

2016年1月24日～25日における新潟県中越地方での大雪と交通障害リスク

丹治和博*1 野村茂行*1 福嶋寛明*1 益田卓朗*2

1. はじめに

積雪寒冷地では大雪や吹雪に伴う路面状態の悪化や視界不良によって、道路交通に対して低速走行や著しい渋滞が発生する。特に、2016年1月24日～25日には新潟県中越地方で記録的な大雪となった。この大雪は翌25日には次第に弱まったが、新潟県中越地方の幹線道路や市街地では著しい渋滞や立ち往生が発生し、域内の交通はほぼマヒ状態となった。この大雪による交通障害事例を対象にプローブデータから解析された混雑度情報と気象経過を対比させ、大雪に伴う交通障害リスクについて検討した。

2. 2016年1月24日～25日の新潟県中越地方の大雪

1月24日は西日本を中心に冬型の気圧配置が強まり、強い寒気のため沖縄本島でも降雪を観測した。一方、日本海には動きの遅い小低気圧が残った。この小低気圧は次第に消滅して弱い気圧の谷となったが、北陸地方の上空には非常に強い寒気が入り続け、新潟県中越地方では大気の状態が不安定となり長く大雪が続いた(図1)。

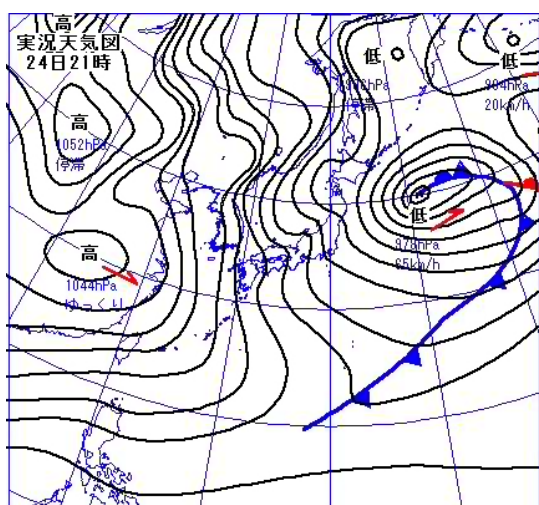


図1 2016年1月24日21時の地上天気図

この大雪は新潟県長岡市や見附市で特に著しく、長岡アメダスでは日降雪量69cm(観測史上第4位)、北陸地方整備局の中之島観測所では日降雪量75cm(観測史上1位)を観測した。この大雪のため北陸自動車道は1月24日14時35分から通行止めとなり、交通が流入した一般道では混雑による渋滞や立ち往生が発生した。国道8号では多数のスタック車両が発生したため各地で多くの車の身動きが取れなくなり、災害対策基本法に基づく区間指定が行われ、その復旧は1月27日にまで及んだ²⁾。

3. 研究方法

(1) 降雪量分布の推定

本研究では広域的な交通障害の広がりや降雪状況を比較するため、気象庁の解析雨量に対して気温・湿度による雨雪判別を行い、これを3次メッシュに展開した降雪量を推定した²⁾。

①使用した降水量データ

気象庁の解析雨量(国土交通省と気象庁が全国に設置しているレーダー、アメダス等の地上の雨量計を組み合わせによる3次メッシュ単位の降水量)を使用した。

②雨雪判別

別途、日本気象協会が気象庁数値予報データから解析した3次メッシュ単位の気温と湿度データから、①の降水に対して雨雪判別(みぞれを含む)を行った(図3)。

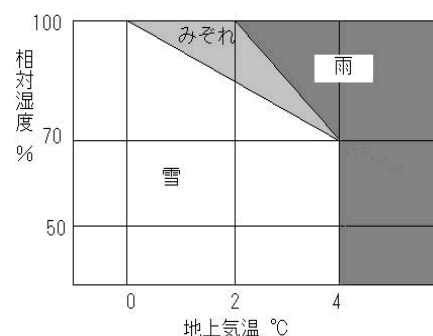


図3 気温、湿度による雨雪判別³⁾

③降雪量の計算

②で降雪と判別された場合、気象庁の気象官署資料を基に、気温に応じた雪水比換算式(降水量[mm]を降雪量[cm]に換算する比率)から、①の降水量を降雪量に換算し、気象庁積雪深観測所のデータで補正した。

(2) プローブデータによる混雑度情報

①混雑度情報

本田技研工業株式会社のインターナビ会員車両のプローブデータを基に解析された混雑度情報を用いた。この混雑度情報は、区間リンクごとに過去データから「順調」「混雑」「渋滞」の3段階にそれぞれ解析された統計値(≒平常時)と実況値の組み合わせからなる9段階の混雑度情報である。

②混雑度情報の3次メッシュ化

3次メッシュで推定した降雪量分布に整合させるため、①の混雑度情報を3次メッシュに展開した。これはそれぞれの区間リンクが含まであろう3次メッシュを推定し、より交通障害の程度の重い混雑度を含む区間IDの混雑度を優先させることで、混雑度情報を3次メッシュ化した。

*1一般財団法人日本気象協会、*2本田技研工業株式会社

4. 降雪量の増加に伴う交通障害の発生状況

2016年1月24日～25日について、3次メッシュで解析した降雪量と混雑度の分布から特徴的な事例を図4～図6に示す。それぞれの図では上図が混雑度の分布、下図が降雪量（降雪強度）の分布を示している。混雑度は統計値と実況値の組み合わせによる9段階で表し、平常時に比較して混雑が著しいほど暖色系の色で示している。

図4は断続的に降雪が強まった1月24日の14時～15時である。14時に比べて15時には長岡市から三条市にかけて急激に降雪（5～10cm/h）が強まった。この強い降雪に対応するように三条市や長岡市の中心部で渋滞が発生している。

降雪が最も強まった1月24日の18時～19時を示す図5をみると、長岡市や三条市の市街地だけでなく、降雪強度が5～7cm/hとなった柏崎市でも渋滞が生じていることがわかる。また、長岡市と三条市を結ぶ国道8号付近でも断続的に混雑している箇所がある。

一方、翌1月25日の8時～9時は降雪は弱まっているものの、地域全体の混雑や渋滞は最も著しい。この時間帯は週末明けの月曜朝のラッシュ時に相当する。特に、長岡市や三条市では市街地に限らず周辺地域を含めて広域的な渋滞が発生している様子が見える。国道8号を含む長岡市から三条市にかけての一体では幅広い地域で渋滞や混雑が発生していることが明瞭である。また、柏崎市の市街地でも渋滞が発生している。

これらの渋滞は過去の統計値で「順調」と解析されているエリアがほとんどである。すなわち、この大雪によって普段はあまり混雑のしない道路で渋滞や混雑が広範囲で発生していたことを意味している。

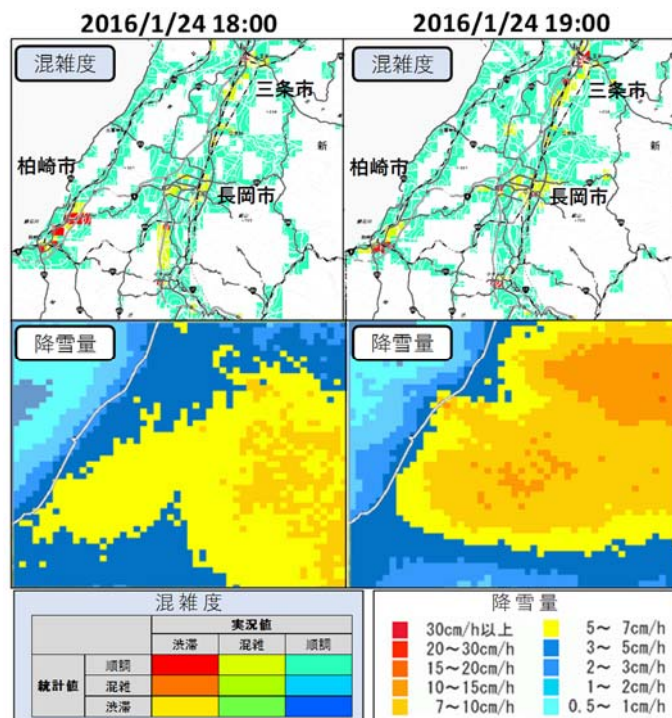


図5 降雪量と交通障害の分布（1月24日18時～19時）

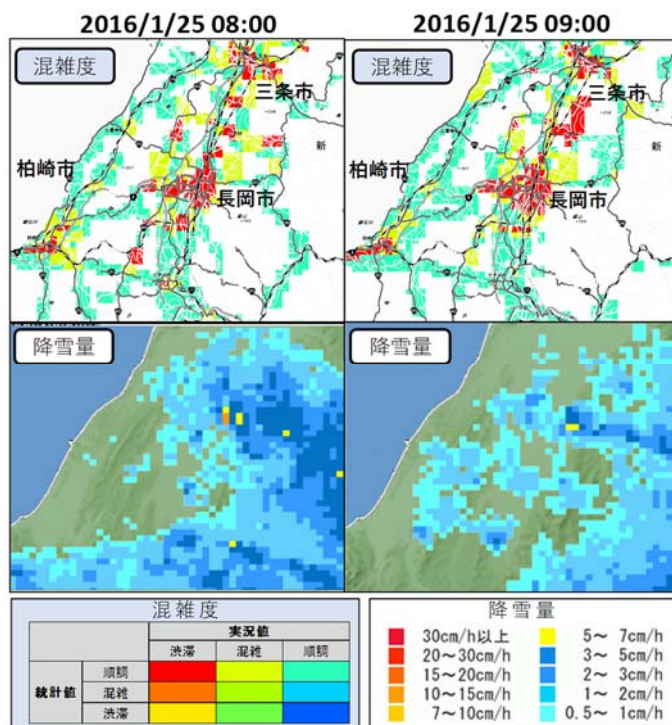


図6 降雪量と交通障害の分布（1月25日8時～9時）

5. 交通障害を引き起こす降雪量について

次にいくつかの地点に対して降雪量と混雑度の時間経過を比較した。図7は長岡アメダスを含む3次メッシュに対して、降雪量（降雪強度、3時間降雪量、12時間降雪量）と混雑度の推移を示したものである。混雑度はこれまでと同様に統計値と実況値の組み合わせによる9段階で評価しているが、このメッシュの統計値はほとんどの時刻で「順調」であるため、

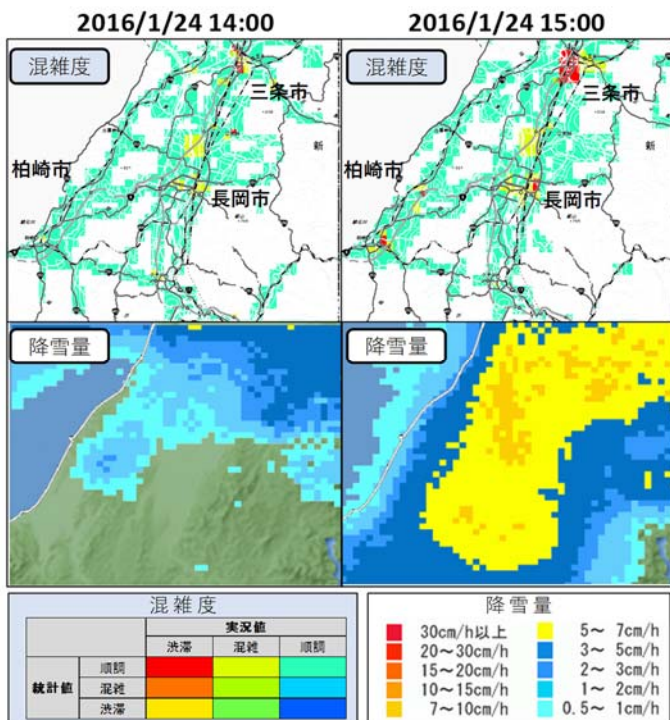


図4 降雪量と交通障害の分布（1月24日14時～15時）

実質的には実況値による「順調」「混雑」「渋滞」の3区分で評価されている。

その結果、1月25日6時までは混雑の発生は降雪強度が強まった時間帯におよそ対応しているように見える。3時間降雪量もおよそ同様である。1月25日8時以降に発生した渋滞は降雪量や3時間降雪量との因果関係はみられないが、1月25日2時～6時に12時間降雪量がピークに達した後、その翌朝から連続した渋滞が発生している。このときの長岡の12時間降雪量は60cmを超える。同様に柏崎アメダス、三条燕IC付近について降雪量と混雑度の時間経過を分析すると、長岡と同様に降雪強度や3時間降雪量が多い時間帯に混雑が発生し、1月25日以降の連続した渋滞は12時間降雪量が40cm以上のピークに達した後に発生していることがわかった。このことから、一時的な降雪の強まりは視界不良や積雪路面による低速走行からの混雑を招き、長時間にわたる大雪は道路の狭小化や路面状態の悪化によるスタック車の発生から、渋滞を引き起こしたものと解釈できる。

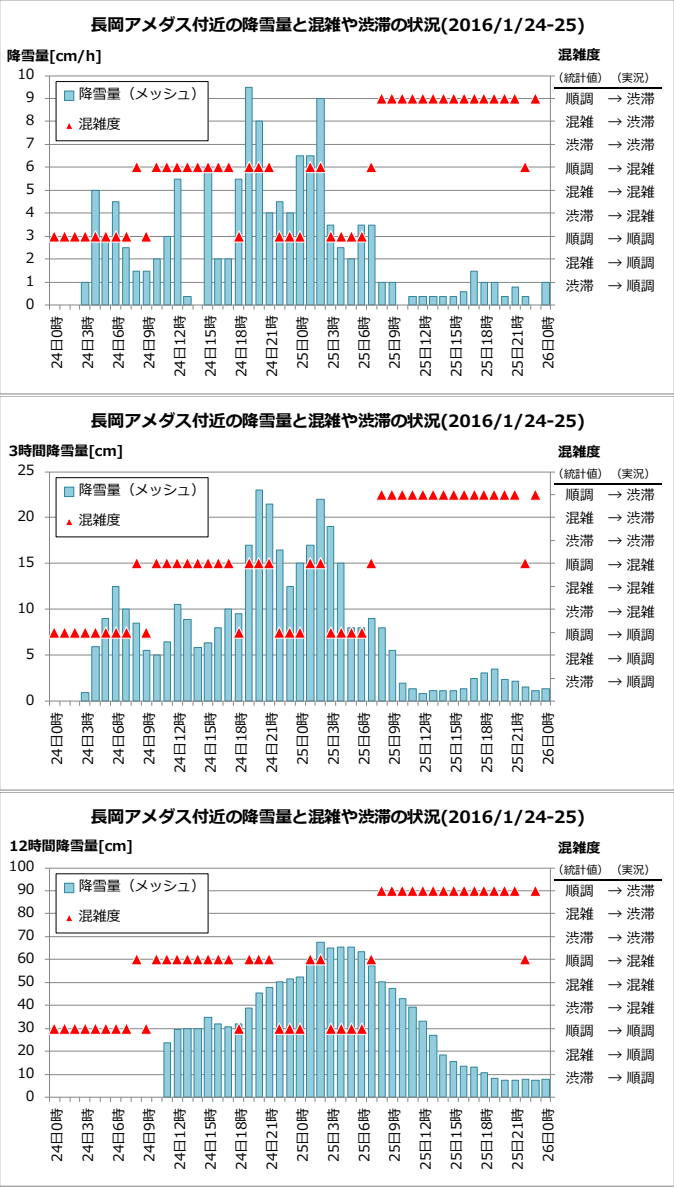


図7 降雪量と交通状況の時間経過（長岡）

そこで、長岡アメダス、柏崎アメダス、三条燕IC付近に対して、降雪強度と12時間降雪量に着目し、両者の関係を時間経過とともに混雑、渋滞の発生過程を図8に示した。この図から、1月24日の混雑の発生は降雪強度が概ね5cm/hを超えた時間帯で発生することが多く、1月25日の連続的な渋滞の発生は12時間降雪量が少なくとも40cmを超えた後であることがわかる。また、この渋滞の発生はその時刻の降雪強度には依らず、それまでに降った降雪量と朝方の交通量の増加に伴って引き起こされたものと推察できる。

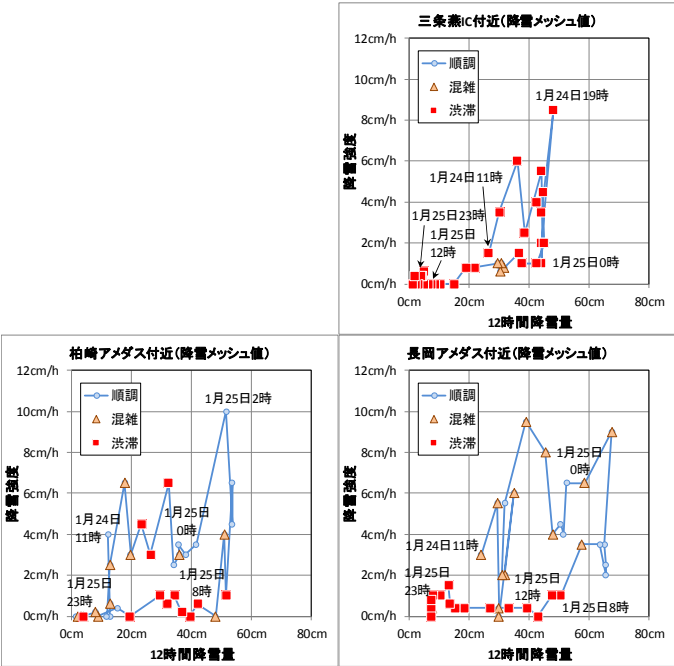


図8 降雪強度と12時間降雪量による交通状況（長岡）

6. 降雪時の交通障害リスクの検討

これまでの解析結果から、大雪に伴う交通障害の発生は、初期段階の混雑の発生には短時間での降雪量が関係し、深刻な渋滞の発生にはある程度長い時間帯の総降雪量が関係すると思われる。本研究の対象とした新潟県中越地方の大雪に当てはめれば、前者は降雪強度や3時間降雪量が相当し、後者は12時間降雪量が相当すると考えられる。

交通障害の発生には気象条件だけでなく、当然ながらそのときの交通の流れや混雑状況が関係する。すなわち、同じ悪天候条件でも混雑していない道路では交通障害のリスクが低く、既に混雑し始めている道路では交通障害のリスクがより高いと考えることができる。そこで、新潟県中越地方での大雪事例の解析結果から、降雪条件と実況の混雑情報による3段階の交通障害リスクの評価基準を表1のように考えた。この評価基準では平常時と考えられる統計値に比べて実況値の混雑の程度が低い場合には交通障害リスクがないものとし、実況値が渋滞・混雑に応じたランクの重み付けをしている。降雪条件は3時間降雪量、降雪強度、12時間降雪量に応じてランク付けを変えるようにしている。

表1 交通障害リスクの評価基準

混雑度			(当該時刻)	(前3時間)	(前12時間)
	(統計値)	(実況)	3時間降雪量 5cm以上	最大降雪強度 5cm以上	12時間降雪量 40cm以上
9	順調	→ 渋滞	ランク1	ランク2	ランク3
8	混雑	→ 渋滞	ランク1	ランク2	ランク3
7	渋滞	→ 渋滞	ランク1	ランク2	ランク3
6	順調	→ 混雑		ランク1	ランク2
5	混雑	→ 混雑		ランク1	ランク2
4	渋滞	→ 混雑			
3	順調	→ 順調			
2	混雑	→ 順調			
1	渋滞	→ 順調			

この表1の評価基準に基づいて、長岡アメダス、柏崎アメダス、三条燕IC付近の交通障害リスクを評価した結果を図9に実際の混雑度とともに時間経過として示す。交通障害ランクは値が大きいほど交通障害の可能性の高さを示しており、実際の混雑度によく対応していることがわかる。

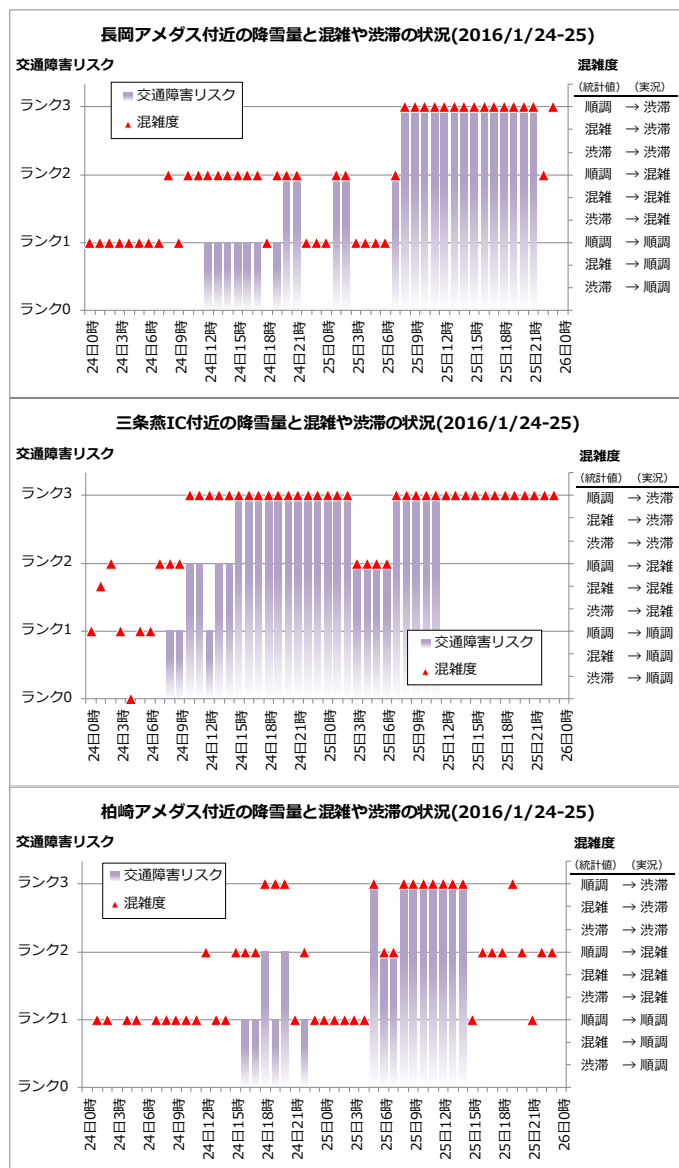


図9 交通障害リスクと混雑度の経過

7. まとめ

本研究では、2016年1月下旬に発生した新潟県中越地方での大雪事例に対して、プローブデータから解析された混雑度情報と降雪量データを比較分析し、降雪に伴う混雑状況の推移を明らかにした。また、混雑や渋滞を引き起こす降雪量の条件に限らず、混雑度情報と降雪量を勘案した交通障害リスク情報の可能性を検討した。その結果、この2つの情報を組み合わせることで交通障害の発生リスクがある程度把握できる可能性を示した。降雪量情報は実況だけでなく予測情報も有するので、混雑度の現況に対して今後の降雪量予測を加味することで今後の交通障害の発生リスクも予見できる可能性がある。本研究の対象は新潟県中越地方での豪雪1事例の解析結果に過ぎない。そのため、他地域も含めたこのほかの大雪事例での解析を進め、交通障害を引き起こす降雪量条件の検討や交通障害リスクの評価手法を確立することが課題である。また、本研究の考え方は降雪に限らず、大雨による低速走行や道路冠水による交通障害のリスク評価にも適用できる可能性がある。今後は、こうした都市部での豪雨時の交通障害リスクの確立に向けた検討も進めたい。

気象条件の悪化に伴う交通障害の可能性やリスク評価が可能となれば、道路管理者の適切かつ迅速な通行規制判断や維持管理作業の実現が可能になるとともに、道路利用者に対しては被害や被災を未然に防ぐ走行支援が可能になると考えている。筆者らは、道路管理者と道路利用者の双方に有効となるこの交通障害リスクの確立を目指したいと考えている。

8. 参考・引用文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局：平成27年度今冬の記録，2016
<http://www.hlr.mlit.go.jp/road/kiroku/h27.pdf>
- 2) 須藤哲寛，丹治和博，今井武，永井慎一，菅原愛子，益田卓朗：2014年2月山梨県大雪災害における降雪経過と交通障害状況，ゆきみらい研究発表会論文集（CD-ROM），2015
- 3) 気象研究所：大気中における雪片の融解現象に関する研究技術報告第8号，March 1984.

小学生を対象とした「札幌雪学習／雪体験授業」の実施について

及川 公志＊1

1. はじめに

札幌市では、地域力を活かした雪対策を進めるため、平成27年度から「冬みち地域連携事業」を立ち上げ、その主要な取組として、小学生を対象に、「雪」を楽しんだり克服したりする活動を通して冬の暮らしに関心を持ち、除雪などに対する意識が浸透することを目指す「札幌雪学習」の検討・実施をしている。

また、除雪に関する体験学習を通して、将来にわたって自ら積極的に除雪のマナー向上に努めたり、除雪ボランティア等による地域貢献活動が行われることを目的とした「雪体験授業」を実施している。

2. 「札幌雪学習」および「雪体験授業」実施の背景

2.1 地域力を活かした雪対策の必要性

市政世論調査では、毎年、除雪に関することが市政に対する要望施策の第1位となっており、市民の除雪に対する要望は依然として高い状況にある。その一方で、除雪従事者の不足や、除雪機械・ダンプトラック等の確保の困難化など、札幌市の除排雪を取り巻く環境は一層厳しさを増しており、さらには、少子高齢化の進行により除雪に係る地域の負担感が増加するなど、新たな課題が浮き彫りとなっている。

これらの課題の解決に向けては、行政の力だけでは限界があり、これまで以上に地域力を活かした雪対策を進める必要がある。

また、路上駐車や、敷地から道路への雪出しといった、冬のルール・マナー違反に起因する除雪の作業効率の低下や作業量の増加も問題となっており、町内会等との合同パトロールやメディアを用いた啓発活動を実施しているが、除雪事業者からは依然として作業の支障となっている地域があるという意見が多数寄せられている。



写真1 冬のルール・マナー違反（路上駐車・雪出し）

2.2 札幌らしい特色ある学校教育の推進

また、札幌市教育委員会が実施している「札幌らしい特色ある学校教育」では、札幌市の全ての子どもが共通して取り組む学習活動のテーマの1つに【雪】を掲げ、学習を实践する学校教育の指導展開例として、小学校の「教育課程編成の手引」（平成27年2月改訂）【社会編】において、大雪時でも生活に支障をきたさないために、行政に「してもらふ除雪」から、一人一人が自ら（或いは周りの人たちと協力して一緒に）「する除雪」への意識の転換を図る授業を掲載した。

このような背景のもと、札幌市建設局雪対策室では、市教育委員会と連携しながら授業展開することとし、各小学校の協力を得ながら「札幌雪学習」および「雪体験授業」を実施している。

3. 札幌雪学習

3.1 対象教科および学年

札幌雪学習は、小学校での雪に関する授業をすべて対象にしたもので、各学校が授業に取り入れやすく、雪に関する学習の多い社会科や理科、生活科・総合的な学習の時間のみならず、国語や外国語など、あらゆる教科、すべての学年を対象に活用できる学習である。対象とする教科毎に求められる目標を認識した上で、教科を専門とする市内小学校教諭を中心にプロジェクトを設置して、既存のプログラムの内容を分析し、関係機関と連携しながら学習メニューの構築を行う。

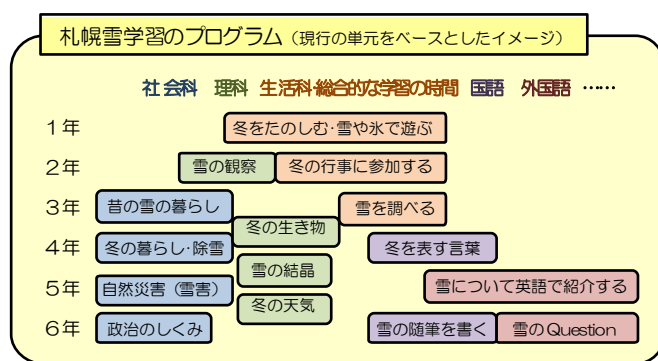


図1 札幌雪学習の対象プログラムと教科・学年

なお、除排雪事業を所管する市雪対策室にとって、除雪の体験学習のみではなく、「雪」全体の学習を対象とすることについて、次のようなメリットがある。

＊1 札幌市 建設局 土木部 雪対策室 事業課

- ・児童にとって、除雪の学習のみを単発で行うと唐突感が生まれて身に付きにくいことから、除雪を含めた雪全体の学習の枠組を構築することで、除雪の学習についても身に付きやすくなる。
- ・小学校教諭にとって、除雪の学習を雪全体の学習の中に入れて含めることで、授業カリキュラムに取り入れやすくなる。

3.2 プロジェクトの設置

札幌雪学習の目的を達成するため、市雪対策室が事務局となり、小学校教諭、市教育委員会職員、区土木部職員によりプロジェクトチームを構成している。

プロジェクトチームにより検討会を実施し、学習パッケージの検討や制作を行うほか、研究授業の実践、ニューズレターの発行などを行っている。

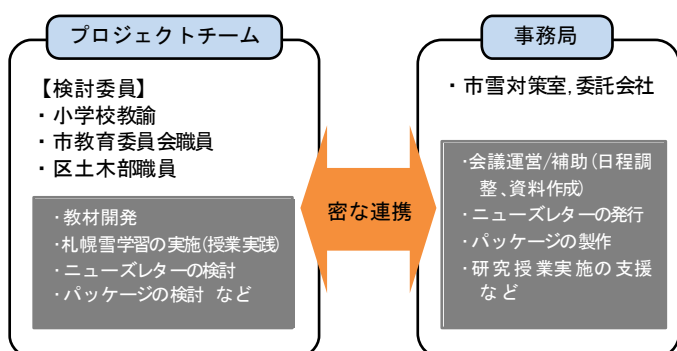


図2 札幌雪学習プロジェクトの体制

3.3 雪学習パッケージの制作

雪学習パッケージは、小学校教諭が雪に関する授業に活用しやすいように、学習指導案、および指導案に沿った副読本や写真素材などを含めたツール（教材）を作成し、一つの学習パッケージとしてセット化したものである。



図3 雪学習パッケージの構成（例）

雪学習パッケージの制作に際しては、プロジェクトチームを中心とした公開による研究授業を小学校で実施する。この研究授業を踏まえて、学習指導案やツール等の修正作業を行い、パッケージを完成させていく。



写真2 雪学習・研究授業の様子

ツールの作成にあたっては、雪学習の指導案と同様に、実際にツールを活用する教諭を中心としたプロジェクトチームで検討を実施する。また、各プログラムに対するツールの効果や汎用性、修正や変更の容易性などを十分に考慮して検討を行う。

表1 雪学習ツール（例）

ツール	特 長
Webページ	授業に役立つ資料や児童向けのテキスト等の情報の集約ができ、児童も教諭もツールを閲覧することができるため、授業でも活用可能。
ワークシート	児童の理解を深める上で効果的で、一般的なプリンターで印刷できるため、コストパフォーマンスにも優れている。
副読本・テキスト	学習指導案に対応した副読本で、児童の理解を深めるのに効果的。汎用的に用いることが可能。
副読本指導書	教諭の負担を軽減するとともに、副読本やテキストの汎用化、教育レベルの均一化を図るとともに、授業の普及にも繋がる。
テスト用紙	授業後に、児童の授業に対する理解度を確認するために用いる。授業の復習にも繋がり、理解の向上に役立つ。
写真素材	学習指導案に対応した素材をインターネット上に整理することで、コストパフォーマンスの向上とともに、汎用性を高めることができる。
動画素材	学習指導案に対応した素材をインターネット上に整理することで、コストパフォーマンスの向上とともに、汎用性を高めることができる。

3.4 雪学習パッケージの活用方法

雪学習パッケージの活用方法については、まず、札幌雪学習プロジェクトで授業を検討し、研究授業等を経て制作した雪学習パッケージをWebサイト（インターネットサイトの札幌市ホームページまたは小学校ネットワーク内の教育支援システム）にアップロードする。なお、権利関係等の事由で一

般公開できないツールについては、教育支援システムへの掲載を行う。

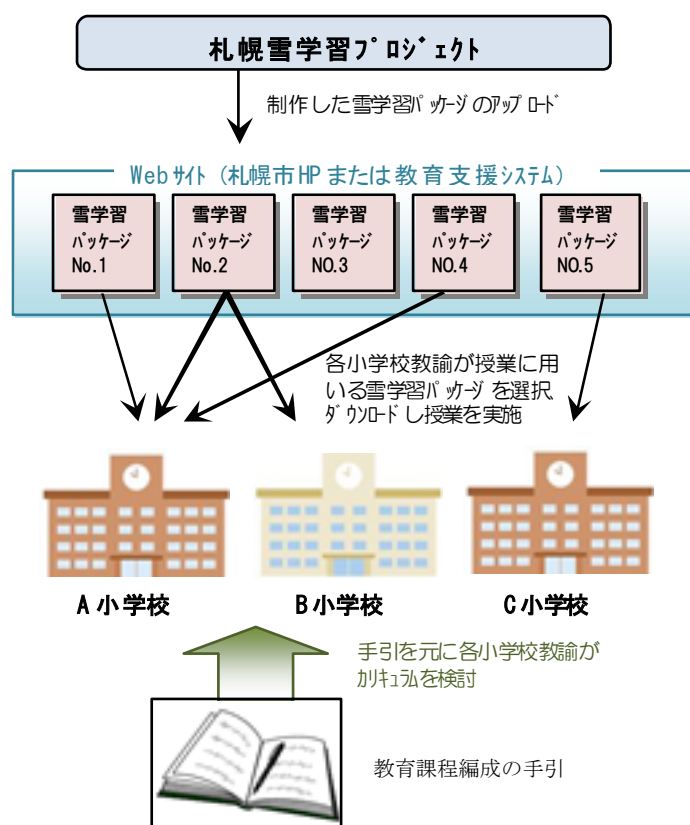


図4 雪学習パッケージの活用の流れ

各小学校では、教育課程編成の手引を元に授業カリキュラムを検討する際に、必要に応じて雪学習パッケージを選択・採用し、Webサイトからダウンロードして授業を行う。

3.5 ニュースレター「雪学習NEWS」の発行

「雪学習NEWS」は、札幌市立小学校のすべての教諭を対象に、札幌の冬についての話題や知識などの情報を届けているニュースレターであり、冬のシーズンを中心に、定期的に作成・発行し、全教諭に配布している。

また、市（雪対策室）ホームページでも公開しており、教諭と児童等とのコミュニケーションの一助となっているほか、札幌雪学習の対外的な周知を図っている。

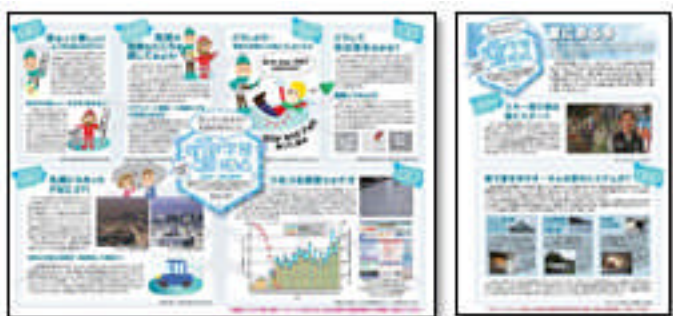


図5 ニュースレター「雪学習NEWS」

4. 雪体験授業

4.1 対象教科および学年

将来のまちづくりを担う子どもたちが札幌の雪対策や冬の暮らしに関心を持ち、除雪に対する意識が浸透するよう、除雪に関する体験学習を小学校高学年を対象に実施している。

区土木部が主体となり、小学校毎に実施に向けた協議を行いながら、社会科や総合的な学習の時間などの教科の中で各種体験学習を行う。現在の教育課程編成の手引では、4年生の社会科で除雪に関する授業カリキュラムが組み込まれており、この時間を利用して体験学習を実施するケースが多い。

4.2 授業の構成

雪体験授業は、社会科あるいは総合的な学習の時間等を用いて1校1回あたり2～3コマで実施する。最初の1コマ（例えば3時間目）で除雪に関する講義を行い除雪の基礎知識を学んでもらい、次の1コマ（例えば4時間目）から体験学習を行う。こうすることで、除雪の知識を得たうえで除雪について自ら考え、行動することを身に付けてもらうよう授業構成が練られている。

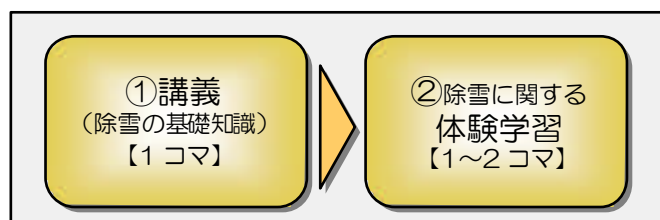


図6 1校あたりの雪体験授業の構成



写真3 雪体験授業（上：講義、下：体験学習）の様子

4.3 体験学習メニュー

雪体験授業においては、区土木部が独自に体験学習メニューを構築し、それぞれの小学校が希望する授業内容や目的などを考慮して実施するメニューを決定している。

表2 体験学習メニュー（例）

名 称	内容・目的など	学習の様子
「砂入りペットボトル製作体験」、「ペットボトル砂詰め体験」	つるつる路面による転倒防止として撒く砂をペットボトルに詰めた「砂入りペットボトル」作りを行い、砂撒き活動への意識を身につける。	
「砂撒きボランティア」、「砂撒き体験」	砂入りペットボトルや砂袋を用いて、通学路等の歩道上で滑りやすくなっている箇所に砂を撒くことにより、本人はもとより通行人の安全に寄与する。	
「除雪機械（除雪車）試乗体験」	除雪機械（除雪車）に試乗し、車内からの見通しや死角の確認を行い、除雪機械に近寄ることの危険性について学習するとともに、機械操作の難しさを知る。	
「スクールゾーン（通学路）危険場所マップ作成」	冬期の通学路において危険（または安全）だと思ふ場所を地図に記し、「危険場所マップ」を作成することにより、通学時の安全への意識の向上を図る。	
「除雪の苦情要望対応実習」、「除雪の電話説明体験」	市民役（苦情要望を言う役）と職員役（それに対応する役）に分かれ、模擬電話を用いて会話をし、除雪に係る苦情要望を把握するとともに、その対応策について考える。	
「ルール・マナー啓発ポスター作成体験」	迷惑駐車や敷地内から道路への雪出しといった除雪に係るルール・マナー違反を啓発するポスターを作成し、それを店舗等の窓に掲示するなど、ルールやマナーの防止に寄与する。	

4.4 紙芝居「おうち講座」の配布

雪体験授業では、授業を実施した児童全員を対象に紙芝居「おうち講座」を配布している。この紙芝居は、講義で学んだ除雪の内容（年間降雪量、除雪延長、除雪と排雪の違い、除雪におけるルール・マナーなど）についてクイズなどを用いながら掲載しており、児童が自分の父母に対して読み聞かせることを目的に作成しているものである。

この紙芝居によって、児童にとって雪体験授業の復習となり、除雪に対する理解度の向上に役立てるとともに、児童を介した大人への情報提供やルール・マナー啓発にも繋がり、将来だけでなく現在においても冬期道路環境の向上に寄与するものと考えている。



図7 紙芝居「おうち講座」の一部

5. おわりに

高齢者宅や消火栓・ごみステーション等の公共施設の除雪ボランティア活動の普及、あるいは路上駐車や道路への雪出し等といったルール・マナー違反の解消を図るには、1人1人への周知や啓発だけではなく、社会全体を変えていくことが必要であると考えている。そのために、子どもの頃からの雪を介した支え合いの精神の育みやマナー遵守の学習機会を創出することは大変重要である。

すべての子どもに対するこの取組は、社会での効果の発現には時間を要するが、将来の冬における住み良い街の形成や豊かな暮らしの醸成に向けての言わば先行投資であり、確実に地域に根差すためのプロセスであると考えている。

今後も長期的展望に立った学習施策として、教育関係機関との連携を継続し、札幌らしい特色ある学校教育の推進に寄与しながら、市民と行政とが協働で取り組む除排雪の拡充・発展に努めていきたい。

凍結防止剤散布作業の最適化をめざして

— 地域特性を考慮した濃度管理図試行 —

酢谷 浩*1・阿部 公一*2・氏原 安美*3内川 真*4

1. はじめに

NEXCO東日本秋田管理事務所管内の高速道路において、冬期間の雪氷対策に様々な施策が講じられている。雪氷対策はともすれば、長年の経験値に頼る部分が多いとされてきたが、高速道路の路面を、目標をもって管理する重要性についてはよく指摘されるところである。

冬期間、高速道路での事故発生が特に多く、ある時期の例を挙げると、事故率は56件/億台・Kmと、夏期の事故率32件/億台・Kmに比較して1.7倍も高い(NEXCO東日本東北支社管内)。冬期に高速道路が通行止めになる原因の大半は、交通事故の発生である。

そして、こうした交通事故の原因はスリップ即ち「すべり」や視程の障害である。また、時として長い登り坂で登坂不能に陥る車両がいるが、これもすべり摩擦係数の低さに起因している。

一方、最近、従来の目視観察や離散的で限定的なデータに甘んじることなく、効果的なデータを収集活用し、路面管理の高度化を目指す機運が生まれつつある。

残留塩分濃度や路面温度を連続的に測定する技術は既に多くの路線に導入されているし、路面状態を連続的に判別できる非接触型センサや、様々なタイプのすべり摩擦測定装置なども入手しやすくなってきた。これらの機器を駆使して、路面温度、残留塩分濃度、路面状態(乾燥、湿潤、シャーベット、凍結、圧雪、ほか)並びに路面のすべり摩擦係数といった各種の路面状態指標の相互関係やすべり摩擦の出現実態などを十分に知っていることが、路面管理に欠かせないといえる。

その上で、「望ましい路面状態」、「回避すべき路面状態」を明確に認識し、目標とする路面を積極的に実現すべく、NEXCO東北支社の管内では、さまざまな取組みを行っている。

さらに、冬期の路面管理を効果的に行うには、除雪はもとより、凍結防止剤の追加散布など、凍結防止作業を高度化する必要がある。

そのための一つの試みとして、路面温度と残留塩分濃度を連続測定し、得られたデータを基に、必要な追加散布量を的確に判断し、適宜、必要な凍結防止剤量を散布する取組みを、秋田自動車道で試行した。

橋梁に代表されるように、構造物の老朽化・損傷の原因に凍結防止剤(NaCl)が大きく関与しているのは間違いなく、凍結防止剤の散布量を必要にして最小限にとどめる必要がある。

また、冬期間、雪氷作業に携わるベテラン技術者が高齢化・退職するのに合わせ、経験の浅い技術者の判断を支援する新たな手法も必要にせまられている。

本稿では、こうした「濃度管理図」を用いた凍結防止追加散布手法の試行結果を紹介する。

2. 濃度データの活用原理

必要な凍結防止剤の散布量を的確に判断するには、路面の状態に適合する塩分濃度を算出する必要がある。この基準となるのがNaCl凝固点曲線を基にしたNaCl溶液状態図(相図)

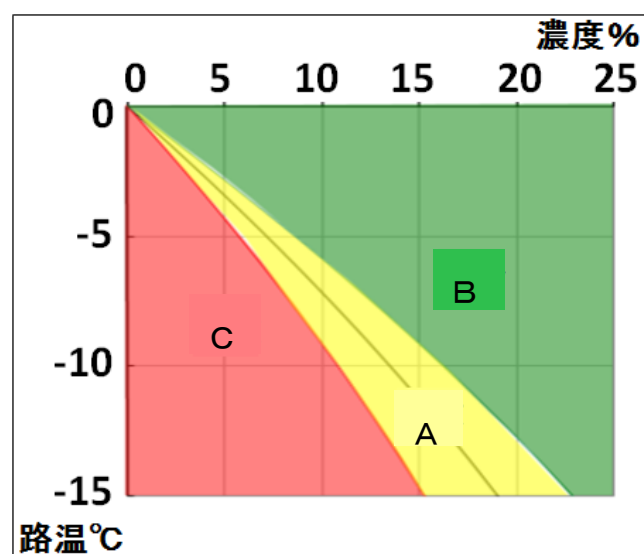


図1 NaCl溶液状態図

である(図1)。

この図は理論的な路面状態を塩分濃度(%)と路面温度(°C)との相関により表したものである。“注意”の領域(A)の中心線が凝固点曲線であり、“安全”の領域(B)は溶液状態、“危険”の領域(C)は氷が析出し始める状態を表す(すべて凍るわけではない)。凍結防止剤を散布し、氷が析出し始める凝固点曲線より上の状態に路面を管理できれば、理論上全面凍結といった状態を回避できる。

ただし、凝固点よりさらに温度低下しても、塩散布により塩水全部は凍らなくなるため、“危険”の領域でも完全凍結には至らない。いわゆる「完全氷化防止作用」と呼ばれる状態である。¹⁾ なお留意点としては、この図の適用には路面が溶液状態である必要があり、シャーベット・積雪・圧雪状態では、その後の気象状況により濃度が上下するため、判定の適用には注意を要する。

*1山田技研(株) *2(株)初コ・エンジニアリング 東北 *3東日本高速道路(株)東北支社 *4株式会社初コ・メンテナンス 秋田事業所

3. 地域特性を考慮した濃度管理図

路面温度と残留塩分濃度を連続測定する装置（以下塩分濃度測定システム、写真1）の活用によりリアルタイムで連続



写真1 塩分濃度測定車と濃度センサ

したデータの取得が可能になり、そのデータを基に凍結防止剤の散布量を考慮するが、その際、路面温度の時間的変化も考慮することができれば、塩分濃度のデータと連動させて、予測に基づいた凍結防止剤の追加散布量とすることが可能である。このような考えのもとに、高速道路総合技術研究所（以下ネクソ総研）において、地域ごとの「濃度管理図」作成の提案がなされた。²⁾

濃度管理図の作成方法については、参考文献に詳しいので、ここでは割愛する。

4. 濃度管理図を用いた凍結防止剤散布作業の最適化試験施工

ネクソ総研作成の「地域特性を考慮した凍結防止剤の濃度管理運用マニュアル（以下「運用マニュアル」という）を基に、車載式の塩分濃度測定システムと濃度管理図を活用した路面管理手法の現地定着を目指すため、ネクソ東北支社秋田管理事務所にて、試験施工を実施した。濃度管理図は凍結防止剤散布作業の最適化を目指して考えられたものであり、その現場での活用にあたっては、具体的な運用方法を検討して実践し、その結果を検証する必要がある。

そのため試行を実施するにあたっては、本格運用ではないため現存する設備を用い、追加散布タイミングを判断するための必要情報の提供、散布量を効率的に調節するための追加散布量の試算など、必要なステップを確認し、実用化に向けた取り組みを行なっていくこととした。それに先立ち運用マニュアルを基に、秋田道独自の濃度管理図を作成した（図2）。

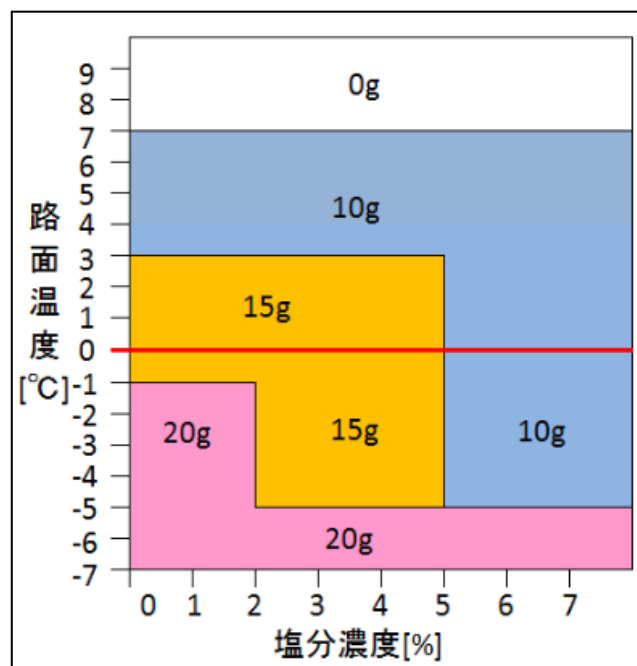


図2 秋田管理用濃度管理図

4.1 試行内容

(1) 工区及び散布条件

秋田道（協和 IC～秋田中央 IC 間、片道 18km）、
15g/m²を全線散布する場合は 3.5t 積載

(2) 試行期間

平成 27 年 3 月 11 日～12 日

(3) 使用したシステム

「塩分濃度測定システム」を使用し、NEXCO秋田管理事務所に設置したサーバーソフトウェアに以下の機能を追加した。

- ①濃度管理図により算出される必要散布量を 3 kmごとに平均し、各区間の追加散布量を色別(0g/m²を白、10g/m²を青、15g/m²を橙、20g/m²を桃)に表示する機能。
- ②散布作業者が実際に散布作業を行う際に利用する「散布量切替リスト」(区間ごとの散布 g 数を明示)を作成する機能(図3)。

散布量切替リスト (測定範囲全体)		散布量切替を路線・キロポストで絞り込む	
秋田道		秋田道	94 KP～114 KP
上り 106.0 ～ 102.0 15g/m²		上り 106.0 ～ 102.0 15g/m²	
102.0 ～ 101.0 10g/m²		102.0 ～ 101.0 10g/m²	
101.0 ～ 095.0 15g/m²		101.0 ～ 095.0 15g/m²	
095.0 ～ 123.0 15g/m²		095.0 ～ 123.0 15g/m²	
上り 122.0 ～ 106.0 15g/m²		上り 114.0 ～ 106.0 15g/m²	
		散布量20g/m²に対する削減率:25.5%	

図3 散布量切替リスト

(4) 試行手順

①事前測定と追加散布判断

塩分濃度測定システム搭載車にて、路面の塩分濃度と路面

温度を測定し、NEXCO 管理事務所にて、追加散布実施の判断及び実施する場合の区間ごとの散布量（散布量切替リスト）と必要積載量を決定する。

②散布作業

上記①で決定した量の凍結防止剤を散布車に積載し、作業者は受け取った「散布量切替リスト」を基に作業実施。

③検証測定

散布後 30 分～1 時間以内に、再度、残留塩分濃度の巡回測定を行ない、散布前①の結果からの変化量（路面判定）を確認する（追加散布指示のための測定ではない）。



写真2 防災対策室からの指示状況

4.2 試行結果

計5回試行のうち、代表的な例を示す。

（注）管理図の最大必要散布量は 20 g/m^2 だが、秋田道での実績から 15 g/m^2 が基本のため、可能削減率（図3 参照）を基に実際の追加散布量に換算した。

（1）3月11日 14:40 試行：散布作業を見送り

①事前測定と追加散布判断

全区間の路温が 4°C 以上あり、散布量 0 g と表示された。追加散布の必要なしと判断し、散布作業は実施せず。（図4の散布量グラフは白色 0 g 表示：楕円囲み部）

従って②散布作業③検証測定はなし。

（2）3月11日 17:10：通常通りの散布

①事前測定と追加散布判断

一部区間で散布量 10 g 表示だったが、全区間で概ね 15 g 表示だった。（図5の散布量グラフはほとんどが橙色 15 g 表示：楕円囲み部のみ 10 g/m^2 ）

②散布作業

10 g/m^2 での散布を行わず、全線 15 g/m^2 の散布を実施した。

③検証作業：20:00に実施

路温が 0°C 前後に低下したが、濃度は概ね 2% 以上あり、安全であったことが確認できた。

（3）3月12日 23:40：通常より積載量を減らした散布

①事前測定と追加散布判断

一部区間で散布量 15 g/m^2 表示だったが、おおむね 10 g/m^2 表示なため、可能削減率を元に約 3 割少ない 2.5 t を積載した。（図6の散布量グラフはほとんどが青色 10 g 、一部に橙色 15 g 表示：楕円囲み部のみ 15 g ）

②散布作業

$10 \text{ g/m}^2 \cdot 15 \text{ g/m}^2$ の散布を散布量切替リスト通りに切替えながら作業を実施した。

③検証作業

路温は若干低下したが、 0°C 以上であったため、路面は安全であることが確認できた。

5. まとめ

これまで、残留塩分濃度と路温の測定結果を基にした合理的な追加散布を目指した「運用マニュアル」を得ながら、様々な事情から、現場での試行実施にまで至っていなかった。今回の試行は現状可能なツールを用いて、まずは「濃度管理図」を用いた実践を試み、その実効性と課題等を確認することに意義があった。

最終目標は測定データに基づき散布区間・散布量の切替を散布車において自動で行なう「自動散布」としているが、現段階で使用可能なソフトウェアやツールのみでは、作業を完結できない。

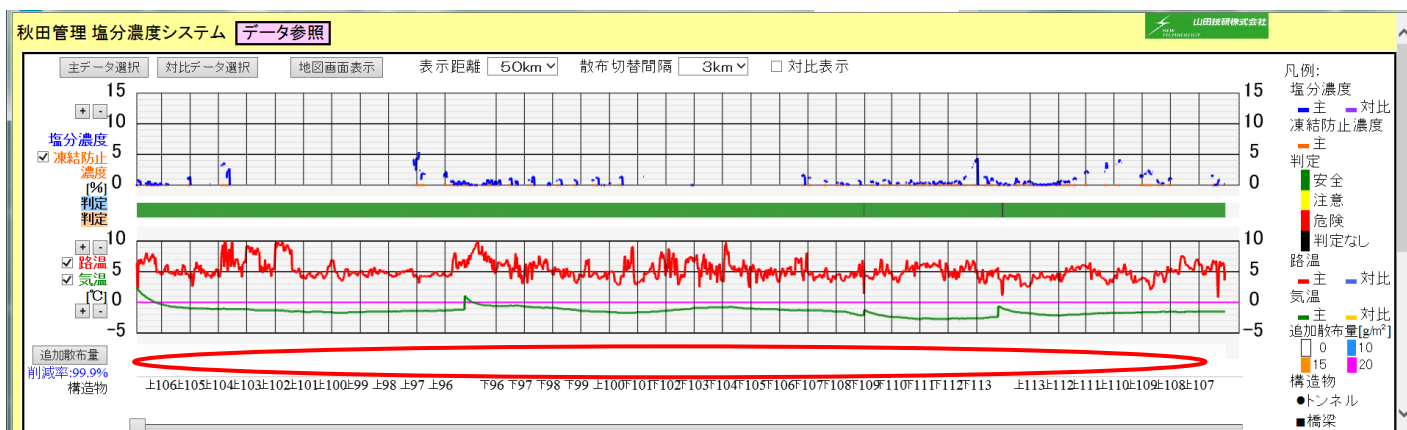


図4 3月11日 14:40に計測を開始した時の測定結果



写真3 試行時の秋田南 ICの様子

そのため、雪氷判断担当者や作業員の手作業に頼るところもあった。

車載式の塩分濃度測定システムの利用にあたっては、これまでともすれば濃度測定の上に比重が置かれ、路温測定や位置情報計測に関する意識は濃度ほど高くはない傾向があった。濃度管理図はあくまでも濃度と路温の関係によるものであり、今回の試行を通し路温測定の重要性を改めて認識させられた。

今回試行を実施した終冬期においては、夜間でも路温が大

きく低下しない場合が多い。このようなとき、残留塩分濃度によっては凍結の恐れがないため、追加散布の必要がないことはこのシステムから容易に判断できる。

試行回数は多くはなかったが、実際の積込量に関しては、5回の試行のうち2回ほど、散布量の削減唆めがなされた。実際に、通常より少なく積み込み、その後の安全路面を確認できた。このことにより、必要な箇所に必要な量だけ散布するように積み込めば、積み残しなく作業を完了できることが、今回の試行で検証できた。

現場の雪氷担当者から種々な意見・アドバイスが出され、課題も明確になった。自動散布システムが実現できれば、課題もかなり解決できると思われる。今後他の路線・区間でも試行を重ね、異なる路線・気象特性で試行の内容を深めていながら、さらに実用化に向けて取り組む所存である。

(参考文献)

- 1) 村國 誠：“冬期路面管理に使用する「塩」の散布効果に関する試験”と“「凍結防止作用」・「融雪氷作用」の考察”、福井雪技術研究会論文報告集 第6号 2013.6
- 2) 吉江 誠吾：地域特性を考慮した凍結防止剤散布の濃度管理図の作成とその活用方法について、ゆきみらい2009 高岡

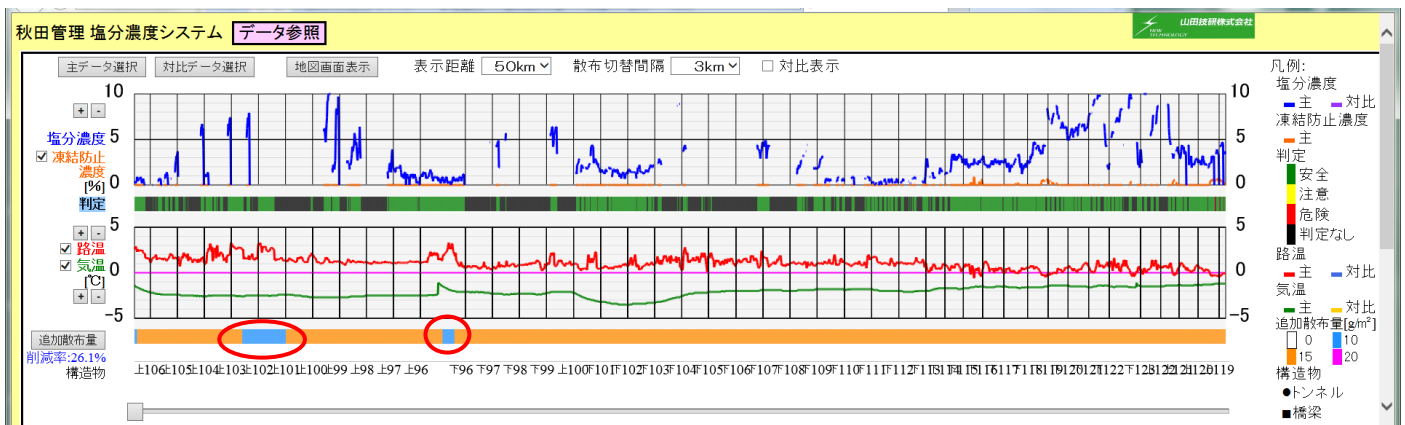


図5 3月11日17:10に計測を開始した時の測定結果

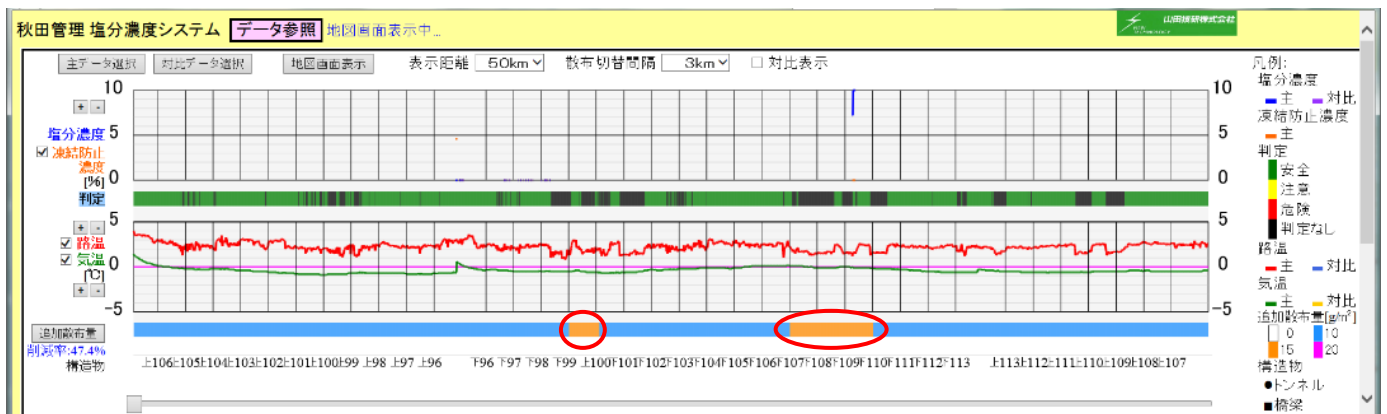


図6 3月12日23:40に計測を開始した時の測定結果

「北陸地域の高速道路除雪における取組みについて」

水戸 光康※1 荒井 尚之※1 芹川 博※1

1. 当社での雪氷対策作業の概要について

中日本高速道路金沢支社管内の雪氷対策作業区間（図1）は北陸自動車道 木之本IC～朝日IC間25.8km、東海北陸自動車道 白川郷IC～小矢部砺波JCT間43km、舞鶴若狭自動車道 小浜IC～敦賀JCT39kmの合計340kmであり、管内に雪氷基地が20箇所設置されている。高速道路の冬期交通確保はNEXCO中日本グループの使命であり、当社で実施する雪氷対策作業は最前線での業務である。

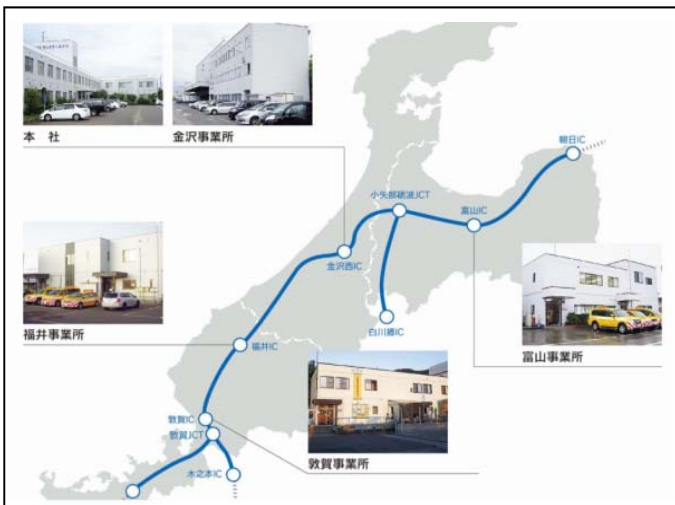


図1 雪氷対策作業路線図

2. 雪氷対策作業の現況と問題点

当社では雪氷対策作業員の高齢化、作業員確保に伴う技術伝承が課題となっている。また、作業中事故のうち雪氷作業中の発生割合が多く課題となっている。

本論文は課題について、当社で実施している技術伝承の為の環境づくりや、雪氷作業の安全性向上の為の対策検討について取組みを報告するものである。

3. 当社管内で行っている取り組み

3.1 技術伝承の為の環境づくり

①雪氷対策作業に関するしおり、資料集の作成

雪氷作業員の新規入場者教育は現場毎に行っており、教育方法が現場毎に異なっていたため、各現場での教育レベルが違っていた。そこで、作業を行う上での安全、雪氷技術の基礎知識の習得ができるよう、新規入場者教育時に統一した資料を作成し活用できないか検討した。

配布資料(写真1)

- ・新規入場者のための安全のしおり 通常作業
- ・新規入場者のための安全のしおり 雪氷対策作業編
- ・雪氷対策作業資料集 凍結防止剤散布作業編



写真1 安全のしおり、雪氷対策資料集

「新規入場者のための安全のしおり」（図2）は高速道路上で作業を行う上での、最低限のルールを記載したものである。通常作業と雪氷対策作業に分けて作成し、高速道路における安全作業に関わる基礎知識をまとめている。雪氷対策作業編では、特に雪氷対策作業を行うに当たっての安全作業について詳しく記載しており、KY活動、ツールボックスミーティング、ヒューマンエラー、ヒヤリハットについても盛り込まれている。資料は最低限のルールや安全確保のための基礎知識の習得に活用した。

3. 作業全般における注意事項

3-① 車両、機械器具の始業点検

車両の始業点検は1日1回必ず行っておく。そうすることで大きなトラブルを未然に防ぐことができます。（始業点検は法律で義務づけられています。）
点検を行うときは必ずエンジンを切り、作業装置を停止し、車止めを確実に設置してから行わなければなりません。



3-② 暖機運転

除雪機械をいきなり作業に使用すると、焼き付けを起こすなど故障の原因となります。必要な暖機運転を行ってから作業を実施して下さい。



図2 「新規入場者のための安全のしおり」抜粋

「雪氷対策作業資料集」（図3）は、高速道路での雪氷対策作業のノウハウ取得のための基礎知識を教材として取りまとめたものである。「凍結防止剤散布作業編」は凍結防止剤散布作業の基礎知識を取りまとめたもので、凍結防止剤の効果、散布のタイミングについて記載している。また、車載式塩分濃度測定装置等の近年導入した設備の説明も資料内に盛り込み、凍結防止剤散布作業の基礎教育に役立てている。

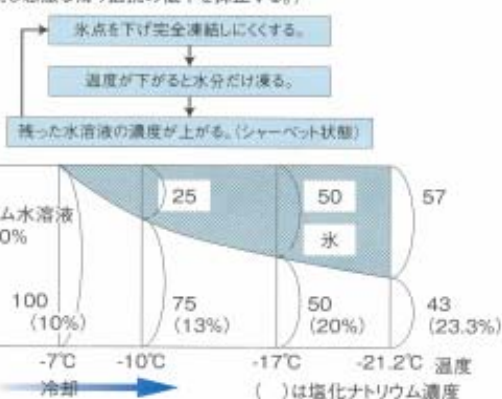
※1 中日本ハイウェイ・メンテナンス北陸 株式会社 保全事業部

3-2) 凍結防止剤の効果

3-2)-① 事前散布

事前散布の効果

路面水分の氷点(凝固点)を下げ完全凍結しにくくする。(温度低下時にもシャーベット状態を維持し急激な滑り抵抗の低下を抑止する。)



塩化ナトリウム水溶液を冷却すると水分だけが凍結する。その結果、残留した水溶液は濃縮され、凍結せずにシャーベット状態となる。

図-4 塩化ナトリウム水溶液を冷却した時の状態変化

図3 「雪氷対策作業資料集」抜粋

いずれの資料もイラストを多く使用してわかりやすく作成し、全基地、全作業員に配布した。雪氷技術の基礎知識の習得に役立て、技術伝承につなげたい。

②雪氷ハザードマップの見直し

高速道路では道路構造が立体交差となっている箇所が多く投雪禁止箇所が多くある。また、電光標識や非常電話等の施設も設置されており、除雪による飛雪での損傷に注意しながらの作業が必要である。さらに、作業時にはプラウを橋梁のジョイントなどの段差へ引掛けることによる故障や縁石への接触による故障等にも注意して作業する必要がある。このような雪氷作業箇所の要注意箇所の把握は現場毎に行われており、施設の更新等による追加や修正が必要である。

「雪氷ハザードマップ」(図4)は作業時の要注意箇所、危険箇所を路線図上に記載したものである。作業員目線、お客様目線のハザードマップに分けて作成した。

作業員目線のハザードマップは、現地調査及び作業員からのヒアリングにより作業時の注意箇所を抽出し作成した。特に、投雪禁止や橋梁ジョイント段差部等の除雪作業の注意箇所を記載している。各基地にて確認し、除雪作業前の注意箇所確認に活用している。

お客様目線のハザードマップは、凍結注意箇所(路温低下箇所、しみ出し箇所等)や圧雪がしやすい箇所、つらら発生箇所等のお客様が走行時に注意が必要な場所を明示している。雪氷巡回時に注意箇所を明確にするため使用し、問題があればお客様の円滑な交通確保のため、対策作業提案をすることとしている。

「雪氷ハザードマップ」は基地内での注意箇所の情報共有ツールとして活用し、安全教育の資料としても活用することで、雪氷対策作業を行う上での安全対策の技術伝承の基礎資料としている。

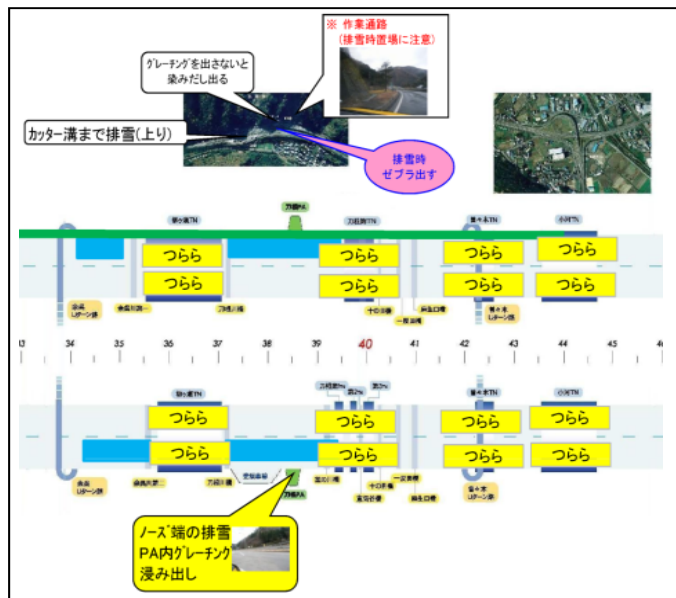


図4 「雪氷対策ハザードマップ」(お客様目線)

今年度よりGPSを利用した位置情報装置(車両位置情報システムVIPS)による音声ガイダンス装置を導入予定であり、「雪氷ハザードマップ」の内容を抜粋し視覚、聴覚によりオペレーターに注意喚起し作業を行う予定である。

さらに、「雪氷ハザードマップビデオ」の導入も検討している。「雪氷ハザードマップビデオ」は後述する安全マイスターにより提案があった取り組みであり、高速道路の走行動画と「雪氷ハザードマップ」を組み合わせることによりわかりやすく注意箇所を把握することができ、雪氷作業員への周知には有効であると考えている。



写真2 「雪氷ハザードマップビデオ」

③雪氷塾（除雪技能向上訓練）

各基地では、熟練オペレーターの減少による操作車両の固定化や退職による指導者の減少等から、雪氷対策機械の操作技術を学ぶ機会を作ることが難しかった。そこで、雪氷期間前に除雪トラックによる圧雪処理、ロータリー車の操作をテーマに除雪技能向上訓練「雪氷塾」を開催することとした。

「雪氷塾」では、座学で気象や凍結防止剤の性質等の雪氷の基礎知識を再確認し、除雪車の処理能力を踏まえた圧雪処理のタイミング等について学んだ。また、除雪メーカーの講義では除雪作業機械の点検整備ポイント等について除雪作業機械を見ながら学び、熟練オペレーターの講義では圧雪処理作業時のトラックグレーダーのエッジの立て方等の作業中のポイントを学んだ。

当社管内では「雪氷塾」を平成24年度～平成27年度の4年間で合計4回実施し、延べ250名程が受講した。開催することで技術伝承の機会を設け、知識と操作技術の向上が図られた。



写真3 「雪氷塾」実施状況（基礎知識の講習会）



写真4 「雪氷塾」実施状況（実地訓練）

雪氷塾の講義内容

- ・除雪メーカー担当者による除雪車両の基礎知識、有識者による雪氷基礎知識講習会の実施（気象、凍結防止剤の役割、圧雪の要因等）、(写真3)
- ・圧雪処理作業のマニュアル本の配布、解説
- ・除雪車メーカー担当者、熟練オペレーターによる操作説明、訓練の実施（写真4）

3. 2 安全性向上の為の対策検討

①単独車両のノーズ間車両後退作業の見直しについて

高速道路のインターチェンジノーズ間の雪氷作業において、車両後退作業時の事故が多く発生していた。そこで、ノーズ間の単独での車両後退作業を原則廃止とし、作業手順の見直しにより事故防止を図ることとした。

【「小型湿塩散布車」の導入】

湿塩散布作業時にインターチェンジ、休憩施設等では、ノーズ間の散布が必要であり、ノーズ間を散布後に後退しオフランプ等の作業を行う必要があった。

そこで、ノーズ間を作業する本線用湿塩散布車と別に「小型湿塩散布車」（写真5）を追加導入し、ランプ部のみ作業を行うことでノーズ間での後退作業の必要が無く安全に作業できる様にした。また、導入により、2台の車両でランプとノーズ間を別々に作業する為、時間のロスが無く作業できた。なお、ランプ部のみ散布を行うため、追加の湿塩散布車は小型の積載量で十分である

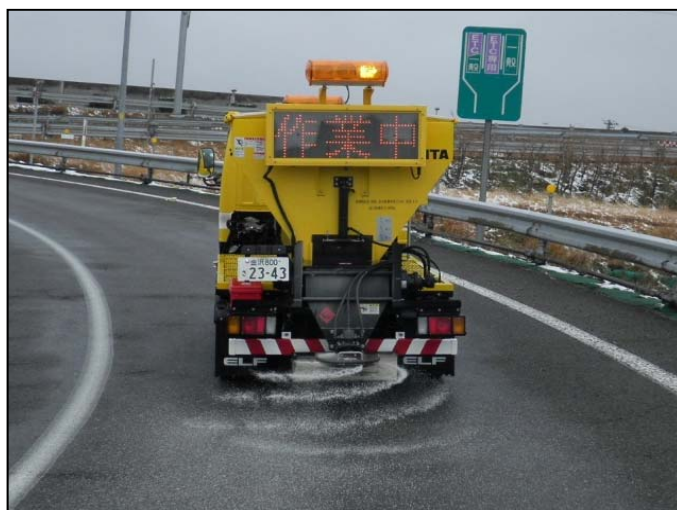


写真5 「小型湿塩散布車」作業状況

【後尾警戒用標識車の配置】

除雪作業の際にランプ部の除雪等の為、ノーズ間での後退作業が必要となることがある。その際には単独車両でのノーズ間の後退作業は行わず、後尾警戒の標識車を配置した後退することとした。後尾警戒車によりお客様に事前に注意喚起を促し安全に作業できるようになった。

平成25年度にノーズ間の単独後退作業を禁止してからはノーズ間での事故は発生していない。小型塩湿散布車の配備・作業は継続し、今後更に除雪作業時のノーズ間の後退作業削減に繋がる取組みをNEXC Oと共に進めて行く必要がある。(Uターン路の設置、ノーズ間の融雪装置設置等)

②「安全マイスター」制度

各基地の安全対策検討は、協力業者により独自に行われていた。そこで、安全、品質の分野に関し指導、教育を行える技能を有している作業員を、推薦により認定し「安全マイスター」として安全教育の実施、安全活動の推進、指導、教育を率先して行ってもらったこととした。

年1回の安全マイスター会議(写真6)では、各基地の安全マイスターを集め、各基地での取り組み報告や安全対策検討会議を実施している。取り組みのうち、優秀な活動に対して、優秀活動表彰等を行い安全性の向上を図っている。



写真6 安全マイスター会議

③「ヒヤリハットシステム」の構築

当社でのヒヤリハットは現場毎に独自の様式を用いて行われていた。そこで、様式の統一、「ヒヤリハットシステム」(図6)導入によりデータベース化を行った。

年間1,000件程度のヒヤリハットが登録され、安全教育の資料として活用している。

ヒヤリ・ハット・気づき報告書 - 新規作成	
区分 *	☒ ヒヤリ・ハット ☐ 気づき
報告者 *	所属: 氏名:
【概要】	
いつ? *	日付選択 ☐ 午前 ☐ 午後 時 分
どこで? *	☐ 上り線 ☐ 下り線 KPI付近 [場所]
誰が? *	☐ 自分 ☐ 他人
何をしてたとき? *	工事区分: ☐ 清掃 ☐ 植栽 ☐ 緊急 ☐ 事故復旧 ☐ 雷氷 ☐ 小補修 ☐ その他
	作業種別: ☐ 準備 ☐ 片付け ☐ 回送 ☐ その他

図6「ヒヤリハットシステム」入力画面

④「路肩拡幅車用プラウ照明装置」の設置

路肩拡幅車が路肩の拡幅除雪を行う際、プラウの右側が車線へ少しはみ出し、お客様の車と接触する可能性がある。そこで、お客様からの視認性の向上をのため、「路肩拡幅車用プラウ照明装置」(写真7)を設置した。

プラウの視認性が向上し、導入後、事故やトラブルはなかった。今後も継続して使用し改善や展開を図りたい。



写真7「路肩拡幅車用プラウ照明装置」

⑤「猫のひげ装置」の導入

暫定2車線の道路では除雪車のフロントプラウが縁石を跳ね上げ、対向車線の車両に衝突させてしまう危険性がある。そこで、他管内で開発されたポストコーンとの適正間隔を確保できる「猫の髭装置」(写真8)をフロントプラウに取り付けた。設置することで視覚、聴覚により中央分離帯の車線分離標との距離が把握できた。

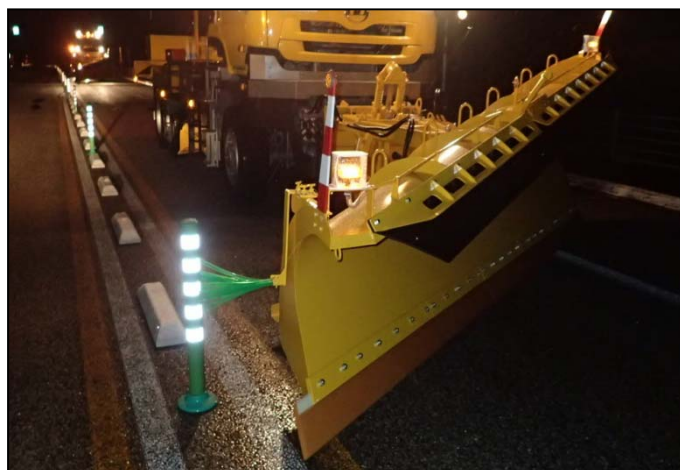


写真8「猫のひげ装置」

4. まとめ

今後も技術伝承の為の環境づくりや、作業の安全性向上の為の対策検討を行い、作業の安全対策の検討を進め、高速道路の冬期交通を確保し、安全・安心・快適で信頼されるサービスを提供し社会に貢献したい。

雪崩検知システムの有効性について

大川 滋*1・藤野 丈志*1・栗林 健*1

1 はじめに

積雪地方の道路斜面では、積雪期に発生する雪崩や雪崩発生
の危険が高まることにより、道路利用者への被害や交通障
害などの影響が発生している。その対策として雪崩防護施設
の設置が行われているが、完全に防ぐことはできていない。
そこで斜面積雪の移動量や移動速度を自動観測するとともに、
雪崩の危険がある場合に警報を発信することを目的として、
地すべり計測技術を雪崩計測に応用した雪崩検知システムを
開発した。このシステムを北海道、東北、北陸各地の道路沿
線の雪崩危険斜面に設置し、全層雪崩を対象として計測を実
施した。

本報告では実際に雪崩発生を検知した事例を整理し、シス
テムの有効性を検証するとともに、システムの活用について
整理した。

2 システム概要

斜面積雪の動き（グライド量やその速度）を直接計測し雪
崩の発生を予測するセンサーとして、歯車式グライドメータ

ーやそり式グライドメーターが研究・設置されている¹⁾。雪
崩検知システムは、そり式グライドメーターに分類されるも
ので、積雪地域の道路斜面などに設置し、雪崩の監視、警報
発令、データ蓄積を行うシステムである。

図 1 に雪崩検知システムの概要を、表 1 にその仕様を示
す。雪崩検知システムは伸縮計と保護ケース等からなる不動
部、積雪下面に埋まり積雪とともに移動する移動部、および
電源・通信装置から構成される。雪崩の滑り面の位置には表
層（積雪の内部）と全層（地面）がある²⁾が、本システムは
移動部を地表面に置き、その上に積もった積雪の動きを監視
することで、全層雪崩を検知するものである。図 2 に実際
の斜面に設置した状況を示す。移動部は、積雪受け板を取り
付けたステンレス製のそりで、ピンや雪を使って斜面に仮固
定する。不動部は、計測範囲が 3 ～ 15 m のワイヤーセンサ
とそれを保護するケースからなり、杭で斜面に固定する。移
動部と不動部は炭素繊維ケーブルまたはワイヤーケーブルで
つなぐことにより、積雪とともに移動する移動部の動きを計
測する。電源はソーラーパネルとバッテリーにより供給される。

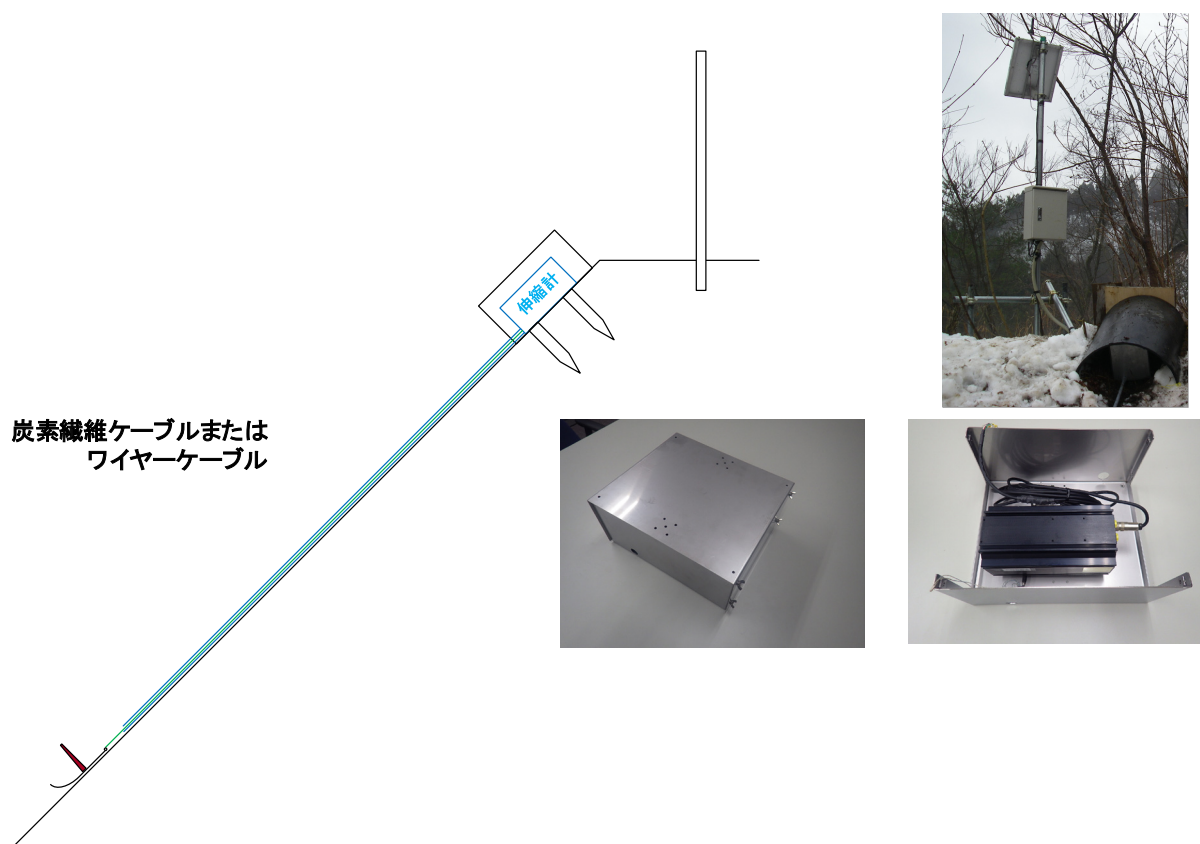


図 1 雪崩検知システム概要

* 1 株式会社 興和

積雪の積算グライド量とグライド速度、および警戒発令や警報発令時刻のデータはリアルタイムに記録され、インターネット上に公開し、関係者が閲覧できる。また、積算グライド量とグライド速度それぞれに警戒値と警報値を設定しておくことにより、登録したアドレスへ警戒発令と警報発令を電子メールで発信することができる。また、温度計、積雪深計、雨量計などもオプションで設置可能である。

表 1 雪崩検知システム仕様

伸縮計・移動部	
測定距離	3～15 mで選択
出力信号	DC 0 ～ 10 V
電源	DC 14 ～ 27 V（ソーラー・バッテリー可）
消費電流	30 mA MAX
保護ケース	SUS製、3～5m型 W214×H216×L310 mm 15m型 W3204×H160×L300 mm
移動部	SUS製、W300×H100×L400 mm
警報ユニット	
センサー入力	アナログ 0 ～ 9.999 V
センサー電源	DC 12V前後、300 mA MAX
記録容量	最大 9999 データ
警報出力	ドライ接点出力 ×1
表示器	液晶パネル、計測値や時刻表示
通信	RS-232C
電源	DC 11～15 V（ソーラー・バッテリー可）
消費電流	約 1.5 mA（待機時）・約 25 mA（計測時）
外形	W149×H105×D25.5 mm

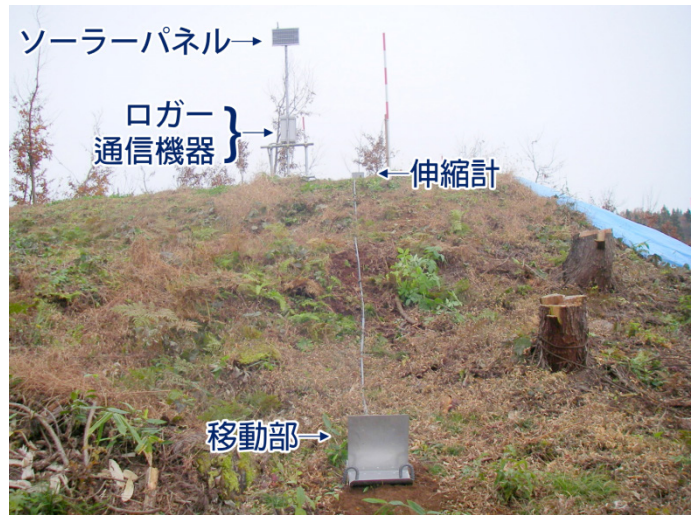


図 2 雪崩検知システム設置状況

3 雪崩検知事例

3.1 新潟県中越地方の事例①

新潟県中越地方における雪崩検知システムの設置状況を図 3 に示す。県道脇のこの斜面は高さ約 25 m、傾斜 22～60°で、毎年雪崩の発生がある。斜面下部には雪崩防護柵が設置されているものの、雪崩の一部は県道まで流れ落ちることがある。そこで安全な道路交通の確保を目的として雪崩検知シ

ステムを設置した。雪崩のすり抜けが起きたことがある斜面中央に移動部を設置し、伸縮計は斜面上部に固定した。また、温度計も併設した。電力供給はすべてソーラーパネルによる発電でまかなった。また、積雪深は近傍の道路情報システムのデータを利用した。

2010 ～ 2011 年に観測された積雪のグライド速度、積算グライド量、気温および積雪深を図 4 に示す。30 cm 程度の積雪深となった 12 月 26 日以降、斜面の積雪はグライドを開始し、12 月 30 日ころまで グライド速度は 2～3 mm/h で推移した。12 月 31 日からグライド速度が大きくなり、1 月 1 日 11 時には 85.2 mm/h の極大値を記録したが、雪崩は発生しなかった。後の解析で、このグライド速度の増加は降雨によるものということがわかった。1 月 2 日以降、気温が上昇したときにグライド速度が増加する傾向を示し、積雪深が 70 cm 程度まで増加した 1 月 9 日以降は 5 mm/h 前後のグライド速度となった。1 月 11 日早朝にかけて 20 cm の降雪があり、同時にグライド速度が大きくなり始め、8 時には警戒値の 20 mm/h を超えた。9 時 47 分頃には警報値の 100 mm/h を超えたとみられ、10 時頃雪崩が発生した。



図 3 設置事例（新潟県中越地方①）

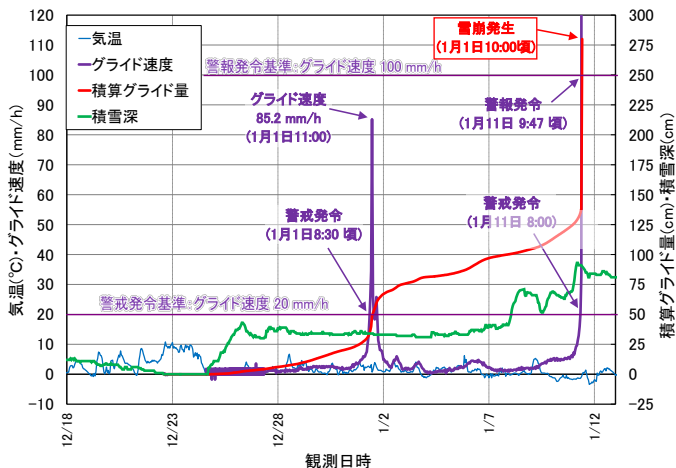


図 4 雪崩監視事例（新潟県中越地方①）

全観測期間を通して、グライド速度が 20 mm/h を超えたのは 3 回あった。雪崩発生時刻または最大移動時刻の前に、グライド速度が 20 mm/h 以上となったのは、2～4 時間前であった。また、雪崩発生時刻または最大移動時刻の前に、グライド速度が 10 mm/h 以上となったのは、5～9 時間前であった。この結果から、1 月 21 日に警戒発令基準を 20 mm/h、警報発令基準を 100 mm/h に設定して以後運用した。

3.2 新潟県中越地方の事例②

新潟県中越地方における別な道路斜面でも 2012 年に実験的に雪崩検知システムを設置した。ここでは道路部から高さ 10 m 程度に移動部を設置して雪崩の自動観測を行った。

観測開始の 1 月から雪崩発生直前までの期間全体を通して積雪のグライド速度はほぼ 3 mm 以下であった。一方、雪崩発生時は前日の 4 月 22 日から徐々にグライド速度が増加し、発生 20 ～ 30 分前に 20 mm/h を越えて警戒発令し、9 時 20 分～ 30 分に雪崩が発生した。

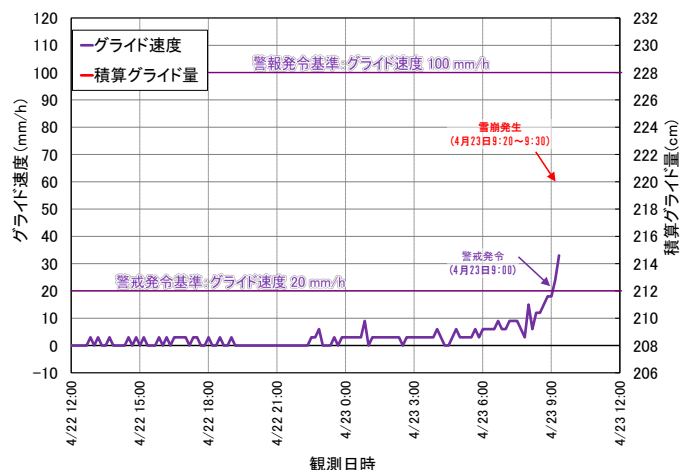


図 5 雪崩監視事例（新潟県中越地方②）

3.3 新潟県上越地方の事例

新潟県上越地方の県道沿いの斜面に設置した事例を図 6 に示す。この県道では、100 m ～ 150 m ほど上部の斜面で雪崩が発生する危険があり、2012 年 3 月 21 日の現地調査前から長期間全面通行止めとなっていた。現地調査の結果、通行止め解除のためには積雪の移動観測および監視が必要であるという判断となった。全面通行止めから夜間通行止めへ規制変更することを目的に雪崩検知システムを設置し、継続的に観測と監視を行った。³⁾

2012 年 3 月 23 日～5 月 4 日までの観測の結果、2 回雪崩が発生した。1 回目の発生時のグラフを図 7 に示す。4 月 26 日 9 時 30 分に警戒発令し、同 12 時 50 分に警報発令し、その直後に雪崩が発生している。2 回目の発生時のグラフを図 8 に示す。5 月 4 日 20 時 21 分に雪崩が発生しているが、発生前に警戒発令基準のグライド速度 50 mm/h を

越えることはなかったため警戒発令や警報発令はなかった。



図 6 設置事例（新潟県上越地方）

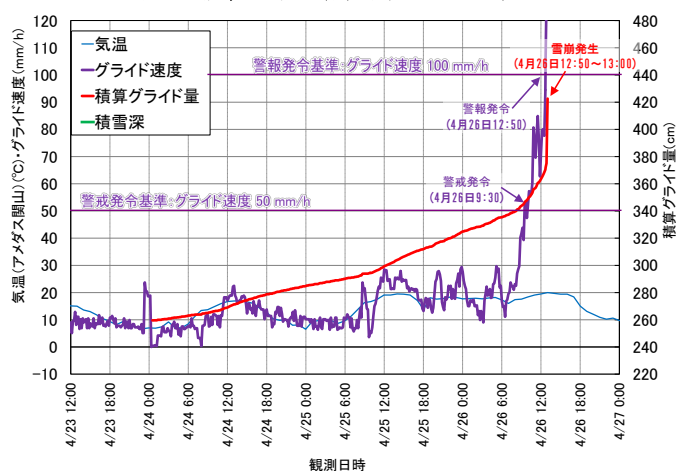


図 7 雪崩監視事例（新潟県上越地方 4 月）

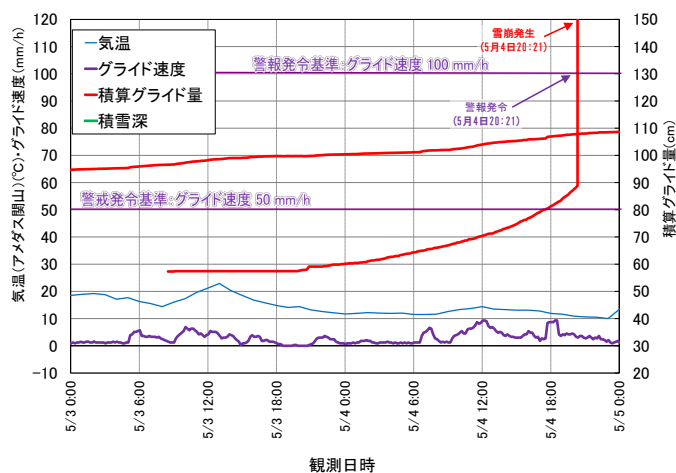


図 8 雪崩監視事例（新潟県上越地方 5 月）

3.4 宮城県の実例

宮城県の国道脇の斜面に 2012 ～ 2013 年に設置した事例を図 9 に示す。国道から 100 m ～ 150 m ほど上部にある沢地形となっており、過去に何度か雪崩が発生した。道路は冬期通行止めとなるが、雪崩対策工の施工を冬期も行うため、雪崩発生を監視する必要があった。本格的な積雪期の前にこ

の斜面に雪崩検知システムを設置した。

図 10 に雪崩監視結果を示す。3 月 26 日 15 時にグライド速度 10 mm/h の警報が発令し、27 日 1 時には積算グライド量の警報が発令した。28 日 17 時には最大グライド速度 120 mm/h を記録し、翌 29 日 11 時 ～ 12 時に雪崩が発生した。



図 9 設置事例（宮城県）

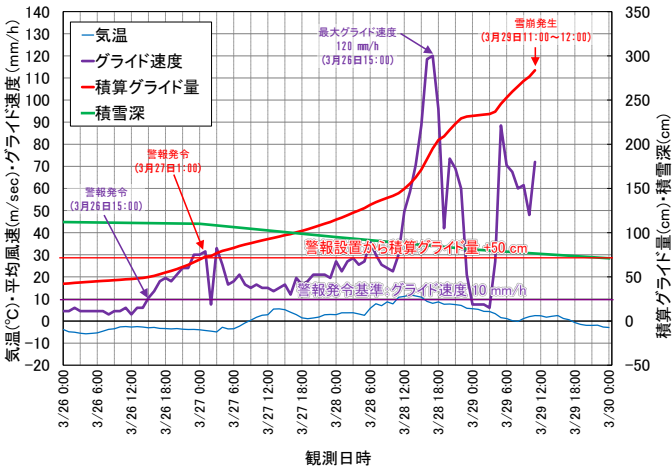


図 10 雪崩監視事例（宮城県）

4 雪崩検知システムの活用

4.1 雪崩発生予測・警報発令の基準

雪崩の発生は、現地の斜面状況や気象条件など、様々な要因と関係している。本システムでは、雪崩の専門家の意見をもとに、設置する斜面ごとに警戒や警報発令の設定値を設けて運用している。現在までに設置した地区では、警戒発令の基準に初期値として 10 ～ 50 mm/h のグライド速度を設定しているところが多い。

表 2 に雪崩発生直前の積算グライド量（設置後の累計移動量）と雪崩発生 1 時間前のグライド速度の観測例を示す。雪崩検知システムを設置してから雪崩が発生するまでの移動量は、88.8 cm から 375 cm まで観測されている。雪崩発生の 1 時間前のグライド速度は、最小 12 mm/h、最大 63 mm/h が

観測されている。グライド速度について、図 11 に雪崩発生から 24 時間前までの積雪のグライド速度を示す。傾向としては、雪崩発生の 6～9 時間前からグライド速度が増加する傾向がみられる。しかしながら、宮城県の事例のように 100 mm/h を超える移動量を示しながら一旦落ち着くこともあった。

20 mm/h のグライド速度を警戒発令の基準値とした場合、中越地方①では雪崩発生の 2 ～ 4 時間前に警戒発令され、中越地方②では雪崩発生の 20 分前と雪崩発生の直前となる。中越地方②では警戒値をもっと小さな値に変更し、通行止め等の対応の時間をとるといった検討が考えられる。

大きいグライド速度が記録された宮城県の事例では、継続調査の結果でも同様の傾向が見られれば、もっと大きいグライド速度を警戒値や警報値とする、といった検討が考えられる。

この事例のように、雪崩監視システムで得られた雪崩発生前の積雪の積算グライド量とグライド速度のデータを積み重ねることにより、その斜面における雪崩発生数時間～数十分前の予測に役立つと考えられる。

表 2 雪崩発生時の積雪移動状況の観測例

地区	雪崩発生までの積算グライド量 [cm]	雪崩発生 1 時間前のグライド速度 [mm/h]	雪崩発生前の積雪移動状況
新潟県 中越地方①	138.1	33	一度 85 mm/h を記録したが雪崩発生せず、10 日後に雪崩発生。
中越地方②	219.6	12	雪崩発生 11 時間前までほとんど移動なし。
上越地方 1	375.0	63	20 mm/h 程度の移動が 20 時間ほど続いた後に雪崩発生。
2	88.8	36	発生 5 時間前から 20 mm/h 以上で移動した。
宮城県	283.0	60	50～90 mm/h の移動が 7 時間ほど継続したのち雪崩発生。

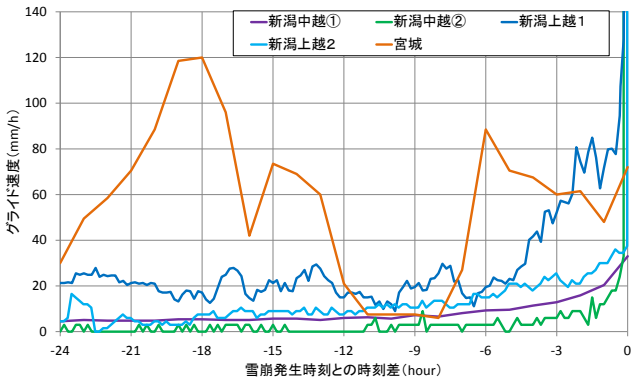


図 11 雪崩発生から 24 時間前までのグライド速度

表 3 警戒発令基準と雪崩発生までの時間

地区	警戒発令の基準となる グライド速度	警戒発令後に雪崩が発生 するまでの時間
新潟県 中越地方①	20 mm/h	2～4 時間
新潟県 中越地方②	20 mm/h	20～30 分
新潟県 上越地方	50 mm/h	0～4 時間
宮城県	10 mm/h (警報発令基準)	8～68 時間

注) 宮城県の事例では警報発令基準のみ設定した



図 13 設置状況

4.2 雪崩対策施設効果調査

山形県最上郡金山町において、切土斜面に試験施工された雪崩防止施設の対策効果の調査がおこなわれた。積雪の安定状況を積雪のグライド量から把握する目的で、雪崩検知システムを設置した⁴⁾。設置状況を図 12 および図 13 に示す。試験施工された雪崩防止施設の一部 2 か所、雪崩防止施設未施工部 2 箇所合計 4 箇所の積雪のグライド状況の観測を雪崩検知システムでおこなった。

観測結果を図 14 に示す。観測開始とともに降雪が続き、新雪の動き（斜面方向への動きと沈降の動き）が大きいことから、1 月中旬まで 1 日当たりの動きは大きく、その後は減少した。雪崩防止柵の有無により差はあるものの、1 月中旬以降は徐々にグライド量が少なくなり、移動部は小段の手前でほぼ止まった。これは階段状に施工された切土法面の雪崩抑制効果と考えられた。また No. 1 と No. 4 は小段と雪崩防止柵の両方の効果により積雪の移動が抑制されていることがわかった。

この調査事例のように、雪崩の発生を防止したかしないかの判断より、グライド量の抑制状況を数値化する点で、一歩先に進んだ分析に役立つと考えられる。



図 14 観測結果

5 課題と今後の展開

雪崩検知システムは開発後 20 箇所以上の現場で設置・運用している。その中で明らかになった課題等について以下に述べる。

グライド量を測定する伸縮計はワイヤーの引き出し距離を電気信号に変換して計測するワイヤーセンサ（計測範囲 3 m ～ 15 m）を使用している。雪崩発生によりワイヤーが一気に引き出されるとオーバーレンジとなり、センサが故障してしまう事例があった。この対策として、現在オーバーレンジとなっても故障しないセンサと、計測機構の改良を進めている。

移動部のそりは、積雪期前に設置する場合は地表面に置き、積雪後に設置する場合は図 15 のように雪崩危険箇所の雪を掘って移動部を積雪内に埋めている。地表面に設置すると、地表の凹凸にそりが引っかかり動かなくなる事例があった。そこで斜面に設置台を据え付けて、その上にそりを仮固定する方法で積雪の動きを正しく測定できるか検証を進めている。

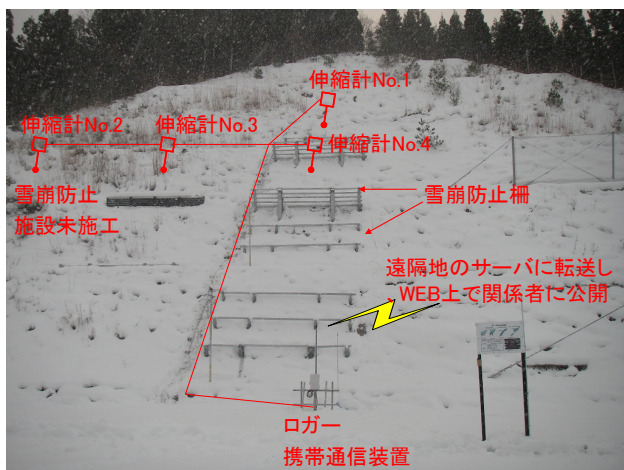


図 12 調査地全景



図 15 積雪後のそり設置例

6 まとめ

雪崩検知システムを設置することで積雪期全般に渡り積雪移動をとらえ、雪崩の予測に有効なデータを取得することができた。また道路や作業現場などに隣接した雪崩危険斜面で当システムを設置することで、斜面積雪の常時監視が可能となり、雪崩の前兆をとらえて速やかに警報発令が行えた。

雪崩検知システムで蓄積されるグライド量とその速度のデータは、雪崩発生を予測したり、雪崩対策工の設計、道路や工事現場の安全管理などに役立つと考えられるので、今後もデータの蓄積と検証を重ねていきたい。

参考文献

- 1) 上石 勲, 2009 : センサーを用いた雪崩の検知・予知技術, 日本雪工学会誌 Vol. 20 (2004) No. 3 P 294-297
- 2) 日本雪氷学会, 1998 : 日本雪氷学会雪崩分類, 雪氷, 60, 419-436
- 3) 大川滋, 斉藤浩之, 上石勲, 2012 : 雪崩検知システムの開発、平成24年度 建設技術報告会 報文集, P 69-72
- 4) 大川滋, 栗林健, 斉藤浩之, 熊谷晃, 小杉健二, 阿部修, 塚原初男, 東海林隆, 2012 : 斜面積雪の移動量と速度に関する研究, 雪氷研究大会 (2012・福山) 講演要旨集, P 40.

ICTを活用した雪氷車両故障対応の更なる効率的な取組みについて

岩 渕 太 郎 ＊1、 伊 藤 和 明 ＊1

1. はじめに

十和田事業所は東北自動車道の安代IC～碓ヶ関ICの岩手・秋田・青森の3県にまたがり66.6kmの雪氷作業を担当している。

当区間は、東北自動車道の中でも冬季の交通の難所となっており、雪氷作業においては、時間や場所で目まぐるしく変化する気象、路面状況に対応しなければならず、非常に管理も難しい。またそれに伴って、作業車両の出動も多くなり、機械稼働時間が長くなるため、故障する頻度も高く、迅速な故障対応が重要となっている。

そこで、平成 26 年度の冬季より、十和田事業所ではタブレット端末を活用することによる雪氷車両故障対応の効率的な取組みを行っている。本論文は、主にその取組みについて「ゆきみらい 2016in 盛岡」で発表した「除雪車両の故障対応のシステム化による効率的な取組みについて」の内容の更なる進展及び展望に関して著すものである。

2. 十和田管内の雪氷車両の稼働状況及び故障件数

十和田事業所の雪氷対策期間は毎年、11月上旬から4月下旬までの6ヶ月間で、計39台の除雪車や凍結防止剤散布車を稼働させて対応している。

除雪作業は片側2車線のうち、1番車が追越車線の積雪を左側の走行車線に寄せ、2番車は寄せられた堆雪と走行車線の積雪を左側路肩に除雪する2台の車両による特殊な梯団除雪となっている。これは、2番車の右後方に遮断機を装備し、一般車を頭押さえすることで可能としている。

その他の路肩除雪や凍結防止剤散布、拡幅除雪などにおいても、作業目的に合った保有車両を的確に稼働させて安全・快適な路面確保に努めている。

近年で降雪量が比較的多かった平成 26 年度における雪氷期間中の凍結防止剤散布作業延長や除雪作業延長は、表-1、表-2 で示すように東北地方でもトップクラスで、高稼働に伴う除雪車・散布車の故障頻度も高い傾向になっている。

その傾向を裏付けるデータとして、過去5ヶ年の雪氷車両の故障や不具合報告件数は表-3 に示すとおりである。毎年300件以上の報告が挙がってきているのが分かる。従来だとこれらの報告のやりとりは紙媒体で行っており、関係者全員に情報共有するのにも手間や労力がかかってしまうという非効率的なものだった。また、これらの雪氷車両が修理中なのか、それとも修理済みでもう

使用可能なのかという部分の引継ぎミスによる作業の手戻り等も生じやすくなっていた。

表-1 東北管内の散布作業延長（管理事務所別）

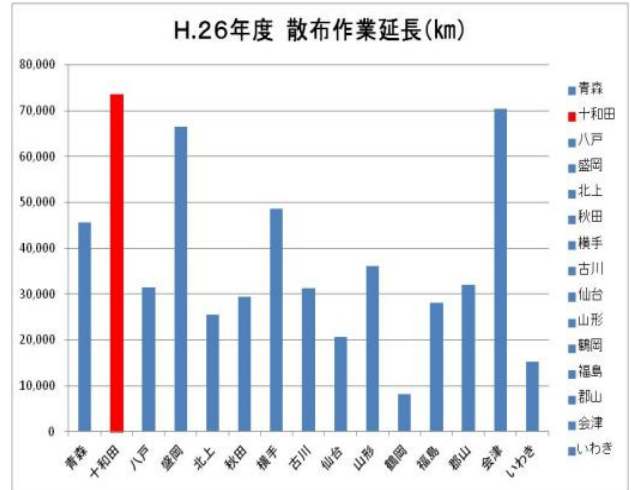


表-2 東北管内の除雪作業延長（管理事務所別）

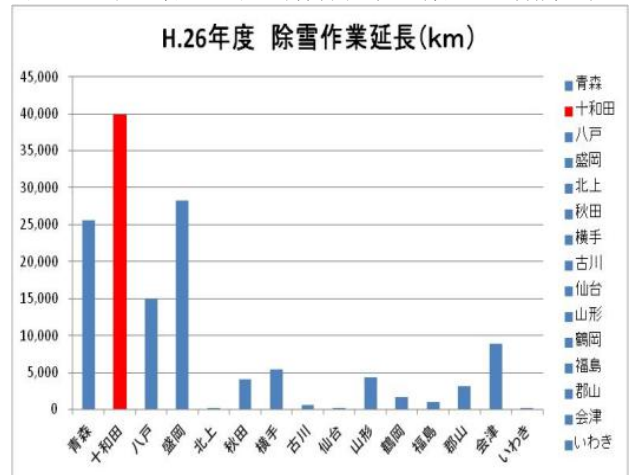
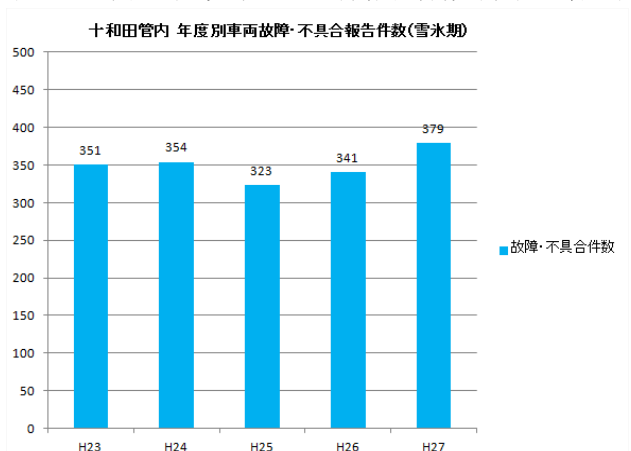


表-3 雪氷車両故障・不具合報告件数(十和田管内)



*1 株式会社ネクスコ・メンテナンス東北 十和田事業所

3. 故障車両管理システムについて

十和田事業所では道路保全工事(維持修繕)において報告書管理や図面管理等を効率化するため、タブレット端末を活用した独自のシステム「HIMITS」(Highway Maintenance ICT System)を展開している。これに「故障車両管理システム」を追加開発し、雪氷車両故障対応をより効率的なものとした。

3.1 システムの概要

システムを起動すると月ごとに故障発生事象がラインアップされており、日付や事象が記載されている欄をタップすることによって詳細な内容が展開されて表示するシステムとなっている。(写真-1)

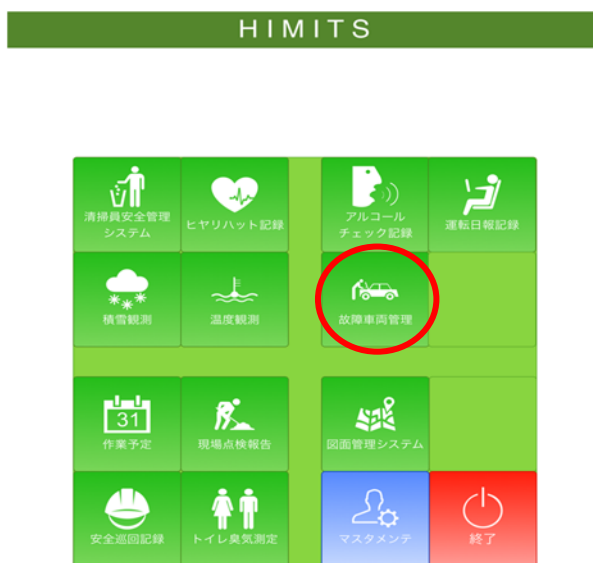


写真-1 故障車両管理 DB 起動画面

3.2 システムの詳細

新規に入力すると、発生日時が自動的に付与され、故障修理対象の車両番号をタップすると、その車両が除雪トラックか凍結防止剤散布車等かを表示する内容となっている。

さらに故障異常の内容、状態、配置基地、報告者と報告受信者、修理依頼先と修理完了予定と修理完了日を記載して、故障車両の写真はシステム上に記録する部分があり、これをタップするとカメラ機能が起動して写真を添付することができる。(写真-2)

また、必要な情報を関係者全員にワンタッチでメール送信することもできるので当日の当番者はもちろん、当番以外の関係者にも伝わる機能としている。それに加え、修理業者にも同時にメールすることができ、故障部位の特定や必要な部品の持参や注文が確実に出来るようになった。そのことで、車両修理の初動の迅速化、修理業者の手戻り防止にもつながった。これらの入力したデータ

は確認しやすいように一覧表示されるようにした。(写真-3)



写真-2 車両毎の修理業者一覧



写真-3 完成した実際のデータベース

4. 更なる効率化を目指して

実際に平成26年度雪氷期からシステムを活用しはじめ、情報共有が迅速なものとなり、引継ぎミスも大幅に減少した。

また、修理業者との連携もスムーズになり雪氷車両故障対応の迅速化が図れた。しかし、まだ引継ぎミスは完全には無くならなかった。

4.1 現場の声から見えてきた改善点

引継ぎミスをなくすため、車両管理担当者及び雪氷オペレーターからアンケートをとってみた。挙げた意見として一番多かったのが、主に軽微な故障車両に関して作業可否の判断がシステムを見ただけでは分からないというものだった。それまで、データベース上の一覧表では、故障車両は赤色表示とし、分別していた。しかし、実際には軽微な不具合はあるが作業には支障がなく、使用可能なケースも存在する。こういったケースは割と頻繁にあるため、雪氷オペレーターが戸惑う場面が多々あったようだった。主に修理業者との細かい部分のやりとりは車両管理担当者が行っている場合がほとんどなので、車両管理担当者の不在時などは、雪氷作業指示者ですら、システムを見ただけでは判断できずに戸惑うこともあった。そこで、電話確認という行為が発生するが、これではせっかくのシステムも効率的に活用できているとはいえない。また、確認行為という過程が増えることにより、そこに引継ぎミスが発生するリスクも生じる。

4.2 「一目瞭然」なシステムの構築

引継ぎミスをなくし、いかに効率的なシステム活用を行っていくかを検討した際に、最も重要視したのは誰が見ても車両の状態が一目瞭然なシステムへ改善することである。そこで、従来の「赤色着色」のみの表示から、「赤色着色、黄色着色」2パターンの表示へと変更した。

入力画面で稼働可能欄にチェックマークを付けるだけで一覧表が黄色へと変わる。(写真-4)追加された黄色の意味合いとしては、軽微な不具合はあり、本格的な修理の予定はあるが作業には支障がないため使用可能というものとし、一覧表においても、一目見て分かりやすいように画面右上に「修理中(稼働可能)」という形で示した。(写真-5)

たった1色の色に加わっただけだが、一覧表示されると一目見ただけで車両の状態が分かる。このようにシステムを改良した結果、月に5～10件程度来ていた現場の雪氷オペレーターからの問い合わせが1件も来なくなった。雪氷作業指示者・雪氷管理員においても、タブレット端末さえあれば、常に車両の状態の把握ができるので、緊急時にイレギュラーな雪氷車両の配置になった際なども使用可否が即座に判断でき、迅速な初動が可能となった。こうして車両管理担当者や雪氷オペレーターの現場からの意見を吸い上げ、ほんの少しの改良を行っただけで大きな効果を得ることができたといえる。

写真-5 完成した実際のデータベース(改良後)

5. システム採用から2シーズンが経過して

主に道路保全工事に活用していたHIMITSに故障車両システムを追加開発、導入してから2シーズンが経過した。システムを実際に使用してみての意見や感想について車両管理担当者及び雪氷オペレーター計30人を対象にアン

写真-4 改良後のデータ入力画面

ケートを行った。(表-4)(表-5)

表-4 アンケート結果(その1)

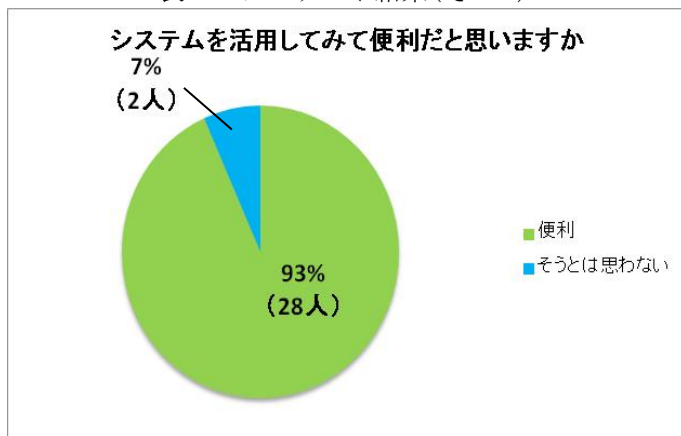
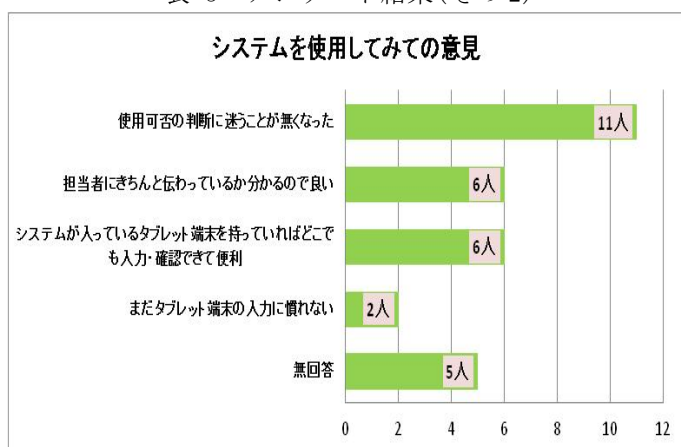


表-5 アンケート結果(その2)



アンケートの結果、肯定的な意見が非常に多かった。システムを導入する際に、重要視した項目は最も雪氷作業に携わる雪氷オペレーターの使いやすさや車両管理担当者のデータ整理の簡素化だったが、このアンケート結果からも目指していたシステムになってきているといえる。こうして使いやすいシステムであることが確実な故障報告を定着させている。また、車両修理業者からも、「故障部位の写真と故障内容がメールで送られてくるので分かりやすくなり、あらかじめ何を準備して現場に向かえば良いか判断しやすくなった。」「本線上での緊急故障の際も基地にわざわざ戻らなくても現場から直接写真が送られてくるので初動が早くとりやすい。」等といった肯定的な意見が多かった。それぞれ雪氷車両の故障対応に深く関わる方々からの肯定的な意見があるということは良い傾向であるため、今後もシステムをより良いものにするべく定期的な関係者へのヒアリングを実施していく。

6. システムの課題と今後の展望

6.1 課題

システムの課題としては、やはり通信環境の強化が挙げられると思われる。各雪氷基地はWi-Fi環境が整備されており、不自由なく使用できるが、高速道路本線上の

一部の区間ではまだ繋がりにくい部分もあるため、そういった区間での活用方法の検討が必要である。

また、先のアンケートでも少数ながらシステムに対して抵抗を持つ雪氷オペレーターもいるのは事実である。こうした人は、よくよく意見を伺うと、システム自体よりも慣れないタブレット端末を扱いこなせないという先入観から苦手意識を持っている場合が多いようだった。まずは、タブレット端末に慣れてもらうように使用方法の教育などのフォローアップも十分に行う必要があると思われる。

6.2 今後の展望

現在、車両毎の故障履歴のデータを蓄積しており、ゆくゆくはそれらの履歴をもとに修理業者が各々の車両に必要な部品のストックを持つ根拠にできればと考えている。これまでは、無駄な在庫を持たないように故障が発生してから部品取り寄せしていた業者もあり、修理まで時間がかかる一つの要因となっていた。そのため、根拠づくりをし、ストックを持たせることで大幅に修理完了までの時間短縮も望めるはずである。

十和田事業所は平成28年度雪氷期間でシステム導入から3シーズン目を迎えた。それに続いて、盛岡事業所も昨年度試行し、平成28年度より本格運用を開始している。また、それに続き、仙台事業所と会津若松事業所も平成29年度の本格運用へ向け試行中であり、着々と故障車両管理システムは広がりを見せていっている。最終的には(株)ネクスコ・メンテナンス東北全事業所への横展開、そして同じ悩みを持っているであろう全国の高速道路メンテナンス会社へも広がっていくことを望む。こうして活躍する場が増えていくことが新たな課題、様々な意見を生み、更に良いシステムに改良できる種になっていくはずである。

7. 終わりに

本論文では、主に改良したシステムの利便性、2 シーズン活用しての経過にフォーカスを当て著したが、最大の目的はシステムを活用することで効率的に迅速な雪氷車両の故障対応を行うことである。それが雪氷期の安全・安心な高速道路空間を保持するためには非常に重要な要素であるといえる。なぜならば、十和田管内のように厳しい気象条件での雪氷作業では、故障による休車が作業の遅れに繋がることで、お客さまが安心して高速道路を利用できる環境を阻害する要因にもなり得るからである。

今後も、高速道路を利用されるお客さまに、より良い高速道路空間を提供できるよう努めていく考えである。

豪雨災害時における除雪機械の冠水リスクに関する考察

中條 高司*1 木下 豪*1 矢野 敬大*1

1. はじめに

北海道は、近畿・中国・四国地方の合計面積に匹敵する広大な地域であり、本州等とはスケールの異なる広域分散型社会を形成している。そのような中、都市間を結ぶ道路ネットワークは重要で、特に冬期間の機能性確保は、除雪機械力によって担保されている。

しかし、近年多発している豪雨災害等によって、保管状態の除雪機械が受ける冠水リスクに関して、本稿では以下のとおり考察するものである。

北海道内の除雪機械保管状況と定期整備時における課題抽出及び、退避行動開始のタイミング検討に必要な機械の対冠水能力を整理した。最終的には、北海道開発局札幌開発建設部滝川道路事務所を例にケーススタディを行った。

2. 北海道開発局の除雪体制と除雪機械配置について

北海道では、図－1に示すとおり、全ての国道を北海道開発局が直轄管理し、平成27年度の除雪延長は、約6,740kmであった。除雪事業は、出先機関である34箇所の道路事務所と114箇所の除雪ステーションに配置された1,040台の除雪機械により除雪を実施している。

除雪機械は、事務所及び除雪ステーション内の車庫に

保管されており、除雪体制の万全を期すために夏期間は、整備工場で定期整備を実施している。定期整備終了後は、事務所等の車庫で保管し、除雪シーズンには、維持除雪工事受注者へ貸付し、除雪作業を行う。

3. 除雪機械の保管状況について

車庫の形状や配置機械の取り合いによっては、写真－1に示すとおり、シャッター支柱が搬出の支障となる場合や縦列保管の状態にある場合には、対象除雪機械を移動するため、他の除雪機械を移動しなければならないことがある。



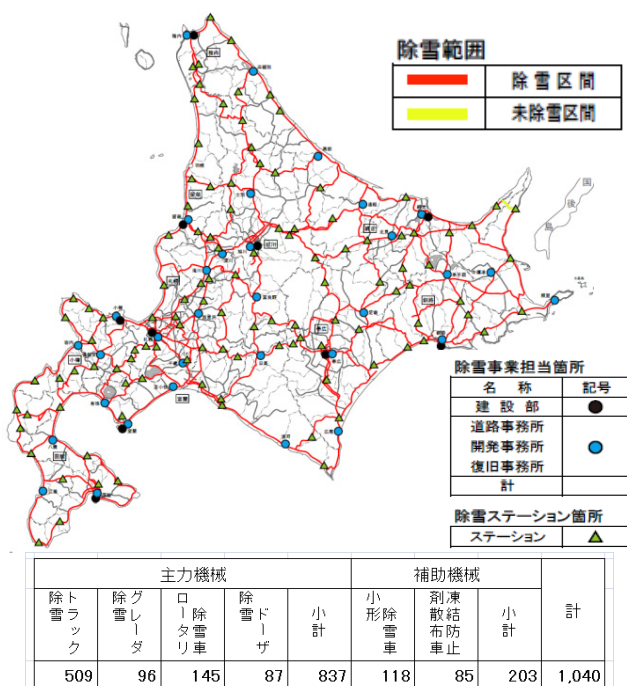
写真－1 除雪機械格納状況

除雪グレーダや除雪ドーザ、ロータリ除雪車などの回送速度が遅い除雪機械は、夏期間の移動にトレーラ運搬を行う事が多いため、スパイクタイヤを通年装着していることがある。そのため、夏期間に自走移動を行う場合には、回送用タイヤを準備して履き替えが必要である。

夏期間に保管中の除雪機械は、定期整備以外の稼働が無いことから、バッテリー上がり防止のためにバッテリーメインスイッチを「切」状態としている。

しかし、バッテリーメインスイッチを有しない除雪機械では、バッテリーターミナル端子を外しており、移動時には、工具を用いてバッテリーターミナル端子を接続しなければならない。

これら除雪機械の運転キー及び車検証や自賠責証明書は、紛失防止のために除雪機械に備え付けず、担当職員が駐在する道路事務所等で保管している場合が多く、除雪機械を移動するためには、事前に準備等が必要である。



図－1 H27 除雪概要図及び機械配置一覧

*1 国土交通省 北海道開発局 事業振興部 機械課

除雪機械の多くは、一定の大きさを超えるため、特殊車両通行許可申請対象となっており、定期整備時の移動に際しては事前に、許可申請の手続きが必要である。

4. 除雪機械の整備状況

除雪機械は、夏期間に定期整備を実施しており、平成27年度は、全道1,040台の除雪機械を149箇所の整備工場が分担して実施した。

定期整備は、これまでの除雪作業で損傷した部位の補修や次期除雪作業に向けて予防的な整備等を行うため、大規模で長期間に及ぶことが多い。定期整備中は、写真-2に示すとおり、部品やタイヤは、取り外されており、緊急時に移動等を行う事は、困難な状況となっている。

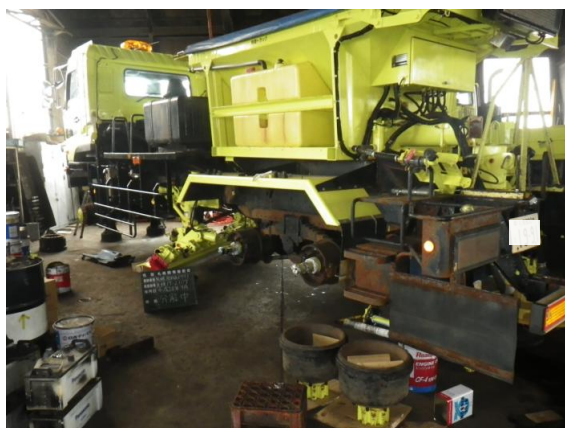


写真-2 定期整備実施状況(凍結防止剤散布車)

5. 除雪機械の対冠水能力

除雪機械の保管場所が洪水や津波により冠水被害を受ける場合を想定し、各除雪機械メーカーに『エンジンの始動が可能で、自走により退避可能な上限水深』についてヒアリングをした結果、ほとんどのメーカーでは、そのような設計条件等を設定していないことがわかった。

そこで、冠水被害時における危機管理行動計画を検討するために必要な資料として、下記要件のうち最も低いものを『対冠水能力(高さ)』とすることとした。

1) エンジン始動が困難となる冠水高さ

2) 退避後の機械に悪影響が発生する冠水高さ

1) は、主にエンジンの吸排気系へ水の浸入や電装品が水没による悪影響でエンジン始動が困難となり、退避行動が不可となることを想定した。

2) は、冠水によって部品や装置内部に水分が浸入することで、退避後の使用に際し、分解整備が必要となることを想定した。これは、退避後の除雪体制に悪影響が発生しない様にするため設定した条件である。

各機械の対冠水能力は、最終項に示すとおりであり、最も多かったのは、アクスルハウジングに取り付けられたデフケースエアブリーザの位置である。ここから水

分が浸入して、ギヤオイルが劣化する。その結果、ギヤ類の異常摩耗や損傷により大規模な修理が必要となってしまうためである。

各機械の『対冠水能力(高さ)』を把握することで、格納機械配置を考慮した危機管理行動開始のタイミングと機械別退避順位を検討することが可能となる。

6. ケーススタディ

北海道内の一級河川で一番最初に検討・策定された「石狩川滝川地区水害タイムライン」に含まれる、北海道開発局札幌開発建設部滝川道路事務所(以下、滝川道路事務所)の近郊に位置する車庫と整備工場の洪水浸水被害

を想定した危機管理行動に関するケーススタディを図-2のフローに基づき実施する。

検討に際しては、タイムラインやハザードマップ、道路冠水想定箇所、事前通行規制区間等の把握が必要である。タイムラインやハザードマップは、主に自治体や関係機関が策定し、公開している。

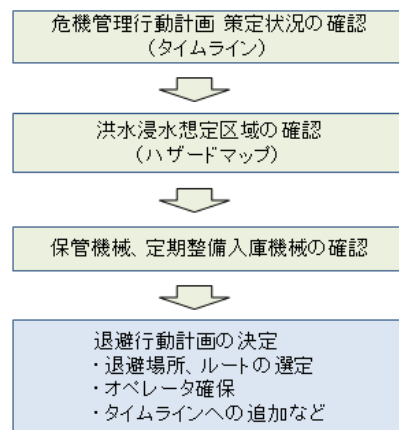


図-2 ケーススタディ検討フロー

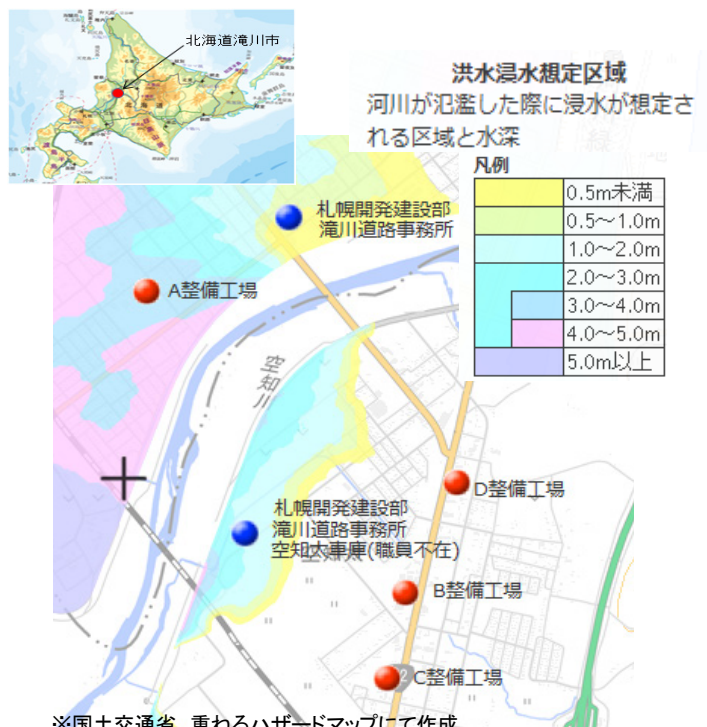


図-3 滝川道路事務所近郊保管場所等ハザードマップ

危機管理行動を検討する上で、事前に滝川道路事務所が含まれる滝川市と関係機関が策定した「石狩川滝川地

区水害タイムライン」を確認したところ、タイムラインには、人的被害の拡大を防止するための計画が主に記載され、除雪機械の危機管理行動に関する計画は、含まれていないことが分かった。

次にハザードマップを用いて、洪水浸水想定区域に含まれる車庫及び、整備工場の有無を確認した結果、図－3に示すとおり、滝川道路事務所、空知太車庫、A整備工場の3箇所が含まれていることが確認できた。

滝川道路事務所の浸水水深は、0.5m未満であることから、冠水能力がこれを下回る小形除雪車が退避対象機械となる。

また、空知太車庫とA整備工場の水深は、3.0～4.0m未満であることから、全ての機械が退避対象となる。

このように、ハザードマップと格納機械及び対冠水能力が把握できれば、効率的な危機管理行動が可能となる。

表－1 滝川道路事務所、空知太車庫格納機械一覧

滝川道路事務所（10台格納）			
機 械 名	規 格	管理番号	備 考
除 雪 グ レ ー ダ	4.0m S	13-2144	
〃	4.0m	15-2142	
〃	4.0m	17-2142	
〃	高速型	12-2136	
〃	高速型 S	12-2138	
ロ ー タ リ 除 雪 車	2.2m級、路面清掃装置	24-2151	
〃	2.6m級、294kW	18-2158	
〃	一車線積込型	27-2160	
除 雪 ド ー ザ	13 t U&B	13-2158	
〃	13 t U&B	16-2171	
小 形 除 雪 車	ロータリ式	25-2186	
〃	ロータリ式	25-2187	
凍結防止剤散布装置	1.0m ³	10-5003	
空知太車庫（5台格納）			
機 械 名	規 格	管理番号	備 考
除 雪 ト ラ ッ ク	10t I.G(散)	15-2101	
〃	10t I.G.S(散)	14-2127	
〃	10t I.G.M	15-2129	
〃	10t I.G.S.M	18-2129	
〃	10t I.G.S	12-2108	
ロ ー タ リ 除 雪 車	2.6m級、294kW	12-2153	
ロータリ装置・粗面清掃		24-2151	

また、A整備工場で定期整備中の除雪機械は、修繕契約の契約書記載事項に基づき受注者が、災害防止等のために臨機の措置をとらなければならないこととなっている。よって、洪水災害等の発生が予想される場合には、受発注者間で事前協議を実施しておくことが望ましい。

7. 今後の危機管理行動計画検討に向けて

前述のケーススタディを踏まえ、除雪機械退避に関する危機管理行動計画を検討するうえで留意すべき事項を下記に示す。

1) 除雪機械保管状況等の把握

除雪機械の車庫保管状況や定期整備期間中の整

備工場への入庫状況等、在場状況変化を把握することが必要である。道路事務所の機械担当者が不在時の事務所内情報共有が必要である。

2) 退避場所及び退避ルートを選定

除雪機械が退避可能な場所を事前に調査しておく、搬入時の連絡体制や保管中の管理体制について地先管理者等と事前協議を済ませておく必要がある。また、退避ルートの道路冠水の恐れ等も事前に確認してルート選定をする必要がある。

3) 退避時のオペレータの確保

整備工場に入庫中の除雪機械は、整備工場担当者の運転で移動が可能であるが、道路事務所や除雪ステーション保管の除雪機械は、別途オペレータを確保して移動しなくてはならない。

オペレータは、維持除雪工事受注者の協力を得ることが有力だが、退避必要時は、洪水災害が発生している可能性があり、オペレータの確保が困難になることを想定した検討が必要である。

4) 退避機械の優先順位付け

限られた時間内に、オペレータ参集から機械の退避までを全除雪機械に対して実施することが困難な場合には、除雪機械の汎用性や特殊性等を考慮して、退避優先順位を検討することが必要である。

5) 退避中の除雪機械管理者の設置

退避中は、屋外保管になることが想定されるため、防犯対策用の管理者を選定・配置などの措置を検討すべきである。

8. まとめ

平成27年度末現在で、北海道開発局が管理する車庫及び除雪ステーション全148箇所の内、37箇所が洪水浸水域に含まれている。これらの車庫には、多くの除雪用機械が保管されているが、積雪寒冷地である北海道の除雪体制を確保する主力である一方、余剰機械はなく、代替もきかない状況である。

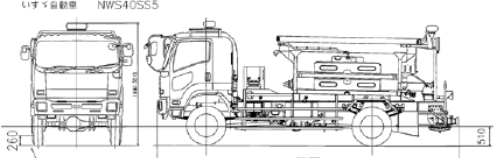
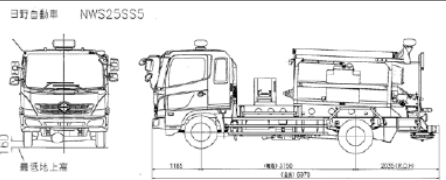
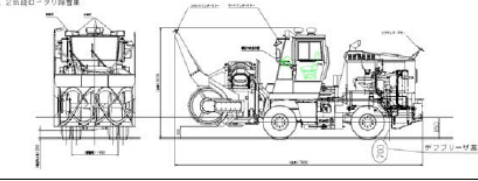
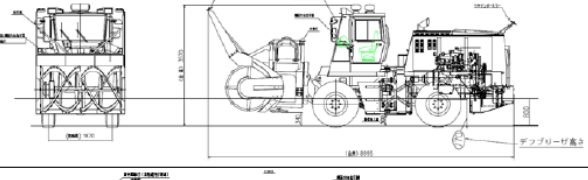
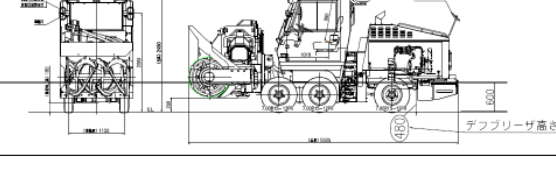
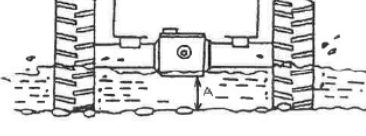
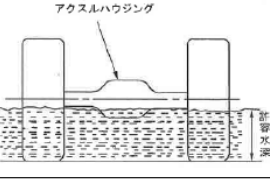
このようなことから、洪水浸水被害による冠水リスクから除雪機械を守ることが重要であり、冬期間の道路ネットワーク確保と強靱な国土づくりのため、今後はタイムライン等の危機管理行動計画を整備しておく必要がある。

除雪機械 対冠水能力一覧

除雪機械の保管場所等が冠水被害を受けた場合の待避行動計画検討の基礎資料とするため、※『対冠水能力』を取りまとめた。

※『対冠水能力』とは下記要件のうち、最も低い部位の高さとする。

- 1) エンジン始動が困難となる冠水高さ
- 2) 待避後の機械に悪影響が発生する冠水高さ

機械名	シャーシ メーカー	冠水深 (mm)	基準ポイント		備考
除雪トラック	UD	690	リアアクスルブリーザー		リアアクスルに水が入る可能性が高いので点検整備必要。 また、水没によりブレーキの制動力低下に注意が必要。
凍結防止剤 散布車	いすゞ	510	タイヤ直径の 半分		フロントアクスルに水が入る可能性が高いので点検整備必要。
凍結防止剤 散布車	日野	400	メーカー 走行試験 (水中脱出)		走行は短時間限定とし、走行後は点検整備必要。
ロータリ除雪車	日除 2.2m級	650	エンジン電装系 (尿素関連)		ブリーザーから水が入る可能性が高いため、走行は短時間とし、走行後は点検整備必要。
ロータリ除雪車	日除 2.6m級	770	デフエアブリーザー		ブリーザーから水が入る可能性が高いため、走行は短時間とし、走行後は点検整備必要。
小形除雪車	日除	480	デフエアブリーザー		ブリーザーから水が入る可能性が高いため、走行は短時間とし、走行後は点検整備必要。
除雪ドーザー	川崎 11t (H26～)	430	アクスルハウジング 下面		許容水深での作業終了後は水に浸かった部分には給脂が必要。
除雪ドーザー	川崎 11t (H25) 13t クラス	550	アクスルハウジング 下面		許容水深での作業終了後は水に浸かった部分には給脂が必要。
除雪グレーダ	CAT 12M3 (H28)	762	デフエアブリーザー		

除雪機械の老朽化の現状と見える化の試行

大上 哲也^{*1}、木下 豪^{*1}、小笠原 敦司^{*1}

1. はじめに

北海道の冬期道路交通は、除雪機械による除雪作業や凍結路面对策により確保しているが、近年は暴風雪災害が多発しており（写真-1）、道路交通の寸断など雪が人々の生活に与える影響は大きく、除雪機械には高い信頼性が求められている。

しかし、近年の除雪機械は平均使用年数が大幅に延び、老朽化による故障件数の増加や、部品調達の遅延等による修理期間の長期化など、潜在していた老朽化リスク（老朽化に伴う除雪作業に影響する除雪機械の故障リスク）が表面化している。¹⁾

本稿では、除雪機械の現状と老朽化リスク、老朽化リスクを視覚的に表現するための手法（見える化）について検討し、試行したので報告する。



写真-1 暴風雪・大雪災害 (H25.3 R334小清水町)

2. 北海道開発局が保有する除雪機械の現状

北海道開発局（以下、開発局）では、平成 27 年度末現在 1,040 台の除雪機械を保有し、一般国道約 6,740 kmを管理している。

開発局の除雪機械台数は、高規格道路の開通・延伸等に伴い、平成 7 年度より 138 台増えている。また、近年の排出ガス規制に対応するため、除雪機械の購入単価は平成 17 年度からの 10 年間で 30%程度上昇している。

しかし、更新と増強のための購入予算は限られていることから、その分、既存機械の更新が遅れる要因となっている。具体的には、使用年数 10 年を超える除雪機械の保有台数は、平成 7 年度は全体の 18%であったが、平成 27 年度は 50%に増えている。さらに、使用年数 15 年を超える除雪機械も平成 19 年度に現れ、平成 27

年度には全体の 18%を占めるなど、老朽化が著しく進行している（図-1）。

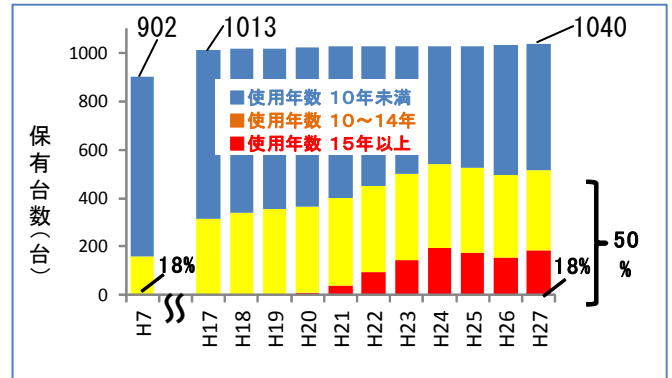


図-1 除雪機械台数と使用年数割合の推移

3. 除雪機械の老朽化リスク

老朽化の影響を確認するため、過去 5 年間（平成 23 年度～平成 27 年度）の除雪シーズン中に発生した修理期間別の故障件数の推移を調査した。

この結果、故障件数は、修理期間に係わらず平均使用年数と同様に右肩上がり伸びており、5 年間で約 1.5 倍に増加している（図-2）。また、故障内容には、過去には無かった除雪車のフレームの腐食・亀裂など大規模な故障も生じている（写真-2）。

また、除雪機械に故障が生じた場合、修理のために必要な部品を確保する必要がある。この部品の供給年限はガイドライン²⁾に示されており、除雪機械と本体構造が同じであるモータグレーダなどの建設機械は 10 年とされ、それ以降の納期等については個別相談とされている。また、除雪機械メーカーに部品の安定供給について聞き取りした結果は 10～15 年程度であった。

このことから、使用年数が長くなった除雪機械は、故障規模が大きくなる可能性があるほか、部品調達にも時間を要するため、修理期間が長期化することが想定される。

除雪機械の故障は、即日の修理が可能であれば、除雪作業への影響を最小限に抑えることができる。しかし、修理期間が 2 日以上の場合は、その間に除雪が必要であつても作業できないことから、除雪機械不足による作業の遅延など人々の生活への影響が懸念される。

* 1 国土交通省 北海道開発局 事業振興部 機械課

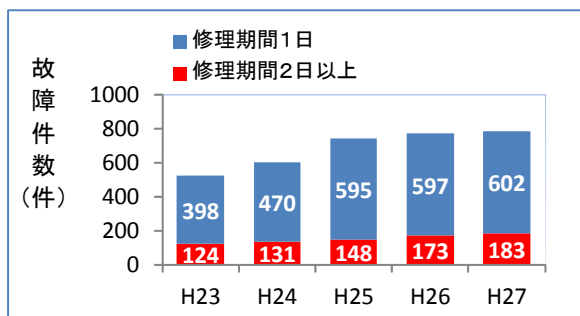


図-2 故障件数の推移 (修理期間別)



写真-2 フレームの腐食・亀裂状況

4. 除雪機械老朽化対策に関する取り組み

開発局では除雪機械の老朽化に対応するため、以下の取り組みを行っている。

(1) 多機能型除雪機械の導入

限られた予算の中で必要な除雪機能を確保しながら老朽化機械の早期更新を図るため、1台で2機種分の機能を備えた多機能型除雪機械を平成12年度から142台導入している(図-3)。この多機能化によって購入コストの削減が図られるほか、機械台数が減少するため、整備費など維持管理コストの削減効果もある。

(2) 除雪機械(規格)のダウンサイジング

配置される工区の降雪量など地域・路線特性によって除雪機械に必要な能力は異なる。また、最近の除雪機械は本体エンジンが高出力化している。このことから、現在の配置規格と工区の適合性を再確認し、必要に応じて規格のダウンサイジングを行い、購入コストの削減を図っている(表-1)。

(3) 効果的な予防整備の実施

除雪機械の安定的な稼働を確保するには、除雪期間中に長い修理期間を要する故障を未然に防ぐことが必要である。このためには、夏期の定期整備時に除雪期間中の故障が想定される部分に対して、故障発生前に先行して整備を行うことが有効であるが、厳しい予算状況を鑑み、効果的な予防整備を計画的に実施する必要がある。

そこで、過去の故障や稼働データを収集・分析したほか、除雪機械メーカー、整備会社及び除雪工事受注者と故障等に関する意見交換を行い、故障の予兆が現れにくく使用年数や稼働時間で故障発生傾向が明らかなものや、除雪期間中の修理では高価かつ長期の修理期間を要する十九項目を抽出し、効果的な予防整備を実施している(表-2)。

(4) 遠隔状態監視技術の検討

新たなメンテナンスの効率化手法として、除雪機械の状態をリアルタイムに監視できるシステムを構築し、早期に異常を把握することにより、重大故障を未然に防ぎ、修理コストと修理期間(不稼働日数)を減少させる除雪車の遠隔状態監視技術の検討を進めている。

機械名	導入台数 購入コスト 削減率	多機能化
除雪トラック [IG、散布装置]	97台 (25%)	除雪トラック ↔ 凍結防止剤散布車
小形除雪車 [1.5m級 草刈装置]	27台 (21%)	小形除雪車 ↔ 草刈車
ロータリ除雪車 [2.2m級 IG]	13台 (28%)	ロータリ除雪車 ↔ 除雪トラック
ロータリ除雪車 [2.2m級 路面清掃装置]	3台 (28%)	ロータリ除雪車 ↔ 路面清掃車
除雪トラック [IG、散布装置]	2台 (24%)	除雪トラック ↔ 散水車

図-3 多機能化機械の一覧

表-1 除雪機械(規格)のダウンサイジング

機械名	現行 → 見直し	購入コスト 削減率
ロータリ除雪車	2.6m級 → 2.2m級	△31%
ロータリ除雪車	2.2m級 → 1.5m級	△39%
小形除雪車	兼用式 → ロータリ式	△29%

表-2 効果的な予防整備項目（抜粋）

機械名	効果的な予防整備項目	実施周期
除雪トラック	スタータモータO/H	6～7年
除雪グレーダ	オルタネータO/H	6～7年
ロータリ除雪車	走行用プロペラシャフトO/H	9年
小形除雪車	伝導機O/H	7～8年

5. 老朽化リスクの見える化の試行

除雪機械の老朽化リスクについて、より具体的なイメージとしてとらえるために、機械配置に着目した見える化の試行について検討した。

なお、試行の対象路線は、始点（札幌市）と終点（滝川市）が同じで異なる経路を通過する幹線道路である、札幌開発建設部管内の一般国道 12 号及び 275 号とした。

【対象路線】

一般国道 12 号：KP0.0～100.3km（白石①～砂川⑥）

一般国道 275 号：KP0.0～82.6km（白石⑦～新十津川⑪）

（1）除雪機械老朽化リスクアセスメント

除雪機械の老朽化を評価し視覚的に表現するため、除雪機械 1 台毎に、使用年数による老朽化度合いを数値化した（以下、数値化した値を「基本点」という）。数値化にあたっては、修理に必要な部品の供給年限を参考に、部品供給が確実な使用年数 10 年未満、供給の遅れも想定される 15 年未満、部品供給の長期化が想定される 15 年以上に大別している。

さらに、除雪工区（新雪除雪における除雪機械の梯団）毎の老朽化リスクを判断するため、梯団の除雪機械の基本点を平均し、評価点数を算出した。

また、基本点と評価点数には、点数に応じた色を定め、表を着色することで視覚的にも老朽化リスクを表現することとした（表-3）。

【除雪機械毎の基本点及び色】

使用年数 10 年未満 : 1 点（青色）

使用年数 10 年以上 15 年未満 : 3 点（黄色）

使用年数 15 年以上 : 5 点（赤色）

【除雪工区毎の評価点数の範囲と色】

評価点数 : 1.0～1.7（青色）

評価点数 : 1.8～2.5（緑色）

評価点数 : 2.6～3.4（黄色）

評価点数 : 3.5～4.2（橙色）

評価点数 : 4.3～5.0（赤色）

『ローリスク』



『ハイリスク』

表-3 除雪機械老朽化リスクアセスメント

事務所名	路線名	工区名 (番号)	梯団除雪車(年式/基本点)			評価点数
			1番車	2番車	3番車	
札幌道路	R12	白石①	H14	H18	H14	黄
			(3)	(3)	(3)	(3.0)
岩見沢道路	R12	江別②	H11	H12	H15	赤
			(5)	(5)	(3)	(4.3)
岩見沢道路	R12	幌向③	H16	H11	H8	赤
			(3)	(5)	(5)	(4.3)
岩見沢道路	R12	峰延④	H15	H11	H14	橙
			(3)	(5)	(3)	(3.7)
滝川道路	R12	砂川⑤	H17	H12	H13	赤
			(3)	(5)	(5)	(4.3)
滝川道路	R12	砂川⑥	H15	H15	H12	橙
			(3)	(3)	(5)	(3.7)
札幌道路	R275	白石⑦	H13	H9	H8	赤
			(5)	(5)	(5)	(5.0)
札幌道路	R275	当別⑧	H12	H15	—	橙
			(5)	(3)	—	(4.0)
札幌道路	R275	当別⑨	H25	H27	—	青
			(1)	(1)	—	(1.0)
滝川道路	R275	砂川⑩	H16	H18	—	黄
			(3)	(3)	—	(3.0)
滝川道路	R275	新十津川⑪	H14	H15	—	黄
			(3)	(3)	—	(3.0)

（2）除雪機械の老朽化リスクの見える化

老朽化リスクを実際的に表現するため、除雪機械老朽化アセスメントの結果と、除雪機械が担保している道路ネットワークをリンクさせた見える化を試行した。

具体的には、道路ネットワークにおける路線重要度の指標を交通量³⁾と仮定し、各工区の平均交通量から路線重要度を示す色を定める。

次に、除雪工区図の工区毎に吹き出しを追加し、除雪機械老朽化アセスメントでの評価点数及び各工区の平均交通量を記載する。

さらに、除雪工区図の路線を除雪機械老朽化アセスメントでの評価点数に応じて着色するほか、その吹き出しに路線重要度に応じた着色をした。

試行結果を図-4 に示す。

【除雪工区毎の交通量の範囲と路線重要度の色】

交通量 : 7,000～13,000 台/日未満（青色）

交通量 : 13,000～19,000 台/日未満（緑色）

交通量 : 19,000～25,000 台/日未満（黄色）

交通量 : 25,000～31,000 台/日未満（橙色）

交通量 : 31,000～37,000 台/日未満（赤色）

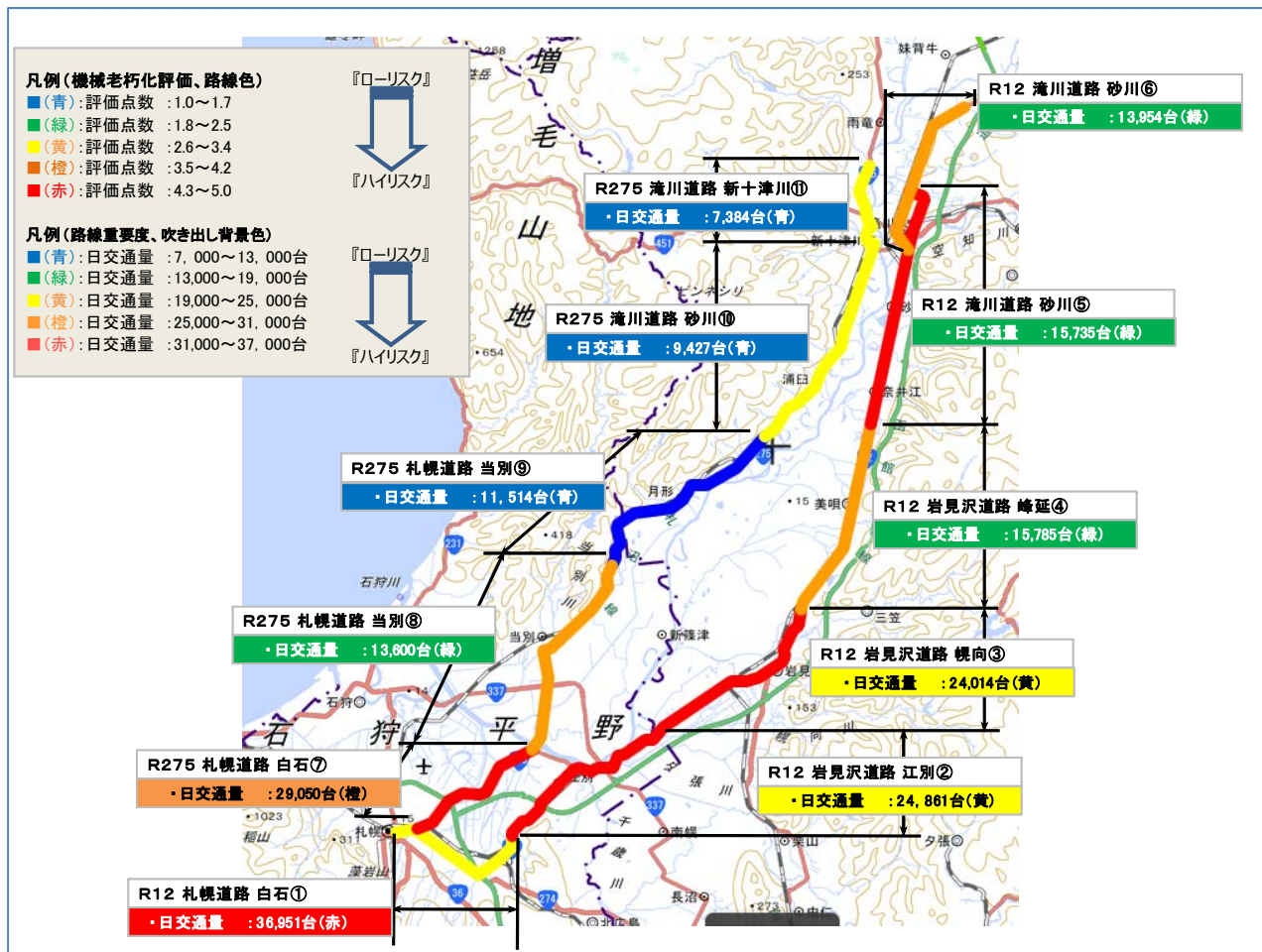


図-4 除雪機械の老朽化リスクの見える化

(3) 試行結果及び今後の検討項目

試行の結果を踏まえ、以下のとおり考察する。なお、本試行は、路線重要度の指標を交通量のみに限定したものであり、実際の重要度とは異なることが想定される。

- ① 路線重要度と除雪機械の老朽化リスクをリンクさせた見える化の試行ができた。
開発局の除雪機械の更新優先順位は使用年数及び稼働実績等により決定しているが、今回の試行の結果、必ずしも路線重要度を考慮した配置となっていないことが視覚的に確認できた。
- ② 今後の機械配置については、路線重要度も考慮し、現状において実現可能な老朽化リスクを低減させる手法について検討する必要がある。
- ③ 除雪機械の老朽化とリンクする道路ネットワークの指標について、交通量のほかに通行止め回数や気象及び地理的条件など、路線重要度を含める要素について検討する必要がある。
- ④ 除雪機械の老朽化リスクは、機械稼働状況（除雪出動回数・運転時間等）により大きく影響することから、老朽化リスクに含める要素として検討する必要がある。

6. まとめ

本稿では、冬期道路交通の確保に必要な除雪機械を対象に、老朽化の現状とその対策に向けた検討状況及び、老朽化リスクの指標化の試みについて報告した。また、除雪機械の老朽化リスクに道路ネットワークをリンクさせた見える化の試行を行った。

この結果、除雪機械の老朽化リスクを指標化したほか、路線重要度をリンクさせた見える化の試行により、除雪機械の老朽化リスクを実際的に表現する一手法として有用なことが確認できた。

今後も除雪機械の老朽化対策について継続して取り組むほか、老朽化リスクの見える化についても検討を重ねる所存である。

参考文献

- 1) 北海道開発局事業振興部機械課ほか：北海道開発局が保有する除雪車の老朽化対策に関する取組について，第59回北海道開発技術研究発表会，2016.2
- 2) (一社) 日本建設機械工業会：補修部品の供給に関するガイドライン
- 3) (一社) 交通工学研究会：全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス），2012.12

過疎・高齢化時代における流雪溝の課題克服への取組事例 ～ 除雪ボランティアの活用への期待 ～

原田小雪^{*1}、西大志^{*2}、野呂美紗子^{*3}

1. はじめに

北海道内では 21 市町村 24 箇所の国道・道道・市町道において、延べ延長 117,326m の流雪・融雪溝が整備されている。留萌開発建設部管内では、苫前町古丹別地区と増毛町市街地区に整備されている。このうち苫前町古丹別地区の流雪溝は、運用開始から 20 年弱が経過し、この間に急速に進展した地域の過疎・高齢化により、住民の投雪参加や流雪溝の運用条件に関する課題が生じている。

このような中、苫前町古丹別地区の住民が中心となり、流雪溝の有効活用による地域再生の検討を始めた。高齢化時代における流雪溝の課題克服に向けて、幅広く住民の声を取り込んだ方策が期待される。本稿では、流雪溝が抱える今日的な課題を整理し、当該地域の取り組みを紹介する。

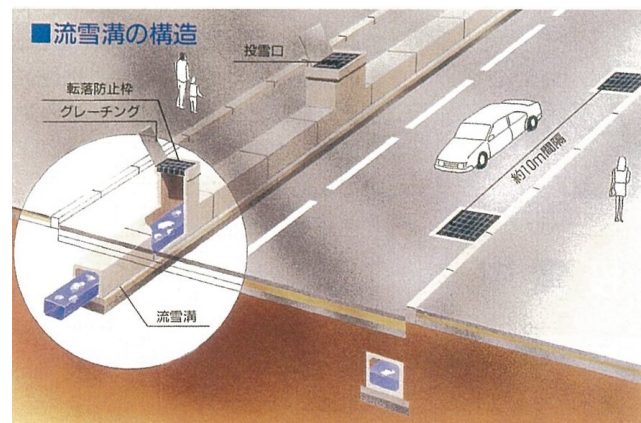


図1 流雪溝の構造
(苫前町古丹別流雪溝パンフレットより)

2. 流雪溝とは

昭和 11 年に新潟県小出町で自然流水による日本初の流雪溝が整備された。その後、昭和 31 年には新潟県小千谷市でポンプによって水をくみ上げるタイプの流雪溝が整備された。これによって、自然流水が豊富ではない地域でも流雪溝が可能であることが示された。さらに、車社会の到来とともに除雪に対する社会的要求が高まり、流雪溝の普及に繋がったと言われている¹⁾。図1には、代表的な流雪溝の構造を示す。

図2には、北海道における流雪溝の整備延長の推移を示す。北海道では、昭和 50 年に倶知安町で道内初の流雪溝が整備された。流雪溝の本格的な整備は、昭和 60 年度に旧北海道開発庁が提唱した「ふゆトピア事業」により急速に整備が進められた。

図3には、ふゆトピア事業の体系を示す。ふゆトピア事業とは、活力ある北国の生活文化の創造を目指し、雪に強い快適な冬の生活環境づくりを行う各種施策の総称である。このうち、流雪溝事業は「北国のまちづくり事業」の一つとして進められ、流雪溝の面的整備（国道・道道・市町道等の一体的整備）による雪に強いまちづくりを推進することを目的としていた。

『積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）』²⁾によると、流雪溝の供用までには、整備を要望する地方自治体による基礎調査と各道路管理者との協議・水利権の申請と河川管理者との協議・道路管理者による事業化へ向けた検討が重ねられる。さらに、供用後には施設の維持管理及び投雪管理と

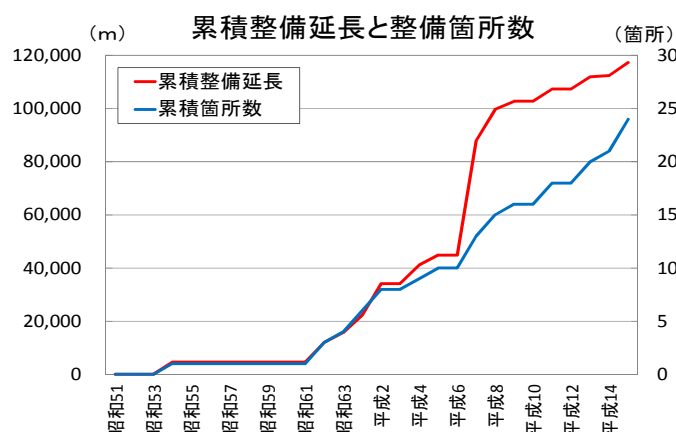


図2 流雪溝の累積整備延長の推移
『流（融）雪溝施設現況調査』（平成 25 年 4 月 1 日現在）

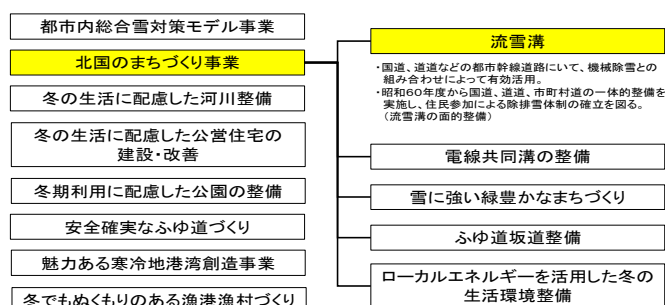


図3 「ふゆトピア事業」の体系

もに地域住民の自主的管理が必要であり、管理運営協議会等の管理体制の組織化が必要になる。

このように流雪溝は、多様なステークホルダーから構成さ

*1 留萌開発建設部道路計画課 *2 苫前町まちづくり企画代表 *3 一般社団法人シーニックパイウェイ支援センター

れる面的整備を前提としている。また、面的整備とは供用までの手続き上の過程を指すのみではなく、道路除雪によって道路わきから歩道まで堆積した積雪を沿道の地域住民が投雪することで、はじめて冬道の面的な排雪が確保される施設であり、極めて人間活動に依拠した公共インフラである。

3. 流雪溝をめぐる今日的課題

『積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）』には、流雪溝の長所と短所が整理されている。以下に、同マニュアル（案）より当該の記載を抜粋する。

[長所]	
1)	道路脇の雪山がなくなり、常時無雪に近い状態を確保できる。
2)	雪の運搬が効果的に行われ、運搬機械等が不用である。
3)	除雪機械の入れない住宅密集地でも除雪可能である。
4)	雪捨て場の確保が不要である。
5)	利用する人々が組織を作り雪処理をするため連帯感が強くなり、作業そのものがコミュニティー交流の場となる。
6)	自然取水が可能であれば、維持費がほとんどかからない。
7)	路面排水のための縦断側溝と兼用できる。
[短所]	
1)	投雪方法を誤ると、溢水して道路および人家が浸水することがある。
2)	次の理由により、適用範囲が限定される。
a)	地域住民の協力がなければ成立しない。
b)	水源の確保が必要となる。
c)	初期投資が高い。

流雪溝の整備によってもたらされる最大の長所は、歩車道境界に堆積された雪山が無くなり、非積雪期と同様の道路幅員と歩道幅員が確保されること、あわせて運転手及び歩行者の視認性の改善が図られることである。

また、短所として、地域住民の主體的な関与が不可欠であることから、運用ルールを無視した投雪による函路の閉塞、さらには浸水被害を発生させる可能性があることである。

昭和 60 年代に道内で面的に整備された流雪溝は、既に運用開始から 30 年余りが経過し、地域の過疎・高齢化、住民のライフスタイルの変化、地方都市商店街の商業活動の低迷、空き家の増加等、運用開始時とは異なる社会的背景に起因した今日的課題が指摘されている³⁾。

それらは、流雪溝の短所である「地域住民の協力がなければ成立しない」点を際立たせ、前掲した流雪溝の長所を短所が凌駕することとなった。結果、投雪が行われない家屋前には雪が残され、歩道の確保や視認性の確保等、流雪溝の整備効果が損なわれる構図が生み出されている。また、流雪溝本体及び取水ポンプ等の電気機械設備等の老朽化対策等、適切な維持管理に必要な予算確保等、流雪溝を取り巻く状況は厳しく、将来的な不安を抱えている。

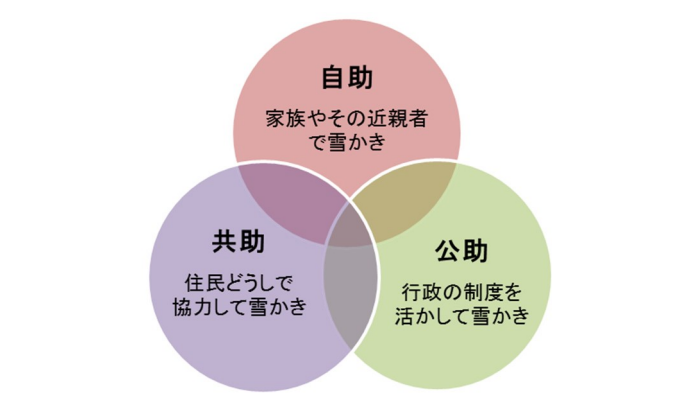


図 4 除雪の自助・共助・公助⁴⁾

表 1 流雪溝問題の解決に向けた方策案

対応方針	方策	具体案	メリット	デメリット
流雪溝を活かす	地域内で人材を確保	ご近所 高校生・PTA (自助・共助)	・人材確保に移動費用がかからない ・地域力の強化につながる	・地域コミュニティの実情に依存（重荷になることも） ・学校との連携には時間を要する
	地域周辺で人材を確保	苦前地区との域内交流 ボランティア (共助)	・人材確保に移動費用がかからない ・互いのコミュニティの連携強化につながる	・互いにメリットがないと続かない ・苦前地区の手伝いに労働力の確保が可能かどうか
	地域外から人材を確保	広域的除雪 ボランティア (共助)	・地域の人材が手薄でも可能 ・都市農村交流の推進につながる ・地域を見つめなおす機会を創出	・移動費用がかかる ・ツアー費用の一部をボランティアが負担
	費用を払って人材を確保	運搬業者を雇う (自助・共助・公助)	・地域人材難でも可能	・費用がかかる
	一部の費用を負担	除雪 パートナースHIP (共助・公助)	・効率的な除雪が可能 ・費用負担が軽減される	・行政・事業者・住民間でのルール化に協議が必要 ・費用負担
流雪溝を活かさない	流雪溝を廃止	一般除雪へ移行 (公助)	・投雪作業が不要となる	・道路わきの雪山が常設化 ・行政の費用負担が膨大 ・流雪溝施設の撤去が必要

これら流雪溝をめぐる諸課題を「流雪溝問題」と表現した場合、問題の解消に対して流雪溝の運用方法の他、利用主体である地域住民や施設管理者である行政がそれぞれの立場からの流雪溝のあり方を見直す必要に迫られている。

図 4 には、除雪における自助・共助・公助の基本思想を示す。地域における除雪に関する問題は、雪国に暮らす住民のコミュニティの存続に関わる問題の一つとなっている。この問題を考える際、自助（個人）・共助（地域）・公助（行政）の 3 つの組み合わせが重要である。特に、過疎・高齢化や厳しい財政状況を勘案すると、自助や公助を頼るにも限界があり、今後は共助が問題解決の鍵となる。

表 1 には、流雪溝問題の解決に向けた方策案を一覧にして示す。流雪溝問題を考える際、表に示すような方策案が考えられる。古丹別地区では、苦前町の地域づくりに取り組んでいる「苦前町まちづくり企画」が中心となって協議を重ねた結果、地域外から人材を確保し流雪溝を活用する対応方針を選択した。その第一弾として、都市農村交流の推進による地域づくりの起爆剤となることを期待し、「広域的除雪ボランティアを活用した流雪溝投雪の試行」に取り組むこととした。

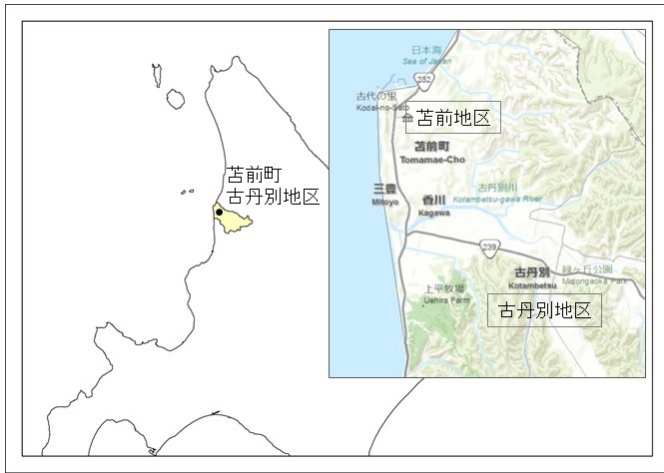


図5 苫前町及び古丹別地区の位置

調査を実施した。

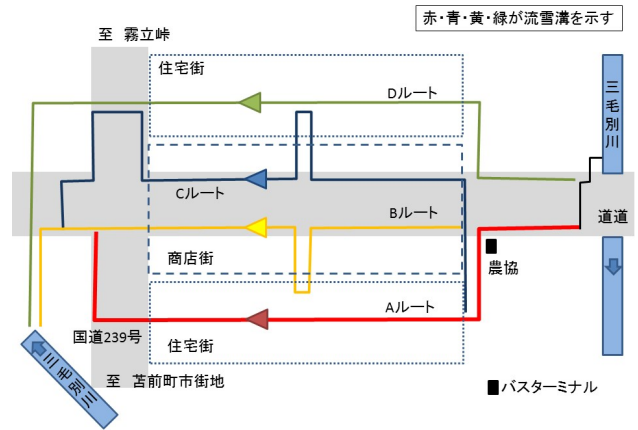


図6 流雪溝の概略ルート図

4. 流雪溝広域的除雪ボランティア実証実験

4. 1 対象地域及び流雪溝の概要

図5には、苫前町および古丹別地区の位置を略地図で示す。北海道北部に位置する苫前郡苫前町は、かつては炭鉱開発とニシン漁で栄え、旧国鉄羽幌線（昭和 62 年廃線）の沿線地域の物流の中心地であった。人口は3,261人（平成28年9月現在）で、行政機能を有し漁業を中心とする沿岸部と農林業を中心とする内陸部に二分されている。町の主要産業は、漁業、農業（稲作）、酪農、林業である。

内陸部に位置する古丹別地区は人口約1,200人、高齢化率は約40%である。このうち流雪溝を利用する人は150人ほどであり、利用者的高齢化率は約60%である。

図6には、古丹別地区に整備された流雪溝の概略ルートを示す。古丹別地区の流雪溝は、平成9年度に国道・道道・町道に跨るように整備され、総延長は3,271mである。流雪溝に必要な水は、普通河川三毛別川（町管理）からポンプにより取水され、中央監視室から遠隔操作により、4ルートに決まった時間に一定量が配分される仕組みとなっている。

図7には、流雪溝の運用ルールを示す。流雪溝の投雪作業にかかる運用ルールは、苫前町及び流雪溝の沿道住民が参加する「流雪溝管理運営協議会」（事務局は苫前町役場建設課）が定めている。

各ルートで作業時間帯が設定されており、平日は朝7:10～13:00まで、日曜日は、午前と午後の2回となっている。その投雪時間は30分～45分であり、週替わりで利用可能時間帯をシフトさせている。

- ・流雪溝の利用時間は、決められた投入時間割に従いましょう。
- ・利用する方は、安全確認のうえ車や歩行者に注意して、スコップ・スノーダンプ等で投雪しましょう。
- ・投雪は一度に多量の雪を入れず、水の流れを十分確認しながら、行いましょう。
- ・水の流れが十分でない時や、水位が通常より高いときは、投雪を止め、すぐに流雪溝中央監視室まで連絡してください。
- ・作業にあたっては、必ず「投雪作業中」のバリケードを立てましょう。
- ・投雪口の蓋は作業中のみ開閉してください。又、作業中以外は必ず閉め事故防止に努めましょう。

図7 流雪溝の運用ルール
（苫前町古丹別流雪溝パンフレットより）

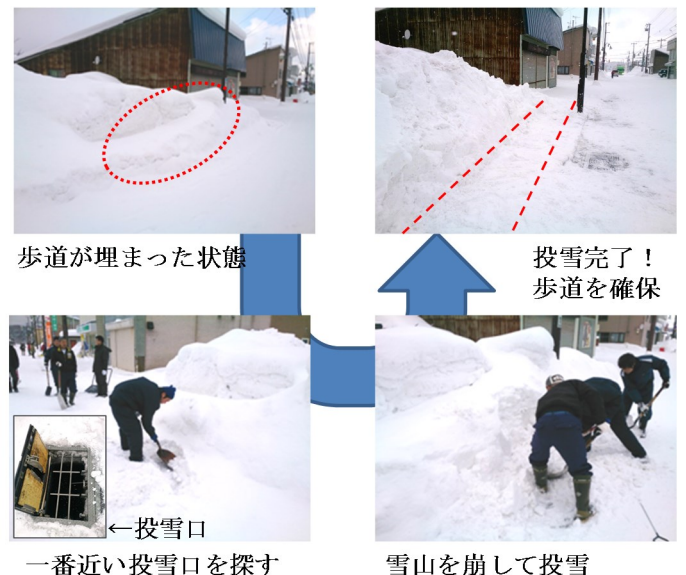


図8 堆雪で塞がれた歩道の雪を試験的に投雪

4. 2 現地事前調査

古丹別地区における流雪溝問題の解決に向け、平成28年2月10日に苫前町まちづくり企画と道路管理者（苫前町）、また、全道で除雪ボランティアの活動支援等に取り組んでいる（一社）シーニックバイウェイ支援センターが共同で現地

図8には、ボランティア除雪試験時の状況を示す。調査は、除雪ボランティアの受入れを想定し、A及びBルート沿道で投雪が困難な高齢者住宅前や空き地等を選定し、地域住民と協働で試験的に投雪した。また、両ルートで沿道住民が日頃

行っている投雪作業の状況を把握した。

沿道住民による投雪作業は、各ルート 30 分の投雪時間で、住民総出で行っていることが確認された。一方、雪が積もったままの状態の歩道や雪山により見通しの悪い箇所など、流雪溝の効果が損なわれている箇所も確認された。さらに、日頃の作業状況、運用ルール、除雪ボランティア等について意見交換を実施した。主な意見を以下に掲載する。

① 流雪溝施設について

● 流雪溝の老朽化対策が必要

- ・供用から 20 年間の経過し、施設の大規模修繕が必要になってくるため、計画的に協議・調整を進めることが必要である。

②流雪溝の運用について

● 過疎・高齢化が深刻

- ・除雪作業が困難な高齢化世帯も出始めており、歩道が雪で塞がれている状況になっている。

● 運用ルールの見直しが必要

- ・各ルートの投雪時間が決められているが、生活スタイルの変化に合わせて検討する必要がある。

③除雪ボランティアについて

● 除雪ボランティアへの期待

- ・町の魅力を知ってもらい良い機会である。
- ・町の魅力を伝えて、観光で再度訪問してもらえようようにしたい。
- ・地域住民も地域の活性化のために協力したい。

4. 3 今後の調査

苫前町まちづくり企画では、国土交通省国土政策局地方振興課による「平成 28 年度雪処理の担い手の確保・育成のための克雪体制支援調査」の調査補助の選定を受け、以下の調査を予定している。

① 沿道の地域住民を対象とした流雪溝利用意識調査

② 沿道の地域住民を対象とした流雪溝利用実態調査

③ 広域的除雪ボランティアを活用した流雪溝投雪の試行

調査は、①住民アンケート調査（積雪前）、②流雪溝の投雪状況調査（積雪時）、③都市圏からの除雪ボランティア活動の試行を予定している。

ボランティア活動の試行については、ボランティアの活動場所の選定、除雪ルールの設定、投雪時間等に関する運用方法の見直し等が必要であることから、地域住民との話し合いを重ね、ボランティア受入に関する合意形成が必要である。

また、本調査は、今後の古丹別地区における流雪溝の運用方法を検討する第 1 ステップであり、今後、地域の魅力づくり、ホスピタリティの向上、地域資源の PR 等、ボランティア受入の持続可能な仕組みづくりを検討する必要がある。

5. 流雪溝の課題克服と地域再生

本稿で示した流雪溝の課題について、人口減少、過疎・高

齢化の進展が著しい留萌開発建設部管内においては、行政、住民、NPO、企業等、多様な主体が担い手として協働する地域づくりを推進させていく必要があると考えている。当該地域において、流雪溝をめぐる今日的課題解決の取り組みが、多様な主体による協働の地域づくりを考える起爆剤となることを期待している。

また、道内では、自治体や社会福祉協議会による有償ボランティアの取り組みや除雪機の貸出等、雪処理に関わる地域内公助の底上げの取り組みが行われている。さらに都市圏から除雪ボランティアを派遣する等、外的資源の獲得に向けた取り組みも行われている⁹⁾。他にも生活道路の道路除雪作業の出動状況をウェブサイトやテレビ放送（札幌市）、ICT を利用した双方向メール配信（弘前市）など人力除排雪と道路除雪の効率化を図る事例もある。どのような手段が流雪溝問題に対して有効かを模索する上で参照すべき取り組みである。

6. おわりに

過疎・高齢化、地域の経済活動の縮小が続いている北海道における地方都市の厳しい現状の中、生産空間^{注1)}の維持のためには、暮らしやすい地域づくりを地域住民と協働しながら検討していくことに加え、今後もさまざまな取り組みを試行的に実施し、地域の実状を十分に踏まえた取り組みを続けていくことが重要と考える。

当該地域における流雪溝問題の解決に向けた取り組みは、今年度から本格的に調査に着手する予定である。道路管理者の連携も重要であるが、多様な主体による協働の考え方に基づいた支援体制の構築が重要であると考えている。

注1) 主として農業・漁業に係る生産の場（特に市街地ではない領域）を指す。生産空間は、生産のみならず、観光その他の多面的・公益的機能を提供している。

参考文献

- 1) 鈴木哲ら：対雪活動における住民と行政の対応関係の変遷—主に流雪溝について—, 1986
- 2) 流雪溝マニュアル編集委員会：積雪寒冷地における流雪溝マニュアル（案）, 1990
- 3) 石田樹ら：住民と行政の協働の視点から見た流雪溝の利用実態調査, 2005
- 4) 国土交通省国土政策局地方振興課：地域除雪活動☆実践ガイドブック, 2013
- 5) 中前千佳ら：北海道豪雪過疎地域における広域的除排雪ボランティアシステム構築に関する実践的研究（1）—札幌発「雪はねボランティアツアー」の実践と課題—, 2013

適切な道路雪氷情報を利用した道路管理経費削減へのチャレンジ

山田忠幸*1、 中山隆之*1、 村國 誠*1、

1. はじめに

冬期道路管理は、気象・雪氷現象という不確実な要因を相手にしているため、合理的な判定や決定を難しいものになっている。現場の担当者は、「どこまでやれば十分だ」とか「どこまでやる責任がある」ではなく、「出来るだけのことをしなければならぬ」との立場で業務にあたっているのが実態ではないか。

道路雪氷対策は、除雪作業と路面凍結防止作業に代表され、補助的にロードヒーティング（RH）や散水融雪があり、これらに掛かる経費を縮小する技術（センサー）の導入費と経費削減（効果）とのバランスが課題となっている。道路雪氷情報は、より適切な情報を効果的に活用することで効率的な作業や融雪稼働を実現し経費削減に繋がることを報告する。

2. 除雪作業と凍結防止作業

我が国の雪氷対策を難しくしている諸条件として、過酷な気象条件、地形条件、複雑な管理条件、苦慮する除雪条件、等のもとに実施しなければならないので、適切な除雪作業が重要なポイントとなる。

高速道路に於ける除雪作業の事例を紹介する。

①トンネルを抜けると突然雪国となる過酷な気象条件が存在している。

②山間部道路ではトンネルとトンネルが断続する短い明り区間での路面融雪施設、橋梁が多く出現する中での除雪作業の困難性がある。

③重交通の大動脈高速道路である名神高速道路などでは、ゲリラ降雪に見舞われる悪条件があり、梯団除雪が行なわれ一般車の誘導が必要になる。

④高速道路の高架区間の両側に幹線道路が平行し投雪制限が生じる。この場合、路側に寄せられた雪をロータリー除雪車によるダンプトラックへの雪積込みが必要になる。

凍結防止作業には、定置式薬液散布装置や散布車による薬剤散布で凍結温度を下げる方法が最も多く採用されている。欧米諸国で使われる岩塩は、わが国は恵まれず、天日塩の生産にも高温多湿のため恵まれていない。そこで輸入天日塩を使用するのが一般的である。

この凍結防止剤（塩化ナトリウム）は、冬期の安全なモビリティ（移動性）のために欠かせないものであるが、一方では、金属腐食対策、コンクリート構造物の樹脂塗装鉄筋や防水工の採用、沿道での飛散防止対策、車両下回りの防錆塗

装等も必要になるので、その使用量を最適化にしなければならないし、撒き過ぎの防止が必要である。

その他、路面温度を上げるロードヒーティング（RH）がある。ロードヒーティングは、路面に埋設されたヒーターに電流を流し路面を温めるもので、その稼働率は電気料金に直接関係し、稼働制御に対しても適切な省エネ制御が求められている。

また、幹線道路や自治体などで行なっているのが地下水や河川水を利用した散水融雪（散水消雪）である。一部上水道を利用したシステムもある。この散水融雪も適切な散水制御が必要で、過剰散水による歩行者への影響、地下水位の低下による地盤沈下等の問題が指摘されている。

3. 除雪作業、凍結防止作業での問題点

冬期道路管理で除雪作業に出動するタイミングは、webカメラ画像や積雪深計のデータ、雪雲レーダーの情報を基に出動するのが一般的である。カメラ画像では積雪深が分からないことや積雪深計のデータでは、1点のデータのみで路面積雪状況の把握は難しく、早め早めの対応となる場合が多いのでロスが発生し易い。また、冬期道路管理では、積雪よりも降雪を問題にする。雪の量より雪の降り方である。ところが、肝心のリアルタイム雪情報を把握出来ていない。例えば、事故を起こしたドライバーが「すごい雪だった」と証言した場合、それはどんなにすごい降り方をしていたのか道路管理者はデータを持っていない。他の気象要素（風向・風速、気温、日射量等）については、ある時点のデータがリアルタイムに判るが、雪については、積雪、降雪ともに後追いデータしかないのが現状であり、リアルタイム情報を持ち合わせていない。要求されるのは、リアルタイムに今降っている雪の勢いをその都度キャッチすることである。

凍結防止剤の散布は、作業マニュアルに従ったタイミング、散布量で行なわれることが多い。気温・路温が基準を下回る予報の場合、先ず事前散布を行ない2～3時間後必要に応じて追加散布を行なう。これは路上の水分が凍る前に散布し凍結を防止するので、ある程度以上の塩分濃度を維持する必要がある。道路管理者としては、どうしても安全側に管理するので、凍結防止剤の撒き過ぎによる橋梁などの腐食劣化が進行し易い状況となってしまう。

*1 山田技研株式会社

また、高速道路の除雪作業の直後には必ず凍結防止剤の散布を行なう。これは除雪後の薄い残雪が凍結するのを防止するため融雪目的で散布するものである。

4. 課題解決に必要な要素技術

先に述べた除雪作業、凍結防止作業、RH省エネ制御、散水融雪の適正制御に必要な共通技術を以下に挙げる。

- ①気象予測、気温／降雨／降雪／放射冷却／風向風速
- ②気象状態把握、降雪強度／降雪量／凍結強度／放射冷却等の数値化
- ③路面状態把握、路温分布／積雪分布／積雪深分布／凍結防止剤濃度分布の数値化
- ④情報／伝送／活用、気象と路面状態の数値情報をリアルタイムに電送

これらリアルタイム情報と長年の経験を組み合わせた判断機能を構築し作業指示を出すことが重要である。

現状の観測項目としては、高速道路や直轄道路には気象と路面観測局があり、気温／路温／積雪の有無等を観測している。また、路線監視用のITV（又はwebカメラシステム）が各所に設置され画像を見て積雪や降雪の判断を行っており、これらの情報を総合的に判断して冬期道路管理を行っているのが現状と思われる。

雪氷特有の観測方法としては、冬に特化した気象観測、降雪強度や凍結強度の観測方法が定まっていないのが現状である。降雪強度は、一般的に空間雪粒子数や単位時間当たりの新雪深で表す方法が多く用いられ、凍結に対しては気温・路温に頼っている場合が多い。路温計は埋設型が一般的であり、地熱の影響を受け易く表面路温より1～2℃高めに計測される傾向がある。

5. 雪氷特有の観測装置

5-1 観測装置概要

写真1の装置は、路面状況センサー（通称ロードアイ2015）であり、LED光の反射率の違いから路面状態（乾燥・湿潤・積雪・凍結注意）を判定するセンサーである。

写真2の装置は、路面の降雪状況・凍結予測を熱量で観測し、データ化する熱量計測センサー（通称ウィンターセンサー）である。実際の現場では、RHや散水融雪の制御に対してロードアイとウィンターセンサーを路肩に設置し、機能を融合させ適正な制御を行なっている。

ロードアイは、路面横断方向で乾燥・湿潤・積雪・凍結注意を円弧状に50点計測して、それぞれの分布状態を判断しRHなどの運転時間を必要最小限にすることができる。

ウィンターセンサーは、放射冷却や降雪時の計測熱量に応じた抑制制御が可能となる。



写真1 路面状況センサー
(ロードアイ 2015)



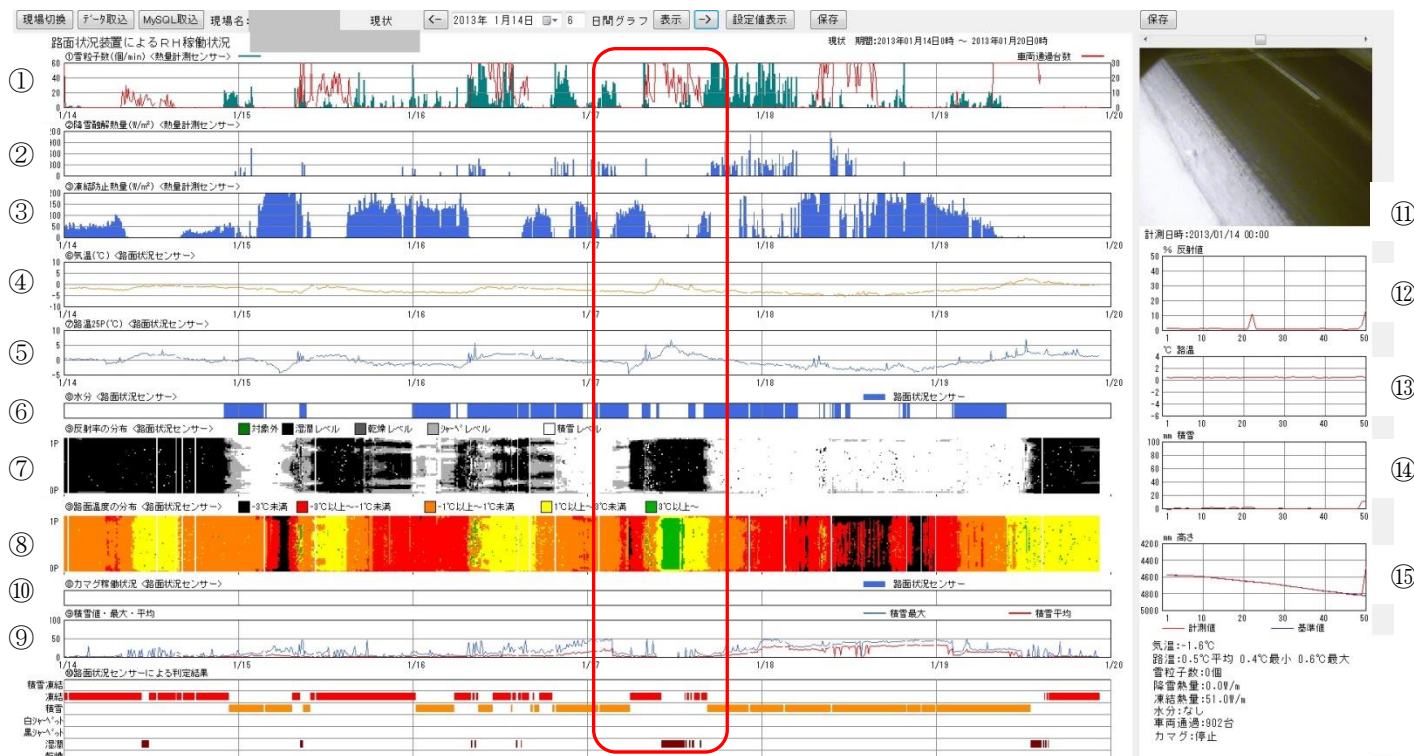
写真2 熱量計測センサー
(ウィンターセンサー)



写真3 車載式塩分濃度システム

この2つのセンサーの組み合わせにより、稼働時間及び能力制御の両面で省エネ運転が可能となり、安全を考慮した最適制御が可能になる。

写真3の測定装置は、車載式塩分濃度測定システムであり、光学式塩分濃度センサーをパトロール車後輪の後ろに設置し、路面水分を後輪で跳ね上げセンサーに付着させることで路面の残留塩分濃度を測定するシステムである。従来は、手持ち式塩分濃度計測器を使用して数ポイントの塩分濃度を測定していたが、この車載式センサーにより線的把握をリアルタイムで行なえるようになった。更に路面温度と塩分濃度を比較して凍結防止塩分濃度が把握でき、経験のみに頼らない追加散布の要・不要判断が可能になっている。



グラフ1 ロードアイ／ウィンターセンサー情報一覧グラフ

5-2 実際のデータからの分析①

グラフ1は、東北地方のある一般道に於けるロードアイとウィンターセンサーの観測データを分かり易く一覧グラフ化したものである。グラフの詳細説明を以下に示す。

①雪粒子数 (降雪強度を表す)

線で表したグラフは車両通過台数の参考値を示す

②降雪融解熱量 (降った雪の融解に必要な熱量値)

③凍結防止熱量 (路面を凍結させない為に必要な熱量)

④気温、 ⑤平均路面温度 (放射温度計値)

⑥水分検知 (水分センサー)

⑦路面反射率の50点分布

(路面状態判別 湿潤・シャーベット・積雪)

⑧路面温度の50点分布 (黒:-3℃未満、赤:-3~-1℃、

橙-1~+1℃、黄+1~+3℃、緑+3℃以上)

⑨積雪値 (最大・平均)

⑩カマグ稼働状況 (凍結防止剤の自動散布)

⑪路面状況写真、 ⑫反射値50点分布

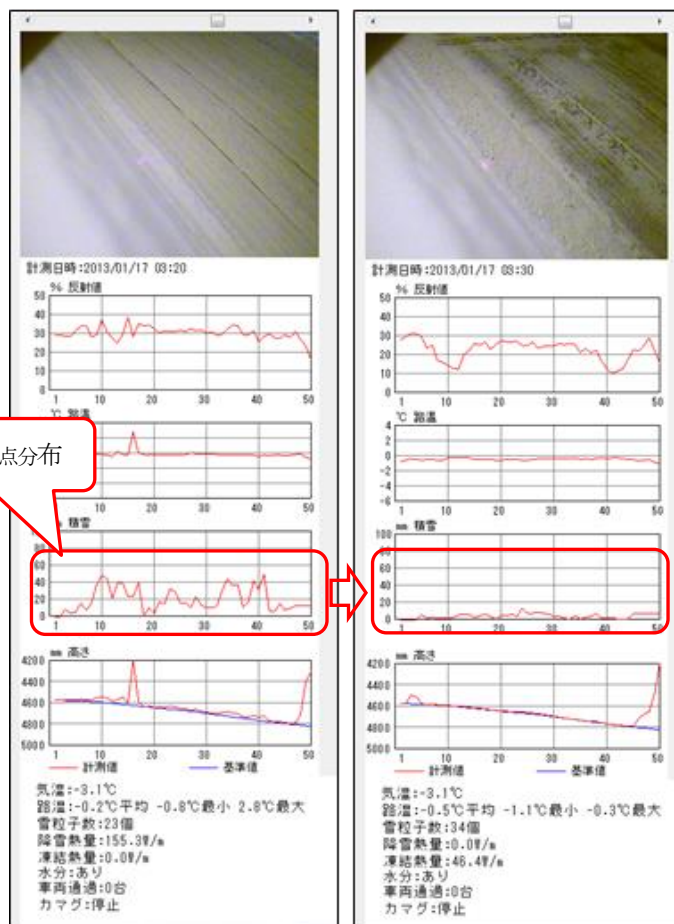
⑬路面温度50点分布、 ⑭積雪深50点分布

⑮路面傾斜データ (センサーから路面までの実距離)

①②③はウィンターセンサーの計測データであり、④~⑨はロードアイの計測データである。

これらの計測機器を使ってRHの制御に使用した場合、ウィンターセンサーで気象状況を観測し、ロードアイで路面状況を観測し、必要最小限な稼働と、能力制御 (時間率制御) を行なうことで、従来の三要素制御 (気温、路温、路面水分) と比べ電力量経費が約50%削減を実現している。削減できた

要因としては、やはり路面を直接見て制御しているか、そうでないかが大きいと思われる。当然三要素制御では安全側に設定せざるを得ないのに対し、路面を見ている方は本当に必要な時のみ稼働すれば良いわけである。



グラフ2 (3:20)

グラフ3 (3:30)

5-3 実際のデータからの分析②

グラフ1の赤枠の部分に注目すると、グラフ2から午前3:20には最大5cmの積雪が観測されており、グラフ3の3:30には除雪されているのが積雪データと現場写真から確認できる。通常、除雪後の路面には薄い残雪が残るので、その残雪が凍結するのを防止する為、除雪の後に凍結防止剤（塩化ナトリウム）を散布する。この現場では、グラフ5～7の路温データから塩化ナトリウムの散布状況が推測できる。5:30に路温-1℃だったのが5:40には平均-3.6℃に低下している。この現象は、塩化ナトリウム散布による氷点降下（凝固点降下）が現れており、塩が雪を溶かし熱が奪われている様子を捉えている。この時、気温は-3.5℃であるが路面の残雪が溶けているのが写真でも確認できる。また5:40の画像では、円弧状に残雪が溶けており、散布車から塩化ナトリウムが円弧状に撒かれた様子が伺える。

6. まとめ

上記データ分析①では、ウィンターセンサーとロードアイのデータを融合してRHを効率的にON/OFF制御することにより、経費削減が可能になり、コストパフォーマンス的に効果が上がっている。分析②では、道路管理に於ける道路除雪・凍結防止剤散布の様子を捉えることが可能であることを紹介し、現場道路状況が手に取る様に把握できた。従来の道

路雪氷情報は、点情報であったのが、線情報⇒面情報⇒更に動的情報へと拡張することが可能になったのである。要は情報の見える化である。

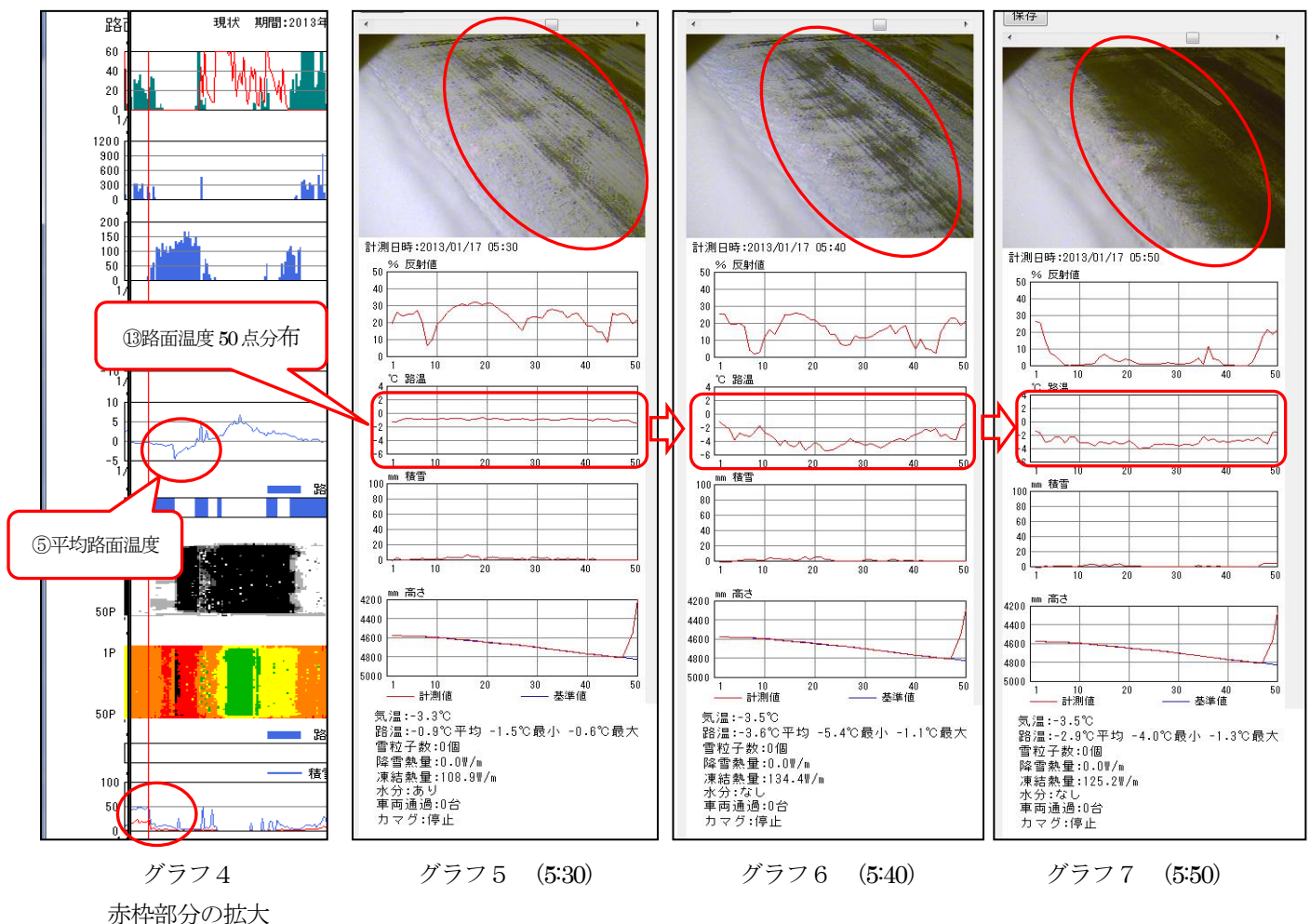
これらのデータを参考にすることで除雪出動タイミングを最適なタイミングで行なって、効率的に稼働することで経費削減が可能と思われる。また、凍結防止剤散布にしても、現場の状況がリアルタイムで把握できるので、散布タイミングと散布量の最適化が可能であり、剤の経費削減に繋がる管理となる。ジャストインタイム（必要なものを、必要なときに、必要なだけ）の考え方である。

一般国道と高速道路では、管理基準や管理体制に違いがあるが、どちらにしても現場の状況が手に取る様に把握できることが、冬期道路管理に対して最大の武器となり得る。

最後に、これらのデータをより分かり易く表示したり、通知機能を取り入れるなど総合的な冬期道路管理システムの構築を目指していきたい。

（参考文献）

- 1) 『道路の安全性を高める建設・管理の施策』村國 誠
雪国の視座、Ⅲ雪と技術、4. 克雪の技術、(1)道を守る
2001/7月 毎日新聞社
- 2) 『道路雪氷対策に必要な情報と活用』村國 誠
日本雪工学会誌、Vol.27、No.2 2011/4月



山間部における積雪分布の特徴

西原 照雅^{*1} 谷瀬 敦^{*1}

1. はじめに

積雪寒冷地では、春先の融雪水をダムに貯留して夏季にかけての水利用をまかなっており、積雪は水資源として重要である。一方で、融雪水は融雪出水や土砂災害といった災害の原因にもなる。このため、融雪が始まる春先にダム流域における積雪の分布や流域に分布する積雪の総量をできるだけ正確に把握することは、水資源管理及び防災の観点から非常に重要である。

山間部の積雪分布に関しては、1970年代頃から、調査者が厳冬期に直接入山して行う積雪調査が日本全国で行われてきた。例えば、山田ら¹⁾は北海道大雪山系の旭岳において調査を行った結果、樹林帯においては標高の増加とともに積雪深及び積雪相当水量が線形に増加することを報告している。また、森林限界以上の高標高帯においては、積雪深及び積雪相当水量と標高との間に、樹林帯において見られたような関係はなく、山田ら¹⁾は、高標高帯においては強い風が高頻度で吹いているため、積雪の堆積と剥離及び再堆積が活発に起こり、積雪は凹部では多く、凸部では少なく、全体として地表面の凹凸を平坦化するように堆積することを報告している。このような調査の積み重ねにより明らかになった積雪分布の特徴は、ダム管理の現場において活用されており、例えば、樹林帯における標高と積雪相当水量との関係は、春先に流域に存在している積雪の総量を推定する際の標準的な手法²⁾とされている。しかし、積雪調査は厳冬期に行われ、雪崩等の危険を伴うことから、調査可能な地点が限られており、得られるデータには限界がある。

近年、リモートセンシング技術が発達し、冬季に立ち入りが困難な範囲についても積雪分布を計測することが可能となった。中でも航空レーザ測量は三次元空間データを高密度にかつ高精度で得ることが可能な手法である。航空レーザ測量による積雪分布の計測例として、西原ら³⁾が北海道大雪山系において計測を行い、積雪深と地形との関係を分析した例が挙げられる。西原ら³⁾は、同一範囲を対象として2回（2012年3月及び2015年3月）実施した計測結果を基に、過去に積雪調査により解明した積雪分布の特徴を検証するとともに、森林限界以上の高標高帯においては、地表面の凹凸を表現するパラメタである地上開度の増加とともに積雪深が線形に減少することを報告している。さらに、計測年が異なる積雪分布の間に類似したパターンが見られたことを報告している。

本稿では、これまでに航空レーザ測量を用いて、山間部の積雪分布と地形との間の関係を分析してきた中から、実務に



図-1 積雪調査の様子
(国土交通省豊平川ダム統合管理事務所提供)

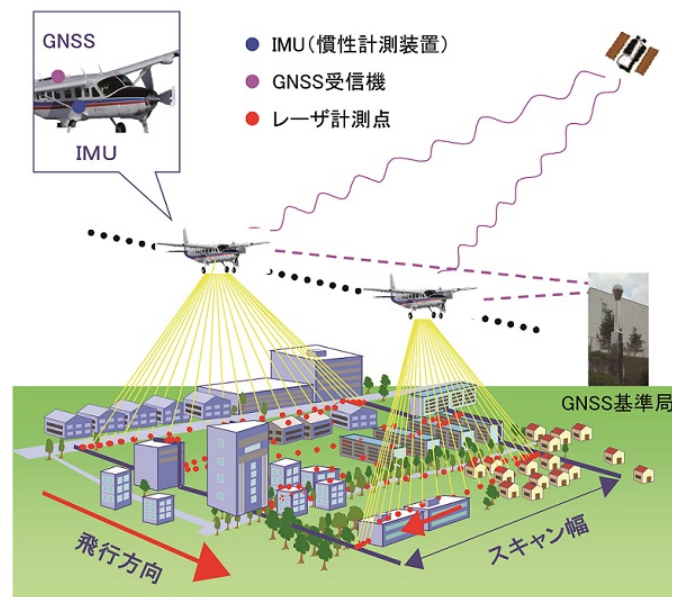


図-2 航空レーザ測量のイメージ⁴⁾

有用と考えられるものに絞り報告する。

2. 航空レーザ測量を用いた積雪深の算出方法

航空レーザ測量とは、図-2のように、航空機やヘリコプターに搭載したレーザスキャナから地上にレーザ光を照射し、地上から反射するレーザ光との時間差より得られる地上までの距離と、GNSS測量機、IMU（慣性計測装置）から得られる航空機の位置情報より、地上の標高や地形の形状を調べる測量方法である⁴⁾。

^{*1} 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

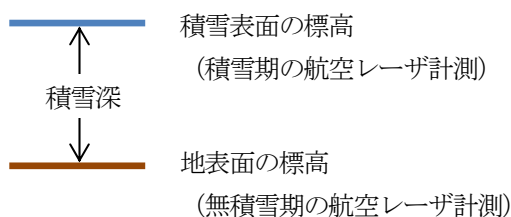


図-3 航空レーザ測量結果を用いた積雪深の計算方法

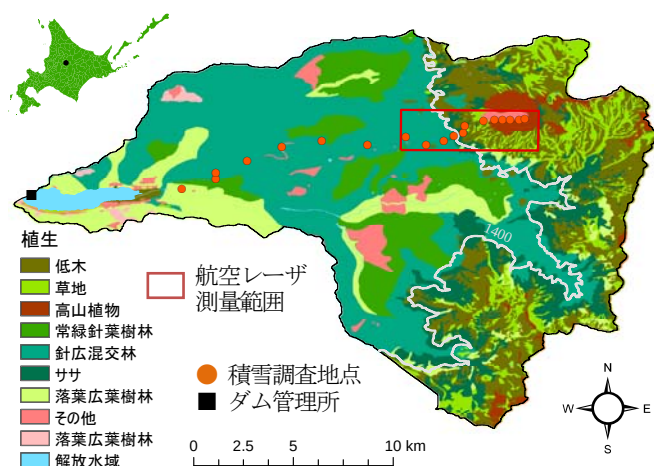


図-4 対象ダム流域 (忠別ダム)

レーザ光は、地表面（積雪期は積雪表面）だけではなく、樹木や建物からも反射して戻ってくるため、地表面（積雪期は積雪表面）のデータを作成する場合は、樹木等のデータを取り除き、標高のみのデータを作成する。

航空レーザ測量を用いて積雪深を求めるためには、無積雪期及び積雪期にそれぞれ航空レーザ測量を行う必要がある。無積雪期に行った航空レーザ測量から地表面の標高データを作成し、積雪期に行った航空レーザ測量から積雪表面の標高データを作成し、積雪表面の標高データから地表面の標高データを差し引いたものが積雪深となる。

3. 対象ダム流域

対象流域は図-4に示す忠別ダム流域である。忠別ダムは、石狩川水系忠別川流域の上流部に位置し、流域面積は239km²、流域の標高帯は400m～2,300m付近である。図-4には、環境省の自然環境保全基礎調査の結果を用いて10分類した植生を示している。図中の白線は標高1,400mの等高線であるが、標高1,400m付近を境に主たる植生が森林から草地やササといった森林以外に変化する。流域面積の約6割が樹林帯、約4割が森林限界以上の高標高帯である。

次に、分析に使用した資料を示す。航空レーザ測量は図-4の赤枠で示す範囲で実施した。測量範囲の面積は10km²、標高帯は1,100m～2,300m付近の主に西向きの斜面である。測量範囲の植生は標高1,450m付近を境に森林と森林以外に分かれ、

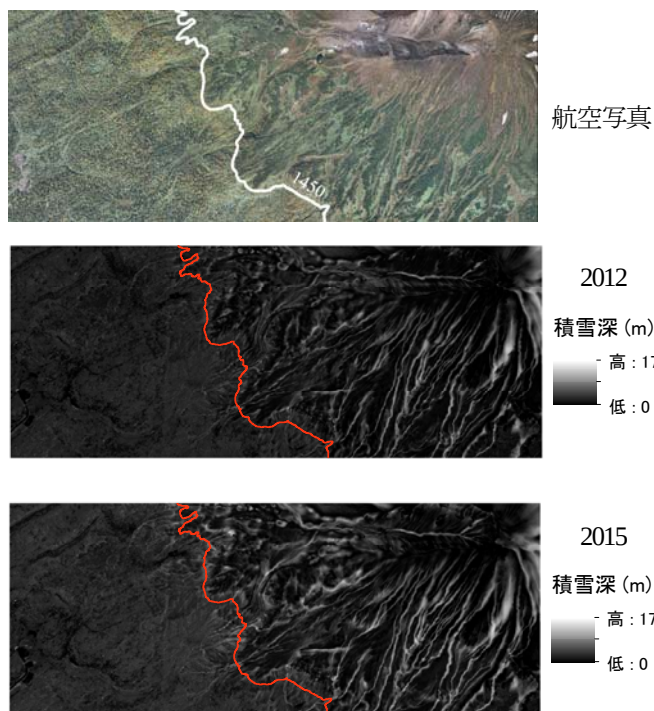


図-5 対象範囲の航空写真と計測された積雪分布

標高1,450m以上の範囲では、98%が森林以外である。航空レーザ測量は、無積雪期の2009年9月22日～25日、積雪期の2012年3月10日及び2015年3月27日に実施し、積雪深は積雪期及び無積雪期の二時期の標高差として求めた。データの水平解像度は5mである。積雪深の計測精度は±30cmである。計測した範囲においては、2012年と比較して2015年の積雪が多い。

4. 積雪分布の特徴

航空レーザ測量を用いて2012年及び2015年に計測した積雪分布を図-5に示す。図中の赤線は森林限界であり、赤線の左側が樹林帯、右側が森林限界以上の高標高帯である。両年の図を概観すると、樹林帯と高標高帯の積雪分布が異なること、樹林帯においてはほとんどが暗色であることから積雪深が小さく、狭い範囲に分布しているのに対し、高標高帯においては明暗が明瞭であることから積雪深が幅広く分布し、尾根に沿って積雪の少ない箇所、谷に沿って積雪の多い箇所が分布していることといった両年の積雪分布に同様のパターンが見られる。このような積雪分布の類似性に着目して、簡易かつ高精度に積雪分布を推定する手法が提案されている⁹⁾。

5. 標高と積雪深の関係

航空レーザ測量により得られたデータは約40万個あるため、そのままでは積雪深と地形との関係を捉えることが困難である。このため、標高25mピッチのように、幅を持った区間に区分し、この区間の平均積雪深を求め、地形因子との関係を考察する。図-6に標高と積雪深の関係を示す。標高は25mピッチで区分した。図に示した2012年及び2015年の積雪深を概

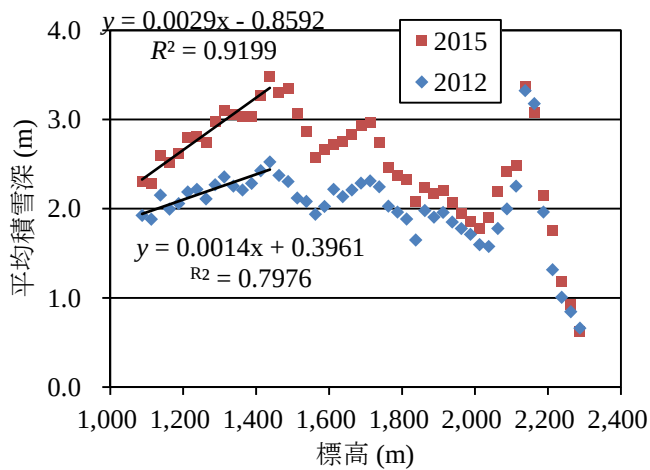


図-6 標高と積雪深の関係⁶⁾

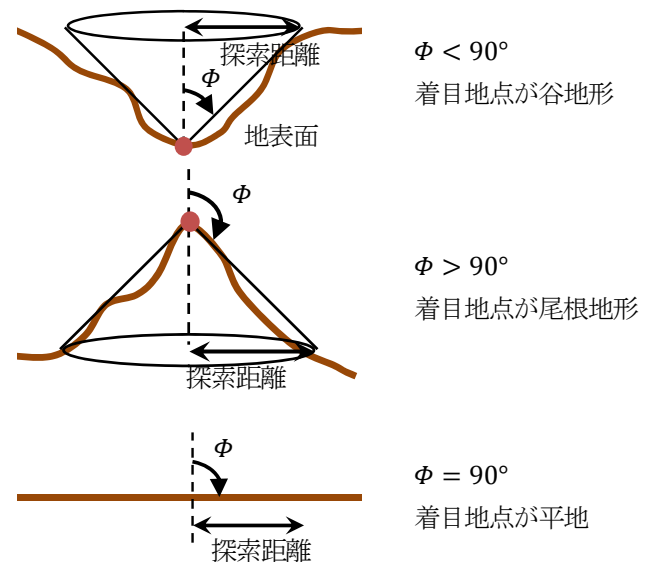


図-7 地上開度のイメージ

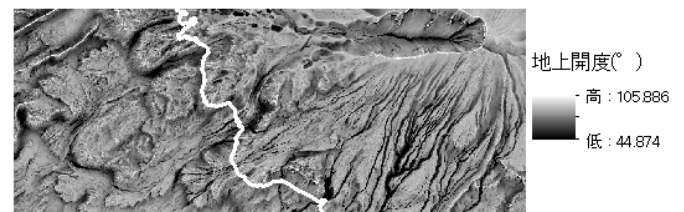


図-8 航空レーザ測量範囲の地上開度

観すると、標高に対する積雪深の増減の傾向がほぼ同一である。これは、4章において示したように、両年の積雪分布に同一のパターンが見られることが一因と考えられる。また、両者の差は、各年の積雪の多寡が反映されたものと考えられる。標高1,450mまでは樹林帯と対応し、この範囲では、既往の研究結果と同様に、標高と積雪深との間に線形的関係が見られる。図には線形回帰式を示しているが、決定係数は概ね0.8を超えている。標高1,450m以上は森林限界以上の高標高帯と対応し、積雪深が大きく変動している。

6. 地上開度と高標高帯の積雪深の関係

5章において示した通り、樹林帯においては、標高を指標として簡易に積雪深を推定できる。高標高帯においても積雪深を簡易に推定できる指標があれば実務上有用である。そこで、既往研究において、高標高帯における積雪深は地形の凹凸に関係することが示されていることから、地上開度を指標として積雪深との関係を分析した。ここで、地上開度とは、横山ら⁷⁾が開発した指標であり、着目する地点が周辺に比べて地上に突き出ている程度及び地下に食い込んでいる程度を数量化したものである。地上開度は、式(1)から求められる。

$$\Phi = (\phi_0 + \phi_{45} + \phi_{90} + \phi_{135} + \phi_{180} + \phi_{225} + \phi_{270} + \phi_{315})/8 \quad (1)$$

標高と積雪深との関係を分析するに当たり、標高を25mピッチで区分した。ここで、 Φ ：地上開度(°)、 ϕ_i ：着目する地点から、指定した探索距離以内で、方位 i° 方向の空を見ることができる天頂角の最大値(°)である。地上開度は、探索距離を指定でき、8方位の天頂角の平均値を求めるため、方位及び局所地形に依存しない指標である。探索距離は100mとした。地上開度のイメージは、図-7を参照されたい。図-8に航空レーザ測量を実施した範囲の地上開度を示す。これは、

国土地理院がWebで公開している基盤地図情報数値標高モデルを(水平解像度10m)用いて計算した無雪期の地上開度(地表面の地上開度)である。森林限界を示した白線より右側の高標高帯に着目すると、谷の地上開度が小さく、尾根の地上開度が大きくなっており、明暗がはっきりしている。

無雪期における地表面の地上開度と積雪深との関係を図-9に示す。積雪深は森林限界である標高1,450m以上の範囲を抽出し、地上開度を5°ピッチで区分して算出した平均値である。図を見ると、2012年及び2015年の両年とも、地上開度が大きくなるに伴い、積雪深が線形に減少している。線形式の傾きは、各年の積雪の多寡が反映されている。谷の積雪深が大きく尾根の積雪深が小さいことは、風による移動後の積雪分布の特徴であり¹⁾、航空レーザ測量により計測された積雪深は、風による移動後の再堆積分布であると考えられる。航空レーザを行った範囲においては、積雪期に気温が0°Cを超えることがほとんどなく、積雪は軽く乾燥している(いわゆるパウダースノー)状態であり、強風による積雪の剥離、移動及び再堆積が活発に起こる。強風により移動した積雪は、積雪が捕捉されやすい谷に堆積し、積雪を捕捉しにくい尾根にはほとんど堆積しないことを示している。

このことから、森林限界以上の高標高帯においては、地表面の地上開度と積雪深との間の線形的関係を用いて、簡易に積雪深分布を推定することが可能である。線形式の傾きは毎

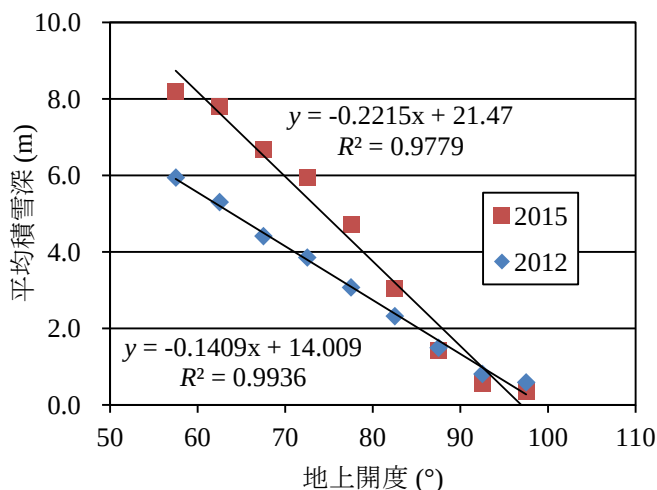


図-9 地上開度と高標高帯における積雪深の関係⁹⁾

年の積雪の状況により変化するが、地上開度が異なる複数の地点において積雪調査を行い、その結果を線形回帰分析することにより毎年の直線式を作成することができる。なお、国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルにおいて、日本全国の標高データが公開されており、これを用いることで地上開度を算出することが可能である。

7. 斜面方位と積雪深の関係

森林限界以上の高標高帯における積雪分布は風の影響を強く受ける。この影響を分析するため、樹林帯及び高標高帯毎に、16方位に区分して平均積雪深を算出した。図-10に示した樹林帯における積雪深の分布を見ると、2012年及び2015年の両年ともほぼ円形となっていることから、方位によらずほぼ均一の積雪深となっている。一方で、高標高帯における積雪深の分布を見ると、北東から南東にかけての積雪深が大きく、北西から南西にかけての積雪深が小さくなっており、方位による偏りが大きい。航空レーザ測量を実施した範囲において実測の風向風速が得られなかったため仮説になるが、冬の北海道の日本海側においては、風による積雪の移動が起こるような荒天時には、強い西風が吹く傾向があるため、この西風により積雪が剥離して移動し、再堆積した結果、風下側であり、積雪が堆積しやすい北東から南東にかけて（風背斜面）の積雪深が大きく、風上側であり、積雪が剥離しやすい北西から南西にかけて（風衝斜面）の積雪深が小さいといった積雪深の偏りが生じたと考えられる。

8. まとめ

航空レーザ測量を用いて積雪深分布を計測し、積雪分布と地形との関係を分析した結果、以下に示す積雪分布の特徴を明らかにした。

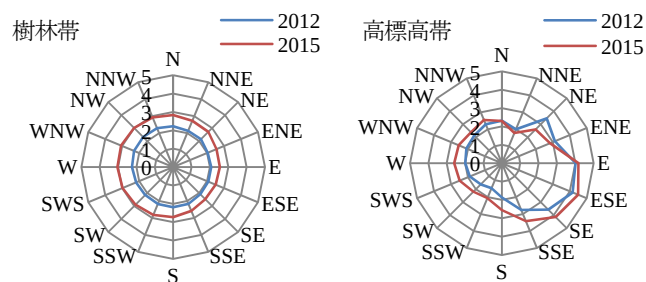


図-10 斜面方位と積雪深の関係⁹⁾

- ・ 樹林帯においては、標高の増加とともに、積雪深が線形に増加する
- ・ 森林限界以上の高標高帯においては、地上開度の増加とともに積雪深が線形に減少する
- ・ 森林限界以上の高標高帯においては、積雪期の主風向に対して、風上側の積雪深が小さく、風下側の積雪深が大きい

このような積雪分布の特徴を用いることで、実務において積雪分布を簡易に推定することができる。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、ワカサリゾート(株)旭岳事業部に測量場所を提供して頂いた。また、国土交通省忠別ダム管理支所にデータを提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 山田知充, 西村寛, 水津重雄, 若浜五郎: 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布と堆積・融雪過程, 低温科学物理篇 37, pp.1-12, 1979.
- 2) (独) 土木研究所寒地土木研究所: ダムにおける積雪包蔵水量推定ガイドライン(案), 2012.
(<http://www.ceri.go.jp/contents/center/center07.html>)
- 3) 西原照雅, 谷瀬敦: 2カ年の航空レーザ測量結果を用いた山間部における積雪分布と地形の関係に関する研究, 北海道の雪氷第35号, pp.131-134, 2016.
- 4) 航空レーザ測量: 国土地理院.
(http://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_index.html)
- 5) 西原照雅, 谷瀬敦: 積雪分布のパターンの類似性に着目した積雪分布の推定手法の検討, 土木学会論文集B1(水工学) (投稿中)
- 6) 西原照雅, 谷瀬敦, 渡邊和好: 森林限界以上の高標高帯における積雪分布と融雪・流出計算に適用する降雪分布について, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.72, No.4, I_475-I_480, 2016.
- 7) 横山隆三, 白沢道生, 菊池祐: 開度による地形特徴の表示, 写真測量とリモートセンシング第38巻4号, pp.26-34, 1999.