

XRAIN の降水強度と積雪深変化量の関係に関する研究

A Study on Relationship Between Precipitation Intensity of XRAIN and Snow-depth on the Ground

北海道大学工学部	○学生員	山城 皓太郎 (Kotaro Yamashiro)
北海道大学大学院工学研究院	正 員	高橋 翔 (Sho Takahashi)
北海道大学大学院工学院	学生員	中村 裕貴 (Yuki Nakamura)
北海道大学大学院工学研究院	フェロー	萩原 亨 (Toru Hagiwara)

1. はじめに

北海道では、冬期の大雪により道路交通に大きな影響が出る。降雪状況を面的かつリアルタイムに把握する手法として、国土交通省が運用する高性能レーダ雨量計ネットワーク(以降、eXtended Radar Information Network: XRAIN)で観測された降水強度(mm/h)の活用が考えられる。XRAIN は空間分解能が 250m メッシュ、観測間隔が 1 分毎であるため、高頻度かつ細かく降水強度(合成レーダ雨量)を観測できる。X バンド MP レーダ(以降、X-MP)を用いて、地上における降雪の状況を面的かつリアルタイムに把握できる可能性がある。

しかし、XRAIN の降水強度データは上空の降水粒子の量を観測するものであり、その性質から地上の積雪をそのまま観測できているわけでない。大宮らは北海道の石狩で、X-MP による上空の観測データから地上における吹雪の定量的把握について研究している。X-MP 観測の降水量と二重柵規準降水量計(DFIR)による地上における実測値を比較した結果、強い相関があることを示した。また、X-MP によって得られるドップラー速度を解析することで得られる上空の風向・風速分布をもとに計算される風による粒子の移流を考慮することで、X-MP によって推定された飛雪流量とスノー・パーティクル・カウンター(SPC)による地上における実測値に正の相関があることを示した¹⁾。しかし、降水強度と地上における降雪量を比較した観測点数は少なく、さまざまな気象条件を網羅した分析となっていない。

そこで、本研究では、北広島市および石狩市に設置されている 2 基の X-MP による降水強度と札幌市のマルチセンサーの積雪深計による積雪深の関係を様々な気象条件で比較し、積雪状況を把握する方法として XRAIN の降水強度を用いることの有効性について検証する。

2. 積雪深データと XRAIN データ

2-1 マルチセンサーによる札幌市内とその近郊の 1 時間毎の積雪深データ

図-1 に積雪深計が設置されている 33 基のマルチセンサーの位置を示す。マルチセンサーは、各種気象センサーを一体化してまとめた地上気象自動観測装置である。札幌市内及び近隣市町に約 4~5km 間隔で 55 箇所配置されており、観測データは 10 分毎に中央の収集装置に自動的に送信され、気象情報配信端末装置にほぼリアルタイムで送信される。各マルチセンサーでは降雪強度・気温・風向・風速を観測しているが、その中でも図-1

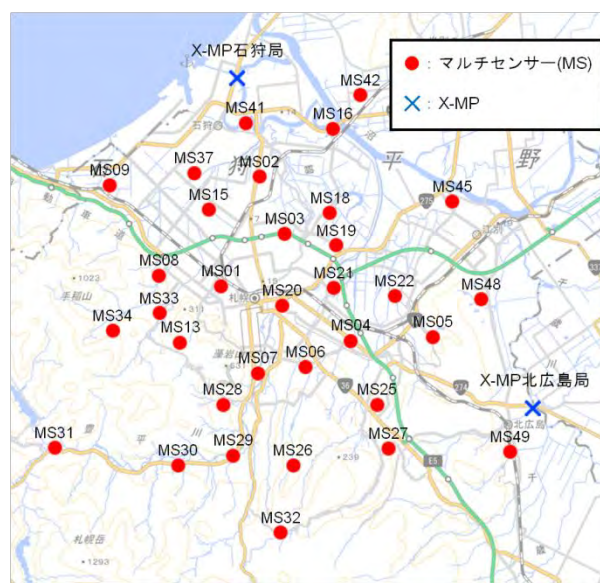


図-1 マルチセンサーと X-MP の位置

に示した 33 基は積雪深の観測を行っている。超音波式積雪計と光学式積雪計(以降、積雪深計)がマルチセンサーによる積雪深の計測に使用されている。超音波式は音がものに反射してはね返る性質を利用した装置である。逆 L 字型のポールの先端に取り付けた波器から射出される超音波が雪面で反射し、それが受信部に到達するまでの時間から雪面までの距離を測定する。また、光学式は光がものに反射してはね返る性質を利用した装置である。センサー投光部から射出された光が雪面で反射し、それを受光する。測量原理または投・受光波の位相差から雪面までの距離を測定する²⁾。なお、観測値は 1cm 単位であり、観測間隔は 10 分毎である。1 時間毎の積雪深の変化を、その時間の積雪深変化量(cm)とし、分析に利用した。

2-2 アメダスによる気象データ

札幌管区気象台の札幌アメダスで観測された気象データから、風速と気温のデータを 1 時間単位で収集し、分析に用いた。

2-3 XRAIN の降水強度データの収集

(1) ダウンロードプログラムの作成

図-1 に 2 基の X-MP の位置を示す。本研究で使用する XRAIN の降水強度のデータは地球環境情報統合プ

プログラム(以降、DIAS)の XRAIN 原データダウンロードシステムより国土交通省 XRAIN CXMP composite データセットとして提供される。札幌市内とその近郊をカバーする南北方向 80 区画×東西方向 240 区画の計 9600 の 250m メッシュ(図-2)の毎分データをダウンロードしてメッシュコードに対応させ、外部に出力するプログラムを作成した。出力された降水強度分布(2022年2月6日11時00分の事例)を図-2に示す。

(2) XRAIN リアルタイム雨量表示・ダウンロードシステムとの比較

プログラムが正しく降水強度にメッシュコードを対応させているか確認するため、DIAS の XRAIN リアルタイム雨量表示・ダウンロードシステムの降水強度分布とプログラムにより作成した降水強度分布を比較する。DIAS のシステムで表示される降水強度分布を図-3に示す。図-2 と図-3 は同一となり、システムからダウンロードされる降水強度を正しいメッシュに自作プログラムで対応させることを確認した。

(3) XRAIN による 1km メッシュ(3 次メッシュ)における 1 時間毎の降水強度データ

XRAIN は、国土交通省が構築した降水量を観測するシステムである。調査対象地点の上空(最小 250m メッシュ)に存在する降水粒子の量(mm/h)を 1 分毎に知ることができる。本研究では、250m メッシュの平均値から算出された 1km メッシュの XRAIN 雨量データを降水強度(mm/h)とし、マルチセンサーが設置されている地点の 1km メッシュの降水強度を用いた。1 時間毎の比較を行うため、1km メッシュ別に、毎時 00 分から 59 分までの 60 個の降水強度を平均して使用した。

3. XRAIN の降水強度とマルチセンサーの積雪深の関係

3-1 両者を比較する条件

2021年12月から2022年2月にかけて札幌で発生した6回の大雪を分析対象とした。図-4は、これら的大雪時の気象の特徴を示している。大雪時の気温と風速を基に、6回の大雪を4つの条件に分類した。また、これらの6回の大雪において、3つの時間帯でXRAINの降水強度とマルチセンサーによる積雪深変化量の関係を比較した。3つの時間帯とは、札幌アメダスで観測された降水量がピークとなる前の時間帯、その降水量がピークとなる時間帯、その降水量がピークとなった後の時間帯である。図-4に大雪における3つの時間帯を示した。

3-2 比較結果

33基のマルチセンサー毎に、XRAINの降水強度と積雪深変化量を比較した。図-4に示した4つの条件について、6回観測された大雪で比較した結果を示す。図-5～図-10はそれぞれ4つの図で構成されている。各図の(a)は札幌アメダスの降水量(mm/h)の時間変化および風速(m/s)の時間変化を示している。各図の(b), (c), (d)は降水量のピーク1時間前、ピーク、ピーク1時間後にお

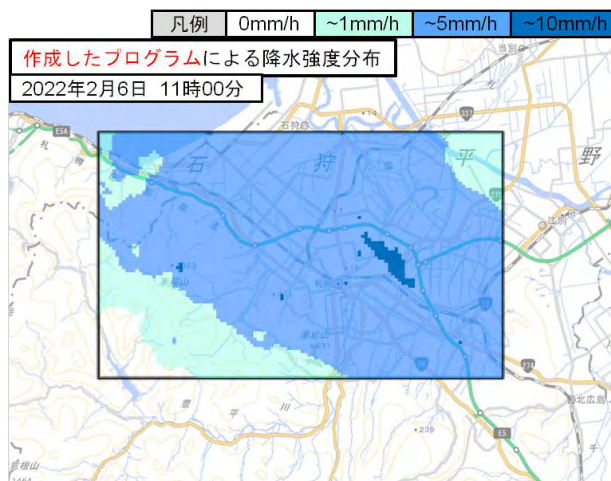


図-2 プログラムにより出力された降水強度分布

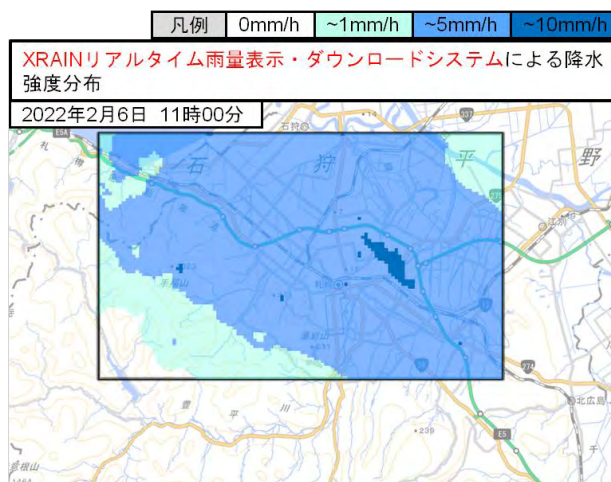


図-3 DIAS よりダウンロードした降水強度分布

		風の強さ(風速)	
		弱い(~6m/s)	強い(6m/s~)
気温	低い(氷点下)	2021/12/23 0:00~2:59 2022/1/22 12:00~14:59 2022/2/6 9:00~11:59	2022/2/21 22:00~翌0:59
	高い(0°C~)	2022/1/11 22:00~翌0:59	2022/1/13 18:00~20:59

図-4 大雪時の気温と風速による分類

ける XRAIN の降水強度(mm/h)と積雪深変化量(cm)の関係をプロットした結果である。図中の実線は近似直線、R²は決定係数を示す。

(1) 風の強さが弱く、気温が低い場合

図-4を基に、風が弱く気温が低い場合に該当する日時として、2021年12月23日0:00から2:59、2022年1月22日12:00から14:59、2月6日9:00から11:59を対象とした。図-5(a)は札幌アメダスの降水量(mm/h)の時間変化および風速(m/s)の時間変化である。2021年12月23日0:00から2:59では、降水量はピークで4.0mm/hとなった。風速は0.7m/sから5.2m/sを推移し、気温は4.8°Cから-2.9°Cを推移した。図-5(b)~

(d)はそれぞれ降水量のピーク 1 時間前, ピーク, ピーク 1 時間後における XRAIN の降水強度(mm/h)と積雪深変化量(cm)の関係である。相関係数 R は 0.83~0.92 となり, かなり強い正の相関を示した。また, 相関係数は, ピーク 1 時間前が最も大きく, ピーク 1 時間後が最も小さい結果となった。XRAIN の降水強度が高いにもかかわらず積雪深変化量が負の値となった。同様の傾向が, 他の条件でも見られた。

図-6(a)は札幌アメダスの降水量(mm/h)の時間変化および風速(m/s)の時間変化である。2022 年 1 月 22 日 12:00 から 14:59 では, 降水量はピークで 3.0mm/h となった。風速は 1.0m/s から 1.5m/s を推移し, 気温は-3.4℃から-3.1℃を推移した。

図-6(b)~(d)はそれぞれ降水量のピーク 1 時間前, ピーク, ピーク 1 時間後における XRAIN の降水強度(mm/h)と積雪深変化量(cm)の関係である。相関係数 R は 0.78~0.93 となり, かなり強い正の相関を示した。また, 相関係数は, ピーク 1 時間前が最も大きく, ピーク 1 時間後が最も小さい結果となった。

図-7(a)は札幌アメダスの降水量(mm/h)の時間変化および風速(m/s)の時間変化である。2022 年 2 月 6 日 9:00 から 11:59 では, 降水量はピークで 6.5mm/h となった。風速は 0.7m/s から 2.1m/s を推移し, 気温は-4.3℃から-4.1℃を推移した。

図-7(b)~(d)はそれぞれ降水量のピーク 1 時間前, ピーク, ピーク 1 時間後における XRAIN の降水強度(mm/h)と積雪深変化量(cm)の関係である。相関係数 R は 0.90~0.95 となり, かなり強い正の相関を示した。降水量のピーク後 1 時間のときに相関係数が小さくなった。

(2) 風の強さが強く, 気温が低い場合

図-4 を基に, 風が強く気温が低い場合に該当する日時として, 2022 年 2 月 21 日 22:00 から翌 0:59 を対象とした。図-8(a)は札幌アメダスの降水量(mm/h)の時間変化および風速(m/s)の時間変化である。2022 年 2 月 21 日 22:00 から翌 0:59 では, 降水量はピークで 5.0mm/h となった。風速は 8.1m/s から 9.1m/s を推移し, 気温は-3.4℃から-2.4℃を推移した。

図-8(b)~(d)はそれぞれ降水量のピーク 1 時間前, ピーク, ピーク 1 時間後における XRAIN の降水強度(mm/h)と積雪深変化量(cm)の関係である。相関係数 R は 0.69~0.84 となり, 正の相関を示した。降水量のピーク後 1 時間のときに相関係数が小さくなった。

(3) 風の強さが弱く, 気温が高い場合

図-4 を基に, 風が強く気温が低い場合に該当する日時として, 2022 年 1 月 11 日 22:00 から翌 0:59 を対象とした。図-9(a)は札幌アメダスの降水量(mm/h)の時間変化および風速(m/s)の時間変化である。2022 年 1 月 11 日 22:00 から翌 0:59 では, 降水量はピークで 4.5mm/h となった。風速は 0.9m/s から 3.0m/s を推移し, 気温は 0.3℃から 0.5℃を推移した。

図-9(b)~(d)はそれぞれ降水量のピーク 1 時間前, ピーク, ピーク 1 時間後における XRAIN の降水強度

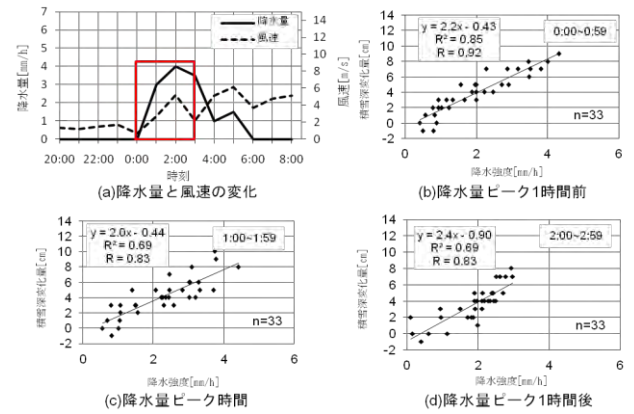


図-5 降水と積雪深の変化[2021 年 12 月 23 日]

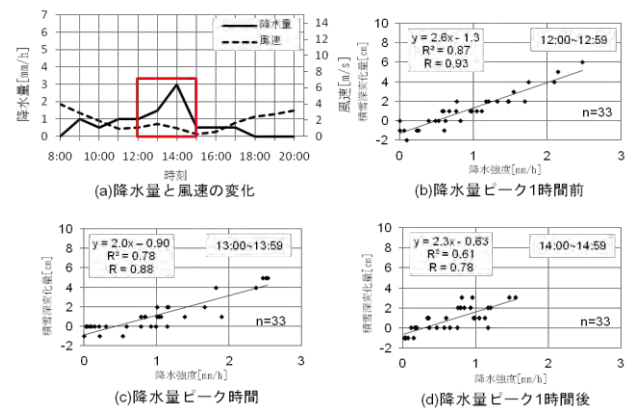


図-6 降水と積雪深の変化[2022 年 1 月 22 日]

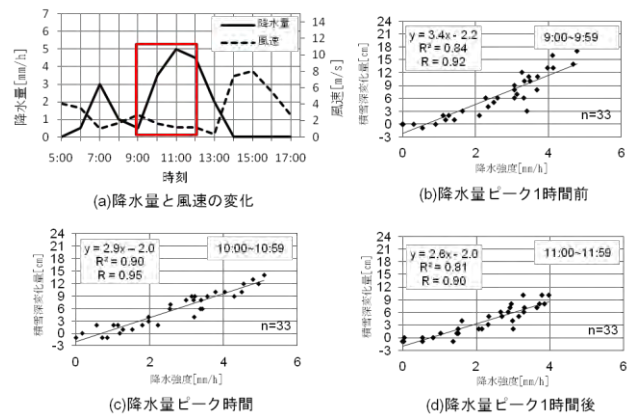


図-7 降水と積雪深の変化[2022 年 2 月 6 日]

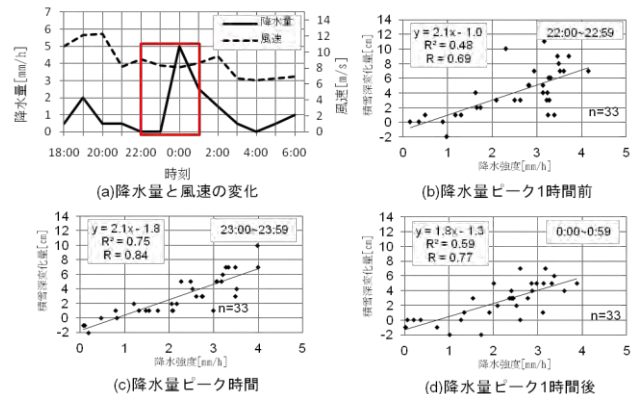


図-8 降水と積雪深の変化[2022 年 2 月 21 日~22 日]

(mm/h)と積雪深変化量(cm)の関係である。相関係数 R は 0.12~0.50 となり、低い相関を示した。特に降水量のピーク前 1 時間のときの相関係数はかなり小さくなった。

(4) 風の強さが強く、気温が高い場合

図-4 を基に、風が強く気温が低い場合に該当する日時として、2022 年 1 月 13 日 18:00 から 20:59 を対象とした。図-10(a)は札幌アメダスの降水量(mm/h)の時間変化および風速(m/s)の時間変化である。2022 年 1 月 13 日 18:00 から 20:59 では、降水量はピークで 3.0mm/h となった。風速は 5.0m/s から 8.2m/s を推移し、気温は -0.9°C から 0°C を推移した。

図-10(b)~(d)はそれぞれ降水量のピーク 1 時間前、ピーク、ピーク 1 時間後における XRAIN の降水強度(mm/h)と積雪深変化量(cm)の関係である。相関係数 R は 0.38~0.44 となり、低い相関を示した。また、降水量のピーク後 1 時間のときに相関係数が小さくなった。

3-3 考察

気温と風速を基に 4 つの条件に分類し、6 回の大雪における XRAIN の降雨強度とマルチセンサーによる積雪深変化量の関係を調べた。XRAIN の降水強度と積雪深変化量は、気温が 0°C 以下かつ風速が 6.0m/s 以下の条件下では 0.8 以上の相関となった。一方、風速が 6.0m/s 以上のとき、相関係数は 0.7 前後となった。気温が 0°C 以上の場合は、風の強弱に関わらず相関は 0.5 以下と低くなった。また、多くの条件で、降水量のピーク後に両者の相関係数が減少することがわかった。

風が強くなると降水強度と積雪深変化量の相関が低くなった。風による大気中の雪粒子の移流が発生したことが原因と考えられる¹⁾。このため、マルチセンサーの位置と XRAIN のメッシュにずれが生じた可能性がある。加えて、風による吹き払いや吹きだまりなどによって、計測対象雪面が変化し、積雪深変化量に影響した可能性が考えられる。一方、気温が高いときに相関が低くなった理由として、積雪深計の計測対象雪面が圧密により沈降し、降雨強度が高くて、積雪深が減少するなどの現象が起きていたことなどが考えられる^{3),4)}。

4. まとめ

XRAIN 降水強度データをダウンロードしメッシュコードと対応させるプログラムを作成し、XRAIN の降水強度とマルチセンサーによる積雪深変化量との関係を様々な条件で検討した。その結果、両者の相関が強い気象条件と相関が低い気象条件があることが明らかとなった。気温が 0°C 以下かつ 6.0m/s 以下の弱い風速のとき、両者の間に強い相関があった。同様の気象条件であっても降水量がピークとなった後の相関は低くなった。一方、6.0m/s 以上の強い風速のときや、気温が 0°C 以上のとき両者の相関は低くなった。

これらの結果から、地上の積雪状況を XRAIN 降水強度によって評価できる気象条件は多いと言えた。ただし、XRAIN 降水強度とマルチセンサーによる積雪深変化量との関係が一致しない気象条件があることも明らかとなっ

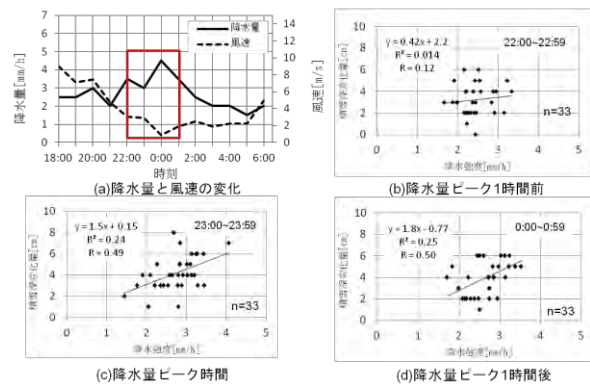


図-9 降水と積雪深の変化[2022年1月11日~12日]

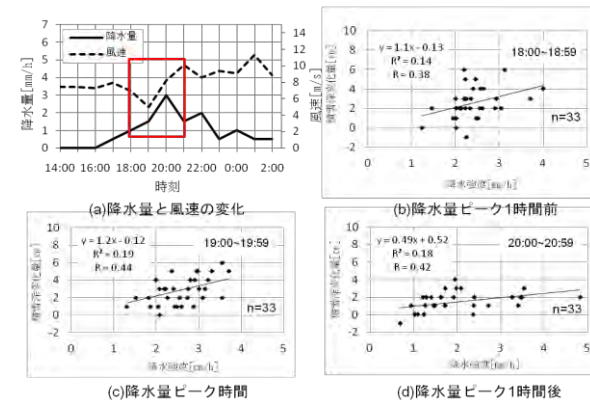


図-10 降水と積雪深の変化[2022年1月13日]

た。XRAIN 降水強度側において移流を考慮する必要があることに加え、地上における積雪深が圧密あるいは吹き払いなどにより複雑に変化することも示された。今後、降雪が道路交通に与える影響を考慮したうえで、冬期の降雪データとして XRAIN の降水強度の利用方法について、今後検討していきたい。

謝辞: 本研究では、国土交通省水管理・国土保全局河川計画課河川情報企画室が提供する国土交通省 XRAIN CXMP composite データセットを利用した。またこのデータセットは、文部科学省の補助事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS)の下で、収集・提供されたものである。

参考文献

- 1) 大宮哲, 國分徹哉, 松下拓樹, 高橋丞二, 松澤勝: XバンドMPレーダによる地上吹雪の定量的把握の可能性, 日本雪氷学会誌 雪氷 82 巻 3 号, 145-156 頁, 2020.
- 2) 佐藤威, 小杉健二: 積雪深の測定誤差について, 雪氷研究大会(2015・松本), 2015.9.13-9.16, 96 頁, 2015
- 3) 本山秀明, 小島賢治: 積雪深変化の推定法(乾雪の場合): 積雪層の粘性圧縮を考慮して, 低温科学, 物理篇, 44, 15-25 頁, 1986.
- 4) 村上龍一, 大西外明: 積雪の圧縮性を考慮した積雪深変化に関する研究, 第 28 回水理講演会論文集, 435-440 頁, 1984.