

三国川ダム上流域を対象にした補正した解析雨量による融雪流出計算

長岡工業高等専門学校 非会員 滝澤一輝
長岡工業高等専門学校 正会員 山本隆広

1. はじめに

豪雪地帯において、春先の融雪流出は良質な水資源となる反面、洪水被害の原因にもなる。そのため、融雪流出を精度良く予測することは利水面、防災面で重要となる。しかしながら、融雪流出解析にはさまざまな不確実性があり、その一つとして特に山岳域の降雪の時空間分布が明らかになっていない。山岳域の降雪の時空間分布を知ることができれば、融雪流出計算の中で行う降雪量の補正で標高を補正するパラメータを排除することができ、融雪流出計算の精度を高めることができると考えられる。そこで本研究では、気象庁の解析雨量をさらに地上降水で独自に補正することによって、三国川ダム上流域における降雪の高精度な時空間分布を作成することを試みた。そして、作成した降雪の時空間分布を用いて行った融雪流出計算の結果と、作成した降雪の時空間分布を用いずに行った融雪流出計算の結果を比較することによって、融雪流出計算における解析雨量の有効性を示すことを目指した。

2. 対象流域と使用データ

本研究の対象流域は三国川ダム上流域であり、流域面積は76.2 km²である。この地域は毎年3 mから4 mの積雪が記録される山岳域で日本屈指の豪雪地帯である。流域と観測所を図1に示した。流域は灰色で色づけされている部分である。本研究では、国土交通省が管理する地上降水、気象庁が管理する地上降水、気温、及び日照時間の毎正時データ。さらに気象庁が管理する解析雨量を使用する。解析雨量の解像度は1 kmであり、30分ごとの降水データを1時間ごとの降水データに変換して使用する。本研究の解析期間は2006年11月1日から2011年10月31日までの5年間であり、11月1日から10月31日を1水文年とした。分布型水文モデルに入力するデータは、降水量、気温及び日照時間であり、降水量は、国土交通省が管理する内膳落合と三国川ダム観測所の地上降水データ、気象庁が管理する湯沢と小出観測所の地上降水データ、対象流域の解析雨量データを使用し、気温及び日照時間は湯沢、小出観測所のデータを使用した。また解析雨量を独自に補正する際に、図1に示される11地点の観測所の地上降水データを使用した。

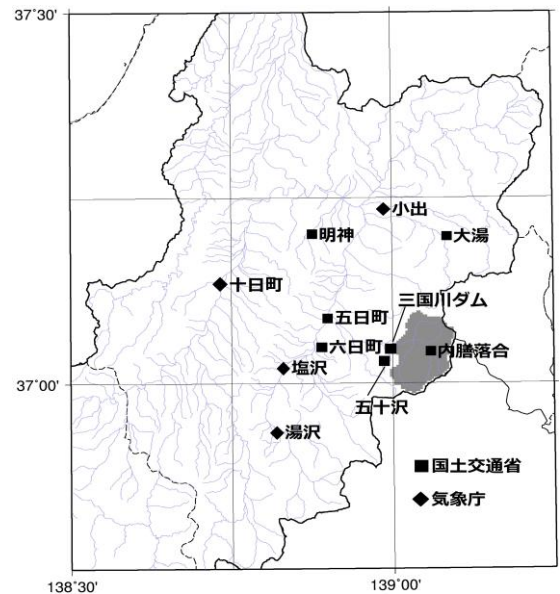


図1 流域と気象庁及び国土交通省の観測所

3. 解析手法

(1) 分布型水文モデルの概要

本研究で用いた分布型水文モデルは、星野ら¹⁾が、陸らの分布型水文モデリングシステムを用いて構築したものである。このモデルは、対象流域を約250mの空間解像度のグリッドに分割し、グリッドごとに流出量や蒸発量を計算する。降雨流出モデルには流出3成分を考慮した新安江モデル、蒸発モデルにはマッキンク法、河川水の河道追跡モデルには kinematic wave 法が用いられている。融雪モデルは Degree hour 法を、積

雪底面の融雪量は一定値（本研究では 2 mm/day）を使用した。雨雪判別は 2 °C を閾値に 2 °C より高ければ降雨，2 °C 以下であれば降雪と判断している。

(2) 解析雨量を用いない流出計算

分布型水文モデルの各グリッドでの降水量は，最近隣法を用いて各観測所の地上降水データから得た。降雪を降水量計で観測する際には風による捕捉損失が生じることから，捕捉率補正をする必要がある。また標高差によって降雪量に差が生じることから，標高補正をする必要がある。よって地上降水を用いた流出計算では，モデルにおいて(1)式で降雪量の補正を行った。

$$P_s = A[1 + B(H_{grid} - H_{gauge})]P_{gauge} \quad (1)$$

ここで， P_s は補正後の降雪量， P_{gauge} は一番近い観測所の降水量， H_{grid} はグリッドの標高， H_{gauge} は一番近い観測所の標高である。また， A は捕捉率補正係数， B は標高補正係数である。

ここで，各水文年においてダム流入量の再現性が最も高くなる降雪量の補正係数 A と B の組み合わせを探索する。そのために， B は，0 から 0.01 まで 0.0005 の刻み幅を与え， A は， B が 0 から 0.0035 までの場合は 1.0 から 3.5， B が 0.0040 から 0.01 までの場合は 1.0 から 2.0 まで 0.1 の刻み幅を与えた。1991 年 11 月 1 日 1 時から 1996 年 11 月 1 日 0 時までをシミュレーションの助走期間として，2016 年 11 月 1 日 0 時までシミュレーションを行った。分布型水文モデルの状態変量である土壌水分量・重力水量・表面流出量・中間流出量・地下流出量・河川流出量の初期値を 0 とした。助走期間を 5 年としたのは，事前実験において地下水量などが安定するのに 5 年程度要したからである。また，各水文年で得られたダム流入量の再現性が最も高くなる降雪量の補正係数 A と B を用いて行った流出計算の結果を，それぞれの水文年のダム流入量とした。

(3) 解析雨量を用いた流出計算

分布型水文モデルのグリッドに解析雨量のグリッドを当てはめることによって，分布型水文モデルの各グリッドでの降水量を得た。解析雨量は降水の空間分布情報を含んでいることから，降雪量の補正において(1)式の B (標高補正係数)を排除することができる。よって，モデルにおいて式(2)で降雪量の補正を行った。

$$P_s = AP_{grid} \quad (2)$$

ここで， P_s は補正後の降雪量， P_{grid} はグリッドの降水量， A は風速による捕捉率補正係数である。2006 から 2010 水文年の 11 月から 4 月の三国川ダム観測所の地上降水と解析雨量を比較したものを図 2 に示した。この図より，解析雨量は地上降水と比べて過小評価されていることから，2006 から 2010 水文年の 11 月から 4 月の期間では式(2)で補正後の降雪量を計算する際に各グリッドの解析雨量を補正する必要があると考えた。図 1 に示される 11 地点において，月ごとに解析雨量を補正する係数 r (以下，雨量係数 r と言う)を以下の式(3)で計算した。

$$r = \sum_{i=1}^n P_{gauge} / \sum_{i=1}^n P_{radar} \quad (3)$$

ここで， P_{gauge} は地上降水での降水量， P_{radar} は解析雨量での降水量， n は地上降水と解析雨量のデータ個数である。求めた 11 地点の雨量係数 r を用いて，逆距離加重法により，各グリッド，各月の雨量係数 r を計算した。そして雨量係数 r と各グリッドの解析雨量を掛け合わせるによって，補正された解析雨量を算出した。

以上より得られた補正された解析雨量を式(2)の P_{grid} で使用し，降雪量の補正を行った。ここで，各水文年においてダム流入量の再現性が最も高くなる降雪量の補正係数 A を探索する。そのために，1.0 から 3.3 まで 0.1 の刻み幅を与えた。2001 年 11 月 1 日 1 時から 2006 年 11 月 1 日 0 時までをシミュレーションの助走期間

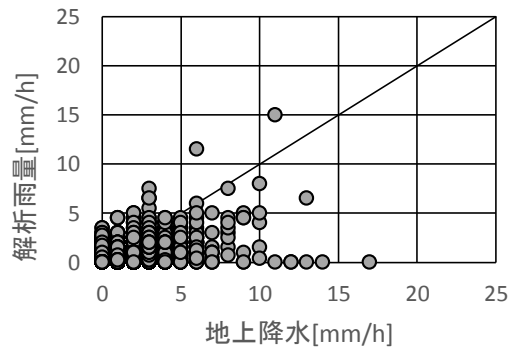


図 2 三国川ダム観測所における地上降水と解析雨量の比較

として、2011年11月1日0時までシミュレーションを行った。また、解析雨量の補正を行っていない期間は解析雨量を用いない流出計算と同様に地上降水を用いてシミュレーションを行い、そのときの降雪量の補正係数Aは式(2)のAと同様にし、Bは0.0030に固定した。各水文年で得られたダム流入量の再現性が最も高くなる降雪量の補正係数Aを用いて行った流出計算の結果を、それぞれの水文年のダム流入量とした。

(4) 計算結果の評価

計算結果の再現性の評価については計算ダム流入量と観測ダム流入量を用いて行うこととし、その評価には(4)式に示す Nash 効率係数を用いた。

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Q_{sim}(i) - Q_{obs}(i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Q_{obs}(i) - \overline{Q_{obs}}]^2} \quad (4)$$

ここで、Eは Nash 効率係数、 Q_{sim} は計算ダム流入量、 Q_{obs} は観測ダム流入量、 $\overline{Q_{obs}}$ は観測ダム流入量の平均、nは再現性を検証する期間のデータ個数である。Nash 効率係数は一般的に0.7以上ならば河川流量の再現性が良好とされる。また、1時間ごとのダム流入量を日平均ダム流入量に変換してEの値の計算を行った。

4. 解析結果および考察

以下に解析雨量を用いない場合、解析雨量を用いた場合の各水文年の流出計算で用いたA及びBの値、各水文年で算出された Nash 効率係数、年降水量を示す。また、解析雨量を用いた場合の Nash 効率係数が最も低かった2008水文年のハイドログラフを示す。

表1 用いたデータの違うそれぞれの解析での Nash 効率係数と年降水量

水文年	用いた補正係数A, B		Nash 効率係数		年降雪量[mm]	
	解析雨量を用いない場合	解析雨量を用いた場合	解析雨量を用いない場合	解析雨量を用いた場合	解析雨量を用いない場合	解析雨量を用いた場合
2006	1.0, 0.0050	2.8	0.83	0.52	2521	1907
2007	1.0, 0.0060	2.7	0.88	0.70	2937	2950
2008	1.0, 0.0045	3.1	0.83	0.48	2601	2456
2009	1.0, 0.0050	2.5	0.82	0.59	2890	2574
2010	1.2, 0.0020	2.9	0.94	0.90	3275	2987
平均	1.04, 0.0045	2.8	0.86	0.64	2845	2575

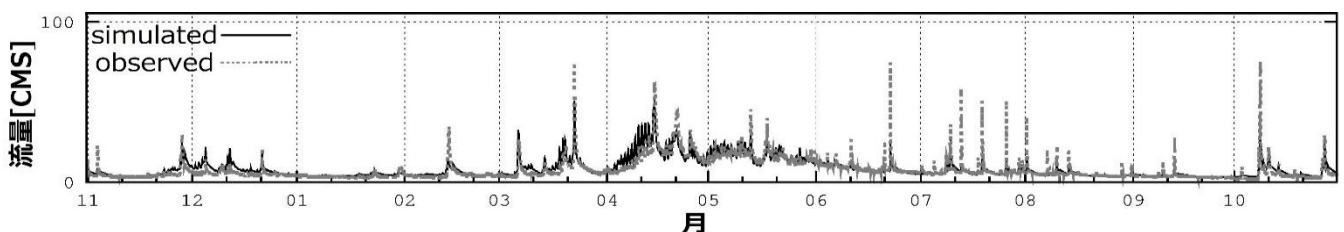


図3 2008水文年のハイドログラフ(解析雨量を用いない場合)

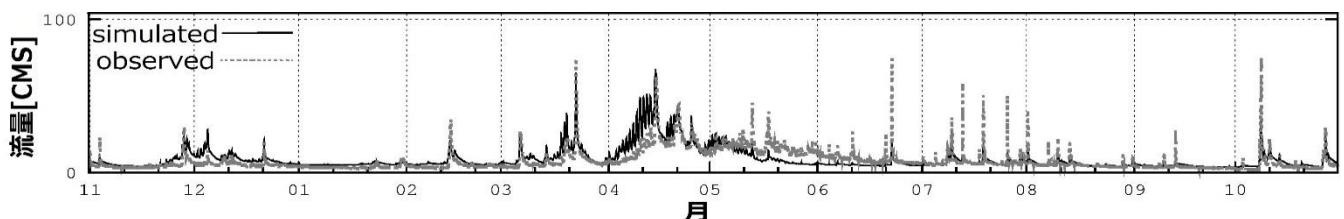


図4 2008水文年のハイドログラフ(解析雨量を用いた場合)

まず、解析雨量を用いない場合、解析雨量を用いた場合のそれぞれの捕捉率補正係数 A をみる。解析雨量を用いない場合の平均値は1.04であることに對し、解析雨量を用いた場合の平均値は2.8となっている。降雪を降水量計で観測する際には風による捕捉損失が生じることから、 A の値が1.04となることは物理的にあり得ない。また降水量計の種類によっても異なるが、一般的な A の値から評価すると2.8という値は高すぎると考えられる。このことから、解析雨量を用いない場合、解析雨量を用いた場合の両方の解析で物理的に、一般的に正しい A の値が用いられていないといえる。次に、解析雨量を用いない場合、解析雨量を用いた場合のそれぞれのNash効率係数をみる。解析雨量を用いない場合はいずれの水文年でも0.7を大きく上回っているが、解析雨量を用いた場合は2006、2008、および2009水文年で0.7を下回っている。

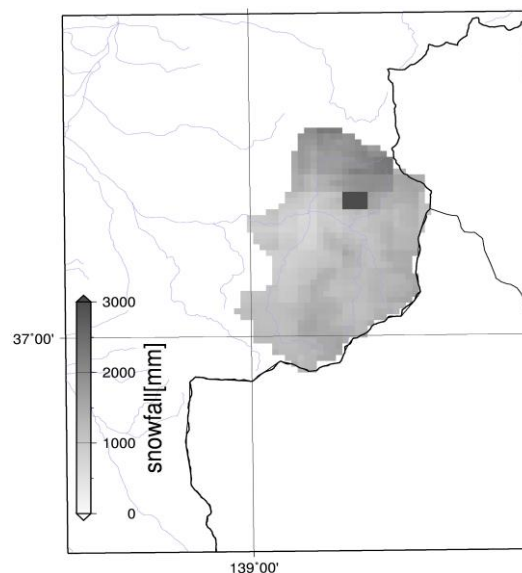


図5 2006水文年の総降雪量

また平均値を見ても、解析雨量を用いない場合は0.7を上回っているのに対し、解析雨量を用いた場合は0.7を下回っている。このことから、解析雨量を用いない場合の方が精度が良い解析を行うことができたといえる。解析雨量を用いた場合の解析でNash効率係数が低かった理由として考えられることは、表1、図3、及び図4を見ると分かるように降雪量が過小評価されていることや河川流出が早まっていることである。図5に解析雨量を用いた場合の解析での2006水文年の総降雪量の空間分布を示した。この図より降雪量が過小評価されているのは、流域の一部で降雪量が異常に少なかったからではなく、流域を通して全体的に降雪量が過小評価されていたからだといえる。また、全体的に降雪量が過小評価されたことと河川流出が早まっていることの原因は、解析雨量を観測する際にレーダーが積乱雲などによって遮られそれ以降の地域の降雪をうまく観測できていなかったり、日融雪量等の分布型水文モデルの各種パラメータ設定が適切ではなかったからだと考えられる。今回の解析雨量を用いない場合、解析雨量を用いた場合の両方の解析でのパラメータは同じ値であるが、その値は解析雨量を用いない場合の解析でダム流入量の再現性が高くなるように決定されている。つまり、解析雨量を用いた場合の解析には適切ではなかった可能性が高い。このことから、解析雨量を用いた場合の解析で適切なパラメータを使用することができれば解析の精度が向上すると考えられる。また、パラメータを変更することで捕捉率補正係数 A の値も変化し、物理的、一般的に正しい A の値を使用して解析を行うことができる可能性がある。

5. まとめ

本研究では、新潟県の三国川ダム上流域を対象として融雪流出計算を行った。また融雪流出計算を行う際に、解析雨量を用いない場合と解析雨量を用いる場合に分け、それぞれの比較をした。その結果、解析雨量を用いない場合のダム流入量の方が高い再現性を示した。解析雨量を用いた場合の解析でのダム流出量の再現性が低かった原因としては、降雪量が過小評価されていることや分布型水文モデルの各種パラメータが適切ではなかったことが考えられた。今後は、降雪量の補正をさらに行うこと、解析雨量を用いた場合の解析に合うパラメータを探索することで、ダム流入量の再現性の向上を目指す。

6. 参考文献

- 1) 星野大雅・平沢勇之助・戸倉駿人・山本隆広：非超過確率を用いた新たな洪水氾濫リスク指標開発のための基礎的研究，土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集，Vol.32，pp.88-91.