

泥炭地大区画水田における水稲登熟期の地下灌漑操作が 地耐力と水稲生育に与える影響

清水 真理子 新津 由紀 山本 弘樹 横川 仁伸

1. はじめに

北海道の大規模水田地帯では、食料生産の体質強化のため、担い手への農地集積や農地の大区画化・汎用化が推進されている^{1) 2)}。また、北海道の大区画水田圃場では、暗渠排水施設を利用した地下水位制御システムの導入が進められている。

水田では、中干し後に土壌の過度な乾燥を防いで根の活性を高く維持する目的で、一般に間断灌漑が実施される。この間断灌漑の実施には多くの水や労力を必要とする。さらに、排水性の不良な圃場では、収穫作業に向けて地耐力確保のため、早めに落水を行う。しかし、早期の落水は、登熟期間中の水稲に水分ストレスを与えやすく、収量に悪影響を及ぼすことが知られている³⁾。そこで、地下水位制御システムを利用し水位を田面下の一定の深さで維持すると、登熟期後半まで地表から根に酸素を供給しつつ、地下から生育に必要な水を供給することが可能となる。同時に、地表面付近の土壌のみ乾燥させることで、収穫期に備えてコンバイン走行に必要な地耐力も確保することが期待できる。本研究では、水稲登熟期の水分供給と地耐力向上を両立した地下水位制御技術の検証を行った。

2. 調査地と方法

2. 1 調査地

調査は、2015年度に国営緊急農地再編整備事業にて区画整理工事が実施された北海道美唄市の美唄地区の隣接する2つの水田圃場で行った(図-1)。圃場は、1区画が長辺約170m、短辺約70mに整備され、地下水位制御システムが導入されている。暗渠管は、基本10m間隔で、0.70m~1.00mの深さにある。

2017年は、両圃場とも5月25日に水稲(ななつぼし)の苗を移植、9月26日に収穫を行った。試験圃場では、8月8日から22日までの間、水閘を田面から10cm下に設定して地下灌漑を実施し、その後は地下灌漑を停止して9月20日まで水閘の設定は-10cmで維持した。対

照圃場では、8月11日から収穫まで水閘の設定を-40cmに維持し、この期間に地下灌漑による給水は行わなかった。

2. 2 方法

降水量は、同一農区内で調査圃場から約450m離れた地点で計測した。地下灌漑取水量は、10分間隔で測定した取水柵内水位をHQ式に代入して求めた。HQ式は、同一農区内の圃場で測定した取水柵水位と、電

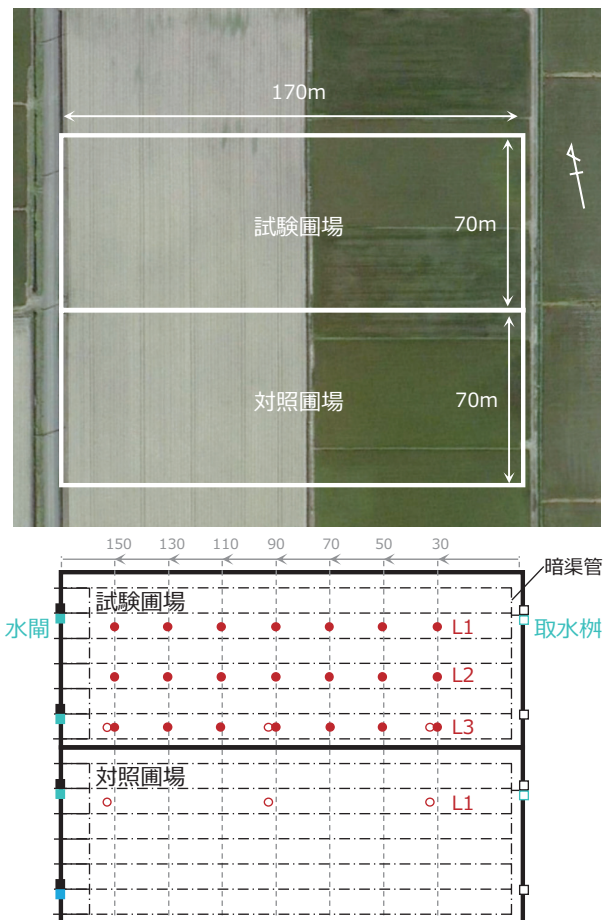


図-1 調査圃場と整備前の状況写真と観測地点位置図
(観測地点を白抜きの赤丸で示す。空間分布調査のための観測地点は赤丸で示す。)

磁流量計により測定した地下取水量の関係から作成した。

暗渠排水量は、排水口に取付けたスリット堰により2分間隔で測定した。降雨時に排水路水位が暗渠管設置標高を上回ったときはスリット堰による測定が不可能であったため、同様の水閘管理を行っていた隣接する水田圃場において測定された電磁流量計による排水量と同じであると仮定した。

地下水位、土壤水分、水稻出液速度、収量、土壤物化学性の調査は、各圃場、暗渠から5m離れた3地点（取水柵から長辺方向に30、90、130m離れた地点）で行った（図-1）。地下水位は、90cm深に設置したテンシオメータにより、土壤水分ポテンシャルは、15cm深に設置したテンシオメータにより30分間隔で測定した。昼間は、気温の急激な変動等によりテンシオメータの圧力センサーの出力値が安定しないため、夜間の21時から3時にかけて測定した値の平均を用いた。試験圃場の3地点では、有孔塩ビ管に格納して埋設した絶対圧式水位計によっても水位を測定した。テンシオメータにより測定した水位の関係を図-2に示す。両者には強い正の相関（ $r=0.96$ 、 $p<0.01$ ）があり、おおよそ1:1にプロットされることを確認した。

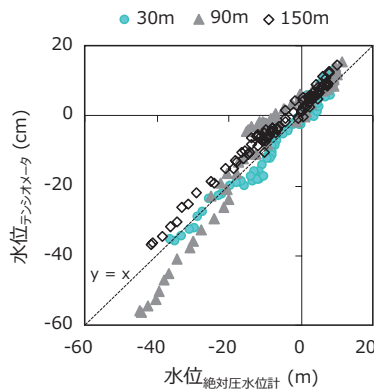


図-2 絶対圧式水位計およびテンシオメータにより測定した水位の関係

試験圃場では、地下水位の空間分布を把握するため、暗渠から5m離れた3ラインについて7地点ずつ計21地点でもテンシオメータにより地下水位を計測した（図-1）。

水稻出液速度は、8月31日に各地点平均的な2株を選び測定した。収量は、1m四方で刈取り調査を行った。土壤は、泥炭の上までを3層で採取し、乾燥密度、三相分布、飽和透水係数、全炭素含有量、可給態窒素含有量を測定した。

地耐力は、9月8日に各圃場暗渠から5m離れた21地点で、デジタル貫入式土壤硬度計により測定した。

3. 結果と考察

3. 1では、試験圃場において平面的に一定の地下水位に操作できるかを確認するため、地下水位の空間分布を調査した。3. 2では、試験圃場と対照圃場を比較し、登熟期間における経時的な地下水位変動と、水稻生育および地耐力への影響を検討した。

3. 1 試験圃場における地下水位の空間分布

試験圃場における地下水位の空間分布を図-3に示す。登熟期地下灌漑実施前である8月5日の地下水位の平均と標準偏差は、 -17 ± 11 cmで、90m付近で地下水位が $-38 \sim -36$ cmと最も低下していた。地下水位は、地下灌漑実施後（8月8日）には -7 ± 4 cmで維持され、8月12日の32mmの降雨後も -7 ± 5 cmであった。

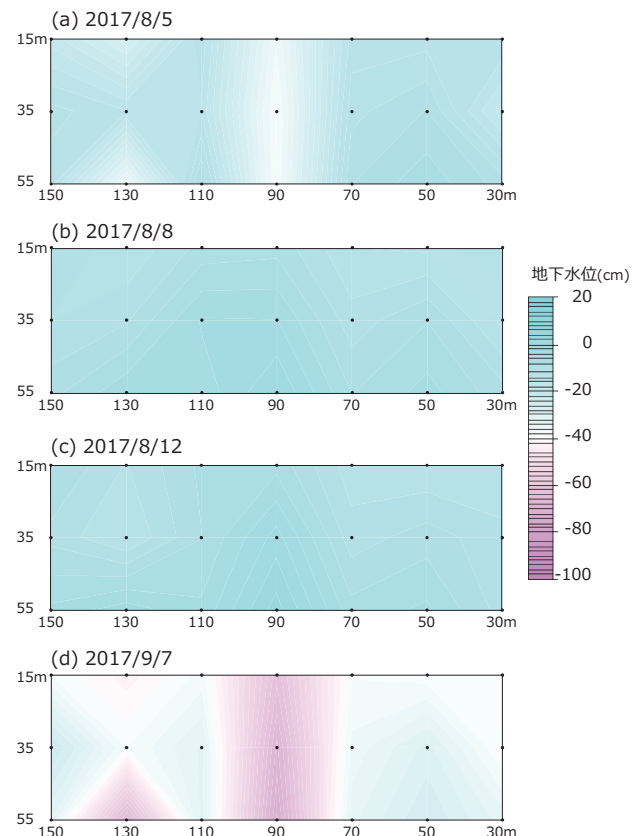


図-3 試験圃場における地下水位の空間分布（登熟期地下灌漑前8月5日（a）、地下灌漑後8月8日（b）、降雨後8月12日（c）、地下灌漑後9月7日（d）。黒丸は観測地点を示す。）

地下灌漑取水を停止して16日後の9月7日には、水閘の設定は-10cmであったが、地下水位は -41 ± 14 cmまで低下し、特に90m付近では $-63 \sim -72$ cmであった。このことから、試験圃場の地下水位は、地下灌漑取水を行っていないときの低下速度にばらつきはあるものの、地下灌漑実施時には設定水位にムラなく維持できることがわかった。

9月7日の土壌水分ポテンシャルを地下水位と比較すると、明らかな関係は認められなかった（図-4）。17地点の地下水位は $-43 \sim -23$ cmであったが、それらの地点の土壌水分ポテンシャルは $-446 \sim -67$ cmでばらついた。浸潤は不均一に生じ、団粒が粗大・緻密でその内部の透水性が悪い土層の場合、その水分分布は不均一になりやすいことが指摘されている⁴⁾。水田作土では、通常、乾燥に伴って表面に亀裂が生成し、水みちが生じるため⁵⁾、地下水位に明らかな差がなくても、作土の土層内部の土壌水分ポテンシャルにばらつきが生じたと考えられる。

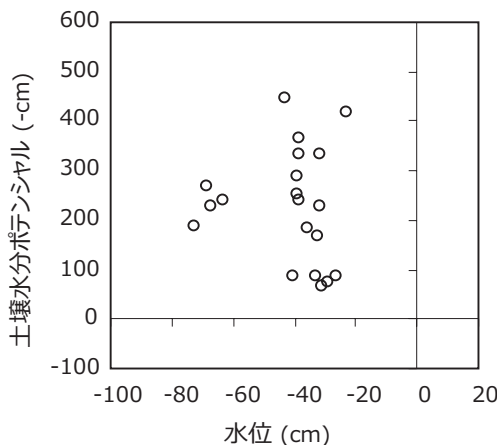


図-4 試験圃場における9月7日の地下水位と土壌水分ポテンシャルの関係

Ap1層、Ap2層、Ap3層の乾燥密度は、それぞれ 1.04 ± 0.06 、 1.06 ± 0.06 、 0.96 ± 0.12 Mg/m^3 とAp3層で最も小さかった。また、乾燥密度は固相率と強い正の相関を示した ($r = 0.96$ 、 $p < 0.01$)。飽和透水係数は、 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ m/secであった。全炭素含有率は、Ap1層、Ap2層、Ap3層それぞれ 35.0 ± 7.2 、 41.4 ± 7.0 、 55.3 ± 10.1 g/kgで、Ap3層では乾燥密度と全炭素含有率に負の相関 ($r = -0.46$ 、 $p < 0.05$) を示した。Ap3層の下は泥炭が存在するため、泥炭の混入が多い地点で乾燥密度が小さく、全炭素含有率が大きかったと考えられる。9月7日の地下水位は、Ap3層の全炭素含有率と正の相関を示した ($r = -0.73$ 、 $p < 0.01$)（図-

5）。試験圃場の90m付近は、整備前に畦畔が存在し、給水側と排水側で土地利用も異なっていた（図-1）。営農や整備によって90m付近のAp3層で泥炭の混入が多く、地下水位の低下速度が大きいと考えられた。また、90m付近では短辺方向と平行に整備前の弾丸暗渠等による水みちが存在する可能性も考えられる。

表-1 試験圃場における土壌特性
(括弧内は標準偏差を示す (n=21))

層位	深度 (cm)	乾燥密度 (Mg/m^3)	飽和透水係数 (log m/s)	全炭素含有率 (g/kg)
Ap1	0-10	1.04 (0.06)	-5.8 (1.8)	35.0 (7.2)
Ap2	10-20	1.06 (0.05)	-6.6 (0.9)	41.4 (7.0)
Ap3	20-49	0.96 (0.12)	-6.7 (0.8)	55.3 (10.1)

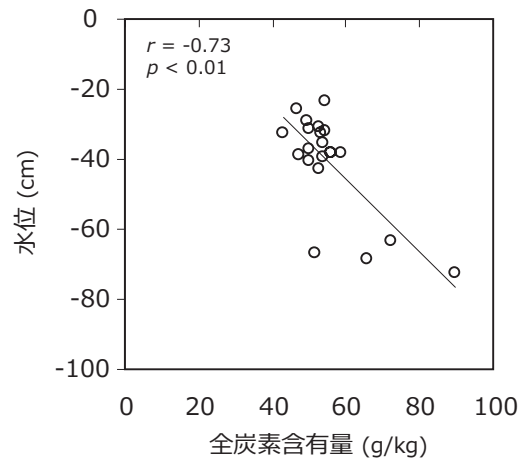


図-5 試験圃場における9月7日の地下水位とAp3層の全炭素含有率との関係

3. 2 登熟期の地下灌漑操作が地耐力と水稻生育に与える影響

試験圃場と対照圃場における営農期間の地下水位と土壌水分の経時変化を図-6に示す。登熟期地下灌漑を開始した8月8日以降、試験圃場では地下水位は-10cm付近で維持された。一方、対照圃場の地下水位は緩やかに低下し、8月27日には-30cmを下回った。試験圃場の地下水位は、給水停止後で降雨もなかった8月29日以降に緩やかに低下し、9月10日には対象圃場と同程度となった。試験圃場における登熟期地下灌漑期間の降水量、取水量、暗渠排水量はそれぞれ45、63、63mmであった。

登熟期地下灌漑実施期間の土壌水分は、圃場間で差は認められなかったが、9月5日以降の土壌水分ポテン

シャルは対照圃場で試験圃場よりも大きく推移した。しかし、地点間のばらつきも大きく、明らかな差は認められなかった。

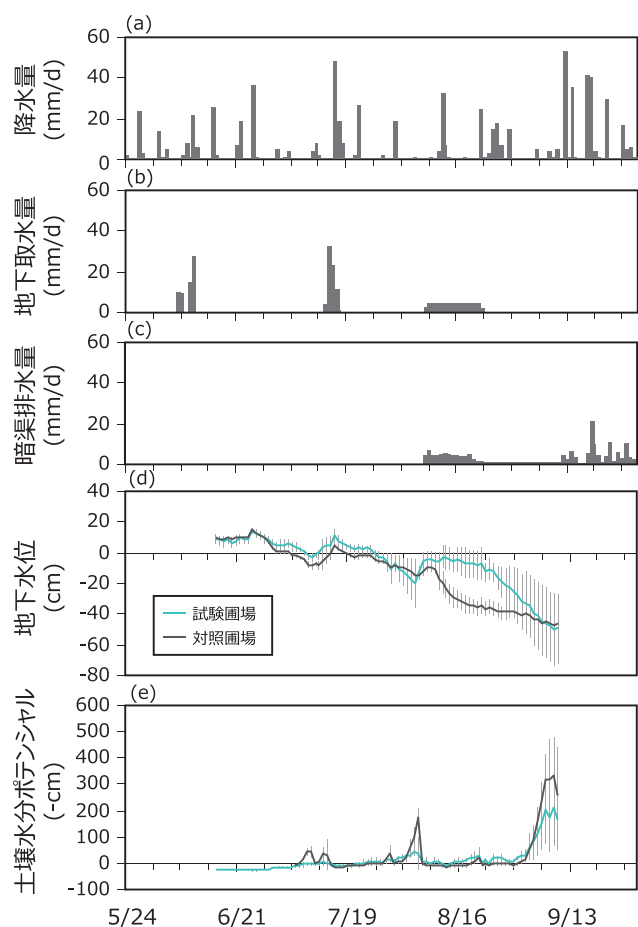


図-6 営農期間における降水量 (a)、試験圃場の地下灌漑取水量 (b)、試験圃場の暗渠排水量 (c)、地下水位 (d)、土壌水分ポテンシャル (e) の経時変化

9月8日の0-15cmの平均地耐力は、圃場間で有意な差はなく、コンバイン走行に必要とされる地耐力(0.25 MPa以上⁶⁾)を確保していた(表-2)。

水稻根活性となる出液速度は、試験圃場で対照圃場よりも有意に大きい値であったが、水稻の精玄米重およびタンパク含有率に差は認められなかった(表-2)。秋田県の重粘土大区画水田では、登熟期間に-15cm設定で地下灌漑を行い、7月下旬から落水した慣行水田に比べて、水稻根活性が高く、胴割れ粒、乳白粒の発生率が有意に低下したことが報告されている³⁾。本研究では、試験圃場と対照圃場で玄米の等級に差はなかった。本研究では、登熟期地下灌漑を行った8月中旬から下旬には、12~13日に39mmの降雨、22~29日には合計83mmの降雨があった。圃場間で水稻根活性

には差が生じたが、品質には差がなかった要因として、8月後半の地下水位は試験区で対照区より高く維持されていたが、作土の土壌水分には差がなく、水稻根活性に差が生じる期間が短かったことが考えられる。

表-2 地耐力、水稻根活性、収量、タンパク含有率および土壌の可給態窒素含有量

(地耐力は、0-15cmの平均値を示す。タンパク含有率は、水分15%換算で示す。括弧内は標準偏差を示し、*は検定で圃場間に有意な差があることを示す ($p < 0.05$)。)

項目	対照圃場	試験圃場	
地耐力(kPa)	641 (183)	706 (235)	n.s.
出液速度(mg/h/茎)	38.9 (9.7)	61.2 (24.8)	*
精玄米重(kg/10a)	616 (103)	629 (72)	n.s.
タンパク含有率(%)	7.6 (0.3)	7.8 (0.7)	n.s.
可給態窒素 (mg/kg)			
Ap1層	80.8 (9.4)	83.7 (12.6)	n.s.
Ap2層	135.6 (16.3)	129.6 (8.8)	n.s.
Ap3層	123.6 (33.6)	128.8 (13.1)	n.s.

4. まとめ

試験圃場の地下水位の空間分布は、地下灌漑を行っていないときに低下速度にばらつきはあるものの、-10cm設定での地下灌漑実施時には、 -7 ± 4 cmでムラなく維持された。

登熟期地下灌漑を行った試験圃場では、対照区より水稻根活性は大きかったが、0-15cmの地耐力には差は認められず、コンバイン走行可能な地耐力を上回った。

以上のことから、水稻への水分供給と収穫期に必要な地耐力の確保は両立できると考えられた。今後、継続的に調査を行い、天候の異なる年のデータを収集する。

参考文献

- 1) 国土交通省：北海道総合開発計画、2016年
- 2) 農林水産省：土地改良長期計画、2016年
- 3) 金田吉弘・谷野弘和・高階史章・佐藤孝・保田謙太郎：重粘土大区画水田における地下灌漑システムFOEASが高温登熟条件下における水稻収量および外観品質に及ぼす影響、日本土壌肥料学雑誌第89巻(3)、pp.197-203、2018。

- 4) 波多野隆介・佐久間敏雄・岡島秀夫：メチレンブルートレーサー法による水みちの分布状態、日本土壤肥科学雑誌第54巻（6）、pp.490-498、1983.
- 5) 金田吉弘・高橋大悟・佐藤孝：重粘土水田におけ

る亀裂生成が水稻の水分吸収および収量・品質に及ぼす影響、日本土壤肥科学雑誌第79巻（5）、pp.454-460、2008.

- 6) 北海道農政部：北海道施肥ガイド、2015.



清水 真理子
SHIMIZU Mariko

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
研究員
博士(農学)



新津 由紀
NIITSU Yuki

札幌開発建設部
農業計画課
農業開発専門官
(前 寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
研究員)



山本 弘樹
YAMAMOTO Hiroki

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
主任研究員



横川 仁伸
YOKOKAWA Hironobu

寒地土木研究所
寒地農業基盤研究グループ
資源保全チーム
上席研究員