

SMILES により観測された大気微量成分の全球的な分布とその力学的背景

内藤 陽子¹、西 憲敬¹、西本 絵梨子²、鈴木 睦³、光田 千紘⁴、高橋 千賀子⁴、
今井 弘二⁵、眞子 直弘³、林 寛生²、佐野 琢己³、塩谷 雅人²
¹京大院理、²京大生存研、³ISAS/JAXA、⁴富士通F.I.P.、⁵とめ研究所

Global distribution of minor constituents observed by SMILES and its dynamical background

Yoko Naito¹, Noriyuki Nishi¹, Eriko Nishimoto², Makoto Suzuki³, Chihiro Mitsuda⁴, Chikako Takahashi⁴,
Koji Imai⁵, Naohiro Manago³, Hiroo Hayashi², Takuki Sano³ and Masato Shiotani²
¹Dept. of Geophysics / Kyoto Univ., ²RISH / Kyoto Univ., ³ISAS / JAXA, ⁴Fujitsu F.I.P., ⁵Tome R&D Inc.

The Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) is an instrument attached to the Japanese Experiment Module (JEM) on the International Space Station (ISS). It makes observation of the global 3-dimensional distribution of the minor constituents in the middle atmosphere, such as O₃ and some species related to ozone depletion (HCl, ClO, and so on), by sounding limb-emission from them in the spectral band A (624.32 - 625.52 GHz), band B (625.12 - 626.32 GHz), or band C (649.12 - 650.32 GHz). The available data period at present covers over half a year since October 12, 2009.

During this period, the observed ozone distribution in the tropical stratosphere shows two maxima in latitude. It corresponds to the meridional circulation related to the shear phase of the quasi-biennial oscillation (QBO). Other minor species such as HCl also shows effect of the meridional circulation.

In winter polar region, on the other hand, the distribution of constituents shows influence of a major stratospheric sudden warming. As the polar vortex has been distorted, depletion of ozone and increase of species such as ClO have been observed.

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES: Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder)は、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する地球大気観測センサである(Kikuchi et al., 2010)。宇宙航空研究開発機構(JAXA)と情報通信研究機構(NICT)によって共同開発された SMILES は、2009 年 9 月 11 日(日本時間、以下同様)、宇宙ステーション補給機(HTV: H-II Transfer Vehicle)に搭載されて H-IIB ロケットによって打ち上げられ、同月 25 日に国際宇宙ステーション(ISS)「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て翌 26 日から稼働を開始した。装置の初期チェックアウトを経て、10 月 12 日から本格的に地球大気の観測を始め、以来、今年 4 月 21 日に装置の不具合によって観測を中断するまでの約半年間に渡り、高精度観測データを取得した。このデータにもとづいて、オゾンをはじめ塩素や臭素を含む大気微量成分の時空間分布を得ており、オゾン層化学や環境変動に関する地球大気の諸問題の解決に貢献する。

SMILES はその特徴として、4K まで冷却する機械式冷凍機と、それによって雑音を極力抑えた高感度な検出器を持つ。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り、SMILES のアンテナは宇宙ステーションの進行方向から 45 度左に向くように設計されているので、観測可能な緯度帯は北緯 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、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、さらに日本実験棟や宇宙ステーション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 観測による 2009 年 10 月のオゾンの子午面分布を Figure 1 に示す。低緯度成層圏にみられる高濃度域は、南北に二つのピークを持っていたことがわかる。赤道域の準二年周期振動(QBO)の位相は、SMILES によって観測データが取得されたこの半年間、ずっと 20 hPa (約 28 km)付近の高度に東風が滞留している状況であった(Figure 2)。SMILES が捉えたオゾンのダブルピーク構造は、この東風域直上の西風シアーに伴う下降流の影響を受けて生じたものだと考えられる。同様の構造は SAGE II に

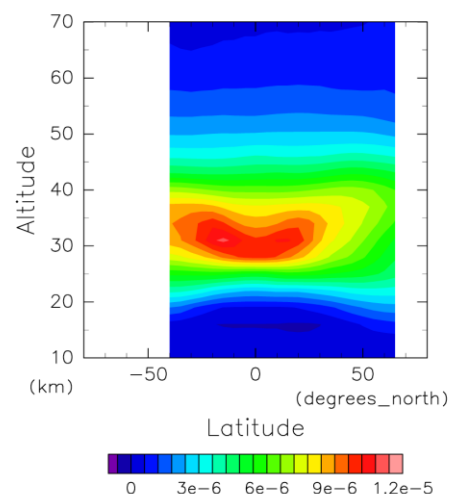


Figure 1. Latitude-height section of ozone observed by the SMILES. Zonally averaged and monthly averaged over October, 2009.

よる観測からも報告されているが(Randel and Wu, 1996)、SMILES の観測では月平均場だけでなく日々のデータにおいてもこの構造をよく捉えている。

Figure 3 は、SMILES 観測の半年間におけるダブルピーク構造の変遷を示したものである。2009 年 10 月には二つのピークがはっきり現れていたが、2010 年 1 月頃になると北半球側のピークが弱くなってシングルピークの様相になり、その後 4 月頃に再び北半球側のピークが強くなってダブルピーク型に戻っている様子が見てとれる。西風シアアの強さは、その上層の半年周期振動(SAO)の位相に合わせて 2010 年 1 月頃にいったん弱まったあと 4 月頃に再び強くなっており(Figure 2)、オゾンのダブルピーク構造の出現はこの西風シアアの強弱と対応していることがわかる。

このような特徴は、オゾンのほか HCl や CH₃CN などの分子種にも見る事ができた。

いっぽう極域では、2010 年 1 月から 2 月にかけて、北半球で大規模な成層圏突然昇温現象が起こっていた。成層圏の冬極渦は、1 月後半にはヨーロッパからロシアにかけての経度帯側へ大きくシフトしていた(Figure 4)。このときのオゾンと ClO と HCl の分布を Figure 5 に示す。オゾンはヨーロッパからロシアにかけての上空で少なくなっている。このオゾンの低濃度は、極渦内の空気塊が移動して太陽光を受けるようになったことで破壊反応が進んだためと考えることができる。同じ領域で ClO が多く、HCl が少なくなっていることは、この考えと整合的である。

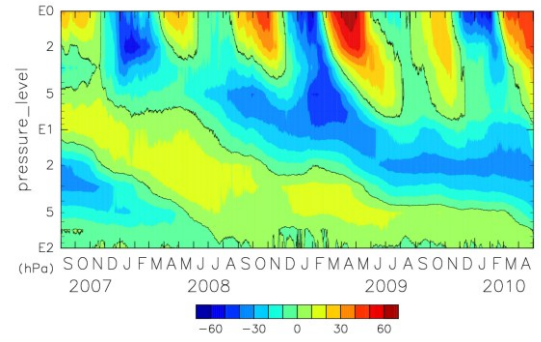


Figure 2. Equatorial zonal wind at 100-1 hPa levels before and during the SMILES observation (based on ERA interim).

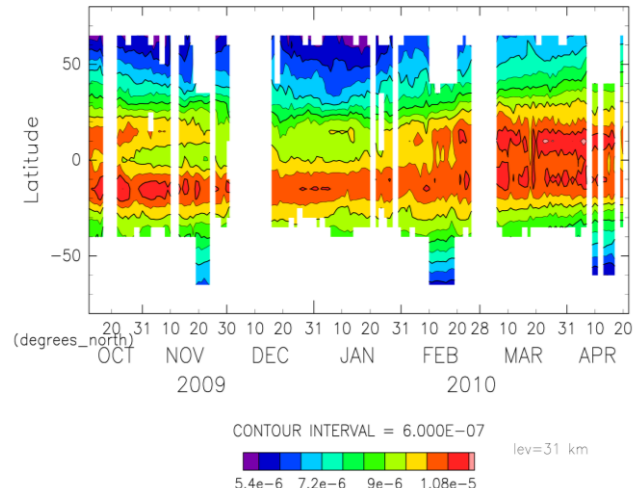


Figure 3. Time-latitude section of zonal-mean ozone at 31 km.

References

Kikuchi, K., T. Nishibori, S. Ochiai, H. Ozeki, Y. Irimajiri, Y. Kasai, M. Koike, T. Manabe, K. Mizukoshi, Y. Murayama, T. Nagahama, T. Sano, R. Sato, M. Seta, C. Takahashi, M. Takayanagi, H. Masuko, J. Inatani, M. Suzuki, and M. Shiotani, Overview and Early Results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES), J. Geophys. Res., doi:10.1029/2010JD014379, in press.
 Randel, J. R. and F. Wu, Isolation of the ozone QBO in SAGE II data by singular-value decomposition, J. Atmos. Sci., 53(17), 2546-2559, 1996.

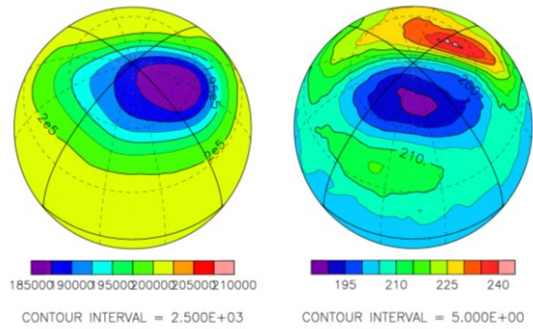


Figure 4. Horizontal maps of geopotential height (left) and temperature (right) at 50-hPa level on January 23, 2010 (based on ERA interim). The maps are centered at 45°E, 60°N.

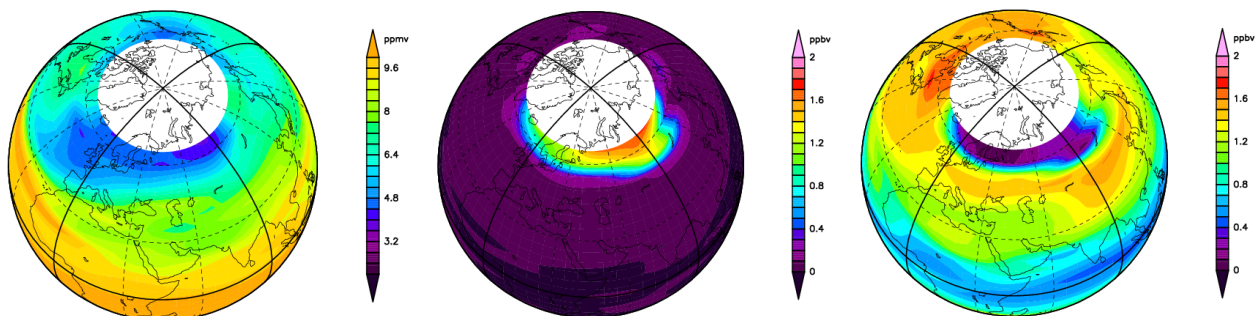


Figure 5. Horizontal maps of ozone at 31 km (left), ClO at 22km (center) and HCl at 22 km (right) observed on January 23, 2010.