

多種の気象レーダーデータを用いた降雪時における地上降水量推定に関する研究

水文気象研究室 武田大和

指導教員 熊倉俊郎

1. はじめに

日本では主に日本海側の広い範囲で多くの降雪が見られ、降雪は生活に大きな影響を及ぼすが、気象レーダーで観測された雪片などの固体降水粒子は直下に落下しない。長岡技術科学大学に設置した気象レーダー（以後、技大レーダー）の低仰角データと気象庁非静力学モデル（以後、NHM）を活用して後方流跡線解析を行うことで、地上降水量を推定する手法が確立されている¹⁾。日本全土をカバーする気象庁全国合成レーダーデータ（以後、気象庁レーダー）を活用して後方流跡線解析を行うことでも地上降水量の推定ができる可能性があるが、観測データが約 2,000m と高高度である点が課題である。本研究では、技大レーダーおよび気象庁レーダーと NHM を用いた後方流跡線解析を行い、気象庁レーダーを用いた際の地上降水量推定の可能性を検討した。

2. 機器・データ

2.1 AMeDAS

気象庁²⁾が公開している AMeDAS 長岡観測所の観測データの 10 分間降水量、10 分間隔の気温、1 時間降雪深を使用した。

2.2 NHM データ

防災科学技術研究所雪氷防災研究センターで実施している、新潟県中越地方を中心とした NHM による予測計算データを使用した。12 時間毎に NHM の配信データを最初の 3 時間を除いて結合することで時間的に連続的なグリッド・データを作成した。グリッドは 1.5km 四方で 320×240、鉛直方向は標高-10m~14,900m まで全 50 層で、各グリッドに記録されている 1 時間毎の瞬間の南北と東西の風速ベクトル、気温を使用した。

2.3 技大レーダー

長岡技術科学大学の屋上（東経 138.77819 度、北緯 37.42318 度、標高 88.9m）に設置した古野電気株式会社製の X バンド偏波ドップラーレーダーを使用した。最大観測距離 70km、観測仰角は 3, 6, 9.5, 14.3, 21 度であり、各仰角の観測周期はそれぞれ 2 分である。

2.4 気象庁レーダー

気象研究コンソーシアムより提供を受けた、一定高度でないが、高度約 2,000m における 10 分間隔の降水強度の合成レーダーデータを使用した。緯度方向は北緯 20.004167 度から 0.5 分間隔で 2,560 点分、経度方向は経度 118.00625 度から 0.75 分間隔で 3,360 点分のデータであり、約 1km のグリッドである。

3. 手法

2022 年 1 月~2 月の期間で、AMeDAS の 10 分間隔の気温を最近隣法で 2 分間隔に補完し 0 度以下の事例を対象に後方流跡線解析を実施した。後方流跡線解析では、まず NHM の地形データから解析対象地点である AMeDAS 長岡観測所の地上高度を南北と東西ともに線形内挿で求めた。次に上空の南北・東西の風速ベクトルを、高度と緯度・経度、時刻に対して線形内挿した風速と粒子の落下速度を用いて、時間的に遡るように高度 2,000m を超えるまで粒子の経路を計算し、これを後方流跡線とした。また、同時に気温も内挿した。後方流跡線の座標の計算間隔は 10 秒とした。後方流跡線と技大レーダーの観測面との交差位置の降水強度を解析降水強度（技大）、後方流跡線の終点の座標における気象庁レーダーの降水強度を解析降水強度（気象庁）として取得した。ここで粒子の落下速度は 1.0m/s、後方流跡線の計算開始は

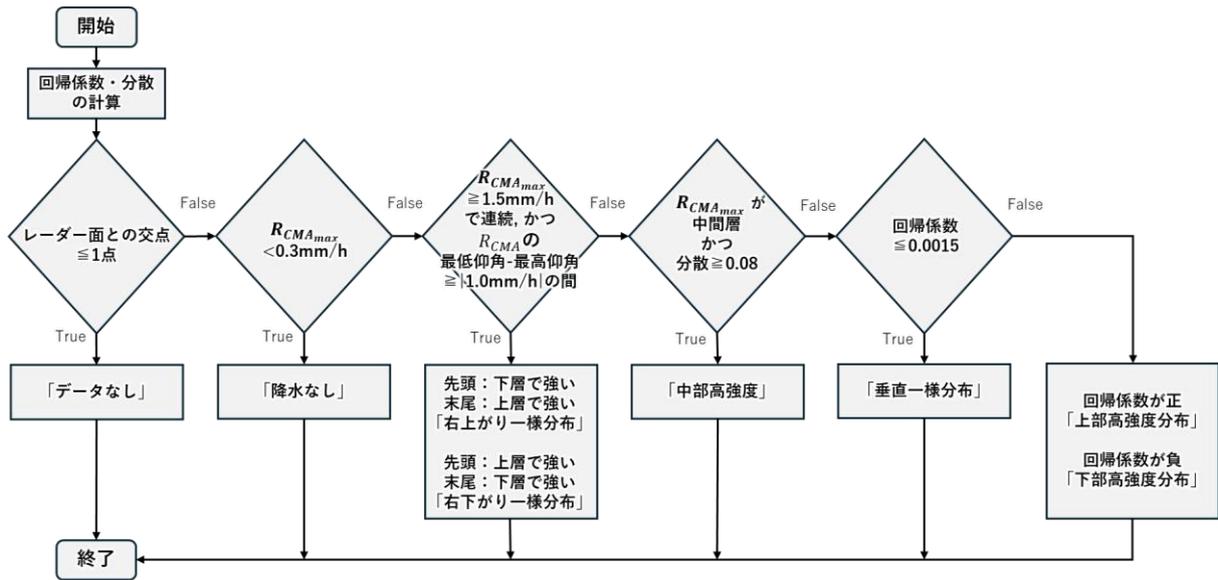


図-1 解析降水強度（技大）の分布パターンの分類

解析時刻を基準に2分間隔とした。

その後、後方流跡線解析により取得した解析降水強度（技大）の高度・時系列の等値線図を作成し、その図をもとに2分間隔に事例を(1)垂直一様分布、(2)右上がり一様分布、(3)右下がり一様分布、(4)上部高強度分布、(5)中部高強度分布、(6)下部高強度分布、(7)降水なし、(8)データなしの8パターンに分類した。分類は2分毎に図-1に示すフローにしたがって行った。図-1において、 R_{CMA} は仰角毎に求めた解析降水強度（技大）の6分間の中心化移動平均値（CMA）である。分散は各仰角の R_{CMA} を各解析時刻の R_{CMA} の最大値 R_{CMA}^{max} で正規化した R_{CMA}^{norm} から算出した。回帰係数は後方流跡線とレーダーの観測面の交差高度のCMAと R_{CMA}^{norm} の関係から単回帰分析で求めた。

また、解析結果をAMeDASと比較して評価するため、AMeDASと解析降水強度（気象庁）、解析降水強度（技大）を1時間降水量に換算し、AMeDASと解析降水量（気象庁）、AMeDASと仰角3度の解析降水量（技大）の関係について単回帰分析を行った。

4. 結果・考察

垂直一様分布の例を図-2に示す。図-2は縦軸

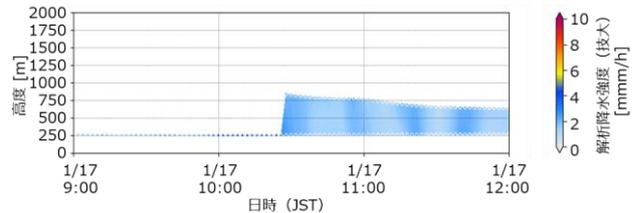


図-2 垂直一様分布の例

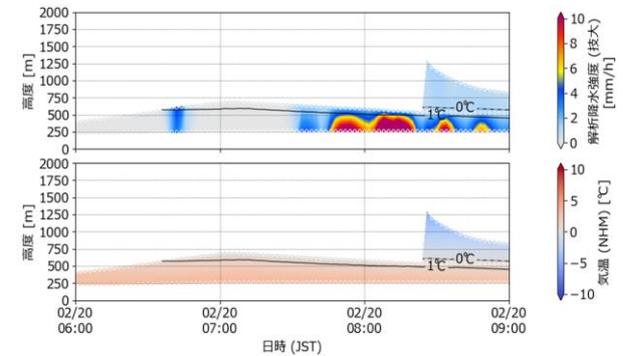


図-3 下部高強度分布の例

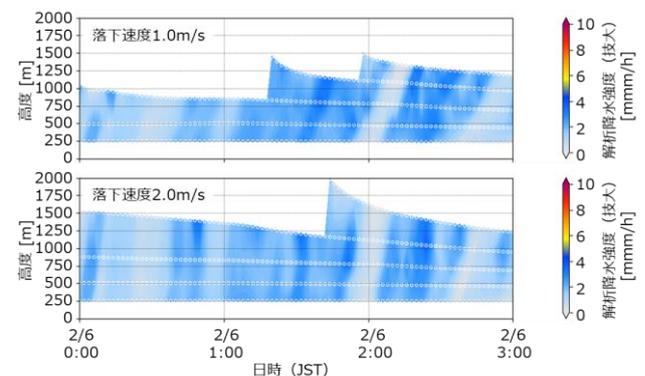


図-4 右上がり一様分布と落下速度

を高度，横軸を日時とした解析降水強度（技大）の等値線図である．後方流跡線解析では，降水粒子の成長，蒸発，融解がないという仮定の下で，雪片状の降水粒子の移流が正確に推定されていれば，各解析時刻の鉛直方向の降水強度は等しくなるため，垂直一様分布に分類されるのが理想である．下部高強度分布の例を図-3，落下速度 1.0m/s で解析を行った右上がり一様分布および，同時刻で落下速度を 2.0m/s 変更して再解析した例を図-4 に示す．図-3 は上段が縦軸を高度，横軸を日時とした解析降水強度（技大）の等値線図，下段が縦軸を高度，横軸を日時とした後方流跡線解析で得られた NHM の気温の等値線図である．図-4 は縦軸を高度，横軸を日時とした解析降水強度（技大）の等値線図で，上段が落下速度 1.0m/s，下段が落下速度 2.0m/s の解析結果である．図-3 下段の気温の等値線図に着目すると 1 度付近から，上段の解析降水強度（技大）が大きくなっていることから，下部高強度分布の原因はブライトバンドによる影響であると考えられる．本研究の対象を AMeDAS の気温が 0 度以下としたのはブライトバンドの影響を除くためである．また，図-4 のように，落下速度を 2.0m/s に変えたことで右上がり一様分布が垂直一様分布に変化することが確認された．したがって，右上がり一様分布に分類された事例は後方流跡線解析に用いた落下速度 1.0m/s よりも，実際の降水粒子が速く落下し，同様に右下がり一様分布の場合には，落下速度 1.0m/s よりも遅く落下する降水粒子であった可能性が高いと考えられる．2 分毎に 8 種類の分布パターンへの分類を行ったうち，降水なし，データなし以外に分類された 6 種類について集計を行った結果を表-1 に示す．降水粒子の成長，蒸発，融解がないという仮定の下で，雪片状の降水粒子の移流が正確に推定され，気象庁レーダーによる降水量推定も高精度に行えると考えられる垂直一様分布は，降水が観測された事例の 71.3%であった．また，垂直一

表-1 解析降水強度分布の分類

分布の分類	事例数[個]	割合[%]
垂直一様	1,886	71.3
右上がり一様	88	3.3
右下がり一様	224	8.5
上部高強度	228	8.6
中部高強度	96	3.6
下部高強度	124	4.7
計	2,646	100

— 解析降水量(気象庁): $y = 0.885x$, $R = 0.799$, $RMSE = 0.509$
 — 解析降水量(技大): $y = 1.036x$, $R = 0.881$, $RMSE = 0.427$

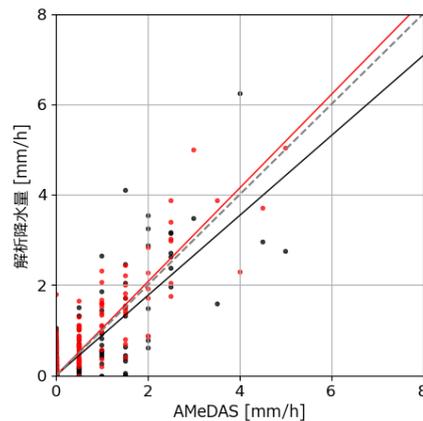


図-5 AMeDAS と解析降水量

— 解析降水量(気象庁): $y = 1.200x$, $R = 0.833$, $RMSE = 0.742$
 — 解析降水量(技大): $y = 1.288x$, $R = 0.901$, $RMSE = 0.658$

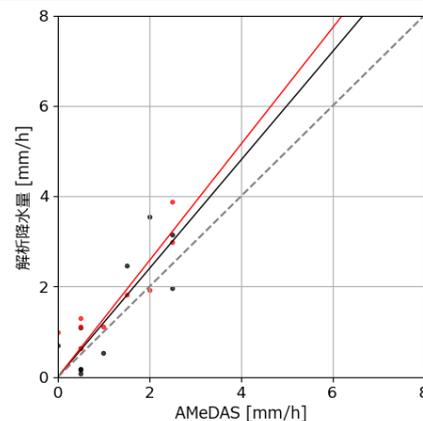


図-6 垂直一様分布の AMeDAS と解析降水量

様分布以外の分布はいずれも 10%未満であった．なお，上部高強度分布と中部高強度分布は本研究で使用したデータからは明確な原因を得ることができなかった．AMeDAS と解析降水量（気象庁），AMeDAS と仰角 3 度の解析降水量（技大）の 1 時間降水量の散布図を図-5 に示す．単回帰分析を行った結果，AMeDAS と解析

降水量（気象庁）は相関係数が 0.799, 回帰係数が 0.885, RMSE が 0.509 であったのに対して, AMeDAS と仰角 3 度の解析降水量（技大）は相関係数が 0.881, 回帰係数が 1.036, RMSE が 0.427 であった. 仰角 3 度の解析降水量（技大）の方が相関係数が大きく, RMSE が小さいものの, 解析降水量（気象庁）も地上降水量の推定は可能であると考えられる. また, 1 時間を通して分布パターンが垂直一様分布であった 10 事例に限定した場合の散布図を図-6 に示す. 単回帰分析を行った結果, AMeDAS と解析降水量（気象庁）は相関係数が 0.833, 回帰係数が 1.200, RMSE が 0.742, AMeDAS と仰角 3 度の解析降水量（技大）は相関係数が 0.901, 回帰係数が 1.288, RMSE が 0.658 となり, いずれも相関係数は図-5 よりも大きくなった. 回帰係数が大きいのは強い降雪により AMeDAS の降水量が過小評価されたこと, RMSE が大きいのは垂直一様分布の事例に限定したことで降水量が少ない事例がなくなったことが原因と見られ, 垂直一様分布の事例に限定することで解析降水量（気象庁）の精度が向上することが確認された.

5. まとめ

技大レーダーおよび気象庁レーダーと NHM を用いた後方流跡線解析を行い, 気象庁レーダーを用いた際の地上降水量推定の可能性を検討した. 解析降水強度の（技大）の分布から, 正しく降水が推定できていると考えられる垂直一様分布は降水事例の約 7 割であった. 解析降水量（気象庁）よりも解析降水量（技大）の方が高精度ではあるものの, 解析降水量（気象庁）も地上降水量の推定は可能であると考えられる. また, 垂直一様分布の事例に限定することでより相関係数が大きくなり, 高精度な推定が可能となる.

参考文献

- 1) 覺道由郎 (2023) : レーダー降水量を用いた後方流跡線解析による短時間間隔降雪水量の推定, 長岡技術科学大学大学院修士論文, 96pp.
- 2) 気象庁 : 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>