

# ダム調節を含んだ上下流一貫の分布型水文モデルの 開発に関する研究

水文気象研究室 佐藤健太  
指導教官 陸 旻皎

## 1. 研究背景

全国には 3,000 を超えるダムがある.その設置目的は農業用水、下水道、工業用水、発電、あるいは洪水防御など様々であるがその用途が何であってもその管理は安全かつ適切に行われなければならない.ダム貯水池の流水管理では安全性・合理性・効率性などの点が重要な問題となるが、現実的にはダム建設時点の学問・技術レベルや社会情勢に応じて管理方法が決められており、中には再検討されるべき問題もいくつか見られる.ダムによっては時代の変遷にともない、より多くのことが要求されることも予想される.こうしたことに対処するためには、学術的にも裏付けられた洪水予測手法を導く必要がある.現状は経験に頼っているダムが多いようであるが、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くる.その反面、雪は融雪出水などによる災害の要因にもなっている.このような雪の有効利用・防災は非常に重要な課題だと考えられる.しかし、豪雪地域や山岳地域の降雪・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の必要性が高いと言える.

## 2. 研究目的

本研究はダムを含んだ流域でダム操作を組み込んだ上下流一貫した分布型融雪流出モデルの基礎を構築することを目的とする.また、構築したモデルによって流域特性を示すパラメータを同定し、地熱による融雪を考慮し流出解析精度を高め、対象流域の水資源量を把握する.

## 3. 流域概要

三国川は新潟県六日町地方の越後山脈に囲まれ、魚野川と合流した後、信濃川に注がれる.流域面積 140.1km<sup>2</sup> 幹川流路延長は 23.3km.三国川には三国川ダムがあり、三国川ダム上流の集水面積は 76.2km<sup>2</sup> である.

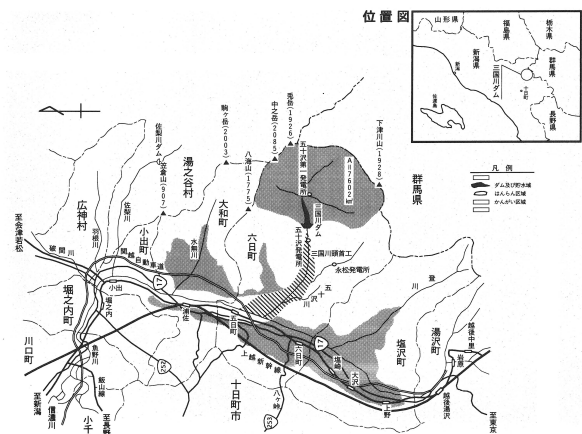


図 1. 三国川流域

## 4. 流域水文情報・使用データ

水文情報として気象庁 AMeDAS 観測所、国土交通省北陸地方整備局三国川ダム管理所のデータを使用した.三国川流域には雨量観測所 5 箇所、水位・流量観測所 3 箇所がある.しかし、雨量観測所 5 箇所のうち 3 箇所が冬季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.図 2 に水文設備位置図を示し、丸印が雨量観測所であり、四角印が水位・流量観測所である.

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し、これより GIS ソフトを用い実河道データ・流域界データを作成した.

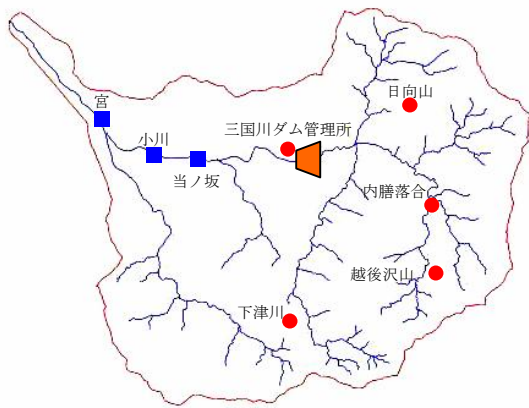


図 2.水文施設位置図

### 5. モデルの概要

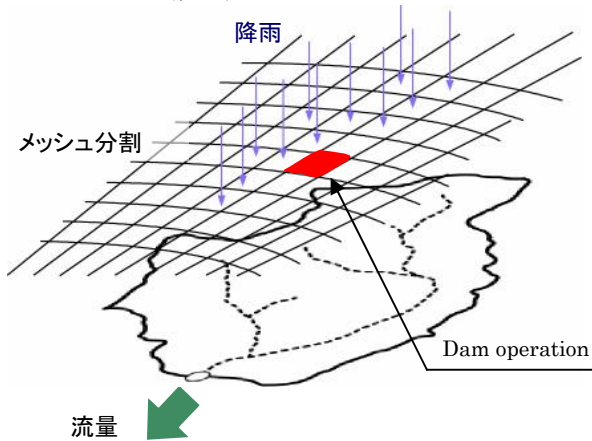


図 3.モデル概要図

本研究で用いる分布型モデルは流域を細分化し、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出力メッシュでの流量を得る。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介し、ダム下流に流量として流す。

本研究の流れとしては、数値地理情報の標高データより書くメッシュの気温を気温減率より算出する。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、状況は一様ではない。降雪は積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 $2^{\circ}\text{C}$ 以下であれば降雪と判断し、 $2^{\circ}\text{C}$ 以上であれば降水と判断し、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流出モデルが適応される。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法により追跡計算され、流量を算出する。

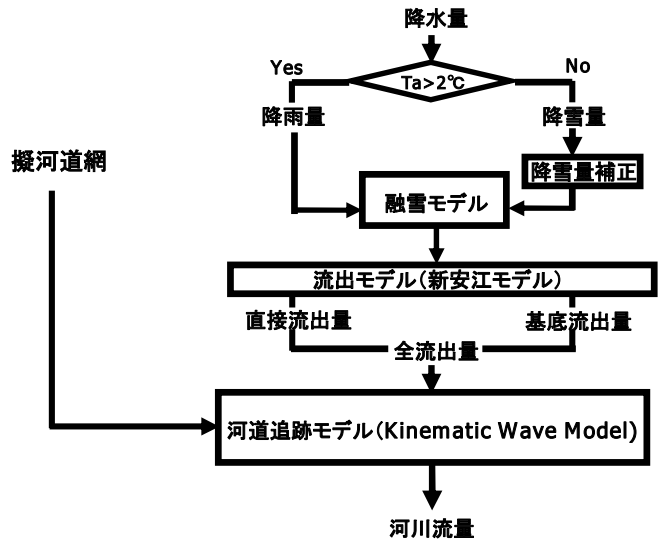


図 4.分布型融雪流出モデルのフローチャート

### 6. 擬河道網

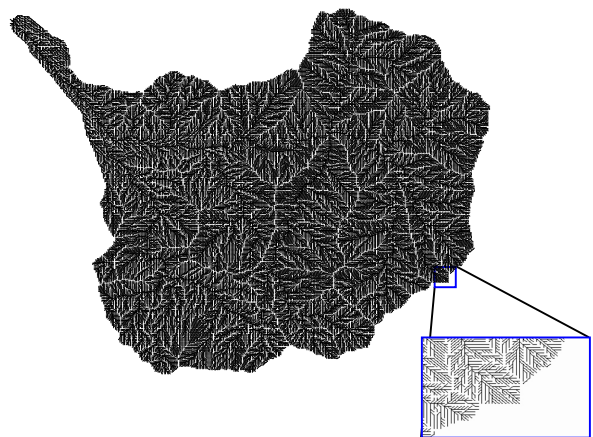


図 5.三国川流域の擬河道網

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 5 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  $50\text{m} \times 50\text{m}$  メッシュであり、総メッシュ数 56060 である。

### 7. ダム管理

三国川ダム管理所データの実流入量を入力データとし、モデルダム操作を介し、実放流量、実貯水位との比較を行う。結果を図 6 と図 7 に示す。図 6 は放流量の比較で、図 7 は貯水位の比較であ

る.三国川ダムの実管理ではメンテナンス等を行うため人為的な水位変化が生じる.本研究ではメンテナンス等の人為的な処理を考慮しないため図6、図7で違いが見られる.それ以外は大きな違いは見られないので、実際のダム操作と本研究のダム操作が同じルールで行っていることを確認できた.

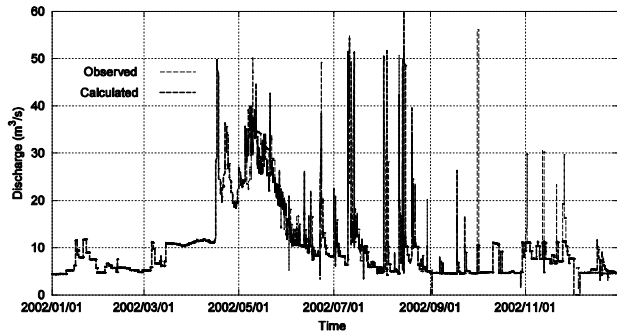


図6.平成14年ダム放流量の比較

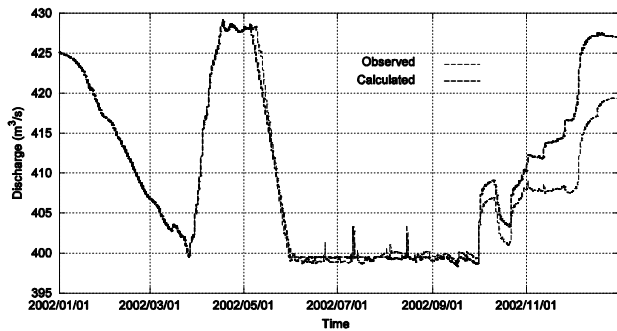


図7.平成14年ダム貯水位の比較

### 8. 地熱による融雪量の影響

従来の分布型融雪流出モデルでは、地熱による融雪を考慮していない.地熱による影響は時期的・空間的にも違いがある.実際に地熱による融雪量を観測しているところは少なく、地熱による融雪量を把握することは非常に困難である.本研究では地熱による融雪量を1日1mmと仮定してモデルに組み込む.図8に地熱による融雪量の違いによる影響を示す.分布型融雪流出モデルの算出結果では3月以降実測値と計算値に差が出てくる.融雪時期に実測値より計算値の流出量が少ない結果となっている.これは融雪現象による影響であると思われる.モデル内で実融雪現象が再現しきれていないためこのような結果となると思われる.地熱による融雪量が無い場合の計算結果と

地熱による融雪量を1mmとした計算結果を比較すると1mmのほうが実測値に近づくことがわかる.

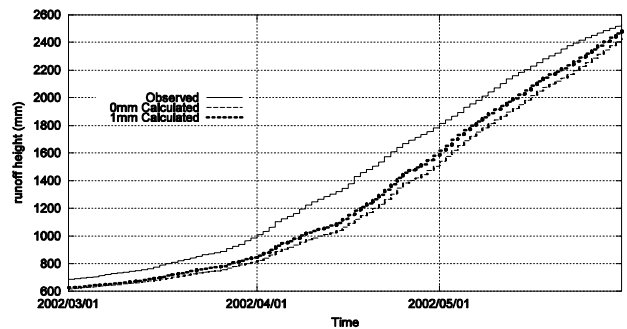


図8.地熱による融雪量の影響

### 9. 係数A・係数Bの選定

降水量は地形や風などの影響により真の降水量の値を得ることは難しく、測定値と真の値に誤差が生じる.横山ら(2003)によれば、雪の補足損失は降水量の10~50%と見積もられ、真の降雪量を把握するのは困難である.よって、式(1)により補正を行う.

$$P(h) = A(1 + B(h - h_{\text{gauge}}))P(h_{\text{gauge}}) \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $P(h)$ :各メッシュにおける降水量、 $h$ :各メッシュの標高、 $h_{\text{gauge}}$ :観測点の標高、 $P(h_{\text{gauge}})$ :観測点における降水量、 $A$ :降雪量補正係数、 $B$ :降雪量標高補正係数である.降雪量補正係数 $A$ ・降雪量標高補正係数 $B$ により降雪量を補正する.指標として式(2)を用いる.

$$Q_{\text{err}} = \left| 1 - \frac{\sum Q_{\text{cal}}}{\sum Q_{\text{obs}}} \right| \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $Q_{\text{err}}$  累計流出高の割合、 $Q_{\text{cal}}$  計算流出高、 $Q_{\text{obs}}$  実測流出高である.モデル実験により係数を選定する.モデル実験の係数の範囲を表1に示し、累計集出高割合等値線図を図9に示す.結果 $A=2.3$ 、 $B=0.002$ を選定した.

表1.モデル実験係数範囲

		範囲	刻み
降雪量補正係数	A	2.0 ~ 2.5	0.1
降雪量標高補正係数	B	0.0005 ~ 0.025	0.0005

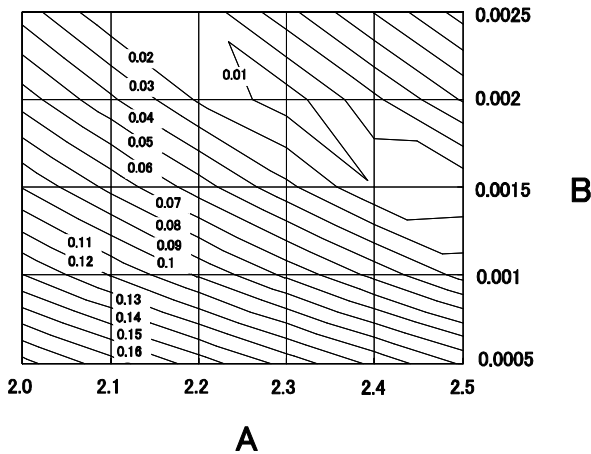


図9 流出高割合等値線図

### 10. ダム上流流出解析

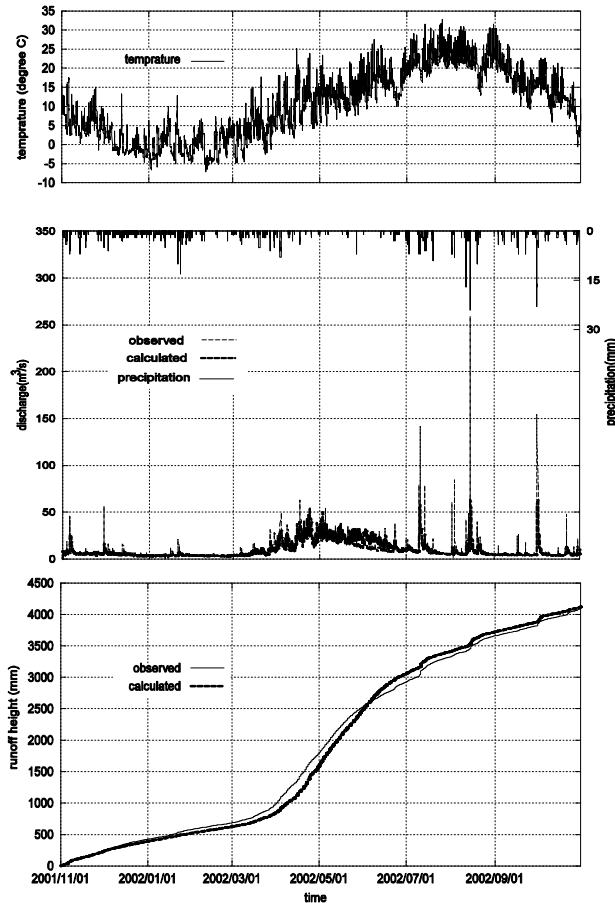


図10. 2001-2002 ダムの流入量比較

図10にダム流入量の実測値と計算値の比較を示す。上段に気温を表す。気温のデータは三国川ダム管理所の観測データを用いる。中段に雨量と三国川ダムへの実測流入量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を示す。下段が三国川ダムの実

測流入量と分布型融雪流出モデルによる計算結果の流出高の累計である。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、流域内の雨量観測点における降水量データが挙げられる。局地的な気象状況を点における観測データでは把握が困難である。また、本研究では1時間間隔の雨量データを用いた。三国川上流域面積は76.2km<sup>2</sup>と小域であるため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が問題があるため使用は難しい。また、分布型融雪流出モデル内の積雪現象が気温により判断される。本研究では設定気温を2℃とし、2℃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。

### 11. ダム上流域水資源量

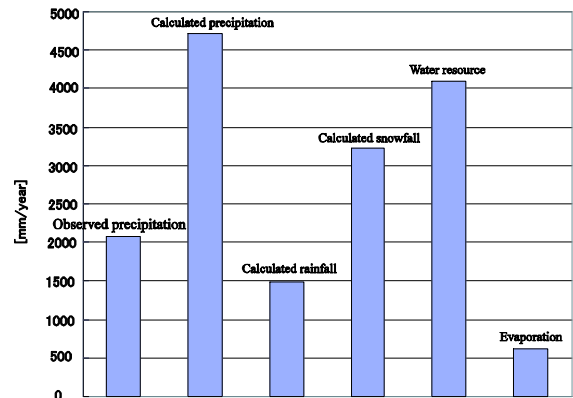


図11. 流域内の水資源量

観測降水量、モデルによる補正降雨量・融雪量・補正降水量・蒸発量・水資源量を図11に示す。ここで、Calculated precipitationはObserved precipitationをモデルにより補正したものであり、Calculated rainfallとCalculated snowfallに分けられ

る. Water resource は Calculated precipitation から Evaporation を引いたものである. 表 2 に水資源量を示す. 補正降水量はモデルにより補正した値であり、真の降水量に近い値であると考えられる. 観測降水量に比べ補正降水量は 2.28 倍の降水量を示している. 補正降水量 4716[mm/year]のうちモデル内では降雪量 3232[mm/year]としている. モデル内降水のうち 68.5%を降雪と判断している. 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. 補正降水量の 13.1%が蒸発して、残りが水資源量となるがこの値は北陸地方の豪雪による水資源量が豊富であることを示している.

表 2. ダム上流域水資源量

補正前降水量	2067[mm/year]
補正降水量	4716[mm/year]
補正降雪量	3232[mm/year]
蒸発量	619[mm/year]
水資源量	4097[mm/year]

## 12. ダム下流流出解析

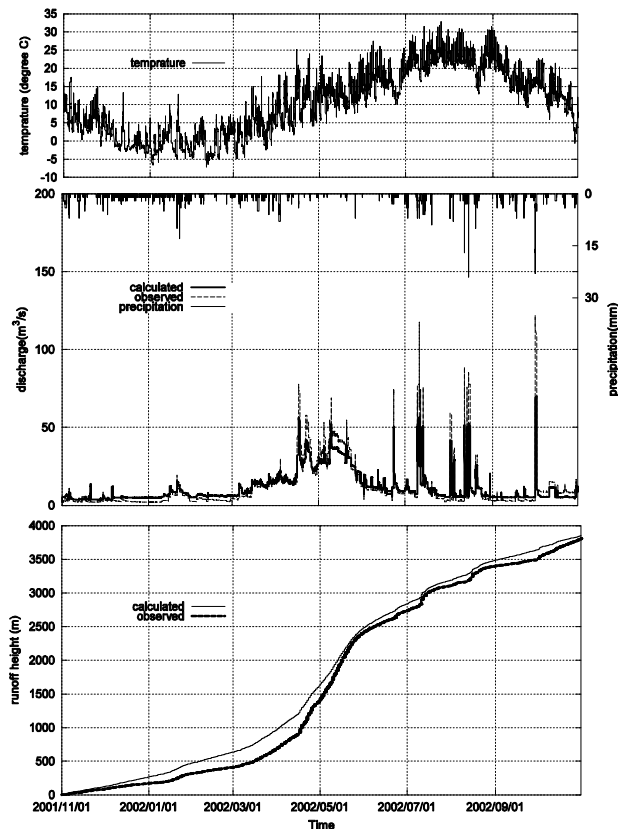


図 12. 2001-2002 当ノ坂観測所での流量比較

図 12 において上段が気温を表す. 気温のデータは三国川ダム管理所の観測データを用いる. 中段が雨量と当ノ坂水位・流量観測所での実測流量とモデルによる計算流量である. ここで表される雨量データは流域平均雨量を示す. 下段が当ノ坂水位・流量観測所の実測流量とモデルによる計算流量の流出高の累計である. 全体的な傾向として良く再現していると言える. しかし、ピーク流量が実測値に比べ計算値が過小であり、下段の流出高累積は全体的に実測値より計算値のほうが大きな値となっている. しかし、年間流出高累計を比べるとほぼ同じ値を示す. 誤差の要因としては三国川ダムの現状ではあまり下流を見ずにダム操作をしていたことから、実管理上過去に遡って流量整理をする必要性が低いことから流量資料について品質照査が十分に行われていない、また水位・流量観測所のメンテナンスが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と言われている. このことが要因として挙げられるが、ダム上流での流出解析の結果と同様の誤差の要因があると思われる.

## 13. モデルによるシミュレーション

選定したパラメータを用い、本研究の分布型融雪流出モデルによりダム流入量を算出し、ダム操作を介し放流量と貯水位を算出する現状の三国川ダム管理の発電取水量の決定は人為的なものであり、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業務用取水 1.5m<sup>3</sup>/s、管理用取水 3.0m<sup>3</sup>/s に設定して計算を行った. 図 15 に示すように実発電取水量に対して、モデル発電取水量は必要最低限で取水している. そのため図 14 では放流量より流入量が多いので貯水位がだんだん上昇する結果となっている. 非洪水期においてモデルは貯水位を EL. 399.5m に一致するように制御している. そして 10 月 1 日から非洪水期なので常時満水位の EL. 427m まで水位を上昇させる管理となっている. 実状では設備のメンテナンス等による貯水位低

下操作があるが図 13、図 14 の結果においてはそのような貯水位低下を一切無視し、流入量に対し貯水位管理を行い、放流量を決定している。

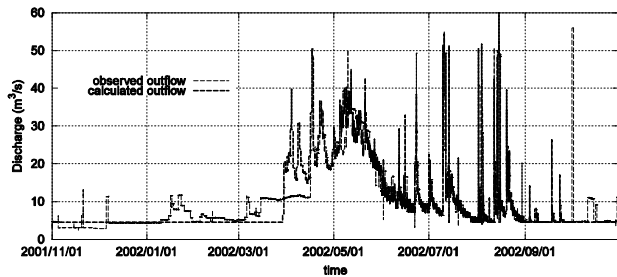


図 13. 2001-2002 モデルによる放流量

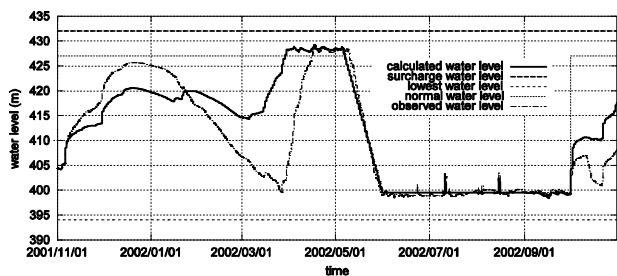


図 14. 2001-2002 モデルによる貯水位

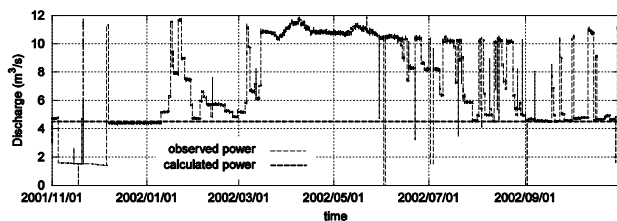


図 15. 2001-2002 発電取水

当ノ坂水位・流量観測所での流量比較の結果を図 16 に示す。上段に気温を表し、三国川ダム管理所の観測データを用いる。中段が雨量と当ノ坂水位・流量観測所での実測流量とモデルによる計算流量である。ここで表される雨量データは流域平均雨量を示す。下段は実測流量とモデルによる計算流量の流出高の累計である。ピーク流量が実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を実取水と最低取水で行っている。図 16 の結果では発電取水の違いによる影響が表れている。発電取水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見ることができた。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。

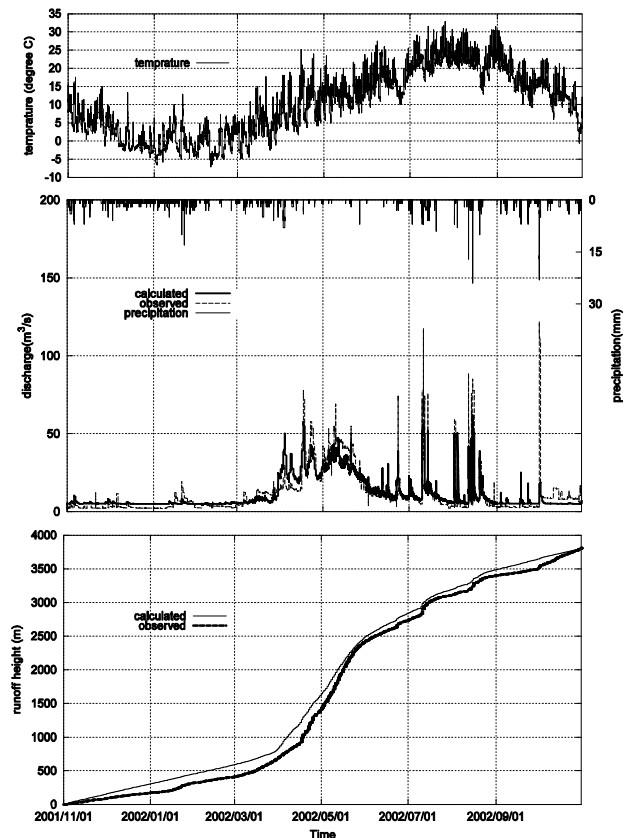


図 16. モデルによる流量比較

## 14. 結論

- 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。
- 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することにより、ダムの影響を表現できるようになった
- 三国川ダム操作モデルを作成し、三国川ダムの実管理と比較し、規則通り管理していることを確認した。
- 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。
- 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。
- 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。