

湾内のサンゴ礁生息環境に関する 数値シミュレーション

NUMERICAL SIMULATION ON HABITAT OF CORAL REEF IN A BAY

赤松良久¹・石川忠晴²・池田駿介³

Yoshihisa AKAMATSU, Tadaharu ISHIKAWA and Syunsuke IKEDA

¹正会員 博(工) 日本学術振興会特別研究員 東京工業大学大学院総合理工学研究科

(〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

²フェロー会員 工博 教授 東京工業大学大学院総合理工学研究科 (〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町4259)

³フェロー会員 工博 教授 東京工業大学大学院理工学研究科 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1)

Coral reef in Okinawa Island is decreasing dramatically due to rising water temperature, red soil run-off and serious proliferation of crown of thorns starfish. In a semi-closed bay such as Nagura bay in Ishigaki Island, the eutrophication caused by the nutrient supply from river can be a contributing factor of the coral decrease. The impact of the red soil run-off and the eutrophication on habitat of coral reef is evaluated by numerical simulation using 3D ecological model (ELCOM-CAEDYM) in this study. The results of numerical calculations suggest that the eutrophication, which causes the extinction of coral seedstock due to algal propagation, can occur during prevailing south wind and the average concentrations of nutrients at the coastal area in Nagura bay become higher than those at other points in Ishigaki Island.

Key Words : Coral reef, eutrophication, ecological model, habitat

1. はじめに

沖縄県石垣島周辺には多種多様のサンゴが存在し、わが国の重要な環境遺産となっている。しかし、今日サンゴ礁は激減しており、その保護育成が急務となっている。サンゴ礁に関する研究は数多くなされており、従来のサンゴの生態に関する研究に加えて、サンゴ再生に向けた幼生着床板に関する研究¹⁾ やサンゴ幼生の浮遊拡散²⁾ に関する研究など多岐にわたっている。

サンゴ礁の激減の原因として水温上昇による白化、オニヒトデの急増あるいは赤土の流出といったことが考えられる。しかし、湾内といった半閉鎖性の領域においてはこれらの原因に加えて富栄養化がサンゴ礁の激減の要因になりえると考えられる。サンゴ礁は本来貧栄養の水域に生息するため、流域の土地利用の変化などにより湾内の水質が富栄養化すると、サンゴ礁は絶滅する可能性がある。沖縄県石垣島の名蔵湾では50年前にはサンゴ礁が広く分布していたが、現在では湾内のサンゴ礁はほぼ絶滅している。そこで、本研究では出水時の赤土堆積および平水時の富栄養化が湾内のサンゴ礁に与える影響に

ついて数値シミュレーションを行い、湾内のサンゴ礁の生息環境について検討した。

2. 研究対象域について

研究対象とした沖縄県石垣島名蔵湾には東側から名蔵

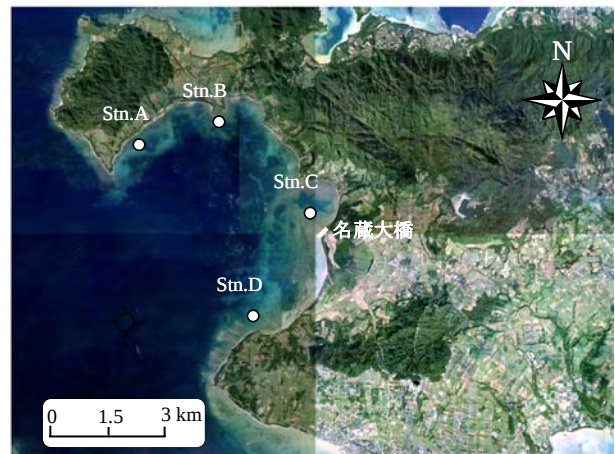


図-1 研究対象域

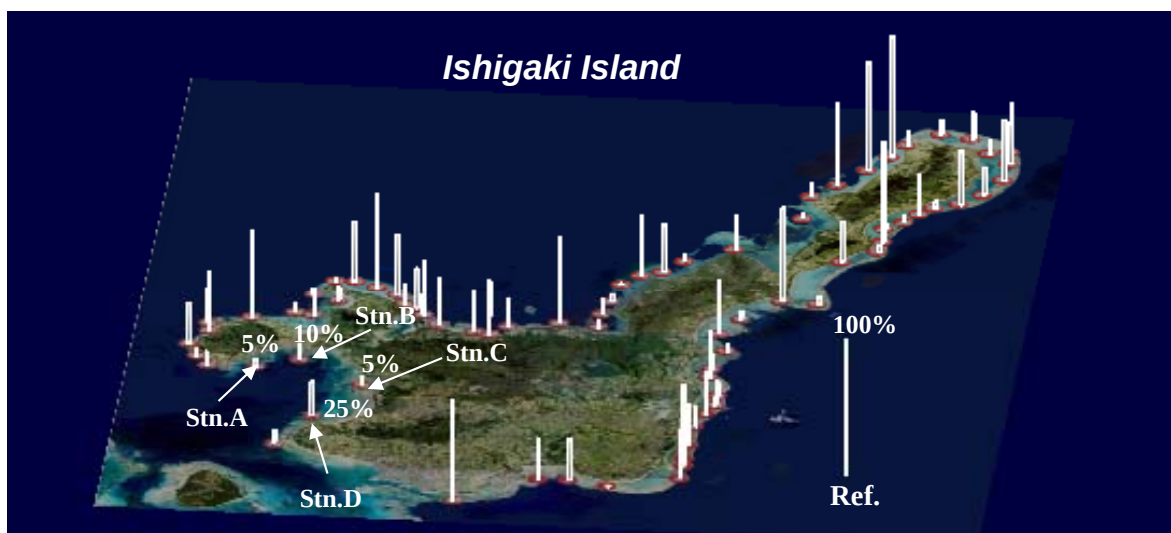


図-2 石垣島周辺のサンゴ被度

川が流れ込んでおり、名蔵川の河口部には名蔵川アンパルと呼ばれる広い干潟（ラグーン）が存在している（図-1）。また、ラグーン内および名蔵川から河口から約600m上流まで見事なマングローブ群落が存在している。さらに、名蔵川流域（流域面積：16.2 km²）は約20%がサトウキビ畑であり、降雨時の赤土流出が大きな問題となっている。それに加えて、サトウキビ畑等で用いられる肥料の地下水を通した流出も顕著にみられ³⁾、名蔵湾内の富栄養化を促進させている可能性がある。また、赤松・池田の研究⁴⁾により河畔マングローブ生態系は流域から供給された粒子態の栄養塩を活発な生物活動により効率的に分解し、沿岸域に溶存態の栄養塩として供給していることが明らかにされており、平水時にも湾内に比較的高い栄養塩濃度を持つ河川水が流入していると考えられる。

3. サンゴ礁の現状

図-2に環境省によって行われた2002年石垣島周辺のサンゴ被度(%)調査結果⁵⁾を示す。名蔵湾内のサンゴ被度は他の地域に比べて非常に小さいことがわかる。名蔵湾の南西部には石垣島と西表島の間、南北15km、東西20kmにわたって広がる石西礁湖と呼ばれる見事なサンゴ礁群が存在する（図-3）。このサンゴ礁群も様々な原因から減少傾向にあるものの、見事なサンゴ礁群が現存しており、周辺域へのサンゴ幼生の供給源となっている。サンゴの幼生は海流によって広域に拡散するため、名蔵湾にもサンゴの幼生は着床していると考えられる。しかし、サンゴの幼生が着床する5、6月にサンゴ幼生への日射を阻害する付着藻類の増殖が起こるとサンゴは幼生の時点で死滅してしまう。石垣島では図-4の2002年の5、6月の風向頻度図に示されるように、5、6月は南風が卓越する傾向にある。そこで、本研究ではサンゴ幼生の着床時期

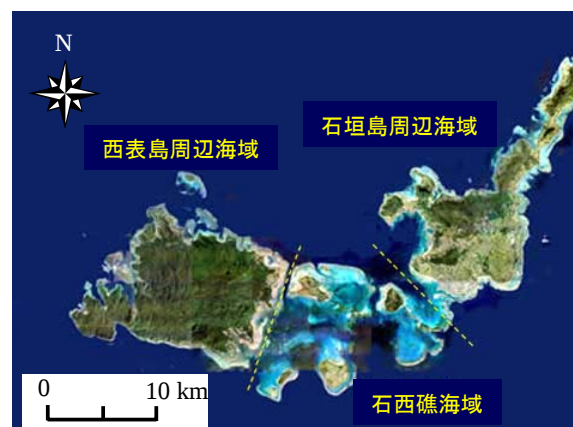


図-3 石垣島近海の石西礁湖

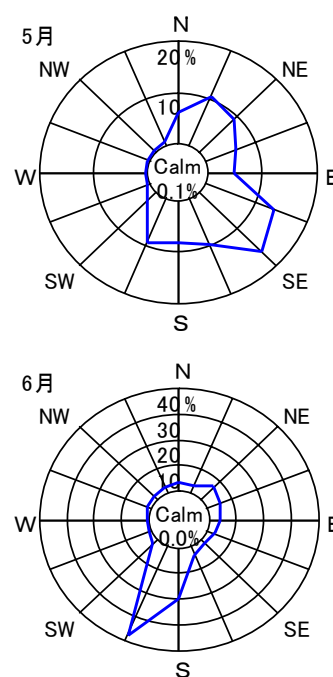


図-4 2002年の5、6月の風向頻度図

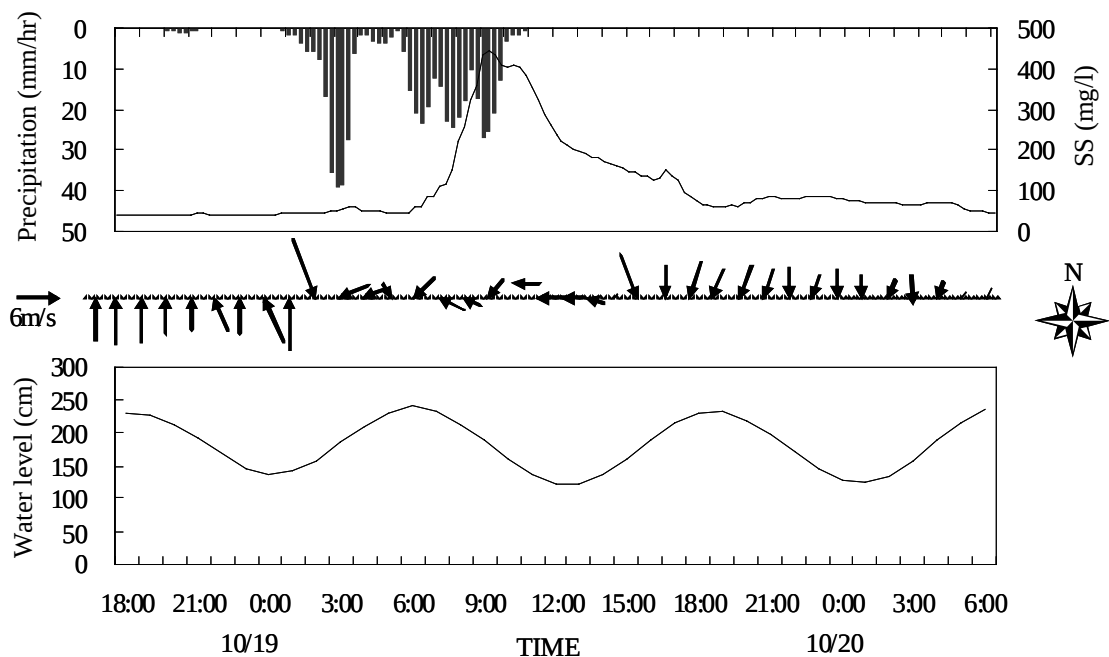


図-5 出水時計算期間の降水量，名蔵大橋での懸濁態物質（SS）濃度，風向・風速および潮位変動

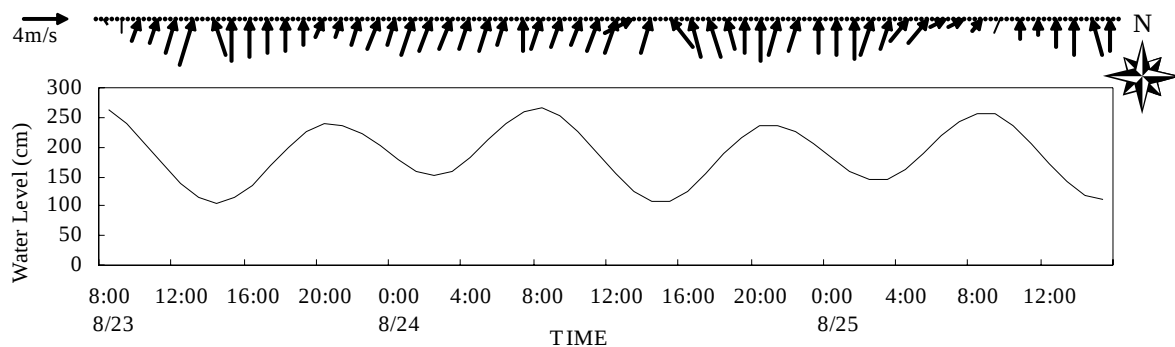


図-6 平水時計算期間中の風向・風速および潮位変動

表-1 河川および外海境界での溶存態栄養塩濃度（平水時）

	NH ₄ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	PO ₄ -P (mg/l)	DOC (mg/l)
River Mouth Boundary	0.1	0.2	0.02	4
Open Sea Boundary	0.04	0.0023	0.0002	2

を想定して，平水時の計算においては南風卓越時の名蔵湾内の栄養塩動態に着目して数値シミュレーションによる検討を行っている。

4. 数値シミュレーション

湾内の数値シミュレーションは西オーストラリア大学 Centre for Water Researchで開発された3次元の流動・生態系モデル（ELCOM-CAEDYM）を用いて行った。本モデルは深さ方向に層区分し，複数の層（レベル）についてそれぞれ方程式を解くマルチレベルモデルであり（本

計算では各層圧は表層から0-2mでは0.2m，2-7mでは0.5m，7-12mでは1m，7m以深では5mとした），その有用性は湖沼やラグーンにおいて実証されている⁶⁾。

計算は詳細な河川からの流入負荷のデータが得られている2002年10月の1年に1回起こる程度の比較的大きな出水時（2002/10/19 18:00～10/20 6:00）および2002年8月の南風が卓越する平水時（2002/8/23 8:00～8/25 12:00）を対象とした。出水時の計算は流れと赤土輸送の計算のみを行い，平水時の計算では栄養塩の動態についても考慮した計算を行った。平水時の計算に関しては，サンゴの幼生が着床する5，6月に近い状況を再現するために南風の

卓越する期間を選んだ。図-5に出水時計算期間の降水量、名蔵大橋での懸濁態物質（SS）濃度、風向・風速および潮位変動を示す。また、図-6に平水時計算期間中の風向・風速および潮位変動を示す。計算の境界は名蔵川河口の名蔵大橋（図-1）および名蔵湾と外洋の境に設定し、名蔵大橋での流量観測データおよび外洋で潮位変動を境界条件として与えた。表-1に平水時の計算において河川および外洋境界で与えた溶存態栄養塩（アンモニア態窒素、硝酸態窒素、リン酸態リン、溶存態有機物）濃度データを示す。出水時には名蔵大橋での観測から得られたSS濃度を与えた。また、生態系モデルで用いる各パラメーターは赤松・池田⁷⁾を参考に決定した。

5. 計算結果および考察

(1) 出水時の土砂堆積

出水時に関しては名蔵川からの流入土砂の湾内での挙

動を把握するとともに、出水による湾内での土砂堆積状況について数値シミュレーションにより検討した。

図-7に数値シミュレーションから得られた10/19 9:00、10/19 13:00および10/19 20:00の表層SS濃度の空間分布を示す。計算期間中の降雨時およびその直後は東風が卓越し、降雨後は北風が卓越しており、河川から流入した懸濁態物質は主に南岸に輸送されていることがわかる。また、出水前の土砂堆積量をゼロとして、出水後の土砂堆積量の空間分布および土砂堆積量から推定したサンゴ被度を図-8に示す（図中の白い部分は土砂堆積がほぼゼロの領域でそのためサンゴ被度を予測できない領域である）。サンゴ被度は沖縄県内97地点で調査されたSPSS（content of Suspended Particles in Sea Sediment＝底質中懸濁物質含量）⁸⁾とサンゴ被度の分布に関する以下の式を用いて算出した。

$$Y^{(1/2)} \leq -5.43 \log X + 15.6 \quad (1)$$

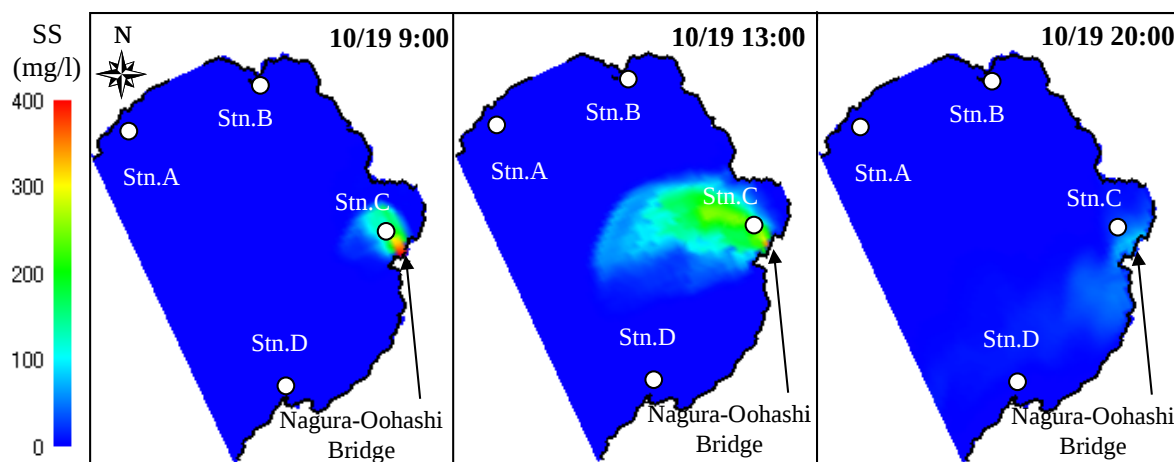


図-7 表層 SS 濃度の空間分布

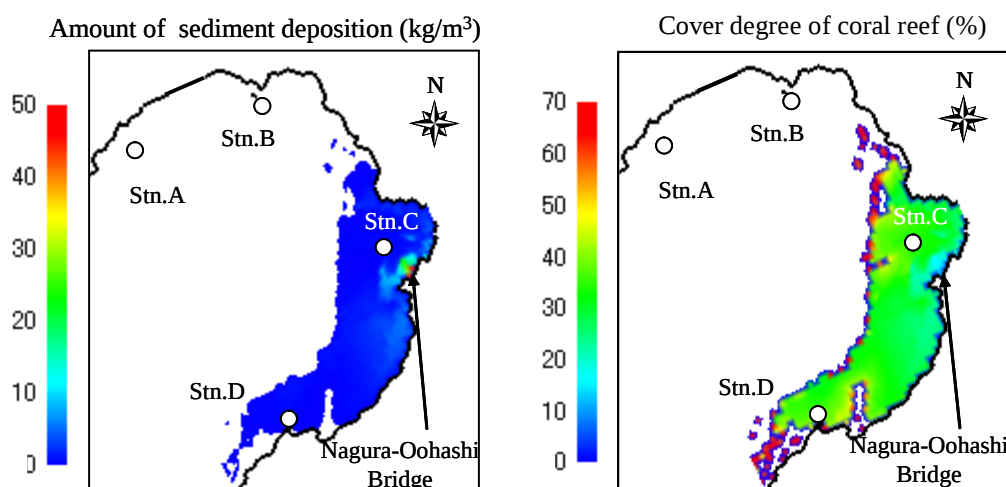


図-8 土砂堆積量および推定サンゴ被度の空間分布

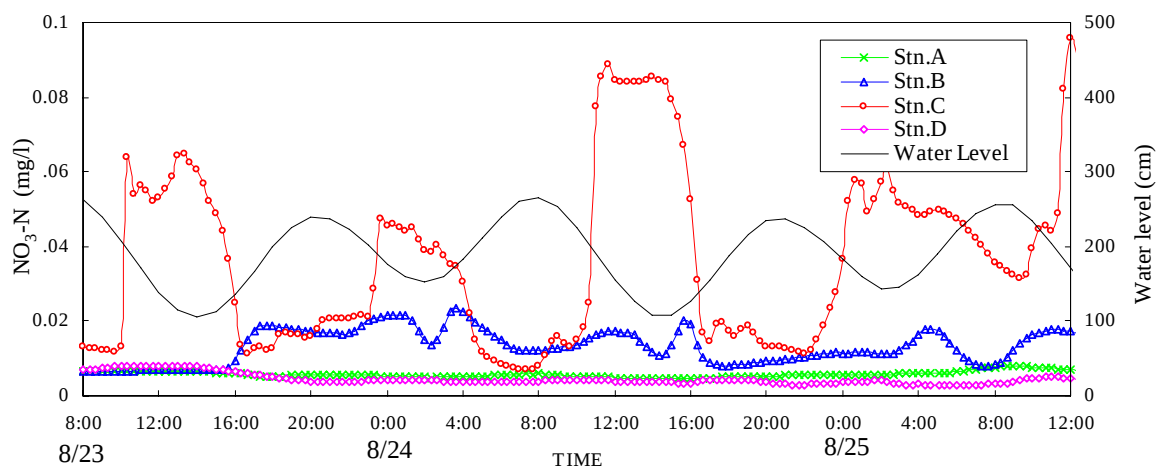


図-9 平水時計算期間中の湾内の Stn.A～D での水深平均硝酸態窒素濃度の時系列変化

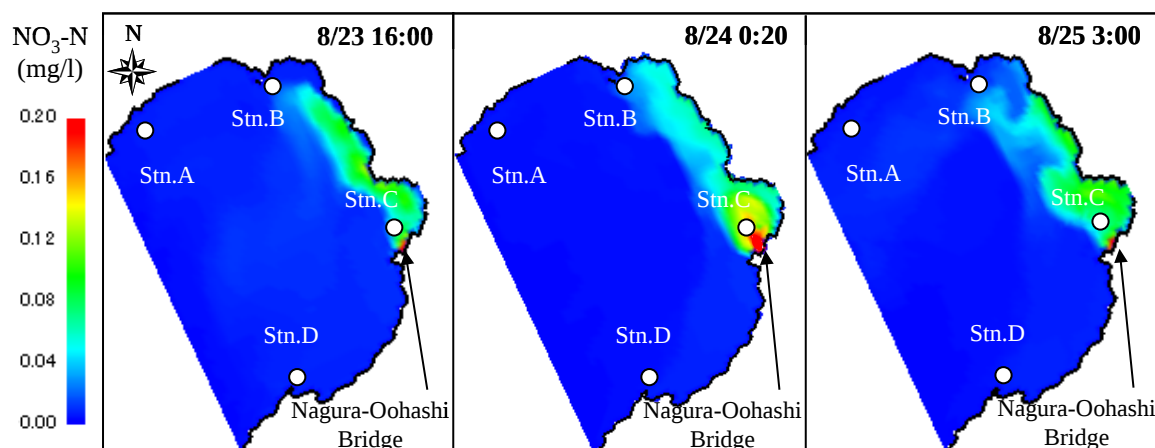


図-10 表層硝酸態窒素濃度の空間分布

ここに、 X : SPSS (kg/m^3) および Y : サング被度 (%) である。土砂堆積は主に名蔵川河口域およびその南側に見られ、名蔵川の河口域には最大で $45 (\text{kg}/\text{m}^3)$ のかなりの堆積が見られる。しかし、北岸ではほとんど土砂堆積が起こっておらず、計算対象としたような比較的大きな出水においても北岸のサング礁は赤土堆積の影響をほとんど受けていないと考えられる。また、図-2のサング被度と比較してみると、今回の計算では土砂堆積が見られなかった北岸の Stn.A および Stn.B ではサングの被度は小さく、土砂堆積の影響を受けると予測された名蔵川河口南側の Stn.D の方が実際にはサング被度が大きい。さらに、式(1)から推定されたサング被度分布 (図-8) をみてもサング被度が 20% 以下になる領域は名蔵川河口域に限られている。つまり、出水時の風向により土砂堆積域は北岸に移る可能性はあるものの、出水が湾全体のサング礁の激減をもたらす可能性は低いと考えられる。

(2) 平水時の富栄養化

平水時に関しては硝酸態窒素およびリン酸態リンに着

目して、平水時の南風卓越時における湾内の富栄養化について検討するとともに、石垣島周辺のサング礁域との比較を行った。

図-9に計算期間中の湾内の Stn.A～D (図-1) での水深平均硝酸態窒素濃度および潮位の時系列変化を示す。さらに、8/23 16:00、8/24 0:20 および 8/25 3:00 における湾内の表層硝酸態窒素濃度の空間分布を図-10に示す。Stn.Cは河川水の流入の影響を強く受け、引き潮時には顕著な濃度の増加が見られる。また、河川から供給された硝酸態窒素は南風の影響で湾の北東域に輸送され、Stn.Bにおいても、硝酸態窒素濃度は外洋に比べてかなり高い濃度に保たれていることがわかる。それに対して、Stn.A および Stn.D における硝酸態窒素濃度は大きな変動もなく低いレベルに保たれている。つまり、南風卓越時は名蔵大橋より北側の東岸のサング礁は河川からの栄養塩負荷の影響を強く受けていることがわかる (図-10)。また、富栄養化の傾向が見られなかった南岸の Stn.D のサング被度はほかの地点に較べて高く (図-2)、本計算の結果は実際のサング礁の分布を支持するものとなっている。

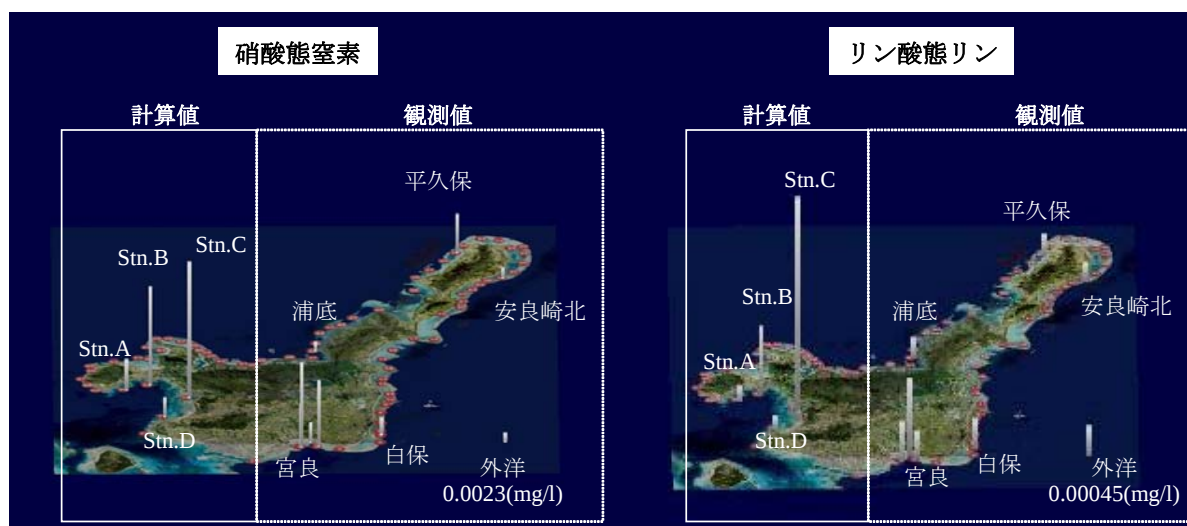


図-11 計算から得られた名蔵湾内の栄養塩濃度と（独）産業技術総合研究所によって行われた石垣島沿岸域のサンゴ礁域（宮良、白保、安良崎北、平久保、浦底）における栄養塩濃度調査⁹⁾ との比較

Stn.Dと同様に本計算では富栄養化の傾向が見られなかったStn.Aに関しては近くに小さな河川が存在し、その影響を受けて定常的に藻場が存在しているため、本計算結果に反してサンゴ礁の被度は低くなっていると考えられる。

さらに、計算から得られた南風卓越期間中のStn.A～D（図-1）での平均の水深平均硝酸態窒素およびリン酸態リン濃度と2002年に（独）産業技術総合研究所によって行われた石垣島沿岸域のサンゴ礁域（宮良、白保、安良崎北、平久保、浦底）および外洋における栄養塩濃度調査⁹⁾ との比較を図-11に示す。南風卓越時の名蔵湾内の栄養塩濃度は石垣島沿岸の他のサンゴ礁域よりも圧倒的に高濃度になっており、サンゴ礁の幼生の成長を妨げる付着藻類の増殖が十分に起こりうると考えられる。つまり、名蔵湾では流域の土地開発による河川からの栄養塩負荷の増大にともない、湾内が富栄養化することによってサンゴ礁が激減した可能性が高い。

6. 結論

今日、サンゴ礁の保護育成のためにオニヒトデの駆除や赤土流出抑制などの様々な活動が行われてきている。しかし、本研究結果から河川の流入がある湾内では富栄養化によりサンゴ礁の幼生の成長を妨げる付着藻類の増殖が起こっている可能性が高いことが示されており、赤土の流出だけではなく、河川からの栄養塩負荷についても考慮してサンゴ礁の再生を図っていく必要がある。

謝辞：本研究は日本学術振興会特別研究員補助金および日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(S)（課題番号：

17106006、研究代表者：池田駿介）の補助を受けている。また、サンゴの生態に関してご教授頂いた東京海洋大学助教授岡本峰雄先生に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) M. Okamoto: A basic experiment of coral culture using sexual reproduction in the open sea, *Fisheries Science*, 71, 263-270, 2005.
- 2) 灘岡和夫, 波利井佐紀: サンゴ幼生の広域分散と海水流動物理過程, *海洋と生物* 152, Vol. 26, No. 3, pp. 232-241, 2004.
- 3) 中嶋洋平, 池田駿介, 赤松良久, 宮本泰章, 山口悟司, 戸田祐嗣: 石垣島名蔵川における土砂・栄養塩の流出に関する現地観測, *土木学会論文集*, No. 747/II-65, pp. 173-185, 2003.
- 4) 赤松良久, 池田駿介, 戸田祐嗣: 河畔マングローブ生態系の仕組みと役割に関する一考察, *応用生態工学会第8回研究発表会講演集*, pp. 1-4, 2004.
- 5) 環境省自然環境局: 平成14年度石垣島周辺海域におけるサンゴ礁モニタリング調査報告書, 2002.
- 6) Romero, J.R., Antenucci, J.P. and Imberger, J.: One- and Three-Dimensional Biogeochemical Simulations of Two Differing Reservoirs, *Ecological Modelling*, 174, 143-160, 2004.
- 7) 赤松良久, 池田駿介: マングローブ水域における物質循環, *土木学会論文集*, No. 768/II-68, pp. 193-208, 2004.
- 8) 大見謝辰男: SPSS 簡易測定法とその解説, *沖縄県公害衛生研究所報*, 37, pp. 99-104, 2003.
- 9) 鈴木 淳・川幡穂: サンゴ礁生態系の攪乱と回復促進に関する研究, 平成14年度研究課題レポート, 独立行政法人産業技術総合研究所, 2004.

(2005. 9. 30受付)