

メタン発酵消化液の灌水同時施肥水田における移流拡散現象の解明
Numerical Analysis of Advection and Diffusion
of Digestion Sludge of Methane Fermentation in Paddy Fields

井之村啓介*, 弓削こずえ**, 阿南光政***
Keisuke Inomura, Kozue Yuge, and Mitsumasa Anan

1. はじめに

バイオマスからメタンを発酵させ、これを化石燃料の代替として利用する取組が行われている。この取組の中で問題になっているのが、メタン発酵の過程で生じる消化液の処理である。近年、消化液は農地に肥料として還元されるケースが増えているが、水田においては灌漑水に混ぜて施肥されることが多い。岩下ら(2008)によると消化液を灌水同時施肥した水田において、稲の生育に空間的な違いが生じることが報告されている。しかし、この原因となっている消化液濃度の空間分布を解明する研究例は見当たらない。消化液を施用した圃場において農業生産性を向上させるためには、消化液濃度の空間分布を明らかにすることが重要である。

本研究の目的は、稲の生育に影響を及ぼす空間的な消化液濃度分布を明らかにすることである。このため、水平二次元場における流動および移流拡散方程式を用いて、水田における消化液の移流拡散現象を推定するシミュレーションモデルを構築した。また、モデルの妥当性を検証するために、水田ライシメータにおいて消化液の灌水同時施肥を行い、消化液の濃度分布を実測した。

2. 水田における消化液散布現象のモデリング

水田に施肥した消化液の流動は式(1)~(3)に示した水平二次元流動の方程式で表現することができる。

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

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} \quad (2)$$

$$- \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} \quad (3)$$

$$- \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0$$

ここで、 h : 基準から水底までの距離、 d : 水面から水底までの距離、 ζ : 基準から水面までの距離、 p, q : x, y 方向の流速密度(= uh, vh)、 u, v : x, y 方向の水深平均流速、 C : シェジュー係数、 g : 重力加速度、 p_a : 大気圧、 ρ_w : 水の密度、 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: 有効せん断応力である。

水田における消化液の輸送は次式の非定常二次元移流拡散方程式に基づいて計算される。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \quad (4)$$

ここで、 c : 濃度、 K_x, K_y : x, y 方向の拡散係数である。これら式(1)~(4)を用いて構築したモデルの概要を Fig.1 に示す。このモデルでは稲と畦畔を障害物として計算した。

また、本研究では、消化液の肥料成分のうち、窒素を対象にし、TN の空間分布と経時変化を推定した。

*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

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

*** (株) 高崎総合コンサルタント Takasaki Sogo Consultant, Co., Ltd.

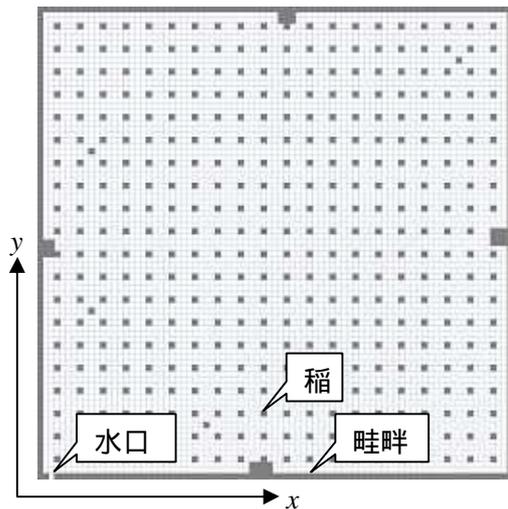


Fig.1 Schematic view of the model of advection and diffusion of digestion sludge of methane fermentation in paddy fields

3. モデルの妥当性の検証

5m×5mの水田ライシメータにおいてモデルの妥当性の検証を行った。水口から消化液の灌水同時施肥を行い、田面水のTNを測定し、計算値と比較した。Fig.2は水口から1.83m離れた地点におけるTNの実測値と計算値を示したものである。計算値は実測値の変動傾向を概ね再現している。特に、消化液が到達する時間は比較的精度よく表している。

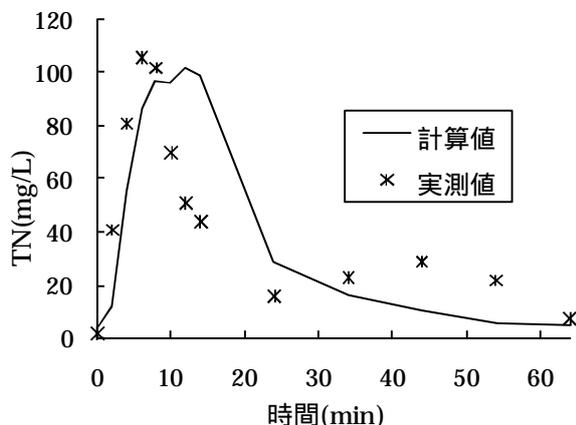


Fig.2 Temporal changes of total nitrogen

4. 消化液の空間分布の推定

モデルを用いてライシメータ全体における各時間のTNの分布を推定した。1つの水口から消化液の灌水同時施肥を12分間、その後灌漑水

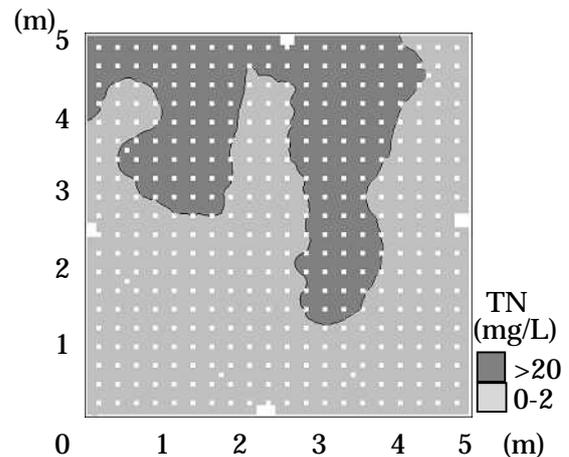


Fig.3 Spatial distribution of total nitrogen
 のみの流入を52分間行ったと仮定してシミュレーションを行った。流入開始50分の結果をFig.3に示す。水口付近には消化液が直ちに到達していくことが分かった。一方、水口から離れた場所においては、消化液の濃度に空間的な違いが見られた。

5. まとめ

本研究では、消化液の灌水同時施肥水田における消化液濃度の空間分布を明らかにする事を目的とし、水平二次元場における消化液の移流拡散現象のシミュレーションモデルを構築した。消化液の肥料成分のうち、TNの空間分布を経時変化を推定したところ、モデルによる計算値は水田ライシメータにおける実測値の変動傾向を概ね再現しており、モデルの妥当性を検証することができた。また、このモデルを用いてTNの空間的・時間的変化を推定したところ、TNに空間的な差異が生じており、時間が経過してもこれが解消されないことが明らかになった。本研究で構築したモデルにより、水田における効率的な消化液の施肥方法を提案することが可能になった。

謝辞

現地調査に多大なるご支援を頂きました地域資源循環技術センターおよび山鹿市の関係各位に篤く御礼申し上げます。

引用文献：岩下ら，農業農村工学会資源循環研究部会論文集，4，55 - 70，2008