

適応のための地域別の最適作物と環境負荷の評価

国立研究開発法人 農業・食品産業技術研究機構

上級研究員 櫻井 玄



はじめに

温暖化すると作物はどうなるのか?

作物は気候変動の影響を非常に大きく受ける分野の一つである。

気候変動によって日本で栽培されている作物は将来どのような影響を受けるのか、さまざまな作物種について、より細かな情報が必要とされている。

本発表では、環境研究推進費2G-2201のサブテーマ2のこれから2年間の研究で提供される情報について紹介する。



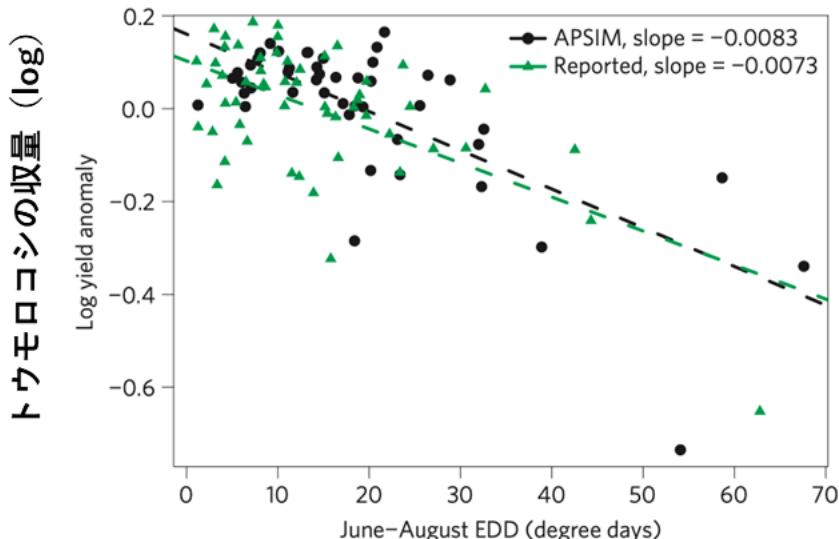
温暖化と作物

温暖化すると作物はどうなるのか?



一般的には・・・

- ・呼吸量の増加
- ・蒸散量の増加による水分不足
- ・各種の高温障害の増加
- ・生育速度の増加による成長時間の減少



6月-8月の30度を超えた積算温度

図: Lobell et al. (2013) Nature Climate Change

温暖化と作物

温暖化すると作物はどうなるのか?

一般的には・・・

- ・凍害・霜害の減少 ↗
- ・障害型・遅延型冷害の減少 ↗
- ・いもち病などの病害の減少 ↗
- ・二酸化炭素の施肥効果 ↗
- ・光合成のカルボキシル化反応速度増加 ↗

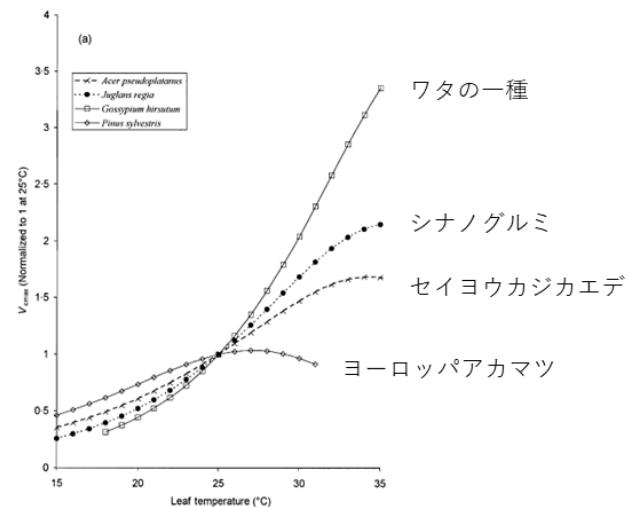
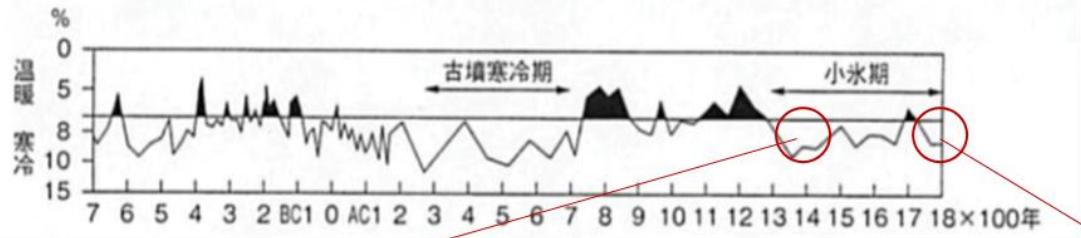


図: Medlyn et al. (2002) *Plant Cell and Environment*

冷害の歴史

尾瀬ヶ原のハイマツ花粉分析による気温推移



日本の農業は、これまで基本的には冷害との闘いだった。冷害により飢饉も起こり争いも起きた。

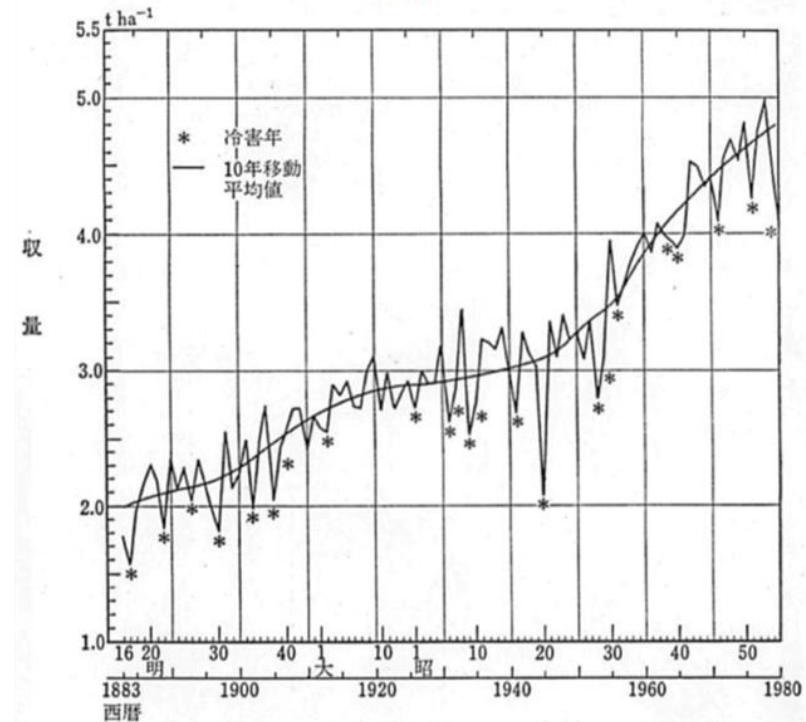
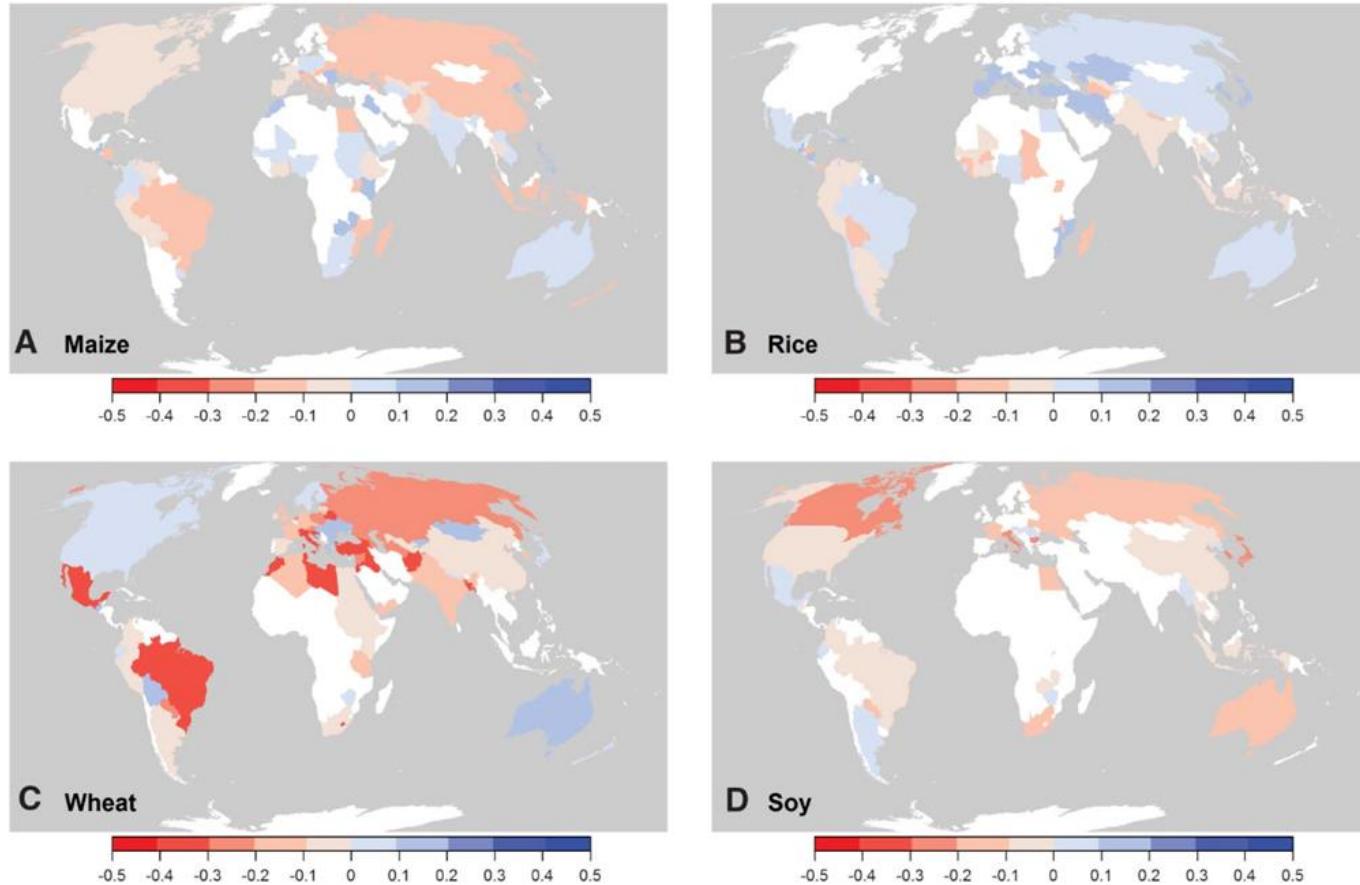


図 61 わが国の水稻取量の年次変化と冷害(岩切原図)

上図: 小学館「図説 日本文化の歴史6」 左下図: 坂口 (1984) 自然 右下図: 内嶋 (1987) 農林・水産と気象

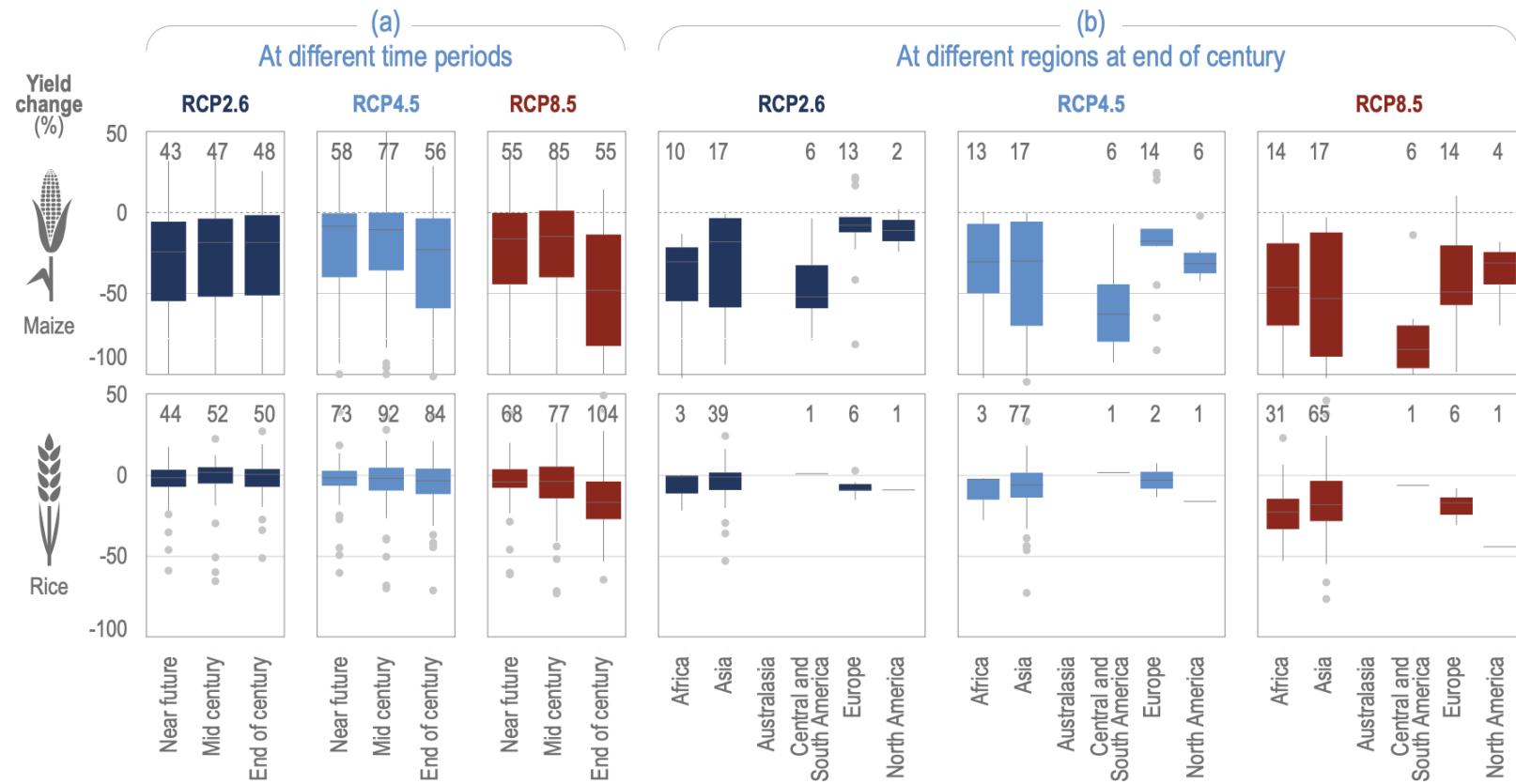
近年の温暖化の作物への影響



急激な温暖化により多くの作物の収量が負の影響を受けてきたことが報告されている。特に、トウモロコシや麦類、大豆が影響を受けている。

図: Lobel et al. (2009)

将来の気候変動による影響



気候変動の影響は、作物によって、また年代や地域によつて大きく異なる。

予測における3つのアプローチ

機械学習

統計学的なアプローチ

プロセスベースモデルによる
アプローチ

基本的には、気候変動影響研究ではプロセスベースモデルによる予測が利用されることが多い。

プロセスベースモデル

発育ステージ

光合成産物量



各器官の
バイオマス

各器官の
バイオマス



LAI

Pennman-Monteith
equation

$$ET_o = \frac{\text{Volume flux rate}}{(\Delta + \gamma (1 + g_a/g_s)) L_v}$$
$$\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p (\delta e) g_a$$



蒸発散量や
土壤水分の計算



水ポテンシャル

このループが、作物が成熟するまで続く

プロセスベースモデルでは作物の成長そのもの
がシミュレーションによって予測される。

プロセスベースモデルの問題点 1

プロセスベースモデルの対象作物は基本的に主要作物（麦、大豆、とうもろこし、米など）のみ。果樹やマイナーな作物については、プロセスベースは存在しないか、存在しても品種の数などが極めて少ない。

日本で言えば、全国スケールで予測できるのは基本的にはコメが予測の中心。

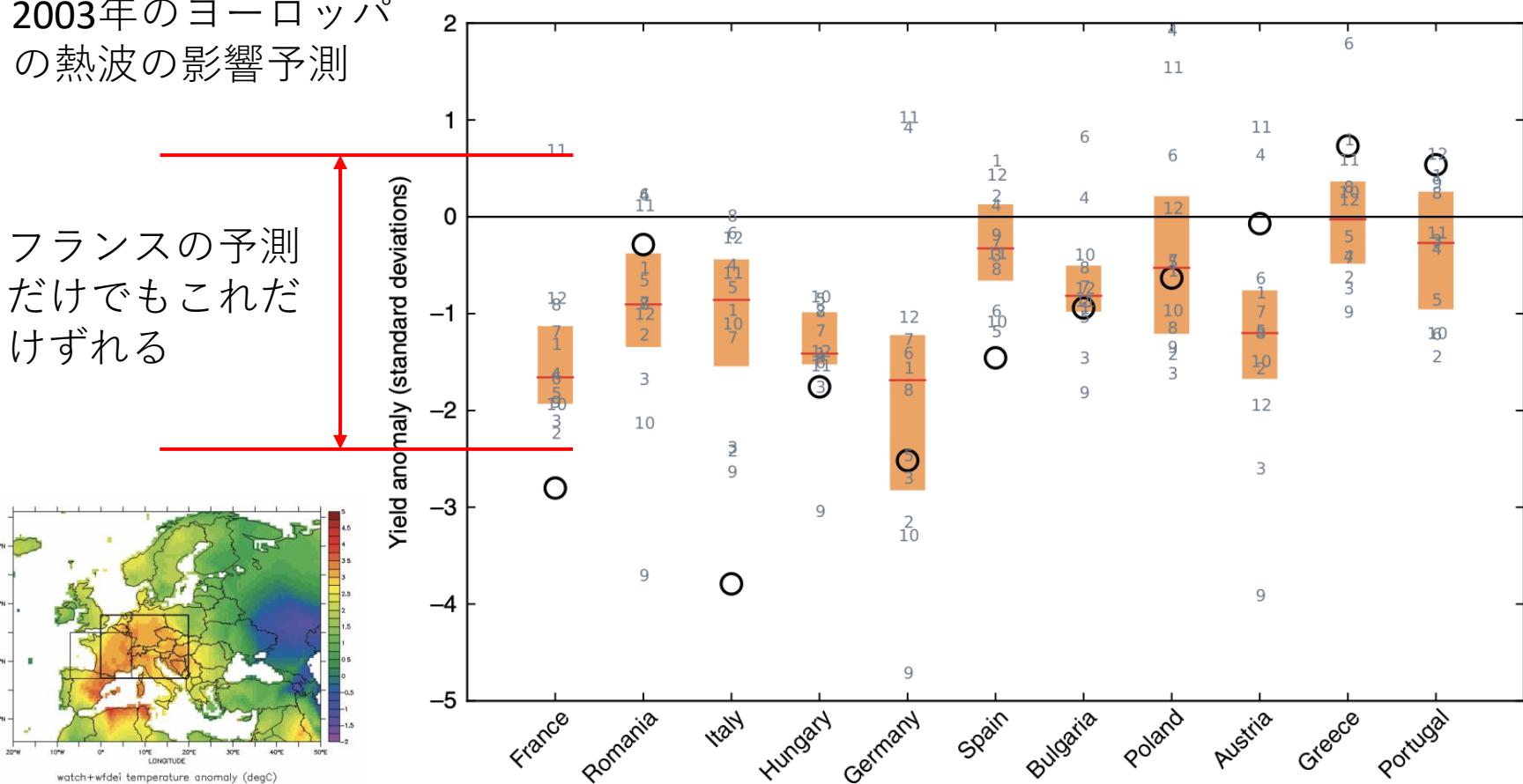
Country/Region	Commodity	Temp.	Prec.	Impact on production yield	Projected year
China	Corn			3–12%	2100
	Soya			7–19%	2100
	Grain		+100 mm	1.31%	2100
	Crops			0.1–0.52%	End of 21st century
North China	Grain			1.74%	
	Grain		+100 mm	3%	
NE China	Maize	+1.32°C	+30 mm	17%	2030
South China	Grain		+100 mm	0.59–1.19%	
North China	Grain		+100 mm	3%	
SW China	Maize	+1.32°C	+30 mm	22%	2030
Mongolia	Wheat	+			
Japan	Rice	+1°C			
	Aquaculture				
Rep. of Korea	Rice			>25%	End of 21st century
	Maize			10–20%	End of 21st century
	Potato			30%	End of 21st century
Rep. of Korea (Yellow Sea)	Fisheries	+1°C			
Rep. of Korea (Strait)	Fisheries				2030
D.P.R. of Korea Rep. of Korea	Seaweed/ Fish/ Shrimp/ Abalone				

プロセスベースモデルの問題点 2

2003年のヨーロッパ
の熱波の影響予測

フランスの予測
だけでもこれだけ
ずれる

トウモロコシの収量



プロセスベースモデルは確かに複雑だが、複雑だと正確だ
というわけではない。モデルによって予測が大きくズレ
る。

図: Schewe et al. (2019) Nature Communications

予測における3つのアプローチ

機械学習

統計学的なアプローチ

プロセスベースモデルによる
アプローチ

予測における二つのアプローチ

機械学習

大



データに合う
ことが命

小



現象理解
したい度

小

二酸化炭素濃
度800ppmの圃
場収量デ
タってある？



外挿
大丈夫度

統計モデル

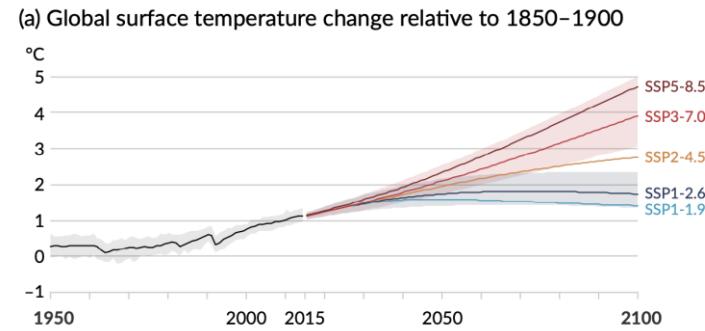
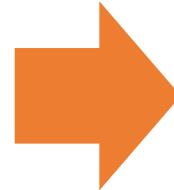
プロセスベースモデル
(シミュレーションモデル)

小

大

大

データドリブンな予測



将来気象値による予測

$$y = f_T(X_T) + f_P(X_P) + P + S + \varepsilon$$

日本には農水省が長年測定し続けてきた収量統計データや各種統計データが存在する。世界的に見ても極めて貴重なデータが各種存在する。過去のデータを用いて様々なマイナー作物についてデータドリブンな予測ができる。

利用データ



e-Statの作物統計データ

1993年から現在までの作物統計についてのデータがデジタル化されて収録されている。作物種は100種程度。



日本土壤インベントリー

圃場レベルの高解像度で農地の土壤分類がデータ化されている。農研機構が保持するデータ。

栽培ステージ総覧

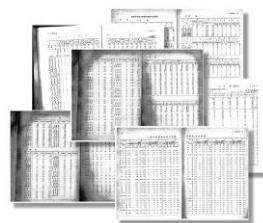
日本全国の穀物類・野菜・果樹などについて、各地域・各品種の栽培体系をまとめた資料。デジタル化して利用。



各県の肥料投入量指針

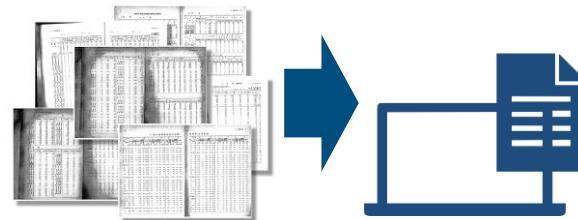
各地方の普及センターなどが公表する窒素・リン投入量などの指針に関するデータ。

1993年以前の作物栽培統計



e-Statに公表されている以前年代の非デジタル化データ。一部をすでに国環研・肱岡靖明代表を既にデジタル化。

プロジェクトの全体像

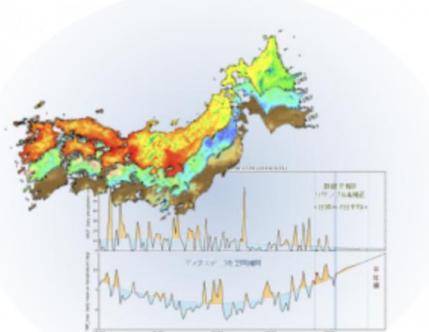


紙媒体資料のデジタル化

+



政府統計データ (e-Stat)



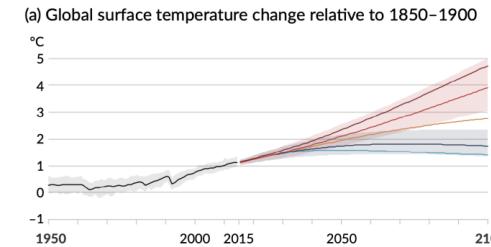
気象データ

+

環境データ



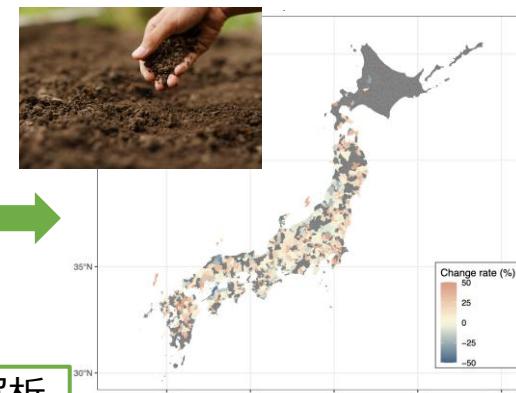
e-土壤図



将来気象値



将来における作物収量
変化と環境負荷を計算



統計手法 (加法モデル) による解析

気象・土壤と作物収量の関係を市町村レベルで、50~100種を対象として、全国スケールで解析する。また、20~40種について、リン・窒素を対象として、農地における各作物種の栽培体系の肥料負荷を計算する。

多種の対象の作物

これまでもコメなどの主要作物やいくつかの作物については、市町村以下のレベルで、将来の作物収量の変化に関する評価は存在したが、50～100種という多種について気象と収量の関係を解析し、将来の収量変化を評価した研究は皆無。しかし、そのような研究がないと**適応のための地域別の最適作物評価はできない**。

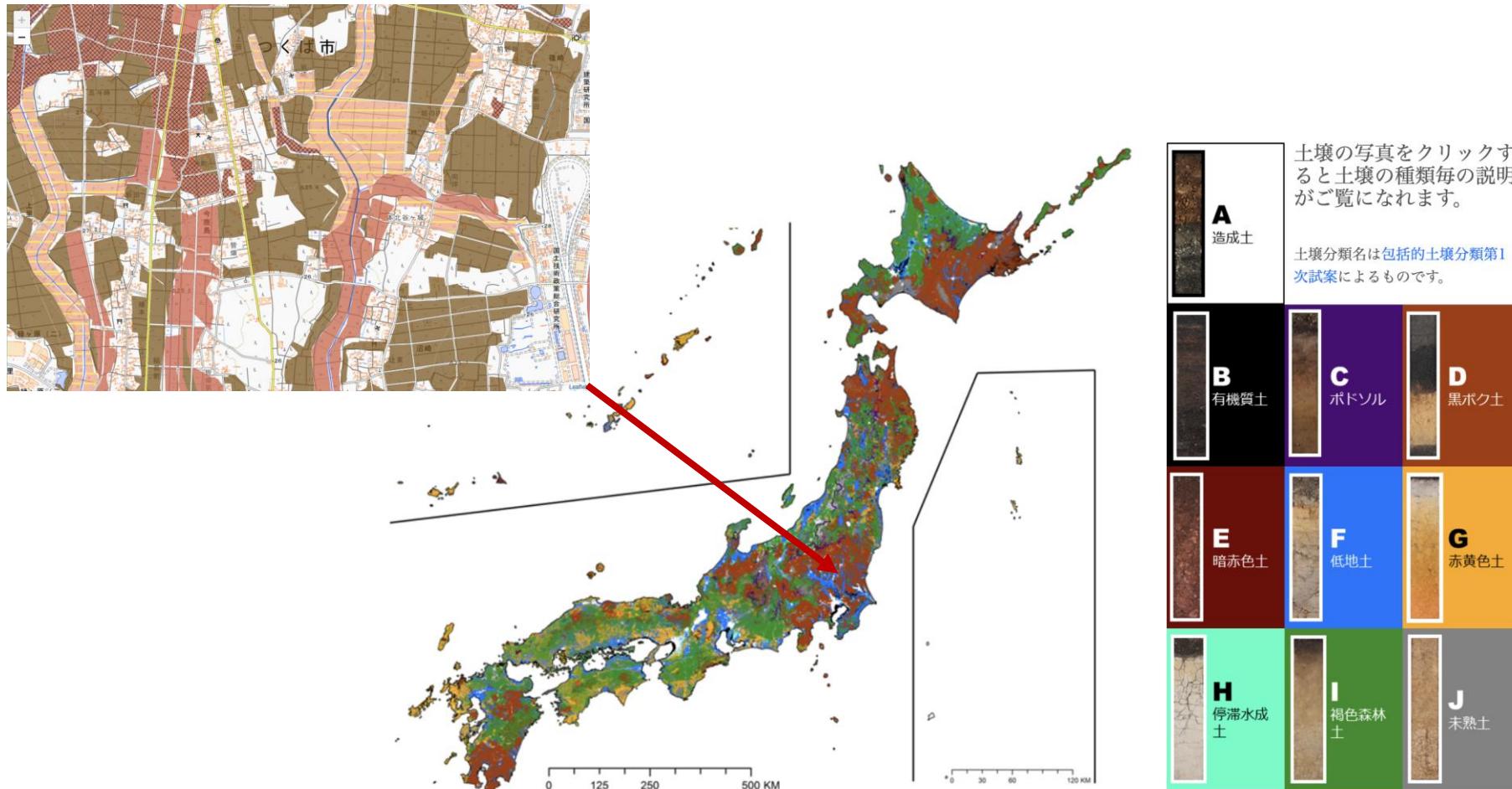


日本に眠る様々な作物統計データをデジタル化し、e-Statのデータと統合した上で、統計手法と機械学習手法を駆使して、**50～100種について、環境と作物生産性の関係を市町村レベルで明らかにする。**

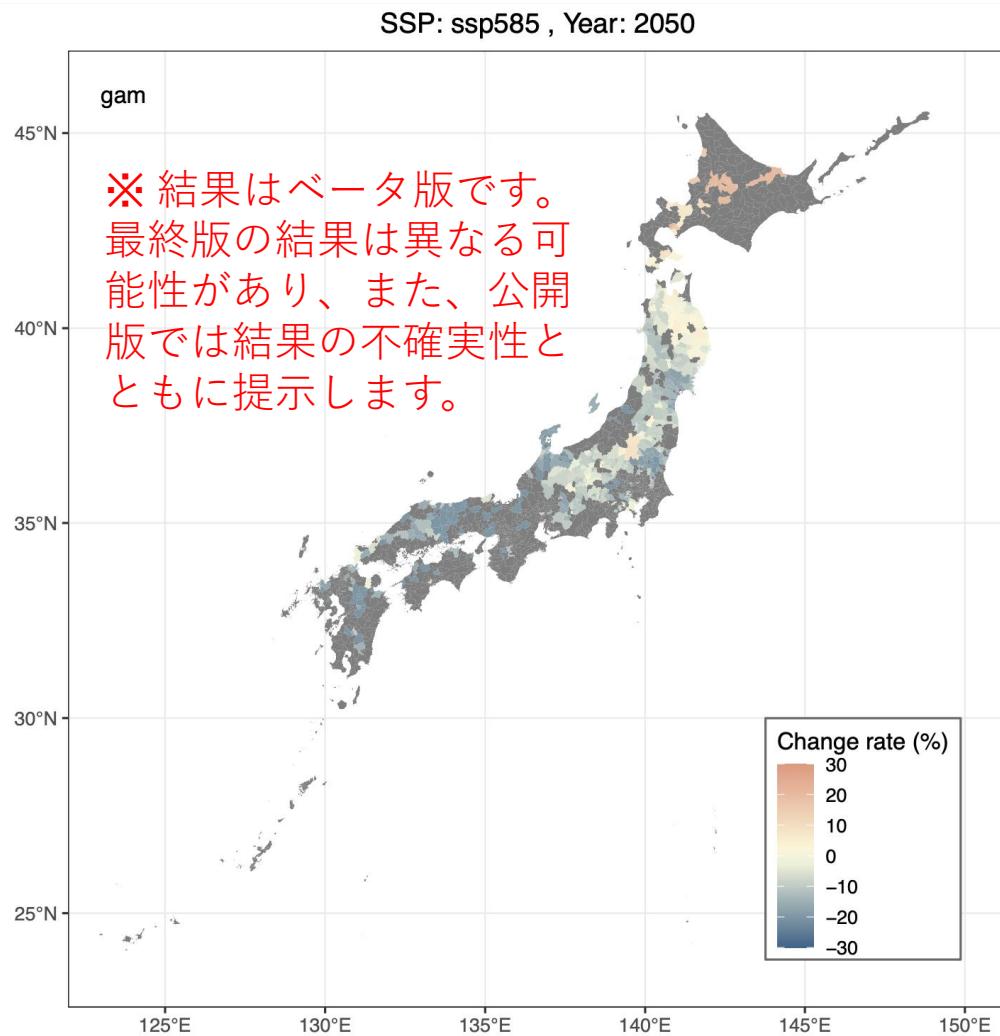
アスパラガス い いちご いよかん いんげん うめ えだまめ おうとう かき かぶ かぼ
ちゃ カリフラワー かんしょ キウイフルーツ キャベツ きゅうり くり ごぼう こまつな
こんにゃくいも さといも さとうきび さやいんげん さやえんどう しゅんぎく しうが
スイートコーン すいか すもも セルリー その他さといも そらまめ たまねぎ ちん
げんさい トマト なす なつみかんにら にんじん にんにく ネーブルオレンジ ねぎ パイ
ンアップルはくさい はっさく ピーマン びわ ふき ぶどう ブロッコリー ほうれんそう
みかん みつば もも やまのい もらっかせいりんご レタス れんこん 夏だいこん
夏ねぎ 夏はくさい 夏秋キャベツ 夏秋トマト 夏秋なす 夏秋ピーマン 夏秋レタス 秋に
んじん 秋植えばれいしょ 秋冬さといも 秋冬だいこん 秋冬ねぎ 秋冬はくさい 春
キャベツ 春だいこん 春ねぎ 春はくさい 春レタス 春夏にんじん 春植えばれいしょ 小豆
小麦 西洋なし 青刈りえん麦 青刈りとうもろこし 大豆 茶 冬キャベツ 冬にんじん 冬レ
タス 冬春きゅうり 冬春トマト 冬春なす 冬春ピーマン 二条大麦 日本なし 牧草 葉たばこ
裸麦 六条大麦 水稻 陸稻 など

詳細な土壤データ

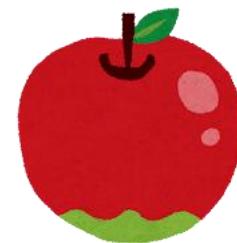
これまで作物収量と気象の統計解析では、土壤の性質まで含めて検証された例はほとんどない。しかし、農研機構は一筆レベルに精緻化された土壤分類のデータを保持しており、これをインプットデータとして加えることで、より地域特性を反映した統計モデルの作成が可能。



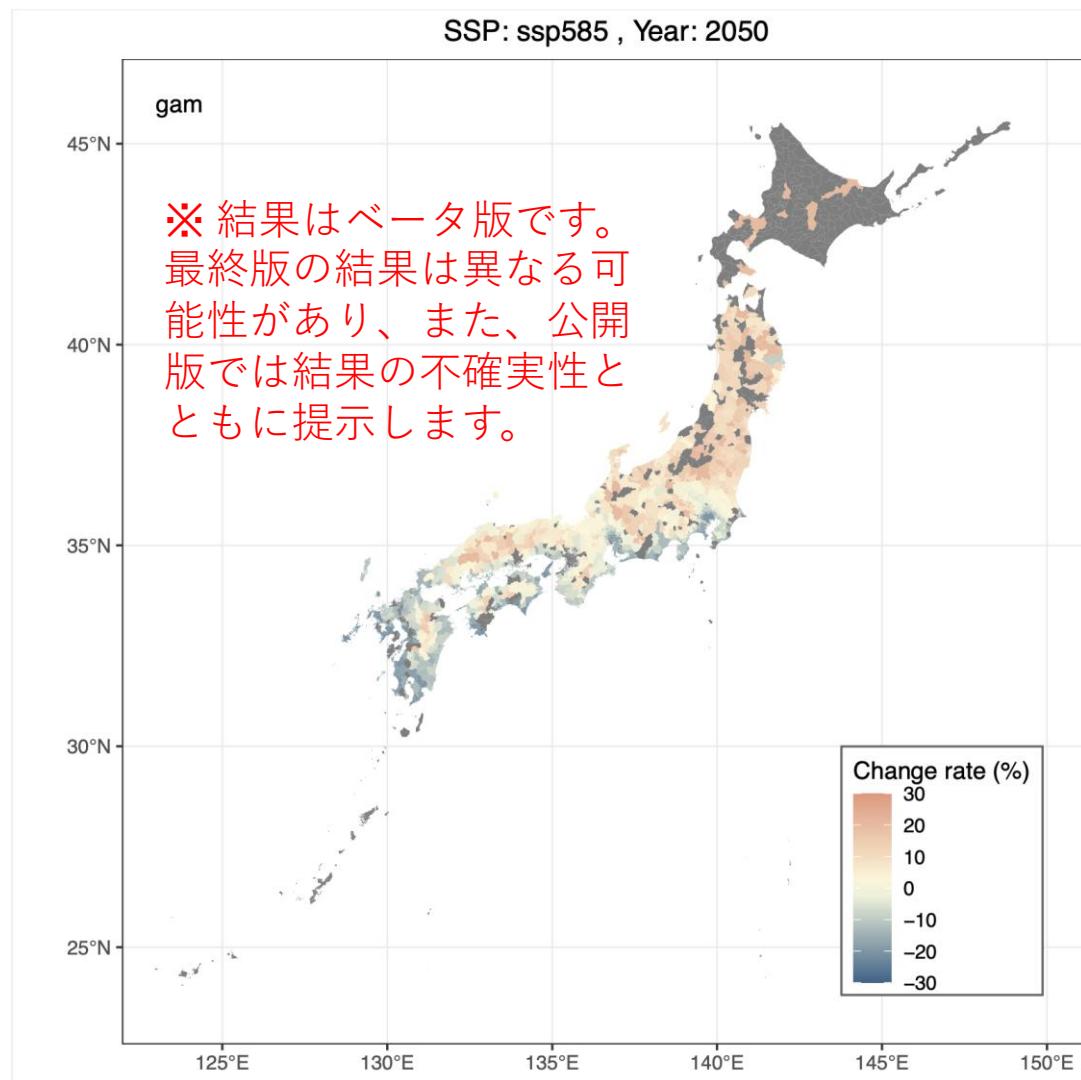
加法モデルによる将来予測



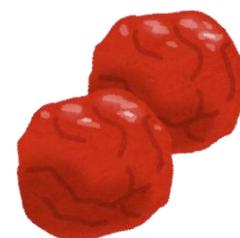
りんごの収量の将来
予測。2041年から
2060年の収量の変化
率（2010年代に比べ
た変化率）。SSP5
RCP8.5のシナリオ。
5GCMの平均。



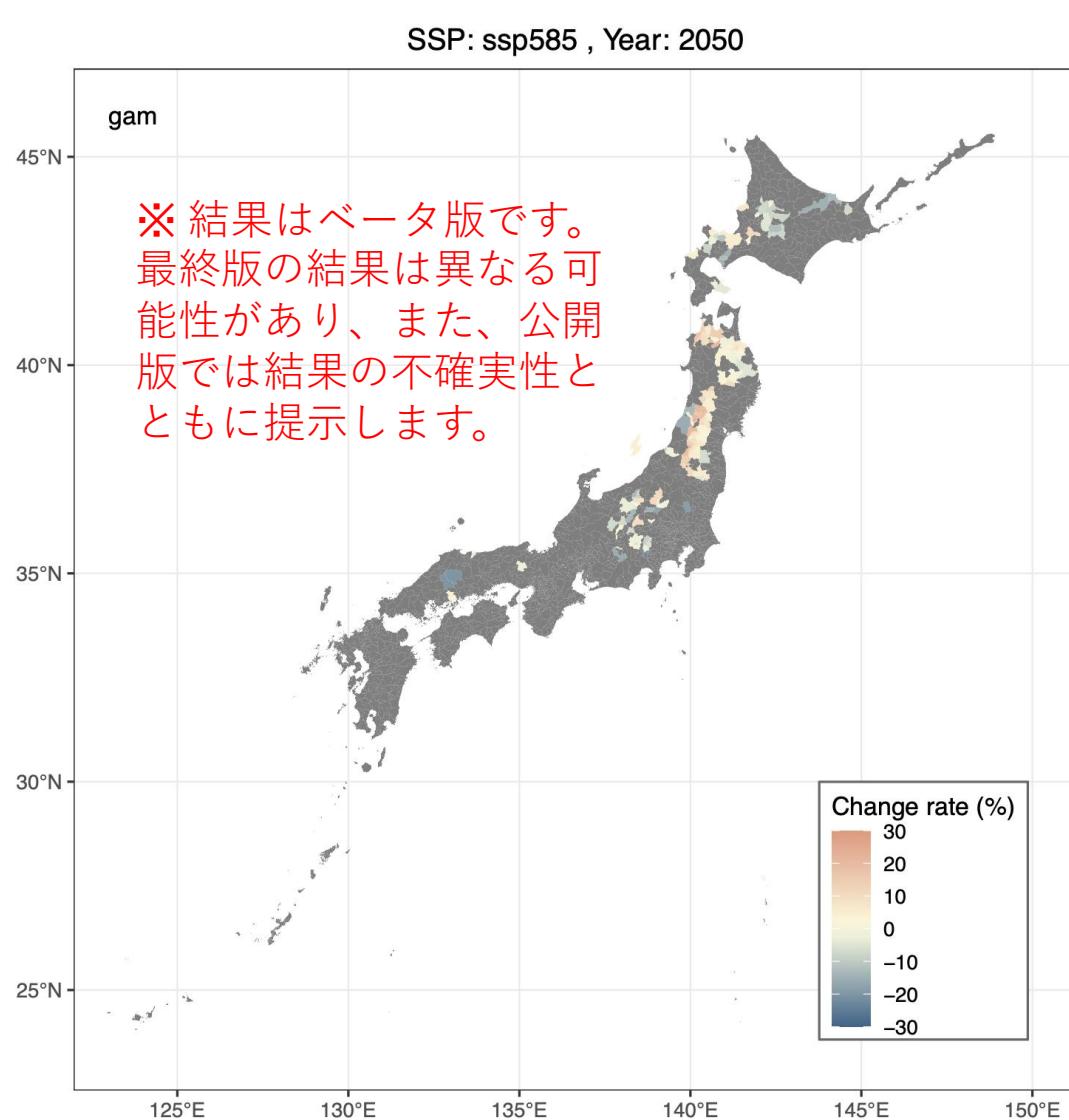
加法モデルによる将来予測



梅の収量の将来予測。
2041年から2060年の
収量の変化率（2010
年代に比べた変化
率）。SSP5 RCP8.5の
シナリオ。5GCMの
平均。



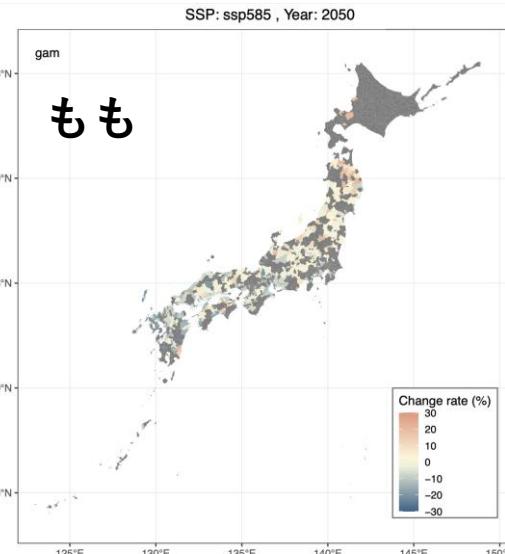
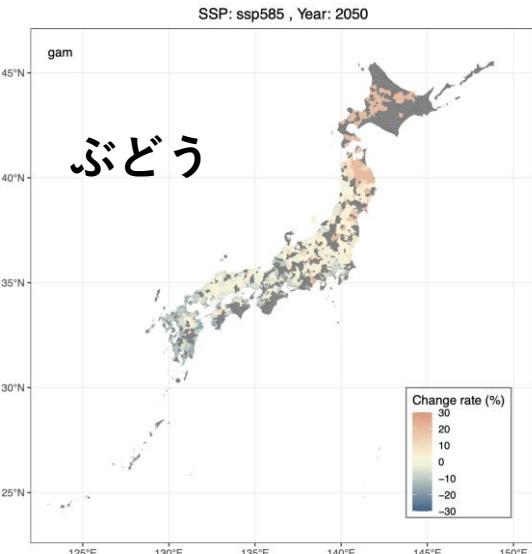
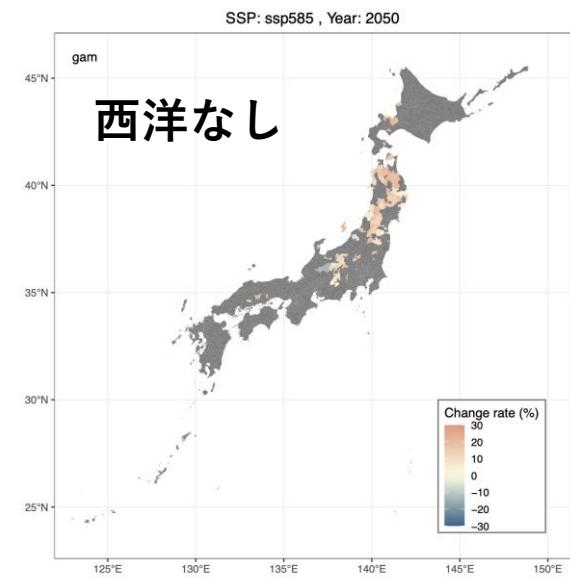
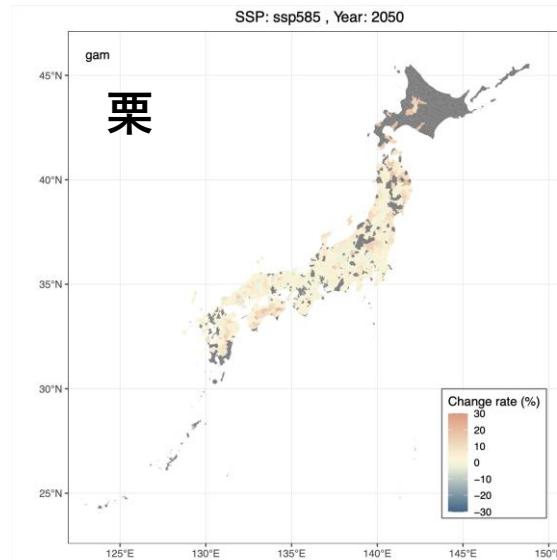
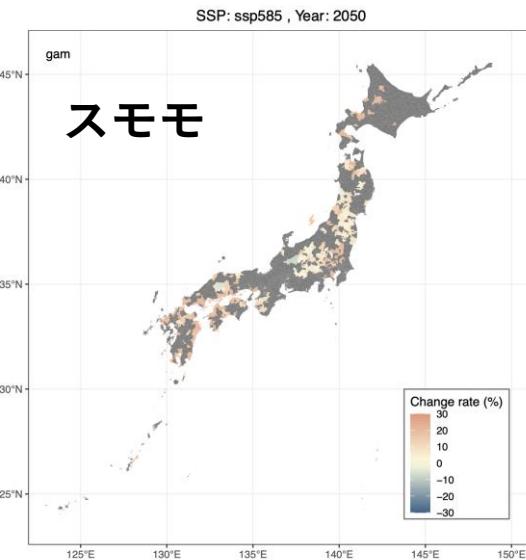
加法モデルによる将来予測



さくらんぼの収量の
将来予測。2041年か
ら2060年の収量の変
化率（2010年代に比
べた変化率）。SSP5
RCP8.5のシナリオ。
5GCMの平均。



果樹の将来予測

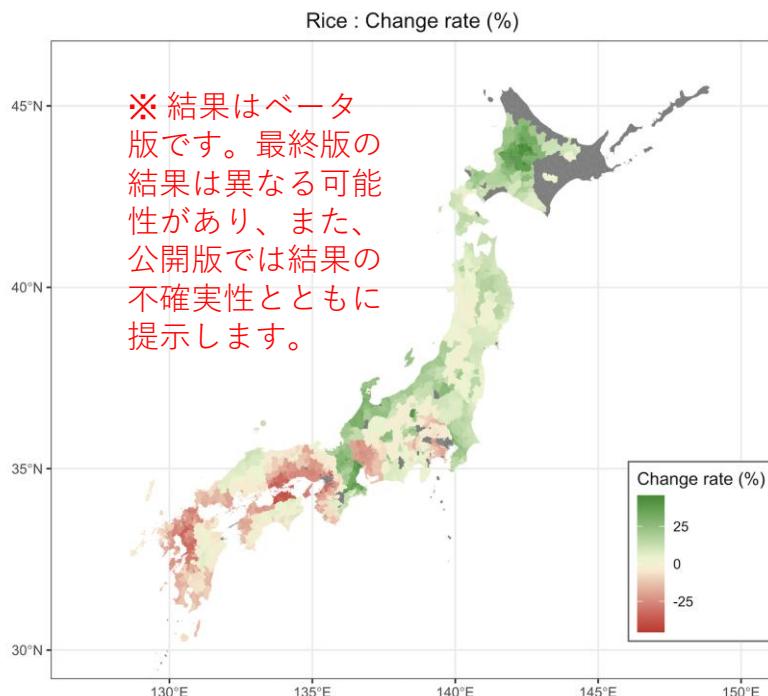


※ 結果はベータ版です。
最終版の結果は異なる可
能性があり、また、公開
版では結果の不確実性と
ともに提示します。

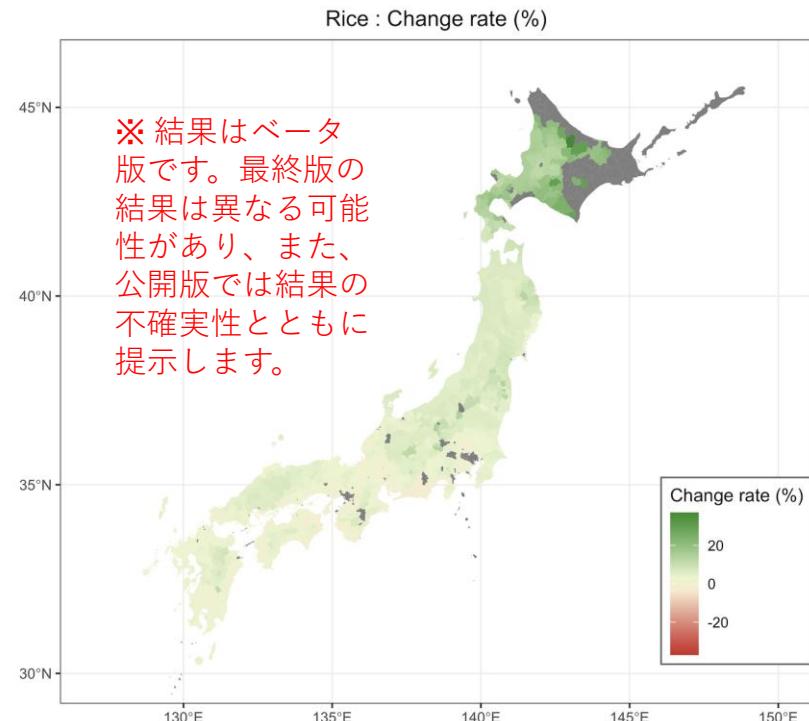
コメの将来予測

Sakurai et al. (in prep)

適応をしない場合



適応をした場合



コメの収量の将来予測。2041年から2060年の収量の変化率（2010年代に比べた変化率）。SSP5 RCP8.5のシナリオ。ACCESS-CM2の予測。

※ 結果はベータ版です。最終版の結果は異なる可能性があり、また、公開版では結果の不確実性とともに提示します。

データドリブンな将来予測と適応

日本の作物収量データを利用して、様々な（数十種）の作物の気象と収量の関係性解析と将来予測を行う

さらに発展として土壤の情報と収量の関係性もモデルに加え、地域の特性も考慮する。



日本の各地域でどのような作物が将来の気象条件において収量を増加させることができるのか、より適応的な未来を模索することができる。

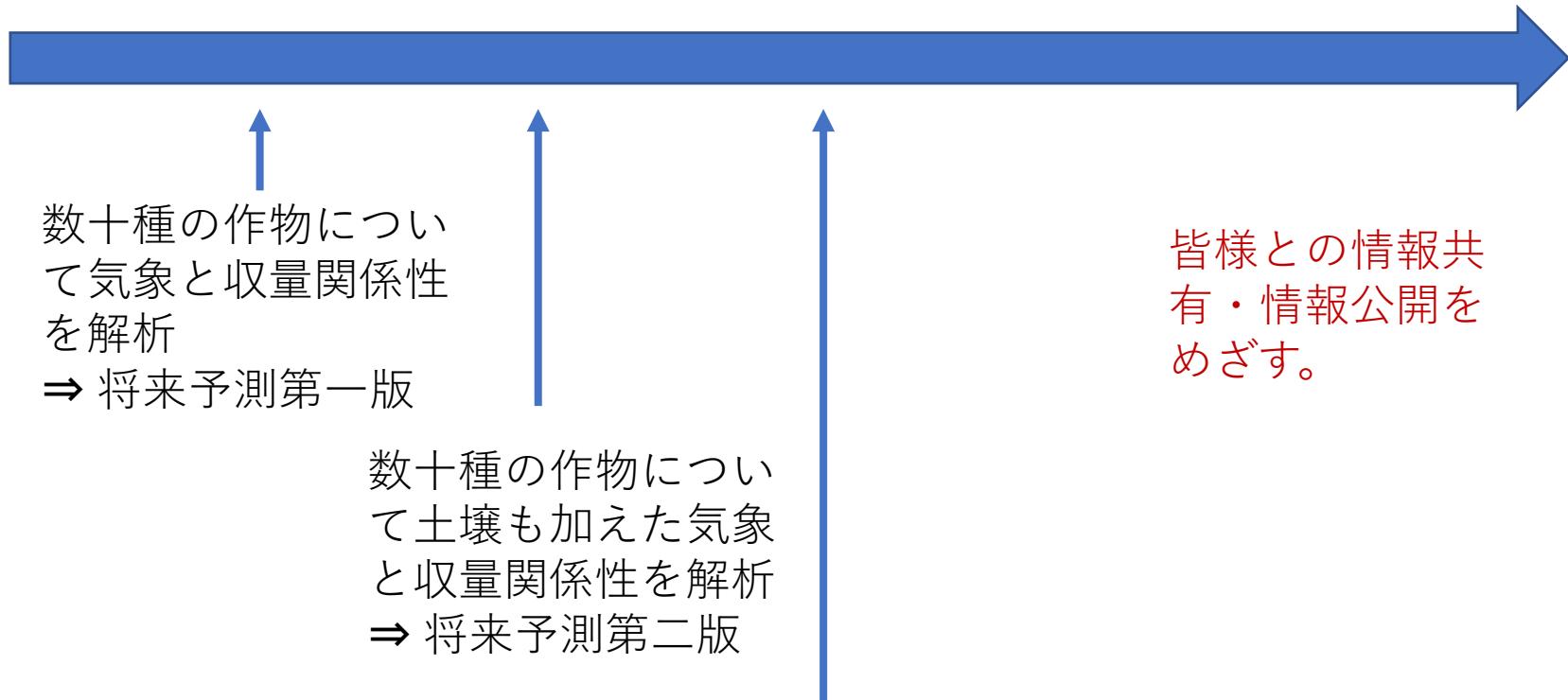
窒素とリンの情報を統合し、栽培作物を変えた場合の肥料投入量の変化を計算。環境負荷を考慮した上での適応的な栽培計画を模索する。

プロジェクトのスケジュール

2022年度

2023年度

2024年度



環境負荷も加えた情報を
第二版に付加
⇒ 将来予測第三版

Take home message

データドリブンな方法で日本の数十種の作物収量を予測
することで、気候変動化においても、より明るい農業の
未来を模索するための情報を提供します。

環境負荷も考慮した上で、日本の将来の最適な農業を模
索するための情報を提供します。

気候変動化で日本の農業がより発展する道を模索します。

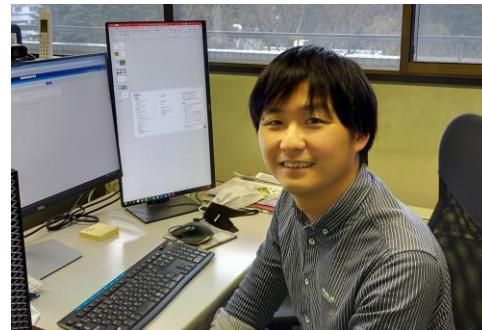
農研機構のプロジェクトメンバー



永井 孝志 上級研究員
リスク評価担当

種田 あづさ 主任研究員
環境負荷データ担当

大東 健太郎 主任研究員
適応計画解析担当



森下 瑞貴 研究員
土壤データ担当



櫻井 元 上級研究員
サブテーマ2代表
統計解析担当