

アジアの環境と私たち - もう無関心ではいけない！ -

国境を越える対流圏オゾン

- グローバル化する大気汚染の現在と将来 -

国立環境研究所

アジア自然共生研究グループ

谷本浩志

オゾンによる大気汚染

1970年代に世界の大都市で夏季に光化学スモッグ

- オゾンによる大気汚染が深刻な健康被害
- 大都市周辺の局所的な環境汚染
- 自動車等からの原因物質の排出規制により沈静化

しかし、近年再び・・・



東京タワーから撮影したスモッグ
(国立環境研究所 佐藤圭博士撮影)



2002年12月
ロサンゼルス(上)とスイスアルプス(下)
にかかるスモッグ

本日お話ししたいこと

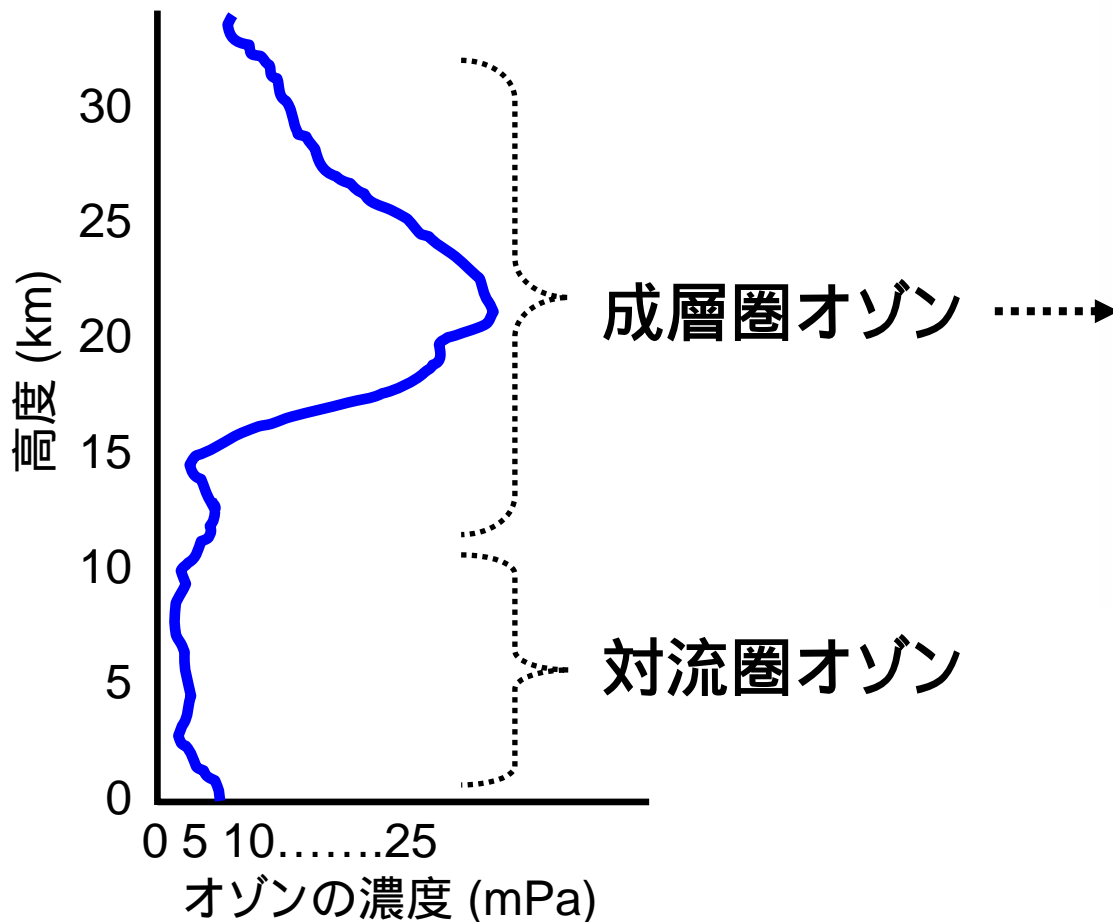
1. 対流圏オゾンとは・・・2つの環境影響
2. オゾンの挙動を探る・・・野外観測による実態把握
3. オゾンの起源を探る・・・最先端モデルによる解析
4. 地球規模で広がるオゾン汚染・・・宇宙からの監視
5. 将来のオゾン予測・・・アジアの経済発展の影響

本日お話ししたいこと

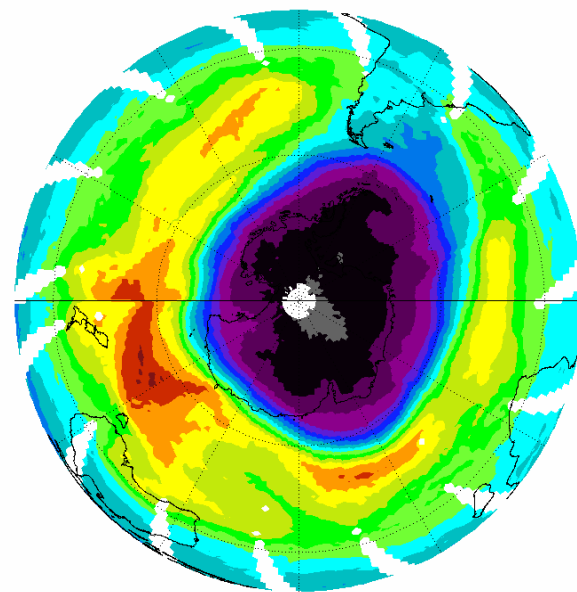
1. 対流圏オゾンとは・・・2つの環境影響
2. オゾンの挙動を探る・・・野外観測による実態把握
3. オゾンの起源を探る・・・最先端モデルによる解析
4. 地球規模で広がるオゾン汚染・・・宇宙からの監視
5. 将来のオゾン予測・・・アジアの経済発展の影響

対流圏オゾンと成層圏オゾンの違い

対流圏オゾンは成層圏オゾンと比べて
1/10の量しか存在しないが...



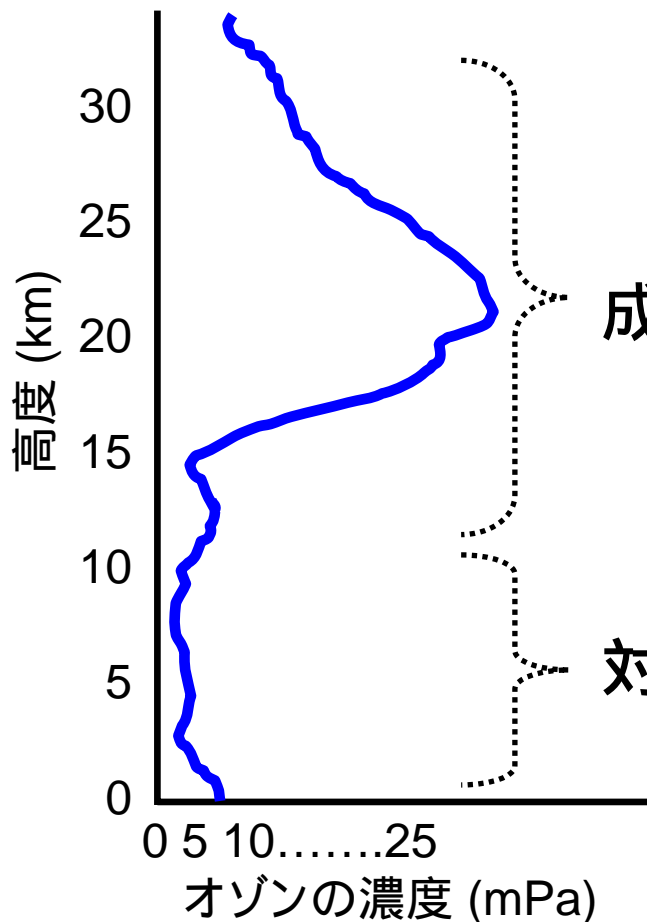
南極上空のオゾンホール



フロンによるオゾン破壊が
地球環境問題に

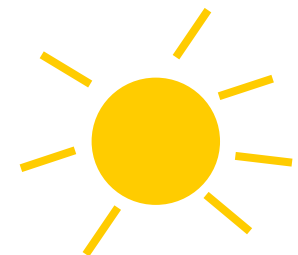
対流圏オゾンと成層圏オゾンの違い

対流圏オゾンは成層圏オゾンと比べて
1/10の量しか存在しないが...

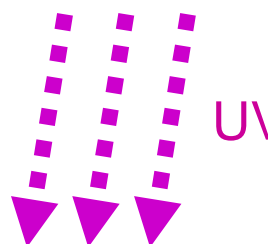


良いオゾン

生物に有害な紫外線を防ぐ



UV



成層圏オゾン

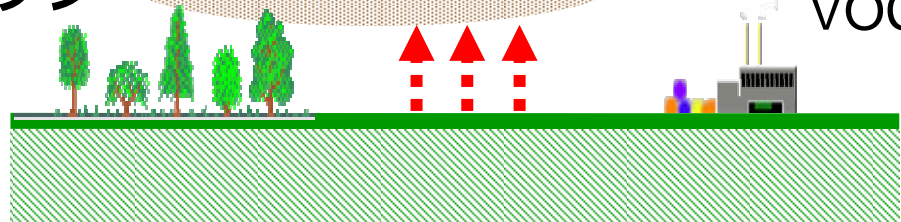
オゾン層

悪いオゾン

1. 地球を暖める
2. 生物にダメージ

UV

原因物質
NOx
VOC



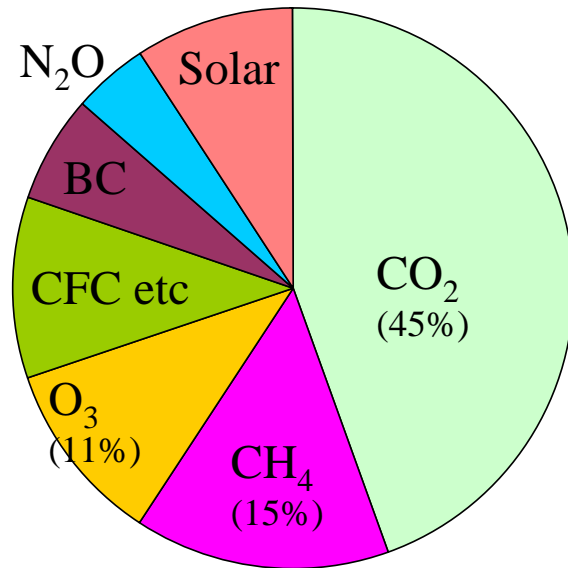
NOx: 窒素酸化物・VOC: 揮発性有機化合物

対流圏オゾンの環境影響

1. 地球の温暖化

- 赤外線を吸収する性質
- 三番目に大きな温室効果ガス

(北半球では二番目)



地球温暖化に対する寄与率
(IPCC 第3次評価報告書)

2. 人間・植物への影響

- 他の物質を酸化する性質
- 呼吸機能障害や植物成長抑制

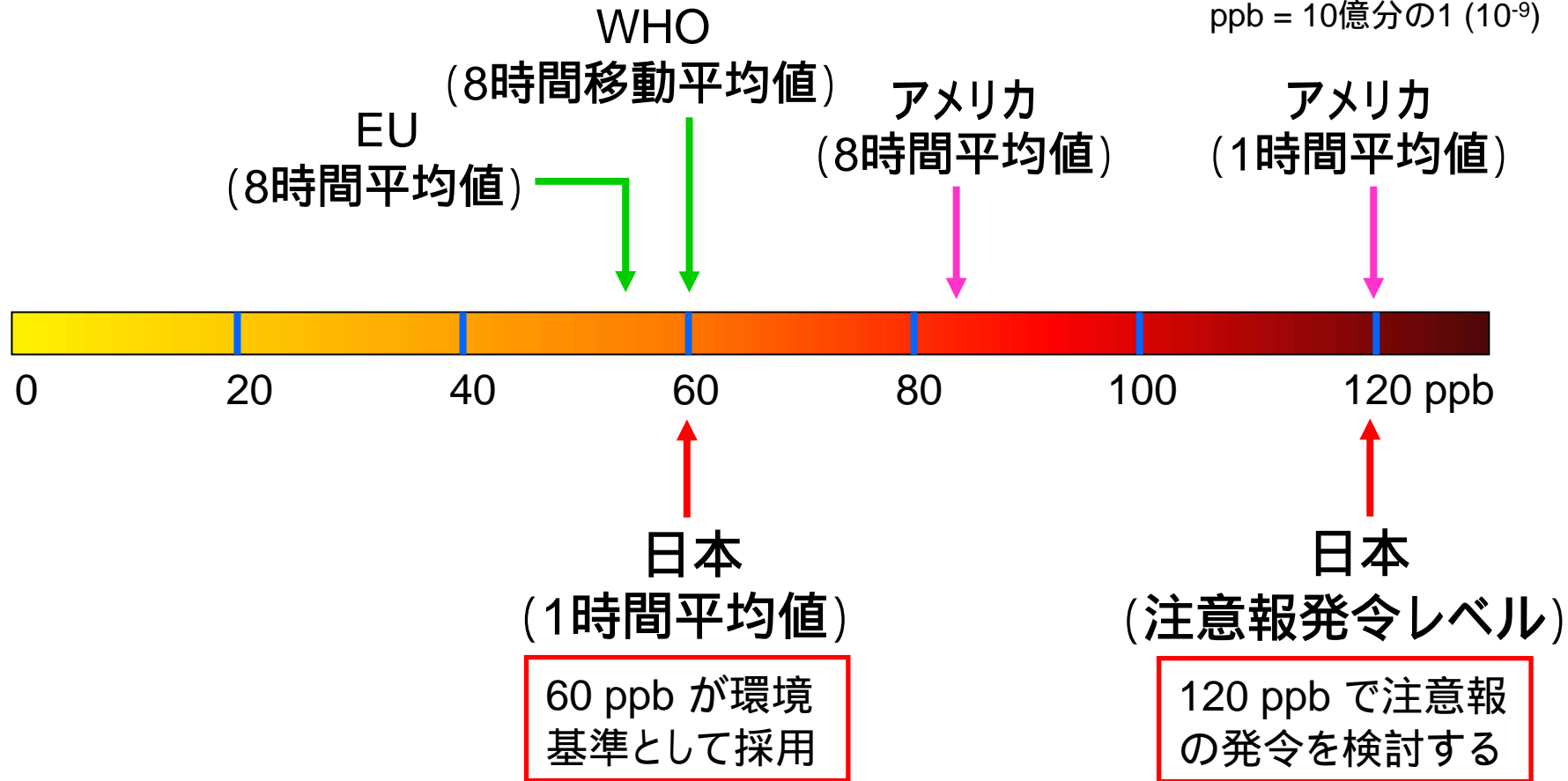


ホウレンソウの葉に生じたオゾン障害
(農業環境技術研究所 野内勇博士撮影)

対流圏オゾン = 悪いオゾン

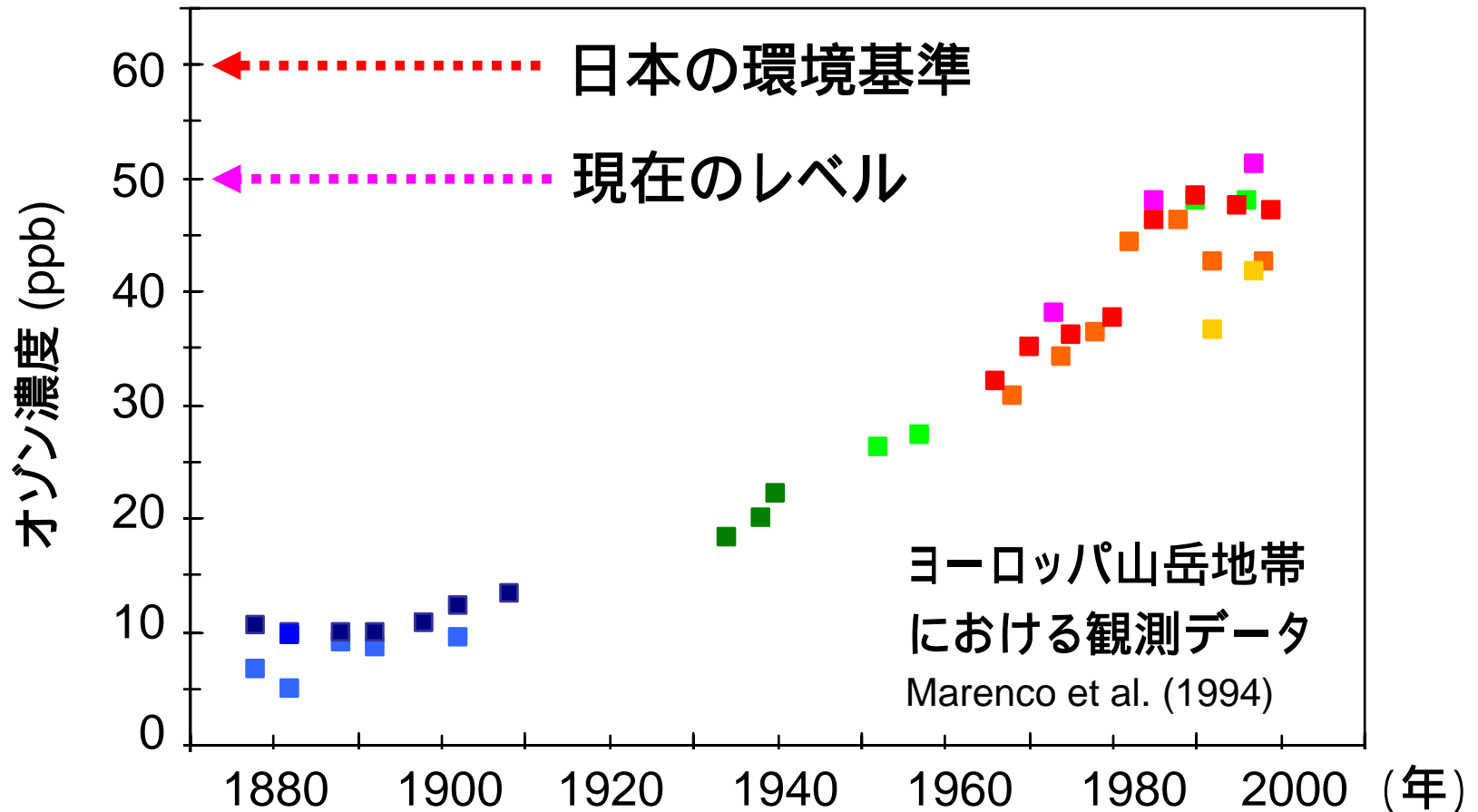
対流圏オゾンの環境基準

(注) 日本はオキシダント(～オゾン)に基づく
ppb = 10億分の1 (10⁻⁹)



- 国・機関によってさまざまな環境基準が採用されている
- 日本では、一時間平均値で 60 ppb を基準にしている

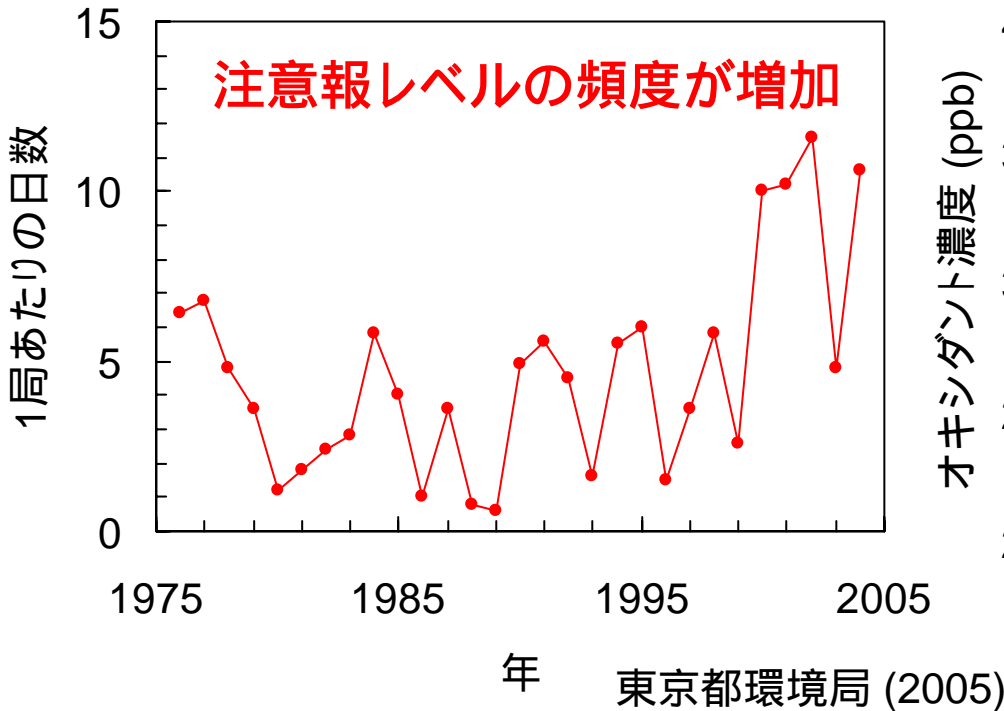
対流圏オゾンが地球規模で増加傾向に



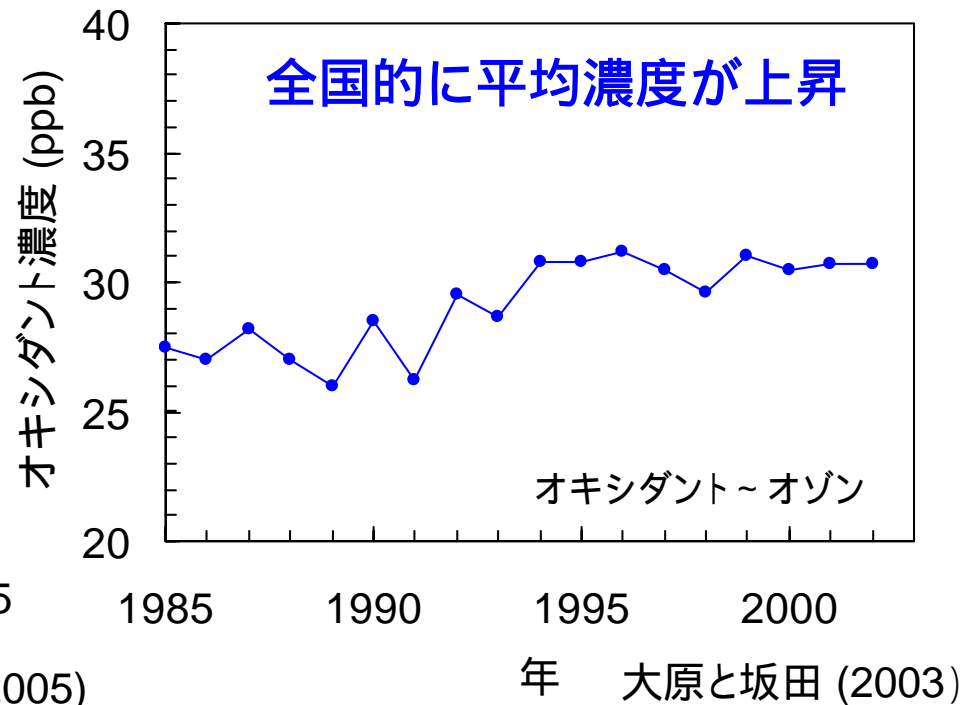
- 人間社会の工業化とともに地球規模で増加
- この100年間で約4倍に増加

日本でも対流圏オゾンが増加している

一測定局あたりのオキシダント濃度が注意報発令レベル以上となった日数



全国平均のオキシダントの経年変化



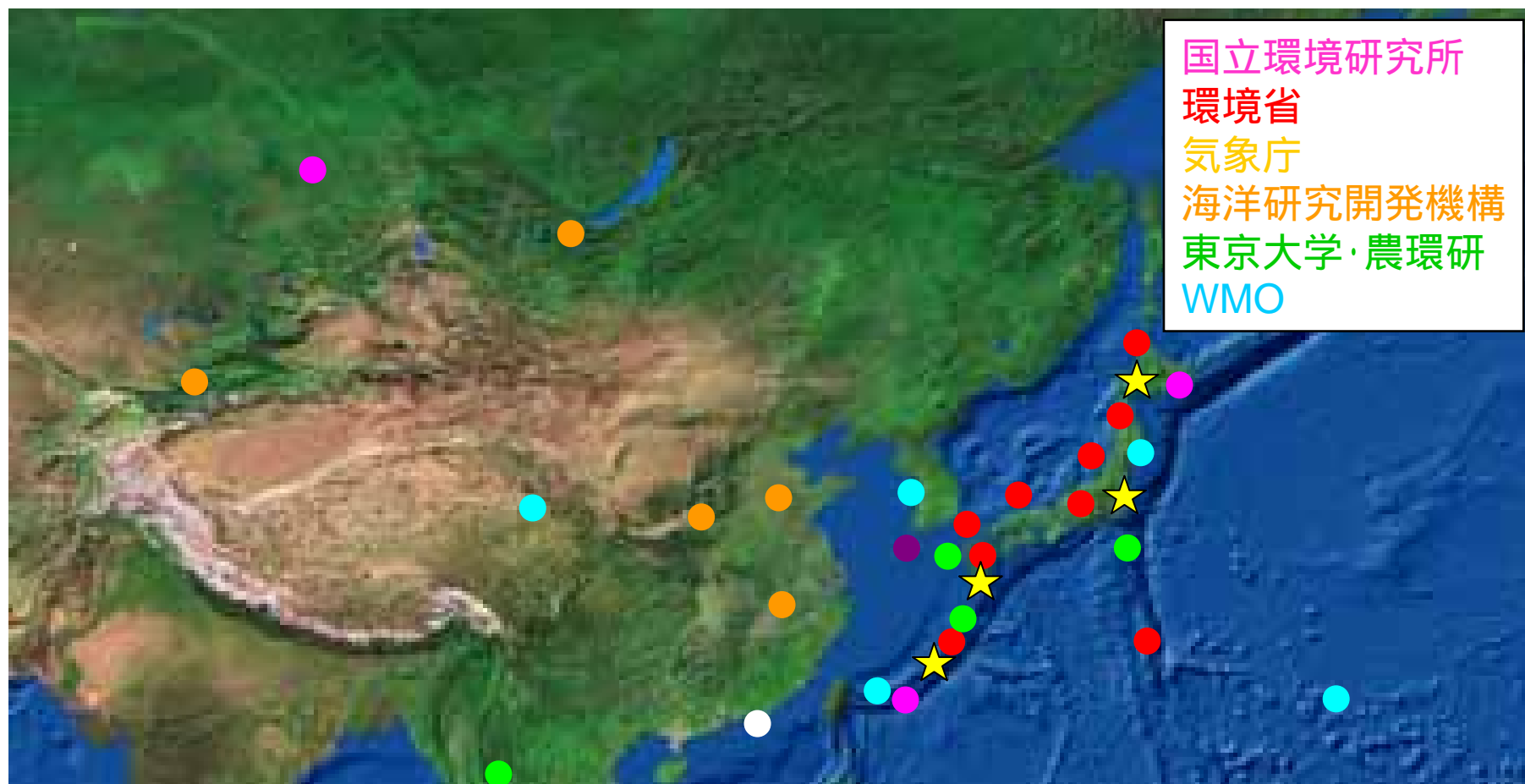
1970年代との相違点

- 国内の削減対策は大きく進展した
- 全国的に増加している

本日お話ししたいこと

1. 対流圏オゾンとは・・・2つの環境影響
2. オゾンの挙動を探る・・・野外観測による実態把握
3. オゾンの起源を探る・・・最先端モデルによる解析
4. 地球規模で広がるオゾン汚染・・・宇宙からの監視
5. 将来のオゾン予測・・・アジアの経済発展の影響

野外観測による実態の把握



様々な研究機関によって日本周辺は観測網の整備が進んできた

観測所の外観

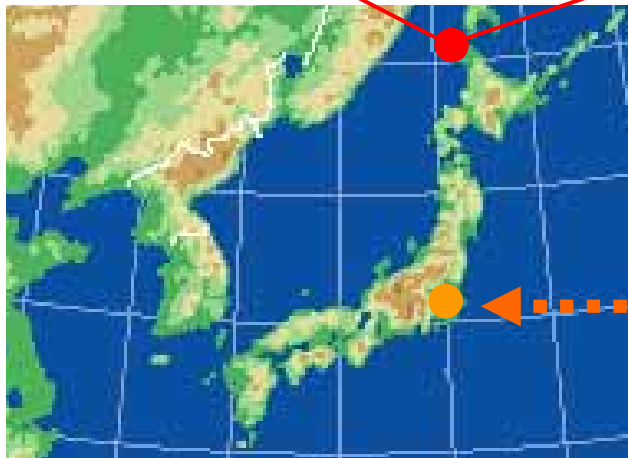


観測の様子

大気採取口

自動化されたオゾン測定装置

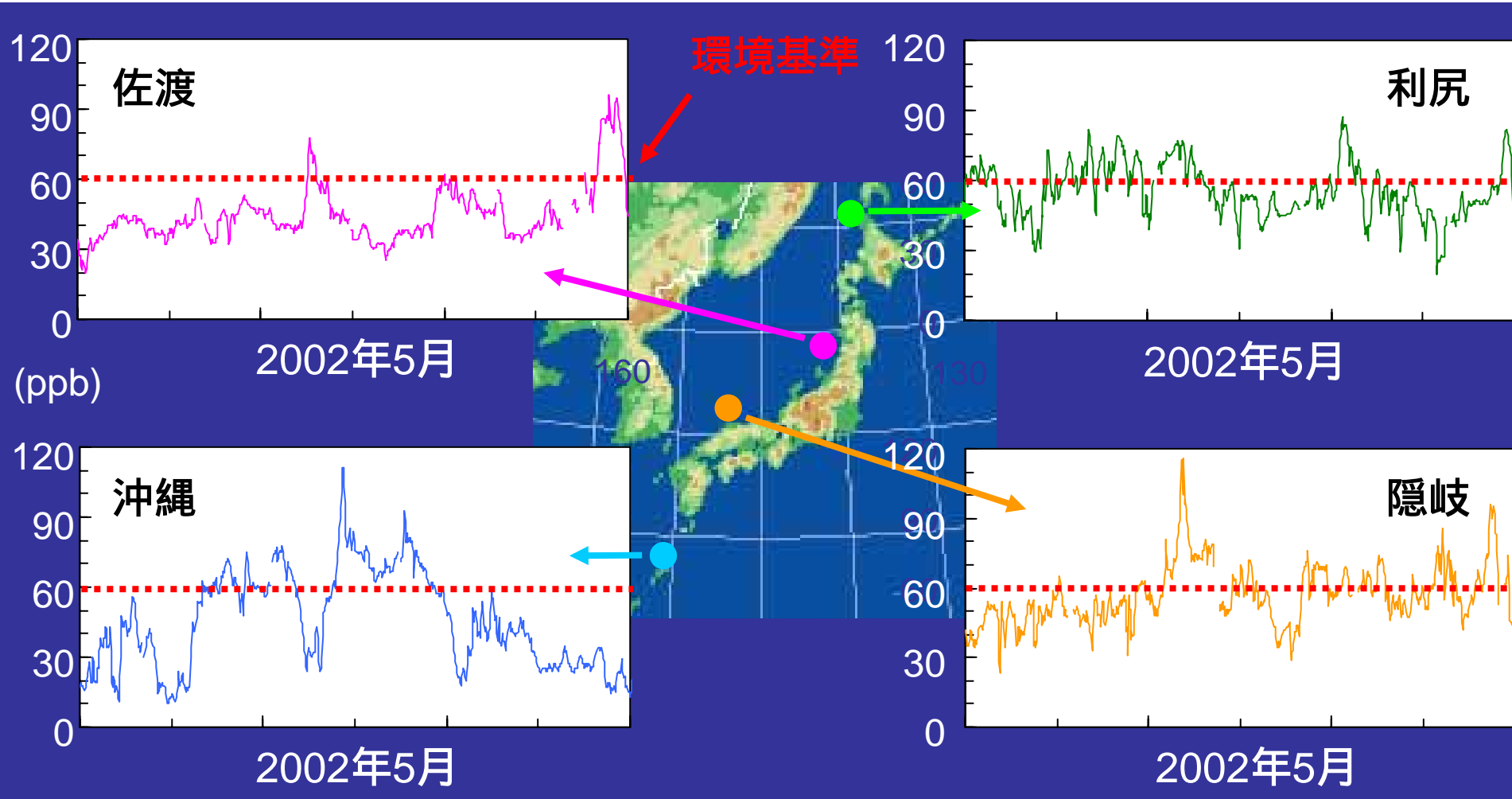
利尻島大気観測所



データ送信



日本の離島におけるオゾンの変動



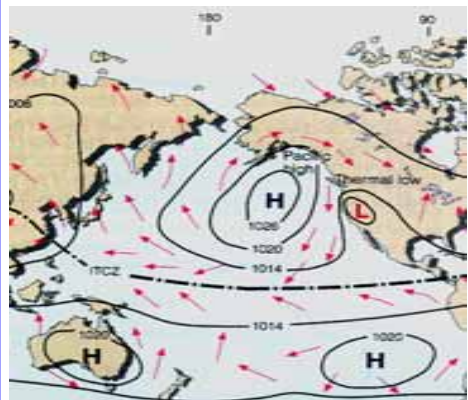
利尻や沖縄などの離島でも既に濃度が高く、環境基準を超えている

本日お話ししたいこと

1. 対流圏オゾンとは・・・2つの環境影響
2. オゾンの挙動を探る・・・野外観測による実態把握
3. オゾンの起源を探る・・・最先端モデルによる解析
4. 地球規模で広がるオゾン汚染・・・宇宙からの監視
5. 将来のオゾン予測・・・アジアの経済発展の影響

コンピューターモデルによる再現

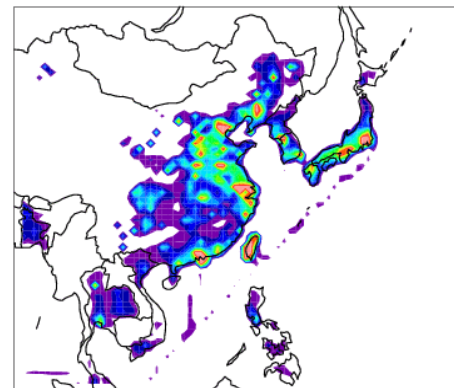
気象の変動



化学輸送モデル

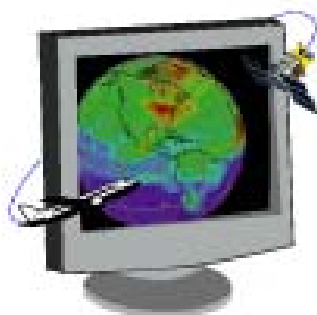


原因物質の放出



化学生成・消失

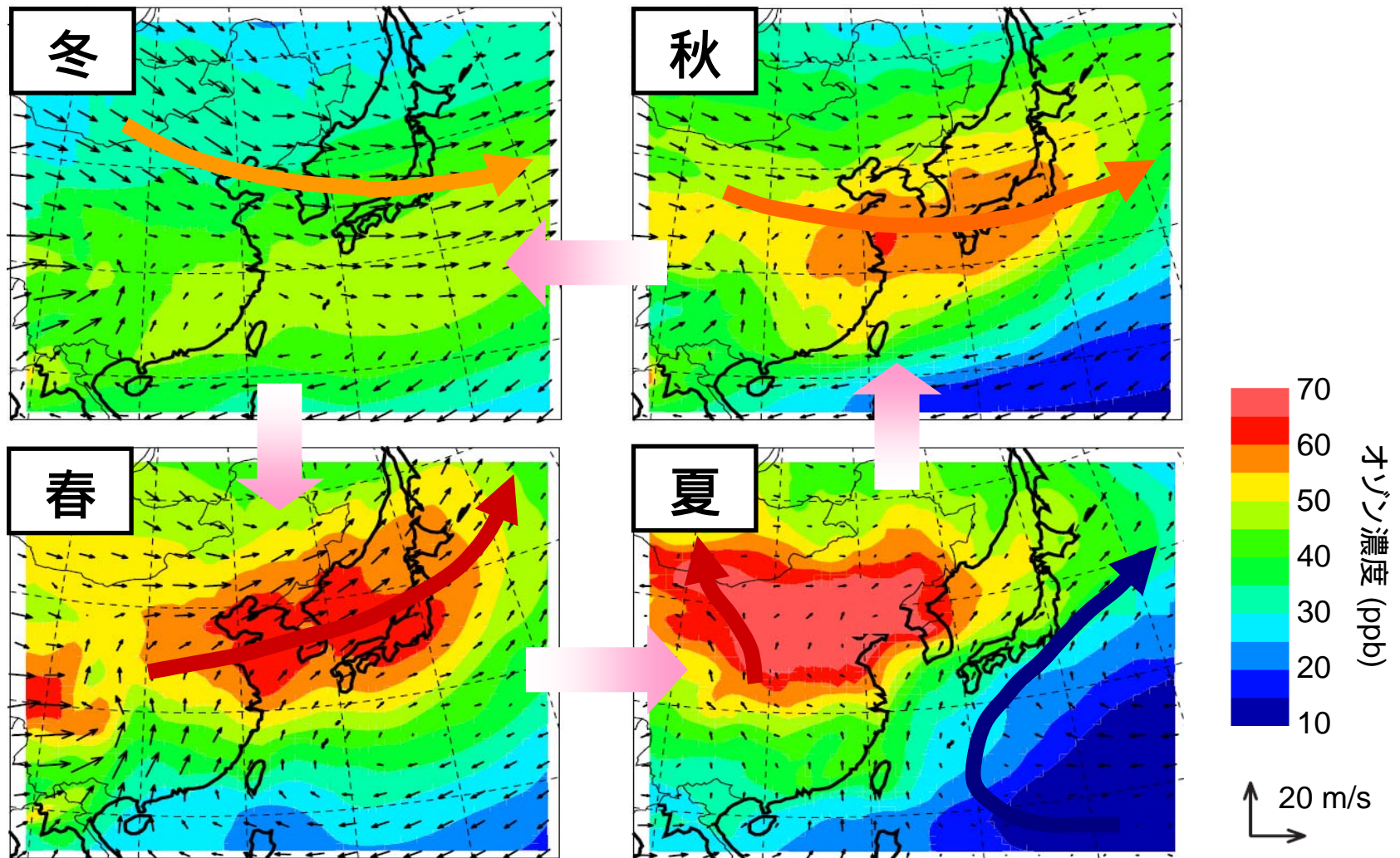
- (1) $\text{HO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{OH} + \text{NO}_2$
- (2) $\text{RO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{RO} + \text{NO}_2$
- (3) $\text{O}_3 + h\nu \rightarrow \text{O}_2 + \text{O}(^1\text{D})$
- (4) $\text{O}(^1\text{D}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}$
- (5) $\text{O}(^1\text{D}) + \text{M} \rightarrow \text{O}(^3\text{P}) (+\text{O}_2) \rightarrow \text{O}_3$
- (6) $\text{O}_3 + \text{HO}_2 \rightarrow \text{OH} + 2\text{O}_2$
- (7) $\text{O}_3 + \text{OH} \rightarrow \text{HO}_2 + \text{O}_2$
-



$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{U}n_i + \nabla \cdot (\mathbf{D}\nabla \cdot n_i) + P_i - L_i$$

⇒ オゾンの分布と変動を計算機に再現する

アジアモンスーンとオゾンの季節変化

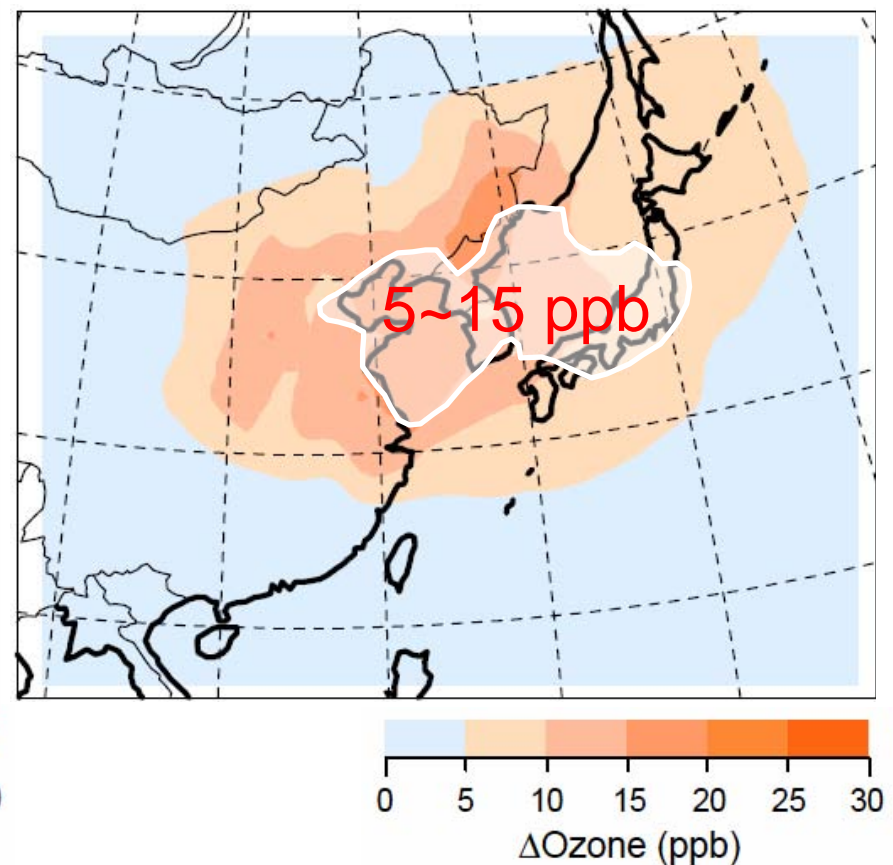
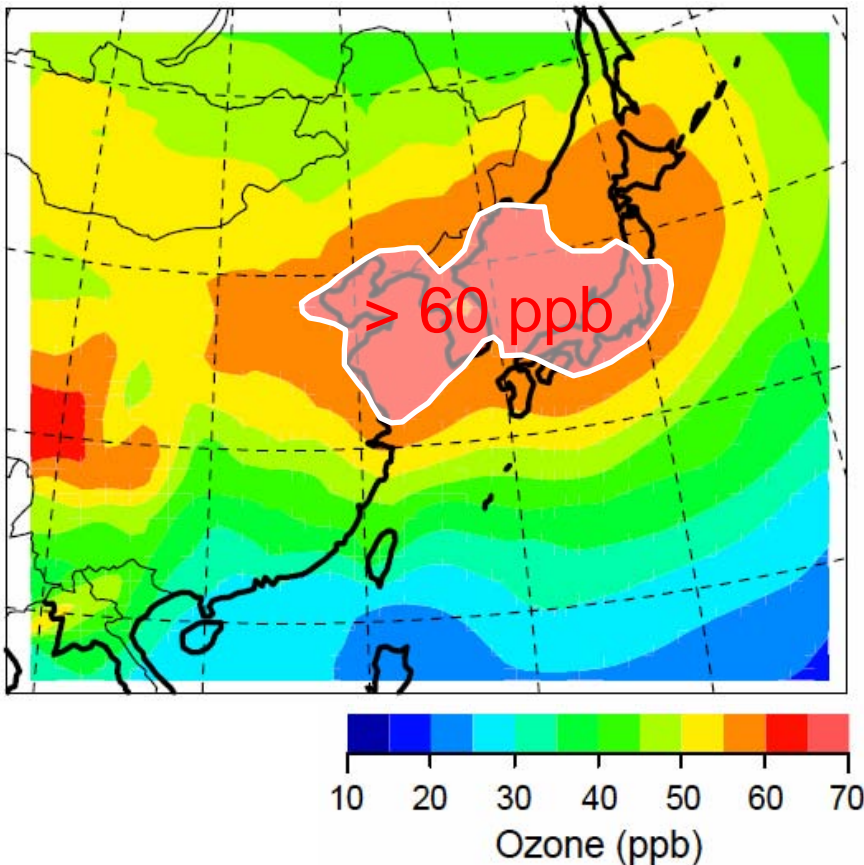


- 夏は太平洋からの風が強くなるため、アジアからの影響を避けられている
- その結果、日本のオゾンは春季に最高濃度となる

アジアのオゾンが日本へ及ぼす影響

4月におけるオゾンの平均分布

うち東アジア起源のオゾン



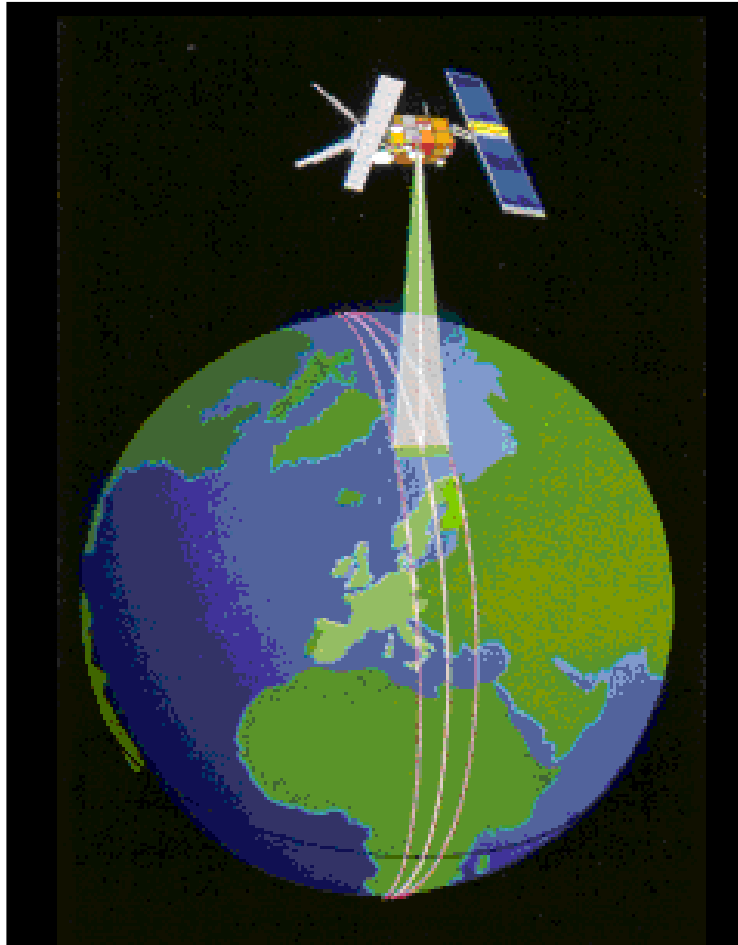
- 本州では約10~20%が東アジア起源である
- 都市以外での環境基準超過に影響している

Tanimoto et al. (2005)

本日お話ししたいこと

1. 対流圏オゾンとは・・・2つの環境影響
2. オゾンの挙動を探る・・・野外観測による実態把握
3. オゾンの起源を探る・・・最先端モデルによる解析
4. **地球規模で広がるオゾン汚染・・・宇宙からの監視**
5. 将来のオゾン予測・・・アジアの経済発展の影響

宇宙から対流圏オゾンを測ることが可能 になってきた



NASA EOS/Aura 人工衛星
OMI (Ozone Monitoring Instrument) センサー

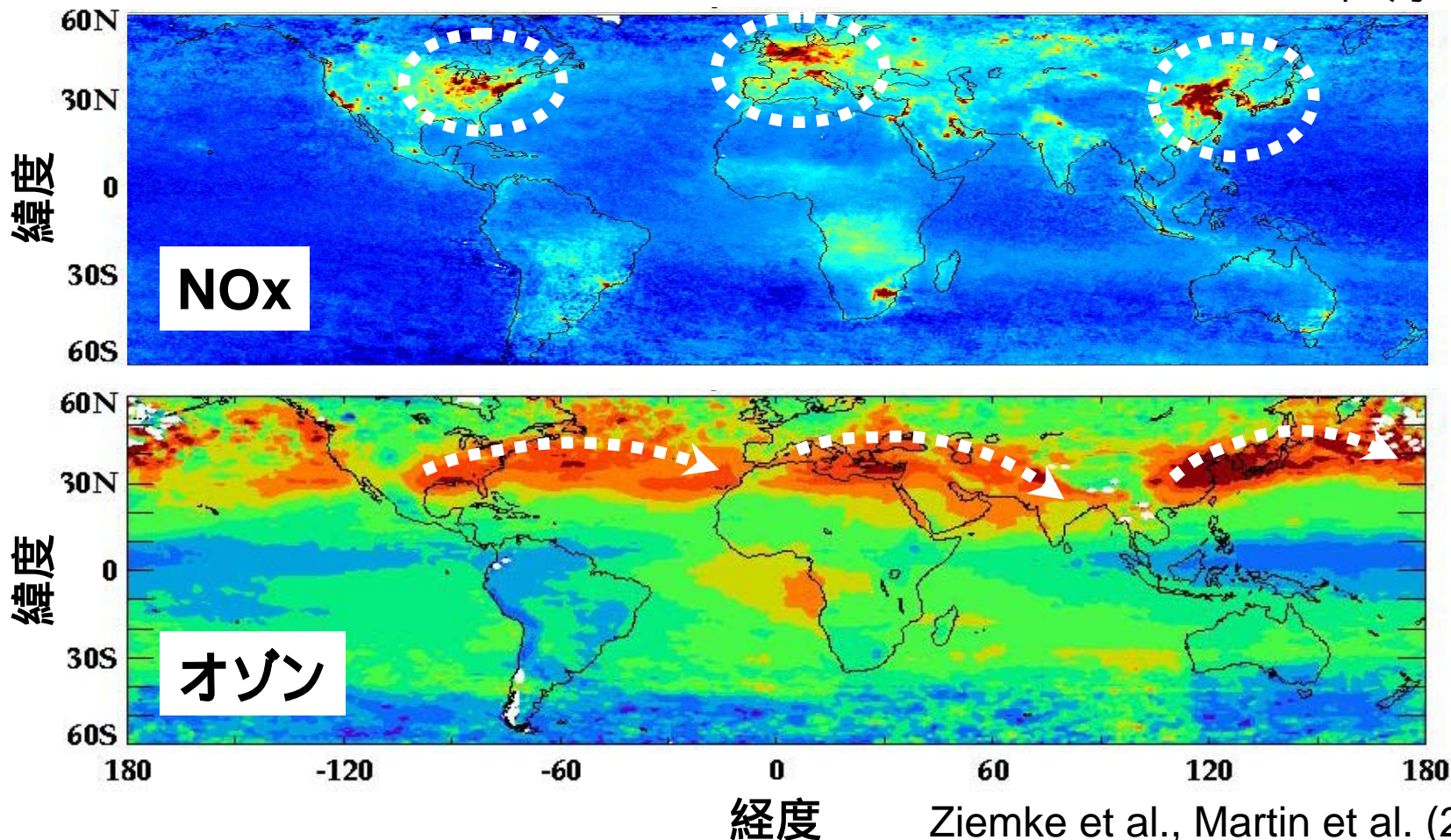
- 2004年7月15日に打ち上げられた
- 真下を見下ろして一日で地球を一周する
- 13 km x 25 km の空間分解能
- オゾン、二酸化窒素、二酸化硫黄、
エアロゾル(ダスト、煙、硫酸エアロゾル)

<http://aura.gsfc.nasa.gov/instruments/omi/index.html>

地球規模で詳細な実態把握が可能になってきた

地球規模で広がる対流圏オゾン汚染

2005年6月



- 北米・欧州・アジアにオゾン原因物質の大きな排出源がある
- オゾンは偏西風によって大陸間を西から東へ運ばれる

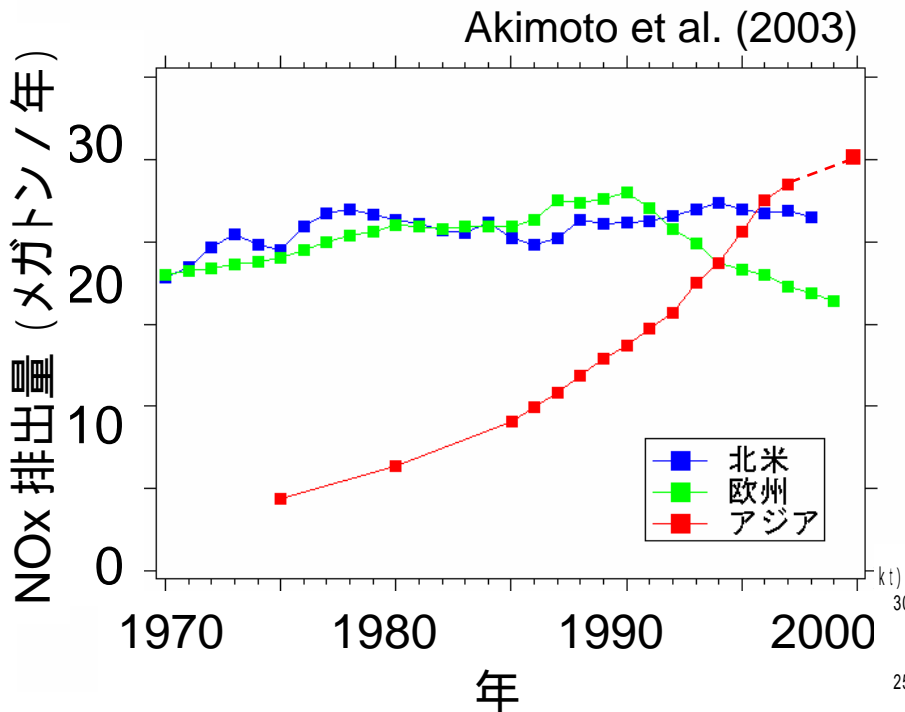
ここまでのまとめ

- 過去100年の間に、対流圏オゾンは地球規模で増加し続けている
- 対流圏オゾンは国境を越えて、アジアから日本へ、アジアからアメリカへ、と大陸内・大陸間を運ばれる
- 主な原因は、工業化で原因物質の排出が増加したためである
- 今後、アジアにおける人口増加・経済発展が及ぼす影響が懸念される

本日お話ししたいこと

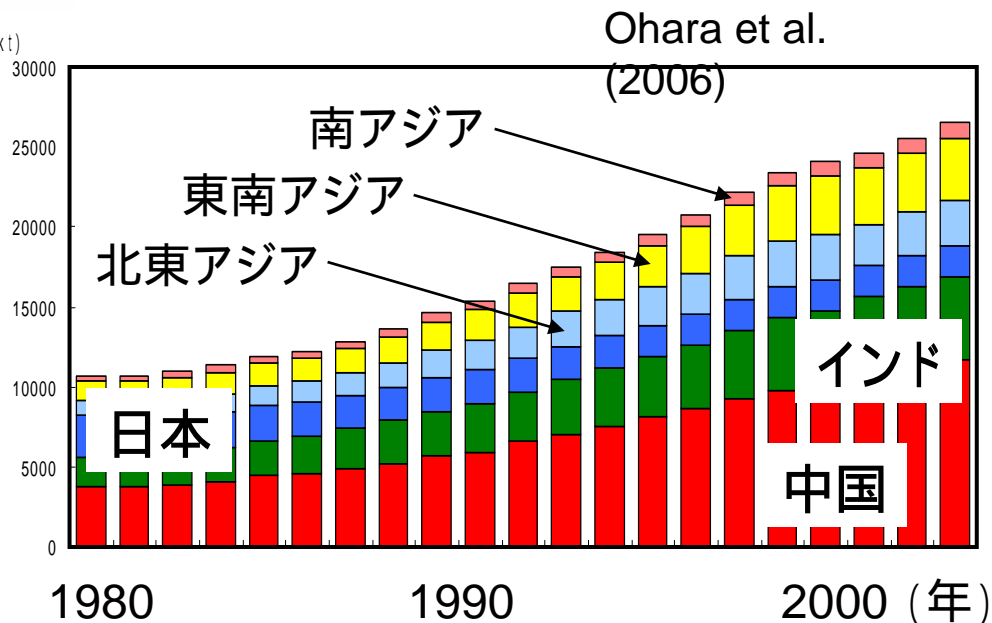
1. 対流圏オゾンとは・・・2つの環境影響
2. オゾンの挙動を探る・・・野外観測による実態把握
3. オゾンの起源を探る・・・最先端モデルによる解析
4. 地球規模で広がるオゾン汚染・・・宇宙からの監視
5. 将来のオゾン予測・・・アジアの経済発展の影響

過去のアジアにおけるNOx排出の推移



NOx(窒素酸化物)・・・オゾン原因物質
化石燃料等の燃焼で大気に放出される

- 過去20年間で2.5倍もの増加
- 中国50%・インド20%・日本5%
- 火力発電所と自動車排ガス
(エネルギー需要と自動車の増加)
- 今後も続く？



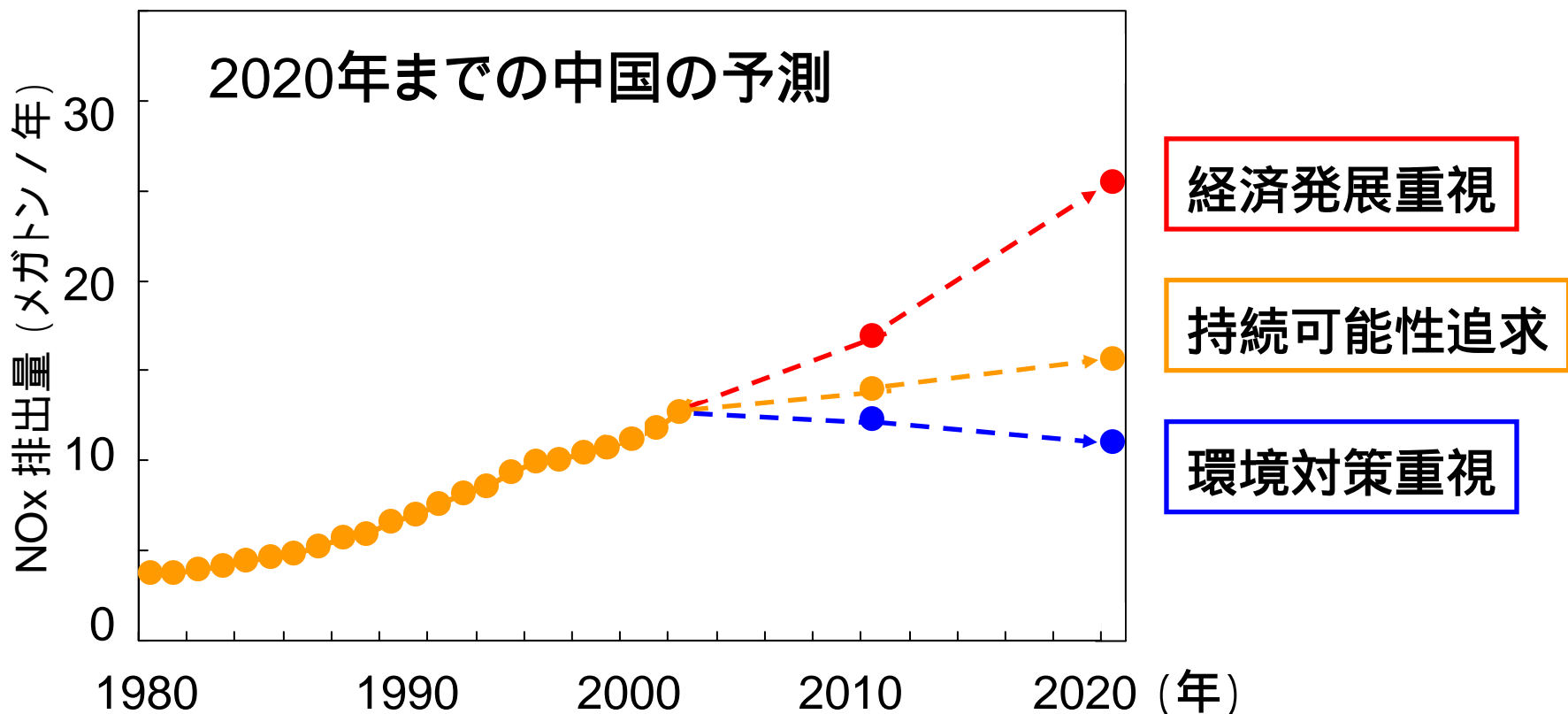
将来のアジアにおける環境・経済の変化

三種類の将来排出シナリオ

想定要素	経済発展重視	持続可能性追求	環境対策重視
エネルギー需要	高い	中程度	低い
排出対策	現状水準	達成可能性が高いもの	最大限

- 今後、アジアにおける社会経済活動は発展する
- エネルギー転換と排出規制による環境対策をいつ、どこまで導入できるかが重要になる

将来のアジアにおけるNOx排出の予測



- 今後のアジアからの排出量には不確実性が非常に大きい
- 革新的な技術開発や思い切った環境対策が導入されない限り、「持続可能性追求」型で推移する可能性が高い

(国立環境研究所・海洋開発研究機構・総合地球環境学研究所の共同開発)

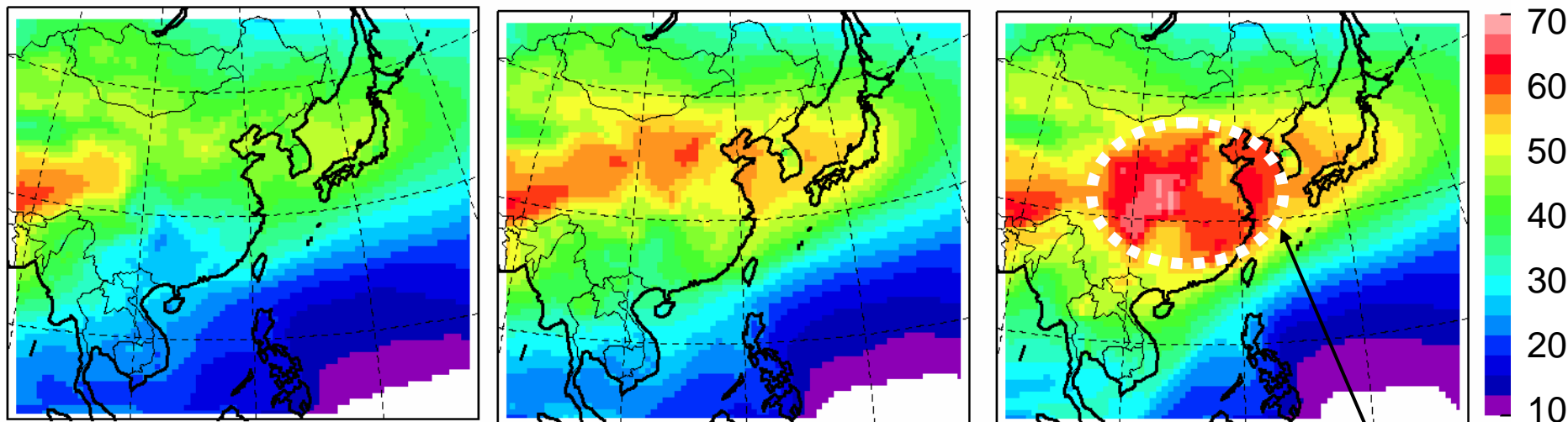
将来のアジアにおけるオゾンの予測

アジアにおけるオゾンの年平均分布

1985

2000

2020 (持続可能性)



中国で~10 ppb 増加
日本で~5 ppb 増加

中国で~7 ppb 増加
日本で~5 ppb 増加

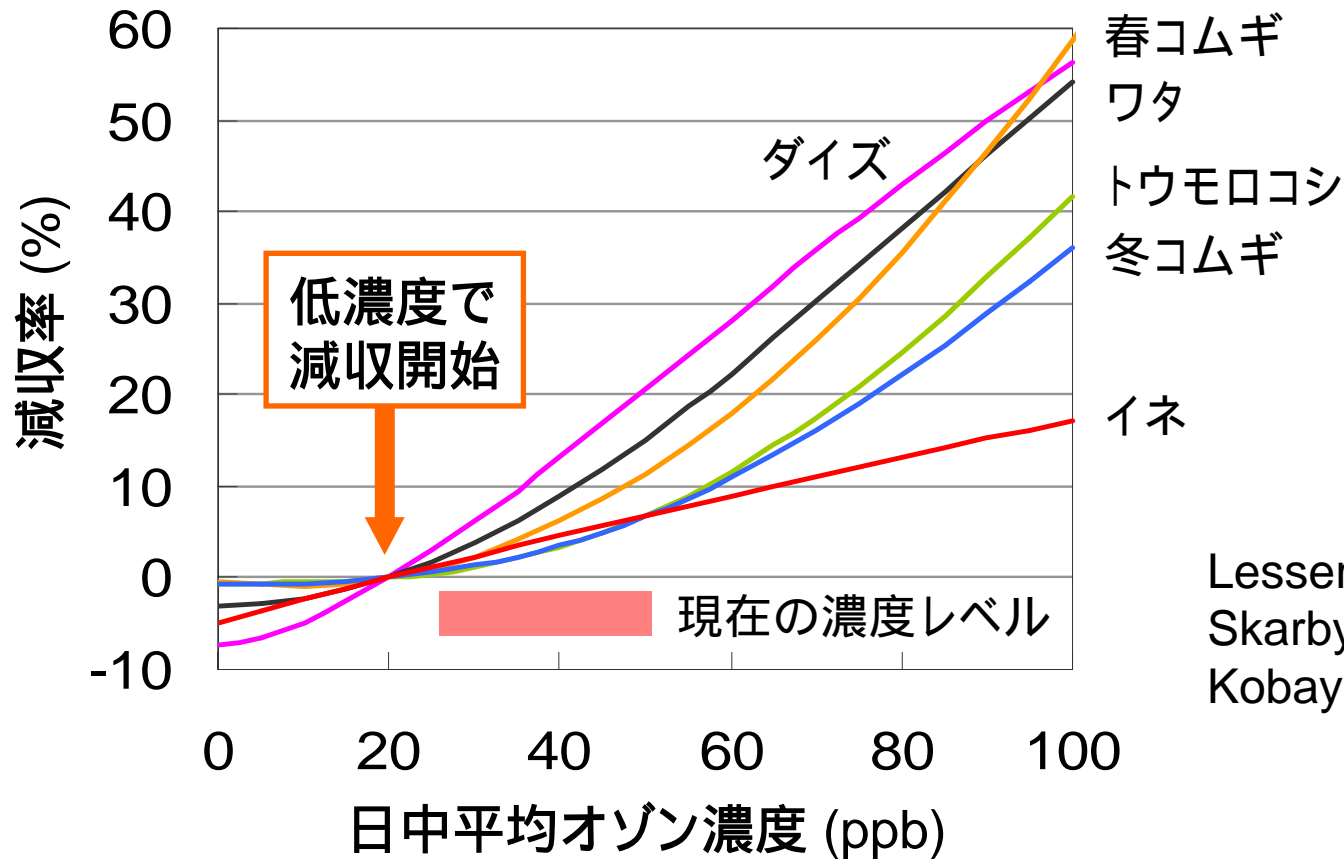
>60 ppb

2020年に東アジア地域でNO_x排出量が~36%増加したとすると

- 中国東部では年平均オゾンが60 ppbに達する
- 夏季には平均で~80 ppbにも及ぶ可能性がある Yamaji et al. (2006)

オゾンが植物・農作物に及ぼすストレス

オゾン濃度と農作物減収率の関係

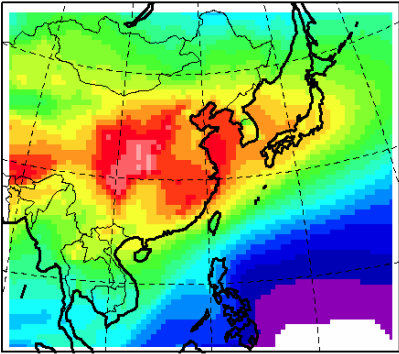


Lesser et al. (1990)
Skarby et al. (1993)
Kobayashi et al. (1995)

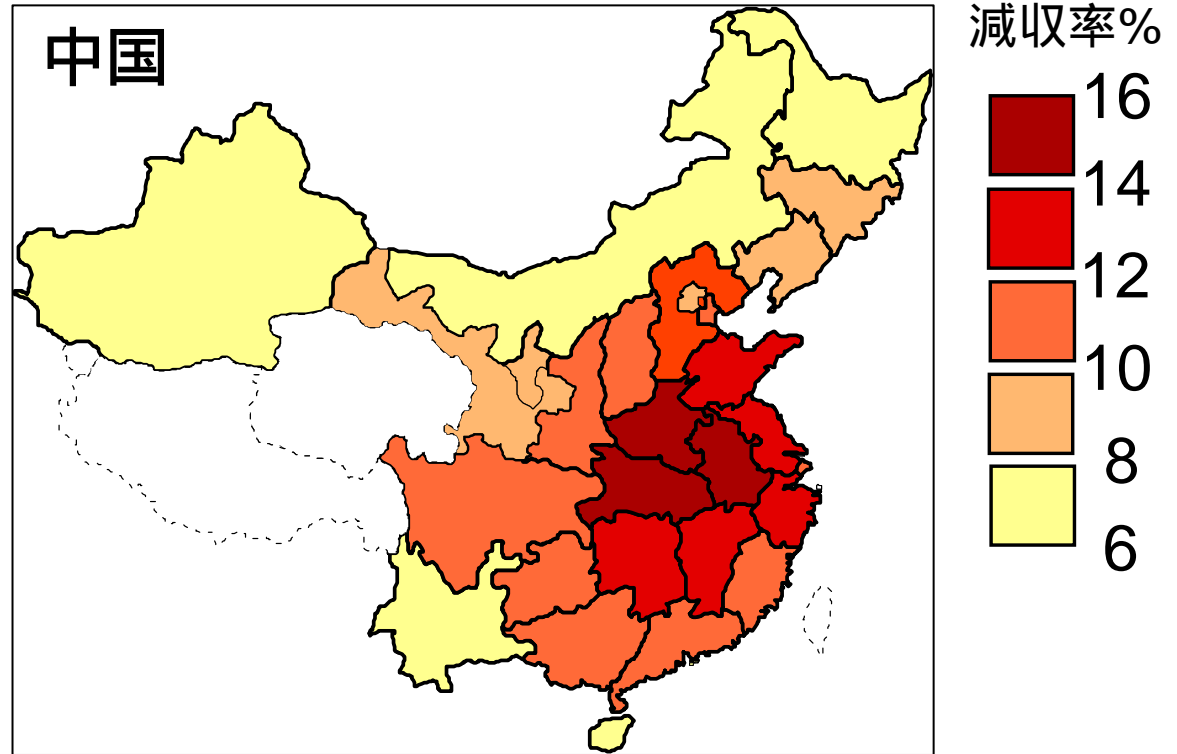
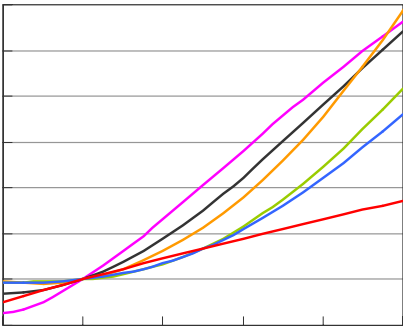
- 比較的低濃度でも長期間曝露されると影響を受ける
- 現在の濃度レベルでも有意な影響がある

2020年に予測されるオゾンによるコメの 収量の減少

オゾン濃度予測



オゾンストレス曲線



東京大学 小林和彦教授 (2003)

- オゾン上昇地域が世界最大の穀倉地帯と重なる→大きな農作物減収
- 中国・インドの人口増加→アジアの食料安全保障にも大きく影響する

今後の研究：将来の不確実性を減らす ために



今後の研究：将来の不確実性を減らすために

地球温暖化からの影響

- 気候・降水量の変化
 - 森林火災の頻発化
 - オゾン原因物質の放出増加



オゾンの
地球規模
大気汚染

相互に影響しあう

地球温暖化への影響

- オゾンによる光合成の低下
 - 森林によるCO₂吸収の減少
 - CO₂による温暖化の促進

CO₂による
温暖化・気候
変動

CO₂



まとめ

- 対流圏オゾン濃度は地球規模で増加しており、オゾン汚染が地球環境問題として再び顕在化してきた。
- アジアからのオゾンの原因物質 (NO_x, VOC) 排出が急激に増加しており、国境を越えて日本も影響を受けている。
- 将来的に、オゾン増加による農作物の減収で日本・アジアや世界の食料生産が大きく変化する可能性がある。
- アジア・地球規模で対流圏オゾンを削減するために、新たな視点と体制で各国が協力して対策に取り組む必要がある。