

# 母子里における積雪底面流出量の観測と実験

石井 吉之<sup>1</sup>、中坪 俊一<sup>2</sup>、藤田 和之<sup>2</sup>、森 章一<sup>3</sup>、高塚 徹<sup>3</sup>、池田 正幸<sup>4,5</sup>、  
新堀 邦夫<sup>2</sup>、的場 澄人<sup>6</sup>

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

## はじめに

積雪底面流出量の観測は、積雪内部における融雪水の浸透・貯留機構や積雪中の化学物質の輸送過程を調べる目的で行なわれる。また、積雪表面の融雪量ではなく、地表面土壌層に流入する融雪量を直接測定するので、流域水文学的にも重要な観測項目である。水文気象研究室では 20 年程前より、北海道北部の北大雨龍研究林・母子里の融雪観測室前の露場において、3.6 m × 3.6 m の大型積雪ライシメータをはじめとする様々なタイプの積雪ライシメータを用いて積雪底面流出量の観測を行なってきた（石井ほか 2010）。本報告では、始めに、2011 年に引き続いて行なった 2012 年融雪期の雪面上への模擬降雨散水実験の結果を示す。次に、同じく 2012 年融雪期に雨龍川流域で生じた顕著な河川増水について、母子里での気象要素、積雪底面流出量、河川流量の観測結果をもとに、その発生機構を考察する。

## 雪面上への模擬降雨散水実験

1 年目の実験は 2011 年 4 月 5-7 日に行なった。期間中の積雪深は 100-80 cm、気温は -6.0 から +9.9°C で推移した。前年の秋に地表面に 1 m × 1 m の積雪ライシメータを設置しておき、融雪期にはライシメータ真上の雪面に直径 70-80 cm の円形状に噴霧ノズルによって微水滴を散布した。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 分であった。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約 1.5 L（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。実験 3 において積雪底面流出がゼロであった理由については次のように考えた。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。つまり、散布する水の量が多くなると撒いた水は積雪内を水平方向に流れるようになり、鉛直下方の積雪底面からは流出しなかった。

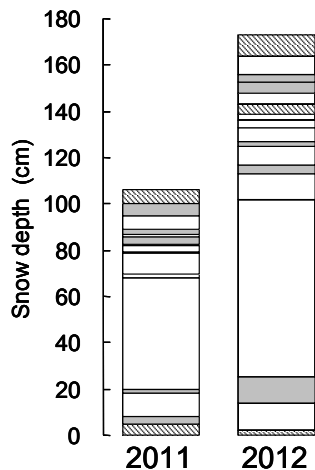


図1 2011年と2012年における実験時の積雪深と層構造の比較（斜線部は水で濡れた層、灰色部と白色部はそれぞれ粒径の大きい層と小さい層）。



図2 2012年の模擬降雨散水実験の様子（実験1）。

2年目の実験も、ある程度の融雪が進み、積雪深が100cm程度になった時期に行なおうとした。ところが、2012年の融雪期は、4月上旬は寒気の影響を受けて融雪が遅れ、4月15日になっても積雪深は170cmもあった（図1）。2011年に比べ2倍近い積雪深であったが、4月16-17日に2011年と同じ方法で2回の実験を行なった（図2）。この時の積雪深は170-164cm、気温は-1.9から+12.5°Cで推移した。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170L（170mm）、35mm/h、295分、2回目が120L（120mm）、33mm/h、220分である。積雪深が多いので2011年以上に水平方向の流れが生じやすく、積雪底面流出量は観測されないことが予想されたが、1回目は散水開始後50分で積雪底面流出が現れ、総散布量170Lに対し総流出量は46L、流出率は27%であった。2回目も同様に散水開始後90分で積雪底面流出が現れ、総散布量120Lに対し総流出量は48L、流出率は40%であった（図3）。散水した岩内海洋深層水（脱塩水）の水素同位体比は+1‰、実験前の全層積雪の水素同位体比は実験1、2とも-93‰であった。積雪底面流出水の水素同位体比は、実験1では流出開始時の-86‰から散水終了時には-26‰まで重くなった。同様に実験2では流出開始時の-109‰から終了時には-34‰になった。散水量と流出量がほぼ定常となった時点で散水を終了したが、終了時における積雪底面流出水に含まれる模擬降水の割合は、水および同位体収支式より、実験1では71%、実験2では63%と見積もられ、概ね6-7割であった。

これまでの融雪水の積雪内浸透に関する研究では、化学成分や水の安定同位体をトレーサーに用いることによって、晴天日や弱い降雨時（総雨量20mm程度）には積雪内部に貯留されていた水が押し出されるように積雪底面から流出し、その割合は9割以上に及ぶと言われていた（鈴木1993；宍戸ほか2005など）。しかし、顕著な降雨と融雪が重なった時にはこうした流出過程とは異なることも指摘されていた。今回の実験では、

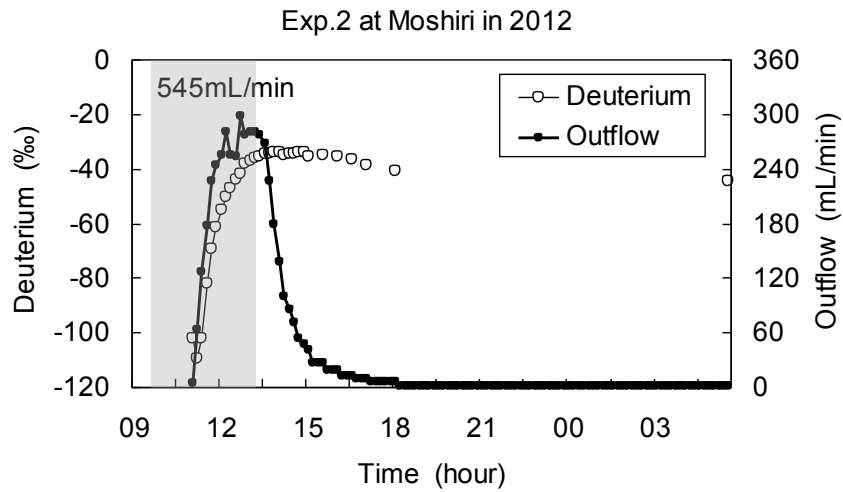
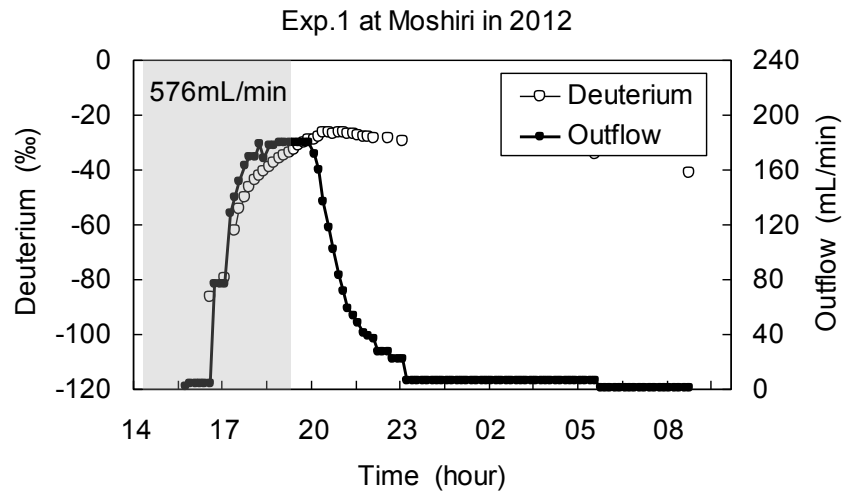


図 3 実験 1 と 2 における積雪底面流出量と重水素同位体比の時間変化（灰色部は上方に記した一定強度で模擬降雨を散布した時間帯）。

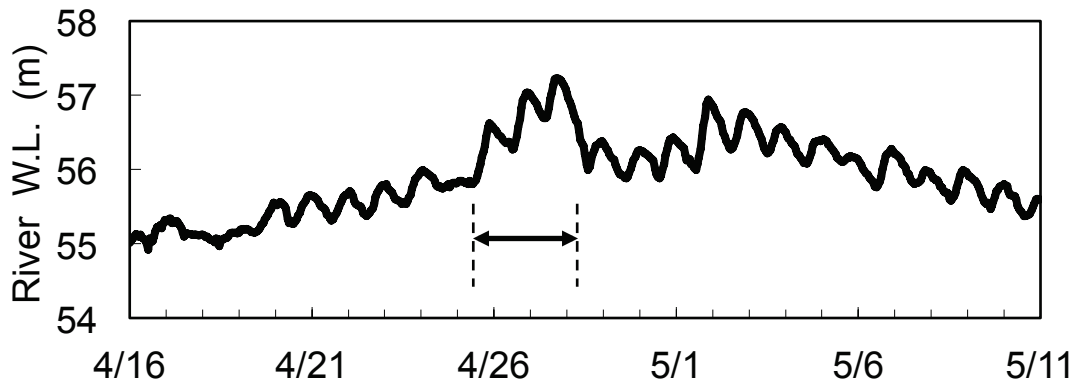


図 4. 雨龍川多度志観測所（996 km<sup>2</sup>）における 2012 年融雪期の河川水位変化。矢印は 4 月 25-27 日の顕著な増水が起きた期間（資料：国土交通省水文水質データベース）

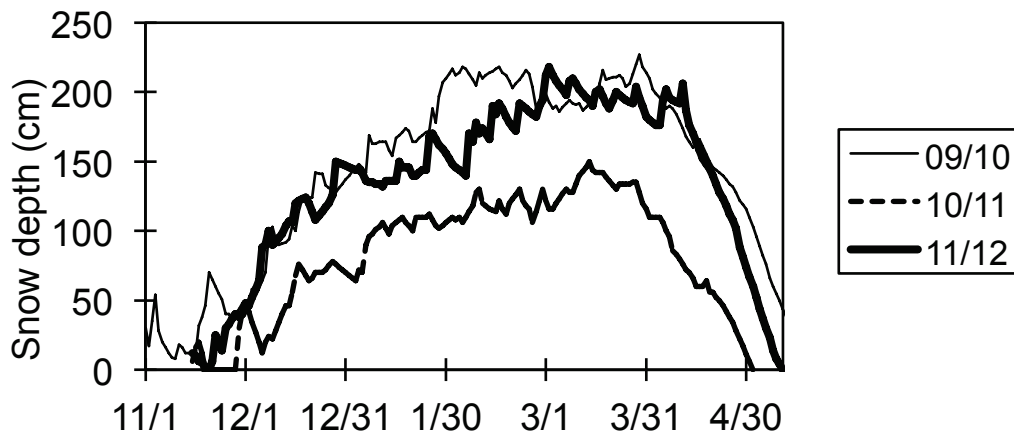


図5 母子里における多雪年（09/10年）、少雪年（10/11年）、11/12年の積雪深変化。

積雪上に総量 120–170 mm の降雨があった時には、降ってきた降水の概ね 6–7 割が積雪底面から流出することが明らかになった。しかし、2011 年の実験では積雪底面流出が全く観測されなかったため、2012 年の実験結果だけから結論を下すには、なお検討の余地がある。積雪内で水平方向の水みちとなる氷板や大粒のザラメ雪層ができる前後で、融雪水の浸透がどのように変化するかを明らかにするために、水平方向の顕著な水みち層が発達する前（積雪深 150 cm 程度）と後（同 80 cm 程度）とで模擬降雨散水実験を比較するなどの追試が必要であろう。

### 雨龍川における 2012 年融雪期の顕著な河川増水

前述したように、北海道の日本海側地域における 2012 年の融雪期は、4 月上旬までは寒気の影響を受けて融雪が遅れていたが、4 月下旬から 5 月上旬には南からの暖気が流入し気温の高い日が続いた。このため各地で急速に融雪が進み、それに伴う河川の氾濫や土砂崩れが相次いだ。夕張川や天塩川では氾濫注意水位まで増水したために住民が避難し、一部の田畑が冠水した。夕張市内の JR 石勝線では線路下の土砂が流出し鉄道が運行不能になった。国道 239 号（霧立峠）や国道 230 号（中山峠）では土砂崩れによって道路が崩壊し、長期間の通行止めを余儀なくされた。石狩川水系雨龍川でも 4 月 27 日から 28 日にかけて水位が避難判断水位に達した（図 4）。融雪期にはしばしば降雨と融雪が重なって洪水が起きるが、この時は顕著な降雨はなく、融雪のみによって著しい増水が生じた。母子里実験流域（面積 1.2 km<sup>2</sup>）でも、同じように融雪期の顕著な増水が観測された。

母子里における 3 冬期（09/10、10/11、11/12 年）の積雪深変化を見ると、2010 年（多雪年）と 2011 年（少雪年）とでは融雪期前の積雪深が 50–70 cm も異なるが、母子里は風が弱く放射による融雪が卓越するので、積雪深が大きくても小さくてもその減少速度には大きな違いがない。ところが、2012 年は融雪の開始が 4 月 13 日頃で、例年より

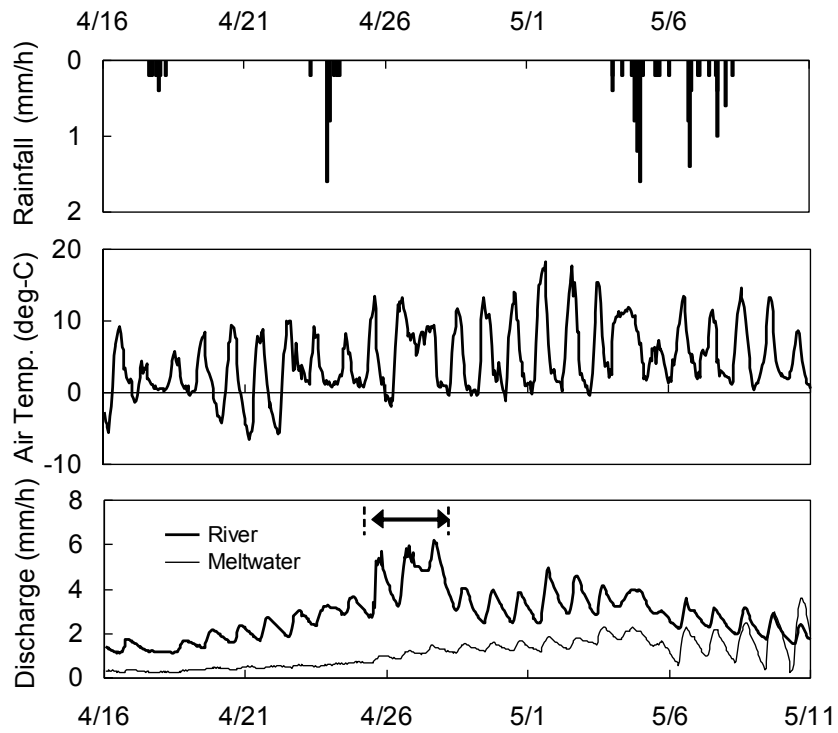


図 6 母子里における降雨量、気温、河川流量・積雪底面流出量の経日変化 (ただし、河川流量の単位は流出高で、かつ 3 倍して表記してある)。

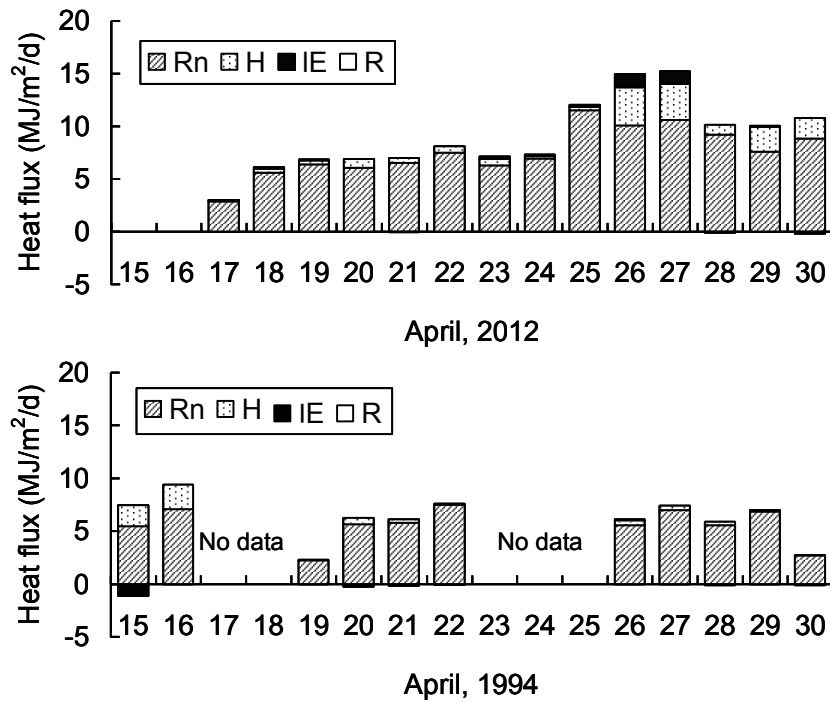


図 7 母子里における 1994 年と 2012 年の融雪熱収支の比較 (Rn: 放射収支量、H: 顕熱伝達量、IE: 潜熱伝達量、R: 雨による熱伝達量)。

10日ほど遅かったが、その後の積雪深の減少速度は他の2冬期と比べて明らかに早かった(図5)。図6に母子里における降雨量、気温、河川流量・積雪底面流出量(平坦地)の経日変化を示す。河川流量には雨龍川の水位変化と同様に4月25日から27日にかけて顕著な増水が認められるので、この増水は雨龍川水系に共通して起きたと考えられる。降雨量は23-24日にかけての4mmにすぎず、降雨と融雪が重なって生じた増水ではない。一方、この期間の積雪底面流出量には河川で見られたような際立った流出量増加は観測されなかった。積雪底面流出量には顕著な増加がない、すなわち、地表面への融雪水の供給量には前日までと大きな違いがなかった。それにもかかわらず、河川流量は前日より著しく増水した。このような結果が得られた理由として、1) 平坦地と斜面では積雪底面流出の出方が異なり、斜面では積雪底面流出が顕著に増加していた; 2) 河川近傍など流域内の一部でのみ著しい融雪が進んだ、などが考えられる。

この時の融雪熱収支解析の結果を図7に示す。比較のために1994年融雪期の熱収支解析結果も示すが、風の弱い母子里では、通常は1994年のように融雪熱量の70-90%は放射収支量によって賄われ、顕熱・潜熱伝達量は小さい。しかし、2012年融雪期の4月25-27日にかけては、放射収支量に加え、高い気温と強めの風速に伴う顕熱・潜熱伝達量が加わり、融雪量が著しく大きくなった。4月17-30日の14日間の表面融雪量と積雪底面流出量の対応を図8に示す。両者は日単位ではほぼ1:1に対応し、積雪底面流出量は正しく計測されていたと言えるだろう。しかも、4月25-30日にかけては、表面融雪量に対して積雪底面流出量は反時計回りに変化し、急速な融雪に対して前半は流入量、後半は流出量が多くなり、積雪内で貯留されつつ流出したようすが明瞭に現れている。しかし、河川流量や表面融雪量に見られる4月26日と27日のピークが、なぜ積雪底面流出量には現れなかったかについては、依然としてよく分らない。以上のことから、4月25-27日にかけては顕熱・潜熱伝達量が例年になく大きくなって急速に融雪が進み、顕著な河川増水につながったことが明らかになった。

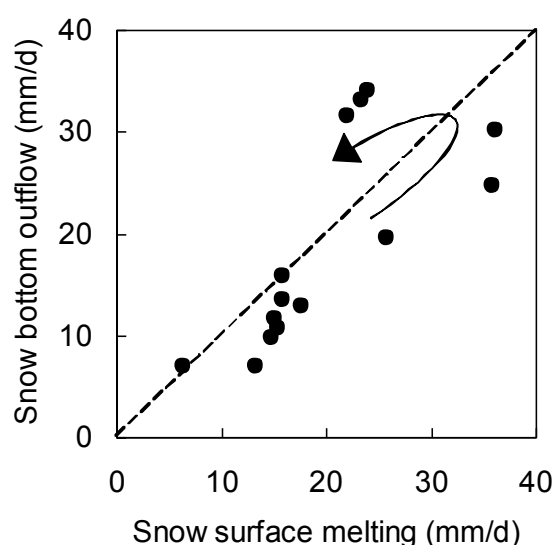


図8 表面融雪量と積雪底面流出量の関係(4月25-30日は矢印の方向に経過した)。

## おわりに

融雪流出過程の研究では、積雪表面融雪に始まり河川流出へと至る水及び物質の流れが議論される。積雪中や地中での目に見えない水の流動量を測定することはそれほど簡単ではなく、融雪流出モデルを適用する上でもモデルの妥当性を確かめにくくしている。積雪ライシメータを用いた積雪底面流出量の観測データは、モデルを検証する際の有力な情報になると期待される。しかし、数トンに及ぶ雪の積載荷重に耐えるための補修や、パイプの目詰まりや凍結の防止策など、装置の維持にはそれなりの手間暇を掛けねばならない。1、2冬期であれば維持管理もそれほど難しくはないが、長年に渡ってデータを取り続けるのは容易なことではない。母子里ではこれまでも積雪ライシメータを用いた多くの研究実績があり（小島 1980; Nomura 1994; 石井 2002; 石井 2007; 石井と佐藤 2012 など）、今後も有力な武器として研究に役立てていきたい。

最後に、模擬降雨用の岩内海洋深層水（脱塩水）の利用にあたっては岩内町地場産業サポートセンターのご協力を頂いた。中家正希所長をはじめとする職員の皆様に感謝致します。

## 参考文献

- 石井吉之, 2002. 融雪水の積雪内浸透に及ぼす雪質の効果. 北海道大学地球物理学研究報告, **65**, 53–68.
- 石井吉之, 2007. 水資源としての雪. 水環境学会誌, **30**, 58–61.
- 石井吉之, 兒玉裕二, 新堀邦夫, 中坪俊一, 藤田和之, 池田正幸, 森章一, 2010. 大型ライシメータによる積雪底面流出量の観測. 北大低温研技術部技術報告, **16**, 10–15.
- 石井吉之, 佐藤大輔, 2012. 積雪底面融解量の場所による変化と流域平均量. 北海道大学地球物理学研究報告, **75**, 59–71.
- 小島賢治, 1980. 冬期間の積雪下面における融雪量の連続観測（序報）, 低温科学, **39**, 101–108.
- 宍戸真也, 石井吉之, 山崎学, 田中夕美子, 2005. 降雨と融雪が重なった時の出水現象. 北海道の農業気象, **57**, 15–27.
- 鈴木啓助, 1993. 積雪中における押し出し流の形成. 地理学評論, **66A-7**, 416–424.
- Nomura, M, 1994. Studies on the delay mechanism of runoff to snowmelt. *Contributions from the Institute of Low Temperature Science*, **A39**, 1–49.