

大区画泥炭圃場の沈下抑制対策に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～令 2

担当チーム：資源保全チーム

研究担当者：長竹新、清水真理子、
新津由紀、奥田涼太、
山本弘樹、中山博敬、
横川仁伸

【要旨】

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やすい。沈下が圃場内や圃場群規模で異なると水田圃場面の湛水深ムラ、暗渠管や圃場周辺の用排水路の機能低下、などの問題が生じる。そのため、泥炭農地の沈下を緩和する方法の提案が求められている。本研究では、(1) 大区画泥炭圃場の沈下実態と要因の解明、(2) 地下水位制御による沈下抑制効果の検討を目的とした。圃場の沈下量は、水田よりも転作田が大きいこと、吸水渠の設置勾配に従った水位勾配の影響を受けること、が明らかとなった。また、沈下抑制は、圃場の水田利用のほか、冬季に地下水位を高く保つこと、営農期間中の地下灌漑により泥炭の水分を高く保ち泥炭の分解損失を抑制すること、により効果がある可能性が示唆された。沈下のしやすさは、泥炭性状の影響を受け、高位泥炭や過去に水田利用期間が長い泥炭は間隙が大きく、圧縮や収縮を受けやすい可能性が示唆された。
キーワード：泥炭農地、大区画圃場、沈下要因、沈下抑制、地下水位制御

1. はじめに

北海道の水田地帯では、食料生産の体質強化に向け、担い手への農地集積と圃場の大区画化・汎用化が推進されている。北海道の主要な水田地帯である石狩川流域は日本最大の泥炭分布地帯でもある。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やすい。沈下が圃場内や圃場群規模で異なると、例えば水田圃場面の湛水深ムラや、暗渠管や圃場周辺の用排水路の機能低下などの問題が生じる。そのため泥炭農地の沈下を緩和する方法の提案が求められている。

圃場の沈下の主な発生要因は、地下水位低下直後では、新しく地下水面よりも上に出た土層に働いていた浮力が失われ、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縮や圧密である。また、長期的には、地下水面より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・消失などによっても沈下が生じる。このため、圃場の沈下抑制には地下水位が下がりすぎることを防ぎ、泥炭の水分を高く保つことが重要である。その実践例として、泥炭地の採草地では排水路の堰上げによって地下水位の低下の抑制し、圃場の沈下を緩和する手法¹⁾が提案されている。

近年整備された水田や転作田では、集中管理孔や FOAES といった地下水位制御システムの導入が進められている。このような圃場においては、地下水位制御システムを利用し、営農に支障のない程度に地下水

位を高く設定することや、営農作業が行われない冬季に圃場内の地下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。

圃場の沈下のしやすさは、営農時の地下水位の影響、泥炭の種類や性状、過去の土地利用履歴などによって異なるとされる。例えば、泥炭の圧縮や圧密のされやすさは、泥炭の種類・構成植物²⁾の影響、過去の排水履歴の影響³⁾、攪乱の影響⁴⁾などを受けることが報告されている。このような泥炭性状や沈下のしやすさの違いは、地下水位制御による沈下抑制効果の現れやすさにも影響する可能性があり、その実態と要因の解明が必要である。

そこで、本研究では(1) 大区画泥炭圃場の沈下実態と要因の解明、(2) 地下水位制御による沈下抑制効果の検討を目的とし、以下の項目を実施した。

1. 大区画水田圃場内における不同沈下の要因の解明
2. 大区画圃場における土地利用と冬季の地下水位制御の違いが沈下量に及ぼす影響の評価
3. 水分変化に伴う泥炭分解速度の変化と泥炭損失量の見積もり

2. 大区画水田圃場内における不同沈下の要因の解明

2.1 調査地と方法

2.1.1 調査地と調査圃場の概要

調査は北海道美唄市に位置する一筆の水田において

2017年4月から2019年10月まで行った。調査圃場の鈹質土層の厚さは約35 cmであり、その下には約6 mの厚さの泥炭層がある。表層1 m以内に出現する泥炭はハンノキ、ヨシを主な構成植物とする低位泥炭である。調査圃場は2015年に国営農地再編整備事業により約1.2 ha（長辺方向に170 m、短辺方向に70 m）に拡大された。調査圃場には、長辺と平行に1/500の下り勾配の暗渠（吸水渠）が10 m間隔を基本として設置されている。

調査圃場では2016年から2018年までは移植、2019年は乾田直播による水稻栽培が行われた。また、11月末から翌年4月初めまでの約4ヶ月間は、水位調整型水閘を水閘内水位が圃場面から-40 cmよりも高くなると排水されるように設定した。

調査圃場を大区画化の際の切土・盛土の違いと過去の土地利用によって次の2区に分けた。

- ・A区：切土区域で、大区画化までの10年以上の間の土地利用が水田の区域。
- ・B区：盛土区域で、大区画化までの10年以上の間の土地利用が畑の区域。

以上のA、B区内に調査地点を3点ずつ設定し（図-1(a)）、後述の土壌試料採取、沈下量計測、地下水位計測を行った。なお、調査地点は吸水渠同士の間地点（吸水渠から5 m離れた地点）に設定した（図-1(c)）。

2.1.2 土壌の物理化学性と泥炭の脱水収縮特性

調査開始前の2016年11月と2017年4月、調査終了後の2019年10月に各調査地点において深さ100 cm程度の作業坑の土壌断面から攪乱土壌試料と不攪乱土壌試料を採取した。不攪乱土壌試料の採取には100 cm³と50 cm³の試料円筒を用いた。土壌試料の採取は、表層の鈹質土層と、図-1(b)のようにH1~H3の3層に分けた泥炭層それぞれの中心付近から採取した。H1層は-40 cm~-60 cmまでとし、B区では盛土層がすべて含まれるようにした。H2層は-60 cm~-80 cmまでとした。H3層は-80 cm~-100 cmまでで、ほとんどの期間において地下水面より下にあると考えられる層である。泥炭試料の採取は、調査開始前ではH2とH3の2層から、調査終了後ではH1~H3の3層から採取した。不攪乱試料を乾燥密度、孔隙率、重量含水比の分析に用い、攪乱試料を強熱減量の分析に用いた。

泥炭の脱水収縮量の測定は、2019年10月に採取した50 cm³の不攪乱試料を用いて行った。脱水収縮量の測定では、試料の水分条件を毛管飽和状態から土壌水分ポテンシャルが-63、-316、-502 cm(pF=1.8、2.5、2.7に相当)になるように段階的に脱水させながら調整

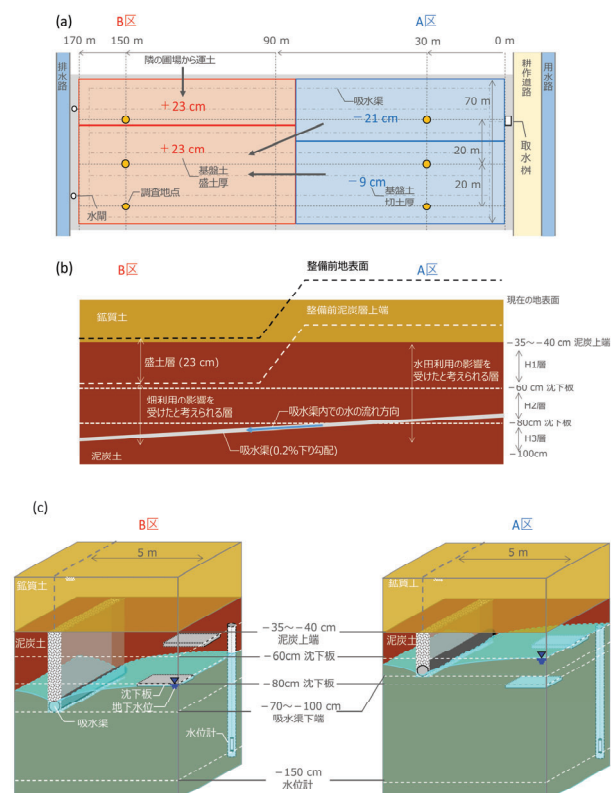


図-1 調査圃場の(a)切り盛りと調査地点の俯瞰イメージ、(b)長辺方向の横断面イメージ、(c)調査地点の断面イメージ

し、各水分条件での試料体積と重量を測定した。なお、脱水収縮とは、脱水で試料の含水比が低下した際に水の表面張力により試料中の間隙が縮み全体として泥炭の体積が減少する現象を指し、試料に外力が加わることで体積が減少する圧縮や、その際に間隙水の排除を伴う圧密とは区別される。

2.1.3 沈下量計測と地下水位計測

沈下量は、圃場面標高と泥炭層内の2深度（-60 cmと-80 cm）に設置した沈下板（図-1(c)）の標高を2017年4月から2019年10月まで半年ごとに計測した。使用した沈下板は300 mm × 300 mm × 8 mmの有孔の塩化ビニル板で、一边を鋭角に処理した。調査開始前に各観測点で小坑を掘削し、攪乱されていない断面に沈下板を水平に差し込んで設置した。この時、沈下板周辺の泥炭を乱さないように、沈下板の鋭角に処理した辺からゆっくり差し込んだ。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。地下水位は、各調査地点の圃場面から約-150 cmに有孔の塩化ビニルケースに格納した圧力式水位計を埋設し（図-1(c)）、30分間隔で計測した。

2.2 土壌の物理化学性と脱水収縮特性

鉱質土の単位面積あたりの乾土量は、A区 ($0.36 \pm 0.08 \text{ Mg m}^{-2}$) と B区 ($0.42 \pm 0.06 \text{ Mg m}^{-2}$) で有意な差は無かった。

泥炭の乾燥密度、孔隙率、強熱減量、重量含水比の深度分布を図-2に示す。調査前と調査後のどちらにおいても、乾燥密度はB区がA区より大きく、孔隙率、強熱減量、重量含水比はA区がB区より大きい傾向であった。また、各項目のA区とB区の差は深度が浅いほど大きく、深度が深いほど両区の差は小さくなるか、もしくは地点間のばらつきが大きく両区の差が明瞭でなくなる傾向であった。B区の泥炭層は過去の畑利用時に受けた排水に伴う脱水収縮や圧縮、圧密の影響、盛土時に受けた泥炭の攪乱（例えば練り返しや土砂混入など）の影響などにより、A区に比べて泥炭の孔隙率、有機物含量及び含水比が小さく、乾燥密度が大きくなったと考えられる。

不攪乱泥炭試料を段階的に脱水させた時の試料中の水の体積変化と、試料全体の体積変化を図-3に示す。A区の泥炭はB区の泥炭よりも脱水量ならびに脱水時の体積収縮が大きい傾向であった（図-3(a)、(b)）。これは、B区の泥炭は盛土時の攪乱の影響、過去の畑利用時における排水に伴う収縮や圧縮、圧密などの影響を受け、A区の泥炭に比べて間隙から水の排除が進んでいたため、新たに脱水収縮しにくかったと考えられた。以上の結果と、排水履歴のある泥炭はそうでない泥炭よりも圧縮や圧密がされにくい³⁾ということ踏まえると、B区の泥炭はA区の泥炭よりもつぶれにくい縮みにくい性質であったと考えられた。

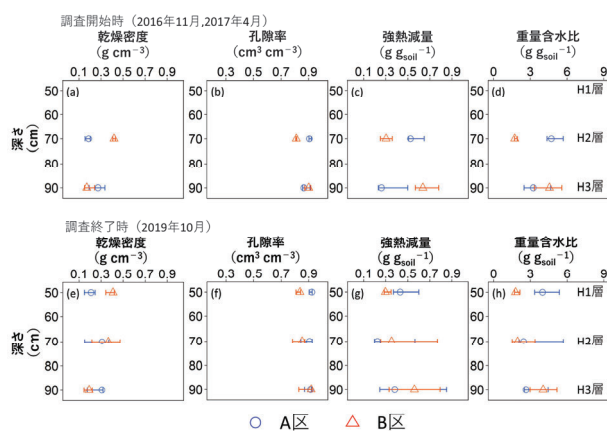


図-2 調査開始前と終了時における泥炭の物理化学性の深度分布（マーカーとエラーバーはそれぞれ3反復の中央値と最大、最小値を表す。）

2.3 地下水位と沈下量、層厚の経時変化

両区とも水位は $-75 \text{ cm} \sim +10 \text{ cm}$ の間で変動したが、水位が低下する時にB区の方がA区よりも低く推移する傾向であった（図-4(b)）。1年のうち最も地下水位が低くなる4月にA区とB区の水位差が最大となり、その差は最大で 20 cm であった。これは、吸水渠の設置勾配に従った地下水位勾配が圃場内に生じたためと考えられた。

圃場面と沈下板は2017年4月から2018年4月までの1年間では 2.5 cm 以上沈下し、2018年4月以降では浮き沈みを繰り返した（図-4(c)、(d)、(e)）。また、積算沈下量はすべての深度でB区がA区よりも大きい傾向であった。これはB区がA区よりも地下水位が低くなりやすいことが影響したと考えられた。

圃場面と -60 cm の沈下板との間、 -60 cm の沈下板と -80 cm の沈下板との間の層厚の変化を図-5に示す。まず、圃場面と -60 cm の沈下板の間の層厚変化のA区とB区の大小関係は一定ではなかった（図-5(a)）。次に -60 cm と -80 cm の間の層厚、すなわちH2層の層厚は、A、B両区とも緩やかに減少する傾向であり、A区はB区よりも常に積算層厚変化量が低い傾向であった（図-5(b)）。このH2層の層厚変化におけるA区とB区の大小関係と、同じくH2層の脱水収縮のしやすさにおけるA区とB区の大小関係（図-3(a)、(b)）は一致する。過去の排水履歴が少ないA区のH2層はB区のH2層よりも脱水収縮しやすかった。

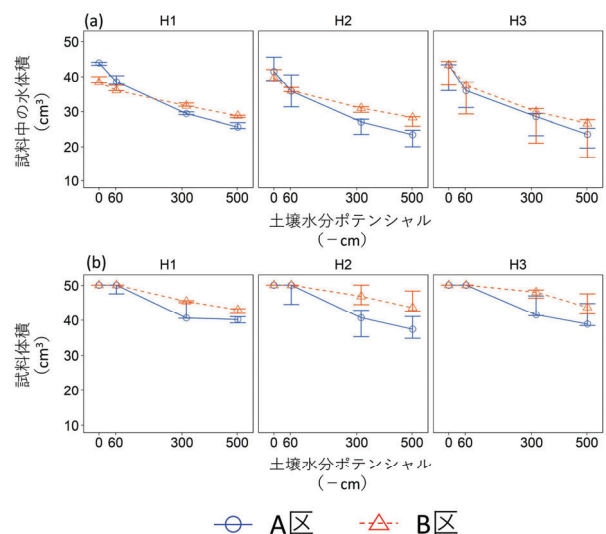


図-3 脱水過程における(a)試料中の水体积と(b)試料体積の変化（マーカーとエラーバーはそれぞれ3反復の中央値と最大、最小値を表す。）

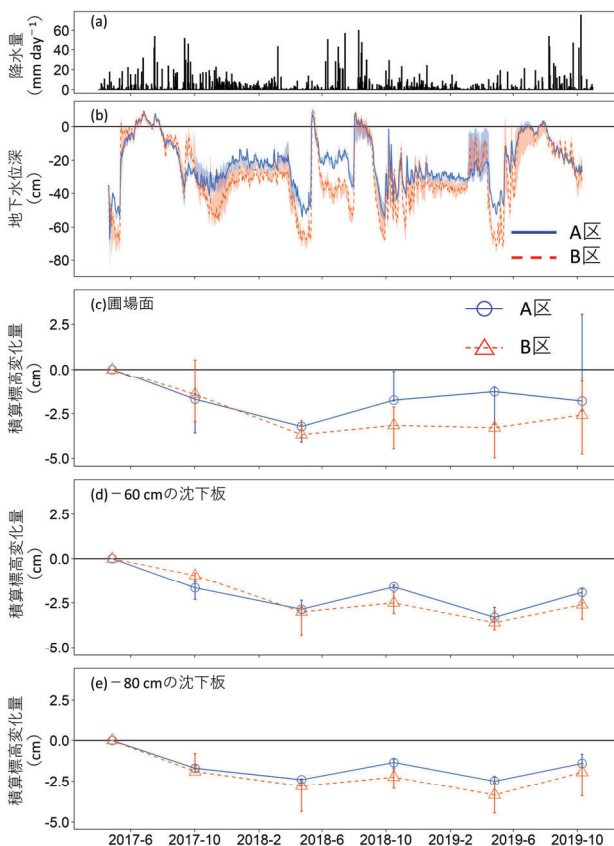


図 - 4 (a)降水量、(b)地下水位深、(c)圃場面の積算標高変化量、(d) - 60 cm の沈下板の積算標高変化量、(e) - 80 cm の積算標高変化量の経時変化（マーカーとエラーバーはそれぞれ 3 反復の中央値と最大、最小値を表す。）

また、圧縮や圧密についても同様に、排水履歴が少ない方が圧縮や圧密をされやすい傾向³⁾であると仮定すると、A 区と B 区の層厚変化の違いは、地下水位の違いよりも泥炭の収縮のしやすさ、圧縮や圧密のされやすさの違いに強く影響されたと考えられた。

調査終了時における A 区と B 区の積算沈下量の差、ならびに標高の差はどちらも 1 cm 程度と大きくない。これは、調査圃場では地下水位が低くなりやすい区域（B 区）と縮みやすい泥炭の区域（A 区）が重なっていないため、沈下量差が大きくならなかったと考えられた。しかし、これらの区域が重なる圃場では沈下量の差が大きくなる可能性があり、田畑輪換し畑利用する場合にさらにその差が大きくなる可能性がある。そのため、不同沈下への対策を検討するうえで圃場の大区画化前の土地利用や大区画化の際の切土・盛土の影響についても考慮することが重要である。

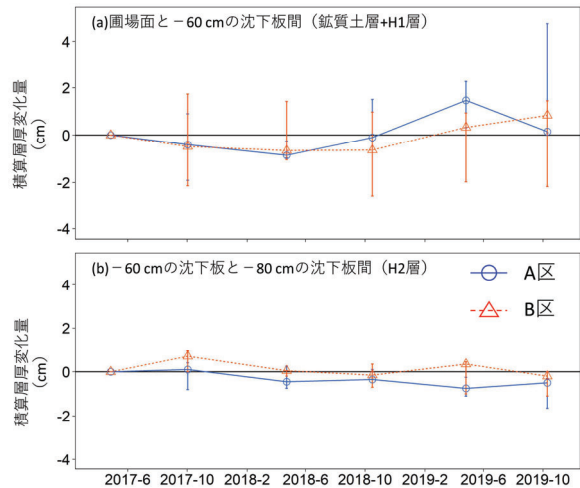


図 - 5 (a)圃場面と - 60 cm の沈下板の間、および (b) - 60 cm と - 80 cm の沈下板の間の積算層厚変化量（マーカーとエラーバーはそれぞれ 3 反復の中央値と最大、最小値を表す。）

3. 大区画圃場における土地利用と冬季の地下水位制御の違いが沈下量に及ぼす影響の評価

3.1 調査地と方法

3.1.1 調査地の概要

調査は北海道美唄市と新篠津村に位置する水田と転作田において行った。以後、美唄サイトと新篠津サイトと呼ぶ。調査期間は美唄サイトでは 2017 年 4 月から 2020 年 4 月までの 3 年間、新篠津サイトでは 2018 年 4 月から 2020 年 4 月までの 2 年間である。

両サイトとも 2015 年に区画整理され、この時に集中管理孔方式の地下水位制御システムが導入された。暗渠（吸水渠）は圃場の長辺と平行に 10m 間隔を基本として設置され、1/500 の下り勾配を持つ。暗渠の排水路側の末端には水位調整型水閘が取り付けられている。

泥炭層の厚さは美唄サイトでは約 6 m、新篠津サイトでは約 5 m である。表層 1 m 以内に出現する泥炭は、美唄サイトではヨシ、ハンノキを主な構成植物とする低位泥炭、新篠津サイトではホロウムソウ、ホロムイヌゲ、ツルコケモモ、ヌマガヤを主な構成植物とする高位泥炭である。

3.1.2 調査圃場

美唄と新篠津それぞれのサイト内において、近接する水田と転作田を冬季の地下水位制御の違いにより、転作田対照圃場、転作田試験圃場、水田対照圃場、水田試験圃場とした（図 - 6(a)）。新篠津サイトでは水田対照圃場を除く 3 圃場で調査を行った（図 - 7）。試験圃場では 11 月末から翌年 4 月初めまでの約 4 ヶ月間、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(図-8)。具体的には、水閘内の水位が、美唄サイトの転作田試験圃場では圃場面から-55 cm、美唄サイトの水田試験圃場と新篠津サイトの転作田試験圃場、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。対照圃場では同じ期間に水閘を開放し、自然排水を行った。試験圃場と対照圃場における冬季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、冬季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。

調査期間中の栽培作物は、水田では水稻、転作田では大豆である。また、美唄サイトでは2019年の大豆収穫前に秋播き小麦の播種(間作)が行われた。

3.1.3 調査方法

美唄サイトでは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3点ずつ(図-6(b))、新篠津サイトでは圃場の中央に観測点を配置し(図-7)、沈下量調査と地下水位調査、土壌断面調査を行った。

沈下量調査では、圃場面標高と泥炭層内の2深度(美唄サイトの転作田で-50 cm と -80 cm、そのほかの圃場で-60 cm と -80 cm) に設置した沈下板の標高を半年ごとに計測した。ここでは、測量日を境として、4月から10月までを夏季、10月から4月までを冬季と呼ぶこととする。沈下板の仕様と沈下板標高の測定方法は2.1.3と同様である。

地下水位調査では、有孔管に格納した圧力式水位計圃場面から-150 cmの位置に設置し、30分間隔で計測した。降水量は調査圃場近傍で転倒マス式雨量計により計測し、欠測期間は近傍の AMeDAS の値を採用した。積雪深は、レーザー式もしくは超音波式積雪深計を美唄サイトの水田対照圃場と新篠津サイトの水田試験圃場の中央部付近に設置し、1時間間隔で11月中旬から翌年3月中旬まで計測した。積雪深計周辺の積雪荷重を、スノーサンプラーを用いて12月から3月まで月に1回の頻度で計測した。

土壌断面調査では、泥炭層をH1層(-40 cm~-60 cm)、H2層(-60 cm~-80 cm)、H3層(-80 cm~-100 cm)に分け、それぞれの中心付近から採取した。不攪乱土壌試料を乾燥密度、孔隙率、重量含水比の分析に用い、攪乱土壌試料を強熱減量と繊維含量の分析に用いた。繊維含量は、泥炭を2 mmメッシュと0.15 mmメッシュの篩の上で水洗し、篩に残った繊維物質の乾物重量とした。

多群間での平均の差の検定には、Tukeyの多重比較(有意水準=5%)を用いた。

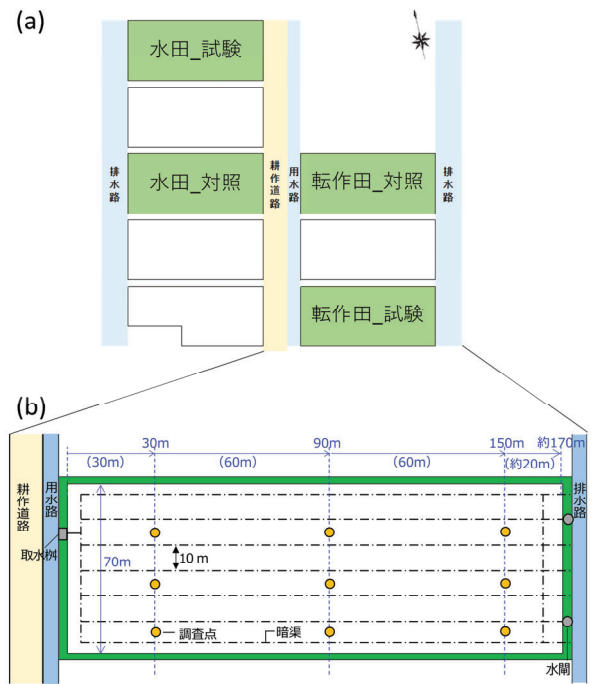


図-6 美唄サイトにおける(a)調査圃場の配置と(b)調査圃場内の観測点の配置

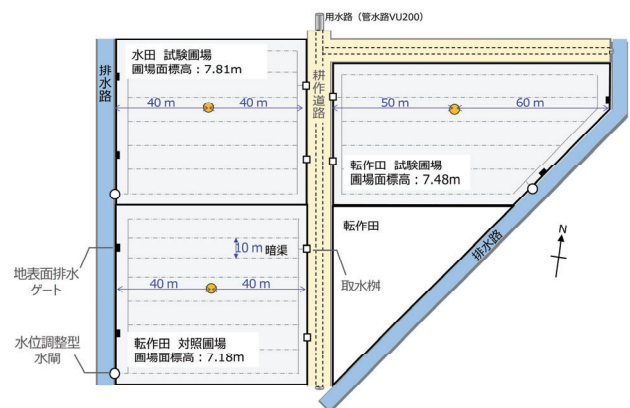


図-7 新篠津サイトにおける圃場と観測点の配置

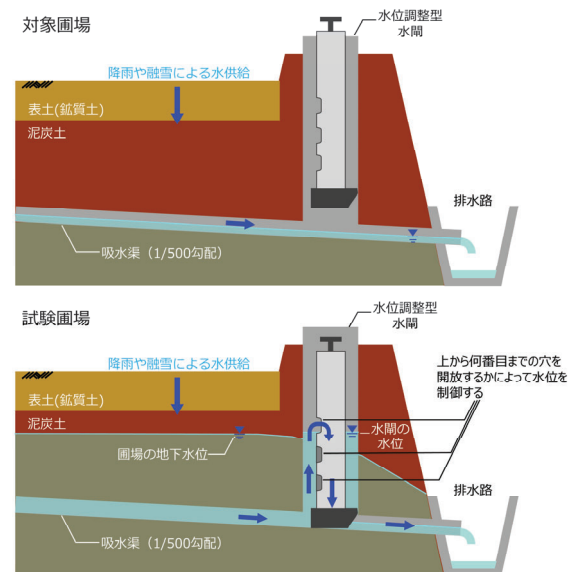


図-8 水位調整型水閘の操作による冬季の地下水位

制御の模式図

3.2 美唄サイト（低位泥炭）における土地利用と冬季の地下水位制御の影響

3.2.1 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 - 9(a)）。最大積雪荷重は2017年～2018年では4.25 kN m⁻²、2018年～2019年では3.81 kN m⁻²、2019～2020年では1.73 kN m⁻²だった。

3.2.2 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、夏季の地下水位変動に大きな違いはなかったが、冬季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高く保たれた（図 - 9(c)、(d)）。

3.2.3 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、2017年4月から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 - 10）。圃場面、沈下板の沈下量はいずれも転作田が水田よりも大きかったが、それぞれの土地利用内での試験圃場と対象圃場の有意差は無かった。観測開始から3年間の積算沈下量（平均±標準偏差）は、圃場面では転作田と

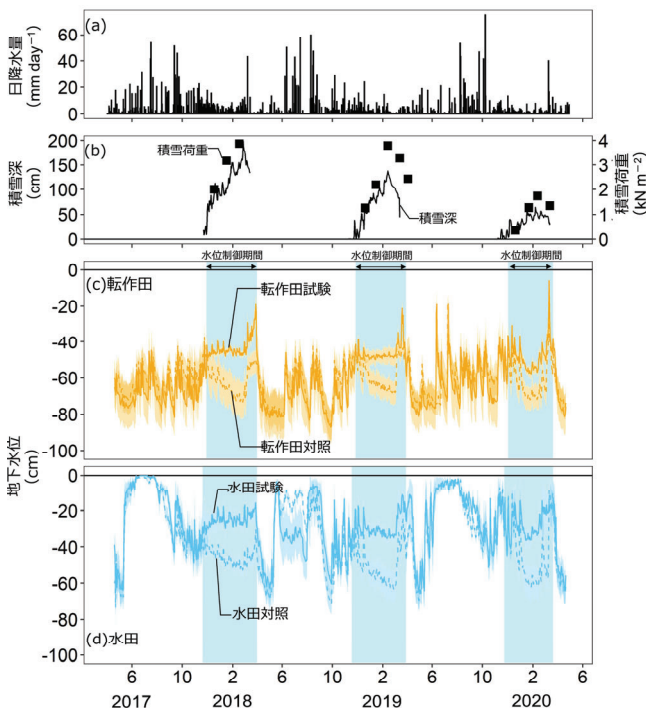


図 - 9 調査期間中の (a) 降水量、(b) 積雪深と積雪荷重 (c) 転作田の地下水位 (d) 水田の地下水位（地下水位は圃場内 9 地点の平均値と標準偏差（エラーバー）で表す。水色の網掛け部分

は水位を高く保つための水閘操作を行った期間を示す。）

水田でそれぞれ 5.9 ± 2.4 、 3.4 ± 1.2 cm だった。浅い沈下板では転作田と水田でそれぞれ 5.5 ± 1.0 、 3.2 ± 0.7 cm だった。深い沈下板では転作田と水田でそれぞれ 5.0 ± 1.0 、 2.8 ± 0.6 cm だった。

3.2.4 土層厚の変化

圃場面と浅い沈下板との間の層厚変化は営農期間中の耕うんや客土の影響を受けており、経時的な変動が大きく、実際の変化量の把握が難しい。そのため本節では浅い沈下板と深い沈下板との間の層厚変化挙動に

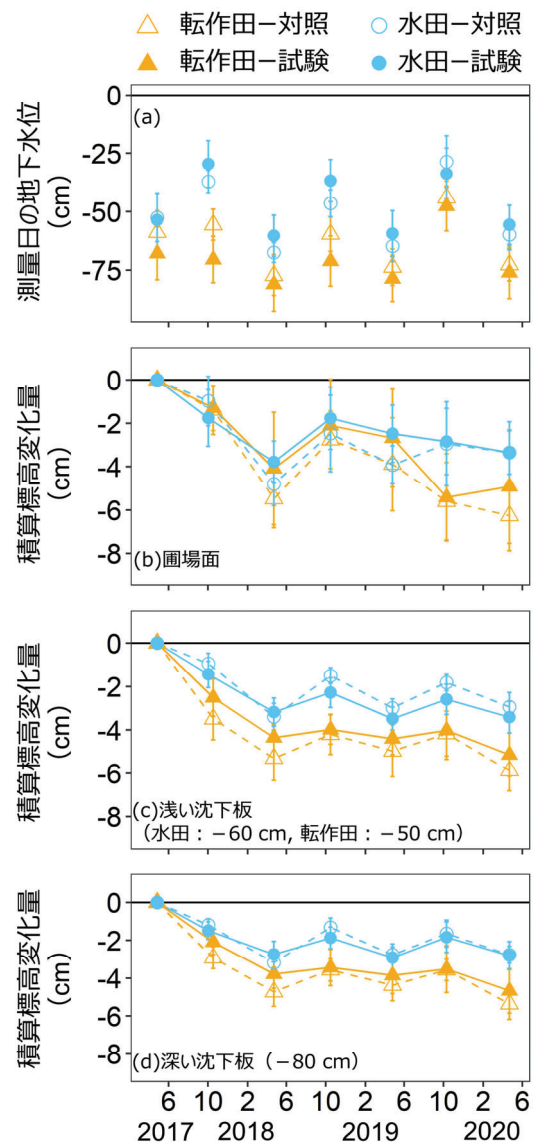


図 - 10 (a) 測量を行った日の圃場ごとの平均地下水位、(b) 圃場面の積算標高変化量、(c) 浅い沈下板の積算標高変化量、(d) 深い沈下板の積算標高変化量（それぞれ各圃場 9 地点の平均、エラーバーは標準偏差を示す。）

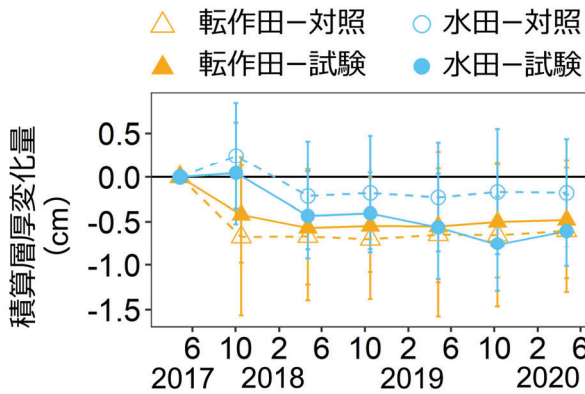


図 - 11 浅い沈下板と深い沈下板の間の層の積算層厚変化率（それぞれ各圃場9地点の平均、エラーバーは標準偏差を示す。）

ついて検討する。浅い沈下板と深い沈下板との間の層厚は、2017年4月から2018年4月までは転作田、水田ともに減少傾向が明瞭であり、それ以降は不明瞭だった（図 - 11）。また、観測開始から3年間での積算層厚変化量には水田と転作田、試験圃場と対照圃場とで有意な差はなく、全圃場の平均で 0.46 ± 0.61 cmだった。

3.2.5 経時的な沈下量変化の要因

調査圃場の沈下は2018年4月までは明瞭で、その後は不明瞭であった。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、浜頓別町の二次造成された泥炭草地では、整備から2年目までは沈下が進行し、それ以降、有意な沈下がみられなかったことが報告されている⁵⁾。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顕著な沈下が生じにくかったと考えられる。

美唄サイトにおいては、区画整理直後に見られる顕著な沈下に対して水田と転作田での違いが見られたが、冬季の地下水位制御による沈下の違いは見られなかった。土地利用や冬季の地下水位制御による沈下への影響の現れやすさについて、泥炭の種類の違いに着目し、次節3.3で検討を行う。

3.3 土地利用と冬季の地下水制御が圃場沈下量に及ぼす影響-高位泥炭と低位泥炭の比較-

3.3.1 調査圃場

美唄サイトと新篠津サイトの転作田対照圃場、転作

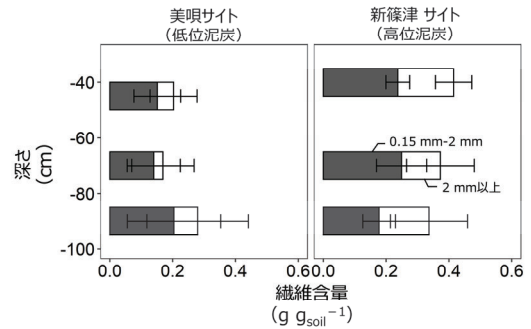


図 - 12 泥炭の乾土重あたりの繊維含量（エラーバーは3反復の標準偏差を表す。）

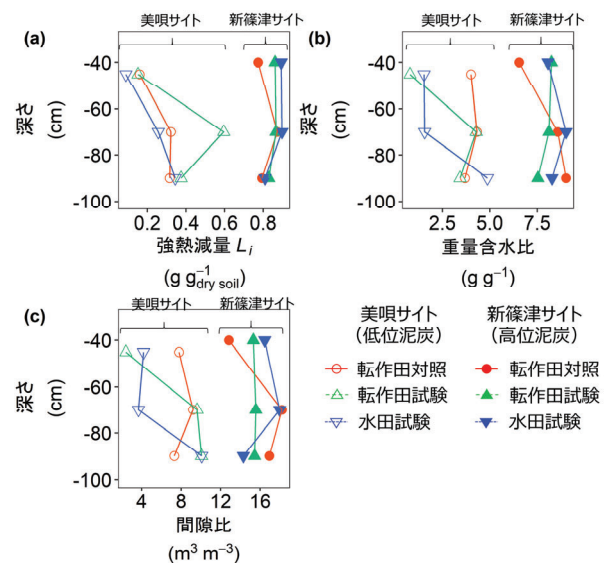


図 - 13 泥炭の物理化学性の深度分布

田試験圃場、水田試験圃場を比較の対象とした。なお、美唄サイトでは9地点の観測点のうち、新篠津サイトと地下水位の頻度分布が似ている地点を選んだ。

3.3.2 泥炭の物理化学性

泥炭の物理化学性はいずれもサイト間で有意に異なり、繊維含量（図 - 12）、強熱減量、重量含水比、間隙比（図 - 13）のいずれも新篠津サイトが美唄サイトに比べて大きかった。

3.3.3 表土と積雪由来の荷重

乾土換算での表土（鈹質土）由来の荷重は、サイト間と圃場間での有意差は無く、全4圃場の平均で 2.97 kN m^{-2} だった。積雪深と積雪荷重は2月から3月にかけて最大となった（図 - 14(a)）。最大積雪荷重は美唄と新篠津のどちらにおいても2018-2019年（美唄： 3.79 kN m^{-2} 、新篠津： 3.91 kN m^{-2} ）が2019-2020年（美唄： 1.73 kN m^{-2} 、新篠津： 2.17 kN m^{-2} ）よりも大きかったが、両年ともサイト間での有意な差は無かった。

3.3.4 地下水位

水位調整型水閘の操作による地下水位の制御を行っていない期間の地下水位は水田試験圃場が転作田試験圃場・対象圃場よりも高く、地下水位制御を行った期間の地下水位は水田・転作田試験圃場が転作田対照圃場に比べて高く維持された(図-14(c))。沈下板の標高測量を行った各測量間での地下水位の中央値は、美唄サイトでは夏季(4月~10月)に転作田対照圃場、転作田試験圃場、水田試験圃場でそれぞれ-73 cm、-65 cm、-29 cmであり、冬季(10月~4月)に転作田対照圃場、転作田試験圃場、水田試験圃場でそれぞれ-72 cmと-47 cm、-39 cmだった。新篠津サイトでは、夏季に対照圃場と試験圃場でそれぞれ-85 cmと-74 cm、-29 cmであり、冬季に対照圃場と試験圃場でそれぞれ-82 cmと-50 cm、-35 cmだった。

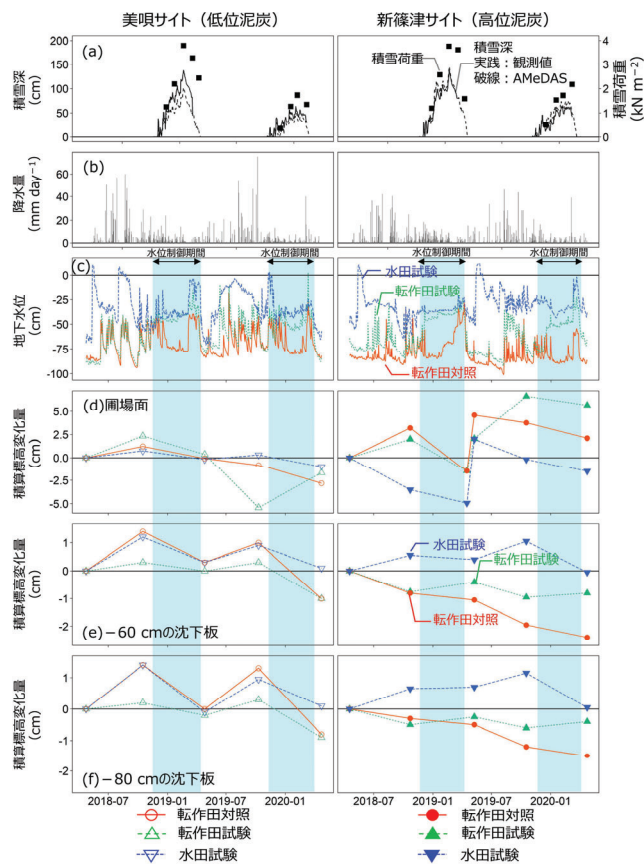


図-14 (a)積雪深と積雪荷重、(b)降水量、(c)地下水位、(d)圃場面の積算標高変化量、(e)浅い沈下板の積算標高変化量、(f)深い沈下板の積算標高変化量の経時変化(図中の水色部分の期間に、水田試験圃場と転作田試験圃場において水閘を操作し地下水位の制御を行った。)

3.3.5 沈下量

圃場面は、営農期間中の耕うんや客土の影響を受けており、沈下板と比べて経時的な標高の変動が大きく実際の沈下量の把握が難しい。そのため本節では沈下板の挙動について検討する。

美唄サイトの沈下板は、全ての圃場のどの深度においても上下動を繰り返しながら沈下した(図-14(e)、(f))。この沈下板の上下動は各測量日における地下水位の影響を受けたと考えられた。新篠津サイトの沈下板は、試験圃場では各測量日における地下水位の影響を受けながら上下したが、対照圃場では経時的に常に沈下した。

調査開始から2年間の沈下量を表-1に示す。転作田対象圃場における浅い沈下板と深い沈下板の沈下量は、新篠津サイトが美唄サイトよりも大きい傾向だった。また、美唄サイトでは転作田対象圃場と転作田試験圃場との差はほぼ0であったのに対し、新篠津サイトでは転作田対照圃場が転作田試験圃場よりも沈下量が1.1~1.6 cm大きかった。水田試験圃場の沈下板の沈下量は、両サイトとも±0.1 cmの範囲で、小さかった。

H2層(浅い沈下板と深い沈下板の間の層)の層厚の経時変化を図-15に示す。美唄サイトでは層厚は増減したが、新篠津サイトでは層厚は減少傾向であり、特に転作田対照圃場の層厚減少が大きかった。調査開始から2年間のH2層の層厚変化量を表-2に示す。新篠津サイトが美唄サイトよりもH2層の層厚の減少量が大きかった。両サイトでH2層の初期層厚が異なるため、初期層厚あたりの層厚減少量(%)に換算すると、新篠津サイトは美唄サイトよりも層厚の減少が約6倍大きかった。また、試験圃場と対照圃場の差も新篠津サイトの方が大きかった。

以上から80 cm以浅と以深のどちらも新篠津サイトが美唄サイトよりも沈下傾向が強くなり、また、同じサイト内での地下水位制御による沈下抑制効果も新篠津サイトが美唄サイトよりも大きい可能性が示唆された。

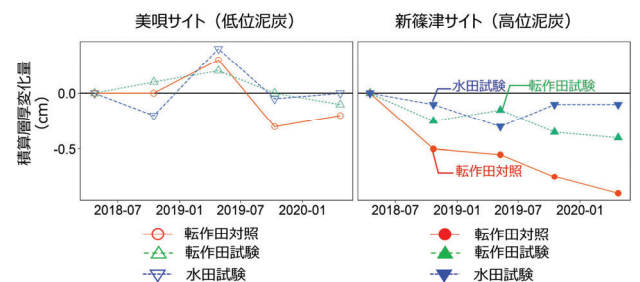


図-15 H2層(浅い沈下板と深い沈下板の間)層厚変化量

3.3.6 サイト間と圃場間での沈下傾向の違いの要因

積雪荷重と表土由来の荷重にはサイト間や圃場間の差が無かったことから、転作田対照圃場の沈下速度がサイトによって異なること、圃場間での沈下量の差がサイトによって異なることには泥炭性状の違いが影響している可能性が考えられた。

新篠津サイトの泥炭は、美唄サイトの泥炭に比べて土砂の混入が少なく繊維含量が多いため、間隙比や含水比が大きかった。一般に含水比や間隙比が大きい泥炭ほど圧縮や圧密を受けやすい。このため、美唄サイトに比べて新篠津サイトの沈下速度は大きいと考えられた。また、沈下しやすい新篠津サイトの泥炭では地下水位を高くすることによる沈下緩和効果が現れやすく、沈下しにくい美唄サイトの泥炭では地下水位制御による沈下緩和効果が現れにくい可能性が考えられた。すなわち、高位泥炭のように間隙が大きく沈下しやすい泥炭では地下水位制御による沈下抑制策の導入がより重要であることを示唆している。

表 - 1 深度別の積算標高変化量のサイト間、圃場間比較

		標高変化量 (cm/2年)		
		転作田 対象	転作田 試験	水田 試験
美唄 サイト	圃場面	-2.8	-1.7	-1.0
	浅い沈下板	-1.0	-1.0	0.1
	深い沈下板	-0.8	-0.9	0.1
新篠津 サイト	圃場面	2.1	5.7	-1.5
	浅い沈下板	-2.4	-0.8	-0.1
	深い沈下板	-1.5	-0.4	0.1

表 - 2 積算層厚変化量と初期層厚あたりの層厚変化量のサイト間、圃場間比較

	転作田 対象	転作田 試験	水田 試験
層厚変化量 (cm/2年)			
美唄サイト	-0.2	-0.1	0.0
新篠津サイト	-0.9	-0.4	-0.1
(層厚変化量 cm / 初期層厚 cm) × 100 (%)			
美唄サイト	-0.8	-0.3	0.0
新篠津サイト	-4.7	-2.2	-0.6

4. 水分変化に伴う泥炭分解速度の変化と泥炭損失量の見積もり

4.1 材料と方法

試験に供する泥炭試料を美唄市の水田から採取した。調査圃場内 5 地点の 70 cm の深さから 50 cm³ の不攪乱試料 2 点と攪乱試料を採取した。採取した試料は分析まで 4 °C で保存した。

採取した不攪乱土を 2 つの温度条件と 4 つの水分条件において培養し、炭素分解速度として二酸化炭素 (CO₂) およびメタン (CH₄) 生成速度を測定した。温度条件は、それぞれ試料を採取した圃場の採取深度における 2 月と 8 月の平均地温である 5 °C と 20 °C とした。各調査点で 2 つずつ採取した不攪乱試料の 1 つを 5 °C で、もう 1 つを 20 °C で培養用とした。水分条件は、脱水により土壌水分を pF = 0、1.5、2.0、2.5 とし、各段階で培養試料として用いた。pF0 では試料を 100 cm³ の試料円筒に移し下端から毛管飽和後、表面を 15 mm 湛水した。pF = 1.5、2.0、2.5 では加圧板法で水分調整を行なった。

培養の手順は次の通りである。各水分条件に調整された試料を体積が約 2500 cm³ の塩化ビニル製の培養器に格納し (図 - 16)、各培養温度に設定した培養器内で 1 日間事前培養をした。次に、培養器内のヘッドスペースガスを酸素濃度が 13% の酸素と窒素の混合ガスによって置換し、再び培養器内で 7 日間培養した。なお、ヘッドスペースガスの酸素濃度は、試料採取圃場に近接した秋播き小麦栽培圃場の 70 cm 深において実測した酸素 (O₂) 濃度の 1 年間の中央値と同じ値にした。7 日間の培養期間の内、0、3、7、日目にヘッドスペースのガスをガスタイトシリンジで 1 mL 採取し、二酸化炭素濃度とメタン濃度の分析を行った。二酸化炭素濃度の分析には赤外線 CO₂ コントローラー (富士電機) を、メタン濃度の分析には FID 付ガスクロマトグラフ (GC14-B, Shimadzu) を用いた。0、3、7、日目のガス濃度の上昇速度から 1 日あたりのガス生成速度を求めた。すべての pF での培養終了後、試料の乾土重量

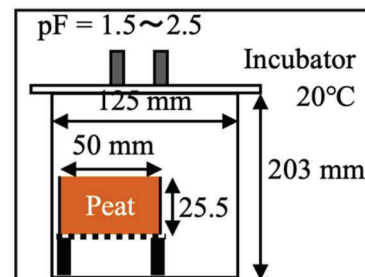


図 - 16 培養器の模式図

と強熱減量を求めた。攪乱土の炭素含有量を CN コーダ (MACRO CORDER JM100CN, ジェイ・サイエンス・ラボ) で測定した。二酸化炭素生成速度とメタン生成速度は試料中の全炭素 (g) あたりの $\text{CO}_2\text{-C}$ 、 $\text{CH}_4\text{-C}$ 生成速度 ($\mu\text{g C g}^{-1} \text{ soil C day}^{-1}$) として算出した。

試料体積 (V) と気相体積 (V_g) から気相率 (ϵ) = V_g / V ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) を求めた。このとき、試料は脱水によって収縮したため、各水分条件それぞれにおいて実測した V を用いた。

ガス生成速度の培養温度と水分条件の影響の検定には二元配置の分散分析を用いた。また、処理区間差の検定には Tukey-HSD (有意水準 = 5%) を用いた。

4.2 二酸化炭素生成速度とメタン生成速度

水分変化に伴う CO_2 と CH_4 生成速度を図 - 17 に示す。 CO_2 生成速度は培養温度によって水分変化への応答が異なった。20 °C では湛水状態から pF2 までは試料の乾燥にともない CO_2 生成速度は大きくなり、pF2 から pF2.5 にかけて小さくなった。5 °C では水分条件によって有意差はなかった。 CH_4 生成速度は温度と水分によって有意な差は無かった。また CH_4 生成速度は CO_2 生成速度の 0.05% 以下であり、本実験においては CH_4 生成による炭素損失は無視できる程度だった。

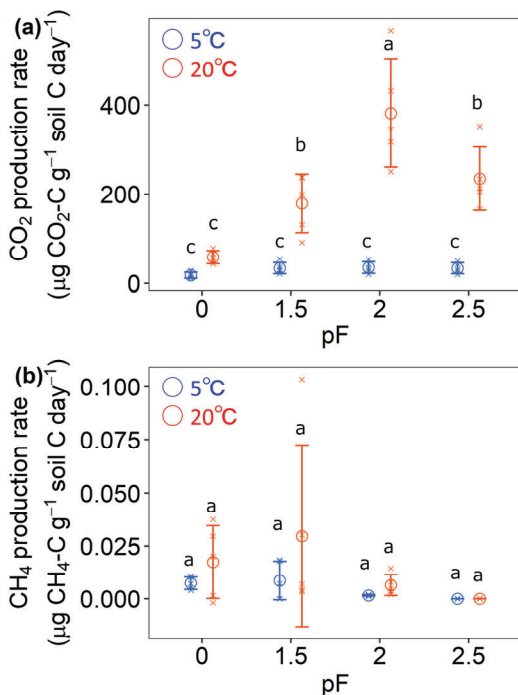


図 - 17 二酸化炭素生成速度とメタン生成速度 (×は反復ごとの値、○は平均値、エラーバーは標準偏差を表す。異なるアルファベット同士は互いに有意差がある (TukeyHSD, $\alpha=0.05$))

20 °C での CO_2 生成速度と気相率との関係を図 - 18 に示す。5 反復のいずれの試料でも湛水状態から pF2.0 までは気相率の増加に伴って CO_2 生成速度も大きくなったが、pF2.0 から pF2.5 にかけては気相率が増加しても CO_2 生成速度は小さくなる傾向だった。これは、湛水状態から pF2.0 までは泥炭試料と空気の接触面積が増えたことによって好気性微生物による有機物の分解が増大し、pF2.0 から pF2.5 にかけては乾燥ストレスによって好気性微生物の活性が低下した結果と考えられる。

4.3 水分変化による炭素損失量の見積もり

培養実験で得られた 1 日あたりの CO_2 生成速度に 30 を乗じ、各水分条件が 1 ヶ月間継続したと仮定した場合での炭素損失を (炭素損失量 (gC) / 初期炭素量 (gC)) × 100 (%) として見積もった (表 - 3)。5 °C における炭素損失は pF2.0 において 0.11% であり、pF2.0 と pF1.5、pF0 との差はそれぞれ 0.01% と 0.06% だった。

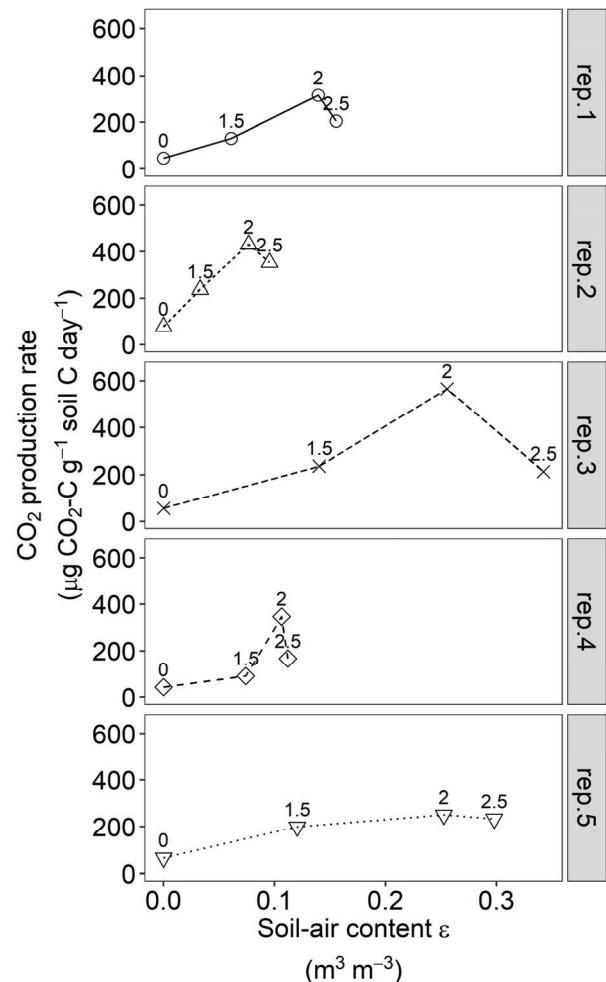


図 - 18 20°C で培養した試料の気相率 (ϵ) と二酸化炭素生成速度の関係

表 - 3 炭素損失量の見積もり（カッコ内は 5 反復の標準偏差）

泥炭の炭素損失 (% 初期炭素量 month ⁻¹)				
	pF=0	pF=1.5	pF=2.0	pF=2.5
5°C	0.05 (0.02)	0.10 (0.04)	0.11 (0.04)	0.10 (0.04)
20°C	0.17 (0.04)	0.53 (0.20)	1.15 (0.36)	0.70 (0.21)

一方 20 °Cにおける炭素損失は pF2.0 において 1.15% であり、pF2.0 と pF1.5、pF0 との差はそれぞれ 0.62% と 0.98%だった。20 °Cにおける炭素損失の見積もりの結果は、水分条件の違いが複数年継続した場合、泥炭の分解消失による沈下への影響が無視できなくなることを示唆している。すなわち、夏季に地下灌漑の利用により泥炭の水分を高く保ち、泥炭の分解・損失の抑制を経年的に繰り返すことで、長期的に沈下抑制に寄与する可能性がある。

5. まとめ

本研究は（1）大区画泥炭圃場の沈下実態と要因の解明、（2）地下水位制御による沈下抑制効果の検討を目的として行なった。地下水位の低下をきっかけとする圃場の沈下量は、水田よりも転作田の沈下が大きいこと、吸水渠の設置勾配に従った地下水位勾配の影響を受けること、が明らかとなった。また、沈下抑制は、

圃場の水田利用のほか、冬季に地下水位を高く保つこと、営農期間中の地下灌漑により泥炭の水分を高く保ち泥炭の分解損失を抑制すること、により効果がある可能性が示唆された。

沈下のしやすさは泥炭性状の影響を受け、高位泥炭や過去に水田利用期間が長い泥炭は間隙が大きく、圧縮や収縮を受けやすいことが示唆された。

大区画化された圃場を畑利用や田畑輪換する場合には、泥炭性状を把握した上で、冬季の地下水位制御、地下灌漑、圃場の水田利用といった圃場の沈下抑制策を取り入れた営農計画が重要となるだろう。

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) 梅田安治・神谷光彦：泥炭の土質特性の指標としての構成植物, 農業土木学会論文集, 121, 39-46, 1986.
- 3) 梅田安治・平岡秀展：泥炭の乾燥履歴と圧密特性について, 土質工学会北海道支部技術報告集, 20, pp.37-44, 1980.
- 4) 小野寺康浩・小野学：農耕地泥炭の表層部の圧縮性について, 寒地土木研究所月報, 614, pp.45-49, 2004
- 5) 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.

STUDY ON A MITIGATION OF SUBSIDENCE IN LARGE-SCALE FARMING FIELDS ON PEATLAND

Research Period : FY2016-2020

Research Team : Cold-Region Agricultural Development Research Group
(Rural Resource Conservation)

Author : NAGATAKE Arata

SHIMIZU Mariko

NIITSU Yuki

OKUDA Ryota

YAMAMOTO Hiroki

NAKAYAMA Hiroyuki

YOKOKAWA Hironobu

Abstract: Farming fields on peatland areas are prone to subside triggered by a drop in groundwater level. If the subsidence differs depending on the field or the scale of the field group, problems such as uneven ponding depth in the paddy field and deterioration of the function of the underdrain pipe and the drainage channel around the field occur. Therefore, there is a need for proposals for methods to mitigate the subsidence of farming fields on peatland. The purpose of this study was to (1) elucidate factors of subsidence in a large-scale farming field on peatland, and (2) examine the effect of mitigating subsidence by controlling the groundwater level. Subsidence is larger when the field is used as a crop field rather than when it was used as a paddy field, and the subsidence is affected by the water level gradient according to the installation slope of the underdrain pipe. It was suggested that using a field as a paddy, and keeping the groundwater level high in winter would mitigate subsidence. Keeping the water content of peat high by sub-irrigation during the farming period also might have the potential to mitigate subsidence due to suppression of decomposition loss of peat. Subsidence was affected by the properties of peat. High-moor peat and the peat that had been under paddy for a long time should be susceptible to compression and shrinkage due to its large porosity.

Key words: agricultural peatland, large-scale field, factors on peat subsidence, mitigation of subsidence, sub-irrigation