

湛水土壌表面近傍の酸化還元過程の微視的観察

竹内 萌実 (土壌圏循環学教育研究分野)

はじめに 水田土中の窒素や炭素の循環は、作物の生育を考える上で重要である。土中の窒素や炭素は表面酸化層や還元層での有機物分解や脱窒によって態を変える。しかし、水の浸透にともなう溶解酸素(DO)や有機物、硝酸イオン(NO_3^-)などの基質の流下が、表面酸化層や脱窒層の分化や酸化還元の進行に及ぼす影響は明らかでない。そこで本研究では、異なる浸透速度や基質が酸化、脱窒層の分化過程に与える影響を評価することを目的に一次元カラム浸透実験を行い、湛水土壌表面近傍の酸化還元電位(Eh)やDOの微視的観察を行った。

試料と方法 三重大学附属農場の水田表土と豊浦砂を試料に用いた。試料に乾土1gあたり5mgのグルコースあるいは1mgの稲わらを加え、内径7.7cm、高さ15cmのアクリル円筒カラムに乾燥密度1.4 g/cm³で均一に詰めた。試料表面から0.2cm深にEhとDO測定用のマイクロセンサを鉛直に挿入した。また、1.5と7.5cm深にEh測定用の白金電極とテンシオメータを、0.5, 1.5, 3.5, 7.5cm深に四極センサをカラム側面からそれぞれ設置した(図1)。試料を純水で飽和し2日間静置した後、マリオット管で試料上端に一定の湛水を設け、異なる濃度の KNO_3 溶液を浸透した。浸透量はマリオット管の重量変化より求めた。試料下端の圧力を調節し浸透速度を一定に保った。流入水のEhは280mV、DOは6.5mg/Lだった。任意の時間にマイクロセンサを地表から10 $\mu\text{m/s}$ で土中へ挿し込み、0~4cm深までのEhとDOの分布を100 μm 間隔で測定した。なお、全ての実験は25 $^{\circ}\text{C}$ の恒温室で行った。

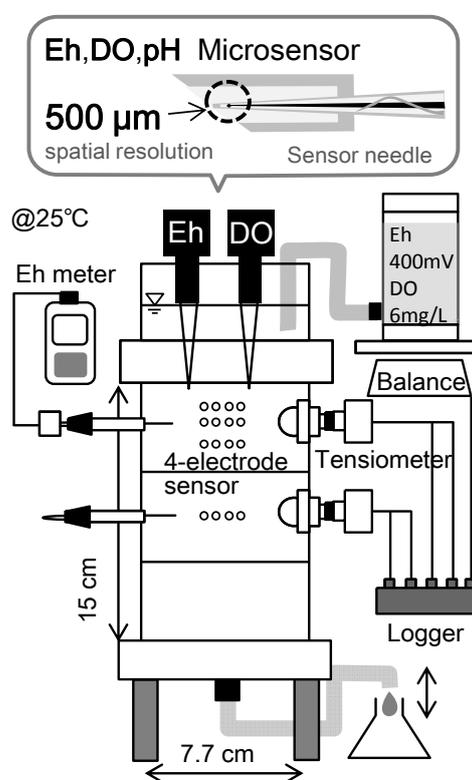


図1 実験装置の概要

結果 0, 0.005 mol/Lの NO_3^- 溶液(以下純水, 0.005 M)を浸透した時の0.2, 7.5cm深のEhを図2に示す。図には非浸透時(0 cm/d)のEhも示した。浸透開始前のEhは、いずれの実験でも深さによらず0 mV以下だった。0 cm/dのEhは9日目に0 mVまで上昇したが、その後-200 mVまで低下し、還元が進行した。純水では、浸透を開始すると2.5cm深のEhが-200 mVで停滞したが、0.2cm深は8日目にEh > 400 mVとなった。0.005 Mでは、0.2cm深は浸透開始から半日でEh 400 > mVと酸化した。この際、脱窒の生じる電位(100 ~ 400 mV)でのEhの停滞は見られなかった。7.5cm深のEhは2日目以降に上昇し、4日目には約300 mVと脱窒の生じる電位で停滞した。ここで、図3に純水と0.005 Mについて、0~4cm深のEhとDOの分布を示す。浸透開始時、純水の0~2cm深のEhは-400 mV以下と還元的で、DOも0.1 mg/L以下と嫌氣的だった。1日目になると、土壌表面近傍のEhとDOが上昇し、11日目には0~1.5cmに深にEh > 400 mVの酸化的な層が、0~0.6cm深にDO > 2 mgの好氣的な層がそれぞれ分化した。0.005 Mでは、1日目に0~0.6cm深にEh > 400 mVの酸化的な層が、0.6~3.4cm深に約300 mVの層が分化した。また、0~0.15cm深にDO > 2 mg/Lの好氣的な

層が分化した。4日目は、 $E_h > 400$ mVの酸化層が2.3 cm深まで発達し、約300 mVの層が2.3 ~ 7.5 cm深に移動した。この際、 $DO > 2$ mg/Lの好気的な層が2 cm深まで発達したが、 E_h と DO それぞれの値から定義した酸化層($E_h > 400$ mV)と好気層($DO > 2$ mg/L)は一致しなかった。ここで、 E_h 分布より E_h が400, 100 mVに達する前線をそれぞれ酸化、脱窒前線と定義し、酸化層と脱窒層の発達に有機物(グルコース/稲わら)や NO_3^- 濃度の違いが及ぼす影響を評価した。その際、10 cmで定義した土壌間隙中の水の体積(Pore Volume, PV)で比較した(図4, 5)。 NO_3^- 濃度で比較すると、グルコースを添加した場合には、酸化層の発達に NO_3^- 濃度の影響なく、脱窒層は NO_3^- 濃度が高いほうが発達した(図4a)。稲わらの場合には、酸化層はわずかししか形成しなかった。脱窒層の発達は浸透速度で比較すると浸透速度の差は見られなかった(図4b)。また、同じ濃度の NO_3^- 溶液を浸透した場合の酸化層と脱窒層の発達速度の違いを土に添加した有機物の違いで比較した。酸化層の発達速度はグルコースと稲わらでそれぞれ0.5 cm/PV、数mm/PVとグルコースの方が速く(図5a)、脱窒層の発達速度はそれぞれ0.65 cm/PV、5 cm/PVと稲わらのほうが速かった(図5b)。

考察 土壌表面近傍に $E_h > 400$ mVの酸化層が形成されたのは(図3)、グルコースが浸透水による流亡や微生物による消費で減少し、微生物活性が低下したこと、浸透水により O_2 が土中に供給され土が好気的になったことによる。この O_2 は、表面近傍の微生物の呼吸により消費されるため下層には十分に供給されない。しかし、 NO_3^- が流下するため脱窒が生じ、酸化層の下に E_h 約300 mVの脱窒層が形成される。そしてその下層には O_2 や NO_3^- も流下せず、土は還元する。このようにして土壌表面から浸透水中の O_2 、 NO_3^- が順に還元され、 E_h 分布に3つの層が形成されたと考えられる。また、稲わらは浸透水によって流亡せず、ゆっくりと分解されるため、微生物呼吸が継続するため酸化層は発達しないが(図5a)、微生物活性が維持されるため、グルコースを添加した場合より脱窒菌の活性が高く、脱窒層が発達したと考えられる(図5b)。

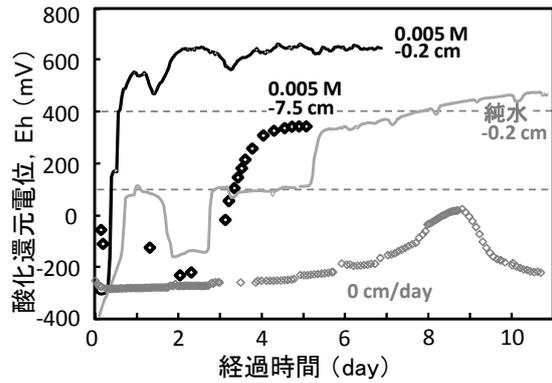


図2 浸透開始後の各深さにおける E_h の経時変化。黒色は0.005 Mの NO_3^- 溶液を浸透した場合で、灰色(実線)は純水を浸透、灰色(プロット)は非浸透の場合の結果をそれぞれ示す。

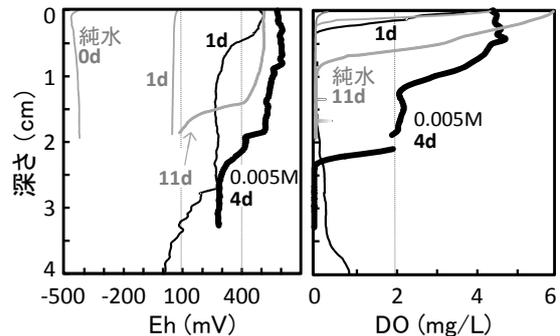


図3 純水(灰色)と0.005 M(黒色)の浸透開始前(0d)、浸透から1, 4, 11日目の E_h と DO の深さ分布。縦軸の0 cmは地表面を示す。

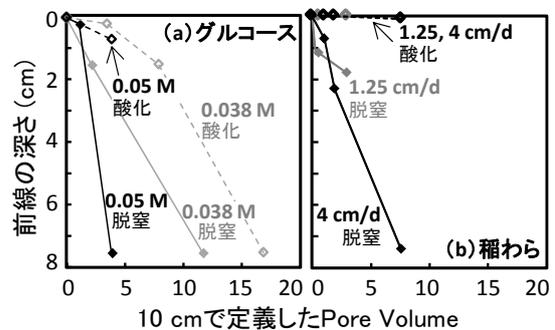


図4 酸化、脱窒層の発達に NO_3^- 濃度の違いが及ぼす影響。縦軸は E_h で定義した酸化、脱窒前線が到達した土中の深さを示す。(a)はグルコース添加、(b)は稲わら添加の場合を示す。

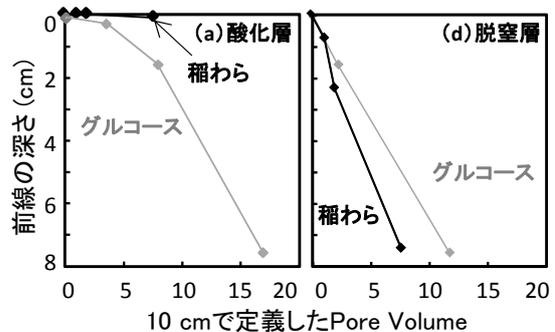


図5 酸化、脱窒層の発達に有機物の違いが及ぼす影響。縦軸は E_h で定義した酸化、脱窒前線が到達した土中の深さを示す。