

地球温暖化や気候変動が県内農業 に及ぼす影響と対策について

西森基貴（農研機構・農業環境研究部門）

協力者：石郷岡康史、若月ひとみ、長谷川利拡、飯泉仁之直、滝本貴弘、桑形恒男

謝辞：文科省「SI-CAT」、環境省等「地域適応コンソーシアム」、農水省「気候変動対応」、環境省「S18」

本日のお話

1. 気候変動・極端気象現象
2. コメ生産への影響と適応
3. 農業分野における適応策

* 本資料はご自身もしくは所属内での利用に限り、第三者への配布・転送はお控えくださるようお願い申し上げます（後日のHP公開版と同一のものは除く）。

農研機構(のうけんきこう)は、我が国の農業と食品産業の発展のため、基礎から応用まで幅広い分野で研究開発を行う機関です。 <https://www.naro.go.jp/introduction/about-naro.html>



この分野における我が国最大の研究機関であり、職員数約3,300名(正職員のみ)、年間予算767億円(うち運営費交付金657億円)「2019年度決算」。全国各地に研究拠点を配置して研究活動を行っています。

当機構は1893年(明治26年)に設立された農商務省農事試験場にその起源があります。農林水産省の試験研究機関の時代を経て、2001年(平成13年)に独立行政法人として発足しました。以後、数回の統合を経て2016年(平成28年)に現在の「国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構」となりました。研究開発の成果を社会に実装するため、国、都道府県、大学、企業等との連携による共同研究や技術移転活動、農業生産者や消費者への成果紹介も積極的に進めています。

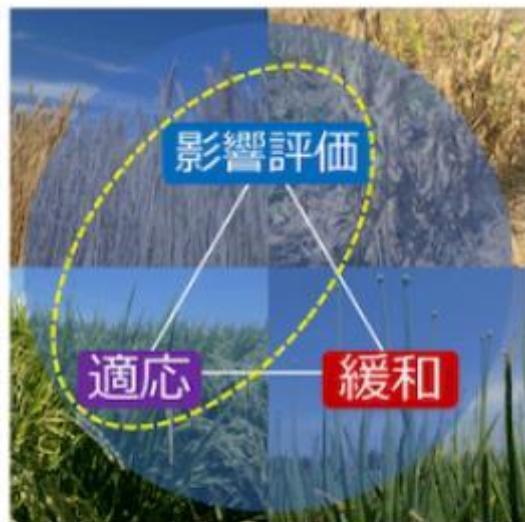
気候変動適応策研究領域

地球温暖化などの気候変動が農業生産に及ぼす影響が顕在化しつつある中、その被害を回避・軽減し、農業生産を維持・向上させるための「適応策」の重要性が増しています。

現在および気候変動がさらに進行すると想定される将来における適応策を考えるためには、気候変動の影響を正確に検出し、その要因を解明することも重要になります。そのため、当領域では、実験的影響解明、最新の気候シナリオや影響評価手法を用いた影響評価・将来影響予測、さらには適応策の効果の定量的評価を行います。また、その結果を公的機関や生産現場で容易に活用できるような情報提供の仕組みについても研究を行います。

変動気候下で生産性を維持・向上するためには、気象データや作物生育データに基づく栽培管理支援情報の活用も重要です。今後、産地あるいは生産者のデータを利用した栽培管理支援情報の高度化が望まれていることから、関連する基礎的研究を進めるとともに、その成果は農業データ連携基盤(WAGRI)等を通じて社会実装できるようにします。

緩和策との両立も図りながら、生産環境・栽培管理情報の統合による気候変動に適応した高生産性農業の実現をめざします。



適応(生産性)と緩和(ゼロエミッション)の両立をはかる

気候変動適応策研究領域では主に影響評価と適応を担当

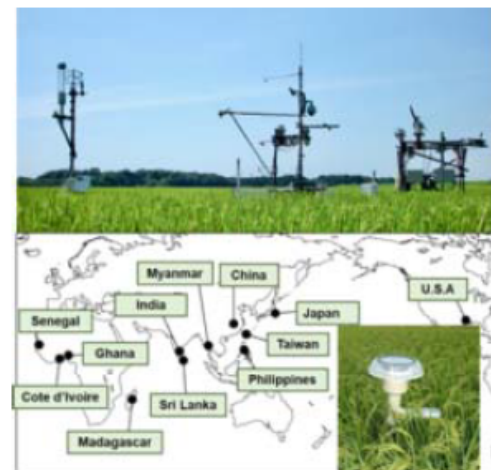
作物影響評価・適応グループ

地球温暖化の進行は、農業生産に大きな影響を与えつつあります。いつ、どこで、どのような影響が起こるかを予測することは、気候変動への適応策を講ずるための基盤です。本グループでは、大気CO₂濃度の上昇、温暖化、降水量の変化などの環境変動が作物に影響する仕組みを解明し、予測と対策に役立てる研究を行います。そのために、

- (1) 温暖化に対する作物の反応の仕組みの解明とモデル化
- (2) 農耕地の微気象観測ネットワークによる温暖化影響の実態解明
- (3) 詳細な気候シナリオの構築とデータベース化
- (4) 圃場—地域—国—グローバルスケールでの影響と適応策の評価

を行います。

温暖化に対する作物の温度反応の解明では、品種や栽培技術の違いを考慮して、将来に有効な適応技術を評価します。また、耕地の群落微気象観測のネットワークを通じて、温暖化が作物に及ぼす影響の実態を明らかにします。さらに、日本だけではなくアジアおよび世界全体を対象として、現在から今世紀末にかけての詳細な気候シナリオを整備します。これらを基に、国内農業とグローバルな食料生産への影響と適応技術の評価を行い、地方自治体、国レベルでの適応策計画に貢献します。



水田における微気象観測(上、茨城県つくば市真瀬におけるフラックス測定;下、植物群落内の温湿度を捉える自立型観測装置「MINCER」による観測ネットワーク)

大崎市・古川農業試験場



大崎市ホームページ「おおさき観光情報」
<https://www.city.osaki.miyagi.jp/kanko/index.html>



公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会
「良食味多収の水稲品種～「ササニシキ」を育てた末永喜三～」
<https://www.jataff.or.jp/senjin2/29.html>



1 みやぎの農業の特徴

宮城県では様々な農産物が生産されています。広大な平野部で稲作が盛んに行われており、「みやぎ米」のブランド力強化に向け、主力の「ひとめぼれ」や「ササニシキ」に加え、新品種「だて正夢」や玄米食向け品種「金のいぶき」の生産拡大に取り組んでいます。また、畜産では「仙台牛」、「みやぎのポーク」といったブランドがあり、園芸では「仙台いちご」などが有名です。各地域で気候風土に合わせて多様な農産物を生産しており、「仙台白菜」や「仙台曲がりねぎ」、「せり」「パプリカ」「つるむらさき」などの生産も盛んです。

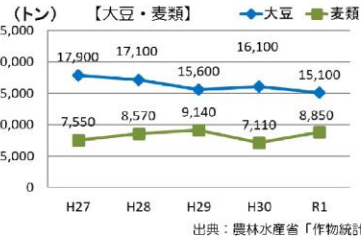
みやぎの米・大豆・麦類



水稲作付面積 全国4位



大豆作付面積 全国2位



六条大麦作付面積 全国6位

みやぎの畜産



ブランド牛「仙台牛」 県有基幹種雄牛「茂福久(しげふくひさ)」



系統豚(ミヤギノL2)



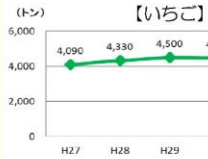
「しもふりレッド」



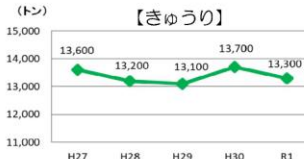
みやぎの園芸



県育成いちご品種「にこにこベリー」



県内で生産の盛んなきゅうり、トマト



仙台発祥の「仙台曲がりねぎ」



生産量全国1位 パプリカ



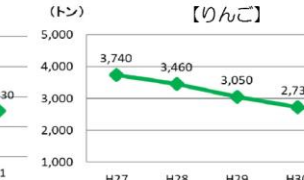
生産量全国1位 せり



果樹の県主要品目 日本なし



県育成りんご品種「サワールージュ」



出典：農林水産省「野菜生産出荷統計」「地域特産野菜生産状況」「花き「県花き産業振興総合調査」・果樹 農林水産省「果樹生産出荷統計」

農林水産業：環境負荷を軽減し持続可能な食料システムを構築

みどりの食料システム戦略（概要）

～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～

Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI)

令和3年5月
農林水産省

現状と今後の課題

- 生産者の減少・高齢化、地域コミュニティの衰退
- 温暖化、大規模自然災害
- コロナを契機としたサプライチェーン混乱、内食拡大
- SDGsや環境への対応強化
- 国際ルールメイキングへの参画

「Farm to Fork戦略」(20.5)

2030年までに化学農薬の使用及びリスクを50%減、有機農業を25%に拡大

「農業イノベーションアジェンダ」(20.2)

2050年までに農業生産量40%増加と環境フットプリント半減

**農林水産業や地域の将来も
見据えた持続可能な
食料システムの構築が急務**

持続可能な食料システムの構築に向け、「みどりの食料システム戦略」を策定し、中長期的な観点から、調達、生産、加工・流通、消費の各段階の取組とカーボンニュートラル等の環境負荷軽減のイノベーションを推進

目指す姿と取組方向

2050年までに目指す姿

- 農林水産業のCO2ゼロエミッション化の実現
- 低リスク農業への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬等の開発により化学農薬の使用量（リスク換算）を50%低減
- 輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減
- 耕地面積に占める有機農業の取組面積の割合を25%(100万ha)に拡大
- 2030年までに食品製造業の労働生産性を最低3割向上
- 2030年までに食品企業における持続可能性に配慮した輸入原材料調達の実現を目指す
- エリートツリー等を林業用苗木の9割以上に拡大
- ニホンウナギ、クロマグロ等の養殖において人工種苗比率100%を実現

戦略的な取組方向

2040年までに革新的な技術・生産体系を順次開発（技術開発目標）

2050年までに革新的な技術・生産体系の開発を踏まえ、

今後、「政策手法のグリーン化」を推進し、その社会実装を実現（社会実装目標）

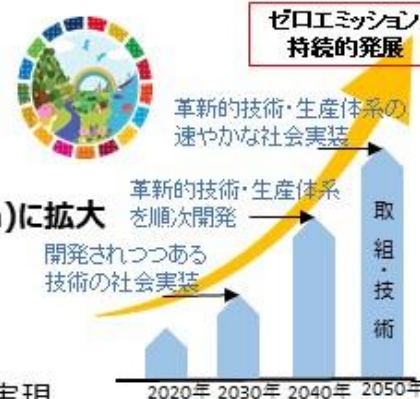
※政策手法のグリーン化：2030年までに施策の支援対象を持続可能な食料・農林水産業を行う者に集中。

2040年までに技術開発の状況を踏まえつつ、補助事業についてカーボンニュートラルに対応することを目指す。

補助金拡充、環境負荷軽減メニューの充実とセットでクロスコンプライアンス要件を充実。

※革新的技術・生産体系の社会実装や、持続可能な取組を後押しする観点から、その時点において必要な規制を見直し。

地産地消型エネルギーシステムの構築に向けて必要な規制を見直し。



期待される効果

経済 持続的な産業基盤の構築

- ・輸入から国内生産への転換（肥料・飼料・原料調達）
- ・国産品の評価向上による輸出拡大
- ・新技術を活かした多様な働き方、生産者のすそ野の拡大

社会 国民の豊かな食生活 地域の雇用・所得増大

- ・生産者・消費者が連携した健康的な日本型食生活
- ・地域資源を活かした地域経済循環
- ・多様な人々が共生する地域社会

環境 将来にわたり安心して 暮らせる地球環境の継承

- ・環境と調和した食料・農林水産業
- ・化石燃料からの切替によるカーボンニュートラルへの貢献
- ・化学農薬・化学肥料の抑制によるコスト低減

アジアモンスーン地域の持続的な食料システムのモデルとして打ち出し、国際ルールメイキングに参画（国連食料システムサミット（2021年9月）など）

みどりの食料システム（具体的な取組）

～食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現～

調達

1. 資材・エネルギー調達における脱輸入・脱炭素化・環境負荷軽減の推進

- (1) 持続可能な資材やエネルギーの調達
- (2) 地域・未利用資源の一層の活用に向けた取組
- (3) 資源のリユース・リサイクルに向けた体制構築・技術開発

～期待される取組・技術～

- 地産地消型エネルギーシステムの構築
- 改質リグニン等を活用した高機能材料の開発
- 食品残渣・汚泥等からの肥料成分の回収・活用
- 新たなタンパク資源（昆虫等）の利活用拡大等

生産

2. イノベーション等による持続的生産体制の構築

- (1) 高い生産性と両立する持続的生産体系への転換
- (2) 機械の電化・水素化等、資材のグリーン化
- (3) 地球にやさしいスーパー品種等の開発・普及
- (4) 農地・森林・海洋への炭素の長期・大量貯蔵
- (5) 労働安全性・労働生産性の向上と生産者のすそ野の拡大
- (6) 水産資源の適切な管理

～期待される取組・技術～

- スマート技術によるピンポイント農薬散布、次世代総合的病害虫管理、土壌・生育データに基づく施肥管理
- 農林業機械・漁船の電化等、脱プラ生産資材の開発
- バイオ炭の農地投入技術
- エリートツリー等の開発・普及、人工林資源の循環利用の確立
- 海藻類によるCO₂固定化（ブルーカーボン）の推進等

・持続可能な農山漁村の創造
・サプライチェーン全体を貫く基盤技術の確立と連携（人材育成、未来技術投資）
・森林・木材のフル活用によるCO₂吸収と固定の最大化

- ✓ 雇用の増大
- ✓ 地域所得の向上
- ✓ 豊かな食生活の実現

消費

4. 環境にやさしい持続可能な消費の拡大や食育の推進

- (1) 食品ロスの削減など持続可能な消費の拡大
- (2) 消費者と生産者の交流を通じた相互理解の促進
- (3) 栄養バランスに優れた日本型食生活の総合的推進
- (4) 建築の木造化、暮らしの木質化の推進
- (5) 持続可能な水産物の消費拡大

～期待される取組・技術～

- 外見重視の見直し等、持続性を重視した消費の拡大
- 国産品に対する評価向上を通じた輸出拡大
- 健康寿命の延伸に向けた食品開発・食生活の推進

等

加工・流通

3. ムリ・ムダのない持続可能な加工・流通システムの確立

- (1) 持続可能な輸入食料・輸入原材料への切替えや環境活動の促進
- (2) データ・AIの活用等による加工・流通の合理化・適正化
- (3) 長期保存、長期輸送に対応した包装資材の開発
- (4) 脱炭素化、健康・環境に配慮した食品産業の競争力強化

～期待される取組・技術～

- 電子タグ（RFID）等の技術を活用した商品・物流情報のデータ連携
- 需給予測システム、マッチングによる食品ロス削減
- 非接触で人手不足にも対応した自動配送陳列

等

温暖化の緩和(mitigation)とは

- ・温暖化の原因，二酸化炭素など温室効果ガスの排出を減らす（省エネ，太陽熱・風力・小水力，原発？）

温暖化への適応(adaptation)とは

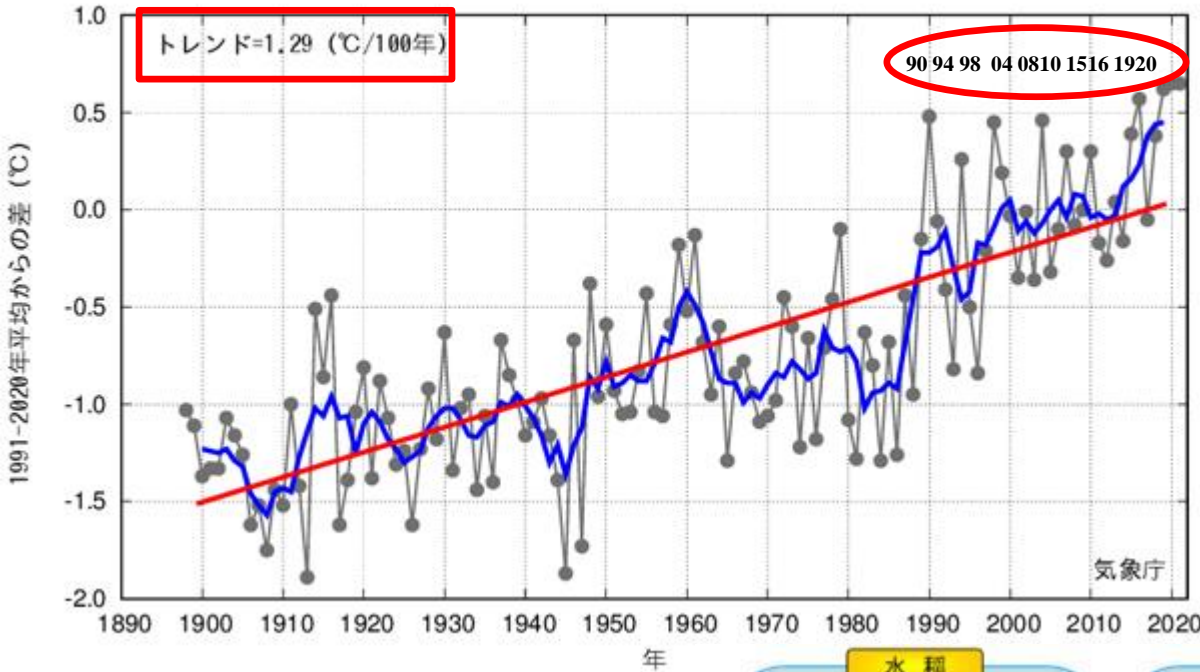
- ・もう起こっている、また、これから起こる温暖化の影響にうまく対応して、影響を小さくすること。

農業での例：品種改良，作付け期の変更，水・肥料管理

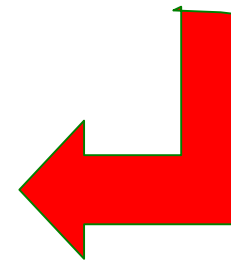
- * 緩和と適応の組み合わせ（ベストミックス）が現実的
← 気候変動政府間パネルIPCCの指摘

1. 気候変動・極端現象

日本の年平均気温偏差



日本の気温



高温による農業への影響が深刻化

水稲



・水稲の登熟期(出穂・開花から収穫までの期間)の日平均気温が27℃を上回ると玄米の全部又は一部が乳白化したり、粒が細くなる「白未熟粒」が多発。
 ・特に、登熟期の平均気温が上昇傾向にある九州地方等で深刻化。

果樹



高温によるみかんの「日焼け果」



高温によるみかんの「浮皮症」

〔成熟が進んでからの高温・多雨により、果皮と果肉が分離(品質・貯蔵性の低下)〕

着色不良



ぶどうの着色障害

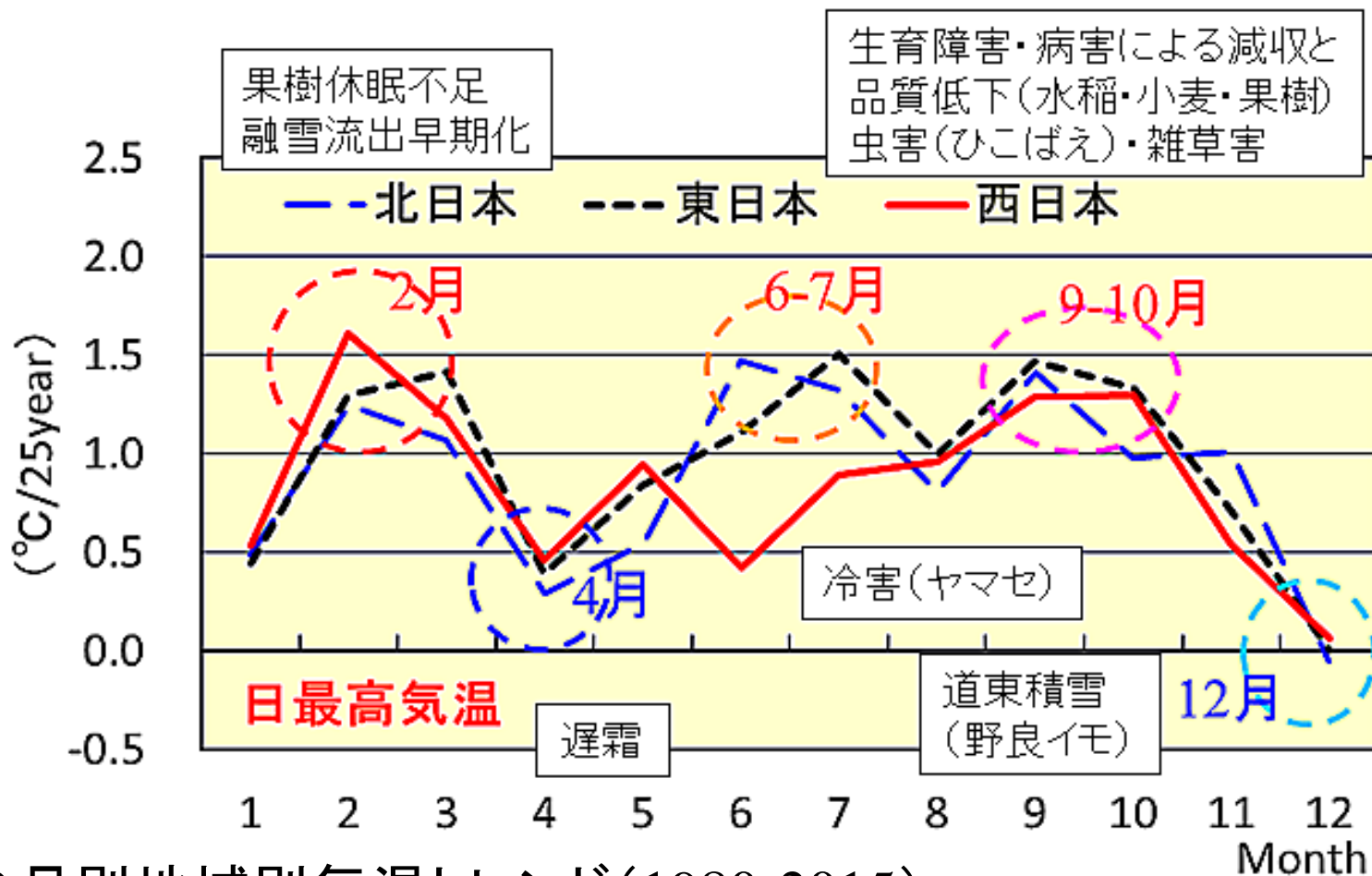
〔高温によるアントシアニンの合成抑制〕

正常



平年値(1991-2020年平均)に比して、2020年と2021年が+0.65℃で過去最高。1990年からの上昇が世界に比して顕著(気象庁)

気温上昇の季節差と農業影響(概要)



日本の月別地域別気温トレンド(1980-2015)

* 農環研選定:都市化の影響のない「農耕地モニタリング地点」を使用(京都・鴨川)

早春2月と残暑・秋期に特に西日本で昇温

→登熟期高温による水稻の影響,年間を通じた果樹影響,病虫害発生。

一部には,低温による影響も。

1. 気候変動・極端現象

2022年夏の天候 (JMA, 20220901)

○平均気温

東・西日本と沖縄・奄美では夏を通して暖かい空気に覆われやすかったためかなり高く、西日本では年の統計開始以降1位タイを記録。

○降水量

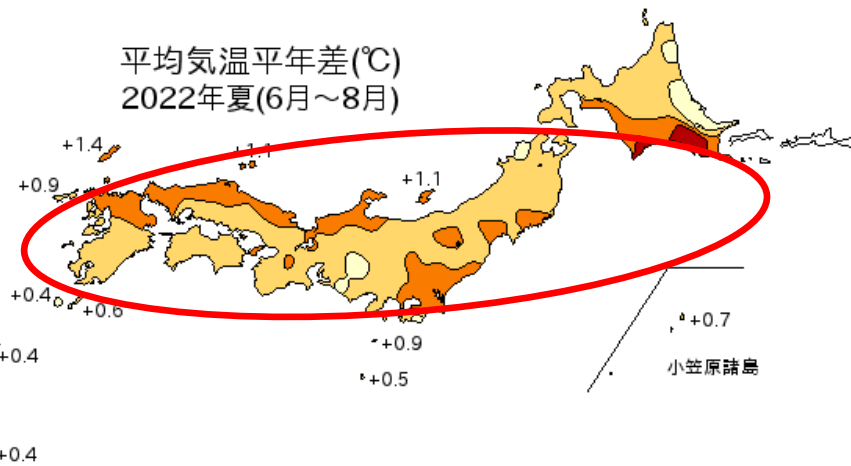
8月を中心に繰り返し低気圧や前線の影響を受けた北日本の日本海側・太平洋側で、かなり多かった。

* 梅雨

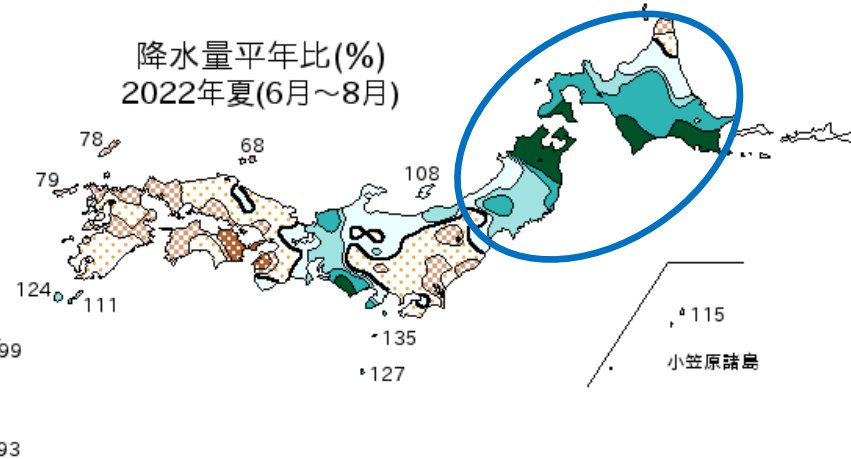
九州～関東甲信の梅雨明け確定値は、7月下旬となった。一方、東北北部・南部と北陸地方では、8月上・中旬も曇りや雨の日が多かったため、梅雨明けを特定できず。

広範囲で高温多湿(イネ作物体温度が上昇)→水稻影響が懸念

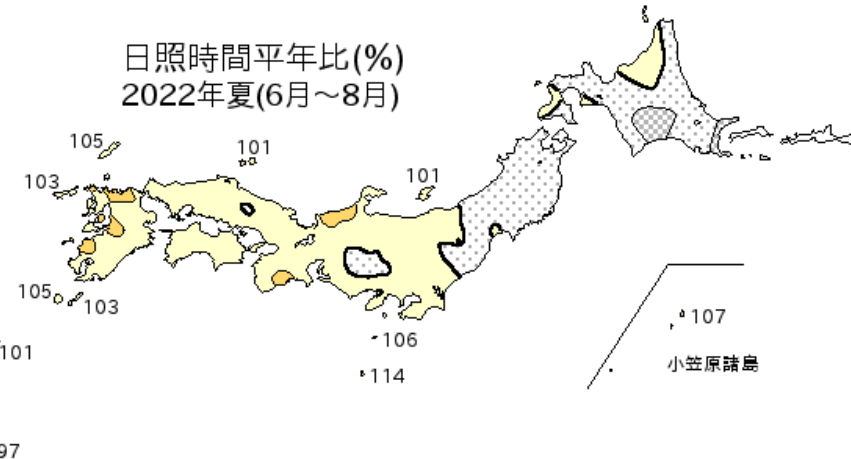
平均気温平年差(°C)
2022年夏(6月～8月)



降水量平年比(%)
2022年夏(6月～8月)



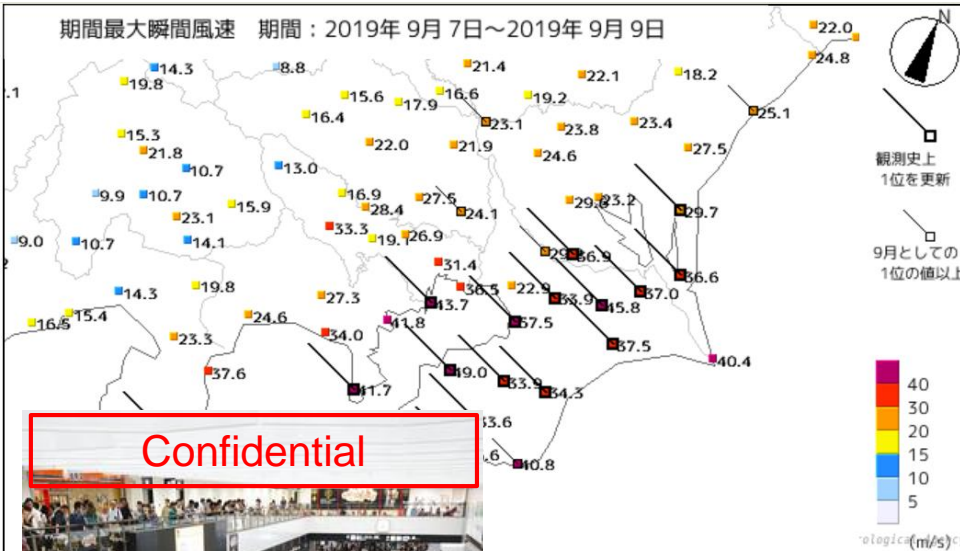
日照時間平年比(%)
2022年夏(6月～8月)



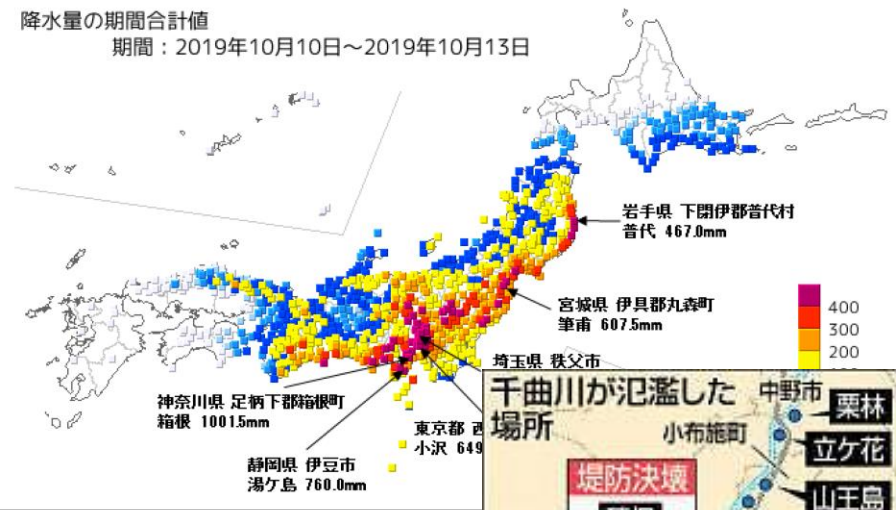
相次ぐ台風被害(15号、19号)

1. 気候変動・極端気象

期間最大瞬間風速 期間：2019年9月7日～2019年9月9日



期間降水量分布図(10月10日0時～10月13日24時)



Confidential



主要交通機関が長時間運休し、足止めされた大勢の利用客で混雑する成田空港 = 9日夜 (東京新聞2019.09.10)

Confidential



農林水産省によりますと、台風19号による農林水産関係の被害額は28日午前6時の時点で、38の都府県で合わせて1223億8000万円となりました(NHK NEWS WEB, 20191029)



信濃毎日新聞(2019.10.14)

1. 気候変動・極端現象

2022年冬の天候 (JMA, 20220301)

○平均気温

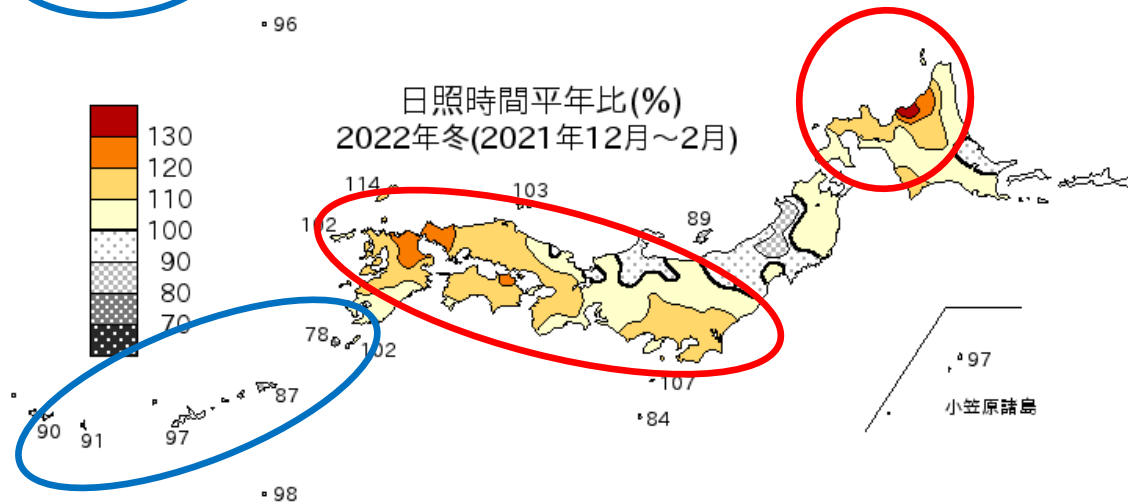
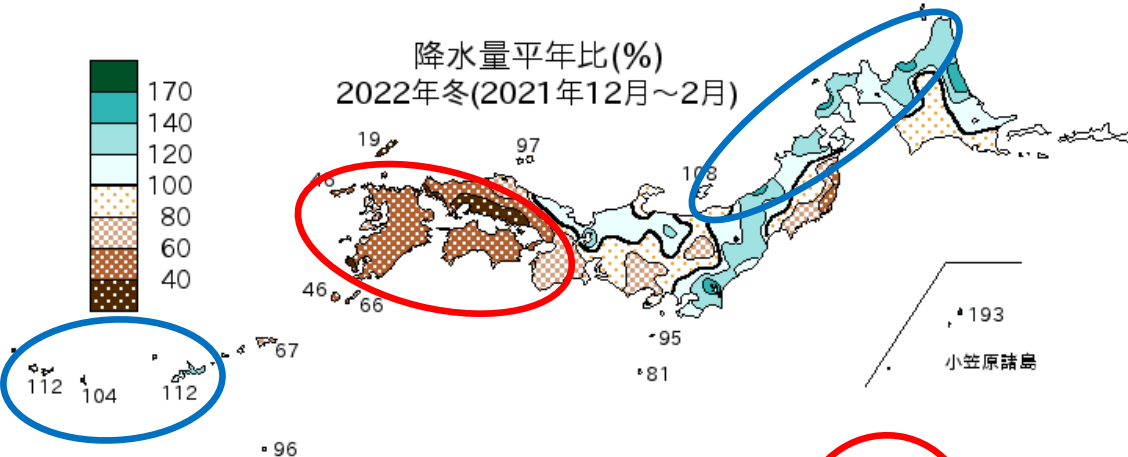
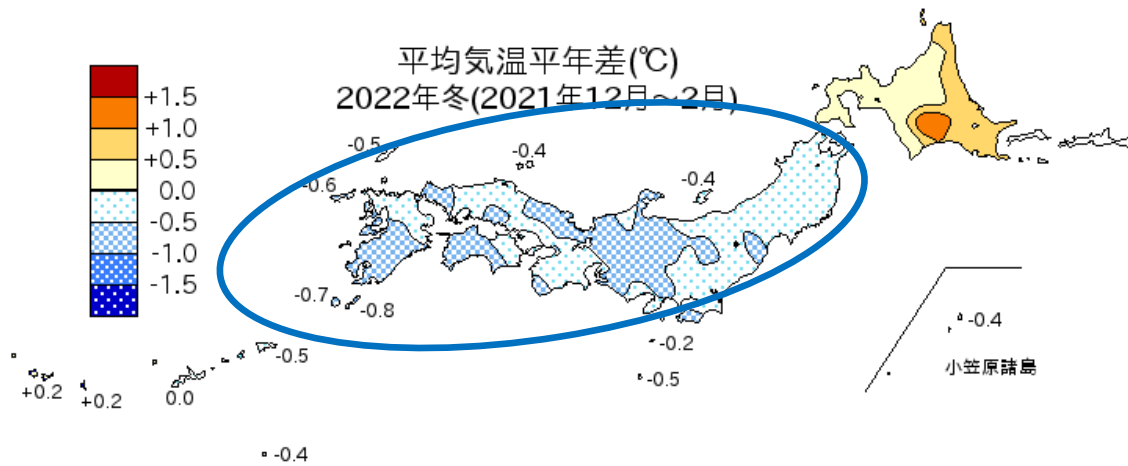
東・西日本では12月下旬以降に強い寒気の影響を受けたために低かった。

○降水量

北日本日本海側では、12月下旬以降の低気圧の通過や冬型の気圧配置の強まりのためにより多く、降雪量も多かった。西日本では冬を通して低気圧の影響を受けにくく、かなり少なかった。

○日照時間

冬の間、断続的に冬型の気圧配置が解消する時期があった北日本と、低気圧の影響を受けにくかった西日本と東日本太平洋側で多かった。

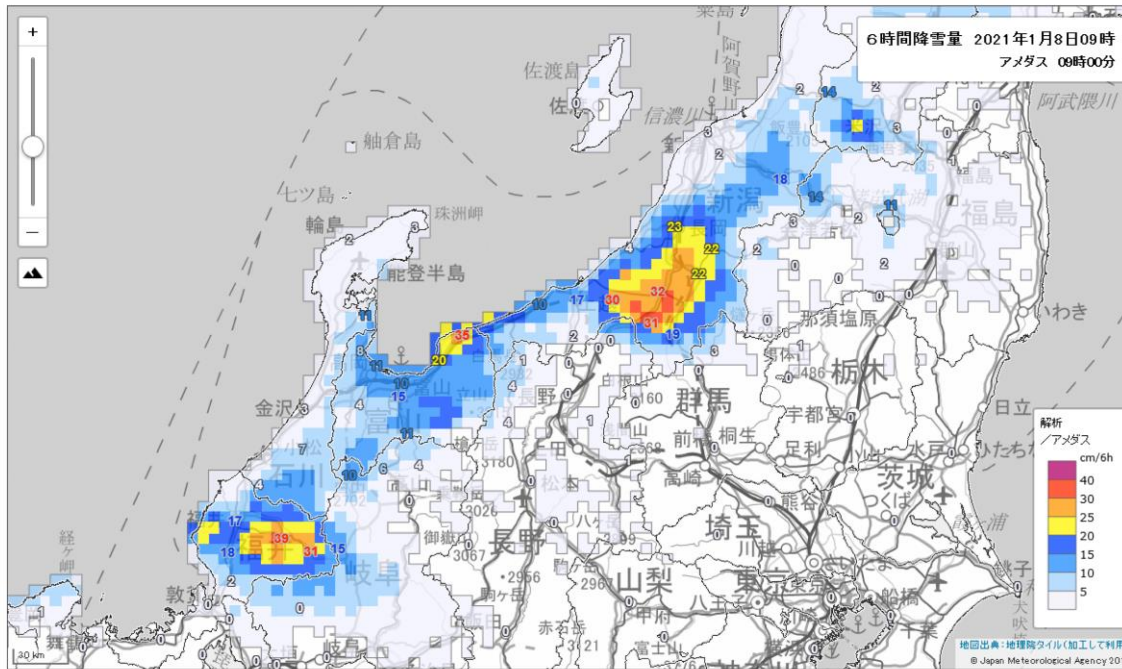


1. 気候変動・極端気象



大雪の影響で立ち往生した2021年1月10日の北陸自動車道下り線＝福井県福井市寮町から撮影(福井新聞)

6時間降雪量(2021年1月8日9時):福井県の大野市で6時間に39センチ



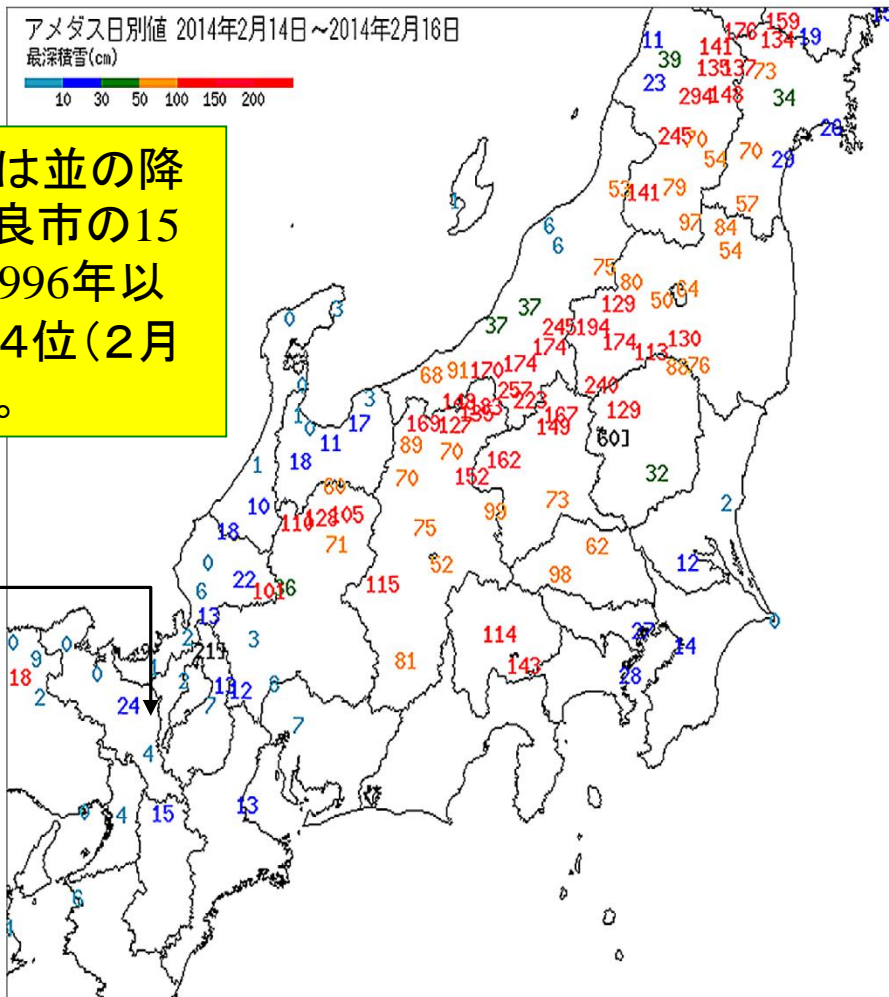
発達した低気圧及び強い冬型の気圧配置に伴う大雪・暴風
令和3(2021)年1月7日～1月11日:気象庁R3.01.15

極端現象:2014関甲信大雪

1. 気候変動・極端気象

(4) 雪の状況

○最深積雪 (平成26年2月14日~16日)



○今冬の大雪による被害は、関東農政局管内の被害額が1,570億円で、全国の被害額の約9割を占めている。

○被害のうち、ビニールハウス等の損壊が被害額全体の約2/3を占めている。



農林水産省2014: 今冬の豪雪災害による災害及び支援の概要について

https://www.maff.go.jp/kanto/kihon/kikaku/jyousei/25jousei/pdf/tokusyuu_dai2.pdf

宮城県の気候変動

https://www.data.jma.go.jp/sendai/knowledge/climate/change/leaf/miyagi_l2022.pdf

これまでの変化（観測事実）

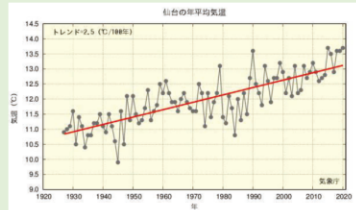
2020年までの観測データで確認されている変化

気温の変化



気温が上昇を続けており、東北地方も例外ではありません。場所によっては都市化の影響などが加わってさらに気温が大きく上昇している場合もあります。

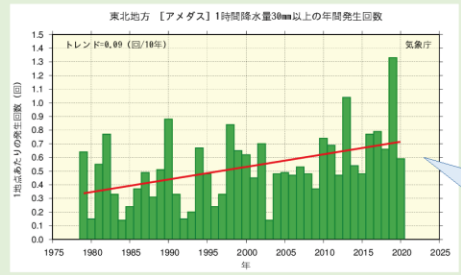
年平均気温 (仙台)	約 2.5°C 上昇 (100年あたり)
年平均気温 (東北地方)	約 1.3°C 上昇 (100年あたり)
年平均気温 (全国)	約 1.3°C 上昇 (100年あたり)



仙台の年平均気温（1927～2020年）折線（黒）は各年の気温、直線（赤）は長期的な変化傾向を示しています。

雨の降り方の変化

短時間に降る強い雨の回数が増え、雨の降り方が極端になっています。



バケツをひっくり返したような雨の回数が約30年で1.9倍に増加

海の変化

海の水温も上昇を続けています。三陸沖の海面水温は、100年あたり約0.8°Cの割合で上昇しています。



追加的な緩和策を取らなかった場合



パリ協定の2°C目標が達成された場合

1. 気候変動・極端気象

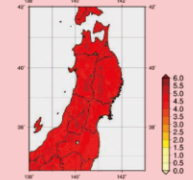
これからの変化（将来予測）

20世紀末（1980-1999年）から21世紀末（2076-2095年）までの約100年間に起きると予測される変化

気温の変化

これまでの変化よりもはるかに大きく気温が上昇します。

年平均気温 (宮城県)	約 4.6°C 上昇
真夏日 (宮城県)	約 43日 増加
熱帯夜 (宮城県)	約 36日 増加



年平均気温の変化（4°C上昇シナリオ）

雨の降り方の変化

気温が上がるほど雨の降り方も極端になります。

1時間に30mm以上の雨の回数 (東北地方)	約 2.5倍 に増加
雨の降る日数 (全国)	約 8日 減少

地域単位の降水の定量的な予測は不確実性が高いことに注意

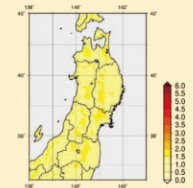
海の変化

三陸沖の海面水温は約**4.9°C**上昇します。

気温の変化

4°C上昇シナリオよりはかなり小さいものの、気温の上昇は続きます。

年平均気温 (宮城県)	約 1.4°C 上昇
真夏日 (宮城県)	約 10日 増加
熱帯夜 (宮城県)	約 4日 増加



年平均気温の変化（2°C上昇シナリオ）

雨の降り方の変化

雨の降り方もこれまでよりは極端になります。

1時間に30mm以上の雨の回数 (東北地方)	約 1.6倍 に増加
雨の降る日数 (全国)	有意な変化なし

地域単位の降水の定量的な予測は不確実性が高いことに注意

海の変化

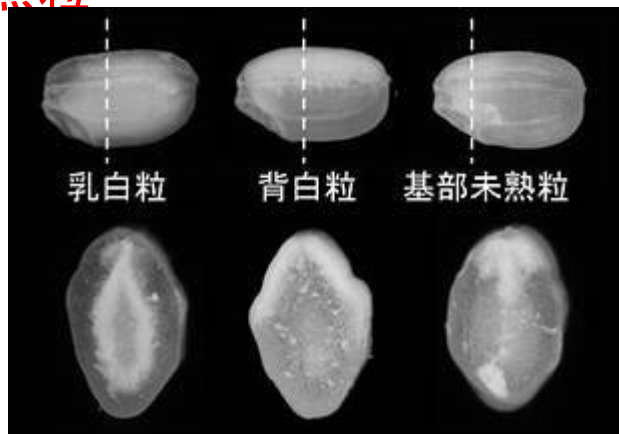
三陸沖の海面水温に有意な変化は予測されていません。

水稻の高温障害

2. コメ生産への影響と適応

現在直面している課題

白未熟粒



森田敏 2005農業技術60:6-10

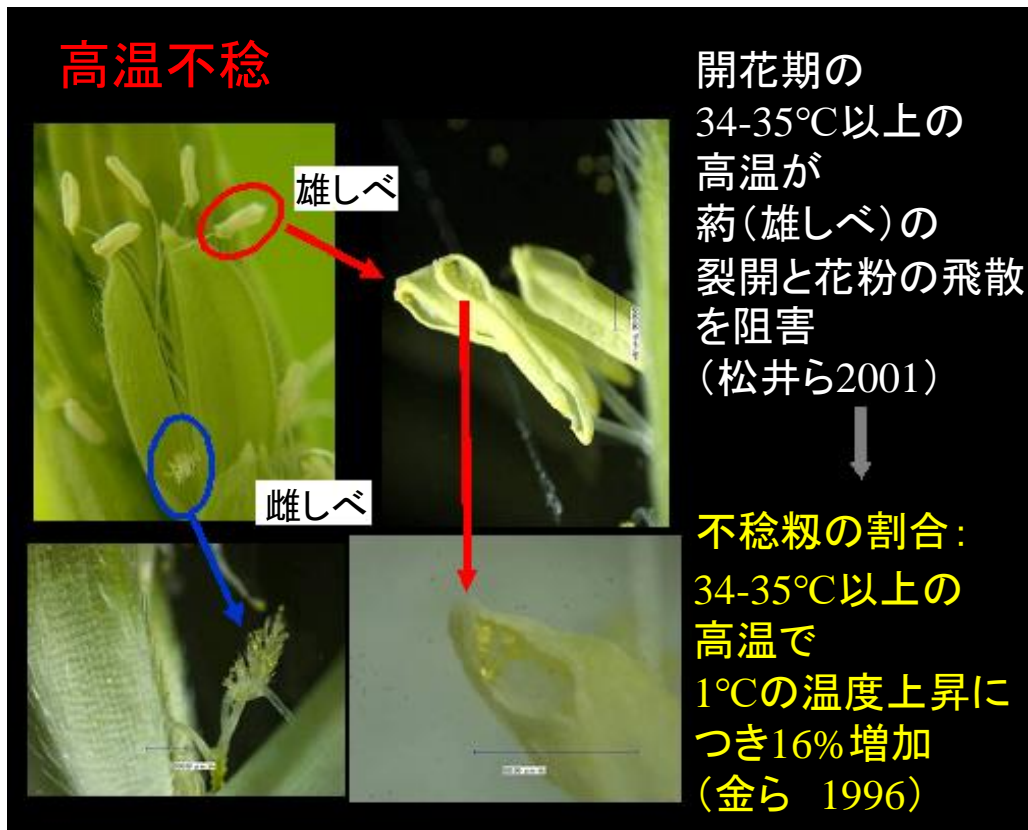
胴割粒



長田健二氏提供

将来の危惧: 開花期の高温による不受精穎花の発生

高温不稔



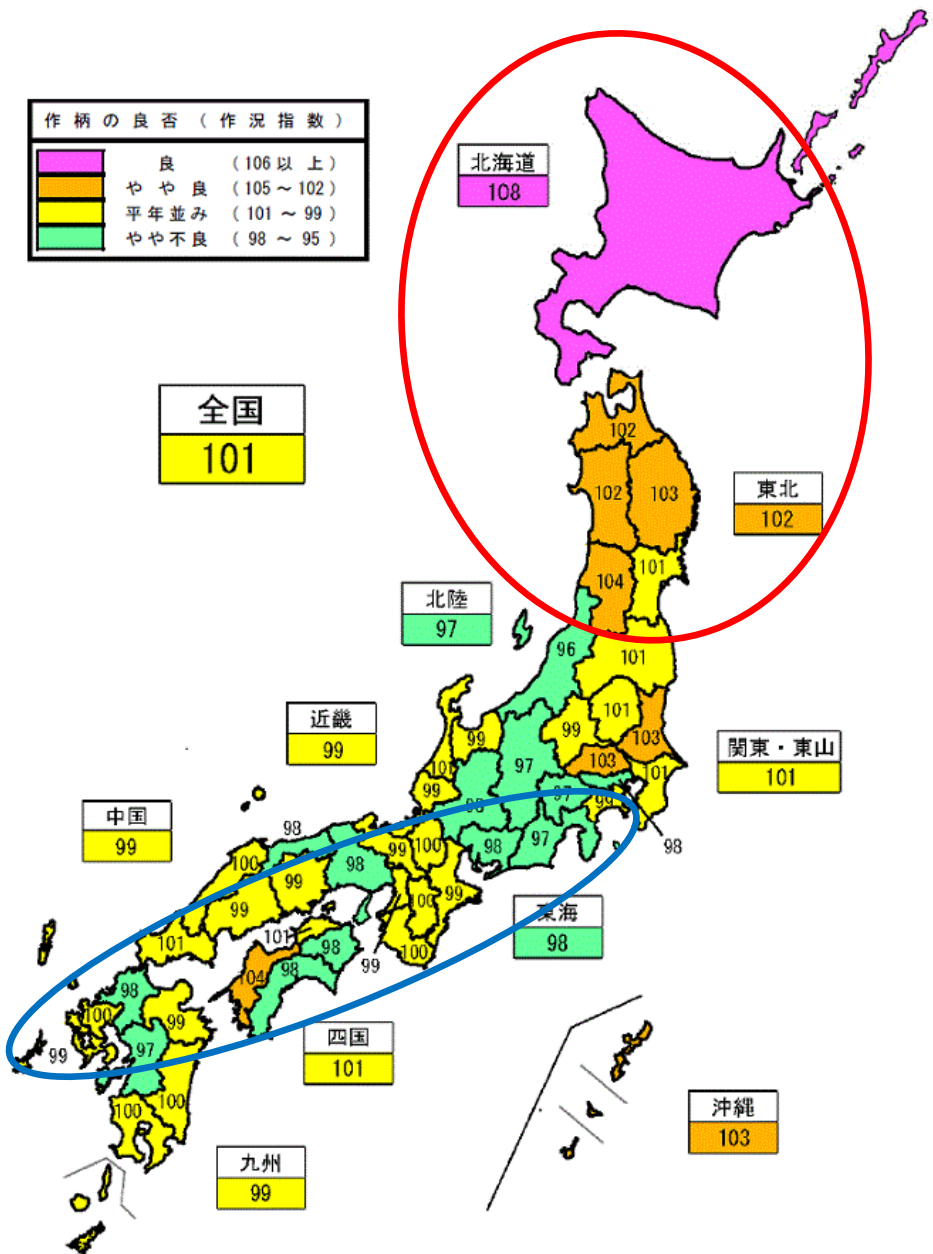
長谷川利拓氏提供

図2 全国農業地域 都道府県別作況指数

3. 日本の農業への影響

コメ作況指数 R3(2021)
MAFF 2021.12.08

作柄の良否 (作況指数)	
良 (106以上)	106以上
やや良 (105~102)	105~102
平年並み (101~99)	101~99
やや不良 (98~95)	98~95



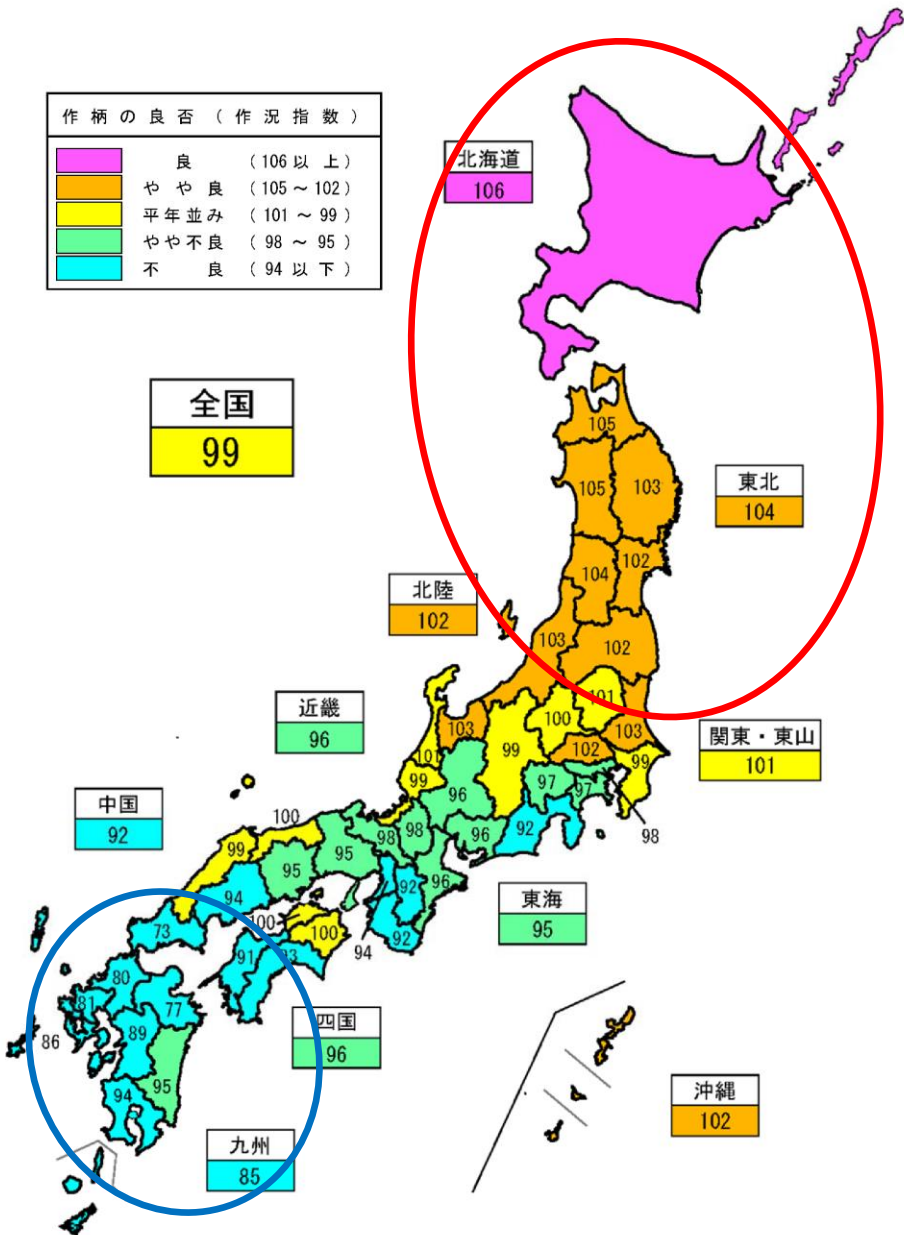
収量:
 ○北海道・東北においては、全もみ数が平年以上に確保され、登熟も順調に推移したことから、おおむね「やや良」、北海道は「良」
 ○その他の地域は、8月上旬の台風や8月中旬からの低温、日照不足等の影響により登熟が平年を下回る地域がある一方で、9月中旬以降、概ね天候に恵まれ登熟が順調に推移したことから、「やや不良」~「平年並み」

品質(一等米比率)(R4.04.28速報値)
 ○一等米比率は83.1%で前年比+3.4%
 * 2019年は73.1%、2010年は62%

* 新潟県ではブランド米「新之助」が初の90%割れ→農研機構は2018開発の良食味・高温耐性・多収・耐倒伏・耐病性のマルチ対応品種「にじのきらめき」を推し

注: 1 作況指数は、10a当たり平年収量に対する10a当たり収量の比率であり、都道府県ごとに、過去5か年間に農家等が実際に使用したふるい目幅の分布において、最も多い使用割合の目幅以上に選別された玄米を基に算出した数値である。
 2 徳島県、高知県、宮崎県、鹿児島県及び沖縄県の作況指数は早期栽培(第一期稲)、普通栽培(第二期稲)を合算したものである。

作柄の良否 (作況指数)	
良 (106以上)	106以上
やや良 (105~102)	105~102
平年並み (101~99)	101~99
やや不良 (98~95)	98~95
不良 (94以下)	94以下



コメ作況指数 R2(2020)

MAFF 2020.12.07

収量:

- 北海道、東北、北陸では、全もみ数が確保され、登熟も順調、作柄が平年を上回った。
- 東海以西では、トビイロウンカの被害、登熟期の日照不足等による登熟不良。
- 九州地方では台風の影響も。

品質(一等米比率)(11/30)

- 一等米比率は80.3%で前年比+7.2%
- * 2019年は73.1%、2010年は62%

→2020年は、東日本では2019年以上の高温であったが、大きな品質低下は避けられた。
* 2019年新潟では、登熟期のフェーンで品質低下

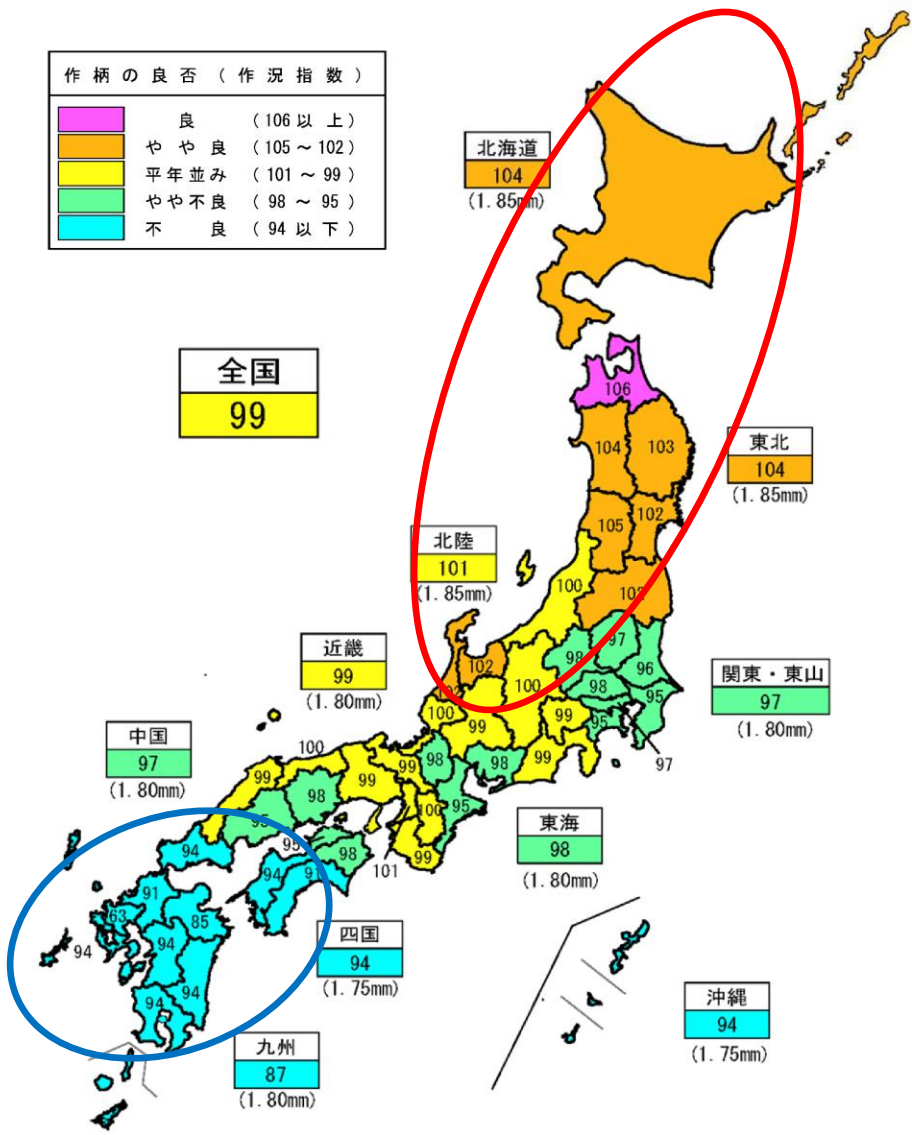
注: 1 作況指数は、10a 当たり平年収量に対する 10a 当たり収量の比率であり、都道府県ごとに、過去 5 か年間に農家等が実際に使用したふるい目幅の分布において、最も大きい割合の目幅以上に選別された玄米を基に算出した数値である。

2 徳島県、高知県、宮崎県、鹿児島県及び沖縄県の作況指数は早期栽培(第一期稲)、普通栽培(第二期稲)を合算したものである。

図2 全国農業地域・都道府県別作況指数（10月15日現在）
【農家等が使用しているふるい目幅ベース】

2. 日本の農業への影響

Rice Yield in 2019 MAFF 2019.10.31



収量:

○北海道、東北および北陸では、全もみ数が平年以上に確保され、登熟も順調に推移したことにより、作柄は平年以上。

○他の地域では平年を下回る作柄が多い。

・7月上中旬の低温・日照不足の影響により、全もみ数がやや少ない

・登熟も8月中下旬の日照不足、その後の台風による潮風害等やウンカ等病害虫の影響

品質(一等米比率):9月30日現在

○一等米比率67.6%で前年比-11.3%

* 例年80%±数%、ただし2010年は62%

○新潟では33.1%で、2010年の20.3%に次ぐ品質低下。

→登熟期にフェーン現象による極端高温

注: 1 作況指数は、全国農業地域ごとに、過去5か年間に農家等が実際に使用したふるい目幅の分布において、大きいものから数えて9割を占めるまでの目幅(北海道、東北及び北陸は1.85mm、関東・東山、東海、近畿、中国及び九州は1.80mm、四国及び沖縄は1.75mm)以上に選別された玄米を基に算出した数値である。
2 徳島県、高知県、宮崎県及び鹿児島県の作況指数は早期栽培、普通期栽培を合算したものである。また、沖縄県の第二期稲は未確定の要素が多いことから、沖縄県計の作況指数の算出には、第一期稲の10a当たり収量と第二期稲の10a当たり平年収量を用いた。

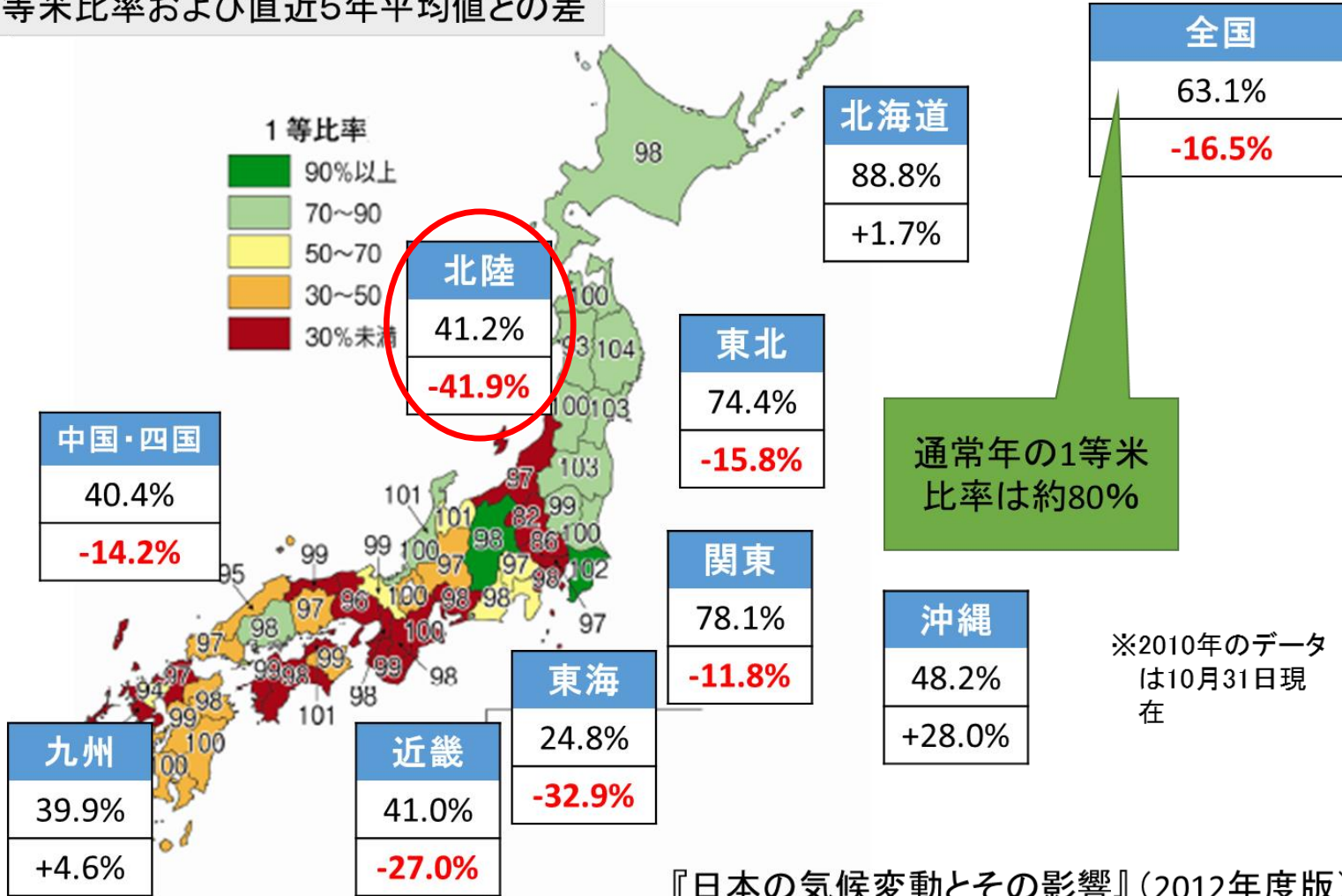
2010年(H22)のコメ生産

2. コメ生産への影響と適応



出穂後に高温が続くと写真のような白くにごった粒が多くなり、検査等級が低下(撮影:農環研吉本)

1等米比率および直近5年平均値との差



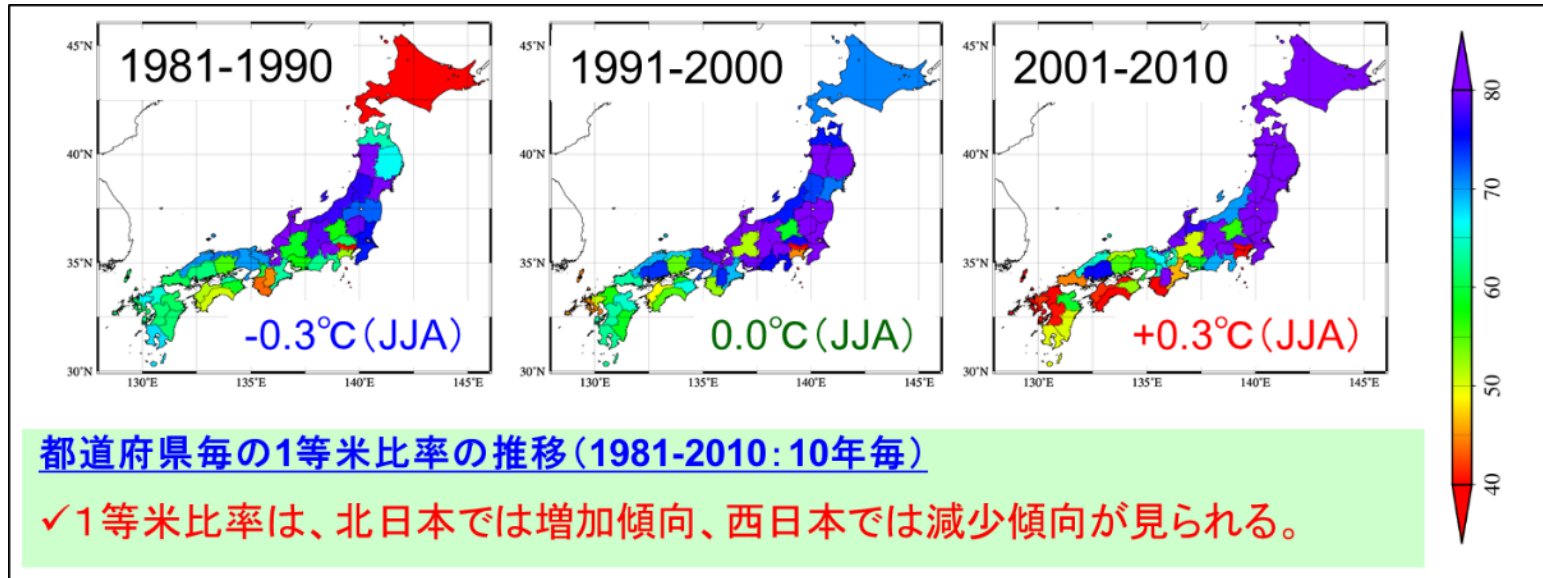
『日本の気候変動とその影響』(2012年度版)

特にコメどころ北陸での一等米比率低下

緩和策だけでなく、適応策の必要性が広く認識、研究ニーズ高まる

主食コメ：品質が低下してきています

特に西日本で顕著です。* 北海道では、逆に品質が良くなっています。



- 一等米とは、白未熟粒を含む未熟米、欠け米、割れ米等を取り除いた整粒歩合が70%以上のもの(同様に60%以上が二等米、45%以上が三等米)

* 食味 (タンパク質含有率)

* 一般に6-7%が良食味とされる。それより多いとパサパサし、少ないと粘りのないコメとなる。

→ 直接の推定がむつかしく、食味はデータ不足。

- 気候変動(温暖化)が進行し、既に農業などに大きな影響
- 水稻(コメ)生産では：高温障害による収量停滞のほか品質低下が大きな問題

白未熟粒多発 → コメ等級落ち(一等米比率減) → 農家の収入減



*特に大きな被害：2010(H22)年 2019(R1)年

- 今世紀半ばまでに+2°C程度、今世紀末までに+4°C程度の気温上昇が予測されている

●開放系大気CO₂増加(Free air CO₂ enrichment; FACE)実験



←つくばみらい市(2009-2016)

* 岩手県雫石町(1998-2008)から移設

●イネ生育収量予測シミュレーション「従来の予測モデル」

2010～ (石郷岡ら、2017; 2019)

- 収量：高温で収量減←→高CO₂環境での増収効果、のバランスで決まる。
西日本の一部地域では将来、減収となる
- 品質：出穂後20日間の暑熱指数から品質低下リスクが増すことを指摘

●開放系大気CO₂増加(Free air CO₂ enrichment; FACE)実験

寒冷地・暖地10年以上の実験で得られた知見：長谷川ら(2014; 2015; 2016)

- ・【品質】高CO₂環境では、白未熟粒の発生が大幅に増加
- ・【収量】高CO₂環境では、増収効果は高温により鈍化

高温と高CO₂は複合的にコメの収量と外観品質に影響を及ぼす

↓そこで

「従来の予測モデル」に新たな知見、「高温と高CO₂の複合的な相互作用」を考慮したイネ生育収量予測モデル「最新の予測モデル」を構築し、コメの収量および外観品質への影響を再評価。

↓ 具体的な内容を収量と品質に分けて説明 ↓

方法：コメの収量、品質はどうやって予測？

栽培データと気候気象データを数理物理的作物モデルに入力します

農研機構メッシュ農業気象データ／地域気候シナリオNARO2017
東大等・気象研含む気候モデル5種×温室効果ガスシナリオ2種
* RCP2.6(CO₂濃度が低めに推移)/RCP8.5(CO₂濃度が上昇続ける)

農林水産省統計
普及品種15種
(コシヒカリ、
あきたこまち等)

水稻生育収量モデル
(長谷川・堀江モデル)

従来型(高温影響のみ) | 改良型(高温高CO₂複合作用)

実験結果から
モデル改良



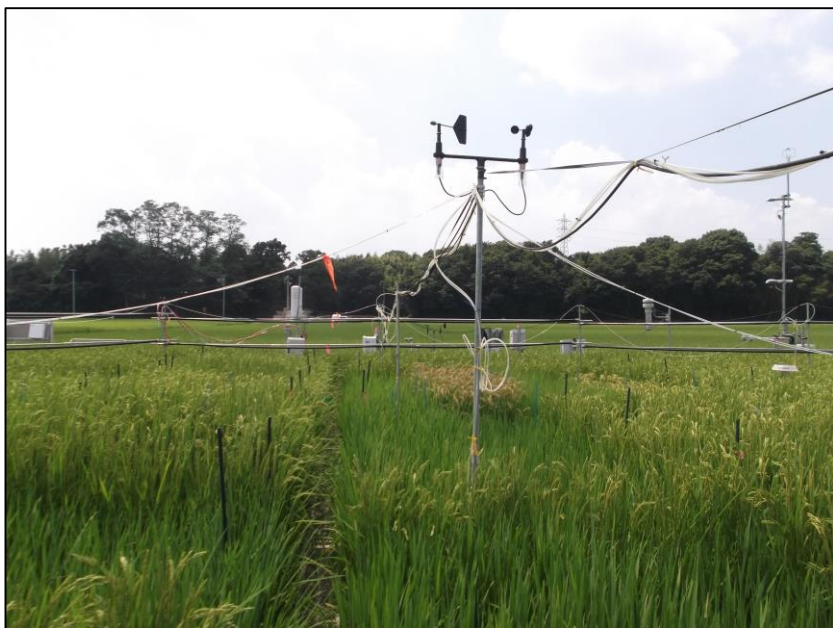
白未熟粒発生率 | コメ収量

* 出穂後20日間
気温で推定

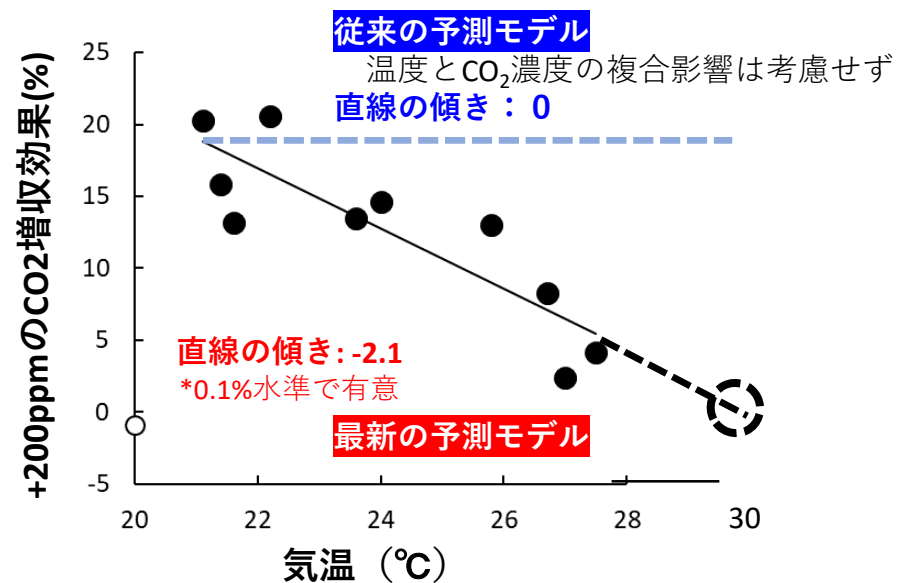
高温・高CO₂の複合影響とは何ですか？

【コメ収量】 今回の新たな取り組み

水田CO₂増加実験(FACE)のデータを用い収量の推定法を改良



開放系大気CO₂増加 (Free air CO₂ enrichment; FACE: フェイス) 実験



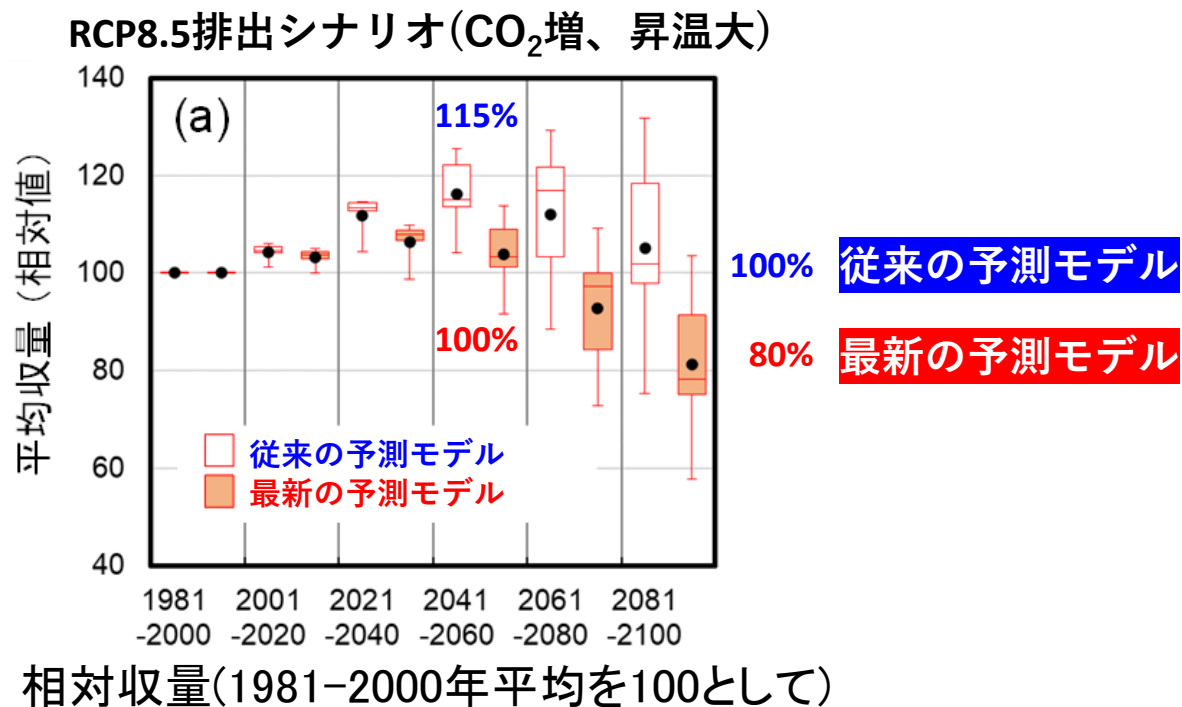
出穂後30日間の平均気温と高CO₂増収効果の関係(あきたこまの例)

従来予測モデル: CO₂増収効果は高温でも低下しない

最新予測モデル: CO₂増収効果は高温条件で鈍化(30°Cでゼロ)



高温・高CO₂の相互作用を考慮した最新モデルでは
水稻の収量が大きく減少すると推定

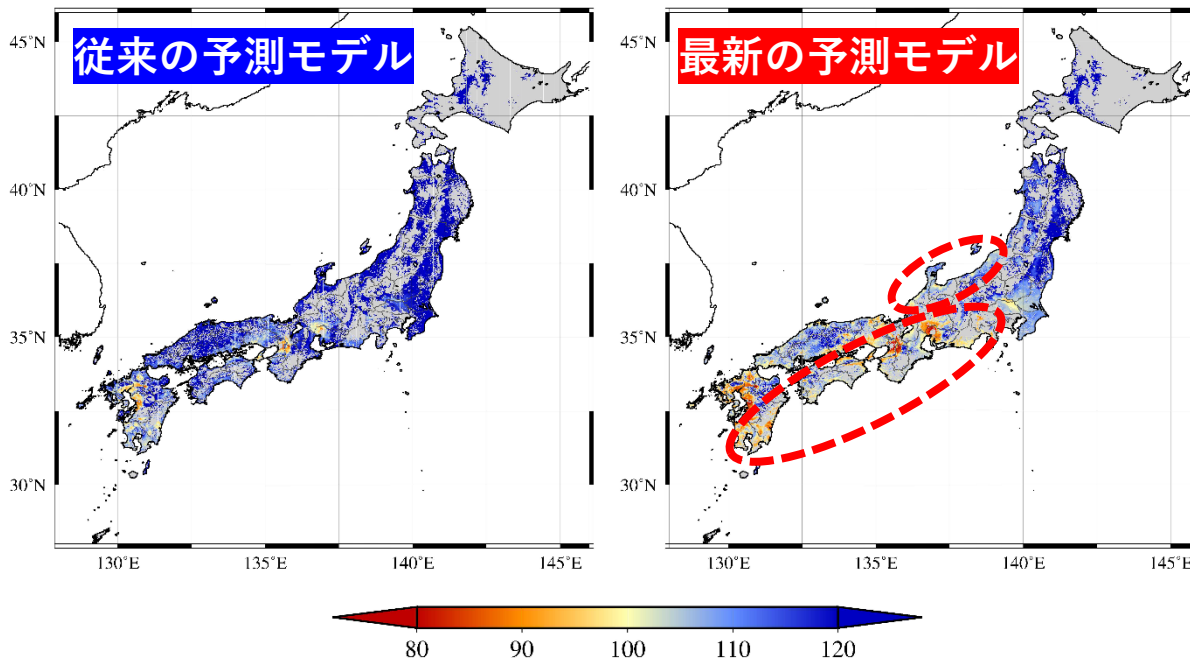


最新モデルで平均コメ収量は2000年比で、今世紀半ばに100%、今世紀末では80%

* 2003年時点の普及品種を対象に適応策を取らない場合

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)

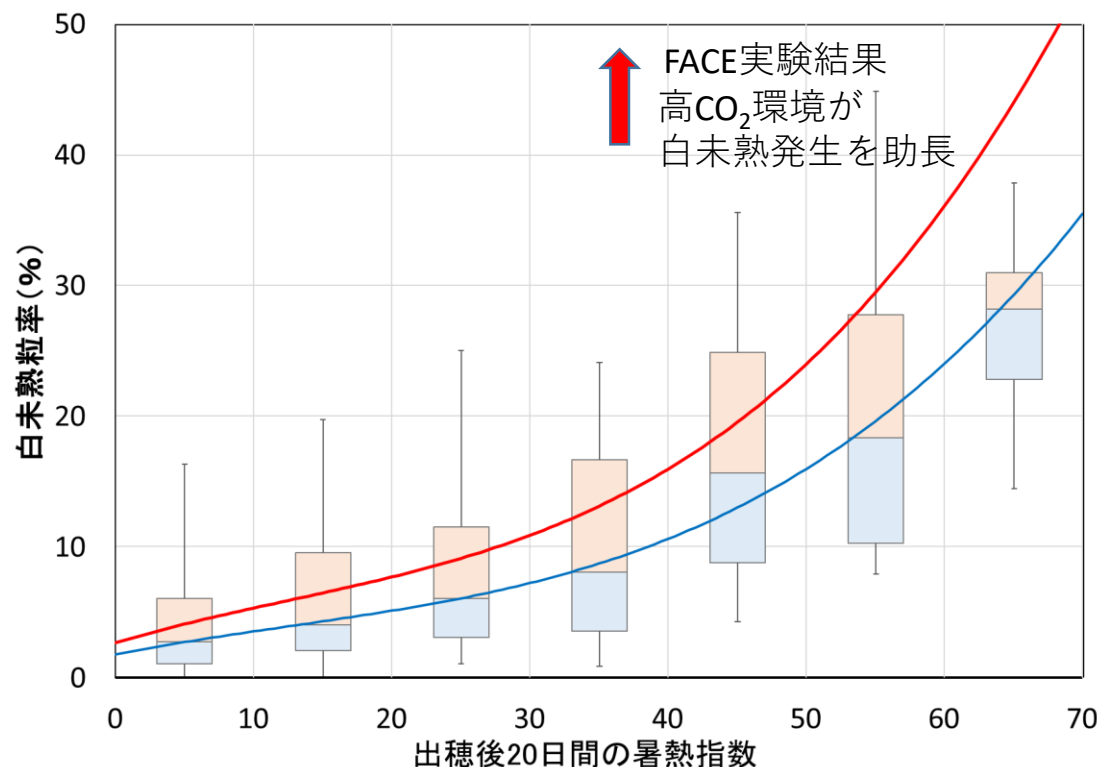


相対収量(1981-2000年平均を100として)

西日本:(従来)収量確保→(最新)減収地域が出現
日本全国平均で+15%→±0%まで下方修正(当社比)

*温暖化傾向が中庸な気候予測モデル/RCP8.5:CO₂排出大≡昇温大
2003年時点の普及品種を対象に適応策を取らない場合

実際の水田でのCO₂増加実験（FACE）の知見を用いて 将来の白未熟粒発生率の推定法を開発



最新の推定モデル

CO₂濃度約600ppmの場合

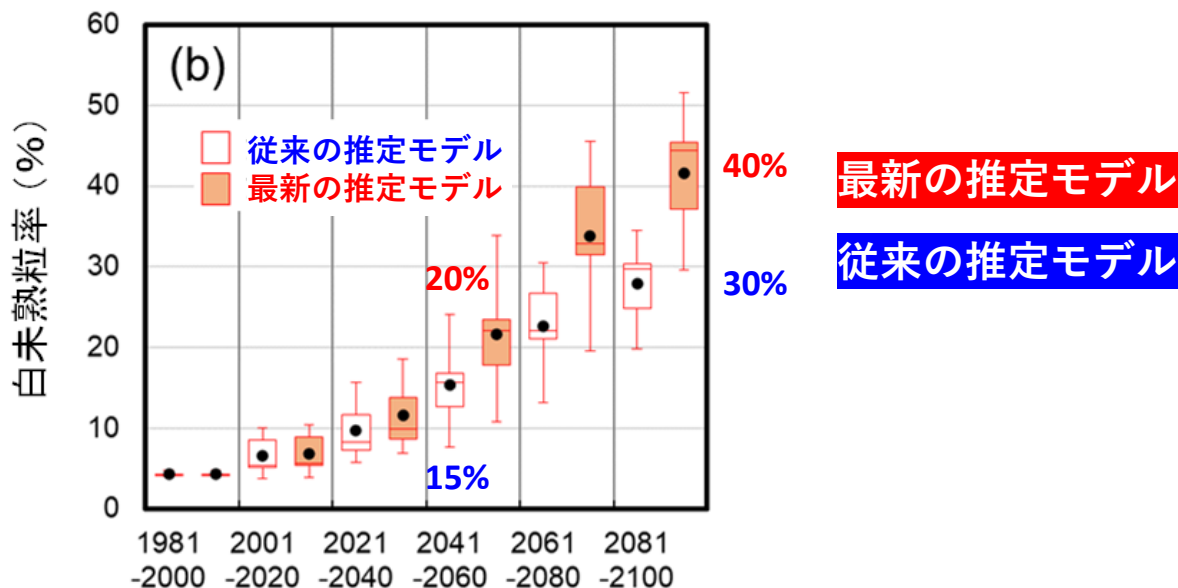
従来推定モデル

CO₂濃度約400ppmの場合
西森ほか(2020)

イネ出穂後20日間の暑熱指数から白未熟粒率を推定するモデル(イメージ)
+200ppmで白未熟粒発生が約1.5倍になるFACE実験の知見を導入し、推定モデルを改良

気温のみを考慮した従来の推定モデル結果に比べ、
高温・高CO₂環境下では、外観品質低下がより早く深刻化する

RCP8.5排出シナリオ(CO₂増、昇温大)

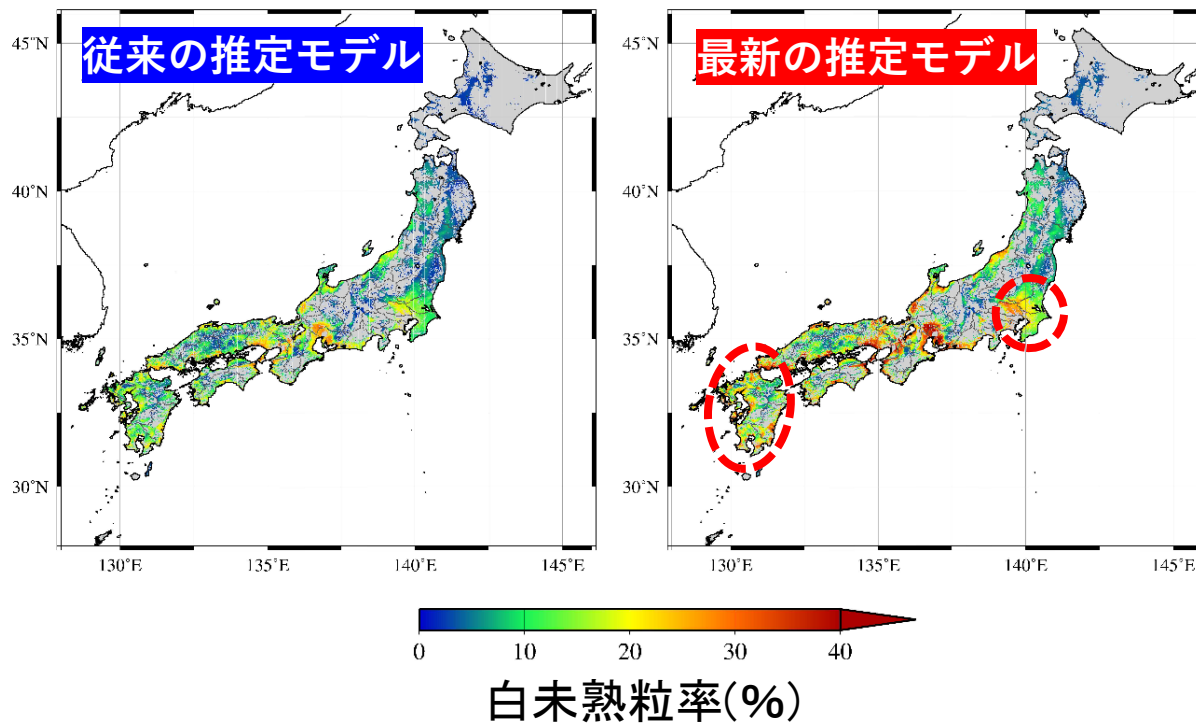


白未熟粒発生率は今世紀半ばで20%、今世紀末で約40% (複合影響なしでは約30%)

* 2003年時点の普及品種を対象に適応策を取らない場合

関東以西で白未熟粒率の増加がより顕著に

今世紀半ば(MIROC5: RCP8.5)



全国平均で今世紀半ばに(従来)15%→(最新)20%、今世紀末に30%→40%に増

*温暖化傾向が中庸な気候予測モデル／RCP8.5：CO₂排出大≒昇温大
2003年時点の普及品種を対象に適応策を取らない場合

○高温と高CO₂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

本成果は、いつ頃どの程度の被害が起こるかを予測することを通じ、各地で必要とされる適応策の導入計画にも活用されます。

想定される適応策・・・一部、既に行われている

- ・高温耐性品種*のさらなる導入を促進

* 農研機構開発「にこまる」が九州地方で広く栽培、中国四国～関東まで広がる

- ・田植期を遅らせて(早めて)夏の酷暑を避ける

- ・適切な水・窒素施肥管理を行うー支援ソフトウェアの開発も含む

→ここで示した深刻な被害は軽減されると考えられる

○ 今後、さらに効果の高い新たな高温耐性品種の開発や、低労力かつ効果的な栽培技術の開発・普及が期待されます。

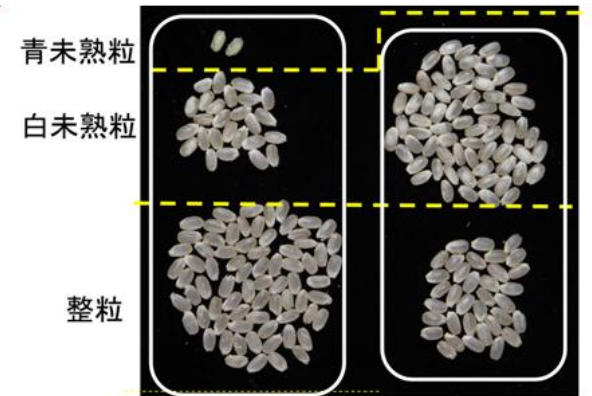
適応策 1 : 品種改良

3. 水稻影響・適応策



表2. 高温登熟性標準品種

地域区分	生態型	3	4	5	6	7
		弱	やや弱	中	やや強	強
寒冷地北部・中部	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	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	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	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	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	



にこまる ヒノヒカリ
2010年産の玄米(福岡県筑後市産)

農研機構2017年研究成果情報「北海道を除く全国的水稻高温登熟性標準品種の選定」

https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/nics/2017/17_038.html

高温を避ける作期作型や水(施肥)管理も有効です

(本研究での適応シミュレーション例)ある地域でのコシヒカリ(現行4/26日植え)
 →田植え期を早める: やや増収、品質低下リスクは増す。
 →田植え期を遅める: 減収となるが、品質低下リスクの少ないコメの割合は増加。

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。

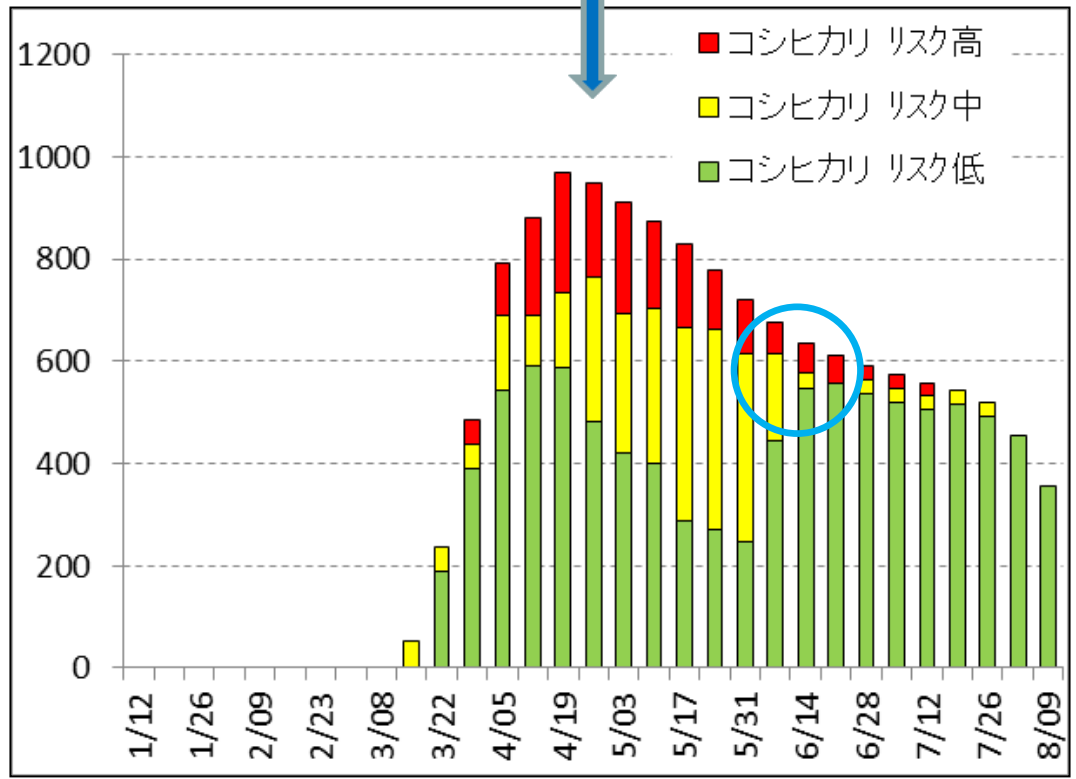
(※2) A: 優れた効果がある、B: 効果がある、C: やや効果がある、D: 効果なし

農業生産における気候変動適応ガイド (水稻編)

<https://www.maff.go.jp/j/seisan/kanky/ondanka/attach/pdf/index-102.pdf>

適応シミュレーション例：移植(田植え)期の移動

あくまでシミュレーションですが



日本のある地域で、コシヒカリを現行通り4/26日に田植えした場合と、田植え日を前後にずらしていった場合の結果です。

- 田植え期を早めた場合、収量が少し増えますが、品質低下リスク(赤色の割合)が増します。
- 田植え期を遅めた場合、収量は減りますが、品質低下リスクの少ないコメ(緑色)が増します。

さまざまな適応が始まっている

相対的に容易

- 現行品種を使用
 - 移植日の移動
 - 資材投入量・時期の変更
- 既存の別品種への切り替え

北陸/コメ品質
華北平原/冬コムギ

西日本/コメ品質

適応の困難さ

- 早期警戒システムや栽培管理支援システムの開発・導入
- 栽培作物の変更
- 新品種（高温耐性品種など）の開発
- 気象・作物保険の導入
- 新たな灌漑インフラの整備
- 栽培地域の移動

日本/メッシュ農業気象データシステム
世界/穀物の全球収量変動予測

オーストラリア/コメ→ブドウ
日本/温帯果樹→熱帯果樹

タイ、インドネシア

相対的に困難

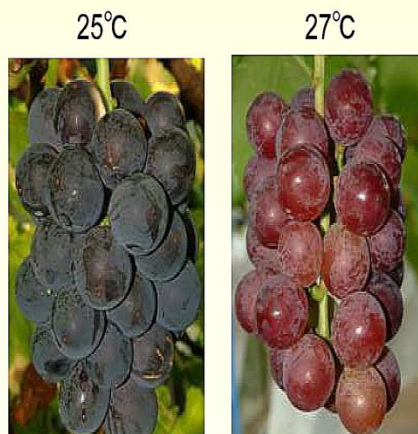
オーストラリア/コムギ
中国東北部/コメ

温暖化の果樹影響

2. 日本の農業への影響

温暖化の影響：果樹

高温は色素の合成を阻害
Coloring disorder

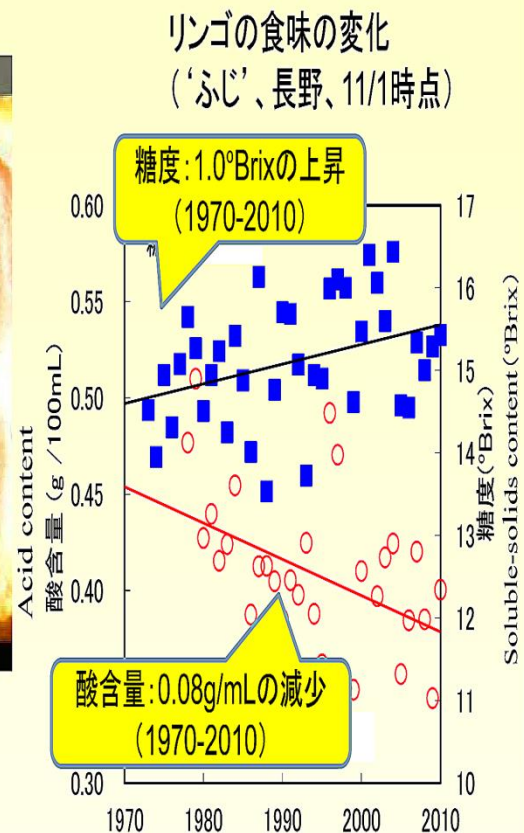


リンゴの日焼け
Sunburn

温暖化の影響：果樹



↑ミカンの浮皮 Puffy fruits



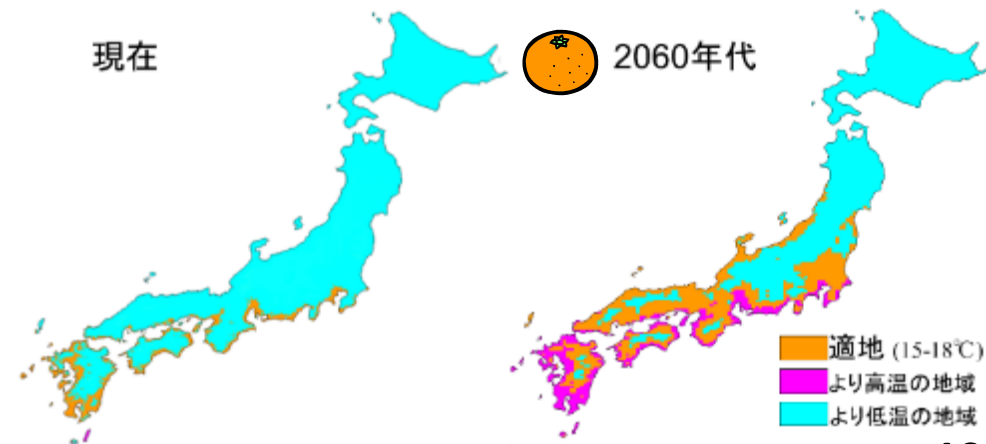
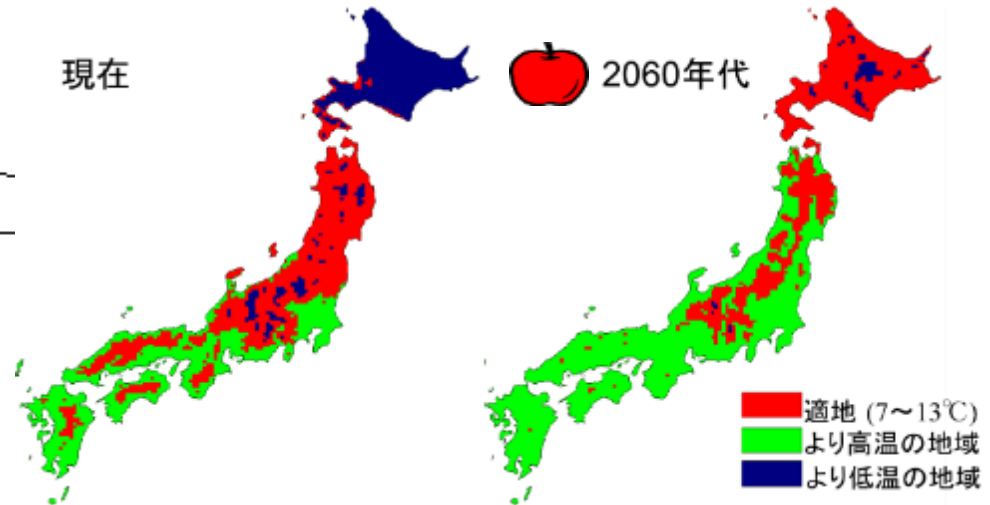
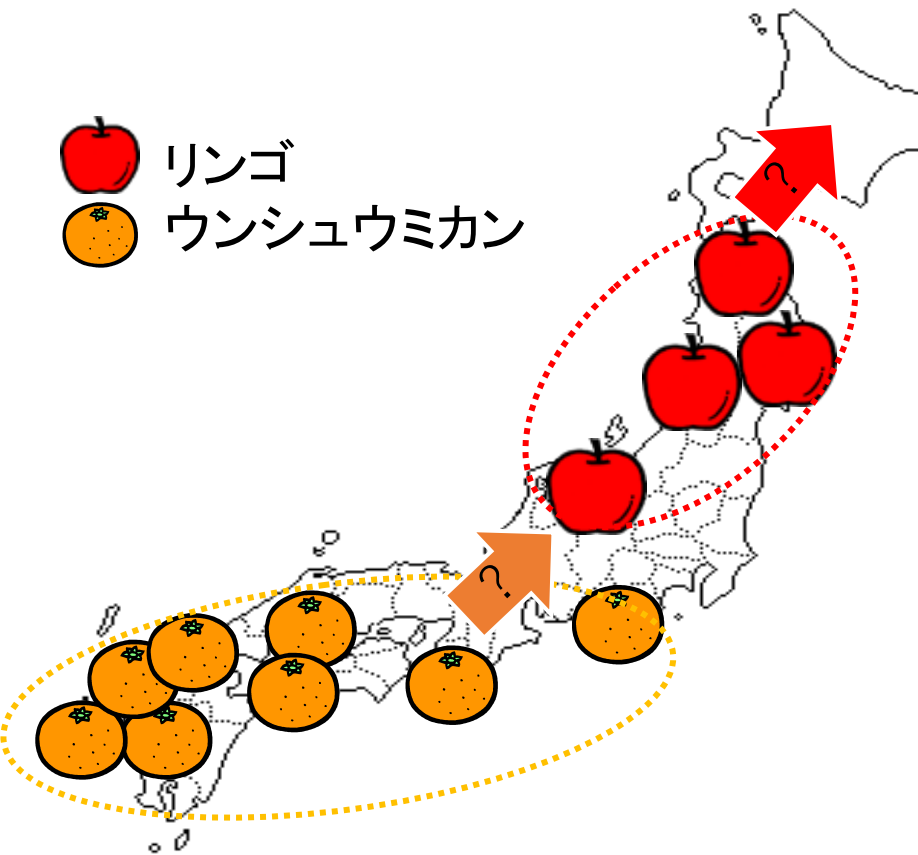
(Sugiura et al. 2013,
Scientific Reports, 3, 2418)

◎品目転換が難しい果樹における温暖化影響は顕在化しやすく、関心が高いーリンゴは甘くなっている。(果樹茶業部門・杉浦)

果樹は気候への適応の幅が狭い

➡ 気候変動の影響を受けやすい

(農研機構果樹茶業部門・杉浦)



ブドウ「巨峰」等の着色不良発生予測マップ



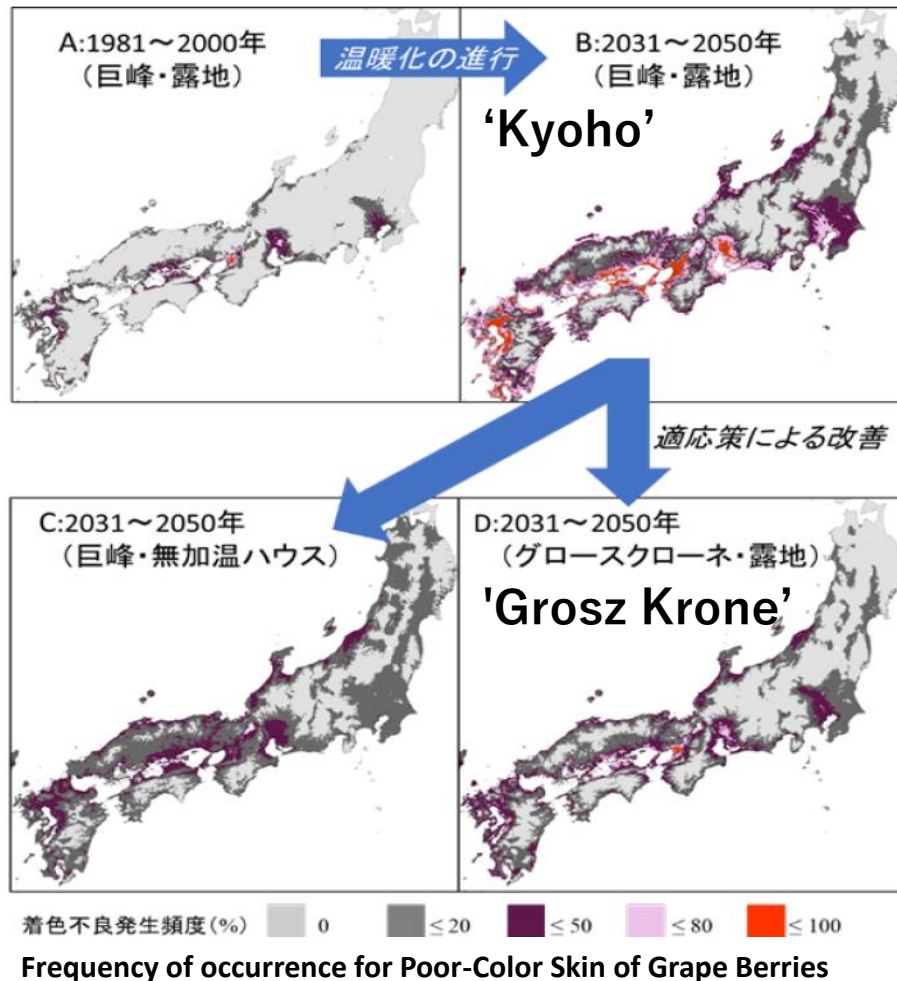
Normal



Poor-Color

生育を早め、真夏の酷暑から
着色期をずらすことによる

無加温ハウスや着色のよい新品
種「グロースクローネ」を適応策
として活用することにより、着色
不良発生頻度を大幅に減らすこ
とが可能。



温暖化とダイズ生産

2. 日本の農業への影響



侵入初期に適期に防除し、**種子を作らせない**で下さい。
大豆畑に入り込むと、**除草剤が効きにくく**、つるが大豆にまきつので、**防除は大変困難**になります。



大豆を押しつぶす帰化アサガオ

帰化アサガオは気温が高いほど生育がよく、**温暖化によって分布域や被害の拡大**が予想されます。

1. コメ・ムギと違い、**土壌水分に大きく影響**されるため、**収量や品質の予測がまだ難しい**。

2. 帰化アサガオ類(熱帯帰化雑草)はつる性で発生期間が長く、大豆畑に侵入すると防除が難しく、**大きな被害が発生**する。温暖化により分布が北上し、**北海道にまで被害拡大が推定**。



高温で抽だ
いが促進さ
れ結球が乱
れたレタス
(野菜花き部
門・岡田)



ナスの
↑着色不
良果(赤
果)
←キズ果
(高知県資
料より)



トマトのしり腐れ 果樹部門・杉浦

- ◎農研機構（農環研）における気候変動のコメ影響研究
 - 収量について、適温化と施肥効果により一定の伸び予測から、今世紀半ばでの停滞と今世紀末での減収予測に更新。
 - 品質の低下が大いに懸念される
 - －世界で初めて、白未熟粒の発生率を広域で予測。
 - 移植日移動や既存品種への代替可能性を試算中

◎今後の課題

- 影響評価（モデル）の精度向上→イネ植物体や土壌とのモデル結合
- 害虫や水資源等の間接要因、台風やフェーン等の極端現象の考慮
- 行政・団体・生産者等との対話による、より現実的な適応策の推進
 - －栽培管理支援システム等による生産性向上と省力化・高齢化対応
- * 品種改良のための指標提供