

JEM/SMILES 電波分光計の応答特性

溝渕智子、菊池健一、西堀俊幸(ISAS/JAXA)、尾関博之(東邦大理)、
光田千紘(富士通 FIP)、落合啓(NICT)、SMILES ミッションチーム

概要

超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES : Superconducting Submillimeter-Wave Limb Emission Sounder)は、成層圏大気に含まれる微量気体成分の高度分布を高感度で観測する装置である。

本報告では、地上試験時の電波分光計(AOS : Acousto-optical spectrometer)の応答特性と軌道上での振る舞いについて、装置関数を導出するために新たに取得したデータを用いて比較検討し、その結果について報告する。

1. はじめに

SMILES は 2009 年 9 月 11 日に打ち上げられ、国際宇宙ステーション(ISS : International Space Station)の日本実験棟(JEM : Japanese Experiment Module)の船外実験プラットフォームに取り付けられた。

SMILES は、640GHz 帯のサブミリ波冷却受信機を使って、オゾン、一酸化塩素(CIO)、塩化水素(HCl)、一酸化臭素(Bro)等の大気微量成分の放射スペクトルを観測する装置である。アンテナを高度方向に走査し、上部対流圏から中間圏までの大気リム放射の観測をおよそ半年間にわたって行った。

2. SMILES の概要

SMILES は大気の観測点から約 2000km 離れた高度約 400km の軌道から、接線高度 10 ~80km の大気リムを高度分解能約 3.5km で観測する。観測バンドは A~C の 3 つから同時に 2 つのバンド(分光計 2 台)を選択することが出来る。アンテナの指向方向を宇宙ステーションの飛行方向から 45 度北側に向けることにより、北緯 65 度~南緯 38 度の範囲を観測範囲に設定した。

大気観測は 53 秒周期で繰り返し行い、その周期内の約 23 秒間を大気リム観測に、4 秒間を低温較正(高度 160km 以上に向けた時の宇宙背景放射)に、1 秒間を周波数較正(コム信号入力)に、4 秒間を高温較正(入力を常温較正源に切り替え)に、8.5 秒を走査開始角度の調整時間に配分した。

3. 観測装置

大気からのサブミリ波放射は、口径 400mm×200mm のオフセットカセグレンアンテナ

で捉えられ、常温光学系(AOPT: Ambient Temperature Optics)によりクライオスタット内部の 4K ステージの冷却光学系に位置する SIS ミクサに伝送される。ミクサにより 11-13GHz の中間周波数(IF: Intermediate Frequency)に変換された観測信号は、冷却 HEMT(High electron mobility transistor)アンプにより増幅され、中間周波変換増幅系(IFA: Intermediate Frequency Amplification Section)により、バンド切り替えと 2 台の音響光学型分光計(AOS)に信号を伝送する。

ペイロード内外を仕切るバルクヘッドの外にはアンテナ系、常温較正源(CHL)、姿勢検出系(STT)が位置する。宇宙ステーションの人工電磁波環境から受信機をシールドするため、バルクヘッド前後に受ける観測信号の伝送にはコルゲート導波管を用いている。

4. AOS の概要

SMILES は捉えた大気からのサブミリ波放射を分光し、そのパワースペクトラムを測定するための分光計として、音響光学型分光計(AOS)を採用している。AOS は、2 台の分光計で構成されており、およそ半値全幅 1.8MHz の周波数分解能で、1.55~2.75GHz の帯域をカバーしている。2 台の分光計はそれぞれ 1728 チャンネルの CCD を検出器として用いている。CCD のデータはデジタル化され、各チャンネル毎の積算値が、1 秒ごとに信号処理制御系(DPC: Data Processing and Control Section)に送られる。

5. コム信号データの解析

軌道上での分光計の周波数較正は、100MHz 間隔で 14 本生成しているコム信号と呼ばれる周波数基準を使って 53 秒に 1 回行っている。AOS で見たコム信号の分布を図 1 に示す。

各コム信号は数 Hz の幅で生成されており、およそ 0.8MHz のチャンネル分離である AOS に対して、十分に細いラインであると言える。そのため、AOS で見たコム信号の分布を解析する事によって、ある周波数に対する AOS の応答特性を知る事ができる。

応答特性を下記のようなトリプルガウシアンで表現できると仮定し、AOS で見たコム信号の分布のフィッティングを行った。

$$y(ch) = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad (1)$$

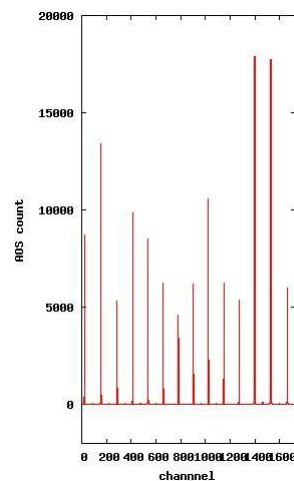


図 1: AOS で見たコム信号の分布

6. 解析結果

本解析では、AOS の応答特性を導出するために新たに取得したデータを使用した。コム信号を常に出力した状態で取得したデータ (シグナルデータ) と出力せずに取得したデー

タ（バックグラウンドデータ）を使用し、シグナルデータからバックグラウンドデータを差し引く事によってコム信号の分布を得ている。

使用したデータ数は以下の通りである。

シグナルデータ : ~37000
 バックグラウンドデータ : ~50000

図 2 に、あるコム信号の分布（黒線）と地上での AOS 単体試験から得られた応答特性（赤線）を示している。また、他のコム信号についても同様の結果が得られた。

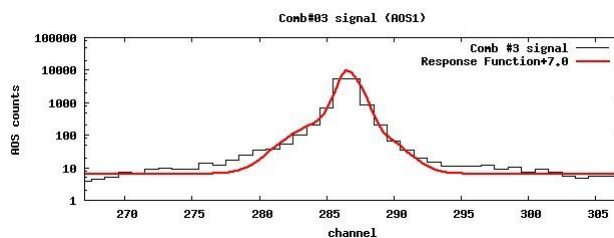


図 2：地上試験での応答特性との比較

また、あるコム信号に対するトリプルガウシアンへのフィッティング結果を図 3 に示す。(1)式は3つのガウシアンを足し合わせたものであり、 $i=1$ の場合のガウシアンを $f1(x)$ 、 $i=2$ の場合を $f2(x)$ 、 $i=3$ の場合を $f3(x)$ 、それらを足し合わせたものを $Func(x)$ としている。他のコム信号に対してもフィッティングを行い、同様の結果が得られた。

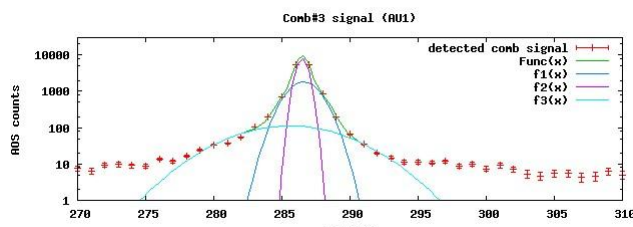


図 3：フィッティング結果

トリプルガウシアン各パラメータのチャンネル番号に対する分布を図 4 に示す。

7. 考察

AU1 については、全てのコム信号において、地上試験から導出していた応答特性が軌道上での特性をよく表現していると言える。また、独立したフィッティング処理によって得られた関数も同様に軌道上での特性をよく表現していると言える。しかし、フィッティングによって得られた関数の各パラメータの分布が予期される振る舞いを見えていない。

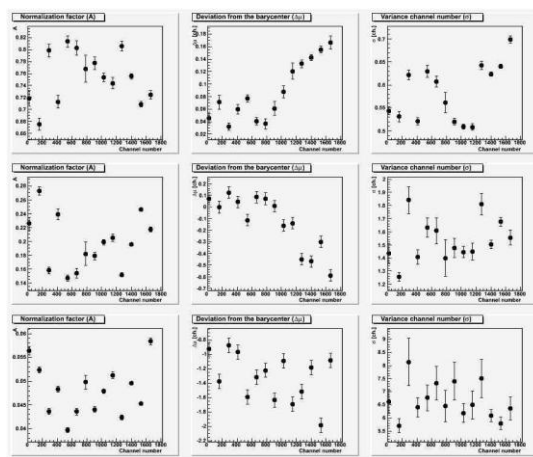


図 4：各パラメータの分布

8. 結論

AU1 について、軌道上での振る舞いと地上試験時の応答特性の比較検討を行った。今後、

AU2 についても比較検証を行った後、高次データ処理に新たなフィッティング結果を適用し、分光計間の差が想定範囲内であることを確認する。

また、新たに取得したデータではなく、大気観測時に 53 秒に 1 回得ていたコム信号のデータを使って、AOS 応答特性の時系列変化についての検証も行う。

参考文献：

[1] K. Kikuchi, et al., “ Overview and Early Results of the Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) ” , J. Geophys. Res., 115, D23306, doi:10.1029/2010JD014379, 2010