

16.3 ICTを活用した効率的、効果的な除雪マネジメント技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：技術開発調整監（寒地機械技術）

研究担当者：大槻敏行、高本敏志、小宮山一重、
佐藤信吾

【要旨】

積雪寒冷地において、降雪や積雪が道路交通に与える影響は大きく、円滑な道路交通の確保のためには道路除雪の実施は必要不可欠である。除雪作業を効率的に実施するためには過去の除雪作業の分析に基づく除雪作業計画、降雪状況に応じた最適な除雪出動タイミングと除雪作業中における臨機な除雪機械の運用が必用である。

本研究では、除雪機械稼働情報を作業時刻、道路距離標を軸に可視化した除雪作業グラフが、除雪作業の分析・評価に有効であることを示した。また、除雪工区上の降雪量と除雪作業所要時間の相関を分析し、除雪出動判断支援に適用すべき降雪量の集計方法を示した。さらに、除雪機械稼働情報の可視化機能、降雪量に応じた出動タイミングの判断を支援する除雪出動判断支援機能、大雪時等に隣接工区を支援した場合の除雪作業所要時間を予測する除雪機械運用支援機能を開発した。これらの成果を基に、除雪機械作業効率化マネジメント技術資料を作成した。

キーワード：除雪機械、マネジメントシステム、GPS、運用支援、除雪計画、ICT

1. はじめに

積雪寒冷地において、降雪や積雪が道路交通に与える影響は大きく、円滑な道路交通の確保は地域住民にとって必要不可欠である。また、鉄道の廃止により生活が100%自動車輸送に依存している地域もあることから、道路交通は重要な生命線となっており道路除雪に対する住民ニーズは高い。一方、近年の公共投資の抑制などを背景に、道路除雪についてもコスト縮減をせざるを得ない状況であり、道路管理者は除雪に関する管理基準の見直しや各種コスト縮減に取り組んでいる。しかし、現状の除雪作業において、除雪機械の出動タイミングの判断、作業中の運用（除雪ルート、連携等）の判断は、主に道路管理者や除雪工事現場代理人等の経験を頼りに行われているのが実態である。

一方、国土交通省が策定した「国土交通省防災業務計画(平成 27 年 7 月)」では、雪害による被害の発生防止または軽減を図る観点から、除雪機械について即時的、広域的かつ一元的な管理等、効果的な運用技術を開発し防災対策に反映するよう記されている¹⁾。

これらのことから、経験のみに拠らない定量的な判断に基づく効率的な除雪作業の実施が求められている。そのためには、過去の除雪作業実態の分析に基づく除雪作業計画、降雪状況に応じた最適な除雪出動タイミング、

及び作業中における臨機な除雪機械の運用が必要である。

本研究は、除雪作業を効率的・効果的に実施するため、後述する除雪機械等情報管理システムに蓄積された詳細な除雪機械稼働情報（位置・作業）や、気象情報等の分析を行い、ICT(Information Communication Technology)を活用して除雪出動判断・除雪機械運用を支援する除雪マネジメント技術を提案するものである。

2. 研究実施内容

本研究では、除雪マネジメント技術を提案するため、平成 23 年度から平成 27 年度において次の三つの項目に取り組んだ。

- ① 気象情報と除雪機械の稼働（位置・作業）情報の可視化による、除雪作業効率の分析・評価技術の提案
- ② 気象情報・除雪機械稼働情報の分析と ICT を活用した情報共有による、除雪出動判断・除雪機械運用支援技術の提案
- ③ 除雪機械の位置・作業情報を活用した、除雪機械作業効率化マネジメント技術の運用方法の提案

これにより、気象状況に応じた除雪出動判断の支援や、豪雪時等における除雪機械の効率的な運用が可能となり、路線としての除雪作業所要時間の短縮、及び除雪作業の遅延に起因する渋滞損失の低減が図られる。

3. 除雪機械等情報管理システムの概要

北海道の国道を管理する国土交通省北海道開発局（以下、開発局）は、1,040 台の除雪機械を用いて、一般国道約 6,700km の除雪を行っている²⁾。また、開発局では、地図上でのリアルタイムな除雪位置・作業情報や作業履歴の確認が可能な除雪機械等情報管理システムを用いて除雪作業を把握している。

除雪機械等情報管理システムは、開発局が導入した基幹システムと、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所（以下、寒地土研）が開発した除雪機械マネジメントシステム³⁾から構成されており、開発局職員及び除雪工事受注者（以下、除雪業者）に提供されている。

3.1 基幹システムの概要

基幹システムは、除雪機械に搭載された GPS や作業センサからの位置・作業情報を、車載端末を介してリアルタイムにサーバに収集・管理する。これにより、リアルタイムな除雪位置の確認や詳細な除雪作業履歴（作業日時、作業内容、作業箇所（KP）等）を確認することができる。基幹システムの基本機能である「除雪機械位置の確認」、「作業履歴の確認」画面の一例を図-1 に示す。

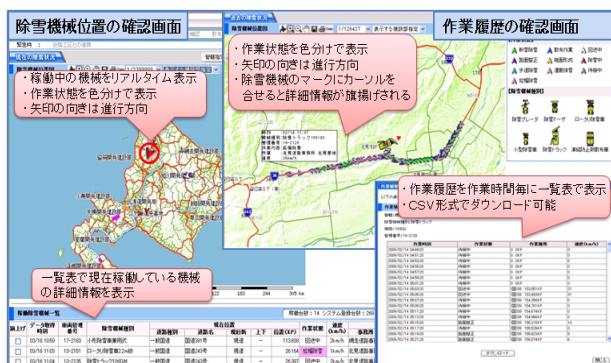


図-1 基幹システムの基本機能画面の一例

3.2 除雪機械マネジメントシステムの概要

除雪機械マネジメントシステムは、基幹システムで取得した除雪機械の位置・作業情報を活用し、効率的、効果的な除雪の実施を支援するために開発しているシステムである。

平成 27 年度末現在、このシステムで運用している主な機能は、地図上における除雪作業進捗状況の確認や、凍結防止剤散布設定情報の収集管理機能等である。

本研究で取り組んだ除雪出動判断・除雪機械運用支援技術の検討成果も、今後この除雪機械マネジメントシステムに機能追加する予定である。

4. 気象情報と除雪機械の稼働（位置・作業）情報の可視化による、除雪作業効率の分析・評価技術の提案

除雪作業はこれまで、主に経験を頼りに行われており、作業内容の分析・評価はあまり行われていない。

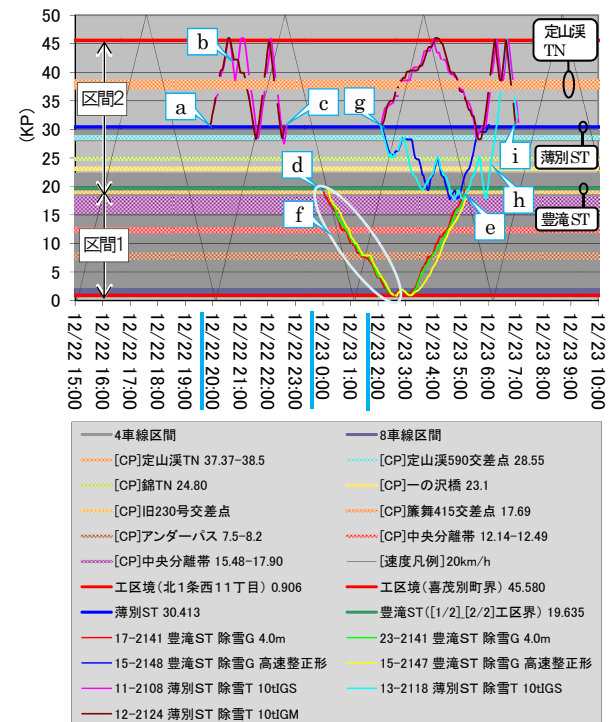
本項では、基幹システムに蓄積された除雪機械稼働情報を可視化し、分析・評価する技術について述べる。

4.1 除雪機械稼働情報の可視化

除雪機械稼働情報の可視化には、除雪機械位置を地図上に表示して閲覧する方法と、位置情報データを CSV 形式で取得し、ソフトウェアを用いてグラフ化して閲覧する方法がある。

地図上に表示する方法に比べ、グラフ化する方法は、1 台毎の作業速度、開始時刻・終了時刻、作業経路等がグラフに表示されるため、工区全体の作業状況を包括的に把握できるので除雪作業の分析・評価に有効である。

具体的には表計算ソフトを用いて除雪作業時刻、道路距離標（KP）を軸としたグラフ（以下、除雪作業グラフ）にプロットする。これにより、除雪機械 1 台の動きを 1 本の線で表すことができる。除雪機械の出動地点や転回点等を把握するため、除雪ステーション（以下、ST）、転回点等の位置を表す水平線を表示した。さらに、作業速度の目安とするため、時速 20km の斜線を表示した。除雪作業グラフ作成例を図-2 に示す。



※[CP(Control Point)]は、転回点名称を表す。

※各名称末尾の数字は、道路距離標（KP）を表す。

図-2 除雪作業グラフ作成例

4.2 除雪機械稼働情報の可視化による分析

図-2 に示した除雪作業グラフの作成例から確認できる除雪作業状況は以下のとおりである。

- (1) 12/22 20 時頃、区間 2 を除雪するため、薄別 ST から 2 台の除雪機械が梯団で出動 (図-2 の a) している。梯団は、途中で分かれて (図-2 の b) 1 台が定山溪 TN (トンネル) で折り返し、KP=45.580 まで 1 台で除雪を行った後合流し、12/22 23 時頃に薄別 ST に帰着 (図-2 の c) している。
- (2) 12/23 0 時頃、区間 1 を除雪するため、豊滝 ST から 3 台の除雪機械が梯団で出動 (図-2 の d) している。その後は区間 1 内を除雪し、12/23 5 時頃に豊滝 ST に帰着 (図-2 の e) している。なお、除雪作業速度は、12/22 20 時頃に出動した隣接区間の梯団 (図-2 の a) に比べ、グラフの傾きが緩いことから作業速度が遅いことが確認 (図-2 の f) できる。
- (3) 12/23 2 時頃、区間 2 を除雪するため、再び薄別 ST から除雪機械が出動 (図-2 の g) している。この時は、4 台の除雪機械が 2 台ずつの梯団に分かれて別方向に出動している。また、12/23 6 時頃、1 台が他方に応援に向かったことが確認 (図-2 の h) でき、区間 2 の梯団と合流して除雪を行い、12/23 7 時頃に薄別 ST に帰着 (図-2 の i) している。

このように、除雪機械稼働情報を可視化することで、時間経過に伴う除雪機械の除雪ルートや梯団編成の変化を容易に確認できる。また、過去の除雪作業を分析・評価することで、以後の除雪施工方法の検討や、隣接工区 (区間) との連携方法の検討に活用できる。

4.3 除雪作業効率分析・評価手順資料 (案) の概要

前項で述べた除雪作業を可視化分析する方法を「除雪作業効率分析・評価手順資料 (案)」として、とりまとめた。

4.3.1 除雪機械稼働情報の可視化手順

除雪機械の位置情報データを用いて除雪機械稼働情報を可視化する手順をまとめた。主な手順は以下のとおりである。

(1) 位置情報データの準備

可視化対象の除雪機械の作業時刻と路線上の位置情報 (KP 等) が把握できるデータを準備し、データテーブルを作成する。

(2) 除雪作業を可視化 (グラフ作成)

データテーブルを基にグラフを作成する。

(3) グラフ様式設定

グラフに表示する範囲 (日時、区間) を設定する。

(4) 目印 (転回点、速度凡例の斜線等) の追加

工区境・除雪 ST 等の定点、車線数変化地点や中央分離帯区間の目印データを追加する。目印データは、除雪作業の稼働状況 (移動・転回) をより詳細に把握するため必要である。

4.3.2 除雪作業可視化分析・評価手法

除雪作業を可視化後、分析・評価するポイントをとりとまとめた。なお、対象とする除雪作業の開始から終了までの累計降雪量が 10cm 程度を通常降雪時における除雪作業とし、20cm 程度以上を大雪時における除雪作業とした。

(1) 通常降雪時における除雪作業の分析・評価

通常降雪時の除雪作業は、ほぼ同様の作業形態 (除雪ルート、梯団編成) で行われることから、分析・評価ポイントは、通常降雪時における標準的な作業形態との相違点である。以下に分析・評価手順を示す。

1) 通常降雪時における標準的な除雪作業形態の把握

- ・通常降雪時の除雪作業を、位置情報データを用いて数例可視化する。

2) 通常降雪時における除雪標準作業グラフの作成

- ・ 1) で作成した除雪作業グラフから、出動方向や除雪機械の転回地点を整理し、頻度の高い除雪作業パターンを標準ルートとして設定する。
- ・ 位置情報データより、工区内の 0.5km 毎の速度を集計し、その平均速度を 0.5km 毎の標準作業速度として設定する。
- ・ 設定した標準作業ルート、転回点、標準作業速度より、標準作業グラフを作成する。

上記手順で作成した例を図-3 に示す。

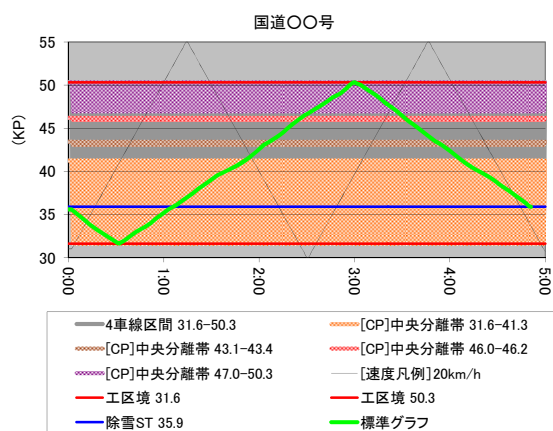


図-3 除雪標準作業グラフ作成例

- 3) 評価対象の除雪作業を可視化
 - ・可視化手順に基づき、評価対象の除雪作業を可視化する。
- 4) 除雪作業分析・評価
 - ・2) で作成した標準作業グラフと 3) で作成した評価対象の除雪作業グラフを比較し、相違するポイント（除雪ルート、作業速度、梯団編成、作業所要時間等）の有無を確認する。
 - ・相違するポイントに非効率な要素があれば、その要因について除雪業者へのヒアリング等で確認する。
 - ・非効率な要素は、効率化のための対策の検討を行う。
 - ・これらの分析・評価結果を、以後の除雪施工計画へ反映する。

(2) 大雪時における除雪作業の分析・評価

大雪時の除雪作業は、降雪量の増加に応じて変化する傾向があるが、この変化は一律ではない。このため、工区毎の地域特性を把握するとともに、累計降雪量で区分化して、降雪量毎に除雪作業を分析・評価する必要がある。分析・評価ポイントは、通常降雪時との相違点のほか、除雪ルートの検証、隣接工区（区間）との除雪作業終了時刻の差異等である。以下に分析・評価手順を示す。

- 1) 通常降雪時における除雪標準作業グラフの作成
 - ・(1) に示した手順で通常降雪時の除雪標準作業グラフを作成する。

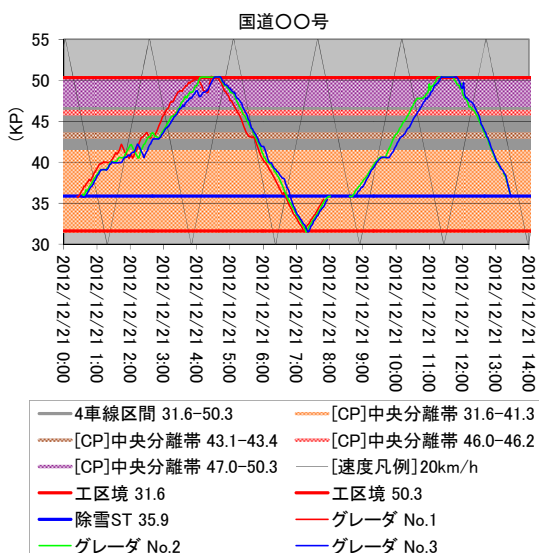


図-4 降雪量 20cm-30cm の時の除雪作業グラフ作成例

- 2) 除雪作業の累計降雪量を集計
 - ・降雪量に応じて除雪作業を区分するため、除雪作

業の開始から終了までの工区内の累計降雪量を、除雪工区近隣のアメダス観測所データや、降雪メッシュデータ等を用いて集計する。

- ・集計した累計降雪量に基づき、除雪作業を 20cm-30cm、30cm-40cm 等に区分する。
- 3) 大雪時の除雪作業を可視化
 - ・可視化手順に基づき、累計降雪量区分毎の除雪作業を数例可視化（図-4）する。
 - 4) 累計降雪量区分毎の除雪標準作業グラフの作成
 - ・3) で区分した除雪作業を(1) の 2) に示した手順に準じて、累計降雪量区分毎の除雪標準作業グラフを作成する。
 - 5) 評価対象の除雪作業を可視化
 - ・可視化手順に基づき、評価対象の除雪作業を可視化する。
 - 6) 除雪作業分析・評価
 - a) 除雪作業状況の把握
 - ・(2) の 1) で作成した通常降雪時の除雪標準作業グラフと(2) の 4) で作成した累計降雪量区分毎の除雪標準作業グラフとを比較し、対象工区の累計降雪量の違いによる標準作業ルートの変化の傾向を確認する
 - ・(2) の 4) で作成した累計降雪量区分毎の除雪標準作業グラフと(2) の 5) で作成した評価対象の除雪作業グラフを比較し、梯団編成や除雪ルートの相違するポイント、隣接工区または対象工区内の区間毎の除雪作業終了時刻の差等の非効率な要素の有無を確認する。
 - b) 隣接工区（区間）の除雪作業終了時刻に差が生じていた場合
 - ・工区（区間）境シフト（以下、工区シフト）実施の必要性及び有効性について確認する。
※工区シフトとは、除雪作業の進捗が早い工区（区間）を担当する除雪機械が、担当工区（区間）境を越境して進捗の遅い方の除雪作業を支援することである。工区シフトの実施により、遅い方の除雪作業終了時刻を早めることで、路線全体としての道路交通への影響（旅行速度低下、渋滞損失増加）を抑制することができる。
 - c) 除雪作業が通勤通学時間帯等、道路交通に影響を及ぼしていた場合
 - ・隣接工区（区間）との工区シフトの必要性及び有効性について確認する。
 - ・工区シフトを実施した場合の除雪ルートを想定

し、除雪終了時刻を予測する。

- ・予測した除雪作業終了時刻について、支援される除雪工区（区間）と、支援する除雪工区（区間）の渋滞損失額を算出し、工区シフト実施の有効性を評価する。
- d) これらの分析・評価結果を以後の除雪施工計画へ反映する。

5. 気象情報・除雪機械稼働情報の分析とICTを活用した情報共有による、除雪出動判断・除雪機械運用支援技術の提案

5.1 気象情報・除雪機械稼働情報の分析

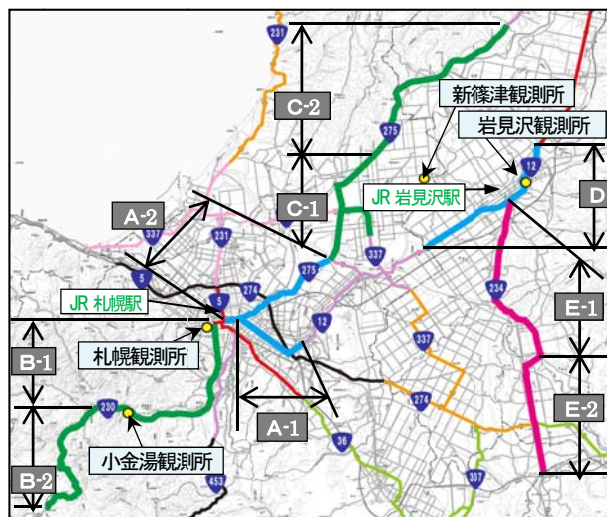
降雪量に応じた最適な出動タイミングを判断するためには、担当する除雪工区の現在の降雪量及び以後の予想降雪量を考慮し、除雪作業所要時間を推定する必要がある。そこで、降雪量と除雪作業所要時間の関係を解明するため、過去の降雪量とその時の除雪機械稼働情報について調査を行い、降雪量と除雪作業所要時間の関係について分析を行った。なお、調査した除雪工区は、開発局札幌開発建設部が発注した除雪工事のうち、沿道条件が異なる5箇所の除雪工区である。調査した除雪工区の概要を表-1に、除雪工区の位置を図-5に示す。

表-1 除雪工区概要

工区名	区間	延長 (km)	沿道条件 (上段:km,下段:%)				除雪可能 時間帯	交通量 (台/24h) 上段:最大 下段:平均
			市街地 (DID)	市街地 (その他)	平地	山地		
A	1	13.7	13.7	0.0	0.0	0.0	夜間	34,370
			100.0	0.0	0.0	0.0		27,098
	2	13.6	5.1	8.5	0.0	0.0	夜間	35,462
			37.4	62.6	0.0	0.0		32,463
B	1	18.7	11.5	0.0	7.3	0.0	夜間	45,357
			61.2	0.0	38.8	0.0		32,398
	2	25.9	0.0	0.0	7.2	18.8	終日	14,958
			0.0	0.0	27.7	72.3		13,416
C	1	16.1	0.0	0.0	16.1	0.0	終日	13,828
			0.0	0.0	100.0	0.0		8,158
	2	24.1	0.0	3.1	21.0	0.0	終日	6,348
			0.0	12.9	87.1	0.0		6,247
D	全体	18.7	7.6	1.9	9.1	0.0	終日	27,188
			40.7	10.3	48.9	0.0		22,826
E	1	17.1	2.9	1.2	12.9	0.0	終日	23,318
			17.2	7.1	75.7	0.0		16,139
	2	20.2	0.1	0.2	20.0	0.0	終日	10,871
			0.5	0.9	98.6	0.0		8,552

※延長と沿道条件の内訳は、端数処理上、合わない場合がある。

※交通量は、道路交通センサデータを用いて、各区間に含まれる交通量調査地点の最大及び平均台数を算出した。



※A～Eは工区名を、枝番の1及び2は区間名を表す。
※各観測所はアメダス観測所を表す。

図-5 除雪工区の位置図

5.1.1 降雪量の集計方法の検討

分析に用いる降雪量データとして、気象庁のアメダスデータを用いる方法があるが、アメダス観測所は必ずしも除雪工区の最寄りに位置しているとは限らないため（図-5参照）、除雪工区の道路上の降雪量と相違する可能性がある。そこで、当研究所の寒地交通チームが提供している冬期道路マネジメントシステム⁴⁾に蓄積されている降雪量データを用いた。この降雪量データは、時間降雪量が1kmメッシュ毎に数値化されているデータであるため、地図データと重ね合わせることで、除雪工区上の降雪量を集計することが可能である。具体的には、除雪工区上に0.5km毎に設けた集計ポイント毎の降雪量を平均し集計した。降雪量データを除雪工区と重ね併せた例を図-6に、降雪量の集計ポイントの設定例を図-7に示す。

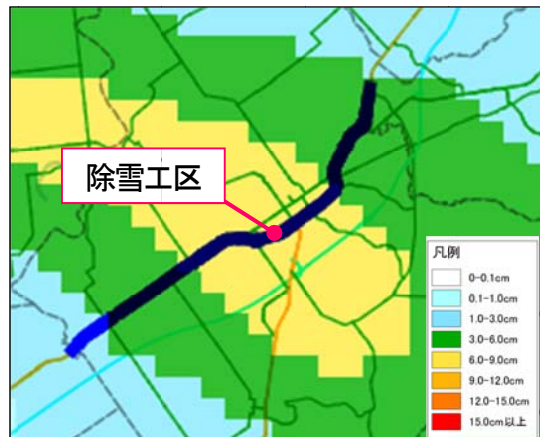


図-6 降雪量データと除雪工区の表示例

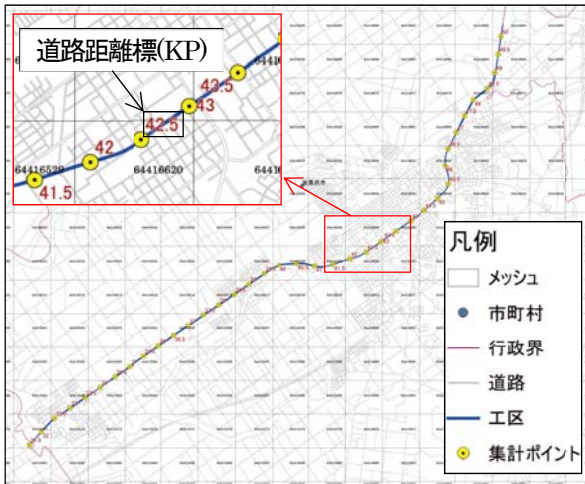


図-7 降雪量集計ポイント設定例

5.1.2 降雪量と除雪作業所要時間の分析

降雪量と除雪作業所要時間の分析において、除雪作業開始前、及び除雪作業中における降雪量との関連度合いを明らかにするため、降雪量の集計対象時間を表-2 のとおり区分した。

表-2 降雪量集計区分表

集計区分	降雪量集計対象時間
1	直近の除雪作業終了*から当該除雪作業開始まで
2	当該除雪作業開始から当該除雪作業終了まで
3	直近の除雪作業終了*から当該除雪作業終了まで (集計区分1+集計区分2)

*直近の除雪作業終了から当該除雪作業開始までが 24 時間以上経過している場合は、当該除雪作業開始の 24 時間前からとした。

除雪作業所要時間は、除雪機械が担当工区 (区間) の除雪を開始してから、終了するまでに要した時間とし、除雪基地から担当工区 (区間) までの回送時間は含まない。また、一定時間のインターバルを経て、複数回出動するケースについては、一連の作業と見なし (インターバルも所要時間とし) 分析した。なお、次の除雪に出動するまでのインターバルは 1.5 時間未満とし、これ以上については別の作業として分析した。これは、労働基準法では 8 時間を超える労働の場合、1 時間の休憩時間が必要なことと、除雪機械の道路運送車両法に基づく運行前点検として 30 分を考慮したものである。降雪量の集計区分、及び一連の除雪作業の関係を図-8 に示す。また、以上の条件から降雪量と除雪作業所要時間の相関関

係を求め、比較した結果を表-3 に示す。

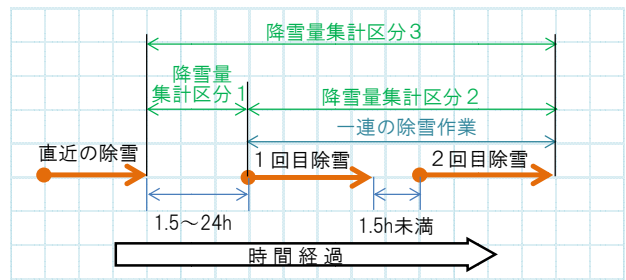


図-8 降雪量集計区分及び一連作業のイメージ

表-3 降雪量と除雪作業所要時間の相関関係比較

降雪量集計区分	A工区		B工区		C工区		D工区	E工区	
	区間1	区間2	区間1	区間2	区間1	区間2		全体	区間1
1	-0.22	0.00	0.37	-0.18	0.23	-0.16	0.36	0.35	0.32
2	0.26	0.07	0.60	0.61	0.27	0.84	0.74	0.51	0.67
3	-0.04	0.04	0.63	0.43	0.32	0.55	0.71	0.50	0.54

除雪可能時間帯: 夜間 (A工区, B工区), 終日 (C工区, D工区, E工区)

相関係数			
-1.0以上~-0.7未満	強い負の相関あり	0以上~0.2未満	ほとんど相関なし
-0.7以上~-0.4未満	負の相関あり	0.2以上~0.4未満	弱い正の相関あり
-0.4以上~-0.2未満	弱い負の相関あり	0.4以上~0.7未満	正の相関あり
-0.2以上~0未満	ほとんど相関なし	0.7以上~1.0未満	強い正の相関

降雪量と除雪作業所要時間の相関分析の結果、A工区を除き集計区分2及び3において、「弱い正の相関」、「正の相関」及び「強い正の相関」が得られた (表-3の黒枠)。なお、A工区の相関係数が低い要因は、工区内における市街地の割合が高いことから、除雪可能時間帯が夜間のみに制限されているうえ、通常降雪時においてもその時間帯のほぼ全てを要しており、降雪量が多くなっても除雪時間を延長できないなど、降雪量に依存しない事情の影響と考えられる。また、B工区の区間1は、A工区と同様に作業が夜間に限られているが、「弱い正の相関」が得られている。この理由は、A工区に比べ、通常降雪時は作業開始が遅く作業終了が早いことから、降雪量が多くなった場合には、作業開始時刻を早めたり、作業終了時刻を遅くすることが可能あり、除雪作業所要時間が増加するためと考えられる。

相関分析の結果、一部の工区を除き、降雪量と除雪作業所要時間の相関が得られた。除雪作業所要時間の増加要因は、除雪作業速度の低下、または、除雪工区内を繰り返し除雪することに伴う除雪作業延長の増加によるものと推測するが詳細は不明である。そこで、除雪作業所要時間の増加要因を解明するため、さらに相関分析を行った。

分析対象とする除雪工区は、地域性や沿道条件を考慮し、沿道条件で市街地割合が高い工区（A 工区区間 1 及び 2、B 工区区間 1）、及び沿道条件で平地割合が高く、交通量が多い工区（E 工区区間 1 及び 2）を選定した。また、分析対象とする降雪量は表-2 のとおり区分した。

5.1.3 降雪量と除雪作業速度の相関分析

道路は縦断方向に沿道条件や交通状況が異なるため、分析に用いる除雪作業速度は、除雪工区全体における平均作業速度ではなく、0.5km 区間毎の平均作業速度とした。

降雪量と 0.5km 区間毎の除雪作業速度の相関分析を行い、得られた相関係数を 0.5km 区間毎にプロットした分布図を図-9 に示す。

相関分析の結果、相関係数は分散する結果となり、除雪作業所要時間の増加は、除雪作業速度の低下が主たる要因ではないことがわかった。

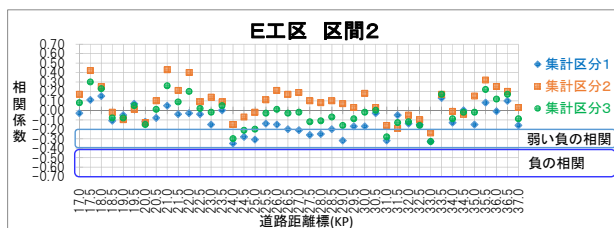


図-9 降雪量と 0.5km 区間毎の除雪作業速度の相関係数分布図

5.1.4 降雪量と除雪作業延長の相関分析

除雪作業延長は、基幹システムに蓄積された除雪機械稼働情報の位置情報データを基に、移動した差分距離（絶対値）を累積して算出した。また、降雪量の増加に伴い除雪作業に複数回出動していた場合は、前述 5.1.2 の分析と同様に一連の作業と見なした。

降雪量と除雪作業延長の相関関係を求め、比較した結果を表-4 に示す。

表-4 降雪量と除雪作業延長の相関関係比較

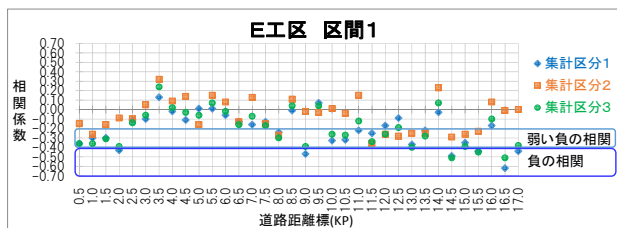
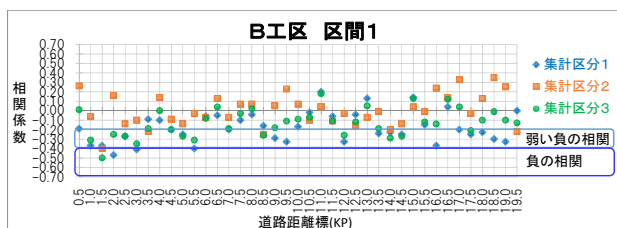
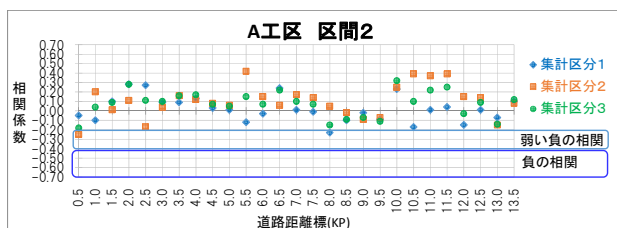
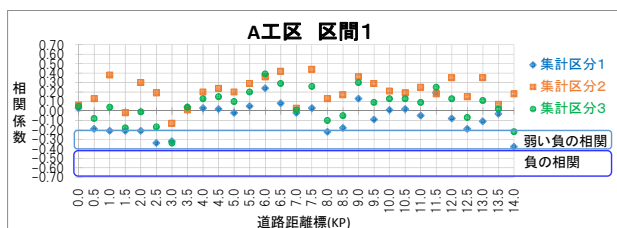
降雪量 集計区分	A工区		B工区	E工区	
	区間1	区間2	区間1	区間1	区間2
1	0.05	0.30	0.02	0.17	0.48
2	0.13	0.09	0.50	0.48	0.57
3	0.12	0.28	0.31	0.35	0.60
除雪可能 時間帯	夜間			終日	

※ 降雪量集計区分については、表-2を参照
相関係数は表-3を参照

相関分析の結果、降雪量集計区分 2 において、A 工区を除き「正の相関」が得られた（表-4 の黒枠）。また、降雪量集計区分 3 においては、A 工区の区間 1 を除き、「弱い正の相関」及び「正の相関」が得られた（表-4 の黒点線枠）。このことから、除雪作業所要時間の増加は、除雪作業延長の増加（除雪工区内の複数回除雪）が主たる要因であることがわかった。なお、A 工区で相関係数が低い要因は、前述 5.1.2 の分析と同様、除雪可能時間帯の制限などの影響と思われる。

5.1.5 まとめ

降雪量と除雪作業所要時間の分析の結果、A 工区を除き降雪量集計区分 2 及び 3 において、「弱い正の相関」、「正の相関」及び「強い正の相関」が得られた（表-3）。除雪作業所要時間増加の要因を分析した結果、除雪作業速度の低下は主たる要因ではなく（図-9）、除雪作業延長の増加（除雪工区内の複数回除雪）が主たる要因で



あることがわかった（表-4）。

なお、次項で説明する除雪機械マネジメントシステム新機能の開発における降雪量データについては、表-4の多くの工区で「弱い正の相関」及び「正の相関」が得られ、より長い時間幅で降雪量を評価できる降雪量集計区分3を適用することとした。

5.2 除雪機械マネジメントシステム機能の開発

5.2.1 除雪機械稼働状況可視化機能の開発

前項「4.2 除雪機械稼働情報の可視化による分析」で行った除雪作業可視化分析を容易に行えるシステム（以下、可視化機能）の検討を行った。

可視化機能の操作・設定は、誰でも容易に行えるよう、主にプルダウンにより選択可能となる仕様とした。グラフ表示設定に関しては、除雪機械の動態を表す折れ線や転回点等を表す直線の線色、線種を任意に設定できる仕様とした。これらの仕様を基に可視化基本機能のデモサイトを作成し、システムユーザー（道路管理者、除雪業者）を対象として「操作性」や「見やすさ」等についてwebによるアンケート調査を行った。その結果、道路管理者 16 人、除雪業者 16 人から回答を得ることができた。主なアンケート意見は次のとおりである。

①表示や操作に関する改善意見

- ・「グラフが小さい」（道路管理者）
- ・「全選択、解除ボタンがほしい」（道路管理者）
- ・「グラフ表示が見づらい」（除雪業者）

②可視化機能の有効性に関する意見

- ・「リアルタイムに表示できれば、豪雪時の対応に役立つ」（道路管理者）
- ・「他工区との兼ね合いや作業遅延による応援体制の指示に十分活用できる」（除雪業者）

これらの得られた意見を反映し、可視化機能の基本プログラムを作成した。また、平成 27 年度には、可視化機能の背景に除雪工区上の 1km メッシュ（前項 5.1.1 で解説した降雪量データ）の 1 時間当たりの降雪量を表示する機能を追加した。

可視化機能を用いて作成した除雪作業グラフを図-10 に示す。これは図-5 の D 工区の一例である。



図-10 除雪作業グラフ（上図）と凡例（下図）

可視化機能の概要について説明する。

(1) 設定登録機能

設定登録機能は、グラフに表示する設定情報をログインユーザー毎に登録する機能である。設定可能な主要情報を示す。

- ・グラフに表示する路線、範囲（KP）
- ・グラフに表示する除雪機械の選択、線色及び線種
- ・除雪機械が転回する地点（KP）
- ・橋梁やトンネル等の地点（KP）

(2) グラフ表示機能

グラフ表示機能は、設定登録した複数台の除雪機械の位置情報データを、道路距離票と除雪作業時刻を軸とした折れ線グラフで表示する機能である。また、リアルタイム表示、過去の任意の期間の表示が可能である。主な表示機能を示す。

- ・リアルタイム表示では閲覧時点を基点とした過去 24 時間の状況が表示され、グラフはリアルタイム(10 分毎)に更新される。
- ・過去の任意の期間の表示が可能である。
- ・ユーザーが設定した道路距離票の範囲に応じて、その範囲に含まれる除雪工区境、除雪 ST の位置を自動で直線表示する。
- ・カーソルを折れ線グラフに合わせると、作業時刻、作業地点 (KP)、速度をポップアップで表示する。
- ・凡例はグラフの横に表示する。表示内容は、ユーザーが設定した表示範囲に含まれる除雪工区情報 (図-10 の a)、除雪車情報 (図-10 の b)、及び降雪情報 (図-10 の c) である。

(3) 降雪情報提供機能

降雪情報提供機能は、除雪機械の作業状況と除雪工区上の降雪状況を同時に把握するために作成したものである。

降雪量階級の表示方法は、1km・1 時間毎の降雪量を 6 階級に区分し、除雪作業グラフの背景に表示する。なお、閲覧時点までの実績、閲覧時点から 6 時間先の予測降雪量が表示可能である。

降雪量階級を表-5 に、配色パターンを図-11 に示す。

表-5 降雪量階級区分

階級	1 km・1 時間当たりの降雪量(mm/h)
0	0
1	0.1 以上 ~ 10 未満
2	10 以上 ~ 20 未満
3	20 以上 ~ 30 未満
4	30 以上 ~ 40 未満
5	40 以上



図-11 降雪メッシュ表示配色パターン

5.2.2 除雪機械稼働状況可視化機能の試行

平成 27 年度、可視化機能の利用の手引き詳細版 (図-12) 及び簡易版を作成し、可視化機能を開発局へ提供した。



図-12 除雪機械稼働状況可視化機能利用の手引き

5.2.3 除雪出動判断支援機能の開発

これまでの除雪作業の可視化分析から、通常降雪時 (道路管理者が定める出動基準：降雪量 10cm 程度の降雪時) における除雪ルート及び除雪作業所要時間は、ほぼ近似していることが判明している。そこで、降雪量に応じた最適な出動タイミングの判断を支援するため、それぞれの除雪工区の通常降雪時における代表的な除雪ルート及び除雪作業所要時間を算出し、その情報を除雪作業グラフで表示する機能 (以下、除雪出動判断支援機能) を開発した。以下に代表的な除雪ルートの選定方法、除雪作業所要時間の算出基礎となる除雪作業速度の算定方法、除雪出動判断支援機能の概要について説明する。

(1) 代表的な除雪ルートの選定方法

降雪量に応じた出動タイミングの判断を支援するためには、通常降雪時において指標となる除雪ルートをユーザーに示す必要がある。そこで、過去の通常降雪時において実施された、全ての除雪ルートに最も近似している代表的な除雪ルートを選定することとした。

代表的な除雪ルートを選定するためには、始めに、その除雪作業がどのような降雪で行われた作業だったのかを判別する必要がある。そこで、前述 5.1 の分析結果を反映し、「直近の除雪作業終了時から当該除雪作業終了時まで (表-2 の降雪量集計区分 3)」の累計降雪量を用いて、過去 5 カ年分の除雪作業を、降雪量階級毎 (8cm 以上~12cm 未満 (通常降雪時)、13cm 以上~20cm 未満、20cm 以上~30cm 未満、30cm 以上~40cm 未満、40cm 以上) に区分し、8cm 以上~12cm 未満を通常降雪時の除雪作業として抽出した。

上記の手順により抽出した通常降雪時の除雪ルートの中から、代表的な除雪ルートを選定する方法として、除雪機械の時間経過に伴う移動を動的タイムワーピング (以下、DTW: Dynamic Time Warping) 距離を用いた評価を行った。DTW 距離とは、時間軸上のずれを許容し、長さの異なるデータ間に与える距離のことである⁵⁾。

降雪量階級判別、除雪ルートの単純化処理、DTW 距離を用いた評価について説明する。

① 降雪量階級判別

除雪ルートを前述の降雪量階級毎に区分し、通常降雪時の除雪ルートを抽出する。

② 除雪ルートの単純化処理

DTW 距離を用いた評価では、計算コストの削減が重要である⁵⁾。

除雪機械は出動してから帰着するまでの作業中、停車や折り返しなどの作業速度の変化があり、時間経過に伴う移動間隔が一定ではない。代表的な除雪ルートを選定するうえで、除雪ルート上の折り返し地点を考慮する必要はあるが、出動毎に異なる停車時間や作業速度要素は除雪ルートには反映されないため不要である。停車時間や作業速度要素を排除するため、データの間引き、または補間処理を行うこととした。これにより、一定間隔で変化する系列を作成することが可能となる。

データの間引き及び補間処理は、除雪機械の位置情報データ（道路距離標(KP)）を任意の距離間隔で丸め、データ（道路距離標(KP)）が連続して出現する場合はデータの間引きを行い、欠落する場合はデータの補間を行うことで、除雪ルートを単純化処理する。単純化処理のイメージを図-13 に示す。

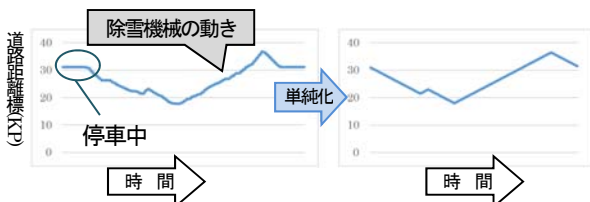


図-13 除雪ルートの単純化処理イメージ

③ DTW 距離を用いた評価

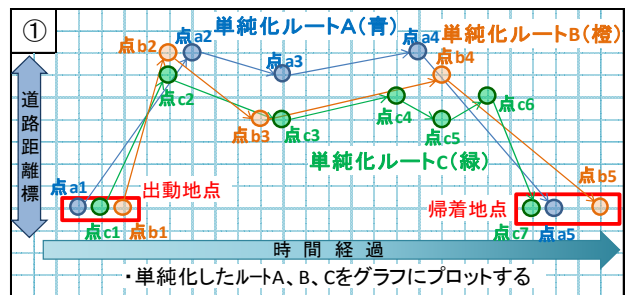
除雪出動毎の除雪ルートを前述の手順で単純化処理した後、対象とする除雪ルートの折り返し地点相互間の DTW 距離を計算し評価する。

ここでは、除雪ルート A、B、C の DTW 距離を用いた評価例について説明する。

単純化処理後の除雪ルート A、B、C の相互の折り返し地点間の DTW 距離を総当たりで求め、DTW 距離の合計が最小値となった除雪ルートが、比較した除雪ルートの中の代表的な除雪ルートである。各除雪ルートの DTW 距離算出式を表-6 に、代表例として単純化ルート A の DTW 距離の算出イメージを図-14 に、評価結果を表-7 に示す。

表-6 各除雪ルートの DTW 距離算出式

除雪ルート	算出式
A	(単純化ルート A と B の DTW 距離) + (単純化ルート A と C の DTW 距離)
B	(単純化ルート B と A の DTW 距離) + (単純化ルート B と C の DTW 距離)
C	(単純化ルート C と A の DTW 距離) + (単純化ルート C と B の DTW 距離)



※実線は除雪車の移動ポイントを表す

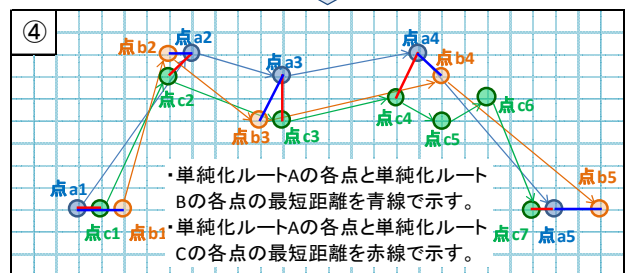
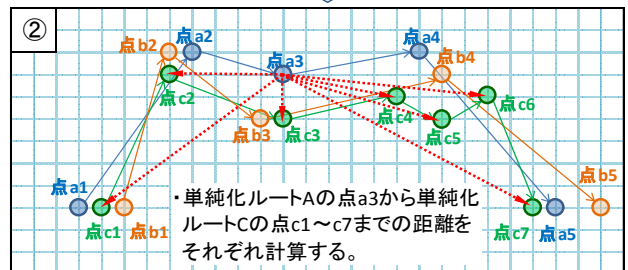


図-14 各除雪ルートの DTW 距離の算出イメージ

表-7 DTW 距離を用いた評価結果

	単純化ルートB					赤枠の計	単純化ルートC							赤枠の計	評価値	
	点b1	点b2	点b3	点b4	点b5		点c1	点c2	点c3	点c4	点c5	点c6	点c7			
単純化ルートA	点a1	2.0	8.1	8.9	17.1	23.0	8.6	1.0	7.2	9.8	14.9	16.5	18.7	20.0	17.6	16.2
	点a2	7.6	1.0	4.2	11.1	19.3		8.1	1.4	5.0	9.2	11.4	13.2	16.6		
	点a3	9.2	5.1	2.2	7.0	15.2		10.0	5.0	2.0	5.1	7.3	9.1	12.5		
	点a4	14.8	11.0	7.6	1.4	10.6		15.7	11.1	6.7	2.2	3.2	3.6	8.6		
	点a5	19.0	18.4	13.6	7.8	2.0		20.0	18.0	12.7	8.6	6.4	5.8	1.0		
	赤枠の計															

	単純化ルートA					赤枠の計	単純化ルートC							赤枠の計	評価値	
	点a1	点a2	点a3	点a4	点a5		点c1	点c2	点c3	点c4	点c5	点c6	点c7			
単純化ルートB	点b1	2.0	7.6	9.2	14.8	19.0	8.6	1.0	6.3	8.1	13.0	14.6	16.8	18.0	8.0	16.6
	点b2	8.1	1.0	5.1	11.0	18.4		7.6	1.0	5.8	10.2	12.4	14.1	17.5		
	点b3	8.9	4.2	2.2	7.6	13.6		8.1	4.5	1.0	6.1	8.0	10.1	12.7		
	点b4	17.1	11.1	7.0	1.4	7.8		16.2	12.0	7.3	2.2	2.0	2.2	7.2		
	点b5	23.0	19.3	15.2	10.6	2.0		22.0	19.9	14.6	10.3	8.1	7.1	3.0		
	赤枠の計															

	単純化ルートA					赤枠の計	単純化ルートB							赤枠の計	評価値	
	点a1	点a2	点a3	点a4	点a5		点b1	点b2	点b3	点b4	点b5	—	—			
単純化ルートC	点c1	1.0	8.1	10.0	15.7	20.0	14.4	1.0	7.6	8.1	16.2	22.0	—	—	12.4	26.8
	点c2	7.2	1.4	5.0	11.1	18.0		6.3	1.0	4.5	12.0	19.9	—	—		
	点c3	9.8	5.0	2.0	6.7	12.7		8.1	5.8	1.0	7.3	14.6	—	—		
	点c4	14.9	9.2	5.1	2.2	8.6		13.0	10.2	6.1	2.2	10.3	—	—		
	点c5	16.5	11.4	7.3	3.2	6.4		14.6	12.4	8.0	2.0	8.1	—	—		
	点c6	18.7	13.2	9.1	3.6	5.8		16.8	14.1	10.1	2.2	7.1	—	—		
	点c7	20.0	16.6	12.5	8.6	1.0		18.0	17.5	12.7	7.2	3.0	—	—		
	赤枠の計															

※ 図-14の1マスを1.0として、各点相互の距離を計算
 ※ 赤枠内の距離が、各点相互間の最短距離
 ※ 青枠内の評価値が、各点相互間の最短距離(赤枠)の合計値

表-7 より、DTW 距離の合計が最も小さい単純化ルート A が代表的な除雪ルートである。

(2) 除雪作業所要時間の算出基礎となる除雪作業速度の算定方法

前述で選定した代表的な除雪ルートは、単純化処理過程において、速度要素を排除している。そこで、速度要素を付加するため、過去 5 カ年分の除雪作業データから、除雪工区別、除雪機械別、道路距離標別、作業時間帯別(昼間、夜間、深夜)に速度を算定した。

算定した速度要素を前述で選定した代表的な除雪ルートに与えることで、速度要素を含んだ代表的な除雪ルートとなる。

(3) 除雪出動判断支援機能の概要

除雪出動判断支援機能の概要について説明する。

1) 設定登録機能

設定登録機能は、グラフに表示する際の設定情報をログインユーザー毎に登録する機能である。設定可能な主要情報を示す。

- ・グラフに表示する路線、範囲 (KP)
- ・グラフに表示する除雪機械の選択、線色及び線種
- ・除雪機械が巡回する地点 (KP)

2) グラフ表示機能

グラフ表示機能は、設定登録した複数台の除雪機械の通常降雪時の代表的な除雪ルートを、道路距離標(KP)と経過時間を軸としたグラフに、折れ線で表示する機能

である。主な表示機能を示す。

- ・設定した道路距離票(KP)の範囲内に含まれる除雪工区境を表示する。
- ・カーソルを折れ線グラフに合わせると、作業時刻、作業地点 (KP)、速度をポップアップで表示する。

図-5 に示した D 工区の通常降雪時における代表的な除雪ルートを図-15 に示す。

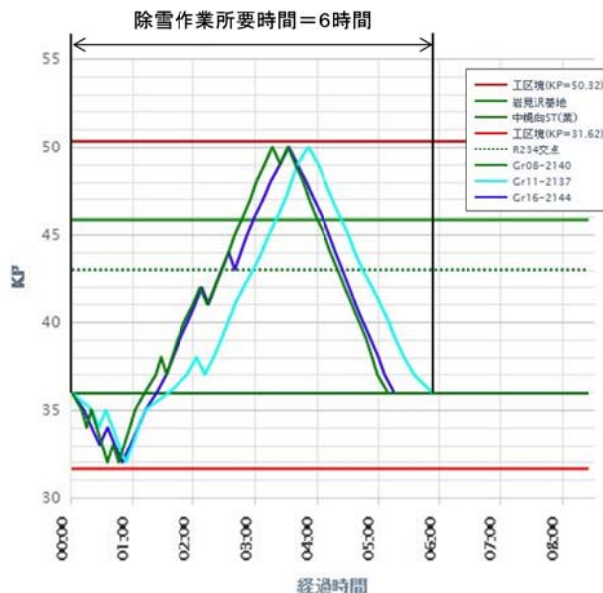


図-15 D 工区の通常降雪時における代表的な除雪ルート

図-15 に示したグラフから、除雪作業所要時間が 6 時間であり、目標とする除雪作業終了時刻の 6 時間前に出動すれば対処可能であることがわかる。また、気象情報により、通常降雪時(8cm 以上~12cm 未満)以上の降雪や局地的な降雪など通常降雪時と異なる状況が予想される場合は、6 時間以上前に出動する必要があるといえる。

この機能の活用により、熟練者でなくても降雪量に応じた出動判断や、降雪状況に応じた除雪体制の検討などが可能となる。

5.2.4 除雪機械運用支援機能の開発

大雪時等においては、降雪状況等の違いで隣接する除雪工区間で除雪作業の進捗に差が生じてしまう場合がある。

このような状況が想定される場合は、隣接工区(区間)との担当工区(区間)境を変更し、遅延工区の除雪作業を支援する「工区シフト」が有効である。しかし、工区シフトを実施した場合の効果は定量的に把握されていない。

このことから、隣接工区の除雪作業の支援を行った場

合の除雪作業所要時間を予測する機能（以下、シミュレーション機能）を開発した。機能の概要について説明する。

(1) 設定登録機能

設定登録機能は、グラフに表示する設定情報をログインユーザー毎に登録する機能である。設定可能な主要情報は5.2.3の除雪出動判断支援機能と同様である。

(2) グラフ表示機能

グラフ表示機能は、設定登録した除雪機械及び隣接工区の除雪機械の稼働情報を折れ線グラフで表示する機能である。グラフ上又は入力ボックスで工区シフト後の工区境を指定することによって、工区シフト後の予測ルートを出し表示する。

主な表示機能は5.2.3の除雪出動判断支援機能と同様である。また、ルートの予測には同機能によって算出された累計降雪量区分毎の代表的な除雪ルートを活用している。



図-16 工区シフト実施イメージ

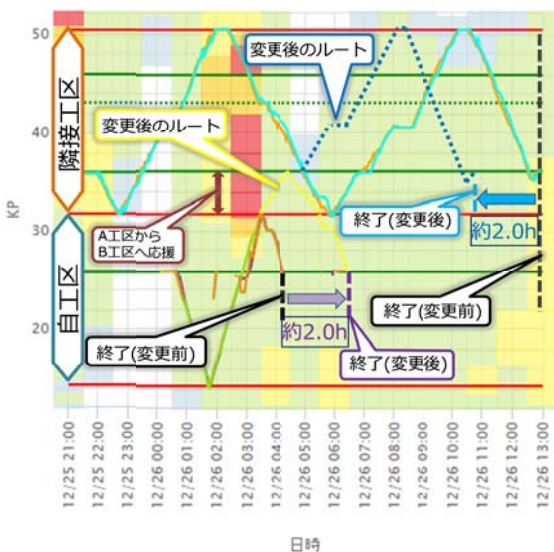


図-17 工区シフトを実施した場合のシミュレーション

6. 除雪機械の位置・作業情報を活用した、除雪機械作業効率化マネジメント技術の運用方法の提案

平成23年度から取り組んできた成果を基に、道路管理者等が除雪作業を効率的に実施するための技術資料として、「除雪機械作業効率化マネジメント技術資料」（以下、技術資料）を作成した(図-18)。

技術資料では、「除雪作業の分析・評価方法」、「除雪作業の出動判断支援」、「大雪時における除雪機械運用支援」についてまとめた。



図-18 除雪機械作業効率化マネジメント技術資料

7. まとめ

除雪機械稼働情報を作業時刻と道路距離標を軸に可視化した除雪作業グラフが、除雪作業の分析・評価に有効であることを示した。除雪工区上の降雪量と除雪作業所要時間の相関を分析し、除雪出動判断支援に適用すべき降雪量の集計方法を示した。

除雪機械マネジメント機能の開発では、除雪機械稼働情報の可視化機能を開発した。

さらに、降雪量に応じた出動タイミングの判断を支援する除雪出動判断支援機能、大雪時等に除雪機械が隣接工区を支援した場合の除雪作業所要時間を予測する除雪機械運用支援機能を開発した。

これらの成果を基に、「除雪機械作業効率化マネジメント技術資料」を作成した。

参考文献

- 1) 国土交通省：国土交通省防災業務計画、P283、平成27年7月、<http://www.mlit.go.jp/saigai/bousaigyomukeikaku.html>
- 2) 国土交通省北海道開発局：今冬の除雪体制等について（平成27年11月9日）、http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/jyosetsu/pdf/jyosetsutaisei.pdf

16.3 ICTを活用した効率的、効果的な除雪マネジメント技術に関する研究

- 3) 岸寛人、牧野正敏、佐々木憲弘：GPS を活用した除雪機械運用支援システムの開発、平成 22 年度建設施工と建設機械シンポジウム、平成 22 年 11 月
- 4) 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、平成 25 年度北海道開発技術研究発表会、平成 26 年 2 月
- 5) 吉川昂伯、石川昌弘、陳漢雄、古瀬一隆、大保信夫：長大な時系列データの類似検索の研究、電子情報通信学会 第 18 回データ工学ワークショップ、平成 19 年 2 月
- 6) 一般社団法人日本建設機械施工協会北海道支部ホームページ(http://www.jcmahs.jp/html/17_questionnaire.html)：除雪機械施工に関するアンケート調査結果

STUDY ON TECHNOLOGY FOR EFFICIENT AND EFFECTIVE SNOW REMOVAL MANAGEMENT UTILIZING ICT

Budgeted : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Director for Cold-Region Technology Development
Coordination(Machinery Technology Research Team)

Author : OTSUKI Toshiyuki
TAKAMOTO Satoshi
KOMIYAMA Kazushige
SATO Shingo

Abstract : In cold, snowy regions, snowfall and snow cover greatly affect road traffic. Removing snow from roads is essential for securing smooth road traffic. To effectively conduct snow removal, it is necessary to formulate snow removal plans based on the analysis of past operations, to select the optimum timing for starting operations under each snowfall condition, and to use snow removal machines effectively.

In this study, the use of a snow removal operation graph that visualizes information on snow removal by using the time of the day for operation and road distance marks as its axes, was shown to be useful in the analysis and assessment of snow removal. We analyzed the correlation between the snowfall intensity on the road section targeted for snow removal and the time required for such removal, and we proposed a method for aggregating snowfall intensity that should be applied in decision-making on the start of snow removal deployment. Furthermore, we developed the following techniques: one for visualizing information on the operation of snow removal machines; one for supporting decision-making on snow removal deployment that suits the intensity of snowfall; and one for supporting snow removal machine operation, which predicts the hours of snow removal required for a unit when it assists snow removal on the neighboring road section. Based on the above development results, we created material on management technologies for effective use of snow removal machinery.

Key words : snow removal machinery, management system, GPS, operational support, snow removal planning, ICT