

EarthCARE 発射前 地上ドップラー速度データを用いたモデル評価

本研究は、世界初の雲観測用ドップラーレーダーを搭載した地球観測衛星 EarthCARE (注1) のデータ活用に向けた基礎研究です。EarthCARE 衛星は 2024 年 5 月 24 日に打ち上げられ、雲の内部構造や降水量を詳細に観測できる先進的な雲レーダーを備えています。このデータにより、雲物理学の理解が深まり、気象および気候モデルの精度が向上することが期待されています。本研究では、EarthCARE 衛星観測データの解析を目標に、地上に設置された雲レーダー (HG-SPIDER, 注2) によるドップラー速度の観測データを活用し、数値モデルの微物理過程を評価・改善する手法を開発しました。

1 研究背景

気象や気候モデルの検証と精度向上は、自然災害の予測や気候変動への対応において非常に重要です。気象・気候モデルの雲や降水過程の不確実性が大きく、雲や降水過程の再現性の向上が求められます。人工衛星によって地球全体の雲を対象とした観測はある程度まで可能でしたが、雨、雪、雹、雲氷の動きの観測は今まで行われたことがありませんでした。

EarthCARE 衛星は、雲の内部構造や降水の動態を詳細に観測できるドップラーレーダーを世界で初めて搭載しています (図1)。この衛星から得られるデータは、雲や降水の詳細な観測を可能にし、それに基づいてモデルの微物理過程を精緻化するための貴重な情報源となります。今回の研究では、EarthCARE のデータ利用に先立ち、地上レーダーのドップラー速度データを用いて、数値モデルが実際の観測とどの程度一致しているかを評価しました。この研究成果は、EarthCARE 衛星のデータを最大限に活用するための基盤を築くものであり、今後の雲物理の理解や気候予測の精度向上に寄与することが期待されます。

2 研究内容

今回の研究では、地上に設置した雲レーダーによって得られた「ドップラー速度」データを用いて、雲と降水の粒子を詳細に分析しました。ドップラー速度は粒子の速度を測定する技術であり、これにより雲の中の粒子がどのくらいの速度で動いているかを知ることができます。ドップラー速度を利用して、雲氷 / 雪、霰 / 雹、雨、雲水 / 霧雨に分類し、この分類方法を用いて数値モデルと比較し、モデルが実際の観測とどれだけ一致するかを評価しました。

本研究では、全球非静力学モデル NICAM による数値計算結果に、「観測シミュレーター」を適用し、雲レーダーの観測に相当するデータを得ました。2つの雲微物理スキーム NSW6 (注3) と NDW6 (注4) を利用して数値シミュレーション結果を評価しました。これらのスキームは、それぞれ異なる仮定に基づいて雲の微物理過程をシミュレートしています。図2に示すように、ドップラー速度の各高度の頻度分布から、雲の分類を試みました。シミュレーション結果では、氷と水粒子によるドップラー速度の差が高度 5km 付近で明確に現れました。また、氷粒子には落下速度が速い霰と遅い雪に相当する粒子に分類できます。さらにドップラー速度が上向きの粒子は上昇流域と考えられます。

NSW6 スキームの場合、観測に比べてドップラー速度の範囲が狭く表現されているのに対し、NDW6 スキームは雪の終末速度を過大評価していることがわかりました。具体的には、NDW6 スキームは観測データと比べて、雪の粒子がより速く降下する傾向を示していました。これにより、実際には雪であるにもかかわらず、モデル上では霰や雹と誤認されることがありました。この問題は、特に強い対流が発生している地域で顕著です。



図1. EarthCARE 衛星の模擬図 https://www.jaxa.jp/projects/sat/earthcare/index_j.html

EarthCARE 発射前地上ドップラー速度データを用いたモデル評価

本研究では、EarthCARE 衛星で想定されるシグナルノイズ等の条件を使用して NSW6 と NDW6 によるシミュレーション結果の解析を行いました。人工衛星の速度は非常に速いため、ドップラー速度にエラーが生じる可能性があります。そのエラーが上記の方法にどの程度の誤差を与えるかについても研究を行いました。

3 社会的意義・今後の展望

今回の研究は、気象予報、気候予測の数値モデルにおける雲微物理スキームの評価・改良において重要な意味を持ちます。本研究で開発した手法を利用して EarthCARE 衛星のデータを解析することで、雲・降水システムの内部構造や降水分布を詳細に観測することが可能になります。今後さらに EarthCARE 衛星観測データを活用した研究を進めることで、地球全体の気候変動や気象現象に対する理解が深まることが期待されます。今後は、実際の EarthCARE 衛星データを用いて、上記の2つの雲微物理スキームの評価・改良を行い、現実の雲降水システムをより適切に表現可能な数値モデルとして開発する予定です。今後、EarthCARE 衛星を利用して気象・気候モデルの改良が進むと、気候予測や気候感度の評価の精度向上に寄与することが期待されます。

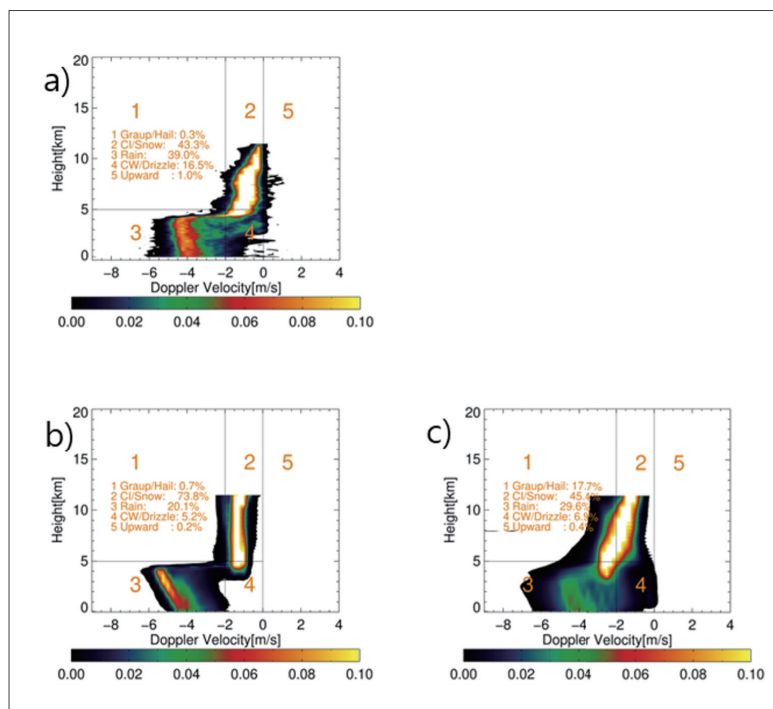


図 2. 地上レーダー観測 (a) と数値モデル NSW6(b)、NDW6(c) によるドップラー速度分布の比較

各図は、ドップラー速度と高度の関係を示し、水物質の分類（霰 / 雹氷 / 雪、雨、雲氷 / 霧雨、上昇気流）を色分布で表示している。地上レーダー観測と比較すると、NSW6 と NDW6 のモデルには雪や雨粒子の降下速度に違いが見られ、特に NDW6 モデルでは霰 / 雹の割合が過大評価されていることが確認できる。

発表雑誌

Atmospheric Measurement Techniques (2024 年 6 月 5 日)

An evaluation of microphysics in a numerical model using Doppler velocity measured by ground-based radar for application to the EarthCARE satellite

Woosub Roh*, Masaki Satoh, Yuichiro Hagihara, Hiroaki Horie, Yuichi Ohno, and Takuji Kubota

DOI : 10.5194/amt-17-3455-2024

<https://amt.copernicus.org/articles/17/3455/2024/>

用語解説

注 1 EarthCARE (Earth Cloud Aerosol and Radiation Explorer)

日本と欧州が協力して開発を進めている地球観測衛星です。雲や大気中の微小な粒子（エアロゾル）の詳細な観測を目的としています。特に、世界で初めて雲を観測するためのドップラーレーダーを搭載しており、この衛星は雲の内部構造や降水の動態を高精度に捉えることができます。

注 2 高感度雲観測レーダー (HG-SPIDER)

EarthCARE 衛星打ち上げ後には、搭載されている雲プロファイリングレーダー (CPR) が予測通りの観測性能を発揮しているかを検証する必要があります。HG-SPIDER は、高度 15km で -40dBZ までの受信感度を持つ高感度な雲観測レーダーで、情報通信研究機構 (NICT) に設置されています。このレーダーは、CPR よりも優れた感度で雲を観測できるため、CPR の感度を検証するための有効な手段となります。特に、CPR の雲エコーの最低検出感度が -35dBZ と予測されているため、HG-SPIDER のデータは CPR の性能を評価する際に非常に有用です。

注 3 NSW6

シングルモーメント微物理スキームのひとつとして、雲や降水のシミュレーションで使われる方法の一つで、各種の粒子（例えば、雨粒、雪片、霰など）の「量（質量）」だけを予測する手法です。

注 4 NDW6

ダブルモーメント微物理スキームのひとつとして、雲や降水をシミュレーションする際に、各粒子の「量（質量）」だけでなく、「数」も同時に予測する手法です。