

2-1303

将来の温暖化条件下でのフロン対策強化による オゾン層の脆弱性回避に関する研究(H25-27)

課題代表: 秋吉英治(国立環境研究所)

研究体制

秋吉英治(課題代表 国立環境研究所)

今村隆史(分担 国立環境研究所)

野沢徹 (研究協力者 岡山大学)

ポスドク(2名)、リサーチアシスタント(3名)、外注(富士通FIP)

PO

H25年度: 笹野泰弘、H26年度: 幸田清一郎、H27年度: 松本和馬

アドバイザー

高橋正明(東京大学大気海洋研究所・教授)

塩谷雅人(京都大学生存圏研究所・教授)

環境省

地球環境局地球温暖化対策課フロン対策室

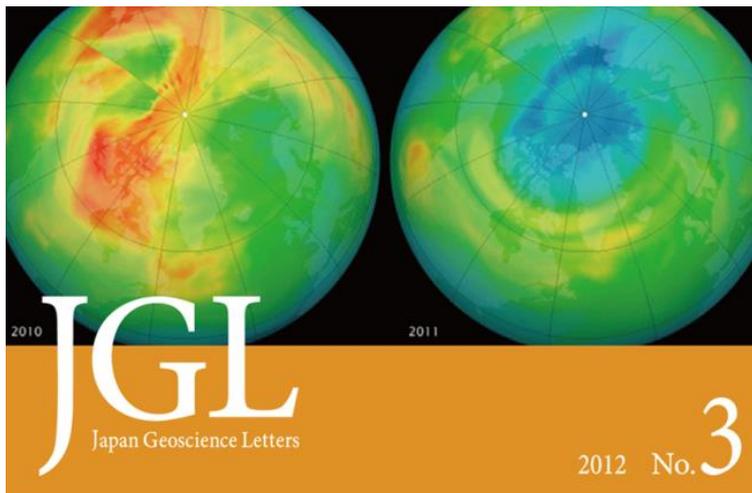
予算額 H25: 25,260千円; H26: 28,066千円; H27: 25,330千円 計: 78, 656 千円

研究の背景・目的

2010年と2011年の北極オゾン全量分布の比較

2010年

2011年



(地球惑星科学連合レターより)

ほぼ同じODS濃度とGHG濃度でも
オゾン破壊量が大きく異なる

北極で大規模オゾン破壊が起こる背景

① 高い濃度のCFC

+

② CO₂増加による極域成層圏の寒冷化

③ 極渦などの年々変動

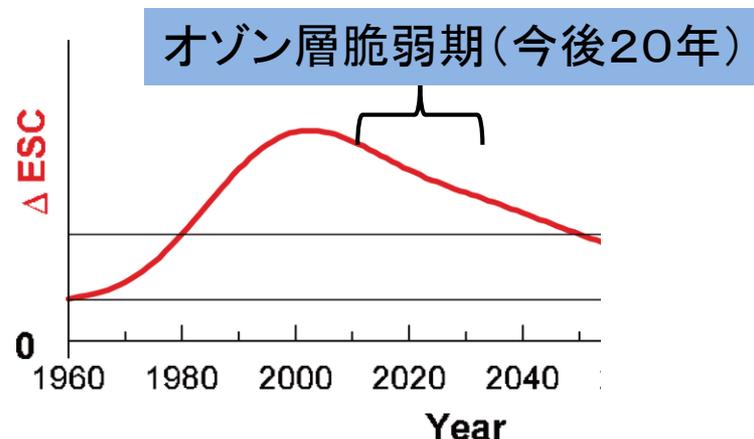
ハロゲンだけではなく、温暖化とも絡んだ問題。
対流圏大気の変化も関与

- ◆ オゾン量の監視
- ◆ フロン・ハロン濃度の監視
- ◆ ハロンバンク対策
- ◆ 温室効果ガス濃度の監視
- ◆ 温暖化対策との連携 (HCFC, HFCなど)

大規模オゾン破壊
リスク回避のため、
早急に対策を行う
必要あり

↑ 北極オゾン層変動の性質
に関する科学的知見

化学気候モデルを用いた数値実験
大規模オゾン破壊のODS, GHG濃度依存性



数値実験の方法

- ODS濃度とGHG濃度を固定して、100年間繰り返し計算を行う。
 - 1年間の季節変動のアンサンブルを100個作る

ODS濃度レベル

1960年
(Cl_y~0.87ppbv, Br_y~11ppbv)

1985年
(Cl_y~2.6ppbv, Br_y~13ppbv)

2000年
(Cl_y~3.3ppbv, Br_y~20.7pptv)

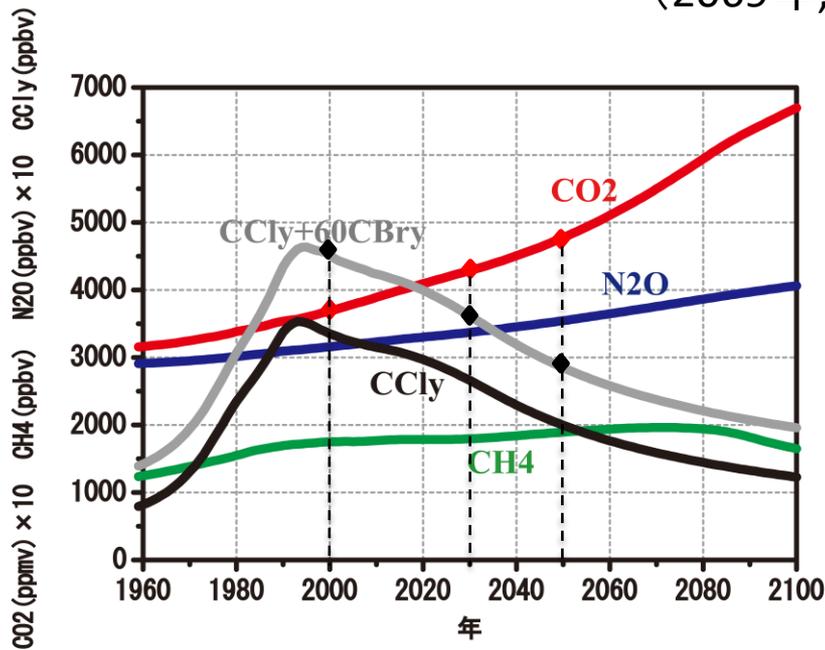
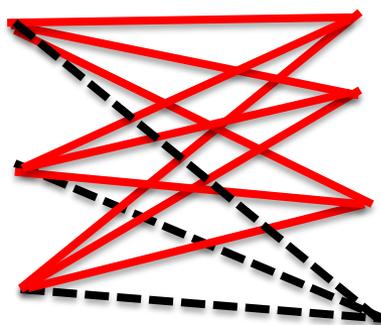
GHG濃度レベル

2000年(CO₂~369ppmv)

2030年(CO₂~429ppmv, RCP6.0)
(2024年, RCP8.5)

2050年(CO₂~478ppmv, RCP6.0)
(2037年, RCP8.5)

2100年(CO₂~670ppmv, RCP6.0)
(2069年, RCP8.5)



化学気候モデルの開発計画

大規模北極オゾン破壊の発生頻度の解析

気候特性の異なる化学気候モデルを複数使用
その結果から共通の傾向を見出す

- ① CCSR/NIES化学気候モデル
UNEP/WMOオゾンアセスメントレポート2006・2010に貢献
- ② MIROC3.2化学気候モデル
放射スペクトルの分割数が多く、気温の再現性が向上。
- ③ MIROC5化学気候モデル
海面水温の再現性が向上。積雲対流スキームと雲の微物理過程の改良。

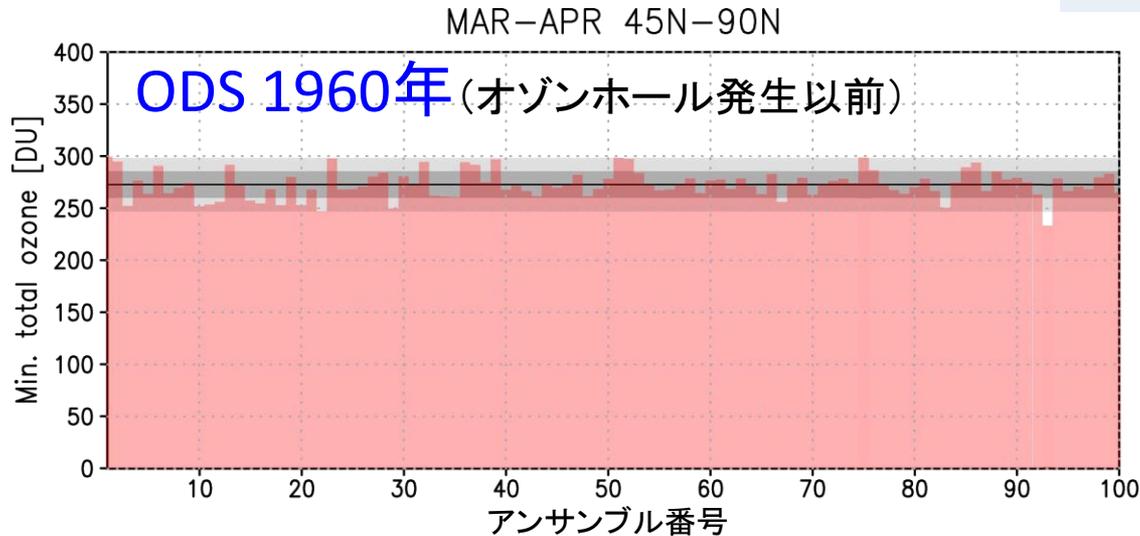
化学計算スキーム
は同一

化学気候モデルの開発・検証・計算解析スケジュール

	H25	H26	H27
① CCSR/NIES CCM	計算・解析		総合評価
② MIROC3.2 CCM	開発	検証・計算・解析	総合評価
③ MIROC5 CCM		開発	検証・計算・解析・総合評価

ODS濃度依存性ーオゾン全量最低値の年々変動

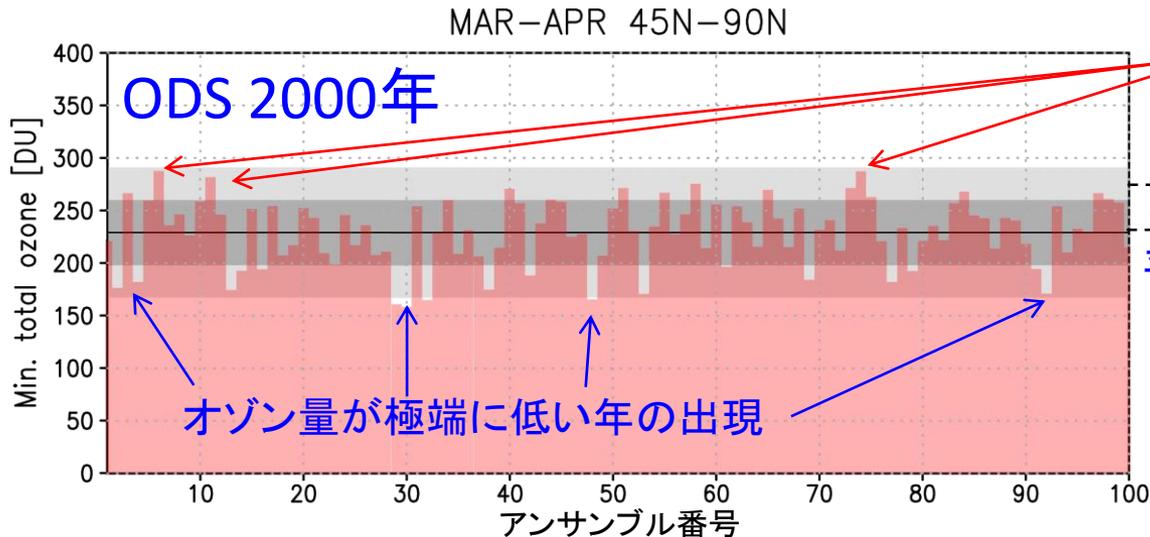
② MIROC3.2モデルの結果



対象期間: 3月-4月
対象領域: 45N-90N

ODS 1960年
GHG 2000年

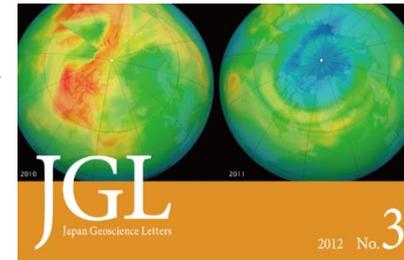
標準偏差: 12.9DU



ODS1960年と同様にオゾン量が多い年

↓
平均値の低下

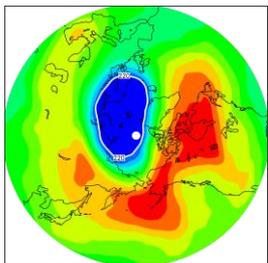
オゾン量が極端に低い年の出現



ODS 2000年
GHG 2000年

標準偏差: 31.0 DU

ODSの増加によって、北半球でオゾン量が極端に少ない年が出現



GHG濃度依存性— 220DU以下の面積の大きさと発生期間 (45N-90N) (100アンサンブル)

※GHG濃度の年代との対応はRCP6.0シナリオによる

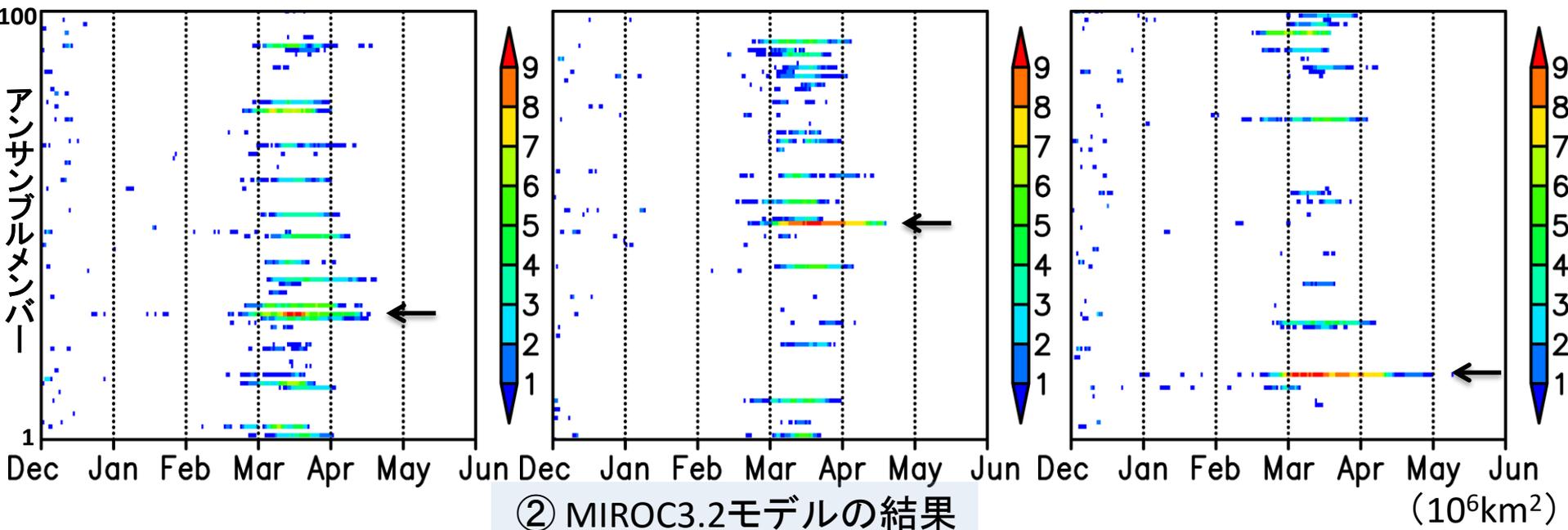
GHG濃度低

GHG濃度高

ODS 2000年
GHG 2000年

ODS 2000年
GHG 2030年

ODS 2000年
GHG 2050年



② MIROC3.2モデルの結果

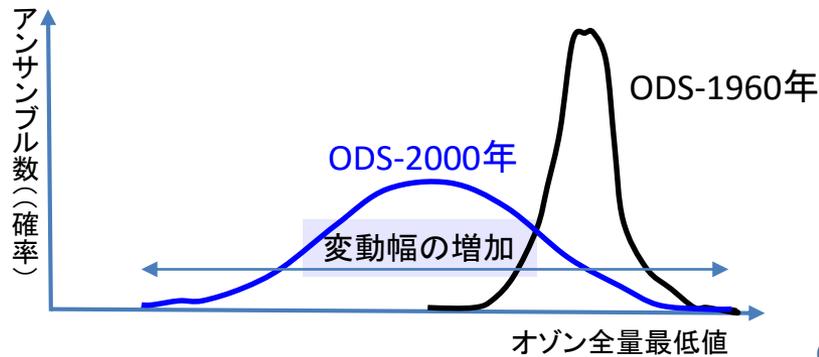
(10^6km^2)

ODS濃度が高いままGHG濃度が高くなると、PSC量が増加し、北極域では極端なオゾン破壊が起こる可能性がある。

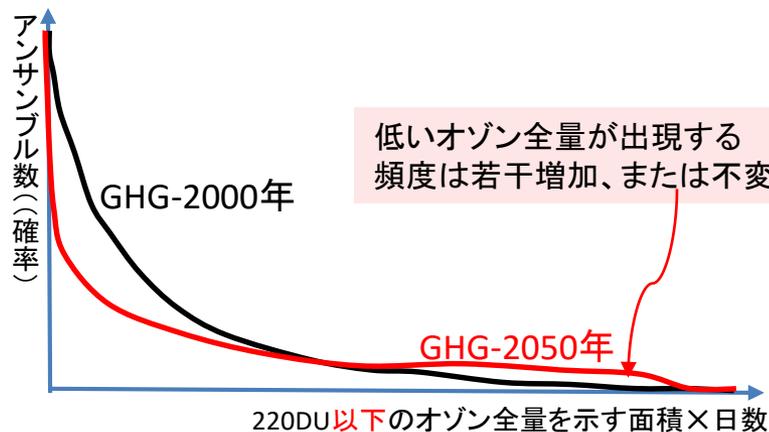
科学的成果

北半球中高緯度(45-90N)のオゾン全量解析
100アンサンブル数値実験

ODS依存性 (GHG濃度: 2000年レベルの下で)



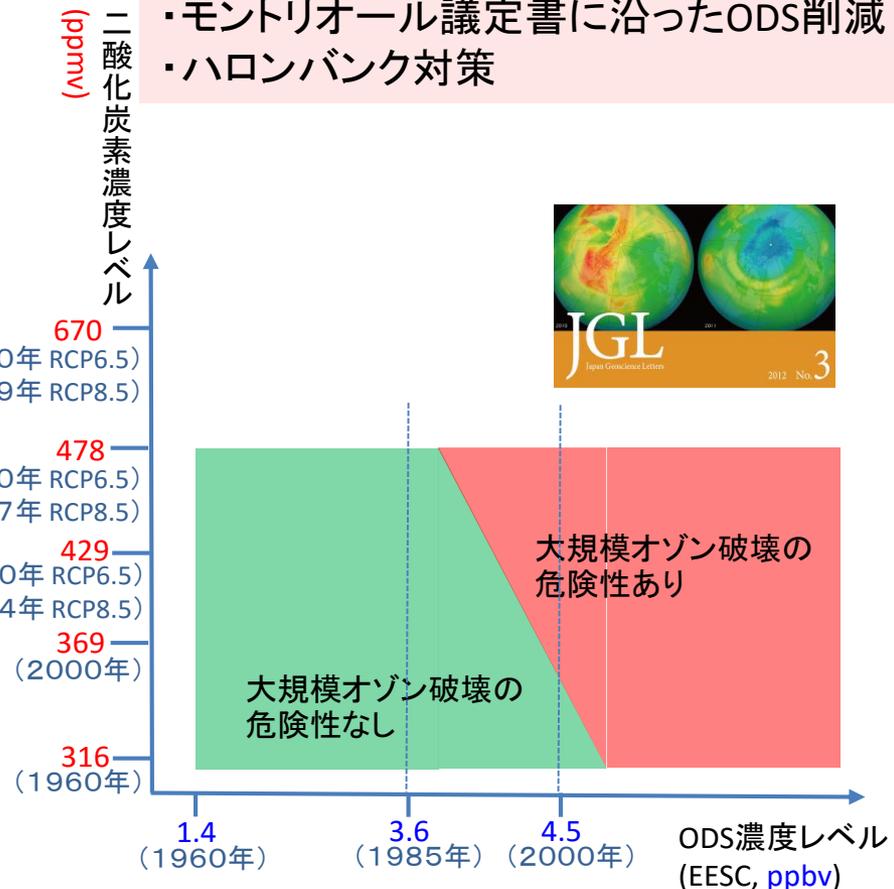
GHG依存性 (ODS濃度: 2000年レベルの下で)



政策への貢献

今後温室効果ガスが増加する中で、2011年のような大規模な北極オゾン破壊を避けるためのEESCの目標値の提言: 1985年レベル(3.6ppbv)へ

- ・モントリオール議定書に沿ったODS削減
- ・ハロンバンク対策

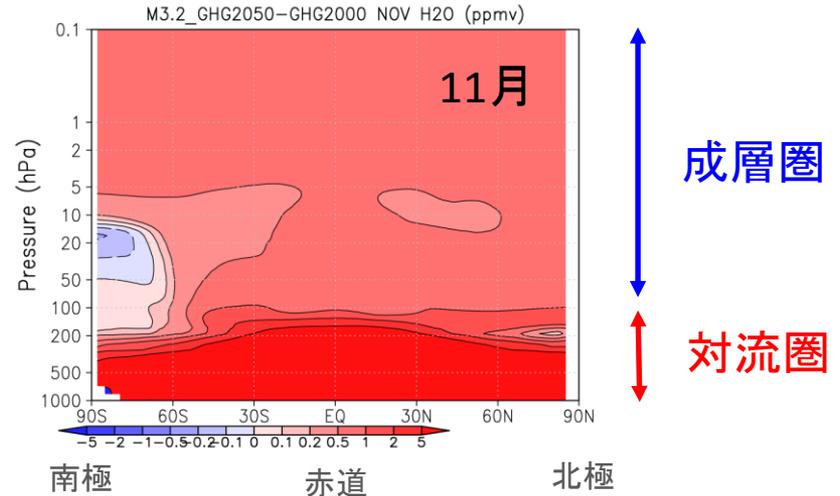


ODS, GHG濃度が変化していく中で 北半球中高緯度オゾン量変動に重大な影響を及ぼす気候要素

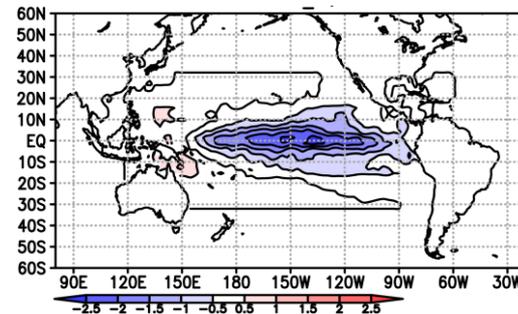
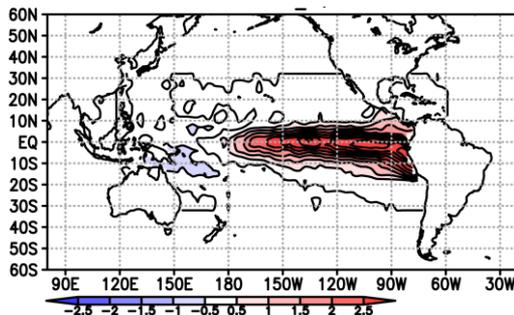
(1) 将来の温暖化による成層圏の水蒸気量の変化

→極成層圏雲(PSC)量に影響

GHG: 2000年→2050年に増加したときの水蒸気量の変化
赤: 増加 青: 減少
(化学気候モデルによる計算結果)



(2) 熱帯海水面温度分布(エルニーニョ/ラニーニャ)



赤: 平年値より高温
青: 平年値より低温

November 1988 (La Nina)

学会発表・論文発表

口頭発表

Akiyoshi, H., M. Kadowaki, Y. Yamashita, T. Imamura, T. Nozawa (2015), ODS and GHG dependences of ozone destruction in the northern mid and high latitudes in a chemistry-climate model, Asian Conference on Meteorology (ACM) 2015, October 27, 2015, Kyoto University (Kyoto), Abstracts O-3-25

小濱里沙、秋吉英治、門脇正尚、山下陽介、札幌とつくばのオゾン全量トレンドに対するハロゲンガス増加の影響について(2014)第20回大気化学討論会(府中)、2014年10月27日、第20回大気化学討論会講演要旨集、68.

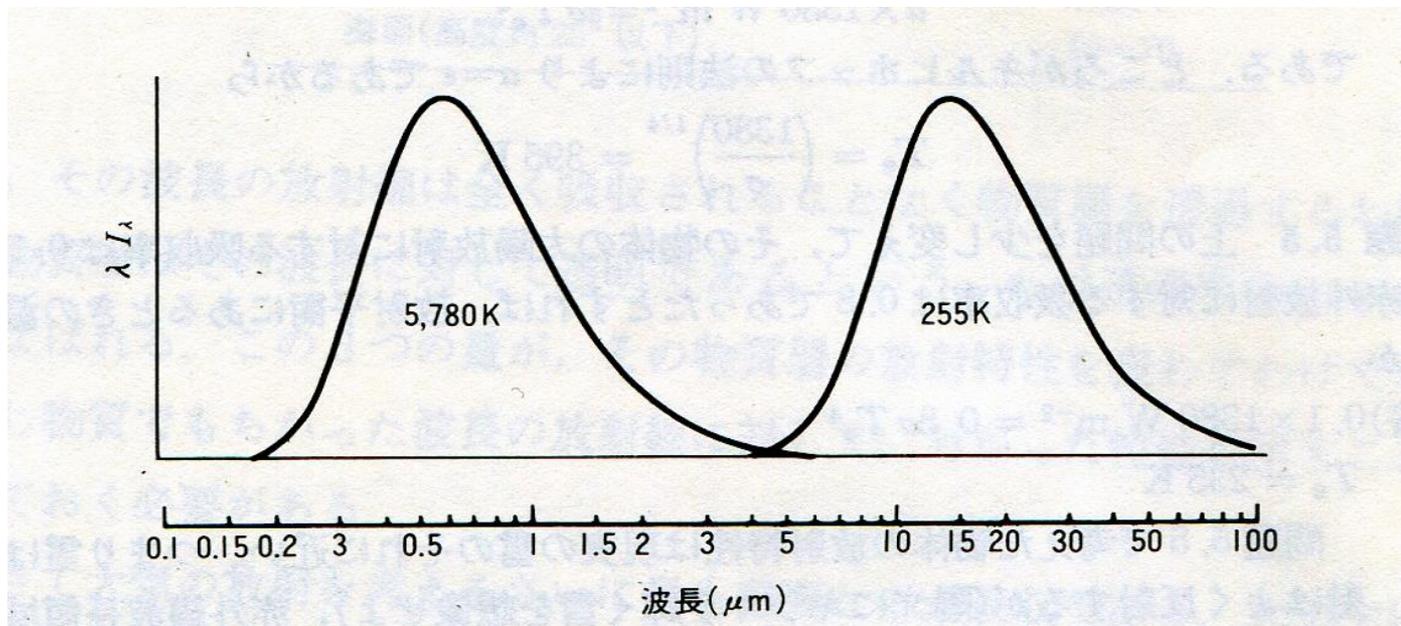
査読付論文

Yamashita, Y., H. Akiyoshi, T. G. Shepherd, and M. Takahashi (2015), The combined influences of westerly phase of the Quasi-Biennial Oscillation and 11-year solar maximum conditions on the Northern Hemisphere extratropical winter circulation, *J. Meteorol. Soc. Jap.*, 93(6), 613-628.

Akiyoshi, H., T. Nakamura, T. Miyasaka, M. Shiotani, and M. Suzuki (2016), A nudged chemistry-climate model simulation of chemical constituent distribution at northern high-latitude stratosphere observed by SMILES and MLS during the 2009/2010 stratospheric sudden warming, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 1361-1380, doi:10.1002/2015JD023334.

Oberländer-Hayn, S., E. P. Gerber, J. Abalichin, H. Akiyoshi, A. Kerschbaumer, A. Kubin, M. Kunze, U. Langematz, S. Meul, M. Michou, O. Morgenstern, and L. D. Oman (2016), Is the Brewer-Dobson circulation increasing, or moving upward?, *Geophys. Res. Lett.*, 43, doi:10.1002/2015GL067545, first published online.

3つのモデルの放射スペクトル分解能について



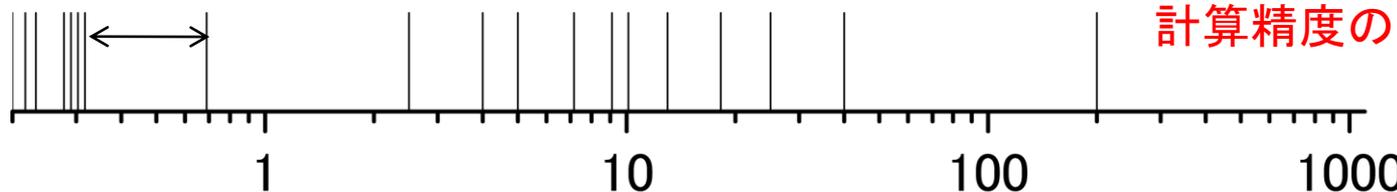
MIROCモデルの細かい波長分割



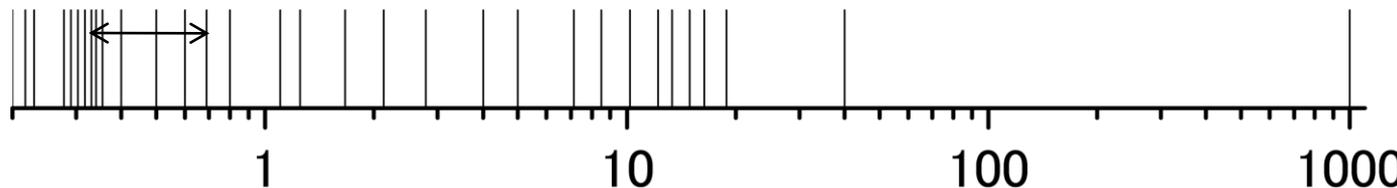
気温(太陽光・地球赤外)および大気微量成分の光解離係数の計算精度の改善

JO3, JNO2, JNO3, JCl2O2, JClONO2, JHOCl

① CCSR/NIES



② MIROC3.2



③ MIROC5

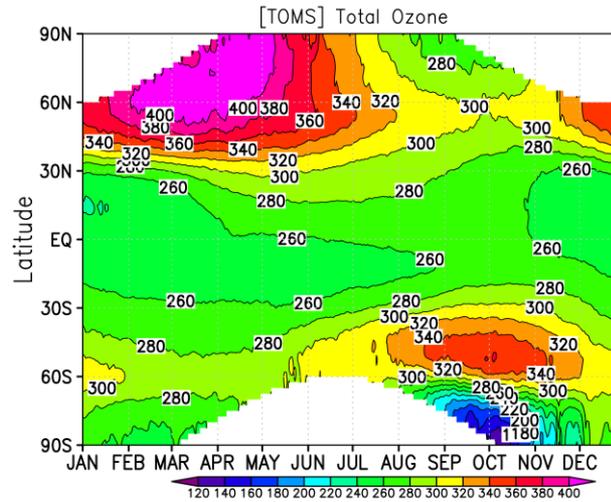
波長(μm)

その他の改良点:

吸収線パラメータデータ: HITRAN92→HITRAN2000。波数積分の最適化。放射伝達計算法の改良。¹¹

3つのモデルの経度平均オゾン全量の比較(季節変動)

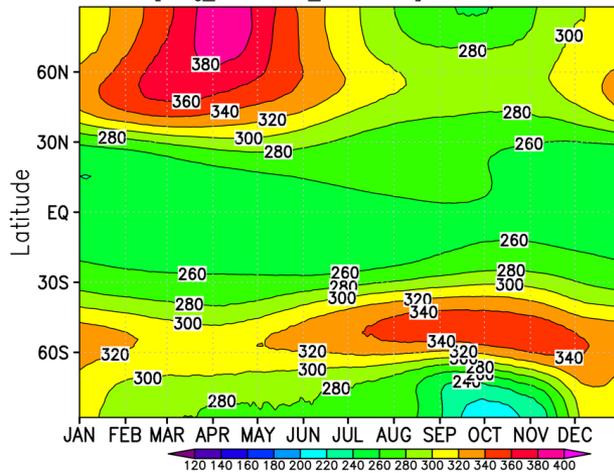
観測値(TOMS)



1995-2004年平均値

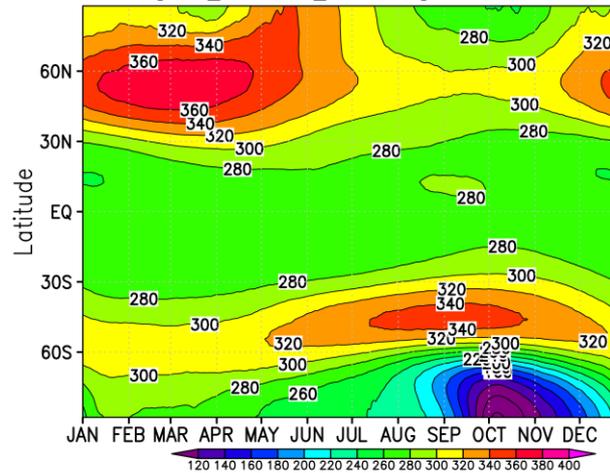
① CCSR/NIES

[5.4g_fGHG2000_fODS2000] Total Ozone



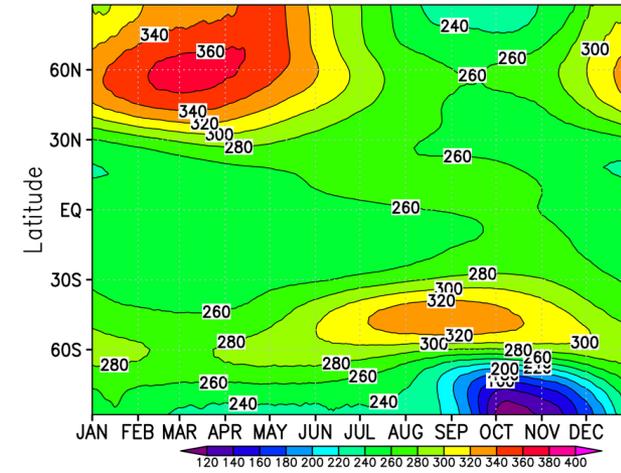
② MIROC3.2

[M3.2_fGHG2000_fODS2000] Total Ozone



③ MIROC5

[M5.0_fGHG2000_fODS2000] Total Ozone

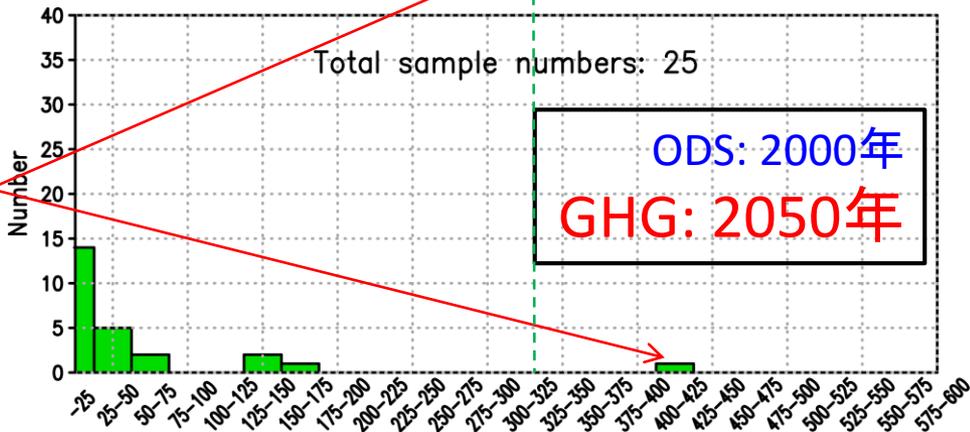
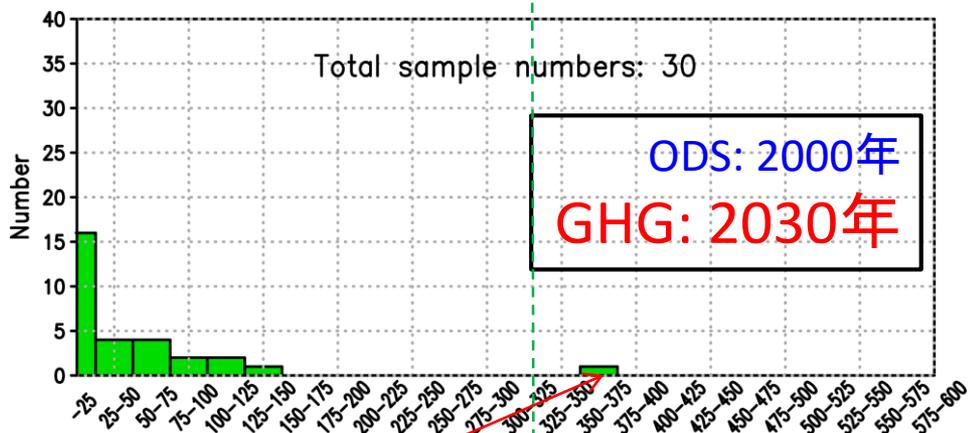
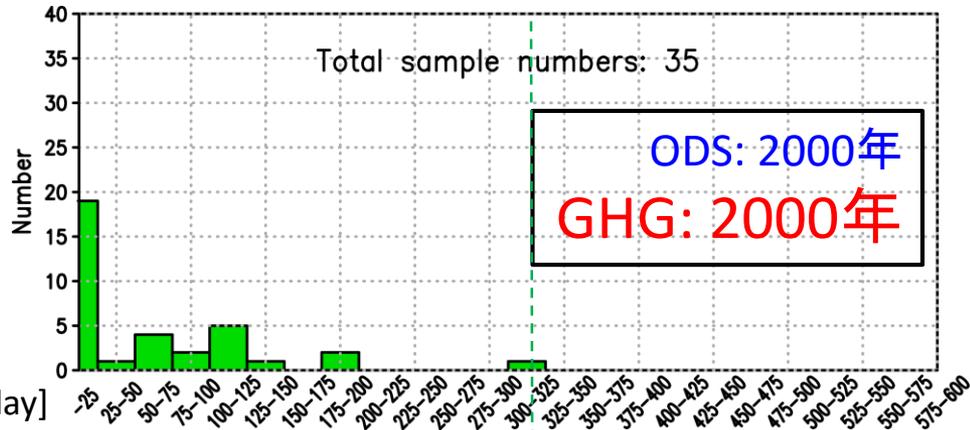


ODS2000年 - GHG2000年実験の100アンサンブル平均値

オゾン層破壊のGHG濃度依存性(頻度分布)

オゾン全量が220DU以下になる面積×日数 [$10^6\text{km}^2 \text{ day}$]

対象期間: 3月-4月
対象領域: 45N-90N



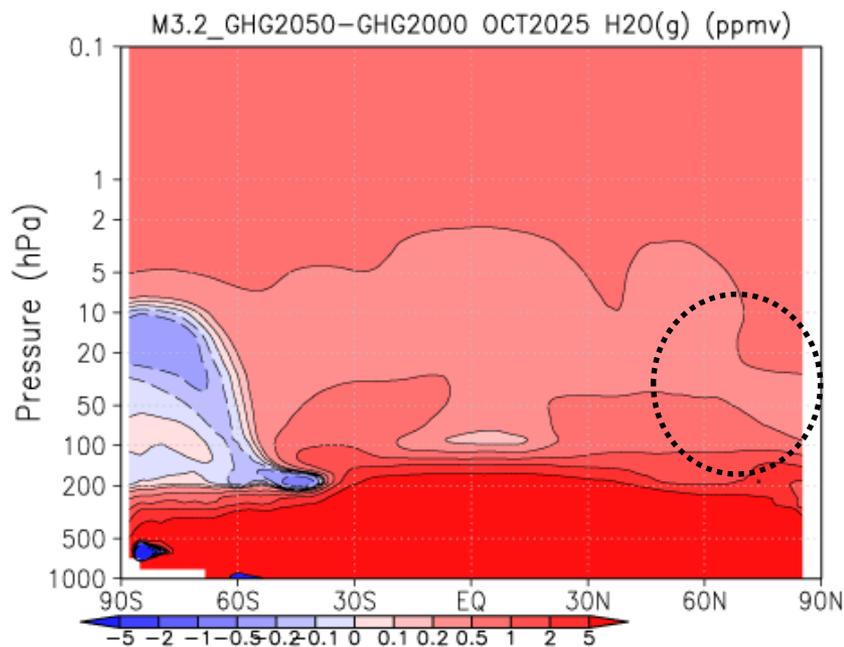
ODS濃度が高い条件下では、

GHG濃度が増加しても、大きなオゾン層破壊は残る可能性

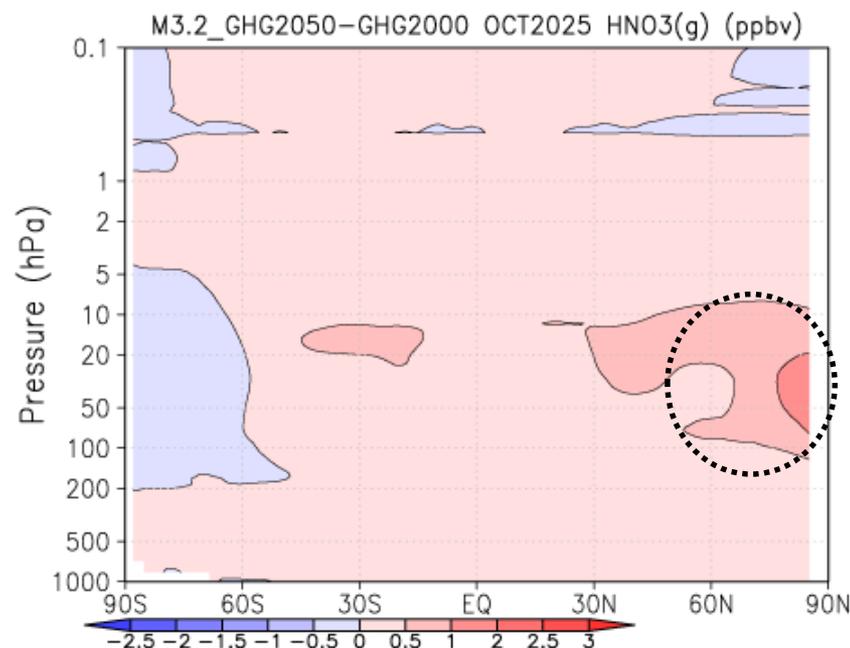
極端なオゾン破壊が起こった年の水蒸気と硝酸濃度のアノマリ

前年の10月のアノマリの緯度－高度断面図

水蒸気(H₂O)



硝酸(HNO₃)

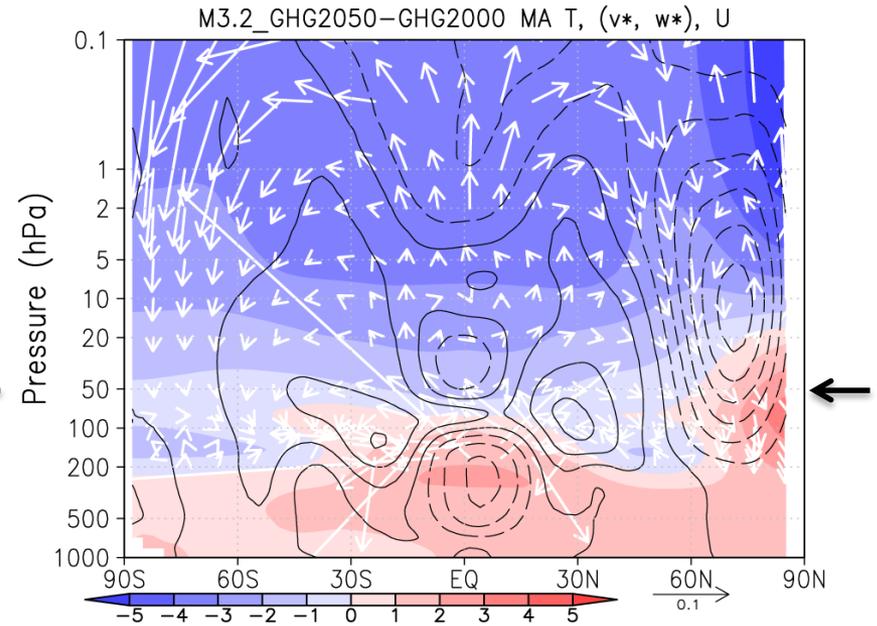
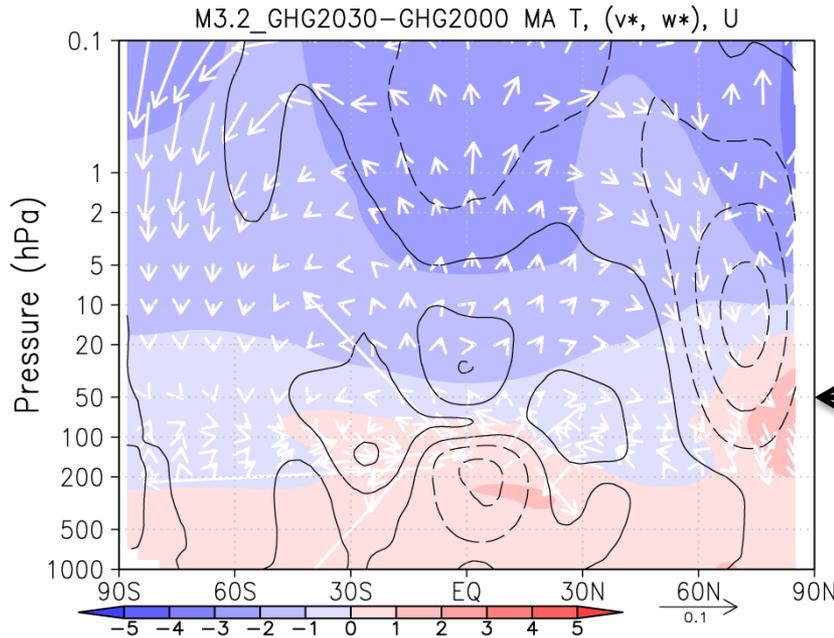


[ODS-2000年・GHG-2050年]100アンサンブル中、極端なオゾン破壊が起こった年の、
[ODS-2000年・GHG-2000年]100アンサンブル平均からのアノマリ

子午面循環、気温、東西風速の100アンサンブル平均アナマリ

ODS-2000年 GHG-2030年

ODS-2000年 GHG-2050年

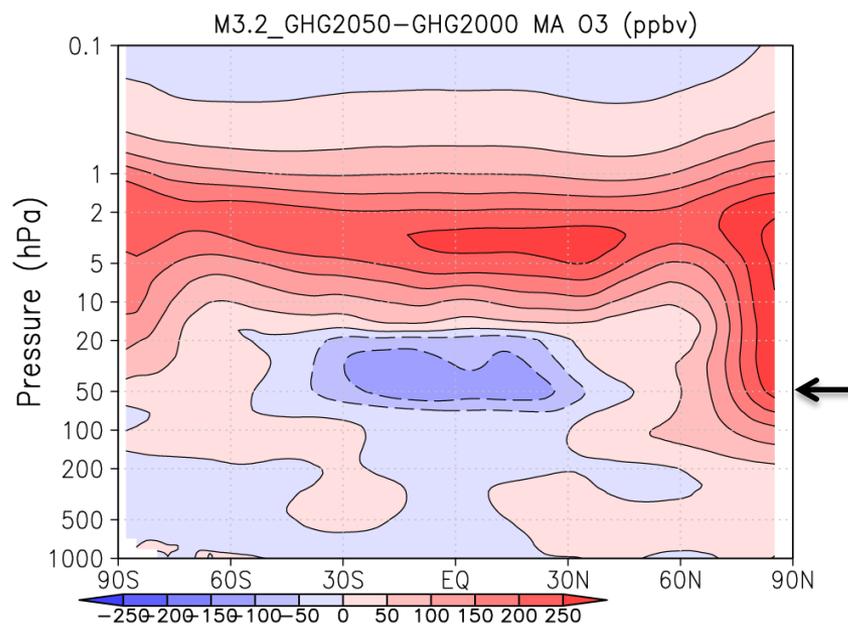
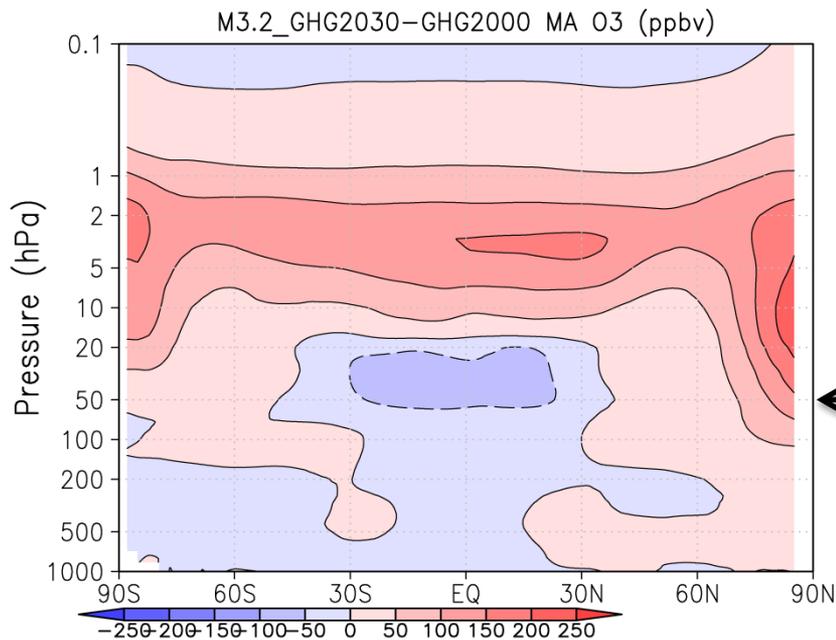


3月-4月平均、(ODS-2000年・GHG-2000年)実験からのアナマリ

オゾン濃度の100アンサンブル平均アノマリ

ODS-2000年 GHG-2030年

ODS-2000年 GHG-2050年



3月-4月平均、(ODS-2000年・GHG-2000年)実験からのアノマリ

日本への影響

—北極を中心としたオゾン全量分布—

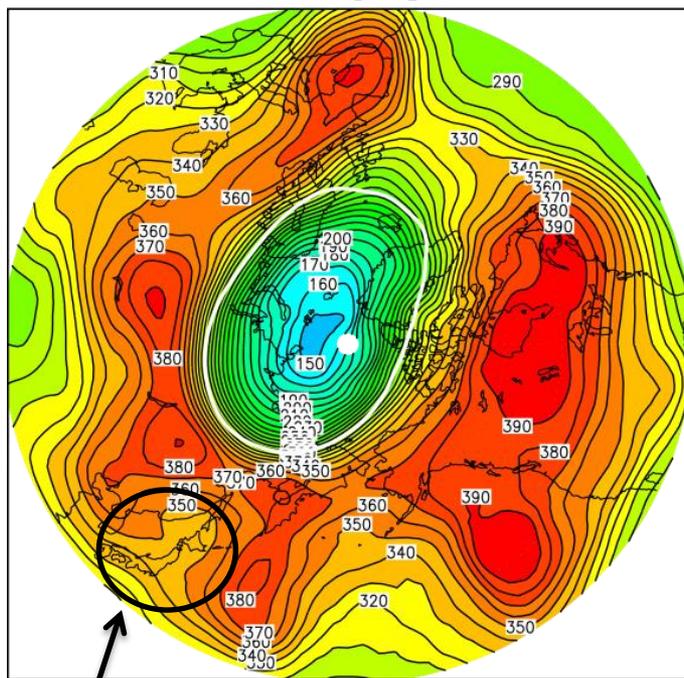
ODS: 2000年

GHG: 2050年

アンサンブル No.16

4月2日

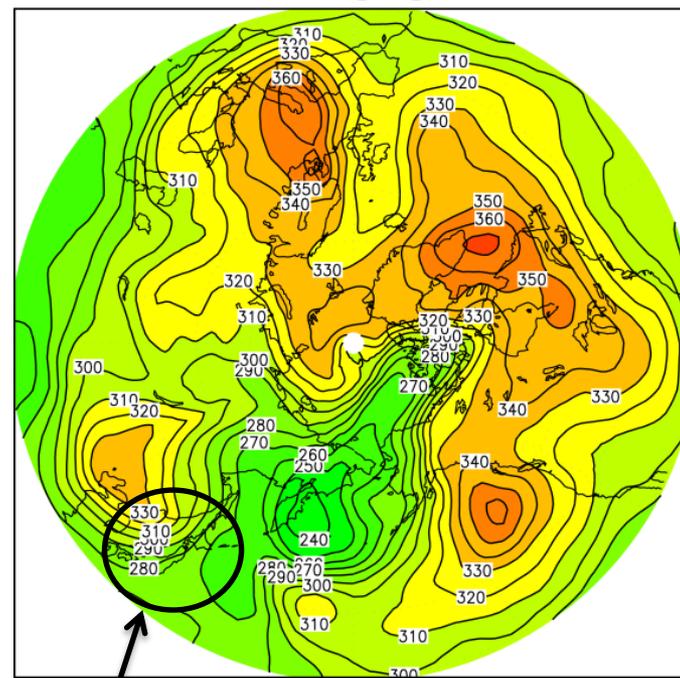
Total ozone [DU] 04.02



日本

6月8日

Total ozone [DU] 06.08

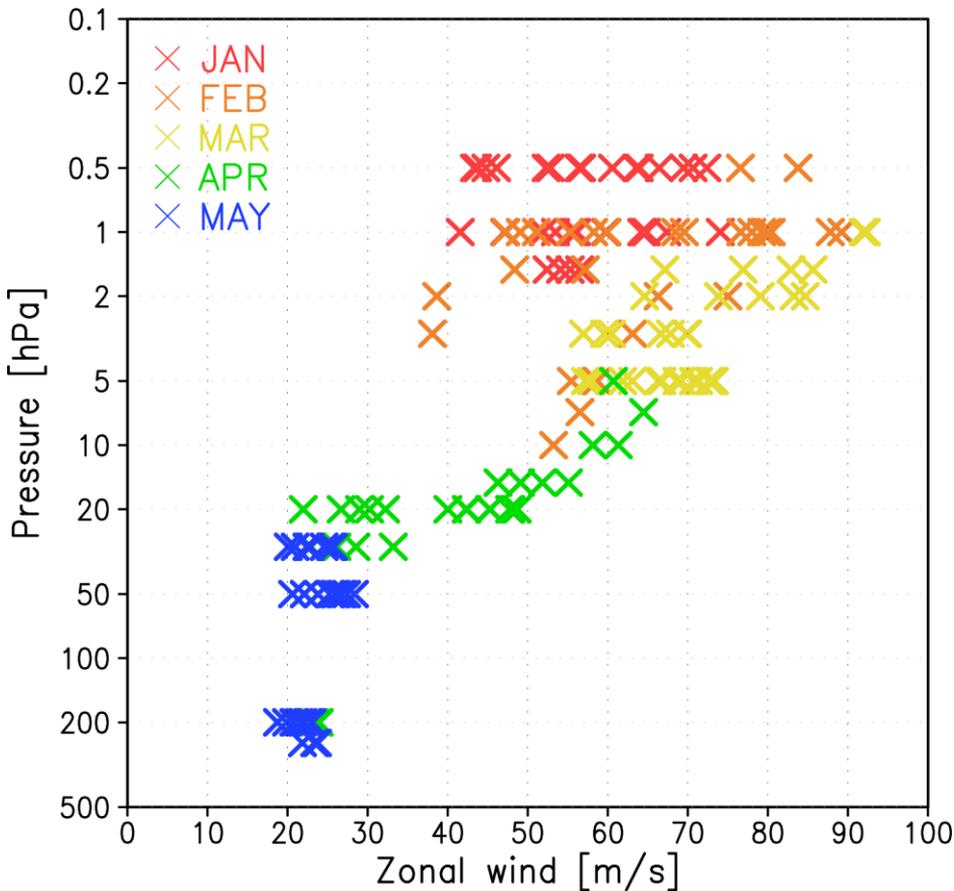


日本

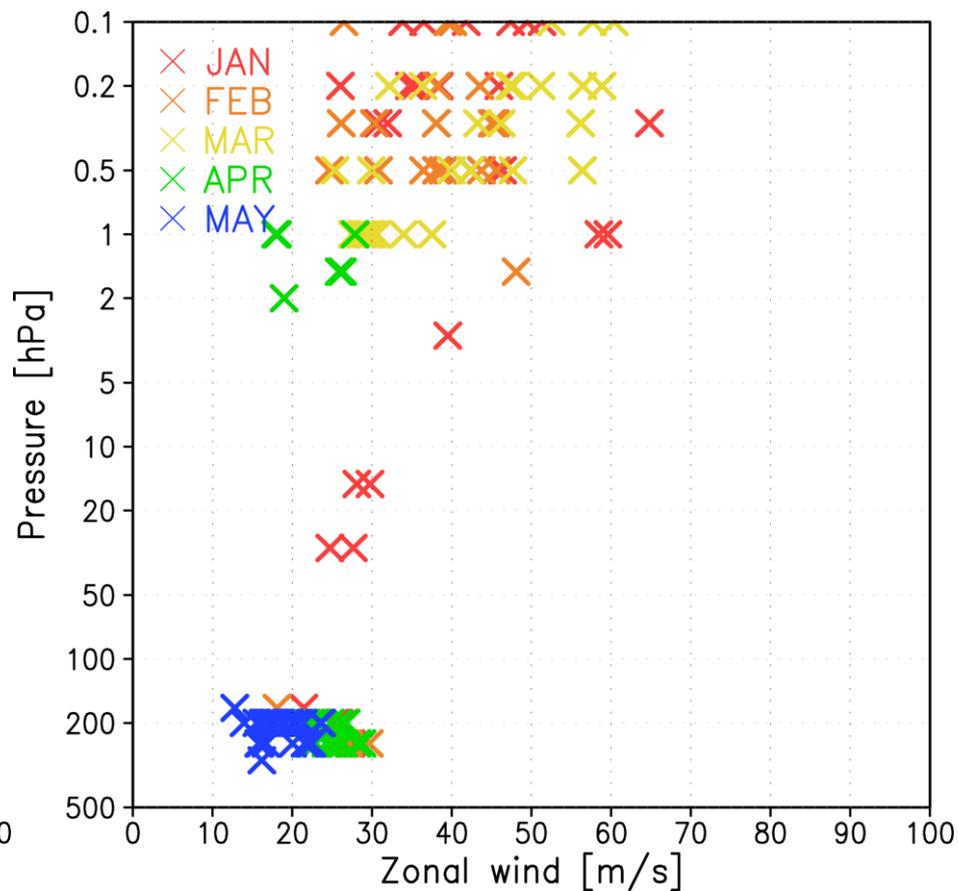
北極渦崩壊時(5月～6月)に、低オゾン空気塊が日本近辺に流れてくる可能性

極端なオゾン破壊が起こった年の気象要素 (ODS-2000年 GHG-2050年)

オゾン破壊が進んだ年 (No.16)



オゾン破壊が進まなかった年 (No.36)



1月～5月の期間の毎日のジェット気流の中心(西風最大)の緯度・高度

極成層圏雲の個数密度を増加させた感度実験

Log-normal 分布

$$n(r) = (N_0 / (r \sqrt{2\pi} \ln \sigma)) \exp[-(\ln(r/r_0) / (\sqrt{2} \ln \sigma))^2], \quad \sigma = 1.8$$

$$r = 3V (N_0 4\pi)^{-1/3}$$

の個数密度 (N_0) の変更を行う。

- NAT

個数密度: **0.005/cm³**, Waibel et al. (Science, 1999)

→ **1.0/cm³**, Ruhnke (JGR, 1999), Drdla and Turco (JAC, 1991)

$r \sim 1/6$ 倍 $S \sim 6$ 倍

- ICE

個数密度: **0.005/cm³**, Waibel et al. (Science, 1999)

→ **0.01/cm³**, Ruhnke (JGR, 1999), Drdla and Turco (JAC, 1991)

$r \sim 0.8$ 倍 $S \sim 1.26$ 倍

オゾン層破壊のGHG濃度依存性(頻度分布)

— 極成層圏雲の個数密度を増加させた実験結果 —

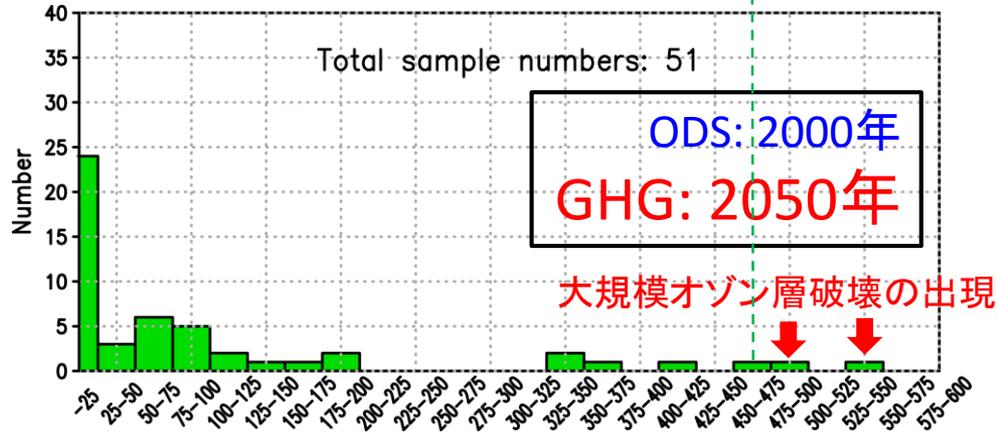
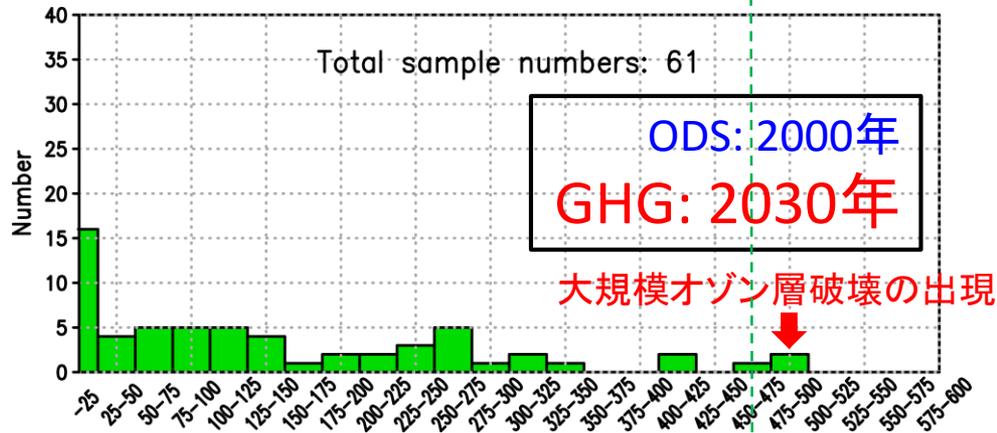
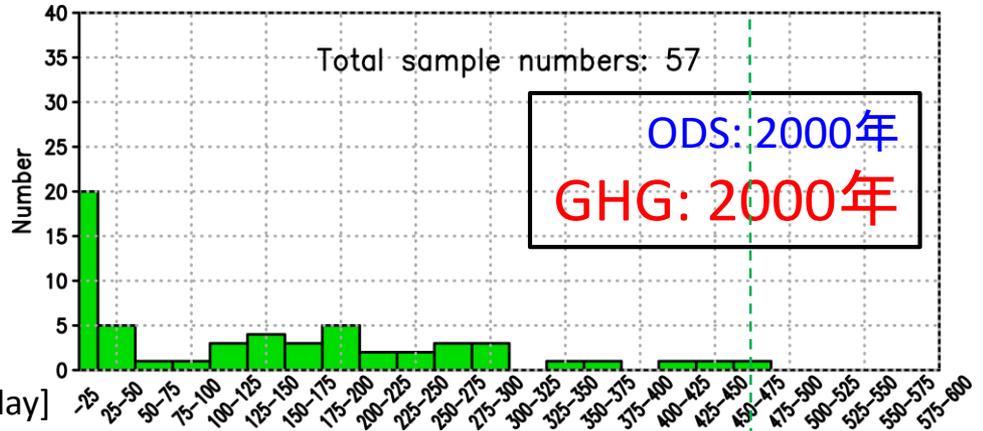
オゾン全量が220DU以下になる面積 × 日数 [$10^6 \text{km}^2 \text{ day}$]

対象期間: 3月 - 4月
対象領域: 45N - 90N

Waibel et al. (Science, 1999) →
Ruhnke (JGR, 1999), Drdla and Turco (JAC, 1991)へ変更。

NAT: 粒径 ~ 0.17倍、表面積 ~ 6倍
ICE: 粒径 ~ 0.8、表面積 ~ 1.26倍

極成層圏雲のパラメタの変更前と同様な傾向



220DU以下の面積の大きさと発生期間 (45N-90N) (100アンサンブル)

—極成層圏雲の個数密度を増加させた実験結果—

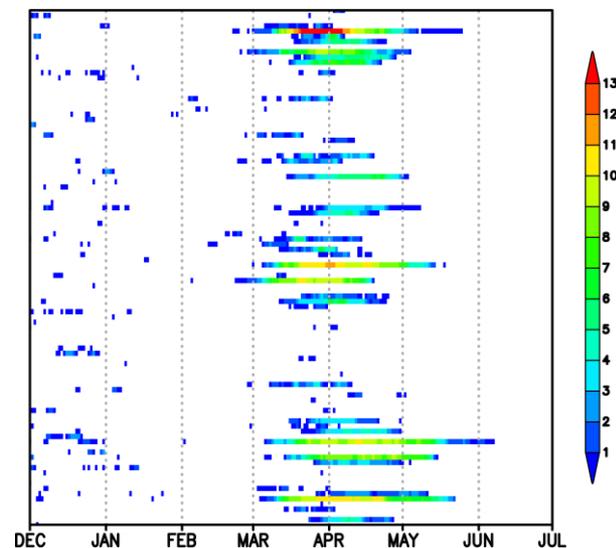
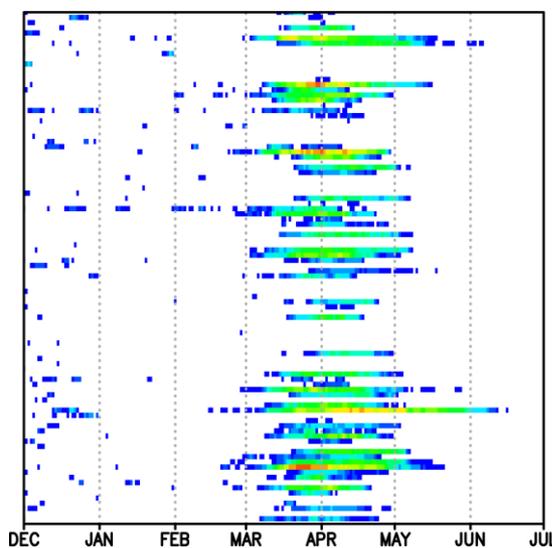
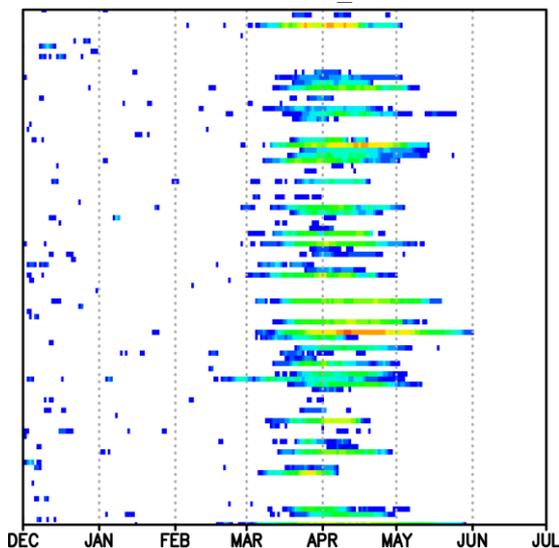
GHG濃度低

GHG濃度高

ODS 2000年
GHG 2000年

ODS 2000年
GHG 2030年

ODS 2000年
GHG 2050年



(10^6km^2)

Waibel et al. (Science, 1999) → Ruhnke (JGR,1999), Drdla and Turco (JAC, 1991)

NAT: 粒径 ~ 0.17 倍、表面積 ~ 6 倍

ICE: 粒径 ~ 0.8 、表面積 ~ 1.26 倍

モントリオール議定書に基づくオゾン層破壊物質の生産量及び消費量の規制スケジュール



■ 先進国に対する規制
■ 開発途上国に対する規制

このほか、HBFCは1996年に、プロモクロロメタンは2002年に、それぞれ全廃することとされています。

各物質のグループ毎に、生産量及び消費量（＝生産量＋輸入量－輸出量）が削減される。

- ※1) 検疫及び出荷前処理用として使用される臭化メチルは、規制対象外となっている。
- ※2) 基準量は、1995年から1997年までの生産量・消費量の平均値又は生産量・消費量が一人当たり0.3キログラムとなる値のいずれか低い値。
- ※3) 基準量は、1998年から2000年までの生産量・消費量の平均値又は生産量・消費量が一人当たり0.2キログラムとなる値のいずれか低い値。
- ※4) 消費量の基準量は、HCFCの1989年消費量＋CFCの1989年消費量×2.8%。生産量の基準量は、HCFCの1989年生産量と消費量の平均値＋CFCの1989年生産量と消費量の平均値×2.8%。
- ※5) 基準量は、2009年と2010年の生産量・消費量の平均値。
- ※6) ただし、2030年までの間、冷凍空調機器の補充用冷媒に限り、生産量・消費量の基準量の0.5%を上限に生産・消費することができる。
- ※7) ただし、2040年までの間、冷凍空調機器の補充用冷媒に限り、平均として生産量・消費量の基準量の2.5%を上限に生産・消費することができる。
- ※8) 基準量は、1995年から1998年までの生産量・消費量の平均値。

**途上国の基礎的な需要を満たすための追加生産が認められているほか、生産が全廃になった物質でも試験研究・分析や必要不可欠な用途についての生産等は規制対象外となっている。