

A Practical Study on Sophistication of Winter Road Management*

▪ Tomoaki OKAMURA*****

車 両 走 行 部 の 雪					路 面 分 類	
雪水の 有無	表面の 光沢	トレッド 跡	雪の状態	雪の色 厚さ		
				下層の状況		
有 り	光つて いる	あまり 付かない		白っぽい	非常に滑りやすい圧雪	
				黒っぽい (灰、茶色)	1mm以上 1mm未満	非常に滑りやすい氷板 非常に滑りやすい氷膜
	光つて いない	付く (ぬかる)	さらさら (雪煙が発生) ざくざく (ザラメ状、粒状) ペタペタ (水を含んだもの) その他 (締まっている)	白っぽい	圧 雪	
				黒っぽい (灰、茶色)	1mm以上 1mm未満	氷 板 氷 膜
				下層無し	こ な 雪	
				下層氷板、氷膜、 非常に滑りやすい圧雪	こな雪下層氷板	
				下層無し	つ ぶ 雪	
				下層氷板、氷膜、 非常に滑りやすい圧雪	つぶ雪下層氷板	
		シャーベット				
		圧 雪				
無 し	湿 潤 乾 燥				湿 潤 乾 燥	

(2) 冬期路面管理に関する既往研究レビュー

前節で紹介した、主観や経験に基づく冬期路面管理に、より客観的・科学的な手法を導入すべく、様々な研究が行われてきた。

路面凍結の発生については、宮本ら⁷⁾は、路面凍結をより正確に予期するため、路面温度センサーを装備した車両が走行しながら路面温度を計測するサーマルマッピング調査で路面温度分布や気象条件と路面温度との傾向把握を行った。松澤ら⁸⁾は、道路巡回時に報告された路面状態と気象データから路面凍結を予測したが、的中率が40～70%にとどまった。武市ら⁹⁾は、舗装路面の計測データをフーリエ解析して路面凍結時刻を予測し、的中率が80%以上となったが、これらの予測手法は実務に導入・活用されず、実務では、依然として気象情報等に基づく路面凍結発生の予期と道路巡回による路面状態の確認に基づいた路面管理が行われている。実務においては、精度が80%以上でも不足しているためと考えられ、実務に導入されるには、より高い精度を有する情報であることが必要である。

路面状態の評価については、目視に代わる、定量的な路面状態の評価手法について研究が行われてきた。

我が国には、冬期路面状態の定量的評価が可能な装置として、路面のすべり摩擦係数の標準的な計測装置¹⁰⁾である「路面すべり測定車」がある(図-1)。当該車両は、走行しながら試験輪にフルロック制動を掛けることによって生じる抵抗力和試験輪に掛かる荷重との比からすべり摩擦係数を算出する。目的地点のすべり摩擦係数を計測可能であるが、非常に高価なため試験・研究目的の保有に限られており、実務導入には適さない。このため、美馬ら¹¹⁾は、路面すべり測定車を用いてすべり摩擦係数の計測を行い、目視による路面分類とすべり摩擦係数の関係把握を試みた。しかし、目視による路面分類は路面のすべりやすさを表していないため、一定の傾向を確認したにとどまった。



図-1 路面すべり測定車

欧米においても、目視による路面性状の分類は、判断する者の経験や明るさなどの周辺環境の影響を受けや

すく、定量的な評価手法の構築が必要不可欠とされており¹²⁾、北欧や米国ではすべり摩擦係数等の定量的指標を冬期路面の管理基準に採用している国や州がある¹³⁾。

武田ら¹⁴⁾、舟橋ら¹⁵⁾は、北欧ですべり摩擦係数計測機として使用されている加速度計を用い、雪氷路面のすべり摩擦係数計測を行い、日本の冬期路面管理への導入可能性を検証した。加速度計は、設置した車両が急制動をかけた際の減速度(負の加速度)から路面のすべりやすさを評価する装置で、安価で車両に特別な改造を要しない利点がある。試験の結果、雪氷路面状態の定量的評価が可能であるが、車両の急制動を要するため、測定を行うことができる道路条件、交通状況に限られることを指摘した。林ら¹⁶⁾は、車両運動データを用いて冬期路面のすべり摩擦係数の予測を試みたが、車両運動データを取得可能な車両を要するため、実務には導入されていない。

日本の積雪寒冷地では、札幌市のような多雪寒冷、かつ、人口約190万人を有するため12時間交通量が4万台を超える路線もある世界的にも希な冬期気象条件・交通条件を有する都市もある。また、冬期路面状態は沿道環境、道路条件及び気象条件によって複雑に変化するため、路線の路面状態を線的に計測・評価することが望ましく、冬期路面状態を的確に捉えることが可能な実用的な技術が必要である。

3. 走行車両と沿道構造物の影響を考慮した路面温度推定手法の構築

本研究では、道路管理者が凍結路面の発生を予期する上で重要な判断材料となり、冬期路面管理の実務に導入が可能な高い精度で得られる情報として、路面温度の推定に取り組んだ。路面凍結を予期する上で気温は重要な情報であり、気温は路面温度にも大きな影響を与えるが、観測の結果、気温と路面温度は、最大で±5℃程度の差が生じる場合があることが報告されている¹⁷⁾。

路面温度を、実務に導入可能な高い精度で推定することができれば、道路管理者の作業判断がよりの確になると期待される。

(1) 路面温度推定手法に関する既往研究レビュー

路面温度推定に関する研究は多くなされてきた。温度を推定する手法は、統計的手法、熱収支法に大別できる¹⁸⁾。統計的手法は、気象データを用い、重回帰分析によって路面温度を推定する手法である。気温、降雪量等の気象値をパラメータとして重回帰式を求める比較的簡便な手法であるが、解析対象とした地点以外で構築した重回帰式を適用することができない。

他方、熱収支法は、路面に入力される熱および路面

から放出される熱の収支から路面温度を推定する手法である¹⁹⁾。日射、大気放射等の熱エネルギーを算出し、その収支を求めるため、統計的手法より複雑な手法である。どの地点でも適用できる汎用性があるが、計算には多くの気象データを必要とするため、道路沿いに気象観測機器を設置して正確な気象データを得るなど計測システムを整備する必要がある。海外では1990年代後半頃まで統計的手法が用いられたが²⁰⁾、現在は熱収支法が主流であり²¹⁾、我が国でも、道路気象テレメータ整備が進んだこともあり、現在は熱収支法が主流である²²⁾。

熱収支法を用いた路面温度推定モデルの多くは、日射量等の気象条件に起因する熱エネルギーの収支を定式化したものである^{22), 23)}。芹川ら²⁴⁾は、気象要素の熱収支を定式化した路面温度推定モデルの推定精度を検証した結果、15日間の夜間（18時から翌6時）の実測値及び推定値の差が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内が76%、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内が98%と報告した。しかし、路面温度は、気象条件の他に車両の影響²⁵⁾と沿道構造物の影響²⁶⁾があることが知られているが、これらの影響を定式化した路面温度推定モデルは構築されていない。

（２）走行車両と沿道構造物の影響を考慮した路面温度推定モデルの構築

本研究では、走行車両と沿道構造物の影響を考慮した路面温度推定モデルを構築した。走行車両の影響として、車体による日射と大気放射の遮蔽と車体が発生する熱を考慮した。また、沿道構造物の影響としては、沿道構造物による日射及び大気放射の遮蔽と沿道構造物からの熱放射を考慮したモデルを構築した。モデルの概念図を図-2に、基本式を式(1)から式(3)に示す。また、本モデルを用いた路面温度の計算結果例及び実測値を図-3に示す。

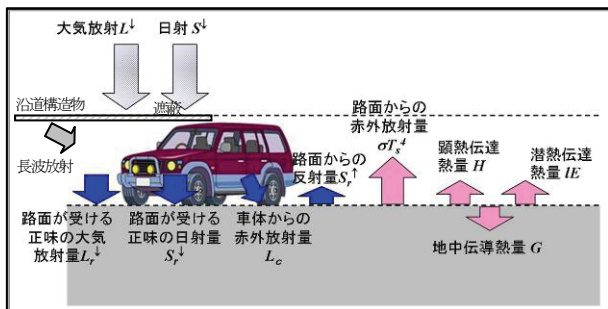


図-2 路面温度推定モデルの概念図

$$R^{\downarrow} = \sigma T_s^4 + H + IE + G \quad (1)$$

$R^{\downarrow}$: 路面への入力エネルギー $[\text{W}/\text{m}^2]$

σ : ステファン・ボルツマン係数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$)

T_s : 路面温度 $[\text{K}]$

H : 顕熱伝達熱量(顕熱フラックス) $[\text{W}/\text{m}^2]$

IE : 潜熱伝達熱量(潜熱フラックス) $[\text{W}/\text{m}^2]$

G : 地中伝達熱量(地中熱フラックス) $[\text{W}/\text{m}^2]$

$$R^{\downarrow} = S_r^{\downarrow} - S_r^{\uparrow} + L_r^{\downarrow} + L_c \quad (2)$$

$S_r^{\downarrow}$: 路面が受ける正味の日射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$

$S_r^{\uparrow}$: 路面での反射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$

$L_r^{\downarrow}$: 路面が受ける正味の大気放射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$

L_c : 自動車の車体からの赤外放射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$

$$L_r^{\downarrow} = (1 - \phi) L_r^{\downarrow} + \phi L_{stre}^{\downarrow} \quad (3)$$

ϕ : 遮蔽率(沿道構造物で天空が覆われている割合)

$L_{stre}^{\downarrow}$: 沿道構造物等からの長波放射量 $[\text{W}/\text{m}^2]$

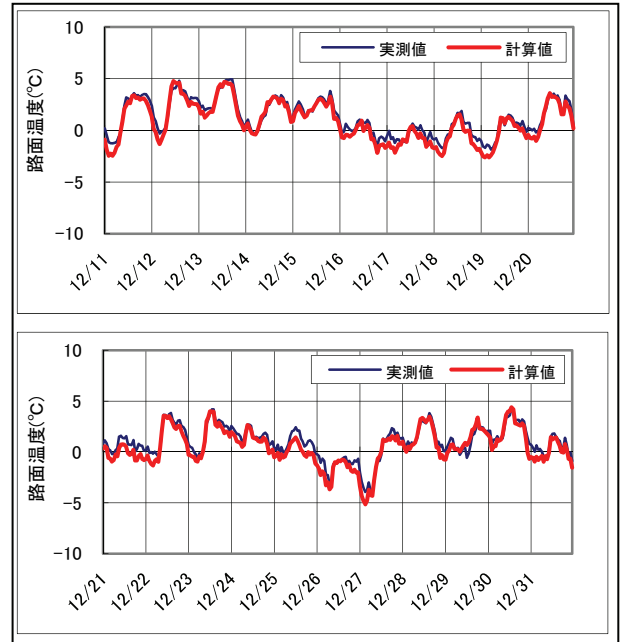


図-3 路面温度計算結果例（上：平成19年12月11日～20日、下：平成19年12月21日～31日）

本研究で構築したモデルで、平成19年度冬期間（平成19年12月10日から平成20年3月3日までの84日間）を対象に精度の検証を行ったところ、実測値と計算値の誤差RMSE（Root Mean Square Error）値（式(4)）は 0.7°C であった。夜間（18時から翌6時まで）の実測値と推定値を比較したところ、実測値及び推定値の差が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内が82%、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内が99%となった。芹川らの精度検証期間（15日間）より長い期間（84日間）にわたり、走行車両と沿道構造物の影響を考慮した路面温度推定モデルの精度向上を確認できた。

また、気温と路面温度は、 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 程度の差が生じる場合があることから考えると、 0.7°C の精度で路面温度を推定可能となったことは、冬期路面管理の実務において、路面凍結の発生を判断する重要な判断材料となったといえる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

: y_i = 推定値, $\hat{y}_i$ = 観測値

(3) 冬期路面管理支援システムによる情報提供

路面温度に関する情報を速やかに発信し、道路管理者の作業判断を支援するため、“冬期路面管理支援システム”を構築し、インターネットを活用して道路管理者に情報提供を行っている。提供する情報は、路面温度及び気象に関する現況値及び予測値である。気象情報は、1時間毎、16時間先までの予測情報を提供しており、さらに、気象予測値を入力することで得られる路面温度予測値も参考情報として提供している。

海外では、道路の維持管理に関する情報提供システムは多く構築・運用されている¹³⁾。一般に、欧州では道路気象情報システム(RWIS: Road Weather Information System)と呼ばれ、米国では維持管理意志決定支援システム(MDSS: Maintenance Decision Support System)と呼ばれ、道路管理の作業判断を行う上で必要な気象や路面温度に関する情報を発信している(図-4)。

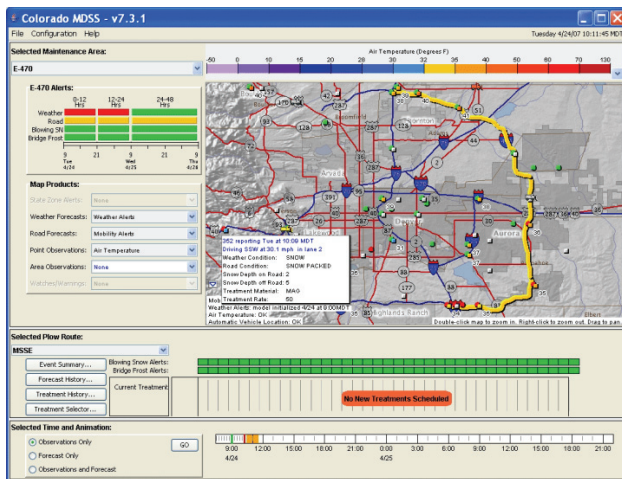


図-4 アメリカ連邦道路庁が開発しているMDSS²⁷⁾

本研究では、このような事例も参考にしたが、道路管理者にとって望ましいシステム体系やインターフェースが事前には不明だったので、システムを運用しながら道路管理者から作業サイクル・実施時間帯、情報提供項目

やインターフェース、操作性などについてヒアリングを繰り返し、対応可能な事項があれば逐次改善し、平成20年度冬期には、任意の倍率・路線を表示するため、国土地理院の電子国土Web²⁸⁾を用いてGIS化した(図-5)。



図-5 システムの画面例(路面温度分布画面)

図-6にシステムへのアクセス件数の推移を示す。運用を開始した平成17年度冬期には約10,000件、平成18年度冬期は約12,000件のアクセスだったが、平成19年度冬期には、約27,000件のアクセスがあった。さらに、平成20年度冬期は、温暖・少雪だったため2月後半以降にアクセス件数が伸びなかったが、過去三冬期の累計アクセス数を上回る約53,000件のアクセスがあり、累計アクセス数は102,588件となった。

次に、システムの活用状況について道路管理者・維持請負業者への聞き取り調査を行い、得られたコメントを以下に紹介する。

a) 閲覧状況について

- ・天候が不安定なときは1時間毎にチェックしている(特に夕方から朝方5～8時)。
- ・天候が安定しているときは、日に2～3回程度。

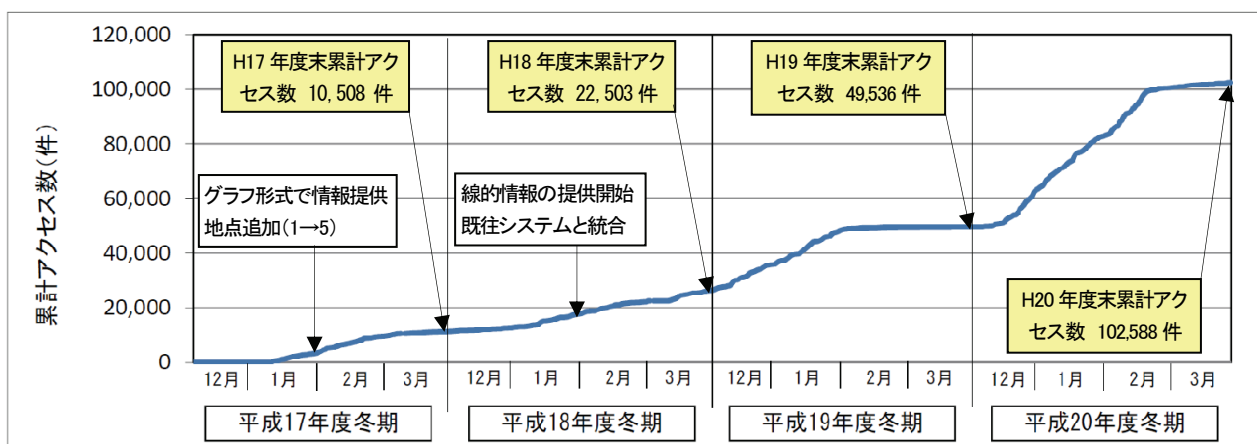


図-6 冬期路面管理支援システムへのアクセス数の推移

- ・夜間の作業計画を検討する夕方か、気温が+1℃を下回るときによく見ている。
- ・天候が大荒れの場合は、体制が確定するので逆に利用しない。

b) 冬期路面管理作業への活用状況について

- ・凍結防止剤散布作業の参考として利用している。
- ・パトロールの出動時間の判断材料としている。

c) 今後の改善の方向性・期待について

- ・凍結防止剤の散布によって、散布後の（路面状態の）予測値が変わるのが望ましい。
- ・今後は今まで以上に、管理作業について説明責任が求められるので、その根拠として積極的に利用したい。

本システムは、米国で“意志決定支援システム”

(Decision Support System) と呼ばれているとおりに道路管理者の作業判断（意志決定）の支援するものであるため、作業回数等でその効用を評価するのは難しいが、道路管理者のコメントから、システムが作業実施の判断材料として活用され、また、システムへのアクセス数が年々飛躍的に増加していることから、冬期路面管理の実務においてシステムが定着し、冬期路面管理作業の意志決定をする上で重要な役割を果たしているといえる。

4. 定量的冬期路面評価手法の構築

（1）連続路面すべり抵抗値測定装置の導入

本研究では、我が国で入手でき、かつ、冬期路面管理の実務に適用可能な汎用性のある計測装置として、米国で開発された“連続路面すべり抵抗値測定装置”（Continuous Friction Tester: 以下「CFT」と略す）を導入し、冬期路面の客観的・定量的なモニタリング手法について研究を行っている（図-7）。この装置は、測定輪を車両進行方向に対して約2度の角度を与え、タイヤが回転する際に発生する横力から路面のすべり抵抗値を測定する。当該装置は、測定輪に制動をかける必要がなく、走行しながら一般の交通の支障とならずに路面のすべり抵抗値を連続的に測定できる。

実際の車両走行環境に近い条件で測定するため、試験輪には市販のタイヤを使用している。また、装置のウエイトと油圧装置によって一般的な乗用車と同等の圧力で試験輪を接地させるとともに、一般的な乗用車より車幅が広い牽引車両を使用し、タイヤ部分が多く通過する轍部に試験輪が接地し、轍部分の計測を行う構造になっている。

CFTによって計測されるすべり抵抗値（Halliday Friction Number: HFN）は、横力無負荷状態を0、乾燥路面状態を100とし、その間を100等分した値である。

我が国の道路分野におけるすべり摩擦係数の標準計測機である「路面すべり測定車」との比較試験を行った結果、両者の測定値には高い相関関係があることが確認されている²⁹⁾。



図-7 連続路面すべり抵抗値測定装置（CFT）

すべり抵抗値は0.1秒サイクルで測定されるため、路線の路面状態を詳細にモニタリングすることが可能で、現在、米国の一部の州とスウェーデンで試験的な導入と活用方法が検討されている。

測定したすべり抵抗値は、走行中にリアルタイムに確認できるほか、時刻や測位データ等とともに外部記録装置（ロガー等）に記録することもできる。CFTを用いることで、時間的・場所的なすべり抵抗値の変化を仔細にとらえることが可能である（図-8）。

目視による路面判別と、すべり抵抗値の計測を同時に行った結果、目視で乾燥・湿潤路面と判定した内、すべり抵抗値が著しく低かった（実際は凍結していた）場合が16%、目視で凍結路面と判定した内、すべり抵抗値が高かった（実際は凍結していなかった）場合が11%生じているが³⁰⁾、CFTを冬期路面のモニタリングに導入することで、目視による路面の判断ミスを解消することが可能になる。

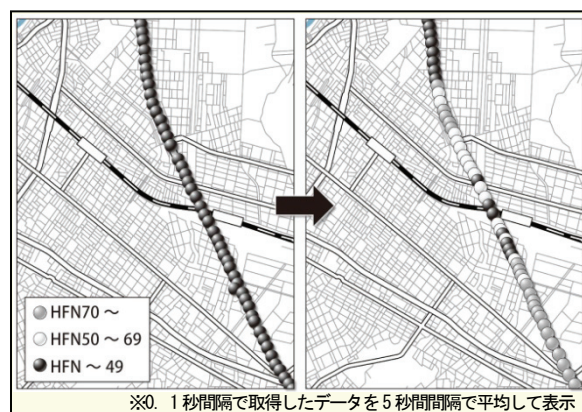


図-8 すべり抵抗値の測定例
(時間経過に伴うすべり抵抗値の変化状況)

（2）冬期路面すべり抵抗モニタリングサイト

平成19年度冬期より、すべり抵抗値の測定結果を国土地理院の電子国土web上にプロットし、インターネット

トを介して道路管理者への情報提供を開始した。電子国土WebのプラグインをインストールしたPCを操作して、サーバーに蓄積された測定結果を任意に選択し、当該測定時のすべり抵抗値の分布状況を任意の倍率、任意の区間で表示し、確認することができる。すべり抵抗値は0.1秒間隔、整数値で記録されるが、閲覧しやすさを考慮して、5秒間隔、3段階（HFN49以下、50～69、70以上）に色分けして表示している（図-9）。

測定結果は、記録装置にデータを記録するとともに、携帯端末を利用してリアルタイムに送信しており、事務所等でも路面の滑りやすさの分布状況をリアルタイムに確認できる。道路巡回員と事務所等の職員が同一の情報を共有することで、作業判断の迅速性と確実性が向上し、迅速かつ確かな凍結路面対策実施が可能となった。



図-9 冬期路面すべり抵抗モニタリングサイト

5. 冬期道路マネジメントの試行

（1）冬期路面管理の業績測定について

冬期路面管理支援システム、冬期路面すべり抵抗モニタリングサイトは、冬期路面状態の評価を、主観や経験ではなく、定量的な指標を用いて評価した情報を発信することで、冬期路面管理の実務に活用され、日々の路面管理の効率性・的確性の向上に貢献している。しかし、それらの効果を評価することは簡単ではない。例えば、路面温度情報は、道路管理者の意志決定を支援し、凍結防止剤の散布の適正化に資するものであるが、凍結防止剤の散布が適正に行われたかどうかを散布量だけで評価することはできず、散布による路面状態の変化や、路面状態と交通特性等の関係を把握することによって初めて評価が可能になると考えられる。

道路行政においては、国民の視点に立ち、より効果的、効率的かつ透明性の高い道路行政へと転換を図るため、平成15年度より事前に数値目標を設定し（Plan）、施策・事業を実施（Do）、達成度の評価（Check）を次の行政運営に反映（Action）する“道路行政マネジメント”³¹⁾に取り組んでおり、冬期路面管理についても例外ではなく、その業績を測定（Performance Measurement）し、達成度を評価して次年度の冬期路面管理に反映するマネジメントサイクルを構築することが必要である。

（2）冬期路面管理の業績測定に関する既往研究のレビュー

業績測定（Performance Measurement）の歴史は古く、アメリカでは、すでに1960年代に導入されていた³²⁾。我が国では、業績測定という語は使われなくとも、公共事業評価の経済効果の測定や事務事業評価などとして取り組み、平成13年には「行政機関が行う政策の評価に関する法律」が制定され、「行政機関は、その所掌に係る政策について、適時に、その政策効果を把握し、これを基礎として、必要性、効率性又は有効性の観点その他当該政策の特性に応じて必要な観点から、自ら評価するとともに、その評価の結果を当該政策に適切に反映させなければならない（法第3条）」と規定されており、道路行政においては道路行政マネジメントに取り組んでいる。

他方、冬期道路管理分野においては、業績測定に関する研究事例・適用事例は極めて少ない。実務レベルでは、たとえば、米国ワシントン州の“Gray Notebook”³³⁾

（日本の道路行政マネジメントにおける「業績計画書／達成度報告書」に相当）で、交通事故件数や道路付属施設の整備実績などの数多くの指標の中に、凍結防止剤散布量や冬期通行止め時間など幾つかの指標が示されているが、単に実績を表すにとどまり、コストや事業実施による効果の面からは検証されていない。

スウェーデンでは、冬期道路管理をマネジメントする「ウインター・モデル」の構築に取り組んでいる³⁴⁾

（図-10）。このモデルは、交通安全、アクセシビリティ（旅行速度等）、燃料消費、腐食（凍結防止剤による橋梁等の金属腐食）、道路管理コスト及び環境影響を貨幣価値に換算し、冬期道路管理を最適化することを目標とした先進的なモデルであるが、未だ各項目を計測するサブモデルの構築段階である。

カナダのアルバータ州では、アセット・マネジメントとして業績測定を実施しているが、冬期道路管理については明確な業績測定は行われていなかった。そのため、Fallsらは、幹線道路網の冬期道路管理の業績測定について研究を実施した³⁵⁾。自動車輦計量器から交通量と速度のデータ、アルバータ自動車協会によるレポートから

冬期路面状況に関するデータを収集し、冬期道路管理の業績評価を試行したが、降雪量と交通量および速度との関係からモビリティと信頼性について業績測定を行える可能性を言及したにとどまっている。

我が国では、浅野が、ロジックモデルを用いてスパイクタイヤ規制の政策評価に取り組み、道路管理コスト等のアウトカム指標から冬期道路管理を評価する冬期道路マネジメントシステムを提案しているが、概念を提案したにとどまっている³⁶⁾。

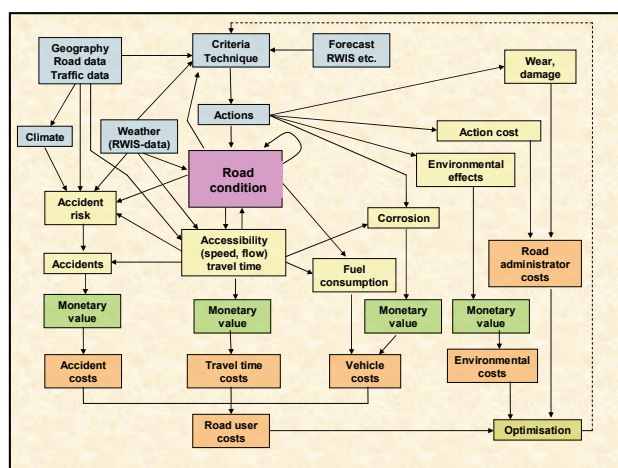


図-10 ウインター・モデル概念図

(3) 冬期路面管理のロジックモデル

本研究では、冬期路面管理の業績測定を行うにあたってロジックモデル（論理モデル）³⁷⁾を採用した。ロジックモデルは、原因と結果の連鎖関係を明らかにし、最初の資源投資が最後に受益者に起こる改善効果（＝成果）を引き起こすまでの道筋を表すもので、プログラム評価を行う際に広く用いられている。測定に必要な要素を「投入（インプット）→活動（アクティビティ）→結果（アウトプット）→成果（アウトカム）」の論理の流れ図を使って整理するため、各要素の因果関係を視覚的に理解することが可能である。最終的な成果を論理的にたどっていくことで政策体系が明確に作成でき、目標に根ざしたアウトカムの特定ができるとされる³⁸⁾。

図-11は、冬期路面管理のロジックモデルを表している。インプットは、冬期路面管理に投入する予算、機材、人員とし、アウトプットは、出動回数、凍結防止剤散布量とした。アウトカムには、中間アウトカムとして路面のすべり抵抗値、最終アウトカムとして冬期交通特性、冬期事故、旅行時間信頼度及び満足度を設定した。

ここで、路面のすべり抵抗値を中間アウトカムとし、冬期交通特性等を最終アウトカムした理由について述べる。中間アウトカムとは、「最終目標の達成につながるものが期待されるアウトカムであるが、それ自体は最終目標ではないもの」で、最終アウトカムとは、「プログ

ラムの実施によって得られた、プログラムが望んでいる結果」、または、「プログラムの顧客や市民にとって重要な事柄の状態のこと」を指す³⁹⁾。冬期路面管理（プログラム）の実施は路面状態の改善を図るものであるが、その最終目標は、道路利用者（顧客）に安全で快適な道路交通環境を提供することであるため、冬期路面管理の直接の成果である路面のすべり抵抗値を中間アウトカムとし、満足度や道路交通現象として計測可能な交通特性等を最終アウトカムとした。

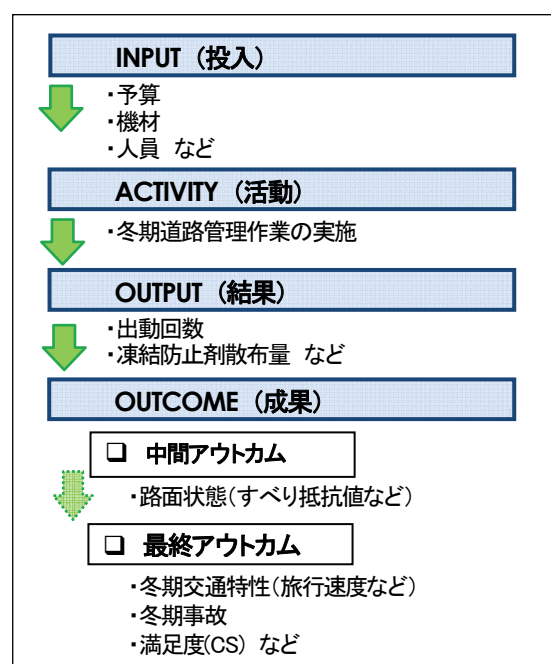


図-11 冬期路面管理におけるロジックモデル

図-12は、平成19年度冬期に一般国道230号を対象にすべり抵抗値のモニタリング結果と計測時のCFTの走行速度の関係を表している。対象としたのは、朝8時台に札幌市中心部から郊外に向かう方向に走行してモニタリングを行った結果から、郊外部単路区間（L=1.0Km）を抽出し、縦軸には当該区間におけるすべり抵抗値の平均値を、横軸には交通の流れに沿って走行したCFTの平均走行速度をプロットした。なお、この図は、区間の平均すべり抵抗値が50未満だったモニタリング結果のみプロットした。

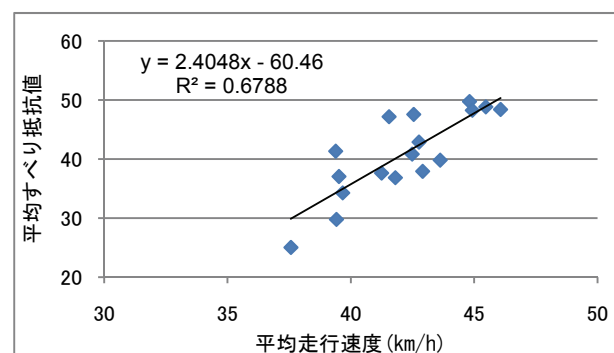


図-12 すべり抵抗値と平均走行速度の関係

路面がすべりやすい状況では、路面のすべり抵抗値低下に伴ってCFTの走行速度は低下しており、限られた条件下ではあるが、すべり抵抗値と走行速度との相関関係を確認できた。なお、すべり抵抗値が高くなると速度との相関関係が見いだせなくなる。これは、すべり抵抗値が高い状態では、走行速度は路面状態ではなく交通規制（速度規制）の影響を強く受けるためと考えられる。

（２）冬期路面管理の業績測定の試行

一般国道230号線札幌市内を対象に、平成19年12月から平成20年2月までの40日間（2往復/日）、CFTを用いて路面のすべり抵抗値を測定した結果をもとに図-11に示したロジックモデルを用い、業績測定を試行した

（図-13）。データは、道路管理者の協力を得て現在利用可能なデータ項目を収集した。インプット及びアクティビティとして冬期路面管理に係わる予算、人員、技術等とし、アウトプットとして凍結防止剤散布の出動回数や散布量を用い、中間アウトカムに路面のすべり抵抗値（HFN）、最終アウトカムを旅行速度、冬期交通事故率とした。なお、区間での詳細な検討も可能なように、横軸を道路距離とするグラフ形式で表示している。

一路線のみ、また、年度や蓄積年数が不揃いなデータがあり、他の路線との比較や経年的な評価等はできないが、定量的なデータを用いて冬期道路管理の業績測定を行うことが可能である。

6. まとめと今後の課題

本研究では、主観と経験ではなく、科学的・定量的なデータに基づいた冬期道路管理を実行するため、路面温度の変化を高い精度で推定可能な路面温度推定手法の構築と定量的に路面状態を定量的に測定・評価するための技術開発を行った。更に、冬期路面道路管理のロジックモデルを構築し、路面のすべり抵抗値を業績評価の中間アウトカムとして活用することで、冬期路面管理の業績を測定し、数値目標による冬期道管理のマネジメントを実現する可能性について示した。

本研究では、限られた条件下ですべり抵抗値と走行速度の関係を確認したが、冬期路面管理のインプット、アウトプット、アウトカムの関係を見いだすには至らなかった。路面のすべりデータは取得可能になったばかりであり、すべりに関するデータを蓄積していくとともに、冬期道路交通に影響を与える、気象、道路構造、沿道土地利用、道路管理、交通管理など様々な要因との関係を分析していくことが必要である。

また、路面のすべりやすさが刻々と変化することが、冬期路面管理のインプット、アウトプット、アウトカム

の関係把握を困難にしていると考えられる。路面のすべりデータを効率的に取得するため、以下の技術、研究開発に取り組むことが必要と考えられる。

○凍結防止剤散布車によるすべり抵抗値モニタリングと散布作業の迅速化

本研究では、道路巡回車を念頭に置いたすべり抵抗値計測手法の開発に取り組んだが、道路巡回車の台数、巡回回数には限界があるため、凍結防止剤散布車にCFTを装備することを検討している。

現在、路面管理に使われている車両の高度化であり、新たに路面管理用車両を導入することなく、モニタリング車両台数を増やすことが可能である。また、凍結防止剤散布車で路面をモニタリングするとともに、低いすべり抵抗値を計測すると即座に凍結防止剤を散布することができれば、凍結路面对策の大幅な迅速化が可能になると期待される。

○すべり抵抗値の推定手法の構築

モニタリング車両を増やしたとしても、間断なくすべり抵抗値の計測を行うことは不可能なため、実測を補完するすべり抵抗値の推定手法の構築が必要である。

CFTに路面温度センサーや気象観測機器を装備し、路面のすべり抵抗値とともに気象・路面温度モニタリングを行うことで、実測データに基づくすべり抵抗値の推定手法が構築可能と考えられ、今後の研究課題として取り組みたい。

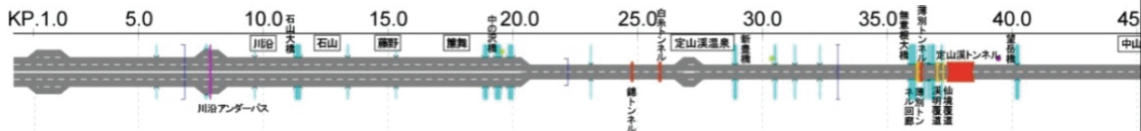
本研究で取り組んだ技術開発は、直ちに冬期道路管理の効率的なマネジメントを実現するものではないが、このような技術の積み重ねによって、冬期路面管理の実施判断、実施、結果及び成果の評価の各プロセスを科学的なデータ・定量的な指標に基づいて行うこと、各プロセス間の因果関係の明確化を一層進めていくことが、冬期路面管理の透明性、アカウンタビリティの向上のため今後必要である。

謝辞：

フィールドの提供、データの提供などで国土交通省北海道開発局に多大なる協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。

一般国道230号(札幌市内延長約44km)の冬期路面管理の業績測定(試行)

- ・路線名：一般国道230号札幌市
- ・道路諸元：L=44km、車線数4～6、信号交差点密度4.2カ所/km、橋梁L=2,254m、トンネルN=4、L=1,507m、排水性舗装施工L=17.8km、ロードヒーティング設置1箇所

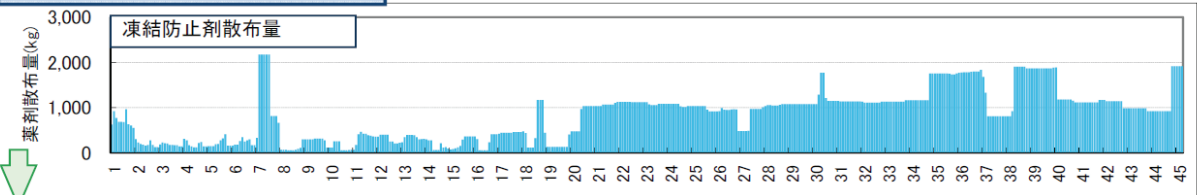


- ・目的：冬期道路交通の安全性・快適性及び確実性を確保・向上させる。
- ・目標：冬期路面のすべり抵抗値〇を〇%以上確保 等

INPUT

- ・予算(単位:千円):運搬排雪工107,395、一般・付帯除雪58,060、凍結防止剤工64,601
※平成18年度作業日報より試算より試算
- ・機材:除雪ステーション2カ所(薄別、豊滝)、作業車両(除雪車・散布車)管貸16台

OUTPUT



OUTCOME

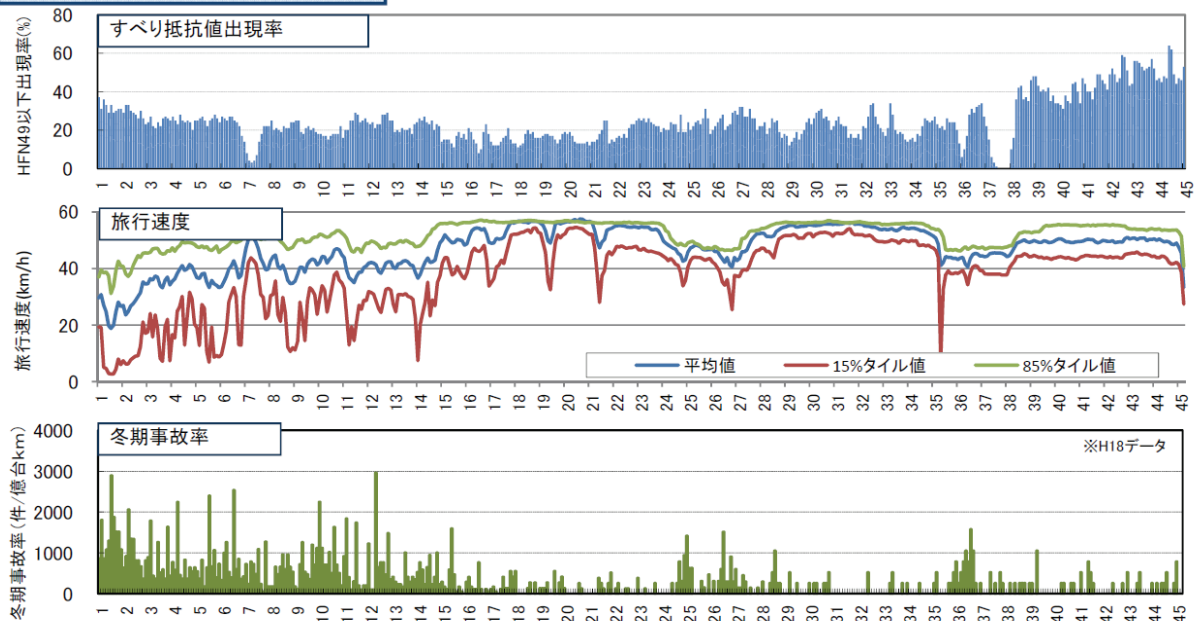


図-13 ロジックモデルを用いた一般国道 230 号の冬期路面管理の業績測定 (試行)

参考文献

- 1) 気象庁：気象統計情報、
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 2) 浅野基樹：雪氷路面対策の土木史的評価、土木史研究論文集Vol. 24 2005年、pp173～184
- 3) 国土交通省北海道開発局道路計画課：平成11年度全国道路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査箇所別基本表第一分冊（北海道版）
- 4) 国土交通省北海道開発局道路計画課：平成11年度冬期道路交通実態調査
- 5) 高島巧：スパイクタイヤ規制後の評価と今後の課題について、（社）雪センター、「ゆき」第51号、pp26-33、2003
- 6) 北海道開発局：冬期路面管理マニュアル(案)、1997
- 7) 宮本修司、浅野基樹：日高自動車道におけるサーマルマッピングと凍結防止剤散布状況、第45回北海道開発局技術研究発表会、2001
- 8) 松沢勝、加治屋安彦、宮下孝治、金村直俊：札幌圏における降雪・凍結予測情報を活用した冬期道路管理手法調査—冬期道路管理のための情報共有システムの構築に向けて—、土木計画学研究・講演集 Vol119(1)、pp483-484、1996

- 9) 武市靖、問谷邦利：フーリエ解析による路面凍結の予測手法、土木学会年次学術講演会講演概要集第5部 vol. 47、pp80-81、2002
- 10) 国土技術政策総合研究所：路面すべり測定車合同比較試験報告書、国土技術政策総合研究資料No. 57、ISSN1346-7328、2002
- 11) 美馬大樹、高木秀貴、川村浩二：幹線道路における冬期道路管理水準の現状分析について、第12回寒地技術シンポジウム、1996
- 12) Feasibility of Using Friction Indicators to Improve Winter Maintenance Operations and Mobility, NCHRP Web Document 53 (Project 6-14): Contractor's Final Report, 2002
- 13) PIARC Technical Committee 3.4 Winter Maintenance: Snow & Ice Data book Edition 2006, ISBN 2-84060-287-7
- 14) 武田祐輔、川村和幸、阿部篤：加速度計によるすべり摩擦係数の測定、土木学会年次学術講演会講演概要集第5部Vol. 49、pp28-29、1994
- 15) 舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人、浅野基樹：雪氷路面のすべり摩擦係数計測機器の比較試験と海外事例報告、北海道の雪氷No. 25、CD-ROM、2006
- 16) 林郁子、中辻隆、川村彰、白川龍生：車両運動データを用いた冬期路面すべり摩擦係数の予測に関する研究、土木学会北海道支部論文報告集Vol. 62、CD-ROM、2006
- 17) 秋元清寿、舟橋誠、徳永ロベルト、高橋尚人、浅野基樹、石川信敬：気象の時間変動と道路構造別冬期路面温度特性に関する研究、北海道の雪氷No. 24、pp62-65、日本雪氷学会北海道支部、2005
- 18) 近藤純正：水環境の気象学、1994
- 19) 福原輝幸、渡邊洋、藤本明宏：路面凍結の発生メカニズム、日本雪工学会誌Vol. 21No. 2、2005
- 20) Gustavsson, Torbjorn：Application of a Road Weather Information System, Snow Removal and Ice Control Technology, Conference Proceedings 16, pp121-124, Transportation Research Board, 1997
- 21) Mahoney, William P. and Richard A. Wagoner：Surface Transportation Weather Forecasting and Observations: Assessment of Current Capabilities and Future Trends, Proceedings of the 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium, 2005
- 22) たとえば、関平和、石田博、西谷直人、北側勝明：熱伝導解析による路面温度予測数学的モデルの開発と妥当性の検討、第18回ゆきみらい研究発表会論文集、2006
- 23) たとえば、Adams, E, et al: A First Principles Pavement Thermal Model for Topographically Complex Terrain. Sixth International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology: Transportation Research Circular E-C063, pp422-432, Transportation Research Board, 2004
- 24) 芹川博、西谷直人、中源達雄：熱収支伝導解析による路温予測システムの開発、EXTEC85号、pp17-21、(財) 高速道路技術センター、2008
- 25) Ishikawa, N. et al.: Contributions of Heat from Traffic Vehicles to Snow Melting on Roads. Transportation Research Record No. 1672, pp28-33, Transportation Research Board, 1999
- 26) Narita, K. Moving Observation of Downward Long-Wave Radiation In and Around Tokyo. Papers on Environmental Information Science, No. 15, pp249-254, 2001
- 27) Kevin R. Petty and William P. Mahoney: The U.S. Federal Highway Administration winter road Maintenance Decision Support System (MDSS): Recent enhancement & refinement, 14th International Road Weather Conference, 2008
- 28) 国土地理院：電子国土ポータル、<http://portal.cyberjapan.jp/index.html>
- 29) 舟橋誠、高橋尚人、浅野基樹：雪氷路面のすべり摩擦係数測定機器に関する研究と海外の事例報告、第50回北海道開発局技術研究発表会、2007
- 30) 高橋尚人、徳永ロベルト、舟橋誠徳：冬期路面状態の評価と管理手法に関する研究、土木学会安全問題研究論文集Vol. 3, pp. 17-22, 2008
- 31) 国土交通省道路局：道路行政マネジメント、<http://www.mlit.go.jp/road/management/about.html>
- 32) 佐々木亮、西川シーク美実：パフォーマンス・メジャーメント —最近の傾向と展望—, 「日本評価研究」第1巻第2号, 日本評価学会, 2001
- 33) The Gray Notebook: Washington State Department of Transportation, quarterly report
- 34) Carl-Gustaf Wallman: The Winter Model A Winter Maintenance Management System, Transportation Research Circular Number E-C063, pp83-94, Transportation Research Board, June 2004
- 35) Falls, C., Jurgens, R., Chan, J.: Performance Measurements for Snow and Ice Control in the Province of Alberta, 85th TRB Annual Meeting CD-ROM, Transportation Research Board, 2006
- 36) 浅野基樹：北海道における冬期道路管理の政策評価に関する研究、北海道開発土木研究所報告

- 第 125 号、(独)北海道開発土木研究所、2006
- 37) 龍慶昭、佐々木亮一：「政策評価」の理論と技法、多賀出版、2000年
- 38) 古川俊一、北大路信郷：＜新版＞公共部門評価の理論と実際、日本加除出版株式会社、ISBN4-8178-

- 1283-4
- 39) ハリー・P・ハトリ（上野弘，上野真紀子訳）：「政策評価入門 結果重視の業績測定」、東洋経済新報社、2004

冬期路面管理の高度化に関する実践的研究*

高橋尚人**・徳永ロベルト***・浅野基樹***・石川信敬****・岡村智明*****

北海道は、多雪寒冷な気象条件を有している。冬期には道路交通性能は低下するため、冬期道路交通機能の確保は重要な課題である。一方、道路管理に係る予算制約と環境負荷懸念という制約下において、冬期路面管理を的確かつ効率的に行うことが必要である。しかし、冬期道路管理の基本となる路面状態の評価は、主観や経験に基づいて行われている。

本研究では、冬期路面管理において判断を適確に行うため、路面温度推定手法の構築と冬期路面のすべりやすさを定量的に測定・評価する手法の構築を行った。更に、冬期路面管理の業績測定を試行した。

A Practical Study on Sophistication of Winter Road Management*

By Naoto TAKAHASHI**・Roberto TOKUNAGA***・Motoki ASANO***・Nobuyoshi ISHIKAWA****・Tomoaki OKAMURA*****

Hokkaido has severe winter climate conditions. During wintertime, traffic performance on roadways is deteriorated. So, keeping traffic performance on roadways during wintertime is an important theme. With the limitation of the budgets and fear for environmental influence, it is necessary to conduct winter road management more efficiently. Currently, winter road conditions are experientially and subjectively evaluated.

In this research, we tried to develop an estimation method of road surface temperature and quantitative evaluation of the friction of road surface conditions in order to make decisions on winter road management properly. Moreover, we tried conducting performance measurement on winter road management.
