

# 流出モデルを用いた低水時におけるダム操作の検討

水文気象研究室 11334791 野本侑里  
指導教員 陸 旻皎

## 1 はじめに

ダムの利用目的は洪水調節だけではなく、工業用水、農業用水の確保、発電など市民生活に深く関わり、その管理運用は、重要である。現行のダム操作では、観測流入量から判断し、調節を行っているが、平成16年度に国土交通省より、「豪雨対策緊急アクション」が制定されて以降、予測情報を用いたダムの洪水調節について数多くの研究が行われている。予測情報を用いたダム操作は、事前にダム流入量やダムの貯水量の把握することが可能であり、洪水や渇水が発生した際の計画的なダム操作やダム運用へ利活用が可能である。しかし、予測情報を用いた操作は数多く報告されているが、渇水時(低水時)における長期的なダム操作を報告した事例は数少ない。

このような背景の基、本研究では、山本・陸(2009)が提案した集中型モデルである SFXAJ3 モデルを用いて流入量を求め、その予測流入量を用いた渇水時の操作方法を提案し、検討することを目的とする。

## 2 対称ダム・使用データ

対象ダムは一級河川吉野川水系吉野川の上流部に位置し、流域面積は 417 km<sup>2</sup>である早明浦ダムとする。解析期間は 2004 年 1 月 1 日から 2008 年 12 月 31 日までとし、使用データの時間分解能は 1 時間である。

SFXAJ3 モデルには、入力値として降雨量と蒸発能が必要である。蒸発能の推定にはマッキンクの式を使用し、データは気象庁の高知気象台から入手した。流域解析に用いた水文情報は、雨量及びダム流入量を国土交通省水文水質データベースより入手した。

## 3 使用モデルの概要

本研究では流入量予測のため集中型モデルである SFXAJ3 モデルを用いた。SFXAJ3 モデルは、表面流出と中間流出、地下水流出の 3 成分の新安江モデル(XAJ3 モデル)が流出量の評価と流出集中過程を表現し、貯留関数法(SF モデル)で河道の集中効果を表現している。概念図は図-1 に示す。

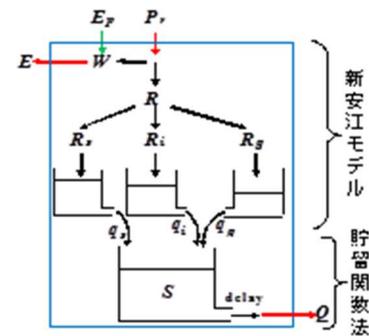


図-1 流出モデルの概念図

## 4 流入量の予測結果及び精度

流入量の予測結果は、観測流量と比較し、評価した。評価指標としては、Nash の効率係数 E を用い、評価した。式(1)に Nash の効率係数 E を示す。今回、2004 年から 2008 年までの E は、それぞれ 0.7, 0.83, 0.7, 0.73, 0.68 と概ね良好である。図-2 に流出モデルによる結果を示す。

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_{o(i)} - Q_{c(i)})^2}{\sum_{i=1}^{i=n} (Q_{o(i)} - \bar{Q}_o)^2} \dots \text{式(1)}$$

ここで、 $Q_c$  は計算流量、 $Q_o$  は実測流量、 $\bar{Q}_o$  は平均実測流量、 $E$  は Nash の効率係数である。

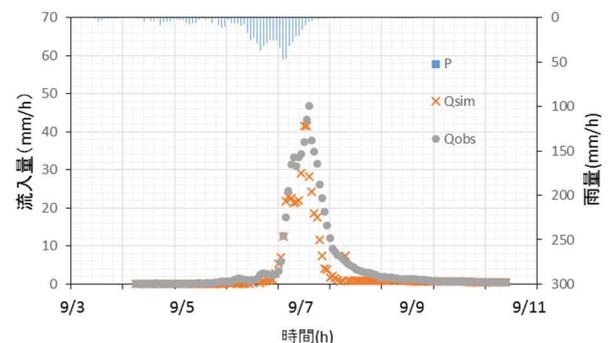


図-3 大規模イベントダム流入量予測結果

## 5 ダム放流操作の概要

低水時のダム操作の提案として本研究では予測時間として計算された先行時間分の流入量と放流量の関係からダム貯留量を求め(式 2)、取水制限が行われる基準である貯留量が 60%を下回る時から取水制限を開始し、

低水時にどれほど渇水を緩和できるかを検討するシミュレーションを行う。

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + \sum_{i=1}^t \{Q_{in} - Q_{out}\} \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

ここに、V はダム内貯留量、 $Q_{in}$ はダムへの流入量、 $Q_{out}$ は放流量、tは時間(h)である。

表-1 取水制限の内訳

		運用値	第1次	第2次	第3次	第4次
		m3/s	m3/s	m3/s	m3/s	m3/s
徳島用水	不特定水	43	43	43	43	43
	新規用水	7.01	5.61	4.56	3.51	2.01
	未利用水	7.28	0	0	0	0
香川用水	新規用水	14.48	11.58	9.41	7.24	5.79
	合計	71.77	60.19	56.97	53.75	50.81

様の節水率とし、それぞれ第1次取水制限から第4次取水制限まで、20%、35%、50%、71.3%と定めた。

表-2 不特定水の内訳

不特定水	通常	1次	2次	3次	4次
節水率	0%	20%	35%	50%	71.30%
農業用水(m3/s)	28	22.4	18.2	14	8.036
都市用水(m3/s)	2	2	2	2	2
河川維持用水(m3/s)	13	13	13	13	13
合計(m3/s)	43	37.4	33.2	29	23.036

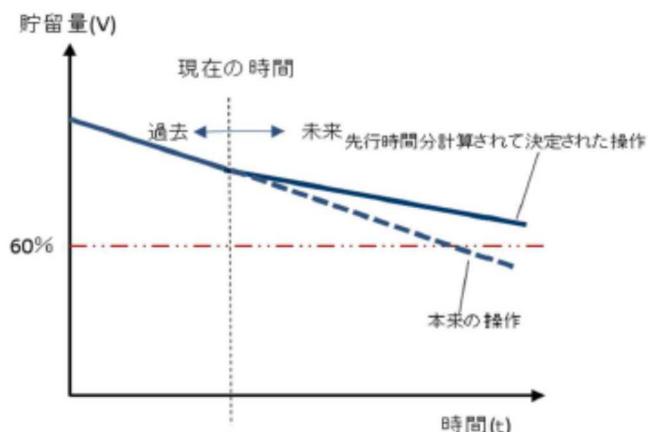


図-3 ダム操作の概念図

### 6.3 sim3の操作概要

sim3 では、先行研究として、依田ら(2009)は渇水の影響は、その発生地域、発生状況によって用水ごとに様々であり、その影響は、制限率だけでなく、制限日数により大きく変化するとし、平成元年から19年に発生した1165の渇水被害の報道記事等の渇水被害情報から読み取れる渇水時の影響について制限率と制限日数で整理し、水道用水、工業用水、農業用水毎の渇水リスク被害レベル区分を定めた。取水制限値10%程度なら被害リスクは少ないという結果から、第1次取水制限が開始される前に、第0次制限を早明浦ダム利水貯留量70%の地点から新規に設け、操作を行った。概念図について図-4に示す。取水制限値は、通常通りと定めた。

## 6 ダム操作シミュレーション

今回、提案したダム操作はsim1からsim5までの5パターンあり、ここでは、各シミュレーションパターンについて示す。

### 6.1 sim1の操作概要

sim1では、先行時間のみの操作を行った。取水量は通常通りの値とした。

### 6.2 sim2の操作概要

sim2では、取水制限値を変化させ、操作を行った。取水制限値変化の対称として本来、取水制限の対象外である不特定水の節水を試みた。不特定水とは、早明浦ダム建設以前から徳島県において利用されていた用水と河川維持用水の総称である。不特定水の内訳は、農業用水、都市用水、河川維持用水の3つに分かれている。不特定水の内訳について表-2に示す。今回は、比較的市民の生活に直接的被害の少ない農業用水を対象として節水を行った。節水率は、徳島県と香川県の新規用水と同

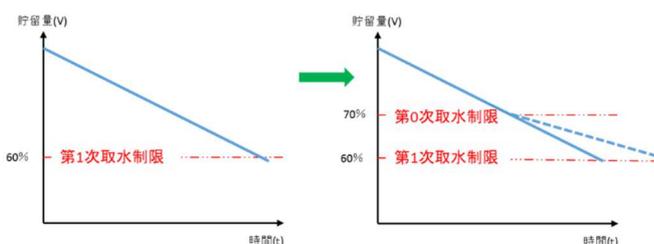


図-4 第0次制限概念図

### 6.4 sim4 の操作概要

sim4 では、第3次取水制限より、香川県の水道水の節水率が25%となる。節水率が25%以上になり、渇水被害リスクが高まる。香川県の渇水被害リスク軽減のため、徳島県の節水率を同様に定める。そのため、第3次取水制限時より、不特定水の10%カットを行う。取水量について図-5に示す。今回、sim3で示した第0次制限も行い組み合わせてシミュレーションを行う。

### 6.5 sim5 の操作概要

sim5 では2005年の実際の渇水時に国土交通省四国整備局局長から実際に提案されたが実現には至らなかった操作を行う。その内容とは、第3次取水制限時より不特定水の30%カットを行うという内容である。そのため、sim5では、第3次取水制限時より不特定水30%カットを行った操作を示す。取水量については図-6に示

す。また、sim4と同様に第0次取水制限も操作に組み込みシミュレーションを行う。

### 7 対象期間及び使用データ

対象期間は早明浦ダムで無降雨日が続き、ダムへの流入量が減り始めた時期である2005年7月15日を開始日とし、8月31日までとする。初期ダム貯留量は11年間の7月期のダム貯水量の平均値である83%から操作を開始する。ダム操作シミュレーションで使用した流入量は、流出モデルで算出した $Q_{sim}$ と、実測のダム流入量に、早明浦ダム流域内の導水量は減算、取水量は加算し求めた値を $Q_{obs}$ とし使用した。今回の検討で用いた先行時間は12時間から72時間である。操作シミュレーションは、sim1からsim5まで行った。シミュレーション結果は、先行時間72時間を用いた場合の結果を示す。実測ダム流入量を用いた操作は図-7、予測ダム流入



図-5 sim4 の取水量



図-6 sim5 の取水量

表-3 ダム操作シミュレーション結果(上図：実測ダム流入量, 下図：予測ダム流入量)

	貯留量60%になるまでの時間 (h)					貯留量45%になるまでの時間 (h)					貯留量30%になるまでの時間 (h)					貯留量15%になるまでの時間 (h)				
	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5
Qobs	3	6	24	24	24	4	32	25	25	25	4	68	24	26	31	4	196	27	44	92
12時間	3	6	24	24	24	4	32	25	25	25	4	68	24	26	31	4	196	27	44	92
24時間	7	12	27	27	27	7	40	29	29	29	8	79	29	32	40	10	226	32	51	220
36時間	10	17	31	31	31	11	49	33	33	33	13	89	33	38	49	15	245	38	58	237
48時間	13	22	35	35	35	15	57	37	37	37	17	99	38	43	60	25	264	43	66	253
60時間	16	27	38	38	38	19	65	41	41	41	21	109	42	49	70	30	283	48	73	266
72時間	19	33	41	41	41	23	74	45	45	45	25	119	46	55	80	35	351	53	80	280
Qsim	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5	sim1	sim2	sim3	sim4	sim5
12時間	2	4	14	14	14	3	22	17	17	17	4	59	20	21	26	4	145	23	40	85
24時間	4	7	17	17	17	6	28	20	20	20	8	69	25	27	36	9	163	29	47	97
36時間	7	11	19	19	19	10	35	24	24	24	12	79	29	34	45	15	180	34	54	109
48時間	9	15	21	21	21	13	41	27	27	27	16	89	33	39	55	20	197	39	61	120
60時間	11	19	24	24	24	16	48	30	30	30	20	99	38	45	65	25	215	44	68	132
72時間	14	22	26	26	26	19	55	34	34	34	25	109	42	51	75	30	232	50	75	144

超過確率分布に代表的な極値分布の一例として Gumbel 分布より算出した結果も併示する。(図-9)

表-4 年最大連続無降雨期間

年	最大連続無降雨日 (day)
2003	6
2004	9
2005	11
2006	12
2007	6
2008	6
2009	9
2010	6
2011	4
2012	5
2013	15

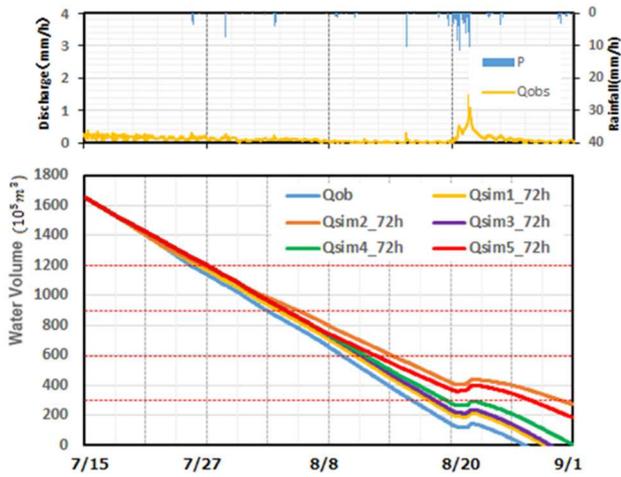


図-7 実測ダム流入量操作結果

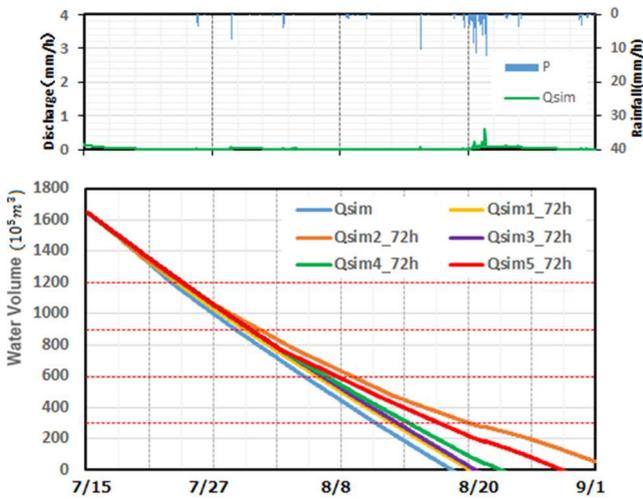


図-8 予測ダム流入量操作結果

量を用いた操作は図-8 に示す。また、全操作の結果を表-3 に示す。

### 8 非超過確率

各シミュレーション結果から、ダムの利水貯留量は延命され、降雨機会も増えた。提案ダム操作の有効性の評価として、非超過確率を用い、降雨機会がどの程度増加したか評価を行う。超過確率・非超過確率とはある一定期間内に生ずると予測される最大値を確率的に求めた再現期待値がその値を超える確率を超過確率、超えない確率を非超過確率という。本研究では図式解法が手間なく、直感的で明解なプロットングポディション方式のcunnane 式を採用した。(式(3))

$$F(X_i) = \frac{i-a}{N+1-2a} \dots \dots \dots \text{式(3)}$$

ここに、 $F(X_i)$ は非超過確率、 $i$ は順序、 $N$ はデータ個数、 $a$ は定数(2/5)である。

年最大無降雨期間日数は表-4 に示す。また、今回は非

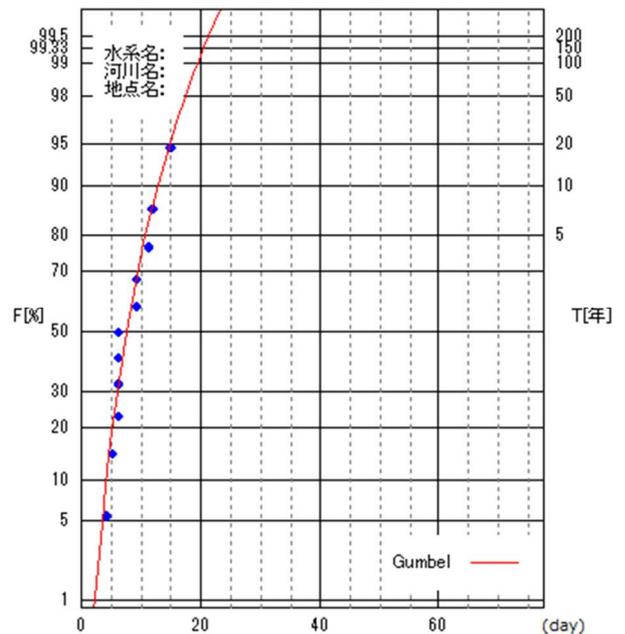


図-9 非超過確率結果

## 9 結果・考察

先行時間による効果は、先行時間が長いほど利水貯留量が延命する効果が大きくなり、取水制限の制限値を増加させると、先行時間を用いた操作は、遅滞時間が長くなりより効果的である。不特定水を節水の対称に入れ、操作を行うと、大幅に利水貯留量を延命させる結果を得た。第3次取水制限より、不特定水を節水対象に入れたsim4, sim5を比較すると、第4次取水制限時で最大200時間多くsim5の方が利水貯留量を延命させた。これは、取水制限値の不特定水の占める割合は多く、取水制限値を考慮に入れる操作は大幅に利水貯留量を多く保つことが可能である。しかし、sim2やsim5は不特定水を大幅に減らしているため、市民生活や農業被害などの渇水被害リスクが高いが、sim2では、渇水確率年は1/20年であり、高確率で降雨を望める結果を得た。sim4では、取水制限のリスクはsim2, sim5よりは被害が小さい。しかし、sim4では、渇水確率は19/20年であり、降雨を望める可能性が低確率である。次に0次制限を設けた操作は、各取水制限開始時刻を遅滞させることが可能である。また、0次制限は、第4次取水制限や第3次取水制限より、第1次取水制限や第2次取水制限時により効果的である。

## 10 結論

- ・ 対象流域において、計算の簡単な集中型モデルを構築し、ダムに流入する量の再現が可能である。
- ・ 先行時間を用い、ダム操作を行うことで、ダムの利水貯留量を延命させた。
- ・ 取水制限値を増加させ、不特定水を節水の対称に入れることで、ダムの利水貯留量を延命させた。
- ・ 0次制限と新たな基準を設けることで、ダムの利水貯留量を延命させた。
- ・ 先行時間や不特定水を節水対称に入れる操作、0次制限を設ける操作などを組み合わせることで、より利水貯留量を延命させる効果が得られた。
  
- ・ 不特定水を大幅に節水対象に入れることで、ダムの利水貯留量の大幅な延命化され高確率で降雨機会が増えるが、渇水被害リスクが高まる。不特定水を10%カット程度なら、渇水被害リスクは遡減させられるが、降雨機会が低確率である。
- ・ ダム操作シミュレーションに予測ダム流入量を用いた場合でも、実測ダム流入量と同様な効果が見ら

れるため、予測情報を用いたダム操作は有効であることが示唆された。

## 参考文献

1. 坂本朝子, 陸旻皎: 流出モデルのダム管理への利活用について, 長岡技術科学大学修士論文, 2011
2. 臼谷友秀, 中津川誠: 積算予測雨量に基づいた融雪期におけるダム洪水調節機能の向上について, 土木学会論文集B, Vol. 66, No.3, pp268-279, 2010
3. 和田一範, 川崎将生, 富澤洋介: 河川の高水管理における予測降雨情報の適用性に関する考察, 水文・水資源学会誌, Vol. 18, No.6, pp.703-709, 2005
4. 山本隆弘, 陸旻皎: 連続シミュレーションが可能な貯留関数法の開発と評価-有効降雨計算を2成分, 3成分新安江モデルに置き換えた場合の比較-, 水文・水資源学会2009年度研究発表会要旨集, pp104-105, 2009
5. 永井明博, 田中丸治哉, 角屋睦: ダム管理の水文学-河川流域の洪水予測を中心として-, 森北出版株式会社, pp110-141, 2003
6. 依田憲彦: 給水制限を考慮した渇水被害レベルの区分, 国土交通省国土技術政策総合研究 HP, 2009
7. 鈴木研二, 山本由紀代, 古家淳: ラオス・ビエンチャン特別市における日降雨特性の経年変化, 水文・水資源学会誌, Vol.20, No.1, pp17-24, 2007
8. ダム水源地環境整備センター編: ダム管理の実務, 株式会社光和, 2000