

農業分野における気候変動適応技術の定量的評価：

モデルとモニタリングの連携

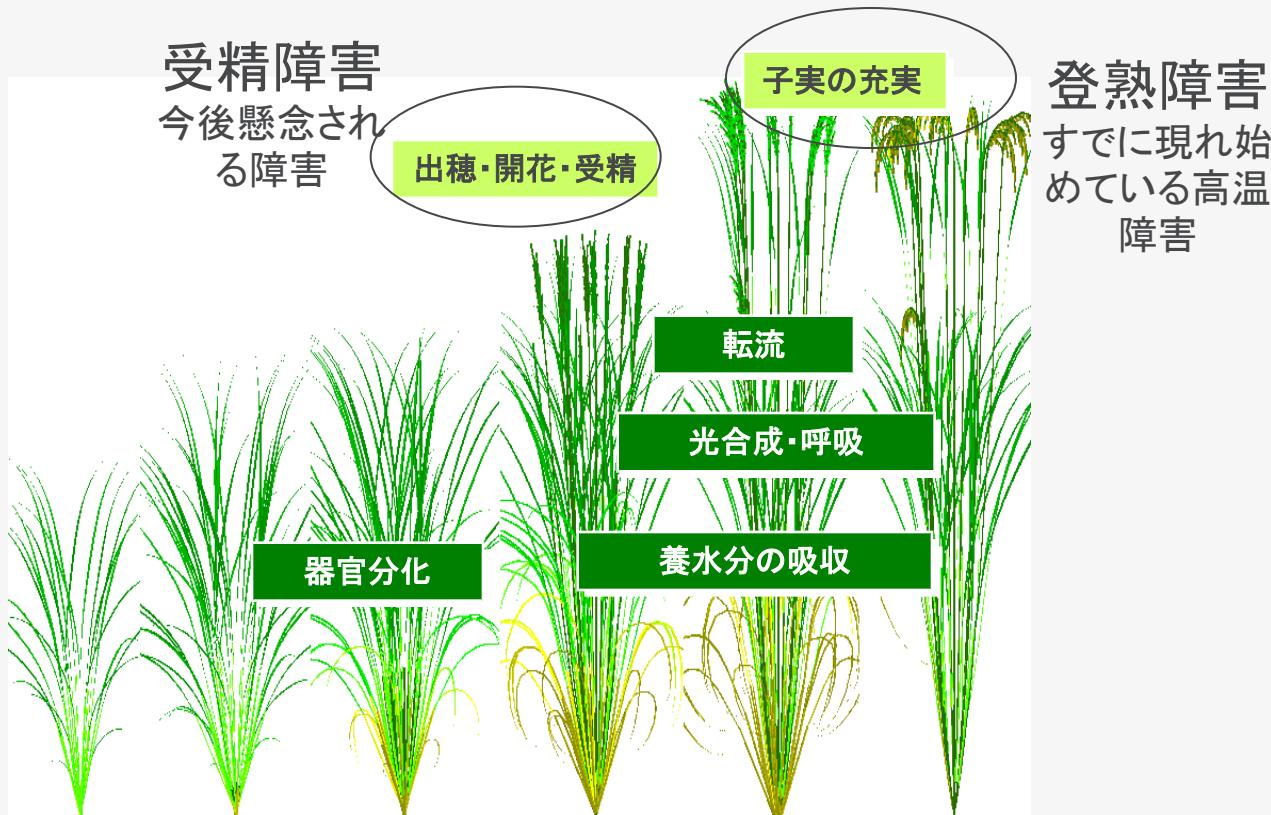
一水稻を事例として一

農研機構 農業環境研究部門
長谷川利拡

NARO

- 「作物に影響を与える気候因子（気候駆動要因）」
- 「水稻高温耐性品種の導入効果の推定」
- 「影響のモニタリングとモデリングの連携のための枠組みの構築」

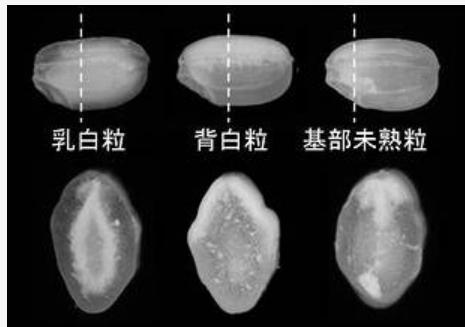
異常高温の影響(水稻の例)



- 温度は、作物の収量形成、品質にかかる多くの生理過程に影響を与える
- 生育期間全般の温度に加えて、特定の時期の高温が収量、品質に影響する

すでに頻発している問題

白未熟粒

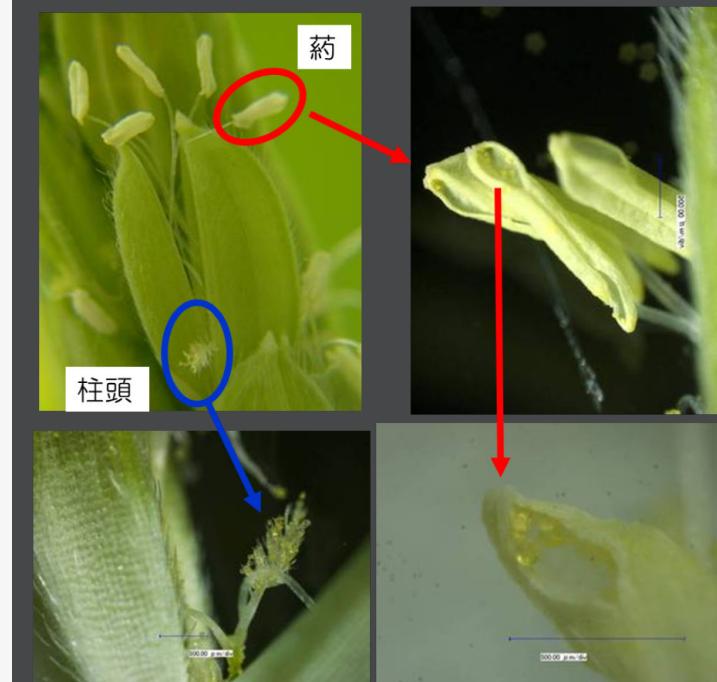


胴割粒



将来発生が懸念される問題

イネの開花・受粉



開花期の温度が
34~35°Cを超えると、
葯の裂開や
花粉の溢出が阻害
される (Matsui et al.
2001)。

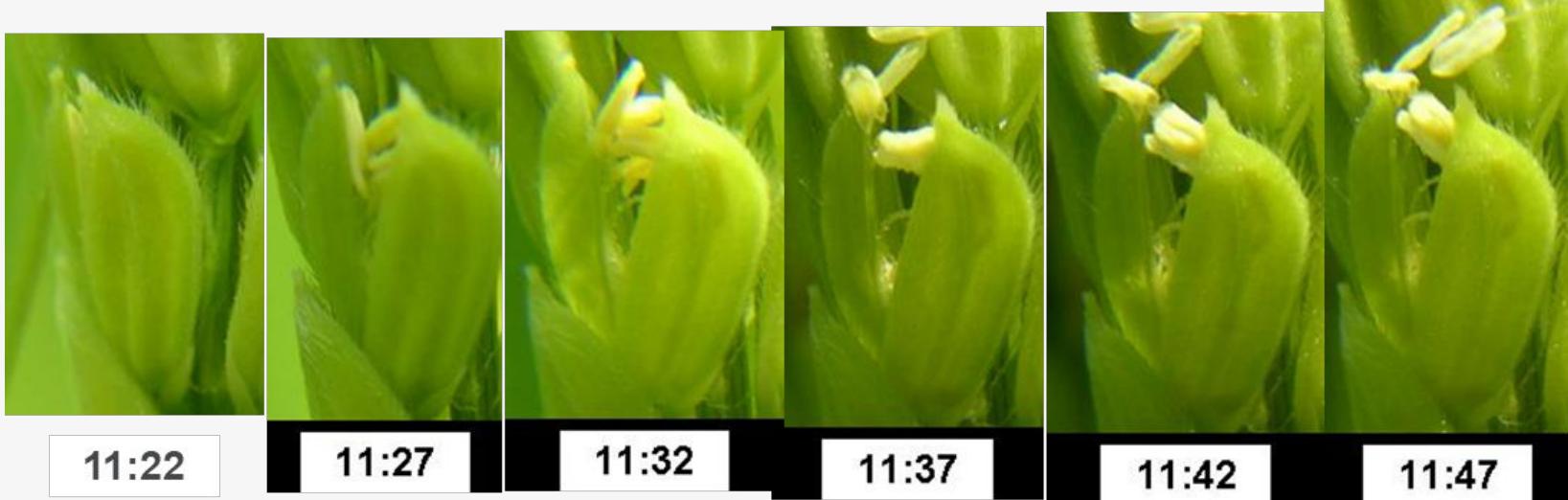


不稔の発生

1°Cの上昇につき約
16%不稔粒の割合
が増加 (金ら, 1996
のデータから)。

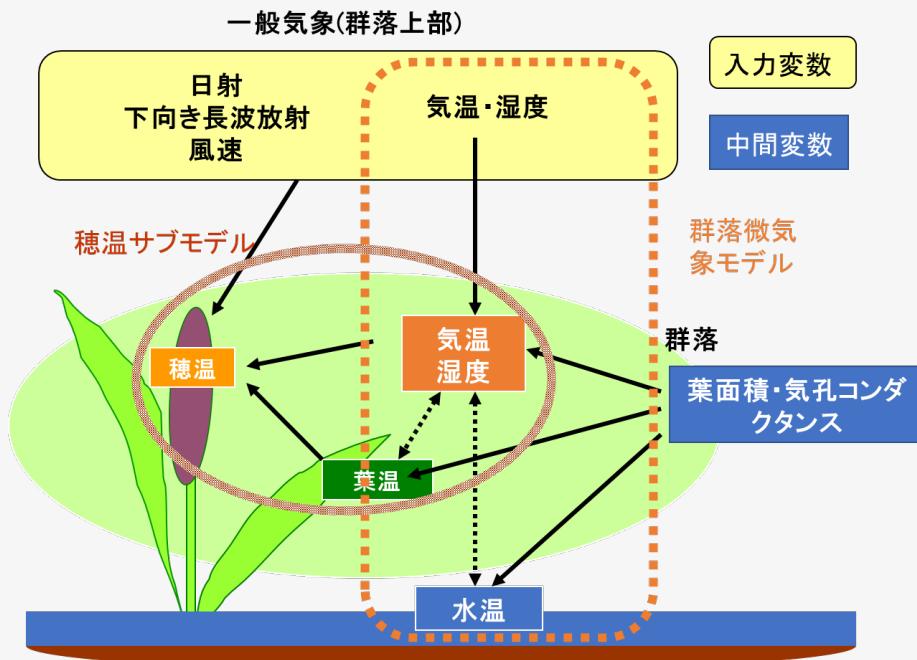
イネの開花の様子

イネの開花・受精は短時間で完了



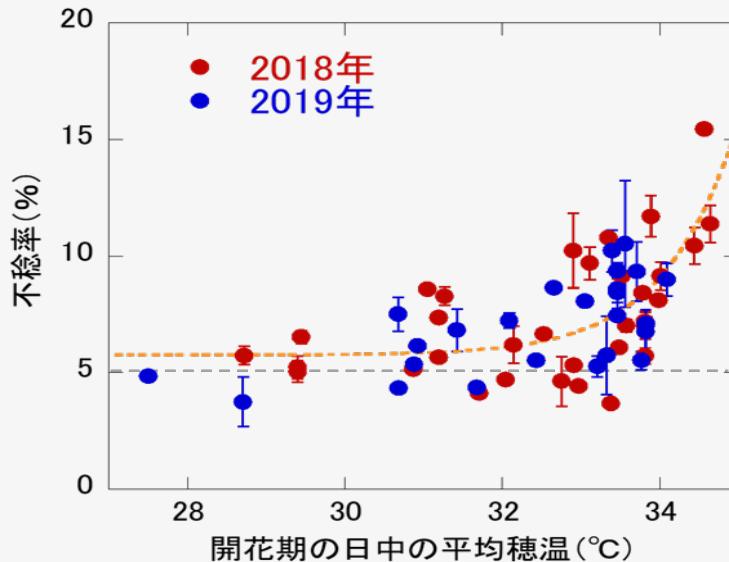
高温不稔の発生に関する温度指標

IM²PACT (Integrated Micrometeorology Model for Panicle And Canopy Temperature)による穂温推定



Yoshimoto et al (2011) J. Agric. Meteorol.

推定穂温と不稔率の関係
Yoshimoto et al. (2021) J. Agric. Meteorol.

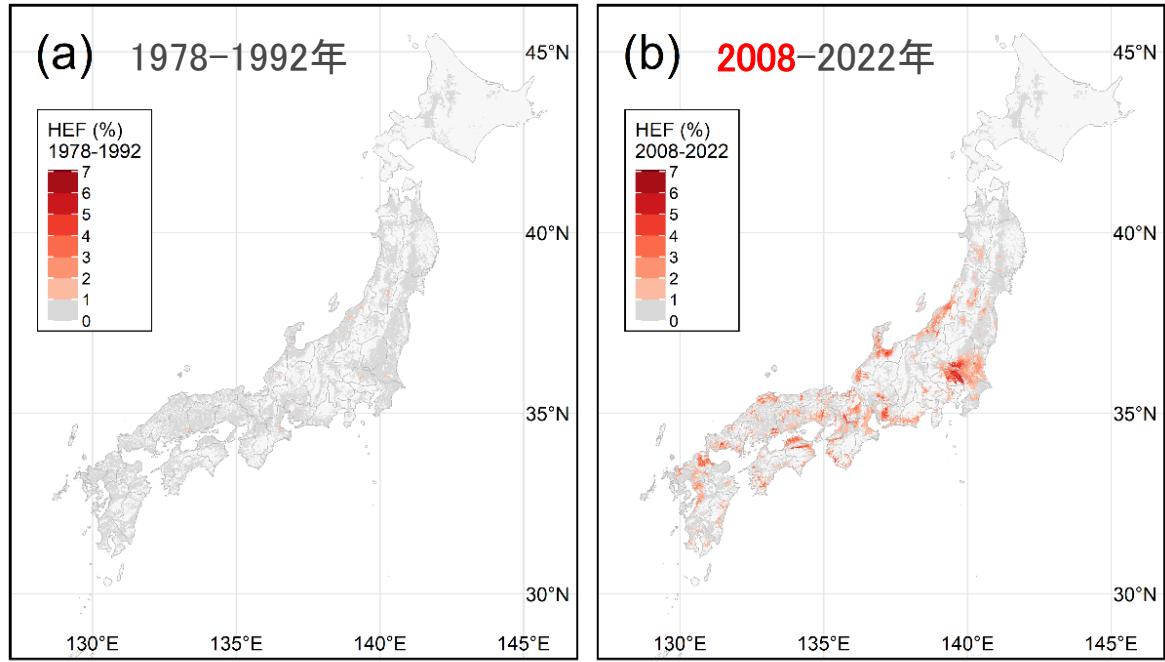


圃場条件における調査から推定穂温が33°C以上になると不稔が増加(品種、コシヒカリ)

開花期15日のうち穂温が33°Cを超えた日数の割合を指標として不稔に関する高温暴露を指標化

高温不稔に関する温度指標の分布と変化

開花期頃の推定穗温が33°Cを超えた1kmメッシュの出現頻度(HEF)



HEF(%)は、出穂前後に推定穗温が33°Cを超えた日の割合

作柄表示地帯の出穂盛期±1週間を対象に計算

1992年以前には、全国的に不稔発生温度を越える事例はなし

1993年以降には広い範囲で確認されるようになった

高温不稔で地域収量が減収した事例は報告されていないが、リスクは高まりつつある

Toda et al. (2024). Revealing the spatial characteristics of rice heat exposure in Japan through panicle temperature analysis. J. Agric. Meteorol. <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-24-00002>

高温による白未熟粒の発生と高温指標

出穂後20日間の平均気温が約26°Cを越えると温度上昇とともに増加

乳白粒



高温指標MET26(平均超過温度)

$$MET26 = 1/20 \sum (T - T_{base}) \quad T > T_{base}$$

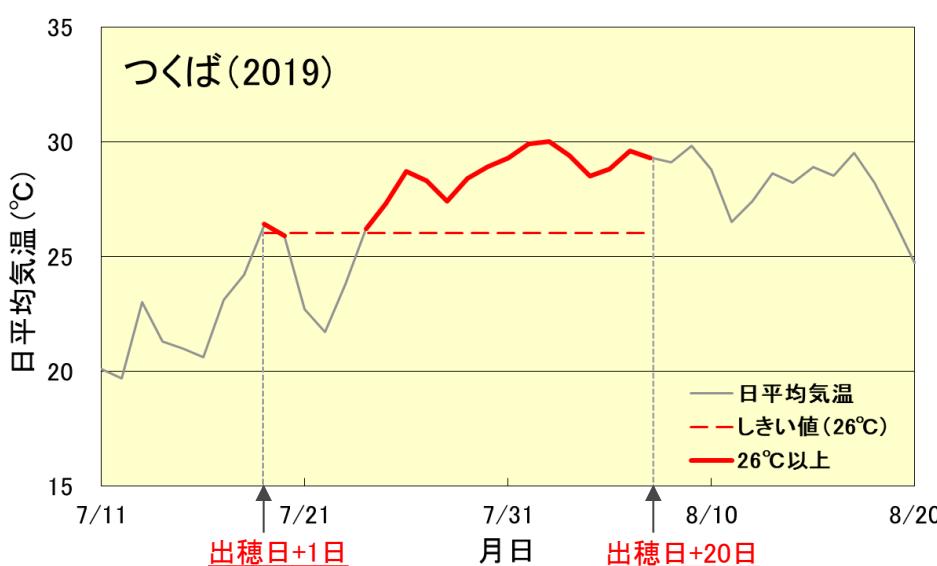
T : 日平均気温、 $T_{base} = 26^{\circ}\text{C}$

(出穂～20日間の積算値を20で割った数値)

基部
未熟粒

腹白
未熟粒

背白粒



農林水産省ホームページより

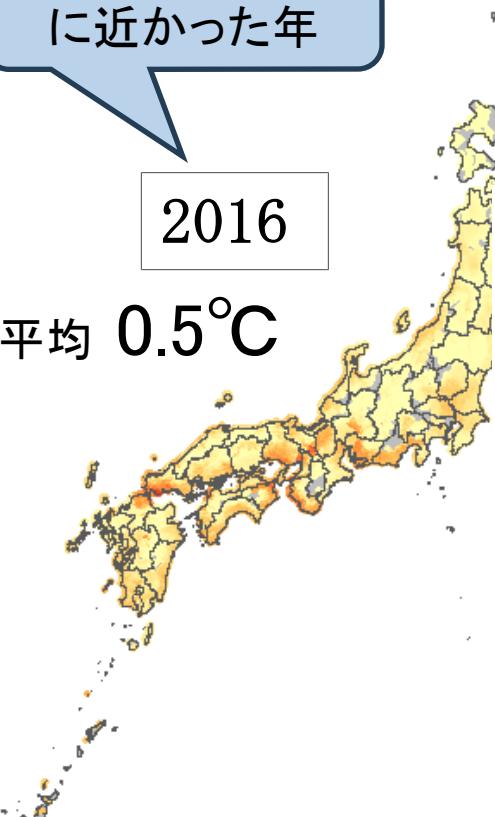
https://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/kensa/kome/k_kikaku/k_kaisetsu/index.html

2023年登熟期間の気象～2016年との比較～

過去10年の平均
に近かった年

2016

平均 0.5°C

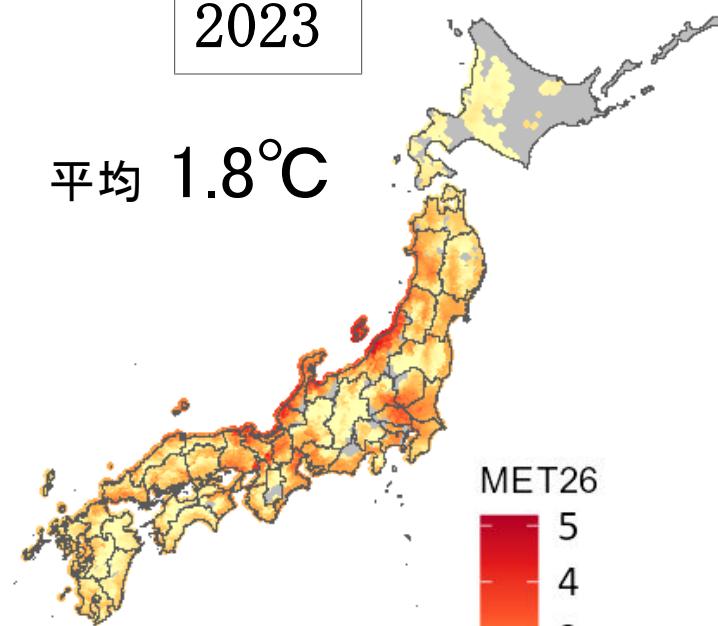


1等米比率
83.4%

猛暑年

2023

平均 1.8°C



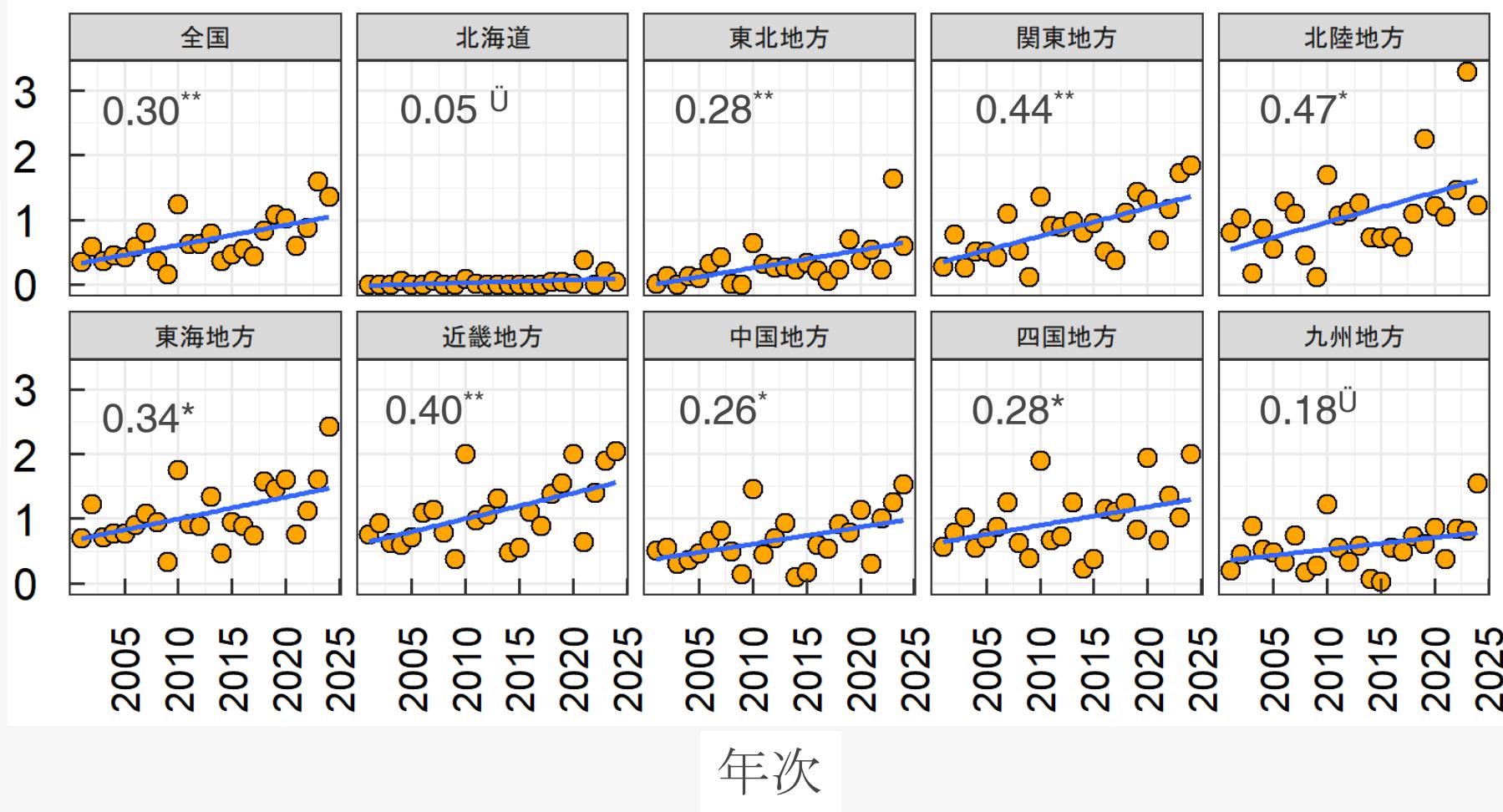
MET26

5
4
3
2
1
0

1等米比率
60.9%

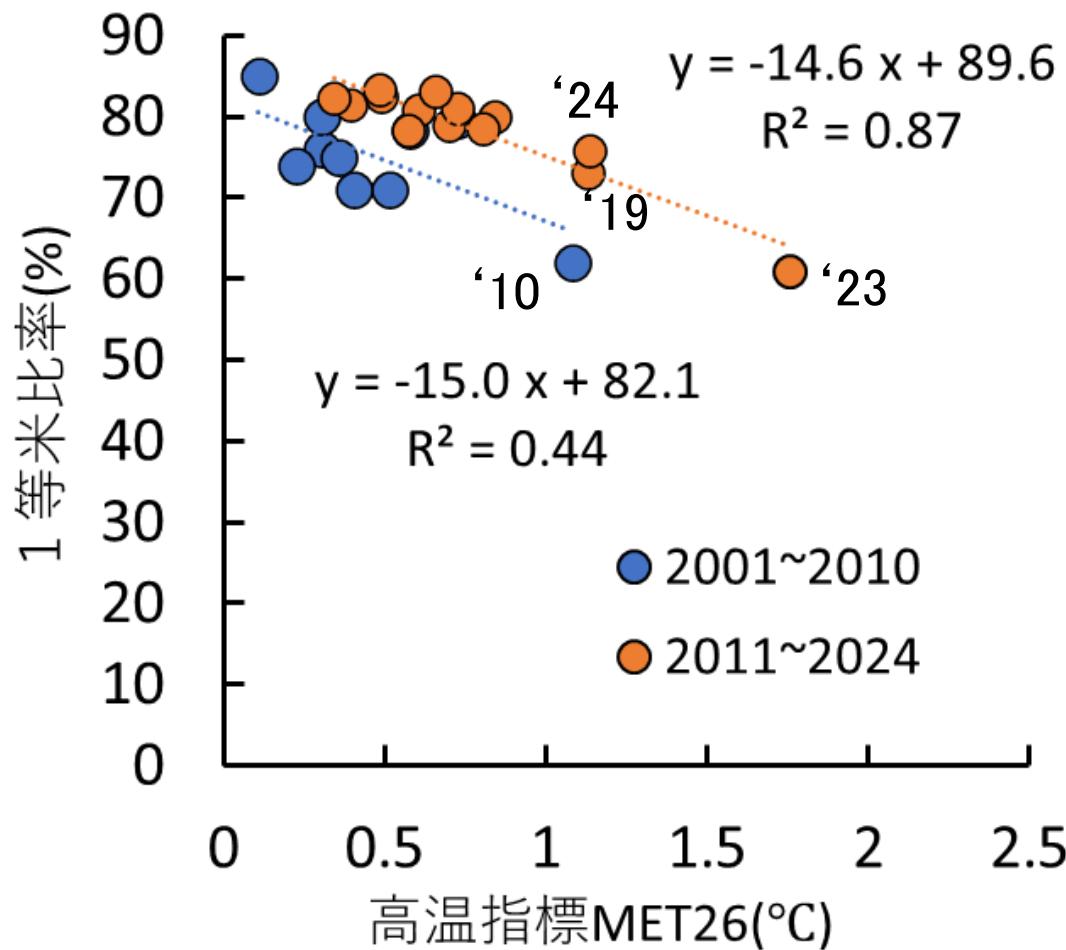
- u 2023年のMET26は2016年と比べて 1.3°C 高くなつた。
- u 北陸、関東、東北、東海、近畿などで特に著しく高温になつた。
- u 全国の1等米比率も20ポイント以上低下

2001～2024年のMET26の推移



各パネルの値は、回帰傾き(10年あたり°C)。**、*、†は、それぞれ $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$ 、 $P < 0.1$ で統計的に有意であることを示し、n.s.は有意でないことを示す。高知、徳島、鹿児島、宮崎は普通期。沖縄は出穂期のデータが揃わず集計に含めず。

2024年の1等米比率は12月31日現在



高温指標は、各1kmメッシュの水田率で重みづけして県ごとに集計。その後、全国平均を求める際には、各県の検査数量で重みづけして集計。

- † MET26が1°C上昇するにつれて、1等米比率は約15ポイント低下
- † 2010年以前と以降で、温度に対する回帰線が変化

水稻品種の高温耐性(登熟性)分類

表 1 各地域における作期・品種別の高温登熟性分類

地域区分	生態型	高温登熟性				
		弱	やや弱	中	やや強	強
寒冷地北部・中部 (東北地方)	極早生・早生	駒の舞 初星		むつほまれ あきたこまち	ふ系227号 里のうた こころまち	ふさおとめ
	中生	ササニシキ		ひとめぼれ はえぬき	みねはるか	
	晩生・極晩生			コシヒカリ	つや姫	笑みの絆
寒冷地南部 (北陸地方)	極早生・早生	初星		あきたこまち ひとめぼれ	ハナエチゼン	
	中生	ともほなみ	コシヒカリ			笑みの絆
	晩生・極晩生	祭り晴		日本晴 みずほの輝き	あきさかり	
温暖地東部 (関東・東山・東海地方)	極早生・早生	初星 あかね空		あきたこまち コシヒカリ	とちざの星	ふさおとめ 笑みの絆
	中生	彩のかがやき さとじまん		日本晴	なつほのか	
	晩生・極晩生	美の風 ヒノヒカリ		シンレイ	コガネマサリ	
温暖地西部 (近畿・中国・四国地方)	極早生・早生		キヌヒカリ	あきたこまち ひとめぼれ コシヒカリ	ハナエチゼン つや姫	ふさおとめ
	中生	祭り晴		日本晴		
	晩生・極晩生	美の風 ヒノヒカリ			コガネマサリ	
暖地 (九州地方)	極早生・早生	初星 祭り晴	黄金晴	日本晴	みねはるか	なつほのか
	中生	ヒノヒカリ	シンレイ	にこまる	コガネマサリ	おてんとそだち
	晩生・極晩生	あきさやか	たちはるか		ニシヒカリ	

(令和2年度現在、産地品種銘柄に指定されていないものを含む。)

農研機構2017年研究成果情報「北海道を除く全国の水稻高温登熟性標準品種の選定

(https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/nics/2017/17_038.html)を農林水産省「農業生産における気候変動適応ガイド 水稻編」で改変(<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-102.pdf>)

系統的レビューによるデータベース構築



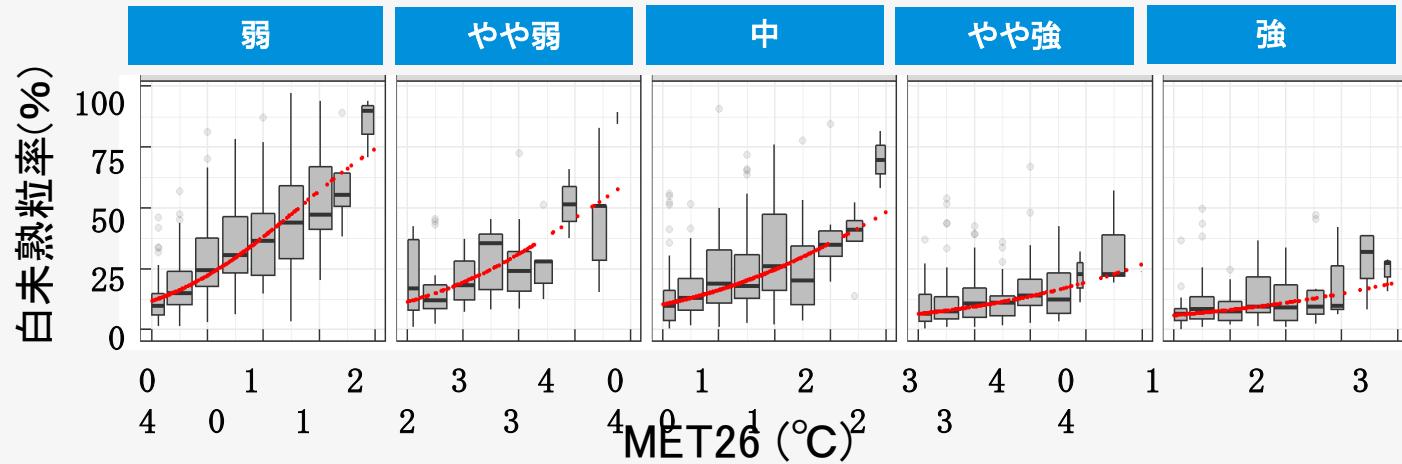
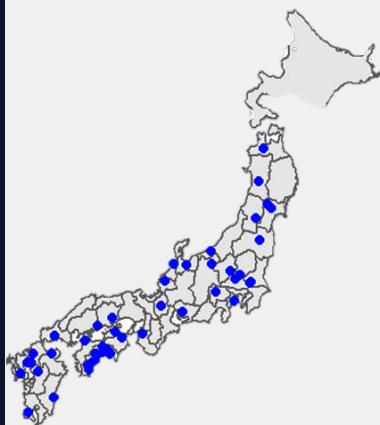
メタ解析

モデル構築

33 県44 試験地

48品種

$n = 1302$



高温耐性分類別に温度・日射・湿度から白未熟粒率を推定するモデルを構築

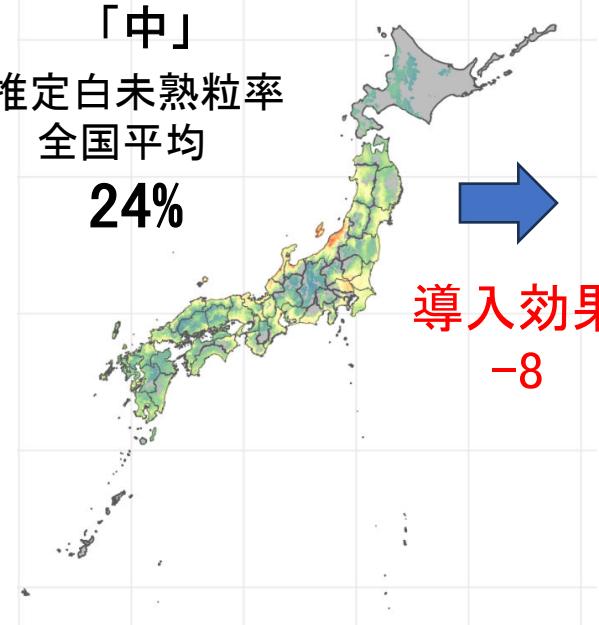
(Wakatsuki et al. 2024, Field Crops Research)

高温耐性分類

「中」

推定白未熟粒率
全国平均

24%



導入効果
-8

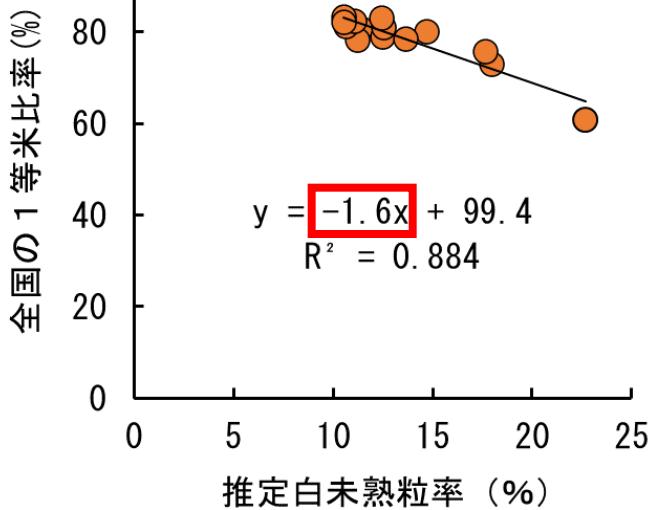
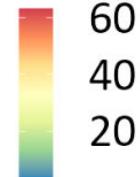
「やや強」

16%

「強」

11%

推定白未熟粒率(%)



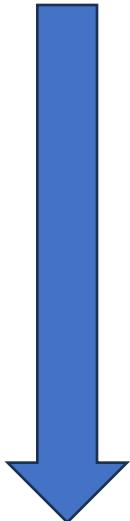
試算の概要

- 高温耐性分類を「中」から「やや強」に上げると、全国平均白未熟粒率は8ポイント、「強」の品種を導入すると13ポイント低下する。
- 白未熟粒率が1ポイント低下すると1等米比率は1.6ポイント増加する
- 2023年の気象条件では、高温耐性分類を「中」から「やや強」に高めることで1等米比率は12～13ポイント高まる

課題

影響のモニタリングとモデリングの連携のための枠組みの構築の必要性

- 農業への影響の実態解明
- 適応技術の効果の定量的評価

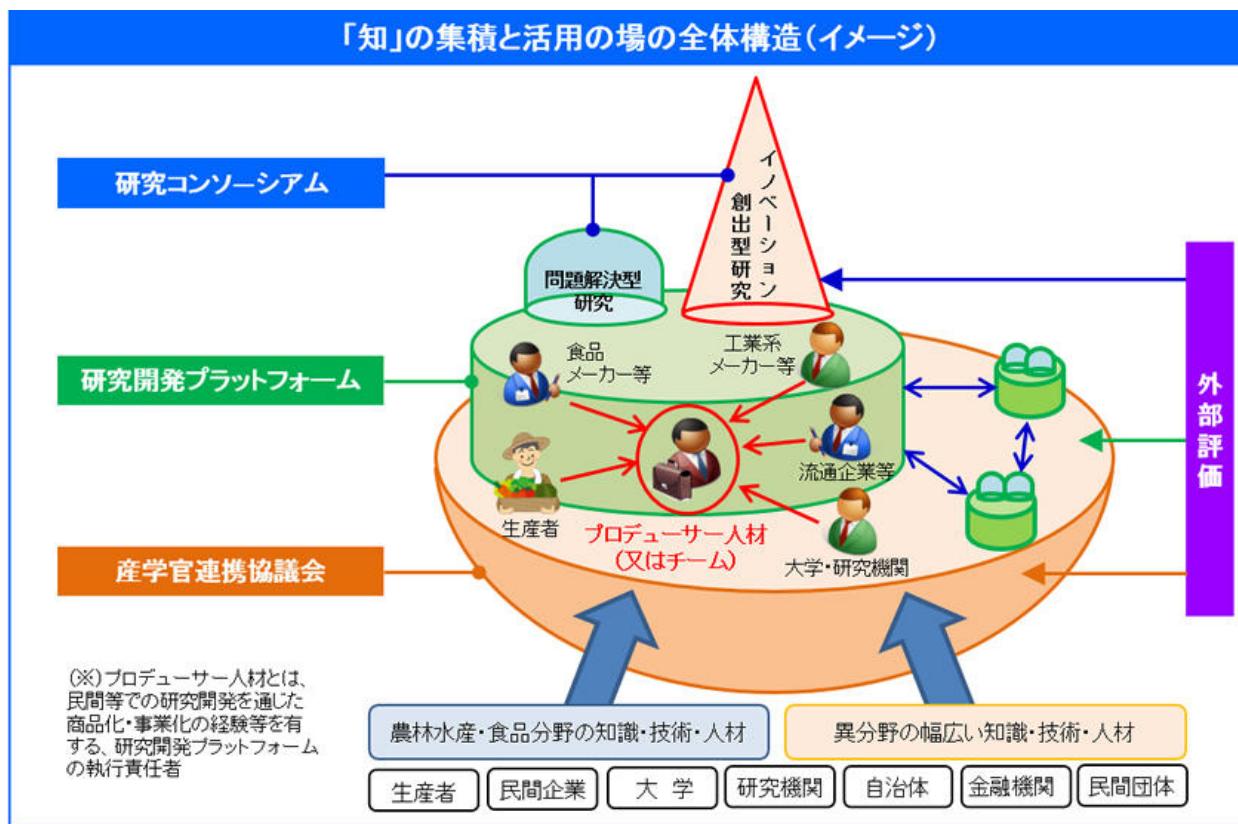


科学的根拠となるデータを集積する広域**モニタリング体制の構築**が不可欠

- 適応技術開発・普及の加速

研究開発プラットフォームとは

協議会会員のうち、複数の会員が 組織、分野、地域等の垣根を超えて連携し、新たな商品化・事業化を目指して共同して研究開発に取り組むオープンな活動母体を「研究開発プラットフォーム」と呼びます。 「研究開発プラットフォーム」内に形成された、実際の研究開発を遂行するクローズドなグループを「研究コンソーシアム」と呼んでいます。



<https://www.knowledge.maff.go.jp/platform.html>

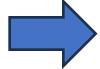
これまで高温発生年(不定期)に
下記の枠組みで調査協力依頼

セグメント間連携(II, III、IV)

農環研

作物研

地域農研



地域農研・公設試の試験圃場からサンプル・データの提供の協力依頼: 対象は主に水稻

2022年
7府県16地点

2023年
28府県83地点

2024年
34府県94地点

●はサンプル提供地点

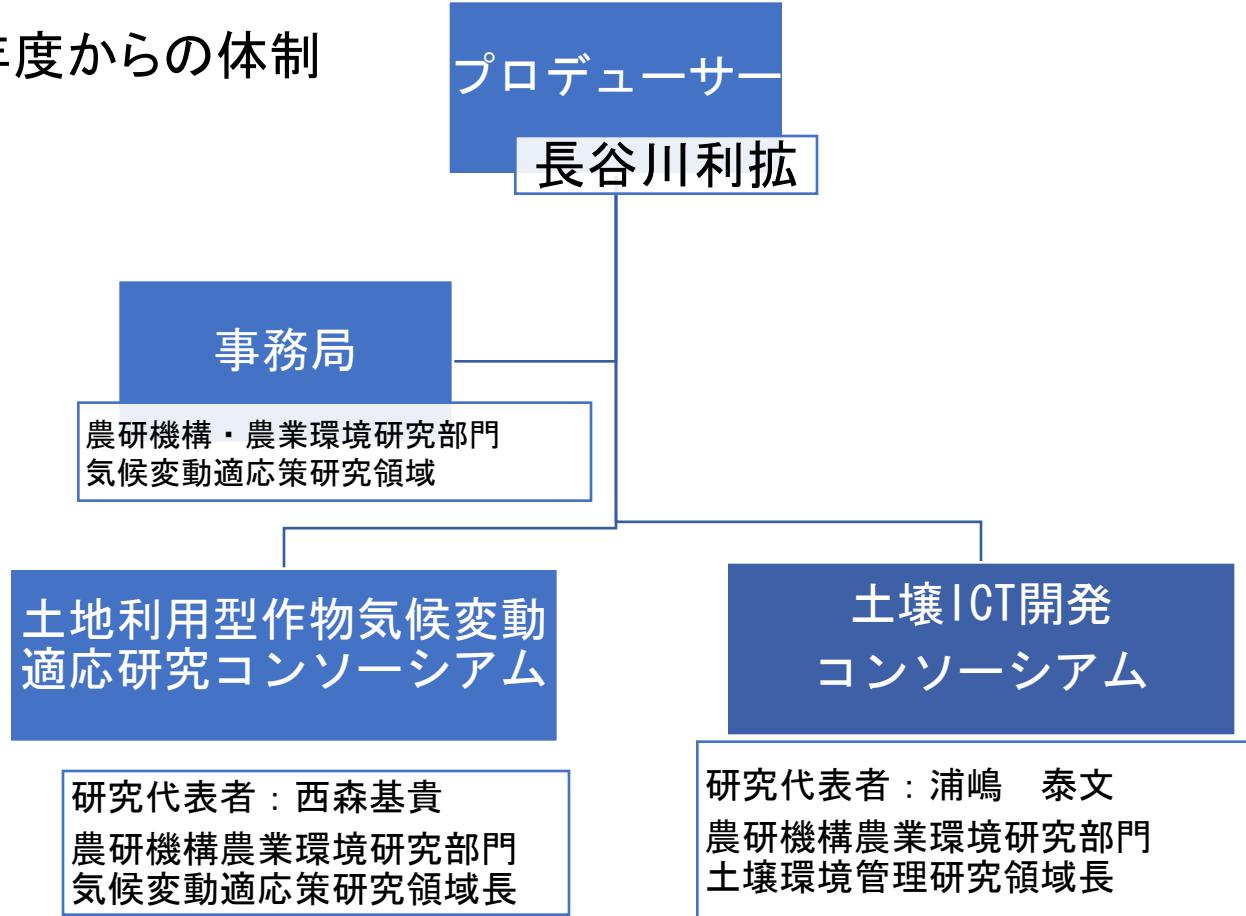
2024年度以降の体制

プラットフォーム設立準備

- 定期的・組織的にデータの集積する仕組みの構築
- 品目・分野の拡大

コンソーシアムの活動体制

2025年度からの体制



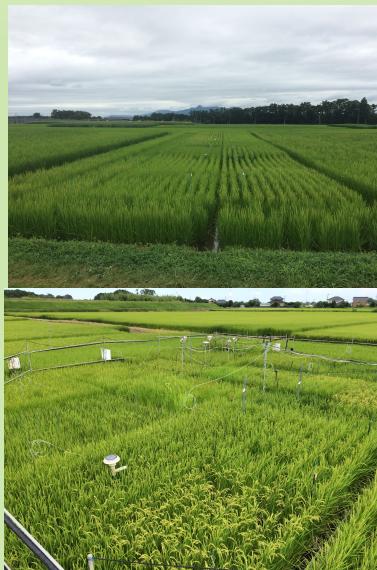
頻発する異常高温の実態解明と適応技術効果の評価・将来の影響予測

モニタリング・モデリング研究連携体制の構築

公設試など

ポイント試験データ

公設試などでの栽培試験（気象感応試験、奨決試験、高温登熟性検定試験、施肥試験、長期有機物連用試験等）
農家圃場における定点観測

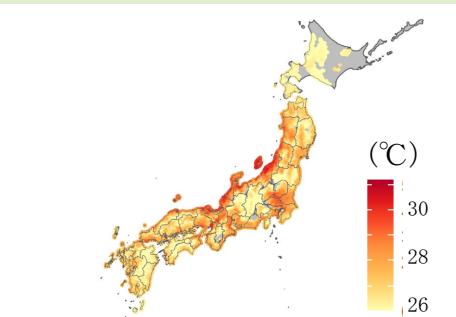


高温耐性品種導入計画支援

農研機構

高空間解像度気象・
気候シナリオデータ

2023年登熟期の気温の分布



気温

湿度

日射

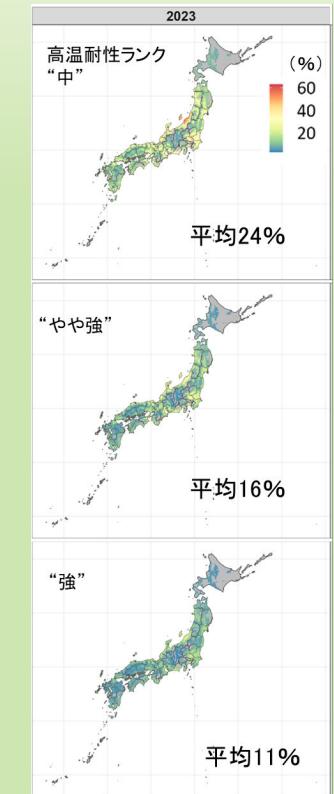
白未熟粒率発生予測モデル

弱	やや弱	中	やや強	強
---	-----	---	-----	---

品種の高温耐性ランクごとに白未熟粒率を推定

モデルを用いた影響評価

推定白未熟粒率の分布



高温による被害・高温耐性品種導入の効果の面的推定

まとめと今後の課題

- 中・長期的な温暖化影響の評価が主要な品目で研究されてきたが、短期的な極端現象の影響は限られている
- 国内においても、多くの品目で高温による負の影響が報告・その範囲が拡大している
- これに足して、適応技術の効果および実行可能性の科学的な評価は不十分である
- 適応技術の開発のとどまらず、それらの有効性、実行可能性を多面的に評価し、向上させるような貢献が望まれる
- そのために気候変動対策技術研究開発プラットフォーム設立。地域の特性に応じた適応技術の普及のために連携を強化したい
- 食料システムにおける適応と緩和を自分ごととして考えてもらうための啓蒙も継続する