

新しい液水流下過程を取り入れた積雪モデルの開発

水文気象研究室 勝島隆史

指導教員 熊倉俊郎

はじめに 北陸地方などの気温の高い地域では、真冬でも降雨や、積雪表面での融雪が多くあり、それに伴い液水の積雪中への浸透が多く発生している。一方で積雪は、雪質の変態により粒径の異なる粒子の層が重なって積雪をなしているため、その構造は一様ではない。そのため、粒径の異なる層や氷板などの境界では下層への浸透が起こりにくい止水面と呼ばれる面が形成される。特に、降雨や融雪に伴う液水が多く発生し積雪内に浸透した場合には、これらの面の上側で液水が停滞することで、非常に高い含水率となる帯水層を形成し、その帯水層の直下では水みちと呼ばれる液水の流路が形成される事が報告されている(大沼 1959、納口 1984)。水みちが形成された場合には、均一な浸透に加えて、水みちを通り下方へと流下する水平方向に不均一な浸透が発生するため、均一な浸透を仮定した積雪モデルでは、実際の浸透過程や積雪の層構造を表現しにくい。本研究では、帯水層および水みちの効果を取り入れるためのパラメタリゼーションを行うことで、北陸地方など温暖な地域にも対応した積雪モデルの開発を目的とする。

データと手法 まず、積雪モデルでの水収支を正確に捉えるために、これまで詳細に分かっていなかった底面融雪量について熱流板の観測値から推定を行い積雪モデルに組み込んだ。また、算定された積雪重量と実際に観測された積雪重量とで多年度について比較を行うことで算定された底面融雪量の検証を行った。使用したデータは 00/01、01/02、03/04、04/05、05/06 年に、森林総合研究所十日町試験地において観測された、気温、風速、降水量、相対湿度、放射収支量、熱流板(深さ 0.02m)により観測された地中熱流量を用いた。解析には吉川(2006)による手法を参照して地表面熱収支式を用いており、十日町では気温 0 近辺で降雪が多くあることから、雪温を 0 と仮定したうえで、バルク式により顕熱、潜熱、雨からの伝達熱を計算し積雪表面の融雪熱フラックスとした。積雪内伝導熱については雪温 0 としたため考慮に入れなかった。積雪下面の熱収支式は、積雪内伝導熱は同様に考慮に入れず、観測された熱流量を全て底面融雪熱フラックスとし、図 1 に示した 03/04、04/05、05/06 年の熱流板の観測値から底面融雪量の回帰式を求め適用した。

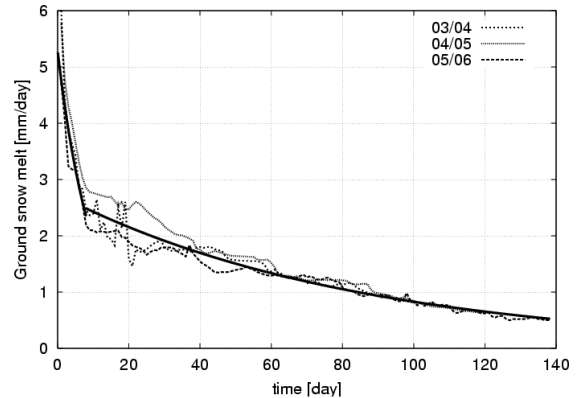


図 1 熱流板を用いて算定された底面融雪量。横軸は、根雪初日からの経過日数。

次に、積雪中の水分移動過程について、これまでに開発された積雪モデルの中で使用された水平方向に均一な水分移動過程を表現する手法である、山崎(1998)の最大含水率を定める方法や、Colbeck(1972,74,78)の不飽和流に基づいた方法により計算を行った場合の層構造と、実際の層構造とを比較した。その上で、過去の研究から水みちの形成過程を考察し、その効果を不飽和流に基づいた方法に加える事で不均一な流下過程を表現した。水みちが発生した場合には、浸透してきた水が水みちを通して流下するため、帯水層より下層への浸透量が小さくなる事や、積雪層の保持できる水の量が概ね決まっており、含水する積雪層の厚さは、浸透する水の量に依存する事から、水みちを考慮しない積雪モデルの場合、実際の積雪よりも水を含みすぎることとなり、水を含んだ層を大きく評価してしまう。よって、水みちが形成された場合には、水みちを通して流下する水と、均一に浸透する水とに分ける必要がある。また、水みちの形成を表現するには、帯水層の形成をモデル内において判断する必要がある。ここでは、帯水層を判断するために、ざらめ雪からしまり雪へ水が浸透する際に帯水層が形成されると考え、この浸透が発生した際に、その空隙含水率に対して閾値を設定し、閾値を超えた層が帯水層であるとした。また、閾値からの余剰分の水は、水みちに流入し急速に下方へと流下すると考え、時間ステップ中に積雪底面へと到達するものとした。この事で、均一に浸透する水の量と、不均一に浸透する水の量を便宜的に分けている。また、この閾値を設定するにあたって、含水した雪であるざら

め雪について、積雪深に対するざらめ雪の層の厚さの割合を示すざらめ率が、観測値と計算値とできるだけ一致するように含水率の閾値を決める事で、均一に浸透する水の量を決めるパラメタリゼーションを行い、実際の積雪の層構造および浸透の再現を行った。

結果と考察 熱流板から算定された底面融雪量は、竹内ら(2007)による紙テープを用いた観測結果と概ね一致し、また、観測重量より降雪量および雪面での融雪量を差し引くことで求めた吉川(2006)の値より、若干多い値となった。

図2に本モデルにより算定された積雪重量、積雪重量計による積雪重量、および断面観測による全層積雪水量を示した。算定された積雪重量は、00/01年、01/02年、05/06については良好な結果を得たが、03/04年、04/05年において、観測値と計算値とに大きな差異が算定された。しかし、この差を底面融雪量だけで解消した場合には、想定される底面融雪量の範囲を大きく外れており、そのため底面融雪熱フラックスの誤算定だけでは説明がつかない。一方で、これらの年においては降雨降雪の境界にあたる湿球温度 0~2 の間での降水量が、他の年に比べて3割程度多く発生していたことから、降雨降雪判定の誤認が主な要因に考えられる。

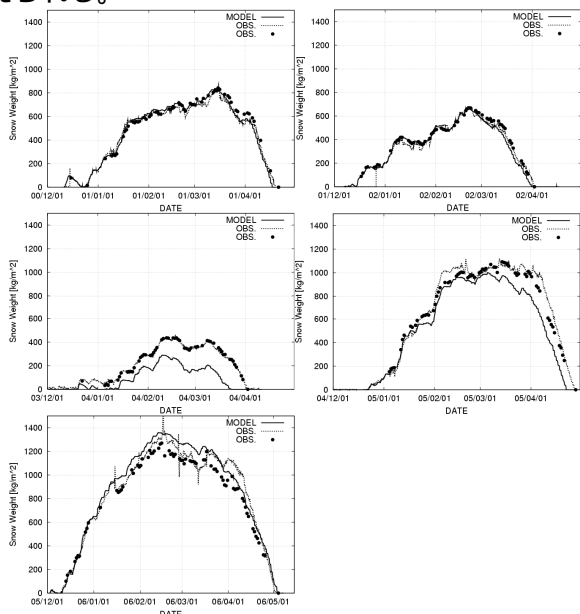


図2 積雪重量の観測値と計算値。実線は計算値、破線は積雪重量計による観測値、点は全層積雪水量の観測値。左上)00/01。右上)01/02。左中)03/04。右中)04/05。下)05/06。

また、図3に観測された層構造と、計算された層構造を示した。これまで用いられた、最大含水率を定める方法や、不飽和流に基づいた方法では、1月中旬に実際の断面観測では観測されていない、下層への過剰な水の浸透が計算された。また、そ

れに伴い全層がざらめ雪になる時期が非常に早くなり、実際の層構造を表現できなかった。これは、実際の積雪では水みちを通る浸透過程が発生していたが、計算においては、その水みちによる浸透を考慮に入れていなかったため、このような差異が生じたものと考えられる。一方で、水みちの過程を取り入れたときでは、積雪前期においては層構造を良く再現している。また、積雪後期においては、全層がざらめ雪となる時期がモデルでは早く、実際の層構造とは若干異なった。しかし、観測されたしまり雪の積雪層でも5~10%程度の含水率が観測されていることから、積雪層の含水の有無という点においては積雪期間を通して良好な結果を得たと考えた。

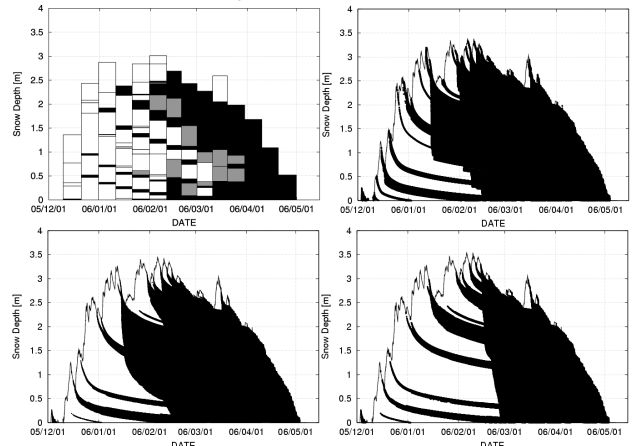


図3 層構造の時間変化。黒がざらめ雪、灰がしまりざらめ雪、白がしまり雪を示す。左上)実際に断面観測により観測された層構造。右上)最大含水率を用いる方法。左下)不飽和流を用いる方法。右下)水みちを考慮した方法。

まとめ 本研究では、積雪モデルに熱流板による底面融雪量および、水みちの過程を考慮した浸透過程を取り入れ以下の結果を得た。

- 熱流板の観測値から底面融雪量を推定し、他の研究結果と比較したところ、概ね妥当な値である事が分かった。また、積雪重量について積雪モデルで計算を行い、多年度について比較をおこなったところ、良好な結果を得たが年によっては、大きな差異が生じた。この年については、底面融雪量の誤算定よりも、降雨降雪判定の影響が大きい事が分かった。
- 均一な浸透を考慮しただけでは、多くの水が積雪下層へと浸透し、実際の積雪の層構造を表現できない事が分かった。
- 水みちの過程をパラメタリゼーションを行うことで、その効果を積雪モデルに取り入れ、不飽和流に基づいて計算を行ったところ、実際の積雪の層構造と比較して良好な結果を得た。