

JEM/SMILES(IV): レベル 2 地上データ処理システム開発

高橋千賀子, 光田千紘, 松本哲也, 堀川 真理子, 谷口 弘智(富士通 FIP),
鈴木睦, 佐野琢己, 岩田芳隆, 眞子 直弘, 高柳昌弘(ISAS/JAXA),
塩谷雅人, 林寛生 (京都大学、生存圏研究所), 今井弘二(とめ研究所),
SMILES ミッションチーム(ISAS/JAXA, NICT)

はじめに

JEM 搭載型超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (JEM/SMILES) は 2009 年 9 月 11 日に宇宙ステーション補給機 (HTV) 技術実証機を載せた H-IIB ロケット試験機により打ち上げられた。JEM/SMILES は大気微量成分から放射されるサブミリ波をシステムノイズ約 500K 以下という高感度で測定し、大気微量成分の分布およびその変化を観測することを目的としている。SMILES の観測データは、筑波宇宙センタに設置された L0 /L1 処理システムにより輝度温度スペクトルデータ (Level1b データ) に変換される。各観測点における Level1b データは、相模原キャンパス内に設置された Level2 処理システムにより、準リアルタイムで観測分子の存在量の高度分布 (Level2 データ) に変換される。さらに、導出された Level2 データは HDF-EOS フォーマットに変換され、インターネットを經由してユーザに公開される。SMILES は、EOS-Aura/MLS や Odin/SMR など既存の同種のセンサに比べて高感度であるという特徴があるが、この特徴を生かして高精度なプロダクトを得るためには、高精度な Level2 データ処理システムのアルゴリズムが必要である。さらに、準リアルタイム処理のため処理速度も重要であるために、高精度かつ高速なアルゴリズムを開発してきた。

本システムは、初期運用の当初からほぼ期待通りに処理が行われ、Level2 データが導出されているが、さらなるデータ品質の向上のため実データを用いた解析とアルゴリズムの改訂も並行して行っている。ここでは、Level 2 処理システムおよびアルゴリズムについてと、HCl を例に SMILES の実データを用いた解析結果からの改訂について報告する。

1. JEM/SMILES 概要

JEM/SMILES [NASDA/CRL, 2002]は大気中の分子が放射する微弱なサブミリ波帯放射をリム放射サウンディング方式により測定する。JEM/SMILES の特徴は、受信機として低ノイズの SIS (superconductor - insulator - superconductor) Mixer を搭載しており、システムノイズ 500 K 以下を実現させる。観測対象分子は O_3 , ClO, HCl, HNO_3 , HOCl, CH_3CN , HO_2 , BrO, O_3 同位体であり、観測周波数は band A (624.3-625.5GHz), band B(625.1- 626.3 GHz), band C (649.1-650.3 GHz) 、観測高度は 約 10~60 km、アンテナの高度分解能は約 3.5km である。アンテナを ISS の進行方向から 45 度左側に傾けることで緯度 65° N から 38° S の範囲の観測を可能とする。

2. Level2 データ処理システム (DPS-L2)

DPS-L2 では、各観測点において Level 1 処理で出力される輝度温度スペクトルデータから前述の観測分子の存在量の高度分布の導出を行う。図 1 に DPS-L2 の概要を示す。

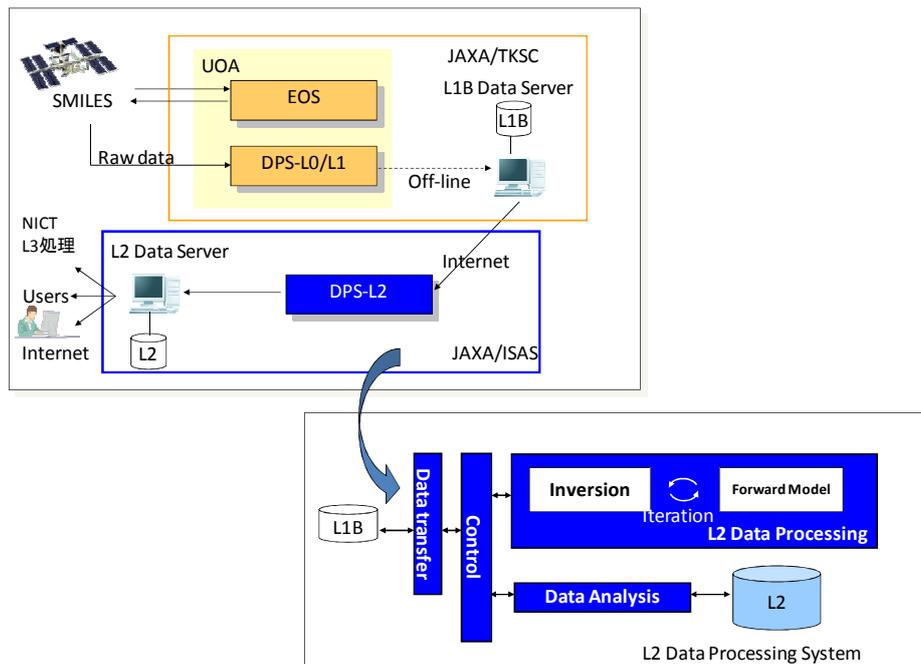


図 1 DPS-L2 の概要

2.1. リトリールアルゴリズム

リトリールアルゴリズムとして Optimal Estimation Method (OEM) [Rodgers,1976]を用いている。観測ベクトルを y としその誤差を ε 、状態ベクトルを x とし、Forward model を f としたとき、以下の式が成り立つ。

$$y = f(x) + \varepsilon$$

ここで、 x は求めるべき量であり観測分子の存在量の高度分布などである。このとき、次の χ^2 が最少となる x を求めるのが OEM である。

$$\chi^2 = [y - f(x)]^T S_\varepsilon^{-1} [y - f(x)] + [x - x_a]^T S_a^{-1} [x - x_a]$$

ここで、 x_a は先験値であり、 S_a および S_y はそれぞれ先験値および観測値の分散共分散行列である。また、オゾンなどの放射の強い分子を解くには、Forward Model が非線形である場合に対応する必要があり、SMILES では収束が早い Levenberg-Marquardt 法を用いている。 $i+1$ 番目の解を x_{i+1} とすると、

$$x_{i+1} = x_i + (S_a^{-1} + K_i^T S_y^{-1} K_i + \lambda S_a)^{-1} \{ K_i^T S_y^{-1} [y - F(x_i)] - S_a^{-1} [x_i - x_a] \}, \quad S = (K^T S_y^{-1} K + S_a^{-1})^{-1}$$

と表すことができる。ここで、 K は Weighting Function (WF)行列、 S はリトリール誤差分散共分散行列であり、収束後の K より計算される。以下、リトリール誤差はこの S の対角成分の平方根の値を指す。このリトリールアルゴリズムを基本として、SMILES 観測データ処理のために高精度かつ高速なアルゴリズムを構築した[Takahashi, 2009]。

2.2. 感度解析結果

概要で述べたように、SMILES はシステムノイズ 500 K 以下という高感度観測を行う。ここでは、SMILES の仕様に基づき行った、標準プロダクトに対する感度解析の結果を示す。ここで、BrO および HOCl については、CCSR/NIES のモデル解析の値を使用し、CH₃CN については UARS/MLS、その他の分子については EOS-Aura/MLS の気候値を用いた。

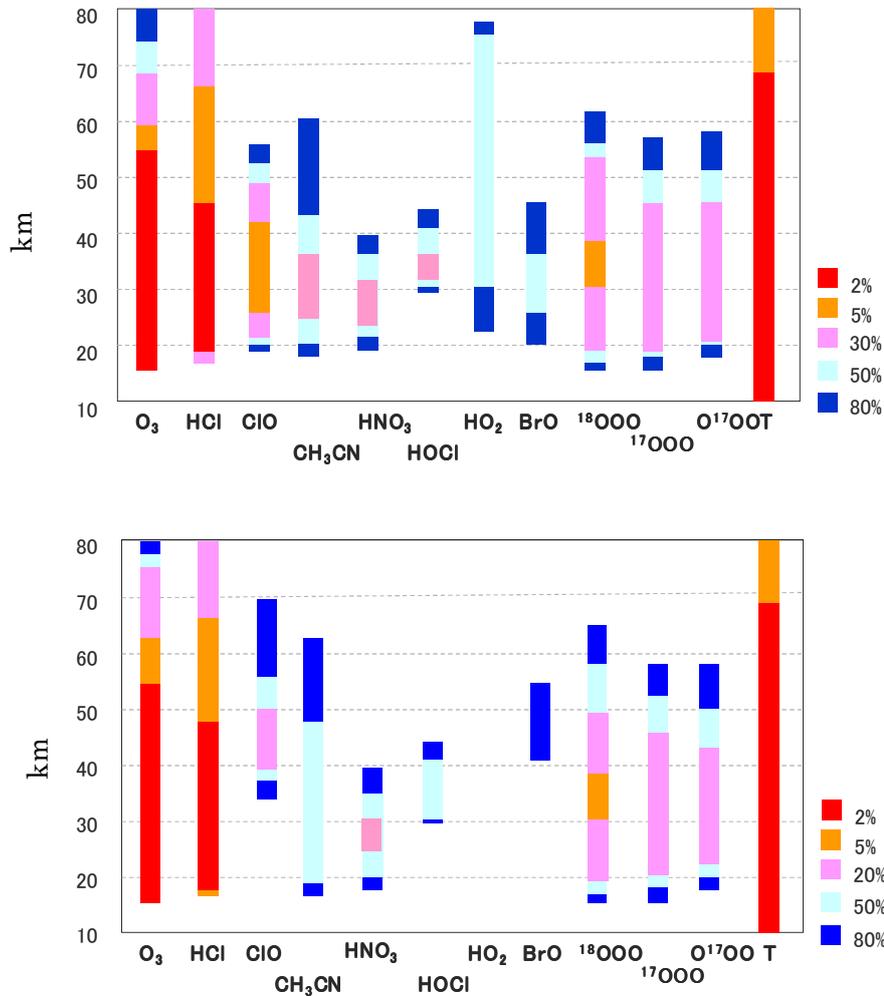


図 2 標準プロダクトに対する中緯度におけるリトリバル誤差

3. Level2 データ処理状況

3.1. 分光パラメータ検討

圧力幅について当初 HITRAN の値を準備していたが、実データからの解析により、MASTER(Drouin, JQSRT, 2004)の値を使用することにより 30km 以下の高度での残差の改善が見られた。オゾンも MASTER の値に変更を行うことで改善が見られた。以上から圧力幅のパラメータは MASTER の値を使用することとした。

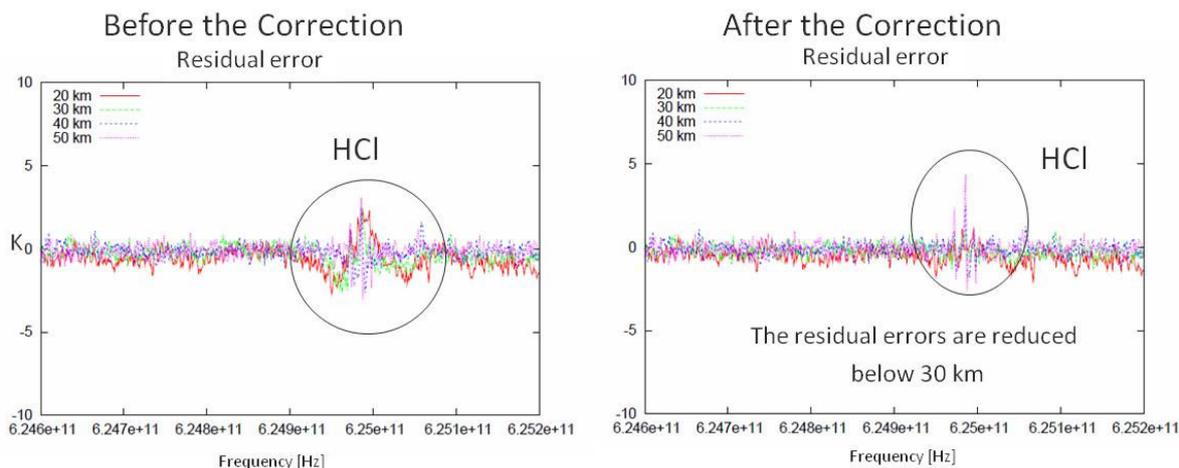


図 3 HCl の分光パラメータの検討

まとめ

Level2 処理システムでは、初期運用の当初からほぼ期待通りに処理が行われ、Level2 データを導出できている。データロスも視野障害などの使用不可のデータを除きほとんどなく、SMILES から送られる全数のデータ処理を遅延なく準リアルタイムで実現している。今後は他衛星観測データや地上観測などとの検証を行いつつ、データの品質向上のためのモデルパラメータの見直しなどのアルゴリズム改訂を行う予定である。

参考文献

- ・ NASDA and CRL , JEM/SMILES Mission Plan, 2002
- ・ Rodgers, C. D., Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation, *Rev. Geophysics and space Physics*, 14(4), 609-624, 1976
- ・ C. Takahashi, S. Ochiai, M. Suzuki, Operational Retrieval Algorithms for JEM/SMILES Level 2 Data Processing System, JQSRT 2009
- ・ K. Imai, M. Suzuki, C. Takahahshi, Evaluation of the Voigt algorithms for the ISS/JEM/SMILES L2 data processing system, ASR (in press)
- ・ N J. Livesey and W. Van Snyder, EOS MLS Retrieval Processes Algorithm Theoretical Basis, 2004
- ・ B.J. Drouin, J. Fischer and R.R. Gamache, Temperature dependent pressure induced lineshape of O3 rotational transitions in air, JQSRT 83 (2004), pp. 63–81