



## 第3回光化学オキシダント植物影響評価検討会

# 日本の農作物に対するオゾンの影響に係る 科学的知見の整理

埼玉県環境科学国際センター  
米倉哲志



「日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理」について、大きく4点について補足説明する。

- ① オゾン影響評価試験の手法について。
- ② オゾンによる葉の可視障害についての補足と、成長・収量影響との関連性。
- ③ オゾンによる影響の作物間差異や品種間差異。
- ④ オゾン影響のリスク評価事例の紹介。

「日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理」について、幾つか補足説明する。

- ① オゾン影響評価試験の手法について。
- ② オゾンによる葉の可視障害についての補足と、成長・収量影響との関連性。
- ③ オゾンによる影響の作物間差異や品種間差異。
- ④ オゾン影響のリスク評価事例の紹介。

# オゾンの植物影響評価試験について

1970～80年代に実施されてきたフィルタードエアーチャンバー（FAC）試験は、空気の浄化・非浄化による育成試験であるが、非浄化区のオゾン濃度は明瞭には示されていないケースが多い。

フィルタードエアーチャンバー（FAC）法  
空気を浄化して導入する施設（密閉式）



# オゾンの植物影響評価試験について

1970～80年代の地方研等のFAC試験（空気の浄化・非浄化試験）

非浄化区のオゾン濃度は明瞭には示されていないケースが多い

- ・ 当時は、高濃度の頻度などに着目する機会が多かった。
- ・ 欧米で、積算値（ドース）が提唱されたのは1990年代に入ってからで、日本では2000年に入った頃から…。

## 例：浅川ら（1981a）

- ・ グラフで日最高濃度のみが示されている。
- ・ 平均濃度などが数値で示されていない。

オゾン（オキシダント）が、悪影響を及ぼしている事象は明白であるが、オゾン濃度と成長などの低下との定量的な関係性の検討には用いることが難しい。

「日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理」について、幾つか補足説明する。

- ① オゾン影響評価試験の手法について。
- ② オゾンによる葉の可視障害についての補足と、成長・収量影響との関連性。
- ③ オゾンによる影響の作物間差異や品種間差異。
- ④ オゾン影響のリスク評価事例の紹介。

# オゾンによる葉の可視障害

ホウレンソウ



コマツナ



ラッカセイ



キュウリ



イネ



サトイモ



草本植物では、葉脈間に微小な白色斑点や漂白斑  
イネ科やマメ科の多くの可視障害は、褐色または赤褐色の斑点

特に、葉物野菜に可視障害が発現すると、生産者にとって経済的損失が大きい

# オゾンによる葉の可視障害



どの程度のオゾン濃度で葉の可視障害が発現するか？

オゾンによる農作物の葉の可視障害の発現に対する種間差

オゾン感受性※	農作物
高（日最高 100 ppb）	タバコ，オクラ，ホウレンソウ，ハツカダイコン，サトイモ，ラッカセイ，インゲンなど
中（日最高 100～150 ppb）	イネ，キュウリ，トマト，バレイショ，ミツバ，レタス，トウモロコシなど
低（日最高 150～200 ppb）	ニンジン，ソバ，ゴマ，パセリなど

※オゾン感受性は、括弧内の日最高オゾン濃度で可視障害が認められたことより判断している。

高感受性 = オゾン影響を受けやすい

寺門と久野（1981）より一部改変



# オゾンによる葉の可視障害



## オゾンによる葉の可視障害の発現に種間差がある

Table 3. 可視被害から見た農作物および園芸作物種間の相対的なオゾン感受性比較リスト。

非常に感受性 0.10 ppm <sup>2</sup> ·hr 以下	感受性 0.11~0.30 ppm <sup>2</sup> ·hr	やや抵抗性 0.31~1.00 ppm <sup>2</sup> ·hr	非常に抵抗性 1.01 ppm <sup>2</sup> ·hr 以上
アサガオ	ダイズ	カリフラワー	チコリ
タバコ	サントウサイ	シュンギク	コモチカンラン
ハツカダイコン	アルファルファ	ソラマメ	キャベツ
ハウレンソウ	トマト	タイサイ	グラジオラス
ダイコン	ラッカセイ	ゴボウ	ゼラニウム
インゲンマ	ペチュニア	ハクサイ	フクシア
サトイモ	イネ	アオジソ	パンジー
ネギ	ニンジン	ピーマン	
きゅうり	ナス		
	レタス		
	シロナ		
	ミズナ		
	フダンソウ		
	カブ		

可視障害が発現した オゾン濃度<sup>2</sup> × 時間

同じドース（オゾン濃度 × 時間）では、  
高濃度 × 短時間の方が影響が出やすい。

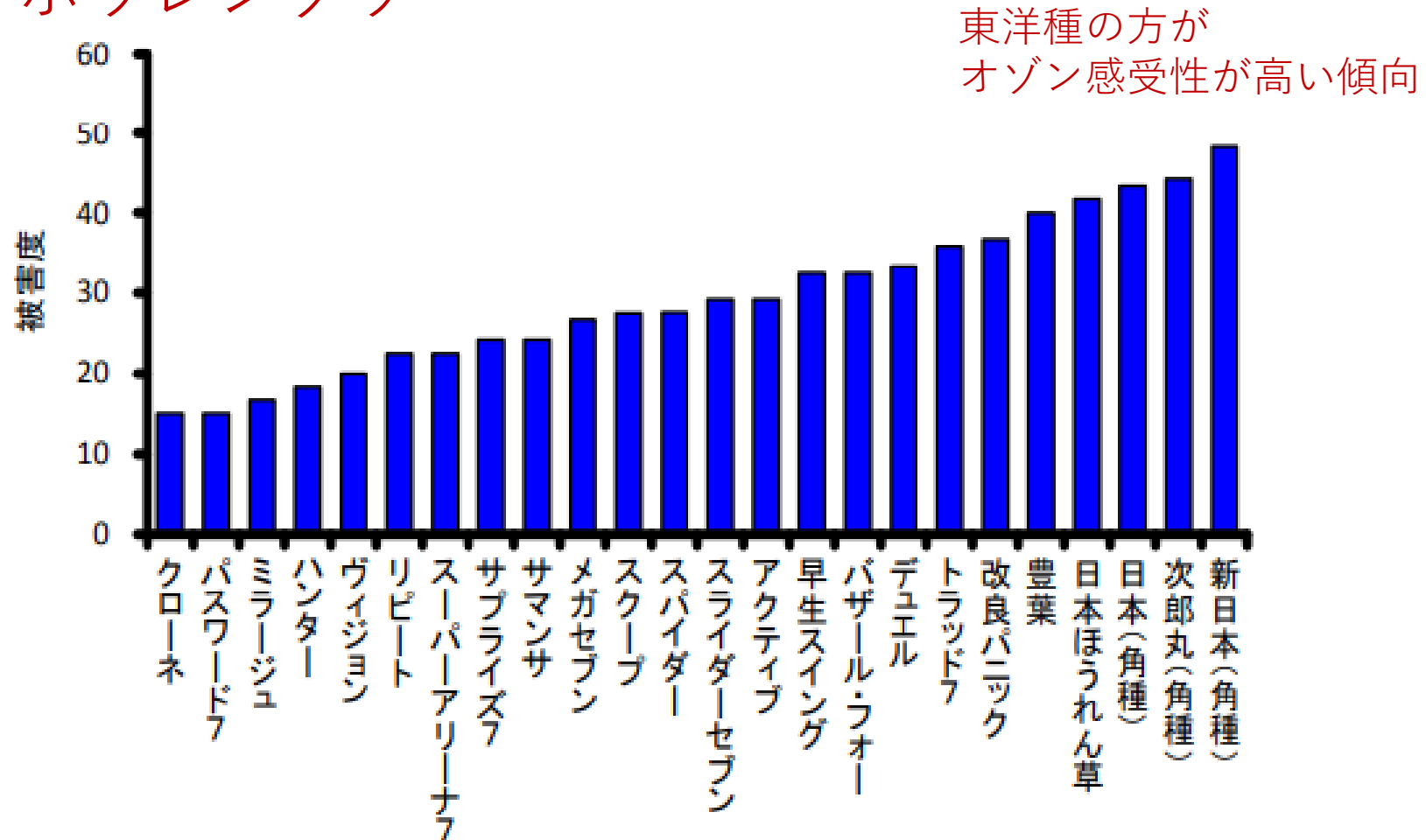
高感受性 = オゾン影響を受けやすい

野内ら（1988）

# オゾンによる葉の可視障害

オゾンによる葉の可視障害の発現に品種間差がある

例：ハウレンソウ



印南と三輪（2014）を改変

# オゾンによる葉の可視障害と成長・収量



葉の可視障害の発現は、成長・収量低下を引き起こす。

しかしながら、作物種の品種間において「葉の可視障害の発現レベル」と「成長や収量低下の度合い」には、明瞭な相関関係が認められない。

コマツナ： Izuta *et al.* (1999)

イネ： 農業技術研究所(1985)、Sawada and Kohno (2009)

バレイショ： 松丸と高崎(1991)

葉の可視障害が出やすい品種が、必ずしも成長や収量が低下しやすいとは限らない。

➡ オゾンの感受性評価の際は、「葉の可視障害」と「成長・収量」は別で考えた方がよい

「日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理」について、幾つか補足説明する。

- ① オゾン影響評価試験の手法について。
- ② オゾンによる葉の可視障害についての補足と、成長・収量影響との関連性。
- ③ オゾンによる影響の作物間差異や品種間差異。
- ④ オゾン影響のリスク評価事例の紹介。

# オゾンによる農作物の成長・収量影響

1970年代以降、オゾンによる我が国の農作物への影響評価は、色々な農作物や果樹などで行われてきた。

➡ オゾンは、農作物の成長や収量に対して悪影響及ぼし、それらの低下を引き起こす。

## 成長影響の一例

オープントップチャンバー試験  
：空気の浄化・非浄化試験



オゾン除去した  
空気

屋外の空気

平均オゾン濃度：52ppb  
最大オゾン濃度：143ppb

コマツナを1か月間育成（2002.7 in 埼玉環科国セ）

米倉（2016）改

# オゾンによる農作物の成長・収量影響



## 水稻の収量影響の一例

3段階の一定オゾン環境下で育成したコシヒカリ

Yamaguchi *et al.* (2008)

オゾン除去  
(昼間 2 ppb)

昼間60ppb

昼間100ppb



約6%減

約23%減

山口氏 (長崎大)  
提供

# オゾンによる農作物の成長・収量影響

作物種間でオゾン影響の受けやすさ（感受性）が異なる

オゾンに対する成長・収量の作物種間の相対的な感受性の比較（野内ら, 1988）

作物名	生育初期	生育中期	登熟期		可視被害 発現濃度
			乾物生産	収量	
陸 稲 (農林12号)	<6	<6	6~10	<6	<6
ソ ル ガ ム (NK129)	6~10	>10	>10	>10	>10
ダ イ ズ (フジミジロ)	4~6	<6	6~10	<6	4~6
ダ ズ ズ (エンレイ)	4~6	4~6	>6	4~6	>6
ラ ッ カ セ イ (白油 7-3)	<6	— <sup>a)</sup>	—	—	>10
ラ ッ セ カ イ (千葉半立)	4~6	—	4~6	4~6	4~6
ラ ッ カ セ イ (タチマサリ)	—	—	4~6	4~6	4~6
ト ウ モ ロ コ シ (交7号)	>6	—	—	—	>6
コ ム ギ (農林61号)	—	—	>10	>10	>10
オ オ ム ギ (関 取)	—	—	>10	6~10	>10
ビ ー ル ム ギ (アズマゴールド)	—	—	>10	6~10	>10
ソ バ (信濃1号)	<6	<6	—	—	<6

0.04 ppm, 0.06 ppm および 0.10 ppm の低濃度オゾンによる主要な畑作物の生育初期, 生育中期あるいは登熟期に長時間暴露し, 生育時期別のオゾンによる作物の生長, 収量被害発現の限界値を示した。

0.06ppm以下

0.06ppm以上

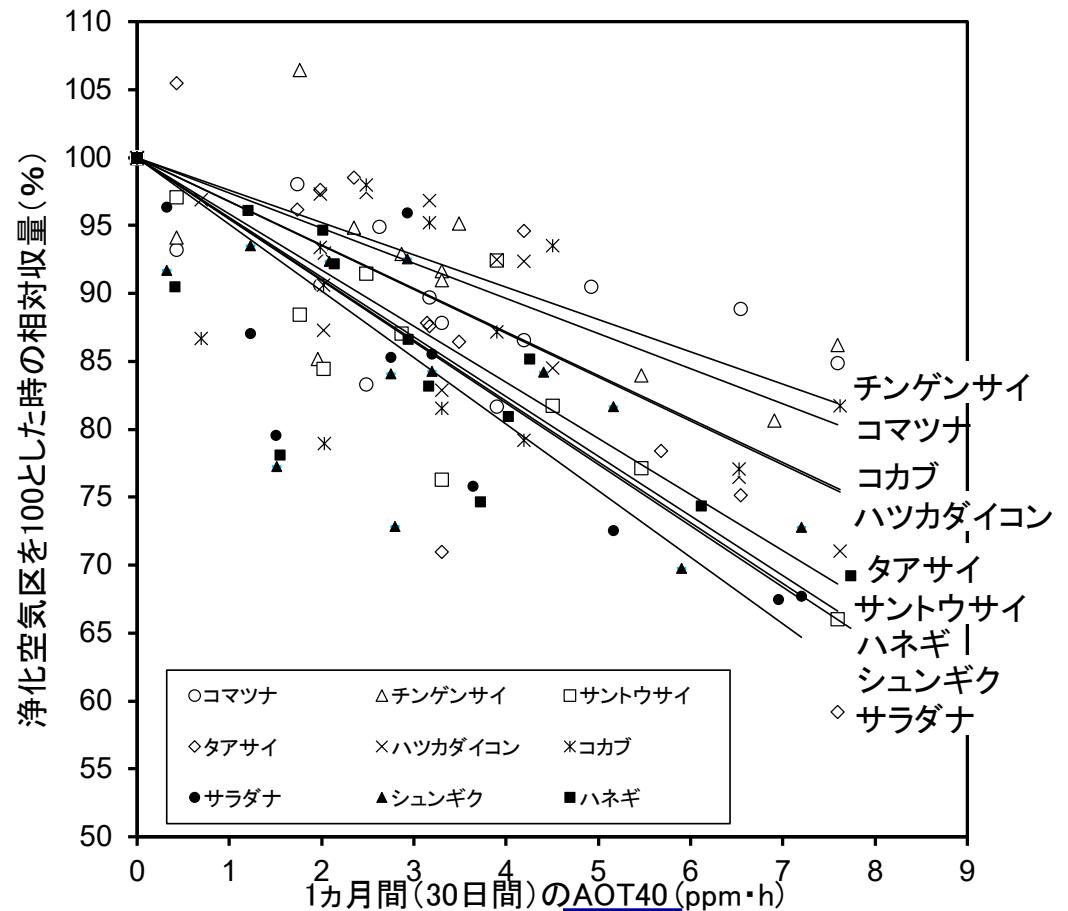
# オゾンによる農作物の成長・収量影響

作物種間でオゾン影響の受けやすさ（感受性）が異なる

10種の農作物におけるAOT40と相対収量との関係(米倉ら, 2007)

40 ppb以上のオゾン濃度の  
差分の時間積算値（ドース）

傾きが大きいほど、  
オゾンによる成長低下が  
大きい  
(オゾン感受性が高い)





# オゾンによる農作物の成長・収量影響



品種間でもオゾン影響の受けやすさ（感受性）が異なる

コマツナ (Izuta *et al.*, 1999) : 130 ppb × 4時間 × 3日間暴露

成長低下のオゾン感受性は、

みすぎ > プララ > 新晩生 > 丸葉 > 晩生 = 楽天 > ごぜき晩生 >  
はるみ > 夏楽天 > さおり

ハツカダイコン (Izuta *et al.*, 1994) : 150 ppb × 4時間 × 7日間暴露

成長低下のオゾン感受性は、

ユキコマチ（浄化区に比べ44%減） > コメット（38%減） >  
ホワイトチェリシュ（9%減少）

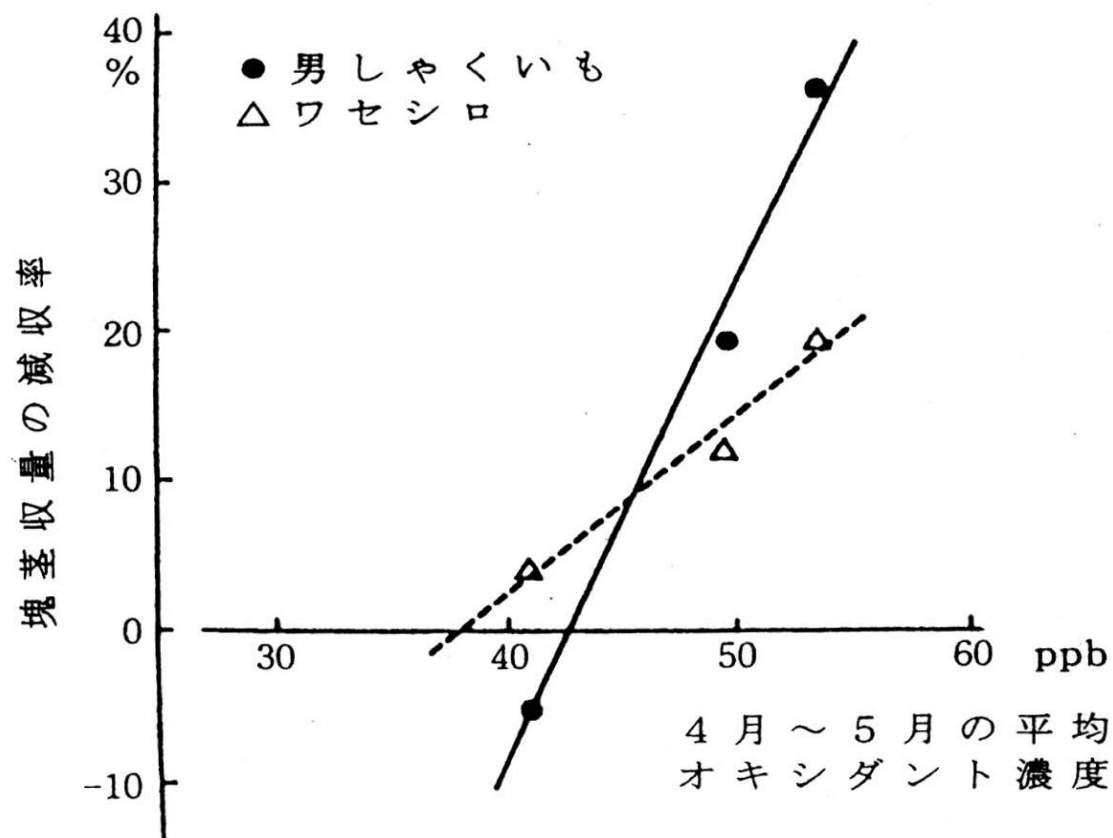
バレイショ（松丸と高崎, 1991）

収量低下のオゾン感受性は、ダンシャクイモ > ワセシロ

# オゾンによる農作物の成長・収量影響

品種間でもオゾン影響の受けやすさ（感受性）が異なる  
バレイショ（松丸と高崎, 1991）

収量低下のオゾン感受性は、  
ダンシャクイモ > ワセシロ



# オゾンによるイネの成長・収量影響

比較的、研究事例の多い  
イネ（水稲）の収量影響について紹介

イネの収量は、オゾン濃度が高くなると低下する。

## 例：3段階のオゾン環境下で育成したコシヒカリ

オゾン除去区  
(昼間 2 ppb)



野外オゾン区  
(昼間 36 ppb)



野外×1.5オゾン区  
(昼間 52 ppb)



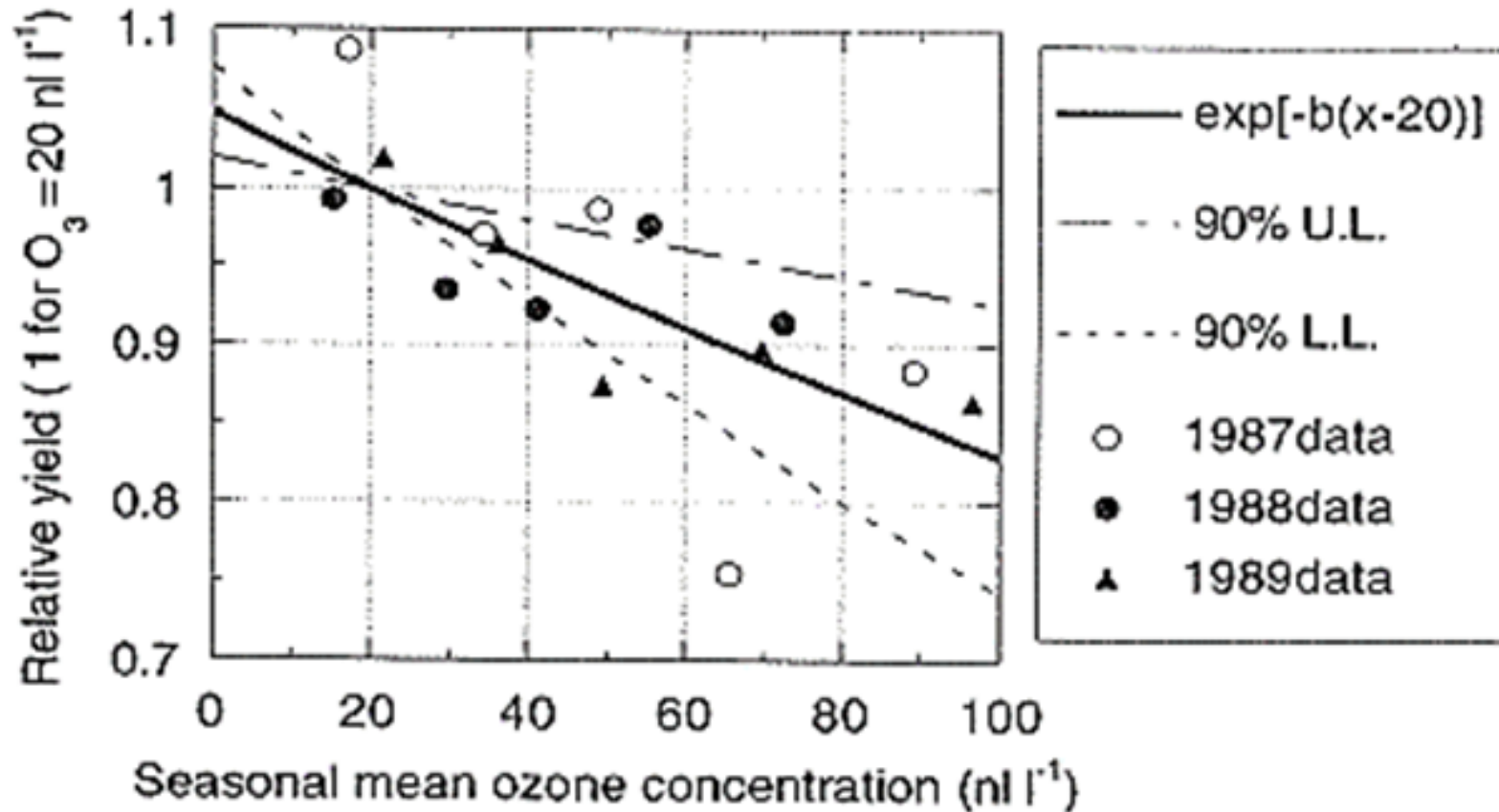
約13%減少

約18%減少

米倉 (埼玉環科国セで実施)

# オゾンによるイネの成長・収量影響

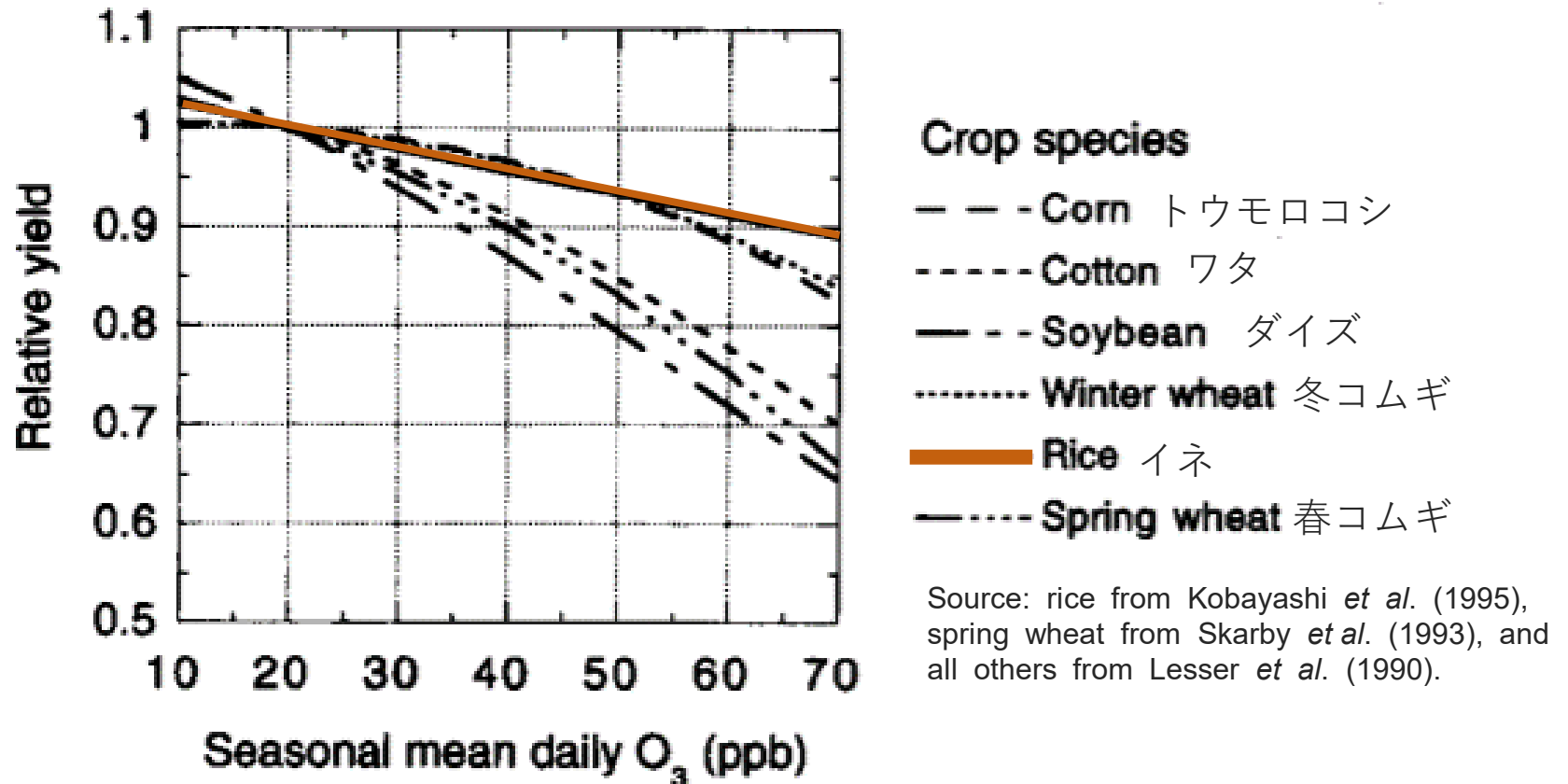
イネの収量と日平均オゾン濃度との応答関係  
(Kobayashi *et al.*, 1995)



昼7時間 (9:00~16:00) の平均オゾン濃度

# 収量に対するオゾン感受性の作物間差

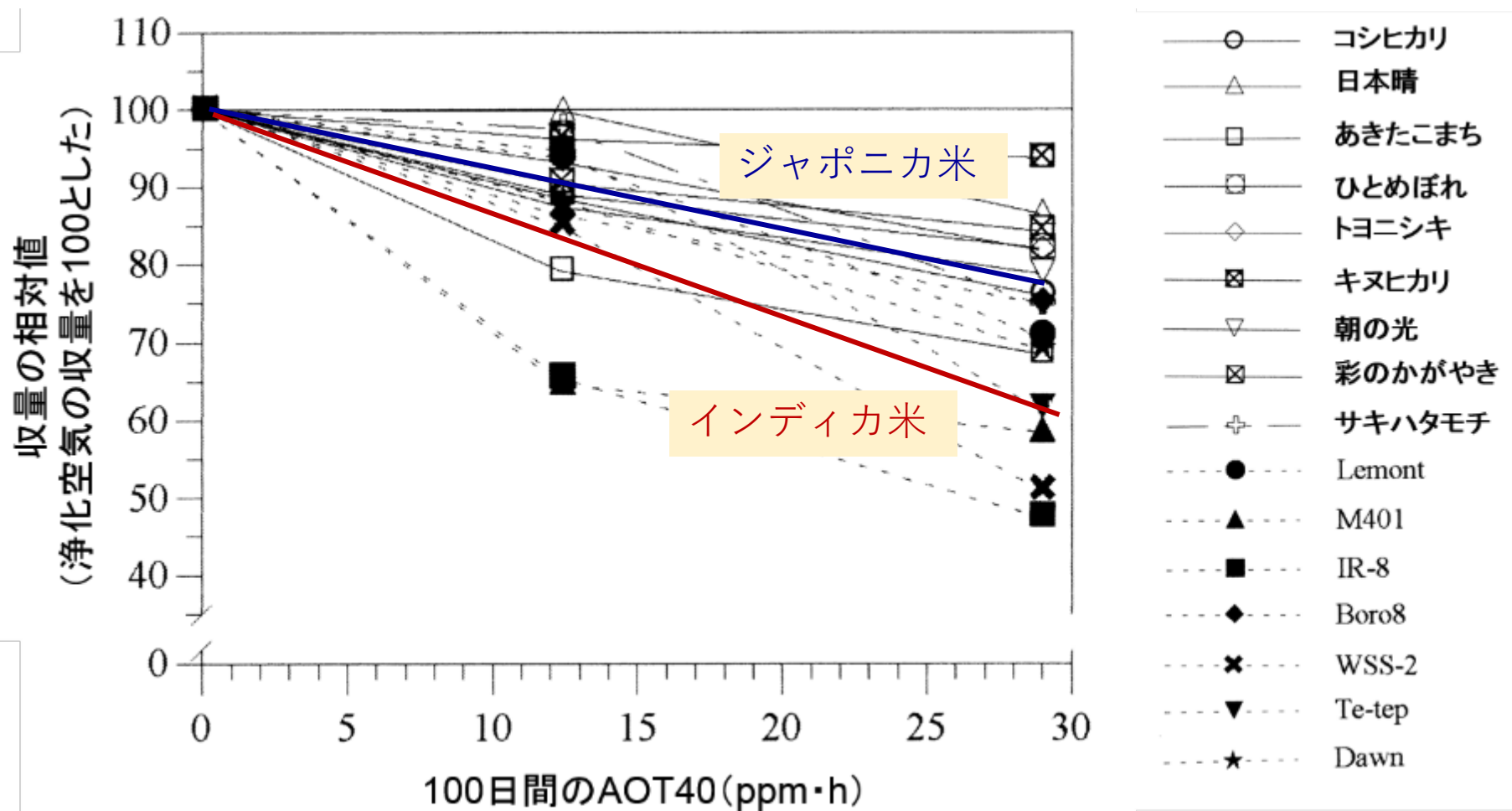
作物の相対収量と日平均オゾン濃度との関係(小林, 1999)



イネのオゾン感受性は、他の作物より低い傾向  
(ただし、他の作物は欧米品種での比較)

# 収量に対するオゾン感受性の品種間差

イネの収量に及ぼすオゾンの影響 (Yonekura *et al.*, 2005a)



ジャポニカ米、インディカ米のそれぞれにおいて品種間差がある  
 オゾン感受性： ジャポニカ米 < インディカ米

「日本の農作物へのオゾンの影響に係る科学的知見の整理」について、幾つか補足説明する。

- ① オゾン影響評価試験の手法について。
- ② オゾンによる葉の可視障害についての補足と、成長・収量影響との関連性。
- ③ オゾンによる影響の作物間差異や品種間差異。
- ④ オゾン影響のリスク評価事例の紹介。

# オゾンによる農作物のリスク影響①



2種の農作物におけるAOT40と相対収量との関係(Yonekura *et al.*, 2005b)

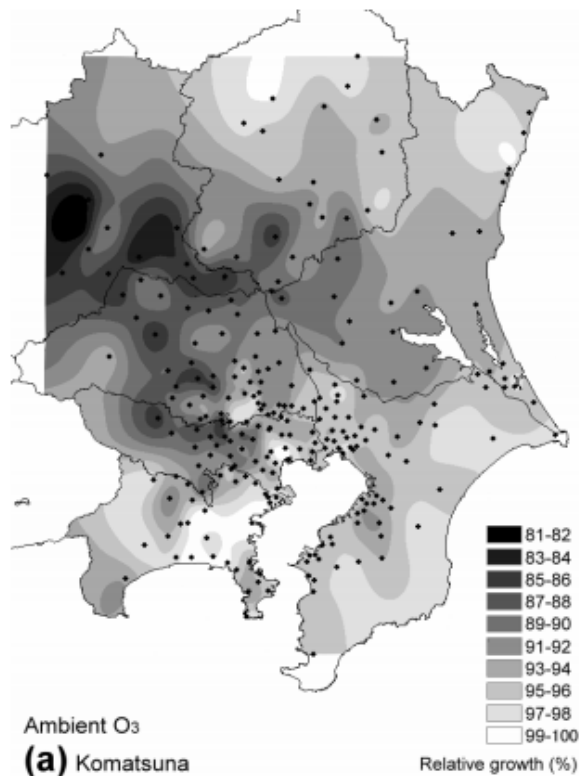




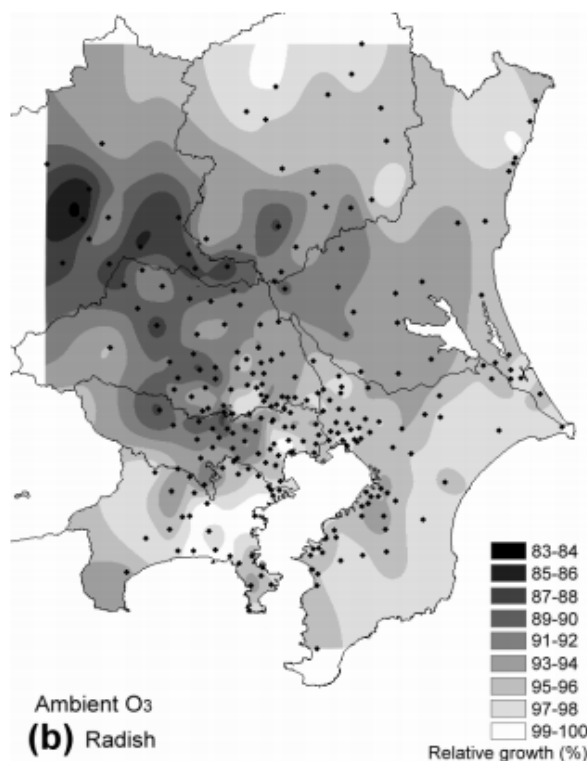
# オゾンによる農作物のリスク影響①

2種の農作物におけるAOT40と相対収量との関係(Yonekura *et al.*, 2005b)  
1990～2000年の6月～8月の30日平均AOT40より成長低下率を推定

コマツナ



ハツカダイコン



・ 関東地方においてオゾンにより5～20%の成長低下が推定された。

・ 特に、東京、埼玉、群馬において比較的高い低下率を示した。

# オゾンによる農作物のリスク影響②



## イネの収量に対する関東地方のリスク評価

- 小林 (1999)  
オゾンの影響を組み込んだ水稻生育モデルより1981～1985年の5年間の最大減収率の平均は7%と推定
- 高木と大原 (2003)  
小林 (1999) のモデルを基に1996年の平均減収率を3.6%と推定.
- Yonekura *et al.* (2005a)  
AOT40を用いて1990～2000年の平均減収率を5～10%と推定.
- 中西ら (2009) :元データはKobayashi *et al.* (1995)など  
AOT30を用いて2002年の平均減収率は9.22%と推定.

関東地方の水稻収量は、  
オゾンにより清浄空気下より最大で10%程度の減少か

# イネ収量に対するオゾンのリスク評価

オゾンの影響を組み込んだ  
水稲生育モデルより1981～  
1985年の平均減収率の評価  
小林 (1999)

・ 埼玉県中央から関東平野の中心部にかけて減収率が最も高く、茨城県や千葉県の太平洋沿岸地域は減収率が低い。

・ 関東の水稲の最大減収程度は5～10%変動。5年間の最大減収率の平均は7%。

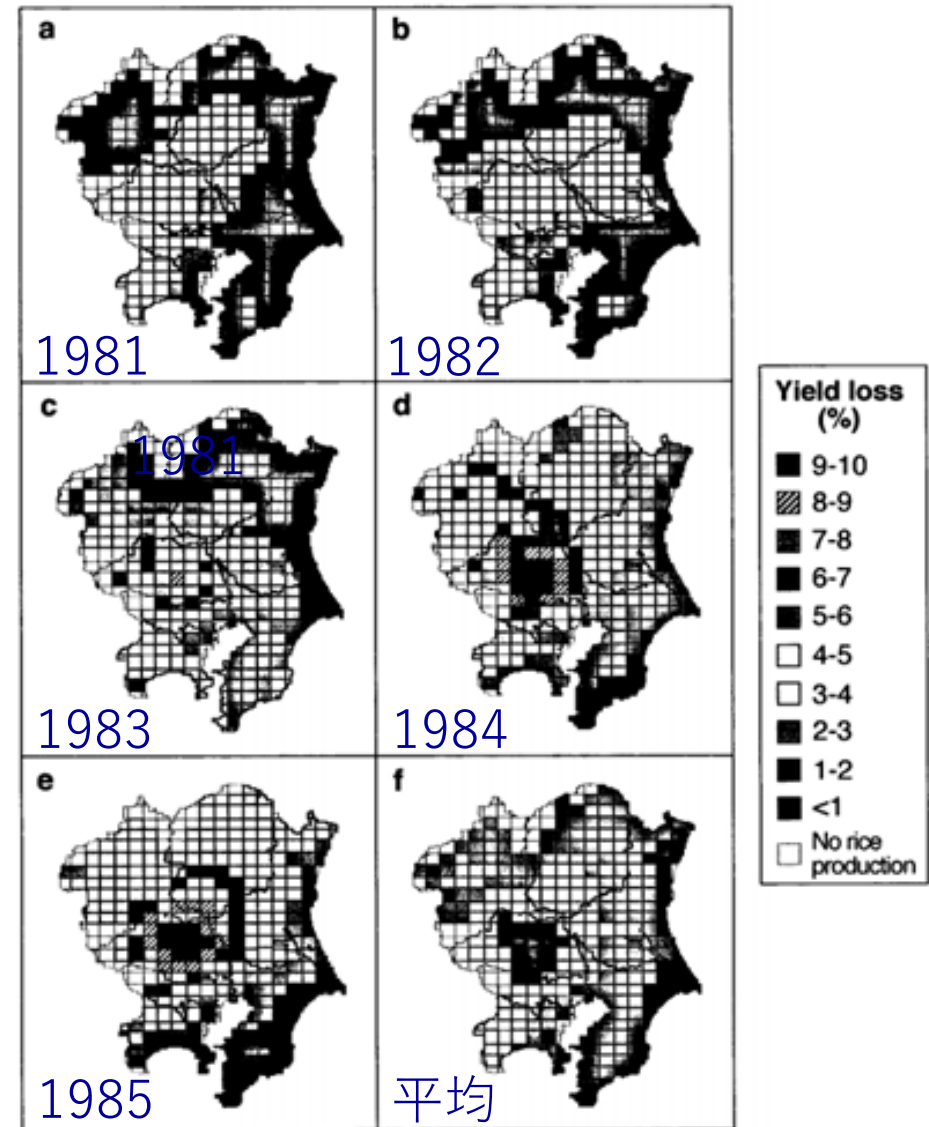


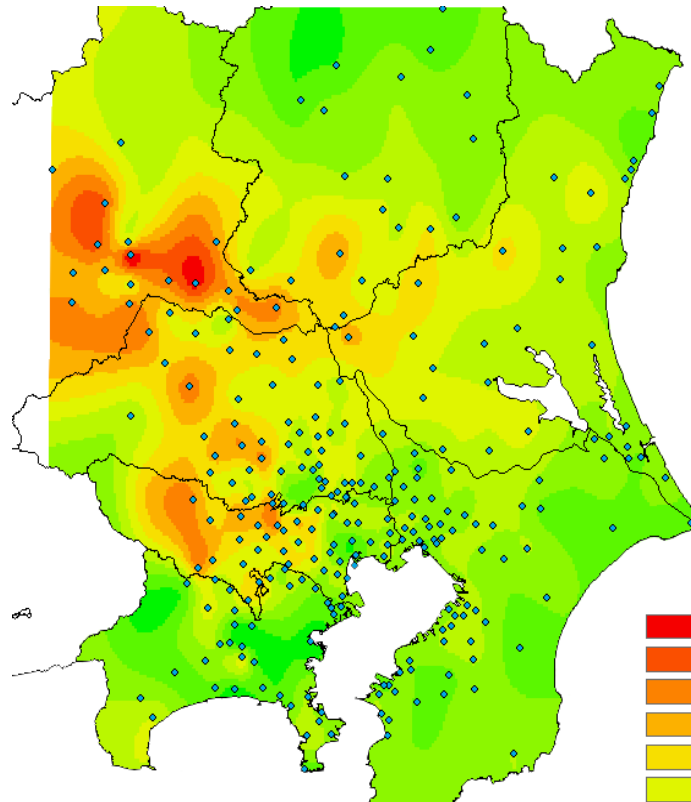
Fig. 6. Rice yield loss due to ozone calculated from the base ozone level (20 ppb) for the growing seasons of 1981 (a), 1982 (b), 1983 (c), 1984 (d), 1985 (e), and the average of the 5 years (f).

# イネ収量に対するオゾンのリスク評価

## 現状レベルのオゾンにおけるイネ収量減収率の評価

Yonekura *et al.* (2005a) 改変

1990～2000年の平均 AOT40



イネの収量減少率

関東の水稻収量は、  
オゾンにより清浄空気下  
より5～10%の減少

# イネ収量に対するオゾンのリスク評価



中西ら (2009) :元データはKobayashi *et al.* (1995)など  
AOT30を用いて2002年の平均減収率は9.22%と推定



- ・ オゾンは農作物の成長や収量などに対して悪影響を及ぼす点は明白であるが、オゾン濃度（ドース）と成長・収量の低下との定量的な関係性の検討に用いることのできるデータはあまり多くない。
- ・ オゾンの感受性評価の際は、「葉の可視障害」と「成長・収量」は別で考えた方が良い。
- ・ オゾンに対する影響の受けやすさ（オゾン感受性）は、作物種の間で異なっているだけでなく、同一種でも品種による差異が認められている。
- ・ オゾンのリスク評価によると、影響に種間差や品種間差はあるが、少なくとも関東地方の現状レベルのオゾンによって、清浄空気下に比べて10%程度の成長や収量低下は十分に予想される。