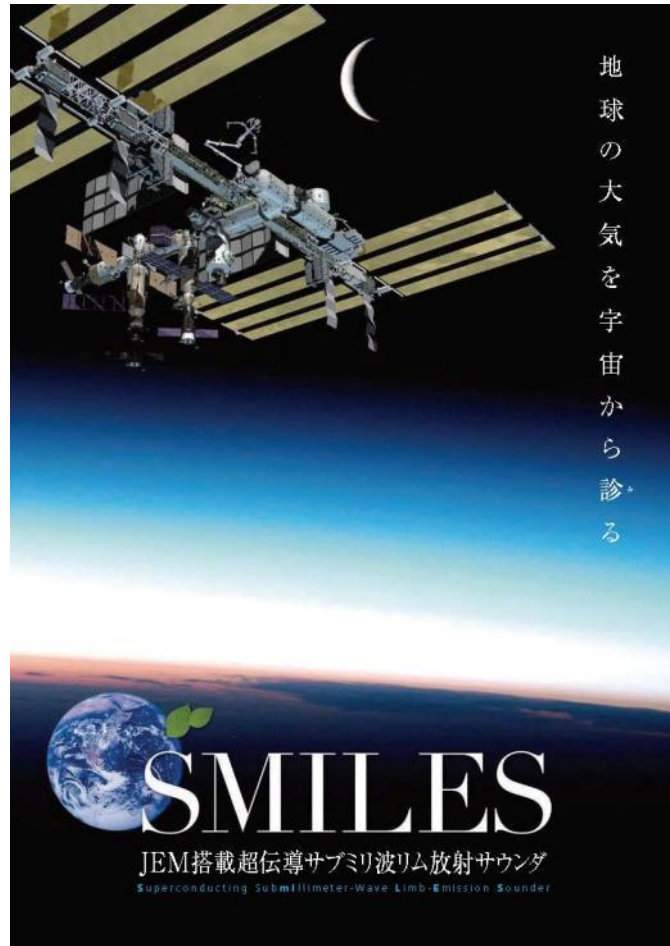


私の衛星観測への関わり

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ
(SMILES)

衛星観測と現場観測



国際宇宙ステーションからのグローバルな大気微量成分観測: SMILES (Superconducting Submillimeter-wave Limb Emission Sounder)



熱帯域におけるオゾン・水蒸気ゾンデ観測: SOWER/Pacific (Soundings of Ozone and Water in the Equatorial Region)



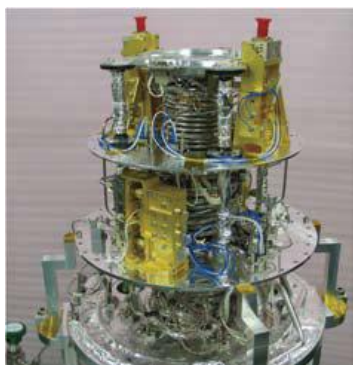




SMILES ミッションの目的

(SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)

- 4K機械式冷凍機と超伝導技術を用いたサブミリ波帯リム放射サウンダの世界で初めての軌道上技術実証



4K級機械式冷凍機:

高い冷却能力を持ちながら、重さ90kg、消費電力270Wと、小型・低消費電力を実現



超伝導ミキサ:

理論的な限界に迫る低雑音を実現 (野辺山宇宙電波観測所で製作)

- 成層圏大気微量気体成分のグローバルな時空間分布に関する観測実験

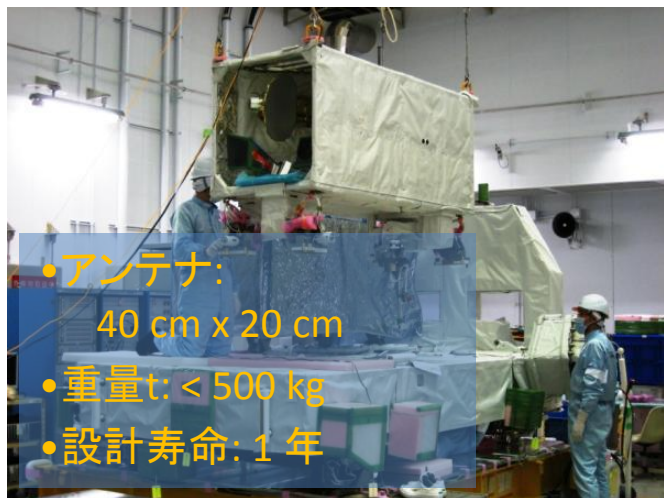
[標準プロダクト]

- 1スキャン: O_3 , HCl, ClO, CH_3CN , O_3 isotopes, HOCl, HNO_3
- 複数スキャン(積算): HO_2 , BrO

[研究プロダクト] volcanic SO_2 , H_2O_2 , UTH, Cirrus Clouds

(SMILESミッションの詳細は http://smiles.tksc.jaxa.jp/document/SMILES_MP_ver2.11.pdf)

SMILES打ち上げからの日誌



2009年9月11日 H-IIB を使ったH-II Transfer Vehicle (HTV)で打上げ

9月18日 HTVはISSとドッキング, 9月25日 JEMに設置

9月28日 冷却機が4Kに到達, 10月12日 連続的な観測を開始

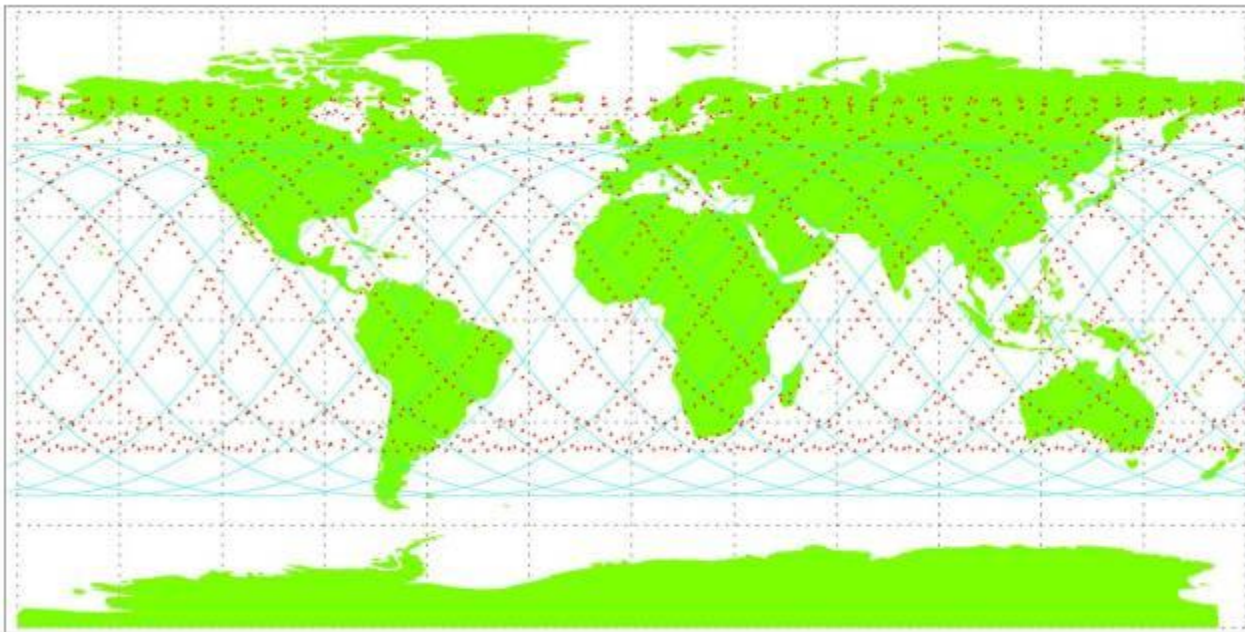
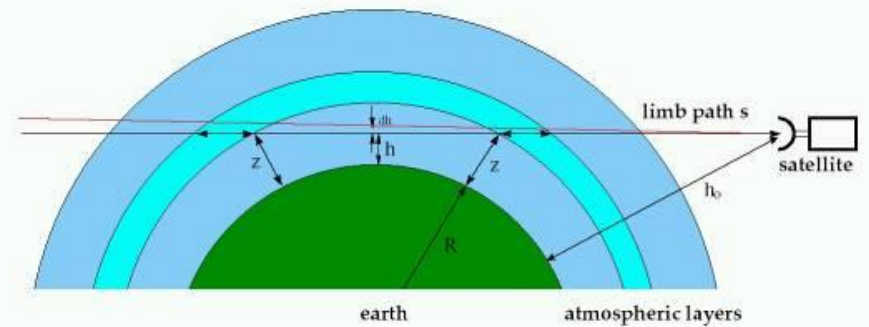
10月19日 ファーストライト発表, 11月6日 定常運用移行

2010年4月21日 一部の機器(サブミリ波受信)の不具合から観測の停止

6月5日 JEM熱制御系の不具合に伴い, SMILES冷凍機を停止

SMILES観測の概要

- 超伝導センサを用いた624- 650 GHz帯における超高感度測定
- 大気のリム観測に基づく鉛直プロファイルの測定(高度分解能約3km)
- 国際宇宙ステーションでの実証・地球大気のグローバル観測(65N- 38S)



⇒ オゾン化学にとって重要な役割を果たすラジカル分子種をターゲットとした観測をおこなう

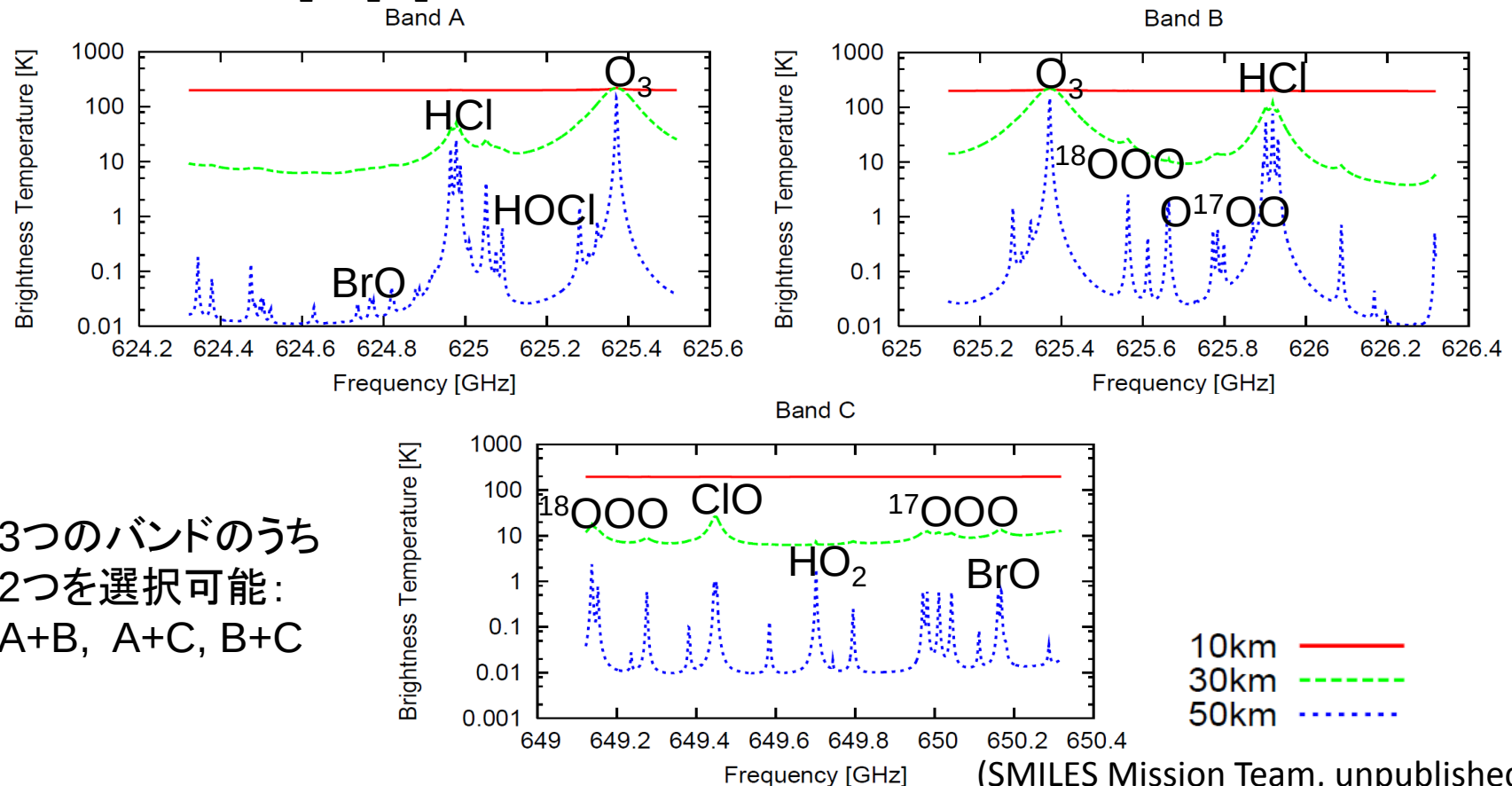
観測対象分子と輝度温度スペクトル

- 標準プロダクト:

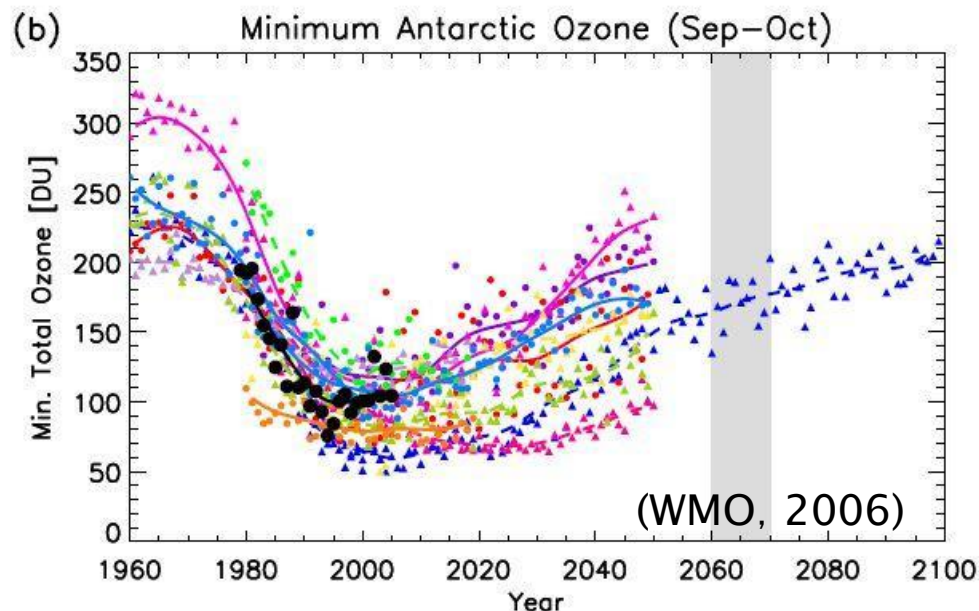
O_3 , HCl, ClO, CH_3CN , O_3 isotopes, HOCl, HNO_3 , HO_2 , BrO

- 研究プロダクト:

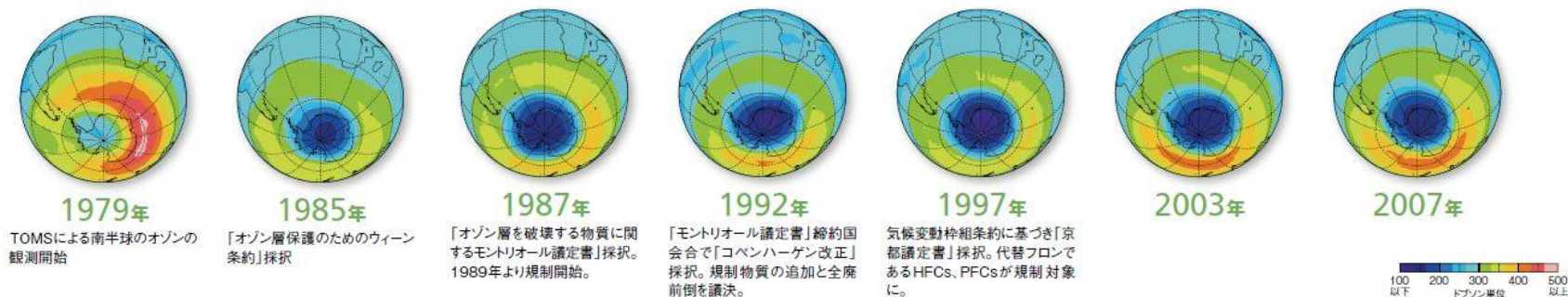
volcanic SO_2 , H_2O_2 , UTH, Cirrus Clouds



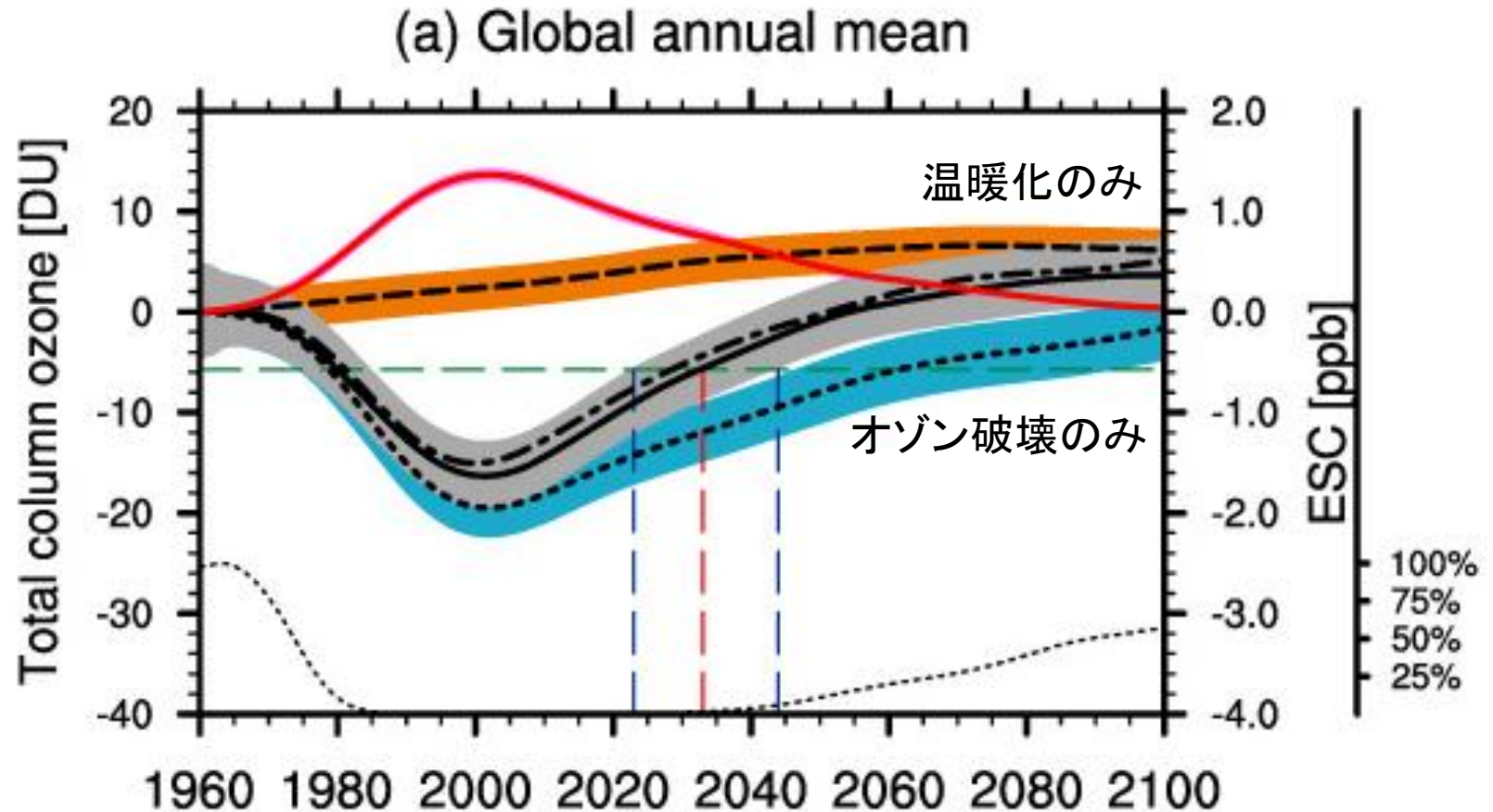
オゾン層の現状と将来予測



南極オゾンの将来予測 (●印は観測データ) : 1980年代のオゾン量に戻るのは2060年から2070年ごろと推定されているが, その予測には大きなばらつきがあり, 塩素系や臭素系の反応の不確定性が主要因と考えられている. また, 温暖化にともなうオゾン回復の遅延も懸念されている.



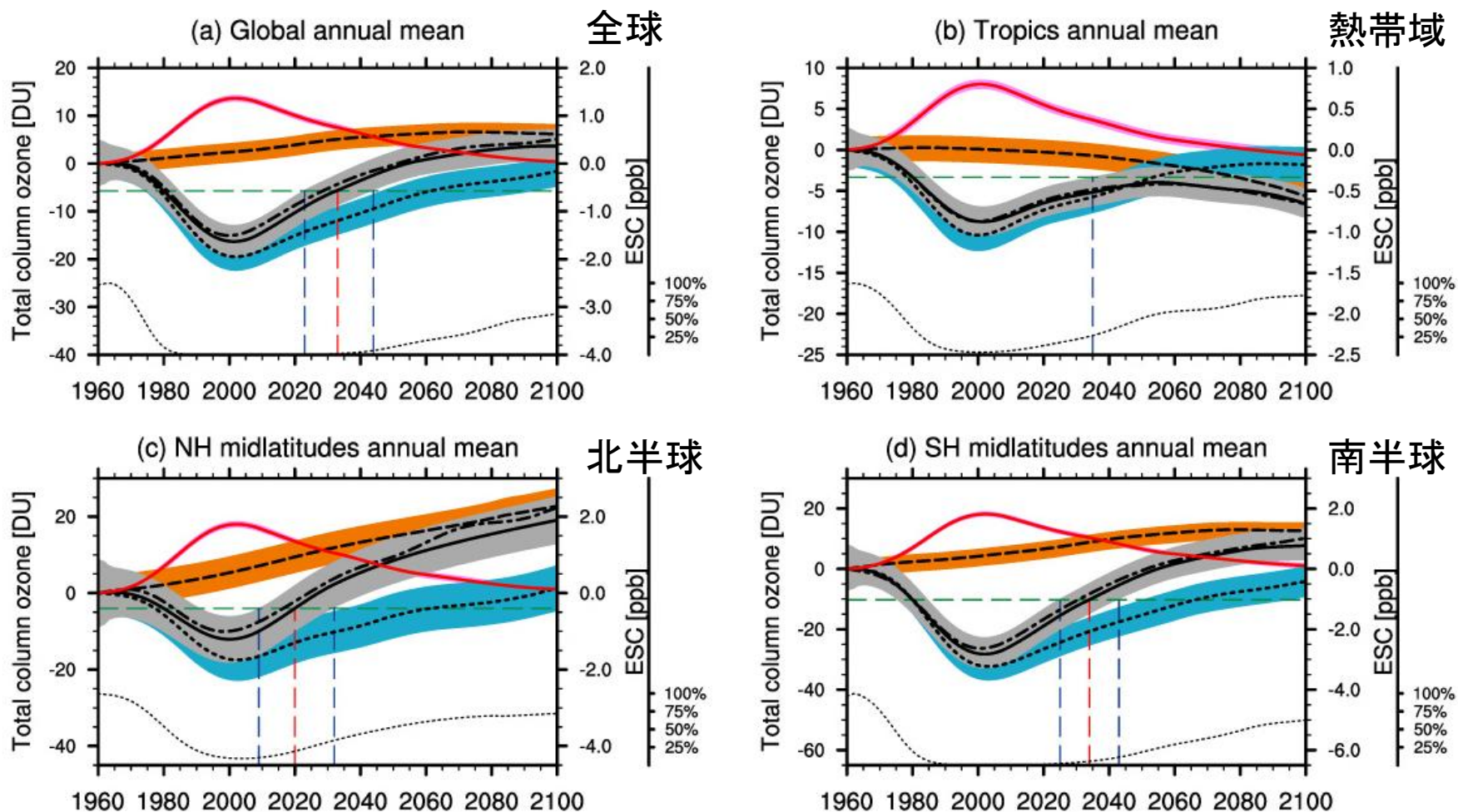
オゾン破壊物質 or 温室効果気体？



(Eyring et al., ACP, 2010)



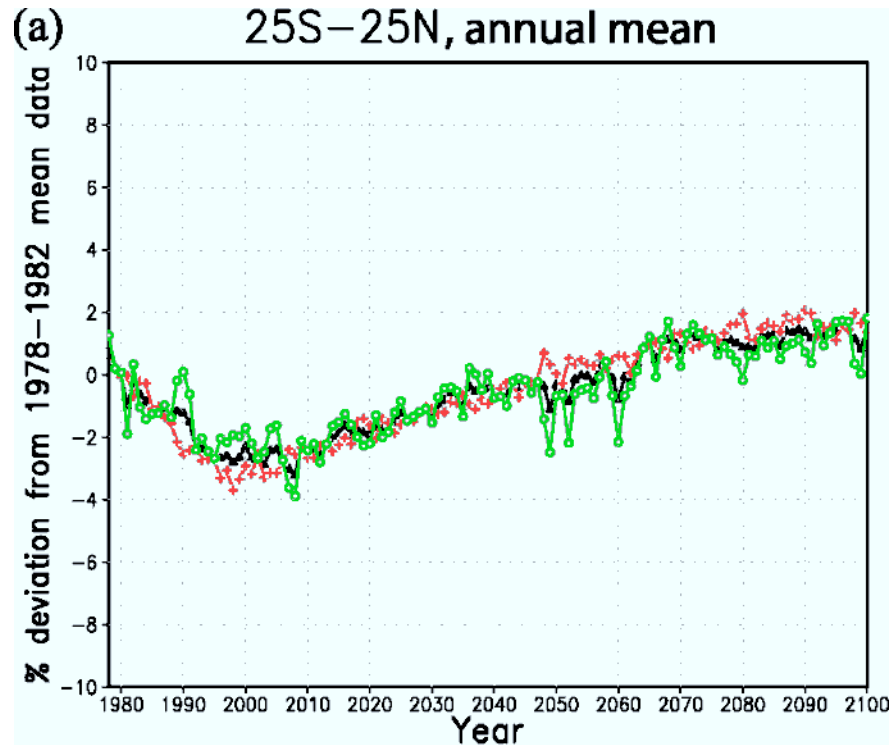
熱帯域と中緯度域での違い



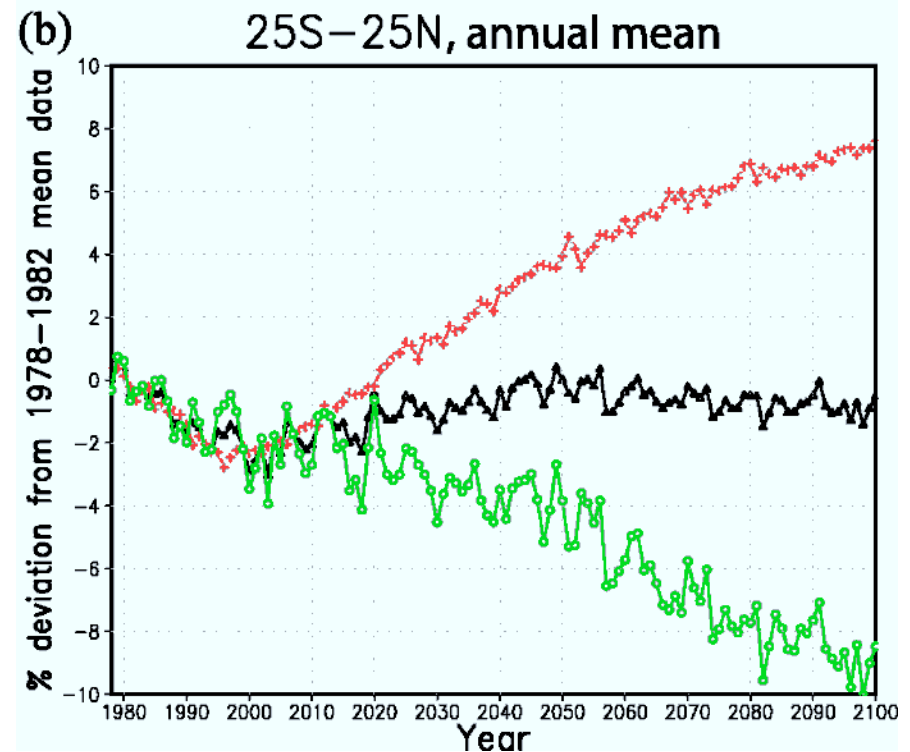
(Eyring et al., ACP, 2010)

高度別に見た寄与

温暖化なし



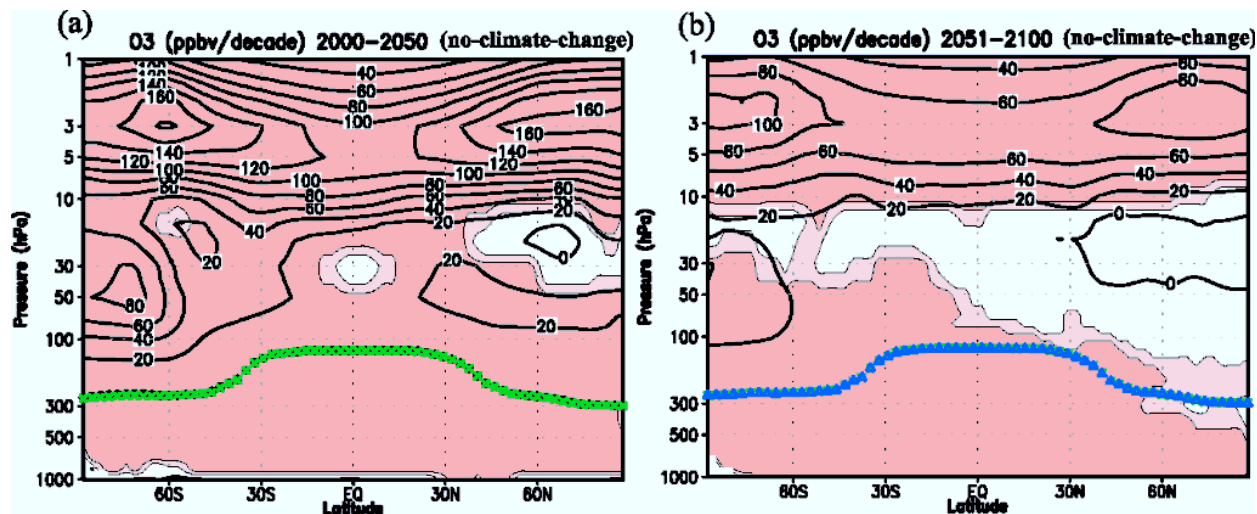
温暖化あり



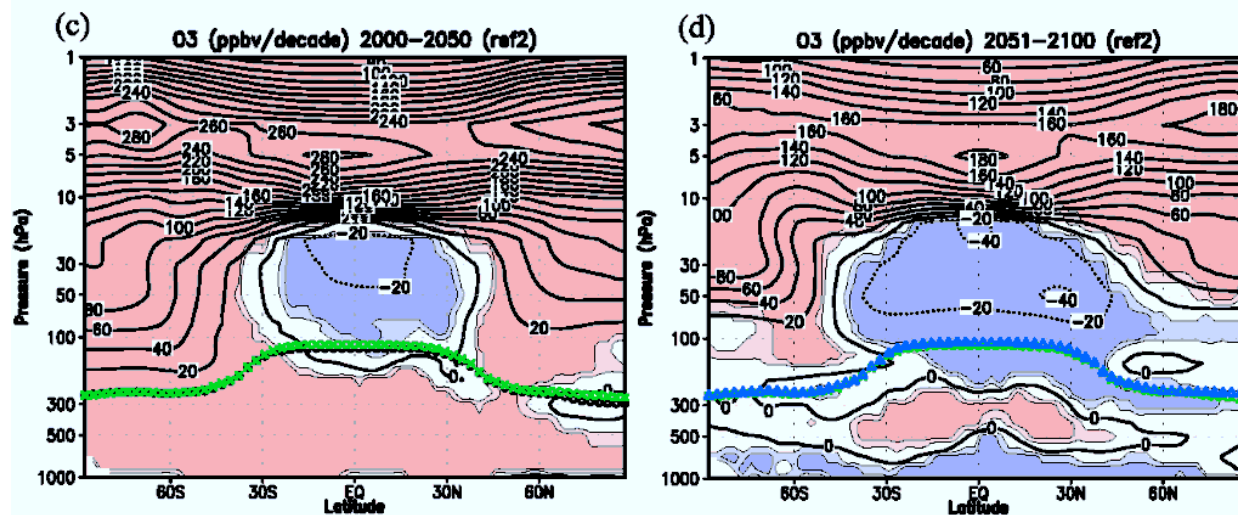
赤: 20hPa以上, 緑: 20hPa以下, 黒: 合計 (Akiyoshi et al., JGR, 2010)

温暖化にともなう子午面循環(特に熱帯域での上昇流)の強化

緯度-高度分布で見た特徴



温暖化なし



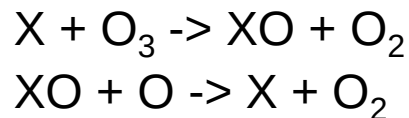
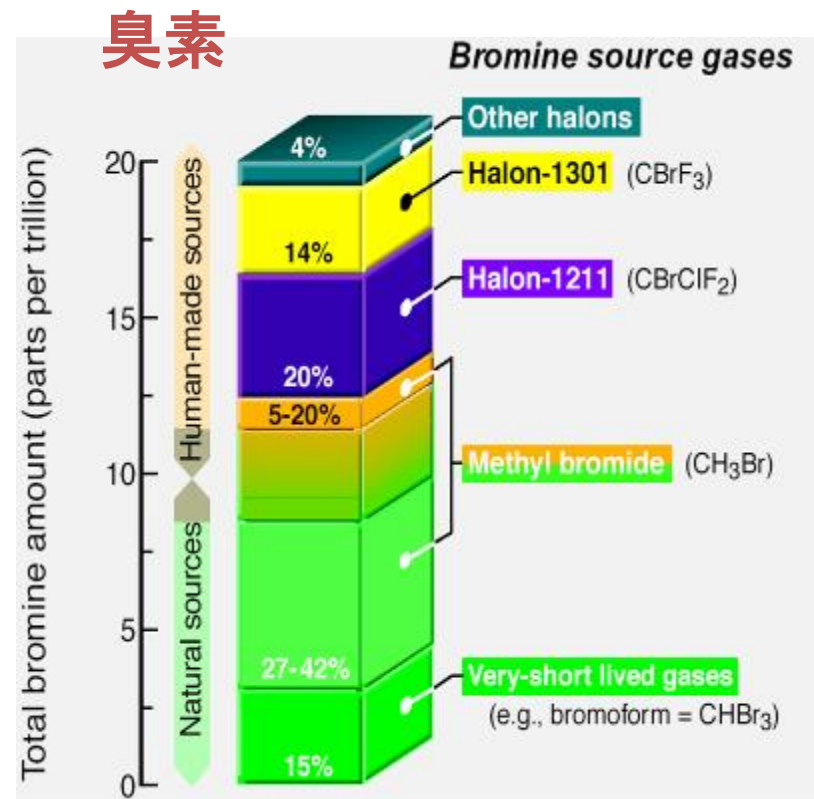
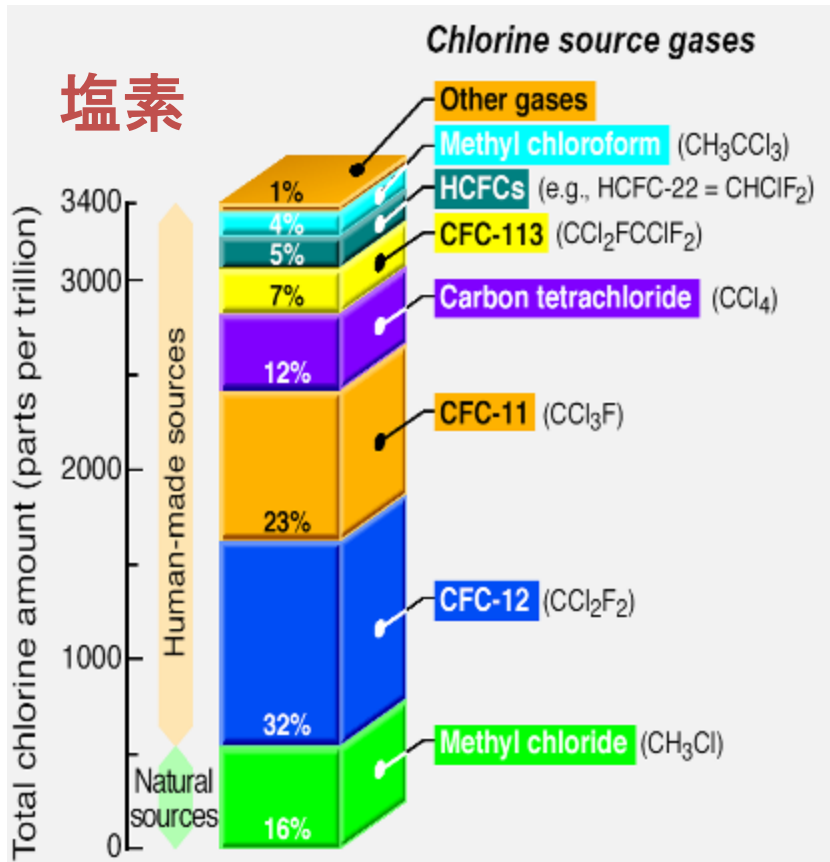
温暖化あり

2000-2050

2051-2100

(Akiyoshi et al., JGR, 2010)

成層圏における塩素と臭素

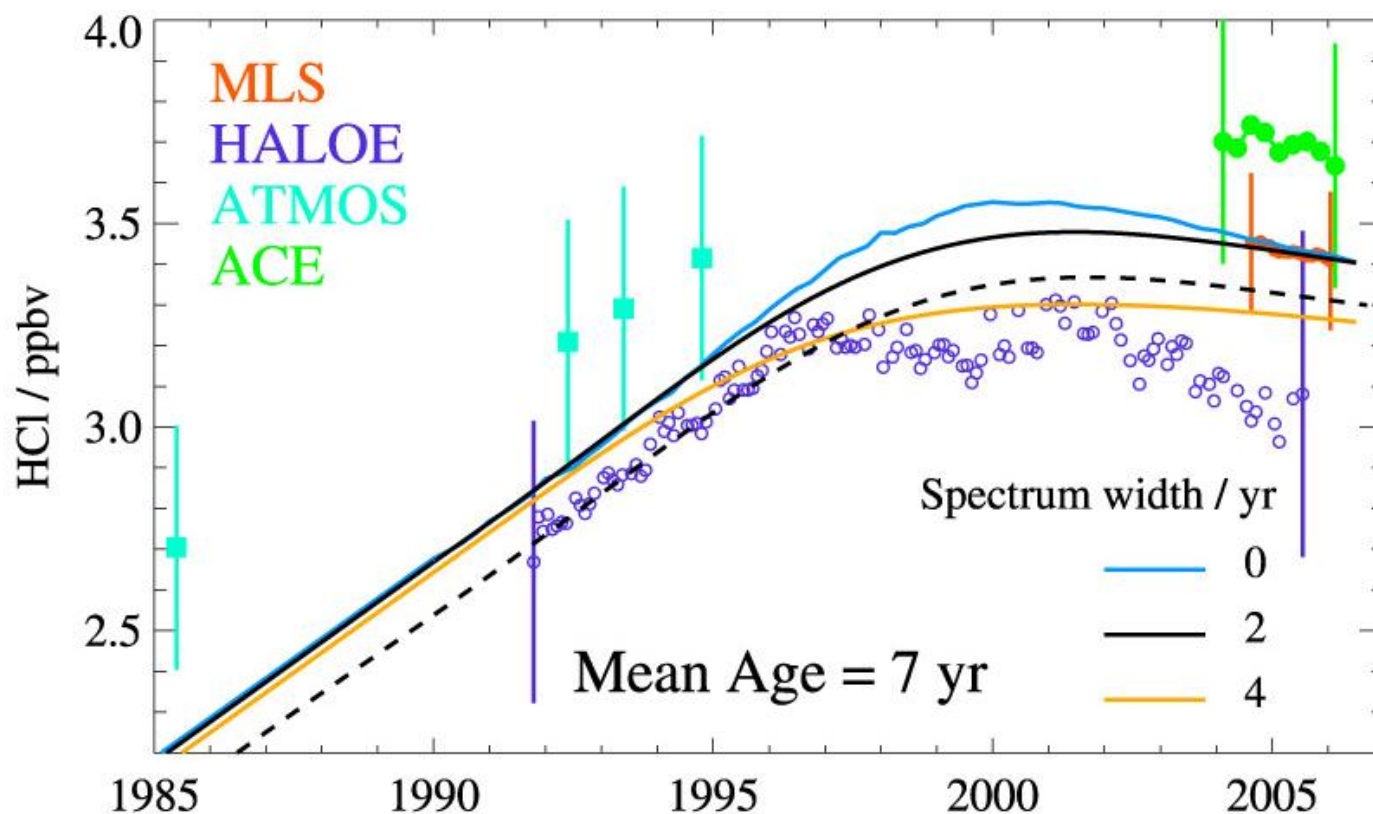


(X=H, OH, Cl, Br, NO)

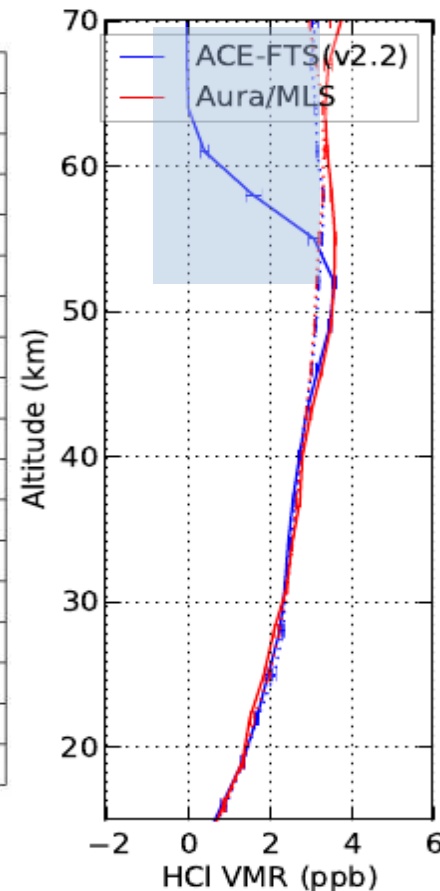
(WMO, 2006)

大気中の塩素量の上限

60S–60N monthly averages at 0.46 hPa (53 km)



(Froidevaux et al., GRL, 2006)



SMILES観測

(SMILES Mission Team, unpublished)

SMILESの狙う科学目標

1. 無機塩素の化学

- ClO と HCl の比率
- HOCl の生成
- 全球の ClO 分布

(上部成層圏のオゾントレンド)

(下部成層圏のオゾントレンド)

(ClOの背景値)

2. 臭素収支

(寿命の短いソースガス)

3. HOx 収支

(HOxジレンマ)

4. 巻雲の観測

(異相反応と放射収支)

5. オゾン同位体

(質量に依存しない化学)

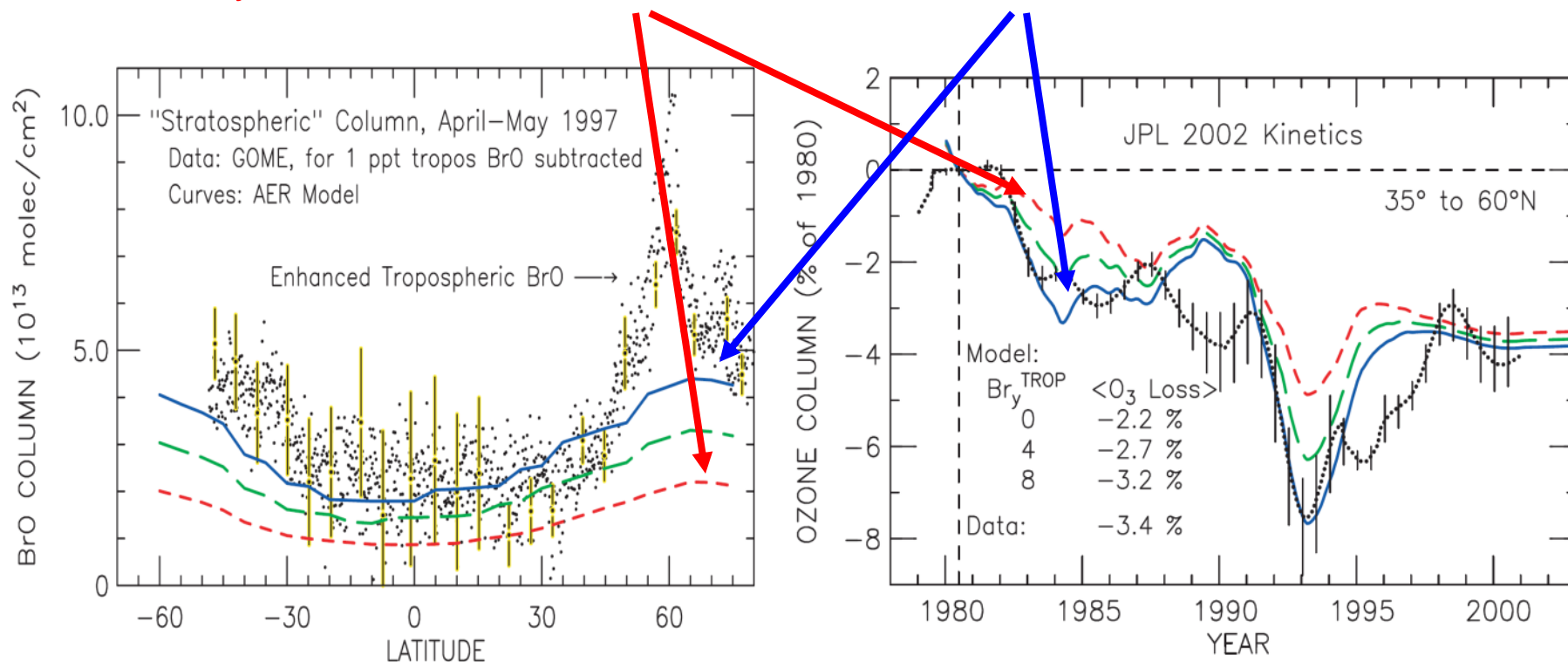
(6. 対流圏-成層圏交換

(オゾンフラックス))

臭素収支の不確定性

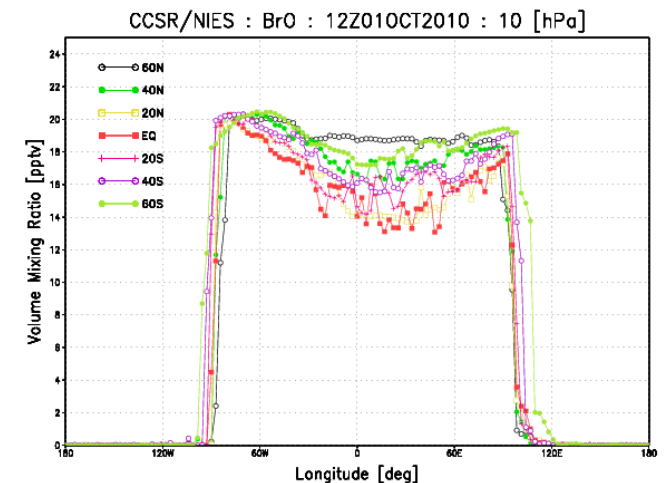
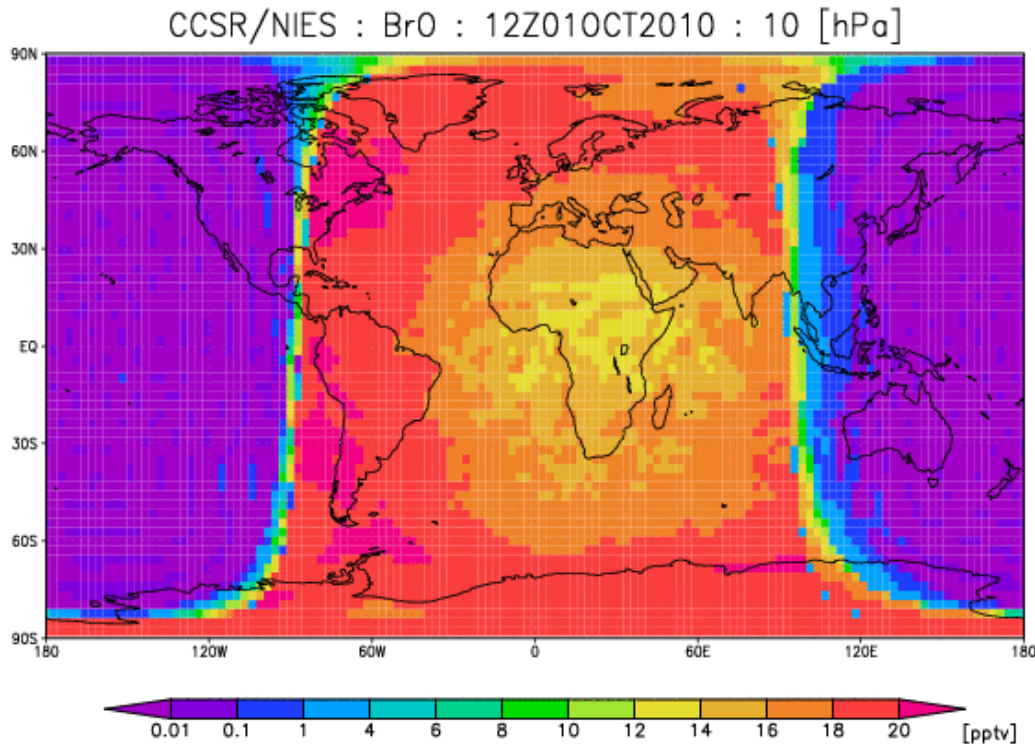
Br_y from CH₃Br & Halons

+ 8 pptv Br_y Source



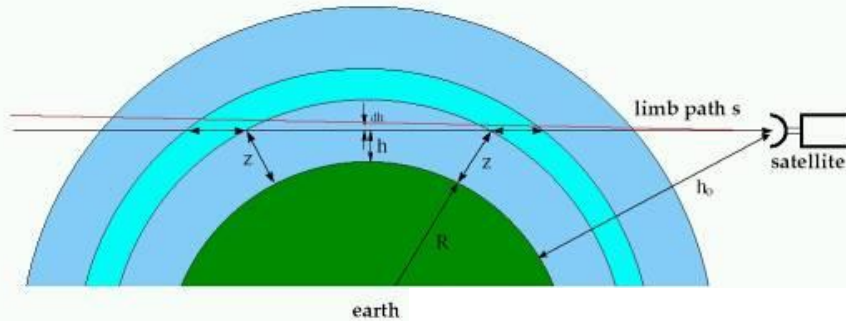
BrOの観測から、成層圏の臭素量を説明するには、寿命の長いソースガス(CH₃BrとHalon)だけでなく、寿命の短いソースガスの寄与(5 pptv)が必要(Salawitch et al., GRL, 2005).

モデル計算による成層圏BrO分布



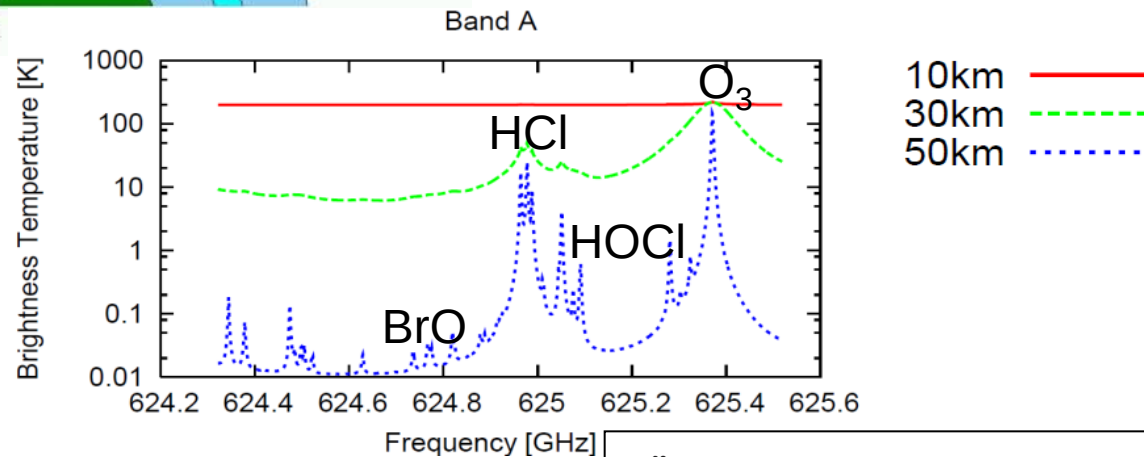
例) 10hPa, 10月1日12Z におけるBrOのスナップショット(秋吉, 私信)

データ処理の流れ

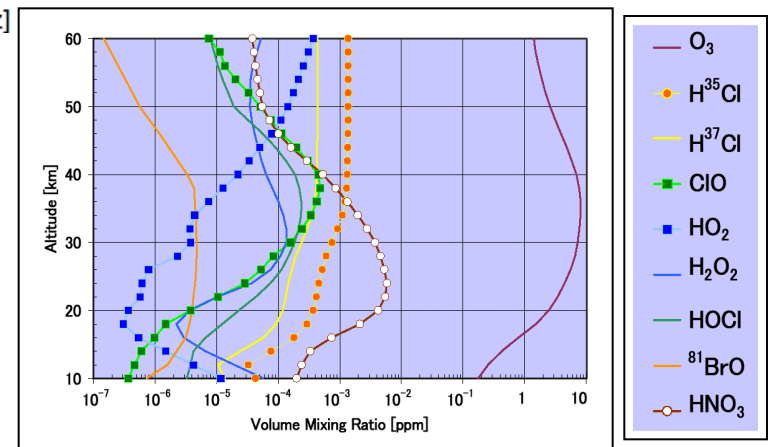


SMILESによるリム放射観測

Level 1 data:
スペクトルデータ



Level 2 data:
鉛直プロファイルデータ

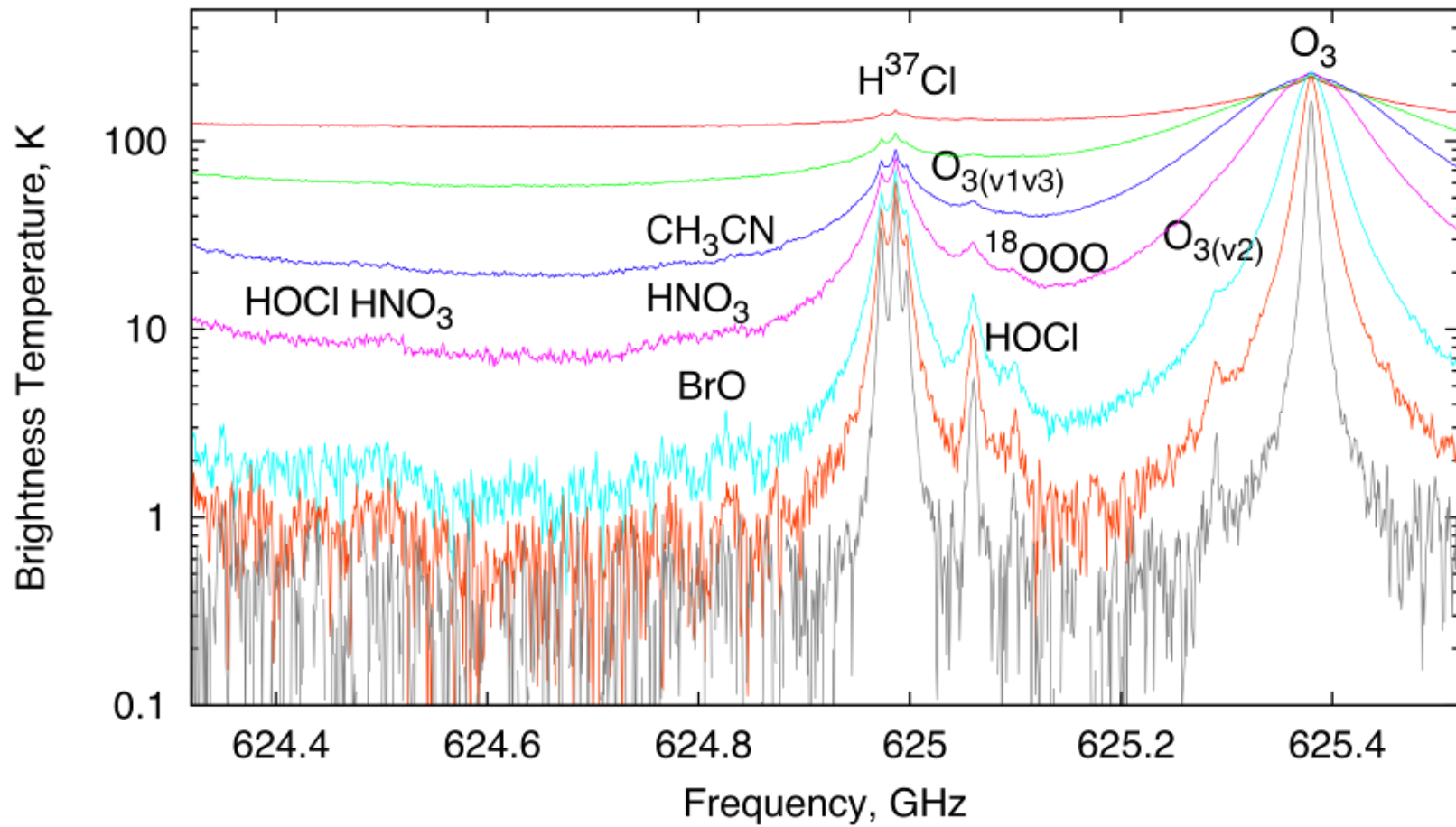


(SMILES Mission Plan など)

バンド A のスペクトル

band A (091012000062)

2009/10/12 03:22:14, N23.30 E173.83, SZA 55.8 deg at 30km



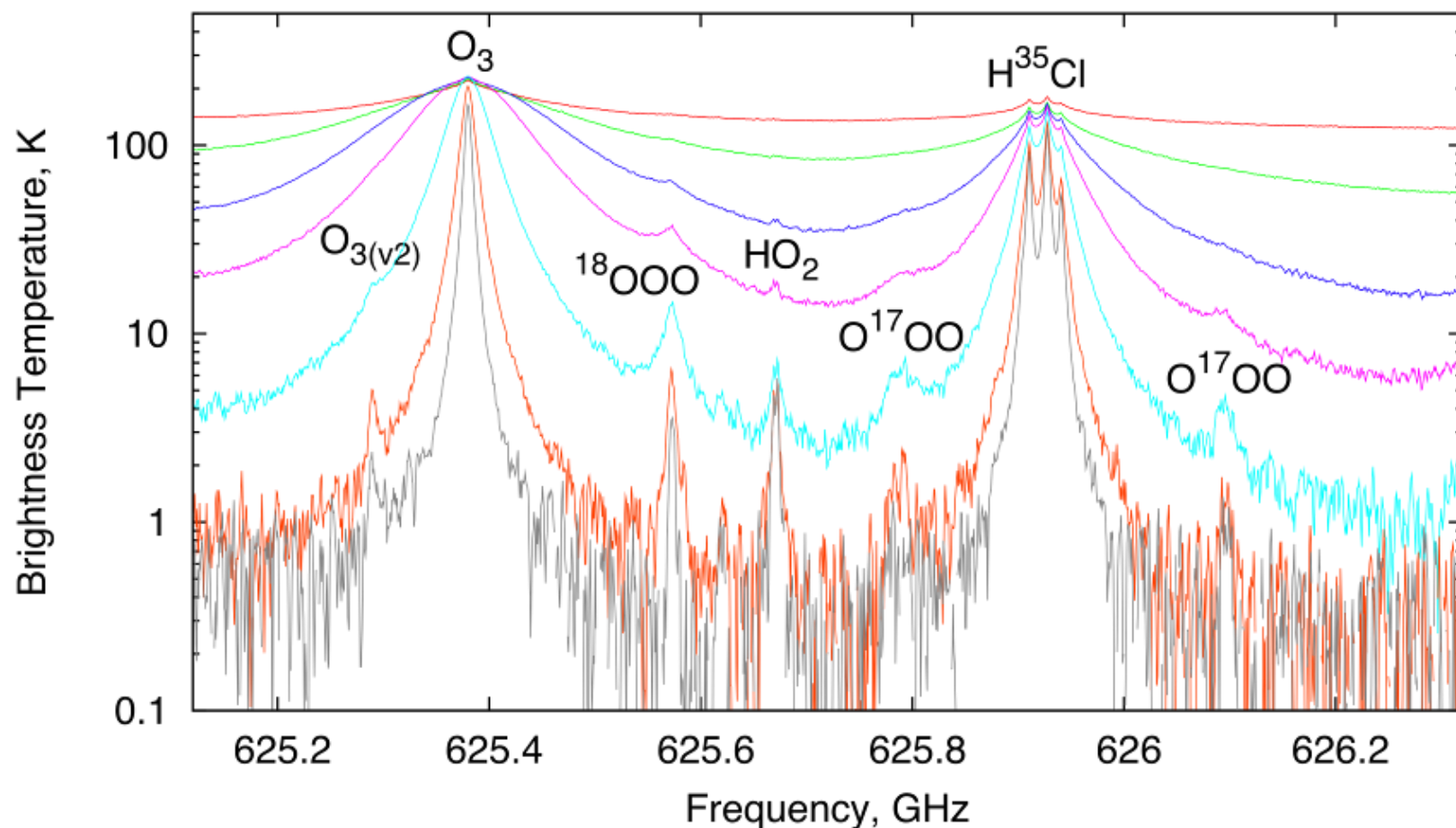
15.9 km	—	25.9 km	—	35.6 km	—	45.2 km	—
19.9 km	—	29.8 km	—	39.5 km	—		

(Kikuchi et al., JGR, 2010)

バンド B のスペクトル

band B (091017000060)

2009/10/17 00:53:32, S21.52 W138.83, SZA 57.3 deg at 30km



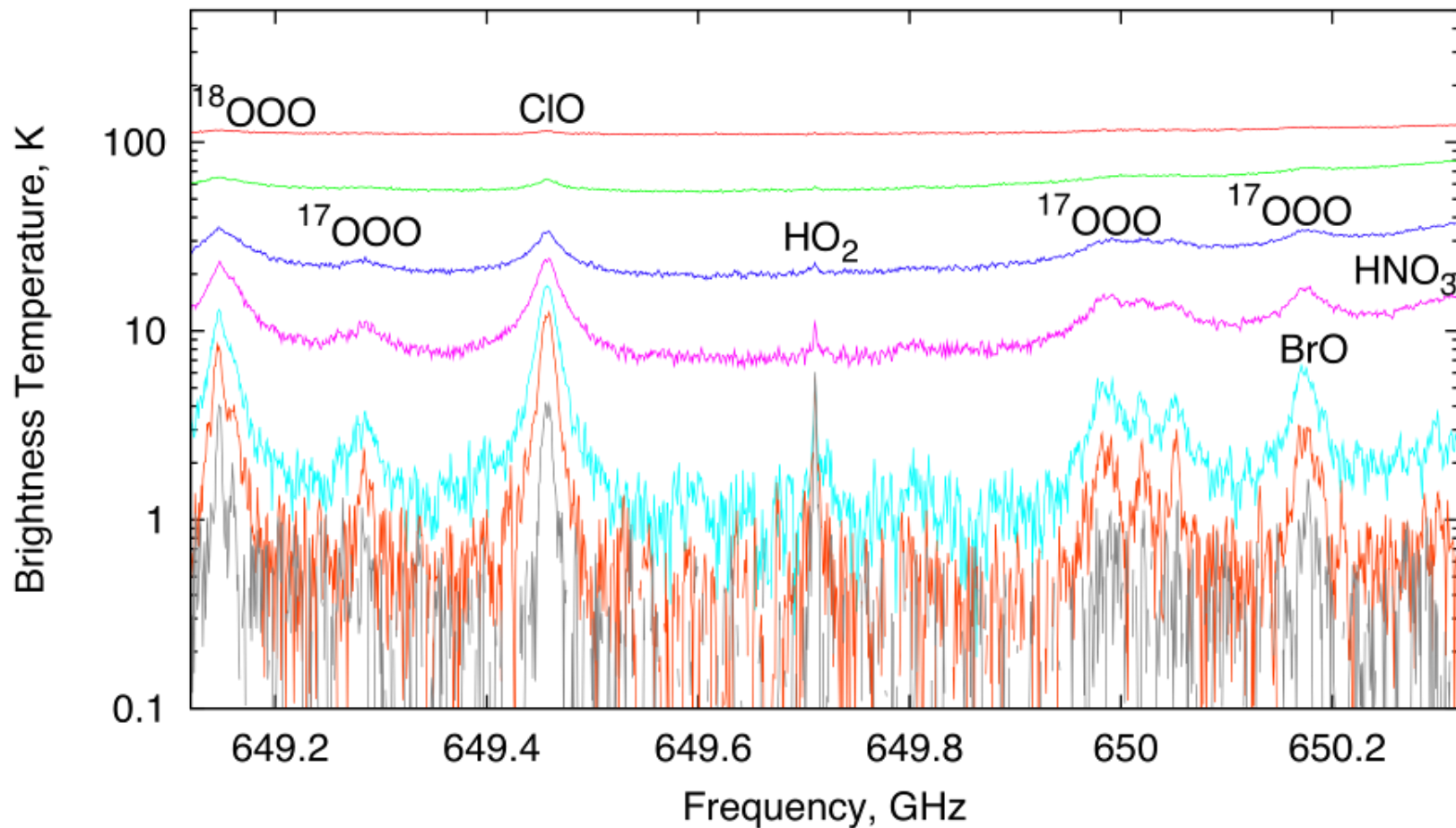
15.1 km	—	25.1 km	—	35.0 km	—	44.8 km	—
19.1 km	—	29.1 km	—	40.9 km	—		

(Kikuchi et al., JGR, 2010)

バンド C のスペクトル

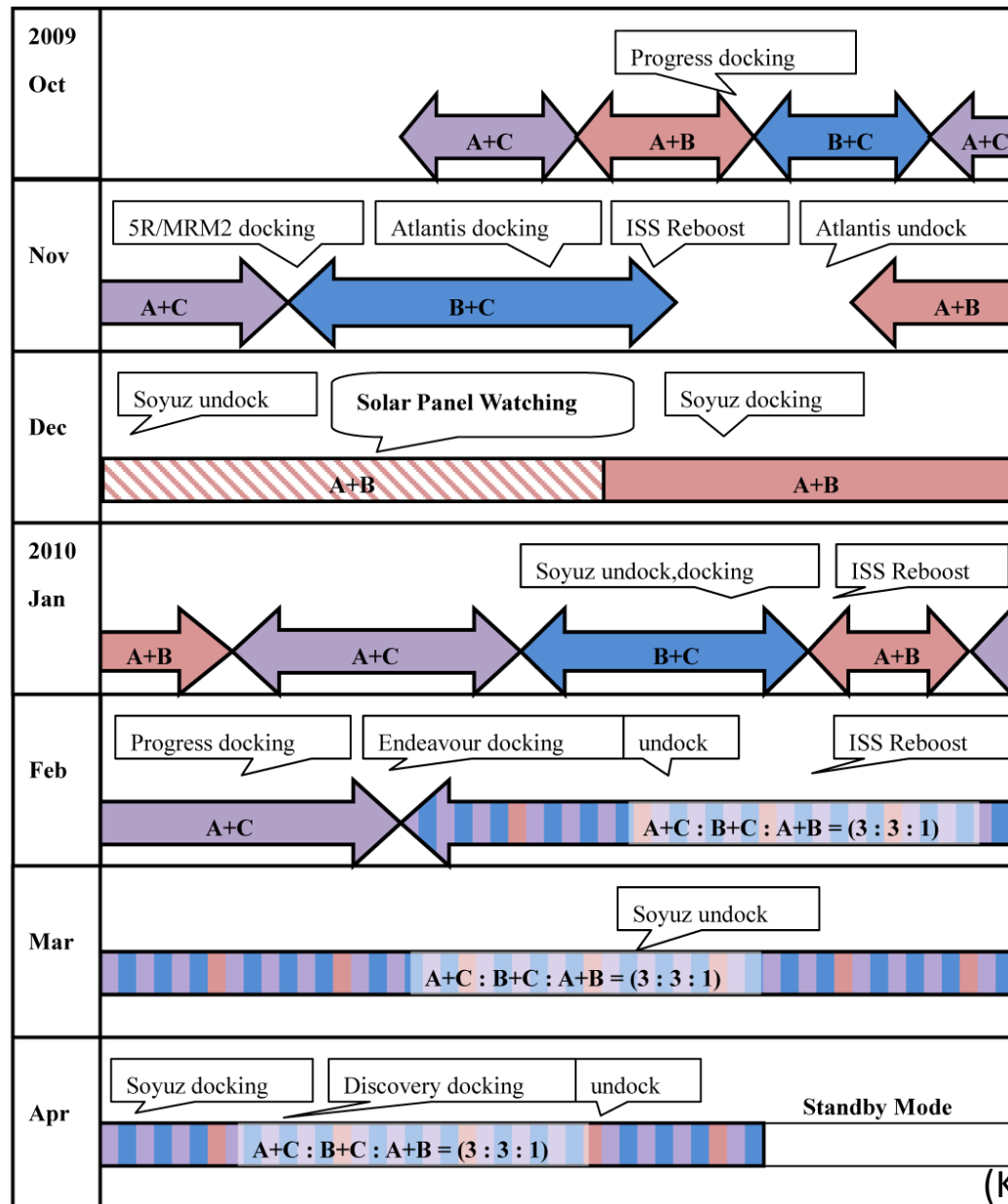
band C (091012000062)

2009/10/12 03:22:14, N23.30 E173.83, SZA 55.8 deg at 30 km



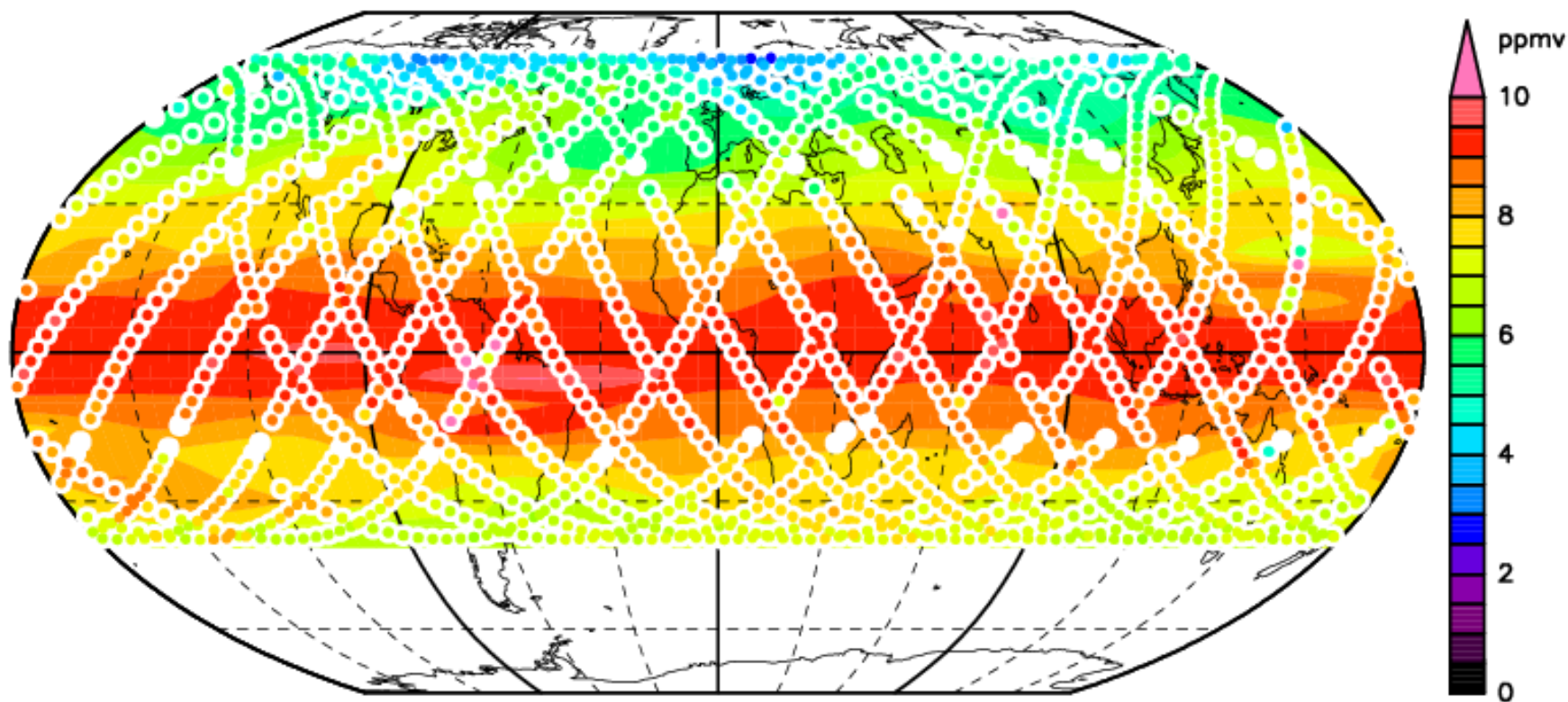
(Kikuchi et al., JGR, 2010)

SMILESの観測状況



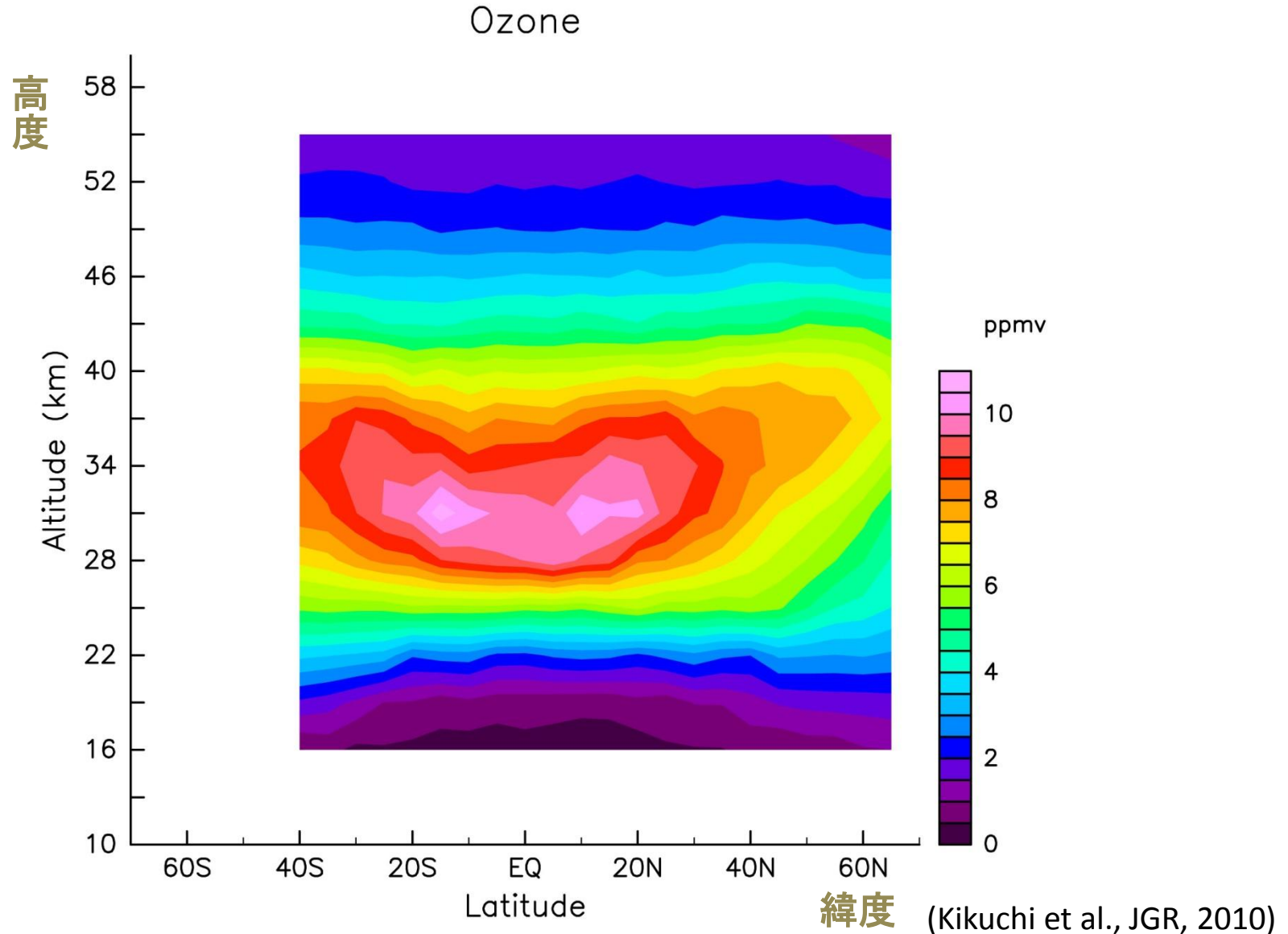
高度28kmにおけるオゾン分布

28km O3 1day 20091012

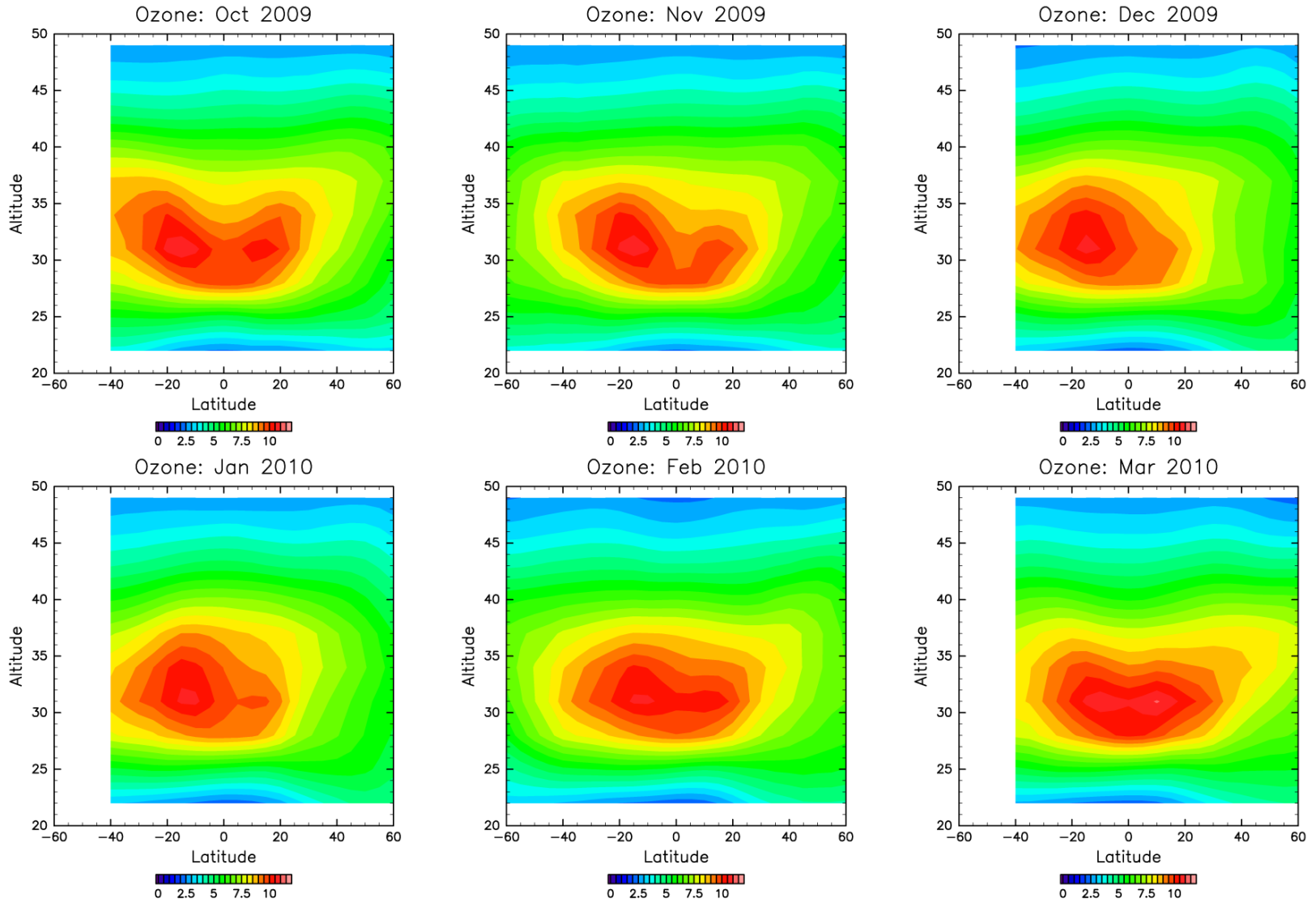


(Kikuchi et al., JGR, 2010)

帯状平均したオゾンの緯度-高度分布

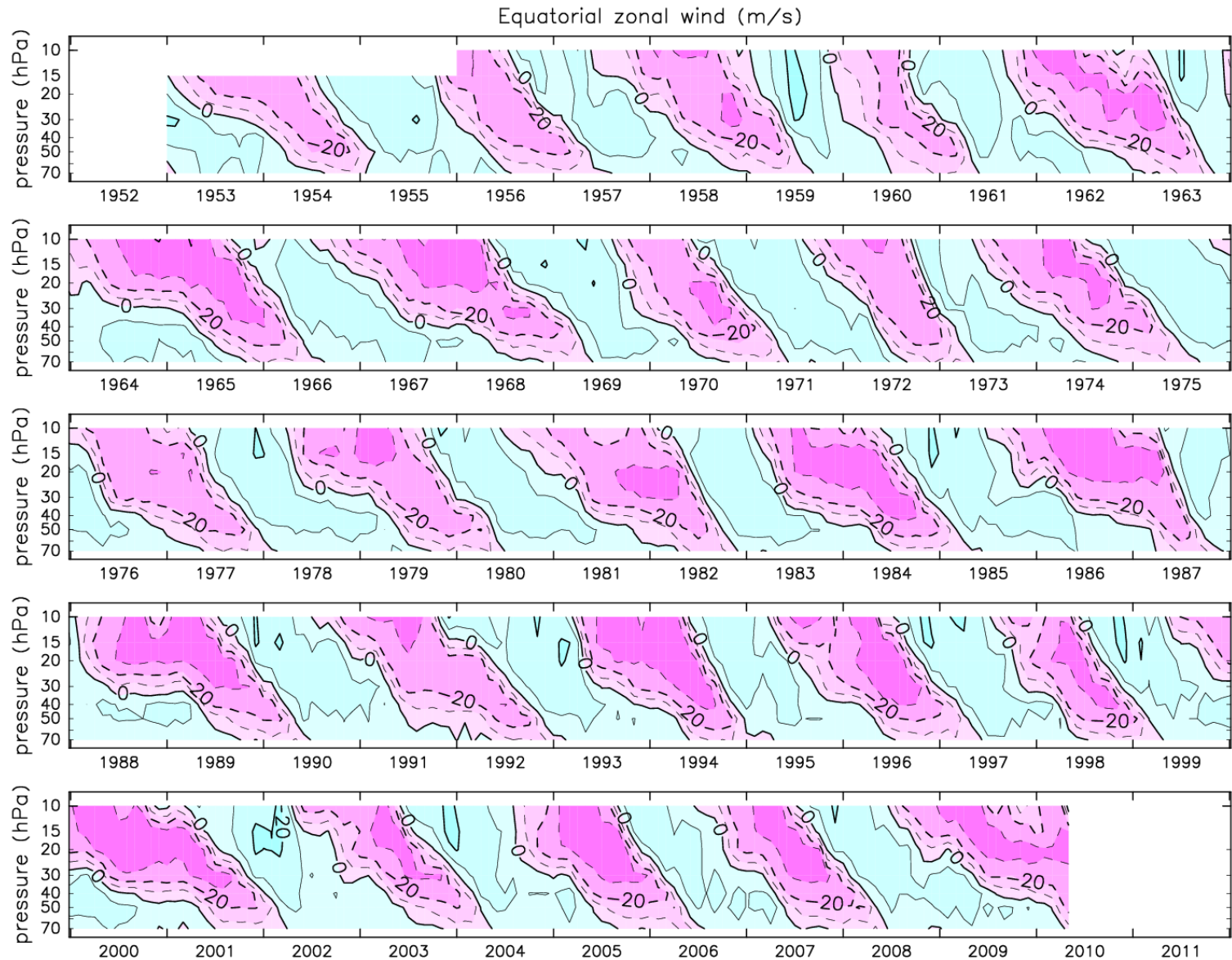


オゾン分布の季節進行



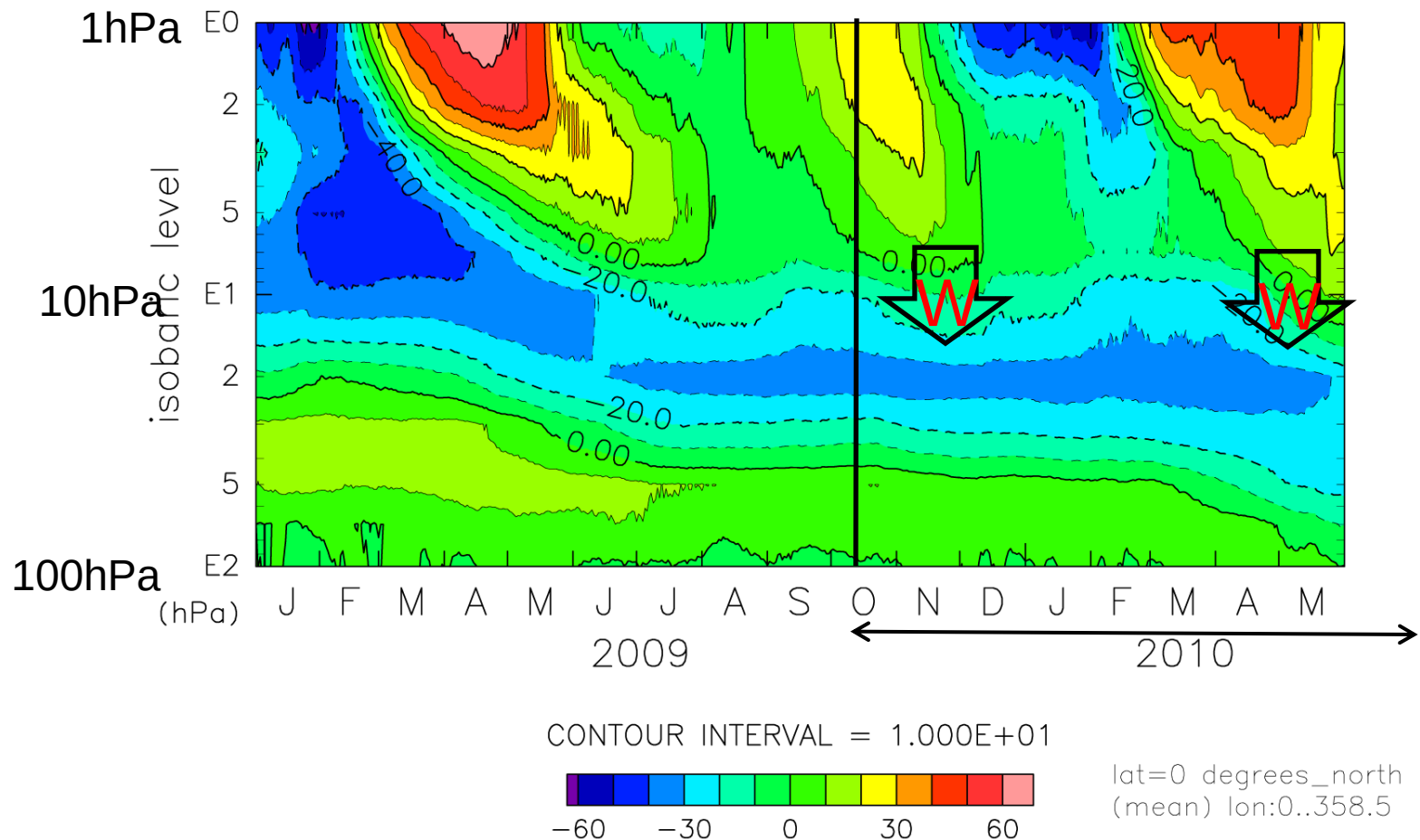
(SMILES Mission Team, unpublished)

準二年周期振動

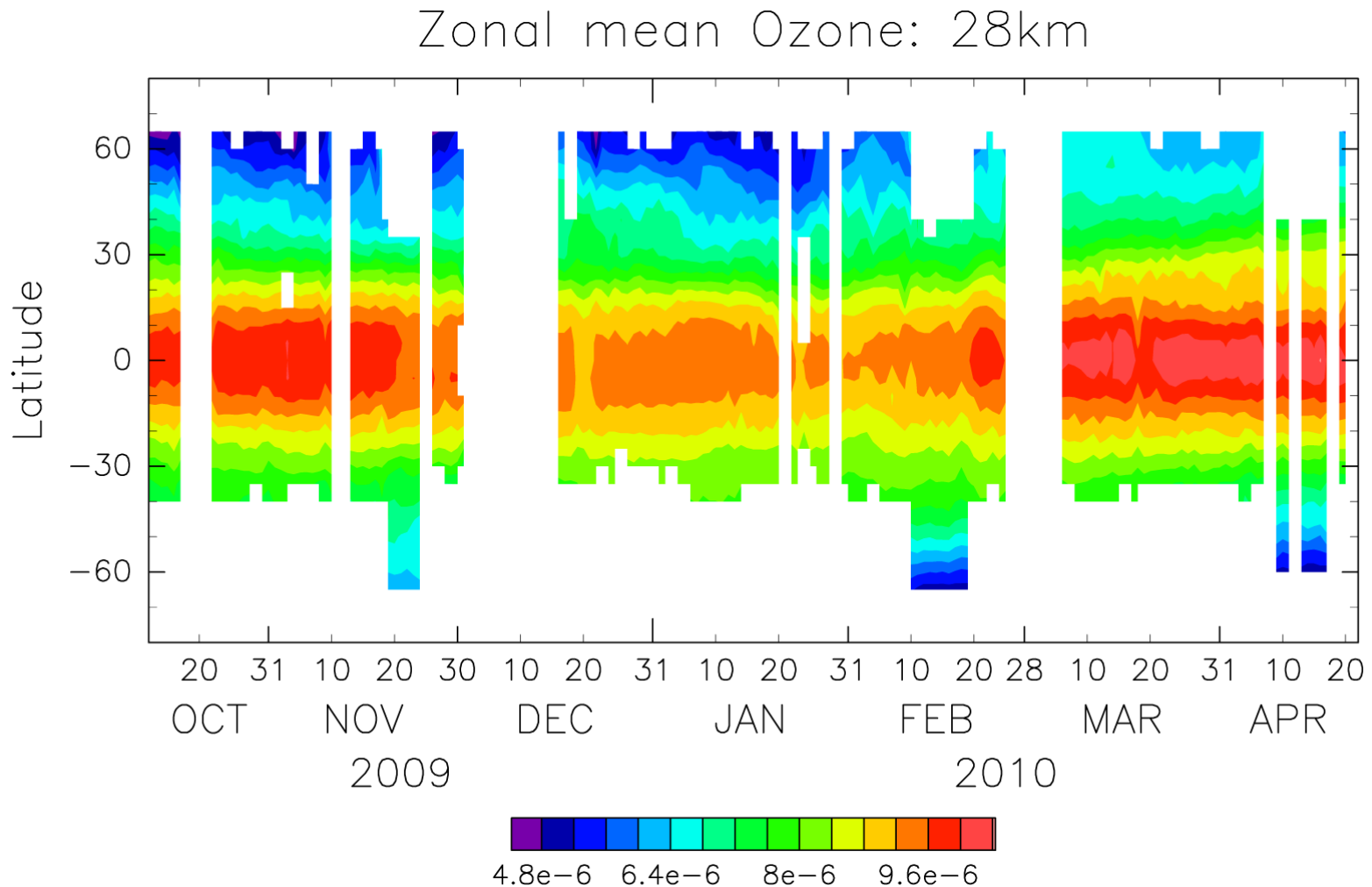


赤道上での帯状平均東西風

u-component of wind

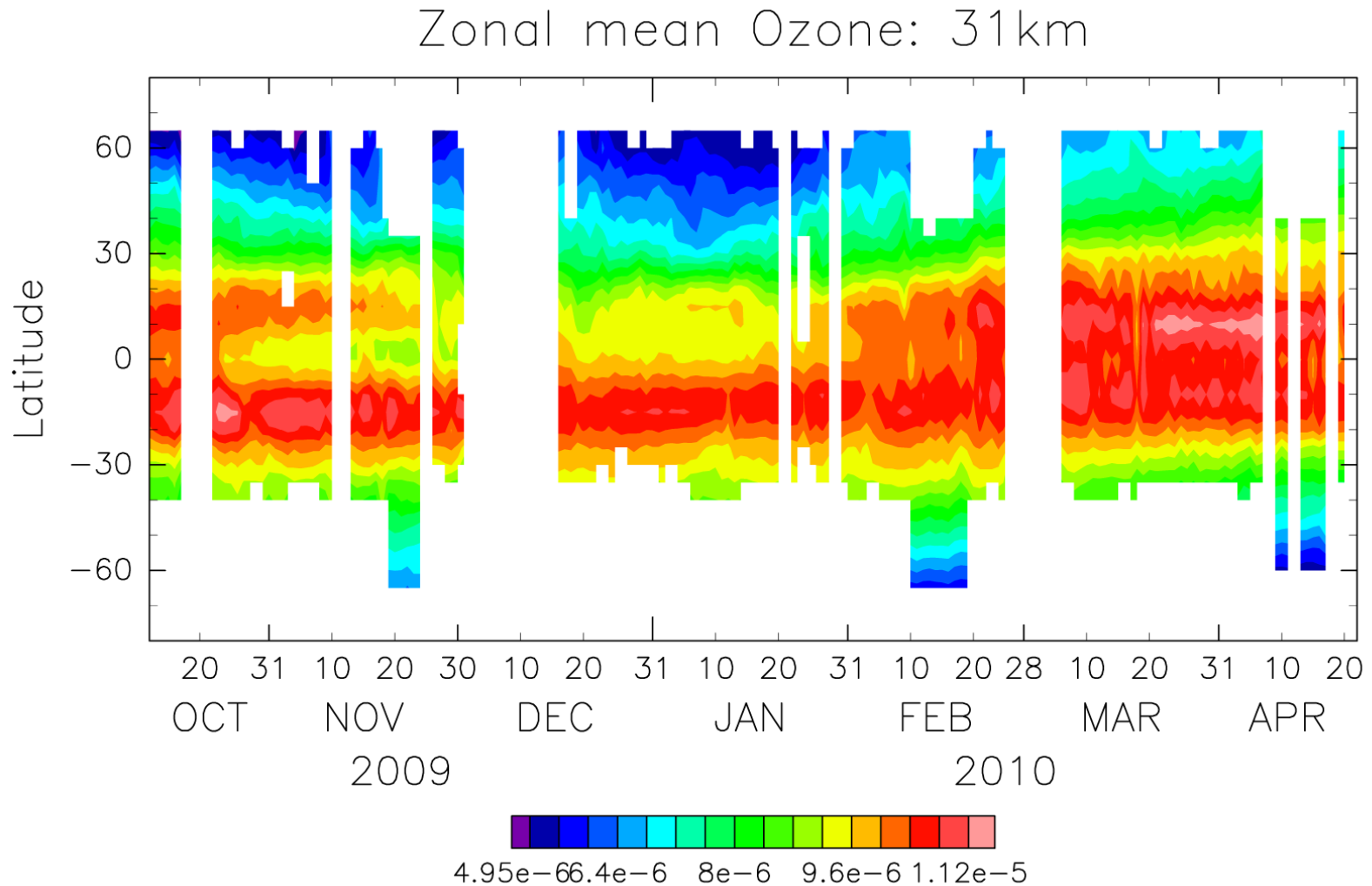


帯状平均 O_3 の時間緯度断面(28km)



(SMILES Mission Team, unpublished)

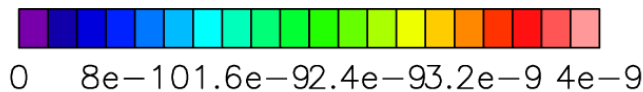
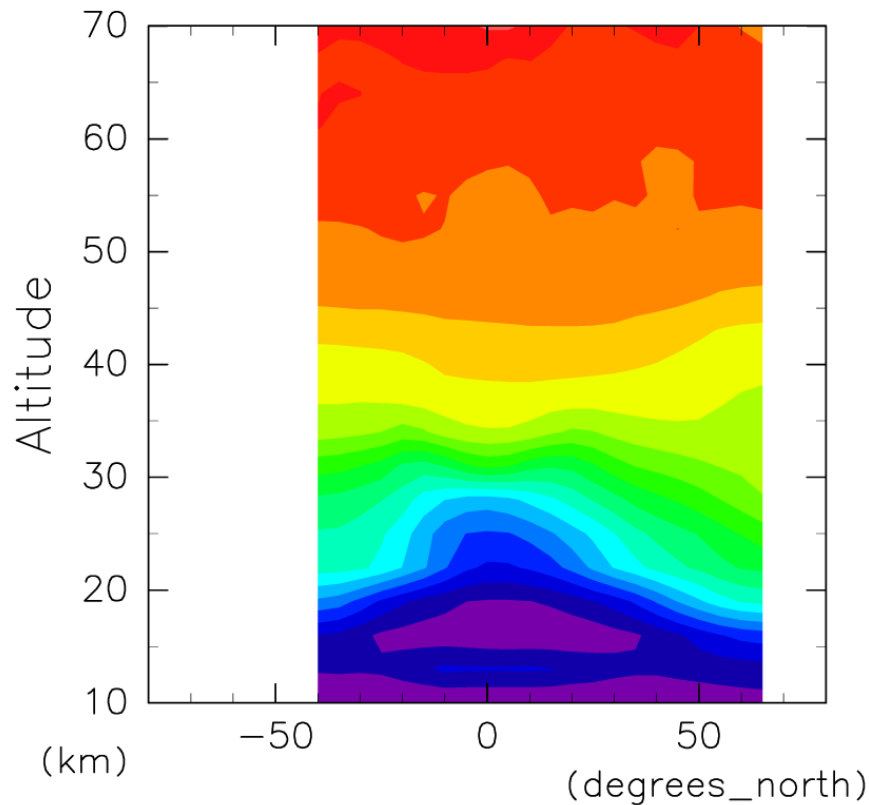
帯状平均 O_3 の時間緯度断面(31km)



(SMILES Mission Team, unpublished)

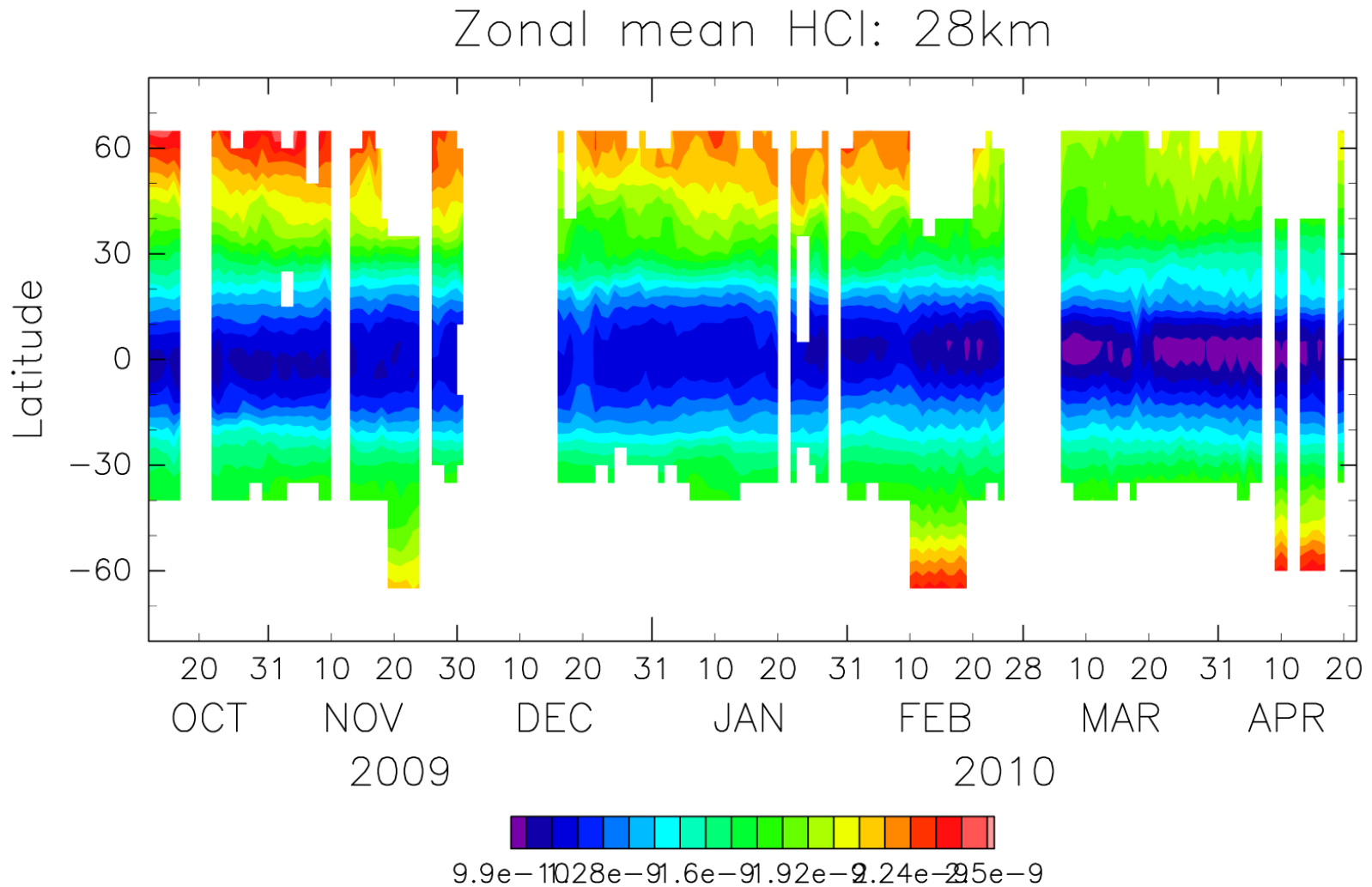
帯状平均HClの緯度高度断面(10月)

HCl Oct



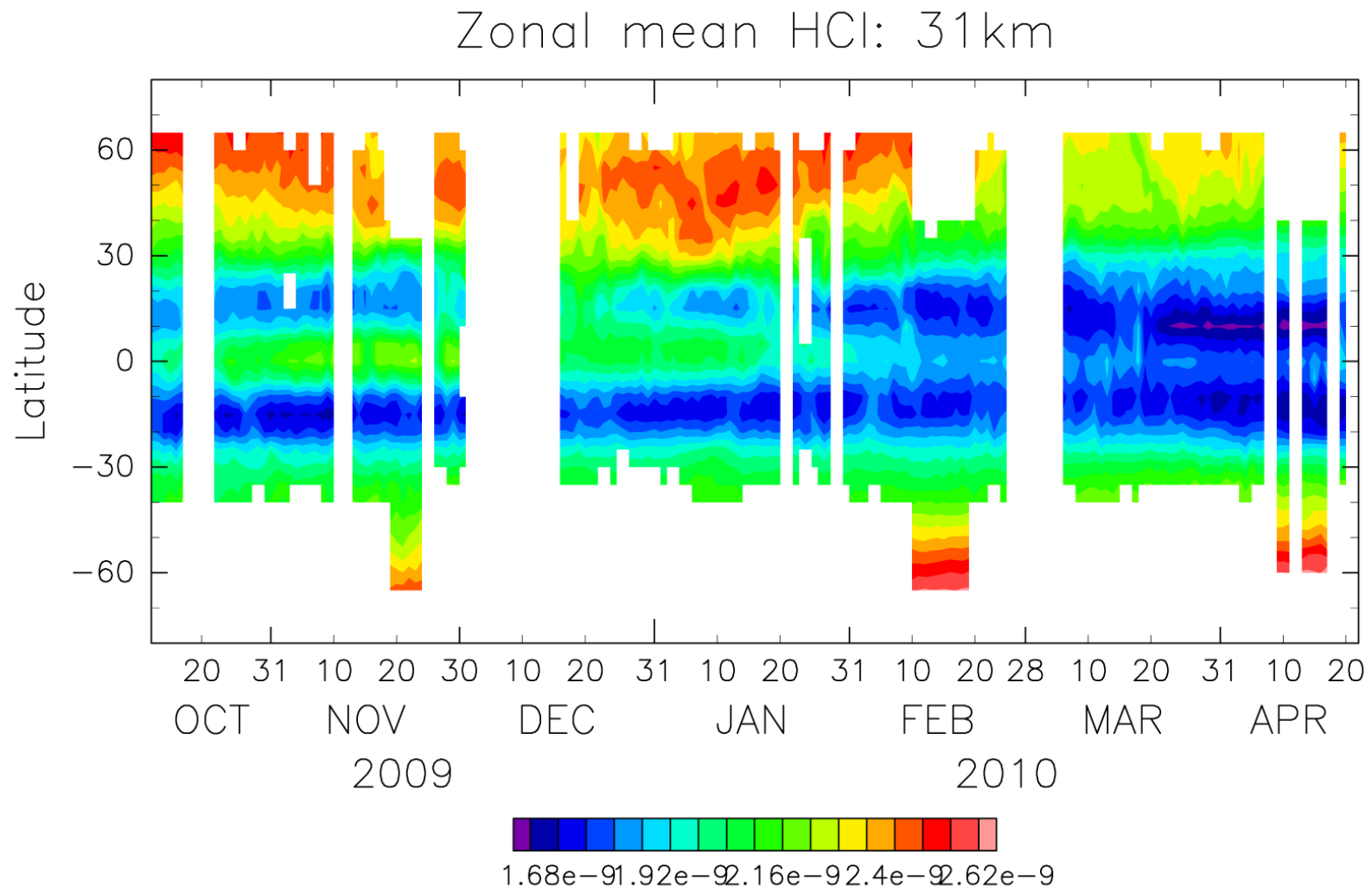
(SMILES Mission Team, unpublished)

帯状平均HClの時間緯度断面(28km)



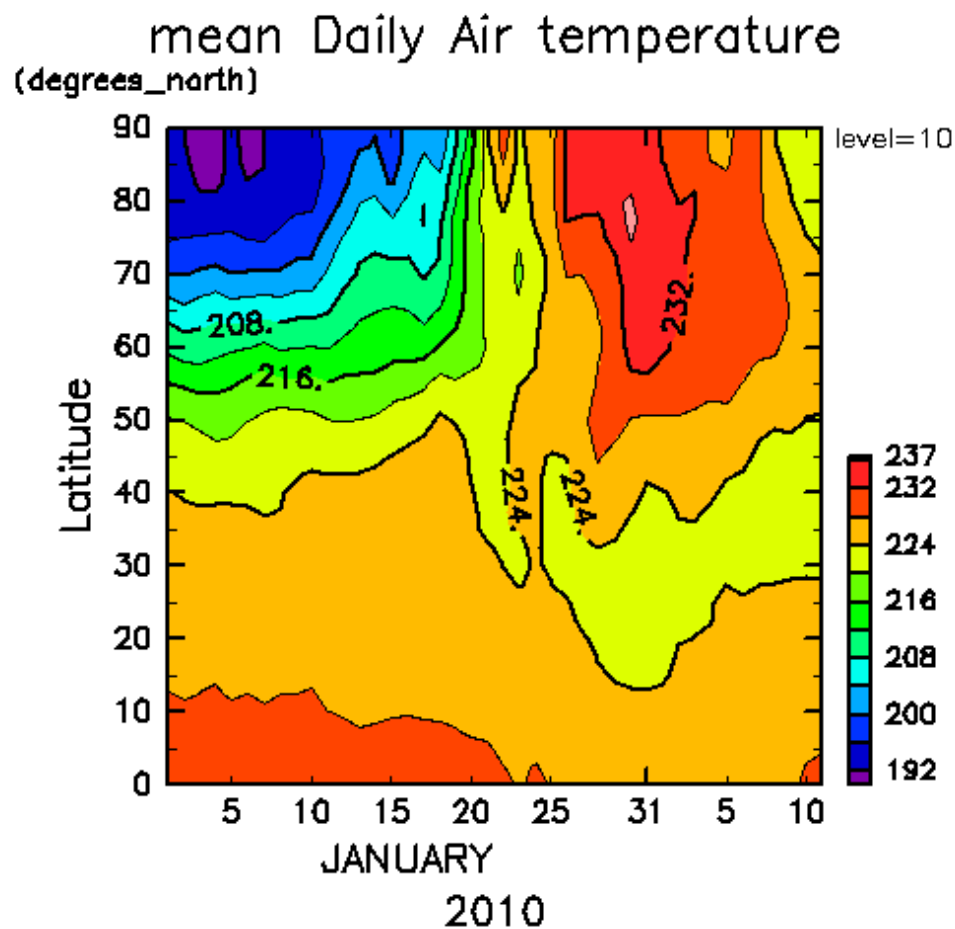
(SMILES Mission Team, unpublished)

帯状平均HClの時間緯度断面(31km)

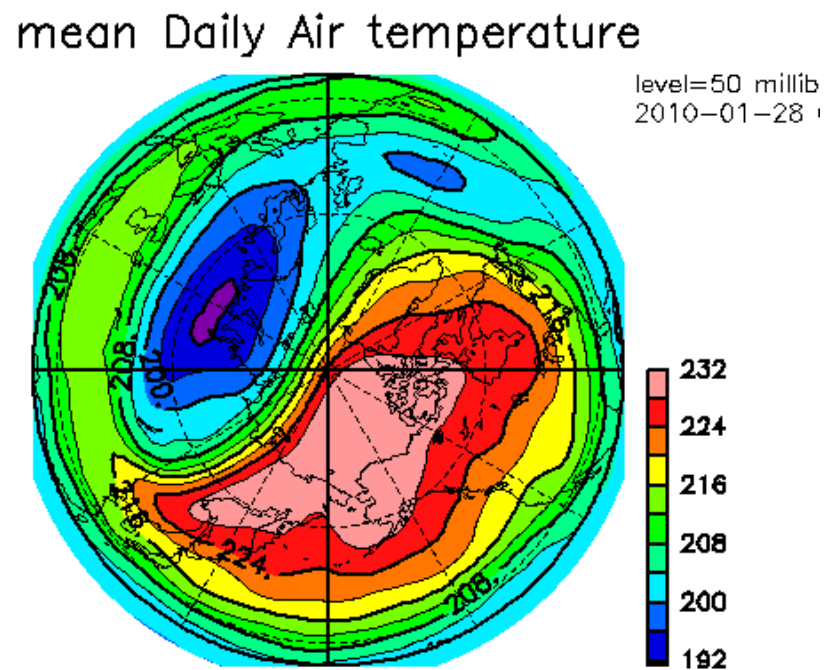


(SMILES Mission Team, unpublished)

2010年成層圈突然昇溫



10hPa, NP temp.

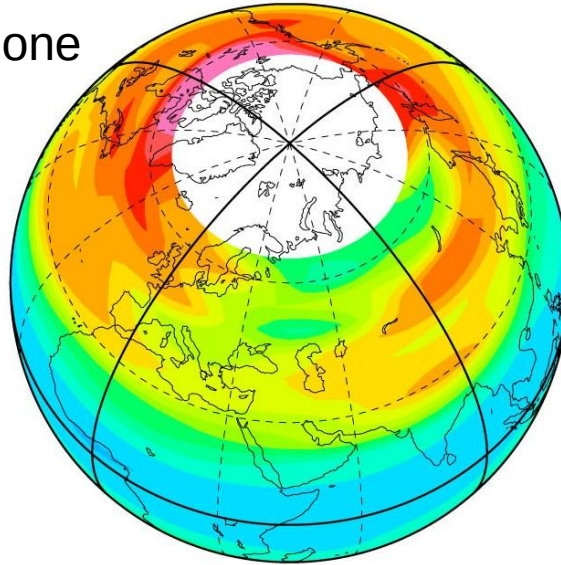


50hPa temp., Jan 28, 2010

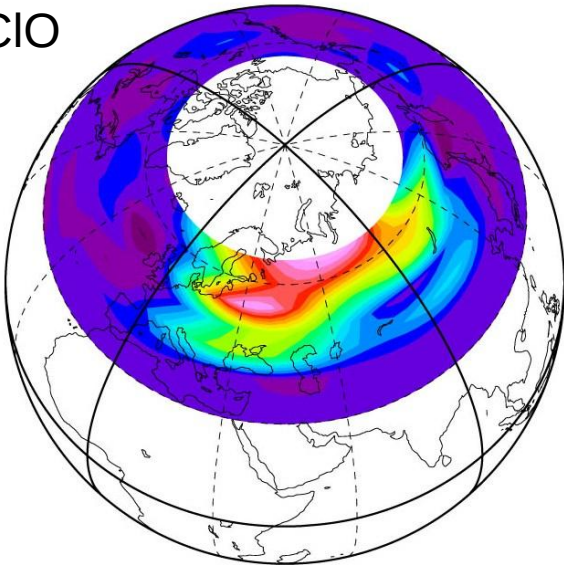
(SMILES Mission Team, unpublished)

O_3 とClO, HClの分布 (2010/01/28)

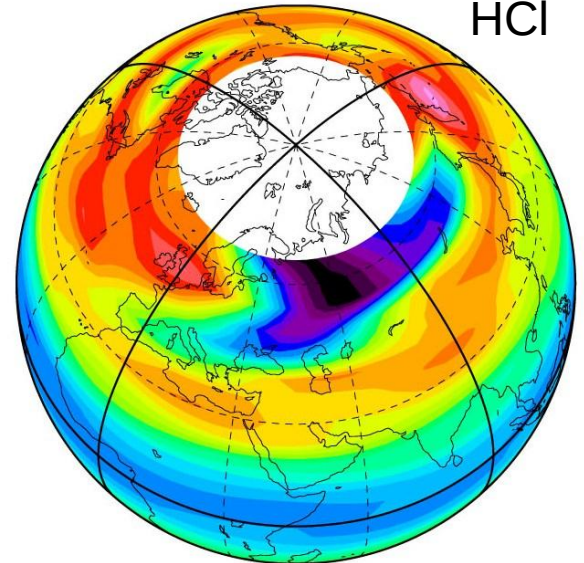
Ozone



ClO

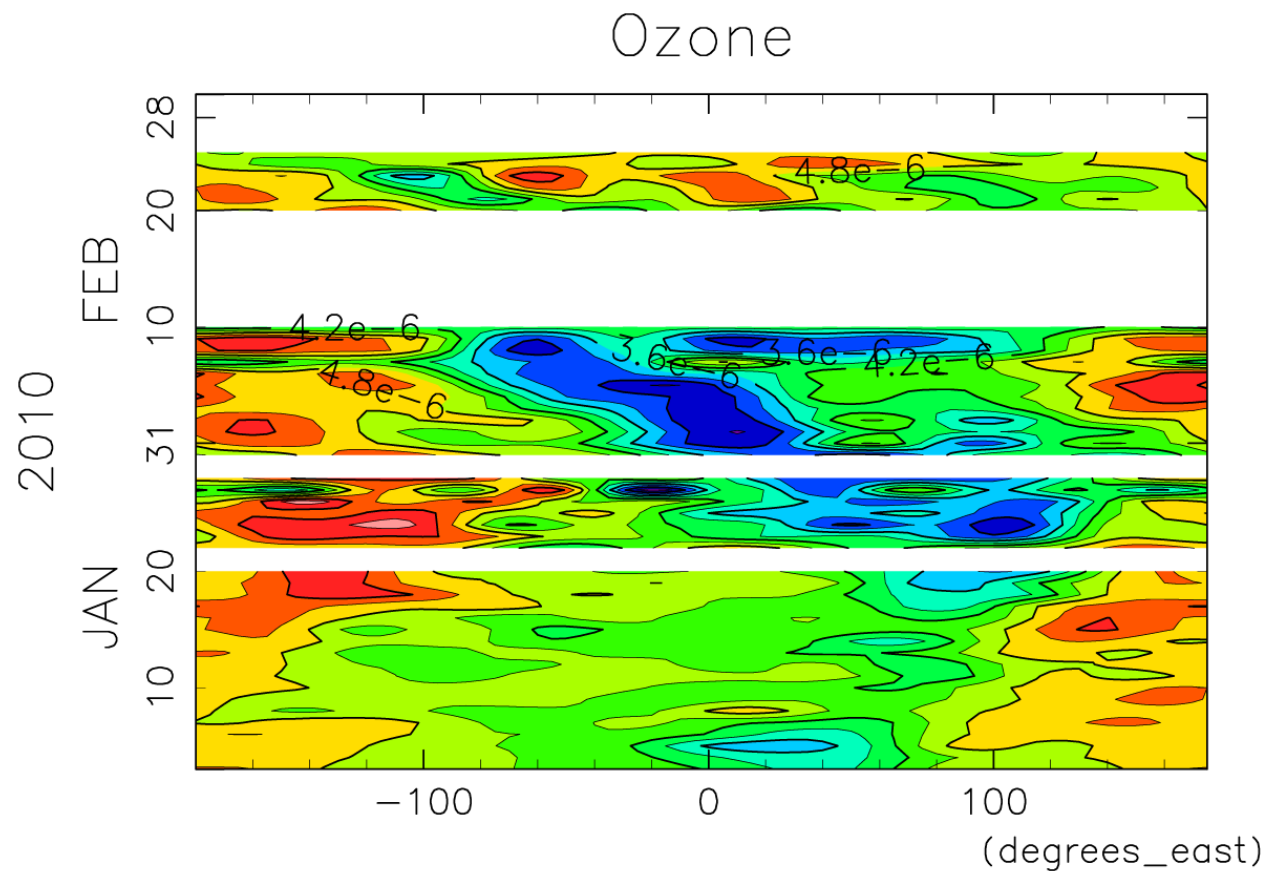


HCl

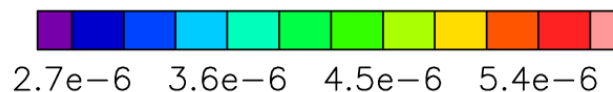


(SMILES Mission Team, unpublished)

O₃の経度時間断面(60N, 22km)

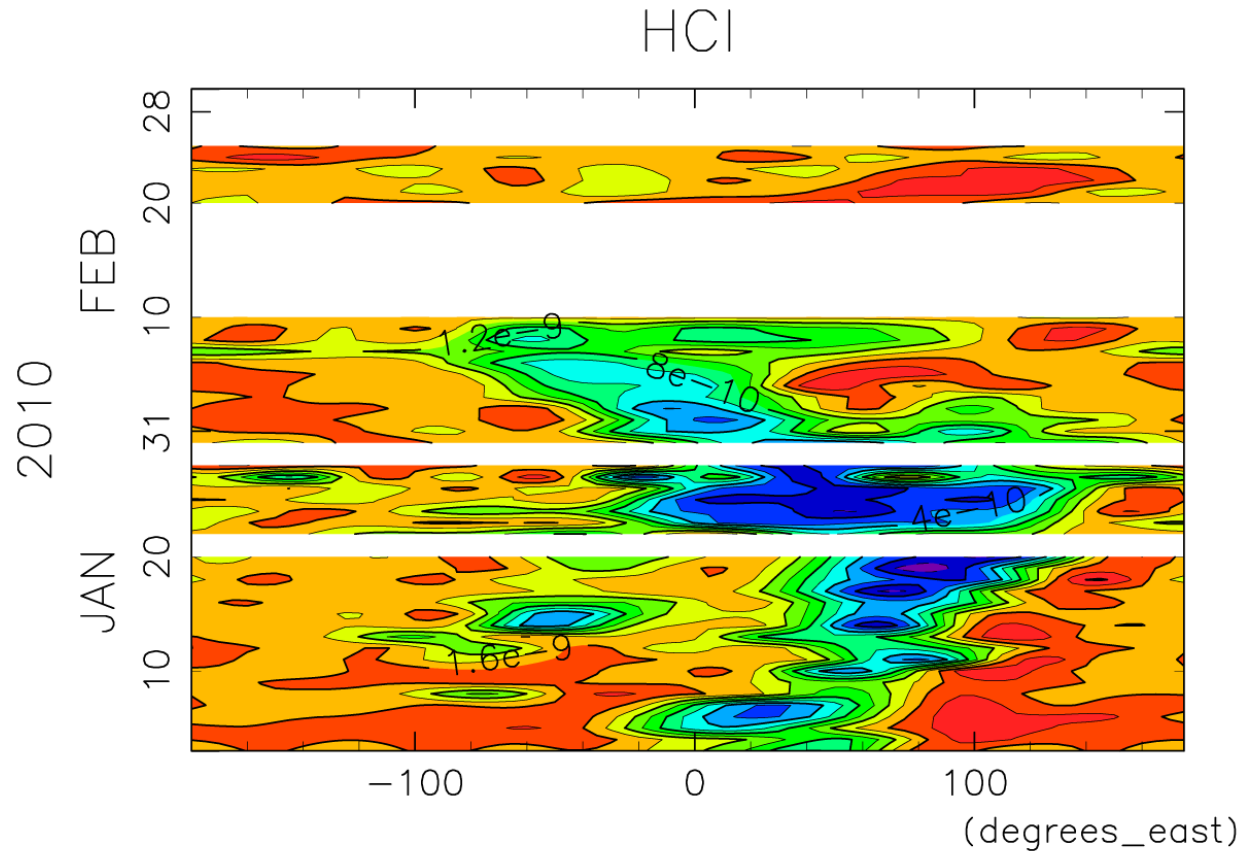


CONTOUR INTERVAL = 3.000E-07



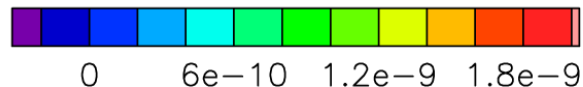
lat=60 degrees
lev=22 km

HClの経度時間断面(60N, 22km)



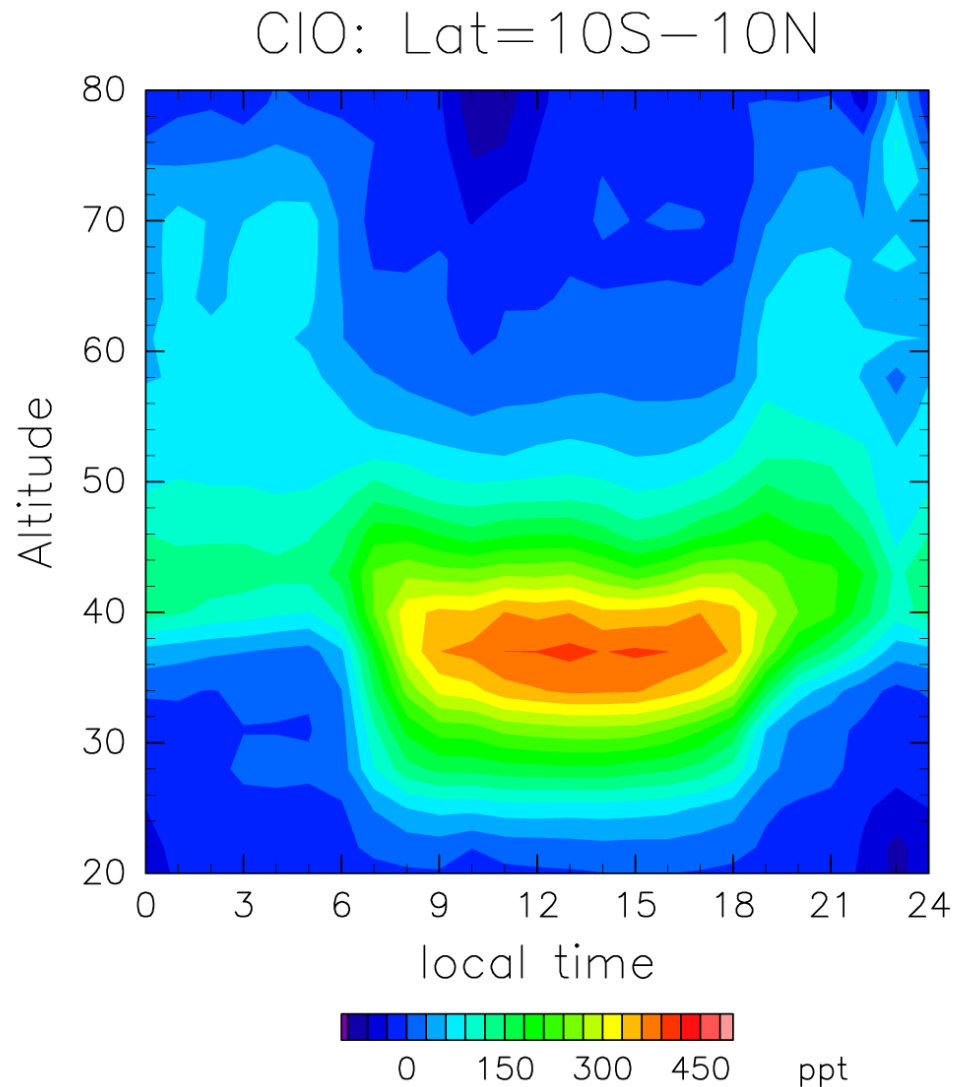
Longitude

CONTOUR INTERVAL = $2.000\text{E}-10$



lat=60 degrees
lev=22 km

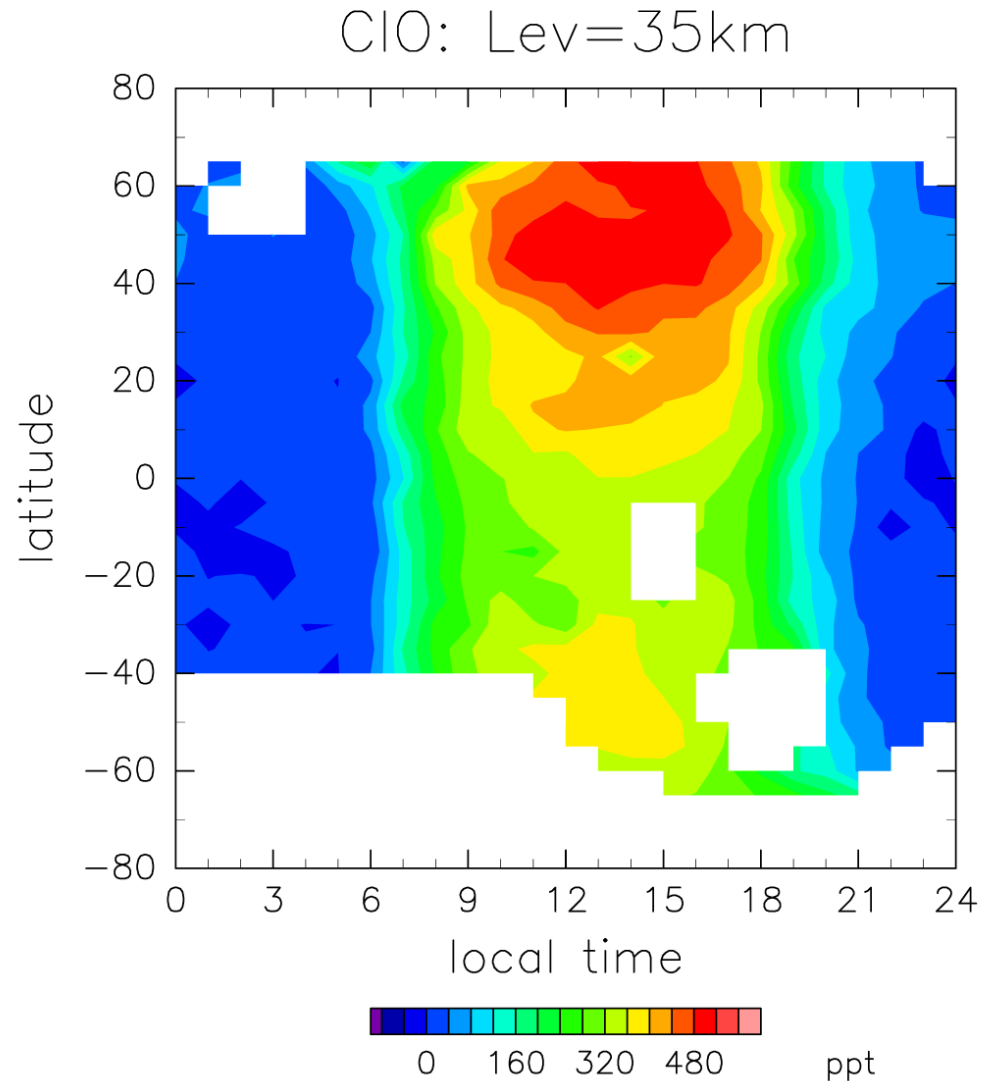
CIOの日変化(時間-高度断面)



2010年2月から4月の
データを使用; 1時間,
緯度5度ボックス平均

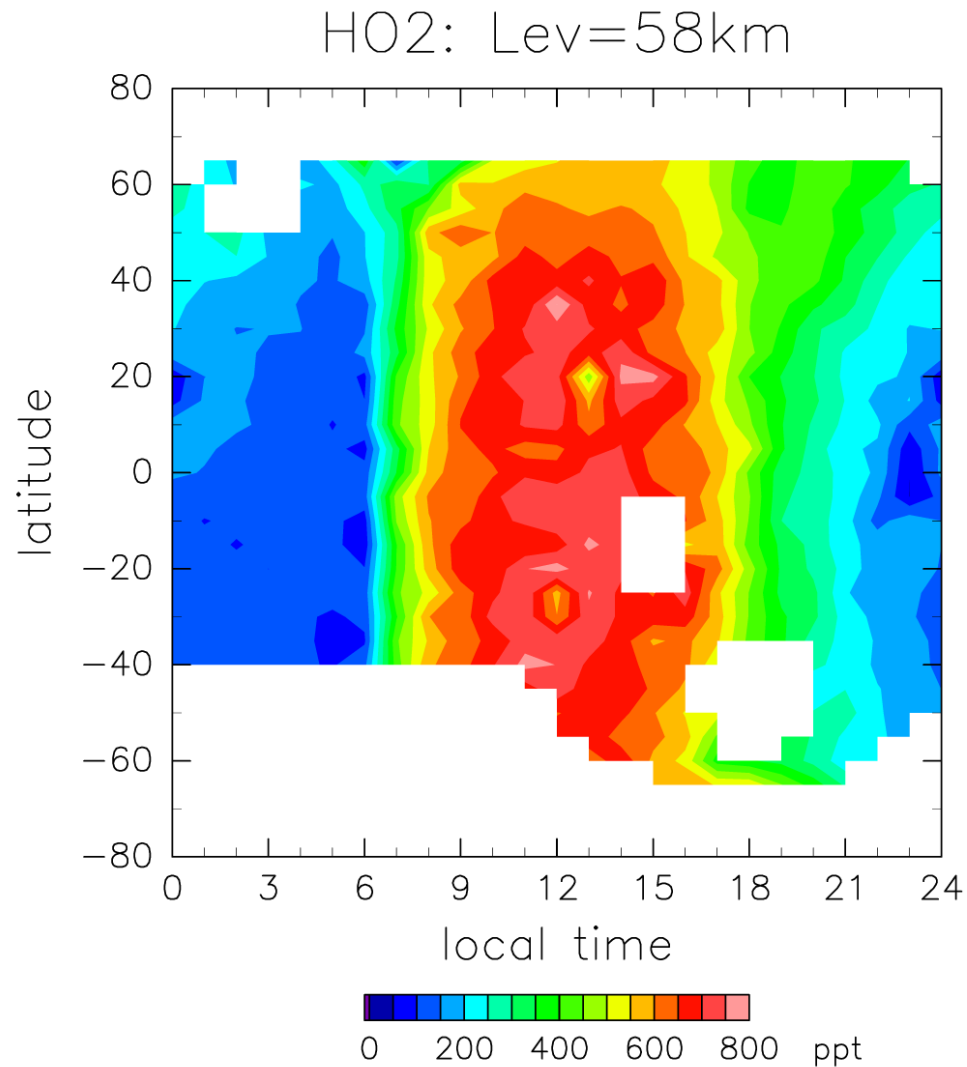
(SMILES Mission Team, unpublished)

ClOの日変化(時間-緯度断面)



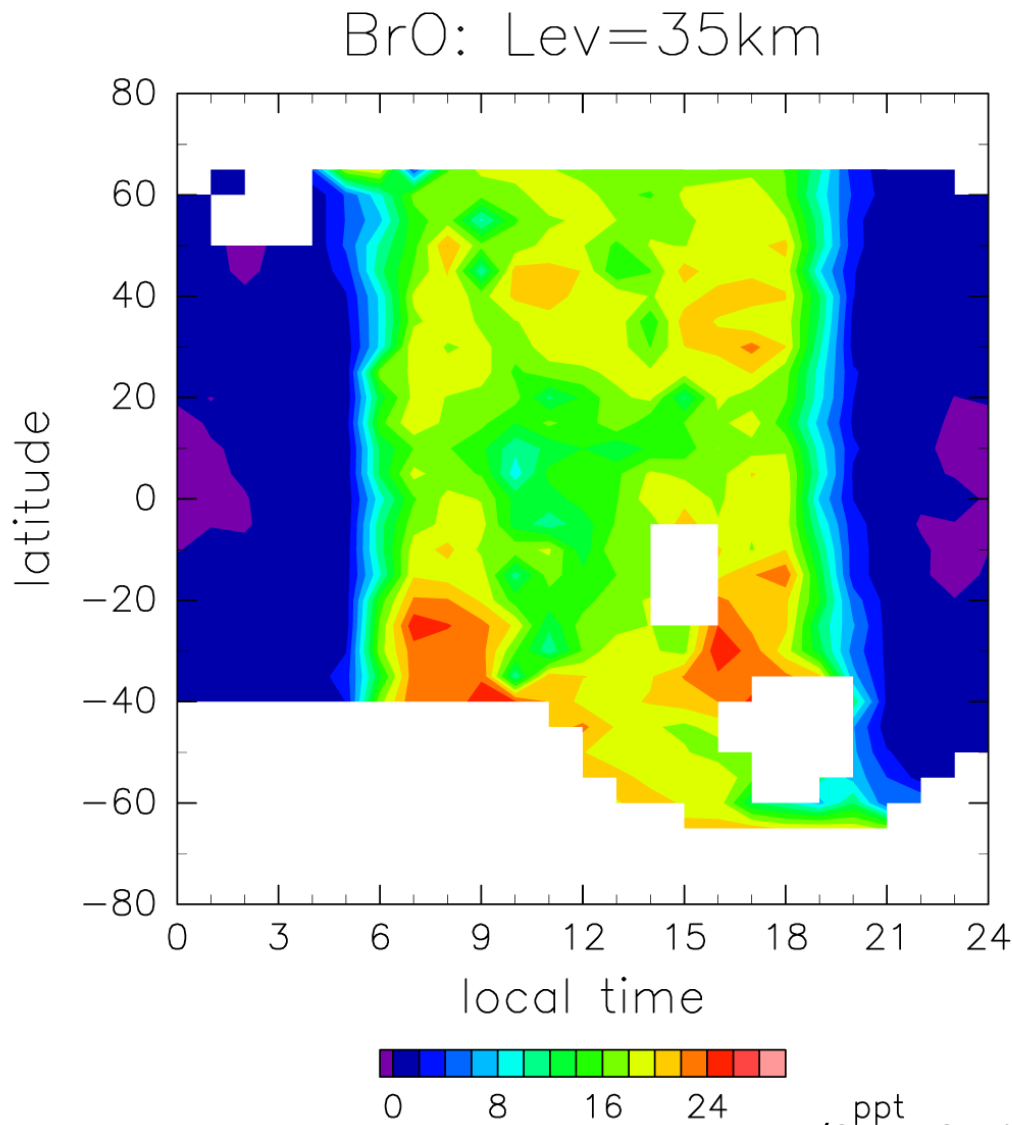
(SMILES Mission Team, unpublished)

HO₂の日変化(時間-緯度断面)



(SMILES Mission Team, unpublished)

BrOの日変化(時間-緯度断面)



(SMILES Mission Team, unpublished)

おわりに

- 衛星観測：圧倒的な情報量
俯瞰的，分野横断的な理解，「構想力」
- 地上観測：高い精度・分解能
少ない情報量の中でめぐらす「想像力」
「鳥の眼」と「虫の眼」

⇒ この相補的な両者の見方を通して，地球環境変化の把握とそのメカニズムの解明がはじめて可能になる．

参考文献

- JEM/SMILES Mission Plan:
http://smiles.tksc.jaxa.jp/document/SMILES_MP_ver2.11.pdf
- Eyring et al., 2010: Multi-model assessment of stratospheric ozone return dates and ozone recovery in CCMVal-2 models, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 10, 11659-11710.
- Akiyoshi et al., 2010: Recovery of stratospheric ozone in calculations by the Center for Climate System Research/National Institute for Environmental Studies chemistry-climate model under the CCMVal-REF2 scenario and a no-climate-change run, *J.Geophys. Res.*, 115, 19301
- Salawitch et al., 2005: Sensitivity of ozone to bromine in the lower stratosphere, *Geophysical Research Letters*, 32, 05811.
- Kikuchi et al., 2010: Penetration of the convection and overshielding electric fields to the equatorial ionosphere during a quasiperiodic DP 2 geomagnetic fluctuation event, *J. Geophys.*, 115, A05209.