熱収支式を用いた融雪モデルによる積雪及び地下水貯留量の推定

東北大学工学部 学生会員 〇坂元 宏司 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 峠 嘉哉

1 背景と目的

東北地方の日本海側は、有数の豪雪地帯である.降雨と降雪は山岳地帯の水資源として重要な役割を果たすが、下流地域の春季には深刻な洪水を引き起こすことがある.近年、日本の山岳地帯の降水量と貯水量の関係を評価するためにいくつかのモデルが開発されている.例えば、小杉 1)は、森林の土壌特性が雨水貯留量に与える影響を評価した.また、柏ら 2)は、SWE(積雪水当量)モデルと同化手法を用いて、山岳域の積雪深分布を推定した.しかし、積雪と地下水の両貯留量を検討した研究はほとんどない.以上により、本研究は、流域内の積雪と地下水貯留量の相互影響評価を行うことを目的とする.

2. 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). 米代川は、東北地方で 5 番目に大きな流域面積を持つ、幹川流路延長 136km、流域面積 4100km²の一級河川である. 米代川は北部の秋田県及び青森県境にまたがる白神山地、東部の東北地方中央部を南北に縦断する奥羽山脈、南部の出羽山地及び太平山地に囲まれており、下流域にはいくつかの盆地が形成されている.

3. 使用モデル

本研究における水文モデルは積雪・融雪モデルと流出モデルで構成される.

3.1 積雪モデル

本研究では、柏ら ²⁾と同様に積雪深を推定した. SWE モデルおよび全層積雪密度推定モデルを用い、また、積 雪水当量を過小評価した場合には同化手法を用いた. 積 雪水当量の時間変化は以下の式で表わされる.

$$\frac{d}{dt}(SWE) = SF - SM \tag{1}$$

ここで、SWE は積雪水当量(mm/h)、SF は降雪量(mm/h)、SM は融雪量(mm/h)である。降水形態は気温 2^{\circ} \circ 以下を降雪、2^{\circ} \circ より高い場合を降雨とした。



図-1 米代川流域地図

3.2 融雪モデル

融雪量は表面融雪量を熱収支式、底面融雪量 SM_b は齋藤ら 3 にならい計算を行った.

$$Q_M = (1 - ref)S^{\downarrow} \pm L - H - lE + Q_R \tag{2}$$

$$SM_b = a - 0.378 \log_{10}(b) \tag{3}$$

$$SM = Q_M/l_F + SM_b/24 \tag{4}$$

ここで、 Q_M は表面融雪に使われる熱量(MW/m^2)、refは アルベド、 S^1 は短波放射量(MW/m^2)、Lは長波放射量(MW/m^2)、H は顕熱輸送量(MW/m^2)、IE は潜熱輸送量(MW/m^2)、 Q_R は降雨熱量(MW/m^2)である。また、 Q_R は水の融解潜熱($=3.35 \times 10^5 \ MW/kg$)である。

3.3 流出モデル

本研究では、流出モデルを地表面と河道部において連続の式と Manning の式、地中については貯留関数法に基づいて推定した.

1) 連続の式および Manning の式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \left(R + SM - R_{in} - E_p\right)B \tag{5}$$

$$Q = -\frac{1}{n}Bh^{5/3}I^{1/2} \tag{6}$$

2) 貯留関数法

$$\frac{\partial s}{\partial t} = R_{in} - q_b \tag{7}$$

$$s = kq_h^p \tag{8}$$

ここで、Aは流水断面積(\mathbf{m}^2)、Bはメッシュ幅(\mathbf{m})、Qは流出流量(\mathbf{m}^3 /s)、tは時間(\mathbf{s})、xは流下方向の距離(\mathbf{m})、Rは降雨量(\mathbf{m} /s)、 R_{in} は浸透量(\mathbf{m} /s)、 E_p は日平均蒸発散能(\mathbf{m} /s)、sは見かけの貯留高(\mathbf{m})、 q_b は基底流の流出速度(\mathbf{m} /s)、k,pはモデル定数(k=120.0,p=0.5)である.

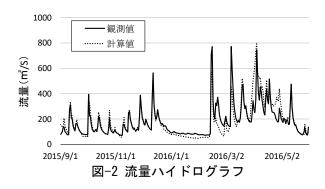
4. 入力条件

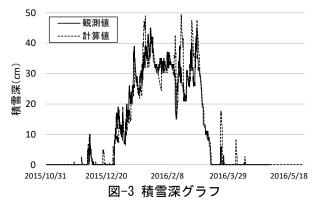
水文モデル計算において必要となるデータセットとして、国土数値情報より標高・集水域、地域気象観測 AMeDAS より降水量・気温・風速・積雪深・気圧・日射量、国立天文台天文情報センターより可照時間、水文水質データベースより流出量データを取得した。なお、水蒸気圧分布は、秋田 AMeDAS 観測所における気温と水蒸気圧の相関関係を用いて推定した。

5. 結果と考察

2015年9月~2016年5月の米代川流域西部に位置する 二ツ井流量観測所における流量ハイドログラフを図-2 に、秋田県北東部に位置する鹿角 AMeDAS 観測所における積雪深グラフを図-3 示す. 観測値と計算値の誤差の 指標としてナッシュ・サトクリフ効率係数(NS)を用いた ところ、流量では NS=0.70、積雪深では NS=0.93 と、流 量推定と積雪深推定の両方において、比較的高い再現性 を得た. 観測流量と計算流量の誤差は主に融雪期から消 雪期にかけて大きい結果となった. モデル計算において、 積雪水当量の同化を過小評価のときにのみ行っていた ため、2 月下旬に積雪深を過大評価した影響と考えられる.

計算期間における米代川水系全体の積雪と地下水の 貯留高年間変動を図-4に示す. 流域における貯留量の特 徴として,地下水よりも積雪による貯留が卓越している ことが分かった. 流域内の積雪貯留量は 11 月から増え 始め,3 月頃から減少した. 地下水貯留量は,積雪貯留 量の増減とは対照的に,11 月から減り始め,3 月頃から 増加した. また,地下水貯留量は春先に最大値を取り, 冬の最も低い値と比べて,貯留高が2200m増えることが 推定された.





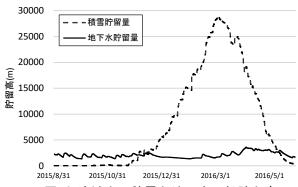


図-4 流域内の積雪と地下水の総貯留高

謝辞:本研究は、気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT)の支援により実施された.また、科学研究費補助金(16H02363、代表:風間聡)の助成を受けたものである.加えて、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援助を受けた.ここに謝意を表する.

参考文献

- 小杉賢一朗,森林土壌の雨水貯留能を評価するため の新たな指標の検討,日本林学会誌,81,226-235, 1999.
- 柏俊輔,朝岡良浩,風間聡:積雪深データ同化による融雪出水解析,水工学論文集,第 55 巻,pp.403-408.2011.
- 3) 齋藤優人,風間聡: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修士論文,2017. (未刊行)