

## 中干し前後の水田土中の窒素の動態と還元の進行 Nitrogen dynamics and reduction progress in paddy soil before and after the mid-season drying period

○田崎小春\*, 取出伸夫\*\*, 小泉匠平\*\*\*, 徳本家康\*\*\*\*

○Koharu TASAKI\*, Nobuo TORIDE\*\*, Shohei KOIZUMI\*\*\*, Ieyasu TOKUMOTO\*\*\*\*

### 1. はじめに

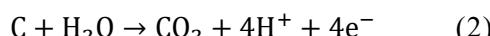
水田では、中干し期間に大気から土層に酸素が供給されると硝化により硝酸 ( $\text{NO}_3^-$ ) の生成が進行し、再湛水後には還元反応が進行して  $\text{NO}_3^-$  から窒素 ( $\text{N}_2$ ) への脱窒が生じる。しかし、稻の生育過程の窒素の動態の詳細は明らかでない。本研究では、HYDRUS-PHREEQC (HP1) を用いた水田土中の有機物の好気・嫌気分解に伴う炭素窒素成分の反応移動モデル (田崎ら, 2025) を用いて、黒ボク土の水田を対象に水管理 (湛水・中干し・再湛水) が窒素成分の動態と還元の進行に及ぼす影響を数値実験により検討した。

### 2. HP1 を用いた反応移動モデル

土中に投入された易分解性有機態炭素 (Org-C) は、一次分解によりバイオマス炭素 (Bio-C), 腐植炭素 (Hum-C), 炭素元素 (C) に分解される。



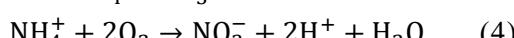
生成された C は  $\text{CO}_2$  に酸化され、電子 ( $e^-$ ) を放出する。



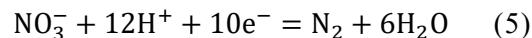
有機態窒素 (Org-N) はバイオマス窒素 (Bio-N), 腐植窒素 (Hum-N) に分解されるが、有機物の C/N 比に応じて  $\text{NH}_3$  として無機化され、水中で  $\text{NH}_4^+$  に電離する。



硝化は  $\text{NH}_4^+$  の  $\text{NO}_3^-$  への酸化反応である。



嫌気呼吸の脱窒は、 $\text{NO}_3^-$  を  $\text{N}_2$  に還元する。



これらの反応により生成した各種イオンは交換吸着する。荷電特性は、Okamura and Wada (1983) による黒ボク土の CEC と AEC の実測値に対して、変異荷電モデル (VCM) を適合させた。 $\text{NH}_4^+$  は陽イオン交換、 $\text{NO}_3^-$  は陰イオン交換が生じるとした。

### 3. 計算事例

対象とする土層は 50 cm の黒ボク土層とした。上層 20 cm の作土層に C/N 比 10 の有機物を一様に  $880 \mu\text{mol cm}^{-3}$  与え、有機物分解定数は  $0.15 \text{ d}^{-1}$ 、硝化定数は  $0.2 \text{ d}^{-1}$  とした。また、同じ土層に鉱物の水酸化鉄アモルファス ( $\text{Fe(OH)}_3$ )  $10 \mu\text{mol cm}^{-3}$  およびマンガナイト ( $\text{MnOOH}$ )  $1 \mu\text{mol cm}^{-3}$  を施用した。計算期間は 120 日とし、初期から 50 日までを湛水期間、50~70 日までを中干し期間、それ以降を再湛水期間とした。初期水分条件は上端圧力  $h=2 \text{ cm}$ 、下端  $h=0 \text{ cm}$  であり、上層 20 cm の飽和透水係数は  $K_s = 5 \text{ cm d}^{-1}$ 、下層 30 cm は  $K_s = 0.5 \text{ cm d}^{-1}$  とした。湛水期間は  $0.75 \text{ cm d}^{-1}$  の降雨を与え、下端は  $h=0$  で一定とした。湛水期間、再湛水期間の湛水深さは 2 cm 程度であった。溶質移動条件は、初期条件として土に多く含まれる陽イオン ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) および陰イオン ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) で構成された初期溶液で平衡させた。また上端および下端境界には、初期溶液と同じ組成の境界溶液を与えた。

Fig. 1 は深さ 0.5 cm, 5 cm, 25 cm の酸化

\*鹿児島大学大学院連合農学研究科 The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, \*\*三重大学大学院生物資源学研究科 Graduate School of Bioresources, Mie University, \*\*\*日本製鉄株式会社 NIPPON STEEL CORPORATION, \*\*\*\*佐賀大学農学部 Faculty of Agriculture, Saga University  
キーワード: 水田, 中干し, 硝化, 脱窒, 陰イオン交換

還元電位(Eh),  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2$ の土体積濃度の経時変化である。作土層の有機物分解が進行する 0.5 cm および 5 cm では、湛水後直ちに Eh が -200 mV 程度まで低下した。50 日から 20 日間の中干しにより Eh が上昇し、その後再湛水により再度段階的な低下を示した(Fig. 1a)。一方、有機物が分布せず酸素が残存する 25 cm の Eh は 35 日に 800 mV から 300 mV 程度まで低下後、水管理による変動はなくほぼ一定で推移した。 $\text{NH}_4^+$ は Org-N の無機化の進行に伴い濃度が増加する。特に再湛水後の 25 cm の  $\text{NH}_4^+$ 濃度は、中干し期間の無機化速度が大きく、湛水により下方に移動するため大きく増加した。(Fig. 1b)。湛水期間の硝化は生じない。 $\text{NO}_3^-$ は中干しにより土層が酸化的になった 50 日以降、表層から順に  $0.15 \mu\text{mol cm}^{-3}$  程度まで濃度が高くなり、その後再湛水すると脱窒により消滅した(Fig. 1c)。 $\text{N}_2$ の再湛水直後の 70 日以降の溶液濃度の増加は、脱窒の寄与に比べて中干し期間中に土層に流入した  $\text{N}_2$  ガスのうち、再湛水の過程で液相に溶解した成分の方が大きい(Fig. 1d)。最初の湛水よりも再湛水後の方が Eh の -200 mV 程度までの低下が 1, 2 日遅いのは、中干しで生成された  $\text{NO}_3^-$  の還元が進行するためである。

Fig. 2 は、中干し直後の 70 日と再湛水後の 76 日の  $\text{NH}_4^+$  および  $\text{NO}_3^-$  の吸着態と溶存態の鉛直分布である。CEC と AEC の大きい黒ボク土では、 $\text{NH}_4^+$  と  $\text{NO}_3^-$  の 8 割程度が吸着態として分布した。中干し期間の硝化により生成された  $\text{NO}_3^-$  は、70 日に表層 8 cm に  $1 \mu\text{mol cm}^{-3}$  程度で分布した。再湛水後には脱窒に利用されるため、76 日には溶存酸素の存在する表面 0.5 cm を除き溶存態、吸着態とともに濃度がゼロになった。一般に  $\text{NO}_3^-$  は  $\text{NH}_4^+$  に比べて下方へ浸透しやすいとされるが、黒ボク土の水田では、陰イオン交換吸着および中干し後の脱窒により下方への移動が制限されることを定量的に示すことができた。

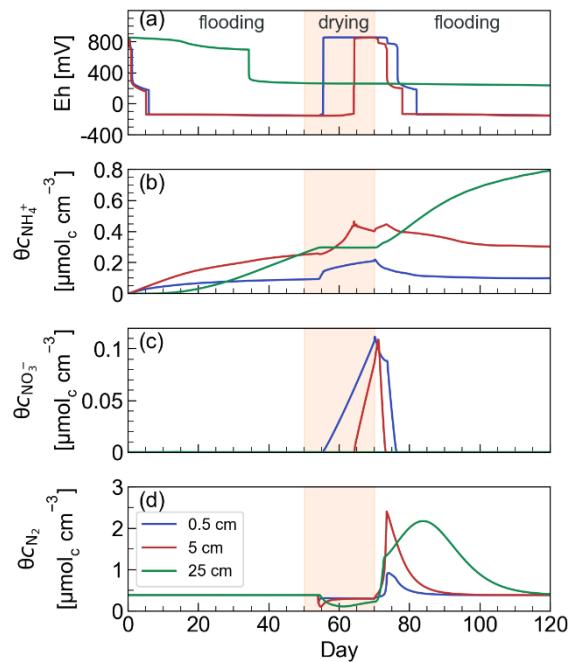


Fig. 1 計算期間の(a)Eh, (b)溶存態 $\text{NH}_4^+$ , (c)溶存態 $\text{NO}_3^-$ , (d)溶存態 $\text{N}_2$ 濃度の経時変化.

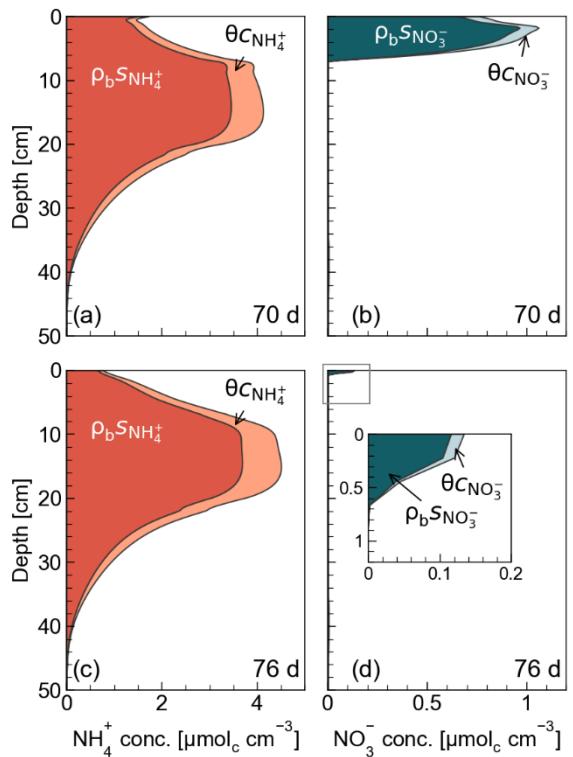


Fig. 2 中干し期間の 70 日と再湛水期間の 76 日の  $\text{NH}_4^+$  および  $\text{NO}_3^-$  の吸着態と溶存態の鉛直積み上げ分布. 上段: 70 日の (a)  $\text{NH}_4^+$ , (b)  $\text{NO}_3^-$ , 下段: 76 日の (c)  $\text{NH}_4^+$ , (d)  $\text{NO}_3^-$ .

参考文献: 田崎ら(2025), 土壌の物理性, No. 159, 33-57., Okamura, Y. and Wada, K. (1983), Journal of Soil Science, 34: 287-295.