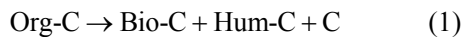


**有機物分解を考慮した反応移動モデルによる水田の表面酸化層の形成に関する考察**  
**Formation of the Surface Oxidized Layer in a Paddy Soil**  
**based on a Reactive Transport Model with Decomposition of Organic Matter**

○松岡健介 取出伸夫  
 Matsuoka Kensuke and Nobuo Toride

**はじめに** 水田土に形成される表面酸化層では、好気的な有機物分解による窒素成分の無機化や硝化が起こり、生成された $\text{NO}_3^-$ は、表面酸化層直下の還元層で脱窒される。表面酸化層は、有機物分解による酸素の消費速度と光合成などにより溶存酸素濃度 DO が変化する田面水からの供給速度に応じて形成される。表面酸化層の厚さは、表層土における窒素の形態変化に影響を及ぼす。しかし、厚さが数 mm から 2 cm 程度とされている表面酸化層の形成に関しては、定量的な解析は少ない。本研究では、有機物分解を考慮した反応移動モデルにより、水田表層土における窒素・炭素成分の形態変化を計算し、有機物分解速度と灌漑水の DO が表面酸化層の形成と厚さに及ぼす影響について検討した。

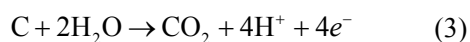
**有機物分解を考慮した反応移動モデル** 土中に投入された易分解性有機態炭素 (Org-C) は、一次分解反応によりバイオマスの炭素成分 (Bio-C)、腐植の炭素成分 (Hum-C)、炭素元素 (C) に分解される。生成されたバイオマスは、再び易分解性有機物として分解される。



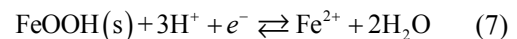
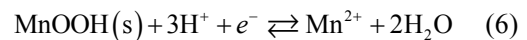
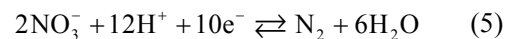
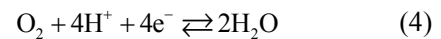
$$\frac{dC_{\text{Org-C}}}{dt} = -k_{\text{Org-C}} \times F_{\text{O}_2, \text{org}} \times C_{\text{Org-C}} \quad (2)$$

ここで、 $C_{\text{Org-C}}$  は Org-C の土単位体積あたり濃度、 $k_{\text{Org-C}}$  は分解定数 $[\text{day}^{-1}]$ 、 $F_{\text{O}_2, \text{org}}$  は DO に依存した補正関数である。

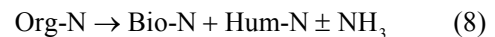
Org-C の分解に伴い生成される C は、 $\text{H}^+$  と  $e^-$  の生成を伴う次式により酸化され  $\text{CO}_2$  となる。



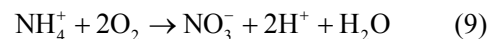
この C の酸化は、好気・嫌気呼吸による次の一連の還元反応を伴う。



易分解性有機態窒素 (Org-N) は、バイオマスの窒素成分 (Bio-N) と腐植の窒素成分 (Hum-N) に利用され、その余剰分は  $\text{NH}_3$  として無機化される。逆に、供給が不足すると、土中の  $\text{NH}_3$  が有機化されて利用される。



窒素と炭素成分の分解は各成分の C/N 比で関係づけられる。 $\text{NH}_4^+$  から  $\text{NO}_3^-$  への硝化は、 $\text{O}_2$  の消費と  $\text{H}^+$  の生成を伴う一次分解反応として表現し、有機物分解と同様に分解速度の DO 依存性を与えた。



$$\frac{dC_{\text{NH}_4^+}}{dt} = -k_{\text{nit}} \times F_{\text{O}_2, \text{nit}} \times C_{\text{NH}_4^+} \quad (10)$$

これらの反応を PHREEQC によるモジュールとして表現し、HP1 を用いて土中の水分・溶質・ガス移動プログラム HYDRUS-1D と結合し、反応移動モデルを構築した。

**数値実験** 計算対象は 0.1 cm 間隔の節点で区切られた 20 cm 長の土層とした。全層に渡り C/N 比 10 の易分解性有機物を乾土 100 g あたり炭素量にして 400 mg 与え、21 日間の分解過程を計算した。上端は 2 cm の湛水による 1 cm  $\text{day}^{-1}$  の定常水分フラックスを与えた。液相は

MnOOH(s)および FeOOH(s)と平衡しており、初期 DO は  $0 \text{ mg L}^{-1}$  とした。分解定数  $k_{\text{Org-C}}$  と灌漑水の DO をそれぞれ変化させ、表面酸化層の厚さ  $d$  を比較した。なお、 $d$  は DO が  $3.2 \times 10^{-5} \text{ mg L}^{-1}$  を超えた節点とその下の節点の中間点の深さとした。

Fig.1 は、稲わらの代表的な分解定数  $k_{\text{Org-C}}$  として  $0.02 \text{ day}^{-1}$ 、灌漑水の DO が大気酸素分圧と平衡した  $8.56 \text{ mg L}^{-1}$  の条件における 0-0.5 cm 深の土中水の Eh, DO,  $\text{NO}_3^-$  濃度,  $\text{N}_2$  濃度の分布である。DO が大きい 0-0.1 cm 深の表面酸化層では硝化により  $\text{NO}_3^-$  濃度が増加し、Eh が  $700 \text{ mV}$  以上の値を保った。0.2 cm 以深は DO が増加することなく、脱窒が進行して  $\text{N}_2$  濃度が増加した。それぞれの経過時間において  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{N}_2$  が共存する深さでは Eh が  $600 \text{ mV}$  以上に保たれたが、脱窒が完了し  $\text{N}_2$  のみが存在する深

さでは、Eh が  $600 \text{ mV}$  を下回った。

Fig.2 は  $d$  の  $k_{\text{Org-C}}$  および灌漑水の DO に対する依存性を表し、(a)は灌漑水の DO を  $8.56 \text{ mg L}^{-1}$  に固定し  $k_{\text{Org-C}}$  を変化させた場合、(b)は  $k_{\text{Org-C}}$  を  $0.02 \text{ day}^{-1}$  に固定し灌漑水の DO を変化させた場合をそれぞれ示す。 $d$  は  $k_{\text{Org-C}}$  に半比例し、灌漑水の DO に比例した。 $k_{\text{Org-C}}$  が  $0.02 \text{ day}^{-1}$ 、また、光合成により過飽和となった状態(江口(2012))の DO 値である  $14 \text{ mg L}^{-1}$  のときの  $d$  の値は  $0.25 \text{ cm}$  となり、通常報告されている表面酸化層の厚さの  $2 \text{ cm}$  程度より小さくなった。表面酸化層の形成のさらなる解明には、有機物の分解定数に加えて補正関数  $F_{\text{O}_2, \text{Org}}$  の検証が必要である。また、水みち流れによる局所的な酸素の供給も生じて、酸化還元状態が混在することも考えられる。水みち流れを含む反応移動モデルの構築は今後の検討課題である。

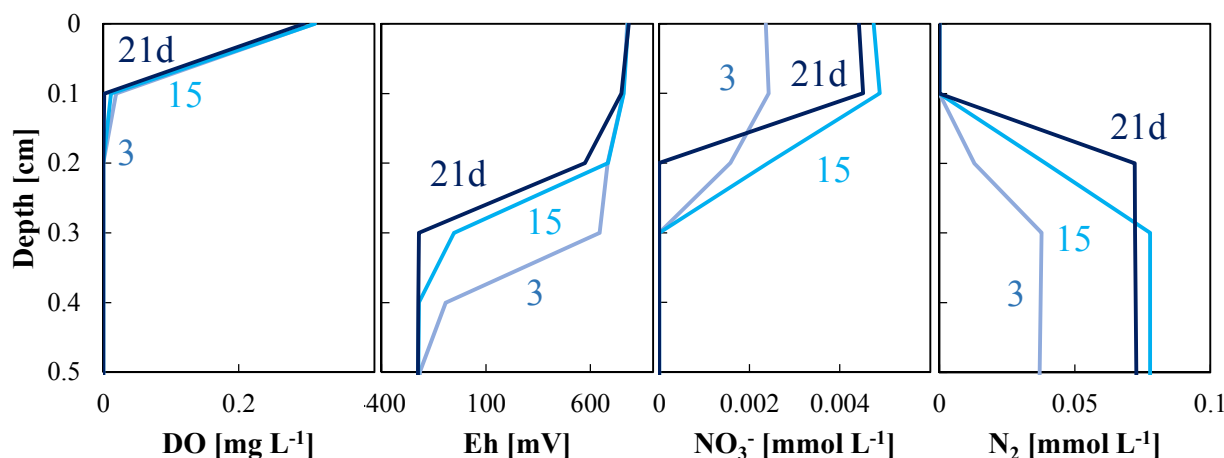


Fig.1 Soil solution Eh, DO,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2$  concentration profiles ( $k_{\text{Org-C}} : 0.02 \text{ d}^{-1}$ , inflow DO :  $8.56 \text{ mg L}^{-1}$ )

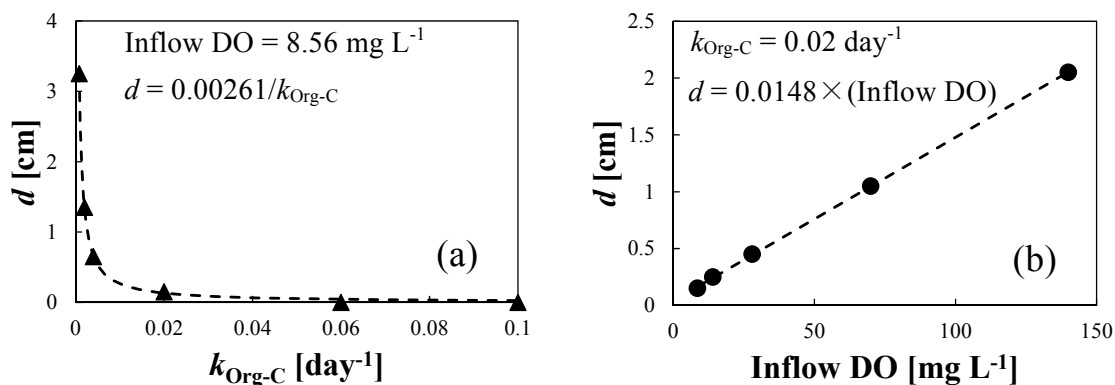


Fig.2 Effects of (a)  $k_{\text{Org-C}}$  and (b) inflow DO on the surface oxidized layer thickness  $d$ .