

3 2. GPS を活用した除雪機械運用支援システムの開発

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○岸 寛人
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 佐々木 憲弘
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 牧野 正敏

1. はじめに

北海道の国道を管理する北海道開発局は、1026 台の除雪機械を用いて、一般国道 6580km の除雪を行っている(平成 21 年度現在)。北海道における国道の除雪延長は年々増加しているが、除雪事業費は道路予算の縮減により、減少傾向にある。よって、効率的・効果的な除雪作業を行い、冬期道路利用者の旅行速度の安定化や信頼性の高い道路交通機能を確認するためには、積雪状況の変化や除雪作業状況をリアルタイムに把握し、臨機に除雪作業を支援するシステムが必要である。

このため北海道開発局では、GPS により除雪機械の動態を把握する基幹システムを平成 17 年度に導入した。これにより、地図上でリアルタイムな除雪進捗状況の把握や作業履歴の確認が可能となり、効率的な除雪作業、日々の施工結果の確認等、道路維持管理業務の様々な場面において、効率化や高度化が期待される。

本開発では、この基幹システムをベースに、種々の道路管理データ(気象観測、通行規制、道路カメラ画像等)を相互連携させ、除雪機械の弾力的な運用支援を行う除雪機械マネジメントシステムを構築することで、道路維持管理業務のより一層の効率化、高度化を目指している。

2. 基幹システムの概要

除雪機械には GPS アンテナ及び作業センサが設置されており、位置及び作業情報(除雪中、回送中等の作業状態)をリアルタイムに収集・送信する。基幹システムはこれらの情報を収集・管理することで、除雪進捗状況のリアルタイムな把握や、過去の詳細な除雪作業履歴の確認を行うことが可能となる。

各種情報の送受信は移動体通信サービスを利用している。基幹システムの全体構成

を図-1 に、基幹システムの基本機能である「除雪機械位置・作業履歴の確認」を図-2 に示す。

データの収集・送信を行う車載機は、札幌・網走開発建設部管内の除雪機械に取り付けられており、平成 21 年度末現在で 369 台の除雪作業状況が確認できる。また、平成 20 年度からは、札幌・網走開発建設部管内の除雪工事請負業者に対してもインターネットによる除雪情報の提供を開始した。

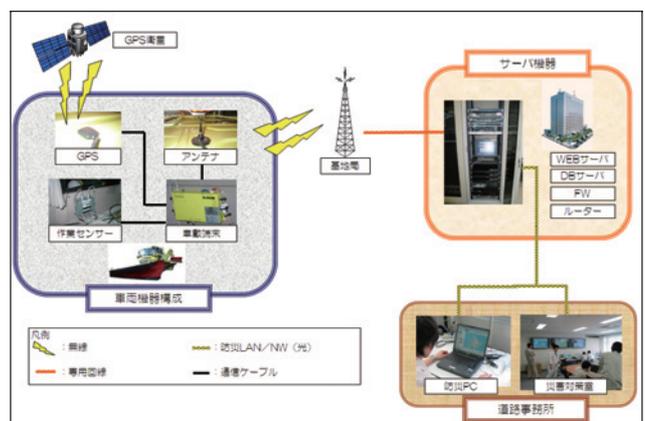


図-1 基幹システム構成図



図-2 除雪機械位置・作業履歴の確認

3. 除雪機械マネジメントシステムの基本構想

基幹システムで入手した除雪機械の位

置・作業情報と道路管理データ(気象観測, 通行規制, 道路カメラ画像等)を連携させ, 道路管理における除雪マネジメントが可能な機能の設計, 開発, 導入について検討を行った。除雪マネジメントとは, 除雪計画の策定(Plan), 計画の実施(Do), 評価(Check), 処置(Action)といったPDCAサイクルを実現し, 道路維持管理業務の効率化及びサービスレベルの向上を図ることを指す。ここでは, 除雪機械マネジメントシステムの基本構想である5つの支援機能について説明する。^{1), 2), 3)}

3.1 除雪計画支援

除雪工区の見直しや除雪機械の適正配置を検討する場合, 過去の膨大な稼働データや気象データ等の整理に多くの時間を要する。位置・作業情報と気象データを蓄積し, データベース化することで必要なデータを容易に検索でき, 除雪計画をより効率的に作成することが可能となる。

3.2 出動判断支援

除雪作業は通勤通学時間前に終了することを目標としており, 除雪機械の出動判断は担当者の経験により決定されている。蓄積した除雪機械の作業履歴情報と気象データベースを活用し, 現在の気象情報により出動タイミングをガイダンスすることで, 経験が少ない監督職員, 除雪工事請負業者でも適切な待機出動判断が可能となる。

3.3 ダイナミック工区シフト支援

除雪作業は, 通常割り当てられた担当工区内のみ実施されるため, 局所的な大雪など異常気象時には隣接工区間で除雪終了時刻に大幅な差異が生じ, 路線全体として除雪の遅延が生じることがある。本システムにより隣接工区の除雪進捗状況をリアルタイムに確認し, 各工区における除雪終了時刻のシミュレーションを行い, 除雪の応援が可能であれば, 工区境(除雪機械の転回場所)をシフトすることで, 路線全体の除雪終了時刻を早めることが可能となる。

3.4 豪雪災害対応支援

豪雪災害時の除雪機械の位置や作業進捗状況の把握は, 無線や携帯電話等の通信手段を用いており, 情報把握や指示に時間を要している。本システムにより応援可能な機械や作業進捗状況をリアルタイムに確認し, 出動指示や時系列データの自動作成を行うことで, 情報の共有化による迅速な災害対応や, 対応結果の効率的な確認及び整理が可能となる。

3.5 散布情報収集・管理支援

凍結防止剤の散布は, 気象条件や路面状況により, 散布剤及び散布量を適切に決める必要がある。本システムにより, 散布車の操作パネルの設定情報と位置情報を自動で収集し, 地図上に散布箇所及び散布量を機械ごとに表示することで, 詳細な散布情報の確認や効率的な散布情報の管理が可能となる。

4. 除雪機械マネジメントシステムの開発

除雪機械マネジメントシステムの基本構想に基づき, 平成20年度は「ダイナミック工区シフト支援」, 「散布情報収集・管理支援」に関するシステムの開発, 試行を実施し, システムユーザである北海道開発局職員及び除雪工事請負業者の意見を取りまとめた。この調査結果に基づき, 平成21年度は, システムの改良及び機能追加を実施した。

4.1 ダイナミック工区シフト支援システム

(1)ダイナミック工区シフト支援システムの概要

ダイナミック工区シフト支援システムの機能を図-3に示す。



図-3 ダイナミック工区シフト画面

地図上に通常時の巡回場所（工区境）やそれ以外の複数の巡回可能地点を事前に登録する。監督職員が地図上で除雪機械を巡回させる地点を指定すると、システムは工区境を挟んで双方の除雪機械が出発地点（除雪ステーション）に戻る時刻（作業終了予想時刻）を算出する。監督職員はこの作業終了予想時刻を参考にして、工区境のシフト実施の判断を行う。

作業終了予想時刻の表示方法は、「通常時の除雪作業を想定した過去の平均作業速度から算出した時刻」及び「豪雪災害時や特定箇所での異常気象時の除雪作業を想定した現在の平均作業速度から算出した時刻」の2段階表示とした。

(2) ダイナミック工区シフトによる効果

北海道開発局網走開発建設部では、隣接工区間の除雪作業時間を平準化し、交通への影響を低減させるために、本システムを用いた工区シフトを試行している。

試行運用の一例を以下に示す。対象箇所は、網走工区・女満別工区・小清水工区の3つの工区であり、2つの工区シフトを同時に行った。試行運用では、まず交通量が多く除雪の作業時間が多い網走工区へ、隣接する女満別工区から応援を行い（シフト区間②、13.8km）、次に女満別工区の作業時間が多くなるため、隣接する小清水工区より応援を行った（シフト区間①、8.2km）。



図-4 網走開発建設部管内工区シフト位置図

試行運用の効果を確認するため、通常除雪時と工区シフト実施時について、除雪作業のために生じる渋滞損失額を算出した。渋滞損失額の算出には、除雪機械マネジメントシステムから得られる除雪機械の作業速度データ、最新（平成17年度）の交通センサに基づく区間交通量・旅行速度のデータ及び図-5に示す算出式を用いた。

渋滞損失額の比較を表-1に示す。小清水

工区から女満別工区への応援（シフト区間①）の場合、応援した小清水工区の増加額が1.9万円、応援された女満別工区の減少額が3.9万円となり、合計で2.0万円の減少となった。次に女満別工区から網走工区への応援（シフト区間②）は応援した女満別工区の増加額が7.0万円、応援された網走工区の減少額が70.2万円となり、合計で63.2万円の減少となった。シフト区間①、②を合計すると、渋滞損失額の値は、試行運用全体で65.2万円の減少となった。

$$\text{渋滞損失額} = (\text{除雪作業時の所要時間} - \text{基準所要時間}) \times \text{区間交通量} \times \text{車種別時間価値原単位}$$

$$= \left\{ \left(\frac{\text{区間距離}}{\text{除雪トラック平均速度}} \right) - \left(\frac{\text{区間距離}}{\text{基準速度}} \right) \right\} \times \text{区間交通量} \times \text{車種別時間価値原単位}$$

車種別の時間価値原単位(単位:円/分・台)	
車種	時間価値原単位
乗用車	40.10
バス	374.27
小型貨物車	47.91
普通貨物車	64.18

※ 渋滞損失額(円/分)
 ※ 除雪トラック平均速度(km/h)
 ※ 除雪機械マネジメントシステムの速度データを使用
 ※ 基準速度(km/h)・区間交通量(台/h)
 ※ 最新の道路交通センサデータを使用
 ※ 車種別時間価値原単位(円/分・台)
 ※ 費用便益分析マニュアル(平成20年11月国土交通省道路局都市・地域整備局)を使用

図-5 渋滞損失額の算定式

表-1 渋滞損失額の比較

		シフト区間①		シフト区間②	
		小清水工区(応援側)	女満別工区(受け手側)	女満別工区(応援側)	網走工区(受け手側)
通常時	往復の道路延長(km)	47.5	57.4	41.0	82.9
	除雪作業速度(km/h)	32.0	33.0	33.0	23.2
	作業時間(h)※	1.5	1.7	1.2	3.6
	損失額(万円)	5.9	13.1	9.2	210.6
シフト時(応援時)	往復の道路延長(km)	63.9	41.0	68.6	55.3
	除雪作業速度(km/h)	32.0	33.0	33.0	23.2
	作業時間(h)※	2.0	1.2	2.1	2.4
	損失額(万円)	7.8	9.2	16.2	140.4
通常時とシフト時の損失時間の比較(h)※		0.5	-0.5	0.9	-1.2
通常時とシフト時の損失額の比較(万円)		1.9	-3.9	7.0	-70.2
シフト区間毎の差額の合計(万円)		-2.0		-63.2	
合計				-65.2	

※表中の作業時間は、除雪機械マネジメントシステムの速度データより試算した。

各工区の通常の作業時間は、小清水工区が約1.5時間、女満別工区が約1.7時間、網走工区が約3.6時間である（待機時間を除く）。工区シフト後の作業時間は、小清水工区が約2.0時間、女満別工区が約2.1時間、網走工区が約2.4時間となり、各工区の除雪所要時間の平準化が確認された。

今回の工区シフトは通常除雪作業における試行であるが、異常気象等で除雪作業に遅れが生じた場合、ダイナミック工区シフトを行い、路線全体の除雪作業時間の短縮を図ることにより、渋滞損失額を低減できることが推測できる。

4.2 散布情報収集・管理支援システム

凍結防止剤の散布は、凍結防止剤散布車の運転席にある「操作パネル」にて、オペレータが散布のON/OFF、散布剤の種類（塩類、砂類）、散布量（g/m²）、散布幅、散布方向、水溶液混合割合を都度設定し行って

いる。このうち、いずれかの操作があった場合に、散布設定情報と位置情報を収集し、地図上に表示することで、いつ、どこで、どれだけ散布したのかが把握可能となる。また、詳細な散布情報を把握・蓄積することにより、適正な散布箇所や散布量の指標を定める上での基礎データとして活用できる。実際の凍結防止剤散布車から取得した散布情報データの提供画面を図-6に示す。

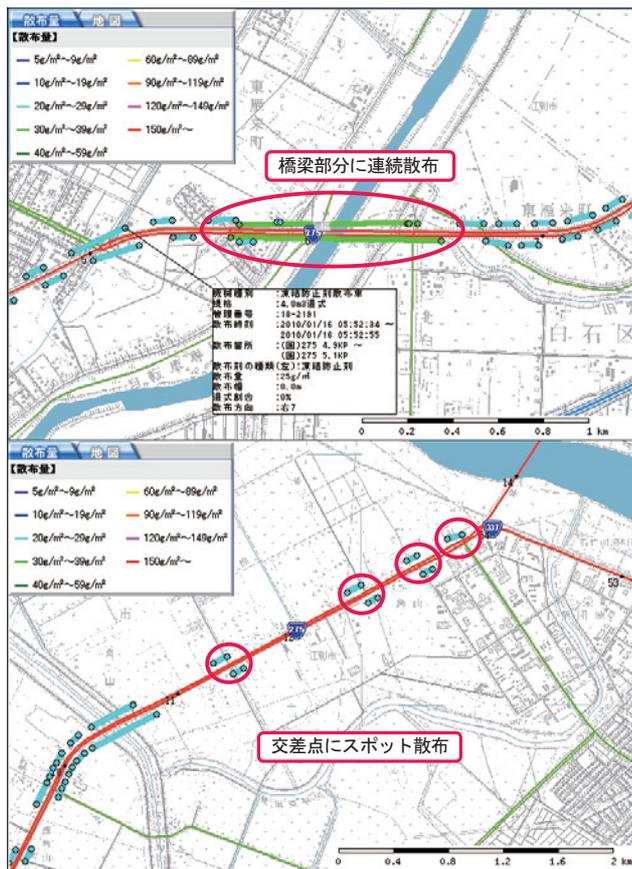


図-6 散布状況表示例

散布時刻	散布箇所	散布機の種別	散布量 (g/m²)	散布幅 (m)
2009/01/06 05:52:04	0006 10 481KP ~ 0006 10 200KP	凍結防止剤	10	3.6
2009/01/06 05:52:14	0006 10 282KP ~ 0006 9 178KP	凍結防止剤	10	3.5
2009/01/06 05:52:20	0006 9 178KP ~ 0006 9 079KP	凍結防止剤	10	3.5
2009/01/06 05:52:29	0006 9 079KP ~ 0006 9 043KP	凍結防止剤	15	3.5
2009/01/06 05:52:37	0006 9 043KP ~ 0006 7 829KP	凍結防止剤	20	3.5
2009/01/06 05:52:45	0006 7 829KP ~ 0006 7 160KP	凍結防止剤	20	3.5
2009/01/06 05:52:45	0006 7 160KP ~ 0006 6 889KP	凍結防止剤	20	4.8
2009/01/06 05:52:48	0006 6 889KP ~ 0006 6 866KP	凍結防止剤	20	8.0
2009/01/06 05:52:49	0006 6 866KP ~ 0006 6 842KP	凍結防止剤	20	8.0
2009/01/06 05:52:49	0006 6 842KP ~ 0006 6 620KP	凍結防止剤	20	8.0
2009/01/06 05:52:49	0006 6 620KP ~ 0006 5 009KP	凍結防止剤	20	8.0
2009/01/06 05:52:49	0006 5 009KP ~ 0006 4 932KP	凍結防止剤	20	5.0
2009/01/06 05:52:49	0006 4 932KP ~ 0006 4 799KP	凍結防止剤	20	5.0
2009/01/06 05:52:49	0006 4 799KP ~ 0006 4 297KP	凍結防止剤	20	5.0
2009/01/06 05:52:49	0006 4 297KP ~ 0006 3 405KP	凍結防止剤	25	5.0
2009/01/06 05:52:49	0006 3 405KP ~ 0006 3 481KP	凍結防止剤	25	6.0
2009/01/06 05:52:49	0006 3 481KP ~ 0006 2 291KP	凍結防止剤	25	6.0
2009/01/06 05:52:49	0006 2 291KP ~ 0006 2 279KP	凍結防止剤	25	6.0
2009/01/06 05:52:49	0006 2 279KP ~ 0006 2 127KP	凍結防止剤	30	6.0

図-7 散布履歴情報一覧

図-6上は連続散布の表示例である。○印は散布開始・終了地点であり、○印の間が

線で繋がっている箇所は連続的に散布したことを表している。設定散布量は凡例のように色分けして表示し、○印にカーソルを合わせるとその地点での散布時刻、位置、詳細な散布設定情報が表示される。

また、この図は橋梁部分での散布情報を示したものであるが、橋梁の前後より散布量を増やし、重点的に連続散布を行っていることがわかる。

一方、図-6下はスポット散布の表示例であり、交差点などの必要な箇所にスポット的に散布を行っていることが読み取れる。

さらに、図-7に示す散布履歴情報一覧をダウンロードすることで、詳細な散布情報をCSV形式で取得できるため、散布日報作成時に利用することができる。

当研究所では連続的な路面すべり抵抗値の計測も行っており、散布前後のすべり抵抗値を比較することで、路面状態の改善状況の確認などに活用できる。すべり抵抗値以外にも気象情報などと詳細な散布情報を合わせて分析することで、適正な散布箇所や散布量の指標を定める上での基礎データとして利用できると考えている。

4.3 システムの利用状況と改善要望

平成 20 年度、システムの利用状況及びシステムに関する改善点等を調査するために、札幌・網走開発建設部管内の北海道開発局職員及び除雪工事請負業者を対象に、WEBによるアンケート調査を実施し、58 名から回答を得た。また網走開発建設部管内の各道路事務所職員、各除雪工事請負業者に対して、システムをどのように利用したか、システムに対する要望事項等のヒアリング調査を実施した。

(1) システム利用状況

除雪機械マネジメントシステムのアクセス数の推移について調査を行った結果を図-8に示す。

アクセス数と札幌・網走の降雪量との関係を見ると、降雪量の多い日にアクセス数が増加していることがわかる。特に平成 20 年 12 月 26 日、平成 21 年 2 月 21 日の豪雪では多くのアクセスがあったことが確認できる。また、アクセスログを詳細に調査した結果、最も利用が多かったのは「除雪機械位置の確認」画面であった。

利用目的・用途については、「担当工区の除雪機械位置・作業状況の確認」が最も多く、次に、北海道開発局職員では「道路利用者・警察からの問い合わせ対応」、除雪工事請負業者では「他工区除雪機械の位置・

作業状況の確認」が多かった。

また、システムの活用事例についてヒアリング調査した結果、除雪工事請負業者からは「担当工区の除雪進捗状況を確認しながら凍結防止剤散布車の出動タイミングを図る」、「指定した場所への散布がされているかの確認に利用した」等の回答があった。道路事務所職員からは「道路利用者からの問い合わせや警察からの散布要請に対し、システムで確認して現在の作業状況を説明した」、「豪雪時に除雪工事請負業者との連絡が取りにくくなったときの除雪進捗状況の確認に利用した」等の回答があった。また平成21年2月21日の豪雪時には「救急車の先導を行うため、近くで作業している除雪車をシステムで探した」という事例もあった。

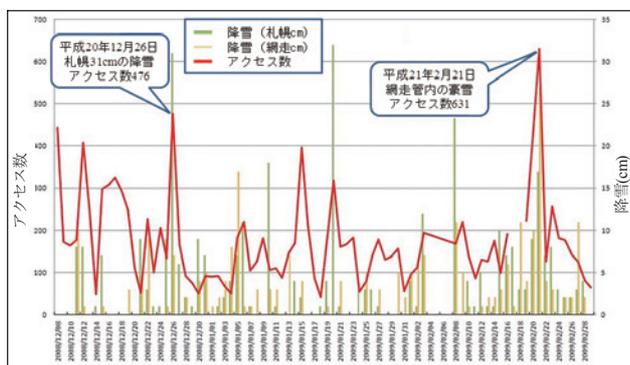


図-8 システムアクセス数の推移

(2) システム改善要望

システムの改善点についてアンケート調査及びヒアリング調査を行った結果、気象観測情報、通行規制情報、道路カメラ画像情報等の関連情報の付加に関する要望が多く出された。これは、除雪機械の位置・作業情報と合わせて、現地の状況を把握する必要性が高いことを示している。

また、「ダイナミック工区シフト支援システム」については、以下の問題点を確認した。

- ・ 除雪機械が予め登録した除雪予定ルートから外れると、シミュレーションできない
- ・ 作業ルート（実績・予想）や到着予想時刻が表示されるまでに時間がかかる
- ・ 終了予想時刻の算出には、応援する機械、応援される機械を一对で指定する必要がある

上記の問題を解決するためには、除雪作業の進捗状況把握や予想時刻シミュレーションを、煩雑な操作をせず直感的に行える

システムの開発が必要である。

以下ではこれらの要望に対して実施した具体的な改善内容について述べる。

4.4 気象観測・道路カメラ画像の表示

リアルタイムな除雪機械の位置・作業情報と合わせて、現地の気象情報、カメラ画像をシステム画面上に表示させることにより、除雪作業がどのような気象状況・路面状況で行われているのか把握可能となる。そこで、道路テレメータ情報、道路カメラ情報をシステム画面上に表示する方法の検討を行い、北海道開発局で提供している「北海道地区道路情報」へリンクを張ることで対応することとした（図-9）。

リンク方法は、除雪機械マネジメントシステムの「除雪機械位置の確認」画面の地図上に表示されている、道路テレメータ・道路カメラのアイコンをクリックすることで、「北海道地区道路情報」の気象詳細情報及び道路画像情報がポップアップ表示されるものとした。

監督職員は、除雪作業を実施している現場状況が把握可能となり、除雪作業の妥当性や除雪作業の進捗が遅れている要因等を確認することができる。

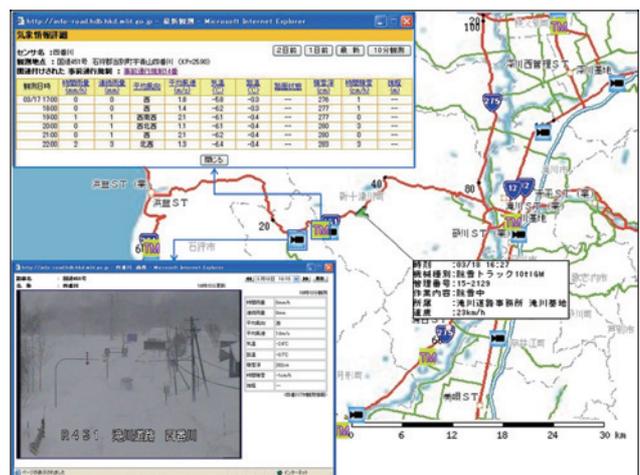


図-9 気象観測情報・道路カメラ情報の表示例

4.5 除雪作業状況確認システム

前述 4.3 のとおり、「ダイナミック工区シフト支援システム」については、使い勝手における問題点が指摘された。そこで除雪進捗情報の共有と、ユーザが指定した地点における除雪機械到着予想時刻の提供に特化した、除雪作業状況確認システムの開発を行った。システムに求められる機能について検討を行い、必要な要件を以下のとおり整理した。

(1) 表示内容

- ・地図の縮尺を固定（ただし、札幌市内は拡大表示可）
- ・最新の除雪機械の位置を作業種別ごとに色分けし、矢印アイコン表示
- ・作業軌跡を作業種別ごとに色分けし、丸アイコン表示
- ・矢印アイコン、丸アイコンをマウスオーバーした場合、日時、機械種別、管理番号を旗揚げ表示

(2) 必要機能

- ・ユーザが指定した作業内容（除雪中・散布中）の除雪作業実績を抽出し、地図上に表示
- ・除雪機械が、現在位置からユーザが指定する地点まで移動した場合の到着予想時刻を算出し、画面上に表示

以上の要件に基づき、システムの開発を行った。開発したシステム画面を図-10、11に示す。



図-10 除雪作業状況確認システム

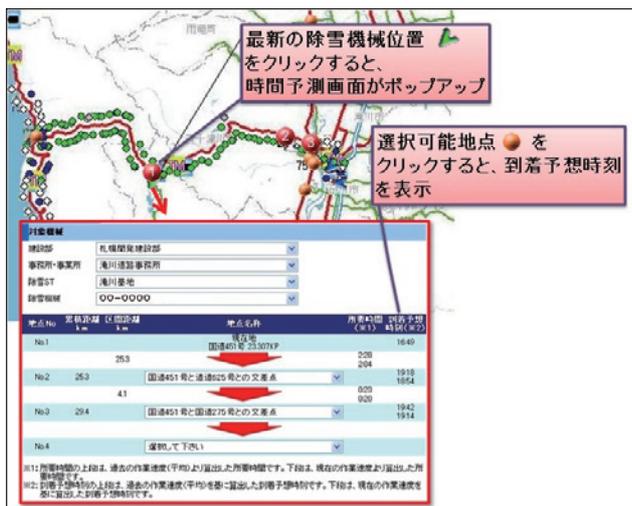


図-11 到着予想時刻の表示画面

このシステムにより、監督職員は除雪作業の進捗状況を容易に把握でき、工区境の臨機なシフトや、除雪機械の他工区への柔

軟な応援を行うことが可能となる。また、今後の除雪ルートをユーザが指定することにより、除雪終了予想時刻がシミュレーションできるので、除雪終了予想時刻に基づいた工区シフト判断を行うことが可能となる。

5. まとめ

本研究は、冬期道路利用者の旅行速度確保及び異常気象時における迅速な除雪作業への対応を目的として、除雪機械のリアルタイムな位置・作業情報を活用した除雪機械のマネジメント及び弾力的運用を支援するシステムの開発を行ってきた。

平成20年度は「ダイナミック工区シフト支援システム」及び「散布情報収集・管理支援システム」を開発・試行し、そこで得られた知見とニーズに基づき、平成21年度は除雪機械マネジメントシステムの改良及び機能追加を実施した。

今後は、より効率的な除雪機械の運用支援を行うためのシステムの活用方法や、気象情報等とのさらなる連携について検討を行い、冬期道路管理業務の効率化・高度化に取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 中村隆一・佐々木憲弘・小野寺敬太：除雪機械等情報管理システムの展望，建設施工と建設機械シンポジウム論文集，pp.203～208，2008.
- 2) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発，第24回寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集，pp.333～338，2008.
- 3) 牧野正敏・佐々木憲弘・中村隆一・小野寺敬太：除雪機械等管理運用マネジメントシステムの開発，第21回ゆきみらい研究発表会論文集，pp.218～223，2009.
- 4) 国土交通省道路局都市・地域整備局，費用便益分析マニュアル，pp.7，2008.11.