



寒地の気象資源を活用した農業技術および農業気象情報システムの開発

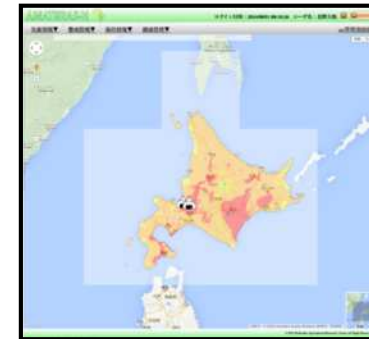
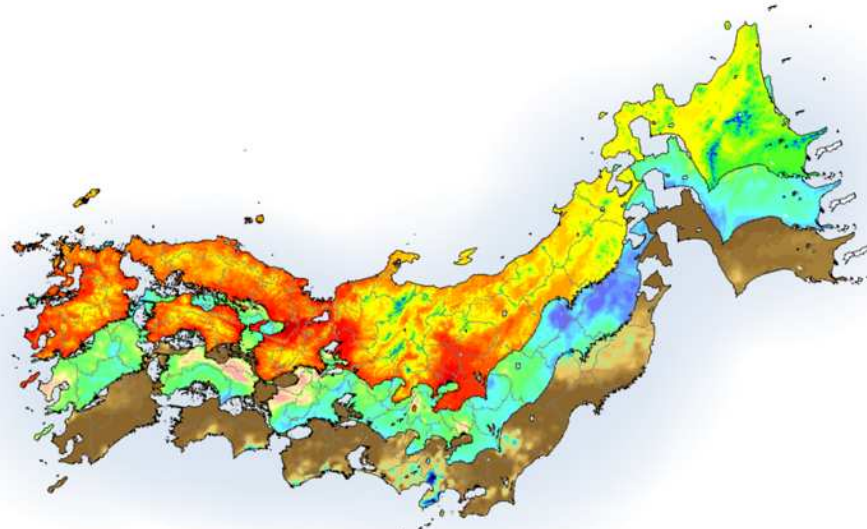
廣田知良（農研機構 北海道農業研究センター）

気象情報の農業への応用

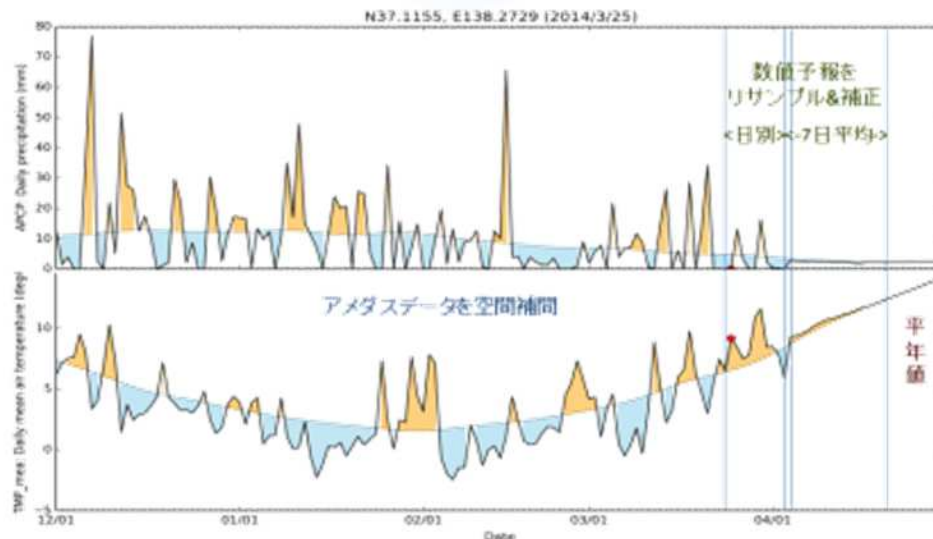


農研機構

メッシュ農業気象データ 日単位 1km²



各気象要素の高精度化
気象要素の推定手法の開発



気象要素	予測期間
平均気温	～6日先
最高気温	～6日先
最低気温	～6日先
降水量	～6日先
相対湿度	～6日先
風速	～6日先
日射量	予測無し
日照時間	予測無し
大気放射	予測無し



農業への応用

私井たちが取り組んでいる課題 農業気象情報システムの開発と気候変動的適応策



農研機構

気象災害、農業気象情報システム

気象データ作成

適地評価、気候変動影響

気象対応型の対策技術の
充実化

水稻・小麦など

各種作物生育評価手法の
開発・改善

北海道版
水稻冷害など気象対応型
対策システムの開発

農業気象情報システム

寒地におけるメッシュ
農業気象データの拡充



基礎的気象要素
(気温、日射、降水量...)

導出

気象要素	予測期間	範囲	時間解像度
積雪深	9日先	北海道	日別
水田水温	9日先	"	"
地温	9日先	"	"
土壤水分			
霜害リス			

応用的気象要素
・各種指標
温暖化予測等

気候変動適応策

水稻・畑作・牧草
果樹等



品種・品目・技術の
適応域の変動
各種指標値の変動

データ

土壤凍結深制御

雪踏み

雪割り



適用範囲、応用分野の
拡大
その基礎となる理論・
技術の高度化

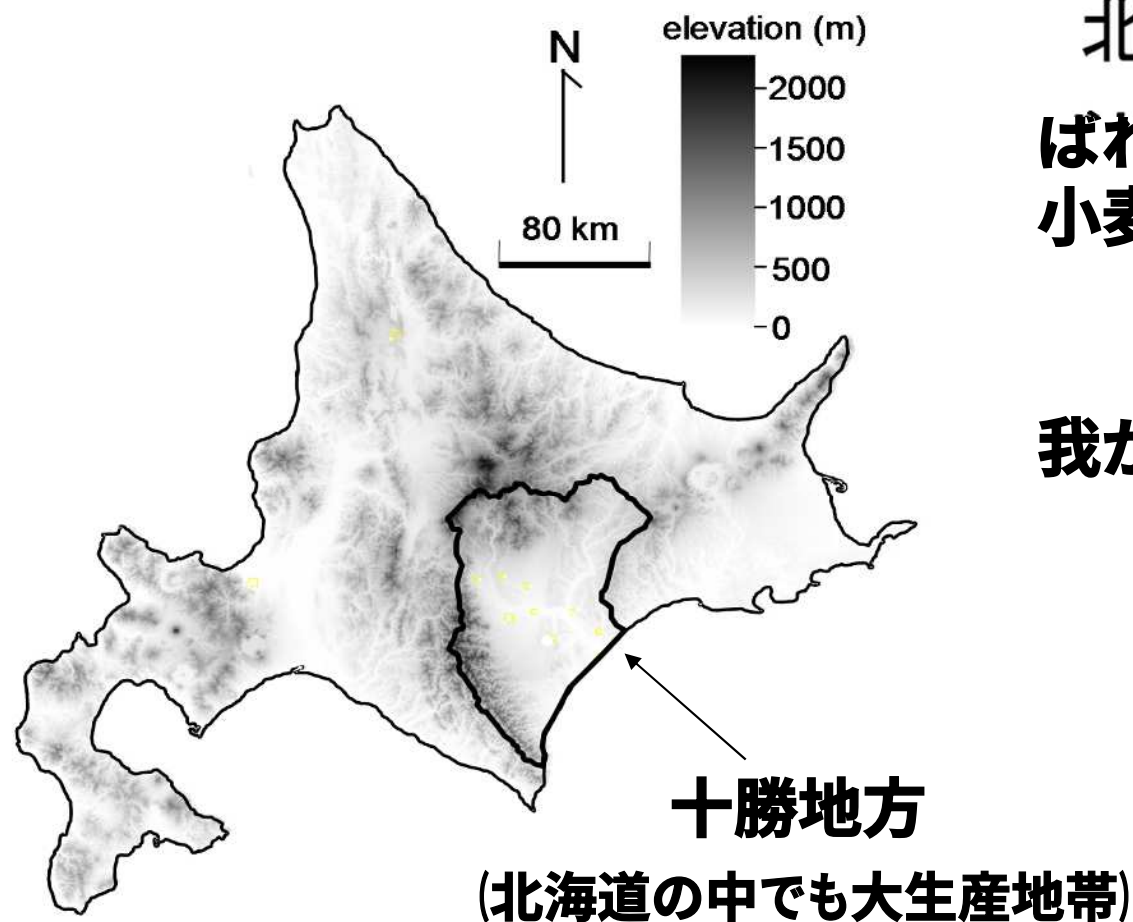
土壌凍結深制御 (Soil frost control)

1. 発見の経緯 (気候変動と野良イモ対策)
2. 概念・特徴
3. 成果・技術の普及
4. 気象庁との共同研究
5. 現時点での発展

対象地 寒冷地 北海道



農研機構



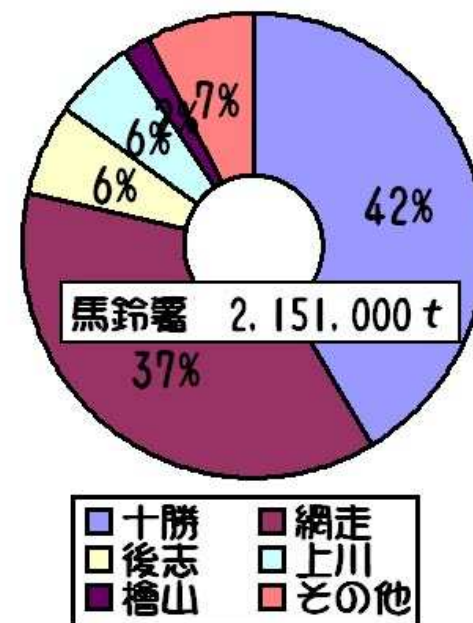
大規模畑作・輪作

(小麦、ジャガイモ、豆、ビート等)
(農家1戸平均30ha以上)

北海道の農業生産量

ばれいしょ 全国の8割
小麦 // 7割
等々

我が国を代表する農業地帯

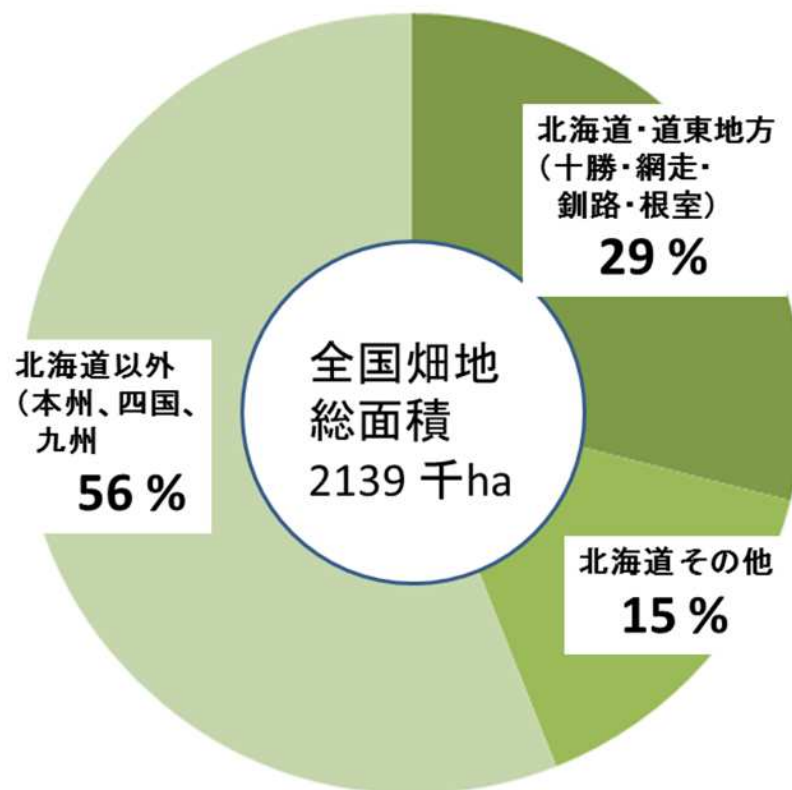


我が国における北海道・道東地方 (十勝・釧路・根室・網走) の重要性

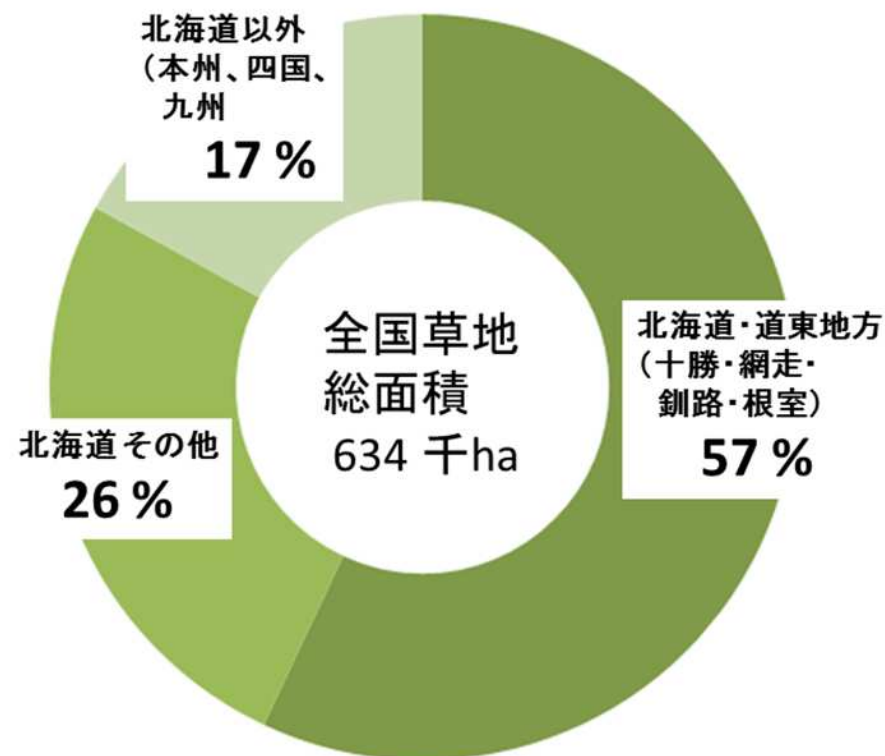


農研機構

畑の面積は全国の3割
北海道の6－7割



牧草の面積は全国の6割
北海道の7割



これらはすべて、積雪・土壌凍結地帯に位置する

・研究背景



農研機構

北海道・十勝地方は土壤凍結深
が顕著な減少傾向に！

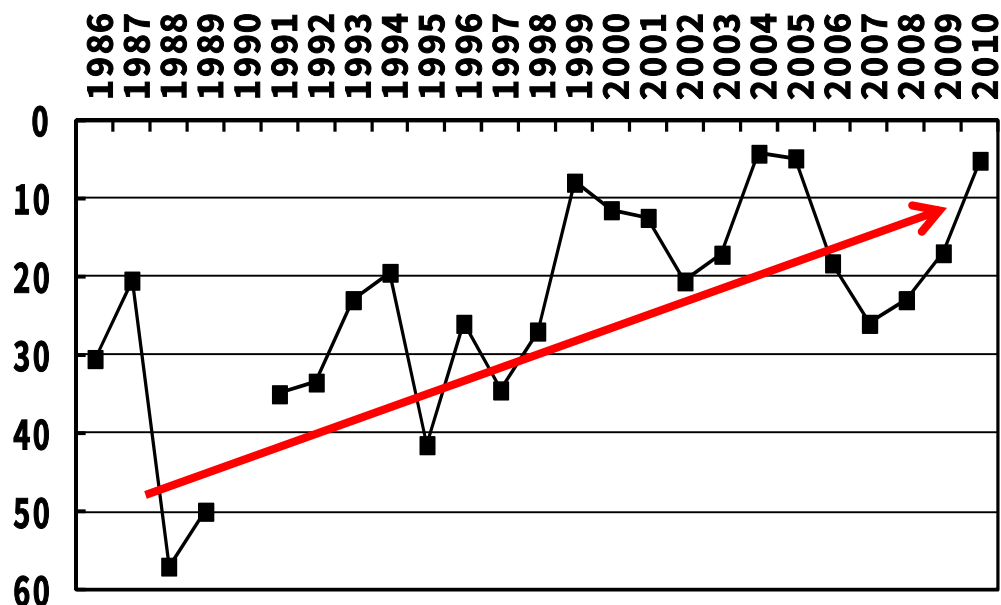
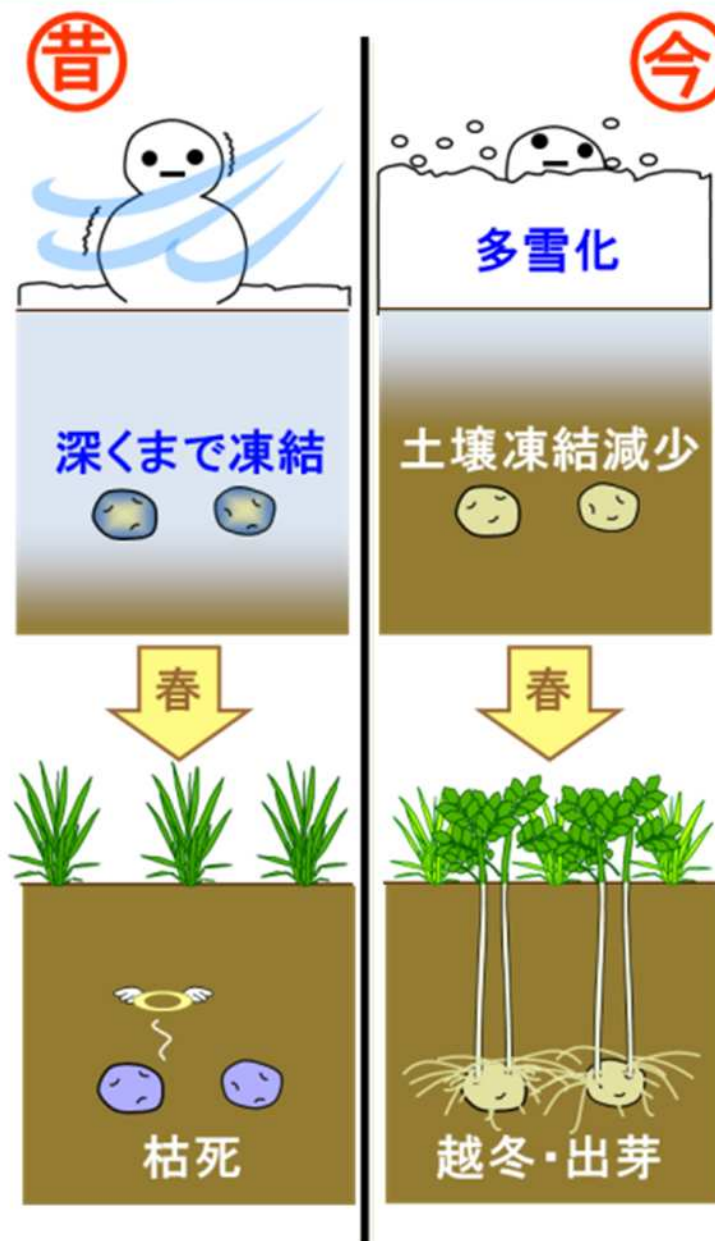


図 土壤凍結深観測結果
北海道農業研究センター（十勝地方芽室拠点）





野良イモ発生例

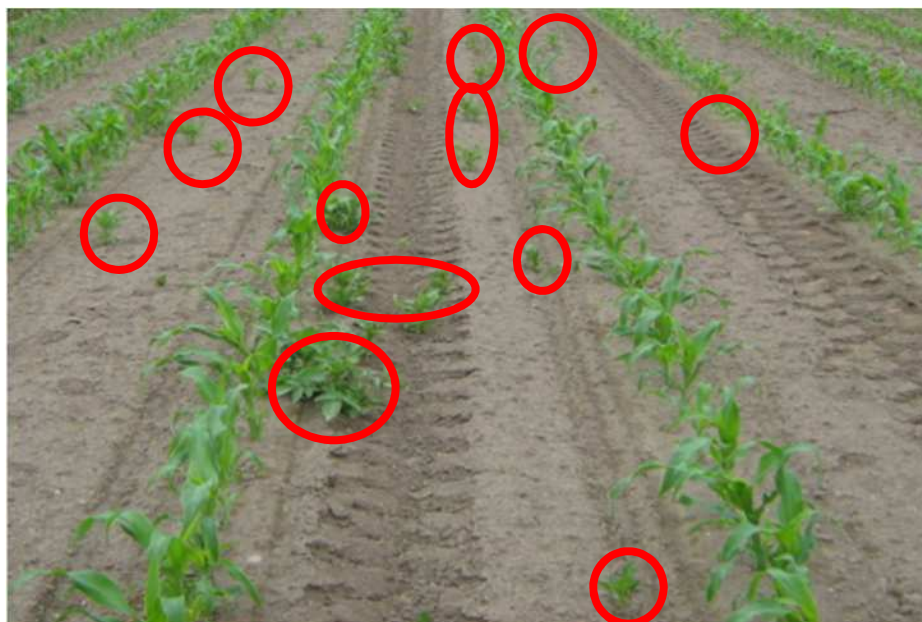
a) イモ収穫後, b) ビート畑の野良イモ c) 小麦畑の野良イモ d) マメ畑の野良イモ

・野良イモの問題点



農研機構

- ・次作作物との競合
- ・病害虫の温床
- ・異品種混入



夏の繁忙期に辛い手取除草

作業時間1人 30-70 時間/ha 畑は数ha規模以上

雪割りの誕生 (一部の農家が農閑期に除雪をして土を凍らせ始めた)

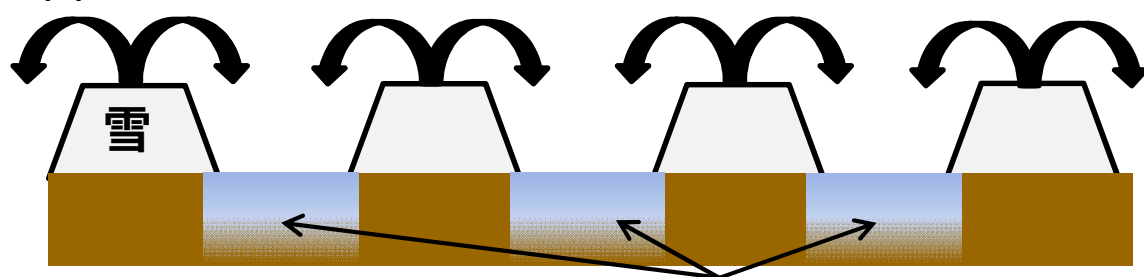


雪割り作業とは 畑全体を凍らせるためには少なくとも2回、雪割りが必要！

(a) 一回目雪割り

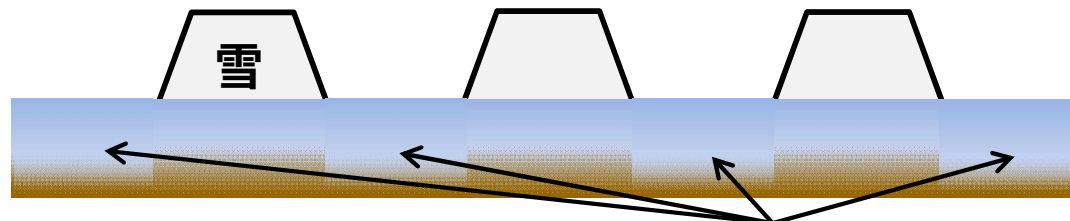


(b) 二回目雪割り



一回目雪割りで凍結した土壌

(c) 全面凍結達成



二回目雪割りで凍結した土壌

作業時間は1ha 30分以内

雪割り（除雪）で野良イモが見あたらない



課題

凍結過剰



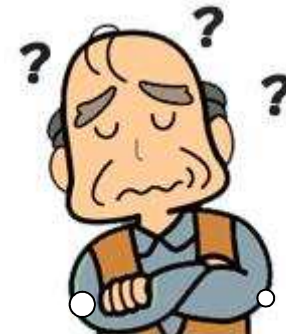
春の農作業
が遅れる

収穫量が減少

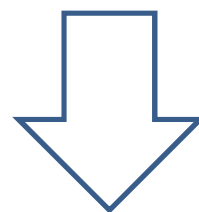
凍結不足



どのくらい凍らせる？



農家の勘と経験の世界から．



科学的知見に基づく最適な土
壌凍結深の探査とその制御方
法の実現

野良イモ凍死温度の同定 日平均地温 -3°C 以下で野良イモは凍死

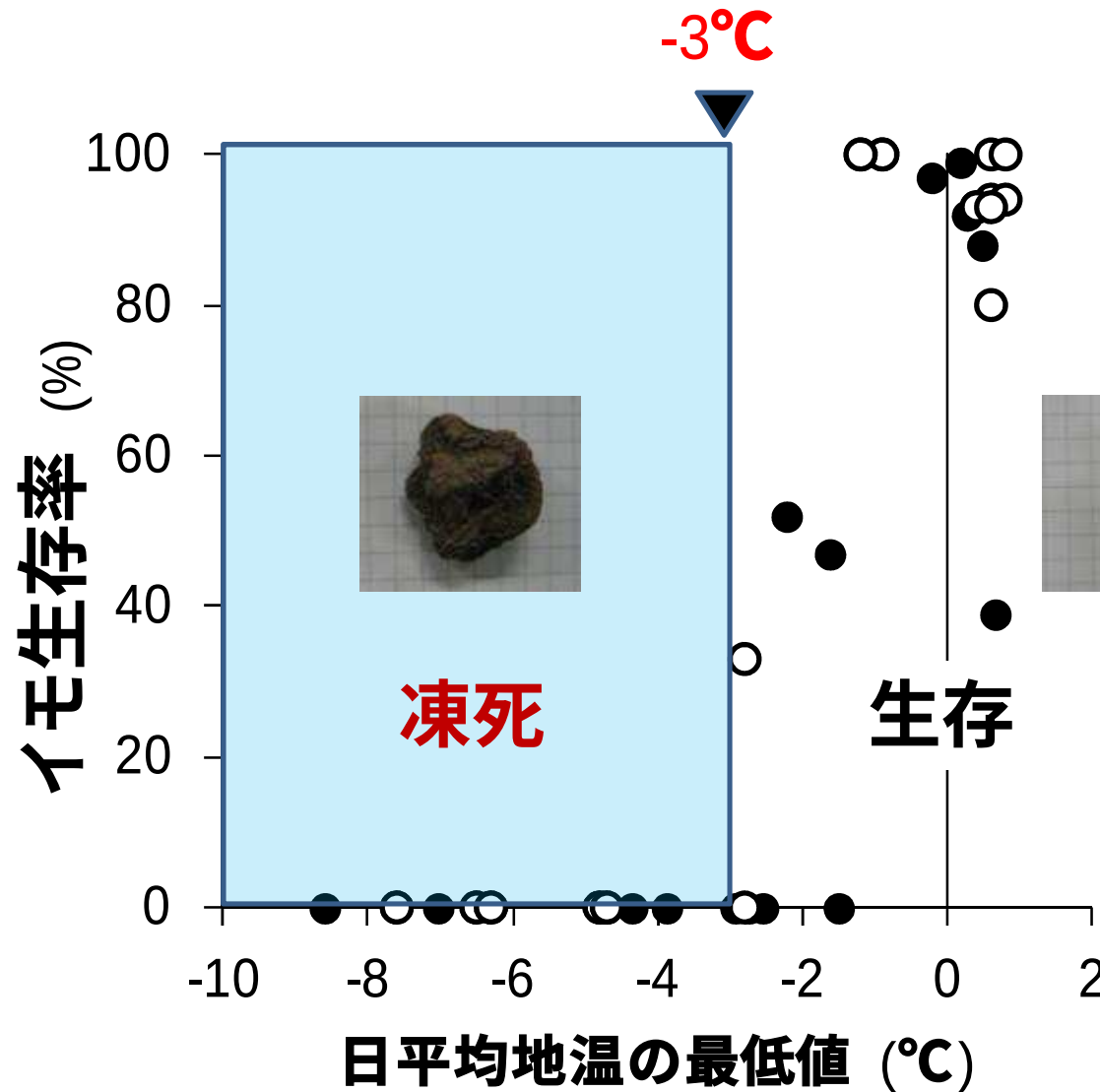
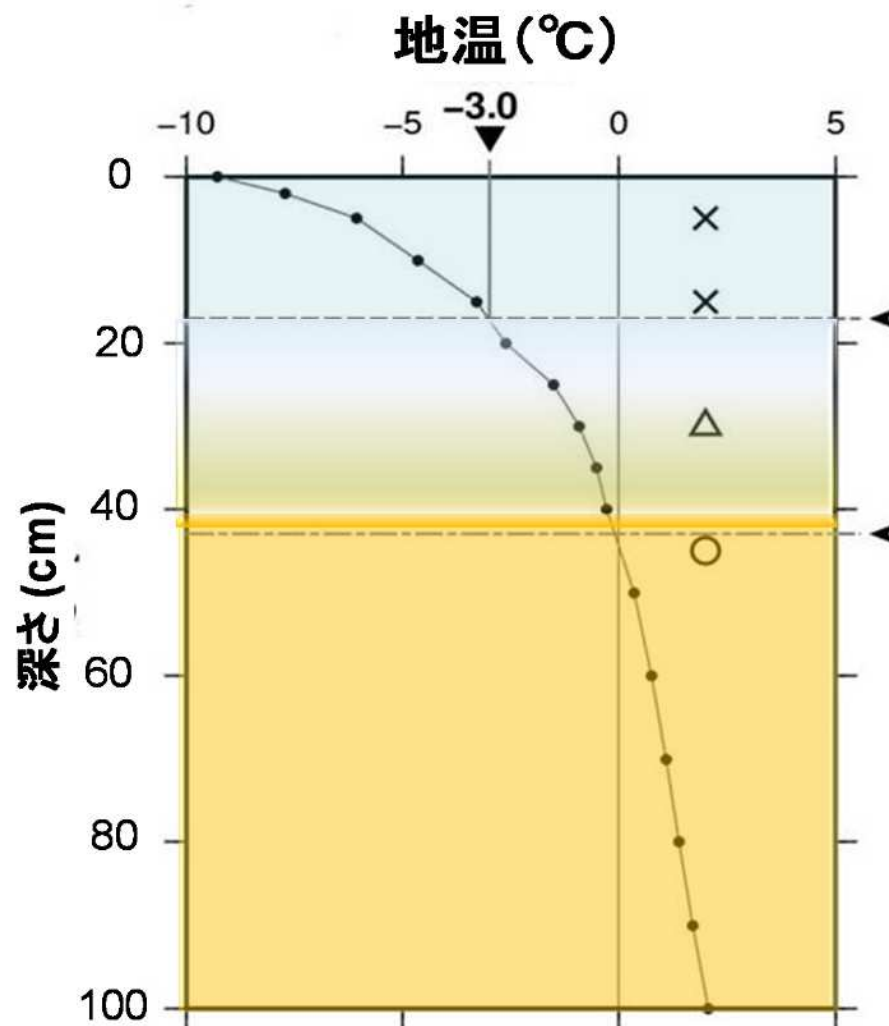


図 冬期間の日平均地温の最低値とイモ塊茎生存率との関係
(北海道農研● 十勝農試○ 圃場データ)

最適土壌凍結深の設定

閾値温度から閾値深さ(野良イモ凍死深さ)への変換



冬の土の温度は
表面ほど低く、
深いほど高い



表面ほど凍死、
深いほど生存

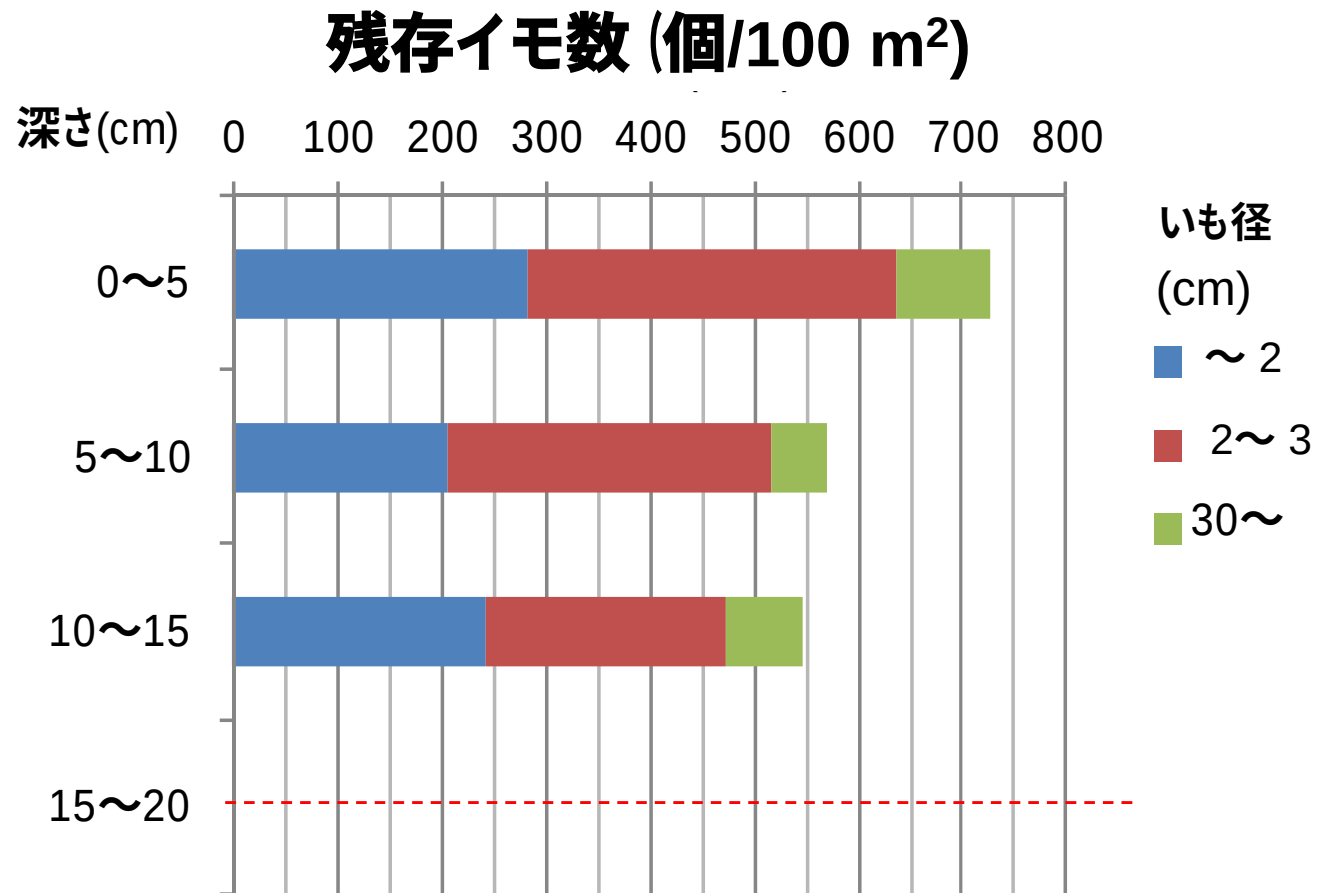


土を何 cmまで凍らせるとイモは全滅するか？

× 野良イモ凍死 △ 一部萌芽 ○ 完全萌芽

図 日平均地温の年最低値の深さ別分布、凍結深、野良イモ生存率の関係。

残存イモの多くは 地下15cm以内にある。

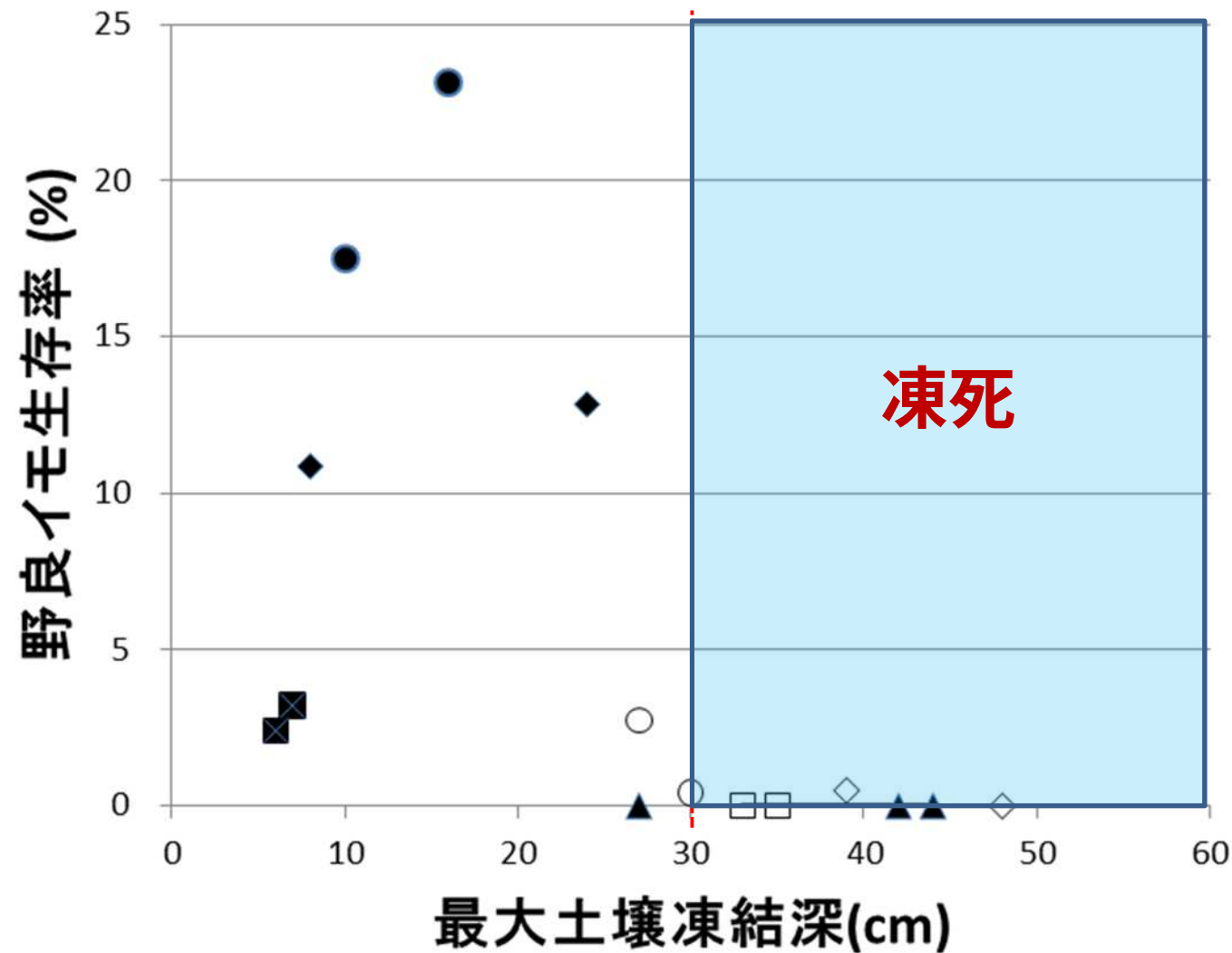


残存イモ数分布状況 (越冬前、2011-12) (十勝農試調査)

凍結深30 cm (深さ15 cmの日平均地温 -3°C)



農研機構



プロットの印の違いは畑が違うことを示す

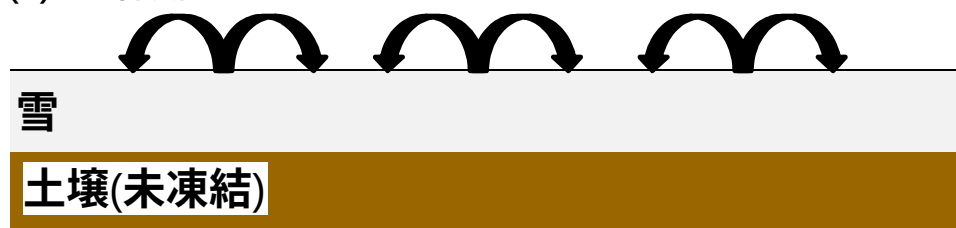
大規模農地での環境制御の実現 —雪割りは凍結深制御には極めて合理的作業—



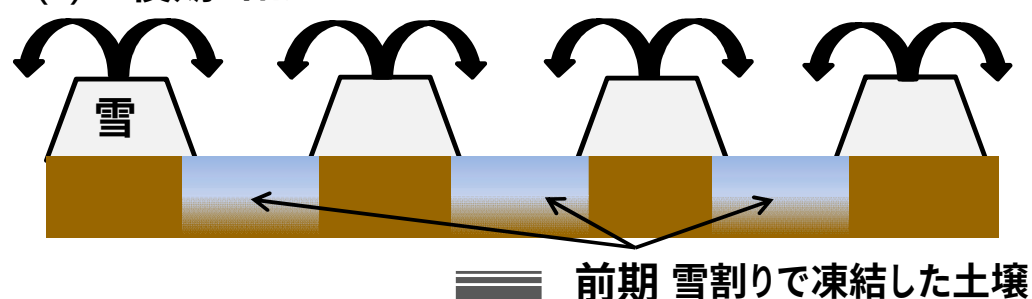
農研機構

雪は優れた断熱材 (深さ15~20 cm以上)

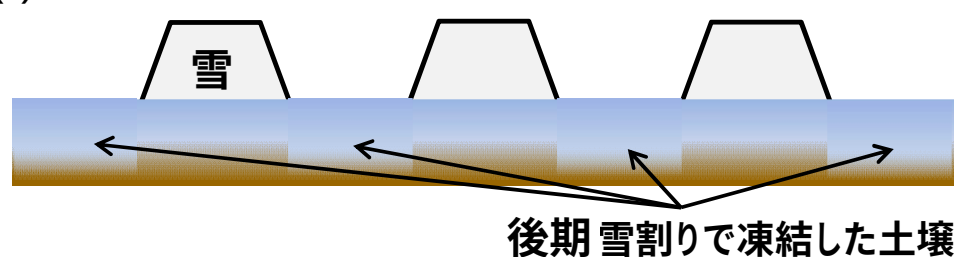
(a) 前期雪割り



(b) 後期雪割り



(c) 全面凍結達成



凍結深を制御

モデルを用いて
最適な土壌凍結深に達成するよう
雪割りのタイミングと期間を指示



雪を割って横に移動させるだけで、凍結促進と抑制を同時に実現。

土壌凍結深予測モデルの開発と活用

- ・気象データ (気温 + 積雪深)
から土壌凍結深を計算

予測方程式の開発

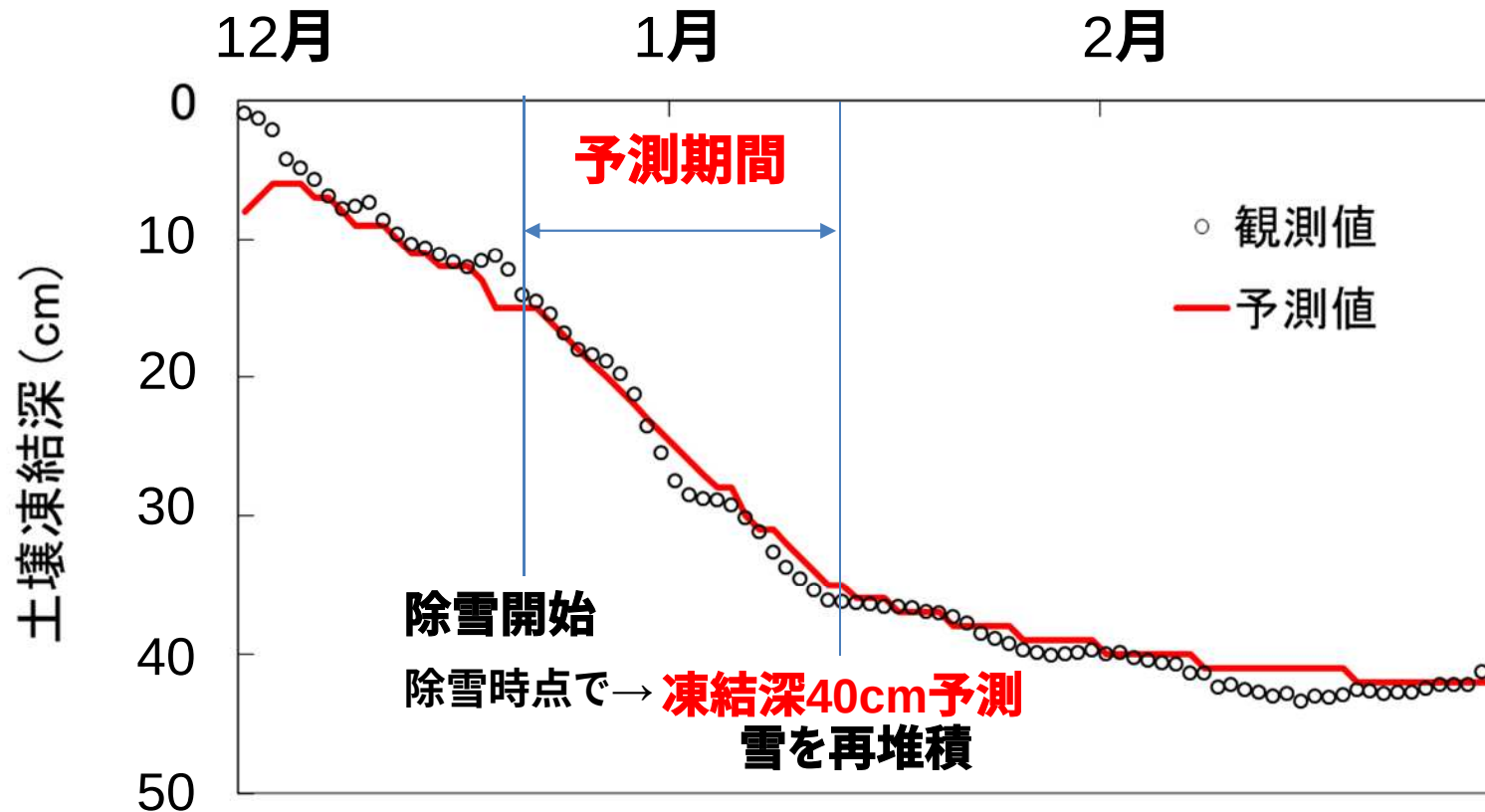
$$C_1(\delta) \frac{\overline{\partial T(z,t)}}{\partial t} = -\frac{2\lambda}{cD_a} \frac{\overline{\partial T(z,t)}}{\partial z_1} - \frac{2\pi}{\tau} (\overline{T(z,t)} - \overline{T_{ym}})$$

作業負担の大きい観測は不要！

(Hirota et al.2002)

土壌凍結深の予測とコントロール

観測値の再現だけでなく、1～2週間先の予測・(次の雪割り日)も可能
月



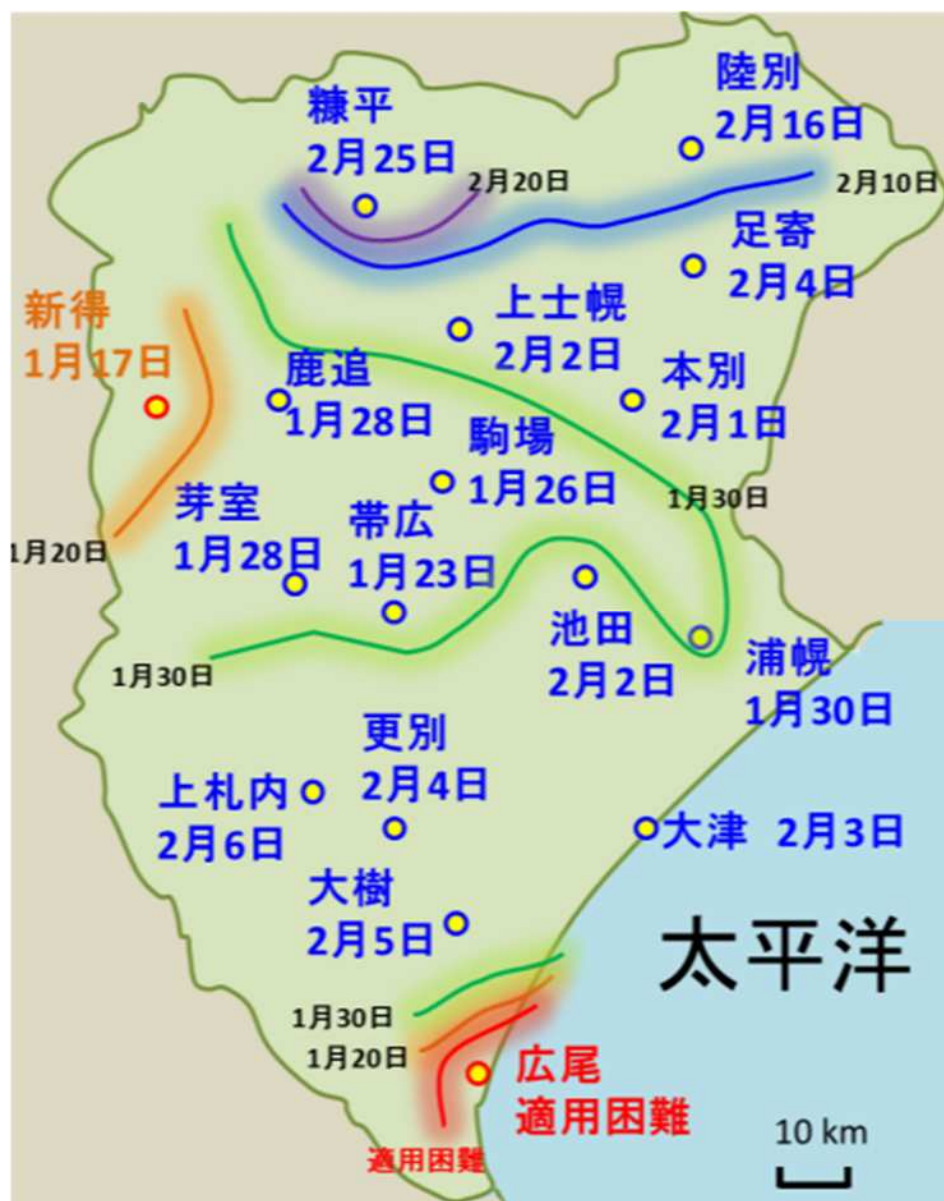
除雪期間の気温、観測値ではなく 平年値 (予測値) 積雪深 2 cmを入力

図 方程式で予測した土壌凍結深と実際の観測値の比較

凍結深制御適用条件の同定 雪割り作業晩限



農研機構



暖冬年を想定した 雪割り処理晩限の設定

**後半（2回目）の雪割り作業の晩限日
（30年に一度の暖冬でも全面 30 cmを
凍結させるための雪割り日の晩限）**

(矢崎など,2012 改訂図)

表1 現在の気候条件と気温が変化した場合に必要な土壌露出期間

(気象条件は十勝地方芽室を対象 温暖化シナリオは気象庁(2005)における予測 冬の平均気温は(12-2月の平均値)

気温の変化幅 ΔT_a ($^{\circ}\text{C}$)	-4	-3	0	3	5
冬の平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)	-12	-11	-8	-5	-3
気候温暖化シナリオ	現在 2081-2100				
イモの埋設深さ (m)	土壌露出期間 (日)				
0.05	0	0	9	11	12
0.10	0	2	10	13	22
0.15	2	9	12	20	不可

1. 目標とする最適土壌凍結深の設定

閾値温度 (野良イモ凍死温度 -3°C)

→ 閾値深さへの変換 (野良イモ凍死 凍結深 30cm)

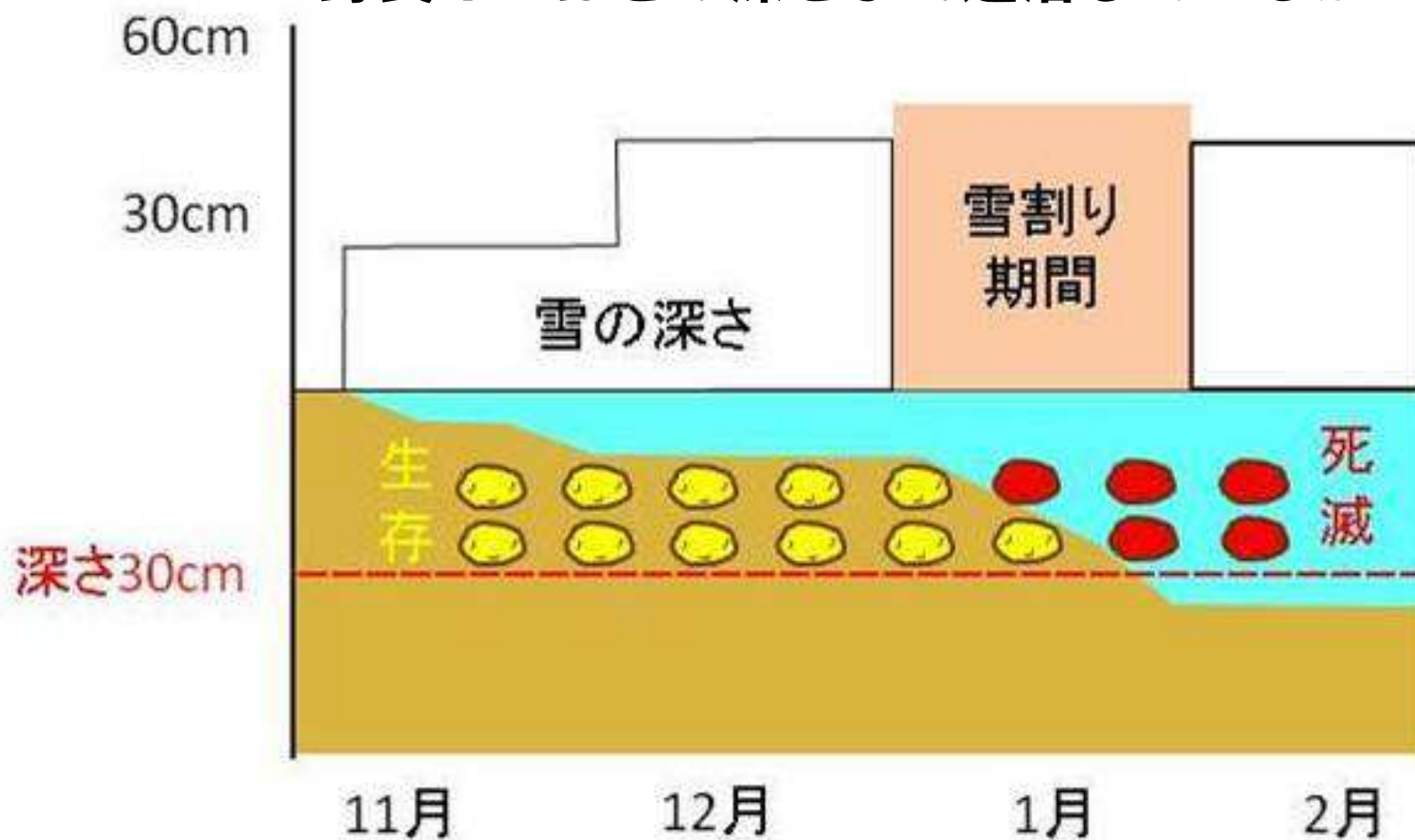
2. 断熱材の積雪と数値モデルを活用した土壌凍結深制御

3. 雪割りを活用した大規模農地での環境制御

4. 凍結深制御の適用条件の同定

土壌凍結深、野良イモ、雪割り作業支援情報システム

いつ、どれくらいの期間、雪割りに入るか
野良イモはどの深さまで退治しているか

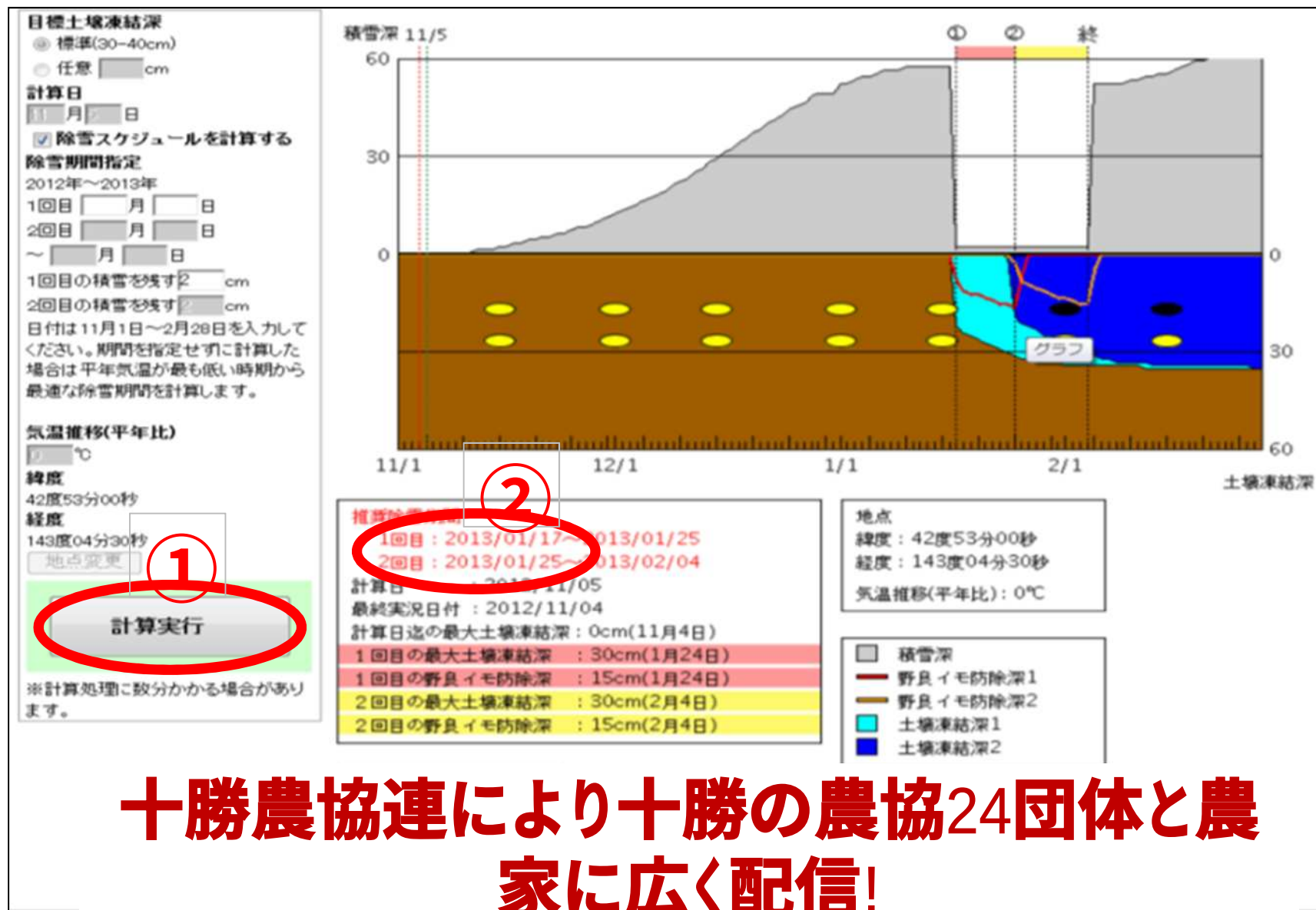


雪割り実施者へ情報配信

てん蔵 (日本気象協会) による凍結深、野良イモ 状態、雪割り作業計画・意志決定支援



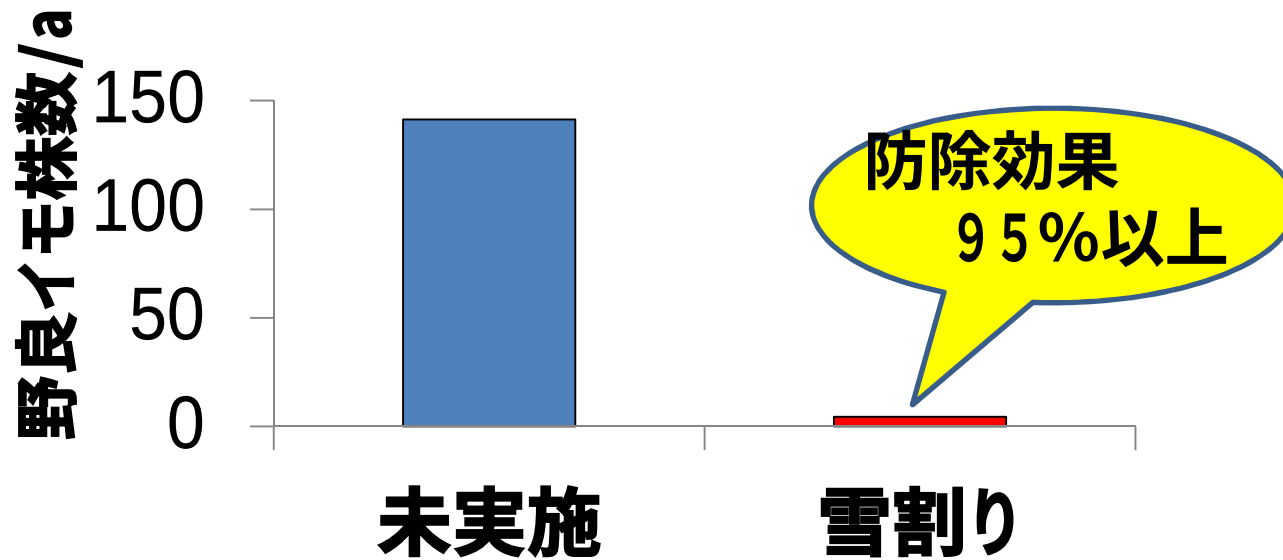
農研機構



高い防除効果を実証



農研機構



雪割り実施の有無と翌年に発生した野良イモの株数
(H22-23年、23-24年のべ6地点の平均)



雪割り・土壌凍結深制御の畑 (野良イモを完全に退治)

寒さの価値の発見

・夏の人の作業から冬の農閑期の機械作業へ

・労働時間を大きく削減 (数十分の1)

→雪割り作業 0.5h/(ha) 2回で合計1時間

・農薬もいらない



土壤凍結深制御の拡張とイノベーションの連鎖

気温による理論上の適用可能地域

降雪日数、量、積雪深
等の要素について
検討が必要。

オホーツク地方への展開

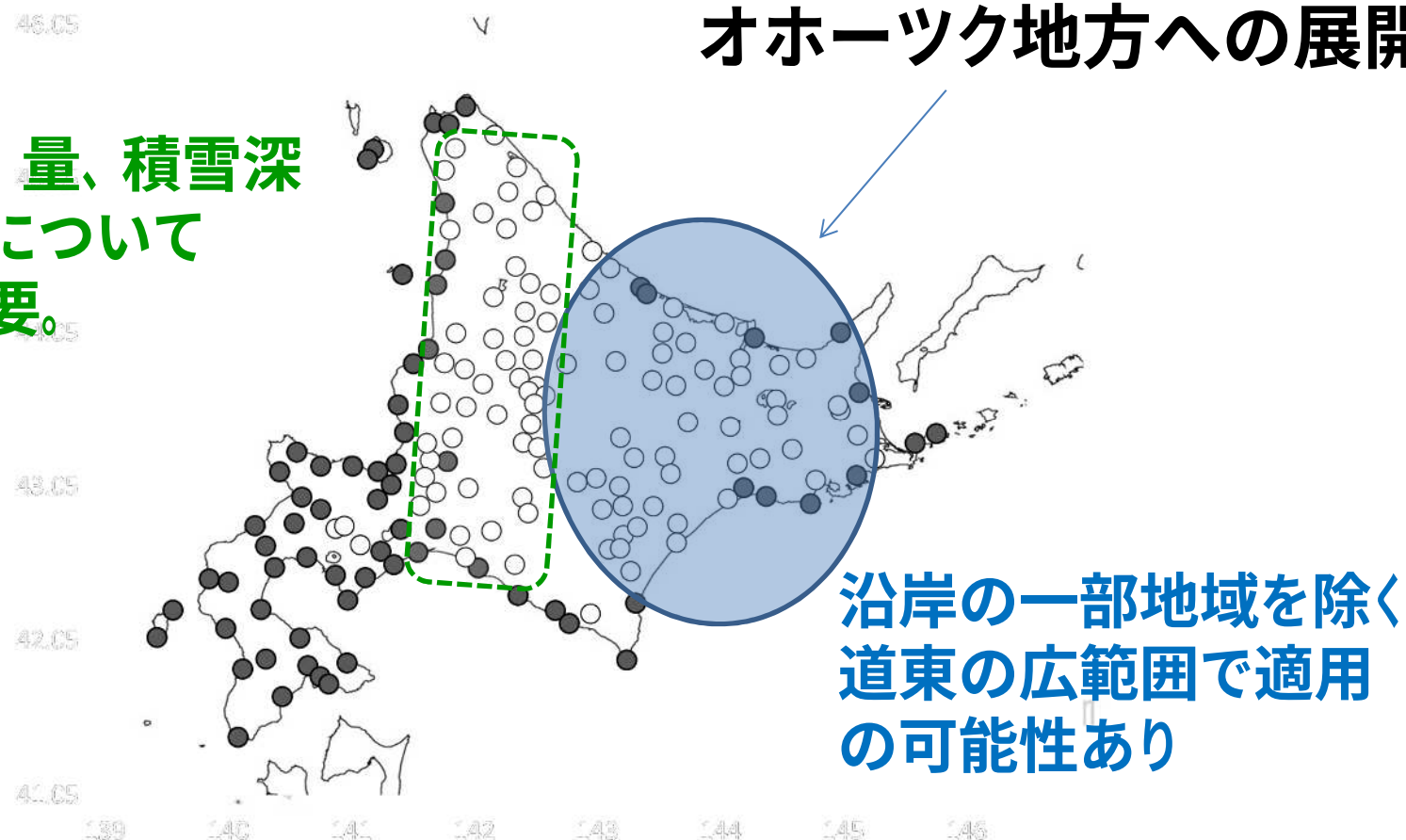


図 土壌凍結深制御による野良イモ防除の
適用可否 (12～2月の気温による推定)

○: 実施可能、●: 実施困難

気象庁予報データを利用し、 Google mapを活用した 土壌凍結制御システムへ拡張

土壌凍結深推定計算システム

ユーザー登録・圃場登録完了後の使用方法

圃場登録が反映された場合
・登録圃場一覧に表が表示される
・地図にアイコンが表示される

MENU

- 圃場登録
- 結果一覧
- 経過図
- 雪割り計算
- 地域選択
- ログアウト

【剛走地方】登録圃場の編集

登録圃場一覧

番号をクリックすると地図の中心が移動します。「削除」ボタンのクリックで登録した圃場の削除が可能です。

番号	地点	緯度	経度	削除	番号	地点	緯度	経度	削除
1	建設	44° 30' 9"	142° 56' 29"	削除	6	建設	44° 1' 30"	142° 31' 37"	削除
2	西田	44° 20' 0"	142° 56' 4"	削除	7	佐田	44° 1' 52"	142° 52' 26"	削除
3	建設	44° 21' 42"	143° 17' 57"	削除	8	佐田	43° 58' 55"	144° 16' 1"	削除
4	建設	44° 18' 5"	143° 23' 49"	削除	9	宇田	44° 3' 30"	144° 59' 9"	削除
5	海上	44° 10' 48"	143° 4' 30"	削除	10	白田	43° 52' 54"	142° 10' 19"	削除

新規圃場登録

注) 登録した圃場が反映されるまで24時間あります。ご了承ください。

名称: 緯度: 経度:

地図をドラッグし、登録したい位置を中心に移動します。
緯度経度が表示されるので、名前を付けて登録してください。

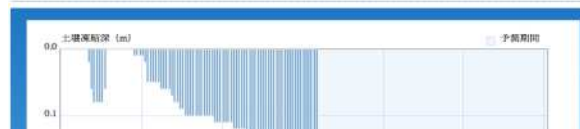
マークは登録済みの圃場の位置です。

【十勝地方】雪割り計算結果図

地点名: M1_001 陸別

更新日: 2014/01/23

土壌凍結深



地温推定値



気温と積雪データ

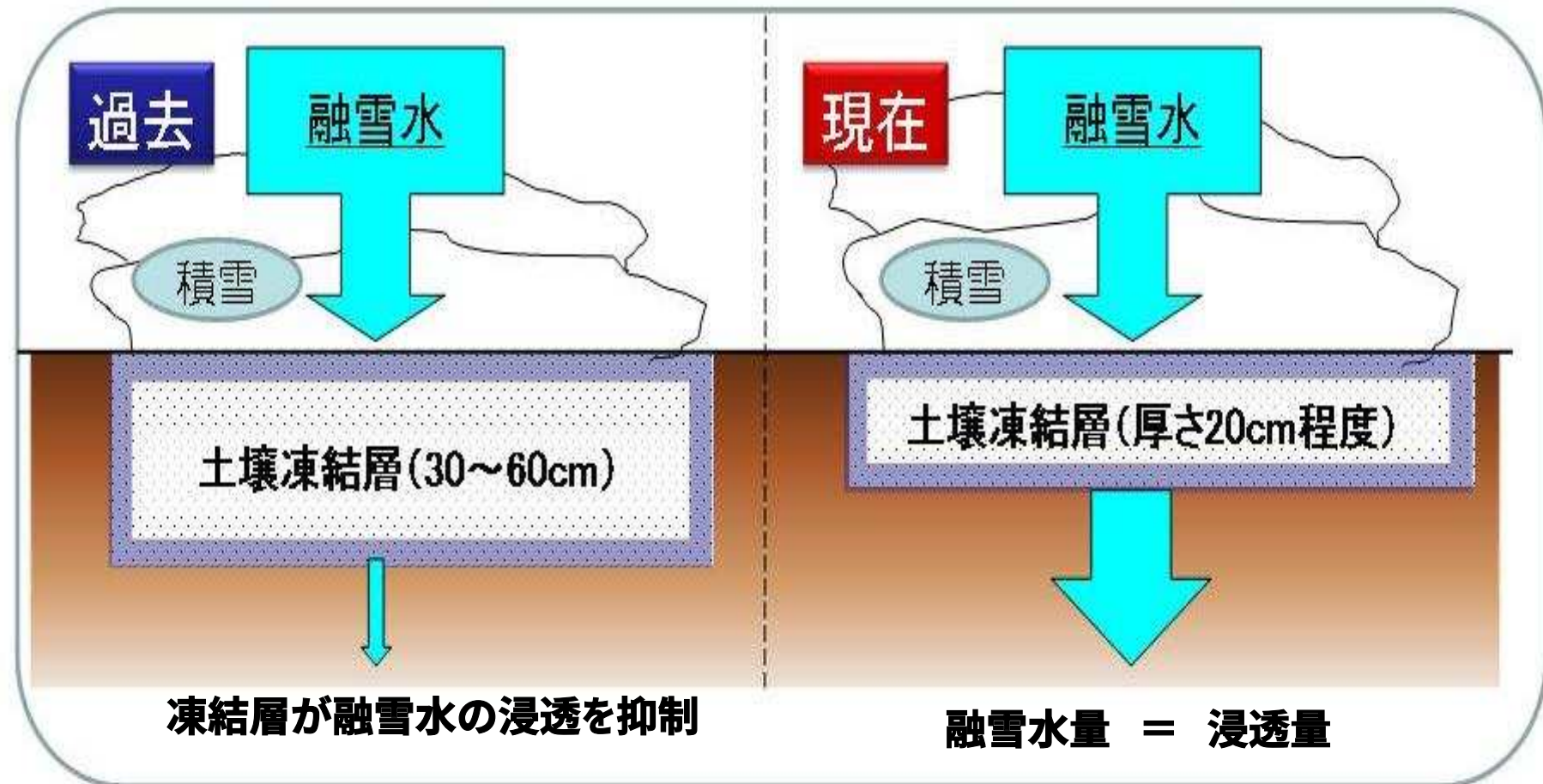


野良イモ防除

十勝十オホーツク地方への展開

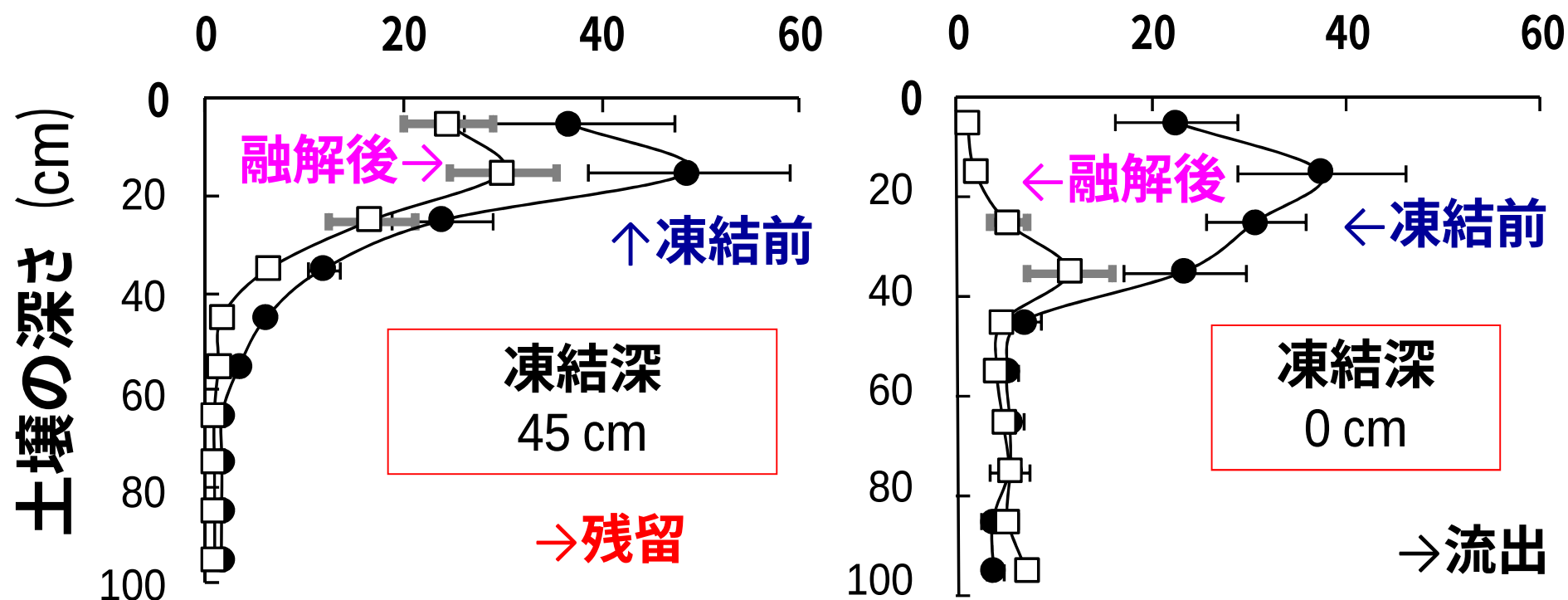
土壤凍結深の違いが融雪水の浸透に及ぼす影響

融雪水の挙動が大きく変化



土壌凍結深の変化が 土壌中の硝酸態窒素動態に及ぼす影響

硝酸態窒素濃度 (mg N kg^{-1})



凍結層の発達→融雪水の土壌浸透が妨害→硝酸態窒素が残留

凍結深浅い→融雪水が土壌に浸透→硝酸態窒素が地下水汚染源の恐れ

(Iwata et al.2013)

温室効果ガス N_2O

(CO_2 の約300倍の温暖化ポテンシャル 農業由来大 土壌凍結融凍期大量放出)

一酸化二窒素 N_2O 生成は微生物の反応なので、温度がある程度高くないと発生しないと考えられがちだが……

実際は

N_2O は低温の土壌凍結融凍期に年間の80%以上大放出

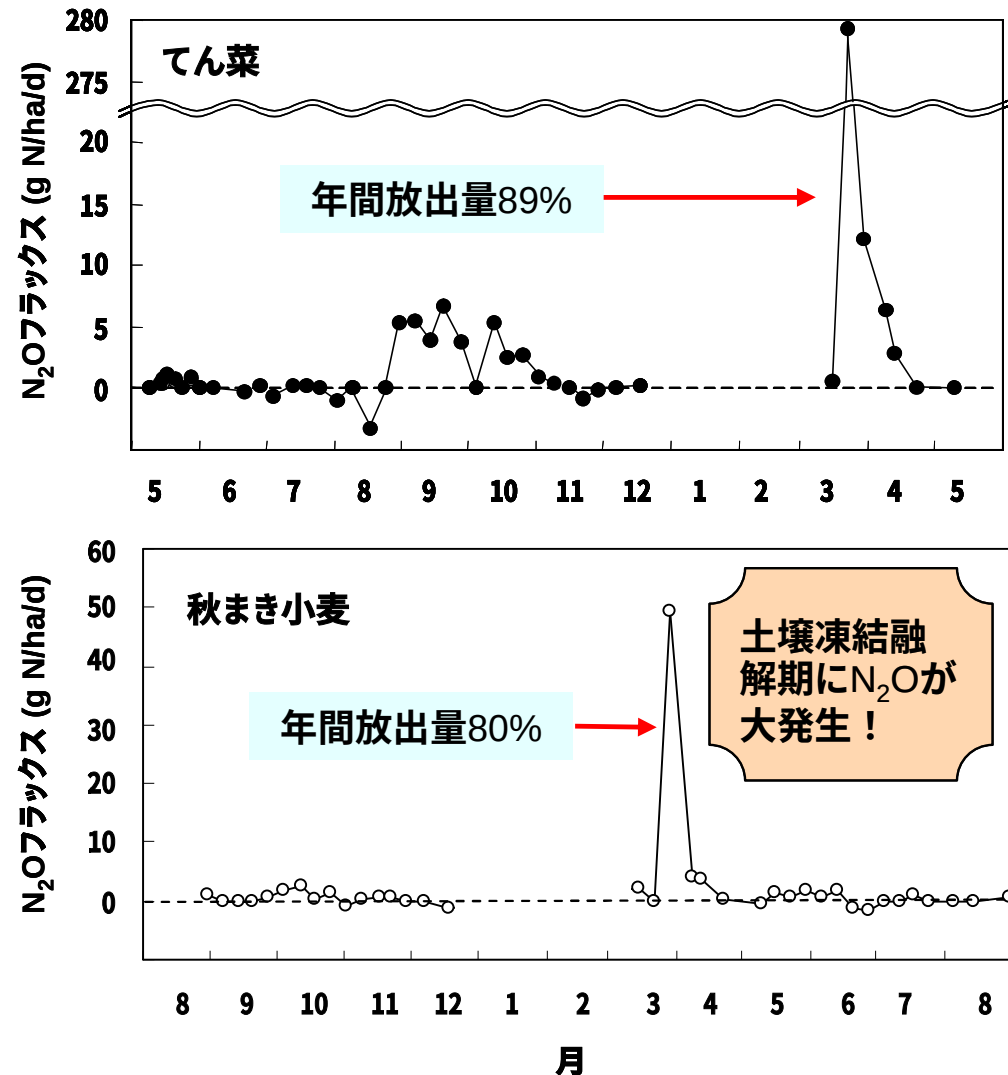
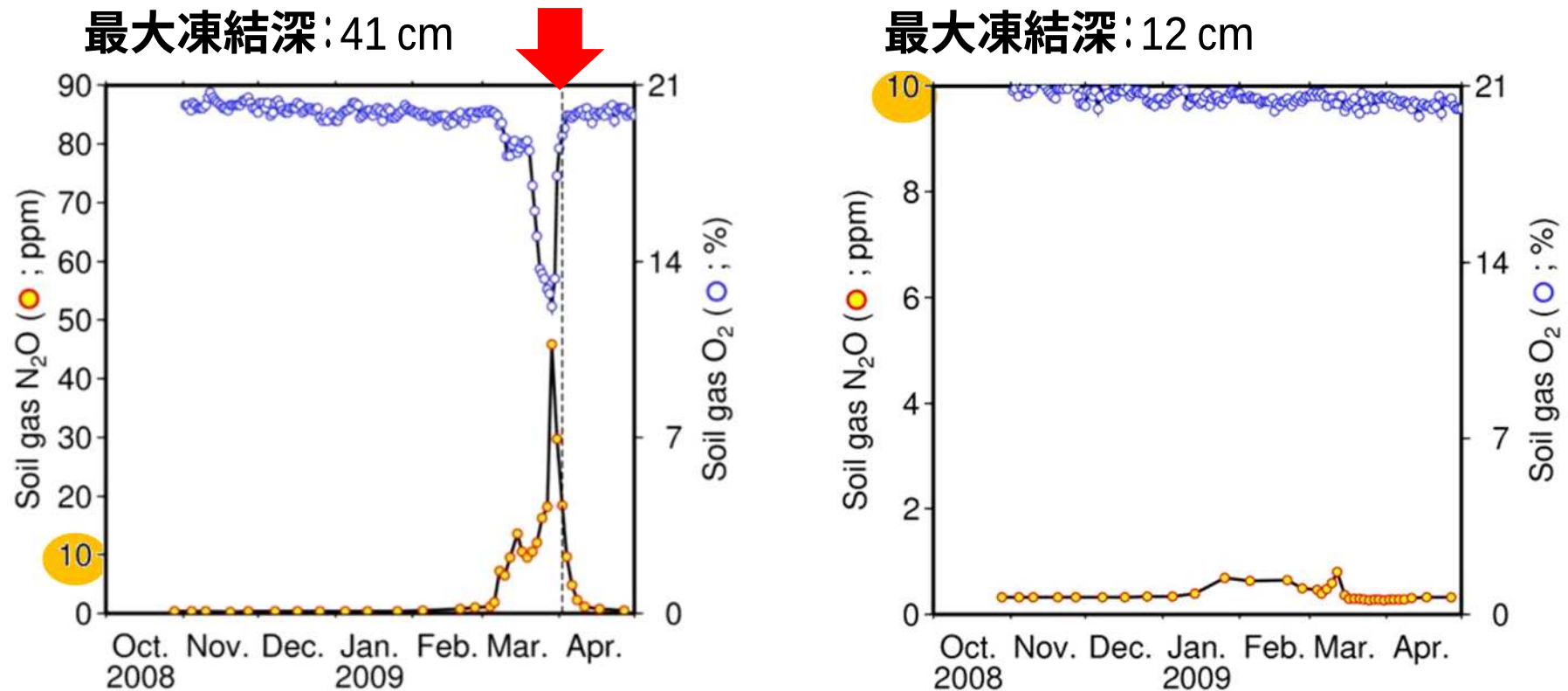


図 北海道・十勝の畑地における N_2O フラックスの経時変化 (Koga et al. 2004)

土壌中 (10 cm深) での N_2O 生成・蓄積動態

融雪水の浸透不良が通気を妨害し微生物反応 (脱窒) を誘導
大放出

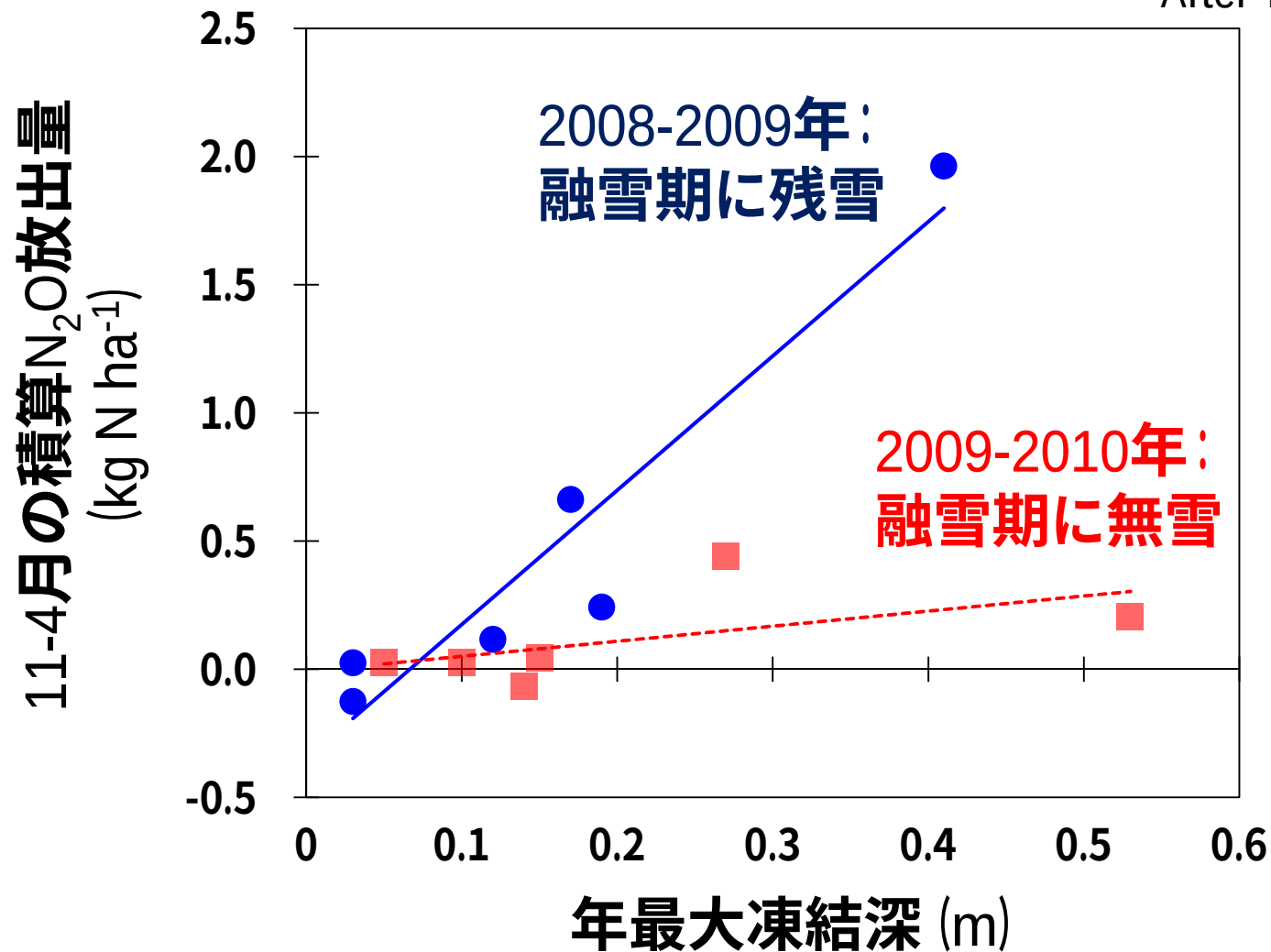


地表面から N_2O が排出される前に土壌ガス中 N_2O 濃度が上昇し
 O_2 濃度が低下、土壌凍結が浅いとそのような変化なし

(Yanai et al.2011)

N₂O放出量は土壌凍結深が深く、湛水が発達するほど多い

After Yanai et al. (2011)



N₂O放出量と土壌凍結特性の関係

生産性向上と環境負荷低減を両立する 最適土壌凍結深の導出

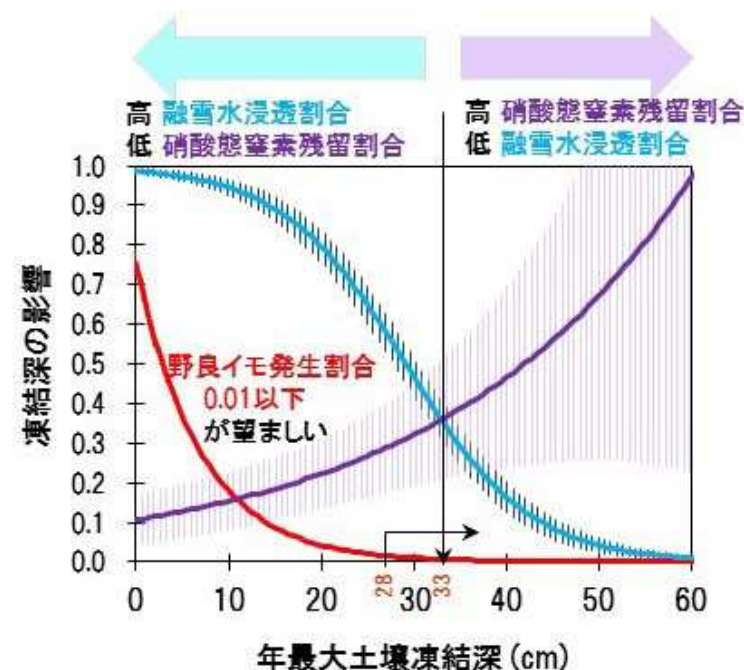
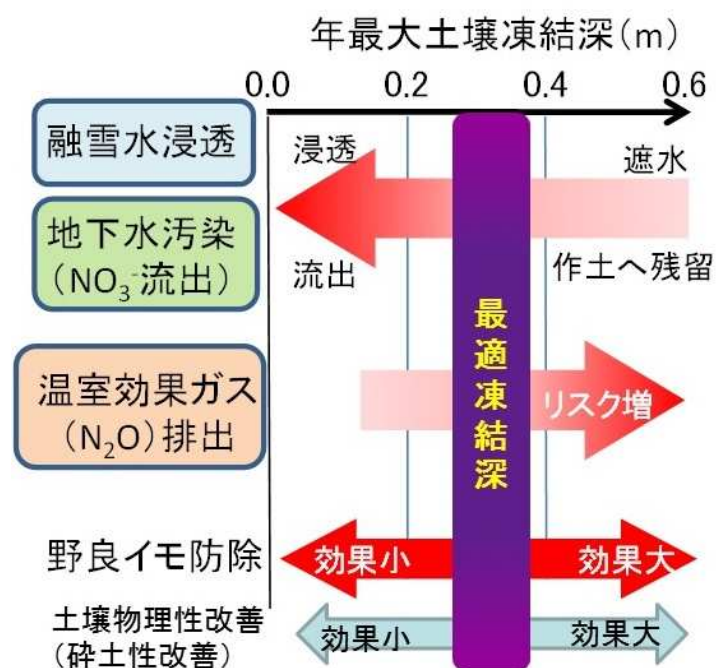


図 野良イモ発生を抑えつつ融雪水の浸透を妨げず、かつ硝酸態窒素を作土に残す土壌凍結深の探索

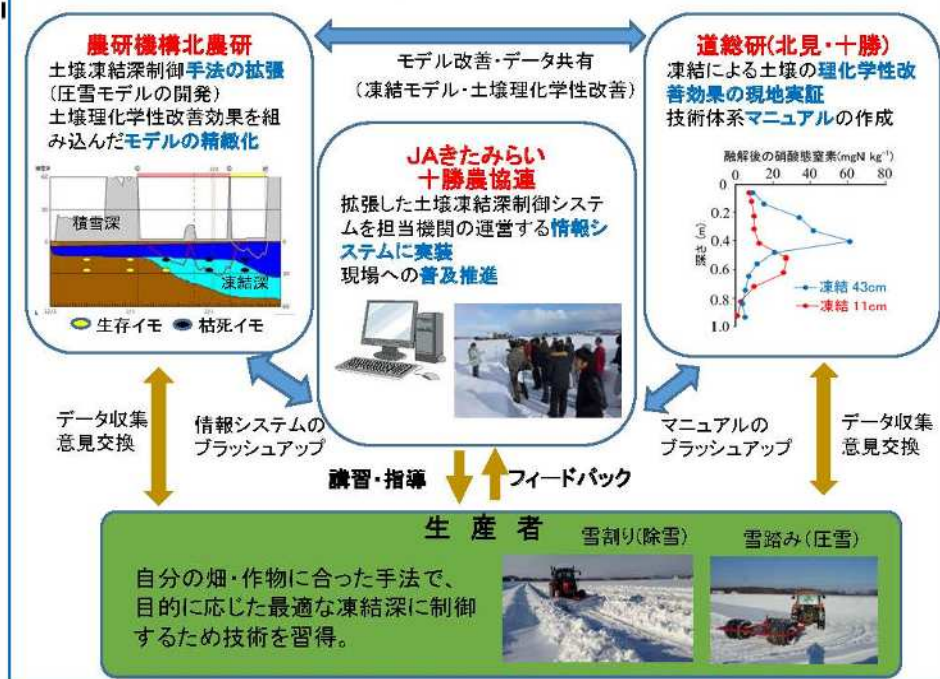
Yanai, Iwata, Hirota(2017) Scientific Reports

課 題 名	土壌凍結深制御手法の高度化・理化学性改善技術への拡張と情報システムの社会実装
-------	--

研究の背景

- ・農水省実用開発事業（雪割り（除雪）による野良イモ防除）
十勝地方で 5000ha 普及の実績。
- ・近年、オホーツクの先進農家も取り組み。凍結による土壌理化学性改善効果が増収をもたらす新発見。
- ・シストセンチュウ対策で野良イモ防除の重要性増大。土を移動しない雪踏み（圧雪）による土壌凍結制御法への期待。

研究推進体制と研究内容



達成目標

手法と目的を高度化した新たな土壌凍結深制御技術を農業現場へ導入し、新たにオホーツクと十勝で数千 ha 規模の普及を目指す。

期待される効果・貢献

省力化数千円/ha 節減、増収で数万円/ha 増益
道東全体で数億円規模の経済効果

省力と高生産性が両立した持続的な輪作体系の維持発展

国民への安全・安心な食料の安定的供給への貢献



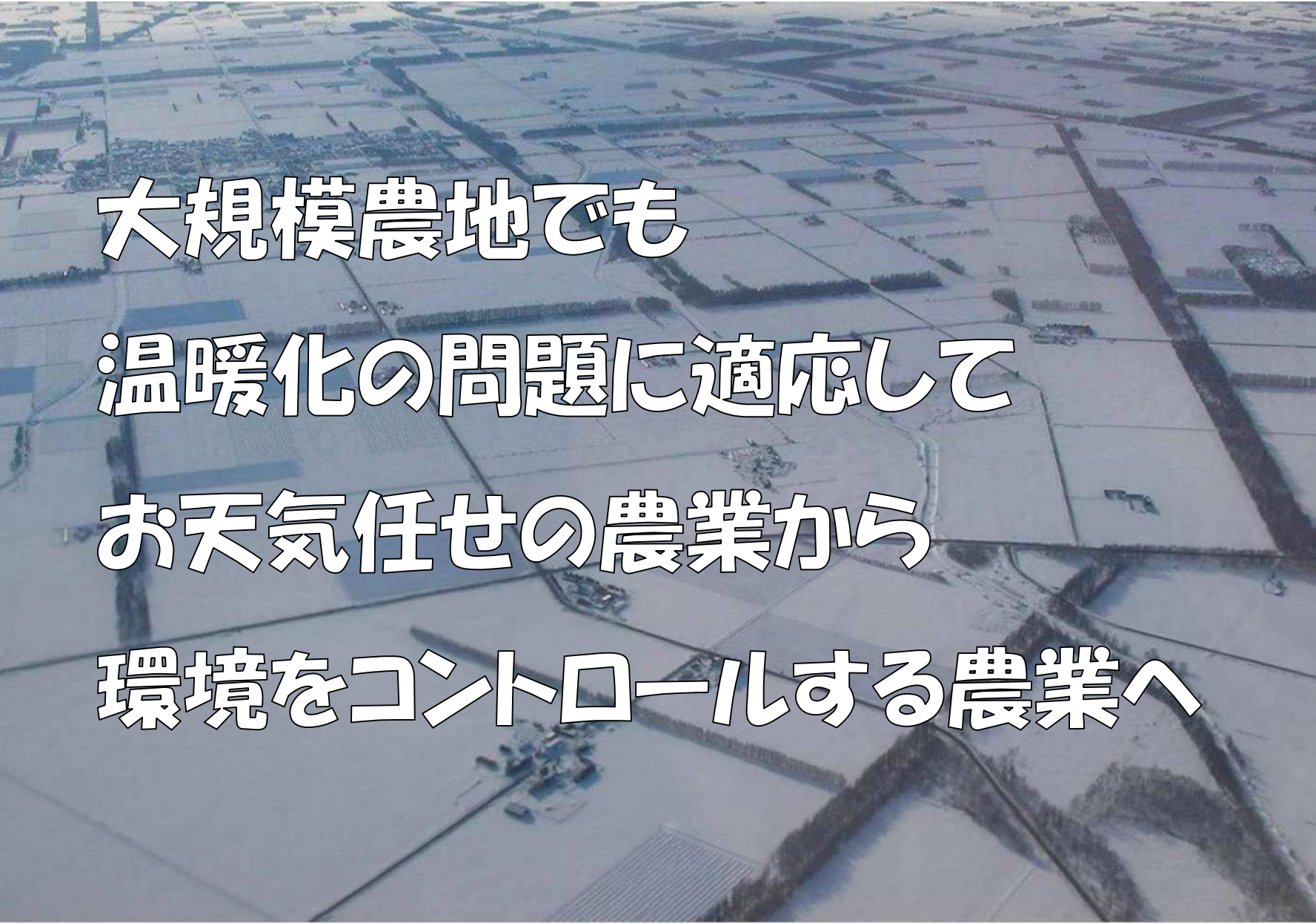
2017-2019年度 農林水産省 農食事業

気候の変化が農業を変える



真冬の十勝の畑を上空から見ると

気候の変化が農業を変える！



**大規模農地でも
温暖化の問題に適応して
お天気任せの農業から
環境をコントロールする農業へ**

気候の変化が農業を変える！

- ・十勝地方で約5000ha実施
- ・大規模農地での環境制御のみならず地域全体の環境制御を実現

気候の変化が農業を変える！ 北海道 北見 たまねぎ畑

野良イモ対策ではない雪踏み風景

**土壌凍結深制御は野良イモ対策
から新たな展開を迎える**

