

全球規模の化学物質の循環と輸送

須藤 健悟

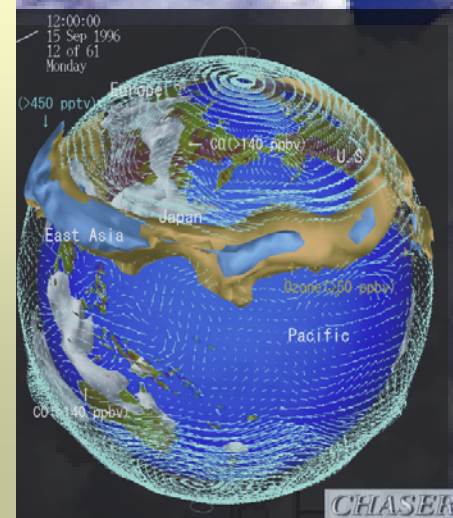
地球環境フロンティア研究センター・海洋研究開発機構
名古屋大学・大学院環境学研究科

① 大気中の「輸送過程」

→ 大気中各物質の分布・収支の重要な決定要因

② 大気中の化学物質（化学・エアロゾル成分）の大気輸送に注目：

→ 大気中の輸送過程の水（水蒸気・雲）への影響の理解（？）



全球規模の化学物質の循環と輸送

- ① 大気微量成分の半～全球スケール輸送過程
オゾン・CO₂全球分布・収支への様々なソース領域からの寄与を評価（タグ付トレーサー実験）
- ② 気象場（気候）変動との関連性
- ③ 発展課題

大気中微量成分(特に汚染物質)の起源

① 大気中各化学成分の起源(ソースの種類／領域)

- ・[種類] 産業?、森林火災?、自然起源?
- ・[領域] どこから来るのか?

e.g.) 対流圏中のオゾンの起源(成層圏からの輸送?)

② 大気中の輸送過程の重要性

- ・ローカル～領域規模の輸送(→領域汚染)
- ・半球～全球規模の輸送(→全球汚染～気候影響)

③ 本研究ではオゾンとCOに注目し、これらの時空間分布への各ソース領域からの(輸送を介した)寄与を評価する。

北半球汚染域からの 長距離輸送パターン

カラーコンター：
放出から8-10日後の CO 分布

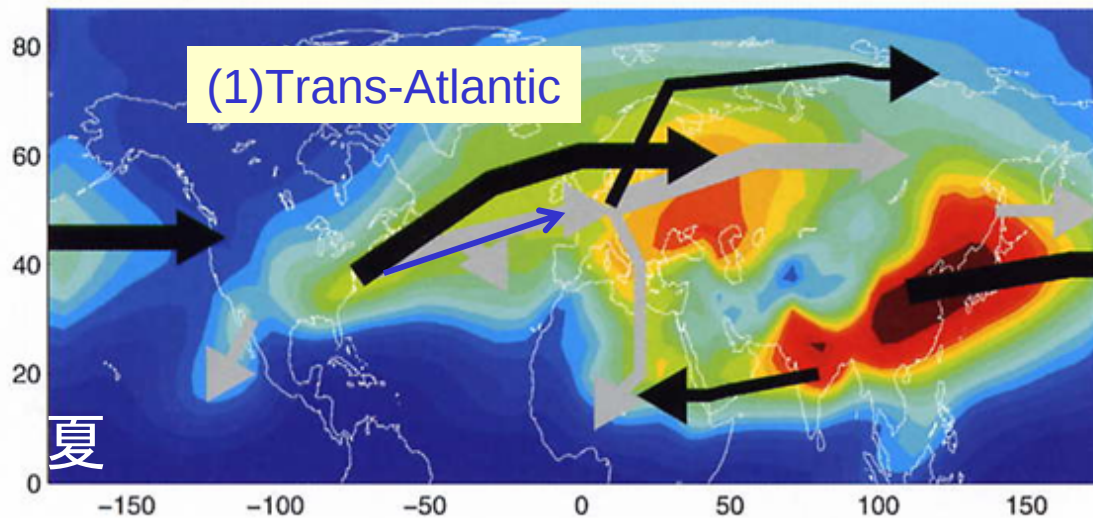


中上部対流圏輸送



下部対流圏輸送

a) Transport pathways in summer

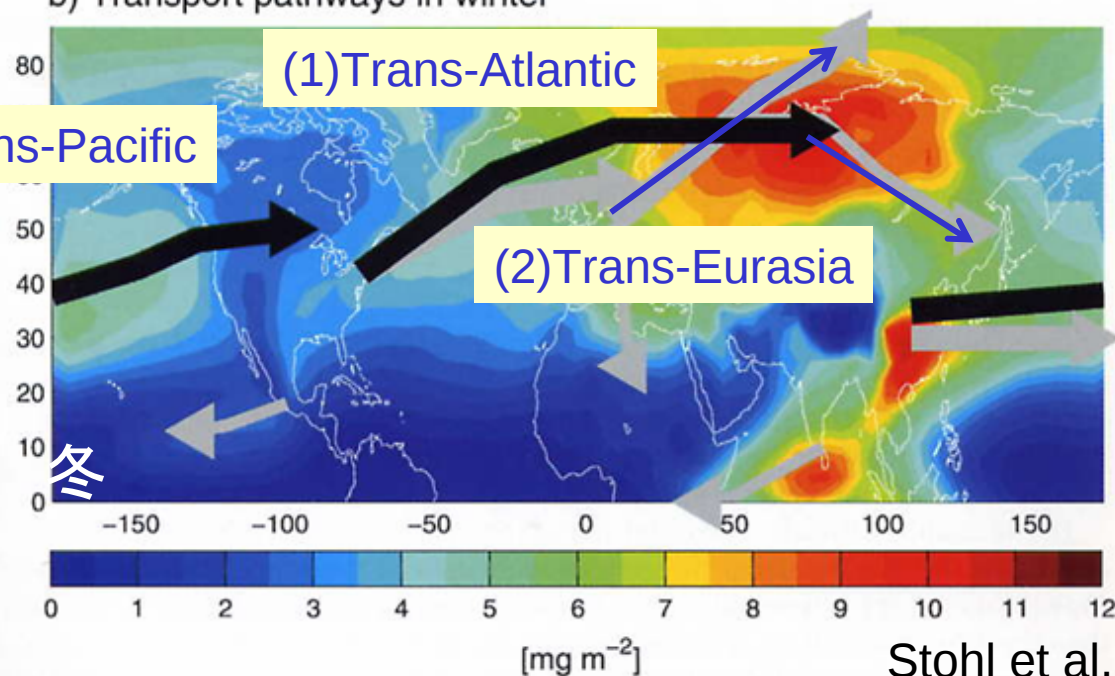


b) Transport pathways in winter

(3) Trans-Pacific

(1) Trans-Atlantic

(2) Trans-Eurasia

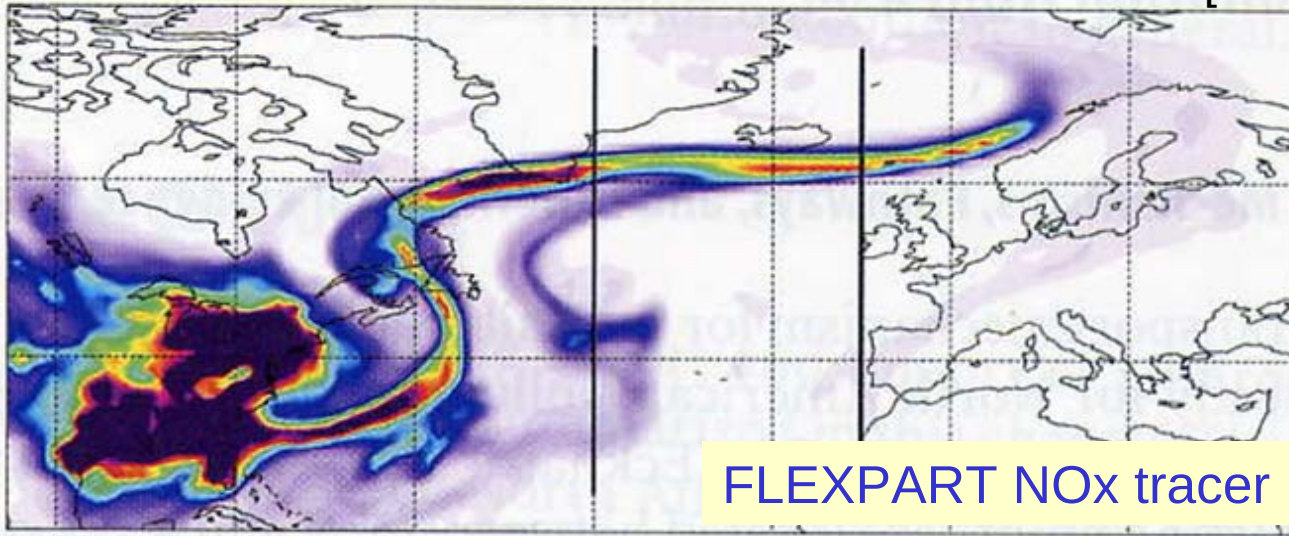


Stohl et al.

(1) 北米 → ヨーロッパ (Trans-Atlantic)

d) 10 November 11 UTC

Stohl et al. [2003]



NOx v-column

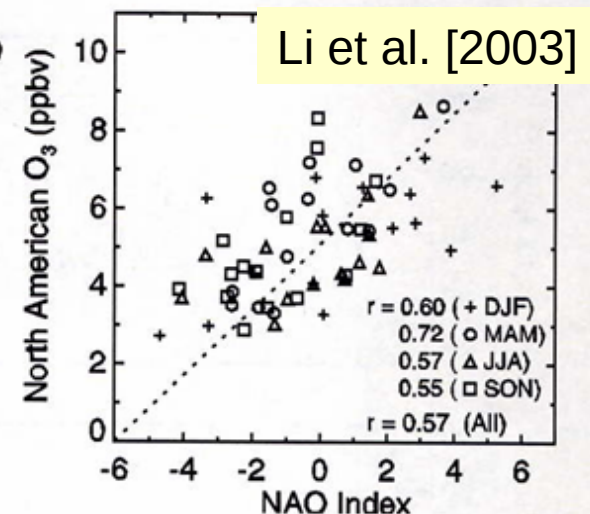
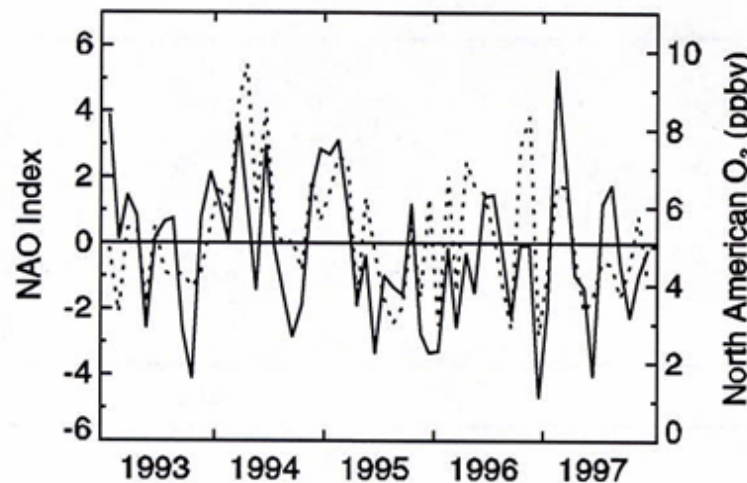
FLEXPART NOx tracer

Mace Head (アイルランド)における北米起源オゾンとNAO

- ・北米起源のオゾン
- ・北大西洋振動

強い相関

→ Episodic 輸送



● 化学・気候結合モデル CHASER

Sudo et al. [2002]

CHASER

基本モデル	CCSR/NIES/FRCGC GCM : 気候モデル
空間解像度	水平: T42(2.8°x2.8°), 鉛直: 32 layers (地表~40km)
輸送過程	グリッドスケール (flux-form semi-Lagrangian) + 積雲対流, 鉛直拡散
化学過程	53 化学種, 139 化学反応 (気相, 液相, 不均一*) (1) O_3-HO_x-NO_x-CO-CH_4, (2) 非メタン炭化水素 (NMHCs) 酸化, (3) SO_2, DMS 酸化 (硫酸塩エアロゾルシミュレーション) *不均一反応は N_2O_5, HO_2, RO_2 ラジカルについて雲粒子、硫酸エアロゾル、および海塩粒子表面上で考慮 (高度 20km 以上の O_3, NO_y については衛星データなどで prescribe)
Emission (人為・自然)	産業・交通, 森林火災, 植生/土壌/海洋, 雷からの NO_x (NO_x, CO, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_3H_8, C_3H_6, アセトン, イソプレン, テルペン, メタノール, SO_2, DMS)
Dry deposition (乾性沈着)	地表面の植生タイプ、気温、太陽光入射、積雪などの関数 [Wesely, 1989]
Wet deposition (湿性沈着)	Rain-out (in-cloud), wash-out (below-cloud), ice-sedimentation Reevaporation & reemission processes considered.

対流圏カラムオゾン量 衛星観測とモデル

Annual mean

April

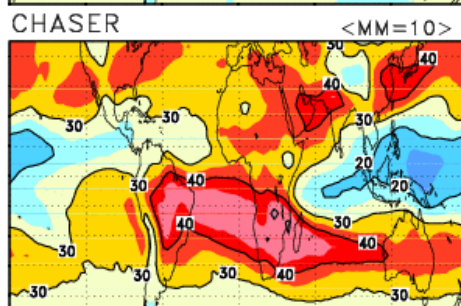
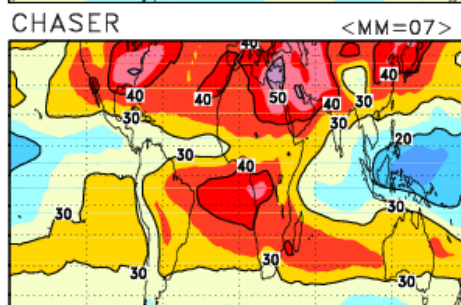
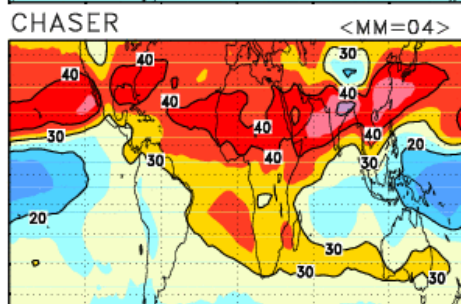
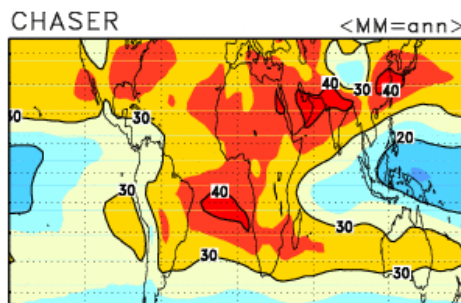
[直接観測
(地表・航空機・ゾンデ)
との比較では良い一致]

July

CHASER Met:
moderately relaxed
to ECMWF 1996.

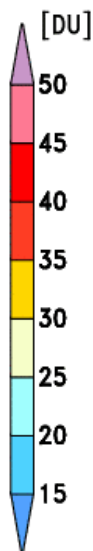
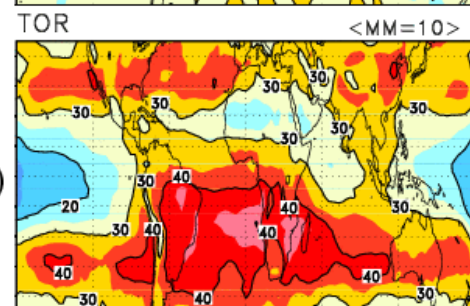
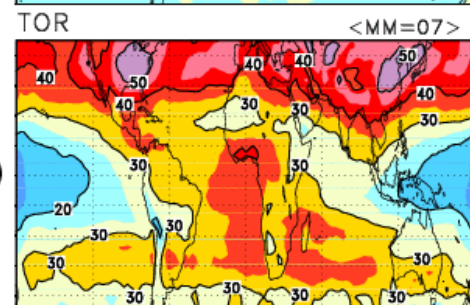
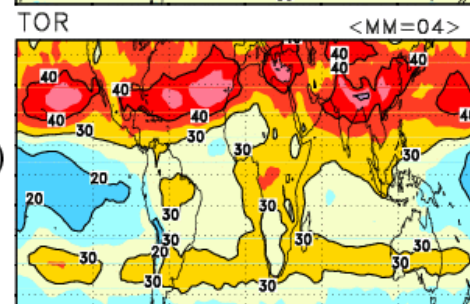
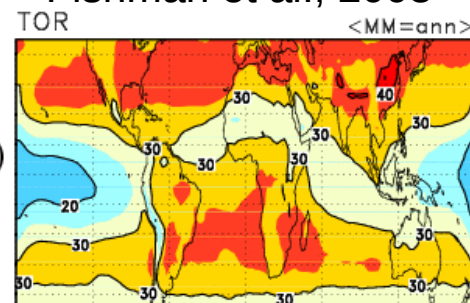
October

CHASERモデル



TOR (1998-2001)

Fishman et al., 2003

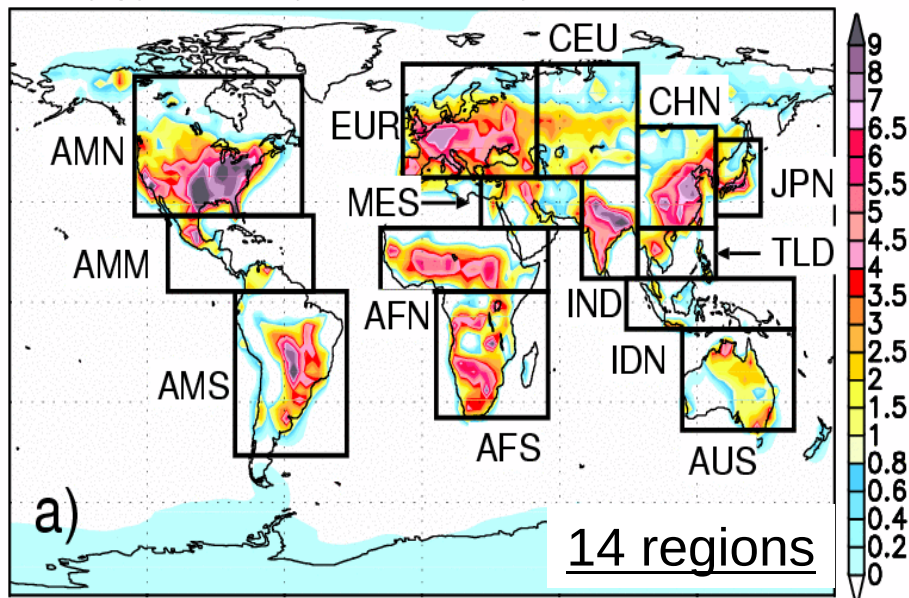


ソース領域ごとのタグ付け: O₃・CO トレーサー

- O₃-ALL { TROPO { POLTD { BL: chemical prod. in PBL (14)
STRAT { REMOT { FT: chemical prod. In Free Tropo. (8)
- CO-ALL { EMITD : emitted (14)
CPROD : chemically produced

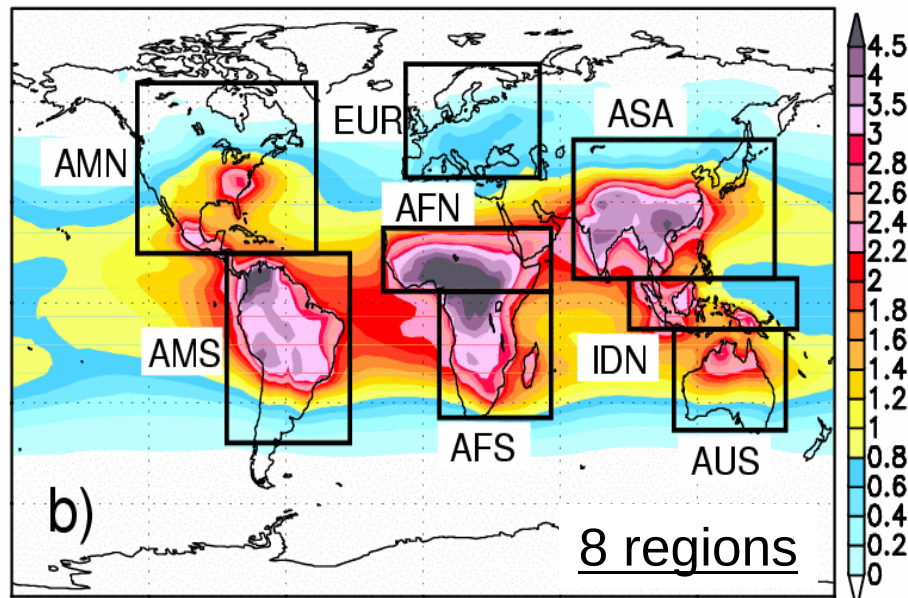
For PBL O₃ prod. and CO emissions

P-L(0y) : PBL (Annual Mean) [ppbv/day]



For Free Tropospheric O₃ prod.

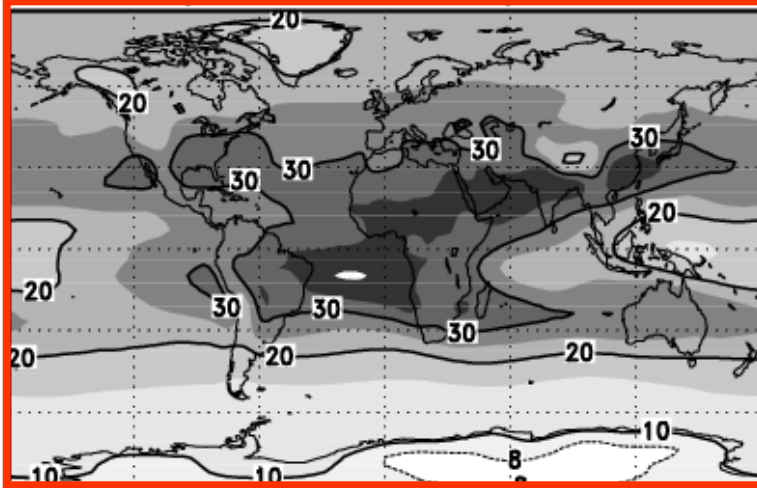
P-L(0y) : FT ~2-15km [ppbv/day]



各ソース領域からの対流圏カラムオゾン分布への寄与 (DU)

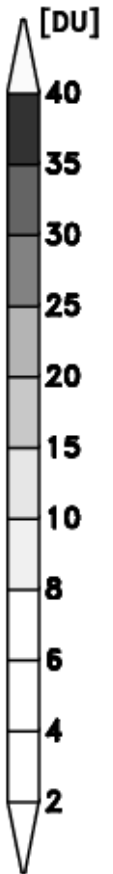
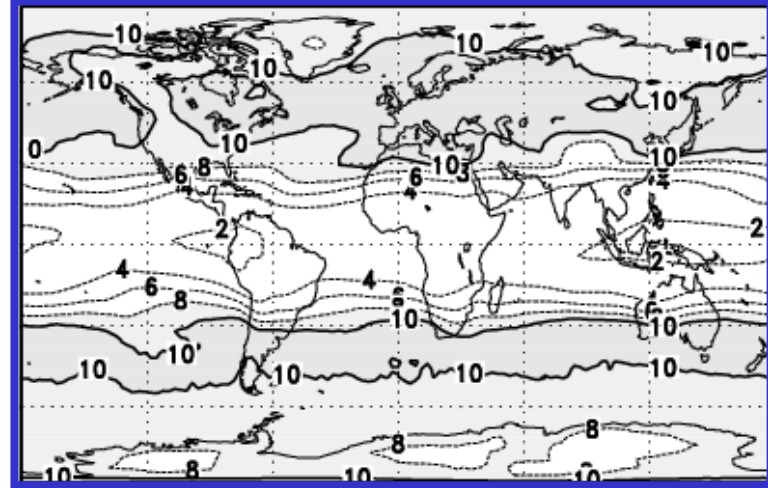
対流圏起源

a) TROPO (POLTD+REMOT) <MM=Ann>



成層圏起源

b) STRAT <MM=Ann>

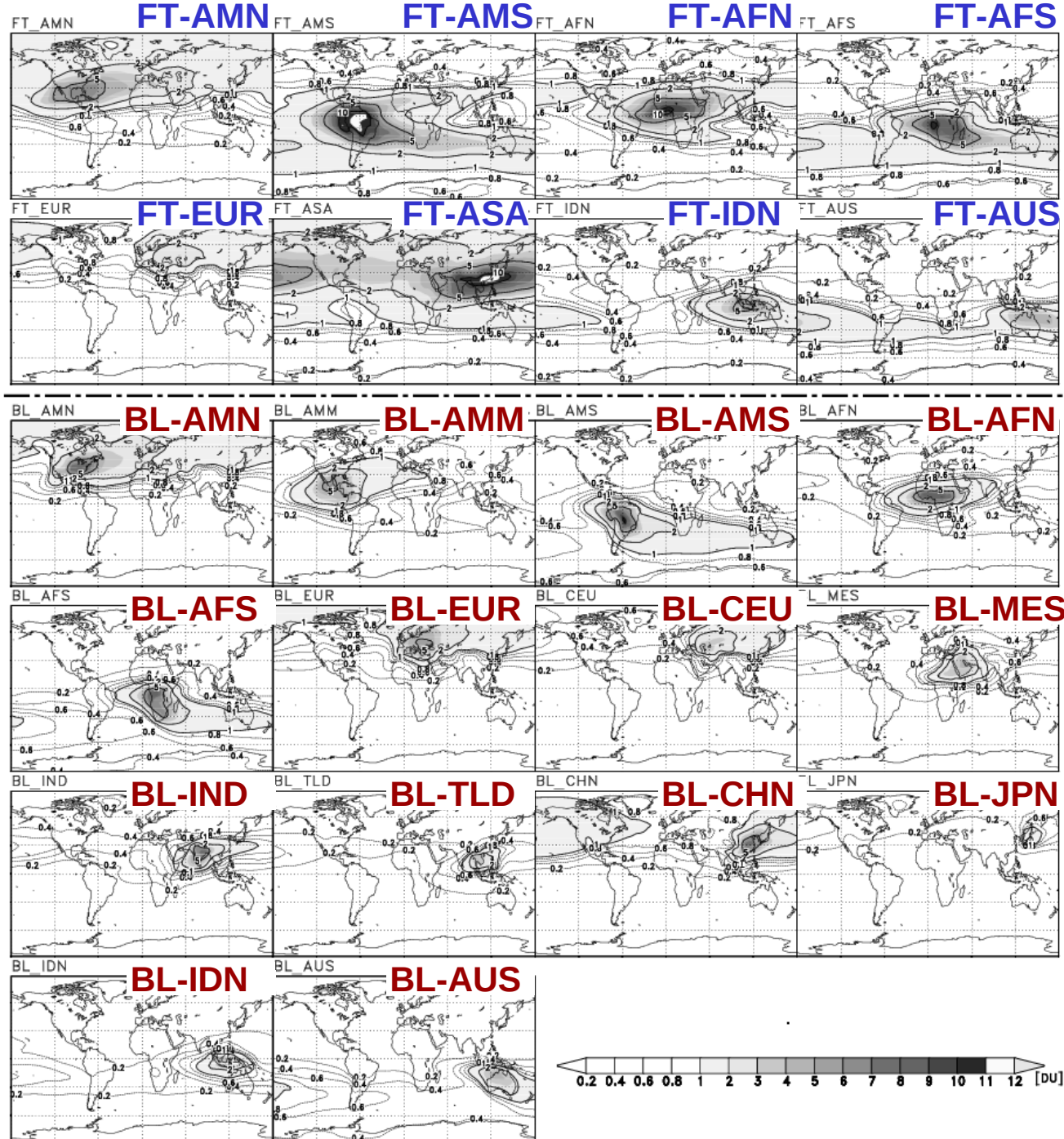


対流圏カラムオゾン量 (年平均)への各ソース領域からの寄与

From POLTD regions

FT : 自由対流圏

BL : 境界層



Contributions to O₃ at 8km Altitude: Sesonal Variations

January

April

July

October

北米

FT-AMN

南米

FT-AMS

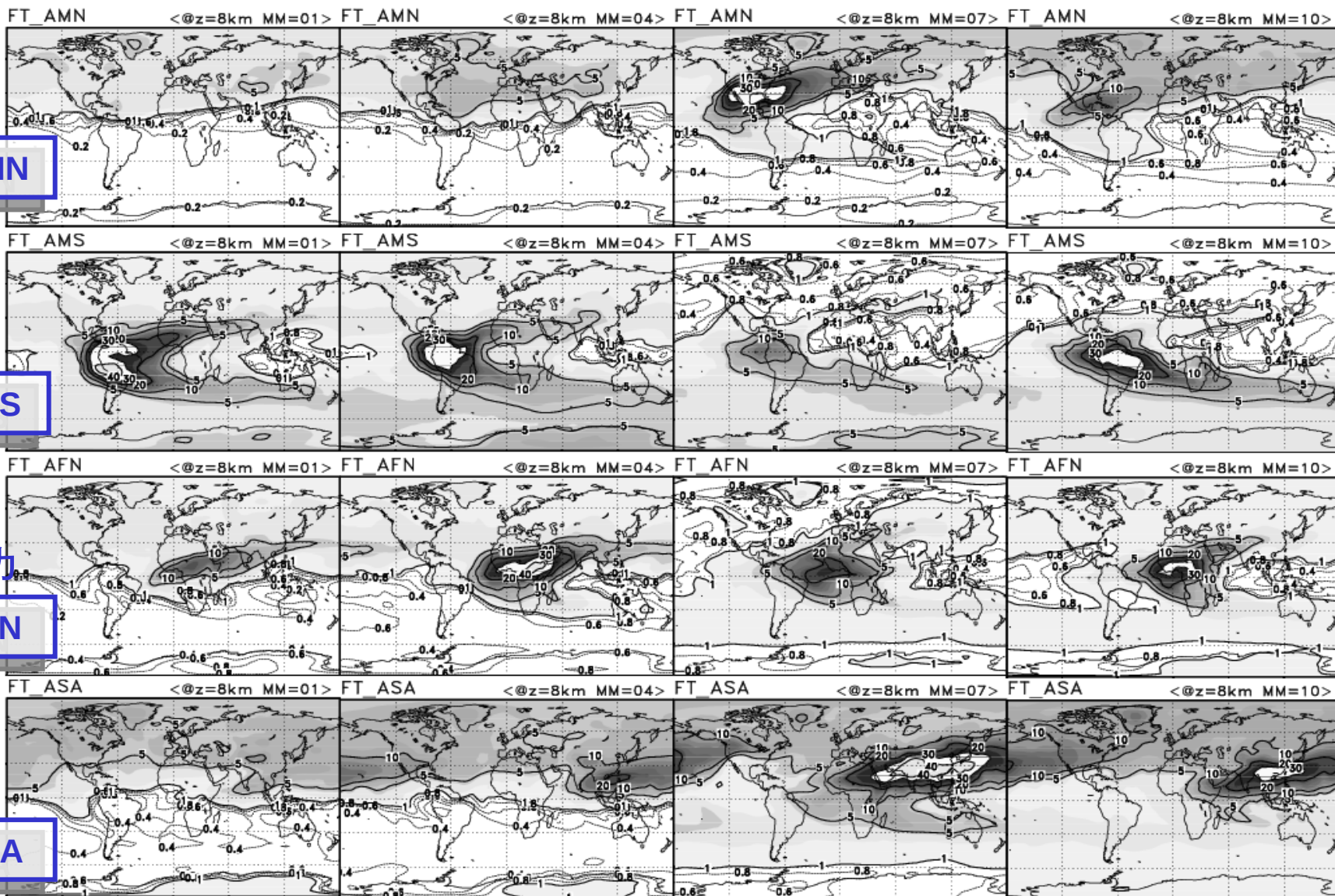
北

アフリカ

FT-AFN

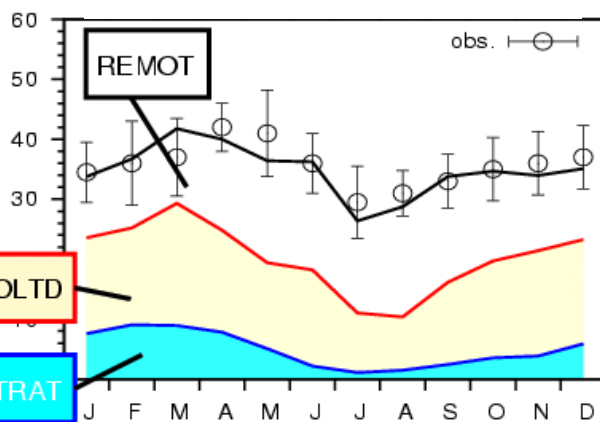
アジア

FT-ASA

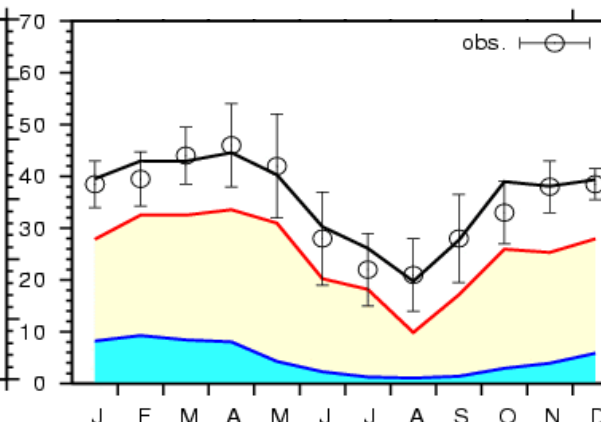


各ソース領域からの地表オゾン季節性への寄与

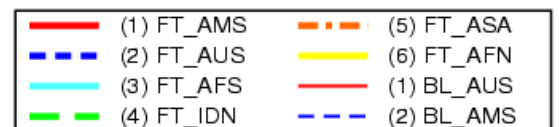
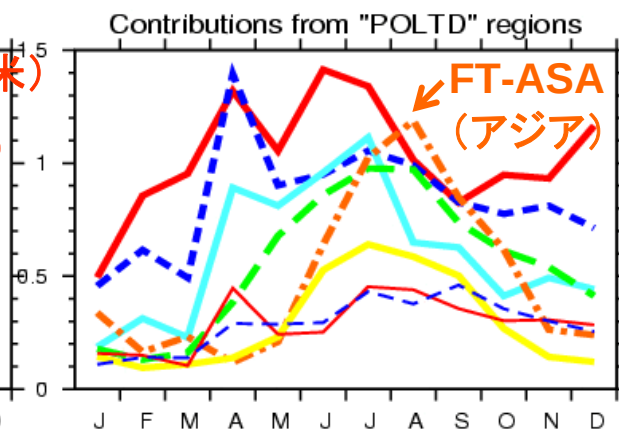
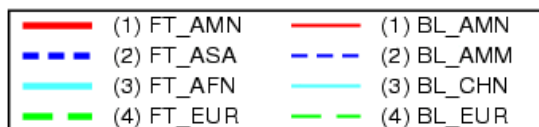
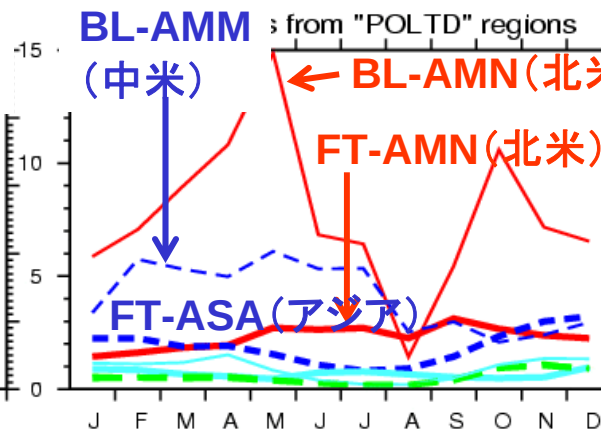
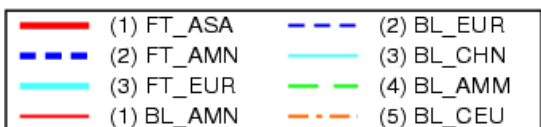
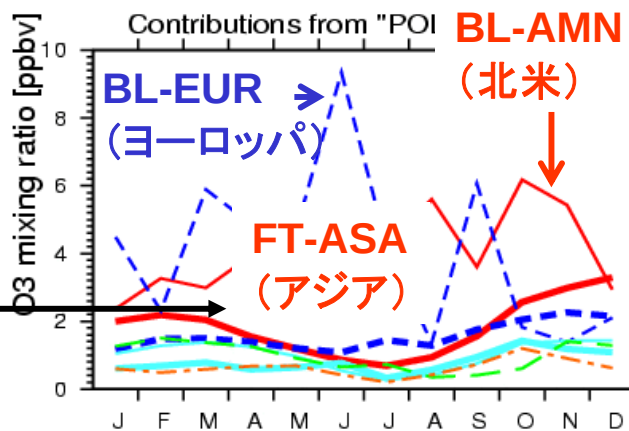
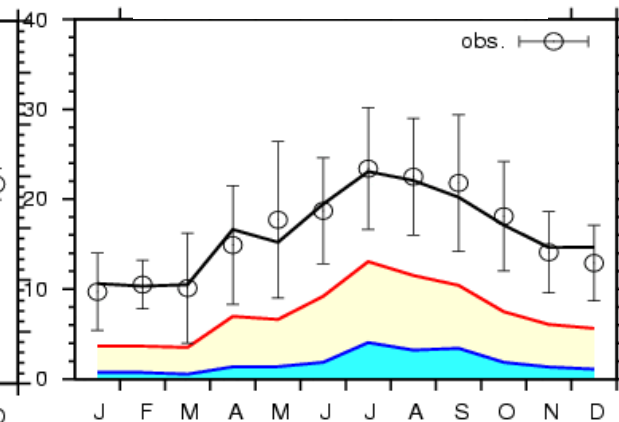
Mace Head 53N 10W



Bermuda 32N 64W



Samoa 14S 189E

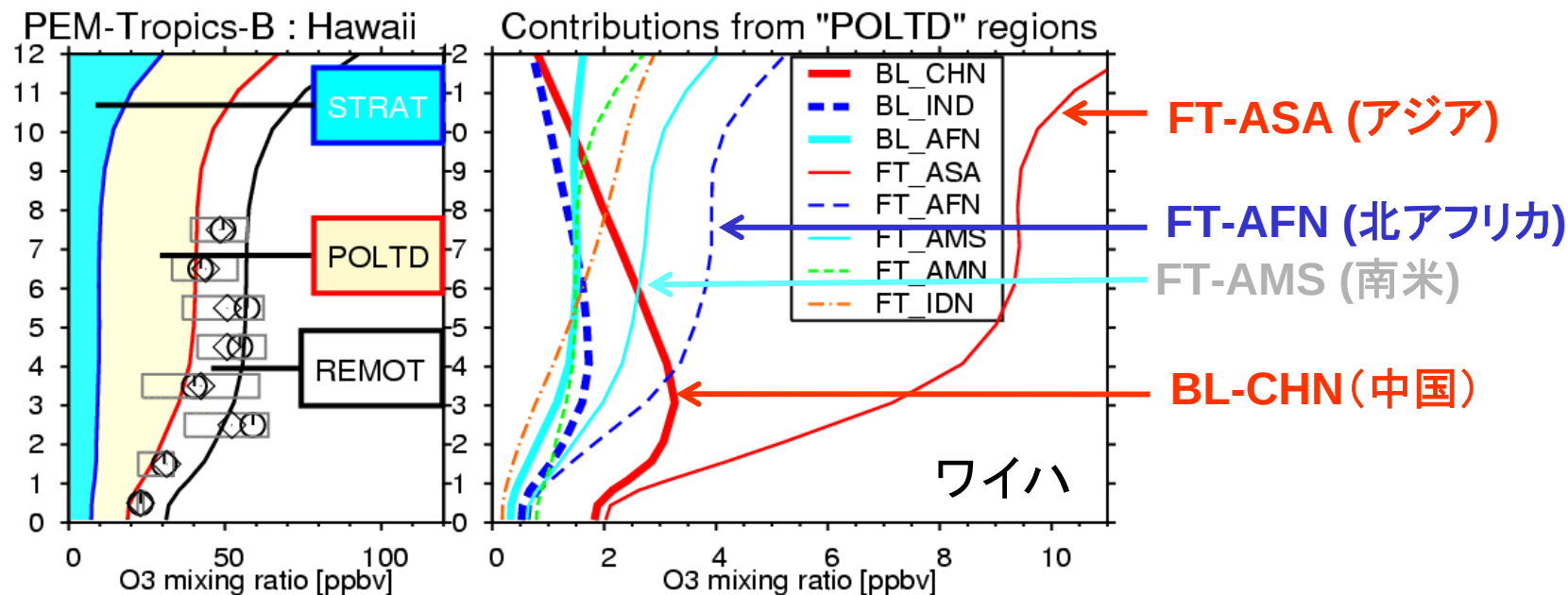
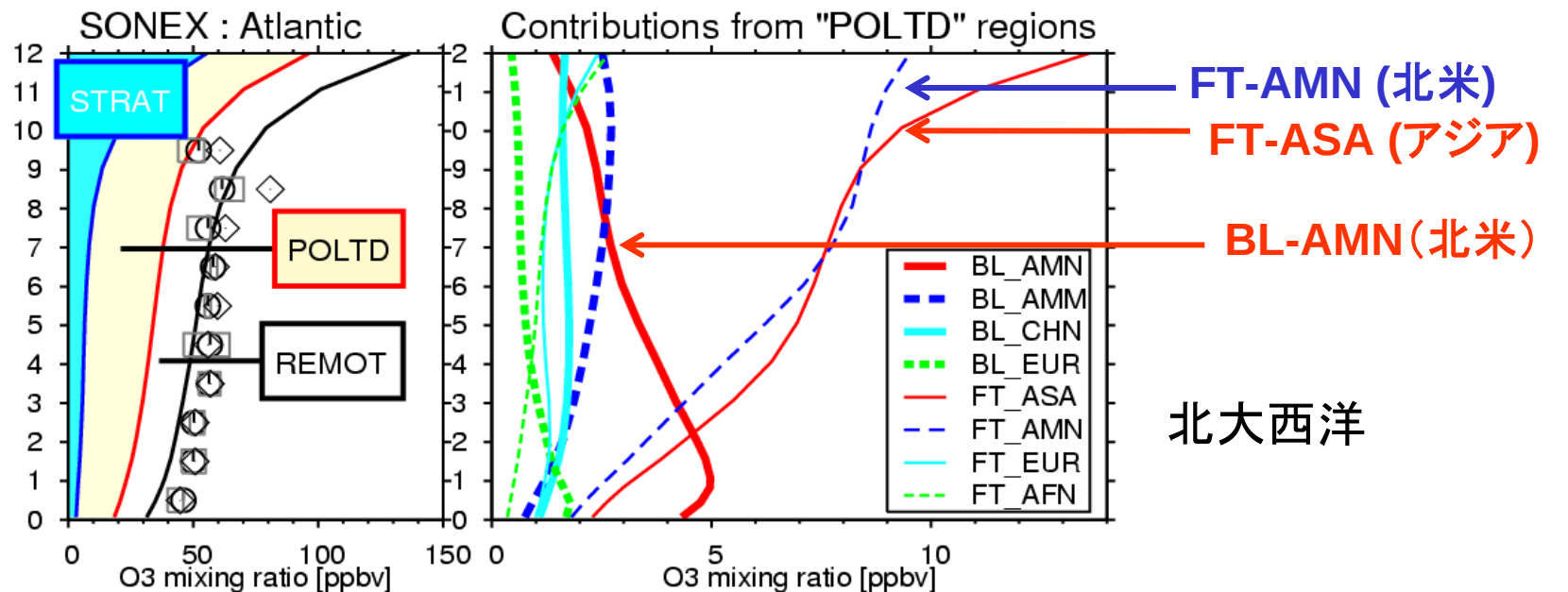


高度とともに増加 : 5-10 ppbv at 300hPa

高度とともに増加 : ~5 ppbv at 10km

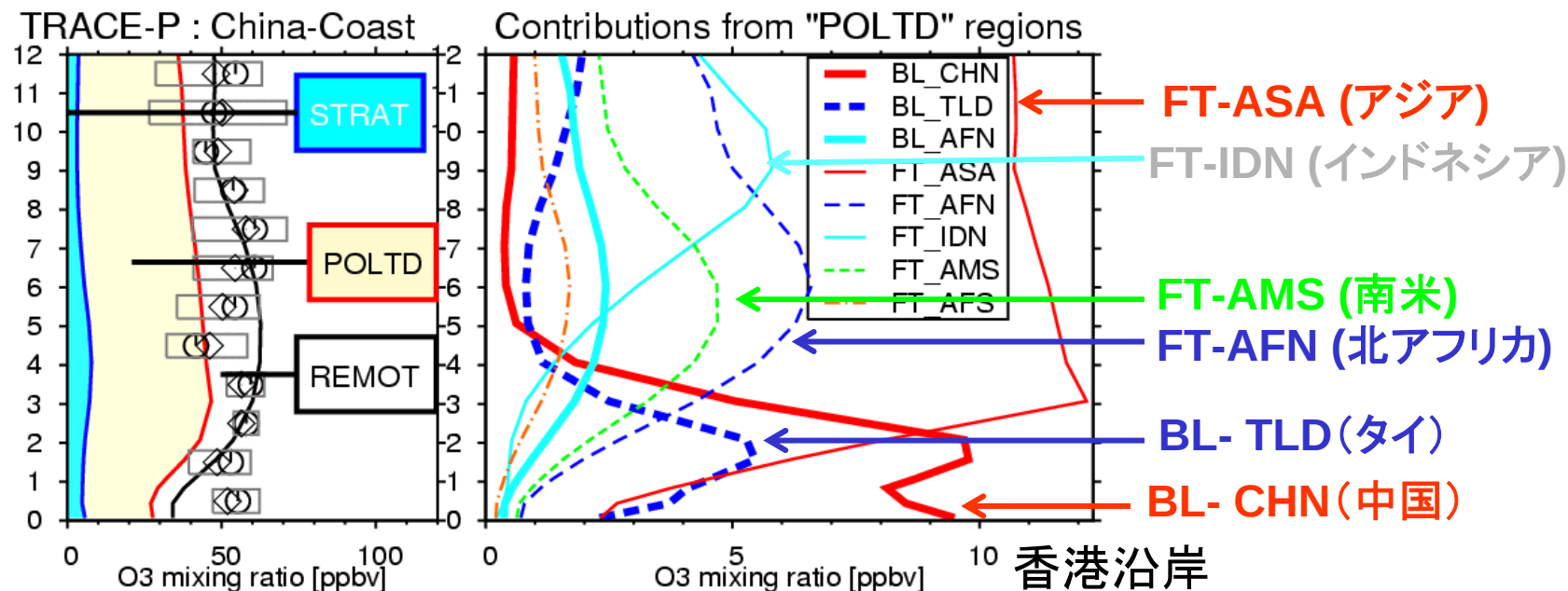
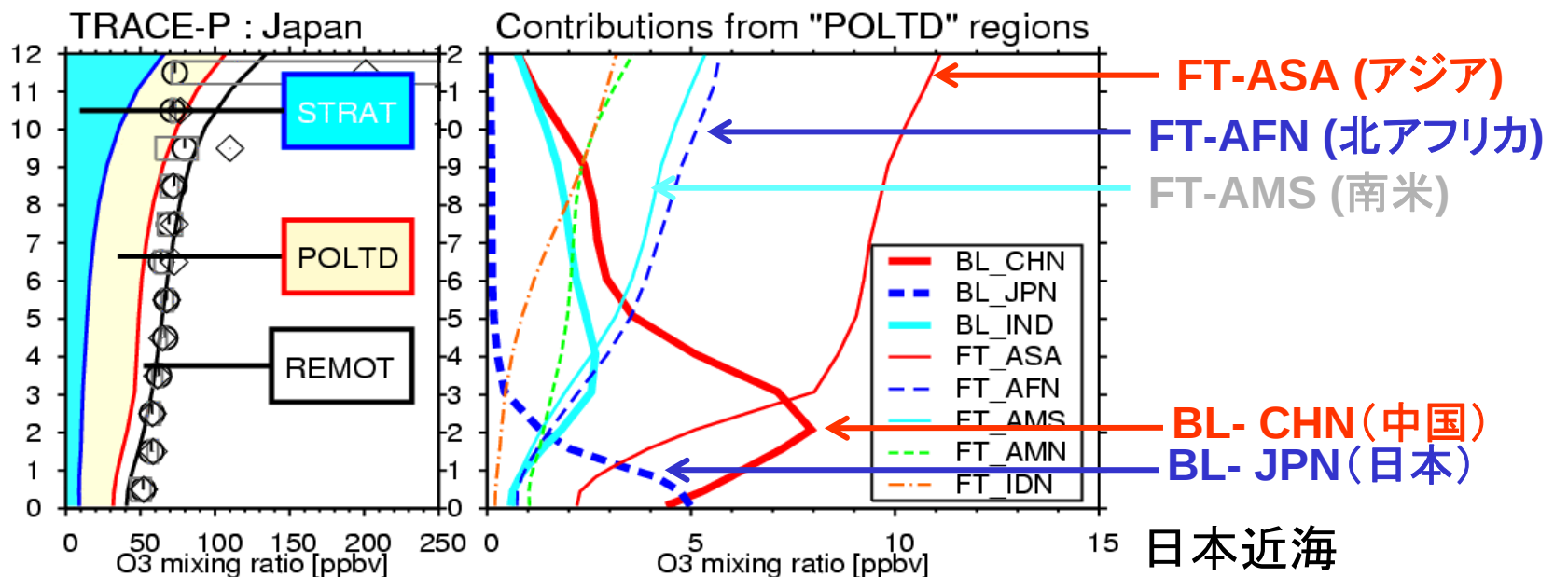
オゾン鉛直プロファイルへの寄与: NASA GTE 航空機観測

Altitude (km)



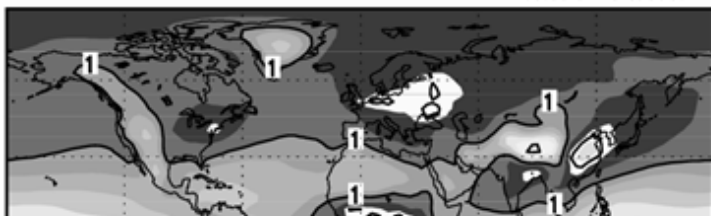
オゾン鉛直プロファイルへの寄与: NASA GTE 航空機観測

Altitude (km)



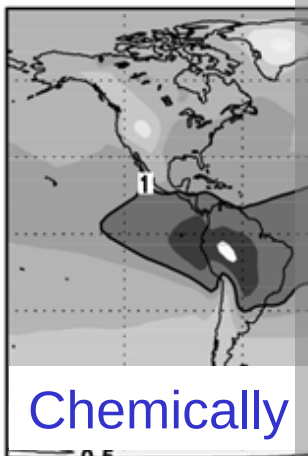
EMITD

<MM=Ann>

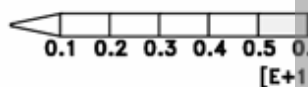


Emitted

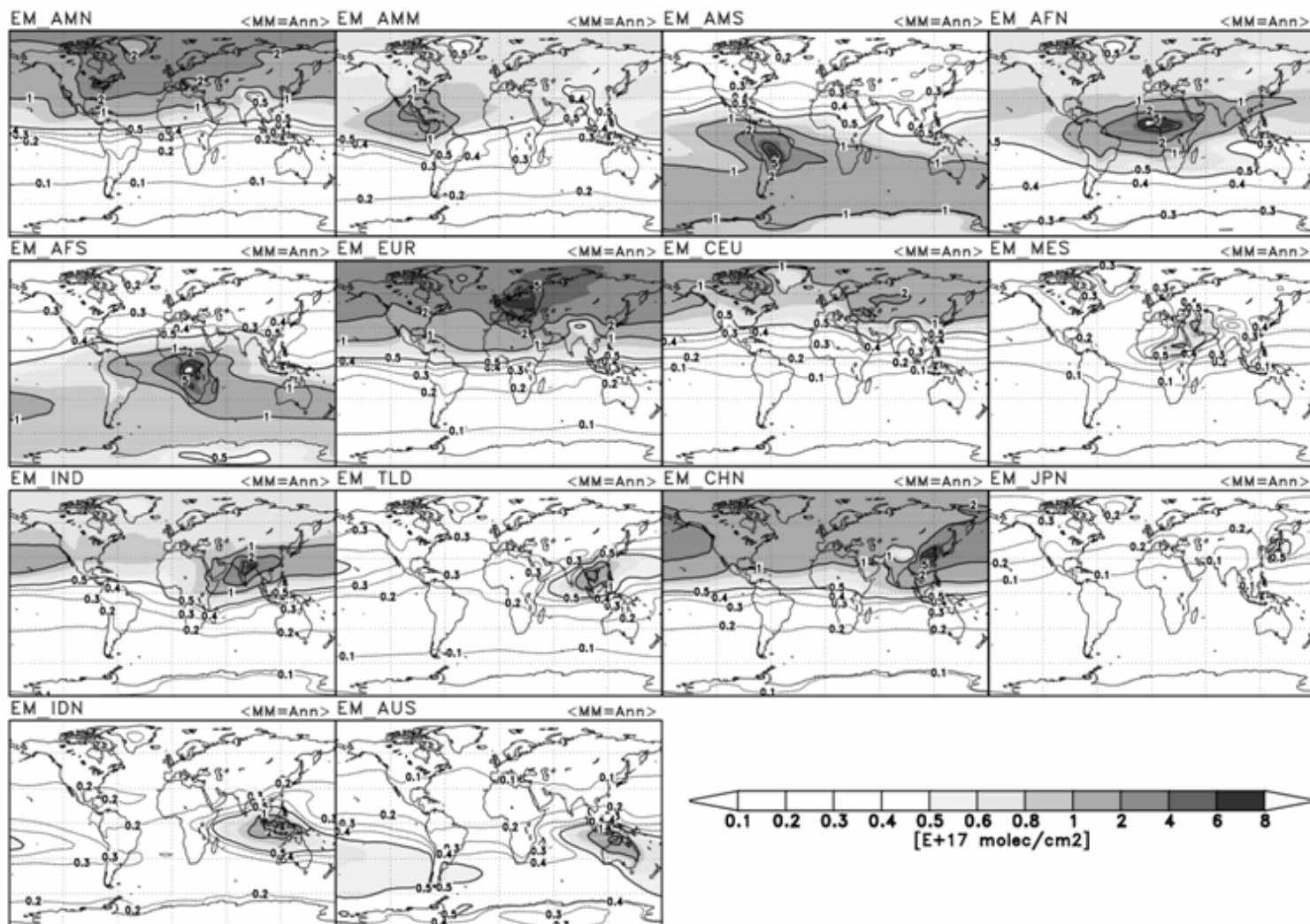
CPROD



Chemically

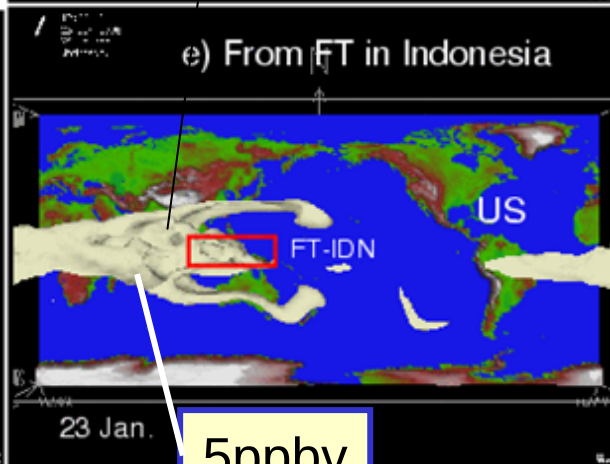
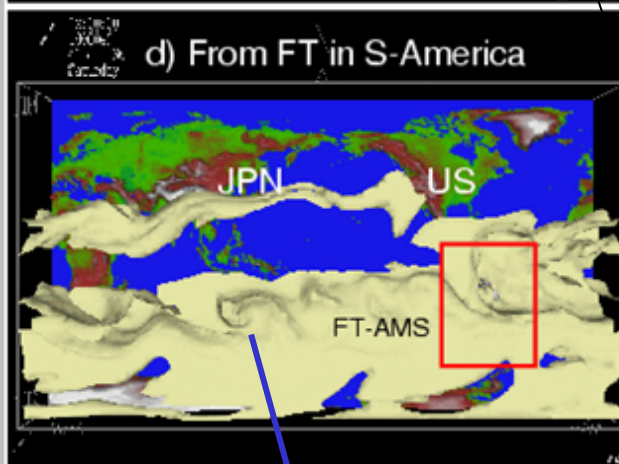
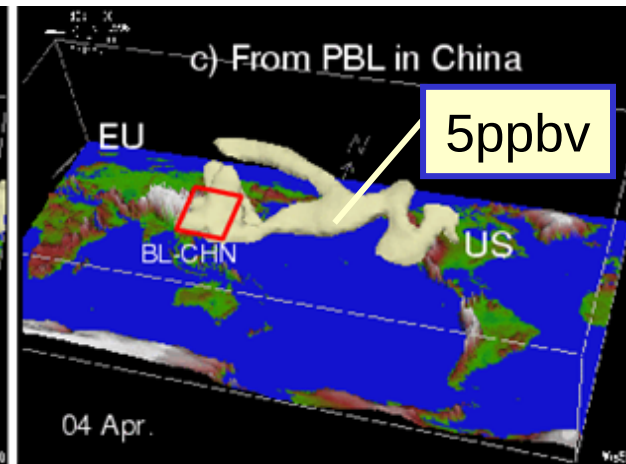
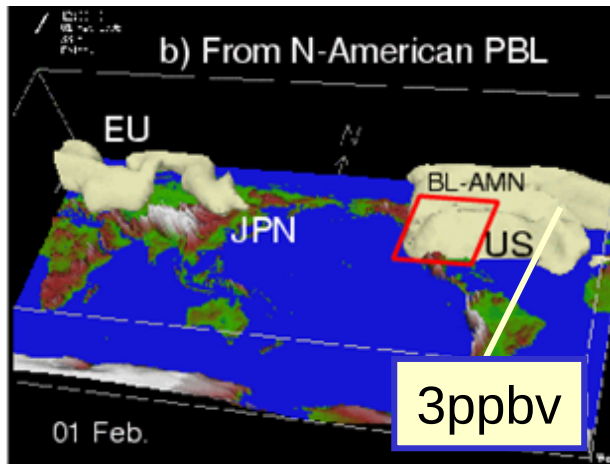
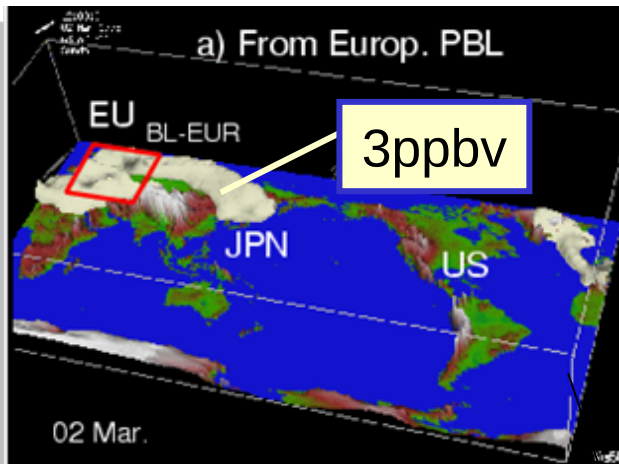


対流圏CO(カラム)への各領域からの寄与



タグ付きトレーサー実験: オゾン汚染の起源を探る

Several Snapshots of O₃ Long-range Transport



全球規模の化学物質の循環と輸送

- ① 大気微量成分の半～全球スケール輸送過程
オゾン・CO₂全球分布・収支への様々なソース領域からの寄与を評価（タグ付トレーサー実験）
- ② 気象場（気候）変動との関連性
- ③ 発展課題

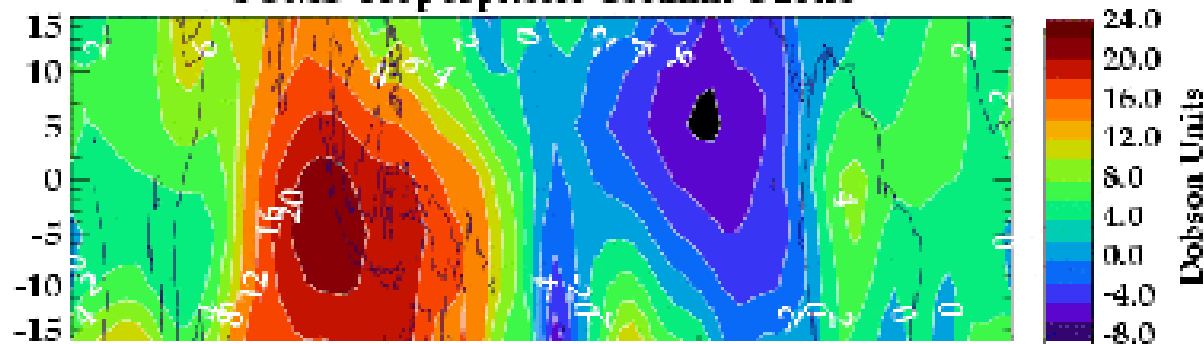
気象場(気候)変動の対流圏オゾンへの影響

熱帯域対流圏オゾンのENSOによる変動成分

対流圏カラムオゾン量変動 (DU)

Difference (anomaly) of
October 1997 minus October 1996

EP-TOMS [*Chandra et al., 1998*]
TOMS Tropospheric Column Ozone

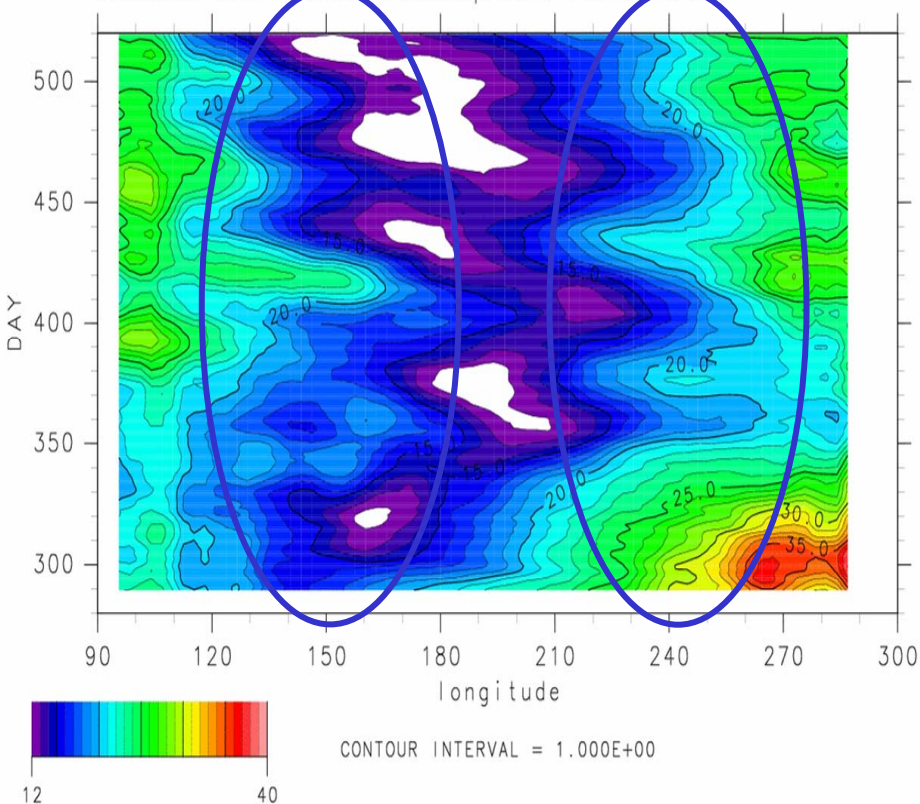


ENSO-induced changes in water vapor, Walker circ., and convection

熱帯域対流圏オゾンに見られるMJO(マデン・ジュリアン振動)

CHASERによる再現計算

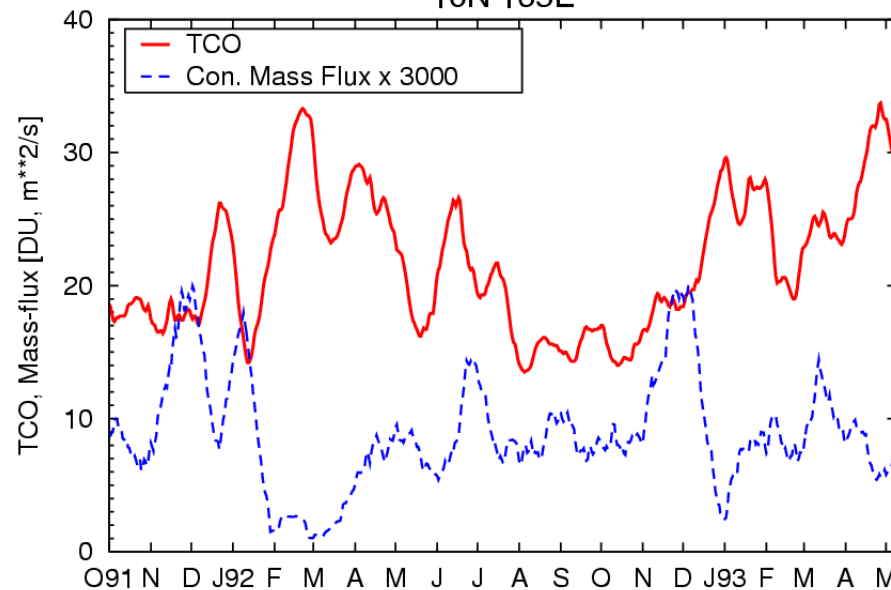
TCO chemical RealBB
DU 1991/10/16.00-1992/06/02.23
DBU03TC lat=-1.3053 TIMEsequence lon=95.6287.



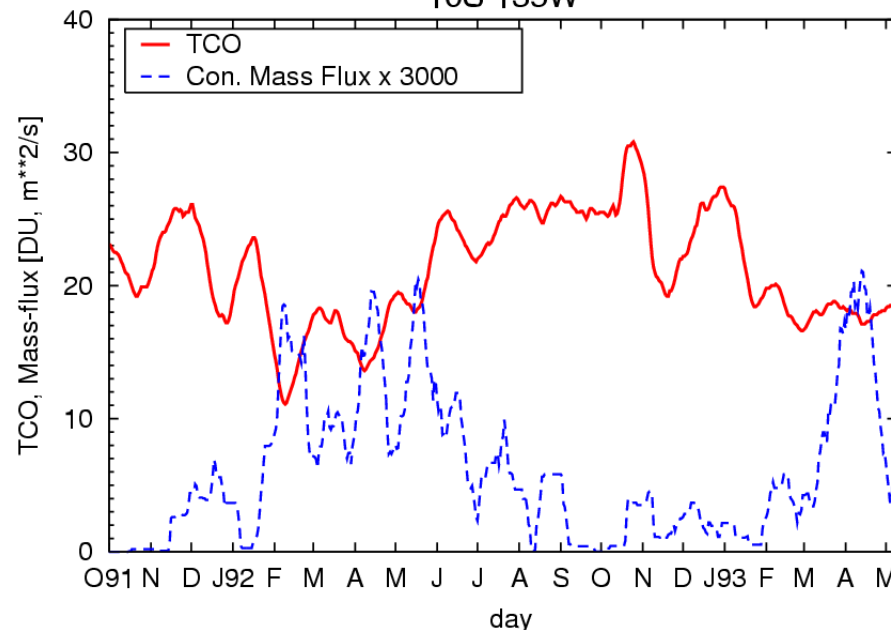
MJOパターンが計算されている(?)

対流圏カラムオゾン量と
積雲対流質量フラックス

10N 165E



10S 135W

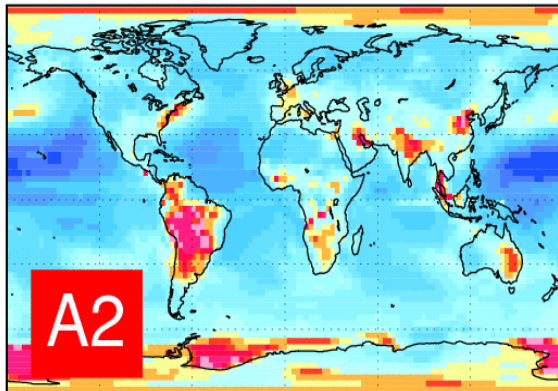


Future Simulation of O₃/ CH₄/ Aerosols on ES

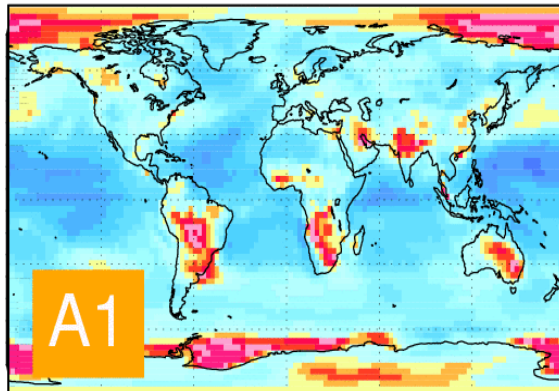
Exp2 – Exp1

Impacts(%) of Climate Change on Surface Ozone (2100)

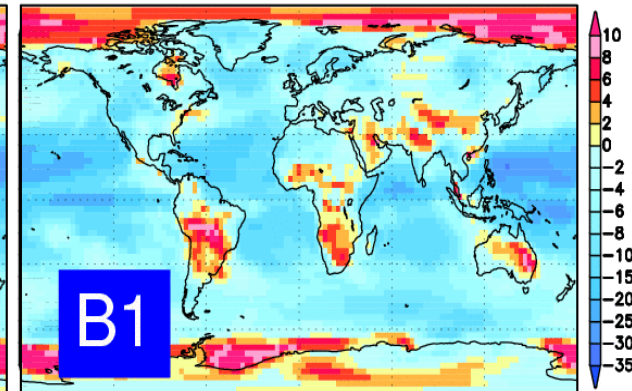
A2 Surface O3 warming impact(%): 2100



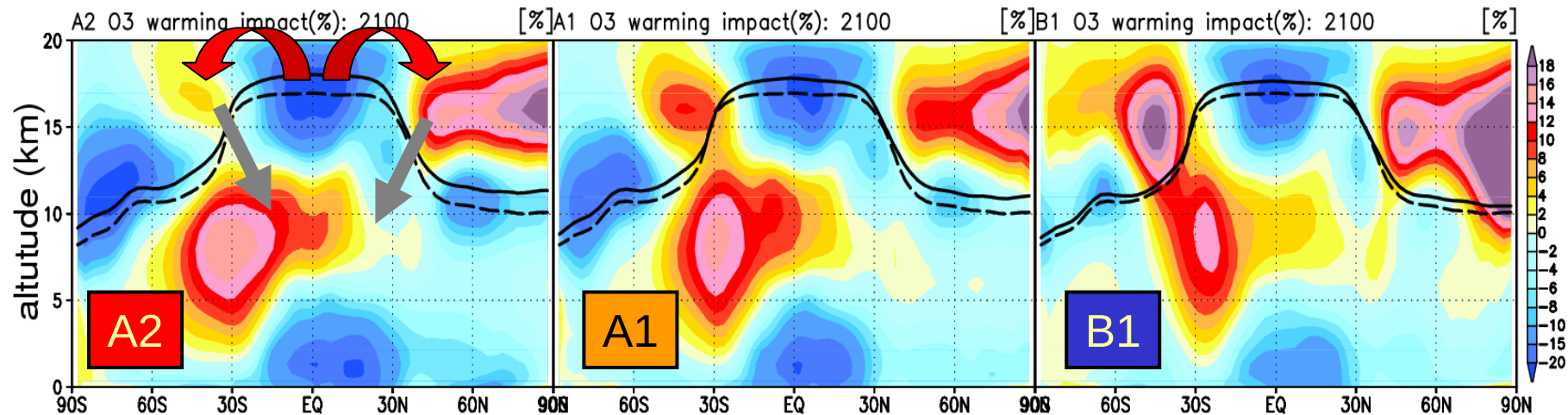
A1 Surface O3 warming impact(%): 2100



B1 Surface O3 warming impact(%): 2100



Impacts(%) of Climate Change on Zonal Mean Ozone (2100)



まとめと応用課題

- ① オゾンとCOの全球分布には様々なソース領域(境界層・自由対流圏)からの寄与(長距離輸送を含む)があることを定量化。
- ② オゾン分布への寄与は汚染域からの長距離輸送が顕著に影響し、リモートの場所でも概ね60%以上の寄与を持つ。
- ③ 東アジアおよび北米からの輸送が顕著であり、北半球全域で最も高い寄与を及ぼしている。特にアジア域自由対流圏でのオゾン生成は南半球でも無視できない(半球間長距離輸送)。
- ④ 南半球では南米、南アフリカ、オーストラリアからの寄与が広域に分布しており、南米、南アフリカ上部対流圏で生成されたオゾンは北半球へも大きく影響(→インド→日本→太平洋→北米)
- ⑤ 応用課題1: 経年変動も含めた議論
応用課題2: 観測データとの融合(同位体観測)
応用課題4: 気象場(気候)変動との関連性
応用課題3: 他の物質への適用(例えば大気中水素)