

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：82111

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K14831

研究課題名(和文) 土壌凍結深制御の拡張に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Extension of soil frost control for agricultural application

研究代表者

廣田 知良 (Hirota, Tomoyoshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター 生産環境研究領域・グループ長

研究者番号：20343949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、野良イモ対策で成果を得た雪割り(圃場内除雪)による土壌凍結深制御手法の技術的拡張を目指し、以下の結果を得た。1)生産性向上と環境負荷低減を両立する最適土壌凍結深の概念に到達し、火山灰土壌ではこれが深さ約30cmを導いた。2)野外の土壌凍結条件を再現し、かつ作物を栽培できる最小限の量の土壌で室内実験ができる方法を構築した。3)冬季の越冬作物に損傷を与えず、雪を踏みつぶして熱伝導効果を高め、凍結を促進させる圧雪手法を検討したところa)圧雪手法でも凍結深制御は可能であること、b)小麦畑の適用で、野良イモ防除と小麦の良好な生育を両立する越冬作物生態系制御の可能性を見出した。

研究成果の概要(英文)：The soil frost control method to remove snow in rows is a scientifically established to volunteer potatoes in Tokachi, Hokkaido. Here, we made additional experiments to fortify the method with new evidences to extend the range of application. 1) On-farm experiments revealed that the optimum soil frost depth was about 0.3 m which was deep enough to eradicate unharvested potato tubers without hindering other cultural practices and to minimize N pollution from soil exudates. 2) A simple laboratory experiment method was devised to elucidate soil frost conditions using a minimal amount of soil. 3) Snow compaction by enhancing thermal conductivity is an alternative method to snow removal but seemed risky where winter wheat was grown after potato. Our results indicate that soil frost control method for snow compaction may contribute toward balancing both wheat yield and the frost-kill of unharvested potato tubers.

研究分野：農業気象

キーワード：土壌凍結 環境制御 積雪 農業技術

1. 研究開始当初の背景

北海道東部のような少雪厳寒地域では、数ヶ月に渡り土壤凍結が発達する。土壤凍結の発達越冬作物の生育の制限要因となる他、融雪水の浸透抑制を引き起こし、農耕地作土の硝酸態窒素の溶脱を抑制したり、温室効果ガスの生成・排出に影響を及ぼす(Yanai et al. 2014)。また、土壤の砕土性を変化させることも知られ、土壤凍結は農業に大きく影響する。しかし、これまで土壤凍結は自然現象であり人為的に制御できる対象とは考えられていなかった。ところが、申請者は、土壤凍結深の減少に伴い大規模バレイショ生産地帯において収穫漏れした小イモが翌年以降雑草化する「野良イモ問題」を解決する手法として「土壤凍結深制御手法」を開発した(Hirota et al. 2011)。これは、積雪深の人為的な操作「雪割り」により土壤凍結を制御して野良イモを効果的に凍結腐敗させることに加え、融凍遅れに伴う春先の農作業開始遅延を抑制して土壤凍結深を最適に制御する、新たな営農支援技術である。

2. 研究の目的

収穫後に畑に残った小イモが雑草化する野良イモの問題を解決する手法として開発された土壤凍結深制御手法は、科学・実学の両面で大きな成果を得た。この過程で、土壤凍結深制御手法は野良イモ対策のみならず、土壤の物理性・化学性の改善による生産性の向上や温室効果ガス排出量削減、越冬作物の生態遷移制御など寒冷地の農業技術大系全般に渡る多方面への拡張可能性が示された。この可能性の更なる拡大と迅速な農業の現場への適用を目指すため、1)凍結深制御における土壤凍結の定義の深化、2)最適土壤凍結深同定の実験系の確立、3)越冬作物の生態制御手法の探査を進め、凍結深制御の可能性を拡張するための学理を構築する。

3. 研究の方法

土壤凍結深制御手法は、水・溶質・ガスの移動を支配する土壤の物理性や植生など広範に農耕地を制御できる可能性を秘めている。具体的には、雪割りを実施した畑では砕土性の改善が見られており、その結果、播種精度の向上と発芽勢の一斉化が実現し作物の収量や品質にも好影響をもたらすと現場から指摘されている。そこで、本研究では土壤凍結深制御手法の適用項目と適用地域の拡張可能性を究明する。主な研究対象は、1)土壤凍結を水や土の物性の観点から再定義することで土壤凍結深制御を生態系制御へ展開する基礎的な知見の蓄積を図ること、2)土壤の理化学性、作物の生育・収量、環境影響等多様な観点に対して最適土壤凍結深を迅速に探査できる簡易な室内実験系の手法を確立すること、3)コムギなどの越冬する植物や種子の生態制御の可能性を探査し、4)そして、雪割りの越冬作物への実施は作物を直接痛めてしまうため適用困難となるが、これに代わるものとして、新たに越冬作物

に適用可能な圧雪による土壤凍結深制御手法を開発することを目的とした。

4. 研究成果

(1)凍結深制御における土壤凍結深の定義を火山灰土壤の畑で自ら蓄積したデータを統合的に精査することで、農業生産性を高めつつ環境負荷を小さく抑えることを両立する最適値を探る観点から精査した。この解析は一般線形モデルを用いて統計解析を行うことで実施した。その結果、年最大凍結深が28 cmより深ければ野良イモの発生はほぼ抑制できることが確認され、また、土壤凍結深が深くなることにより融雪水が浸透しにくくなる効果が強くなることと硝酸態窒素が融雪水に流されず土に残りやすくなることとがバランスする年最大凍結深が33 cmであることを見いだした。一酸化二窒素の排出リスクは年最大凍結深が深いほどそのリスクは高まる傾向があったことから従来提案していた年最大凍結深40 cmより浅く土壤凍結深を制御することが望ましいと考えられていたところ、農業生産性の向上と環境負荷の低減を両立する土壤凍結深制御の目標値として新たに、年最大凍結深約30 cm(28~33 cm)を導出した(図1)。

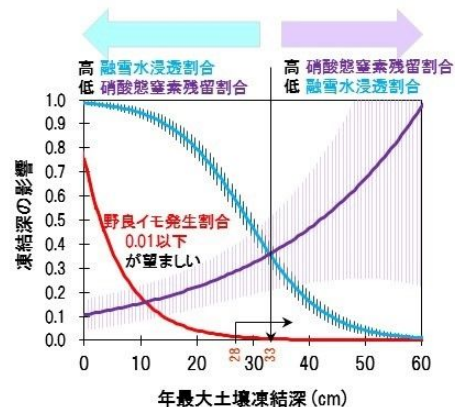


図1 野良イモ防除、融雪水浸透と硝酸態溶脱抑制を両立する最適土壤凍結深の探査の結果 (Yanai et al. 2017 から一部改訂)

さらに、オホーツク地域訓子府町の沖積土壤において除雪・圧雪試験を実施したところ、融雪水の浸透に伴う窒素の表層への残存割合ならびに融雪水の浸透割合は図1に近い値を示すことから、土壤が異なっても最適凍結深はそれほど大きく変わらないことが示唆された。

(2)最適土壤凍結深を探査するため簡易な室内実験系の手法確立では、土壤凍結が作物の生育に及ぼす影響を迅速的に明らかにするため、a) 野外の土壤凍結条件を再現し、かつ作物を栽培できる最小限の量の土壤を一定温度で凍結し、長期間維持できる簡易な方法を考案した。この実験手法は断熱容器に

さらに側方下端の断熱方法に工夫を凝らすことで、圃場と同様に地表面から地下に凍結促進過程を再現した。b) 本実験装置により、凍結処理が土壤の化学性に与える影響を調べたが、凍結期間2週間程度では、凍結処理と対象区に有意差はなかった。このことから、凍結期間等の処理や実験方法について、さらなる調査が必要と考えられた。

(3) 冬季の越冬作物に損傷を与えず、凍結深制御を可能とするため、凍結手段の拡張として雪割り(除雪)に加えて、雪を踏みつぶして熱伝導効果を高め、凍結を促進させる圧雪手法を検討した。北海道芽室町の実験圃場では、2013-2014年は、平均気温が-15を下回る日が2日しかない温暖な冬であったが、3回の圧雪実施により最大凍結深33cm、5回で50cmに達した。2014年-2015年は平均気温が-15を下回る日が9日あり、圧雪実施回数1回で凍結深37cm、3回で56cmに達した。2014年-2015年は12月中旬に積雪深が50cmを超えたが、このような初冬に積雪が多い年でも、圧雪により積雪の熱伝導を変化させることで土壤凍結深を制御可能であることを実証できた。圧雪における積雪過程を再現するために、圧雪した状態での積雪深推定モデルを新たに開発した。上記の観測との比較検証結果も良好であった。また、圧雪時の凍結深の気温依存性は大きく、しかも放射冷却下で氷点下を大きく下回る条件では、空間依存性が非常に大きく、凍結深制御の精度向上には厳寒時の気温推定精度の向上が重要であることが明らかとなった。一方、21世紀中頃から後半で温暖化により気温が現在より3℃上昇したと仮定した場合でも北海道・道東地方では凍結深制御は十分適用可能であると予測できた。

さらに、圧雪を適用した場合のコムギの凍結影響を調べた。コムギは、越冬前の生育条件や圧雪時の積雪条件にも依存し、融雪後の初期生育にも影響を与えることは確認したが、一方で野良イモ防除とコムギの良好な生育を両立する圧雪による凍結深制御は十分に可能であるとの結論を得た。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Y. Yanai, Y. Iwata, and T. Hirota, Optimum soil frost depth to alleviate climate change effects in cold region agriculture. Scientific Reports, 2017, 査読有, Scientific Reports, 2017, 査読有, 44860;doi:10.1038/srep44860  
T. Yazaki, H. Fukushima, T. Hirota, Y. Iwata, A. Wajima, and A. Yokota, Winter nocturnal air temperature distribution for a mesoscale plain of a snow-covered region – field meteorological observations and numerical simulations –. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2017, 査読有, 56, 519-533.

DOI: 10.1175/JAMC-D-16-0133.1

M. Inatsu, J. Tominaga, Y. Katsuyama, and T. Hirota, Soil-frost depth change in eastern Hokkaido under +2 K-world climate scenarios. Science Online Letters on the Atmosphere, 2016, 査読有 12, 153-158. doi:10.2151/sola.2016-032

S. Shimoda, T. Yazaki, Z. Nishio, T. Hamasaki, and T. Hirota, Possible soil frost control by snow compaction on winter wheat fields. Journal of Agricultural Meteorology, 2015, 査読有, 71, 276-281. http://doi.org/10.2480/agrmet.D-15-00001

〔学会発表〕(計4件)

S. Shimoda, H. Kanno, and T. Hirota, Recent potato yield alternation induced by negative correlation of spring and summer temperatures and shallow soil frost in eastern Hokkaido, The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM 2017), 2017年3月30日、北里大学(青森県、十和田市)

廣田知良、小南靖弘、下田星児、圧雪(雪踏み)処理による土壤凍結深推定モデルの開発、2016年度日本農業気象学会北海道支部大会 2016年12月9日、北海道大学農学部(北海道、札幌市)

廣田知良, Method of controlling soil freezing and Developing the Applications of Cold Damages of Potatoes, The Prevention and Utilization of the Low Temperature on Agricultural Crops, 招待講演、2016年10月28日、台南農業試験場(台湾、台南市)  
下田星児、廣田知良、濱寄孝弘、矢崎友嗣、西尾善太、積雪地帯における小麦の冬期管理技術の開発(第1報) - 小麦圃場上圧雪後の土壤凍結深と小麦生育 -、日本土壤肥料学会全国大会 2015年京都大会、2015年9月9日、京都大学(京都府京都市)

〔図書〕(計1件)

廣田知良, 農山漁村文化協会、土壤凍結深の制御による野良イモ対策, 最新農業技術『作物 vol.8』, 2015, 254pp, (203-211)

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣田 知良 (HIROTA Tomoyoshi)  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター 生産環境研究領域・グループ長  
研究者番号: 20343949

(2) 研究分担者

中村 卓司 (NAKAMURA Takuji)  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター 水田作研究領域・グループ長

研究者番号：60399425

下田 星児 (SHIMODA Seiji)  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター 大規模畑作研究領域・上級研究員  
研究者番号：80425587

柳井 洋介 (YANAI Yosuke)  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 本部経営戦略研究室・主任研究員  
研究者番号：00596455  
(平成 27 年度まで研究分担者)

岩田 幸良 (IWATA Yukiyoshi)  
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 農地基盤工学研究領域・上級研究員  
研究者番号：70370591  
(平成 28 年度から研究分担者)