

マングローブ林内の土壌・水質特性に関する現地観測

FIELD OBSERVATION ON CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY AND SOIL IN A MANGROVE SWAMP

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 東京工業大学大学院教授 理工学研究科土木工専攻

³ 学会員 学士(工) 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工専攻

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専攻

(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2丁目12-1)

A field observation was conducted to know water quality and soil in a mangrove swamp. The sediment characteristics, the water qualities and the ground water height were measured in a mangrove swamp in Ishigaki Island. It was found that the concentration of dissolved phosphorus in the groundwater of the mangrove swamp takes a larger value than that in the main channel, while there is no significant difference in the concentrations of dissolved nitrogen between the groundwater of the mangrove swamp and the main channel. During a high tide, the seawater containing a large amount of oxygen inundates the mangrove swamp, and therefore the concentration of dissolved oxygen in the groundwater of the mangrove swamp increases around the peak high tide. The supply of oxygen from a coastal area supports biological activity in the mangrove swamp.

Key Words: mangrove swamp, groundwater, dissolved oxygen, nutrient

1. はじめに

熱帯・亜寒帯の沿岸潮間域に存在するマングローブ樹林はリター(葉, 実)として多量の有機物を林内の土壌に供給している。さらに, 満潮時に海水が林内に浸入する事によって, 沿岸域に栄養分を供給している。従って, マングローブ樹林はその水域のみならず沿岸域にとっても重要な役割を果たしていると考えられる。

マングローブ林に関する研究は主に植物社会学的な分類や植物生理に着目したものが多く, また, 沿岸域への栄養分の輸送にとって重要であるマングローブ水域でのエスチュアリー流動に関する研究¹⁾も盛んに行われてきた。しかし, マングローブ林内の土壌や水質に関する研究は非常に少なく, 浸水・干出を繰り返すマングローブ林内の土壌や水質に関する知見は乏しい。そこで, 本研究ではマングローブ林内の土壌・水質環境の潮汐による変化に着目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, 2001年7月17日~7月23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, 河口近くの河川沿いおよびその南側にマングローブ群落²⁾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, 今回特に着目した河岸に沿って形成された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潮汐流が往復する小水路(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, 比較的大きなクリーク(水路幅が1m以上のもの)については図-1上

2001/7/20 4:30~22:30にかけてスオンプ内で2

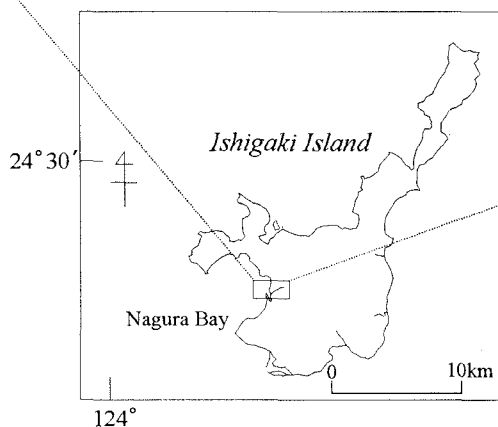
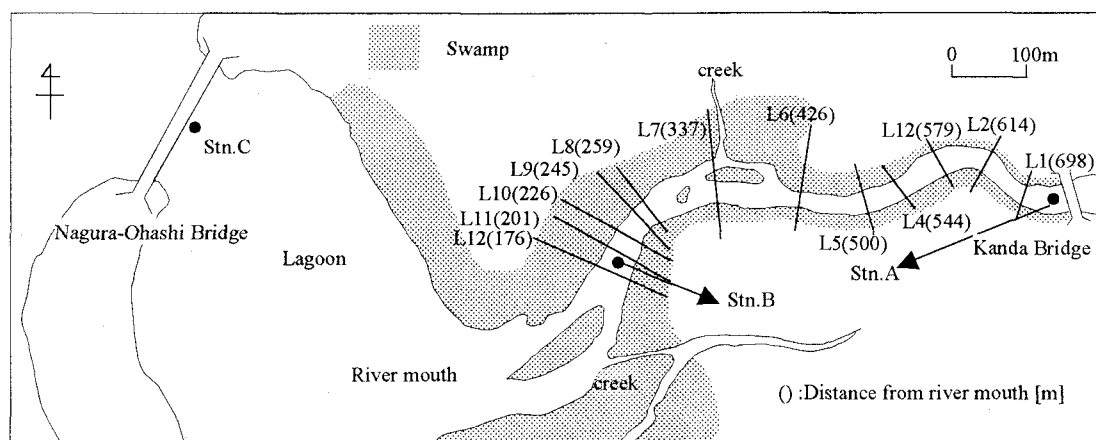


図-1 観測地（石垣島，名蔵川）

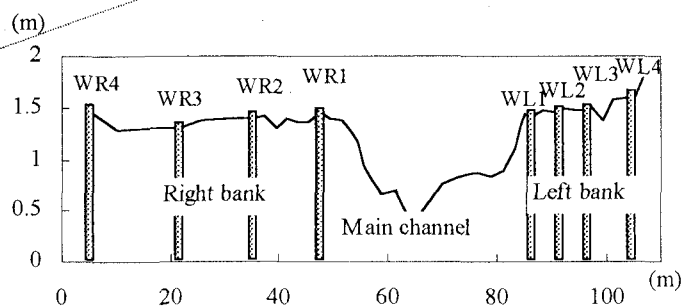


図-2 観測井

時間間隔の地下水の採取および1時間間隔の地下水位の測定を行った。地下水の採取および地下水位の測定はL11上に図-2に示すような合計8つの径10cmの観測井（右岸：WR1～WR4，左岸：WL1～WL4）を設けて行った。地下水の採取はWR1，WL1の鉛直下方向に表層から0.5，1，2.5，5，25，50，100，150cmの8点とし，先端が多孔質素材となっている棒状の採水器（ミズツール，（株）大起理化工業）を採取する深さに設置し，減圧吸引する方法で行なった。採取した地下水については，その場でORPメーター（IRX-90，（株）東興科学研究所）を用いて酸化還元電位（ORP）を測定した。地下水位の測定はWR1～WR4およびWL1～WL4において行い，またWR1，WR4，WL1，WL4においては水位計（D-Diver，（株）大起理化工業）を設置し，地下水位の連続計測も行った。

また，2000/7/22 5:00～23:00にかけてスオンプ内のL8～L12上の18地点において底面から約5cmの位置で溶存酸素量，酸化還元電位，塩分濃度および水温を多項目水質計（U-23，（株）堀場製作所）を用いて2時間間隔で測定した。河川内のStn. B，Stn. Aにおいても同様の計測を行った。

さらに，スオンプ内および河川内のL1～L12上の約70地点において表層底質を採取した（スオンプ内：表層1cm，河川内：表層3cm）。

採水した地下水および採取した底質は冷蔵して直

ちに空輸し，東京工業大学の研究室で分析を行った。地下水は溶存態栄養塩（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ， $\text{NH}_4\text{-N}$ ， $\text{NO}_3\text{-N}$ ， $\text{NO}_2\text{-N}$ ）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，底質に関しては炭素含有量，窒素含有量，リン含有量，クロロフィルa量および粒度分布の測定を行った。炭素含有量に関してはTOC-Control（TOC5000A，（株）島津製作所）を用い，窒素・リン含有量に関しては分光光度計を用いた比色法で定量化した。

また，2001/7/17～7/23にかけてStn. AおよびStn. Bに電磁流速計（Compact-EM，（株）アレック電子）および水位計を設置し，流速および水位の測定を行った。さらに，2001/7/23～9/1にかけてL9～L12のスオンプ内の16地点において1m×1m（孔径7mm）の網を設置しリターフォール量（落葉量）の測定を行った。

3. 観測結果及び考察

3-1 スオンプ内の土壌・樹林特性

図-1中のL8～L12間の右岸および左岸のスオンプ内に生育するマングローブ林の成立木本数，平均

表-1 マングローブ林の特性値

	Right bank	Left bank
成立木本数 (no./ha)	6320	2133
平均胸高直径 (cm)	22.8	32.1
リターフォール量 (kg/ha/day)	18.0	22.7

表-2 土壌中の栄養分含有率 (%)

	Right bank	River bed	Left bank
炭素	2.0	0.18	0.56
窒素	4.9×10^{-2}	0.66×10^{-2}	1.4×10^{-2}
リン	4.2×10^{-3}	1.4×10^{-3}	2.1×10^{-3}

胸高直径、リターフォール量を表-1に示す。また、採取した土壌に含まれる窒素、リン、炭素の単位乾燥重量あたりの含有率 (%) をL8～L12の右岸スオンプ、河床、左岸スオンプごとに平均した値を表-2に示す。表-2より、河川内よりもスオンプ内に多くの炭素、窒素、リンが含まれており、特に右岸のスオンプに多いことがわかる。一般的な常緑樹の森林に比べてスオンプ内ではリターフォール量はむしろ多いのに対して、表層土壌中の栄養分含有量は少なく³⁾、海水の氾濫によって多量の栄養分の流出があることが推察される。

3-2 スオンプ内地下水の水質環境

(1) スオンプ内の水位変動

図-3に2001/7/20 6:30～21:30にかけてのL11での3時間間隔の水位変動(地下水となっている時間帯を含む)を示す。右岸のスオンプの奥では水位変動が小さく、干潮時でもほぼ浸水状態にあることがわかる。右岸のスオンプの奥にはラグーンに近い下流域からクリークが延びており、比較的広い範囲で窪地が存在するため、海水が氾濫し易くなっていると考えられる。それに対して、左岸のスオンプの奥では干潮時には干出しており、また左岸の地下水位の変動は右岸に比べて大きい。

(2) 酸化還元電位 (ORP)

図-4に2001年7月20日の満潮時(5:30, 19:30)および

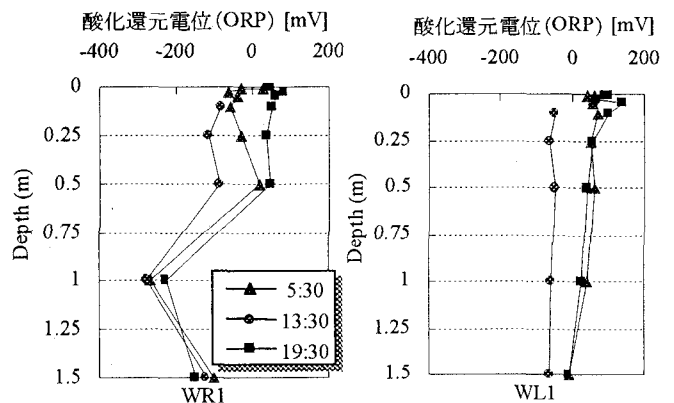


図-4 スオンプ内土壌中の酸化還元電位の鉛直分布

び干潮時(13:30)における観測井WR1, WL1での酸化還元電位の鉛直分布を示す。地下水位変動の小さい右岸(WR1)の方が左岸(WL1)に比べて酸化還元電位が小さく、還元性が高くなっている(ORPがマイナスであるほど還元性が高い)。また、スオンプ内に海水が浸入する満潮時(5:30, 19:30)には酸化還元電位が上昇しており、特に左岸(WL1)では地表から1mの深さにおいても正の値になっている。これは、沿岸域から供給される海水は溶存酸素量が多く⁴⁾、その海水がスオンプ内に浸透することによって酸化還元電位が大きくなったと考えられる。図-5に示すように、酸化還元電位によって土壌中の好気性細菌(aerobe)および嫌気性細菌(anaerobe)の活動は大きく変化するため、満潮時に海水が浸透することによって土壌の酸化還元電位が変化することはスオンプ内土壌中の微生物の活動に大きな影響を与えていることが推察される。

(3) 地下水中の栄養塩濃度

図-6に2001年7月20日の満潮(5:30, 19:30)、干潮(13:30)時にそれぞれ測定した観測井WR1, WL1における $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の鉛直分布を示す。地下水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は河川内のそれ(Stn. Bでの $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度: 0.01～0.03 [mg/l])に比べて非常に高い。これは、スオンプ内の土壌中では、マングローブ樹林起源のデトリタス(粒子状

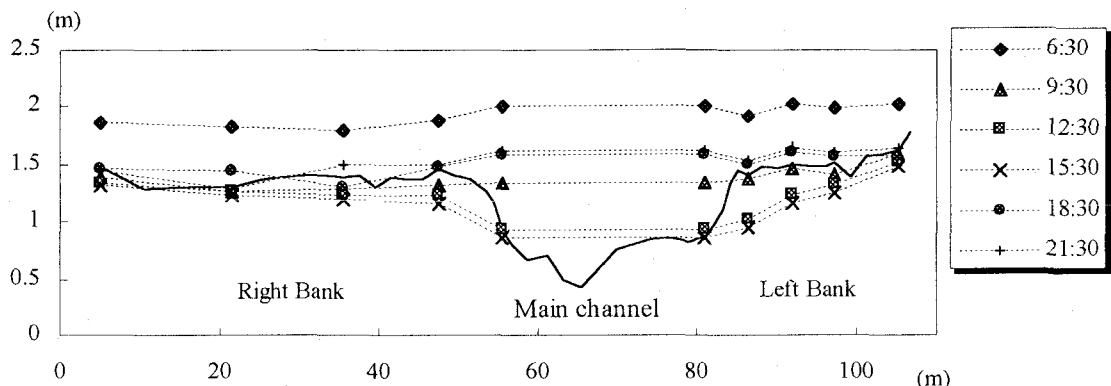


図-3 スオンプ内の水位変動 (地下水状態も含む)

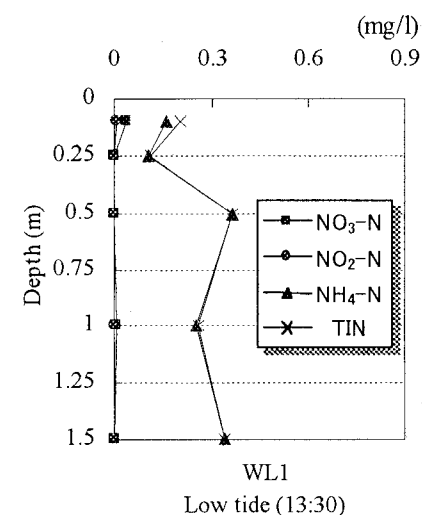
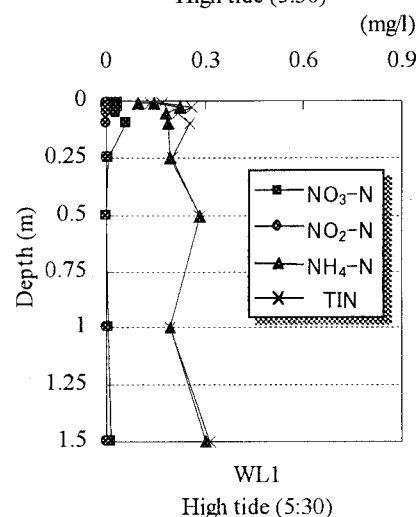
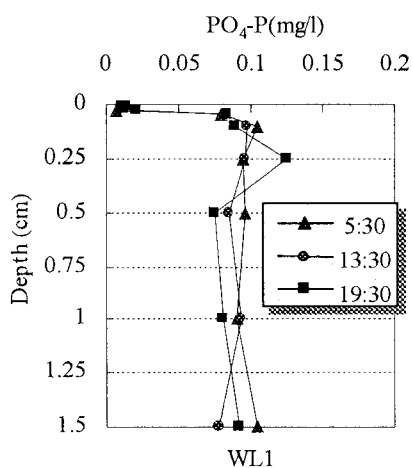
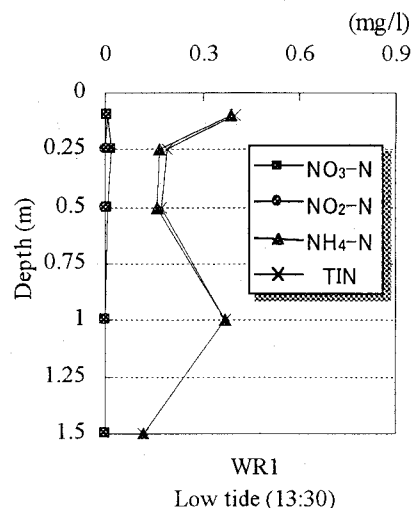
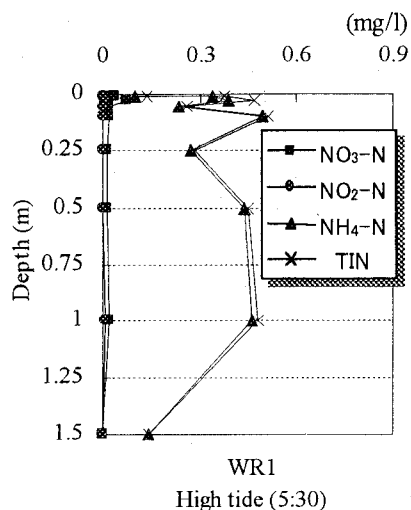
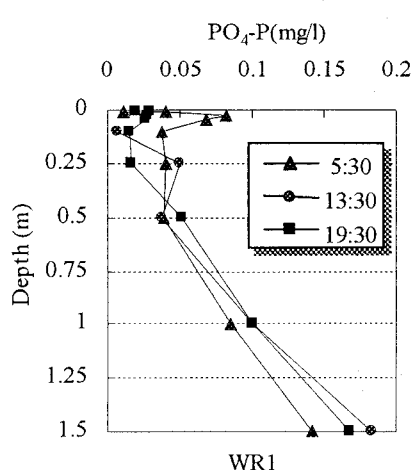
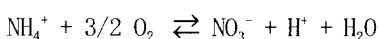


図-6 スオンプ内地下水中の溶存態リン濃度の鉛直分布

図-7 スオンプ内地下水中の溶存態窒素の鉛直分布

有機物)が微生物の活動によって分解されているためであると考えられる。一般に、集水域では $\text{PO}_4\text{-P}$ は粒子に吸着し易いため、土壤中で移動しにくくなり、地下水とともに容易に移動することはない。しかし、スオンプ内では塩分濃度の高い海水が満潮時に氾濫し、土壤中に浸透するため、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の大部分が表面吸着の逆反応で放出される。その結果、スオンプ内の地下水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が高くなっていると考えられ、また引き潮時にはこの高濃度の $\text{PO}_4\text{-P}$ が地下浸透流として河川内に供給されていると推察される。

図-7に2001年7月20日の満潮(5:30)、干潮(13:30)時の観測井WR1、WL1における溶存態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、TIN)濃度の鉛直分布を示す。また、図-8に一般的な土壤中での窒素の循環概念図を示す。土壤中のデトリタスは好気性または嫌気性細菌によって $\text{NH}_4\text{-N}$ に分解された後、好気性細菌によって硝化(nitrification)され、 $\text{NO}_3\text{-N}$ または $\text{NO}_2\text{-N}$ を生成する。硝化は次式のような可逆反応式で表される⁶⁾。



(1)

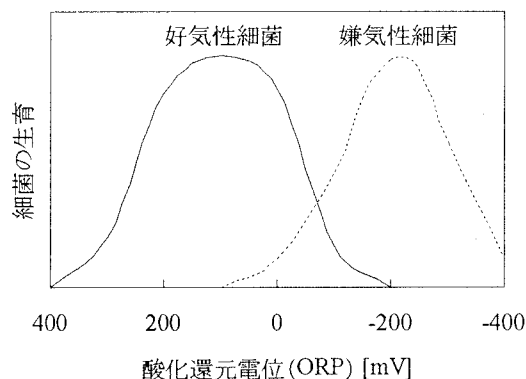
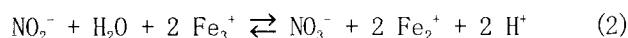


図-5 好気性細菌および嫌気性細菌が生育できる酸化還元電位(模式図)



しかし、観測対象域のスオンプ内土壌は還元性が強いいため、硝化はほとんど起こらず、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に比べて $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は低い。しかし、満潮時の表層付近では酸素を多く含む海水が氾濫する事によって表層では好気性細菌の活動が活発となり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低下し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が増加する(図-7)。また、表層付近の $\text{NO}_3\text{-N}$ は土壌

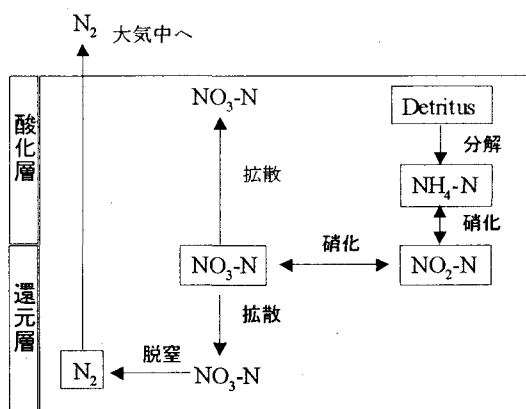
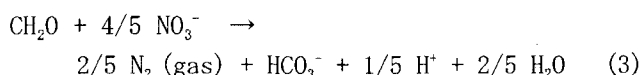


図-8 土壌中の窒素循環概念図

下層の無酸素層へ拡散するものの、無酸素層内で脱窒(denitrification)を受け、窒素ガスに変換されるため、表層以外では $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は極めて低くなっている。嫌気性状態で脱窒過程は、有機体炭素の存在を介して、以下のような反応式に従う⁶⁾。



また、脱窒で生じた窒素ガスは大気中に放出されたため、地下水中のTIN濃度は河川内のTIN濃度(Stn. BでのTIN濃度: $0.1 \sim 0.4 \text{ [mg/l]}$)と同程度である。

3-3 スオンプ内表層水中の溶存酸素濃度

(1) 河川内溶存酸素量の潮汐変化

図-9に2001/7/22 5:00～23:00にかけてのStn. Bにおける溶存酸素量およびその飽和度の潮汐による変化を示す。また、Stn. Bにおける水深変化および下流方向流速の潮汐による変化を図-10に示す。溶存酸素量は日中、および満潮時に増加がみられ、河川内では溶存酸素が過飽和の状態にある時間帯が長い。図-11に河川内およびスオンプ内における表層土壌中の単位湿潤重量あたりのクロロフィルa量を示す。河川内河床にはスオンプに比べて多量の藻類が存在しており、藻類の光合成によって日中には河川内で溶存酸素が過飽和状態にあったと考えられる。また、満潮時には沿岸域から酸素を多く含んだ水塊が河川内に浸入したため、溶存酸素が過飽和状態になっている。

(2) スオンプ内の溶存酸素量および酸化還元電位の潮汐変化

図-12に2001/7/22 5:00～23:00にかけて、スオンプ内の表層水中(地表面から約5cm)での溶存酸素量および酸化還元電位の潮汐変化を示す(干潮時には干出する地点についてはデータが欠損している)。スオンプ内では土壌表層中の藻類が少なく、日中の光合成による

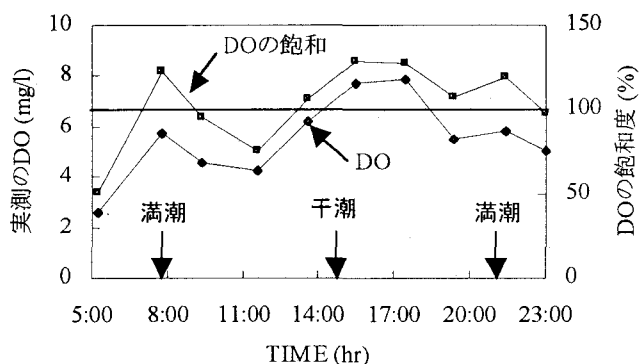


図-9 Stn. Bにおける溶存酸素量および溶存酸素の飽和度の潮汐による変化

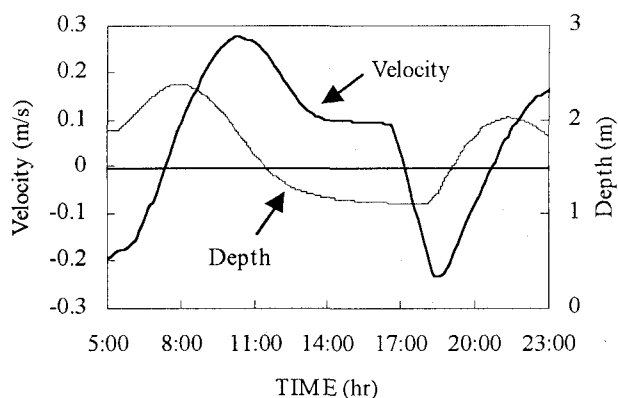


図-10 Stn. Bにおける水深変化および下流方向流速の潮汐変動

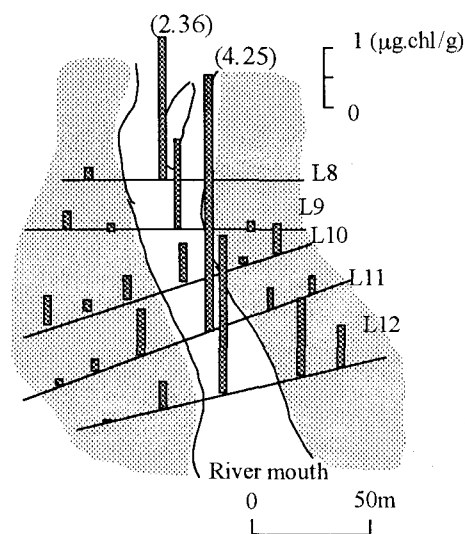


図-11 表層土壌中の単位湿潤重量あたりのクロロフィルa含有量

酸素供給はほとんどないと考えられる。そのため、スオンプ内では日中の引き潮時には生物活動による酸素消費によって表層水中の溶存酸素量が低下し、還元性の高い状態にある。しかし、満潮時には海水が氾濫することによって、溶存酸素量が増加し、酸化還元電位も増加している。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

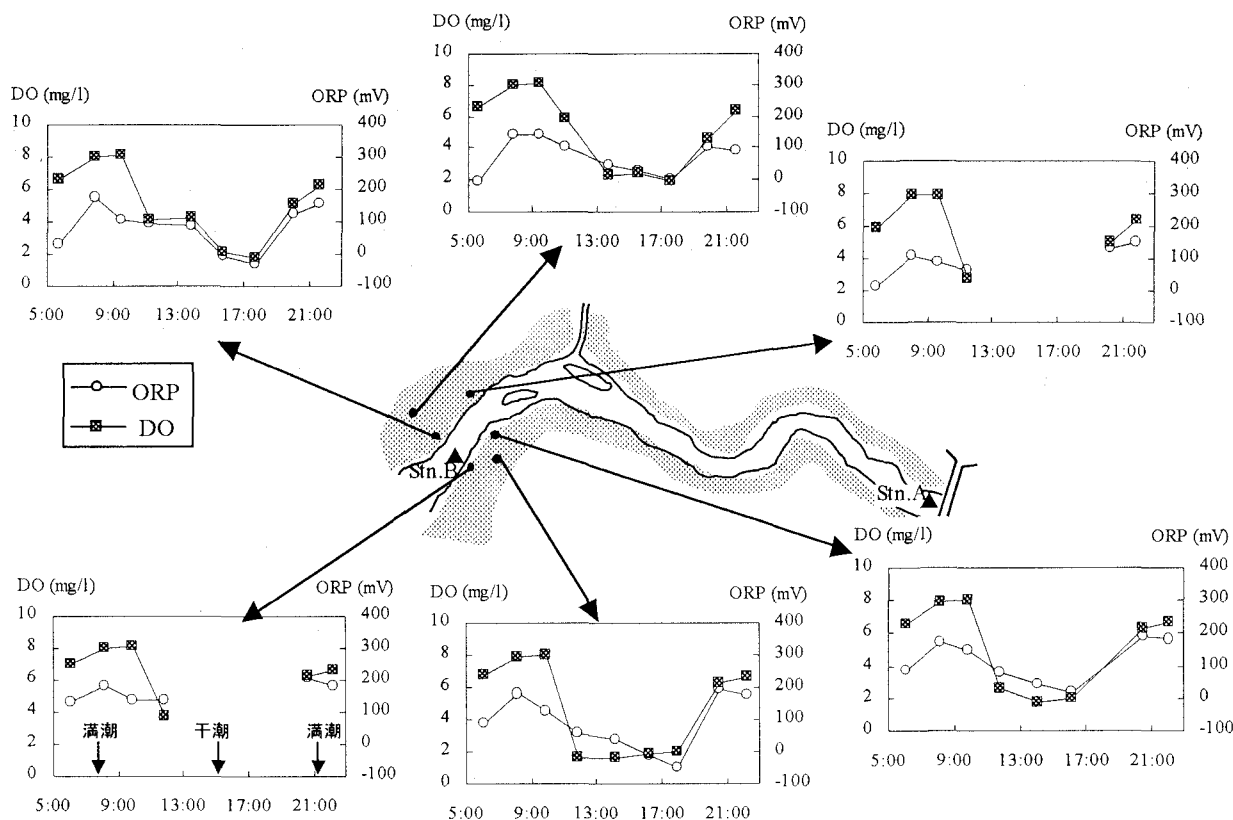


図-12 スオンプ内の表層水中の溶存酸素量および酸化還元電位の潮汐変化

よって、スオンプ内の貧酸素化が低減され、底生生物(カニ、貝類、土壤中微生物)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。

4. 結論

名蔵川河口域において、マングローブ林内の土壌・水質環境に着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) マングローブ林内の地下水中の溶存態リン濃度は河川内に比べて高いが、窒素は脱窒により大気中に放出されるため、溶存態窒素濃度は河川内のそれと大差がない。
- 2) 河川内では日中の河床藻類の光合成および満潮時の酸素を多く含んだ海水の浸入によって、溶存酸素が過飽和の状態にある時間が長い。
- 3) マングローブ林内では、上げ潮時に沿岸域から酸素の多い水塊が浸入することによって、貧酸素化が低減され、底生生物にとって良好な環境が作り上げられている。

関しては東京大学新領域創成科学研究科磯部研究室の皆様へ機材の使用について多くの便宜をはかって頂いた。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。

参考文献

- 1) 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，3，1-11，1994。
- 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，日本生態学会誌，24，237-246，1974。
- 3) 河田弘：森林土壌学概論，博友社，135-140，1989。
- 4) 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有機物・栄養塩輸送に関する現地観測，水工学論文集，45，1051-1056，2001。
- 5) 高井康雄・和田秀徳：土と微生物，岩波書店，45-72，1966。
- 6) Uchiyama, Y., Nadaoka, K., Rolke, P., Adachi, k., and Yagi, H.: Submarine groundwater discharge into the sea and associated nutrient transport in a sandy beach, Water Resources Research, Vol. 36, No. 6, 1467-1479, 2000。

(2001. 10. 1受付)

謝辞:本研究は日本学術振興会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),並びに同萌芽的研究(課題番号:11875104,研究代表者:池田駿介)の補助を受けている。分析の一部に