

近年の温暖化傾向、令和5、6年猛暑年の特徴、及び水 稲作への影響と対策技術

農研機構 農業環境研究部門

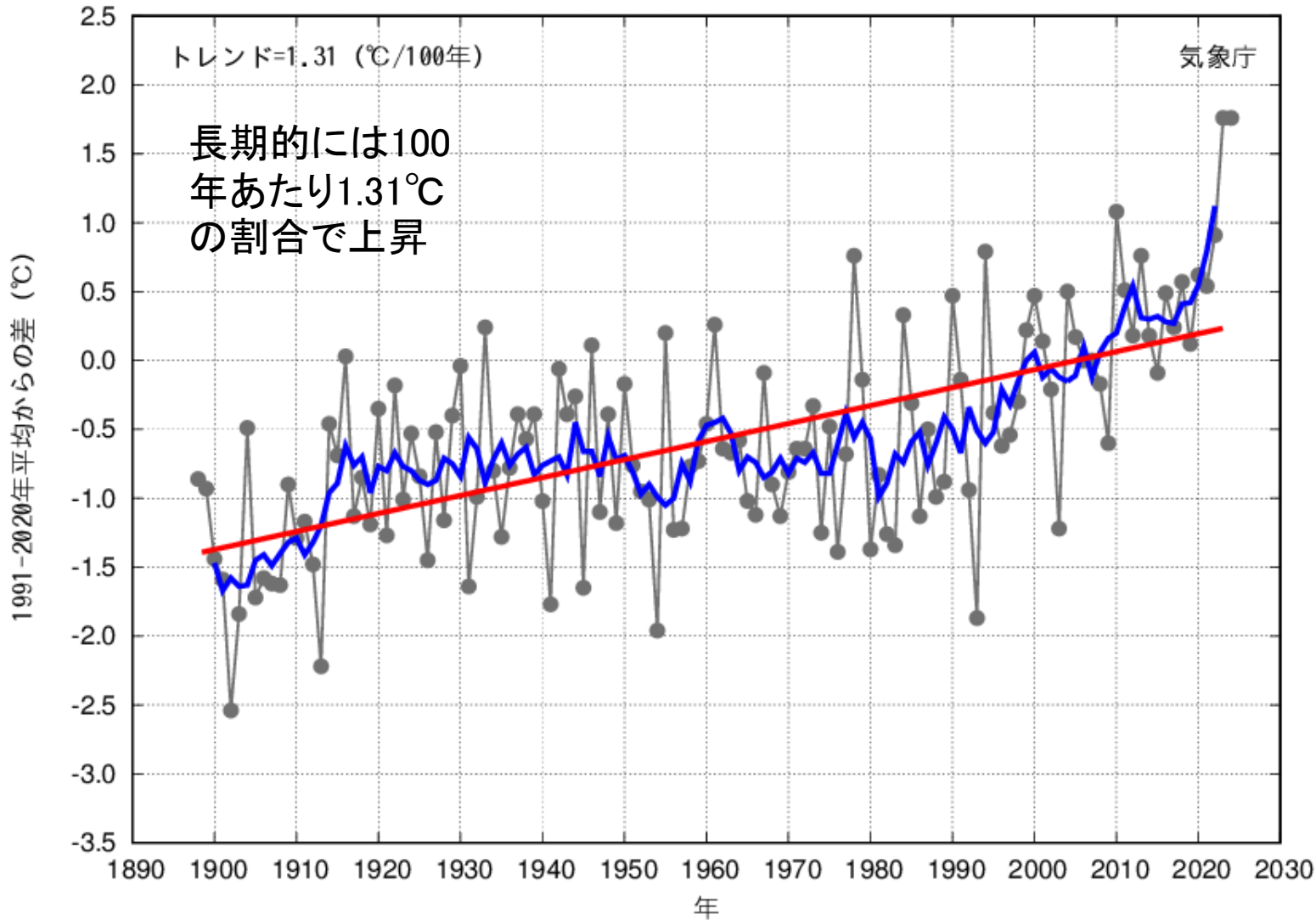
長谷川利拡・戸田悠介・若月ひとみ・吉本真由美・石郷岡康史

＜資料の取り扱いについて＞複製・転載・改変などをご遠慮ください。

1. 日本の気温（長期トレンドと2023、2024年の特徴）
2. 水稻高温障害に関する高温指標
 - 高温不稔に関わる高温指標
 - 登熟（品質）に関わる高温指標
3. 高温の影響と対策効果
 - コメの等級と高温指標
 - 水稻高温耐性品種の導入効果の推定
4. 関東農政局管内検査結果から
5. まとめ

日本の夏季気温の長期トレンド

日本の夏平均気温偏差



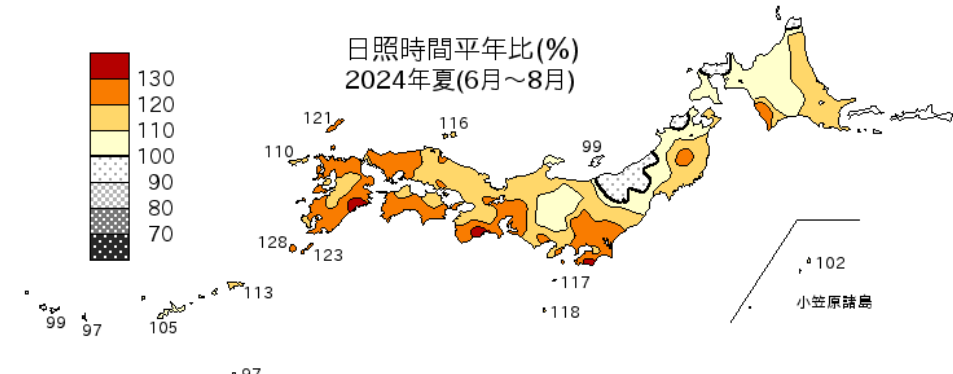
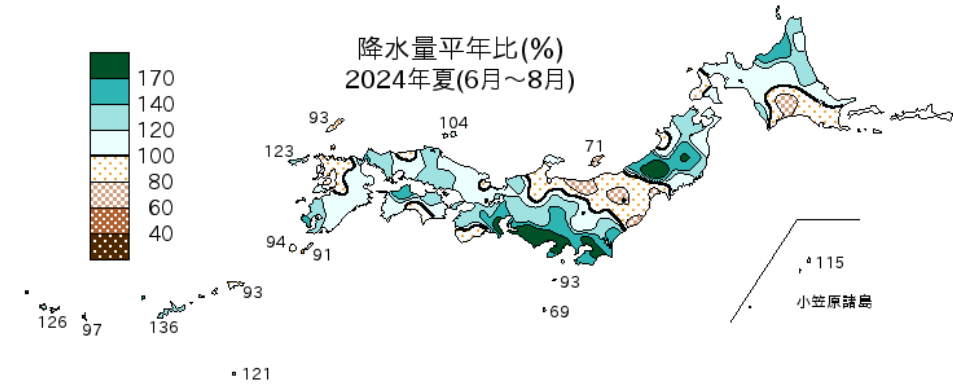
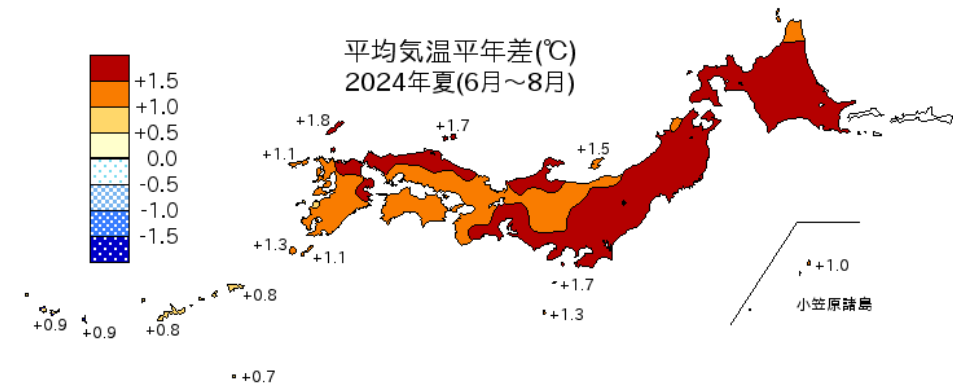
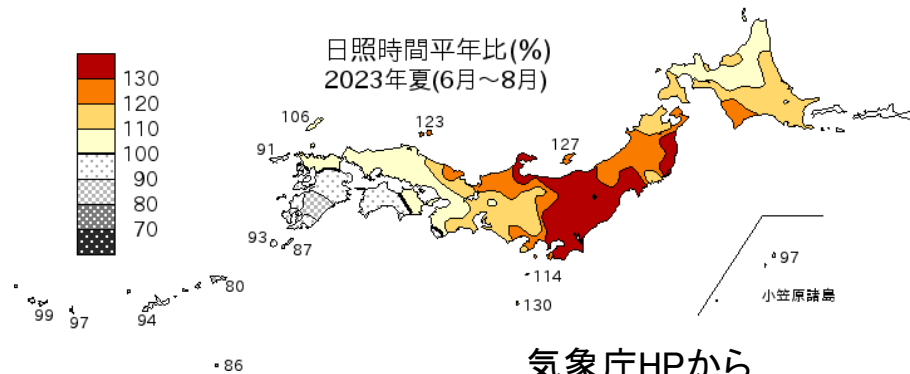
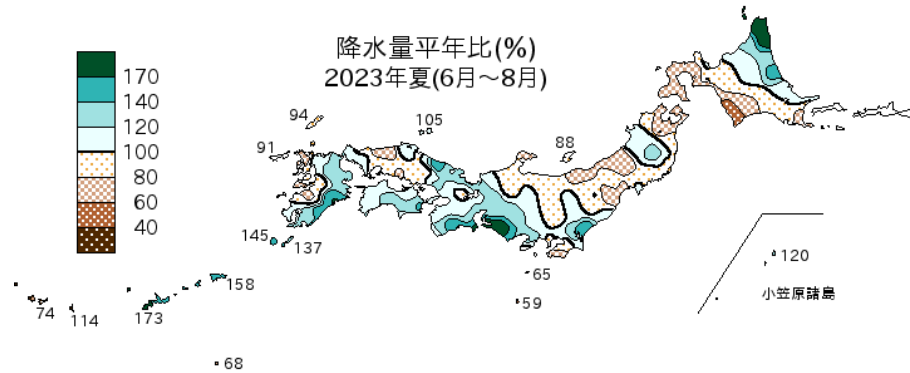
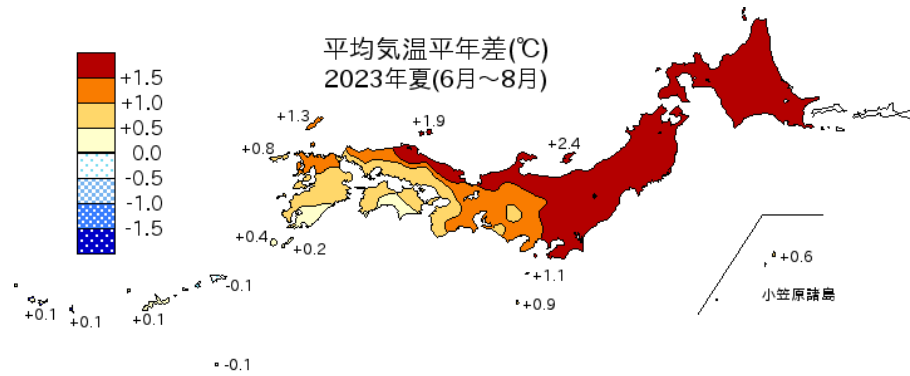
1898年から2024年夏季(6月～8月)の平均気温の基準値からの偏差(°C)
基準値は1991-2020年の30年平均値

2024年夏(6～8月)の気温偏差は+1.76°Cで、2023年と並び過去最高

2023年夏の日本の気象

2024年夏の日本の気象

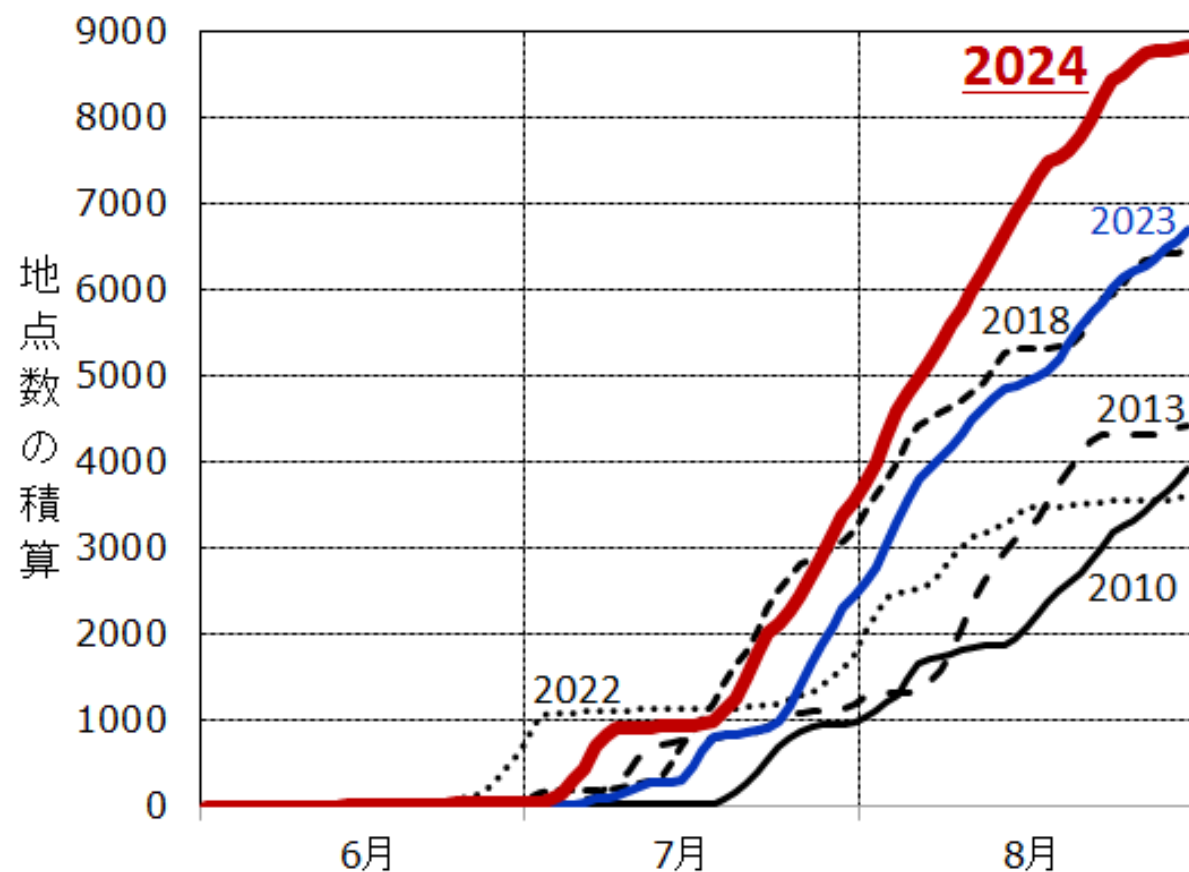
平年差（比）図（2023年夏（6～8月））



気象庁HPから

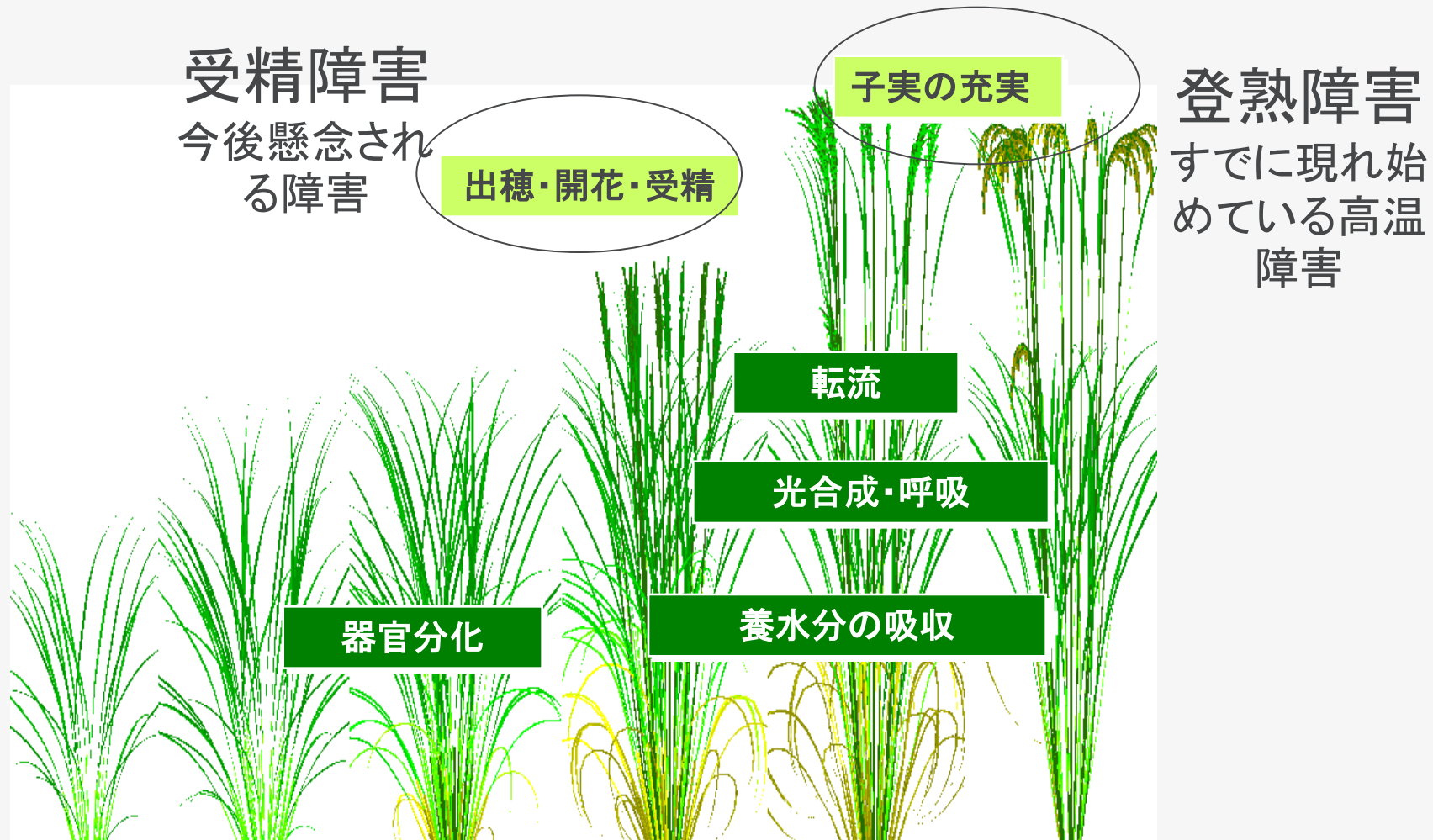
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2309/01b/tenko230608.html>

全国のアメダス地点で観測された猛暑日(35℃を超えた日)の地点数の積算



- 猛暑日の発生は2024年が最多
- バックグラウンドの気温が高い暖地で平年偏差が大きかったためと考えられる

異常高温の影響

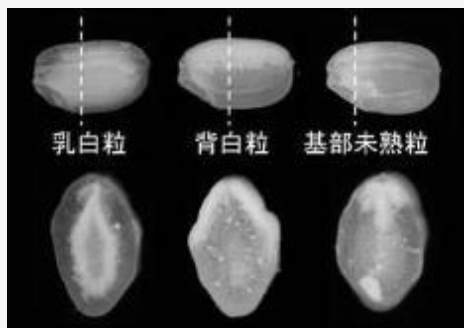


温度は、作物の収量形成、品質にかかわる多くの生理過程に影響するが、温度域や生育ステージなどによって、増収に働く場合と減収に働く場合がある。

水稻の生殖生理に発生する高温ストレス

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℃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℃の上昇につき約
16%不稔稲の割合
が増加 (金ら, 1996
のデータから)。

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

一般気象(群落上部)

日射
下向き長波放射
風速

気温・湿度

入力変数

中間変数

穂温サブモデル

穂温

気温
湿度

群落微気
象モデル

群落

葉面積・気孔コンダ
クタンス

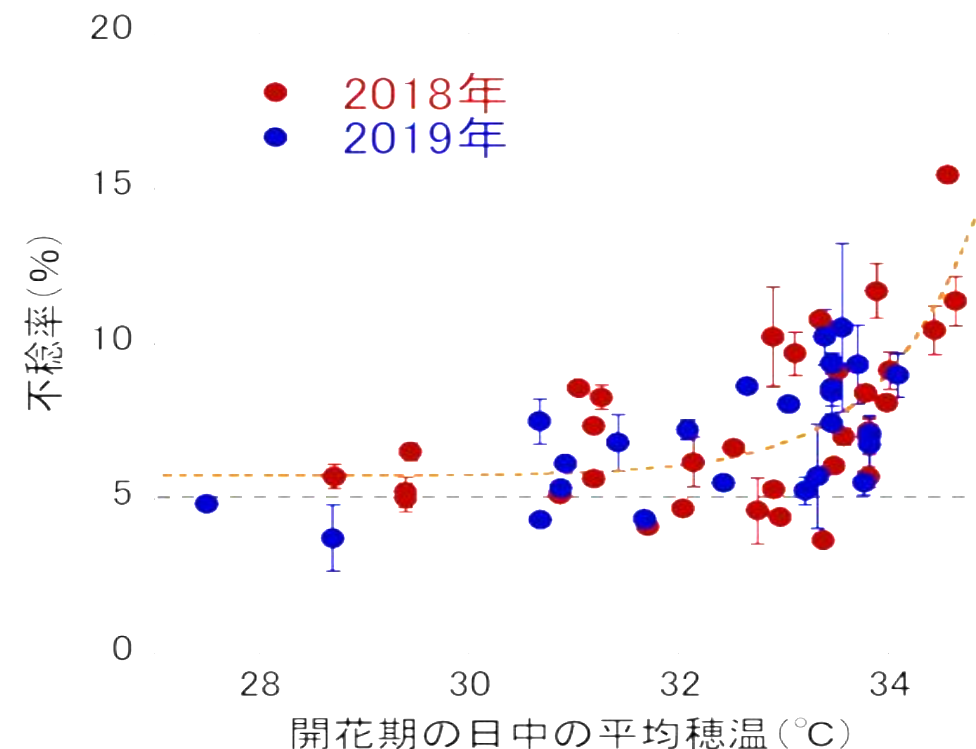
葉温

水温

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.



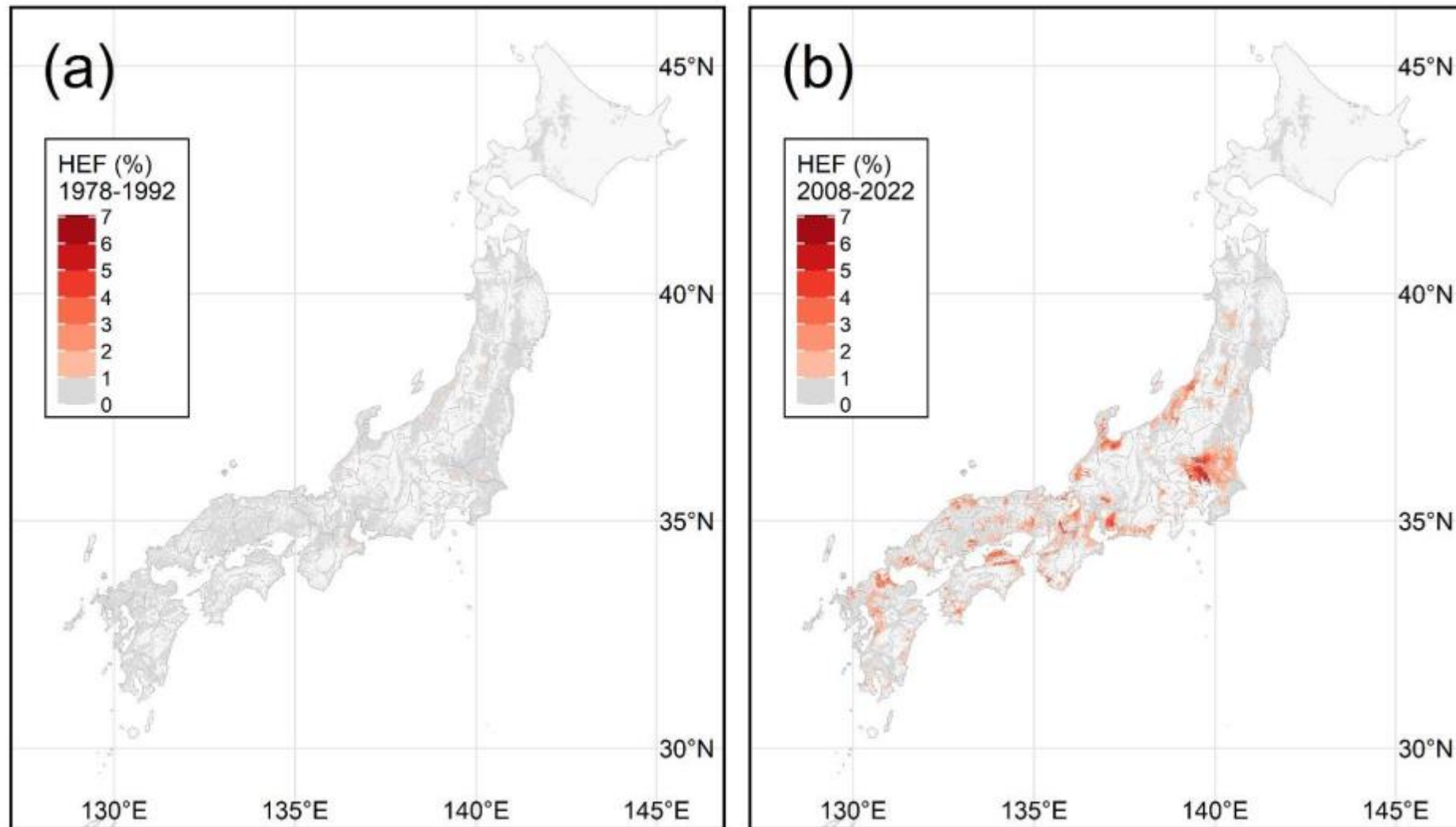
圃場条件における調査から推定穂温が33°C以上になると不稔が増加(品種、コシヒカリ)

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

推定穂温 33°C 以上の出現頻度 (Heat exposure frequency, HEF)の分布

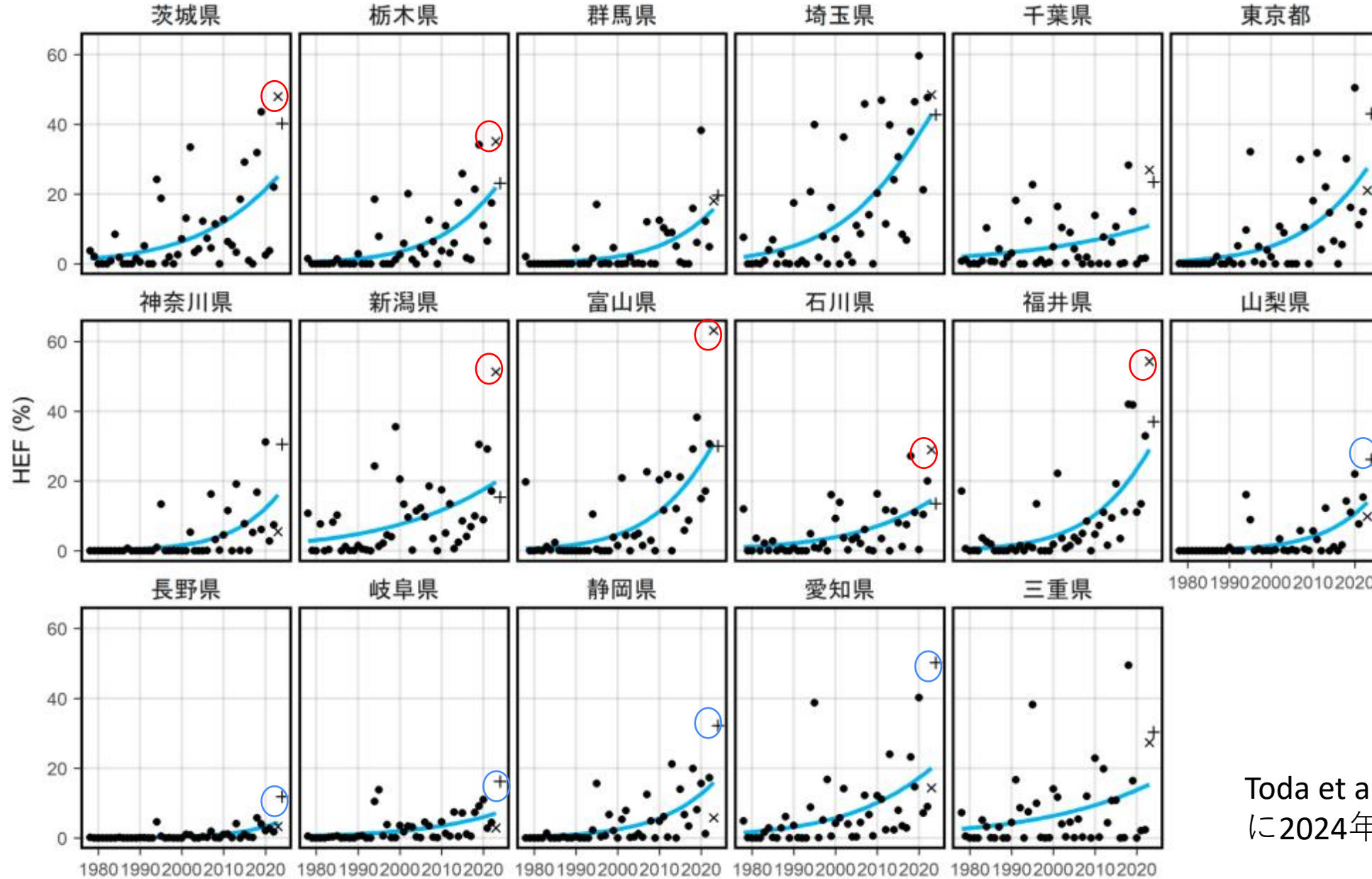
1978-1992年にはほとんど確認できない

2008-2022年には東北から九州にかけて広く確認



1kmメッシュの推定穂温と作柄表示地帯別の出穂盛期 ± 7 日の期間を対象として頻度を算出

穂温の推定値33℃以上の出現頻度 (Heat exposure frequency, HEF)の推移 (2023、2024年含む)



- 1kmメッシュの推定穂温から集計
- 作柄表示地帯ごとの出穂盛期±7日の期間を対象

- 2023年は茨城・栃木北陸4県とで最高値
- 2024年は、甲信と三重を除く東海3県で最高値

Toda et al. (2024) J. Agric. Meteorol.
に2024年のデータを追加

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℃を越えると温度上昇とともに増加

高温指標HD_m26(ヒートドーズ)の定義

$$HD_m26 = \sum (T - T_{base}) \quad T > T_{base}$$

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

(出穂～20日間の積算値)

高温指標MET26(平均超過温度)

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

乳白粒



基部
未熟粒



腹白
未熟粒



背白粒

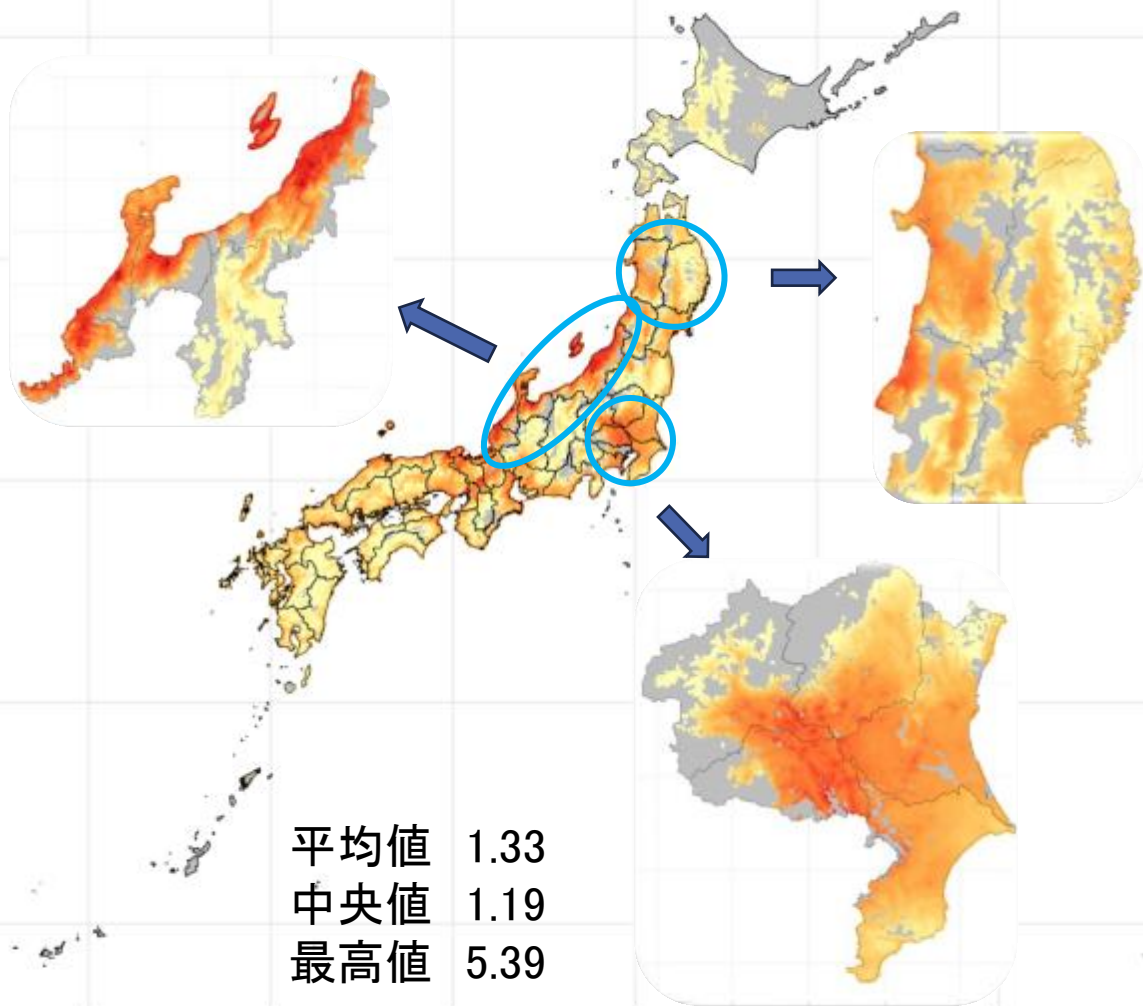


農林水産省ホームページより

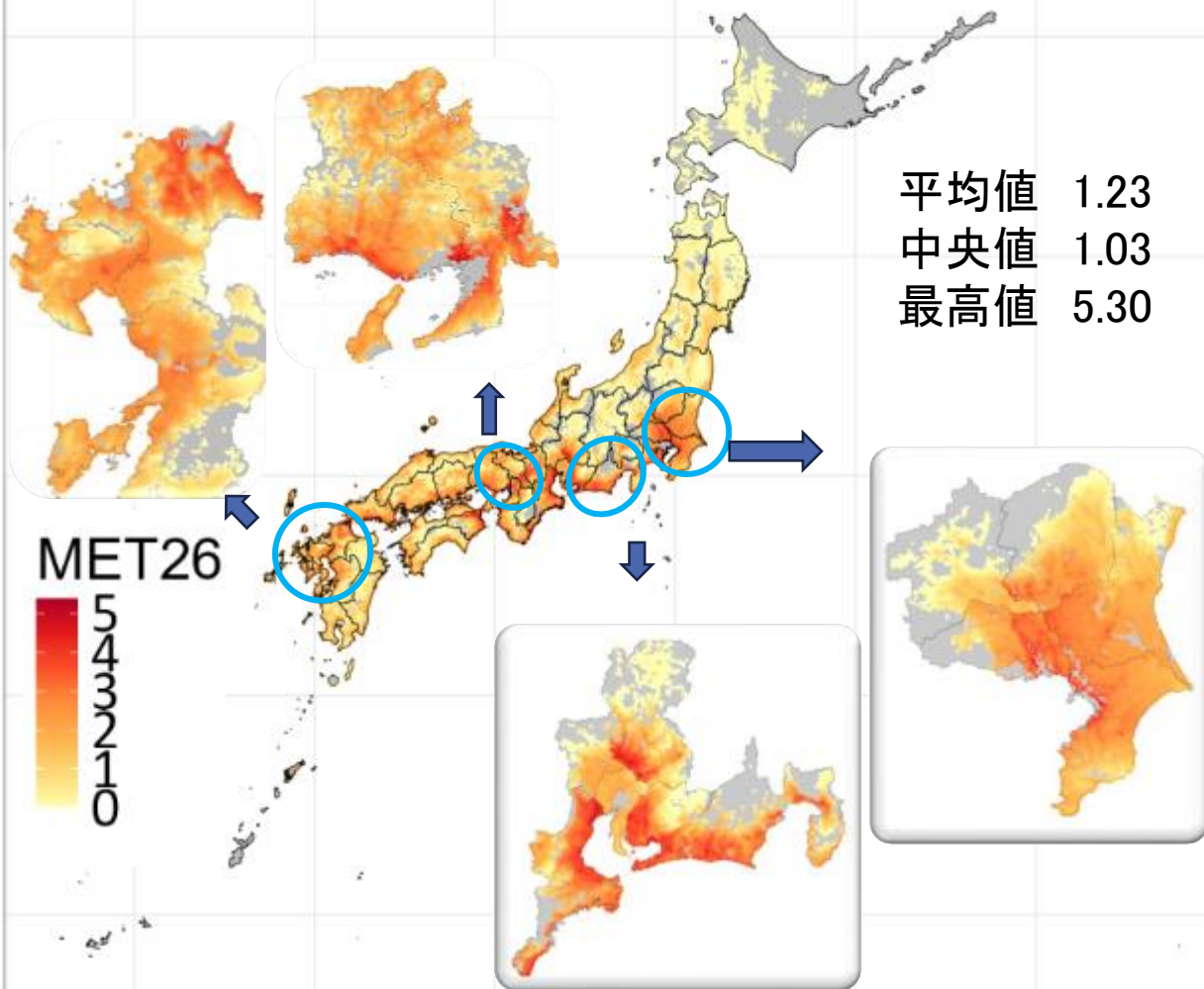
https://www.maff.go.jp/j/seisan/syoryu/ken-sa/kome/k_kikaku/k_kaisetsu/index.html

2023、2024年の登熟期間前半の高温指標(MET26、℃)の分布

2023



2024

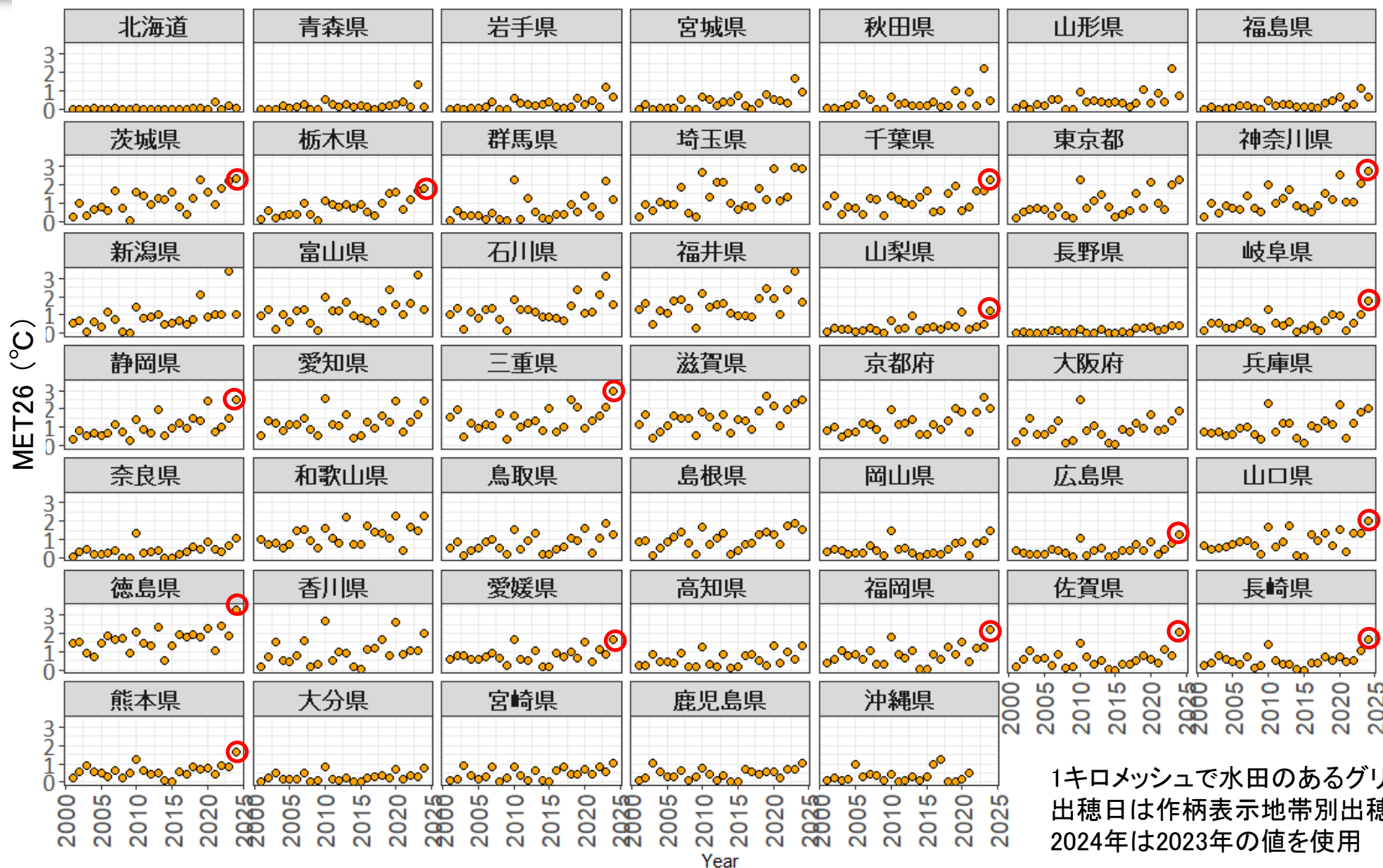


MET26

5
4
3
2
1
0

Longitude

2001～2024年の出穂後20日間の26℃以上積算気温



全国的にMET26は増加

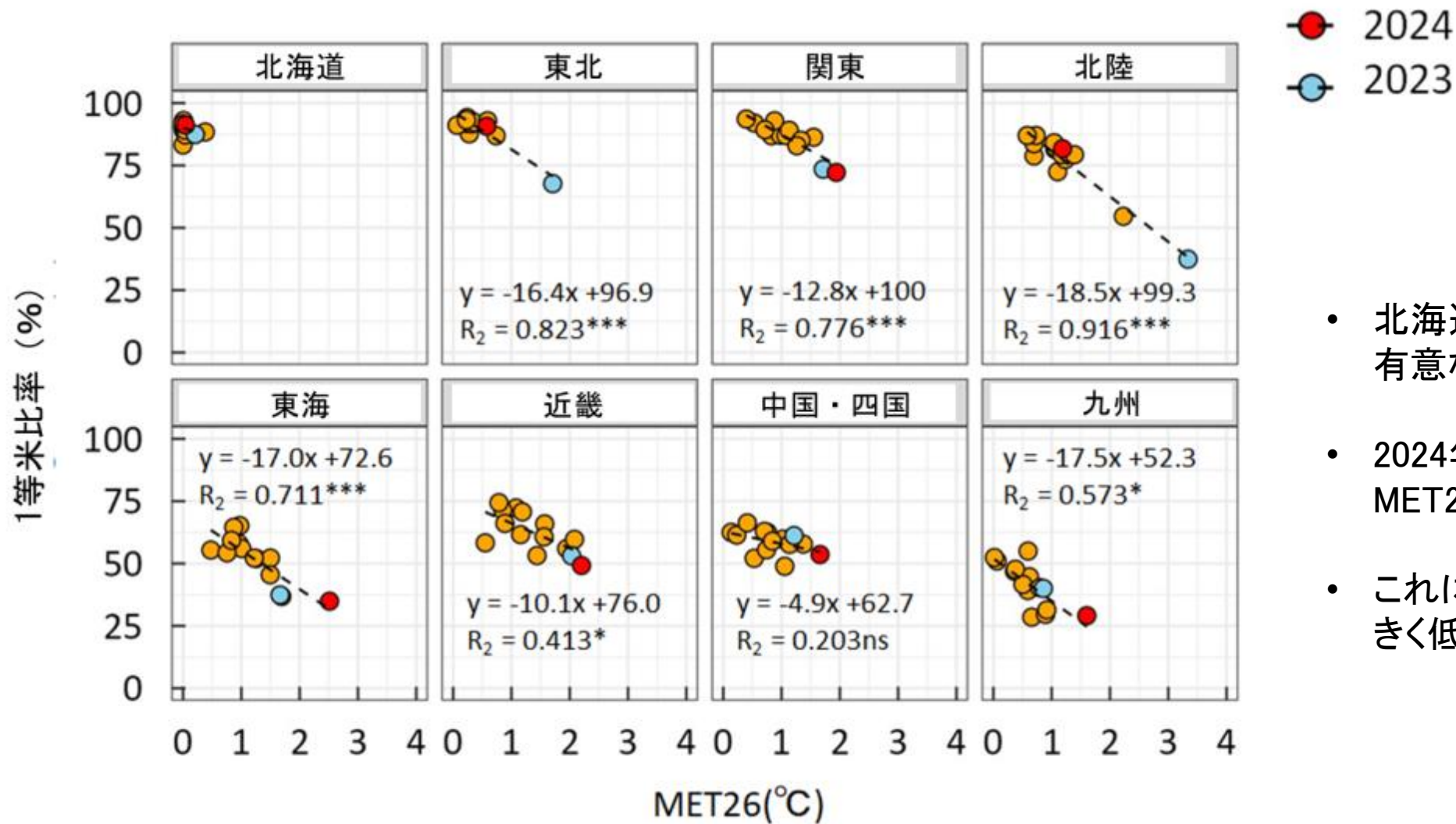
2023年は東北、北陸で最高値を観測

2024年は、関東、東海、中国、四国、九州で最高値。

○ は、2024に最高値を観測した県。

1キロメッシュで水田のあるグリッドを平均(Ishigooka et al., 2017)
出穂日は作柄表示地帯別出穂最盛期を基準
2024年は2023年の値を使用

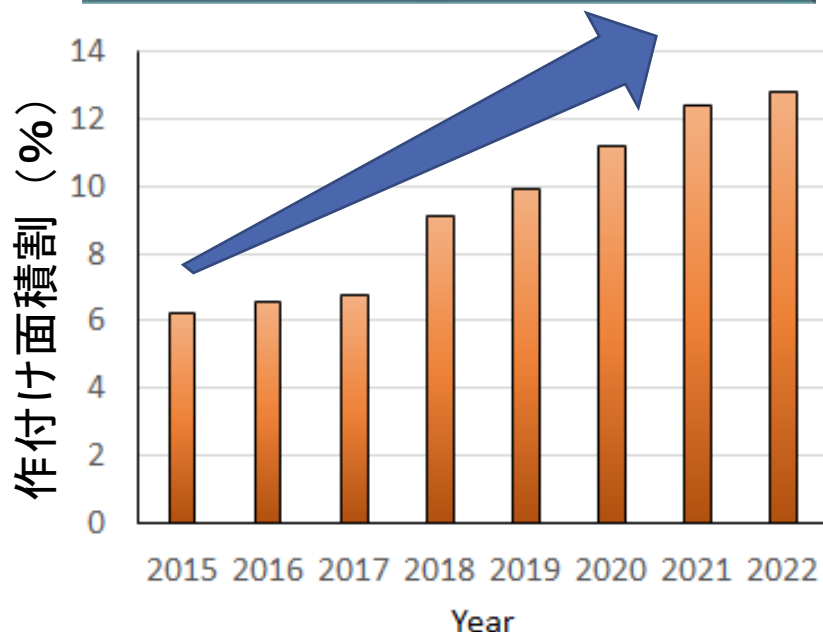
地域ごとにみた1等米比率と高温指標との関係(2011-2024年)



- 北海道、中国、四国以外で有意な負の関係
- 2024年は東海以西でMET26が最高値を観測
- これに伴い1等米比率も大きく低下

高温耐性（登熟性）品種導入の効果の推定

高温耐性品種の導入



農林水産省地球温暖化影響調査レポート

(<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/report.html>) から

から

高温耐性向上による白未熟抑制効果の定量化が必要

高温耐性品種ランク別白未熟粒発生モデル構築

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	とちぎの星	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	葵の風 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	葵の風 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稲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>)

高温耐性品種ランク別白未熟発生率のモデル化

系統的レビューによる
データベース構築

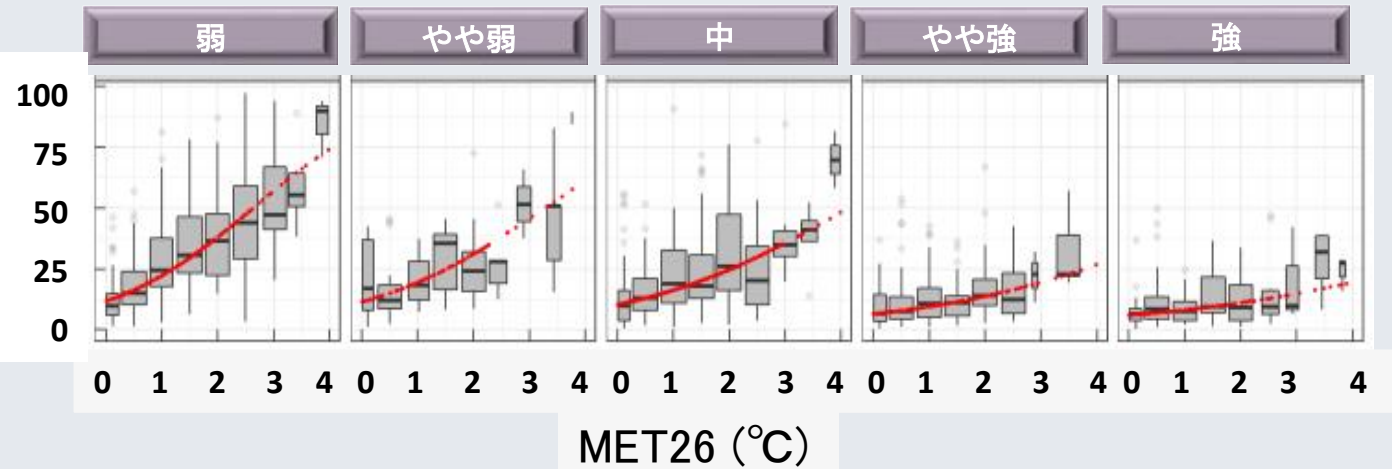
44 試験地
33 県
n = 1302
48品種



メタ解析

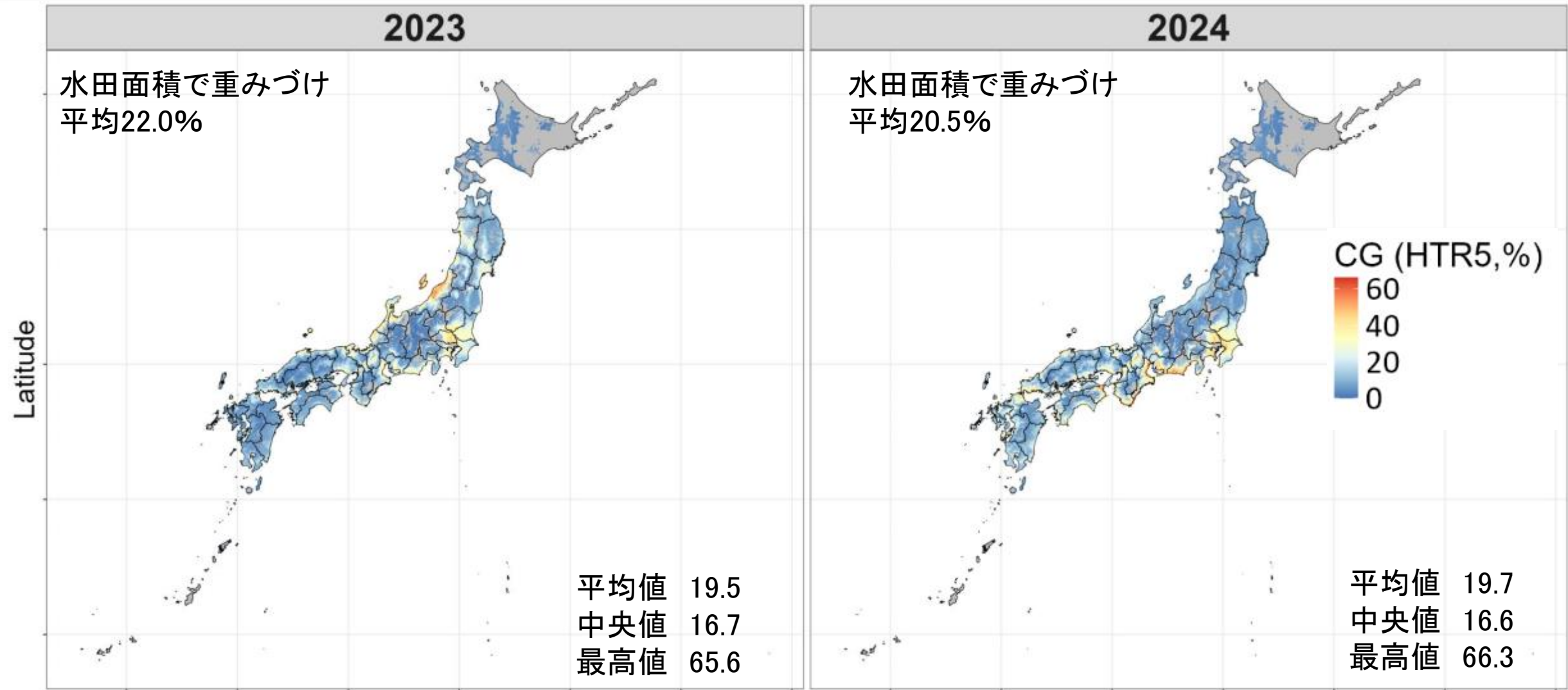
モデル構築

白未熟粒率(%)



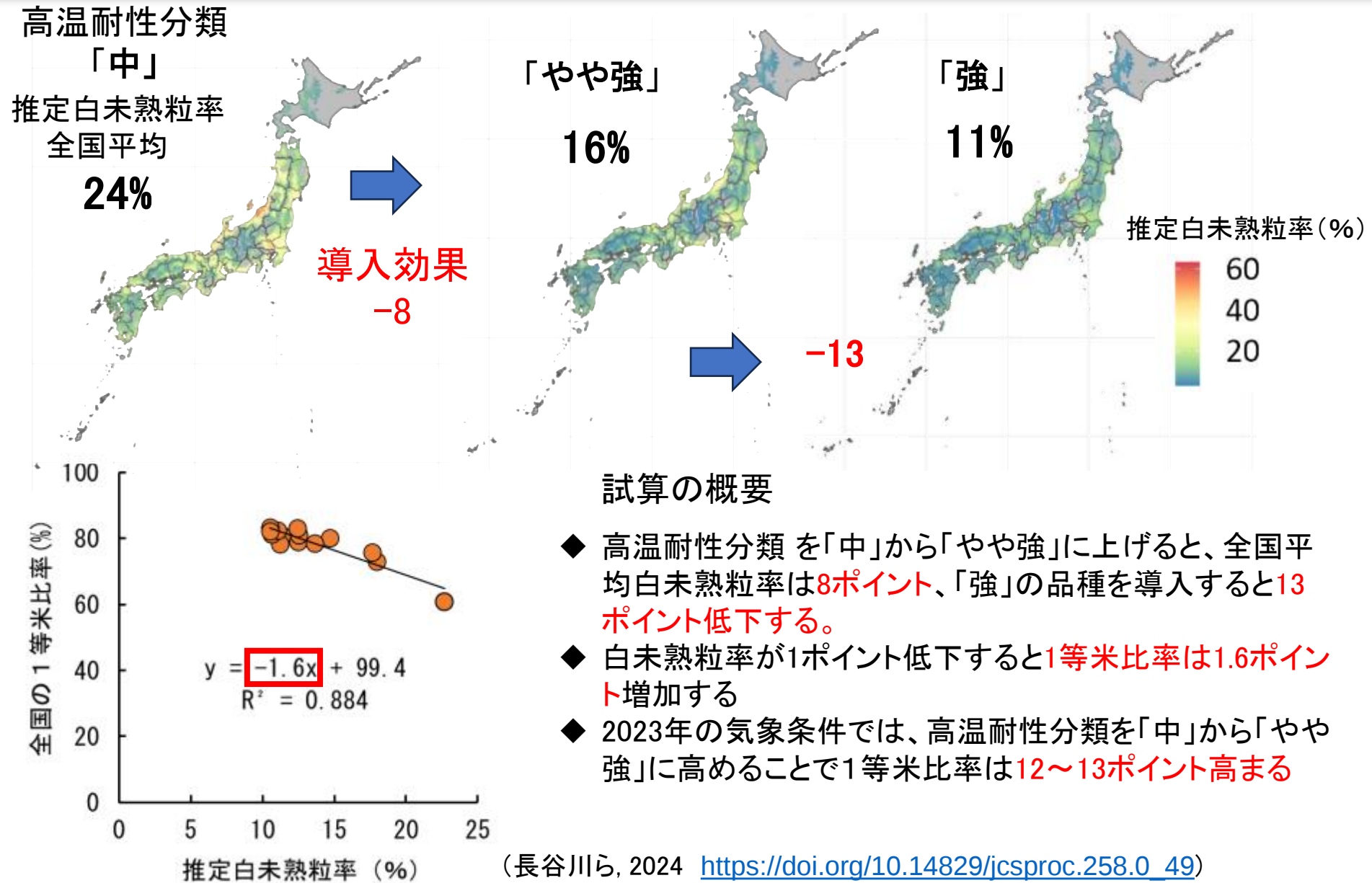
高温耐性分類別に温度・日射・湿度から白未熟粒率
を推定するモデルを構築

推定白未熟粒率(%)高温耐性「中」



* 1km メッシュの気象データと白未熟粒率推定モデル(Wakatsuki et al., 2024)を用いて推定 (出穂日は作柄表示地帯最盛期 2024年は2023年の出穂日を使用)

2023年に高温耐性品種を導入した場合の効果の試算



関東農政局管内 米の農産物検査結果から

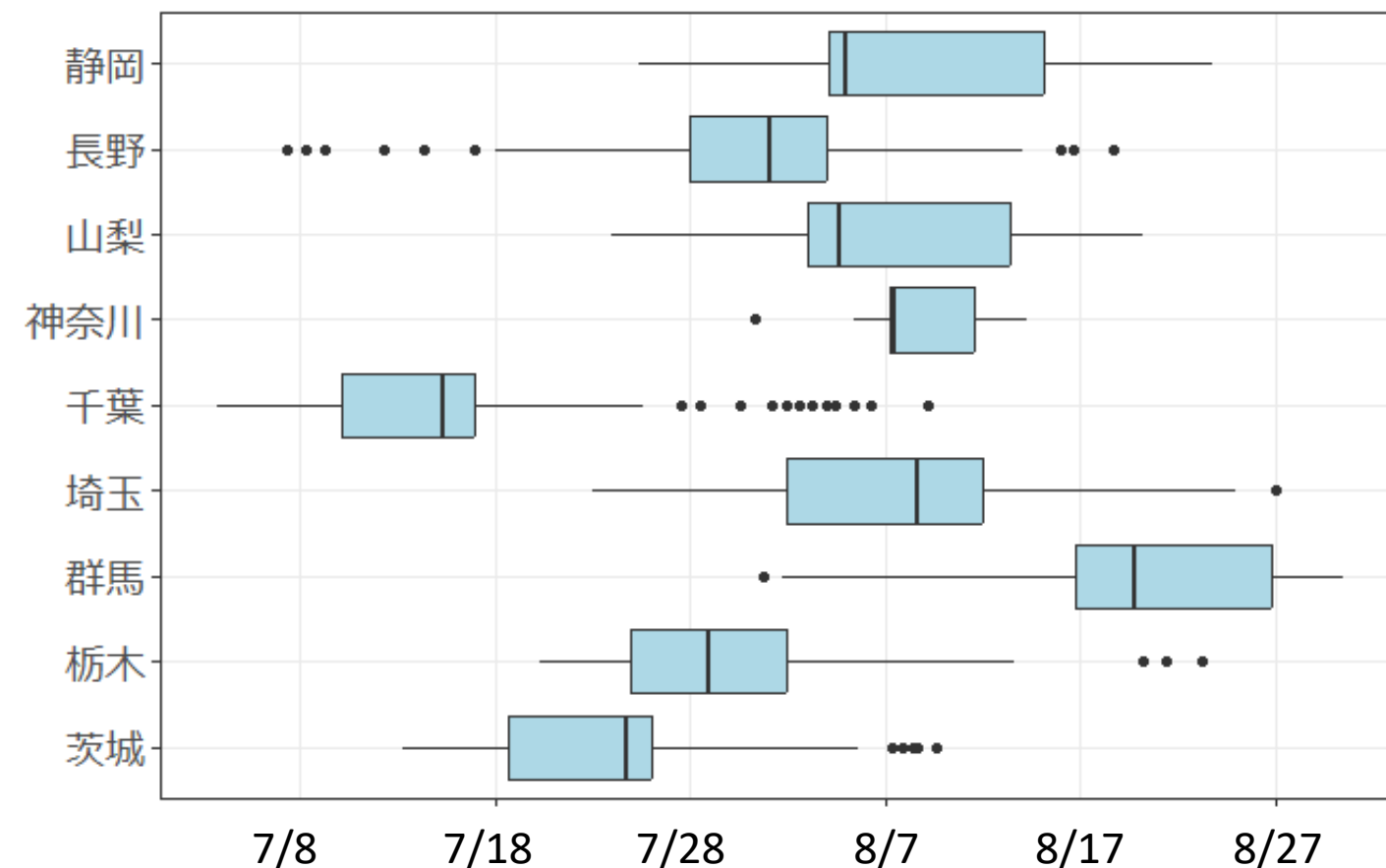
データ概要

		備考
年次	2022～2024（3か年）	
地点情報	9県 390機関 検査機関の住所より緯度経度を取得	検査機関の詳細が不明の場合は除く。
品種数	65	全品種78品種より出穂日に関するデータが取得できなかった13品種を除いた。
出穂日	7月上旬から8月下旬まで	各県の奨励品種決定試験データ（2000年以降）を用いて県ごとに基準品種としてのコシヒカリとの出穂日の差を算出、作柄表示地帯の最盛期をコシヒカリと仮定して差分を足した。
気象要素	気温、日射、湿度	農環研 1 kmデータ（Ishigooka et. al 2021）
高温耐性	3（弱）、4（やや弱）、5（中）、6（やや強）、7（強）、未格付け	

2022～2024年県別・品種別検査数量割合

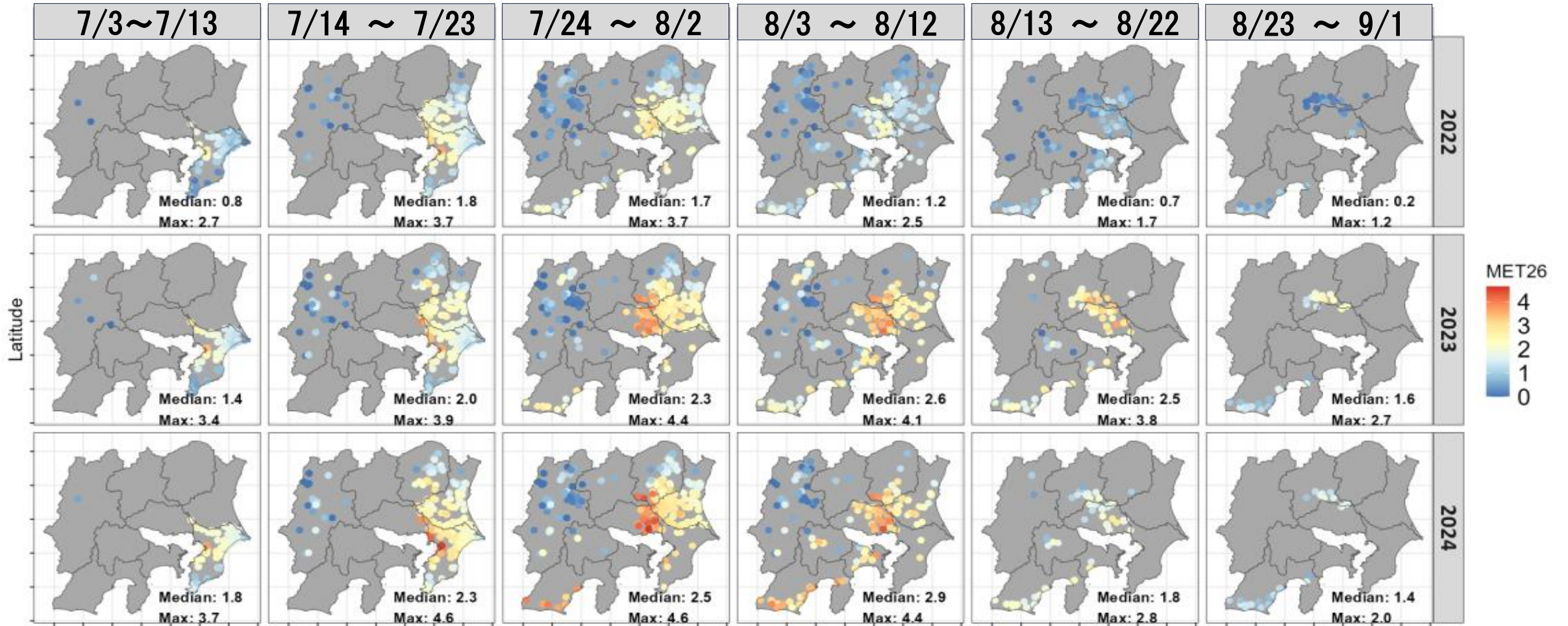
[illegible]

2022～2024年の関東農政局内県別の出穂日分布の推定値



	最小	最大	平均	重みづけ 平均	中央値
静岡	7/25	8/23	8/9	8/8	8/5
長野	7/7	8/18	7/31	8/1	8/1
山梨	7/24	8/20	8/6	8/5	8/4
神奈川	7/31	8/14	8/8	8/8	8/7
千葉	7/3	8/9	7/13	7/14	7/15
埼玉	7/23	8/27	8/7	8/7	8/8
群馬	7/31	8/30	8/20	8/23	8/19
栃木	7/20	8/23	7/30	7/28	7/29
茨城	7/13	8/9	7/23	7/23	7/24

2022～2024年の時期別推定MET26（℃）の分布

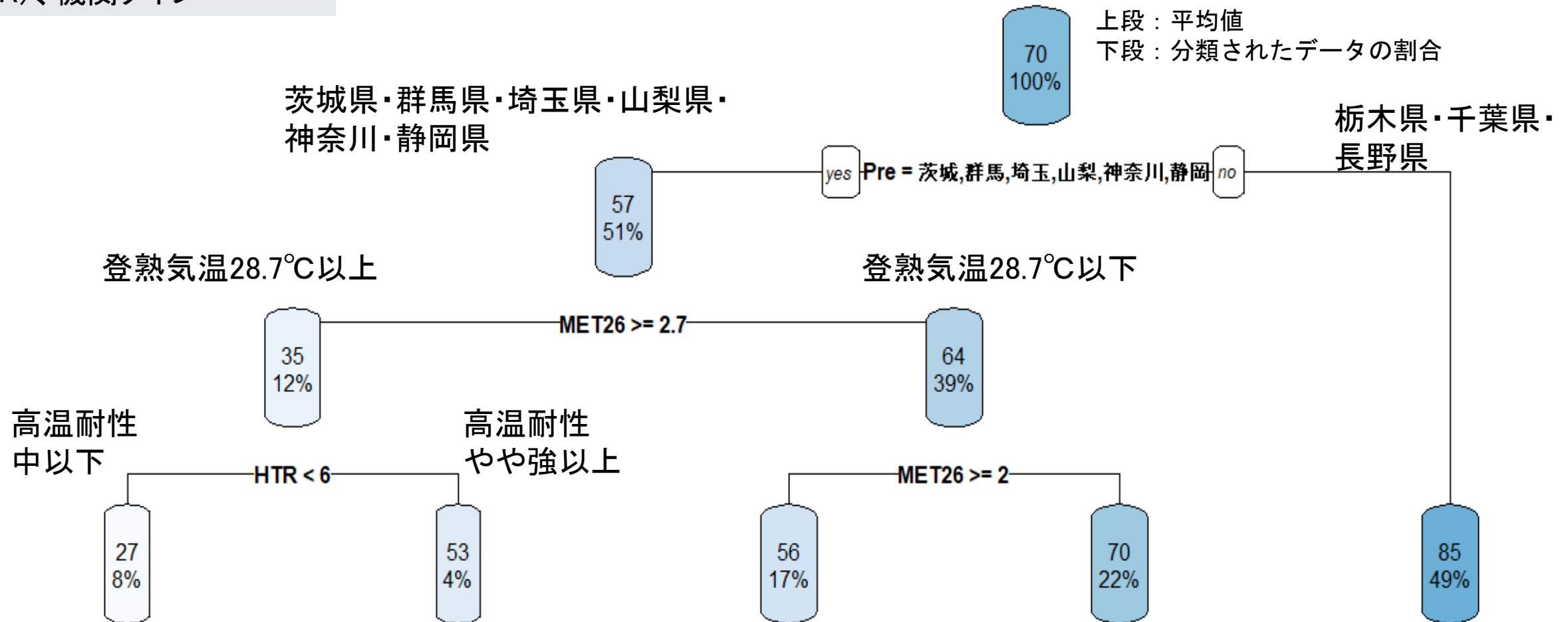


ランダムフォレストによる解析条件分け

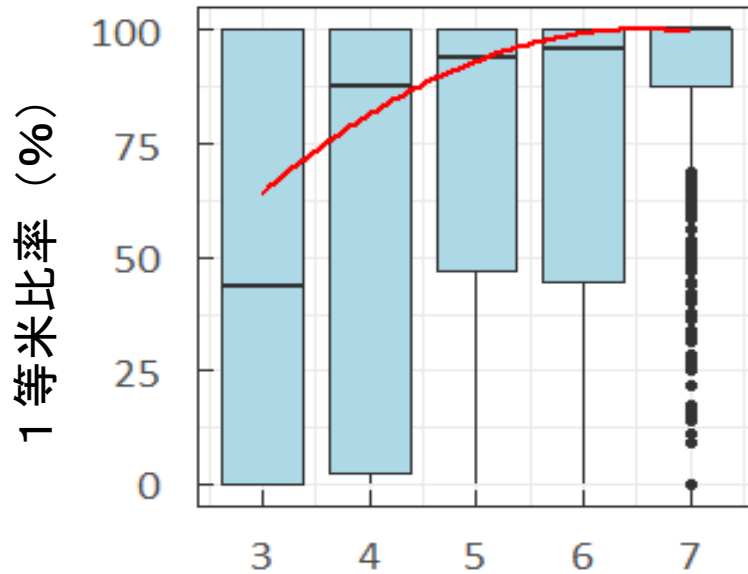
目的変数： 一等米比率
説明変数： MET26, 日射、湿度、県、高温耐性ランク (HTR)、機関タイプ

約42%の変動を説明

全県・3か年の平均一等米比率



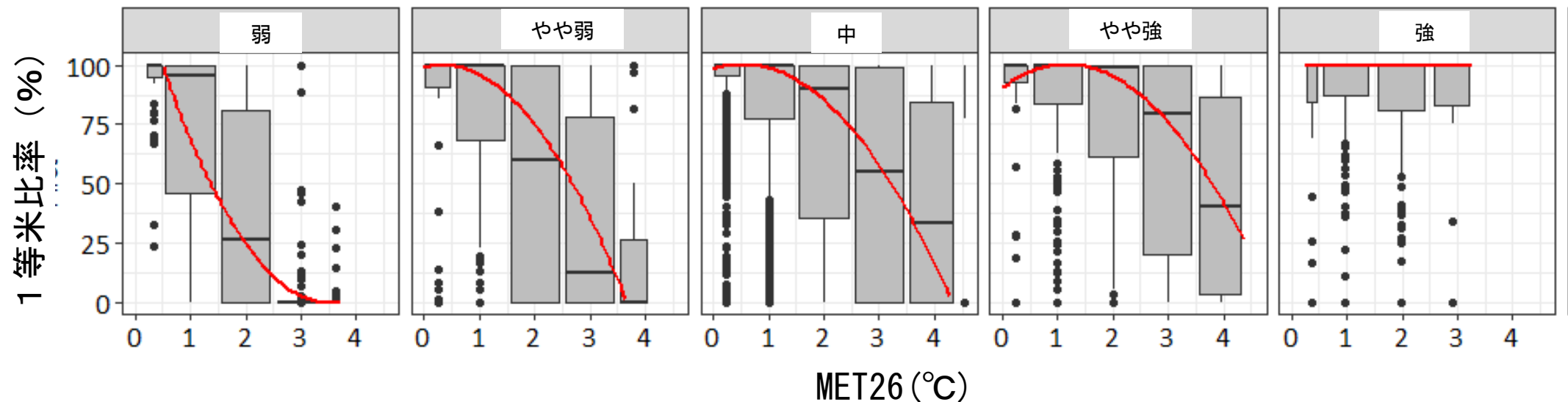
高温耐性ランクごとにみた関東農政局管内の検査結果の分布



- 高温耐性が「弱」または「やや弱」の品種では、1等米比率に大きなばらつきがあり、中央値も概して低い。
- 一方、「中」以上の品種ではばらつきが小さく、中央値も高い傾向がみられる。
- MET26（登熟前半の平均気温）が高くなるほど、1等米比率は低下する。
- 特に「弱」耐性の品種では、MET26のわずかな上昇でも1等米比率が急激に下がるが、「強」耐性品種では低下幅が小さい。
- また、「やや強」品種でもMET26が約2℃を超えると、1等米比率の低下が見られる。

高温耐性ランク

赤線＝50%分位点回帰線



- 2023・2024年の夏は、いずれも観測史上最高気温を記録
 - 猛暑地帯の分布:2023年:東北、関東、北陸に集中
 - 2024年:関東、東海～西日本に広範囲に分布
- 2024年は北海道・東北・北陸などの主産地では高温曝露が比較的小さく、全国的な1等米比率の大幅な低下は回避
- 一方、関東～九州北部では高温曝露が著しく、1等米比率は大幅に低下
- 地域間・年次間の品質差を考察するには、高温曝露の程度を考慮することが重要
- 関東農政局管内では2年連続の猛暑により、1等米比率の低迷が継続
- 高温耐性品種の導入により、白未熟粒の発生抑制や1等米比率の維持が期待される

- 高温曝露の程度は、気象条件だけでなく作型や品種にも依存し、地域差が大きい
- 登熟期の気温が約29℃以上の地域では、1等米比率の低下が顕著
- 高温耐性レベルが「中」以下の品種では、全体的に1等米比率が低下
- 同じ高温曝露・同一耐性レベルでも、1等米比率には大きなばらつきがある→ 栽培管理などの影響が大きいことを示唆
- 基本技術(適期移植、水管理、施肥等)の励行が極めて重要