

えひめ気候変動適応セミナー（2020年12月17日）

# 気候変動による農業影響の評価と 適応技術開発の現状

農研機構 前 農業環境変動研究センター  
宮田 明

# 本日の話題

- 農業分野の気候変動適応をとりまく情勢
- 愛媛県のアンケート・ヒアリング調査の結果
- 国内の気候変動影響評価と適応策（コメ、果樹）  
— 農研機構の研究成果を中心に —

気候

# スマート農業 (Climate-Smart Agriculture)

気候変動対応型農業（国際連合食糧農業機関, FAO）

## 3つの目標

- 持続可能な生産性と所得の向上
- 気候変動への適応
- 温室効果ガスの排出削減

# パリ協定 (COP21, 2015年12月)

## パリ協定の概要

### 目的(a)

目的	世界共通の <u>長期目標として、産業革命前からの平均気温の上昇を2℃より十分下方に保持</u> 。1.5℃に抑える努力を追求。
目標	上記の目的を達するため、 <u>今世紀後半に温室効果ガスの人為的な排出と吸収のバランスを達成</u> できるよう、排出ピークをできるだけ早期に迎え、最新の科学に従って <u>急激に削減</u> 。
各国の目標	各国は、約束（削減目標）を作成・提出・維持する。削減目標の目的を達成するための国内対策をとる。 <u>削減目標は、5年毎に提出・更新し、従来より前進を示す</u> 。
長期戦略	<u>全ての国が長期の低排出開発戦略</u> を策定・提出するよう努めるべき。（COP決定で、2020年までの提出を招請）
グローバル・ストックテイク （世界全体での棚卸ろし）	<u>5年毎に全体進捗を評価するため、協定の実施を定期的に確認</u> する。世界全体の実施状況の確認結果は、各国の行動及び支援を更新する際の情報となる。

# パリ協定 (続)

## 目的

(b) 食糧の生産を脅かさないような方法で、気候変動の悪影響に適応する能力並びに気候に対する強靱性を高め、及び温室効果ガスについて低排出型の発展を促進する能力を向上させること。

(c) 温室効果ガスについて低排出型であり、及び気候に対して強靱である発展に向けた方針に資金の流れを適合させること。

日本政府は…

2050年までに脱炭素社会を実現

欧州では…グリーン・ディール(2019年12月)

2050年に気候中立(正味の温室効果ガス排出をゼロ)に

各分野の政策

- Biodiversity (生物多様性)
- From Farm to Fork (農場から食卓まで)
- Sustainable Agriculture (持続的な農業)

……

# 農場から食卓まで (グリーン・ディールの食料戦略)



Moving towards a more sustainable food system is a corner stone of the European Green Deal

気候変動に対する取組

フードチェーンへの公平な経済的見返り



Make sure Europeans get healthy, affordable and sustainable food



Tackle climate change



Protect the environment and preserve biodiversity



Fair economic return in the food chain

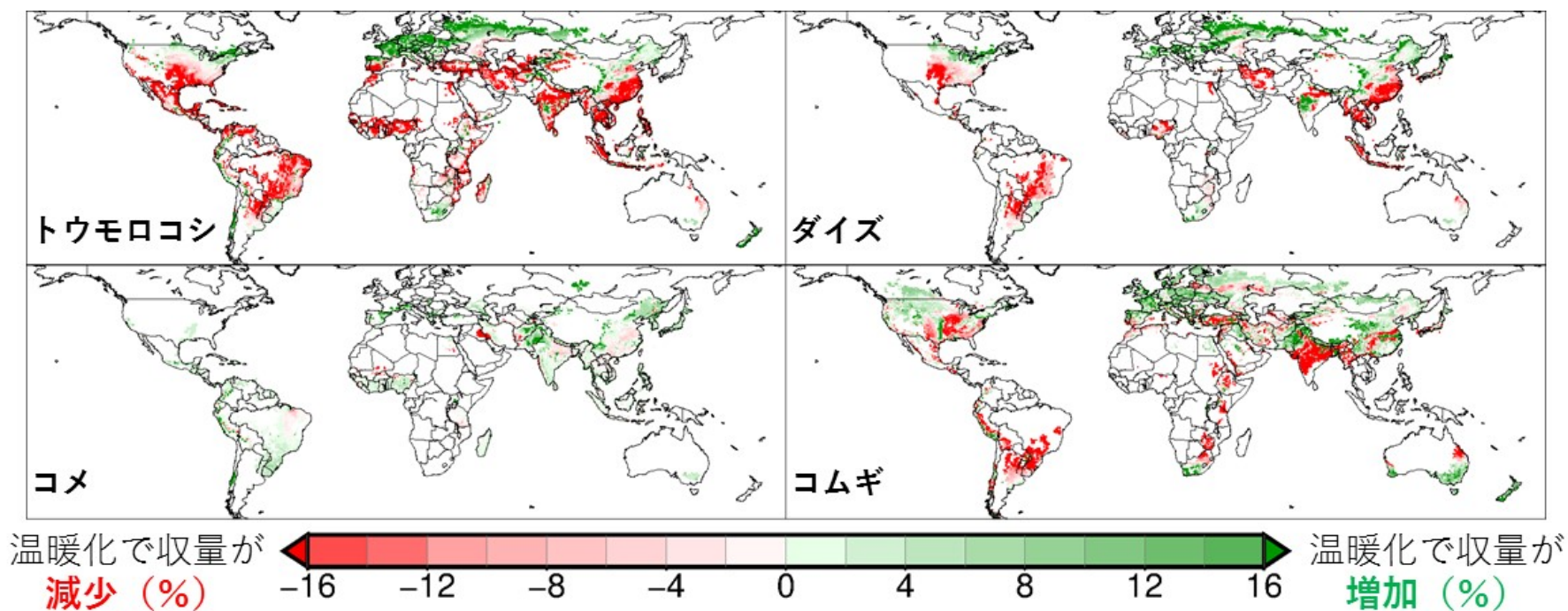


Increase organic farming

有機農業

出典: European Commission, [Factsheet: From farm to fork: Our food, our health, our planet, our future](#), 2020年5月

# 気候変動の穀物生産への影響(1981-2010年)

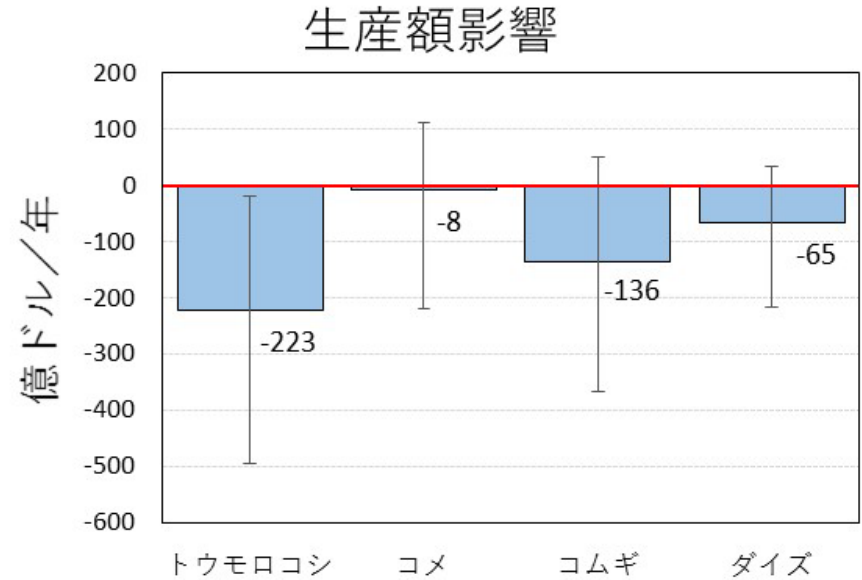
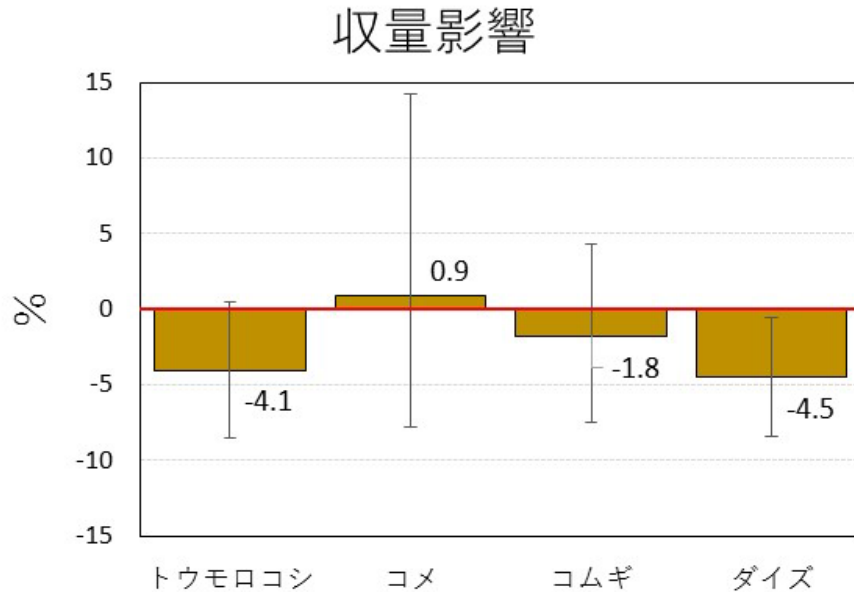


- 温暖化により、高緯度地域で収量(単位土地面積当たりの生産量)が増加、低緯度地域で減少

出典：[地球温暖化による穀物生産被害は過去30年間で平均すると世界全体で年間424億ドルと推定](#)  
(農研機構・国立環境研究所・気象庁気象研究所 共同プレスリリース, 2018年12月11日)

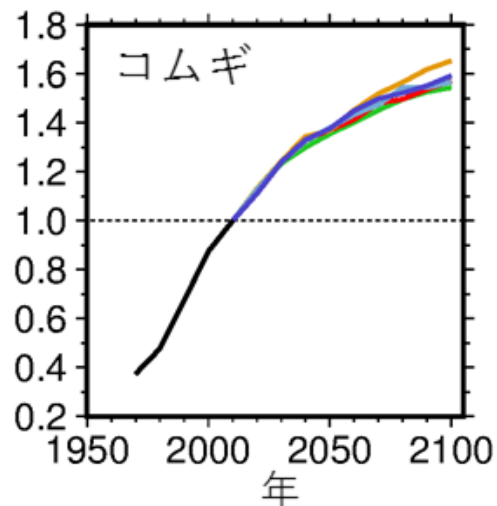
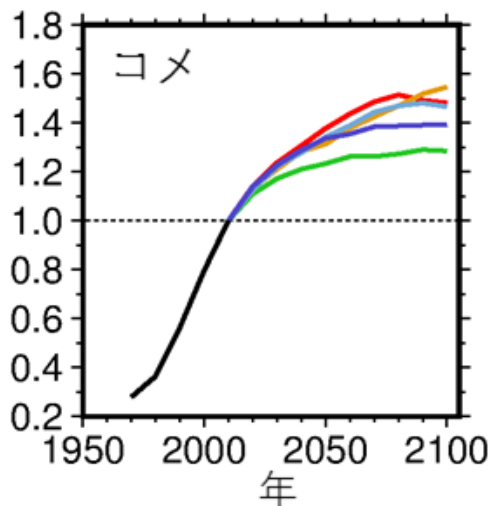
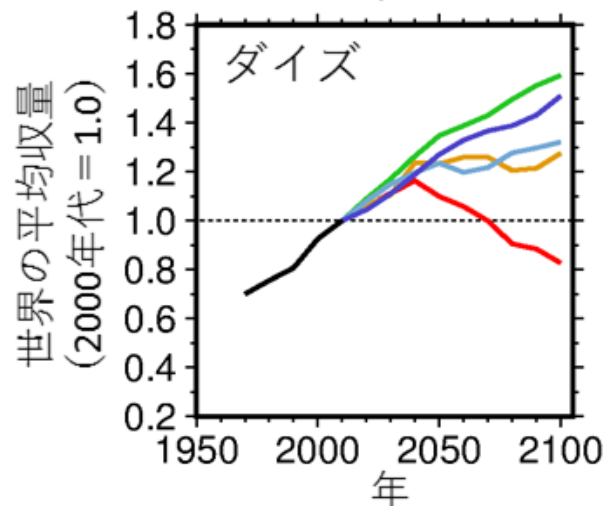
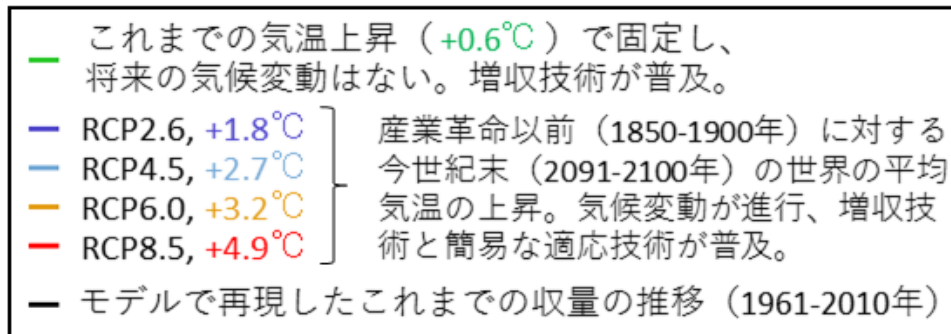
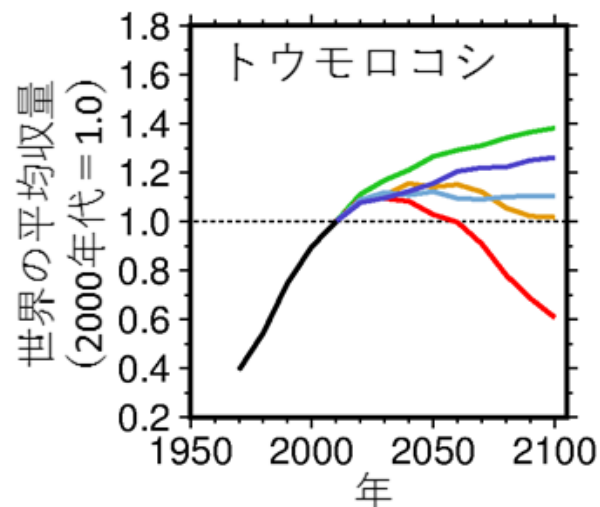


# 気候変動の穀物生産への影響 (続)



- 世界平均ではコメ以外は減収で、すでに温暖化影響が生じている。
- コメについては(気候モデルのデータベースの)アンサンブル間で、結果のばらつきが大きく、世界全体では温暖化影響があったとはいえない。
- 世界全体で、トウモロコシとコムギ、ダイズの被害額の合計は年間424億ドル(30年間の平均)

# 穀物収量の将来予測

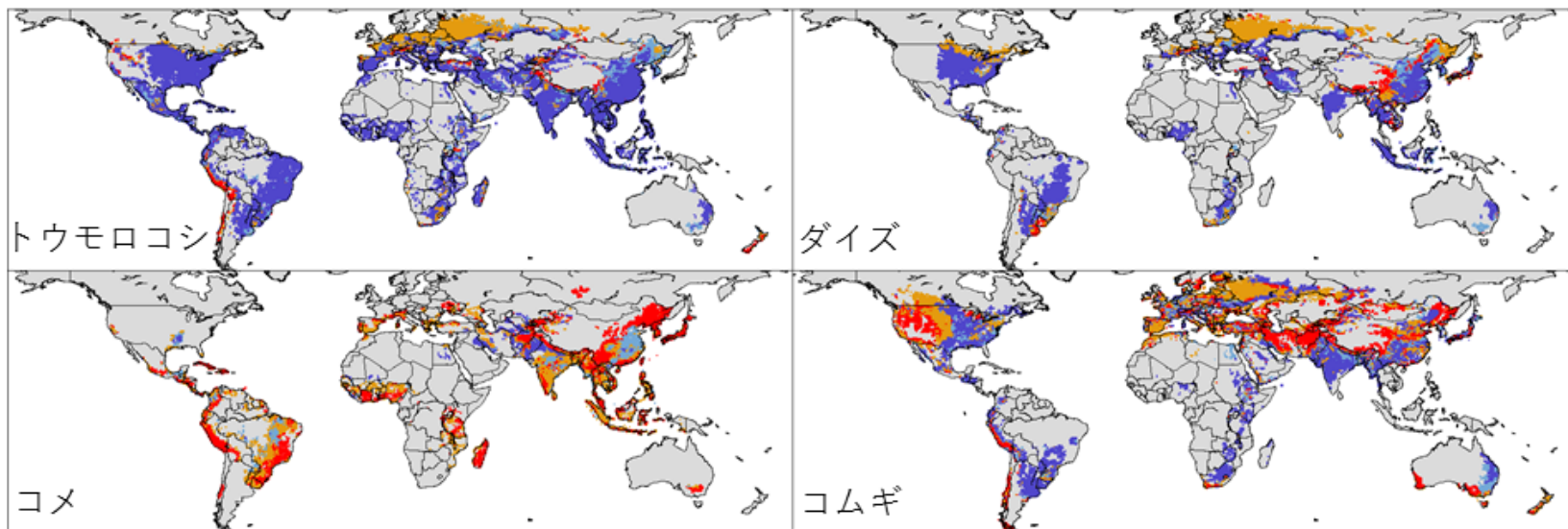


出典：[温暖化の進行で世界の穀物収量の伸びは鈍化する](#)

(農研機構・農林水産業研究センター・国立環境研究所 共同プレスリリース, 2017年8月28日)

# 穀物収量の将来予測 (続)

今世紀末 (2091-2100年)



+1.8°Cを超えると  
収量増加が停滞

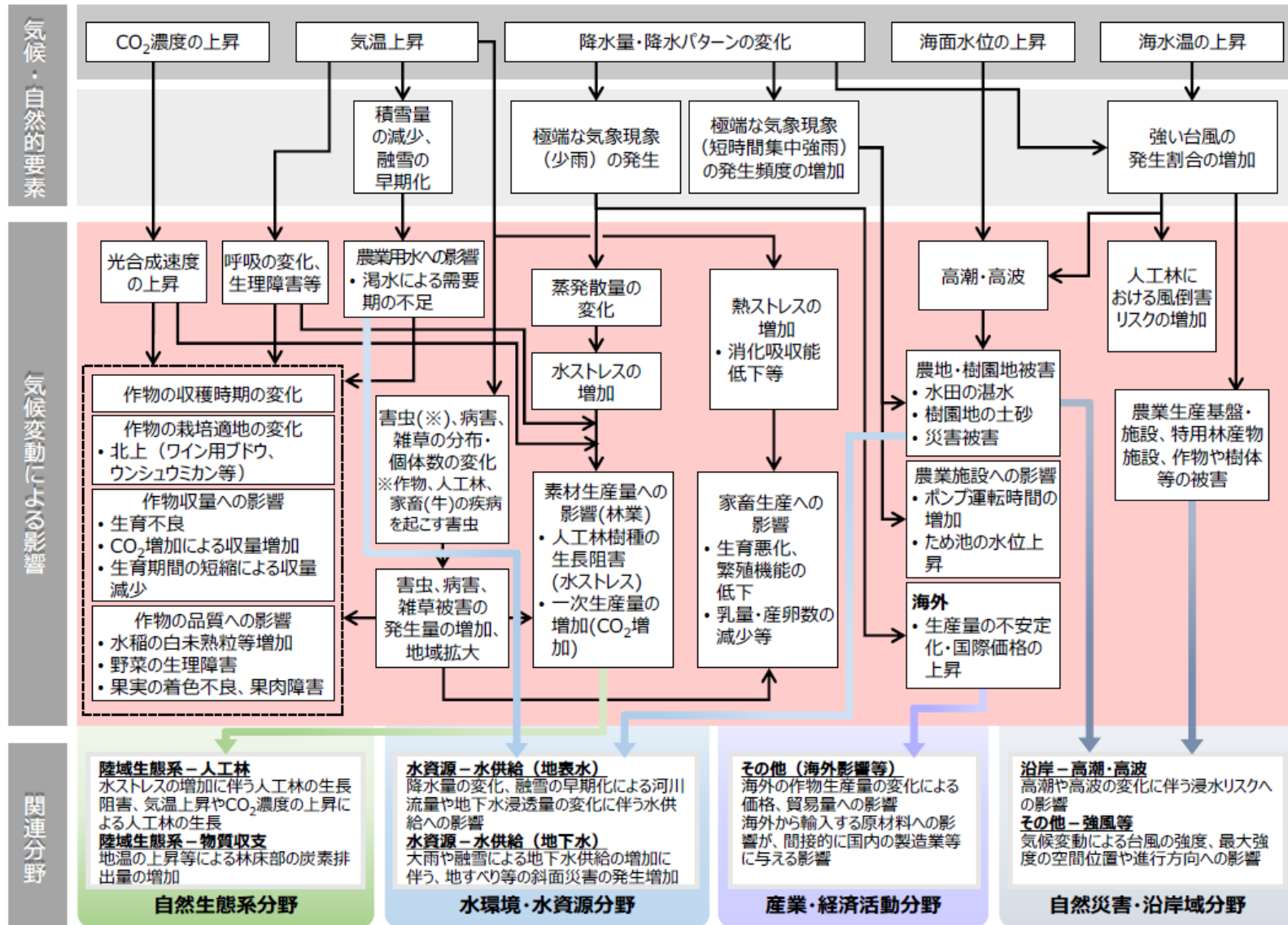
+2.7°Cを超えると  
収量増加が停滞

+3.2°Cを超えると  
収量増加が停滞

+4.9°Cを超えると  
収量増加が停滞

気候変動の影響に加えて、開発途上国への増収技術の普及 (品種改良や施肥管理方法の改善) と簡易な対策技術 (作期移動など) の導入とを組み込んで予測

# 気候変動により想定される影響（農業・林業）



出典：環境省, [気候変動影響評価報告書総説\(2020年12月\)](#) (pdfファイルへリンク)

# 日本の気候変動適応計画(2015年)

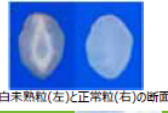
## 農林水産分野の主な適応策



農林水産業は気候変動の影響を受けやすく、高温による生育障害や品質低下などが既に発生。  
一方で、気温の上昇による栽培地域の拡大など気候変動がもたらす機会を活用。

### 水稻

- ・高温による品質の低下。
- ・高温耐性品種への転換が進まない場合、全国的に一等米比率が低下する可能性。



高温耐性品種の開発・普及  
肥培管理、水管理等の基本技術の徹底

広島県 高温耐性品種「恋の予感」

### 畜産

- ・高温による乳用牛の乳量・乳成分・繁殖成績の低下。
- ・肉用牛、豚、肉用鶏の増体率の低下。
- ・高温・小雨などによる飼料作物の夏枯れや虫害。



京都府 ヒト用の冷感素材を応用した家畜用衣料の開発

畜舎内の散水、換気など暑熱対策の普及  
栄養管理の適正化など生産性向上技術の開発  
飼料作物の高温・小雨に適応した栽培体系・品種の確立

### 森林・林業

- ・森林の有する山地災害防止機能の限界を超えた山腹崩壊などに伴う流木災害の発生。
- ・豪雨の発生頻度の増加により、山腹崩壊や土石流などの山地災害の発生リスクが増加する可能性。
- ・降水量の少ない地域でスギ人工林の生育が不適になる地域が増加する可能性。



豪雨による大規模な山地災害



乾燥により枯れたスギ

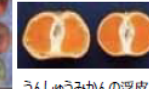
治山施設の設置や森林の整備等による山地災害の防止  
気候変動の森林・林業への影響について調査・研究

### 果樹

- ・りんごやぶどうの着色不良、うんしゅうみかんの浮皮や日焼け、日本なしの発芽不良などの発生。
- ・りんご、うんしゅうみかんの栽培適地が年次を追うごとに北上する可能性。



りんごの着色不良



うんしゅうみかんの浮皮

りんごやぶどうでは、優良着色系統や黄緑色系統の導入  
うんしゅうみかんよりも温暖な気候を好む中晩柑（ブラッドオレンジ等）への転換



愛媛県 高温に強いブランド品種「ブラッドオレンジ」

### 農業生産基盤

- ・年降水量の変動幅が大きくなり、短期間に強く雨が降る傾向。
- ・田植え時期や水管理の変更など水需要に影響。
- ・農地の湛水被害などのリスクが増加する可能性。

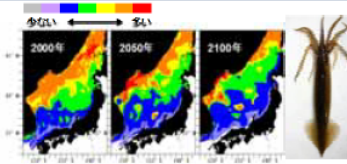


集中豪雨による農地の湛水被害

排水機場・排水路などの整備、ハザードマップの策定など、ハード・ソフト対策を適切に組み合わせ、農村地域の防災・減災機能を維持・向上

### 水産業

- ・日本海でブリ、サワラ漁獲量の増加、スルメイカの減少。
- ・南方系魚種の増加、北方系魚種の減少。
- ・養殖ノリの種付け時期の遅れ、収穫量の減少。
- ・海洋の生産力が低下する可能性。



日本海におけるスルメイカの分布予測図（7月）

産卵海域や主要漁場における海洋環境調査や資源量の把握・予測  
高温耐性を有する養殖品種の開発

# 日本の気候変動適応計画(続)

## 気候変動がもたらす機会の活用の例



### ブラッドオレンジ (愛媛県)

愛媛県南予地域では、温暖化による影響や柑橘周年供給に向けて、平成15年頃よりブラッドオレンジ(「タロッコ」、「モロ」)の導入・普及に向けた取組を行い、着実な産地化が進められている。

(栽培面積 平成20年:7.9ha → 平成28年:32.1ha)



### もも (青森県)

青森県においてりんご栽培面積の7割を占める中南地域で、近年、ももの生産振興が図られており、高品質生産、産地ブランド化に向け、有望品種の検討や栽培技術の向上等の取組が行われている。

(出荷量 平成19年:45t → 平成29年:340t)



### アボカド (愛媛県)

愛媛県松山市の島しょ部や海岸部において、平成20年頃よりアボカドの導入、普及が進められている。

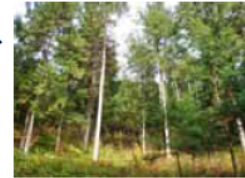
(平成28年:101戸、4.5haで栽培。)

今後は、安定生産のための栽培技術を確立し、平成37年に10haまで栽培面積を拡大することを目標としている。



### ヒノキ (山形県)

暖地型作物導入プロジェクトの一環として、これまで山形県では育成が困難であったヒノキ等新規樹木の植栽試験を実施し、成長経過や気象害、病虫獣害の発生等についてモニタリングを行い、温暖化適応樹種としての可能性を検討している。



### アテモヤ (三重県)

三重県の温暖な気候を活かした亜熱帯果樹の特産品化を目指して、アテモヤの栽培適応性について検討し、優良品種の選定及び安定生産のための栽培技術を確立した。

施設栽培が必須ではあるが、冬季は凍らない程度の加温で栽培可能であり、県内ほぼ全域で8戸が生産に取り組んでいる。(平成20年:2戸 → 平成28年:8戸)



### ブリ加工品 (北海道)

平成23年以降、北海道(函館港等)におけるブリの水揚量の増加を活用し、加工品の商品開発等に取り組んでいる。

(ブリ[生鮮・加工品] 水揚量[北海道]  
平成22年:2,190t → 平成28年:11,882t)



# 愛媛県によるアンケート・ヒアリングの結果

## 農林水産団体からの情報収集結果概要

### 農業

農業：アンケート 16団体、ヒアリング 5団体

- 柑橘類の果皮障害や米の白未熟粒、ブドウの着色不良、家畜の生産性低下等が発生し、気温の上昇が主たる要因と推定するとの回答があった。
- 米、ブドウでは高温耐性品種への転換を図っているとの回答があった。

影響の程度や頻度、病虫害の種類などが変化

	区分	主な被害(推定される主な要因)	対策・好影響等
農業	穀物類	米：白未熟粒の発生(気温上昇) 麦・裸麦：生育不良(気温上昇)	・産品毎に生産上の基本的対策はしているが、気候変動対策として特別なものではない。 ・水稻(ひめの凜、にこまる)やブドウ(シャインマスカット)の高温耐性品種への転換している事例がある。 ・気温上昇で山間部でも糖度の高い柑橘類が生産できる感覚がある。
	野菜類	病虫害の発生(気温上昇・多雨)	
	果樹類	温州みかん：浮き皮・日焼け果(気温上昇・多雨) 中晩柑：果皮障害・腐敗果(気温上昇・多雨)	
	落葉果樹類	キウイ：病虫害の発生(気温上昇・多雨) ブドウ：着色不良・着色遅延(気温上昇)	
	畜産類	牛：繁殖成績・生産性の低下(気温上昇、多湿) 豚：増体・肉質低下(気温上昇、多湿) 鶏：へい死・産卵率低下(気温上昇)	

出典：環境省委託事業「令和2年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託事業」について(中間報告)(愛媛県気候変動適応センター, 2020年10月27日)

# 愛媛県によるアンケート・ヒアリングの結果(続)

○米・麦などの穀物類では、ここ10年程度で、主に気温の上昇を要因とする未熟粒の発生や生育不良など、等級低下につながる影響(被害)が多い(気温の上昇の影響を感じている組合:100%)。施肥管理や病害虫の防除を始めとして幅広く対策を行っているが、生産者の高齢化や周辺地域の生活環境の変化(宅地化など)によって、対策(品種改良等の意欲的な生産や農薬散布)を講じることが難しくなっている。



図1. コメの白未熟粒  
出典：愛媛県農林水産研究所

出典：環境省委託事業「令和2年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託事業」について(中間報告)(愛媛県気候変動適応センター, 2020年10月27日)

- 今後生じると考えられる影響：(コメ)白未熟粒の増加に加えて、[開花期の高温による不稔](#)
- 「気候の変化が大きく、従来のマニュアル的指導が不適」：[気象予測情報の活用](#)(たとえば「[農研機構の栽培管理支援システム](#)」)



# 愛媛県によるアンケート・ヒアリングの結果(続)

○野菜類や落葉果樹類では、病虫害の発生（要因は気温の上昇や多雨）や着色不良、日焼けなどによる影響が中心であり、気温が35℃以上となる日が続き、昼夜の寒暖差が小さくなった近年で深刻となっている。対策としては、病虫害の防除、他品種への切替え（着色不良が起こりにくいシャインマスカットの導入）などを行っている。



図2. 着色良好果と着色不良果

出典：愛媛県農林水産研究所果樹研究センター

出典：環境省委託事業「令和2年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託事業」について（中間報告）（愛媛県気候変動適応センター，2020年10月27日）

- （施設野菜栽培）「細霧冷房等の導入費用」：予想される暑熱被害額と比較検討、比較的安価な冷房技術の導入、作期の移動や栽培品種・品目の転換

# 愛媛県によるアンケート・ヒアリングの結果(続)

○柑橘類では、気温の上昇や多雨による果皮障害や浮き皮などの影響(被害)が、ここ10年程度で深刻化している。一方、気温の上昇によって果実から酸抜けが起こるため、特に酸味の強い柑橘類が多い山間部においても、比較的糖度の高い柑橘類が生産できるようになっている。成長調整のためのホルモン剤などの利用は行っているが、常に効果的であるとは言えず対策は難しい。

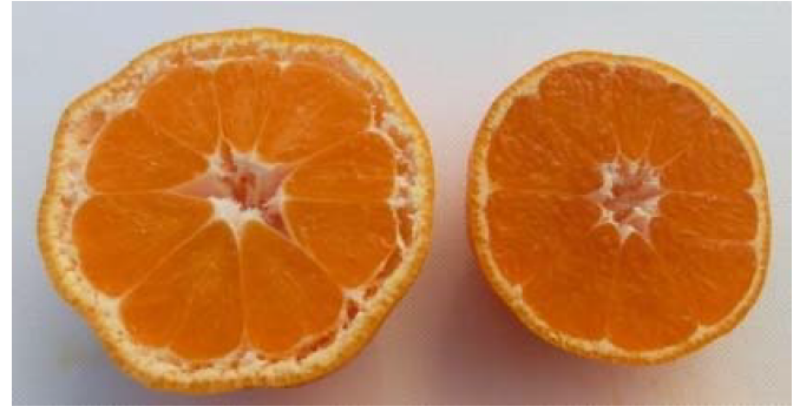


図3. 浮皮果と正常果

出典：愛媛県農林水産研究所 みかん研究所

出典：環境省委託事業「令和2年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託事業」について(中間報告)(愛媛県気候変動適応センター, 2020年10月27日)

- 先進地域として、気候変動のプラスの面を活かした積極的な適応を期待

# 愛媛県によるアンケート・ヒアリングの結果(続)

○畜産関係では、夏場に繁殖成績の低下や増体・肉質の低下が起こるなどの季節的な変化による影響(被害)は元々深刻であったが、生産者によって、近年更に深刻化しているかどうかの感度は異なる。対策は設備環境の充実が主であるが、コスト負担の大きさが課題となり、生産者によって環境整備の状況には差が生じている。



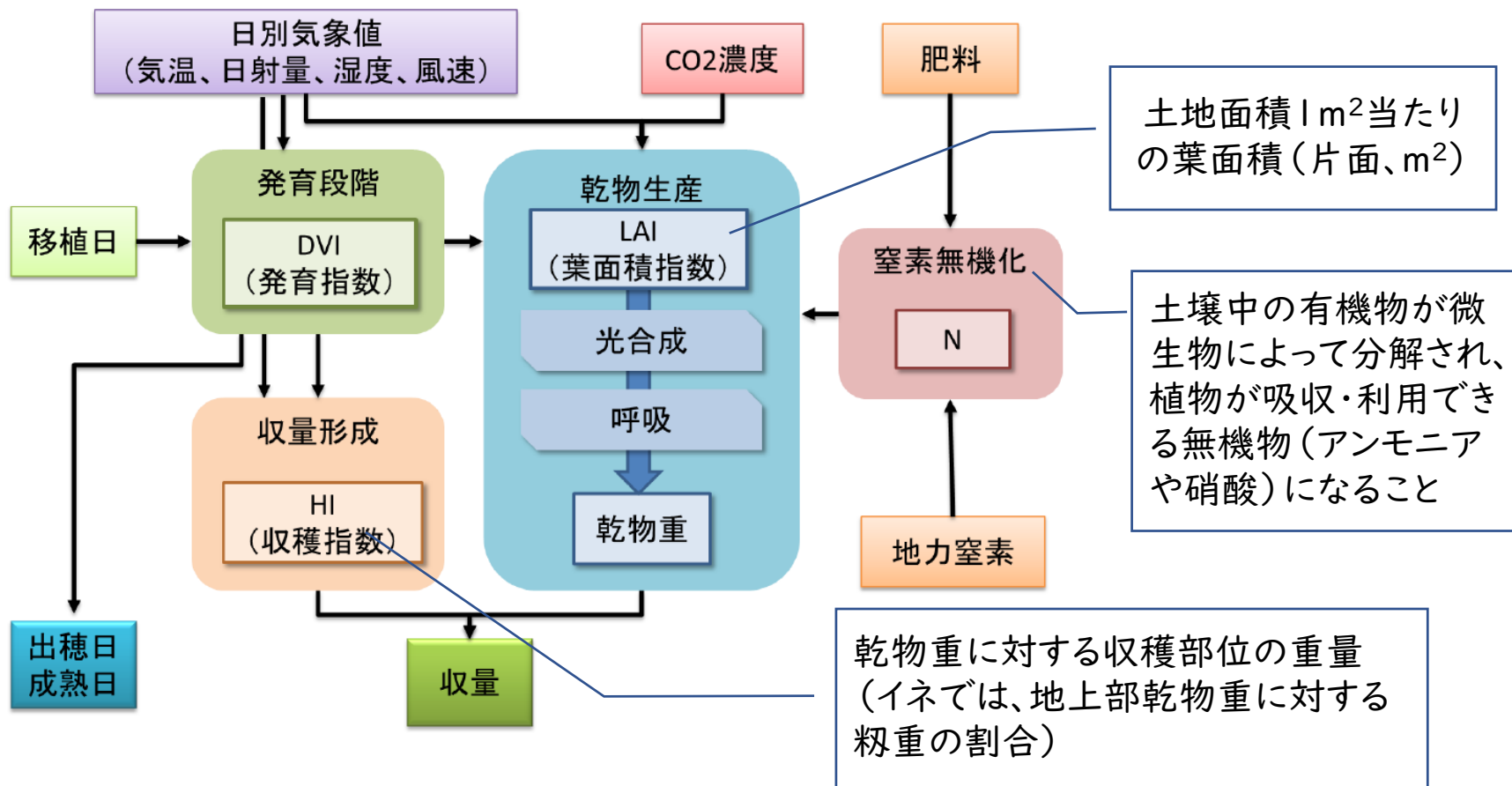
図4. 送風ダクトと細霧を組み合わせた暑熱対策装置

出典：愛媛県農林水産研究所畜産研究センター

出典：環境省委託事業「令和2年度国民参加による気候変動情報収集・分析委託事業」について(中間報告)(愛媛県気候変動適応センター, 2020年10月27日)

- 「施設設備の導入コスト」： 予想される被害額と比較検討
- ヒトの熱中症対策と同様に、気温だけではなく湿度も含めたモニタリング
- (ウシ)飼養管理技術による暑熱対策の研究も進められている。

# コメに対する気候変動影響予測



## プロセスモデルを用いたイネの生育・収量予測

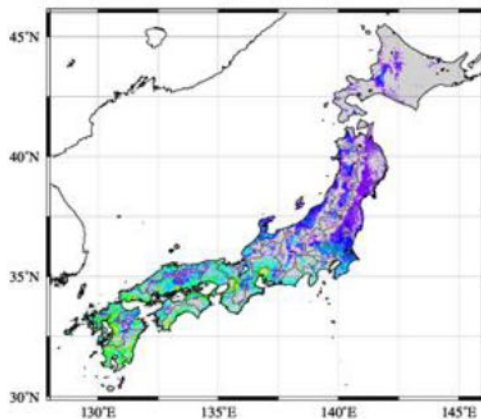
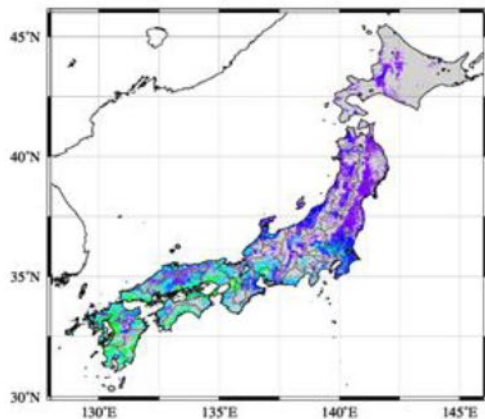
出典：[地域適応コンソーシアム事業\(気候変動によるコメの収量及び品質への影響に係る影響評価\)最終報告\(pdfファイルへリンク\)](#)

# コメ収量の将来予測の例

MIROC5 RCP2.6

21世紀中頃

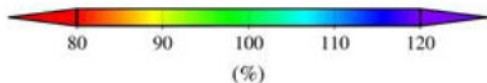
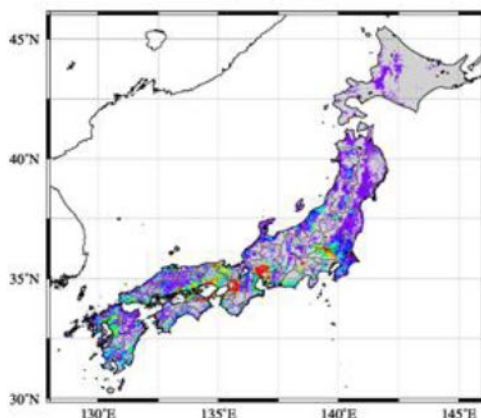
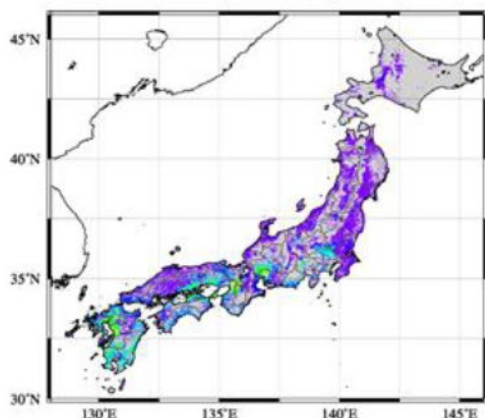
21世紀末



MIROC5 RCP8.5

21世紀中頃

21世紀末



(1981-2000年の平均値を基準とする相対値)

21世紀中頃: 2031-2050年の平均

21世紀末: 2081-2100年の平均

- 主要15品種のなかで、都道府県ごとに、作付面積が最大の品種を使用して予測
- 病虫害や台風などの影響は含まれない

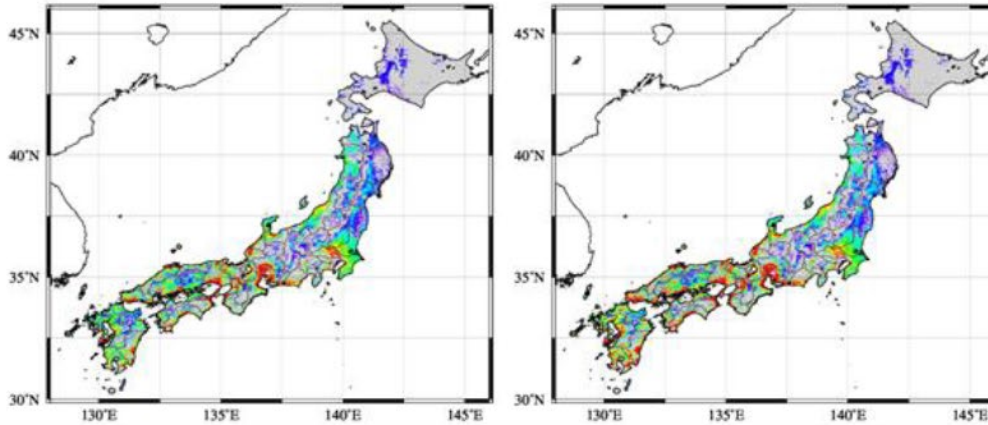
- 北・東日本では、CO<sub>2</sub>施肥効果に加えて低温被害の減少により増収。
- 西日本では、高温による減収がCO<sub>2</sub>施肥効果を相殺、一部地域では減収。

# コメ品質の将来予測の例 (登熟期の高温による品質低下リスク)

MIROC5 RCP2.6

21世紀中頃

21世紀末



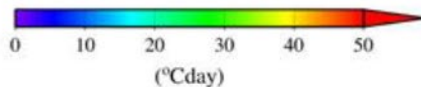
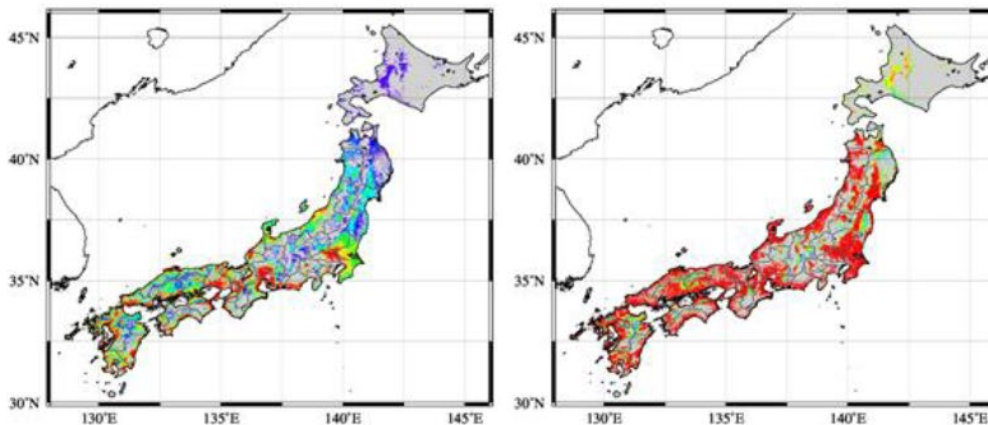
全国を対象とする定量的な品質予測モデルが未開発のため、出穂後20日間の日平均気温26℃超過分の積算値(ヒートドース値)で品質低下リスクを評価。

ヒートドース値が20℃・日未満の場合はリスク低、20~40℃・日の場合は中、40℃・日以上の場合は高。

MIROC5 RCP8.5

21世紀中頃

21世紀末



- RCP2.6よりもRCP8.5の方が、また21世紀中頃よりも21世紀末の方が、品質低下リスクが高い。

# 適応策オプションの導入にむけた予測の例

対象：香川県

作型1：5月1日移植 品種コシヒカリ 出穂期7月中下旬

作型2：6月20日移植 品種コシヒカリ 出穂期8月中旬

作型3：6月20日移植 品種ヒノヒカリ(おいでまい)

出穂期8月下旬～9月上旬

「おいでまい」は栽培実績期間が短く、品種の発育予測に必要なパラメータを決定できないので、ヒノヒカリのパラメータで代用

出典：[地域適応コンソーシアム事業\(気候変動によるコメの収量及び品質への影響に係る影響評価\)最終報告\(pdfファイルへリンク\)](#)

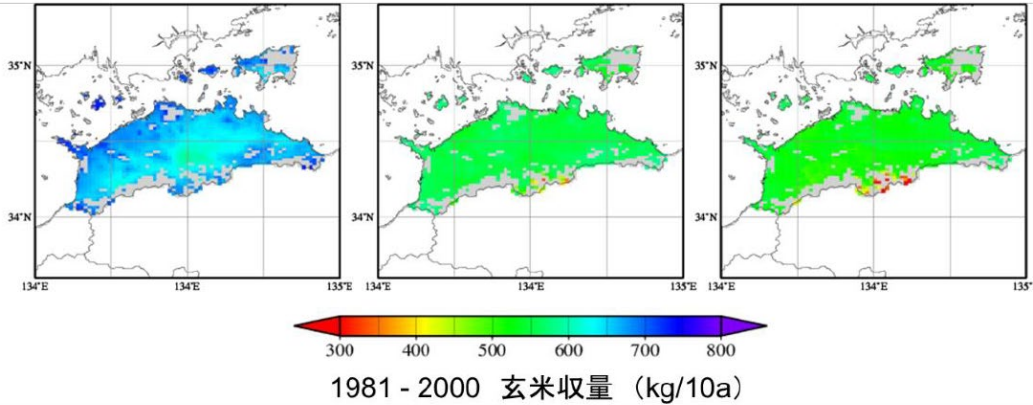
# コメ収量予測の例

気候モデル:MIROC5

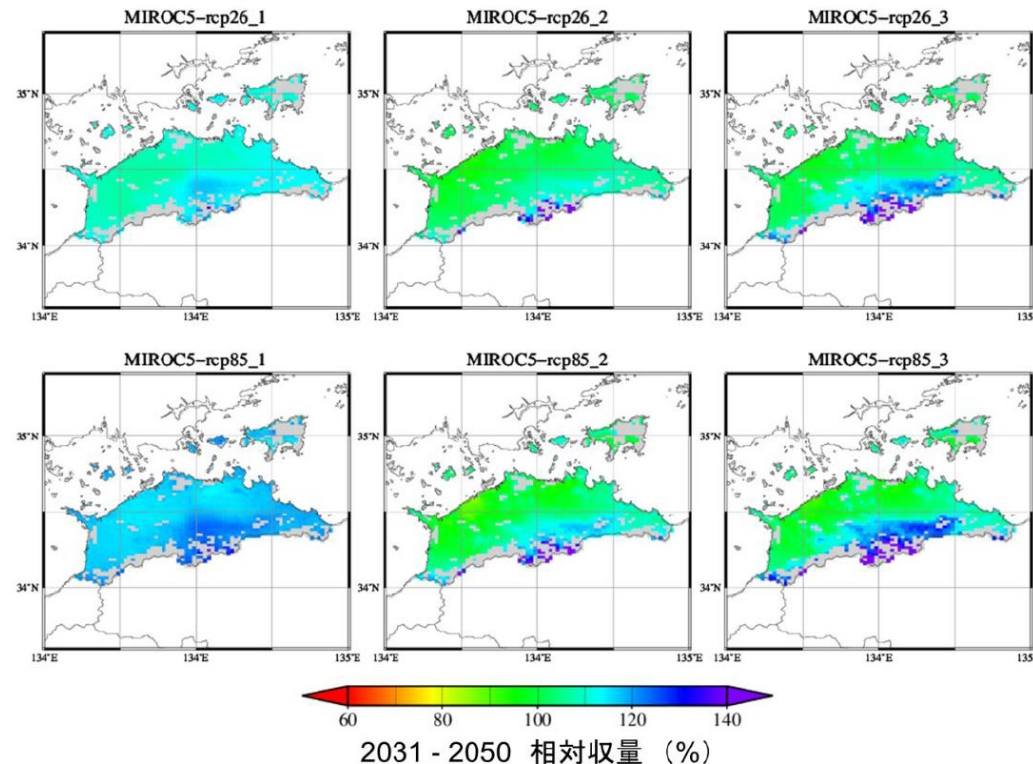
作型1

作型2

作型3



基準期間(1981-2000年)の平均値



21世紀中頃(2031-2050年)の  
平均値(基準期間に対する比)  
(上)RCP2.6、(下)RCP8.5

- 作型2は栄養成長期の高温によりバイオマス生産が不十分、作型3は登熟期が9月となり日射量が不十分で、いずれも作型1に比べて収量が低い。

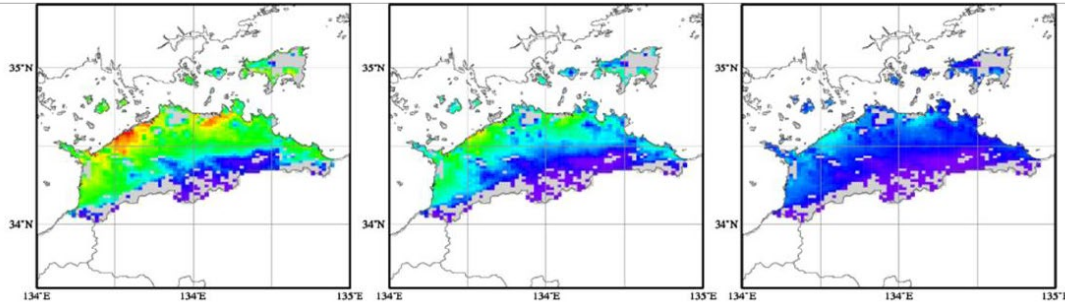


# コメ品質の予測の例 (登熟期の高温による品質低下リスク)

作型1

作型2

作型3

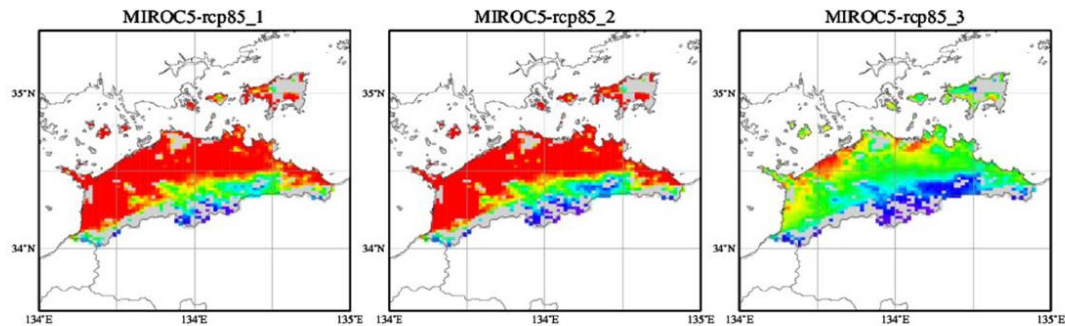
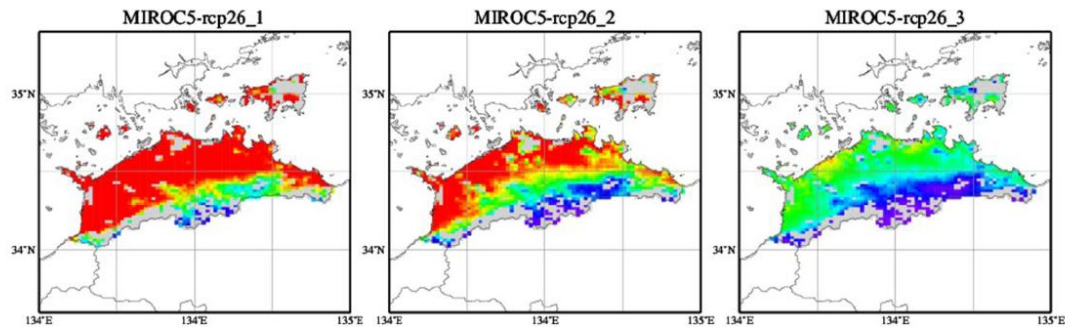


気候モデル: MIROC5

(上) 基準期間 (1981-2000年) の  
平均値

(中) 21世紀中頃 (2031-2050年)  
の平均値、RCP2.6

(下) 同上、ただしRCP8.5

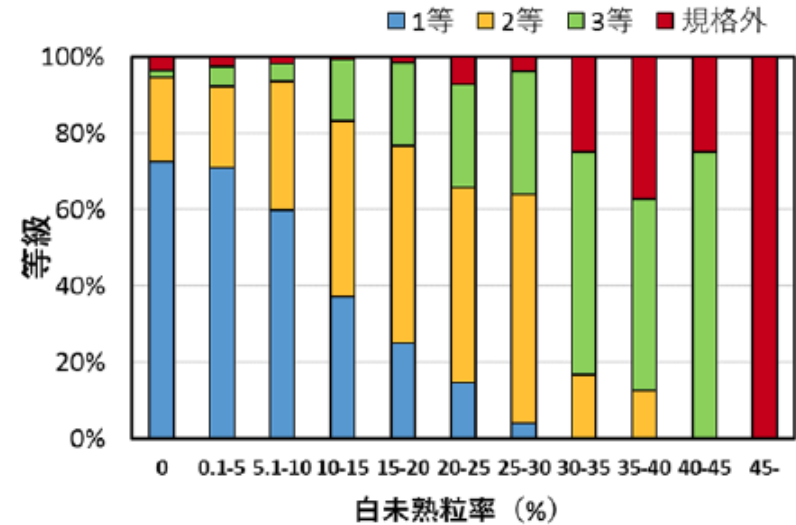
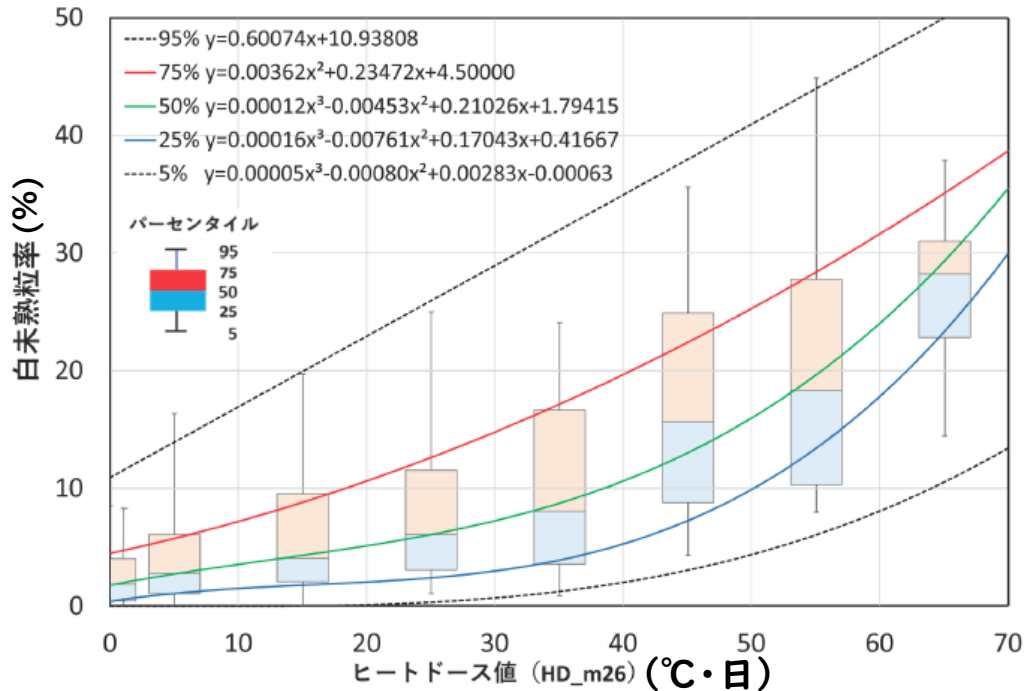


2031 - 2050 HD\_m26 (°C・日)

- 作型1、2では登熟期が高温となり、ヒートドース値は広い範囲で40°C・日以上で、品質低下リスクが高い。

- 作型3では一部の地域を除いて、ヒートドース値は40°C・日未満となり、作型1、2に比べて品質低下リスクが軽減される。

# ヒートドース値から品質の予測へ

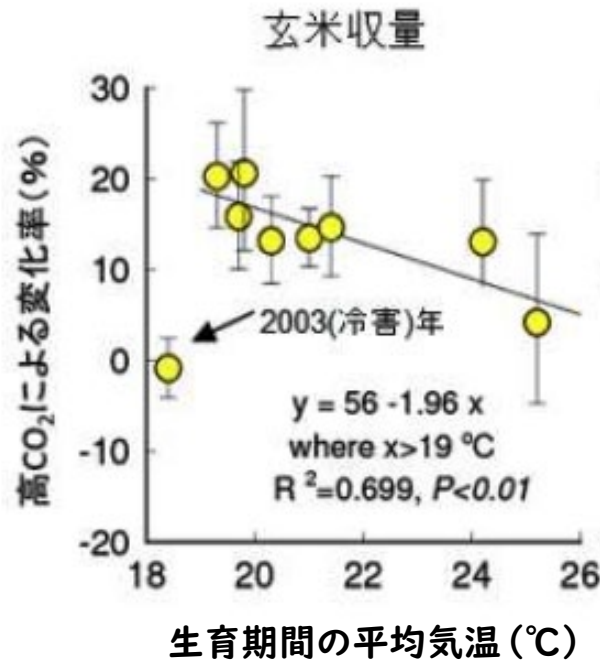


(左図) 日本の代表的な水稻15品種の白未熟粒率とヒートドース値との関係、近年、開発された高温耐性品種は含まれていない。

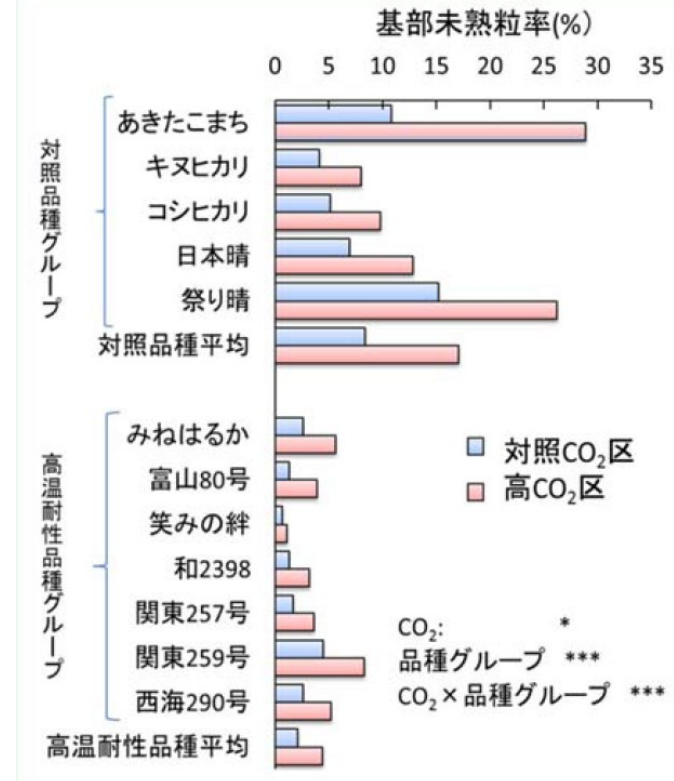
(右図) 白未熟粒率とコメの等級との関係

出典：[気候変動がわが国のコメ外観品質に及ぼす影響を広域で予測する統計モデル](#)  
(農研機構2019年度研究成果情報)

# 高CO<sub>2</sub>濃度影響の予測モデルへの取り込み



高CO<sub>2</sub>濃度による玄米収量の変化率と生育期間の平均気温との関係



高CO<sub>2</sub>濃度が基部未熟粒率に及ぼす影響

出典(左図): [高CO<sub>2</sub>濃度によるコメの増収効果は高温条件で低下—気候の違う2地点のFACE\(開放系大気二酸化炭素増加\)実験により確認—](#) (農業環境技術研究所プレスリリース, 2013年3月7日)

(右図) [大気CO<sub>2</sub>濃度の上昇はコメの品質を低下させるが高温耐性品種ではその影響が小さい](#) (農業環境技術研究所2015年度主要成果, pdfファイルヘリンク)

# 将来予測の不確実性

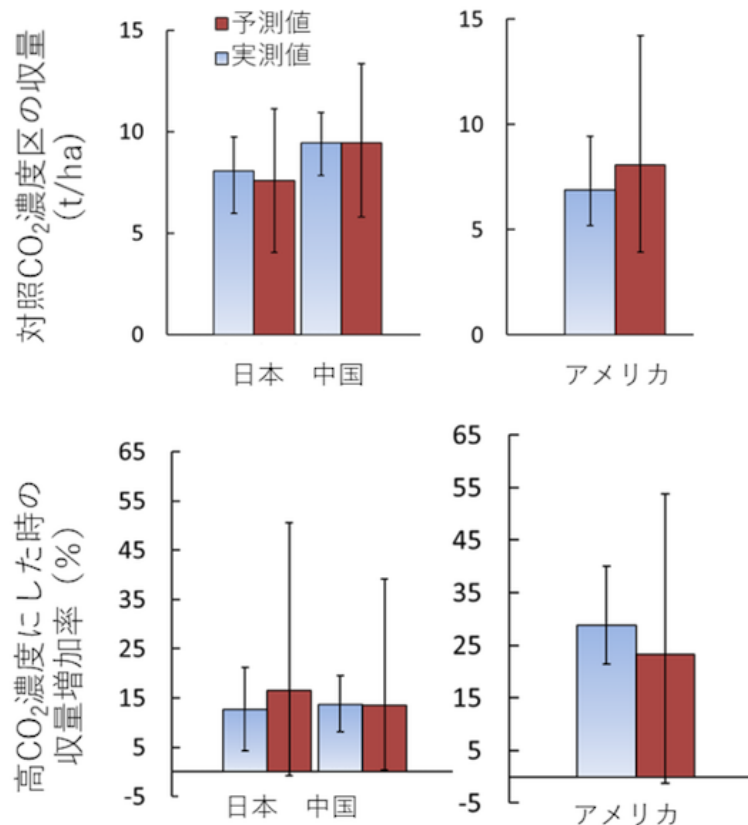
## (1) 気候予測の不確実性

- 温室効果ガスの排出シナリオ
- 気候モデルによるばらつき
- ダウンスケール手法によるばらつき
- 予測のメッシュサイズ

## (2) 作物の生育収量予測モデル

- 予測結果に大きなモデル間差

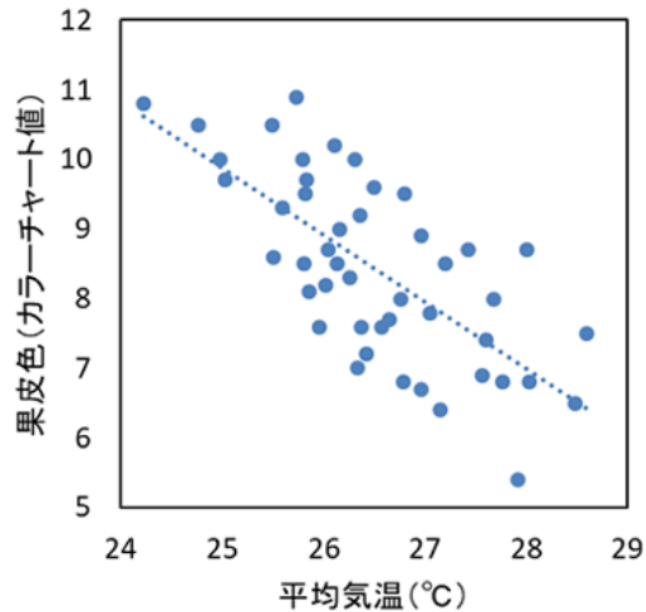
屋外での実験      人工気象室での実験



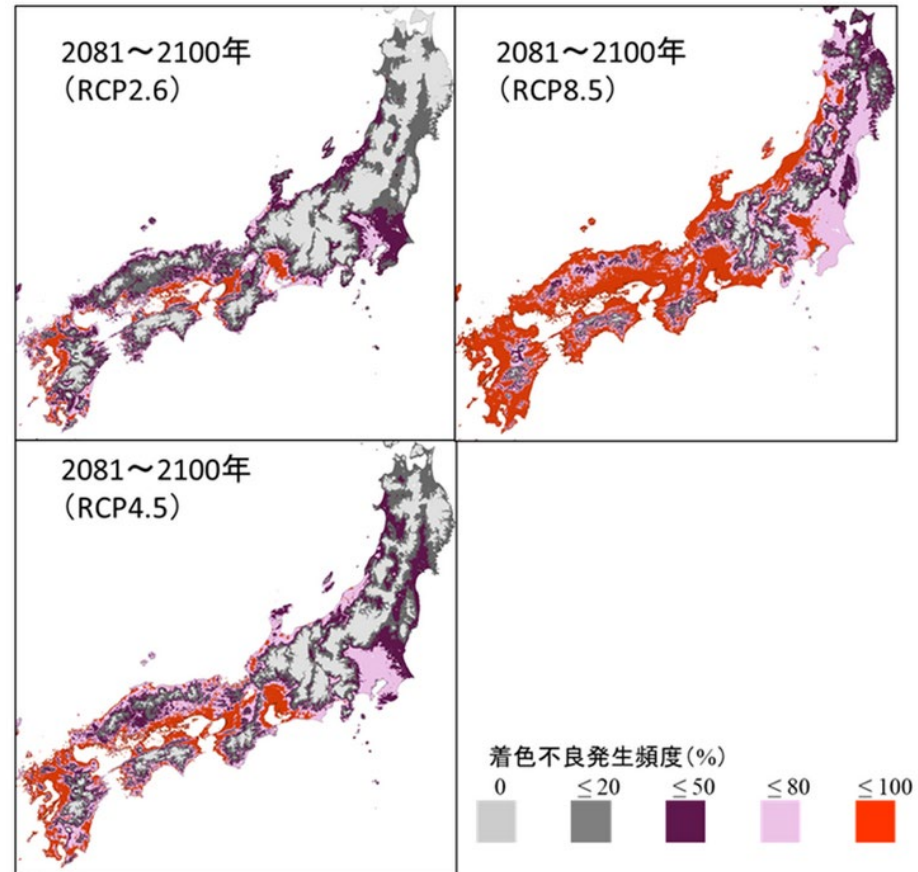
世界18機関が16種類のコメ収量予測モデルを使用して、日本・中国でのFACE実験、およびアメリカでの人工気象室実験の結果を予測した結果。エラーバーはモデル予測値のばらつきの範囲(最大値と最小値)

出典：複数の予測モデルの利用により、二酸化炭素濃度の上昇がコメ収量に与える影響を高精度に予測 (農研機構プレスリリース, 2017年12月7日)

# ブドウの着色不良の将来予測と適応策の効果



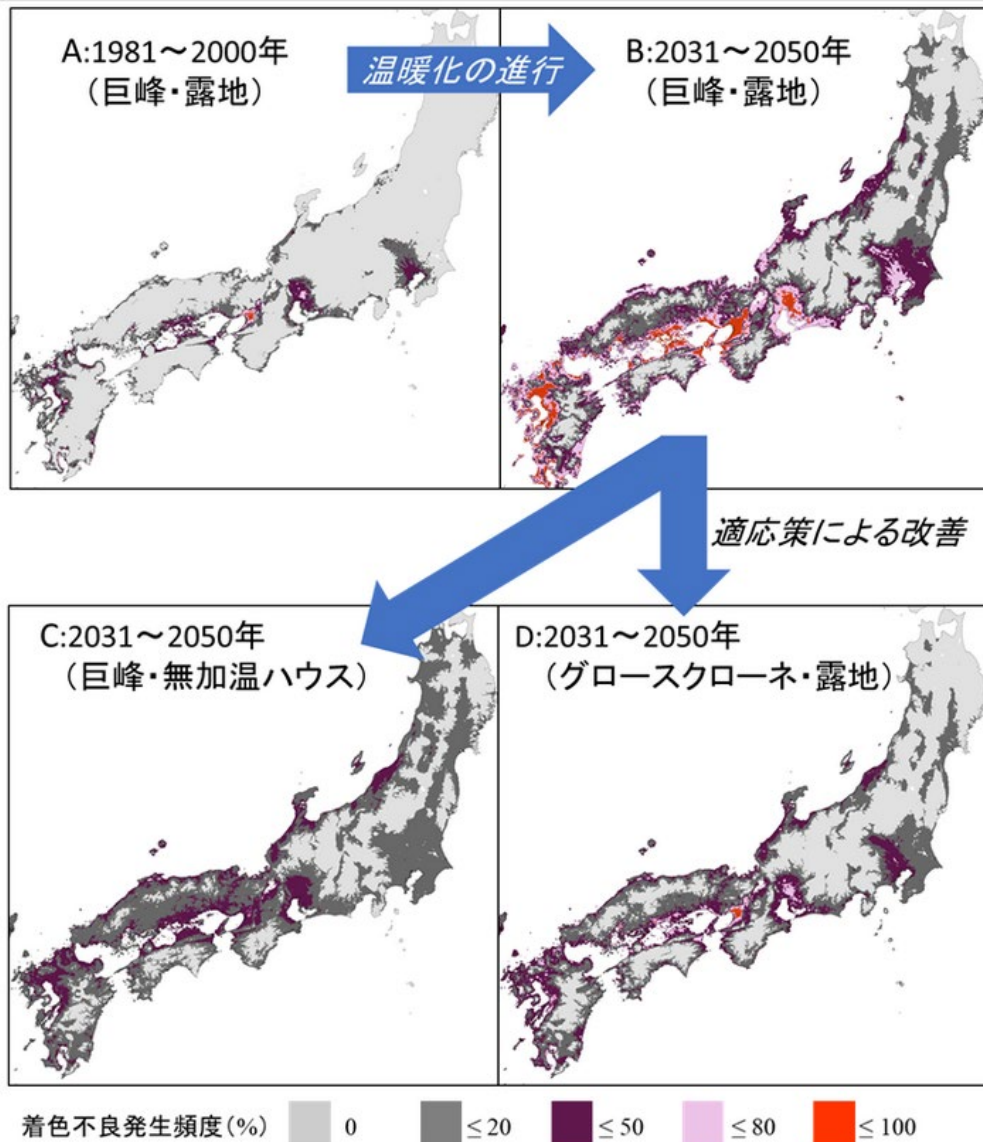
「巨峰」の果皮色と満開後50～92日の平均気温との関係  
カラーチャート(日園連より市販)の値が7(小数点第1位以下四捨五入)以下となる場合を着色不良とする。



21世紀末における露地「巨峰」の着色不良発生頻度  
温室効果ガス排出が多くなるほど着色不良の発生頻度(20年間のうちで着色不良となる年数の割合)が増加。

出典: [温暖化に伴う、ブドウ着色不良の発生拡大を予測](#) (農研機構プレスリリース, 2019年6月17日)

# ブドウの着色不良の将来予測と適応策の効果 (続)



温室効果ガス排出シナリオ  
RCP4.5に基づいた予測

1981~2000年(A)と比較して、  
2031~2050年(B)では、着色不良の発生頻度が大幅に増加。

適応策として無加温ハウス(C)や  
着色しやすい品種「グロースクローネ」(D)を導入することで、被害は  
軽減可能。

# 農業分野の気候変動への適応

## (1) 気象環境を調節する

主に温室や畜舎の環境調節により作物や家畜の温熱環境を改善する。換気や遮光、ヒートポンプ(エアコン)、細霧冷房、[パッドアンドファン](#)など。

## (2) 栽培方法を変える

作期の移動(高温による障害が出やすい時期を避ける)、多品種栽培による被害分散、施肥法の改善([ニホンナシの発芽不良対策](#)や[リンゴの着色不良対策](#))、[イネや飼料用トウモロコシの二期作栽培](#)など。

## (3) 栽培品種を変える

水稻の高温耐性品種(登熟期の高温でも品質が低下しにくい)、早朝開花性イネ(高温不稔対策)、着色がよいブドウなど。

## (4) 栽培する場所や品目を変える

産地の移動、[北海道で高級ワイン用ブドウ栽培](#)、[亜熱帯性果樹の導入](#)など。

- 適応技術導入のためにある程度のコストは避けられない。コストベネフィット評価のためには、適応策の効果を含む気候変動影響の正確な将来予測が必要。
- フードチェーンでの適応コストの公平負担に向けて、気候変動適応に関わる情報発信による社会理解の促進が重要。