

道内の道路雪氷管理評価に対する Winter Index の適用性に関する検討

Study on the application of Winter Index as the index of a snow and ice control evaluation on roads in Hokkaido

北海学園大学工学部	○学生員	塩田佑樹 (yuuki shiota)
北海学園大学大学院	学生員	田中俊輔 (shunsuke tanaka)
北海学園大学工学部	正員	武市靖 (kiyoshi takeichi)
北海道建設部 道路課	非会員	伊藤文夫 (humio itou)

1. 研究概要

本研究は、道内における道路雪氷管理の評価に対する Winter Index(以下、WI と略称)の適用性について検討したものである。

まず、道内 10 ヶ所の土木現業所 (以下、土現) における雪氷管理状況について 2005 年度 (厳冬) と 2008 年度 (暖冬) の WI と各土現の雪氷管理費の比較検討を行った。次に、確率分布の適合度検定から WI を構成する因子の重み付けの検討および凍結抑制舗装施工箇所におけるアンケート調査結果について WI の適用性を検討した。

2. 研究方法

2.1 SHRP Winter Index

本研究では、道路雪氷管理を行なう上での経時的な気象条件の厳しさをあらわす指標として、SHRP(Strategic Highway Research Program)の WI を用いた。

WI は解析期間を 11 月～翌年 3 月とし、路面温度、降雪量、結霜・結氷の 3 つ因子から構成されており、気温と降雪量のデータに基づき、次式によって算出される。

因子の算出については AMeDAS のデータを用いた。

$$WI = a\sqrt{TI} + bLn\left(\frac{S}{10} + 1\right) + c\sqrt{\frac{N}{R+10}} + 50$$

(1)路面温度因子の係数：a(気温を使用)

TI=0(日最低気温>0℃)

TI=1(日最低気温≤0℃&日最高気温 0℃)

TI=2(日最高気温<0℃)

$$TI = \frac{\text{解析期間のTIの合計値}}{\text{解析日数}}$$

(2)降雪量の因子の係数：b

s=日降雪量(mm)

$$S = \frac{\text{解析期間のsの合計値}}{\text{解析日数}}$$

(3)結霜・結氷因子の係数：c

R=解析期間の平均最高気温-解析期間の平均最低気温

N=(日最低気温≤0℃の日数)/解析日数

SHRP の WI は上記 3 つの要素から構成されており、雪氷管理費用と各構成因子との関係からそれぞれ重みを

$a\sqrt{TI}$ を 35%, $bLn\left(\frac{S}{10} + 1\right)$ を 35%及び

$c\sqrt{\frac{N}{R+10}}$ を 30%としている。

ここで、最も厳しい冬 (過去の TI, S, N の最大値) の気象条件時を WI=-50, 最も暖かい冬 (TI=S=N=0) の気象条件時を WI=50 となるように、気象データから a, b, c の係数を決定した。

2.2 北海道 WI の係数算出

北海道の AMeDAS 観測点 100 ヶ所について、1990～2008 年度までの過去 19 年間の TI, S, N/(R+10)の値を算出した。最も厳しい値を示したのは、TI が糠平の 1.72 (1999 年度), S が幌加内の 161.0 (1993 年度) N/(R+10)が稚内の 0.062 (2000 年度) であった。

これらの値から、係数 a, b, c は、それぞれ-26.7, -12.3, -120.8 と決定した。決定した係数 a, b, c に基づき、北海道 WI を算出した。

3. 各土現の WI

3.1 7年間の WI の推移

北海道の 10 土現の WI は、管轄地域にそれぞれ位置するアメダス観測点の WI の平均値とした。図-1 は 2002 年度から 2008 年度に渡る 7 年間の各土現の WI と道内全 10 土現の平均の WI の推移を示したものである。

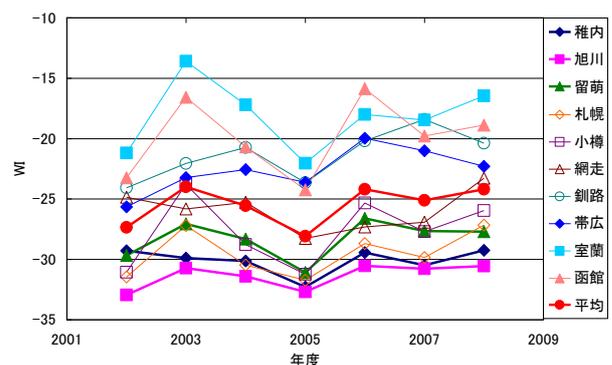


図-1 各土現の WI の推移

4. WI と雪氷管理費の関係

4.1 WI と車道除雪費、RH 費用の関係

図-2 と図-3 は 2005 年度と 2008 年度における各土現が管轄する 1km 当りの車道除雪費と WI の関係を示したものである。厳冬と暖冬の両年とも相関係数 R が 0.7 以上と比較的良好な相関が得られた。

図-4, 図-5 は 2005 年度と 2008 年度における各土現が管轄する 1m²当りの RH 費用と WI の関係を示したも

のである。寒冬と暖冬の両年とも相関係数 R が 0.8 以上と比較的良好な相関が得られた。

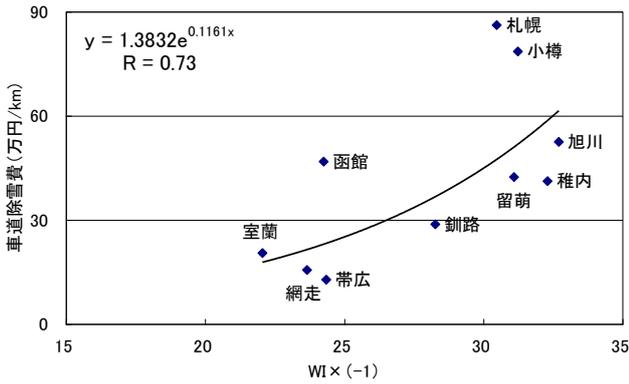


図-2 2005 年度の WI と車道除雪費の関係

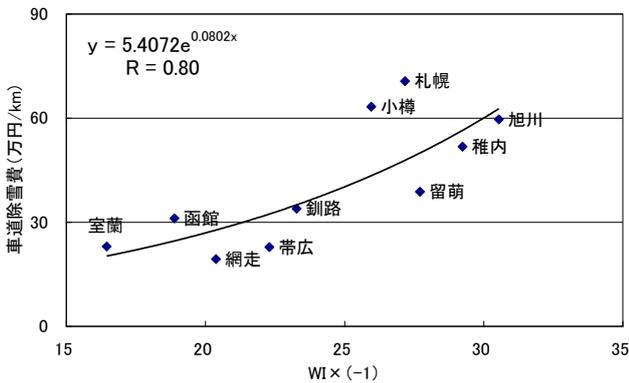


図-3 2008 年度の WI と車道除雪費の関係

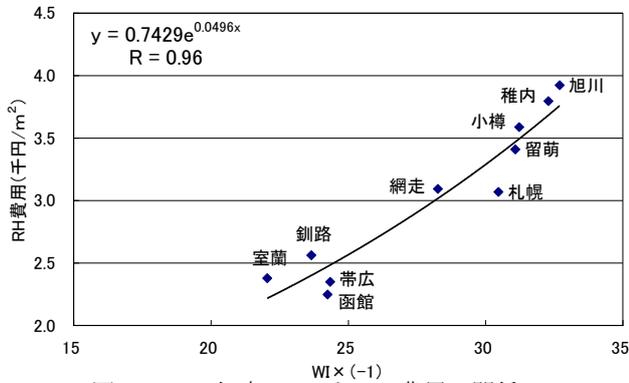


図-4 2005 年度の WI と RH 費用の関係

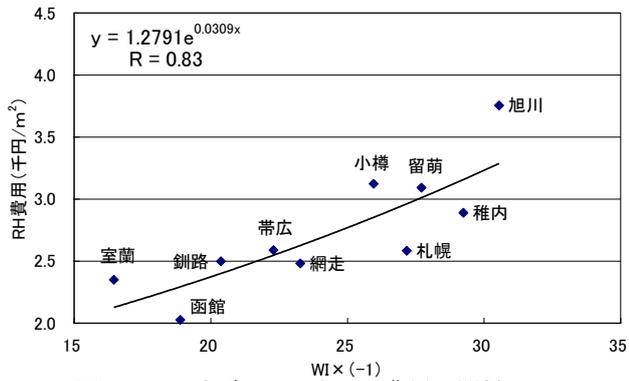


図-5 2008 年度の WI と RH 費用の関係

札幌土現については、DID 地区や交通量の多い幹線道路を多く含むなどの社会的条件により、WI に対し高めの管理費となっていると考えられる。路面管理工法として最も管理水準が高いため、管理費も高額になる RH 費はやや低めで、管理費の節減政策の傾向が見られる。

4.2 WI と薬剤散布費の関係

図-6 と図-7 は 2005 年度と 2008 年度における各土現が管轄する 1km 当りの薬剤散布費と WI の関係を示したものである。

両年度とも 10 土現全体では一定の傾向が見られない。薬剤散布には長年の実績を持つ北米、北欧諸国でも道路気象情報システム(RWIS)や気象情報のコンサルタントを利用して散布の決定や最適化を図る努力がなされていることを考慮すると、実績の少ない我が国ではやむを得ない点であると考えられる。また、気象条件や社会的条件の違いが影響していると考えられる。

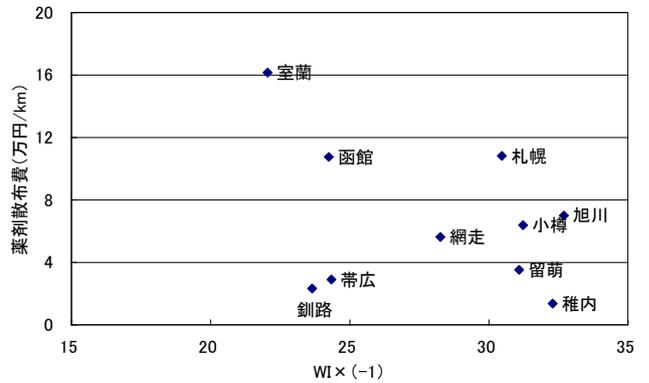


図-6 2005 年度の WI と薬剤散布費の関係

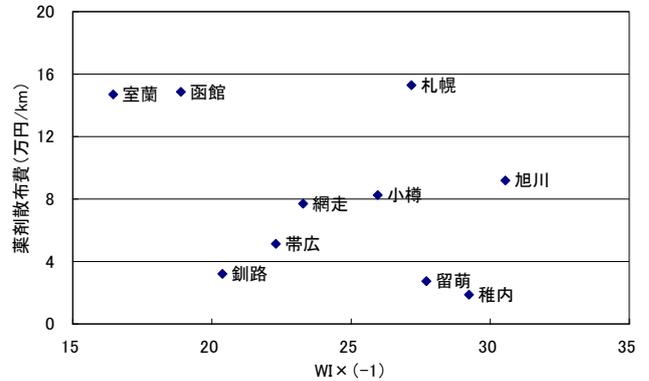


図-7 2008 年度の WI と薬剤散布費の関係

5. 北海道の気象条件を考慮した WI の検討

5.1 重み付けの検討

SHRP の WI を構成する路面温度因子、降雪量因子、結霜・結氷の因子の重みをそれぞれ、35%、35%、30%と定めているが、北海道の気象をより適切に表現するために、SHRP で定められた重みをいくつかのパターンに変え、確率分布の適合度検定による結果から、新たに北海道の気象条件に最も合うような重み付けを検討した。表-1 は既存の研究から、WI と雪氷管理費との相関が比較的良好なパターンを示した。

表-1 重み付けのパターンとその係数

パターン	重み付け			係数		
	TI	S	N/(R+10)	a	b	c
1	30%	60%	10%	-22.9	-21.1	-40.3
2	60%	40%	0%	-45.7	-14.1	0.0
3	50%	50%	0%	-38.1	-17.6	0.0

表-2 土現別の SLSC の値

土現	パターン	Gumbel	Gev	LogP3	LN2LM	土現	パターン	Gumbel	Gev	LogP3	LN2LM
稚内	1	0.044	0.022	0.028	—	網走	1	0.066	0.028	0.044	—
	2	0.05	0.024	0.027	—		2	0.057	0.052	0.023	—
	3	0.046	0.019	0.022	—		3	0.059	0.036	0.028	—
	SHRP	0.049	0.025	0.032	0.033		SHRP	0.059	0.038	0.03	—
旭川	1	0.048	0.037	0.04	—	釧路	1	0.055	0.037	0.032	—
	2	0.051	0.035	0.034	—		2	0.052	0.042	0.037	—
	3	0.056	0.047	0.044	0.045		3	0.05	0.036	0.034	—
	SHRP	0.056	0.048	—	—		SHRP	0.057	0.034	0.027	—
留萌	1	0.075	0.037	—	—	帯広	1	0.075	0.034	0.053	—
	2	0.05	0.025	0.031	—		2	0.055	0.036	0.042	0.042
	3	0.061	0.029	0.035	—		3	0.067	0.04	0.053	—
	SHRP	0.063	0.035	0.04	—		SHRP	0.067	0.045	0.05	—
札幌	1	0.042	0.043	—	0.037	室蘭	1	0.071	0.038	—	—
	2	0.046	0.039	0.038	—		2	0.055	0.03	0.041	—
	3	0.047	0.047	0.04	—		3	0.066	0.043	—	—
	SHRP	0.047	0.039	—	—		SHRP	0.062	0.029	0.037	—
小樽	1	0.063	0.039	0.034	—	函館	1	0.04	0.025	0.031	0.034
	2	0.062	0.045	0.037	—		2	0.043	0.032	0.028	0.029
	3	0.062	0.04	0.035	—		3	0.041	0.027	0.029	0.032
	SHRP	0.061	0.039	0.031	—		SHRP	0.049	0.043	—	0.041

5.2 確率分布と適合度検定

本研究では、Gumbel 分布（ガンベル分布）、Gev 分布（一般化極値分布）、LogP3 分布（対数ピアソンⅢ型分布）、LN2LM 分布（対数正規分布 2 母数）の 4 種類の確率分布モデルを検討の対象とした。そして、確率分布モデルと観測データの適合度を見積もるため、SLSC (Standard Least-Squares Criterion) の指標を用いた。

SLSC は値が小さいほど適合度が良く、0.04 以下でその分布モデルは適当だと判断している。プロットは、多くの分布モデルに一般的に用いられているカナンプロットを採用した。

5.3 解析データ

解析には、降雪量の観測データを有する北海道の AMeDAS 観測点 100 ヶ所について、1990～2008 年度までの過去 19 年間の WI の値を用いた。

5.4 結果と考察

表-2 は、パターン 1, 2, 3 と SHRP の重み付けで算出した WI の値を SLSC によって判定し、SLSC 値を土現別に示したものである。

表-3 は、パターン 1, 2, 3 と SHRP の重み付けで算出した WI の値を SLSC によって判定し、総括にした各確率分布モデルの適合度順位である。表-2 と表-3 から、Gumbel 分布は他の確率分布モデルよりも適合度順位の合計が極端に少ないことから適合度が低いことがわかる。LN2LM 分布についても同様なことがいえる。

Gev 分布は適合度順位 1 位の選出データ数が 19 と高く選出されていて、適合度順位の合計も多いことから、比較的高い適合性を示している。次に、LogP3 分布が高い適合性を示している。上位を占める割合からみても Gev 分布、LogP3 分布が高い確率で選出されていることがわかる。

表-4 は、パターン 1, 2, 3 と SHRP の重み付けで WI を算出し、雪氷管理費の車道除雪費、薬剤散布費、RH 費用との相関係数を土現別にまとめたものである。

表中の×印は、SLSC 値が 0.04 以上で、そのパターンでは適合性がなかったことを意味している。しかし、SHRP と他のパターンでの相関係数を比較するために SLSC 値は 0.04 以上であったが、相関係数を示した。

単純に、SHRP の適合度よりも良い適合度を示したパターンと SHRP の相関係数を比較してみると、旭川土現はパターン 1, 2 共に SHRP よりも適合度が良く、どちらのパターンでも相関係数は良かった。稚内土現と札幌土現はパターン 2 の相関係数が比較的良好な値であった。

表-3 確率分布モデルの適合度順位

適合順位	SLSC値≤0.04			
	確率分布モデル (データ数:62)			
	上:選出データ数		下:選出割合	
	Gumbel	Gev	LogP3	LN2LM
1位	0 (0%)	19 (31%)	15 (24%)	1 (2%)
2位	0 (0%)	10 (16%)	11 (18%)	1 (2%)
3位	0 (0%)	1 (2%)	0 (0%)	3 (5%)
4位	1 (2%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
合計	1 (2%)	30 (48%)	26 (42%)	5 (8%)

表-4 土現別の WI と雪氷管理費との相関係数の値

相関係数の比較 (適合順位×:SLSC≥0.04)											
土現	パターン	適合順位	車道除雪費	薬剤散布費	RH費用	土現	パターン	適合順位	車道除雪費	薬剤散布費	RH費用
稚内	1	2	0.15	0.70	0.21	網走	1	2	0.08	0.16	0.09
	2	3	0.32	0.57	0.39		2	1	0.35	0.10	0.32
	3	1	0.25	0.64	0.34		3	2	0.22	0.02	0.23
	SHRP	4	0.30	0.75	0.14		SHRP	3	0.27	0.05	0.15
旭川	1	2	0.35	0.48	0.73	釧路	1	2	0.66	0.23	0.45
	2	1	0.31	0.49	0.77		2	4	0.48	0.02	0.49
	3	×	0.33	0.49	0.76		3	3	0.56	0.09	0.49
	SHRP	×	0.31	0.45	0.73		SHRP	1	0.62	0.18	0.46
留萌	1	4	0.80	0.43	0.90	帯広	1	1	0.48	0.30	0.73
	2	1	0.80	0.31	0.78		2	2	0.25	0.53	0.77
	3	2	0.80	0.36	0.83		3	3	0.36	0.44	0.77
	SHRP	3	0.81	0.32	0.90		SHRP	×	0.22	0.56	0.66
札幌	1	1	0.75	0.85	0.79	室蘭	1	3	0.01	0.11	0.32
	2	2	0.84	0.91	0.86		2	2	0.09	0.05	0.51
	3	4	0.81	0.89	0.83		3	×	0.05	0.08	0.44
	SHRP	3	0.78	0.93	0.80		SHRP	1	0.11	0.08	0.51
小樽	1	2	0.77	0.85	0.86	函館	1	1	0.89	0.23	0.84
	2	4	0.74	0.84	0.80		2	3	0.82	0.24	0.90
	3	3	0.76	0.85	0.83		3	2	0.86	0.24	0.88
	SHRP	1	0.72	0.82	0.78		SHRP	×	0.74	0.28	0.90

網走土現は適合度 1 位のパターン 2 になった。帯広土現は SHRP の適合度が 0.04 以上となり、SLSC の基準値を超え、パターン 2 と 3 が適当であった。

函館土現は帯広土現のように SHRP の適合度が 0.04 以上と帯広土現と同じ傾向を示し、パターン 2 になった。

留萌土現と室蘭土現はパターン 1, 2, 3 よりも SHRP の相関係数が良かった。しかし、小樽土現と釧路土現については、適合度では SHRP が 1 位であったが相関係数を見るとパターン 1 の相関係数が良く出ていた。

以上のことから、例外はあったが、SHRP の適合度よりも高い適合度を示したパターンのほうが相関係数が良かった。また、全道 10 土現では比較的模式 2 の重み付けが雪氷管理費との相関係数が良く、北海道の気象条件に合っていると考えられるが、様々な観点から検証する必要がある。

6. 実態調査

6.1 調査方法

WI と凍結抑制舗装の凍結抑制効果の関係を調べるためにアンケート方式によって施工実態調査を行った。

実施した調査の項目は①凍結抑制舗装の種類②施工後の経過年数③日交通量④大型車交通量⑤道路の幾何構造⑥凍結路面状態⑦凍結抑制効果の有無である。

調査を行った施工箇所の近くの AMeDAS 観測点のデータを用いて、WI を構成する各因子の TI, S および $N/(R+10)$ を設定して WI を算出し、凍結抑制効果との相関を調べた。

どのような要因が支配的であるかを統計的に明らかにするために、数量化理論 II 類を適用して実態調査の解析を行った。

まず、外的基準に凍結抑制効果 (1. あり, 2. なし) をとり、影響を与える要因として WI を構成する各因子の TI, S, $N/(R+10)$ と WI の 4 項目を取り上げ分析を行った。

次に、影響を与える要因として調査項目 (①～⑥) を取り上げて分析を行った。そして、凍結抑制効果に及ぼす影響の大きい「凍結抑制舗装の種類」と「日交通量」、「凍結路面状態」の 3 項目を取り上げ再度分析を行った。

6.2 調査結果の分析

要因を TI, S, $N/(R+10)$, WI とした解析結果は、判別の良さを表す相関比は 0.33 で、判別の中率 78.0% となり、この解析の精度は十分ではなかったことから凍結抑制効果と WI を構成する各因子 TI, S, $N/(R+10)$, WI の相関は見られなかった。

これは、施工箇所の近くの AMeDAS 観測点のデータに基づく WI との相関を調べたために、道路・交通条件が考慮されなかったことによるものと考えられる。

表-7 は要因を「凍結抑制舗装の種類」、「日交通量」、「凍結路面状態」とした解析結果である。相関比は 0.75 となり、判別の中率は 96.6% となったので、良い解析精度が得られた。

表中のレンジはカテゴリースコアの最大値と最小値の差であり、この値が大きいほど凍結抑制効果に対する影響が大きいことを表している。凍結抑制効果に最も影響を与えている要因はレンジの値から「凍結抑制舗装の種類」である。また、表中のカテゴリースコアは値が小さいほど凍結抑制効果が大きいことを表し、カテゴリースコアからみて粗面系の舗装があげられる。

表-7 解析結果

項目名	カテゴリ番号	カテゴリ名	カテゴリスコア	レンジ	サンプル数
舗装の種類	1	粗面系	-0.479	3.65	20
	2	グルーピング系	-0.092		34
	3	エキボシ樹脂すべり止め	3.166		2
	4	ひび割れ抑制長寿命化オーバーレイ工法	2.122		3
日交通量	1	500未満	-0.113	0.56	4
	2	500以上1500未満	-0.165		16
	3	1500以上4000未満	0.333		15
	4	4000以上20000未満	-0.223		16
	5	20000以上	0.167		9
凍結路面状態	1	圧雪路面	0.964	1.25	11
	2	硬圧雪路面	-0.284		27
	3	ブラックアイスバーン	-0.146		22

7. まとめ

(a) 2005 年度 (厳冬) と 2008 年度 (暖冬) の雪氷管理費の比較については、WI と車道除雪費、RH 費用の関係は両年ともに 0.7 以上と比較的良好な相関が見られた。しかし、薬剤散布費は、気象条件や社会的条件の違いなどが大きく影響して、WI との相関が見られなかったと考えられる。

(b) WI の係数の重み付けパターンに対する確率分布モデルによる検討では、適合性が高い確率分布モデルは、Gev 分布と LogP3 分布が比較的高い結果となった。

(c) 適合度が良いパターンは比較相関係数が良く、北海道の気象条件を考慮した場合、パターン 2 の 60%、40%、0% の重み付けが、ほぼ良好な結果が得られたが、様々な観点から検討が必要であると考えられる。

(d) 今回の凍結抑制舗装施工箇所に関するアンケート調査では、WI 及び構成因子との相関は見られなかったが、道路・交通条件の各要因との相関は見られた。

【参考文献】

- 1) 気象庁ホームページ：
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html> 気象統計情報、過去の気象データ, 2009
- 2) 菅民朗：多変量解析の実践上・下, 現代数学社 1993
- 3) 西澤辰男, 村井貞規, 国分修一：ゴムチップ粒子混合アスファルト混合物の雪氷剥離評価, 土木学会論文集, NO.585/V-38, 153-162, 1998
- 4) 残間一樹：Winter Index に基づく道内各土木現業所の雪氷管理の評価法に関する検討. 第 64 号, D-23, 2008
- 5) 金澤尚也：Winter Index に基づく道内各土木現業所の道路雪氷管理の実態に関する検討. 第 65 号, D-36, 2009