

降雨と融雪が重なって生じる融雪洪水の研究 －雪面上への模擬降雨散水実験－

石井 吉之¹、中坪 俊一²、森 章一³、池田 正幸^{4,5}、藤田 和之²、新堀 邦夫²、
的場 澄人⁶、兒玉 裕二¹

1. 水・物質循環部門水文気象分野
2. 技術部装置開発室
3. 技術部先端技術支援室
4. 技術部共通機器管理室
5. 共和暖房工業株式会社
6. 環オホーツク観測研究センター

1. はじめに

融雪期にまとまった雨が降ると河川は著しく増水する。あたかも雨によって融雪が促進されて増水したかのように見えるが、一般に雨自体による融雪量は小さい。降雨時には、比較的気温・湿度が高く、風速が強いことや、凝結潜熱の増大、蒸発熱損失の抑制、夜間の雪面冷却の抑制などの二次的効果によって融雪が進む。しかし、それでも降雨時の融雪量は晴天時の融雪量に比べて小さい。融雪量が小さいにもかかわらず、なぜ著しい河川増水が起きるかについては十分に理解されていない。また、降雨を伴った融雪出水において積雪がどのような役割を果たすかについても、積雪内での貯留が効く例と効かない例との相反する結果が報告されており、よくわかっていない。

水文気象分野では、降雨と融雪が重なって生じる融雪洪水の発生メカニズムと、この時に積雪が果たす役割を明らかにするために、2003年に北海道北部の母子里試験地、2008年に札幌市郊外の豊平川上流域（定山溪ダム試験地）で、野外観測データに基づいた研究を行ってきた。しかし、いずれの場合にも融雪期には総雨量 20 mm 程度のイベントしか起こらず、明確な結論は得られていない。そこで、2011年の融雪期に、雪面上に模擬的に降雨を散布することにより、積雪底面流出や積雪内部での水貯留の実態を実験的に明らかにさせることを試みた（図 1）。



図 1. 融雪観測室露場での実験のようす。



図 2. 実験 1 での散水状況。



図 3. ライシメータの設置状況（2010 年 10 月）。

2. 実験方法

2.1 実験装置

容量 25 L の塩ビ製の耐圧円筒タンクを複数連結させて散布に必要な水量を確保した。タンクにはコンプレッサで圧力を掛け、常時一定圧力となって散布量が一定になるように調整した。ホースの先には市販の噴霧ノズルを付け、ノズルの先からはミスト状ではなく実際の雨と同様の微水滴が出るように調整し、最適な噴霧条件として噴霧角 70° 、圧力 0.2 MPa、噴霧量 0.6 L/min を与えた。散布範囲が直径 70 - 80 cm の円形となるようにノズルの高さを調整し、風による飛散を防ぐために風上にブルーシートで側壁を設けた（図 2）。また、散布した水の積雪内での挙動や積雪との混ざり具合を調べるため、水の安定同位体を天然トレーサーとして用いた。同位体比の重い岩内町深層海水脱塩水を散布用の水試料として用いることにより、同位体比の軽い積雪との濃度コントラストを大きくさせた。実験を行なう北大雨龍研究林・母子里の融雪観測室前の露場には、積雪期前の 2010 年 10 月に 1 m×1 m の積雪ライシメータ（積雪底面流出測定用）2 台と散水装置据付用の櫓を 3 ヶ所に設置し、同じ積雪条件下で 3 回の実験が行なえるようにした（図 3）。

2.2 実験条件

実験は、積雪がすでに全層 0°C となり、融雪が 50 cm ほど進んだ 2011 年 4 月 5 - 7 日の晴天日の日中に行なった。期間中の積雪深は 100 から 80 cm、気温は -6.0 から $+9.9^\circ\text{C}$ で推移した。実験は 3 回行い、各回の総散布量（総雨量）、平均雨量強度、散布時間はそれぞれ 1 回目が 25 L（25 mm）、35 mm/h、43 分、2 回目が 60 L（60 mm）、23 mm/h、159 分、3 回目が 200 L（200 mm）、34 mm/h、356 分である。2 回目の実験では、当初、2.5 時間に 75 L の散布を予定したが、ノズルのフィルター目づまりのため時間的には長く、量的には少ない散布実験となった。なお、散布量の雨量への換算はライシメータの面積上に散布されたと見なして計算した（表 1）。

表 1. 実験 1-3 で設定した降雨条件。

	総散布量 (L)	総雨量 (mm)	平均雨量強度 (mm/h)	散布時間 (min)
実験 1	25	25	35	43
実験 2	60	60	23	159
実験 3	200	200	34	356

3. 結果および議論

3 回の実験後およびすぐ隣の対照区の濡れ密度と重水素濃度の鉛直プロファイルを図 4 に示す。散水に伴う水当量の増加は実験 1 では 10 cm 深と 40 cm 深で顕著に認められたものの、実験 2 では表層の 10 cm 深のみが増加し、実験 3 ではどの深度にも増加が認められず、散水量が多くなるにつれて水当量の増加が目立たなくなった (表 2)。積雪底面流出量は実験 1 ではゼロ、実験 2 では実験中から翌日にかけて 1640 mL (流出率 3%)、実験 3 では 200 L も散水したにもかかわらず流出量はゼロであった。

散布した脱塩水および採取した積雪と水試料の δ ダイアグラムを図 5 に示す。脱塩水以外はほぼ傾き 8 の直線 (図中の破線) に乗り、 d 値 ($= \delta D - 8 \cdot \delta^{18}O$) は 20-25‰ であった。脱塩水との混合が顕著ではなかったため、傾き 8 の直線からのシフトもほとんど認められなかった。なお、図中の赤実線 (GMWL) は天水線 ($\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10$) である。

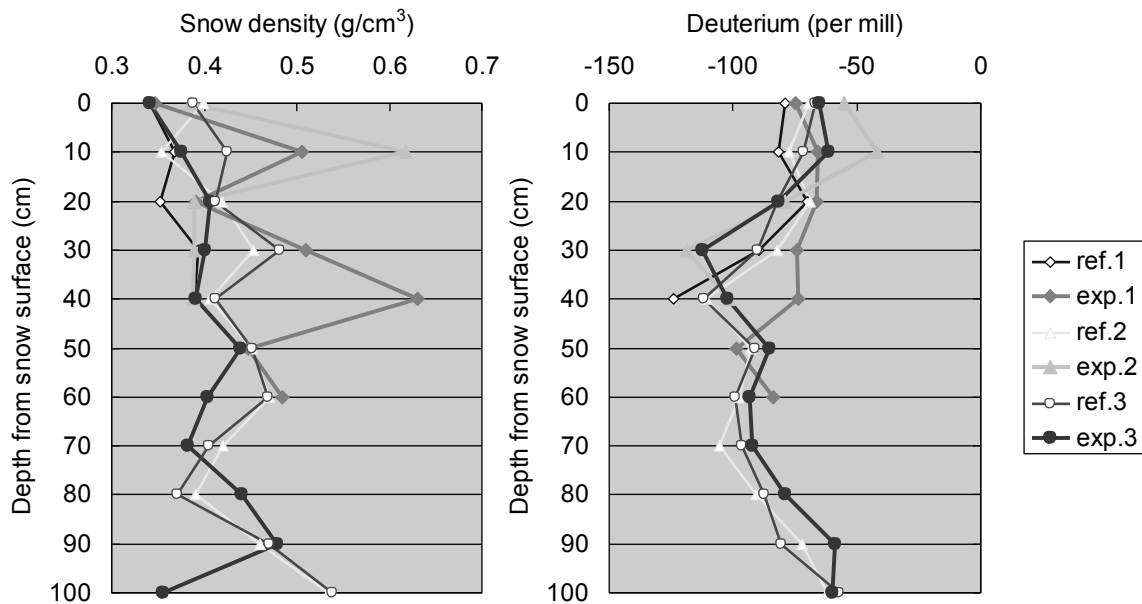


図 4. 実験 1-3 及び対照区における濡れ密度と重水素同位体比の鉛直プロファイル(雪面を 0 cm とする)。

表 2. 実験区と対照区における積雪全層の濡れ密度、水当量、重水素濃度。

	濡れ密度 (kg/m ³)	水当量 (mm)	重水素濃度 (‰)
対照区 1	418	459	-87.3
実験区 1	456	502	-82.4
対照区 2	394	394	-83.7
実験区 2	523	523	-83.7
対照区 3	399	399	-87.6
実験区 3	378	378	-84.7

散布量が少ない実験 1 での底面流出量ゼロは予想したとおりであったが、実験 2 と 3 でもほぼゼロ（或いは極めて微量）であった理由として以下が考えられる。積雪内に供給される水量が少ないうちは、水は雪粒間に保持されるが、供給水量が増加し、下方への浸透速度（強度）以上の水が加わってくると、雪粒間の水はもはや下方ではなく、多くの水を保持できる層内を水平方向に流れるようになる（図 6）。つまり、散布する水の量が多ければ多いほど散いた水は積雪内を水平方向に流れるようになる。その時、散布する以前に雪粒間に保持されていた水も一緒に取り込んで行く。そのため、実験 3 で観測されたように、1 m²に 200 L もの水を散いたにもかかわらず、実験後の全層水当量が対照区の全層水当量より小さくなるという、一見して逆の現象が起きたと考えられる。

4. 今後の課題

雪面上への散水実験では散いた水の水平方向への流動が予想以上に顕著に現れた。水平方向の水の流れが起きないようにするか、或いはそれを積極的に計測できるようにするか、装置を改良し 2012 年の融雪期に再度実験を行なう予定である。

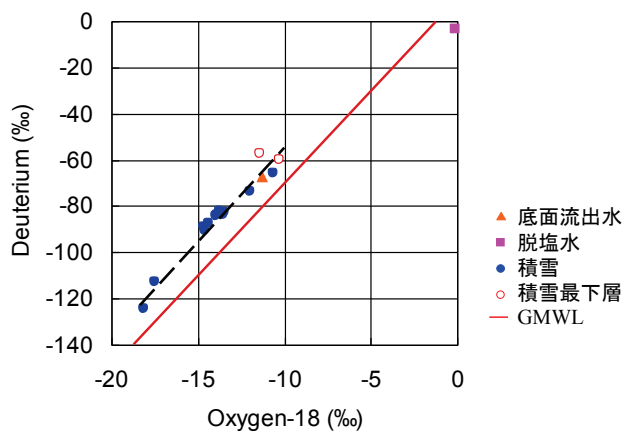


図 5. 散布した脱塩水と採取した水試料の δ ダイアグラム。



図 6. 積雪層境界における水平方向の水の流れ（蛍光染料散布）。