

雪氷管理評価のための重回帰分析による Winter Index の設定

Calculation of Winter Index by multiple linear regression analysis for snow and ice control of roads

北海学園大学工学部 学生員 山川香奈子 (Kanakō Yamakawa)
 北海学園大学大学院 ○学生員 佐々木龍 (Ryu Sasaki)
 北海学園大学工学部 正員 武市靖 (Kiyoshi Takeichi)

1. はじめに

近年、北海道の道路雪氷管理において、管理作業の拡大及びサービスレベルの改善などに伴い、それらの評価手法の確立が必要となってきた。自然条件と社会条件を考慮して、雪氷管理の合理的配分を検討していくことが重要となってきた。

本研究では、北海道のアメダス観測点の気象情報と、GIS (geographic information system) を用いて算出した地形情報をもとに、北海道全域の気象要素を推定し、道路雪氷管理の効率化を行う上で基準となる Winter Index (以下、WI) を算出し、北海道全域に設定した。

2. 研究概要

北海道を一定の緯度、経度で地域を網の目状に区画した標準地域メッシュを用い、気象要素を推定するにあたって影響する地形の特徴を GIS によって把握し、各メッシュに与えた。過去 12 年間 (1990 年度～2001 年度) の 11 月から 3 月までの北海道のアメダス観測点 98 箇所の観測データを使用し、SHRP (Strategic Highway Research Program) ¹⁾ の算出方法に基づいて、WI の係数に関わる気象要素を算出し、これを該当するメッシュに適用した。観測点のないメッシュの気象要素は、地形情報をもとに重回帰分析 ²⁾ を行い、気象要素を推定した。³⁾ 設定した北海道気象要素のメッシュより、北海道全域の WI の算出を行った。本研究の流れを図-1 に示す。

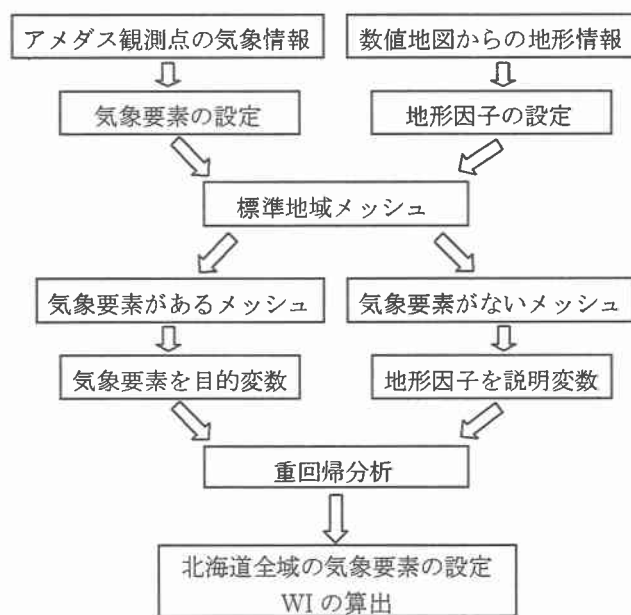


図-1 本研究のフロー

3. 研究手法

3.1 Winter Index

WI は、経時的・地域的な気象の厳しさをあらわす指標であり、英国では、雪氷管理の費用・資機材の適正配分、管理の効率化を行う上での基準となっている。

本研究での WI の算出は、解析期間を 11 月～翌年 3 月とし、SHRP に基づいて行った。この SHRP 手法は、気温と降雪量を説明変数として WI を次式によって算出している。

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

(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

$$N = \frac{\text{日最低気温} \leq 0^\circ\text{C} \text{の日数}}{\text{解析日数}}$$

R = 解析期間の平均最高気温 - 解析期間の平均最低気温

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

$$a\sqrt{TI} \text{ を } 35\%、b\ln\left(\frac{S}{10} + 1\right) \text{ を } 35\% \text{ 及び } c\sqrt{\frac{N}{R+10}} \text{ を } 30\% \text{ としている。}$$

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 の係数を決定する。

今回はこの a、b、c の係数を決定するにあたって、TI、S、N、R を過去 12 年間の北海道 98 箇所のアメダスデータに ⁴⁾ 基づいて算出し、これを説明変数として、重回帰分析を行い、各地域の TI、S、N、R を推定し、北海道全域の WI を算出した。

3.2 標準地域メッシュ

本研究では、北海道全域についてWIの算出をおこなうにあたり、メッシュ単位での解析をした。このメッシュは、総務省統計局をはじめとする国の行政機関が作成している「標準地域メッシュ」を使用した。

標準地域メッシュは一定の緯度、経度で地域を網の目状に区画したもので、これを第1次メッシュとし、それを経線及び緯線方向に8等分したものを第2次メッシュ、さらにそれを経線及び緯線方向に10等分した第3次メッシュと階層的に細かく分割している。その関係を表-1、図-2に示した。

第1次メッシュは20万分の1の地図に、第2次メッシュは5万分の1地図に相当しているの、任意の点を選ぶ場合などに利用しやすくなっている。本研究では、基準地域メッシュとなる第3次メッシュ（北海道付近では、0.9km×1km）85359個を用いた。

表-1 標準地域メッシュの関係

区画の種類	緯度の間隔	経度の間隔	一辺の長さ
第1次メッシュ	40分	1度	約80km
第2次メッシュ	5分	7分30秒	約10km
第3次メッシュ (基準地域メッシュ)	30秒	45秒	約1km



図-2 各標準地域メッシュ

3.3 標高データ

3.2で用いた北海道の第3次メッシュ85359個と、アメダス観測点98箇所の観測データを用いて、WIを算出する。メッシュにアメダス観測点が該当するものに関しては、そのアメダス観測点の気象情報を使用する。しかし、数を見てみてもわかるとおり、メッシュにアメダス観測点が該当しないものがほとんどである。

したがって、気象情報がなく、WIの算出をおこなうことができないため、気象情報がないメッシュについては、地形情報からの気象要素の推定を行う。

本研究では、地形情報を設定するにあたって、GISを用い、国土地理院が刊行している数値地図データ⁵⁾をもとに解析を行った。

この数値地図は、国土地理院が刊行している2万5千分1地形図（第2次メッシュ）を経度方向及び緯度方向に、それぞれ200等分して得られる各区画の中心の標高が記録されている。標高の間隔は緯度（南北）方向で1.5秒、経度（東西）方向で2.25秒となり実距離で約50m×約50mとなっており、メッシュとしてそのまま対応することができないため、1メッシュに該当する標高データの平均値をそのメッシュの標高データとした。

メッシュに割り当てられた標高データを色分けすると図-3のようになり、この標高データが当てはめられたメッシュデータを用いてGISで3次元化シミュレーションし、傾斜角や傾斜方向をメッシュ地形情報として与えた。

また、割り当てられた標高点データから標準偏差、平方偏差を算出した。海岸距離の設定についても、GISによる空間解析をおこない、各メッシュについて、海岸線からの距離を設定した。

今回設定した地形因子を表-2に示す。

表-2 1メッシュあたりの地形因子

標高因子			位置的因子
平均標高	標高標準偏差	最大傾斜角	十進緯度
標高最大	標高平方偏差	最小傾斜角	十進経度
標高最小	傾斜方向	傾斜角最大最小差	海岸距離
標高大小差	平均傾斜角		

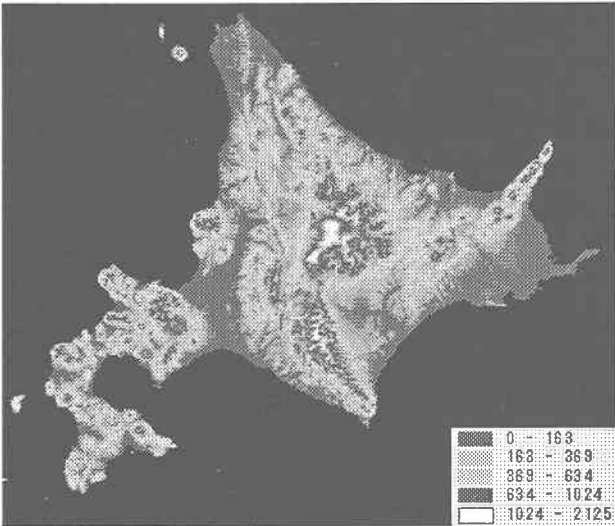


図-3 メッシュ標高図

3.4 重回帰分析

WI の算出にあたり、実測の気象情報が得られないメッシュについては、3.3 で設定した地形因子を説明変数、WI の係数である TI、S、N、R を目的変数とした重回帰分析により、そのメッシュの気象情報を推定した。

今回、重回帰分析の方法として、最良な説明変数を選択するために、大小関係から自動的に変数を選択させる変数増減法を用いた。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + c$$

y : 目的変数 (TI、S、N、R)

x_{1~n} : 説明変数 (地形因子)

a_{1~n} : 偏回帰係数 c : 定数項

上記の式が線形重回帰式で、本研究ではこの式を用いた。

今回は偏回帰係数をもとめるため、目的変数をアメダス観測点の 12 年間の気象データにより算出した TI、S、N、R、として重回帰分析を行った。

4. 研究結果

4.1 重回帰分析の結果

重回帰分析をおこなった結果、各目的変数に対して選択された説明変数を表-3 に、分析精度を表す重相関係数を表-4 に示す。

表-3 目的変数と説明変数

TI		R	
変数名	偏回帰係数 (偏相関係数)	変数名	偏回帰係数 (偏相関係数)
海岸距離	0.002(0.315)	海岸距離	0.039(0.418)
十進緯度	0.105(0.498)	十進経度	0.673(0.432)
十進経度	0.363(0.277)	十進緯度	-0.466(-0.176)
標高最大	0.0005(0.360)	定数項	-67.960
標高平方偏差	-0.0001(-0.182)		
定数項	-8.496		
N		S	
変数名	偏回帰係数 (偏相関係数)	変数名	偏回帰係数 (偏相関係数)
海岸距離	0.002(0.507)	十進緯度	0.394(0.489)
十進経度	0.015(0.362)	十進経度	-0.190(-0.401)
十進緯度	0.012(0.140)	海岸距離	0.005(0.191)
定数項	-2.289	定数項	11.330

表-4 各目的変数推定精度

精度	TI	S	N	R
重相関係数	0.92	0.65	0.73	0.68
修正済重相関係数	0.91	0.64	0.72	0.66

重回帰分析の結果より、TI については重相関係数が 0.9 以上となり、非常に高く、また N も重相関係数が 0.7 以上となり、精度がよい分析結果となった。S、R については、重相関係数が 0.7 以下となり、精度としてはやや低い結果となった。

選択された説明変数を見てみると、TI、S、N、R は、十進緯度、十進経度、海岸距離がそれぞれ影響していることがわかる。位置的なものの影響が強いと考えられる結果となった。

4.2 WI の算出結果

4.1 の重回帰分析の結果を使用し、3.3 で設定したメッシュの地形要素に重回帰分析の結果をあてはめ、気象要素 TI、S、N、R を設定し、北海道全域 85359 個のメッシュについて WI の算出を行った。

北海道全域の WI の算出において a、b、c の係数を決定するにあたり、過去の TI、S、N の最大値のときに WI が -50 となるような値を設定する。R については構成因子 N / (R+10) を最大にするため、最低値を用いる。

この TI、S、N / (R+10) の各最大値を北海道 98 箇所 の 1990 年度から 2001 年度までの過去 12 年間の 11 月から 3 月までの冬期間について月単位で算出した結果、TI が朱鞠内 (1993 年 1 月) を始めとする 30 箇所 55 回の観測で 2、S が朱鞠内 (1994 年 12 月) の 73.55mm、N / (R+10) が稚内 (1995 年 12 月) の 0.079 であった。この数値から a が -24.7、b が -16.5、c が -106.9 となった。決定した a、b、c の係数から、北海道全域 85359 個のメッシュについて WI の算出した結果を図-4 に示す。

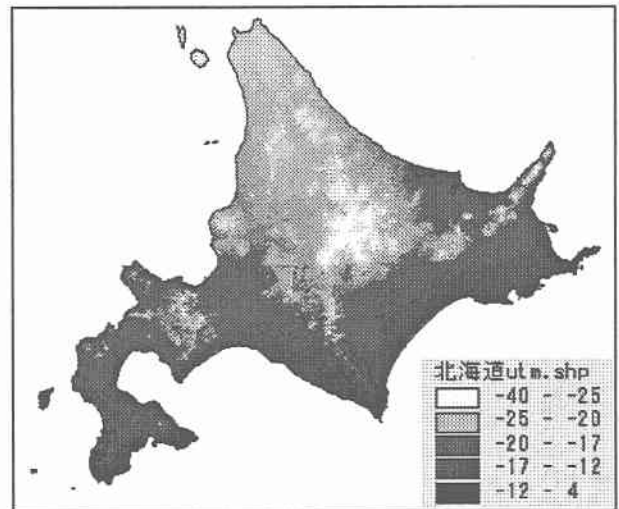


図-4 北海道 WI 分布図

5. 考察

5.1 WI と雪氷管理費の関係

(1) 旭川の WI と雪氷管理費

表-5 は、旭川土木現業所が管轄する道道の路線を対象に設置されているロードヒティング (RH) の面積あたりの消費電力量全体の平均値と旭川の WI の年変動を示したものである。ここでの WI は、アメダス観測点気象情報に基づいて、解析日数を年度ごとにとり、年度別に算出したもので、旭川土木現業所が管轄している範囲内にある観測点の平均値を用いた。

表-5 旭川における WI と RH 電力量

年度	WI	消費電力量 (円/㎡)	WI標準化	消費電力量 標準化
1996年度	-22.2	3835	0.1	1.8
1997年度	-17.0	2367	-2.1	-1.0
1998年度	-25.2	3420	1.3	1.0
1999年度	-22.2	2503	0.1	-0.8
2000年度	-24.4	2832	1.0	-0.1
2001年度	-21.1	2400	-0.4	-1.0

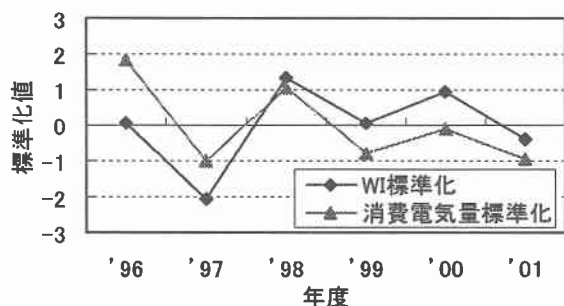


図-5 旭川におけるWIとRH電気量の変動

図-5は、旭川RH消費電力量とWIの年変動を示したグラフである。両者の変動をみると、WIが厳しい年にはRH消費電力量は多くなっているというように各年同様な変動を示している事がわかる。

表-6は、旭川の年度別純除雪費とWIを示したものであり、図-6はこれをグラフにしたものである。これもRH消費電力量と同じように各年同様な変動を示していることがわかる。このことから、本研究で算出したWIが道路雪氷管理の厳しさを表す指標としての妥当性がみられる。

表-6 旭川におけるWIと純除雪費

年度	WI	純除雪 (百万円)	WI標準化	純除雪費 標準化
1998年度	-25.2	1743	1.2	1.5
1999年度	-22.2	1203	-0.6	-1.0
2000年度	-24.4	1471	0.7	0.2
2001年度	-21.1	1261	-1.3	-0.7

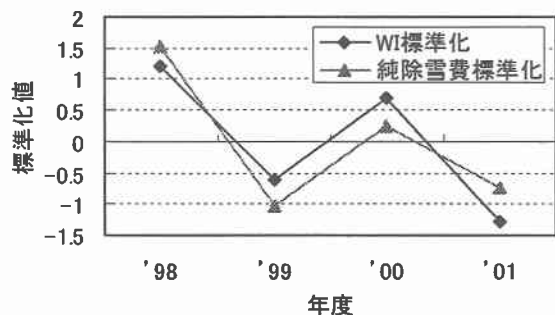


図-6 旭川におけるWIと純除雪費の変動

(2) 土木現業所のWIと雪氷管理費

図-7は、2001年度における各土木現業所が管轄する各路線管理延長あたりの純除雪費の平均とWIの関係を示したものである。ここでのWIは、各土木現業所が管轄する範囲の観測点を使い、年度別に算出した値の平均を用いた。縦軸C/Lとは、路線管理延長あたりの純除雪費を示したものである。

図-8は、道路構造令に基づいた道路の区画体系を参考にし、現業所ごと交通量によって分類した路線管理延長あたりの純除雪費の平均とWIの関係を示したものである。今回は、交通量4000～20000未満(台/日)を例にとり、WIと比較した。括弧でくくった部分は、留萌現業所であり、今回使用した交通量では、1路線しか該当するものがなく一般的とはいえないため、近似曲線からは除外した。

結果、図-7、図-8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ており、特に交通量を分類したものの

ほうがよい相関となった。WIが北海道の各土木現業所においても道路雪氷管理の指標として、また各道路がもつ要素を分類することで、より適切な管理状態を表すことができると考えられる。

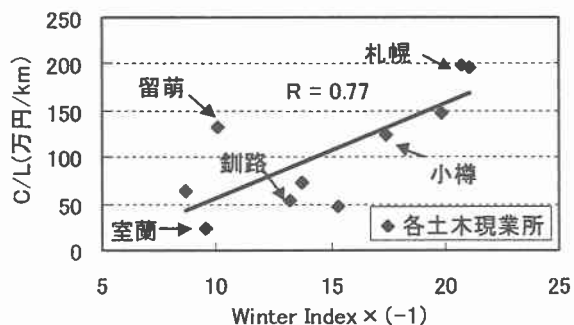


図-7 各現業所1kmあたりの純除雪費とWIの関係

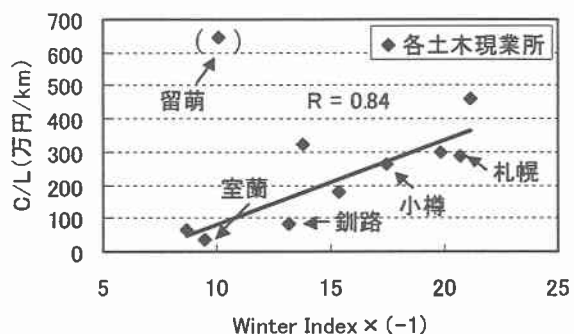


図-8 交通量4000～20000(台/日)の路線1kmあたりの各現業所純除雪費とWIの関係

6. まとめ

- (1) 北海道のアメダス観測点の気象情報をもとにGISを用いて解析し、得られた地形情報から回帰式により、メッシュ単位による北海道全域のWIを算出した。
- (2) WIは、北海道における雪氷管理費用の観点から、冬の厳しさを表す指標として妥当性が得られており、管理状態の実体について表現できることを明らかにした。

今後、北海道全域のWIの設定について、地形要素が北海道のWIに大きく影響を与えるので、適切な地形要素を検討し、より精度の高い北海道のWIを算出したい。

また、北海道地域別のWIとその地域の路線状態を場合分けした状態での除雪費、路面管理費の関係を比較することで、冬期道路雪氷管理対策についての評価を検討したい。

【参考文献】

- 1) J.E.Thornes (1993):Cost-Effective Snow and Ice Control for the 1990s,TRR No.1387, pp.185-pp190, 1993.
- 2) 菅民朗 (2000) : 多変量統計分析, pp129-pp168
- 3) 鈴木榮一 (1983) : 気象統計学, pp173-pp183
- 4) 武市靖・宮原優 (1999) Winter Index による道路雪氷管理の評価に関する検討,北海学園大学開発研究所開発論集第63号,pp21-pp35
- 5)数値地図50mメッシュ(標高)(2001):国土地理院