

北海道十勝地方における土壌凍結深制御による雑草(野良イモ)防除

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	矢崎,友嗣 広田,知良 岩田,幸良
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	84巻6号
巻号補足	
掲載ページ	p. 478-481
発行年月	2013年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat





北海道十勝地方における土壌凍結深制御による 雑草（野良イモ）防除*

矢崎友嗣^{1,2}・広田知良³・岩田幸良^{1,4}

キーワード 意思決定支援, 雪割り (除雪), 地温推定モデル,
農業気象情報, バレイショ

1. はじめに

全国最大のバレイショ産地である十勝地方では、もともと冬季が厳寒・少雪の気候であるため、土壌が深くまで凍結した。しかし1990年以降、積雪開始時期が早まり、土壌が断熱されたことで土壌凍結深が顕著に減少した(Hirota *et al.*, 2006)。このような冬季の環境変化に伴って、それまでは凍結死滅していたバレイショの小塊茎が越冬して翌年に出芽し、雑草化（野良イモ化）するようになった(Hirota *et al.*, 2011)。野良イモ発生により、後作作物との競合や、異品種の混入、輪作の効果が低下することによる病虫害の誘発などが懸念されている（前塚, 2008）。十勝地方は農地の大規模化が進んでおり、バレイショだけでも一戸あたり数ヘクタール以上の作付がある。野良イモは塊茎の深さによって地表に現れる時期が異なり、時間をおいて散発的に出芽するため、農薬散布や機械除草は効率的でなく、農家は夏の農繁期に繰り返し長時間の手取除草を余儀なくされている（前塚, 2008）。

野良イモの発生原因が土壌凍結深の減少によるため、一部の農家は「雪割り」と呼ばれる、畑を列状に作業機械で除雪し地表面を露出させ畑全面を十分凍結させる方法（図

1）により野良イモを凍結死滅させることを試みた。この技術は夏場の長時間の手取り作業から冬の農閑期に作業を移行させ、かつ作業時間も短時間で終了して大幅な効率化を図れる長所を有する（前塚, 2008）。ただし、農家による雪割りでは成功事例もみられるが、土壌をどの深さまで凍結させる必要があるか、十分に土壌を凍結させるためには何日間地面を露出させる必要があるかなど、具体的な指標がなかったため、作業は農家の勘と経験に基づいて行われた。そのため、凍結が不十分で期待した防除効果が得られなかったり、逆に凍結を深くしすぎて春先の農作業に悪影響を及ぼすこともあった。

本レポートでは、確実な野良イモ防除のために、未収穫バレイショ塊茎の鉛直分布から、残存塊茎を死滅させかつ春先の作業に影響を及ぼさない目標土壌凍結深を設定し、地温推定モデルを用いながら土壌凍結深を制御することで、確実な野良イモ防除を可能にした技術を紹介する。

2. 材料と方法

1) 残存塊茎分布及び目標凍結深の設定

既往の研究の結果、残存塊茎の多くが収穫機からこぼれ落ちた直径30 mm以下の小さいイモであり（白旗ら、

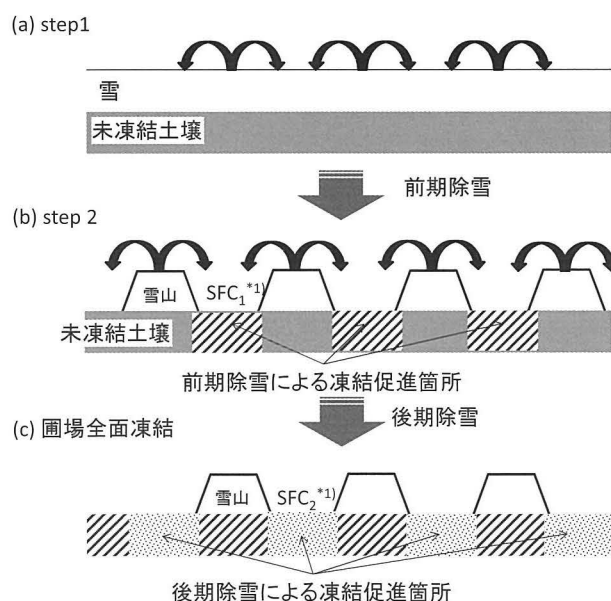


図1 土壌凍結深制御（雪割り）作業過程の模式図

*1) SFC_1 と SFC_2 はそれぞれ、前期除雪、後期除雪による凍結促進箇所を示す。

Tomotsugu YAZAKI, Tomoyoshi HIROTA and Yukiyoishi IWATA: Volunteer potato management by soil frost control in the Tokachi region, Hokkaido, Japan

* 本報告の成果は主に新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「土壌凍結深制御手法による野良イモ対策技術の確立（22079）参画機関 農研機構北海道農業研究センター、道総研十勝農業試験場、十勝農業協同組合連合会」（2010～2012年度）によって実施された。

¹ 農研機構 北海道農業研究センター 畑作研究領域（082-0081 河西郡芽室町新生南9線4番地）

² 現在、一般社団法人湿原研究所（089-2113 広尾郡大樹町字芽武159-3）

³ 農研機構 北海道農業研究センター 生産環境研究領域（062-8555 札幌市豊平区羊ヶ丘1番地）

⁴ 現在、農研機構 農村工学研究所（305-8609 つくば市観音台2-1-6）

2013年5月8日受付・2013年8月1日受理

日本土壌肥科学雑誌 第84巻 第6号 p.478～481 (2013)

2011), 0.15 m 深より浅い層に分布することが知られている(矢崎ら, 2012). したがって, 0.15 m 深に存在するイモを凍死させるのに十分な凍結深を検討する. 既往の研究によると, バレイショ塊茎は $-2.8 \sim -3^{\circ}\text{C}$ 以下になると凍結死する(Li *et al.*, 1981; Boydston *et al.*, 2006) ため, 0.15 m 深を -3°C 以下にすればよいことになる. Hirota *et al.* (2011) によると, 日平均地温 -3°C 以下でバレイショ塊茎は凍結死し, また, 積雪が浅い条件では, 土壌凍結深の半分の深さまでの日平均地温が -3°C 以下になる. そのため, 深さ 0.15 m までの日平均地温を -3°C まで低下させるためには, 0.30 m の土壌凍結深が必要になる. そこで, 目標土壌凍結深を 0.30 m とした.

2) モデルによる土壌凍結深推定

土壌凍結深は, 日最大積雪深, 日平均気温を入力データとし地温鉛直分布を出力する拡張フォースレストモデル(extended force-restore model: eFRM, 以下地温推定モデルと呼ぶ)を用いて推定した(Hirota *et al.*, 2002). なお, 入力するデータは表 1 の通りに設定した. 入力気象データは, 現地観測圃場の自然積雪区において測定された, 日平均気温と日最大積雪深を使用した. なおこのモデルは, 自然積雪状態で平均二乗誤差(RMSE)で 0.04 m の精度で推定できることが確認されている(Nemoto *et al.*, 2008). また, バレイショ塊茎の凍結死滅の有無を検討するために, 日平均地温が -3°C を下回った深さ(-3°C 深さ)の最大値も算出した.

3) 土壌凍結深制御

土壌凍結深制御とは, 野良イモ防除のために目標凍結深を設定して, 気象データ(積雪深と気温)を入力データとする地温推定モデル(詳細は後述)で土壌凍結深(地温が 0°C になる深さ)を計算・予測しながら最適な深さに制御する手法である. 圃場全面を十分に凍結させるためには, 少なくとも 2 回の除雪の作業が必要になる.

地温推定モデルを用いた土壌凍結深制御は, 以下のように行う(図 1). 初冬に積雪が増加したとき, 前期除雪を開始し土壌を露出させ, 露出箇所(SFC₁)の凍結を促進させる. 地温推定モデルで SFC₁ が目標凍結深まで凍結したと予測されたら, 後期除雪を開始する. 前期除雪で雪山だったところの土壌を露出させ(SFC₂), 前期除雪で土壌が露出していたところ(SFC₁)に雪山を作るように除雪をする. 地温推定モデルで土壌凍結深を予測しながら SFC₂ の凍結深が目標に到達するまで待つ. こうして, SFC₂ の土壌が目標まで凍結したら, 圃場全面が目標凍結深に到達したことになる. 除雪にあたっては, 外気による凍結を促進する観点から, 地表に残る積雪層の厚さはなるべく薄く 0.05 m 以内にすることが望ましい. したがって, 除雪実施後, 土壌凍結深が確保されるまでの期間, 降雪に伴い除雪部の積雪深が増加した場合は, 除雪部分の追加除雪を実施する.

4) 野良イモの防除効果の現地調査

現地調査は, 2011 年 10 月から 2012 年 7 月にかけて, 北海道十勝総合振興局管内のバレイショ作付け跡の 3 圃場で実施した(表 2). それぞれの圃場に, 自然積雪区と土

表 1 地温推定モデルに使用するパラメータと入力データ

変数	単位	条件	値	引用
パラメータ				
年平均地温	℃		$ST_A = 0.97 \times AT_A + 2.3$ ST_A, AT_A は年平均地温と年平均気温	広田ら, 1995
土壌の熱容量	$\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$	未凍結土壌	2.3	鈴木ら, 2002
		凍結土壌	1.5	鈴木ら, 2002
熱伝導率	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	未凍結土壌	0.6	鈴木ら, 2002
		凍結土壌	0.7	鈴木ら, 2002
		積雪（自然積雪区, 及び土壌凍結深制御区で積雪 0.5m 未満の場合）	0.17	Nemoto <i>et al.</i> , 2008
		積雪（上記以外）	0.3	広田, 未発表
入力データ				
日平均気温	℃		観測サイトにおける実測値	
日最大積雪深	m	自然積雪区及び土壌凍結深制御区（雪割り前）	観測サイトにおける実測値	
		土壌露出箇所	0.04（雪割り日）	
			0.02（雪割り日翌日以降）	
		（降雪日）	$0.005 \times P$ を加算	
			P は最寄アメダス地点の日降水量（mm）	
		雪山部	自然積雪区の日最大積雪深	

表 2 調査圃場の土壌, 前作のバレイショ品種, 気象環境

調査圃場	土壌群	前作の品種	年平均気温 $^{\circ}\text{C}$	12~2 月平均気温 $^{\circ}\text{C}$	年最大積雪深 m
新得	多湿黒ボク土	男爵	6.6	-5.3	0.75
更別	黒ボク土	メイクイーン	5.5	-7.5	0.92
大樹	褐色低地土	ホッカイコガネ	5.4	-7.5	0.94

気温と積雪深は, 1981~2010 年の平均値(気象庁, 2012)

壤凍結深制御区を設けた。モデルに入力する気温(高度 1.9 m)と積雪深は、強制通風筒に入れた白金抵抗温度計 (PT-100, HMP155; Vaisala) 及び超音波式距離計 (SR50, Campbell Scientific Inc.) を用いて、それぞれの圃場の自然積雪区において 1 時間間隔で測定した。2011 年 10~11 月、収穫後残存塊茎の個数を調査し、単位面積当たりの個数を算出した。翌年の生育期間 (6~7 月) に単位面積当たりの野良イモ出芽個数を数え、前年の単位面積当たりの残存塊茎個数に対する野良イモ出芽個体の割合を野良イモ生存率とした。

3. 結果および考察

自然積雪区では、最深積雪が 0.57~1.07 m と深く、最大土壌凍結深は 0.15 m 前後と目標の 0.30 m に到達しなかった (図 2 (a))。土壌凍結深制御区では前期除雪 (12 月中旬~下旬) と後期除雪 (1 月中旬~下旬) に加え、土壌露出期間のまとまった降雪後には、土壌凍結促進のために追加除雪が必要になる。この追加除雪は調査年では計 2~4 回必要であったが、それによって土壌凍結深が目標の 0.30 m に到達した。また、 -3°C 深さは自然積雪区では 0.05 m 以下であったが、土壌凍結深制御区では全ての地点で 0.15 m 以上になった (図 2 (a))。

収穫後の残存塊茎数は 110,000~180,000 個 ha^{-1} であったが、自然積雪状態ではそのうち平均 15 % が越冬・出芽した (図 2 (b))。土壌凍結深制御により全面を目標凍結深である 0.30 m 以上まで凍結させると、死滅する塊茎は増加し、越冬個体数は、残存塊茎数の平均 0.2 %, 自然積雪区対比 3 % 以下と少なくなった (図 2 (b))。このことから、土壌凍結深制御により土壌凍結深を 0.30 m に到達させると、バレイショ塊茎の多くが存在する 0.15 m がバレイショの凍死温度 (-3°C) を下回り、ほとんど全てが凍結死滅し、図 2 (c) の写真のように野良イモの出芽を激減させたものと推察される。

深い土壌凍結は春の土壌水分過多や地温上昇に悪影響を及ぼすことが懸念される。Iwata *et al.* (2008, 2010) によって、土壌凍結深が 0.20~0.30 m 以上になると融雪水の浸透が抑制されることが報告されており、凍結深が 0.30 m を大きく上回ると悪影響が懸念されるが、本試験で設定した 0.30 m の凍結深であれば問題がないと考えられる。

地温推定モデルを用いて凍結深を予測しながら除雪作業の意思決定を行うことによって、野良イモの生存率を自然積雪区に比べて大幅に低減させることができた。農業気象情報と地温推定モデルを農作業における意思決定に活用すれば効率的な農作業が可能となり、気候変動による雑草害のリスクを低減できることが示された。

4. 本手法の農業現場への適用

上記の土壌凍結深制御手法は農家自身が適切な時期に作業を実施するための意志決定支援情報システムへと発展し、十勝農協連の運営する「営農 Web てん蔵」を通して、土壌凍結深と野良イモ防除に関する情報が十勝の農協 24 団体と農家に発信されることになった。

土壌凍結深制御による野良イモ防除が無理なく適用できるのは、12 月~2 月の平均気温が -5°C 以下の地域であり、それより気温が高いと除雪をしても十分な凍結深を達成することが困難になる (Hirota *et al.*, 2011)。変動する年々の気象条件において雪割りの効果を安定化するために、後期除雪の実施晩限を検討した結果、確率上 30 年に 1 度の頻度で出現する暖冬年の気象に対応可能な実施晩限は、十勝地方の平野部では 1 月下旬~2 月上旬となる (矢崎ら, 2012)。さらに、寒さが足りず、防除効果が不十分な場合の補完技術としては、収穫後塊茎を温度が低い土壌表面近くに集める表層集積や、塊茎にあらかじめ傷をつけてイモを腐敗しやすくする塊茎損傷処理が有効である (白旗ら, 2011)。逆に秋の反転耕起作業は、冬季の地温がより高い深層へ塊茎を深く潜り込ませることで、塊茎を越冬

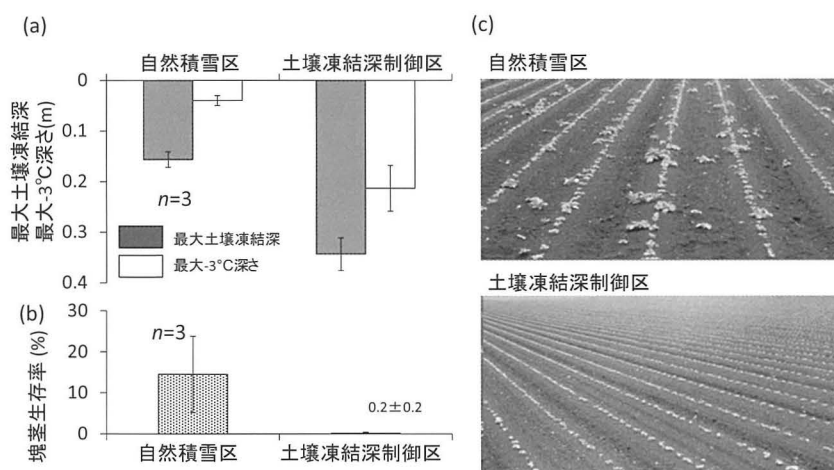


図2 自然積雪区、土壌凍結深制御区における (a) 最大土壌凍結深と最大 -3°C 深さ (平均±標準偏差), (b) 塊茎生存率 (平均±標準偏差) の関係と (c) 小豆圃場の様子 (c) の写真は岩崎暁生氏 (十勝農試) による撮影)
 最大土壌凍結深及び最大 -3°C 深さは、前期除雪の凍結促進箇所 (SFC_1) と後期除雪による凍結促進箇所 (SFC_2) のうち、どちらか小さい方とした。

させる可能性を高めるので (Thomas and Smith, 1983), 野良イモが問題となる場合は実施しない方がよい。

謝 辞：本研究にご協力くださった（地独）北海道立総合研究機構中央農業試験場鈴木剛氏，白旗雅樹氏，十勝農業試験場岩崎暁生氏，梶山努氏，荒木和哉氏，高宮泰宏氏，十勝農業協同組合連合会前塚研二氏，農研機構北海道農業研究センター井上聡博士，臼木一英氏はじめ，関係機関・生産者の皆様に深く感謝申し上げます。原稿をご校閲頂いた農研機構北海道農業研究センター信濃卓郎博士（現在，農研機構東北農業研究センター），（地独）北海道立総合研究機構中央農業試験場加藤淳博士，帯広畜産大学谷昌幸博士および査読して下さった先生方に心からお礼申し上げます。

文 献

- Boydston, R. A., Seymour, M. D., Brown, C. R., and Alva, A. K. 2006. Freezing behavior of Potato (*Solanum tuberosum*) tubers in soil. *Amer. J. Potato Res.*, 83, 306-315.
- 広田知良・福本昌人・城岡竜一・村松謙生 1995. Force-Restore モデルによる日平均地温の推定. *農業気象*, 51, 269-277.
- Hirota, T., Pomeroy, J. W., Granger, R. J., and Maule, C. P. 2002. An extension of the force-restore method to estimating soil temperature at depth and evaluation for frozen soils under snow. *J. Geophys. Res.*, 107(D24), 4767. DOI 10.1029/2001JD001280.
- Hirota, T., Iwata, Y., Hayashi, M., Suzuki, S., Hamasaki, T., Sameshima, R., and Takayabu, I. 2006. Decreasing soil-frost depth and its relation to climate change in Tokachi, Hokkaido, Japan. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 84, 821-833.
- Hirota, T., Usuki, K., Hayashi, M., Nemoto, M., Iwata, Y., Yanai, Y., Yazaki, T., and Inoue, S. 2011. Soil frost control: agricultural adaptation to climate variability in a cold region of Japan. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 16, 791-802. DOI 10.1007/s11027-011-9296-8.
- Iwata, Y., Hayashi, M., and Hirota, T. 2008. Comparison of snowmelt infiltration under different soil-freezing conditions influenced by snow cover. *Vadose Zone J.*, 7, 79-86.
- Iwata, Y., Hayashi, M., Suzuki, S., Hirota, T., and Hasegawa, S. 2010. Effects of snow cover on soil freezing, water movement and snowmelt infiltration: a paired plot experiment. *Water Resour. Res.*, 46, W09504 (doi: 10.1029/2009WR008070)
- 気象庁 2012. 気象統計情報. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (アクセス日：2012年12月3日).
- Li, P. H., Huner, N. P. A., Toivio-Kinnucan, M., Chen, H. H., and Palta, J. P. 1981. Potato freezing injury and survival, and their relationship to other stress. *Amer. J. Potato Res.*, 58, 15-29.
- 前塚研二 2008. 十勝の野良イモ発生の実態と除雪による野良イモ処理. *北海道の農業気象*, 60, 39-44.
- Nemoto, M., Hirota, T., and Iwata, Y. 2008. Application of the extended force-restore model to estimate soil-frost depth in the Tokachi region of Hokkaido, Japan. *J. Agric. Meteorol.*, 64, 177-183.
- 白旗雅樹・鈴木 剛・荒木和哉・梶山 努・広田知良・井上 聡・岩田幸良・矢崎友嗣・臼木一英・前塚研二 2011. 土壌凍結深制御による野良イモ防除における前処理作業の効果. *日本農業気象学会北海道支部2011年大会講演要旨集*, B5-B6.
- 鈴木伸治・柏木淳一・中川進平・相馬尅之 2002. 凍結・融解過程において凍土の熱伝導率が示すヒステリシスの発生機構. *農業土木学会論文誌*, 218, 97-105.
- Thomas, P. E., and Smith, D. R. 1983. Relationship between cultural practices and the occurrence of volunteer potatoes in the Columbia Basin. *Amer. J. Potato Res.*, 60, 289-294.
- 矢崎友嗣・広田知良・鈴木 剛・白旗雅樹・岩田幸良・井上 聡・臼木一英 2012. 北海道の気候条件から見た土壌凍結深制御による野良イモ防除の作業日程. *生物と気象*, 12, 12-20.