

風の影響を考慮した降雪分布予測について

Prediction of Snowfall Distribution Considering Effect of Wind

岩手大学大学院	小 野 節 夫	Setsuo ONO
岩手大学工学部	菅 原 透	Touru SUGAWARA
岩手大学工学部	笹 本 誠	Makoto SASAMOTO
岩手大学工学部	堺 茂 樹	Shigeki SAKAI
岩手大学工学部	平 山 健 一	Kenichi HIRAYAMA

A numerical model is proposed to predict the distribution of snowfall considering the effect of snow transportation by winds. This model consists of ; (1) calculation of wind velocity vectors (3-D potential flow) over an arbitrary terrain (using Digital Terrain Data), and (2) calculation of snow particle transportation by wind. Influences of parameters in the model on numerical results are examined and reasonable values for the parameters are selected. Based on the above model, several examples of snowfall distributions on the ground are obtained from the distribution of snow particles observed at 2000 m above the ground by a radar rainrauge.

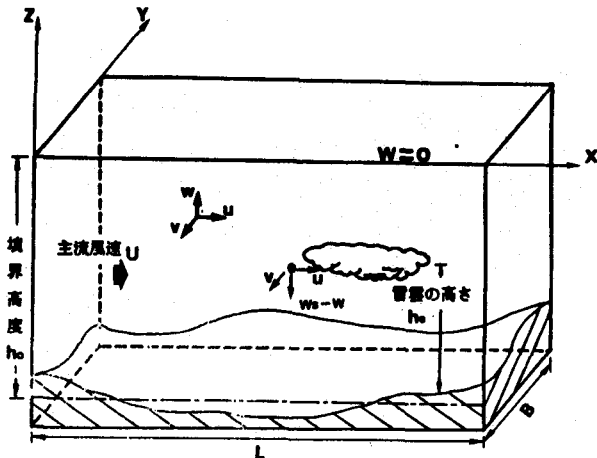
Keywords: snowfall distribution, wind, digital terrain, radar rain gauge

1. はじめに

北海道、東北、北陸などは冬期間に多量の降雪がある。このような多雪地帯の中でも降雪量の多い場所と比較的少ない場所があり、このような差違の要因としては地形、降雪をもたす雲の分布、落下中の雪片の風による移流などが考えられる。本研究では特に地形の影響を受けた風による雪片の移流に着目し、地上の降雪分布に及ぼす地形と風の影響を数値モデルを用いて検討した。さらに、近年建設省がレーダー雨量計を整備したことにより上空での雨量分布や雨域の移動が面的に把握できるようになったので、レーダー雨量計から得られる上空での雪の分布から地上の降雪分布を予測するシステムを作製することを試みた。

2. モデルの概要

本研究での計算モデルは、風の場合を計算する風モデルと雪の軌跡を追跡する移流モデルから構成されている。図1に計算条件とその記号を示した。風モデルは、山田ら¹⁾が地形性降雨のシミュレーションに際し、降水強度の空間分布を計算するのに用いたものと同一である。この方法では風の場合を三次元ポテンシャル流と仮定し、地形の影響を受けない高度（境界高度（ h_0 ））での主流方向の風向、風速（ U ）及び対象地域の標高を境界条件として与えると任意の点での三方向の風速が計算できる。なお計算メッシュの水平軸の一つは主流風向と一致していなければならない。また、対象領域の標



高としては国土地理院が整備している国土数値情報の標高データを利用した。つぎに、移流モデルでは雪雲の高さ (h_c) と雪片の落下速度 (W_s) を仮定して対象地域の上空に雪の分布を与える。鉛直方向に 10 m 毎に風速ベクトルの平面分布を計算して置き、初期平面 (h_c の位置) での風速ベクトルで 10 m 下の面まで雪片を落下させ、次にこの平面での風速ベクトルでまた 10 m 下の面まで落下させる。このような計算を繰り返し、雪片の軌跡を地表付近まで追跡する。地表面の近傍では地表面でのせん断力の影響が大きく、ポテンシャル流では精度良く近似できない。この地表面の抵抗の影響範囲は今後明確にされなければならないが、本研究では地表面より 100 m 上空まで追跡計算を行った。

3. 解析結果及び考察

以下に述べる計算例は、図2に示す岩手県湯田ダム流域を対象とした計算結果である。湯田ダム流域の西端には南北に延びる奥羽山脈があり、東側中央部には標高 945 m の黒森山、南側に標高 1548 m の焼石岳が位置しており、周囲を高い山で覆われた地域である。図3は、本モデルによる計算結果の一例であり、風の主流方向に平行なある測線上の降雪量を示している。図中白い部分が降雪量であり、山の風上斜面では降雪が多く、山頂に近づくにつれ量が増加し、風下斜面では平地に向かうほど少なくなり、平地ではほぼ一定な量となっており、一般的に観測される傾向と定性的に一致している。このように地形の影響により降雪量に変化するが、以下では本モデルの計算条件である境界高度 (h_b)、雪雲の高さ (h_c)、主流方向の風速 (U)、雪の落下速度 (W_s) 及び風向がどのように降雪分布に影響するかを調べるため、これらを次のような範囲で変化させ計算結果を検討した。まず風モデルのパラメーターである境界高度については、天候の変化をもたらす大気の運動がほとんどすべて対流圏内で起こっていることから²⁾、対流圏の範囲である 1

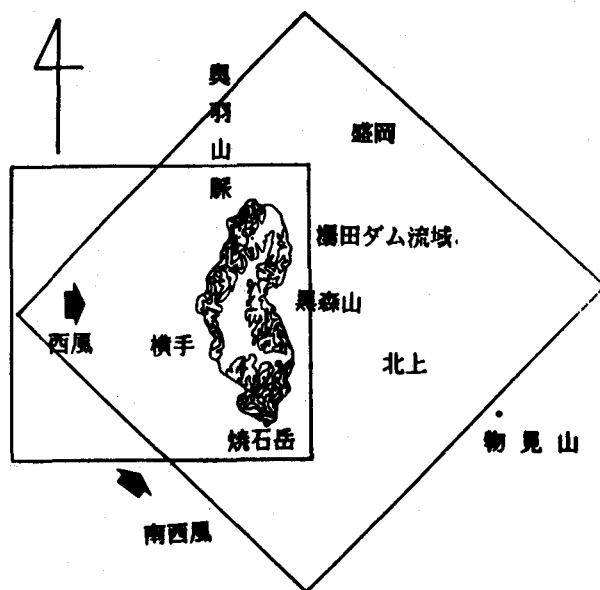


図2 岩手県湯田ダム流域と計算領域



図3 降雪分布

0,000 m 以下とした。また、計算領域内に標高 1,500 m 以上の箇所があることを考え、3,000、5,000、10,000 m の3種類とした。雪雲の高さは夏の雲と比較すると一般に低く、降雪をもたらす積乱雲では高さ 4,000 ~ 5,000 m までしか発達せず、乱層雲も同程度であり、高積雲では 2,000 ~ 6,000 m であるといわれている³⁾。以上のことより、本計算では雪雲の高さを 2,000、3,000、4,000 m に仮定して計算を行った。主流風向については湯田ダム流域内にある気象観測所の過去6年間 (S57~S62) の記録によると、冬期間は西風及び南西風が卓越していたのでこの2方向を主流方向とした。また主流風速は強い時で 10 m/s 程度であった。雪片の落下速度に関しては、孫野氏の研究⁴⁾によると落下速度はその結晶のかたちや大きさにより変わり、例えば最大直径 2 mm の小雪片では大体 0.8 ~ 2.0 m/s、最大直径

15 mm のぬれ雪では 1.5 ~ 2.5 m/s くらいと観測されているが、気象条件によっても左右されるためその値を特定することは難しい。また、雪片の軌跡を計算する上では雪片の落下速度 (W_s) と主流方向の平均風速 (U) との比 W_s/U が同じであれば、 U あるいは W_s の値に係わりなく同一の軌跡をたどることになるので、この比を両者を代表するパラメーターとする。風速及び落下速度の範囲を考慮し、 W_s/U を 1/2、1/5、1/10 の3種類として計算した。

上空に図4のように一様な雪粒子を分布させた場合の計算結果を以下に示す。図5-1、5-2、及び5-3は W_s/U が降雪分布に及ぼす効果を調べるために他の条件を同一にして W_s/U のみ変化した場合の計算結果である。 W_s/U の値が大きい場合つまり相対的に主流方向の平均風速が遅ければ一様に地上に分布し、風の効果は見られない。一方、 W_s/U が 1/5 の場合、標高の高い奥羽山脈の両側の斜面と南側の焼石岳に多く分布し、流域内では疎らな分布となっている。さらに W_s/U が 1/10 の場合は標高の高い付近に降雪が集まり、低い平地では疎らな分布となるという傾向が強まることがわかる。

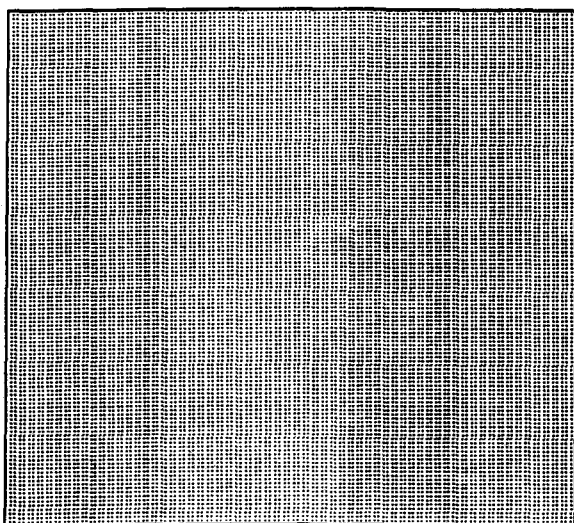


図4 上空での降雪分布

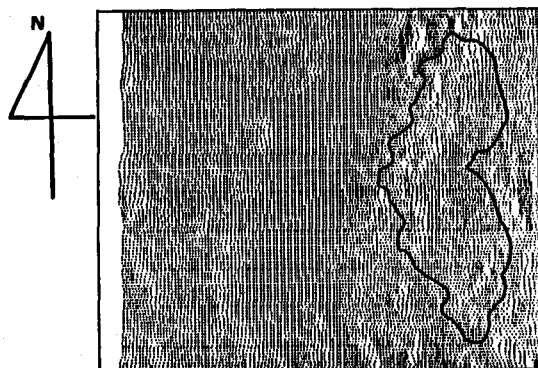


図5-1 $h_s = 10,000(m)$
 $h_c = 2,000(m)$
 $W_s/U = 1/2$

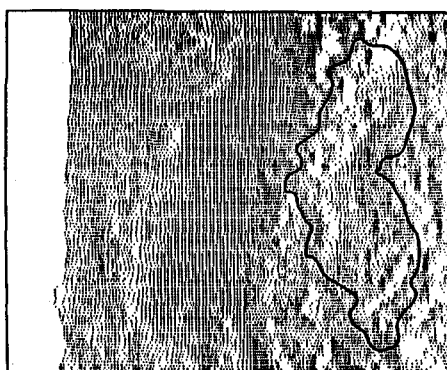


図5-2 $h_s = 10,000(m)$
 $h_c = 2,000(m)$
 $W_s/U = 1/5$

次に、図5-3、5-4、5-5は雪雲の高度の効果を見るために雪雲の高さを変化させた場合の計算結果である。高度が高い場合の方が地上に達するまで長い距離を移流するが湯田ダム流域内の降雪分布は変わっていない。これは、雪雲が本計算例のように一様に分布している場合には雪雲の高さは降雪分布に対して影響がないことを示している。境界高度の影響を調べたのが図5-3、5-6、5-7である。どの図を比べても降雪分布の違いはうかがえない。従って降雪分布は境界高度が 3,000 m 以上であれば変化しない。降雪分布に及ぼす風向の効果調べるために図5-3に示した西風と同一条件で風向のみ南西とした場合の計算結果が図5-8である。西風の場合、湯田ダム流域周辺特に東側や南側の標高

の高い位置に降雪が集中し、流域の低い平地では疎らな分布となっているのに対して、南西風では南東側や南側の高い場所でも特别多くはならず流域内にほぼ様な分布となった。西風の場合、奥羽山脈に垂直に吹き湯田ダム流域内に入っても風向はあまり変化しなかったのに対し、南西風の場合は山脈の低い部分（横手―北上を結ぶ地帯）を回り込み、流域内では向きをわずかに北に変えて吹くため⁵⁾流域内の低い場所にも一様に分布するものと思われる。以上の結果より降雪分布に及ぼす本モデルの計算パラメーターの効果が明確になった。

4

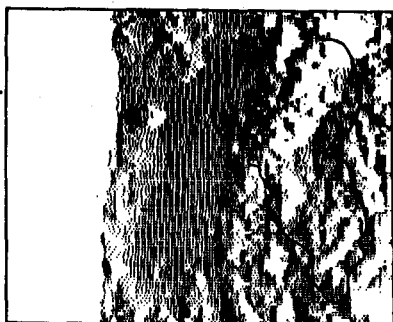


図5-3 $h_e = 10,000(m)$
 $h_c = 2,000(m)$
 $Vs/U = 1/10$

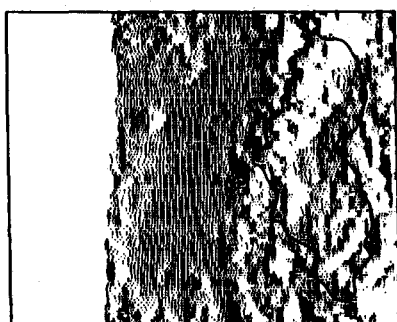


図5-6 $h_e = 5,000(m)$
 $h_c = 2,000(m)$
 $Vs/U = 1/10$

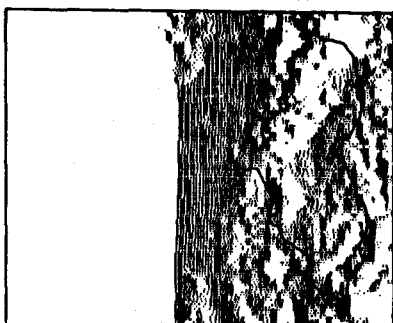


図5-4 $h_e = 10,000(m)$
 $h_c = 3,000(m)$
 $Vs/U = 1/10$

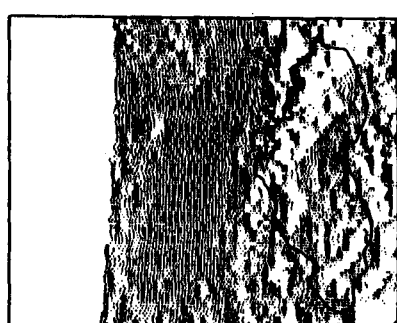


図5-7 $h_e = 3,000(m)$
 $h_c = 2,000(m)$
 $Vs/U = 1/10$

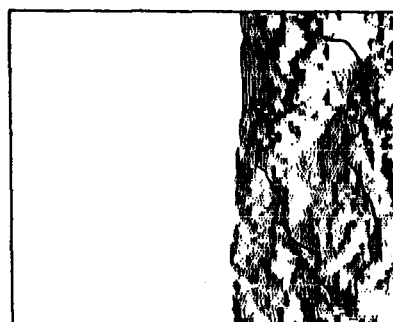


図5-5 $h_e = 10,000(m)$
 $h_c = 4,000(m)$
 $Vs/U = 1/10$

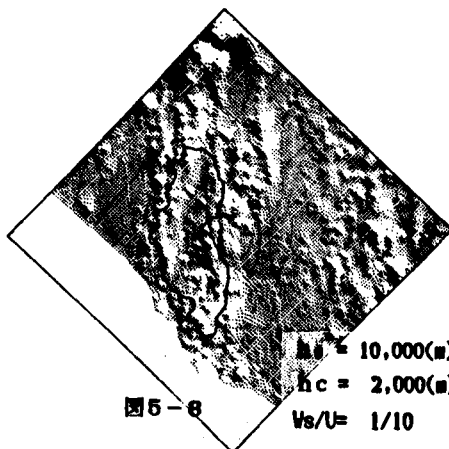


図5-8 $h_e = 10,000(m)$
 $h_c = 2,000(m)$
 $Vs/U = 1/10$

次に、上空での雪の分布をレーダー雨量計から与え、地上での降雪分布を予測するシステムについて述べる。まず境界高度での風向、風速を高層気象観測結果を用いる。また計算領域は計算メッシュの水平軸の一つと風向が一致するように取り出さなければならない。しかし、国土数値情報は経緯度法で与えられているため任意の方向に計算領域の標高を読み込むことができないので、既知の点の標高からその間にある標高を補間する計算を組み込んでいる。また、レーダーデータはレーダーサイトを原点とする極座標上で得られているので風場を計算する矩形の計算メッシュと対応させた。このシステムを用いた計算結果を以下の図に示す。ここでの境界高度は、3,000 m とした。その理由は前述のように境界高度は、3,000 ~ 10,000 m の間では降雪分布に影響しないことが分かったが、中緯度の冬の対流圏では偏西風が卓越しており、その内特に強風帯はジェット気流と呼ばれ、しばしば風速 50 m/s 以上の風が高度 10 km 付近をほぼ500 km の幅、厚さ 2 ~ 3 km の帯のようにとり巻いて流れている⁶⁾ので、上空の風に影響されず、また地形の影響も受けない高度とする必要があるためである。雪雲の高度は、レーダーが雪を捉えている高度の2,000 m とした。雪の落下速度に関しては現在明確にされていないためその一般的な値である 1 m/s、2 m/s と仮定して計算した。なお、利用したレーダー情報は岩手県気仙郡住田町にある物見山雨量レーダーのものである。図6-1は、1989年1月28日のレーダー雨量計が捉えた上空での雪の分布である。図6-2は、雪の落下速度が 1 m/s とした場合の降雪分布の計算結果であり、湯田ダム流域の東側斜面に雪が集中し、逆に湯田ダム流域より東側では降雪量が少なくなっていることが見られる。

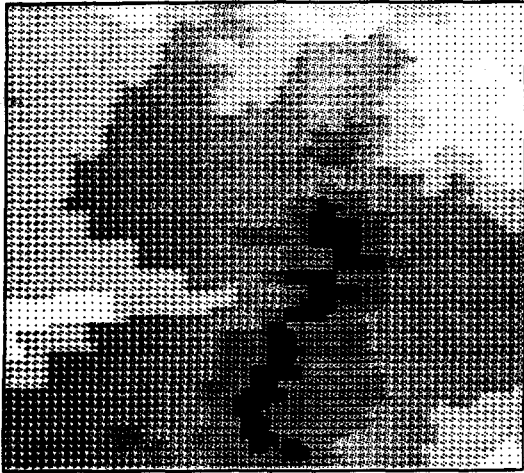


図6-1 上空での雪の分布

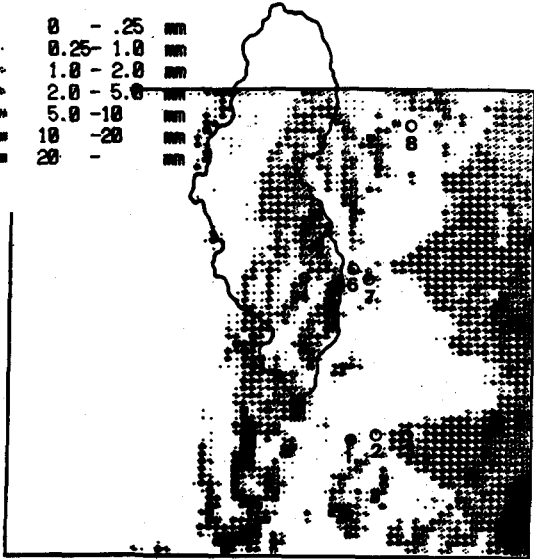


図6-2 地上での降雪分布

また、1989年2月3日の上空での雪の分布を図7-1に示す。図7-2は雪片が 2 m/s で落下するとした場合の計算結果である。この場合も予測分布図と表1の地上での観測結果がほぼ同様な値となった。

	1	2	3	4	5	6	7	8
1/28	9.4	5.9	-	10.4	-	7.3	5.2	-
2/3	3.4	5.0	4.6	7.1	4.9	4.4	3.1	0.1

表1 地上での観測結果 単位 mm

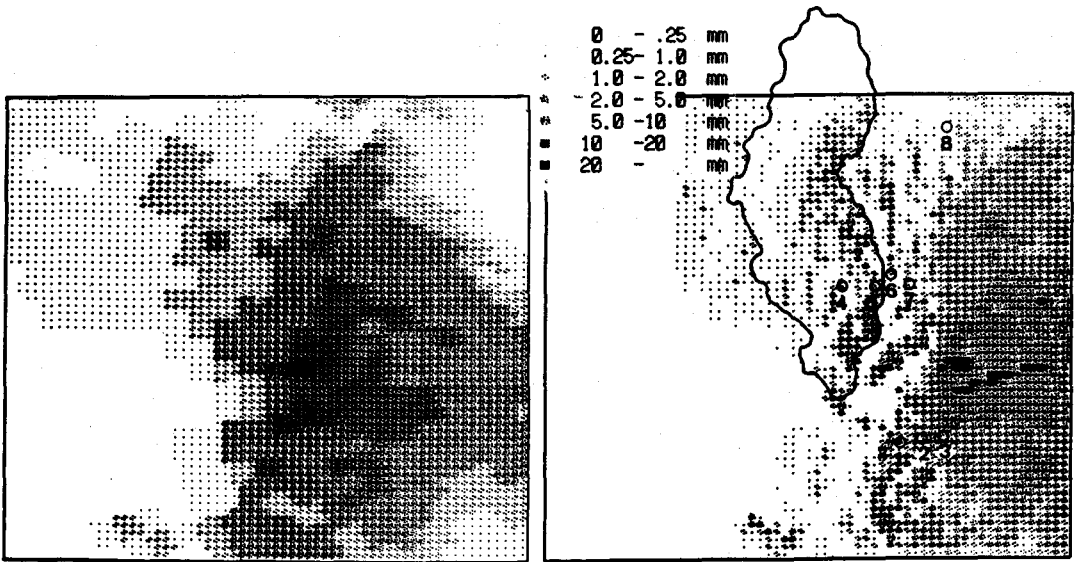


図7-1 上空での雪の分布

図7-2 地上での降雪分布

以上のことから、雪の落下速度を適当に見積ることができれば地上での降雪予測を定量的に行うことができる。

4. 結論

本モデルでの雪の移流の計算では、 W_s/U 、雪雲の高度及び風向が地上での降雪分布に影響を及ぼし、逆に境界高度はあまり影響しないことがわかった。また、レーダー情報や国土数値情報といった面的な情報を多く利用した降雪予測システムを作製することができた。また、このシステムによる計算結果と実測値の比較により、本計算モデルは定性的には妥当な近似を与えうると言えるが、1989年は降雪量が平年より少なく、また地上での測点数も少なかったため、計算結果の定量的な評価は出来なかった。今後多くの観測例について計算を行い、計算結果と地上の実測値の比較から現在仮定しているモデルの条件である雪片の落下速度を気象条件（気温、湿度など）から見積り、地上での降雪分布の定量的予測を行いたいと考えている。

謝辞： 貴重なデータを提供して頂いた建設省東北地方建設局北上川ダム統管理事務所の関係各位と風モデルプログラムの作成に当たり御協力頂いた北海道大学工学部 山田 正 助教授及び北海道開発局開発土木研究所水工部環境研究室 中津川 誠 氏に心より感謝の意を表します。また、本研究は文部省科学研究費補助金・一般研究（C）「レーダー降雪情報に基づく降雪、積雪分布特性の研究」（代表・平山健一）の補助を受けて行ったものであることを記しここに謝意を表します。

《参考文献》

- 1) 山田 正、渡辺英章：「山地地形における風の場の解析」第43回年次講演会予稿集Ⅱ PP68～69, 1989
- 2) 小倉義光：一般気象学，東京大学出版会，314P.，1984
- 3) 伊藤 博：気象Ⅰ・Ⅱ，東海大学出版会，153P.，1976
- 4) 孫野長治：「雪片の落下速度」雪氷の研究 -Ⅰ，1943
- 5) 小野、笹本、堺、平山：風による雪の移流について昭和63年度東北支部技術研究発表会講演概要，P P198～199, 1989
- 6) 近藤純正：身近な気象の科学，東京大学出版会，189P.，1987