

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 1 日現在

機関番号：11201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010～2011

課題番号：22880004

研究課題名（和文） 地下灌漑が水田の土壤環境と窒素動態に及ぼす影響の評価

研究課題名（英文） Effects of subsurface irrigation on some soil physical and chemical properties.

研究代表者

武藤 由子 (MUTO YOSHIKO)

岩手大学・農学部・講師

研究者番号：60436053

研究成果の概要（和文）：地下灌漑の普及による水田汎用化の促進を想定し、水田土壤における炭素・窒素循環のより正確な予測を目指して、水分と溶質の移動過程における土壤の酸化還元電位の変化を調べる実験を行った。その結果、土壤への大気の直接的な侵入が土壤の酸化反応に及ぼす影響、その応答のタイミングと速度が明らかとなった。また、水の流れや窒素・炭素といった基質の濃度が酸化還元電位に与える影響を、異なる浸透速度や濃度について明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Along with the extension of rotational paddy field through subsurface irrigation system, estimating carbon and nitrogen dynamics in the paddy soils is getting important. We perform several column experiments to investigate change in redox potential in soil with solute and water flow. The change in redox potential was summarized based on the flow rate and solute concentration. For the evaporation process, the response time and changing rate of soil redox potential against the air penetration were clarified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,260,000	378,000	1,638,000
2011年度	1,050,000	315,000	1,365,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,310,000	693,000	3,003,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業土木学・農村計画学

キーワード：地下灌漑、水田土壤、窒素動態、温暖化ガス、水田の汎用化、酸化還元電位

## 1. 研究開始当初の背景

水田での水稻生産にともなう地球環境への負荷要因として、硝酸態窒素による水質汚染、亜酸化窒素やメタンガスといった温暖化ガスの発生が問題となっている。これらは、水田土壤中での窒素・炭素動態に由来するものである。地球規模での食料・環境問題がクローズアップされるなか、アジアモンスーン

地域における水田農業の持続的発展のため、環境負荷を低減させる栽培管理技術の確立が重要である。水田は畑とは異なり湛水することから、水田での水・溶質・ガス・熱の物質移動を扱う際には、水田土壤に特徴的である嫌氣的な土壤層の存在（還元層）を考慮しなければならない。嫌氣的条件下で起こる脱窒は還元層の温度・pH・酸化還元状態に強く

依存するもので、水田土壌における窒素動態に見られる特徴と言える。よって、水田における窒素動態のモデル化には還元層での硝酸態窒素濃度の低下についての検討が重要となる。この脱窒の起こる還元層では嫌気性菌による有機物分解も行われ、偏性嫌気性菌であるメタン菌等によりメタンと炭酸ガスにまで分解される。

一方、わが国の食料自給率の向上と水田農業における経営の安定化を目的とした水田輪作の導入が進められており、地下水位を制御することで転換畑の湿害や干ばつを軽減できる地下灌漑システムが注目されている。地下灌漑を用いた水管理では、土中の水移動の状態が通常の降雨や表面灌漑とは異なり、土壌の酸化還元状態・温度・pHといった土壌環境に影響すると考えられる。特に還元層を有する水田土壌においては、これら土壌環境の変化が微生物活動にともなう窒素・炭素の動態に強く作用することが予測される。単純に考えれば、還元層へ酸化水が浸透することで、好気的な無機化作用の促進・硝化の促進・脱窒の抑制・メタン生成の抑制が推測される。または、下方からの水の侵入により多くの土壌間隙が水で満たされるとすれば、表面からの灌漑による場合よりも土壌が嫌気的状態となることも考えられる。いずれにせよ、従来の表面灌漑を行う水田とは窒素・炭素の動態が大きく異なる可能性がある。今後、地下灌漑システムの普及が見込まれることから、地下灌漑が土壌環境(温度・溶質移動・酸化還元電位・pH)に与える影響を明らかにし、この環境の変化が土中の窒素・炭素の動態にどのように作用するかを解明することが急務である。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、地下灌漑水田における、水管理や気象条件の変化に応じた土壌の酸化還元状態と窒素動態を予測することを目指し、

(1) 圃場調査における、地下灌漑を行った際の土中の水・溶質・熱移動と酸化還元電位の空間変動特性を明らかにすることを目的としたモニタリング

(2) 室内における、土中の水分溶質移動と土壌の酸化還元状態の関係を調べることを目的とした次元カラム実験

(3) 圃場調査と室内実験の結果を基に、土中の水分溶質移動に対する土壌の酸化還元状態の予測を目的とした数値解析を行うこととする。

## 3. 研究の方法

(1) 水移動にともなう気相の侵入が還元土壌の Eh にあたえる影響を調べる実験

水田から 5cm~15cm の表土を採取した。2mm フルイ通過分に純水を加え攪拌機でよく混合し 5mg/g(乾土)のグルコースを添加した。

30℃の恒温器に湛水条件で 10 日以上静置し試料とした。試料を内径 5cm、高さ 30cm の鉛直アクリルカラムに乾燥密度 0.84g/cm<sup>3</sup> で充填した (Fig.1)。その後、カラムを密閉し酸化還元電位 Eh が約-200mV となるまで 25℃の室温に静置した。このとき、試料の含水率(飽和含水率 $\theta_s$ )は 0.67 であった。カラム側面より土中水圧 h を測定するためのテンシオメータと Eh 測定用の白金電極を、各々 5cm 間隔で挿入し、電子天秤をカラムの下に設置した (Fig.1)。カラムの上端に設置したファンにより試料表面に一定速度で送風し、ファンの回転速度を制御することで初期条件の等しい試料に 2 つの異なる蒸発速度を与えた。一方、カラム下端からの給排水はなしとした。実験は 25℃の恒温器で行った。蒸発過程にある試料の h と Eh の変化をデータロガーを介してモニターした。また、電子天秤で測定した重量変化から水分の蒸発量を算出した。実験終了時に試料を 2.5cm 間隔で切り分け、炉

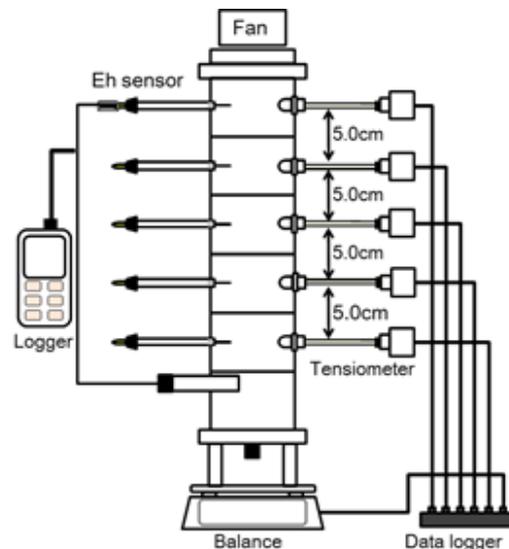


Fig. 1 装置図

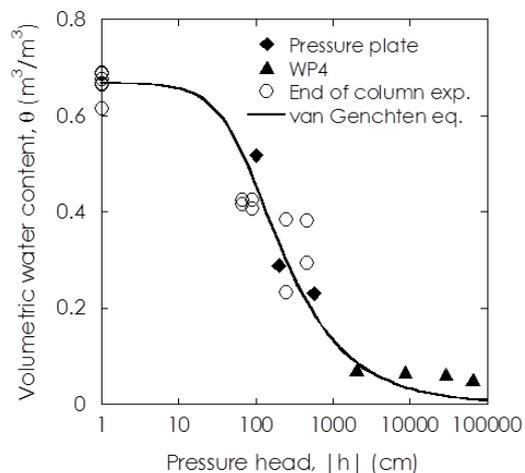


Fig. 2 試料の水分特性曲線

乾燥により各深さの含水率を求めた。これとは別に、いくつかの含水率に調整した試料の土中水圧を測定し、実験終了時に測定した土中水圧と含水率、比較的速く蒸発させた実験の積算蒸発量と各深さの圧力変化を目的関数として、逆解析により試料の水分特性曲線を van Genuchten 式で与えた (Fig. 2)。逆解析には HYDRUS-1D を用いた。排水過程においては、カラムの上端は大気に開放、下端から排水を行った。

(2) 水分溶質移動が還元土壌の Eh にあたえる影響を調べる実験

採取した畑の表土に乾土当たり 1 割の豊浦砂を加え飽和となるよう水と混合した。この際、この際、異なる濃度のグルコース (0.5, 1 g/100g 乾土) および硝酸カリウム (0, 0.72 g/kg) を試料に添加した。これを内径 5 cm 高さ 15 cm のアクリル鉛直カラムに乾燥密度 1.59 g/cm<sup>3</sup> で詰めた。試料上端に堪水し、カラムに空気が入らないように密閉した。土の表面から 2.5, 7.5 cm の位置に Eh 測定用

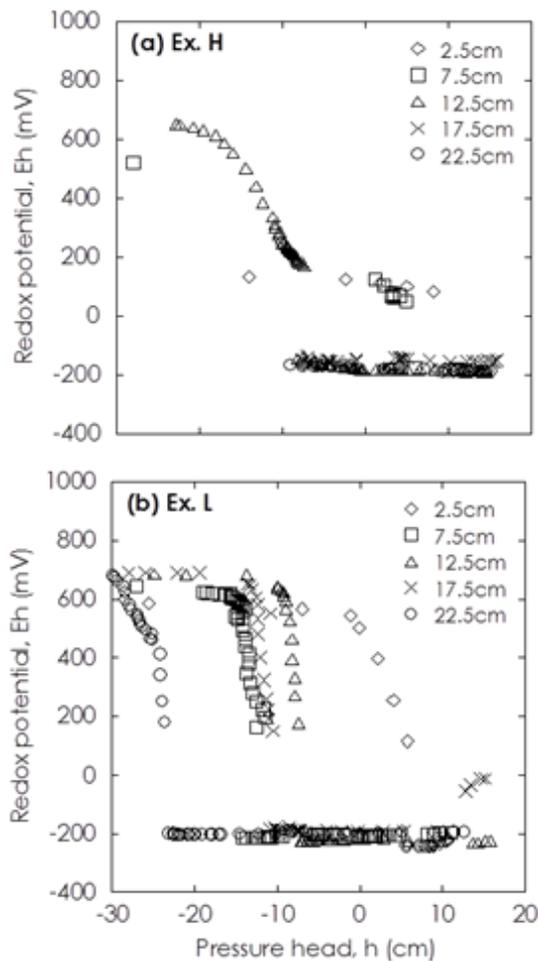


Fig. 3 蒸発過程における圧力水頭  $h$  と酸化還元電位  $E_h$  の関係 (蒸発速度 (a) Ex. H\_2.2cm/d, (b) Ex. L\_0.2cm/d)

の白金電極と EC 測定用の四極センサー、圧力測定用のテンシオメータをカラム側面より挿入した。試料を充填し 50 時間経過後、定量送液ポンプを用いて、硝酸カリウム溶液 (0, 0.01, 0.04, 0.06mol/l) をカラム上端より下端へ流した。

#### 4. 研究成果

(1) 水移動にともなう気相の侵入が還元土壌の  $E_h$  にあたえる影響を調べる実験

蒸発過程では、2.2cm/d と 0.2cm/d の 2 種類の蒸発速度について実験を行った。  $h$  と  $E_h$  の関係について、特に  $h$  が正から負に転じる部分に着目したものを Fig. 3 に示す。 Ex. H で、  $E_h$  が 0mV 以上になった  $h$  は、2.5, 7.5, 12.5cm でそれぞれ約 9, 5, -8cm であり下層ほど低くなった (Fig. 3 (a))。さらに下層に位置する 17.5, 22.5cm では、  $h$  が -10cm 程度まで低下しても  $E_h$  は -200mV のままであった。また、2.5cm の  $E_h$  は  $h$  が -80cm 程度まで減少してもしばらく 200mV 程度に保たれていた。 Ex. L でも、  $E_h$  が 0mV 以上になった  $h$  は、測点が 2.5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5cm においてそれぞれ約 6, -11, -7, -11, -23 cm であり 2.5cm を除いて下層ほど低くなった (Fig. 3 (b))。大気は試料の乾燥にともないカラムの上端から侵入し下端へ供給されるため、その移動の過程で酸素が土壌微生物の活動等により消費されたことによると考えられた。

Fig. 4 に  $\theta$  と  $E_h$  の関係を示した。僅かな  $\theta$  の減少での  $E_h$  の急激な増加が示された。このことから、土中の酸化反応には、土壌溶液中に溶存する酸素の拡散の寄与に対して気相の増加にともなう酸素の供給の効果が大きいと考えられた。一方、下層ほど、あるいは蒸発速度が速い場合に気相率の増加に対して  $E_h$  の上昇が遅れることが示された。また下層ほど  $E_h$  が上昇する  $\theta$  が低下した。深層や乾燥前線先端部の気相率の増加が僅かな

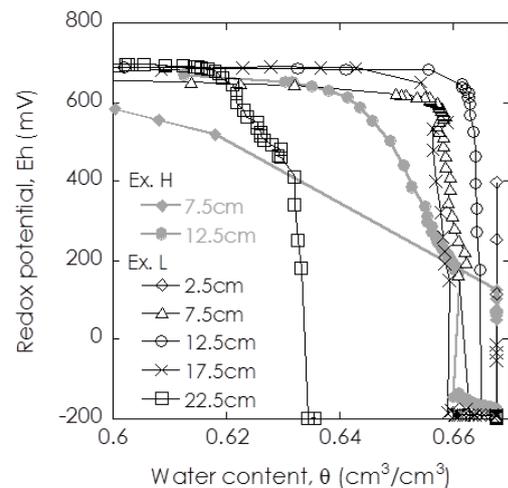


Fig. 4 蒸発過程における含水率  $\theta$  と酸化還元電位  $E_h$  の関係

場合には、気相が生じて酸素の供給が追い付かずに土壌の酸化に時間を要するためと考えられた。

排水過程における実験でも蒸発過程と同様の結果が得られた。

(2)水分溶質移動が還元土壌の Eh にあたえる影響を調べる実験

Fig. 5 に 7.5cm 深で測定した土中の Eh の時間変化を示す。グルコースのみを加えた試料を湛水した場合、Eh は湛水後-300mV まで急降下し、その後徐々に 0 mV 近くまで上昇し再び下降した。これは、微生物の呼吸による土中水中の  $O_2$  の消費にともなう H の発生、H の消費、酸化物の還元それぞれに対応する。ここに窒素を加え C/N 比を下げると (C/N=20)、Eh が上昇する時間が早くなった。これは、土中の窒素が増えることで微生物が増殖し、有機物の分解スピードが上がったためと考えられる。次に、C のみを加えた試料に蒸留水を流すと、Eh が上昇する時間が数 10 時間早くなり、上昇幅も 200 mV 以上大きくなった。また、流速が速いほど、Eh が上昇する時間は早くなった。この差は 2.5 cm 深より 7.5 cm 深で大きく表れた。これは、浸透水中の酸素の影響による。蒸留水のかわりに、 $KNO_3$ aq を流すと、Eh の上昇時間はより早くなり、上昇幅も大きくなった。また、 $KNO_3$ aq の濃度が高いほど、変化は大きくなった。これは硝酸イオンが還元土壌の酸化剤となるためである。また、Eh が変化するとその増減とともに、溶液の浸透速度が増減した。これは、土壌間隙における水素ガスの発生・消費が、Eh だけでなく、土の透水性にも影響を与えているためと考えられた。

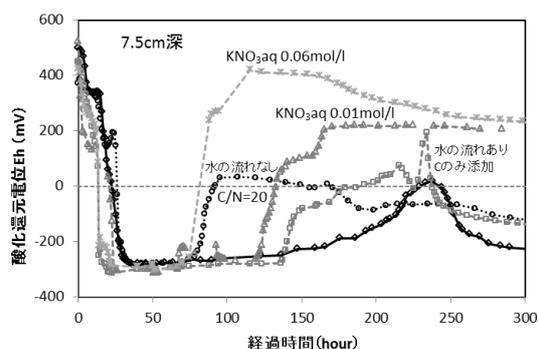


Fig. 5 水の流れと窒素・炭素の供給に対する土壌の酸化還元電位の変化

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

① 武藤由子、加藤希枝、渡辺晋生、蒸発過程にある土中の酸化還元電位の変化、H23 年

度農業農村工学会大会、2011. 9. 7、九州大学 (福岡市)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

武藤 由子 (MUTO YOSHIKO)

岩手大学・農学部・講師

研究者番号：60436053