

2021/7/24

# 第80回八丈島大学講座

## 大気が関係する環境問題

東京都立大学 都市環境学部 環境応用化学科  
准教授 加藤俊吾

### 自己紹介

出身：神奈川県藤沢市

研究：大気化学、分析化学  
大気汚染改善のための大気微量成分の観測

趣味：トライアスロン、マラソン、山登り



### 認定NPO法人 富士山測候所を活用する会 理事



<https://npofuji3776.org/>

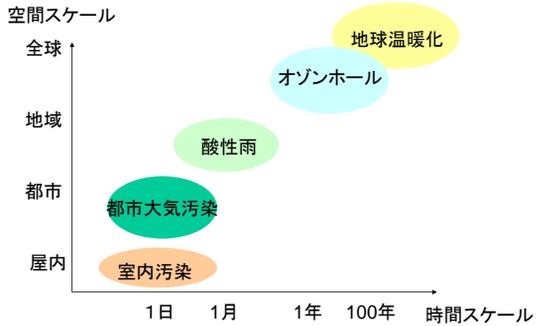
npo fuji



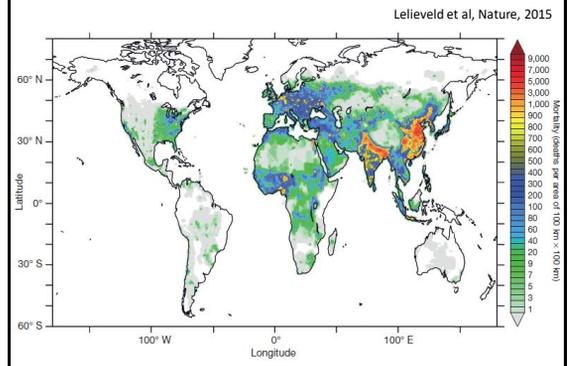
### 本日の内容

- (1) 微小粒子状物質 (PM2.5)
- (2) 光化学オキシダント (光化学スモッグ)
- (3) 成層圏オゾン (オゾンホール)

### 大気環境問題の時間・空間スケール



### 大気汚染(O<sub>3</sub>とPM2.5)による死者数 2010年



Top15 countries mortality linked air pollution in 2010

Lelieveld et al, Nature, 2015

Table 2. Top 15 ranked countries of premature mortality linked to outdoor air pollution in 2010

Country	Deaths ( $\times 10^3$ )	Residential energy	Agriculture	Natural	Power generation	Industry	Biomass burning	Land traffic
China	1,357	32 (76)	29 (7)	2 (2)	11 (1)	11 (1)	0 (0)	0 (0)
India	645	59 (77)	6 (1)	13 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Pakistan	111	31 (67)	2 (1)	57 (23)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Bangladesh	92	55 (76)	10 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Nigeria	89	14 (31)	1 (0)	77 (52)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Russia	67	7 (18)	43 (26)	1 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
USA	55	6 (12)	29 (17)	2 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Indonesia	52	60 (64)	2 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Ukraine	51	6 (13)	52 (32)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Vietnam	44	91 (74)	12 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Egypt	35	1 (2)	3 (3)	92 (88)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Germany	34	8 (17)	45 (26)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Turkey	32	9 (20)	29 (19)	15 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Iran	26	1 (3)	6 (6)	83 (75)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Japan	25	12 (29)	38 (23)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
World	3,297	31 (59)	20 (7)	18 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

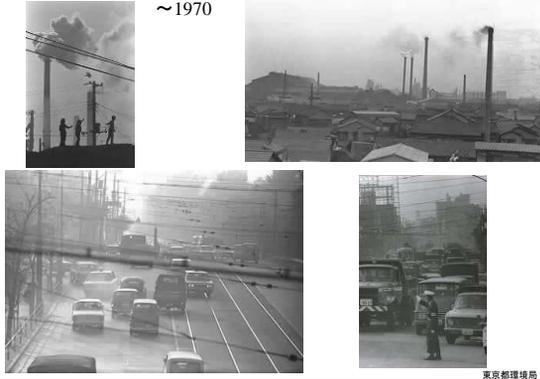
Columns 2-9 show contributions (%) of the main air-pollution source categories, the leading one in bold. For details and a full table of countries, see the Supplementary Information. The number of deaths is shown in parentheses next to the percentage contribution.

25000

- 1) 浮遊粒子状物質 (SPM)  
微小粒子状物質 (PM2.5)

東京の大気汚染

~1970



東京都理研局

大気汚染に係る環境基準

1970年代

二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>) : 1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり、かつ、1時間値が0.1ppm以下であること。

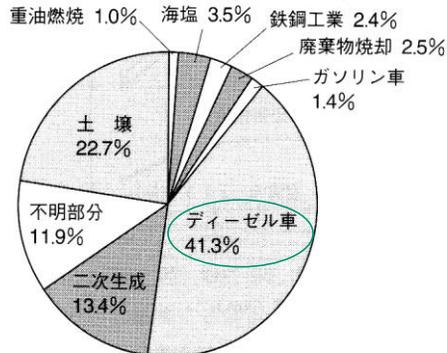
一酸化炭素(CO) : 1時間値の1日平均値が10ppm以下であり、かつ、1時間値の8時間平均値が20ppm以下であること。

浮遊粒子状物質 (SPM) : 1時間値の1日平均値が0.10mg/m<sup>3</sup>以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m<sup>3</sup>以下であること。

二酸化窒素(NO<sub>2</sub>) : 1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること。

光化学オキシダント(O<sub>x</sub>) : 1時間値が0.06ppm以下であること。

以前の東京都での浮遊粒子状物質の各発生源からの寄与率



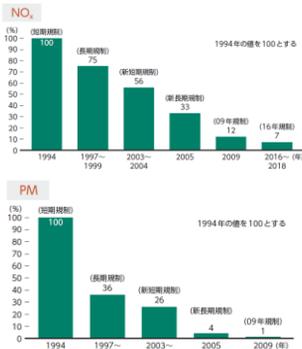
浮遊粒子状物質 SPM



1999年11月30日 画像提供:東京都

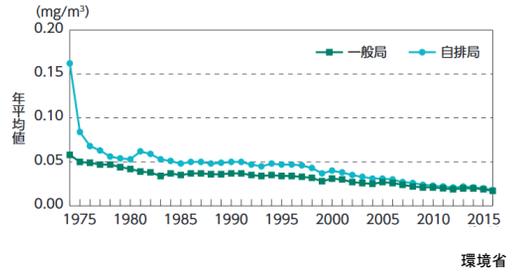
都市大気中では移動発生源からの「すす」などが中心  
ディーゼル車規制 → 改善

ディーゼル重量車規制強化の推移



環境省

浮遊粒子状物質濃度 SPM の年平均値の推移

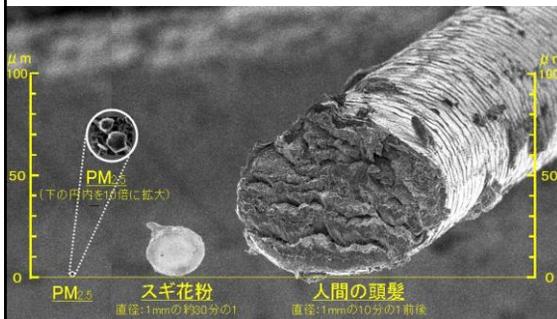


環境省

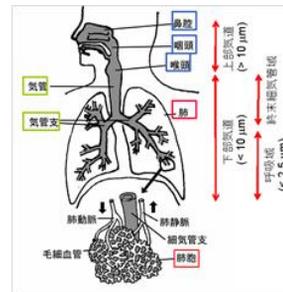
浮遊粒子状物質は順調に減少している

環境基準達成率ほぼ100%

微小粒子状物質 PM2.5

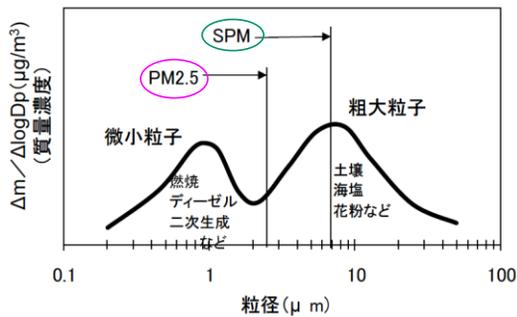


東京都提供



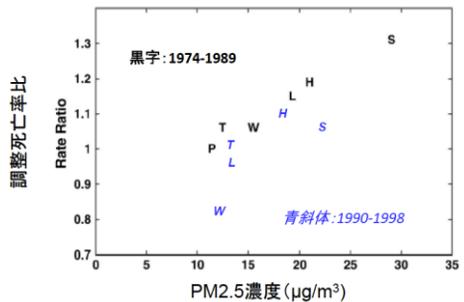
国立環境研究所

粒子サイズの比較



ハーバード6都市研究

1993



15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える都市では全死亡リスクが上昇

PM2.5の健康被害

個人の健康への作用として日常的に臨床の場で観察されるものではない

比較的小さな相対リスクが幅広い地域において疫学的に観察されるもの

PM2.5濃度が長期にわたり相対的に高い都市では、呼吸器や循環器が原因の死亡が増加する。

大気汚染に係る環境基準

1970年代

二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>) : 1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり、かつ、1時間値が0.1ppm以下であること。

一酸化炭素(CO) : 1時間値の1日平均値が10ppm以下であり、かつ、1時間値の8時間平均値が20ppm以下であること。

浮遊粒子状物質 (SPM) : 1時間値の1日平均値が0.10mg/m<sup>3</sup>以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m<sup>3</sup>以下であること。

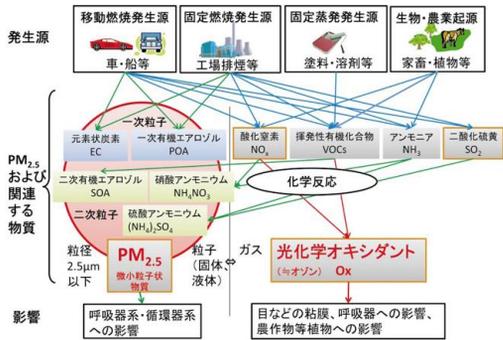
二酸化窒素(NO<sub>x</sub>) : 1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること。

光化学オキシダント(O<sub>x</sub>) : 1時間値が0.06ppm以下であること。

2009年から

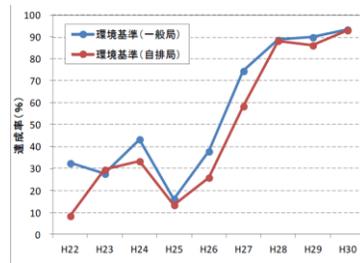
微小粒子状物質 (PM2.5) : 1年平均値が15μg/m<sup>3</sup>以下であり、かつ、1日平均値が35μg/m<sup>3</sup>以下であること。

PM2.5と関連物質の関係



国立環境研究所

PM2.5の環境基準達成状況の推移



両方を達成する必要あり  
長期(年平均) 15μg/m<sup>3</sup>  
短期(日平均) 35μg/m<sup>3</sup>

2018年度の達成率  
一般局 93.5%  
自排局 93.1%

環境省

北京のPM2.5の観測値(1年間)

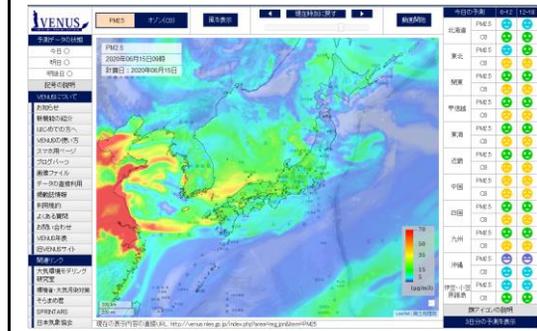
環境省



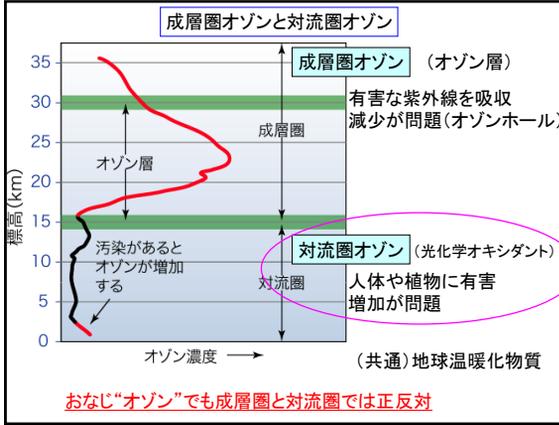
日本の環境基準

国立環境研究所 VENUS

<http://venus.nies.go.jp/>







### オゾンによる人体への影響

項目	オゾン濃度(ppm)
大気濃度	0.03程度
臭いはじめる濃度	0.08程度
環境基準	0.06
作業環境での許容濃度	0.1
光化学オキシダント注意報	0.12
光化学オキシダント警報	0.24
3-6時間で視力低下	0.2 - 0.5
麻酔症状の発症	5 - 10
一時間以内で生命に危機	50

今日の話では  
対流圏オゾン、光化学オキシダント、オキシダント、オゾン、O<sub>3</sub>  
は同じものとして使います。

### 大気汚染に係る環境基準

**1970年代**

- 二酸化いおう(SO<sub>2</sub>) : 1時間値の1日平均値が0.04ppm以下であり、かつ、1時間値が0.1ppm以下であること。
- 一酸化炭素(CO) : 1時間値の1日平均値が10ppm以下であり、かつ、1時間値の8時間平均値が20ppm以下であること。
- 浮遊粒子状物質(SPM) : 1時間値の1日平均値が0.10mg/m<sup>3</sup>以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m<sup>3</sup>以下であること。
- 二酸化窒素(NO<sub>2</sub>) : 1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下であること。
- 光化学オキシダント(O<sub>x</sub>) : 1時間値が0.06ppm以下であること。

**2009年から**

- 微小粒子状物質(PM<sub>2.5</sub>) : 1年平均値が15μg/m<sup>3</sup>以下であり、かつ、1日平均値が35μg/m<sup>3</sup>以下であること。

そらまめ君 **そらまめくん** SORAMAMEKUN

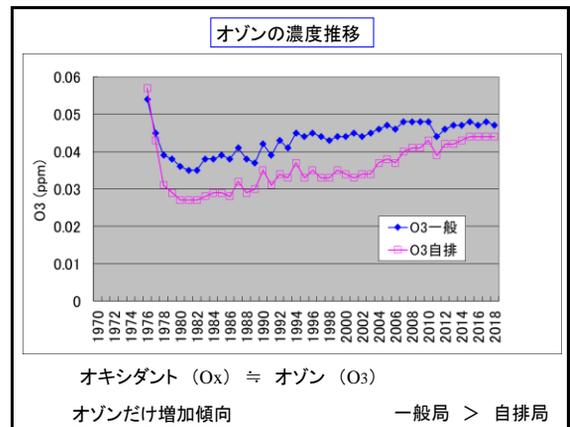
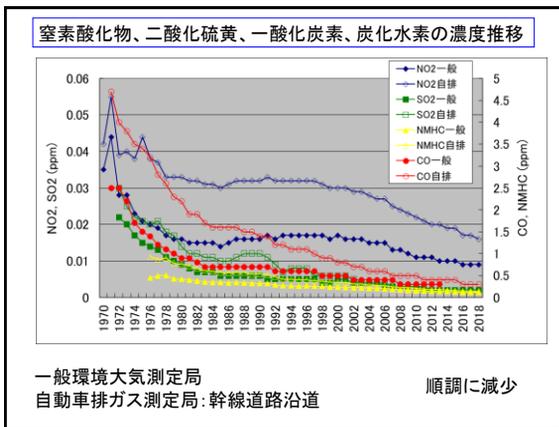
ホーム

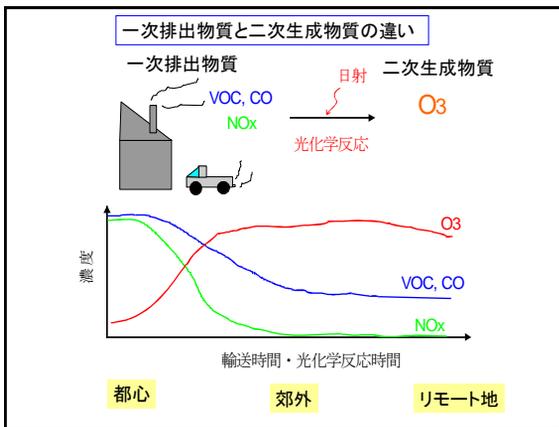
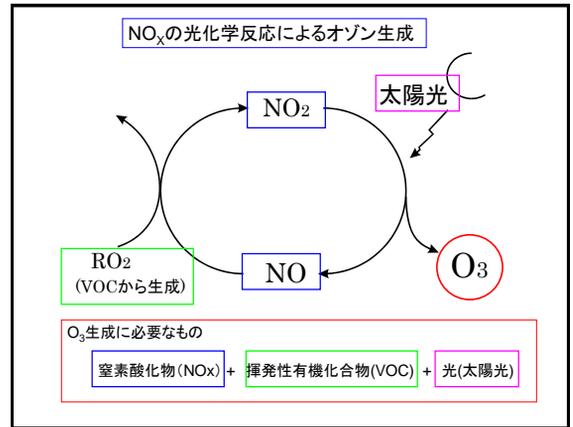
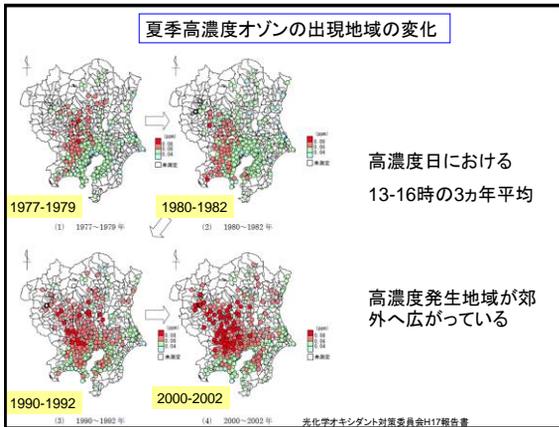
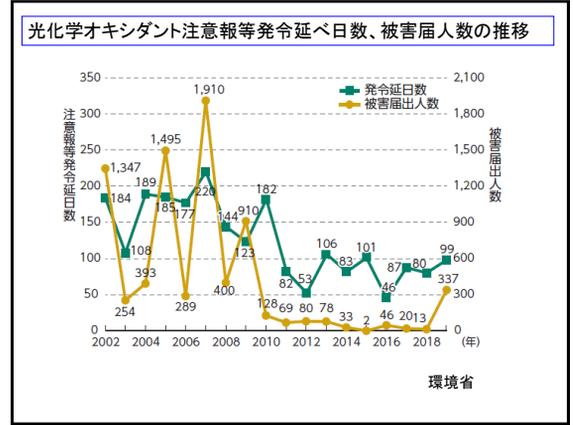
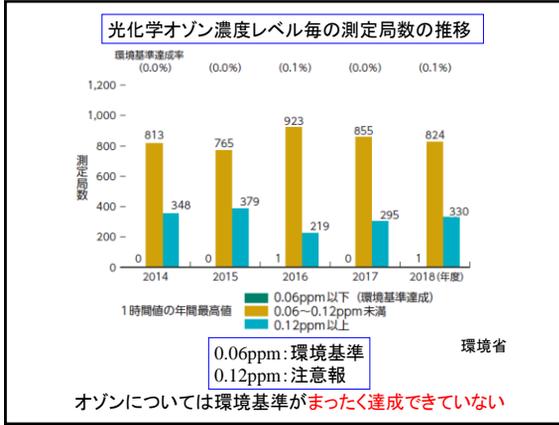
<https://soramame.env.go.jp/>

光化学オキシダント(O<sub>x</sub>)

- 測定値なし
- 0.000~0.020(ppm)
- 0.021~0.040(ppm)
- 0.041~0.060(ppm)
- 0.061~0.119(ppm)
- 0.120~0.239(ppm)
- 0.240~(ppm)

測定局 > 測定局 > 測定局 > 測定局 > 測定局 > 測定局 >



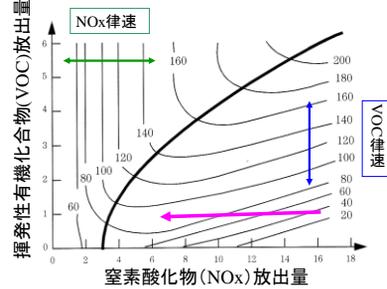


なぜオゾンだけ増加傾向になっているのか？

- ・ O<sub>3</sub>が生成しやすい化学反応の条件になっている  
窒素酸化物／揮発性有機化合物 比 (NO<sub>x</sub> / VOC 比)
- ・ バックグラウンドのO<sub>3</sub>濃度が上昇している
- ・ 道路の沿道でO<sub>3</sub>消失反応 (O<sub>3</sub> + NO → NO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>)  
車の排気ガスからの窒素酸化物はNOの形で排出

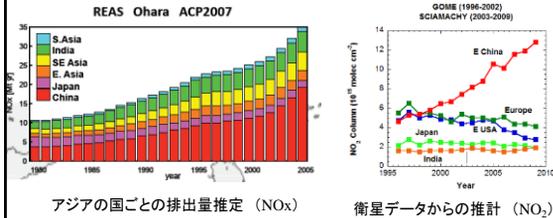
NO<sub>x</sub>/VOC変化によるO<sub>3</sub>生成変化

NO<sub>x</sub>, VOC放出量から計算されたオゾン



濃度削減の状況によってはオゾンはむしろ増加してしまう

アジア地域からの大気汚染物質排出増加

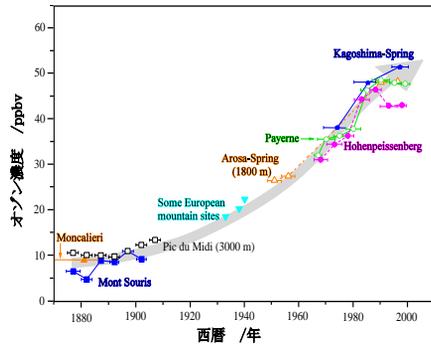


アジアの国ごとの排出量推定 (NO<sub>x</sub>)

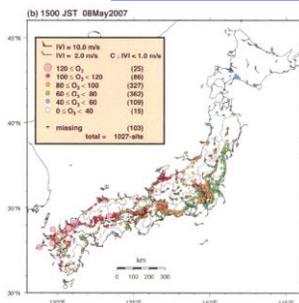
衛星データからの推計 (NO<sub>2</sub>)

アジア地域からの大気汚染物質の大きな増加傾向

清浄地域でのオゾン濃度の増加傾向



高濃度オゾンの長距離輸送イベント



大気汚染物質広域監視システム

O<sub>3</sub>測定濃度

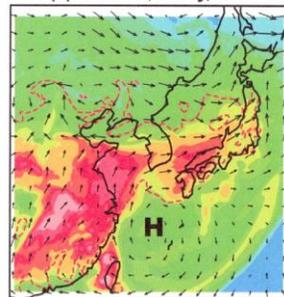
光化学オキシダント注意違法  
O<sub>3</sub> > 120 ppb

Ohara et al., 2008

2007年5月：九州などで初めて光化学オキシダント注意報が発令  
O<sub>3</sub>の長距離輸送が原因

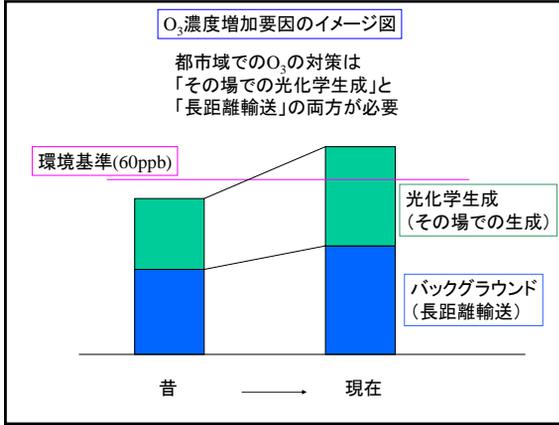
高濃度オゾンの長距離輸送イベント

(b) 1500JST, 8 May, 2007

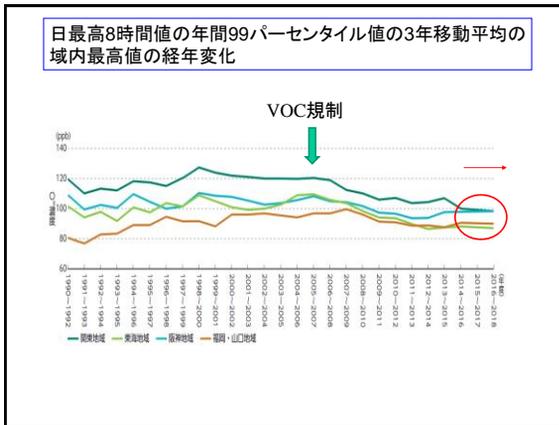
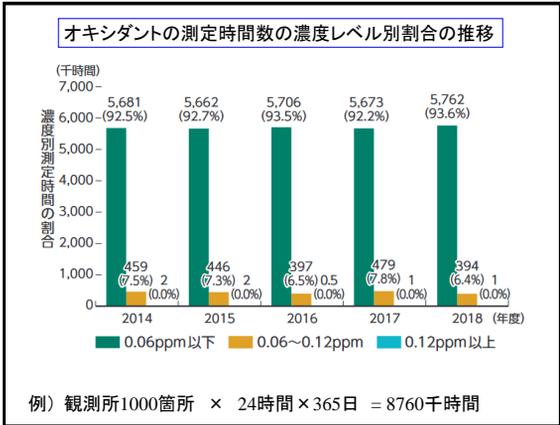
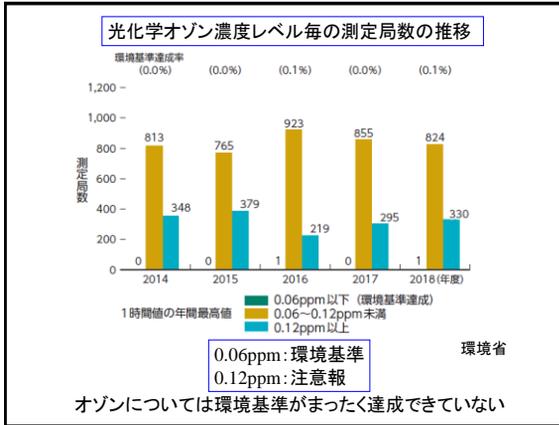


Ohara et al., 2008

化学物質輸送モデルCMAQでのO<sub>3</sub>濃度計算値

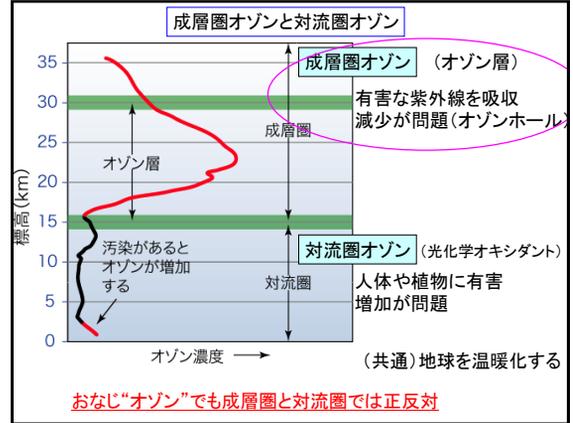


オキシダントの環境基準の見直し？

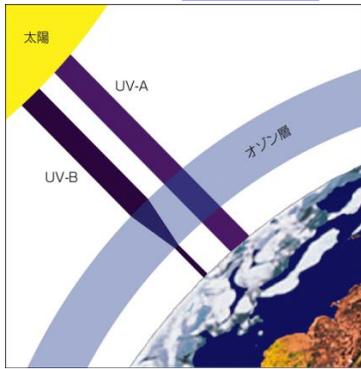


- ### 光化学オキシダントのまとめ
- ・光化学オキシダントだけ環境基準がまったく達成できていない
  - ・オゾンのその場での生成と越境輸送の両方から対策すべき
  - ・オゾンの環境基準(評価方法)は見直すべき？

3) 成層圏オゾン(オゾンホール)

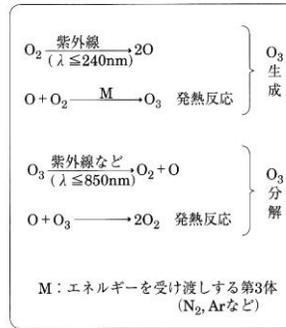


オゾン層の役割

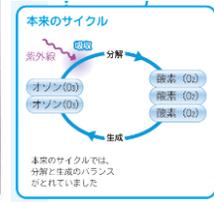


紫外線の吸収  
大気の熱構造  
地球温暖化

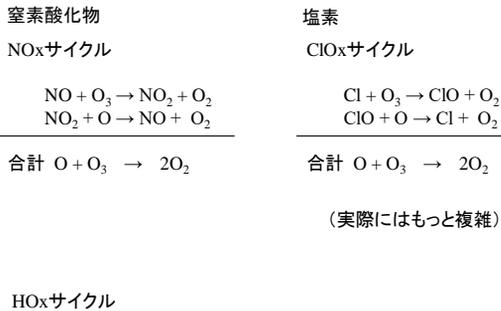
純酸素モデル(チャップマン機構)



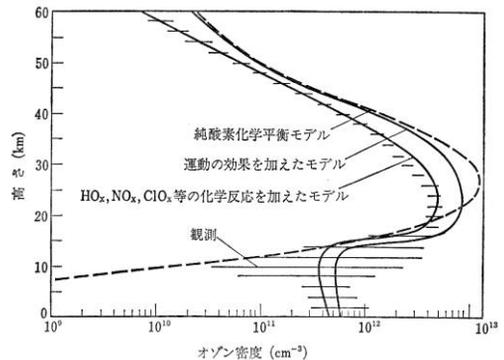
Oと紫外線だけを考慮  
成層圏での基本的な状況



微量成分(NOx、ClOx)によるオゾンの分解



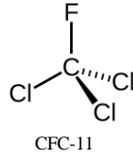
純酸素モデルに他の影響を加えた場合



フロンガス

フロンガス（日本での通称）

完全に人間が作った安全で機能性に優れた物質



とても素晴らしい特性

- ・無色透明、無臭
- ・化学的にきわめて反応しにくい
- ・腐食性がない
- ・熱に対して安定で分解しにくい。燃えない、引火・爆発もない
- ・無毒
- ・揮発性で気化しやすい
- ・加圧によって液化しやすい
- ・表面張力が小さい

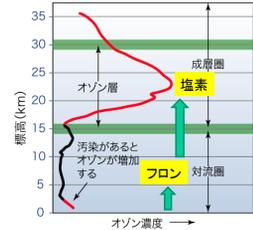
フロンガス

・多量に利用して放出されるようになった。

・安定なので対流圏で分解されない。  
→ 成層圏に輸送され、分解される。

・成層圏に 塩素が供給される。

→ オゾン層を壊すかも？



フロンの規制

1972年 SSTIによる成層圏オゾン破壊の可能性検討

1974年 フロンによる成層圏オゾン破壊の可能性指摘 (Molina, Rowland 後にノーベル化学賞受賞)

1977年 オレゴン州 フロンを使用した噴霧器使用禁止

1978-79年 カリフォルニア・テキサス州 段階的に規制を実施

オゾンホールの発見

J.C. Farman (イギリス)

1980-84年の10月の観測値が小さい 南極ハーレー・ベイ基地

1985年 Natureに発表

フロンからの塩素生成増加が南極総オゾン量の減少に関係

letters to nature

Nature 315, 207-210 (16 May 1985), doi:10.1038/315207a0

Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO<sub>x</sub>/NO<sub>x</sub> interaction

J. C. FARMAN, B. G. GARDNER & J. D. SHANKLIN

British Antarctic Survey, Natural Environment Research Council, High Cross, Madingley Road, Cambridge CB3 0ET, UK

Recent attempts<sup>1,2</sup> to consolidate assessments of the effect of human activities on stratospheric ozone (O<sub>3</sub>) using one-dimensional models for 50° N have suggested that perturbations of total O<sub>3</sub> will remain small for at least the next decade. Results from such models are often accepted by default as global estimates<sup>3</sup>. The inadequacy of this approach is here made evident by observations that the spring values of total O<sub>3</sub> in Antarctica have now fallen considerably. The circulation in the lower stratosphere is apparently unchanged, and possible chemical causes must be considered. We suggest that the very low temperatures which prevail from midwinter until several weeks after the spring equinox make the Antarctic stratosphere uniquely sensitive to growth of inorganic chlorine, Cl<sub>x</sub>, primarily by the effect of this growth on the NO<sub>2</sub>/NO rate. This, with the height distribution of UV irradiation parallel to the polar stratosphere, could account for the O<sub>3</sub> losses observed.

オゾンホールの発見

1982年 南極 昭和基地  
中鉢繁研究官(当時)  
9-10月 総オゾン量が減少

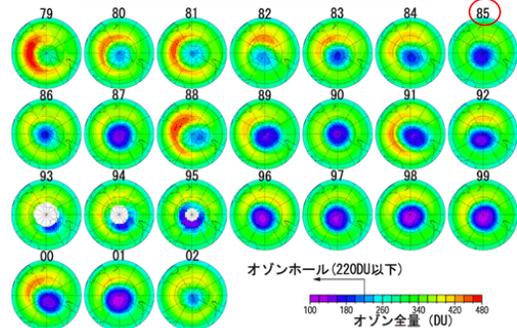
1983年 再観測 同様な減少

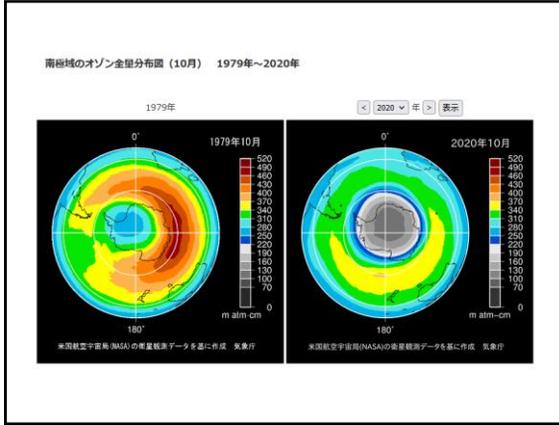
気象研究所 中鉢博士

1984年 国際学会で発表



南極上空のオゾン量(各年10月の月平均値)

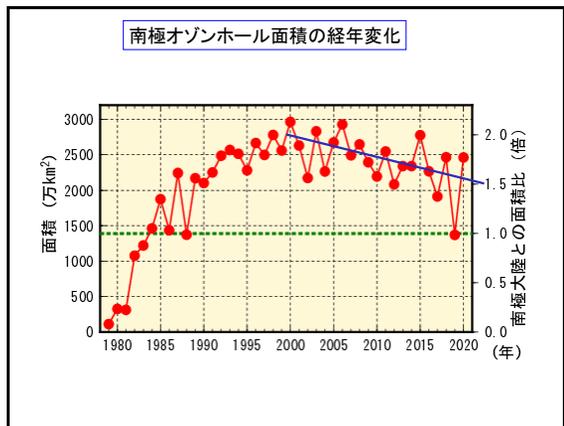
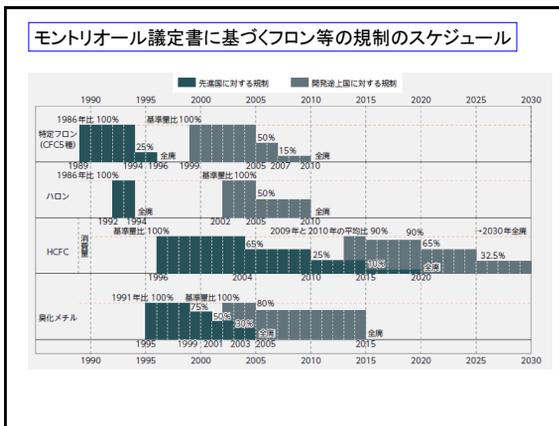
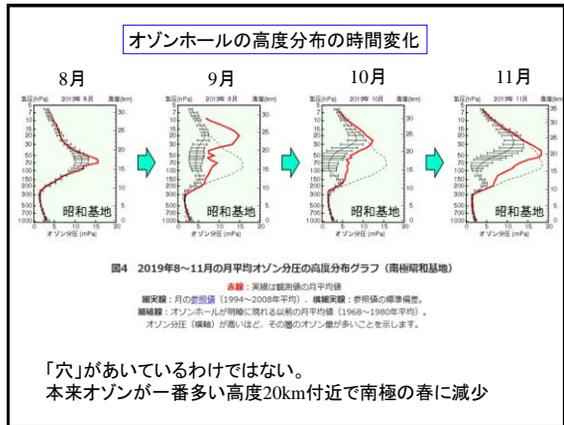
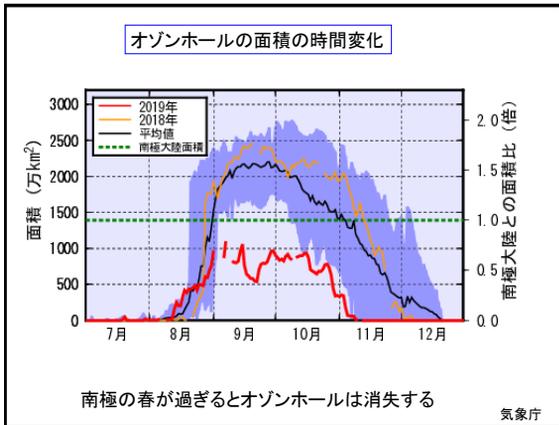


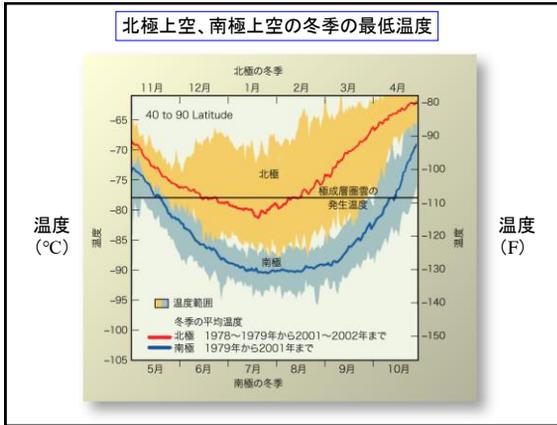


### オゾンホール生成メカニズム

なぜ南極の春にオゾンホールができるのか？

- ① とても寒いので、特殊な雲(極域成層圏雲)ができる
- ② 極域成層圏雲で光で分解しやすい塩素化合物ができる
- ③ 南極の冬で日射がないから塩素化合物が蓄積
- ④ 南極が春になり日射により塩素化合物が分解し塩素を生成
- ⑤ 南極のオゾン層が塩素により急激に分解される



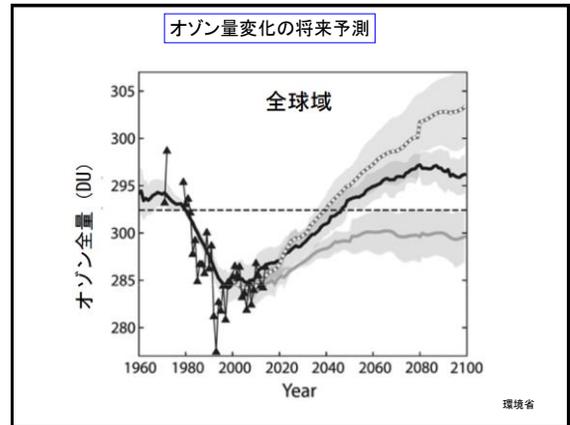
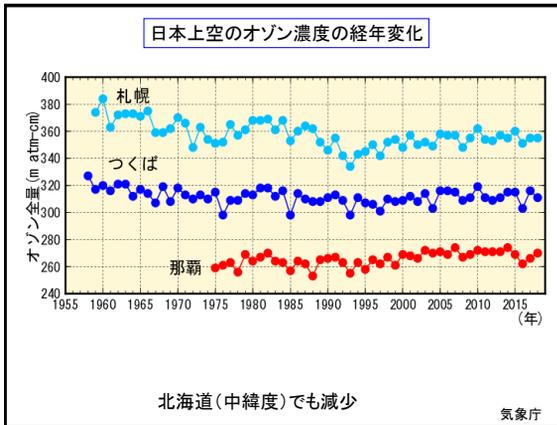


<https://www.cnn.co.jp/fringe/35152487.html>

**北極上空に異例のオゾンホール、記録的大きさに**

© 2020 SA 18. This poster at 10:00 JST

北極上空のオゾン濃度が平常から異常に低いことを見出し、それが原因のオゾンホールがNASA (CNN) 北極上空のオゾン層が破壊され、巨大なオゾンホールが出現する異例の現象が観測された。北極圏で観測されたオゾンホールとしては史上最大になる可能性もある。欧州宇宙機関を通じてドイツ航空宇宙センターが発表した。



### オゾンの将来予測

数値モデル予測によると、オゾン層の回復時期は南北両半球で異なり、南半球の回復は北半球に比べてやや遅れると予想されている。

オゾン全量が1960年(人為起源のオゾン層破壊物質による大規模なオゾン層破壊が起こる前)レベルまで回復する時期は、**北半球の中・高緯度域で2030年頃**、また**南半球中緯度(南緯35度～南緯60度)では2055年頃**と予測されている。一方、**南極域**の回復はほかの地域よりも遅く、1960年レベルに戻るの**は21世紀末**になると予測されている。

また数値モデル予測からは、オゾン層の回復には、温室効果ガスの増加による成層圏の低温化並びに気候変化に伴う大気循環の変化が影響を与えることが示唆されている。

環境省 平成30年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書

- ### オゾン層破壊についてのまとめ
- ・南極オゾンホールの第一発見者は日本人。
  - ・現在はフロンガス等の規制が適切に行われている。
  - ・オゾンホールは今世紀中に回復。
  - ・国際的な対策がうまくいった成功例

ご清聴ありがとうございました