

積雪流域において気温上昇が流量へ及ぼす影響に関する研究

中央大学 学生会員 ○大石 裕泰
中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

日本の水資源を考える上で、灌漑期の大きな水需要は、積雪が多い流域の融雪流出に大きく依存している。しかし近年は地球温暖化とそれに伴う気候変動の影響により、世界的な気温の上昇や降水量の二極化が進行すると考えられており、それらによる流域水資源への影響が懸念されている。本研究では対象流域を選定し、その流域において整合性のある流出モデルを検討するために長期流出解析を行った。さらに、インプットデータである気温を上昇をさせた場合の流量を計算し、特に水需要の高まる灌漑期の水資源への影響を評価をした。

2. 対象流域

対象流域は利根川流域の最北端に位置する矢木沢ダム流域(流域面積:167.4km²)とした。選定理由は下記の3つである。1)矢木沢ダムを有する利根川流域は利水人口が約2750万人¹⁾と日本最多で、流域水資源の重要性が高く、矢木沢ダムの有効貯水量は利根川流域全ダムの38%に相当し、利根川流域のダムの中で最も大きい。2)矢木沢ダム流域が含まれる利根川では1972年から2016年の間に渇水が起きた年数が15回と、約3年に1回のペースで渇水が多発している。3)矢木沢ダム流域は標高800mから1900mの山岳地域で、積雪量が大きく融雪量の変化による流量への影響が大きいと考えられる。

3. 流出解析手法と計算結果

3-1. 融雪量

融雪量の推定にはDegree法を用いた。Degree法は積算気温とそれにかかる係数のみから融雪量を推定することができる簡易的なモデルであり、本研究では時間単位に適応させることによってDegree-hour法とし、さらに融雪流量は流域内総水量に比例するようにした。²⁾(1)に式を示す。

$$Q_{melt}(t) = a \times SW(t) \times \Sigma T(t) \quad (1)$$

ここに、 Q_{melt} :融雪流量[m³/s]、 a :融雪係数[1/hour・°C]、 SW :積雪水量[m³]、 ΣT :積算気温[°C・hour]である。ダム流入量のうちの融雪量のみの観測値は知ることができないため計算値と観測値を比較することができない。そのため、モデルのもう1つのアウトプットとして得られる積雪深の計算値と観測値を比較することで再現性の確認をした。積雪深の推定には式(1)から(5)を連立して計算をした。

$$\frac{dh}{dt} = \frac{dh_{snow}}{dt} + \frac{dh_{melt}}{dt} + \frac{dh_{compression}}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{dh_{snow}}{dt} = r(t) \times \frac{\rho_w}{\rho_n} \quad (T(t) < T_{snow} \text{のみ}) \quad (3)$$

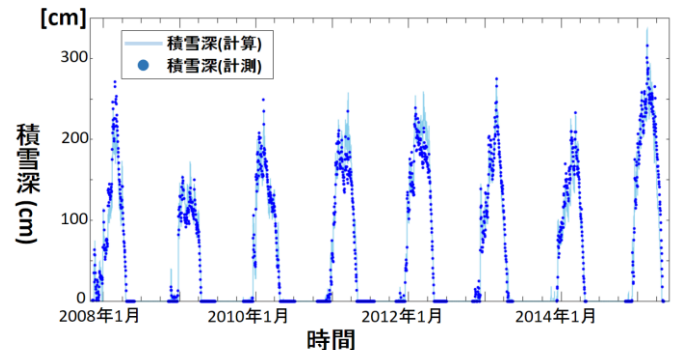


図-1 積雪深の再現計算

$$\frac{dh_{melt}}{dt} = -\frac{Q(t)_{melt}}{A} \frac{\rho_w}{\rho_n} \quad (T(t) > T_{melt} \text{のみ}) \quad (4)$$

$$\frac{dh_{comp}}{dt} = -h(t) \times \frac{\sigma(t)}{\eta} = -h(t) \times \frac{1}{\rho(t)} \frac{d\rho(t)}{dt} \quad (5)$$

ここに、 h :積雪深[cm]、 t :時間[hour]、 Q_{melt} :融雪流量[m³/s]、 A :流域面積[km²]、 ρ_w :水の密度[kg/m³]、 ρ_n :新雪密度[kg/m³]、 r :時間降水量[mm]、 σ :雪の自重による応力[Pa]、 η :粘性係数、 ρ :積雪密度[kg/m³]。 h_{snow} が新雪による変化積雪深、 h_{melt} が融雪による変化積雪深、 $h_{compression}$ が粘性圧縮による変化積雪深を表している。粘性圧縮の項は小島の研究に倣った³⁾。計算期間は2007年11月1日から2015年10月31日までの8年間である。インプットデータの地上気温 T 、降水量 r は共に矢木沢ダム地点で観測されたデータである。計算結果と比較する積雪深 h の観測値も矢木沢ダム地点で観測されたデータである。8年間分の計算結果を図-1に示す。降水量と気温のみを用いて、積雪開始から積雪期、消雪日までにおいて良好な再現ができていたことが分かる。なお、時間に依存しない定数であるパラメータは計算期間において全て同じ値を使用した。

3-2. 総流入量

3-1で推定した融雪量 Q_{melt} と降水量をインプットしてダムへの総流入量を推定するモデルとしてタンクモデルを用いた。設定したタンクは、インプットが雨量のみの3段3層のタンクと、インプットが融雪流量のみの1段1層のタンクを組み合わせた。設定したタンク概念図及び式を図-2に示す。ここに、 $rain$:時間雨量[mm]、 Q_{melt} :融雪量[m³/s]、 kn :浸透係数、 T :気温[°C]である。計算期間、インプットデータの観測地点、観測値の観測地点は3-1の融雪量解析と同じである。図-3には8年間分の計算を4年ずつに分けた計算結果を示す。長期流出解析の結果、積雪期、融雪期、雨季の

キーワード 積雪流域、長期流出解析、Degree法、温暖化、流域水資源

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部 TEL03-3817-1807

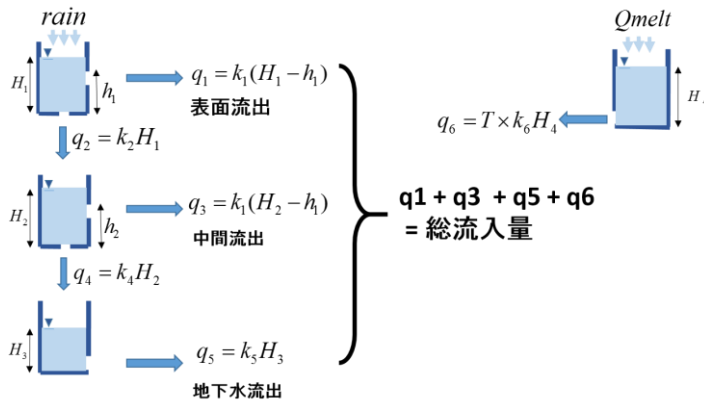
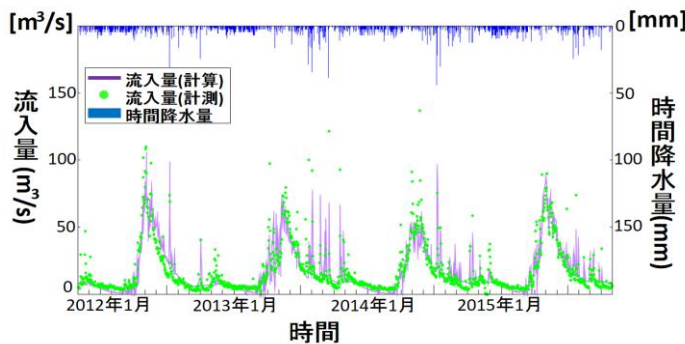
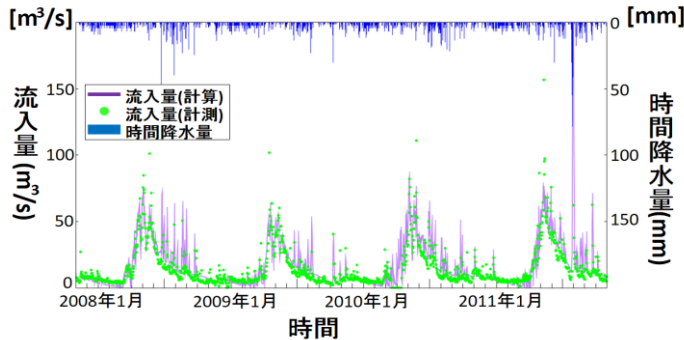


図-2 解析に用いたモデルの概念図

図-3 総流入量の再現計算
(上図が 2008-2011, 下図が 2012-2015)

出水時のいずれにおいても概ね良好な再現性が得られたことが分かる。パラメータである浸透係数は全計算期間において同じ値を使用した。

4. 気温上昇を与えた結果と考察

3.において整合性が確認できた流出モデルにおいて気温上昇を与えて各時期に変化する流入量を計算した。最大積雪深が平年より低い2009年(1.4倍)と平年より高い2015年(0.7倍)の計算結果を、2005年における利根川流域の代掻き最盛期⁴⁾と共に図-4に示す。いずれも積雪期から4月後半にかけて流入量が増加、4月後半から7月にかけて流入量が減少する結果が得られた。農業により水需要が高まる5月以降の流入量が減少することは渇水への危険性が高まることを意味している。なお、他の年においてもここで示したものと同様な結果が得られた。さらに、水需要が高まる5月と6月⁵⁾に着目し、この2ヶ月間にダムへ流入する水量の減少量と温度の関係を図-5に示す。IPCC第五次報告書のRCP8.5シナリオにおいて2100年までに世界平均で3.7℃上昇すると推測されており、その場合計算結果が

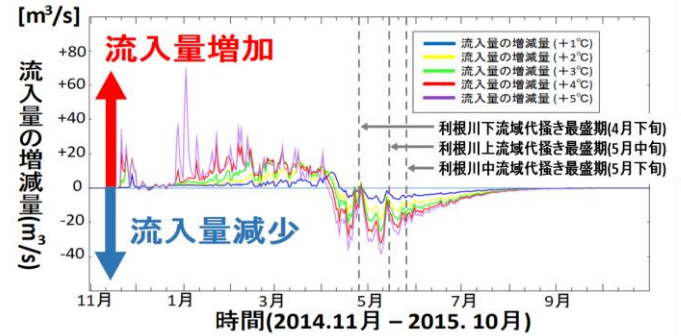
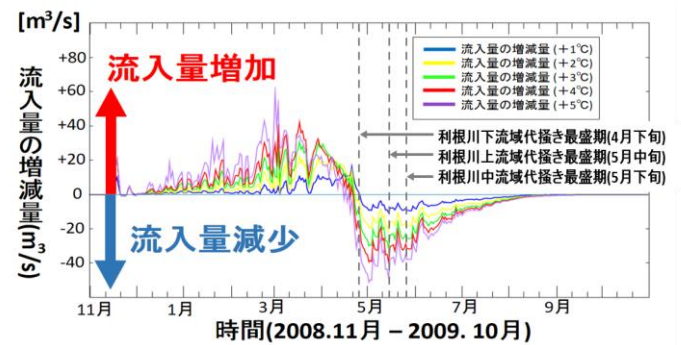
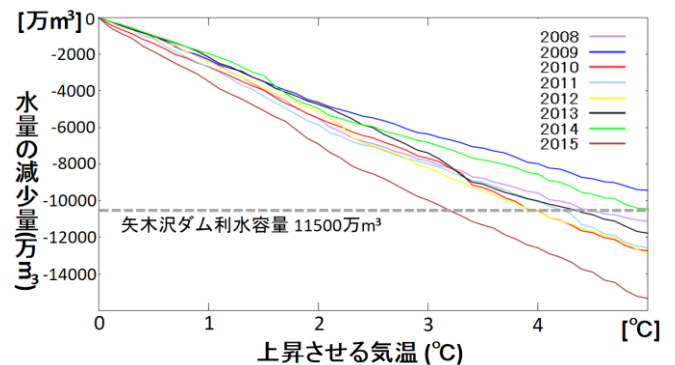
図-4 気温上昇を与えた場合に变化する流入量
(上図が 2008.11-2009.10, 下図が 2014.11-2015.10)

図-5 気温上昇を与えた場合に5、6月に減少する水量

ら5～6月の2ヶ月間で減少する水量の和は7000～11000m³(矢木沢ダム利水容量11500m³に対し60～95%の量)であると想定されることが分かった。

5. まとめ

積雪流域である矢木沢ダムにおいて流入量を再現する計算を行い、整合性のある概念モデルで気温上昇を与えた結果の流入量の変化を示した。計算結果より、積雪期から4月後半では流入量が増加、4月後半から7月では減少することが分かり、水需要が高まる時期で流入量が減少することから渇水リスクが高まる可能性を示した。また、水需要が高まる5～6月に減少する水量の和の具体的な数値も示した。

参考文献

- 1) 利根川水系河川整備基本方針, 国土交通省, 2005
- 2) 水文流出解析, 日野幹雄 長谷部正彦, 森北出版
- 3) 小島賢治: 積雪層の粘性圧縮, 低温科学物理編, 16, pp. 167-196, 1957.
- 4) 利根川流域 地域ごとの代掻き最盛期の変化, 関東農政局 HP.