

ダム管理を含む上下流一貫の 分布型融雪流出モデルの研究

UPSTREAM AND DOWNSTREAM CONSISTENT DISTRIBUTED SNOWMELT RUNOFF MODEL INCLUDING RESERVOIR REGULATION

宮下文夫¹・陸 旻皎²・佐藤健太³・早川典生⁴

Fumio MIYASHITA, Minjiao LU, Kenta SATOU and Norio HAYAKAWA

¹正会員 (社) 北陸建設弘済会企画広報部 (〒 950-0197 新潟市亀田工業団地 2-3-4)

²正会員 工博 長岡技術科学大学助教授 環境・建設系 (〒 940-2188 長岡市上富岡町 1603-1)

³非会員 工修 ユニオンツール (株) システム開発課 (〒 940-1104 長岡市摂田屋町字外川 2706-6)

⁴フェロー会員 Ph. D. 長岡技術科学大学名誉教授 (〒 940-2124 長岡市希望ヶ丘 1-158-236)

The purpose of this study is to develop a upstream and downstream consistent distributed snowmelt runoff model including reservoir regulation, and carry out runoff analysis in the Sagurikawa River basin, which includes a reservoir. It aims at realizing reservoir operation in consideration of the action of the water in a basin, and grasping the amount of water resources of study basin by using the upstream and downstream consistent distributed snowmelt runoff model including reservoir regulation. The delineation of channel network used by the distributed hydrological model was created, and the upstream and downstream consistent distributed snowmelt runoff model includes reservoir regulation was developed. In this model, since the whole basin can be taken into account, it is possible to take various dam managements into consideration.

Key Words : water resources, distributed snowmelt runoff model, reservoir regulation

1. はじめに

日本国内には約3,000を超えるダムがある。その設置目的は上水道水、工業用水、発電、あるいは洪水調節など多目的であるが、その管理は安全かつ適切に行われなければならない。ダム管理は時代の変遷にともない洪水や利水・環境に対して多様なニーズが要求される傾向にある。こうした要求に対処するためには、学術的に裏付けられた洪水予測手法を導く必要があるが、現状では過去の経験に基づいた対応がなされている。より合理的に問題に対処するためには、流出モデルを利用することが必要である。また、雪は重要な水資源となっているが、その反面、融雪出水などによる被害発生の一因にもなっている。このような雪の有効利用・融雪出水の予測は非常に重要な課題と考えられる。しかし、豪雪地帯や山岳地域の降雪・積雪特性を把握することは非常に困難なことである。したがってモデルによる再現・予測及び水資源量の把握をする必要がある。

本研究は、豪雪地帯に位置する三国川流域を対象に水資源量を推定し、ダム操作モデルを組み込んだ分布型融雪流出モデルの基礎を構築することを目的とした。

2. 流域概要

三国川流域は新潟県魚沼地方の、流域面積 140.1km²、標高 1,500m～2,000m級の越後山脈を水源に、幹川流路延長 23.3kmを一気に流下し扇状地を形成する急流河川で、信濃川水系魚野川の支川である。三国川ダム上流域の集水面積は 76.2km²と小流域で、積雪深が 4m～5mにも達する日本有数の豪雪地帯である¹⁾。

3. 流域水文情報

水文情報として気象庁 AMeDAS 観測所、国土交通省北陸



図-1 三国川流域図

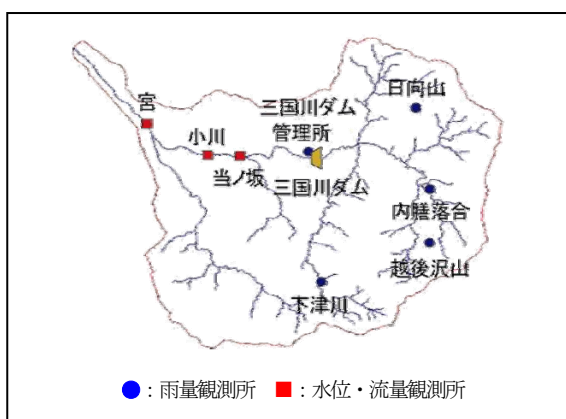


図-2 水文施設設置図

地方整備局三国川ダム管理所のデータを使用した。図-1に示す三国川流域には、図-2に示す雨量観測所5箇所、水位・流量観測所3箇所がある²⁾。しかし、雨量観測所5箇所のうち3箇所が冬期(11月～4月)の観測を行っていないため、通年で観測を行っている、三国川ダム管理所と内膳落合雨量観測所の雨量データを用いる。また、流量はダム下流の当ノ坂水位・流量観測所のデータを用いる。地理情報として国土地理院数値地図・50mメッシュ標高データを使用する、実河道データ・流域界データは地形図からデジタイジングして作成する。

4. 分布型融雪モデルの概要

本研究で用いる分布型モデル³⁾は、流域を細分化し分割した各メッシュで流出計算を行う。各メッシュからの流出は河道まで集められ、最後に河道追跡を経て流量を得る。また、地熱による融雪量は時期的・空間的に違いがあることから、従来の分布型融雪モデルでは考慮されていない。本モデルでは豪雪地帯の融雪による出水量を把握するため地熱による融雪量を推定する。各メッシュの気温は数値地理情報の標高データより気温減率を用いて推定する。地表に到達する以前の降水は、雨や雪、霧等の気象状況に左右され状況は様々ではない。降雪は積

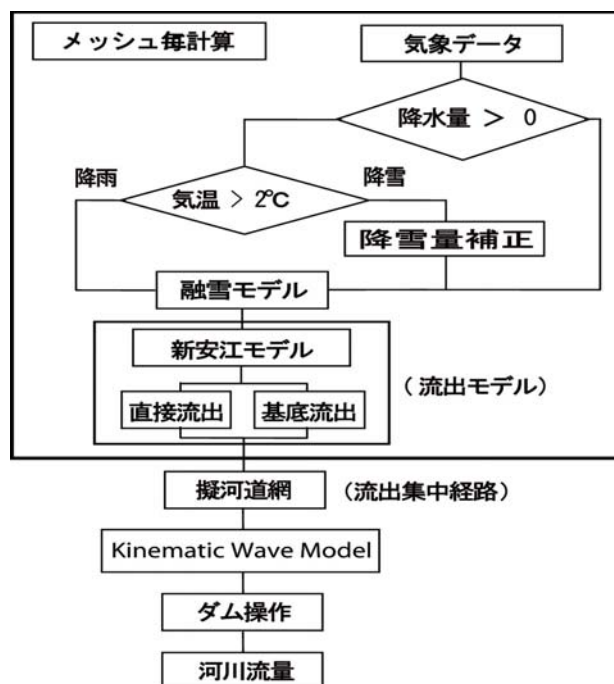


図-3 分布型融雪流出モデル

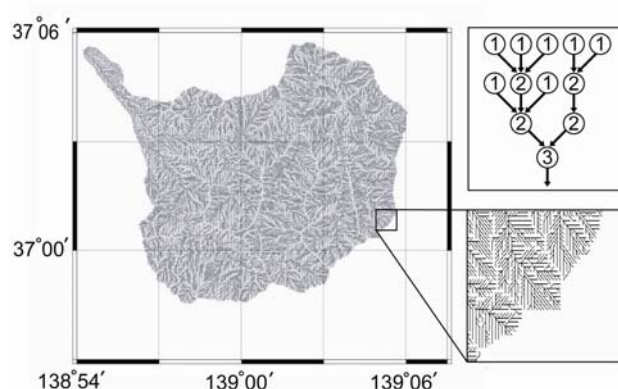


図-4 三国川流域の擬河道網

雪作用により流域に貯雪され、融雪現象により融雪水として流出するため、降水と降雪では流出過程が異なる。そのため算出された気温が 2°C 以下であれば降雪、 2°C 以上であれば降水と判断して⁴⁾、降積雪過程・融雪過程を経て各メッシュ流出量が算出される流出モデルが適用される。各メッシュにより算出された流出量は、擬河道網を介し、Kinematic Wave法により追跡計算し算出する、ダムに位置する1メッシュを通過する場合そのメッシュに流入する流量をダムへの流入量として、ダム操作を行いダム下流に流す分布型融雪流出モデル⁵⁾を図-3に示す。

5. 擬河道網とパラメータ

擬河道網とは仮想的な河道を算出し、各メッシュから流域出口までの流出集中経路を示すものである。図-4に三国川流域の擬河道網を示す。本研究で用いる擬河道網は $50\text{m} \times 50\text{m}$ メッシュ、総メッシュ数56,060である。

表-1 決定パラメータ

蒸発散係数	0.75
地下水減衰係数	0.995
地表水減衰係数	0.3
最終浸透能	40
降雪量補正係数	2.3
降雪量標高補正係数	0.002
地熱による融雪量 (mm)	1

本研究では、モデル入力値の補正及びモデルパラメータの同定により流域特性の最適化を図る。表-1は決定したパラメータ値である。

6. ダム操作モデルの検証

三国川ダムの操作を組み込み^{6) 7) 8)}、その操作の影響をダム下流に反映できる上下流一貫した分布型融雪流出モデルを構築するため、三国川ダム管理データの実流入量を入力データとし、ダム操作モデルによる放流量と貯水位を計算し、実際の放流量、貯水位との比較を行う。三国川ダムの実管理では、10月以降の図-5の放流量、図-7の貯水位ともに計算値と大きな違いが見られる。この理由としてメンテナンス等による人為的影響が考えられる。ダム取水設備のメンテナンスを行う際には、貯水位を一定の水位まで低下させるその影響によるものである。本研究ではメンテナンス等の人為的な操作による影響を取り除いた検討を行う。その結果、図-6、図-8に示すとおり大きな違いは見られないので、実際のダム操作を本研究のダム操作モデルが再現していることを確認できた。

7. ダム上流域の流出解析

本研究では、積雪・融雪を考慮して11月1日から翌年10月31日までの期間を1計算単位年とする。図-9は雨量とダム流入量の実測値と分布型融雪流出モデルによる計算結果である。ここで表す雨量データは流域平均雨量である。実測流入量データと分布型融雪流出モデルによる計算結果を比較すると、全体的な傾向は再現できていると言える。しかし、ピーク流量が実測値に比べ計算値は過小評価である。要因として、蒸発量の算出が簡易的であること、局地的な気象状況は現状の観測点の観測データでは把握が困難であること。また、三国川上流域面積は76.2km²と小流域であるため、1時間間隔の雨量データではモデルによる再現は非常に困難である。面的な降水量データの取得法としてレーダ観測データが挙げられる。しかしデータ補正が必要となるため使用は難しい。地熱による融雪量については積雪初期に多く地熱が失われ積雪後期には減少傾向にあること、また、積雪層内の

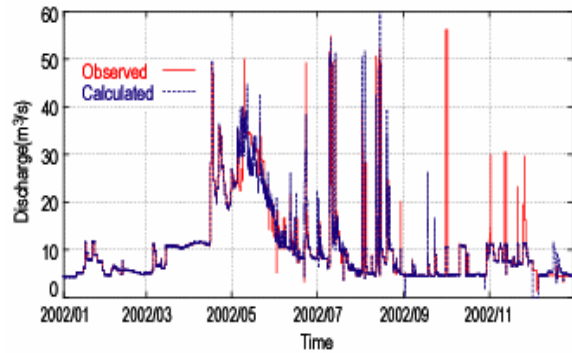


図-5 2002 ダム放流量の比較 (補正前)

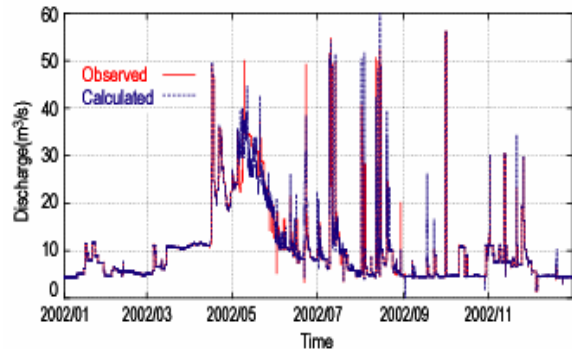


図-6 2002 ダム放流量の比較 (補正後)

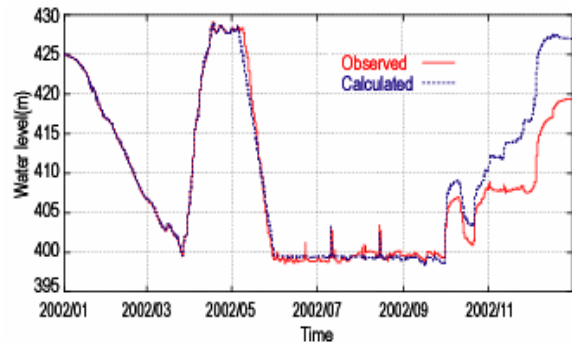


図-7 2002 ダム貯水位の比較 (補正前)

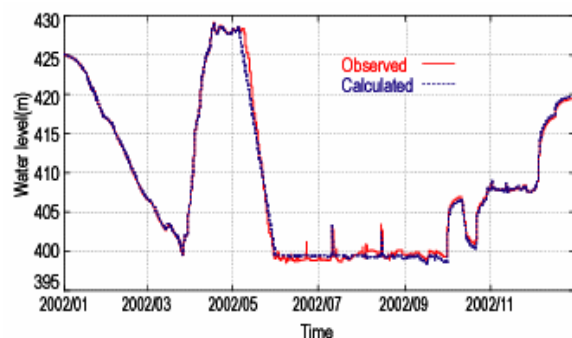


図-8 2002 ダム貯水位の比較 (補正後)

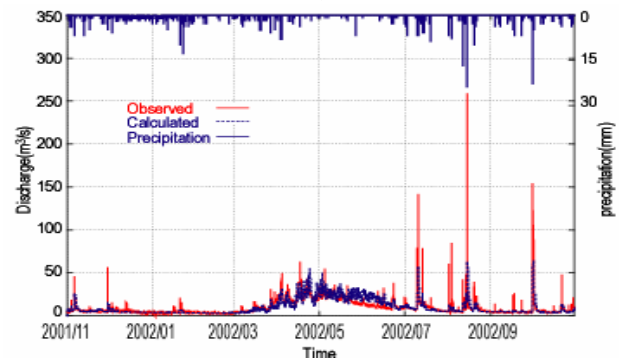


図-9 2001-2002 ダム流入量の比較

浸透現象については、雪量、雪質に左右されるため時間的に不均一である。このことが影響して実測値と計算値に違いが出るのではと考えられる。また、分布型融雪流出モデル内の積雪現象は気温により判断される。本研究では設定気温を 2°C とし、 2°C 以下ならば降雪と判断される。そのため本研究の分布型融雪流出モデルでは気温による依存が大きい。分布型融雪流出モデルの精度を良くするためにはより詳しく流域内の気温分布を調査する必要がある。

8. ダム下流域の流出解析

図-10 は雨量と当ノ坂水位・流量観測所での実測流量と分布型融雪流出モデルによるダム下流域の計算結果である。ここで表される雨量データは流域平均雨量である。全体的な傾向としては、良く再現しているといえる。しかし、流量ピークが実測値に比べ計算値が過小である。また、融雪期の実測値と計算値では差が大きく計算値による融雪量が過大評価となっている。誤差の要因としては、実測データの品質照査が十分行われていないこと。また、観測所のメンテナンスも十分に行われていなかったことから、データの信頼性が低いことが挙げられる。ダム上流での流出解析の結果と同様に、小流域での1時間間隔の雨量データではモデルによる再現は非常に困難である。

9. ダム上流域の水資源量

本モデルでは気温が 2°C 以下であれば降雪、 2°C 以上であれば降水と判別している。補正降水量は実測降水量を補正した値であり、真の降水量に近い値であると考えられる。補正前降水量 $2,067\text{mm/year}$ に比べ補正降水量 $4,716\text{mm/year}$ は2.28 倍の降水量を示している。補正降水量のうち補正降雪量は $3,232\text{mm/year}$ とモデル内の降水のうち 68.5%を降雪と判断している。水資源量 $4,097\text{mm/year}$ は補正降水量 $4,716\text{mm/year}$ から蒸発散 619mm/year を引いたものであり、補正降水量の 13.1%が蒸発し残りが水資源量となる、この割合は三国川流域における雪資源の重要性を示している。融雪量は図-11 に示すとおり、2月から融雪が始まり4月下旬にピークとなり7月中旬まで続く。融雪期に降雨があると水害に発展する恐れがある。一方では2月から7月まで流域において貴重な水資源となっていることが分かる。

10. モデルによるシミュレーション

(1) ダム放流量と貯水位

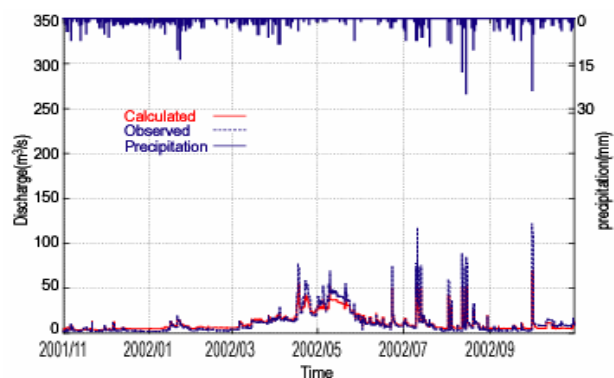


図-10 2001-2002 当ノ坂観測所での流量比較

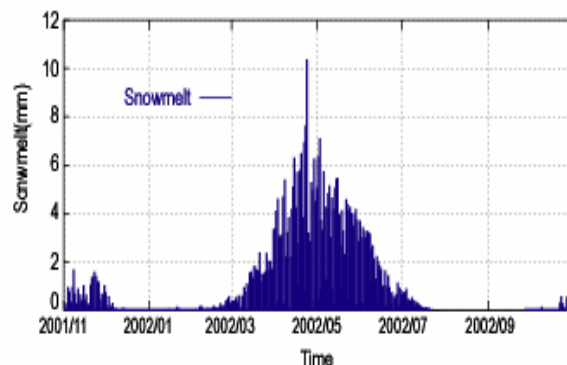


図-11 2001-2002 時間融雪量

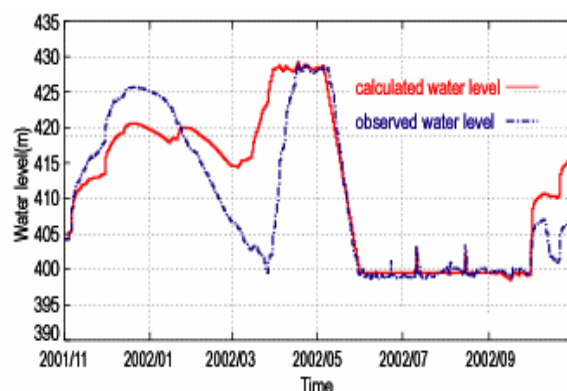


図-12 2001-2002 モデルによる貯水位

三国川ダム管理所の発電取水量は操作によるものであり、本研究のモデルでは発電取水量を設定できる。この計算において発電取水量を最低の管理用取水 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ 、業務用取水 $3.0\text{m}^3/\text{s}$ に設定して計算を行った。そのため図-12 では放流量より流入量が多いので貯水位が徐々に上昇する結果となっている。洪水期においてモデルは貯水位を 399.5m に一致するように制御している。そして10月1日からは非洪水期なので常時満水位の 427m まで水位を上昇させる管理となっている。現状では設備の点検・メンテナンス等による貯水位低下の操作はあるが、そのような貯水位低下を一切無視し、流入量に対して放流量を決定している。

(2) 当ノ坂水位・流量観測所での流量

図-13 に雨量と当ノ坂水位・流量観測所での実測流量

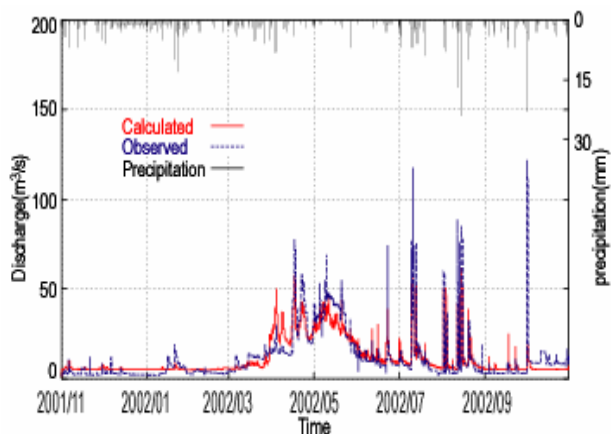


図-13 2001-2002 モデルによる当ノ坂水位・流量観測所の流量比較

とモデルによる計算結果である。ここで表される雨量データは流域平均雨量である。ダム上流の流出解析と同様のことが言えるがピーク流量が実測流量に比べ計算流量は過小評価である。誤差の要因としてはダム上流の流出解析と同様のことが言える。この計算では発電取水量を実取水量と最低取水量で行っている。この結果では発電取水量の違いによる影響が表れている。

(3) 発電取水量の変化によるダム下流流量の影響

本研究で構築したダム操作を含む上下流一貫の分布型融雪流出モデルでは、このようにダム操作を介してダム下流の流量を推定することが可能である。この結果では発電取水量を最低取水量に設定して計算を行ったが、発電取水量を変えて計算を行い、その影響がダム下流でどのくらいあるのかを検討する。最大発電として業務用取水 $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、管理用取水 $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、合計発電取水量を $10 \text{ m}^3/\text{s}$ を基本の発電取水量とする。また、最低発電として業務用取水 $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 、管理用取水 $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 、合計発電取水量を $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ を常に発電取水量とした計算の比較を行う。結果として図-14、図-15、図-16 に示すとおり 11 月から 3 月中旬まで最大発電取水量がパルス状になっている。これに応じ放流量もパルス状になっている。最大発電取水とし $10 \text{ m}^3/\text{s}$ が取水できる時は取水しているので、貯水位は 11 月から 3 月中旬の期間に大きな違いが顕われている。最小発電取水を行った場合、発電取水量より流入量が多いため 11 月から 3 月中旬に水位が上昇する。このように本研究のモデルではダムでの操作を変更して、その影響をダム下流で見ることができる

(4) 弾力的管理によるダム下流流量の影響

本研究で構築したモデルでは弾力的運用を考慮することができる。以下に弾力的管理を考慮した計算と考慮しない計算との違いを示す。実施期間を洪水期中の 8 月 1 日から 9 月 30 日間で、活用水位を制限水位 $+0.7 \text{ m}$ とし、活用水位 400.2 m を貯水池に貯めたら制限水位になるまで $20 \text{ m}^3/\text{s}$ を放流するというものである。図-17 では弾

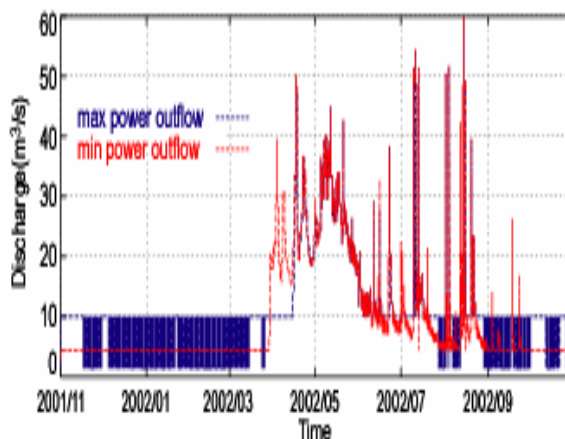


図-14 2001-2002 最大発電量と最小発電量の比較

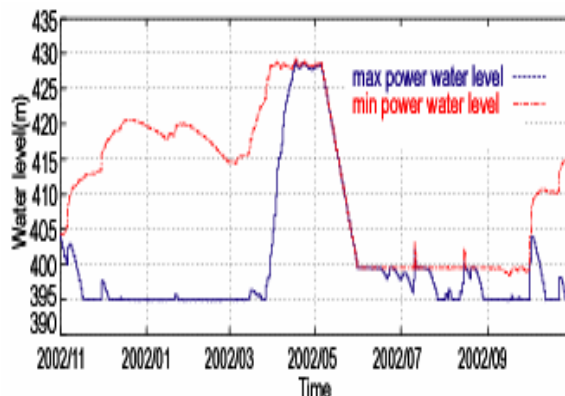


図-15 2001-2002 最大発電量と最小発電量の貯水位

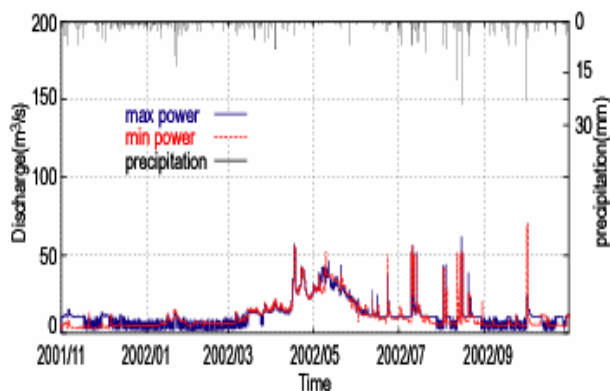


図-16 2001-2002 当ノ坂水位・流量観測所における発電取水量による流量の影響

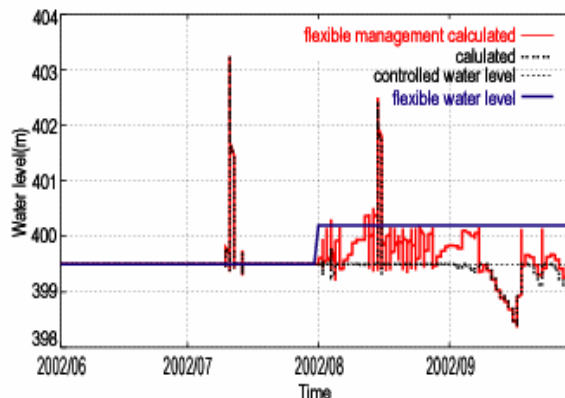


図-17 弾力的運用による貯水位

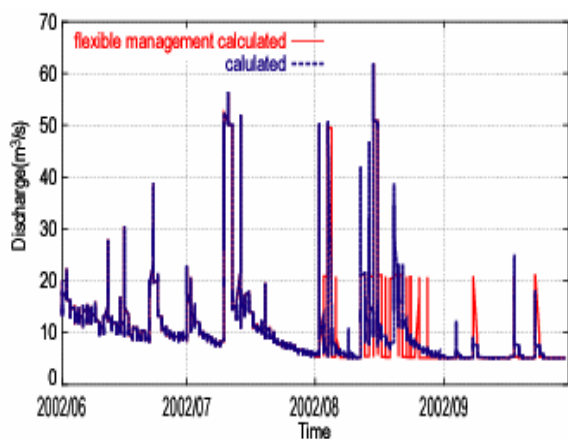


図-18 弾力的運用により事前放流をした場合流量

力的管理による貯水位の違いを示す。弾力的管理を考慮しない計算では制限水位である 399.5m に一致するように制御されている。弾力的管理を考慮した計算は 399.5m 以上の貯水位を示している。図-17 の結果において、貯水位が 400.2m になったので 20m³/s の放流を何回か行っている。図-18 に当ノ坂水位・流量観測所における弾力的管理による流量の違いを示す。弾力的管理による放流量が顕著に表されている。このように本研究の分布型融雪流出モデルでは弾力的管理を考慮することができる。

11. 結論

本研究ではダム調節を含んだ上下流一貫の分布型融雪流出モデルの基礎を構築した。三国川流域を対象にパラメータの選定を行い、モデルに地熱による融雪を取り入れた。三国川流域において水資源量に関する諸量を推定した。モデルによって得られた結果を以下に示す。

- (1) 分布型融雪流出モデルで用いる三国川流域の擬河道網を作成した。
- (2) ダム調節を含んだ分布型融雪流出モデルの基礎を構築することにより、ダム下流の流況を表現できるようになった。
- (3) 三国川ダム操作モデルが、ダムの実管理を再現していることを確認した。

- (4) 年間流出高を指標として蒸発量・降雪量・降雪量標高の補正を行い、流出解析を行った。三国川流域において適用性、流量の再現性が向上した。
- (5) 地熱による融雪を考慮し、融雪期における計算流出高が実測流出高に近づいた。
- (6) 三国川流域の降水量・降雨量・降雪量・蒸発量をモデルにより推定し、水資源量の把握を行った。

12. まとめ

ダム上下流一貫の分布型融雪モデルにより、水資源の高度利用、環境に配慮した弾力的運用、洪水予測を活用した事前放流、ダム下流の流量管理といった、ダム操作の適用性、活用効果、安全性の検証などを有効に表現できることが示された。今後の課題として、流域の土地被覆情報、地質情報などを反映できるモデルの高精度化が考えられる。

謝辞：国土交通省北陸地方整備局の関係諸機関の皆様には多大な協力を賜った。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 建設省北陸地方建設局三国川ダム管理所：信濃川水系三国川ダム工事誌，1998。
- 2) 建設省北陸地方建設局三国川ダム管理所：信濃川水系三国川ダム図面集Ⅰ，1998。
- 3) 陸旻皎：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発 長岡技術科学大学博士論文 1991。
- 4) 太田岳史：森林内における積雪面上の純放射量の推定と表層融雪量 水文・水資源学会 Vol. 5No. 4pp19-26 1992。
- 5) 小池俊雄・高橋裕・吉野昭一：積雪面積雪情報による流域積雪水量の推定 土木学会論文集 375/Ⅱ-4pp159 1985。
- 6) 国土交通省北陸地方整備局：信濃川水系三国川ダム操作規則，2002。
- 7) 国土交通省北陸地方整備局：信濃川水系三国川ダム操作細則，2002。
- 8) 国土交通省北陸地方整備局：三国川ダム弾力的管理試験要領，2004。

(2005. 9. 30 受付)