様　式　C－19、F－19－1、Z－19　(共通)

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　４ 年　６ 月 ２４ 日現在

機関番号：１０１０６
研究種目：基盤研究(C)(一般)
研究期間：2019～2021
課題番号：１９Ｋ０４６４７

研究課題名（和文）日本版「冬の厳しさ指数」の提案　－雪環境変化を見据えた予防保全型マネジメント－

研究課題名（英文）Proposal for a Japanese Version of the Winter Severity Index; -Preventive maintenance management for snow environment changes

研究代表者
白川　龍生（Shirakawa, Tatsuo）

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：５０３４４５５２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は，北海道地域をモデルに，冬期道路交通の機能確保につながる気象観測データ（気温，冬期降水量，冬期降雪量など）を基に,日本の道路交通を取り巻く環境を踏まえた「冬の厳しさ指数」（予防型の指標）を提案し道路政策に供する研究を実施した．
(1)定点観測と広域調査から得られた知見として，そのシーズンの気象特性が雪質として現れるため，多雪と少雪で雪質の違いが明瞭になった．(2)期間中に発生した北海道岩見沢の雪害の実態調査と除雪予算の調査分析を実施した．(3)冬期の平均気温と降水量を正確に予測できれば，回帰分析により一定精度で降雪量が予測できる．これを利用すると，予測型の冬の厳しさ指数を算出できる．

研究成果の学術的意義や社会的意義
近年，降雪が少ないとされてきた地域への大雪や局所的な豪雪など、雪氷環境に変化が生じている．このような雪氷環境の変化が各地で生じ，大雪による交通障害や建物倒壊など，自然の力が施設（インフラ）の抵抗力を上回り災害となるケースの増加が考えられる．このため，雪や寒さに対する評価指標が求められている．
日本の厳しい冬期特性を反映し，さらに予防保全を指向した新しい「冬の厳しさ指数」を提案し，これを除雪費策定など道路政策に供することで，交通障害・雪氷災害に対する道路防災力向上につながる．

研究成果の概要（英文）：This study proposes a preventive maintenance type "Winter Index" for the road traffic environment in Japan based on meteorological observation data (temperature, winter precipitation, winter snowfall, etc.) using the Hokkaido region as a model.
The main results obtained are as follows: (1) The results of fixed-point observations and wide-area snow cover surveys showed that differences in the meteorological characteristics of the season were manifested in the snow quality. The difference in snow quality was especially clear between heavy and light snowfalls. (2) The actual condition and snow removal budget of snow damage in Iwamizawa, Hokkaido, Japan, in 2021/22 were investigated. (3) If average winter temperature and precipitation can be predicted accurately, snowfall can be predicted with high accuracy by regression analysis. This can be used to obtain a predictive winter severity index.

研究分野：雪氷学

キーワード：冬の厳しさ指数　積雪断面観測　広域積雪調査　雪氷環境　除雪費用　岩見沢大雪

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９（共通）

１．研究開始当初の背景

気候変動に伴う雪氷環境の変化が交通に及ぼす影響を示す指標として，冬季雪氷環境を 1 つの指標で表現できる「冬の厳しさ指数」という指標が欧米で開発されている．この指数は，複数の国で当該国の実情に応じたモデルが開発されており，道路行政で使用実績がある．このモデルをわが国への適用を試みた先行研究があるが，わが国は世界有数の豪雪国（図 1）という特有の事情があり，既往のモデルでは十分に考慮されていない問題が多い。さらに日本海側では湿雪で密度が高い重い雪である．欧米の式は実態との乖離に加え，シーズンが終わった後の事後評価式でもあるため，年変動の大きい日本では十分ではなかった．そこで本研究では，気象庁による過去の冬期気象データの分析を主体に，雪環境変化を見据えた予防保全型マネジメントに供すため，日本版「冬の厳しさ指数」を提案するための研究に着手した．

図１　記録的な大雪となった北海道岩見沢市の市街地の様子（2021 年 3 月）。

２．研究の目的

本研究の目的は、冬期の道路防災力を高めるため、冬期道路交通の機能確保につながる気象観測データ（気温，冬期降水量，冬期降雪量など）を基に、日本の道路交通を取り巻く環境を踏まえた「冬の厳しさ指数」（予防型の指標）を提案し道路政策に供することである。

３．研究の方法

本研究では北海道地域をモデル地域とし、以下のように研究を進めた。その際，詳細な気象・積雪観測も実施し，気象統計情報に現れにくい雪質やその影響についても考察を実施した．

(1) 気象と積雪のカップリングを進めるため，北海道北見市における 3 シーズンの定点観測（気象・積雪），ならびに融雪出水直前期（2 月下旬）に北海道の道央・道東・道北地域で広域積雪調査をそれぞれ実施した。得られた観測結果はインターネットを通じ準リアルタイム発信し、研究成果の一部として地域社会へ還元した。

(2) 研究期間中に発生した 2020/21 年冬期の岩見沢大雪を踏まえ，雪害の実態および除雪予算の調査・分析を実施した。

(3) 気象庁による過去の冬期気象データを整理し、極端な気象（豪雪、暴風雪）を含む 1980 年以降のデータの統計値算出，トレンド分析および予測式による将来予測を実施した．特異なシーズンについては、メッシュ農業気象データを利用した積雪深および積雪水量の広域分布を算出し，その傾向を考察した．これらを踏まえ，雪環境変化を見据えた予防保全型マネジメントとしての日本版「冬の厳しさ指数」提案に向けた知見をまとめた．

４．研究成果

(1) 定点観測と広域調査から得られた知見

2019/20 年冬期，2020/21 年冬期，2021/22 年冬期の 3 シーズン，北海道北見において気象・積雪観測を実施した（図 2：3 シーズンの積雪断面観測結果）．同地における平年値をみると，長期積雪は 11 月中旬～翌 4 月中旬（約 145 日）であるが，観測を実施した 3 シーズンはいずれも下回り，特に 2019/20 年冬期は 81 日に留まった．また積雪深についても平年より少なく，2019/20 年冬期は顕著な少雪となった．一方，1 月および 2 月（厳冬期）における月平均気温は平年値を下回った．これらの気象・積雪特性を反映し，積雪内の温度勾配（縦断方向の温度変化率）が大きくなり，積雪

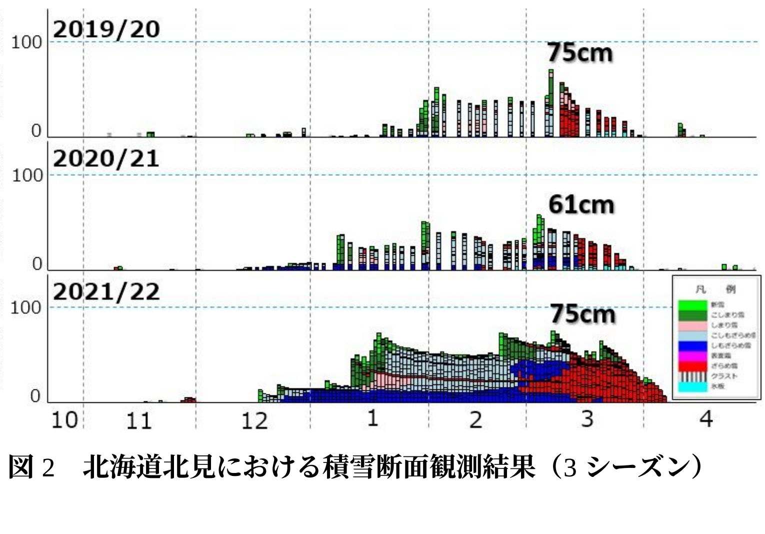

図 2　北海道北見における積雪断面観測結果（3 シーズン）

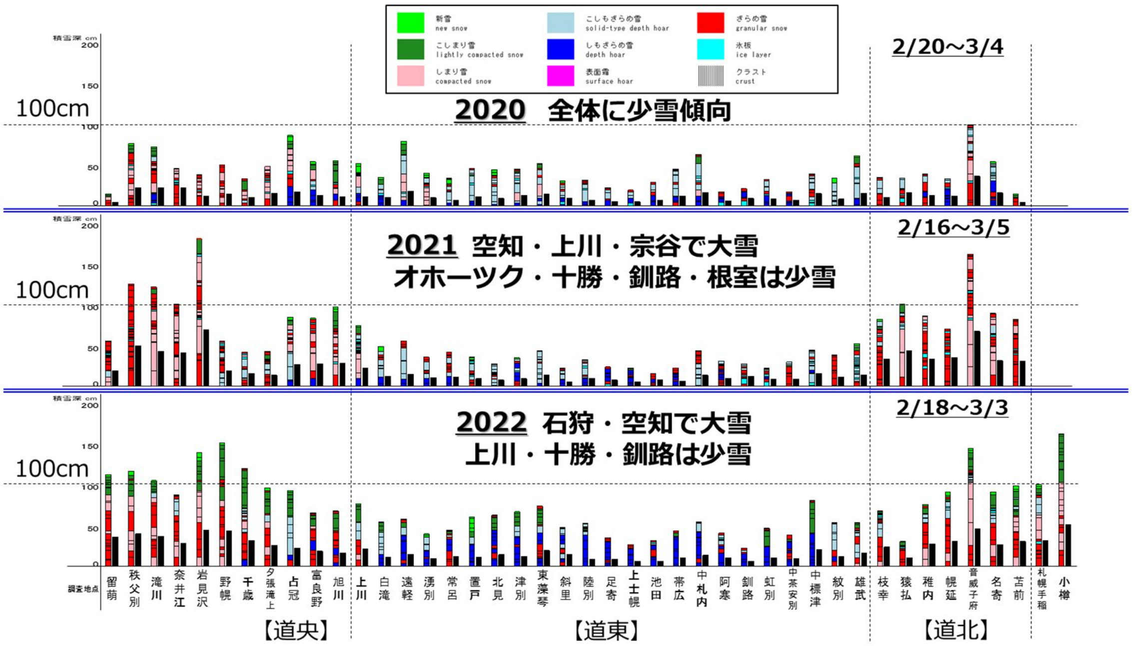

図 3　北海道道央・道東・道北における広域積雪調査結果（3 シーズン）

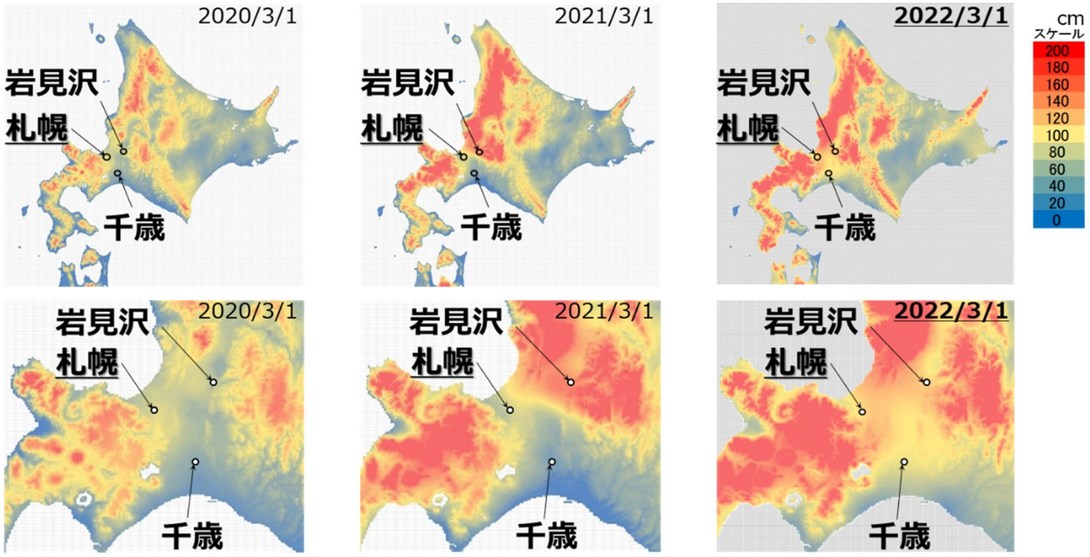

図 4　北海道の融雪出水直前期における積雪深分布（3 シーズン）

内の雪質はこしもざらめ雪やしもざらめ雪（霜系の雪質）が発達した．日降雪量 20㎝ を超える大雪は各シーズン 3～4 回程度で平年並みだったが，2021/22 年冬期に厳冬期の降雪として珍しい湿雪（みぞれ）が降り，その後の除排雪作業に大きな影響を与えた．得られた観測結果はインターネットを通じ当日中に準リアルタイム発信し，地域の雪氷防災に貢献した．

また，各シーズンの 2 月下旬に北海道の道央・道東・道北地域にて広域積雪調査を実施した（図 3）．2020 年は全体的に少雪傾向で 1 箇所を除き積雪深さ 1m 未満だったが，2021 年は空知（岩見沢を含む）・上川・宗谷で大雪，2022 年は石狩（札幌圏）・空知で大雪となった．多くの地点で積雪深の年変動やそれに伴う雪質の違いが確認されたが，この結果から，将来予測を含めた気象の長期予測（数ヶ月単位）とその除排雪計画の重要性が示唆された．広域積雪調査はデータ集としてまとめ，北見工業大学学術機関リポジトリに登録し，地域の雪氷防災の基礎資料を提供した．また図 4 は各シーズンの融雪出水直前期における積雪深分布を 1km メッシュで計算した結果である．2020 年は全体に少雪で，2021 年は岩見沢と札幌の間で積雪深の境界が明瞭に現れている．また直近の 2022 年は日本海側で全体に雪が多く，札幌圏は内陸の千歳付近まで積雪深 1m に達していることが分かる．

(2) 研究期間中に発生した雪害の実態および除雪予算の調査・分析

研究期間中，2020/21 年冬期に北海道岩見沢で雪害が発生した．この調査で得られた成果を以下に記す．

2020/21 年冬期，北海道では岩見沢など空知南部が大雪となり，気象庁岩見沢特別地域気象

表１　岩見沢における 11～4 月の降雪の深さ合計，月別降水量合計，月単位の雪水比.

岩見沢	降雪の深さ合計（cm）			月別降水量合計（mm）			月単位の雪水比（cm / mm）		
	2020/21	2011/12	平年値	2020/21	2011/12	平年値	2020/21	2011/12	平年値
11月	77	142	70	172	198.5	118.8	0.45	0.72	0.59
12月	382	346	200	299	241	144.5	1.28	1.44	1.38
1月	211	237*	187	138	182	119.4	1.53	1.30*	1.57
2月	227	217	137	190.5	156.5	85.5	1.19	1.39	1.60
3月	47	77	72	49.5	46	59.4	0.95	1.67	1.21
4月	2	21	8	108.5	54	52.7	0.02	0.39	0.15
期間合計	946	1040	674	957.5	878	580.3	0.99	1.18	1.16

観測所による観測では，最深積雪が 205 ㎝を記録した．これは過去の記録的大雪として知られる 2011/12 年冬期の 208 ㎝に次ぐ記録となった．岩見沢で 2021 年 2 月に計 2 回の積雪断面観測を実施した．寒冷で，しまり雪主体だった 2011/12 年冬期と比較すると，2 月中旬以降の気温の高さや降雨の影響を受け，積雪深は同程度ながら，雪質はざらめ雪主体で帯水層や氷板も複数確認され，対照的な結果だった．積雪水量は 2 月 28 日に 610㎜ を記録した．全層平均密度は 361kg㎡$^{-3}$で，これは同時期における道央の平均値（312 kg㎡$^{-3}$）に比べ値が高く，注意を要する結果となった．岩見沢が大雪になった要因としては，寒気の流入に伴い日本海の海上で発生した筋状雲が西寄りの風で岩見沢付近に移流する日が多かったことによる．さらに 2 月下旬には日本海北部を弧状に南下した北海道西岸帯状雲が石狩湾上で大陸からの筋状雲と合流し，これが岩見沢付近に達し大雪をもたらした．

2020/21 年冬期は，岩見沢を発着する鉄道や路線バスにて，運休や遅延などの大規模輸送障害が発生した．鉄道のターミナル駅を抱える拠点都市が大雪になると，市民生活のみならず，都市間輸送にも影響が波及する． 除排雪費について，岩見沢市から提供されたデータによると，2020 年度の除排雪対策経費（除雪経費・排雪経費・その他経費）は総額 26 億 7200 万円に達した．同市は当初予算で例年並みの 13 億 6000 万円を計上したが，排雪経費（積算単価：200 万円/㎞）が不足し，さらに除排雪業者に支払う委託料が増加したため，その後に計 3 回の追加補正により，除排雪対策経費は過去最大規模となった（従来の最高額は 2011/12 年冬期の 20 億 4000 万円）．同市内の企業や市民が利用できる計 4 カ所の雪堆積場への総搬入量は，2011/12 年冬期の 1.61×10^{6} ㎥を上回り，従来の記録を更新する 2.16×10^{6} ㎥に達した．2020/21 年冬期に雪堆積場への搬入量が増えた理由として，日降雪量 20 ㎝を超える日が続いたため，自宅敷地内など雪を捨てる場所が不足したこと，2019 年度に導入した高齢者や障害者世帯を対象とした定期排雪費の一部助成制度を利用する市民が増加したことが挙げられる．また，同市の除排雪対策本部に 2021 年 3 月末までに寄せられた市民からの雪に関する苦情・要望は 4797 件に達した．これは 2011/12 年冬期の 5300 件に次ぐ 2 番目の記録である．分類別では，道路の除排雪に関するものが 1012 件と最多で，除雪方法に関するものが 902 件となった．市の分類には当てはまらない「その他」については落雪に関する相談が中心で，1920 件だった．

期間を通じた雪質の特徴としては，11～4 月の全ての月で平年より雪水比（降雪の深さ／降水量）が小さかった点が挙げられる（表 1）．乾雪に比べ，湿雪は除排雪作業時の負荷が大きい．加えて 2020/21 年冬期の岩見沢は寒暖差が大きく，気温の高い日がある一方，真冬日も多かった．湿雪は水分を多く含み，凍結すると硬度の高い雪に変化する．このことも，除雪作業の負担を高める一因となったと考えられる．

(3) 北海道における過去の冬期気象データによるトレンド分析/将来予測と「冬の厳しさ指数」

北海道の過去の冬期気象データから，1980/81 年以降の統計値およびトレンドを求め，降雪量の将来予測を実施した．

統計値算出とトレンド分析には，北海道内における総合振興局・振興局所在地（14 箇所）および北見の気象庁観測データを使用し，公開データから 1980 年以降の 12～3 月における月平均気温，降水量および降雪量を抽出した（図 5，誤差範囲つき）．降雪量については，日本海側の倶知安・岩見沢で多い．この 2 箇所は誤差範囲も大きい．また海岸部に比べると内陸部で変動が多い傾向がある．このことから，降雪量が少なく海岸部にある函館・江差・室蘭・浦河・釧路および根室では変動が少なく，除排雪に必要な計算がしやすいと言える．また，函館・江差・室蘭・浦河は気温が高く，道内他箇所と異なり，降水が降雪にならず雨になるケースがみられる．

次に，各地における 12～3 月の平均気温および降水量から降雪量を重回帰分析（原点回帰）により算出した．図 6 に，平均気温および降水量に乗じる回帰係数（誤差範囲つき）を示す（回帰式の相関係数は r=0.7 程度）．平均気温については倶知安・岩見沢・留萌が，降水量については北見・網走・帯広の変動が大きく，これらの箇所では値のわずかな違いが降雪量に影響を及ぼしている．

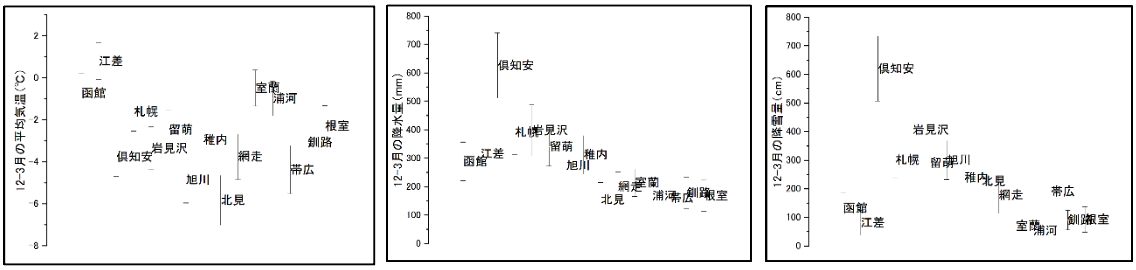

図 5　12～3 月における北海道内各地の平均気温・降水量・降雪量（1980/81 年冬期以降）

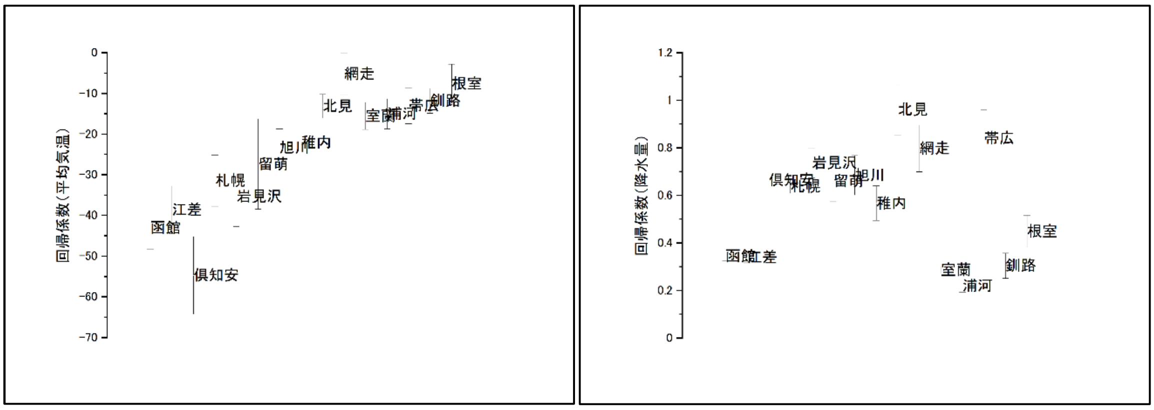

図 6　降雪量算出のための回帰係数（平均気温，降水量：重回帰分析により算出）

平均気温および降水量のトレンドを求め，先述の回帰式を用いると，外挿の精度ながら実測データに基づく降雪量の将来予測が可能になる．この予測を利用して求めた降雪量について，わが国特有の湿雪の影響を加えるため，雪質を表現するファクターとして各地点のマクロな新雪密度（＝降水量（cm 換算）/降雪量）で乗じる．日本版「冬の厳しさ指数」（注：雪の因子について）とすれば，北海道内各地の雪に関する負担率（積雪水量の予測値に相当）を指標化することができる．

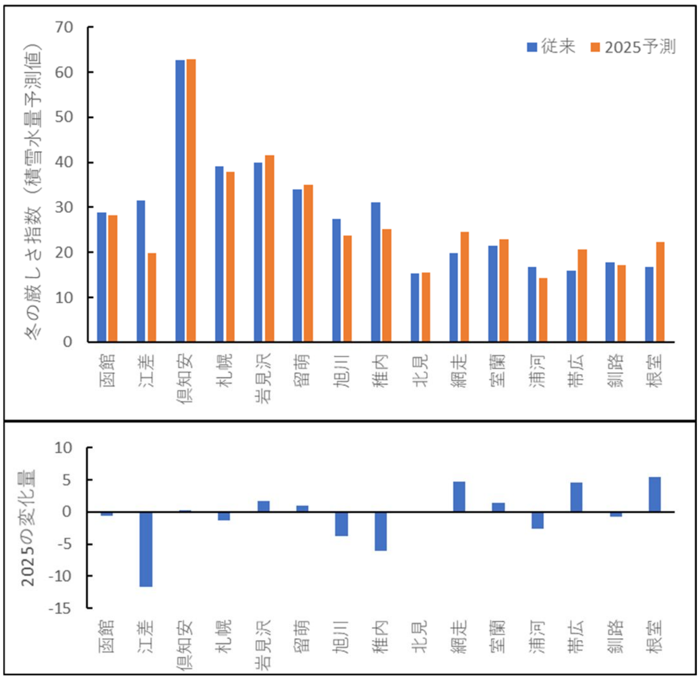

図 7　新たに提案する冬の厳しさ指数の算出例

一例として，図 7 に 1980－2021 の平均的な冬の厳しさ指数と，トレンドから算出した 2025 年の平均気温と降水量から求めた予測降雪量にマクロな新雪密度を乗じた冬の厳しさ指数を示す．多くの地点では現状から大きな変化はないが，江差・旭川・稚内で減少，網走・帯広・根室では一定の増加傾向がみられた．

この研究の成果を利用すると，長期予報で平均気温と降水量がある程度正確に予測できれば，シーズン前の除排雪費用の配分や，除雪車両の配置などを従来より気象・雪質を考慮して計画的に進めることができる．

将来的には，さらに路面のすべりや吹きだまり，雪崩のリスクの予報データを数値化することにより，予防型の総合指標への発展が期待される．

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計2件（うち査読付論文　2件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　2件）

１．著者名 白川龍生・亀田貴雄	４．巻 81(4)
２．論文標題 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	５．発行年 2019年
３．雑誌名 雪氷	６．最初と最後の頁 163-182
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5331/seppyo.81.4_163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 －

１．著者名 白川龍生・尾関俊浩・金田安弘・松岡直基	４．巻 84(4)
２．論文標題 北海道岩見沢における2020/21年冬期の降雪と積雪の特徴	５．発行年 2022年
３．雑誌名 雪氷	６．最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 －

〔学会発表〕　計8件（うち招待講演　0件／うち国際学会　0件）

１．発表者名 白川龍生・前嶋直浩・高橋浩司・石本敬志
２．発表標題 鉄道林が有する副次的機能の調査　－並行する国道への防風・防雪効果の波及－
３．学会等名 令和2年度土木学会全国大会（オンライン）
４．発表年 2020年

１．発表者名 白川龍生・石井日菜
２．発表標題 台風から変化した温帯低気圧に伴う晩秋の降積雪
３．学会等名 雪氷研究大会（2020・オンライン）
４．発表年 2020年

１．発表者名
石井日菜・白川龍生・亀田貴雄・小倉美紀

２．発表標題
雪面に小氷塊が形成されたときの気象条件

３．学会等名
雪氷研究大会（2020・オンライン）

４．発表年
2020年

１．発表者名
白川龍生

２．発表標題
台風から変化した温帯低気圧に伴う10月の降積雪と市民生活への影響

３．学会等名
第12回日本気象予報士会研究成果発表会（オンライン）

４．発表年
2021年

１．発表者名
白川龍生・齊藤晶・高橋浩司・小林一人

２．発表標題
機械学習を用いた積雪粒子画像の自動判定法

３．学会等名
日本雪氷学会北海道支部

４．発表年
2019年

１．発表者名
白川龍生・國井雅宏・石井日菜

２．発表標題
2008年冬期～2017年冬期の北海道における降水量と雪水比の傾向

３．学会等名
雪氷研究大会（2019・山形）

４．発表年
2019年

１．発表者名 石井日菜・白川龍生・亀田貴雄
２．発表標題 2020-2021年冬季における北海道の広域積雪分布の特徴
３．学会等名 雪氷研究大会（2021・千葉－オンライン）
４．発表年 2021年

１．発表者名 白川龍生
２．発表標題 9年ぶりに大雪となった岩見沢市での積雪断面観測（2021 年3月）
３．学会等名 日本雪氷学会北海道支部，オンライン
４．発表年 2021年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北見の積雪観測情報アーカイブス https://www.facebook.com/kitamisnow

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考

７．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関