

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

FIELD OBSERVATIONS ON TIDAL TRANSPORT OF ORGANIC MATERIALS AND NUTRIENTS IN MANGROVE AREA

赤松良久¹・池田駿介²・中嶋洋平³・戸田祐嗣⁴

Yoshihisa AKAMATSU, Syunsuke IKEDA, Yohei NAKASHIMA and Yuji TODA

¹ 学生員 修士(工) 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工専攻

² フェロー会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

³ 学会員 学士(工) 東京工業大学 工学部土木工学科

⁴ 正会員 学士(工) 東京工業大学助手 工学部土木工学科

(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2丁目12-1)

Field observations were performed to know the characteristics of tidal transports of nutrients and organic materials in a mangrove area, in which the concentrations of nutrients and organic materials, the amount of the surface floating litters and the litter fall rates in the mangrove forest were measured by using various devices. In the neap tide, when water is not flooding in the mangrove swamp, the organic materials are efficiently exported through creeks. In the flood tide, most of the litters provided by the mangrove forests go back and down between the estuary and the main channel, so that the organic materials and nutrients are flushed from the mangrove system mainly as dissolved or particulate materials.

Key Words: mangrove, swamp, creek, organic materials and nutrients, tidal transport, litter fall

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にマングローブ林がみられ, 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。マングローブ水域は周辺の水域の栄養源となっており, また沿岸の水産生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。

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¹⁾。しかしそれらの研究はマングローブ植物の分類や生理に関するものが多く, マングローブ生態系にとって重要であると考えられるマングローブ水域での栄養物質の輸送に着目した研究は少ない。そこで本研究ではマングローブ水域での栄養塩・有機物の輸送に着目し, マングローブ水域の有機物・栄養塩収支を解明する事を目的として現地観測を行った。

2. 観測概要

沖縄県石垣島南西部に位置する名蔵川の河口から約1km区間を観測対象域(図-1)として, 2000年1月11日~1月13日および2000年6月28日~2000年7月4日にかけて現地観測を行った。観測対象域は河口域にラグーンが存在し, 名蔵川高水敷およびその南側にマングローブ群落が約16ha²⁾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った。また今回とくに着目した河川高水敷のマングローブ水域は干潮時に底泥を露出させる樹林帯(swamp)と, そのswampの間を縫って潮汐流が往復する小水路(creek)によって構成されている。swamp内にはcreekが多数存在しており, 比較的大きなcreekについては図-1上に示してある。

2000年1月11日~1月13日の観測は小潮期に近く, 小潮期の河川およびcreek内の有機物の輸送特性を知ることを目的として以下の観測を行った。1月

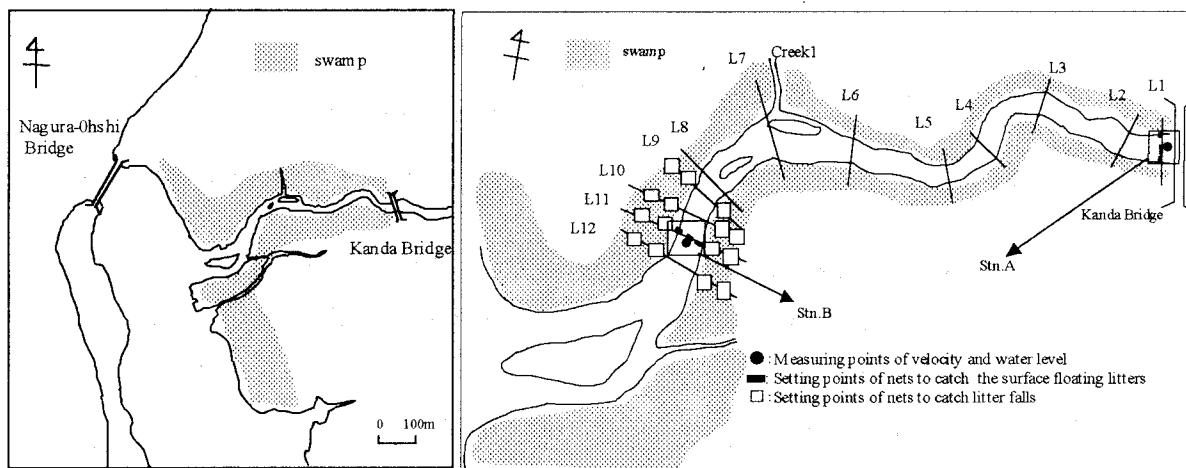


図-1 観測地 (石垣島, 名蔵川)

11日の満潮・干潮時にマングローブ内を横断するL7, L10およびCreek1において採水および簡易多項目水質計(U-10, (株)堀場製作所製, 溶存酸素量: $\pm 0.02\text{mg/l}$)を用いた溶存酸素・塩分濃度の測定を行った。なお観測対象域では水深が浅く強混合型の感潮域であったため採水は鉛直方向に一点(水表面付近)のみで行った。採水した水は研究室に持ち帰り, 溶存態有機炭素濃度(以下DOC濃度)について分析を行った。DOC濃度はサンプルをろ過した後, TOC-Control((株)島津製作所)を用いて測定した。また有機物のソースと考えられる土壌について, マングローブ内を横断するL7, L10およびL7に近接するCreek1において採泥し, 表層土壌の粒度分布および強熱減量を測定した。強熱減量は土壌中の有機物量の指標と考えられる。なお表層土壌は表層約3cmを採取した。

2000年6月28日～2000年7月4日の観測は大潮期にあたり, マングローブ林から供給されるリター(マングローブの葉・実)および溶存態・粒子態の有機物・栄養塩輸送特性を把握することを目的として以下の観測を行った。7月2日の7:30～19:30にかけてStn. AおよびStn. B付近の河川内において幅2m高さ1mの網(孔径7mm)を河川内に設置し, 網にトラップされるリター量を約2時間毎に測定した。網は各ラインに三個ずつ設置した。同時に網の付近で採水および簡易多項目水質計を用いた溶存酸素・塩分濃度の測定を行った。採水した水は研究室に持ち帰り, 栄養塩濃度($\text{PO}_4\text{-P}$, T-P , $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, T-N), DOC濃度, 懸濁態物質濃度(以下, SS濃度), SS中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た。また図-1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。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両岸のswamp内で採泥を行った。また図-1中Stn. AおよびStn. Bに電磁流速計(ACM8M・ACM16M, (株)アレック電子)および水位計(D-Diver, (株)大起理化工業)を設置した。

また2000年7月2日～8月18日にかけてswamp内において図-1中の□で示された位置に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。

2. 観測結果及び考察

2-1 小潮期における有機物輸送

観測期間は小潮期に近く, この期間は満潮時においてもswampへの氾濫は起こっていなかった。したがって名蔵川河口域では小潮期にはswamp内が完全に浸水する事はなく, swamp内のcreekでの往復流のみが存在すると考えられる。

L7, L10, Creek1における2000/1/11の満潮(11:00)・干潮時(17:00)における河川水中のDOC濃度を図-2に示す(L10の左岸側では干潮時には干上がったためデータがない)。満潮・干潮時ともに河川内よりもCreek1およびCreek1の出口におけるDOC濃度が高く, その傾向は干潮時の方が顕著にみられる。このことから干潮時には溶存態有機物がCreek1をとおしてswampから河川内に輸送されていると考えられる。また河川内およびswamp・Creek1における表層土壌中の強熱減量を図-3に示す。各地点における強熱減量からswampでは河川内に比べ土壌中の有機物量が多いことがわかる。しかしCreek1の出口においては河川内にもかかわらずCreek1を通してswampの有機物を多く含む土壌が輸送されるため, 土壌中の有機物量が多くなっている。またL7, L10の右岸において強熱減量が10%程度と非常に大きい地点がみられる。これらの地点においては土壌中にマングロー

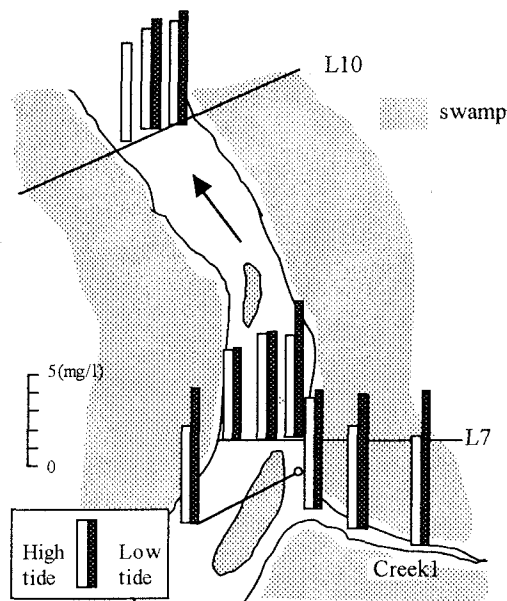


図-2 河川水中の溶存態有機炭素濃度（小潮期）

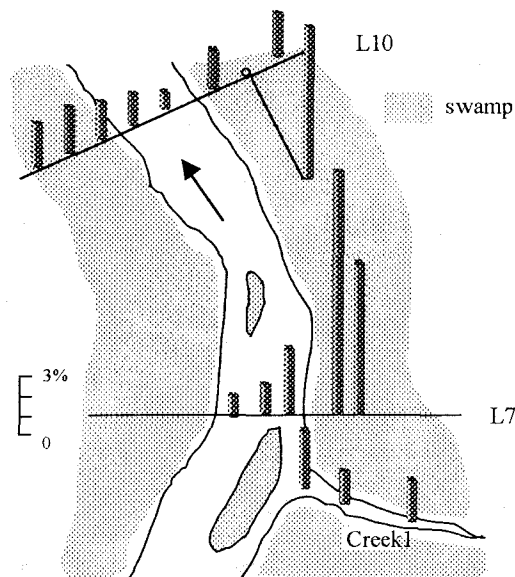


図-3 表層土壌の強熱減量（小潮時）

ブ林的根を多く含んでおり、そのため土壌中に多くの有機物が含まれていたと考えられる。

2-2 大潮時における栄養塩・有機物輸送

(a) 水位変動および流速変化

2000/7/2 6:00～21:00にかけてのStn. Bでの水深変化および流下方向の流速変動を図-4に示す。Stn. Bと高水敷のswamp内の高低差は約100～150cmであることから、午前中の満潮時にはswamp内が完全に浸水していることがわかる。したがって大潮期には満潮時にswamp内に海水の氾濫がおこるためswamp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。Stn. Bにおける流下方向の流速変動から潮位が150cm程度まで達する午前中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下げ潮時にswampか河川内からswampへの海水の氾濫量変動と潮汐による流速の周期変動の位相のずれによって起こると考えられる³⁾。

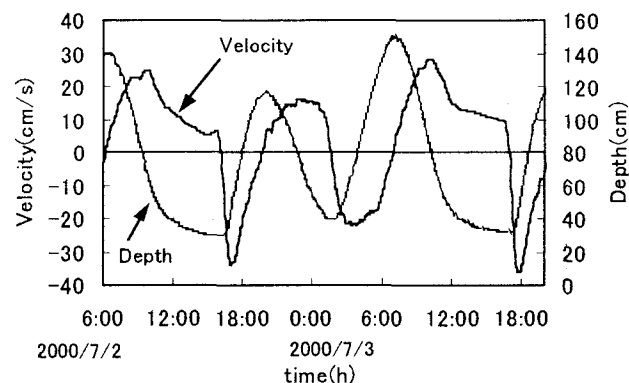


図-4 水深変化および流下方向流速の潮汐変動（大潮期）

(b) 溶存態の栄養塩・有機物の輸送

図-5に2000/7/2 7:30～19:30にかけてのStn. AおよびStn. BでのDOC, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の時間変化を示す。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, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は高く、引き潮時にはswamp内からの有機物および硝酸・リン酸イオンの流出が生じていると考えられる。特に硝酸イオンは引き潮時に流出する傾向が顕著にみられ、河川内とswamp内で硝酸イオンの濃度差が大きいと考えられる。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は満潮時も上流側の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では塩分濃度が高く、濁質に付着した $\text{PO}_4\text{-P}$ が表面吸着の逆反応で放出されたためと考えられる。

(c) リターの輸送

図-6に2000/7/2 7:30～19:30にかけてのStn. AおよびStn. Bでの三つの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）へのリターの累積通過量を示す。符号は流下方向への通過量を正とした。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)直前にラグーンから河川内に輸送されている。下流側のStn. BについてみるとB-Mでは一潮汐間（満潮～満潮）にラグーンから河川内にリターが輸送されているが、Stn. Bでは全体として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より上流ではマングローブ純林ではないためswampからのリターの供給はほとんどなく、そのため一潮汐間にリターが下流域から供給される傾向にある。このような多量のリターが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非常に興味深い結果である。

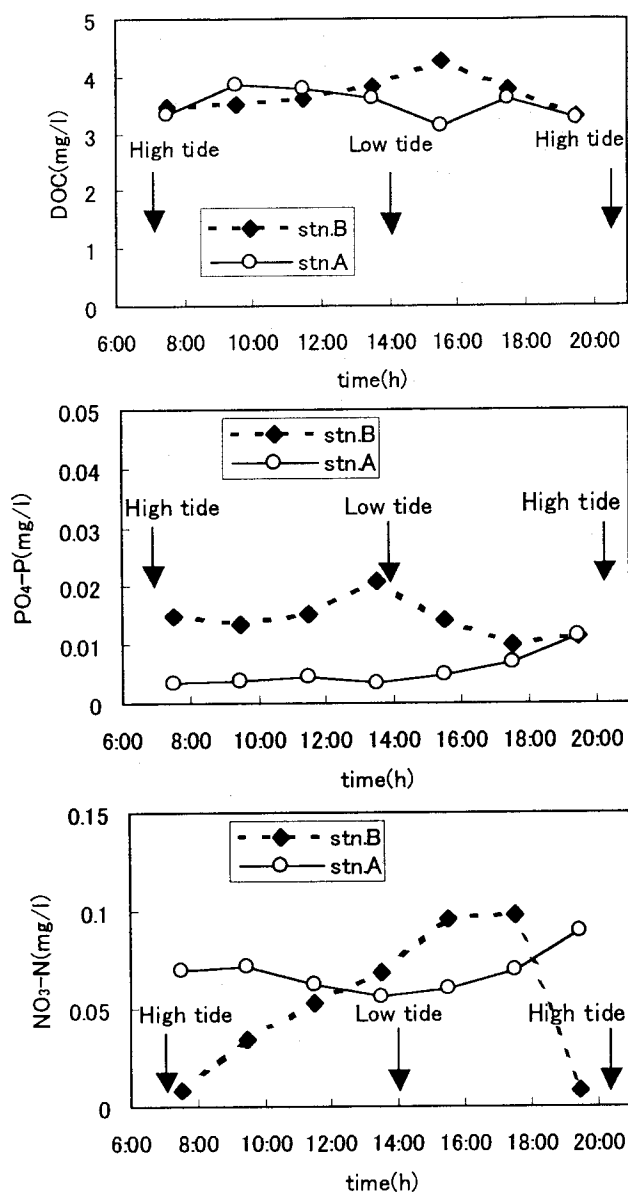


図-5 溶存態有機物・栄養塩の潮汐変化（大潮期）

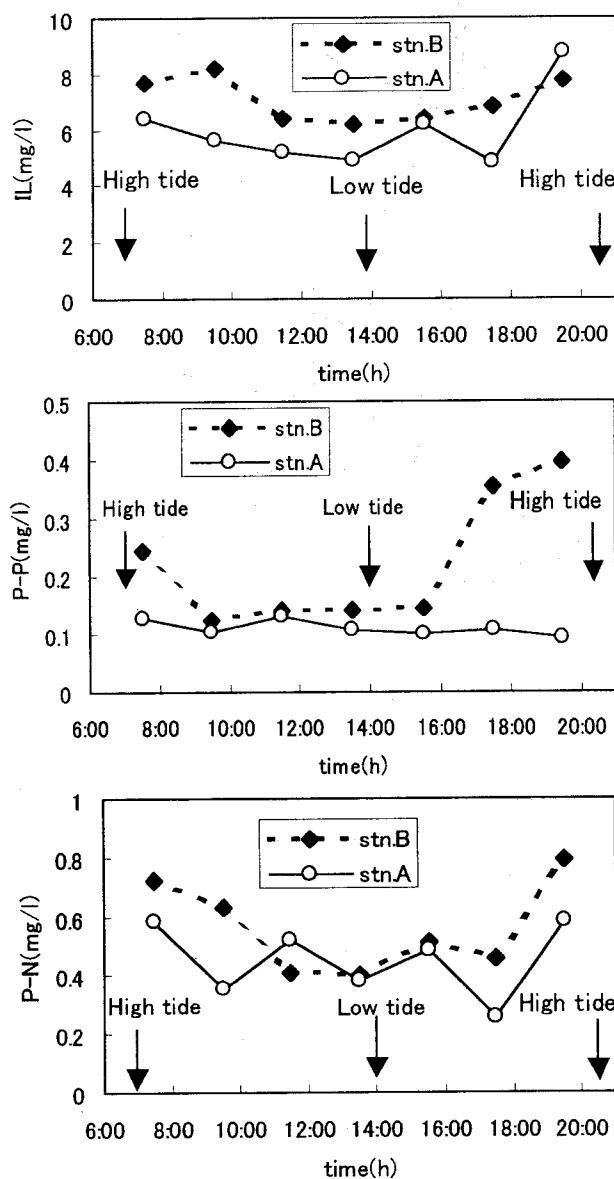


図-7 粒子態有機物・栄養塩の潮汐変化（大潮期）

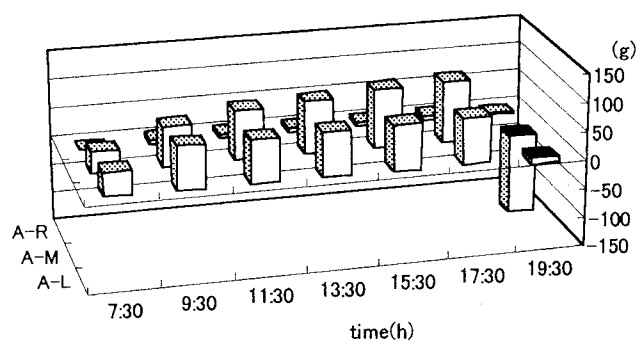


図-6 河川内を浮遊するリターの累積通過量（大潮期）

(d) 粒子態栄養塩・有機物の輸送

図-8 に Stn. A および Stn. B での SS 中強熱減量 (mg/l), 粒子態リン濃度 (以下, P-P 濃度), 粒子態窒素濃度 (以下, P-N 濃度) の時間変化を示す. ここで SS 中強熱減量は粒子態有機物の指標と考えられる. また P-P は T-P から PO₄-P を差し引いたものであり, P-N は

T-N から NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N を差し引いたものである. 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に対して, SS 中強熱減量, P-P, P-N 濃度は満潮時に高く干潮時には低くなっている. つまり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 SS 中強熱減量, P-P, P-N 濃度

が高くなると考えられる。またP-P, P-N濃度は溶存態窒素・リン濃度にくべてほぼ10倍以上高く、マングローブ水域では粒子状有機態窒素・リンが多量に存在していると考えられる。

(d) 土壌中の有機物・栄養塩

swamp内ではマングローブ林から葉や小枝が落ち、それらがswamp内の土壌において分解され、マングローブ水域での栄養塩・有機物の供給源となっている。そこで図-8に河川内およびswamp内の表層土壌(河川内:表層3cm, swamp内:表層1cm)の単位乾燥重量に対する強熱減量(%), リン・窒素含有率(%)を示す。swamp内の土壌に関しては各地点においてcreekかあるいは干潮時にも水たまり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・窒素は河川内に比べてswamp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る。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と対応している。またcreekや水たまり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・栄養塩含有量が多く、引き潮時にcreekを通して有機物・栄養塩が効率的に輸送されていると考えられる。また河川内ではL4の左岸は蛇行部の外岸にあたり、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。

2-3 有機物・栄養塩収支

2000年の7月の観測結果から、夏期の大潮時におけるマングローブ水域(Stn. A-Stn. B区間)での有機物・栄養塩の収支を図-9に示す。ここで有機物・栄養塩フラックスは一潮汐(満潮～満潮)についてのフラックスを示す。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および窒素・リン含有量は表-1に示される強熱減量(%)および窒素・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-1)の平均値を用い、河川内を浮遊するリターのフラックスは図-7のリターの累積通過量を用いて算出した。単位面積当たりの土壌中の強熱減量および窒素・リン含有量はswamp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⁴⁾。

表-1 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

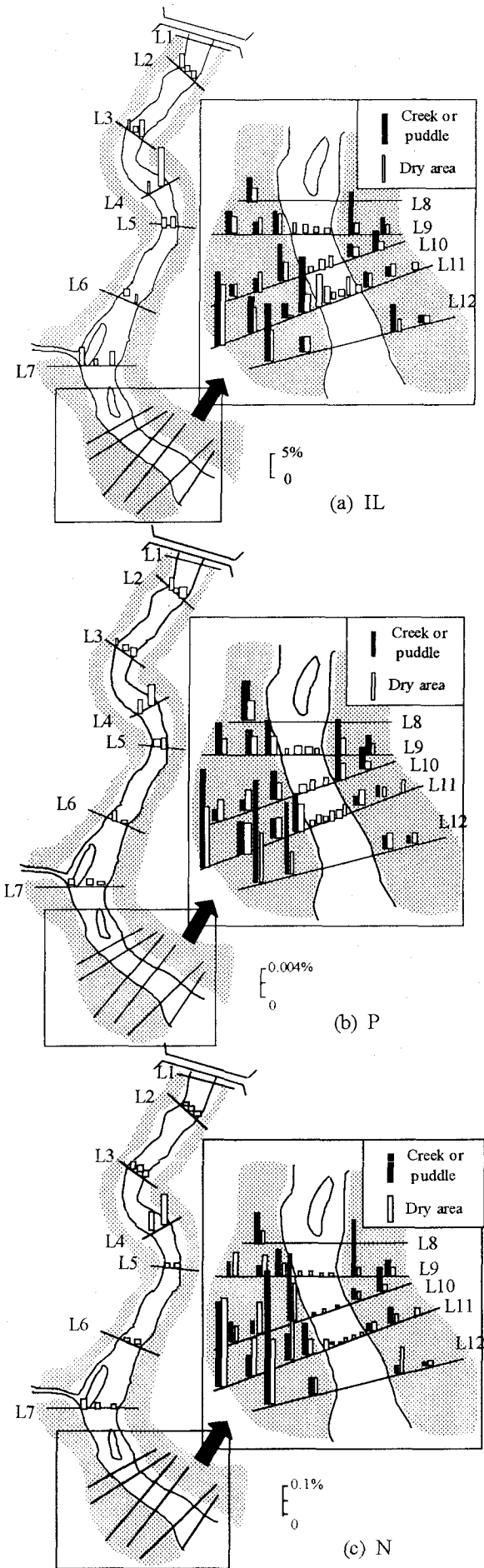


図-8 表層土壌中の物質

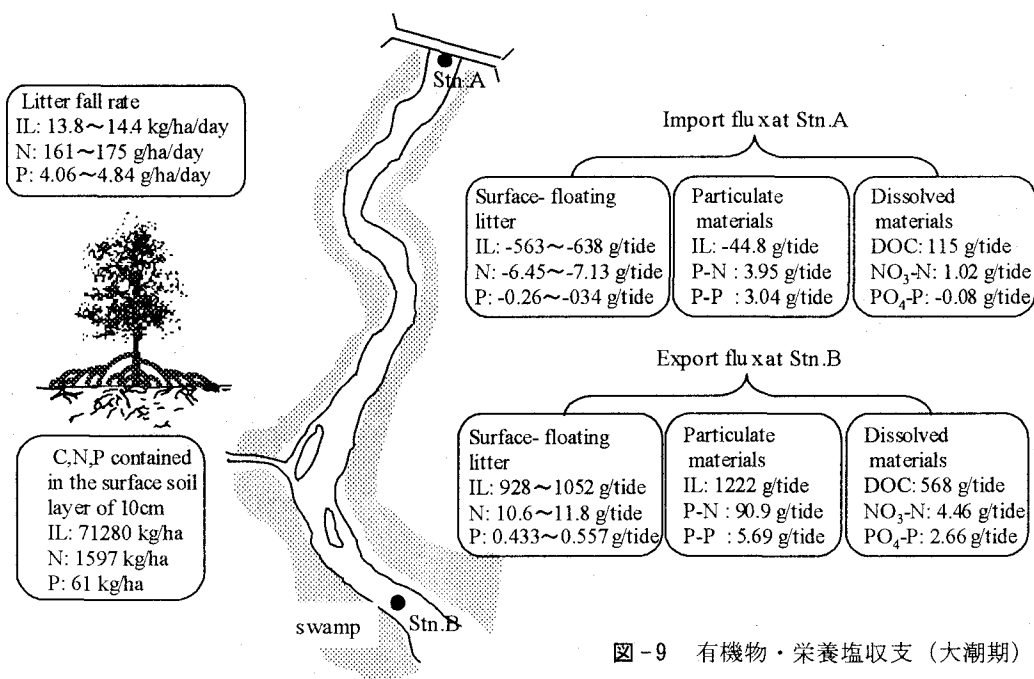


図-9 有機物・栄養塩収支（大潮期）

図-9のStn. AおよびStn. Bの流入・流出フラックスを比較すると、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潮汐間に流出するリターは少なく⁵⁾、大部分はswamp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と考えられる。したがってリターの大部分はカニや微生物の活性の高いマングローブ水域で分解されて、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と考えられる。

3. 結論

名蔵川河口域において現地観測をおこなった結果、以下のような知見が得られた。

- 1) swamp内に海水が氾濫しない小潮期においても、swamp内の有機物がcreekをとおして効率的に河川内に供給されている。
- 2) 大潮期にはswamp内に海水が氾濫し、引き潮時にswampから河川内に溶存態の有機物・栄養塩が供給されている。
- 3) 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。またそれとともなって河川内では満潮前後に粒子状有機物・栄養塩濃度が増加す

る。
 4) 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総合理工学研究科灘岡和夫教授ならびに灘岡研究室の学生の皆様に機材の使用等方法等、多くのご指導を頂いた。また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いただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) Woodroffe, C. D.: Geomorphology and development of mangrove swamps, Grand Cayman Island, West Indies, Bulletin of Marine Science 32:381~398, 1982
- 2) 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, 日本生態系学会誌, 24, 237~246, 1974.
- 3) 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, 41, 1126~1130, 1994.
- 4) 河村三郎：土砂水理学Ⅰ, 森北出版, 1982.
- 5) Boto, K. G., and Bunt, J. S.: Tidal export of particulate organic matter from a northern Australian mangrove system, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 13:247-255, 1981.

(2000. 10. 2受付)