

SMILES 高次データ処理システムの改訂状況

光田千紘¹, 鈴木睦², 眞子直弘³, 西本絵梨子^{2,4}, 内藤陽子⁵,
高橋千賀子¹, 今井弘二⁶, 佐野琢己², 塩谷雅人⁴

1:富士通エフ・アイ・ピー, 2:ISAS/JAXA, 3:千葉大CEReS,

4:京大生存圏研, 5:京大理, 6:とめ研究所

要旨

JEM/SMILES L2 プロダクトは、2012 年 3 月に 一般向けに v2.1 を公開し、その後 3 度の改訂を行った。v2.1 以降、SMILES で取得した高感度データが有効な中間圏・下部熱圏プロファイルの改善を主なターゲットとした。最新の v2.4 では、他衛星観測でみられる O₃ のピークを導出可能となり、現在検証が進められている。また HO₂ でも 夜側の 80 km でのピークが表現できるようになった。あわせて、ステータスフラグの定義変更も実施した。Inversion model の改訂によりステータスフラグは現在厳しく設定されており、band C に至っては 30% しかデータを利用することができなかった。ステータス評価の基準を見直し、約 30 - 50% 利用率が上昇した。今後は、v2.4 でみられたバイアスの評価や、SMILES の内部整合性の向上等を行い、v3.0 として夏ごろのリリースを予定している。

1. JEM/SMILES

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ SMILES (Superconducting Submillimeter-Wave Limb Emission Sounder) は 宇宙航空研究開発機構と情報通信研究機構の共同ミッションであり、2009/09/11 に HII-B によって打ち上げられ、10/12 から翌年 04/21 まで約半年間、大気サブミリ波の観測を行った。SMILES は 4K 級機械式冷凍機によって冷やされた超伝導ミキサを用いており、高精度で安定したデータを取得した(Kikuchi et al., 2010)。

SMILES は、624-650 GHz のうち、A, B, C で定義された3つのバンド帯を測定した(図 1)。標準プロダクトは、O₃、HCl、ClO、HNO₃、CH₃CN、HO₂、HOCl、BrO、O₃ isotopes である。ただし、3 つの観測バンドに対し、受信機は 2 機しかなく、band A は他観測バンドとの組み合わせにより受信機が異なる。そのため、同じ band A のデータでも、プロファイルの確度が異なる場合がある。

SMILES の観測数は 一日あたり 1630 スキャンであるが、実際は ISS 太陽電池パドルの視野障害により、数%のデータは使用できない。また、視野に太陽が入る場合は機器障害を防ぐために観測を停止しており、それもデータを欠損させる。しかし、異常期間を除いた観測期間のほぼすべてで一日あたり 1200 スキャン程度の利用可能データを取得できた(図 2)。(※異常期間:2009/12/01-15: 太陽電池パドルが SMILES 視野の前で停止、2010/02/25-03/05: ISS/JEM 通信システムトラブル)。また、SMILES(ISS)は太陽非同期軌道をとるため、日変化を捉えられるのも大きな特徴である。

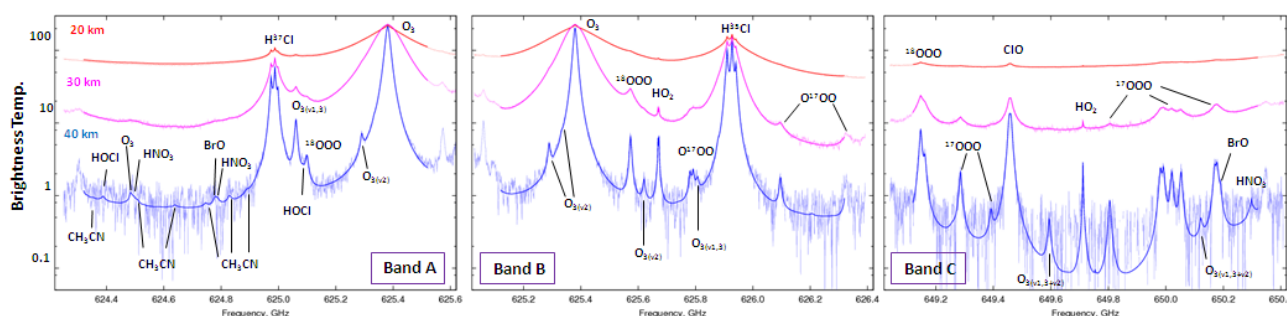


図 1 各バンドでの典型的スペクトル。細線は観測データを、太線は L2 でのフィッティングデータを示す (Suzuki et al. 2012)

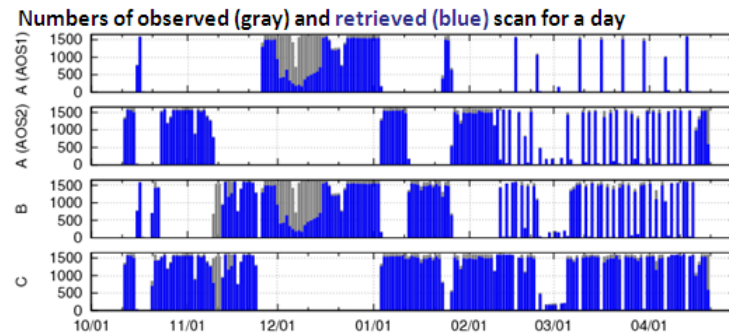


図 2 バンド別の有効データ数（青色）および観測データ数（灰色）

2. Level2 データ処理

L2 データ処理では、DPS-L0/L1 から送られる較正済み輝度温度スペクトルデータ(L1B データ)のフィッティングを行い、微量成分の高度プロファイルを導出する。L2 データ処理の基本アルゴリズムには、他衛星で一般的に用いられる Optimal Estimation Method (OEM) を採用していた (Rogers, 1976, Takahashi et al., 2011) が、v2.2 より プロファイルの平滑化を目的として、 O_3 , HCl, HNO_3 には OEM に Tikhonov Regularization Method を組み合わせたハイブリッド方式に変更している(眞子ら、2013)。また、Forward model では処理速度と計算誤差とを考慮し、輝度温度誤差を増やさないようなラインの選択や吸収線形関数の開発、離散化グリッドの調整を行っており(Takahashi et al., 2010, Imai et al., 2010, 光田ら、2009)、現在では 64 CPU を用い、1 日分の観測データを 5 時間で処理可能である。

3. 一般リリース後の改訂状況

一般リリースを行った v2.1 では特に O_3 について研究が進められている。例えば成層圏から下部中間圏データと衛星および数値モデルとの比較によるデータ検証では、成層圏で 10%、下部中間圏で 30 % 程度の一致をしていることがわかっている(Imai et al., 2013)。またデータの変動成分については、数値モデルとよく一致しており、日変化成分の解析にも利用された(Sakazaki et al., 2013)。v2.1 以降は更なる確度の向上とより広い高度範囲でのデータ導出が主な目的である。

3.1 v2.2 (007-09-0400)

v2.2 での目的は、振動の抑制と、下部熱圏への利用高度拡大である。

プロファイルの振動を抑制するには、1) forward model 誤差を抑制する、2) スペクトルの誤差を抑制する、3) リトリバル時にスムージングの効果を導入する、等の手法がある。v2.2 ではそのうち、1)、3) の手法を導入した。まず、forward model 誤差の抑制については、装置関数の一つである AOS 応答関数を、測器チームによって求められたより精度の高いデータに更新した(Mizobuchi et al., 2012)。これにより O_3 の 50km 付近の振動が約半分に抑制された。次に、リトリバルでのスムージング効果である。リトリバルアルゴリズムを、OEM から O_3 、HCl、 HNO_3 のみ OEM+TRM のハイブリッド方式に変更した。TRM は、プロファイルの傾きが 0 になるように条件を追加したものである。これによってプロファイルの振動が抑制された。また、高高度での信号があるもの O_3 、HCl、 HO_2 はリトリバル域を 100 km まで拡大し、高度計算グリッドやアプリオリエラーの調整を行った。以上の改訂により、プロファイルの振動の抑制(図 3)や、80 km での HO_2 のピークが表現できるなど、高高度でのプロファイルの改善(図 4)が確認された。

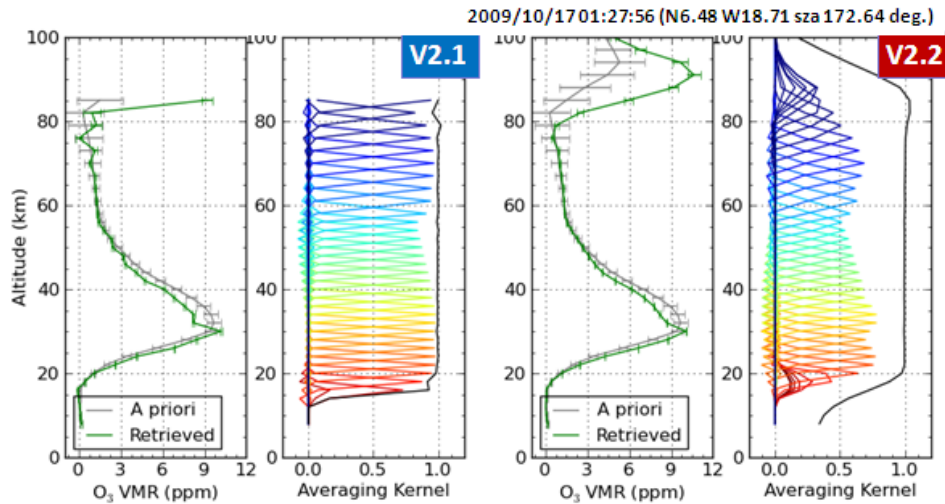


図 3 O_3 のリトリバル状況。左) v2.1, 右) v2.2。左のパネルはアプリオリプロファイル及びリトリバルプロファイルを示している。右のパネルはアベレージングカーネルと情報量を示している。

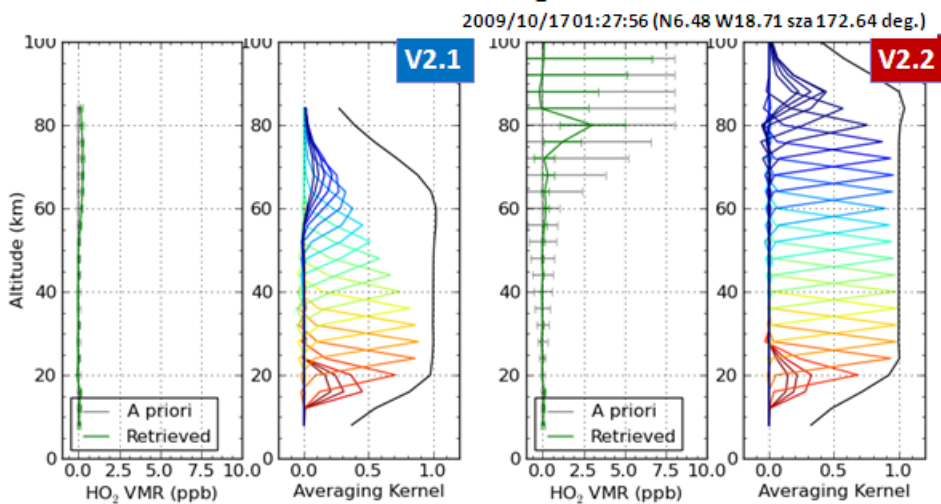


図 4 HO_2 のリトリバル状況。図のフォーマットは図 3 と同じ。

3.2 v2.3 (007-09-0402)

V2.3 は v2.2 のプロダクトのフィールドやフラグを一部改修したものである。

フィールドについては、圧力グリッドに内挿したデータを追加した。高度グリッドではリトリバル高度グリッドのままデータを出力しているため、分子種によってグリッドが異なるという問題があったが、統一した圧力グリッドデータを追加することで問題を解消した。

これまでのスクリーニングフラグでは、L1Bでの品質フラグやL2プロファイルの収束状態などを含めていた。スペクトルのフィッティング残差は項目に含まれておらず、感度の低いband C では有効フラグが30% 程度と非常に低くなっていた。L1B の品質フラグの一つである視野障害フラグは、フラグが20%欠損しており、適切なスクリーニングが難しかった。v2.3 では表 1のように条件を変更した。結果データ利用率は 30~50% 上昇し、 O_3 等でもほぼ異常なデータが除去されたことが確認された。

表 1 主なスクリーニングの目的と条件

目的	V2.2	V2.3
視野障害	L1B 視野障害フラグ 較正異常(較正観測時の障害)	HCl プロファイル妥当性※ 較正異常(較正観測時の障害)
リトリバル の妥当性	リトリバル解の収束	スペクトル残差 ＜ 標準的な雑音 (0.5K) HCl プロファイルの妥当性

※ HCl はSMILES での感度が強い O₃, HCl, ClO の中で、常時観測されていること、日変化、季節変化が小さいことからプロファイルの品質指標として用いるのに最も適切と判断した。妥当性は、帯状平均値から 5 σ 以内に 25-80 km でのプロファイルが収まっているか否かで判断している。

3.3 v2.4 (008-11-0502)

v2.4 の目的は、熱圏下部のプロファイル改善である。

v2.3 の O₃ は、下部熱圏で他の衛星観測で得られているサブピークを表現できていなかった。これはリトリバル設定に原因があった。O₃ のアプリオリプロファイルはMLS v2.2 データを昼夜別で平均した月及び帯状平均プロファイルを用いているが、約 75 km 以上ではuseful range を外れ、値の信頼性が低い。リトリバル範囲外の 100 km 以上ではアプリオリ値をそのまま参照しているが、SMILES での感度はより高高度までであるため、アプリオリの誤差は、その下の層での誤差を発生させていた。v2.4 ではリトリバル高度を 120 km まで拡大し、またアプリオリプロファイルおよびエラーの調整を行った。その結果、下部熱圏での濃度ピークがSMILES でも導出できるようになるなどの改善がみられた(図 5)。

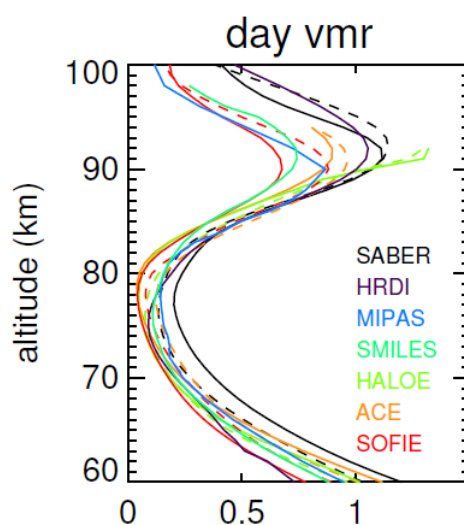


図 5 SMILES 及び他衛星データの O₃ 平均プロファイル(太陽天頂角 < 85 度)
(Smith et al., 2013)

4. 今後の改訂予定

v2.4 以降は、2013 年夏に v3.0 のデータリリースを予定している。V3.0 での目的は、受信機間の内部不整合の抑制である。現在受信機によって O₃ は中間圏で数%程度差があることがわかっている(Imai et al. 2013)。この要因のひとつとして、L1B 処理での非線形性補正の誤差が指摘されており、今後も改善に向けて検討を行う。また、この内部不整合性は、システム雑音温度に依存することがわかっており、このことは観測時期によって異なるバイアスを発生させている。BrO や HO₂ など、あるローカルタイムで濃度が 0 に近づくことがわかっている

分子種は、観測時期別にバイアスの評価を行い、プロダクトと合わせて公開する予定である。さらに、O₃やHClで効果があつた TRM を他の分子種へ導入することで、SMILES の高感度データを活かした特性である、シングルプロファイルでの確度向上を目指す。

5. 参考文献

- Imai, K., M. Suzuki, and C. Takahashi, 2010: Evaluation of Voigt algorithms for the ISS/JEM/SMILES L2 data processing system, *Advances in Space Research*, doi: 10.1016/j.asr.2009.11.005.
- Imai, K., N. Manago, C. Mitsuda, Y. Naito, E. Nishimoto, T. Sakazaki, M. Fujiwara, L. Froidevaux, T. von Clarmann, G. Stiller, M. Donal, P. Rong, G. M. Martin, K. A. Walker, D. Kinnison, H. Akiyoshi, T. Nakamura, T. Miyasaka, T. Nishibori, S. Mizobuchi, K. Kikuchi, H. Ozeki, C. Takahashi, H. Hayashi, T. Sano, M. Suzuki, M. Takayanagi and M. Shiotani, 2013a: Validation of ozone data from the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES), *J. Geophys. Res. Atmos.*, under revision.
- 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, 2010: *J. Geophys. Res. Atmos.*, **115**, D23306, doi:10.1029/2010JD014379
- Rodgers, C. D., 1976, Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation, *Rev. Geophys. and Space Phys.*, **14**(4), 609
- Sakazaki, T., M. Fujiwara, C. Mitsuda, K. Imai, N. Manago, Y. Naito, T. Nakamura, H. Akiyoshi, D. Kinnison, T. Sano, M. Suzuki, and M. Shiotani, 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.
- Smith, A. K., V. L. Harvey, M. G. Mlynarczyk, M. García-Comas, M. Kaufmann, E. Kyrölä, M. Lopez-Puertas, I. McDade, C. E. Randall, J. M. Russell III, P. E. Sheese, M. Shiotani, W. R. Skinner, M. Suzuki, and K. A. Walker, 2013: Satellite Observations of Ozone in the Upper Mesosphere, *J. Geophys. Res. Atmos.*, under revision.
- Suzuki, M., C. Mitsuda, K. Kikuchi, T. Nishibori, S. Ochiai, H. Ozeki, T. Sano, S. Mizobuchi, C. Takahashi, N., Manago, K. Imai, Y. Naito, H. Hayashi, E. Nishimoto, and M. Shiotani, 2012: Overview of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) and Sensitivity to Chlorine Monoxide, ClO. *IEEE Transactions on Fundamentals and Materials*, **132**(8), 609-615, doi:10.1541/ieeffms.132.609.
- Takahashi, C., S. Ochiai, and M. Suzuki, 2010: Operational Retrieval Algorithms for JEM/SMILES Level 2 Data Processing System, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, **111**, 160–173, doi:10.1016/j.jqsrt.2009.06.005.
- 眞子 直弘, 鈴木 睦, 佐野 琢己, 光田 千紘, 今井 弘二, 山田 道夫, 竹広 真一, 塩谷雅人, 2013: Tikhonov regularization と Non-voigt line shape による SMILES retrieval, 第 27 回大気圏シンポジウム講演集
- 光田 千紘, 高橋 千賀子, 鈴木 睦, 林 寛生, 佐野 琢己, 高柳 昌弘, 岩田 芳隆, 谷口 弘智, 今井 弘二, SMILES ミッションチーム, 2009: JEM 搭載型サブミリ波リム放射サウンダ(JEM/SMILES)の Level2 データ処理システム開発, 第 23 回大気圏シンポジウム講演集
- Mizobuchi, S., K. Kikuchi, S. Ochiai, T. Nishibori, T. Sano, K. Tamaki, and H. Ozeki, 2012: In-orbit Measurement of the AOS (Acousto-Optical Spectrometer) Response Using Frequency Comb Signals, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, **5** (3), 977-983, doi:10.1109/jstars.2012.2196413.