

IV-53

判別分析モデルによる流雪溝閉塞現象の予測と  
流雪投入量の推定法について

エースコンサルティング(株) ○正会員 沼田 実

エースコンサルティング(株) 石原 大輔

1. はじめに

流雪溝は、従来からの運搬・排雪に変わる有効な雪処理方法として、さらには地域の活性化を図るための有効な手段として、全道各地で面的整備が進められている。

流雪溝の利点は、除排雪に雪捨場が不要であり、除雪対象の場所から流末まで直接雪を排雪できることにある。また、冬には除排雪用大型機械が入れない狭い住宅地内の除雪に適しており、今後も飛躍的に普及していくものと考えられる。しかし、流雪溝の欠点として、その流雪能力を超えて雪を投入すると閉塞現象が発生し、溢水して人家及び道路に浸水することがある。こうした溢水事故は例年数回発生しており、道路に冠水する状況に至っている。このような状態を避けるべく各自治体単位で「流雪溝管理運営協議会」等を設置し、流雪溝利用者への管理・指導を行っている現状であるが、利用者の認識不足からくる投雪方法、例えば機械投雪及び投入時間帯以外の投雪により閉塞がたびたび起きており、完全に避けられない問題となっている。このような状況において、利用者の自覚の再認識と共に管理の強化は言うまでもないが他方、観点を変えたと流雪溝を積極的かつ組織的に運用するためには、いかにして迅速かつ正確に停滞の可能性を流況から事前に察知し、迅速に対応できるようにすることが重要となってくる。

本報告では、実際の流雪溝設備における実験データに基づいて、流雪・停滞現象が発生する境界条件を判別分析法により推定し、その予測モデル式を導いた。また、流雪溝内の水位および流速データから投雪量の推定モデル式を導くことで、新しい道路排雪計画の可能性を考える。

2. 既往実験データの整理

本研究に用いるデータは、これまでに投雪実験が行われた下川町と倶知安町の公表データを基に整理することとする。表-1に、それらを総括表として示した。なお、流雪溝断面形状は図-1の通りである。

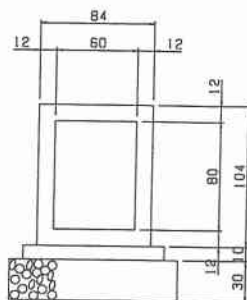


図-1 流雪溝断面図 (単位: cm)

表-1 既往投雪実験データ一覧

実験地	実験No.	qs	h <sub>0</sub>	V <sub>0</sub>	Q <sub>w</sub>	Qs(qs/60)	V <sub>w</sub>	V <sub>s</sub>	停滞発生の有無
倶知安	1	2.74	0.15	1.25	0.113	0.046	0.090	0.037	有
	2	1.99	0.15	1.27	0.114	0.033	0.090	0.026	有
	3	4.31	0.16	1.30	0.125	0.072	0.096	0.055	有
	4	4.09	0.20	1.38	0.166	0.068	0.120	0.049	有
	5	2.54	0.18	1.31	0.141	0.042	0.108	0.032	有
	6	3.08	0.18	1.31	0.141	0.051	0.108	0.039	有
	7	2.86	0.18	1.31	0.141	0.048	0.108	0.036	有
	8	5.77	0.25	1.51	0.227	0.096	0.150	0.064	無
	9	8.57	0.25	1.51	0.227	0.143	0.150	0.095	無
	10	9.35	0.24	1.47	0.212	0.156	0.144	0.106	有
	11	7.84	0.24	1.46	0.206	0.131	0.141	0.089	無
下川	12	3.48	0.17	1.49	0.142	0.058	0.102	0.039	有
	13	3.60	0.17	1.49	0.142	0.060	0.102	0.040	有
	14	3.24	0.21	1.64	0.196	0.054	0.126	0.033	無
	15	5.70	0.18	1.53	0.155	0.095	0.108	0.062	有
	16	4.38	0.20	1.60	0.182	0.073	0.120	0.046	有
	17	2.46	0.16	1.45	0.130	0.041	0.096	0.028	無
	18	4.14	0.17	1.49	0.142	0.069	0.102	0.046	無
	19	3.72	0.18	1.53	0.155	0.062	0.108	0.041	有
	20	4.20	0.19	1.56	0.168	0.070	0.114	0.045	無
	21	6.00	0.22	1.67	0.210	0.100	0.132	0.060	無

ここで、

$l$  : 流雪溝延長 (m)

$B$  : 流雪溝幅 (m)

$h_0$  : 水のみが流れる時の水深 (m)

$V_0$  : 流速 (m/s)

$q_s$  : 1 分間当たりの雪投入量総計 (m<sup>3</sup>/min)

$V_w$  : 流雪溝延長の単位長さ当たりの水の体積 (m<sup>3</sup>/m)

$$V_w = Bh \ l / l = Bh$$

$V_s$  : 流水が速度  $V_0$  (m/s) で延長  $l$  (m) の流雪溝を通過するのに要する時間  $t_0$  (s) の間に流雪溝延長の単位長さ当たりに投入された雪の体積

$$V_s = q_s / (60 \cdot V_0)$$

この場合、

- ① 雪投入前の流雪溝内の水は等流状態である
- ② 雪投入後、実際に生ずる水深と流速の変化は無視すると仮定した。

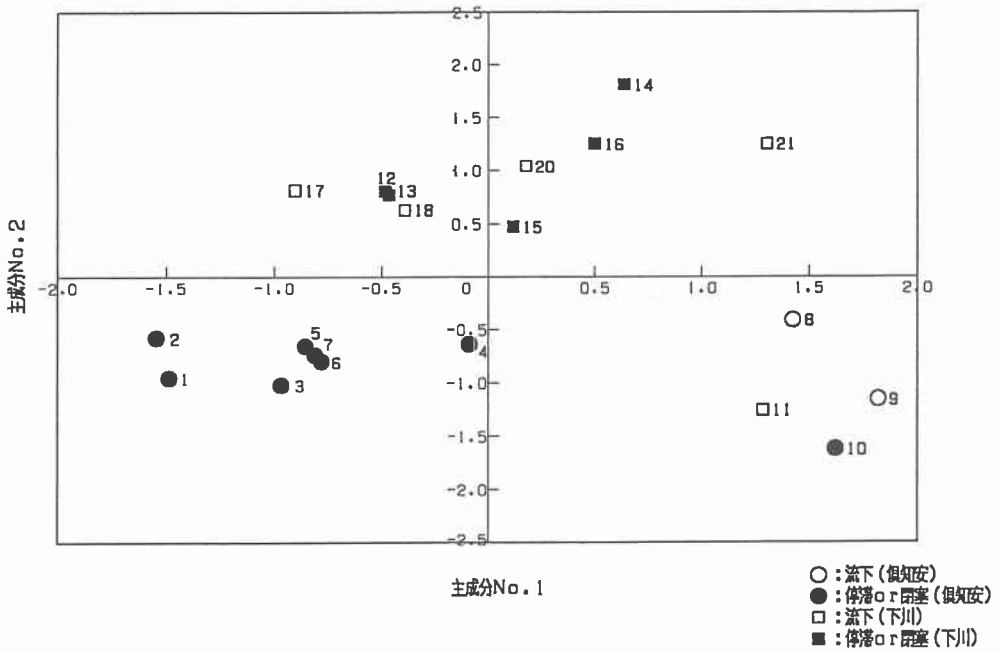
### 3. 主成分分析法による類似性の検討

主成分分析法は変数相互の関係から、サンプルの類似性あるいはポジショニングを明らかにすることで、新しい概念のファクターを導く手法として、各分野でしばしば応用されている。ここでは、表-1 に示す変数  $q_s \cdot h_0 \cdot V_0 \cdot Q_w$  を用いて主成分分析を行った。分析による固有値は表-2 に示した通りであり、図-2 に主成分分析値の分布図を示す。

表-2 固有値表

	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	3.129	0.782	0.782
第2主成分	0.659	0.165	0.947

図-2 主成分分析値分布図 (倶知安～下川)



このとき、第1主成分の寄与率は78.2%、第2主成分までの累積寄与率は約95%を得る。以上より、上記変量は第2主成分までを概ねの主成分として扱うことができる。この第1主成分値の高いサンプルケースを抽出すると変量 $h_0$ の大きいデータに集中していることが判明した。一方、図-2より各ケースデータのポジショニングを見ると、第2主成分値の正の領域に下川のデータが集中し、負の領域に倶知安のデータが集中していることが理解できる。このことは、倶知安と下川のサンプルを同一テーブルで扱うよりは別々に分類した上で分析した方がよいことを示唆している。したがって、これまでの報告にあったように、限界投雪量の境界モデルを下川と倶知安とのデータを総括的に扱うことで導くよりは、地域別に分類した上で解析する方が、より相関性の高いモデルを期待できる。

下川町と倶知安町とで行われた投雪実験では、流雪溝の断面形状・勾配・粗度係数等ほぼ同一の条件で実施されているにもかかわらずデータとして類似性に乏しいのは、下川が極めて厳寒地であることで流雪溝内気温が $-5^{\circ}\text{C}$ 以下となる状態が随時認められる環境下にあることが大きな要因となっていると考えられる。これまでの報告によれば、投雪時の飛沫水が徐々に結氷し、所要の内空断面積を減じていることが報告されている。実験開始

後流雪溝内部が結氷したか否かは判断できかねるものの、下川のデータを分析するには、さらに他の要素を変数として組み入れなければならないと判断する。

ここで、倶知安のサンプルデータのみを抽出して主成分分析を行い、図-3に第1主成分と第2主成分の分析結果を分布図として示した。第1主成分値の高いサンプルケースが比較的流下状態にあることが注目できよう。第1主成分値の高いデータは $h_0$ の大きいデータと判断できることから停滞を防ぐには $h_0$ を大きくとることが必要と考えられる。表-3に示したように、この第1主成分による寄与率は95.3%と高く、 $h_0$ は停滞の発生を予測する上で、説明変数として重要な要素と考えられる。

図-3 主成分分析値分布図（倶知安）

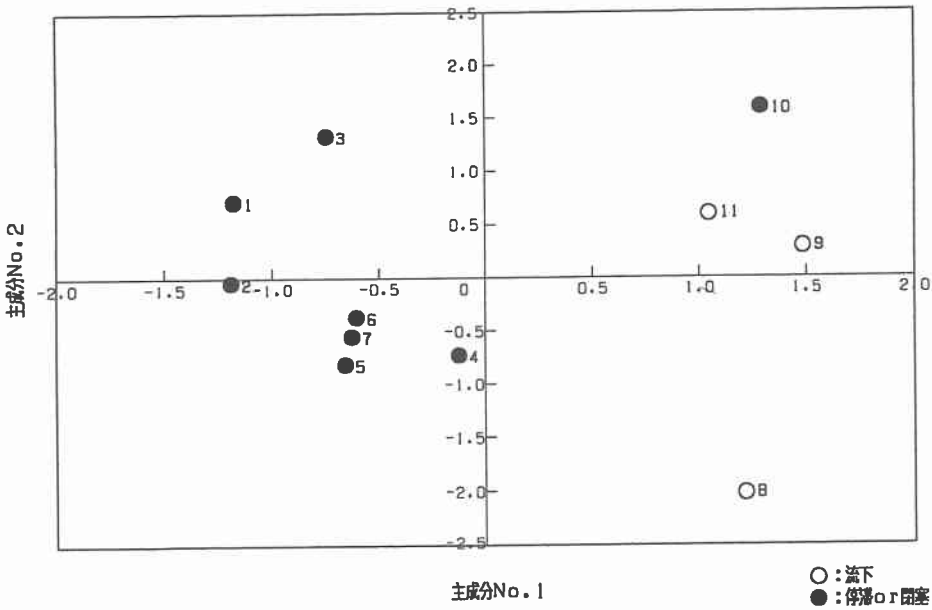


表-3 固有値表（倶知安）

	固有値	寄与率	累積寄与率
第1主成分	3.811	0.953	0.953
第2主成分	0.179	0.045	0.996

4. 判別分析法による停滞境界モデルの推定

判別分析法はサンプルが持っているいろいろな特性から、そのサンプルがどの群に属するかを判別する手法であり、ここではその判別基準を停滞か流下の二つの状態にグループを分別することで分析した。前述したように、同一流雪溝ごとにサンプルを分別し、解析を行う方がより精度の高いモデルを導くことが可能であることから、倶知安データをサンプルモデルとして分析した。用いた変量は $V_w$ と $V_s$ とし、その判別モデル式は

$$HAN = -193.582 \times V_w + 35.807 \times V_s + 22.35 \dots \dots \dots \text{ (式-1)}$$

として求められる。このとき、 $HAN \geq 0$  ならば停滞の可能性を示唆し、 $HAN < 0$  の場合には流下状態を維持すると判別される。この予測判別式による判別率的中率は 91% と高い結果を得た。

### 5. 重回帰分析による投雪量の推定

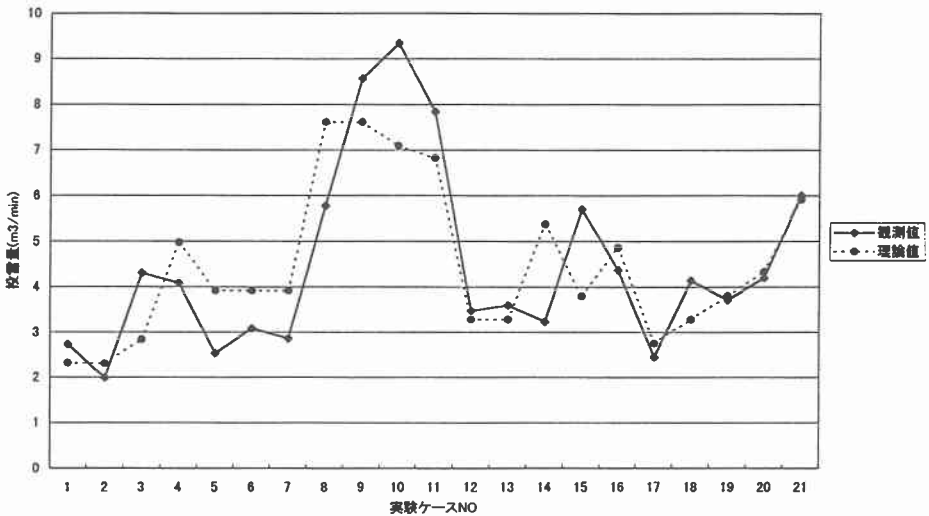
これまで、限界投雪量の推定のための実験は種々行われてきたが、流雪溝内部の流下状況データから投雪量の推定を行った事例は、筆者の知る限り記憶にない。もし投雪量の推定がある程度可能となれば、これまで大まかだった流雪溝の推定除排雪量を定量的な判断材料として、自治体の除排雪計画に組み入れることができよう。同時に流雪溝による排雪処理効果を数値の上で確かめることが可能となり、その付加価値は多大なものと思われ。

ここではケーススタディとして表-1 に示した  $h_0$ 、 $V_0$  を用い  $q_s$  を推定解析した。その結果、モデル式として (式-2) を得た。

$$q_s = h_0 \times 54.231 - V_0 \times 0.496 - 5.194 \dots \dots \dots \text{ (式-2)} \quad r = 0.824$$

このモデル式による予測値と実測値との比較グラフは、図-4 に示した通りである。これにより、大略投雪量を推定することが可能であることが理解できる。

図-4 投雪推定モデルと実験値との比較



## 6. おわりに

ここで示した推定モデルは統計学的に確立した手法であり、精度の向上には十分なサンプル数とともに、地域ごとに検討を加えた地域モデルの策定が有効となろう。今後、面的な整備が進むであろう北海道の流雪溝についてはまだ未解明な部分も多く、さらなる研究を進めていきたい。

### 参考文献：

- 1) 「流雪溝における限界投雪量について」／第10回寒地技術シンポジウム  
渡辺洋一、山根正裕、澤口雄介
- 2) 一般国道5号倶知安町地内「流雪溝限界投雪量調査報告書」  
北海道開発局建設機械工作所
- 3) 一般国道239号「下川町流雪溝投雪実験調査報告書」  
北海道開発局旭川開発建設部
- 4) 「流雪溝の維持管理に関する検討」／第8回寒地技術シンポジウム  
近藤保、福田淳一、秋場健治
- 5) 「流雪溝集中管理システムの研究開発」／第3回寒地技術シンポジウム  
沼田実、渡邊善八
- 6) 「多変量解析の実践」／現代数学社  
管民郎