

14 安全で信頼性の高い冬期道路交通サービスの確保に関する研究

研究期間：平成 28 年度～33 年度

プログラムリーダー：寒地道路研究グループ長 三木雅之

研究担当グループ：寒地道路研究グループ（寒地交通チーム）、寒地保全技術研究グループ（寒地道路保全チーム）、技術開発調整監（寒地機械技術チーム）

1. 研究の必要性

人口減少、高齢化、財源不足等が全国的に大きな課題となっている。国土交通省では、新たな国土形成計画において対流促進型国土の形成を基本方針とし、地域・国土構造のコンパクト＋ネットワーク化を打ち出している。そのため積雪寒冷地では、冬期にも安全で信頼性の高い道路交通サービスを確保することが一層重要となっている。これまでは雪寒法を拠る所に冬期道路交通確保の取組がなされてきたが、財政悪化により行政がこれまでと同様に対応し続けることが困難になりつつあり、道路雪寒事業にはなお一層の効率化とコスト縮減が求められている。また、建設企業の経営体力低下による除雪機械の台数減と老朽化、さらにオペレータ人材の確保難等により、冬期道路を管理する体制を持続的に確保することも困難となっている。さらに、他地域と比較してスケールの異なる広域分散型構造を持ち、高齢化の進展が著しい北海道では、交通ネットワークの強化による地域間連携や地域間での機能分担が強く求められ、安全で信頼性のある冬期道路交通サービスの確保は必須である。

2. 目標とする研究開発成果

本研究開発プログラムでは、積雪寒冷地における安全で信頼性の高い冬期道路交通サービスの確保を支援する技術の開発をプログラム目標とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 費用対効果評価に基づく合理的な冬期道路管理水準設定技術の開発
- (2) 冬期道路管理の ICT 活用による省力化および除雪機械の効率的維持管理技術の開発
- (3) リスクマネジメントによる効果的・効率的な冬期交通事故対策技術の開発

3. 研究の成果・取組

「2. 目標とする研究開発成果」に示した達成目標に関して、平成 28 年度に実施した研究の成果・取組について要約すると以下のとおりである。

(1) 費用対効果評価に基づく合理的な冬期道路管理水準設定技術の開発

費用対効果による冬期道路管理水準の評価技術に関する研究では、冬期道路管理の費用対効果を定量的に評価する手法の構築を最終目標とし、平成 28 年度は冬期走行環境の推定手法の構築と冬期道路管理の費用対効果の評価ツールの開発に取り組んだ。冬期走行環境の要素である路面すべり抵抗値、道路有効幅員および路面平坦性のそれぞれの計測技術を 1 台の測定車両に搭載し、無積雪期および積雪期に走行試験を実施した。走行速度は冬期走行環境の悪化により低下し、その低下度合は路面すべり抵抗値や道路有効幅員の変化によって異なることを確認した。冬期道路管理の費用対効果評価ツールの開発に関しては、十分なデータ量ではないものの、冬期走行環境が走行性に及ぼす影響を分析した。走行速度の変化率はいずれの路線も路面すべり抵抗値および道路有効幅員の変化率の低下に伴いおおそ同じ度合で線形的に低下していることを示した。また、道路サービスに対する道路利用者の意見要望の集計・分析システムを試作した。

効果的な除排雪に資する作業計画支援技術に関する研究では、積雪寒冷地の地域特性に応じた道路幅員の見直しと除排雪作業の効率化による除排雪の作業計画支援技術の提案を目標としている。平成 28 年度は路肩堆雪の形成状況と交通流の変動に関する実査を行い、路肩堆雪生成時の路肩堆雪の幅員が大きくなるに従って、交通量－速度（Q-V）性能が低下することをデータにより取得した。また、運搬排雪データを活用した排雪断面積と排雪速

度の関係性を調査し、標準偏差を利用した相関検討手法が、排雪速度予測としての適用可能性があることを確認した。さらに、堆雪断面積の時間的変化の傾向を把握するため、気象状況や除排雪回数と堆雪形状の実測値から、路肩堆雪断面積の予測式を作成し、差異割合に違いはあるが、堆雪断面積を推計する予測式として適用できる可能性があることを確認した。加えて、模擬堆雪によるドライバーの視認性に与える支障度合いについて主観評価実験を行い、交差点内の堆雪の望ましい高さを把握した。

(2) 冬期道路管理の ICT 活用による省力化および除雪機械の効率的維持管理技術の開発

凍結路面对策の省力化技術に関する研究では、凍結防止剤散布オペレータの熟練度に左右されず、また運転手がオペレータをかねる作業形態でも安全で確実な凍結防止剤散布作業を可能とするための作業支援技術の確立に取り組む。平成 28 年度は、苫小牧寒地試験道路で実施した被験者実験のデータを用い、熟練度の違いによるオペレータの路面状態の認知・判断および散布操作状況を分析し、支援情報の提供による効果と課題を整理した。情報提供により、オペレータの熟練度にかかわらず主観的メンタルワークロードは減少し、認知・判断状況の改善に寄与することが確認された。しかし、情報提供の方法によっては前方の道路を注視する割合が著しく減少し、散布時の安全性確保が課題となることも確認した。

適切かつ効率的な除雪機械の維持管理技術に関する研究では、冬期の円滑な道路交通の確保に必要な道路除雪体制を維持するため、除雪機械の効果的かつ効率的な維持管理手法を提案することを目的としている。平成 28 年度は、除雪機械の稼働、故障データを収集して、故障の傾向を把握するとともに、除雪機械劣化度の定量的評価にむけて、信頼性評価手法である FTA の適応性を検討した。その結果、FTA は評価手法として有効であることを確認した。また、重要構成部品の 1 つであるフレームの劣化度を診断する手法として、塑性変形と相関がある硬さの測定の適応性を検討するため、フレーム鋼材を用いて基礎実験を行った。その結果、測定値のばらつきや誤差に留意することで、硬さ測定の適用性はあるといえる。

(3) リスクマネジメントによる効果的・効率的な冬期交通事故対策技術の開発

積雪寒冷地において冬期特有の気象および路面状態の悪化が交通事故の発生に与える影響は大きい。このため、冬期交通事故リスクマネジメントを行うためにはどのような気象・路面状態で交通事故発生リスクがどの程度増大するかを定量的に評価することは必要不可欠である。本研究では、交通事故データの分析・検索等に用いるための交通事故分析システムについて人身事故・物損事故および気象データの追加を行うとともに、冬期の路面状態悪化や交通事故発生に影響を与えていると考えられる日陰時間と交通事故発生率（事故率）の関係について、札幌市内の一般国道を対象として検証を行った。検証の結果、冬期は日陰時間が長い地点で事故率が大きくなる傾向にあり、日陰時間が 7 時間台となる地点の事故率は終日日向となる地点の約 3 倍であった。また、この傾向はカーブ区間で顕著であり、冬期の日陰時間が 6 時間台となるカーブ区間の事故率は終日日向となる直線区間の約 6 倍に達することが明らかとなった。

RESEARCH ON ENSURING SAFE AND RELIABLE WINTER ROAD TRAFFIC SERVICE

Research Period : FY2016-2021

Program Leader : Director of Cold-Region Road Engineering Research Group
MIKI Masayuki

Research Group : Cold-Region Road Engineering Research Group (Traffic Engineering and Snow and Ice)
Director for Col-Region Technology Development Coordination (Machinery Technology)

Abstract : Population declines, aging, lack of resources, etc. are a major issue nationwide. The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has adopted the basic policy of the formation of a convective promotion type of land in a new national land formation plan and has proposed compact plus network structure of regional and national land structures. Therefore, it is becoming more important to secure safe and reliable road transportation services in winter as well in snowy cold areas. In this research and development program, we set the following objectives with the program goal as the development of technology to support safe and reliable winter road traffic service in snowy cold areas.

- (1) Development of reasonable winter road management standard setting technology based on cost effectiveness evaluation
- (2) Labor-saving by utilizing ICT in winter road management and development of efficient maintenance technology for snow removing machine
- (3) Development of effective and efficient winter traffic accident countermeasure technology by risk management

In FY2008, we constructed the estimation method of the winter road environment, developed the evaluation tool for the cost effectiveness of the winter road management, grasped the relation between the snow cross sectional area and the snow removal speed. In addition, we analyzed the cognitive / judgment situation of anti-freezing agent operator, examined the effectiveness of FTA on snow removal machine deterioration degree evaluation, examined the relation between the road shade time in winter and the incidence of traffic accidents.

Key words : winter road management, service level, snow removing machinery, traffic accident risk, ICT

14.1 費用対効果評価に基づく合理的な冬期道路管理水準設定技術の開発

14.1.1 費用対効果による冬期道路管理水準の評価技術に関する研究

担当チーム：寒地道路研究グループ（寒地交通チーム）、技術開発調整監（寒地機械技術チーム）、寒地保全技術研究グループ（寒地道路保全チーム）

研究担当者：石田樹、大槻敏行、木村孝司、高橋尚人、牧野正敏、丸山記美雄、徳永ロベルト、住田則行、佐藤賢治、中島知幸、藤本明宏、佐藤信吾、村上和也、大浦正樹

【要旨】

本研究は、走行速度や旅行時間信頼性などの客観的指標とユーザー満足度などの主観的指標を基に、冬期道路管理における費用対効果の定量評価手法の構築を最終目標とする。平成 28 年度は冬期走行環境同時測定車両を開発するとともに、無積雪期および積雪期に走行試験を実施し、走行試験結果より冬期走行環境が走行速度に及ぼす影響を分析した。また、気象、冬期走行環境および意見要望の相互関係を明らかにするために、道路サービスに対する道路利用者の意見要望の集計・分析システムを試作した。

キーワード：冬期道路管理、費用対効果、冬期走行環境、ユーザー満足度

1. はじめに

積雪寒冷地域において、グランドデザイン 2050 の基本戦略にあるコンパクト＋ネットワーク化の推進には、冬期間の交通ネットワークの強化と機能確保が不可欠である。また、札幌市市政世論調査結果¹⁾において「除雪に関すること」が第 1 位であるように、積雪寒冷地域においては住民の冬期道路管理への要望が高い。冬期道路管理費の増加が見込めない実情に鑑みると、今後の冬期交通ネットワークの確保・強化および道路利用者の満足度向上には、資源やストックの再配分、すなわち一律の冬期道路の管理水準から道路の重要性やニーズに対応した格差ある管理水準の設定を促進させなければならない。

冬期道路では、降雪および低温によって路肩堆雪（雪山）による道路幅員の減少、凍結による路面のすべり抵抗値低下、路面の凹凸の増大、吹雪時の視程障害等が発生する。こうした冬期走行環境の悪化は走行性の低下²⁾や冬型事故の増加^{3) 4)}に繋がる。冬期走行環境は気象、交通、地形および道路維持作業の影響を受けて時空間的に複雑に変化し、この複雑な変化が適切な冬期道路管理の実施を難しくさせている。上述したように、冬期道路の管理水準に格差を設け、冬期道路の走行性やユーザー満足度の向上を図るには、冬期走行環境の評価技術と冬

期走行環境が走行性とユーザー満足度に及ぼす影響の評価技術が不可欠となる。ここでさらに、排除雪や凍結防止剤散布などの道路維持対策がもたらす冬期走行環境の改善効果を評価する技術があれば、道路維持対策、冬期走行環境の改善度合い、冬期道路の走行性やユーザー満足度の改善度合いの順で評価が可能になる。冬期道路の走行性の改善は旅行時間の短縮や旅行時間信頼性の向上として評価することにより貨幣換算できる。こうした一連の評価方法を体系的に確立することにより、投じた費用（道路維持管理費）に対するその効果（走行性の改善の貨幣換算額）を踏まえた道路維持管理、換言すれば費用対効果を考慮した道路維持管理の実施が期待できる。

そこで本研究では費用対効果による冬期道路管理水準の評価技術の確立を目指すこととした。

2. 研究実施内容

本研究では、総括課題の達成目標である「費用対効果評価に基づく合理的な冬期道路管理水準設定技術」を構成する技術として、客観的指標（走行速度・旅行時間信頼性）と主観的指標（ユーザー満足度）を用いた、冬期道路管理の費用対効果を定量評価する手法の構築を最終目標とする。この目標を達成するためには、本研究は



a. 連続路面すべり抵抗測定装置



b. 冬期道路有効幅員計測装置



c. 簡易型 IRI 測定装置

写真1 冬期走行環境の測定技術

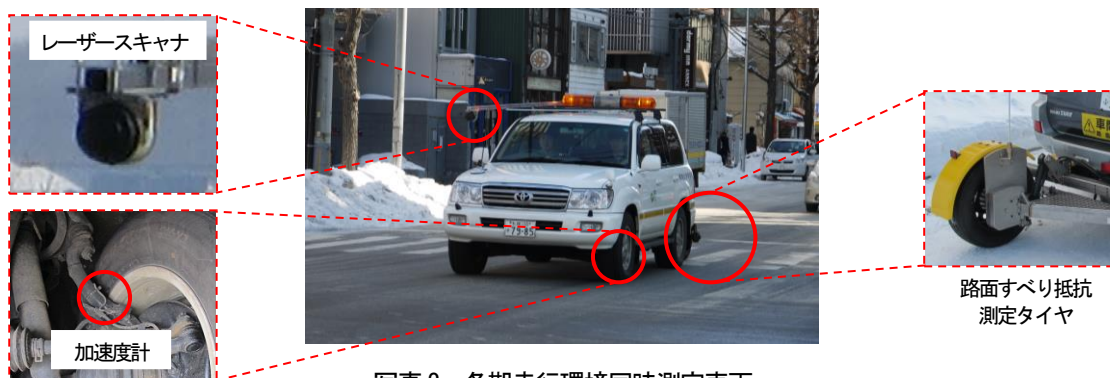


写真2 冬期走行環境同時測定車両

- ① 冬期走行環境の推定手法の構築
 - ② 走行速度、時間信頼性、ユーザー満足度の評価手法の構築
 - ③ 冬期道路管理の費用対効果の評価ツールの開発
- に大別される。平成 28 年度は、上記①および②について取り組んだ。次章以降では平成 28 年度の研究内容について記載する。

3. 冬期走行環境の推定手法の構築

3.1 既往研究とその課題

当研究所では、前中長期計画において車両に搭載して走行しながら連続して路面すべり抵抗値、路面平坦性および道路有効幅員（以下、冬期走行環境と総称）を計測する連続路面すべり抵抗測定装置（写真 1a）⁵⁾、冬期道路有効幅員計測装置（写真 1b）⁶⁾および簡易型 IRI 測定装置（写真 1c）⁷⁾を開発した。しかしながら、同写真からも分かるように、これらの計測技術はそれぞれ異なる車両に搭載されている。そのため、冬期走行環境のデータ取得には複数の計測車両の同時走行試験が必要になり、予算と時間的な制約を受け、これまでに得られたデータは十分でない。冬期走行環境が走行性とユーザー満足度に及ぼす影響を評価するには、様々な道路条件、交通量、冬期走行環境等におけるデータ蓄積が必要となる。

3.2 冬期走行環境計測車両の開発

本研究では、3.1 の課題を解決するために、冬期走行環境計測技術を 1 台の車両に集約した（写真 2）。

連続路面すべり抵抗測定装置は車両後部に取り付けた。本装置の路面すべり抵抗測定タイヤは車両進行方向に対して内側に 1~2°程度の角度を与えて牽引される。路面すべり抵抗値は走行により発生する試験輪と路面の間の横反力から算出される。路面すべり抵抗値は、HFN（Halliday Friction Number）と呼ばれ、開発者が独自に設定した指標である。HFN はタイヤ空転時を 0、乾燥舗装走行時を通常 80 から 100（路面温度に依存）となるように較正され、凍結路面のように滑りやすい路面では小さく、湿潤や乾燥路面のように滑り難い路面では大きくなる。なお、当研究所ではフルロック式路面すべり摩擦係数測定車と連続路面すべり抵抗測定装置を搭載した車両の合同走行試験を行っており、HFN と路面すべり摩擦係数との間には実験式が構築されている⁸⁾。

冬期道路有効幅員計測には、レーザースキャナを用いた道路有効幅員計測システムを使用した。この計測システムは、路面や堆雪を計測する「レーザースキャナ」、計測位置と時間データを取得する「GPS センサ」、計測箇所を撮影する「USB カメラ」と、これらの機器を接続する「ノート PC（独自開発した「道路有効幅員計測・解析

用ソフトウェア」搭載)」で構成される。

レーザースキャナは、車両のルーフキャリアに車両進行方向に固定したアルミ棒の前方先端に取り付け、道路横断面形状を計測する（写真1、2）。道路有効幅員は、計測された道路横断面形状から、解析用ソフトウェアにより、堆雪や道路構造物と車道路面の境界を自動で判別し算出される。このとき、堆雪や歩道と車道路面の境界を正しく判別できない場合や、並走車や障害物で正しく道路幅員を算出できない場合などの異常値を自動で無効とし排除することが可能である。

簡易型 IRI 測定装置は、道路の平坦性を表す指標として世界共通の国際ラフネス指数 IRI を測定する計測装置⁷⁾である。本装置は、車両のバネ上およびバネ下に加速度計を取り付け、上下加速度信号から車両に依存する振動を除去し、IRI を算定する。本計測車両では、加速度計を左前輪のバネ上およびバネ下にそれぞれ装着した。

3.3 走行試験

3.3.1 試験の概要

本年度は、冬期走行環境の計測技術の動作確認を兼ね

て、無積雪期および積雪期に走行試験を実施した。走行試験は、札幌市内の3路線を対象に平成28年11月21日（火）、平成29年1月31日（火）および2月28日（火）の3日間に亘って実施した。表1に対象路線の延長および道路条件を示す。なお、本試験における測定項目は路面すべり抵抗値と道路有効幅員である。

3.3.2 試験の結果

図1は予備走行試験の結果を箱ひげ図で示したものであり、上段に路面すべり抵抗値、中段に道路有効幅員、下段に走行速度をそれぞれ示す。箱ひげ図は、中に一つの横線を持つ箱とその前後に延びる線（ひげ）で構成させる。ひげの上下端は最大値と最小値を示す。箱の途中

表1 予備走行試験の対象路線概要

路線	対象延長	道路条件	
		車線	路肩
A	6.4km	対面片側2車	狭い
B	4.8km	対面片側2車	広い
C	2.7km	対面片側1車	広い

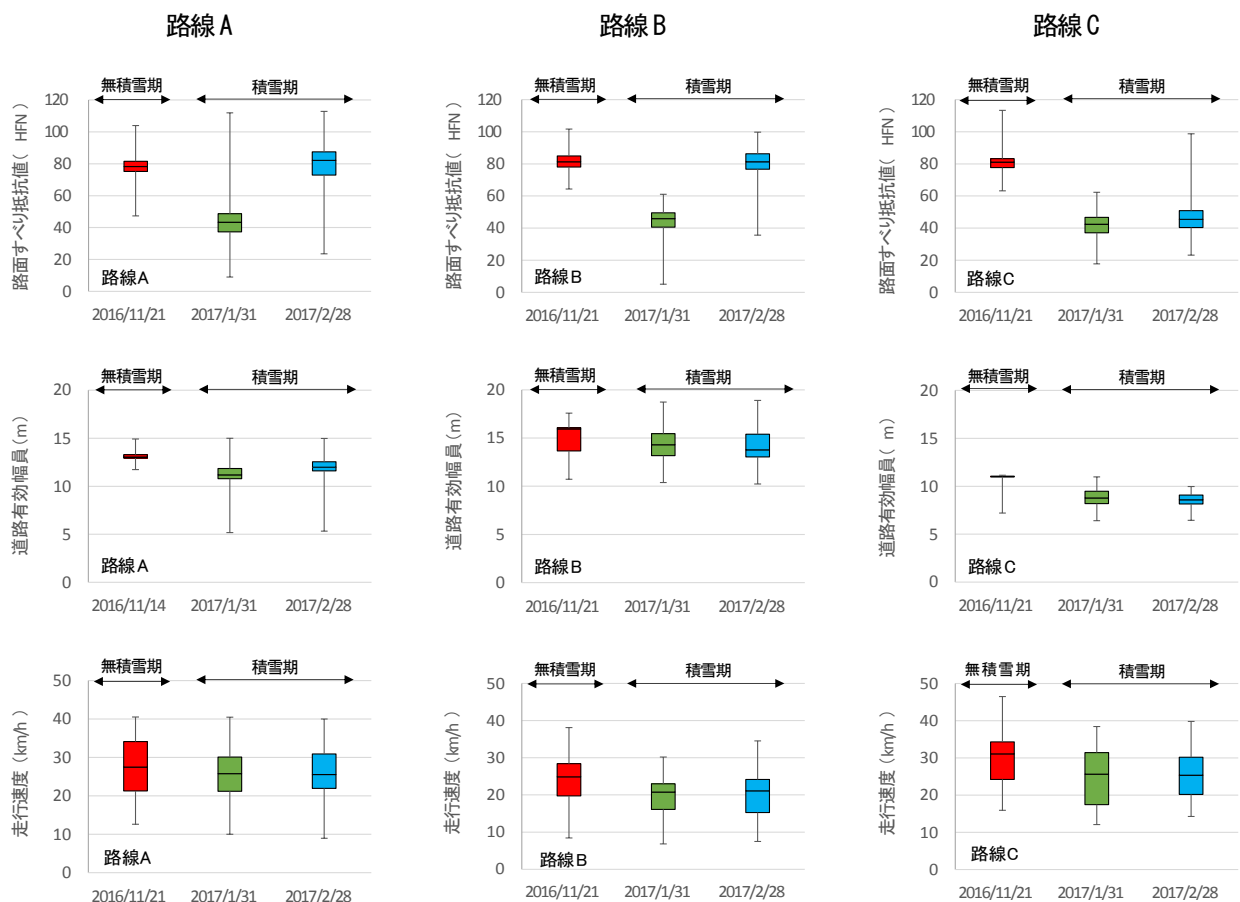


図1 走行試験の結果（上段：路面すべり抵抗値、中段：道路有効幅員、下段：走行速度）

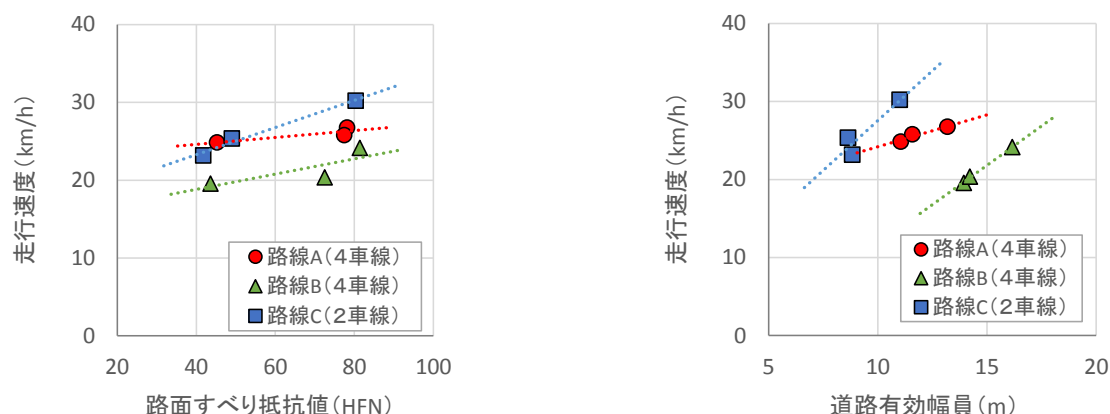


図2 冬期走行環境と走行速度の関係（左図：路面すべり抵抗値、右図：道路有効幅員）

の横線は中央値、箱の上下端は第三四分位数および第一四分位数である。第一四分位数とはデータの中で小さい方から 1/4、第三四分位数とはデータの大きい方から 1/4 にある数である。中央値はデータを大きさ順に並べた時の中心の値である。

路面すべり抵抗値については、いずれの路線でも無積雪期の中央値は 80 前後にある。2017/1/31（積雪期）の中央値は 40 近くまで低下した。一方、2017/2/28（積雪期）では、路線 A と B は無積雪期と同程度の 80 であるが、路線 C は 45 程度であった。積雪期における日時や路線における値の相違は、気象条件や道路維持作業の影響を受けて生じたと推察される。

次に、道路有効幅員については、無積雪期に対して積雪期の道路有効幅員は路線 A および B では 1～2 m 程度、路線 C では 2～3 m 程度狭くなった。

最後に、走行速度については無積雪期における走行速度の中央値は、路線 A、B および C でそれぞれ 28、25 および 31 km/h である。この相違は、交通量、車線数、信号の有無、路肩の広さなどが影響したと考えられる。積雪期における走行速度の中央値は無積雪期と比較していずれの路線も低い。積雪期中で 2017/1/31 と 2017/2/28 を比較すると、路線 B において走行速度は前者が後者に比べて僅かだが小さい。前者は後者と比較して道路有効幅員に大差がないものの、路面すべり抵抗値が 40 程度低い。このように走行速度は冬期走行環境の悪化を受けて低下し、その低下度合は路面すべり抵抗値や道路有効幅員の変化によって異なる。

4. 走行速度、時間信頼性およびユーザー満足度の評価手法の構築

4. 1 冬期走行環境が走行性に及ぼす影響分析

走行試験で得られたデータを基に、冬期走行環境が走行性に及ぼす影響を分析した。ただし、本年度に得られたデータ数が少ないため、本格的な分析や手法の構築は次年度以降に取り組む。

図2は冬期走行環境と走行速度の関係であり、左図に路面すべり抵抗値との関係を、右図に道路有効幅員との関係を、それぞれ示す。路面すべり抵抗値と、走行速度の分布域は路線によって異なるが、いずれの路線も走行速度は路面すべり抵抗値とともに低下した。道路有効幅員も同じ傾向にあり、分布域は異なるがいずれも道路有効幅員の減少に伴い走行速度が低下した。

図3は図2に示すデータ（路面すべり抵抗値、道路有効幅員および走行速度）について路線毎に平均値を求め、各データの値を平均値で除すことで平均値に対する変化率（ $R=A/A_{ave}-1$ 、 A ：データの値、 A_{ave} ：データの平均値）を求め図示したものである。同図より、走行速度の変化率はいずれの路線も路面すべり抵抗値および道路有効幅員の変化率の低下に伴いおおそ同じ度合で線形的に低下していることが分かる。

図2や図3より、冬期走行環境と走行速度の関係を定量的に評価することにより、冬期走行環境から走行速度を推定できる可能性が示唆された。

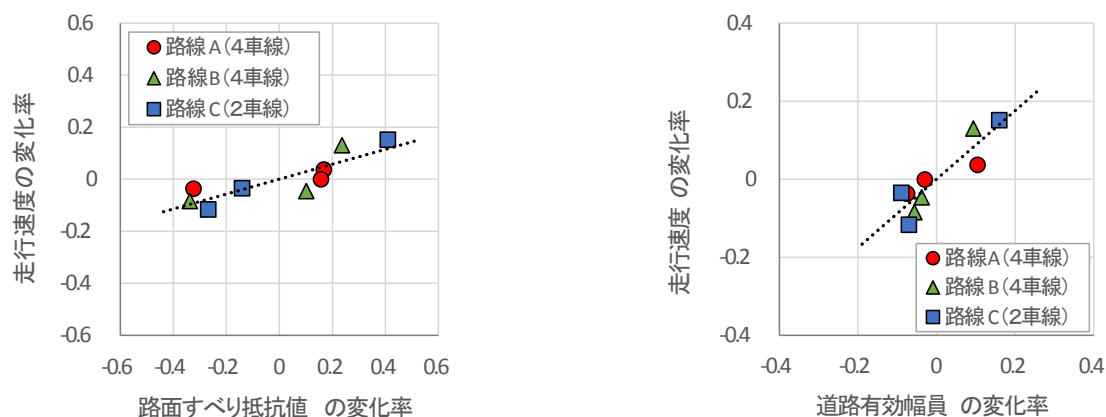


図3 冬期走行環境の変化率と走行速度の変化率との関係（左図：路面すべり抵抗値、右図：道路有効幅員）

4.2 道路サービスに対する道路利用者の意見要望の集計・分析システムの試作

道路管理者が作成・とりまとめ・管理する、道路利用者からの意見・要望について、当研究所で運用する冬期道路マネジメントシステム⁹⁾上での入力・管理を支援する機能を検討・試作した。管理項目は道路事務所へのヒアリングを基に案として、事務所、路線番号、受付日時、相手先、距離標開始・終了、維持作業、応急処理、完了日時など36項目を定めた。

本システムの特徴として、路線番号およびキロポストが入力された意見要望であれば、アイコンが地図上に表示される（図4）。また、アイコンは維持管理/応急処理で色分けされ、その内容によってアイコンの記号を変えて表示される。さらに、記号内の色で処理済か否かも判断できるように工夫した。加えて、冬期道路マネジメントシステムで提供している気象データと意見要望データを関連づけて分析できるように、両者を地図上で重ね合わせる機能を搭載した（図5）。本システムは、路面すべり抵抗値のモニタリング機能を有しており、上述の冬期走行環境同時測定車両で得られた路面すべり抵抗値を記録するとともに地図上にプロットして表示することができる。今後は路面すべり抵抗値と同様に、路面平坦性および道路有効幅員の計測結果をシステム上に図示する機能を追加する予定である。このシステムにより、気象データ、冬期走行環境データおよび意見要望データを照らし合わせて分析し、これらの相互の因果関係について検証を行うことが可能になる。このようにして気象、冬期走行環境、ユーザー満足度の因果関係を明らかにし、冬期

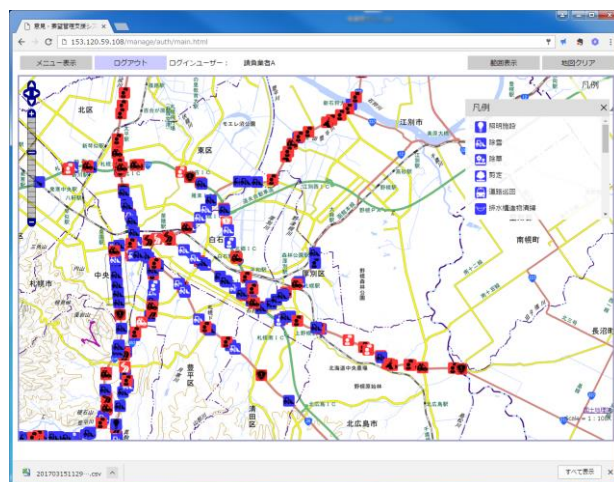


図4 道路利用者の意見要望の管理システムの表示例



図5 道路利用者の意見要望のマップ化（気象条件との重ね合わせ）

走行環境に関する客観的指標に加えてユーザー満足度の主観的指標も考慮して、冬期道路管理の効率化の促進を目指す。

5. まとめ

本研究は、冬期道路管理の費用対効果を定量的に評価する手法の構築を最終目標とし、平成 28 年度は冬期走行環境の推定手法の構築と冬期道路管理の費用対効果の評価ツールの開発に取り組んだ。

冬期走行環境の推定手法の構築に関しては、路面すべり抵抗値、道路有効幅員および路面平坦性のそれぞれの計測技術を車両 1 台に集約し、無積雪期および積雪期に走行試験を実施した。試験の結果より、走行速度は冬期走行環境の悪化を受けて低下し、その低下度合は路面すべり抵抗値や道路有効幅員の変化によって異なることを確認した。

冬期道路管理の費用対効果の評価ツールの開発に関しては、十分なデータ量ではないものの、冬期走行環境が走行性に及ぼす影響を分析した。その結果、走行速度の変化率はいずれの路線も路面すべり抵抗値および道路有効幅員の変化率の低下に伴いおおそ同じ度合で線形的に低下していることを示した。また、道路サービスに対する道路利用者の意見要望の集計・分析システムを試作した。

今後は、様々な気象、道路、交通および道路雪氷状態の条件下で繰り返し走行試験を実施し、冬期走行環境と走行性の関係についてより詳細な分析を実施するとともに、道路利用者の意見要望の集計・分析機能を組み込んだ冬期道路マネジメントシステムを用いて気象、冬期走行環境および意見要望の相互関係を分析する予定である。

参考文献

- 1) 札幌市：平成 27 年度札幌市市政世論調査報告書、p. 49、2016.2
- 2) 藤本明宏、徳永ロベルト、武知洋太、住田則行、丸山記美雄：道路複合雪害が走行速度に及ぼす影響評価、第 50 回土木計画学研究発表会、50、論文番号 154、2014.11
- 3) 安藤和彦、倉持智明：路面のすべり摩擦と路面管理水準及びすべり事故：土木技術資料、Vol.52-5、pp. 56-59、2010.5
- 4) 竹内政夫：冬の視界不良事故について ―交通事故統計からみる発生構造―、北海道の雪氷、No. 33、pp. 35-38、2014.9
- 5) 舟橋誠、徳永ロベルト、浅野基樹：連続路面すべり抵抗値測定装置 (RT3) の導入について、北海道の雪氷、No. 26、pp. 5-8、2007.9
- 6) 大上哲也、住田則行：道路有効幅員計測に関する試験報告について、北海道開発技術研究発表会、Vol. 55、2012.2
- 7) 中島繁則、川村彰、坂田光児、山崎元也、谷岡和範：高速道路の維持管理に向けた新小型 IRI 測定システムの開発、交通工学、Vol. 44、No. 2、pp. 49-56、2009.3
- 8) 徳永ロベルト、舟橋誠、高橋尚人：すべり抵抗値活用による冬期路面管理技術の高度化に関する研究、北海道開発技術研究発表会、Vol. 52、2009.2
- 9) 切石亮、徳永ロベルト、高橋尚人：冬期道路マネジメントシステムの試行運用について、北海道開発技術研究発表会、Vol. 55、2014.2

14.1 費用対効果評価に基づく合理的な冬期道路管理水準設定技術の開発

14.1.2 効果的な除排雪に資する作業計画支援技術に関する研究

担当チーム：技術開発調整監付（寒地機械技術チーム）

寒地道路研究グループ（寒地交通チーム）

研究担当者：大槻敏行、牧野正敏、高本敏志、村上和也、佐藤信吾
石田樹、高橋尚人、宗広一徳、高田哲哉、斎田光

【要旨】

本研究は、冬期道路における維持管理事業の計画立案支援を目的として、積雪寒冷地の地域特性に応じた道路幅員構成の見直しと除排雪作業の効率化による除排雪の作業計画支援技術の提案を行うものである。

平成 28 年度は、冬期道路における路肩堆雪の形成状況と交通流の変動に関する実査、運搬排雪データを活用した排雪断面積と排雪速度の関係性の把握、路肩堆雪の形成に関与する気象状況や除排雪回数と堆雪形状の実測値による堆雪断面積の時間的変化の傾向把握、模擬堆雪によるドライバーの視認性に与える支障度合いについての主観評価実験を行った。

キーワード：除排雪、道路幅員構成、路肩堆雪、作業計画支援

1. はじめに

冬期間の道路交通サービス低下の大きな要因の一つは、路肩堆雪による有効幅員の減少である。その要因を解消するために行われる運搬排雪作業は総除雪費の約3割を占める主要な工種であり、厳しい予算制約の下で、巻出し・拡幅・カットなど複数の工法を組み合わせで行われている。また、実施時期や工法は、除雪従事者の経験に依るところが大きく、さらには熟練者及び担い手不足のも課題もあり、実施時期や工法などに関する判断を経験に依存しないための定量的な指標が必要である。

一方、路肩堆雪と運搬排雪計画を考慮して道路幅員の再配分を行うことで、交通への影響を最小化しつつ除排雪事業のコスト縮減が図られる可能性がある。併せて、既存道路空間の有効活用は大きな行政ニーズとなっており、除排雪への考慮と同時に自転車走行空間確保のような夏期の利用方法の検討も必要とされている。

本研究では、冬期道路における維持管理事業の計画立案支援を目的として、積雪寒冷地の地域特性に応じた道路幅員構成の見直しと除排雪作業の効率化による除排雪の作業計画支援技術の提案を行うものである。

2. 研究実施内容

平成 28 年度は、冬期道路における路肩堆雪の形成状況と交通流の変動に関する実査と、過去 3 ケ年分の運搬排雪データの分析による路肩堆雪の排雪断面積と排雪速

度の関係性の把握を行った。また、過去 3 ケ年分の気象状況や除排雪回数と堆雪形状の実測値から、堆雪断面積の時間的変化の傾向を把握するとともに、路肩堆雪が通行車両の視認性に与える支障度合いについて、模擬堆雪を用いた主観評価実験を行った。

3. 路肩堆雪の形成と交通流に関する実測調査

3.1 調査方法

札幌市内の道道を対象とし、路肩堆雪の形成と交通流に関する実測調査を行った。調査場所及び調査期間は以下のとおりである。

- ・道道下手稲札幌線（札幌市西区発寒 14 条 11 丁目）
- ・平成 28 年 11 月～平成 29 年 2 月



図-1 調査対象道路の横断面構成

対象道路に設置した観測カメラの画像を取得し、画像解析ソフトウェア（View Reader）を利用して路肩堆雪時の堆雪幅と交通流に関するデータ取得を行った。対象道路の片側車線（内側車線幅員 3.0m、外側車線幅員 3.0m、路肩幅員 0.5m）について、堆雪幅及び交通量-速度（Q-V）のデータ整理を行った（図-1）。

3.2 調査結果

観測カメラから、画像を連続記録した。同画像から、調査期間中の毎日の路肩堆雪の形成状況について、読み取りを行った（図-2、図-3）。

調査期間中の画像から、路肩堆雪の形成状況を以下の



図-2 路肩堆雪の形成状況（堆雪幅 1.0m）



図-3 路肩堆雪の形成状況（堆雪幅 2.0m）

とおり分類した。

- ・路肩堆雪の幅員 $W=0.0\text{m}$ （乾燥路面：dry）
- ・路肩堆雪の幅員 $W=0.0\text{m} \cdot 1.0\text{m} \cdot 1.5\text{m} \cdot 2.0\text{m} \cdot 2.5\text{m}$ （雪氷路面：snow）

路肩堆雪時の幅員 $W=0.0\text{m}$ （乾燥路面）及び $W=0.0 \sim 2.5\text{m}$ （雪氷路面）における対象道路の内側車線及び外側車線における交通量-速度（Q-V）のデータを取得したところ、図-4 及び図-5 を得た。路肩堆雪の幅員が大きくなるに従って、Q-V のデータが低下することが示された。内側車線では、堆雪の幅員 1.5m を超えたときに渋滞域

のデータが観測された。外側車線では、堆雪の幅員 1.5m を超えるときの Q-V の低下が著しく、渋滞域のデータが観測された。

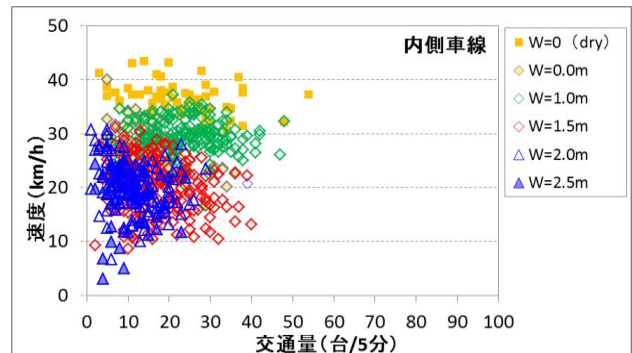


図-4 交通量-速度（Q-V）（内側車線）

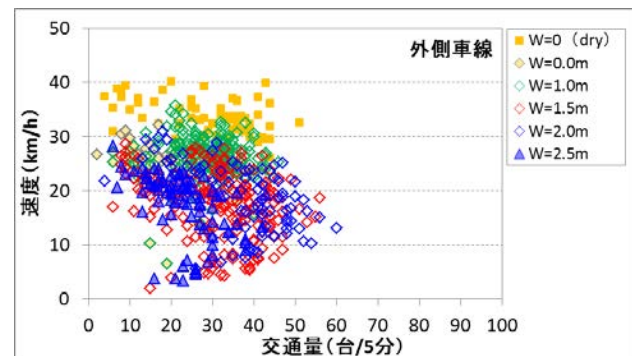


図-5 交通量-速度（Q-V）（外側車線）

4. 路肩堆雪部の効率的な除排雪工法の検討

除排雪の作業計画支援技術の検討にあたり、基礎となる、運搬排雪作業における排雪量と排雪速度の関係性の把握、及び路肩堆雪形成時における堆雪断面積推計方法の検討を行った。

4.1 排雪量と排雪速度の関係性把握

4.1.1 排雪断面積と排雪速度の算出

排雪量と排雪速度の関係を把握するため、国土交通省北海道開発局（以下、「開発局」とする。）札幌・旭川・小樽開発建設部管内の国道で行われた過去 3 ヶ年分（H25～H27）の運搬排雪データ（3,320 件）を収集した。そのデータを作業日毎の運搬排雪量、排雪作業延長等により整理し、調査対象データ（2,174 件）を抽出した。

調査対象とした作業日におけるロータリ除雪車の作業履歴データを開発局の除雪機械等情報管理システムから取得し、作業日毎の除雪車稼働状況をグラフ化した（図-6）。

作成したグラフから移動や休憩時間などの非稼働時間を判別し、排雪作業の開始・終了ポイントの時刻と距離

標 (KP) を読み取り、その間の作業時間、作業延長を算出した。さらに、算出した作業時間合計及び作業延長合計と、運搬排雪データより抽出した区間排雪量から、作業日毎の平均排雪断面積及び平均排雪速度を算出した。

算出した平均排雪断面積と平均排雪速度を集計した2,174件の算出結果一覧表の抜粋を表-1に示す。

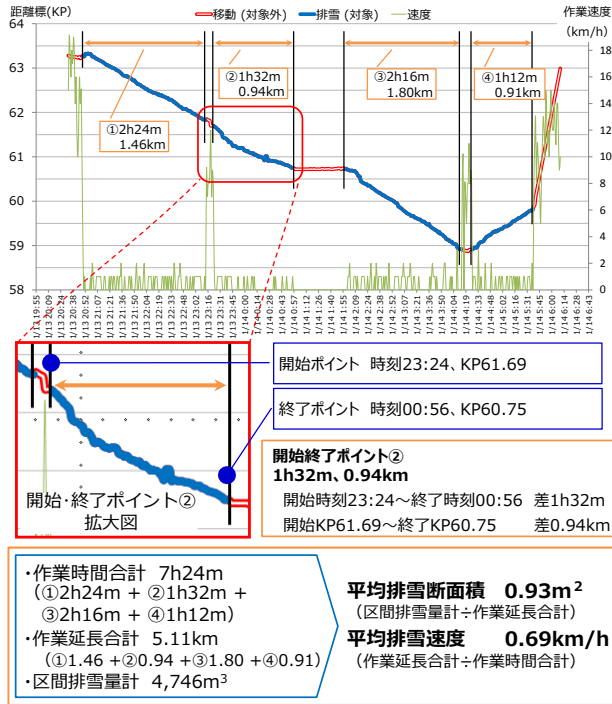


表-1 算出結果一覧表 (抜粋)

No	作業区分	機械種別	年度	平均排雪断面積 (m ²)	平均排雪速度 (km/h)
1	拡幅	2. 2m級	H25	27. 30000	0. 01655
2	拡幅	2. 2m級	H25	3. 50000	0. 04565
3	拡幅	2. 2m級	H25	2. 73115	0. 10958
4	拡幅	2. 2m級	H25	4. 72336	0. 12068
5	拡幅	2. 2m級	H25	2. 12258	0. 13191
6	拡幅	2. 2m級	H25	2. 60971	0. 19557
7	拡幅	2. 2m級	H25	2. 74132	0. 20617
～					
2173	巻出	一車線積込形	H27	0. 26168	1. 70066
2174	巻出	一車線積込形	H27	0. 20696	2. 13953

4.1.2 排雪量と排雪速度の相関検討

前項で算出した排雪断面積と排雪速度の関係性について確認するため、表-2に示す4種類の相関検討手法により重回帰分析を行った。

分析は、25の条件分類毎に相関係数を算出し、傾向把握を行った。

表-2 相関検討手法

手法	分析作業手順															
①	a. 条件分類毎の全データを分析															
②	a. 条件分類毎の全データの排雪断面積及び排雪速度の『平均値』に、『標準偏差』を加算減算した範囲にあるデータで分析															
③	a. 条件分類毎の全データで分析 b. 分析結果の予測値*の『平均値』に予測値*の『標準偏差』を加算減算した範囲にあるデータで分析 c. 相関が良くなるまで繰り返し、段階的にデータ範囲を絞る(相関が悪くなった時点で終了)															
④	a. 条件分類毎の全データで分析 b. 分析結果の予測値*の『平均値』に予測値*の『標準偏差の2倍』を加算減算した範囲にあるデータで分析 c. 相関が良くなるまで繰り返し、段階的にデータ範囲を絞る(相関が悪くなった時点で終了)															
備考	* 予測値 回帰式により求められる従属(目的)変数〔排雪速度(km/h)〕															
条件分類																
機械種別	全機種	2.2m級＋2.6m級			2.2m級			2.6m級			一車線積込形					
年度	H25	H26	H27	H25	H26	H27	H25	H26	H27	H25	H26	H27	H25	H26	H27	
作業区分	区分なし	1			2			－			－			3		
	拡幅	4			－			6			－			10		
								7	8	9				11	12	13
	巻出	5			－			14			18			22		
							15	16	17	19	20	21	23	24	25	

4.1.3 相関検討手法の分析結果

条件分類毎に相関係数を算出した結果、相関検討手法①と②では相関係数が全体的に低い傾向となったが、相関検討手法③と④では相関係数が高い傾向が確認された。相関検討の結果一覧を表-3、各手法の考察、及び表-2条件分類1(全機種・区分なし)に該当する分析事例を以下の1)から4)に示す。

表-3 相関検討の結果

相関係数 (R)	相関の度合い	相関検討手法①		相関検討手法②		相関検討手法③		相関検討手法④	
		件数	割合	件数	割合	件数	割合	件数	割合
0.7 ~ 1.0	高	4	16%	3	12%	7	28%	9	36%
0.5 ~ 0.7	中	5	20%	6	24%	18	72%	16	64%
0.4 ~ 0.5		2	8%	15	60%	0	0%	0	0%
0.3 ~ 0.4		4		0		0		0	
0.2 ~ 0.3	低	6	56%	0	4%	0	0%	0	0%
0 ~ 0.2		4		1		0		0	

※相関の度合い: 出典「社会調査の基礎」放送大学テキスト

1) 相関検討手法①

全データによる調査結果では、全体的に回帰式の相関係数は低い傾向となった。一部の条件分類では相関係数の高いものもあったが、排雪速度予測としての適用は難しいと考えられる(図-7)。

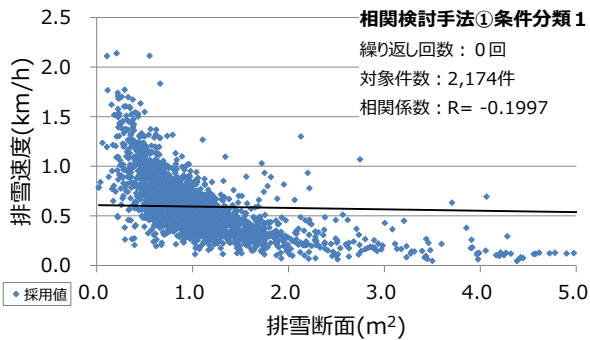


図-7 分析事例：相関検討手法①条件分類 1

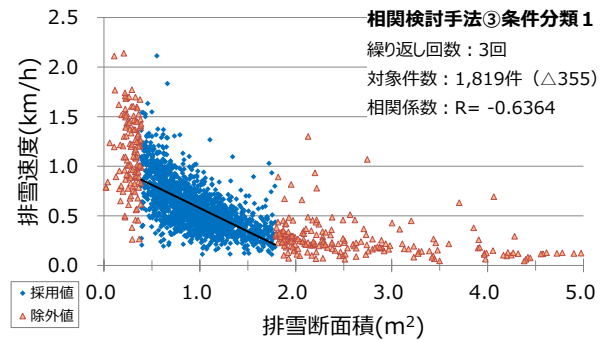


図-9 分析事例：相関検討手法③条件分類 1

2) 相関検討手法②

標準偏差の加算減算を加えることにより除外されるサンプルが多い（平均 29.2%）が、回帰式の相関係数に大きな向上は見られなかった。一部の条件分類では相関係数の高いものもあったが、上記相関検討手法①同様、排雪速度予測としての適用は難しいと考えられる（図-8）。

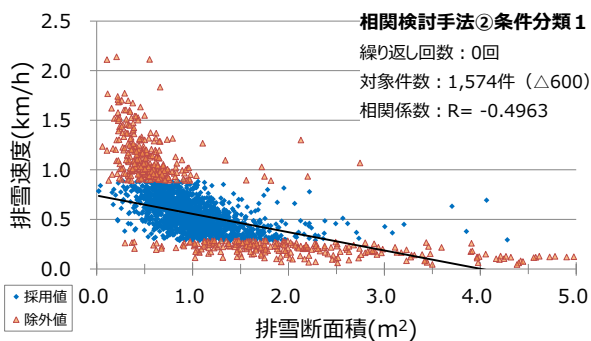


図-8 分析事例：相関検討手法②条件分類 1

3) 相関検討手法③及び④

相関検討手法②に比べ除外されるデータが少なく（③平均 9.0%、④平均 6.9%）、回帰式の相関係数は大きく向上した。全体的に相関係数が高い傾向となっており、排雪速度予測としての適用可能性が高いと考えられる（図-9、図-10）。

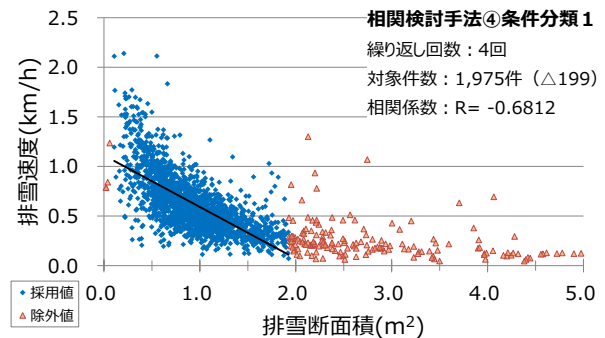


図-10 分析事例：相関検討手法④条件分類 1

4) 相関検討手法まとめ

本年度は、4相関検討手法×25条件分類、計100パターンの相関検討を行い、その中から相関検討手法③と④に適用可能性があることを確認した。

4.2 路肩堆雪の形成傾向把握

4.2.1 堆雪断面積の推計方法

路肩堆雪形成時における堆雪断面積推計方法の検討を行った。検討に当たっては、開発局札幌開発建設部管内の国道10地点（R5：4地点、R274：6地点）で現地計測した過去3ヶ年分（H25～H27）の路肩堆雪断面積の実測値と、気象庁HPから入手可能な気象データなどを用いて重回帰分析を行った。図-11に現地計測状況、表-4に重回帰分析内容を示す。



図-11 現地計測状況

表-4 重回帰分析内容

項目	内容	内訳
従属変数 (目的変数)	堆雪断面積	堆雪全断面積 車道部堆雪断面積
独立変数 (説明変数)	a. 24時間自動車類交通量 (センサス) b. 代表沿道状況	- DIDかつ商業地域 DID(商業地域を除く) その他市街部 平地部
	c. 車線数片側 d. 除雪一般(除雪回数) e. 拡幅積上(回数) f. 排雪巻出(回数) g. 降雪(累計降雪) h. 最深積雪 i. 現地平均気圧(hPa) j. 降水量(mm) k. 平均気温(°C) l. 平均湿度(%) m. 平均風速(m/s) n. 日照時間(h)	-

4.2.2 推計結果

独立変数 a から n の 14 項目の内、偏回帰係数の有意性検定の結果で、関与が低いと判定された 4 項目 (c. 車線数片側、i. 現地平均気圧、l. 平均湿度、n. 日照時間) を除外し分析を行った結果を表-5 に示す。

この分析結果では、分類②と分類⑥の相関が高い結果であるが、分析対象項目(独立変数: d. 除雪一般)を除外した分類③と分類⑦の結果も同程度の相関がある。予測式の簡素化の観点から、独立変数が少ない分類③と分類⑦を堆雪断面積を推計する予測式として選定した(表-6)。

表-5 分析パターン及び結果

分類	従属変数 (目的変数)	集計期間	独立変数 (説明変数)	重回帰係数 (R)	決定係数 (R2乗)
①	堆雪全断面積	計測期間毎	c, i, l, n を除く	0.7512	0.5643
②		累 計	c, i, l, n を除く	0.8185	0.6700
③			d. 除雪一般と c, i, l, n を除く	0.8181	0.6692
④			g. 降雪と c, i, l, n を除く	0.7902	0.6245
⑤	車道部 堆雪断面積	計測期間毎	c, i, l, n を除く	0.6996	0.4895
⑥		累 計	c, i, l, n を除く	0.7978	0.6364
⑦			d. 除雪一般と c, i, l, n を除く	0.7960	0.6336
⑧			g. 降雪と c, i, l, n を除く	0.7729	0.5973

表-6 分類③及び⑦の予測式

$$\text{堆雪断面積推定予測式 } y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b$$

変数	内 容	偏回帰係数	
		分類③ (全断面)	分類⑦ (車道部)
y	堆雪断面積	-	-
a ₁	24H自動車類交通量	-0.000034	-0.000026
a ₂	代表沿道状況	0.0065	0.0330
a ₃	拡幅積上	0.1885	0.3396
a ₄	排雪巻出	-2.1666	-1.4018
a ₅	降雪(cm)	-0.0098	-0.0072
a ₆	最深積雪(cm)	0.0802	0.0542
a ₇	降水量(mm)	-0.0157	-0.0263
a ₈	平均気温(°C)	0.0117	0.0187
a ₉	平均風速(m/s)	0.0020	0.0041
b	定数項	0.8937	0.5481

選定した予測式の精度を確認するため、予測式(2種類)×計測地点(10地点)×過去3ヶ年分(H25~H27)、計60件の比較グラフを作成し(表-7)、予測式から算出した堆雪断面積の予測値と、過年度の堆雪断面積の実測値を各地点毎に比較した。

各計測日毎の比較では、値の差異はあるが、予測値は実測値グラフの傾向と同様の軌跡を示している。堆雪全断面積と車道部堆雪断面積の比較グラフの例を図-12及び図-13に示す。

表-7 比較グラフ作成件数

分 類	地 点	年 度	件 数
③ 堆雪全断面積	R5 ①~④	H25, H26, H27	30
⑦ 車道部堆雪断面積	R274 ⑤~⑩		30
合 計			60

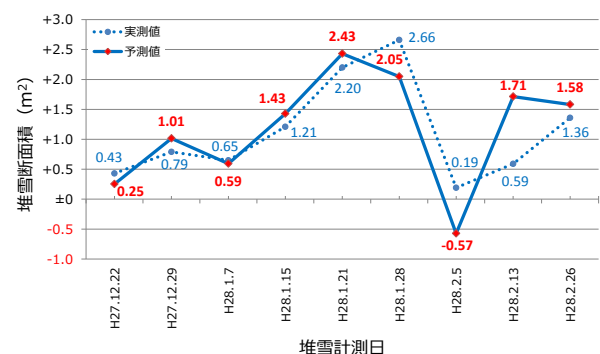


図-12 分類③(全断面積)による比較例
(H27、R5 地点②)

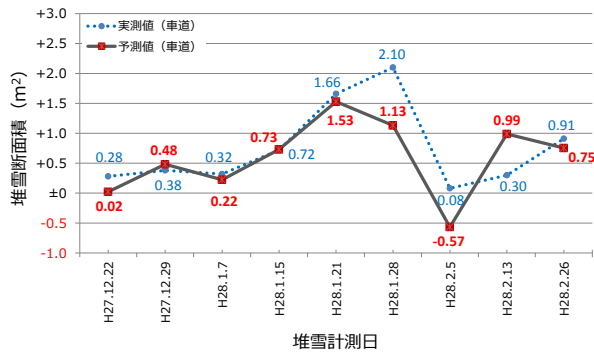


図-13 分類⑦（車道部）による比較例
(H27、R5 地点②)

計測日毎の実測値 190 件 (19 計測日 (H25:5 回、H26:5 回、H27:9 回) × 10 地点) の内、変数データの欠測等により算出できなかった 33 件を除いた 157 件を対象に、予測値の差異割合を確認した。結果を表-8 に示す。

表-8 予測値と実測値の差異割合

分類		分類③ 堆雪全断面積 平均			分類⑦ 車道部堆雪断面積 平均		
地点		H25	H26	H27	H25	H26	H27
計測回数		5回	5回	9回	5回	5回	9回
R 5	①	35.7%	-14.6%	6.7%	7.7%	16.0%	55.9%
	②	14.4%	141.9%	23.8%	33.8%	215.2%	8.0%
	③	27.7%	45.1%	21.5%	146.6%	310.7%	154.6%
	④	-16.9%	23.4%	-19.4%	15.8%	61.3%	25.7%
R 2 7 4	⑤	2.8%	69.8%	58.6%	0.0%	95.5%	97.9%
	⑥	-31.3%	-6.7%	-2.2%	-19.8%	11.0%	136.2%
	⑦	-12.8%	34.0%	94.0%	-28.4%	36.4%	272.9%
	⑧	39.5%	27.7%	28.6%	49.3%	64.0%	-3.2%
	⑨	11.9%	44.1%	51.1%	-30.4%	8.9%	28.4%
	⑩	-18.9%	21.2%	60.6%	-26.1%	-32.2%	784.1%

確認の結果、同一地点において年度による差異割合に違いがあった。また、同一年度においても計測地点で差異割合に違いがあることを確認した。

差異が発生する要因の一つは、分析に使用した気象データの観測地点と計測地点の位置の違いが考えられる。

差異割合に違いはあるが、堆雪断面積を推計する予測式として適用できる可能性があることを確認した。

5. 路肩堆雪が通行車両の視認性に与える支障度合い調査

5.1 路肩堆雪の影響に関する実験

路肩堆雪が大きくなると、ドライバーや歩行者の視界を遮るなど、交通の安全性や円滑性への影響が懸念される。除排雪の作業計画を立案するうえで、判断要素となる路肩堆雪の位置や高さがドライバーの視認性に与える支障度合いを定量的に把握するため、被験者参加による走行実験を行った。

5.1.1 実験概要

寒地土木研究所苫小牧寒地試験道路において、模擬堆雪を設置した十字交差点を被験者が実験車両を運転走行し、左折する場合の各堆雪がドライバーに与える支障度合いについて、主観評価を行った。なお、実験は、堆雪とドライバーの距離が近く、視界への支障度合いが大きいと考えられる左折の場合のみ行った。

5.1.2 堆雪

走行実験で用いる模擬堆雪は 7 箇所 (図-14) とし、高さは 1.0m、1.2m、1.5m とした。また、路面状況は乾燥及び湿潤で、模擬堆雪は木製の棒に白色のシートを取り付けることにより再現した (図-15)。

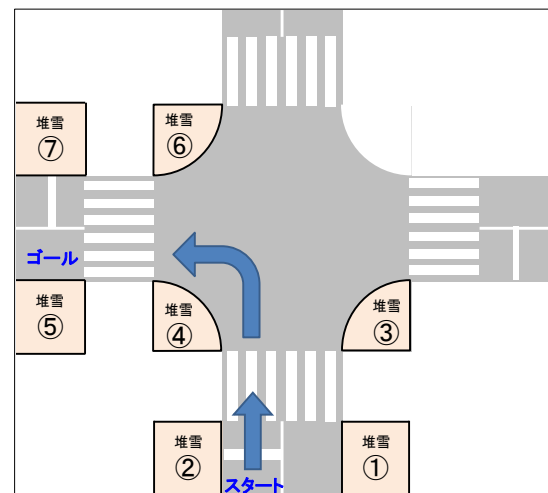


図-14 堆雪位置及び走行コース



図-15 堆雪の影響に関する実験状況

5.1.3 走行条件

被験者は実験車両（トヨタ カローラフィールダー）を自由走行により運転した。走行コースは、交差点手前20m からスタートし、信号のある交差点を左折した後、20m 先にゴールした（図-14）。また、被験者は同じ実験条件で5回連続して走行した。うち、1～2回は交差点内に他の走行車両もしくは歩行者がランダムに進入する条件で行い、他の走行車両や歩行者が来るかもしれないという意識を被験者に持たせた。

5.1.4 被験者

被験者は、運転初心者やペーパードライバーではない男女10名とした。全員が視覚に対する健常者で、年齢は30歳～60歳代、運転時の目線の高さは116cm～125cmの範囲であった。

5.1.5 主観評価

被験者は各堆雪高さにおいて、堆雪毎の支障度合いを主観評価した。評価には7段階評価のアンケートを用いた（図-16）。アンケートにより得られた評価（主観評価点数）は、被験者間の評価点数のバラツキを抑え堆雪毎の比較を容易にするため被験者毎に標準化（（個々の点数－平均）／標準偏差）し、さらに堆雪毎の全被験者の値を平均することで規準値を求めた。なお、規準値が高い（プラス方向）ほど走行する上での支障になり、逆に規準値が低い（マイナス方向）ほど支障にはならない主観評価結果となる。

0: 走行する上での影響度を雪堤毎にチェック（○）してください。


試験番号	被験者No.
堆雪① 1.5m	1 2 3 4 5 6 7
堆雪② 1.5m	1 2 3 4 5 6 7
堆雪③ 1.5m	1 2 3 4 5 6 7
堆雪④ 1.5m	1 2 3 4 5 6 7
堆雪⑤ 1.5m	1 2 3 4 5 6 7
堆雪⑥ 1.5m	1 2 3 4 5 6 7
堆雪⑦ 1.5m	1 2 3 4 5 6 7
	支障にならない  支障になる

図-16 堆雪の支障度合いアンケート表

5.1.6 主観評価の結果

主観評価の結果（図-17）、以下のことが考察される。

- 1) 交差点内にある堆雪④は他の堆雪に比べ、どの堆雪高さでも規準値が高い。堆雪④は、左折時のドライバーにとって、横断歩道を通行する歩行者に対する視認性に支障となる位置であるためと考えられる。
- 2) 堆雪の高さに伴って、規準値も高くなる。また、堆

雪高さ1.5mは、堆雪高さ1.0m及び1.2mに比べ規準値が特に高い。これは、堆雪高さ1.5mは、被験者の運転時の目線高さより高く、不可視範囲が広いためと考えられる。

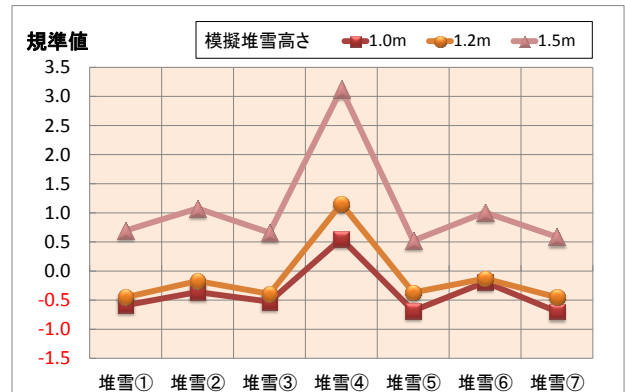


図-17 主観評価の結果

以上のことから、交差点内の堆雪は、ドライバーの視認性に支障となるため、ドライバーの目線高さ（被験者最低値116cm）より低い、概ね1.0m程度に抑えることが望ましいと考える。

6. まとめ

平成28年度に行った研究の結果、以下の成果が得られた。

- ・片側2車線道路の地方道を対象とし、冬期交通流の実査を行った。路肩堆雪生成時の路肩堆雪の幅員が大きくなるに従って、交通量・速度（Q・V）性能が低下することをデータにより取得した。
- ・排雪断面積と排雪速度の関係性を調査した結果、予測値の標準偏差を利用した相関検討手法が、排雪速度予測としての適用可能性があることを確認した。
- ・路肩堆雪の形成傾向把握を行うため、路肩堆雪断面積の実測値と気象データなどを用いて重回帰分析を行い、路肩堆雪断面積の予測式を作成した。差異割合に違いはあるが、堆雪断面積を推計する予測式として適用できる可能性があることを確認した。
- ・路肩堆雪の支障度合いに関する主観評価実験より、交差点内の堆雪の高さはドライバーの目線高さより低い1.0m程度に抑えることが望ましいと考える。

今後、夏期・冬期の道路横断面の利用に関する基礎データ取得を継続して道路横断面構成の再構築を検討するほか、新たなデータを加えた排雪速度の予測、気象データの見直しによる路肩堆雪断面積の推計、一般道での路肩堆雪の影響に関する主観評価を行う予定である。

14.2 冬期道路管理の ICT 活用による省力化および除雪機械の効率的維持管理技術の開発

14.2.1 凍結路面对策の省力化技術に関する研究

担当チーム：寒地道路研究グループ（寒地交通チーム）

研究担当者：石田樹、高橋尚人、徳永ロベルト、藤本明宏、中島知幸、佐藤賢治

【要旨】

現地での凍結防止剤散布は、熟練オペレータ（以下、オペ）が行っているが、少子高齢化による新たな人材の確保と育成が困難な状況にある。今後、このような人材難が更に進めば、作業経験のないオペが作業を行うに留まらず、運転手がオペを兼ねる作業形態が想定され、作業の確実性と安全性の低下が懸念される。

本研究では、オペの熟練度に左右されず、また一人乗車でも安全で確実な凍結防止剤散布作業を可能とするための作業支援技術の確立に取り組む。平成 28 年度は、試験道路における被験者実験の計測データを用いて熟練・未熟オペの路面状態の認知・判断および散布操作状況について分析し、情報有無・種別による効果や課題について整理した。

キーワード：冬期路面管理、凍結防止剤、オペレータ、散布作業、判断支援技術

1. はじめに

道路管理の効率化とコスト削減は、重要な課題であり、道路管理者による冬期の凍結防止剤散布に関しては、路面の「凍結が発生しやすい区間を対象とし、路面状況に応じて散布を実施」¹⁾している。そのため、現地での凍結防止剤散布オペによる路面状況の的確な判断が非常に重要である。このような中、近年は新たなオペを確保・育成することが困難²⁾になっており、現在作業に従事している熟練オペに頼らざるを得ない状況にある。また、これらのオペの高齢化も進んでおり、今後更に人材難やコスト削減が進めば、経験の浅いまたは経験のないオペが作業を行うに留まらず、運転手がオペレータを兼ねる作業形態（一人乗車体制による運転＋散布）が想定され、作業の確実性と安全性の低下が懸念される。

道路管理者による冬期路面管理作業（凍結防止剤散布）の判断は、除雪等に関するハンドブック³⁴⁾や冬期路面管理マニュアル（案）⁵⁾等に記されているように、当日の気象や現地の路面条件を把握し、これらを参考にしながら必要な区間において凍結防止剤の散布を行っている。具体的には、凍結防止剤を路線全線に散布するのではなく、凍結路面の発生しやすい箇所や凍結が発生した場合に交通障害の程度が大きくなる区間を重点管理エリアとして予め設定し、これらの箇所・エリアにおいて気象予報等に基づいた事前散布（凍結予防）や現地での目視確

認による事後散布（雪氷融解）を行い、作業の効率化に努めている。また、道路管理者は路面管理作業等に関するオペ向けのトレーニング等³⁾も適宜行っており、オペの技能向上・維持に努めている。しかし、最終的には現地でのオペが路面状態を随時判断しながら散布作業を行っているのが殆どで、その判断と作業の妥当性・説明性には未解明な部分が多い。

近年では、車載式光学路面状態判別センサーの利用や散布作業の自動化⁶⁾が試行されるなど、オペの判断・作業を支援する技術の検討が進められている。しかしながら、これらの技術は導入コストが高額等の理由もあり、普及まで進んでいないのが現状である。

本研究では、凍結防止剤散布作業においてオペの作業経験や熟練度に左右されず、かつ一人乗車体制でも安全で確実な凍結防止剤散布作業を可能とする支援技術の提案を目指す。

平成 28 年度は、オペの路面状態の認知・判断および散布装置の操作状況を計測した被験者実験のデータから、散布作業時の心理状態と挙動を分析し、オペの熟練度および情報の有無・種別（情報無し・音声のみ・画像のみ・音声＋画像）による変化や一人乗車体制を想定した技術的課題等について整理した。なお、上記被験者実験では、実験中の安全確保を徹底するために安全管理者を置いた。また、被験者には実験内容、安全確保に関する留意事項

および個人情報保護に関する詳細な説明を行い、文章による同意を得て実施した。

2. 研究方法

人間が行う仕事において、身体的活動が主となる活動であってもその活動は全て精神的負荷（メンタルワークロード：以下、MW）であるとされている。このMWの概念・用語はISO（国際標準化機構）⁷⁾において定義されている。

産業分野、航空分野、鉄道分野、自動車分野等では、過剰な負荷がかかるような課題内容や長時間に及ぶ単純・単調な課題はヒューマンエラーにつながり、作業効率の低下や事故の要因になるとして、作業中における人間の負担に関する様々な研究⁸⁾が既に行われている。この負担の把握・評価には、上記のMWが用いられている。特に、自動車運転中における運転者のMWに関しては、様々な研究が既に国内外で行われている^{9, 10)}。しかし、道路の維持管理作業に従事するオペについては、これらの課題処理能力をMWによって評価した例は筆者らの知る限り見受けられない。本研究では、凍結防止剤散布の現地作業判断支援技術の構築に向けて、凍結防止剤散布作業におけるオペの課題処理能力をMWによって定量化および評価することとした。

特定の課題を遂行する人間のMWは、主観的および客観的に評価可能であるが、それぞれには長所と短所があるため、両者を同時に用いて調べるのが望ましい。主観的評価は、被験者本人または第三者がある課題に対し自身の心理状態や被評価者の行動を報告するものである。これらは、ヒアリングやアンケート形式により、実験担当者が予め設定した評価尺度に基づいて主観的に評価してもらう方法が最も多い。他方、客観的評価法は、更に行動的評価と生理的評価の二つに分かれる。行動的評価は、被験者の挙動（反応時間、注視点、発声等）を指標として評価するものである。生理的評価は、被験者の心身反応（心拍、脳波、発汗等）を指標として評価するものである。本研究では、主観的評価法および客観的評価法の両者を用いて凍結防止剤散布におけるオペのMWを評価している。

2. 1 主観的評価法によるMWの把握

主観的評価法として、被験者本人によるアンケート形式を採用した。具体的には、Hartら¹¹⁾が開発したNASA-Task Load Index（以下、NASA-TLX）を評価指標として採用した。NASA-TLXは、精神的要求、身体的要

求、忙しさ、努力、達成度および不満度の6項目の評価尺度から構成されている。しかし、NASA-TLXは高度な知識を有する宇宙飛行士の主観的MWを測定するために開発されたものであり、一般のドライバー、建設作業員等を対象としたものではない。原形のNASA-TLXの評価プロセスや6項目の評価尺度を一般の被験者が理解するのは相当の時間が必要になる。Tokunagaら¹⁰⁾や芳賀¹²⁾は、6項目の説明を簡易化・具体化している。これらの既往研究を踏まえ、本研究においても凍結防止剤散布オペに分かりやすくするため、NASA-TLXの6項目の説明内容を改良した。表-1は、本研究に用いたNASA-TLXの6項目とそれらの説明内容を示す。被験者は、アンケート用紙において与えられた各課題に対して尺度の「小さい・大きい」、「少ない・多い」又は「良い・悪い」の両極を持つ6項目の線分上に、評定尺度によって○印で記入する。被験者が位置付けした○印は、分析時において0～10の数値に変換し、被験者の主観的な評価を数値化する。本研究では、6項目の評価尺度の平均値をNASA-TLX総合値とし、被験者の主観的MWの値として用いた。

表-1 NASA-TLXを構成する評価尺度とそれらの説明

項目名	極点	項目の説明
精神的要求	小さい・大きい	〇〇課題を実行中に、見る、聞く、状況判断する、考える等どれくらいの知的活動(頭の活動)が必要だったと感じたか
身体的要求	小さい・大きい	〇〇課題を実行中に、手・足・首などを動かす、ボタンを押す、まわりをさわる等どれくらいの身体的活動(体の活動)が必要だったと感じたか
忙しさ	小さい・大きい	〇〇課題を実行するにあたって、作業の頻度や速度から感じた時間的圧力がどの程度だったと感じたか
努力	少ない・多い	与えられた〇〇課題の達成・維持にどの程度がんばったと思うか
達成度	良い・悪い	与えられた〇〇課題に対する自分の達成目標について、自分はどの程度成功したと思うか
不満度	少ない・多い	与えられた〇〇課題を実行中に、イライラ、不安、落胆、ストレス、悩み等をどの程度感じたか

2. 2 客観的評価法によるMWの把握

凍結防止剤散布作業におけるオペの認知・判断・操作時における被験者の挙動を計測した。具体的には、予め指示した凍結防止剤散布区間に対して、被験者が前方の

散布すべき区間を認知した地点、散布を開始および終了した地点を計測するとともに、路面状態に応じた散布量の設定状況を計測した。また、アイトラッキング装置を用いて被験者の視線挙動も計測した。更に、車内に設置したタブレット端末を介して路面状態等の情報を音声のみ、画像のみおよび音声+画像による3つの方法で被験者に提供し、熟練度と情報の有無・種別が及ぼす認知・判断・操作の違いとその度合いを調べた。

2.3 調査方法

被験者実験は、厳冬の夜間（18:00～23:00）3日間において、寒地土木研究所が所有する苫小牧寒地試験道路で行った。実験期間中は冬日で概ね晴れだった。当該試験道路は、延長 2,700m の長円形周回路で、アスファルト舗装された直線部2区間（片側2車線区間 1,200m、片側1車線の 1,200m）および半径 50m の曲線部2区間によって構成されている。各車線の幅員は 3.5m であり、直線部は 2%の横断勾配を有する。なお、当該試験道路の周回路には街路灯等の人工照明はない。

2.3.1 被験者

被験者は、全員が建設作業員で、未熟オペ7名（平均年齢 43.0 歳、全員散布作業歴なし）および熟練オペ 12 名（平均年齢 57.3 歳、平均散布作業歴 7 年）の計 19 名とした。全ての被験者が男性で自動車運転免許保有者であった。

2.3.2 実験車両および計測装置

本実験には、試験車両に2トントラックを用いた（写真-1）。なお、当該車両は実験補助員が運転した。

助手席に搭乗した被験者の行動を計測するため、凍結防止剤散布制御装置を模した液晶タッチパネル（以下、操作パネル）を車内ダッシュボード前（助手席右前方）に設置し、電源ボタン、散布量設定ボタンおよび散布 ON・OFF ボタンを画面上に表示して被験者がこれらを画面タッチで簡単に操作できるようにした（写真-2 および図-1）。散布操作パネルに表示された各ボタンの操作は、GNSS を搭載する記録装置に 10Hz で記録収集した。

実験コース走行時における被験者の視線挙動は、写真-3 に示すアイトラッキング装置を用いて高画質ビデオ画像（1,920×1,080 ピクセル）および被験者の注視点を 30Hz で計測記録した。

2.3.3 車載情報端末

被験者に前方の路面状態等の情報を提供するため、車載情報端末（7 インチタブレット）を助手席左前方に設

置し、実験コース内に敷設した湿潤・凍結路面区間の起点の約 200m 手前から情報提供を開始するアプリケーションをインストールした（図-2）。当該アプリケーションには、予め設定した実験コースのレイアウトに従って路面状態の測位等を組み込み、コース内において前方の



写真-1 実験に用いた試験車両



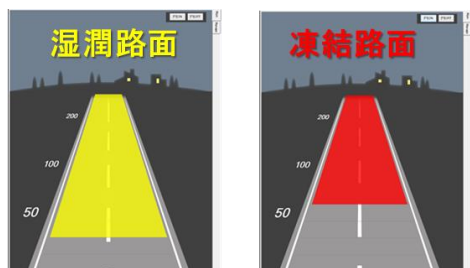
写真-2 試験車両の助手席付近に設置した各機器



図-1 操作パネル上の表示ボタン



写真-3 アイトラッキング装置



<路面状態の表示色>

■ 湿潤 ■ 凍結

<路面状態別警告音>

湿潤: (200m前)プ・・・(100m前)プッッ(50m前)プブブ(0m前)プー

凍結: (200m前)ピ・・・(100m前)ピッピ(50m前)ピビビ(0m前)ピー

図-2 車載情報端末による路面状態の情報提供例

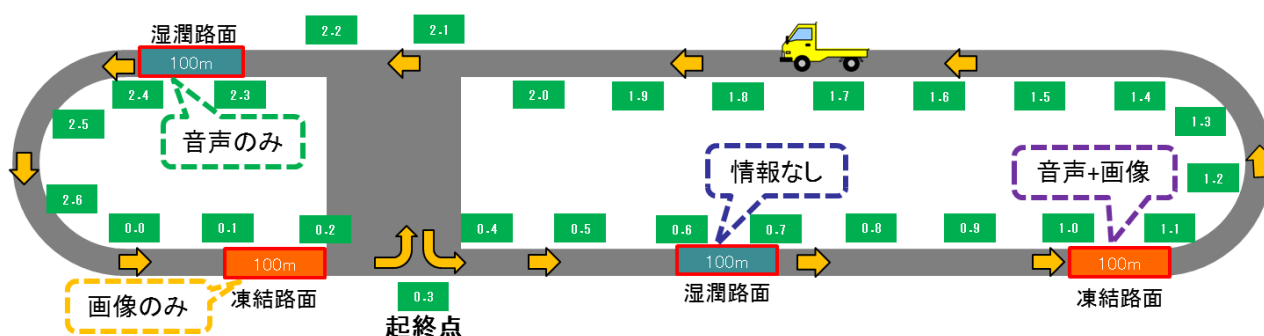


図-3 実験コースにおいて敷設した湿潤・凍結路面区間および情報有無・種別レイアウトの一例

凍結・湿潤路面の存在を各情報提供方法の何れかで被験者に伝えた。

2.3.4 実験コースと走行方法

本実験は、前述の苫小牧寒地試験道路周回路2,700m全区間を実験コースとして使用し、試験車両は実験コースのKP0.3付近を起終点に反時計周りで周回路を約40km/hで走行した（図-3）。

実験コースの路面状態は、乾燥路面を主とした。実験コース内には、100mの湿潤路面および凍結路面を各2区間（計4区間）敷設し、被験者はこれらの区間において散布作業を行った。なお、湿潤路面・凍結路面の配置は、毎日無作為に変更した。

情報端末による路面状態の情報提供は、上記4区間中3区間で行われ、各々の区間において異なる情報提供方法を採用した。残りの1区間は、情報無しとした。また、同4区間における情報無しおよび3つの情報提供方法の配置についても毎日無作為に変更した。

被験者には、実験コース内走行時に前方の路面状態を常に観察し、前方に凍結または湿潤路面を認知次第、速やかに散布操作パネルの電源ボタンを押し、散布量を設定するよう指示した。この時の凍結防止剤散布量設定は、湿潤路面で20g/m²および凍結路面で30g/m²とした。なお、路面状態の判断が的中か否かの判定は、路面状態に

応じて正しい散布量でセットされていた中とした。次いで、湿潤・凍結路面区間の起点・終点で散布ON・OFFボタンを操作するものとした。なお、上記課題遂行において車載情報端末から前方の路面状態等に関する情報提供があった場合は、これを参考にして良いこととした。

2.3.5 実験手順

被験者は、被験者待合室にて実験担当者から配布された質問用紙に氏名、運転歴、年間走行距離、散布オペ経験の有無（有の場合は年数）等を記入した後、本実験の目的、実験内容、実験手順、個人情報保護に関する事項および安全確保に関する留意点について文章および口頭で説明を受け、実験協力承諾書用紙に同意の署名をした。また、本実験では熟練度による差を明確にするために、熟練オペは試験実施前に予め用意した周回路のビデオ映像を数回観て走行経路等を覚えた。

次に、被験者にアイトラッキング装置の装着と散布装置の操作方法等を確認した後、実験コースの起点から終点に向けて前節の課題を遂行しながら周回路を一周した。

走行終了後、被験者は被験者待合室に戻り、本実験で課せられた課題に対する主観的MW評価方法について説明を受けた後、散布作業によって被験者自身が感じた主観的MWを質問用紙に記入した。

3. 実験結果

3. 1 主観的 MW

表-2 は、熟練度別および情報有無・種別による認知距離、散布開始距離および散布終了距離の標本数、平均値、標準偏差（以下、 σ ）等を示している。また、図-4 は熟練度別および情報有無・種別による未熟オペおよび熟練オペの主観的 MW の結果を箱ひげ図で示している。なお、本文内の箱ひげ図は、主観的 MW 全データの百分位数（以下、パーセンタイル）で表したもので、箱の下端は全データの 25 パーセンタイル、上端は 75 パーセンタイルおよび箱の中の線は 50 パーセンタイルを示す。箱から延びるひげの端は箱の幅の 1.5 倍以内にある最小値・最大値までの距離を示す。最小値以下・最大値以上の値は、はずれ値を「○」で表し、異常値は「*」で示す。

表-2 熟練度別および情報有無・種別主観的 MW

被験者	情報有無・種別	主観的 MW			
		標本数	平均値 (点)	中央値 (点)	標準偏差 (点)
未熟オペ (7人)	情報無し	7	6.3	6.7	1.7
	音声のみ	7	4.0	4.6	1.2
	映像のみ	7	3.2	3.2	1.2
	音声+画像	7	1.3	1.3	0.8
熟練オペ (12人)	情報無し	12	5.5	6.0	1.6
	音声のみ	12	3.5	3.7	1.1
	映像のみ	12	1.9	1.8	1.1
	音声+画像	12	1.2	1.2	1.2

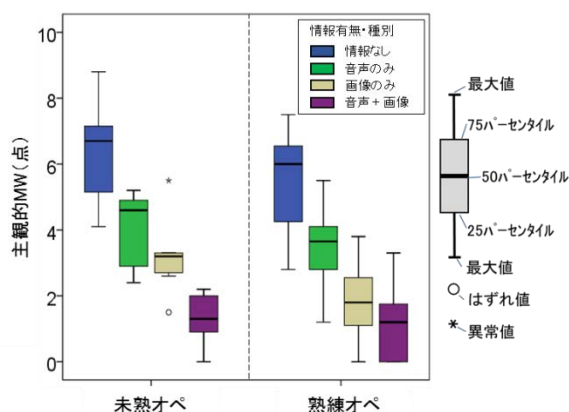


図-4 熟練度別および情報有無・種別主観的 MW

情報無しの平均主観的 MW は、未熟オペが 6.3 点 ($\sigma=1.7$ 点) および熟練オペが 5.5 点 ($\sigma=1.6$ 点) となり、未熟オペ・熟練オペともに主観的 MW が最も高かった。特に、未熟オペの主観的 MW は、熟練度および情報有無・種別の中で最も高い値となった。また、音声のみの平均主観的 MW は、未熟オペが 4.0 点 ($\sigma=1.2$ 点) および熟練オペが 3.5 点 ($\sigma=1.1$ 点) となり、情報提供によっ

て未熟オペ・熟練オペ両者の主観的 MW が軽減した。更に、画像のみの平均主観的 MW は、未熟オペが 3.2 点 ($\sigma=1.2$ 点) および熟練オペが 1.9 点 ($\sigma=1.1$ 点) となり、両者の主観的 MW が音声のみの時より更に低下した。最後に、音声+画像の平均主観的 MW は、未熟オペが 1.3 点 ($\sigma=0.8$ 点) および熟練オペが 1.2 点 ($\sigma=1.2$ 点) となり、未熟オペ・熟練オペともに主観的 MW が情報有無・種別の中で最も低下した。特に、未熟オペの主観的 MW は、情報無しからの減少幅が 5.0 点と熟練オペの減少幅 4.3 点に比べて大きかった。

熟練度および情報の有無・種別による主観的 MW の有意差を調べるため、両側検定による分散分析（以下、分散分析）を行った。その結果、熟練度間で有意差 ($F(1, 76) = 4.875, p < 0.05$) が認められ、また情報有無・種別でも有意差 ($F(3, 76) = 42.971, p < 0.05$) が示された。また、Tukey の正確有意差 (HSD) 検定による認知距離の多重比較（以下、多重比較）では、未熟オペ・熟練オペともに情報無しと 3 つの情報提供方法の間で主観的 MW が有意に軽減することを確認した ($\alpha=0.05$)。

以上の結果から、熟練度による変動やばらつきに差はあるが、情報提供による主観的 MW の軽減効果は未熟オペ・熟練オペともに著しく、この中で音声+画像による主観的 MW の軽減が最も大きいと考えられる。

3. 2 認知距離、散布開始距離および散布終了距離

図-5 は、認知距離、散布開始・終了距離の概念図を示す。認知距離は、湿潤・凍結路面区間の起点 (Kp1) に対し、被験者が電源ボタンを操作した地点までの距離である。散布開始距離は、Kp1 に対し、散布 ON ボタンを操作した地点までの距離である。散布終了距離は、湿潤・凍結路面区間の終点 (Kp2) に対し、散布 OFF ボタンを操作した地点までの距離である。

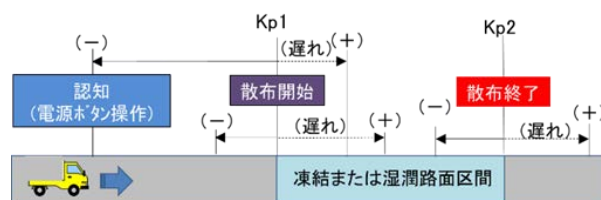


図-5 認知距離、散布開始・終了距離の概念図

3.2.1 認知距離

表-3 および図-6 は、熟練度別および情報有無・種別による認知距離の結果を示す。情報無しの平均認知距離は、未熟オペが -30m ($\sigma=9$ m) および熟練オペが -44m (σ

=31m) となり、熟練オペの平均認知距離にばらつきはあるが未熟オペより長かった。また、音声のみの平均認知距離は、未熟オペが-91m ($\sigma=46m$) および熟練オペが-91m ($\sigma=53m$) となり、両者ともに情報無しの時より平均認知距離が伸びた。更に、画像のみの平均認知距離は、未熟オペが-91m ($\sigma=49m$) および熟練オペが-87m ($\sigma=54m$) となり、両者とも音声のみとほぼ同様の結果を示した。最後に、音声+画像の平均認知距離は、未熟オペが-140m ($\sigma=70m$) および熟練オペが-121m ($\sigma=60m$) となり、両者ともに他の情報提供方法に比べて最も長い平均認知距離となった。

表-3 熟練度別および情報有無・種別認知距離

被験者	情報有無・種別	認知距離			
		標本数	平均値 (m)	中央値 (m)	標準偏差 (m)
未熟オペ (7人)	情報無し	7	-30	-32	9
	音声のみ	7	-91	-82	46
	画像のみ	7	-91	-90	49
	音声+画像	7	-140	-171	70
熟練オペ (12人)	情報無し	12	-44	-43	31
	音声のみ	12	-91	-86	53
	画像のみ	11	-87	-75	54
	音声+画像	12	-121	-137	60

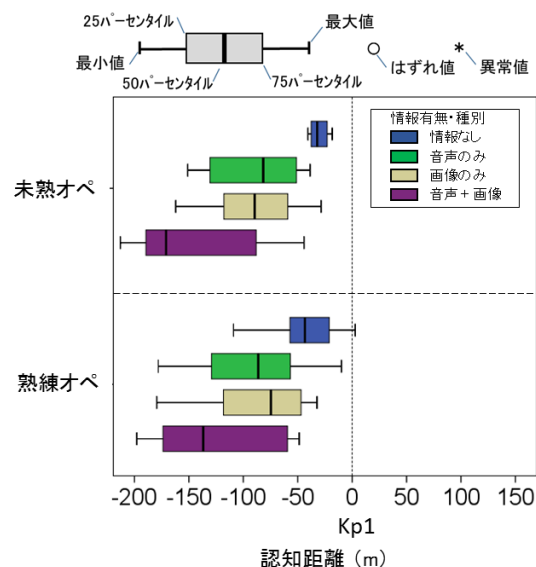


図-6 熟練度別および情報有無・種別認知距離

分散分析の結果は、熟練度による統計的な有意差が示さなかったが、情報の有無・種別では有意差 ($F(3, 75) = 10.443, p < 0.05$) が認められた。また、認知距離の多重比較では、未熟オペ・熟練オペともに情報無し・音声+画像間で有意差 ($\alpha = 0.05$) が認められた。

以上の結果から、情報提供によって未熟・熟練オペ両者がより手前で散布すべき区間を認知できるようになり、

熟練度に関わらず散布判断・操作のための時間的余裕ができたと言える。また、情報提供方法としては音声と画像を組み合わせることで前方の路面状態をより手前から認知可能になり、散布作業判断等の改善に繋がると考えられる。

3.2.2 散布開始距離

表-4 および図-7は、熟練度別および情報有無・種別による散布開始距離を示す。情報無しの平均散布開始距離は、未熟オペが3m ($\sigma=3m$) および熟練オペが12m ($\sigma=10m$) であった。また、音声のみの平均散布開始距離は、未熟オペが5m ($\sigma=5m$) および熟練オペが24m ($\sigma=30m$) であった。更に、画像のみの平均散布開始距離は、未熟オペが4m ($\sigma=3m$) および熟練オペが6m ($\sigma=4m$) であった。最後に、音声+画像の平均散布開始距離は、未熟オペが10m ($\sigma=7m$) および熟練オペが7m ($\sigma=7m$) であった。

表-4 熟練度別および情報有無・種別散布開始距離

被験者	情報有無・種別	散布開始距離			
		標本数	平均値 (m)	中央値 (m)	標準偏差 (m)
未熟オペ (7人)	情報無し	6	3	2	3
	音声のみ	7	5	4	5
	画像のみ	7	4	2	3
	音声+画像	7	10	9	7
熟練オペ (12人)	情報無し	11	12	9	10
	音声のみ	11	24	13	30
	画像のみ	10	6	7	4
	音声+画像	10	7	4	7

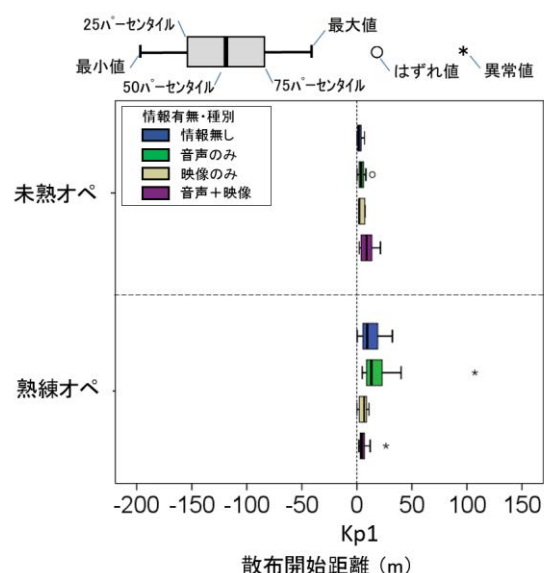


図-7 熟練度別および情報有無・種別散布開始距離

分散分析の結果は、未熟オペと熟練オペの間に統計的な有意差 ($F(1, 69) = 4.349, p < 0.05$) を示し、両者間の違いを確認した。他方、情報の有無・種別による有意差は認められなかった。また、多重比較では未熟オペ・熟練オペともに情報の有無・種別による有意差は認められなかった。

以上の結果は、未熟・熟練オペともに Kp1 に対して全般的に散布作業の開始が遅れ、かつ熟練オペの全ての値(遅れ)が未熟オペよりも大きいことを示した。また、情報提供によって散布作業の開始が情報無しの時より更に遅くなる場合があったことを示した。Kp1 に関する情報提供方法、情報の内容、提供のタイミングに改善の余地があると考えられるため、これらを踏まえた更なる検討が必要である。

3.2.3 散布終了距離

表-5 および図-8 は、熟練度別および情報有無・種別による散布終了距離を示す。

情報無しの平均散布終了距離は、未熟オペが 7m ($\sigma = 5m$) および熟練オペが 7m ($\sigma = 9m$) となり、未熟オペ

表-5 熟練度別および情報有無・種別散布終了距離

被験者	情報有無・種別	散布終了距離			
		標本数	平均値 (m)	中央値 (m)	標準偏差 (m)
未熟オペ (7人)	情報無し	7	7	7	5
	音声のみ	7	7	7	3
	画像のみ	7	7	6	5
	音声+画像	7	7	7	1
熟練オペ (12人)	情報無し	12	7	4	9
	音声のみ	12	8	6	7
	画像のみ	12	9	7	8
	音声+画像	12	15	5	29

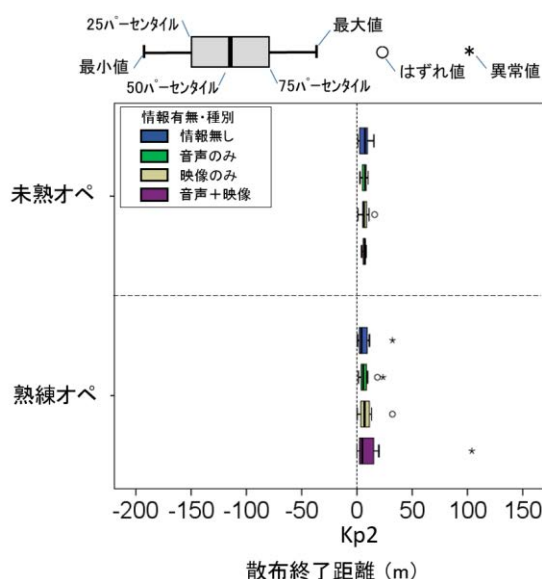


図-8 熟練度別および情報有無・種別散布終了距離

とほぼ同様の値を示した。また、音声のみの平均散布終了距離は、未熟オペが 7m ($\sigma = 3m$) および熟練オペが 8m ($\sigma = 7m$) だった。更に、画像のみの平均散布終了距離は、未熟オペが 7m ($\sigma = 5m$) および熟練オペが 9m ($\sigma = 8m$) であった。最後に、音声+画像の平均散布終了距離は、未熟オペが 7m ($\sigma = 1m$) および熟練オペが 15m ($\sigma = 29m$) であった。なお、分散分析および多重比較の結果に統計的な有意差は認められなかった。

以上の結果は、未熟・熟練オペともに Kp2 に対して全般的に散布作業の終了が遅れたことを示した。また、熟練オペの場合は、情報提供によって散布作業開始が情報無しの時より更に遅くなったことを示した。Kp1 と同様に、Kp2 に関する情報提供方法、内容、タイミングに改善の余地があると考えられるため、ここでもこれらを踏まえた更なる検討が必要である。

3.3 路面状態判断の的中率

表-6 および図-9 は、熟練度別および情報有無・種別による路面状態判断の的中率を示す。情報無しの路面状態判断の的中率は未熟オペが 86% および熟練オペが 50% となり、後者の的中率が最も低い結果となった。また、音声のみの的中率は未熟オペが 100%、熟練オペが 75% であった。更に、画像のみの的中率は未熟オペが 100%、熟練オペが 83% であった。最後に、音声+画像の的中率は未熟・熟練オペともに 100% であった。

表-6 熟練度別および情報の有無・種別による路面状態判断の的中率

		情報なし	音声のみ	画像のみ	音声+画像
未熟オペ (7人)	的中	6	7	7	7
	はずれ	1	0	0	0
	的中率	86%	100%	100%	100%
熟練オペ (12人)	的中	6	9	10	12
	はずれ	6	3	2	0
	的中率	50%	75%	83%	100%

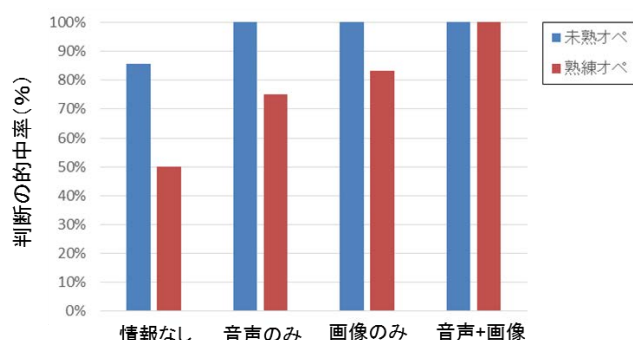


図-9 熟練度別および情報の有無・種別による路面状態判断の的中率

当初、著者らは散布経験を有する熟練オペの路面状態の判断の的中率が未熟オペの的中率を上回ることを想定していたが、結果は情報無しにおいて未熟オペの路面状態の判断の的中率が熟練オペの的中率よりも高く、かつ全ての情報提供方法での中率が 100%であった。その理由については、この実験から明らかにすることはできなかったが、未熟オペ・熟練オペ間の年齢差による判断速度、情報端末の使用経験等が影響していることが考えられるため、今後はこれらの属性も踏まえながら更なる検証を重ねることが望ましいと考える。何れにせよ、前述の認知距離の結果と同様に、ここでも情報提供は未熟・熟練オペ両者の的確な路面状態の判断に有効であると言える。また、情報提供方法としては音声と画像を組み合わせることで前方の路面状態を確実に判断することが可能になり、散布作業判断等の改善に繋がると考えられる。

3. 4 被験者の注視点

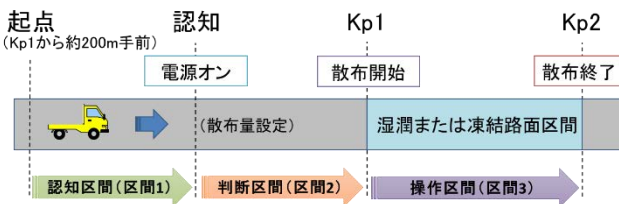


図-10 注視点データの分析対象区間の概略図

実験コース走行中（散布作業中）におけるオペの注視点を調べるため、湿潤または凍結路面区間の Kp1 の約 200m 手前から Kp2 付近における散布終了までの区間を分析対象とし、注視点データを抽出した（図-10）。また、上記分析対象区間の起点から散布制御装置の電源ボタン操作までを「認知区間（以下、区間 1）」、電源ボタン操作および散布量設定操作から散布開始ボタン操作までを「判断区間（以下、区間 2）」および散布開始ボタン操作から散布終了ボタン操作までを「操作区間（以下、区間 3）」として 3 つの区間に分けた。更に、助手席から見た前景を「道路・背景」、「散布制御装置」および「情報端末」の 3 つの注視エリアに分け、熟練度別および情報有無・種別によるオペの区間 1、区間 2 および区間 3 において各エリアを注視した割合を求め、散布作業における熟練度および情報有無・種別によるオペの認知・判断・操作時それぞれの注視点の特性を調べた。

当該実験では、全被験者 19 名の中から裸眼又はコンタクトレンズを装着して実験に参加した未熟オペ 5 名および

熟練オペ 7 名の計 12 名から注視点データを取得することができた。

図-11 は、情報提供時（音声+画像）における被験者の注視点データを前景に重ねて表示した一例である。この例から、被験者が道路&背景に注意を払う他、情報端末および散布制御装置を注視していることが分かる。

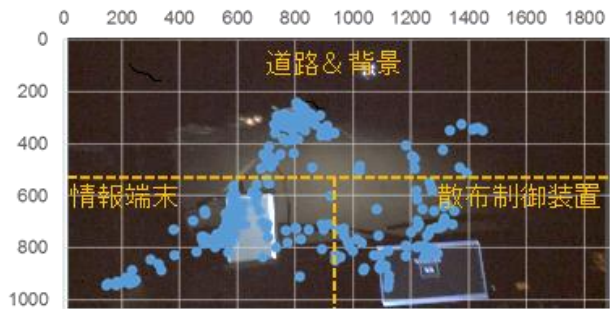


図-11 前景エリア分けと注視点データのプロット例

3.4.1 認知区間（区間 1）

表-7 および図-12 は、区間 1 における熟練度別および情報有無・種別による注視エリアの注視率を示す。

表-7 熟練度別および情報有無・種別注視率（区間 1）

被験者	情報有無・種別	認知区間（区間1）における注視率					
		道路・背景		散布制御装置		情報端末	
		平均値 (%)	標準偏差 (%)	平均値 (%)	標準偏差 (%)	平均値 (%)	標準偏差 (%)
未熟オペ (5人)	情報無し	89.5	2.6	7.3	2.1	3.2	1.1
	音声のみ	76.6	22.7	16.9	17.2	6.5	6.1
	画像のみ	59.0	24.0	12.2	7.5	28.9	18.3
	音声+画像	58.0	28.6	24.3	17.9	17.7	12.5
熟練オペ (7人)	情報無し	81.7	23.4	17.8	23.0	0.5	0.6
	音声のみ	71.4	11.3	22.0	13.4	6.6	5.6
	画像のみ	49.7	24.7	24.3	19.6	26.0	9.6
	音声+画像	52.4	24.2	31.5	23.2	16.0	2.2

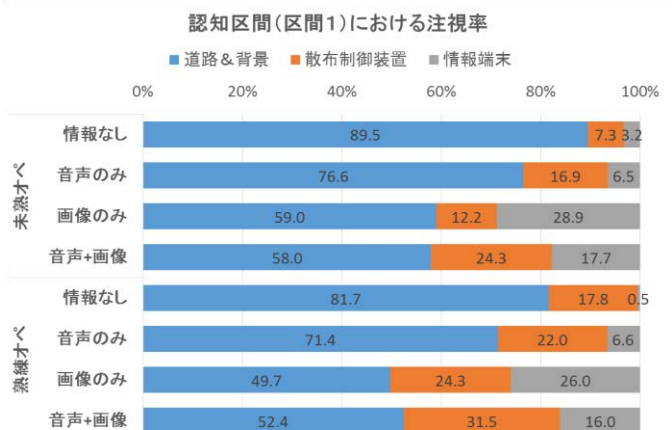


図-12 熟練度別および情報有無・種別注視率（区間 1）

区間 1 における情報無しの結果では、両者ともに 3 エリアの中で道路・背景の注視率が最も高く、未熟オペが

89.5% ($\sigma=2.6\%$) および熟練オペが 81.7% ($\sigma=23.4\%$) を示した。他方、散布制御装置の注視率は、未熟オペが 7.3% ($\sigma=2.1\%$) および熟練オペが 17.8% ($\sigma=23.0\%$)、情報端末の注視率は、未熟オペが 3.2% ($\sigma=1.1\%$) および熟練オペが 0.5% ($\sigma=0.6\%$) を示した。

音声のみの結果では、前述と同じく両者ともに 3 エリアの中で道路・背景の注視率が最も高く、未熟オペが 76.6% ($\sigma=22.7\%$) および熟練オペが 71.4% ($\sigma=11.3\%$) を示したが、情報無しより減少した。反面、散布制御装置の注視率は、未熟オペが 16.9% ($\sigma=17.2\%$) および熟練オペが 22.0% ($\sigma=13.4\%$)、情報端末の注視率は未熟オペが 6.5% ($\sigma=6.1\%$) および熟練オペが 6.6% ($\sigma=5.6\%$) となり、両エリアの注視率が増えたことを示した。

画像のみの結果では、両者ともに 3 エリアの中で道路・背景の注視率が他のエリアより高いことを示したが、未熟オペが 59.0% ($\sigma=24.0\%$) および熟練オペが 49.7% ($\sigma=24.7\%$) と音声のみより更に減少した。他方、散布制御装置の注視率は、未熟オペが 12.2% ($\sigma=7.5\%$) および熟練オペが 24.3% ($\sigma=19.6\%$)、情報端末の注視率は未熟オペが 28.9% ($\sigma=18.3\%$) および熟練オペが 26.0% ($\sigma=9.6\%$) となり、両者の情報端末に対する注視率が増える傾向を示した。

音声+画像の結果では、同じく両者ともに 3 エリアの中で道路・背景の注視率が他のエリアより高いことを示したが、未熟オペが 58.0% ($\sigma=28.6\%$) および熟練オペが 52.4% ($\sigma=24.2\%$) と画像のみと似た注視率であった。他方、散布制御装置の注視率は、未熟オペが 24.3% ($\sigma=17.9\%$) および熟練オペが 31.5% ($\sigma=23.2\%$)、情報端末の注視率は未熟オペが 17.7% ($\sigma=12.5\%$) および熟練オペが 16.0% ($\sigma=2.2\%$) となり、画像のみと異なっており、両者の散布制御装置の注視率が増えた。

熟練度(被験者間)および情報有無・種別(被験者内)による区間 1 の注視率の有意差を調べるため、分散分析を注視エリア毎に行った。道路・背景では、熟練度に有意差は認められなかったが、情報有無・種別では有意差 ($F(3, 30) = 10.441, p < 0.01$) が示された。また、情報有無・種別の多重比較でも、情報無し・画像間および情報無し・音声+画像間で有意差 ($\alpha = 0.01$) が認められた。次いで、散布制御装置では熟練度および情報有無・種別では有意差が認められず、多重比較においても情報有無・種別に有意差は認められなかった。最後に、情報端末では、熟練度に有意差は認められなかったが、情報有無・種別では有意差 ($F(3, 30) = 25.460, p < 0.01$) が

示された。また、多重比較でも、情報無し対音声のみおよび画像のみ対音声+画像の組合せを除いて有意差 ($\alpha = 0.01$) が認められた。

以上の結果から、区間 1 では情報提供が未熟・熟練オペ両者の散布制御装置および情報端末の注視率を増加させ、また、画像を含む情報提供方法は道路・背景の注視率を著しく減少させる半面情報端末の注視率を増加させることが分かった。よって、画像を含む情報提供は路面状態の早期認知、主観的 MW 低減等に大きく寄与する一方、道路や車両周囲等を見る割合が減るため、将来的に運転手がオペレータを兼ねる作業形態の可能性を踏まえると、散布区間認知の際に安全性に課題があると考えられる。

3.4.2 判断区間(区間 2)

表-8 および図-13 は、区間 2 における熟練度別および情報有無・種別による注視エリアの注視率を示す。

表-8 熟練度別および情報有無・種別注視率(区間 2)

被験者	情報有無・種別	判断区間(区間2)における注視率					
		道路・背景		散布制御装置		情報端末	
		平均値 (%)	標準偏差 (%)	平均値 (%)	標準偏差 (%)	平均値 (%)	標準偏差 (%)
未熟オペ (5人)	情報無し	21.2	15.2	78.8	15.2	0.0	0.0
	音声のみ	40.9	18.3	57.2	17.2	2.0	2.2
	画像のみ	32.5	22.8	64.2	26.4	3.3	4.2
	音声+画像	40.9	27.7	51.6	33.3	7.6	7.7
熟練オペ (7人)	情報無し	34.6	27.0	64.5	27.5	1.0	1.7
	音声のみ	44.8	23.5	53.8	24.0	1.3	2.0
	画像のみ	33.3	11.5	52.3	19.0	14.3	14.9
	音声+画像	45.1	21.4	45.2	26.1	9.8	11.4

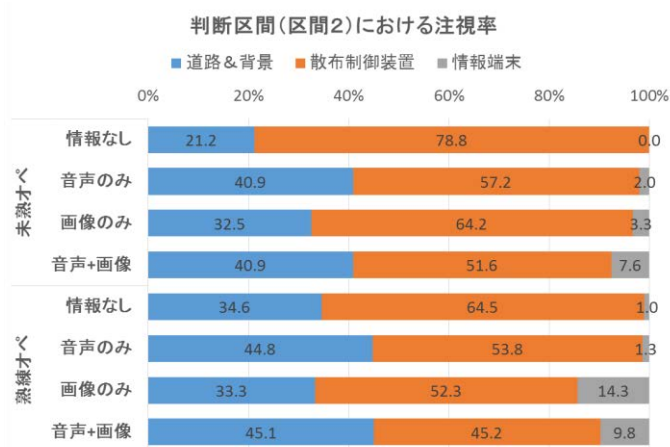


図-13 熟練度別および情報有無・種別注視率(区間 2)

区間 2 における情報無しの結果では、両者ともに散布制御装置の注視率が 3 エリアの中で最も高く、未熟オペが 78.8% ($\sigma=15.2\%$) および熟練オペが 64.5% ($\sigma=27.5\%$) を示した。他方、道路・背景の注視率は、未熟

オペが21.2% ($\sigma=15.2\%$) および熟練オペが34.6% ($\sigma=27.0\%$)、情報端末の注視率は未熟オペが0.0% ($\sigma=0.0\%$) および熟練オペが1.0% ($\sigma=1.7\%$) を示した。

音声のみの結果では、前述同様両者ともに3エリアの中で道路・背景の注視率が最も高く、未熟オペが57.2% ($\sigma=17.2\%$) および熟練オペが53.8% ($\sigma=24.0\%$) を示したが、情報無しより減少した。他方、道路・背景の注視率は、未熟オペが40.9% ($\sigma=18.3\%$) および熟練オペが44.8% ($\sigma=23.5\%$) と両者ともに情報無しより増加した。また、情報端末の注視率も未熟オペが2.0% ($\sigma=2.2\%$) および熟練オペが1.3% ($\sigma=2.0\%$) となり、ここでも両者の注視率が増加した。

画像のみの結果では、前述と同じく両者ともに散布制御装置の注視率が他のエリアより高いことを示し、未熟オペが64.2% ($\sigma=26.4\%$) および熟練オペが52.3% ($\sigma=19.0\%$) であった。他方、道路・背景の注視率は、未熟オペが32.5% ($\sigma=22.8\%$) および熟練オペが33.3% ($\sigma=11.5\%$) となり、音声のみより減少した。情報端末の注視率は、未熟オペが3.3% ($\sigma=4.2\%$) および熟練オペが14.3% ($\sigma=14.9\%$) となり、特に熟練オペの情報端末に対する注視率増加が著しかった。

音声+画像の結果では、両者の散布制御装置の注視率が他のエリアより高いことを示したが、未熟オペが51.6% ($\sigma=33.3\%$) および熟練オペが45.2% ($\sigma=26.1\%$) と情報有無・種別の中で最も低い注視率であった。他方、道路・背景の注視率は、未熟オペが40.9% ($\sigma=27.7\%$) および熟練オペが45.1% ($\sigma=21.4\%$) と増加し、音声のみ又は音声+画像に注視率が40%を超えた。また、情報端末の注視率は、未熟オペが7.6% ($\sigma=7.7\%$) および熟練オペが9.8% ($\sigma=11.4\%$) であった。

区間2の注視率の有意差を調べるため、前項と同様に分散分析を注視エリア毎に行った。道路・背景では、熟練度および情報有無・種別において有意差は認められず、情報有無・種別の多重比較でも有意差は示されなかった。次いで、散布制御装置では熟練度および情報有無・種別では有意差が認められず、同じく多重比較においても情報有無・種別に有意差は認められなかった。最後に、情報端末では、熟練度に有意差は認められなかったが、情報有無・種別では有意差 ($F(3, 30) = 4.221, p < 0.05$) が認められた。一方、多重比較では情報有無・種別間に有意な差は認められなかった。

以上の結果から、区間2は区間1と異なっており、未熟・熟練オペともに情報・有無種別に関係なく散布制御装置を注視する割合が3エリアの中で最も高いことが分かった。

また、画像を含む情報提供時に未熟・熟練オペともに情報端末の注視率が増加した。他方、音声を含む情報提供は道路・背景の注視率を増加させたが、何れも5割に至らなかった。よって、区間2においても散布判断の際に道路や車両周囲の確認等の安全性に課題があると考えられる。

3.4.3 操作区間 (区間3)

表-9 および図-14 は、区間3における熟練度別および情報有無・種別による注視エリアの注視率を示す。

表-9 熟練度別および情報有無・種別注視率 (区間3)

被験者	情報有無・種別	操作区間(区間3)における注視率					
		道路・背景		散布制御装置		情報端末	
		平均値 (%)	標準偏差 (%)	平均値 (%)	標準偏差 (%)	平均値 (%)	標準偏差 (%)
未熟オペ (5人)	情報無し	67.5	7.6	30.3	7.3	2.2	1.7
	音声のみ	78.8	3.8	19.7	4.3	1.5	2.2
	画像のみ	74.5	4.7	18.4	3.1	7.1	5.9
	音声+画像	69.9	7.7	17.4	3.7	12.6	7.1
熟練オペ (7人)	情報無し	65.5	19.3	34.0	19.5	0.5	0.5
	音声のみ	66.5	12.8	31.4	12.6	2.0	2.4
	画像のみ	57.9	15.5	29.3	16.1	12.8	6.6
	音声+画像	71.6	7.1	21.0	8.3	7.5	6.8

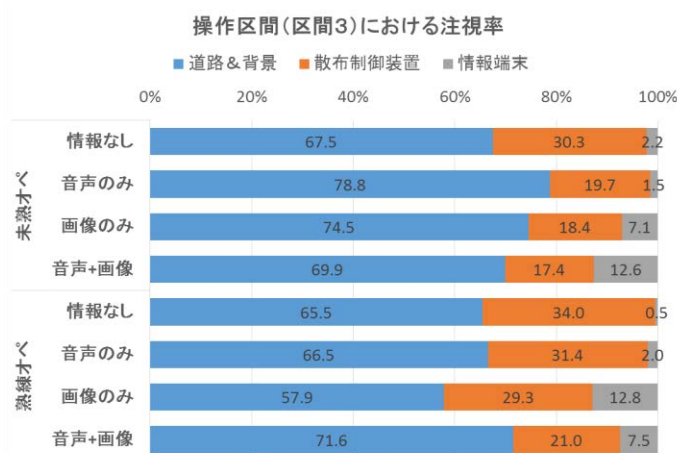


図-14 熟練度別および情報有無・種別注視率 (区間3)

区間3における情報無しの結果では、区間1と同様に両者ともに3エリアの中で道路・背景の注視率が最も高く、未熟オペが67.5% ($\sigma=7.6\%$) および熟練オペが65.5% ($\sigma=19.3\%$) を示したが、区間1ほど高くなかった。他方、散布制御装置の注視率は、未熟オペが30.3% ($\sigma=7.3\%$) および熟練オペが34.0% ($\sigma=19.5\%$)、情報端末の注視率は、未熟オペが2.2% ($\sigma=1.7\%$) および熟練オペが0.5% ($\sigma=0.5\%$) を示し、散布制御装置の注視率が区間1の時よりも高かった。

音声のみの結果では、前述と同じく両者ともに3エリアの中で道路・背景の注視率が最も高く、未熟オペが78.8% ($\sigma=3.8\%$) および熟練オペが66.5% ($\sigma=12.8\%$)

を示し、当該エリアにおける未熟オペの注視率が情報無しよりも増加した。他方、散布制御装置の注視率は、未熟オペが 19.7% ($\sigma=4.3\%$) および熟練オペが 31.4% ($\sigma=12.6\%$)、情報端末の注視率は未熟オペが 1.5% ($\sigma=2.2\%$) および熟練オペが 2.0% ($\sigma=2.4\%$) であった。

画像のみの結果では、両者ともに 3 エリアの中で道路・背景の注視率が他のエリアより高いことを示したが、未熟オペが 74.5% ($\sigma=4.7\%$) および熟練オペが 57.9% ($\sigma=15.5\%$) と音声のみより更に減少した。他方、散布制御装置の注視率は、未熟オペが 18.4% ($\sigma=3.1\%$) および熟練オペが 29.3% ($\sigma=16.1\%$)、情報端末の注視率は未熟オペが 7.1% ($\sigma=5.9\%$) および熟練オペが 12.8% ($\sigma=6.6\%$) となり、両者の情報端末に対する注視率が増える傾向を示した。

音声+画像の結果は、同じく両者ともに 3 エリアの中で道路・背景の注視率が他のエリアより高く、未熟オペが 69.9% ($\sigma=7.7\%$) および熟練オペが 71.6% ($\sigma=7.1\%$) であった。なお、散布制御装置の注視率は、未熟オペが 24.3% ($\sigma=17.9\%$) および熟練オペが 31.5% ($\sigma=23.2\%$)、情報端末の注視率は未熟オペが 17.7% ($\sigma=12.5\%$) および熟練オペが 16.0% ($\sigma=2.2\%$) となり、両者の散布制御装置および情報端末の注視率が情報無しと同様に 3 割前後を占めた。

区間 3 の注視率の有意差を調べるため、前項と同様に分散分析を注視エリア毎に行った。道路・背景では、熟練度および情報有無・種別間で有意差は認められず、同じく多重比較においても情報有無・種別に有意差は認められなかった。次いで、散布制御装置では熟練度に有意差は認められなかったが、情報有無・種別では有意差 ($F(3,30)=2.982, p<0.05$) が示された。但し、情報有無・種別の多重比較では、情報有無・種別間に有意差は認められなかった。最後に、情報端末では、熟練度に有意差は認められなかったが、情報有無・種別では有意差 ($F(3,30)=13.041, p<0.01$) が示された。また、多重比較でも、情報無し対音声のみおよび画像のみ対音声+画像の組合せを除いて有意差 ($\alpha=0.05$) が認められた。

以上の結果から、区間 3 では未熟・熟練オペともに情報有無・種別に関係なく道路・背景を注視する割合が 3 エリアの中で最も高く、次いで散布制御装置の注視率が高かった。また、情報提供によって未熟・熟練オペともに散布制御装置の注視率が減少したが、特に画像を含む情報提供は情報端末の注視率を増加させ、道路・背景の注視率増加には殆ど寄与しないことが分かった。よって、区間 3 においても散布操作の際に道路や車両周囲の確認

等の安全性に課題があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、オペの路面状態の認知・判断および散布装置の操作状況を計測した被験者実験のデータから、散布作業時の心理状態と挙動を分析し、オペの熟練度および情報の有無・種別（情報無し・音声のみ・画像のみ・音声+画像）による変化や一人乗車体制を想定した技術的課題等について整理した。以下に、平成 28 年度の取り組みにおいて得た主な知見について述べる。

- ・ 情報無しにおける熟練オペの主観的 MW は、未熟オペのそれより小さかった。また、情報提供による主観的 MW の軽減効果は、音声と画像の組み合わせが最も大きかった。
- ・ 情報無しにおける熟練オペの散布区間認知距離は、未熟オペのそれより長かった。また、情報提供によって散布区間の認知が早くなる他、路面状態（凍結や湿潤）の判断的中率も向上した。この中で、情報種別の中で音声と画像の組み合わせが最も効果的であった。しかし、散布操作については、情報提供により散布作業の開始・終了が予め設定した開始・終了地点より遅くなる場合があった。
- ・ 未熟・熟練オペの注視率については、区間 1 および区間 3 において熟練度および情報有無・種別に関係なく道路・背景を注視する割合が 3 つのエリアの中で最も高かったが、情報提供方法によっては道路&背景を注視する割合が著しく減少し、散布制御装置および情報端末の注視率が増加した。また、区間 2 においては区間 1 および区間 3 と異なっており未熟・熟練オペともに散布制御装置の注視率が 3 つのエリアの中で最も高くなった。

以上、本研究により、凍結防止剤散布作業への情報提供は、未熟・熟練オペにかかわらず、主観的 MW、認知、判断等の改善に寄与することを確認した。しかしながら、散布判断時や情報提供方法によっては道路&背景を注視する割合が著しく減少するため、将来的に運転手がオペレータを兼ねる作業形態の可能性を踏まえると、散布作業時における車両周囲確認等の安全性に課題があることを確認した。

今後は適切な情報提供方法（情報の種類、情報量、情報提供タイミング等）を見出すための検討に併せて散布作業を支援するインターフェース（音声操作等）の設計・構築に組み込み、引続き検証実験等を行う予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：平成 28 年度・今冬の除雪体制等について、
http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/jyosetsu/pdf/jyosetsutaisai.pdf、平成 28 年 11 月
- 2) 国土交通省、冬期道路交通の確保のあり方に関する検討委員会提言、持続的な冬期道路交通確保をめざして～連携と協働へ、pp. 25-26、平成 25 年 5 月、
<http://www.mlit.go.jp/common/000997537.pdf>
- 3) Salt Institute: The Snowfighter's Handbook - A Practical Guide for Snow and Ice Control,
http://www.saltinstitute.org/wp-content/uploads/2013/07/Snowfighters_HB_2012.pdf, 2013
- 4) Minnesota Local Road Research Board: Minnesota Snow and Ice Control – Field Handbook for Snowplow Operators, Second Edition,
<http://www.mnltap.umn.edu/publications/handbooks/documents/snowplowice.pdf>, October 2012
- 5) 北海道開発局建設部道路維持課：冬期路面管理マニュアル（案）、平成 9 年 11 月
- 6) Thompson Gregory et al.: Clear Roads – Developing a Totally Automated Spreading System, Final Report,
http://clearroads.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/11-03-Totally-automated-spreader_final_report.pdf, February 2014
- 7) 青木和夫：ISO/TC159 におけるメンタルワークロードの概念と定義および設計の指針、人間工学、Vol. 29、No. 6（'93）、pp. 339-342、平成 5 年 9 月
- 8) 三宅、神代：メンタルワークロードの主観的評価法、人間工学、Vol.29、No.6、平成 5 年
- 9) De Waard Dick: The Measurement of Driver's Mental Workload, The Traffic Research Centre VSC, University of Groningen - The Netherlands,
https://www.rug.nl/research/portal/files/13410300/09_thesis.pdf, June 1996
- 10) Tokunaga Roberto et al.: Effects of Conversation Through a Cellular Telephone while Driving on Driver's Reaction Time and Subjective Mental Workload; Transportation Research Record No. 1724, Paper No. 00-1480, pp. 1-6, April 2000.
- 11) Hart Sandra et al.: Development of NASA-TLX: Results and Theoretical Research, Human Mental Workload, Pp. 139-183, North-Holland, 1988.
- 12) 芳賀繁：NASA タスクロードインデックス日本語版の作成と試行、鉄道総研報告、特集：人間科学、Vol.18、No.1、Pp.15-20、平成 6 年

14.2 冬期道路管理の ICT 活用による省力化および除雪機械の効率的維持管理技術の開発

14.2.2 適切かつ効率的な除雪機械の維持管理技術に関する研究

担当チーム：技術開発調整監（寒地機械技術チーム）

研究担当者：大槻敏行、牧野正敏、住田則行、
伊藤義和、幸田勝

【要旨】

近年の予算縮減により、更新が先送りされて老朽化した除雪機械が増え、故障の発生に伴う除雪作業停止日数が増加しており、道路除雪体制への影響が懸念される。

本研究では、冬期の円滑な道路交通の確保に必要な道路除雪体制を維持するため、除雪機械の効果的かつ効率的な維持管理手法を提案することを目的としている。平成 28 年度は、除雪機械の稼働、故障データを収集して、故障の傾向を把握するとともに、除雪機械劣化度の定量的評価にむけて、信頼性評価手法である FTA の適応性を検討した。その結果、FTA は評価手法として有効であることを確認した。また、重要構成部品の 1 つであるフレームの劣化度を診断する手法として、塑性変形と相関がある硬さの測定の適応性を検討するため、フレーム鋼材を用いて基礎実験を行った。その結果、測定値のばらつきや誤差に留意することで、硬さ測定の適用性はあるといえる。

キーワード：除雪機械、故障、劣化度、FTA、硬さ測定

1. はじめに

積雪寒冷地における冬期の円滑な道路交通の確保は、地域住民の生活にとって必要不可欠であり、確実な道路除雪体制が求められている。

しかし、近年の予算縮減により、除雪機械の更新が先送りされ老朽化した機械が増えており、除雪トラックではフレームに亀裂が生じるなど、除雪作業に支障をきたす重大故障が発生している。これらの重大故障に伴う除雪作業停止日数は年々増加しており、道路除雪体制への影響が懸念される。

そのため、限られた予算の中、効果的かつ効率的に除雪機械の維持管理を行い、重大故障に伴う除雪作業停止日数の削減による道路除雪体制の確保が求められている。

本研究では、冬期の円滑な道路交通の確保に必要な道路除雪体制を維持するため、除雪機械の効果的かつ効率的な維持管理手法を提案することを目的としている。

平成 28 年度は、道路管理者保有の除雪機械の稼働、故障データを収集して、故障の傾向を把握するとともに、除雪機械劣化度の定量的評価にむけて、除雪トラック、除雪グレーダ、ロータリ除雪車及び小形除雪車において信頼性評価手法である FTA の適応性を検討した。また、重要構成部品の 1 つであるフレームの劣化度を診断する手法として、塑性変形と相関がある硬さの測定の適応性

を検討するため、フレーム鋼材を用いて基礎実験を行い、硬さ測定の適応性を検討した。

2. 除雪機械の稼働及び故障データの収集と整理

既往の研究¹⁾では、国土交通省北海道開発局より除雪機械（約 1,000 台分）の稼働及び故障データ（平成 19～26 年度分（約 3,800 件））を収集した。

平成 28 年度は、更に国土交通省北海道開発局より平成 27 年度分の稼働及び故障データ（約 1,100 件）、国土交通省東北地方整備局より除雪機械（約 600 台分）の稼働及び故障データ（平成 24～27 年度分（約 2,600 件））、国土交通省北陸地方整備局より除雪機械（約 500 台分）の稼働及び故障データ（平成 23～27 年度分（約 2,800 件））を収集した。図-1 に除雪機械別延べ台数及び故障データ数を示す。

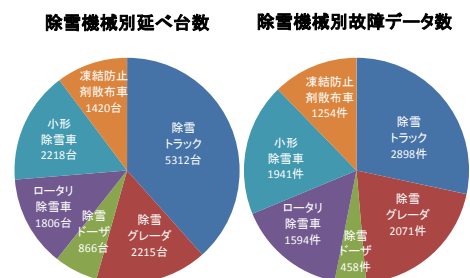


図-1 除雪機械別延べ台数及び故障データ数

これらのデータは各地方整備局によって記載要領が異なっていることから、稼働時間、走行距離及び故障箇所について次のように整理した。故障発生時の稼働時間、走行距離が不明な故障データのうち、発生日時の記載があり、かつ月間毎の稼働時間、走行距離がわかるものについては、その発生日時までの累計の稼働時間、走行距離とした。発生日時の記載がない故障データについては、故障が発生した年度末における稼働時間、走行距離に統一した。故障箇所については、既往の研究¹⁾と同様に建設機械整備標準作業工数表（除雪機械編）²⁾の作業項目区分を参考に分類した。

整理したデータについて、沿道環境毎の故障発生件数と故障発生率（機械1台あたりの故障発生件数）と、年度別故障発生率を導出し、それぞれグラフ化した。また、除雪作業停止日数2日以上の除雪機械別の故障発生件数と故障発生率を導出してグラフ化した。

沿道環境毎の故障発生件数及び発生率を図-2に、年度別故障発生率を図-3にそれぞれ示す。除雪作業停止日数2日以上の除雪機械別の故障発生件数及び発生率を図-4に示す。

沿道環境毎の故障発生件数は、平地部、山間部が突出して多く、故障発生率では山間部、平地部、市街部の順に高い傾向となっている。

年度別故障発生率は沿道環境毎の差異はあるが、全ての地域において増加傾向であることを確認した。

除雪作業停止日数2日以上の除雪機械別の故障発生件数は除雪トラック、除雪グレーダ、小形除雪車の順に多く故障発生率では、除雪グレーダ、凍結防止剤散布車、小形除雪車の順で高くなっている。

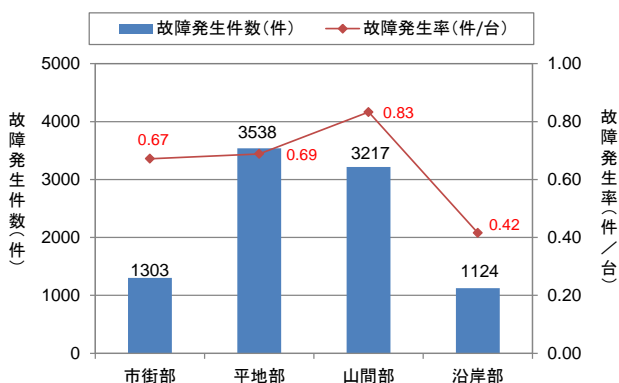


図-2 沿道環境毎の故障発生件数及び発生率

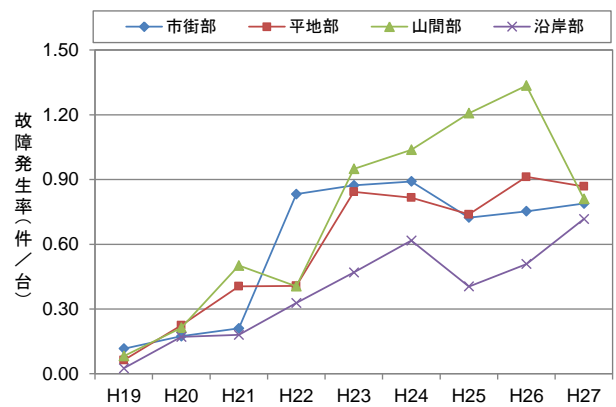


図-3 沿道環境毎の年度別故障発生率

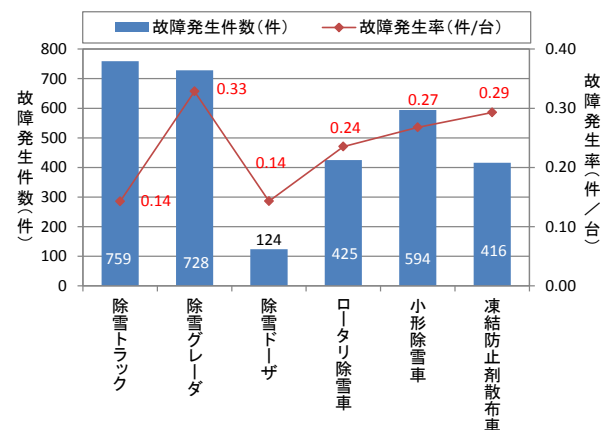


図-4 除雪作業停止日数2日以上の除雪機械別の故障発生件数及び発生率

除雪作業に対する影響が大きい故障箇所の発生傾向を把握するため、除雪機械の種類毎に建設機械整備標準作業工数表（除雪機械編）²⁾の中項目単位で分類した故障箇所から、故障の発生件数が多い故障箇所、故障により除雪作業停止日数が2日以上及び5日以上故障箇所のそれぞれ上位3箇所全てを抽出した（表-1）。

故障箇所の1つであるロータリ除雪車のオーガ装置を例にグラフ化した。使用年数別の故障発生件数及び発生率、稼働時間別の故障発生件数及び発生率をそれぞれ図-5、図-6に示す。

ロータリ除雪車のオーガ装置の故障発生件数は、使用年数では11年目、稼働時間では2,000～3,000hがピークで、使用年数3、7年目の例外はあるものの各ピークまで増加傾向である。その後、下降しているが、その原因としてはピーク時までの期間に故障が発生し、オーバーホール等の整備を行っているためと推測される。故障発生率は、使用年数別では故障発生件数と同じような傾向となっているが、稼働時間別では7,000hを超えると急

激に増加している。

表-1 影響が大きい故障箇所の抽出結果

除雪機械	影響が大きい故障箇所
除雪トラック	・エンジン ・クラッチ ・灯火装置 ・G装置
除雪グレーダ	・エンジン ・G装置 ・灯火装置 ・油圧装置
除雪ドーザ	・エンジン ・電気装置 ・アクスル及びサスペンション ・ブレーキ ・ブレード装置 ・油圧装置
ロータリ除雪車	・トランスミッション ・オーガ装置 ・油圧装置 ・シュート装置
小形除雪車	・エンジン ・油圧装置 ・ブロー装置 ・オーガ装置 ・シュート装置
凍結防止剤散布車	・エンジン ・ブレーキ ・灯火装置 ・散布装置

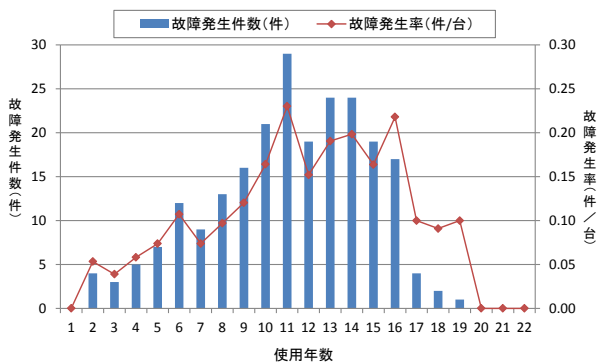


図-5 使用年数別故障発生件数及び発生率
(ロータリ除雪車、オーガ装置)

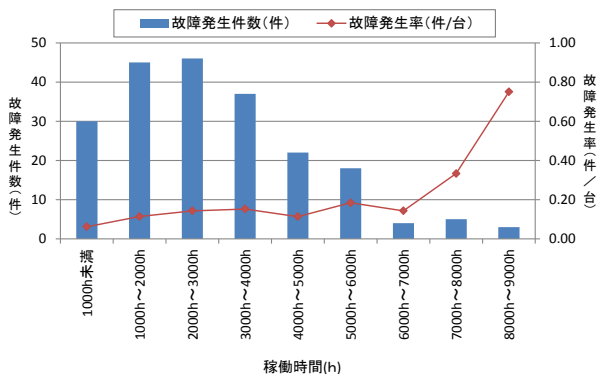


図-6 稼働時間別故障発生件数及び発生率
(ロータリ除雪車、オーガ装置)

3. 劣化度の定量的評価手法の検討

除雪機械の劣化度を定量的に評価する手法として、信頼性評価手法のFTA（Fault Tree Analysis：故障の木解析）の適応性を検討した。前項で整理したデータを用い、過年度に検討した除雪トラックのFT図の修正と、新たに除雪グレーダ、ロータリ除雪車及び小形除雪車のFT図を作成した。そのFT図から抽出した重大故障事象について、除雪トラックで16事象、除雪グレーダで16事象、ロータリ除雪車で7事象、小形除雪車で9事象の故障発生確率の近似式を導出した。

例として、除雪グレーダのFT図と、抽出した故障事象の発生確率の近似式を図-7と表-2に示す。また、表-2の「シャッターブレードのピン、ボルト、ナットの破損等」と「油圧ホースの劣化、破裂」の故障発生状況と発生確率について、図-8、図-9に示す。

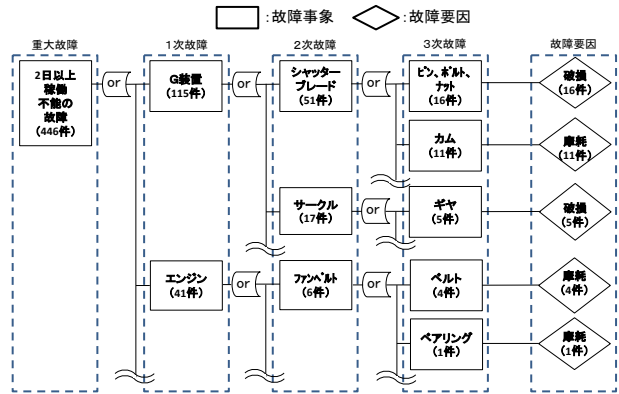


図-7 除雪グレーダのFT図 (抜粋)

表-2 抽出した故障事象の発生確率の近似式

故障事象	説明変数	発生確率の近似式
シャッターブレードのピン、ボルト、ナットの破損等	使用年数	$y = -0.00003736x^3 + 0.000141699x^2 - 0.000971316x + 0.001356242$
シャッターブレードのカム部の摩耗、破損	使用年数	$y = -0.000027606x^2 - 0.000181154x + 0.000211694$
シャッターブレードのシャッタ等の損傷、変形	使用年数	$y = -0.00003007x^2 - 0.000054196x^2 + 0.000276606x - 0.000342250$
シャッターブレードのドロップシートの摩耗	走行距離	$y = -0.00000498x^2 - 0.000021312x^2 + 0.000411051x - 0.000689981$
サークルのギヤ等の劣化、破損	走行距離	$y = -0.00000344x^2 - 0.000004213x^2 + 0.000181752x - 0.000067969$
ブレードの変形、損傷	使用年数	$y = -0.000005834x^2 - 0.000356106x - 0.001130220$
ブレードのピン、ボルト等の破損等	使用年数	$y = -0.00000882x^2 - 0.000046617x^2 + 0.000745393x - 0.001334619$
油圧ホースの劣化、破裂	使用年数	$y = -0.00000725x^3 + 0.000057414x^2 - 0.000446993x + 0.000654396$
昇降装置のスプリングの劣化、破損	稼働時間	$y = -0.000026018x^2 + 0.000394149x^2 - 0.000640903x + 0.00166267$
オルタネータの経年劣化	使用年数	$y = -0.000001207x^2 - 0.000062944x^2 + 0.001169398x - 0.002051316$
ワイパーモータの劣化、故障	走行距離	$y = -0.000000250x^3 + 0.000003280x^2 + 0.000064461x + 0.003324400$
タンデムドライブのオイルシール等の劣化	使用年数	$y = -0.000003682x^3 + 0.000112769x^2 - 0.000717485x + 0.000955315$
作業灯の腐食、劣化	使用年数	$y = -0.00000420x^2 + 0.00035071x^2 - 0.000318564x + 0.000536053$
作業灯の取付部の腐食、劣化	使用年数	$y = -0.000015466x^2 - 0.000039996x - 0.000154528$
作業灯の配線等の腐食、劣化	使用年数	$y = -0.000008217x^2 + 0.000368359x - 0.001027032$
フロントガラスの損傷（亀裂、破損）	稼働時間	$y = -0.000012831x^3 + 0.000177296x^2 - 0.000173147x - 0.000207467$

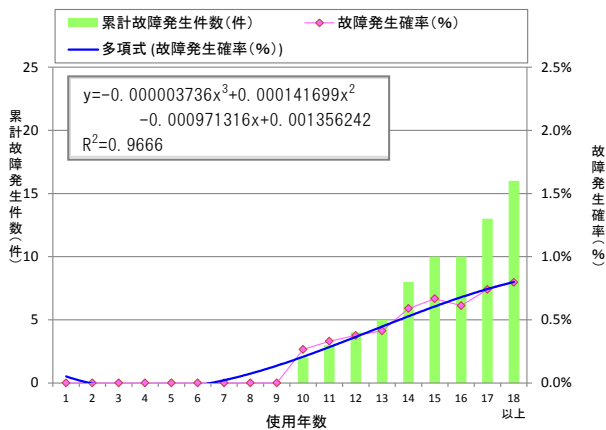


図-8 シャッターブレードのピン、ボルト、ナットの破損等の故障発生状況と発生確率

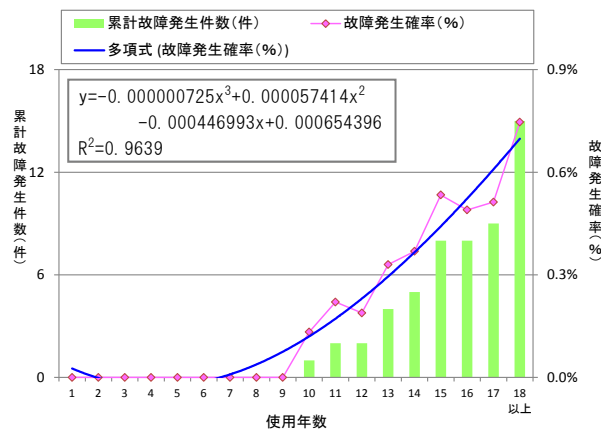


図-9 油圧ホースの劣化、破裂の故障発生状況と発生確率

さらに、発生確率の精度向上にむけて、使用状況（使用年数、稼働時間、走行距離）全ての要因を説明変数として使用する重回帰式で故障発生確率の近似式の導出を行い、表-2に示す単回帰式と比較を行った。しかし、重回帰式は、単回帰式より相関が悪く、精度の向上に至らなかった。また、現状の単回帰式で精度を向上させるには、故障に至るまでの整備履歴などを明確にする必要があるという課題も確認した。

故障発生確率の精度に課題はあるが、故障要因の記録がなくても部品や機器の不具合、劣化といった大きな括りで故障事象を抽出することができ、各故障事象の発生確率を足し合わせることで、除雪機械の劣化度を定量的な指標として評価できることから、FTAは評価手法として有効であることを確認した。

4. 重要構成部品の劣化度診断手法に関する基礎実験

除雪機械の故障の1つにフレームの亀裂があり、亀裂の状態によっては修理期間が長期化し、さらには、修理が不可能となる場合もある。

このように、フレームは除雪機械を構成する部品として非常に重要であり、劣化度を把握することが望ましいが、現状では目視による確認しか行われていない。

亀裂が発生する前の劣化度を定量的に診断する手法として、材料表面の硬さと塑性変形の間に高い相関があることが報告されている³⁾ことから、現地で実施することを想定した硬さ測定の適応性について検討した。

検討にあたり、比較的容易に硬さを測定できるリバウンド式硬さ計を使用して、硬さ測定手法の適応性を検討するための基礎実験を行った。

リバウンド式硬さ計は、超硬合金製の衝撃体を内蔵したセンサー部を測定材料に接触させ、衝撃体を材料に衝突させたときの衝突前後の速度比から硬さを測定するものである。外観を図-10に示す。

実験に使用する材料は、除雪トラックに使用されているフレーム鋼材と SUS304 の2種類で、寸法は縦100mm×横100mm、厚さはフレーム鋼材で8mm、SUS304は9mmである。

なお、フレーム鋼材は、機械的性質などを示す基礎資料⁴⁾に硬さの規定は無く、SUS304はミルシートでブリネル硬さ162HBWのものを使用した。

硬さ測定は、材料に対して図-11に示す各10mmピッチ間隔の計81箇所とし、表裏の両面を測定した。表面の硬さ測定の結果を表-3、裏面の結果を表-4に、測定値の平均などを求めるための測定評価範囲を図-12に示す。

SUS304の硬さ測定結果として、材料端部においては、測定値が異常値となる箇所が多かった。測定箇所によって測定値のばらつきがあるが、測定評価範囲の違いに関係なく、平均硬さの数値は、ほぼ同じ値を示しており、ミルシートに示された数値より最大で7%ほど低い値が出た。これは、硬さ測定において通常行う表面粗さの均し作業を、整備工場など現場での測定を想定して実施していないため、表面粗さによる測定誤差が生じたものと考えられる。

また、測定値の差は、測定評価範囲が材料中心になるほど小さくなることから、測定にあたっては測定値のばらつきの大きさに留意する必要がある。



図-10 リバウンド式硬さ計

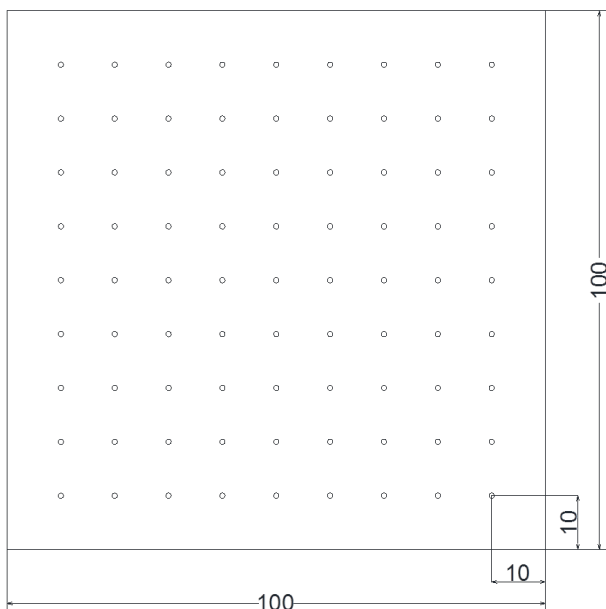


図-11 材料外寸及び硬さ測定位置

表-3 SUS304 表面硬さ測定結果（ブリネル硬さ）

位置	1列	2列	3列	4列	5列	6列	7列	8列	9列
1段	-	142	-	-	-	-	-	-	-
2段	-	160	144	159	153	155	150	157	-
3段	-	175	167	157	160	144	150	160	-
4段	-	155	144	-	163	166	165	153	-
5段	-	160	152	155	158	156	145	158	-
6段	-	-	147	168	147	174	163	160	-
7段	156	-	163	154	161	-	169	162	-
8段	-	168	159	144	156	158	160	150	-
9段	-	154	-	144	154	159	165	163	-
評価測定範囲	81箇所		49箇所		25箇所		9箇所	5箇所	
最大	175		175		174		174	163	
最小	142		144		144		147	147	
差	33		31		30		27	16	
平均	157		157		158		161	156	

表-4 SUS304 裏面硬さ測定結果（ブリネル硬さ）

位置	1列	2列	3列	4列	5列	6列	7列	8列	9列
1段	153	153	-	-	155	-	151	165	-
2段	-	142	152	153	142	162	142	145	-
3段	-	-	149	150	153	149	146	154	-
4段	-	145	149	150	153	145	145	155	-
5段	-	159	157	150	157	152	147	156	-
6段	-	162	153	-	-	153	159	149	-
7段	-	151	156	149	159	150	-	150	-
8段	-	145	150	-	152	163	153	156	-
9段	157	151	147	-	142	162	158	178	162
評価測定範囲	81箇所		49箇所		25箇所		9箇所	5箇所	
最大	178		163		159		157	157	
最小	142		142		145		145	150	
差	36		21		14		12	7	
平均	153		152		151		151	153	

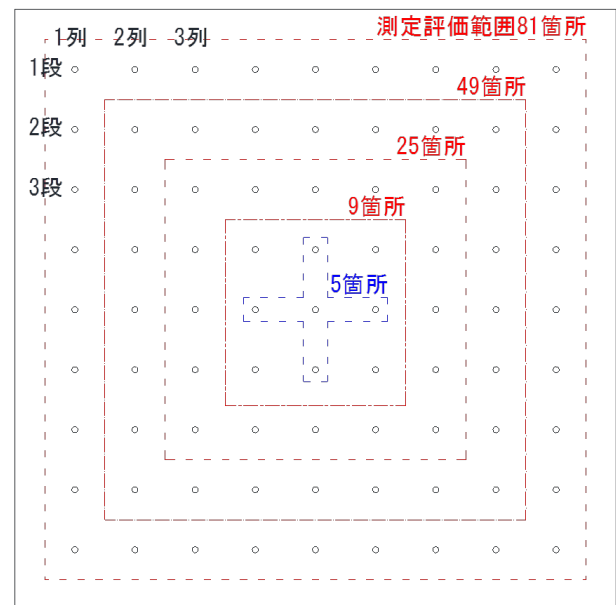


図-12 測定評価範囲

次にトラックのフレームに使用されている材料について、硬さ測定を表裏両面で行った。表面の結果を表-5に、裏面の結果を表-6に示す。

フレーム鋼材は、測定値のばらつきはあるが、材料端部の測定値も含め、異常値になる箇所はなかった。

測定値の差は、測定評価範囲が材料中心になるほど小さくなり、測定評価範囲 25 箇所以上では、測定値の差は大きい状況となった。

表面粗さを均さずにリバウンド式硬さ計で計測する場合のフレーム鋼材は、評価測定範囲 9 箇所です平均硬さ 132～135HBW であった。実車においても、測定値のばらつきや測定誤差に留意することで、硬さ測定の適用性はあるといえる。

今後は、実車のフレーム硬さ測定において、ばらつきや測定誤差を抑えて、かつ現場で測定が容易な測定手法の検討を行うとともに、硬さ測定以外の劣化度診断手法について

でも検討する予定である。

表-5 フレーム鋼材 表面硬さ測定結果
(ブリネル硬さ)

位置	1列	2列	3列	4列	5列	6列	7列	8列	9列
1段	95	95	81	98	95	107	130	121	83
2段	106	139	122	135	129	144	134	135	103
3段	110	121	120	124	148	119	104	147	116
4段	90	133	138	130	142	133	144	130	116
5段	107	154	137	144	136	128	129	156	86
6段	128	117	138	117	134	128	153	142	117
7段	119	141	125	115	145	130	131	125	96
8段	100	151	128	130	140	126	125	125	112
9段	95	117	128	137	145	130	130	126	98
評価測定範囲	81箇所		49箇所		25箇所		9箇所	5箇所	
最大	156		156		153		144	144	
最小	81		104		104		117	128	
差	75		52		49		27	16	
平均	124		133		132		132	137	

表-6 フレーム鋼材 裏面硬さ測定結果
(ブリネル硬さ)

位置	1列	2列	3列	4列	5列	6列	7列	8列	9列
1段	133	145	138	133	128	111	107	110	88
2段	110	144	120	138	122	129	137	122	112
3段	102	130	130	122	148	137	130	131	137
4段	99	143	138	137	138	129	135	131	107
5段	90	130	141	135	134	137	130	133	122
6段	111	127	138	134	134	139	146	147	113
7段	102	141	135	131	141	138	134	135	112
8段	104	130	141	145	137	134	134	130	111
9段	120	123	126	111	111	117	110	111	89
評価測定範囲	81箇所		49箇所		25箇所		9箇所	5箇所	
最大	148		148		148		139	138	
最小	88		120		122		129	134	
差	60		28		26		10	4	
平均	126		135		136		135	136	

測定値のばらつきや誤差に留意することで、硬さ測定の適用性はあるといえる。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人土木研究所：除雪機械の劣化度評価による維持管理に関する研究、平成 27 年度重点研究報告書、2015
- 2) 建設機械整備技術委員会：建設機械整備標準作業工数表（除雪機械編）（平成 22 年度版）、2010
- 3) 有限責任中間法人日本原子力技術協会 中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価委員会：中越沖地震後の原子炉機器の健全性評価 平成 20 年度中間報告、2009
- 4) 一般社団法人 日本鉄鋼連盟：日本鉄鋼連盟規格 自動車用熱間圧延鋼板及び鋼帯 JFS A 1001、2014

5. まとめ

除雪機械の稼働、故障データを収集し整理した結果、沿道環境毎の故障発生件数は、平地部、山間部が多く、故障発生率でも同様の傾向であった。沿道環境毎の年度別故障発生率は、全ての地域において年度を追う毎に増加傾向であり、高い状態が続いている。

除雪機械劣化度の定量的評価手法の提案に向けて、除雪トラックのほか、除雪グレーダ、ロータリ除雪車及び小形除雪車について、FTA の適応性を検討した。

その結果、故障要因の記録がなくても部品や機器の不具合、劣化といった大きな括りで故障事象を抽出することができ、各故障事象の発生確率を足し合わせることで、除雪機械の劣化度を定量的な指標として評価できることから、FTA は評価手法として有効であることを確認した。

重要構成部品であるフレームの劣化度診断手法として、塑性変形と相関がある硬さの測定の適応性を検討するため、フレーム鋼材を用いて基礎実験を行った。その結果、

14.3 リスクマネジメントによる効果的・効率的な冬期交通事故対策技術の開発

14.3.1 冬期交通事故リスクマネジメント手法の構築に関する研究

担当チーム：寒地道路研究グループ（寒地交通チーム）

研究担当者：石田樹、高橋尚人、平澤匡介、高田哲哉、齊田光

【要旨】

積雪寒冷地において冬期特有の気象および路面状態の悪化が交通事故の発生に与える影響は大きい。このため、冬期交通事故リスクマネジメントを行うためにはどのような気象・路面状態で交通事故発生リスクがどの程度増大するかを定量的に評価することは必要不可欠である。本研究では、交通事故データの分析・検索等に用いるための交通事故分析システムについて人身事故・物損事故および気象データの追加を行うとともに、冬期の路面状態悪化や交通事故発生に影響を与えていると考えられる日陰時間と交通事故発生率（事故率）の関係について、札幌市内の一般国道を対象として検証を行った。

検証の結果、冬期は日陰時間が長い地点で事故率が大きくなる傾向にあり、日陰時間が7時間台となる地点の事故率は終日日向となる地点の約3倍であった。また、この傾向はカーブ区間で顕著であり、冬期の日陰時間が6時間台となるカーブ区間の事故率は終日日向となる直線区間の約6倍に達することが明らかとなった。

1. はじめに

日本は国土の約6割が積雪寒冷地域であり、これらの地域では積雪・路面凍結に伴うスリップ事故や吹雪発生時の視程障害による路外逸脱など冬期特有の気象条件に起因する交通事故が依然として多発している。また、近年では平成26年2月に関東甲信地方で降雪による交通事故が多発するなど温暖な地域においても冬期特有の環境下における交通事故が大きな問題となった。このため、冬期特有の気象・路面状態悪化による交通事故に対するリスクマネジメントを行うことの重要性は積雪寒冷地域のみならずそれ以外の地域でも高まりつつある。

冬期の交通事故発生リスクは気象条件や路面状態、道路構造など様々な要因の影響を受けるため路線の地点毎に大きく異なる。このため、これらの要因が冬期の交通事故発生リスクにどの程度影響を及ぼしているかを定量的に明らかにすることは交通事故対策を優先的に行うべき地点の選定や交通事故対策方法の決定など効果的・効率的な交通事故対策を行う上で重要となる。

本研究は、交通事故データや交通ビッグデータ等を用いて道路構造、気象や路面状態等から冬期交通事故リスクを評価する手法を開発し、リスク対策の便益算定等による効果的・効率的な冬期交通事故対策手法を提案するものである。

2. 研究実施内容

平成28年度は、地理情報システム（GIS）により交通事故発生状況の検索・分析等を行う交通事故分析システムに平成26年に北海道内で発生した人身事故データ、平成26年度および平成27年度に北海道内で発生した物損事故データを新たに追加した。また、交通事故分析システム等を用いて、冬期の路面状態悪化や交通事故発生に大きな影響を及ぼしていると考えられる路面の日陰時間と交通事故発生率（事故率）の関係について定量的な評価を行った。

3. 交通事故分析システムの整備

過年度までに構築した交通事故分析システムは、人身事故は平成元年から平成25年まで、物損事故は平成25年度のみデータが搭載されている。交通事故分析システムに搭載されている物損事故データは人身事故データと比較して発生件数が多くより詳細な事故リスク分析等に利用できる可能性があるものの、単年度のみデータでは複数シーズンの気象の厳しさが交通事故リスクに与える影響を評価できない、人身事故と物損事故の発生傾向比較が可能な期間が少ないなどの課題を有していた。そこで、本年度は交通事故分析システムに平成26年度およ

び平成 27 年度に北海道内で発生した物損事故データおよび平成 26 年に北海道内で発生した人身事故データを新たに搭載した。また、人身および物損事故データの追加に併せて、平成 27 年度までの気象データ追加を行った。

物損事故データは人身事故データと異なり交通事故発生地点の緯度および経度情報は含まれていないため、事故発生位置の住所情報からジオコーディングにより緯度経度情報を取得し、最も近い道路上へのマップマッチングを行った。また、本年度の研究で追加した物損事故データは非常に件数が多く（約 27 万件）、過年度までの交通事故分析システムに搭載された人身事故および物損事故データ数の合計に匹敵する。このため、交通事故分析システムを用いて交通事故データの検索・分析等の処理を

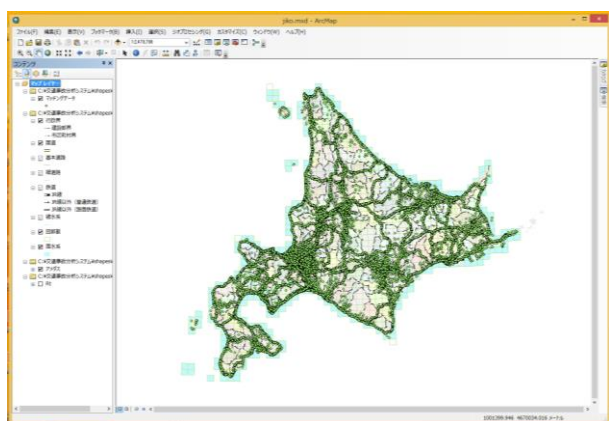


図1 交通事故分析システムに搭載された全事故データの表示例

問題なく行うことが可能であるか検証を行い、本システムは約 60 万件に及ぶ大量の交通事故データを用いた各種分析が可能であることを確認した（図1）。

4. 交通事故分析システムおよび日陰計算モデルを活用した交通事故発生率の分析

冬期の気象条件や路面状態が交通事故の発生に及ぼす影響についてはこれまでに様々な研究が行われており、例えば、小島・田久保¹⁾は秋田県の一般国道13号を対象として交通事故発生件数の調査を行い、冬期には人身事故件数が減少する一方で物損事故件数は大きく増加することを示した。また、平澤・浅野²⁾は北海道において気温が交通事故発生件数に及ぼす影響について研究を行い、日平均気温が4℃付近となる場合に交通事故発生件数が最も多くなることを明らかにした。

また、冬期の路面状態は降水および降雪の有無と並び日射や日照時間にも大きな影響を受けることが知られてお

り³⁾、日照時間が短い条件下では路面状態が悪化しやすく交通事故発生件数や事故率が增大する可能性がある。例えば、萩原⁴⁾は北海道内の道央、道北、道東および道南で計測された気象要素のうち、平均気温や降雪量に加えて日照時間1か月積算値についても交通事故発生件数との間に相関があることを示している。

上記の研究は定点気象観測地点で得られた日照時間と冬期の事故率の関係について論じている。一方で、路面における日照時間は天候以外にも道路周辺の地形や建築物（沿道地物）による日射遮蔽の影響を大きく受け⁵⁾、沿道地物により日陰となる区間では冬期に路面状態が悪化しやすいことが指摘されている。例えば、阿部⁶⁾は一般国道13号の冬期における路面状態を移動路面観測車で計測し、日陰となる時間が長い区間では著しい路面状態悪化が生じやすいことを報告している。このため、冬期に日陰となり易い区間では路面状態が悪化しやすい傾向にあり、スリップ等に起因する交通事故も発生しやすくなる可能性がある。

これらの理由から、冬期の交通事故発生率は1日に日陰となる時間の長さ（日陰時間）の影響を受けている可能性があり、計算が容易な路面における日陰時間の分布を計算することで広域にわたる路線網の冬期交通事故発生率を推定し冬期交通事故リスクマネジメントに活用できる可能性がある。しかしながら、日陰時間と冬期の交通事故発生率の関係については定量的な評価はほとんど行われておらず、依然不明な点が多い。

このため本研究では、交通事故分析システムおよび日陰計算モデルを用いて、沿道地物によって路面に生じた日陰時間と冬期の事故率の関係を定量的に明らかにした。

4. 1 日陰時間の算定方法

1日当たり日陰時間 t の計算対象地点における太陽の位置は方位角 θ および太陽高度 α で表される。 θ は真北を0度とし、時計回り方向に0度から360度までの範囲で表される。

θ および α は以下の式で表される。

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \gamma \quad (1)$$

$$\tan \theta = \frac{-\cos \delta \sin \gamma}{\sin \delta \sin \phi - \cos \delta \sin \phi \cos \gamma} \quad (2)$$

ここに、 δ ：太陽の赤緯、 ϕ ：計算対象地点の緯度、 γ ：計算対象地点の太陽の時角である。

計算対象地点における日射遮蔽の有無は、デジタル地形データおよび建築物形状データを用いて行われる。本研究で用いる手法では、図2に示すように計算対象地点周辺の

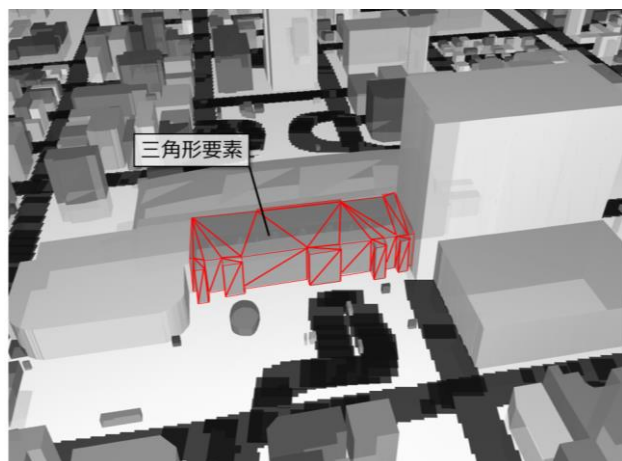


図2 沿道地物の再現例（札幌駅周辺）

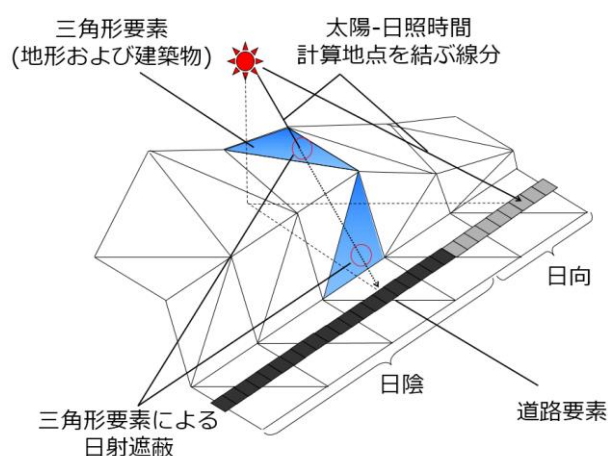


図3 日射遮蔽判別の概要

沿道地物形状を多数の三角形要素の集合体として表現する。本手法では、図3に示すように太陽-計算対象地点（道路要素）を結ぶ線分と計算対象地点周辺の全ての三角形要素について交差が生じるかどうかを判別する。これにより、線分といずれかの三角形要素が交差した場合は計算対象地点において日射遮蔽が発生したと判定する。

4.2 日陰時間と事故率の関係の検証方法

本検証では、北海道札幌市内の一般国道（ $L=152.2\text{km}$ ）で平成15年から平成24年に発生した人身事故のうち、冬期（11月～翌年3月、 $n=6722$ ）および夏期（5月～9月、 $n=7670$ ）に発生した事故について交通事故分析システムを用いて抽出し、 t と交通事故発生率 R の関係の検証を行った。 t の計算では、道路周辺の地形データとして国土地理院基盤地図情報のデジタル標高データ（空間解像度10m）を、道路周辺の建築物形状データとして株式会社ゼンリンが発行するデジタル住宅地図データをそれぞれ用いた。また、 R の計算に用いる交通事故データは北海道警察によって

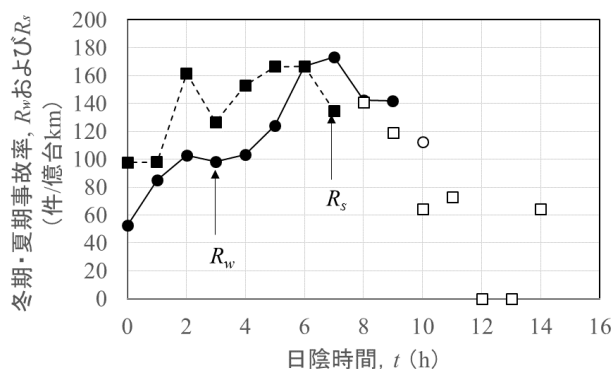


図4 日陰時間と事故率の関係（全事故）

集計された人身事故データを、日交通量データには平成17年道路交通センサスデータをそれぞれ用いた。

4.3 検証結果

図4に検証区間における t と夏期および冬期における事故率 R_s （図中■、夏期における t 毎の事故件数 $f_s < 50$ では□）および R_w （図中●、冬期における t 毎の事故件数 $f_w < 50$ では○）の関係を示す。 f_s および f_w が50件以上となった場合の t と R_w および R_s の関係に着目すると、 R_w は t が大きくなるにつれて増加し、 $t=0$ 時間（終日日向）の $R_w=52$ 件/億台kmに対して $t=7$ 時間では $R_w=173$ 件/億台kmとなり後者は前者の3.3倍となった。一方で、 R_s も t に比例して増大する傾向が見られるものの、 $t=0$ 時間における R_s の98件/億台kmに対し $t=6$ 時間における R_s は167件/億台kmと後者は前者の1.7倍に留まった。これらの結果から、冬期は夏期と比較して t の長短が事故率に与える影響が大きく、 t が大きい条件下では事故率がより大きく増加することが示された。

t が長い地点では周辺に建築物や地形などが隣接して多数存在する傾向にあり、見通し不良や沿道地物に注意が向くことによる前方不注意などに起因する事故が発生しやすくなる可能性がある。これらは夏期において t に比例して R_s が増大する要因になっていると推察される。しかしながら、上記の要因は季節を問わず事故率に影響を与えていると考えられ、これだけでは夏期と冬期で t の増加による事故率の増大傾向に差が生じることは説明しがたい。

すなわち、冬期に t の増大に伴う事故率の増加傾向が夏期より顕著な理由は、夏期には発生しない現象である日陰による路面凍結などの著しい路面状態悪化が主な要因となっているのではないかと考えられる。

t と R の関係は事故類型や道路構造（縦断勾配や交差点、

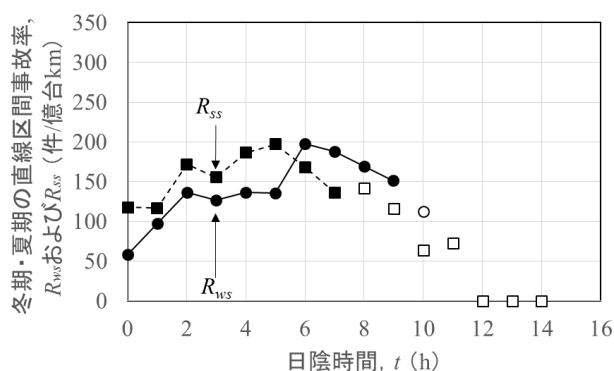


図5 直線区間の日陰時間と事故率の関係

カーブの有無など)によって異なる傾向を示したが、カーブ区間では冬期における R の増加は特に顕著であった。図5に直線区間における t と夏期事故率 R_{ws} (図中■、 t 毎の直線区間人身事故発生件数 $f_{ws} < 50$ では□)および冬期事故率 R_{ws} (図中●、 t 毎の直線区間人身事故発生件数 $f_{ws} < 50$ では○)を、図6にカーブ区間における t と夏期事故率 R_{sc} (図中■、 t 毎のカーブ区間人身事故発生件数 $f_{sc} < 10$ では□)および冬期事故率 R_{wc} (図中●、 t 毎のカーブ区間人身事故発生件数 $f_{wc} < 50$ では○)の関係をそれぞれ示す。なお、本研究では曲線半径が概ね1000m以下の区間および屈曲部から30m以内の区間をカーブ区間、それ以外を直線区間と定義した。カーブ区間では夏期・冬期のいずれにおいても直線区間と比較して t の増加に伴う事故率の増加傾向が顕著であった。特に $t=6$ 時間のとき R_{wc} は333件/億台km、 R_{sc} は283件/億台kmとなり、 $t=0$ 時間の事故率と比較して夏期は2.2倍に、冬期は6.1倍となった。

5. まとめ

平成28年度は、過年度までに構築を行った交通事故分析システムへの人身事故データ・物損事故データおよび気象データ追加を行うとともに、交通事故分析システム等を用いて冬期の路面状態悪化や交通事故発生に影響を与えていると考えられる日陰時間と交通事故発生率の関係について検証を行った。その結果、日陰時間が長い区間では冬期に交通事故発生率が増大しやすく、特にカーブ区間ではその傾向が顕著であった。今後は路面状態等の要因が交通事故リスクに与える影響の定量的評価を行

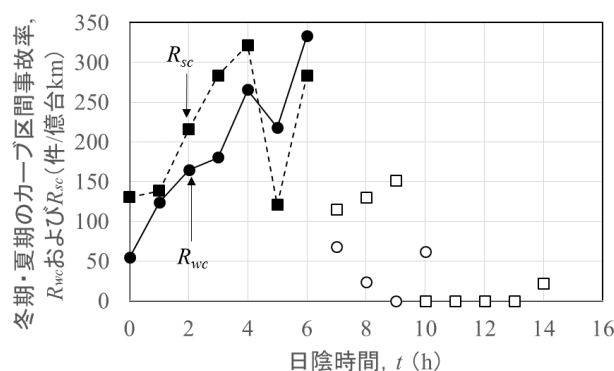


図6 カーブ区間の日陰時間と事故率の関係

うとともに、冬期道路維持管理作業などの事故減少効果について費用対効果の評価などを行う予定である。

参考文献

- 1) 平澤匡介、浅野基樹：平成元年以降の北海道における交通事故の傾向について、北海道開発土木研究所月報、Vol. 576、pp.13-21、2001。
- 2) 小島幸夫、田久保宣晃：気象要因が車両の安全走行に及ぼす影響 3.降雨及び積雪・凍結路面について、科学警察研究所報告交通編、Vol. 30、No.1、pp.115-132、1989。
- 3) 高橋尚人、徳永ロベルト、西山直樹：道路トンネルの路面温度分布特性把握と路面温度推定手法の基礎検討、土木学会年次学術講演会概要集、IV-154、pp.307-308、2010。
- 4) Toru Hagiwara, Yuki Onodera, Takashi Fujiwara, Takashi Nakatsuji and Terutoshi Kaku : Road Condition and Accident in Winter、*Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies*、ASTM STP、Vol. 1031、pp. 442-453、1990。
- 5) 齊田光、藤本明宏、福原輝幸：沿道構造物が路面温度に与える影響、土木学会年次学術講演会概要集、VII-076、pp. 151-152、2010。
- 6) 阿部修：移動路面観測車による道路雪氷の判別、防災科学技術研究所研究報告、Vol.50、pp.145-167、1992。