

高解像度レーダによる降雪等の検知
に関する研究

共同研究報告書

令和3年3月

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所
国立大学法人 北海道大学大学院 工学研究院

Copyright © (2021) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

高解像度レーダによる降雪等の検知 に関する研究

共同研究報告書

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所
寒地道路研究グループ 雪氷チーム

上席研究員 松澤 勝^{※1}
総括主任研究員 西村 敦史^{※2}
研究員 國分 徹哉^{※3}
研究員 大宮 哲
准教授 山田 朋人

国立大学法人 北海道大学大学院 工学研究院

- ※1:現 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地道路研究グループ グループ長
※2:現 国土交通省 北海道開発局 事業振興部 技術管理課 技術管理企画官
※3:現 国土交通省 北海道開発局 室蘭開発建設部 施設整備課 施設防災対策専門官

要旨

積雪寒冷地域では、雨による被害もさることながら、大雪や吹雪に起因する雪氷災害が毎年発生している。その被害軽減のためには、どこにどれだけの雪が降っているのかを精度よく把握することが求められる。本共同研究では、高時空間分解能を有する X バンド MP レーダを用い、降雪等の検知に関する研究を行った。

本研究では、北海道内で大雪となることが多い 3 パターン（冬型低気圧、低気圧の移動、石狩湾小低気圧）を対象に、X バンド MP レーダ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を比較し、その特長を整理した。

キーワード：X バンド MP レーダ、降雪強度

目 次

1. はじめに	1
2. 降雪観測における現状の課題	2
(1) XバンドMPレーダを用いた観測における課題	2
(2) 地上観測における課題	2
3. 研究方法	3
(1) 研究の実施イメージおよび地上観測点	3
(2) 使用したXバンドMPレーダデータ	4
(3) 降雪観測の方法	4
4. 結果	6
(1) 冬型低気圧	6
(2) 低気圧の移動	7
(3) 石狩湾小低気圧	9
5. まとめ	10
参考文献	11

1. はじめに

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（2021年3月時点で39基）。X-MPは従来のCバンドに比べて空間解像度が高く（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：約5分、X-MP：約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（mm/h）の一例を示す。この図からも明らかのように、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、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。

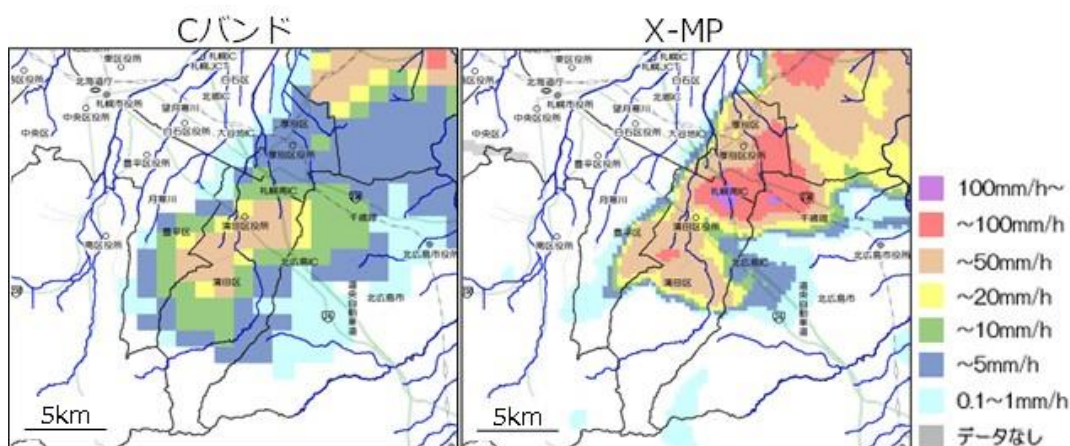


図-1 CバンドおよびX-MPによる降水強度の比較
(2013年8月24日 札幌市清田区付近の上空の様子)

北海道をはじめとする積雪寒冷地域では、雨による被害もさることながら、大雪や吹雪に起因する雪氷災害が毎年発生している。その被害軽減のためには、どこにどれだけの雪が降っているのかを精度よく把握することが求められる。通常、降雪量の計測には積雪深計が使用されることが多いが、アメダス等の一般的な気象観測点に必ずしも積雪深計が設置されているわけではなく、また、出力される値は1時間値である。

本共同研究では、高時空間分解能を有するX-MPを用い、降雪等の検知に関する研究を行った。ここでは、北海道内で大雪となることが多い3パターン（冬型低気圧、低気圧の移動、石狩湾小低気圧）を対象に、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を比較した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バンドMPレーダを用いた観測における課題

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、霰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。降雪に関する一般的な物理量として、降雪量（降雪深）と降雪強度がある。降雪量（降雪深）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1時間おきに計測された積雪深の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“単位時間に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)～10) を参照されたい。

3. 研究方法

(1) 研究の実施イメージおよび地上観測点

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レーダ雨量（単位は“降雪強度”と同じ）と、地上における観測結果（降雪強度、風向風速）の関係を比較・解析し、X-MP データから地上における降雪等を精度よく検知するための方策について検討する。なお、地上観測は国立研究開発法人土木研究所寒地土木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、既設の 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。

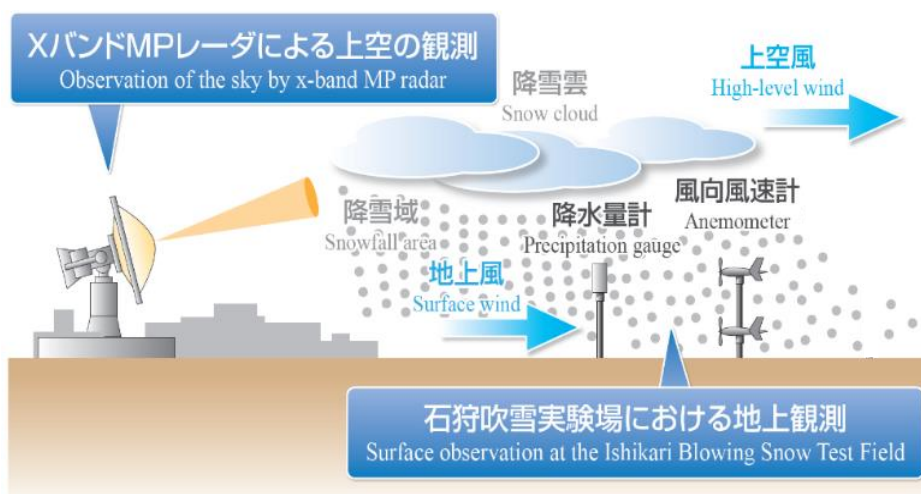


図-2 本研究の実施イメージ

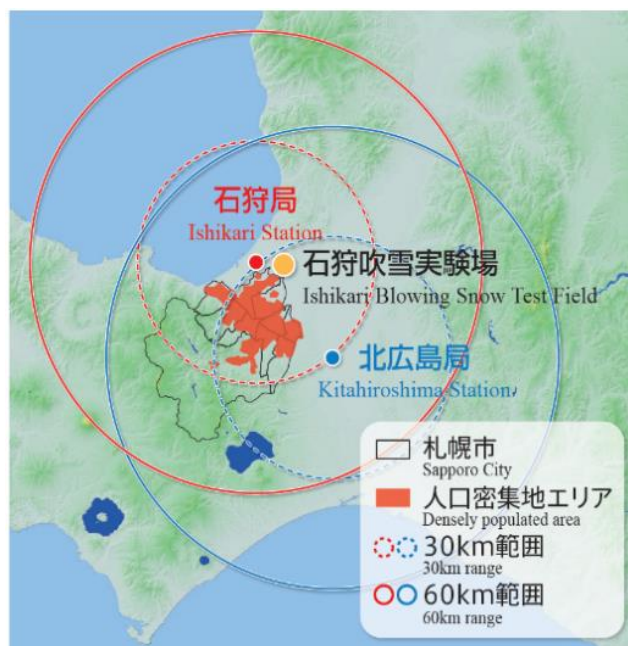


図-3 2 基の X-MP および石狩吹雪実験場の位置関係

(2) 使用した X バンド MP レーダデータ

地上観測との比較には、地球環境情報統合プログラム (DIAS)¹¹⁾ よりダウンロードしたデータを使用した。なお、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

地上降雪観測では、世界気象機関 (WMO) が推奨する二重の防風柵 (Double Fence Intercomparison Reference)¹²⁾ と重量式雨量計 (Geonor 社製、GNR-T200B) を使用した。以降、この降雪観測システムを DFIR と呼ぶこととする。アメダス等の一般的な地上気象観測点で使用されている雨量計 (転倒ます式、温水式等) に比べ、DFIR の観測精度は高く、WMO によると DFIR による実測値に対して補正式⁷⁾ を適用して換算した値を「真の降水強度」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。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、中央部に雨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%、内側柵の上部と雨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。

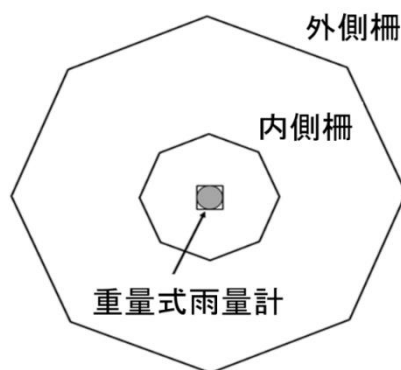


図-4 DFIR の平面図

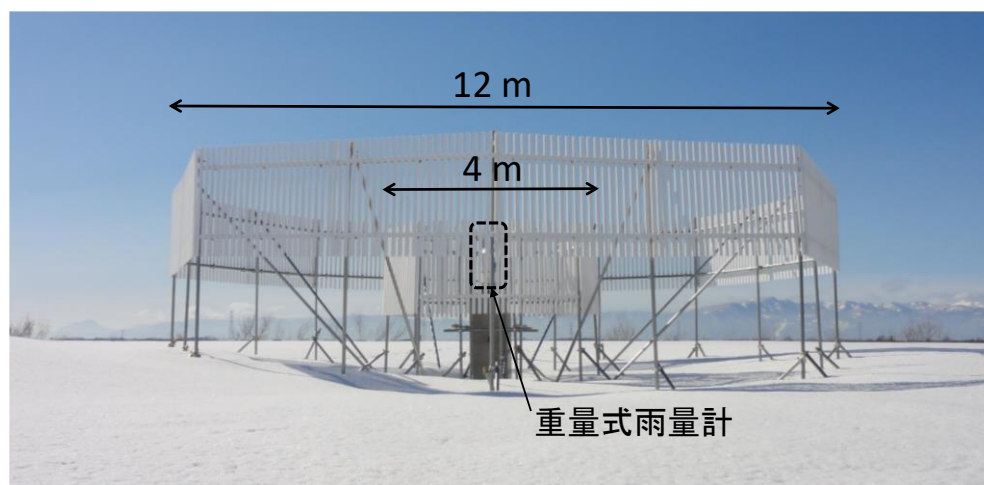


図-5 DFIR の外観

重量式雨量計の外観および機器内部の様子を図-6 および図-7 に示す。この重量式雨量計は、内部の受水バケツに降水を貯留するタイプであり、バケツ全体の重量増加量から降水量を算出するものである。一般的な地上気象観測点（アメダス、道路気象テレメータなど）で使用する転倒ますタイプの雨量計の計測分解能が0.5～1.0mmである一方、重量式雨量計は0.1mm以下の高分解能で精密に計測することができる。



図-6 重量式雨量計の外観



図-7 重量式雨量計の内部

4. 結果

北海道内で大雪となることが多い以下の3パターン時の比較結果について示す。

- ・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¹³⁾を図-8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。

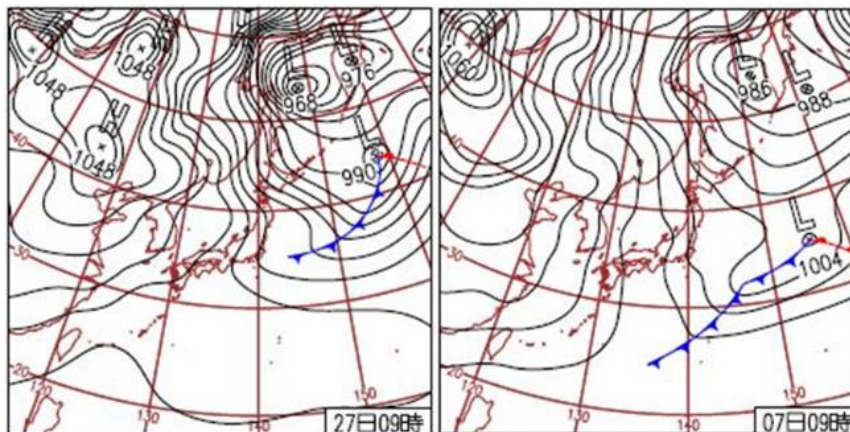


図-8 冬型低気圧時の地上天気図

(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-9と図-10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(水換算した降水量)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。両日も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。

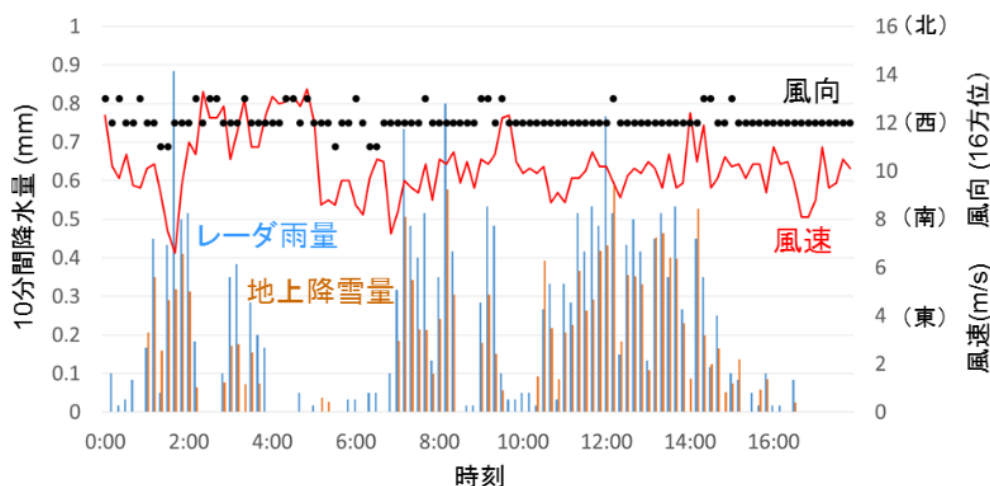


図-9 地上降雪量とレーダ雨量の関係(1)
(2015年12月27日の冬型低気圧時の事例)

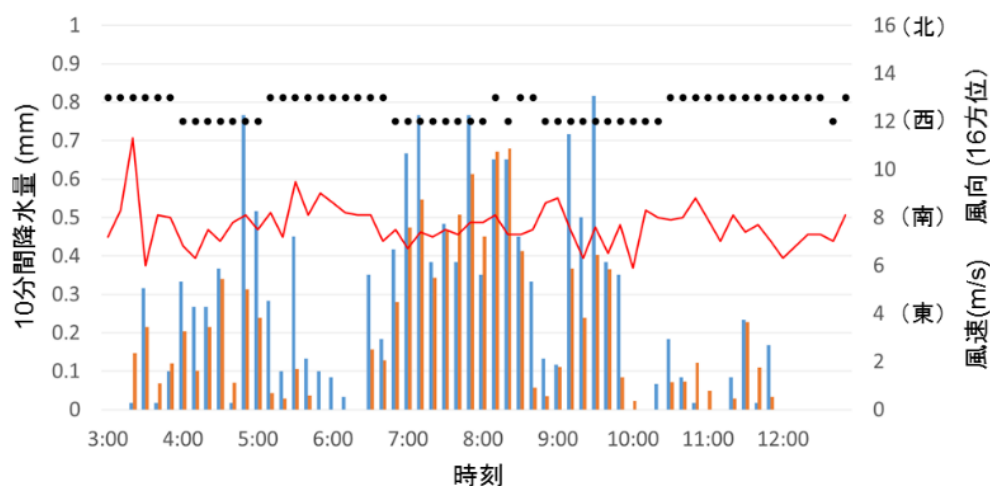


図-10 地上降雪量とレーダ雨量の関係(2)
(2016年1月7日の冬型低気圧時の事例)

(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¹³⁾を図-11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。

この事例における観測結果を図-12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（水換算した降水量）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。

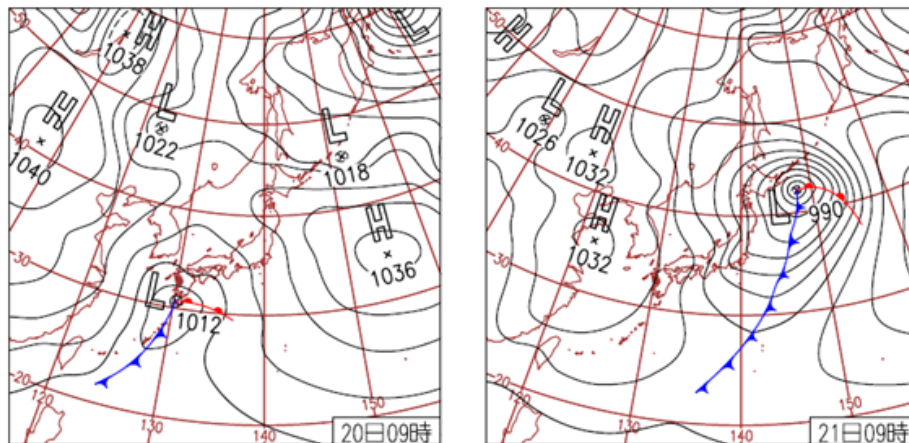


図-11 低気圧移動時の地上天気図
(左：2016年2月20日、右：翌21日)

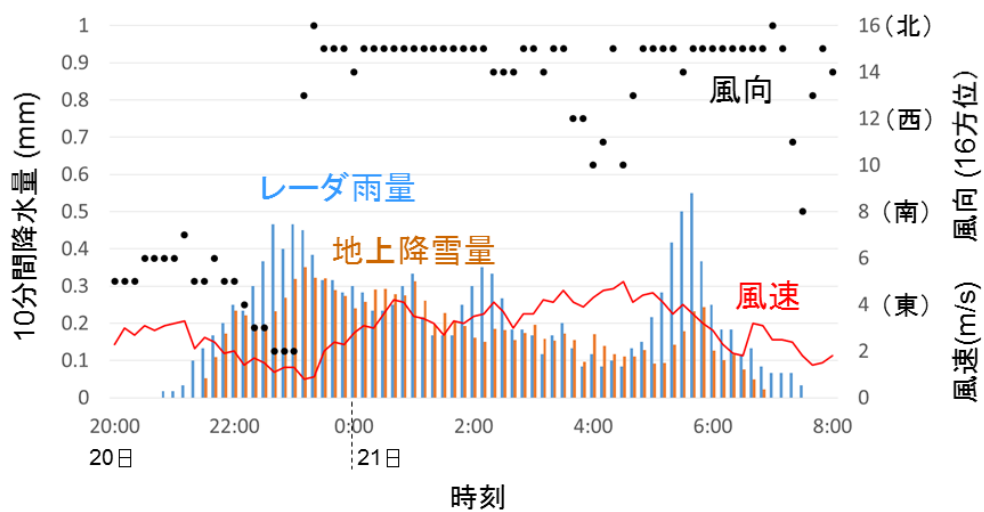


図-12 地上降雪量とレーダ雨量の関係 (3)
(2016年2月20～21日の低気圧移動時の事例)

(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、周囲との気圧差が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¹⁴⁾。図-13に、石狩湾小低気圧が発生していたと考えられる2015年12月30日午前9時の地上天気図¹³⁾を示す。この天気図からは石狩湾上に低気圧を確認することはできない。一方、図-14に示すGPV気象予報¹⁵⁾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。

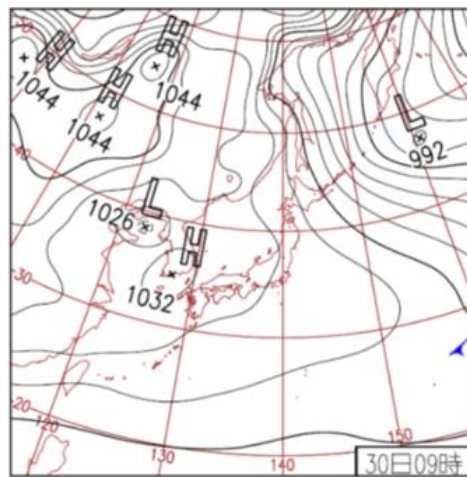


図-13 石狩湾小低気圧発生時の地上天気図
(2015年12月30日午前9時)

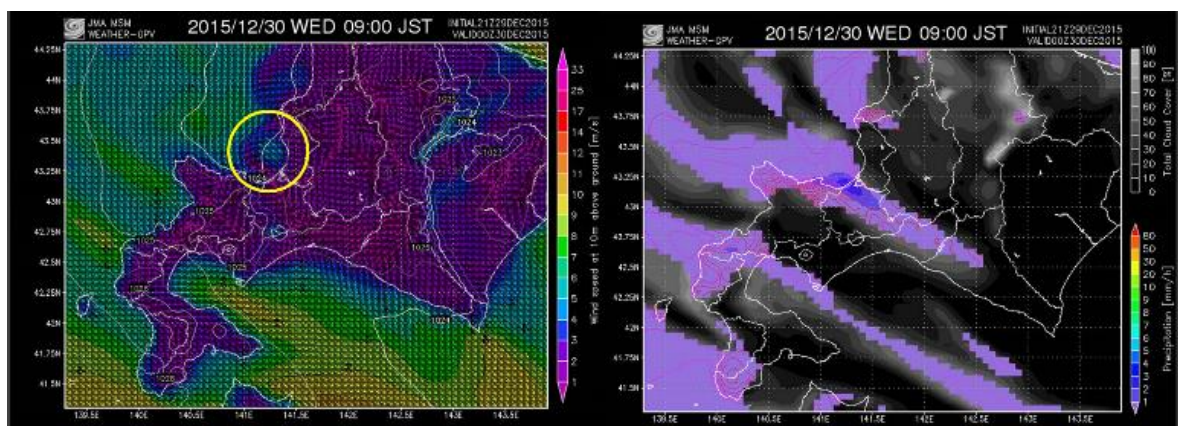


図-14 2015年12月30日午前9時のGPV気象予報の画像キャプチャ
(左：高度10mの風向風速、右：降水強度)

この石狩湾小低気圧時における観測結果を図-15 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。

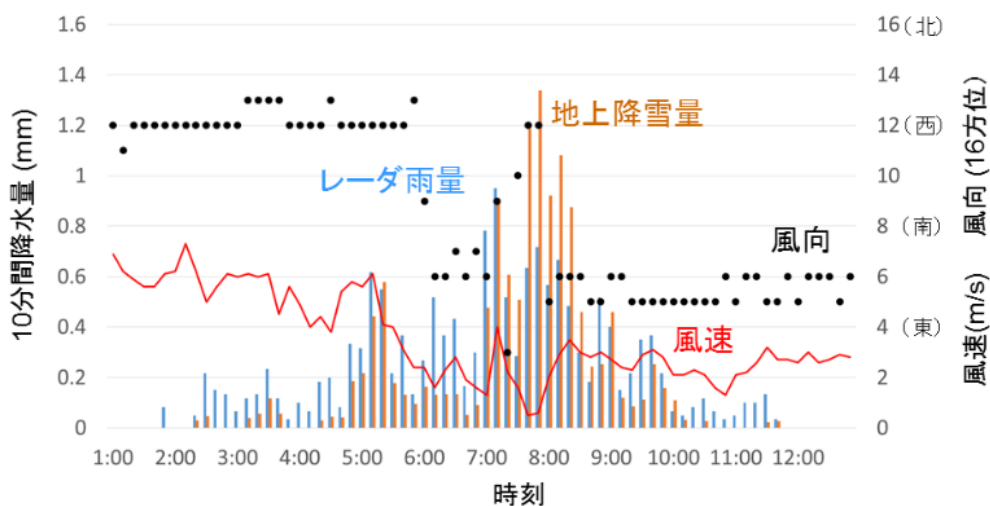


図-15 地上降雪量とレーダ雨量の関係 (4)
(2015年12月30日の石狩湾小低気圧時の事例)

5. まとめ

X-MP データを用いた降雪検知を行うべく、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。本報告書では、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無かった。

参考文献

- 1) 松岡直基、萩原亨、金田安弘、丹治和博、川村文芳、中林宏典、永田泰浩：2013年3月2日北海道の吹雪災害について～主に気象的な特徴から～，北海道の雪氷，No. 32，pp. 62-65，2013.
- 2) 武知洋太，伊東靖彦，松下拓樹，山田毅，松澤勝，加治屋安彦：2008年冬期に北海道で発生した吹雪災害の状況と課題について(1) ～2008年2月・長沼近郊での事例について～，北海道の雪氷，No. 27，pp. 99-102，2008.
- 3) 林義晃，手計太一，山崎惟義：北陸地方における地上雨量観測所を用いた X バンド MP レーダの降水量（降雪量）推定精度の評価．水文・水資源学会誌，27（2），67-76，2014.
- 4) 増田有俊，板戸昌子，谷口和哉，境和宏，上田博，山下克也，中井専人：XRAIN を用いた冬期降水量推定精度の向上．土木学会論文集 B1（水工学），74（4），I_85-I_90，2018.
- 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（2021年3月11日閲覧）．
- 6) 横山宏太郎、大野宏之、小南靖弘、井上聡、川方俊和：冬期における降水量計の捕捉特性，雪氷，65(3)，pp. 303-316，2003.
- 7) B. E. Goodison, P.Y.T Louie and D. Yang: WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison Final Report, WMO/TD-No. 872, Instruments and Observing Methods Report No. 67, p. 14, 1998.
- 8) 大野宏之、横山宏太郎、小南靖弘、井上聡、高見晋一、Thomas Wiesinger：北陸地方における降水量計の固体降水捕捉率，雪氷，60(3)，pp. 225-231，1998.
- 9) 上野健一、大野宏之、横山宏太郎、小南靖弘、八久保晶弘、杉浦幸之助、佐藤篤司、大畑哲夫：「固体降水量評価に関する研究会」の報告，雪氷，62(4)，pp. 375-383，2000.
- 10) Yang, D., Metcalfe, J. R., Goodison, B. E. and Mekis, E.: "True snowfall" An evaluation of double fence intercomparison reference gauge. Proc. 50th Eastern Snow Conference and 61st Western Snow Conference, pp. 105-111, 1993.
- 11) 地球環境情報統融合プログラム HP，<https://diasjp.net/>（2021年3月11日閲覧）.
- 12) Sevruk, B: Summary report. Correction of Precipitation Measurements, Proc. WMO Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, pp. 13-23, 1985.
- 13) 気象庁 HP，日々の天気図，<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>（2021年3月11日閲覧）
- 14) 大川隆：北海道の動気候．北海道大学図書刊行会，p. 169，1992.
- 15) GPV 気象予報 HP，<http://weather-gpv.info/>，(2021年3月11日閲覧）.

共同研究報告書
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.
No.526 March 2021

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所
寒地土木研究所 寒地技術推進室

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046