

## 論文内容の要旨

論文題目：TANSO-FTS/GOSATによる熱赤外スペクトルデータを用いた  
対流圏雲・ダストエアロゾル・極域成層圏雲の観測  
(Observation of tropospheric clouds, dust aerosols and polar stratospheric clouds  
using thermal infrared spectra from TANSO-FTS/GOSAT)

氏名：染谷 有

温室効果ガス観測技術衛星 Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT)に搭載された観測機器である Thermal And Near-Infrared Sensor for Observation (TANSO)はスペクトルセンサーである Fourier Transfer Spectrometer (FTS)と画像センサーである Cloud and Aerosol Imager (CAI)から構成されている。温室効果ガスの濃度の導出は FTS の短波長赤外(SWIR)バンドと熱赤外(TIR)バンドを用いてそれぞれ独立に行われており、FTS の視野内に観測の妨げとなる雲やエアロゾルがあるかどうかの判別は基本的には CAI のデータを用いて行われているが、FTS データを用いた温室効果ガスの濃度導出にはこれまでいくつか課題が指摘されている。例えば、SWIR の解析結果については検証データとして用いられている地上 FTS の観測結果と比べて系統的に負のバイアスがあることがわかっている(Yoshida et al., 2013)。これらの最大の原因は雲やエアロゾルであると考えられており、このバイアスの低減には、それらがガスの濃度導出に及ぼす影響を正確に考慮する必要がある。しかし、その際に必要となるそれらの高度情報は CAI による観測からは得ることができない。一方、TIR の解析については夜間には CAI による観測ができないため、TIR データを用いた雲検出手法によって雲の判別が行われている。しかし、TIR の窓領域のチャンネルによって得られた観測データに閾値を設定して雲の有無を判別する現在の手法では光学的に薄い雲や視野内に部分的に存在する雲の検出は困難である。これらの課題を踏まえ、本研究では TIR データを用いて、雲とエアロゾルの高度などの情報の取得と、光学的に薄い雲の検出を行うことのできる手法の開発を行った。また、その手法を用い、受動型センサーを用いた観測が極めて難しい冬季極域に発生する極域成層圏雲(PSC)についても解析を行い、南極域全体における検出特性を調べた。

本研究での解析手法は CO<sub>2</sub> スライシング法と呼ばれる巻雲検出手法を改良して用いた。この手法は2つのチャンネルによって得られたデータを用い、各チャンネルでの二酸化炭素による吸収強度の差を利用して雲頂高度を推定するものである。本研究における1つ目の改良点としては、TIR バンドの 700~755cm<sup>-1</sup>でのチャンネルそれぞれにおいて、そのチャンネルが持つ感度プロファイルを表す荷重関数を計算し、その感度のピーク高度を基にチャンネルの再構築を行い、仮想チャンネルを作成した。2つ目の改良点としては、様々な気温プロファイルについて、放射伝達コード Pstar3 を用いて雲・エアロゾルを仮定して計算した理論スペクトルに対して解析を行うことで、再構築したチャンネルの組み合わせを用

いた場合の誤差を評価し、各気温プロファイルのパターンにおける仮想チャンネルの組み合わせを最適化した。Figure 1 は再構築したチャンネルを用いた場合(左)と GOSAT のオリジナルのチャンネルを用いた場合(右)の各チャンネルの組み合わせに対する PSC を仮定したシミュレーションに対する検出精度の比較である。オリジナルのチャンネルを用いた場合に比べて、再構築したチャンネルを用いた場合は精度が上がっていることが確認でき、左図から最も精度の良い仮想チャンネルの組み合わせを決定できる。このような誤差評価を緯度と 500hPa の気温を指標として作成したいくつかの気温プロファイルについて行い、GOSAT の実データ解析では、これらの指標に基づき、観測点ごとにチャンネルの組み合わせを決定して解析を行った。

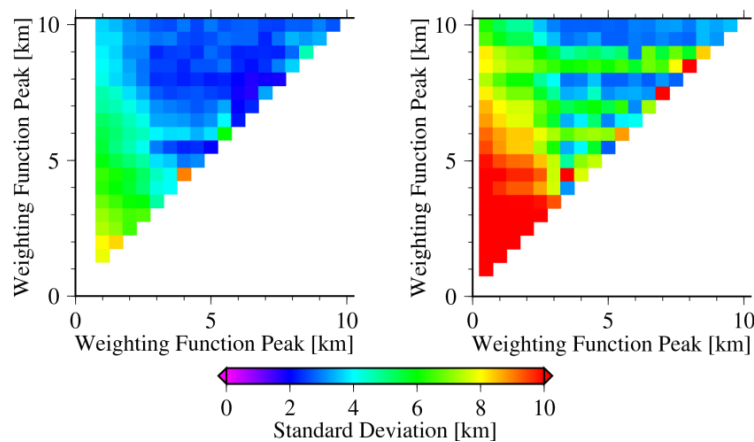
解析結果は衛星搭載ライダーである CALIOP/CALIPSO および、地上に設置されたライダーによって観測されたデータと比較・検証を行った。対流圏雲については、まず、2010 年 1 月と 7 月の全球解析を行い、求めた雲の検出率を CALIPSO の観測による検出率と比較した。能動型センサーと受動型センサーの感度の違いによると思われる上層雲の検出率、および、地表面温度バイアスや温度逆転層と層積雲に起因する下層雲の検出率の違いは見られたものの、全体的にこれまでの研究で明らかとなっている気候学的な雲量分布の特徴を捉えており、CALIPSO の観測結果とも整合的であった。熱帯域では雲の多層構造と上層雲の光学的厚さが小さいことによると思われる判定不能のケースがあったが、そのような場合には TIR 閾値雲判定を利用することで検出率が改善した。各観測による 7 月における日中の雲量の緯度分布を Fig. 2 に示す。判定不能の場合に TIR 閾値法を利用したスライシング法による雲の検出率は CALIPSO によるものとよく似た分布を示していることがわかる。次に GOSAT と CALIPSO で観測が 5km、2 分以内で一致したデータについて、求めた雲頂高度と光学的厚さを比較した。Figure 3 はこれまでスライシング法の解析に長期間用いられてきた NOAA-HIRS センサーに対応するオリジナルのチャンネルを用いた場合と、再構築したチャンネルを用いた場合の雲頂高度の比較結果である。左図に比べて右図では高い整合性が見て取れ、チャンネルの再構築によって精度が向上するとともに、下層雲の検出が可能となっていることがわかる。また、本手法を用いた場合、CALIPSO による光学的厚さが 0.1 以下の雲も検出できる場合が多いことがわかった。

ダストエアロゾルについての解析結果は、国立環境研究所のライダーネットワークによって取得されているデータのうち、検証に利用可能であった 2010 年 3 月 14 日の大阪のものと比較を行った。対流圏雲の解析では地表 2m の気温を地表面温度として用いているが、これらの間にはバイアスがある場合が多い。ダストエアロゾル層は雲に比べて発生高度が低い場合が多いことに加え、光学的にも薄いため、地表面温度バイアスの影響を受けやすい。そのため、解析では地表面温度の解析値を用いて補正した地表面温度を用いることとした。GOSAT データの解析によって求められたエアロゾル層の上端高度と地上ライダーで観測された非球形粒子の時間高度断面を Fig. 4 に示す。地表面温度を適切に補正することで、本手法で光学的に厚いエアロゾル層の上端付近を検出することができることがわかった。

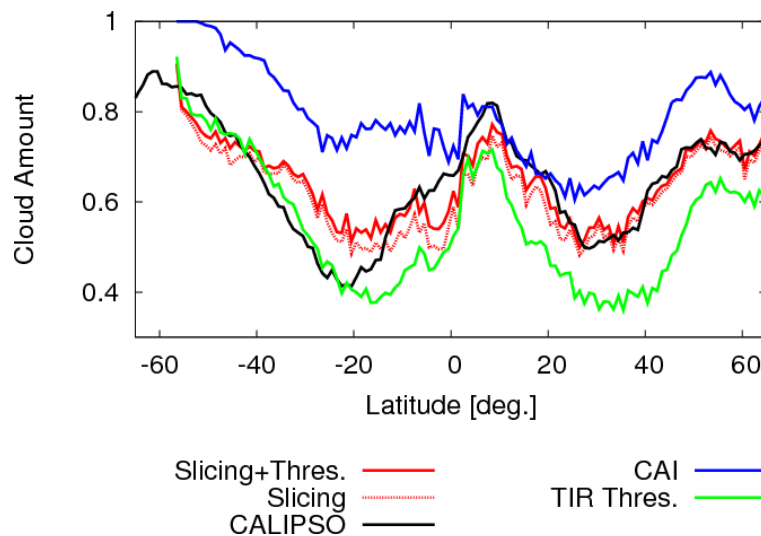
PSC の解析は 2010 年 6~9 月について月毎に行い、CALIPSO による観測と検出率の比較を

行った。Fig. 5 は 2010 年 7 月におけるスライシング法と CALIPSO の検出率である。高い標高に伴う極めて低い地表面温度や、小さい気温勾配などの要因によって大陸内陸部や海上で検出率の違いが見られたものの、南極域全体で発生の全体像を捉えることはでき、 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ グリッド単位の検出率で比較した場合、6~9 月の月毎の相関係数はそれぞれ、0.76、0.71、0.75、0.61 であった。

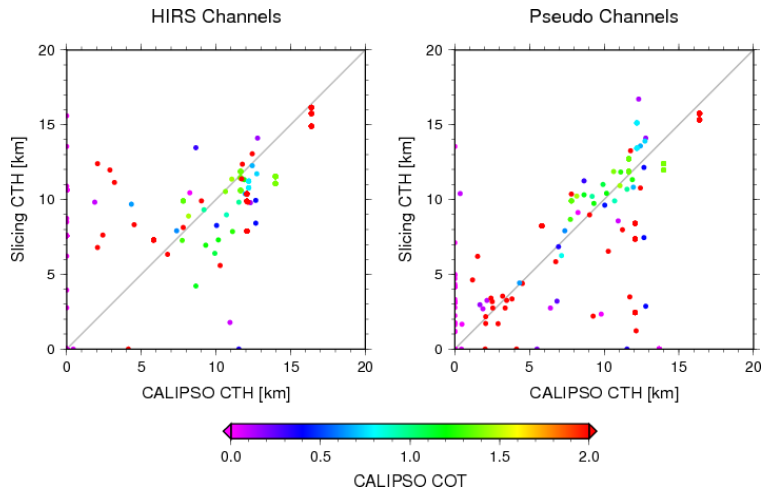
これらの結果から、本研究で開発されたスライシング法は温室効果ガス濃度導出の雲スクリーニング手法として、また、雲・エアロゾル・PSC に関する理解の発展にも有用であると考えられ、今後、GOSAT をはじめとした人工衛星観測データの解析手法として用いられることが期待される。



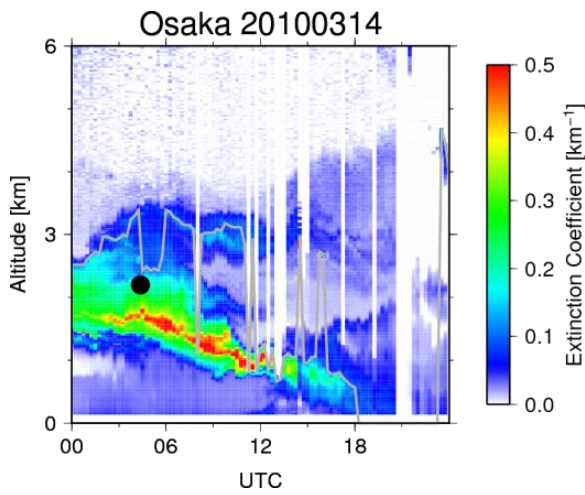
**Fig. 1.** PSC を想定した理論スペクトルに対して各チャンネルの組み合わせを用いて行った誤差評価の結果。再構築したチャンネルを用いた場合(左)とオリジナルのチャンネルを用いた場合(右)。



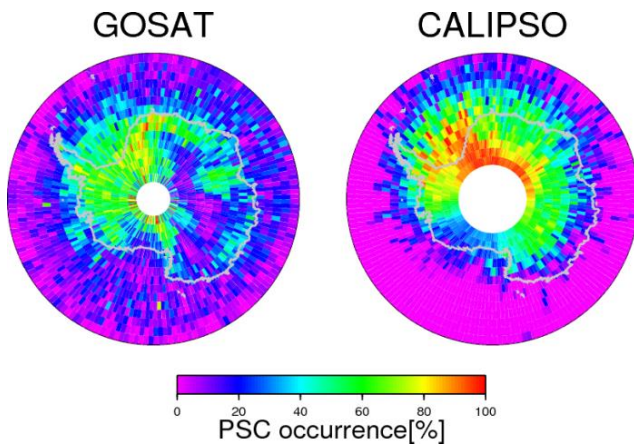
**Fig. 2.** 2010 年 7 月の日中におけるスライシング法+TIR 閾値法、スライシング法のみ、CALIPSO、CAI、TIR 閾値法のみによる雲の検出率の緯度分布



**Fig. 3.** 5km, 2分以内で GOSAT と CALIPSO の観測が一致したデータに対してスライシング法と CALIPSO で検出された雲頂高度。NOAA-HIRS に対応するチャンネルを用いた場合の(左)再構築したチャンネルを用いた場合(右)。



**Fig. 4.** 2010年3月14日の大阪において、地上ライダーによって観測された非球形粒子の消散係数の時間高度断面と近傍での GOSAT の観測データの解析によって検出されたエアロゾル層の上端高度(黒丸)。消散係数が0.1以上のエアロゾル層の上端高度を灰色の線で示してある。



**Fig.5.** 2010年7月における南極域の $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ グリッド毎の GOSAT のデータ(左)と CALIPSO(右)による PSC の検出率