

積雪内部のキャピラリーバリアがフィンガーストリームの広がりを与える影響

○勝島隆史(森林総研)・安達聖・山口悟(防災科研・雪氷)・尾関俊浩(北海道教育大)・熊倉俊郎(長岡技科大)

1. 研究背景と目的

融雪や降雨による水の自然積雪への浸透では、フィンガーストリームと呼ばれる選択的な流れが形成するとともに、積雪層境界においては上下の積雪層の毛管力の差によるキャピラリーバリア (以下, CB) により帯水層が形成する。近年筆者らは, MRI による高速3次元撮像手法を自然積雪内部の乾雪への浸透に適用してフィンガーストリームの発達の様子を非破壊観察した。その結果, フィンガーストリームの直径は鉛直方向に一定ではなく水平方向に変化していた。また, 浸透実験に使用した雪の X 線 μ CT による3次元データから間隙径の鉛直分布を解析して実験結果と比較した結果, フィンガーストリームの広がりが生じた所では, 小さな間隙径の積雪層に大きな間隙径の積雪層が上載する層構造となっていた (Katsushima et al., 2020)。

本研究では, どの程度の積雪層の毛管力あるいは間隙径の差によって, どの程度のフィンガーストリームの広がり形成するのかといった, 水の挙動に対する CB の効果についての定量的な知見を得るために, 積雪層構造がフィンガーストリームの広がりを与える影響を定量的に示す試みを行った。

2. 研究方法

Katsushima et al.(2020)における2事例のMRIによる浸透実験のデータおよびX線 μ CTによる雪の3次元データに, 1事例のデータを追加して解析を実施した。浸透実験は, 内径36mm, 長さ100mmのカラムを用いて自然積雪から不攪乱で採取したこしまり雪に一定速度で硫酸銅水溶液を供給して行った。そのときの内部の3次元の水分分布をMRIにより2.5分間隔で撮像した。積雪層構造を解析するために, X線 μ CTにより解像度 $20\mu\text{m}$ で取得した雪の3次元データに対して, 気相の画素をImageJ/FIJIのMorphoLibJ (Legland et al., 2016)による3DWS法を用いて個々の間隙に分割し, 個々の間隙が持つ体積相当間隙径を測定した。Costanza-Robinson et al.(2011)に基づいて間隙径の代表体積要素(RVE)を求めて, これに相当する代表長さの鉛直分布を求め, 代表長さの鉛直方向の区間内に存在する間

隙の間隙径の中央値の鉛直分布を求めた。得られた間隙径の中央値から水分特性曲線の対数正規モデル(Kosugi, 1994)のパラメータ h_m を求めた。これを積雪各層が持つ毛管ポテンシャルの代表値と仮定し, その鉛直勾配 $\partial h_m/\partial z$ を求めた。そして, MRIによる水平断面における含水箇所の面積の鉛直分布に対して上記の代表長さで移動平均を行った。面積の極大値が生じた箇所をフィンガーストリームの広がり発生した箇所として抽出し, その周辺に存在する毛管ポテンシャルの鉛直勾配の極小値を抽出することで, このときの含水箇所の面積と鉛直勾配との関係を求めた。

3. 結果

図1に, フィンガーストリームの広がり生じた水平断面における含水箇所の面積と毛管ポテンシャルの鉛直勾配の関係を示す。図より, フィンガーストリームの広がり生じた箇所では, いずれも負の鉛直勾配が存在しており, 鉛直勾配が-2以下のときに, 含水箇所の面積が大きくなる傾向があった。負の鉛直勾配は, 小さな間隙径の層に大きな間隙径の層が上載する状態を意味しており, 毛管ポテンシャルの鉛直方向の変化の大きさを示す鉛直勾配が大きいほどCBの効果が大きくなり, フィンガーストリームの広がりが大きくなるものと考えられる。

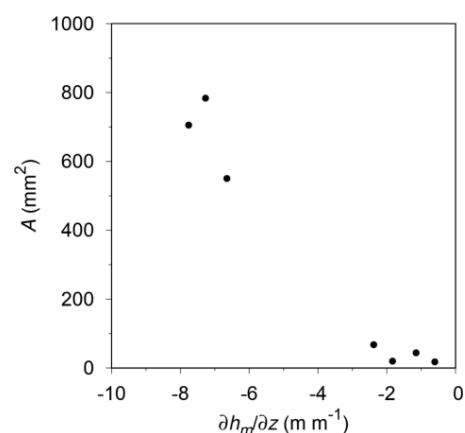


図1 フィンガーストリームの広がり生じた水平断面における含水箇所の面積と毛管ポテンシャルの鉛直勾配の関係

謝辞 本研究はJSPS科研費19K04960の助成を受けたものです。