

水管理が粗放的な農業用排水路におけるメタンの生成

山田佳裕・小笠原貴子・中島沙知

The production of the methane in the farm drainage by the careless water management

Yoshihiro YAMADA, Takako OGASAWARA, Suchi NAKASHIMA

Abstract

In this study, distribution and production of the methane in the farm drainage were investigated in order to clarify the effect of careless water management of paddy field on the river. The dissolved CH_4 concentrations were $64 \sim 7.21 \times 10^3$ nM. CH_4 emission was $0 \sim 157$ mmol/m²/day and high in the sites where the mud sedimented over 10 cm. These values were higher than CH_4 emission of the eutrophic lake, and close to the emission from the paddy field. It was indicated that the mud which flowout from the paddy field sedimented in the river, and the anaerobic environment formed in the river bed.

Key words: anaerobic environment, farm drainage, methane, mud, paddy field

はじめに

排水による自然界への負荷について、工場や生活排水の規制強化や処理技術の向上が行なわれる中、近年では農業からの負荷が相対的に大きくなっていると考えられている。中でも、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、窒素、リンや懸濁物の流出が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（武田ら, 1991; 近藤ら, 1993; 金木ら, 2001）。琵琶湖流域でも、水管理が十分でない水田からは特にリンが効果的に排出されていることが明らかにされており、下流の湖である琵琶湖の富栄養化を促進させる要因になっている（山田他, 2006）。また、水田排水中の懸濁物は水路や河川に堆積することで、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。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、マンガン、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（Canfield, 1993）。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。

そこで本研究では粗放的な水管理が河川に及ぼす影響を明らかにするため、農業用排水路におけるメタンの分布と生成について調べた。

調査方法

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曽川から水を引いており、全長7kmで琵琶湖へと流れている（Fig. 1・2）。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

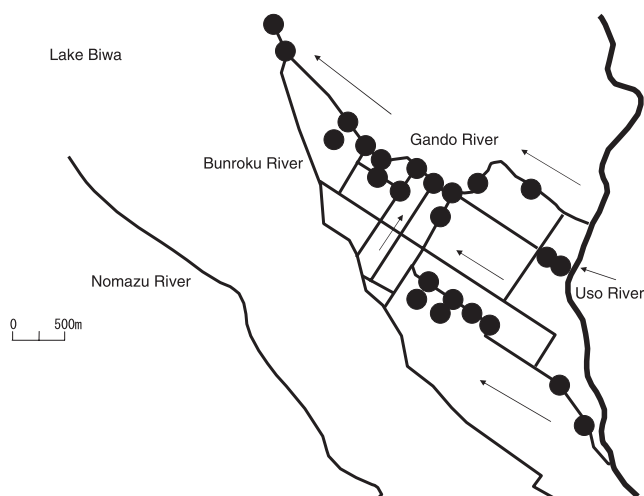


Fig. 1 Sampling points in October, 2004. The arrows shows the direction of the water current.

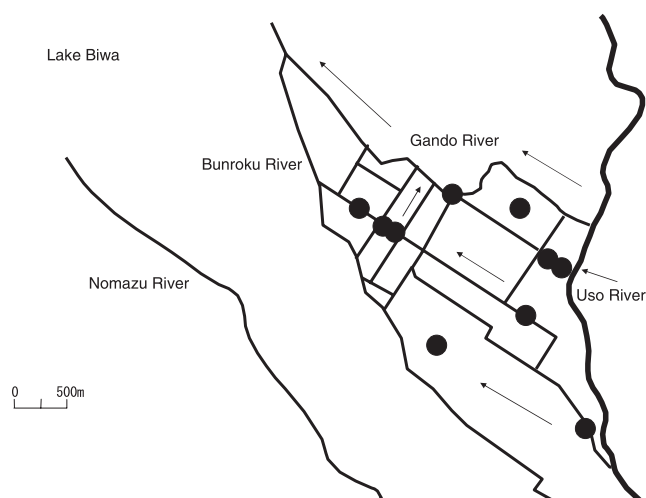


Fig. 2 Sampling points in November, 2005. The arrows shows the direction of the water current.

に適していると考えられる。

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 (Fig. 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 μm 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 (Scheiner, 1976)。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 (D' Elia et al, 1977)。 PO_4^{3-} -Pはモリブデン青法 (Murphy and Riley, 1962)、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 (Mentzel and Corwin, 1965)。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 (Shimadzu 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、 CH_4 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 (Fig. 2)。

また、高濃度の CH_4 の放出量が見られた地点について堆積物中の CH_4 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、 CH_4 濃度を測定し、 CH_4 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。

結 果

1) 水路の水質

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℃であった。DOは2.9～15mg/L、酸素飽和率は34～122%であった (Fig. 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。

窒素濃度は、全ての地点で NO_3^- -Nが $20 \sim 1.33 \times 10^3 \mu\text{g/L}$ 、 NO_2^- -Nが17 $\mu\text{g/L}$ 以下、 NH_4^+ -Nが311 $\mu\text{g/L}$ 以下、total-Nが594～ $2.03 \times 10^3 \mu\text{g/L}$ であった (Fig. 4)。 NO_3^- -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。 NH_4^+ -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。

リン濃度は、全ての地点で PO_4^{3-} -Pが12～116 $\mu\text{g/L}$ 、total-Pが83～232 $\mu\text{g/L}$ であった (Fig. 5)。 PO_4^{3-} -P濃度は

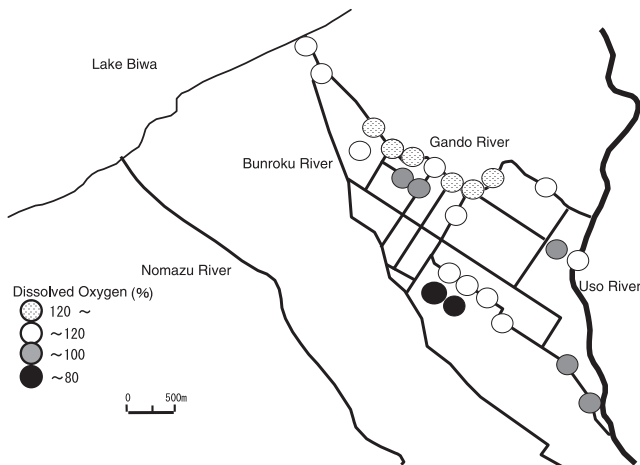


Fig. 3 The distribution of dissolved oxygen in the river water in October, 2004.

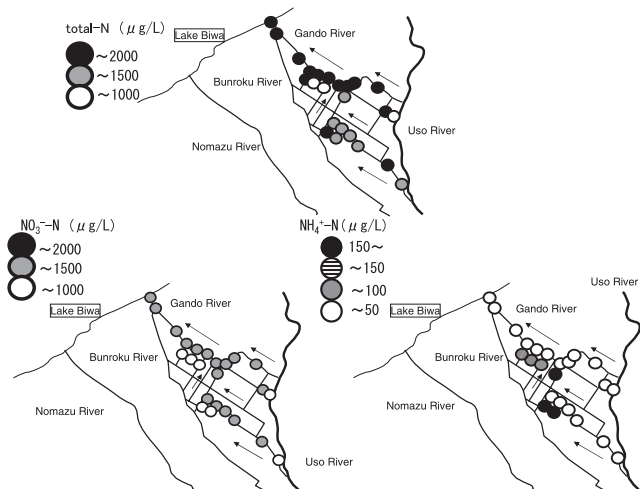


Fig. 4 The distribution of nitrogen in the river water in October, 2004. The arrows shows the direction of the water current.

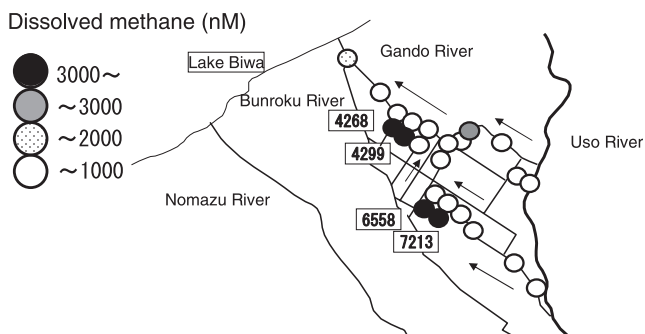


Fig. 6 The distribution of methane concentrations in the river water in October, 2004. The arrows shows the direction of the water current and the numeral shows the concentration.

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は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。

2004年10月の観測において全ての地点で水中の溶存 CH_4 濃度は $64 \sim 7.21 \times 10^3 \text{ nM}$ であった (Fig. 6)。特に小水路で高濃度となり、 $4.27 \times 10^3 \sim 7.21 \times 10^3 \text{ nM}$ であった。本流河川は $64 \sim 2.32 \times 10^3 \text{ nM}$ と、低かった。

2) 河床から放出されるメタンの量と生成率

2004年10月におこなった調査で得られた CH_4 の放出量は $0.02 \sim 29.6 \text{ mmol/m}^2/\text{day}$ であった (Fig. 7)。また、翌年の2005年11月に行った調査で得られた CH_4 の放出量は0

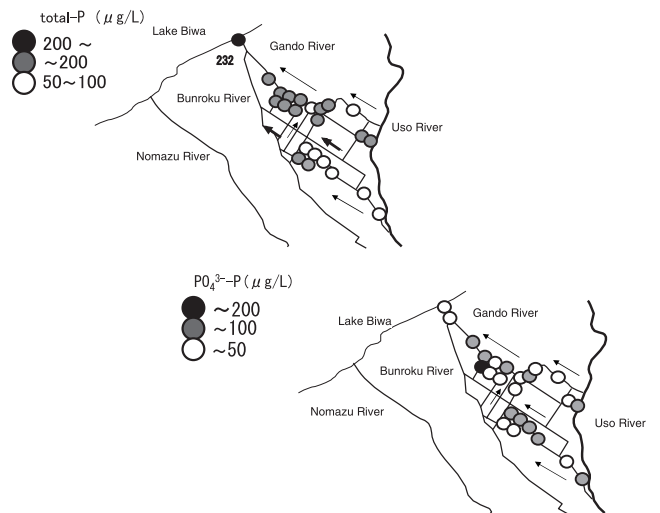


Fig. 5 The distribution of phosphorus in the river water in October, 2004. The arrows shows the direction of the water current.

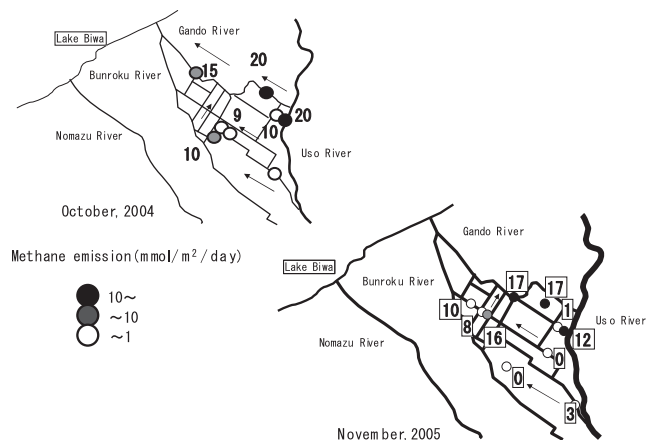


Fig. 7 The distribution of Methane emissions from the river beds in October, 2004 and November, 2005. The arrows shows the direction of the water current and the numeral shows the depth of river mud.

～157mmol/m²/dayであった (Fig. 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 (Fig. 8)。

培養実験の結果から算出したCH₄の生成率は表層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であった (Fig. 9)。

考 察

1 m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 (加来ら, 1996)、CH₄濃度に関する文献値 (Aselmann et al, 1989)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; Nakamura et al, 1999) の約3倍で、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CH₄が生成されず、深層において表層の40～100倍の高濃度のCH₄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CH₄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していると思われる。

水田からの細かな懸濁物が河床に堆積することで、還元的な環境が形成されていることがわかった。この還元

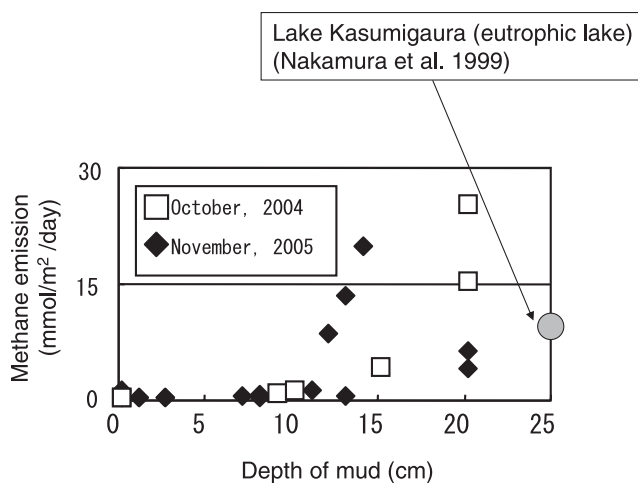
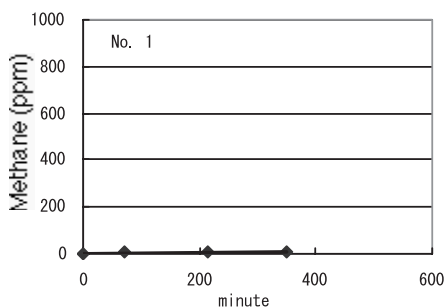


Fig. 8 The relationship between the depth of river mud and methane emission.

surface layer(0～10cm)



deeper layer(10～18cm)

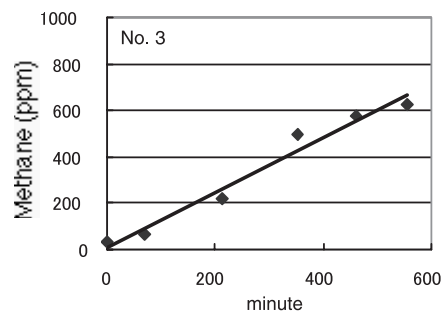
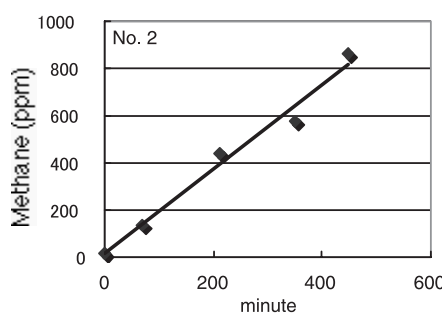
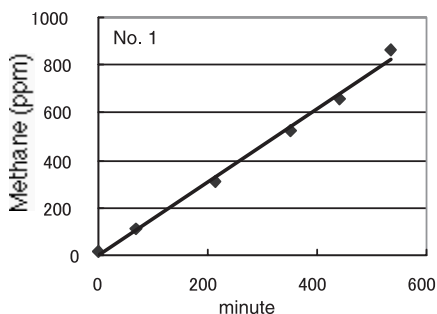


Fig. 9 The production of the methane in the incubation experiment.

的な環境は好気的な生物に対して影響を与えるため、生態系の保全のためには、水田からの懸濁物の流出を抑制するとともに、泥深10cmを目安とした水路掃除等が必要ではないかと思われる。

摘 要

水管理が粗放的な水田地域における農業用水路の水環

境を明らかにするために水路におけるメタンの濃度と生成が調べられた。溶存メタン濃度は $64 \sim 7.21 \times 10^3 \text{ nM}$ であった。河床からのメタン放出量は $0 \sim 157 \text{ mmol/m}^2/\text{day}$ で、泥深が10cm超えると高くなる傾向にあった。これらの値は、富栄養湖のものより高く、水田からの放出量と同程度であった。本研究から水田から流出した微細な泥が河床に堆積し、嫌気的な環境が形成されていることがわかった。

引 用 文 献

- 武田育郎, 国松孝男, 小林愼太郎, 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, 153:63–72 (1991).
- 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, 164:147–155 (1993).
- 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, 215:93–98 (2001).
- 山田佳裕, 井桁明丈, 中島沙知, 三戸勇吾, 小笠原貴子, 和田彩香, 大野智彦, 上田篤史, 兵藤不二夫, 今田美穂, 谷内茂雄, 陀安一郎, 福原昭一, 田中拓弥, 和田英太郎: しろかき期の強制落水による懸濁物, 窒素とリンの流出 —圃場における流出実験—, 陸水学雑誌, 67:105–112 (2006).
- CANFIELD, D. E: Organic matter oxidation in marine sediments. In: eds. R. Wollast, F. T. Mackensie. and L. Chou Interactions of C, N, P, and S Biogeochemical Cycle and Global Change: 333 – 363. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag (1993).
- SCHEINER, D.: Determination of Ammonia and kjeldahl nitrogen by indophenol method. *Wat. Res.* 10:31–36 (1976).
- D' ELIA, C. F., STENDLER, P. A. and CORWIN, N.: Determination of total nitrogen in aqueous samples using persulfate digestion. *Limnol. Oceanogr.*, 22:760–764 (1977).
- MURPHY, J. and RILEY, J. P.: A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.*, 27:31–36 (1962).
- 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.*, 10:280–282 (1965).
- 加来伸夫, 上木厚子, 大淵光一, 上木勝司: 水田土壤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, 9:249–261 (1996).
- 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.*, 8:307–358 (1989).
- 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.*, 144 (4): 383–407 (1999).

(2009年10月31日受理)