

AIを用いた日吉ダム低水管理支援システムの構築

林 良真¹・今 英樹²

¹独立行政法人 水資源機構 日吉ダム管理所 (〒629-0335 京都府南丹市日吉町中神子ヶ谷68)

²独立行政法人 水資源機構 日吉ダム管理所長代理 (〒629-0335 京都府南丹市日吉町中神子ヶ谷68)

日吉ダムの下流では、かんがい用水などの利用が多く、亀岡市から京都嵐山にかけては舟運観光業が盛んであり、水道用水の供給とあわせて日頃からきめ細やかな低水管理が求められる。

しかしながら、日吉ダムの低水管理は、ダム地点から各基準地点までの到達時間が幅広いこと、既得用水取水量の変動や下流残留域の流量変動等を受けることから放流量の決定には、職員の操作経験とこれに基づく高度な判断が求められる。そのため、低水管理における放流量の決定を支援し、職員の習熟や業務の効率化を図り、更なる有効的な利水補給を実現することを目的として、システムを構築した。本稿は、システムの構築内容について、報告するものである。

キーワード 低水管理, AI, 業務改善

1. はじめに

日吉ダムは、淀川水系桂川の中流域に位置する多目的ダムであり、洪水調節、流水の正常な機能の維持及び水道用水の供給（京阪神地域）を目的としている。

日吉ダムの低水管理の運用は、ダム下流の利水基準地点の流量を確保するため、放流位置の異なるダム放流量と新庄発電取水量を決定し放流している。利水基準地点のうち、新町と嵐山は、各取水堰の位置関係等を考慮し、確保流量地点（以下「基準地点」という。）を設けて流量管理を行っている。利水基準点等の位置関係を図-1に示す。

放流量の決定にあたっては、ダム地点から基準地点までの到達時間（図-1）、既得用水取水量の変動、ダム下流残留域の流量変動や降雨状況等による基準地点の流量変動を予測し、新庄発電所の効率的な運用や舟運などを考慮する必要があり、職員の操作経験と既存の流出予測システムを活用して放流量を決定していた。しかしながら、既存の流出予測システムは、主に高水管理の運用に構築されたものであり、低水管理への運用には、精度上の課題があった。

そのため、日々の低水管理における放流量の決定を支援

し、職員の低水管理の習熟と業務の効率化を図り、更なる有効的な利水補給を実現することを目的として、システムを構築した。

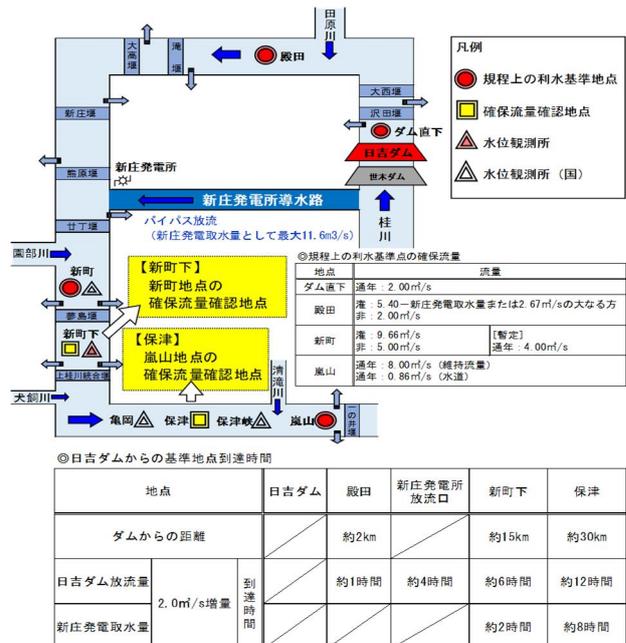


図-1 利水基準地点等の位置図と到達時間

2. システムの構成概要

(1) AI的予測手法の概要

システムは、時系列データなどの連続したデータ解析に特化し、過去の情報を引き継ぐ（記憶する）ことができるRNN（Recurrent Neural Network）を用いて実施した。RNNモデル概要を図-2に示す。

RNNとは、「再帰型ニューラルネットワーク」とも呼ばれ、入力データと出力データとする教師データの組み合わせを隠れ層を介して、その関係性を学習するモデル構造であり、洪水時の流入量予測などの時系列を考慮するタスクに再現性の高いモデルとして用いられている。

(2) システムの概要と計算フロー

日吉ダムの低水管理運用は、ダム下流の基準地点の流量を確保するように放流量（補給量）を決定することから、AI的予測手法を用いたシステムでは、目的変数を基準地点（殿田、新町下、保津）の河川流量、説明変数を低水時の河川流量に大きく影響される雨量、ダム放流量、新庄発電取水水量、支川からの流入量及び取水水量・還元水量とし、現時点から24時間先までの基準地点流量と日吉ダムからの放流量（補給量）を出力するシステムとした。システム概要を図-3に示す。

システムの計算は、日吉ダムの流入量予測と基準地点の流量予測に大別され、それぞれの予測結果を用いて、最適な放流量（補給量）を算出した。システムの計算フローを図-4に示す。

3. 水収支予測の検討

(1) 水収支の算出

日吉ダム下流の水収支を把握するため、取水施設のデータ収集を行ったが、取水口等に観測機器が設置されていない箇所も多く、取水量から水収支を算出することは困難であった。そのため、基準地点間の下流基準地点の河川流量から上流基準地点の河川流量を減じたものは、区間水収支（支川流入量と取水水量・還元水量の総和）として整理した（図-5）。

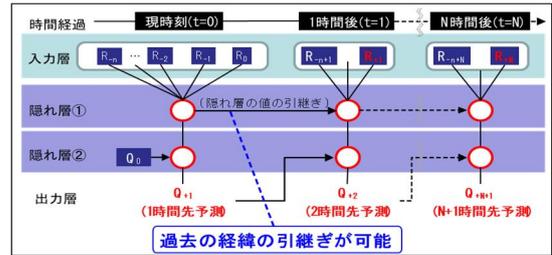


図-2 RNNモデル概要

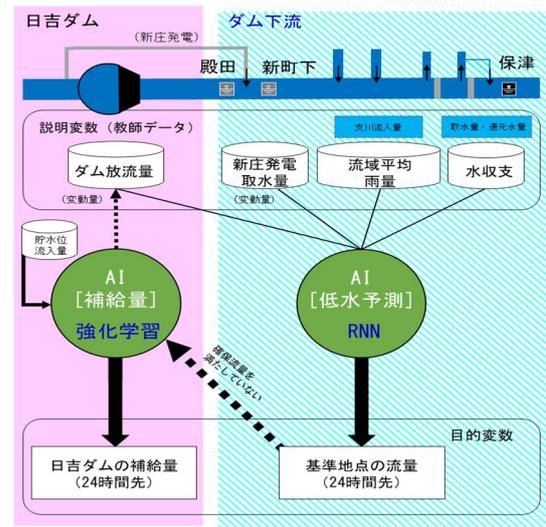


図-3 システム概要

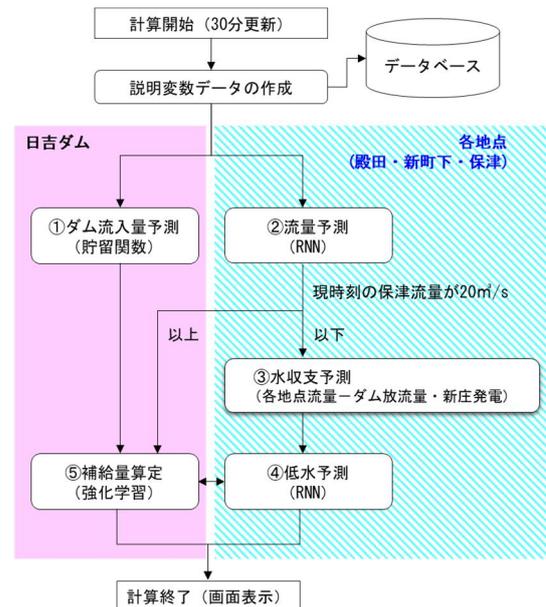


図-4 システムの計算フロー

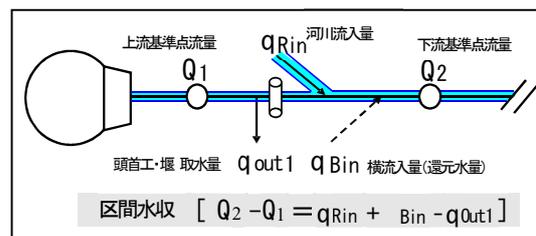


図-5 水収支模式図

(2) 水収支の予測

水収支の予測は、河川流量予測結果と減衰曲線による予測を組み合わせ、基準地点の水収支を予測するものとした。水収支の予測イメージと条件を図-6に示す。

現時刻までの水収支は、現時刻の基準地点の流量からダム放流量と新庄発電取水量を減じたものとして、実績値から算定した。一方、現時刻以降の予測では、降水量がない場合（10mm以下）は、現時刻の水収支を基に減衰曲線を用いて予測した。降水量がある場合（10mm以上）は、減衰曲線を用いると降雨による流出を再現できないため、河川流量予測結果を基に予測した河川流量と到達時間を考慮したダム放流量と新庄発電取水量の流量差を用いて予測するものとした。

4. 低水予測モデルの検討

(1) 説明変数の検討

RNNモデルを用いて、低水管理の基準地点のひとつである保津を目的変数とし、雨量、ダム放流量、新庄発電取水量を基に、水収支を説明変数に追加することで、低水時の河川流量を予測するのに適した説明変数を検討した。

検証期間は2018年の出水以降、下流河川の河道が変化したため、2018年から2021年とし、テスト期間は2021年のかんがい期と非かんがい期で河川流量の少ない期間を選定した。検討した条件を表-1に示し、検討した条件結果を以下に示す。

a) 全期間を対象とした検証結果(Case1)

雨量、ダム放流量及び新庄発電取水量を説明変数とし、全期間（2018年から2021年）を教師データとして計算した。その結果、降雨等による出水期間が含まれているため、常に河川流量が大きくなる予測となった（図-7）。

b) 平常時の期間を対象とした検証結果(Case2)

雨量、ダム放流量及び新庄発電取水量を説明変数とし、Case1の検証結果を踏まえて、降雨による出水の影響が少ないと考えられる平常時を教師データとするため、保津の流量が20m³/s以下の期間を教師データとして計算した。その結果、保津の流量を概ね再現することができたが、ダムからの放流（補給量）を再現できない予測とな

った（図-7）。

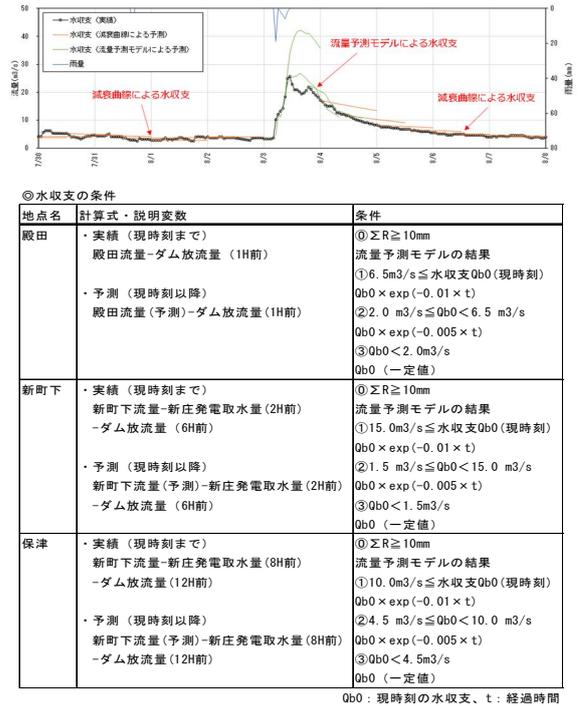


図-6 水収支の予測イメージと条件

表-1 各Caseの計算条件

Case	条件	説明変数	目的変数	備考
1	学習期間（学習：2018年～2020年、テスト：2021年）	雨量 ダム放流量、新庄発電取水量	保津流量	
2	学習期間（学習：2018年～2020年、テスト：2021年） ※保津流量20m ³ /s以下を対象	雨量 ダム放流量、新庄発電取水量	保津流量	
3	学習期間（学習：2018年～2020年、テスト：2021年） ※保津流量20m ³ /s以下を対象	雨量 ダム放流量、新庄発電取水量 水収支（保津流量-（ダム放流量・新庄発電取水量））	保津流量	採用

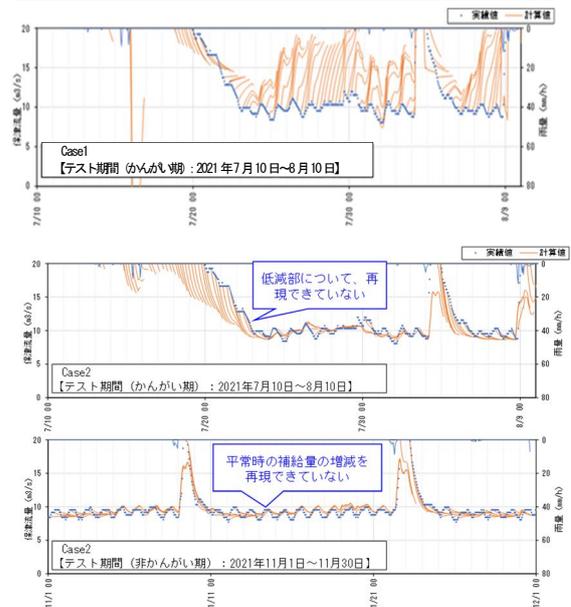


図-7 計算結果 (Case1, Case2)

c) 水収支を説明変数に追加した検証結果(Case3)

Case2 の結果を踏まえ、基準地点の流量と到達時間を考慮したダムからの補給量の差は、支川流量や取水量・還元水量の影響による流量の変化(水収支)であり、これを説明変数に追加した。その結果、平常時においてダム補給量の増減や降雨による流量の増加、減少を再現できる予測となった(図-8)。

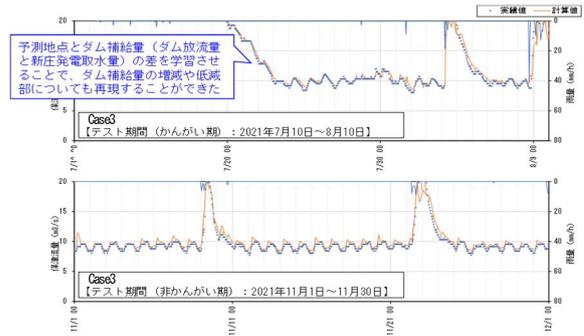
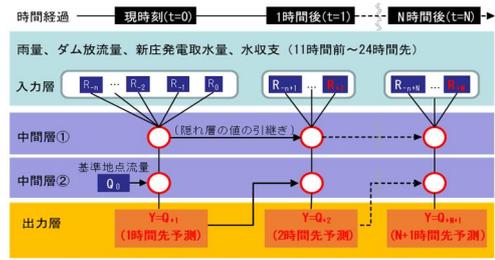


図-8 計算結果 (Case3)

(2) 低水予測モデルの構成

説明変数の検討結果より、降雨の影響が少ないと考えられる平常時の流量である保津の流量が 20m³/s 以下を対象として、基準地点(殿田, 新町下, 保津)の河川流量を目的変数、雨量、ダム放流量及び新庄発電取水水量に水収支予測モデルを説明変数に追加し、RNN を用いて、低水予測モデルを構築した(図-9)。



◎説明変数と目的変数

項目	設定
学習期間	・2018年～2021年(2018年～2021年で学習、2021年で検証)
説明変数	・雨量 殿田：ダム流域平均雨量、新町下：園部、保津：園部 ・ダム放流量 ・新庄発電取水水量 ・水収支 殿田：殿田流量-ダム放流量(1H前) 新町下：新町下流量-ダム放流量(6H前)-新庄発電取水水量(2H前) 保津：保津流量-ダム放流量(12H前)-新庄発電取水水量(8H前)
目的変数	・基準地点流量(殿田・新町下・保津)

図-9 低水予測モデル概略図と変数(RNN)

(3) 低水予測モデルの精度検証

2021 年を対象として、基準地点を計算した結果(図-10)と、RMSE・MAE を用いて精度評価した結果(表-2)を以下にまとめる。

- 基準地点の流量を 24 時間先まで精度良く再現
- 確保流量に対する基準地点流量の不足を再現
- 降雨による基準地点流量の増大や減衰を再現

以上より、低水予測モデルが基準地点流量を精度よく計算できていることを確認した。

表-2 精度検証結果(保津流量 20m³/s 以下対象)

地点名	評価手法	6時間後	12時間後	18時間後	24時間後
殿田	RMSE	0.83	0.894	1.425	1.417
	MAE	0.199	0.222	0.452	0.489
新町下	RMSE	1.006	1.118	1.543	1.492
	MAE	0.332	0.371	0.601	0.552
保津	RMSE	1.204	1.38	1.918	1.869
	MAE	0.392	0.454	0.795	0.82

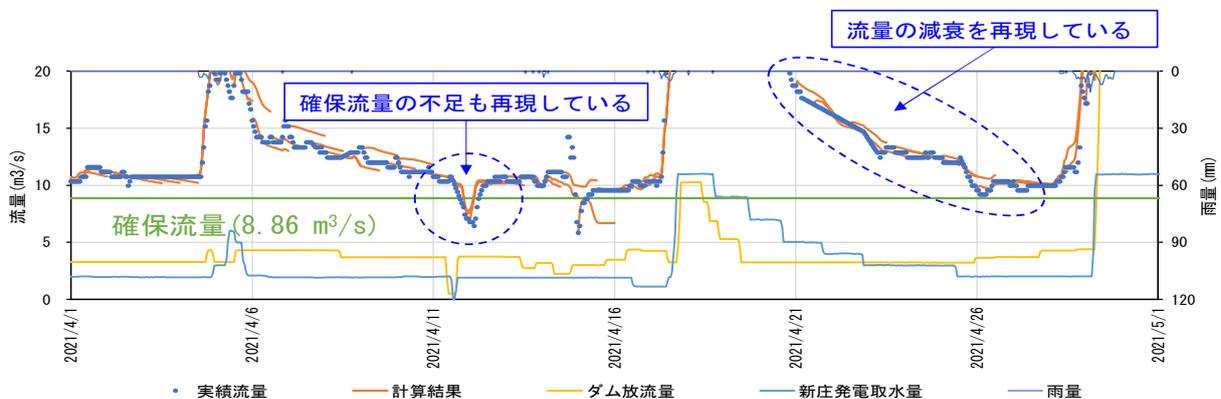


図-10 低水予測結果(保津)

5. 放流量（補給量）算定モデルの検討

これまでの予測を踏まえ、最終的なダムからの放流量を決定するため、放流量（補給量）を算定するモデルを構築した。

算定モデルは、動的計画法を採用し、管理目標（補給量のネックとなる保津地点河川流量や確保流量等）に応じて最適な放流量を算出した。算定例を図-12に示す。その結果、確保流量を満足する放流を行うことができた。しかしながら、放流量は毎時間変更する必要があり、ダム操作の実状とかけ離れていた。そのため、低水管理時の放流量の変更操作は、ダム操作の実状と合わせて24時間先まで確保流量を常に満たすように放流量を算定した。放流量の算定方法を図-13に示す。

なお、動的計画法は、R. Bellma（1957）によって開発された数理計画法である。多段決定問題に適しており、全体の最適化問題を小さな部分に分割して、それぞれの解を組み合わせ、全体的な最適解を得る手法である。

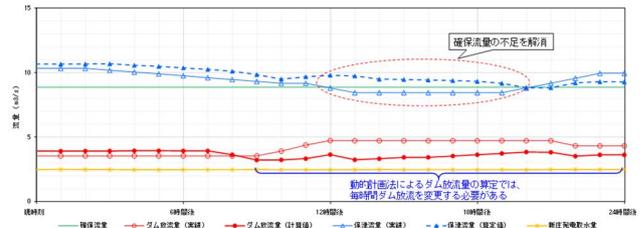


図-12 放流量の算定例

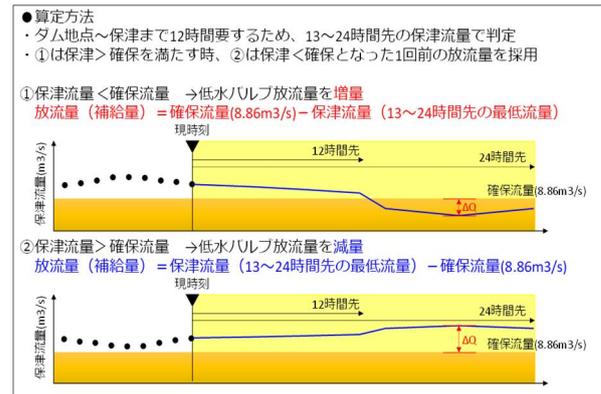


図-13 放流量の算定方法

6. システム画面

システム画面を図-14, 15に示す。ダムからの放流は基準地点に一定時間後に到達するため、到達時間後の結果がわかるように流域図を作成した。

また、到達予測では、AI的手法を用いた最適放流量と現時刻の放流量を継続した場合の継続放流量を切り替えて表示できるように作成した。

さらに、日吉ダムと基準地点（殿田、新町下、保津）を比較できるようにグラフ表示や数値表を作成した。

7. 2023年度のシステム活用

本システムを2023年度(令和5年度)より試行的に運用を導入し、日々の低水管理における職員のダム放流量を決定するための操作支援や利水補給の判断に活用した。

2023年度は9月、10月にかけての小雨傾向により、ダム下流への補給を行ったため、日吉ダムの管理開始以降、最も



図-14 システム画面（流況図）

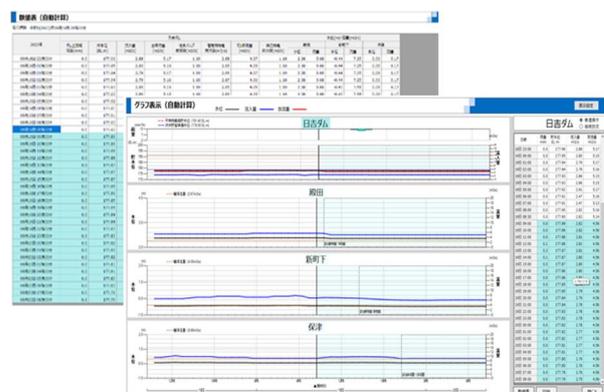


図-15 システム画面（数値表、グラフ）

低い水位まで到達した(図-16)。日吉ダムの貯水量の低下に伴い、11月4日から2月22日までの111日間、水道用水・かんがい用水の取水制限及びダム放流量制限などの渇水調整を行った(図-17)。渇水時についてもシステムを用いて放流量の決定を検討したが、本システムには、学習データに渇水時の流量データが含まれていなかったため、精度に課題があることがわかった。

8. まとめ

AI的予測手法(RNN)を用いて、基準地点の確保流量を満足させるように放流量(補給量)の決定を支援する低水管理支援システムを構築した。

低水予測モデルは、放流量を決定する因子(ダム流入量、河川流量及び水収支等)を明らかにした上で、基準地点流量を再現計算し、職員の操作支援と利水補給の判断に活用することができ、業務の効率化となった。

しかしながら、渇水時の基準地点の流量予測については、学習データに渇水時の流量データが含まれていなかったため、渇水時の予測精度に課題があることがわかった。

今後、渇水時の実績データや予測結果を検証し、更なる効率的な利水補給の実現と桂川の河川利用実態に応じた

システムの実装を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 日吉ダム低水管理支援システム構築業務報告書(2023年3月)

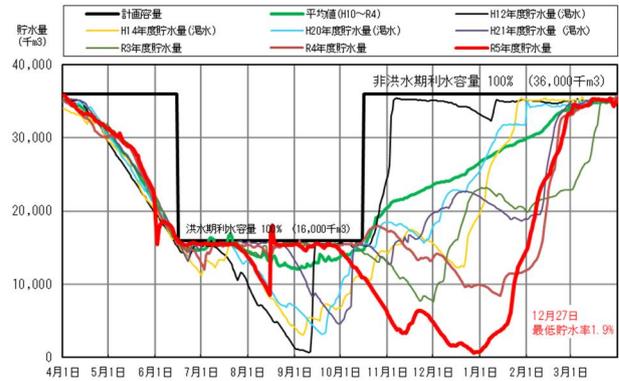


図-16 日吉ダム貯水量

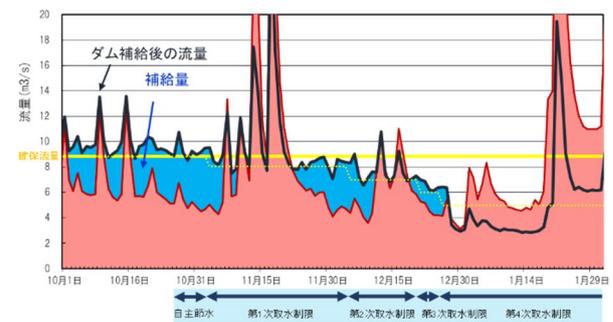


図-17 基準地点(保津)の流量