

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES) プロジェクトの概要と最新の成果

塩谷雅人(京大生存研), °佐野琢己 (ISAS/JAXA), SMILES ミッションチーム

1. ミッションの目的とこれまでの経過

成層圏オゾンの動向と気候変動との相互影響については、未だに不確定性が多く残っている。SMILES は、中層大気の微量成分 (O_3 , HCl , ClO , HO_2 , HOCl , BrO , O_3 同位体, HNO_3 , CH_3CN) の広域分布を観測することにより、成層圏オゾンとそれに関連する気候変動に影響するプロセスの解明に寄与することを目標としている。

SMILES は、2009 年 9 月 11 日に HTV 1 号機で打上げられた後、10 月 12 日に連続的な地球大気観測を開始した。2010 年 4 月 21 日にサブミリ波受信器系が故障して観測を中断するまで約 6 ヶ月分の観測データを取得した。現在もデータの再解析・検証を精力的に行なっている。以下では、その主な成果について紹介する。

なお、SMILES は冷却技術と超伝導デバイスとの軌道上実証の側面もあるが、ここでは地球大気観測による大気化学の成果にのみ言及する。

2. SMILES 観測の概要

SMILES の装置は、JAXA と NICT が共同で開発した、極低温冷却された超伝導検出器を用いて、大気微量分子の発する 624~650GHz 帯のサブミリ波を測定し、アンテナを上下させて 20~80km 程度の高度帯における大気リム観測を実現したものである[1]。また、アンテナの水平方向を ISS の進路から左 45° にしたことにより、ISS の軌道傾斜角 (51.5°) に対して観測対象緯度帯を北緯 65°~南緯 38° とし、人間活動のより活発な北半球を重点的に観測した。観測対象とする分子種は、オゾン及びその同位体を始め、塩素・臭素等化合物など、中層大気のオゾン化学反応にとって重要な役割を持つラジカル種を主なターゲットとしている。また、ISS が太陽非同期軌道にあることから、他の主な地球観測衛星とは異なり、ある地点における様々な地方時の観測データを得られるため、日変化の様子を把握することができる。

3. 観測プロダクトの改定状況

SMILES の高次処理データ (L2 データ) は、研究公募の応募グループにのみ限定して、2010 年初頭から 5 回にわたって改良を重ねながら提供を行ってきた。最新のバージョン 2.1 は、2012 年 3 月よりプロジェクトの公開サーバにて、同年 8 月から宇宙研データアーカイブ (DARTS) においても、一般むけに公開している。

オゾンおよび塩素総量を議論するうえで重要となる HCl 及び ClO について、SMILES の観測は、現状で最も詳細な化学輸送モデル (米国 NCAR 開発の WACCM [2]) の計算結果とよく合致している。特に HCl の中間圏での分布が一様になっているなど、これまでの中層大気における塩素系化学反応の知見から期待される分布を良く再現できていると言える。また、オゾンゾンデの観測データとの比較においては、概ね良い一致を示すものの、熱帯域下部成層圏で顕著な差異を見せる。これについては、オゾンゾンデ内部の測定器の応答時間 (20~30 秒) が、特に鉛直勾配の大きい熱帯域下部成層圏で負のバイアスを作り出す可能性を示唆していると推測されるが、現在も継続して検証を進めている。

4. SMILES データから見える大気の時間変化

先に述べた特殊な軌道上にある ISS に搭載された条件を生かし、また SMILES で精密な観測が行えることから、これまで詳細な観測例のなかった成層圏におけるオゾン量の日変化を捉えることができた[3]。日変化の振幅は、20-30 km で 0.05 ppmv (1%), 30-40 km で 0.15 ppmv (2-3%), 40-50 km で 0.1 ppmv (3-4%) 程度であることが判った(Fig. 1)。また、オゾン全量に換算しても最大 1% 程度の変動があることが導かれ、このことより、地上観測においても観測時刻の違いによる日変化を考慮に入れる必要があることを示唆している。例えば、全世界の地上観測データを統合して長期トレンドの解明に用いようとする場合などに、このような日変化による変動を補正する必要があると考えられる。

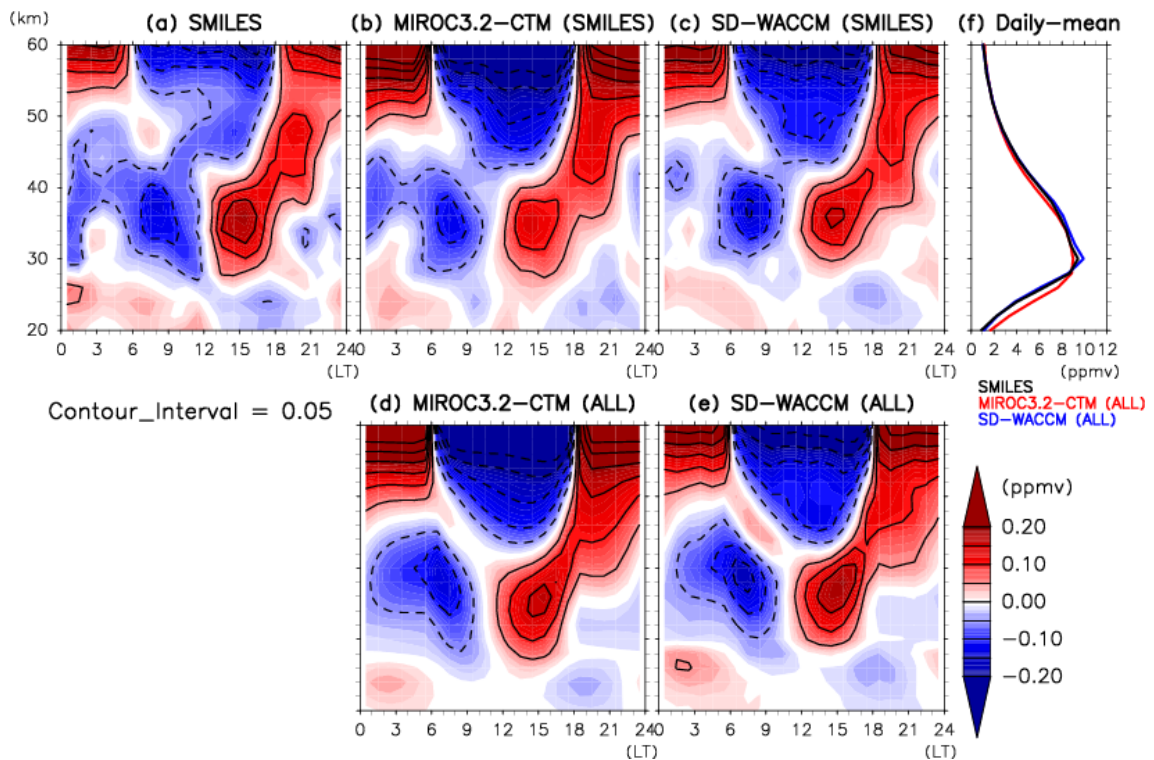


Fig. 1. 北緯 10 度～南緯 10 度で緯度帯平均を取ったオゾン日変化の鉛直分布。(a) SMILES 観測データ, (b) MIROC3.2-CTM (環境研 モデル計算), (c) SD-WACCM (NCAR モデル計算). モデルのグリッドデータから SMILES の観測点近傍のみ抽出したもの。(d), (e) はそれぞれのモデルのフルグリッドデータ。

CIO においても、SMILES の観測精度の高さが発揮される結果となった。化学気候モデル (SD-WACCM) を横軸に SMILES と MLS とを比較すると、平均的には同じ 1:1 の回帰直線上に乗るものの、個々の観測値のばらつきは SMILES のほうが小さいことが判り、このことから SMILES 観測の高感度が示される。

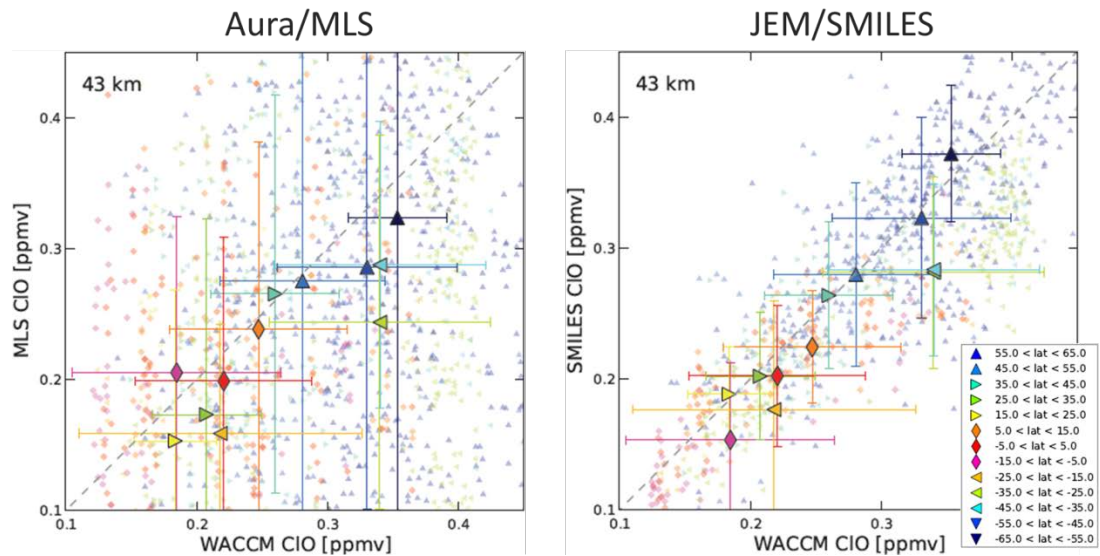


Fig. 2. SMILES と MLS による CIO 観測データの比較。
モデル計算を基準にすると、SMILES のデータは平均的によく一致している。

5. まとめ

SMILES は、約半年という短い期間ではあるが、これまでの宇宙機観測を遙かに上回る精密な大気サブミリ波スペクトルを測定し、そのデータから大気微量成分の高度分布のみならず日変化を高い精度で導出することができた。今後は、観測データとモデル結果の詳細な整合性のチェックを通し、それぞれの持つ不確定性を低減させることで、互いのさらなる精緻化を目指していく。また、ここで示したいくつかの例を初めとする大気現象について、さらに精密な科学的論議を進める。

参考文献

- [1] Kikuchi, K., et al. (2010), Overview and early results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES), *J. Geophys. Res.*, **115**, D23306, doi:10.1029/2010JD014379.
- [2] Garcia, R. R., et al. (2007), Simulation of secular trends in the middle atmosphere, 1950–2003, *J. Geophys. Res.*, **112**, D09301, doi:10.1029/2006JD007485.
- [3] Sakazaki, T., et al. (2013), Diurnal ozone variations in the stratosphere revealed in observations from the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) on board the International Space Station (ISS), *J. Geophys. Res. Atmos.*, **118**, doi:10.1002/jgrd.50220.