

地球温暖化が水稻品質に及ぼす影響と適応策

令和6年度 第4回気候変動適応セミナー「米の将来予測と対策」

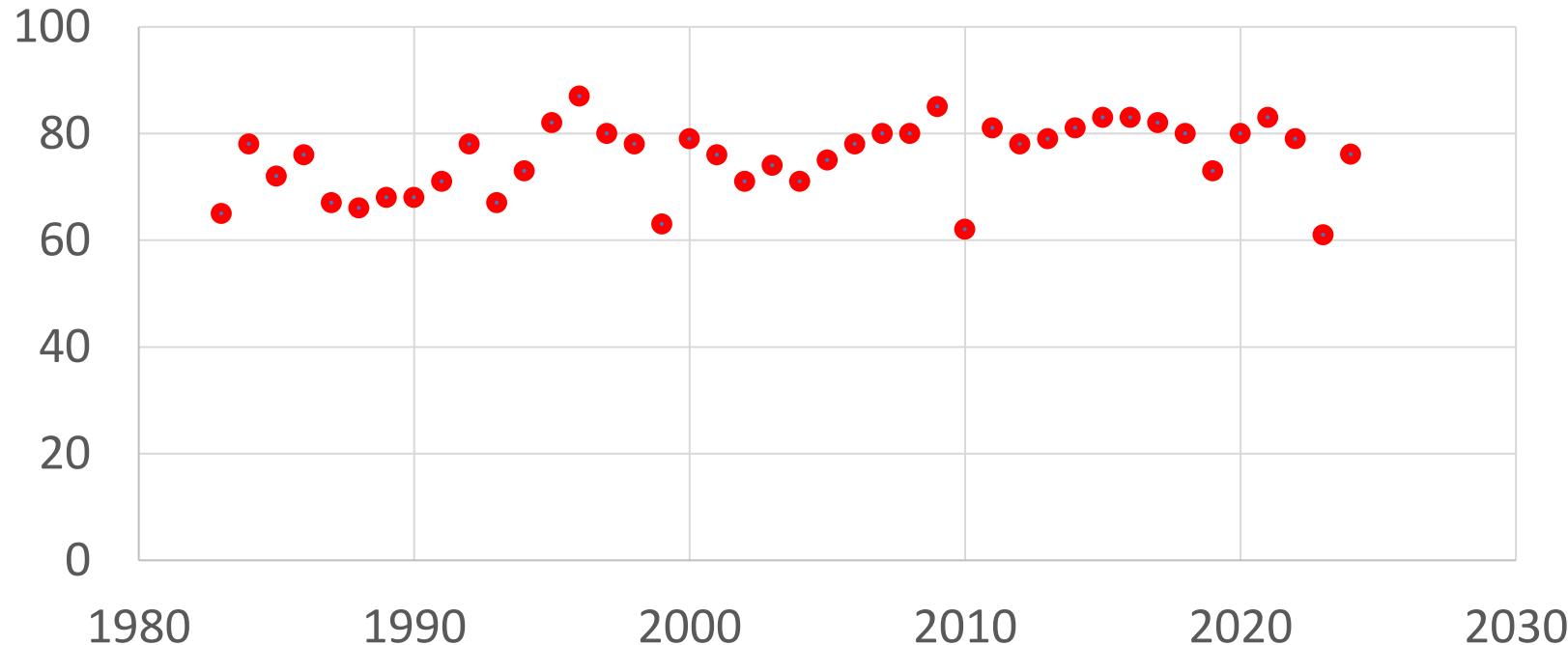
2025年1月21日@Online

増富祐司

国立環境研究所 気候変動適応センター

水稻品質に長期的な影響が出ているか？

一等米比率(日本全国平均)



- ・(日本全国平均では)長期的な傾向はあまり見られない。
- ・1999、2010、2023年は極端に一等米比率が低いことがわかる。
 - ・特に2023年は過去最低

表4 水稻(うるち米)一等米比率の推移

都道府県	19以下																				20~39				40~59				60~79				80~100				5 (R5 12月末)	全国 都道府県				
	昭.58	59	60	61	62	63	平.元	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	令.元	2	3	4		
全国	65	78	72	76	67	66	68	68	71	73	67	73	82	87	80	78	63	79	76	71	74	75	78	80	80	85	62	81	78	79	81	83	82	80	73	80	83	79	61			
北海道	3	53	31	45	27	31	53	55	70	46	28	77	75	88	54	95	81	96	84	76	65	85	83	88	91	89	86	88	93	90	89	83	92	90	90	87	89	93	92	87		
青森	67	90	92	83	71	28	67	63	50	84	30	90	89	80	81	75	80	90	87	80	55	85	82	81	83	89	92	72	88	80	92	88	94	94	93	96	90	94	92	92	69	
岩手	69	73	77	80	75	47	76	84	70	83	51	84	90	92	91	89	79	92	93	90	88	90	93	92	92	94	91	95	95	96	93	96	98	94	95	96	97	92	90			
宮城	79	90	90	90	73	61	89	80	72	85	46	49	95	92	91	67	42	76	84	85	62	82	75	89	90	80	92	74	84	87	93	92	84	90	86	92	71	91	93	94	83	
秋田	79	82	85	92	84	82	85	92	92	93	87	90	95	96	94	87	51	85	86	80	86	76	88	92	92	94	95	73	91	87	92	91	92	86	91	90	89	56				
山形	82	82	75	88	58	76	84	82	78	62	58	48	83	92	91	81	51	90	90	86	87	82	88	92	93	95	96	76	94	89	96	93	95	95	95	96	45	76				
福島	80	65	78	85	76	59	82	79	78	88	83	64	88	91	90	72	85	87	90	88	86	93	93	91	94	75	96	89	92	91	95	91	90	95	95	76						
茨城	75	85	85	80	83	73	44	74	71	87	91	67	87	93	94	90	72	82	82	51	91	85	87	89	90	93	76	86	87	90	93	85	91	93	87	81	82	83	68	56		
栃木	76	87	80	77	85	80	73	84	82	91	92	79	93	93	93	81	85	85	40	60	92	91	93	94	92	92	95	74	91	94	88	96	90	94	95	93	93	84				
群馬	71	79	67	67	67	69	40	41	28	32	91	89	49	86	89	53	11	73	17	62	36	80	82	25	71	59	69	75	3	45	54	41	88	80	88	92	89	90	83	92	91	61
埼玉	67	85	72	60	66	43	54	52	48	91	91	74	86	90	87	63	76	57	76	64	94	85	82	91	95	24	87	46	67	79	69	87	90	61	74	48	79	69	28			
千葉	62	80	81	78	79	72	70	84	73	87	81	76	84	88	84	87	90	73	91	91	93	93	91	92	93	95	89	90	95	92	83	91	90	87	88	88						
東京	70	76	25	5	8	12	17	10	3	70	19	1	17	25	6	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
神奈川	87	85	42	47	55	41	51	29	5	53	46	76	63	60	74	23	38	10	18	9	15	47	22	24	10	23	32	15	24	15	18	25	23	32	42	43	38	30	34	43	15	
新潟	67	76	63	83	79	83	80	82	84	85	64	57	81	84	84	79	47	83	74	75	74	74	48	80	73	82	85	90	20	79	65	77	75	80	84	85	79	35	74	79	74	16
富山	76	86	86	90	88	86	83	89	91	92	81	90	95	94	94	88	76	75	68	56	84	74	83	80	89	88	76	66	85	77	73	88	91	91	91	89	85	90	94	88	61	
石川	70	86	78	82	86	86	86	83	90	88	64	76	90	84	93	76	69	71	75	64	82	78	80	85	84	88	81	83	85	74	88	80	88	85	82	83	79	79	83	76		
福井	78	91	82	90	91	90	85	87	93	84	88	93	90	93	90	69	73	80	58	83	70	76	82	89	86	89	83	85	88	81	86	86	90	88	84	84	84	84	84			
山梨	83	88	87	90	89	85	80	82	82	84	88	85	81	87	77	77	85	78	85	80	74	87	92	90	84	90	91	62	89	75	78	85	90	85	87	85	85	81	84	71		
長野	81	78	80	82	82	80	81	82	89	87	81	93	91	92	94	93	90	93	90	90	96	94	95	96	97	92	94	95	96	97	97	97	97	96	95	96	96	91				
岐阜	60	85	56	83	62	65	38	35	60	79	40	49	67	57	61	39	35	29	64	44	42	43	54	45	46	60	67	39	56	74	67	68	65	76	74	40	72	49	71	64	53	
静岡	65	79	77	73	64	49	56	58	57	78	81	79	83	87	87	55	75	69	70	75	57	74	60	66	73	73	74	81	62	68	73	69	80	86	88	80	86	81	76			
愛知	63	79	62	70	59	63	43	48	60	87	84	83	87	94	92	69	77	62	77	66	65	53	55	63	62	55	78	13	69	70	56	59	58	57	46	58	49	62	60	40		
三重	57	76	67	78	61	58	68	48	75	63	75	66	70	88	56	21	28	67	41	58	61	69	34	57	26	49	55	39	39	38	47	63	37	25	29	39	47	41	31			
滋賀	76	89	88	92	90	90	87	81	95	91	93	87	93	94	93	76	45	75	65	49	78	65	63	71	62	70	79	40	68	82	56	50	74	75	67	66	55	68	79	64	54	
京都	63	76	69	79	76	74	61	62	82	78	83	83	88	90	85	68	70	69	51	57	69	57	62	69	77	77	85	63	63	63	73	71	65	69	60	60	73	66	58			
大阪	68	73	67	66	56	59	38	37	50	64	78	75	76	91	74	68	67	61	72	71	69	76	73	74	66	66	56	55	19	53	46	46	52	48	46	49	42	49	41	55	50	42
兵庫	78	74	75	72	69	78	57	46	62	78	68	78	83	78	78	64	68	71	55	68	64	63	68	66	58	64	61	23	44	55	40	65	66	64	63	51	45	67	46	41		
奈良	48	67	53	53	48	46	33	11	48	71	90	81	83	88	87	47	72	76	88	90	84	90	89	91	93	93	15	91	94	91	94	93	94	96	94	91	75	93	88			
和歌山	43	37	50	56	62	43	30	16	35	67	71	68	67	75	60	12	32	39	39	33	26	34	43	38	34	32	20	27	23	15	32	30	19	28	15	30	26	47	27	29		
鳥取	75	88	82	88	56	81	57	25	56	56	49	60	65	84	90	83	64	73	59	28	34	53	28	58	67	70	74	86	19	43	25	27	45	48	53	53	49	53	42	56	49	
島根	54	68	60	80	68	79	77	68	83	53	64	68	86	80	80	53	54	69	62	65	78	52	60	59	68	70	87	49	60	66	56	72	68	69	65	72	66	56				
岡山	37	69	69	71	48	82	56	21	57	68	34	52	55	48	58	61	59	65	68	53	39	42	61	55	66	72	33	57	67	69	67	79	72	80	80	64	7					

水稻への影響

主な現象	全国				発生の主な原因
		北日本	東日本	西日本	
白未熟粒の発生	5割程度	5割程度	5割程度	4割程度	出穂期以降の高温(7月~)
粒の充実不足	1割程度	1割程度	2割程度	2割程度	出穂期以降の高温、高温・少雨(7月~)
虫害の発生	1割程度	1割程度	1割程度	2割程度	【カヘムシ類、ニカメイチュウ等】 夏季の高温、冬季の高温 【スクミリンゴガイ(ジャンボタニシ)】 冬季の高温
生育不良	1割程度	—	1割程度	1割程度	田植え以降の高温(5月~)、多雨・日照不足
胴割れ粒の発生	1割程度	1割程度	1割程度	1割程度	出穂期以降の高温、高温・少雨(7月~)
登熟不良	1割程度	—	—	1割程度	出穂期以降の高温、高温・多雨(7月~)、台風
※上記の他、病害の発生、枯死等、作期の前進等の報告があった。					

令和5年地球温暖化影響調査レポート(農水省, 2024)

白未熟粒の発生がダントツ1位

高温による白未熟粒の発生



高温によって米粒が白濁化することがわかつていてる。
白未熟粒：美味しいくない。等級が下がる。収量が減る。

現在までの温暖化で
すでに水稻品質への影響がでているようだ



疑問

さらに温暖化が進むと
どうなるんだろうか？

我々は美味しいお米を食べていけるのだろうか？？

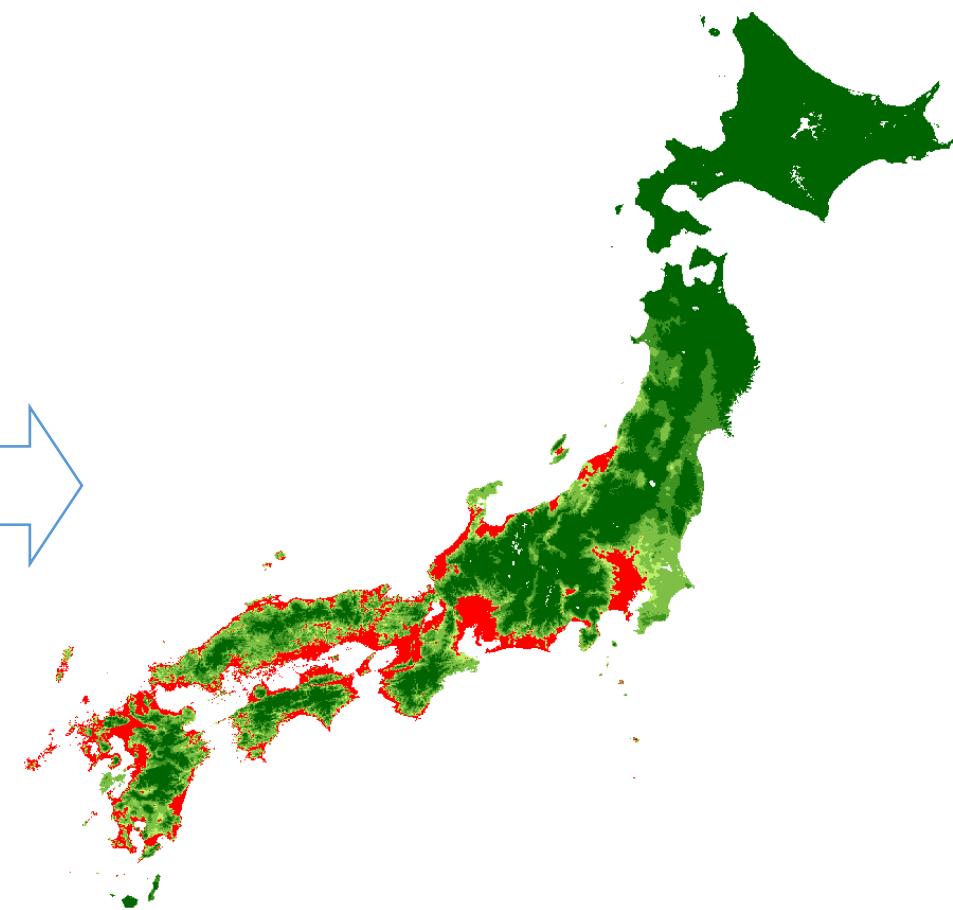


Hist/RCP8.5 2010s



RCP8.5 2040s

+1.6°C



[%]

30

2nd

16.9

15

10

5

0

1st

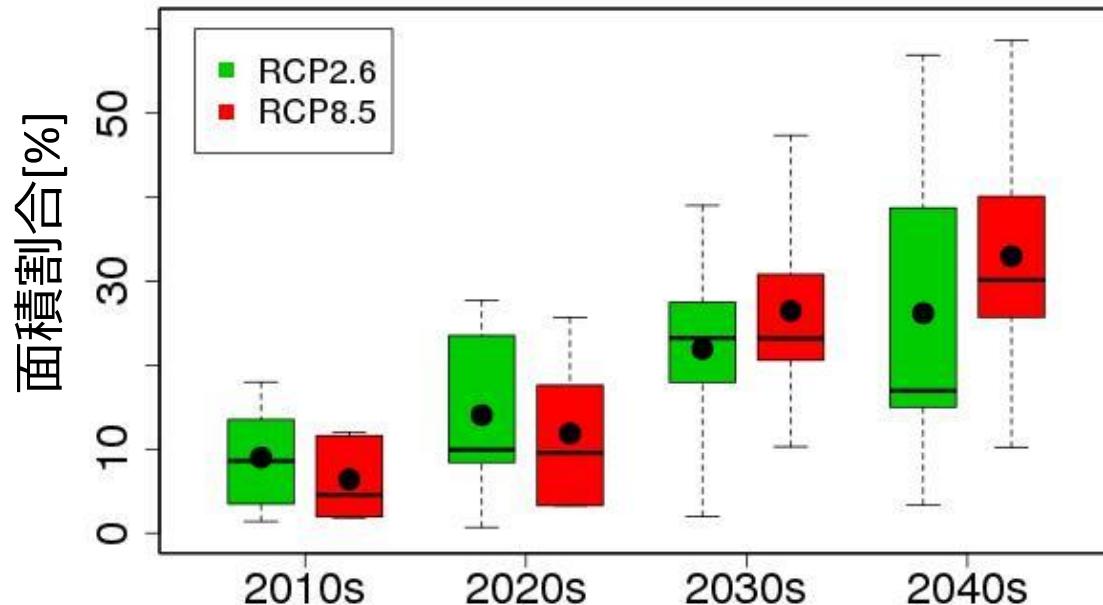
平野部で白末熟粒が多く発生する。
20%を越える（赤）と等級が下がって農家が困る。

Masutomi et al. (2019)

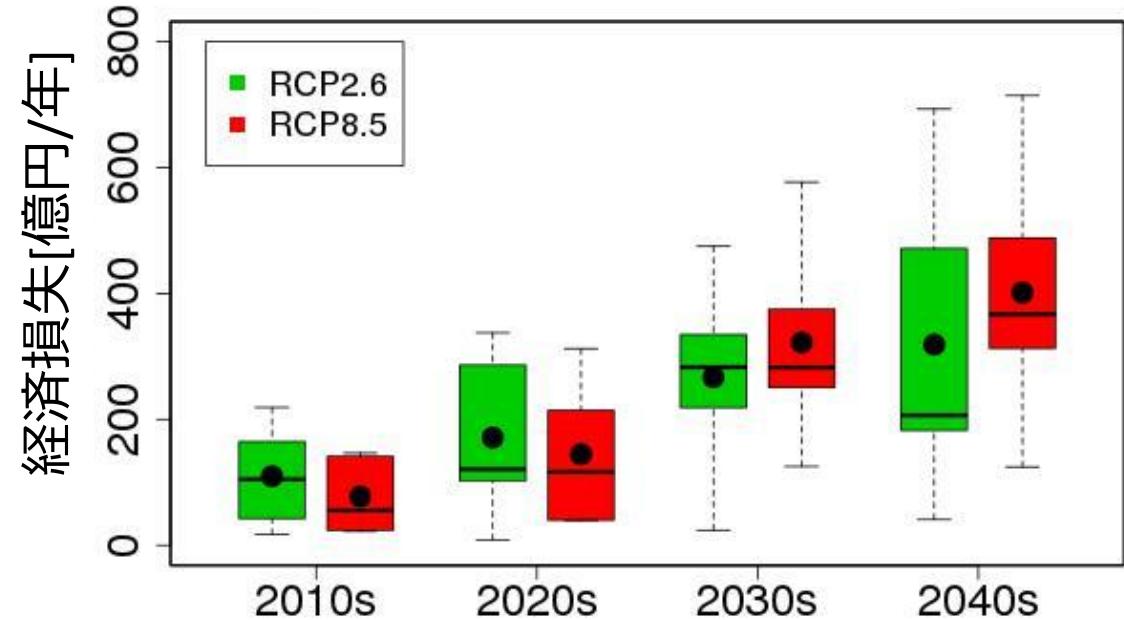
2等になる面積割合

2040s

RCP2.6: +0.9度
RCP8.5: +1.6度



経済損失



Masutomi et al. (2019)

2040sにはRCP8.5だと約1/3の水田で等級低下。
年間400億円ぐらいの被害。

現在までの温暖化で
すでに水稻品質への影響がでているようだ



疑問

さらに温暖化が進むとどうなるんだろうか？
我々は美味しいお米を食べていけるのだろうか？？



このまま何もしなければ、難しそうだ。

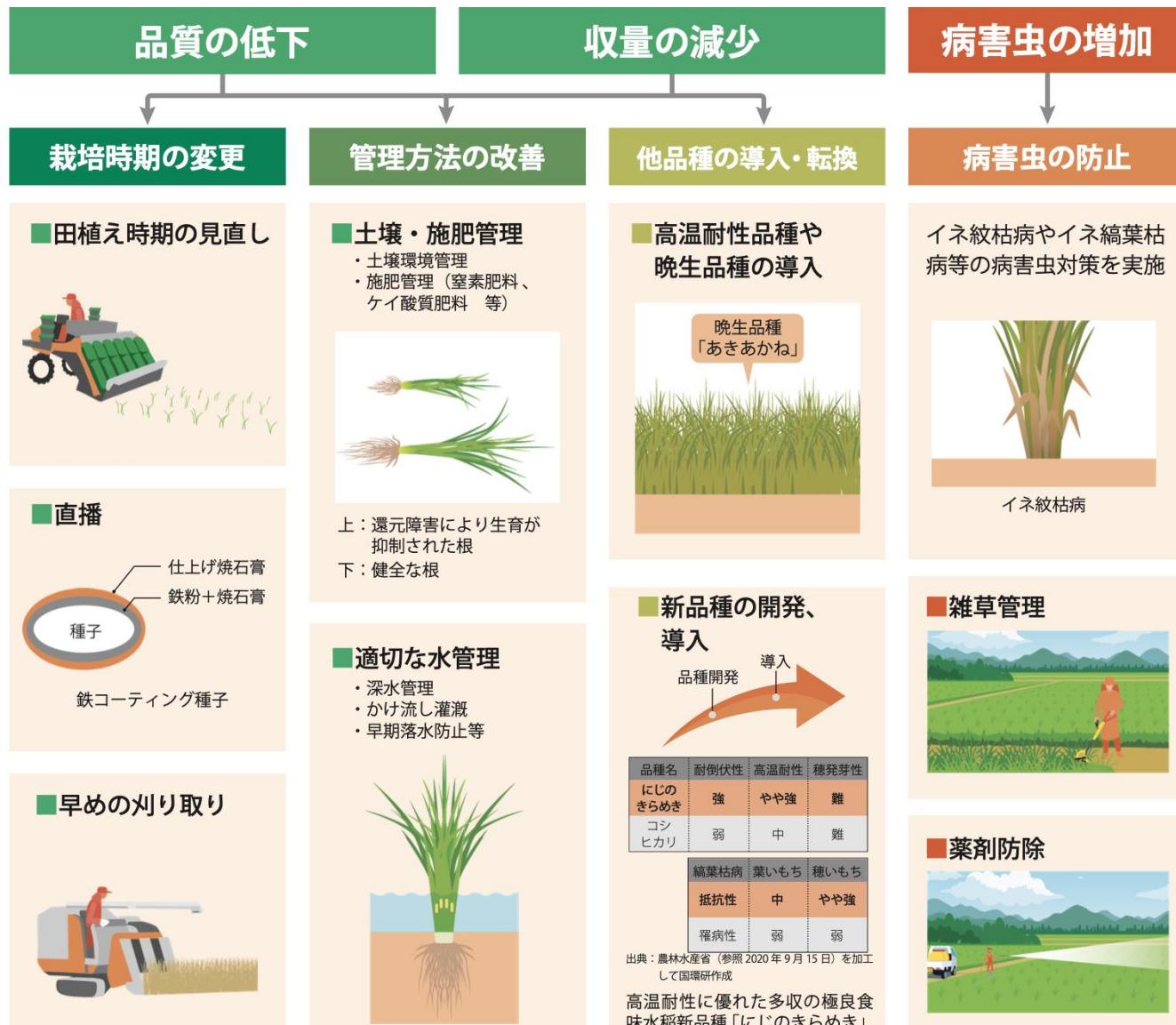


疑問

ではどうすればよいか？



適応だ。



気候変動適応センター HPより

様々な適応策がある(水稻の例)

No	適応策頭	時間	コスト	効果	実施・関連主体				
					生産者	国・行政	研究者	JA等	企業
1	栽培管理の高度化・変更 (水・施肥管理の徹底・最適化など)	短	低	低～中	✓				
2	品種の変更(現存品種)	短～中	低	低～中	✓	(✓)		(✓)	
3	移植日の変更	短～中	低	低～中	✓	(✓)		(✓)	
4	スマート農業化 (衛星データや気象予報の利活用)	中	中	中	✓		✓		✓
5	気候および農業保険	中	中	中	✓	✓		✓	✓
6	新品種の開発および導入	長	高	高	✓	✓	✓	(✓)	✓

- それぞれの適応策の時間・コスト・効果・実行可能性・実施主体の違いを把握して、統合的に実施していく必要がある(適応策パッケージ)。

高温耐性品種の導入

品種名	作付面積 (ha)					作付けの多い上位 3 都道府県
	R1	R2	R3	R4	R5	
きぬむすめ	20,446	21,986	22,368	22,656	22,549	島根県、岡山県、鳥取県
こしいぶき	20,800	20,200	20,100	19,600	18,300	新潟県
つや姫	11,580	16,301	17,106	17,303	17,823	山形県、宮城県、島根県
ふさこがね	11,626	12,600	11,800	11,900	11,700	千葉県
とちぎの星	4,500	6,100	9,000	7,200	8,500	栃木県
あきさかり	5,640	7,960	8,930	7,658	8,361	広島県、徳島県、福井県
にこまる	6,042	7,475	7,400	7,495	7,913	長崎県、静岡県、岡山県
彩のきずな	5,200	6,300	6,600	6,500	6,900	埼玉県
元気つくし	6,230	6,630	6,430	6,170	6,310	福岡県
さがびより	5,340	5,360	5,380	6,060	6,220	佐賀県
ハナエチゼン	(6,092)	(5,969)	(5,850)	(5,659)	6,100	福井県
夢しづく	(6,230)	(6,400)	(6,210)	(5,990)	5,750	佐賀県
なつほのか	1,076	1,838	2,500	4,058	5,287	長崎県、大分県、鹿児島県
ゆきん子舞	4,800	5,300	5,300	5,200	5,200	新潟県
新之助	2,600	2,900	3,300	4,300	4,800	新潟県
雪若丸	2,704	3,500	3,800	4,000	4,500	山形県
ふさおとめ	6,728	6,900	5,900	4,800	4,200	千葉県
てんたかく	4,000	3,900	3,900	3,802	3,602	富山県、大阪府
にじのきらめき	—	—	664	1,179	3,406	茨城県、静岡県、群馬県
みずかがみ	3,208	3,303	3,310	3,162	3,113	滋賀県
くまさんの輝き	—	436	613	(1,355)	2,910	熊本県
てんこもり	2,600	2,700	2,650	2,812	2,787	富山県、神奈川県
はれわたり	—	—	—	85	2,200	青森県
その他	10,747	11,535	13,701	14,066	14,505	※2,000ha未満
計	135,867	153,224	160,752	160,006	182,936	
主食用 作付面積	1,379,000	1,366,000	1,303,000	1,251,000	1,242,000	
高温耐性品種が占める割合 (%)	9.9	11.2	12.3	12.8	14.7	

農林水産省, 2024

現時点での導入率は **14.7%**

暑さに負けない おいしい お米
新しい水稻品種 「彩のきずな」



写真1 成熟期を迎えた「彩のきずな」

「彩のきずな」のできるまで

平成 15 年に埼玉県農林総合研究センターで、母親に「ゆめまつり」、父親に「埼 455」を交配してできたイネから、暑さに強く、おいしくて、病気や害虫に強いイネを選抜しました。

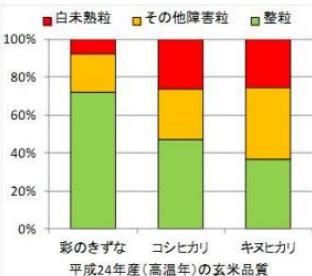


「彩のきずな」の特徴その1

暑さに強い

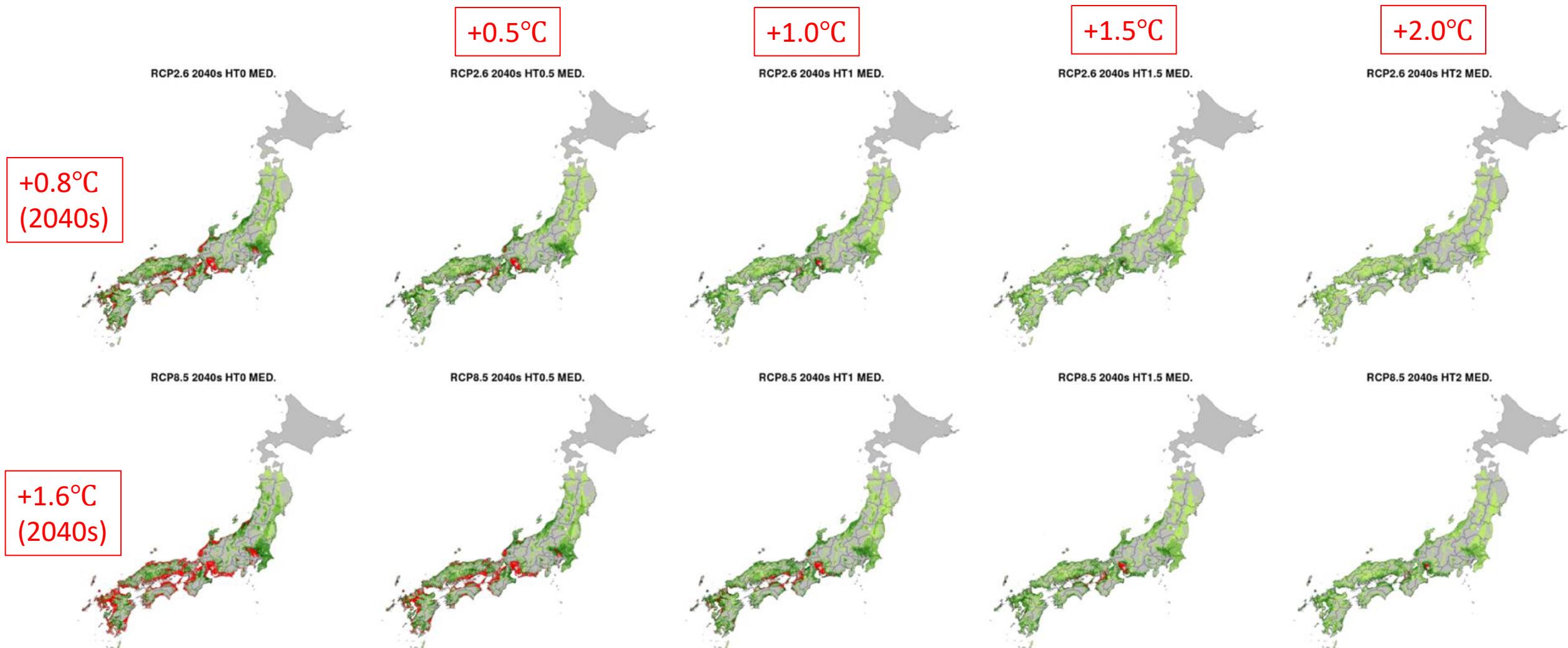
イネは、穂が出てから実るまでの気温が高いと、白未熟粒（しろみじゅくりゅう）といわれる、不透明な米粒が多くなり、品質が下がってしまいます。

「彩のきずな」は、白未熟粒の発生が少なく、高温の被害を最小限に抑えることができます。



- 温暖化対策としては決定的な対策
✓ とはいえ、育種は時間がかかる。
- いついつまでに、どのくらい高温耐性を持った品種を開発・導入するかを示した長期戦略が必要

高温耐性品種の導入効果



高温耐性品種を導入すれば、将来の影響を軽減できる。

Masutomi et al. (2023)

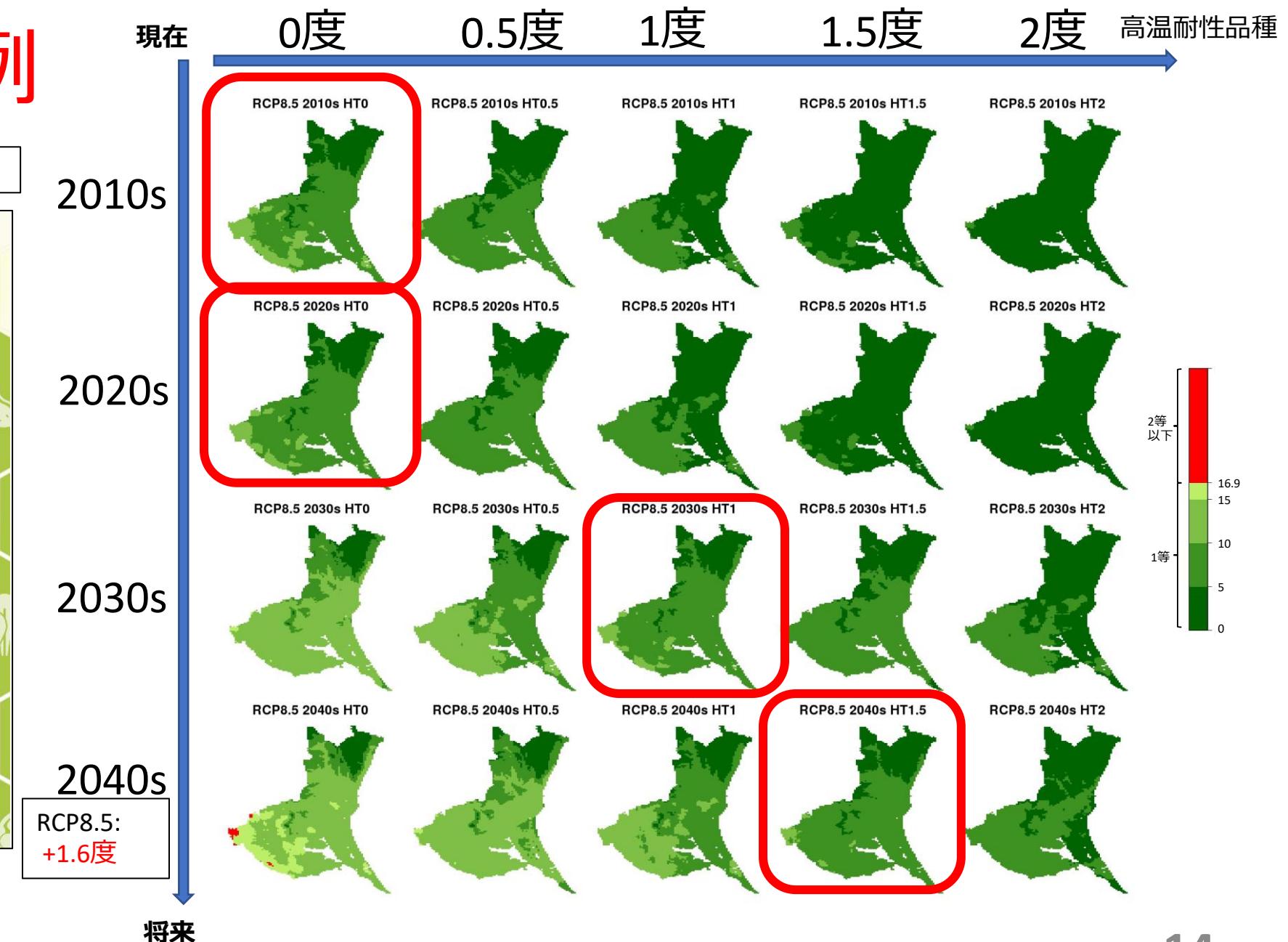
茨城県の例

必要な育種・導入速度は0.5度/10年

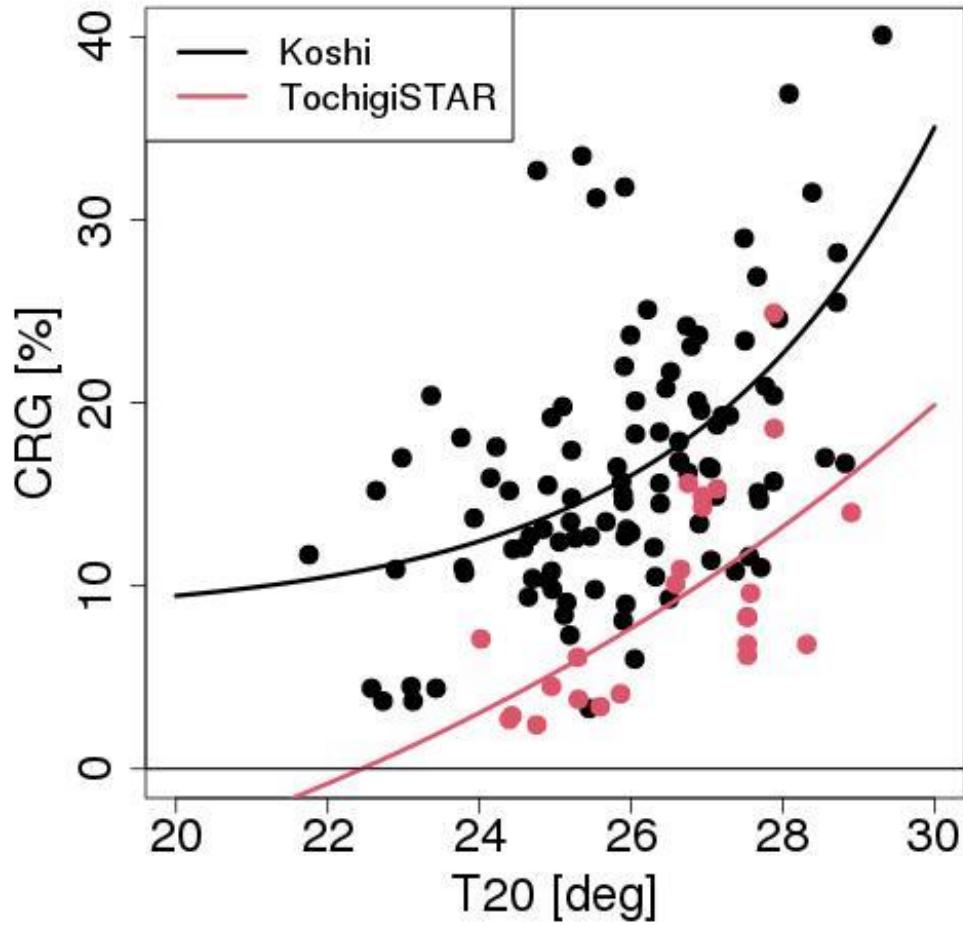


冊子を作成しました。

* 茨城県との共編



コシヒカリ及びとちぎの星(高温耐性品種)の将来予測モデルの作成と影響評価



水稻への気候変動影響 予測モデル 黒：コシヒカリ、赤：とちぎの星
(横軸：出穂後20日間の日平均気温 [°C]、縦軸：白未熟粒発生率 [%])

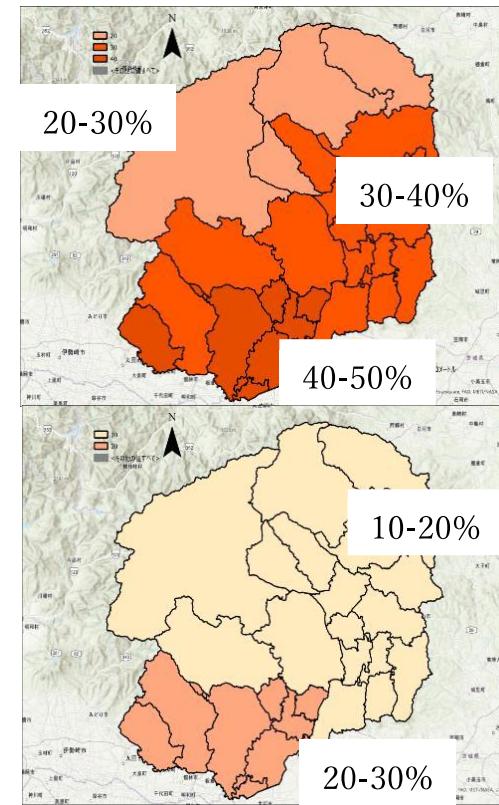


図 15 SSP5-8.5 で試算した 2091-2100 年の白未熟粒の発生率(県気候変動対策課資料から)
(上段:コシヒカリ、下段:とちぎの星)

栃木県
農作物生産における
気候変動適応ガイド
(第 1 版)

令和 6 (2024) 年 6 月
栃木県農政部

今までの温暖化で
すでに水稻品質への影響がでているようだ



疑問

さらに温暖化が進むとどうなるんだろうか？
我々は美味しいお米を食べていけるのだろうか？？



このまま何もしなければ、難しそうだ。



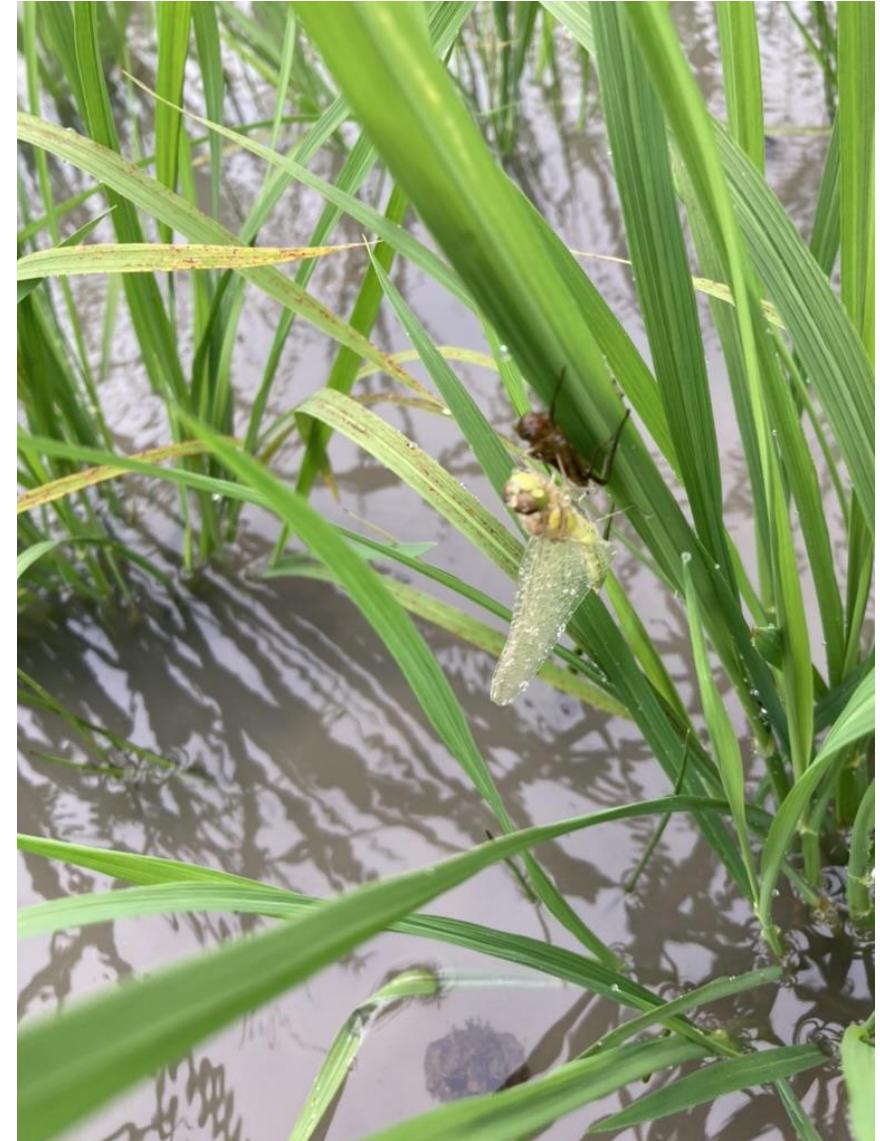
疑問

ではどうすればよいか？



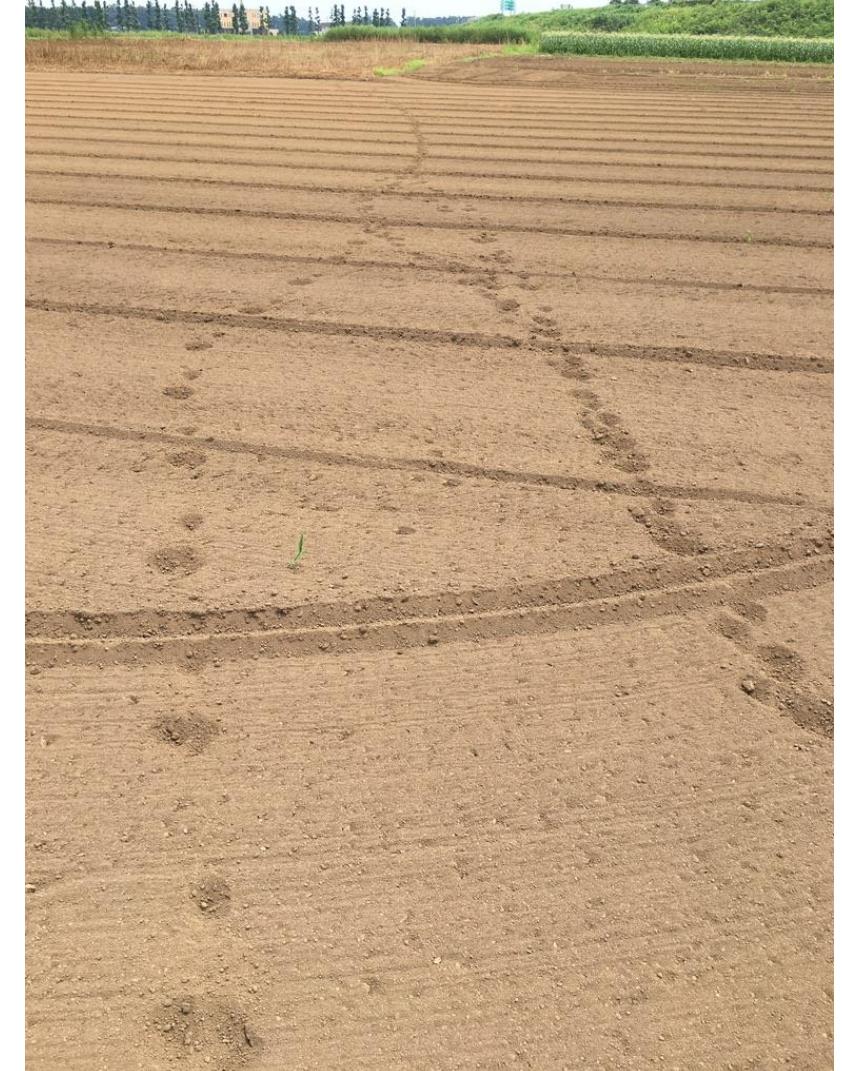
適応する。

高温耐性品種の導入は効果的な適応策である。



とはいえ、 、 、

- 育種・高温耐性品種の導入は重要な適応策である一方で、
 - 時間かかる
 - 生産者・消費者に受け入れられるかは未知数
- 現場レベルの適応策(施肥・水管理)は✓普及するまでの期間✓極端な暑い年に対応する上で重要であろう。



施肥は食味の低下や倒伏の恐れがある。ここでは水管理に注目する。

高温障害対策	技術の性格		技術の内容	用水需要への影響
遅植え	予防的	高温回避	田植えを遅くして出穂期の高温を回避する。	用水ピークを形成する代かき期を含め灌漑期間が全体に遅くなる。
直播	予防的	高温回避	直播では出穂期が遅くなることを利用して、出穂期の高温を回避する。	灌漑期間が全体に変化する。乾田直播の場合には初期かん水量が大きく変化する。
晚生品種の利用	予防的	高温回避	晚生品種を作付けることにより出穂期を遅らせる。	品種の生育期間に応じて灌漑期間が長くなる。
高温耐性品種の利用	予防的	高温耐性強化	高温耐性の高い改良された品種を作付ける。	高温耐性品種の早晚性に応じて灌漑期間が変化する。
中干し	予防的	高温耐性強化	中干しの徹底により、落水期間を延長した場合の地耐力を確保する。	標準的な水管理に中干しが含まれている場合には用水需要は変化しない。
深水管理	予防的	高温耐性強化	分けづ期に深水管理を行うことで、白未熟粒の発生が抑制される。	イネの成長に応じて3~10cmの深水管理とした場合、湛水深の増加分100mmの用水需要が発生する。
掛け流し灌漑	予防的、対症療法的	高温回避、高温耐性強化	気温より低い用水を掛け流すことにより、水温及び地温を湛水状態よりもかなり低く抑えることができる方法。気温より低い用水の確保と用水量の確保が必要である。またイネの活力維持も目的としている。	宮城県の指針によれば、掛け流し灌漑には10a当たり毎分200~300リットルの用水が必要である。これは288~432mm/dayに相当する。
昼間深水・夜間落水管理	対症療法的	高温回避	晴天時の高温時において、昼間はできるだけ深水管理とし夜間は逆に落水管理とする水管理方法。午前9時~10時頃かん水し、気温が用水量を下回り始める午後4時頃に落水する。掛け流しよりは、地温水温低下の効果は低い。	昼間12cmの深水管理とした場合、120mm/dayの用水需要が発生する。
飽水・保水管理	対症療法的	高温回避	湛水せずに、土壤を常に湿潤状態に保つ方法(足跡に水が残る程度の水を保つ)。掛け流し程の効果は得られないが、出穂後の水管理を保水で保つことにより、乳白粒、胴割粒の発生が少なくなるデータがある。根に酸素を供給し、株元の温度及び地温が下がることで、稻及び根の活力維持に効果がある。	節水的な用水管理であり、用水需要は減少すると考えられる。
落水期間の延長	対症療法的	高温回避	落水期間を延長することにより、急激な乾燥による胴割粒の発生を抑制する。	落水期間の延長日数分、灌漑期間が長くなる。

友正・山下(2009)

- 登熟期に限ると
 - 掛け流し灌漑
 - 昼間深水・夜間落水管理
 - 飽水管理



増富撮影@つくば

どのがいいのか？

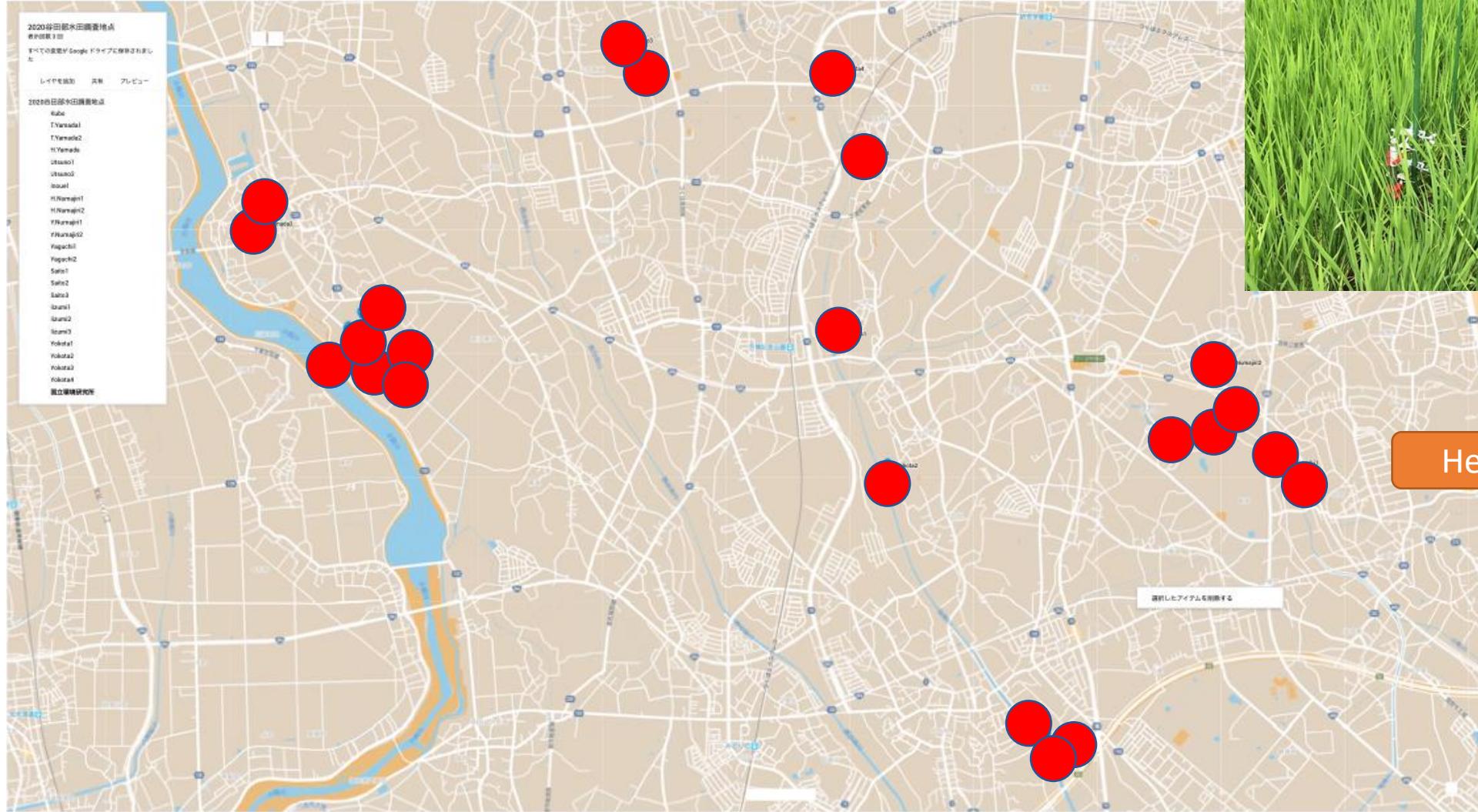
何cmにしたら何度温度が上がる？下がる？
他の適応策に比べてどのくらい効果があるか？

Let's go to
paddy rice fields



23 fields in 2019

2020谷田部水田調査地点 - Google マイマップ



Here

水温・水位計を設置して、 その二つの関係を調べる

まとめ

現在までの温暖化で
すでに水稻品質への影響がでているようだ



疑問

さらに温暖化が進むとどうなるんだろうか？

我々は美味しいお米を食べていけるのだろうか？？



このまま何もしなければ、難しそうだ。



疑問

ではどうすればよいか？



適応する。

高温耐性品種の導入は効果的な適応策である。



疑問

現場でできる適応策で効果的なものはないか？



水管理である程度、水温を下げるかもしれない??



まだまだわからないこともあります、今後も研究を進めていきたいと思います。
ご清聴ありがとうございました。