

沖縄本島佐敷干潟における 水質環境に関する研究

A STUDY ON WATER QUALITY ENVIRONMENT IN
SASHIKI MUD FLAT OF MAIN ISLAND OKINAWA

古澤広隆¹・赤松良久²・仲座栄三³

Hiroataka FURUSAWA, Yoshihisa AKAMATSU and Eizo NAKAZA

¹学生員 学士(工) 琉球大学大学院 理工学研究科(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原1番地)

²正会員 博(工) 琉球大学准教授 工学部環境建設工学科(同上)

³正会員 工博 琉球大学教授 工学部環境建設工学科(同上)

Mudflats have a important role as habitats of aquatic near-threatened species such as mudskipper. However, the study of mudflat environment is still limited especially in Okinawa. The objective of this study is to clarify the water quality environment in Sashiki mud flat in which lives a near-threatened species around Nakagusuku Bay in main island Okinawa. The authors have made field observations on the nutrient environments of surface and sub-surface water and water level. It was found that the nutrient concentration in the groundwater of the inner lagoon, which is far from the inlet of seawater, is tend to take a harmful value for livings in the mud flat, since the nutrients yielded from surrounding human and pig house spread all over the tidal flat due to tidal flow.

Key Words : Closed sea, Mud flat, Tidal current, Matter circulation, Nutrient salts

1. はじめに

干潟は利用価値のない砂地、泥地と思われていたため、戦後から1998年までに約4割の干潟が埋め立てにより消失してしまった^{1,2)}。しかし、多様な生態系が形成されるとともに、渡り鳥の中継地、潮汐作用や生物群による水質浄化作用、沿岸のマングローブ林による減災などの重要な役割を果たしていることが近年明らかとなってきている^{3,4)}。それにも関わらず、沖縄本島最大の泡瀬干潟を有する中城湾は干潟の埋立てが現在も行われている上に、現存する干潟においても家庭や豚舎から未処理の排水が流れ込むことによる干潟の環境悪化が進行している。中城湾の干潟は環境省絶滅危惧ⅠA種に分類されたトカゲハゼの数少ない生息場であり、干潟の環境悪化がトカゲハゼ等の生物に与える影響が強く懸念されている^{5,6)}。

そこで、本研究ではトカゲハゼが現存する中城湾内の佐敷干潟において表層・間隙水の水質、水位の現地観測を行った。これらの結果から得られる佐敷干潟内の水質環境を検討していくことにより、干潟の環境に大きな影響を持つと思われる水質がトカゲハゼを始めとする干潟内の生物に与える影響を明らかにすることが本研究の目的である。

2. 観測概要

(1) 観測地の概要

現地観測を行った佐敷干潟は、中城湾奥部南端に位置する約60haの前浜干潟で、沖縄本島における数少ない干潟である(図-1)。佐敷干潟は日本国内におけるトカゲハゼの主要な生息地であり、なおかつ世界の生息範囲の北限であることからその保全が強く求められている。

干潟には浜崎川、苗代川等のコンクリートで護岸された小河川が4本流入しており、干潟の中潮帯から低潮帯にかけて泥干潟が広がっている。干潟を横切るように延びる砂州と陸地間に泥干潟、沖側に砂干潟が広がっている。砂州は現在よりも南西へ伸びていたが、2000年の台風で中央部分の砂が押し流され、現在の状態となっている。泥干潟はジャーガルと呼ばれる灰色のシルトが大半で、場所により砂利や岩石の多い箇所が見られる。干潟には家庭や豚舎からの排水が未処理のまま流入しており、干潟の環境悪化の原因となっている。現在は、2008年に、家庭から流入する排水の臭いを解消するため、砂州の一部が取り除かれたことで通水路となったこと、砂州が波の作用により陸地側に移動したことにより、泥干潟の面積減少および環境変化が大きく進行している。

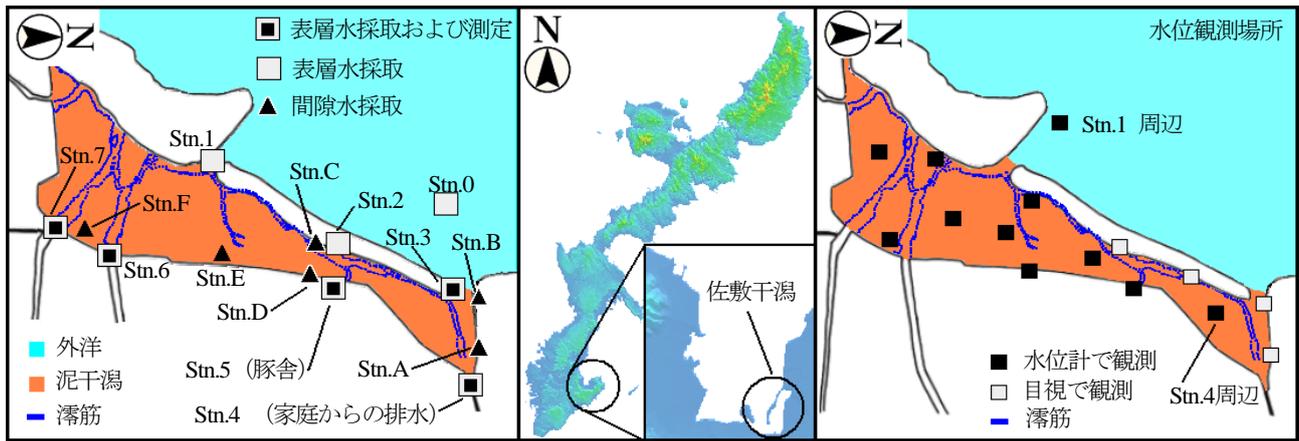


図-1 表層水、間隙水採取および測定場所、水位観測場所

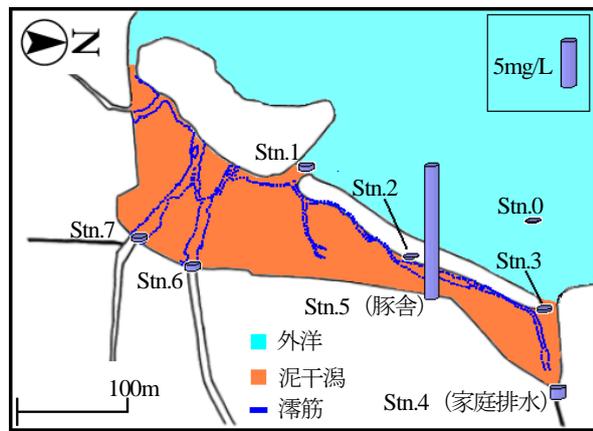


図-2 表層水のNH₄-N濃度（一潮汐間の平均値）

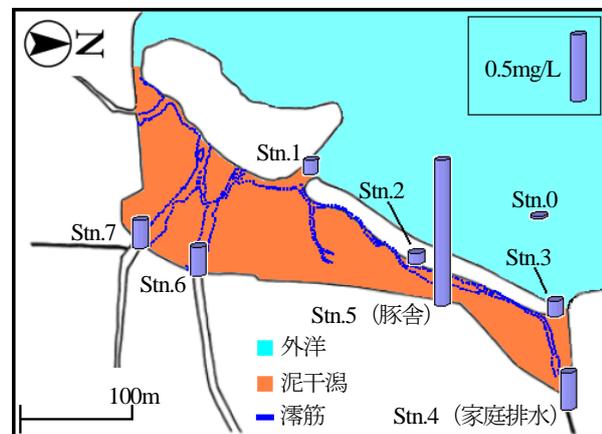


図-3 表層水のPO₄-P濃度（一潮汐間の平均値）

(2) 観測方法

表層水採取は、大潮の2009年8月20日に干潟内の8箇所
で2時間おきに約一潮汐(6:00~19:00)行った(図-1)。
Stn.3は干潮時に干潟が冠出してしまうため、表層水の採
取は沖側のまだ潮が引ききっていない箇所まで移動して
行った。間隙水採取は、干潟内の6箇所
で3時間おき約一潮汐(6:00~19:00)、ミズツール(大起理化学工業株式
会社)を用いて、泥表面から0cm、5cm、15cm、30cm、
60cmの5地点で行った。なお、0cmは表層水を採取する

ことで泥表面の値とした。表層水はマルチ水質モニタリ
ングシステムU-20XD(堀場製作所)を用いて、干潟内
の5箇所
で1時間おきに約一潮汐(8:00~19:00)、pH、
濁度、溶存酸素(DO)、酸化還元電位(ORP)、全溶存固形
物量、塩分等の測定を行った。なお、干潟が冠出した時
間帯の測定は行っていない。

また、干潟内の15箇所
で目視による計測および水位計
で水位の連続観測を行った(図-1)。目視で行った場所
は4箇所、測定間隔は1時間おきに約一潮汐(6:00~19:
00)、水位計(ホボU20ウォーターレベルロガー、Onset
社)を用いた箇所は11箇所、測定間隔は5分である。水
位は干潟に埋めたパイプの上面から水面までの距離を計
測し、観測後に水位への換算を行った。図-1に表層水、
間隙水採取および測定場所、水位観測場所を示す。

採取した表層水と間隙水は現場で冷蔵し、持ち帰った
後に冷凍保管した。分析にはBRAN+LUEBBE社の全自
動水質計測器TRAACS2000を用い、T-N、T-P、NH₄-N、
NO₃-N、NO₂-N、PO₄-Pを測定した。

3. 観測結果

(1) 表層水

図-2に表層水のNH₄-N濃度を一潮汐間で平均した結果
を示す。Stn.5のNH₄-N濃度(14.52mg/L)およびStn.4のNH₄-
N濃度(1.16mg/L)はStn.0(0.07mg/L)よりも高く、干潟内の
水質に大きな影響を及ぼしていると推察される。PO₄-P
濃度に関してもStn.4およびStn.5が他の場所と同等もしく
は卓越していた(図-3)。図-4にStn.1-7の各栄養塩濃度
の潮汐変化を示す。水位変動は、Stn.1周辺の水位変動で
ある(図-1)。まず、各栄養塩濃度を比較すると、佐敷
干潟においてはNH₄-N、PO₄-P濃度が卓越している。水
質汚濁防止法では、海域における溶存酸素(DO)や化学的
酸素要求量(COD)などの項目について環境基準値が設け
られ、T-N、T-Pに関してはI~IV類型に区分されてい
る。その中で最も環境が悪いIV類型では、年間の平均値

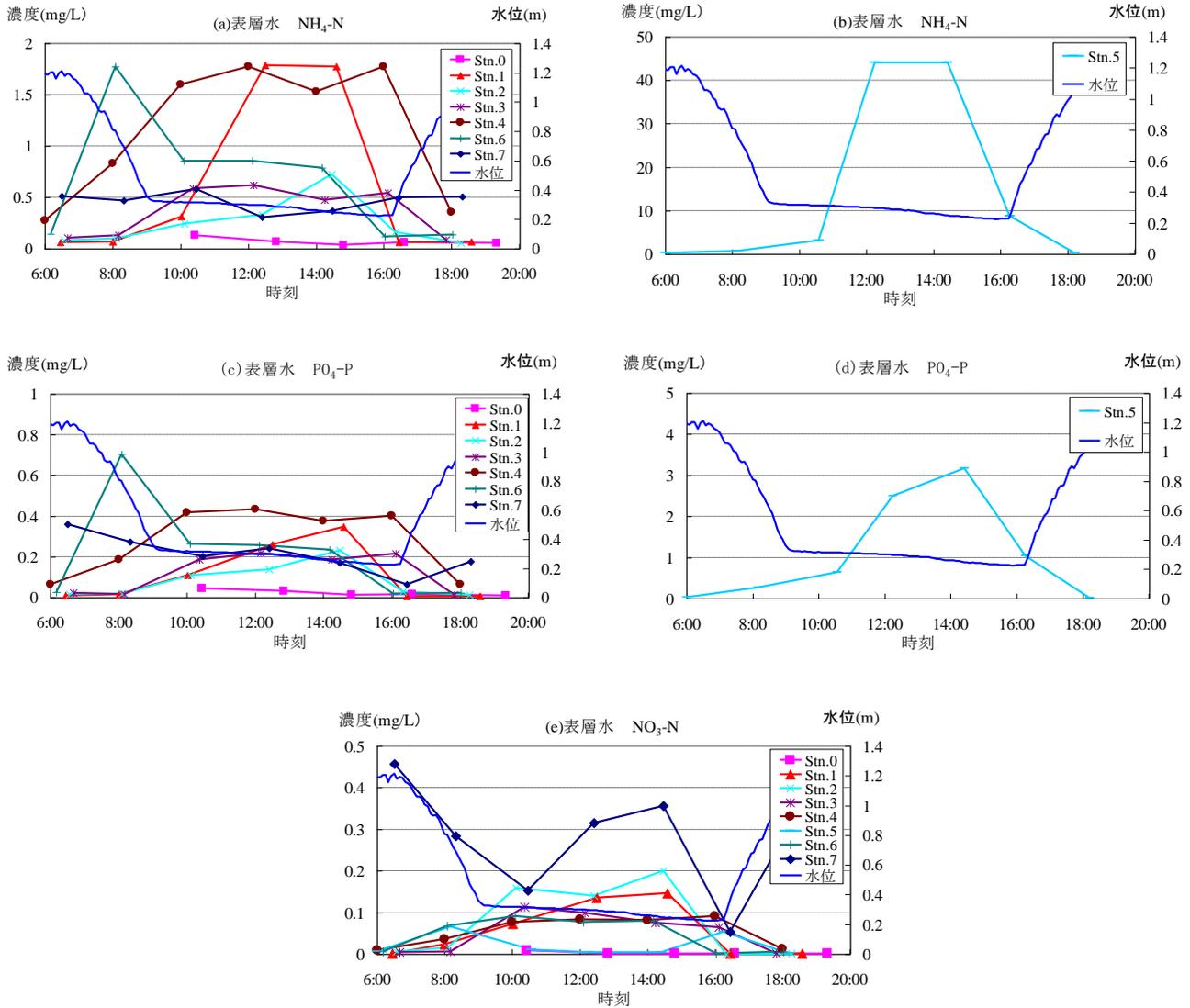


図-4 (a) ~ (e) Stn. 1からStn. 7における、表層水中の栄養塩濃度の時系列変化

でT-Nが1mg/L以下、T-Pが0.09mg/L以下となっており、この数値は年間を通して底生生物が生息できる限度とされている。これより、干潟周辺から流入する高濃度のNH₄-NおよびPO₄-Pは干潟内の生物環境に一番大きな影響を与えていると考えられる。NH₄-N濃度を場所ごとにみていくと、Stn.5は潮が引いていない時間帯のNH₄-N濃度は1mg/L以下で推移しているが、潮が引き、排水が流入した後は44mg/L前後という極めて高い値となっている(図-4(b))。その影響は干潟内の水が集まるStn.1にも及んでおり、干潮時のNH₄-N濃度の顕著な増加がみられる。なお、図-2において一潮汐の平均値でみるとStn.1の値が低く出ているのは、外洋の海水が流入する経路にあたるため、潮位が高い時間帯は栄養塩が希釈され濃度が低く抑えられ抑えられるためである。また、Stn.4も家庭からの排水の影響で、NH₄-N濃度が高くなっており、滞筋に沿ったStn.3、Stn.2にStn.4と近似した栄養塩濃度の変化が見られることから影響は大きいと考えられる(図-4(a))。PO₄-P濃度はすべて地点でNH₄-Nと同様の濃度

変化を示しており、豚舎および家庭からの排水中のPO₄-P濃度も干潟内の水質に影響を及ぼしていると考えられる(図-4(c)および図-4(d))。ここで、Stn.5(豚舎)の排水は周辺のNH₄-N、PO₄-P濃度を急激に4~10倍程度変化させる影響力を持つものの、Stn.4(家庭からの排水)は豚舎ほどの影響力を持たないことから、午前8時頃にStn.6のNH₄-N、PO₄-P濃度を上昇させた原因はStn.6の上流にある豚舎からの排水であると推察される。NO₃-Nについてみると、NH₄-N、PO₄-P濃度が極めて高かったStn.5において、他の地点と同程度の濃度であることがわかる(図-4(e))。これは、豚舎からの排水はNH₄-N濃度が非常に濃く、流入してから採水するまでの時間も短かったことから、NO₃-Nに変化するまで硝化が進まなかったためと考えられる。ただ、NH₄-N、PO₄-P濃度はあまり高くなかったStn.7のNO₃-N濃度が、多くの時間帯で他の場所よりも卓越している。これは周辺の畑から窒素肥料を含んだ地下水が流入した影響と推察される。Stn.1における干潮時の濃度が0.1mg/Lを超える高い濃度と

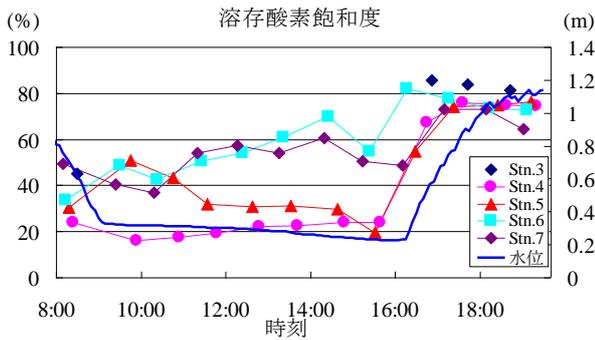


図-5 表層水の溶存酸素飽和度 (DO) の潮汐変化

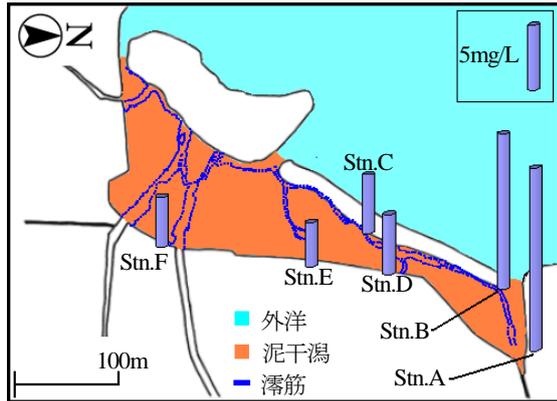


図-6 間隙水のNH₄-N濃度 (一潮汐間の平均値)

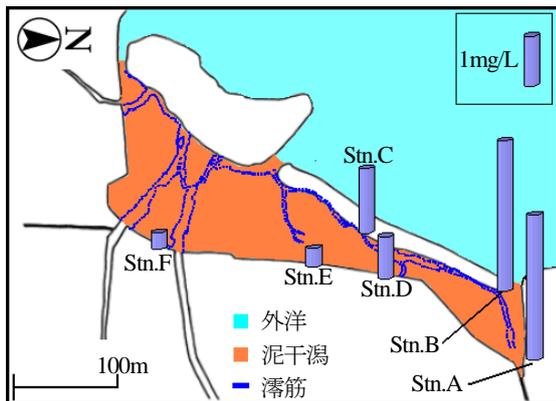


図-7 間隙水のPO₄-P濃度 (一潮汐間の平均値)

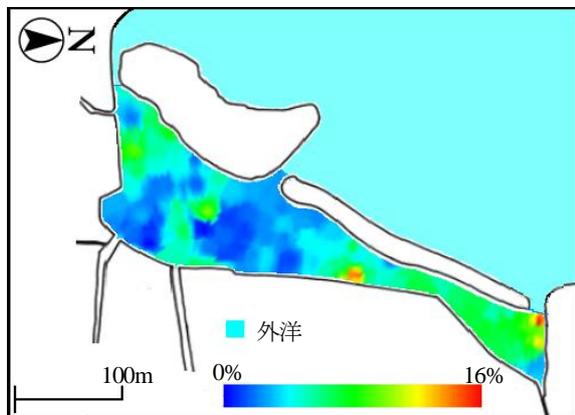


図-8 土壌の有機物含有率分布

なっていることから、Stn.7からのNO₃-Nの負荷も干潟内の水質環境に影響を与えているものと考えられる。

図-5に表層水の溶存酸素飽和度(DO)の潮汐変化を示す。表層水のNH₄-N濃度と同じく、干潟内の汚染源であるStn.4およびStn.5の値は低い値をとり続けている。これはStn.4に関しては、干潟の奥にあり海水交換がほとんど行われていないためであると考えられる。また、Stn.5に関しては、豚舎からの排水が流入した後から値が低くなっていることから、貧酸素排水の流入が影響していると考えられる。Stn.4およびStn.5も満潮の数時間前から値が他の箇所と同程度まで上昇しているが、これは上げ潮時に溶存酸素飽和度の高い海水が流入したためである。Stn.3の値が他の場所よりも高い傾向にあるのは、Stn.3が砂州の切れ目にあること、干潮時は干潟が冠出する場所であることから、外洋の海水が干潟内の海水と混じることなく流入してくる為であると考えられる。

(2) 間隙水

図-6にStn.AからStn.Fにおける間隙水中のNH₄-N濃度を一潮汐間で平均した結果を示す。この図から、干潟内の間隙水は干潟奥(Stn.A周辺)から砂州先端の開口部に向けてNH₄-N濃度が減少していく傾向が見られる。図-7にStn.AからStn.Fにおける間隙水中のPO₄-P濃度を一潮汐間で平均した結果を示す。この図から、PO₄-P濃度も干潟奥(Stn.A周辺)から砂州先端の開口部に向けて濃度が減少していく傾向が見られた。なお、間隙水中のNO₃-N、NO₂-N濃度は家庭からの排水が流入してくるStn.Aで、NO₃-N:0.237mg/L、NO₂-N:0.053mg/Lという、他の場所と比較すると極端に高い値を取ったものの、他の場所では生物に大きな影響を与えると思われるほどの値をとることは無かった。

ここで、佐敷干潟の栄養塩濃度の状態を検証するため、同じ泥干潟である有明海奥部の底泥間隙水の栄養塩濃度との比較を行った。比較は有明海再生機構や瀬口ら^{7,8)}によって調査された、表層から10cm程度におけるNH₄-N濃度、季節は8月の値を用いた。佐敷干潟のNH₄-N濃度(2.3~22.8mg/L)は、有明海のNH₄-N濃度が0.3~7.5mg/L程度であったことと比較すると極めて高いものであった。図-8に表層土壌中の有機物含有率分布を示す。筆者ら⁹⁾は、佐敷干潟において表層土壌中の有機物含有率と表層付近のNH₄-N濃度に極めて高い関係があることを報告した。そこで、同じく有機物量が多い、マングローブ林内における間隙水と栄養塩濃度との比較を行った。比較には、赤松ら¹⁰⁾が石垣島のアンパル干潟で調査した結果を用いた。佐敷干潟のNH₄-N濃度は、アンパル干潟のNH₄-N濃度(0.05~0.4mg/L)よりも極めて高かったことから、佐敷干潟の栄養塩濃度は、海域の広さ、閉鎖具合、土壌の有機物量等を考慮に入れても、高濃度であると言える。

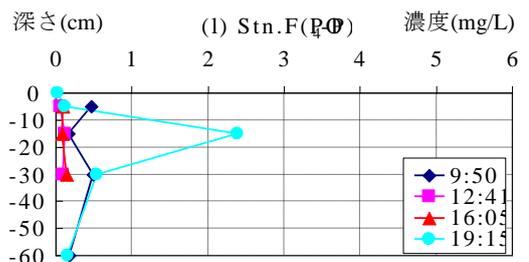
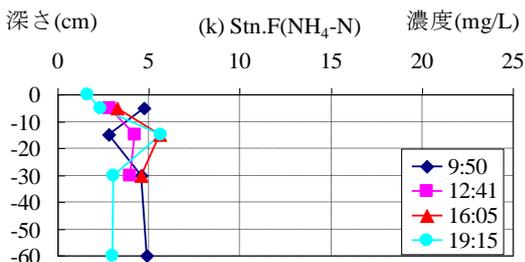
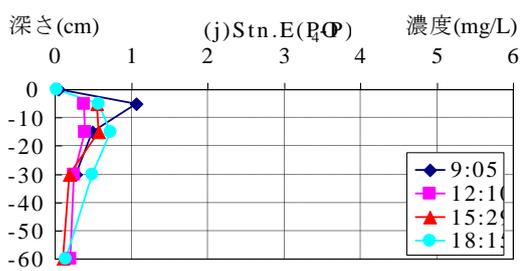
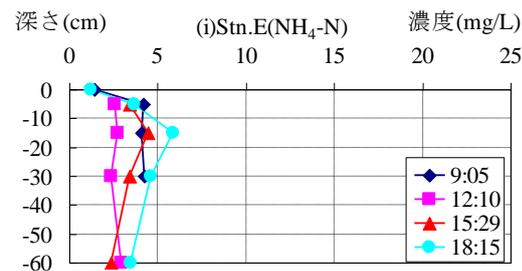
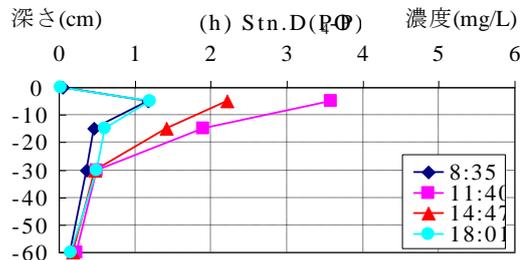
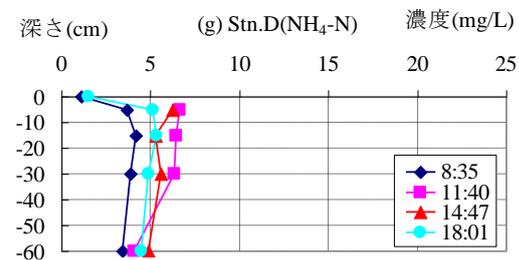
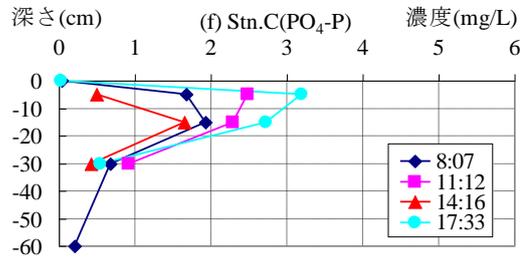
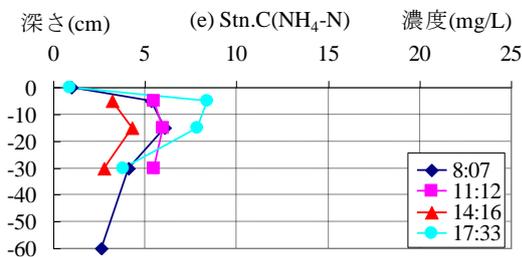
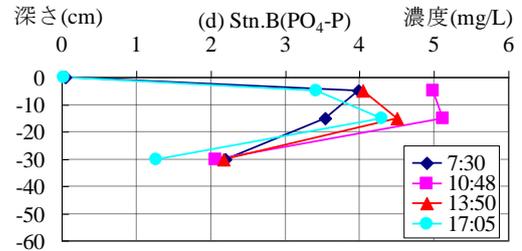
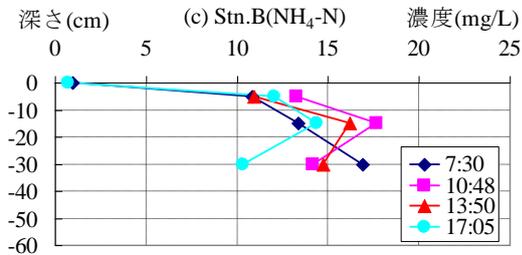
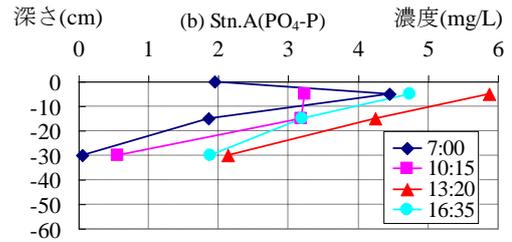
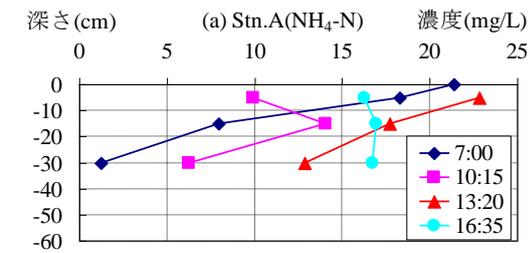


図-9(a)~(l) Stn.AからStn.Fにおける、間隙水中の栄養塩濃度の鉛直変化

図-9にStn.AからStn.Fにおける間隙水中NH₄-N濃度およびPO₄-P濃度の鉛直分布の時系列変化を示す。間隙水中のNH₄-NおよびPO₄-P濃度に着目すると、表層水の栄養塩濃度が高濃度であったStn.4からほど近いStn.Aで、他の場所より卓越した濃度を取っているものの、Stn.5からほど近いStn.Dでは栄養塩濃度が非常に高濃度であったにも関わらず高い値は見られなかった。これは、海水交換があまり起こらないStn.AやStn.B付近の干潟奥域では、表層水に含まれる粒子態栄養塩が水底に堆積し、土壌自体が栄養塩のソースになっているためと考えられる。また、粒子態栄養塩と共に底泥に堆積した有機物は、底泥中の微生物の活動に伴って分解される際に水中の溶存酸素が消費されるため、海底近くでは急激に酸素濃度が低くなる。このような低酸素状態は、底生生物などの生息に影響を与えると同時に、底泥からの栄養塩の溶出を促進させるため、さらに底質の水質環境悪化に拍車をかけると考えられる。Stn.AやStn.B付近の干潟奥域での浮遊物の堆積のし易さは、図-8に示した有機物含有率の分布からもわかる。逆に、Stn.Dは比較的海水交換が起こりやすいことから、豚舎からの排水に含まれる粒子態の栄養塩や有機物が水底に堆積しにくいいため、間隙水に与える影響は表層水の栄養塩濃度の割にそれ程大きくないものと考えられる。

最後に、Stn.Aで7:00に採取した0cm（表層水）の栄養塩濃度はNH₄-N濃度が21.37mg/Lという非常に高い値を示した。この値は、最寄りの地点(Stn.4)で同じ時間帯に採取した表層水のNH₄-N濃度とかけ離れすぎており、計測ミスと考えられる。また、Stn.Fで19:15に採取した地表から15cmにおけるPO₄-P濃度は、値に連続性がみられないことから測定ミスであると思われる。

4. 干潟内の流れと水質環境に関する考察

まず、滞筋に沿った地点とその上流の汚染源(Stn.4, Stn.5)に栄養塩濃度の関連性がみられることから、水位がある程度下がった後の干潟奥側の海水は、砂州に沿って存在する滞筋を流れ、Stn.1から外洋へ流れていることが分かる。(図-4(a)から図-4(d))。特に、Stn.5(豚舎)からの排水は干潮時であっても、遠く離れたStn.1の栄養塩濃度に影響を与えていることから、佐敷干潟の水質環境に極めて大きな影響を持っていると考えられる。次に、Stn.7を除くと、Stn.1から近い場所(Stn.2, Stn.5およびStn.6)では水位が上げに転じ始めた直後に栄養塩濃度が急激に下がっていることから、佐敷干潟内に流入出する海水の多くは、Stn.1を経由していくものと考えられる。(図-4(a)～(d))。逆に、砂州の付け根が取り除かれ、Stn.1と同様に外洋との海水交換が直接できるようになったStn.3では、標高差がほぼ無いにも関わらず、水位が上げに転じ始めた直後の栄養塩濃度の下げ具合が鈍

いことから、海水交換はそれほど行われていないと考えられる。そのため、干潟最奥部のStn.3とStn.4の周辺は、有機物や粒子態栄養塩が堆積しやすく、土壌表層の有機物含有率や間隙水中の栄養塩濃度が高い値となっている。これらの要因により、干潟最奥部の水質環境には、Stn.4から流入してくる家庭からの排水に含まれる溶存態の栄養塩の他に、土壌そのものが栄養塩のソースとして大きな影響を与えていると考えられる。

5. まとめ

佐敷干潟において表層水、間隙水、水位の調査を行った結果、以下のような知見が得られた。

- 1)豚舎および家庭から流入する栄養塩濃度が高く、溶存酸素飽和度が低い排水は、干潟内全域の水質環境に大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。
- 2)干潟内の間隙水中の栄養塩濃度は、干潟奥部ほど高い値となっている。これは、海水交換が十分に起こらない奥域では、表層水に含まれる粒子態の栄養塩が干潟の表面に堆積することにより、土壌自体が間隙水中の栄養塩のソースになっているためであると考えられる。

謝辞：今回の研究では、水質分析等に関して東京工業大学大学院理工学研究科池田駿介教授ならびに池田研究室の学生の皆様に機器の使用手法等、多くのご指導を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：第2回自然環境保全基礎調査，1981。
- 2) 環境省：第4回自然環境保全基礎調査，1994。
- 3) 栗原康：干潟は生きている，岩波書店，219p，1980。
- 4) 細川恭史：浅海域での生物による水質浄化作用，沿岸海洋研究ノート，Vol.29，No.1，pp.28-36，1991。
- 5) 沖縄県 沖縄県商工労働部企業立地推進課：トカゲハゼのはなし 第3訂，2000。
- 6) 環境省：改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 レッドデータブック 汽水・淡水魚類，pp.86-87，2003。
- 7) 有明海再生機構：干潟・浅海域における底質の物質循環に関する研究，2008。
- 8) 瀬口昌洋，郡山益実，古賀あかね，野田美幸：有明海奥部干潟域における脱窒菌群の生息分布と底質環境について。海岸工学論文集。第54巻，pp.1126-1130，2007。
- 9) 古澤広隆，赤松良久，仲座栄三：沖縄本島におけるトカゲハゼの生息環境に関する研究。水工学論文集。第53巻，pp.1525-1530，2009。
- 10) 赤松良久，池田駿介，中嶋洋平，戸田祐嗣：マングローブ水域における小潮期の有機物・栄養塩輸送。土木学会論文集。No.712/II-60，pp.175-186，2002。

(2009. 9. 30受付)