

洪水時のダム運用計画に対する河川流量の逆計算手法の適用

(独) 水資源機構 吉野川本部 施設管理課 津田守正
香川大学 創造工学部 教授 石塚正秀

ダム下流河川の洪水の状況に応じた特別防災操作など、下流被害をより軽減するためのダム運用を行う要請が高まっている。分布型流出解析モデルを下流側から上流側に向けて、過去に遡りながら計算を進めることで、下流河川の特定地点の流量を定めた場合に、対応する上流側の河川流量を計算することができる。すなわち、ダム下流河川の特定地点の流量を目標流量に一致させるために、上流ダムからどのように放流すれば良いかを、一連の計算で算出できる。この手法の適用性を吉野川上流の早明浦ダムから豊永地点までを対象に検証した。その結果、迅速な意思決定や合理的運用に資することを確認した。

キーワード 早明浦ダム, 洪水調節, 分布型流出解析モデル, 特別防災操作

1. はじめに

近年の局地的な集中豪雨の頻発に伴い、河川上流域に所在するダムでは、予め定められている洪水調節ルールに関わらず、ダム下流の洪水の状況に応じた特別防災操作など、下流被害をより軽減するためのダム運用を行う要請が高まっている。

2017年の「ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領及び同解説」¹⁾では、下流被害を軽減するためにダムからの放流量を極力抑える特別防災操作を実施する上での検討事項が示されている。特別防災操作等の柔軟なダム運用を実際に行うためには、ダムからの放流条件を変えながら流出計算を行い、ダムの貯水容量の制約や降雨予測の精度も加味した上で、洪水軽減に最適とされるダム運用計画を選定することが望まれる。しかし、限られた時間の中で、ダムからの放流とダム下流の支川流出のタイムラグ等も考慮して、最適なダム運用を探し出すことは容易ではない。

この点に対して、これまで洪水時のダム運用には適用されていないが、河川の下流から上流側に向けて、時間を遡りながら河川流量を推計する流出計算手法（遡上計算）を適用することが考えられる²⁾。この手法を使えば、ダム下流の懸案地点における目標流量を与えた場合に、必要とされる上流ダムからの放流ハイドログラフが一連の計算で算出できる。支川流出のタイミングも加味されることから、迅速かつ合理的な意思決定に寄与すると思われる。

本検討では、分布型流出解析モデルとキネマティックウェーブ法による遡上計算手法を組み合わせ、上流側

河川流量を逆計算し、洪水時の柔軟なダム運用への適用を検討した。この手法の有効性を確認するため、吉野川上流の早明浦ダムから、約20 km下流の豊永地点までを対象に検証を行った。

2. 方法

(1) 上流側河川流量の逆計算方法²⁾

以下の手順により、河川の下流側地点を起点にして上流側の河川流量を計算する。

ステップ1:

グリッド分割した分布型流出解析モデルを用いて、通常のように上流から下流側に向けて、時間を進めながら流出計算を行い、上流ダムと逆計算の起点とする下流地点に挟まれた区間の河道における、斜面や支川からの側方流入量を計算する。

ステップ2:

ステップ1とは逆に、下流の逆計算の起点から上流側のダムに向けて、時間を遡りながら河川流量を計算する（遡上計算）。ステップ1で算出した、斜面や支川からの側方流入量を差し引きながら、河道部の流量を下流から上流側に向けて計算していく。

このように、ステップ2における最下流部を計算の起点として、任意の目標河川流量を与えることで、その場合の上流ダム地点の河川流量を計算できる。

(2) 構築したモデル

河川流量の遡上計算は、これまでダイナミックウェーブ法を用いる方法³⁾や拡散波方程式を用いる方法⁴⁾が提案されている。これらは、河川勾配が緩やかな場合に有効であるが、河川勾配が大きい上流部の山地河川においては、より簡易な方法であるキネマティックウェーブ法も適用できる。本検討では、吉野川流域を対象に、キネマティックウェーブ法を基礎とした1 kmメッシュの分布型流出解析モデル (morimatic-model) を構築した。

(国研) 土木研究所ICHARMが開発したIFAS (総合洪水解析システム) を使って、1 kmメッシュの落水線図、河道図を作成し、この情報を使って、流出計算を行うようにした。モデル構築のための標高データは、USGS (アメリカ地質調査所) から提供されているGTOPO30を用いた。土地利用はUSGSが提供するGLCC-Land Useを用いて、森林、畑地等に区分してパラメータを設定した。

(3) 早明浦ダム下流への適用

早明浦ダムから約20 km下流の豊永地点までの範囲(図-1)について、2014年8月出水(8月8日~13日)と、2014年10月出水(10月12日~17日)の2出水を対象にモデルの検証を行った。各出水の降雨量の平面分布を図-2に示す。検討に用いた地上観測雨量、早明浦ダム放流量、豊永地点河川流量等は、国交省の水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) から入手した。

まず、豊永地点から上流の早明浦ダムに向けて、時間を遡りながら計算を行い、早明浦ダムの実績放流量の再現性を確認した。このとき、豊永地点の実測流量を下流側の境界条件として与えた。

次に、早明浦ダムから約10 km下流の山崎地点をダム下流の懸案地点と見立てて、この地点の洪水時の目標流量を変えた場合のダム放流量を逆計算で算出した。そして、この手法が実際のダム管理においてどのように活用できるかを検討した。

3. 検討結果

(1) モデルの再現性の検証

逆計算による2014年8月出水、10月出水時の早明浦ダム放流量の再現結果を図-3、図-4に示す。全体的な波形はよく再現できているが、ピーク前後の変動傾向の再現性が十分ではない。これは、下流支川の穴内川の流量を計測水位から換算して推計した上で、境界条件として与えたため、水位が高い場合に実際との乖離が生じている可能性があることや、降雨分布をティーセン補間したことが影響していると考えられる。

10月出水時は図-2 (b)に示すようにダム付近の降雨が多く、ダム放流量が約1,200 m³/s から約300 m³/s まで一気に

に減らされたが、よく再現されている(図-4)。

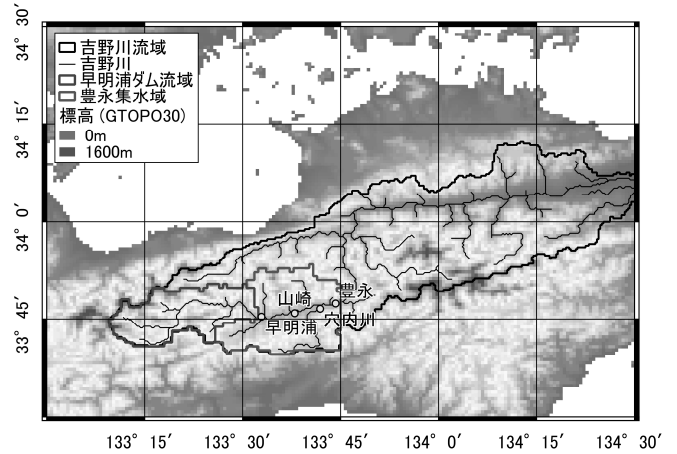
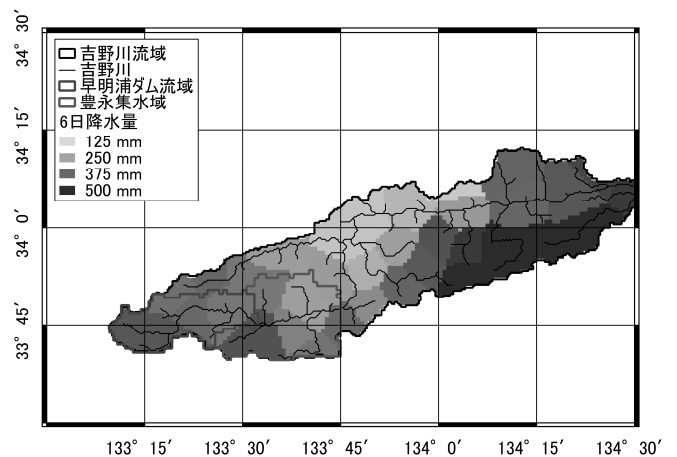


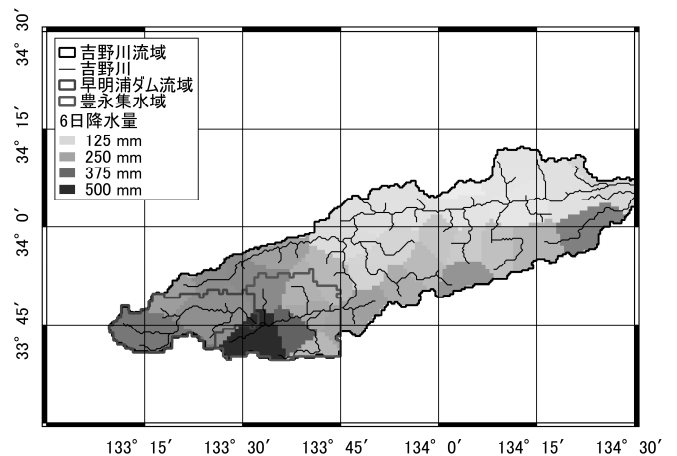
図-1 検証対象流域 (早明浦ダム下流)

表-1 山崎地点における目標流量の設定条件

ケース	目標流量 (m ³ /s)
01	実績どおり
02	最大1,500
03	最大1,000



(a) 2014年8月出水 (8月8日~13日)



(b) 2014年10月出水 (10月12日~17日)

図-2 対象出水の降雨分布

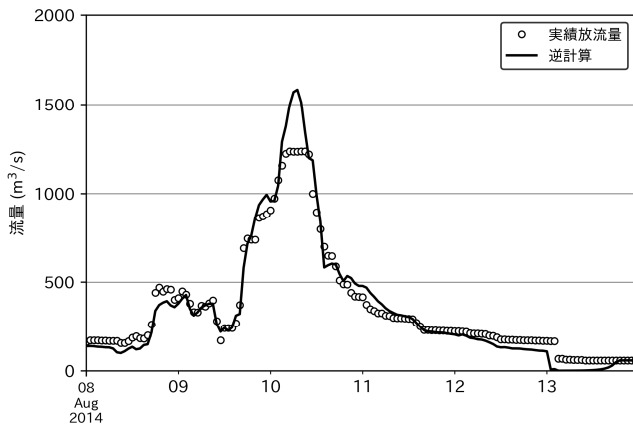


図-3 早明浦ダム放流量の再現計算
(逆計算、2014年8月出水)

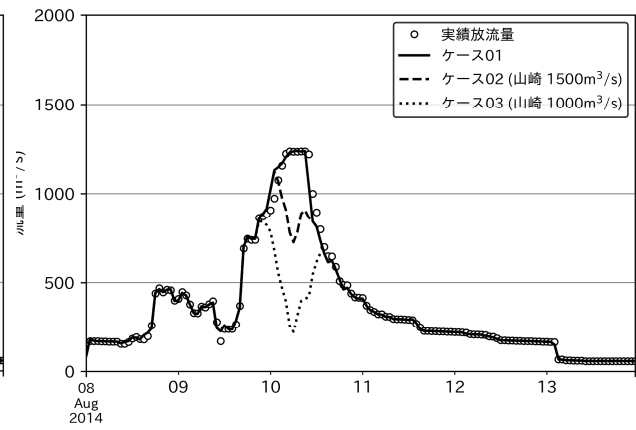


図-6 目標流量を達成するための早明浦ダム放流量
(逆計算、2014年8月出水)

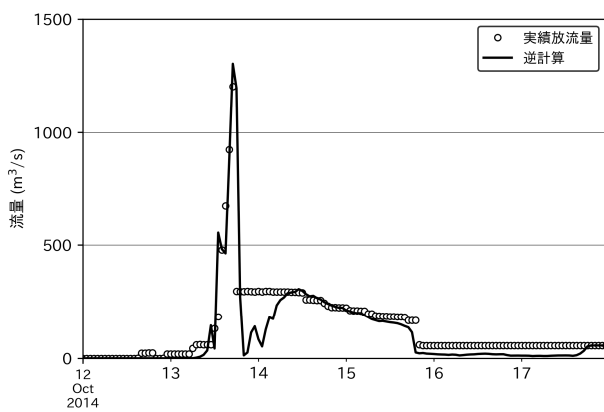


図-4 早明浦ダム放流量の再現計算
(逆計算、2014年10月出水)

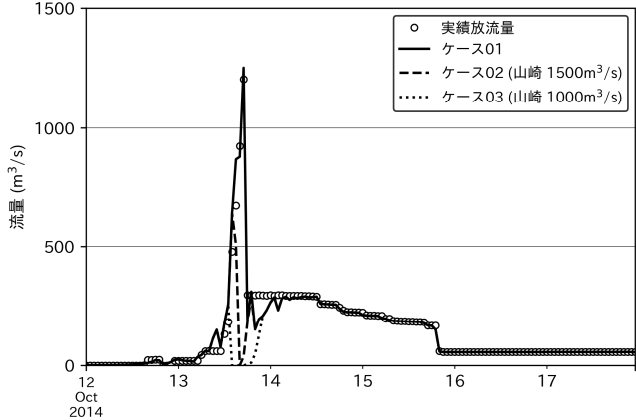


図-7 目標流量を達成するための早明浦ダム放流量
(逆計算、2014年10月出水)

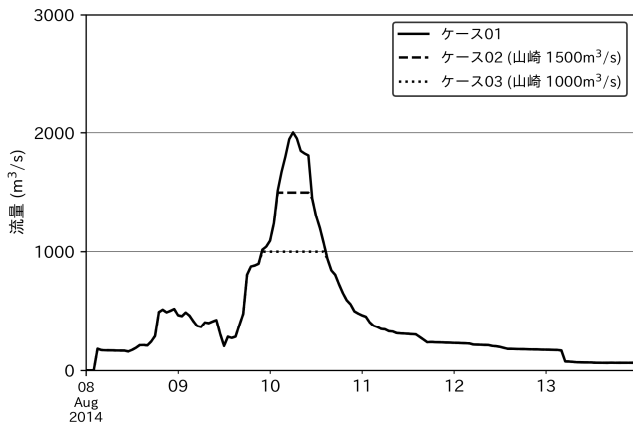


図-5 山崎地点における目標流量 (2014年8月出水)

(2) ダム運用計画への逆計算の適用

逆計算が洪水時の上流ダムの運用計画に適用できるかどうかを確認するために、山崎地点の目標流量を3ケース設定し(表-1)、そのためには早明浦ダムからどのように放流しなければならぬかを推計した。

2014年8月出水を対象に設定した山崎地点の目標流量のヒドログラフを図-5に示す。ケース01は山崎地点

流量の推計値を目標とした。ケース02、ケース03はピーク流量をカットし、それぞれ1,500 m³/s、1,000 m³/sを超えないようにするものである。

各ケースに対応する早明浦ダム放流量を、逆計算により推計した結果を図-6に示す。ケース01は実績放流量にほぼ一致している。ケース02、03の計算結果より、約2,000 m³/sの山崎地点流量のピークを1,500 m³/sもしくは1,000 m³/sに抑えるためには、8月9日夜から10日夕方にかけて、実績放流量よりもそれぞれ500 m³/s、1,000 m³/sをV字形に減らす必要があることが分かる。

2014年10月出水についても、8月出水と同様の3ケースの計算を行った。早明浦ダム放流量の推計結果を図-7に示す。10月13日にダム付近で約260 mmの降雨があり、ダム下流の支川等からの流出量が大きく増えたが、この影響を相殺するために、ダム放流量を一時的にはゼロまで短時間で低減させる必要があることが分かる。

以上より、ダム下流地点の目標放流量が与えられた場合、必要とされるダム運用計画を逆計算により推計できることが示された。逆計算で得られる結果には支川や山地斜面からの流出のタイミングや大きさも勘案されてお

り、下流の河川状況に応じたダム運用計画の立案に役立てることができる。

(3) リアルタイムダム運用への適用に当たっての考察

本手法を実際のダム運用に適用しようとする場合、計算時点までに得られている実測雨量と、予測雨量を用いて逆計算を行い、下流河川の目標放流量に対応するダム放流量を計算することになる。

実運用においては、ダムからの放流水が実際に下流に到達するまでのタイムラグを考慮しなければならない。洪水対応中に下流河川の被害を軽減するための柔軟なダム運用を実施することとなり、本手法に基づきダム放流量を決定した場合、下流地点の流量が目標流量に追いつくのは、ダムからの放流水が到達してからになる。しかし、これ以降は、ダムからの放流量を10分間隔で変更する度に、最新の降雨情報を用いて逆計算を行い、ダム放流量の目標値を逐次更新するようにすれば、放流水が到達するまでのタイムラグの影響は緩和される。

こうした操作を行う場合、将来的に降雨状況が変化しても、異常洪水時防災操作に移行しないことが条件となる。ダムの残貯水容量の余裕を確認するためには、下流の目標流量を変えて複数ケースの逆計算を行うことが考えられる。

なお、今回の検討ではダム下流の目標地点が1か所の場合のみを考えましたが、河道に沿って複数の目標地点がある場合にも対応できる。

一方、本検討では、逆計算手法の適用は目標地点の上流ダム数が1基の場合を想定した。複数のダムが連携して下流の流量調節を行う場合には、それぞれのダムへの分岐点で、上流側流量をどのように配分するかを決めなければならず、さらなる検討が必要である。

4. 結論

分布型流出解析モデルと河川流量の遡上計算手法を組み合わせて、早明浦ダムから約 20 km下流の豊永地点までの範囲に適用した。この結果、本手法により洪水時の下流地点の目標流量が与えられた場合に、対応するダム放流量が算出でき、柔軟なダム運用に活用できること

を確認した。

本手法を適用するメリットとして、大きく以下の「迅速性」、「合理性」の2点が挙げられる。

- ・ダム下流の懸案地点で目標流量を達成するために、ダムからどのように放流すれば良いかを1連の計算で自動的に算出できる。下流河川の目標流量別に、複数のダム運用計画を算出すれば、河川管理者や下流自治体等との協議に活用でき、柔軟なダム運用を行う際の迅速な意思決定につながる。

- ・ダム放流水とダム下流の支川や山地からの流出のタイムラグも含めて、ダム下流の河川流量を目標値以下に抑えるうえで、最も無駄のない合理的なダム運用計画を計算できる。このため、結果的にダム貯水容量の温存につながる。

なお、今回は、逆計算手法を洪水調節に適用したが、同様の手法は、利水基準点での必要流量を確保するための上流ダムの利水補給量の算出にも適用できる。ただし、こうした場合、河道勾配がより緩やかな河道での計算が必要になるため、拡散波方程式の適用など、モデルの改良が必要となる。

参考文献

- 1) 国土交通書水管理・国土保全局河川環境課 2017. ダムの機能を最大限活用する洪水調節方法の導入に向けたダム操作規則等点検要領及び同解説, pp. 1-14.
- 2) Tsuda, M. and Ishizuka, M. 2020. Flexible reservoir flood control using a reverse routing method with a kinematic wave equation, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 76, pp. I_847-I_851.
- 3) 井上和也・岩佐義朗・宮井宏 1978. 不定流の数値計算法の洪水問題への適用, pp. 233-238.
- 4) Bruen, M., and J. C. I. Dooge. 2007. Harmonic analysis of the stability of reverse routing in channels, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 11, No. 1, pp. 559-568, <https://doi.org/10.5194/hess-11-559-2007>.