

気象庁メソ数値予報モデルと気象庁全国合成レーダーで得られる気象データを用いた 後方流跡線解析による地上固体降水量推定の検討

長岡技術科学大学 工学専攻環境社会基盤工学分野 非会員 ○吉田ありさ
長岡技術科学大学 環境社会基盤系 正会員 熊倉俊郎
古野電気株式会社 非会員 中島大岳・早野真理子
防災科学技術研究所雪氷防災研究センター 非会員 本吉弘岐・中井専人

1. はじめに

降雪の予報において主に使用されている手段として気象レーダーがあるが、気象レーダーによる降雪の観測は、上空から地上に落下する間に風の影響を受けるため、観測した座標の直下の降水量と一致するとは限らないという問題がある。風の影響を考慮した降水量を取得するための解析手法として後方流跡線解析がある。後方流跡線解析は座標を任意に設定でき、その座標における風の影響を考慮した降水量を取得することができる。例えば道路沿いや河川沿いなどで広域にわたって密な座標を対象に後方流跡線解析を行えば、どこで積雪が多くなるのかがわかり、道路の除雪箇所を計画検討する際に役立てることができる。

3次元風速場を利用した後方流跡線解析の既往研究では、新潟県中越地方を中心とした気象庁非静力学モデル（NHM）の予報値を用いた新潟県中越地方を対象とした後方流跡線解析と、長岡技術科学大学内に設置された気象レーダー（技大レーダー）のデータによる地上降水量推定の検討が行われてきた。また技大レーダーの観測範囲外でも解析を行うために、NHMを用いた後方流跡線解析と日本全土をカバーする気象庁合成レーダーのデータを用いた地上降水量推定が行われ、降水粒子の種別判別を行って適切な落下速度で後方流跡線解析を行うことで、日本全土をカバーする気象庁合成レーダーのデータを用いた地上降水量の推定の可能性が示された¹⁾。また、技大レーダーより高高度を観測している気象庁合成レーダーのデータを用いることで、約30分前に地上に落下する固体降水が予測できるという利点もあった。

以上を踏まえ、本研究では広域での地上降水量推定を行うため、日本全土をカバーする気象庁メソ数値予報モデル（MSM）の予報値を使用して後方流跡線解析を行うためのMSM予報値の後方流跡線への内挿方法の検討、およびMSM予報値を使用した場合と中越地方を対象としたNHM予報値を使用した場合の後方流跡線の軌道の違いを調べることにした。

2. 使用データ

本研究では気象庁メソ数値予報モデル（MSM）による数値予報予報値を用いた後方流跡線解析を行い、技大レーダーのデータを用いて地上固体降水量の推定を行う。比較するために、

気象研究所非静力学メソスケールモデル

（NHM）を用いて同期間の後方流跡線解析を行い、同様に技大レーダーのデータを用いて地上固体降水量の推定を行う。また地上降水量との比較のために、AMeDASの地上降水量の10分間観測値を使用する。

2-1. MSM

気象庁が公表しているMSM予報値を使用する。MSMは日本とその近海の領域を、地上面データは5kmメッシュ、気圧面データは10kmメッシュで計算した数値予報モデルによる予報値で、1日8回（3時間ごと）、78時間先（00, 12UTC初期値のみ）または39時間先までの予測計算を行っており、最大3日程度先の大雨や暴風などの災害をもたらす現象を予測することを主要な目的に運用されている。地上面データの風ベクトルは地上10m、気温と相対湿度は地上1.5mで計算している。気圧面データは1000, 975, 950, 925, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100（hPa）ごとに予報値を計算している。MSMの概要を表1に示す。

表1 MSMの概要

	地上面MSM-S	気圧面MSM-P
空間解像度	5km（経度0.0625度×緯度0.05度）	10km（経度0.125度×緯度0.1度）
格子数	経度481×緯度505	経度253×緯度241
鉛直層数	地表面1層	等圧面16層
出力時間間隔	1時間	3時間
要素	海面更正気圧、地上気圧、東西風、南北風、気温、上層雲量、中層雲量、下層雲量、全雲量	ジオポテンシャル高度、東西風、南北風、気温、鉛直流、相対湿度(300hPaまで)

2-2. NHM

防災科学技術研究所雪氷防災研究センターより提供を受けた、新潟県中越地方を中心として計算されたNHM予報値を使用する。このNHMデータは1日に2回、1回で36時間の予報値が算出される。計算開始初期はモデル内の気象場が境界値になじむまでの時間があるため、NHMの予報された最初の3時間を除いた12時間ごとに連続的に結合したものを使用した。NHMの概要を表

2に示す。

表 2 NHM の概要

	NHM
空間解像度	1.5km
格子数	経度320×緯度240
鉛直層数	50 (不平等間隔標高10~14900m)
出力時間間隔	1時間
要素	東西風, 南北風

2-3. 技大レーダー

長岡技術科学大学環境システム棟の屋上（経度：138.77819，緯度：37.42318，標高：88.9m）に設置された古野電気株式会社製の MP レーダーが観測したデータを使用する。レーダーは2分おきに降水強度（mm/h）を観測している。

2-4. 気象庁合成レーダー

気象研究コンソーシアムより提供を受けた，気象庁が保有する全国 20 台の気象レーダーで観測された高度 2000m 付近の降水強度のデータを合成したもので，データの時間間隔は 10 分毎である。

3. 方法

3-1. 対象期間

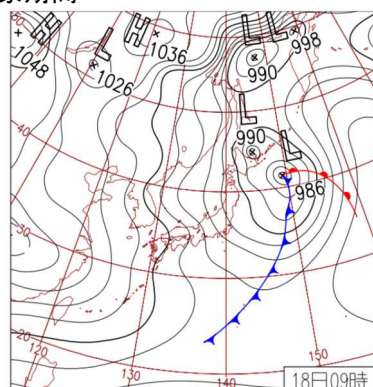


図 1 2022 年 12 月 18 日 9 時の天気図

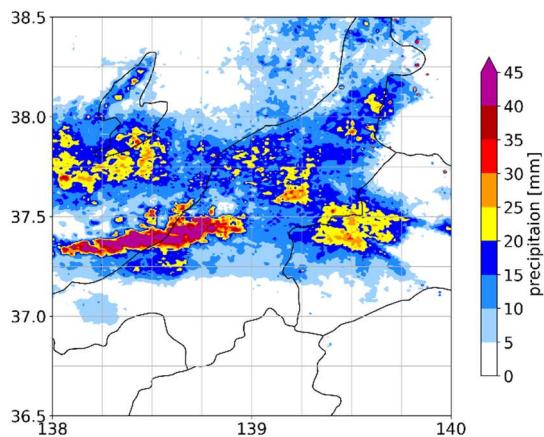


図 2 気象庁合成レーダーの 1 時間降水量
(2022 年 12 月 18 日 20 時)

対象期間は 2022 年 12 月 18 日とした。対象期間の天気図を図 1 に示す。2022 年 12 月 18 日から 19 日にかけて冬型の気圧配置となり，上空に強い寒気が流れ込んだため，新潟県の下越と中越を中心に記録的な大雪となった。この大雪により国道 8 号や 17 号など各地で立ち往生や渋滞が発生し，また関越自動車道をはじめとした新潟県内の高速道路が通行止め，公共交通機関が運休となり，生活活動や経済活動に多大な影響を及ぼした。

対象期間で降水が多かった 12 月 18 日 20 時の，気象庁合成レーダーで測定した 1 時間降水量を図 2 に示す。図 2 に見られるように新潟県全域にかけて降水が見られ，強いところでは 20~35mm となっている。MSM 予報値でも同時刻，中越地方を中心に最大 15mm/h 程度の強い降水が見られ，また日本海側から越後山脈に向かって北西風が吹いている様子が捉えられていた。

3-2. 後方流跡線解析

AMeDAS 長岡を流跡線の起点として，MSM と NHM のデータから 3 次元座標，東西および南北風速ベクトル，気温，湿度を内挿し，10 分毎に解析を開始し，気象庁合成レーダーの観測高度である上空 2000m に到達するまで 10 秒毎に座標の計算を行って後方流跡線を作成した。後方流跡線は流跡線を遡って追跡する起点の 3 次元座標（緯度，経度，高度）とその地点の風速ベクトル，気温，湿度を内挿する。地形データは MSM の内挿では，MSM に格子間隔 5km の地表ジオポテンシャル高度（m），NHM の内挿では NHM で使用されている格子間隔 1.5km の標高（m）を使用した。気象データは MSM の内挿では東西および南北風速ベクトル u ， v （m/s），気温（℃），相対湿度（％）の MSM 予報値を使用した。NHM のデータは，予測値として提供されている水蒸気の比湿と気圧から水蒸気圧を算出し，さらに温位と気圧から算出した気温（℃）を用いて Tetens の式より飽和水蒸気圧を求め，これらから相対湿度（％）を求めた。NHM の内挿では，このように求めた気温および相対湿度と，東西および南北風速ベクトル u ， v （m/s）の予測値を使用した。

MSM 予報値の後方流跡線への内挿方法については，内挿する 3 次元座標（以後，内挿地点とする）の高度および各気象データを次のように近似して求めた。まず内挿地点の緯度経度を囲む MSM 上の 4 つの格子点のジオポテンシャル高度と各気象データをそれぞれ線形近似し，4 格子点の内挿地点の高度に対応する高度の各データを求め，それらを内挿地点の座標と 4 格子点の座標の位置関係から双線形補間を行うことで，三次元的に補間を行って求めた値を内挿した。

後方流跡線の起点および後方流跡線で遡った点

の高度の内挿例として、本研究で流跡線の起点とした AMeDAS 長岡の地表ジオポテンシャル高度の計算に使用した AMeDAS 長岡を囲む MSM 上の 4 格子点の座標情報を表 3 に示す。

表 3 AMeDAS 長岡と MSM の 4 格子点の座標

	経度	緯度	地表ジオポテンシャル 高度(m)
P1	138.8125	37.5	51.17
P2	138.875	37.5	59.79
P3	138.8125	37.45	74.43
P4	138.875	37.45	119.47
起点 (AMeDAS長岡)	138.8233	37.45	82.21

また、MSM と NHM それぞれで作成した後方流跡線と技大レーダーの解析降水強度を使用して、20 時から 21 時までの期間で 10 分毎に、レーダー仰角 (3° , 6° , 9.5° , 14.3° , 21°) 毎のレーダーと流跡線の交点のレーダー降水強度 (mm/h) を推定した。

4. 結果と考察

2022 年 12 月 18 日 20 時 00 分から 21 時 00 分までの 1 時間を対象に MSM と NHM それぞれのデータを内挿して、10 分おきに計算を開始させて 7 回ずつ後方流跡線解析を行った。描画した後方流跡線と上空 2000m に到達するまでの高度の時系列変化を図 3~4 に、MSM と NHM それぞれのデータを内挿した後方流跡線と技大レーダーのデータから解析された降水強度を用いて計算したレーダー仰角毎の降水強度を図 6~7 に示す。

図 3 の MSM を内挿した後方流跡線は、起点付近で滑らかに収束しており、起点から西南西へと伸びている。一部の流跡線は起点近くで北東側へと迂回する軌道を示した。この流跡線は 12 月 18 日 20 時 00 分~21 時 00 分の期間で 10 分毎に計算した 7 本の流跡線の内、1 番目の 20 時 00 分から計算を開始させた流跡線であった。高度変化については、地表面から 2000 m 付近まで、時間の経過に伴い一定の傾斜でスムーズに上昇していることが確認できた。2000m 到達までの時間は 32 分 00 秒、移動距離は約 25~28km であった。

図 4 の NHM を内挿した後方流跡線は、起点付近からそれぞれの流跡線で比較的南北方向に幅があり、起点から北西へまっすぐ伸びる流跡線と、起点からやや南西へカーブした後北西へ伸びる流跡線が見られた。流跡線の終了点(2000m 到達点)は MSM より西側に位置している。高度変化については、MSM と同様に地表面から 2000m へと時間の経過に伴い一定の傾斜でスムーズに上昇しており、2000m 到達までの時間は 32 分 50 秒、移動距離は約 33~35km であった。

MSM と NHM の解析結果を総合すると、本期間において上空約 2000m に位置していた降水粒

子は、上層の西風に乗って約 32~33 分かけて地上付近へ到達したと考えられる。MSM と NHM の流跡線の終了点である 2000m 到達点の座標には約 6~8 km の差があり、NHM の方が起点からより遠くまで遡っていた。また、図 5 の 20 時 00 分の MSM で解析された風速ベクトルを見ると、日本海から陸地に向かって北西から強い風が吹き込んでいて、AMeDAS 長岡付近に向かって日本海からの北風と比較的弱い西風が吹いていることがわかった。

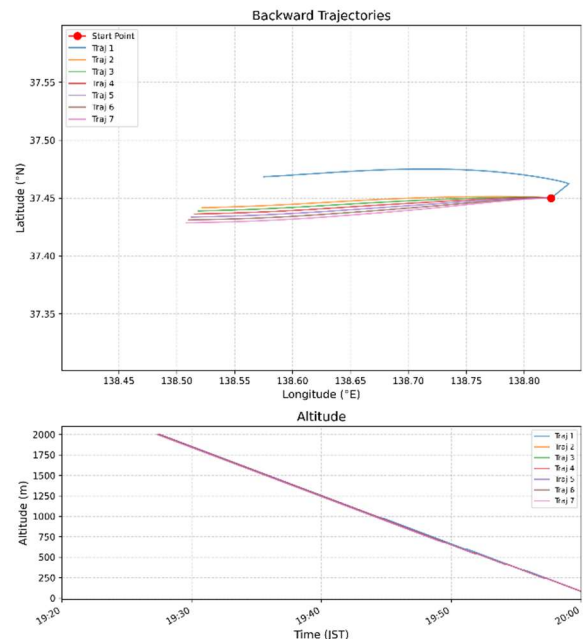


図 3 MSM 内挿による後方流跡線と高度の時間変化

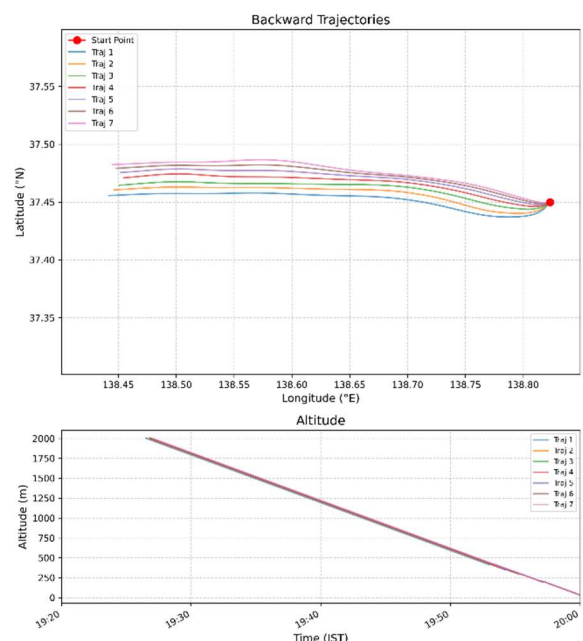


図 4 NHM 内挿による後方流跡線と高度の時間変化

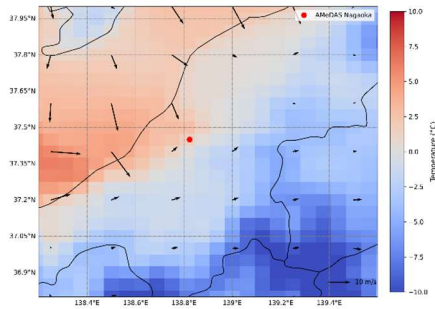


図5 MSMによる地上1.5mの気温と風速ベクトル
(2022年12月18日20時)

MSM を内挿した後方流跡線によるレーダー降水強度は図6に示すように、全ての仰角において20:40にピークを示した。ピーク時の降水強度は仰角14.3°と21°で8~9mm/h、仰角3°、6°、9.5°で約12mm/hと非常に強い降水強度を示した。低い仰角ほど降水強度を強く計算する傾向が見られた。

NHM を内挿した後方流跡線によるレーダー降水強度は図7に示すように、多くの仰角で20時50分に最も大きいピークが見られた。20時50分の降水強度は仰角3°が約10mm/hと最も強く、仰角が高くなるにつれ降水強度は約2mm/hずつ弱くなっていた。

MSM を内挿した場合と NHM を内挿した場合のピーク時の降水強度の違いについて、MSM は水平解像度が約5kmとNHMと比較して粗いため、ピーク時の降水を過大評価しやすくなったと考えられる。また今回解析を行った期間では、MSM を内挿した場合の方がNHMを内挿した場合より10分早く降水強度がピークに到達していた。上空2000mに到達するまでの時間はMSMが32分、NHMが33分50秒とわずか50秒の差であったため、NHMの風速がMSMと比べて強く計算されたことによる流跡線の座標の差が原因ではないかと考える。図8に示す2022年12月18日20時から21時までのAMeDAS長岡の地上降水量の10分観測値によると、地上では20時20分から降水量が増え始め20時40分に一度1.5mmのピークを迎え、20時50分に一度1mmと下がり21時00分に再び1.5mmとなっていた。本研究の20時から21時までの1時間で行った後方流跡線解析では21時00分は解析終了点であるためMSM、NHMともに降水強度は弱く表れていると考えられる。そのため図6、7に見られる降水ピークはAMeDAS地上観測データの20時40分の降水ピークを捉えたものと思われる。

5. まとめ

MSM および NHM による3次元風速場情報を用いて、AMeDAS 長岡を起点に地上から上空2000mに向かって後方流跡線を描画し、得られた後方流跡線と技大レーダーデータを使用して解析

された降水強度から AMeDAS 長岡の地上降水量を推定した。その結果、上空約2000mに位置していた降水粒子が、上層の西風に乗って約30~38分かけて地上付近へ到達する様子が確認できた。このことから今後の展望として、約2000m上空を観測している気象庁合成レーダーのデータを用いることで、地上に落下する固体降水を約30分前には予測できる可能性があると考えられる。今後は長期間を解析対象に、MSMの3次元風速場情報と気象庁合成レーダーの降水強度を用いて後方流跡線解析を行い、約30分前の広域地上降水量推定について研究を行う予定である。

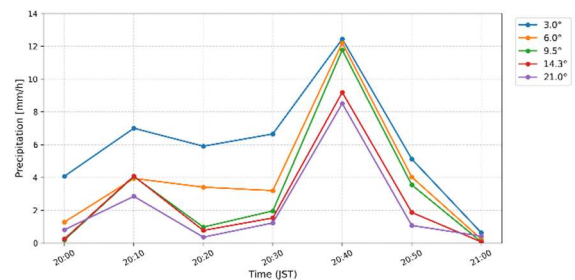


図6 MSM内挿によるレーダー仰角毎の降水強度

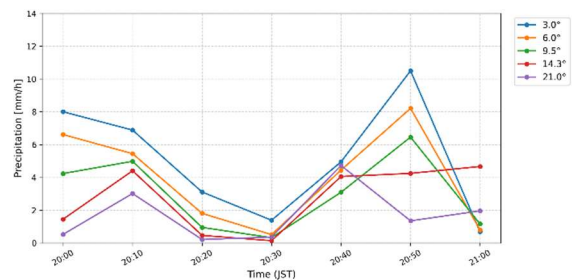


図7 NHM内挿によるレーダー仰角毎の降水強度

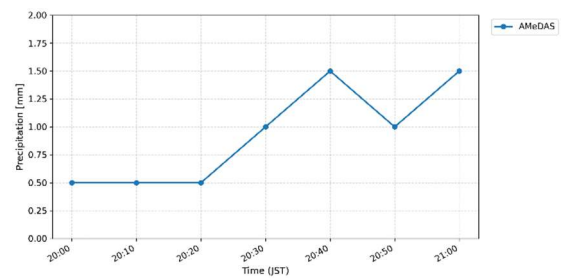


図8 AMeDAS 地上降水量

参考文献

- 1) 武田大和, 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, 長岡技術科学大学大学院修士論文, 2025
- 2) 小野大樹, 後方流跡線の移動距離による広域地上降水量推定の評価, 長岡技術科学大学大学院修士論文, 2025
- 3) 気象庁, 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/stats/ctrn/>