

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(JEM/SMILES)(I): プロジェクト概要とサイエンス

塩谷 雅人(京大), 高柳 昌弘(JAXA), 村山 泰啓(NICT),
小池 真(東大), 菊池 健一(JAXA), 笠井 康子(NICT),
長浜 智生(名大), 佐野 琢己(JAXA), 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. 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. 装置の初期チェックアウトを経て, 10 月 12 日からは本格的に地球大気の観測をはじめている. SMILES は, 宇宙航空研究開発機構(JAXA)と情報通信研究機構(NICT)とが共同開発した地球大気観測センサで, 地球大気から放出される微弱なサブミリ波帯の電磁波を測定して大気中の微量成分の分布を観測し, 成層圏オゾン等の化学過程の詳細を明らかにすることを目的としている [SMILES Mission Team, 2002]. SMILES は, オゾン破壊に関わる化学反応の他, 臭素収支や酸化水素類収支, 無機塩素化学反応など大気中の化学反応を多面的に捉えることで, 地球大気の諸問題の解決に貢献する.

2. SMILES 観測の概要

SMILES を特徴づけるのは, 地球大気から放射される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機械式冷凍機である. 検出器には広い受信周波数帯と低雑音性能とを両立した超伝導 SIS ミクサを採用し, 冷凍機は 4K ジュール・トムソン冷却器とそれを予冷する二段式スターリング冷却器とからなっている. 軌道上での初期運用の実績では, 絶対温度 4.15K を達成した. 観測バンドは 3 つあり, それぞれの観測周波数帯は 624.32~625.52 GHz (バンド A), 625.12~626.32 GHz (バンド B), 649.12~650.32 GHz (バンド C)である. これら 3 つのうち 2 つのバンドを選択して同時に観測することができる.

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. サブミリ波の測定方向(視野)を ISS 進行方向真正面に向けると, SMILES の観測緯度帯域も南北 51.6 度に限られてしまう. 人間活動に関連の深い北半球側について, より極域に近い高緯度を観測するため, アンテナを ISS 進行方向から 45 度左に向くように設計された. これにより, 観測緯度帯は北緯 65 度~南緯 38 度の範囲となっている. アンテナの走査時間は 53 秒であるため, 観測点数は ISS の一周回で約 100 点, 一日で約 1600 点となる. ただし実際には, 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くなっている.

図 1 は, SMILES が連続観測を開始した初日(2009 年 10 月 12 日)に取得された, バンド A の

輝度温度スペクトルである。各高度をスキャンしたデータのうち、いくつかの高度をサンプルとして抜き出して、同じ図にプロットしてある。ランダム雑音は 1K 程度と極めて低いことが見て取れる。バンド A の周波数帯にスペクトルを持つ大気成分として、オゾンのほか HCl, HOCl, HNO₃, BrO, HOCl とオゾン同位体があり、それぞれの成分から放射されるサブミリ波がスペクトルとして捉えられていることがわかる。この図では高度 40km 程度までしかスペクトルを例示していないが、実際は高度 60～70km まで十分に観測ができています。

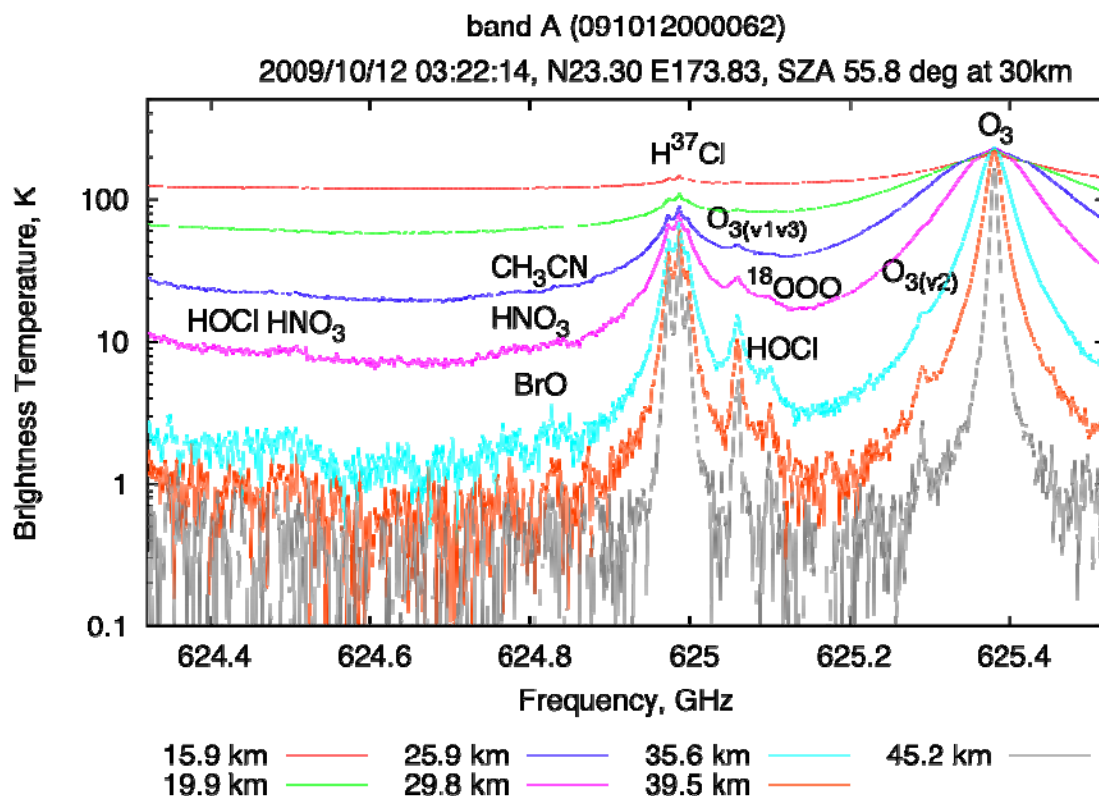


図 1 : SMILES バンド A で 2009 年 10 月 12 日に北緯 23.3 度・東経 173.8 度付近を
観測した輝度温度スペクトル

3. 観測の初期成果

こうして得られた輝度温度スペクトルから、高次データ処理の計算(リトリーバルアルゴリズム)にもとづいて各高度における各種大気成分の分布が求まる。図 2 は 2009 年 10 月 12 日に観測した高度約 28km におけるオゾン分布である。本来、SMILES の観測は「点」であり、一日に 1600 点の離散的な観測データが得られるのみであるが、この図ではそれらの観測データを面的に補間してある。傾向として、低緯度域でオゾン量が多く高緯度域になるに従って少なくなるという特徴が図から読み取れる。

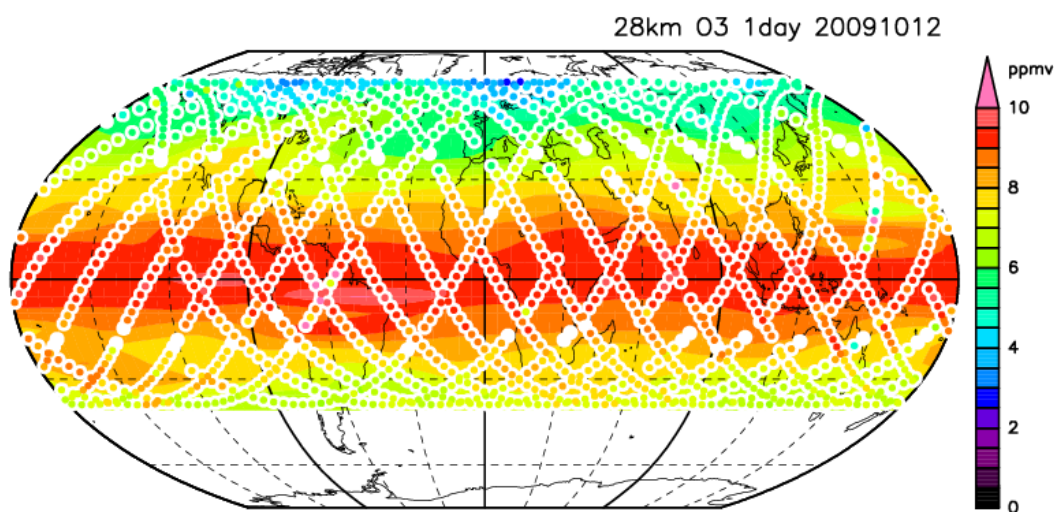


図 2：2009 年 10 月 12 日に観測した高度 28km のオゾン分布

さらに、極渦の発達する北半球冬季について、他の微量成分との関連性を見たのが図 3 である。これは 2010 年 1 月 23 日の例で、ヨーロッパおよびロシア上空の下部成層圏(高度 22km)でオゾンが減少していることが見て取れる。これは、極渦内でオゾン破壊の進んだ高緯度側の空気塊が中緯度側に流れ出したことによる。このときオゾンの少ない領域で一酸化塩素(CIO)が多いことから、このオゾン破壊に塩素系の反応が効いていたことが分かる。また同時に塩化水素(HCl)が少なく、塩素の収支を考える際に重要な特徴を示している。

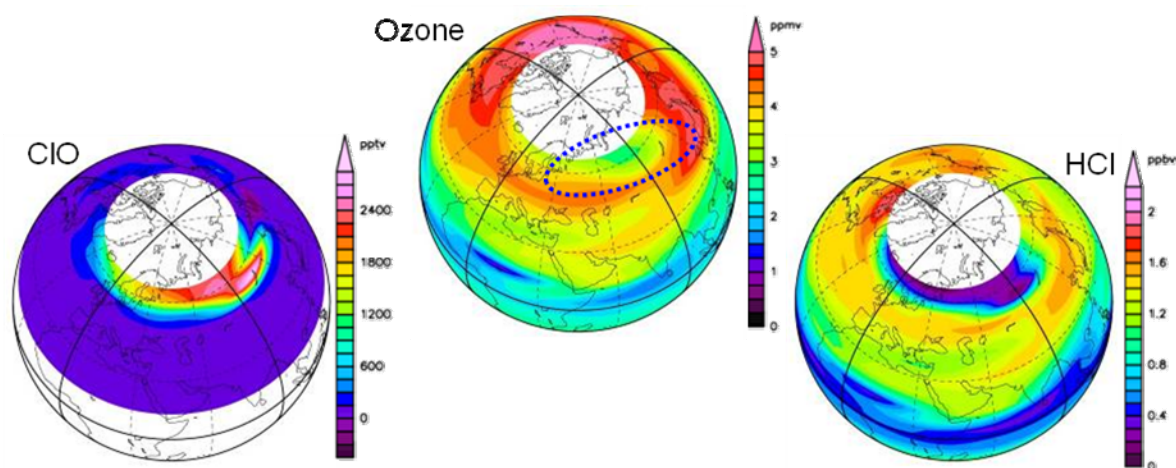


図 3：2010 年 1 月 23 日、高度 22km における CIO, オゾン, HCl の分布。

ISS 軌道は太陽非同期であるため、SMILES から大気を測定する観測点の地方時は日々変化し、約 2 ヶ月分のデータを整理することによって、大気微量成分の日変化の様子を捉えることができる。図 4 は高度 25 km における BrO の日変化の様子を示す。1 日のうちで地方時(あるいは太陽

天頂角)は緯度円に沿ってほとんど変わらないため、ここでは1日分を帯状平均して1点のデータとして表現している。日中 BrO 濃度が高くなるが、正午付近ではやや値が減少するという興味深い変動を示している。

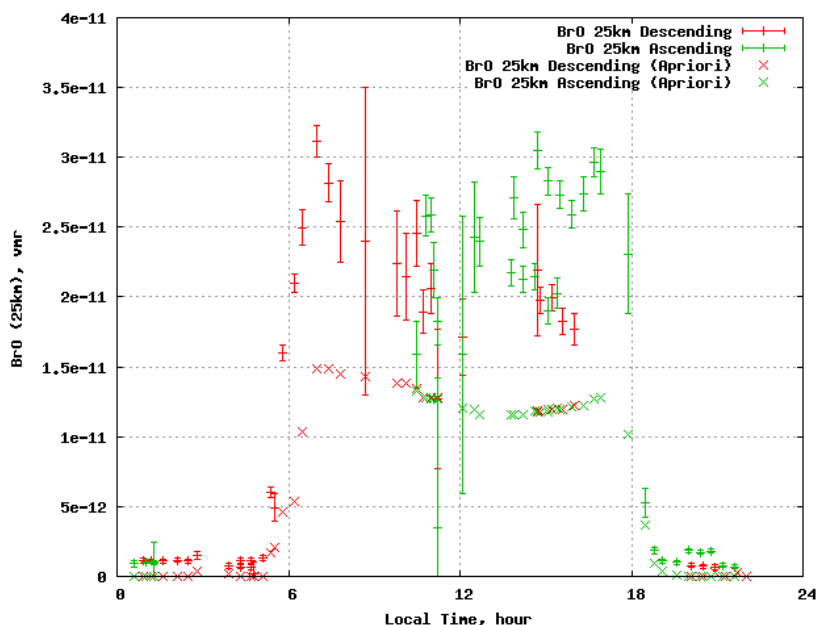


図 3：高度 25 km における BrO の日変化

4. まとめ

SMILES は、2009 年 9 月 11 日の打上げ後、装置・データ処理ともに重大な問題を起こすことなく、順調に観測を続けている。その装置性能の高さにより、大気微量成分の全地球的な高度分布を高い精度で導出できている。データ処理アルゴリズムは現在も改良を繰り返しているが、他の衛星観測データや地上観測との比較検証結果についての科学的妥当性が確認できた段階で、広くデータを公開し、内外の大気科学研究者等に活用していただく予定である。SMILES の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)

SMILES Mission Team, JEM/SMILES Mission Plan Version 2.1 (2002), available at http://smiles.tksk.jaxa.jp/document/SMILES_MP_ver2.11.pdf