

JEM/SMILES における大気微量成分の観測可能性の検討

高橋千賀子, 鈴木睦, 林 寛夫, 佐野琢己, 高柳昌弘 (ISAS/JAXA),

岩田芳隆, 光田千紘 (富士通 FIP), 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) が観測する大気微量成分の観測可能性についての感度解析の結果について報告する。現在、SMILES の Level2 データ処理システムの開発を行っており、このシステムでは、各観測点において Level1b 処理で出力される輝度温度スペクトルデータ (Level1b データ) から観測分子の存在量の高度分布を準リアルタイムで導出する。SMILES は 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り、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、Level2 データ処理システムのアルゴリズム開発が非常に重要である。さらに、準リアルタイムで処理を行うためには処理速度も重要である。現在、打ち上げ時のアルゴリズムはすでに確定しており、精度・速度ともに要求を満たしていることは確認済みである。このアルゴリズムに基づき SMILES の観測する大気微量成分の感度解析を行なった。O₃、HCl および ClO については、成層圏で高度分解能 3km で約 1%, 2%, および 5% のリトリバブル誤差での観測が可能であり、かつ系統誤差も同レベルに抑えられていることが明らかになった。

1. JEM/SMILES 概要

JEM 搭載型超伝導サブミリ波リム放射サウンダ (JEM/SMILES) ^[1] は 2009 年に打ち上げられ、国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験モジュール (JEM) の曝露部に取り付けられる予定である。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、微弱な信号を受信するために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 500K を実現させる。主な観測分子は O₃, ClO, HCl, HO₂, HNO₃, HOCl などであり、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) である。また、観測高度は約 10~60 km、アンテナの高度分解能は約 3.5km であり、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. リトリバブルアルゴリズム

SMILES では、大気に適用した Optimal Estimation Method (OEM) ^[2] をもちいる。O₃ などの放射の強い分子を解くには、非線形に対応したアルゴリズムを用いる必要があるため、収束が早いとされる Levenberg-Marquardt 法を採用している。i+1 番目の解を $\mathbf{x}_{i+1}$ とすると、

$$\mathbf{x}_{i+1} = \mathbf{x}_i + (\mathbf{S}_a^{-1} + \mathbf{K}_i^T \mathbf{S}_y^{-1} \mathbf{K}_i + \gamma \mathbf{S}_a)^{-1} \{ \mathbf{K}_i^T \mathbf{S}_y^{-1} [\mathbf{y} - \mathbf{F}(\mathbf{x}_i)] - \mathbf{S}_a^{-1} [\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_a] \}$$

と表すことができる。ここで、 $\mathbf{x}_a$ は先験値、 $\mathbf{y}$ は観測値ベクトル、 $\mathbf{K}$ は Weighting Function 行列、 $\mathbf{S}_y$ は観測誤差分散共分散行列、 $\mathbf{S}_a$ は先験値誤差分散共分散行列である。

アベレージングカーネル $\mathbf{A}$ を用いて解を次のように表すことができる。

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})\mathbf{x}_a + \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad \mathbf{A} = \mathbf{G}\mathbf{K} = (\mathbf{S}_a^{-1} + \mathbf{K}^T \mathbf{S}_y^{-1} \mathbf{K})^{-1} \mathbf{K}^T \mathbf{S}_y^{-1} \mathbf{K}$$

解の各要素に対応するアベレージングカーネルの半値幅は、解の高度分解能を示している。また、リトリバー誤差分散共分散行列は、以下の式で表すことができる。

$$\mathbf{S} = (\mathbf{K}^T \mathbf{S}_y^{-1} \mathbf{K} + \mathbf{S}_a^{-1})^{-1}$$

3. 標準プロダクトに対する感度解析結果

3.1. リトリバー誤差

中緯度における標準プロダクトに対するリトリバー誤差を図 3.1-1 に示す。ここでは 1 スキャンで導出可能な分子のみの結果である。(積算予定の BrO および HO₂ は除く。)

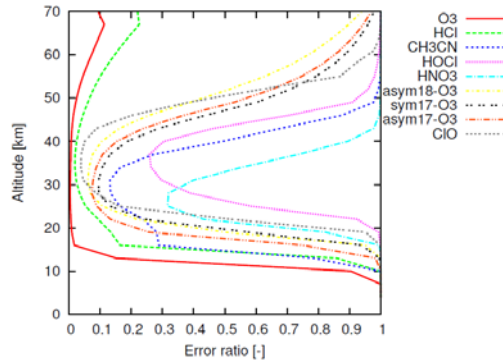


図 3.1-1 標準プロダクトのリトリバー誤差

3.2. アプリオリ依存性

真値がアプリオリに対して±5%、±10%、±50%、100%異なると仮定した場合、その違いがリトリバー結果に与える影響を図 3.2-1 に示す。ここでは Levenberg-Marquardt 法を用い、収束するまで繰り返した結果を用いている。結果は、HCl および HOCl ではリトリバー誤差に比べ十分小さく抑えられている。1 スキャンで解ける分子の中でも比較的信号の弱い分子である HOCl でも、成層圏付近では数%程度のバイアスと十分に小さい。しかし、SMILES の観測分子の中で最も信号の強い O₃ の場合、+50%または+100%の差がある場合にはリトリバー結果に数%の誤差を及ぼし、真値がアプリオリの-50%の場合には最も大きく 50%程度の影響がある。O₃ は広く観測されている分子であり分布等も知られているので SMILES の観測範囲ではあまり問題にはならないと思われるが、リトリバー誤差と同等またはそれ以上なので注意が必要である。本来、O₃ は信号が強いためアプリオリ依存性は小さいと思われていたが、この結果が非線形性によるものかなど原因については今後調査する必要がある。

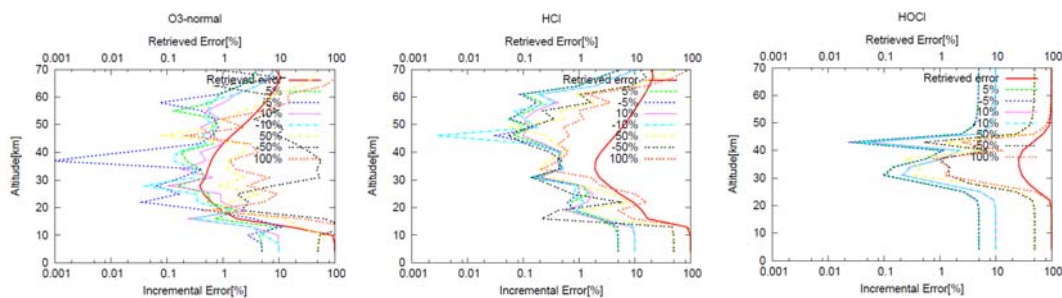


図 3.2-1 アプリオリ依存性（左から、 O_3 、HCl、HOCl）

3.3. 気温の精度が観測分子に与える影響

次に、気温の精度が観測分子に与える影響を示す。SMILES の場合は、625.37GHz にある O_3 の吸収線より気温を解くために特に低高度および高高度で気温が精度良く解けない。図 3.3-1 では、気温の真値がアプリオリに対し 1%、2%、5%、10%異なった場合に、 O_3 、HCl および ClO に及ぼす影響を示す。これより、 O_3 及び HCl の低高度と高高度部分に加え、Band C にある ClO は気温の影響を受けやすいことがわかる。Band C は O_3 の吸収線を含まないために、ClO 以外の分子でも同様の傾向が見られる。以上より気温のアプリオリとしては誤差 5%以下の十分に精度の良いものを用いる必要がある。

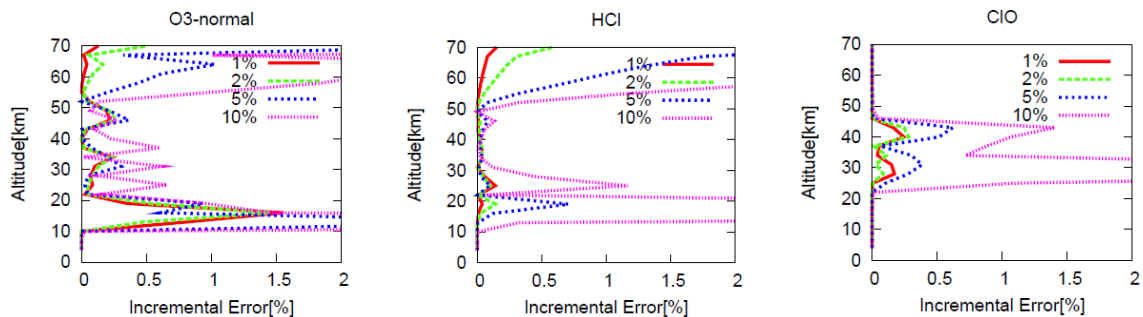


図 3.3-1 気温の精度が観測分子に与える影響（左から、 O_3 、HCl、ClO）

4. まとめ

SMILES の観測では、成層圏で以下のリトリバル誤差での観測が可能である。

O_3 : 1%、HCl : 2%、ClO : 5% （1 スキャン）

HOCl、HNO₃、CH₃CN、 O_3 同位体 : ~20% （1 スキャン）

さらに、これらの分子についてはアプリオリ依存性も問題が生じるほど大きいものではなく、気温についても客観解析データなどを用いることで精度のよい観測が可能であると考えられる。

参考文献

[1]NASDA/CRL, JEM/SMILES mission plan, Version 2.1. [Online]. Available:

<http://smiles.tksc.nasda.go.jp/document/indexe.html>; 2002.

[2]Rodgers CD, Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. Rev. Geophys. and Space Phys.:1976;14(4):609{624}.