

第 27 回大気圏シンポジウム

多波長観測による対流圏オゾンの導出手法と感度研究

佐藤隆雄¹⁾, 佐川英夫¹⁾, 入江仁士²⁾, 野口克行³⁾, 齋藤尚子²⁾,

今須良一⁴⁾, 林洋司⁴⁾, 笠井康子¹⁾

1): 情報通信研究機構, 2): 千葉大学, 3): 奈良女子大学, 4): 東京大学

はじめに

対流圏オゾンは短寿命気候汚染物質 (SLCPs) として, 二酸化炭素, メタン等の長寿命の大気分子とともに温室効果をもたらす. 特に圏界面付近でその影響は顕著であり, 正確な温暖化予測のためには, こうした SLCPs の定量的理解が不可欠である. 一方境界層では, 光化学スモッグとして健康・農作物被害をもたらしており, 越境汚染による地球規模の大気汚染の主要因として知られている. さらに紫外線の下で水蒸気と反応して OH ラジカルを生成し, メタンや一酸化炭素の除去等, 対流圏化学に大きな影響力を持っている.

宇宙からの対流圏オゾン観測は, 主に紫外波長による反射太陽光観測や熱赤外波長による熱放射観測によって行われてきた. しかしこれまでの観測手法では, 対流圏を高度分離することは原理的に難しく, 対流圏オゾンのうちどの程度が温暖化や大気汚染に寄与するのかを定量的に見積もるためには, 新たな観測手法による対流圏オゾンの高度分離がまず第一歩となる.

我々は, 国際宇宙ステーションからの地球観測「大気汚染と気候変動ミッション APOLLO」を提案しており, 対流圏オゾンの高度分離は主要ターゲットの 1 つである. 本ミッションでは, 3 種類 (紫外・熱赤外・マイクロ波: 但し紫外・熱赤外はナディア観測, マイクロ波はリム観測) の測器による同時観測とシナジー解析により, 「対流圏オゾンの 3 層分離」を目指している. 本発表では, 具体的な観測測器及び大気シナリオをもとに, シナジー解析の概要と評価手法について報告する.

シミュレーション手法

多波長同時観測によって対流圏オゾンの高度分解能をどの程度向上できるのかを定量的に評価するために, 本研究では Optimal Estimation Method [Rodgers, 2000] を用いてアベレージングカーネル, Degree of Freedom for Signal (DOFS) 及びリトリーバル誤差を算出した. 本研究で用いた観測装置諸元 (案) (表 1) 及び計算条件を以下に示す. 大気プロファイルについては, 2009 年 6 月と 12 月における中国中東部 (CEC) と東シナ海 (ECS) における領域化学輸送モデルの出力値をもとに 20 プロファイル作成した (図 1).

表 1. 観測装置諸元 (案)

	紫外 (UV)	赤外 (IR)	マイクロ波 (MW)
観測波長	305–340 nm	980–1080 cm^{-1}	345.0–357.0 GHz 639.0–651.0 GHz
波長	0.6 nm	$\sim 0.12 \text{ cm}^{-1}$	25 MHz (共通)
サンプリング	0.2 nm	$\sim 0.12 \text{ cm}^{-1}$	25 MHz (共通)
SNR (for UV, IR)	~ 90 (300 nm)	300	0.7 [K]
Error (for MW)	~ 2600 (340 nm)*		1.7 [K]
Forward 計算	SCIATRAN	LBLRTM	AMATERASU

* 地表面アルベド 90 %, 太陽天頂角 0 度の場合

計算条件

- 大気プロファイル (気温, O_3 , H_2O の高度分布):
領域化学輸送モデル (0–20 km) [提供: JAMSTEC/滝川氏] + MERRA (20–70 km)
+ CIRA (70–90 km)
- クリアスカイ (雲がない場合, 但し UV のみエアロゾルを仮定)
- 地表面アルベド: Aura/OMI アルベド @ 328 nm (UV)
- 射出率: 1.0 (IR, MW)
- 地表面温度: 最下層温度と同じ
- S_a : O_3 プロファイルの 100 % (対角項), 非対角項は 0 (共通)

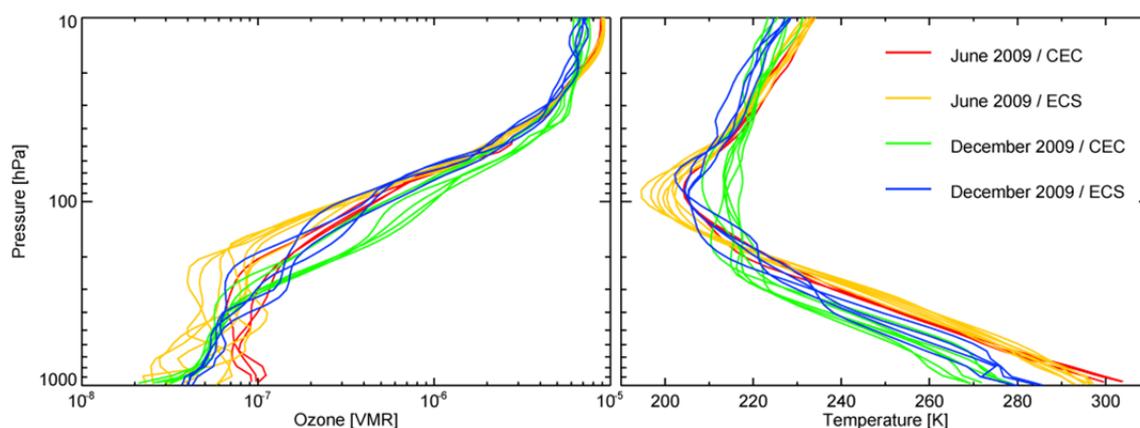


図 1. 本計算で用いたオゾン及び気温プロファイル [2009 年 6 月と 12 月の中国中東部 (CEC) と東シナ海 (ECS)]. (赤) 2009 年 6 月 CEC, (黄) 2009 年 6 月 ECS, (緑) 2009 年 12 月 CEC, (青) 2009 年 12 月 ECS.

結果と考察

20 プロファイルのうち, 最も対流圏における DOFS の値が大きい大気シナリオ (#2) を例に, 各測器の組み合わせ (UV, IR, MW, UV+IR, UV+IR+MW) についてアベレーションカーネルを図 2 に示し, 以下にその特徴を簡単に列挙する.

- UV (図 2a)
境界層 (~800 hPa) に緩やかなピークを持ち, 対流圏の厚さと同程度の高度分解能を有する.
- IR (図 2b)
境界層 (~800 hPa) と上部対流圏-下部対流圏境界 (~400 hPa) に緩やかなピークを持ち, 対流圏を 2 分割する高度分解能を有する.
- MW (図 2c)
リモ観測のため成層圏や上部対流圏で感度をもつが, 下部対流圏や境界層では全く感度がない.
- UV+IR (図 2d)
IR と比べて, 境界層における感度が高くなるが, 上部対流圏や下部対流圏ではほとんど変化しない.

- UV + IR + MW (図 2e)
UV+IR と比べて、上部対流圏における感度が高くなる。さらに境界層における感度も増加する。

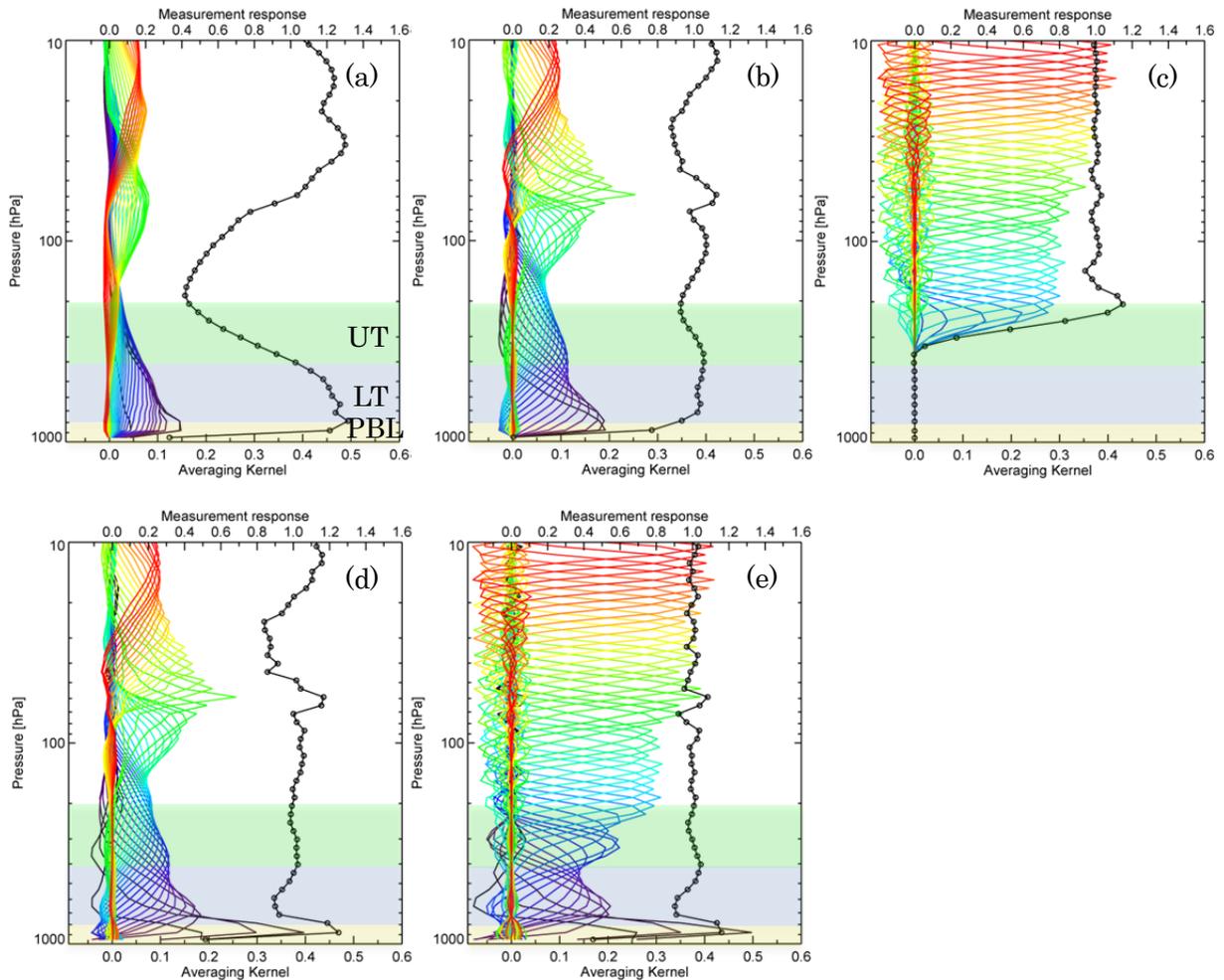


図 2. 混合比ベースのアベレージングカーネル. (a) UV, (b) IR, (c) MW, (d) UV+IR, (e) UV+IR+MW. 但し UT, LT, PBL は上部対流圏, 下部対流圏, 境界層の略称である.

図 3 は各測器の組み合わせにおける DOFS とリトリバル誤差の高度分布である。まず紫外と赤外を同時観測 (図中の青線) することにより、境界層における情報量が増すことが分かる。またマイクロ波を加える (図中の赤線) ことにより、特に上部対流圏における感度が増すことが分かる。特筆すべきは、本来境界層に感度がないマイクロ波を加えることによって境界層の情報量が増す点である。これはマイクロ波を加えることにより、紫外・赤外がもつ上部対流圏・成層圏でのリトリバル誤差が軽減され、結果的に紫外・赤外によって境界層をよりよく決められるようになる、ということを示している。

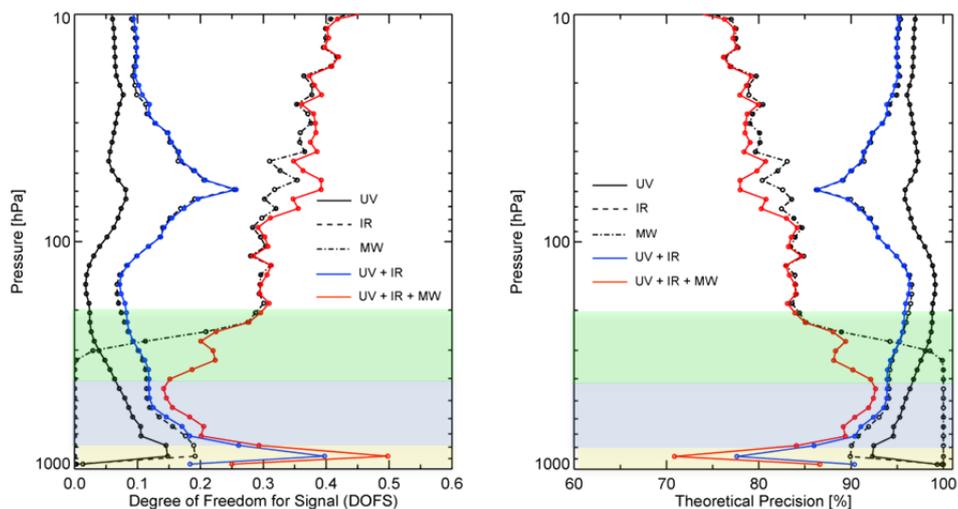


図 3. 各測器の組み合わせにおける DOFS とリトリーバル誤差の高度分布。

ここまでは、「ベストシナリオ」についてその特徴を述べてきたが、最後にすべての大気プロファイル（計 20 プロファイル）を用いて、各高度領域（上部対流圏，下部対流圏，境界層）に対して、各測器の組み合わせにおける DOFS を図 4 に示す。

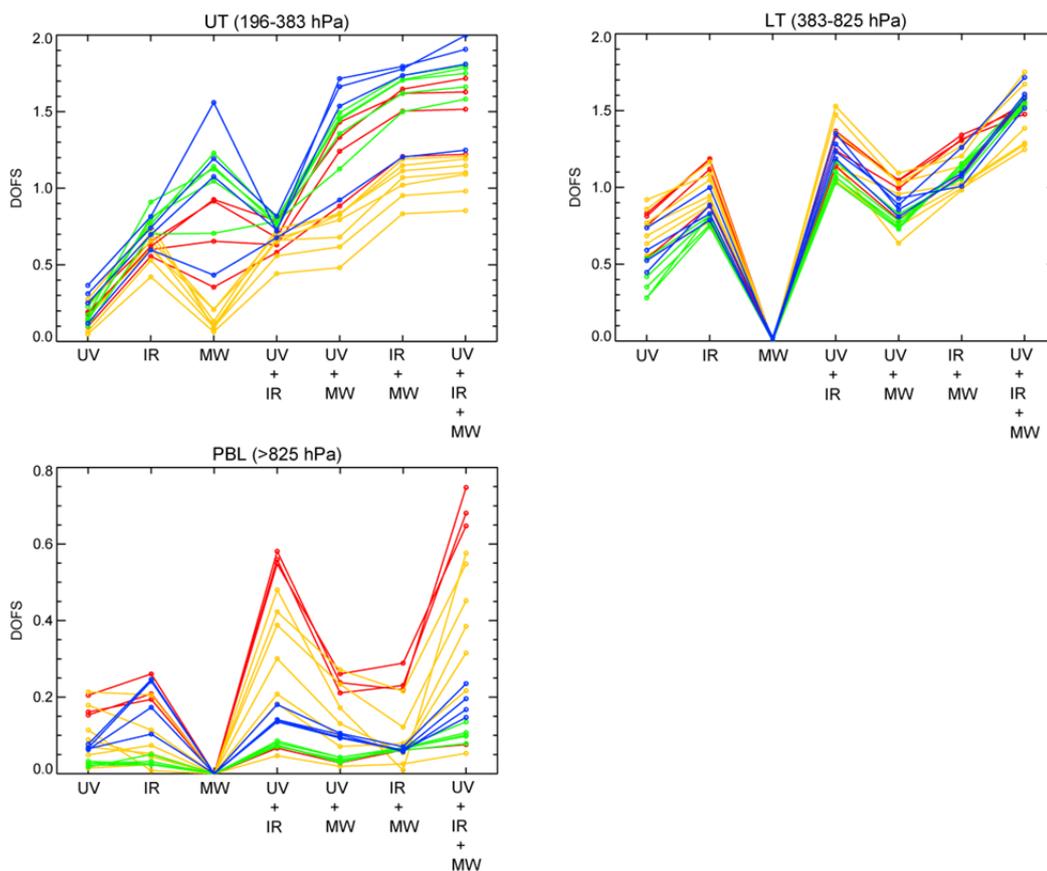


図 4. 各高度領域（上部対流圏，下部対流圏，境界層）における各装置の組み合わせに対する DOFS.

この図 4 からまず、多波長シナジー解析によるオゾン高度分布の高度分解能向上は、オゾンプロファイルに強く依存することが言える。つまり、オゾン濃度が境界層において少ないプロファイル（例えば 2009 年 12 月の CEC）の場合は、多波長同時観測を行っても境界層において顕著な高度分解能の向上は得られないということである。

より詳細を見ていくと、上部対流圏では、今回使用した大気プロファイルに依らず、UV+IR に MW を加えることで、UV+IR での DOFS の約 2 倍になることが分かる。また下部対流圏や境界層では UV と IR のシナジー効果が、他の測器のシナジー（UV+MW または IR+MW）に比べて顕著であることが言えるだろう。

おわりに

多波長シナジー解析によって対流圏オゾン推定精度がどの程度向上するのかシミュレーションによって調べている。現時点までにシナジーシミュレーションを行う手法を完成させており、現実的な大気シナリオを用いて、統計的にシナジー解析の可能性を評価している。今後は、現在考慮していないコンタミ成分（ H_2O 、気温プロファイル、地表面アルベド、射出率）によるリトリーバル誤差を評価する。