XバンドMPレーダを用いた吹雪検知の 可能性について -レーダデータと地上観測結果の比較-

国立研究開発法人	土木研究所	寒地土木研究所	雪氷チーム	〇大宮	哲
	同		國分	徹哉	
	同上			松澤	勝

吹雪の発生有無を面的かつリアルタイムに把握することは、暴風雪被害を軽減するうえで重要である。本研究の目的は、XバンドMPレーダデータを用いた吹雪検知の可能性について明らかにすることである。本報ではその前段として、北海道内で大雪となりやすい「冬型気圧配置」、「低気圧の移動」、「石狩湾小低気圧」の3パターンの降雪事例のほか、札幌では50年ぶりに12月の積雪深が90cmを超えた2016年12月22~23日の降雪事例について、XバンドMPレーダデータと地上降雪観測結果を比較した。

キーワード:災害情報、危機管理、雪氷災害

1. はじめに

近年、急激に発達した低気圧によってもたらされる暴 風雪による雪氷災害の発生が散見される^{10.2など}。暴風雪 の特徴の1つに、発生の局地性と突発性が挙げられる。 それゆえ、吹雪の発生有無を面的かつリアルタイムに把 握することは、暴風雪被害を軽減するうえで重要であり、 道路管理のみならず、一般ドライバーの行動判断を支援 する際にも有用である。

国土交通省は、近年多発傾向にある集中豪雨や局所的 豪雨の監視体制強化を目的に、従来の気象レーダである Cバンドレーダ(以下、Cバンド)に加え、2008年よりX バンドMPレーダ(以下、X-MP)の配備を全国的に進めて きた。X-MPは従来のCバンドに比べて解像度が高く(Cバ ンド:1kmメッシュ、X-MP:250mメッシュ)、情報提供ま での時間も短い(Cバンド:5分、X-MP:1分)ため、局地 的かつ突発的な豪雨を観測するうえで非常に有用な観測 手段として定着している。

図1に、CバンドおよびX-MPによって観測された降水 強度の一例を示す。この図からも明らかなように、X-MP はCバンドよりもきめ細かな情報を提供することができ、 またCバンドでは観測されない強雨についても観測でき ていることが分かる。

北海道では、集中豪雨災害もさることながら、吹雪に 伴う雪氷災害が毎年発生している。本研究の目的は、北 広島市および石狩市に既設の2台のX-MPによる観測デー タを用いた吹雪検知の可能性について明らかにすること である。本報では、吹雪検知の可能性を探るための前段 として、X-MPによって観測されたレーダ雨量と、その直下における地上降雪量(水量換算値)の比較結果について報告する。



図1 Cバンドと X-MP による降水強度観測結果の比較

2. 降雪観測における現状の課題

X-MP観測における課題

X-MPは従来のCバンドと異なり、2種類の電波(水平偏 波と垂直偏波)を用いている。X-MPの最大の特長は、落 下中の雨滴の扁平量から雨滴の大きさを正確に把握する ことであり、降水強度を精度良く計測できることである。 しかしながら、降雪粒子は気象条件の違いによってあら れや雪片、みぞれなど様々な状態に変化するため、降雪 粒子の形状や密度も様々である。それゆえ、X-MPを用い た降雪の観測精度については課題点が多く残されており、 その研究例も少ないのが現状である^{3.4など}。

(2) 地上観測における課題

X-MPによる降雪観測値の精度を把握するうえで地上観 測値との比較は必須であるが、地上においても降雪を正 確に計測することは容易でない。一般的な降雪物理量と して「降雪量」および「降雪強度」が挙げられる。降雪 量は"一定時間内に新しく降り積もった雪の深さ"と定 義されており、現在気象庁では、積雪深計を用いて計測 された時間積雪深差を時間降雪量としている。しかし、 実際は雪が降っている場合でも、強風による吹き払い効 果や積雪自身の圧密沈降効果によって積雪深が増加しな かった場合には、時間降雪量がゼロとして記録される。

また、降雪強度は"単位時間・単位面積に降った雪の 重さに等しい水の深さ"として定義づけられており、ア メダス等の一般的な気象官署では、転倒ますタイプの雨 量計が用いられることが多い⁵⁰。しかし、降雪粒子は降 水粒子よりも風の影響を受けやすく、雨量計の受水口に 対する捕捉率は強風時ほど大きく低下する^{6,7など}。その ため、多くの場合には本来の降雪強度を過小評価してい るケースが多い。なお、観測誤差の補正処理方法など、 実測値を真値に近づけるための試みが国内外の研究機関 において行われているが、その内容については割愛す る。詳しくは参考文献 8)~11)を参照されたい。

3. 研究方法

(1) 研究実施イメージおよび地上観測サイト

本研究の実施イメージを図2に記す。ここでは、X-MP 観測により得られる上空の情報(レーダ雨量、ドップラ ー速度など)と、地上における各種気象観測結果(降雪 強度、風向風速、吹雪量など)の関係を比較・解析し、 X-MPデータから地上現象を説明するための方策について 検討する。なお、地上観測は当研究所が所有する石狩吹 雪実験場にて実施した。本実験場は札幌市中心部より北 方に約17km、X-MP石狩局の東方約5kmに位置し、北海道 内においても有数の吹雪頻発エリアにある。図3に、2基 のX-MP(北広島局・石狩局)および石狩吹雪実験場の位 置関係を記す。



図2本研究の実施イメージ



図3 2基の X-MP および石狩吹雪実験場の位置関係

使用したX-MPデータ

地上観測との比較には、北海道開発局より提供いただいたX-MPデータのほか、地球環境情報統融合プログラム (DIAS)¹²⁾よりダウンロードしたX-MPデータを使用した。 なお、降雪観測結果の比較には、石狩吹雪実験場の直上のレーダ雨量データを用いている。

(3) 降雪観測の方法

地上降雪観測には、二重の防風柵 (Double Fence Intercomparison Reference,以下、DFIR) 内に設置した 重量式降水量計を使用した¹³。DFIRは、国連の世界気象 機関(WMO)が推奨する基準の防風柵であり、DFIRによる 計測値に対して補正式⁷⁾を適用して換算した値を真値と みなしてよいとしている。図4および図5に、石狩吹雪実 験場内に設置してあるDFIRの外観および平面図を示す。



図4 DFIR の外観



DFIR はサイズの異なる正八角形の防風柵(外側柵・ 内側柵の対角長はそれぞれ12.0m、4.0m)からなり、中 央部に降水量計が設置されている。外側柵・内側柵とも に長さ1.5mの板からなり、柵部分の空隙率は50%、内側 柵の上端と降水量計の受水口が等しい高さになるように 設置されてある。なお、図4に示すDFIRの高さは、外側 柵が4.0m、内側柵が3.5mである。本観測で使用した重量 式降水量計を図6に示す。この計測原理は、不凍液が入 れられた貯留バケツ内に雪粒子が取り込まれた際の重量 増加を計測し、水量に換算するものである。一般的な転 倒ますタイプの計測分解能(0.5mm)に比べ高分解能であ る(0.1mm以下)ため、高精度な降水観測が可能である。 以後、特に断りのない限り、「地上降雪量」はDFIRによ る計測値に補正式"を適用して求めた真値(水量換算値) のことを示す。



図6 重量式降水量計の外観(左)と 貯留バケツの様子(右)

4. 結果と考察

本報では、北海道内で大雪となることが多い以下の3 パターンのほか、札幌では50年ぶりに12月の積雪が90cm を超えた2016年12月22~23日の降雪事例についての比較 結果を示す。

- (1) 冬型気圧配置
- (2) 低気圧の移動
- (3) 石狩湾小低気圧

(1) 冬型気圧配置

冬型気圧配置時の例として、2015年12月27日および 2016年1月7日の事例について示す。両日の9:00における 地上天気図¹⁴を図7に示す。両日とも典型的な西高東低 の気圧配置を示していたことが確認できる。



(左: 2015年12月27日、右: 2016年1月7日)

それぞれの事例について、地上降雪量とレーダ雨量の 10分間値の比較結果を示す(図8、図9)。図中には高度 10mにおける前10分間平均風速および最頻風向(16方位) についても付記してある。両事例とも、常時西寄りの強 風が吹き続けていた。なお、図中には示していないが、 両事例とも気温は常に氷点下であった。降雪開始時の降 雪検知タイミングは、12月27日の事例ではレーダの方が 約1時間ほど早かった(0:00頃)。一方、1月7日の事例で は両者ともほぼ一致していた。降雪開始からの降水量の 変化傾向やピーク時刻は両事例とも概ね一致していた。 しかし量的には差異が見られ、レーダ雨量は地上降雪量 を過大評価する傾向があった。



(2) 低気圧の移動

低気圧移動時の例として、2016年2月20日~21日の事 例について示す。両日の9:00における地上天気図¹⁴を図 10に示す。この事例は典型的な南岸低気圧であり、20日 から21日にかけて本州南岸を低気圧が急激に発達しなが ら北東進した。



図10低気圧移動時の地上天気図14 (左: 2016年2月20日、右: 翌21日)

21日09時

この事例における地上降雪量とレーダ雨量の比較結果 を図11に示す。20日23:00頃まで東寄りだった風が、低 気圧の移動に伴い北西寄りへと変化した。また、平均風 速は常に5 m/s以下であった。降雪開始時の降雪検知タ イミングについては、レーダの方が地上よりも約30分ほ ど早かった(21:00頃)。また、降水量のピーク時刻につ いても差異が見られ、レーダの方が早いことが確認され た。量的には冬型気圧配置時と同様、レーダ雨量は地上 降雪量を過大評価する傾向があった。



(3) 石狩湾小低気圧

石狩湾小低気圧とは、冬型気圧配置が緩んだ時に石狩 湾上で発生することが多い低気圧のことである。低気圧 の大きさは10~100kmと小さく、また継続時間も数時間 から半日程度、長くても3日間と短い。また、1~2 hPa 程度の低気圧であるため、一般の天気図には表示されず、 予測が困難であるとされている低気圧である。規模の小 さな低気圧でありながら、局地的に大量の降雪をもたら し、日降雪量は1mを越えることもある¹⁵⁾。石狩湾小低 気圧が発生していた2015年12月30日9:00の地上天気図¹⁴⁾ を図12に示すが、この天気図からは石狩湾上に低気圧の 存在を確認することはできない。一方、図13、図14に示 すGPV気象予報¹⁶⁾における9:00時点の実況図によると、 石狩湾上に明瞭な風の渦が形成されていることが確認さ れ(図13中の黄色の丸部分)、またそれに応じて石狩平 野に帯状降雪雲が入っている。

この事例における地上降雪量とレーダ雨量の比較結果 を図15に示す。この事例においても、降雪開始時の検知 タイミングには差異が見られ、レーダの方が早く降雪を 検知していた(2:00頃)。その一方で、ピーク時刻につい ては概ね一致していた。レーダ雨量と地上降雪量の関係 については、冬型気圧配置時や低気圧移動時とは異なり、 一義的な傾向は確認されなかった。7:00まではレーダ雨 量が地上降雪量を過大評価していた一方で、7:00~9:00 の間は両者の関係が逆転しており、レーダ雨量が地上降 雪量を過小評価していた。



図 12 石狩湾小低気圧発生時の地上天気図¹⁴ (2015 年 12 月 30 日 9:00)



図 13 2015 年 12 月 30 日 9:00 の GPV 気象予報¹⁶⁾ (高度 10m の風向風速)



図 14 2015 年 12 月 30 日 9:00 の GPV 気象予報¹⁶⁾ (降水強度)



(2015年12月30日の石狩湾小低気圧時の事例)

(4) 2016年12月22~23日の降雪事例

2016年12月22日から23日にかけての地上天気図¹⁷を図 16に記す。本事例では、日本海西部の低気圧が発達しな がら北東方向に進み、北海道に接近した。札幌周辺は、 22日の昼頃から23日未明にかけては温暖前線に伴う雪雲 が通過したことにより、また23日明け方から夜遅くにか けては低気圧周辺の雪雲によって大雪に見舞われた。こ の一連の降雪によって、札幌では50年ぶりに12月の積雪 深が90cmを超え、多くの交通機関に影響を与えた。なお、 一連の降雪による積雪深の増加量は、札幌アメダスにて 61cm、石狩アメダスにて41cmであった。



図 16 2016 年 12 月 22 日~23 日の地上天気図 17)

この事例における地上降雪量とレーダ雨量の比較結果 を図17に示す。この結果からも、レーダと地上とでは、 降雪開始時の降雪検知タイミングには差異があることが 確認され、レーダの方が30分ほど早かった(22日10:00 頃)。降水量の変化傾向は概ね一致している一方、その ピーク時刻には差異があり、レーダの方が早いことが確 認された。多くの時間帯においてレーダ雨量は地上降雪 量を過大評価していたが、22日14:00頃~20:00頃におい ては、石狩湾小低気圧時にも見られたように、レーダ雨 量が地上降雪量を過小評価していた。



ー連の事例比較結果により、降雪開始時の降雪検知タ イミングにはレーダと地上とで差異があり、レーダの方 が早く降雪を検知する傾向があること分かった。また、 降水量の変化傾向やピーク時刻については事例ごとに異 なっていた。総じてレーダ雨量は地上降雪量を過大評価 する傾向にあることが確認されたが、逆に過小評価する ケースも見受けられた。

降雪開始時の降雪検知タイミングおよびピーク時刻に 差異をもたらす一因として、降雪粒子落下中の風による 移流効果や、地面到達までのタイムラグ等が考えられる。 また、レーダ雨量と地上降雪量の差異をもたらす一因と しては、降雪種の違いに伴う降雪粒子の密度や形状、落 下速度の違いが考えられる。

5. まとめと課題

XバンドMPレーダデータを用いた吹雪検知の可能性に ついて探るため、その前段として、レーダによる上空観 測結果とその直下における地上観測結果について比較し た。本報では北海道内で大雪となることが多い3パター ン(①冬型気圧配置、②低気圧の移動、③石狩湾小低気 圧)のほか、札幌で12月としては50年ぶりに積雪深90cm 超えを記録した2016年12月22~23日の降雪事例について 比較した。

その結果、多くの事例においてレーダと地上とでは降 雪開始時の降雪検知タイミングに差異があり、レーダの 方がより早く降雪を検知することが確認された。これは すなわち、レーダデータを用いることにより、いち早く 降雪および吹雪発生の予測につなげられることを示唆す るものである。ただし、量的な観測にはまだ多くの課題 が残されている。多くのケースにおいてレーダ雨量は地 上降雪量を過大評価する傾向がある一方で、逆に過小評 価するようなケースがあることも確認された。今後、さ らに多くの事例についてデータを収集・解析することに より、より系統立った傾向を把握する。また、レーダデ ータより上空風と地上風の関係について検討し、落下中 の降雪粒子の水平移流量や降雪粒子が地面に到達するま でのタイムラグを考慮に入れた解析を行う。加えて、レ ーダと地上観測による量的差異の一因について、降雪種 の違いを考慮に入れた解析を行い、その補正方法につい ても検討する。これらにより、XバンドMPレーダを用い た吹雪検知の可能性について明らかにすることを目指す とともに、レーダによる地上降雪量の正確な把握に向け た可能性についても明らかにしたい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、北海道開発局よりXバン ドMPレーダデータを提供していただいた。本誌に記して 謝意を表す。

参考文献

- 1) 松岡ら(2013):北海道の雪氷, 32, 62-65.
- 2) 武知ら(2008):北海道の雪氷, 27, 99-102.
- 3)林ら(2013):水文・水資源学会誌, 27(2), 67-76.
- 4) 板戸ら(2016):雪氷研究大会(2016名古屋)講演予稿 集,246.
- 5) 気象庁HP, 雨量計/障害事例と対策 http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kansoku_ guide/b3.html (2017年1月5日閲覧).
- 6) 横山ら(2003):雪氷, 65, 303-316.
- Goodison et al. (1998): WMO Solid PreCipitation MeasurementInterComparison Final Report, WMO, 212.
- 8) 大野ら(1998):雪氷, 60, 225-231.
- 9) 上野ら(2000):雪氷, 62, 375-383.

- 10) Yang et al. (1993): Proc. Eastern Snow ConferenCe, 50th Meeting, 105-111.
- Goodison et al. (1998): WMO Solid PreCipitation Measurement InterComparison Final Report, WMO, pp. 299.
- 地球環境情報統融合プログラムHP, http://www.diasjp.net/(2017年1月5日閲覧).
- Sevruk(1985): Summary report. Correction of PreCipitation Measurements, Swiss Federal Institute of TeChnology, ZuriCh, 13-23.
- 14) 気象庁IP, 日々の天気図, http://www.data.jma.go.jp/fCd/yoho/hibiten/ (2017年1月5日閲覧)
- 15) 大川(1992):北海道の動気候.北海道大学図書刊 行会,169.
- GPV 気象予報IP, http://weather-gpv.info/ (2017年1月5日閲覧).
- 17) 気象庁HP, 災害をもたらした自然現象, 顕著災害時 の気象速報, http://www.jmanet.go.jp/sapporo/tenki/yohou/saigai/saigai.html