

# 気候変動と作物生産

作物学分野 白岩立彦

(農学生命棟525, shiraiwa@kais.kyoto-u.ac.jp)

気候変動と異常気象

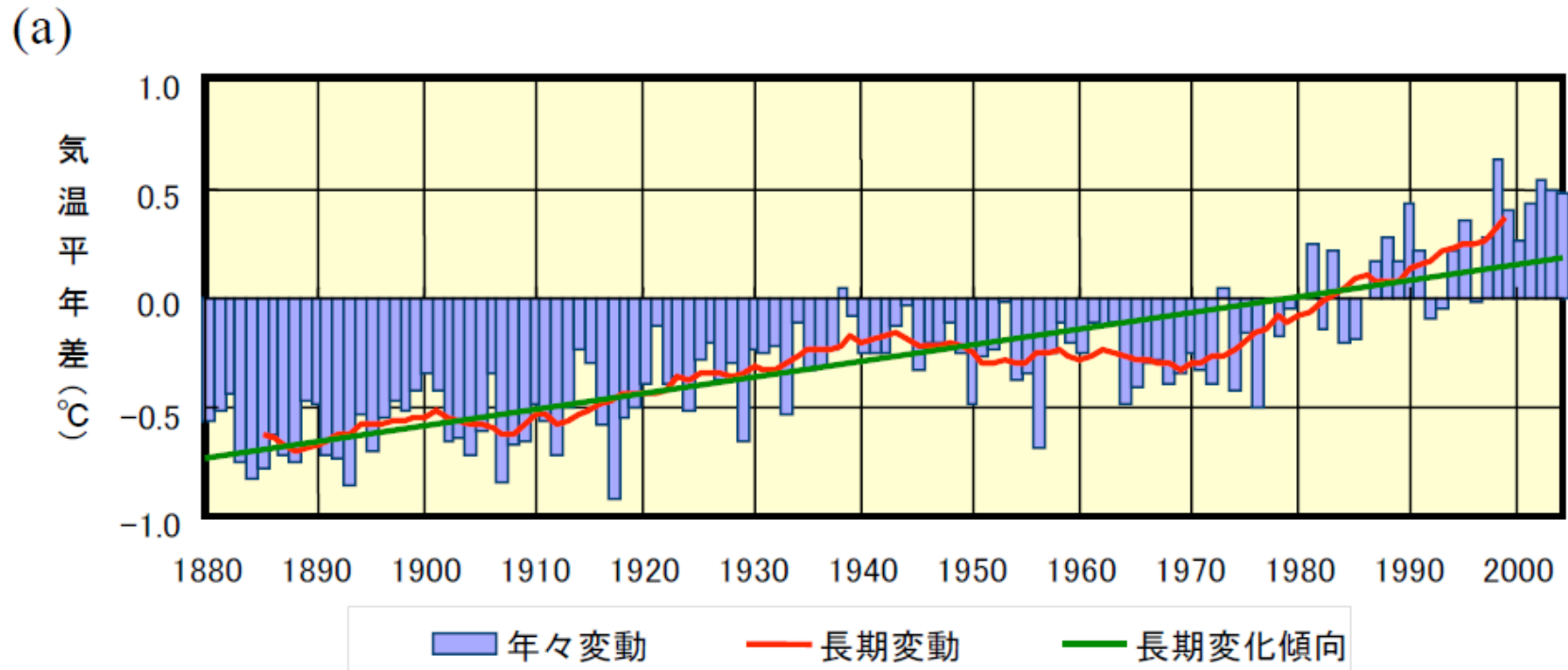
穀物生産の現状:到達点と制限要因

穀物生産が気象から受ける影響

気候変動への対応

# 気候変動と異常気象

過去100年間に日本の平均気温は上昇。(気象庁2005)



気象： 刻々変化する大気の状態

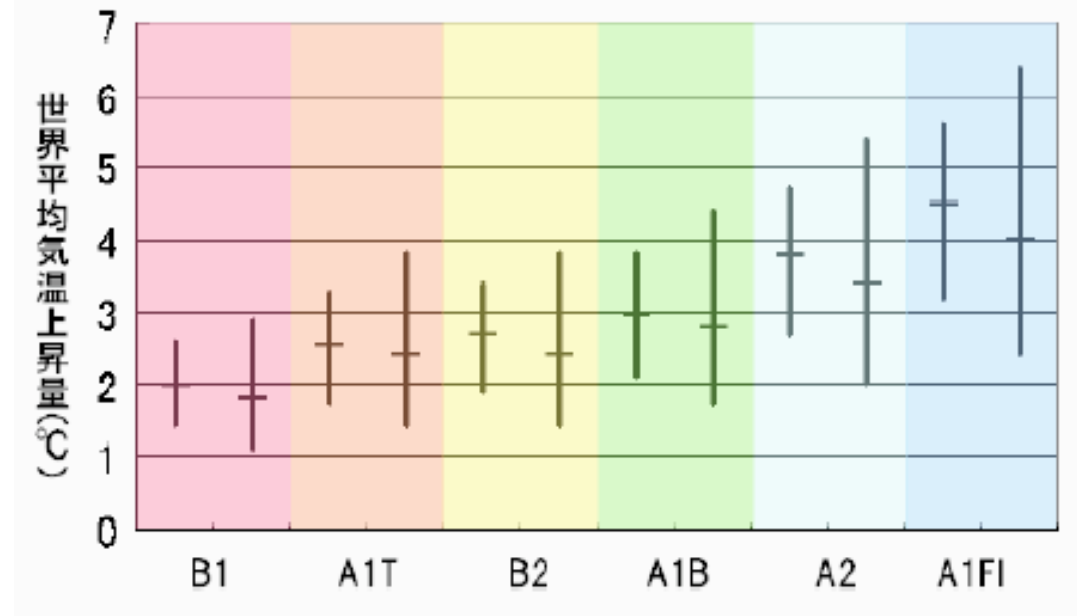
気候： 気象の長年を通じての平均的状态

異常気象： 過去30年の気候に対しての著しい偏差

## 気候変動と異常気象

今世紀末の平均気温  
は、前世紀末より1  
～6℃上昇する可  
能性がある。

(環境省HPより)



## IPCC評価 2090～2099年における世界平均気温予測

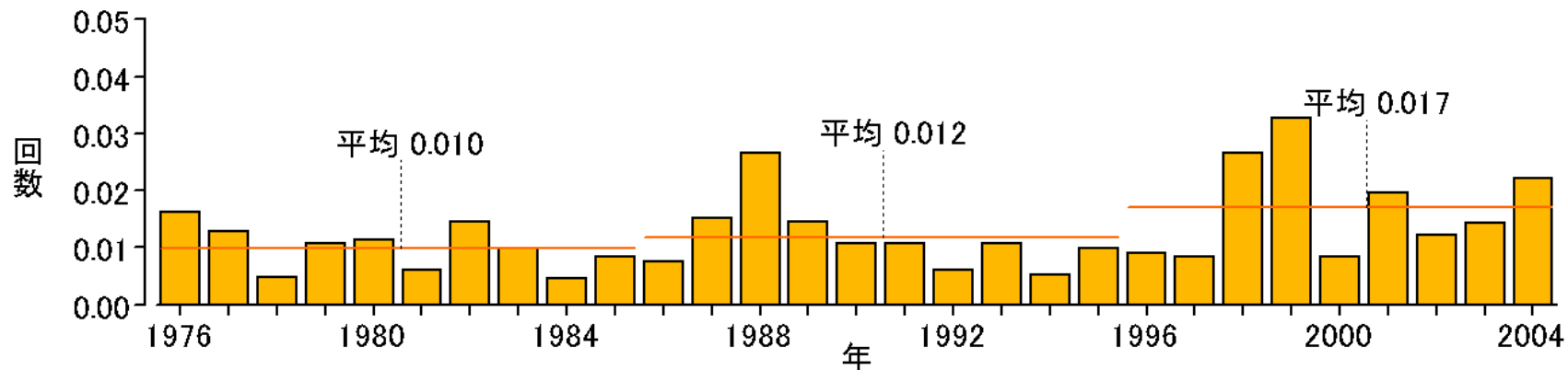
(1980～1999年を基準とした上昇予測幅、左が第3次、右が第4次評価報告)。

- B1: 持続発展型社会
- A1T: 非化石エネルギー源を重視
- B2: 地域共存型社会
- A1B: エネルギー源バランスを重視
- A2: 多元化社会
- A1FI: 化石エネルギー源に依存

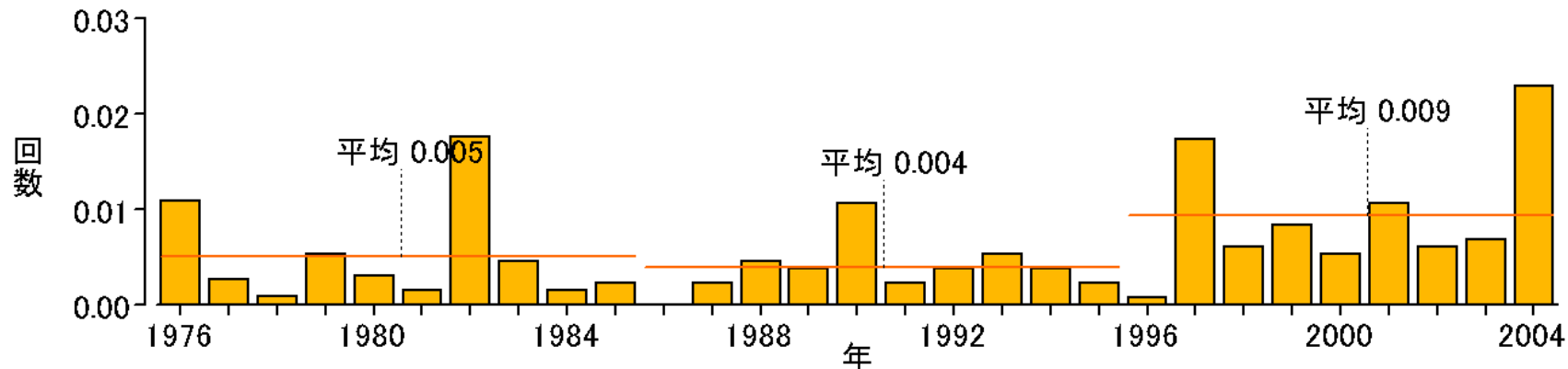
# 気候変動と異常気象

日本でも大雨の発生が増加傾向。(気象庁、異常気象レポート2005)

1時間降水量 80mm以上の発生回数(年間1地点あたり)



日降水量 400mm以上の発生回数(年間1地点あたり)



## 気候変動と異常気象

温暖化により大雨が増える可能性がある。木本2006より。

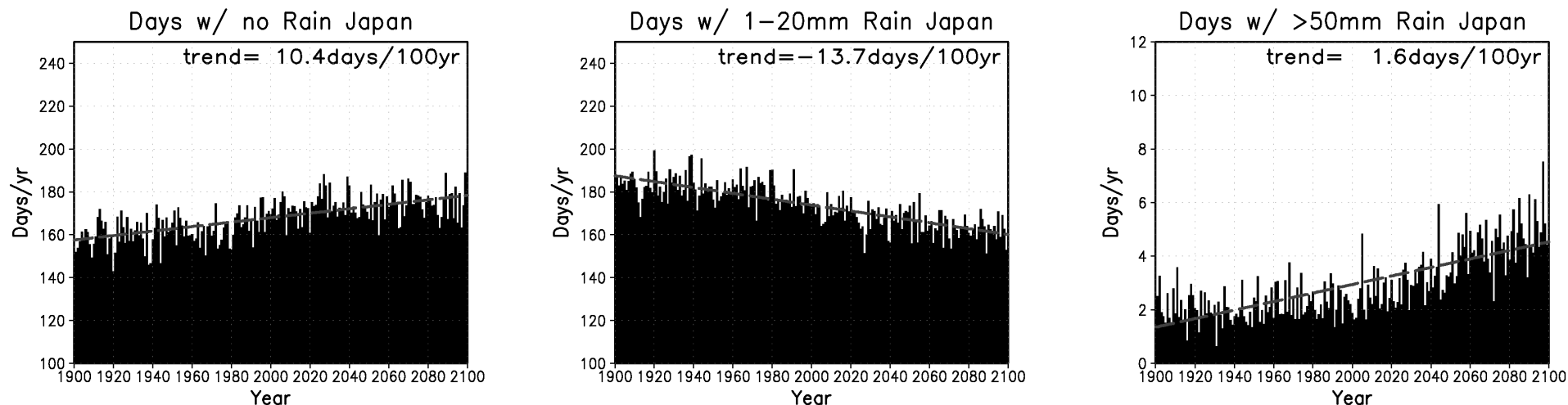


図10 東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、海洋開発研究機構地球環境フロンティア研究センターの合同チームが地球シミュレータ上で開発した大気海洋結合気候モデル(MIROC)によって計算された20～21世紀日本付近の年間無降水日数(降水量1mm/day未満の日;左)、弱雨日数(降水量1～20mm/day;中)、強雨日数(50mm/day以上;右)の年間日数の時系列。

## 気候変動と異常気象

### まとめ

気候温暖化が過去に進行、今後も進む可能性あり。

異常気象(洪水、干ばつ、高温)が頻発。

異常気象は温暖化により増加する可能性あり。

ただし、気候変動も異常気象の頻度についても、予測には不確実性がつきもの。

# 穀物生産の現状：到達点と制限要因

世界の穀物生産の向上はまだまだ可能か？

## 穀物生産の現状：到達点と制限要因

### 主な食用作物の生産状況(00～04年、収穫量 万トン)

	World	Asia	N.C. America	S. America	Europe	Africa	Oceania	Japan
Production (*10000t)								
Rice	59133	53660	1201	2071	325	1774	101	1099
Wheat	58893	25156	8170	2143	19423	1865	2137	79
Maize	63617	16513	28748	6306	7648	4345	56	0
Barley	14306	2091	1815	159	8950	426	865	21
Oats	2638	120	524	128	1712	15	139	0
Sorghum	5765	1113	1796	512	69	2083	191	0
Rye	1933	107	47	8	1766	3	2	0
Buck Wheat	260	135	8	5	113	0	-	3
Millet	2856	1327	31	2	72	1421	4	0
Soybean	18363	2470	7865	7712	207	103	6	24
Groundnuts	3543	2400	197	75	1	866	4	2
Beans, dry	1801	780	321	358	60	277	5	10
Pea, dry	1065	215	264	8	503	32	43	0
Cowpea	363	12	4	0	2	344	0	0
Broad bean	413	208	4	11	60	107	23	0
Potato	32092	12458	2834	1394	13869	1359	178	294
Cassava	18868	5418	156	3124	-	10153	18	-
Sweet potato	13333	11893	137	123	6	1112	62	102
Yam	3890	21	2632	58	0	3725	32	18
Taro	1036	197	2	1	0	801	35	21



## 穀物生産の現状：到達点と制限要因

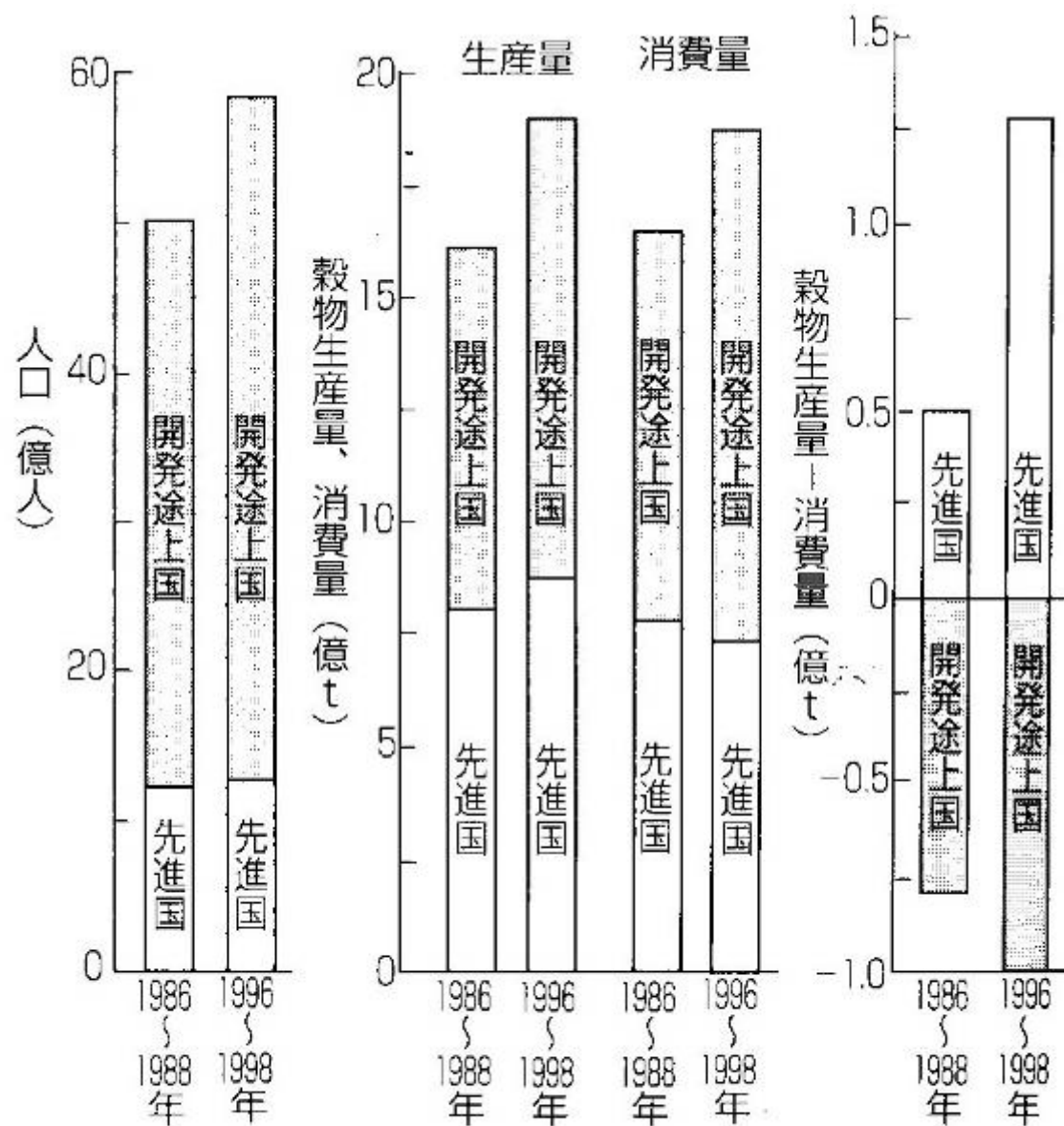
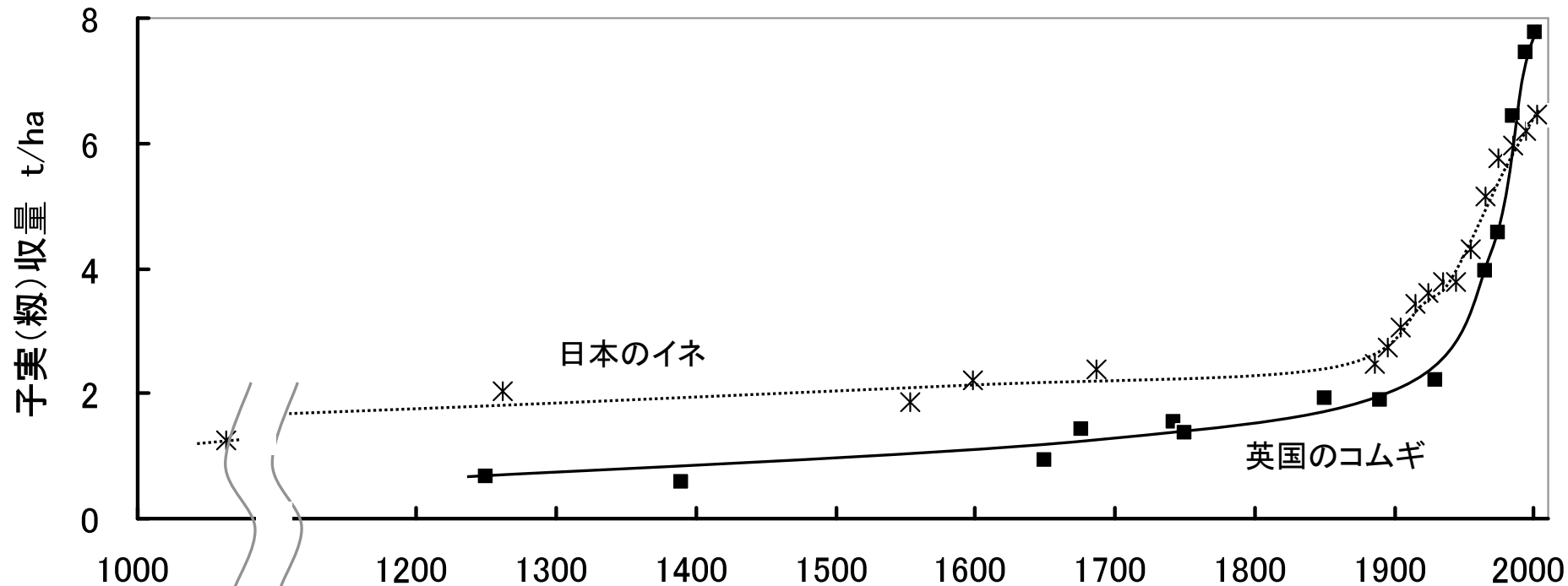


図2 世界の人口および穀物の生産と消費量の推移（農林水産省「農林水産物の貿易レポート」2001年による）

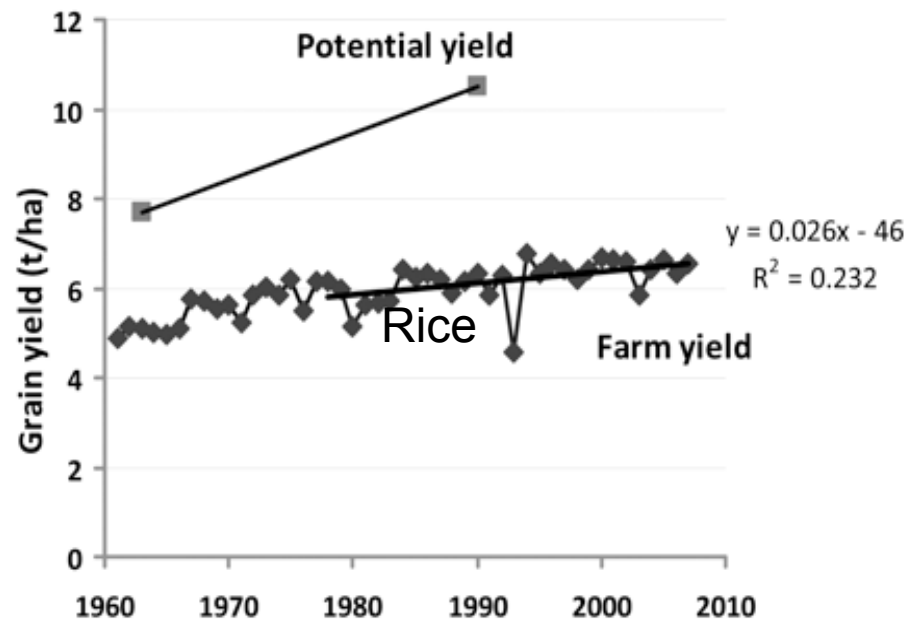
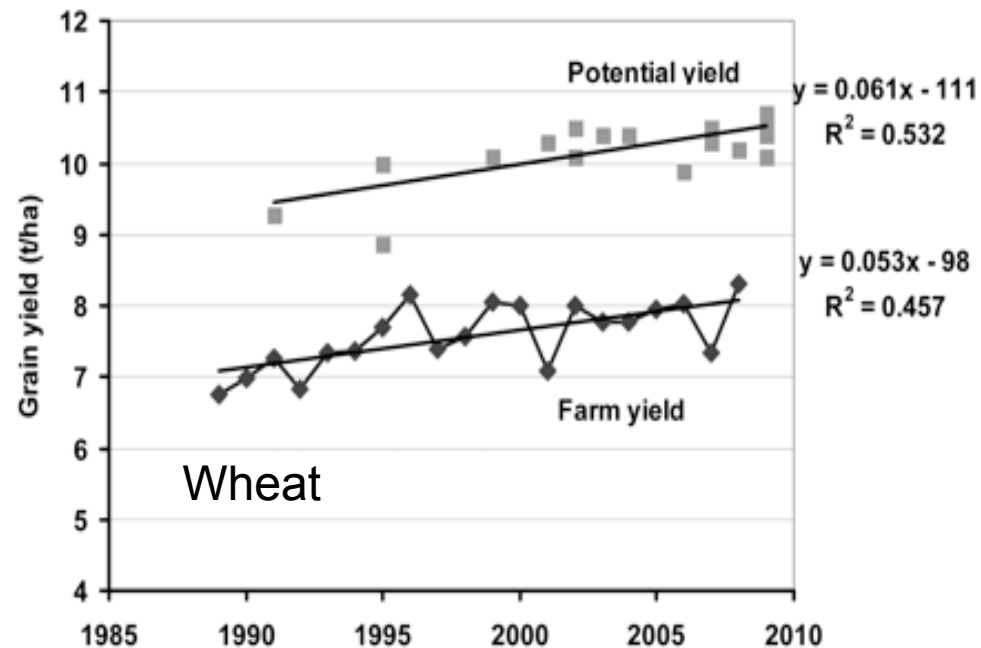
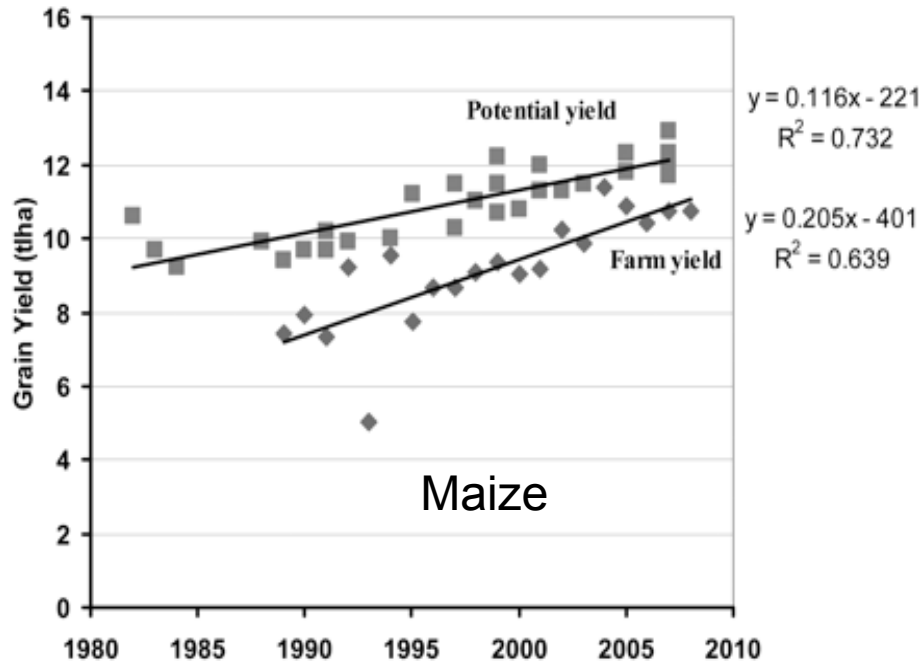
## 穀物生産の現状:到達点と制限要因

先進国の穀物収量は過去100年に急速に向上。



英国のコムギおよび日本のイネ収量の変遷 (白岩2007)

# 穀物生産の現状: 到達点と制限要因



米国アイオワ州のトウモロコシ (Maize)、英国のコムギ (Wheat)、および日本のイネ (Rice) の平均収量 (Farm yield) と潜在収量 (Potential yield) の推移。

平均収量は各年の統計値。

潜在収量は各年に育成・登録された品種について研究機関で得られた高収量。

(Fishcer and Edmeades, 2009)

## 穀物生産の現状：到達点と制限要因

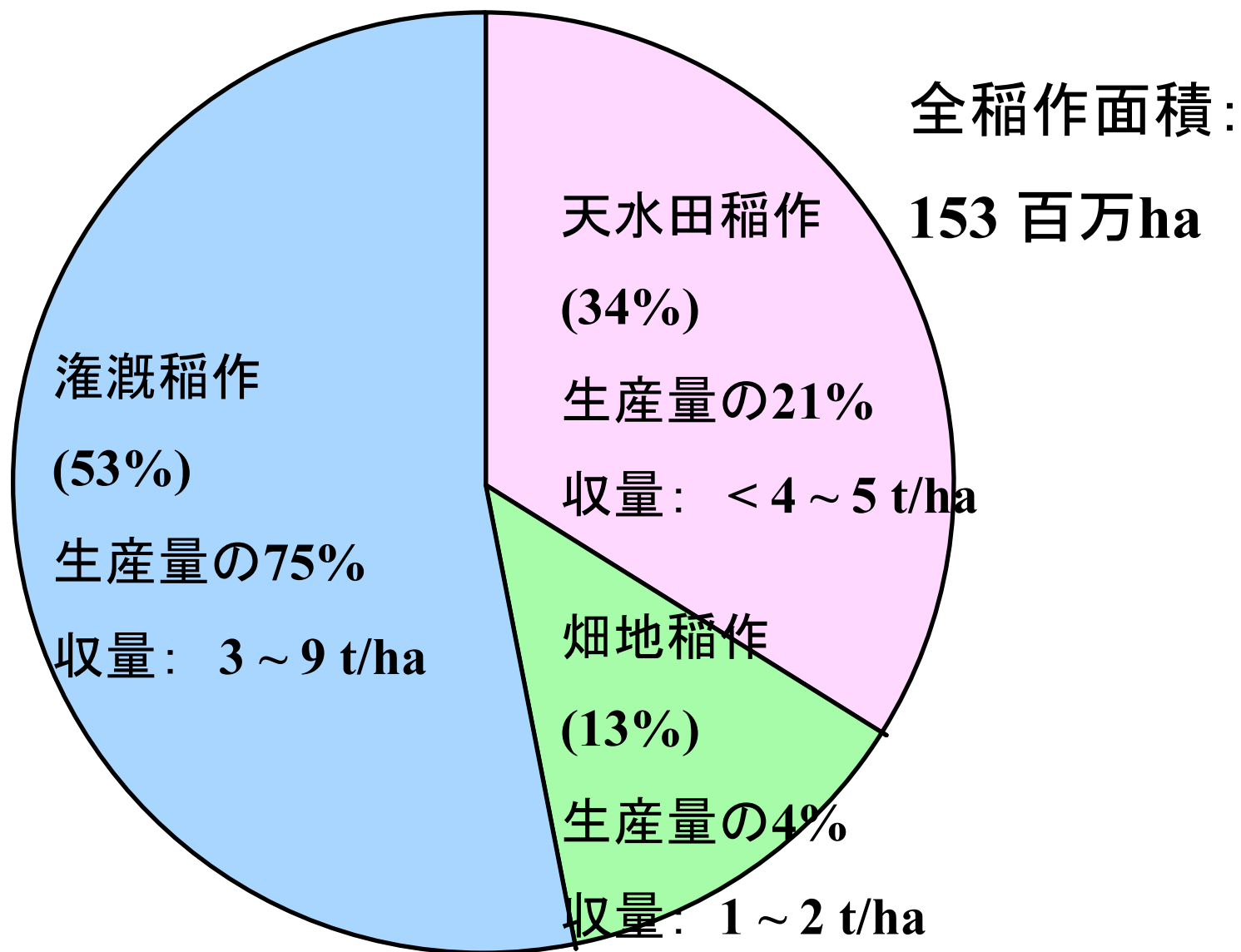
現在の稲作収量は理論限界の6割まで達している。

滋賀県におけるイネの収量水準（1970年～2000年）

	可能最大収量	試験場収量	農家収量
	t/ha		
1971～85年	10.2	8.3	6.0
1986～2000年	10.3	8.2	6.2

収量は精糶重で表記。可能最大収量は、平均生育期間の日射量をもとにした推定値。本文第(2)式のHIおよびRUEにそれぞれ定数として0.45および1.45g MJ<sup>-1</sup>を、fには生育段階ごとの最も大きい実測値を与えた。試験場収量は、滋賀県農業試験場(奨励品種決定調査1963年～2004年)および滋賀県立短期大学農業部(1991年～1994年)において品種日本晴を供試して行われた実験結果から、単収の最も高い試験区の値を各年次ごとに抽出したもの。農家平均収量は、作物統計より抜粋。白岩(2007)より。

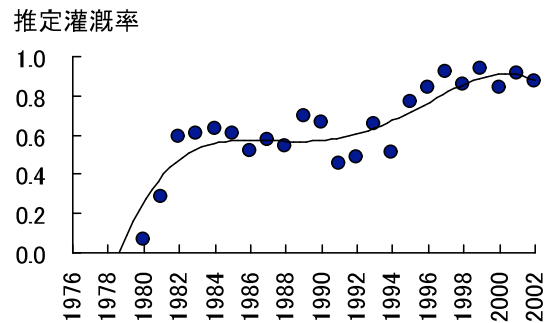
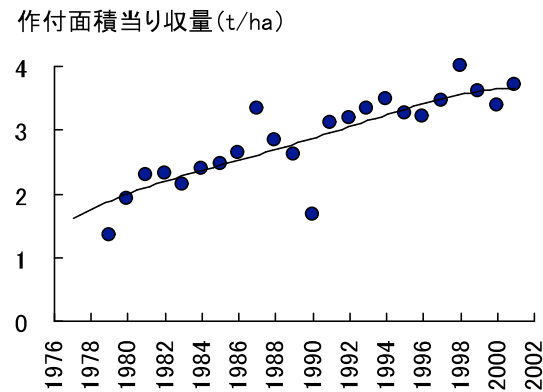
# 穀物生産の現状：到達点と制限要因



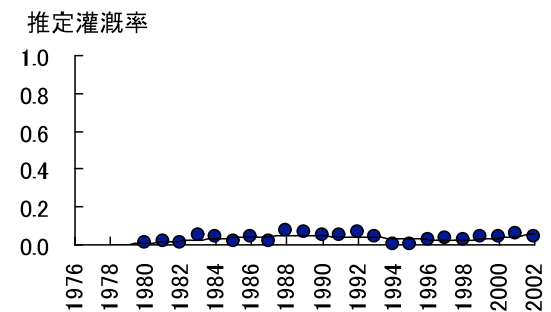
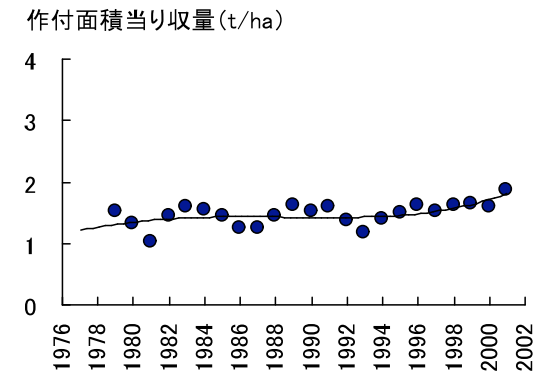
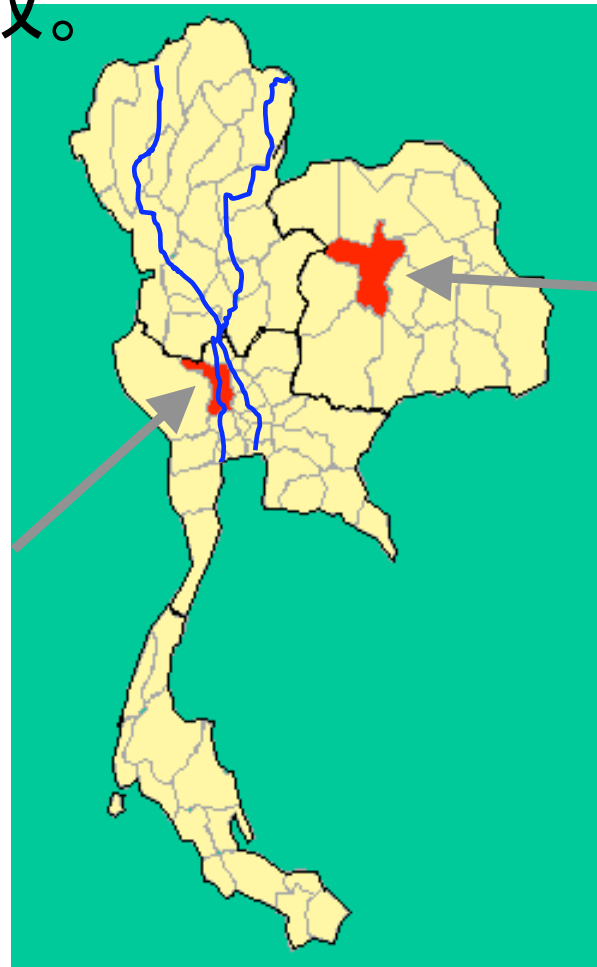
世界の稲作類型別の作付面積, 生産量, 収量 (IRRI, 2000)

# 穀物生産の現状：到達点と制限要因

灌漑が普及していない地域  
では依然として低収。



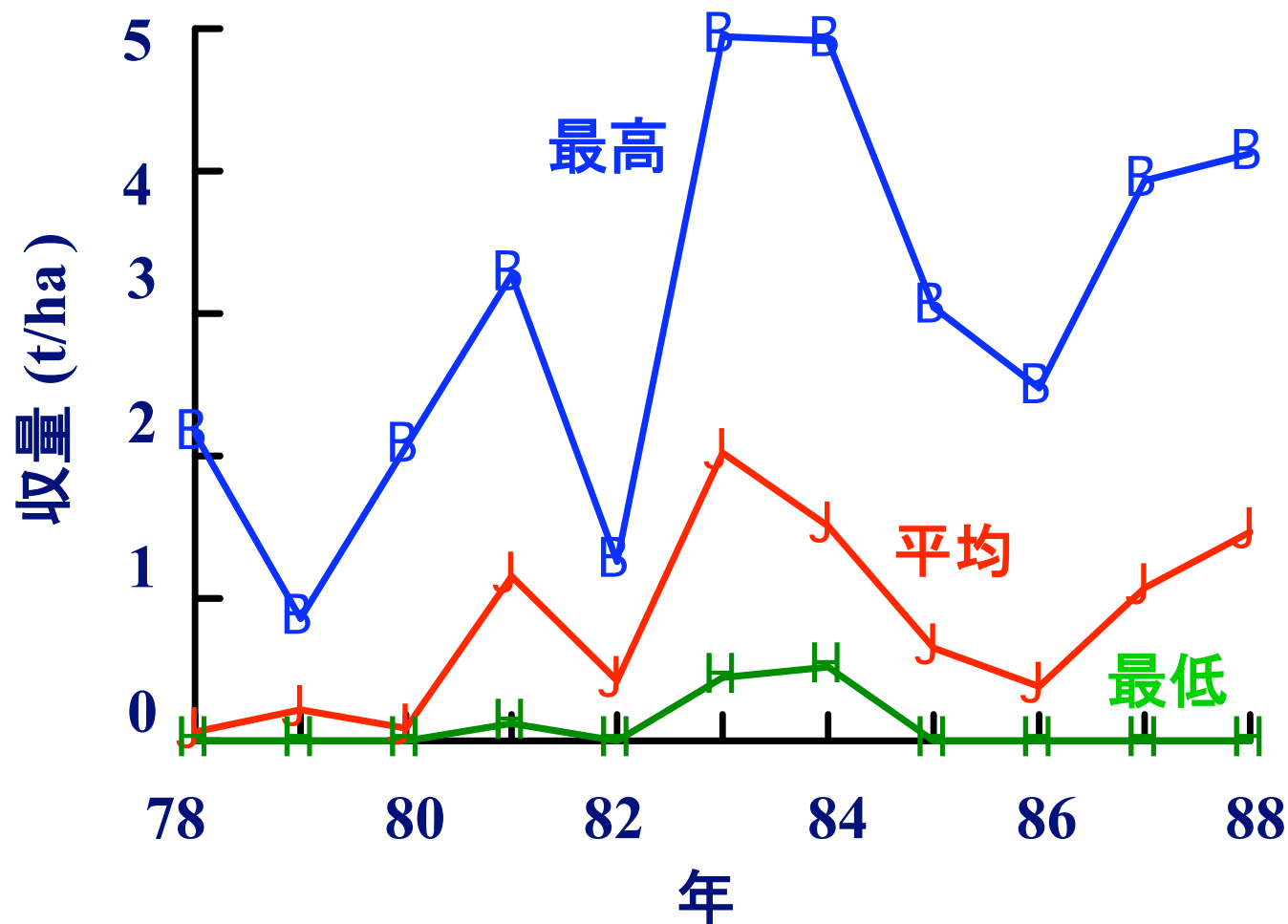
スパンブリ県



コンケン県

図4 タイ国中部スパンブリ県および東北部コンケン県における水田灌漑率と収量の推移。

## 穀物生産の現状:到達点と制限要因



東北タイ、コンケン県ドンデン村における収量の経年変化  
(Miyagawa, 1991)

## 穀物生産の現状：到達点と制限要因

灌漑が普及していない地域では依然として低収。



東北タイ天水田の景観(上写真)およびこの地帯の水田について調べた土壌肥沃度とイネの生育との関係(左写真).

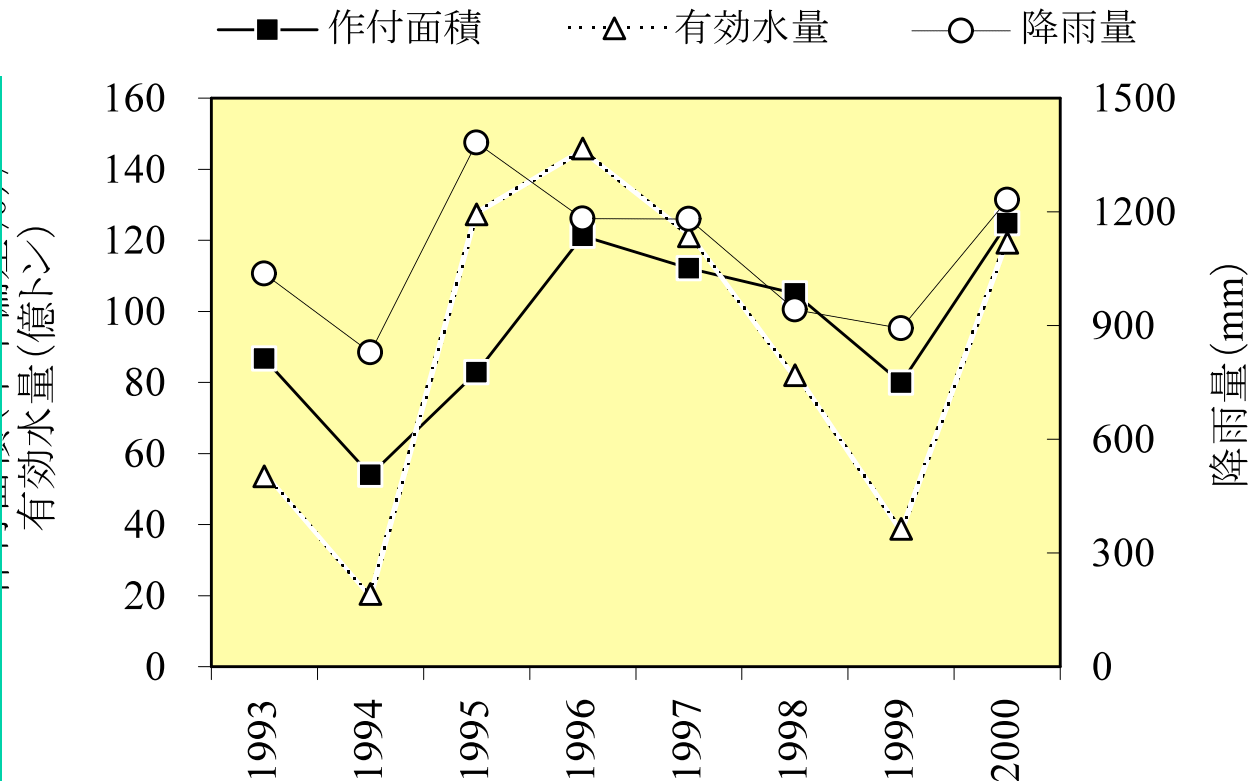
手前から奥にかけてゆるい下り傾斜となっており、水がたまりやすい低位田ではすでにイネが生育しているが、手前の高位田では、水がたまらないので移植できずにいる。

高位田では水だけでなく地力も制限要因。



# 穀物生産の現状:到達点と制限要因

## 灌漑稲作も水



夏季水稻の作付面積の変動と水利用可能量との関係.

からの偏差(%).

利用可能水量, 上流のノミポンダムおよびシリキットダムの1月における合計有効貯水量(億トン).

降雨量, 両ダムの集水域3県における前年の合計雨量の平均値.

## 穀物生産の現状：到達点と制限要因

### まとめ

世界の穀物の総生産は一応足りている。しかし地域配分の不均衡が深刻。

先進国の穀物収量は理論的に予測し得る上限に接近しつつある。今後その維持が課題。

### 発展途上国での「緑の革命」

未達地域：立地、社会経済など技術以前の問題多い。

達成地域：依然として水資源などによる制約が存在。

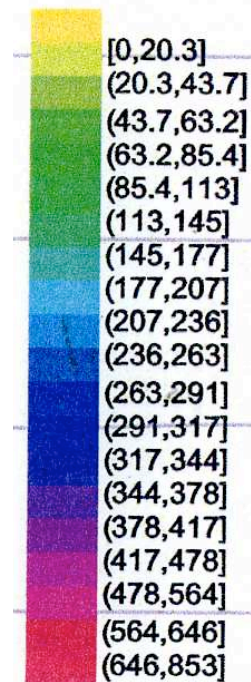
# 穀物生産が気象から受ける影響

気象条件は作物の生育の何を支配しているか？  
気候変動は穀物生産にいかに影響するか？

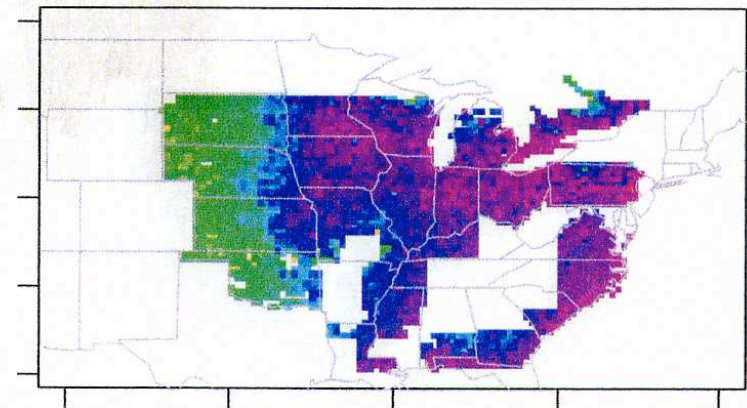
# 穀物生産が気象から受ける影響

米国の異なる降雨  
条件下でのダイ  
ズ収量の分布。  
値は作物モデル  
で予測される期  
待値 (g/m<sup>2</sup>)

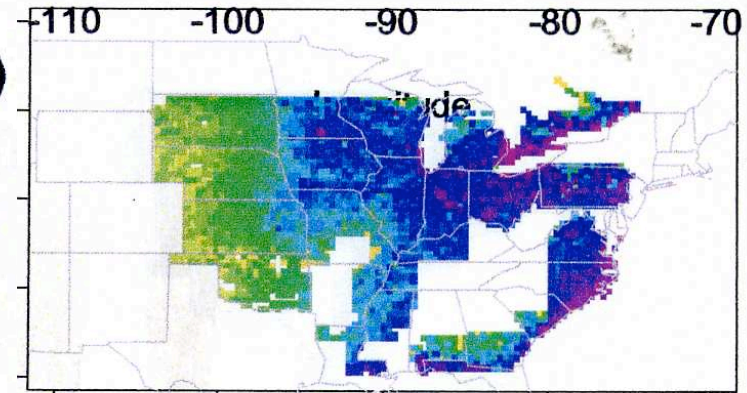
(Sinclair 2009)



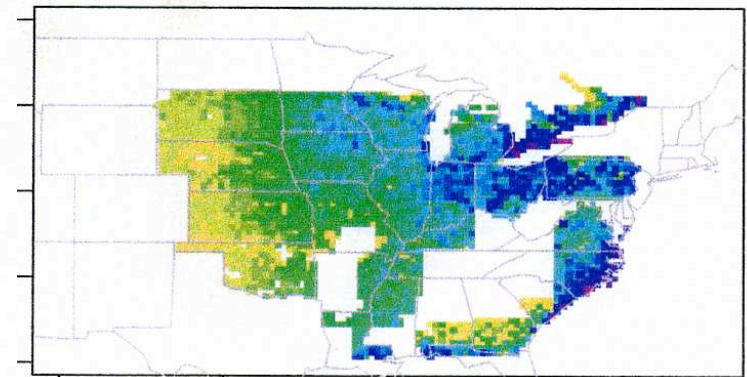
75% (Wet)



50% (Median)



25% (Dry)



## 穀物生産が気象から受ける影響

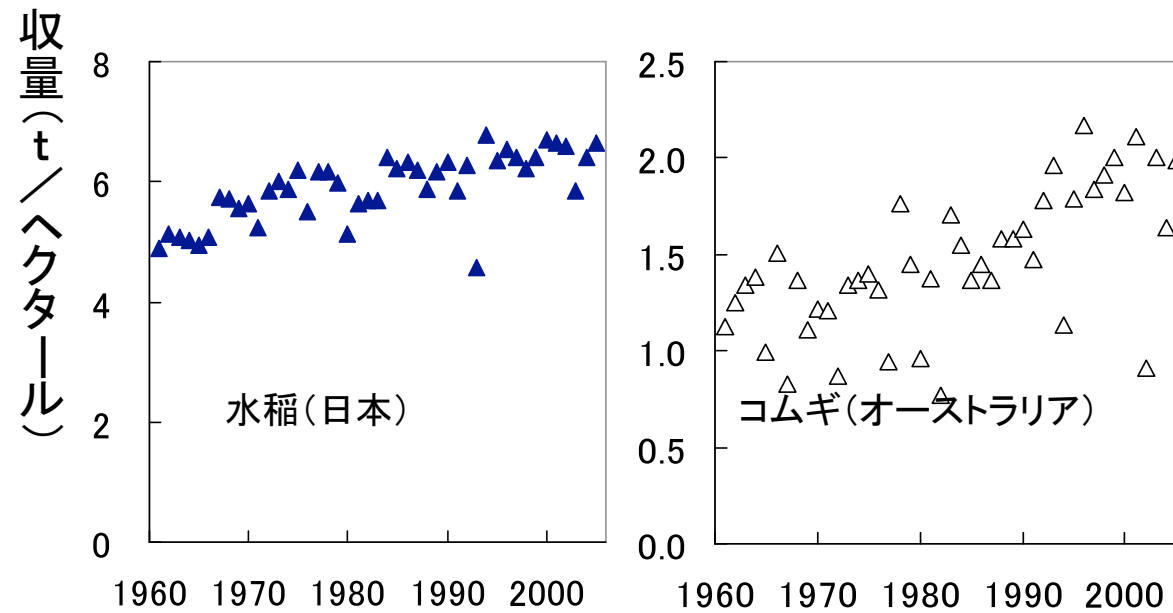
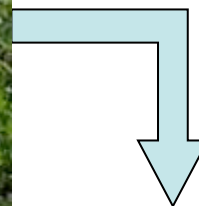
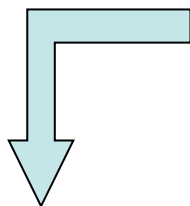


図4. 日本のイネ収量とオーストラリアのコムギ収量の年次間変動(FAOデータより).

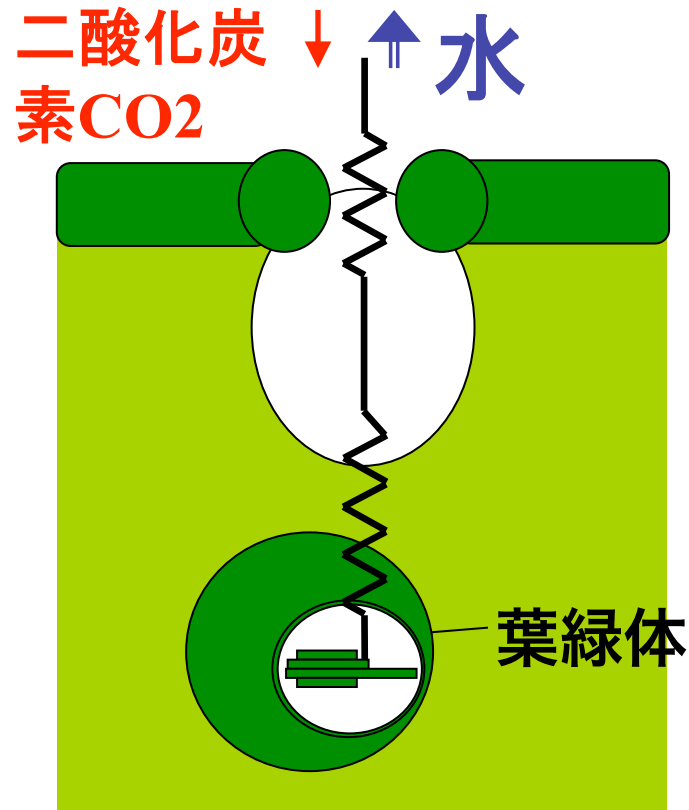
# 灌水の効果

(2010年7月21日 米国アーカンソー州)



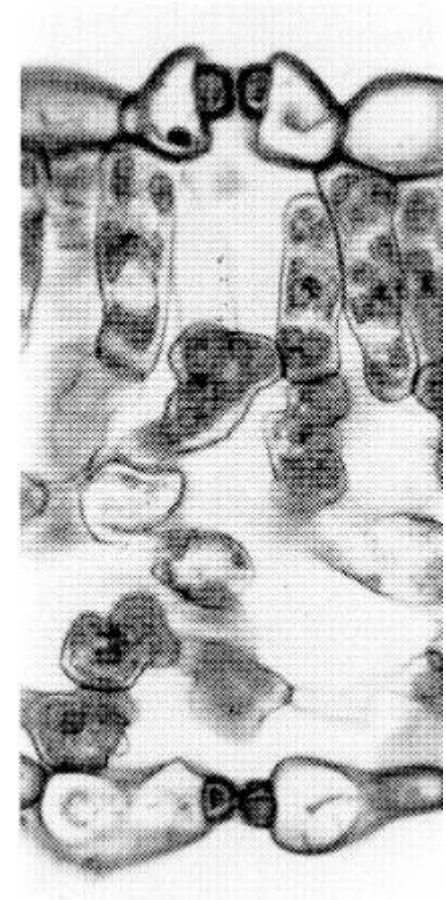
## 穀物生産が気象から受ける影響

作物生産の基本は光合成を基点とする有機物生産。  
ただし1グラムの有機物を作るのにその数百倍の水が必要。

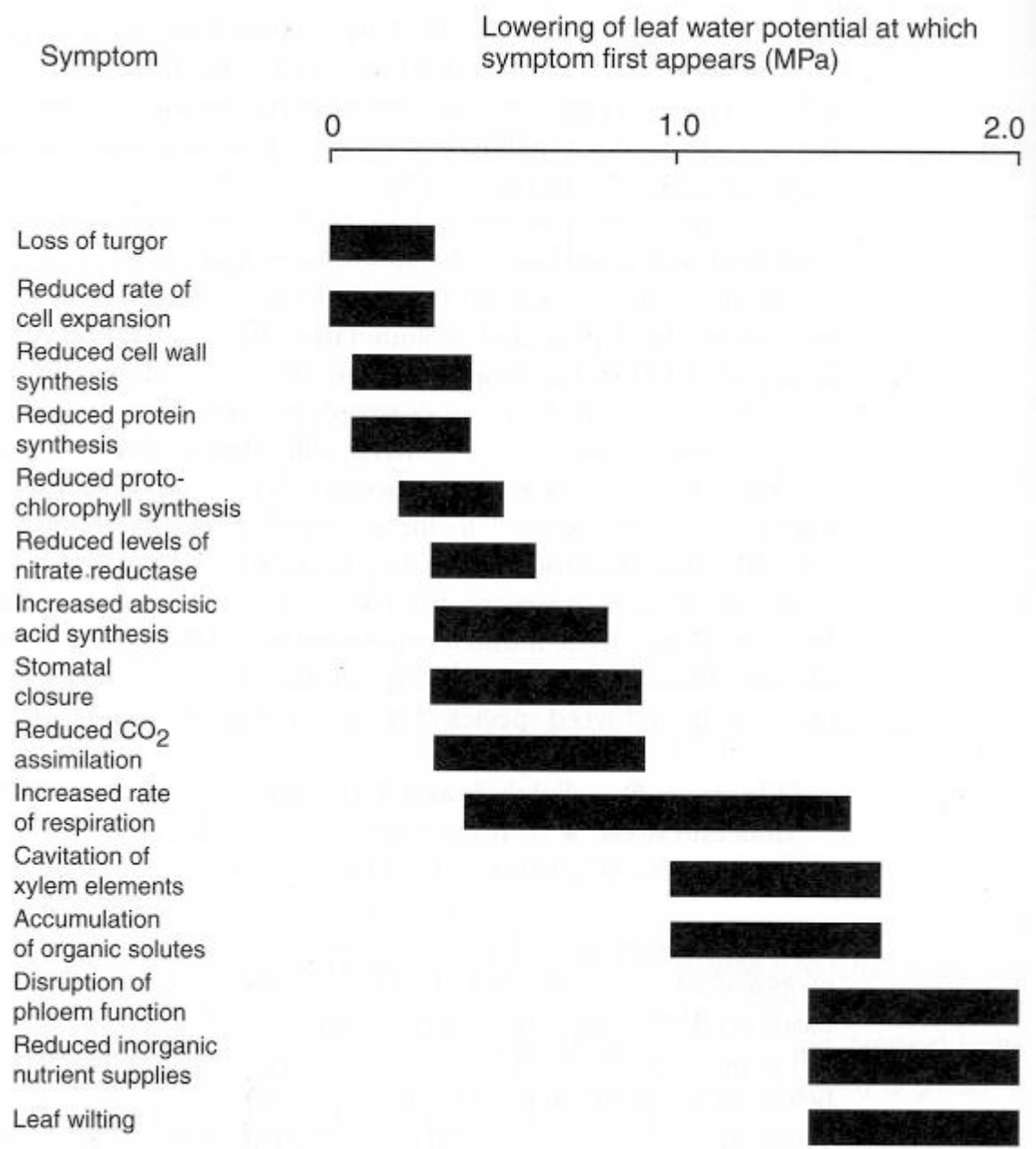


気孔を開いて  $\text{CO}_2$  を葉の中に取り込む。

$\text{CO}_2$  を化学的に固定する。



# 穀物生産が気象から受ける影響



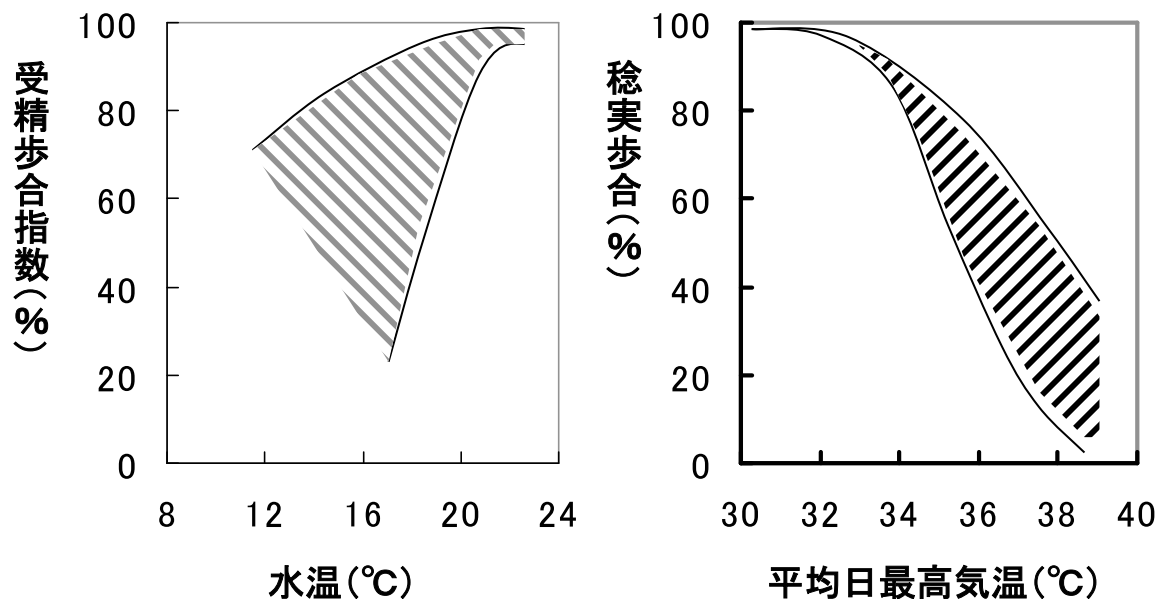
The influence of water stress on the physiology of mesophytes. The horizontal bars are guides to the level of stress at which the relevant symptoms first occur. The lowering of leaf water potential is in relation to a well-watered plant under mild evaporative demand (updated from Hsiao et al. 1976)

Fitter and Hay, 2002



## 穀物生産が気象から受ける影響

穀実作物の子実形成は、茎葉の生長よりも温度の影響を受けやすい。



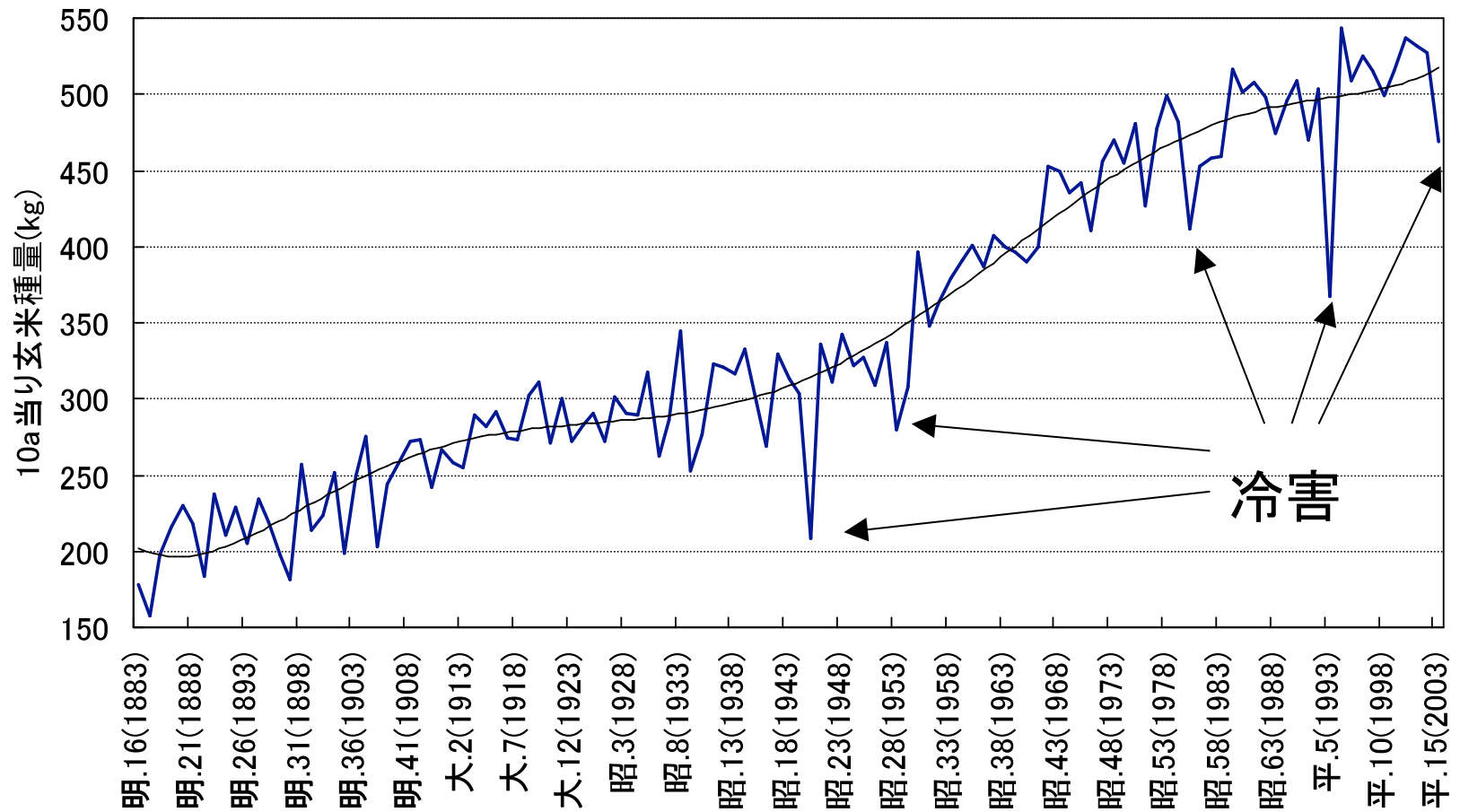
### 温度とイネの稔実との関係

左：穂ばらみ期における4～5日間の深水かんがい処理の水温が受精歩合に及ぼす影響(西山ら1969を一部改変)。斜線部分は品種と生育前歴による違い。

右：開花期の最高気温が稔実歩合に及ぼす影響。斜線部分は品種による違い(上田2000より作成)。

# 穀物生産が気象から受ける影響

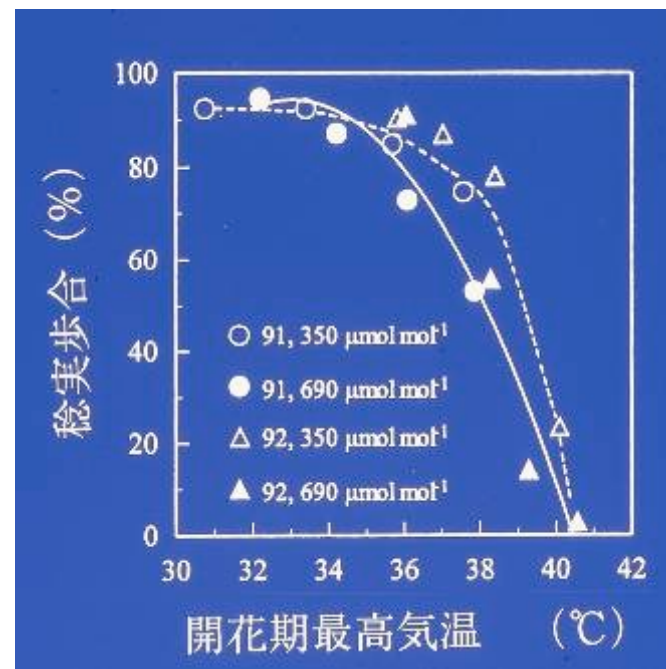
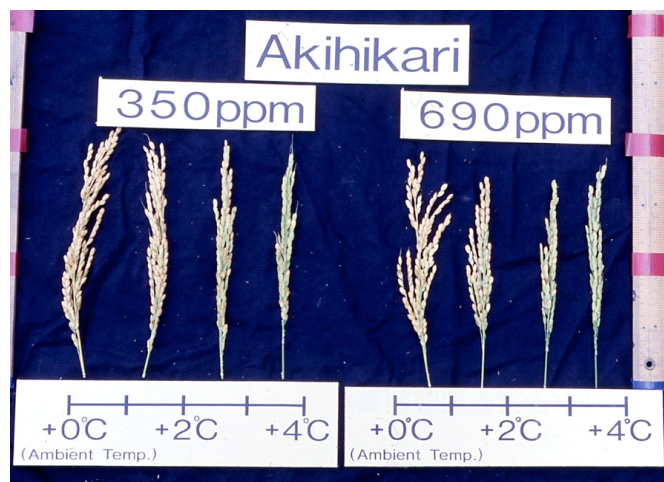
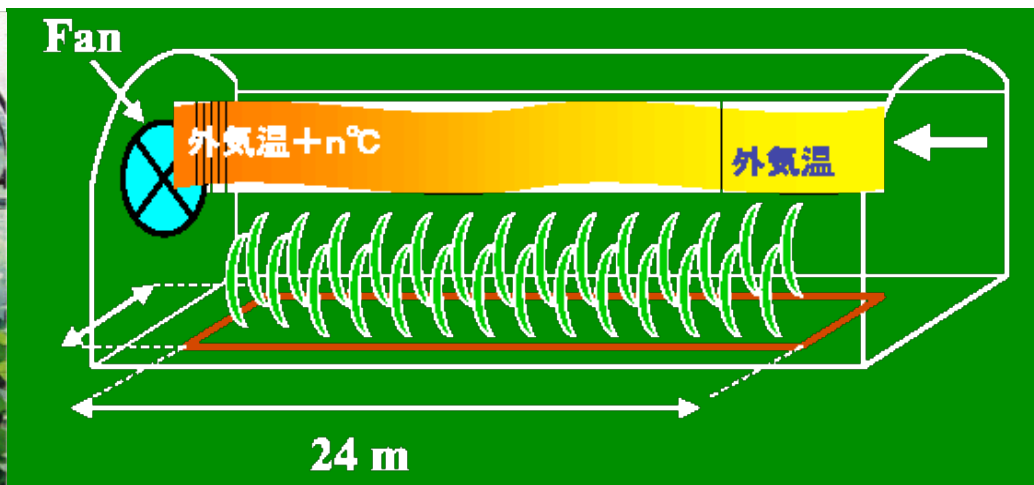
冷害は現在でも重要な収量阻害要因。



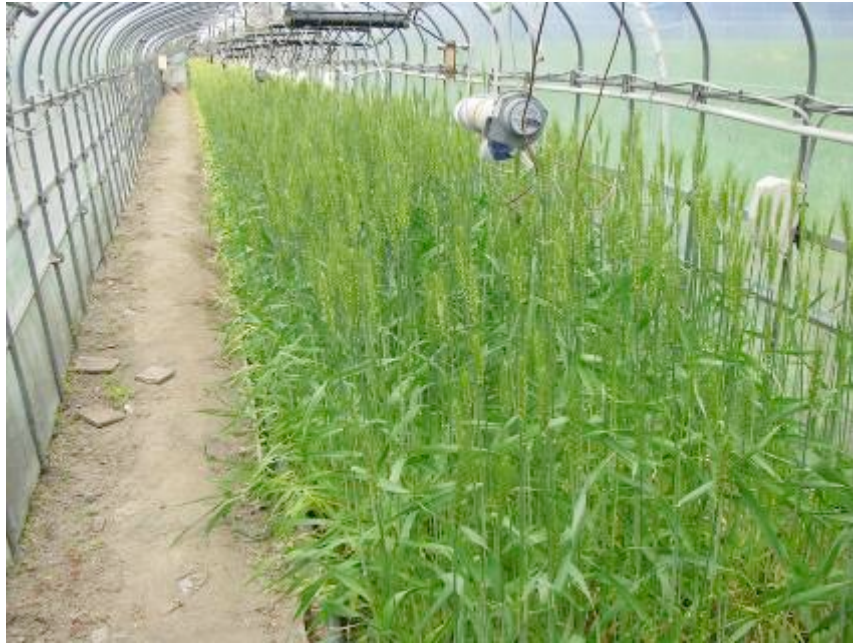
水稻の全国平均収量の推移 (農水省統計情報データベース,  
<http://www.maff.go.jp/www/info/index.html>より)

# 穀物生産が気象から受ける影響

## CO<sub>2</sub>濃度と気温の上昇がイネの生育に及ぼす影響



高CO<sub>2</sub>および自然CO<sub>2</sub>濃度環境下で栽培したイネの稔実に及ぼす開花期最高気温の影響



## 温度勾配型温室でのコムギ試験

上:外気温+3°C区、3月19日開花

下:外気温、4月12日開花

## 穀物生産が気象から受ける影響

### 環境変動の影響予測に用いられる作物モデルの例

発育モデル

$$D=f(\text{日長, 温度})$$

乾物生産モデル

$$\text{CGRmax}=f(\text{ガス交換能, 日射})$$

圃場水収支モデル

$$\text{FTSW}=f(\text{蒸発散, 降水, 灌漑圃場特性})$$

土壌水分反応モジュール

$$\text{CGRac}=f(\text{CGRmax, FTSW})$$

収量モデル

$$Y=HI \cdot \int (\text{CGRac})$$

D: 生育期間

CGRmax: 最大生長速度

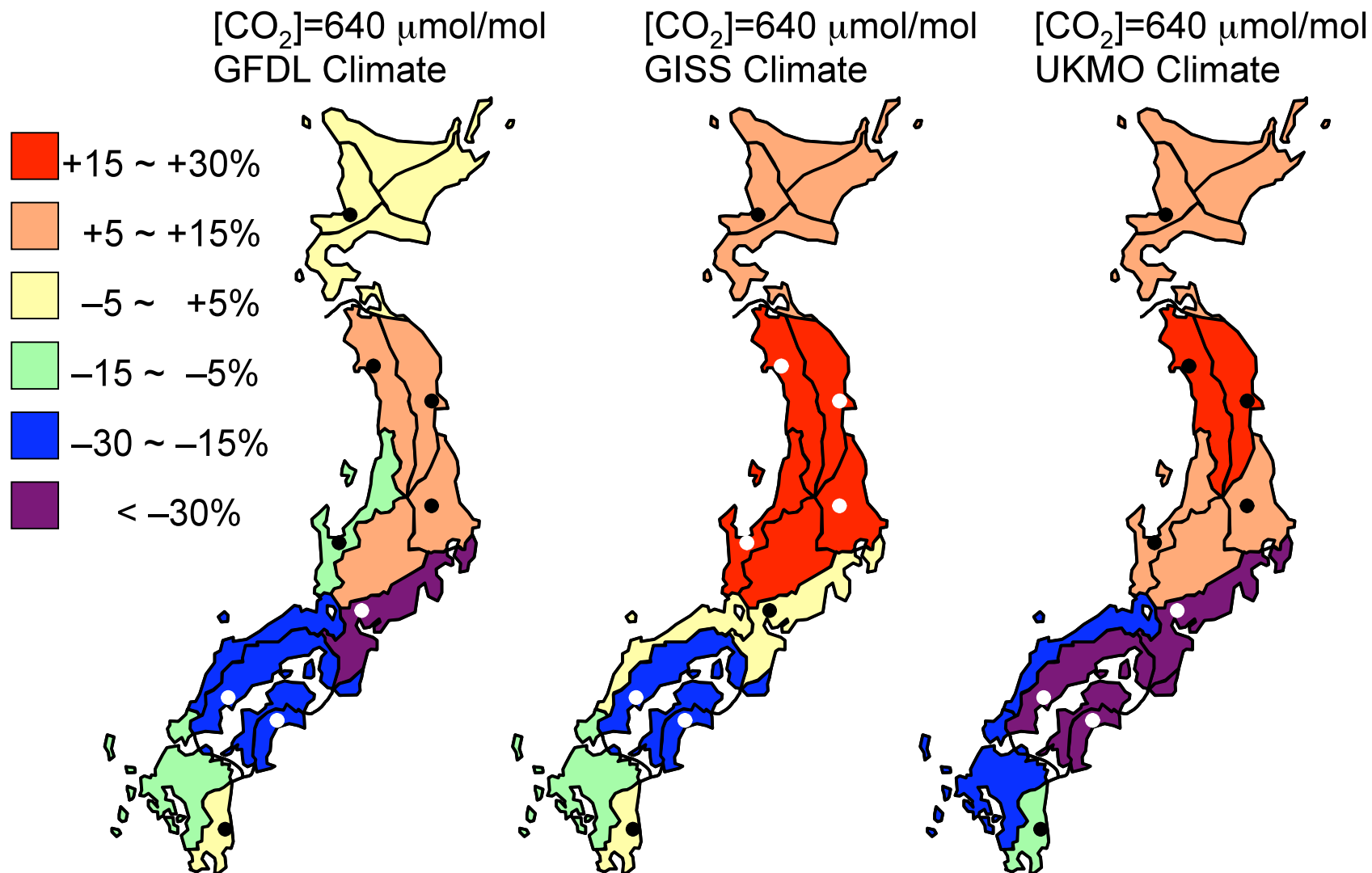
FTSW: 相対有効土壌水分

CGRac: 生長速度

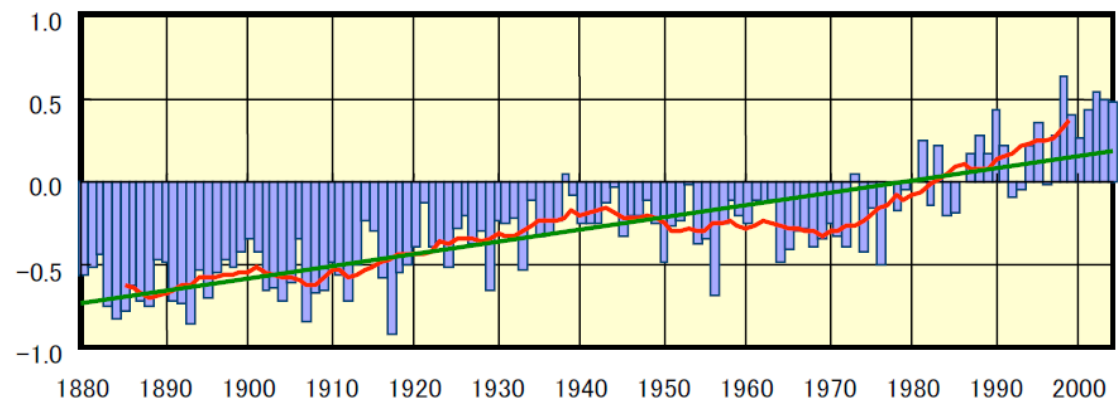
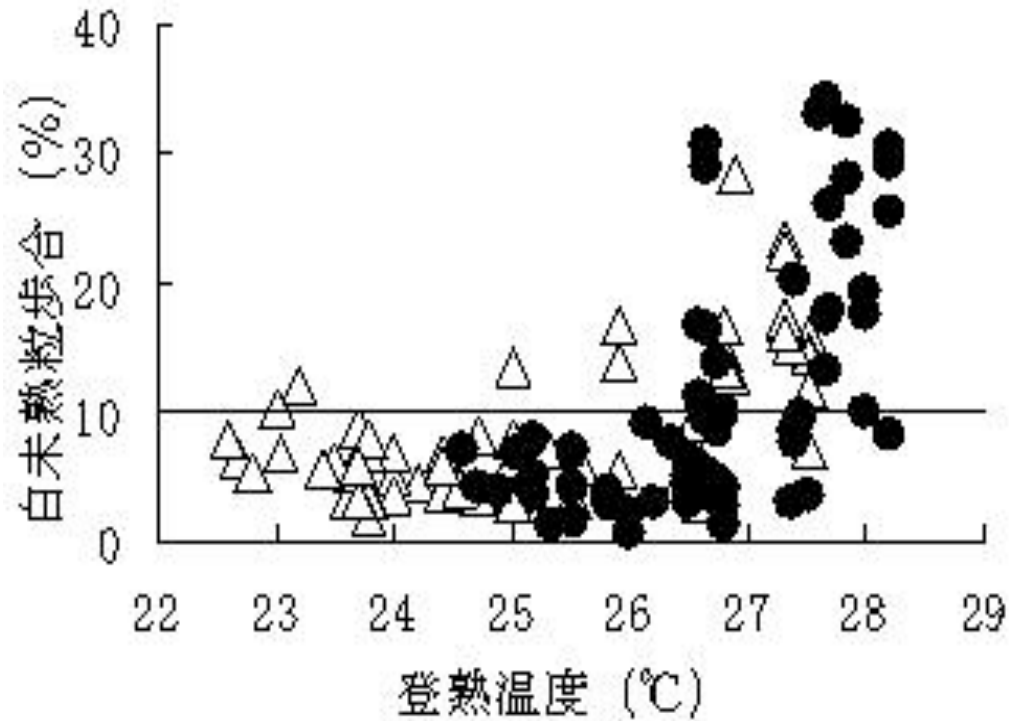
HI: 収穫指数

## 穀物生産が気象から受ける影響

CO<sub>2</sub>濃度と気温の上昇がイネの収量に及ぼす影響のモデル予測。Horie et al. (1995)より。

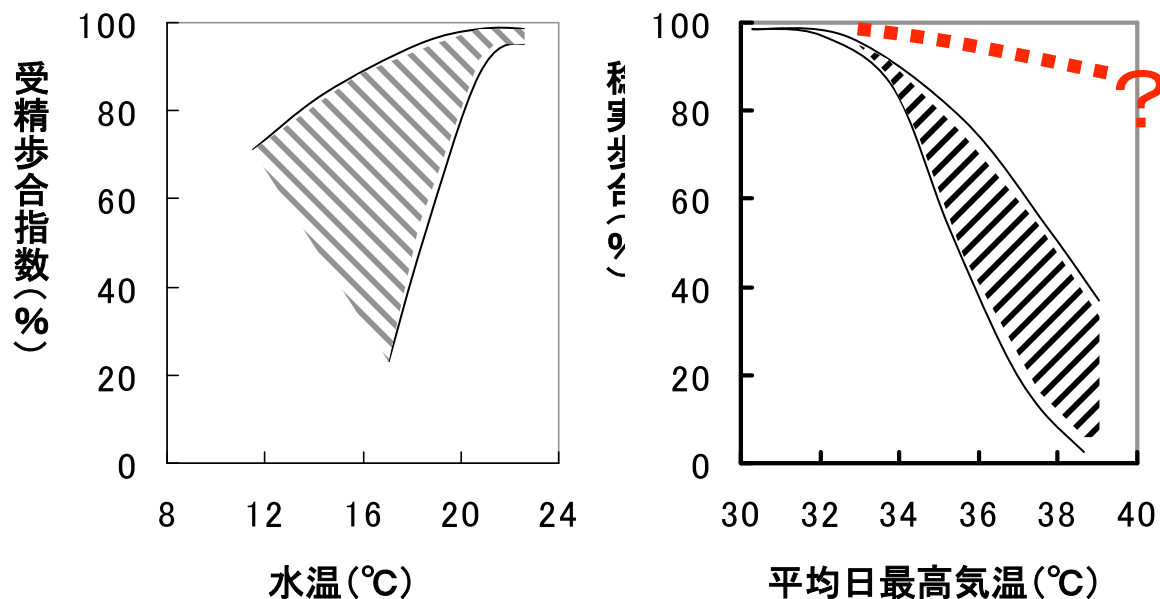


近年の夏期の高温により，米の外観品質が低下している。  
 作期を遅らせることによる品質の維持がはかられている。



## 穀物生産が気象から受ける影響

穀物生産の子実形成は、温度の影響を受けやすい。ただし、その程度は種々の要因により大きく変化する。



左:穂ばらみ期における水温が受精歩合に及ぼす影響. 右:開花期の最高気温が稔実歩合に及ぼす影響.

斜線部分は、品種や栽培条件による変異(西山ら1969、上田2000)。  
点線は、オーストラリアでの観察報告(松井ら2008)から。



## 穀物生産が気象から受ける影響

### まとめ

水供給は、作物の生長と収量の最大の制限要因。その不足と変動は直接生産に影響する。

温度は、各作物種がどこで、どのような期間生育できるかを決定している要素。温度上昇は寒冷地の生育可能期間を拡げる。

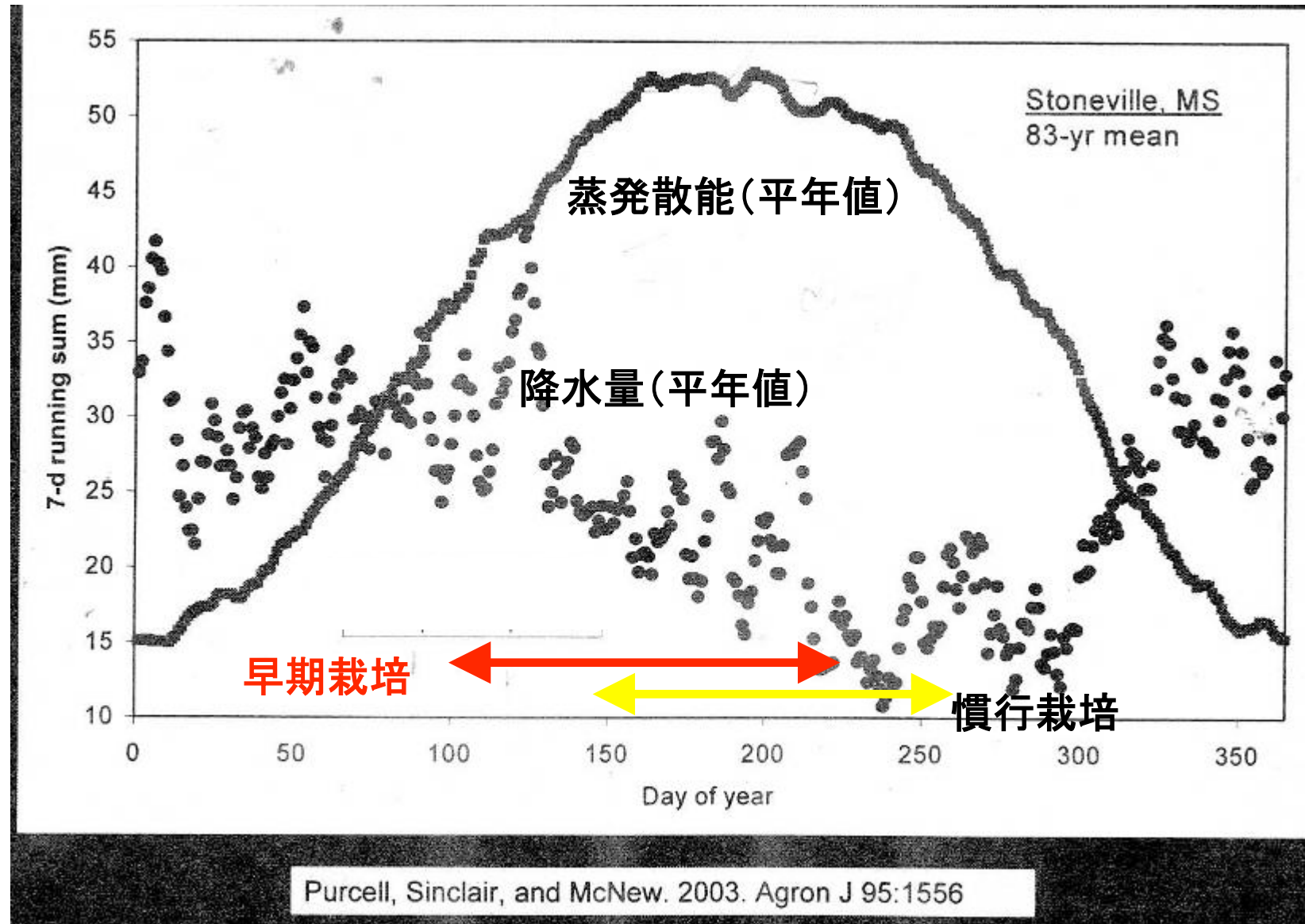
子実の発達には、茎葉の成長よりも環境変動（特に低温と高温）の影響を強く受ける。

気候変動が穀物収量に対する影響には不明な部分が多く、将来予測は重要な研究課題。地域によりマイナスにもプラスにもなると予測されている。

# 気候変動への対応

気候変動には対応は可能か？  
対応にはどのような技術開発が重要か？

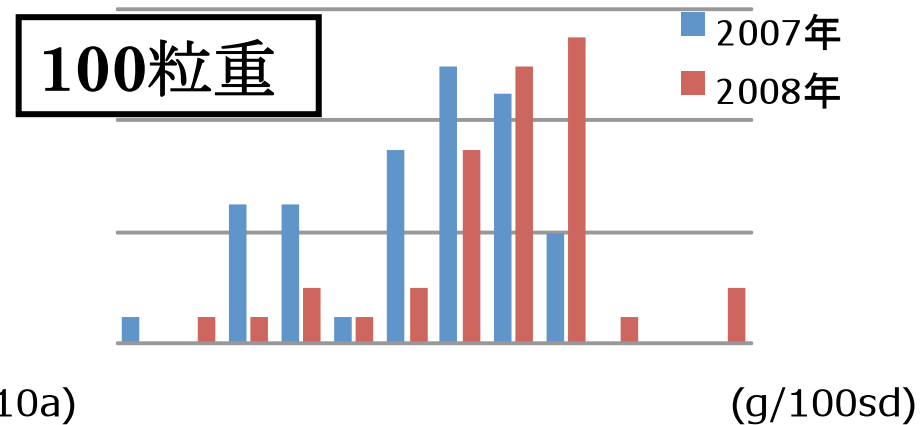
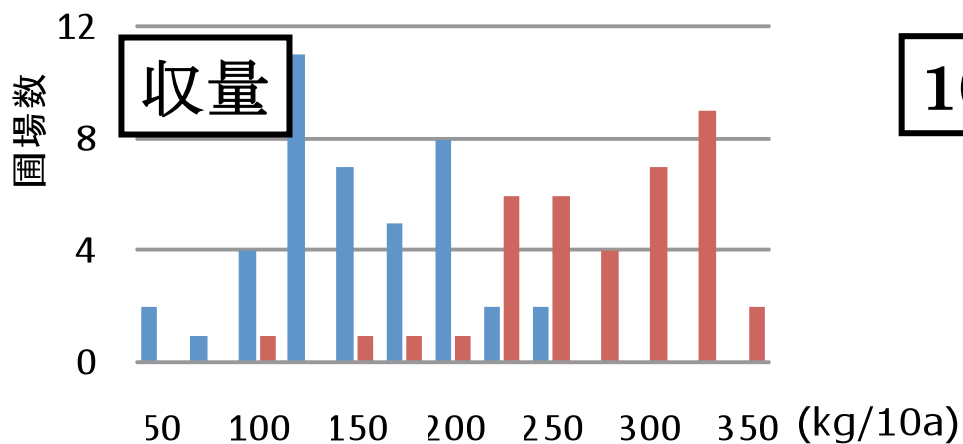
米国中南部ダイズ作では、早期栽培の導入によって干ばつを回避し、生産が安定化した



## 気候変動への対応

栽培の歴史が長いにもか  
かわらず不安定な日本  
のダイズ作

丹波地方の“丹波黒”の収量・  
品質には著しい、圃場間・  
年次間変異が存在する(御  
子柴ら、2009)



## 気候変動への対応

水田転換畑では排水が十分でない上に播種期が梅雨にあたることが多いため、冠水害や湿害が大きな問題になっている。左:湿害圃場

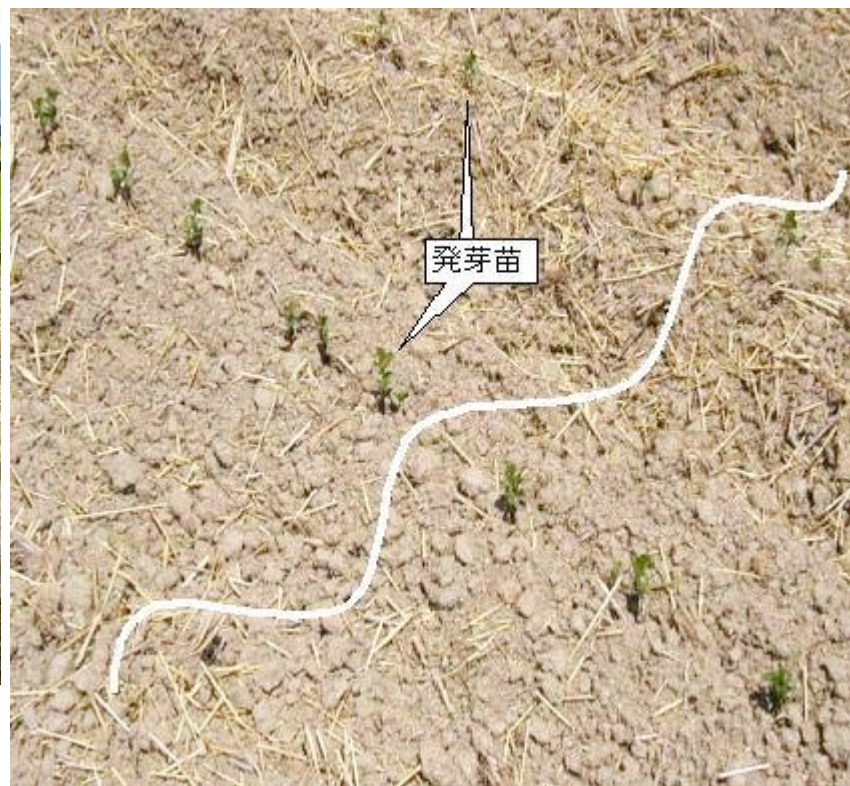


- 冠水害・湿害による苗立ち・初期生育不良
- (1) 急激な吸水による子葉の物理的な破壊
  - (2) 低酸素状態がもたらす生理的障害
  - (3) 微生物の感染、とくに卵菌類
  - (4) 土膜(クラスト)形成による土壤硬化

## 気候変動への対応

### ダイズ作の播種法改良による湿害回避

地味なようだが極めて有効な技術。



写真は浅耕うね立て同時播種技術(滋賀県農業技術振興センター)

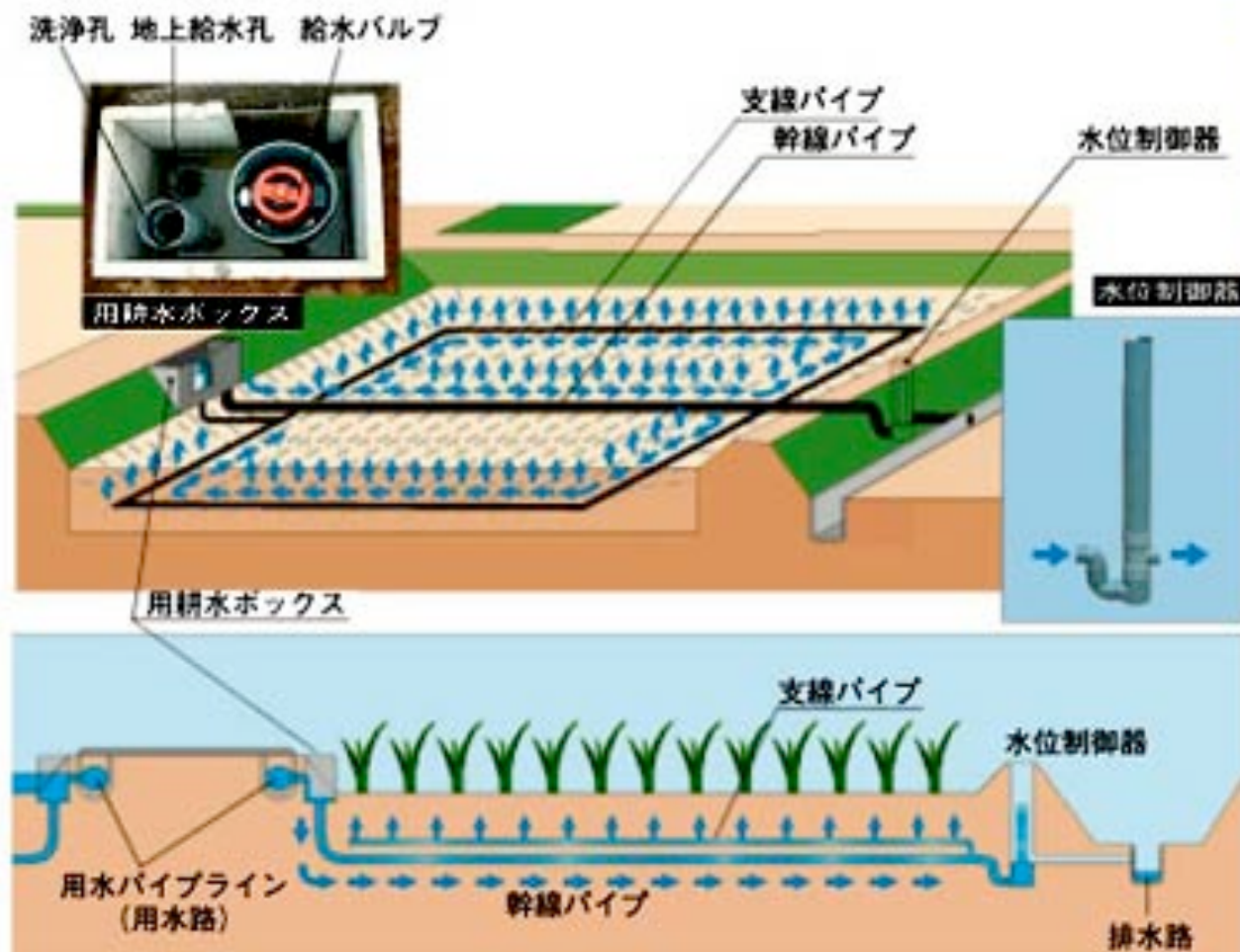


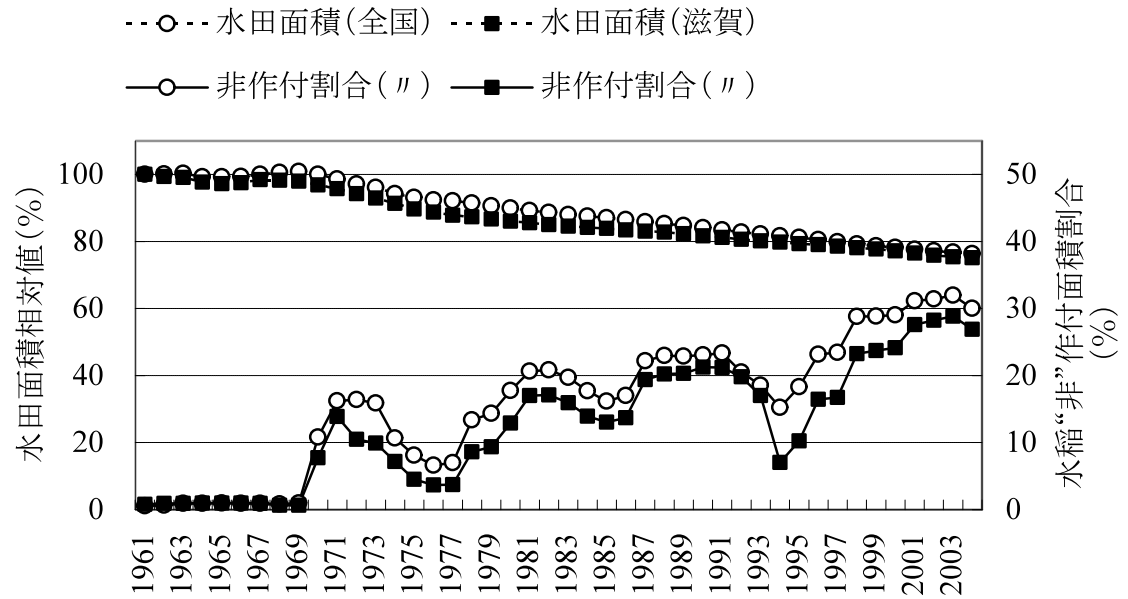
図1 地下水位制御システム「FOEASの概要」



写真1 地下水位制御システムを導入した重粘土壤水田の大豆生育状況  
農業工学研究所内実験水田  
収量は350kg/10a (2003年)

# 気候変動への対応

懸念されている水田の生産力の低下。



近江八幡市加茂, 1984年7月25日 (6月19日播種タマホマレ)



甲良町尼子, 2004年7月22日 (6月17日播種, オオツル)



# 気候変動への対応

## まとめ

気候の変化に対する適応は、現行の技術でも可能。

作目の転換、品種の変更、作期の移動

地域的・短期的な気象変動には、作物生産は依然として弱く、技術開発の必要が大きい。

小規模・大規模の灌漑設備の整備、環境ストレス耐性品種の開発、生物的・非生物的ストレスの把握・予測と制御技術の開発など。

## 全体のまとめ

現時点の穀物生産の将来予測は、気候の予測と作物の環境応答の予測の両方において、大きな不確実性を含んだもの。

気候温暖化が進む可能性が大きい。しかし、平均値の上昇はゆっくり進むため、穀物生産は適応が可能である。

穀物生産は一方、気象変動とくに水環境の変動の影響を強く受ける。それは今後一層深刻になる可能性がある。

気候が温暖化してもしなくても、地域的な気象変動に絶える技術の開発がきわめて重要。