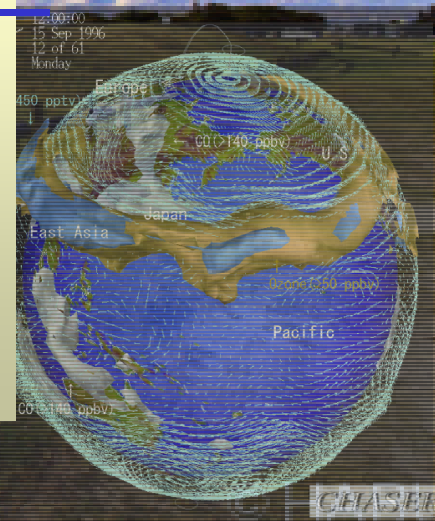


オゾン・COの全球分布・収支の起源 と全球規模長距離輸送

須藤 健悟、秋元 肇
(地球環境フロンティア研究センター・海洋研究開発機構)

- ① オゾン・CO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 長距離輸送(半/全球スケール)の役割
- ③ まとめと今後の課題



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？）

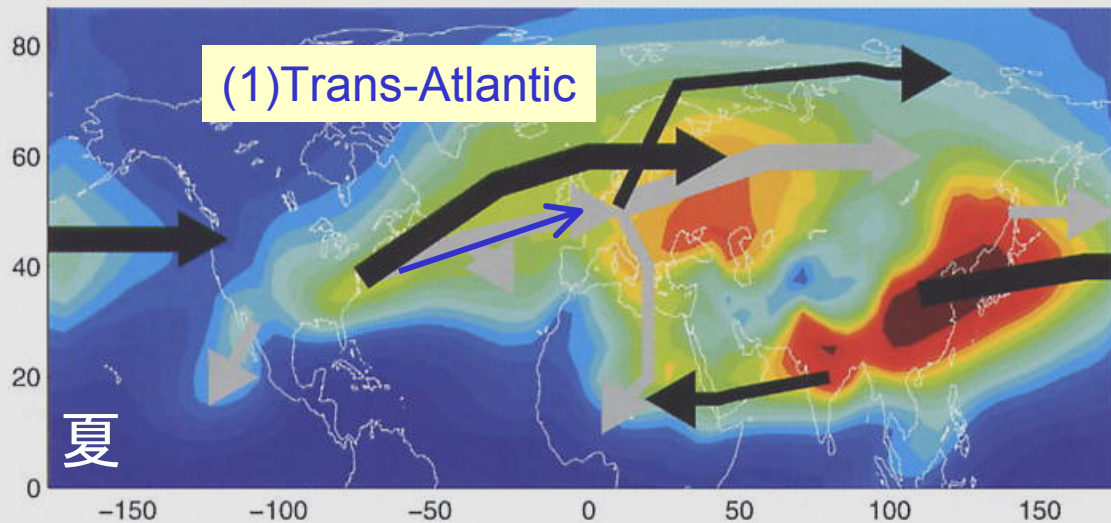
② 大気中の輸送過程の重要性

- ・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）

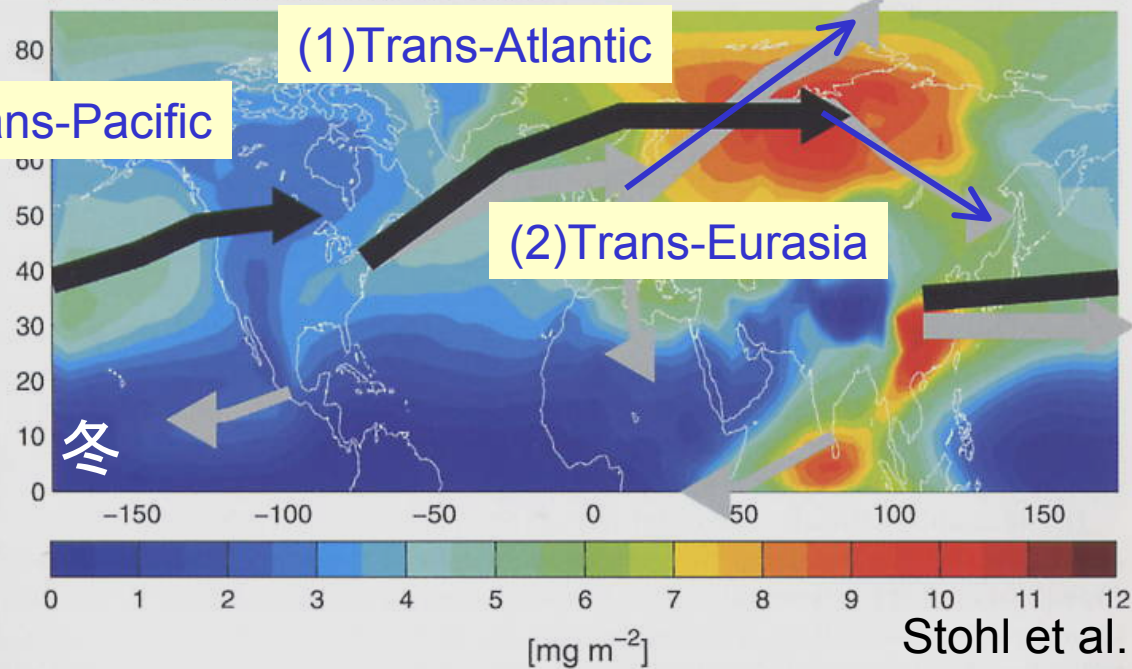
③ 本研究ではオゾンとCOに注目し、これらの時空間分布への各ソース領域からの（輸送を介した）寄与を評価する。

北半球汚染域からの 長距離輸送パターン

a) Transport pathways in summer



b) Transport pathways in winter



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

● 化学・気候結合モデル CHASER

Sudo et al. [2002]

CHASER

基本モデル	CCSR/NIES/FRCGC GCM (5.7b) : 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	<p>53 化学種, 139 化学反応 (気相, 液相, 不均一*)</p> <p>(1) O₃-HO_x-NO_x-CO-CH₄, (2) 非メタン炭化水素 (NMHCs) 酸化, (3) SO₂, DMS 酸化 (硫酸塩エアロゾルシミュレーション)</p> <p>*不均一反応は N₂O₅, HO₂, RO₂ 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 O₃, NO_y については衛星データなどで prescribe)</p>
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 ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₈ , C ₃ H 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.

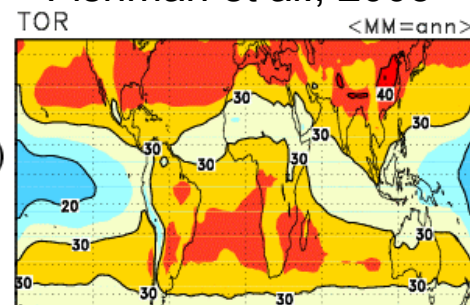
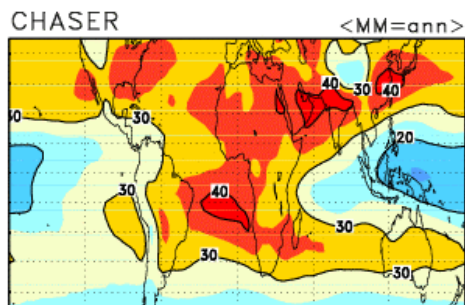
対流圏カラムオゾン量 衛星観測とモデル

CHASERモデル

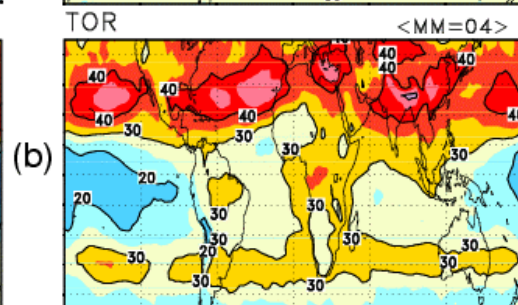
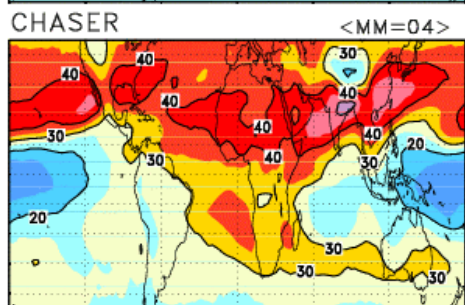
TOR (1998-2001)

Fishman et al., 2003

Annual mean

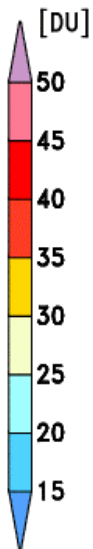
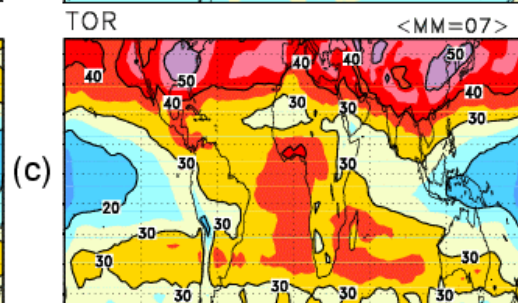
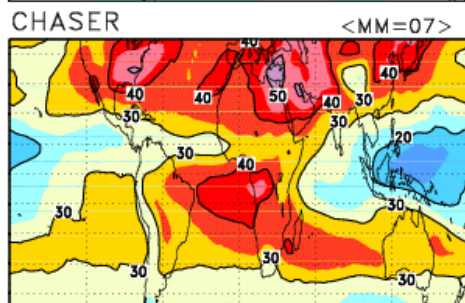


April



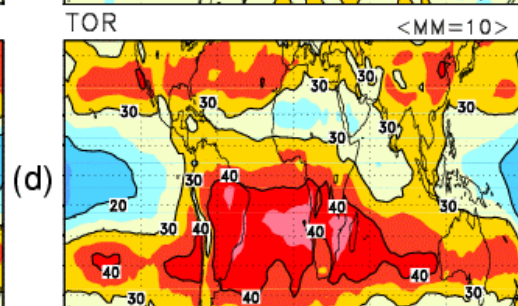
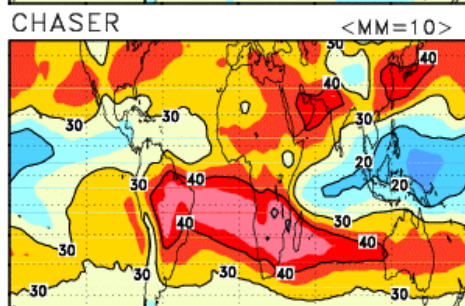
[直接観測
(地表・航空機・ゾンデ)
との比較では良い一致]

July



CHASER Met:
moderately relaxed
to ECMWF 1996.

October

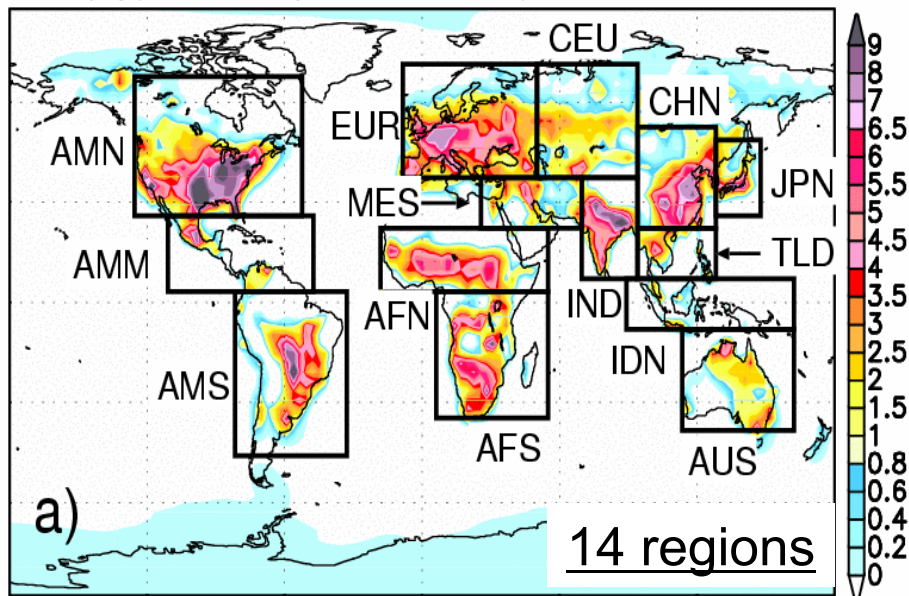


ソース領域ごとのタグ付け: O₃ · CO トレーサー

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

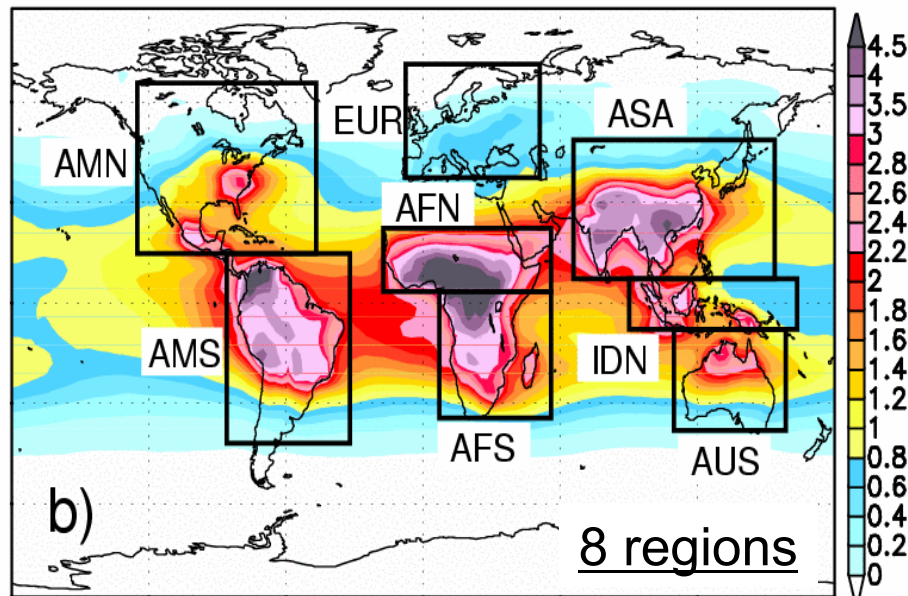
For PBL O₃ prod. and CO emissions

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



For Free Tropospheric O₃ prod.

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

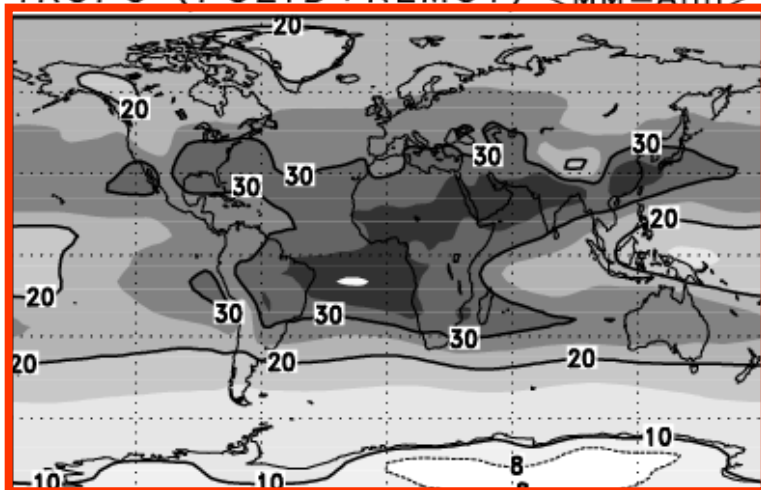


各ソース領域からの対流圏カラムオゾン分布への寄与 (DU)

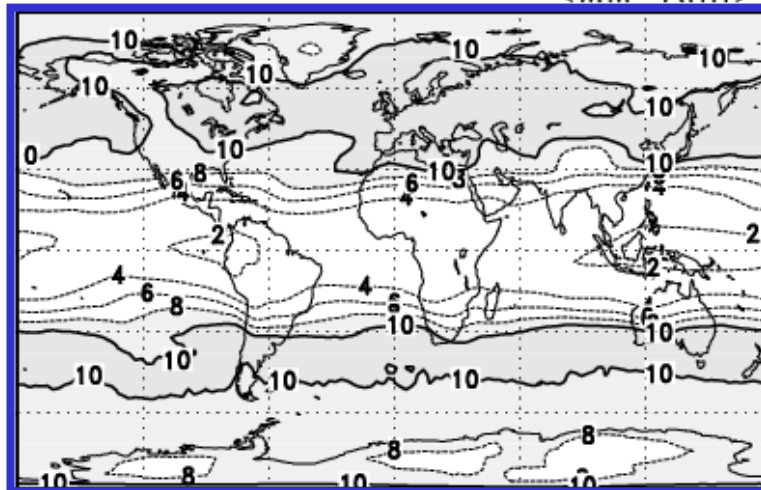
対流圏起源

成層圏起源

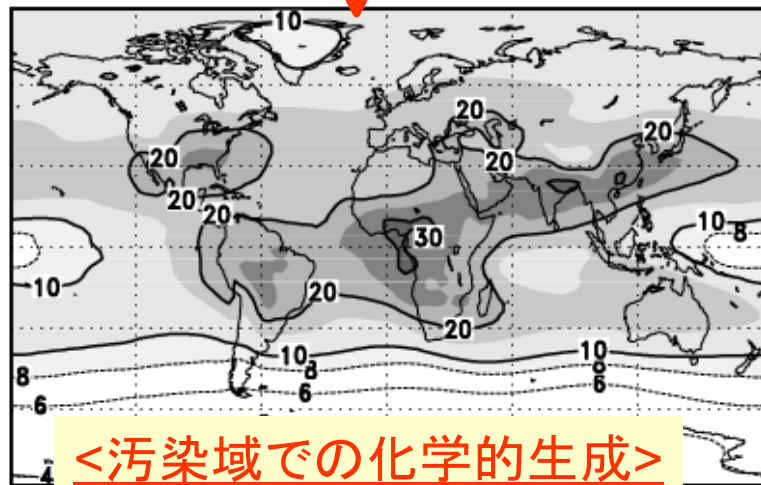
a) TROPO (POLTD+RE MOT) <MM=Ann>



b) STRAT <MM=Ann>

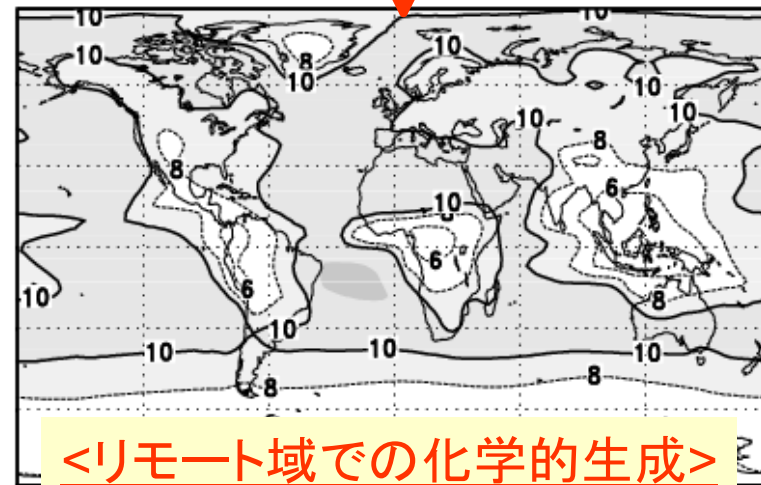


c) POLTD <MM=Ann>

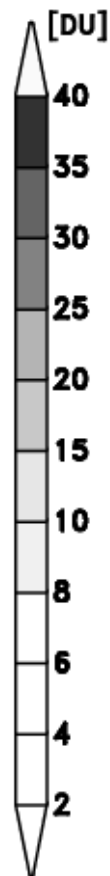


<汚染域での化学的生成>

d) REMOT <MM=Ann>

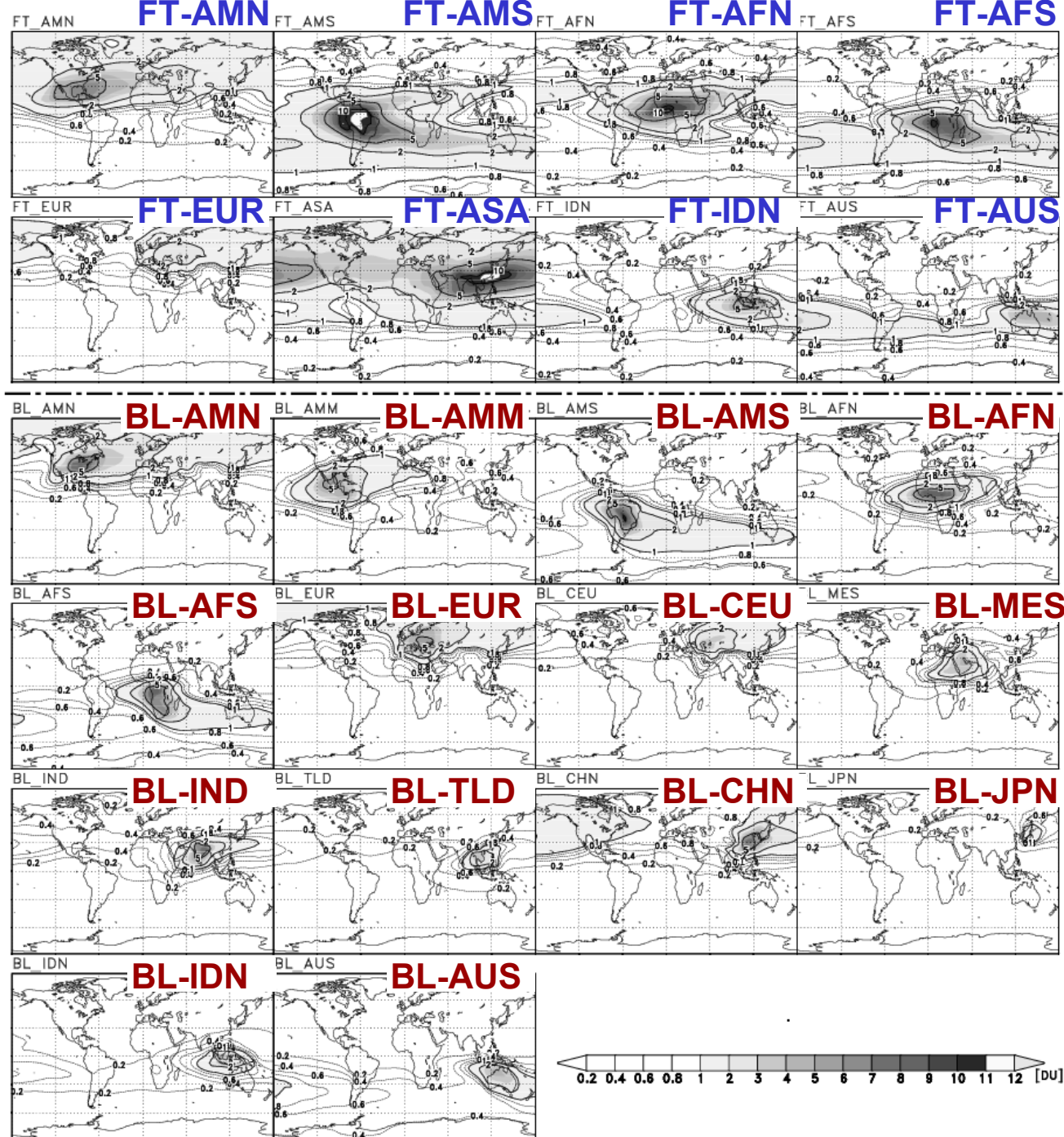


<リモート域での化学的生成>



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

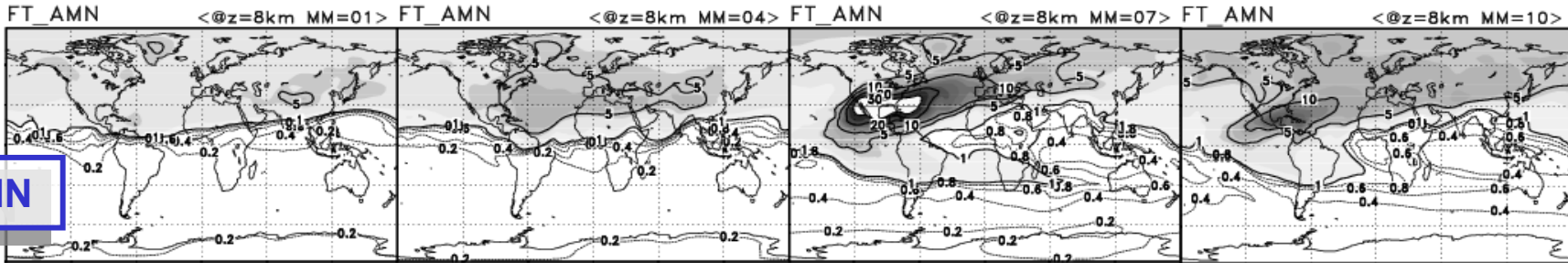
April

July

October

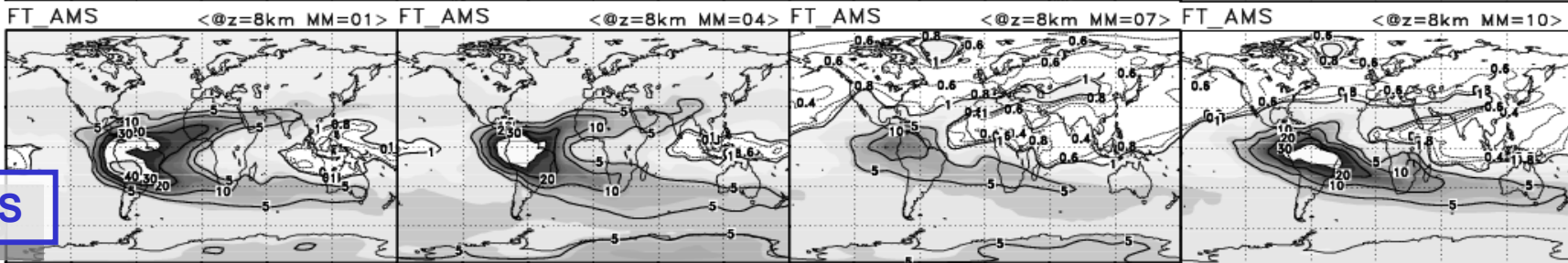
北米

FT-AMN



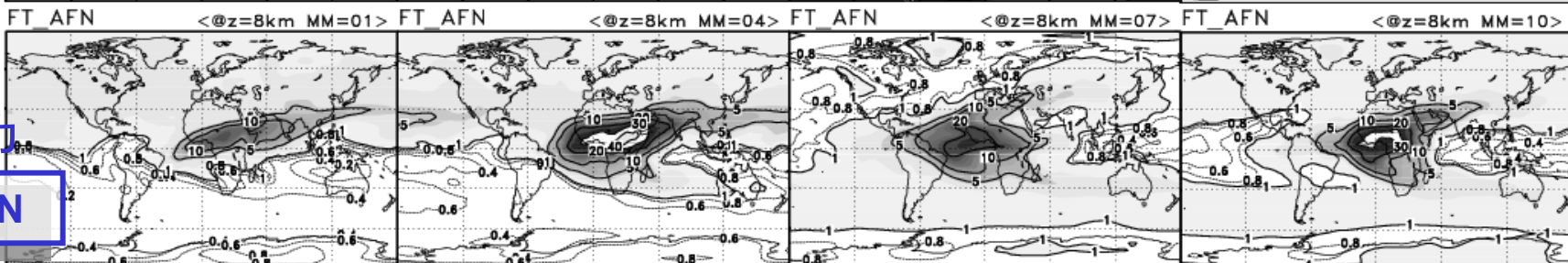
南米

FT-AMS



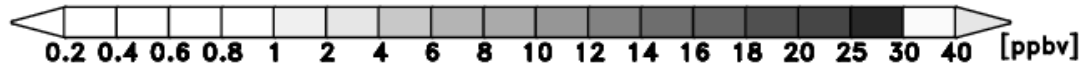
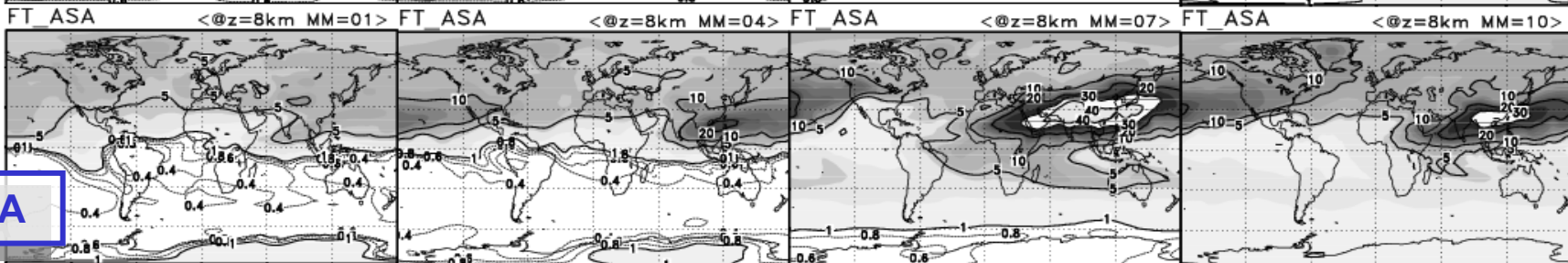
北
アフリカ

FT-AFN



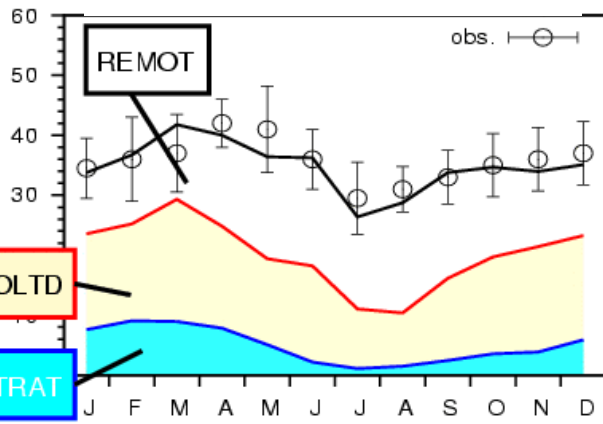
アジア

FT-ASA

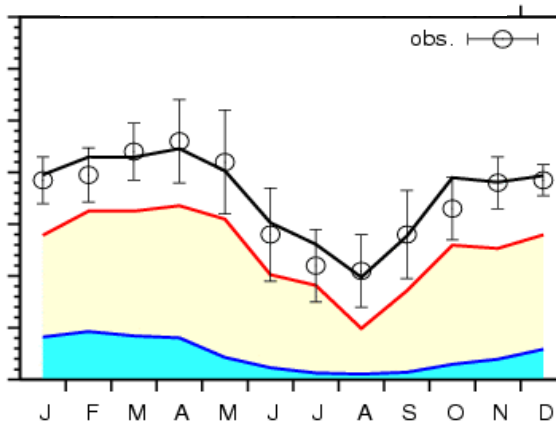


各ソース領域からの地表オゾン季節性への寄与

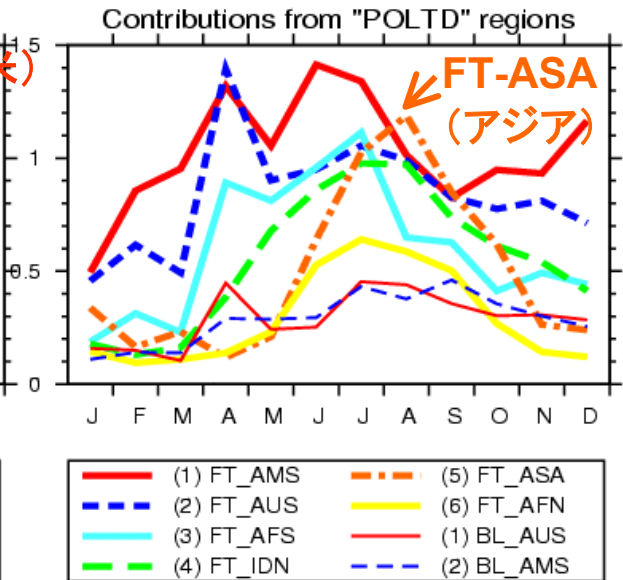
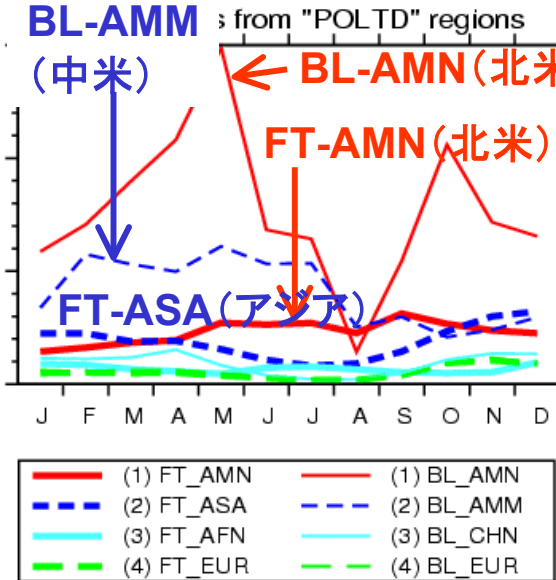
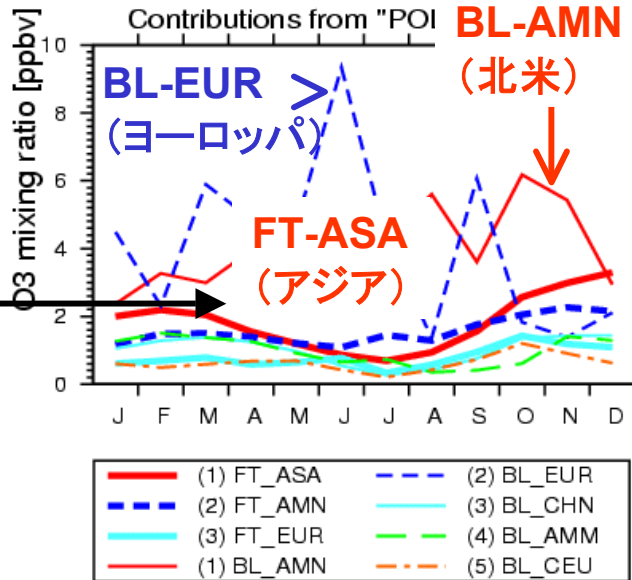
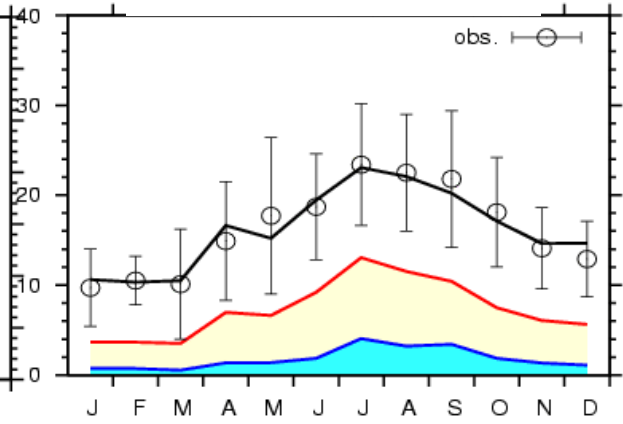
Mace Head 53N 10W



Bermuda 32N 64W



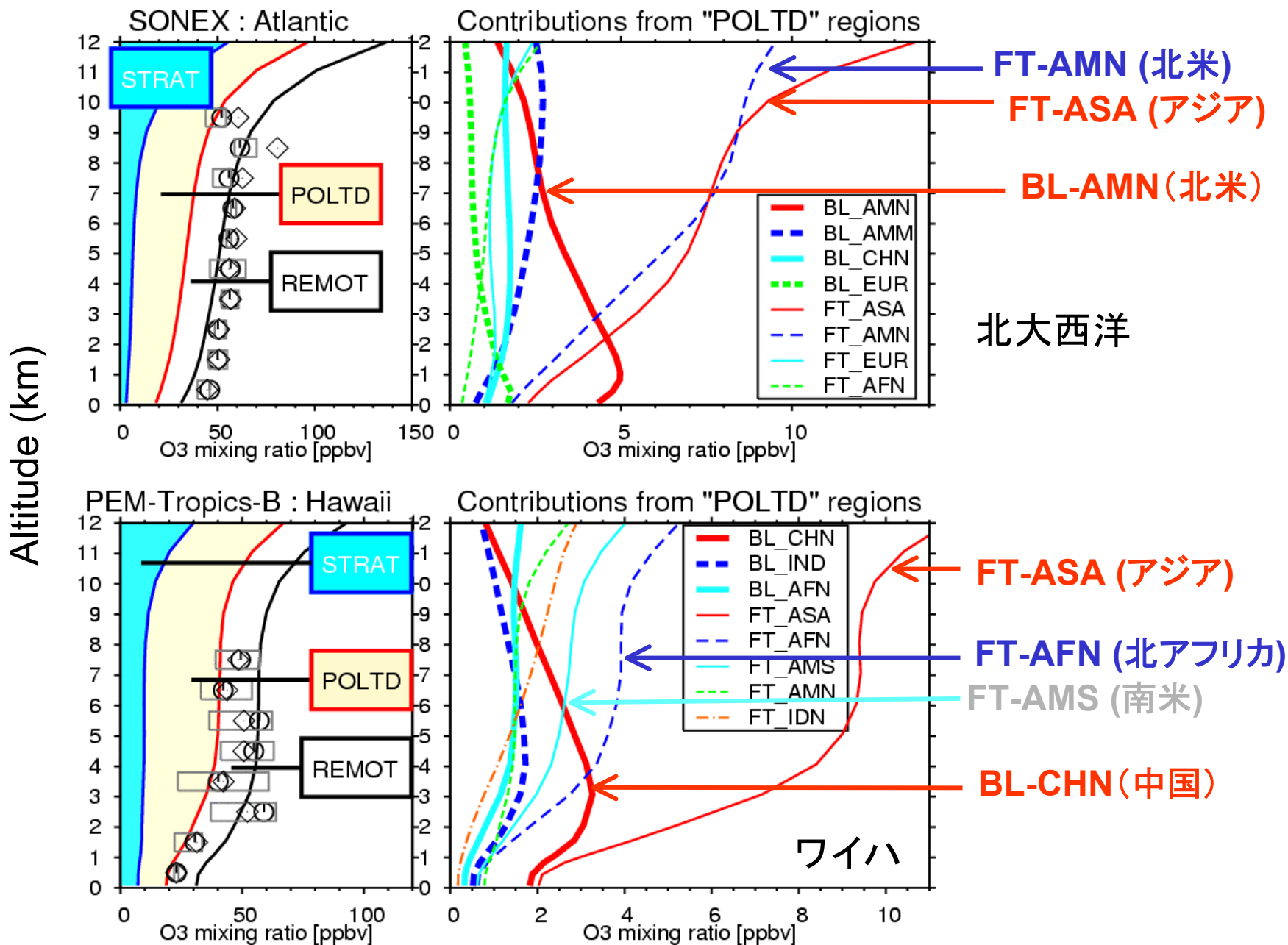
Samoa 14S 189E



高度とともに増加 : 5-10 ppbv at 300hPa

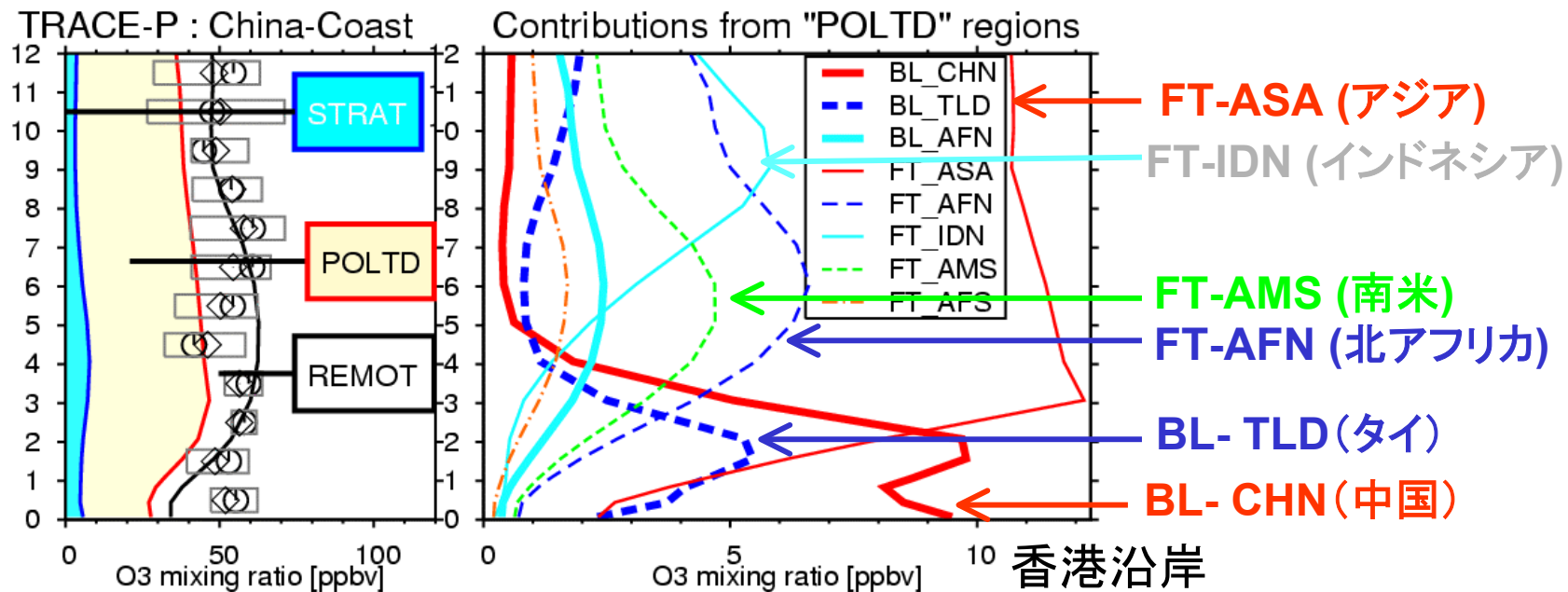
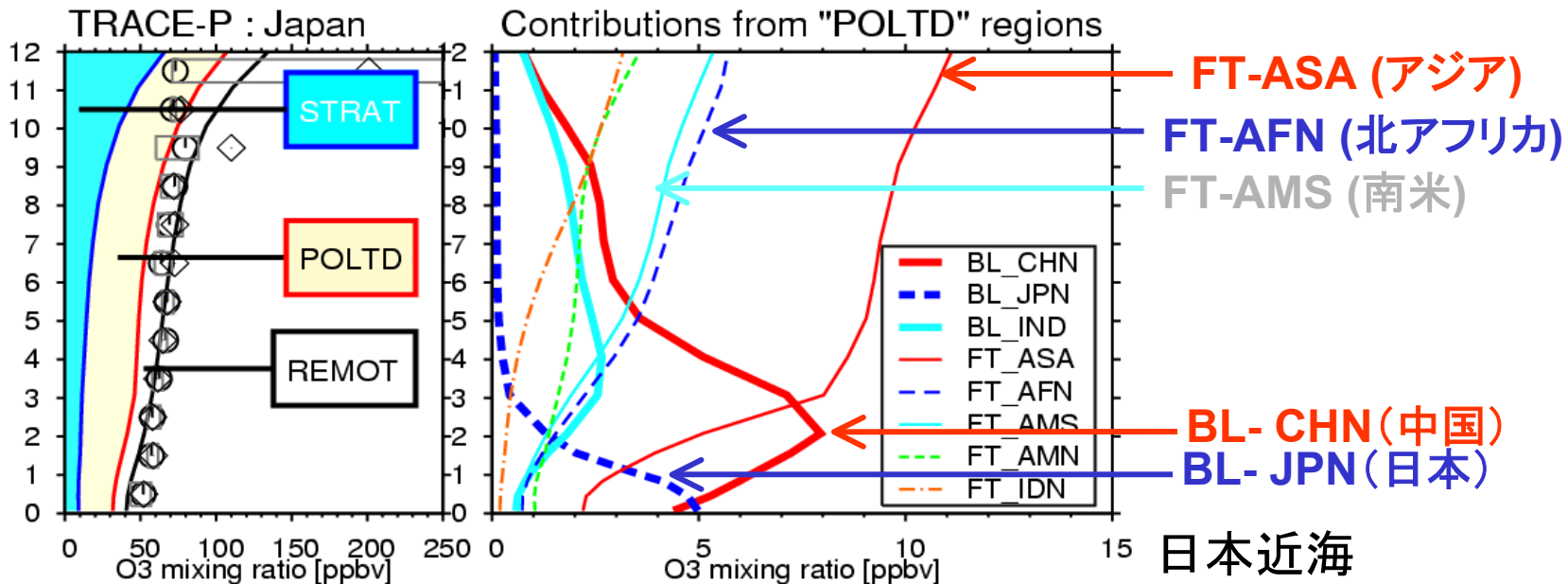
高度とともに増加 : ~5 ppbv at 10km

オゾン鉛直プロファイルへの寄与: NASA GTE 航空機観測

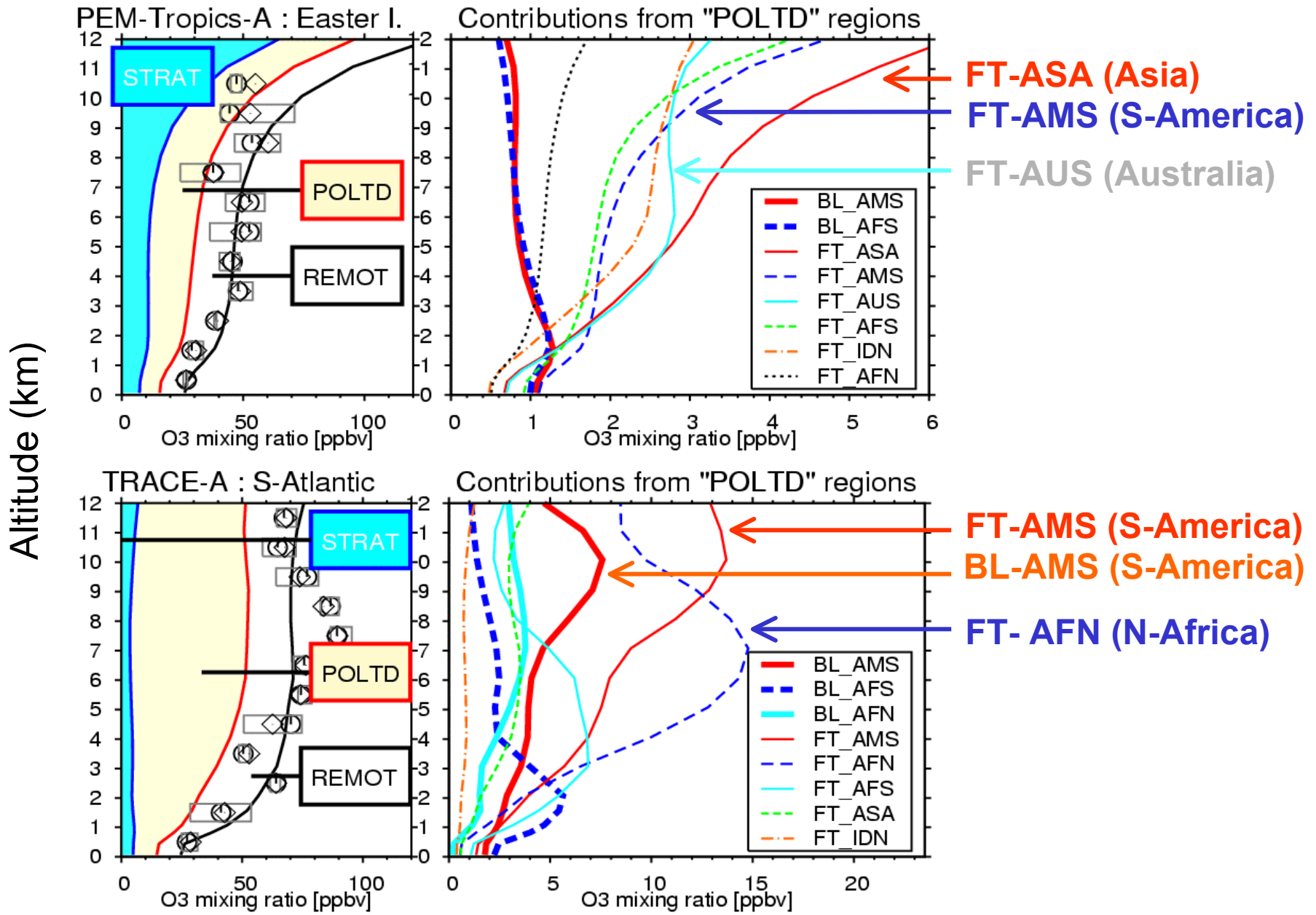


オゾン鉛直プロファイルへの寄与: NASA GTE 航空機観測

Altitude (km)



Contributions to O₃ Vertical Profiles: with NASA GTE Obs.



各ソース領域起源のオゾンの全球収支 (対流圏中)

Table 3. Global tropospheric ozone budget (TgO₃)

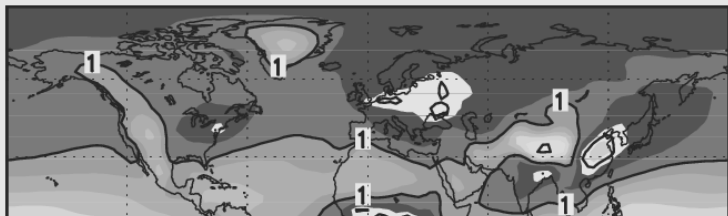
化学生成(Tg)
 成層圏・対流圏間交換(Tg)
 全球総量(Tg)
 寿命(日)

Tracer ID ^a	Production (TgO ₃)		Deposition	STE ^d	Tropo. Burden (TgO ₃)		Turnover (days)	
	P ^b	P-L ^c			Global (%)	NH	Chemical	Residential
O ₃ -ALL ネット	4723	422.5	-917	494.2	343.5 (100.0%)	186.3	26	22
STRAT	0	-484.1	-131	615.6	77.9 (22.7%)	38.6	45	37
REMOT	1735	338.7	-257	-81.7	101.0 (29.4%)	51.1	25	21
POLTD	2988	567.9	-528	-39.7	164.6 (47.9%)	96.5	23	20
PBL {								
BL-AMN	154	48.0	-47	-0.7	6.7 (1.9%)	6.5	24	16
BL-AMM	162	29.8	-30	-0.3	6.6 (1.9%)	5.5	18	15
BL-AMS	203	49.6	-49	-0.3	7.4 (2.2%)	0.9	18	13
BL-AFN	166	33.1	-33	-0.2	5.4 (1.6%)	4.0	15	12
BL-AFS	175	38.8	-38	-0.3	6.6 (1.9%)	0.9	17	14
BL-EUR	111	44.1	-44	-0.3	4.3 (1.3%)	4.2	27	14
BL-CEU	72	27.8	-28	-0.3	2.8 (0.8%)	2.8	28	14
BL-MES	92	22.3	-22	0.0	3.2 (0.9%)	2.9	17	13
BL-IND	97	20.9	-20	-0.8	3.9 (1.1%)	3.4	18	14
BL-TLD	50	7.8	-7	-0.4	2.2 (0.6%)	1.7	18	16
BL-CHN	128	34.6	-34	-1.0	5.9 (1.7%)	5.5	23	17
BL-JPN	22	6.4	-6	0.0	1.1 (0.3%)	1.1	24	18
BL-IDN	61	9.7	-9	-0.5	2.8 (0.8%)	0.9	19	17
BL-AUS	88	19.7	-19	-0.3	3.7 (1.1%)	0.2	20	15
FT 自由対流圏 {								
FT-AMN	163	25.6	-19	-6.6	11.6 (3.4%)	10.5	29	26
FT-AMS	295	32.9	-27	-5.8	21.0 (6.1%)	7.0	27	26
FT-AFN	203	21.2	-19	-2.2	13.4 (3.9%)	9.1	25	24
FT-AFS	186	21.6	-18	-3.8	13.1 (3.8%)	2.1	27	25
FT-EUR	58	14.5	-12	-2.6	4.1 (1.2%)	4.0	34	25
FT-ASA	325	39.7	-32	-8.0	24.9 (7.2%)	20.5	30	28
FT-IDN	90	8.9	-7	-2.2	6.9 (2.0%)	2.2	29	28
FT-AUS	86	11.0	-8	-3.2	6.9 (2.0%)	0.8	31	29

対流圏CO (カラム) への各領域からの寄与はいかがなものか？

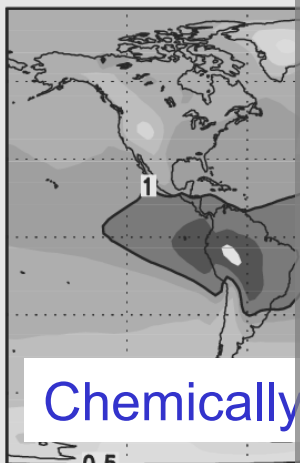
EMITD

<MM=Ann>

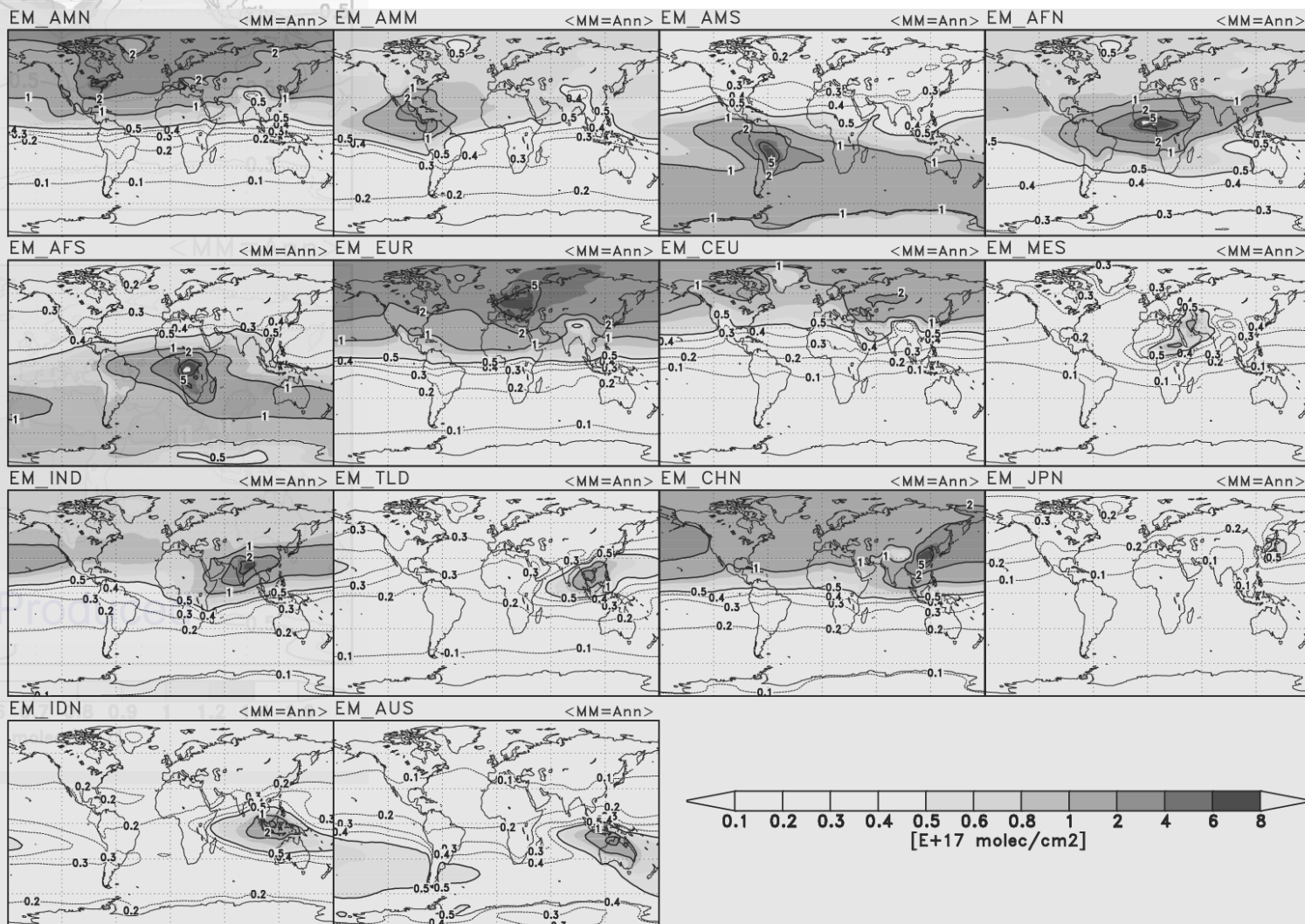


Emitted

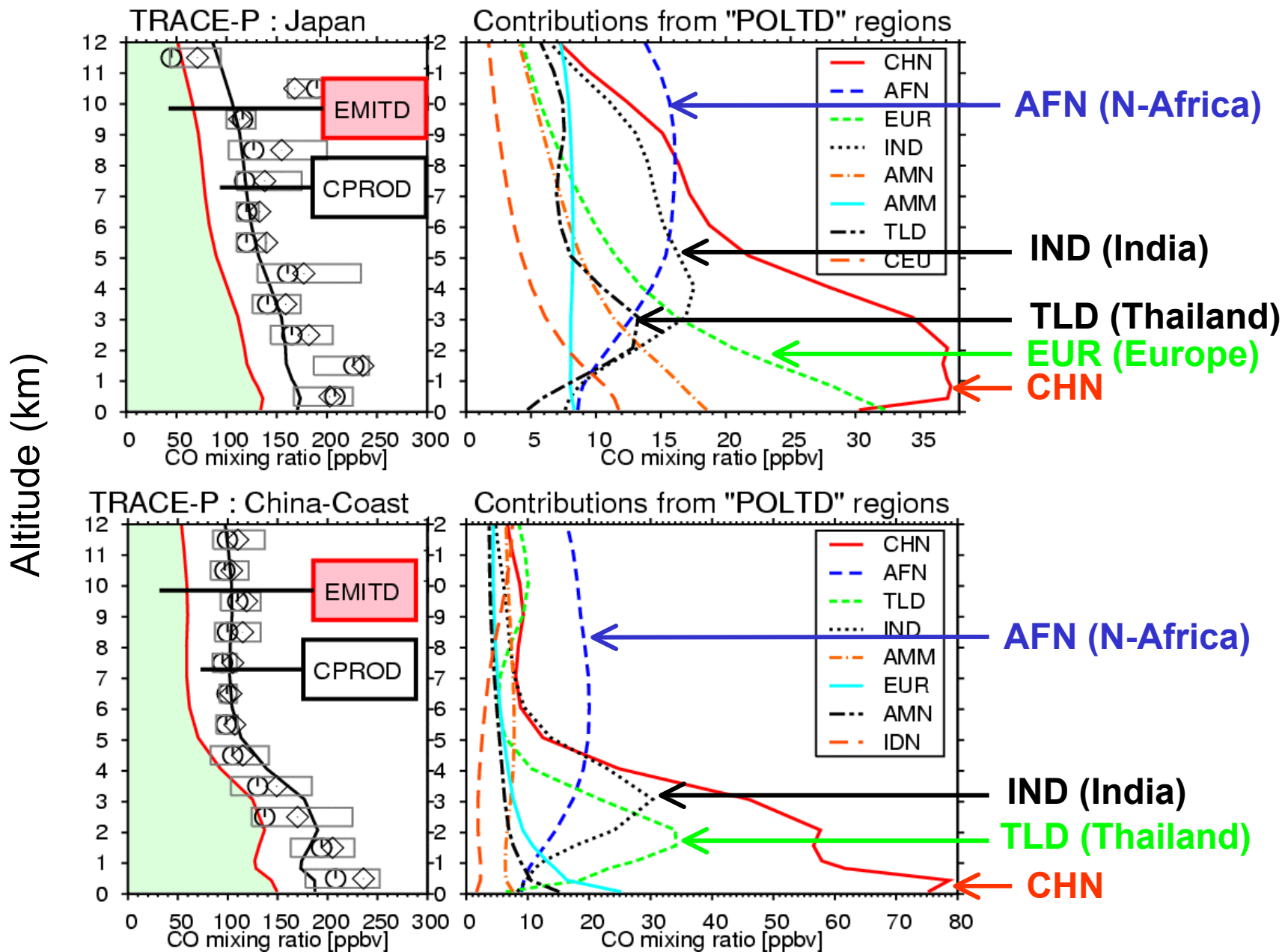
CPROD



Chemically



CO鉛直プロファイルへの寄与: NASA GTE 航空機観測



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

a) From Europ. PBL

EU
BL-EUR

3ppbv

b) From N-American PBL

EU

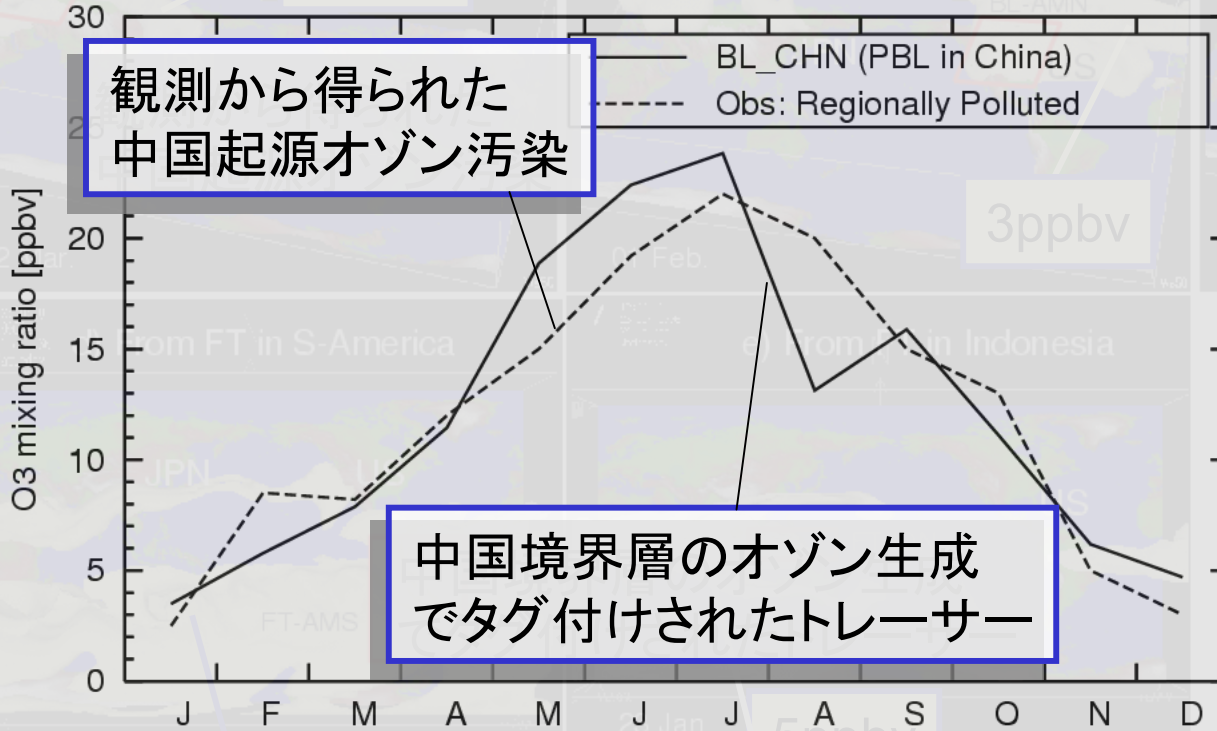
c) From PBL in China

EU

5ppbv

BL-CHN

US



観測から得られた
中国起源オゾン汚染

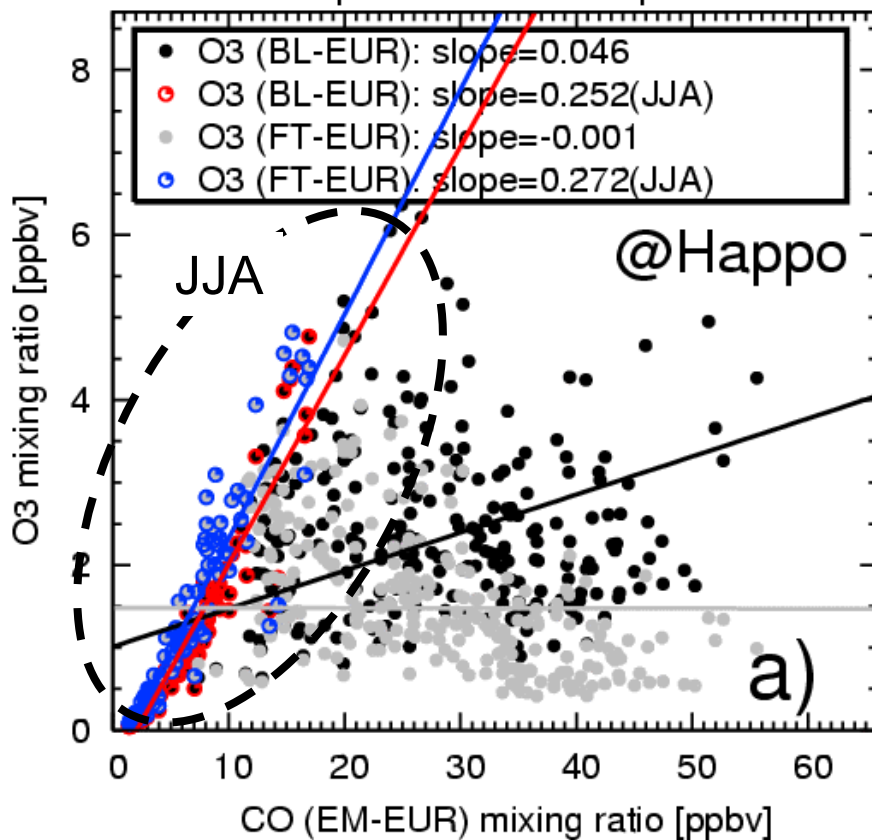
中国境界層のオゾン生成
でタグ付けされたトレーサー

10 ppbv

5ppbv

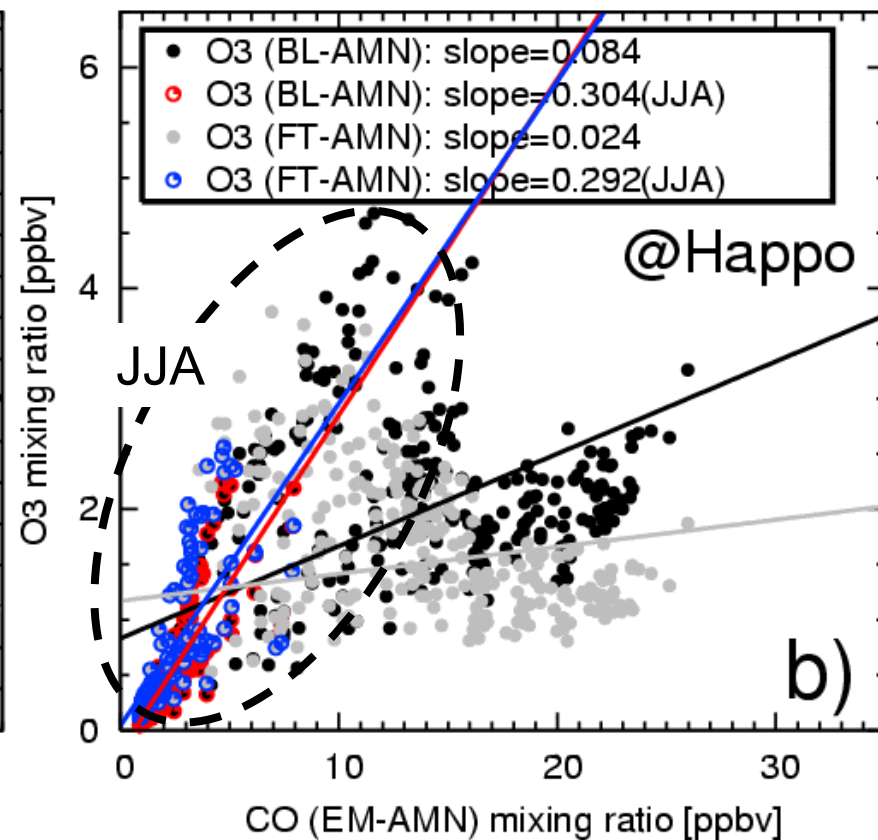
< Transport from Europe >

Europ. CO v.s. Europ. O₃



< Transport from N-America >

N-American CO v.s. N-American O₃



● O₃ from PBL production

● O₃ from FT production

○ O₃ from PBL production (JJA)

○ O₃ from FT production (JJA)

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
e.g.) ポスター31(比連崎・他): アラスカCOの解析。
応用課題3: 他の物質への適用