

泥炭水田での土壌の酸化還元電位と揮散ガスの関係

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 資源保全チーム

○岡村 裕紀
石田 哲也
桑原 淳

近年の大区画水田圃場に整備されてきている地下灌漑システムは、水田の汎用化や低タンパク米の安定生産に寄与することが期待されている。しかし、地下灌漑に伴う土壌水分・養分の動態究明は充分ではない。輪作や生産米の低タンパク化に適合した地下灌漑システムの制御手法の構築のためには、土壌の酸化還元状態や作物栄養成分の動態を把握する必要がある。そこで、Ehメータによる酸化還元電位の観測および土壌揮散ガスの採取と分析 (CH_4 , N_2O , CO_2) を現地で実施した。本報では、その結果を報告する。

キーワード：地下灌漑、泥炭水田、酸化還元電位、揮散ガス

1. はじめに

北海道農業は、我が国における食の供給源として大きな役割を担っている。しかし、今後は、農家数の激減が予想されることから地域農業を維持するためには、大規模経営や複合経営への変革が喫緊の課題となっている。そのためには、地下灌漑などの省力的な水利用と管理および効率的な土地利用が必要とされ、この変化に対応するため、農業農村整備事業では、地下灌漑システムを備えた大区画水田圃場の整備が進められている。

地下灌漑システムとは、従来は排水管であった暗渠管を給水管としても利用して土壌中の水分を適切な状態にコントロールする方法で、適正な水管理、水管理作業の省力化、水資源の有効利用が期待される(図-1)。

低タンパク米の安定生産への寄与が地下灌漑システムの活用法の一つとして期待されていることから筆者らは、平成23年度より国営農地再編整備事業で整備された地下灌漑システムを備えた大区画水田圃場において、調査研究を開始した。

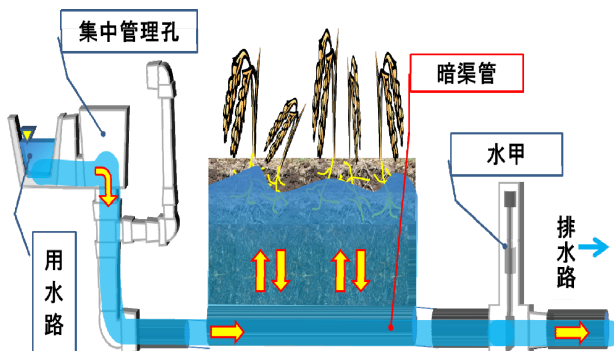


図-1 地下灌漑システムイメージ図

地下灌漑システムによる低タンパク米生産の手法(以下、低タンパク化対策と称す)は、水稻の出穂期に一定時間地下水位を上げ、一定時間地下水位を下げる操作を繰り返して、土壌中の窒素を洗脱させ、水稻の窒素吸収の抑制を期待するものである。土壌中の窒素の動態には、窒素の形態や土層の還元状況などが大きく影響することから、低タンパク化対策効果を解明するデータとして土壌の酸化還元状態や作物栄養成分の動態を把握する必要がある。

平成24年度の調査でEhメータによる土壌の酸化還元状態の観測や揮散ガスの採取と分析を行った。本報では、その結果を報告する。

2. 試験圃場概要

試験圃場は、北海道空知総合振興局管内の雨竜川の左岸に拓けた泥炭土壌の水田地帯に位置し、平成21年度に圃場整備工事实施の地下灌漑システムを備えた大区画水田圃場である(図-2)。A~Dの4つの試験区を設けた。平成24年度の作付けは、A区、B区が、秋播小麦、C区、D区が、水稻(移植栽培)であった。秋播小麦の収穫は7月下旬、水稻は、8月下旬に落水、収穫は10月上旬であった。なお、C区では、地下灌漑システムによる低タンパク化対策を7/28~8/16に実施した。平成24年度は、48時間地下水位を上げ、48時間地下水位を下げる操作を5回繰り返した。暗渠の測線から0.5m(以下、暗渠脇と称す)、5.0m(以下、暗渠間と称す)の測線にEhメータを設置し、設置地点を基軸に揮散ガス採取を行った。

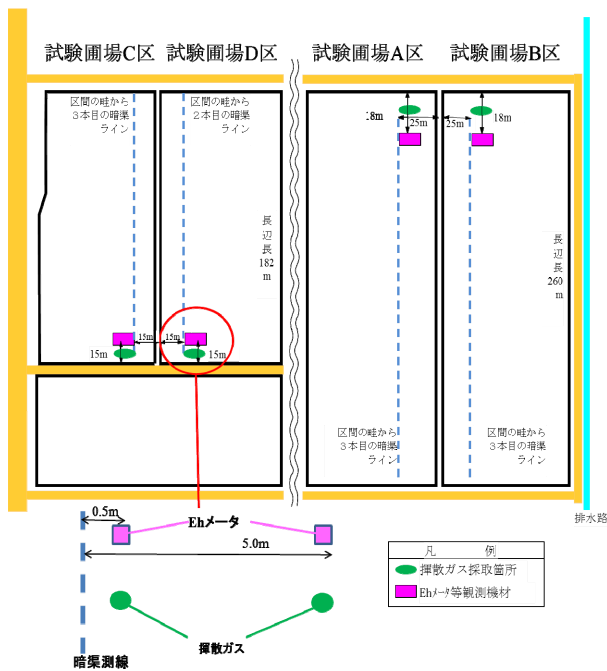


図-2 試験区平面図

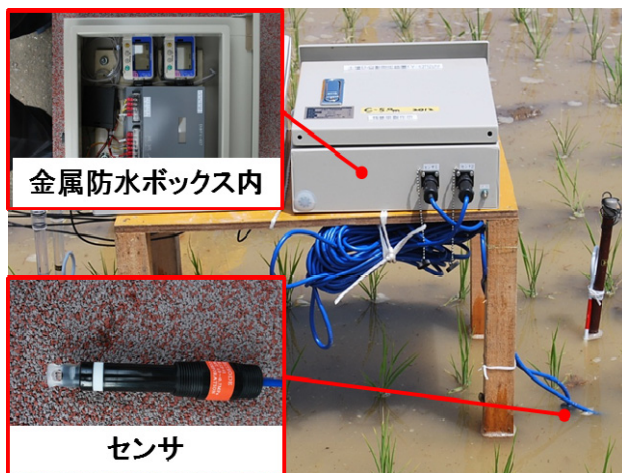


図-3 Ehメータ設置状況 (C区)

3. 調査内容

(1) 土壌Eh観測

土壌の酸化還元状態を確認するために土壌Eh観測を行った。Ehメータは、金属防水ボックス内にデータロガーを2台接続した、FV-437Eh(2ch)測定計、複合電極タイプ酸化還元電位測定電極 (ORP電極ELCP-61-10F) の組み合わせで構成されている (図-3)。A区、B区で各1測線 (暗渠間) C区、D区で各2測線 (暗渠脇、暗渠間) の計6箇所を設置した。1台のEhメータで2深度の観測が可能であり、10cm、30cmの埋設深度、サンプリング間隔60分で観測を行った。観測期間は、A区、B区が5月上旬～7月下旬、C区、D区が6月上旬～9月中旬で、機材は、各区の作物の収穫前に撤去した。



図-4 チャンバー設置状況 (A区)

表-1 揮散ガス採取時期

採取地点	暗渠脇 暗渠間	採取時期							
		7月4日	8月6日 地下水位 上昇日	8月8日 地下水位 下降日	8月16日 地下水位 下降日	8月21日	9月12日	9月27日	10月9日
A区	○	○	○	- ※	○	○	○	○	
B区	○	○	○	- ※	○	○	○	○	
C区	○	○	○	- ※	○	○	○	○	
D区	○	○	○	○	○	○	○	○	

※営農の都合により採取作業不能

(2) 揮散ガス採取分析

土壌の酸化還元状態を確認するデータとして、揮散ガスの採取分析を行った。

揮散ガスは、4試験区 (A～D区) × 2測線 (暗渠脇、暗渠間) の計8箇所でもクロードチャンバー法を用い、午前午後の2回でチャンバーを閉じた直後から0, 10, 20, 40, 60分後の5回、100mlシリンジを用いてガスバッグ (500ml容) に200mlガスを採取した。チャンバーの設置状況を図-4に、採取時期を表-1に示す。ガスチャンバーは、採取作業の都度設置し、作業後撤去した。採取したガスのCH₄、N₂O、CO₂成分をガスクロマトグラフィで分析し、それぞれのガスフラックスを算出した。

4. 結果および考察

(1) 秋播小麦圃場 (A, B区)

地下水位、土壌Eh、CH₄フラックス、N₂Oフラックス、CO₂フラックスの推移を図-5、図-6、図-7、図-8に示す。A区の暗渠脇、暗渠間、B区の暗渠脇、暗渠間

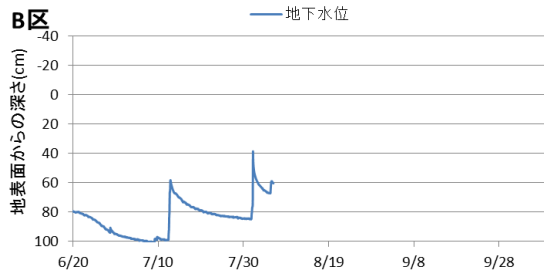


図-5 B区における地下水位の推移

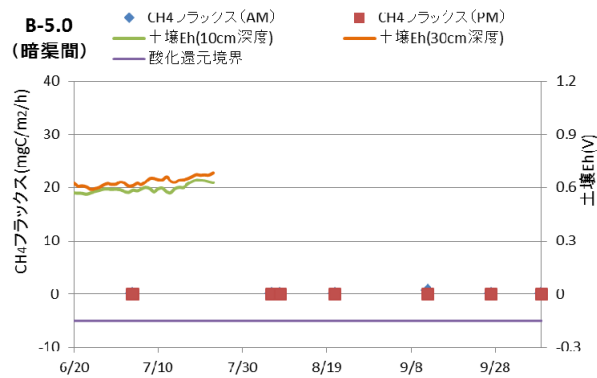


図-6 B区における土壌EhとCH₄フラックスの推移

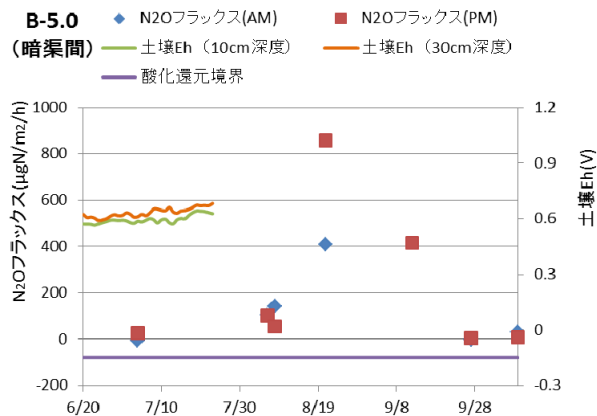


図-7 B区における土壌EhとN₂Oフラックス推移

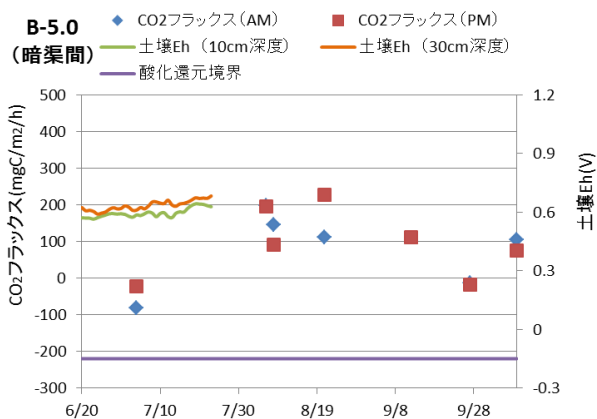


図-8 B区における土壌EhとCO₂フラックス推移

のガスフラックスは、CH₄、N₂O、CO₂いずれも同様の推移を示したのでB区の暗渠間の観測結果のみを図示する。また、午前、午後の値に大きな差異はみられなかった。

地下水位および湛水深のデータは、各試験区4箇所に埋設された自記水位計データの平均値である。

土壌Ehは、-0.15Vを酸化還元状態の境界とした（以下、酸化還元境界と称す）。酸化還元とイネの生育との関係では、根腐れが発生するような強還元が問題となり、イネの根の活性が衰えるとされる土壌Ehの-0.15Vを境界としていること¹⁾に準じた。

センサ埋設深で10cm深度、30cm深度の値に差はみられず、約0.6Vの値を示し、大きな変動がなく、常に酸化状態が示されている。

CH₄フラックスは、0 (mgC/m²/h) 付近の値で推移しており、CH₄ガスの放出は、ほぼみられない。

N₂Oフラックスは、8月下旬に高い値が示されている。

CO₂フラックスは、7月下旬の収穫以降であってもCO₂ガスの放出を示している。

(2) 水稻圃場 (C, D区)

C, D区における地下水位と湛水深、土壌Eh、CH₄フラックス、N₂Oフラックス、CO₂フラックスの推移を図-9、図-10、図-11、図-12、図-13に示す。C区の暗渠脇、暗渠間、D区の暗渠脇、暗渠間のN₂Oフラックス、CO₂フラックスは、同様の推移を示したのでC区の暗渠間のデータのみを図示する。また、ガスフラックスは、午前、午後の値に大きな差異はみられなかった。

地下水位と湛水深の推移をC区とD区で比較するとC区において低タンパク化対策を行った7月下旬から8月中旬の間に地下水位が細かく上下に推移していることが特徴的である。また、地下水位の低下に伴い湛水深も下がっており、低タンパク化対策の操作による湛水深への影響がみられた。ただし、低タンパク化対策を行っていない期間においては、地下水位と湛水深の推移でC区D区との間に大きな差異はみられない。

C区、D区の落水前後における酸化と還元の区分を表-2に示す。

C区、D区で酸化還元電位の変遷の傾向が同様である。

暗渠脇で落水前、湛水状態であっても30cm深度までの土壌は、酸化状態にある。一方で暗渠間の30cm深度は、落水後、湛水状態ではなくとも還元状態のままである。

低タンパク化対策において48時間刻みで5回繰り返した地下水位の上下は、土壌の酸化還元状態を速やかに変化させるほどの効果を発揮しなかった。また、低タンパク化対策を行っている期間のCH₄フラックスの挙動をみても地下水位の上下動に伴うCH₄フラックスの関連性は見い出せなかった。

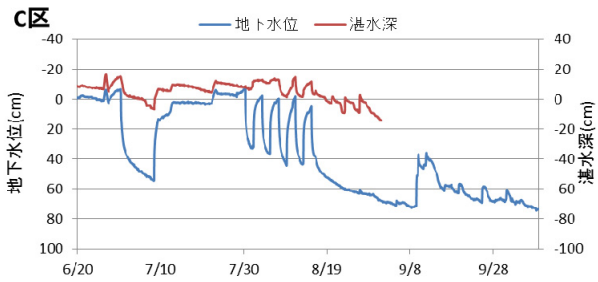


図-9 C区における地下水位と湛水深の推移

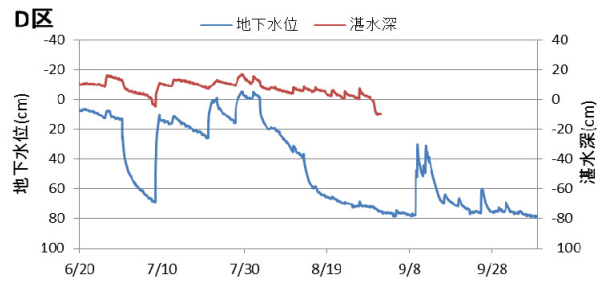


図-10 D区における地下水位と湛水深の推移

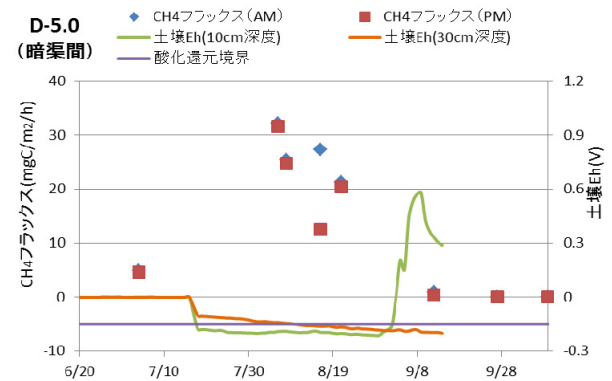
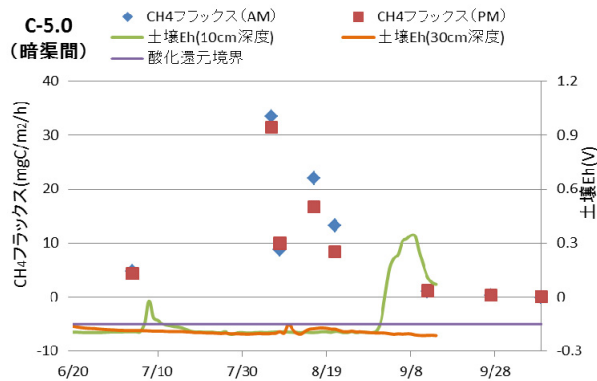
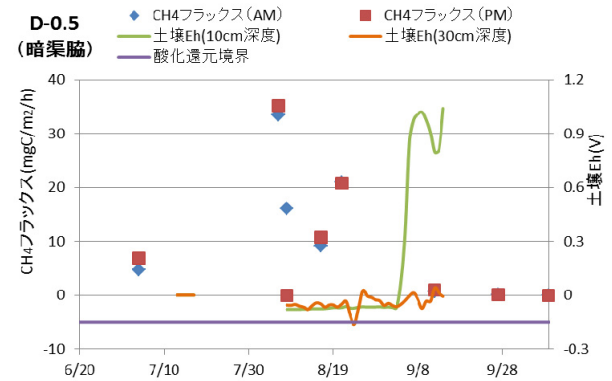
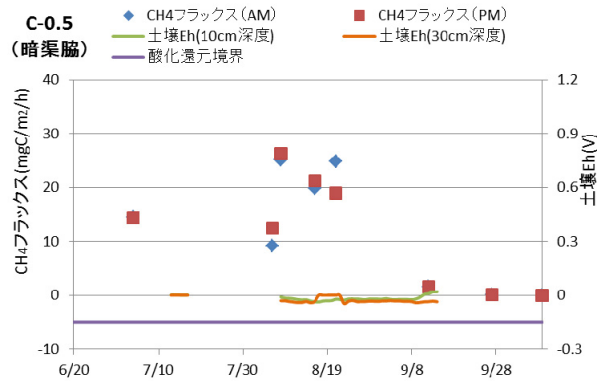


図-11 C区における土壌Eh、CH₄フラックス推移

図-12 D区における土壌Eh、CH₄フラックス推移

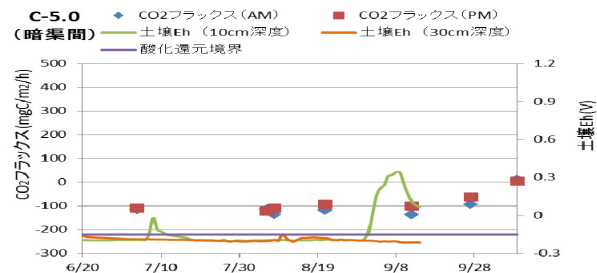
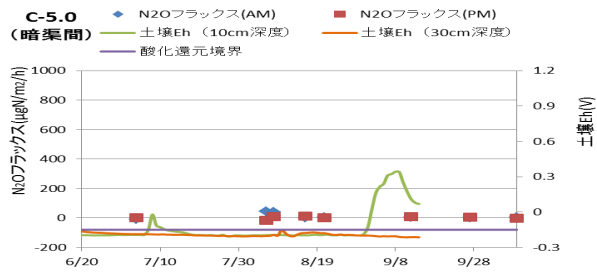


図-13 C区における土壌Eh、N₂O、CO₂フラックス推移

表-2 落水前後の酸化還元電位

	C区				D区			
	暗渠脇 0.5m		暗渠間 5.0m		暗渠脇 0.5m		暗渠間 5.0m	
	表土 10cm深	下層土 30cm深	表土 10cm深	下層土 30cm深	表土 10cm深	下層土 30cm深	表土 10cm深	下層土 30cm深
落水前	酸	酸	還	還	酸	酸	酸→還	酸→還
落水後	酸	酸	酸	還	酸	酸	酸	還

※酸化状態は「酸」、還元状態は「還」と表記する。

N₂Oフラックスは、約0 (mgC/m²/h) で推移していることが確認された。

CO₂フラックスは、概ね負の値を示している。負の値は、CO₂ガスの吸収を示している。8月下旬の落水時以降にCO₂フラックスの上昇が確認されている。収穫までの間、稲体が光合成によりチャンパー内のCO₂を吸収利用したことが考えられる。

5. おわりに

地下灌漑システムが整備された大区画水田圃場でのEhメータによる酸化還元電位の観測および土壌揮散ガスの採取と分析 (CO₂, CH₄, N₂O) 結果を示した。

- ① C区、D区において湛水状態であっても暗渠脇は、酸化状態にあった。湛水状態ではなくとも暗渠間の30cm深度は、還元状態のままであった。酸化状態であってもCH₄ガスが多く発生していた。平成24年度に埋設した土壌Ehメータの埋設深度は浅く、低タンパク化対策解明のデータ取得のために次年度以降は、30cm以深の観測を考慮した酸化還元電位調査を行う必要がある。
- ② ガスフラックスは、既往研究と同様の傾向がみられた。つまり、嫌気的環境である水田では、土壌中の

炭素が微生物により分解されることにより、CH₄ガスが多量に発生していた。稲体の光合成によりCO₂ガスが消費されていた。好気的環境である畑では、CH₄ガスの発生は、少ないが、微生物活動が活発化することにより、N₂Oガスの発生が多くなっていた。

酸化還元電位、ガスフラックスの調査の他に、土壌分析や土中水分析を現在とりまとめ中である。これらの分析結果から窒素成分の動態をより明らかとし、土壌が置かれている状態との関係で地下灌漑システムによる地下水位制御の手法を探求していく予定である。

参考文献

- 1) 農山漁村文化協会：土壌診断・生育診断大事典: 簡易診断からリアルタイム診断、生理障害、品質の診断まで、p. 117、2009.