

不整形区画水田におけるメタン発酵消化液の空間分布の評価

Evaluation of spatial distribution of digested slurry to an irregularly shaped rice paddy field

○濱田耕祐*, 弓削こずえ**, 田中宗浩**, 阿南光政**, 凌祥之***

Kosuke Hamada, Kozue Yuge, Munehiro Tanaka, Mitsumasa Anan, Yoshiyuki Shinogi

1. はじめに

バイオマスを活用したメタン発酵においては、発酵過程で生じる消化液の処理が問題となっている。消化液は多量の有機物を含むため、肥料として水田に還元する取り組みが各地で行われている。この場合、水口から灌漑水とともに流し込む手法(水口施用)が採られることが多いが、消化液が空間的に偏り、稲の収量に差が生じるケースがある。これを解消するため、標準区画水田内の消化液の空間分布を解明する研究が行われてきた (Yuge et al., 2014)が、日本の中山間部に多く存在する不整形区画水田を対象とした例はほとんどない。本研究では不整形区画水田において消化液の空間分布を評価し、空間的に均等に散布する手法を検討することを目的とした。

2. TN の空間分布予測モデルの構築

水口施用した消化液中の TN の空間分布を推定するモデルを構築した。水田の灌漑水の流動は式(1)~(3)に示す基礎方程式により解析することができる。

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

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

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

ここで、 h : 水深(m), ζ : 水位(m), s : 排水または給水量(m s^{-1}), p, q : x および y 方向の線流量($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), g : 重力加速度(m s^{-2}), C : シェジ—係数($\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1}$), τ_{xx}, τ_{yy} : x および y 軸方向に対する法線応力(N m^{-2}), τ_{xy}, τ_{yx} : x および y 軸方向に対する接線応力(N m^{-2}), ρ_w : 水の密度(kg m^{-3}), $f(v)$: 摩擦係数(-), V : 風速(m s^{-1}), V_x, V_y : x および y 方向に対する風速(m s^{-1}), P_a : 大気圧($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$)である。

摩擦係数は風速 V を用いて式(4)から得られる。

$$f(v) = \begin{cases} f_0 & \text{for } V \leq V_0 \\ f_0 + \frac{V - V_0}{V_1 - V_0} (f_1 - f_0) & \text{for } V_0 \leq V \leq V_1 \\ f_1 & \text{for } V_1 \geq V \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 $f_0 = 0.00063$, $f_1 = 0.0026$, $V_0 = 0$ (m s^{-1}), $V_1 = 30$ (m s^{-1})である。

また、溶質の移流拡散は式(5)により解析することができる。

$$\frac{\partial}{\partial t} (hc) + \frac{\partial}{\partial x} (uhc) + \frac{\partial}{\partial y} (vhc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) - Fhc \quad (5)$$

ここで、 c : 濃度(mg L^{-1}), u, v : x および y 方向の流速(m s^{-1}), D_x, D_y : x および y 方向の拡散係数($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$), F : 消失係数(s^{-1})である。

本モデルの境界条件として、水田の水口に灌漑水および消化液の流量を与え、さらに消化液の TN を設定した。

*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

**佐賀大学農学部/Faculty of Agriculture, Saga University

***九州大学大学院農学研究院/Faculty of Agriculture, Kyushu University

キーワード: バイオマス, 液肥, 水田灌漑

3. 検証実験およびモデルの妥当性の検証

モデルの妥当性を確認するために、大分県日田市の不整形区画水田(50 a)において、検証実験を行った。図1に実験圃場の概要を示す。本実験では、水尻を閉じた状態で水口施用を200分実施した。実験期間中は、水口流量および田面水位を測定し、風向および風速は日田の气象台から得た。さらにNo.1およびNo.2の地点で田面水を一定間隔で採取した。検証実験で得たサンプルのTNの実測値と計算値を比較したところ、両者の変動傾向は概ね合っていた(図2)。

4. 消化液の空間均一的な散布手法の検討

水口を2つに増やして消化液を流し込んだシナリオの下でTNの空間分布をモデルによって解析した。このシナリオでは、図3の水口AおよびBの流量をそれぞれ 6.0×10^{-3} および $4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ とし、それぞれの水口から同じ量の消化液を与えるように設定した。この条件下で推定したTNの水口施用180分後の空間分布を図3に示す。計算領域全体のTNが 60 mg L^{-1} 以上となっており、消化液が空間的に均等に広がったことが明らかである。

5. まとめ

本研究では不整形区画水田において消化液を空間的に均等に散布する手法の確立を目指し、水口から施用した消化液中のTNの空間分布を評価するモデルを構築した。検証実験で得られたTNの計算値は実測値と概ね一致しており、構築したモデルの妥当性を確認することができた。このモデルを用いたシナリオ解析により、水口の適切な設置と、灌漑水および消化液の流量を調節することが消化液を均等に散布するために有効であると明らかになった。本研究により、循環型社会の促進に資する成果が得られたといえる。

引用文献

K. Yuge et al. (2014) Spatial-uniform application method of methane fermentation digested slurry with irrigation water in the rice paddy field, Paddy and water environment, 12(3), 335-342

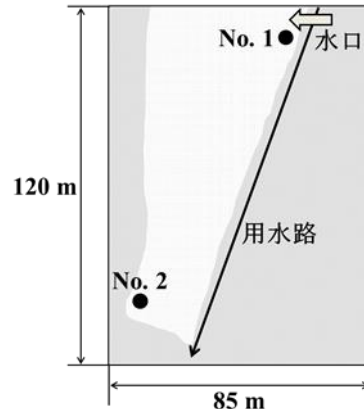


図1 実験圃場の概要
Schematic view of the observed field

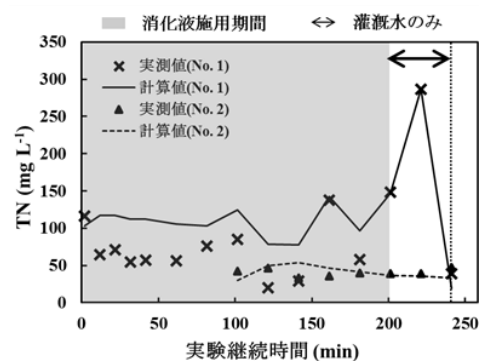


図2 TNの実測値および計算値の比較
Comparison of the measured and simulated TN values

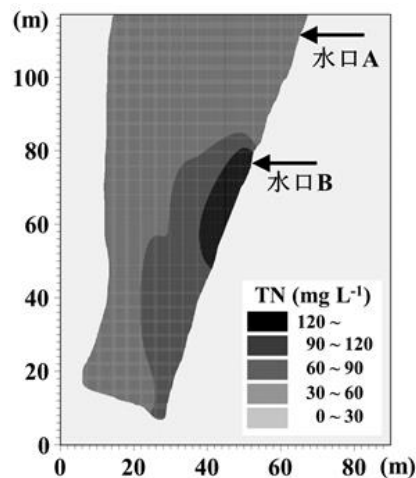


図3 シナリオ解析時のTNの空間分布
Spatial TN distribution under a scenario