

第1節 自然科学的立場からのモニタリング

3. メソ視点より一濁水の行方一

3.4 水田排水由来の懸濁物が河川の水質及び河床環境に与える影響

山田佳裕¹⁾、小笠原貴子²⁾、中島沙知³⁾、井桁明文⁴⁾1) 香川大学農学部、2) 香川大学大学院農学研究科、
3) 愛媛大学大学院連合農学研究科、4) 総合地球環境学研究所

1. はじめに

水田排水が河川の水質に与える影響に関する研究は多く行われており、窒素、リンや懸濁物の流出は小河川の水質に大きな影響を与えることが知られている^{1~3)}。本研究においても先に述べたように、水田から特にリンが効果的に排出されていることが明らかとなり、下流の湖である琵琶湖の富栄養化を促進させていると思われる。一方、懸濁物は水路や河川に堆積し、河床の状態を悪化させ、生態系に大きな影響を与えることが懸念される。水田排水が水路に流出することにより、水質に影響を与えるだけでなく、排水に含まれる懸濁物は河床へと堆積し、河床環境を変化させると考えられるのである。河川における生態系は主に河床を中心として形成され、河川に生息する多くの生物は河床に存在している。このことから河床は河川生態系において重要な位置を担っており、河床環境が悪化することで河川生態系は著しく衰退すると考えられる。河川に水田由来の懸濁物が流入し、河床に堆積すれば、堆積物中での酸素の供給が阻害され、河床に堆積嫌気的な環境が形成されると考えられる。河床が嫌気的になると通常の好気的環境を好む生物は生息しにくくなるのである。水中の嫌気的な環境を調べる方法には溶存酸素を測定する方法が挙げられるが、堆積物中の溶存酸素の測定は難しい。河川中に生息する微生物は酸素の無い状態に陥ると硝酸、マンガ、鉄、硫酸等を用いて分解を行う。嫌気的な状況がさらに進行すると最終的にメタン発酵が生じる⁴⁾。このことから最終生成物であるメタンを嫌気的な環境の指標として用いることで溶存酸素では検出できない河床の嫌気的な状態を検出できると思われる。

そこで本研究では水田排水と河床の関心に注目し、メタンを指標とし、水田地帯を流れる小河川や水路の実態を明らかにすることで、水田の水利

用が河川生態系に及ぼす影響を評価することを試みた。

2. 調査方法

2.1. 地点の概要

調査は近畿圏において有数の水田地帯である琵琶湖湖東平野の水路及び中小河川で行った。湖東平野に位置する額戸川は宇曾川から水を引いており、全長7kmで琵琶湖へと流れている(図1)。集水域の土地利用は多くが水田であり、このことから水田排水や水田からの流出物が河川水質及び河川河床へ与える影響を調査するのに適していると考えられる。

2.2. 調査方法

2004年10月12日に琵琶湖湖東平野の水田地帯における水路23地点を対象(図1)とし、堆積物中の有機物汚濁を解析するために、水温、DOを多項目水質計で測定し、 NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、total-N、 PO_4^{3-} -P、total-Pを測定した。このうち8地点で泥深、 CH_4 の放出量、溶存 CH_4 についても測定した。水試料は、表層をバケツで採水し、孔径 $150\mu\text{m}$ のプランクトンネットでリター等を取り除いた試料についてtotal-N、total-Pを測定し、Whatman社製GF/Fガラスフィルターでろ過したろ液について NO_3^- -N、 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、 PO_4^{3-} -Pを分析した。 NO_3^- -N、 NO_2^- -Nはイオンクロマトグラフ法(日本分光870-UV)、 NH_4^+ -Nはインドフェノール青法で測定した⁵⁾。total-Nはアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウムで分解後、紫外線吸光度法で測定した⁶⁾。 PO_4^{3-} -Pはモリブデン青法⁷⁾、total-Pはペルオキシ二硫酸カリウム分解後、モリブデン青法で測定した⁸⁾。溶存 CH_4 は現場で血清瓶に空気が入らないように試水を注入後、ブチルゴム栓でふたをし、飽和塩化水銀を注入して分析まで保存し、FIDを装着したガスクロ

マトグラフィー (Shimazu 社製、GC-14B) を用いて、ヘッドスペース法で測定した。メタンの放出量はチャンバーを用いてガスサンプルを採取した。河底に任意の長さの筒状チャンバー (100mm×100mm) を設置し、設置後数分後と約2時間後にチャンバー内のガスサンプルを真空管に採取した。密封した状態で実験室に持ち帰り、FIDを装着したガスクロマトグラフィーを用いて測定し、CH₄の放出量を求めた。

前年に行ったメタンの放出量について詳細に調査するため、2005年11月15日に10地点で再度調査を行った (図2)。

また、高濃度のCH₄の放出量が見られた地点について堆積物中のCH₄生成率を測定するため、口径60mm、高さ200mmの筒を用いて2005年12月9日に堆積物を採取した。実験室に持ち帰り、堆積物を表層から約0~10cm、10~18cmに分け、20℃暗室で培養し、CH₄濃度を測定し、CH₄生成率を求めた。

以下、本文中では顔戸川を本流河川とし、水路幅1m以下の水路を小水路とする。

3. 結果

3.1. 水路水質調査

3.1.1. 水温、溶存酸素 (DO)

全ての地点で水温は小水路から本流河川にかけて19~23℃、DOは2.9~15mg/l、酸素飽和率は34~122%であった (図3)。下流地点において過飽和となっており、流量の少ない小水路で貧酸素となっていた。

3.1.2. 窒素濃度

窒素濃度に関して全ての地点でNO₃⁻-Nは20~1.33×10³ μg/l、NO₂⁻-Nは17 μg/l以下、NH₄⁺-Nは311 μg/l以下、total-Nは594~2.03×10³ μg/lであった (図4)。NO₃⁻-N濃度は小水路から本流河川にかけて若干増加していた。NH₄⁺-N濃度は流量の少ない小水路で高濃度を示していた。total-N濃度は小水路から本流河川にかけて増加傾向がみられた。

3.1.3. リン濃度

リン濃度に関して全ての地点でPO₄³⁻-Pは12~116 μg/l、total-Pで83~232 μg/lであった (図5)。PO₄³⁻-P濃度に関して上流から下流までほぼ変化がなく、本流河川と小水路間でも大きな差はみら

れなかった。total-Pについて上流から下流にかけて増加傾向を示していたが、本流河川と小水路間で大きな差はみられなかった。

3.1.4. メタン濃度

溶存メタン

2004年10月の観測において全ての地点で水中の溶存CH₄濃度は64~7.21×10³ nMであった (図6)。特に小水路で高濃度となり、4.27×10³~7.21×10³ nMであった。本流河川は64~2.32×10³ nMと、低かった。

3.2. 水路の河床における調査

メタンの放出量

2004年10月におこなった調査で得られたCH₄の放出量は0.02~29.6mmol/m²/dayであった (図6)。

また、翌年の2005年11月に行った調査で得られたCH₄の放出量は0~157mmol/m²/dayであった (図7)。2004年、2005年とも特に10cm以上泥が堆積した場所でメタンの放出量は急増した (図8)。

3.3. 堆積物を用いた培養実験

メタン生成率

培養実験では表層0~10cmの堆積物から0.06~0.16mmol/m²/day、10~18cmの堆積物からは6~8mmol/m²/dayのCH₄生成率が得られた (図9)。

4. 考察

1m以下の水量の少ない小規模な水路では溶存酸素が少なく、NH₄⁺-Nと溶存CH₄濃度は高い値を示していた。これは水量が少なくなるにつれ、水中の嫌気的環境が増大していることを示している。しかしながら、水量とCH₄の放出量とは関係がなかった。CH₄の放出量は、泥深10cm以上堆積した地点で急激に大きくなっている。このことは水田から流出した泥が河川に堆積することで、河床の還元的な環境が進行し、CH₄の放出量に影響していることを示している。水田土壌中には、CH₄生成微生物が多く生息していることは知られており⁹⁾、CH₄濃度に関する文献値¹⁰⁾と比較したところ、本研究で得られたCH₄の放出量は水路の場所によって異なるが、水田からの放出量と近く、日本における代表的な富栄養湖 (CH₄: 10.8mmol/m²/day)¹¹⁾の約3倍と、多量のCH₄が放出していることが明らかとなった。泥深が10cmを越える

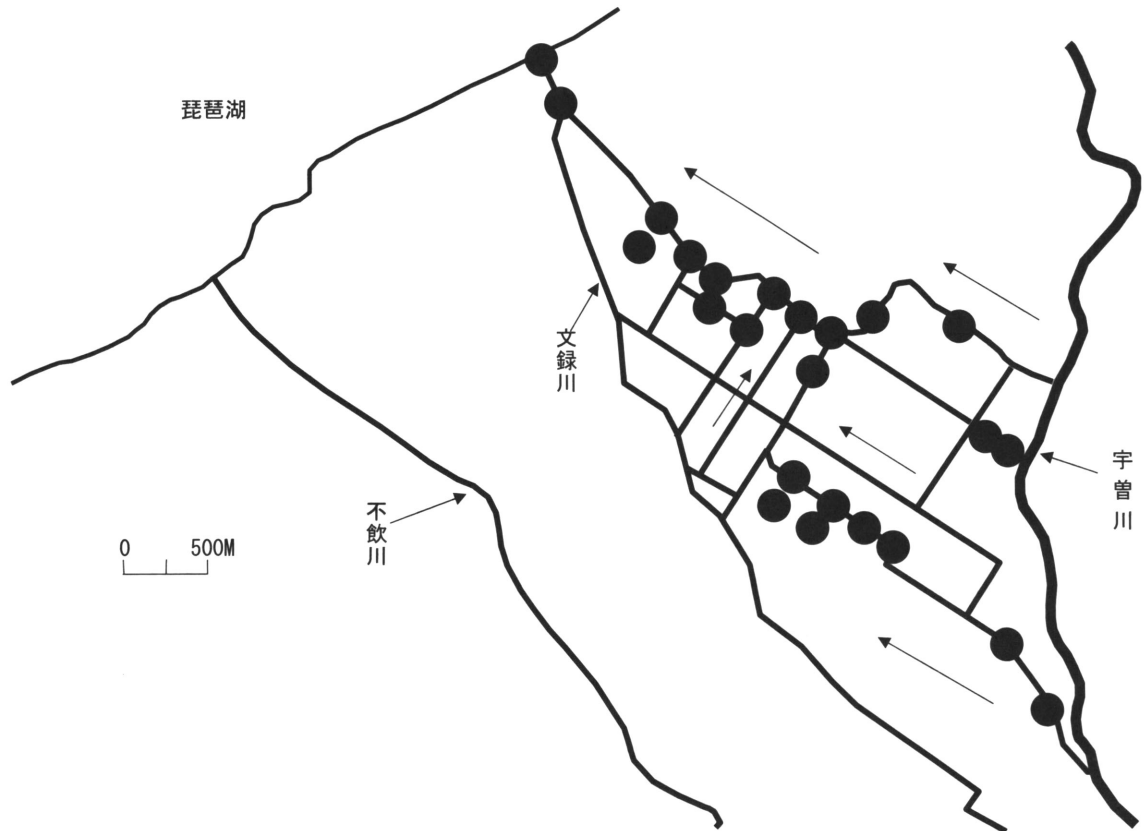


図1 河床調査地点概要図 (2004年10月12日)

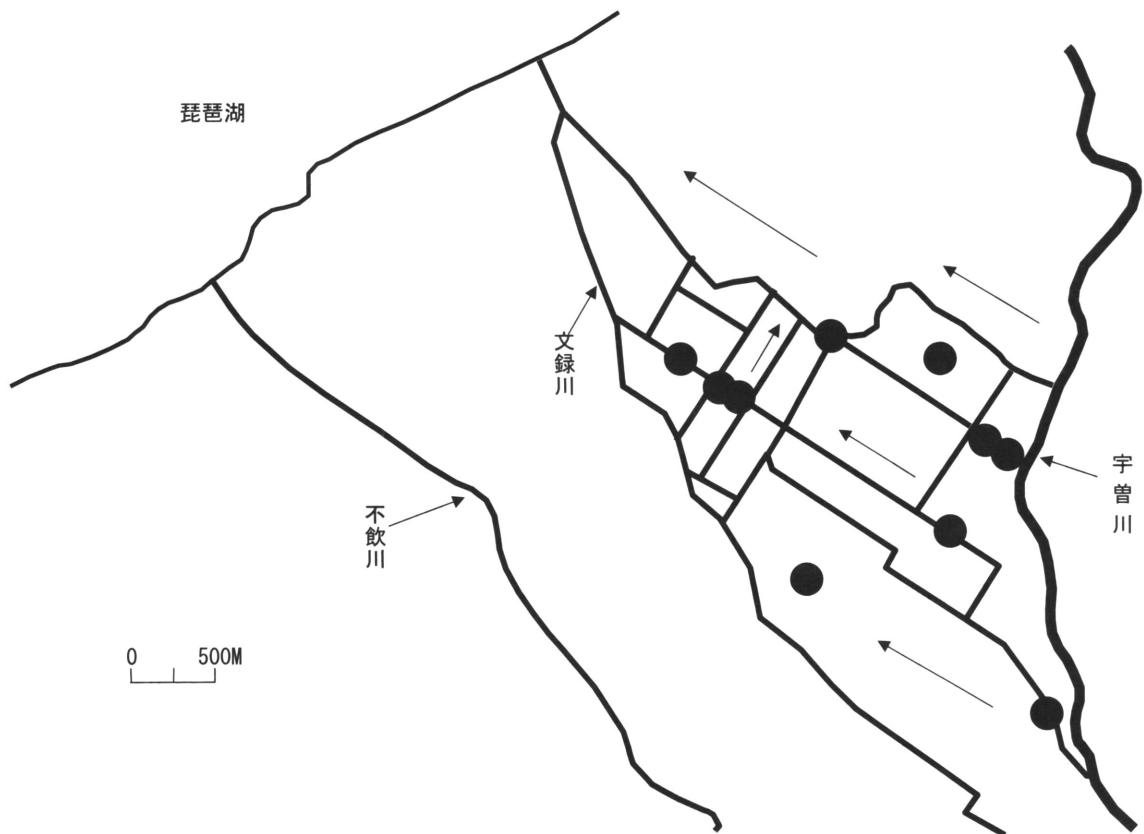


図2 河床調査地点概要図 (2004年11月25日)

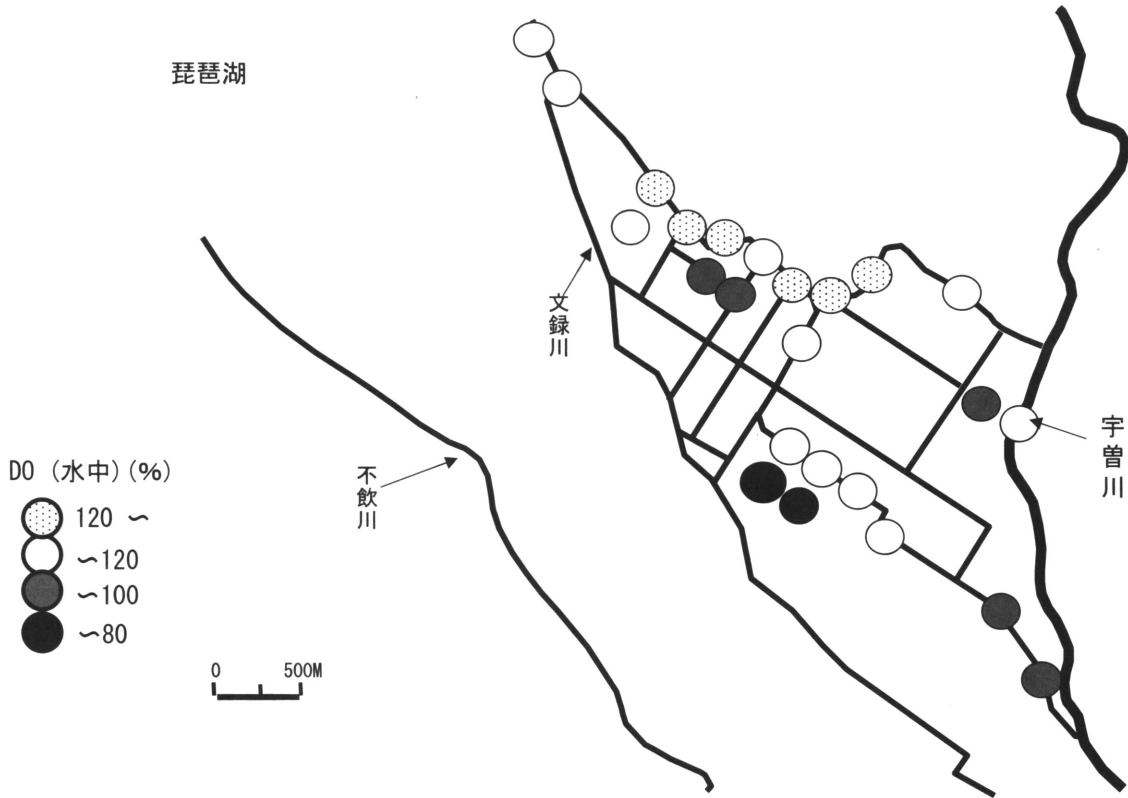


図3 琵琶湖湖東平野の水田地帯におけるDOの分布 (2004年10月12日)

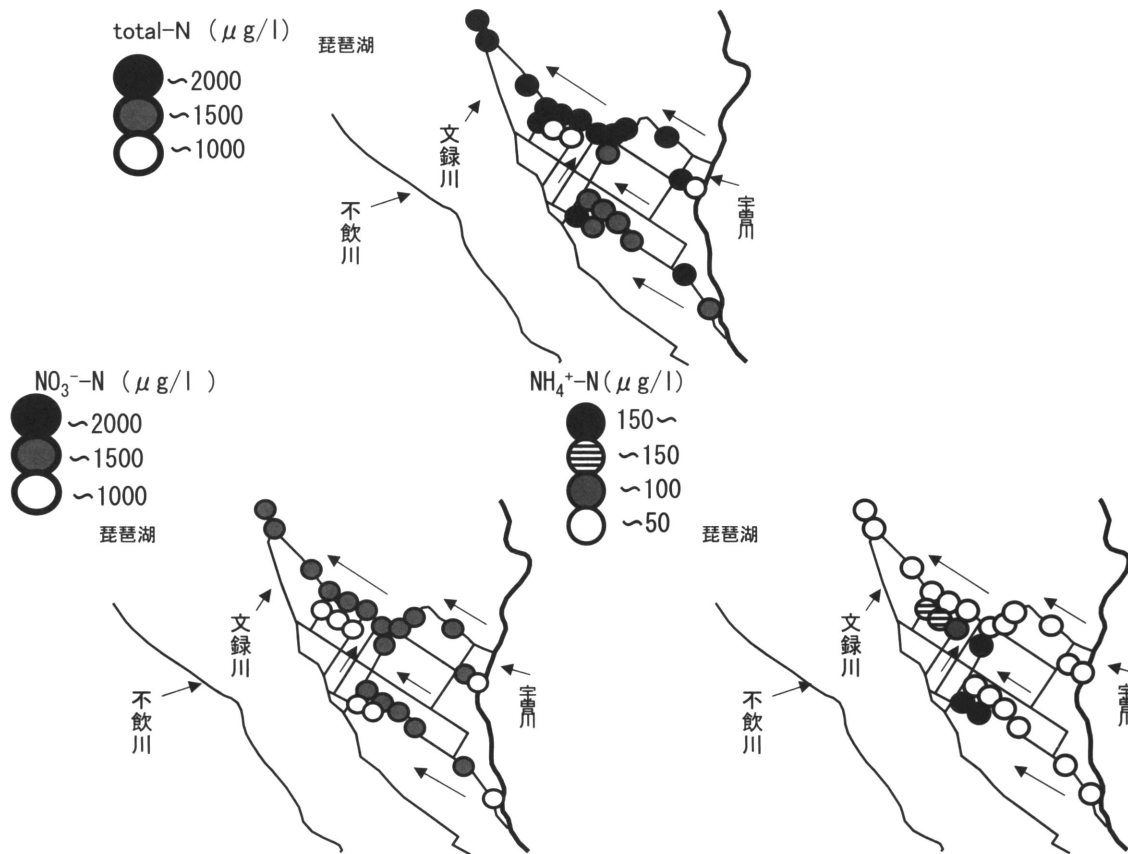


図4 琵琶湖湖東平野の水田地帯における窒素の分布 (2004年10月12日)

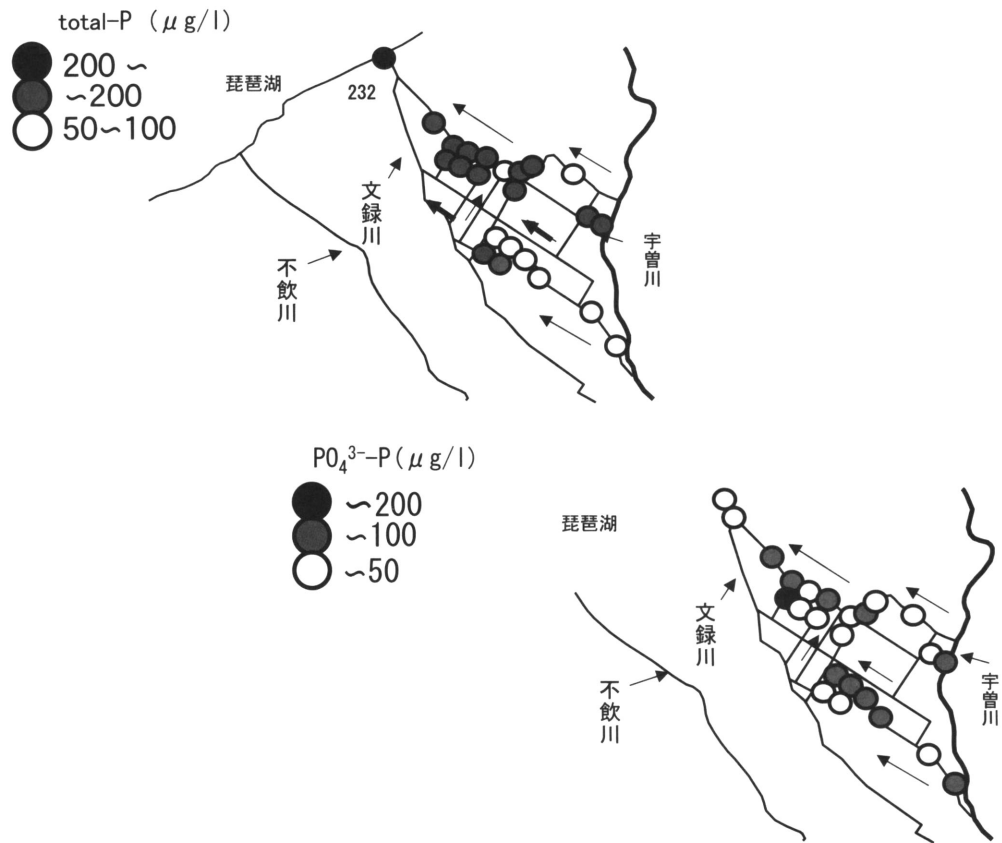


図5 琵琶湖湖東平野の水田地帯におけるリンの分布 (2004年10月12日)

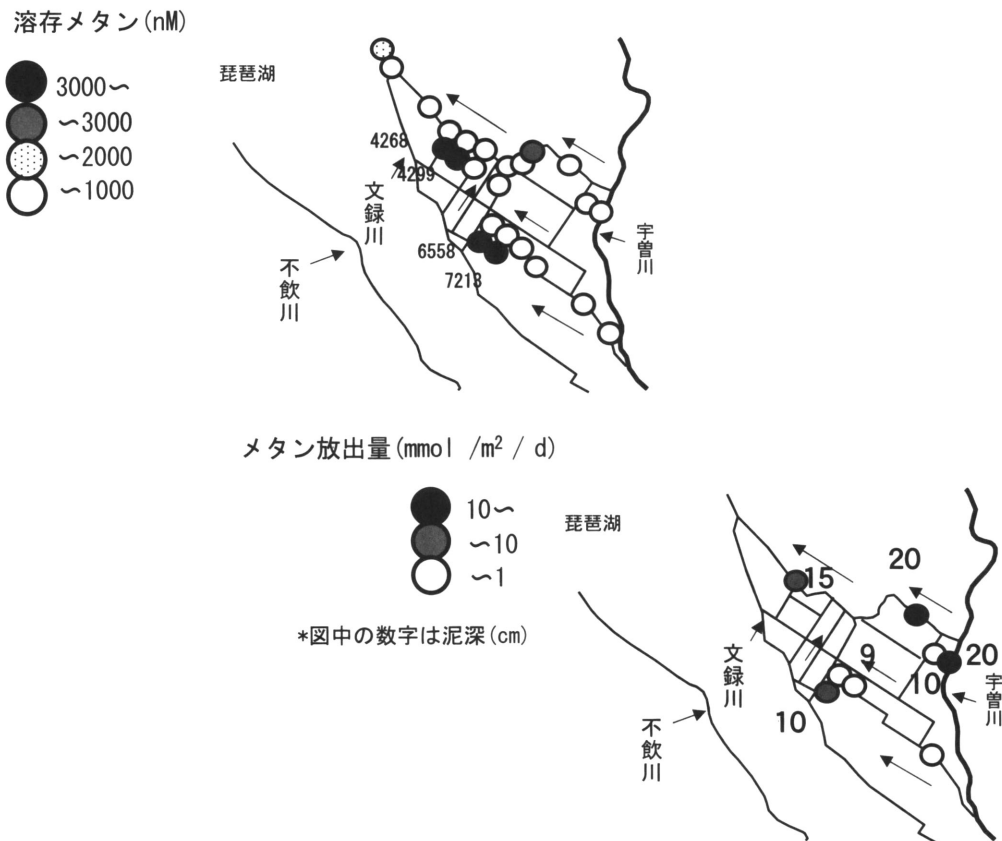


図6 琵琶湖湖東平野における溶存メタン濃度及びメタンの放出量の分布 (2004年10月12日)

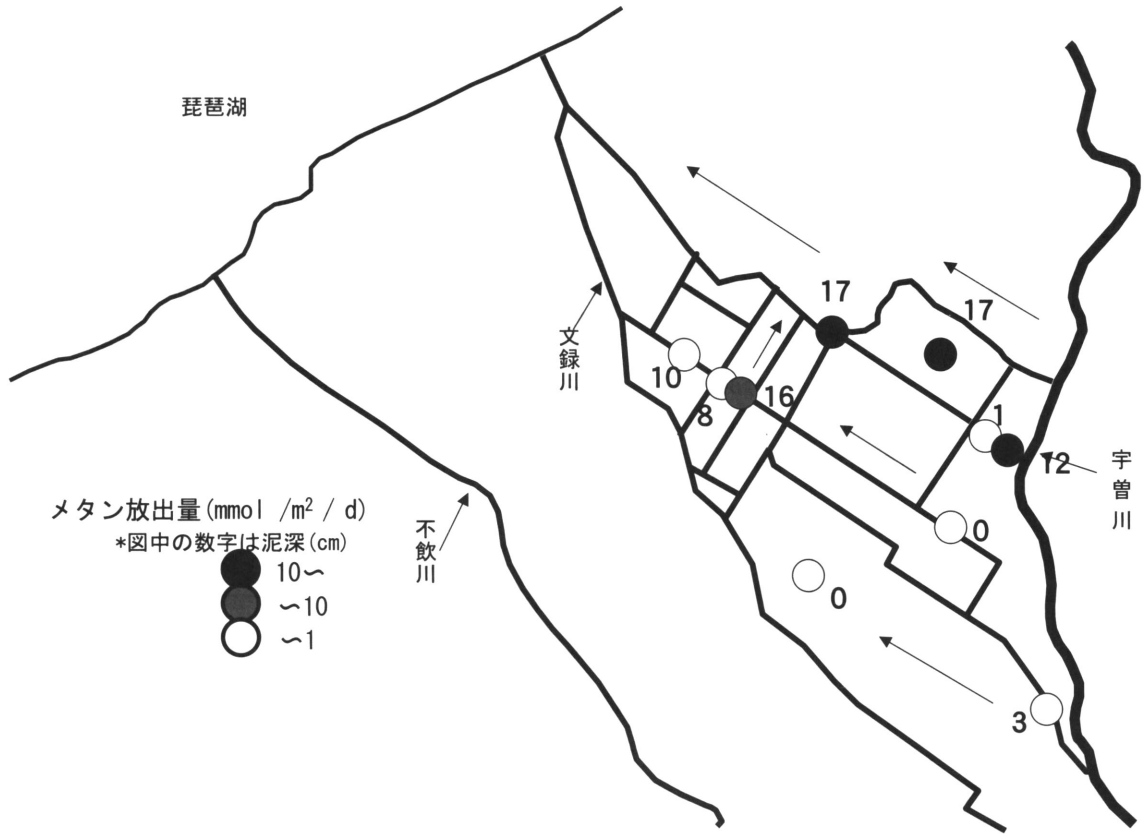


図7 琵琶湖湖東平野における溶存メタン濃度及びメタンの放出量の分布 (2005年11月25日)

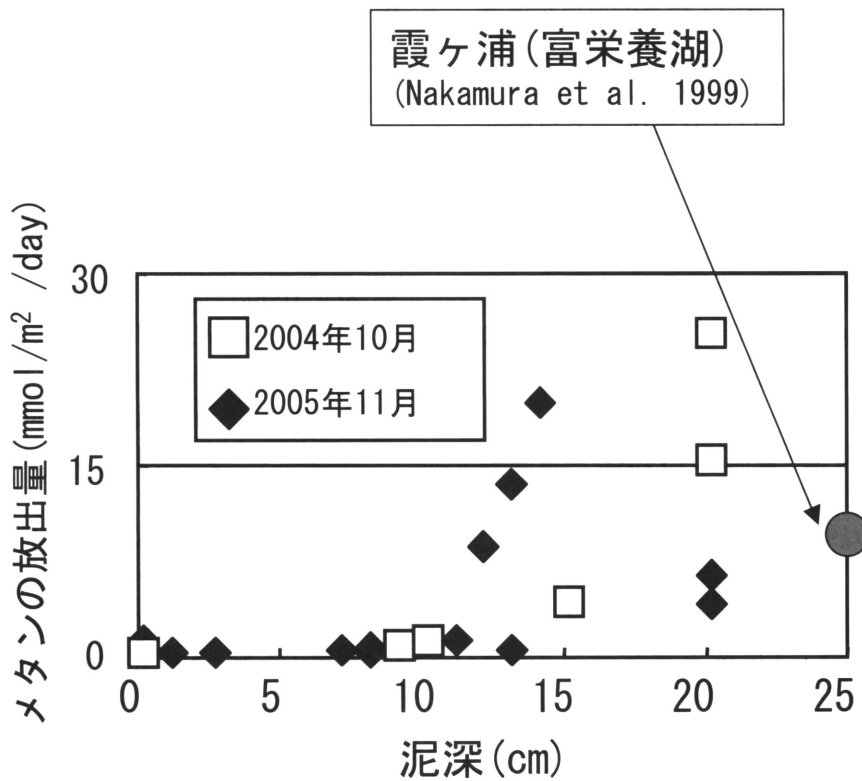


図8 泥深とメタンの放出量との関係

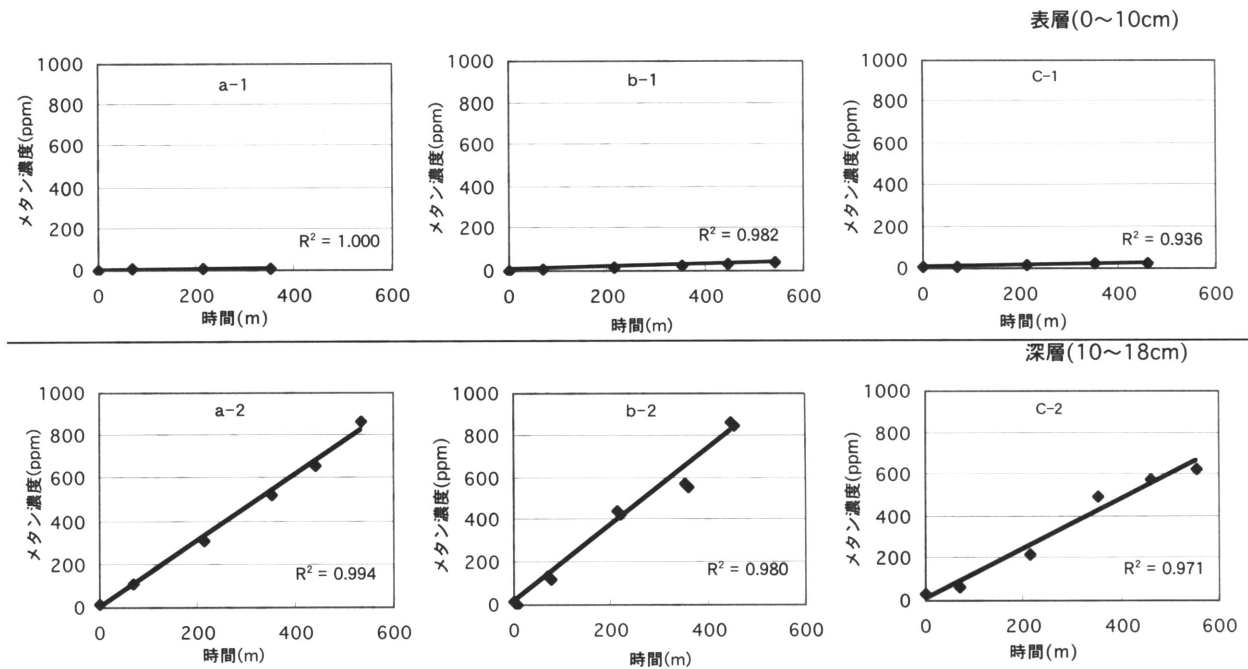


図9 室内実験におけるメタン生成率

と嫌気的環境が増大し、河床生態系に大きな影響を与えることが分かった。培養実験においても堆積物の表層ではほとんど CH_4 が生成されず、深層において表層の40~100倍の高濃度の CH_4 が生成されていた。このことから河床中の堆積物中、表層より深層において CH_4 が大量に生成されると考えられ、河床の深層において嫌気的環境が促進されていると思われる。この還元的な環境は生態系へ影響を与えると考えられるため、河川を良好な状態に保つためには泥深10cmを目安とした水路掃除が必要ではないかと思われる。

引用文献

- 1) 武田育郎・国松孝男・小林慎太郎・丸山利輔「水系における水田群の汚濁物質の収支と流出負荷量」『農業土木学会論文集』(1991) 153: 63-72.
- 2) 近藤正・三沢真一・豊田勝「代掻き田植時期のN, P 成分の流出特性について」『農業土木学会論文集』(1993) 164: 147-155.
- 3) 金木亮一・岩佐光砂子・矢部勝彦「田面水のSS・COD濃度に及ぼす代かき,施肥および土壌の種類の影響」『農業土木学会論文集』(2001) 215: 93-98
- 4) Canfield, D. E., Organic matter oxidation in marine sediments. In: R. Wollast, F. T. Mackensie. and L. Chou [eds.] Interactions of C,N, P, and S Biogeochemical Cycle and Global Change. (1993) 333-363. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- 5) Scheiner, D., Determination of Ammonia and kjeldahl nitrogen by indophenol method. Wat. Res. (1976) 10: 31-36
- 6) D'Elia, C. F., Stendler, P. A. and Corwin, N., Determination of total nitrogen in aqueous samples using persulfate digestion. Limnol. Oceanogr. (1977) 22: 760-764.
- 7) Murphy, J. and Riley, J. P., A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta. (1962) 27: 31-36.
- 8) Mentzel, D.W. and Corwin, N., The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organic bound fractions by persulfate oxidation. Limnol. Oceanogr. (1965) 10: 280-282.
- 9) 加来伸夫・上木厚子・大淵光一・上木勝司「水田土壌中におけるメタン生成微生物生態系の解析, 各種細菌の分布の季節変化と有機物施用の影響」『水環境学会誌』(1996) 9: 249-261
- 10) Aselmann, I. and Crutzen, P. J., Global Distribution of Natural Freshwater Wetlands and Rice Paddies, Their Net Primary

Productivity, Seasonality and Possible Methane Emissions. *J.Chem.* (1989) 8 : 307-358.

- 11) Nakamura, T., Nojiri, Y., Utsumi, M., Nozawa, T. and Otsuki, A., Methane emission to the atmosphere and cycling in a shallow eutrophic lake. *Arch. Hydrobiol.* (1999) 144 (4) : 383-407.