

大区画水田圃場における地下水位制御システムの 高度利用に関する研究

—土地利用と冬期の水位管理が泥炭沈下に及ぼす影響—

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 資源保全チーム ○長竹 新
清水 真理子
中山 博敬

泥炭農地の沈下を抑制するためには、圃場の水位を下げすぎないことが重要である。本研究では美唄の大区画の水田と転作田のそれぞれに、地下水位制御システムを利用し冬期の水位を高く保持する試験圃場と自然排水する対照圃場を設け、沈下量と深度別の層厚変化の観測を行った。圃場の沈下は水田が転作田よりも小さかった。転作田では、対照圃場と試験圃場で冬期の沈下量と土層厚の変化に差がなかった。水田では、試験圃場は対照圃場と比べて冬期に-60 cmまでの泥炭の縮みが緩和された可能性が示唆された。なお、水位制御の効果を検証する際には、泥炭性状の違いによる泥炭の縮み方への影響を考慮する必要がある。

キーワード：大区画泥炭圃場、泥炭沈下、地下水位制御

1. はじめに

泥炭地域の農地では地下水位の低下がきっかけとなり圃場の沈下が生じることが多い。これらの原因として、水位低下直後では、新しく地下水位よりも上に出た土層に働いていた浮力が失われ、地下水面よりも下の泥炭にかかる荷重が増加することで生じる泥炭土層の圧密があげられる。また、長期的には、地下水面よりも上の泥炭の乾燥による収縮や、微生物活動による泥炭有機物の分解・消失等が挙げられる。このため、圃場の沈下抑制のためには圃場の地下水位を下げすぎないことが重要であり、実際の沈下抑制手法の例として、泥炭地の採草地では排水路内水面の堰上げによる地下水位の低下の抑制¹⁾が提案されている。

北海道の泥炭水田地帯では国営農地再編整備事業等による圃場の大区画化と地下水位制御システムの導入が進められている。このような圃場では、地下水位制御システムを利用し、営農に支障の生じない程度に水位を高く設定することや、営農作業が行われない冬の間、圃場内の水位を高く保つことによって沈下を緩和できる可能性がある。資源保全チームでは、基盤に泥炭層を持つ、大区画化された水田と転作田の沈下量調査、および冬期の地下水位制御による沈下への影響調査を継続的に行っている。調査1年目の結果については既報²⁾³⁾で報告した。本報では、これらの続報として2年半継続して調査を行った結果について述べる。

2. 方法

(1) 調査地の概要

調査は北海道美唄市に位置する4筆の大区画圃場で2017年4月から2019年10月にかけて行った。これらの圃場は2015年に国営農地再編整備事業で整備された。整備は、表土(鉦質土)はぎの後に基盤層(泥炭土)を均平化し、表土戻しと客土を行う工程で実施された。調査圃場の利用形態は水田2圃場、転作田2圃場であり、それぞれに、後述する冬期の地下水位制御の違いにより、試験圃場と対照圃場を設定した(図-1(a))。1圃場の面積は約1.2 ha(約170 m×約70 m)である。調査圃場には集中管理孔が整備されており、取水側から排水側へ0.2%の下り勾配の暗渠が10 m間隔で配置されている。暗渠の管底の深さは取水側で-70 cm、排水側で-100 cm程度である。

整備後から調査期間中を通して、水田では移植米が、転作田では大豆が栽培された。転作田では2019年のみ大豆の収穫前に小麦を播種する間作が行われた。

各圃場の用水路側の法尻から長辺方向に30、90、150 mの位置に、それぞれ短辺方向に20 m間隔で3点ずつ観測点を配置し(図-1(b))、後述の沈下量調査と地下水位調査、土壌断面調査を行った。

(2) 調査地の土壌

調査圃場の鉦質土層の厚さは、各圃場の観測点9地点

の平均で31.1～39.6 cmである。鉾質土層由来の荷重は、4.27～5.04 kN m⁻²であり（表-1）、圃場間に有意な差はなかった。鉾質土層の下は厚さが約6 mの泥炭層である。圃場面から1 m以内に現れる泥炭は、ハンノキ、ヨシ、ヌマガヤを主な構成植物とする低位泥炭である。

後述の沈下板設置時に、圃場面から-80 cmまでと-80～-100 cmの泥炭を採取した。-80～-100 cmの泥炭には-80 cmまでの泥炭よりも河川由来と思われる土砂が多く混入し、強熱減量が小さくなる傾向があった（表-2）。また、-80 cmまでの泥炭の強熱減量は、水田試験圃場の方が水田対照圃場よりも低かった。

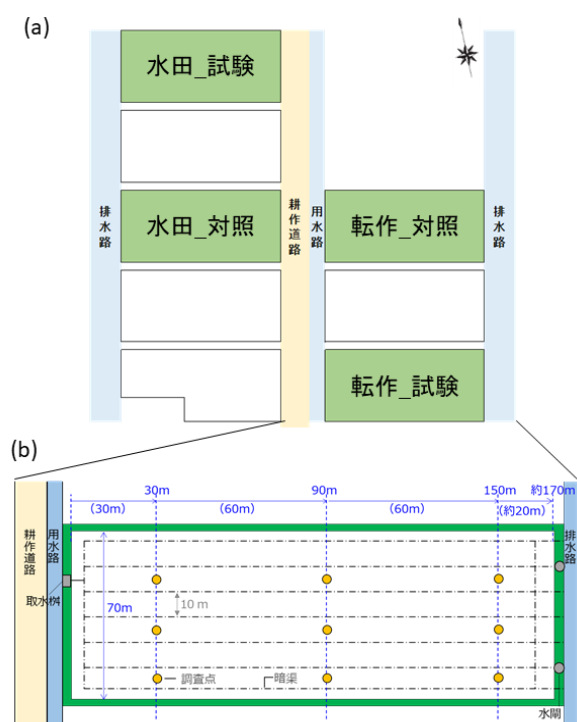


図-1 (a)調査圃場の配置と(b)調査圃場内の観測点の配置

表-1 調査圃場の表土（鉾質土）の層厚と荷重（各圃場 n=9）

圃場	鉾質土の 層厚(cm)	鉾質土由来の荷重 (絶乾土換算) (kN m ⁻²)
転作田対照	31.1 ±4.2	4.50 ±1.16
転作田試験	37.6 ±5.5	4.27 ±0.79
水田対照	32.1 ±5.5	4.48 ±0.82
水田試験	39.6 ±5.7	5.04 ±0.50

表-2 調査圃場の泥炭の強熱減量（各圃場 n=9）

圃場	強熱減量 (泥炭層上端～-80 cm) (gg ⁻¹)	強熱減量 (-80 cm～-100 cm) (gg ⁻¹)
転作田対照	0.50 ±0.10	0.42 ±0.15
転作田試験	0.52 ±0.10	0.41 ±0.05
水田対照	0.57 ±0.15	0.43 ±0.08
水田試験	0.46 ±0.15	0.47 ±0.18

(3) 冬期の地下水位制御

転作田、水田の試験圃場では冬の間、水位調整型水閘を閉じ、地下水位を高く維持するようにした。具体的には、水閘内水位が、転作田では圃場面から-55 cm、水田試験圃場では圃場面から-40 cm よりも高くなると排水されるようにした。この水閘の設定を、転作田試験圃場では2017年11月18日から2018年3月30日までと2018年11月26日から2019年3月26日までの間、水田試験圃場では2017年11月16日から2018年4月10日までと2018年11月26日から2019年4月11日までの間続けた。上記の期間、対照圃場では常に水閘を開放し、自然排水を行った。試験圃場と対照圃場における冬期の地下水位制御以外の営農作業や肥培管理は、営農者の協力を得て可能な限り同様とした。なお、冬期の水供給は降雨や融雪からのみであり、用水路からの取水はなかった。

(4) 沈下量調査

沈下量の調査は圃場面標高と泥炭層内の2深度(転作田：-50 cmと-80 cm、水田：-60 cmと-80 cm)に設置した沈下板の標高を半年ごとに測定することで行った。本報では、測量日を境として、4月から10月間を夏期、10月から4月間を冬期と呼ぶこととする。

使用した沈下板は300 mm × 300 mm × 8 mmの塩化ビニル製の板で、一边を鋭角に処理した。調査開始前に各観測点に小坑を掘削し、攪乱されていない断面に沈下板を水平にゆっくり差し込んで設置した。この時、沈下板の鋭角に処理した辺から差し込み、沈下板周辺の泥炭を乱さないようにした。沈下板の標高は、地表からゾンデ（長さ1 mで先の尖った棒）を垂直に差し、その頂部の標高を計測することで求めた。圃場表面と浅い沈下板の間、浅い沈下板と深い沈下板の間のそれぞれの標高差を土層厚とした。また、初期層厚に対して層厚が変化した場合を層厚変化率とした。

なお、圃場面標高と沈下板標高の測定における基準点は、基礎杭が地中深くまで達し標高変動の生じにくい構造物上に設定した。

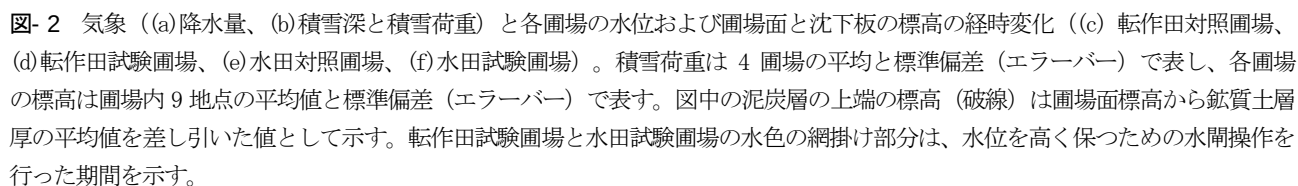
(5) 地下水位

圃場内9地点の観測点に圧力式水位計を設置し、30分間隔で地下水面標高を測定した。測定値はバロメーターで測定した大気圧で補正した。水位計は、側孔の空いた、長さが100 cmの塩化ビニルケース内にワイヤーで吊るして収納し埋設した。塩化ビニルケースの天端の位置は、耕うんの支障にならないように、圃場面から約-60 cmとした。埋設時と回収時に、水位計の埋設標高と埋設地点の圃場面標高を測量し、地下水位の算出に用いた。

(6) 積雪荷重・積雪深

積雪荷重は、各圃場の中央部付近で、スノーサンプラーを用いて12月から3月まで月に1回の頻度で測定した。

設置し、1時間間隔で11月中旬から翌年3月中旬まで測定した。



3. 結果

(1) 積雪深・積雪荷重

積雪深、積雪荷重ともに2月から3月の間に最大となる（図-2(a)）。2017年～2018年の冬では最大積雪深が199 cm、最大積雪荷重が 4.25 kN m^{-2} であり、2018年～2019年の冬では最大積雪深が138 cm、最大積雪荷重が 3.81 kN m^{-2} だった。

(2) 地下水位

地下水位の経時的な変動は転作田と水田で異なった。また、それぞれの対照圃場と試験圃場では、夏期の間の地下水位変動に大きな違いはなかったが、冬期の水位制御期間では、試験圃場の地下水位は対照圃場の地下水位よりも継続的に高く保たれた（図-2）。

転作田の地下水位は、試験圃場において冬期の水開操作を行った期間を除いて、おおむね浅い沈下板（-50 cm）と深い沈下板（-80 cm）との間で変動した。転作田試験圃場では冬期の水位制御期間の地下水位が常に浅い沈下板より高い位置で維持された。

水田の地下水位は、夏期は対照圃場、試験圃場ともに主に鉾質土層内で変動した。冬期は対照圃場では経時的に地下水位が低下したのに対し、試験圃場では冬期の水位制御期間の地下水位が鉾質土層内に維持された。

(3) 圃場面と沈下板の標高変化

圃場面と沈下板は、地下水位の季節的な上下動と同調し、経時的に上下しながら、調査期間全体では沈下した。特に、2018年4月までは転作田、水田ともに沈下の傾向が明瞭であった（図-3）。

圃場面の沈下量は転作田と水田との間で差がない、もしくは転作田の方が沈下が大きい場合があった。また、それぞれの土地利用内での対照圃場と試験圃場の間では、沈下量に有意差はなかった（図-3(b)）。観測開始から2年半での土地利用ごとの積算沈下量（平均±標準偏差）は転作田と水田でそれぞれ 5.8 ± 2.2 、 $2.6 \pm 2.2 \text{ cm}$ だった。

沈下板は、浅い沈下板、深い沈下板ともに水田よりも転作田の方が沈下量が有意に大きかったが、それぞれの土地利用内での対照圃場と試験圃場の間に沈下量の有意差はなかった（図-3(c) (d)）。観測開始から2年半での土地利用ごとの積算沈下量（平均±標準偏差）は、浅い沈下板では転作田と水田でそれぞれ $4.2 \pm 1.2 \text{ cm}$ と $2.2 \pm 0.7 \text{ cm}$ 、深い沈下板では転作田と水田でそれぞれ $3.5 \pm 0.9 \text{ cm}$ と $1.7 \pm 0.7 \text{ cm}$ だった。

(4) 土層厚の変化

圃場面と浅い沈下板の間の層厚の経時変化は、転作田と水田で異なった（図-4(a)）。転作田では、土壌の耕うんによる土壌の膨軟化とその後の圧縮を反映し、土層が

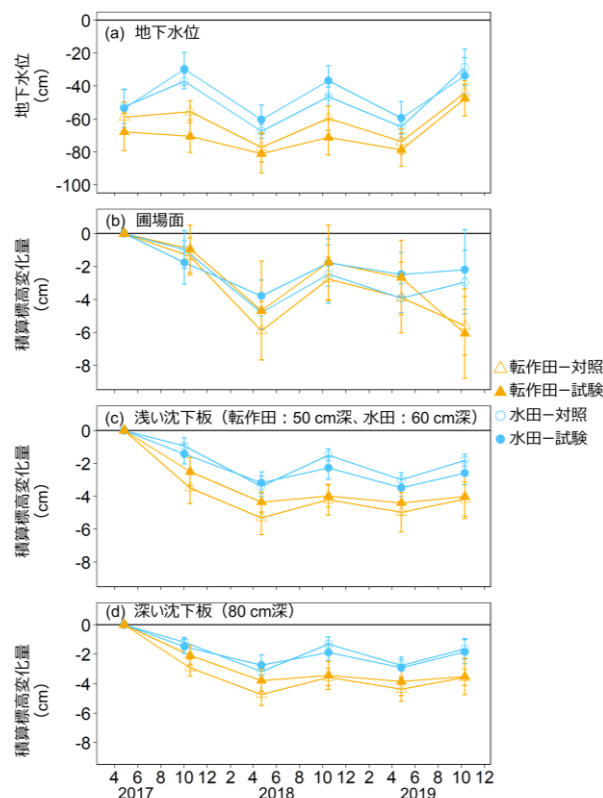


図-3 (a)測量を行った日の圃場ごとの平均地下水位、(b)圃場面の積算標高変化量、(c)浅い沈下板の積算標高変化量、(d)深い沈下板の積算標高変化量。それぞれ各圃場9地点で、エラーバーは標準偏差を示す。

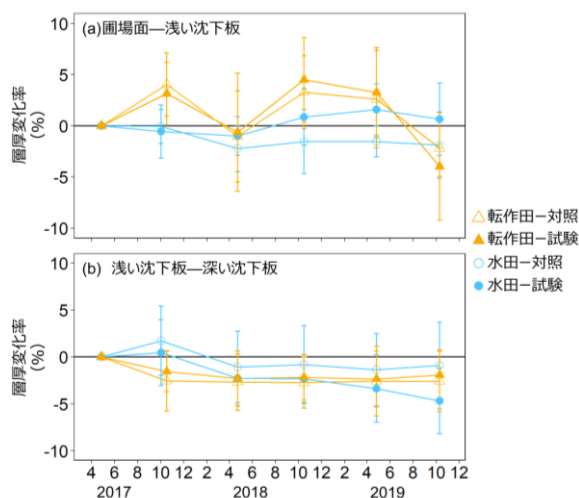


図-4 (a)圃場面と浅い沈下板の間の層の積算層厚変化率、(b)浅い沈下板と深い沈下板の間の層の積算層厚変化率。それぞれ各圃場9地点で、エラーバーは標準偏差を示す。

厚くなったり縮んだりを繰り返していた。転作田の対照圃場と試験圃場との間に層厚の変化の違いはなかった。水田では対照圃場、試験圃場ともに2017年4月から2017年10月にかけて層厚の変化は明瞭ではなかったが、2017年10月から2018年4月にかけて層厚が減少した。この層

厚の減少は、有意ではないが対照圃場 ($-2.1 \pm 2.2\%$) が試験圃場 ($-0.4 \pm 2.4\%$) よりも大きい傾向であった。2018年4月以降、対照圃場では層厚の変化はほとんど見られなかったが、試験圃場では緩やかに土層が厚くなる傾向が見られた。

浅い沈下板と深い沈下板の間の土層は、転作田と水田で土層の縮みが生じる時期が異なった。転作田では、2017年4月から2017年10月にかけて対照圃場で $2.5 \pm 3.2\%$ 、試験圃場で $1.5 \pm 2.2\%$ 土層が縮んだ。それ以降では層厚の変化は明瞭でなかった。水田では2017年10月から2018年4月にかけて対照圃場で $2.8 \pm 1.5\%$ 、試験圃場 $2.6 \pm 4.1\%$ 土層が縮んだ。それ以降では、対照圃場では土層の縮みはほとんど見られなかったが、試験圃場では緩やかに土層が縮む傾向が見られた。

4. 考察

調査圃場の沈下は、転作田、水田ともに2018年4月ころまでは続いていたが、その後は沈下の傾向が不明瞭であった。圃場の沈下速度は整備直後に大きく、その後徐々に小さくなるのが経験的によく知られている。例えば、浜頓別の二次造成草地では、整備から2年目までは沈下が進行し、それ以降、有意な沈下が見られなかったことが報告されている⁴⁾。2015年に整備された本調査圃場においても、整備から2年～2年半程度で、整備直後に見られる沈下の進行がおおむね収束したと考えられる。また、2018年4月以降では、圃場の地下水位や積雪荷重が、整備後から2018年4月までの最低水位や最大積雪荷重の履歴を超えないため、圧縮や一次圧密による短期間での大きな沈下が生じにくかったと考えられる。2018年4月までの深い沈下板の沈下量と水位との関係については既報²⁹⁾で触れた。本報では、層厚変化の土地利用間差と冬期の地下水位制御の影響についての検討を加える。この際、転作田の圃場面と浅い沈下板の間の層厚については、耕うんの影響を強く受けていると考えられるため外した。

(1) 土層厚の変化に対する土地利用の影響

観測開始から2018年4月までの間、転作田と水田とで層厚が減少するタイミングが異なった。転作田では夏期に浅い沈下板と深い沈下板の間の層厚が減少した。水田では冬期に圃場面と浅い沈下板の間の層厚、および浅い沈下板と深い沈下板の間の層厚が減少した。転作田の地下水位は浅い沈下板と深い沈下板の間で変動するのに対し、水田の地下水位は夏期は鉦質土層内にあり、冬期に入ってから泥炭層内へと低下する。転作田、水田ともに、それぞれの圃場内で相対的に地下水位が低い時期に層厚の減少が生じているならば、転作田と水田での季節的な地下水位変動の違いが、両者の層厚が減少するタイミン

グの違いに影響していると考えられる。今回の観測結果から、転作田と水田で層厚が減少するタイミングが異なることが明らかになったが、層厚変化率に対する転作田と水田の違いは明らかではなかった。転作田と水田の地下水位の違いは、泥炭の圧縮や一次圧密などによる短期的な沈下だけでなく、乾燥収縮や分解、二次圧密等による長期的な沈下にも影響しうる。このような長期的な影響の評価のためには、さらに継続的な調査が必要である。

(2) 層厚変化に対する水位制御の影響

圃場面と浅い沈下板の間の層厚変化に着目すると、2017年10月から2018年4月にかけて、水田試験圃場は、水田対照圃場よりも有意ではないが土層の縮みが小さい傾向であった。この層は整備後の排水履歴を多く受けていないと考えられる。対照圃場ではこの層は冬期に地下水位よりも上にあった。これに対し、試験圃場ではこの層は地下水面下に保たれていた。このため、排水をきっかけにして生じる泥炭の圧縮や、乾燥収縮などが試験圃場では緩和された可能性がある。

水田の対照圃場と試験圃場とでの圃場面と浅い沈下板の間の層厚変化の差は、夏期においても広がることもあり、冬期の水位制御による沈下緩和効果以外の影響も受けている可能性がある。例えば、水田試験圃場では対照圃場よりも泥炭の強熱減量が低い傾向にあり (表-2)、泥炭の強熱減量と冬期における圃場面と浅い沈下板との間の層厚変化率との間には弱い負の関係がみられた (図-5)。このことは、強熱減量が大きく、有機物を多く含む水田対照圃場の方が、水田試験圃場よりも水位低下時の圧縮に対して弱いという性質をもともと持っていたことも考えられる。このような泥炭性状の違いによる排水時の泥炭の収縮性の違いは飯山ら⁹⁾でも指摘されており、今後、異なる泥炭における水位制御の効果を明らかにしていくうえで、その泥炭の性状による水位制御の効果の現れ方の違いなどについても十分考慮する必要がある。

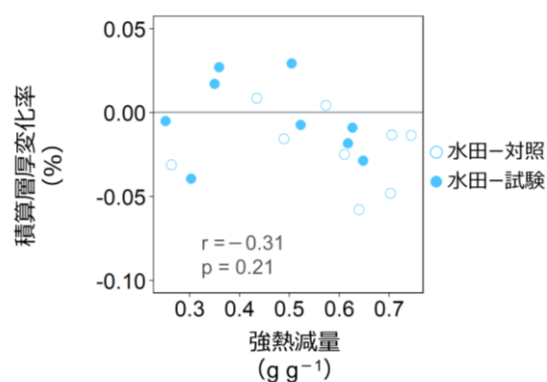


図-5 水田における2017年10月から2018年4月にかけての圃場面と浅い沈下板の間の層厚変化と泥炭（泥炭の上端～80 cm 深）の強熱減量との関係

5. まとめ

美唄地域の大区画泥炭圃場において、圃場の沈下は大区画化の整備から2年～2年半程度まで明瞭であり、その後は整備直後に見られる沈下はおおむね収束したことが分かった。また、この時の沈下量は、圃場を水田利用した場合の方が転作田利用した場合よりも小さかった。

冬期に地下水位を高く保つ管理について、転作田では、対照圃場と試験圃場で冬期の沈下量と土層厚の変化に差がなかった。水田では、試験圃場は対照圃場と比べて冬期に-60 cm までの泥炭の縮みが緩和された可能性が示唆された。ただし、この結果は、水位制御のみでなく調査圃場間での泥炭性状違いの影響を含んでいる可能性がある。今後、他の泥炭において水位制御による沈下抑制効果を検証する際にも、泥炭性状の影響について十分考慮が必要である。

謝辞：本研究の実施にあたり、現地調査や資料提供にご協力いただいた関係農家、北海道開発局札幌開発建設部

岩見沢農業事務所の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 岡村裕紀・中山博敬・大久保天：排水路堰上げによる泥炭農地の地下水位変動について—小雨時における動向—, 第52回北海道開発技術研究発表会, 技-30, 2009.
- 2) 長竹新・新津由紀・清水真理子・中山博敬：大区画泥炭圃場における沈下実態—調査1年目夏期の結果, 寒地土木研究所月報, 788, pp.39～44, 2018.
- 3) 長竹新・新津由紀・清水真理子：大区画水田圃場における地下水位制御システムの高度利用に関する研究—大区画泥炭圃場における不同沈下の実態—, 第62回北海道開発技術研究発表会, S4, 2018.
- 4) 小野寺康浩・石渡輝夫・橋本諭：二次造成草地における地盤変動の経年変化, 寒地土木研究所月報, 638, pp.10-16, 2006.
- 5) 飯山一平・宮崎毅・中野政氏・井本博美：地下水位変動に伴う泥炭土の収縮・膨張について, 農業土木学会論文集, 205, pp.1-11, 2000.