

# 衛星搭載多波長赤外サウンダの利用技術に関する研究

増田一彦、○真野裕三、石元裕史（気象衛星・観測システム研究部）  
深堀正志、藤枝鋼（物理気象研究部）

## 1. はじめに

サウンダは放射輝度を測定し、主として気温や水蒸気等の鉛直分布を求めるための機器で、数値予報モデルの初期値を与えるために利用される。赤外域を利用した従来のサウンダのチャンネル数は20程度であったが、回折や干渉を利用した新世代の多波長サウンダでは1000以上に増えている。例えば、2002年に打ち上げられた地球観測衛星EOS/Aquaに搭載されている回折格子型サウンダAIRSは波数域650–1137 $\text{cm}^{-1}$ 、1217–1614 $\text{cm}^{-1}$ 、2181–2665 $\text{cm}^{-1}$ に2378チャンネル数を有している。

多波長サウンダを利用することにより観測精度が改善されることが期待されているが、放射伝達モデルの高精度化・高速化、最適チャンネルの選択など、研究すべき課題も多い。多波長サウンダの利用技術に関連して実施した研究について概要を報告する。

## 2. 結果

### 2.1 気体吸収線の室内実験

多波長サウンダのチャンネル幅は非常に狭いので、放射伝達モデルの誤差が導出される物理量の誤差に大きく影響を与える。放射伝達モデルの基盤になる気体の吸収線データベースの精度検証は重要な課題である。HITRANは各種気体の吸収線の強度や幅が集約されている代表的なデータベースであり、気体の吸収線の測定実験と随時比較され、妥当性の検証や更新が行われている。

気温の測定に利用される $\text{CO}_2$ の15 $\mu\text{m}$ 帯について、室温下での吸収スペクトルを測定し、HITRANに収録されている吸収

線強度の検証を行った(深堀他, 2005)。その結果、図1に示すように実験誤差の範囲内で良い一致を示すことが確認された。

### 2.2 高速放射伝達モデル

衛星で観測される放射輝度から大気プロファイルを求めるためには、大気プロファイルを与えて放射輝度を高速・高精度に計算する高速放射モデルが必要である。これまでサウンディング用に広く使われてきたRTTOVのような高速放射モデルは大気プロファイルと大気透過率を関係づける統計的な回帰式にすぎなかった。我々は、新しい高速放射モデルを開発するにあたり物理的な手法に基づくことを基本方針とし、以下のように開発を進めた。

- 1) 物理的な手法である「相関k分布法」を使用して各種気体の吸収係数をモデルに取り入れることとした。
- 2) 上記 1)のためにはラインバイライン(LBL)計算手法で正確な吸収係数を求めておく必要があるが、一般によく使われているこの種の放射伝達コードLBLRTM(藤枝・深堀, 2004)は相関k分布法の吸収係数作成のためには不利な点があった。そこでLBLRTMコードを分析し、吸収線形の近似式と補間アルゴリズムに改良を行うことにより新しいLBLコードを開発した。このLBLコードを使って、相関k分布法のための気体吸収係数を作成した。
- 3) 相関k分布法の吸収係数を用いて計算した大気透過率の誤差は系統的であり、単純な補正により精度改善が可能であることを発見した。補正後の大気透過率の精度は飛躍的に向上し、また計算効率も良好であることが明らかになった。

以上の成果をふまえて開発されたAIRS用高速放射モデル(Mano and Ishimoto, 2004)は、従来の経験的な多項式を用い

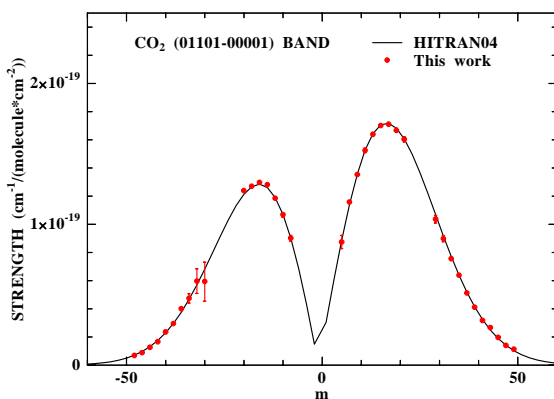


図1  $\text{CO}_2$ 帯(667 $\text{cm}^{-1}$ )の線強度の、HITRANデータベース(黒)と実測値(赤)との比較。実験誤差の範囲内で一致していることを検証した(深堀他, 2005)。

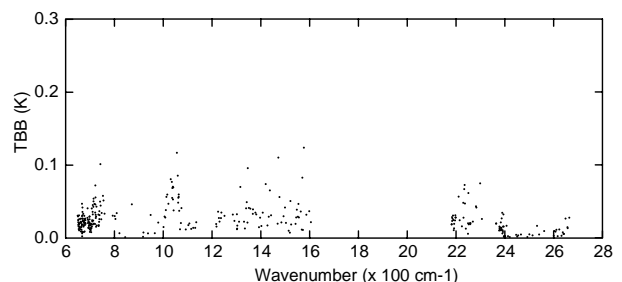


図2 AIRS用に開発した高速放射モデルの計算誤差(LBL計算値との差を輝度温度で表示)

たRTTOVなどの放射モデルに比較して、放射理論との対応が明確になっており、また計算精度や計算速度についても上回っていた。図2にLBL計算と比較した計算精度を示す。

### 2.3. チャンネル選択

気温プロファイルの導出を想定し、開発した高速放射モデルを使用して最適チャンネルの選択を行った。AIRSのチャンネルのうちCO<sub>2</sub>の吸収帯を含む波数域650-980cm<sup>-1</sup>の141チャンネルを対象とした。チャンネル選択の手法は線形理論に基づいて情報量を利用するRodgers (1996)にしたがった(増田, 2007)。

チャンネル選択を行うためには、背景誤差・測定誤差・放射計算誤差を表現する行列と大気プロファイルを与える必要がある。ここでは、背景誤差は北半球に対するものを、測定誤差はAIRSの測定誤差の公称値を、放射計算誤差は図2の値を、大気プロファイルは中緯度帯夏季の典型的なモデルを使用した。

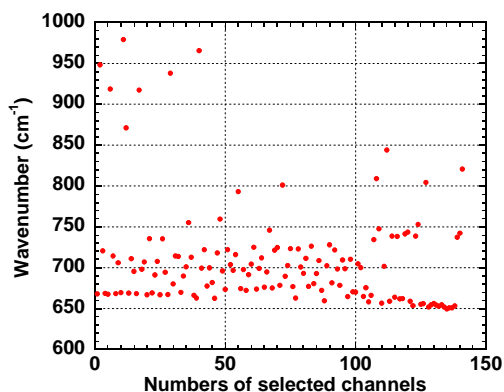


図 3 気温の鉛直分布導出のために有効なチャンネルの優先順位付けの結果。縦軸はチャンネルの中心波数

図3に選択されたチャンネルの波数を選択順序順に示す。図

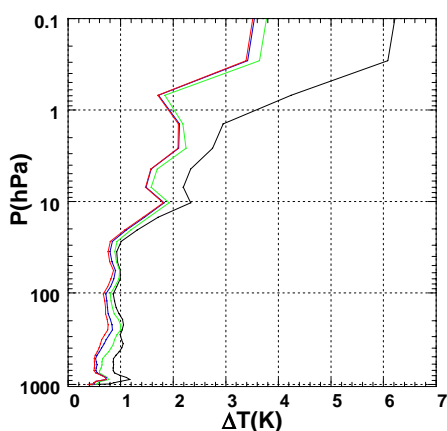


図 4 気温推定値の誤差改善の様子。黒: 初期値、緑: 10 チャンネルを利用、青: 50 チャンネルを利用、赤: 141 チャンネルを利用した場合。

4に気温推定値の誤差改善の様子を示す。最も優先度が高い10チャンネルで初期値の誤差が大きい成層圏の気温が改善されている。50チャンネルを使うと、対流圏でわずかに改善の余地が残されているが、全チャンネルを使う場合と比較してほぼ同等の精度が得られることが示されている。

### 3. まとめ

吸収線パラメータの精度検証から最適チャンネルの選択まで、多波長赤外サウンダの数値予報モデルでの利用に関連して実施した研究の概要を述べた。本研究によって、多波長赤外サウンダの利用に関する技術基盤が整ったものと考えている。

#### 参考文献

- 藤枝 鋼, 深堀正志, 2004: 高分解能大気放射伝達モデル「LBLRTM」による大気の透過率・放射輝度等の計算方法, *測候時報*, 71-3, 59-127.
- 深堀正志, 藤枝鋼, 熊沢亮一, 渡邊猛, 2005: 二酸化炭素の15 ミクロン帯における吸収線パラメータの測定, *第15回大気化学シンポジウム研究集会講演集*, 271-273.
- Mano, Y. and H. Ishimoto, 2004: Fast radiative-transfer model based on the correlated *k*-distribution method for a high-resolution satellite sounder, *Applied Optics*, 43, 6304-6312.
- 増田一彦, 2007: AIRS チャンネル選択, *数値予報課報告・別冊第53号*, 第3.5.3節 (査読中)
- Rodgers, C. D., 1996: Information content and optimisation of high spectral resolution measurements. *Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for atmospheric and Space Research II*. SPIE **2830**, 136-147.

\*本研究は、融合型経常研究「衛星データを用いた大気パラメータ抽出技術に関する研究(H16-18)」の一環として行われた。主任研究者: 増田一彦、研究担当者: 真野裕三、石元裕史、深堀正志、藤枝鋼、青木輝夫、朽木勝幸