

## 日射を考慮した水田表面の酸化層形成メカニズムの検討

土壌圏システム学研究室 521351 福田日穂

(指導教員：渡辺晋生)

はじめに 近年、ゼロカーボンアクションや化学肥料の価格高騰等から、水田への有機物施用が増えている。水田土中の有機物分解は、イネの成長に必要な栄養を供給する一方、温室効果ガス放出にも繋がる。また、有機物の分解速度や亜硝酸ガスの発生速度は、水田表層の溶存酸素濃度 DO の高い酸化層で顕著である。酸化層の厚さは、酸素の供給と消費によって決まり、一般的に数 mm から 2 cm 程度といわれている。また酸素の供給が光合成によるのであれば、酸化層の厚さや DO 分布は、日射や日照時間で変動しうる。しかし、実際の酸化層の厚さや DO 分布、酸素の発生範囲や日射との関係は明らかでない。そこで、水田表層の DO の深さ分布と、これに日射と日照時間が与える影響を実験的に明らかにし、実験結果と数値モデルに基づき酸素の発生範囲や酸化層形成メカニズムを検討した。

試料と方法 三重大学内休耕畑の表土を採取し、2 mm ふるい通過分を試料とした。試料を  $30 \times 30 \times 2 \text{ cm}^3$  のアクリル製根箱に、20 cm 高まで乾燥密度  $1.22 \text{ g/cm}^3$  で均一に充填し、 $24^\circ\text{C}$  に設定した人工気象器内に設置した。試料の上端は、湛水深をマリOTT管を用いて 5 cm に保ち、下端は排水なしとした。湛水部および土壌側面は実際の水田環境を想定し、段ボールで遮光した。そして土中の Eh が 300 mV 以下になった後、イネ（コシヒカリ）を根箱中央部に一株移植した。ここで、空間分解能  $500 \mu\text{m}$  の DO と Eh のニードルセンサを図 1 のようにイネ横 2 cm の土中 2 mm 深に設置した。測定期間は、根が十分に広がる幼穂形成期までの約 2 か月間とし、日射量を 0, 20, 60, 80  $\text{W/m}^2$ 、日照時間を 0, 10, 20, 24, 48 h とした条件で計測した。また、任意の時間にセンサを一定速度で湛水部 10 mm から土中 40 mm 深まで鉛直に挿入し、イネ横 2 cm とイネから 15 cm の DO 分布を測定した。

結果と考察 図 2 に 80  $\text{W/m}^2$  の日射を 10 時間日照したときの、移植後 30 日のイネから横 2 cm と 15 cm（イネ近傍とイネなし）の DO 分布を示す。イネ近傍の DO は暗条件開始時（0:00）は、湛水部で 6 mg/L、地表から土中 5 mm 深の間に 0 mg/L まで減少し、以深では 0 mg/L であった。暗条件を 8 時間維持すると（8:00）、湛水部の DO は 3 mg/L まで減少した。その後、日射を与えると湛水部から土中 2 mm 深までの DO が 14 mg/L まで増加した（18:00）。この際、DO は土中 2 mm から 8 mm 深の間に 0 mg/L まで減少した。消灯 2 時間で、湛水部の DO が 7 mg/L まで低下した（20:00）。イネなしの場合は（図 2b）、湛水部の DO 分布はイネ近傍の場合と類似した。しかし、DO は地表で急激に減少し、土中で 0 mg/L とイネ近傍のような土中 5 mm 深までの DO の伸張がみられなかった。Eh は、DO ほどの日変化を示さず、イネからの距離に関わらず、地表から土中 10 mm 深の間で、300 mV から 200 mV まで減少し、以深では約 150 mV と亜還元状態であった。以上のことから、湛水土壌の表面酸化層の形成にはイネが関与していること、表面酸化層の厚さや DO 分布は日変化しており、本実験系では最大で 5 mm 程度である事が明らかになった。

図 3 に、様々な日射量および日照時間を与えたときの、イネ近傍土中 2 mm 深の DO の変化を日射量とともに示す。

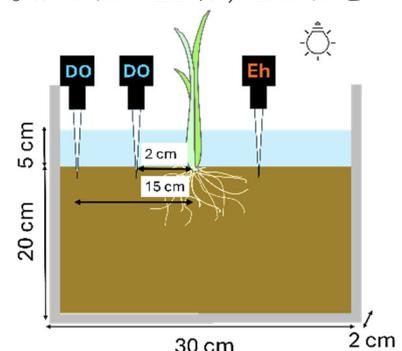


図1 装置概略図

20 W/m<sup>2</sup>以下では DO は平均 0.6 mg/L だった。60 W/m<sup>2</sup>以上の場合、DO は日照中に増加し、平均 3.9 mg/L、80 W/m<sup>2</sup>では平均 8.5 mg/L と、日射量が大きいほど高くなった。20 W/m<sup>2</sup>で DO が増加しなかったのは、酸素の消費量が供給量を上回っていたためと考えられる。また、本実験系では、20 W/m<sup>2</sup>から 60 W/m<sup>2</sup>に光補償点があるとみなせる。積算日射量と土中 2 mm 深の積算 DO の関係を図 4 に示す。積算 DO は、積算日射量に比例して増加した。

ここで、溶存酸素濃度 DO の土中への拡散を(1)式で検討した (図 5a)。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D(z) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + S \quad (1)$$

ここで、 $C$ は DO、 $D(z)$ は水中と土中のみかけの拡散係数、 $t$ は時間、 $z$ は深さである。また、 $S$ は酸素の生成分解項であり(2)式で与えた。

$$S = \frac{R_n}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \times \frac{z_2 - z}{z_2 - z_1} - 0.1C \quad (2)$$

ここで、 $R_n$ 、 $\sigma$ 、 $\mu$ は日射による酸素の生成を表す係数である。土壌中の DO は濃度の 1 割が分解されるとし (-0.1C)、酸素の生成範囲の上下端を示す  $z_1$ 、 $z_2$ を試行錯誤で推定した。また、計算においては、初期値には 0:00 の深さ分布 (図 2a) を与え、上端は大気飽和の 8 mg/L と平衡とし、下端は流出なしとした。

$z_1$ を水面、 $z_2$ を地表とすると、土中への拡散速度が遅いため、実測値 (図 2a) のような、土中への伸張や日変化がみられなかった。一方で、 $z_1$ を地表、 $z_2$ を土中 5 mm 深とすると (図 5b)、実測値 (図 2a) の湛水部と土中 5 mm 深までの DO の日変化と、それ以深での DO の消失をよく再現した。この結果は、酸化層の主な酸素の供給源が、地表から土中 5 mm 深までのイネ根圏の細菌や藻類による光合成であることを示唆する。しかし、日射が土中 5 mm 深まで届くとは考えにくいので、イネの蒸散にともなう根の吸水により、地表数 mm で生成した酸素が、地中に移流した可能性が考えられる。

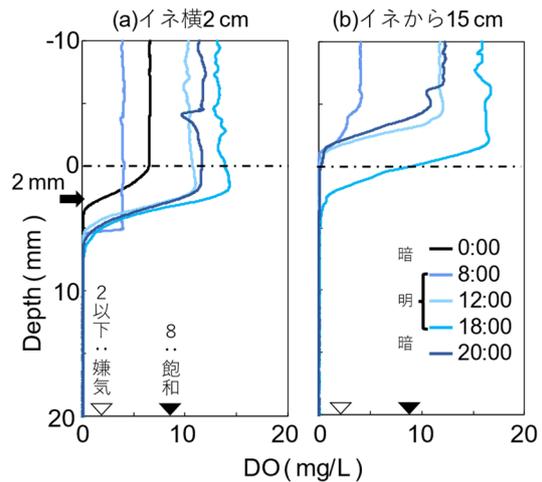


図2 イネからの距離のDO分布

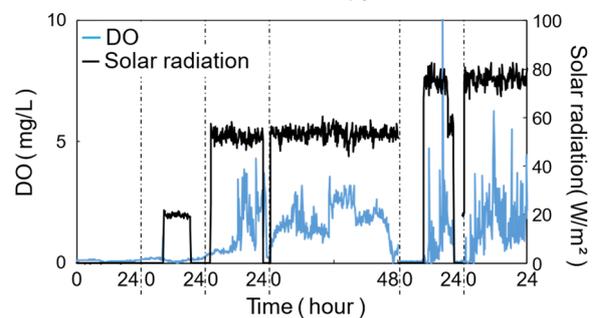


図3 日射量・日照時間と土中2 mm深のDO

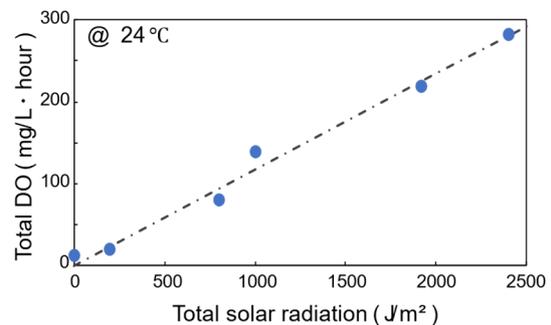


図4 積算日射量と土中2 mm深の積算DO

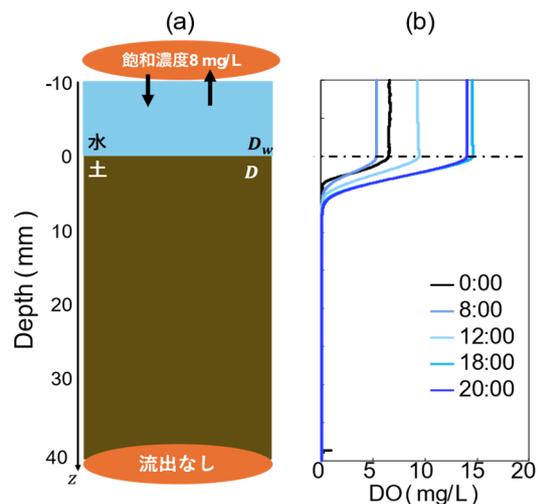


図5 数値モデルの対象領域と計算例