

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350482

研究課題名(和文) 春先の大雨時における積雪内部での降雨融雪浸透水の挙動

研究課題名(英文) Liquid water movement in a snowpack under the heavy rainfall event

研究代表者

石井 吉之 (ISHII, Yoshiyuki)

北海道大学・低温科学研究所・助教

研究者番号：40222955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：降雨と融雪が重なって生じる河川洪水の発生メカニズムを解明するため、北海道母子里で行われた積雪上への模擬降雨散水実験の結果を、雪氷防災研究センターで開発された積雪水分移動モデルによって再現できるかどうかを検討した。その結果、積雪底面流出の出現に最も効くと考えていた層境界の粒径コントラストは、層境界で浸透水の滞留を引き起こすという面では重要であるが、底面流出の出現やその流出率は、層境界を通過した後の水みちの発達に強く依存することが分かった。水みちが鉛直下向きに発達すると顕著な底面流出が出現し、水みちが側面方向に傾くと底面流出が出現しないことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：To replicate rain-on-snow events, artificial rain sprinkling experiments were performed on natural snowpack in Moshiri, northern Hokkaido, Japan. The results showed that a remarkable outflow from the snowpack bottom was observed in some cases of the experiments, and that there were no outflow in other cases. These differences could be caused by the existence of snow layer boundary with large contrast in grain size. To make sure of this hypothesis, a multi-dimensional water transport model developed by Snow and Ice Research Center was used for the reproduction simulations of the experiment results. Simulation results showed that the existence of snow layer was important to delay the liquid water percolation at the boundary. However, it was more important that whether the outflow from the snowpack bottom occurred or not was strongly dependent on the development of preferential pathways in the deeper snow layers.

研究分野：雪氷水文学

キーワード：春の大雨 融雪洪水 積雪内浸透水 積雪水分移動モデル

### 1. 研究開始当初の背景

降雨と融雪が重なると著しい河川洪水が起きる。この時に積雪が果たす役割について、降雨・融雪水が積雪内部に貯留されるという研究と、貯留の効果は小さいという研究があり、国内外の研究者の間で見解が分かれている。実流域での観測報告が少ないこともその一因である。

そこで北海道北部の母子里では、2011～2013年の各融雪期に、雪面上に100mm以上の大雨が降った時を想定した模擬降雨散水実験が実施された。その結果、全7回の実験のうち、積雪底面からの流出が顕著に現れる場合とほとんど現れない場合とが観測された。流出状況は散水量や積雪深とは関係がなく、その時の積雪の層構造に応じて多様、すなわち、積雪内部で鉛直下向きの浸透が顕著な場合と水平方向の流動が顕著な場合のどちらもが起こり得ることが明らかにされた。こうした違いは層境界での粒径コントラストによると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、北海道の母子里で行われた雪面上への模擬降雨散水実験の結果を積雪水分移動モデルによって再現し、積雪層構造の粒径コントラストが水挙動の支配因子となるという仮説のもとに、貯留の効果が大きい場合と小さい場合とが出現することをモデル計算によって明らかにする。同時に、大雨と融雪が重なる時の水文及び熱収支観測事例を増やし、実態を明らかにするための模擬降雨散水実験を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 積雪水分移動モデルによる再現計算

模擬降雨散水実験を再現する前に、層境界での粒径コントラストとそこに滞留する浸透水の関係を様々な積雪層構造を仮想して検討した。高さ23cm幅20cmの3層構造の積雪を想定し、上部13cmと下部10cmには異なる粒径と密度を与える。また、最上部3cmは上部と同じ粒径・密度の濡れ雪を与えた。計算格子は縦横1cmメッシュで与え、各層の粒径のばらつきは20%、水供給速度は20mm/hで一定とした。上下各層に与えた粒径、密度、含水状態の設定方法についてはHirashima et al. (2014)〔雑誌論文〕に詳しく述べられている。

2013年に実施した2回(4/12、4/30)の降雨散水実験のうち、1回目(積雪深180cm、散水強度34mm/h、散水時間286分)は底面流出が少量しか見られず流出率1%にすぎなかった。2回目(積雪深116cm、散水強度35mm/h、散水時間207分)は顕著な底面流出が出現し流出率71%であった。これらについて実際の層構造、密度、粒径、含水率を与えて再現計算を行った。計算は2次元で行い、層境界での水みち発生パターンを5通りの乱数で与えた。また、左右両端の境界では含水率が30%

超になったら強制的に30%に戻し、境界から逃げていった水が戻らないように設定した。計算領域は縦は実際の積雪深、横は40cmとし、大まかな計算結果を見るために格子サイズは縦横2cmとした。

#### (2) 積雪水文及び熱収支観測と模擬降雨散水実験の追加実験

春先の大雨時における融雪熱収支や降雨融雪浸透水の積雪内部での挙動を調べるため、放射収支計等の気象観測機器を更新するとともに、現有の3.6m×3.6m大型積雪ライシメーターを整備し、十分な信頼性で降雨量と融雪量の連続測定が行えるようにした。さらに、最終年度には模擬降雨散水実験をこれまでとは異なる方法、すなわち1m×1m×1mの積雪ブロックを切り出し、この上に青インクで着色した水を散水した。

### 4. 研究成果

#### (1) 積雪水分移動モデルによる再現計算

##### (1-1) 仮想積雪モデルによる試算結果

滞留状況の強弱は上下層の含水率差、滞水した層の厚さ、底面到達時間の3点で評価した。上層粒径が0.6～1.2mmの場合、含水率差や滞水層厚は下層粒径が大きいほど増加した。しかし、上層粒径が1.5mmを越えると下層粒径が3.0mmでも滞水されない。これは毛管力の効果が効きにくくなった結果と考えられる。したがって、粒径コントラストが浸透水の滞留に効くのは、上層粒径が1.5mmを越えない範囲であると見なすことができる。

##### (1-2) 模擬降雨散水実験の再現計算

2回目実験の再現計算結果を図1に示す。Run-0～Run-4は水みち発生条件を与える乱数パターンに対応している。いずれの結果でも層境界で浸透水が滞留し、その後、水みちを通じて水が底面へと輸送される結果となった。水みちが左右両端に逃げる場合には底面流出は現れない。図2の流出ハイドログラフでも、Run-2とRun-3が実測値をよく再現する結果になっている。より細かいメッシュで再計算すれば実測値との適合度をより良くさせることができる。

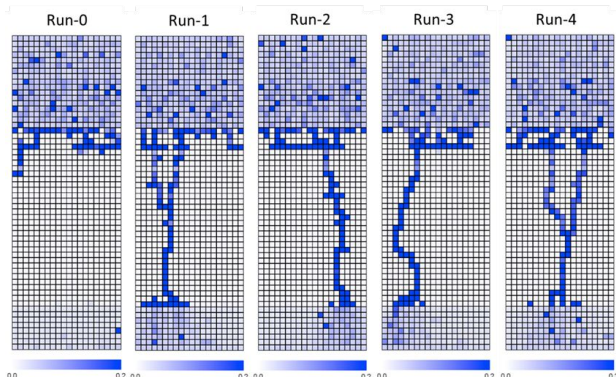


図1 模擬降雨散水実験の再現計算結果

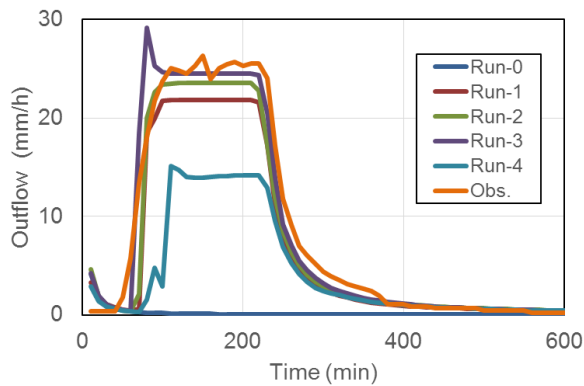


図2 底面流出量の計算結果と実測値の比較

いずれにしても、粒径コントラストは層境界での浸透水の滞留を引き起こすという面で重要であるが、積雪底面流出が出現するか否かは、その後の水みちの発達の方に強く依存するという新しい知見が、今回の数値実験を通じて得られた。

#### (2) 積雪ブロックによる模擬降雨散水実験

散水量と積雪底面流出量の時間変化を図3に、この時の着色水の浸透状況を図4に示す。散水条件は72mm/hの一定強度で75分間継続させた。散水開始40分後に底面流出が出現し始め、およそ60分後には散水強度と同じ流出強度になり散水停止までほぼ定常状態を続けた。積雪ブロックの側壁面を通じての浸透水の流下も若干認められたものの、それほど顕著ではなかった。

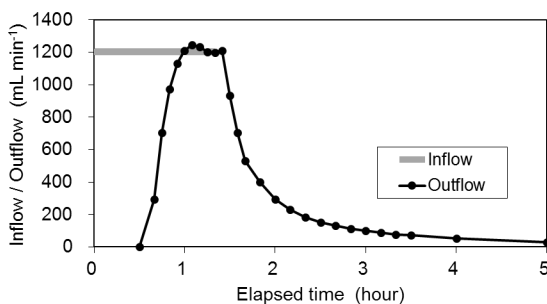


図3 散水量と積雪底面流出量の時間変化



図4 積雪ブロックへの着色水の浸透状況

これまで諸外国における積雪ブロックを用いた模擬降雨散水実験ではいずれも100%近い流出率が報告されているが、今回の実験でも同じような結論が得られた。しかし、積雪ブロックを用いた実験は自然状態とは異なる条件で行っており、得られた結果の再評価が不可欠である。今後、各地における既往の実験結果も加えて、結果の見直しが必要と考えられる。

以上、本研究で得られた成果は逐次、国内の水関係学会（日本雪氷学会、陸水物理研究会、日本水文科学会）および国際会議（国際雪科学ワークショップ）で発表するとともに、現在査読中の和文・英文論文が1篇ずつある。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計4件)

Hirashima, H., Ishii, Y. and Yamaguchi, S.: Application of multi-dimensional water transport model to natural snow: reproduction simulation of water sprinkle experiment. Proc. of the International Snow Science Workshop, Colorado, USA, 690-694, 2016. 【査読無】

石井吉之, 中坪俊一, 森章一, 高塚徹, 千貝健, 小野数也, 池田正幸, 的場澄人: 母子里における融雪期の模擬降雨散水実験. 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告, 22, 25-29, 2016. 【査読無】

[http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/tech/report\\_2016/tech\\_report2016.pdf](http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/tech/report_2016/tech_report2016.pdf)

Hirashima, H., Yamaguchi, S., and Ishii, Y.: Application of a multi-dimensional water transport model to reproduce the temporal change of runoff amount. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Banff, Canada, 541-546, 2014. 【査読無】

Hirashima, H., Yamaguchi, S. and Ishii, Y.: Simulation of liquid water infiltration into layered snowpacks using multidimensional water transport model. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Banff, Canada, 48-54, 2014. 【査読無】

〔学会発表〕(計12件)

石井吉之: 模擬降雨散水実験 - 失敗例と今後の見通し - . ぬれ雪に関するワークショップ, 2017/3/21, 防災科技研雪氷防災センター(新潟県長岡市)

石井吉之: Rain-on-snowに伴う融雪災害. 日本水文科学会学術大会, 2016/10/15-16, 法政大学(東京都千代田区)

Hirashima, H., Ishii, Y. and Yamaguchi, S.: Application of multi-dimensional water transport model to natural snow:

reproduction simulation of water sprinkle experiment. International Snow Science Workshop, 2016/10/3-7, Colorado, USA.

石井吉之: ROS イベントに関する雪氷水文学的研究の概観と見通し. 雪氷研究大会, 2016/9/29-10/1, 名古屋大学(名古屋市)

平島寛行, 石井吉之, 山口悟: 2次元水分移動モデルによる野外散水実験の再現計算. 日本雪氷学会北信越支部研究発表会, 2016/6/4, 妙高市勤労者研修センター(新潟県妙高市)

石井吉之: 災害としての雪, 資源としての雪. 日本分析化学会北海道支部第51回氷雪セミナー, 2016/1/10-11, 札幌北広島クラッセホテル(北海道北広島市)

石井吉之, 平島寛行, 山口悟: 多次元水分移動モデルによる模擬降雨散水実験の検証. 陸水物理研究会第37回秋田大会, 2015/11/14-15, 秋田大学(秋田県秋田市)

石井吉之, 平島寛行, 山口悟: 多次元水分移動モデルによる模擬降雨散水実験の検証. 雪氷研究大会, 2015/9/14-16, 信州大学理学部(長野県松本市)

石井吉之, 中坪俊一, 森章一, 的場澄人, 平島寛行, 山口悟: 融雪期における雪面上への模擬降雨散水実験 - 積雪底面流出水の水同位体比とイオン濃度の時間変化 -. 陸水物理研究会第36回能登大会, 2014/12/6-7, 金沢大学臨海実験施設(石川県能登町)

Hirashima, H., Yamaguchi, S., and Ishii, Y.: Application of a multi-dimensional water transport model to reproduce the temporal change of runoff amount. International Snow Science Workshop, 2014/9/29-10/3, Banff, Canada.

Hirashima, H., Yamaguchi, S. and Ishii, Y.: Simulation of liquid water infiltration into layered snowpacks using multidimensional water transport model. International Snow Science Workshop, 2014/9/29-10/3, Banff, Canada.

石井吉之, 他3名: 融雪期における雪面上への模擬降雨散水実験 - 積雪底面流出水の水同位体比とイオン濃度の時間変化 -. 雪氷研究大会, 2014/9/20-22, 八戸工業大学(青森県八戸市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/moshiri/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石井 吉之 (ISHII, Yoshiyuki)  
北海道大学・低温科学研究所・助教  
研究者番号: 40222955

### (2) 研究分担者

平島 寛行 (HIRASHIMA, Hiroyuki)  
防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・主任研究員  
研究者番号: 00425513

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

### (4) 研究協力者

( )