

# 衛星搭載雲レーダ・ライダ・赤外サウンダの複合利用による 氷雲微物理特性と水蒸気量の解析

## Analysis of ice cloud microphysics and water vapor amount from Spaceborne cloud radar, lidar and infrared sounder

田中健太<sup>1</sup>, 岡本 創<sup>2</sup>, 佐藤可織<sup>2</sup>, 石元裕史<sup>3</sup>

K. Tanaka, H. Okamoto, K. Sato, and H. Ishimoto

1. 九州大学院総合理工学府 IGSES, Univ. of Kyushu
2. 応用力学研究所 Research Institute for Applied Mechanics
3. 気象研究所 Meteorological Research Institute

**Abstract:** In this study, we analyze the relationship between ice cloud microphysics from cloud radar on CloudSat and CALIOP on CALIPSO and water vapor amount from AIRS on AQUA satellites. In order to carry out the combined analysis, we first sampled the retrieved water vapor and temperature information from AIRS data to match the CloudSat and CALIPSO foot-print and the data were interpolated to have the same space and time resolution of CloudSat. In this study, the ice water content was estimated from the application of radar-lidar algorithm to CloudSat and CALIPSO data. Unique features of the study are as follows. The radar-lidar algorithm uses depolarization information in addition to radar reflectivity factor ( $Z_e$ ) from CloudSat and attenuated backscattering coefficient from CALIOP [Okamoto et al., 2010]. And AIRS retrievals were done by Ishimoto [2009] algorithm that can retrieve water vapor amount in clear sky as well as low-level clouds with cloud top altitude  $< 200$ hPa with horizontal 13.5km while standard AIRS products report water vapor amount for much coarser resolution of each 45km. In the new AIRS products, ice super saturation often reach 150% while standard AIRS products do not show super saturation. ECMWF showed smaller ice super saturation than the new AIRS products. In order to quantitatively compare the water vapor amount and retrieved IWC, we estimated the excess of water amount respect to ice saturation from retrieved water vapor amount. Generally, retrieved IWC showed much smaller values compared with the estimated IWC from water vapor of the new AIRS products. The similar analysis of ECMWF showed the ECMWF generally showed smaller estimated IWC compared with the new products.

### 1. はじめに

雲の雲域や雲微物理特性と、その周辺域の水蒸気量を同時解析する事は、雲の生成機構を明らかにする上で有効であると考えられる。A-Train 衛星群の1つで、AIRS センサが搭載された AQUA 衛星は、気温や水蒸気量の鉛直分布を求める事が可能である。Ishimoto[2009]は AIRS データを用いて、晴天域および下層雲より上層の相対湿度を求めた。このプロダクトの特徴として、AIRS の標準プロダクトの水平解像度(約 45 km)よりも小さい 13.5 km を達成している事があげられる。またこのアルゴリズムでは下層雲の雲頂が 800 hPa 高度よりも下にある場合であれば、雲頂より上の高度での温度・水蒸気プロファイルを求められる。

雲の巨視的性質や微物理特性は、同じ A-Train 衛星群で、94 GHz 雲レーダを搭載した CloudSat 衛星と、2 波長偏光ライダ CALIOP を搭載した CALIPSO 衛星から得られた観測データから求める事が可能である。Okamoto et al., [2010] は、CloudSat から得られるレーダ反射因子( $Z_e$ )、CALIPSO に搭載されたライダ-CALIOP から得られた減衰された後方散乱係数に加え、初めて偏光解消度の情報を利用して氷雲の有効半径、氷水量(IWC)、そして平板状氷粒子の全氷水量に対する比の全球解析を実施した。

Ishimoto et al., [2014]は、CloudSat と CALIPSO で検出された雲域と、AIRS で観測された過飽和度の領域を解析し、両者に良い対応があることを示した。本研究では、CloudSat, CALIPSO から得られる氷雲の微物理特性と AIRS から抽出された水蒸気量の解析を実施し、氷雲の物理特性の生成機構を明らかにすることを目的とする。

### 2. 使用データ

CloudSat 衛星に搭載された雲レーダ、CALIPSO 衛星に搭載された CALIOP センサ、及び AQUA 衛星に搭載された AIRS センサの観測データと、ECMWF の再解析データ(気圧 [hPa], 気温[K], 水蒸気量[g/m<sup>3</sup>])を使用した。

AIRS の水蒸気量データとしては、Ishimoto[2009]のアルゴリズムによって解析された気温 [K], 混合比 [g/kg], 相対湿度 [%]のデータを使用した。CloudSat/CALIPSO に関しては雲マスクについては Hagihara et al., [2010]を、雲の粒子タイプに関しては Yoshida et al., [2010]を、氷雲の微物理特性(氷水量:IWC)は Okamoto et al., [2010]をそれぞれ使用した。

複合解析を行うため、AIRS の水蒸気量と大気の水蒸気量のデータは CloudSat/CALIPSO 衛星軌道上付近(極域で 25 km 以内)のデータを使用した。更に、CloudSat の解像度(鉛直解像度は 240m で 83 層、水平解像度は 1.1km)に補間し、複合解析を行った。

### 3. 氷水量と過飽和度の関係

CloudSat/CALIPSO による IWC と、AIRS の過飽和度について解析を行った。今回、AIRS 及び ECMWF の過飽和度を表す指標として IWC 相当量を計算で求めた。IWC 相当量は、飽和水蒸気圧を越えた水蒸気量分を単位体積あたりの氷水量に換算したものである。解析例として、Fig.1 に 2009 年 2 月 6 日における北緯約 80 度から北緯約 65 度、東経約 160 度から東経約 85 度の観測結果を示す。それぞれ、AIRS の IWC 相当量と、CloudSat/CALIPSO の IWC の時間-高度分布である。IWC 相当量の求められている領域は、氷過飽和になっている領域である。氷過飽和度と IWC の存

在領域は、比較的良い一致を示していた。

これらの AIRS の IWC 相当量と CloudSat/CALIPSO の IWC による対応関係について統計解析を行った結果を Fig. 2 に示す。解析期間は、2009 年 1 月の 1 ヶ月間である。AIRS の IWC 相当量と CloudSat/CALIPSO の IWC は、比較的良い対応関係ではあるが、AIRS のほうが大きい傾向にあった。Fig. 2 の対応関係を ECMWF の気圧のデータを用いて、気圧面毎に解析も行った。気圧が 440 hPa よりも高層のときと、低層のときの 2 つの条件で解析した結果、低層の方が AIRS の IWC 相当量の値が大きかった。一般に気温が高いほど水蒸気量も高くなるので、このような結果になったと考えられる。

Fig.2 と同様な対応関係を、ECMWF の IWC 相当量と、AIRS の IWC 相当量で比較した (Fig.3) 。こちらでも AIRS のほうが大きい傾向にあった。これは ECMWF の水平解像度が 40km 程度と、AIRS の 13.5km と比較して大きいことから過飽和度の過小評価が起きていることが理由として考えられる。

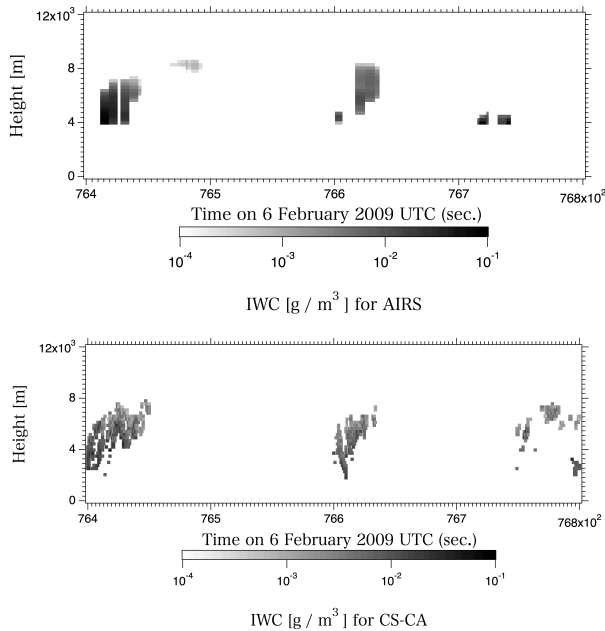


Fig 1. (a) Time-height cross section of IWC for AIRS. (b) Same as Figure 1a but for the CloudSat/CALIPSO product.

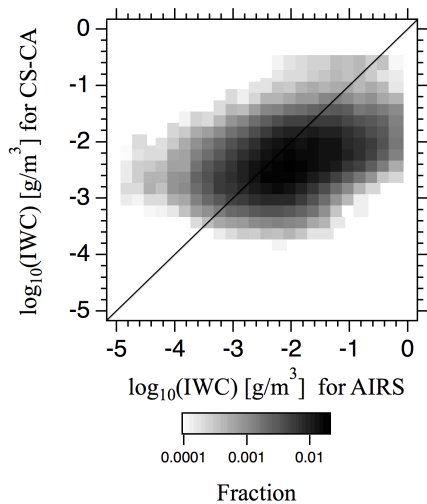


Fig 2. Two-dimensional frequency distributions of IWC for AIRS and IWC for CloudSat-CALIPSO in January 2009.

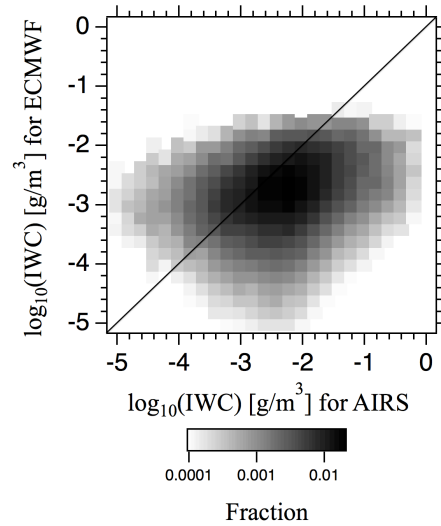


Fig 3. Two-dimensional frequency distributions of IWC for AIRS and IWC for ECMWF in January 2009.

#### 4. まとめと今後の展望

AIRS の IWC 相当量と CloudSat/CALIPSO の IWC は比較的よく一致していたが、AIRS の IWC 相当量は大きい傾向であった。今後は、他の月でも同様な解析をして季節変動についても調べる予定である。

#### 5. 参考文献

- Hagihara, Y., H. Okamoto, and R. Yoshida (2010), Development of combined CloudSat/CALIPSO cloud mask to show global cloud distribution, *J. Geophys. Res.*, 115, D00H33, doi:10.1029/2009JD012344.
- Ishimoto, H. (2009), Retrieval of upper tropospheric relative humidity profiles over low clouds from the Atmospheric Infrared Sounder, *Geophys. Research Letters.*, 36, L11814, doi:10.1029/2009GL037665.
- Ishimoto, H., K. Okamoto, H. Okamoto, and K. Sato (2014), One-dimensional variational (1D-Var) retrieval of middle to upper tropospheric humidity using AIRS radiance data, *J. Geophys. Res.*, doi:10.1002/2014JD021706
- Okamoto, H., K. Sato, and Y. Hagihara (2010), Global analysis of ice microphysics from CloudSat and CALIPSO: Incorporation of specular reflection in lidar signals, *J. Geophys. Res.*, 115, D22209, doi:10.1029/2009JD013383.
- Yoshida, R., H. Okamoto, Y. Hagihara, and H. Ishimoto (2010), Global analysis of cloud phase and ice crystal orientation from Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (CALIPSO) data using attenuated backscattering and depolarization ratio, *J. Geophys. Res.*, 115, D00H32, doi:10.1029/2009JD012334.

謝辞：本研究はJSPS 科研費 25247078 基盤研究 (A) の助成を受けたものです。