降雨影響を便宜的に採水日前 3 日間と仮定して、採水前 3 日間積算降水量を併せて示した。

●考察

各さんご礁上の表層海水における $\text{NO}_x\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、クシバルで各々 $<0.05 \sim 0.54$ 、 <0.03

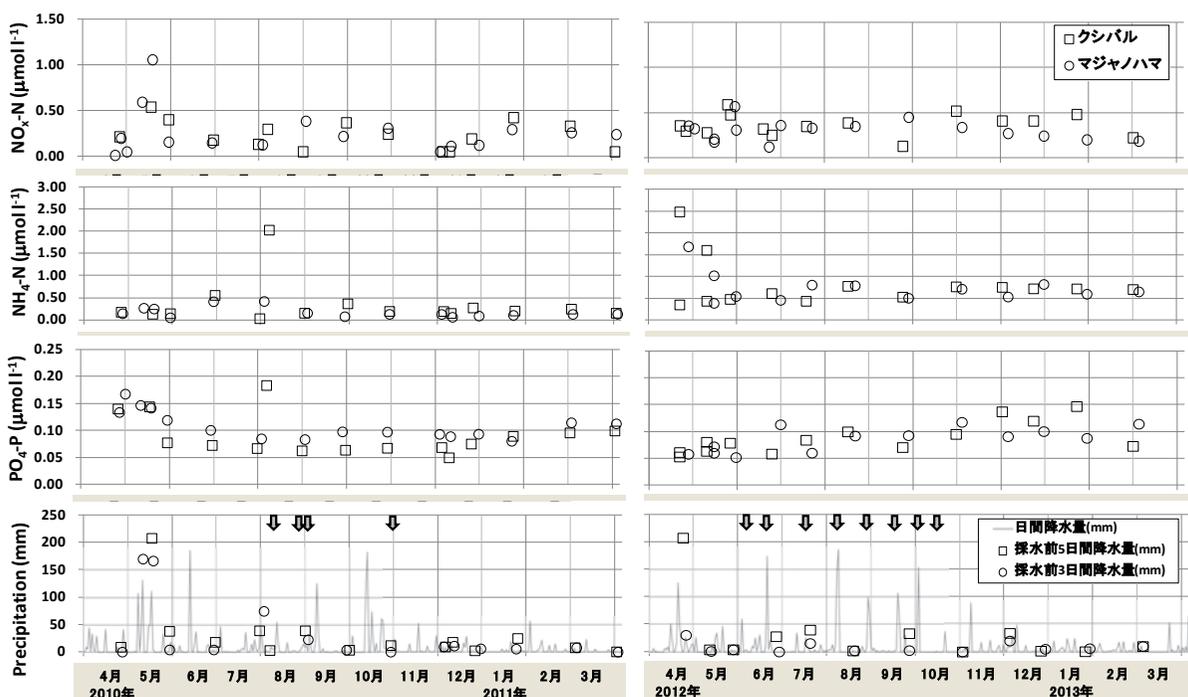


図 2 阿嘉島周辺さんご礁のクシバル(□)とマジャノハマ(○)の表層海水における栄養塩濃度(最上段: $\text{NO}_x\text{-N}$ 、中段: $\text{NH}_4\text{-N}$ 、下段: $\text{PO}_4\text{-P}$; $\mu\text{mol l}^{-1}$)および慶良間アメダスにおける日降水量(最下段:実線)、採水前 5 日間積算降水量(最下段:□)、採水前 3 日間積算降水量(最下段:○)、台風接近日(ψ)の記録(2010、2012 年度)

~2.0、および<0.05~0.18 $\mu\text{mol l}^{-1}$ の範囲にあり、またマジャノハマでは各々<0.05~1.1、<0.03~1.7、および<0.03~0.15 $\mu\text{mol l}^{-1}$ の範囲にあった。クシバルでは、採水前3日間の積算降水量がおおよそ200mmに達した2010年5月16日の $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度が、また同様におおよそ200mmに達した2012年4月23日の $\text{NH}_4\text{-N}$ が、各々高い濃度を示した。また、マジャノハマでは、採水前3日間積算降水量がおおよそ170mmに達した2010年5月10日と17日に $\text{NO}_x\text{-N}$ が高い濃度を示した。降雨による陸水の流入があったと考えられるこれらの時期以外の期間における、各々のさんご礁の表層海水中的各栄養塩濃度は、おおむね一定の値の範囲にあったが、一方で採水日前に降雨が無かったと考えられるにも関わらず、クシバルでは2010年8月4日に $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の上昇が、また2011年1月19日に $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度が、さらに2012年11月30日と2013年1月20日とに $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の上昇がみられた。同様にマジャノハマにおいても、2012年5月27日に降雨と関連しないと考えられる $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の上昇がみられた。

採水前3日間積算降水量と、クシバルとマジャノハマにおける各栄養塩濃度との関係を図3に示す。岩崎(2005)によって示されたように、阿嘉島においては、陸水流入により、海域へ硝酸やアンモニウムイオンが流入する場合があると考えられる。また、降雨による地下水位上昇による陸水流入に基づく栄養塩濃度の上昇(Umezawa et al. 2002)も可能性として考えられる。特に、マジャノハマのさんご礁は、生活排水起源のアンモニウムイオンやリン酸イオンの流入の影響が懸念されたが、本調査結果は硝酸+亜硝酸イオン濃度が降雨後に0.5から1.0 $\mu\text{mol l}^{-1}$ に上昇している場合がみられた。これに対して、隣接する陸域における土地利用がほとんどないクシバルのさんご礁では、採水前3日間積算降水量の増加に伴う顕著な栄養塩濃度の上昇は観察されなかった。クシバルとマジャノハマでは、降雨に起因しないとされる栄養塩濃度の上昇例も認められたため、風波による堆積物再懸濁からの再供給の可能性(Morimoto et al. 2010)を検討したが、本調査では採水前数日間の風速との相関関係は見出せなかった。

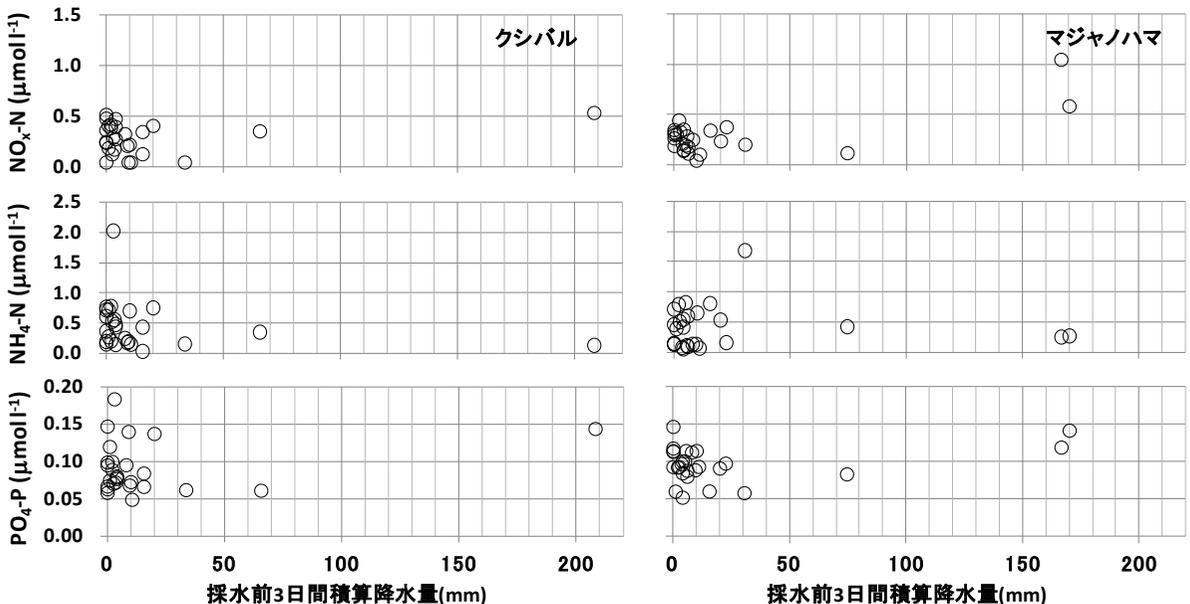


図3 クシバル(左)とマジャノハマ(右)の表層海水における栄養塩濃度(最上段: $\text{NO}_x\text{-N}$ 、中段: $\text{NH}_4\text{-N}$ 、下段: $\text{PO}_4\text{-P}$; $\mu\text{mol l}^{-1}$)と採水前3日間積算降水量(mm)との関係

これらのような栄養塩濃度の上昇時も含めて、調査した 2 ケ所のさんご礁における栄養塩環境を、さんご礁におけるこれまでの報告値と比較した結果を図 4 に示す。一般的なさんご礁において、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ 、および $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、各々 $0.1\sim 0.5$ 、および $0.01\sim 0.1\mu\text{mol l}^{-1}$ とされている(田中 2012)。また、パラオ環礁(Watanabe et al. 2006)や、オーストラリア北部のさんご礁(Baird et al. 2004)、あるいは、我が国の石垣島白保(Miyajima et al. 2007)や石西礁湖(Morimoto et al. 2010)における栄養塩濃度も、上記の範囲に近いことが示されている。

本調査で得られたクシバルとマジヤノハマのさんご礁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、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度および TIN ($\text{NO}_x\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$)濃度は低く、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は高かったが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に差はなかった(Welch t 検定、 $p<0.05$)。 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度および TIN 濃度は、その他の文献報告値に比較しても、ほぼ同じ範囲にあったが(Miyajima et al. 2007; Watanabe et al. 2006; Tanaka et al. 2011)、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は高い傾向にあった(田中 2012; Miyajima et al. 2007; Watanabe et al. 2006)。また、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度は、Fabricious(2005)が示したサンゴ群体への影響濃度 $1\mu\text{mol l}^{-1}$ より低かったが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はクシバルとマジヤノハマの 2 地点ともおおむね下回っていたものの、濃度範囲の最大値がこれらの影響濃度に近い場合もみられた。また、TIN と $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度については、Bell et al.(2007)が示したサンゴ群体への影響濃度(各々 <1 、 $<0.1\sim 0.2\mu\text{mol l}^{-1}$)に対して、2 地点ともおおむね下回っていたが、TIN 濃度のおよそ 25%のあたる高濃度側は、これらの影響閾値を超えていた。

本調査結果から、阿嘉島の 2 ケ所のさんご礁において、人為的あるいは自然起源を問わず、水質環境における硝酸+亜硝酸イオンのサンゴへの影響はほぼ無いことを示している。また、アンモニウムイオンについては濃度が $1\mu\text{mol l}^{-1}$ を超える場合は、サンゴ幼生への

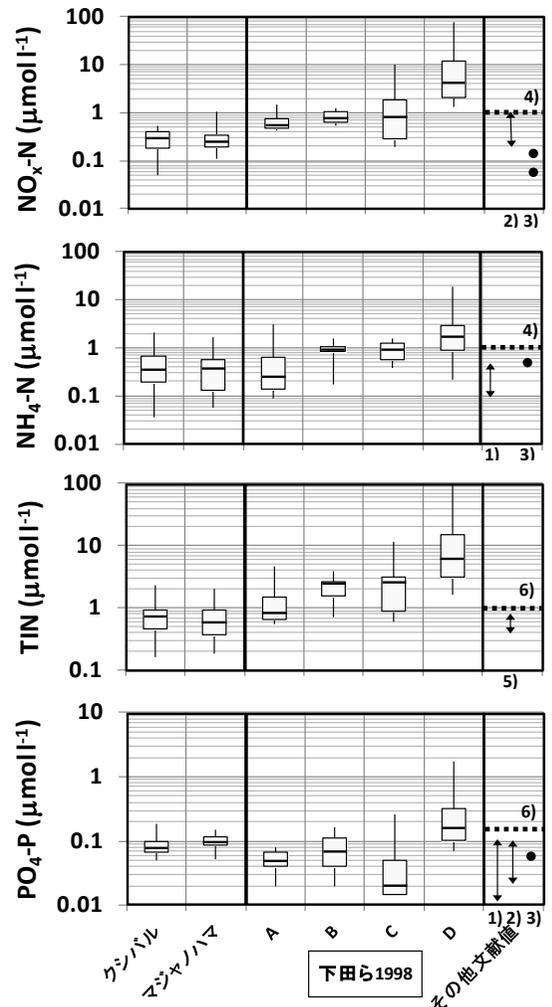


図 4 クシバルとマジヤノハマにおける栄養塩濃度調査結果(2010、2012 年度; $\mu\text{mol l}^{-1}$)と南西諸島における報告値(サンゴ生息状況 A: 良好、B: 生息あり、C: 不良、D: 生息なし; 下田他 1998)の最大値、4 分位範囲(0.25-0.75)、最小値、および中央値、およびその他報告値[1]田中 2012; 2) Miyajima et al. 2007; 3) Watanabe et al. 2006; 4) Fabricious 2005; 5) Tanaka et al. 2011; 6) Bell et al. 2007]

影響が及ぶ可能性が提起されていることから(Fabricious 2005)、調査した 2 地点におけるアンモニウムイオン濃度が、サンゴ幼生の生育期間中に上昇する頻度が多くなる場合は、その影響に関する今後の検討が必要となると考えられる。一方、溶存態窒素(硝酸イオン、亜硝酸イオン、アンモニウムイオン)としては、下田ら(1998)が南西諸島で示したサンゴ成育環境が良好な海域の濃度に比較すると低い傾向にあったが、調査した 2 ケ所のアンモニウムイオン濃度が一

時的ではあるが、Bell et al.(2007)がグレートバリアリーフでの研究結果から示した影響閾値を超える場合があり、また、リン酸イオン濃度についても、これまでの報告値範囲より高く、かつその最大値がグレートバリアリーフで導かれた影響閾値に近かった。これらの結果から、調査した 2 ヶ年については、2 ヶ所のさんご礁の水質環境として、栄養塩濃度が直ちにサンゴへの負荷となるとは認められないものの、水質環境保全における今後の注意が必要と考えられる。

ただし、居住区に近いマジノハマと居住区から離れて外海に面するクシバルで、その濃度範囲がほとんど変わらないことから、マジノハマにおける豪雨時の硝酸 + 亜硝酸イオンの流入例を除いて(図 3)、全般的には、これら栄養塩は、阿嘉島の陸域に由来する人為的あるいは自然に起源を有するとは考えにくい。阿嘉島周辺における将来のサンゴの回復において、今後、居住区からの人為的营养塩、特にアンモニウムや硝酸イオンなどの無機態窒素の流入を適正に管理することは必要不可欠であるが、さらにより広い海域の水質環境保全について、経済発展の著しい東シナ海沿岸域に隣接する南西諸島周辺海域における今後の研究調査が望まれる。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

Baird M, Roughan M, Brander R, Middleton J, Nippard G (2004) Mass-transfer-limited nitrate uptake on a coral reef flat, Warraber Island, Torres Strait, Australia. *Coral Reefs* 23: 386-396

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

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

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

Miyajima T, Tanaka Y, Koike I, Yamano H, Kayanne H (2007) Evaluation of spatial correlation between nutrient exchange rates and benthic biota in a reef-flat ecosystem by GIS-associated flow-tracking. *Journal of Oceanography* 63(4): 643-659

Morimoto N, Furushima Y, Nagao M, Irie T, Iguchi A, Suzuki A, Sakai K (2010) Water-quality variables across Sekisei reef, a large reef complex in southwestern Japan. *Pacific Science* 64(1): 113-123

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

田中泰章 (2012) 造礁サンゴの栄養塩利用と生態生理学的影響。海の研究 21(4): 101-117

Tanaka Y, Miyajima T, Watanabe A, Nadaoka K, Tamamoto T, Ogawa H (2011) Distribution of dissolved organic 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

Watanabe A, Kayanne H, Hata H, Kudo S, Nozaki K, Kato K, Negishi A, Ikeda Y, Yamano H (2006) Analysis of the seawater CO₂ system in the barrier reef-lagoon system of Palau using total alkalinity-dissolved inorganic carbon diagrams. *Limnology and Oceanography* 51(4): 1614-1628