

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 —大潮期に着目して—

赤松良久¹・池田駿介²・中嶋洋平³・戸田祐嗣⁴

¹ 学生会員 修士(工) 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻

² フェロー会員 工博 東京工業大学大学院教授 理工学研究科土木工学専攻

³ 学生会員 学士(工) 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻

⁴ 正会員 学士(工) 東京工業大学大学院助手 理工学研究科土木工学専攻

(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

マングローブ水域における有機物・栄養塩輸送に関する現地観測を沖縄県石垣島名蔵川河口域で行った。地形、植生、水質、底質、流れと多岐にわたる計測をした結果、大潮期の満潮時にはマングローブ林から河川内に溶存態、粒子態およびリター(マングローブの葉、実)として多量の有機物、栄養塩が供給されることがわかった。また、リターの大部分は微生物活性の高いマングローブ水域で分解された後に、溶存態および粒子態の有機物、栄養塩として沿岸域に供給されることが明らかになった。更に、沿岸域からは上げ潮時に高い濃度の溶存酸素がマングローブ水域に供給され、これらの有機物、栄養塩、溶存酸素がマングローブ水域、沿岸域の高い生物活性を支えていることが示唆された。

Key Words : mangrove, organic materials, nutrients, tidal transport, sediment

1. はじめに

近年、東南アジアでは沿岸開発のための埋め立て等により、マングローブ水域の環境破壊が進んでいる。また、我が国においても、亜熱帯に位置する南西諸島のマングローブ林では、河口部の架橋工事によるマングローブ林の枯死などの問題が生じている。マングローブ林は多量の有機物をリターとして土壌に供給し、また林内に浸入する海水の潮汐作用を介して沿岸域に栄養塩を供給している。また、沿岸の水産物の保育場としての重要性も高く、マングローブ林の保護育成が望まれている。しかし、今日東南アジア等で行われている植林などは試行錯誤的であり、マングローブ水域の生態系の構造に関する科学的な知見の不足は否めない。

マングローブ林の生態あるいはマングローブ水域の生態系については主に生物学や林学の分野で多くの研究がなされている。それらの研究はWhittaker¹⁾や

Lugo・Snedaker²⁾によるマングローブ林の群落構造に関する研究に代表されるような植物社会学的な分類やBall³⁾の研究に代表されるマングローブ植物の生理に関するものが多い。

また、マングローブ水域での物理過程に関する研究は地球環境の一部としてのマングローブ水域の保全を目標に、多くの研究がなされてきた。特にマングローブ水域でのエスチュアリー流動に関しては多くの研究がなされている。エスチュアリー流動に着目した研究として、金澤・松田⁴⁾や中辻ら⁵⁾によるマングローブ水域における潮汐流の非対称性に関する研究が挙げられる。これらの研究では数値実験によってマングローブ水域での非対称潮汐流の形成機構を取り扱っている。しかし、現地観測に基づく物理過程の具体的な報告は少なく、潮汐作用が生態系に与える影響については未解明な部分が多い。

マングローブ水域では潮汐作用による栄養塩、有機物、溶存酸素の輸送が生態系に大きな影響を与えてい

ると考えられるが、マングロープ水域においてこれらの輸送に関する研究はほとんどなされていない。Boto・Bunt⁶⁾, Twilley⁷⁾, Woodroffe⁸⁾は生物・化学的立場からマングロープ水域と外海の間での有機物、栄養塩の収支を調査しているが、潮汐による有機物、栄

養塩の輸送機構の検討までには至っていない。

以上のことから、マングロープ生態系の理解は十分とはいえず、マングロープ生態系の仕組みを理解するには至っていない。マングロープ生態系は図-1に示すように生物活動、地形、河川・海水流動の相互作用のもとに形成されており、植物生理や流れの構造といった一側面のみを切り出して議論する事はできない。そこで、本研究では、マングロープ生態系を物理・生物・化学過程を考慮した物質の循環という観点からより多角的、総合的に取り扱う。その第一段階として、海水がマングロープ林内に流入する事によりマングロープ水域での環境形成に大きな影響を及ぼすと考えられる大潮期において、河川・海水流動による物質輸送に着目した現地観測を実施した。現地観測はマングロープ水域での潮汐流による有機物、栄養塩の輸送過程と、有機物・栄養塩収支を解明する事を目的として行った。

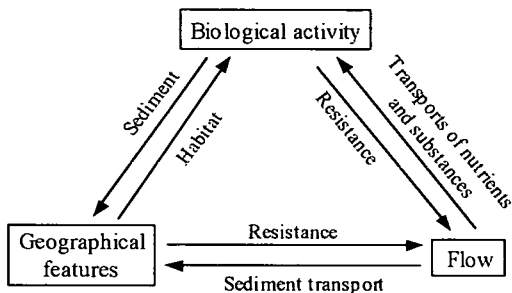
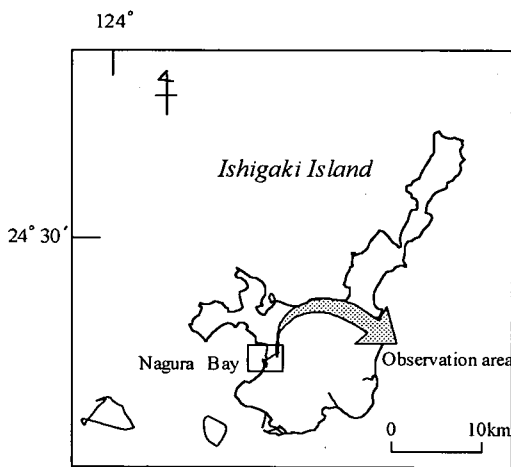
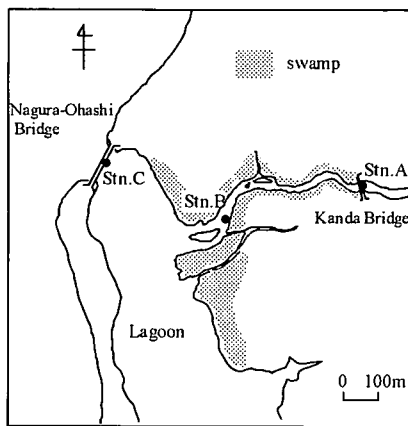


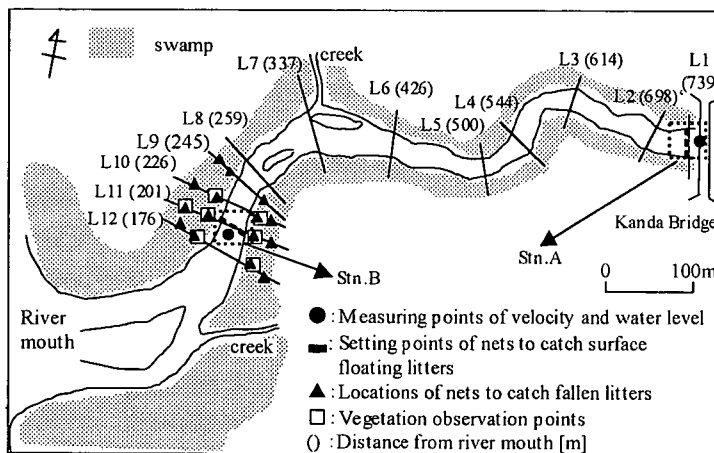
図-1 マングロープ水域における生物活動、地形、河川・海水流動の相互作用



(a) 石垣島



(b) 名蔵川河口域



(c) マングロープ付近の観測地点

図-2 観測地地図



写真-1 河岸に沿って形成されたマングローブ群落
(Stn. B 付近から上流方向を見る)

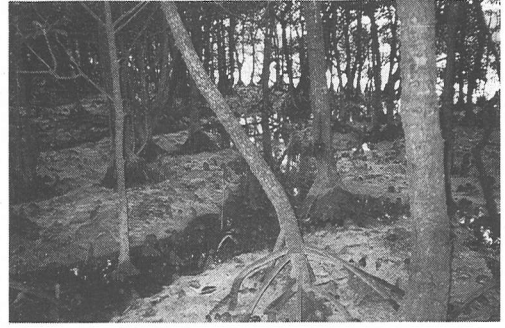


写真-2 スオンプ内とクリーク

2. 観測概要

(1) 観測地概要

沖縄県石垣島南西部に位置する名蔵川の河口から約1km区間 (Stn. A～Stn. C) を観測対象域として、2000/6/28～7/4の大潮期において現地観測を行った(図-2)。大潮期には、潮汐流が直接スオンプ内に流入し、流れや物質輸送に対するマングローブ群落の影響が顕著である。これに対して、小潮期には海水はスオンプ内には流入しない。今回は特に大潮期について観測を行ったものである。観測対象域は河口域にラグーンが存在し、名蔵川周辺にはマングローブ群落が約16ha⁹⁾にわたって広がっている。観測対象域のマングローブ群落ではヤエヤマヒルギ、オヒルギが優占種である。また、今回特に着目した河岸に沿って形成されるマングローブ群落は干潮時に底泥を露出させる樹林帯(スオンプ)と、そのスオンプの間を縫って流れが往復する小水路(クリーク)によって構成されている。スオンプ内にはクリークが多数存在しており、大きいクリークについてはその位置を図-2(c)上に示してある。Stn. B 付近から上流側を見た様子、およびスオンプ内とクリークの様子を写真-1, 2に示す。

(2) 観測方法

現地観測では地形、水質、流れ、底質、植生、リターフォールなどの多岐にわたる測定を行った。それぞれの観測地点を図-2(c)に示す。

まず、観測対象としたマングローブ水域の詳細な地形の構造を捉えるため、河口部から神田橋までの約740m区間における平面測量および水準測量をD-GPS(株)SOKKIA、精度: ±1m)およびレベル(株)SOKKIAを用いて行った。

ついでスオンプ内において図-2(c)中の□で示された計7地点の10m×10mの領域で、マングローブ種、立木本数、オヒルギの膝根密度、胸高直径の調査を行っ

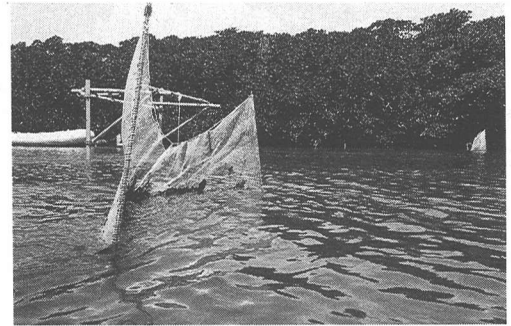


写真-3 浮遊して輸送されるリターの捕捉
のため河川内に設置された網

た。また、2000/7/2～8/18にかけてスオンプ内において、図-2(c)中の▲で示された計15点に1m×1m(孔径7mm)の網を設置し、リターフォール量の測定を行った。また、図-2(c)のL1～L12上の地点において表層土壌を採取し、強熱減量、窒素含有量、リン含有量および粒度分布の測定を行った。粒度分布はふるいわけ試験による計測を行ったが、300 μm以下についてはふるいでは精度が落ちるため、レーザー粒度分布測定装置(LA-700、(株)堀場製作所)を用いて測定した。なお、L1～L7については河川内のみで、L8～L12については河川内および兩岸のスオンプ内で採泥を行った。

さらに、7/2 7:30～19:30にかけてStn. A、Stn. B 付近の河川内において幅2m高さ1mの網(孔径7mm)を横断方向に設置し、網にトラップされるリター量を約2時間毎に測定した。網はStn. A、Stn. Bにおいて横断方向にそれぞれ三個づつ設置した(写真-3)。これと同時に網の付近で採水および簡易多項目水質計(U-10、(株)堀場製作所、溶存酸素量: ±0.02mg/l、塩分: ±0.1%)を用いた溶存酸素、塩分濃度、水温の測定を行った。なお、観測対象域では水深が浅く、鉛直方向に水温の顕著な変化が見られなかったことから強混合型の感潮域と考えられるので、採水は鉛直方向に1点(水表面付近)のみで行った。採水した水は冷蔵して直ちに空輸し、東京工業大学の研究室で栄養塩濃度(PO₄-

表-1 観測項目

	Items	Date	Method
Water qualities	SM, PO ₄ -P, T-P	7/2 7:30~19:30	SM: Filtration
	NH ₄ -N, NO ₂ -N		Nutrients: Colorimetric method
	T-N, NO ₃ -N, DOC	7/3 14:00~7/4 14:00	DOC: TOC-control
	Salinity, DO		Salinity, DO: Portable water-quality meter
Vegetation	Number of trees		
	BDH Litter fall		
Soil	Sediment size distribution		Size distribution: Sieves, Laser diffraction particle size analyzer
	T-N, T-P		Nutrients: Colorimetric method
	IL		
Flow	Velocity	7/2 7:30~19:30	Velocity: Electromagnetic velocimeters
	Water level	7/3 14:00~7/4 14:00	Water level: Water level meter

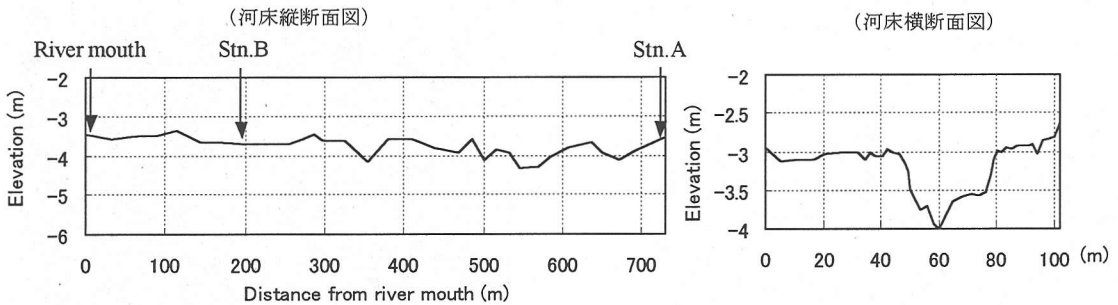


図-3 観測対象域の河床縦断面図およびStn. B付近での河床横断面図
(那覇港の平均海面を原点とする)

P, T-P, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, T-N: 表記法は付録参照), 溶存態有機炭素濃度(以下, DOC濃度), 懸濁態物質濃度(以下, SM濃度), SM中の強熱減量について分析を行った. 栄養塩濃度は, 分光光度計(U-2010, (株)HITACHI)を用いた比色法で定量化し, DOC濃度はサンプルをろ過した後に, TOC-Control(TOC5000A, (株)島津製作所)を用いて測定した. また, 同時にStn. A, Stn. Bにおいて電磁流速計(ACM8M, ACM16M, (株)アレック電子)および水位計(D-Diver, (株)大起理工業)を設置し, 水位および流速の測定を行った.

更に, 2000/7/3 14:00~7/4 14:00にかけてStn. A, Stn. Cにおける2時間間隔の採水および簡易多項目水質計を用いた溶存酸素, 塩分濃度, 水温の測定を行った. 採水した水は同様に栄養塩濃度(PO₄-P, T-P, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, T-N), DOC濃度, SM濃度について分析を行った. また, 同時にStn. A, Stn. Cにおいて電磁流速計および水位計を設置し, 水位および流速の測定を行った.

表-1に以上の観測項目の一覧を示す.

3. 観測結果

(1) 地形測量

図-3に観測対象域の河床縦断面図およびStn. B付

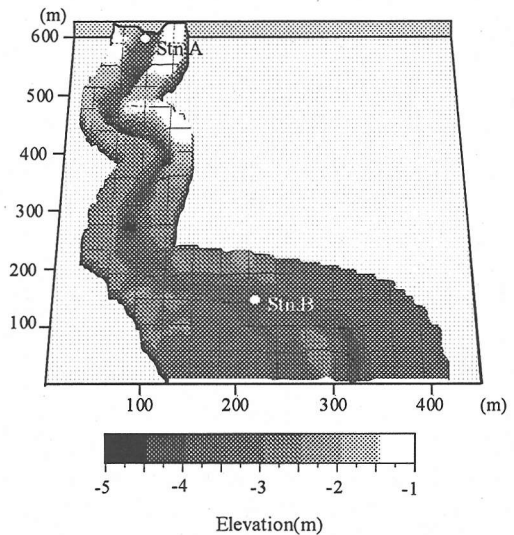


図-4 観測対象域の地形コンター
(那覇港の平均海面を原点とする)

近での河床横断面図を示す. 河床縦断面図は平均河床高で表している. また, 図-4に観測対象域の地形コンターを示す. 観測対象域の河口部には大きな中州が存在し, 河口域では堆積傾向にある. また, 観測対象域の上流部のStn. A付近では河道の浸食防止のための護岸がなされており(それ以外の場所で護岸はなされて

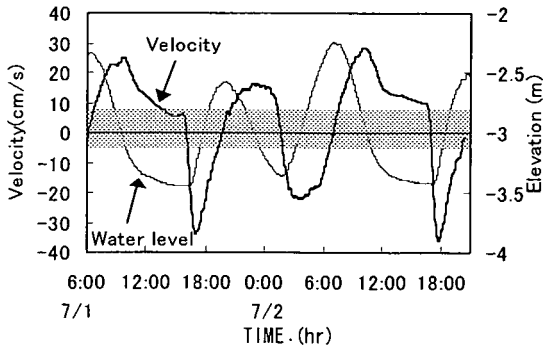


図-5 Stn. Bにおける水位変動および下流方向流速の潮汐変動 (那覇港の平均海面を原点とする)

いなかった), スオンプと河床の高低差が大きい. そのため河口から450m~600mの区間(図-4)では大潮期の満潮時においてもスオンプに海水が流入することはなかった.

(2) 水位変動および流速変化

2000/7/1 6:00~7/2 21:00にかけてのStn. Bでの水位変化および下流方向の流速変動を図-5に示す. 流速は河川中央部の河床から約30cmの位置における値を示す. また, Stn. Bの横断面でのスオンプの標高は図-5中の塗りつぶした部分の範囲にあった. このことから満潮時にはStn. B付近のスオンプ内は完全に浸水することがわかる. 特に, 7/2 7:00の満潮前後には5時間以上にわたってスオンプ内が完全に浸水している. したがって, 大潮期には満潮時にスオンプ内に海水が流入し, 引き潮時に流出することにより, スオンプから河川内への有機物・栄養塩輸送は小潮, 中潮期より活発に行われると考えられる. 図-5における下流方向の流速変動から, 7/1 6:00および7/2 7:00の満潮後の引き潮時には引き潮の時間が長く, その後, 急激な上げ潮になっている. このような流速の非対称性はマングローブ林による流体抵抗に起因しているが, 詳細については金澤・松田⁹⁾を参照されたい. このような河川内での潮汐流の非対称性はマングローブ水域での物質輸送にも影響していると考えられる.

(3) 河川内の有機物・栄養塩輸送

a) 河川内を浮遊するリターの潮汐変化

図-6に2000/7/2 7:30~19:30にかけてのStn. A, Stn. Bそれぞれの三つの2m幅の網(右岸側からA-R, A-M, A-LおよびB-R, B-M, B-Lとする)における河川内を浮遊するリターフラックスの潮汐による変化を示す. 符号は下流方向へのフラックスを正とした. リターの輸送は満潮直後および直前に集中的に起こっており, 満潮(7:00)直後に河川内からラグーンに輸送され, 満潮(20:30)直前にはラグーンから河川内に向かって逆

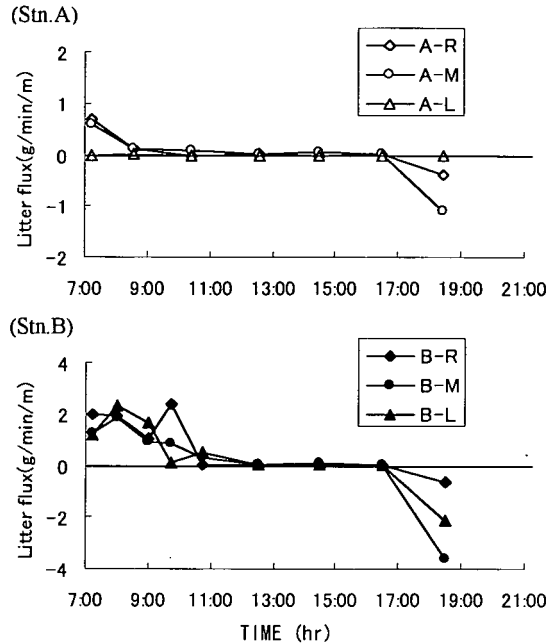


図-6 Stn. A, Stn. Bにおける河川内を浮遊するリターフラックスの潮汐変化

に輸送されていることがわかる. 下流側のStn. Bでは河川内からラグーンおよび沿岸域に供給する傾向にあることがわかる. また, 上流側のStn. Aより上流では平水時に高水敷に水が乗らず, スオンプからリターはほとんど供給されない. そのため, 1潮汐間にリターがStn. Aより下流域から供給される傾向にある. このように多量のリターが河川内あるいはラグーン内に停滞し, 上げ潮時に河川内に供給されることは興味深い結果である.

b) 溶存態の有機物, 栄養塩の濃度変化

図-7は2000/7/2 7:30~19:30にかけてのStn. A, Stn. Bでの水深変化およびDOC, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の潮汐による変化を示す. 干潮時には上流側のStn. Aに比べて下流側のStn. Bの方がDOC, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高く, 引き潮時にはスオンプ内から溶存態有機物, 硝酸態窒素, リン酸態リンの流出が生じていると考えられる. 下流側のStn. Bでの硝酸態窒素濃度は満潮時には上流側のStn. Aに比べて圧倒的にその濃度が低い. これは上げ潮時に硝酸態窒素濃度の低い海水が浸入したことによるものと考えられる. それに対して, 下流側のStn. Bでのリン酸態リン濃度は満潮時においても際だった低下は見られず, 上流側のStn. Aに比べ, 下流側のStn. Bの方が高くなっている. これは河口に近いStn. Bでは塩分濃度が高いことにより, 濁質に付着したリン酸態リンが表面吸着の逆反応で放出されたためと考えられる.

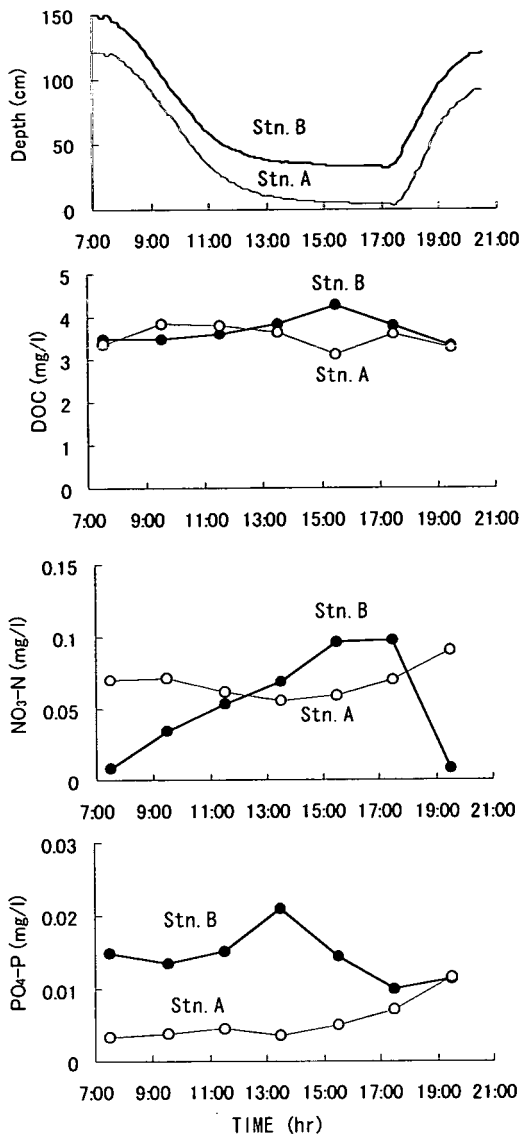


図-7 Stn. A, Stn. Bにおける水深変化および溶存態有機物、栄養塩の潮汐変化

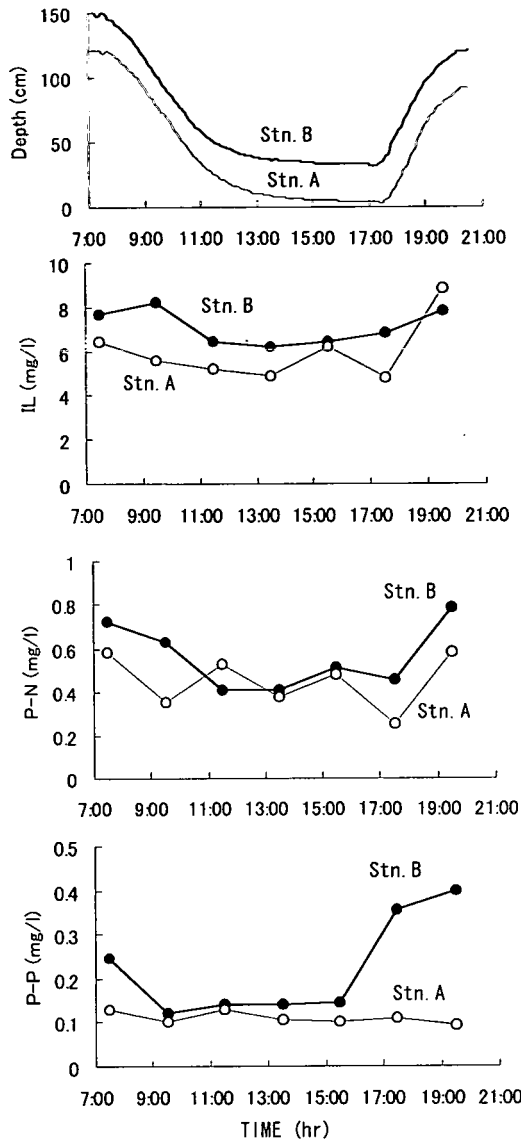


図-8 Stn. A, Stn. Bにおける水深変化および粒子態有機物、栄養塩の潮汐変化

c) 粒子態有機物、栄養塩の濃度変化

図-8は2000/7/2 7:30～19:30にかけてのStn. A, Stn. Bでの水深変化およびSM中の強熱減量(mg/l), 粒子態窒素濃度(以下, P-N濃度), 粒子態リン濃度(以下, P-P濃度)の潮汐による変化を示している。ここで, SM中の強熱減量は粒子態有機物の指標である。また, P-NはT-NからNO₃-N, NO₂-N, NH₄-Nを差し引いたものであり, P-PはT-PからPO₄-Pを差し引いたものである。上流側のStn. Aでは顕著な潮汐変化はないが, 下流側のStn. Bにおいては, 溶存態有機物, 窒素, リン濃度は干潮時に高くなるのとは逆に, SM中の強熱減量, P-N, P-P濃度は満潮時に高く, 干潮時には低くなっ

ている。これは満潮前後では多量のリターが輸送されるため, 満潮前後にSM中の強熱減量, P-N, P-P濃度が高くなったと考えられる。また, P-N, P-P濃度はNO₃-N, PO₄-P濃度に比べてほぼ10倍以上高く, マングローブ水域では粒子態の栄養塩が多量に存在していると考えられる。

d) 有機物、栄養塩の輸送

図-9は2000/7/2 7:00～20:30にかけてのStn. A, Stn. Bでの水深変化および硝酸態窒素フラックス, 粒子態窒素フラックス, 河川内を浮遊するリターフラックスの潮汐による変化を示している。フラックスは, 単位時間当たりのStn. AおよびStn. Bの各断面での通過

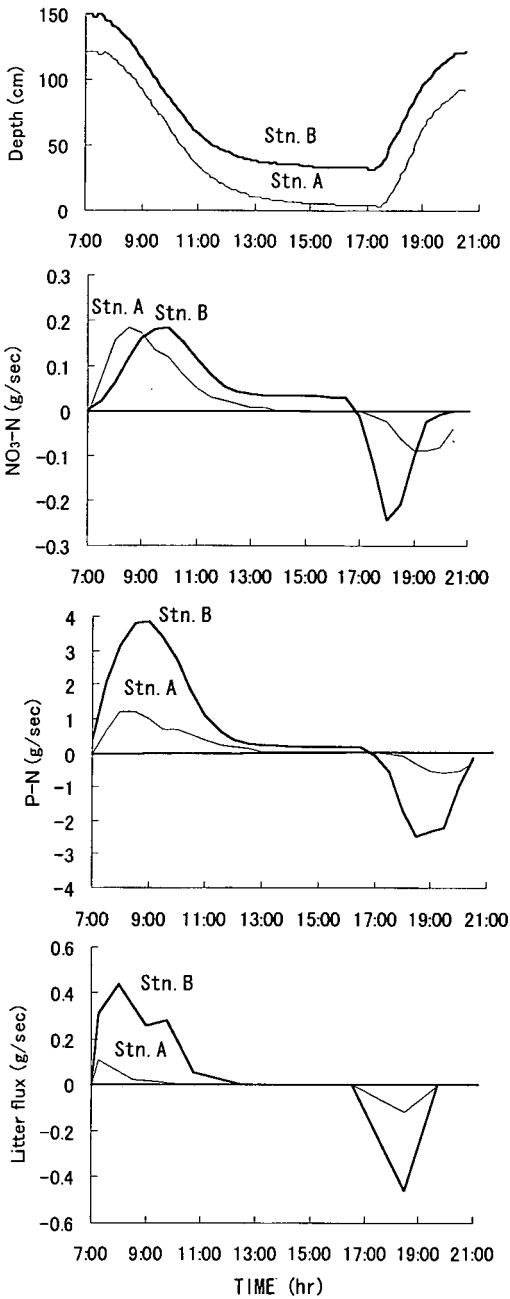


図-9 Stn. A, Stn. Bにおける水深変化および溶存態窒素フラックス, 粒子態窒素フラックス, 河川内を浮遊するリターフラックスの潮汐変化 (g/sec)

量(g/sec)として示した。なお、フラックスは下流方向を正としている。硝酸態窒素, 粒子態窒素, 河川内を浮遊するリターのすべてについて、上流側のStn. Aより下流側のStn. Bにおけるフラックスの方が大きい。ここでは、特に下流側のStn. Bにおける各物質のフラックスについて考察する。2000/7/2 7:00の満潮は

表-2 マングローブ林の特性値

	Number of trees (no./ha)	Mean BDH (cm)	Basal area (%)	Litter fall rate (kg/ha/day)
Right bank	6320	22.8	2.6	15.0
Left bank	2133	32.1	1.7	16.5

水位が高く、スオンプへの海水の流入量が多い。そのため引き潮時にはマングローブ林の抵抗の影響を受けて、スオンプから河川内への流量のピークが潮汐による流速のピークから遅れるので⁵⁾、流速は比較的緩やかに減少している(図-5)。したがって、硝酸態窒素, 粒子態窒素, 河川内を浮遊するリターともに引き潮時の正のフラックスが上げ潮時の負のフラックスを上回っている。硝酸態窒素, 粒子態窒素は干潮前後の12:00~17:00にかけても下流方向に輸送があり、硝酸態窒素に関してはその濃度が干潮時に高いため、干潮前後でも有意な下流方向への輸送がある。しかし、河川内を浮遊するリターに関しては流速が早い満潮前後のみ輸送され、干潮前後には輸送が全くない。このため流出フラックスと流入フラックスに大きな差はないと考えられる。つまり、水表面を浮遊するリターと、流体塊とともに輸送される溶存態および粒子態の有機物, 栄養塩の輸送特性は大きく異なることがわかる。

(4) 植生調査

表-2にStn. B付近の右岸, 左岸のスオンプ内の10m×10mの領域(コドラード)でのマングローブ樹木の立木本数および平均胸高直径を示す。また、同時に胸高断面がスオンプ内の10m×10mの領域(コドラード)に対して占める割合および2000/7/2~8/18におけるリターフォール量も示している。なお、調査域のマングローブ樹種はオヒルギのみであった。単位面積あたりの立木本数は右岸の方が多量のもの、平均胸高断面積は左岸の方が大きいことがわかる。それに対して、リターフォール量は右岸と左岸でほとんど差がない。左岸では植生密度は低かったものの、比較的大きいオヒルギが多かったため、葉量としての右岸と左岸の差はほとんどなく、リターフォール量にも大差がなかったと考えられる。

(5) 河川内およびスオンプ内の底質特性

a) 粒度分布

図-10に河川およびスオンプ内での表層土壌(河川内は表層3cm, スオンプ内は表層1cm)の中央粒径を示す。また、図-11にL10上における河川内, スオンプ内(右岸, 左岸)の代表的な粒度分布を示す。図-10, 11からスオンプ内では河川内に比べて細粒分が多く、また右岸の方が左岸に比べて細粒分をより多く含んでい

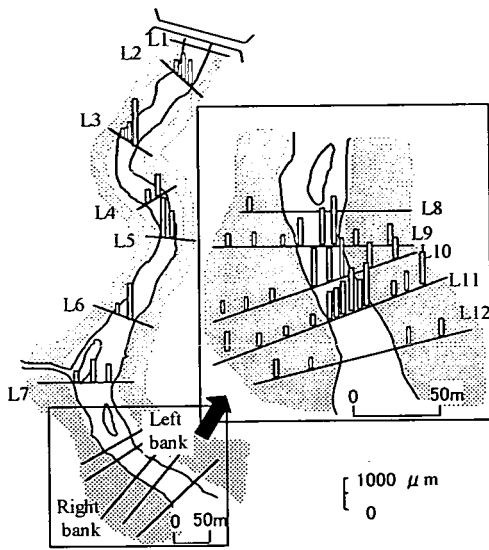


図-10 表層土壌の中央粒径

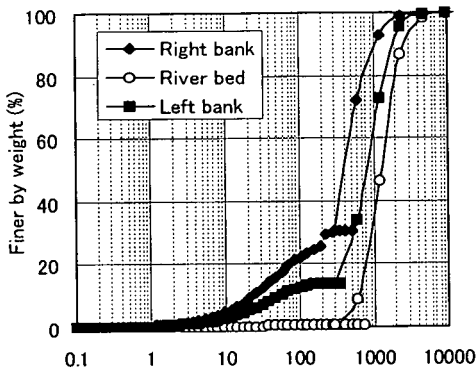
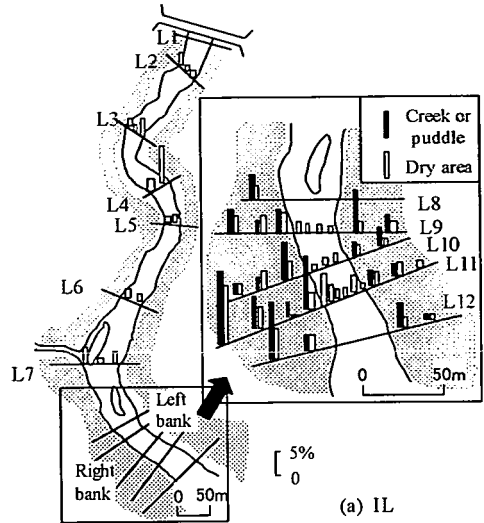


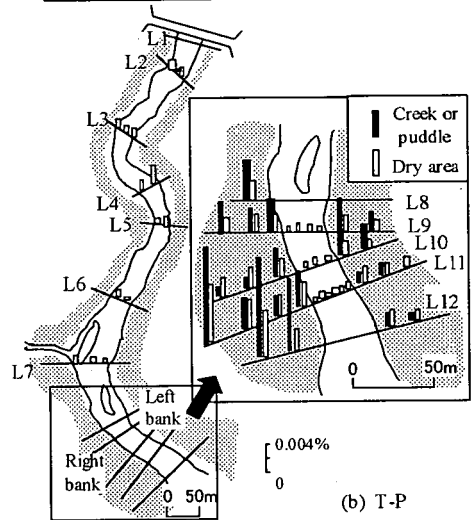
図-11 表層土壌の粒度分布 (L10)

ることがわかる。地形測定の結果から右岸と左岸におけるスオンプ内のL10上での横断方向の勾配を比較すると、右岸では約1/1260であり、左岸では約1/120であった。したがって、左岸においては満潮時に海水が氾濫した際、右岸に比べて勾配が大きく、流体による底面せん断力が大きいため、細粒分が流出しやすかったと考えられる。また、左岸では植生密度が小さいので、比較的大きなクリークが形成されやすく、クリークを通して細粒分が流出したとも考えられる。

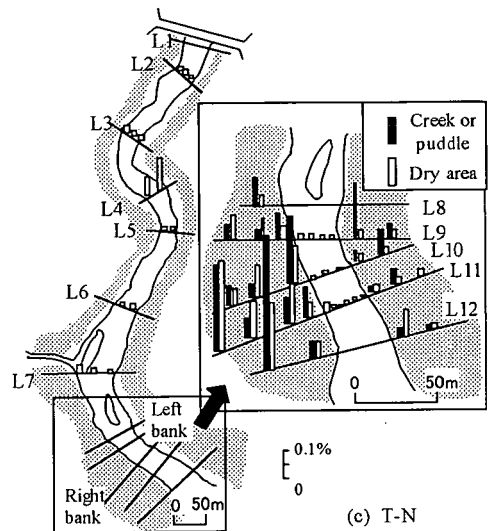
また、図-10から河川内の中央粒径は縦断方向に顕著な変化はみられなかったが、上流域には中央粒径が小さい点が見つかった。これらの点では海水の浸入によって懸濁粒子が凝集し、細粒分が沈殿していると考えられる。また、L7では比較的大きいクリークの流入があったため、細粒分がそこに堆積したと推測される。



(a) IL



(b) T-P



(c) T-N

図-12 表層土壌中の物質質量

b) 底質の有機物, 栄養塩含有量

スオンプ内ではマングローブ林から葉や小枝が落ち、それらがスオンプ内の土壌において分解され、マングローブ水域での有機物, 栄養塩の供給源となっている。図-12に河川内およびスオンプ内の表層土壌中(河川内は表層3cm, スオンプ内は表層1cm)の単位乾燥重量に対する強熱減量(%), 全リン含有率(%), 全窒素含有率(%)を示す。強熱減量は土壌中の有機物量の指標である。スオンプ内の土壌に関しては, 各地点においてクリークかあるいは干潮時にも水たまり(パドル)となっているところと, 干潮時には干出している場所の2箇所において採泥を行った。表層土壌中の有機物, リン,

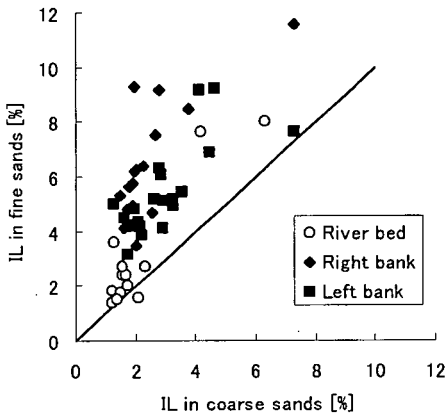


図-13 各地点における細粒分(300 μm以下)・粗粒分(300 μm以上)中の強熱減量(%)

窒素は河川内に比べてスオンプ内の方がかなり高く, 窒素に関してはその傾向がより顕著にみられた。これは溶存態窒素が溶存態リン, 有機物に比べて引き潮時に多量に流出する事に対応している。また, 右岸と左岸では右岸の方が有機物, リン, 窒素を多く含んでいることがわかる。

次に, 図-13で河川内およびスオンプ内の表層土壌中の細粒分(300 μm以下)および粗粒分(300 μm以上)中の強熱減量を比較する。この図から, スオンプ内である右岸および左岸では細粒分の方が有機物の含有量が多いことがわかる。このことは有機物に関しては, スオンプ内の底生生物による分解の結果, 小さな粒径になったためであると考えられる。つまり, スオンプ内では土壌中に細粒分として多量の有機物が存在していたと考えられる。

スオンプ内においてはクリークや水たまり(パドル)となっている場所のほうが, 干潮時に干出する場所よりも表層土壌中の有機物・栄養塩含有量が多い。このことは引き潮時にクリークを通して有機物, 栄養塩が効率的に輸送されているためであると考えられる。また, 図-12中のL4の左岸では河床にリターが堆積していたため, 河川内にもかかわらず有機物・栄養塩含有量が高くなっている。

(6) 有機物, 栄養塩の収支

2000年7月の観測結果から得られた夏期の大潮時におけるマングローブ水域(Stn. A~Stn. B区間)の有

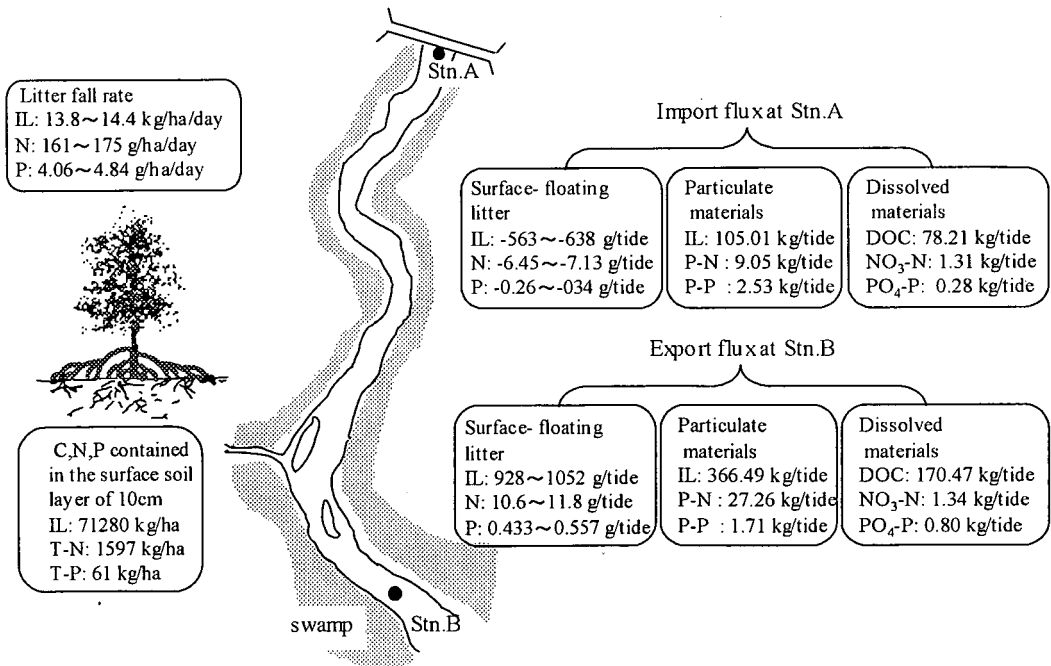


図-14 有機物・栄養塩収支(フラックスは下流向き正)

表-3 リターの強熱減量および窒素・リン含有率

	IL (%)	N/DW (%)	P/DW (%)
Surface floating litter	75~85	0.86~0.95	0.035~0.045
Fallen litter	88~92	1.03~1.12	0.026~0.031

機物、栄養塩の収支を図-14に示す。ここで、有機物・栄養塩フラックスは1潮汐（満潮～満潮）についてのフラックスを表している。マングローブ林から供給されるリターおよび河川内を浮遊するリターの強熱減量、全窒素含有量、全リン含有量は表-3に示される強熱減量(%)および全窒素、全リンの含有率(%)を用いて算出した。リターフォール量はL9～L12の右岸、左岸合計15地点(図-2(c))の平均値を用いて算出した。単位面積当たりの土壌中の強熱減量、全窒素含有量、全リン含有量はスポンプ内の測点の平均値を用いて、土壌の間隙率を0.4として求めた¹⁰⁾。図-14左下に示すようにマングローブ林から供給される有機物の蓄積量が強熱減量で約71t/haと極めて多く、T-N(1597kg/ha)は、T-P(61kg/ha)の約26倍であり、リン制限の栄養塩状態となっている(河川水および海中の有機物は通常はレッドフィールド比で窒素：リン=16：1)。

図-14のStn. A, Stn. Bの流入・流出フラックスの収支から、Stn. AとStn. B間のマングローブ林から多量のリターおよび溶存態、粒子態物質が供給されていることがわかる。また、Stn. Bでの流出フラックスから、マングローブ水域では有機物、栄養塩が粒子態、溶存態として多量に外域に輸送されており、本観測においてはリターとして輸送される量を上回っていることがわかる。つまり、名蔵川河口域のようなラグーンを有するマングローブ水域ではマングローブ林でのリターフォール量に比べ1潮汐間に流出するリターは少なく、大部分はスポンプ内にトラップされるか、潮汐流によってラグーンおよび河川内を往復している。したがって、リターの大部分はマングローブ水域でのカニによる摂食や菌類による分解の後に、溶存態および粒子態の有機物、栄養塩としてラグーンおよび沿岸域に供給されていると考えられる。

(7) 沿岸域との物質交換

観測対象であるマングローブ水域はラグーンを有し、ラグーンと沿岸域の間には砂州が存在する(図-2(b))。そのため海水交換は名蔵大橋のある狭い水路(Stn. C)を通して行われる。また、名蔵大橋の北側の名蔵湾内にはリーフが存在している(図-2(a))。そこで、沿岸域との境界であるStn. Cにおける物質交換について潮汐の影響をほとんど受けないStn. Aと比較し、

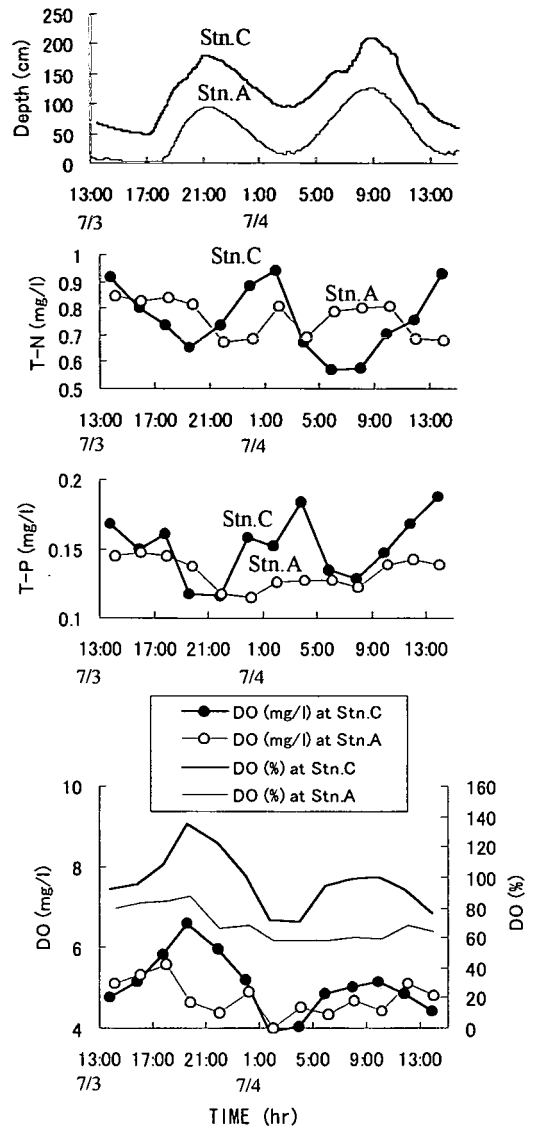


図-15 Stn. A, Stn. Bにおける水深変化および全窒素、全リン、溶存酸素量、溶存酸素の飽和度の潮汐変化

検討する。図-15は2000/7/3 14:00～7/4 14:00にかけてのStn. A, Stn. Cにおける水深変化および栄養塩、溶存酸素濃度の潮汐による変化を示す。溶存酸素量は水温および塩分の影響によって飽和値が変化するので、水温および塩分の変動を考慮して算定した溶存酸素の飽和度についても図-15に示している。また、前述したようにリターの大部分はラグーンおよび河川内にとどまることから、狭い水路(Stn. C)におけるリターの流出は比較的少ないため、ここでは、溶存態と粒子態をあわせた全リン、全窒素濃度の潮汐による変化を示している。

その結果、Stn. Aでは顕著な変化がないのに対して、

Stn. Cでの全窒素、全リン濃度は満潮時に減少し、干潮時に増加する傾向があり、マングローブ水域およびラグーンから沿岸域に栄養塩が供給されていることがわかる。溶存酸素量に関しては、Stn. Aでは、顕著な増減はみられないが、Stn. Cでは栄養塩とは逆に満潮時に増加し、干潮時に減少する傾向にある。7/3 17:00~24:00および7/4 10:00頃にかけては、Stn. Cでは溶存酸素量が過飽和状態にある。沿岸域のリーフでは、砕波による強制的な曝気およびリーフに生育する付着藻類あるいは植物プランクトンの日中の光合成によって、水中の溶存酸素量が増大し、過飽和状態になっていると推測される。上げ潮時に沿岸域からこの過飽和状態の海水が狭い水路(Stn. C)に進入することによって、Stn. Cでは特に午後の満潮時に過飽和になったと考えられる。このように上げ潮時に沿岸域から酸素の多い水塊が進入し、貧酸素化したスオンプ内に氾濫することによって、スオンプ内の貧酸素化が低減され、底生物にとって良好な環境が作り上げられていると考えられる。

以上のように、マングローブ水域から沿岸域の生物の生育に必要な栄養分が供給される一方で、沿岸域のリーフにおける光合成および曝気によって増加した海水中の酸素がマングローブ水域に供給されるという仕組みがなりたっている。そして、この仕組みによってマングローブ水域、沿岸域ともに豊かな生態系がはぐくまれていると考えられる。

4. 結論

名蔵川河口域において、特に大潮時に注目して現地観測を行った結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 大潮期には干潮時に河口での溶存態の有機物、栄養塩濃度が増加する。これはスオンプ内に海水が流入し、引き潮時にスオンプから河川内に溶存態の有機物、栄養塩が供給されるためと考えられる。
- 2) 河川内を浮遊するリターは満潮の直後に河川内からラグーンに輸送され、満潮の直前にラグーンから河川内に輸送される。それにともなって河川内では満潮前後に粒子態の有機物、栄養塩濃度が増加する。
- 3) マングローブ林からは多量のリターが供給されるが、リターの大部分はマングローブ水域で分解され、粒子態および溶存態の有機物、栄養塩として沿岸域に供給されていると考えられる
- 4) 有機物、栄養塩はマングローブ水域から沿岸域に供給されるのに対して、溶存酸素濃度は沿岸域の方が高く、酸素は上げ潮に乗って沿岸域からマングローブ域に供給されていると考えられる。

5. 今後の課題

本研究は大潮時における表流水流動や物質輸送について観測を行い、その結果を示したものであるが、複雑なマングローブ域のエスチュアリー流動や物質輸送などの一端を捉えたものにすぎない。今後、小潮時・洪水時の観測、クリーク・地下水による物質輸送、沿岸域のリーフとの関連について現地観測や平面2次元流数值解析を行い、マングローブエスチュアリーの詳細な構造および物質収支を把握する予定である。

謝辞：本研究は文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(2)(課題番号：11305035, 研究代表者：池田駿介)、並びに文部省科学研究費補助金萌芽的研究(課題番号：11875104, 研究代表者：池田駿介)の補助を受けている。観測機器に関しては東京工業大学大学院情報理工学研究科灘岡研究室、運輸省港湾技術研究所海洋環境部から電磁流速計を貸して頂いた。また分析に関しては東京工業大学大学院総合理工学研究科石川研究室および東京大学新領域創成科学研究科磯部研究室の皆様にも機材の使用について多くの便宜を頂いた。さらに観測地の選択にあたっては琉球大学工学部環境建設工学科の仲座栄三助教授にお世話になった。記して謝意を表します。

付録

本論文で用いた表記法を以下に記す。

- IL : 強熱減量(ignition loss) [%]
- SM : 浮遊物質質量(suspended materials) [mg/l]
- T-P : 全リン(total phosphorus) [mg/l]
- T-N : 全窒素(total nitrogen) [mg/l]
- P-P : 粒子態リン(particulate phosphorus) [mg/l]
- P-N : 粒子態窒素(particulate nitrogen) [mg/l]
- DOC : 溶存態有機炭素(dissolved organic carbon) [mg/l]
- DO : 溶存酸素量(dissolved oxygen) [mg/l]
- BDH : 平均胸高直径(diameter at breast height) [cm]
- PO₄-P : リン酸態リン(orthophosphate) [mg/l]
- NH₄-N : アンモニア態窒素(ammonia) [mg/l]
- NO₃-N : 硝酸態窒素(nitrate) [mg/l]
- NO₂-N : 亜硝酸態窒素(nitrite) [mg/l]

参考文献

- 1) Wittaker, R.H. : Gradient analysis of vegetation, *Biological reviews*, Vol. 42, pp.207-264, 1981.

- 2) Lugo, A.E. and Snedaker, S.C. :The ecology of mangroves, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 5, pp. 39-64, 1974.
- 3) Ball, M.C. :Ecophysiology of mangroves, *Trees*, Vol. 2, pp. 129-142, 1988.
- 4) 金澤延幸, 松田義弘 : マングローブ河川における潮汐流の非対称性, *海の研究*, Vol. 3, pp. 1-11, 1994.
- 5) 中辻啓二, 伊藤歩, 村岡浩爾, R. A. Falconer : 熱帯性マングローブ河口の水理特性, *海岸工学論文集*, Vol. 41, pp. 1126-1130, 1994.
- 6) Boto, K.G. and Bunt, J.S. :Tidal export of particulate organic matter from a northern Australian mangrove system, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 13, pp. 247-255, 1981.
- 7) Twilley, R.R. :The exchange of organic carbon in basin mangrove forests in a southwest Florida estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 20, pp. 543-557, 1985.
- 8) Woodroffe, C.D. :Studies of a mangrove basin, Tuff Crater, New Zealand, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 20, pp. 447-461, 1985.
- 9) 中須賀常雄, 大山保表, 春木雅寛 : マングローブに関する研究 I. 日本におけるマングローブの分布, *日本生態学会誌*, Vol. 24, pp. 237-246, 1974.
- 10) 河村三郎 : 土砂水理学 1, 森北出版, 1982.

(2001. 2. 26 受付)

STUDY ON TIDAL TRANSPORT OF ORGANIC MATERIALS AND NUTRIENTS IN A MANGROVE AREA BY FIELD OBSERVATION

Yoshihisa AKAMATSU, Syunsuke IKEDA, Yohei NAKASHIMA and Yuji TODA

Field observations were performed to know the characteristics of flow and transport of materials in a mangrove area located in Ishigaki Island, in which geographical features, vegetation, water qualities, characteristics of soils and flow were measured by using various devices. At spring tide, organic materials and nutrients which have been provided by the mangrove forests are exported to the coastal area during low tide. On the contrary, the seawater which contains a large amount of dissolved oxygen moves toward the mangrove swamp during high tide. These results suggest that these transports of organic materials, nutrients and dissolved oxygen support biological activity in the mangrove and the coastal areas.