

## 2021－2022 年冬期の札幌都市圏における大雪の調査報告

### Report on Heavy Snowfall in Sapporo Metropolitan Area in winter 2021－2022

尾関 俊浩<sup>1</sup>, 白川 龍生<sup>2</sup>, 丹治 和博<sup>3</sup>, 松岡 直基<sup>4</sup>, 金田 安弘<sup>5</sup>, 金村 直俊<sup>6</sup>, 小松 麻美<sup>3</sup>,  
高橋 浩司<sup>2,13</sup>, 細川 和彦<sup>7</sup>, 大鐘 卓哉<sup>8</sup>, 中林 宏典<sup>4</sup>, 高橋 翔<sup>9</sup>, 小倉 美紀<sup>10,14</sup>, 森脇 豊一<sup>11</sup>,  
伊藤 俊明<sup>10</sup>, 永田 泰浩<sup>5</sup>, 小西 信義<sup>5</sup>, 千葉 隆弘<sup>7</sup>, 堤 拓哉<sup>12</sup>, 大川戸 貴浩<sup>5</sup>, 萩原 亨<sup>9</sup>

1, 北海道教育大学札幌校

2, 北見工業大学

3, 一般財団法人日本気象協会

4, 株式会社北海道気象技術センター

5, 一般社団法人北海道開発技術センター

6, 札幌総合情報センター株式会社

7, 北海道科学大学

8, 小樽市総合博物館

9, 北海道大学工学研究院

10, 株式会社ネクスコ・エンジニアリング北海道

11, 東日本高速道路株式会社

12, 北海道立総合研究機構建築研究本部

13, 株式会社構研エンジニアリング

14, 株式会社ユーシエル

#### Abstract

In the 2021-22 winter, the Sapporo metropolitan area was repeatedly hit by heavy snowfall in the same area, resulting in snow damage that had a significant impact on the lives of citizens. Each case of heavy snowfall was caused by a different snowfall pattern, a previously known weather pattern that brought heavy snowfall to Sapporo. The northerly wind was predominant in Sapporo this winter. As a result, there were many events where snow clouds flowed to Sapporo metropolitan area. The analysis of road conditions and traffic in Sapporo showed quantitatively that snowfall reduces vehicle speeds in urban areas. The number of emergency medical evacuees was the highest in the past 26 winters. A roof snow survey showed that the load-bearing capacity of the dwellings was still high even in this winter.

*Key Words: heavy snow, snowfall, snow survey, winter road traffic, snow damage*

キーワード：大雪, 降雪, 積雪調査, 冬期道路交通, 雪害

## 1. はじめに

2021-2022 年冬期、札幌都市圏は大雪に見舞われ、道路交通網の麻痺や鉄道の運休、雪による建物の倒壊など、近年にない大雪災害となった。1 月から 2 月にかけての度重なる降雪により道路の排雪作業が追いつかず、幹線道路の回復に数日間、生活道路の一部は 3 月下旬に至るまで除排雪が追いつかずに通行に支障が出た。そこで我々は雪氷災害調査チーム（2022・札幌大雪）を組織して札幌都市圏を襲った大雪災害について、多角的に調査することとした。

調査内容は札幌都市圏とその周辺の地上気象観測データに基づく解析、札幌都市圏と全道の積雪の実地観測による積雪深、積雪水量の分布と雪質の特徴、大雪を降らせた気象についての解析、大雪が交通へもたらした影響と道路管理者の対応、2021-22 年冬期の道内の雪害発生状況である。

## 2. 降雪と積雪の概要

### 2-1 はたして 2021-22 冬期は大雪と言えるのか

2021-2022 年冬期に札幌管区气象台が観測した総降雪量は 476cm であり、平年値の 479cm にほぼ等しい（図 1）。また、最深積雪は 133cm であり 9 年ぶりに 130cm を超えたが、1961 年以降の積雪深観測では上位 10 位にも入らない。札幌管区气象台の降積雪データで 2021-2022 年冬期を記録的な大雪と位置付けることは難しい。

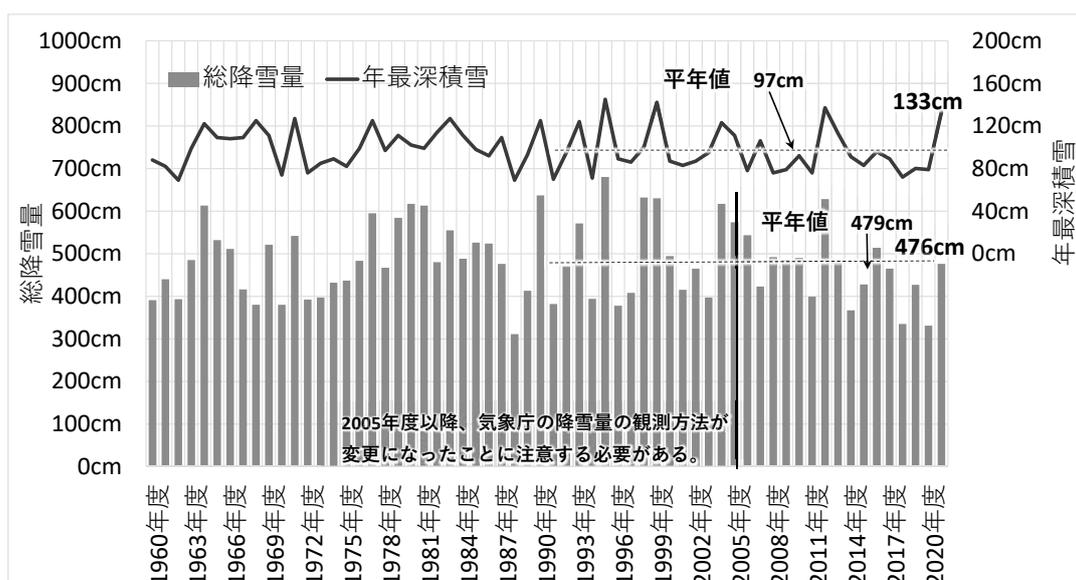


図 1 札幌管区气象台での 1960 年以降の降雪量と積雪深<sup>1)</sup>

そうすると、2021/22 冬期の札幌都市圏の降積雪に地域的な偏りが疑われる。札幌市周辺では气象台の他、各機関で気象観測が行われているので、表 1 に示す気象データを幅広く収集した。収集した札幌都市圏の積雪データから 2021-2022 年冬期の最深積雪をマップ化したのが図 2 である。雪の多い山地（札幌市南西側や北方）を除く石狩平野部に着目すると札幌市の南東部の各区や北広島市にかけて最深積雪が 150cm を超える地域があ

表 1 積雪データの収集地点一覧

| 観測機関        | 収集地点(札幌市内)   |
|-------------|--------------|
| 気象庁         | 11 地点(2 地点)  |
| 北海道開発局      | 11 地点(2 地点)  |
| 札幌市         | 33 地点(27 地点) |
| 北広島市        | 2 地点(0 地点)   |
| 北海道農業研究センター | 1 地点(1 地点)   |
| 合計          | 58 地点(32 地点) |

る。気象庁メッシュ平年値図を確認するとこの地域の最深積雪は札幌市中心部の値とほとんど変わらない。札幌管区气象台では 1961 年以降一度も積雪深が 150cm を超えたことはなく、札幌市南東部から北広島市にかけては積雪深が 150cm を超え、記録的な積雪であった可能性がある。

2021-2022 年冬期の札幌都市圏は 1～2 月に特に大雪が続いた印象があり、この 2 か月間の降雪量に着目した。図 3 は札幌市内の各区の代表箇所を選び、過去 10 年間の 1～2 月の総降雪量を比較したものである。図では比較のため過去 10 冬期の値と、その期間の平均値に対する 2021/22 冬期の割合も示している。この結果、白石区、豊平区、厚別区、清田区の札幌市南東部での降雪量が例年に比べて降雪量が際立って多く、過去 10 年間の平均の 1.5 倍を超えていることがわかった。この 2～3 月の降雪量分布を描画すると図 4 に示すとおりであり、手稲区、西区、中央区、

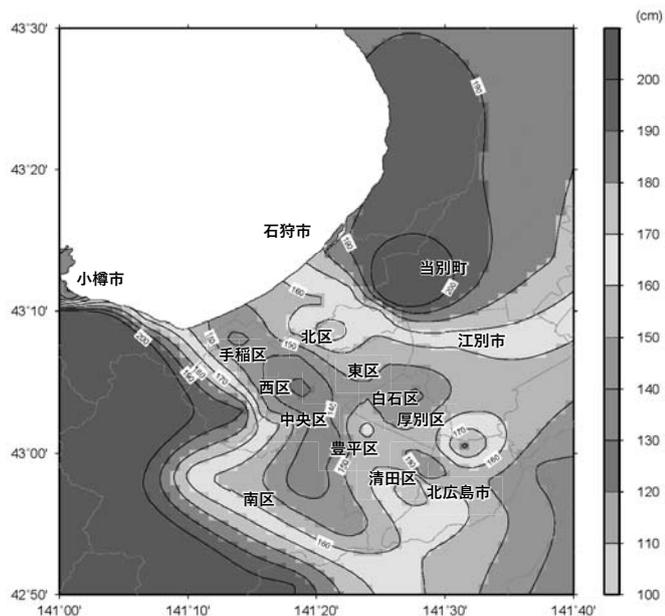


図 2 札幌都市圏の最深積雪分布 (2021-22 冬期) 2)

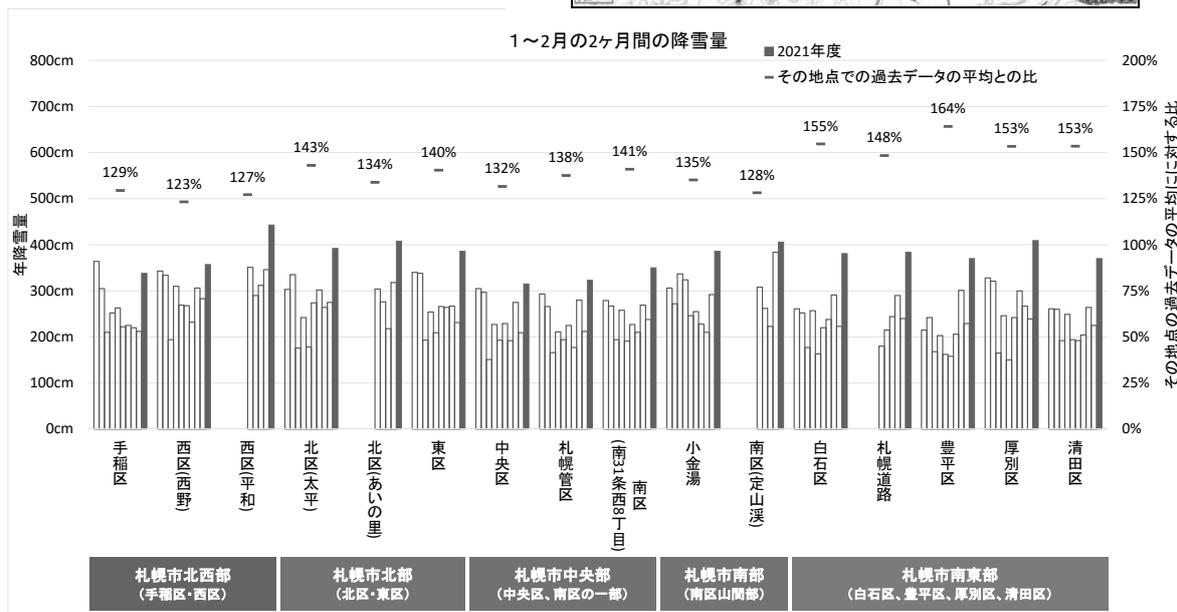
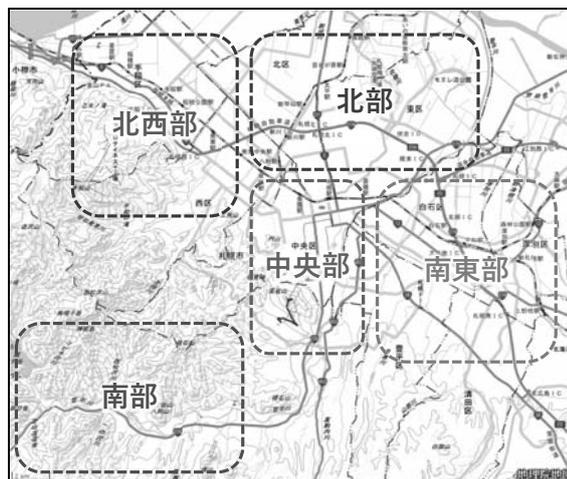


図 3 2022 年 1 月～2 月の札幌市内の降雪量の分布 (右上に札幌市内の地域区分を示す) 2)

南区では相対的に降雪量が少なく、札幌市南東部で降雪量が多くなっている。例年、札幌市内で雪の多いのは北部や西部の地域であり、南東部では比較的雪が少ないとされるが、2021-22 冬期の 1~2 月はこの南東部で際立った大雪になったことが特徴の一つといえる。

### 2-2 2021-22 冬期はドカ雪が多かった

しかし、1~2 月の降雪量が多かった札幌市南東部でも例年の 1.5 倍程度であり、大雪災害をもたらした要因としては少し物足りない。そこで、大雪（ドカ雪）の発生に着目し、最深積雪が 130cm を超えた 9 年前の 2012-13 冬期と 2021-22 冬期を比較することにした。なお、両冬期の降積雪は次の通りであり、降雪量は 2012-13 冬期の方が多い。

- 2012-13 冬期 総降雪量：628cm 最深積雪：137cm、
- 2021-22 冬期 総降雪量：476cm 最深積雪：133cm。

翌 9 時を日界とし、20cm、30cm、40cm、50cm 以上の日降雪量発生回数を図 5 で比較した。その結果、2012-13 冬期に比べて 2021-22 冬期は 30cm 以上の日降雪量の発生頻度が際立って多いことがわかる。特に降雪量の多かった札幌市南東部では日降雪量 30cm 以上の日が 4 日以上あり、日降雪量 40cm 以上の日も全域で 2 日を数える。

札幌のような都市部では、道路交通を妨げないように日中の時間帯を避けて、降雪量に応じて夜半前に道路除雪が行われる。そのため、まとまった雪が降る時間帯は道路除雪の実施に大きく影響すると考えられる。そこで、前 6 時間に降った雪が 15cm 以上に達した時刻を集計した。その回数を札幌市内の各地域で比較すると、2021-22 冬期は 0~6 時にまとまった雪が降る回数が多く、日中の午後もその回数が多かった（図 6）。札幌市南東部ではこの傾向が顕著であった。

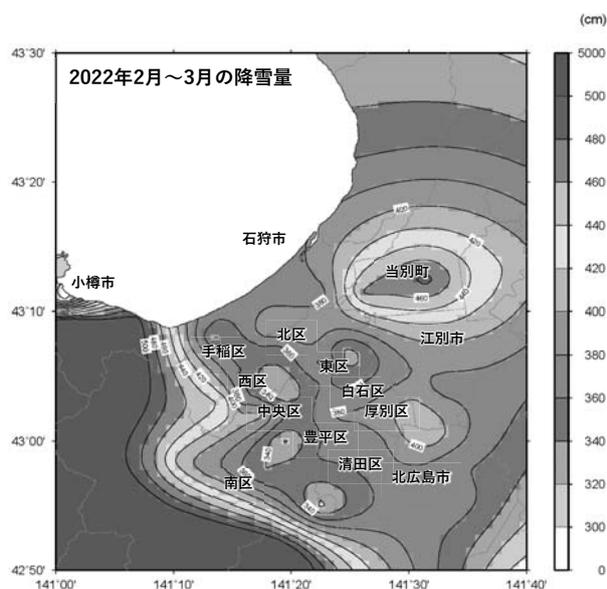


図 4 札幌都市圏の降雪量分布（2021-22 冬期）<sup>2)</sup>

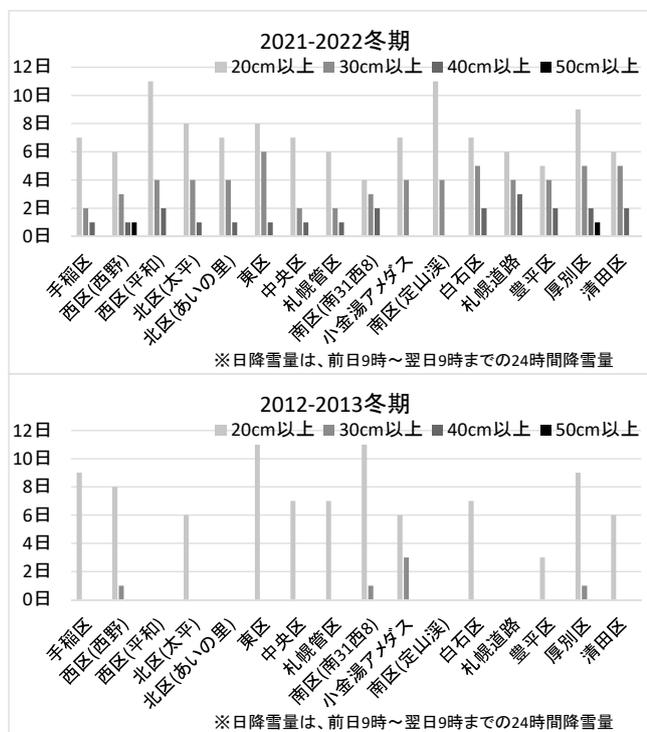


図 5 2021-22 冬期と 2012-13 冬期の大雪の回数の比較<sup>1)</sup>

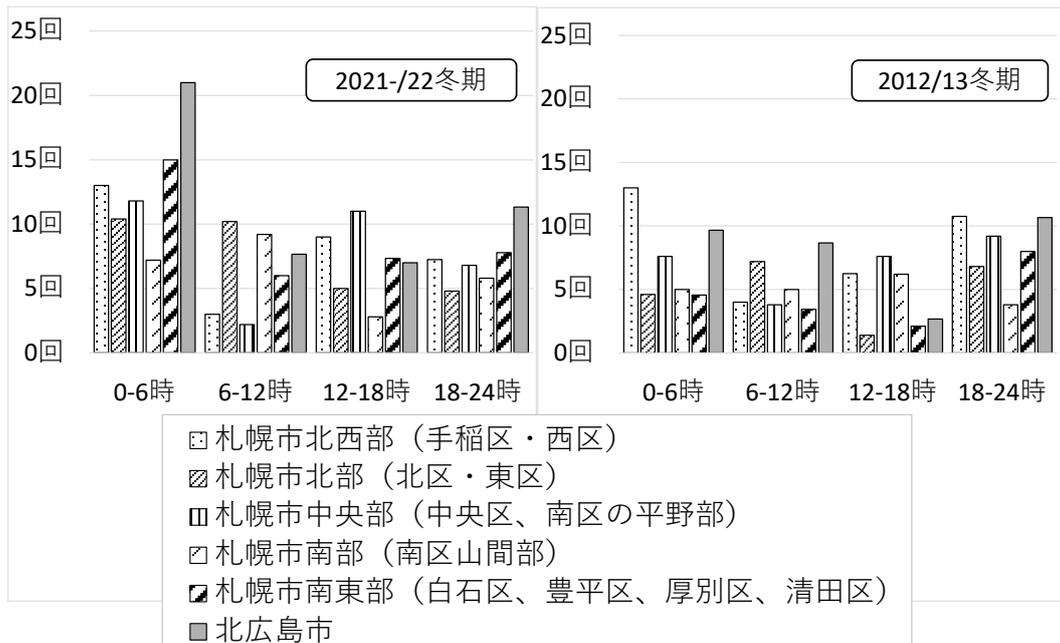


図 6 前 6 時間に 15cm 以上のまとまった雪が降った時間帯<sup>1)</sup>

上述したように 2021-22 冬期は大雪年であった 2012-13 冬期に比べて総降雪量は少ないものの、雪の降り方に大きな違いがあることがわかった。ここで、この雪の降り方の違いを理解するため両冬期の上空の気象に着目し、札幌上空 500hPa, 850hPa の寒気の経過を比較した(図 7)。2 冬期を比較すると 2012-13 冬期は上空から下層まで断続的に平年より冷たい空気に覆われていた。しかし、2021-22 冬期は 500hPa には強い寒気が入ることもあったが、850hPa はほぼ平年並みか平年より高めの日が続いていた。2021-22 冬期は上空に強い寒気が入っても下層は暖かく、全般に大気が不安定な状態が多かったものと考えられる。

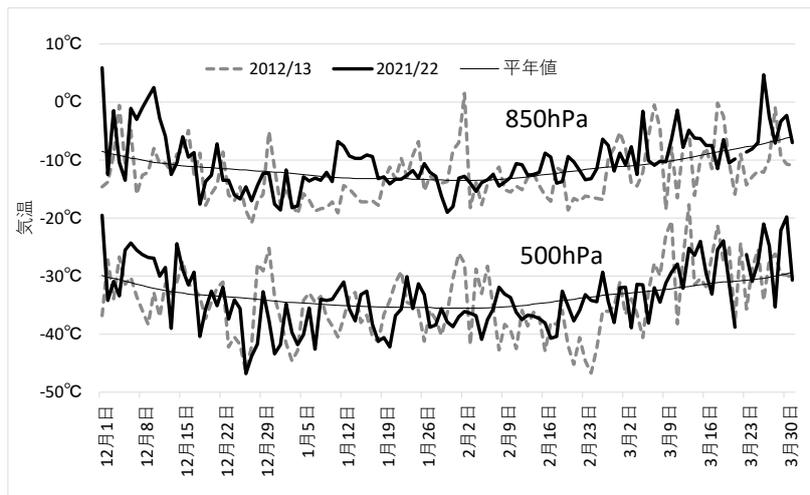


図 7 2021-22 冬期と 2012-13 冬期の上空寒気の比較<sup>1)</sup>

次に、両冬期の 850hPa の風向出現率と上空寒気との関係を図 8 に示した。左図の風向出現率から 2021-22 冬期は 850hPa では北西風が卓越していたことがわかる。右図は 500hPa の気温と 850hPa の風向の関係を示し、 $-35^{\circ}\text{C}$  以下の寒気に着目すると、ほぼ北西～北北西の風向に集まっているように見える。こうしたことから、2021-22 冬期は上空に寒気が入る際に、札幌市内に雪雲が流れ込みやすい風向となることが多かったと考えられる。

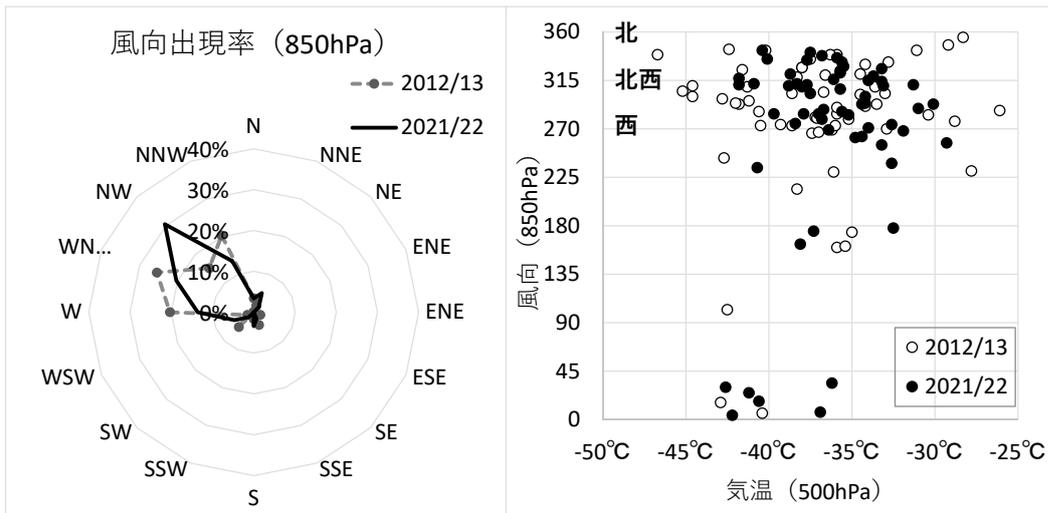


図8 札幌の上空寒気と風向の比較 (9時, 1~2月)<sup>1)</sup>

### 2-3 2021-22 冬期を特徴づけた3回の大雪を紐解く

続いて、2021-22 冬期の豪雪を印象付けた大雪事例について、気象経過と降雪量と降雪密度の空間分布に着目する。2021-22 冬期の札幌管区气象台での気象経過を図9に示す。札幌では12月中旬の大雪ののち、1月中旬と2月上旬、2月下旬にまとまった雪の降る期間があった。そこで、2021-22 冬期の際立った大雪事例として、表-2の3例を扱うこととした。

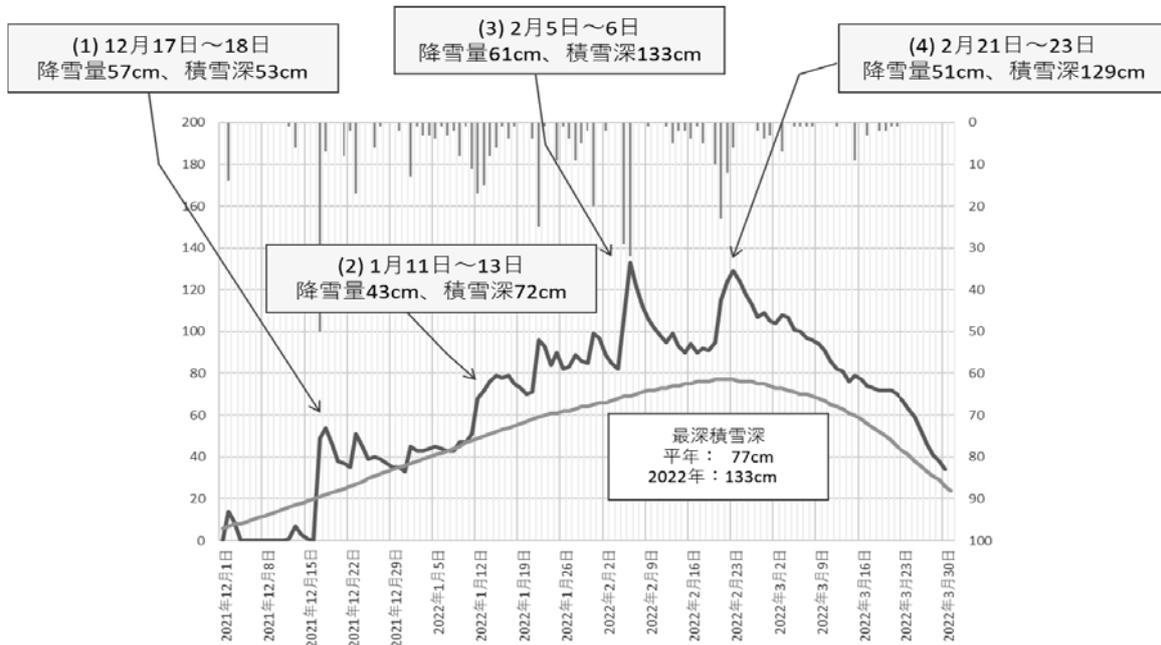


図9 札幌アメダスの日最深積雪と日降雪量の経過 (2021年12月~2022年3月)

表2 2021-22 冬期の特徴的な3回の大雪

| 期間        | 札幌管区气象台での日降雪量                      |
|-----------|------------------------------------|
| 1月11日~13日 | 43cm(11日:11cm, 12日:17cm, 13日:5cm)  |
| 2月5日~6日   | 61cm(5日:29cm, 6日:32cm, 7日:0cm)     |
| 2月20日~22日 | 45cm(20日:10cm, 21日:23cm, 22日:12cm) |

### (1) 1月11日～13日の湿った大雪

北海道を挟むようにして通過した低気圧が北海道の東海上で一つにまとまって発達した事例で、低気圧の通過時とその後の冬型気圧配置により札幌都市圏で大雪が降った（図 10）。札幌管区気象台の経過図から、低気圧の接近時には雨または霰で、11日22時頃から本格的な雪となったことがわかる。11日21時の札幌上空のエマグラムを確認すると上空から850hPaまで湿った南寄り風が入っていたことがわかる<sup>3)</sup>。また、12日の低気圧通過後には札幌上空は北～北西風になり、北海道西側の帯状の雪雲が札幌上空に入るようになった。

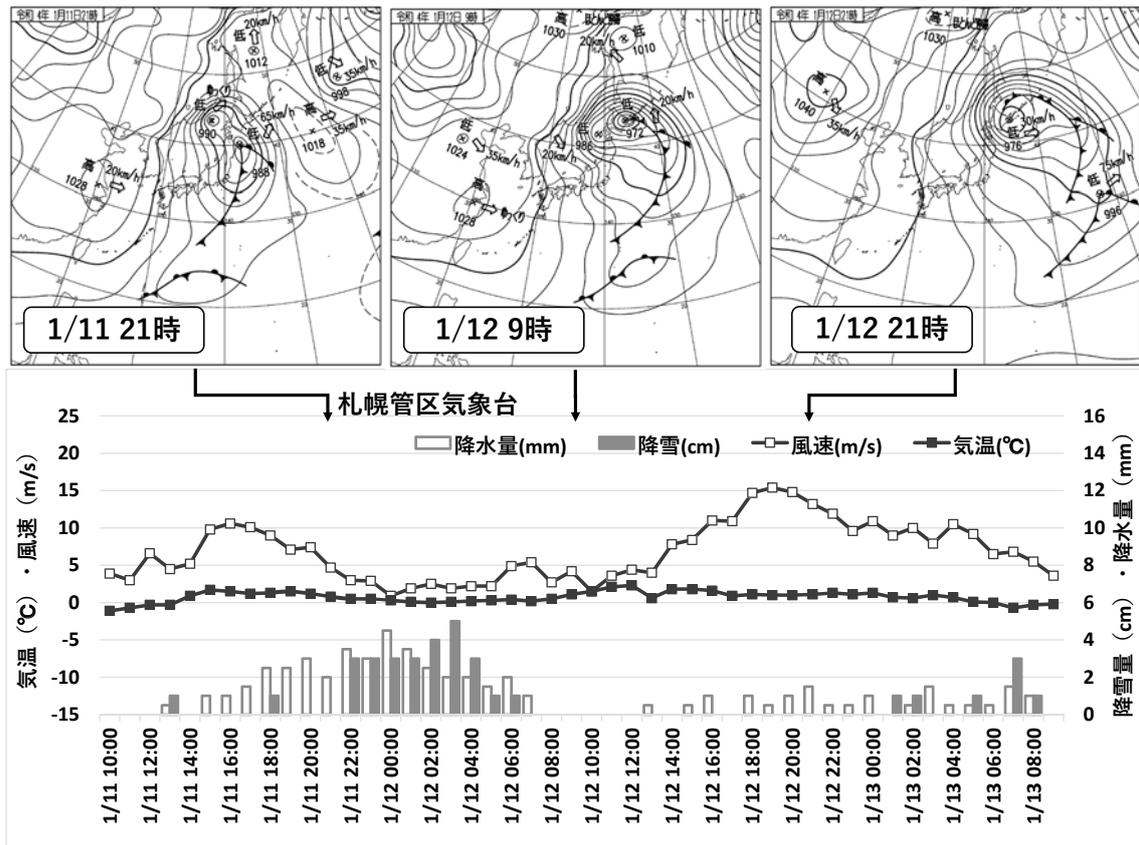


図 10 2022 年 1 月 11 日～13 日の気象経過と地上天気図<sup>1)</sup>

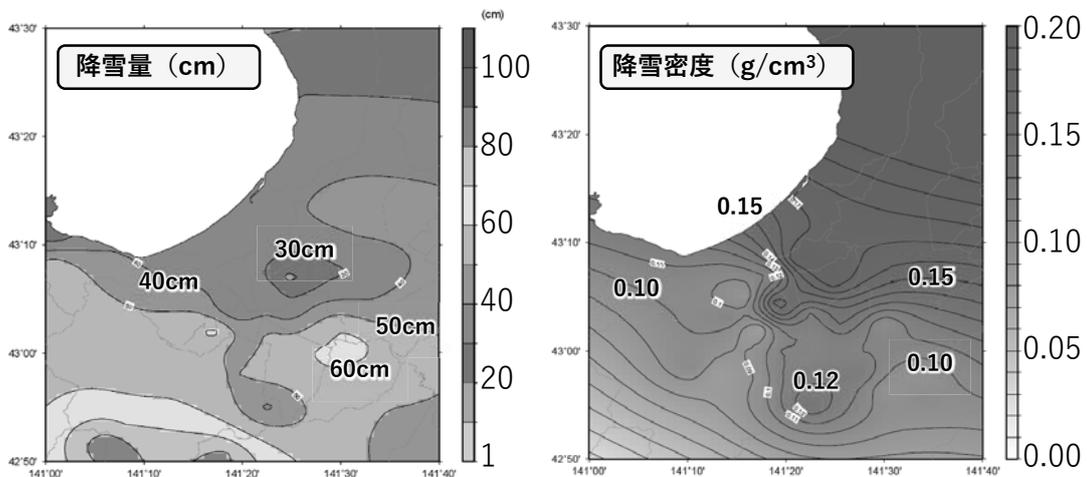


図 11 1 月 13 日 9 時までの 48 時間降雪量と降雪密度<sup>1)</sup>

1月13日9時までの48時間降雪量と降雪密度の分布を図11に示す。降雪密度は各地の48時間降雪量を単純に48時間降雪量で単純に除した値である。札幌周辺の48時間降雪量は札幌市南東部から北広島市にかけて50cm以上に達し、多いところでは60cmを超えた。降雪密度(48時間降雪量/48時間降雪量)は札幌市内の中心部で0.14g/cm<sup>3</sup>前後で、札幌市北部にかけて降雪密度の大きい地域が広がった。48時間降雪量が50cm以上となった領域でも降雪密度は0.12g/cm<sup>3</sup>を超え、湿った雪が降った。48時間降雪量が比較的少ない領域は降雪密度の大きい領域に概ね一致し、降雪量が少ない地域ほど重く湿った雪が降ったと考えられる。このように1月11日～13日の大雪は、低気圧による湿った雪が大量に降ったのが特徴である。

## (2) 2月5日～6日の記録的な大雪

2月5日～6日の北海道付近は総観場では冬型気圧配置となったが、5日夜間から6日午前にかけては北海道の西でわずかな等圧線のふくらみがみられる(図12)。これをメソスケールで確認すると石狩湾付近で小低気圧の存在が疑われる<sup>2)</sup>。また、札幌市の上空は西北西の風が卓越していた。この3日間は石狩湾付近での発達した渦状雲と帯状雲が交互に札幌上空に流れ込み、断続的な大雪となった。また、札幌管区气象台が観測した降雪の大きなピークは2回あり、いずれもY字状に収束して発達した雪雲が札幌市上空に侵入した時であった。札幌管区气象台では6日14時までの24時間降雪量が60cmとなり観測史上1位となった。

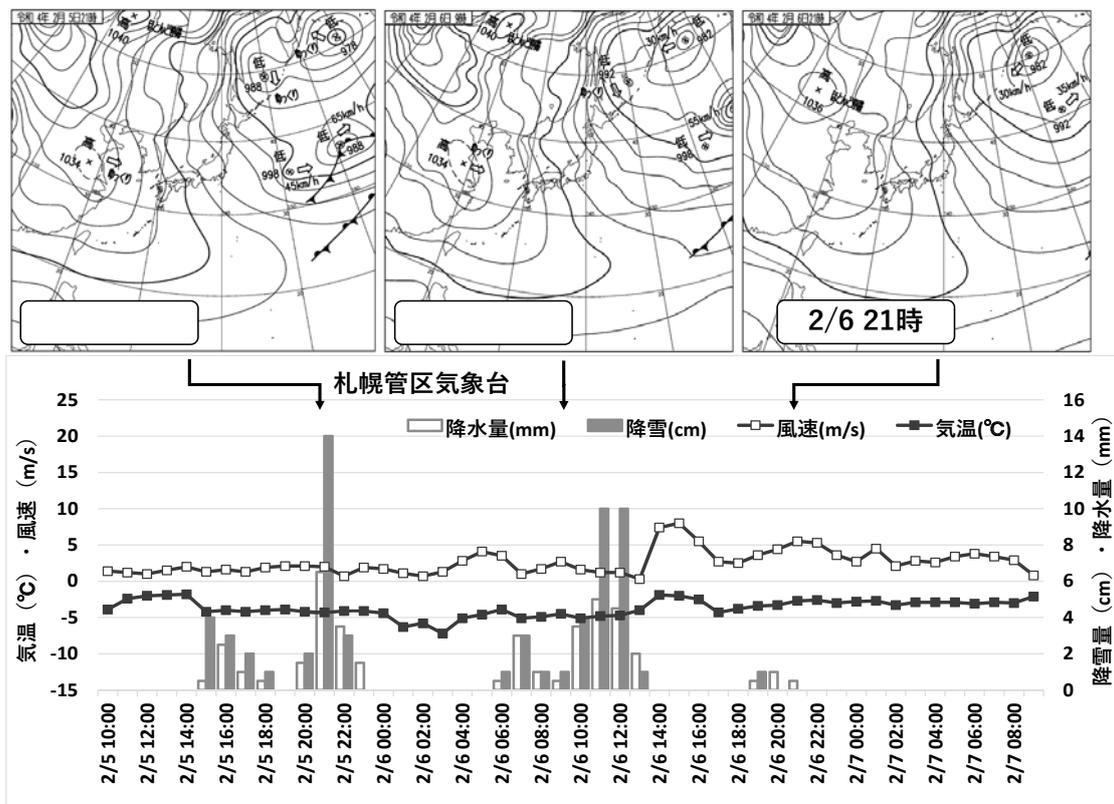


図12 1月13日9時までの48時間降雪量と降雪密度<sup>1)</sup>

2月7日9時までの48時間降雪量は札幌市東区、白石区、厚別区の帯状に広がり70cm以上に達した(図13)。降雪密度は札幌市東区の北部で $0.07\text{g}/\text{cm}^3$ を超えるが、全般的には $0.04\sim 0.07\text{g}/\text{cm}^3$ の範囲内にあり、乾いた軽い雪が降ったと考えられる。このことから2月5日～6日の大雪は、乾いた大量の雪が札幌市南東部を中心に降ったことがわかる

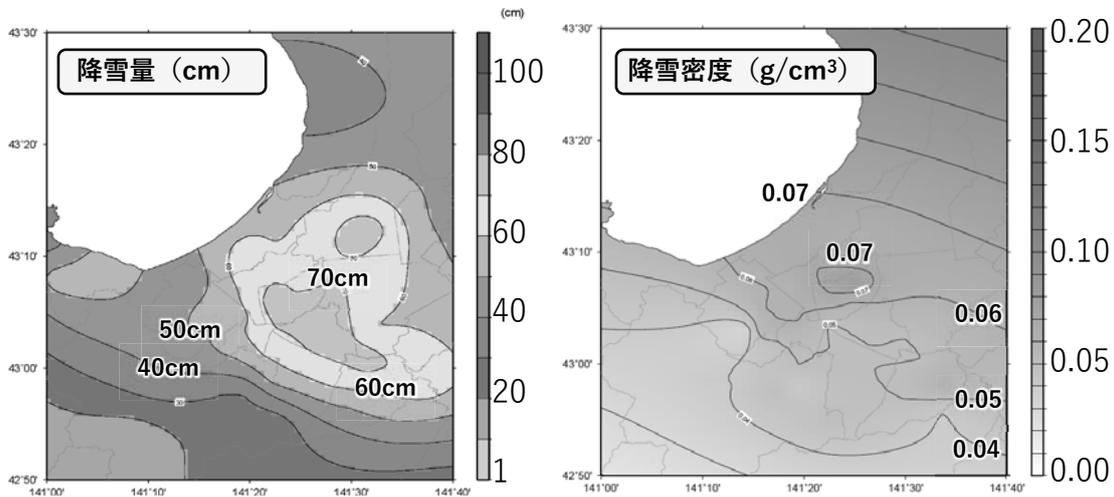


図13 2月7日9時までの48時間降雪量と降雪密度<sup>1)</sup>

### (3) 2月20日～22日の吹雪を伴った大雪

北海道の東で低気圧が猛烈に発達したため、日本海の雪雲が石狩平野に侵入し大雪となった(図14)。札幌上空の850hPaでは25m/sの強い北西風が吹いており、石狩平野の内陸の千歳や恵庭まで発達した雪雲が入り、記録的な大雪となった<sup>2)</sup>。特に2月23日には恵庭島松アメダスで観測史上1位の積雪154cmを観測した。この期間中、札幌管区気象台の風速は10m/s前後で推移し、気温が低く非常に風が強かった。

上空の風が強くと発達した雪雲が内陸深くまで運ばれたため48時間降雪量は札幌市南東部から北広島市、恵庭市にかけて帯状に多くなった(図15)。一方、降雪密度は地点による値の差が大きく、 $0.04\sim 0.10\text{g}/\text{cm}^3$ の範囲に散らばっている。この大雪事例では風が非常に強いため、観測機器の設置環境によっては、吹きだまり・吹き払いによる積雪観測や雨雪量計の捕捉率が影響された結果を示している可能性がある。

そこで、札幌管区気象台の観測データから毎時の吹雪量<sup>4)</sup>を算出した(図-16)。その結果、2月20日20時～22日2時までほぼ毎時間吹雪が継続し、22日9時までの48時間吹雪量は $1378.8\text{kg}/\text{m}$ と推定された。この大雪では吹雪による影響も大きかったと考えられる。例えば、屋根や道路わきの雪山からの飛雪が、住宅の玄関先や敷地、道路などに吹きだまりを形成し、観測された降雪量以上の大雪感をもたらした可能性がある。2月20日～22日は、降雪量の多さに加えて、吹雪や地吹雪による影響も無視できない大雪事例といえる。

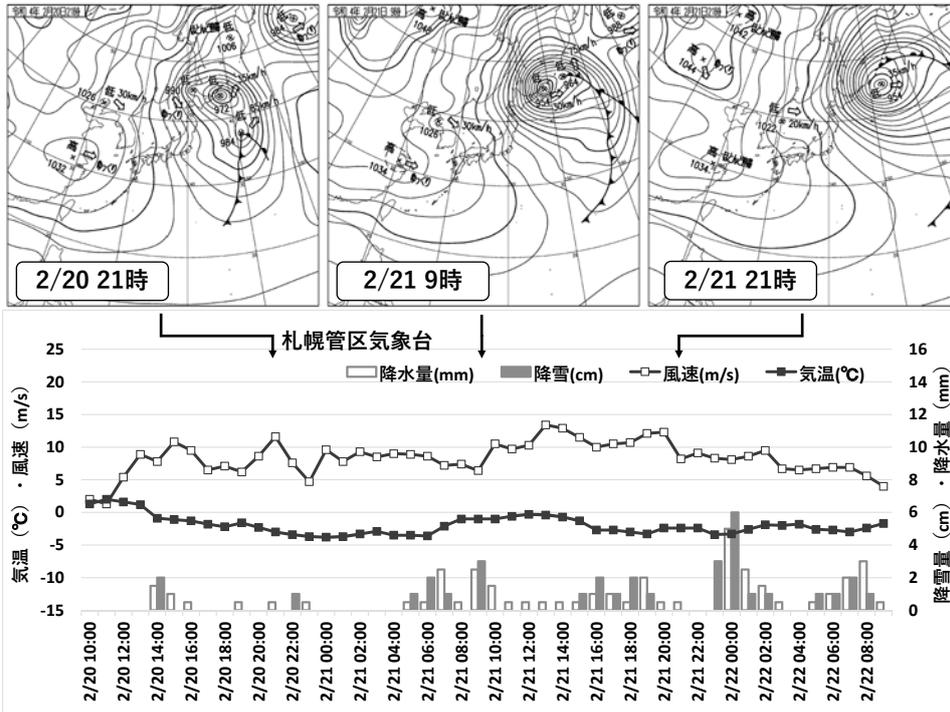


図 14 2022年2月20日～22日の気象経過と地上天気図<sup>1)</sup>

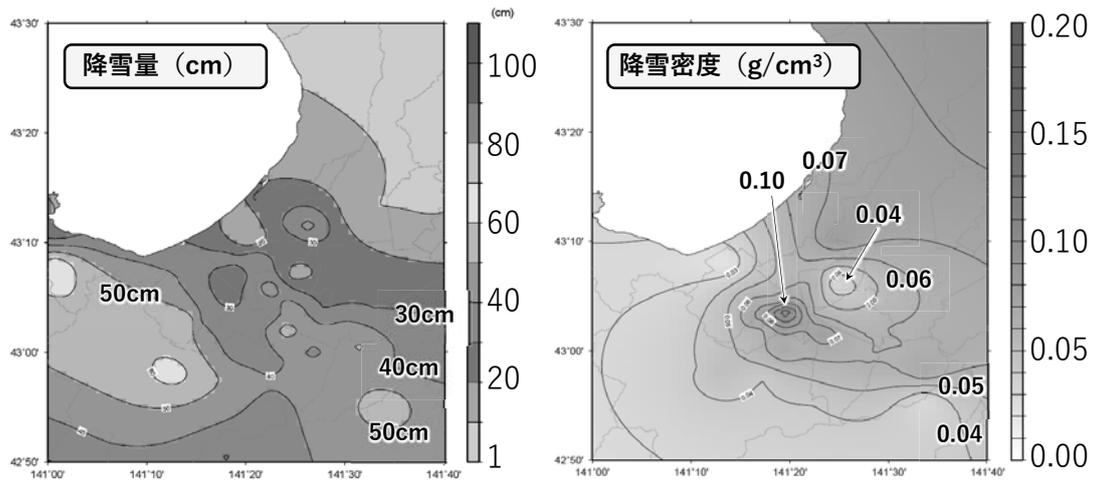


図 15 2月22日9時までの48時間降雪量と降雪密度<sup>1)</sup>

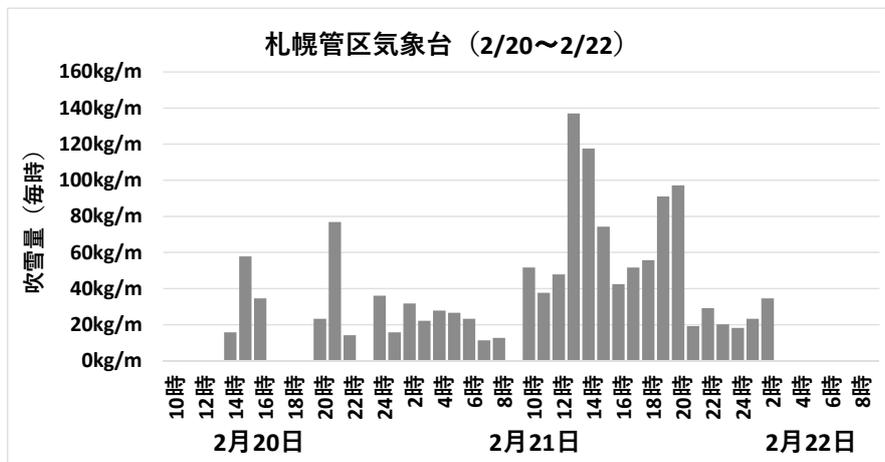


図 16 2月20日～22日の吹雪量の推定結果<sup>1)</sup>

## 2-4 2021-22 冬期の豪雪災害が際立った要因を考える

前述したように、2021-22 冬期の札幌都市圏では1~2月に札幌市南東部（白石区、豊平区、厚別区、清田区）で降雪量が記録的に多かった。さらに、単に降雪量が多かっただけでなく、日降雪量（9時日界）30cm以上のいわゆるドカ雪の回数が多かったのが特徴的であったといえる。15cm以上のまとまった雪が降った時間帯は、豪雪年であった2012-13冬期に比べて、0~6時、12~18時の時間帯で多かったことも特筆すべき点であった。道路管理者や除雪業者へのヒアリングでは「朝方の3~4時頃雪が降っていて、除雪が終わったらまたやらないといけない状況だった」「排雪するたびにドカ雪が降った」とのコメントがあり、大雪が降った時間帯が道路除雪にとって極めて厄介な時間帯であったことを示している。その結果、道路管理者からの「排雪作業より新雪除雪を優先せざるをえない雪の降り方であった」のコメントを裏付けるように、街路の雪山が長期にわたって大量に残る結果になったものと考えられる。

また、1月11日~13日に降った雪は湿った重い雪で、降雪初期の段階では雨や霰混じりであったと推察される。12月17日~18日にも50cmを超える降雪があり、札幌市内では1月11日には40~50cmの積雪状態であった。この積雪に雨や霰混じりの大雪が降り、積雪全体が重く湿った状態になったものと考えられる。道路管理者や除雪業者からは「凍っていた雪を起こして交差点の除雪を行った」「例年になく凍っていて、雪の量が多く、密度も大きく、しまった雪となっていた」「路側は水たまりになり、重くて機械で押すのに時間かかった」といったコメントがあり、除雪作業が極めて難航したことが推察される。そのため、「実際の運搬排雪では例年1日に2km進むところ、2021-22冬期は半分の1km程度しか進めなかった」とのコメントのとおり、除排雪作業が難航したと考えられる。

1月11日~13日以降も断続的に大雪が降り、処理しきれない雪の上に新たな雪が多く降り積もったことが、除排雪作業の障害をさらに大きくしたものである。これ以降の降雪は湿った重い雪ではなかったと考えられるが、1月11日~13日に降った雪の影響が後の除排雪作業に長く影響したといえる。

2月5日~7日に降った記録的な大雪は、石狩湾付近の小低気圧と帯状に収束した雪雲にもたらされたものであった。石狩湾付近での小低気圧や収束した帯状雲の発生は珍しいものではなく、札幌に大雪をもたらす典型例の一つであるが、この大雪の中心は札幌市南東部であった。

2月21日~23日の大雪は猛烈に発達した低気圧による上空の強い北西風が、日本海上の収束雲を石狩平野の内陸深くまで流し込み、札幌市南東部から北広島市、恵庭市、千歳市に大雪をもたらした。この大雪では降雪量の多さだけでなく、強風による地吹雪の影響も大きかったものと考えられる。

このように2021-22冬期に札幌都市圏で降った3例の大雪は、いずれも異なる気象パターンで降ったものであった。しかし、気象パターンは異なるものの、結果として大雪となった地域は札幌市南東部が中心であり、同じ地域で大雪が重なったことが2021-22冬期の特徴といえる。その結果、この地域での雪害が際立ったと考えられる。

### 3. 札幌都市圏と北海道広域の積雪の特徴

#### 3-1 積雪調査の概要

2月中旬～3月上旬にかけて、札幌都市圏での積雪断面観測など各種調査を実施した<sup>2)</sup>。これと同時期に実施した道央・道東・道北域における広域積雪調査結果を比較し、札幌都市圏における積雪の特徴について考察する。

調査チームでは、過去に行われた大雪調査<sup>5)</sup>を参考に、積雪深、積雪水量、および積雪層位記録を基本とする積雪調査を実施した。調査期間は2022年2月12日～3月5日で、札幌都市圏の12地点で実施した(図17)。

#### 3-2 調査結果および考察

##### (1) 各地の積雪深と積雪水量

札幌都市圏における積雪観測結果を表3に示す。追分(調査地点No.5)を除く各地点で積雪深が100 cm以上であり、いずれも近隣の気象庁アメダスにおけるこの時期の平年値を上回っている。積雪水量も追分を除き300 mm以上であり、この時期としては高い値である<sup>6)</sup>。

##### (2) 札幌月寒公園での観測結果(2月12日)

ここでは、2月12日に実施した札幌月寒公園(調査地点No.1)での積雪断面観測について記す。この調査を行う前の2月5～6日にかけて、札幌では24時間降雪量60 cmを記録する大雪があり、2月6日の日最深積雪は133 cmに達した。調査はこの6日後に実施したため、既に圧密・焼結の影響が出ているが、後述のように大雪時に加わった層は明瞭に識別できた。

図18は同公園における積雪断面観測結果であり、図18aは積雪層位図、図18bは積雪断面を示す。積雪断面観測は、積雪観測ガイドブックに準じて実施し<sup>7)</sup>、層位は0.5cm単位で測定した。当日の積雪深は108 cmだった。下層にはざらめ雪、中層にはしまり雪が確認された(図18a)。これらの層は12月から1月にかけて積もった雪で、積雪層内では密度・硬度ともに値が高い。図18a, bに矢印で示す部分は2月5～6日の降雪で新たに加わった層と推定される。この層の雪質は、時間経過に伴い新雪が圧密・焼結過程で変化したこしまり雪と判定した。また神室型スノーサ

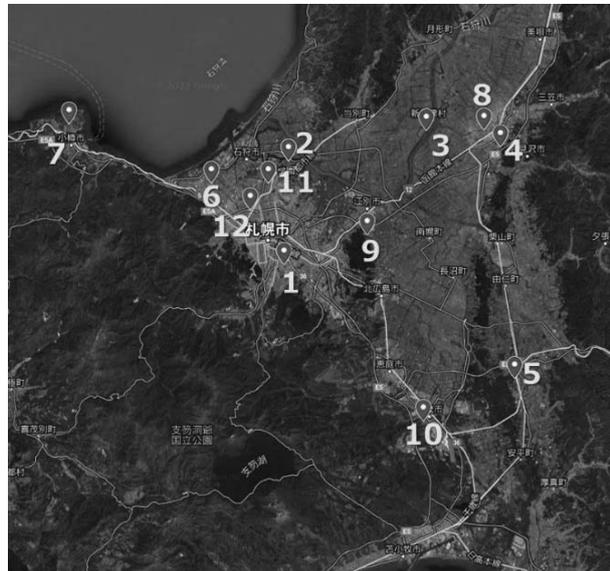


図17 札幌都市圏で実施した積雪断面観測の調査地点(調査地点番号は表4.1に対応)。

表3 札幌都市圏における積雪観測結果

| No. | 調査地点              | 調査日   | 積雪深<br>cm | 積雪水量<br>mm | 全層密度<br>kg m <sup>-3</sup> | 担当    |
|-----|-------------------|-------|-----------|------------|----------------------------|-------|
| 1   | 札幌月寒<br>(月寒公園)    | 2月12日 | 108       | 315        | 292                        | 白川・高橋 |
| 2-1 | 札幌あいの里<br>(北教大1)  | 2月13日 | 150       | 432        | 288                        | 尾関    |
| 3   | 新篠津<br>(しのつ公園)    | 2月14日 | 126       | 440        | 349                        | 尾関    |
| 4   | 岩見沢1<br>(北教大)     | 2月14日 | 126       | 381        | 302                        | 尾関    |
| 5   | 追分<br>(鹿公園)       | 2月14日 | 83        | 245        | 295                        | 尾関    |
| 6   | 札幌手稲<br>(科学大)     | 2月23日 | 100       | 315        | 315                        | 白川・細川 |
| 7   | 小樽<br>(旧北手宮小)     | 2月23日 | 162       | 513        | 317                        | 白川・大鐘 |
| 8   | 岩見沢2<br>(あさざり公園)  | 2月24日 | 139       | 445        | 320                        | 白川    |
| 9   | 野幌<br>(総合運動公園)    | 2月24日 | 151       | 435        | 288                        | 白川    |
| 10  | 千歳<br>(青葉公園)      | 2月26日 | 120       | 315        | 263                        | 白川    |
| 2-2 | 札幌あいの里<br>(北教大2)  | 3月2日  | 146       | 503        | 345                        | 尾関    |
| 11  | 札幌太平<br>(太平公園)    | 3月5日  | 126       | 472        | 375                        | 尾関    |
| 12  | 札幌新川<br>(新川ポプラ公園) | 3月5日  | 117       | 386        | 330                        | 尾関    |

ンプラーを用いて、積雪水量を計測した（図 18a の右下）。当日計測した積雪水量は 315 mm であった。これは 1 m<sup>2</sup> に 315 kg が载荷していることに相当する。この値は 2 月中旬としては高い

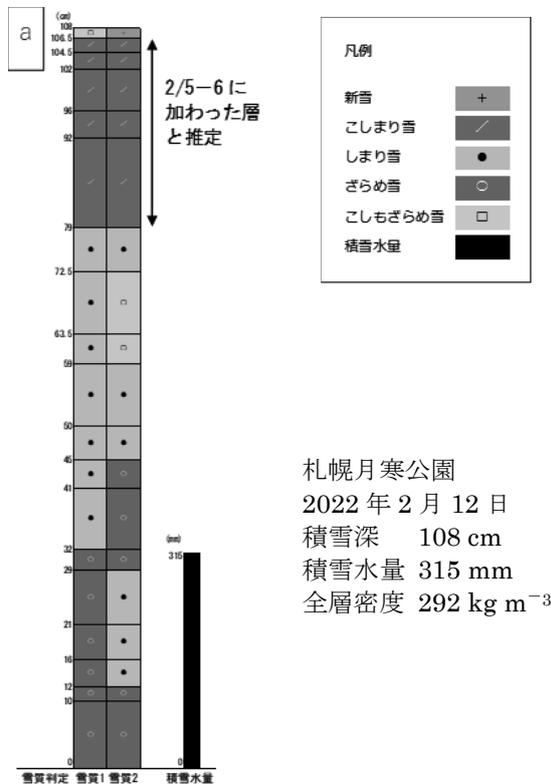


図 18 札幌月寒公園での積雪断面観測結果。(a) 積雪層位図, (b) 積雪断面写真。観測実施日: 2022年2月12日。

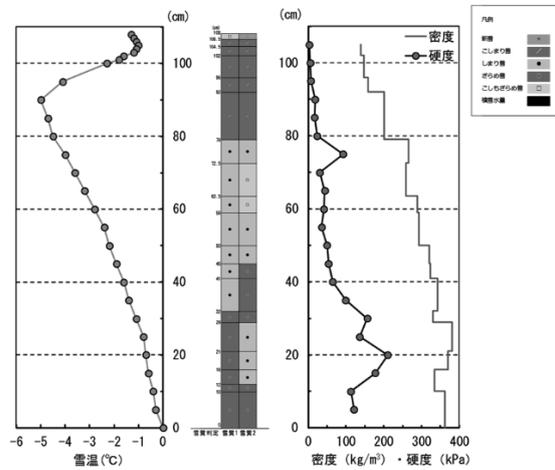


図 19 札幌月寒公園での積雪層位と雪温・密度・硬度の分布。観測実施日: 2022年2月12日。

といえる。

図 19 は、図 18a の積雪層位図に雪温分布、密度・硬度分布を加えたものである。これらの物性値より、積雪上部にあるこしまり雪の層は、その下に存在するしまり雪の層とは特徴が異なり、鉛直方向に不連続となっている。

### (3) 札幌都市圏各地の積雪層位と積雪水量

図 20 は、層位記録のある札幌都市圏 10 地点における積雪層位および積雪水量の調査結果である。このうち、札幌あいの里は同一地点にて、時期を空けて計 2 回観測、岩見沢は市内 2 地点にて時期を空けて各 1 回観測している。

積雪層位記録には観測者の違いによる差や調査時期の差は見られるが、多くの観測値でこしまり雪、しまり雪、ざらめ雪が主体であることが分かる。また氷板が少なく、各地の積雪にはいずれも大雪時に積もったとみられる厚い層が存在していた。積雪水量の値も高く、特に小樽手宮、札幌あいの里、江別野幌、岩見沢にて 400 mm を超えている。

図 21 は、直近 3 カ年における札幌都市圏各地における積雪深分布（農研機構メッシュ農業気象データシステムによる算出値）を示す。算



#### (4) 道央・道東・道北域との比較

図 22 は、札幌都市圏とほぼ同時期に実施した道央、道東、道北各地における積雪層位・積雪水量を示す<sup>8)</sup>。図中、△が札幌都市圏に対応する。調査期間は 2022 年 2 月 18 日～3 月 3 日である。各地の積雪層位記録をみると、石狩・空知はしまり雪・ざらめ雪主体で積雪が多く、北部を除く上川・十勝・釧路では雪質にしもざらめ雪を含み、積雪は少ない傾向を示している。北海道の広範囲で比較しても、札幌都市圏の大雪傾向が顕著であることがわかった。

### 4. 大雪をもたらした気象の特徴

2021～2022 年冬期は札幌アメダスでの積雪観測データによると 4 回のいわゆるドカ雪が記録された(図 9)。2・3 ではこのうち 3 事例について気象経過と降雪量および降雪密度の空間分布に着目して述べたが、本節ではこれらの 4 降雪について、地上気圧配置と解析雨量図に着目し気象的な特徴を述べる。また、風系による降雪域の違いや寒気と降雪量の関係、大雪予測の事例などをまとめた。

#### 4-1 大雪事例解析

##### (1) 2021 年 12 月 17 日～18 日の降雪

北海道の南を低気圧が通過し(図 23)、札幌では低気圧循環の南風で降雪が始まり、通過後の北系の風になってから強い降雪となった。札幌では降雪量 57cm の大雪となり、積雪深が 0cm から 24 時間後には 53cm となった。

北海道の西海上に“西岸带状雲”と呼ばれるバンド状のまとまった雲域が形成され、北西からの L(Longitudinal)モード筋状雲が合流して強化された(図 24)。

これによって短い時間に強い雪を降らせ大雪となった。

##### (2) 2022 年 1 月 11 日～13 日の降雪

北海道を挟むように北上してきた二つの低気圧(図 25)による降雪と、その後の冬型の降雪で、札幌の降雪量は 43cm であった。

南岸低気圧通過に伴い南東から雲域が侵入して 11cm、風向が北西系に変わり低気圧後面の雲と北西からの L(Longitudinal)モード筋状雲が合流して強化され(図 26)、冬型の気圧配置で 32cm の降雪となった。

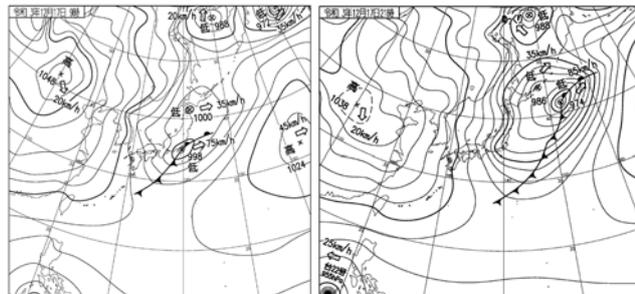


図 23 地上天気図 2021 年 12 月 17 日 09 時(左), 21 時(右)

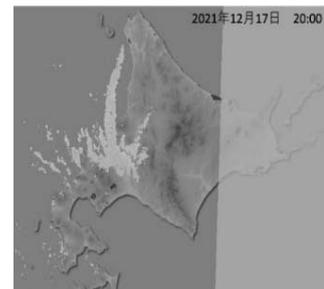


図 24 解析雨量図  
2021 年 12 月 17 日 20 時

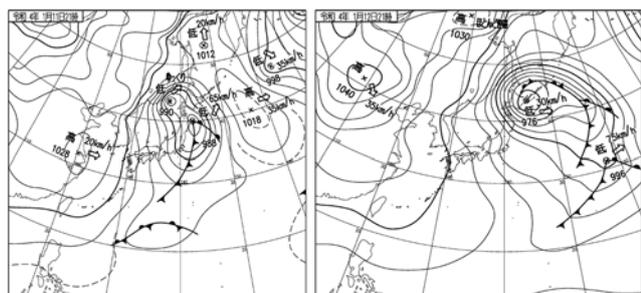


図 25 地上天気図 2022 年 1 月 11 日 21 時(左), 12 日 21 時(右)

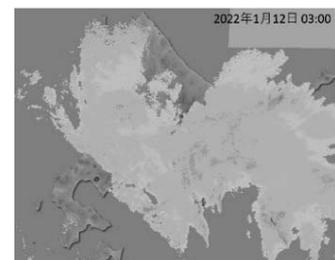


図 26 解析雨量図  
2022 年 1 月 12 日 03 時

### (3) 2022年2月5日～6日の降雪

図 27 の地上天気図では解析されないが、北海道の西海上に等圧線のふくらみがあり、小低気圧性の循環の存在を示唆している。そこで等圧線を 0.5hPa 毎に描画し解析雨量と重ね合わせたのが、線は閉曲せずに円い膨らみ程度であるが (図 28), 小低気圧型とした。札幌の降雪量は 61cm であった。

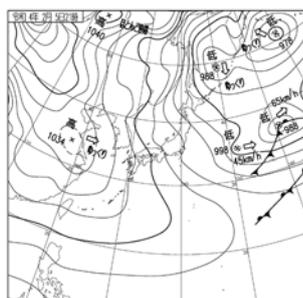


図 27 地上天気図  
2022年2月5日 21時

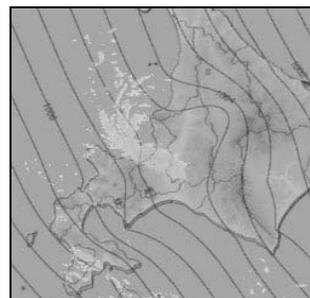


図 28 詳細等圧線と解析雨量  
2022年2月6日 9時

### (4) 2022年2月21日～23日の降雪

図 29 に示す爆弾低気圧通過後の筋状雲の侵入により札幌は 51cm の降雪量となった。札幌から南東方向に約 25km の恵庭島松は 98cm と 1982 年からの記録を更新した。図 30 の解析雨量に示すように西岸带状雲と L モードの北西からの筋状雲が札幌付近で合流し、さらに内陸へと侵入した。

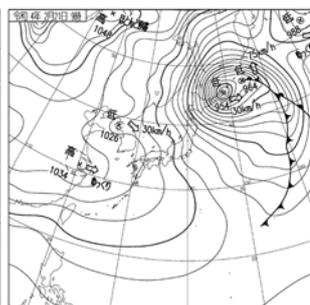
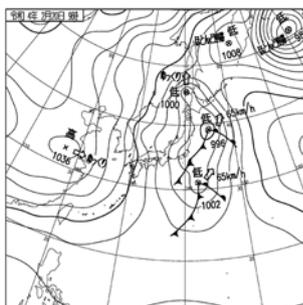


図 29 地上天気図 2022年2月20日9時(左), 21日9時(右)

強い冬型の際に雪雲が石狩平野の内陸部まで入り込むことは珍しくないが、図 31 に示すように 1,000m から 2,000m ほどの下層の 20ms<sup>-1</sup> 以上の強い風が活発な雪雲を侵入させ、記録的な大雪になったのだろう。

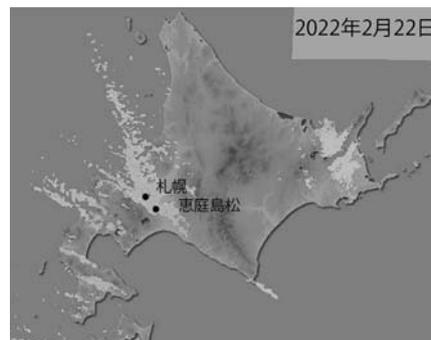


図 30 解析雨量 2022年2月22日1時

北海道で大雪となる気圧配置は、以下の三つが知られている<sup>9)</sup>。①冬型、②発達した低気圧 (爆弾低気圧)、③小さな低気圧 (西岸小低気圧)。ここで対象とした 4 事例は冬型 2 例、発達した低気圧と小さな低気圧が各 1 例となった。2022 年冬期の大雪は特別な気圧配置が出現したためではな

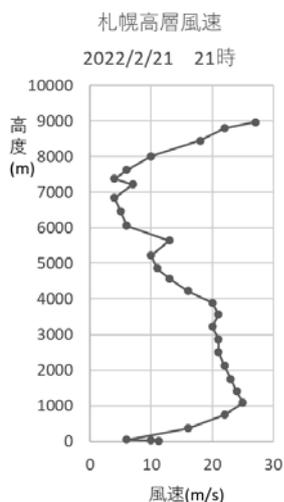


図 31 札幌高層風速

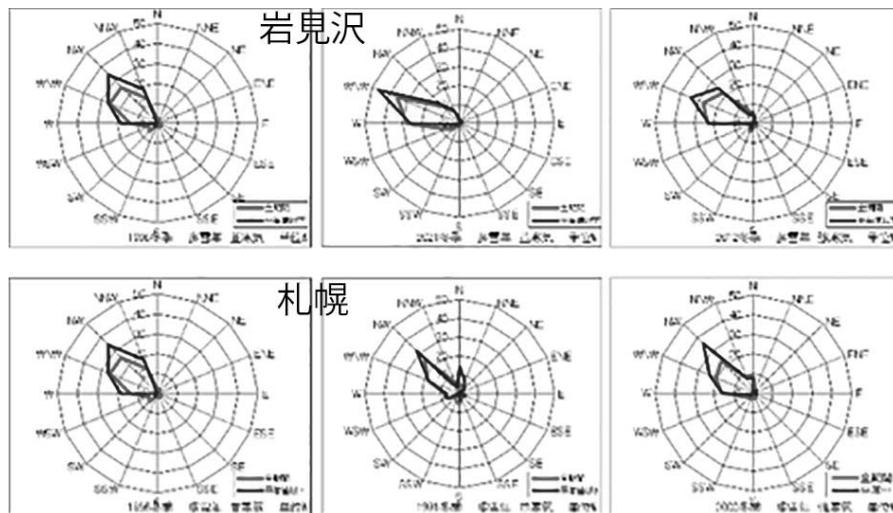


図 32 札幌, 岩見沢の多降雪量 3 冬期年と札幌 850hPa (09 時) 風向出現率  
上段: 岩見沢: 1996 年 825cm, 2021 年 820cm, 2012 年 800cm 下段: 札幌: 1996 年 577cm, 1991 年 548cm, 2000 年 529cm. 赤線: 全期間, 青線: 平年値以下

く、従来から確認されている気圧配置パターンによるものであった。社会的な混乱は、40cm 以上のまとまった降雪が繰り返し発生したためであろう。

#### 4-2 風系による大雪の地域の違い

札幌の降雪が多くなるのは北系の風、岩見沢は西系の風向によるとされている。そこで寒候期の降雪量が大きかった3年間の札幌の高層観測の風配図を作成した(図32)。両地点とも第一位は1996年寒候期(1995年12月~1996年2月)である。1996年寒候期は北西と西北西が同率で、気温が平年より低い時は北西が1位となった。2位と3位を見ると札幌は北西、岩見沢は西北西で経験則と一致する結果となった。今冬の2022年寒候期は北西と西北西が同率で、気温が平年より低い時は西北西が1位となった(図33)。

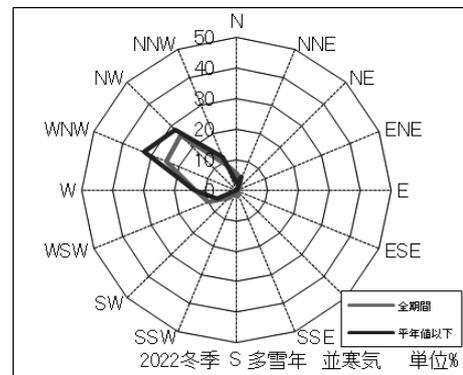


図33 2022年寒候期の札幌850hPa09時風配図

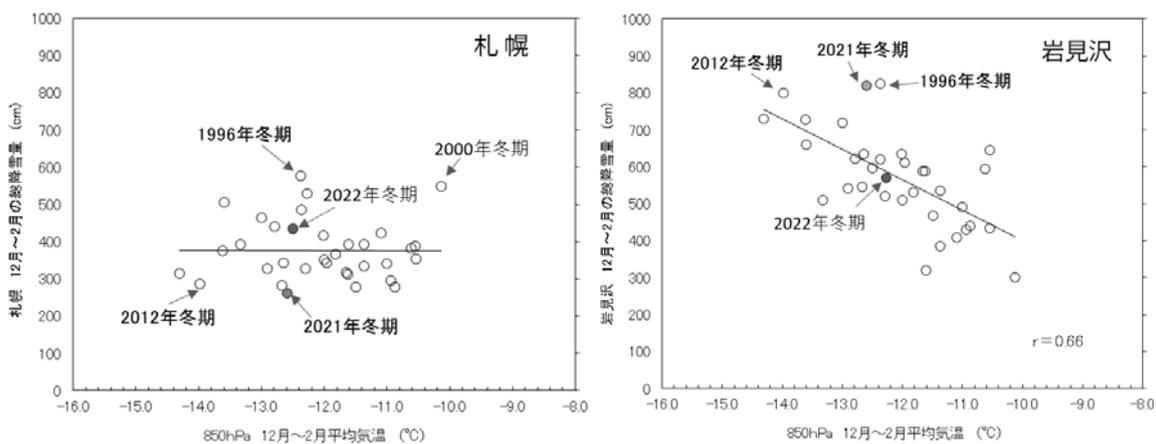


図34 札幌850hPa09時の寒候期平均気温と総降雪量の関係 左：札幌，右：岩見沢

#### 4-3 寒気と降雪量の関係

日本海側の降雪は、季節風が暖かい日本海から水蒸気を補給されてできる筋状の雪雲によってもたらされる。寒気が強いほど、また海水温が高いほど雪雲は発達することになる。

図34は1989年から2022年の34年間の寒候期(12月~2月)札幌850hPa09時平均気温と寒候期総降雪量の関係である。岩見沢は期間の平均気温と総降雪量の相関関係が強いのにに対し、札幌の総降雪量是对応関係が無い。札幌の降雪量は寒気的大小では説明できず、前項に示したように風系の影響が大きいと推察される。

#### 4-4 札幌都市圏でドカ雪が頻発した理由

2022年寒候期は日本周辺に上空寒気が流入しやすく(図35)、北海道周辺は北寄りの風系となる地上気圧配置の出現が多かった<sup>10)</sup>。このことが冬型の気圧配置をもたらしやすく、北系の風向の出現が増え、札幌周辺での降雪量が多くなった要因であろう。2022年寒候期はラニーニャ現象

が継続したことが、本邦への寒気が流入しやすくなった理由として説明される。

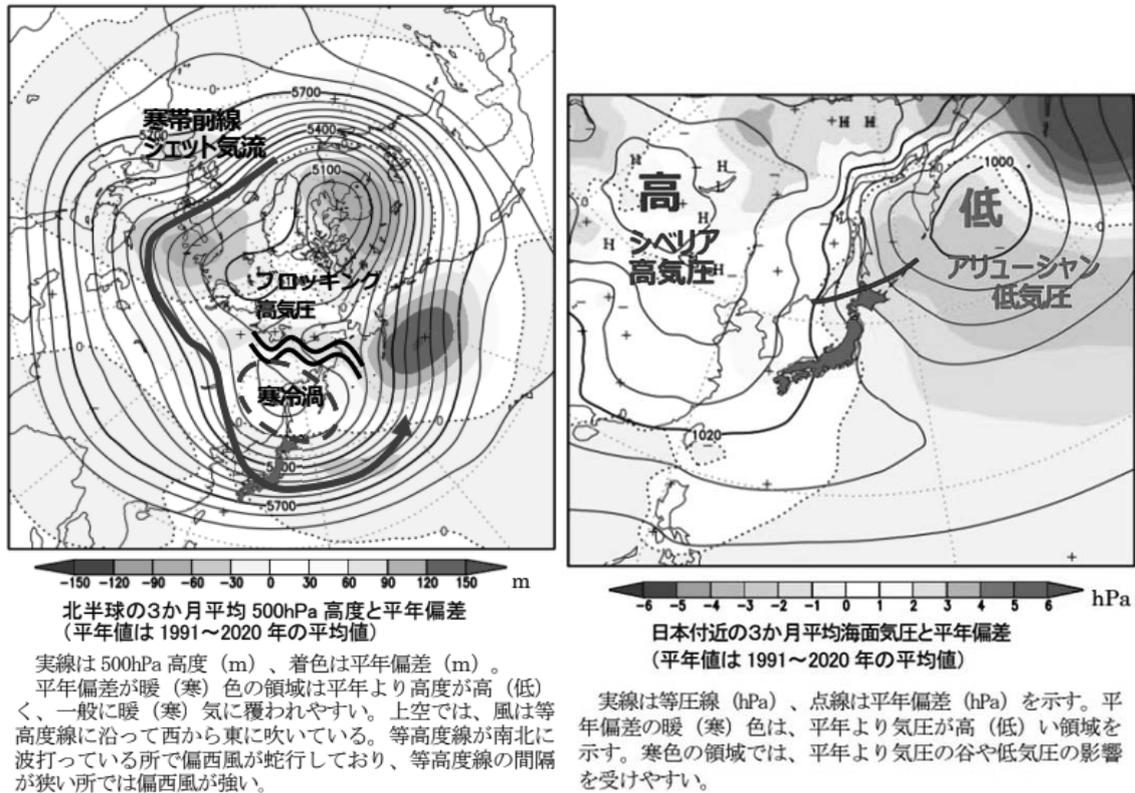


図 35 北半球の 2022 年寒候期の 500hPa 高度と日本付近の海面気圧の年平均偏差 札幌管区気象台資料<sup>10)</sup>から抜粋

#### 4-5 災害対応のための大雪リスク予見の可能性

降雪予測の精度が高ければ、除雪の強化や交通機関の事前通行止めのような予防的措置がとれる。反対に予測が外れたために大規模なスタックや交通滞留が発生することもある。事例解析で示したように、札幌圏で大雪となるのは西岸帯状雲や小低気圧性の循環による雪雲が流入する時が多い。これらはメソβスケール現象で、現在の数値予報モデルでは予測精度に限界がある。

しかし、西岸帯状雲の出現は図 36 の例にもあるように予測できることが多く、位置的なズレが精度低下の主因となっている。一定程度の誤差範囲を考慮することによって、大雪リスクに備えることが可能と考える。

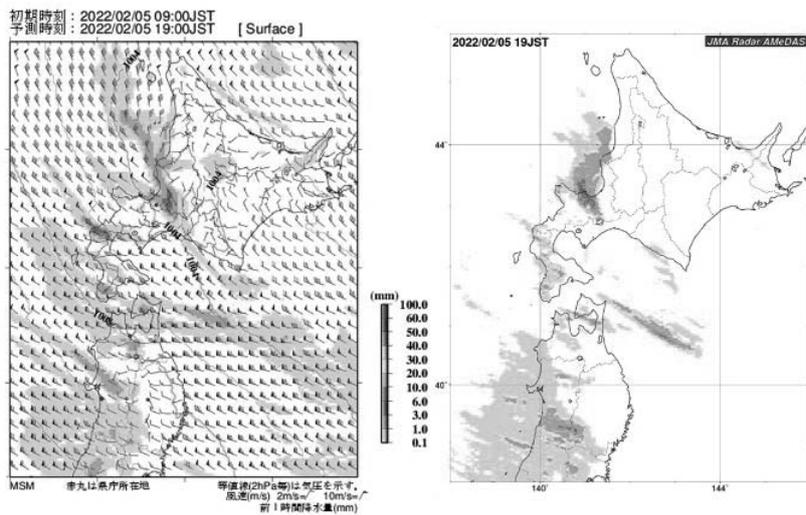


図 36 数値予報と観測値の比較 左: 気象庁 MSM 右: レーダーアメダス  
2022 年 2 月 5 日 9 時初期値として 10 時間後予測

#### 4-6 近年の大雪の偏り

大雪は最深積雪で評価されることが多い。しかし、北海道内でも日本海側の積雪の多い場所と太平洋側の少ない地域があり、直接の比較や平年比では分かりづらい。そこで最深積雪を標準偏差で規格化する多雪指数 (SSDI) <sup>11)</sup>を用いてみた：

$$SSDI(k,i) = (d(k,i) - d(k)) / sd(k) \quad (1)$$

ここで  $d(k,i)$  は地点  $k$  の  $i$  冬季の最深積雪、 $d(k)$  は地点  $k$  の最深積雪の平均、 $sd(k)$  は地点  $k$  の最深積雪の標準偏差である。図 37 は日本海側の札幌、岩見沢と道東の網走、根室の多雪指数を計算した結果である。1962 年寒候期から 2022 年の 61 年間の変動を見ると、岩見沢と道東二箇所で見られる年変動が近年大きくなっていることが分かる。道東は爆弾低気圧の通過によって、岩見沢は暖冬と寒冬の振れ幅が大きくなっていることが要因と考えられる。札幌は他の地点に比べ変動が小さい。

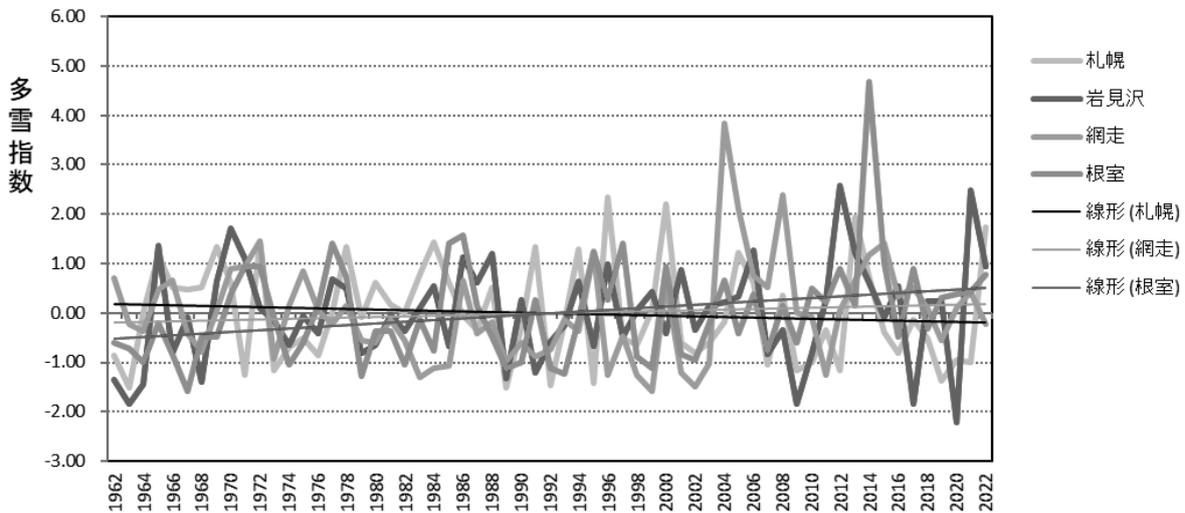


図 37 観測地点の多雪指数の経年変化

#### 4-7 気候変動に伴う将来の降雪の傾向

北海道の降雪の将来予測について、確率的な評価手法 d4PDF を用いた研究がある <sup>12)</sup>。文科省・気候変動リスク情報創生プログラムで作成した「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change」を用いる方法である。地球の平均気温が 4℃ 上昇を想定したデータについて、北海道領域を更に 5km メッシュに力学的ダウンスケーリングした値を使用した結果、西高東低の気圧配置では北寄り風系は減少し、西寄り風系の岩見沢大雪型の出現が増えるとしている。一方、南岸低気圧は減少するとなった。海岸部や平野部での降雪量は減少し、内陸の標高の高い山岳域では降雪量は増える結果である。札幌の降雪量は寒気よりも風向に影響されるので、頻度は減っても風向によってドカ雪は将来も出現すると考える。

## 5. 交通にもたらした影響 — ETC2.0 を含む道路交通の観測データを用いた分析 —

### 5-1 調査の概要

札幌都市圏は 2021-22 年冬期の冬期に大雪に見舞われ、1~2 月の札幌市内で過年度平均の 1.5 倍を超える降雪量が観測された。この影響により、道路や鉄道の交通に影響がみられた。2022 年度においても、少なくない降雪や雪による視程障害などが生じている。

これまで以上に安心・安全な冬期交通を実現するためには、降雪によって生じる堆雪や路面の状態、交通の実態を定量的かつ面的に把握し、今後の対策に活かしていくことが望ましい。例えば、道路空間そのものや交通状況を把握することが可能な仕組みとして、著者、Takahashi ら<sup>13)</sup>が開発・設置している車載型のエッジ AI システムで得る道路前方映像や緯度経度情報などの分析や、自動料金収受システム (ETC2.0) のプローブデータ (車両の位置・速度・加速度データなどの情報) がある。そこで本調査では、著者らが設置する車載型のエッジ AI システムが集積するデータ、および ETC2.0 プローブデータを用いて道路および交通の様子に関する分析と可視化を行い、大雪によって生じた交通の実態を俯瞰する。

### 5-2 調査方法

#### (1) 車載型のエッジ AI システムによるデータ集積と道路空間と都市間交通の様子の分析

著者らは道路環境計測システムとして、これまでに図 38 に示す車載型のエッジ AI システム (advanced RVIS<sup>13)</sup>, 以降 RVIS) を開発している。2021-22 年冬期の冬期には、本システムを稚内—札幌間を結ぶ都市間バス 4 台に搭載し、道路環境データを 2021 年 9 月から連続的に計測している。RVIS では車載カメラで撮影された走行映像から、視界状況を定量的に示す WIPS と呼ばれる値の算出と AI 観測による路面状況の判定が行われ、GNSS データ (緯度経度情報, 速度情報) とともに約 10 秒間隔に記録が行われる。RVIS から得られる種々のデータによって走行経路や走行時間, 任意の地点における路面や視界などの周辺道路環境の定量的な把握が可能となる。

本調査では、RVIS によって集積される種々のデータから、道路空間での堆雪の様子や都市間バスの運行時間から交通の様子を把握する。特に堆雪の様子は、運転席からの前方画像に対する深度マップ (撮像された物体までの距離に応じた数値を各画素に求めるもの)<sup>14)</sup>を用いて路肩側の物体の大きさから推定する。

#### (2) ETC2.0 プローブデータからみる札幌市内交通の様子の分析

ETC2.0 プローブデータは、車両の位置・速度・加速度データなどを含んでおり、これを用いることで道路あるいは適当な区域ごとに車両交通の様子を把握することができる。そこで、本調査では、札幌市内を対象に次の 3 点を分析する。



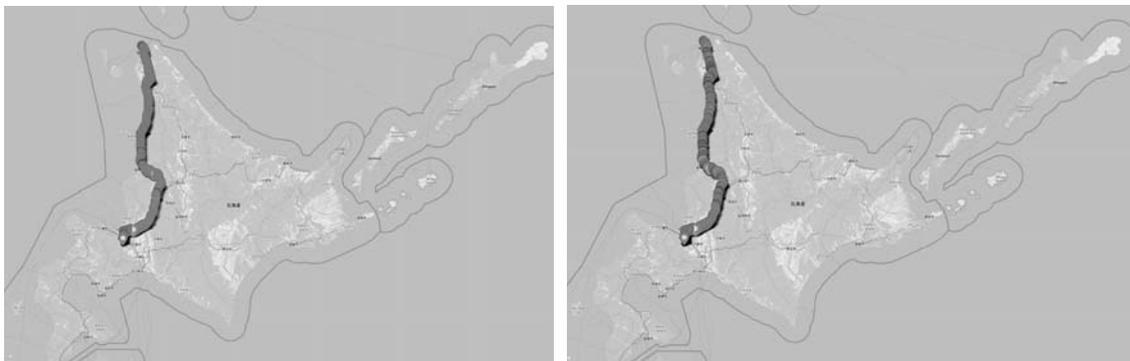
(a) システム外観

(b) 動作の様子 (位置情報, 視界, 路面状態の AI 解析)

図 38 : 車載型のエッジ AI システム

- 1) 札幌市内小区域における 2020-21 年冬期と 2021-22 年冬期での平均速度の比較
- 2) 札幌市内都市部における 2022 年 2 月の日ごと交通量と速度
- 3) 札幌市内交通の ETC2.0 プローブデータによる俯瞰

これらの分析から 2021-22 年冬期に札幌市内で生じた交通の実態を俯瞰する。



(a) 堆雪が少ない時期 (2021 年 12 月 12 日) (b) 堆雪がみられる時期 (2022 年 1 月 17 日)

図 39 : 深度マップによる前方画像からの堆雪の評価結果の一部

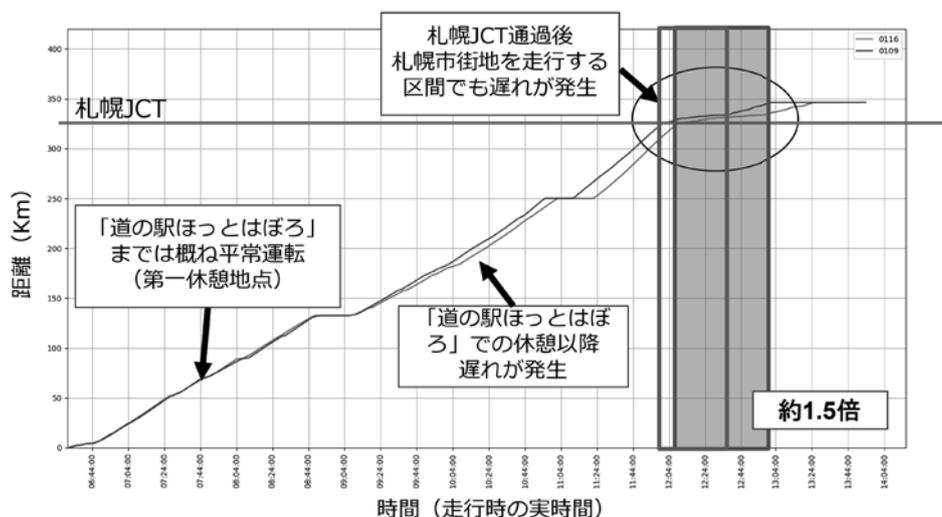


図 40 : 都市間バスの運行の様子 (青 : 2022 年 1 月 9 日, 赤 : 2022 年 1 月 16 日)

### 5-3 調査結果と考察

#### (1) 道路空間と都市間交通の様子の分析結果

本節では、道路空間での堆雪の様子や都市間バスの運行時間からわかる交通の様子を報告する。まずシステムから得られる運転席からの前方画像を用いた道路空間にみられる堆雪の様子の分析結果を図 39 に示す。図 39 では、札幌と稚内の間の区間に対する堆雪状況の評価結果が示されており、青色が「堆雪が見られない」と評価された場所であり、橙色が「堆雪の可能性あり」、赤色が「大きな堆雪の可能性あり」と評価された場所である。

この図より、2021 年 12 月 12 日は大きな堆雪が観測されるほどの雪が無く、2022 年 1 月 17 日には、大きな堆雪 (赤色) が観測される結果となることがわかる。図 39 は札幌と稚内の間の区間を広くみているものであるが、札幌市内においても大雪が観測されたことから同様の傾向となっている。

次に都市間バスの運行時間からわかる札幌市内交通の様子について報告する。図 40 に都市間バスの運行時の様子として、走行時の時間と距離の関係を示す。図 40 では、稚内から札幌までを走行したバスの実際の移動の様子を示しており、青線が 2022 年 1 月 9 日、赤線が 2022 年 1 月 16 日のデータとなっている。

この図に示した 2022 年 1 月 16 日（赤線）は、大雪がみられた後の走行データであり、1 月 9 日と同一のルートを行走していることから、大雪の影響を時間軸にみる事ができる。図中には、札幌 JCT から札幌市街地をとって札幌駅まで走行した時間帯を青矩形（1 月 9 日）と赤矩形（1 月 16 日）で示している。この矩形の幅を見ると大雪がみられた後の走行データでは、その前と比べて札幌 JCT から札幌駅までの移動に 1.5 倍の時間を要していることがわかる。また、この区間は札幌 JCT を通過する以前の区間と比べた場合、青線と赤線との差が大きくなっていることから、このときの大雪による交通への影響は比較的都市部に大きく、旅行時間に影響が出る事が定量的に示された。

## (2) 札幌市内交通の様子の分析結果

本節では、ETC2.0 プローブデータを用いて、1) 札幌市内小区域における 2020-21 年冬期と 2021-22 年冬期での平均速度の比較、2) 札幌市内都市部における 2021 年 2 月の日ごと交通量と速度、3) 札幌市内交通の ETC2.0 プローブデータによる俯瞰を報告し、2021-22 年冬期の冬期に札幌市内で生じた交通の実態を把握する。

### 1) 札幌市内小区域における 2020-21 年冬期と 2021-22 年冬期での平均速度の比較

本調査では、2020-21 年冬期と 2021-22 年冬期の 12 月～2 月の車両の平均走行速度を札幌市の 4 つのエリアで比較する。4 つのエリアはメッシュコード

での分割とし、具体的には、中央区・豊平区方面のメッシュコード 6441-42、白石区・厚別区方面のメッシュコード 6441-43、北区・手稲区方面のメッシュコード 6441-52、および東区方面の

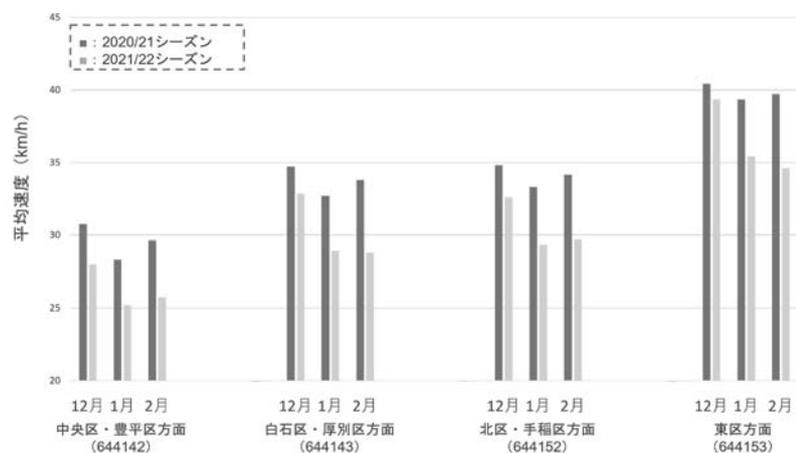


図 41：2021 年度の 12 月から 2 月の各月全体のデータでの比較

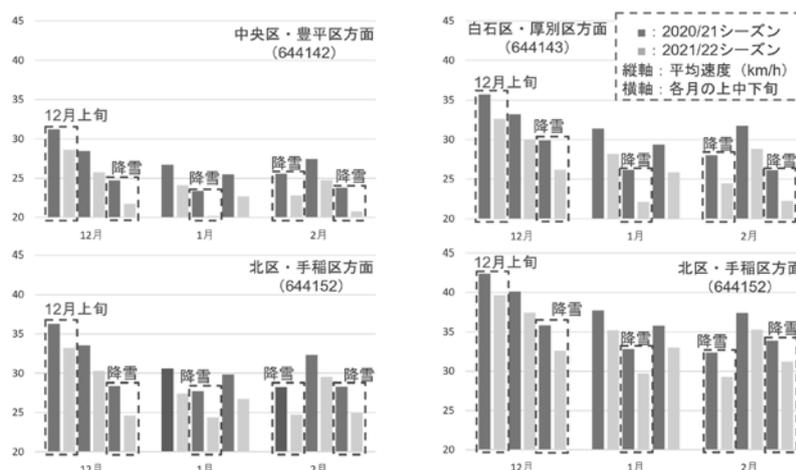


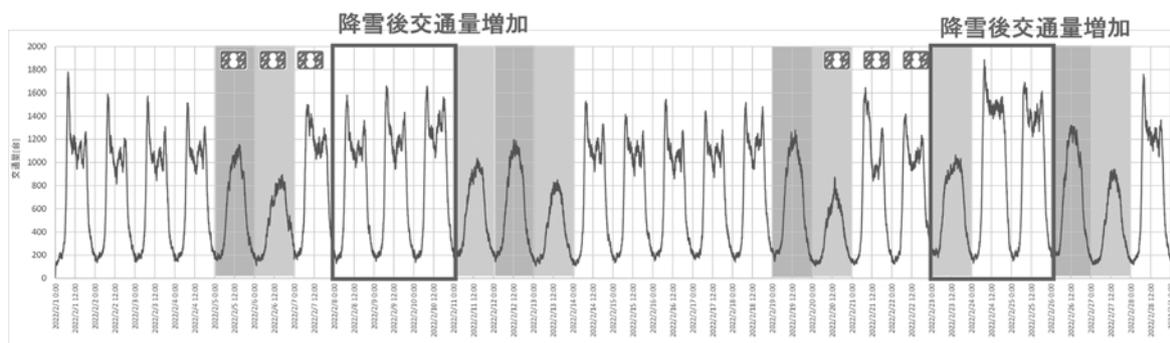
図 42：各月旬別の昼間の時間帯（7 時～19 時）の平均走行速度

メッシュコード 6441-53 とした。比較は 2 種類行っており、1 つ目は各月全体のデータを用いて全体的な傾向を把握する（比較 1）。次に、昼間の時間帯 7 時～19 時の走行速度について、各月旬別のデータを用いて多い降雪量と昼間交通の関連を把握する（比較 2）。本調査では、以上によって、車両の走行速度に注目して降雪と交通の関係を把握する。

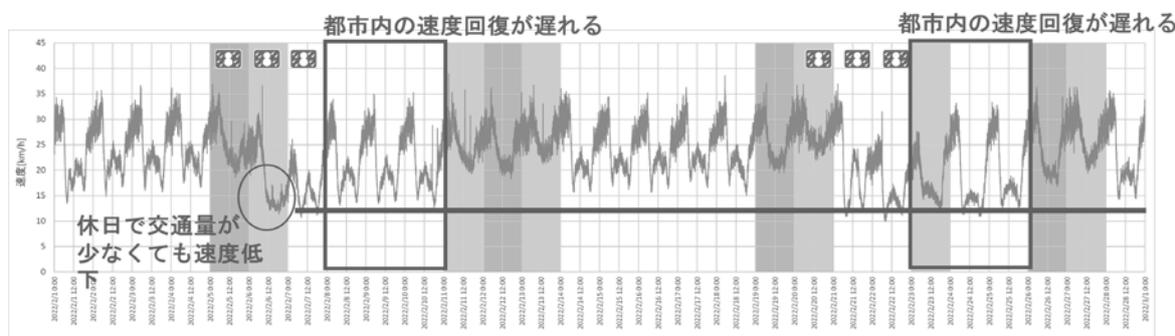
まず比較 1 の結果を図 41 に示す。比較 1 は、車両の平均走行速度について各月全体のデータを用いて全体的な傾向を把握しようとするものであるが、図 41 より 2021-22 年冬期は、通期で前年度と比べて車両速度が低速になっていることがわかる。特に 1 月と 2 月が顕著となっている。この時期について 12 月との速度低下率を求めると、2020-21 年冬期が 4% であることに對して、2021-22 年冬期は 10% 程度であった。

次に比較 2 の結果を図 42 に示す。比較 2 は、昼間の時間帯 7 時～19 時の平均走行速度を各月旬別に分析し、多い降雪量と昼間交通の関連を把握しようとするものである。図 42 では、降雪量が多く観測された時期を赤の破線矩形で示している。

先の比較 1 で冬期間全体に亘って 2021-22 年冬期の速度低下がみられたが、図 42 より降雪が見られるタイミングで速度低下がより大きくなることがわかる。特に、白石区・厚別区方面（メッシュコード 6441-43）では、12 月上旬との比較で 1 月中旬に 60% 程度までの速度低下があった。この時の平均速度は 20.22km/h となっており、非常に低速で速度を上げた走行が困難な状況にあることがわかる。



(a) 交通量



(b) 速度

図 43：2022 年 2 月の札幌都市内での日ごとの交通量と速度

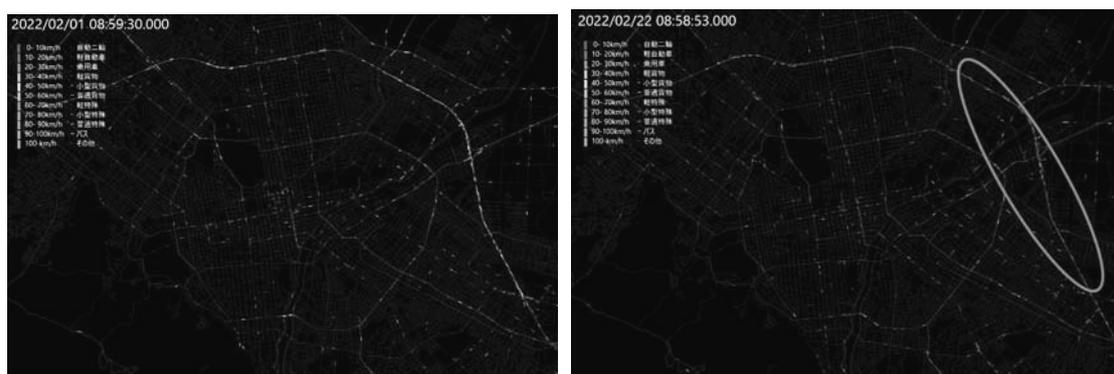
## 2) 札幌市内都市部における 2022 年 2 月の日ごと交通量と速度

ここでは、2022 年 2 月を対象に札幌市内都市部の交通量と速度を日ごとに示し、その傾向について分析する。ETC2.0 プローブデータから 2022 年 2 月の札幌都市部のデータを取得し、日ごとの交通量と速度を図 43 にプロットする。図 43(a)および(b)は、それぞれ交通量と速度を示す。図 43 では土曜日を青系色のハイライト、日曜日と祝日を赤系色のハイライトで示している。また、多くの降雪が見られた日に雪だるまのマークを付している。

まず全体の交通量の傾向を確認する。図 43(a)より青または赤でハイライトされている日、すなわち土日祝日は平日と比べて交通量が少なくなる傾向があることがわかる。これは同時に平日になると交通量が増加することを意味するが、多くの降雪が見られた 2 度の期間 (2 月 5 日から、2 月 20 日から) の後においても、平日になると交通量が増加していることが図 43 から読み取れる。一方で速度をみると降雪の後の平日には、速度が回復せず交通量だけが增加している。これは、多くの降雪により道路の容量が圧迫されている可能性がある状態にもかかわらず、多くの交通量が生じ、速度が回復できずに混雑している様子を示している。

## 3) 札幌市内交通の ETC2.0 プローブデータによる俯瞰

本節では、ETC2.0 プローブデータを道路の路線に重畳し、多くの降雪が観測されたときの様子を面的に示す。図 44 に札幌都市部の路線図に ETC2.0 プローブデータを重畳した結果を示す。図 44 では速度が遅い車両ほど赤色となり、それよりも速度が速い車両は黄色や青色となる。図 44(a)は一般的な冬期環境の朝 9 時前のデータであり、時速 40km 程度で走行する車両 (黄色) が観測されている。一方、図 44(b)は多くの降雪が観測された後の同時刻のデータであり、赤色の車両の割合が多いことが読み取れる。特に図 44(b)の右側に緑で示した領域で低速の車両が多く発生している。これは、降雪によって道路の容量が圧迫されている可能性がある状態にもかかわらず、札幌都市部の東側からの車両流入があったことを示している。図 43 に示した速度が回復していない状況が図 44 によって面的に可視化され、その様子を俯瞰可能となった。以上より、道路の容量が下がっている状況においては、車両流入が大きな速度低下を起こすことが確認された。



(a) 一般的な冬期道路環境の朝 (2 月 1 日)

(b) 降雪後の冬期道路環境の朝 (2 月 22 日)

図 44 : ETC2.0 プローブデータの俯瞰図

## 5-4 本節のまとめ

本調査では、RVIS によって集積されるデータと ETC2.0 プローブデータを用いて 2021-22 年

冬期の道路状況と札幌市内交通を分析した。RVIS は道路空間の様子を分析する AI が登載されており、これによって得たデータは、多くの降雪が結果として道路空間に堆雪の状況を生じさせること、および都市部での旅行時間に影響が大きいこと示した。これらの結果は、降雪によって道路空間が物理的な制約を受けることを定量的に示すものであり、降雪時あるいは降雪後の道路の様子を適時に把握した対策をとることが望ましいといえる。次に、ETC2.0 プローブデータは、降雪によって都市部の車両速度が低下することを定量的に示すとともに、降雪後の交通量増加が車両速度を上げられない要因となる可能性を示した。具体的には、札幌市内に大雪の影響による車両の著しい速度低下や札幌都心方面へのアクセスの困難さが数値的に確認できた。これはつまり、今回の調査で観測されたデータでは降雪が休日にみられていたことから、休日は交通量が少ないにもかかわらず大雪の影響で速度が下がり、月曜日には交通量が増えるが速度回復がないことであり、これへの対策が今後の課題といえる。

以上の結果は、大雪時には交通需要の抑制や全体最適化につながる対策が今後必要になるであろうことを示しており、道路や交通の状況に関する予報を含めた情報提供についての検討や、その精度向上に向けた現状把握の高度化を引き続き検討したい。

## 6. 交通にもたらした影響 — 大雪に対する高速道路管理者の対応について —

### 6-1 北海道の高速道路の概要

#### (1) 沿革

北海道の高速道路は昭和 46 年に道央自動車道の千歳 IC から北広島 IC 間および札幌自動車道の小樽 IC～札幌西 IC 間が開通してから令和 3 年で 50 年を迎えた。平成 30 年には後志自動車道が開通し、北海道支社管内の管理延長は 720km となり、札幌と道内主要都市の所要時間が大幅に短縮した。

#### (2) 高速道路の除雪作業

高速道路上での除雪作業は大きく 3 つに分類される。1 つが新雪除雪作業である (図 45)。中央分離帯側を先頭に除雪車が 3 台並び除雪作業を行う。2 つめが排雪作業である (図 46)。路肩に堆雪した雪をロータリー除雪車を用いてのり面等に排雪し、路肩堆雪幅の確保を行う。高架区間等の投雪困難箇所では路肩の雪は、ダンプトラックに積み込み雪捨て場まで運搬し排雪を行う。3 つめが凍結防止剤散布作業である (図 47)。路面凍結が予測された場合に、路面水分の凍結温度

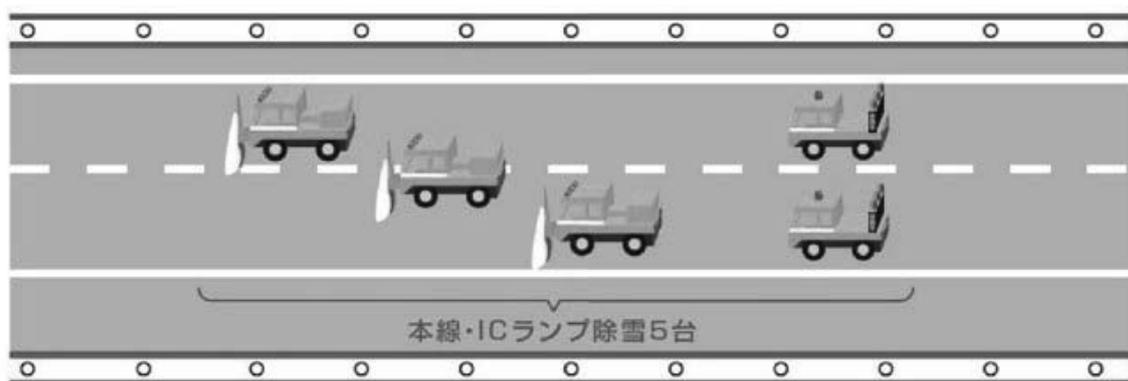


図 45 新雪除雪作業

を下げる目的で凍結防止剤（主に塩化ナトリウム）を散布する。

札幌圏の高速道路は札幌南 IC～札幌西 IC 間の高架区間、後志道や道東道の暫定二車線区間といった様々な条件があり、除雪作業には高度な技術が必要とされる。

### 6-2 2021-22 年冬期の特徴

図 48 は北海道支社管内における平成 27 年度以降の冬期要因の年度別累計通行止め量である。通行止め量とは、通行止め時間に通行止め延長を乗じた値で、通行止めの規模を示す指標である。令和 3 年度の通行止め量は約 7 万 km・h であり、5 か年平均の 2.6 倍であった。

図 49 が北海道支社管内の平成 27 年度以降の累計降雪量と通行止め量を比較したグラフである。もっとも累計降雪量が多い平成 29 年の通行止め量は約 4 万時間であり令和 3 年度よりも少ない。このことから、北海道支社管内全体でみた累計降雪量と通行止め量の明瞭な関係は見られないといえる。また、図 50 は NEXCO 札幌気象観測局の過去 5 年の累計降雪量である。令和 3 年度の累計降雪量は過去 5 年と比較して特別多くなく、通行止め量が大きく増加した要因が累計降雪量だけではないと考えられる。

ここで、各年の月別の雪水比を算出した



図 46 排雪作業



図 47 凍結防止剤散布

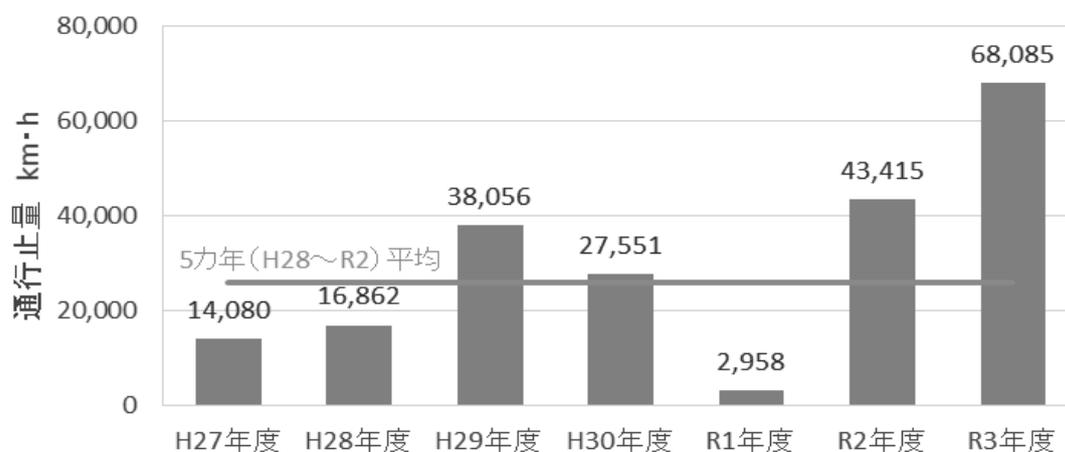


図 48 平成 27 年～令和 3 年冬期要因の通行止め量

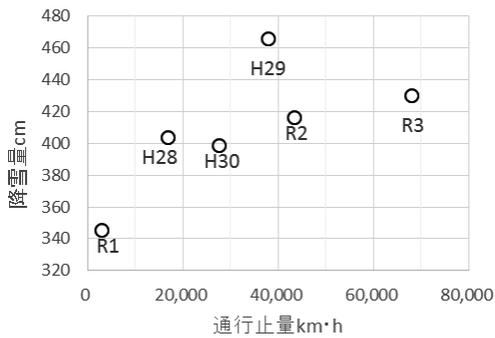


図 49 累計降雪量と通行止め量

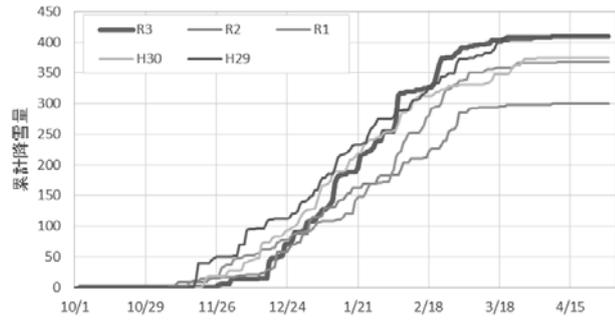


図 50 NEXCO 札幌気象観測局の累計降雪量

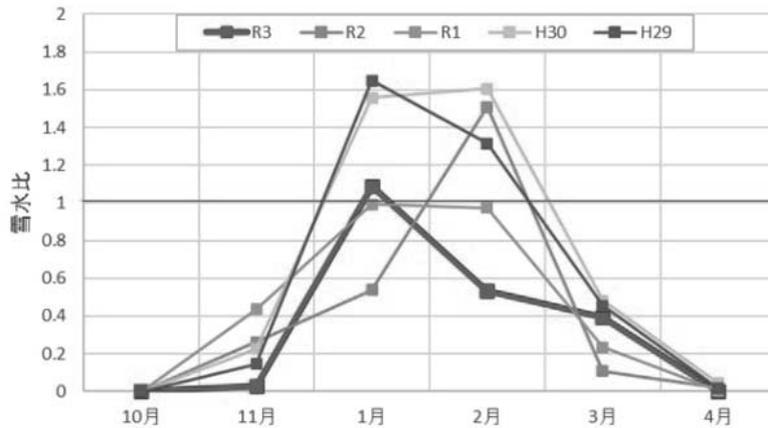


図 51 NEXCO 札幌気象観測局の雪水比



A  
B  
図 52 令和 4 年 2 月 20 日の路肩堆雪状況

(図 51)。雪水比とは降雪量を降水量で割った値で、値が小さいほど湿った雪となる。降雪量は NEXCO 札幌気象観測局、降水量はアメダスの値を使用した。令和 3 年 1 月の雪水比は 1.1 cm/mm、2 月は 0.54 cm/mm であった。もっとも降雪量の多かった平成 29 年は 1 月が 1.6 cm/mm、2 月は 1.3 cm/mm であったことから、令和 3 年は湿った雪であったことがわかる。この雪質の違いが平成 29 年との通行止め量の差に影響していると考えられる。

図 52 は令和 4 年 2 月 20 日に撮影したものである。A が札幌圏の高架区間、B が千歳恵庭 JCT 付近である。令和 3 年度は札幌圏でまとまった降雪が複数回発生したため、大雪の前に排雪作業を行っても次の大雪で路肩が飽和し長時間の通行止めにつながったと考えられる。特に湿った雪

であったために、夜間に凍結した雪の排雪作業により時間を要したと考える。

図 53～図 55 は、令和 4 年 2 月 21～23 日の札幌圏における時間降雪量と通行止め時間を示した。通行止めは 21 日 14 時に高架区間から始まり、同日 23 時には千歳 IC まで拡大した。千歳 IC から札幌南 IC 間の通行止めが解除になったのは 22 日 22 時であった。高架区間の通行止めは 23

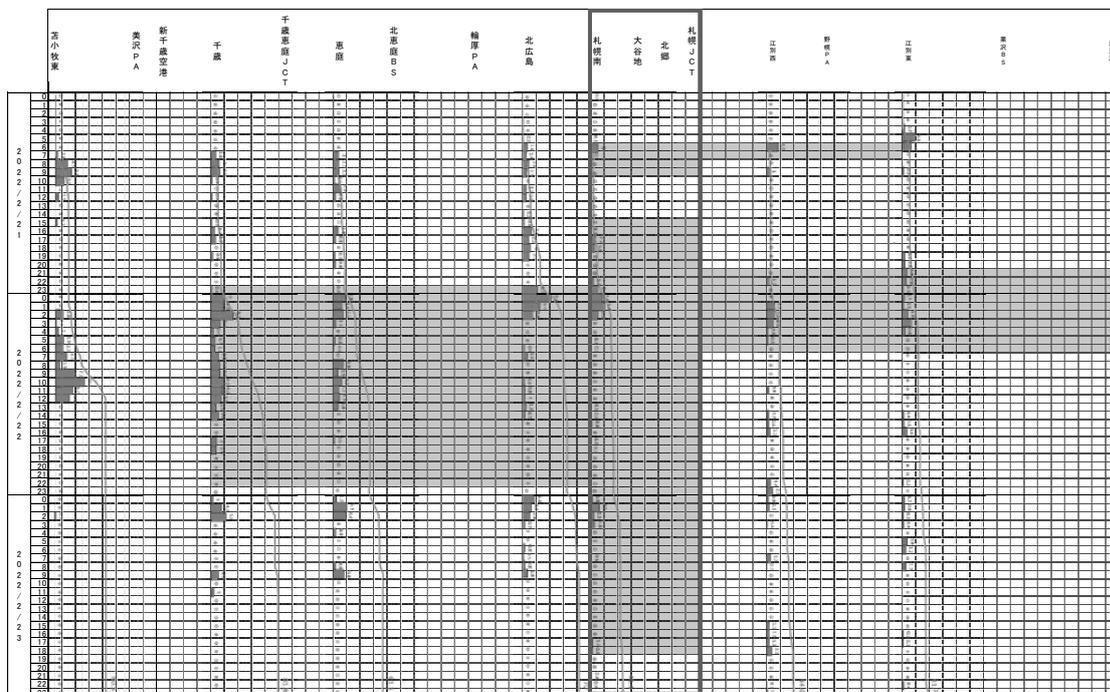


図 53 道央道（苫小牧東 IC～岩見沢 IC）における時間降雪量と通行止め時間

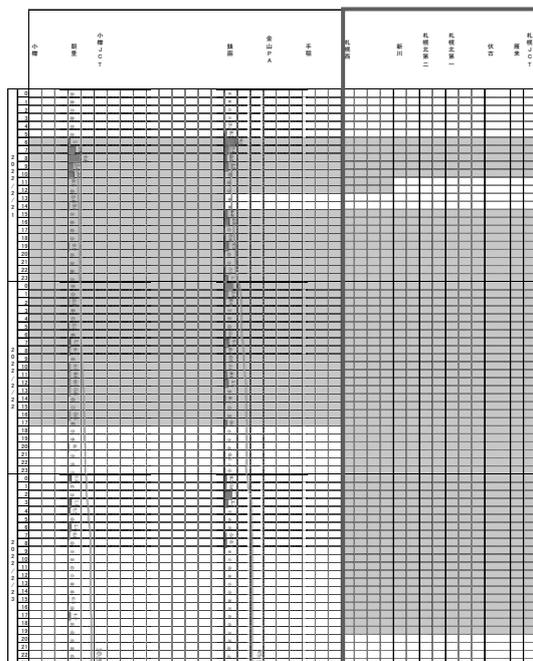


図 54 札幌道（小樽 IC～札幌 JCT）における時間降雪量と通行止め時間

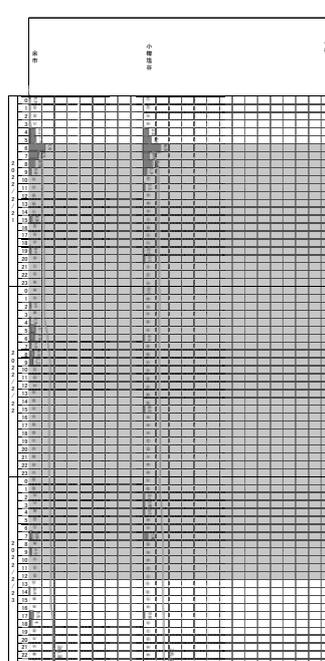


図 55 後志道（余市 IC～小樽 JCT）における時間降雪量と通行止め時間

日 19 時に解除された。この 3 日間の通行止め量は北海道全域で約 23000km・h となり、民営化以降最大規模となった。

### 6-3 冬期交通の確保に向けた取り組み

#### (1) タイムラインの点検・確認

雪氷シーズンに入る前に数年に一度の猛吹雪が予想される際のタイムラインを点検・確認し、道路管理者間の連携を図り大規模な車両滞留回避に努めた。令和 3 年シーズンは実際にタイムラインに従い国・道・NEXCO で WEB 会議を行い、適宜お客様への除雪状況等を Twitter 等の SNS を用いて情報発信を行った(図 56)。

#### (2) 大雪に備えた排雪作業

大雪に備えて、札幌の高架区間において夜間通行止めを行い飽和した路肩の集中排雪を行った。今シーズンは令和 4 年 2 月 10 日から 8 日間連続で一般道への影響を考慮し、夜間(21 時～翌 5 時)に限った通行止めを実施した。この集中排雪では、ダンプトラックやロータリー除雪車を一時的に高架区間に集約し、集中的に排雪作業を行った。図 57 が飽和した路肩の状況、図 58 が夜間通行止め時の作業中の状況で、ロータリー除雪車が路肩の雪をダンプトラックに積み込み走行車線を確保する。



図 56 SNS を活用した情報提供



図 57 除雪により路肩が飽和した状況



図 58 夜間通行止め時の排雪作業

#### (3) 札幌市の道路排雪支援

観測史上最多の降雪を記録した札幌市より支援要請を受け、NEXCO から一般道や住宅街の交通障害解消のため道路排雪作業を支援した(図 59)。支援期間は令和 4 年 3 月 9 日から約 1 ヶ月間で、ダンプトラック 10 台の貸し出しを行った。



図 59 道路排雪作業の支援

## 6-4 雪氷作業における ITS 技術の活用

NEXCO 東日本北海道支社では、今後労働力人口が低下していく状況下でも持続可能なように、ICT 技術を活用した雪氷作業の効率化を検討している。今シーズンは除雪車の遠隔操作の実験を行った。この実験は札幌 IC の操作卓から約 6km 離れた江別西 IC 雪捨て場および約 26km 離れた金山 PA 雪捨て場の除雪作業をカメラ画像を通して遠隔操作するものである（図 60）。ロータリー除雪車の自動運転に続き、除雪車の遠隔操作についても実現に向けた取り組みを進めていく。

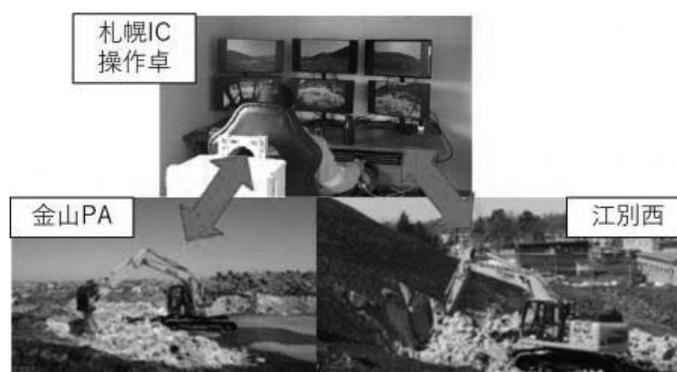


図 60 除雪車の遠隔操作実験

## 7. 2020—2021 年冬期の札幌市および北海道の雪害発生状況

### 7-1 札幌市における大雪下での冬道転倒による救急搬送状況

ウインターライフ推進協議会の事務局を務める北海道開発技術センターでは、これまで、札幌市消防局との連携により、札幌市における冬道での転倒による救急搬送者について整理、分析を行い、転倒予防のための啓発活動を行ってきた。

2021-22 年冬期（以後“12 月～3 月”を冬期とする）の札幌都市圏は大雪に見舞われ、特に 1 月から 2 月にかけて、度重なる降雪により車道や歩道の除雪作業が追いつかない状況となった。こうした大雪による影響を把握するため、札幌市消防局の冬道での転倒による救急搬送者データ（速報版）の分析を行った。

#### (1) 2021-22 年冬期の救急搬送状況の特徴

2021-22 年冬期の札幌市における冬道での転倒による救急搬送者数は、速報データでも 1280 人を上回っており、2012 年度冬期の 1317 人に次いで 2 番目の多さとなった。図 61 には、詳細なデータが残る 1996 年度から 2021 年度までの 26 冬期の月別救急搬送者数を示した。2021-22 年冬期の 2022 年 1 月と 2022 年 2 月は、それぞれの月救急搬送者が過去 26 冬期で最多となった。

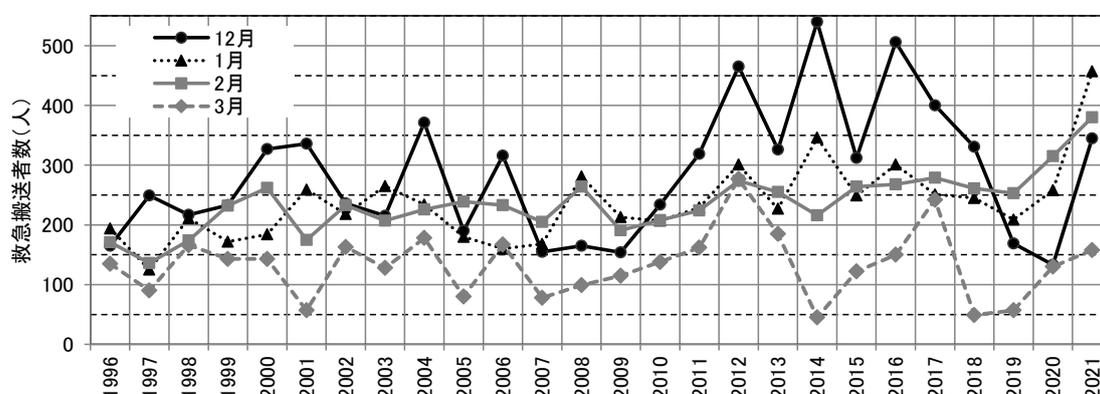


図 61 1996 年度冬期から 2021 年度冬期までの月別救急搬送者数

## (2) 2022年1月の救急搬送の多発について

2022年1月の日救急搬送者数と毎時の気温、降雪量の経過を図62に示した。1月は11日から17日までの7日間、この時期としては珍しく、昼夜を問わず気温が0℃以上となることが多かった。降雪も記録されており、湿った降雪があったと考えられる。一方、17日の午後からは気温が急激に低下し、17日から21日にかけては、朝夕の冷え込みが厳しかった。17日から20日までは、毎日30人以上が救急搬送されており、4日間で148人が救急搬送されていた。気温の高い状態が続いた後の急激な冷え込みにより、滑りやすい氷化した路面が発生したことが、救急搬送者多発の一因と考えられる。

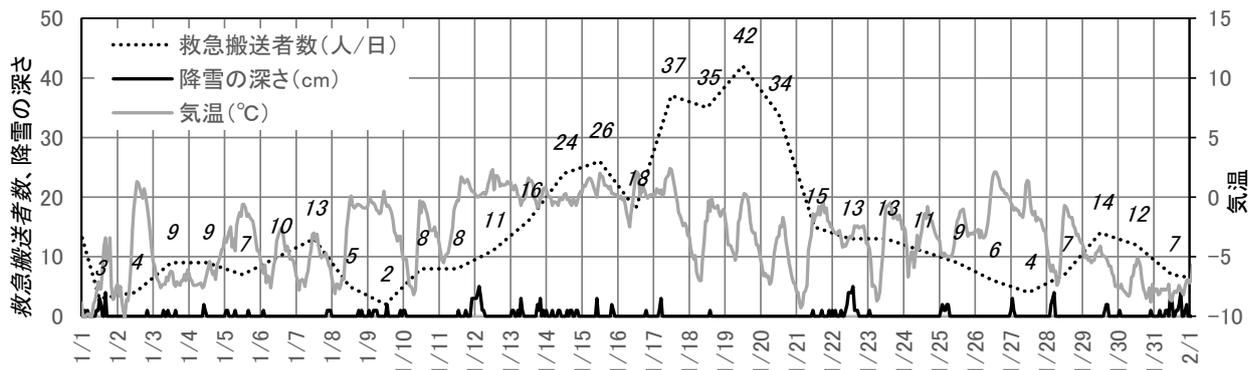


図62 2022年1月の日救急搬送者数と気温および降雪の深さの経過

## (3) 2022年2月の救急搬送の多発について

2022年2月の日救急搬送者数と毎時の気温、降雪量の経過を図63に示した。2月は23日が30人、24日が29人、25日が24人であったが、他に20人に達した日はなかった。市内の積雪量が50cm増加した2月5日～6日の大雪時や大雪後も救急搬送者数はあまり増加していない。一方、図62に示した1月と比較すると、日救急搬送者数が一桁となった日が少ないことがわかった。

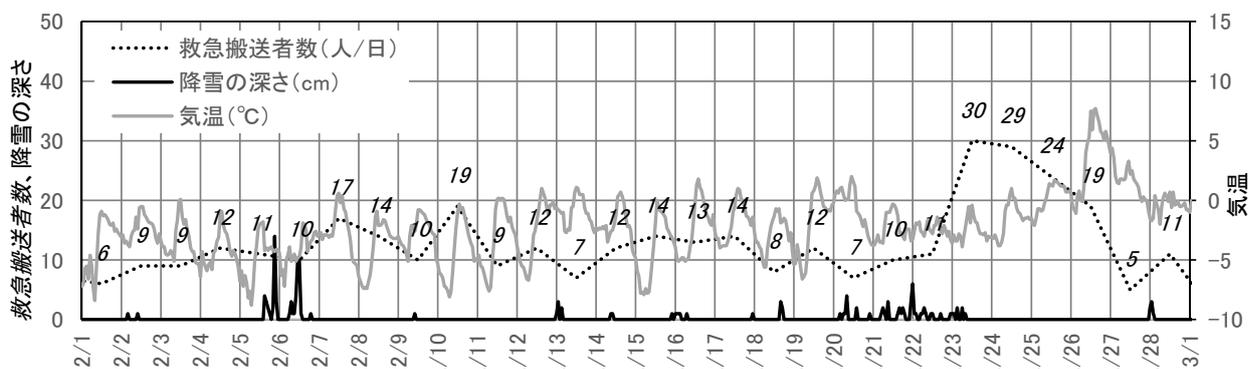


図63 2022年2月の日救急搬送者数と気温および降雪の深さの経過

過去26冬期から、2022年2月と同様に月の救急搬送者が300～400人に達した月を抽出し、1ヵ月のうち日搬送者数が10人以上に達した日の割合を図64に示した。2022年2月は10人以上の日の割合が71%であり、過去にない頻度であった。2022年2月は、極端に救急搬送者が多い日はなかったものの、2月6日の大雪後は毎日のように10人以上が救急搬送されていた。歩道の凹凸や歩車道の段差が大量に発生し、除雪作業が追いつかない状況もあって、あちこちで歩きづらい路面が発生したことが影響した可能性がある。

以上をまとめると、2021-22年冬期は1月と2月の救急搬送者が過去26冬期で最多となった。1月は中旬に暖かい日が続く、その後冷え込んだこと、2月は大雪によって歩きづらい路面が市内で多発したことが、転倒による救急搬送の多発に影響したことが考えられる。今後は詳細データを用いて、地域別の救急搬送発生状況などの分析を予定している。

## 7-2 屋根雪事故の状況と住宅の屋根雪観測調査

### (1) 調査背景

2021-22年札幌都市圏では、大雪による建物被害が報道等で懸念されていた。実際、消防庁<sup>17)</sup>によると過去5カ年のうち、今冬はもっとも北海道全体で建物被害が多発した年であった(図65)。

また、人身被害については死傷者が300名を上回り、2020-21冬期と同水準で、なおかつ過去12か年においても上位の死傷者数となった。事故原因の半数近くが、屋根転落とはしご転落からなる、いわゆる屋根雪下ろし関連事故であり、例年と同様の傾向を示した(図66)。屋根雪下ろし関連事故は今や社会問題となっており、雪国に安全安心に住む上で大きな障害となっている。

一方、これまで屋根雪下ろし事故の減少に向け、積雪荷重から見た屋根雪下ろしの判断基準(千葉ら、2015)<sup>19)</sup>等、主に建築学・雪工学分野での研究が蓄積されている。これらの結果から、昨今の北海道における建築物は建築基準法に則り、積雪荷重に耐えられる十分な耐力を有し、倒壊等の恐れが無い限り屋根雪下ろしは不要との見解に至っている。つまり、北海道において、積雪荷重基準に則った建築物は屋根雪下ろしの必要性は低いはずでありながら、屋根雪下ろし事故は一向に減らないといった悪循環に陥っているのが現状と言える。

### (2) 調査目的

本調査は、建物被害が懸念されはじめた2月上旬に、住宅上の積雪荷重の実態を把握することを目的として緊急的に行った。具体的には、札幌市内の日常的に利用されている住宅や車庫等の屋根上の積雪深や積雪密度の観測を行った。加え、比較対象として観測対象の近隣平地も同様に

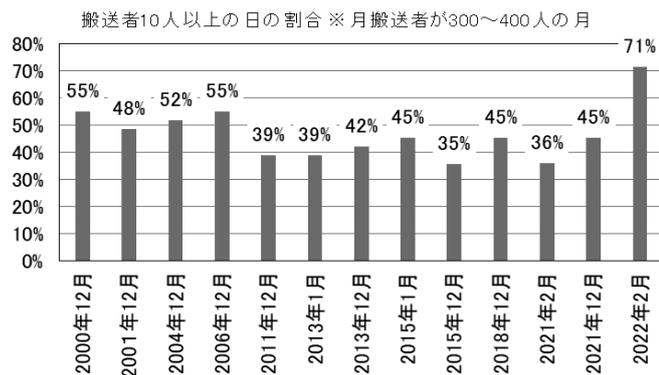


図64 救急搬送者が10名以上の日の割合

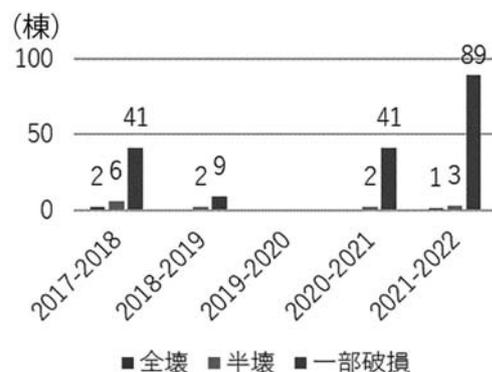


図65 北海道における雪による建物被害状況

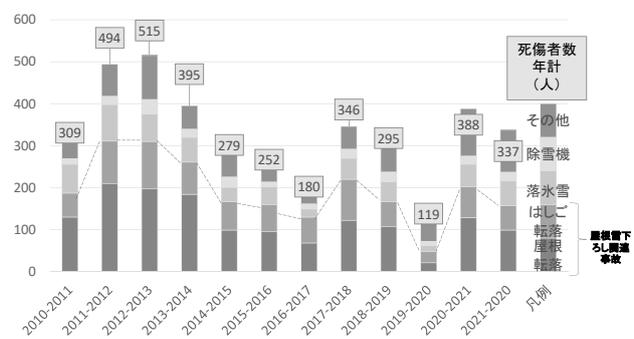


図66 過去12か年における雪による人身被害状況<sup>18)</sup>

観測した。そして、両地点での観測の結果を比較し、今後の屋根雪下ろし事故軽減に向けた取組内容を検討した。

### (3) 調査概要

観測調査は2022年2月10日及び11日の日中に行った。両日は今冬の最深積雪深（133 cm 観測点「札幌」）を記録した2月6日と二度目の積雪深のピークを迎えた2月23日の中日にあたり、両日の日最大積雪深は、2月10日で102 cm、11日で98 cmであった。次に観測対象とした6棟の建物と5か所の近隣平地の概要を表4に示す。

具体的な観測方法としては、上表の箇所ですべて3～4点神室式スノーサンプラーで積雪を採取し、各点の積雪量と採取した積雪の重量を計測した。

### (4) 調査結果

以下観測結果を6棟ごとに示す。住宅番号no.1については、近隣平地より屋根雪の方が積雪が深かったが、密度は小さかった。

住宅番号no.2については、近隣平地と屋根雪で積雪は同じ深さであったが、密度は屋根雪の

表4 観測対象

| 2月10日（木） |                  |                      |
|----------|------------------|----------------------|
| 住宅番号     | 建物               | 近隣平地                 |
| no.1     | 無落雪屋根母屋<br>（東区）  | つどーむ内公園<br>（東区）      |
| no.2     | 無落雪屋根母屋<br>（北区）  | 屯田防風林<br>（北区）        |
| no.3     | 附属施設の屋根<br>（北区）  | 屯田・紅葉山通付<br>近空き地（北区） |
| 2月11日（金） |                  |                      |
| 住宅番号     | 建物               | 近隣平地                 |
| no.4     | 無落雪屋根母屋<br>（厚別区） | 上野幌公園<br>（厚別区）       |
| no.5     | 車庫の屋根<br>（東区）    | －（つどーむのデ<br>ータを共用）   |
| no.6     | 無落雪屋根母屋<br>（北区）  | 新川ポプラ公園<br>（北区）      |

《住宅番号 no.1》

| 住宅概要   |  |     |
|--------|--|-----|
| 調査日    | 2月10日（木）                                   |     |
| 調査地    | 札幌市東区                                      |     |
| 屋根形状   | 無落雪 M 型屋根母屋                                |     |
| スノーダクト | 有  |     |
| 融雪機能   | 無  |     |
| 階数     | 2階家屋                                       |     |
| 居住人数   | 1人   |     |
| 2階の利用  | 日常的な利用は無し                                  |     |
| 備考     | 元は三角屋根で、リフォームで無落雪屋根にした。そのため、屋根裏の空間が広めとのこと。 |     |
| 屋根雪平均  | 積雪深 (cm)                                   | 107 |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> )                  | 257 |
| 平地平均   | 積雪深 (cm)                                   | 104 |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> )                  | 263 |

《住宅番号 no.2》

| 住宅概要   |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 調査日    | 2月10日（木）                  |     |
| 調査地    | 札幌市北区                     |     |
| 屋根形状   | 無落雪 M 型屋根母屋               |     |
| スノーダクト | 無し                        |     |
| 融雪機能   | 無                         |     |
| 階数     | 2階家屋                      |     |
| 居住人数   | ひとり暮らし                    |     |
| 2階の利用  | 日常的な利用は無し                 |     |
| 備考     | 特になし                      |     |
| 屋根雪平均  | 積雪深 (cm)                  | 92  |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 262 |
| 平地平均   | 積雪深 (cm)                  | 93  |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 255 |

ほうが大きかった。

住宅番号 no.3 については、近隣平地のほうが屋根雪よりも積雪量も深く、密度も大きかった。積雪量の違いは、屋根の融雪装置の働きによるところが大きいと思われる。

《住宅番号 no.3》

| 住宅概要   |   |     |
|--------|---|-----|
| 調査日    | 2月10日(木)  |     |
| 調査地    | 札幌市北区   |     |
| 屋根形状   | 附属屋根  |     |
| スノーダクト | 無   |     |
| 融雪機能   | 有   |     |
| 階数     | 2階家屋  |     |
| 居住人数   | -   |     |
| 2階の利用  | -   |     |
| 備考     | 風呂として利用、屋根底面に融雪装置あり・冬期間継続利用(電気代は1万円程度/月)、母屋から落雪することはない。 |     |
| 屋根雪平均  | 積雪深 (cm)  | 116 |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> )                               | 271 |
| 平地平均   | 積雪深 (cm)  | 144 |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> )                               | 280 |

《住宅番号 no.4》

| 住宅概要   |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 調査日    | 2月11日(金)                  |     |
| 調査地    | 札幌市厚別区                    |     |
| 屋根形状   | 無落雪 M型屋根母屋                |     |
| スノーダクト | 有                         |     |
| 融雪機能   | 無                         |     |
| 階数     | 2階家屋                      |     |
| 居住人数   | 2名                        |     |
| 2階の利用  | 日常的に使用                    |     |
| 備考     | 特になし                      |     |
| 屋根雪平均  | 積雪深 (cm)                  | 75  |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 225 |
| 平地平均   | 積雪深 (cm)                  | 120 |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 274 |

《住宅番号 no.5》

| 住宅概要   |                           |     |
|--------|---------------------------|-----|
| 調査日    | 2月11日(金)                  |     |
| 調査地    | 札幌市東区                     |     |
| 屋根形状   | 車庫                        |     |
| スノーダクト | 無                         |     |
| 融雪機能   | 無                         |     |
| 階数     | -                         |     |
| 居住人数   | -                         |     |
| 2階の利用  | -                         |     |
| 備考     | 特になし                      |     |
| 屋根雪平均  | 積雪深 (cm)                  | 106 |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 246 |
| 平地平均   | 積雪深 (cm)                  | 104 |
|        | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 263 |

住宅番号 no.4 については、近隣平地と比べ屋根雪の差が0.5mあり、他地点と比べ積雪密度も大きな開きがあった。家屋2階部分の利用頻度が高いことから家屋の暖気が融雪を進め、かつ、M型屋根勾配面の上側の積雪を採取したことから、風に吹き払われる影響に加え、積雪の斜面方向への滑りの影響があったことが考えられる。

住宅番号 no.5 については、近隣平地より屋根雪の方が積雪が深かったが、密度は小さかった。

住宅番号 no.6 については、近隣平地より母屋・車庫ともに積雪深は浅く、密度も小さかった。母屋よりも車庫のほうが積雪深が深く、密度も大きかったのは、高低差の違いが影響しているからと考えられる。車庫と母屋で積雪深が最も深くなる箇所が南北逆となった。

(5) 本節のまとめ

観測調査の結果、屋根雪の積雪深は、平地のそれよりも同程度かもしくは小さい箇所が大半であったことから、屋根雪に登らずとも、平地の積雪深を見ることで屋根に積もっている雪量を推定できそうだということがわかった。

母屋に比べ相対的に附属施設・車庫の方が積雪深と密度が大きかったのは、母屋に比べ車庫・附属施設の屋根の高さが低いことが影響していると考えられる。

観測時点の屋根雪の積雪深は札幌市が定める垂直積雪量よりもまだ余力があり、積雪密度も225~280kg/m<sup>3</sup>程度と建築基準法で定めるところの雪密度より小さく、居住している住宅については、深さ・密度ともに“観測時点においては”まだ余力があったと考えられ、平年の積雪であれば屋根雪下ろしは不要だという見解を十分に支持できるとともに、建築学・雪工学分野の先行研究を支持する結果が得られた(図 67)。

《住宅番号 no6》

| 住宅概要    |                           |         |
|---------|---------------------------|---------|
| 調査日     | 2月11日(金)                  |         |
| 調査地     | 札幌市北区                     |         |
| 屋根形状    | 車庫(無落雪)                   | 母屋(無落雪) |
| スノーダクト  | 無                         | 無       |
| 融雪機能    | 無                         | 無       |
| 階数      | -                         | 2階家屋    |
| 居住人数    | -                         | 未確認     |
| 2階の利用   | -                         | 未確認     |
| 備考      | 落雪しづらい葺材を使用               |         |
| 車庫屋根雪平均 | 積雪深 (cm)                  | 113     |
|         | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 265     |
| 母屋平均    | 積雪深 (cm)                  | 89      |
|         | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 254     |
| 平地平均    | 積雪深 (cm)                  | 115     |
|         | 積雪密度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 278     |

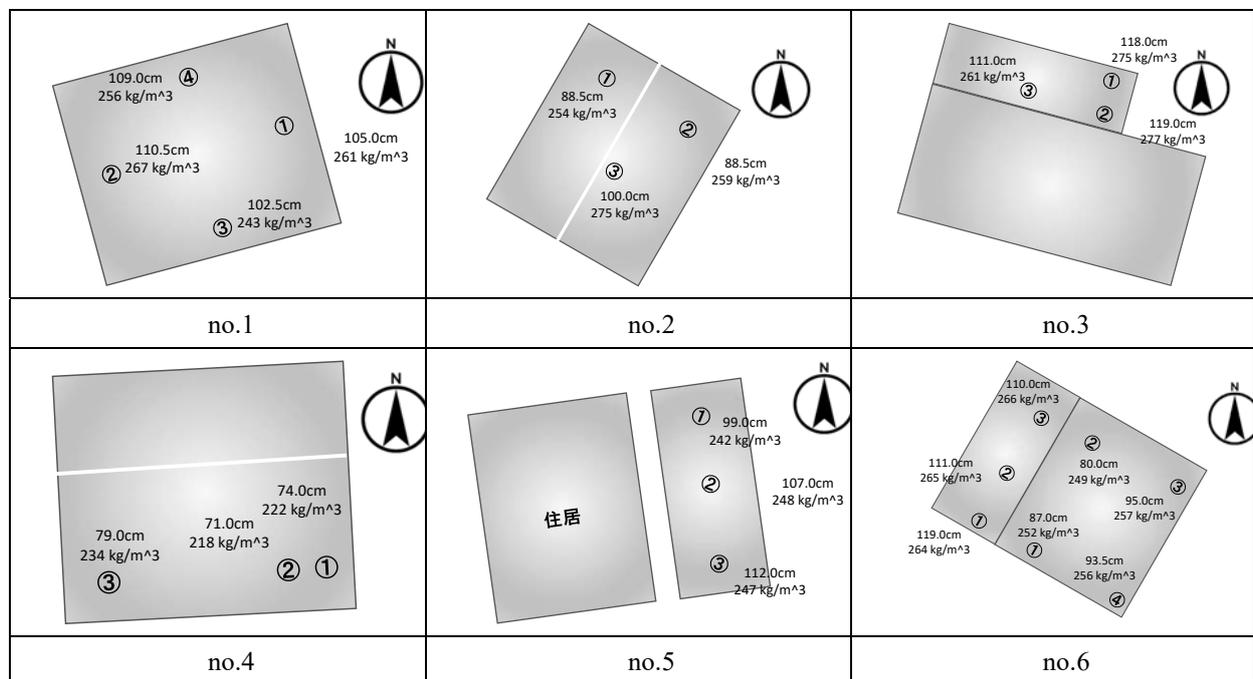


図 67 観測した住宅の上面図と観測点ごとの積雪量 (cm) と積雪密度 (kg/m<sup>3</sup>)

一方、附属施設・車庫の耐力が母屋に比べ相対的に低い場合もあり、注意が必要である。実際、空き家や車庫・物置の倒壊事例も例年に比べ頻発したことについては、室内が冷却され融雪量が

少なくなったことや母屋よりも低層のため雪がたまりやすくなったことなどにより、屋根の積雪量が多くなったことが要因と考えられるが確証はない。今後、不要不急の屋根雪下ろしを一般市民が回避できるように、現在供用されている住宅の屋根雪の実態を簡易的に把握する調査方法を検討したり、その調査結果を正しく周知したりし、「不要不急の屋根雪下ろしはしない」といった適切な行動をとることができる仕組みづくりが急務と言える。また、空き家や車庫などの建物についての積雪量調査の拡大実施も検討する。

## 8. まとめ

2021-22 冬期の札幌圏は、気象パターンは異なるものの同じ地域で所謂ドカ雪に繰り返し見舞われ、結果として市民生活に大きな影響をもたらす雪害となった。個々の大雪事例は、低気圧型、冬型、一時的な西岸小低気圧型の降雪パターンによってもたらされた。これらは以前から知られている大雪時の気象パターンであり、過去に例を見ない事象とはいえない。そうした点では、札幌都市圏で大雪が降る事象がたまたま重なったともいえる。岩見沢の降雪量が寒気の高寡と相関があるのに対し、札幌都市圏の降雪は寒気の高寡との相関は見られず、風向きに影響されることを明らかにした。2021-22 年冬期は北寄りの風系が出現しやすい気圧配置が多かったために、札幌都市圏での降雪が多くなったと推察された。札幌都市圏を含めた広域積雪調査を行ったところ、札幌周辺ではこしまり雪、しまり雪、ざらめ雪が主体で、氷板が少なく、大雪時に積もったとみられる厚い層が見られることから、札幌都市圏の大雪の傾向が顕著に表れていた。札幌の冬期の気温は平年並みに近く、総降雪量も平年より多い程度で、社会的な混乱はドカ雪が続いたことが原因であろう。

RVIS の集積データと ETC2.0 プローブデータを用いて 2021-22 年冬期の道路状況と札幌市内交通を分析しところ、RVIS 集積データは降雪によって道路空間が物理的な制約を受けることを定量的に示す結果が得られた。また ETC2.0 プローブデータは、降雪によって都市部の車両速度が低下することを定量的に示すとともに、降雪後の交通量増加が車両速度を上げられない要因となる可能性を示した。札幌都市圏の高速道路について過去 5 年の累計降雪量と比較したところ、降雪量では 2017-18 年冬期が多いものの、2021-22 年冬期は湿雪の影響を受けて通行止め量が増加した傾向が見えた。

札幌都市圏の雪害発生状況として、札幌市の救急搬送状況を解析したところ、2021-22 年冬期は過去 26 冬期で最多の救急搬送者数であった。また、屋根雪事故について 2022 年 2 月 6 日の大雪後に屋根雪調査を行ったところ、建築基準法を勘案すると居住している住居においては深さ、密度とも積雪荷重に対してまだ余力がある状態であった。したがって、不要不急の屋根雪下ろしを回避するように一般市民に啓発することが肝要であろう。

今回の大雪が気候変動によるものかはイベントアトリビューションを行わないとわからない。気候変動で平野部の降雪量は減少に転じるだろうが、札幌圏の降雪は風向に支配されるのでドカ雪の出現はこれからも発生すると考える。200 万人の人口を抱え、年間に 4m を超える降雪量がある都市圏は世界中を見渡しても札幌のみである。札幌が多雪地の大都市として豊かな経済活動を営むためには、将来発生しうる大雪に対して、行政機関に限らず市民それぞれが、あらゆる面から十分な備えを行う必要がある。

## 謝辞

本報文は北海道の雪氷第 41 号（日本雪氷学会北海道支部）に掲載した 2021-22 年冬期の札幌都市圏における大雪について(1)～(6)および寒地技術シンポジウム論文・報告集 Vol.38 をもとに再構成した。また、本研究に際して北海道開発局、札幌市、北広島市、北海道農業研究センターより数多くの貴重な観測データの提供を受けた。札幌市消防局より救急搬送者データの提供を受けた。ここに深く感謝の意を表する。本報文で提示した分析の一部は、株式会社ドーコンの松田真宣氏にご協力いただいた。また、各地の現地調査にご協力頂いた皆さまに御礼申し上げる。本調査の一部は、JSPS 科研費 18K02929 および 19K04647 の助成を受け実施した。

## 参考・引用文献

- (1) 丹治和博, 小松麻美, 金村直俊, 尾関俊浩, 松岡直基: 2021/22 札幌都市圏の大雪の特徴と雪害要因, 寒地技術シンポジウム, 寒地技術論文・報告集 Vol.38, 279-284, 2022.
- (2) 丹治和博, 尾関俊浩, 松岡直基, 金田安弘, 金村直俊, 小松麻美: 2021-2022 年冬期の札幌都市圏における大雪について (その 1) - 札幌圏の降雪の特徴, 本当に記録的な大雪だったのか -. 北海道の雪氷, 41,5-8, 2022.
- (3) 丹治和博, 小松麻美, 尾関俊浩, 金村直俊, 金田安弘, 松岡直基, 高橋翔: 2021/22 札幌都市圏大雪の記録-札幌都市圏の降雪の特徴から雪害の要因を考える-, 雪氷研究大会講演要旨集, 98, 2022.
- (4) 道路吹雪対策マニュアル, 寒地土木研究所, 平成 23 年. ([https://www2.ceri.go.jp/fubuki\\_manual/](https://www2.ceri.go.jp/fubuki_manual/))
- (5) たとえば, 尾関俊浩, 津田将史, 荒川逸人, 山田高嗣, 渡邊崇史, 原田裕介, 佐藤文隆, 井上 聡, 堤拓哉, 阿部佑平, 金田安弘, 丹治和博, 平松和彦: 2011-2012 年冬期に北海道岩見沢市を中心として発生した大雪について (その 3) -空知・石狩の積雪調査-. 北海道の雪氷, 31, 123-126, 2012.
- (6) 白川龍生, 亀田貴雄: 北海道の道央・道東地域における 5 冬期の積雪特性と気象要素との関係 -2014 年冬期から 2018 年冬期に実施した広域積雪調査-. 雪氷, 81 (4), 163-182, 2019.
- (7) 日本雪氷学会編: 積雪観測ガイドブック. 朝倉書店, 136 pp, 2010.
- (8) 白川龍生: 道央・道東・道北 43 地点における広域積雪調査 (データ集: 2022 年). 北見工業大学雪氷防災研究室研究資料, <https://kitami-it.repo.nii.ac.jp/records/2000193>, 2022.
- (9) 札幌管区气象台: 冬の北海道で大雪となる 3 つのパターン, 2022.  
[https://www.data.jma.go.jp/sapporo/bosai/tenkoutokucho/column\\_snow.html](https://www.data.jma.go.jp/sapporo/bosai/tenkoutokucho/column_snow.html) (2022 年 5 月 20 日閲覧)
- (10) 札幌管区气象台: 2021 年 12 月～2022 年 2 月北海道地方冬の天候, 2022 年 3 月 1 日.
- (11) 中井専人: “多雪指数” を用いた全国の多雪・少雪の年々変動と分布, 天気, 62, 187-199, 2015.
- (12) M. Inatsu: Climate change impacts on heavy snowfall in Sapporo using 5-km mesh large ensemble simulations, SOLA, 2020, Vol. 16, pp.217-220, 2020.
- (13) S. Takahashi, T. Hagiwara, R. Sato, K. Ohashi, and Y. Nagata: Advanced Road Visibility Inspection System for Winter Road Maintenance Using Microcomputer. Proc. in 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics, pp. 28-29, 2021.
- (14) C. Godard, O. M. Aodha, M. Firman, and G. J. Brostow: Digging into self-supervised monocular depth estimation. Int. Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 3828-3838, 2019.

- (15) 東日本高速道路株式会社北海道支社：主な雪氷対策，白いハイウェイ Professional 2016, 5-8, 2016.
- (16) 永田泰浩， 金田安弘：札幌市における冬道での自己転倒による救急搬送の特徴分析，雪氷研究大会（2021・千葉）講演要旨集，2021.
- (17) 消防庁応急対策室，今冬の雪による被害状況等，  
<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/8b2db6893af4d269929dd440d8060d372bfa8839.pdf>  
(2022年6月30日閲覧)
- (18) 北海道総務部危機対策局危機対策課，雪による被害，  
<https://www.pref.hokkaido.g.jp/sm/ktk/bsb/yukihigaizyoukyou.htm> (2022年6月30日閲覧)
- (19) 千葉 隆弘， 苫米地 司， 高橋 徹， 堤 拓哉：北海道で発生した雪による人身被害と雪害対策に関する研究-大雪時における除雪状況の実態と人的被害関数に基づく雪害対応能力の分析-．日本建築学会構造系論文集，80 (708)，197-206，2015.