

肥培灌漑水田におけるメタン発酵消化液の空間分布と効率の散布手法の検討 Analysis of two-dimensional distribution and organic irrigation method of the anaerobically digested slurry supplied in rice paddy

○前田浩貴*, 弓削こずえ**, 田中宗浩***, 阿南光政****, 凌祥之**

Hiroki MAEDA*, Kozue YUGE**, Munehiro TANAKA***,

Mitsumasa ANAN****, Yoshiyuki SHINOGI**

1.はじめに

メタン発酵においては、その過程で発生する消化液(発酵残渣)の処理が課題であるが、消化液に含まれる肥料成分を活かして、農地に還元する試みがなされている。水田においては、水口から灌漑水に消化液を混ぜて施肥する肥培灌漑が広く行われているが、肥料成分が不均一に分布するという課題がある。

Inomura et al.(2010)は、水田ライシメータにおいて、肥培灌漑を行った際の TN の空間分布を明らかにしているが、圃場レベルでの空間分布を解明した研究例は見当たらない。本研究では肥培灌漑を行った水田における TN の空間分布を解明することを目的とし、最終的には効率の散布手法の検討を目指す。

2.モデルの構築

田面水の流動は式(1)に示した連続の式と、式(2)および式(3)に示した運動方程式により解析することができる。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{yx}) \right] = 0 \quad (3)$$

ここで、 h : 水深、 ζ : 水位、 d : 基準面から水底までの高さ、 p, q : x および y 方向の線流量、 g : 重力加速度、 C : シエジー係数、 τ_{xx}, τ_{yy} : x および y 軸に垂直な面に作用する法線応力、 τ_{xy}, τ_{yx} : x および y 軸に垂直な面に作

用する接線応力、 ρ_w : 水の密度である。

溶質の移流拡散は式(4)に示した移流拡散方程式により解析することができる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (hc) + \frac{\partial}{\partial x} (uhc) + \frac{\partial}{\partial y} (vhc) \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) - Fhc \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 c : 濃度、 u, v : x および y 方向の流速、 D_x, D_y : x および y 方向の拡散係数、 F : 消失係数である。

連続の式および運動方程式に対しては ADI 法を、移流拡散方程式には QUICKEST 法を用いて離散化を行った。

初期条件としては、田面水の水深および TN は水田の全地点において一定であると仮定した。境界条件としては、地下および畦畔への浸透はないものと仮定した。水口においては灌漑水および消化液の流入量を与えた。

3.実証実験およびモデルの妥当性の検証

モデルの妥当性を検証するため、実証実験を行った。対象圃場は熊本県山鹿市に位置する水田である。対象圃場において肥培灌漑を行った際の EC および TN を測定した。測定は Fig.1 に示したように、水口側および水尻側の畦畔からそれぞれ 10m の計 2 地点 (以降は水口側および水尻側と表記) において行った。実証実験から得られた TN の実測値と、本モデルから得られた計算値との比較を Fig.2 に示す。肥培灌漑は 125 分間行ったが、85 分後から 100 分後の間、ポンプの不具合により肥培灌漑を中断している。図より、水尻側の傾向はよく捉えていることが明らかである。また、水口側においても、100 分後から 200 分後までは計算値が若干大きい値を示しているが、肥培灌漑直後の TN の急上昇およ

*九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, **九州大学大学院農学研究院 Faculty of Agriculture of Kyushu University, ***佐賀大学農学部 Faculty of Agriculture, Saga University, ****(株)高崎総合コンサルタント Takasaki Sogo Consultant, Co. Ltd.

キーワード : メタン発酵消化液, 肥培灌漑, シミュレーションモデル

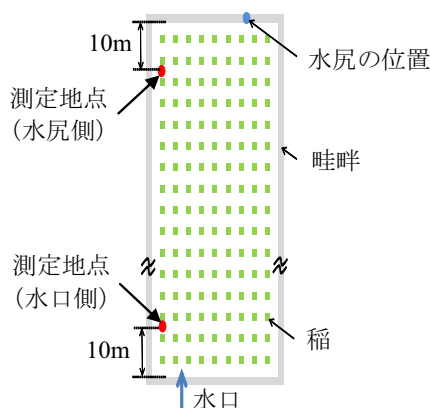


Fig.1 Schematic view of the observational field

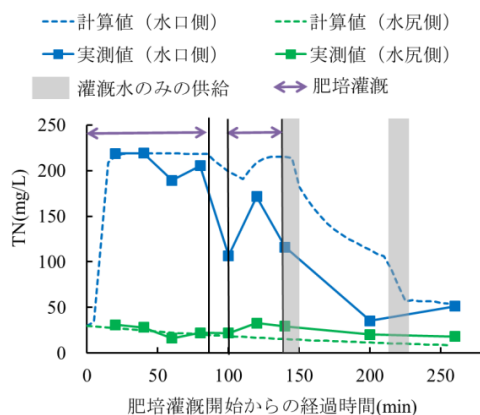
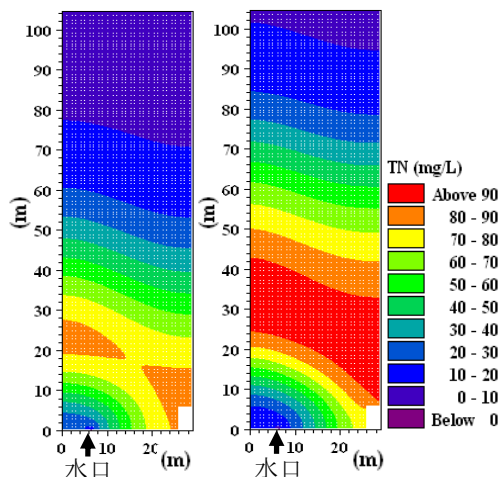


Fig.2 Comparison of the simulated and measured TN

び肥培灌漑中断による減少を再現できており、変動傾向は一致している。以上より、モデルは妥当であると判断することができる。

4.全窒素の空間分布の推定

モデルを用いて、実証実験を行った水田における TN の空間分布を推定した。肥培灌漑開始から 260 分後の TN の分布を Fig.3(a) に示す。なお、図中の右下の白い領域は農業機械の進入路であるため、モデルの計算から除外している。図より、水口側の TN が高くなっており、水口側と水尻側で TN の差が生じていることが明らかである。そこで、TN の差を解消する散布手法を検討するためにシミュレーションを行った。実証実験では初期水深は 5.7cm であったが、これを 2.0cm に下げた条件の下で TN の空間分布を推定した。初期水深以外の条件は Fig.3(a) の計算条件と同一



(a) water depth of 5.7cm (b) water depth of 2.0cm

Fig.3 Calculation results of two-dimensional distribution of TN

である。その結果を Fig.3(b) に示す。Fig.3(a) および(b) を比較すると、Fig.3(b) のほうで、TN の高い領域がより水尻側に広がっている。そのため、初期水深を下げることで TN の空間的な均一性が向上することが明らかである。

5.おわりに

本研究では、肥培灌漑を行った水田における、メタン発酵消化液に含まれる TN の空間分布を推定することを目的とし、シミュレーションモデルを構築した。モデルの妥当性を検証するため、熊本県山鹿市の水田において肥培灌漑を行い、田面水の EC および TN を測定した。TN の実測値とモデルから得られた計算値を比較したところ、計算値は実測値の傾向を再現していた。このモデルを用いて、TN の空間分布を推定したところ、水口側の TN が高くなっており、水口側と水尻側で TN の差が生じていた。そこで、効率的な肥培灌漑手法の検討をするためにシミュレーションを行った。その結果、初期水深を下げることで有効であると明らかになった。本研究の成果は、メタン発酵消化液を用いた農業生産に有益なものであり、バイオマスを利用した循環型社会の構築に寄与するものである。

引用文献

Inomura K. et al. : Numerical analysis of digested slurry with irrigation water in rice paddy. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ.*, 55(2), 357-363, 2010