

# 除雪が土壤凍結深と土壤物理性に与える影響

— 酪農学園大学内の圃場における一事例 —

澤 本 卓 治<sup>1)</sup>・竹 田 伊 織<sup>1,2)</sup>

Effect of removal of snow on soil freezing and the physical properties of the soil  
— A case study in a field at Rakuno Gakuen University

Takuji SAWAMOTO<sup>1)</sup> and Iori TAKEDA<sup>1,2)</sup>  
(Accepted 3 July 2019)

## 1. 背景と目的

現在、地球温暖化の影響によって、様々な気象の変化（気温上昇、大雨増加、積雪変化など）が起きているといわれており（札幌管区气象台, 2017）、北海道の農林水産業への影響やその対策についても検討されている（地方独立行政法人 北海道立総合研究機構, 2014）。そのひとつとして、北海道・十勝地方において、初冬の積雪深増加による土壤凍結深の減少に伴い、畑に収穫されずに残ったバレイショが雑草化して、後作物の生育阻害や病害虫発生等の源となる野良イモの問題への対策技術として、土壤凍結の利活用が研究・開発され、普及されている。これは、断熱作用のある雪を氷点下の条件下で縞状に除雪や再集積をする雪割りにより、土壤凍結深さを適切に制御し、野良イモを除草剤を使用せずにほぼ完ぺきに防除するといったものである（広田, 2019）。

土壤凍結は、凍上、土壤団粒構造の破壊、透水性と碎土性の向上、あるいは生化学反応への影響（植物根の切断や微生物の死滅）をもたらすために、土壤凍結深を制御することで土壤肥沃度を改善できる可能性がある（吉村, 2018）。小野寺（2018）は、北海道農政部の平成 30 年普及奨励ならびに指導参考事項を引用しながら、オホーツク・十勝地域において、土壤凍結促進によって作物の生産性が向上したことを確認し、それは、土壤の碎土性や透水性、保水性の向上などの土壤物理性の改善と窒素溶脱抑制効果の両者によるものと紹介している。

本学は道央の石狩地方に位置しており、オホーツ

ク・十勝地域より積雪が多いなど気象条件が異なっている。長沢・梅田（1985）によれば、石狩地方では積雪深が多いために土壤凍結は起きない。このような地域で上記のような土壤凍結による対策技術、土壤物理性改善や作物生産性向上のニーズはそれほど高くないと思われるが、事例的に調査して記録しておくことは意味があるかもしれないと考え、筆者（竹田）の卒業論文研究として行うこととした。すなわち、除雪により土壤凍結が生じるか、土壤凍結が生じる場合、土壤物理性にどのような変化を与えるのかを調査することを目的とした。

## 2. 材料と方法

### 調査地

本研究は酪農学園フィールド教育研究センター（北海道江別市）の FB15 圃場（7.5 m×9.2 m：中心点は北緯 43.072332 度・東経 141.505869 度、標高 47 m）で実施した。本圃場は野幌丘陵の傾斜地に位置しており、水はけは良くない。作土深は 20 cm 程度（土色 10YR3/3）であり、この直下に耕盤層と思われる層が 30 cm 深まで認められた。約 20 m 離れた FB17 圃場において 2017 年 10 月に採取された作土の分析結果によれば、土性は軽埴土（粗砂 26%、細砂 15%、シルト 26%、粘土 33%）、pH (H<sub>2</sub>O) 6.9、りん酸吸収係数 679、陽イオン交換容量（CEC）19.0 me/100 g、腐植含量 3.5%、置換酸度（y<sub>1</sub>）0.25 である（十勝農協連による分析結果）。天野・水野（2002）は本地点の土壤を腐植質黄色土（細粒質）に分類している。なお、本地点より斜面下方に

1) 酪農学園大学農食環境学群循環農学類土壤環境学研究室  
Soil and Environmental Science, Department of Sustainable Agriculture, College of Agriculture, Food and Environment Sciences, Rakuno Gakuen University, 582, Bunkyo-dai-Midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan  
2) 渡島農業改良普及センター  
Oshima Agricultural Extension Center, 74-4, Higashimae, Hokuto, Hokkaido 041-1214, Japan

は黒ボク土が分布し、斜面上方には灰色台地土が分布している（天野・水野，2002）。

本圃場では2017年に陸稲が栽培され、11月上旬に刈り株が鋤きこまれた。11月16日に圃場内の7.5 m×6.0 mを囲い、これを3.75 m×3.0 mに4分割し、斜面上側をブロック1、下側をブロック2とする乱塊法として、除雪区と積雪区を配置した(図1)。2018年7月9日にロータリーで耕起・整地(深さ15 cm程度)された。区画設置(2017年11月)から最後の土壌採取(2018年9月)までのあいだ、圃場内に立ち入る場合は必ず複数の木板の上のり作業を行った。これは踏圧による圧密で土壌物理性を変化させてしまうことを避けるためである。

#### 土壌凍結深の測定

矢作ら(1991)を参考に土壌凍結深計管を作成した。その外管(塩化ビニル)は全長500 mm・外径38 mm・内径30 mmであり、下端50 mmを尖らせ密閉した。内管(アクリル)は全長505 mm・外径30 mm・内径24 mmであり、下端をシリコン栓で密閉した。これに内管液(50 ppmのメチレンブルー溶液)を入れ、全長約500 mm・外径8 mm・内径6 mmの下端を密閉したビニルチューブを貫通したシリコン栓で上端を密閉した。凍結による内管液膨張時には、このチューブが収縮し内管は破裂しない。メチレンブルー溶液は常温では鮮明な青色で、凍結時は透明に近い色を呈するため、内管を外管から取り出し、内管液の色の变化を記録することで凍結深を計測することが可能となる。

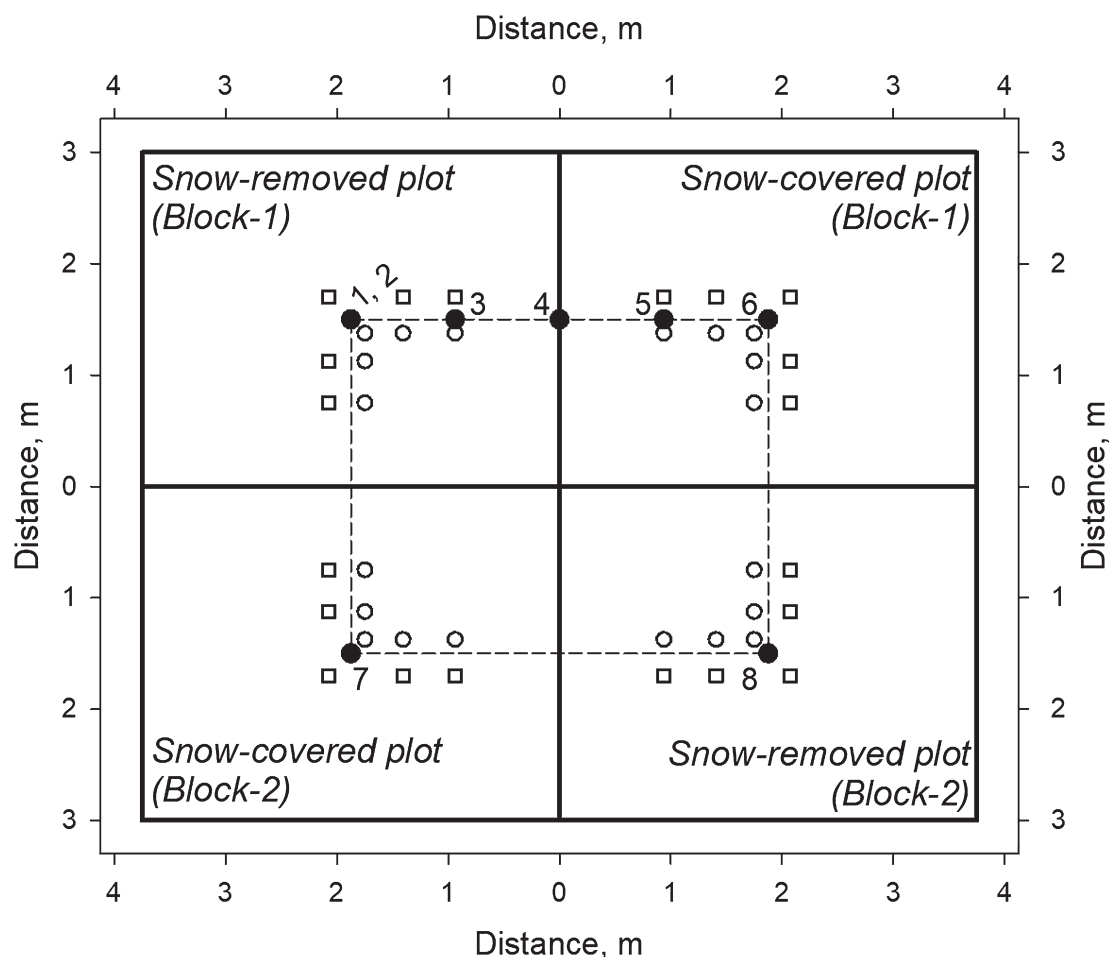


図1 実験デザイン(処理区と採取・測定などの実施位置)

図の上側が斜面上部である。斜面上部をブロック1、下部をブロック2とした。各ブロックに除雪区(Snow-removed plot)と積雪区(Snow-covered plot)を設けた。●は土壌凍結深計管を埋設した位置を示し、番号はその管番号を示す。ブロック1の除雪区中心点のみ、ふたつの土壌凍結深計管を埋設した。No. 1, 2, 6, 7, および8は各区画の中心点とし、No. 2~6はライン上に等間隔(No. 4は境界線上)とした。○(点線から10~15 cm程度内側の位置)は貫入式土壌硬度計による貫入抵抗を測定した位置を示す。ここでは100 mL円筒コアを用いた不攪乱土壌(各位置で2つずつ)も採取した。□(点線から20 cm程度外側の位置)は型枠による土壌ブロックを採取した位置を示す。

2017 年 12 月 21～23 日に 8 つの土壤凍結深計管を埋設した(図 1)。ドリルオーガ(直径 20 mm)で土壤表面から深さ約 30 cm まで穴をあけ、これに外管の下端をあて、上端に段ボール片を 3 枚重ねてハンマーを打ち、外管上側が約 5 cm ほど出た状態になるまで埋設した。外管に内管を入れ、地表面から外管の上端までの高さ(h)、および、外管上端から内管上端までの高さ(H)を測定・記録した。雪や水が外管と内管のすきまやチューブ内に入らないようにするための対策として、内管上端にビニール袋をかぶせ、その上からキャップ(塩化ビニル:全長 53 mm・外径 48 mm・内径 38 mm)をかぶせ、さらに別のビニール袋をかぶせて紐でしばった。

一般家庭で使われる雪かきスコップを使用して、除雪区の積雪を圃場外のなるべく遠くに排雪した。ただし、わずかな積雪ではなく少しまとまった積雪ごとに排雪した。この際、土壤表面を削らないように注意した。土壤凍結深の測定は 12 月下旬から 4 月上旬までのあいだ、除雪区では月に 3 回以上、積雪区では月に 1 回の頻度で行った。内管の上端から色が変化しているメチレンブルー溶液の範囲(凍結範囲)を「F」として測定・記録した。実際の土壤凍結深度の範囲は「 $F - (h + H)$ 」で計算した。なお、積雪区では鉛直方向になるべく小さな円柱形となるように雪を掘り出し、積雪の状態を乱さないように埋め戻した。

#### 土壤硬度

土壤環境分析法編集委員会(1997)の方法にしたがい、大起理化工業株式会社製のデジタル貫入式土壤硬度計(DIK-5531)を用いて貫入抵抗を測定した。測定位置を図 1 に示す(各区画 5 地点)。耕起・整地前は 2018 年 4 月 19 日、耕起・整地後は 7 月 30 日に実施した。1～30 cm 深で測定を行ったが、いくつかの地点では深さ 20 cm 以深で土壤が非常に硬かったために貫入できなかった。このため、深さ 20 cm までの結果を用いることとした。なお、上記の測定日において、4 区画からそれぞれ 0～20 cm の土壤を採取し、105℃・48 時間の乾燥前後の質量変化から土壤水分を求めた。

#### 飽和透水係数および容積重

大起理化工業株式会社製のステンレス試料円筒(DIK-1801)(高さ 5 cm)を用いて、不攪乱土壤を採取した。土壤硬度の測定位置付近において、7.5～12.5 cm の深さから各地点 2 個採取した(各区画 10 個)。耕起・整地前は 2018 年 4 月 28～29 日、

耕起・整地後は 8 月 2～3 日に採取した。土壤環境分析法編集委員会(1997)の方法にしたがい、大起理化工業株式会社製の変水位透水性測定器(DIK-4050)を使用して飽和透水係数を測定した後、試料円筒を 105℃で 48 時間乾燥させ、乾燥質量から容積重を求めた。

#### 土塊分布

Shepherd *et al.* (2008) と岡ら(2017, 2018a)を参考に実施した。土壤ブロック採取用型枠は縦・横・高さが 15 cm×15 cm×20 cm の直方体とした。ただし、15 cm×15 cm の 2 面のうち 1 面はなく(これが下側)、もう 1 面(天板)の対角線で 2 つに分離している。ステンレス製で、天板と側板の厚さはそれぞれ 4 mm および 2 mm であり、埋め込みやすいように下端を斜めに削った。

土壤ブロック採取を行う際は型枠が分離しないようにビニールテープで幾重にも巻いて一体とし、下端から 15 cm の位置に黒マジックで線を引いた。図 1 に示す位置(各区画 5 地点)で、耕起・整地前の 5 月 21～29 日と耕起・整地後の 9 月 3～17 日に、15 cm×15 cm×15 cm の土壤ブロックを 2 人で採取した。すなわち、ひとりが 60 cm×8.5 cm×3.7 cm の木板を型枠の上に置いて押さえ、もうひとりが上部からハンマーで打ち込んだ。掘り起こした型枠の下からはみ出た土壤を慎重にカットし、そこに 15 cm×15 cm の段ボールをあてがってこれを下面として 30 L ビニール袋に入れた。この中でビニールテープをはずして土壤ブロックから型枠を外した。形状を維持するためビニール袋の上からビニールテープを巻き、実験室に持ち帰った。

実験室ではこれをトレーにのせ、ビニール袋を開封して風乾させた。圃場内の別の位置で採取した予備土壤ブロックも同様に風乾させ、その質量を定期的に測定して、風乾の終了を判断した。風乾した土壤ブロックを高さ 1 m からコンクリート床に一度だけ落下させ砕いた。床にシートをひろげ 120 cm×120 cm×30 cm の囲いをつくり、生成した土塊を取り残さないようにした。これをふるいで 31.5 mm 以上(大)、31.5～4.75 mm(中)、4.75 mm 以下(小)の土塊サイズに分け、それらの質量を測定した。

#### データの統計解析

本実験は上述のように、斜面上側をブロック 1、斜面下側をブロック 2 とし、各ブロックに除雪区と積雪区を配置した、乱塊法による 1 因子実験である。

各区画における平均値に対して、Microsoft Excel 2016 のデータ分析ツール「分散分析：繰り返しのない二元配置」を用いて、処理（除雪の有無）による有意性があるかを判定（有意水準： $P=0.05$ ）した。

### 3. 結 果

#### 土壌凍結

積雪区と除雪区の境界にできた雪壁で測定した最大積雪深は 88 cm（3 月 3 日）であった。これ以降に雪解けがすすみ 4 月 5 日には積雪がなくなった。なお、気象庁札幌管区气象台（札幌市中央区：本学から約 15 km）でも同様に、3 月 2 日に最大積雪深 89 cm を 3 月 30 日に積雪ゼロを観測している。このような積雪条件において、積雪区における土壌凍結深計管（No. 5～7）では、一度も土壌凍結が認められなかった。

一方、除雪区（No. 1～3, 8）およびその境界（No. 4）では土壌凍結が確認された。その一例として土壌凍結深計管 No. 2 の結果を図 2 に示す。1 月下旬から土壌凍結がはじまり、3 月上旬に最大深を示し、それ以降は地表面と地下の両方向から融解し、4 月上旬には完全に融解した。除雪区においては、No. 1～3 と 8 の最大土壌凍結深は、それぞれ 26.4、

23.5、25.7、および 27.2 cm であった。境界（No. 4）のそれは 14.9 cm と除雪区よりも浅いものであった。

#### 貫入抵抗

深さ 1～20 cm における貫入抵抗の値（MPa）を図 3 に示す。試料円筒を用いた不攪乱土壌を 7.5～12.5 cm 深さで採取したため、深さを 3 区分（1～7, 8～12, および 13～20 cm）とし、各区画の平均値も示した。耕起・整地前（2018 年 4 月）では、ほとんどの測定地点において深さとともに貫入抵抗が上昇した。平均値を計算すると、深さ 1～7 cm では積雪区 0.541 に対して除雪区 0.459（比 0.85）、深さ 8～12 cm では積雪区 1.092 に対して除雪区 0.802（比 0.73）、深さ 13～20 cm では積雪区 2.062 に対して除雪区 1.363（比 0.66）であった（表 1）。このように、深い位置ほど除雪区の硬度が積雪区と比較して相対的に低かった。分散分析によって得られた  $P$  値（表 1）は、1～7, 8～12, および 13～20 cm において、それぞれ 0.6083, 0.1591, および 0.0218 であった。すなわち、深くなるにつれて  $P$  値が低下し、深さ 13～20 cm では除雪区の貫入抵抗が積雪区のそれよりも有意に低かった。

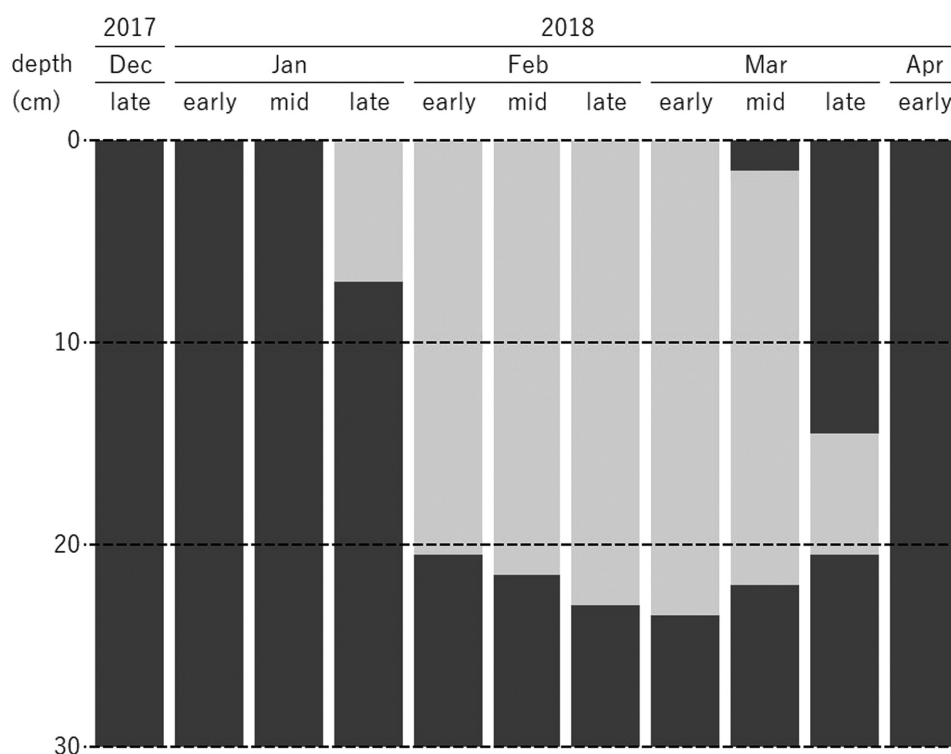


図 2 土壌凍結深の推移

除雪区（ブロック 1）の中心点に埋設した土壌凍結深計管 No. 2 の結果。横軸が時期、縦軸が表面からの土壌深（cm）を示す。濃色が非凍結、薄色が凍結を示す。



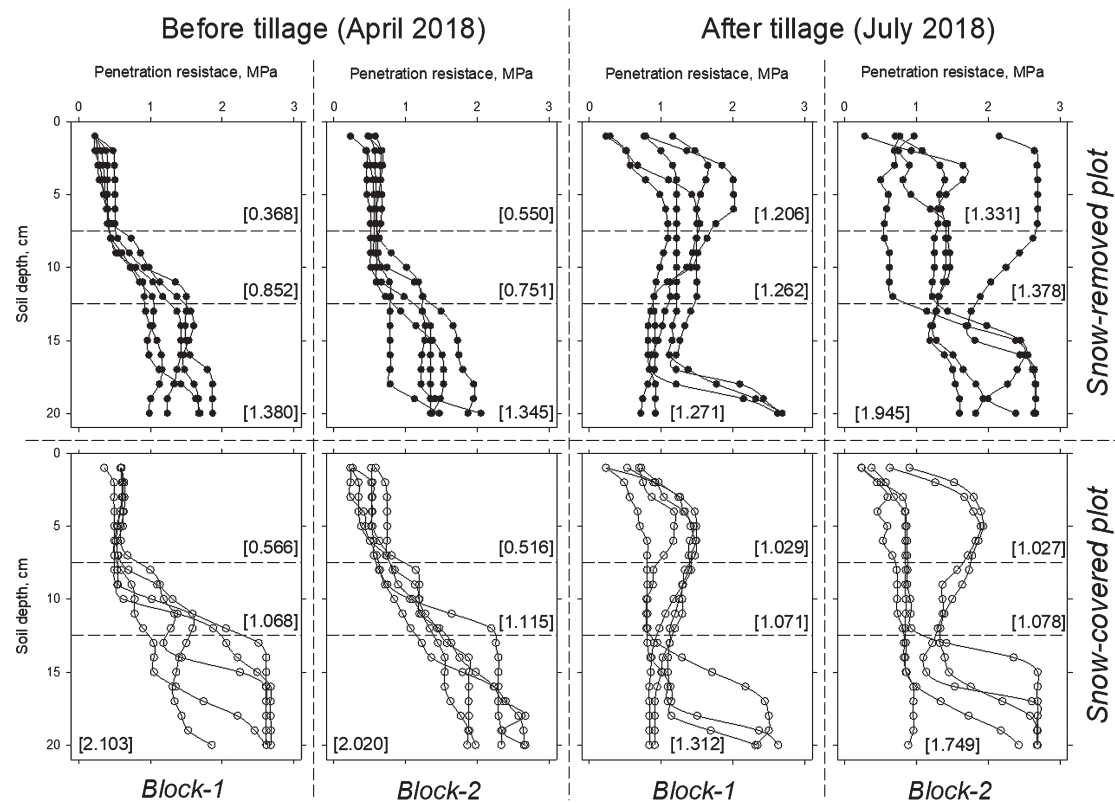


図3 貫入抵抗値 (MPa)

左側が耕起・整地前 (2018 年 4 月)、右側が耕起整地後 (2018 年 7 月)、上段が除雪区、下段が積雪区である (各区画  $n=5$ )。試料円筒を用いて不攪乱土壌を 7.5~12.5 cm の深さで採取したことも考慮し、深さを 3 区分 (1~7, 8~12, および 13~20 cm) とし、図中の数値は深さ区分内における全ての貫入抵抗値の平均値を示す。

表1 貫入硬度 (MPa) の測定と分散分析の結果

区画		耕起・整地前			耕起・整地後		
ブロック (B)	処理 (T)	0-7 cm 深	8-12 cm 深	13-20 cm 深	0-7 cm 深	8-12 cm 深	13-20 cm 深
ブロック 1	除雪区	0.368	0.852	1.380	1.206	1.262	1.271
	積雪区	0.566	1.068	2.103	1.029	1.071	1.312
ブロック 2	除雪区	0.550	0.751	1.345	1.331	1.378	1.945
	積雪区	0.516	1.115	2.020	1.027	1.078	1.749
平均値	除雪区	0.459	0.802	1.363	1.269	1.320	1.608
	積雪区	0.541	1.092	2.062	1.028	1.075	1.531
	ブロック 1	0.467	0.960	1.742	1.118	1.167	1.292
	ブロック 2	0.533	0.933	1.683	1.179	1.228	1.847
分散分析結果	$P_B=$	0.6707	0.7773	0.2459	0.5102	0.4616	0.1338
	$P_T=$	0.6083	0.1591	0.0218	0.1643	0.1391	0.6313

元データは図3を参照

耕起・整地後 (2018 年 7 月) では、深さとともに貫入抵抗が上昇する傾向は認められなかった。平均値を計算すると、深さ 1~7 cm では積雪区 1.028 に対して除雪区 1.269 (比 1.23)、深さ 8~12 cm では積雪区 1.075 に対して除雪区 1.320 (比 1.23)、深さ 13~20 cm では積雪区 1.531 に対して除雪区 1.608 (比 1.05) であった (表 1)。耕起・整地前と同様に、

深い位置で比は低下したが、分散分析によって得られた  $P$  値 (表 1) は、1~7, 8~12, および 13~20 cm において、それぞれ 0.1643, 0.1391, および 0.6313 であった。すなわち、耕起・整地前の結果と異なり、深くなるにつれて  $P$  値の低下は認められず、有意性も認められなかった。

なお、耕起・整地前の含水比は融雪後、間もない

こともあり平均 27.6%（範囲 26.1～30.0%）と高かったが、耕起・整地後の含水比は平均 21.1%（範囲 19.8～22.3%）と低かった。

#### 飽和透水係数および容積重

飽和透水係数の結果を図 4 に示す。耕起・整地の前でも後でも、各区画における 10 点の測定値の範囲は広く、処理（除雪の有無）におけるちがいはないようにみえる。対数値 ( $\log_{10}$  (cm/s)) の平均値を計算すると、耕起整地前の積雪区 -2.74 に対して除雪区 -2.78, 耕起整地後の積雪区 -1.91 に対して除雪区 -1.98 とほとんど差がなく、分散分析による有意性も認められなかった（表 2）。

容積重の結果を図 5 に示す。飽和透水係数と同様に、耕起・整地の前でも後でも、各区画における 10 点の測定値の範囲は広く、処理におけるちがいはないようにみえる。平均値 ( $\text{Mg/m}^3$ ) を計算すると、耕起整地前の積雪区 1.34 に対して除雪区 1.34, 耕起整地後の積雪区 1.26 に対して除雪区 1.27 とほとんど差がなく、分散分析による有意性も認められなかった（表 2）。

#### 土塊分布

土塊の重量割合分布を図 6 に示す。図内のデータは除雪区と積雪区で異なった領域にあるようにはみえない。むしろ、耕起・整地前で明瞭であるが、同

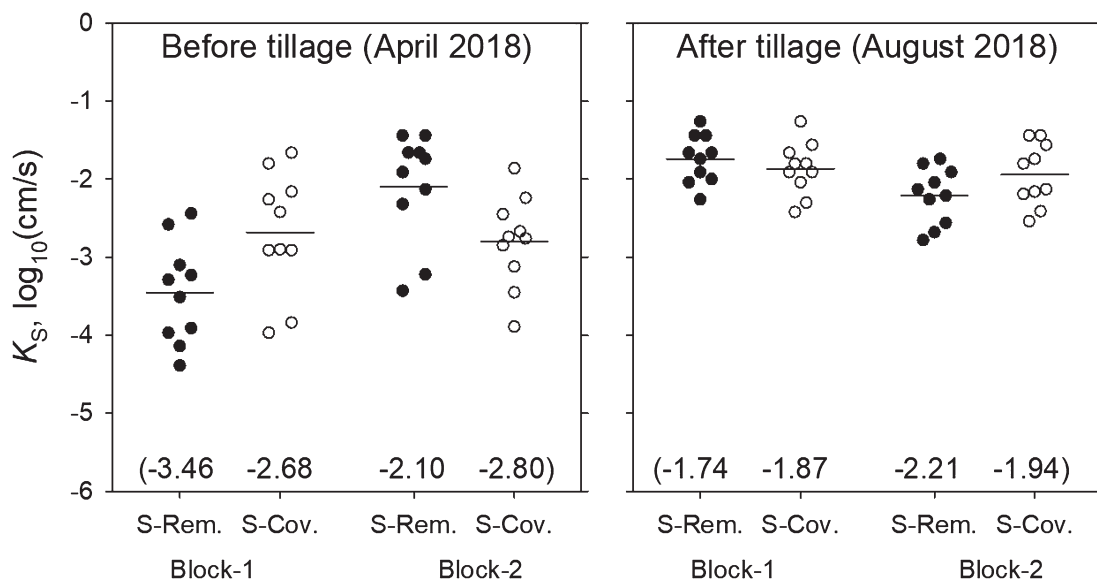


図 4 深さ 7.5～12.5cm で採取した不攪乱土壌の飽和透水係数  $K_s$  (cm/s) の対数値

左側が耕起・整地前（2018 年 4 月）、右側が耕起整地後（2018 年 8 月）に採取した土壌によるもの。横軸の S-Rem. および S-Cov. は、それぞれ除雪区および積雪区を示す。各区画の測定値 ( $n=10$ ) は●もしくは○で示し、横棒と括弧内数値はそれらの平均値を示す。縦軸の数値が高い（0 に近い）ほど、透水性が高い（水が流れやすい）ことを示す。

表 2 飽和透水係数 ( $K_s$ : cm/s) と容積重 ( $BD$ :  $\text{Mg/m}^3$ ) の測定と分散分析の結果

区画		耕起・整地前		耕起・整地後	
ブロック (B)	処理 (T)	$\log_{10}(K_s)$	$BD$	$\log_{10}(K_s)$	$BD$
ブロック 1	除雪区	-3.46	1.40	-1.74	1.29
	積雪区	-2.68	1.35	-1.87	1.30
ブロック 2	除雪区	-2.10	1.28	-2.21	1.24
	積雪区	-2.80	1.33	-1.94	1.21
平均値	除雪区	-2.78	1.34	-1.98	1.27
	積雪区	-2.74	1.34	-1.91	1.26
	ブロック 1	-3.07	1.38	-1.81	1.30
	ブロック 2	-2.45	1.31	-2.08	1.23
分散分析結果	$P_B =$	0.5560	0.3949	0.4059	0.1772
	$P_T =$	0.9656	1.0000	0.7857	0.7048

元データは図 4 と図 5 を参照

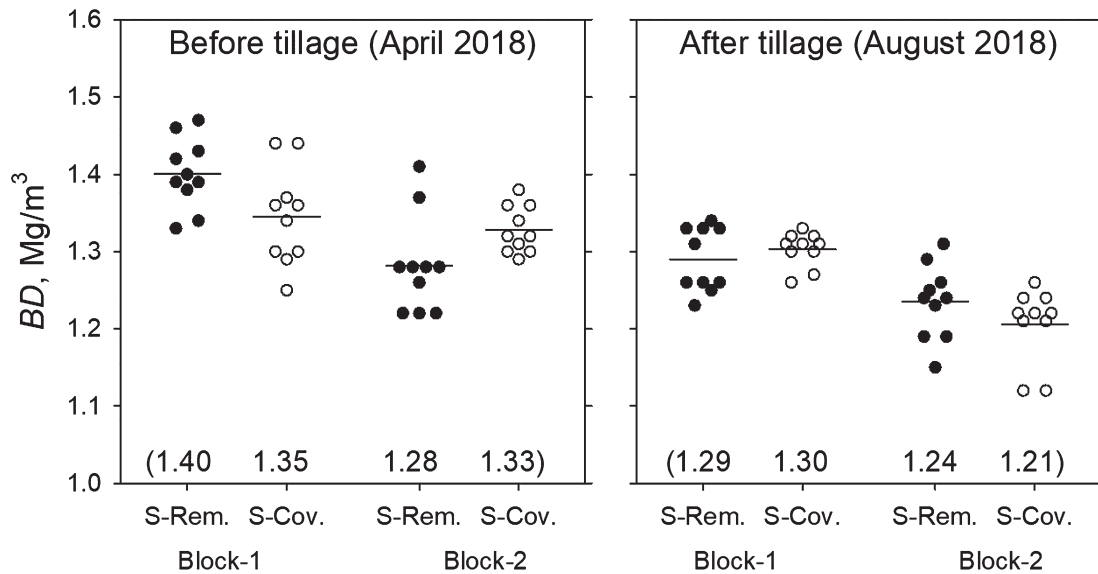


図5 深さ7.5~12.5 cmで採取した不攪乱土壤の容積重  $BD$  ( $\text{Mg}/\text{m}^3$ )

左側が耕起・整地前(2018年4月)、右側が耕起整地後(2018年8月)に採取した土壤によるもの。横軸のS-Rem. およびS-Cov. は、それぞれ除雪区および積雪区を示す。各区画の測定値( $n=10$ )は●もしくは○で示し、横棒と括弧内数値はそれらの平均値を示す。

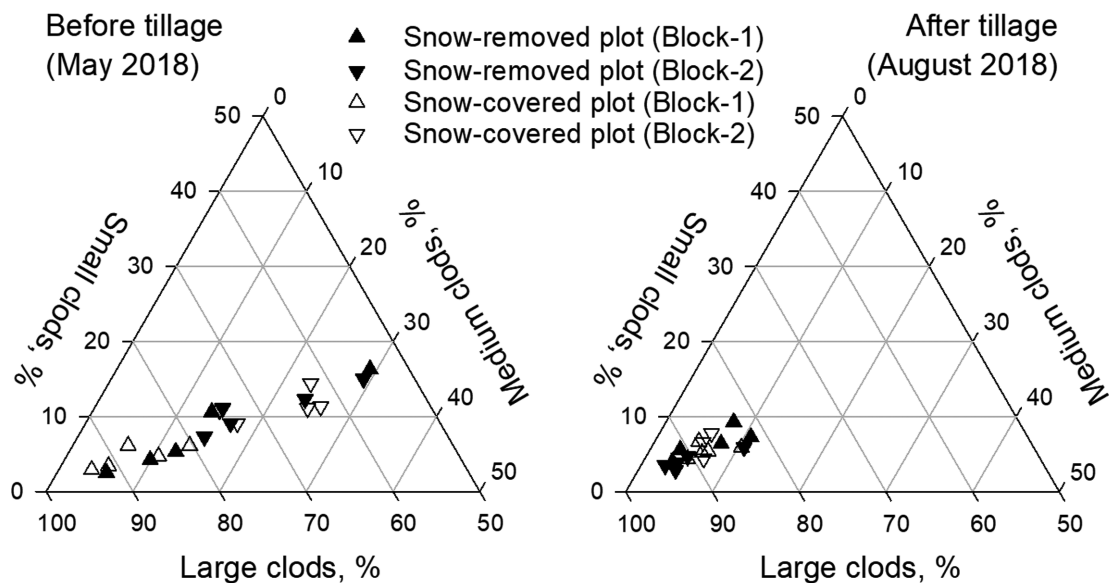


図6 風乾土壤ブロックを1 m 高から落下させて生成した土塊の重量割合分布

左側が耕起・整地前(2018年5月)、右側が耕起整地後(2018年8月)に採取した土壤ブロックによるもの(各区画  $n=5$ )。Large clods, Medium clods, および Small Clods は、それぞれ、ふるいによって分別した31.5 mm 以上, 31.5~4.75 mm, および4.75 mm 以下の土塊重量% (合計100)を示す。

一線上にあるようにみえる。土塊サイズ大, 中, および小ごとに割合について, 区画ごとの平均値と分散分析の結果を表3に示す。どの土塊サイズにおいても, 除雪区と積雪区の平均値は大きく異なるものではなく, 分散分析による有意性は認められなかった。

#### 4. 考 察

##### 積雪深と土壤凍結

最大積雪深と融雪は, 積雪区と札幌管区気象台で同様であったため, 除雪作業が積雪区の積雪状態に大きな影響を与えたとは考えにくい。加えて, 学内で測定された気象観測よれば12月下旬から4月上

表3 土塊割合(%)の測定と分散分析の結果

区画		耕起・整地前			耕起・整地後		
ブロック (B)	処理 (T)	土塊 大	土塊 中	土塊 小	土塊 大	土塊 中	土塊 小
ブロック 1	除雪区	78.04	14.18	7.76	86.82	6.66	6.50
	積雪区	87.40	7.96	4.64	87.80	6.68	5.58
ブロック 2	除雪区	69.26	19.78	10.94	90.52	5.32	4.16
	積雪区	67.46	21.20	11.36	89.38	5.26	5.38
平均値	除雪区	73.65	16.98	9.35	88.67	5.99	5.33
	積雪区	77.43	14.58	8.00	88.59	5.97	5.48
	ブロック 1	82.72	11.07	6.20	87.31	6.67	6.04
	ブロック 2	68.36	20.49	11.15	89.95	5.29	4.77
分散分析結果	$P_B =$	0.2359	0.2453	0.2186	0.2431	0.0184	0.4457
	$P_T =$	0.6210	0.6429	0.5852	0.9520	0.7048	0.9113

元データは図4と図5を参照

「土塊 大」は、31.5 mm 以上のサイズである。

「土塊 中」は、31.5～4.75 mm 以上のサイズである。

「土塊 小」は、4.75 mm 以下のサイズである。

旬まで地温は常にプラスであった(データ省略)。これは、積雪区の土壤凍結認められなかったことと一致する。したがって、本研究の積雪区では自然状態と大きく乖離したようなことはなかったと思われる。

除雪区では1月中旬以降に土壤凍結がはじまり、区画中心に埋設した3つの土壤凍結深計管にばらつきがあったものの、20 cm 深以上の凍結が認められた。このことは、区画が3.75 m×3.0 m と小規模であったが、除雪が土壤凍結を生じさせたことを示している。しかし、積雪地帯から相対的に高い地温の影響が除雪区内にあったかもしれない。このことを考察するために、図7に除雪区と積雪区を横断する地点の土壤凍結深を示す。積雪区と除雪区の境界(距離0 m)では、土壤凍結深が除雪区中心(距離1.9 m)の半分程度であり、積雪区の高い地温の影響を受けていたと考えられる。一方、境界から0.9 m 離れた除雪区(No.3)では除雪区中心と同程度の凍結深であり、同じく0.9 m 離れた積雪区(No.5)では積雪区中心と同じく土壤凍結が認められなかった。したがって、図7より、境界から0.5 m 以内では無視できない温度勾配および凍結深の上下変動があるが、それ以上離れれば温度勾配および凍結深の上下変動はわずかで、区画外からの地温の影響は無視できる程度になると思われる。各区画5地点で土壤硬度測定や土壤採取を実施したが、それらは境界から少なくとも0.75 m 離れているため(図1)、測定・採取地点は凍結と非凍結を評価できる範囲であったと考えられる。

ところで、長沢・梅田(1985)は過去の研究を引用する形で、札幌近辺で仮に積雪がない条件となれ

ば40 cm 深まで凍結が生じることを紹介している。本研究では、最大凍結深はこれより浅く25 cm 程度であった。この差の一因として、少しまとまった積雪ごとに排雪を行ったため、除雪区は常時完全な無積雪状態ではなかったことが考えられる。

#### 土壤凍結と土壤物理性

貫入抵抗、飽和透水係数、容積重、および土塊分布のデータはいずれも土壤表面から深さ20 cm 以内を対象としたものであるため、除雪区のデータは土壤凍結を受けたものであるといえる。したがって、除雪区と積雪区を比較することで土壤凍結の影響を評価できる。ただし、耕起・整地後は、耕起・整地の影響と土壤水分低下で硬度が上昇する影響の両方が全区画に加わっていたことに留意する必要がある。

耕起・整地前ではいずれの深さ区分でも、貫入抵抗が積雪区平均>除雪区平均であり、深くなるにつれてその度合いが高くなり、13 cm 以深で有意な差が認められた。これは、(1)土壤凍結が土壤硬度を低下させる効果があること、(2)その効果が深い位置で顕在化したことを示している。耕起・整地後では同様の結果を示さなかったことから、(3)凍結による土壤硬度の低下は融雪直後に限定されたことを示している。

これらの理由について考察する。(1)については、諸言でも触れたように土壤凍結は団粒構造の破壊や、透水性、碎土性の向上をもたらす(吉村, 2018)ことの結果と考えられる。(2)については、深い位置ほど耕盤層に近く硬かったためかもしれない。(3)については、土壤水分低下にもかかわらず積雪



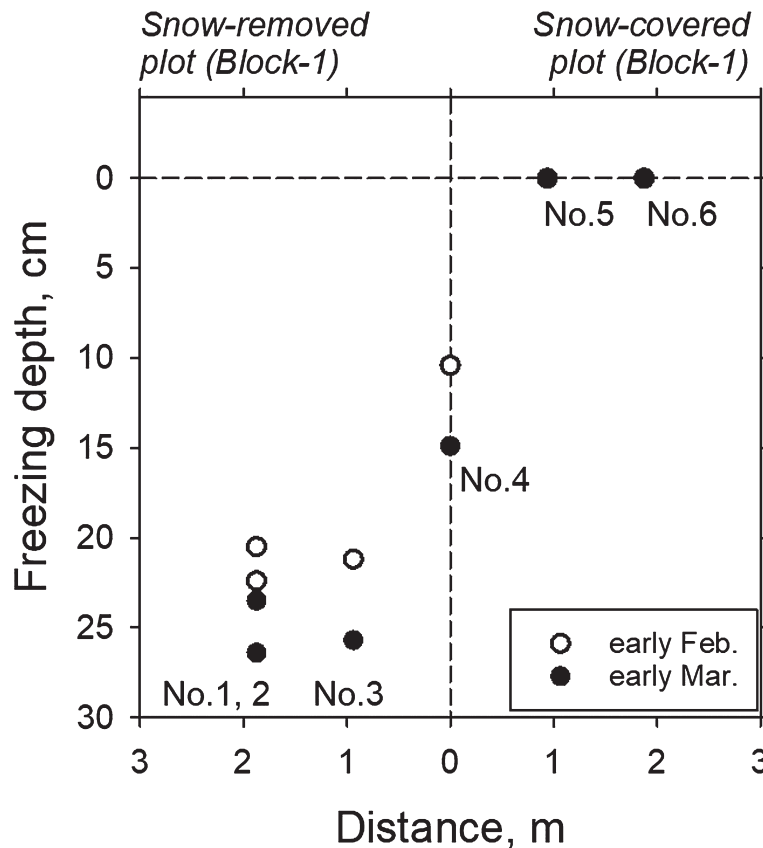


図7 除雪区と積雪区を横断する地点の土壤凍結深（2月上旬と3月上旬）  
積雪区における土壤凍結深計管（No. 5および6）においては、土壤凍結が認められなかった。これらにおいては、○と●が重なって表示されている。

区 13 cm 以深の貫入抵抗が耕起・整地後に低下した（平均値で 2.062 から 1.531：図 3 および表 1）ことから、耕起・整地時に 15 cm よりも深く耕起が入ってしまったことによるのかもしれない。

飽和透水係数、容積重、および土塊分布については、耕起・整地の前後で除雪の有無による有意性は認められなかった。この理由として上述した (2) が適用されると考えられる。なぜならば、これらの測定項目はすべて 0～15 cm 深の範囲で実施されたからである。仮に、これらの測定項目を 15～20 cm 深で採取・測定していたならば、融雪直後において有意性が認められたかもしれない。

単独では土壤凍結による有意性が認められなかった測定項目について、それらの関係性に有意性が認められるか検討する。容積重と飽和透水係数の関係を図 8 に示す。一般的に、容積重が高ければ孔隙率が低下するため、飽和透水係数は低下する。耕起・整地後と比較して耕起・整地前では容積重が高いため、データが広く分布しており、容積重と飽和透水係数に負の有意な相関が認められた。加えて、除雪

区と積雪区のデータが同一直線状に分布している。以上から、飽和透水係数は容積重によって説明されるが、両者の「関係」は土壤凍結により変化しなかったことを示している。図 9 には大土塊割合と中・小土塊割合の関係を示す。大土塊割合の範囲が広い耕起・整地前では、両者に高い負の相関があることが明瞭である。岡ら（2018b）も大土塊と小土塊には高い負の相関を認めており、どちらかの土塊割合で土塊分布の特徴をある程度は示すことが可能であると思われる。図 9 おいても除雪区と積雪区のデータが同一直線状に分布していることから、異なる土塊サイズの割合の「関係」も土壤凍結により変化しなかったことを示している。

#### 本学における除雪と土壤凍結のメリット

積雪地帯に位置する本学でも除雪をすれば土壤凍結が発生する。その結果、融雪直後であれば、凍結により作土のやや深い位置の土壤硬度が低下することが確認できた。しかし、耕起・整地後では土壤凍結による土壤硬度低下は確認できなくなり、その他

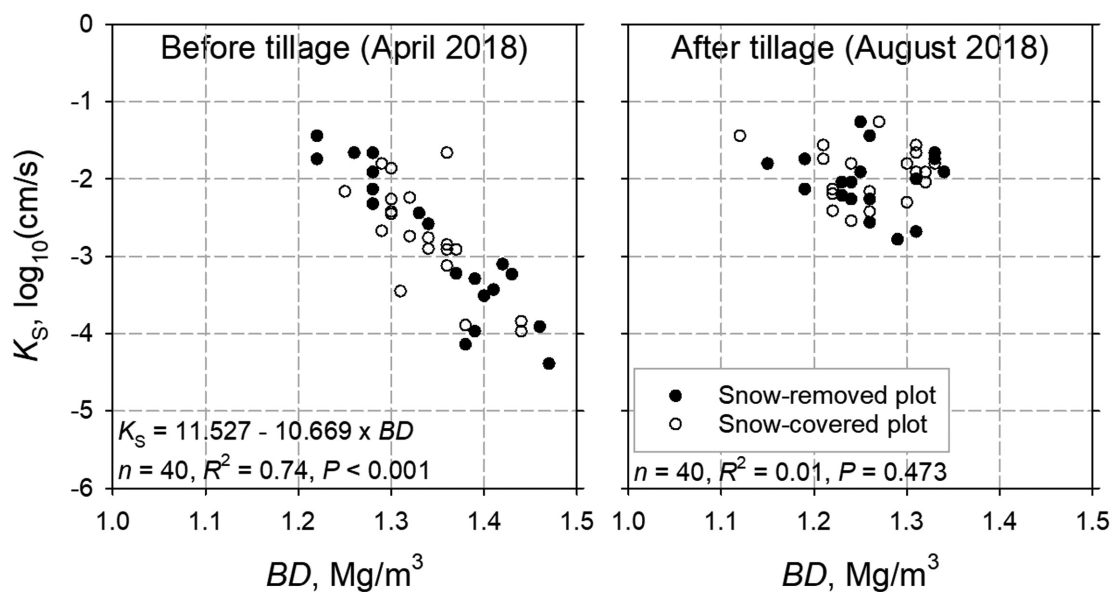


図8 容積重  $BD$  と飽和透水係数  $K_s$  の関係

左側が耕起・整地前（2018年4月）、右側が耕起整地後（2018年8月）に採取した土壌によるもの。●および○は、それぞれ除雪区および積雪区を示す。（元データは図4および図5）

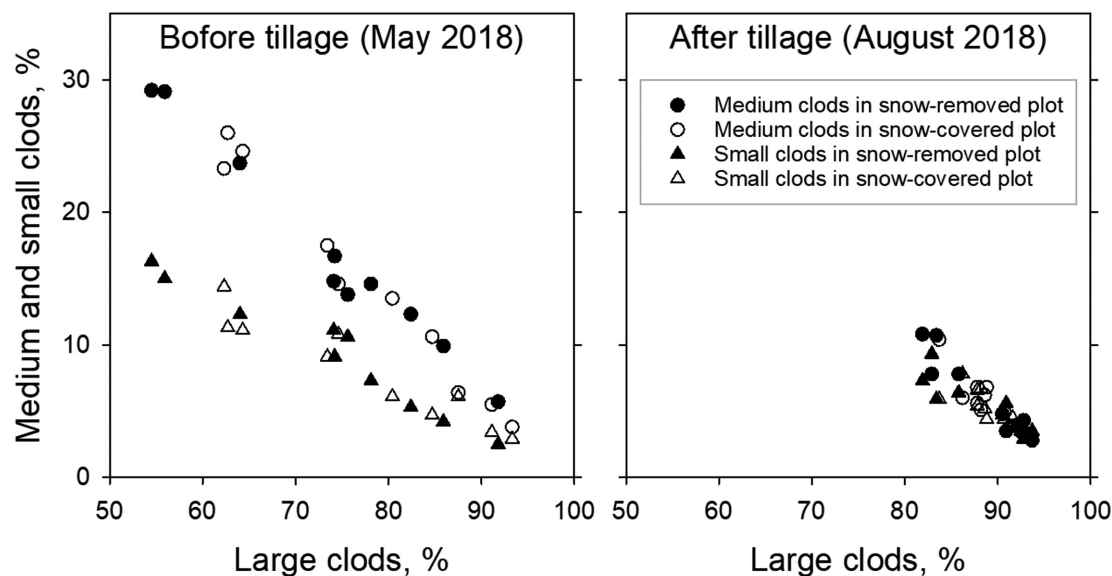


図9 異なるサイズの土塊重量割合の関係

左側が耕起・整地前（2018年5月）、右側が耕起整地後（2018年8月）に採取した土壌ブロックによるもの（ $n=20$ ）。（土塊サイズ区分と元データは図6参照）

の物理性についても凍結による影響を確認できなかった。本研究では表土の踏圧に注意した手作業による除雪であったが、積雪深や土壌水分状態によっては、重機による除雪が土壌の泥濘化や圧密を生じさせる危険性がある。また、本学では牧草とデントコーン栽培が主体であり、十勝のように野良イモの問題はない。以上から、本学において除雪で土壌凍

結を発生させるメリットはないように思われる。なお、融雪後に15 cm以深がやわらかくなれば、春先の耕起・整地が少し容易になるというメリットがあると思われるかもしれないが、上記リスクに加え、積雪の多い本地域での除雪の労働と費用等を勘案すれば、やはり大きなメリットがあるとは考えにくい。

本研究は一圃場における一冬期間の結果であるた

め、複数年次による再現性、他の土壤（灰色台地土や黒ボク土）での再現性、あるいは、除雪・土壤凍結を毎年継続させた場合の効果については不明であり、今後の課題である。

## 5. 要 約

多雪地帯では土壤凍結が生じないとされている。道央に位置する本学において、除雪が土壤凍結と土壤物理性に与える影響を調査した。積雪区の土壤は凍結しなかったが、除雪区では最大 25 cm 程度まで凍結した。融雪後、耕起・整地の前、およびその後に入抵抗、飽和透水係数、容積重、土塊分布を測定した。その結果、耕起整地前に限り、除雪区の深さ 13~20 cm の貫入抵抗が積雪区より有意に低いことが認められた。これ以外の物理性については除雪有無による有意性が認められなかった。本学において除雪を行うことは、土壤凍結を発生させるが、土壤物理性に与える影響は限定的である。

謝辞：本研究を行うにあたり、有限会社エンドウ理化学の遠藤孝章氏には土壤凍結深計管と土壤ブロック採取用型枠の作成でご尽力いただいた。本学循環農学類の亀岡 笑 講師には土壤分析の結果を提供いただいた。フィールド教育研究センターの作物生産ステーションの職員に圃場管理の補助をしていただいた。ここに記してお礼申し上げます。

## 文 献

- 天野洋司・水野直治 2002. 酪農学園の自然（土壤篇）——野幌層の誕生と学園の土壤——, 酪農学園大学発行, 酪農学園大学入試部入試課編集.
- 土壤環境分析法編集委員会 1997. 土壤環境分析法, 博友社, 21-24, 36-38, および 66-69.
- 広田知良 2019. 北海道における土壤凍結の農業への利活用を支えた観測手法と観測結果, 土壤の物理性, 142, 13-24.
- 長沢徹明・梅田安治 1985. 土壤の凍結・融解（北海道の特徴的土壤）, URBAN KUBOTA, No.

- 24, 26-29. (2019 年 6 月 6 日閲覧: [https://www.kubota.co.jp/siryou/pr/urban/pdf/24/pdf/24\\_3.pdf](https://www.kubota.co.jp/siryou/pr/urban/pdf/24/pdf/24_3.pdf))
- 岡 紀邦・森本 晶・中村卓司・八木岡敦・君和田健二・岡崎圭毅 2017. 簡易土壤物理性診断としての土塊法の検討（第 1 報）, 日本土壤肥料学会講演要旨集, 第 63 集, 113.
- 岡 紀邦・竹本敏彦・森本 晶・中村卓司・大友 量 2018a. 簡易土壤物理性診断としての土塊法の検討（第 2 報）土塊サンプラーの試作と北海道大豆畑での調査事例, 日本土壤肥料学会講演要旨集, 第 64 集, 237.
- 岡 紀邦・森本 晶・中村卓司・竹本敏彦・大友量・八木岡敦・君和田健二 2018b. 簡易土壤物理性診断としての土塊法の検討（第 3 報）土塊分布評価のための篩サイズについて, 日本土壤肥料学会講演要旨集, 第 64 集, 106.
- 小野寺正行 2018. 土壤凍結深制御技術による畑地の生産性向上, 農家の友, 70(11), 46-48.
- 札幌管区气象台 2017. 北海道の気候変化【第 2 版】これまでの 120 年とこれからの予測. (2019 年 6 月 6 日閲覧: <https://www.jma-net.go.jp/sapporo/tenki/kikou/kikohenka/ver2/report.pdf>)
- Shepherd G, Stagnari F, Pisante M, and Benites J 2008. Visual Soil Assessment Field Guide, Annual Crops. FAO. 4-5 (2019 年 6 月 6 日閲覧: <http://www.fao.org/3/i0007e/i0007e00.pdf>)
- 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 2014. 温暖化する地球 北海道の農林業は何かできるのか!?. (2019 年 6 月 6 日閲覧: [https://www.hro.or.jp/pdf/ondanka\\_panf.pdf](https://www.hro.or.jp/pdf/ondanka_panf.pdf))
- 矢作 裕・伊豆田久男・福田正己・石崎武志 1991. 6.2 凍結深さの測定, 雪氷調査法, 日本雪氷学会北海道支部編, 北海道大学図書刊行会, 80-81.
- 吉村元博 2018. 北海道における土壤凍結制御による肥沃度改善の可能性, 土壤の物理性, 140, 5-13.

## Summary

Soils in regions of heavy snowfall are reported to not freeze under natural conditions. We investigated the effect of removal of snow on soil freezing and the physical properties of the soil in a field at Rakuno Gakuen University in central Hokkaido, a region of heavy snowfall. Soil freezing was observed to depths of about 25 cm in plots from which snow had been removed, but not in plots that had been left snow covered. We measured the penetration resistance, saturated hydraulic conductivity, bulk density, and clod size distribution of the soil before and after tillage of the topsoil during the growing season. Before tillage, although the penetration resistance at depths of 13 to 20 cm in the plots from which snow had been removed was significantly lower than in the plots that were left

snow covered, none of the other physical properties measured were affected by snow removal. After tillage, none of the physical properties measured were affected by snow removal. We conclude that at Rakuno Gakuen University, snow removal in winter leads to freezing of the topsoil but has limited effect on the physical properties of the soil.