

吹通川マングローブ水域における水表面浮遊物の水質環境に関する現地観測

二瓶泰雄*・太田和裕介**・中村武志***・今野篤***

マングローブ植物の葉が分解されたと考えられる油状の水表面浮遊物の水質環境を明らかにするために、沖縄県石垣島吹通川マングローブ氾濫原において現地調査を行った。その結果、水表面浮遊物に含まれるSSは、上げ潮時初期には水中での値よりも著しく大きくなり、表層と水中の土砂環境は大きく異なることが示された。また、水柱全体のSS輸送量に対して水表面浮遊物の寄与が有意であり、特に上げ潮時において顕著であった。さらに、水表面浮遊物中の栄養塩環境についても、SSと同様に、表層と水中での値は著しく異なり、マングローブ水域における水質環境や物質輸送に対して水表面浮遊物の影響が極めて大きいことが示唆された。

1. 序論

熱帯・亜熱帯域の潮間帯に位置するマングローブ水域は、樹木が繁茂している氾濫原 (swamp) と複雑な平面形状を有する河道部 (creek) より構成されており、サンゴ礁や藻場等といった他の沿岸域では見られない特異な環境を形成している。このマングローブ水域と周辺海域との間では、潮汐作用により、海水や土砂、栄養塩、有機物等の交換が行われている (例えば, Boto & Bunt, 1981; 今村ら, 2002)。また、陸域からの過剰な赤土流入に伴ってマングローブ生態系が大きく変化していることが指摘されている (下地ら, 1993)。このように、マングローブ水域における土砂動態や水質環境を理解することは、マングローブ生態系保全・管理を適切に推進していく上で極めて重要な課題である。

マングローブ水域における土砂・水質環境や周辺海域との物質交換特性に関する研究は、現地観測に基づいて、いくつか行われている (Boto & Bunt, 1981; Woodroffe, 1985; Twilley, 1985; Furukawa et al., 1997; 赤松ら, 2002)。それらの研究では、マングローブ水域での水質環境や物質輸送量を調べるときには、リターや粒子態、溶存態物質として分離して評価し、各成分の大きさを比較・検討している。

実際に、swamp や creek において水表面付近を観察すると、**図-1** の点線で示されているように、マングローブ植物の葉が分解されて形成されたと考えられる油状の浮遊物が水表面に存在しており、水表面付近とそれ以外の水中の部分では水質環境が著しく異なることが推察される。しかしながら、これまでの研究では、この水表面浮遊物に着目して水質環境や物質輸送特性を調査した研究は皆無である。そこで本研究では、水表面浮遊物の水質環境を明らかにするために、沖縄県石垣島吹通川マングローブ水域の氾濫原上において現地観測を行った。この結果に基づいて、水表面浮遊物と水中におけるSSや栄養塩環境について検討した結果を以下に示す。



図-1 creek における水表面浮遊物の様子

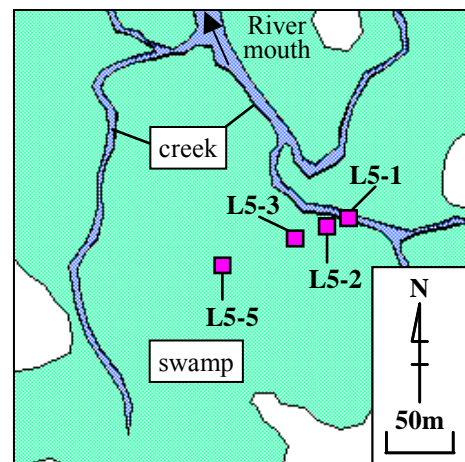


図-2 吹通川マングローブ水域の観測点

2. 現地観測の概要

現地観測の対象域である吹通川マングローブ水域は、creek よりも swamp の面積が大きく、典型的な R 型マングローブの一つである。著者らは、ここ数年、この吹通川マングローブ水域を対象として様々な現地観測や流動シミュレーションを行っており、①マングローブ水域と周辺海域の間や、②creek と swamp 間、③swamp 内、における流動特性や物質輸送特性などについて検討している (二瓶ら, 2002 ;

* 正会員 博 (工) 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科
** 非会員 学 (工) 樹横河ブリッジ
*** 学生員 学 (工) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程

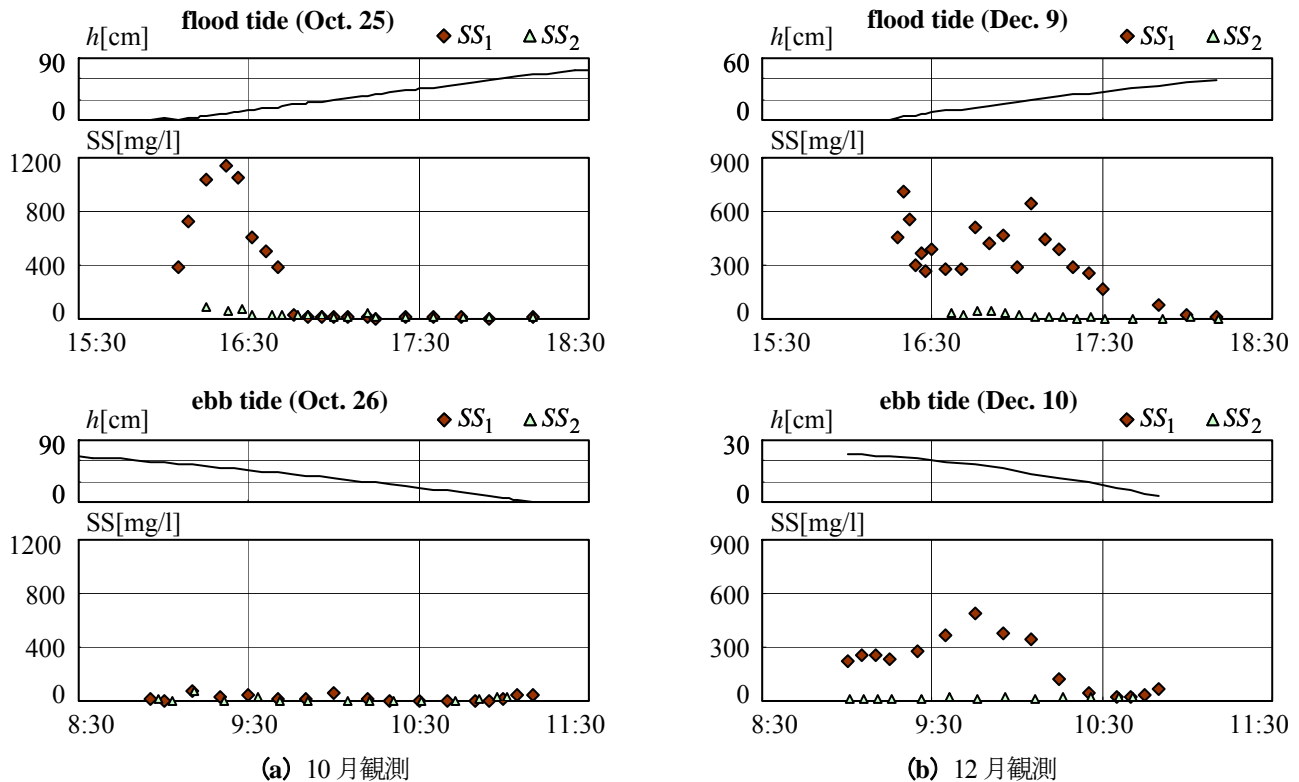


図-3 一潮汐間における Stn.L5-2 での SS の時間変化 (上図は上げ潮時, 下図は下げ潮時である.)

2003; 二瓶・綱島, 2003)。

観測地点としては、図-2に示すように、吹通川マングローブ水域南西側における creek1 点 (Stn.L5-1), swamp3 点 (Stns.L5-2, 3, 5) とした。Stns.L5-2, 3, 5 は、creek (Stn.L5-1) より約 20m, 50m, 100m の距離に位置している。これらの 4 つの観測点において、一潮汐間における採水調査を 2003/10/25~26 (10 月観測), 12/9~10 (12 月観測) の二回行った。水表面浮遊物と水中の水質環境を比較するために、採水高さとしては表層 (水表面より約 2cm) と水中 (底面より約 5cm) の 2 箇所とし、表層に関しては全 4 地点、水中については Stn.L5-2 のみにおいて採水を行った。採水手順としては、各地点において観測者 1 名が水に浸からない状態で待機し、採水時刻において、表層に関しては観測者が直接水を採水瓶に入れ、水中についてはポンプ採水を実施した。ここで得られた採水サンプルに対して、濁度や SS, 粒径分布, T-N, T-P について分析した。これらの項目のうち、濁度は多項目水質計 (W22-P, (株)堀場製作所製) を用いて現場計測した。その他の項目に関しては、サンプル水を実験室に持ち帰り、SS, T-N, T-P については下水道試験方法 (社) 日本下水道協会, 1997) に準じて分析した。

この採水調査とともに、メモリ式測器を用いた水位や流速、濁度、塩分濃度、水温に関する計測を 2003/10/25~28 (全地点) と 10/29~12/9 (Stn.L5-2 のみ) において行った。これらの測器の設置高さに関しては、swamp では全て底面

付近に固定し、creek では水位計のみ底面に設置し、その他の測器についてはブイ係留し表層計測を行った。また、Sediment trap を 10/25~28 において全地点に底面設置し、土砂沈降フラックスや堆積土砂の粒径分布を計測した。

3. 観測結果と考察

(1) 表層と水中における SS 環境

swamp 上における一潮汐間の SS の時間変動特性を見るために、Stn.L5-2 における水深 h 及び表層・水中の SS に関する時間変化を図-3に示す。ここでは、10 月観測と 12 月観測の結果を示している。また、図中の SS_1 と SS_2 は表層と水中の SS 値を表している。まず、10 月観測の上げ潮時では、冠水初期に表層 SS が非常に高くなり最大で 1000mg/l を上回っているのに対して、水中 SS は最大で 50mg/l と表層 SS ほど高濃度にならず、水表面付近と水中の SS 値には大きな差が生じている。その後、水深が 20cm を越えると、表層と水中の SS は概ね一致して低濃度となっている。一方、下げ潮時に関しては、上げ潮時初期のように表層 SS は大きくなっておらず、また、表層と水中の SS は概ね一致している。次に、12 月観測の結果 (同図 (b)) に着目すると、上げ潮時と下げ潮時ともに、表層 SS の方が水中 SS よりも大きくなっている。この結果のうち、下げ潮時に関しては、表層と水中の SS の差が見られない 10 月観測の結果と大きく異

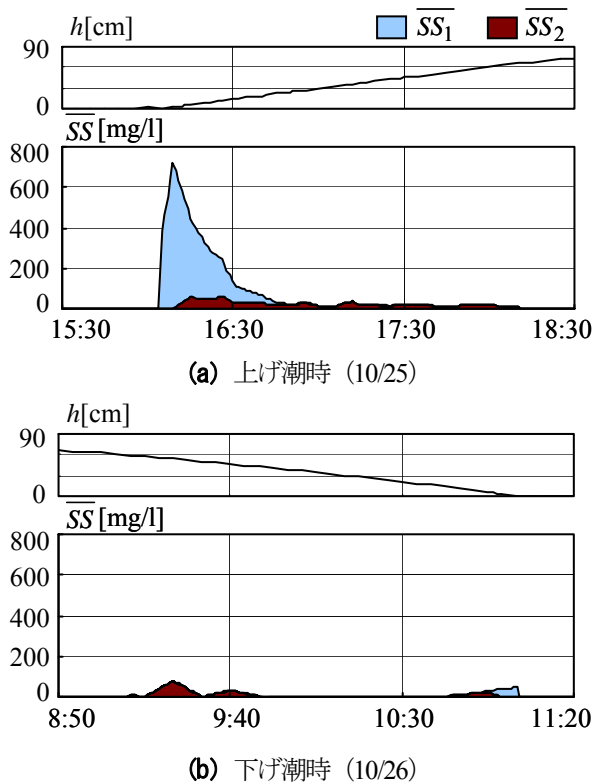


図-4 SS の水深平均値 \overline{SS} の時系列変化 (10月観測, Stn.L5-2)

表-1 swamp への SS フラックス (10月観測, Stn.L5-2)

単位 : kg/m/tide

	表層	水中	合計値
上げ潮時	1.32	0.85	2.17
下げ潮時	-0.06	-0.40	-0.46

なっている。10月観測と12月観測の大きな環境条件の違いは、図-3に示すように潮位であり、12月観測における満潮位は10月観測の値よりも40cm程度低くなっている。満潮位が高い場合には、表層において高いSSを含む水塊はswamp奥部まで輸送され、満潮を迎える頃には低濁度の海水がswampに侵入している。それに対して満潮位が低い場合には、満潮時においても高濁度の表層SSを有する水塊がcreek近傍に滞留している。このように、潮位条件の違いにより、10月観測と12月観測の下げ潮時のSS環境に変化が生じたものと推察される。

上述したように、表層と水中のSS値には大きな差が生じているものの、表層水に含まれるSS量が水柱全体のSS量に対してどの程度寄与しているかは不明である。そこで、水深 h の水柱を、表層(層厚 $h_1=2\text{cm}$)と水中(層厚 $h_2=h-h_1$)に分離し、表層と水中のSS値を用いて、次式に示すようにSSの水深平均値 \overline{SS} を定義する。

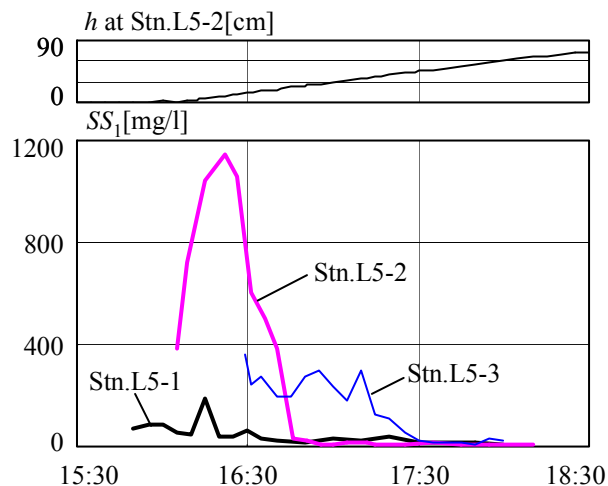


図-5 creek と swamp における表層 SS の比較 (10月観測, 上げ潮時)

$$\overline{SS} = \overline{SS_1} + \overline{SS_2} \quad (1)$$

$$\overline{SS_1} = SS_1 \frac{h_1}{h} \quad (2)$$

$$\overline{SS_2} = SS_2 \frac{h_2}{h} \quad (3)$$

ここで、 $\overline{SS_1}$ と $\overline{SS_2}$ は水深平均SSに対する表層と水中の寄与分に相当している。このように定義された \overline{SS} と $\overline{SS_1}$ 、 $\overline{SS_2}$ に対する10月観測の結果を図-4に示す。これを見ると、上げ潮時初期に水深平均SSは大きく、それに対して表層SSが大部分を占めている。また、上げ潮時後期や下げ潮時では、水深平均SSの値は上げ潮時初期の値よりも小さく、水中SSが表層SSよりも顕著になっている。

これらの結果を定量的に比較するために、同一期間・地点において得られた、swampへのSSフラックスを表-1に示す。ここでのSSフラックスは、 $\overline{SS_1}$ と $\overline{SS_2}$ 、 \overline{SS} に水深 h とcreek直交方向流速を掛けることにより求められ、それらは各々表層と水中のSSフラックス及びその合計値に相当している。なお、creek直交方向とは、creek内のStn.L5-1とswamp上のStn.L5-5を結ぶ方向とし、creekよりswamp奥部へ向かう方向を正としている。これより、合計値の絶対値としては、上げ潮時の方が下げ潮時よりも大きく、その上げ潮時の大きなSSフラックスに対して表層SSの寄与率が61%となっている。また、下げ潮時に関しては水中SSが卓越しており、表層SSの寄与率は14%となっている。なお、12月観測では、図-3(b)に示されているように、下げ潮時においても表層SSは水中の値よりも大きくなり、潮位条件によっては下げ潮時においても水柱全体のSSフラックスに対して表層の寄与が卓越する場合も存在するものと考えられる。以上のように、氾濫原上のSS輸送過程を考える上で、水表面浮遊物を考慮することの重要性が示された。

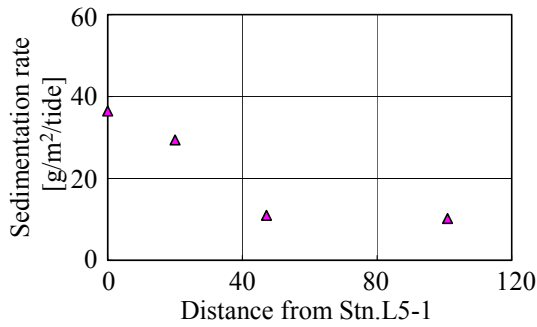


図-6 土砂沈降量分布 (10月観測)

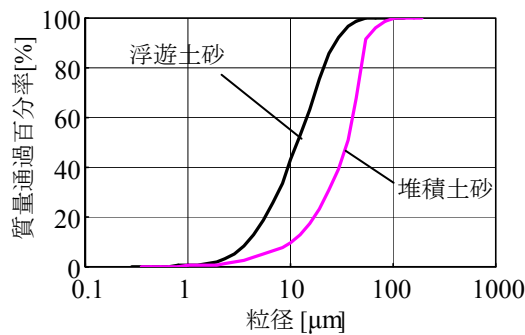
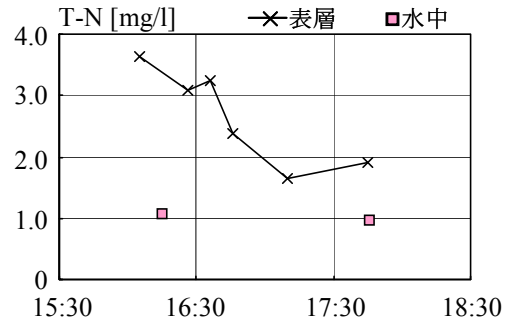


図-7 浮遊土砂及び堆積土砂の粒径分布 (10月観測, Stn.L5-2)

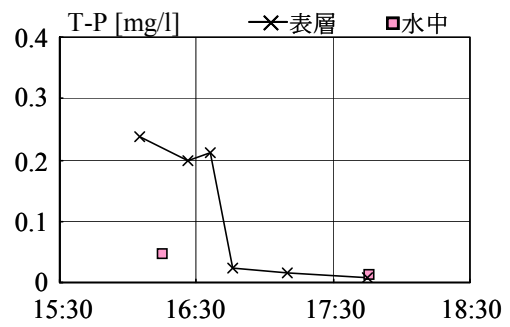
(2) 氾濫原における水表面浮遊物の輸送過程

swamp 上における水表面浮遊物の輸送過程を解明するために、creek1点 (Stn.L5-1) とswamp2点 (Stns.L5-2, L5-3) における表層 SS の時間変化を図-5に示す。ここでは、10月観測の上げ潮時 (10/25) における結果を図示している。これより、creek における SS は全般的に小さいのに対して、creek に近い Stn.L5-2 での SS は、前述したように極めて大きくなっている。また、creek より相対的に遠く離れて位置する Stn.L5-3 における SS は、creek 内 (Stn.L5-1) より大きくなるものの、Stn.L5-2 の値よりは小さくなっている。このように、低レベルの表層 SS を含む creek 上の水塊が swamp へ侵入した直後に表層 SS は上昇し、さらに swamp 奥部へ進むとその大きくなった SS 値は減少する、という表層 SS の輸送過程が示された。

上記の表層 SS の輸送過程について考察する。まず、swamp 上で SS が急上昇する要因としては、流速レベルの大きい creek と小さい swamp の境界域が流れの収束帯となり、この収束帯で水表面浮遊物が著しく集積するためであると推察される。また、swamp 奥部へ行くとともに表層 SS が減少する理由としては、水表面浮遊物の一部が沈降して swamp 上に堆積するためであると思われる。図-6は、Sediment trap により計測された、creek 及びswamp における土砂沈降量分布を示している。これより、土砂沈降量は creek やその近傍



(a) T-N



(b) T-P

図-8 表層と水中における栄養塩環境の比較 (10月観測, 上げ潮時, Stn.L5-2)

では大きく、creek から離れた地点では相対的に小さい。この沈降した土砂と表層 SS の性質を比較するために、Stn.L5-2 における Sediment trap 内の堆積土砂と表層の浮遊土砂の粒径分布を図-7に示す。これより、堆積土砂の中央粒径は浮遊土砂と比べて大きく、また堆積土砂の粒径分布が均一化している。この結果より、水表面付近にトラップされた濁質のうち相対的に粒径の大きい土粒子が選択的に底面へ沈降し、細粒土砂のみが swamp 奥部へ輸送されていることが示唆された。

(3) 水表面浮遊物の栄養塩環境

水表面浮遊物の水質環境を調べるために、swamp 上の Stn.L5-2 における表層・水中の全窒素 (T-N)、全リン (T-P) に関する時系列変化を図-8に示す。ここでも、10月観測の上げ潮時における結果を図示している。なお、栄養塩分析用の採水サンプルの数は、濁度よりも相対的に少なく、特に、水中の採水サンプル数は、この期間では2つの時点しかない。これらの結果を見ると、上げ潮時の冠水初期には、表層の T-N、T-P はともに高く、明確なピークが現れているのに対して、水中における T-N、T-P は相対的に低い値となっている。このときの表層栄養塩濃度の最大値としては、表層 T-N は水中の値の約4倍、表層 T-P は約8倍となっている。また、上げ潮時後期や下げ潮時全般では、表層

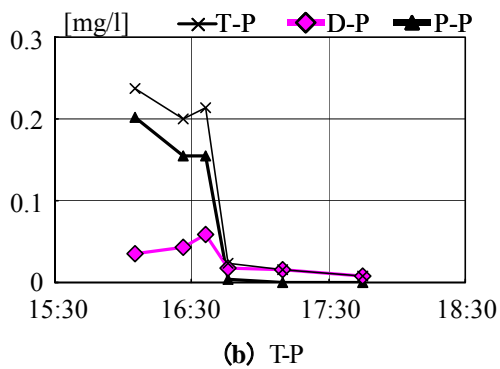
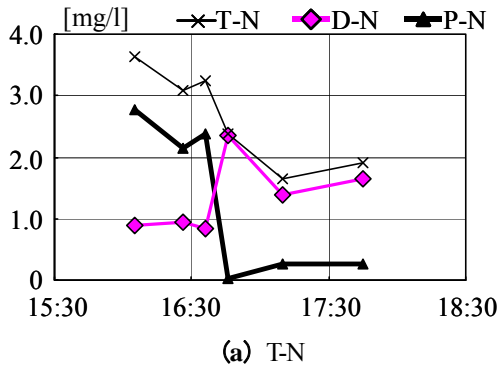


図-9 表層栄養塩の溶存態・懸濁態濃度 (10月観測, 上げ潮時, Stn.L5-2)

や水中の栄養塩濃度は小さく、両者は概ね一致しており、図-3に示したSSの結果と類似している。このように、T-N, T-P についても、SSと同様に、水表面浮遊物の環境が水中とは著しく異なることが明らかとなった。

上述した上げ潮時初期における高濃度のT-N, T-P に対する懸濁態、溶存態成分の寄与を調べるために、N, Pに関する懸濁態濃度 (P-N, P-P) 及び溶存態濃度 (D-N, D-P) に関する結果を図-9に示す。これは、図-8と同じ期間、観測点の結果である。これを見ても明らかのように、上げ潮時初期のT-NやT-Pの高濃度化は、懸濁態濃度 (P-N, P-P) の増加に起因している。また、その後上げ潮時後期には、SSの減少とともに懸濁態濃度は減少し、溶存態濃度 (D-N, D-P) がT-N, T-Pの大部分を占めていることが分かる。

4. 結論

マングローブ植物の葉が分解されたと考えられる油状の水表面浮遊物の水質環境に着目して、吹通川マングローブ水域において現地調査を行った。そこで得られた主な結果は以下のとおりである。

1) swamp上において、水表面浮遊物に含まれるSSは、上げ潮時初期には水中での値よりも著しく大きくなっており、水表面付近と水中のSS値には大きな差が生じていた。また、swampへのSSフラックスを計算した結果、水柱全体のSS

フラックスに対して水表面浮遊物の寄与は有意であり、特に上げ潮時において顕著になることが示された。

2) T-NやT-Pについても、SSと同様に、上げ潮時初期に表層での値が水中での値よりも明確に大きくなっていること、それに対して懸濁態濃度 (P-N, P-P) の寄与が大部分を占めていることが明らかとなった。

3) 以上のことから、マングローブ水域の水質環境や物質輸送に対して、水表面浮遊物が多大な影響を及ぼしていることが示唆された。

謝辞: 現地観測の実施に際して、東京理科大学理工学部土木工学科元大学院生佐藤慶太氏 (現榊ドーコン)、元学部生高橋直希氏 (現五洋建設株) には大変お世話になった。本学土木工学科出口浩助教授には水質分析用の機材をお借りした。また、土砂粒径分析に関しては、東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻池田研究室の皆様には多くの便宜を図って頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 赤松良久・池田駿介・中嶋洋平・戸田祐嗣 (2002): 現地観測に基づくマングローブ水域における有機物・栄養塩輸送に関する研究 一大潮期に着目して、土木学会論文集, No.698/II-58, pp.69-80.
- 今村正裕・立田穰・杉戸俊一 (2002): マングローブ水域と林内堆積物における微量温暖化ガス (N₂O) の挙動, 海岸工学論文集, Vol.49, No.2, pp.1366-1370.
- 下地邦輝・大山峰吉・高平兼司 (1993): 赤土の流入及び物理的な環境変化がマングローブ生態系に与える影響, 「マングローブ林を中心とした生態系の解明に関する研究」成果報告書, pp.219-254.
- (社) 日本下水道協会 (1997): 下水試験方法上巻 -1997年版-, pp.136-201.
- 二瓶泰雄・佐藤慶太・青木康哲・西村司・瀬岡和夫 (2002): ネスティング計算法を用いた吹通川マングローブ水域における高解像度流動シミュレーション, 海岸工学論文集, Vol.49, No.1, pp.416-420.
- 二瓶泰雄・綱島康雄 (2003): マングローブ氾濫原における水理環境の平面構造, 土木学会論文集, No.747/II-65, pp.111-124.
- 二瓶泰雄, 中村武志, 綱島康雄 (2003): 現地観測に基づくマングローブ河口域における sill 形状と海水交換特性の検討, 海岸工学論文集, Vol.50, pp.1121-1125.
- Boto, K. G and Bunt, J. S. (1981): Tidal export of particulate organic matter from a northern Australian Mangrove System, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.13, pp.247-255.
- Furukawa, K., Wolanski, E. and Mueller, H. (1997): Currents and sediment transport in mangrove forests, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.44, pp.301-310.
- Twilley, R. R. (1985): The exchange of organic carbon in basin mangrove forests in a southwest Florida estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.20, pp.543-557.
- Woodroffe, C. D. (1985): Studies of a mangrove basin, Tuff Crater, New Zealand: III. The flux of organic and inorganic particulate matter, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.20, pp.447-461.