令和 **3** 年度　卒業論文

豪雪地帯と非豪雪地帯における降雪量の風向依存性の違い

The difference on wind direction dependency of the amount of snowfall in heavy snowfall area and non-heavy snowfall area

三重大学 生物資源学部 共生環境学科

地球環境学教育コース

気象・気候ダイナミクス研究室

518377　山本 諒

指導教員：立花 義裕 教授

目次

第 1 章 序論 3

第 2 章 使用データ 6

2-1 地上気象観測装置データ（日降雪量観測データ） 6
2-2 気象庁 55 年長期再解析データ（JRA-55） 6

第 3 章 解析手法 7

3-1 降雪日の定義 7
3-2 豪雪地帯と非豪雪地帯の定義 9
3-3 風向 9

第 4 章 解析結果 10

4-1 冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向の比較 10
4-2 冬季の気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向の比較 15
4-3 豪雪地帯と非豪雪地帯の地点間における風向別の降雪確率と最も雪が降りやすい風向の比較 20

第 5 章 結論 24

謝辞 25

参考・引用文献 26

第 1 章 序論

Fig. 1 の天気図に見られるような西高東低型の気圧配置の時，北西季節風と強い寒気は日本海沿岸地域に降雪をもたらすことが一般的に知られている．12 月から 3 月に最も吹きやすい風の向き（以下，冬季の気候学的な風向という.）を示したマップ（Fig. 2）では，北海道から中国・四国地方の広い範囲で西北西の地点が多く見られた．また，その他も北西や西の地点が一部見られた．冬季の日降雪量の平均値（以下，冬季の気候学的な日降雪量という.）を示したマップ（Fig. 3）では，同じ日本海沿岸地域でも地点によって冬季の気候学的な日降雪量に違いが見られる．また，これは伊豫部・河島（2020）による，ある日の積雪深分布図を見ても明らかである（Fig. 4）．各地の降雪量の成因について Tachibana（1995）は，石狩平野では山からの風が持続的な降雪をもたらすことを示している．その他，藤田（1966）では北陸地方の降雪パターンについて，力石・大西（1991）では津軽平野内の降雪時の風向の違いについて議論している．このように，日本では都道府県や地域などのローカルな降雪量の違いに関する先行研究が多く存在する．こういった研究では地域内の地形や風向による違いが降雪量の違いをもたらすことを指摘している．

以上のようなことから，同じ日本海型降雪地域（西高東低型の気圧配置時に降雪が起きやすい地域）に位置しているにもかかわらず，地点によって降雪量に差が生まれることについて全国的な視点で研究を行った事例は存在しない．

そこで，本研究は全国的な視点で豪雪地帯と非豪雪地帯（定義については 3-2 節を参照.）における降雪量の違いを決める要因の解明を目的とする．なお，本研究では，気温や海水温，風，地形などの降雪因子のうち，上述の研究においてローカルな降雪の程度の違いとの関係が指摘されている風向に着目した．

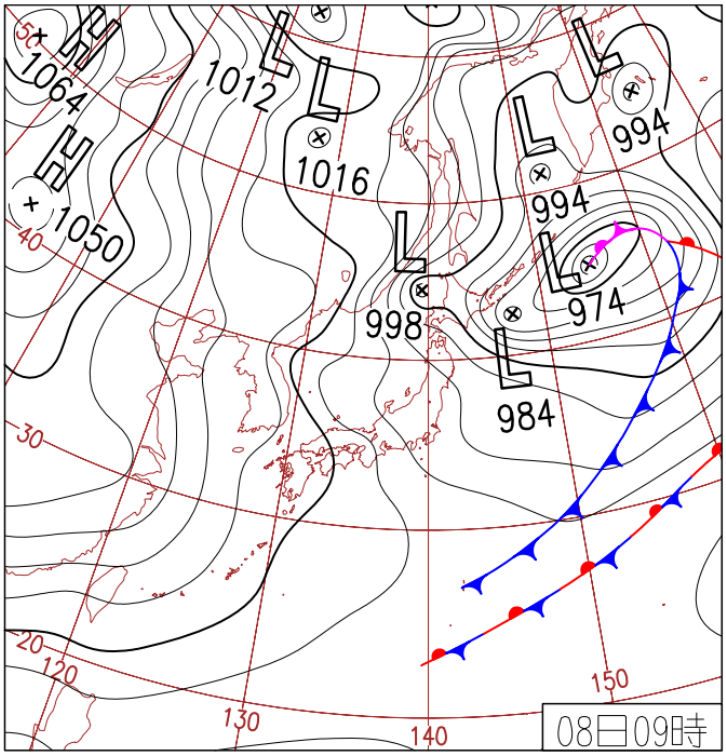

Fig. 1　2021 年 1 月 8 日午前 9 時の実況天気図

気象庁 HP　日々の天気図 2021 年 1 月より引用

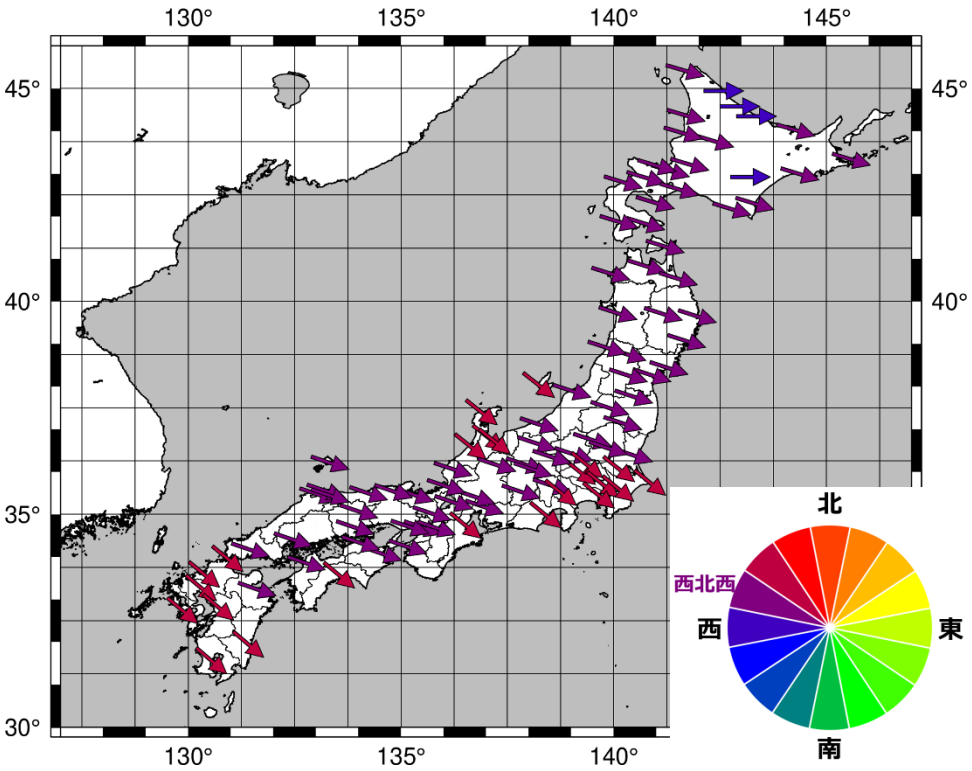

Fig. 2　925hPa 面における冬季の気候学的な風向（冬季に最も吹きやすい風の向き）マップ

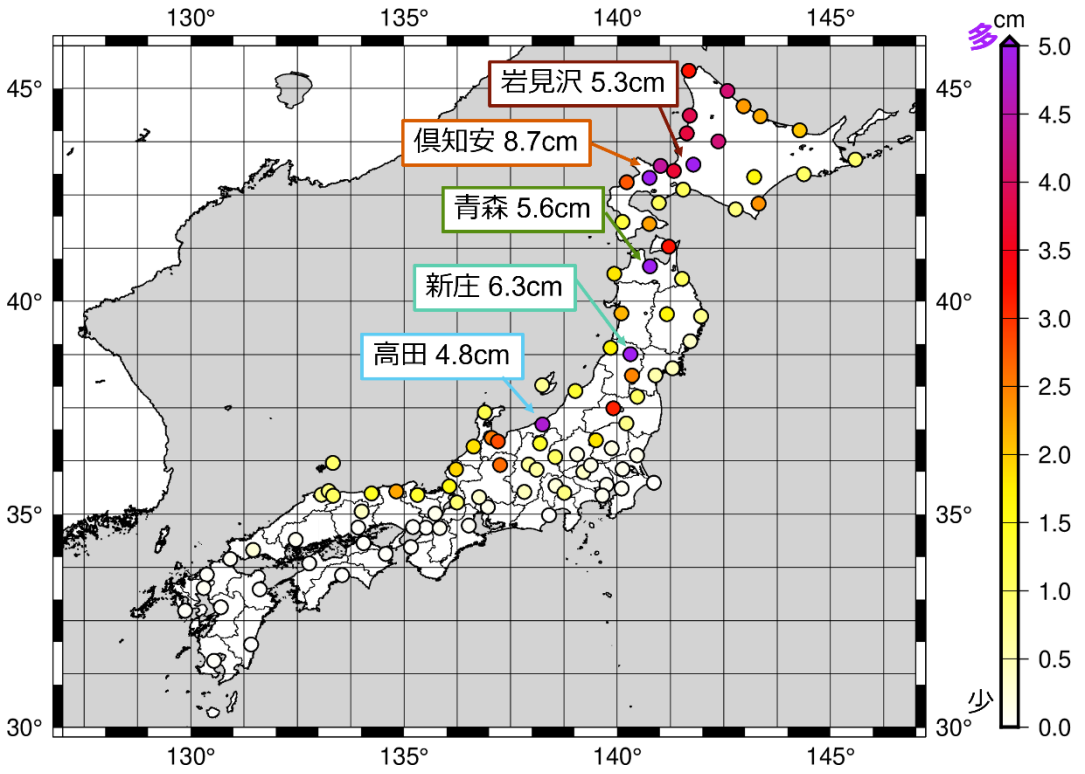

Fig. 3　冬季の気候学的な日降雪量（冬季の日降雪量の平均値）マップ

（図枠中の地点は今回，豪雪地帯と定義した 5 地点（岩見沢，倶知安，青森，新庄，高田））

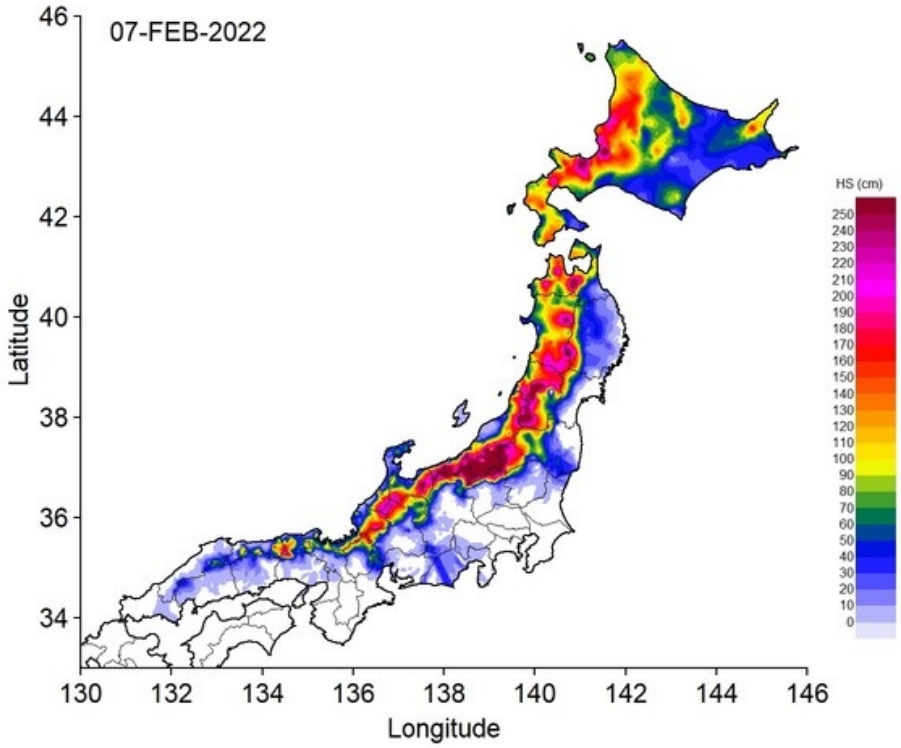

Fig. 4　2022 年 2 月 7 日の準リアルタイム積雪深分布図　（伊豫部・河島（2020）による）

新潟大学災害・復興科学研究所 HP より引用

第 2 章 使用データ

2-1 地上気象観測装置データ（日降雪量観測データ）

降雪量のデータには，Fig. 5 に示す各気象官署（気象台や特別地域気象観測所，測候所）全 99 地点の気象観測データを用いた．これら気象官署では，降水量，気温，降雪量などの観測を，一部を除いて地上気象観測装置により行っている．これらの観測データは，注意報・警報や天気予報の発表等に利用されるほか，気候変動の把握や産業活動の調査・研究等で活用されている．本研究では 1961 年 12 月から 2021 年 3 月までの 1 月，2 月，3 月，12 月の全 7,275 日の日降雪量のデータを使用した．なお，大船渡，軽井沢，千葉，山口の 4 地点については，観測開始年月が他の地点と比べて遅いため，1 年から 4 年ほどデータ使用期間が異なる．そのため，4 地点については解析期間が一部異なる．

2-2 気象庁 55 年長期再解析データ（JRA-55）

風のデータとして，気象庁 55 年長期再解析データ（JRA-55）（Kobayashi et al., 2015; Harada et al., 2016）を用いた．水平解像度は 1.25 度（経度）×1.25 度（緯度），鉛直層は 37 層である．本研究では，地上気象観測データと同様に 1961 年 12 月から 2021 年 3 月までの 1 月，2 月，3 月，12 月の全 7,275 日の日平均データを使用した．使用した変数は，南北風（m/s）と東西風（m/s）である．

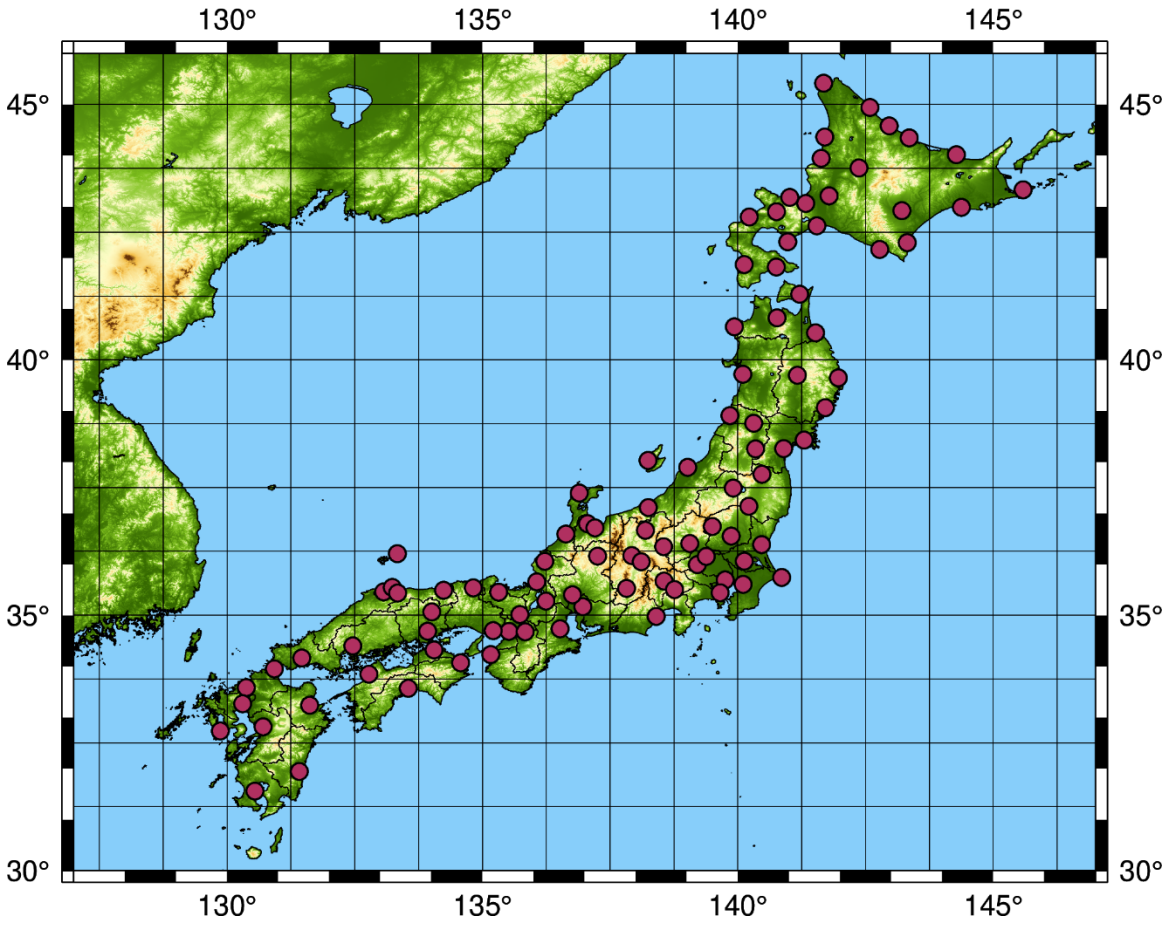

Fig. 5 地上気象観測データとして利用した気象官署 99 地点（気象台・特別地域気象観測所など）

第 3 章 解析手法

3-1 降雪日の定義

本研究では，日降雪量が 1cm 以上の日を降雪日として定義した．なお，該当する降雪日が 10 日に満たない地点はデータ量が不十分であると考え，対象地点から除いている．また，降雪日のしきい値は，1cm/日以上，10cm/日以上，30cm/日以上の 3 パターンとした．Fig. 6 は地点ごとの 1cm/日以上の降雪日の日数，Fig. 7 は地点ごとの 10cm/日以上の降雪日の日数，Fig. 8 は地点ごとの 30cm/日以上の降雪日の日数を示すマップである．

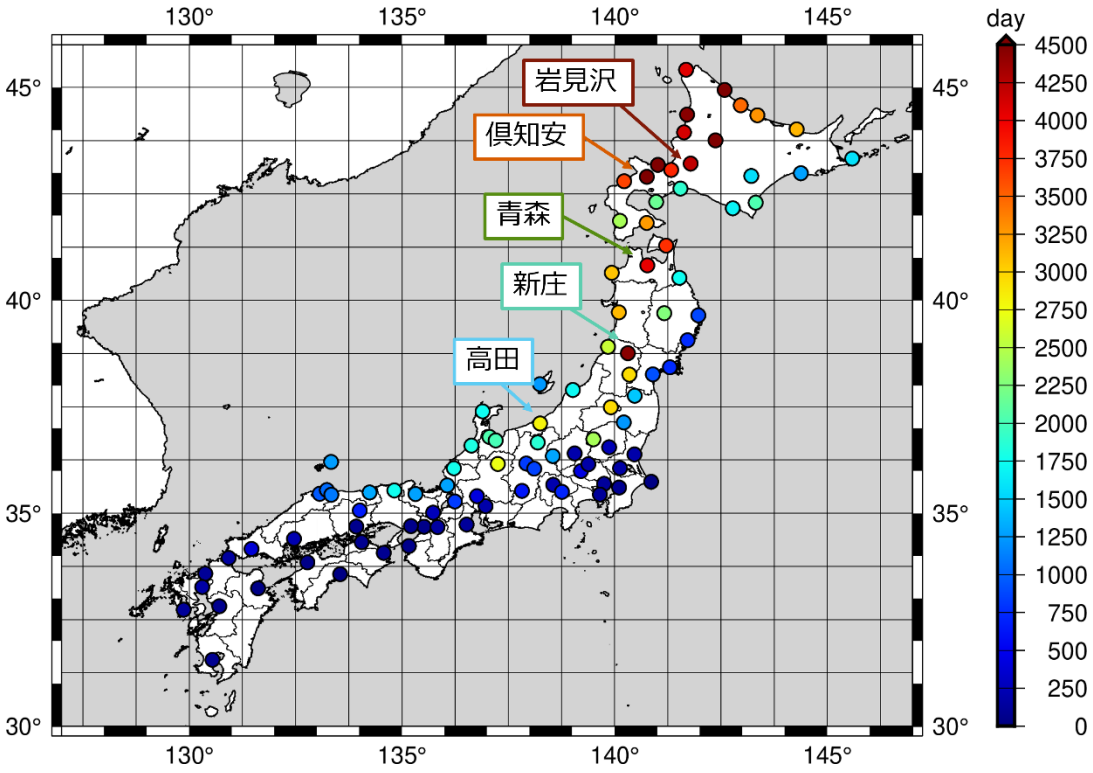

Fig. 6 1cm/日以上の降雪日の日数マップ

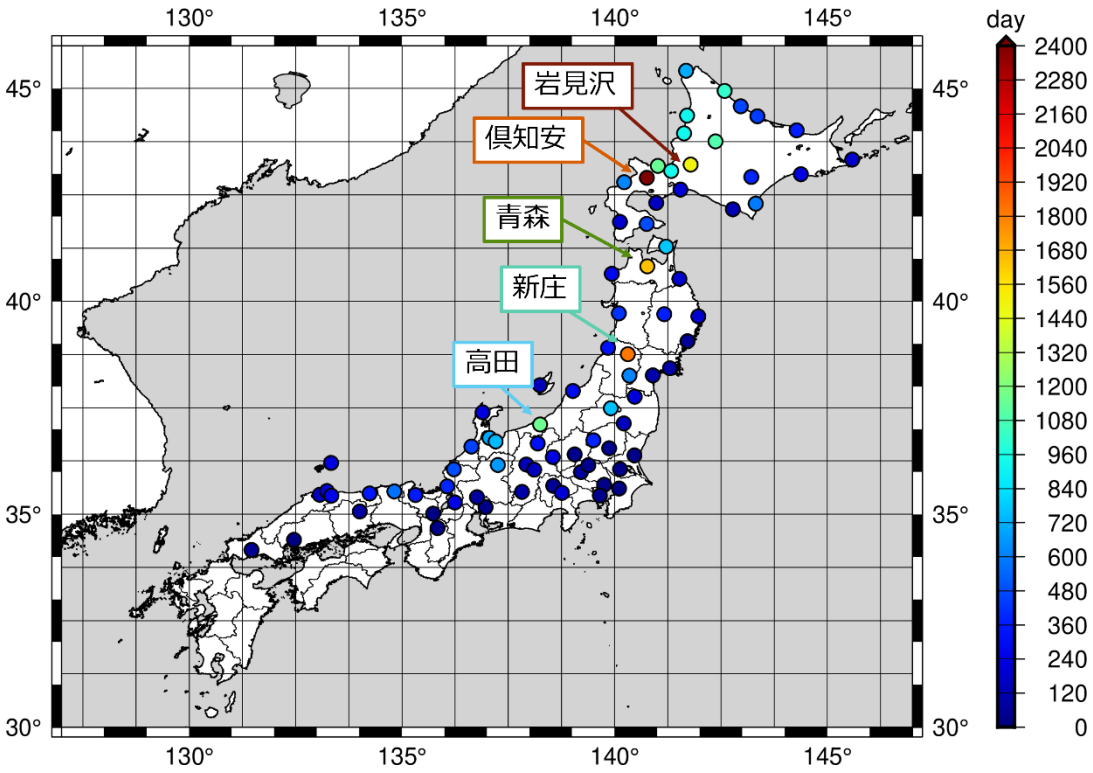

Fig. 7　10cm/日以上の降雪日の日数マップ

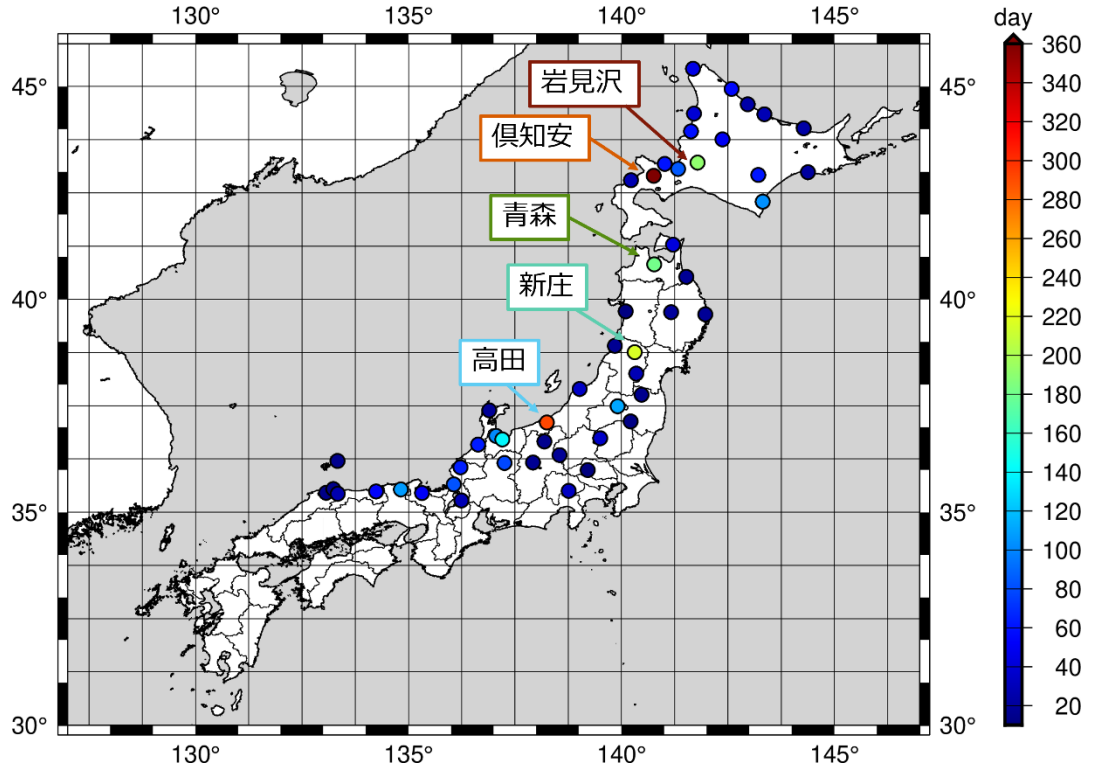

Fig. 8　30cm/日以上の降雪日の日数マップ

3-2 豪雪地帯と非豪雪地帯の定義

日本では法制度的なものとして 1962 年から現在にかけて「豪雪地帯対策特別措置法」に則り，日本海型降雪地域を中心に豪雪地帯と特別豪雪地帯に指定されている市町村が数多く存在するが，本研究では，Fig. 3 における冬季の気候学的な日降雪量の上位 5 地点（岩見沢，倶知安，青森，新庄，高田）を豪雪地帯と定義し，それ以外の法制度的な豪雪地帯の対象地域を含む地点を非豪雪地帯と定義した．

3-3 風向

風向は 16 方位とし，東西風（m/s）/南北風（m/s）の逆正接関数（arctan）をとり，算出した．このとき，気象官署の地点を原点として第二象限方向（風上側）の気象庁 55 年長期再解析データ（JRA-55）における最短距離のグリッドポイントデータをその地点上空の風とした．

3-3-1 冬季の気候学的な風向

冬季の気候学的な風向は降雪日，非降雪日を問わず全解析期間中に最も吹いた風向とする．Fig. 2 は冬季の気候学的な風向を地点ごとに算出して作製したマップである．

3-3-2 降雪日の最頻風向

降雪日の最頻風向は全解析期間中のうち降雪日にのみ最も吹いた風向とする．

3-3-3 風向別の降雪確率と最も雪が降りやすい風向

風向別の降雪確率はある風向の風が吹いた日数のうち雪が降った日数の割合であり，この割合によって，地点ごとに生まれる降雪日数の違いや風向ごとの日数の違いを考慮せずに異なる地点間の比較ができる．風向別の降雪確率は以下の式で表すことができる．

$$\text{風向別の降雪確率} = \frac{\text{ある風向の風が吹いた} \cap \text{雪が降った日数}}{\text{ある風向の風が吹いた日数}}$$

この風向別の降雪確率を 16 方位の風向ごとに算出し，最も高い確率の風向をその地点の最も雪が降りやすい風向とする．

第 4 章 解析結果

4-1 冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向の比較

4-1-1 1cm/日以上の降雪日

まず，冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向を比較し，豪雪地帯と非豪雪地帯の降雪量の違いと風向との関係を考察する．Fig. 9 は 1cm/日以上の降雪日における地点ごとの最頻風向マップである．1cm/日以上の降雪日における最頻風向は北海道から中国・四国地方の広い範囲で西北西の地点が多く見られ，冬季の気候学的な風向と同じ傾向の結果が見られた．しかし，近畿地方を中心に北西や北北西，北北東など一部北寄りの風向である地点が見られた．本研究で豪雪地帯と定義した 5 地点ではいずれの地点も降雪日の最頻風向は西北西であり，冬季の気候学的な風向と一致した．

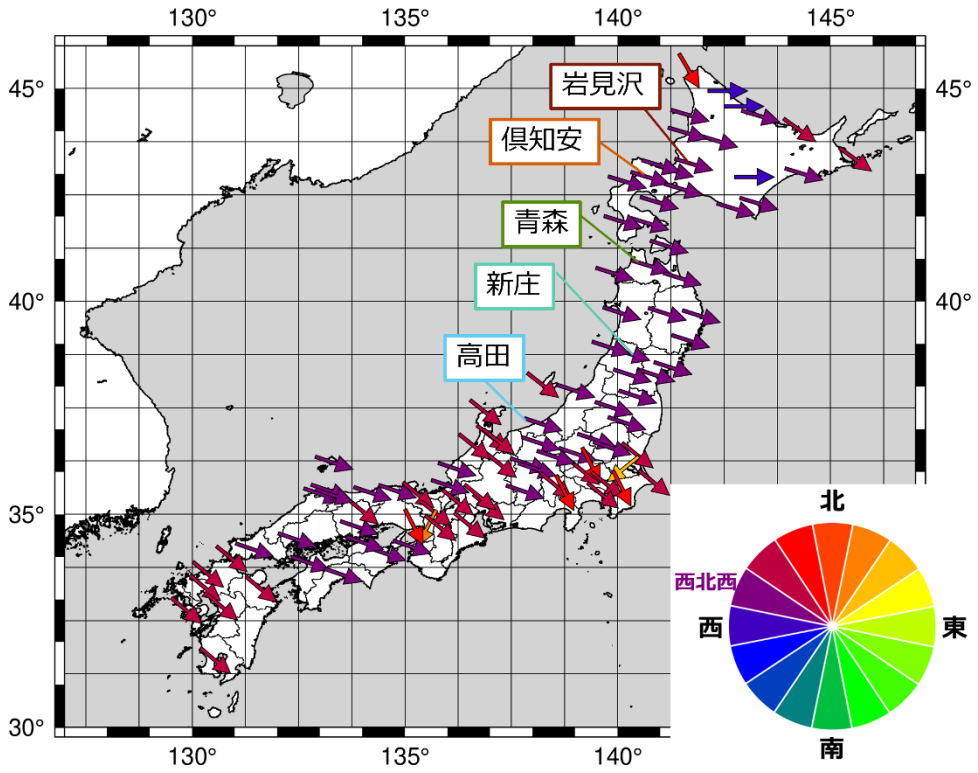

Fig. 9 1cm/日以上の降雪日における最頻風向

4-1-2 10cm/日以上の降雪日

Fig. 10 は 10cm/日以上の降雪日における地点ごとの最頻風向マップである．また，Fig. 11 は冬季の気候学的な風向と 10cm/日以上の降雪日における地点ごとの最頻風向とのずれを示すマップである．本研究で豪雪地帯と定義した 5 地点では最頻風向はいずれの地点でも西北西であり，冬季の気候学的な風向と一致した．しかし，非豪雪地帯と定義した他の地点でも冬季の気候学的な風向と最頻風向が一致した地点が多く見られた．

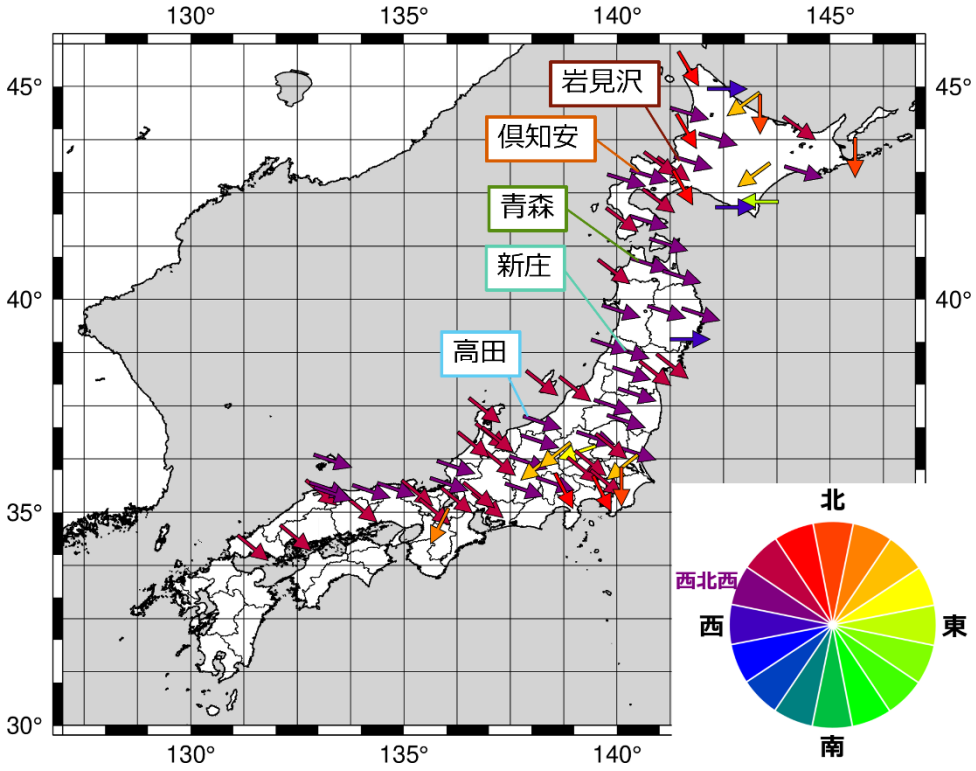

Fig. 10 10cm/日以上の降雪日における最頻風向

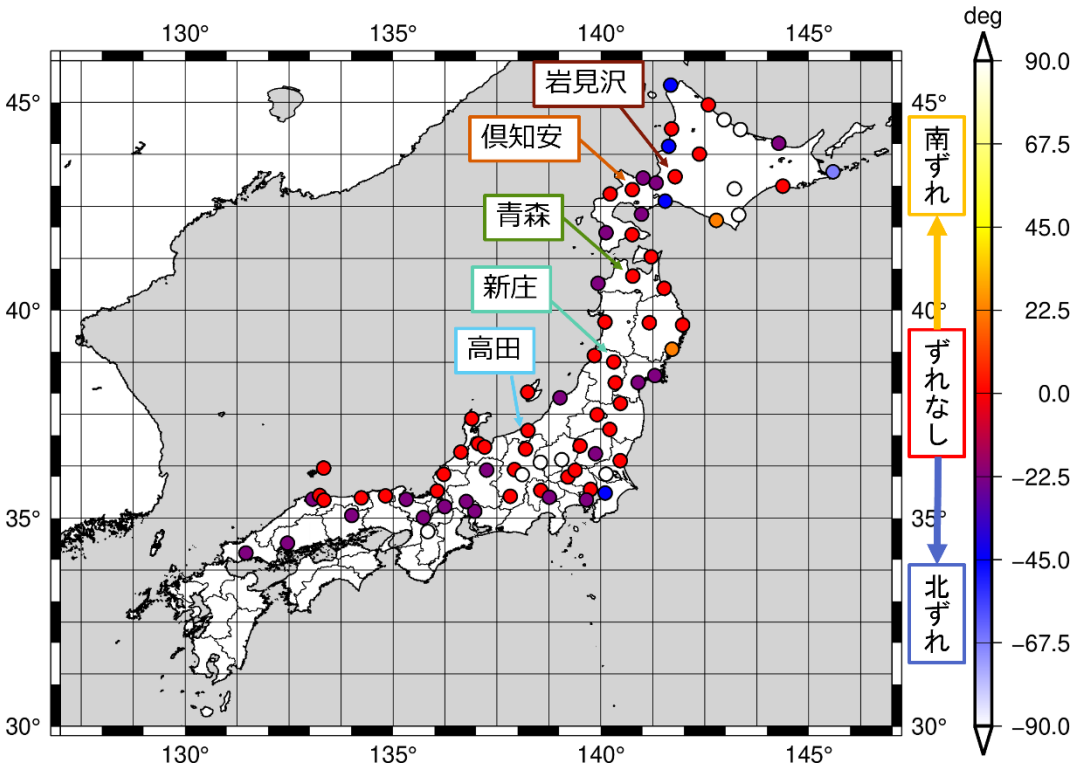

Fig. 11 冬季の気候学的な風向と 10cm/日以上の降雪日における最頻風向とのずれを示したマップ

赤丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向が一致した地点

白丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向が 90° 以上ずれている地点

4-1-3 30cm/日以上の降雪日

Fig. 12 は 30cm/日以上の降雪日における地点ごとの最頻風向マップである．また，Fig. 13 は冬季の気候学的な風向と 30cm/日以上の降雪日における地点ごとの最頻風向とのずれを示すマップである．本研究で豪雪地帯と定義した 5 地点では最頻風向はいずれの地点でも 10cm 以上の降雪日と同様に西北西であり，冬季の気候学的な風向と一致した．しかし，30cm 以上の降雪日においても非豪雪地帯と定義した他の地点で冬季の気候学的な風向と最頻風向が一致した地点が多く見られた．

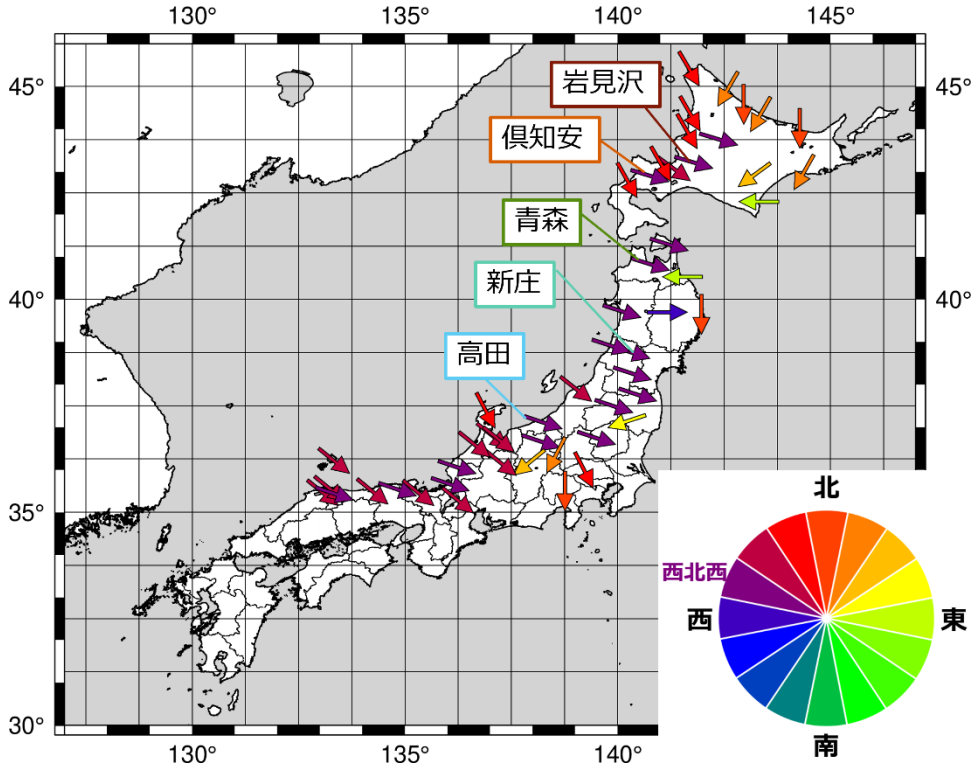

Fig. 12 30cm/日以上の降雪日における最頻風向

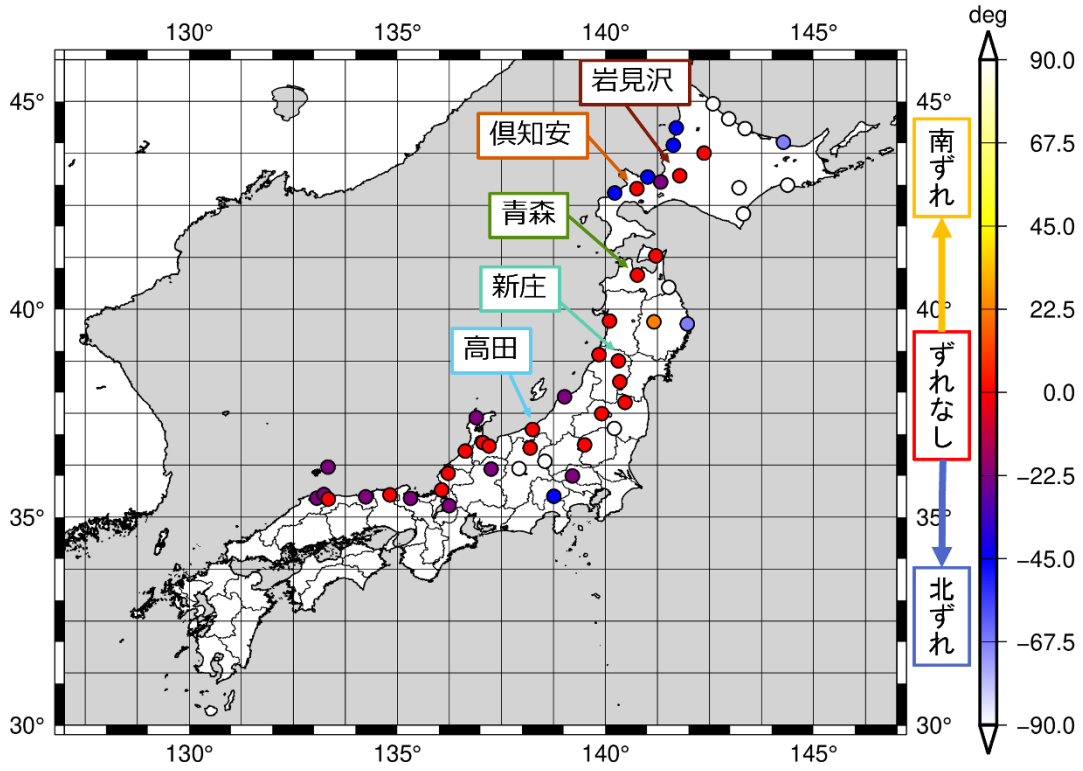

Fig. 13 冬季の気候学的な風向と 30cm/日以上の降雪日における最頻風向とのずれを示したマップ

赤丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向が一致した地点

白丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向が 90° 以上ずれている地点

4-2 冬季の気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向の比較

冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向が豪雪地帯において一致したため，最も多く吹いた風向は非降雪日だけでなく，降雪日においても最も多く吹いていることを示した．しかし，非豪雪地帯においても冬季の気候学的な風向と降雪日の最頻風向が一致している地点がいずれのしきい値でも多く見られたため，豪雪地帯と非豪雪地帯における降雪量の違いと風向との関係を示すには至らなかった．そこで，先述の通り，地点ごとの最も雪が降りやすい風向（風向別の降雪確率が最大の風向）を算出し，豪雪地帯と非豪雪地帯の降雪量の違いとの関係を考察する．

4-2-1 1cm/日以上の降雪日

Fig. 14 は 1cm/日以上の降雪日における地点ごとの最も雪が降りやすい風向マップである．1cm/日以上の降雪日における最も雪が降りやすい風向は北海道から中国・四国地方の日本海沿岸地域の広い範囲で北西の地点が多く見られ，冬季の気候学的な風向とは異なる傾向の結果が見られた．本研究で豪雪地帯と定義した 5 地点では倶知安を除いた 4 地点で冬季の気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向がどちらも西北西となり，一致した．倶知安では最も雪が降りやすい風向が北西となったため，一致しなかった．非豪雪地帯の地点では，降雪日の最頻風向と比べて気候学的な風向と一致する地点が大幅に減少した．

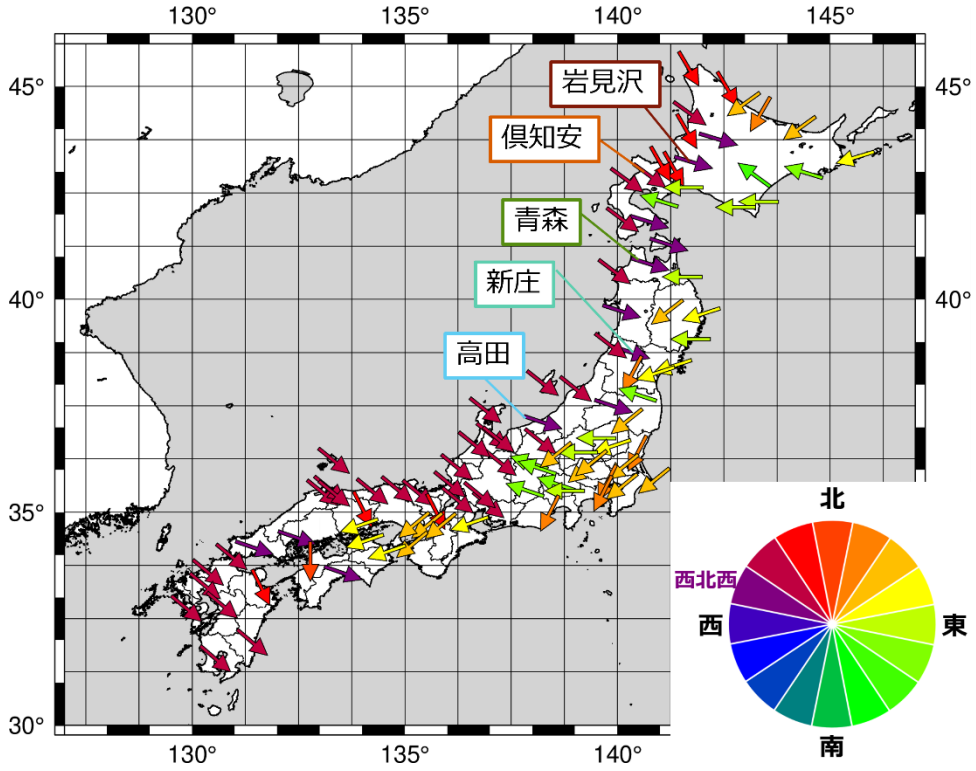

Fig. 14 1cm/日以上の降雪日における最も雪が降りやすい風向（風向別の降雪確率が最大の風向）

4-2-2 10cm/日以上の降雪日

Fig. 15 は 10cm/日以上の降雪日における地点ごとの最も雪が降りやすい風向マップである．また，Fig. 16 は冬季の気候学的な風向と 10cm/日以上の降雪日における地点ごとの最も雪が降りやすい風向とのずれを示すマップである．本研究で豪雪地帯と定義した 5 地点では 1cm/日以上の降雪日と同様に最も雪が降りやすい風向は高田を除く 4 地点で西北西であり，冬季の気候学的な風向と一致した．高田では，最も雪が降りやすい風向が北西となり，気候学的な風向と一致しなかった．非豪雪地帯と定義した他の地点では冬季の気候学的な風向と最頻風向が一致した地点は 7 地点しか見られなかった．

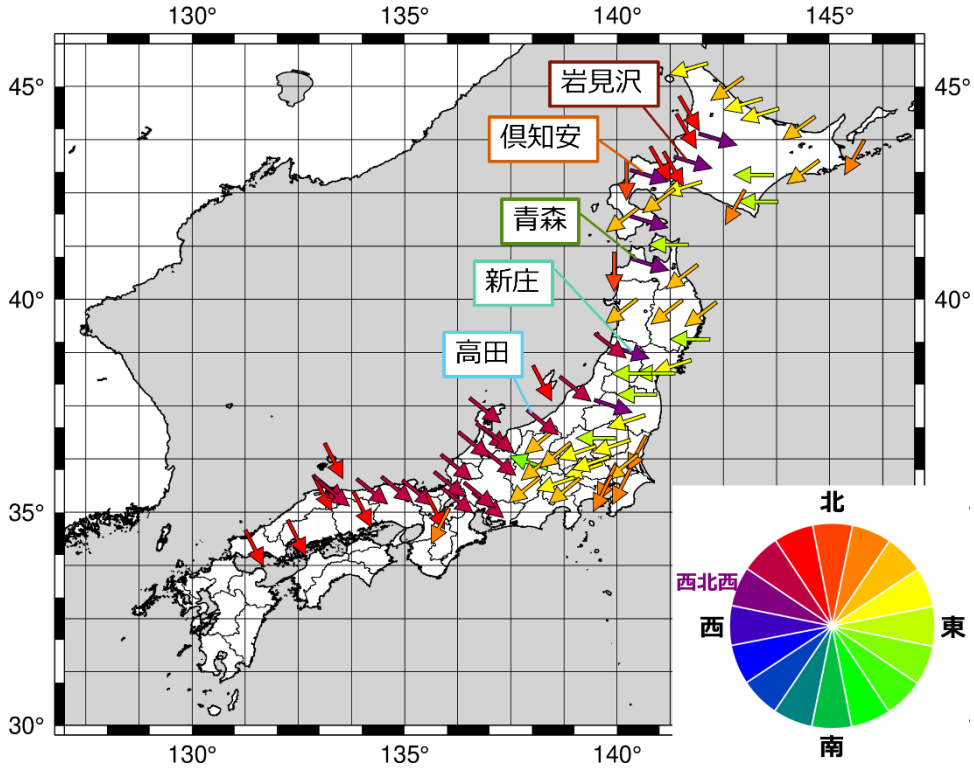

Fig. 15 10cm/日以上の降雪日における最も雪が降りやすい風向（風向別の降雪確率が最大の風向）

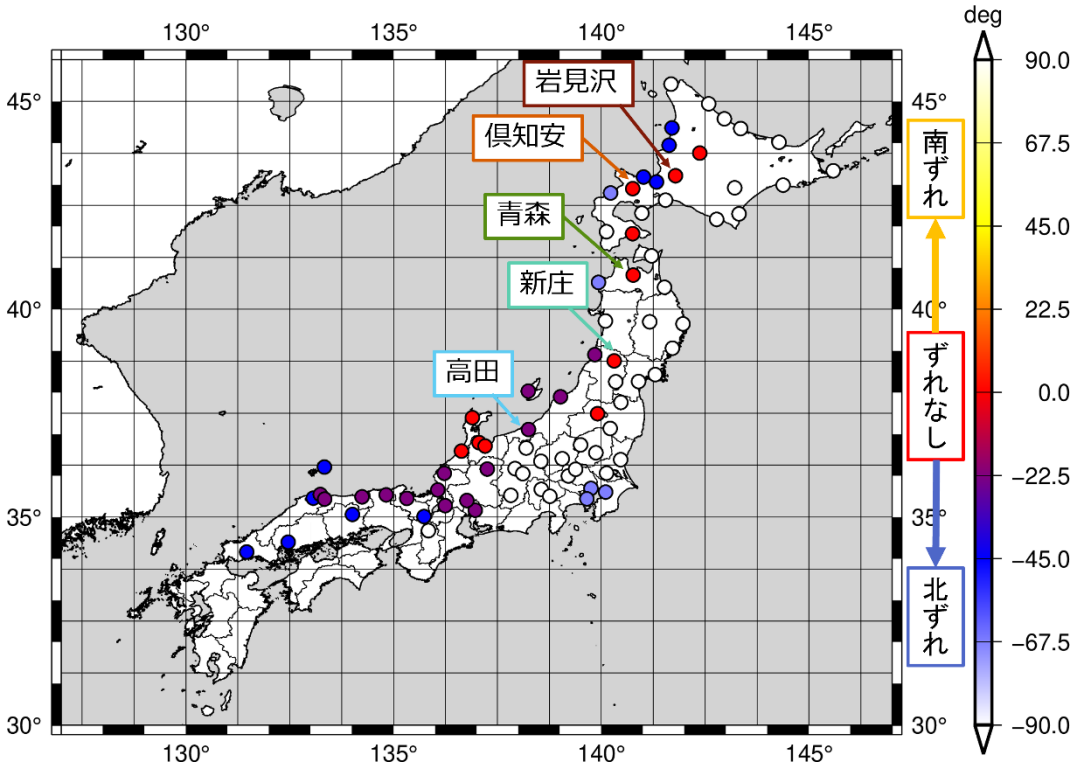

Fig. 16 冬季の気候学的な風向と 10cm/日以上の降雪日における最も雪が降りやすい風向とのずれを示したマップ

赤丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最も雪が降りやすい風向が一致した地点

白丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最も雪が降りやすい風向が 90° 以上ずれている地点

4-2-3 30cm/日以上の降雪日

Fig. 17 は 30cm/日以上の降雪日における地点ごとの最も雪が降りやすい風向マップである．また，Fig. 18 は冬季の気候学的な風向と 30cm/日以上の降雪日における地点ごとの最も雪が降りやすい風向とのずれを示すマップである．本研究で豪雪地帯と定義した 5 地点では最も雪が降りやすい風向は高田，倶知安を除く 3 地点で西北西であり，冬季の気候学的な風向と一致した．高田と倶知安では，最も雪が降りやすい風向が北西となり，気候学的な風向と一致しなかった．非豪雪地帯と定義した他の地点では冬季の気候学的な風向と最頻風向が一致した地点は 7 地点しか見られなかった．

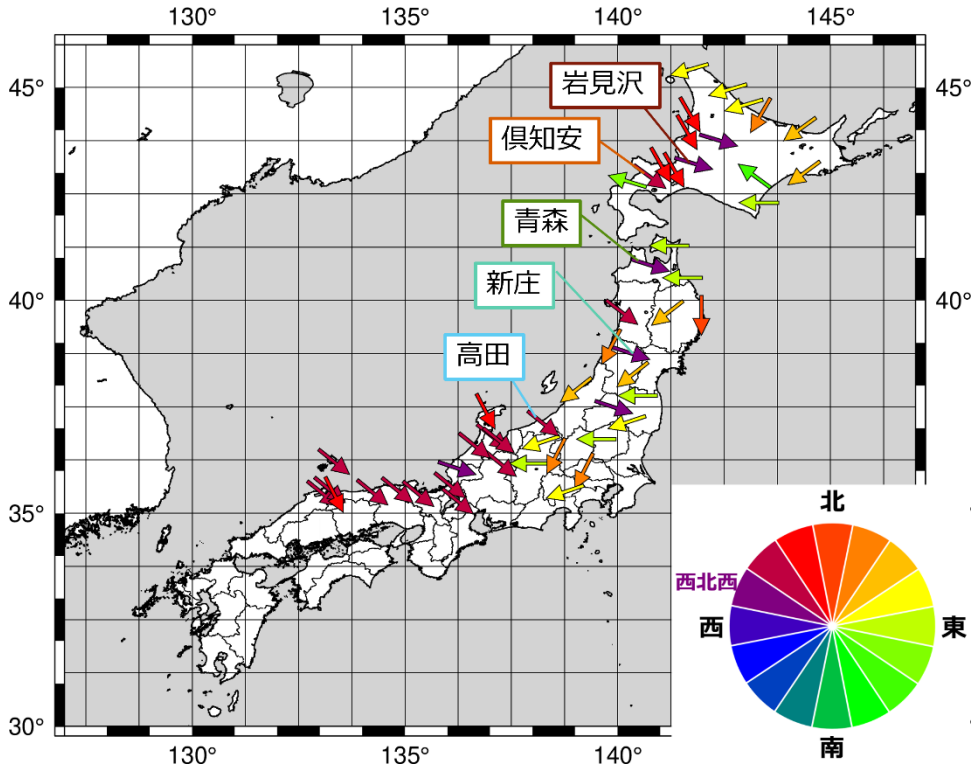

Fig. 17 30cm/日以上の降雪日における最も雪が降りやすい風向（風向別の降雪確率が最大の風向）

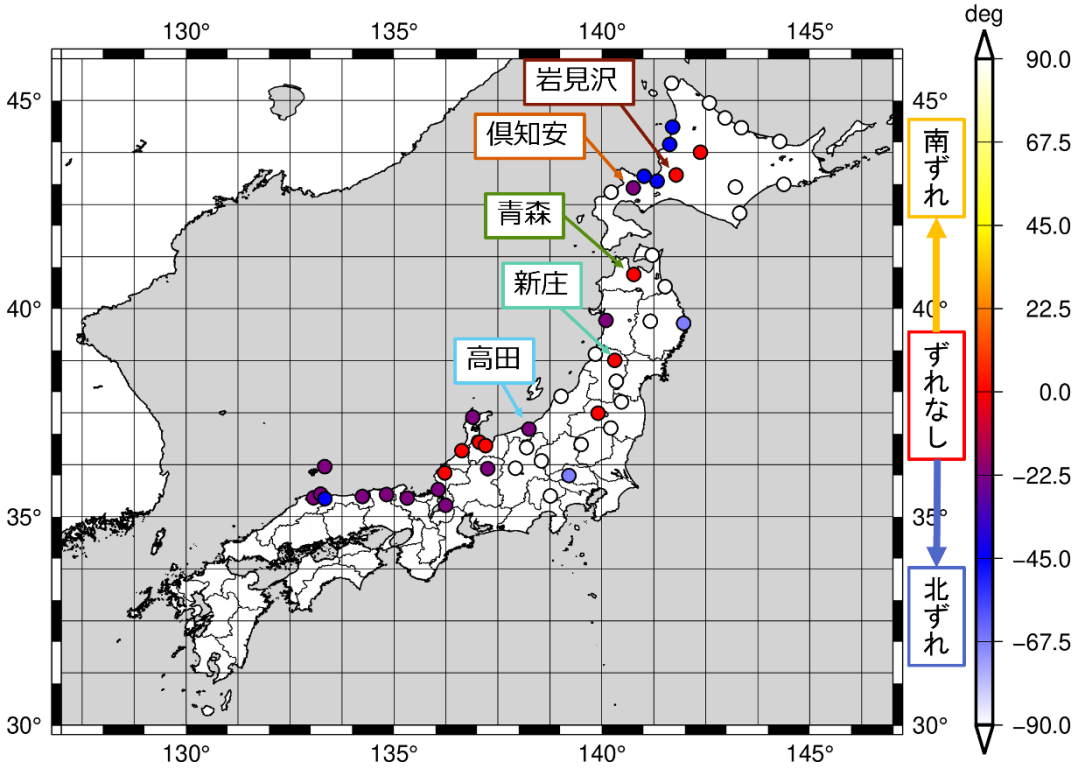

Fig. 18 冬季の気候学的な風向と 30cm/日以上の降雪日における最も雪が降りやすい風向とのずれを示したマップ

赤丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最も雪が降りやすい風向が一致した地点

白丸：冬季の気候学的な風向と降雪日の最も雪が降りやすい風向が 90° 以上ずれている地点

4-3 豪雪地帯と非豪雪地帯の地点間における風向別の降雪確率と最も雪が降りやすい風向の比較

異地点間の風向と降雪量の関係性を比較することができる風向別の降雪確率を用いて，至近距離に位置する豪雪地帯と非豪雪地帯の 2 地点間の降雪量と風向との関係を考察する．Fig. 19 は比較する 3 組の地点の位置図である．図中より岩見沢と札幌，倶知安と寿都，高田と新潟の組み合わせで比較していく．

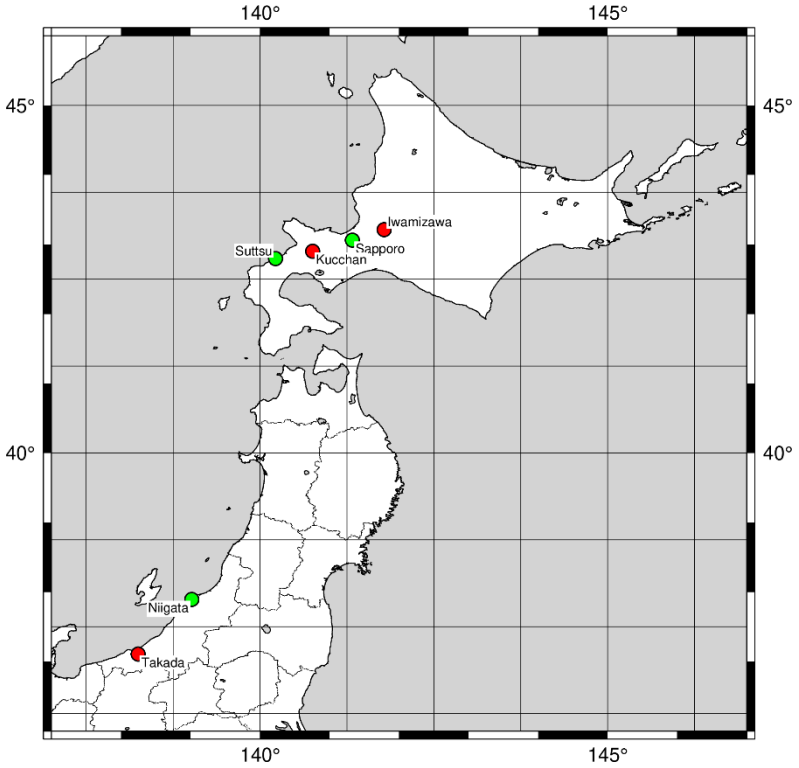

Fig. 19 豪雪地帯と非豪雪地帯の 2 地点間の比較対象地点
赤丸：豪雪地帯の地点　緑丸：非豪雪地帯の地点

4-3-1 岩見沢(豪雪地帯)と札幌(非豪雪地帯)

Fig. 20a は本研究における豪雪地帯である岩見沢，Fig. 20b は非豪雪地帯である札幌の全期間の風向別日数，10cm/日以上の降雪日の風向別日数，10cm/日以上の風向別の降雪確率である．冬季の気候学的な風向と 10cm/日以上の降雪日の最頻風向は両地点とも西北西だった．また，最も雪が降りやすい風向は岩見沢では西北西で降雪確率は 46.6%，札幌では北北西で降雪確率は 36.2%だった．なお，札幌の西北西の風向における降雪確率は 11.7%だった．

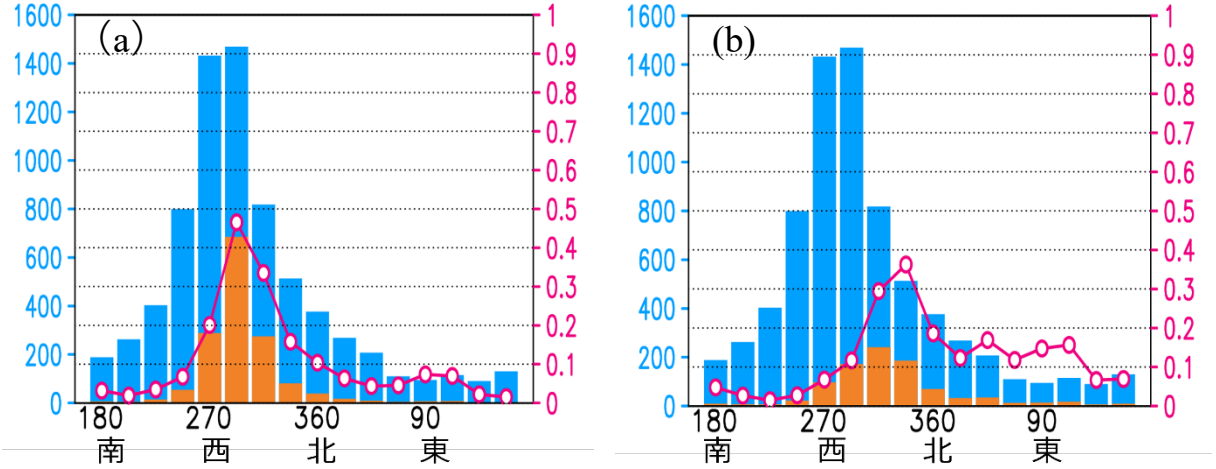

Fig. 20 （a）岩見沢，（b）札幌における風向別の降雪確率の比較図

棒（青）：全期間の風向別日数 棒（橙）：10cm/日以上の降雪日の風向別日数

折れ線（紅）：10cm/日以上の風向別の降雪確率

縦軸（左）：日数 縦軸（右）：割合 横軸：方位（22.5° 間隔）

4-3-2 倶知安(豪雪地帯)と寿都(非豪雪地帯)

Fig. 21a は本研究における豪雪地帯である倶知安，Fig. 21b は非豪雪地帯である寿都の全期間の風向別日数，10cm/日以上の降雪日の風向別日数，10cm/日以上の風向別の降雪確率である．冬季の気候学的な風向と 10cm/日以上の降雪日の最頻風向は両地点とも西北西だった．また，最も雪が降りやすい風向は倶知安では西北西で降雪確率は 57.3%，寿都では北で降雪確率は 13.7%だった．なお，寿都の西北西の風向における降雪確率は 9.1%だった．

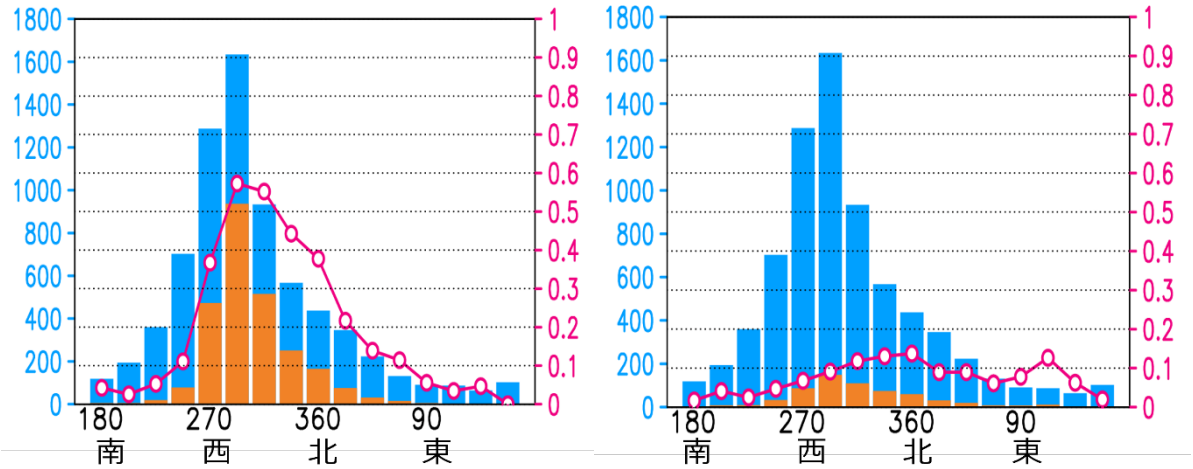

Fig. 21 （a）倶知安，（b）寿都における風向別の降雪確率の比較図

棒（青）：全期間の風向別日数 棒（橙）：10cm/日以上の降雪日の風向別日数

折れ線（紅）：10cm/日以上の風向別の降雪確率

縦軸（左）：日数 縦軸（右）：割合 横軸：方位（22.5° 間隔）

4-3-3 高田（豪雪地帯）と新潟（非豪雪地帯）

Fig. 22a は本研究における豪雪地帯である高田，Fig. 22b は非豪雪地帯である新潟の全期間の風向別日数，10cm/日以上の降雪日の風向別日数，10cm/日以上の風向別の降雪確率である．冬季の気候学的な風向は両地点とも西北西だった．一方，10cm/日以上の最頻風向は高田では西北西だが，新潟では北西だった．また，最も雪が降りやすい風向は高田では北西で降雪確率は 31.9%，新潟では北西で降雪確率は 8.0%だった．なお，新潟の西北西の風向における降雪確率は 4.2%だった．なお，高田は最も雪が降りやすい風向は西北西ではないが，西北西の風向における降雪確率は 29.9%と新潟に比べ高く，高田の風向別の降雪確率の中でも 2 番目に高い値を示した．

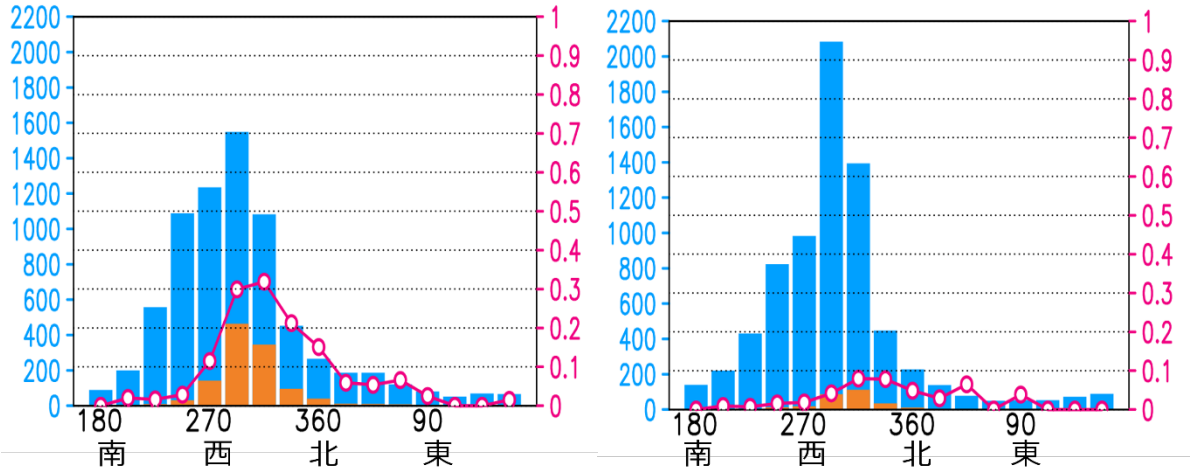

Fig. 22 （a）高田，（b）新潟における風向別の降雪確率の比較図

棒（青）：全期間の風向別日数 棒（橙）：10cm/日以上の降雪日の風向別日数

折れ線（紅）：10cm/日以上の風向別の降雪確率

縦軸（左）：日数 縦軸（右）：割合 横軸：方位（22.5° 間隔）

第 5 章 結論

本研究では，豪雪地帯と非豪雪地帯の降雪量の違いに降雪時の風向の違いが大きく寄与しているかどうかを考察した．そこで，風向別の降雪確率を算出し，豪雪地帯と非豪雪地帯の降雪量の違いと風向の関係性をより詳細に調査した．その結果，豪雪地帯では冬季の気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向が概ね一致していることが分かった．ゆえに，豪雪地帯では降雪量が 10cm/日以上や 30cm/日以上の日数が多いことが示唆された．例外的に，10cm/日以上の降雪日において，冬季の気候学的な風向である西北西と最も雪が降りやすい風向は一致しなかった高田では，西北西での降雪確率も 2 番目に高い値を示した．これは，西北西の降雪確率が北西の降雪確率と僅差であることが原因であるといえる．一方，非豪雪地帯では，冬季の気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向が一致している地点は少なかった．このことが，地点によって差はあるが，降雪量が 10cm/日以上や 30cm/日以上の日数が少ない理由であると考えられる．以上のことから豪雪地帯と非豪雪地帯における降雪量の風向依存性の違いが示唆された．

しかし，地点によって気候学的な風向が吹く確率が異なるため，気候学的な風向と最も雪が降りやすい風向の合致性を地点間で比較するのみでは不十分である．本研究では，風向別の降雪確率をある風向が吹いたという条件下での確率を算出したに過ぎず，ある風向が吹いた確率を考慮していない．そのため，気候学的な風向が吹く確率などを今後算出する必要がある．また，冬季の気候学的な風向と降雪日の風向が一致する非豪雪地帯の地点や冬季の気候学的な風向と降雪日の風向が一致しない豪雪地帯の地点が見られたため，他の降雪因子を考慮して検証していきたい．そのほか，地点一つ一つに着目して，その地点それぞれの降雪時の検討も行いたい．最終的に本研究の結果を踏まえ，人口分布の移り変わりや交通機関の発達史との関係性を考察することで，気象・気候学的なアプローチから地理学的な研究につながることを目標とし，今後も研究を進めていく．

謝辞

本研究を進めるにあたって，立花義裕教授には自分の理想と非常に合致した研究テーマの設定，その方針，手法などを熱くそして丁寧に指導していただきました．また，研究室内のゼミはもちろんのこと，この外に出て学ぶということの厳しい状況の中，オンライン，オフライン問わずたくさんの研究会合やイベントを貴重な対面で発表，聴講する場を設けてくださったことに感謝してもしきれません．たくさんの経験や学習をさせていただけたこと，心より御礼申し上げます．そして，地球環境学教育コースの先生方には，授業や実習などにて，地球環境という幅広い知識を学ばせていただきました．また，コース内での二度の発表会を通して，自分の研究の至らないことや研究を進めていく上でのアドバイスについて，たくさんのコメントをいただきました．厚く感謝申し上げます．

また，新潟大学の安藤雄太特任助教には，研究がよりよいものとなるように時間を割いて研究についての相談に乗っていただき，研究の方針やご助言をいただきました．

気象・気候ダイナミクス研究室の皆様からもたくさんのご協力をしていただきました．春日悟研究員には，研究のストーリー展開をどのように進めていくか，また，解析対象のご提案などをたくさんいただきました．また，研究についての相談をしたときに励ましていただいたことは一生忘れません．加藤茜氏，中村祐貴氏，竹端光希氏，松田佳奈氏，山中晴名氏には，卒業研究をどう進めていくべきか，文章の書き方や研究の見せ方などについて多くのご助言をいただきました．その他，4 年生の皆様のお陰で一緒に卒業研究を進め，お互いに切磋琢磨しながら研究に打ち込むことができました．3 年生の皆様には，コース内での発表前や日々の研究ゼミで研究についてのサポートをたくさんしていただきました．1 年間を通して皆様からの協力あっての研究活動であることを改めて実感しました．最後になりますが，日々の研究活動に携わったすべての皆様に心より感謝申し上げます．

参考･引用文献

- 伊豫部 勉, 河島 克久., 2020： 準リアルタイム積分分布監視システムの開発. 日本雪工学会論文集 **36（1）**, 1-13.
- Tachibana, Y., 1995： A Statistical Study of the Snowfall Distribution on the Japan Sea Side of Hokkaido and Its Relation to Synoptic-Scale and Meso-Scale Environments. *J. Meteor. Soc. Japan*, **73（3）**, 697-715.
- 藤田 敏夫., 1966： 北陸地方の里雪と山雪時における総観場の特徴. *天気,* **13,** 359-366
- 力石 國男, 大西 健二., 1991： 青森県下の降雪量の相関分布から推定される雪雲の移動経路. *雪氷,* **53（4）**, 281-289.
- Kobayashi, S. et al., 2015： The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93（1）**, 5-48
- Harada, Y. et al., 2016： The JRA-55 Reanalysis: Representation of Atmospheric Circulation and Climate Variability. *J. Meteor. Soc. Japan*,**94（3）**,269-302
- 気象庁 HP 日々の天気図 No. 228 2021 年 1 月｜2021 年 1 月 8 日午前 9 時の実況天気図 http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/data/hibiten/2021/202101.pdf
- 新潟大学災害・復興科学研究所 HP ｜2022 年 2 月 7 日午前 9 時の準リアルタイム積雪深分布図 https://platform.nhdr.niigata-u.ac.jp/~ojy-p/test01/jpg_kiroku_jpn00.htm
- 国土交通省 HP 豪雪地帯対策特別措置法について https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chisei/content/001334576.pdf
- 国土交通省 HP 地方振興 活力と魅力のある地域づくり https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/chisei/crd_chisei_tk_000010.html