

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)による最近の成果

塩谷雅人(京大生存研), 高柳昌弘(ISAS/JAXA), 村山泰啓(NICT)

SMILES ミッションチーム

1. はじめに

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(JEM/SMILES)は、2009年9月11日(JST, 以下同様), HTVに搭載されH-IIBロケットによって打ち上げられたあと、同月25日に国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに取り付けられ、翌26日には稼働を開始した。10月12日からは本格的な大気観測を始めたが、2010年4月21日に装置の不具合を起こし、残念ながらデータの取得は約半年間にとどまった。さらに、6月5日JEM熱制御系の不具合に伴い冷凍機を停止しており、2011年1月19日には観測ミッションを終了している。

SMILESの観測性能を特徴づけるのは、微弱なサブミリ波を捉える高感度な検出器と、その検出器の雑音を理論限界近くまで抑えるための4K機械式冷凍機である。ISSの周回軌道は軌道傾斜角51.6度の太陽非同期軌道であるが、SMILESのアンテナはISSの進行方向から45度左向きに取り付けられており、観測緯度帯は南緯38度～北緯65度の範囲となっている。ISSの一周回で約100点、一日で約1600点の鉛直プロファイルが得られるが、実際にはSMILESの観測視野を太陽電池パネルが遮ることがあること、さらにJEMやISS全体の様々な運用制約があるため、観測数はこれよりも少ない。

SMILESは、オゾンのほかHCl, ClO, HNO₃, HOCl, BrO, オゾン同位体など、オゾン収支を考える上で重要になる臭素系・塩素系の微量成分を中心として、それらのグローバルな濃度分布を測定する。これらの観測データの解析から、大気中の化学反応を多面的に捉えることで、地球大気質の変動に関わる諸問題の解決に貢献する。

2. SMILESによる観測

まず、SMILESが約半年間にわたって安定した観測をおこなった様子を、赤道域を中心としたオゾンとHClの時間変化を示すことによって見る。図1は、月平均したオゾンの帯状平均値を緯度・高度の断面で示したものである。一般的な観測条件では、先に記したようにおおそ南緯38度～北緯65度の範囲を観測するが、ISSの姿勢が反転した時期、SMILESは南半球側を中心とした観測をおこない(図2参照)、そういった時期を含む2009年11月と2010年2月には南緯60度から北緯60度の範囲で月平均の図が描かれている。

2009年10月には、30km付近のオゾンのピークが赤道域を中心に2つに分かれ、それぞれが上方、高緯度側に伸びるような分布をしている。こういった特徴は11月にも見られるが、12月、1月になるとオゾンのピークは南半球のみの1つとなる。さらに時間が経過すると、2月頃から再び北半球側のピークが発達してきて、3月には期間の最初に見られたようなダブルピークの構造を示す。

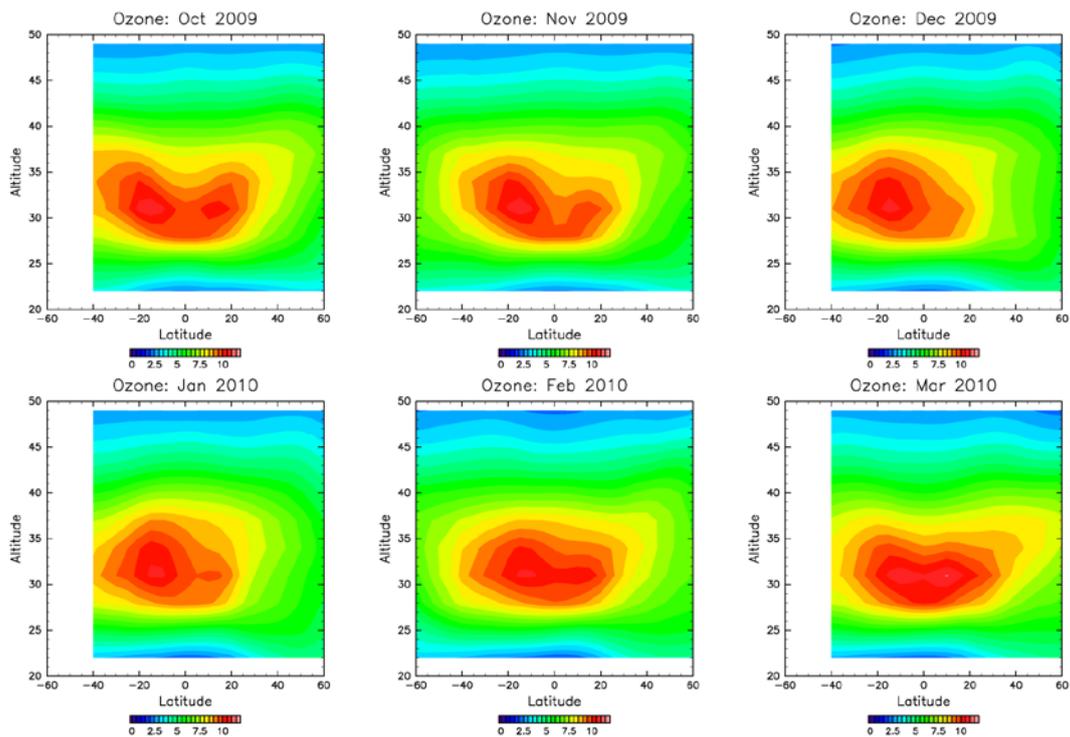


図 1 : SMILES の観測から得られた月平均・帯状平均オゾン分布の緯度・高度断面図。
2009 年 10 月から 2010 年 3 月までの 6 ヶ月分を示す。

オゾンの極大がダブルピークを示す事例については、Randel and Wu (1996) が SAGE II のオゾン観測データからも断片的に示している。彼らも指摘しているように、こういった特徴的な分布を示す原因としては、赤道域の下部成層圏から中部成層圏にかけて卓越する準 2 年周期振動 (QBO) にともなう子午面循環の変動が考えられる。ヨーロッパ中期予報センターの提供する全球気象データを用い背景の東西風について調べたところ(図省略)、SMILES の観測期間中 QBO は 100- 40hPa で西風、40- 10hPa で東風となっており、位相の下方伝播は停滞していた。いっぽう、上部成層圏を中心として卓越する半年周期振動(SAO)は、SMILES 観測期間の初めと終わりの時期に西風、その間の時期に東風であった。つまり高度 30km 付近では、SMILES 観測期間の始めと終わりに西風シアア、その間でシアアはほぼゼロになる傾向にあった。この西風シアア領域では下降流が誘起されていることが理論的に知られており(Plumb and Bell, 1982)、これによる鉛直輸送さらには断熱圧縮による高温偏差どちらもがオゾンを減少させる方向に働くため、このようなダブルピークあるいは赤道域でのピークのへこみとして観測されたと解釈できる。

次に、SMILES の観測期間、HCl の帯状平均値を時間と緯度の断面で描いたものが図 2 である。ここでは、先ほどのオゾンのピーク付近 31km の分布を示す。分布の特徴を述べる前に、2009 年 12 月上旬は太陽電池パネルによる視野障害が長期間続いたため 2 週間ほど欠測になっていること、また ISS の姿勢反転のため 2009 年 11 月、2010 年 2 月および 4 月に、観測緯度帯が南半球側に寄ったものになっていることを指摘しておく。

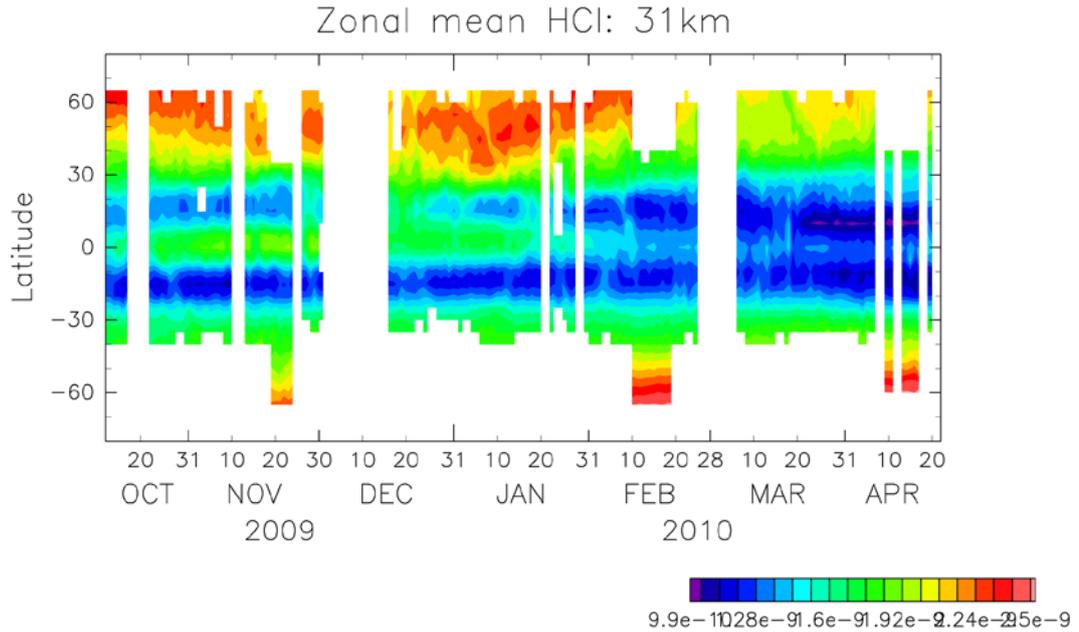


図 2 : SMILES の観測から得られた高度 31km における HCl 帯状平均値の時間・緯度分布.

この高度領域では、HCl は光化学的な寿命が長くトレーサーと考えることができる。したがって図 2 に見られる特徴は主に力学場を反映したものと考えてよい。図 1 のオゾン分布の特徴を説明するにあたって、QBO と SAO の位相関係から、この高度領域では下降流の存在が示唆されること、またそれは SMILES の観測期間の始めと終わりとして強くなっていることが予想されることを述べた。HCl は高度とともに混合比が増大するので、下降流が存在すれば濃度の増加が見られるはずであるが、図 2 はまさに赤道域での HCl の増加(あるいは南緯 15 度と北緯 15 度付近の 2 つの極小)として下降流の存在を明瞭に示している。同時にこの赤道対称のダブルピークの大きさは、期間の最初と終わりに強くなっている。いっぽうこれより下の高度では、この極小域は赤道上に 1 つあらわれるだけとなる(図省略)。

SMILES の特徴として、観測点の地方時が日々変化するので、約 2 ヶ月分のデータを用いることによって日変化を描き出すことが可能になる。これは一般的な大気観測衛星が太陽同期軌道を取るために地方時が固定されている事情とは異なって、大気科学的に新しい切り口をもたらさう。図 3 は SMILES が 2010 年 2 月から 4 月にかけて観測した ClO のデータを地方時の刻みが 1 時間、緯度 5 度幅で平均したものを、赤道域(南緯 10 度から北緯 10 度の平均)で地方時と高度の断面で表したものの(左)および高度 35km において地方時と緯度の断面であらわしたものの(右)である。

成層圏領域では、昼間に ClO が多く夜間は少ないという明瞭な日変化を見て取ることができる。これは、この領域では ClONO₂ がリザーバとして寄与しており、これが光分解されて昼間の ClO 増大を作り出しているものと考えられる。いっぽう、中間圏領域では NO_x の存在量が少なくなり HOCl がリザーバとなるが、この高度領域ではそれが昼間 ClO にならず Cl のままでいる割合が増えるために ClO が減少して見えるものと思われる。こういった ClO の時間変動の特徴については、たとえば Ricaud et al. (2000)による光化学モデルを用いた研究があるので参照されたい。

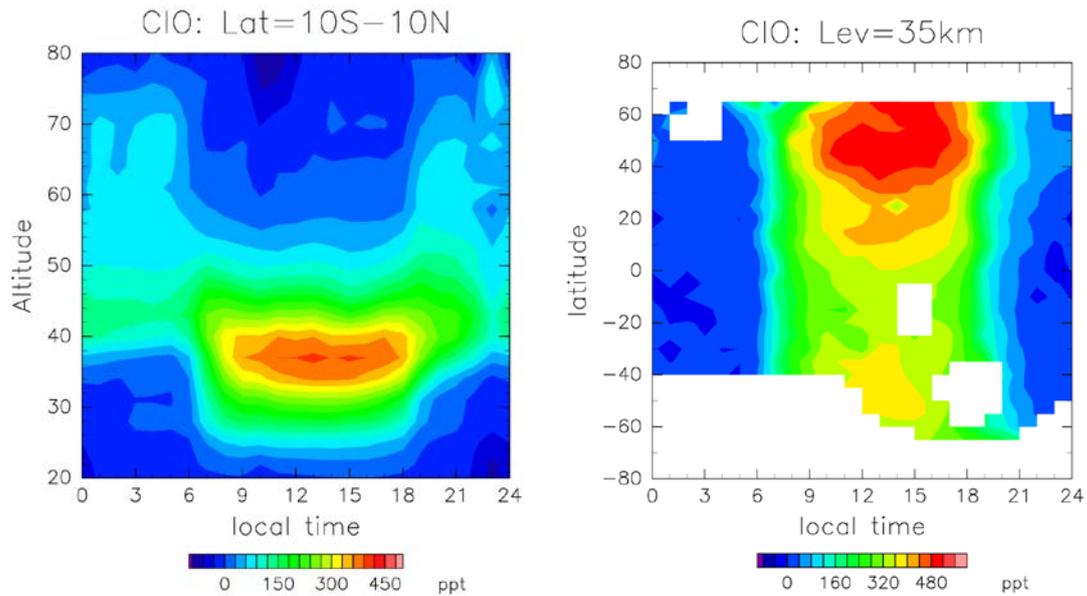


図 3 : 2010 年 2 月から 4 月の 3 ヶ月分の ClO のデータを用い、地方時の刻みが 1 時間、緯度 5 度幅で平均したものを、赤道域(南緯 10 度から北緯 10 度の平均)で地方時と高度の断面で表したもの(左)および高度 35km において地方時と緯度の断面であらわしたもの(右).

さらに ClO のピーク高度付近で緯度構造を見ると(図 3 右)、高緯度に行くに従って ClO は増加する様子を見て取れるが、これはおおもとの HCl が図 2 で示すように低緯度域で少なく高緯度域に行くに従って増加していることを反映していると考えられる。

3. まとめ

SMILES は、2009 年 9 月 11 日の打上げ後、10 月 12 日から本格的な大気観測を開始し、装置の不具合を起こした 2010 年 4 月 21 日まで、約半年間サブミリ波帯の大気観測としては現時点で世界最高精度のデータを取得した。SMILES の高感度スペクトル観測を最大限に生かすため、データ処理アルゴリズムは現在も改良を続けている。いっぽうで他の衛星観測データや地上観測との比較検証も精力的におこなっており、データ質の評価も着実に進んでいる。この高感度の SMILES 観測データによって、成層圏・中間圏を中心とした地球大気の科学がますます進展することが期待される。

[参考文献]

- Plumb, R. A., and R. C. Bell (1982), A model of the quasi-biennial oscillation on an equatorial beta-plane, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 108, 335-352.
- Randel, W. J., and F. Wu (1996), Isolation of the ozone QBO in SAGE II data by singular value decomposition, *J. Atmos. Sci.*, 53, 2546-2559.
- Ricaud, P., M. P. Chipperfield, J. W. Waters, J. M. Russell III, and A. E. Roche (2000), Temporal evolution of chlorine monoxide in the middle stratosphere, *J. Geophys. Res.*, 105(D4), 4459-4469.