

地吹雪を考慮した降雪分布の推定手法

防災技術研究部 気象防災研究室
副主任研究員 宍戸 真也

1. はじめに

鉄道の雪害リスクを分析・評価するためには、外力である沿線の降雪量の情報が必要となる。しかし、降雪については観測点が少ないことに加えて、堆積後に風による雪粒子の移動が発生することがあるため、鉄道沿線の降雪分布を面的に把握することは難しい。そこで、本研究では、堆積後に地表面付近で生じる風によって移動する雪の量を考慮して、降雪分布を推定する手法を構築した。

2. 降雪分布推定手法の考え方

地上に降雪分布が形成される過程を図1に示す。地上へもたらされる雪は、最初に上空の雪雲で生成され、風に乗って移動しながら地上に到達する。さらに、風が強い場合には地上に堆積した雪が移動することで、降雪分布が形成される。本研究では、堆積した降雪のうち、風によって生じる移動量（地吹雪収支量）を地吹雪モデルによって推定し、これに上空からもたらされる降雪量を加えた積雪水量の変化を降雪分布として推定することとした。

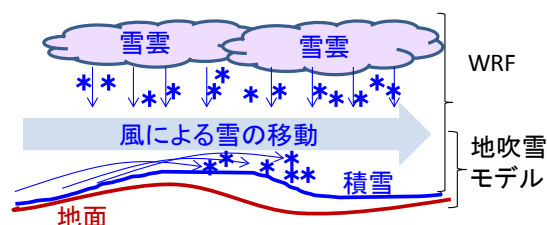


図1 降雪分布が形成される過程

3. 実際の降雪分布データの取得

本手法の検証用データとして実際の降雪分布を取得するために、石狩平野で積雪観測を行った。観測では、図2に示す測線に沿って積雪水量を2回測定し、一定期間（2012年2月27日から同3月7日まで）に生じた積雪水量の変化量を求めた。なお、観測期間中の主風向は北西であり、ほぼ測線（西北西-東南東）と同じ方向であった。



図2 積雪観測地点（石狩平野）

積雪水量の変化量と地形との関係（図3）をみると、凸地形の風上側で水量が少なく、背後の凹地形で多い傾向があった。この降雪分布は、強い風によって雪が移動した結果生じたものと考えられ、過去の研究¹⁾で得られた、凸地形の風下側や凹部では吹き溜まるため積雪深が大きく、凸地形では削剥が生じるため積雪深が小さい状況と一致する（図4）。

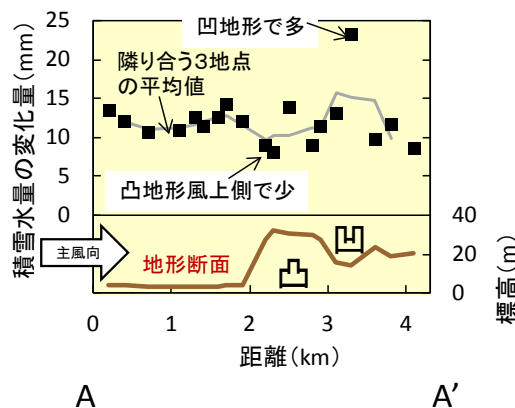


図3 積雪観測で得られた降雪分布

4. 地吹雪モデルの構築

地表面付近の風による雪の移動量（地吹雪収支量）を推定する地吹雪モデルの考え方を以下に述べる。

地吹雪によって雪が輸送される時、風向に直交する単位幅を単位時間に通過する全雪粒子の質量を、全吹雪輸送量 q ($\text{gm}^{-1}\text{s}^{-1}$) と呼ぶ²⁾。全吹雪輸送量は世界各国で多くの測定事例があり、全吹雪輸送量と風速の関係を示す経験式が複数存在する³⁾。本研究では、石狩における観測から得られた乾きしまり雪を対象とする経験式(式(1))³⁾にもとづき、地上 1m の風速 U_1 (m/s) から全吹雪輸送量を求めた。

$$q = 0.0029 \times U_1^{4.18} \quad (1)$$

上記の式を用いて、①各計算格子の風向風速データを式(1)に代入して各辺の全吹雪輸送量 q ($\text{gm}^{-1}\text{s}^{-1}$) を求め、これと格子幅 L (m) と単位時間 t (s) から、各辺を通過する雪の量 Qu_{in} , Qu_{out} (東西方向), Qv_{in} , Qv_{out} (南北方向) (g) をそれぞれ求める (図 5)。

②これらの値から、式(2)を用いて格子内に流入、流出する雪の量の収支 Q_{net} (g) を算出する。

$$Q_{net} = (Qu_{in} - Qu_{out}) + (Qv_{in} - Qv_{out}) \quad (2)$$

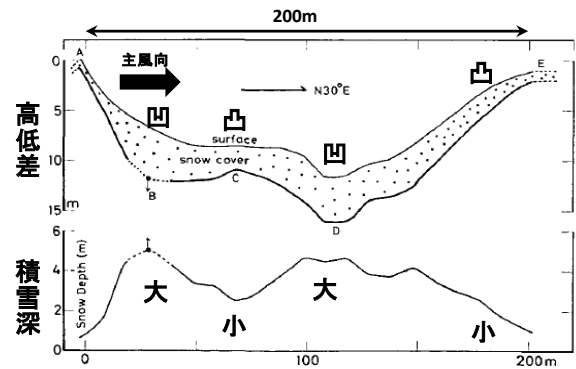
③地吹雪の収支量 Q_{net} (g) が全て融解したときに得られる水の容積 V_{net} (mm^3) を水の密度 ρ_w ($1000\text{kg}/\text{m}^3 = 10^{-3}\text{g}/\text{mm}^3$) から算出し、これを格子面積 $L^2 \times 10^6$ (mm^2) で除することで水量としての地吹雪収支量 P (mm) を求める。なお、雪面付近にある粒子が運動をはじめ吹雪が発達する臨界風速は、気温や雪質の影響を受ける³⁾ため、本研究では北海道で観測された吹雪発生時の気温 T ($^{\circ}\text{C}$) と臨界風速 Uc (m/s) の関係³⁾ から作成した式(3)を用いて、格子間の地吹雪発生の有無を判定した。

$$Uc > 1.16 \times T + 10.8 \quad \text{かつ} \quad T < 0 \quad \text{のときに吹雪発生} \quad (3)$$

5. 観測データを入力値とした降雪分布の推定

5.1 推定方法

積雪観測を行った期間について、アメダス石狩の気象観測データを入力値として地吹雪収支量を計算した。地吹雪モデルでは、計算格子毎に風向、風速および気温を与える必要があるため、アメダス石狩の観測データをもとに、気流モデル⁴⁾の結果と気温減率 ($0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) とを考慮し



第8図 高山裸地帯の積雪深分布

上段：地形及び積雪断面図

下段：上段の地形断面に沿う積雪深分布

図4 高山裸地帯の凹地形と積雪深分布

※山田他 (1973)¹⁾ による図を一部改編

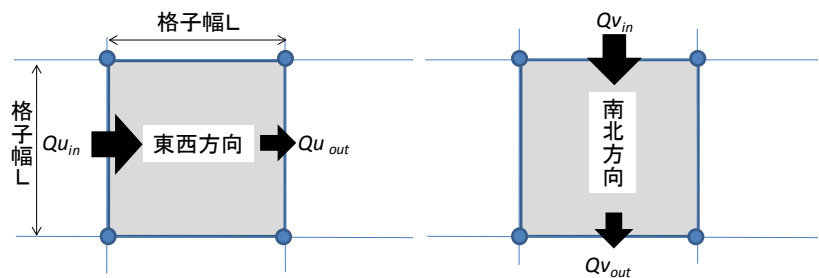


図5 地吹雪モデルの計算方法

て格子毎の面的な風向風速と気温を求めた。なお、計算に当たり、アメダス石狩における観測期間中の吹雪発生の有無を式(3)を用いて判別した結果、3月2日早朝から3月4日未明にかけてのみ吹雪が生じたと推定された。このことから、当該時間帯(2012年3月2日0時から同4日12時までの計60時間)のみ吹雪が生じたと仮定して計算を行った。空間分解能(=計算格子の間隔)は100mとした。

5.2 推定結果

地吹雪モデルによって計算された地吹雪収支量の分布を図6に示す。凸部の風上側で削剥し、風下側で堆積する傾向がみられ、一般的に考えられる、凸部の風上側では強い風によって雪が吹き払われ、風下側では風が弱く雪が堆積する傾向を再現することができた。次に、計算された地吹雪収支量に、観測期間中のレーダーアメダス解析雨量の積算値を加え、増加積雪水量(計算値)を算出し、その値と図6に示す測線に沿った観測値とを比較した(図7)。計算値は観測値と比べてやや少なかったものの、観測値と同様に凸地形の風上側で水量が少なく、凹地形で多い傾向があり、地吹雪モデルを用いることで地形の影響を受けた降雪分布を再現することができた。

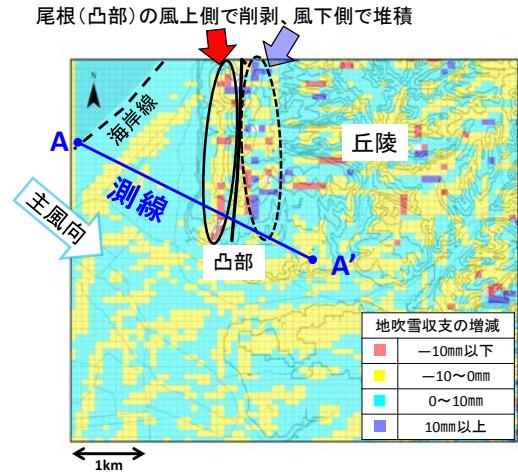


図6 気象観測値を入力値とした地吹雪モデルの計算結果

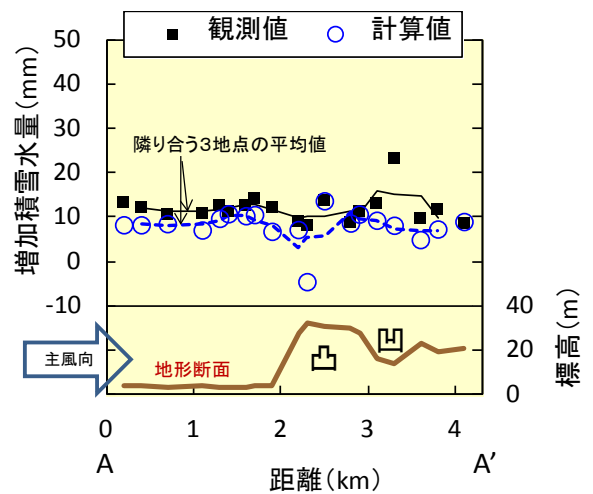


図7 増加積雪水量の計算値と観測値の比較(図6のA-A'測線に沿った観測点の値)

6. WRFと地吹雪モデルを組み合わせた降雪分布の推定

6.1 推定方法

気象モデル(WRF)と地吹雪モデルを組み合わせて石狩平野の降雪分布を計算した。計算期間は、積雪観測期間の2013年2月27日から同3月8日までの計240時間である。計算は、WRFによって再現された風速、風向、気温(図8)を地吹雪モデルの入力値として地吹雪収支量を求め、これにWRFによって計算された観測期間中の降水量の積算値を加えた。空間分解能は250mとした。

6.2 推定結果

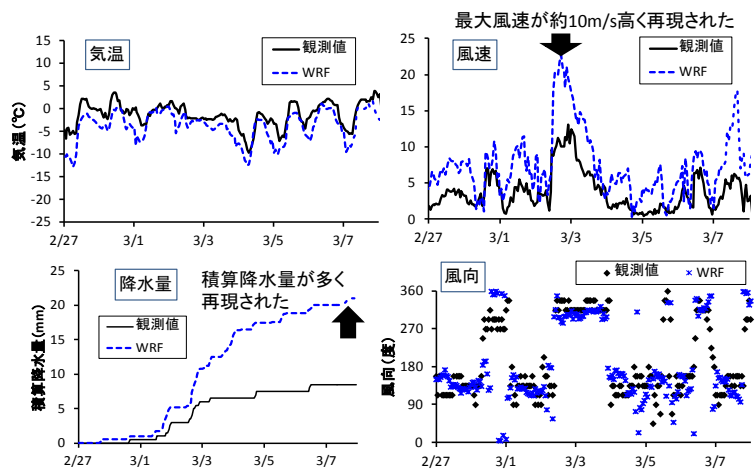


図8 アメダス石狩でのWRFの再現結果と観測値の比較

計算された増加積雪水量の分布を図9に示す。丘陵部においては、凸部の風上側で少なく、風下側で多い傾向がみられ、地形の影響を受けた降雪分布を再現できた。次に、図9に示す測線に沿って、計算値と観測値とを比較した結果、計算値は総じて観測値に比べて値が多かった(図10)。計算値と地形との関係を見ると、位置にずれがあるものの、観測値と同様に、凸地形の風上側で少なく(図中①)や風下側で多い(図中②)傾向があり、地形の影響を受けた降雪分布を再現できた。しかしながら、平坦な地形でも積雪水量が多い地点があるなど、定量的には観測値を入力値とした計算結果(図7参照)よりも合わなかった。この原因としては、WRFによって再現された降水量が観測値に比べて多かったこと(図8参照)、一般的に起伏が少なく地点毎の風速の違いが小さい平野などでも、局所的に高い(もしくは低い)風速がWRFによって再現されたことなどが降雪分布の推定結果に影響したことが考えられる。

7. まとめ

本研究では、地表面付近で生じる地吹雪によって生じる雪の移動量を考慮した、降雪分布推定手法を構築した。地吹雪モデルを用いてアメダスの観測データを入力値として、石狩平野の降雪分布(一定期間に生じた積雪水量の増加量の分布)を推定した結果、地形の影響を受けた降雪分布を再現することができた。また、地吹雪モデルとWRFを組み合わせることで石狩平野の降雪分布を計算した結果、位置のずれはあるものの、観測値と同様に凸地形の風上側で少なく、凹地形で多い状況を再現できた。しかし、定量的に計算値と観測値が一致しなかった。今後、降雪分布の推定精度を高めるために、WRFによる気象要素の再現性向上や、上空の降雪粒子の移動過程を考慮可能なモデルを構築し、これを本手法に組み込むことに取り組む計画である。

参考文献

- 1) 山田知充, 西村寛, 水津重雄, 若浜五郎: 大雪山旭岳西斜面における積雪の分布の堆積・融雪過程, 低温科学物理篇, 37, pp. 1-12, 1979
- 2) (社) 日本雪氷学会: 雪と氷の辞典, 朝倉書店, 2005
- 3) 前野紀一・福田正己: 基礎雪氷学講座第III巻, 雪崩と吹雪, 古今書院, 2000
- 4) 内田孝紀, 大屋祐二: 風況シミュレータ RIAM-COMPACT の開発ー風況精査とリアルタイムシミュレーションー, ながれ, Vol. 22, No. 5, pp. 417-428, 2003

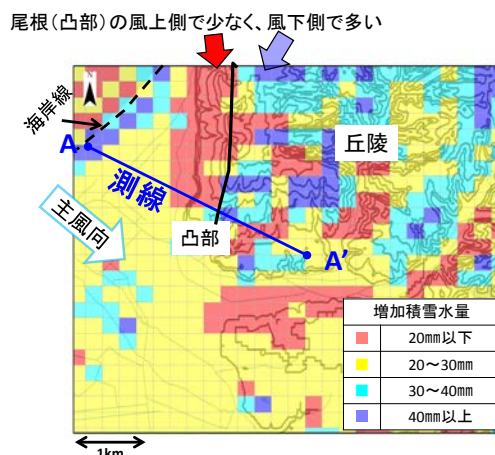


図9 WRFの計算結果を入力値として求めた降雪分布(増加積雪水量の分布)

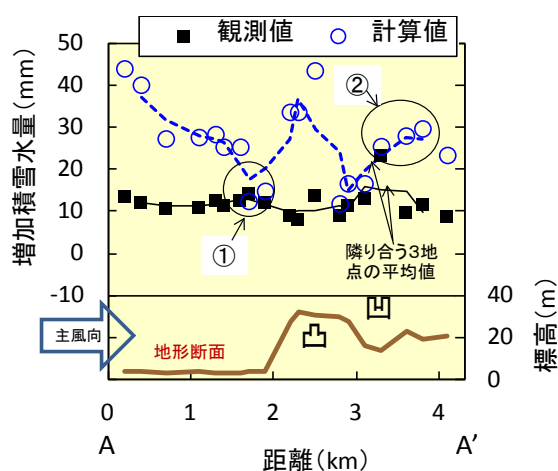


図10 増加積雪水量の計算値と観測値の比較(図9のA-A'測線に沿った観測点の値)