

流域内の積雪貯留量と地下水貯留量の相互影響評価

東北大学大学院工学研究科 学生会員 ○齋藤 優人
 東北大学大学院工学研究科 正会員 風間 聡
 東北大学大学院工学研究科 正会員 会田 俊介

1. はじめに

日本の山岳地域における水資源量を評価するためには、積雪貯留量と地下水貯留量の関係性を把握することが重要である。現在までに、日本の山岳地域における降水量と貯留量の間を評価する様々な水文モデルが開発されてきた。特に積雪貯留量に関する融雪に着目すると、総融雪量に対して割合の小さい底面融雪量に関する研究は少ないのが現状である。石井・佐藤(2012)の研究から、底面融雪には土壌浅層における地温勾配から求められる地中伝導熱が重要な役割を担っていることが明らかになった²⁾。しかしながら、土壌の地温勾配から求められる地中伝導熱は、積雪期間や土壌の地質及び地表面と地下水面との距離により変動することが考えられるものの、これらの条件が底面融雪量に与える影響を評価した研究はない。

本研究では、室内融雪実験による実験並びに実験結果を基に開発された移流拡散モデルによる解析から、底面融雪量の時期や地点及び地表面と地下水面との距離による違いを明らかにし、得られた底面融雪量に関する知見を分布型流出モデルに適用することにより、流域における積雪と地下水の相互影響を評価した。

2. 方法

2.1 対象流域

対象流域は秋田県北部に位置し主に八幡平を水源とする米代川流域である(図-1)。米代川流域は、東北地方において5番目に大きな面積を持つ。幹川流路延長136km、流域面積4100km²の一級河川である。

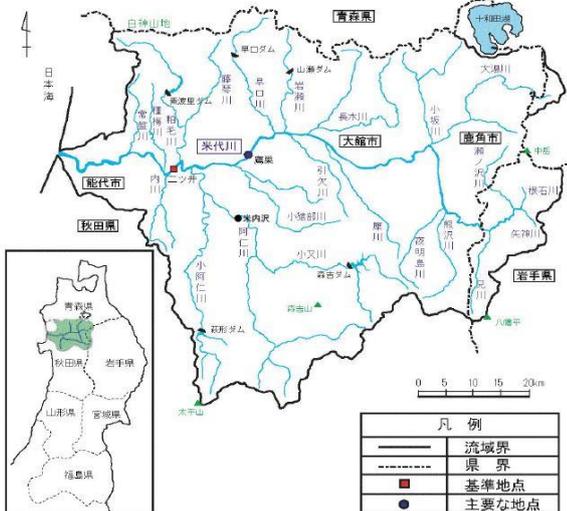


図-1 米代川水系流域図(国土交通省東北地方整備局より)

2.2 データセット

必要なデータセットは、移流拡散モデルにおいて深度別地温初期値、定常時深度別地温、上端下端時系列地温データであり、分布型流出モデルにおいて標高データ(国土数値情報より)、降水量データ・気温データ・風速データ・積雪深データ・気圧データ・湿度データ・日射量データ(地域気象観測 AMeDAS : Automated Meteorological Data Acquisition System より)、流出量データ(水文水質データベースより)、並びに気温データ・湿度データより求められる水蒸気圧データである。

2.3 使用するモデル

地中伝導熱並びに底面融雪量解析のために開発した一次元移流拡散モデルは以下に示す通りである。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -v \frac{\partial T}{\partial z} + k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (1)$$

ここで、 T は地温(K)、 t は時間(t)、 z は深さ方向への距離(m)、 v は浸透速度(m/s)、 k は熱拡散係数(m²/s)である。

分布型流出モデルはSWEモデルと流出モデルで構成される。SWEモデル内の融雪量計算に対して今回は、積雪層上面と下面の熱収支を計算する一次元多層積雪モデルTSMM (Tohoku Snow Model Multi)を適用する³⁾。

2.3.1 SWEモデル

SWEモデルは降雪モデルと融雪モデルから構成され以下の式で表わされる。

$$\frac{d}{dt}(SWE) = SF - SM \quad (2)$$

ここで、 SWE は積雪水量(mm)、 SF は降雪量(mm/h)、 SM は融雪量(mm/h)である。

1) 降雪モデル

降水形態は気温2°Cを境に降雪、降水を判別した。降水量は横山ら(2003)、標高による降雪量は近藤ら(1995)にならい補正を行い推定した。

2) 融雪モデル

融雪量はTSMMを参考に気温0°C以上の時以下の熱収支式右辺第一項、降雨融解熱量を第二項として推定し、底面融雪量は以下の式に基づいて計算を行った。

$$Q = ((1 - \alpha)S \pm L - H - IE) \times 3600 + Q_R$$

$$SM_b = a - 0.378 \log(b) \quad (3)$$

$$SM = Q / 333500 + SM_b / 24$$

キーワード 移流拡散, 地中伝導熱, 底面融雪

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL:022-795-7455

ここで、 Q は融雪に使われる熱量($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{h}$)、 a はアルベド、 S は短波放射量($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{s}$)、 L は長波放射量($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{s}$)、 H は顕熱輸送量($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{s}$)、 IE は潜熱輸送量($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{s}$)、 Q_R は降雨熱量($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{h}$)、 SM_b は底面融雪量(mm/day)、 a は土地利用ごとに底面融雪量を決定するパラメータ、 b は積雪からの経過時間数である。

3. 結果と考察

開発した移流拡散モデルを用いて、谷口(1985)による新潟県長岡市周辺の1982年11月から1年間分の実測地温の再現を行い⁴⁾、1982年12月~1983年3月の計算地温、地中伝導熱及び底面融雪量時系列変化を図-2に示す。図-2から地中伝導熱は、積雪開始直後において約 $14\sim 15\text{W}/\text{m}^2$ 、消雪前において約 $4\sim 5\text{W}/\text{m}^2$ であり、約 $4\text{W}/\text{m}^2$ が $1\text{mm}/\text{day}$ の底面融雪量に相当することから、積雪期間を通して約 $2\sim 3\text{mm}/\text{day}$ の底面融雪量の違いがあることが示された。また、移流拡散モデルによる一次元解析により融雪水は地下水位を上昇させ、上昇した地下水位は底面融雪量を増加させ更なる融雪を引き起こすことから、積雪と地下水の底面融雪量に関する相互的な影響が示唆された。

図-3は米代川流域の阿仁合の2015年11月~2016年3月における積雪と地下水の貯留高時系列変化図である。積雪貯留高は降雪に伴い増加し、地下への浸透量が減少するため地下水貯留高は徐々に減少している。一方、融雪により積雪貯留高の減少が起こると、浸透量が増加し地下水貯留高が増加する。また、2月以降の急激な地下水貯留高の上昇は、阿仁合が山岳域の谷部に

に位置しているため、融雪期に標高の高い地点からの融雪水及び浸透水の集水の影響を受けているものと考えられる。さらに、阿仁合における総貯留高は、無降雪期は地下水のみに依存し、積雪が始まると浸透量の減少から地下水貯留高が徐々に低下し積雪貯留高が卓越する。融雪期になると積雪貯留高は減少していくものの、浸透及び集水の影響を受けた地下水貯留高が増加し、積雪と地下水の割合が約50%ずつとなり、最も水資源量の多い時期になっていることが見て取れる。

図-4は米代川流域における2016年3月の積雪水量分布時系列変化図であり、積雪水量の時間経過に伴う減少が確認できる。図-4より融雪水及び浸透水が阿仁合を流れる阿仁川へと集水する、中央下部に位置する森吉山周辺においては、3月末も高い積雪水量が確認されることから、地下水貯留高は4月以降も高い値を維持し続けることが予想される。

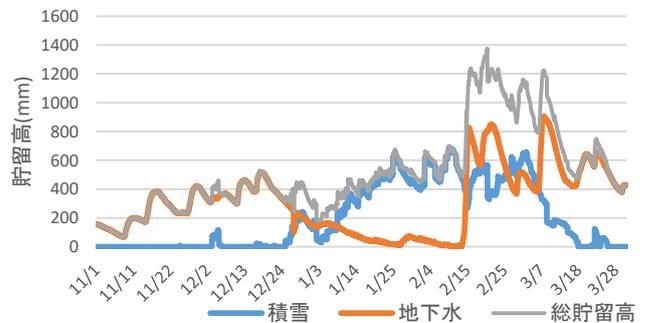


図-3 阿仁合における積雪貯留高と地下水貯留高時系列変化図(2015年11月~2016年3月)

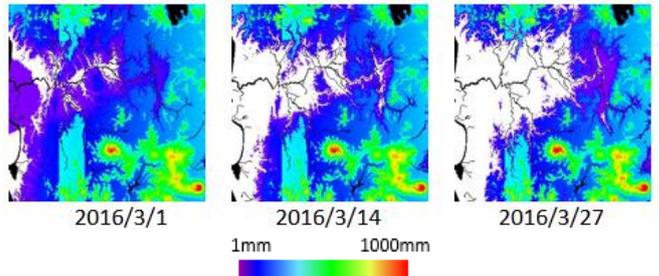


図-4 米代川流域における2016年3月積雪水量分布時系列変化図

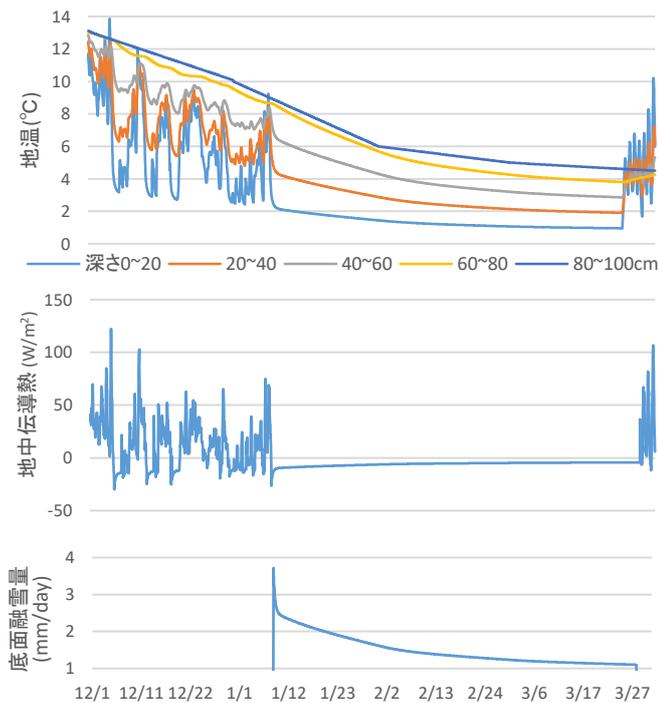


図-2 長岡市における地温、地中伝導熱、底面融雪量時系列変化グラフ(1982/12~1983/3)

謝辞:本研究は、東北地域づくり協会、三井共同建設コンサルタント株式会社の研究助成により実施された。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 菊池秀哉, 風間聡, 朝岡良浩: 流出解析による積雪と森林の貯留効果評価, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, p46, 2012.
- 2) 石井吉之, 佐藤大輔: 積雪底面融解量の場合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, No.75, pp.59-71, 2012.
- 3) Yamazaki, T.: A One-dimensional Land Surface Model Adaptable to Intensely Cold Regions and its Applications in Eastern Siberia, J. Meteorol. Soc. Japan, Vol. 79, pp.1107-1118. 2001.
- 4) 谷口真人: 長岡市周辺における地中温度形成に及ぼす積雪および融雪水浸透の影響, 地理学評論, Vol.58, No.6, pp.370-384, 1985.