農研機構

水稲の高温障害発生とその対応策について

農研機構 農業環境研究部門
気候変動適応策研究領域長　西森基貴
（土地利用型作物研究コンソーシアム代表）

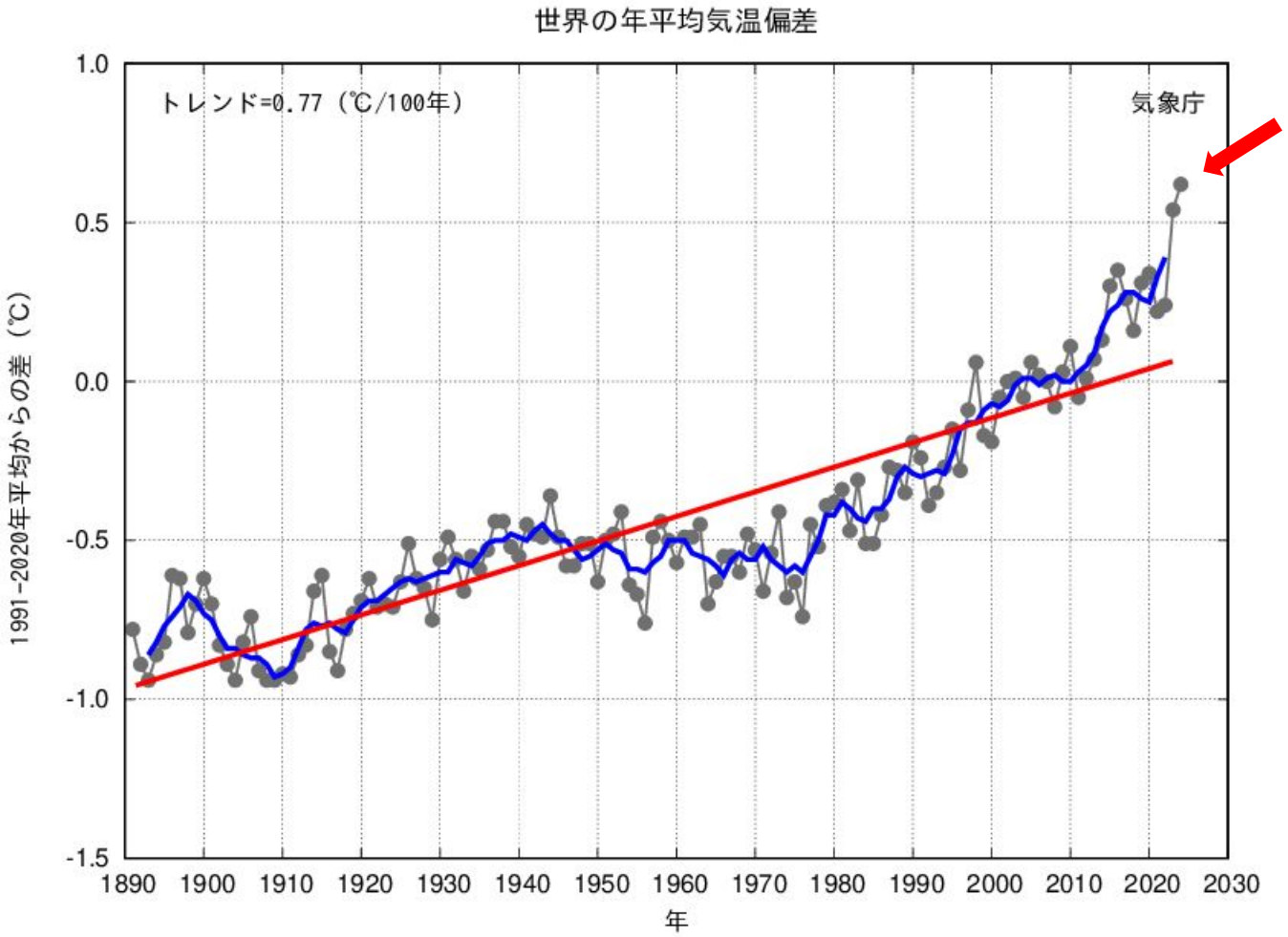
気候変動対応技術開発プラットフォーム：
長谷川利拡プロデューサー
協力者：吉本真由美、滝本貴弘、桑形恒男、若月ひとみ、ほか

NARO

①背景：気候変動 (温暖化)が進行しています

世界の気温（1850-1900年平均からの偏差）：気象庁

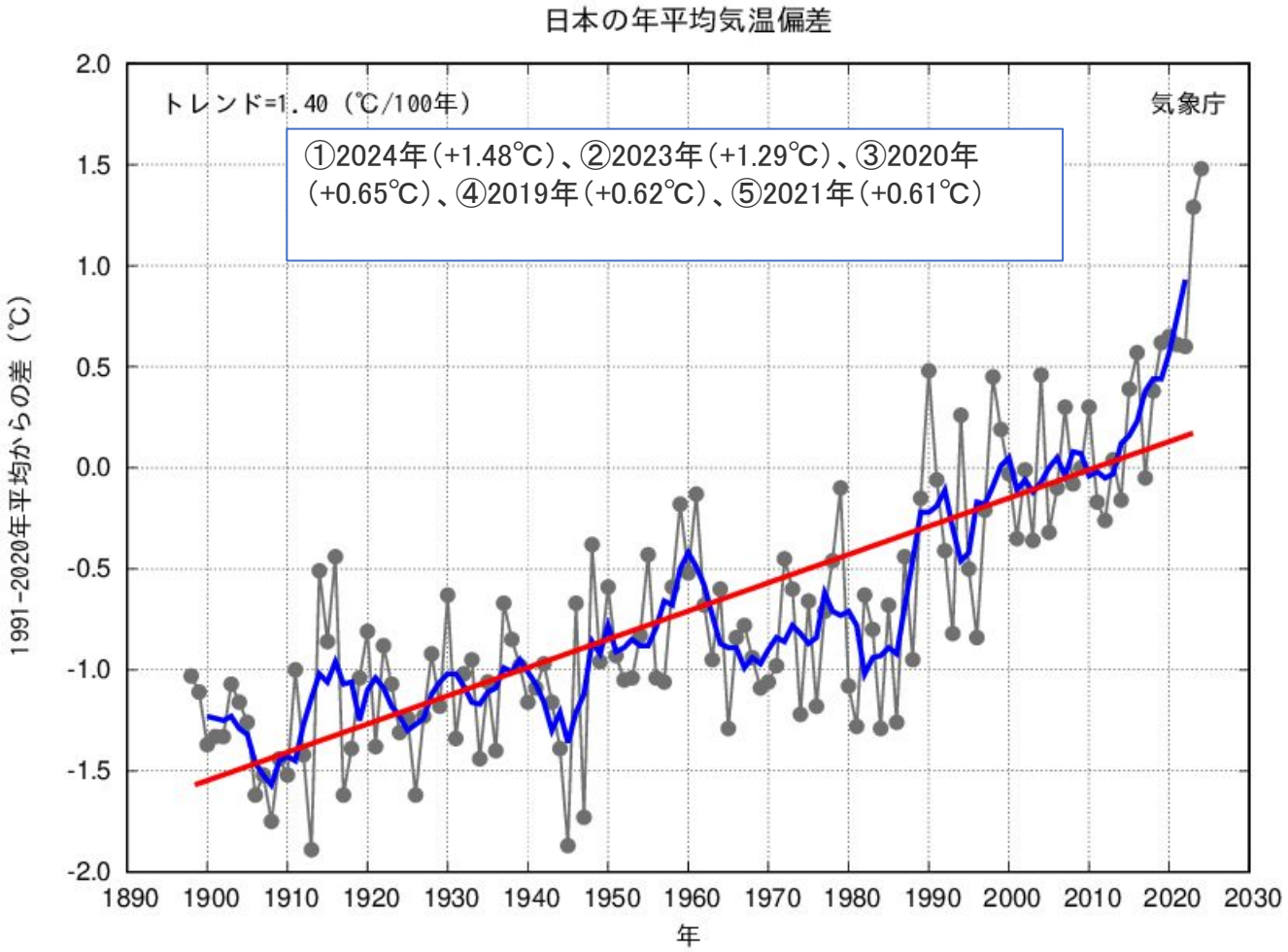
- 2024年は平年差+0.62℃で、2023年を超え観測史上最も暑い年となった。



国連事務総長「地球沸騰化の時代が到来」 (JUL2023)

①背景：2024年日本は最も暑い年となりました

日本の気温（1991-2020年平均からの偏差）：気象庁

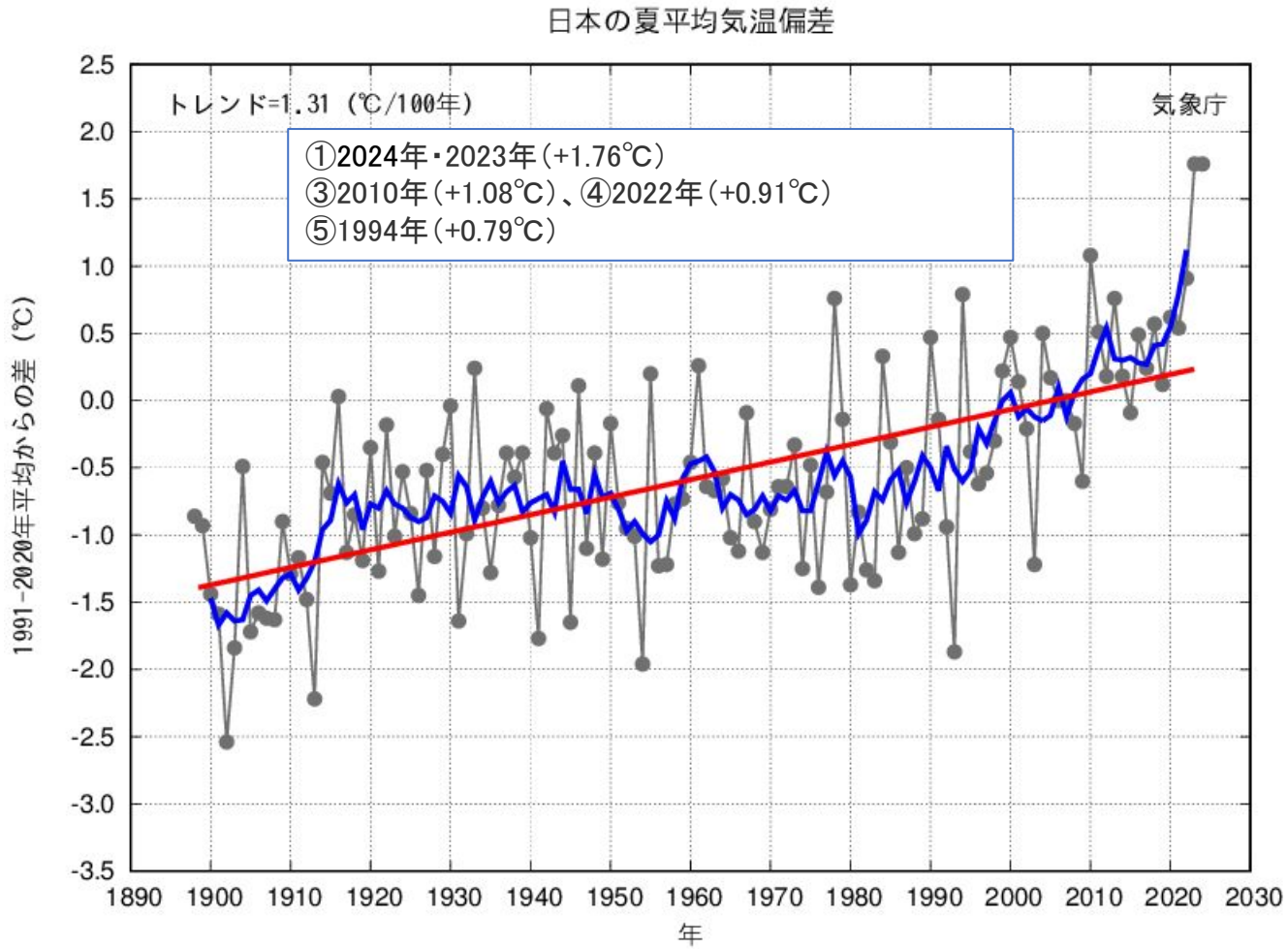


細線（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差、太線（青）：偏差の5年移動平均値、直線（赤）：長期変化傾向。基準値は1991～2020年の30年平均値　。

https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html

①背景：2024年は2023年と並び最も暑い夏となりました

https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/sum_jpn.html

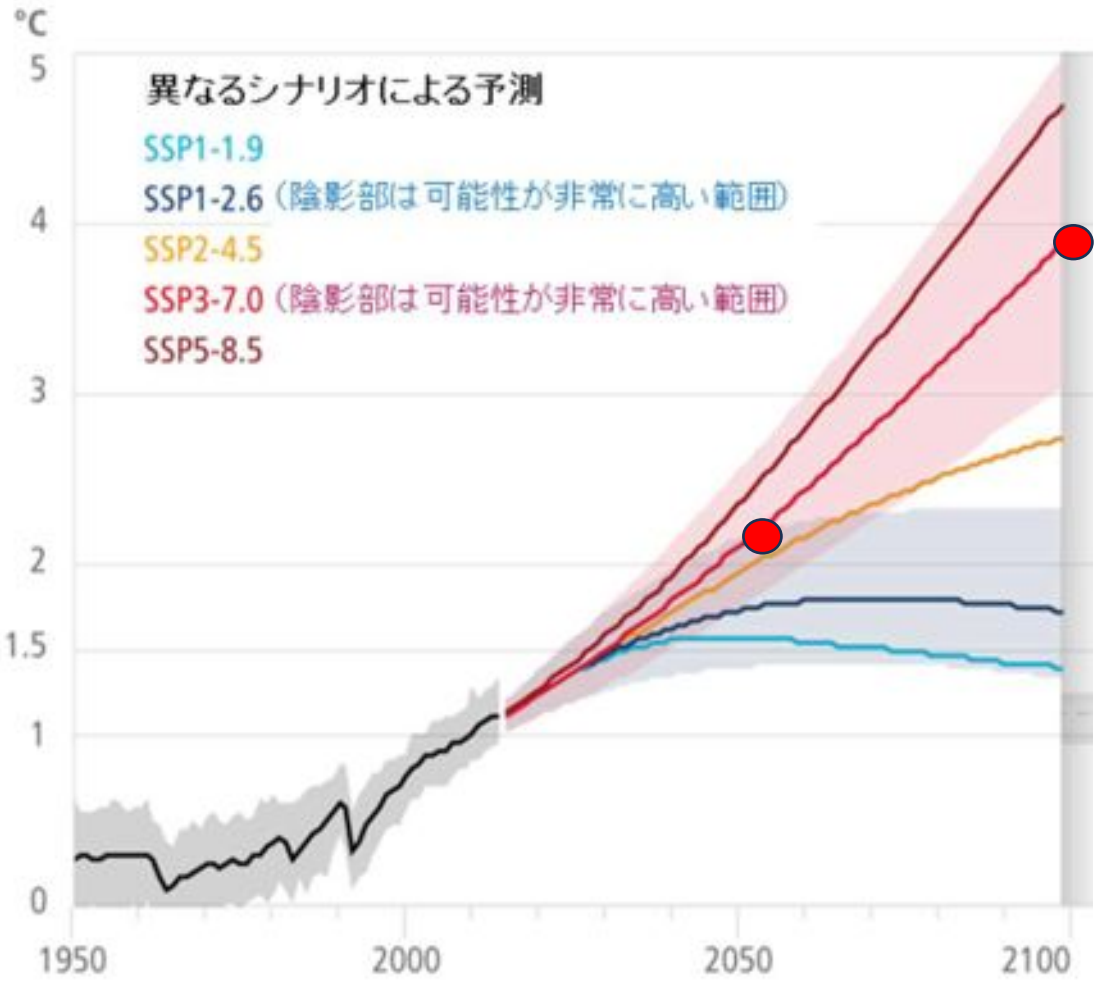


細線（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差、太線（青）：偏差の5年移動平均値、直線（赤）：長期変化傾向。基準値は1991～2020年の30年平均値　。

農業にも、大きな影響が出ています

①背景：さらに温暖化することが心配されます

気温上昇予測（1850-1900年比）：IPCCによる最新予測

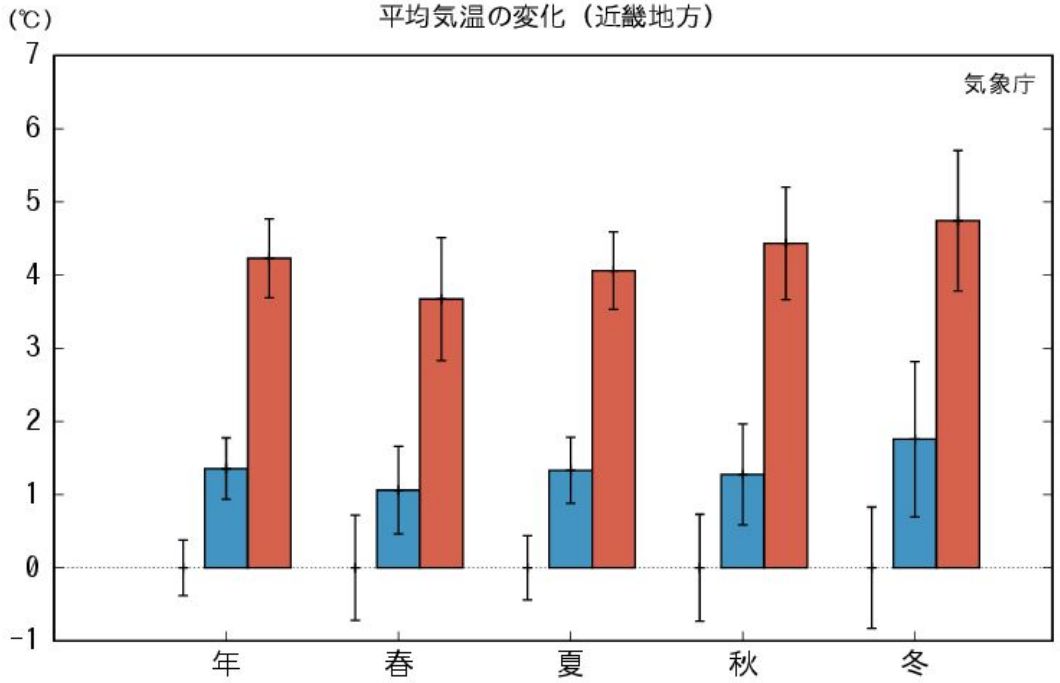


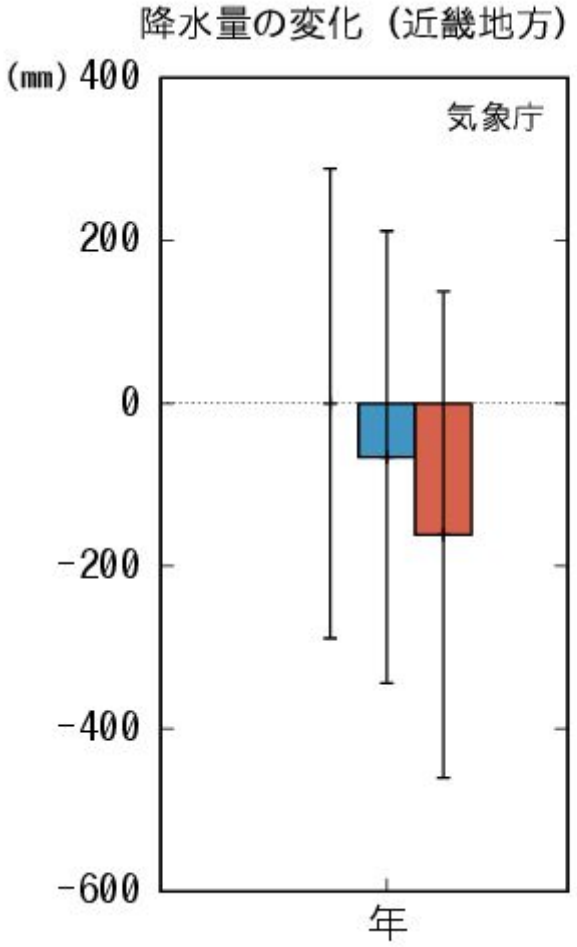
IPCC第6次評価報告書第1作業部会 政策決定者向け要約 暫定訳 図SPM. 8(a)(文部科学省／気象庁)に加筆

温室効果ガス対策が不十分な場合、産業革命後、今世紀半ばまでに＋2℃、今世紀末までに＋4℃程度の気温上昇を予測

①背景：さらに温暖化することが心配されます（近畿地方）

大阪管区気象台：近畿地方のこれからの気候の変化（将来予測）
https://www.data.jma.go.jp/osaka/kikou/ondanka/osakak_fix/kinki/future.html





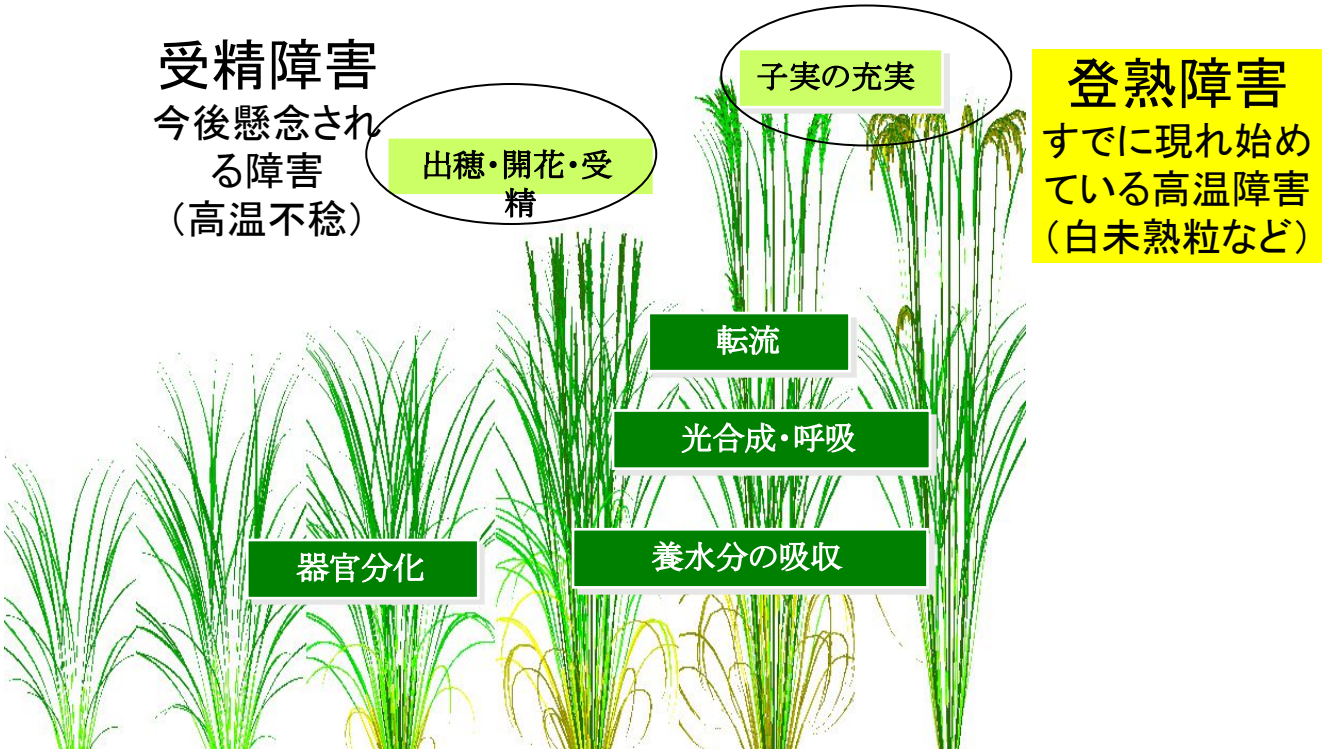
■：CO2排出削減進む2℃シナリオ(RCP2.6)
■：従前のまま排出続く4℃シナリオ(RCP8.5)

20世紀末に比べ21世紀末には、4℃上昇シナリオで約 4.2℃、2℃上昇シナリオで約1.4℃上昇。降水量は 21世紀末には4℃上昇シナリオで約 161mm減少

②影響：暑い夏でどのようなことが起こるのか？

農研機構 NARO

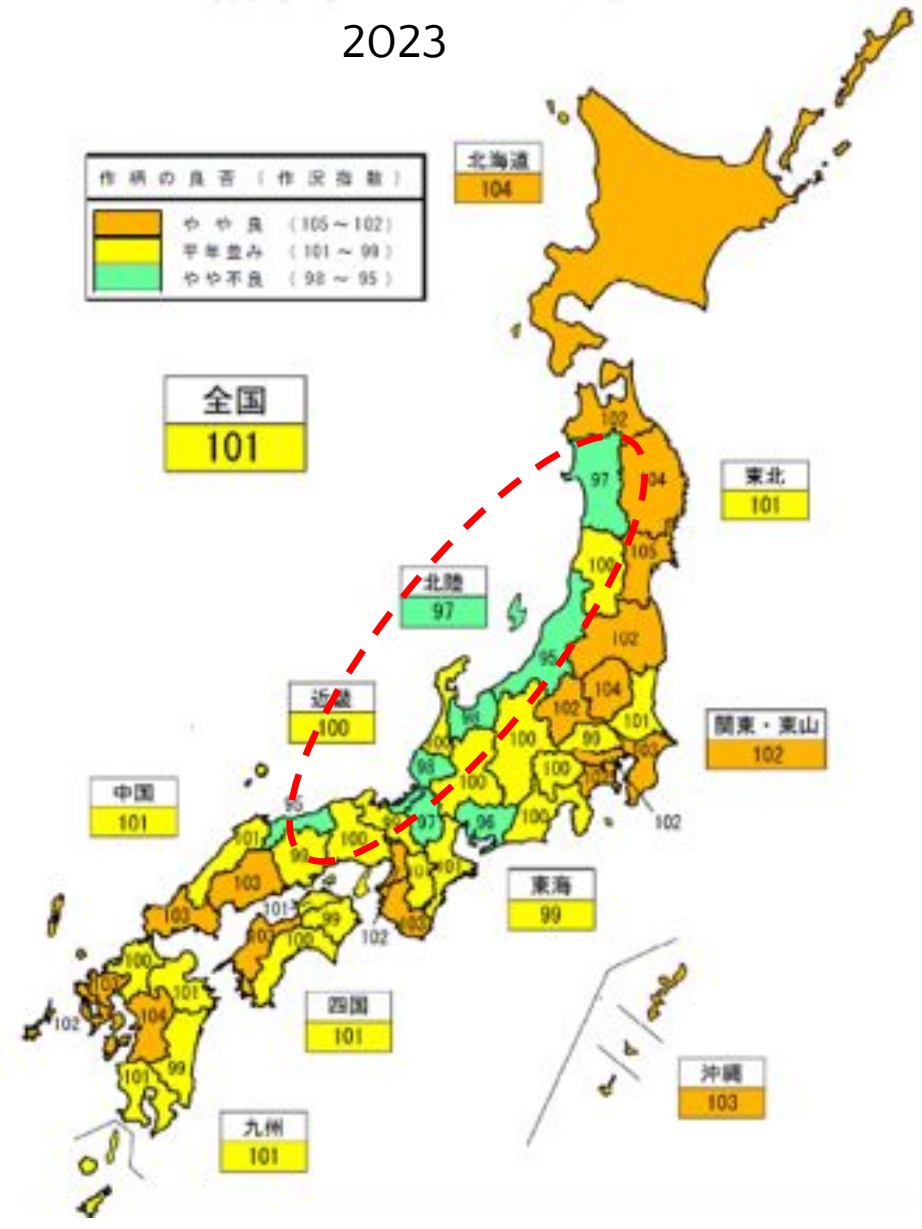
異常高温の水稲への影響

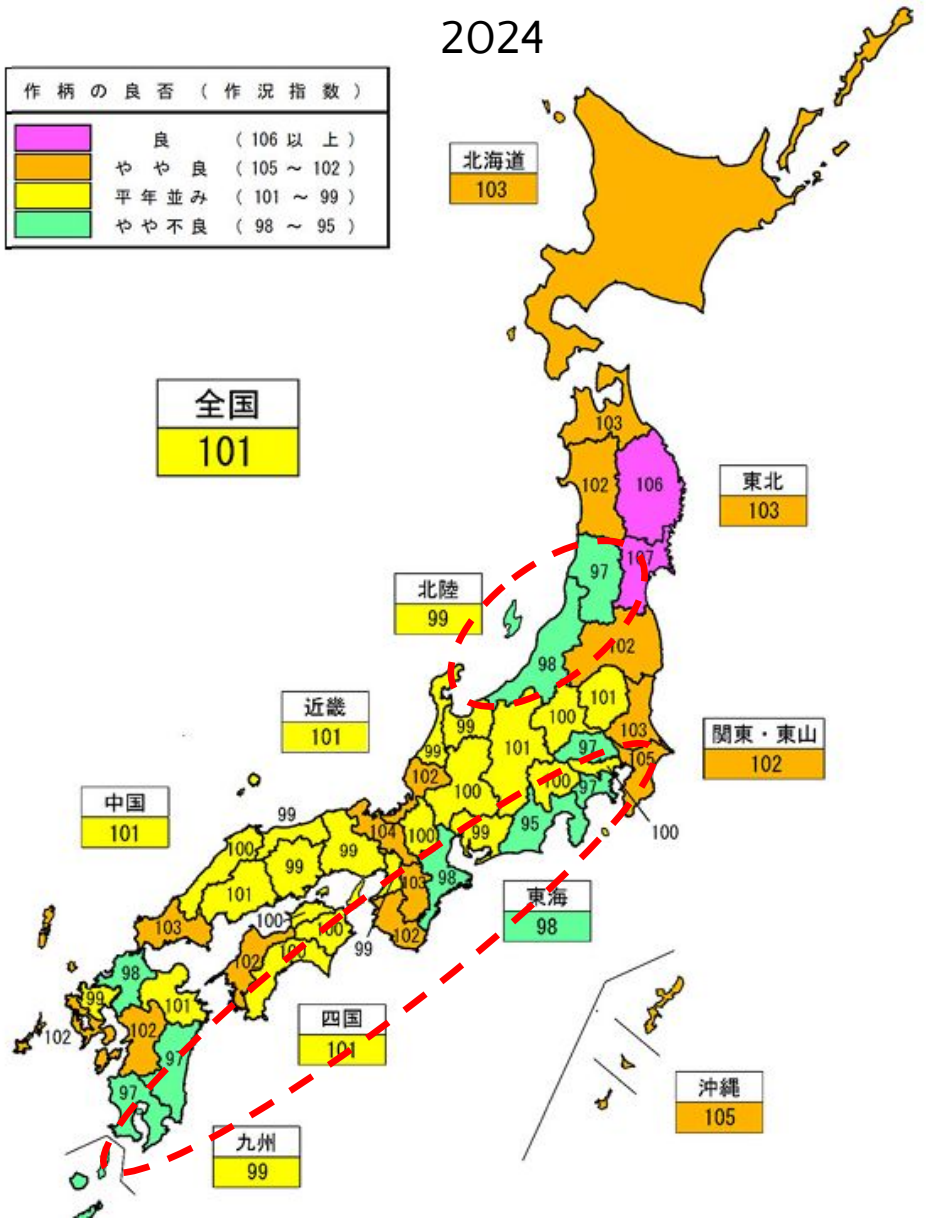


温度は，作物の収量形成，品質にかかわる多くの生理過程に影響するが，温度域や生育ステージなどによって，増収に働く場合と減収に働く場合がある。

②影響：暑い夏でどのようなことが（広域）？

→1．一部地域で収量の停滞：





②影響：暑い夏でどのようなことが起こるのか？

→2．品質の低下（2023）：

令和５年産水稲うるち玄米農産物検査結果（令和５年11月30日時点）

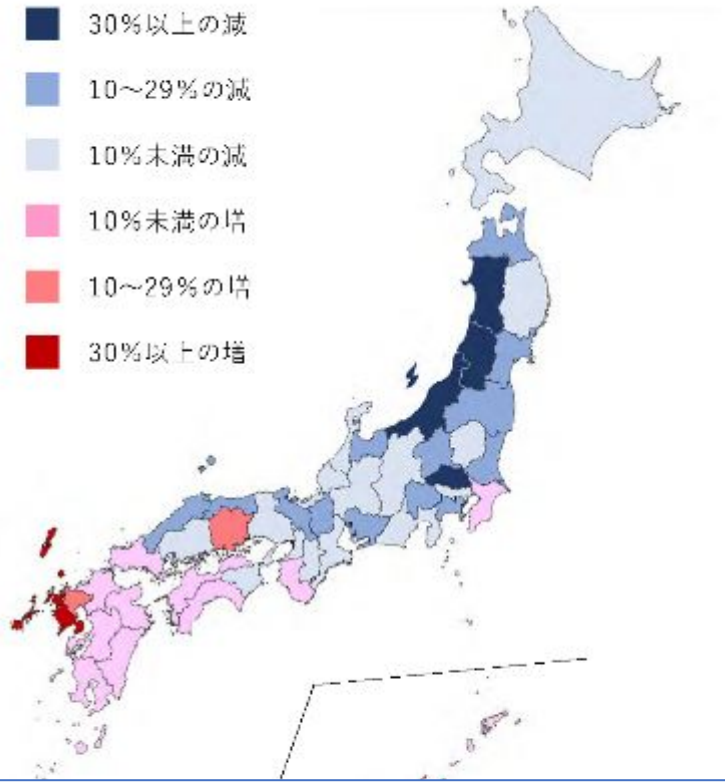
○　令和５年産米の検査数量は、11月末現在364万トン（前年同期370万トン）。前年の検査数量452万トンと比較して80.4%の進捗率。
○　高温・渇水の影響による白未熟粒の発生等により１等比率は全国で61.2%（前年同期78.7%より17.5%低下）。
○　一方で、高温耐性品種の検査等級は、１及び２等の比率はおおむね９割以上。

【全国の検査結果に占める1等比率】　（%）

	5年産	4年産	3年産	2年産	元年産
8月末現在	68.9	68.0	76.1	74.3	67.8
9月末現在	59.6	75.8	82.6	80.7	67.6
10月末現在	61.3	79.4	83.6	80.8	72.9
11月末現在	61.2	78.7	83.1	80.3	73.1
最終	－	78.6	83.1	79.8	73.2

※元年産～４年産の最終は確定値

【1等比率の前年同期比較】



品種別検査結果の例（県単位）

品種名	高温耐性	検査数量（トン）	等級別比率（%）			
			1等	2等	3等	規格外
コシヒカリ	なし	250,690	5.0	42.2	49.3	3.5
			47.2			
こしいぶき	あり	72,546	14.8	75.0	9.9	0.4
			89.8			
ゆきん子舞	あり	21,306	60.3	34.9	4.0	0.8
			95.2			
新之助	あり	23,674	94.9	4.5	0.2	0.4
			99.4			
にじのきらめき	あり	5,298	17.8	72.2	9.3	0.7
			90.0			

※四捨五入の関係で合計値が一致しないことがある

農林水産省：https://www.maff.go.jp/j//seisan/kikaku/attach/pdf/kome_siryou-137.pdf

②影響：暑い夏でどのようなことが起こるのか？

→2．品質の低下・回復：2024

2　品質概況

（1）　11月30日現在の水稲うるち玄米の１等比率は76.1%となっています。

１等比率（%）	６年産	５年産	４年産
８月31日現在	63.7	69.0	68.0
９月30日現在	77.3	59.6	75.8
10月31日現在	77.1	61.3	79.4
11月30日現在	76.1	61.2	78.7
最終（翌年10月31日）	―	60.9	78.6

https://www.maff.go.jp/j/syouan/keikaku/soukatu/attach/pdf/r6_kome_ryutu-64.pdf

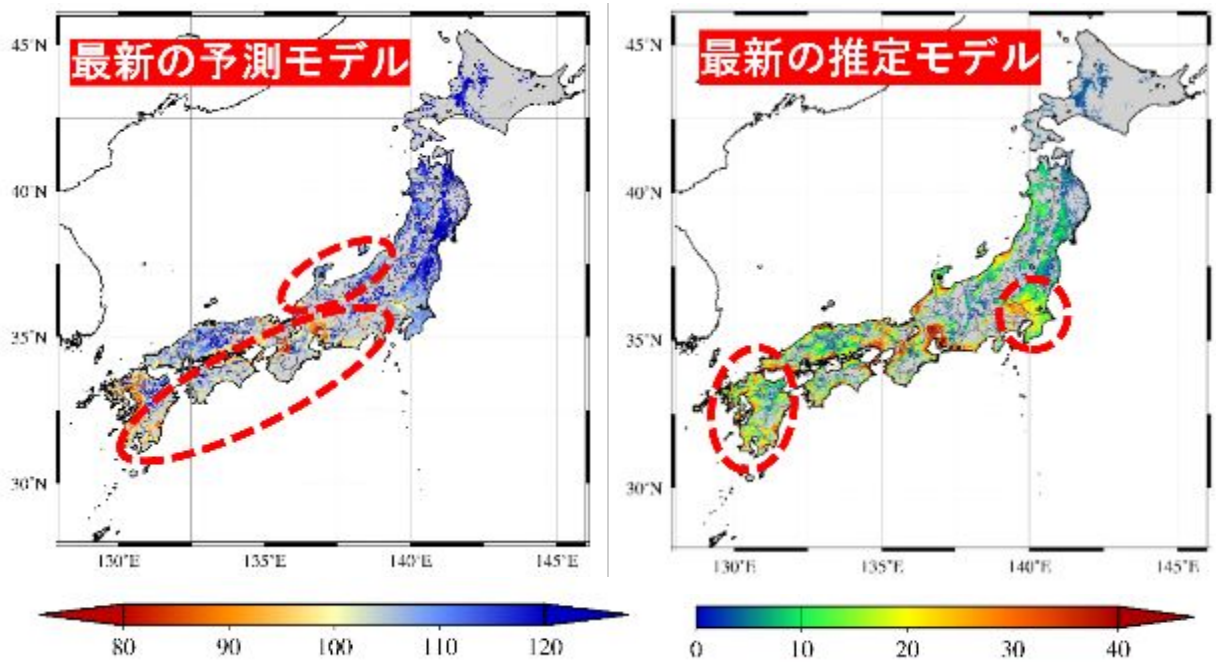
今年の夏も暑さが厳しかったが、適度な降雨があったことなどから、１等米比率が持ち直した。これまでの教訓を踏まえ、追加の肥料、作付けや収穫時期を分散させるといった対策を講じたことも寄与したという（時事通信24.11.29ー農水省）

②影響：将来のコメ生産はどうなる？　（農研機構 2021年公表）

コメの収量は従来予測よりも多くの地域で低下する

今世紀半ば（MIROC5: RCP8.5）

全国平均で
今世紀半
ば、およそ
±0%
←従来予測
を下方修正



相対収量
（1981−2000年平均を100）

白未熟粒率（%）

全国平均
今世紀半ば
20%
今世紀末に
40%

関東以西で白未熟粒率の増加がより顕著に

＊2003年時点の普及品種を対象に適応策を取らない場合

②影響：農研機構モデル研究 2021が明らかにしたこと

○高温と高CO_2の複合的な影響を考慮した結果、従来のモデルによる予測結果と比べ、最新のモデルでは コメの収量減少[*1]や、外観品質低下[*2]がより早く深刻化する と推定。

[*1] 収量：今世紀末で全国平均は、現状の約80%(従来モデルで約100%)。

[*2] 品質：全国平均白未熟粒率は今世紀半ばで約20%(従来推定法では約15%) 、今世紀末で約40%(従来推定法では約30%)。

↓

本成果は、国や自治体が気候変動適応法に基づき適応計画を策定する際の重要な基礎情報として発信・活用されます。

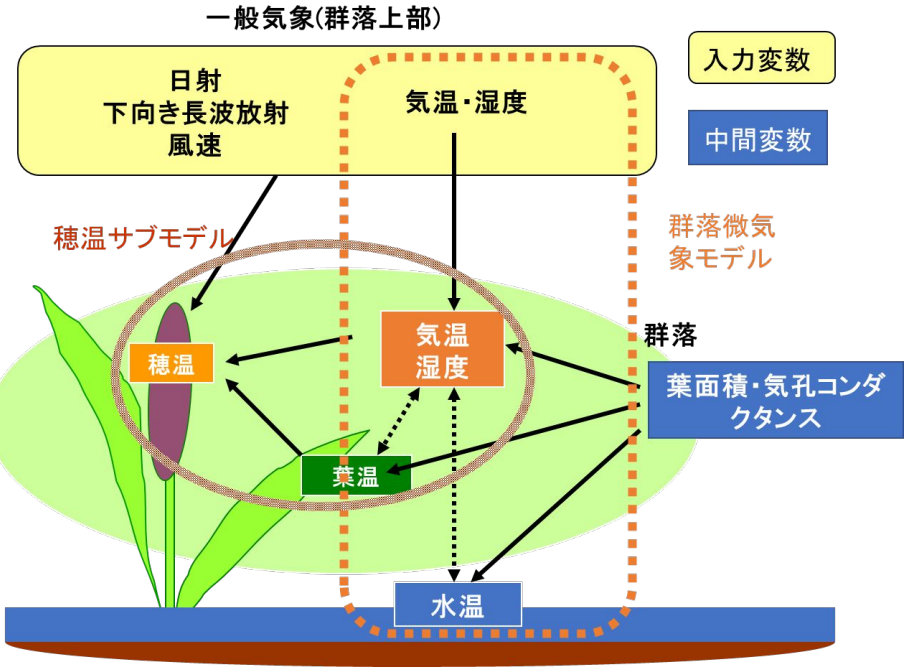
従来予測と比較し、収量、品質ともに負の影響が顕著

ただしこの予測は、高温耐性があまり強くない
現行品種(2003年頃)の環境応答実験結果を反映したもの

②影響：高温不稔（今後に予想される障害）

高温不稔の発生に関する温度指標

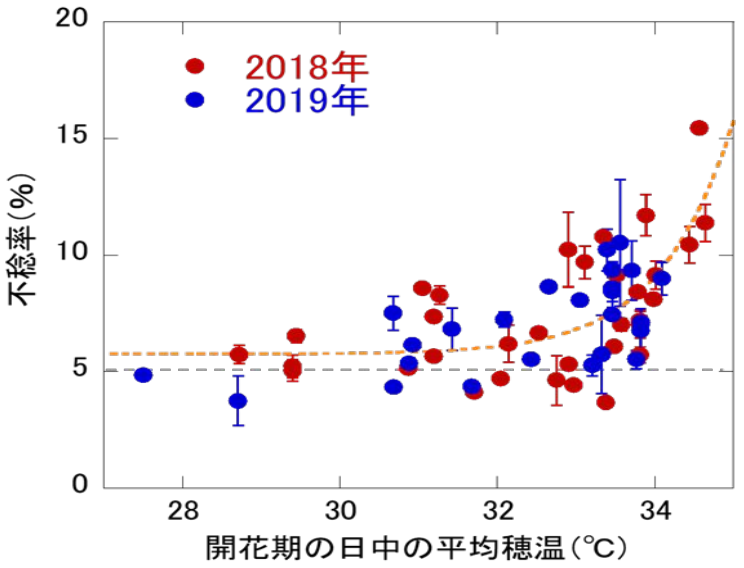
IM^{2}PACT (Integrated Micrometeorology Model for Panicle And Canopy Temperature)による穂温推定



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.

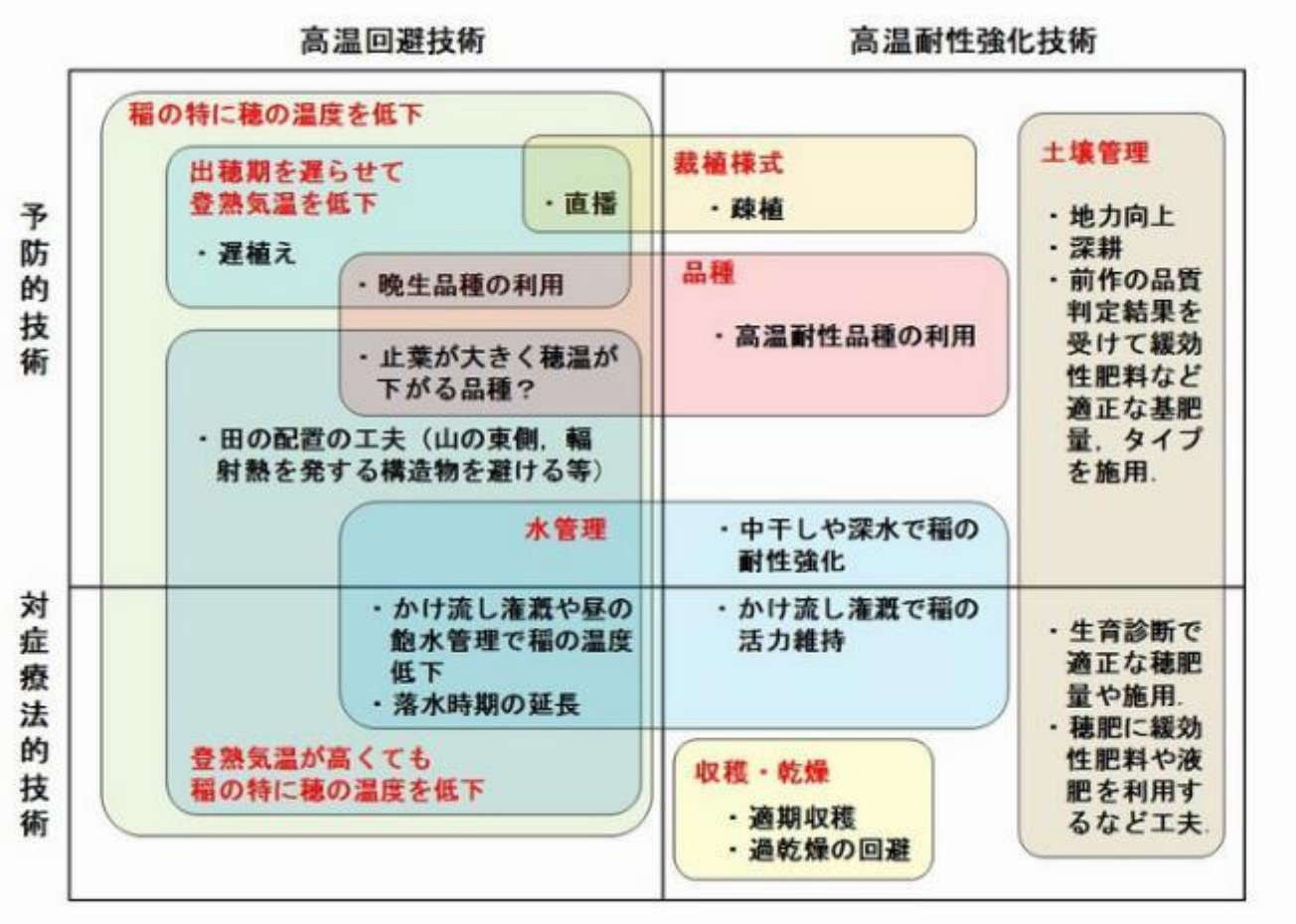


圃場条件における調査から推定穂温が33℃以上になると不稔が増加（品種、コシヒカリ）

開花期15日のうち穂温が33℃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

③対策：我々はどうすればよいのか？

→温室効果ガス排出削減「緩和」に加え、気候変動に「適応」する必要



九州沖縄農業研究センター「温暖化による米の品質低下の実態と対応について」
https://www.naro.go.jp/laboratory/karc/contents/ondanka/ondanka1/index.html

様々な対策技術が実証され、導入されています

③対策：適応策1：田植期の移動など

高温を避ける作期作型や水 (施肥)管理も有効です

表 5　現在実施している適応策　整理イメージ（※1）

気候変動影響	現在実施している適応策	適応策の効果（※2）	留意事項
白未熟粒の発生	水管理の徹底	A	用水の総量が決まっているため、急に湛水を指導してもタイミングによっては実施が困難な地域がある。同様の理由から、かけ流しの指導も困難。
粒の充実不足	適期移植	B	・労働力確保や経営規模の都合により、技術導入が困難な場合がある。 ・極端に遅い移植では成熟期が遅れ、収量・品質が低下。
胴割れ米の発生	早期落水防止	A	中生の晩、晩生品種の作付割合が増加しており、9月以降の用水の必要量が増加しているが、総量が決まっているため、通水時期を延ばすなどの対応が求められている。
	刈遅れ防止	A	担い手の規模拡大に伴い、天候によっては適期内に刈り終わらない事例がみられる。

（※1）本表の事例はあくまで整理イメージであり、各産地の実情と異なる場合もあることにご留意ください。
（※2）A：優れた効果がある、B:効果がある、C：やや効果がある、D:効果なし

農業生産における気候変動適応ガイド（水稲編）
https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/index-102.pdf

（農研機構での適応シミュレーション例）ある地域での現行品種（4月下旬）
→田植え期を早める：多照の時期に登熟しやや増収、高温により品質低下リスクは増す。
→田植え期を遅める：登熟期日照が減るため減収、品質低下リスクの少ないコメ割合は増加。
＊この結果は一例であり、気象・土壌条件や品種・作型により結果は異なります。

③適応策2：高温耐性（登熟性）品種導入

このほか、「にじのきらめき」「新之助」「富富富」「よさこい美人」らが、高温登熟性に優れている、とされる

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	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）

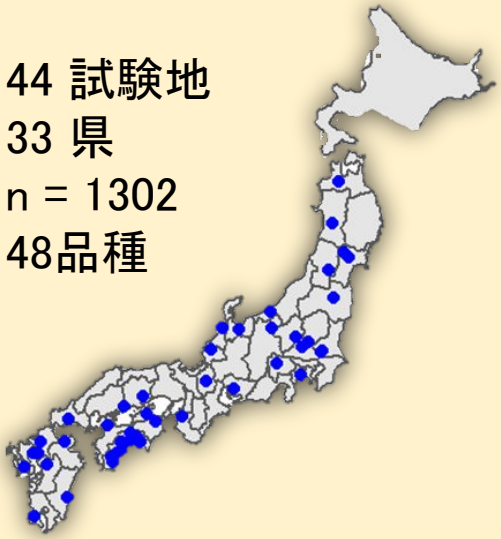
高温耐性品種導入、2023年は14.7%。

③適応策2：白未熟粒率推定モデル（最新）

高温耐性品種ランク別白未熟発生率のモデル化

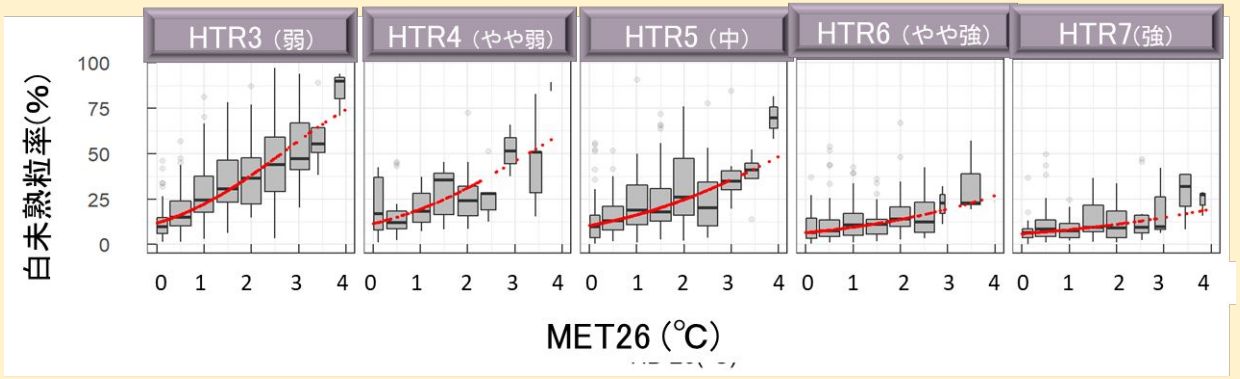
系統的レビューによるデータベース構築

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

$$Logit(CG_{ijk}) = B_1 \times HTR_i + B_2 \times MET26_i \times HTR_i + B_3 SR + B_4 RH + v_i + E_{ijk}$$

- B_1~ B4 are fixed parameters
- $v_i + E_{ijk}$ are errors (random effects)

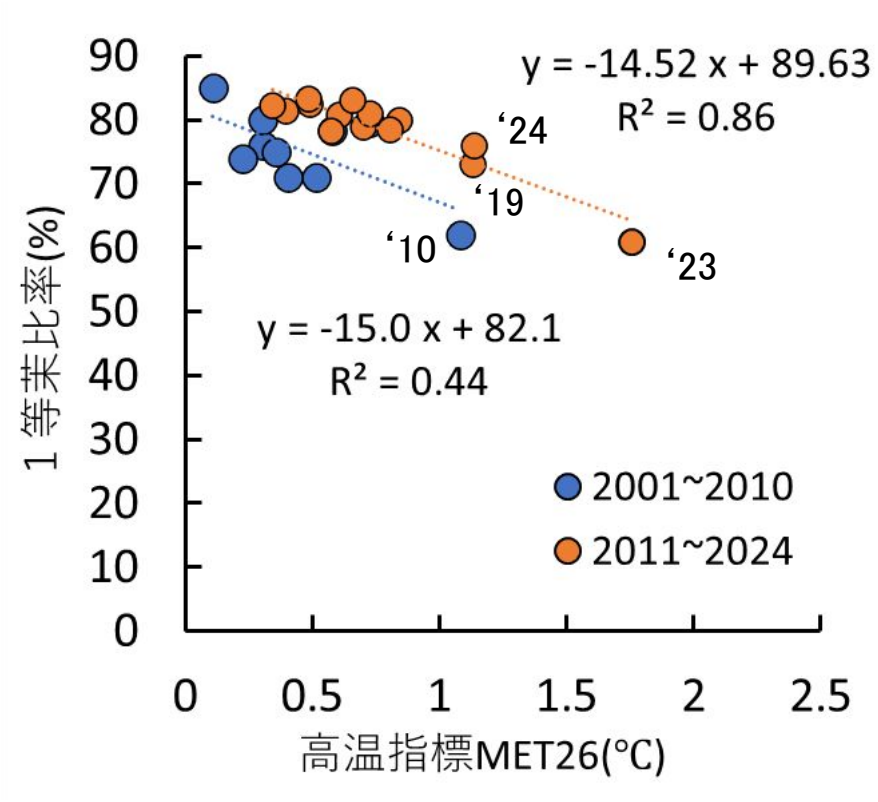
温度指標　日射　湿度

Wakatsuki et al. 2024, FCR (accepted in 08FEB2024),
https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109303

③適応策2：一等米比率

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

全国レベルでは高温指標と一等米比率に良い関係
＊2011年以降の一等米比率上昇 ←種々の栽培対策や高温耐性品種の導入効果か

まとめ

- 2024年は世界的には最も高温年であった。また2024年の日本の夏季は、2023年と同程度の記録的猛暑。
- ただし、日本の猛暑地帯は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。
- 高温指標は、日本各地で高温障害の指標（稔実、品質）は、2000年頃から継続的に増加
- 一等米比率と高温指標との関係および高温耐性品種の導入効果については、現在解析中
- 今後も継続的な監視（影響と適応効果）が必要→「気候変動対策技術研究開発プラットフォーム」設立