

適切な道路雪氷情報を利用した道路管理経費削減へのチャレンジ

山田忠幸*1、 中山隆之*1、 村國 誠*1、

1. はじめに

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

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

2. 除雪作業と凍結防止作業

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

高速道路に於ける除雪作業の事例を紹介する。

①トンネルを抜けると突然雪国となる過酷な気象条件が存在している。

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

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

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

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

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

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

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

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

3. 除雪作業、凍結防止作業での問題点

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

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

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

4. 課題解決に必要な要素技術

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

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

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

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

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

5. 雪氷特有の観測装置

5-1 観測装置概要

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

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

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

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



写真1 路面状況センサー
(ロードアイ 2015)



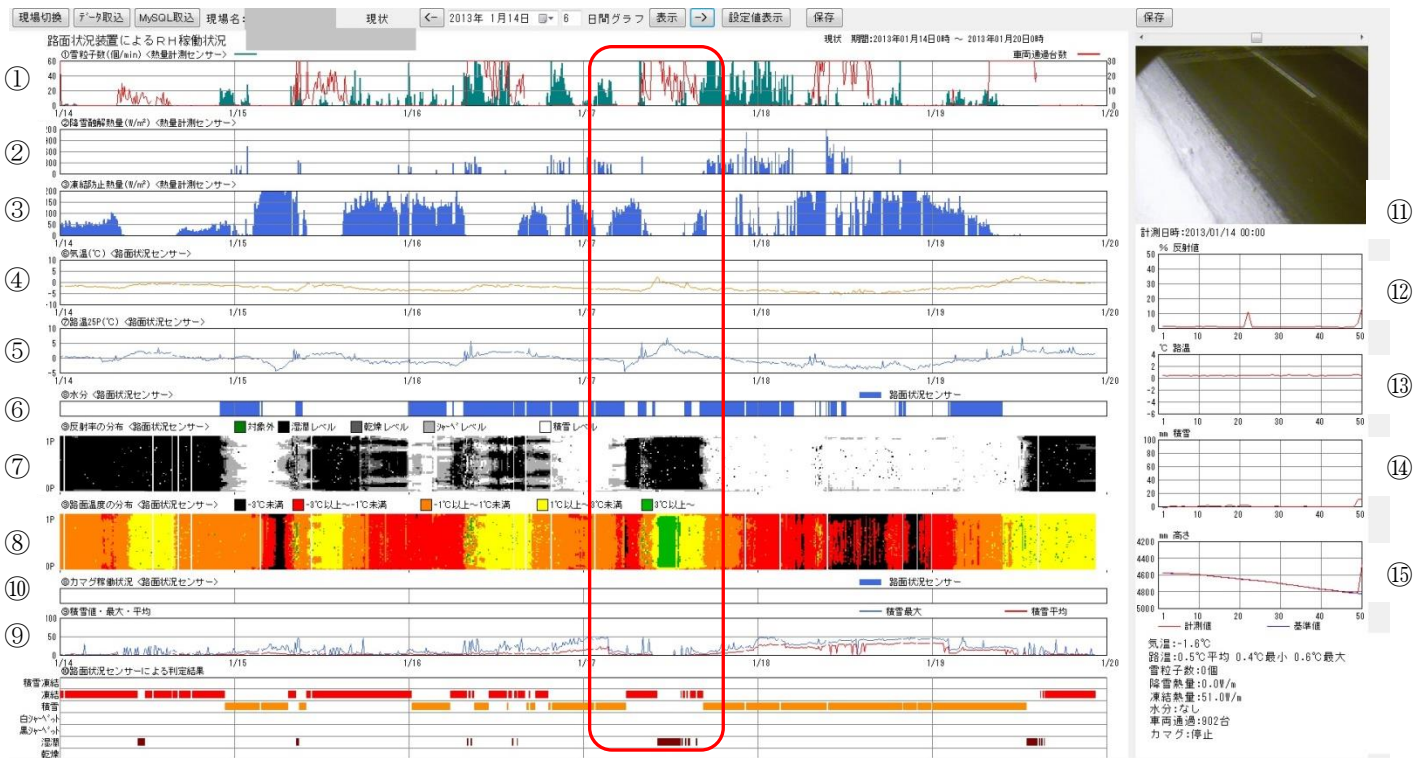
写真2 熱量計測センサー
(ウィンターセンサー)



写真3 車載式塩分濃度システム

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

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



グラフ1 ロードアイ/ウィンターセンサー情報一覧グラフ

5-2 実際のデータからの分析①

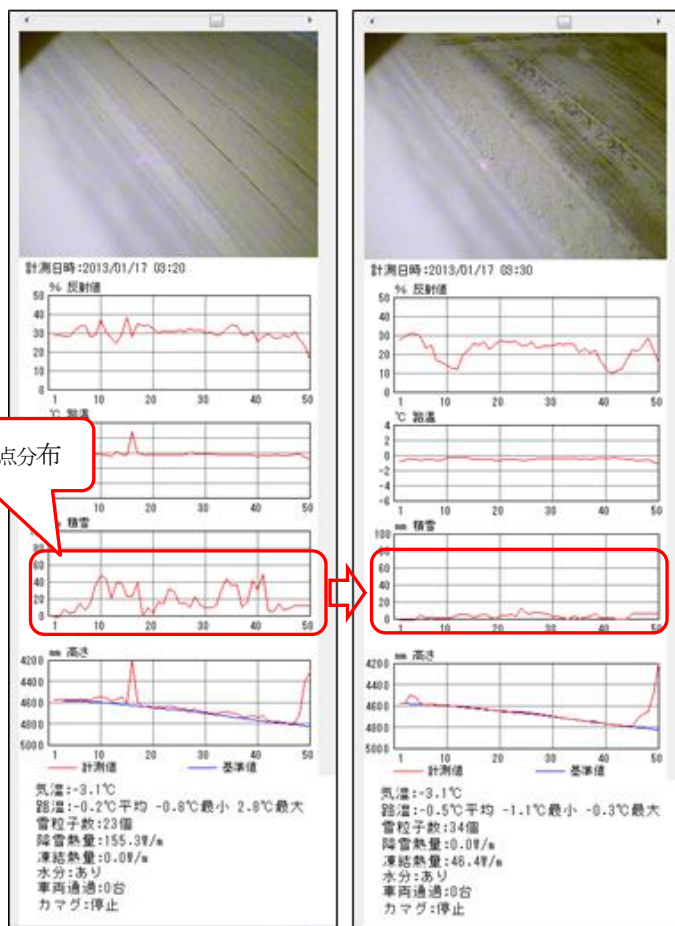
グラフ1は、東北地方のある一般道に於けるロードアイとウィンターセンサーの観測データを分かり易く一覧グラフ化したものである。グラフの詳細説明を以下に示す。

- ①雪粒子数 (降雪強度を表す)
線で表したグラフは車両通過台数の参考値を示す
- ②降雪融解熱量 (降った雪の融解に必要な熱量値)
- ③凍結防止熱量 (路面を凍結させない為に必要な熱量)
- ④気温、 ⑤平均路面温度 (放射温度計値)
- ⑥水分検知 (水分センサー)
- ⑦路面反射率の50点分布
(路面状態判別 湿潤・シャーベット・積雪)
- ⑧路面温度の50点分布 (黒-3℃未満、赤-3~-1℃、
橙-1~+1℃、黄+1~+3℃、緑+3℃以上)
- ⑨積雪値 (最大・平均)
- ⑩カマグ稼働状況 (凍結防止剤の自動散布)
- ⑪路面状況写真、 ⑫反射値50点分布
- ⑬路面温度50点分布、 ⑭積雪深50点分布
- ⑮路面傾斜データ (センサーから路面までの実距離)

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

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

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



グラフ2 (3:20)

グラフ3 (3:30)

5-3 実際のデータからの分析②

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

6. まとめ

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

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

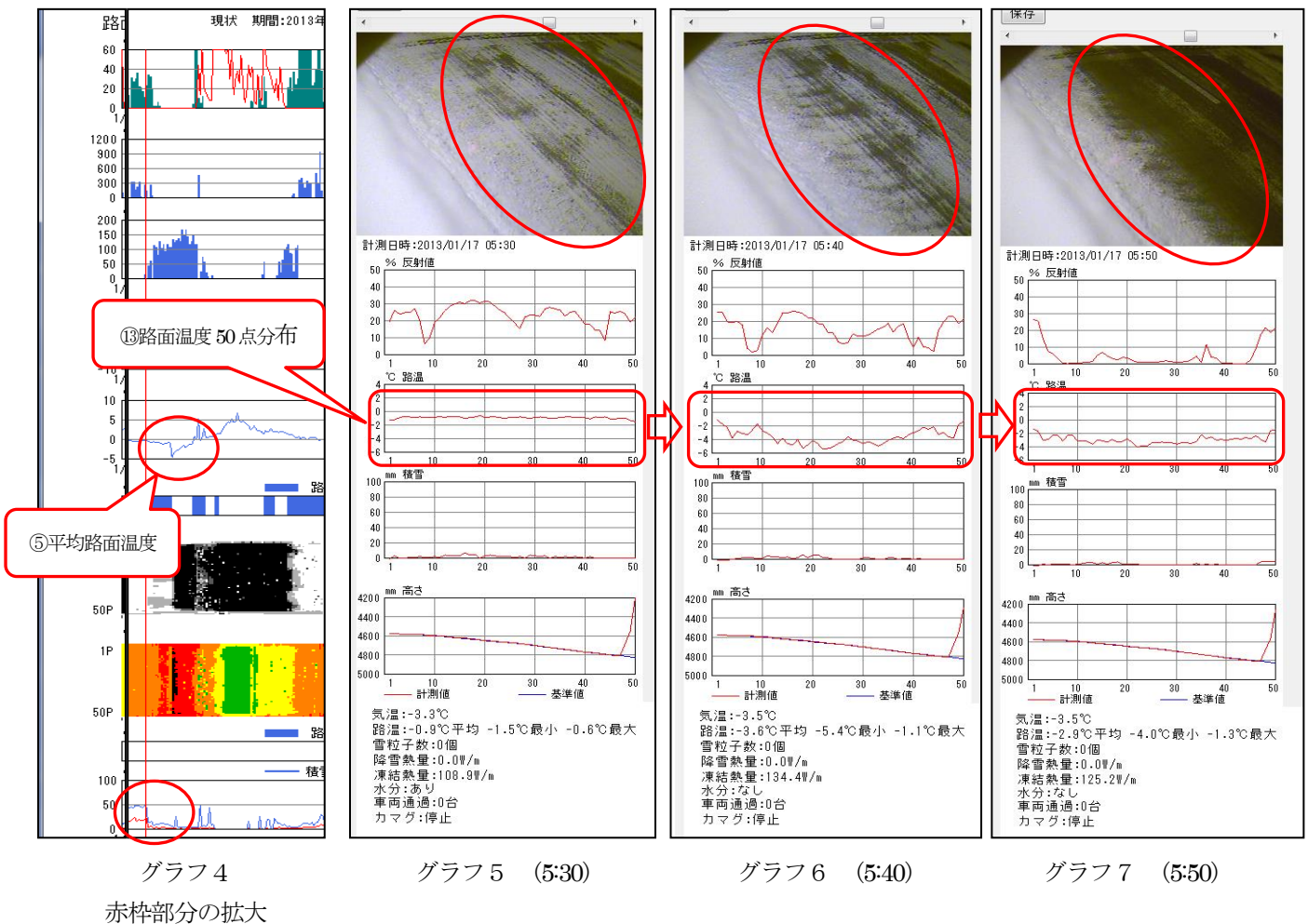
これらのデータを参考にすることで除雪出動タイミングを最適なタイミングで行なって、効率的に稼働することで経費削減が可能と思われる。また、凍結防止剤散布にしても、現場の状況がリアルタイムで把握できるので、散布タイミングと散布量の最適化が可能であり、剤の経費削減に繋がる管理となる。ジャストインタイム（必要なものを、必要なときに、必要なだけ）の考え方である。

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

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

（参考文献）

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



赤枠部分の拡大