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	○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¹¹は,森林の土壤特性が雨水貯留量に与える 影響を評価した.また,柏ら²⁰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), *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℃以下を降 雪, 2℃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/m²)、refは アルベド、 S^1 は短波放射量(MW/m²)、Lは長波放射量 (MW/m²)、H は顕熱輸送量(MW/m²)、lE は潜熱輸送量 (MW/m²)、 Q_R は降雨熱量(MW/m²)である. また、 l_F は氷の 融解潜熱(=3.35 × 10⁵ 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

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

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

2) 貯留関数法

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

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

ここで、Aは流水断面積(m²)、Bはメッシュ幅(m)、Qは流 出流量(m³/s)、tは時間(s)、xは流下方向の距離(m)、Rは 降雨量(m/s)、 R_{in} は浸透量(m/s)、 E_p は日平均蒸発散能 (m/s)、sは見かけの貯留高(m)、 q_b は基底流の流出速度 (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 ニ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.



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.

- 2) 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)