

XバンドMPレーダデータを用いた吹雪検知の可能性

大宮哲*1 國分徹哉*1 松澤勝*1 山田朋人*2

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^{1),2)}など。暴風雪の特徴の1つに、発生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。

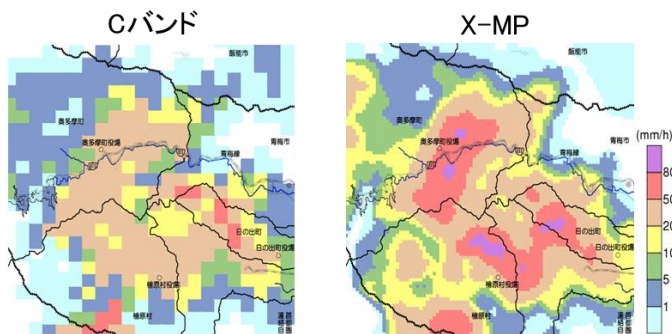


図1 CバンドとX-MPの比較

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。

なお、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。

2. 降雪観測における現状の課題

(1) 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アラレや雪片、ミゾレ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”として定義されており、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⁵⁾。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

*1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

*2 北海道大学 工学研究院

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）および石狩吹雪実験場の位置関係を記す。

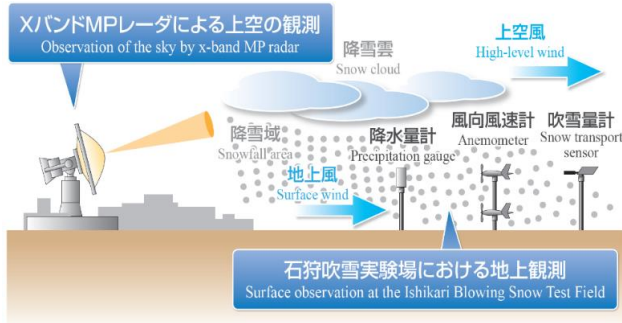


図2 本研究の実施イメージ

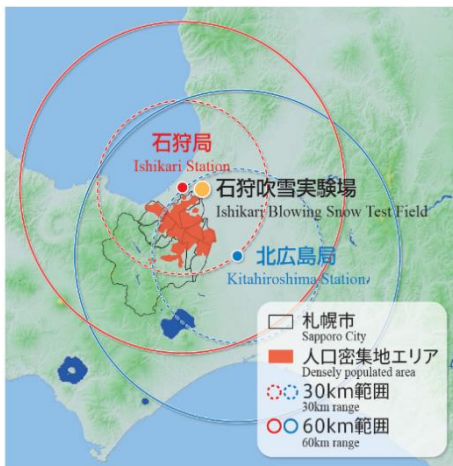


図3 2基のX-MP および石狩吹雪実験場の位置関係

(2) 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レーダデータのほか、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データを使用した。なお、結果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

本地上観測では二重柵基準降水量計(Double Fence Intercomparison Reference, 以下、DFIR)を使用した¹³⁾。DFIRは国連の世界気象機関(WMO)が推奨する高精度の降水量計であり、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の平面図および外観を示す。

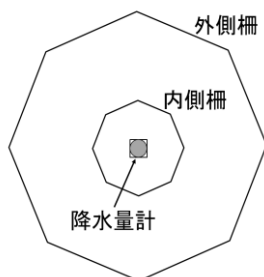


図4 DFIR 平面図

図4および図5に、石狩吹雪実験場内に設置してあるDFIRの平面図および外観を示す。

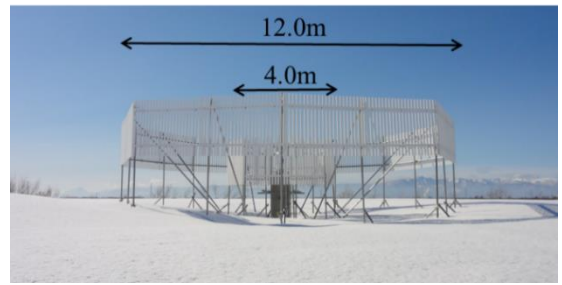


図5 DFIRの外観

DFIR はサイズの異なる2つの正八角形の風除け柵(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。なお、外側柵・内側柵は、ともに長さ1.5mの板からなり、柵部分の空隙率は50%、内側柵の上部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。本観測では図6に示す重量式降水量計を使用している。この計測原理は、不凍液が入られた貯留バケツの内部に雪粒子が取り込まれた際の重量変化を計測し、水量換算するものであり、一般的な転倒ますタイプの計測分解能(0.5mm)に比べて高分解能である(0.1mm以下)。



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

本報では、北海道内で大雪となることが多い以下の3パターンについての事例解析結果を示す。

- ・冬型低気圧
- ・低気圧の移動
- ・石狩湾小低気圧

(1) 冬型低気圧

冬型低気圧時の例として、2015年12月27日および2016年1月7日の事例について示す。両日の午前9時における地上天気図¹⁴⁾を図7に示す。両日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。

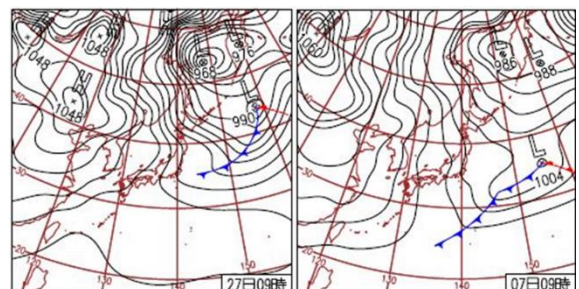


図7 冬型低気圧時の地上天気図

(左: 2015年12月27日、右: 2016年1月7日)

この事例における観測結果を図8と図9にそれぞれ示す。ここでは、DFIRによる地上実測値を真値に換算した降雪量（水量換算値）とレーダ雨量の10分値の結果について比較してある。また、図中には高度10mにおける前10分平均風速および最頻風向（16方位）を付記してある。両日ともに常時西寄りの強風が吹き続けた事例であった。なお、図中に示していないが、両事例とも気温は常に氷点下であった。降雪について、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングは概ね一致し、その変化傾向についてもほぼ一致することが確認された。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。

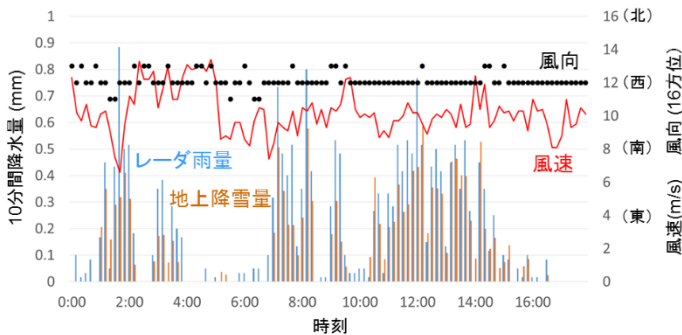


図8 地上降雪量とレーダ雨量の関係(1)
(2015年12月27日の冬型低気圧事例)

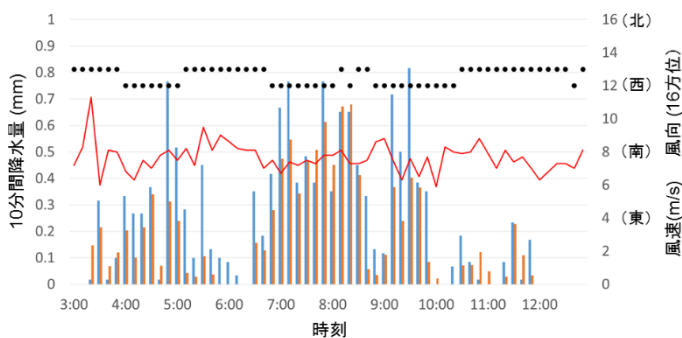


図9 地上降雪量とレーダ雨量の関係(2)
(2016年1月7日の冬型低気圧事例)

(2) 低気圧の移動

低気圧移動の一例として、2016年2月20日～21日の事例について示す。両日の午前9時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、

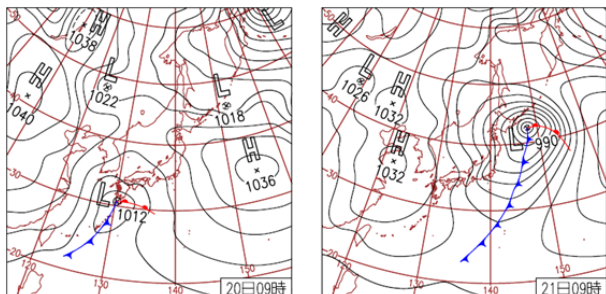


図10 低気圧移動時の地上天気図
(左：2016年2月20日、右：翌21日)

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。

この事例における観測結果を図11に示す。20日22時頃まで東寄りだった風が、低気圧の移動に伴い23時過ぎ頃から北西寄りへと変化した。また、平均風速は常に5m/s以下とさほど強くはなかった。降雪について、前述した冬型低気圧事例の時と同様、レーダ雨量はDFIRを用いて得られた地上降雪量を過大評価する傾向が確認された。しかしながら、上空と地上とで観測される降雪量（水量換算値）のピークには時間的差異が見られ、レーダによる観測雨量値のピークの方が、地上で観測されるピークよりも早い傾向があった。また、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングについても差異があることが確認される。

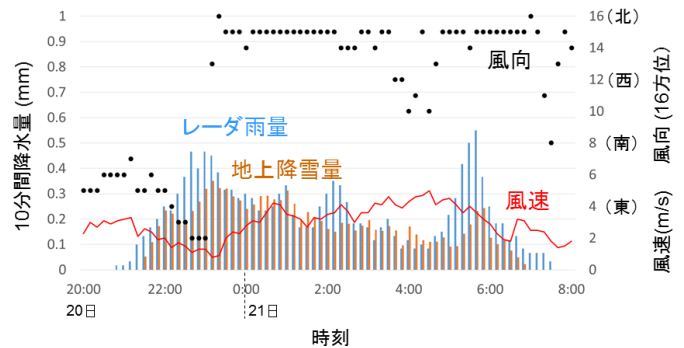


図11 地上降雪量とレーダ雨量の関係(3)
(2016年2月20～21日の低気圧移動時の事例)

(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、1～2hPa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⁾。図12に、石狩湾小低気圧が発生していた2015年12月30日午前9時の地上天気図¹⁴⁾を示すが、この天気図から石狩湾上に低気圧を確認することはできない。一方、図13に示すGPV気象予報¹⁶⁾における午前9時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（図中の黄色の丸部

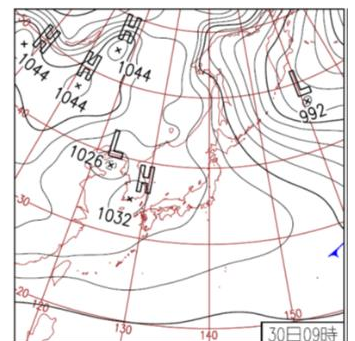


図12 石狩湾小低気圧発生時の地上天気図
(2015年12月30日午前9時)

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。

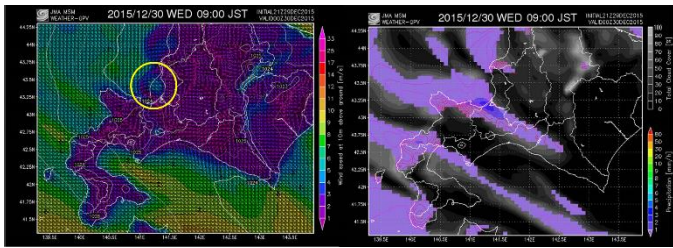


図13 2015年12月30日午前9時のGPV気象予報
(左: 高度10mの風向風速、右: 降水強度)

この石狩湾小低気圧時における観測結果を図14に示す。この事例では、低気圧移動時と同様、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングに差異があることが確認された。しかし、レーダ雨量と地上降雪量の関係については、冬型低気圧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。午前7時頃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、それ以降は両者の関係が逆転していた。

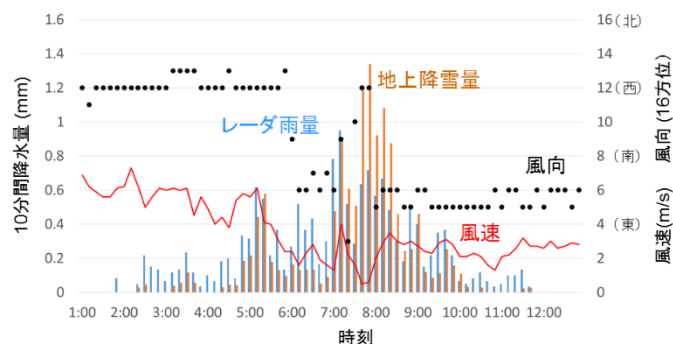


図14 地上降雪量とレーダ雨量の関係(4)
(2015年12月30日の石狩湾小低気圧時の事例)

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低気圧移動時、③石狩湾小低気圧)についての事例解析を行った。その結果、冬型低気圧時にはレーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングは概ね一致し、その変化傾向についてもほぼ一致することが確認された。低気圧移動時には上空と地上とで観測される観測値のピークに時間的差異が見られ、レーダにより観測される雨量のピークの方が、地上で観測されるピークよりも早い傾向があった。冬型気圧配置時、低気圧移動時ともにレーダ雨量は地上降雪量を過大評価する傾向があった。石狩湾小低気圧時も低気圧移動時と同様、レーダ観測結果と地上での降雪検知のタイミングに差異があることが確認された。しかし、レーダ雨量と地

上降雪量の間には一義的な関係はなかった。

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の把握に臨む。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等についても考慮に入れる必要がある。加え、レーダと地上観測による検知タイミングおよび量的ズレの一因についても検討したい。

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/known/kansoku_guide/b3.html (2016年10月24日閲覧) .
- 6) 横山ら(2003):雪氷, 65, 303-316.
- 7) Goodison et al. (1998): WMO Solid PreCipitation Measurement InterComparison 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.
- 11) Goodison et al. (1998): WMO Solid PreCipitation Measurement InterComparison Final Report, WMO, pp.299.
- 12) 地球環境情報統融合プログラムHP,
<http://www.diasjp.net/> (2016年10月24日閲覧).
- 13) Sevruk(1985): Summary report. CorreCtion of PreCipitation Measurements, Swiss Federal Institute of TeChnology, ZuriCh, 13-23.
- 14) 気象庁HP, 日々の天気図,
<http://www.data.jma.go.jp/fCd/yoho/hibiten/> (2016年10月24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.
- 16) GPV 気象予報HP, <http://weather-gpv.info/> (2016年10月24日閲覧).