

メタン発酵消化液を投入した水田土中の窒素動態
Fate of Nitrogen in Paddy Soil Applied Methane Fermentation Manure Liquid

○中村公人*, 船本健正**, 三野 徹*

Kimihito NAKAMURA, Kensei FUNAMOTO and Toru MITSUNO

1. はじめに 家畜糞尿や食品廃棄物の処理としてメタン発酵技術を地域の物質循環の中で機能させるためには、発酵過程の副産物である発酵消化液の農地への投入が不可欠であると考えられる。特に、水田への投入の可能性を見出すことは、広大な畑地を有しない地域にとって有効である。消化液の投入量や投入時期の決定には、消化液中に含まれる窒素成分が土中でどのように形態変化および移動するかという知見が必要となる。本報告では、京都府南丹市八木町のメタン発酵施設から排出される消化液（以下、液肥）を町内に設定した水田圃場に投入したときの土中の窒素成分を調査し、そのモデル化を試みた。

2. 現地調査概要 八木町内に液肥区（3,122m²）と化学肥料区（2,809m²）を1圃場ずつ設定した。用水量、排水量、地下水位（畦畔沿いにストレーナ位置深さ1.7~2.0mのパイプを設置）、湛水深を経時計測した。各圃場で用水、田面水、地下水、土を採取した。田面水と土（深さ0~10, 10~20, 20~30cm）は、各圃場2地点で採取した。分析は、

Table 1 栽培管理状況 Agricultural calendar.

	液肥区	化学肥料区
品種	キヌヒカリ	キヌヒカリ
基肥	液肥12t(6/3)	堆肥6t 磷加安60kg側条施肥(5/25)
田植え	6/10	5/25
中干し	7/1~8/3	7/7~7/28
穂肥	なし	NK化成30kg(7/16)
収穫	9/21	9/19,21
収穫量	541kg/10a	699kg/10a

窒素項目（懸濁態（PON）、溶存態有機態（DON）、アンモニア態（NH₄-N）、硝酸態（NO₃-N）、亜硝酸態（NO₂-N））を中心に行った。土は、水抽出試料に加え、KCl溶液抽出試料の吸着態を含む全窒素、NH₄-Nも求めた。2006年度の栽培管理状況を**Table 1**に示す。液肥区では基肥のみが施用され、窒素量はNH₄-N 6.5, PON 9.1, DON 2.8kg/10aであった。化学肥料区では基肥と穂肥が施用され、NH₄-Nがそれぞれ3.8, 1.7kg/10a与えられた。NH₄-Nの施用量合計がほぼ等しい値となっている。

3. 窒素動態のモデル化 土中の窒素は無機化、硝化、脱窒、揮発といった形態変化を伴いながら移流分散方程式に従って移動すると考えられる。土中に存在する主要な窒素成分は有機態（Org-N）、NH₄-N、NO₃-Nであり、主な形態変化は無機化、硝化、脱窒である。水田の場合、NH₄-Nの揮発は田面水から生じると考えた。用いたモデル式は、

$$\frac{\partial \theta c_1}{\partial t} + \frac{\partial \rho_d s_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D_1 \frac{\partial c_1}{\partial z} \right) - \frac{\partial q c_1}{\partial z} - k_{\min} \theta c_1 - k_{\min} \rho_d s_1 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta c_2}{\partial t} + \frac{\partial \rho_d s_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D_2 \frac{\partial c_2}{\partial z} \right) - \frac{\partial q c_2}{\partial z} + k_{\min} \theta c_1 + k_{\min} \rho_d s_1 - k_{\text{nit}} \theta c_2 - k_{\text{nit}} \rho_d s_1 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta c_3}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\theta D_3 \frac{\partial c_3}{\partial z} \right) - \frac{\partial q c_3}{\partial z} + k_{\text{nit}} \theta c_2 + k_{\text{nit}} \rho_d s_1 - k_{\text{den}} \theta c_3 \quad (3)$$

z : 鉛直座標 (cm), t : 時間 (h),
 c : 水溶態濃度 (mgN/cm³), s :
吸着態 (mgN/g), θ : 体積含水
率 (cm³/cm³), ρ_d : 乾燥密度
(g/cm³), q : 水分フラックス
(cm/h), D : 分散係数 (cm²/h)

ここで、添字 1 は Org-N, 2 は NH₄-N, 3 は NO₃-N である。 k は窒素形態変化の 1 次反応速度定数 (h⁻¹) で、添字 min, nit, den は無機化、硝化、脱窒を示す。吸着態と水溶態の k_{\min} と k_{nit} は同じとした。計算には HYDRUS-1D¹⁾を用いた。

*京都大学農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University **和歌山県 Wakayama Prefecture
キーワード: メタン発酵消化液, 水田, 窒素動態

4. 結果と考察

(1) 土中の窒素濃度変化

両区の KCl 溶液抽出の DON, NH₄-N 濃度変化 (2 地点の平均値) を Fig.1 に示す. NO₃-N, NO₂-N 濃度は期間を通して微量であった. 液肥区では, 液肥投入に伴い, DON, NH₄-N は深さ 10cm で直ちに, 深さ 20cm では数日遅れて上昇し,

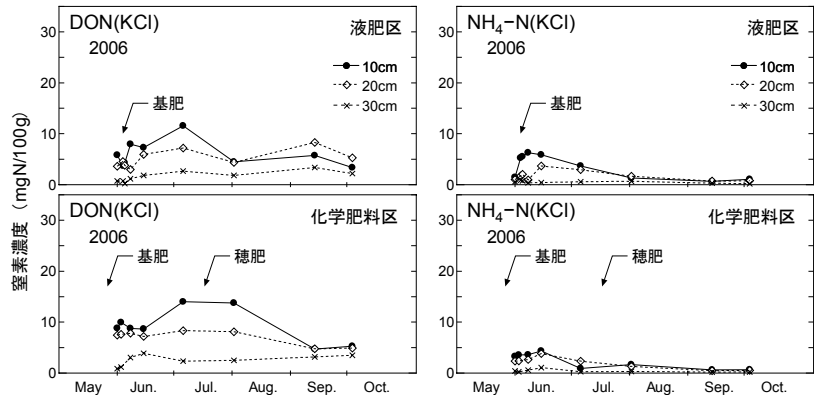


Fig.1 土中の DON, NH₄-N 濃度変化

Changes in DON and NH₄-N concentrations in paddy soils.

中干しが行われた 7 月に DON の大きな濃度低下が見られた. NH₄-N は投入後から徐々に低下した. 化学肥料区では, 中干し後の 8 月に低下した. NH₄-N は液肥区より若干低い, 同様に 6 月より徐々に低下した. DON の低下は無機化によるものと考えられるが, 両区での低下時期の違いの原因は地力窒素と液肥窒素の有機態成分の無機化特性の違いや水管理の違い等が推測される. NH₄-N の低下はイネの吸収や硝化, 脱窒によると考えられる. 液肥区と化学肥料区の 6/3~7/6 における NH₄-N 濃度の変化を比較すると, 液肥区での減少は緩やかであり, 有機態窒素の無機化量が液肥区で多いことが推察される.

(2) 窒素動態シミュレーションによる無機化量推定 液肥区での無機化過程の把握は液肥投入量や投入時期を決定する上で重要である. ここでは, イネによる吸収の影響が小さい液肥投入から 33 日間 (6/3~7/6) の湛水期において飽和定常流が生じているとしたときの計算を行って, 無機化量の推定を行った. 解析対象土層は粘土層 50cm で, 表層 0.5cm が酸化層, 下層が還元層とした. 窒素濃度の初期条件は実測値, 上端境界条件は, NH₄-N については浸透量と揮発量が投入量になるように濃度を設定した (田面水中 NH₄-N 濃度はほぼ再現された). Org-N は NH₄-N の浸透期間で均等に浸透するとした. 下端境界条件は濃度勾配ゼロとした. 各土層の窒素形態変化の反応速度定数は酸化状態と還元状態について別途行ったバッチ試験²⁾から同定した (Table 2). 計算では Org-N, NH₄-N, NO₃-N の 3 深度の濃度変化をほぼ再現することができた. 計算によって得られた積算無機化量の経時変化を Fig.2

Table 2 1 次反応速度定数
First-order rate coefficients.

	(h ⁻¹)	酸化状態	還元状態
無機化	k_{min}	0.0022	0
硝化	k_{nit}	0.0013	0
脱窒	k_{den}	0.00026	0.0051
揮発	k_{vol}	0.00026	

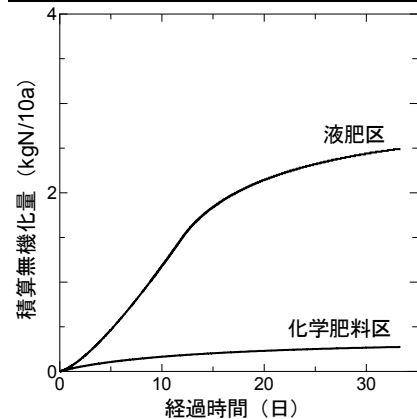


Fig.2 積算無機化量

Cumulative mineralized nitrogen.

に示す. 化学肥料区を想定して, 液肥区と同量の NH₄-N のみを与えた場合についても示した. 液肥区では約 2.5kgN/10a, 化学肥料区では約 0.3kgN/10a となり, 液肥投入によって増加した無機化量は 2.2kgN/10a と推定された. このようにして無機化量推定が可能となる.

5. おわりに 今後は, 降雨, 蒸発散, 植物吸収と酸化・還元層分布の変化を考慮して, 中干し期以降から非灌漑期にかけての解析を行う予定である. 謝辞: 八木町の調査ご協力に感謝申し上げます.

1) Šimůnek, J. et al. (2005): The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Ver.3.0. HYDRUS Software Series 1, UC Riverside, CA.

2) 中村ら (2004): 畜産廃棄物発酵消化液を投入した水田土壌中の窒素形態変化, H16 農土学会大会講要, 646-647