

# 化学的アプローチを用いた干潟の物理・ 生物学的特徴の可視化

## VISUALIZATION OF PHYSICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERISTICS BY CHEMICAL APPROACH IN INTERTIDAL FLAT

杉浦 琴<sup>1</sup>・Narin BOONTANON<sup>2</sup>・吉田 尚弘<sup>3</sup>  
Koto SUGIURA, Narin BOONTANON, Naohiro YOSHIDA

<sup>1</sup> 正会員 理博 日本エヌ・ユー・エス株式会社 (〒108-0022 東京都港区海岸三丁目 9-15LOOP-X ビル 8 階)

<sup>2</sup> Mahidol University (999 Phuttamonthon Road, Phuttamonthon, Salaya, Nakhon Pathom 73170, Thailand).

<sup>3</sup> 理博 東京工業大学教授 フロンティア創造共同研究センター (〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田 町 4259 G1-25)

The nutrient profiles of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$  in pore water in Tama intertidal sediment during low tide from May 2003 to September 2004 were investigated to elucidate material cycles and the factors controlling them in that area. Each profile showed intermittent concentration peaks at about 5, 20, and 60 cm depth. Characteristically at this site, increases in concentrations were preserved for a period of a few months. The peaks at 5 and 20 cm depth predicted aerobic conditions at those depths, owing to bioturbation at 5 cm depth and to the presence of plant rhizomes near 20 cm depth, consistent with results of previous studies of the same intertidal flat and those of other intertidal flat sediments. Conditions may also have been aerobic at 60 cm depth, reflecting the influence of advection from river side at the sampling site.

**Key Words:** Tidal flat, sediment, oxic-anoxic condition, chemical compounds

### 1. まえがき

干潟を評価する際には、鳥類の飛来を含む生態系の観点や浄化能への注目から、干潟に生息する生物を指標とすることが多い。そのため、干潟モニタリング調査では生物生息密度の高い干潟のごく表層に注目した調査が行われがちである。生物の生息環境を適切に評価し、個々の干潟にあった保全対策、現存する特徴の維持、生物生息場の環境維持を図るためには、生物個体の観測だけではなく、生物が生息するのに最適な環境を形成する物理・化学的現状を広い範囲で明らかにし、これらの物理・化学的環境特性と生物の生息場環境特性との関係を明らかにすることが必要である。物理学的側面に注目した干潟モニタリング調査では、干潟の地盤環境の解明を目的から生物生息密度の高いごく表層に限らず、1-2m 深度付近までの調査が行われる。ただし、こうした物理学的調査の際に、同時に化学的側面に注目した調査が物理的調査と同範囲で行われる

ケースは少ない。上述したように、生物を含む干潟の保全対策を考える上では、生物の生息環境を物理・化学的両側面から明らかにすることが必要である。

また、本研究で注目した多摩川河口干潟は現在、羽田空港拡張工事による直接的影響、あるいは羽田空港拡張にともなう周辺地域の開発による直接・間接的影響による消失が懸念されている干潟であり、拡張工事が干潟に与える影響を最小限に抑えた工事を進めることが必要とされる。また、多摩川河口干潟は東京湾再生のための行動計画の中で『アピールポイント』の1つに指定され、干潟に最適な管理手法の確立が急がれている場でもある。個々の干潟にあった保全対策、現存する特徴の維持、生息生物場の環境維持を図るためには、干潟全体の環境を把握することが必要であり、干潟の巨視的環境の特徴、個々の特徴を形成する因子、特徴を維持する要因・機構を明らかにすることにより、個々の干潟にあった最適な管理手法を提案することが可能となる。

そこで、本研究では、多摩川河口干潟に注目し、干

潟の物理・生物学的特徴を化学的手法を用いて可視化するとともに、得られた化学的情報と生物生息場環境特性や物理学的特性との関係を明らかにすることを目的として、調査を行った。

## 2. 多摩川河口干潟の概要と調査内容

### (1) 多摩川河口干潟の概要

多摩川河口干潟は、東京湾に流入する多摩川の河口より 2.5-3.0km の地点に東京都側と神奈川県側の両方に存在し、その面積は、東京都側と神奈川県側を合わせて 15ha<sup>1)</sup>、神奈川県側の干潟部分は約 1.0ha である。干潟の勾配は、1/1800 と平坦であり、底泥は毎度の潮汐周期により干出・冠水する。

底生生物は、アシハラガニ、トビハゼ、コメツキガニ、ヤマトオサガニ、ゴカイ、ヤマトシジミなどである<sup>2)</sup>。

干潟表層の堆積状況は、干潟中央部の表層は砂泥質、干潟奥部やヨシ原では軟泥質であり、干潟中央部ほど、シルト・クレイ含有率の高い層が占める深度が深く、シルト・クレイ 85%以上を含む層の深度は、最も陸側で約 20cm、陸から 50m の干潟中央部では、約 1m である<sup>2)</sup>。

### (2) 調査内容

調査は 2003 年 5-10 月と 2004 年 9 月に神奈川県側の干潟部分、主にヨシ原との境界部分で定点観測を行った(図-1)。観測内容を表 1 に示す。2004 年 9 月には、ヨシが堆積物中の硝酸や硫酸の鉛直分布に与える影響を調べるために、定点 S とともにヨシ原内の地点 R でも調査を行った。

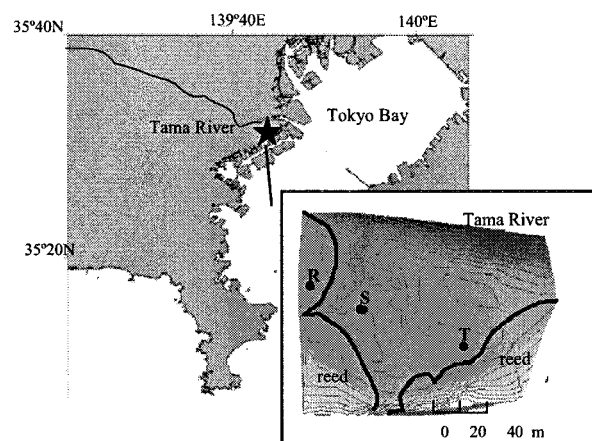


図-1 多摩川河口干潟の位置と干潟内サンプリング地点図

表-1 観測内容

| 調査日       | 調査地点   | コア長<br>[cm] | 間隙水             | その他       |
|-----------|--------|-------------|-----------------|-----------|
| 2003/5/1  | S      | 80          | 塩分              | 粒径<br>含水率 |
| 2003/6/3  | S      | 80          | 硝酸<br>亜硝酸<br>硫酸 | —         |
| 2003/6/17 | S      | 70          | 濃度              | —         |
| 2003/7/2  | S      | 90          |                 | —         |
| 2003/7/31 | S      | 80          |                 | —         |
| 2003/10/1 | S      | 60          |                 | —         |
| 2004/1/22 | S      | 30          |                 | —         |
| 2004/6/22 | T      | 80          |                 | —         |
| 2004/9/28 | S<br>R | 35<br>56    |                 | —         |

## 3. 調査結果

### (1) 粒度、含水率、塩分の鉛直分布

調査地点の表層から 80cm 深度までの粒度はシルト+クレイ含有率が 60%以上、40-50cm から 80cm 深度まではシルト+クレイ含有率が 80%を超えていた(図-2)。含水率は 30-40%の間で変動し(図-2)、その変動はシルト+クレイ含有率が高い深度で低く、シルト+クレイ含有率が低い深度で高くなる傾向を示した。

調査地点における塩分の鉛直分布(図-3)は、表層堆積物中の塩分は冠水中の直上水の影響を受けるために観測日による変動が大きかった(6-20)が、30-60cm 深度付近までは鉛直的に一定、60-70cm 深度付近を境に減少傾向を示した。ただし、2003 年 6 月 17 日と 7 月 2 日の観測では、60-70cm 以深においても増加した。

### (2) 硝酸、亜硝酸、硫酸濃度の鉛直分布

堆積物中の硝酸、亜硝酸、硫酸濃度の鉛直分布の結果を示す(図-4)。硝酸、亜硝酸の濃度は、ほとんどの観測日において、表層、10cm、30cm、60cm 深度付近の 4 層にピークを示した。特に表層は冠水中の直上水の影響を受けるために観測日による変動が大きく、全観測日で最大値を示した。その後深度とともに濃度は低下・上昇を繰り返し、60-70cm 深度付近での濃度ピーク以深では濃度が低下した。硝酸と亜硝酸の濃度のピーク深度はほとんど同一深度を示したが、2003 年 5 月 1 日や 7 月 31 日の観測では、20cm 深度付近の濃度ピークは、硝酸よりも亜硝酸の方が 5cm 程度深く、2003 年 6 月 17 日の観測では、60cm 深度付近のピークは、硝酸

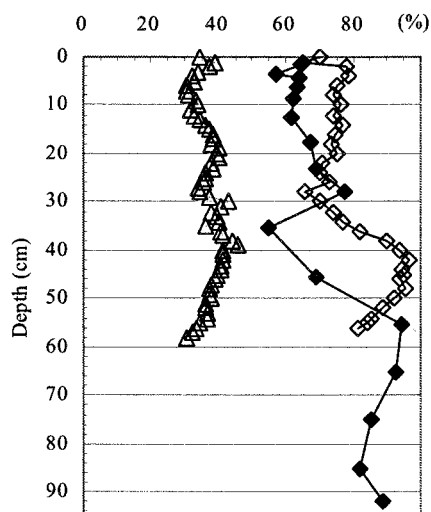


図-2 定点 S における含水率と粒度の鉛直分布。□、◇、◆はそれぞれ5月1日の含水率、シルト+クレイ含有率、2002年12月のシルト+クレイ含有率を示す。

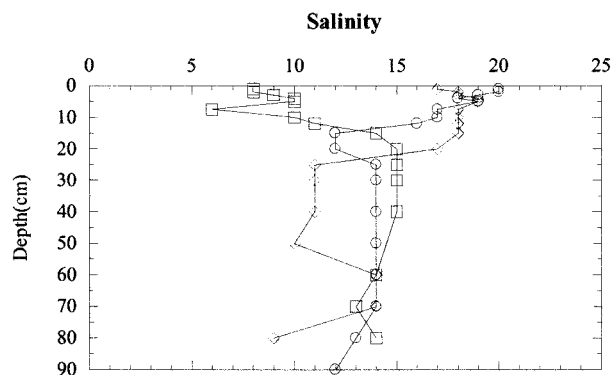


図-3 定点 S における塩分の鉛直分布。○、□、◇はそれぞれ5月1日、6月3日、7月31日の塩分を示す。

のほうが亜硝酸の濃度ピーク深度よりも深かった。また、2003年7月2日の観測では、硝酸、亜硝酸の濃度は50cm深度から90cm深度まで増加し、深いところで濃度減少はみられなかった。

硫酸の濃度は、硝酸や亜硝酸の濃度分布とは異なり、表層付近では低かった。深度に対する濃度変化は、全体としては深度とともに減少し、硝酸、亜硝酸の濃度ピークの観測された5-10cm深度付近と20cm深度付近に濃度ピークを示した。60-70cm深度付近においても、ほとんどの観測日において硝酸と同様に硫酸濃度のピークが観測された。硫酸の濃度ピーク深度は硝酸や亜硝酸の濃度ピーク深度とほぼ一致したが、亜硝酸と硝酸の関係と同様に、多少ピーク深度がずれることがあった。2003年5月1日の観測では、20cm付近のピークは、硝酸と同深度であったが、60cm付近のピークは、硝酸は70cmであったのに対して硫酸は60cm深度でピークを示した。同様に、2003年6月3日と7月31日、

2004年9月28日の観測では、5cm付近と10cm付近の硫酸のピーク深度は硝酸よりも浅かった。

2004年9月28日の調査では、ヨシ原内外の鉛直分布の比較を行っており(図-5)、ヨシ原内の地点Rの硫酸濃度は10cm深度付近を除いて定点Sに比べて低濃度となった。硝酸については、20cm深度付近で定点Sよりも地点Rが高濃度を示したが、30cm深度付近で定点Sのほうが地点Rに比べて高い硝酸濃度を示しており、ヨシ原内外の濃度の違いは硫酸ほど顕著ではなかった。

#### 4. 堆積物中の巨視的特徴の形成因子と維持要因

塩分の鉛直分布から堆積物中の間隙水が毎潮汐による影響を受ける範囲は表層から25cm深度付近までであり、30-60cm深度付近は毎潮汐の影響がすぐに現れる層でないことがわかった。また、60-70cm深度付近下層の塩分の低下から堆積物深部より淡水の供給があることが推測された。

次に硝酸、亜硝酸、硫酸の濃度は、観測日によらず、表層、10cm、30cm、60cm深度付近の4層にピークを示した(図-4)。これらのピークは、本干潟を構成する因子が作用する深度と一致しているようであった。

表層は冠水中の直上水の影響を受けるため、高濃度の硝酸を含む多摩川河川水と高濃度の硫酸を含む海水の影響により高濃度となった。多摩川は都市部を流れる河川であり、その河川水は陸域の人間活動の影響により、高濃度の無機態窒素栄養塩を含むことが報告されている<sup>3)</sup>。また2003年5月から10月までに得られた河川水中の個々の化学成分の濃度は、硝酸(116-188  $\mu\text{M}$ )、亜硝酸(3.2-11.9  $\mu\text{M}$ )、アンモニア(0.2-8.3 mM)であった(未公表データ)。

5-10cm深度付近の硝酸の濃度ピークについては、他の研究においても、干潟に生息する底生生物の巣穴により堆積物中に酸化環境が形成される影響であることが示されている<sup>4), 5)</sup>。本干潟においてもコメツキガニやヤマトオサガニ、トビハゼ、ゴカイなど巣穴を掘る底生生物の生息が認められており<sup>2)</sup>、10cm付近の硝酸、硫酸の濃度ピークは底生生物の巣穴による影響であると推測された。

次に、20cm付近のピークはヨシの地下茎の深度とほぼ一致していた。2004年9月の観測はヨシが堆積物中の化学成分の鉛直分布に与える影響を調べるために行っており、ヨシの地下茎が発達する深度(20-30cm)付近においては硝酸、硫酸の濃度が定点Sに比べてヨシ原内の地点で高くなることを示した。過去の研究においても、ヨシの地下茎周辺では中空状の茎による酸素の供給<sup>6)</sup>と地下茎や根からの酸化物質の放出<sup>7)</sup>により酸化環境が形成されることが報告されており<sup>8), 9), 10)</sup>、20cm深度付近の濃度ピークはヨシの地下茎による影響であると示唆された。

最後に60cm付近のピークはピーク深度よりも以深で塩分が低下しているケースが多かったことから、下

層からの淡水（地下水）の供給の可能性を予想した。堆積物下層からの淡水供給が硝酸や硫酸の濃度ピークを形成したとすれば、酸化的な淡水の供給が必要である（11）。しかし硝酸や硫酸濃度は60cm付近にピークを示しただけで60cm以深の濃度増加はみられなかった。塩分は硝酸や硫酸の濃度ピーク深度以深で低下していることから、60cm付近の硝酸や硫酸、塩分のピークは河川側斜面からの海水の移流による影響かもしれない。また、硫酸と硝酸の濃度ピーク深度の関係をみると、60cm深度付近については、同深度か硫酸のほうが硝酸に比べて浅かった。また塩分は硝酸の濃度ピーク深度以深で低下していた。このことから考えると、硝酸と硫酸の酸化還元電位から硝酸の濃度ピーク深度よりも浅い層に硝酸や硫酸を含む酸化的な水が通過できるような周辺に比べて粒度の荒い層が存在したことが予想

される。ただし、今回の一連の観測では60cm深度の濃度ピークの形成要因を特定することはできなかった。60cm付近のピーク要因を調べるためには、今後、より細かい層での粒度組成を鉛直的に調べることが必要であろう。硝酸、硫酸の各層の濃度ピークはほとんどの観測日において観測されて、本干潟堆積物中の化学的特性であることを示した。また、こうした化学的環境特性は、動物や植物などの生物学的因子、潮汐や地下水、陸あるいは河川側斜面からの淡水や海水流入などの物理学的因子によって形成・維持されているものと推測される。干潟の保全や人工干潟創出の際には、こうした自然の干潟の化学的環境特性が再現・維持されることが好ましい。そのため、こうした堆積物中の環境特性の形成・維持要因について、さらに詳しく調べる必要があるであろう。

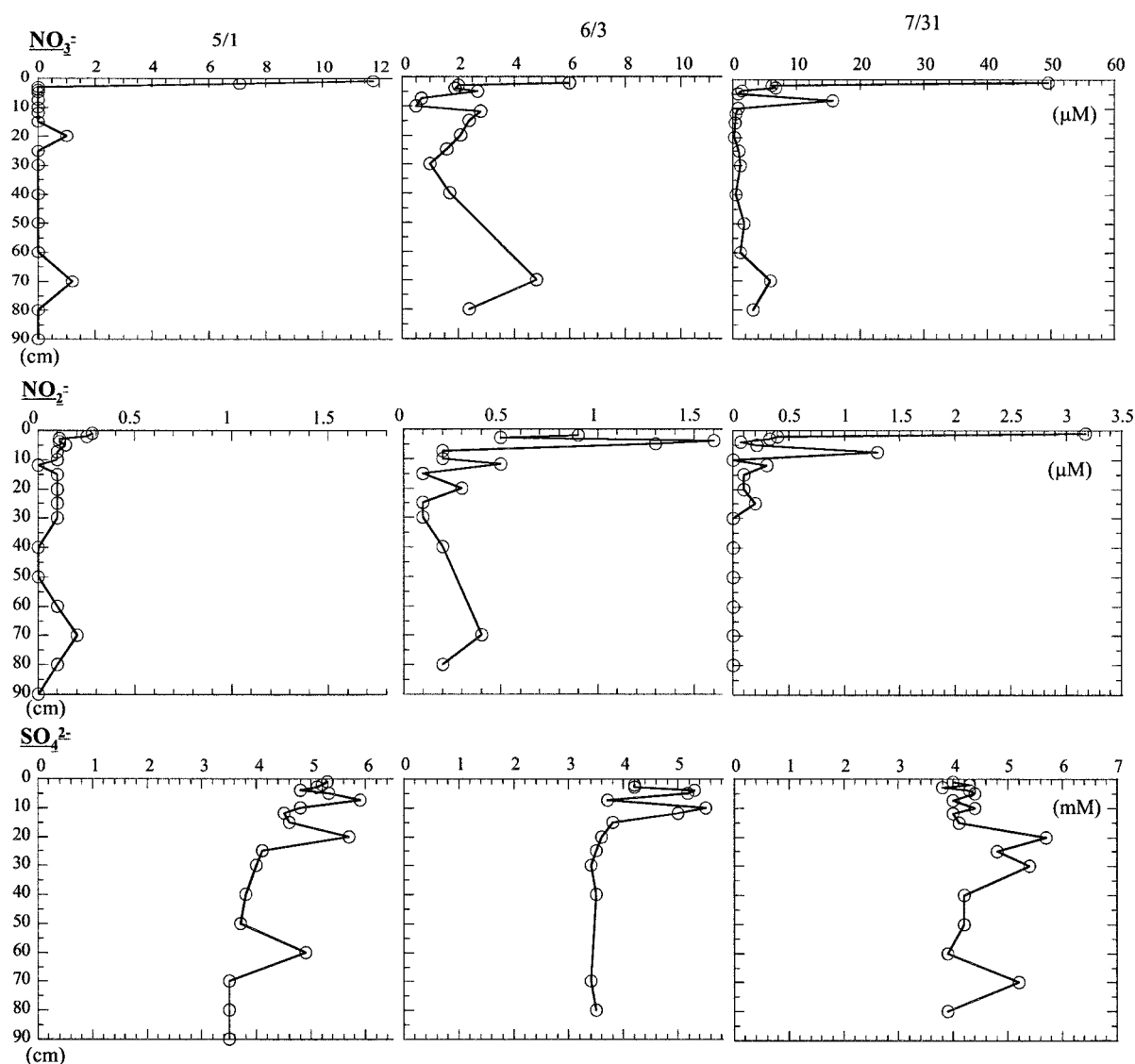


図-4 定点Sにおける間隙水中の硝酸、亜硝酸、硫酸濃度の鉛直分布

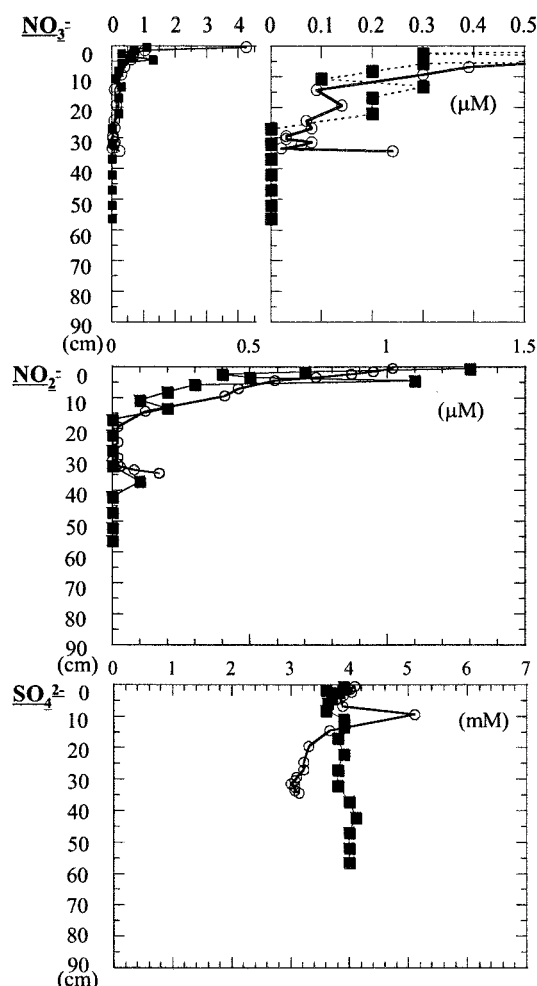


図-5 ヨシ原内外地点の間隙水中の硝酸、亜硝酸、硫酸濃度の鉛直分布。■はヨシ原内地点 R、○はヨシ原外の定地点 S の結果を示す。

## 5. おわりに

観測により、多摩川河口干潟堆積物中の塩分、硝酸、硫酸濃度の鉛直分布について、以下のような特徴を明らかにした。

- 1) 堆積物中の塩分の鉛直分布から、毎潮汐による堆積物への影響は表層から 25cm 深度付近までであることを示した。
- 2) 堆積物中の塩分の鉛直分布から、堆積物下層からの淡水供給の可能性のあることを指摘した。
- 3) 堆積物中の硝酸、硫酸濃度の鉛直分布から、表層、10cm、30cm、60cm 深度付近の 4 層に年間を通じた濃度ピークが形成されていることを示した。
- 4) 堆積物中の硝酸、硫酸濃度の濃度ピークは本干潟の動物・植物などの生物学的因子や潮汐・地下水

などの物理学的因子による影響が化学的データに現れた結果であることを推した。

本研究で用いた化学的手法を用いた干潟の生物・物理学的因子による影響の可視化は、干潟の巨視的環境の把握を可能にする。こうした手法を用いて得られた化学的環境特性と物理・生物学的因子との関係を調べるにより、モニタリングなどの環境評価手法の 1 つとしても活用できると考える。

謝辞：本研究を行うにあたり、サンプリングや実験等に関して様々な助言と協力いただいた東京工業大学吉田尚弘研究室諸氏に深く感謝いたします。また、干潟の選定にあたり助言いただいた東京農工大学の小倉紀雄名誉教授、東亜建設工業技術研究所の五明美智男氏、玉上和範氏に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 環境庁自然保護局：第 4 回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書(干潟、藻場、サンゴ礁調査) 第 1 巻 干潟、1994。
- 2) 玉上和範、五明美智男、杉浦琴：人工的な泥質干潟の創出技術に関する基礎的研究。海洋開発論文集、第 20 巻、pp.995-1000、2004。
- 3) Usui, T., Koike, I. and Ogura, N.:Tidal effect on dynamics of pore water nitrate in intertidal sediment of a eutrophic estuary. J. Oceanogr., Vol. 54, pp.205-216, 1998
- 4) Kristensen, E.:Benthic fauna and biogeochemical processes in marine sediments: Microbial activities and fluxes. Nitrogen cycling in coastal marine environments. SCOPE 33, Blackburn, TH. and Sorensen, J. eds., John Wiley and Sons, New York, pp.276-299, 1988.
- 5) 細見正明：多摩川流域における水生植物の水質浄化機能の評価とその強化手法。学術研究成果報告書、No.187、とうきゅう環境浄化財団、1997。
- 6) Brix, H.: Gas exchange through the soil-atmosphere interphase and through dead culms of *Phragmites australis* in a constructed reed bed receiving domestic sewage. Water Res., Vol.24, pp.259-266, 1990.
- 7) Tinker, P. B. and Barraclough, P. B.:Root-soil interactions. Reactions and processes, Vol 2. Hutzinger, O. ed., Springer, Berlin, pp.154-171, 1988.
- 8) Conrad S.: Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $OCS$ ,  $N_2O$ , and  $NO$ ). Microbiol. Rev., Vol.60, pp.609-640, 1996.
- 9) Madureira, M. J., Vale, C. and Goncalves, M. L. S.:Effect of plants on sulphur geochemistry in the Tagus salt-marshes sediments. Mar. Chem., Vol.58, pp.27-37, 1997.
- 10) Frederiksen, M. S. and Glud, R. N.:Oxygen dynamics in the rhizosphere of *Zostera morina*: A two-dimensional planar optode stude. Limnol. Oceanogr., Vol.51, pp.1072-1083, 2006.
- 11) Ueda, S., Go, C. U., Suzumura, S. and Sumi, E.:Denitrification in a seashore sandy deposit influenced by groundwater discharge. Biogeochemistry, Vol.63, pp.187-205, 2003.