

近年の猛暑が水稻品質に及ぼした影響と対策技術

長谷川利拡(国際農研)

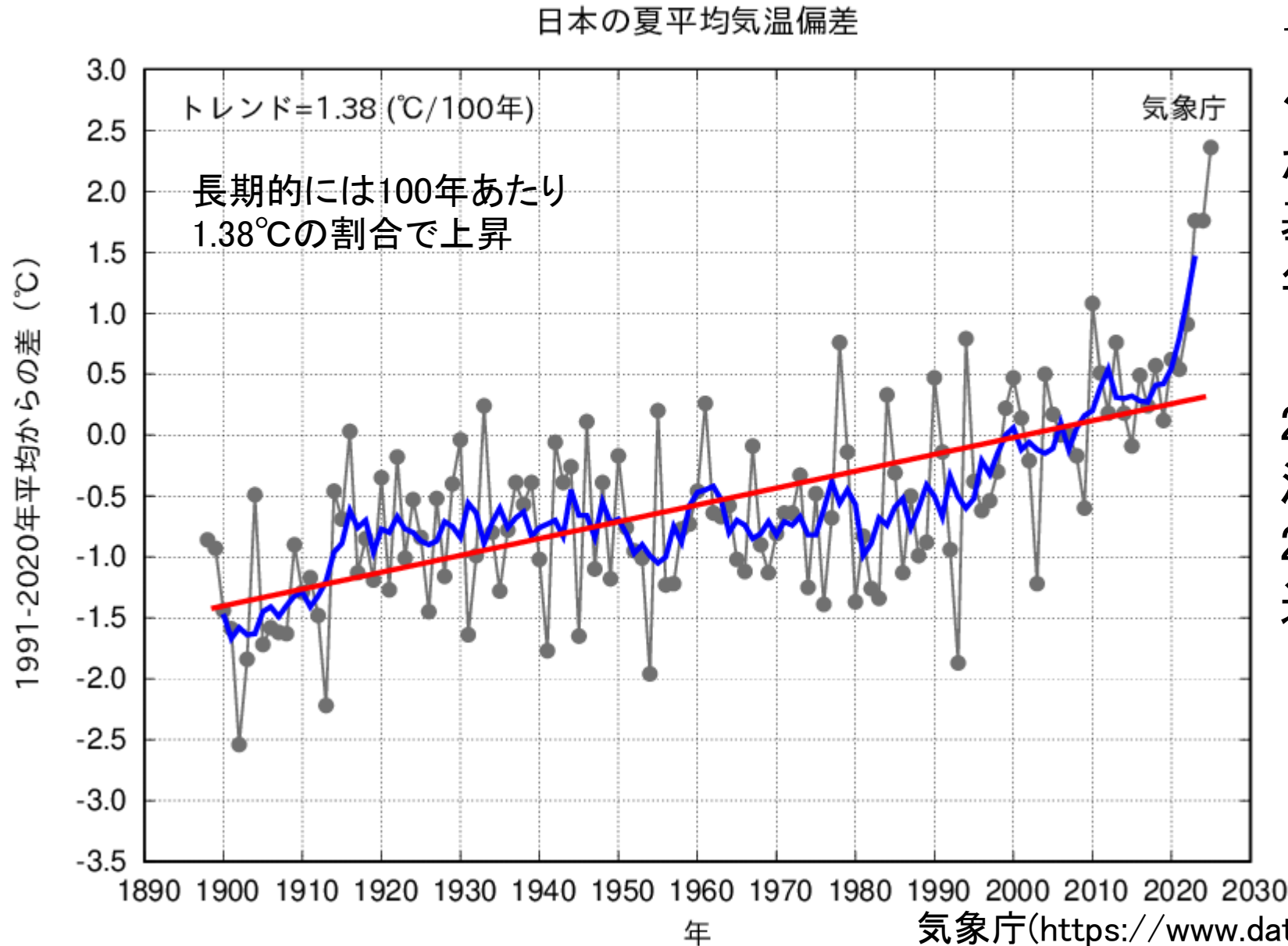
若月ひとみ・戸田悠介・吉本真由美・石郷岡康史(農研機構農環研)

＜資料の取り扱いについて＞ 資料の複製・転載はご遠慮ください。

本日の内容

1. 近年の温暖化傾向
2. 高温不稔に関わる温度指標
3. 高温登熟障害(白未熟粒)に関わる温度指標と品質
4. 高温耐性品種の導入効果
5. 品種以外の要因に関する考察
6. まとめ

1. 近年の温暖化傾向：日本の夏季気温の長期トレンド



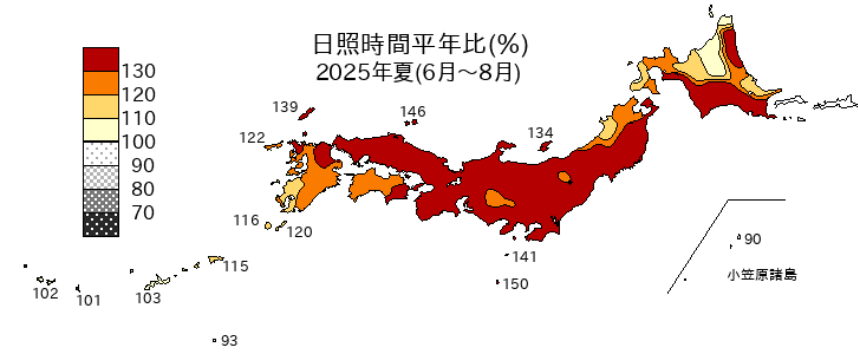
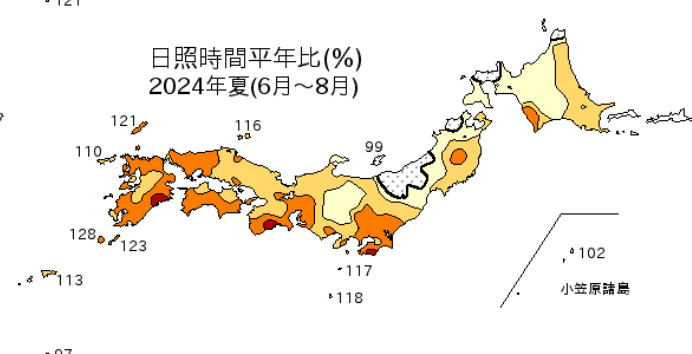
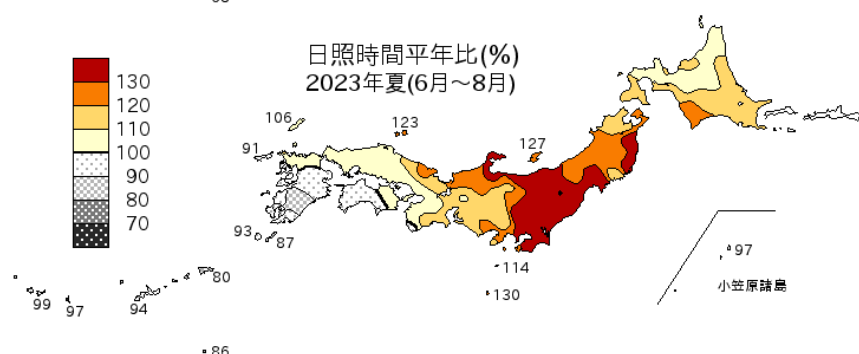
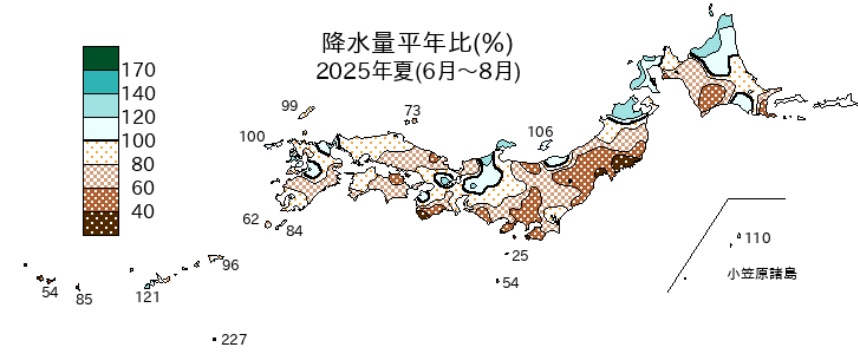
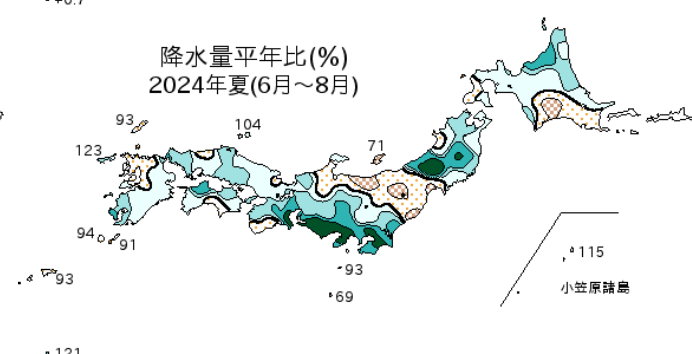
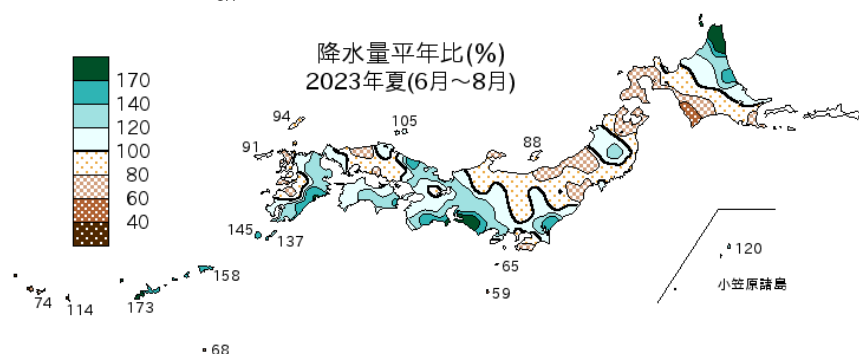
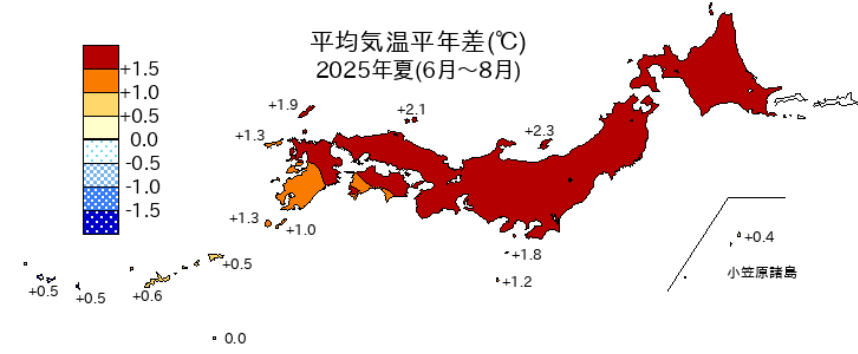
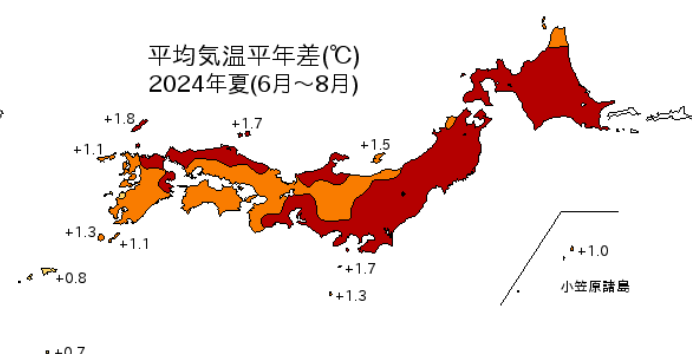
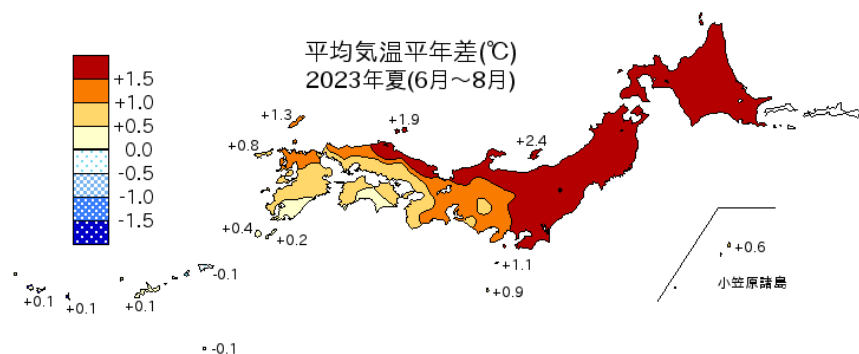
1898年から2025年夏季(6月～8月)の平均気温の基準値からの偏差(°C)
基準値は1991-2020年の30年平均値

2024年夏(6～8月)の気温偏差は+1.76°C。
2025年は、+2.36°Cで過去最高を観測

2023年夏

2024年夏

2025年夏



降水量が北・東日本で少ない
日照時間が3か年の中でもかなり多い

水稻で問題となる高温ストレス

受精障害による不稔粒の増加

今後懸念される障害



出穂・開花・受精

子実の充実

登熟障害による白未熟粒の増加

すでに現れ始めている高温障害

乳白粒



基部
未熟粒



腹白
未熟粒



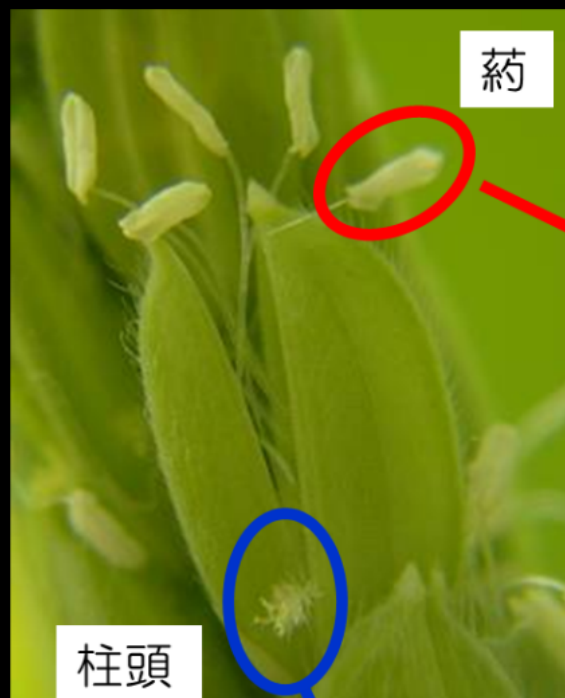
背白粒



農林水産省ホームページより

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

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)。

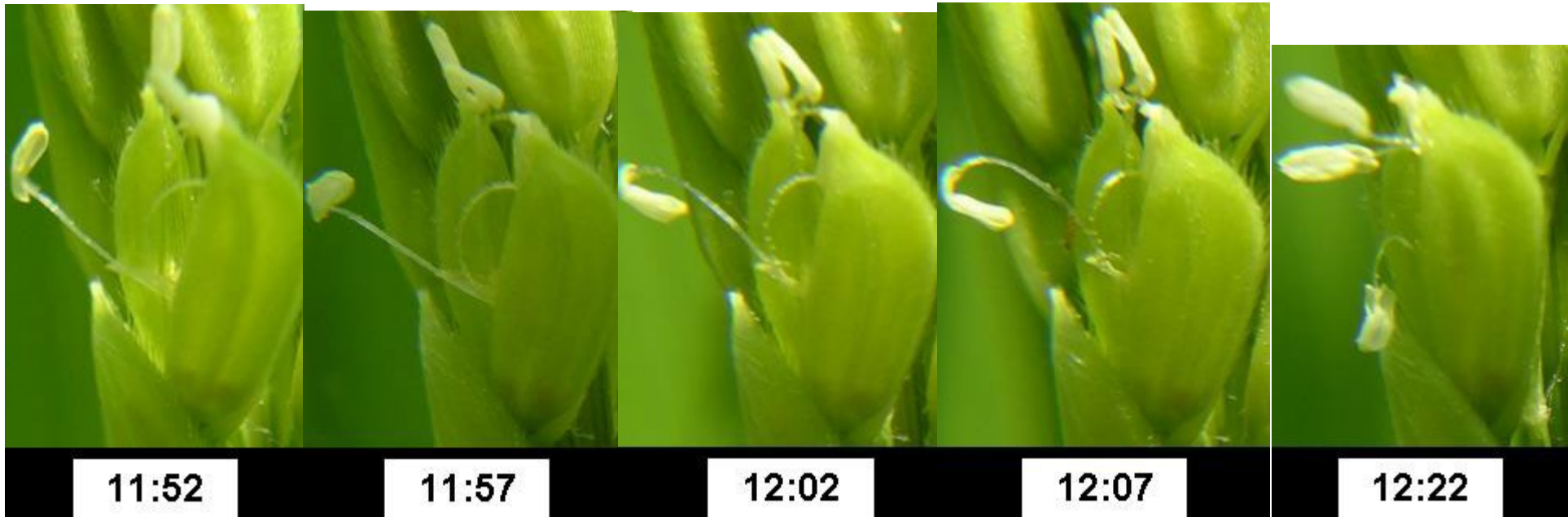
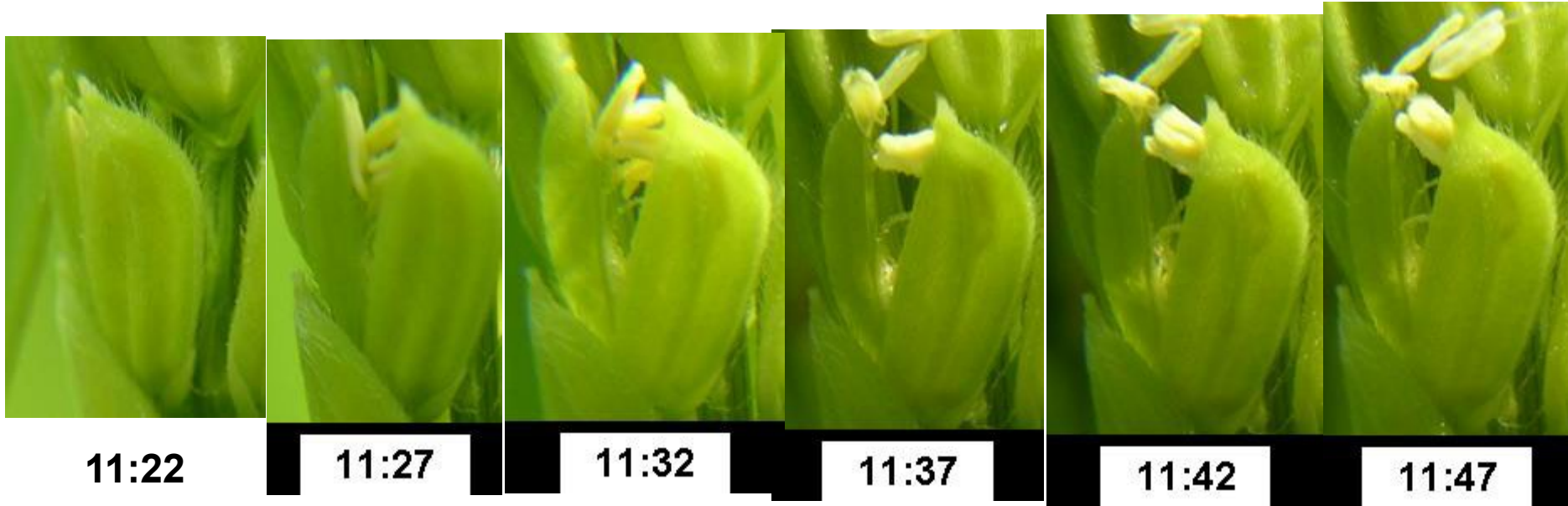


不稔の発生

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

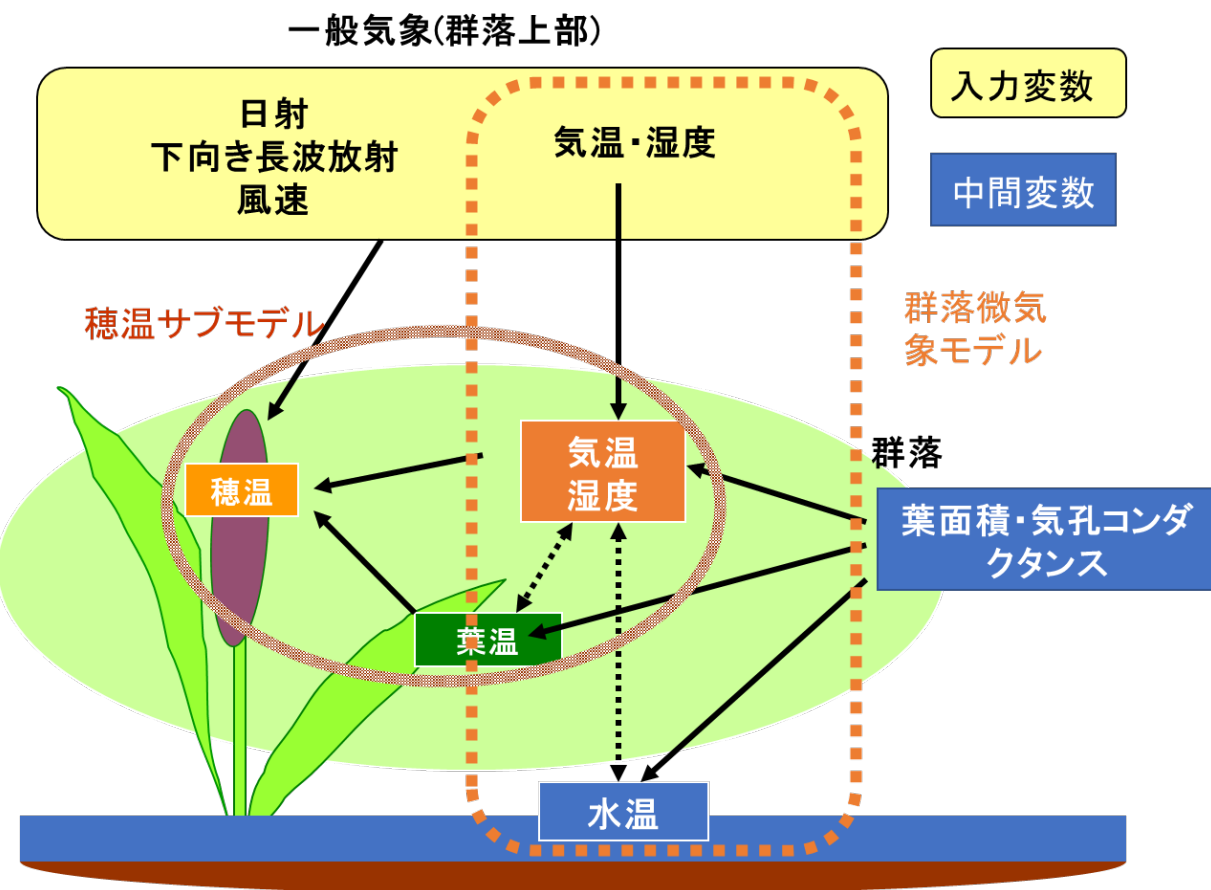
イネの開花

イネの
開花・
受精は
短時間
で完了



2. 高温不稔に関わる温度指標

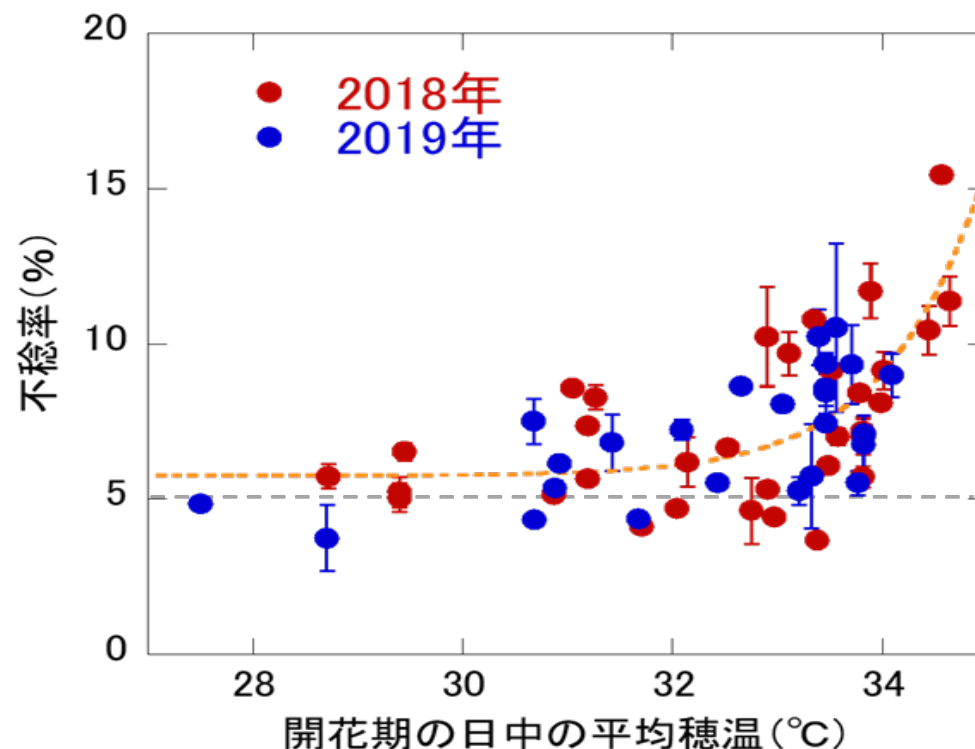
IM²PACT (Integrated Micrometeorology Model for Panicle And Canopy Temperature)による穂温推定



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.

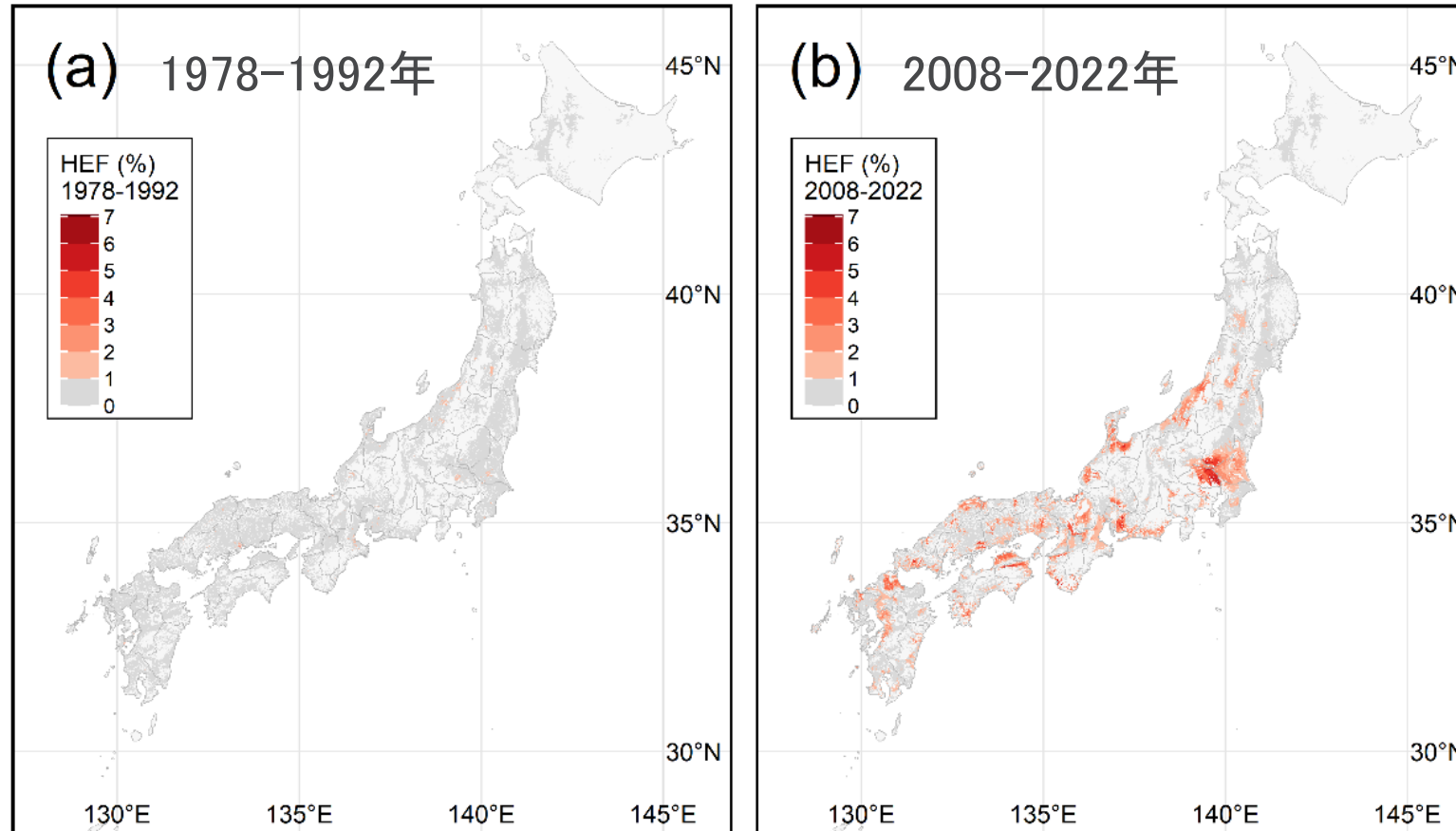


圃場条件における調査から推定穂温が33°C以上になると不稔が増加(品種、コシヒカリ)

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

開花期頃の推定穂温が 33°C を超えた1kmメッシュの出現頻度(HEF)



HEF (%)は、出穂前後に推定穂温が 33°C を超えた日の割合

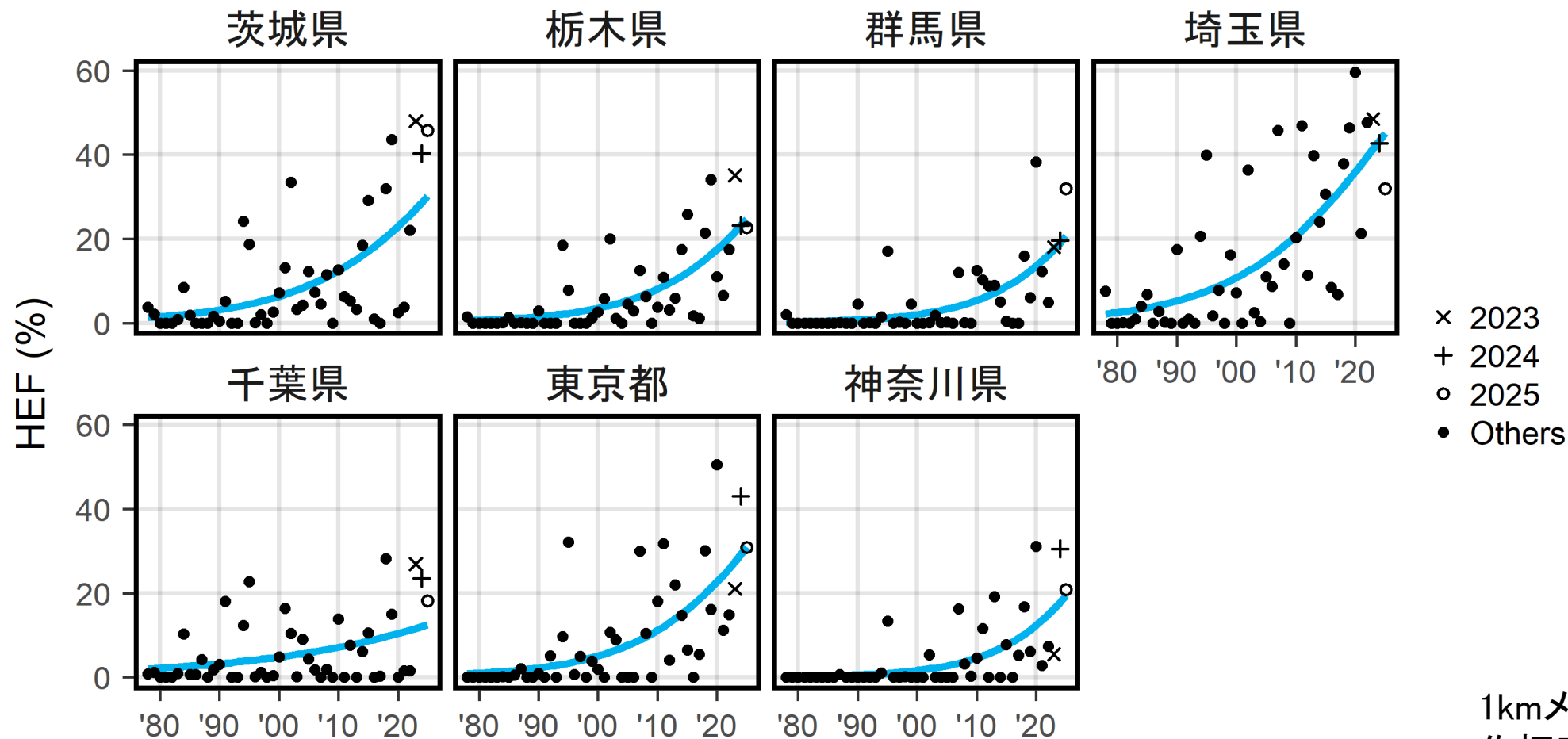
作柄表示地帯の出穂盛期 ± 1 週間を対象に計算

・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

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>

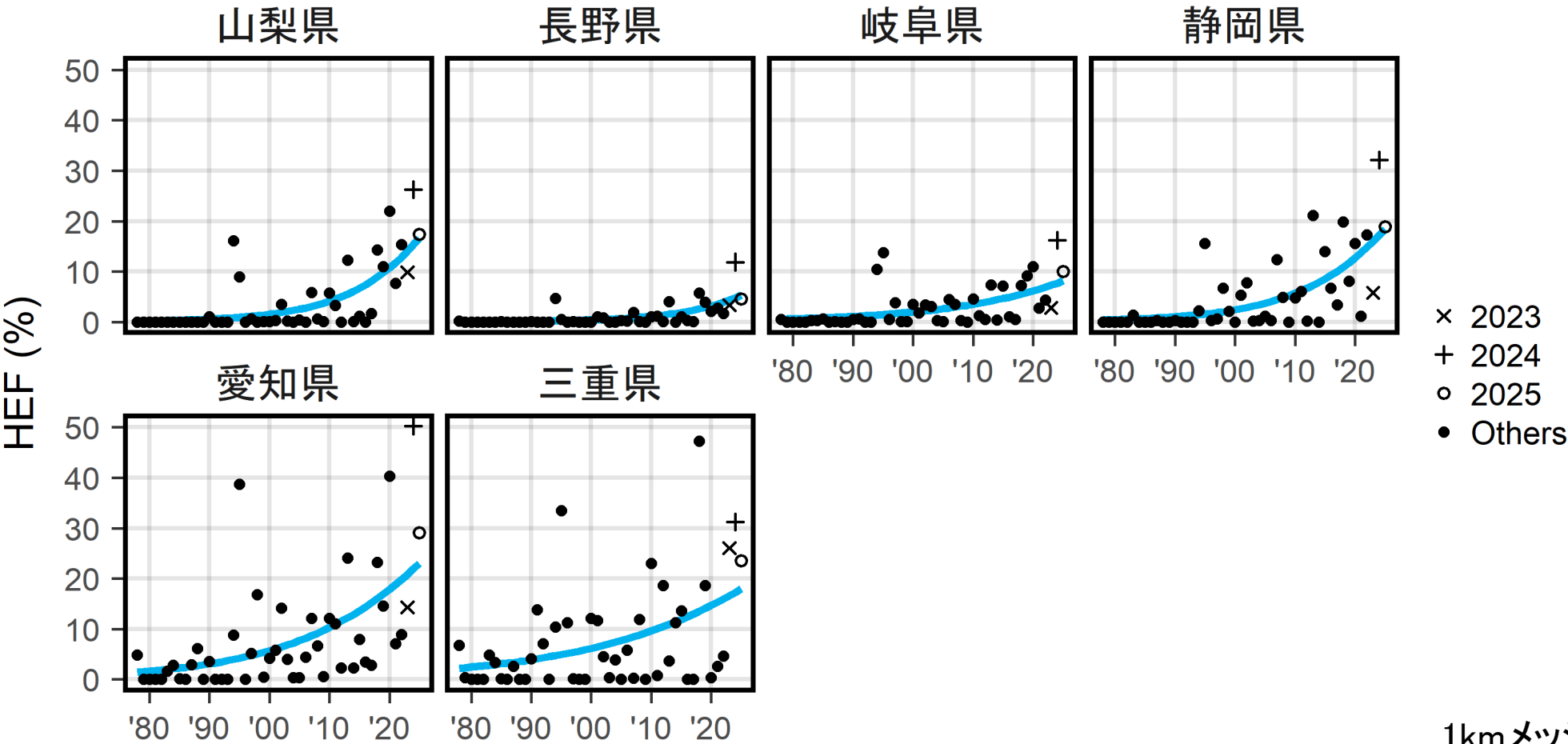
推定穂温33℃以上の出現頻度 (Heat exposure frequency, HEF)の推移



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
頻度を算出した。

Toda et al. (2024) J. Agric. Meteorol.に2024-2025年のデータを追加

推定穂温33℃以上の出現頻度 (Heat exposure frequency, HEF)の推移



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
頻度を算出した。

Toda et al. (2024) J. Agric. Meteorol.に2024-2025年のデータを追加

3. 高温登熟障害(白未熟粒)に関わる高温指標

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

乳白粒



基部
未熟粒



腹白
未熟粒



背白粒

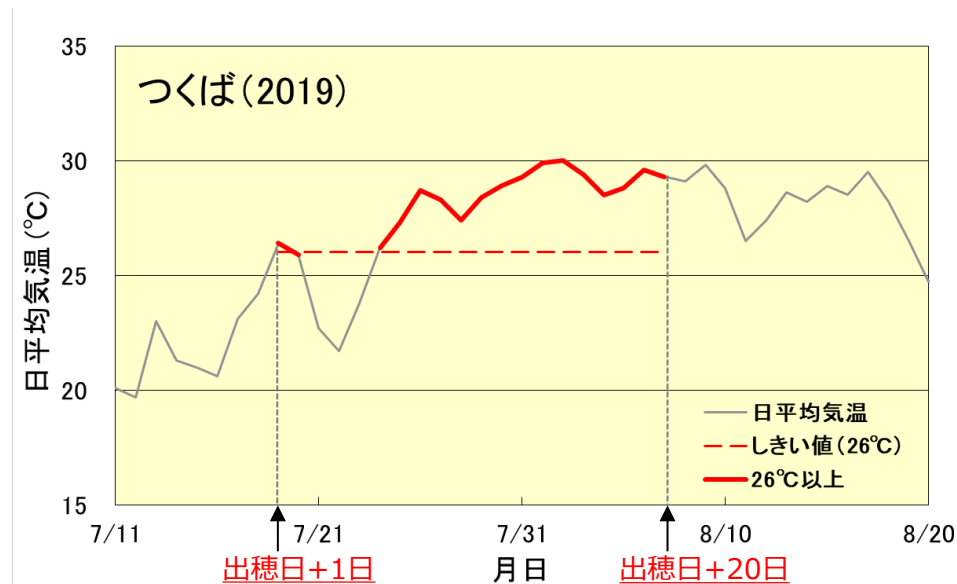


高温指標MET26(平均超過温度)

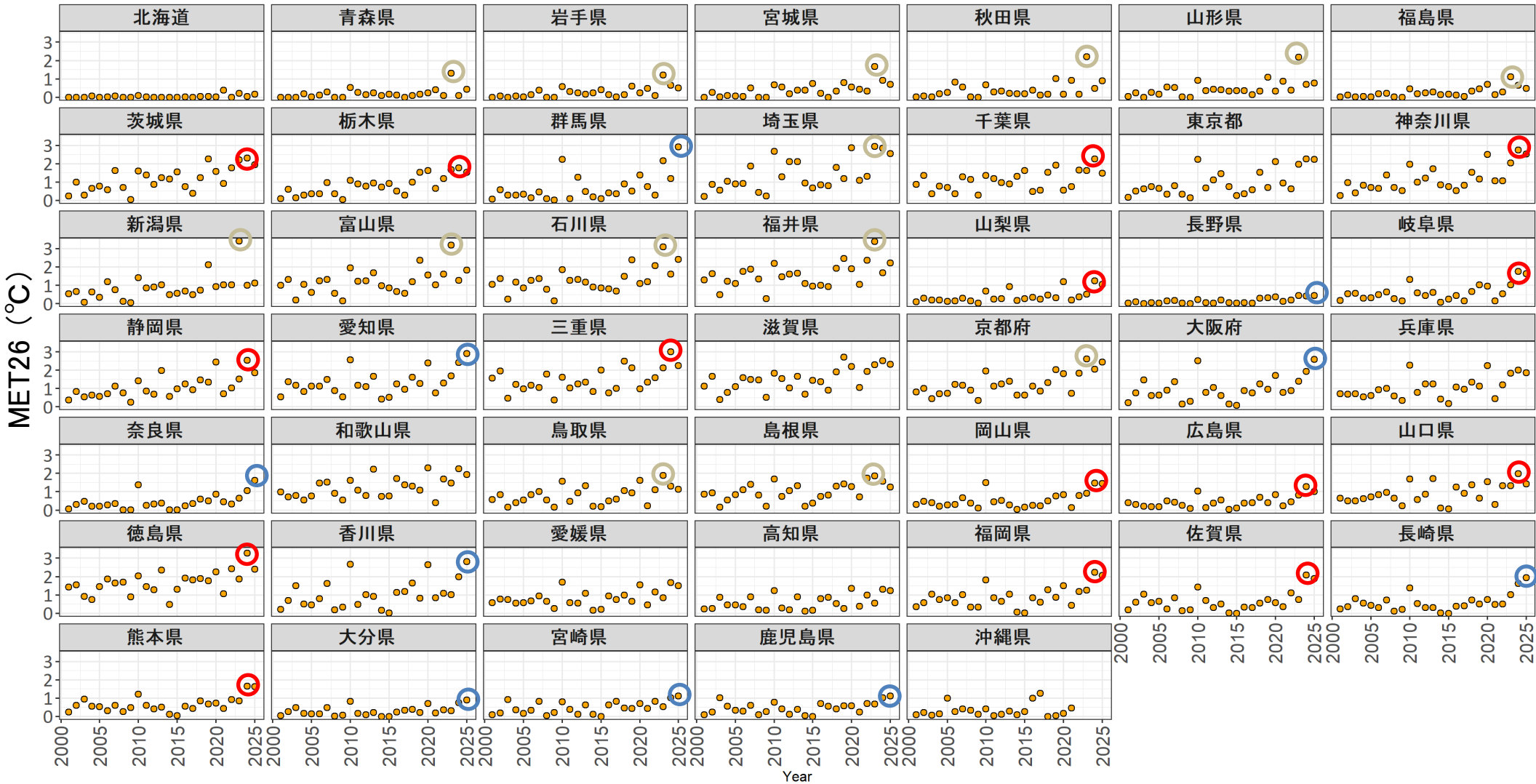
$$\text{MET26} = 1/20 \sum (T - T_{\text{base}}) \quad T > T_{\text{base}}$$

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

(出穂～20日間の積算値を20で割った数値)



2001～2025年の出穂後20日間の26℃以上積算気温



全国的にMET26は増加

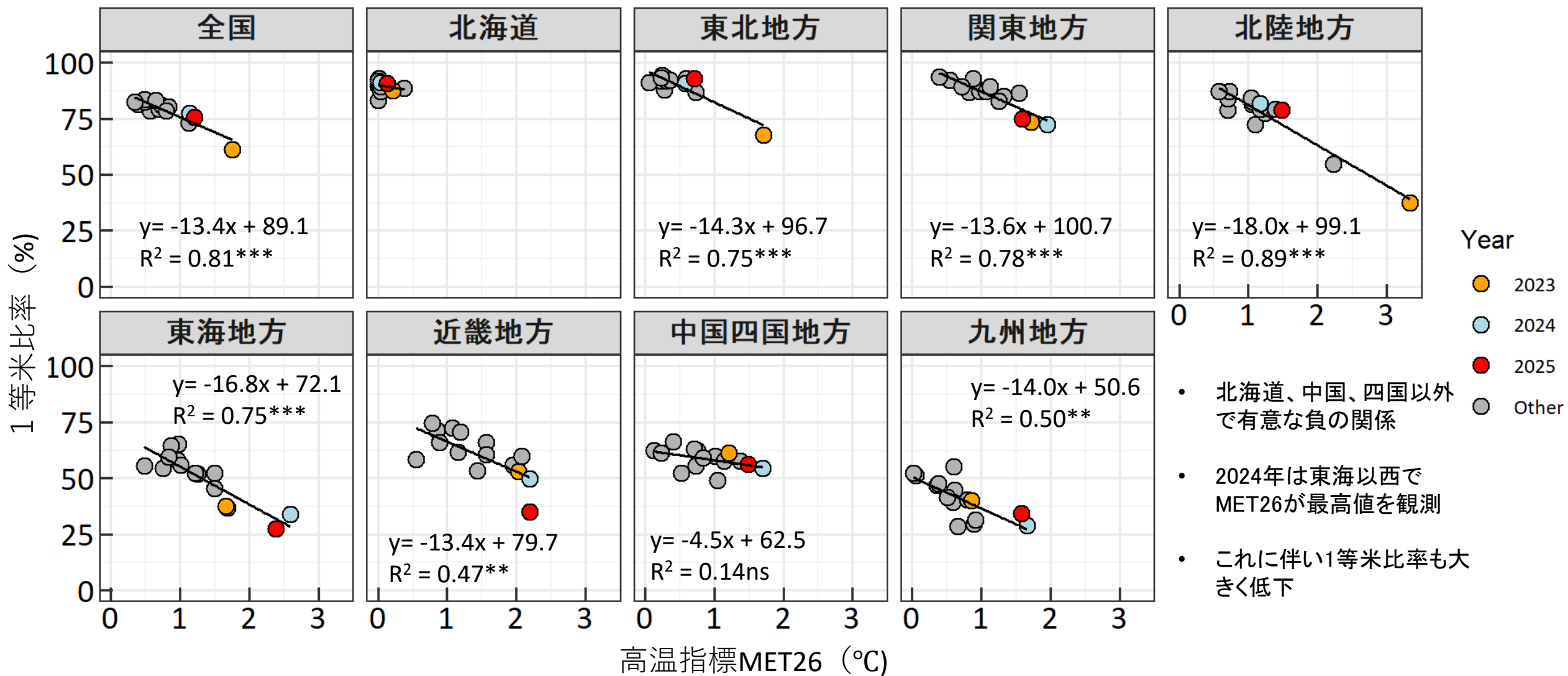
2023年は東北、北陸で最高値を観測

2024年は、関東、東海、中国、四国、九州で最高値。

○は、2023年、○は、2024年、○は2025年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:Hasegawa et al., 2025 https://doi.org/10.1007/978-981-96-2436-2_4にデータを追加

地域ごとにみた1等米比率と高温指標との関係(2011-2025年)



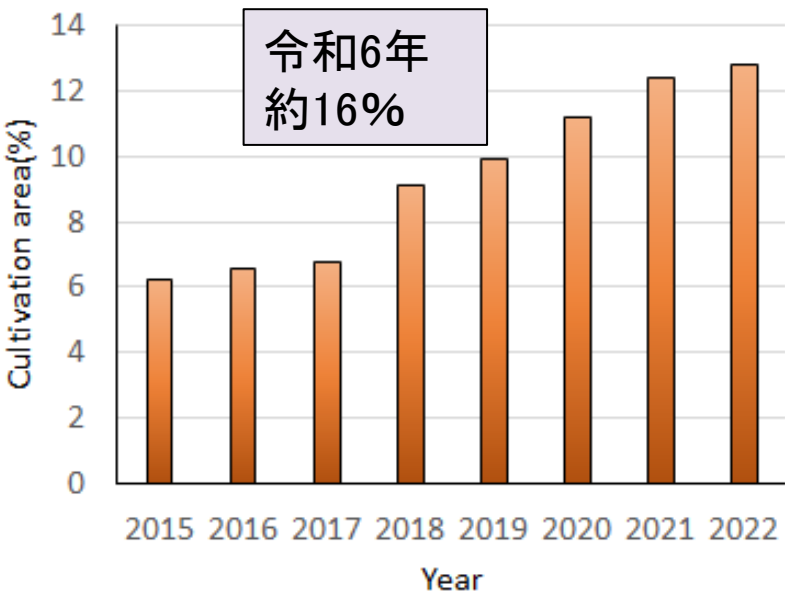
4. 高温耐性(登熟性)品種の導入効果

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 ころもまち	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		コシヒカリ	

(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。)

高温耐性品種作付けの広がり



地球温暖化影響調査レポートより

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

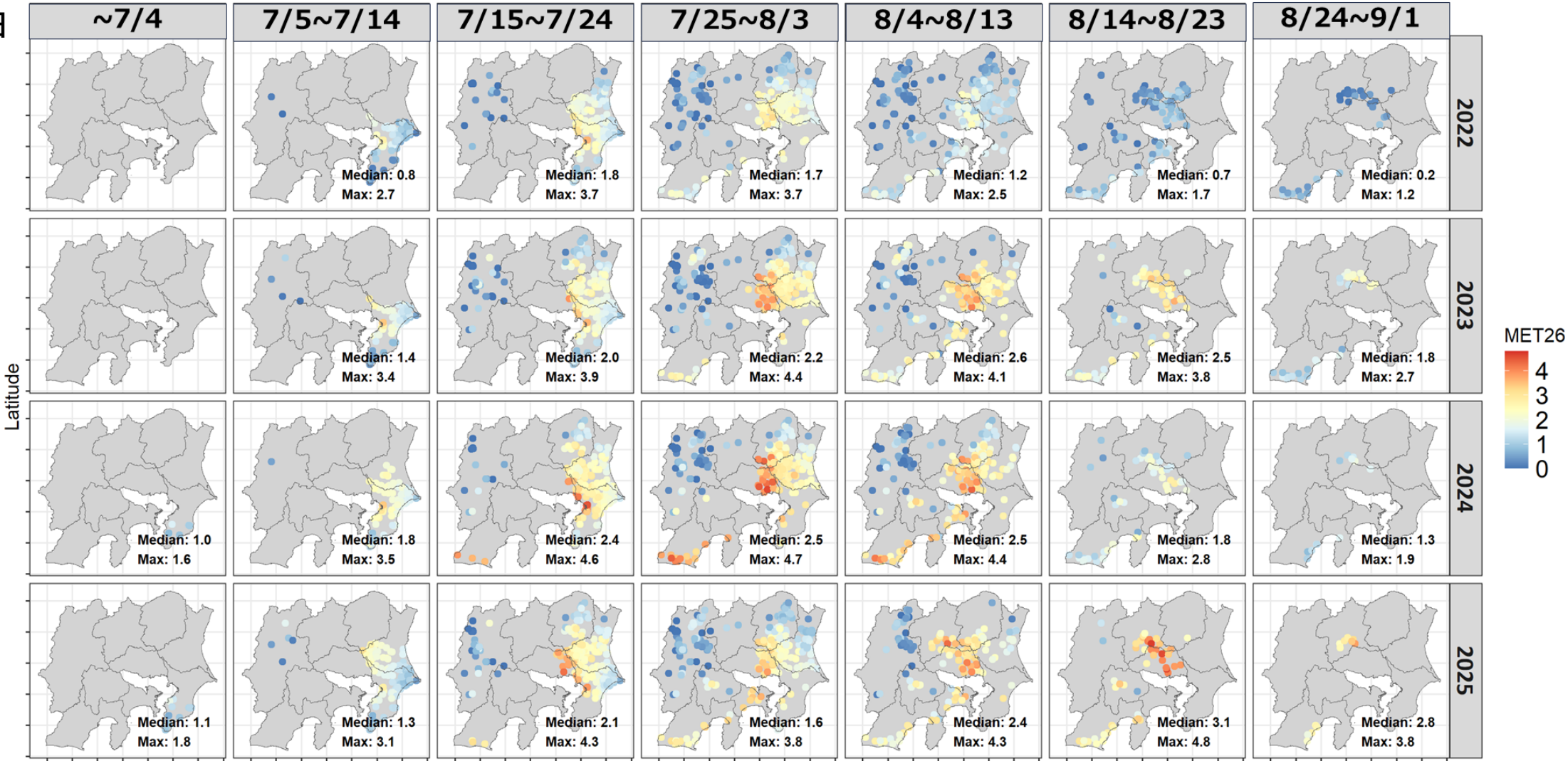
農研機構2017年研究成果情報「北海道を除く全国の水稲高温登熟性標準品種の選定(https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/nics/2017/17_038.html)を農林水産省「農業生産における気候変動適応ガイド 水稻編」で改変(<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-131.pdf>)

関東農政局管内：米の農産物検査データ概要

		備考
年次	2022～2025(4か年)	
地点情報	9県 394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	

2022～2025年の時期別推定MET26（℃）の分布

出穂日

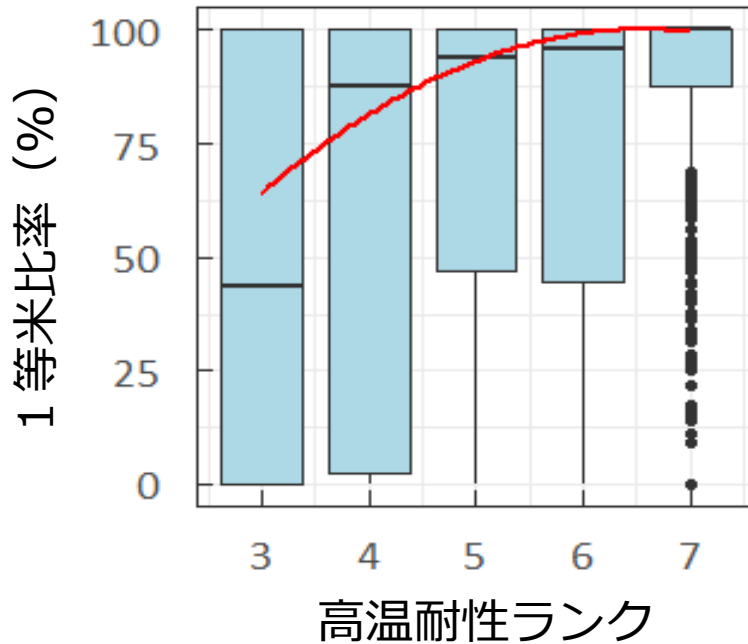


2025年は、7月中旬、8月中旬に出穂した品種・地域でMET26が大きい傾向

品種一覽(2022-2024年)

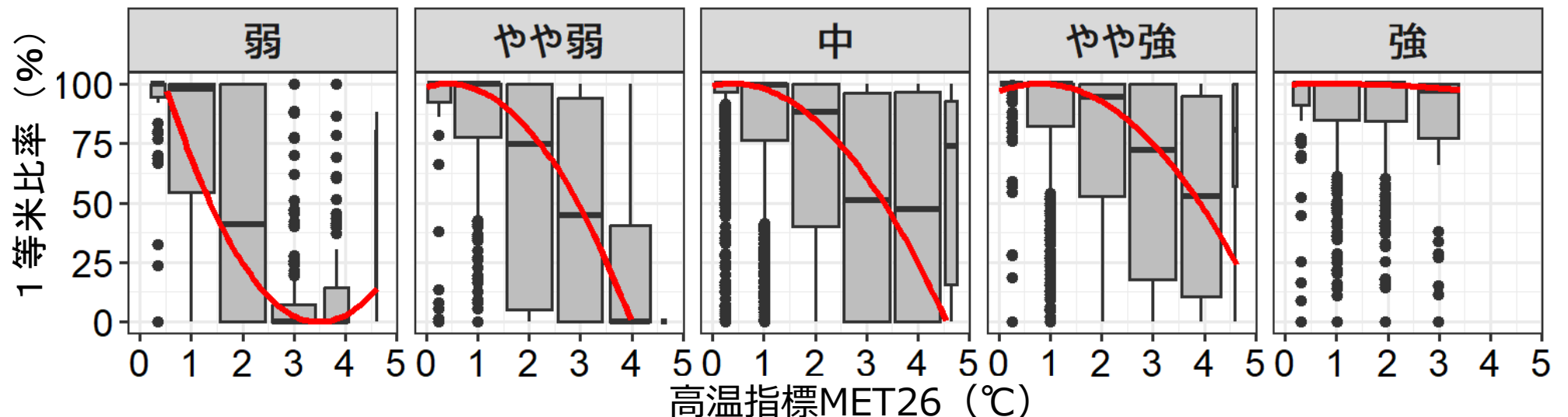
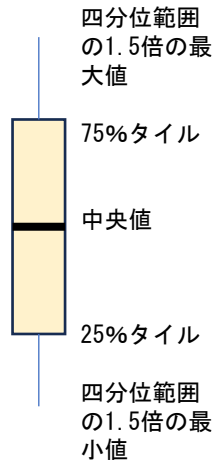
[illegible]

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(2022~2025年)



- 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。

赤字の線 = 50%分位点回帰線



6. まとめ

- 水稻の高温不稔については、近年、発生閾値を超える高温が出現している。現段階では大きな減収は報告されていないが、対策技術を準備する必要がある。
- 高温登熟障害（白未熟粒の発生）を引き起こす高温指標（MET26）は、2000年以降ほぼ全国的に直線的に増加しており、北海道以外で、1等米比率低下の重要な要因となっている。
- 高温耐性品種の導入は高品質米の確保に有効であるが、過去3か年の猛暑では、MET26が2℃を越える地点が多発し、「やや強」でも1等米比率の低下を避けることが難しい。
- 同様の高温暴露でかつ同じ高温耐性レベルでも、1等米比率には大きな幅がある。土壌・窒素管理などの影響も甚大＝基本技術の励行が重要

ご質問1

高温の影響とそのメカニズムに関するご質問

- 近年の高温による、水稻の不稔もみの増加、未熟粒の増加等、高温障害に一番影響がある時期は「幼穂形成期～出穂前」、「出穂期」、「登熟期」等であると考えられるか。
- 出穂期の平均風速が高温障害に影響しているかどうか。
- 今後さらに猛暑がひどくなっていった場合、どのような影響が起こりうると考えられるか。

水管理に関するご質問

- 浅水管理の方が水温が下がるのが早いと思うが、高温障害対策としてどうか。
- 有効的な水管理の方法とは。
- 中干、間断灌水管理と水張のままの管理で品質影響はあるもののでしょうか。

ご質問2

その他の栽培管理技術に関するご質問

- 登熟期の異常な高温条件が当たり前の環境になる中で、収量や品質向上へに期待のできる導入しやすい技術は。
- 高温により、肥料の効きが短くなったと聞くと、この場合、今後、追肥が必要となるのか。また、暑いことが肥料の効きに対して影響があるのはなぜか。
- 畦畔の草刈りと収穫後では色彩選別機にかけるということが大事かと思います。特に今 畦畔の草刈りを怠る農家さんが多くて困っております。
- 高温耐性品種への切り替えを進めるにあたって、農家が直面する一番のハードルは何か(品質や収量等で具体的に)。

ご質問3

その他のご質問

- 高温によりくさび状の黒点粒が発生することがあるそうですが、アザミウマやイネシンガレセンチュウとの見分け方などありますでしょうか。
- 近年、日本では夏期の高温(猛暑)で水稻作へ影響があり、高温耐性品種の導入が進められているところですが、海外のコメ主産国(中国、インドのほか、中粒種を主に作付している米国加州や豪州(南半球))についても、日本と同様に高温により高温耐性品種の開発やその品種への作付変更が行われているのでしょうか。