

上空で測定されたレーダー降水量と3次元風速場を用いた雪片の地上到達降水量の推定

長岡技術科学大学 ○ 古橋知季 長岡技術科学大学 正会員 熊倉俊郎
古野電気株式会社 早野真理子 古野電気株式会社 中島大岳
国立研究開発法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 本吉弘岐
国立研究開発法人 防災科学技術研究所 雪氷防災研究センター 中井専人

1. はじめに

狭領域内で集中的な降雪があった地域では、交通障害や農地被害、生活への影響などといった重大な雪氷災害に発展する恐れがある。このような災害に備え、国土交通省が運用する XRAIN 等に代表されるマルチパラメータ(MP)レーダーをはじめとして、全国各地でレーダー観測網の整備が進められているのであるが、レーダーによる降雪の観測は降雨の観測に比べてまだ学術的な諸問題を抱えている。例として、仮に高度 2000 m から $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の速度で落下してくる粒子が、常にある方角から $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の横風を受け続けた時、落下してくる粒子は落下開始地点を地表面に垂直投影した地点から単純計算で 20 km 以上も離れた地点に落下することとなる。つまり雪片などに代表される固体降水粒子は一般的な降雨や雹、あられ等に比べて質量が小さい。これが上空の風などによって流され、遠方の地表面へ到達する可能性が高いため、今日においてインターネットなどで日常的に提供されているレーダー観測による降水量の情報を、そのまま地上の降水量として地上へ垂直投影することができないという問題点がある。

これらの気象レーダーにおける固体降水の観測に関する学術的な問題を解決するには、レーダーで観測された固体降水粒子が風の影響を受け、どのような挙動で地上へ落下していくかを解析する必要がある。ここでは新潟県長岡市の長岡技術科学大学(以下、技大)に設置した MP レーダーで観測されたレーダーデータおよび、気象庁の非静力学モデル(以下、NHM)を用いた固体降水の後方流跡線解析による降水量の推定を行い、アメダスでの実測降水量と結果の比較を行った。

2. 使用機器・データ

2. 1. MP レーダーデータ

本研究で用いた MP レーダーは技大の環境システ

ム棟屋上(経度:138.77819°, 緯度:37.42318°, 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(以下、技大レーダー)である。サイト周辺の空間的な情報を集めるため、仰角は、3°, 6°, 9.5°, 14.3°, 21°, 31°, 44°, 58°, 73°となっており、各仰角を2分ごとにスキャンしている。また、レーダーデータを可視化するソフトウェアも同様に提供されているが、本ソフト上ではレーダーデータの可視化のみが可能であるため、レーダーデータ内の任意の座標における降水強度 $R[\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}]$ を参照できる環境を構築した。

2. 2. 非静力学モデル

固体降水粒子はレーダーで観測されてから地上へ落下するまでの間に、風などによって粒子が流される現象(以下、移流)が生じると考えられるが、これらの現象を確認するためには、レーダーで観測された固体降水粒子が地上へ到達するまでに、上空の風の影響をどれほど受け、その結果、どのような落下挙動をとって地表面へ到達したのかを確認する必要がある。そのため、本研究では NHM で計算された東西および南北風速ベクトルの予報結果を用いて後方流跡線解析を行い、これらの固体降水粒子が上空から地

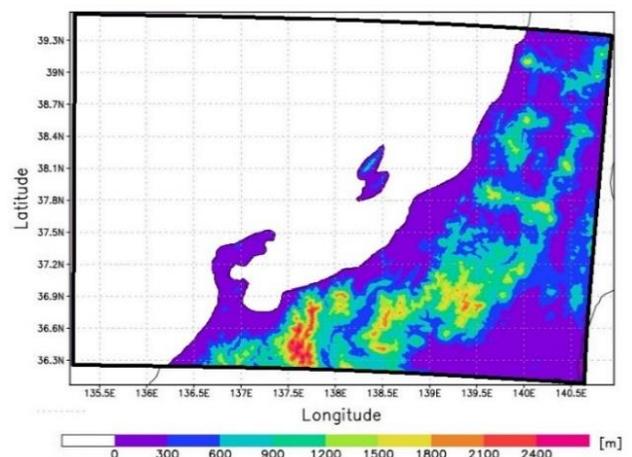


図-1 NHM 計算領域全景図(標高)

表面に落下するまでの落下挙動解析を行う。

NHMは気象庁が気象研究所とともに開発したメソ数値予報モデルであり、本研究では雪氷防災研究センターより提供をうけた、**図-1**に示す新潟県中越地方を中心とする、北陸の全体、関東および東北の一部を範囲として計算されたデータを使用する。解析へ利用するにあたって、本データは1グリッド1.5 km四方とし、320×240のグリッドで**図-1**の計算範囲を設定し、標高10 mから14100 mまでを50層に分け、1時間毎の瞬間の東西風速ベクトル u および南北風速ベクトル v が記録されている。なお、このNHMデータは1日に2回かつ、1回で36時間の予報値が算出されるが、計算開始初期において「モデル内の気象場が境界値になじむまでの時間」があることを考慮し、最初の3時間を除外したデータを連続的に結合して解析を行った。

2. 3. アメダス

技大レーダーで測定された降水量とNHMの3次元風速場を用いた雪片の地上到達降水量の推定結果とを比較する必要がある。技大レーダーのビームについては、最低仰角の3°でもおおよそ半径70 kmほどの観測可能距離があるため、このレーダービームの範囲内に点在している新潟県中越地方および下越地方の気象庁アメダス観測点で取得された降水量および地上気温の10分値を参照することとした。

3. 観測・手法

3. 1. 降水の雨雪判別

標準大気の大気圏における気温減率を100 mあたり0.65°Cとした場合、アメダスとレーダービーム間の垂直高度が最も低い長岡アメダスであっても、地上気温が2°Cであれば、長岡アメダスの上空300 m(仰角3°レーダービーム付近)では気温が0°C以下であると考えられる。よって、本研究ではアメダス観測点での地上気温が2°Cを下回った場合にレーダーで観測された降水をすべて固体降水とし、かつ地表面に到達するまで固体降水の形状を維持しているものと仮定して解析を行った。そのため、アメダスにおける地上気温の実測値が2°C以上の時に観測された降水量は固体降水ではないと判断し、解析結果から除外した。

3. 2. 後方流跡線解析

降雪が移流の影響を受けると考えた場合、その固体降水粒子は風によってどのような落下挙動をたどりながら地上に到達するのかを解析する必要がある。しかしながら、実際に固体降水の落下挙動を上空から地表面に向けて解析する方法を採る場合、レーダー観測された降水の落下挙動をすべて一斉に解析し、さらにその中から地上の観測施設に到達した流跡線を探さなければならないため非常に効率が悪い。そのため、ここでは前項の後方直線解析に加えて、NHMデータに内挿されている東西風速ベクトルと南北風速ベクトルおよび、高度と時刻のデータをそれぞれ線形補間し、 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で落下する固体降水粒子の挙動を1分ごとに地上から上空に向かって解析した。この方法を用いて後方流跡線を描画し、最終的に流跡線がレーダービームと交差した時刻および座標に対応するレーダー観測降水量を、移流の影響を受けながらアメダス観測点に落下した固体降水量とみなして解析を行った。

3. 3. アメダス実測降水量との比較

以上のような手法を用いて、東西風速ベクトルおよび南北風速ベクトルを線形補間して求めた後方流跡線解析による固体降水量を各アメダスの実測降水量と比較する。なお、仰角3°のレーダーデータの観測インターバルはおおよそ2分ごとなのに対し、アメダスの降水量データは10分のインターバルで取得

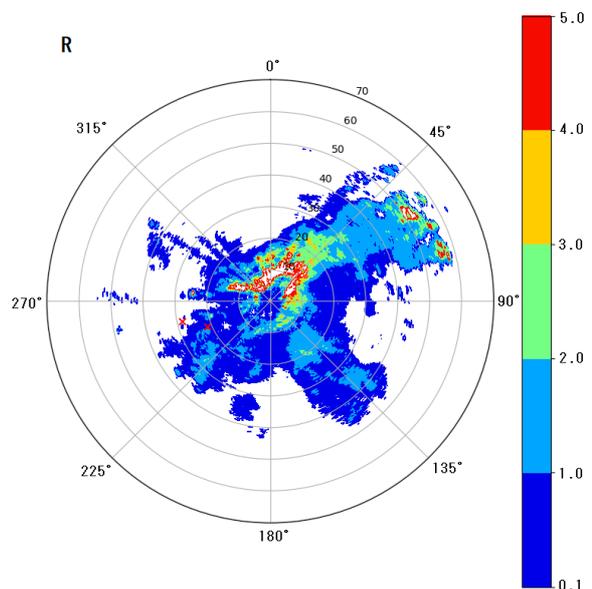


図-2 2月8日午前3時のレーダー実況図

されている。それぞれアメダス降水量の観測時刻から後方流跡線解析を行い、仰角 3° のレーダービームに流跡線が交差した時刻に最も近いレーダーデータを参照して算出した。また、レーダーデータについては図-2のように降水強度 $R[\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}]$ として取得されているため、これを 6 で除した値を流跡線解析による地表面の 10 分間推定降水量とし、さらにこれを足し合わせて 1 時間の推定降水量とした。アメダスについても 10 分降水量を足し合わせて 1 時間値にしたものを用いて、それぞれを比較した。

4. 結果と考察

図-3に 2020 年 2 月 8 日の天気図を示す。この日は等圧線が日本海の沿岸部に対して平行な形をしている典型的な里雪型の気圧配置である。そのため、県内各地の地上平均風速は $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \sim 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ と弱い。中越地方の平野部を中心に $15 \text{ mm} \sim 25 \text{ mm}$ の日降水量を記録し、対象のほぼ全てのアメダス地点の日平均気温も 0°C 付近を観測していたため、今回の解析では 2020 年 2 月 8 日 0 時 10 分から 2 月 9 日 0 時 0 分までの 24 時間を解析対象期間とした。

図-4は長岡アメダスおよび柏崎アメダス地点における 2 月 8 日の地上気温の概況である。赤実線が長岡アメダス、黒破線が柏崎アメダスであり、それぞれ縦軸を地上気温 $[\text{C}]$ 、横軸を時刻として、2 月 8 日における各アメダスの地上気温の 10 分値を示した。長岡アメダスについては 1 日を通して 2 度から氷点下を記録しているが、柏崎については午前 2 時～5 時および 11 時から 12 時の地上気温が 2°C を上回っているため、この時間帯の降水量は固体降水ではないと仮定して結果から除外している。図-5は 2 月 8 日 3 時 40 分の柏崎アメダスから 3 時 15 分に高度 1500 m の仰角 3° のレーダービームに交差した流跡線である。図中の黒点が柏崎アメダス点、図中の赤点が高度 1500 m において、レーダービームと交差した点である。流跡線は海上の西風を受けて北側へ大きく迂回しながら、地上の柏崎アメダスへ高度ごとの風速ベクトルに沿って流跡線を描いていることがわかる。これらの流跡線を用いて、図-6では 2 月 8 日における長岡アメダスでの後方流跡線による推定降水量とアメダス実測値を比較した図である。図中の黒実線が長岡アメダスの実測値、黒破線が長岡アメダス直

上のレーダー降水量、赤実線は風の移流を考慮した推定降水量である。長岡アメダス実測降水量と推定降水量とを比較すると、終日を通して推定降水量とアメダス実測降水量に大きな差が生じていることがわかる。後方流跡線解析で推定した降水量と、アメダス直上のレーダー降水量はほとんどの時間で同じような降水量を観測していることがわかる。原因として、長岡アメダスについては、技大レーダーと直線距離で 5 km ほどしか離れていないため、レーダービームそのもの高度が低く、わずか数分で流跡線とレーダービームが交差しており、風による移流を考慮しても、実際はレーダー観測による降水量を地表面に垂直投影したものとほぼ同じような状態となってしまう、アメダス実測値と異なる値が出ているものと考えられる。

5. おわりに

風を受けて遠方へ流された固体降水が地上へ到達したときの降水量の推定を行うために、レーダー降水量と NHM の 3 次元風速場情報を用いて、地上から上空に向けて流跡線を描画し、柏崎アメダスにおける流跡線の描画状況および、長岡アメダスにおける地上降水量の推定を行った。長岡アメダスの降水量推定については、アメダスとレーダービームの間の高度が低いため、移流を考慮した推定降水量とアメダス直上のレーダー降水量がほぼ一致する結果となった。今後の展望として、より高高度での流跡線描画と、より強風下での固体降水量の推定を行う予定である。

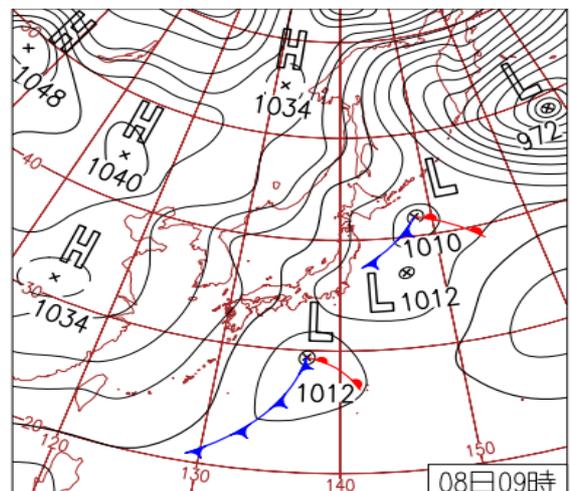


図-3 2020 年 2 月 8 日の天気図 (気象庁)

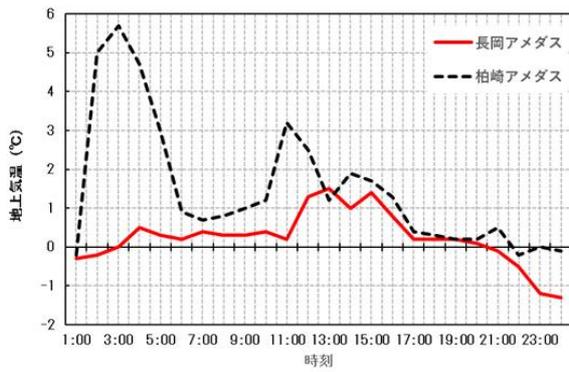


図-4 2月8日における地上気温の概況

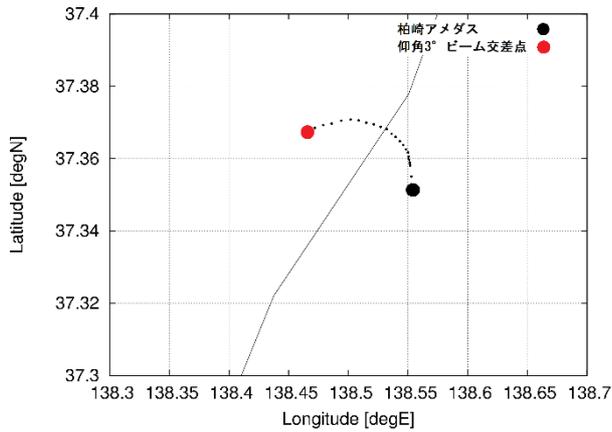


図-5 2020年2月8日の
柏崎アメダスにおける流跡線解析結果

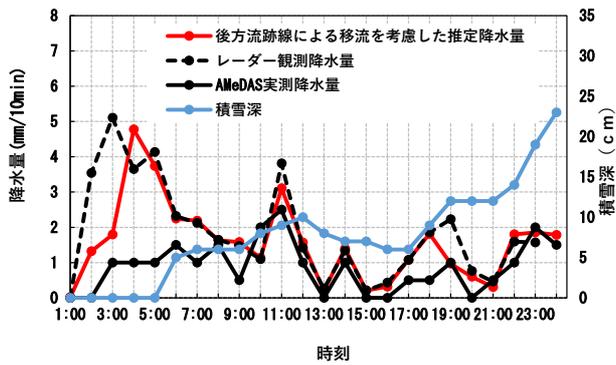


図-6 2月8日の長岡アメダスにおける
推定固体降水量とアメダス実測値との比較

参考文献

- 1) 鈴木貴博：地上観測結果を用いた偏波レーダーによる降水粒子判別の検証，長岡技術科学大学修士論文，2018.