# 気候変動と農業の未来

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 上級研究員 櫻井 玄

そもそも気候変動によって何が起こるのか?



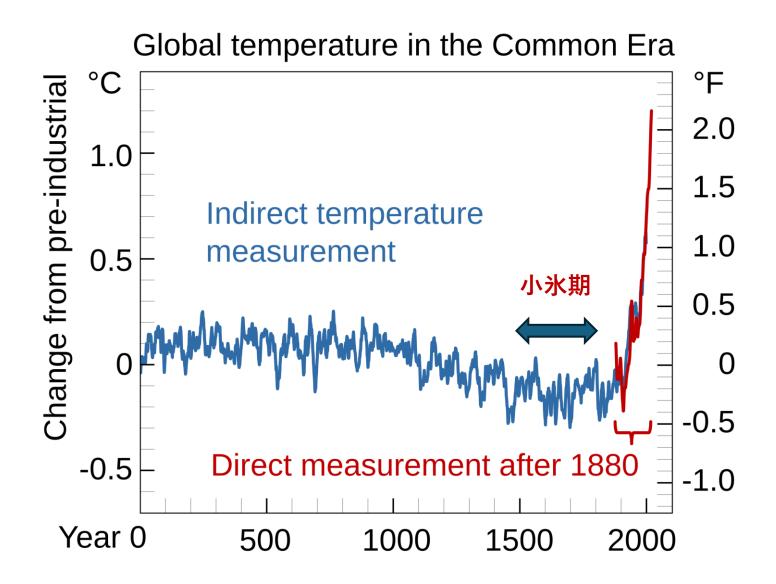
- 1951 -

東京·書 肆 株式 章 世 養 賢 堂 發 行

	200 March 100 Ma			
第1章	環境と植物	. 1	\$5.5	- 紀実の週期101
§ 1·1	作物環境學と環境の構		§ 5·6	入工降雨106
	进	1	第6章	
\$1.2	氣候學の內容	5	§ 6·1	露の生成108
§ 1·3	氣候指數と氣候圖表…	8	\$ 6.2	露の測定110
\$1.4	積算溫度	13	§ 6·3	露の分布――作物の種
§1.5	雨量係數	18	1.	類と高さの影響112
第 2 章	作物地理學		§ 6·4	露の植物に對する意
\$ 2.1	植物季節學			義114
§ 2·2	植物と氣候分類	33	第7章	<b>71</b> 115
\$ 2.3	植物と高度	46	\$7.1	霜の性態と成因115
第3章	日射と植生		§ 7·2	霜道と霜穴121
\$3.1	太陽輻射線	52	§ 7·3	霜の起る天氣と豫報…127
§ 3.2	大氣層の輻射線吸收…	53	\$ 7.4	霜柱と凍上132
§ 3·3	日照時數と日射量		第8章	雪害と冷害135
§ 3.4	光と作物	63	§ 8·1	積雪の性格135
§ 3·5	光とその人工利用	65	§ 8·2	積雪と作物138
第 4 章	風と作物		§ 8·3	冷害141
\$4.1	地形と流線		§ 8·4	東北冷害豫報の歴史及
§ 4·2	海陸風と山谷風			び理論146
§ 4.3	一般風と作物に對する		§ 8·5	雷雨·旋風·雹·早手 ···152
	影響	77	§ 8·6	雷雨と稻作160
§ 4.4	季節風と冬の低氣壓…	79	第9章	地象學163
§ 4.5	フェン		§ 9·1	地置163
第5章	水と作物	85	§ 9·2	熱擴散係數170
§ 5·1	降水總量と雨の强度…	85	89.3	土壌の含水量175
§ 5·2	梅雨と稻作		第10章	氣團說と空氣交換論…180
§ 5·3	水害	88	§ 10·1	氣團說180
§ 5·4	涸梅雨と早害	95	§ 10·2	渦動性空氣交換論183

目

#### 地球温暖化の前の小氷期



近年問題となっている地球 温暖化の前の時代は寒い時 代、つまり小氷期の時代 だった。

小氷期とは14世紀半ばから 19世紀半ばにかけて続いた 寒冷な期間であり、世界中 で多くの飢饉が起きた。

#### 冷害に苦しんだ歴史

日本でも小氷期には寒冷な期間が続いた。

小氷期の終わりごろの天明の大飢饉では、 冷害と噴火による日射不足により数万人が 餓死したと言われている。



天明飢饉之図 (Wikipedia)

#### 近代の稲作は冷害との戦い

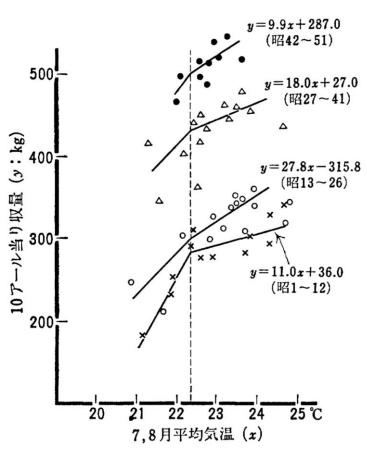
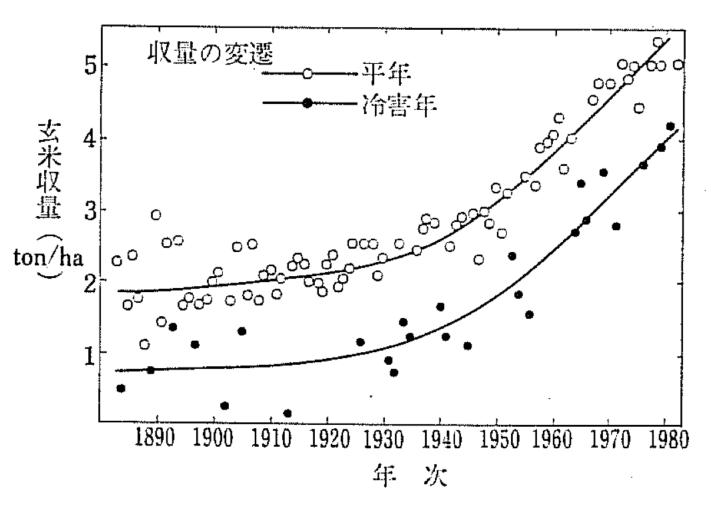


図 2 東北地方の 7,8 月平均気温と水稲収量 東北地方の 7,8 月平均気温は青森・秋田・宮古・石巻・ 山形・福島の 6 地点の値から算出

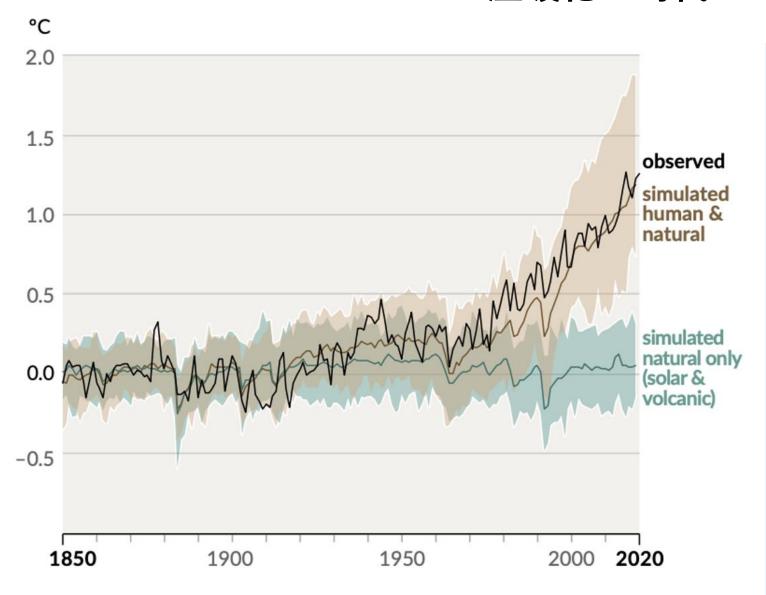


第1図 過去100年間(1883~1982)における 北海道水稲の収量の変遷

阿部 1980 化学と生物

佐竹 1983 農林水産技術研究ジャーナル

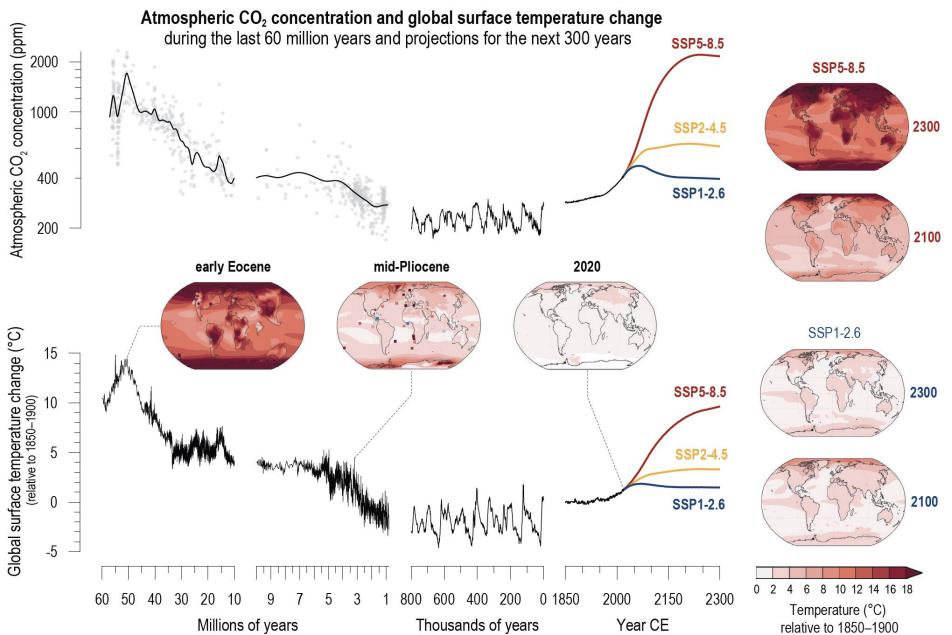
#### 温暖化の時代



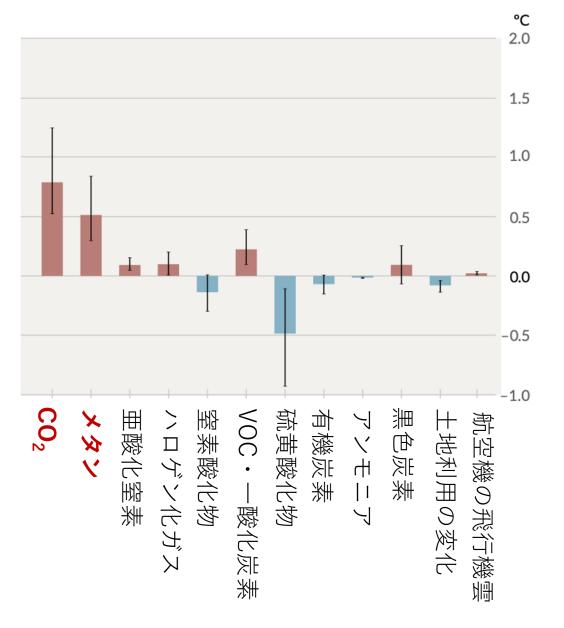
この図は、1850年以降の全球 平均気温の変化を観測値と気 候モデルのシミュレーション で比較したもの。 黒線:実際に観測された気温 の推移。茶色の帯:人為的要 因(温室効果ガス・大気汚染 など)と自然要因(太陽活 など)と自然要因(太陽活

動・火山噴火など)の両方を 含めたシミュレーション結果。 観測値とよく一致しています。 **緑色の帯**:自然要因(太陽・ 火山)のみを考慮したシミュ レーション結果。

#### 高温の時代は昔もあったが問題は気候変化の速度



#### ホントに二酸化炭素が原因なのか?

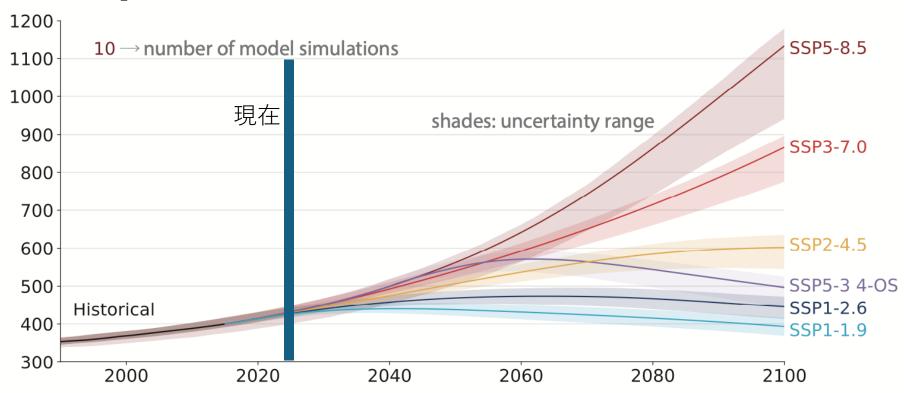


この図は1850-1900年と比べた 2010-2019年の地球温暖化への各要 因の寄与を示す。

 $CO_2$ や $CH_4$ など温室効果ガスは強い温暖化をもたらし、 $SO_2$ などのエアロゾルは冷却効果を示す。観測された温暖化は温室効果ガスが主因で、エアロゾルの冷却が一部相殺していることが分かるが、相対的には温室効果ガスの温暖化効果の方がずっと大きい。

#### 過去と将来の大気中二酸化炭素濃度の増加

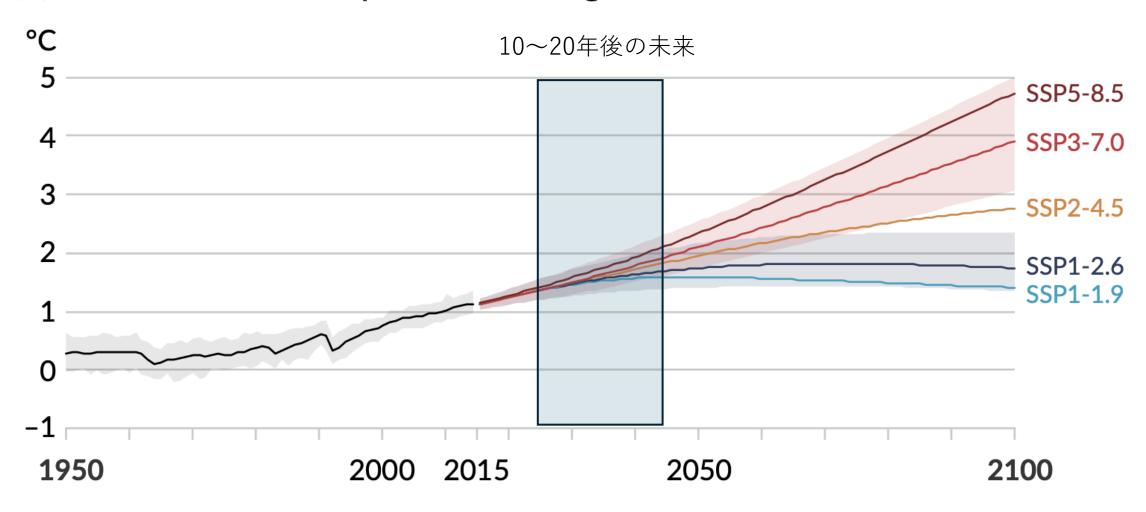
(e) CO<sub>2</sub> concentration (ppm)



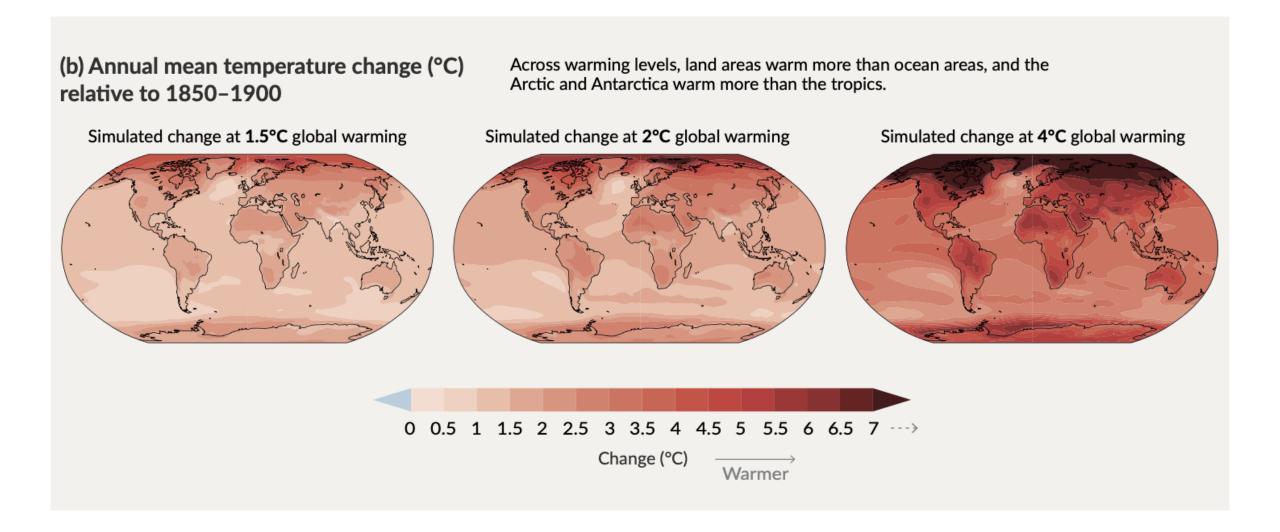
産業革命以降増え続けた大気中二酸化炭素濃度は現在420 ppmまで増加している。1960年頃には320 ppmであったため、わずか60年間で約100 ppmも増加した。

#### それぞれのシナリオでどの程度気温が上昇するのか?

(a) Global surface temperature change relative to 1850–1900



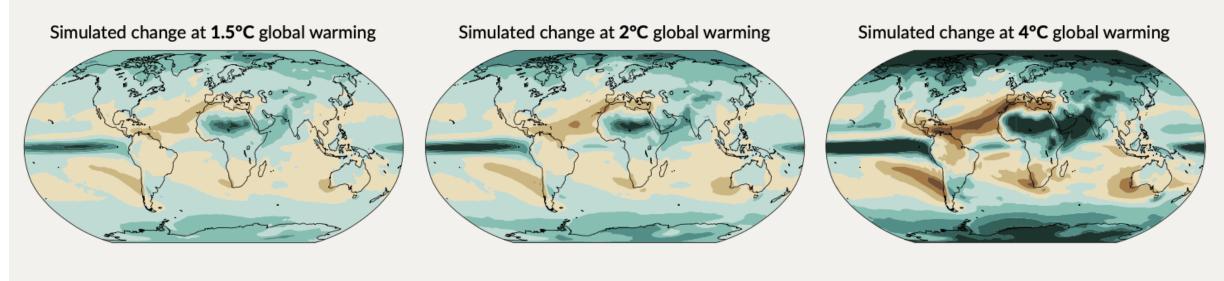
#### 各地域の気温の変化



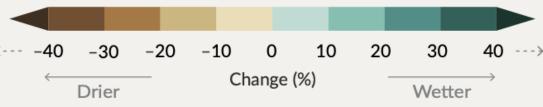
#### 各地域の降水量の変化

## (c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850–1900

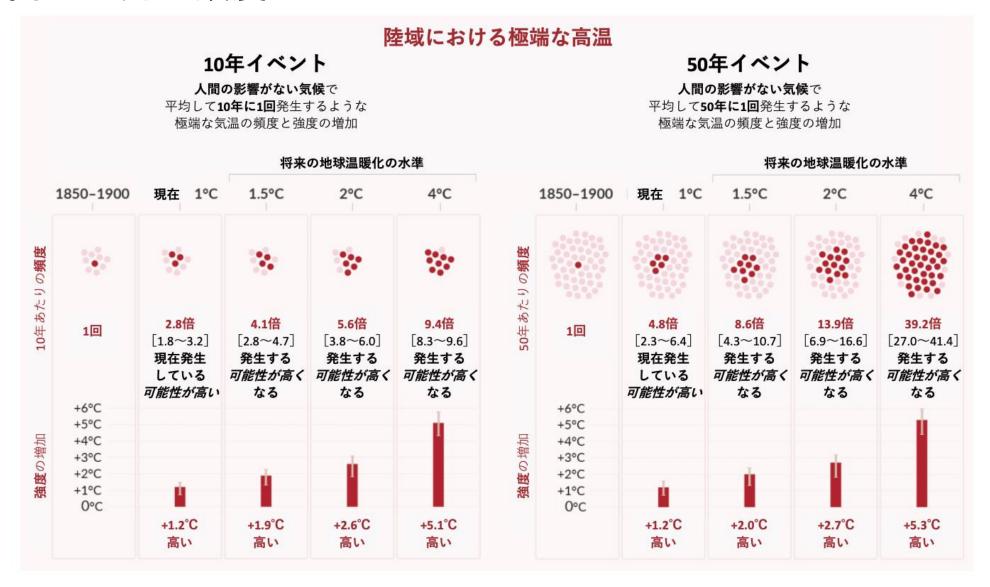
Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.



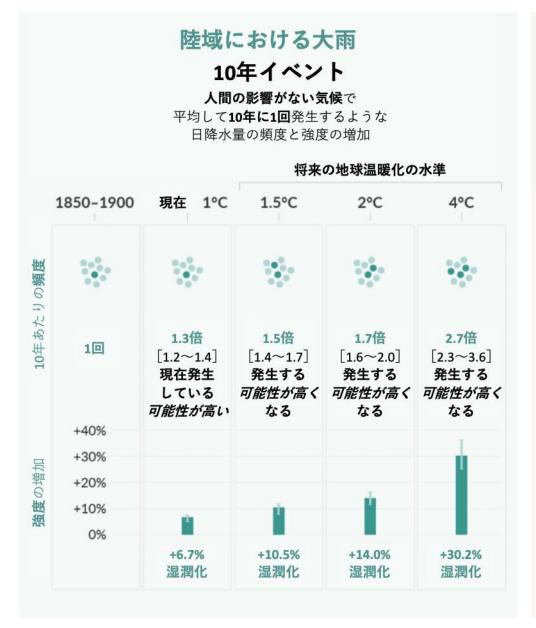
Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions.



#### 極端な高温の発生頻度



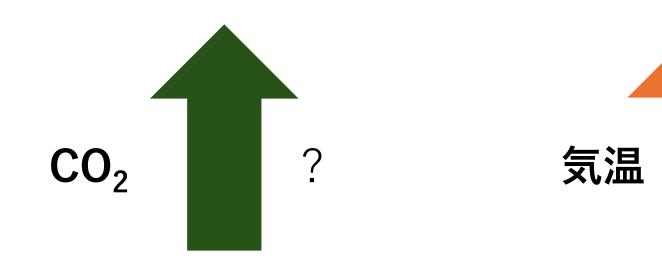
#### 極端な降水・干ばつの発生頻度





IPCC AR6 (2021)環境省翻訳版

#### 二酸化炭素と気温の増加

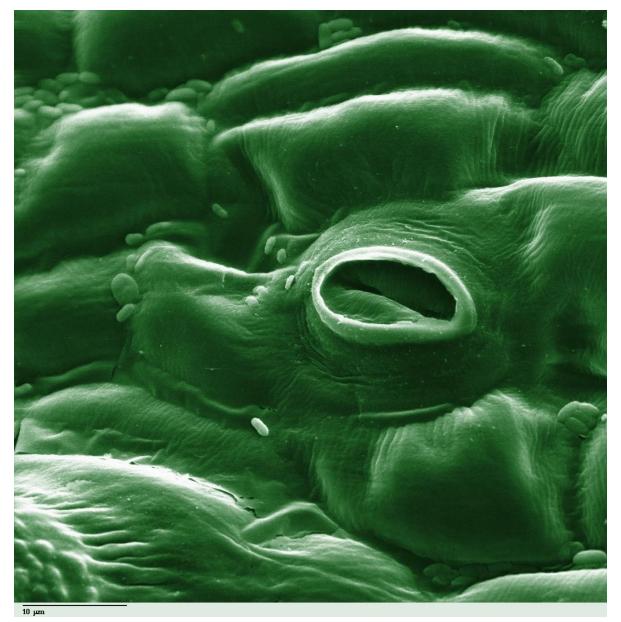


二酸化炭素濃度が増加したら 何が起こるのか?

気温が増加したら 何が起こるのか?

地球温暖化の原因は大気中二酸化炭素濃度の増加だが、植物には気温の増加だけでなく二酸化炭素濃度の増加自体も影響を及ぼす。二酸化炭素濃度が増加したら何が起こるのか、気温が増加したら何が起こるのか、日本における気候変動の影響の具体的事例を見ていく前にまずは植物と二酸化炭素、気温の関係を概観する。

#### 気孔



植物と外界の重要な接点の一つは「気孔」である。

左図はトマトの気孔であるが、 植物はこのような気孔を葉1平方 センチメートルあたり1万個ほど 持っている。

植物は気孔を通して、二酸化炭素や酸素、水蒸気などを交換している。

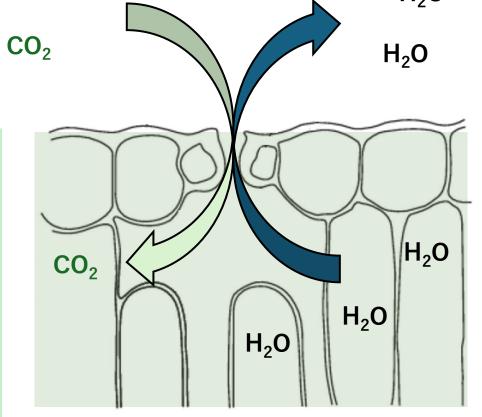
#### Wikipedia 気孔

#### 植物のジレンマ

 $CO_2$   $H_2O$   $CO_2$   $H_2O$   $H_2O$ 

二酸化炭素は植物の光 合成に必要な、重要な 材料。

気孔を大きく開けば、 たくさんの二酸化炭素 を取り込むことができ る。



一方で気孔を開きすぎると、植物体内から水がたくさん蒸発(蒸 散)してしまう。

Jones (2014) 植物と気象を改変

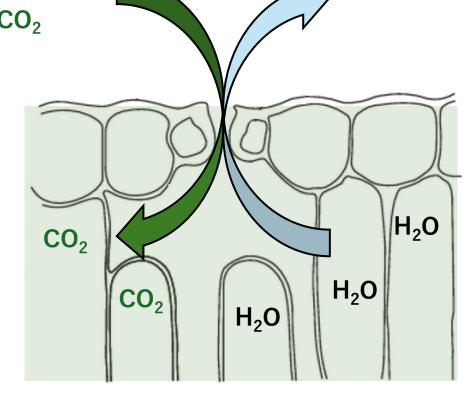
### 二酸化炭素の施肥効果

 $H_2O$ 

大気中二酸化炭素濃度 が上がれば、たくさん の二酸化炭素を取り込 むことができ、光合成 が活性化する。

 $CO_2$ 

 $CO_2$ 



気孔をそれほど開かなくても二酸化炭素が取り込めるため、気孔を閉じ気味にすることができ、蒸散も抑えられる。

Jones (2014) 植物と気象を改変

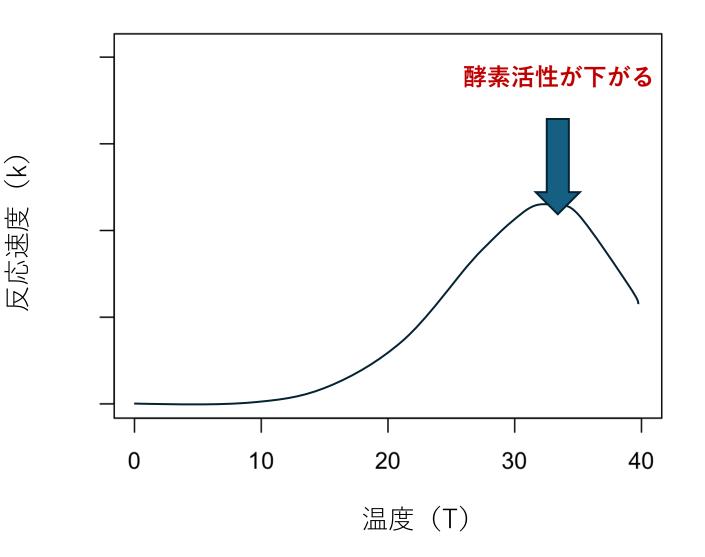
#### 二酸化炭素と気温



二酸化炭素濃度が増加したら 収量は増加する 気温が増加したら 何が起こるのか?

二酸化炭素濃度が増加することは、植物にとって基本的にはプラスである。では 気温が増加したら作物はどうなるのか?個々の事例を見る前に、基本的な植物の 性質を概観する。

#### 植物と気温



基本的には気温が上がることは 植物の様々な生体内の反応速度 を増加させる。

しかしながら、生物の反応はタンパク質である酵素が触媒しているため、ある温度を超えるとむしろ反応速度が遅くなる。

つまり、基本的には左図の関係 性が植物内のすべての反応に当 てはまることになる。

#### 植物と気温

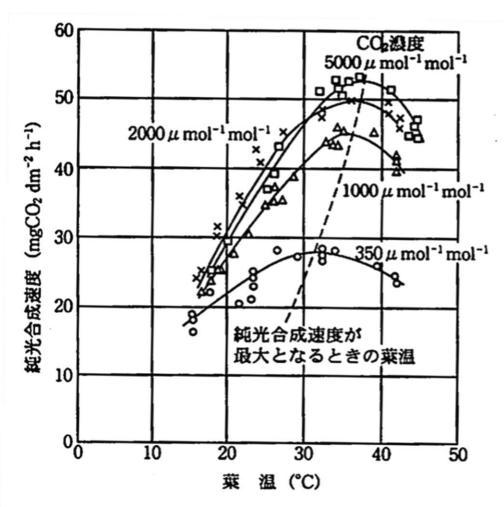


図 5.5 異なる CO<sub>2</sub> 遠度下におけるキュウリの純光合成 速度に及ぼす葉温の影響 (矢吹・消田, 1975) 照射光量:300 W m<sup>-2</sup>, 気流速度:0.6 m s<sup>-1</sup>, 相対湿 度:80%.



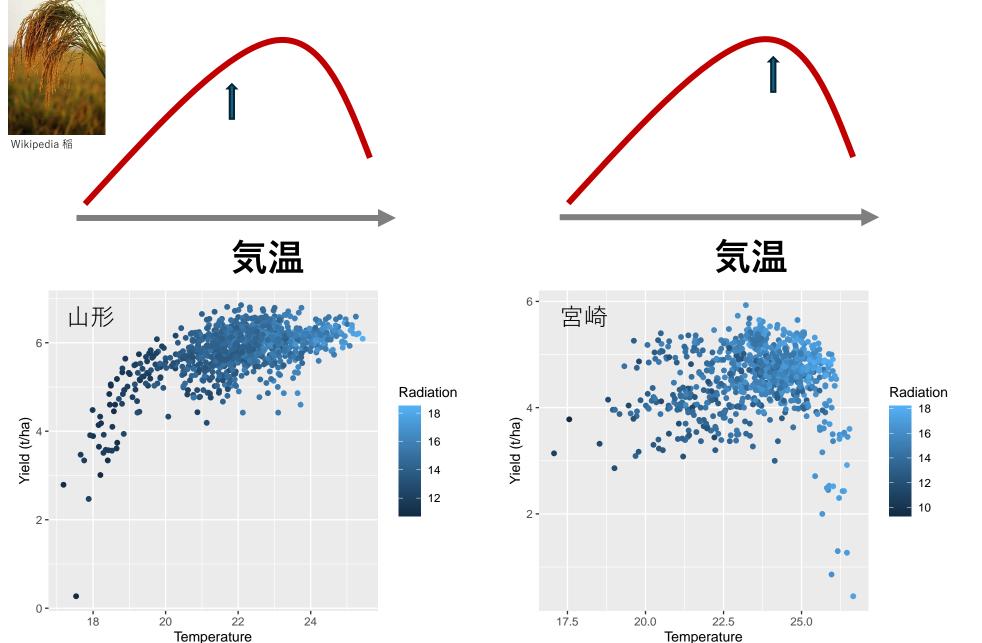
Wikipedia cucumber

植物の光合成と気温の関係 も基本的には上に凸の放物 線を描く。

つまり、気温の増加ととと もに光合成速度は増加する が、ある限界を超えると急 激に活性を失う。

長野・大政(2005)新農業気象学・環境学 5章

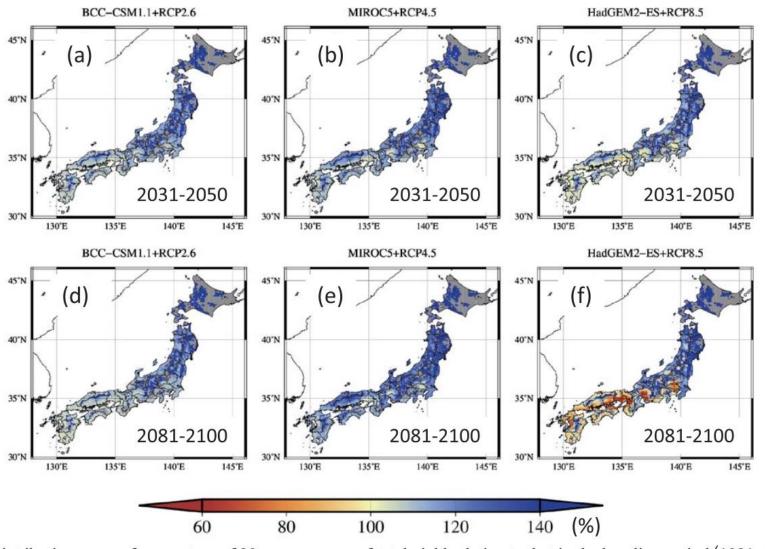
### 稲の収量と栽培後期の気温の関係(1993~2020年)



東北の地域は現在 でも、気にでするいめででする。 が問題。 を が問題。

一方で九州南部などでは、極端な気温の増加がマイナスの影響を及ぼし得ることがわかる。

#### シミュレーションによる温暖化と将来における稲の収量の予測

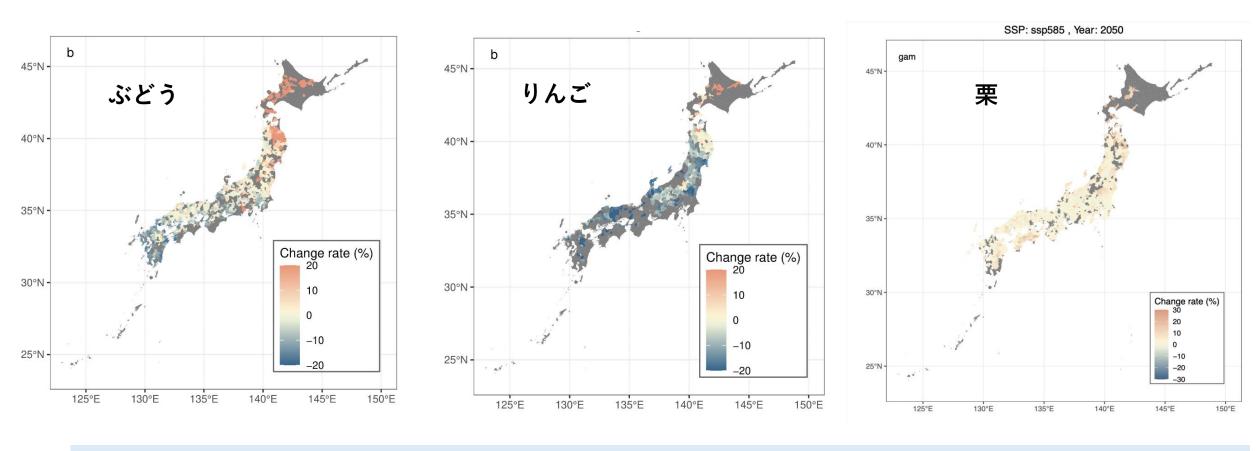


稲の収量については、将 来において多くの地域で 増加が見込まれる。

ただし、西日本については、温暖化が強く進んだ場合には収量の減少が予測されるモデルもある。

**Fig. 3.** Distribution maps of percentage of 20-year average of total yield relative to that in the baseline period (1981–2000). (a–c) Mid period (2031–2050) and (d–f) late period (2081–2100) calculated using three climate change scenarios (BCC-CSM1.1 + RCP2.6, MIROC5 + RCP4.5, and HadGEM2-ES + RCP8.5).

#### 将来における果実の収量の予測

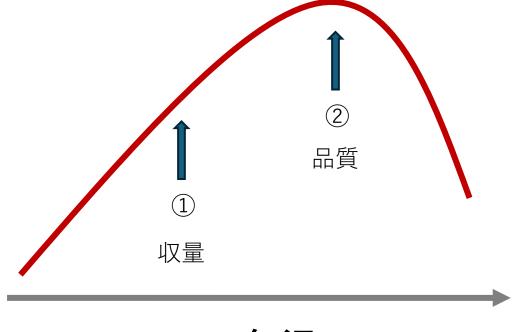


栗など全体的に気候変動の強い影響が予測されない果樹もあるが、多くは北の地域ほど正の影響を受ける。RCP8.5の気候変動シナリオにおける2041年~2060年の収量変化率の予測。5つのGCMの平均値を示す。

#### 作物の品質と気温



農業協同組合新聞



気温

前述の通り、水稲の「収量」に関してはまだ①の地点にあると考えられるが、 「品質」については②の地点にある。多くの作物において、品質に関しては② の地点にあるものが多い。

#### 水稲の白未熟粒と気温

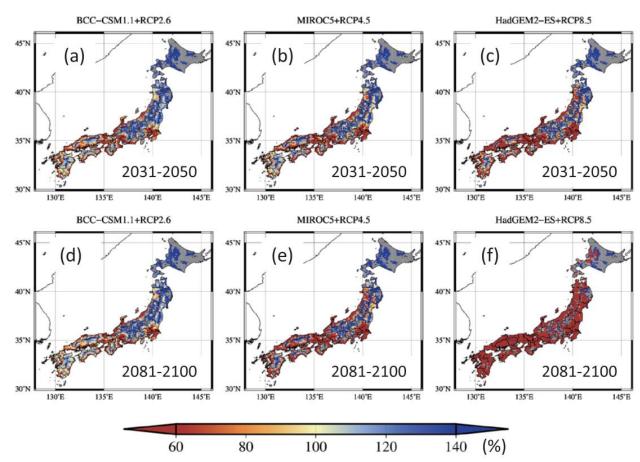


Fig. 5. Distribution maps of percentage of 20-year averages of class A yield relative to that in the baseline period (1981–2000). (a-c) Mid period (2031–2050) and (d-f) late period (2081–2100) calculated using three climate change scenarios (BCC-CSM1.1 + RCP2.6, MIROC5 + RCP4.5, and HadGEM2-ES + RCP8.5).

白未熟粒の割合が低い品質を 充足した収量という観点で見 ると、水稲の収量は将来特に 西日本において大きく減少し てしまうことが予測されてい る。

#### ブドウの品質と気温

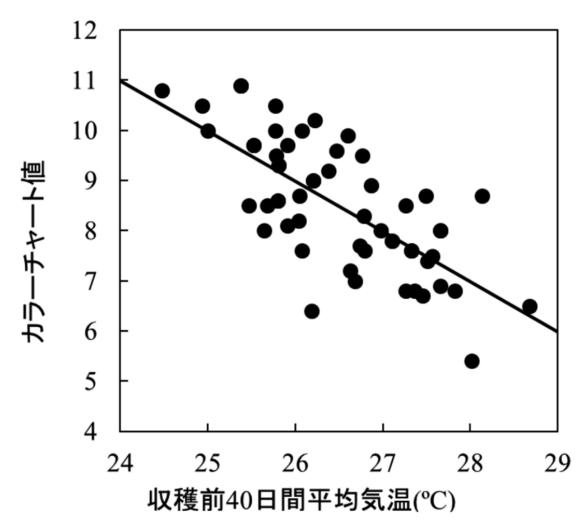


図4 ブドウ「巨峰」の着色期 (収穫前40日間) の気温と果皮色 (カラーチャート値) の関係 (Sugiura *et al.*, 2018) 全国16地点の数年間の果皮色を整理したもの.



ブドウ「巨峰」の着色の様子 (左:着色不良、右:正常な着色)

ぶどうの着色不良は気温と強く関係している。気温が増加すると、着色不良になりやすい。

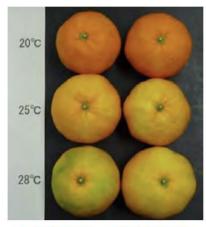
#### 温州みかんの品質と気温







日焼け果



着色不良・着色遅延

図 4 うんしゅうみかんの高温による主な影響 (右図の温度は、着色期における人工気象室の温度を表す。)

温州みかんについても、高温により浮皮や日焼け、着色不良など品質低下が起こることが懸念されている。



2046-2055 年 RCP8.5

図 6 うんしゅうみかんの栽培適地予測(MIROC5)

#### 気候変動による晩霜害の懸念

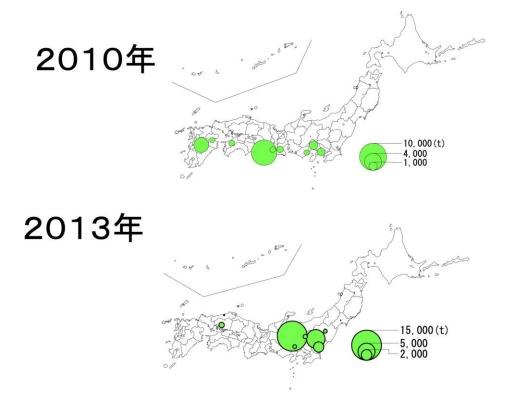


図2 近年の主な果樹晩霜害における道府県別の被害量

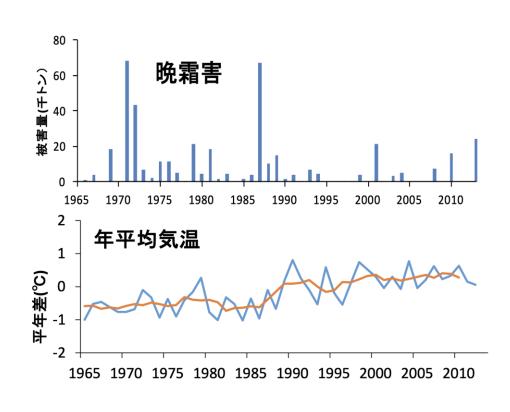


図1 果樹の晩霜害と日本の年平気気温平年差の推移

高温の直接的な影響ではなく、間接的な影響もあり得る。春先の気温が増加したことにより、果樹の開花日が早まり、季節はずれの寒気によって果実の生産量減少する晩霜害の被害は近年懸念されている事案の一つである。

#### 適応策の分類

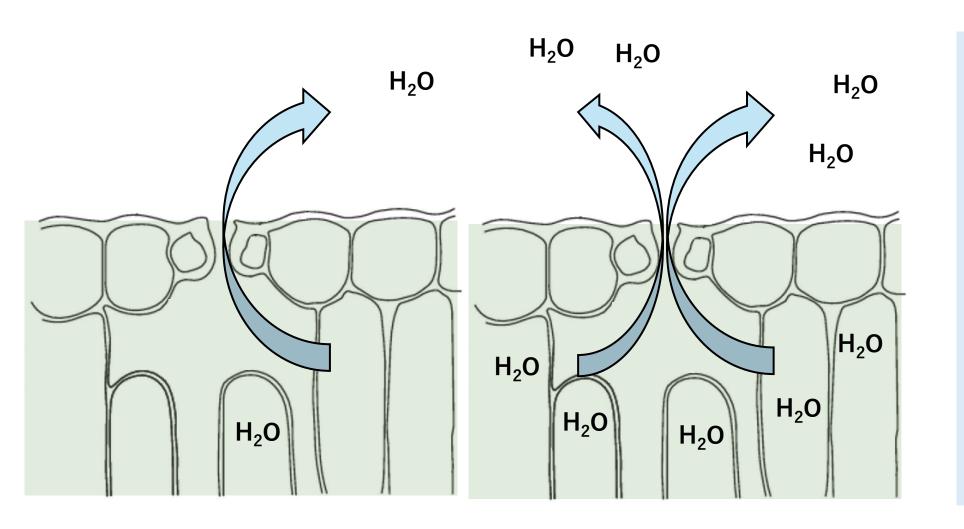
- 1. 圃場内環境の人為的な調整
- 2. 作期の移動
- 3. 薬剤処理などによる、品質低下の抑制
- 4. 高温耐性品種の導入
- 5. 栽培作物の変更
- 6. 複数の栽培作物の栽培による経営安定化

# 水の潜在的な量が他国に比べて潤沢な日本において、気候変動に対する重要な対策は適切な水管理



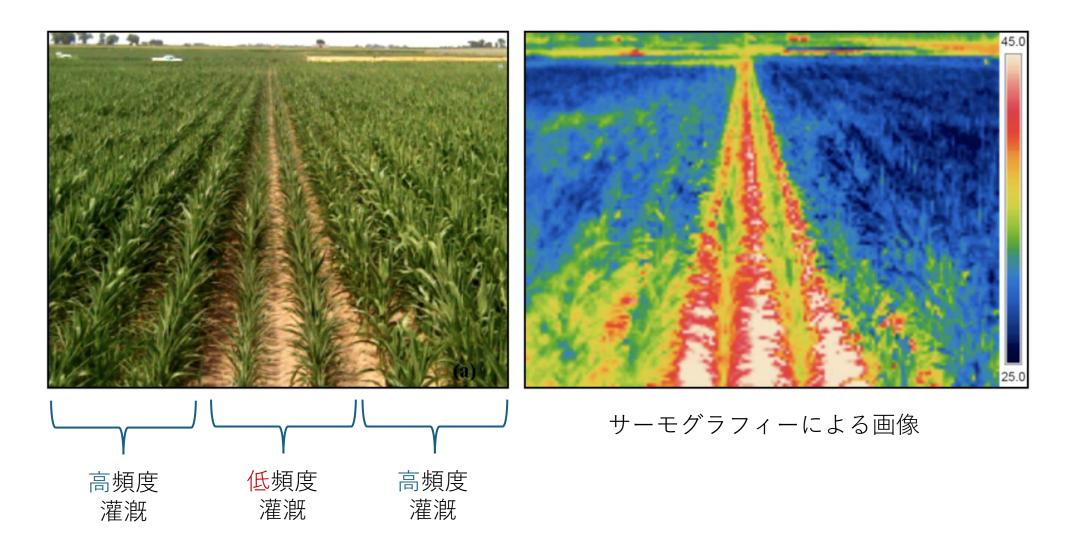


#### 適切な水分管理は作物の温度も下げる



蒸散が増えること によって葉温が上 がりにくくなる。

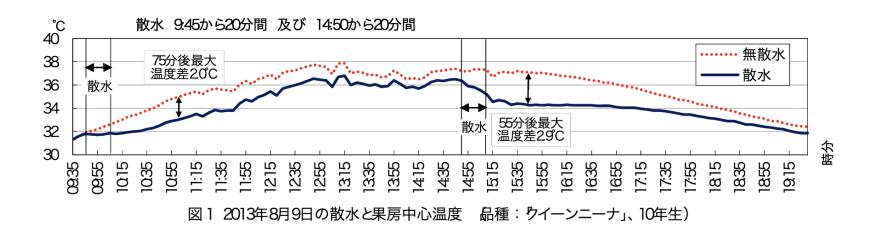
#### 適切な水分管理は作物の温度も下げる

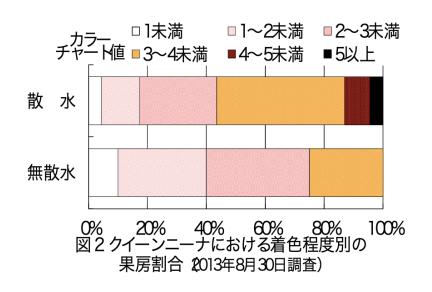


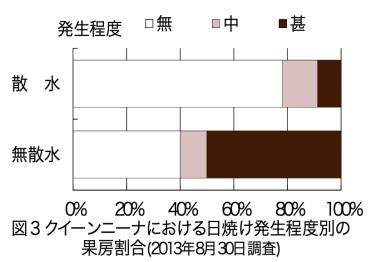
Taghvaeian & Chávez (2014) Agricultural and Food Sciences, Environmental Science

#### 適切な細霧冷房



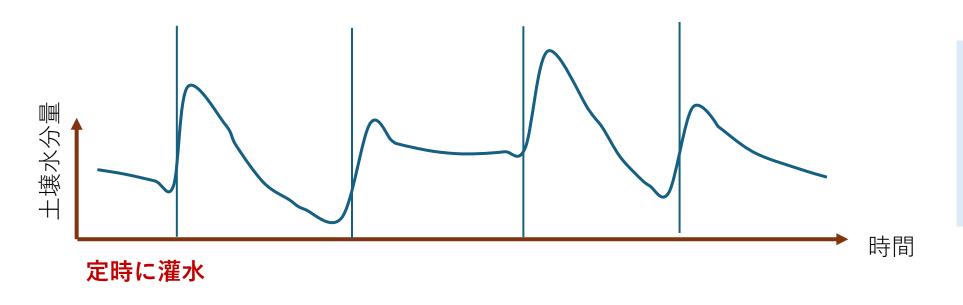




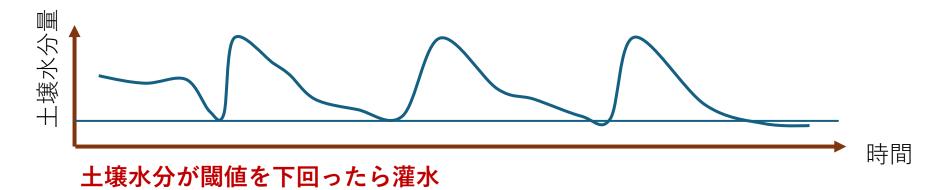


なぜICTが必要なのか?

#### ICTではなくとも、灌漑のある程度の自動化は可能だが・・・

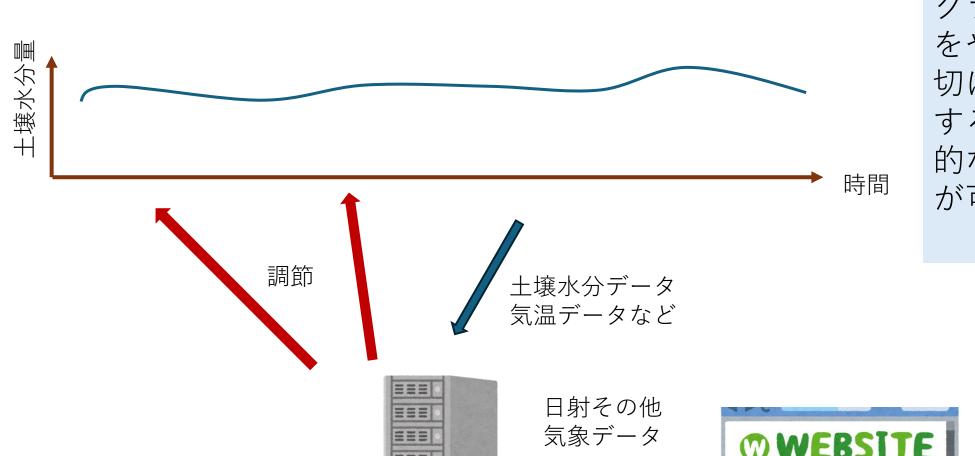


定時灌水だと、土 壌水分が安定しな いし、やり過ぎや 不足の問題がある。



土壌の水分に反応 する形式の場合、 土壌水分量を一定 にするのが難しい。

#### ICTではなくとも、灌漑のある程度の自動化は可能だが・・・



クラウド

クラウドとデータ をやり取りし、適 切にデータを処理 することで、適時 的な灌漑水の調節 が可能。

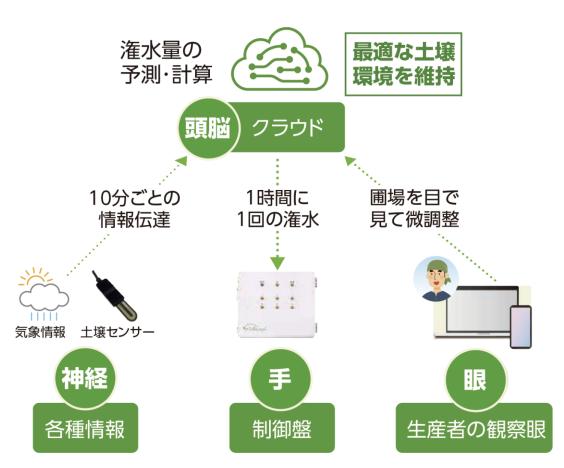


#### ICTを使った自動灌漑システム

ICTを使った自動灌漑システムはすでに市場で多く利用されている。

ハウスなどだけではなく野外圃場での有効性の知見の蓄積が期待される。





https://www.zero-agri.jp/

### 面的データの活用

さらにリモートセンシングデータと組み合わせれば、少ない土壌センサー数でも、面的なデータの補足が可能になる。



#### 含水率推定值 [%]

7

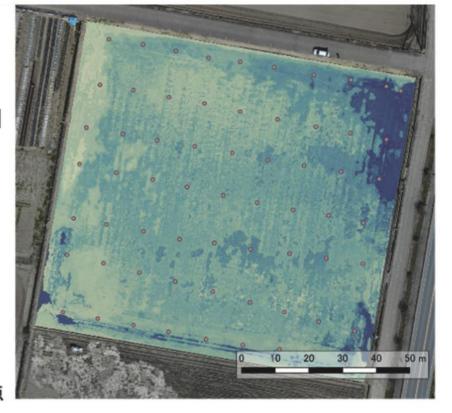
7.75

8.5

9.25

10

含水率測定地点



#### 可変散水灌漑(VRI)

アームに取り付けられた多数のスプリンクラー(散水ノズル)には、それぞれに電気バルブがついる。

GPSと連動した自動散水FieldNETシステムは、センターピボットのGPS位置情報と処方マップをリアルタイムで照合し、ピボットがマップ上の特定のエリアに差し掛かると、その場所の指示に合わせて各スプリンクラーの水のON/OFFや量を個別に、かつ自動で制御する。





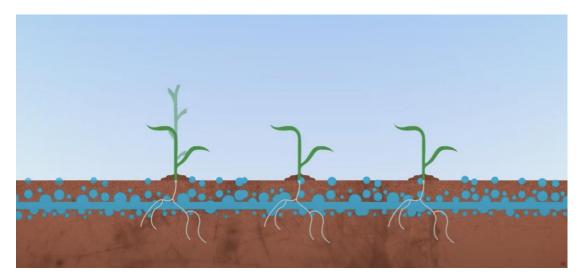


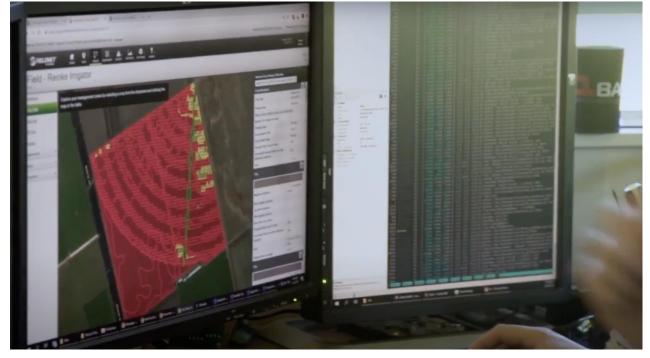
https://www.lindsay.com/

#### 可変散水灌漑(VRI)と精密農業

畑の土壌の種類、高低差、過去の収量データ、ドローンや衛星から得た生育状況の画像など、様々な情報を基に畑の「プリスクリプションマップ」を作成。これにより、「このエリアは水はけが悪いから少なめに」「ここは乾燥しやすいから多めに」といった指示をピクセル単位で地図上に落とし込むことができる。







https://www.lindsay.com/

#### ICTを農業に導入する意義

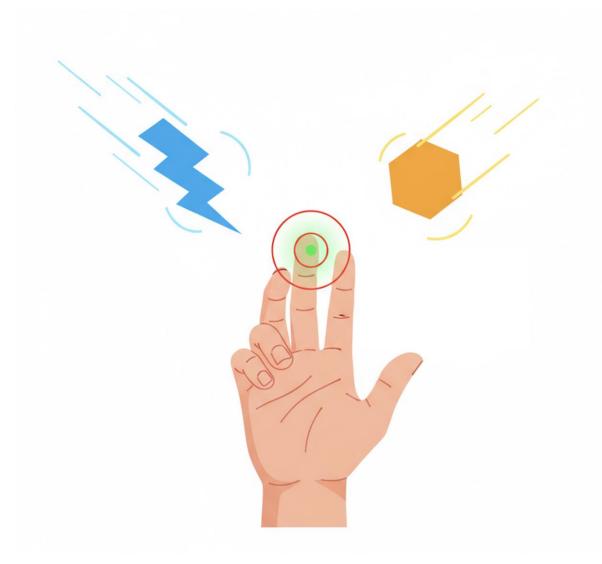
①離れた場所からリアルタイムで状況を監視・制御できる。

②収集したデータをAIで分析し、最適な栽培方法を導き出すことで品質と収量を向上させることができる。

③グループで技術を共有・ 継承できるため、地域全体 で生産性の底上げが可能。



「農業の自動化」は、まだまだ発展が可能な分野であり、特にソフト面での発展の余地は大きい。開発・製品化においては、ソフト面でのアップデートが容易である形態での製品開発が有効。



ICTを導入することは、農業における「反射神経」を高めることに相当する。

極端気象が増えてくることが予想される今後、必要な技術。