

# 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—

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  
北海道開発局 札幌開発建設部 農業計画課 新津 由紀  
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 清水 真理子

大区画泥炭圃場では、地下水位の面的なばらつきにより、不同沈下が生じる可能性がある。その実態解明のため、美唄地区の大区画化後1年が経過した水田と転作田、それぞれ2圃場で、地表の標高と土層内に設置した沈下板の標高、地下水位を計測した。その結果、調査圃場の沈下は、主に80 cm以深の泥炭の沈下が原因となり、生じていることがわかった。また、転作田では営農期に、水田では非営農期に、圃場の取水側よりも中央部および排水側において、80 cm以深の泥炭の沈下が大きくなる傾向が見られた。本報では、非営農期に水位調整型水閘で水位設定をした場合の結果も合わせて報告する。

キーワード：大区画泥炭圃場、不同沈下、地下水位低下

### 1. はじめに

泥炭地域の農地では圃場が沈下することがある。一筆圃場内において沈下量が面的にばらつく（不同沈下する）ことで圃場面に標高差が発生すると、転作田で圃場面に乾湿ムラが生じたり、水田で湛水深の均一な管理が難しくなったりするという問題が生じる。泥炭農地の沈下は、地下水位の低下をきっかけにして生じることが多い。水位が低下し、それまで地下水面下にあった土層に働いていた浮力が失われ、過去の荷重履歴を超える荷重がかかることで生じる泥炭土層の圧密<sup>3)</sup>や、地下水面より上の泥炭の乾燥収縮、好気的環境での微生物活動による泥炭有機物の分解消失<sup>4)</sup>などが泥炭農地の沈下の要因である。

北海道の泥炭地帯では、国営農地再編整備事業による圃場の大区画化が進められている。大区画化された圃場では、整備前の地下水位履歴の違いや、整備後の地下水位の面的なばらつきなどにより、一筆圃場内でも泥炭の圧密、乾燥収縮、分解が異なり、不同沈下が生じる可能性が考えられる。しかし、その実態は明らかではない。

泥炭農地の沈下緩和策として、例えば排水路内水面の堰上げによる地下水位の低下の抑制<sup>5)</sup>が提案されている。地下水位制御システムが整備された大区画圃場においては、営農に支障の出ない範囲で水位を高く設定することによって沈下が緩和されることが期待される。これらを踏まえ、本報では、大区画泥炭圃場の沈下の実態を明らかにすることを目的とし、一筆圃場内における沈下を、取水柵のある圃場端からの距離別（以下、面的という）

および深度別に評価する。また、地下水位制御によって不同沈下の緩和が可能かどうかを検証するため、非営農期に地下水位制御を行った圃場と行わない圃場での沈下の面的な傾向を比較する。

なお、本報の営農期における結果の一部は既報<sup>6)</sup>にて述べたものである。

### 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。圃場整備では表土（鉍質土）はぎの後に基盤層（泥炭土）が均平化され、表土戻しと客土が行われた。本調査は2017年4月から2018年4月にかけて行った。調査圃場の土地利用形態は水田2圃場、転作田2圃場で、1圃場の面積は約1.2 ha（約170 m×約70 m）である（図-1(a)）。調査圃場での表層の鉍質土の厚さは25 cm～50 cmの範囲にあり、平均で45.1 cmである。また、面積あたりの重量は平均で4.61 kN m<sup>-2</sup>（絶乾土換算）であった。表層の鉍質土より下層は泥炭土である。

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。暗渠の管底は取水側で-70 cm、排水側で-100 cm程度に位置する。

各圃場内に3本の調査ライン（L1、L2、L3）をそれぞれ暗渠間中央に位置するように設定した。また、各調

査ライン上の取水側から30、90、150mの地点に調査点を設定した(図-1(b))。なお、各調査ライン上の取水側および排水側の畦畔に目印となる杭を打ち込むことで、調査ラインの位置を復元できるようにした。

## (2) 非営農期間の水管理

水田、転作田にそれぞれ試験圃場と対照圃場を設定した(図-1(a))。試験圃場では非営農期に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、水田試験圃場では、2017年11月16日から2018年4月10日まで、水閘内水位が-40cmになるように設定した。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、水閘内水位が-55cmになるように設定した。対照圃場では非営農期の間、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非営農期の地下水位管理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、非営農期間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。

## (3) 沈下量調査

沈下量の調査を2017年4月と10月、2018年4月に実施した。沈下量調査は、調査ライン上での地表面の標高測定と、9地点の調査点での土層ごとの標高測定からなる。

### a) 地表面の標高測定

地表面の標高測定は、調査ラインL1、L2、L3に沿って行った。地表面標高の測定点は、取水側の法尻から

の距離より割り出し、その測定間隔は、取水側の法尻から5~115mにおいては10mごと、取水側の法尻から0~5mと115~170mにおいては5mごととした。非営農期間中は、地表面標高の測定地点に杭を設置し、測定地点を特定しやすくした。なお、後述する土層厚の算出と統計解析のために、各調査ライン上の取水側の法尻から0~55mを取水側、65~115mを中央部、120~170mを排水側とした。また、これ以降、各調査ライン上での取水側の法尻からの距離を、取水柵からの距離と記す。

### b) 土層ごとの標高測定

土層ごとの標高測定は、圃場内の9点の調査点に設置した沈下板で行った。使用した沈下板は300mm×300mm×8mmの塩化ビニル製の板で、水分の動きを妨げないよう穴を開けた。各調査点の地表面から50cm程度の浅い位置と80cm程度の深い位置(図-2)にそれぞれ沈下板を2枚ずつ設置した。沈下板は、攪乱されていない断面に水平にゆっくり差し込んで設置した。沈下板の標高は、地表からゾンデ(長さ1m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。なお、土層厚を求める際の圃場標高には、前述の各調査ライン上の取水側、中央部、排水側の区域ごとの平均値を用いた。例えば、図-1(b)のL1-30地点の沈下板に対応するのは、L1の取水側(取水柵から0~55m)の平均圃場標高である。

季節ごとの地表面標高と沈下板標高の測量における基準点は、調査圃場周辺で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。

## (4) 地下水位

圃場内9箇所の調査点に圧力式水位計を設置し、30分間隔で地下水面標高を計測した。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100cm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-60cmとした。埋設後の水位計の位置は、圃場面から約-150cmになる。埋設時と回収時に水位計の埋設標高と、埋設地点の地盤標高を測量し、地下水位深の算出に用いた。

## (5) データ処理

標高変化量、土層厚変化量の圃場間差と取水柵からの距離による差の解析には、2元配置分散分析とTukey法による多重比較を用いた。

なお、泥炭の沈下は、地下水位が過去の履歴より低下した際に生じやすいと考えられる。そこで、観測を開始した日を起点として最低地下水位が更新された日数を積算し、沈下量との関係を調べた。

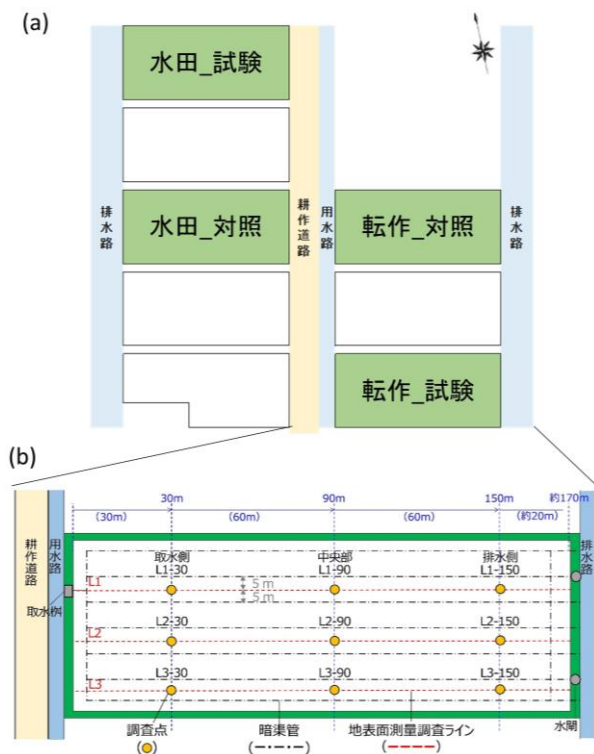


図-1 (a)調査圃場の配置と(b)調査圃場内の調査点

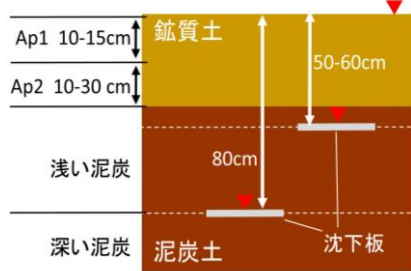


図-2 深度別沈下量計測地点の模式図

### 3. 結果

#### (1) 地下水位

営農期の地下水位は水田か転作田かによって、また非営農期の地下水位は水閘を閉じたかどうかによって、経時的な変動と平面的なばらつきに違いが見られた(図-3)。

##### a) 営農期の地下水位

水田の営農期の地下水位あるいは湛水中の水位は、取水前の最も低い水位である $-85.6\text{ cm}$ と、湛水時の最も高

い水位である $14.5\text{ cm}$ の間で変動し、湛水期間中から9月下旬まで地下水位は面的に均一に推移した。転作田の営農期の地下水位は $-92.4\sim-24.3\text{ cm}$ の間で変動し、降雨後に一時的に水位が上昇した。また、取水側よりも中央部および排水側において地下水位が低く推移していた。

##### b) 非営農期の地下水位

非営農期に水閘を開放した水田対照圃場と転作田対照圃場では、12月から3月下旬にかけて地下水位は緩やかに低下した。このとき水田対照圃場では地下水面の面的なばらつきは小さかったが、転作田対照圃場では取水側よりも中央部と排水側で地下水位が低く推移した。

非営農期に水閘を閉じ、水閘内水位を $-40\text{ cm}$ に設定した水田試験圃場の地下水位は12月から3月にかけて約 $-25\text{ cm}$ で維持された。また、水閘内水位を $-55\text{ cm}$ に設定した転作田試験圃場の地下水位は12月から3月にかけて約 $-50\text{ cm}$ で維持された。水位を設定した12月から3月にかけて、水田試験圃場および転作田試験圃場ともに、水位の面的なばらつきは小さかった。ただし、水位設定前の11月と、水位設定の解除後に排水が進んだ4月下旬において、中央部もしくは排水側の水位が取水側よりも低くなる傾向がみられた。

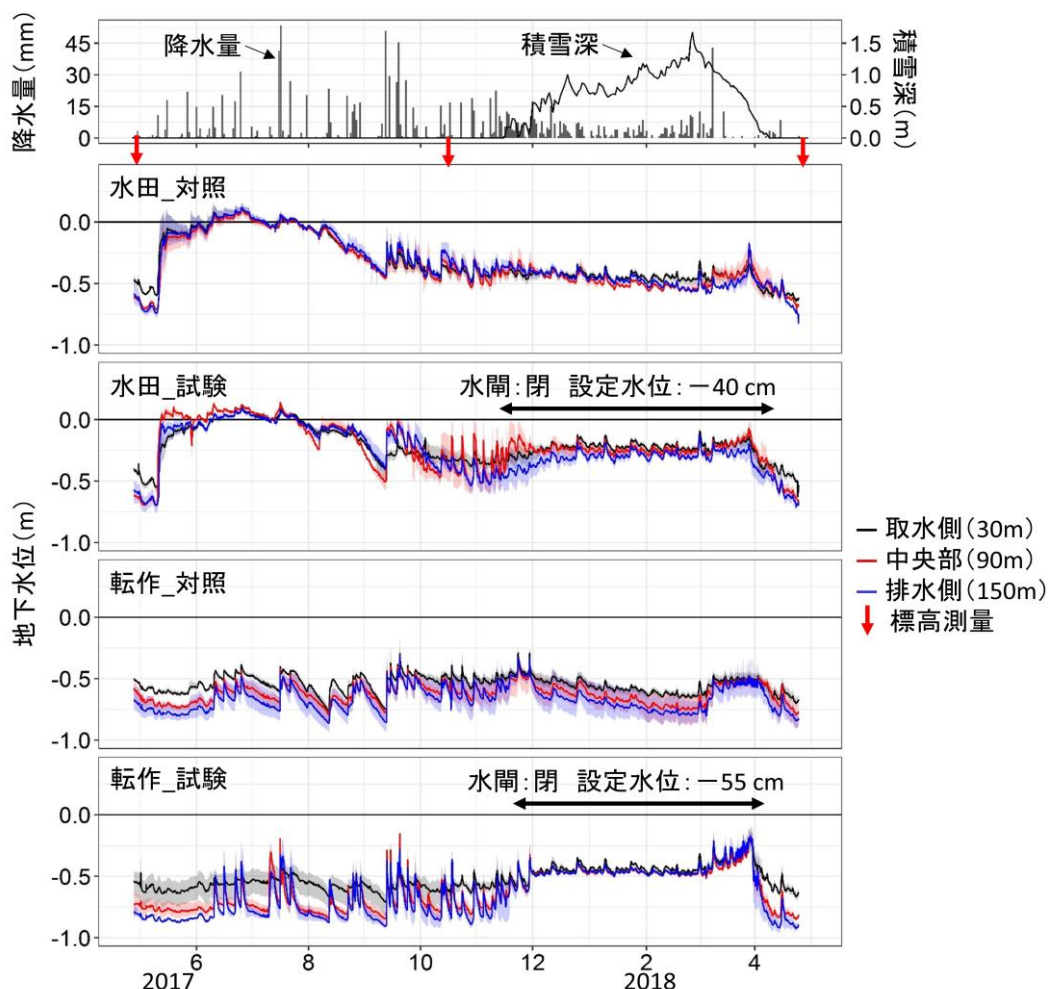


図-3 地下水位変動の経時変化

実線は各取水桝からの距離におけるL1、L2、L3の平均値を示し、網掛け部分は最大値と最小値の範囲を示す



## (2) 地表面と沈下板の標高変化

営農期、非営農期における圃場面と沈下板の標高変化量をそれぞれ図4、図5に示す。標高が上昇した場合は正、低下した場合は負の値で表す。

### a) 営農期の地表面と沈下板の標高変化 (図-4)

水田、転作田すべての圃場において圃場面と沈下板は沈下していた。分散分析の結果、圃場面標高の沈下量には、有意な圃場間差や、取水柵からの距離による有意差はなく、0.86~1.53 cm沈下していた。浅い沈下板および深い沈下板の沈下量には有意な圃場間差 ( $p < 0.001$ ) と、圃場と取水柵からの距離の交互効果 ( $p < 0.001$ ) があつた。多重比較の結果、転作田対照圃場で最も沈下量が大きく、次いで転作田試験圃場で大きく、水田対照圃場、試験圃場の差はなかつた。また転作田では取水側より中央部と排水側で沈下板の沈下量が大きかつた。

### b) 非営農期の地表面と沈下板の標高変化 (図-5)

非営農期においても水田、転作田すべての圃場において圃場表面と沈下板は沈下していたが、圃場と取水柵からの距離による沈下の傾向は営農期と異なつていた。

圃場表面標高の沈下量は、分散分析の結果、有意な圃場間差 ( $p < 0.001$ ) と取水柵からの距離による差 ( $p = 0.001$ ) があつた。多重比較の結果、水田対照圃場、転作田対照圃場、転作田試験圃場が水田試験圃場より有意に沈下量が大きかつた。また、圃場中央部の沈下量は取水側と排水側よりも大きくなる傾向があつた。

浅い沈下板の沈下量には有意な圃場間差 ( $p < 0.001$ )、取水柵からの距離による差 ( $p = 0.019$ )、圃場と取水柵からの距離の交互効果 ( $p < 0.016$ ) があつた。多重比較の結果、水田対照圃場での沈下量が最も大きく、次いで転作田対照圃場で大きく、水田試験圃場と転作田試験圃場には差はなかつた。また、水田では取水側より排水側で沈下量が大きい傾向があつたが、転作田では取水柵からの距離による顕著な差はなかつた。

深い沈下板の沈下量には有意な圃場間差 ( $p = 0.024$ ) と取水柵からの距離による差 ( $p = 0.016$ ) があつた。多重比較の結果、水田対照圃場の沈下量が最も大きく、次に転作田対照圃場と転作田試験圃場で大きく、水田試験圃場の沈下量が最も小さかつた。また、浅い沈下板と同様に、水田では取水側より排水側で沈下量が大きい傾向があり、転作田では取水柵からの距離による差は見られなかつた。

## (3) 土層厚の変化

営農期、非営農期における土層厚の変化をそれぞれ図6、図7に示す。観測開始時よりも土層が厚くなつていれば正、薄くなつていれば負の値で表す。

### a) 営農期における土層厚変化 (図-6)

圃場表面と浅い沈下板の間の土層厚変化量は、分散分析の結果、有意な圃場差 ( $p < 0.001$ ) があつたが、取水柵からの距離による差はなかつた。水田では平均0.0 cmで

あつたが、転作田では1.4~2.4 cm厚くなつていた。

浅い沈下板と深い沈下板の間の土層厚変化量は、分散分析の結果、有意な圃場間差 ( $p < 0.01$ ) があつたが、取水柵からの距離による差はなかつた。水田では平均0.0 cmであつたが、転作田では0.3~0.6 cm薄くなつていた。

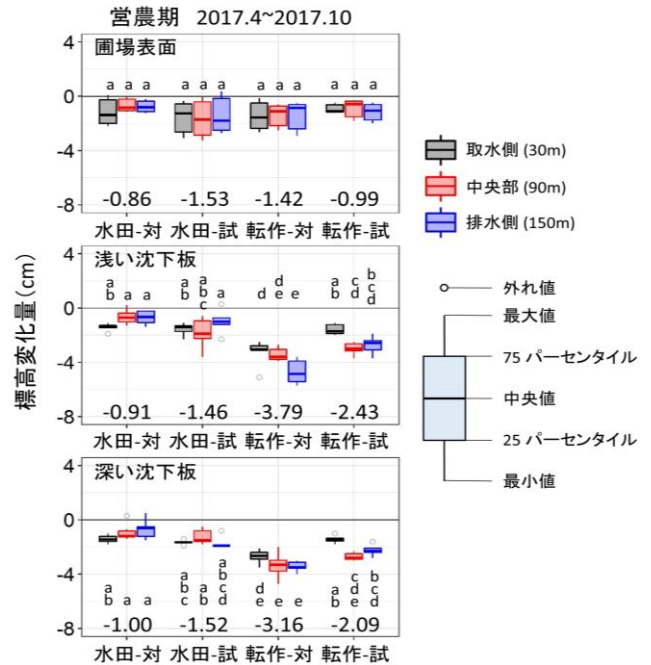


図-4 営農期の圃場表面、沈下板標高変化量。

同じアルファベットを持つ場合、5%水準で両者に有意差はない。図中の数字は圃場ごとの平均値を示す。

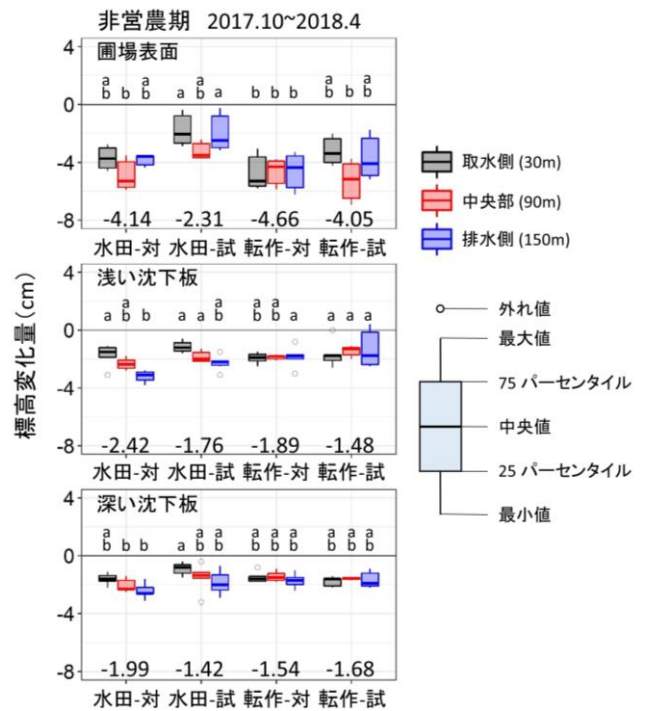


図-5 非営農期の圃場表面、沈下板標高変化量

同じアルファベットを持つ場合、5%水準で両者に有意差はない。図中の数字は圃場ごとの平均値を示す。

**b) 非営農期における土層厚変化量 (図-7)**

圃場表面と浅い沈下板の間の土層厚変化量は、分散分析の結果、有意な圃場差 ( $p < 0.001$ ) と取水柵からの距離による差 ( $p < 0.023$ ) があった。水田では0.56~1.72 cm薄くなっていたのに対して、転作田では2.41~2.88 cm薄くなっていた。また、水田では中央部において土層の収縮が大きい傾向があった。

浅い沈下板と深い沈下板の間の土層厚変化量は、分散分析の結果、圃場間差や取水柵からの距離による差はなく、 $-0.33 \sim 0.13$  cmだった。

転作田において圃場表層の膨張と収縮が顕著であり、このことは、営農期では耕うん作業により土壌が膨軟になり、非営農期では膨軟な層が再び収縮したととらえることができる。耕うんの影響を強く受けていると思われる転作田表層以外の土層厚変化量は、いずれの圃場と期間でも深い沈下板の沈下量より小さいことから、水田、転作田ともに深い沈下板以深の泥炭層の収縮が圃場の沈下の主な要因であるといえる。

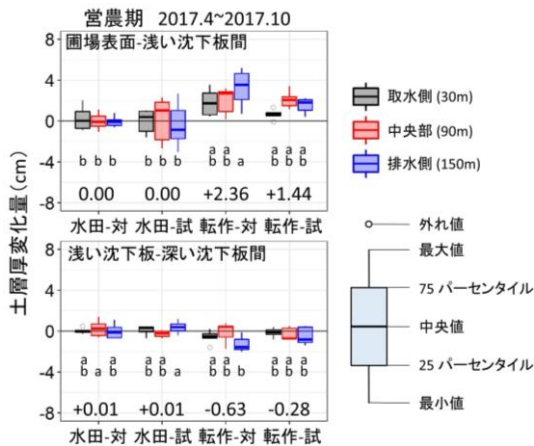


図-6 営農期の土層厚変化量  
同じアルファベットを持つ場合、5%水準で両者に有意差はない。図中の数字は圃場ごとの平均値を示す。

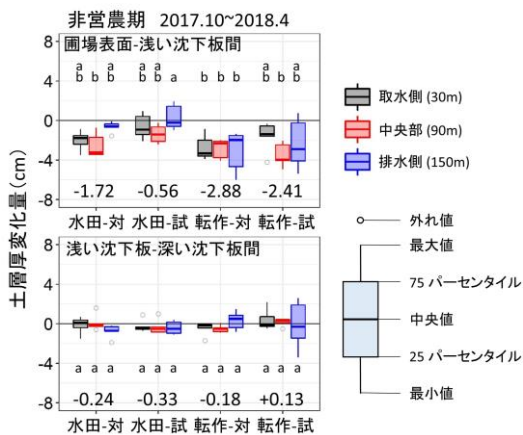


図-7 非営農期の土層厚変化量  
同じアルファベットを持つ場合、5%水準で両者に有意差はない。図中の数字は圃場ごとの平均値を示す。

**(4) 沈下と地下水位変動の関係**

営農期では深い沈下板の沈下量と最低地下水位更新日数の間には有意な負の相関 ( $r = -0.748, p < 0.001$ ) があった。一方で非営農期では両者には相関関係はなかった (図-8)。

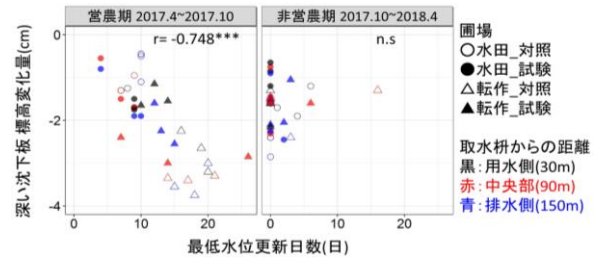


図-8 深い沈下板沈下量と最低水位更新日数の関係  
\*\*\*:  $p < 0.001$  で有意に相関がある  
n.s.: 有意な相関はない

**4. 考察**

測定の結果から、調査圃場の沈下は、営農期および非営農期ともにすべての圃場において、深い沈下板を設置した80 cm以深の泥炭の沈下が主な原因となり生じていることがわかった。地下水位が低下した地点は地下水位が高い地点よりも荷重の増加による圧密や、乾燥した泥炭の収縮、分解による沈下が起きやすい。本報では、深い沈下板の沈下量の面的な傾向の違いについて、地下水位低下の面的な傾向の違いと関連づけて考察する。

**(1) 転作田の沈下**

営農期では、転作田試験圃場、転作田対照圃場ともに深い沈下板の沈下量は取水側よりも中央部および排水側において大きかった。これは暗渠勾配に従って取水側よりも中央部および排水側において地下水位が低下しやすい (図-3) ことが一因であると考えられる。

非営農期では、転作田試験圃場、転作田対照圃場ともに深い沈下板の沈下量は面的にばらつきが小さかった。転作田試験圃場と転作田対照圃場のどちらの圃場においても、非営農期の地下水位が営農期に経験した最低水位よりも低下する期間が短かった (図-8)。そのため、非営農期では、水位が過去の履歴より低下することによって引き起こされる泥炭の圧密、乾燥収縮、分解が小さく、対照圃場において生じている非営農期における地下水位の面的なばらつきは、沈下量の面的なばらつきに影響しなかったと考えられる。これらのことから、転作田においては、非営農期だけでなく、営農期においても地下水位の制御と不同沈下の緩和が可能かどうかの検証が次の重要な課題となる。

## (2) 水田の沈下

水田の営農期では、水田試験圃場、水田対照圃場ともに深い沈下板の沈下量は面的なばらつきが小さかった。これは、水田では湛水により、水位の面的なばらつきが小さかったためであると考えられる。

非営農期では、水田試験圃場、水田対照圃場ともに取水側よりも中央部と排水側において、深い沈下板の沈下量が大きい傾向がみられた。非営農期の水位設定期間前後では、両圃場とも取水側よりも中央部または排水側の方が水位が低い傾向がみられた。この、取水柵からの距離による水位の違いなどが、非営農期における深い沈下板の沈下量の、取水柵からの距離による違いに影響している可能性が考えられ、今後その詳細の検討が必要である。

## 5. まとめ

泥炭地大区画水田と転作田、それぞれ2圃場において、営農期と非営農期の一筆圃場内における沈下を面的および深度別に評価した。また、水田と転作田それぞれに試験圃場と対照圃場を1圃場ずつ設定し、試験圃場では非営農期に水位調整型水閘による水位の設定を行い、地下水位の低下および地下水位の面的なばらつきを抑制した。

営農期、非営農期ともにすべての調査圃場の沈下は、主に80 cm以深の泥炭の沈下が原因となり生じていることがわかった。転作田における深い沈下板の沈下量は、試験圃場と対照圃場のどちらとも、営農期においては取水側よりも中央部と排水側において大きく、非営農期においては面的なばらつきが小さかった。水田における深い沈下板の沈下量は、試験圃場と対照圃場のどちらとも、営農期においては面的なばらつきが小さく、非営農期においては取水側よりも中央部と排水側において大きかった。

営農期において、最低地下水位の更新日数が多いと深い沈下板の沈下量が大きくなる傾向が見られた。このことから、営農期における地下水位の低下の面的なばらつきが、不同沈下の一因となっていることが考えられる。

一方で、非営農期においては、最低地下水位の更新日数や地下水位の面的なばらつきと深い沈下板の沈下量との間には明らかな関係はなかった。非営農期においては、水位設定期間前後での取水柵からの距離による水位の違いなどが沈下量の取水柵からの距離による違いに寄与している可能性が考えられる。

本調査地において、地下水位制御システムを利用した不同沈下の緩和の効果を検証するためには、転作田では営農期における水位制御と沈下の緩和の検証が、また水田では非営農期における不同沈下の要因の解明が今後の重要な課題となる。

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) 宮地直道・神山和則・大塚絃雄・粕渕辰昭：美唄泥炭地における地盤沈下，土壤肥料学雑誌，66(5)，pp.465-473，1995.
- 2) 大久保天・池田晴彦・細川博明：泥炭農地の地盤沈下の長期観測，第53回北海道開発技術研究発表会，技-17，2010.
- 3) 梅田安治・矢挽尚貴・井上 京：泥炭地の地盤変動と地下水位変動—泥炭地の地盤沈下に関する研究 (I) —，農業土木学会論文集，160，pp.27～33，1992.
- 4) 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.
- 5) 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年目営農期の結果，寒地土木研究所月報，788，pp.39～44，2018.