

2025年1月29日

令和6年度関東農政局WEB勉強会資料

高温条件に対応した水稻策WEB会議



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

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＞

未公開データが含まれますので、出席者限りとし、取り扱いについてはご注意いただくとともに、関係者であっても、掲載された内容の複製・転載はご遠慮ください。

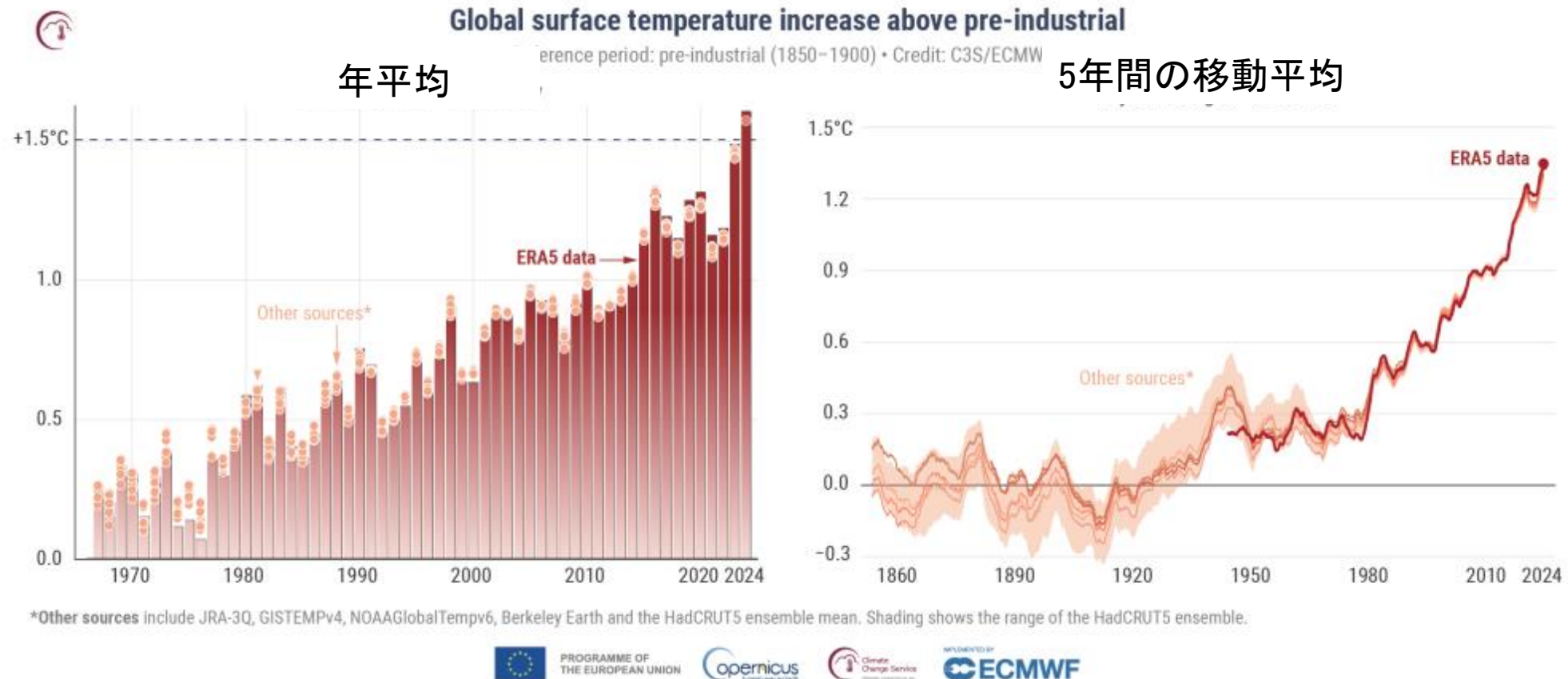
National Agriculture and Food Research Organization

NARO

1. 世界の気温
2. 日本の気温（長期トレンドと2023、2024年の特徴）
3. 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
4. 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
3. まとめ

2024年までの世界の年平均気温 (1850-1900年平均からの偏差)

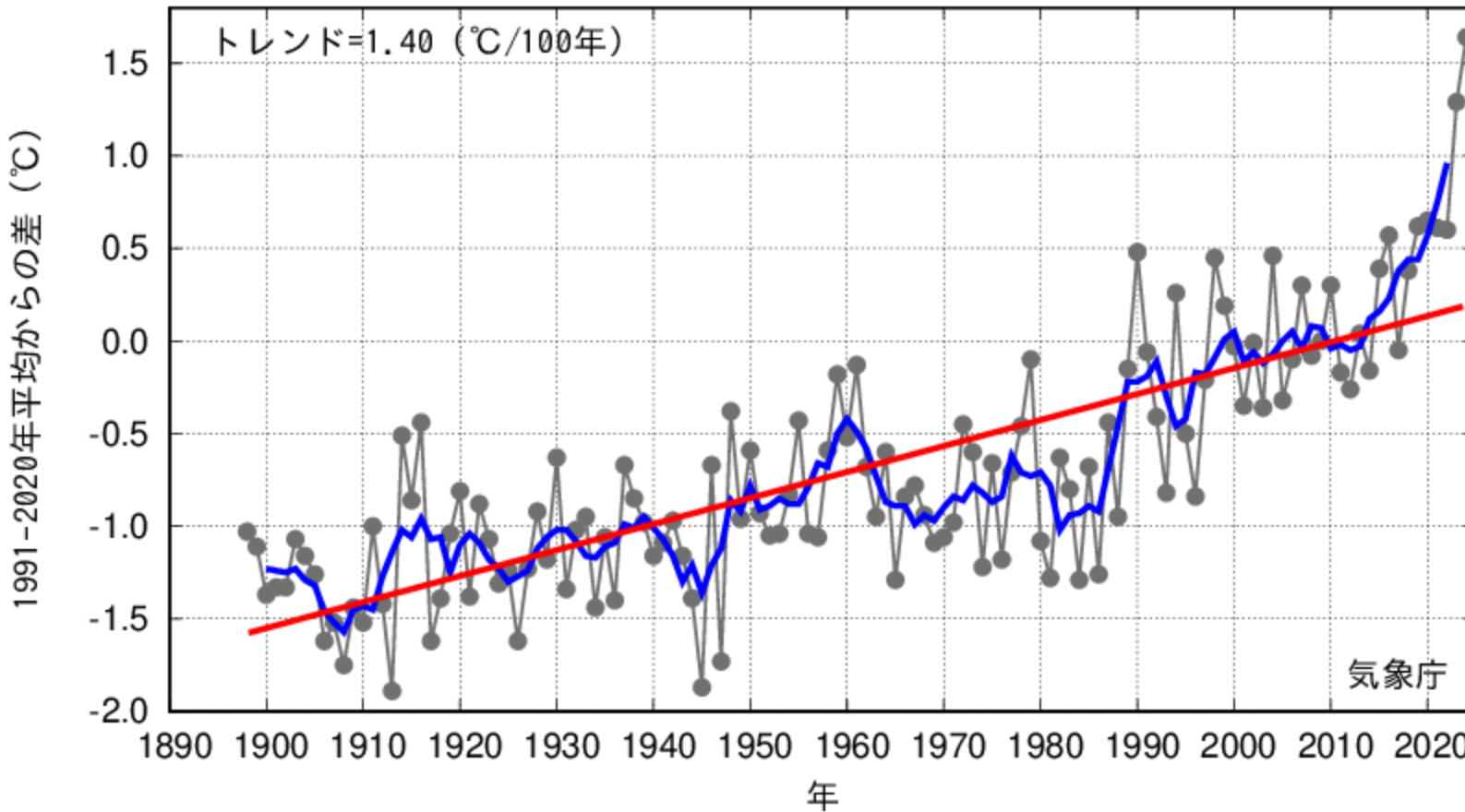
- 2024年の世界の平均気温は、2年続けて観測史上最高を更新し、産業革命前に比べて1.5°C以上高くなった(コペルニクス気候サービスの公表では、+1.6°C)。



日本の年平均気温の長期トレンド

ただし、2024年は1－11月まで速報値

日本の年平均気温偏差



1898年から2024年の年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

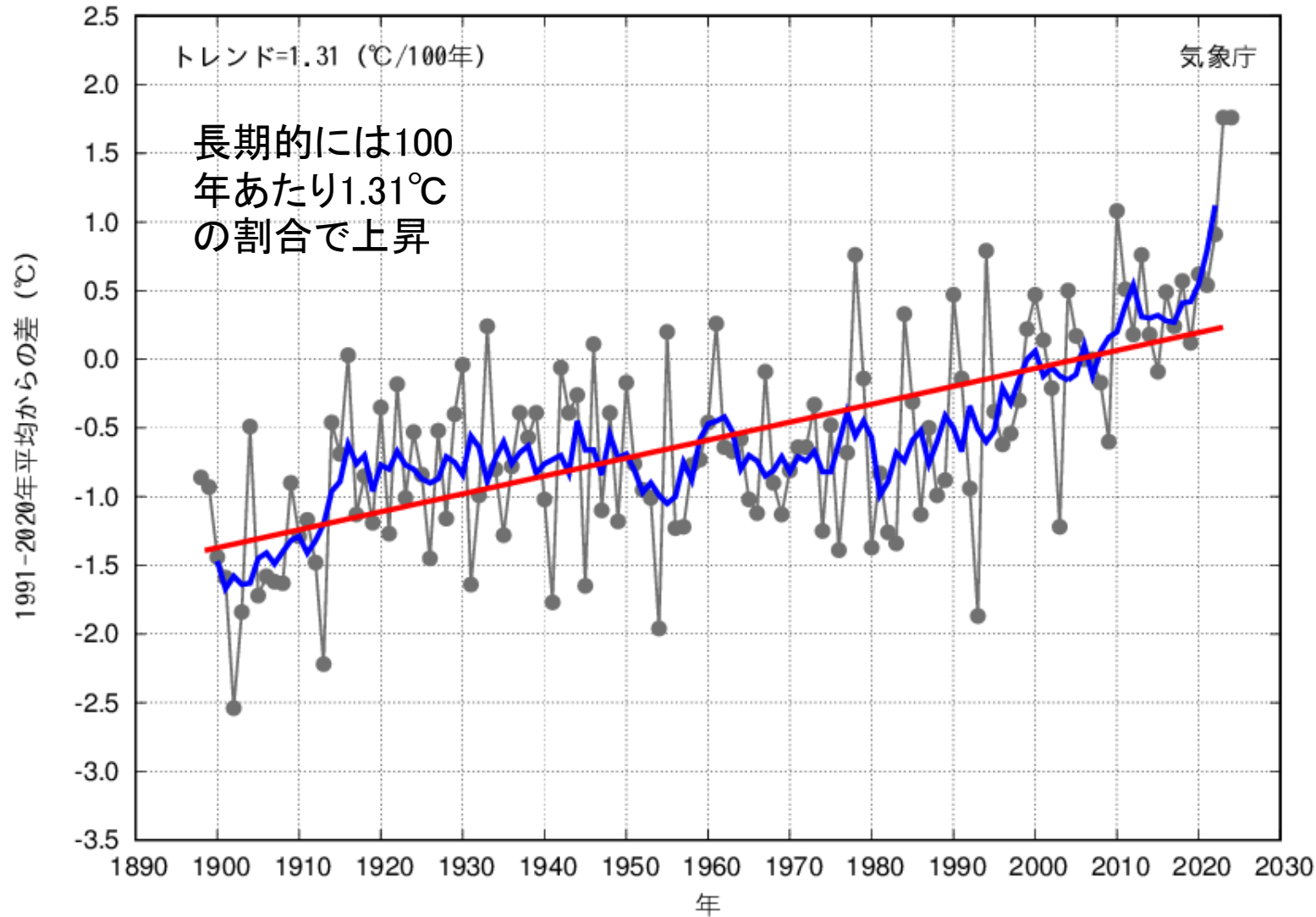
順位表(上位5年)

位	年	気温偏差 (°C)
1	2024	+1.64
2	2023	+1.29
3	2020	+0.65
4	2019	+0.62
5	2021	+0.61

https://www.jma.go.jp/jma/press/2412/25a/20241225_2024tenkou.html

日本の夏季気温の長期トレンド

日本の夏平均気温偏差



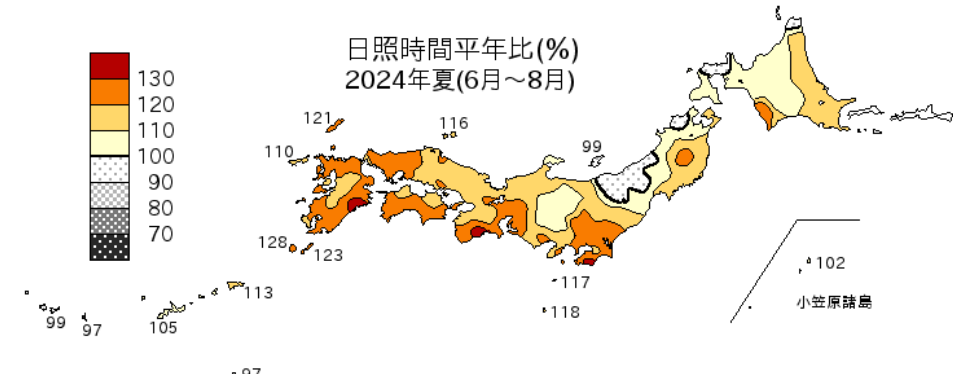
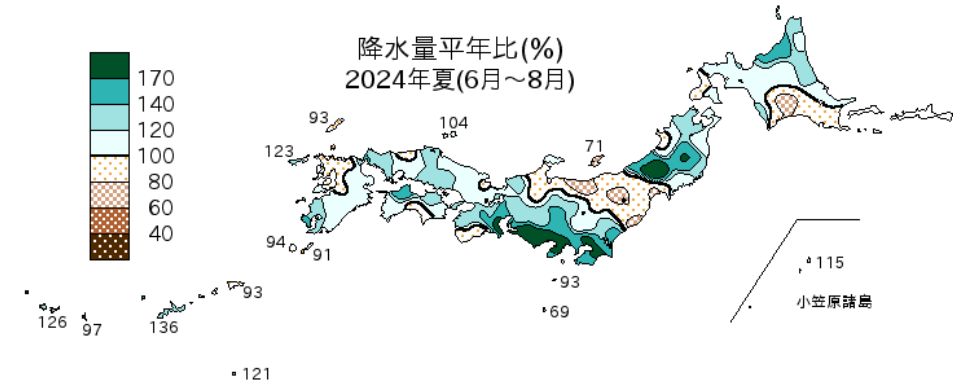
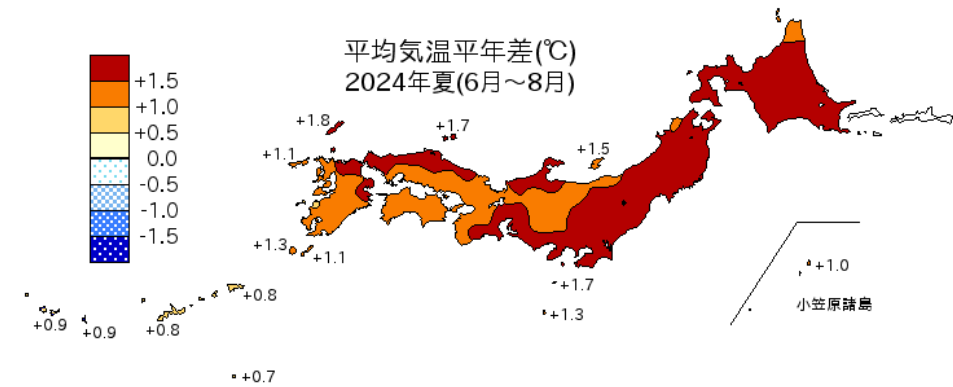
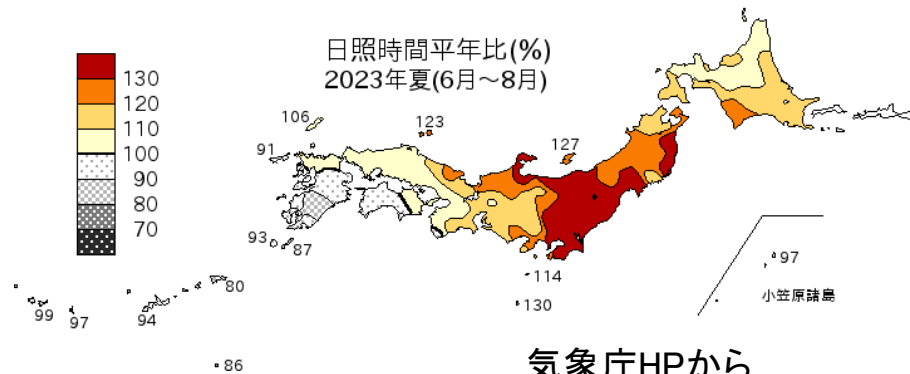
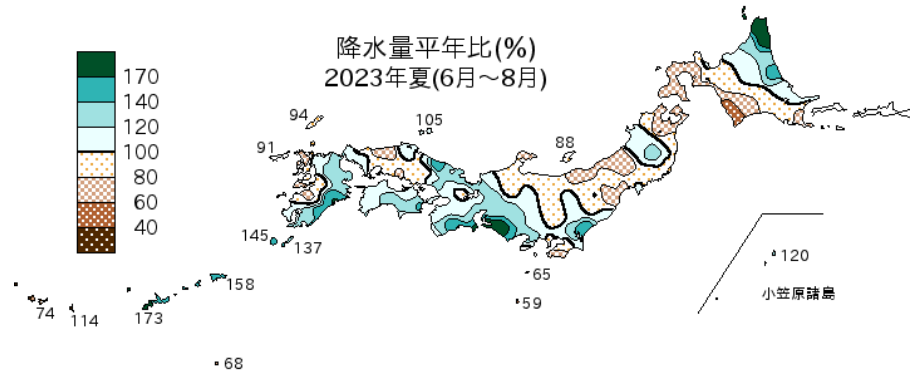
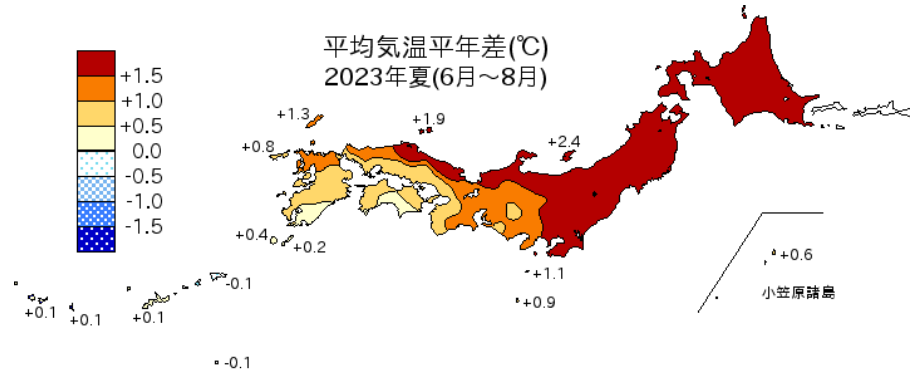
1898年から2024年夏季(6月～8月)の平均気温の基準値からの偏差(°C)
基準値は1991-2020年の30年平均値

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

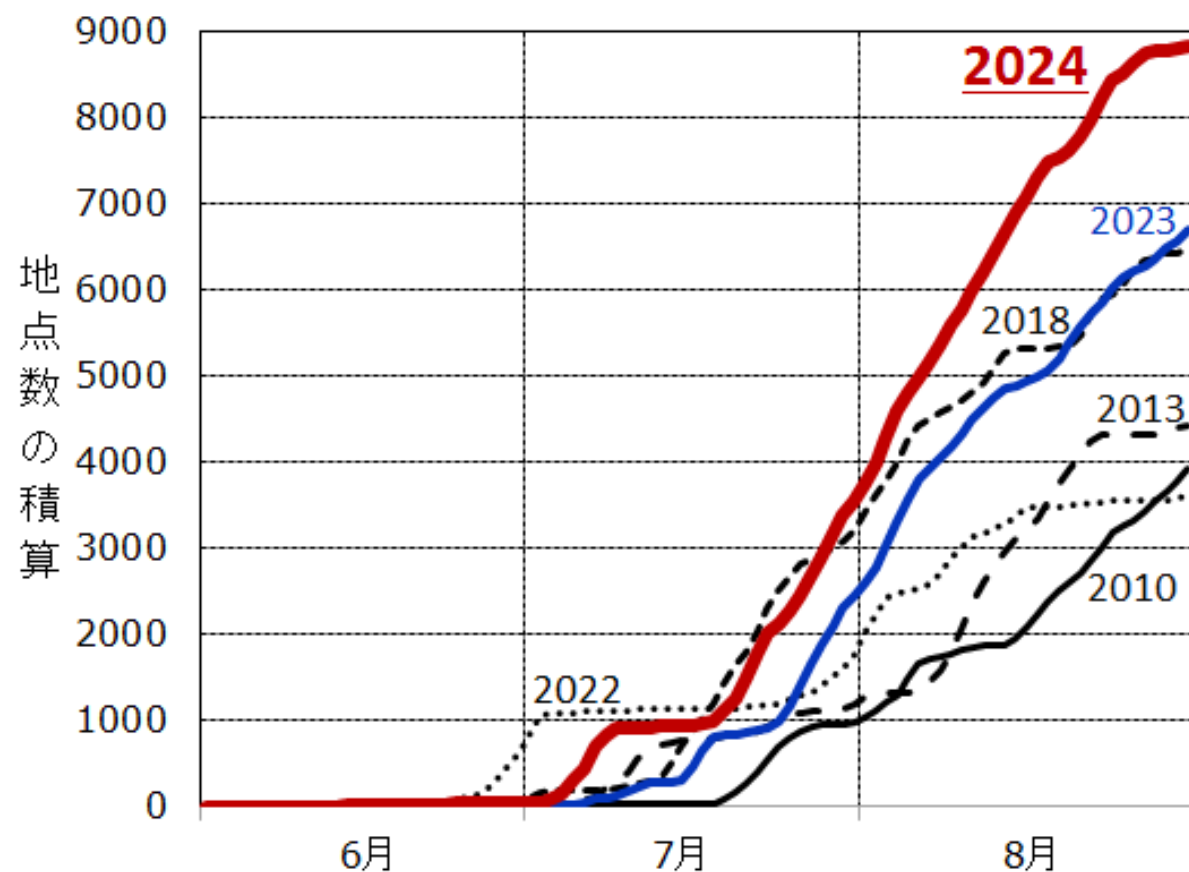
平年差（比）図（2023年夏（6～8月））



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

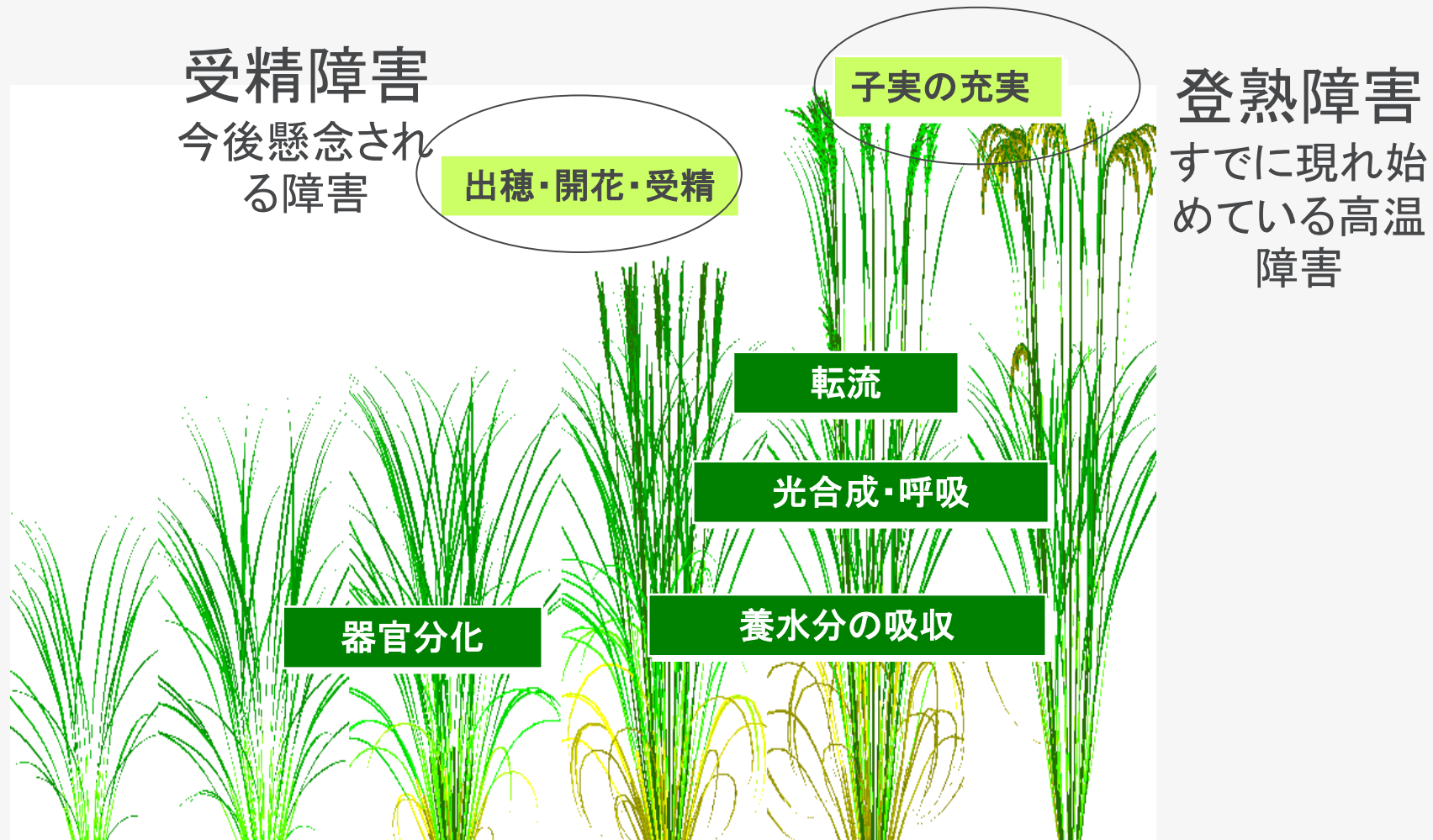


- 猛暑日の発生は2024年が最多
- バックグラウンドの気温が高い暖地で平年偏差が大きかったためと考えられる



- 適応の方法は、暴露を減少させるか、脆弱性を抑える（耐性を高める）、あるいはその両方
- 本年のような異常気象の影響を客観的に解析する上では、作物がどの程度のハザードに暴露されたかを把握することが重要

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。

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

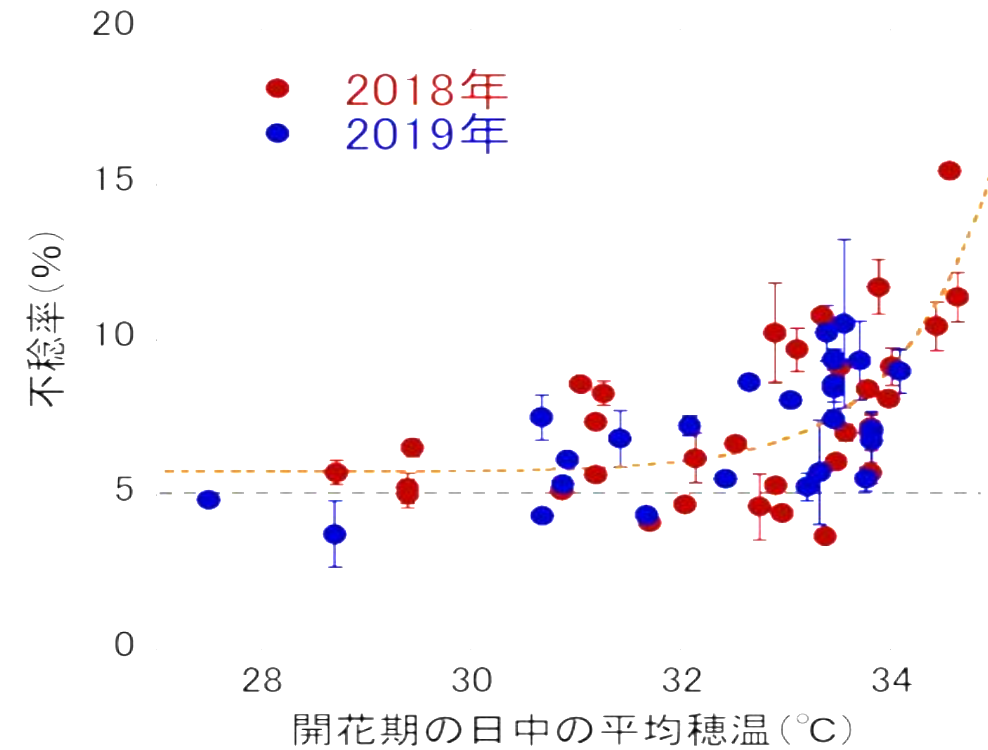
葉温

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.



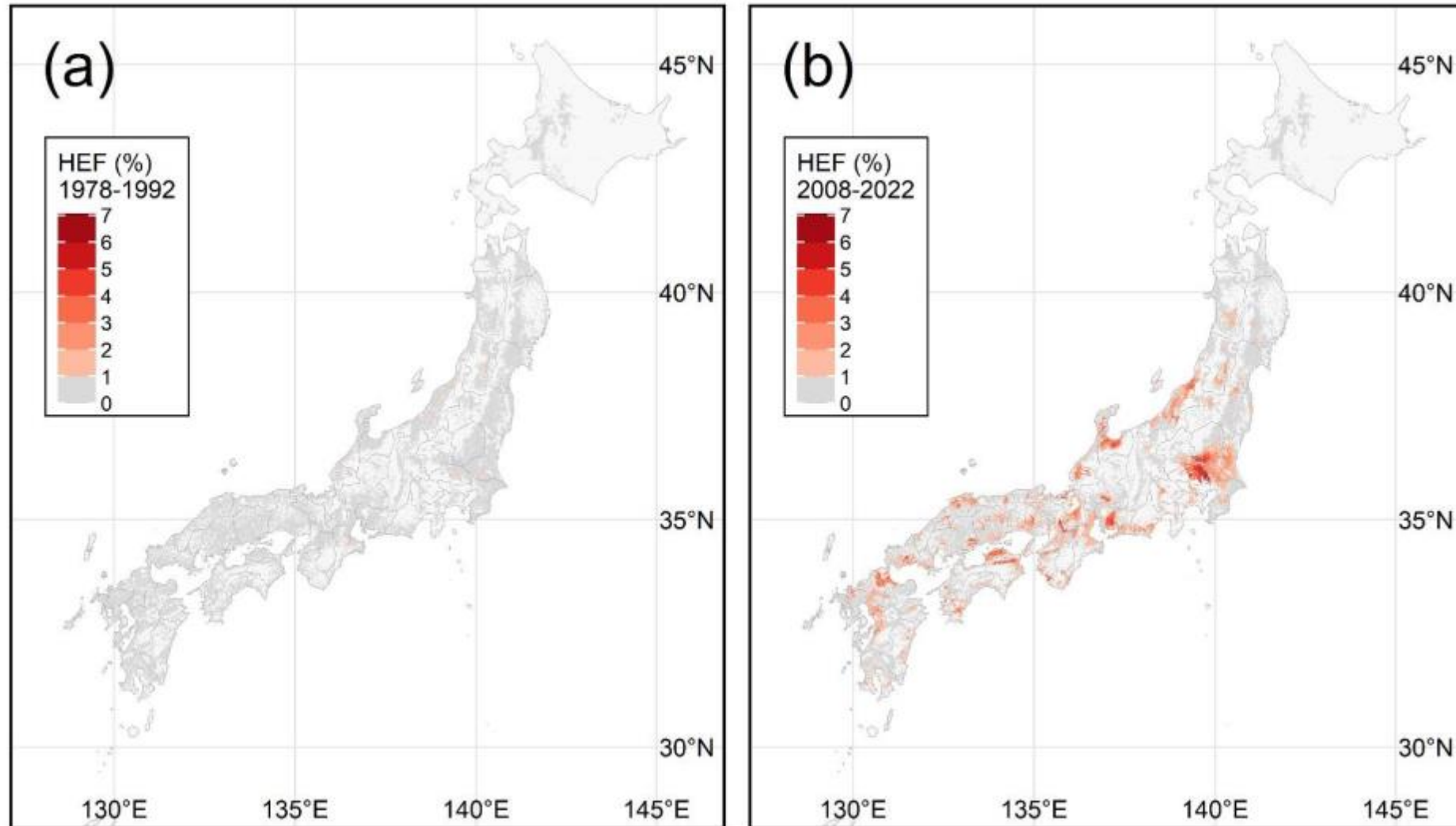
圃場条件における調査から推定穂温が33°C以上になると不稔が増加(品種、コシヒカリ)

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

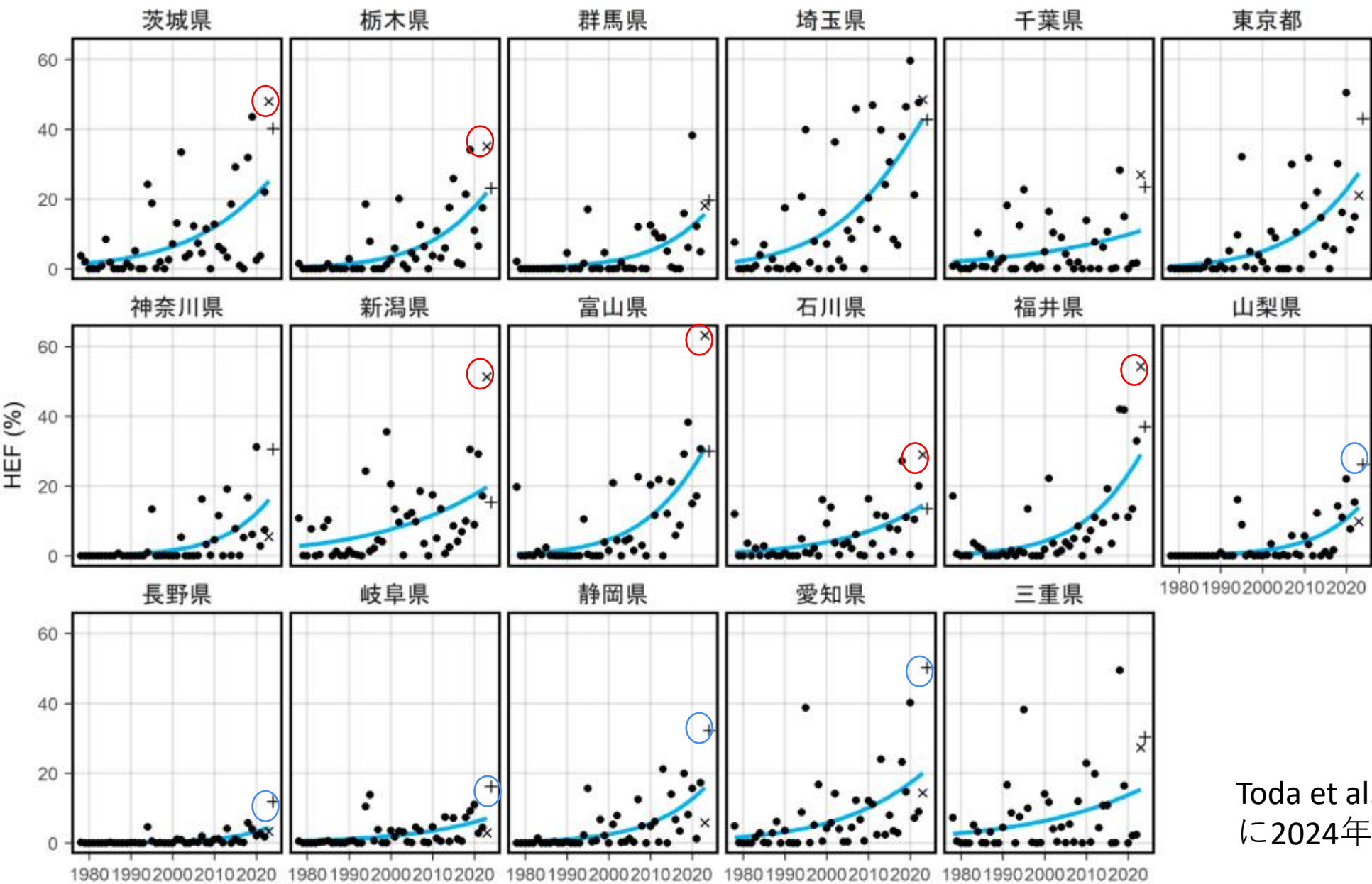
1978-1992年にはほとんど確認できない

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



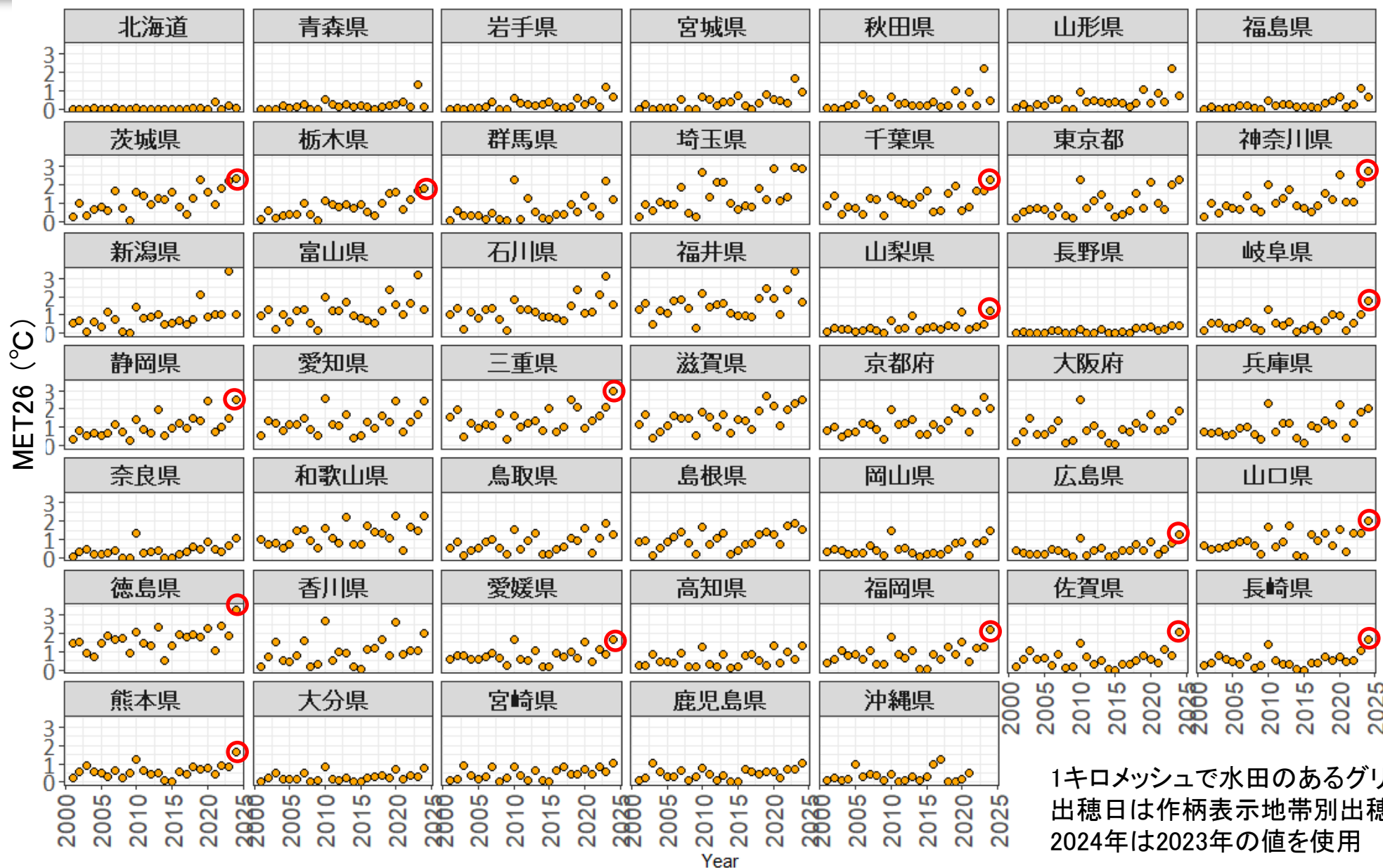
背白粒



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

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

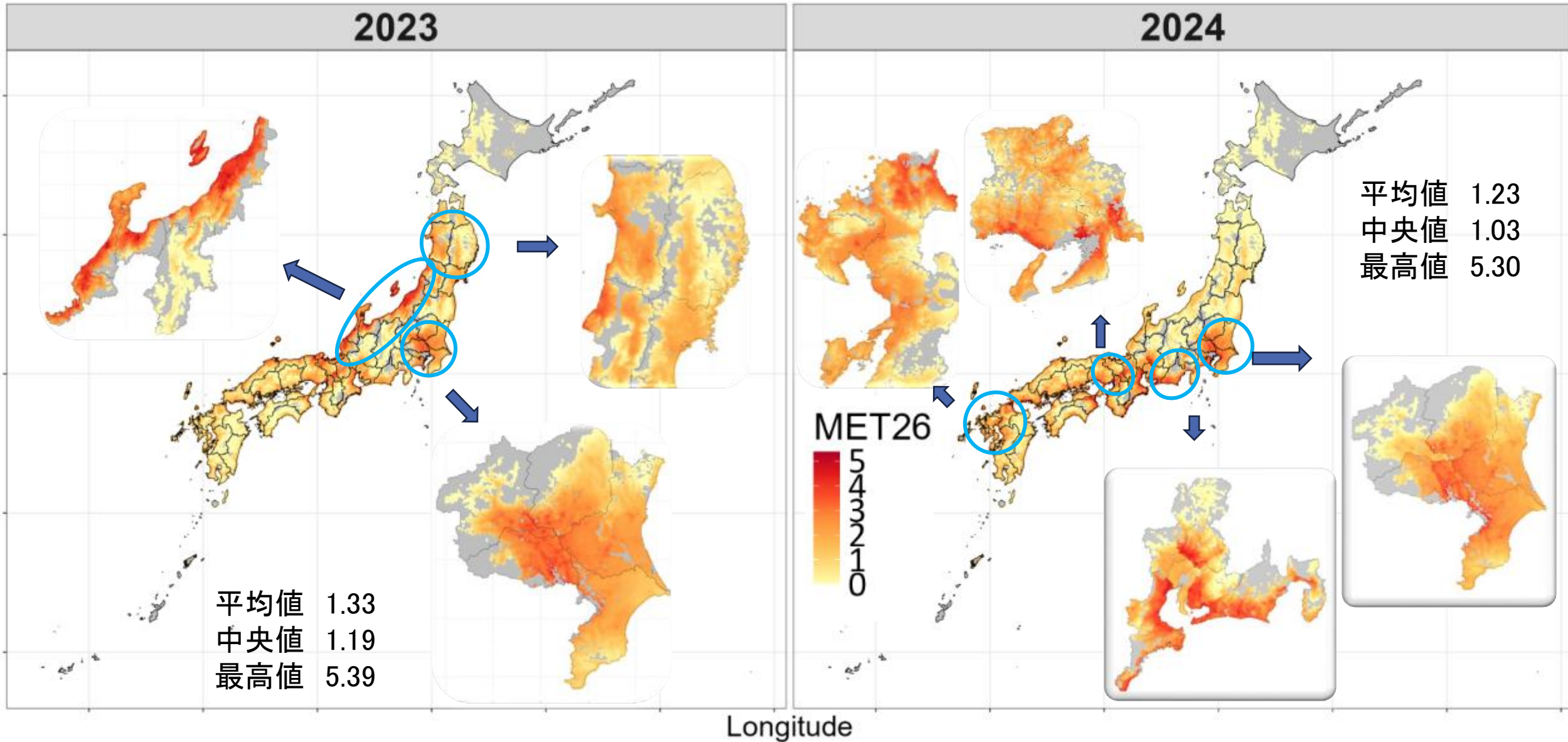
2023年は東北、北陸で最高値を観測

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。

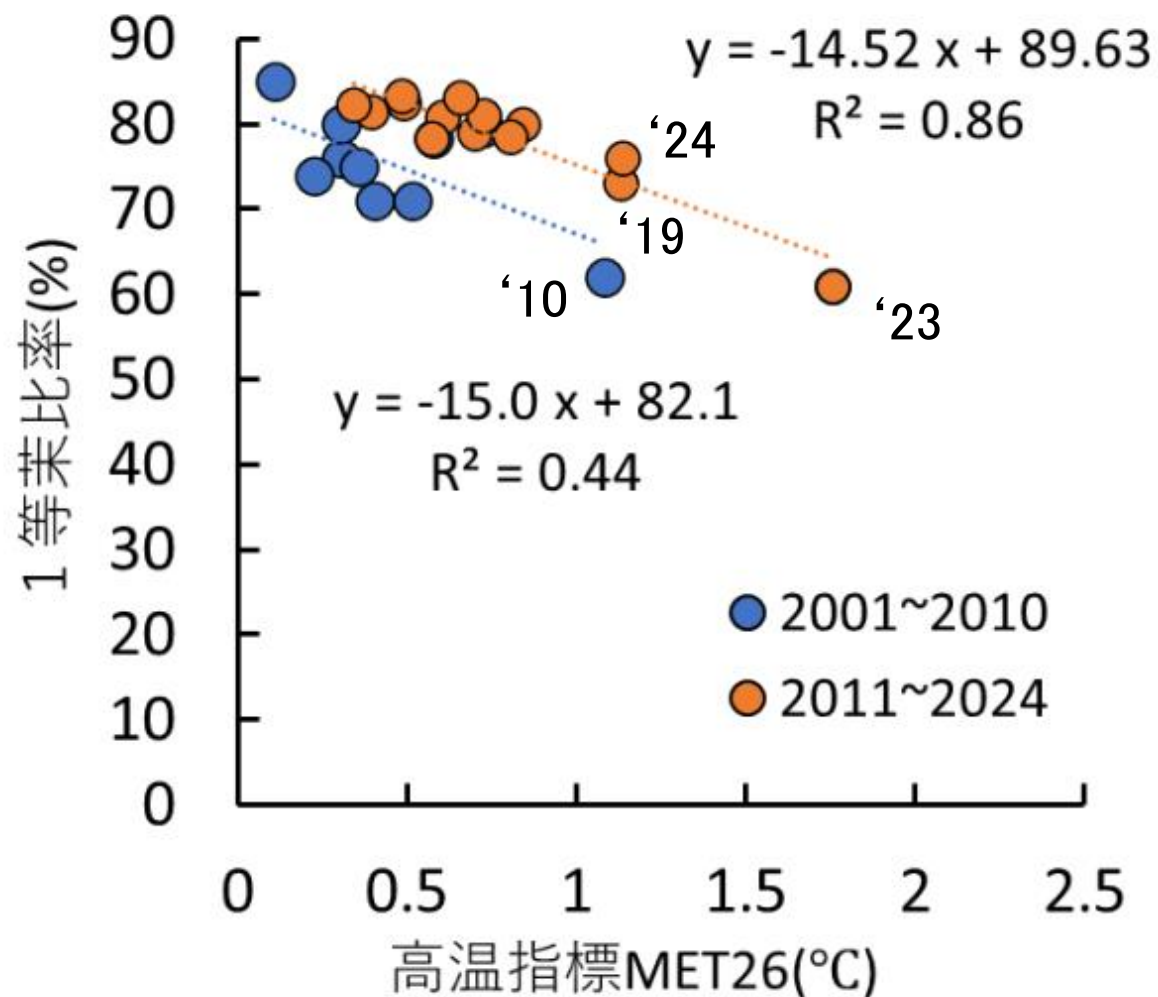
1キロメッシュで水田のあるグリッドを平均(Ishigooka et al., 2017)
出穂日は作柄表示地帯別出穂最盛期を基準
2024年は2023年の値を使用

2023、2024登熟登熟期間高温傾向(概算値)MET26(°C)



全国平均一等米比率と高温指標との関係(2001～2024年)

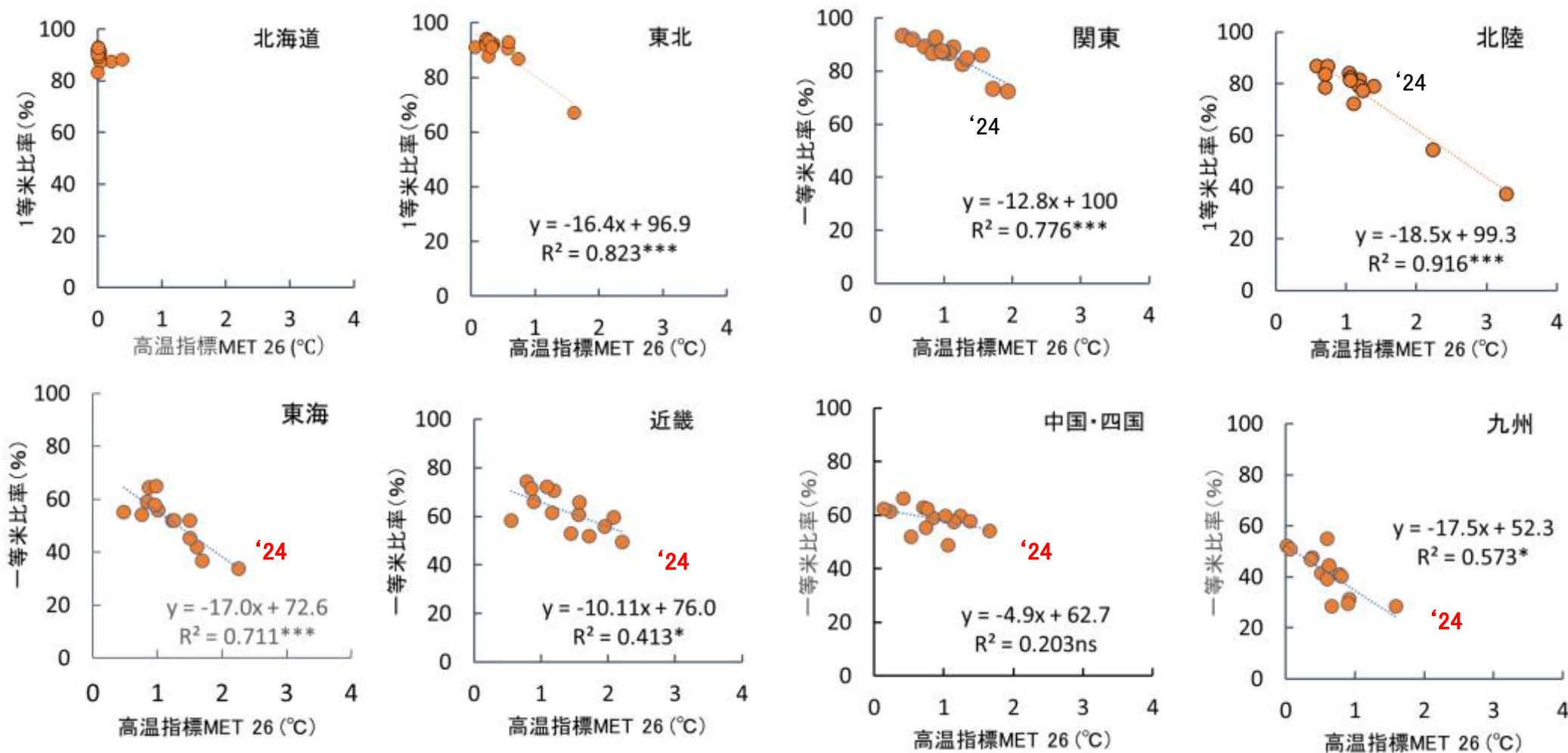
2024年の一等米比率は11月30日現在。



高温指標の集計では、各メッシュの水田率で重みづけしたデータから県平均を算出した。
さらに、全国平均を求める際には、県による生産量の違いを反映するために、各県の検査数量で重みづけした。

- MET26が1℃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、曝露に対する回帰線が変化
- 2024年は、重みづけした高温曝露が低く、全国的には大きな被害を回避

地域ごとにみた一等米比率と高温指標との関係(2011-2024年)

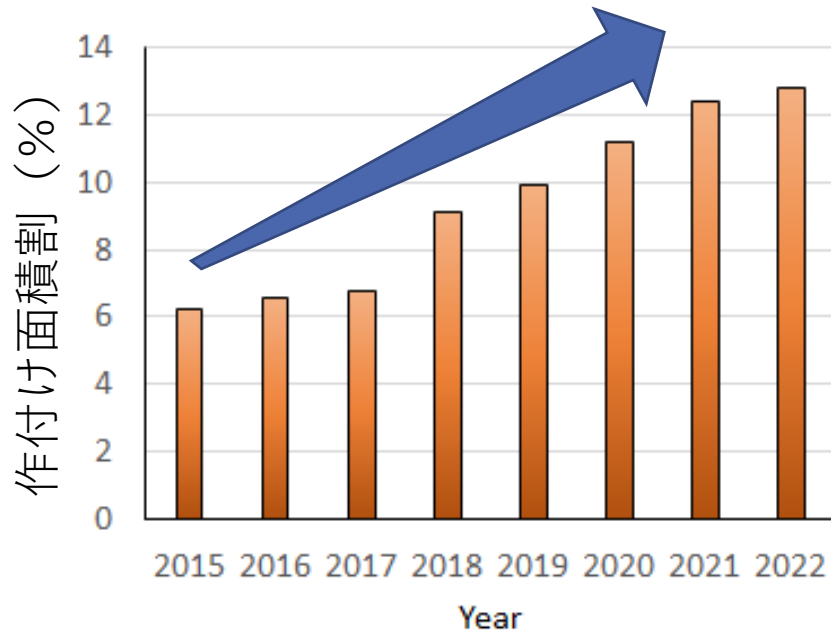


- 北海道、中国、四国以外で有意な負の関係
- 2024年は東海以西でMET26が最高値を観測
- これに伴い1等米比率も大きく低下

- 2024年は、世界および日本ともに観測史上最高気温を記録。産業革命以前に比べて初めて1.5℃以上を突破
- 2024年の日本の夏季は、2023年と同程度の記録的猛暑
- ただし、猛暑地帯は2023年が東北、関東、北陸に偏っていたのに対し、2024年は、関東、東海から西日本に分布。猛暑日は記録更新。
- 2024年の北海道、東北、北陸などの大生産地における高温暴露程度は、2023年に比べて小さかったため、全国的には一等米比率の大幅な低下は免れた
- 一方、関東以西（関東、東海、近畿、中四国、九州北部）の高温暴露は著しく、一等米比率は大幅に低下。関東農政局管内では、2年続けたの猛暑でその結果一等米比率も低迷した

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

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	胸の舞 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 水稲編」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

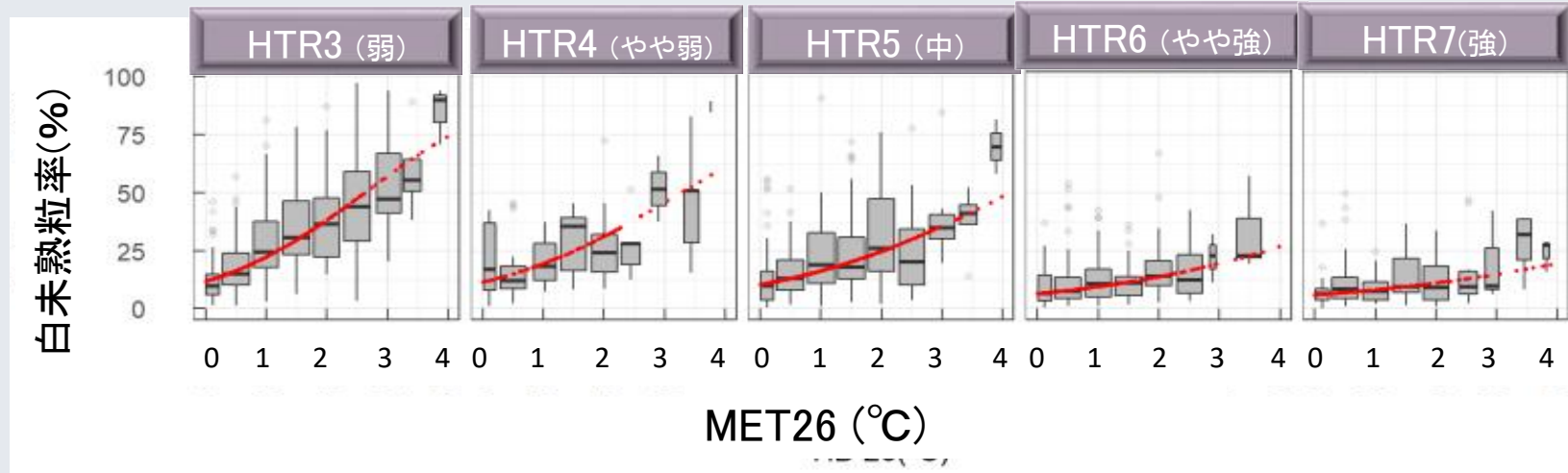
系統的レビューによるデータベース構築

44 試験地
33 県
n = 1302
48品種



メタ解析

モデル構築



高温耐性品種ランク別に温度・日射・湿度による品質低下をモデル化

$$\text{Logit}(\text{CG}_{ijk}) = B_1 \times \text{HTR}_i + B_2 \times \text{MET26}_i \times \text{HTR}_i + B_3 \text{SR} + B_4 \text{RH} + v_i + E_{ijk}$$

- $B_1 \sim B_4$ are fixed parameters
- $v_i + E_{ijk}$ are errors (random effects)

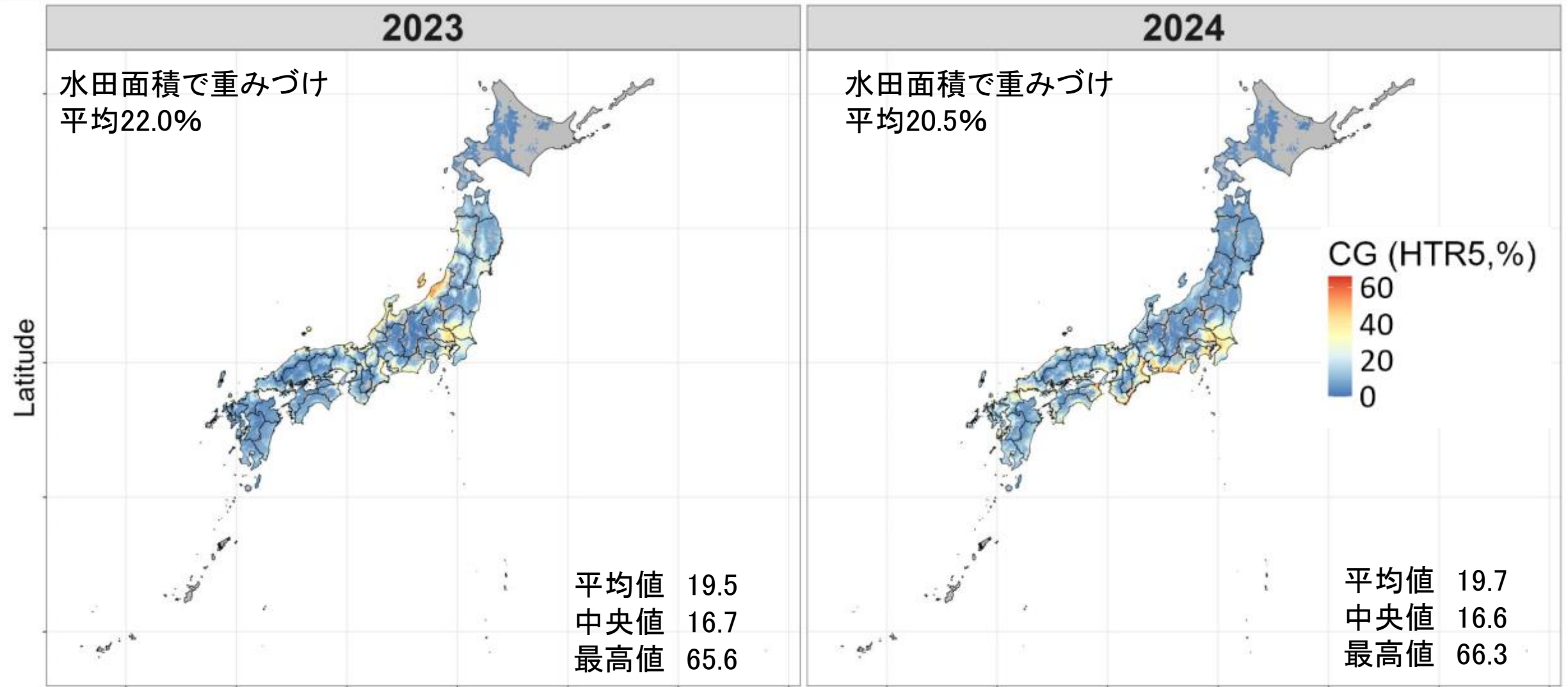
温度指標

日射

湿度

(Wakatsuki et al. 2024, Field Crops Research)

推定白未熟粒率(%)高温耐性“中”



* 1km メッシュの気象データを用いて推定（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

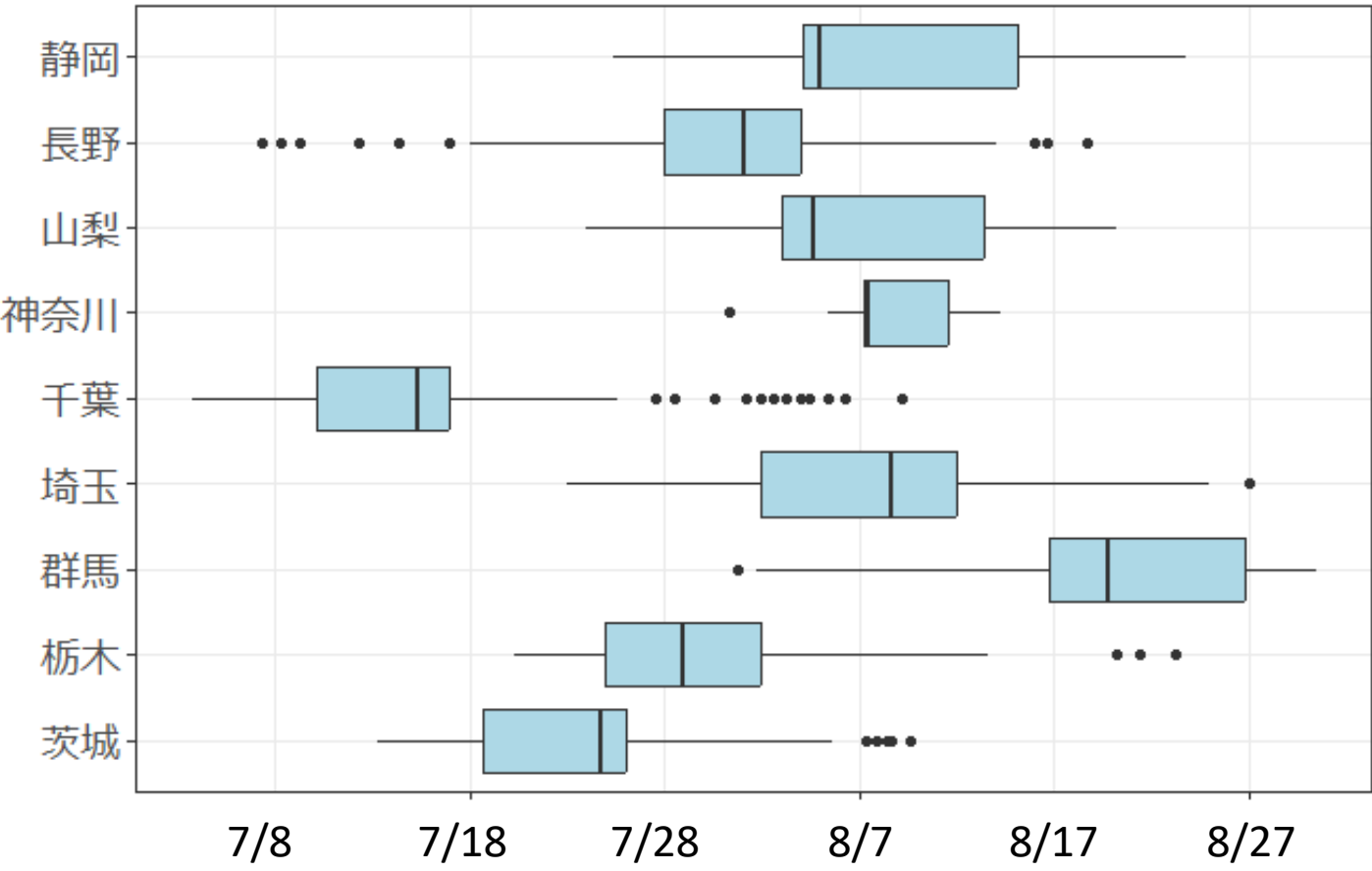
関東農政局管内 米の農産物検査結果解析

		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1km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	

品種一覽

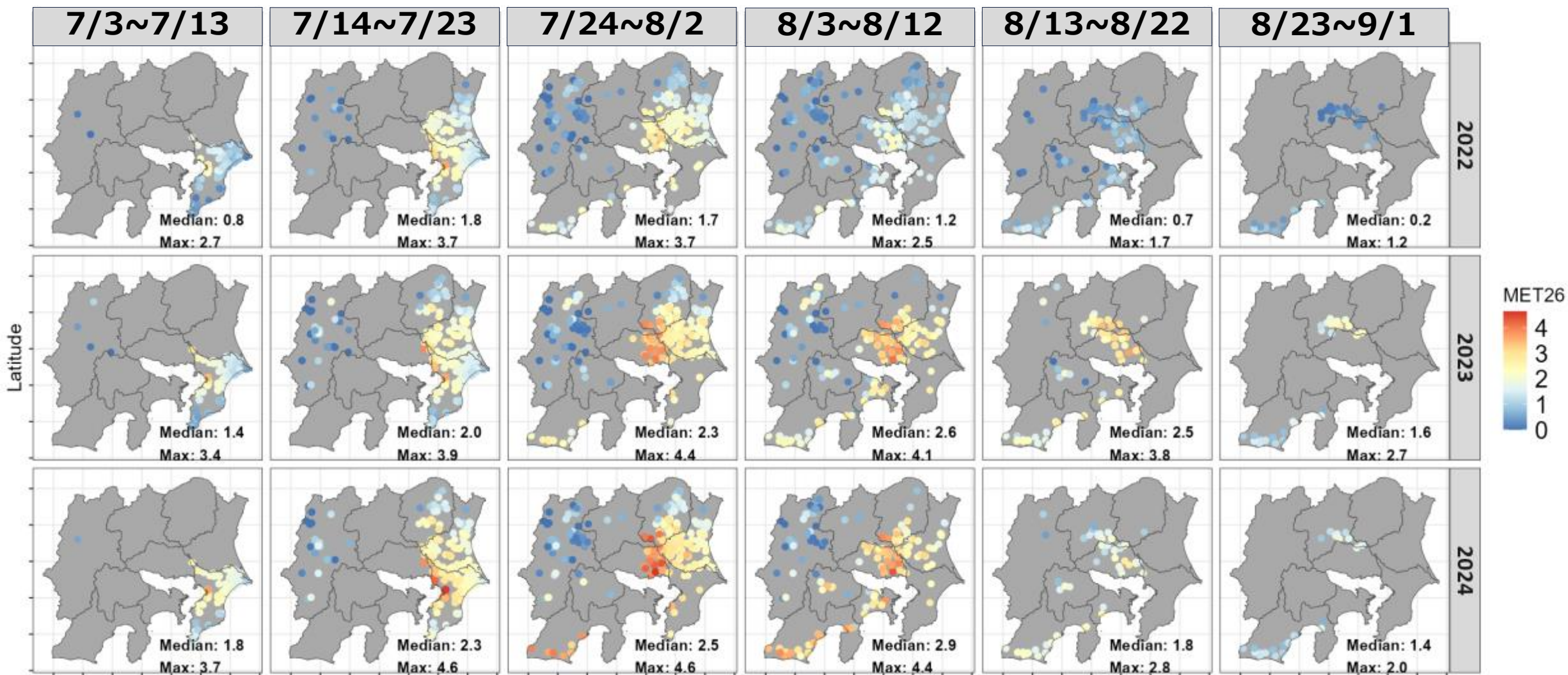
茨城			栃木			群馬			埼玉			千葉			神奈川			山梨			長野			静岡								
品種	検査数量 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク	品種	検査割合 (%)	耐性ランク						
コシヒカリ	28.2	5	コシヒカリ	41.8	5	あさひの夢	57.3	4	彩のかがやき	22.5	3	コシヒカリ	23.2	5	はるみ	74.6		コシヒカリ	63.9	5	コシヒカリ	40.5	5	コシヒカリ	33.2	5						
あきたこまち	16.7	5	とちぎの星	17.8	6	にじのきらめき	15.4	6	彩のきずな	20.0	6	ふさがね	23.1		てんこもり	11.9	6	ヒノヒカリ	11.6	3	あきたこまち	10.4	5	きぬむすめ	11.8	5						
にじのきらめき	11.0	6	あさひの夢	11.9	4	ゆめまつり	13.9		コシヒカリ	17.1	5	ふさおとめ	14.1	7	キヌヒカリ	6.5	4	あさひの夢	9.8	4	風さやか	10.2	5	にごまる	9.0	5						
とよめき	8.7		なすひかり	6.9		コシヒカリ	5.2	5	あきたこまち	11.9	5	あきたこまち	6.5	5	さとじまん	5.6	3	五百川	5.0		あきだわら	6.8		あいちのかおり	6.7							
ふくまる	5.5	6	大粒ダイヤ	6.5		ひとめぼれ	3.1	5	大粒ダイヤ	7.0		粒すけ	5.5		コシヒカリ	1.4	5	つや姫	3.0	6	つきあかり	5.7	6	みずほの輝き	6.2	5						
あさひの夢	5.4	4	ほしじるし	4.6	5	いなほっこり	2.1	5	キヌヒカリ	6.7	4	つきあかり	5.5	6	あきたこまち	0.0	5	ひとめぼれ	2.8	5	にじのきらめき	4.8	6	にじのきらめき	5.5	6						
ほしじるし	4.8	5	あきだわら	4.2		ゴロピカリ	1.5	3	あさひの夢	4.7	4	にじのきらめき	4.1	6				にじのきらめき	2.5	6	天竜乙女	4.2		大粒ダイヤ	5.0							
ミルクイー	3.4		にじのきらめき	3.8	6	朝の光	0.7		五百川	3.1		五百川	3.9					ミルクイー	1.4		ミルクイー	3.8		歓喜の風	4.2	5						
一番星	2.7	6	ミルクイー	1.1		ミルクイー	0.6		ミルクイー	1.6		萌えみのり	3.9	3							五百川	3.1		L G Cソフト	2.7							
チヨニシキ	2.2		ひとめぼれ	0.7	5	キヌヒカリ	0.2	4	日本晴	1.5	5	あきだわら	2.4								縁結び	2.6	6	ヒノヒカリ	2.3	3						
ひとめぼれ	1.8	5	ヒカリ新世紀	0.3		ミルキープリンセス	0.1		えみほころ	1.5	6	とよめき	2.4								きらりん	2.5		ミルクイー	2.0							
萌えみのり	1.5	3	にごまる	0.2	5				にごまる	1.0		ミルクイー	1.7								ひとめぼれ	2.2	5	なつしずか	1.9							
あきだわら	1.5		恋の予感	0.1	6				朝の光	0.6		ひとめぼれ	1.3	5							キヌヒカリ	1.7	4	ひとめぼれ	1.7	5						
ゆめひたち	1.4								和みリゾート	0.5		いただき	1.3								ゆめしなの			あさひの夢	1.6	4						
つきあかり	1.0	6							彩のみりのり	0.3		にごまる	0.8	5										キヌヒカリ	1.5	4						
姫ごのみ	0.9											恋の予感	0.2	6										はえぬき	0.7	5						
はるみ	0.7											ゆめかなえ	0.2											萌えみのり	0.6	3						
笑みの絆	0.6	7										ミルクーマー	0.1											姫ごのみ	0.6							
日本晴	0.6	5																						ミズホチカラ	0.6							
L G Cソフト	0.5																							ちほみのり	0.5	5						
キヌヒカリ	0.5	4																						あきたこまち	0.4	5						
はえぬき	0.5	5																						ほしじるし	0.3	5						
エルジーシー潤	0.1		注・青字のランクについてはデータ不足のため暫定値																													
華麗舞	0.1																							ササニシキ	0.2	3						
																								縁結び	0.2	6						
																								ミルキープリンセス	0.1							

県別出穂日分布

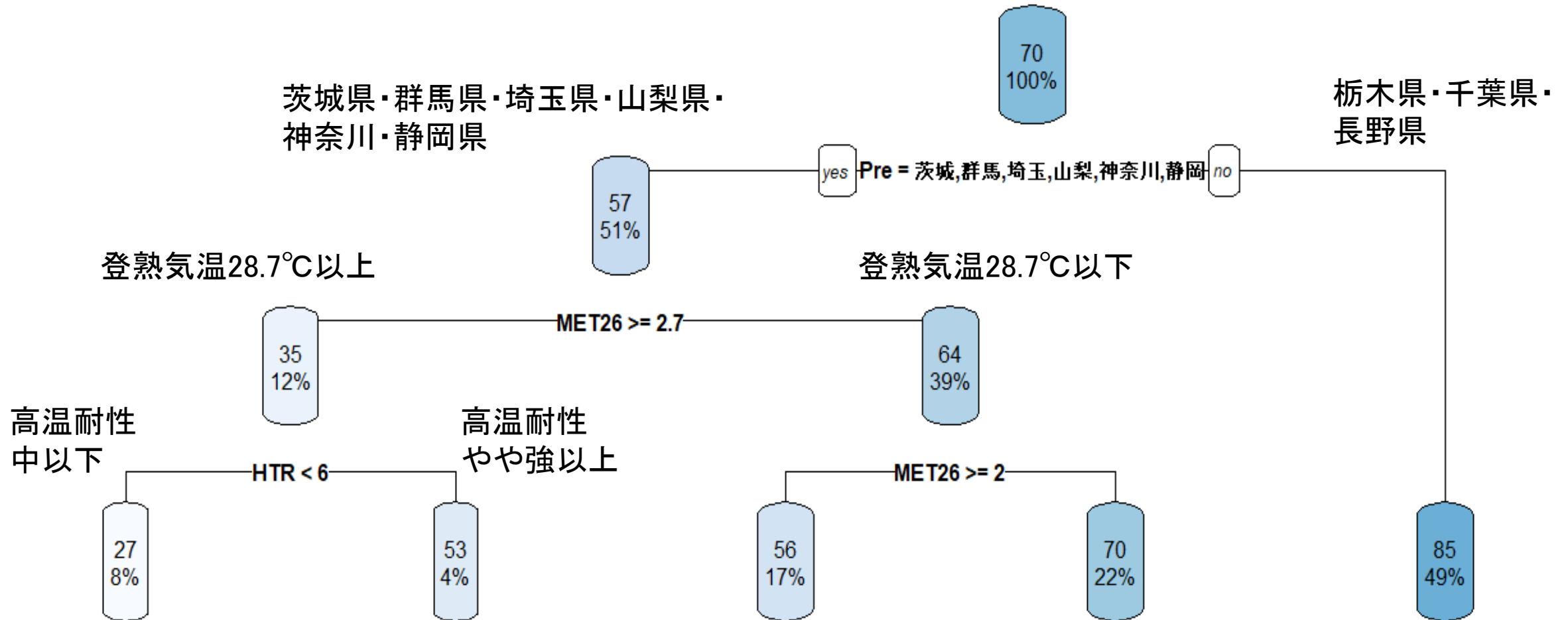


	最小	最大	平均	重みづけ 平均	中央値
静岡	7/25	8/23	8/9	8/8	8/5
長野	7/7	8/18	7/31	8/1	8/1
山梨	7/24	8/20	8/6	8/5	8/4
神奈川	7/31	8/14	8/8	8/8	8/7
千葉	7/3	8/9	7/13	7/14	7/15
埼玉	7/23	8/27	8/7	8/7	8/8
群馬	7/31	8/30	8/20	8/23	8/19
栃木	7/20	8/23	7/30	7/28	7/29
茨城	7/13	8/9	7/23	7/23	7/24

出穂期間別 MET26 (°C) 分布



全県・3か年の平均一等米比率



- 関東農政局管内のデータから
 - 高温暴露は地域・年次で大きく異なる
 - 気象条件の他、作型、品種によって出穂・登熟時期に依存
- 高温暴露が大きい(登熟気温が約29℃以上)地域は、一等米比率の低下が大きい
- さらに、品種の高温耐性レベルが「中」以下では、一等米比率が低くなる
- ただし、同様の高温暴露でかつ同じ高温耐性レベルでも、一等米比率には大きな幅がある＝管理などの影響も甚大＝基本技術の励行が重要