

GISを用いた Winter Index による北海道の道路雪氷管理の評価に関する研究

Study on Evaluation Method on Road Snow Removal and Ice Control in Hokkaido Based on Winter Index using GIS

北海学園大学大学院	○学生員	池上 直樹 (Naoki Ikegami)
土木研究所寒地土木研究所	正 員	齊田 光 (Akira Saida)
土木研究所寒地土木研究所	正 員	高橋 尚人 (Naoto Takahashi)
北海学園大学工学部	正 員	武市 靖 (Kiyoshi Takeichi)

1. はじめに

1.1 研究の背景

積雪寒冷地域における道路の除雪や凍結防止剤散布などに係る費用（雪氷管理費）はより一層の効率的な執行が求められている。降雪回数が多くなれば除雪や凍結防止剤散布の出動回数が増えるなど冬期の気象条件は雪氷管理費に大きな影響を与えるため、地域毎の冬期気象条件を適切に評価することができれば雪氷管理費を適切に設定することが可能になると考えられる。

1.2 既往の研究

冬期の気象条件は地域によって異なり、また、同一地域であっても年度により異なるため、冬期の気象特性を単純に比較できない。欧米では、冬期気象の特性（厳しさ）を定量的に示す指標として Winter Index（以下 WI）が開発され、冬期道路管理の評価に活用されてきた。例としてアメリカ合衆国では多くの州で運輸省（DOT）が WI を開発し、採用している。インディアナ州 DOT は、州内 4 つの冬期気候帯それぞれの WI に加え、州全体の WI も開発したり。

日本では、松原ら²⁾が SHRP（Strategic Highway Research Program）³⁾の WI を建設管理部ごとに求め、WI と雪氷管理費との関係について検証を行った。松原らは、建設管理部ごとの WI をアメダス観測地点における気象データを用いて求めたが、限られたアメダス観測地点で建設管理部の WI を求めるのではなく、路線の任意の地点で WI を算定することができれば、冬期気象と雪氷管理の関係性がより明確になると考えられる。

1.3 研究の目的

本研究では既往の手法を改良し、GIS（Geographic Information System：地理情報システム）を用いて任意地点の WI を算出する手法を提案することを目的とする。そのために、GPV（Grid Point Value）気象メッシュデータおよび数値標高モデルを用いて WI を算出する手法を構築するとともに、従来の計算法および提案法による WI 計算結果と雪氷管理費の関係について考察を行ったので結果を報告する。

2. Winter Index の計算法

2.1 WI の概要

SHRP の WI は式（1）で計算される。

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

ここに、

a ：路面温度因子の係数、

$TI = \frac{\text{解析期間の } TI \text{ の合計値}}{\text{解析日数}}$ ，ただし $TI = 0$ （日最低気温 $> 0^\circ\text{C}$ ）， $TI = 1$ （日最低気温 $\leq 0^\circ\text{C}$ かつ日最高気温 $\geq 0^\circ\text{C}$ ）， $TI = 2$ （日最高気温 $< 0^\circ\text{C}$ ），

b ：降雪量因子の係数、

$S = \frac{\text{解析期間の日降雪量の合計値(mm)}}{\text{解析日数}}$ ，

c ：結霜・結氷因子の係数、

R ：解析期間の平均最高気温－平均最低気温

N ：日最低気温 $\leq 0^\circ\text{C}$ の日数 / 解析日数である。

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

$$a\sqrt{TI} = 35\%, \quad b\ln\left(\frac{S}{10} + 1\right) = 35\%, \quad c\sqrt{\frac{N}{R+10}} = 30\%$$

としている。

ここで、最も厳しい冬（過去の TI 、 S 、 $N/(R+10)$ 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 の係数を決定する。

2.2 従来法による北海道の WI の計算法

北海道内 100 か所のアメダス観測点の気象観測データを用い、1990 年度～2015 年度までの過去 26 年間の 11 月から 3 月までの冬期間について年度単位で 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。

この値から決定した係数は、 a が -26.7、 b が -12.3、 c が -120.8 となった。この係数 a 、 b 、 c に基づき全道の WI を算出した。

北海道内 10 ヶ所の建設管理部の WI は、それぞれの管轄地域に位置するアメダス観測点の WI の平均値とした。

2.3 地形・気象を考慮した WI の計算法

北海道の路線ごとの雪氷管理の状況を検討するにあたって、各路線について詳細な気象情報およびその土地での地形の情報が必要となる。本研究では気象庁より提供されている GPV 気象メッシュデータおよび国土地理院

より提供されている基盤地図情報数値標高モデルを用いて北海道の道道の一定間隔ごとに WI を算出した．なお，GPV 気象メッシュデータは地図上の 5km メッシュの詳細な地域において海面更正気圧，地上気圧，風速，気温，相対湿度，時間降水量，雲量などの物理量を 1 時間ごとに予測したものである．以下に詳細な計算手法を示す．

(1) GPV 気象メッシュデータの海面高度における気温の算出

最初に GPV 気象メッシュデータの気温を基盤地図情報数値標高モデルに基づき，海面高度における気温に換算する．海面高度における気温 T_0 は式 (2) で求められる．

$$T_0 = T - 0.006h_{avg} \quad (2)$$

ここに，

T : GPV 気象メッシュデータ気温 (°C)

h_{avg} : GPV 気象メッシュ内の平均標高 (m) である．

(2) 路線上の任意地点における気象条件算出

本研究では路線上の任意の点における海面高度の気温 T_0 ，相対湿度 RH および時間降水量 P (mm/h) を GPV 気象メッシュデータから逆距離加重法を用いて求める．

図-1 は GPV 気象メッシュデータを破線で表し，それにまたがる路線を赤の実線で表したものである．

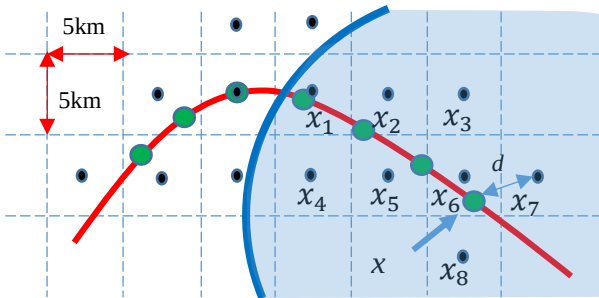


図-1 GPV 気象メッシュおよび路線の模式図

●は任意地点 x を表し，●は GPV 気象メッシュデータの中心地点 x_i を表している．本研究では任意地点 x より半径 15km の範囲内（図-1 の青実線で示す範囲内）に位置する点 x_i のデータを用いることで x における気象要素を求めた．

任意地点 x における気象要素 $F(x)$ は式 (3) と (4) を用いて求められる．

$$F(x) = \frac{\sum_{i=0}^N w_i f(x_i)}{\sum_{j=0}^N w_j(x)} \quad (3)$$

$$w_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)} \quad (4)$$

ここに，

$f(x_i)$: x の近傍地点 x_i における気象要素

$d(x, x_i)$: $x - x_i$ 間の距離である．

海面高度気温から路線上の任意地点の標高 h における気温 T は式 (5) で求められる．

$$T = T_0 + 0.006h \quad (5)$$

GPV データでは時間降雪量 P_s (mm/h) が含まれてい

ないため， P_s を P ， T および RH から雨雪判別表⁴⁾を用いて求める．その後，降雪が生じた場合は P_s を式 (6) で求める．

$$P_s = \frac{P}{D/1000} \quad (6)$$

ここに，

D : 降雪の密度 (kg/m^2) である．なお， D は北海道開発局の道路設計要項をもとに $50\text{kg}/\text{m}^2$ とした⁵⁾．

3. 計算および考察の条件

本研究では，2006 年度から 2015 年度までの 10 年を対象として北海道内の WI を従来法および提案法を用いて算出した．また，比較的温暖である室蘭建設管理部，寒冷である旭川建設管理部およびその中間にあたる函館建設管理部を対象として，年度毎に WI と雪氷管理費の関係を求めた．

4. 計算結果および考察

4.1 WI の算出結果の比較検証

図-2 は従来法により算出された建設管理部毎の WI の分布を示す．太平洋側に位置する建設管理部では WI が大きく比較的温暖な地域となっており，対照的に日本海側に位置する建設管理部では WI が低いことがわかる．

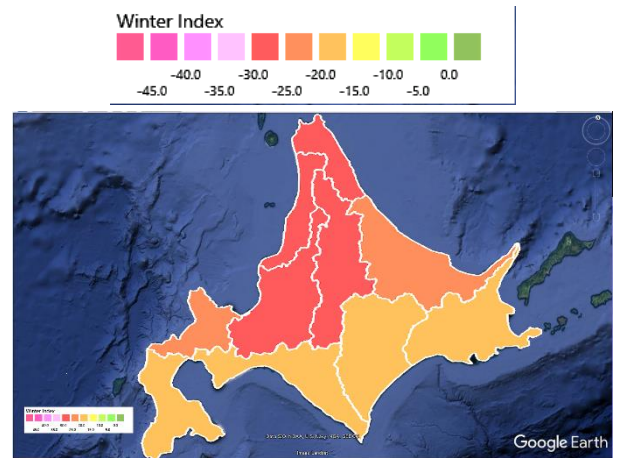


図-2 従来法による 2015 年 11 月 1 日から 2016 年 3 月 31 日までの各建設管理部の WI 計算結果

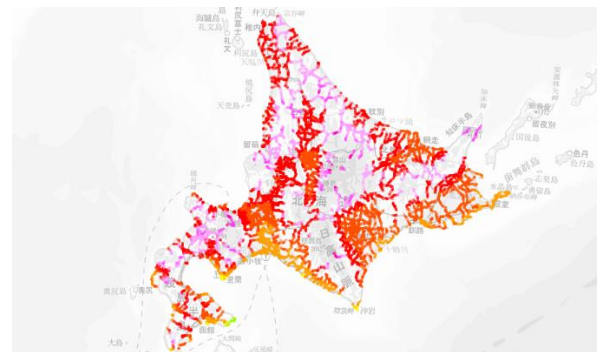


図-3 提案法による 2015 年 11 月 1 日から 2016 年 3 月 31 日までの道道各地点の WI

図-3 は提案法により算出された路線ごとの WI の分布を示す。WI の分布は従来法により算出した結果と概ね同様の傾向となったが、提案法では1つの建設管理部内でも地点により WI が大きく異なっており、沿岸・内陸や平地・山地による WI の違いを表現可能であることがわかる。

4.2 WI と雪氷管理費との関係

(1) 従来法による WI と雪氷管理費との関係

図-4、図-5 および図-6 はそれぞれ室蘭・函館・旭川建設管理部における従来法による WI と 1km あたりの車道除雪費 (万円/km)、1km あたりの薬剤散布費 (万円/km)、1m² あたりのロードヒーティング費 (千円/m²) との関係を表したものである。

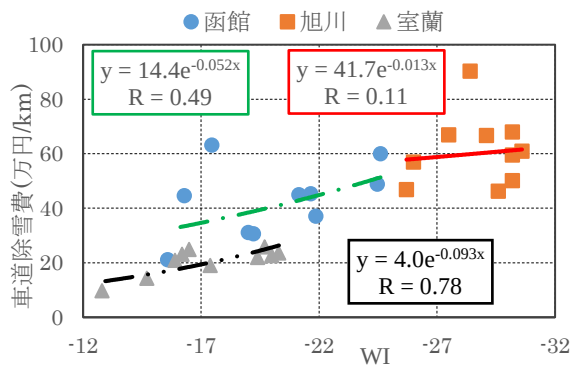


図-4 従来法による WI と車道除雪費(万円/km)の関係

函館・旭川・室蘭建設管理部における WI と車道除雪費との相関係数はそれぞれ 0.49, 0.11 および 0.78, 薬剤散布費との相関係数はそれぞれ 0.58, 0.33 および 0.28, ロードヒーティング費との相関係数はそれぞれ 0.32, 0.23 および 0.76 であり、室蘭建設管理部以外では WI と雪氷管理費との間に強い相関は見られなかった。この理由としては、従来法では同じ建設管理部内における気象条件の違いが WI に正確に反映されていないことが考えられる。例えば、旭川建設管理部は山地が多い一方でアメダス観測地点間は多くが平野部に位置し、かつ観測地点間の距離が 30km 以上と大きく離れている地域が存在する。これらの地域において、観測地点間が山間部であればこれらの地域を通過する路線では WI は低く雪氷管理費は大きくなるが、従来法ではこのような局所的な WI の違いを捉えることは困難であるために WI と雪氷

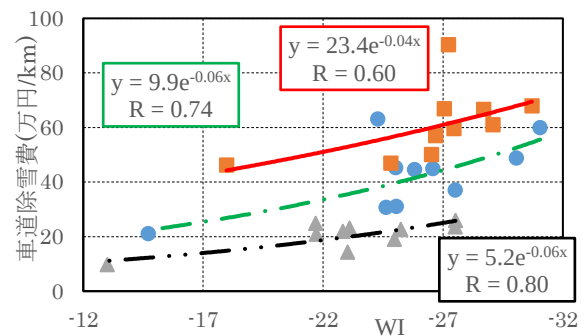


図-7 提案法による WI と車道除雪費(万円/km)の関係

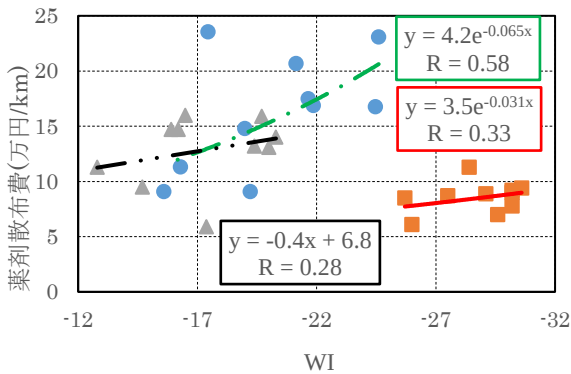


図-5 従来法による WI と薬剤散布費(万円/km)の関係

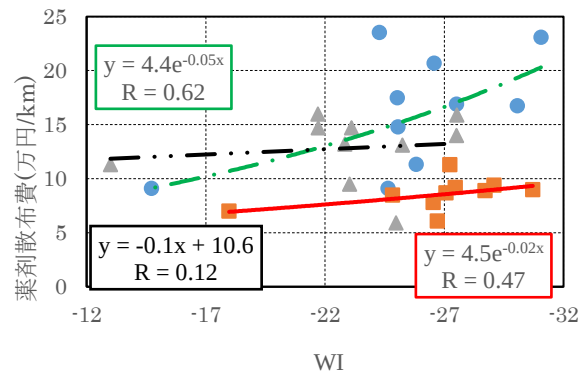


図-8 提案法による WI と薬剤散布費(万円/km)の関係

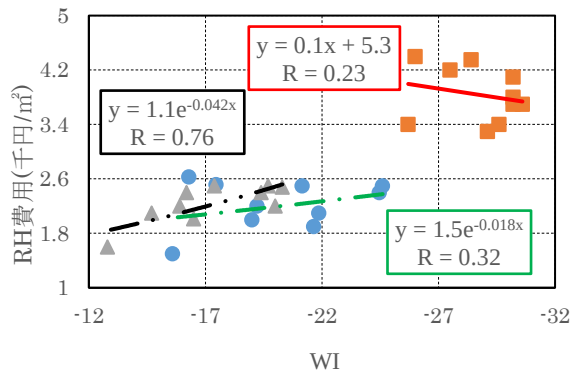


図-6 従来法による WI とロードヒーティング費(千円/m²)の関係

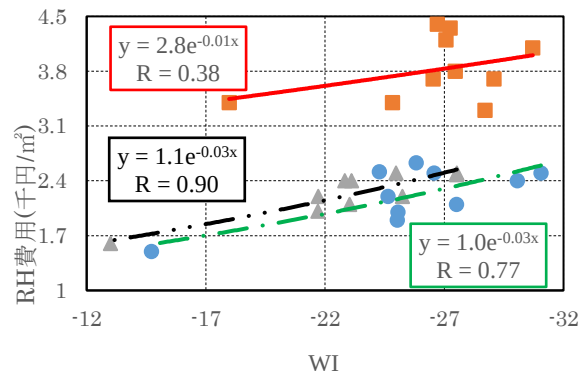


図-9 提案法による WI とロードヒーティング費(千円/m²)の関係

管理費の関係を正しく評価できなかった可能性がある。

一方で、室蘭建設管理部は大部分が平地であり、観測地点間の任意地点における WI が大きく異なる地域は少ないために従来法を用いた場合でも WI と雪氷管理費の相関係数が比較的高い値となったと推察される。

(2) 提案法による WI と雪氷管理費との関係

図-7、図-8 および図-9 はそれぞれ室蘭・函館・旭川建設管理部における提案法による WI と 1km あたりの車道除雪費（万円/km）、1km あたりの薬剤散布費（万円/km）、1 m² あたりのロードヒーティング費（千円/m²）との関係を表したものである。函館・旭川・室蘭建設管理部における WI と車道除雪費との相関係数はそれぞれ 0.74、0.60 および 0.80、薬剤散布費との相関係数はそれぞれ 0.62、0.47 および 0.12、ロードヒーティング費との相関係数はそれぞれ 0.77、0.38 および 0.90 であり、表-1 に示すように提案法による WI と雪氷管理費の相関係数は従来法と比べて高いものとなっていることがわかる。このことは、提案法では従来法と比較して 2006 年度の記録的な暖冬による影響をより明確に表現できたためだと考えられる。しかしながら、旭川建設管理部の WI と薬剤散布費・ロードヒーティング費、室蘭建設管理部の WI と薬剤散布費に関しては提案法を用いても相関が見られず、WI 計算精度の改善などさらなる検討の余地がある。

表-1 従来法と提案法の WI と雪氷管理費間の相関係数

	相関係数					
	函館		旭川		室蘭	
	従来法	提案法	従来法	提案法	従来法	提案法
車道除雪費	0.49	0.74	0.11	0.60	0.78	0.80
薬剤散布費	0.58	0.62	0.33	0.47	0.28	0.12
RH費	0.32	0.77	0.23	0.38	0.76	0.90

5. 結論

本研究では、GPV 気象メッシュデータおよび数値標高モデルを用いて、任意地点における Winter Index を計算する手法を提案するとともに、雪氷管理費と Winter Index の相関係数を従来法と提案法で計算し、比較を行った。以下に得られた知見を列挙する。

- (1) アメダス観測点による気象データを基に建設管理部毎に算出した WI は、建設管理部内の地域ごとの詳細な地形や気象が反映されないため路線の各区間における冬期道路環境の厳しさを正しく評価できない可能性があることが示唆された。

- (2) GPV 気象メッシュデータおよび国土地理院より提供されている基盤地図情報数値標高モデルを用いて道道の一定間隔ごとの地点における WI を算出することでより詳細に道道の WI を表現することが可能となった。
- (3) 提案法による WI と雪氷管理費の相関係数は従来法によるそれと比較して高く、本手法を用いることで各建設管理部における雪氷管理作業合理化のための意思決定をより適切に行える可能性がある。

今後は冬期道路環境の厳しさをより適切に表現可能な WI の算出手法について検討を進めるとともに、路線単位で算出した WI による詳細な雪氷管理費の評価手法についても検討を進めていきたい。

6. 謝辞

研究を進めるにあたり、北海道建設部建設政策局維持管理防災課の矢野眞嗣氏より平成 27 年度における道道の除雪計画及び除雪費用実績データを提供して頂いた。心より感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 高橋尚人，徳永ロベルト，山中重康：冬期の厳しさ指数（Winter Index）について，第 55 回北海道開発局技術研究発表会，No.7，2012。
- 2) 松原雅子，田中俊輔，武市靖，高尾英輝：Winter Index に基づく道内各建設管理部の道路雪氷管理状況の検討，平成 23 年度論文報告集 第 68 号
- 3) John E.Thornes：Cost-Effective Snow and Ice Control for the 1990s TTR No.1387，pp.185-190，1993
- 4) 岡林俊雄：大気中における雪片の融解現象に関する研究 気象研究所技術報告第 8 号 pp.19-20
- 5) 北海道開発局：平成 28 年度 北海道開発局道路設計要領 第 5 集 電気通信施設，第 4 章ロードヒーティング設備
http://www.hkd.mlit.go.jp/zigyoka/z_doro/download/pdf/05/5-4.pdf