

SMILES による中層大気化学と力学についての成果概要

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

1. ミッション目的とこれまでの経過

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (SMILES) は、「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初の技術実証」というエンジニアリング的側面と、「中層大気微量成分のグローバルな時空間分布に関する観測実験」というサイエンティフィックな側面とを持ち合わせる。2010 年 4 月の観測停止後もデータ解析は精力的におこなわれ、従来の宇宙機からの地球大気観測を凌駕する性能を持つことを科学的に実証しつつある。本稿ではこれ以降、サイエンスの成果について述べる。

2. SMILES 観測の概要

SMILES 観測装置は、JAXA と NICT が共同で開発し、2009 年 9 月に HTV 1 号機に格納された状態で H-IIB ロケット 1 号機によって種子島宇宙センターより打ち上げられた。その後、国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟 (JEM) に取り付けられ、装置各部の初期チェックアウトを完了したあと、同年 10 月から定常的な大気観測を開始し、サブミリ波受信機系の局部発振器が故障するまで約半年間にわたって観測データを取得した[1]。

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する。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、中層大気の大気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。

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 月より一般にも公開を開始している[2]。

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、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おり、これは現状で最も詳細な化学輸送モデル (米国 NCAR 開発の WACCM [3]) の計算結果と合致している。一方、従来の衛星観測 (EOS-Aura/MLS, Scisat-1/ACE 等) では

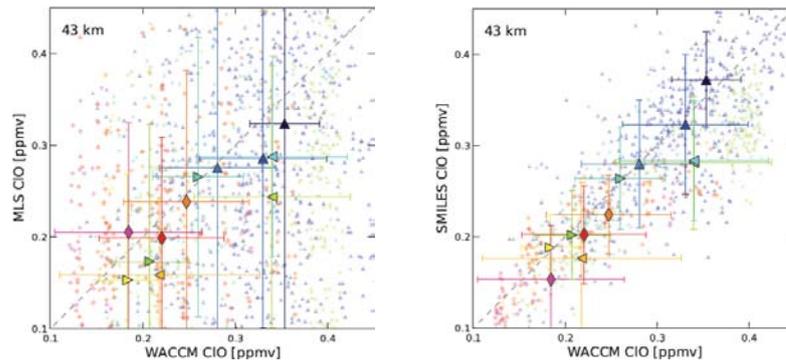


Fig. 1 SD-WACCM のモデル計算と、EOS-Aura/MLS, SMILES
それぞれの観測データの対応関係

HCl が上層ほど増加するなど、大気化学の知識からはずれた分布になっており、かつ誤差も大きいことから (Fig. 1)、SMILES による塩素化合物の観測は従来よりも高い確度をもった数値を提示できると考える。そのことにより、モデルによって予測値に幅のあった塩素量のトレンドの議論に、少ない点数ではあるが「ピン止め」の役割を果たせる。

4. SMILES データから見える大気の時間変化

SMILES では 10 月から翌年 4 月までという約半年間の観測データしか得られなかったが、いくつかの興味深い時間変化を捉えている。例えば、オゾンの緯度・高度分布において、通常であれば赤道上空成層圏 (~30km) を中心にオゾン濃度の極大が見られるところ、SMILES の観測期間には特徴的な「へこみ」が期間の前半と後半に二度見られる (Fig. 2)。これは、中部成層圏の準二年周期振動 (QBO) にともなう鉛直流変動が影響し、それに上部成層圏の半年周期振動 (SAO) が変調を加えていると考えられる。

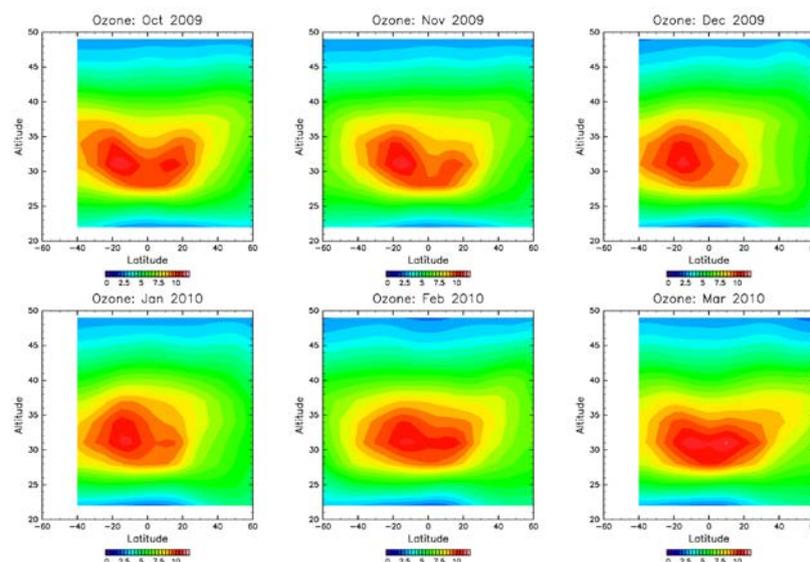


Fig. 2 オゾン分布の季節進行 (2009 年 10 月~2010 年 4 月)

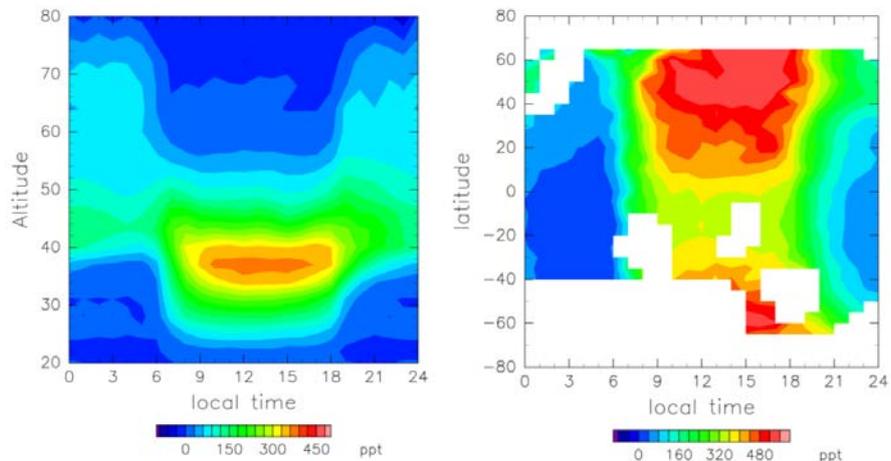


Fig. 3 高度別（緯度 南北 10°）及び緯度別（高度 37km）の ClO 日変化

また、SMILES は太陽非同期軌道から観測するため、ある地点について異なった地方時の観測データを取得することができる。2010年2～4月のデータを利用し、地方時1時間・緯度5度の刻みで整理して、ClOの日変化を高度別（Fig. 3 左）及び緯度別（Fig. 3 右）に描くことができる。これより、成層圏上部や高緯度域において、安定系の塩素化合物（HCl）が日照時に光分解して化学活性の高い形（ClO）に変化していることが見て取れる。

5. 2010年1月の北極域オゾン変動

最後に、この年に観測された特徴的な気候条件と成層圏オゾンをめぐる化学的条件を総合的に捉えた例を示す。2010年1月下旬に成層圏突然昇温が発生し、それに伴って北極上空の大気波動が活発化した結果、極渦がヨーロッパ上空に迫り出した（Fig. 4 左上）。

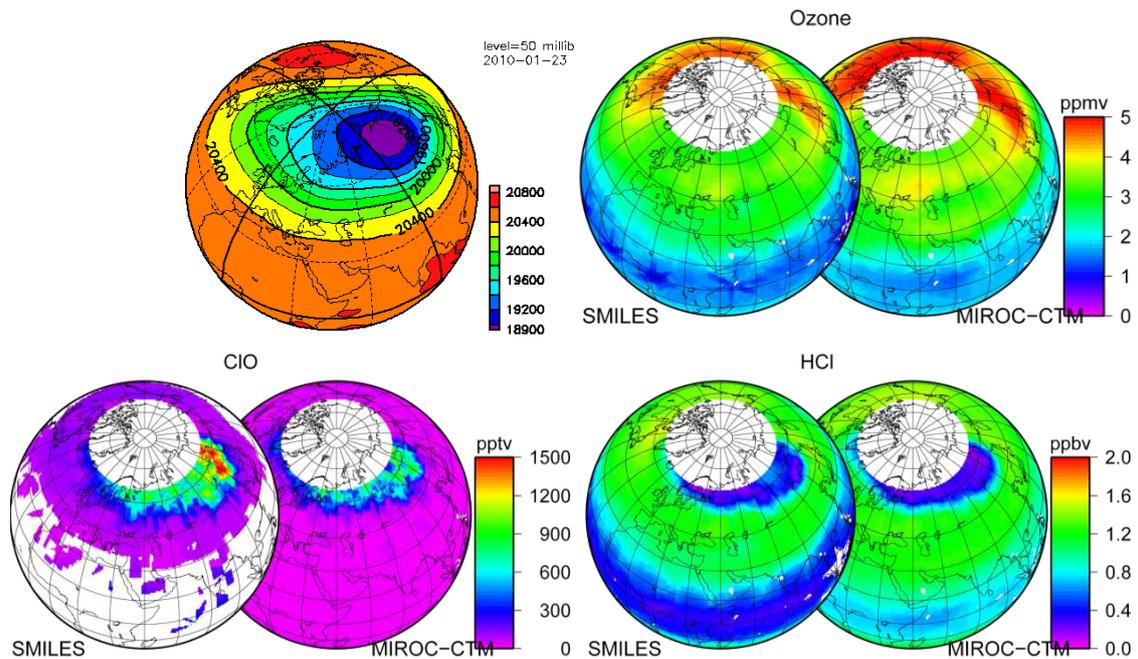


Fig. 4 2010年1月の北極域における極渦条件とオゾン等の変動

それによって、極渦内部の低オゾン・高 ClO・低 HCl の気塊が SMILES の観測可能緯度帯でも検出できている。(各々 Fig. 4 右上・左下・右下) なお、この現象については、国立環境研の化学輸送モデル[4]とも良い一致をみており、この時期の SMILES 観測による描像の妥当性を補強するものとなっている。

6. 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を高い精度で導出することができた。また、ClO や BrO などの日変化を明快に記述し、中層大気の化学に関する重要な寄与をすると同時に、化学輸送モデルの計算結果との整合性を力学・化学の両側面から支持する結果を提示している。今後さらにデータ処理システムの改訂を重ねることによって、より高精度のプロファイル算出を目指すとともに、さらなる精密な科学的論議を展開していく。

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] http://www.jaxa.jp/press/2012/03/20120305_smiles_e.html
- [3] 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.
- [4] Akiyoshi, H., et al. (2006), Ozone decrease outside Arctic polar vortex due to polar vortex processing in 1997, J. Geophys. Res., 111, D22311, doi:10.1029/2005JD006540.