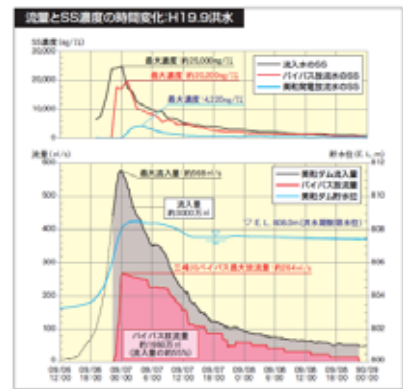


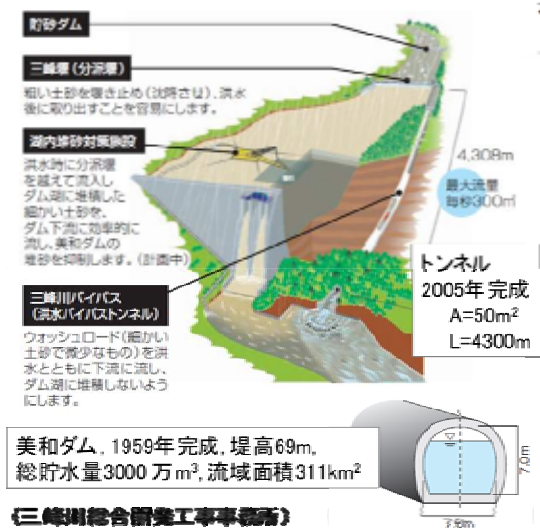
技術研究開発テーマ名	美和ダム排砂バイパスシステムの運用高度化に向けた流砂モニタリング手法の開発		
研究代表者			
氏名	所属・役職		
角 哲也	京都大学防災研究所水資源環境研究センター・教授		
共同研究者			
氏名	所属・役職		
櫻井 寿之	(独)土木研究所水工研究 G ダム水理チーム主任研究員		
野原 大督	京都大学防災研究所水資源環境研究センター助教		
Kantoush Sameh	京都大学防災研究所水資源環境研究センターポスドク研究員		

背景・課題

昭和 34 年完成の天竜川水系美和ダムは、土砂堆積の影響による容量減少が顕著であり、ダム貯水池の堆砂対策として「排砂バイパストンネル」が建設され、平成 18 年より本格運用が始まっている。美和ダムは国土交通省所管の多目的ダムであり、利水目的の貯留操作と洪水調節や土砂排出を目的とする放流操作を適切に行うことが求められる。しかしながら、河川上流域からの土砂流出は洪水波形とは必ずしも一致せず、特に洪水がシャープな場合には、ダムへの貯留運用からバイパス運用への切り替え判断が難しいのが現状である。本研究では、これを支援するために上流域の河川情報を予測情報として活用した操作手法の検討を行う。またバイパス運用による効果を現地で連続的にモニタリングする手法の開発も行う。



美和ダム洪水バイパストンネル



●美和ダム	形式	重力式コンクリートダム
	堤高	69.1m
	最大貯水量	311.1万m ³
●貯砂ダム	全長	144.4m
	高さ	13.3m
	堆砂容量	30.7万m ³
●三峰壱	全長	644.0m
	高さ	20.5m
	貯砂容量	52.2万m ³
●三峰川バイパス	全長	4,300m
	断面形状	楕円形
	断面の中心	7.8m
	最大流量	300m ³ /s



図 1 美和ダム排砂バイパストンネル概要とバイパス放流操作の例 (H19.9 洪水)

技術研究開発の目的

これらの背景のもと、本研究では以下の課題に取り組む。

1) 排砂バイパス操作を高度化するための土砂流出予測および操作支援モデルの開発
ダム上流河川(複数箇所)の濁度観測および降雨情報等を用いて分派堰地点への流入浮遊土砂濃度の毎時リアルタイム予測およびこれを用いた最適バイパス操作手法の提示 (H21-23)

2) 排砂バイパス効果のモニタリング手法の開発
分派堰・バイパス水路の ITV カメラ画像を用いた流速計測および浮遊土砂濃度計測を組み合わせた流砂モニタリング手法(バイパス水量・バイパス土砂量の推定)の提示 (H21-23)

技術研究開発の内容・成果

1. 研究手法

(1) 上流域における濁度連続計測

美和ダム上流は、図 2 のように大きく三峰川(代表地点: 杉島) 黒川(代表地点: 鷹岩)に分割され、これら流域の平均時間雨量、ダム流入量を予測情報として利用する。さらに本研究では、これら上流 2 地点の濁度を濁度計(JFE アドバンテック INFINITY-Turbi)により連続計測し、これら情報を総合化させて、貯水池内のバイパス地点の流入濁度を予測する。計測は 10 分ごとにワイパーが起動して 1 秒ごとに 10 サンプルのデータを記録し、これを 10 分ごとの平均値として処理した。計測期間は H22-23 の 2 年間(2010 年 6 月 18 日~2010 年 10 月 14 日, 2011 年 4 月 27 日~2011 年 10 月 14 日)であり、この間のダム流入量 30m³/s 以上の 13 洪水(うち、バイパス放流 6 回)を対象とした。

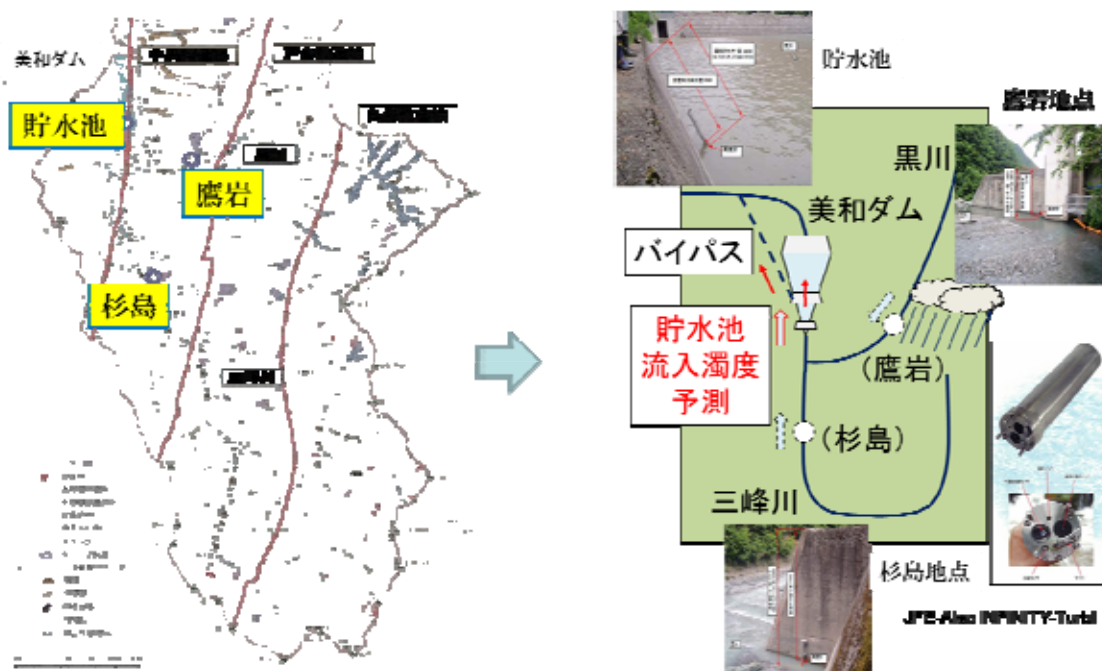


図 2 美和ダム流域図(上流: 杉島, 鷹岩, 貯水池: バイパス入口)と濁度計(INFINITY-Turbi)

(2) 分派堰およびバイパス水路に設置した ITV カメラ画像を用いた流速・濁度計測

美和ダムの排砂バイパス操作は図 3 に示す 3 つのモードに分けられ、これらを順次切り替える(スイッチング操作)ことになる。

- Mode 1: 通常の貯水操作であり、全ての流れが分派堰を越えて貯水池に流入する
- Mode 2: バイパス放流操作であり、図 3 に示すように発電使用水量(25m³/s)を除いて、バイパス最大流量 300m³/s までの洪水量がバイパストンネルに流入する
- Mode 3: バイパス放流後に通常の貯水操作に復帰させる操作であり、全ての流れが分派堰を越えて貯水池に流入する

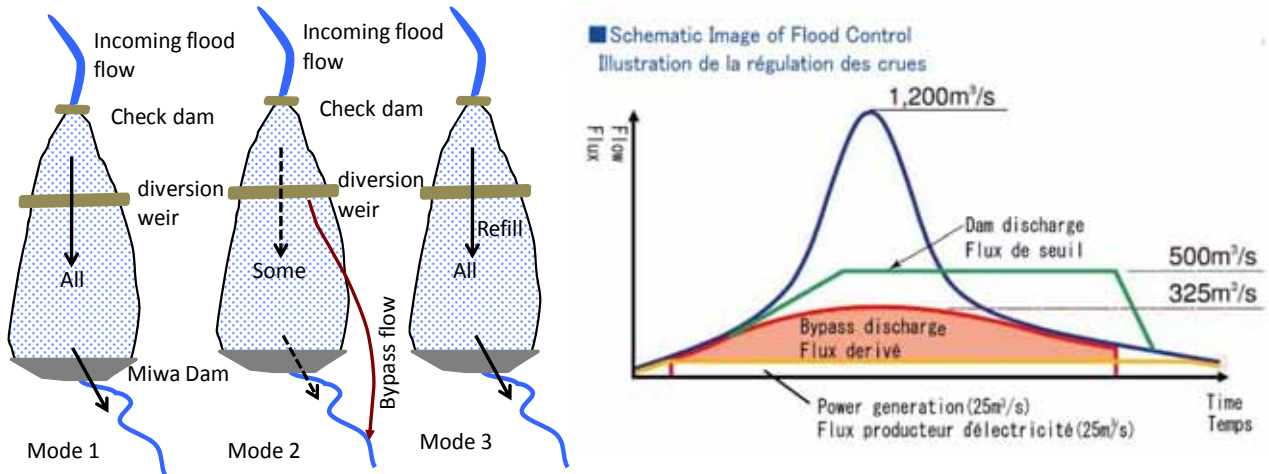
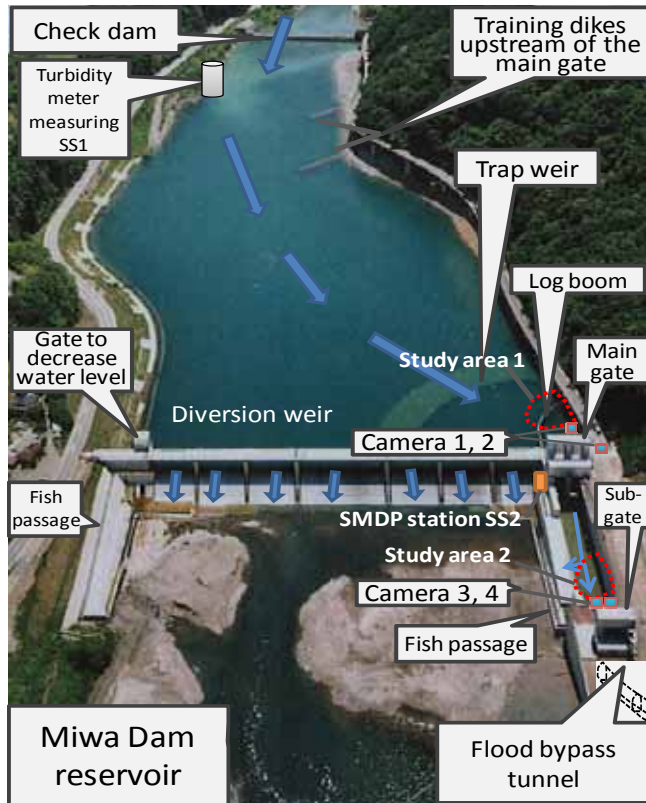


図3 美和ダム排砂バイパスのスイッチング操作

本調査では、このような排砂バイパストネルのスイッチング操作に伴う貯水池内からバイパストネル流入部にかけての流動場と濁度を把握し、美和ダム排砂バイパスシステムの運用高度化に向けた流砂モニタリング手法を開発する。具体的には、図4に示すようにバイパストネル流入部（カメラ1,2）およびトンネル内（カメラ3,4）にITVカメラを設置し、映像記録装置に記録した映像を解析して流動場の変化をLSPIV（Large Scale Particle Image Velocimetry：大規模画像粒子流速測定法）により分析する。また、同じ画像を用いてバイパスに流れ込む流れの濁度変化も分析する。濁度データは、貯砂ダム下流右岸に設置した濁度計（JFEアドバンテック INFINITY-Turbi）および分派堰左岸の魚道部に設置したSMDP（差圧計測による浮遊土砂濃度計測）さらには、マニュアルサンプリングによるSS濃度との比較検証を行う。



分派堰より撮影映像



バイパス主ゲート上流側



副ゲートカメラによる撮影映像

図4 分派堰およびバイパス水路部における流速および濁度計測

(3) 排砂バイパス操作を高度化するための土砂流出予測および操作支援モデルの開発

杉島・鷹岩・貯砂ダム地点の前時刻の濁度（SS 濃度） 流域雨量、流入量などのパラメータを用いて分派堰（貯水池）の濁度（SS 濃度）を予測（1, 3, 6 時間程度）するモデルを開発する。検討する予測手法は、図 5 に示す統計的予測手法である線形重回帰モデル（MLR）および人工ニューラルネットワーク（Artificial Neural Network: ANN）である。また、得られた予測モデルを用いて、排砂バイパスのスイッチング操作をより効果的に行うための操作支援方策について検討を行う。なお、予測手法の評価のポイントは、出水規模による予測精度の違い、予測の安定性・予測の計算速度（リアルタイム予測に耐えるか）などである。

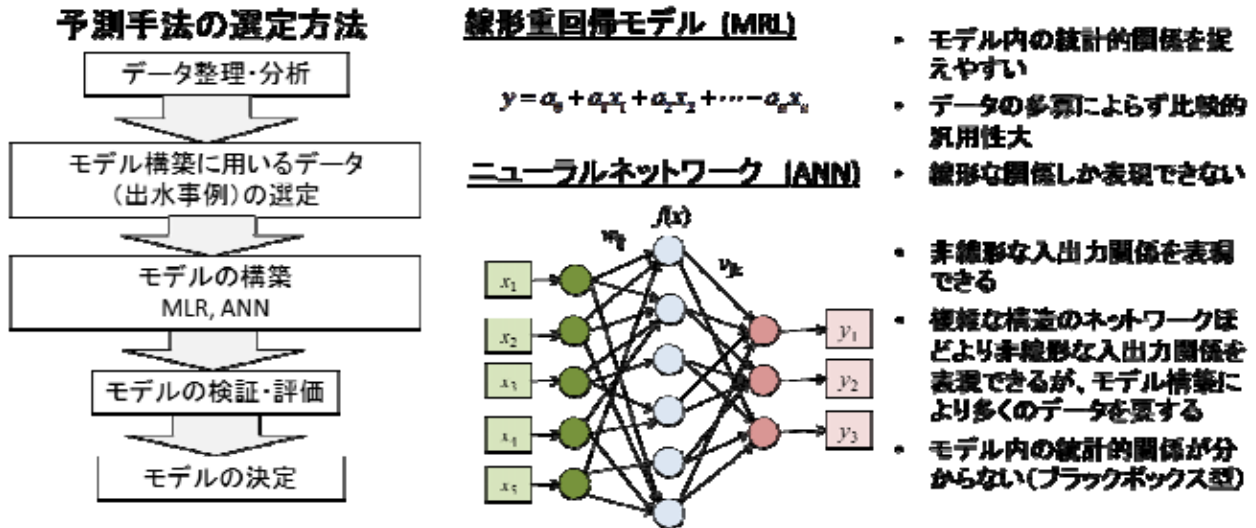


図 5 土砂流出予測モデルの検討（線形重回帰式モデルおよび人工ニューラルネットワーク（ANN））

2. 研究結果

(1) 上流域における濁度連続計測

2 年間（2010-2011 年）の観測期間の流域雨量と流入量変化を図 6 に示す。美和ダムにおいては梅雨前線に伴う 6-7 月および台風に伴う 9 月に顕著な洪水流入が発生した。

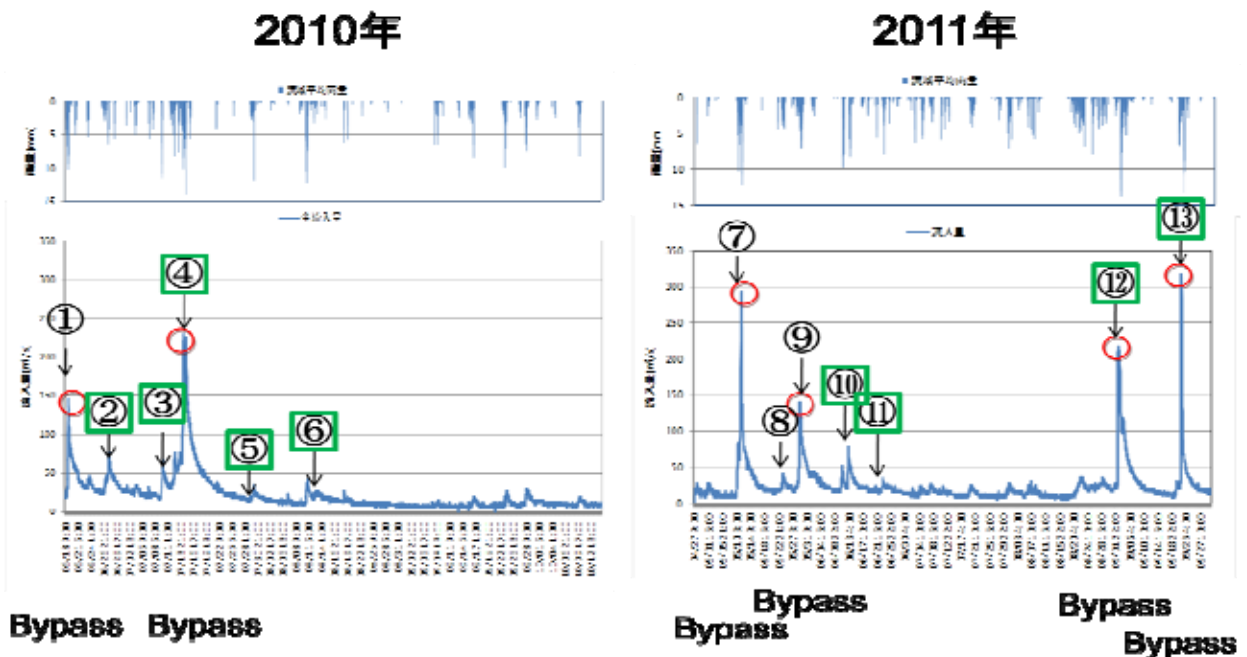


図 6 観測期間における美和ダム流域平均雨量と流入量変化
 (: 検討対象洪水 (9 洪水), Bypass (赤丸): 排砂バイパス放流対象洪水)

美和ダムでは、これまでの検討により概ねピーク流入量 30 m³/s 以上の洪水時に顕著に土砂濃度が増大することが明らかになっており、図 6 に示すように 13 洪水が該当する。このうち、実際のバイパス放流対象洪水は合計 6 回であった。なお、図 5 に示す予測モデルの検討には、上流 2 地点の濁度データも揃っている 9 洪水（排砂バイパス放流 4 洪水を含む）を対象とした。

図 7 に一例として 2011 年台風 12 号時の観測データを示す。貯水池への流入量は最大 200m³/s を記録し、このとき、貯水池への流入濁度は最大 8000ppm となっている。特徴的なのは、流入量は 12 時間程度 200m³/s を記録しているにもかかわらず濁度は流量増加時に急激に上昇し、その後は非常にシャープな形で減衰している。また、上流 2 地点の濁度もほぼ同様な傾向を示しているが、鷹岩に対して杉島が 2 倍程度濁度が高く、また、鷹岩は濁度の継続時間がやや長い傾向を示している。なお、鷹岩と杉島における深度 (m) は濁度計に内蔵された水圧センサーによって求められた水深変化であり、流量変化の参考として示している。上流 2 地点も貯水池と同様に流量増加時に濁度が急激に上昇している。

図 8 に代表的な洪水時の流域平均降雨、流入量および濁度波形の特徴を示す。2011 年台風 15 号時には、12 号時と異なり流量ハイドロと濁度波形がほぼ相似形をなしており、また、2010 年の梅雨前線時には、複数の雨量・流入量ピークに対して濁度ピークもこれに対応して複数観測されている。

ところで、図 8 から明らかなように、降雨に対して流出（流入量）は数時間遅れており、流量波形に対して濁度波形がどのようになるかが流入濁度の予測では重要である。そこで、図 9 に示すように、降雨ピーク時刻を基準とし、ピークから遅れた時間をそれぞれ遅れ時間（降雨ピーク～流入量ピーク、降雨ピーク～濁度ピーク）と定義して洪水ごとの特性量を整理した。雨量に関しては総積算雨量とピークまでの積算雨量、また、流入量に濁度を乗じた濁質量ピークとその遅れ時間も算出した。これらを整理したものを表 1 に示す。このうち、特にピーク流入量と貯水池濁度ピークの関係、流域平均雨量と貯水池濁度ピークの関係、流域平均雨量ピークと濁度ピーク遅れ時間の関係を図 10 に示す。

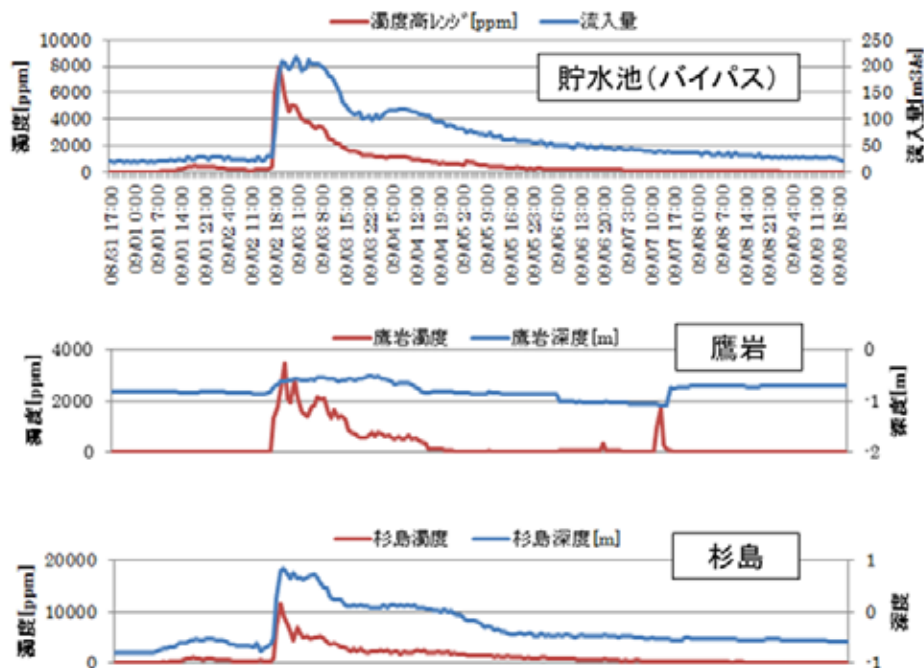
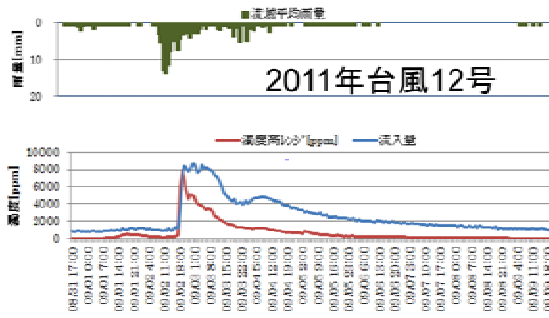


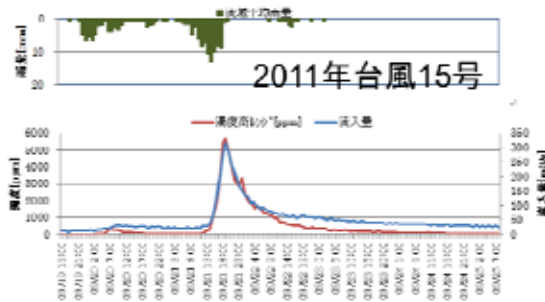
図 7 2011 年台風 12 号時の観測データ



ピーク雨量後も降雨が継続
濁度ピークは明確、流入量ピークは少し遅れ、継続する

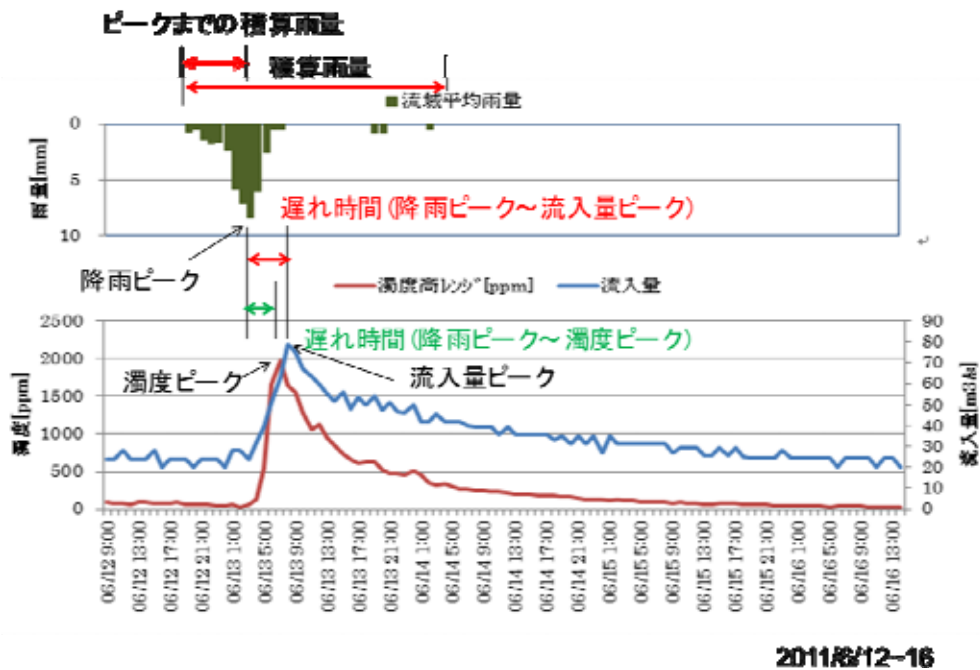


ピーク雨量が複数
濁度ピーク、流入量ピークも複数



ピーク雨量後に降雨なし
濁度ピークは明確、流入量ピークと濁度ピークがほぼ一致する

図 8 代表的な洪水時の流域平均降雨、流入量および濁度波形の特徴



2011年12-16

図 9 濁度波形の定義

表 1 ピーク流入量 30m³/s 以上の洪水の特徴

洪水番号	日時	ピーク流入量 [m ³ /s]	流域平均雨量ピーク [mm/h]	積算雨量 [mm]	濁度ピーク [ppm]	遅れ時間 [h]	濁質量ピーク [g/s]	濁質量遅れ時間[h]	ピークまでの積算雨量 [mm]	
1	2010/6/18 6/22	145.42	10.3	104.3	3760	5	447601	6	34.3	B
2	2010/6/27-6/29	76.27	6.4	61.7	2667	4	171460	6	30.8	B
3	2010/1/9-1/11	67.48	11.6	51.3	1883	3	104337	3	48.4	
4	2010/7/11-7/20	224.64	10.2	213.7	7227	4	1600056	4	125.1	B
5	2010/7/28-7/31	35.53	11.9	48.8	4431	3	140684	3	40.5	
6	2010/6/8-6/13	41.66	12.4	67.4	2279	5	94237	5	53.9	B
7	2011/5/10-5/16	293.15	10.7	147.6	7413	4	2173121	4	95.9	B
8	2011/6/22-6/26	40.67	4.6	62.6	476	6	18299	6	46.7	B
9	2011/5/20-6/5	140.54	7.0	129.9	1781	4	296668	4	72.6	B
10	2011/6/10-6/12	60.62	9.6	61.0	1377	6	64626	6	31.9	B
11	2011/6/12-6/16	78.75	8.3	40.8	1964	4	128756	5	29.6	B
12	2011/6/31-6/9	211.66	13.6	173.9	7993	3	1486286	3	64.6	B
13	2011/9/19-9/25	317.39	13.2	158.1	5680	4	1802775	4	121.0	B

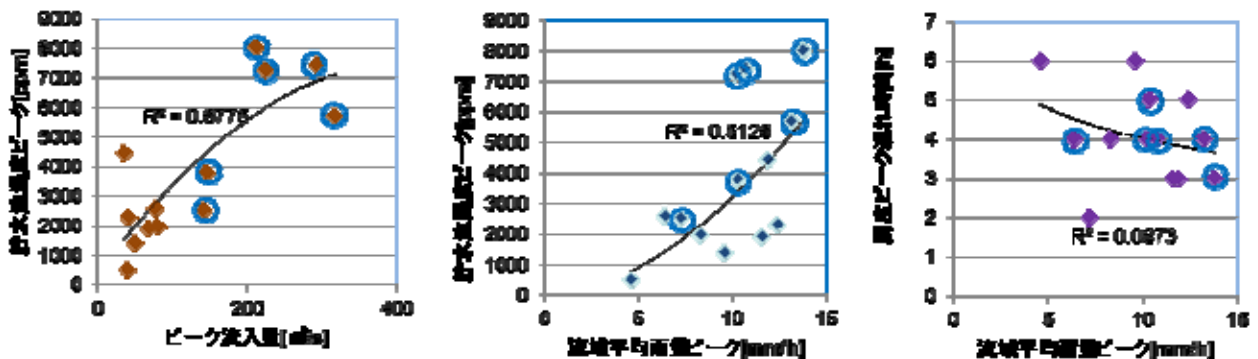


図 10 バイパス放流イベントの特徴 (印がバイパス放流洪水)

これらのデータをもとにバイパス放流イベントの特徴をまとめると以下ようになる。

- 流入量ピークで 100m³/s 以上の洪水
- 流域平均雨量で 10mm/h 以上
- 積算雨量で 100mm 以上
- 流入量ピークまでの積算雨量で 50mm 以上
- 貯水池濁度ピークで概ね 5000ppm 以上
- 鷹岩濁度ピークで概ね 2500ppm 以上
- 濁質量ピークで、300~2,000kg/s 程度

また、濁度ピークと遅れ時間の特徴に関しては以下ようになる。

降雨ピークから貯水池濁度ピークまで概ね 4 時間、鷹岩濁度ピークまで 2~3 時間

(2) 分派堰およびバイパス水路に設置した ITV カメラ画像を用いた流速・濁度計測

2010年6月および7月におけるバイパス放流時の画像解析により分派堰上流の貯水池からバイパス流入部に導かれる流動場の連続計測を行った。スイッチング操作モードによる流速分布の変化を図 11 に示すが、Mode 2 になると貯水池からバイパスに流れ込む流速場が形成され、流入部は最大流速 0.5m/s 程度となっていることが明らかとなった。一方、バイパス内部の流速は図 12 に示すように最大流速 2.0m/s 程度と推定され、過去に実施された水理模型実験結果とも良好に一致する結果となった。

なお、流速計測に関しては、LSPIV に加えて、オプティカルフロー方式による自動流速場計測システム (FX-8100 (三菱電機)) についても比較検討を行った。結果を図 13 に示すが、流速の増大による変化に追従して両者は良好に一致している。この方式の長所は、ITV カメラの画像信号を FX-8100 に直接接続しモニタに出力させることにより、特別な処理なしにリアルタイムで流速場を確認することができることであり、実管理、この場合であればバイパスのスイッチング操作に伴う流速場の変化をダム管理所から直接モニタリングすることが可能となる。

さらに、バイパス流入部の ITV カメラ画像を用いて、現地観測濁度値をキャリブレーションデータとして濁度分布およびその時間変化を求めたものを図 14 に示す。画像解析で得られた濁度値は、採水データ、SMDP データなどの時間変化と同様な傾向を示し、また、流入部全面の濁度空間分布も良好に表現できており、画像解析による濁度分布計測の可能性を示すことができた。

これら流動場と濁度場の両者が ITV 画像データから逐次情報として得られれば、スイッチング操作に伴うバイパス効果の評価に有力な情報を与えることが期待される。

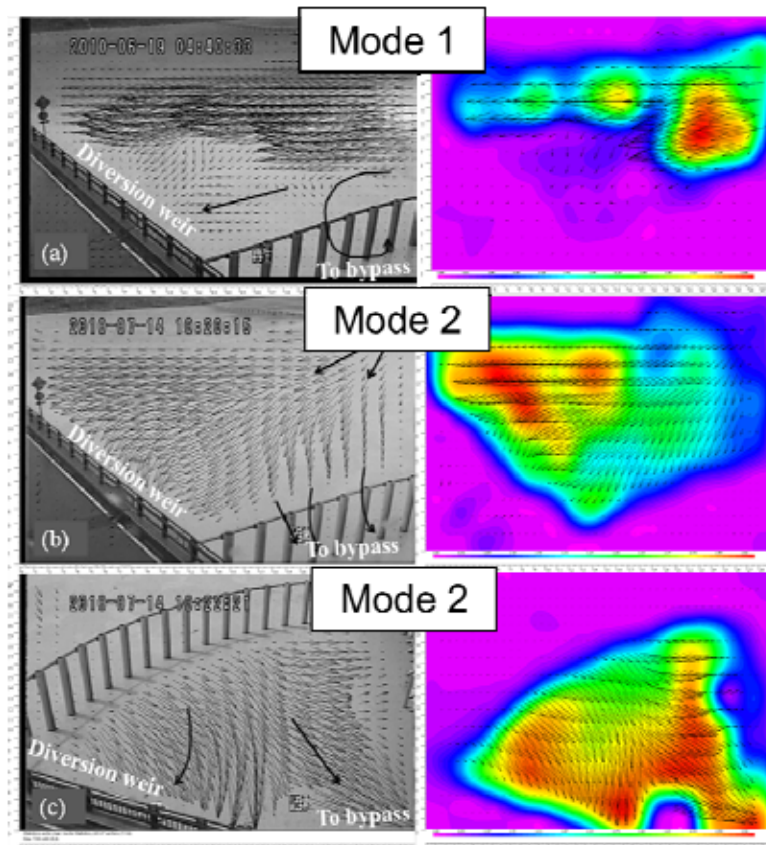


図 11 スwitching 操作モードによるバイパス流入部の流速分布の変化

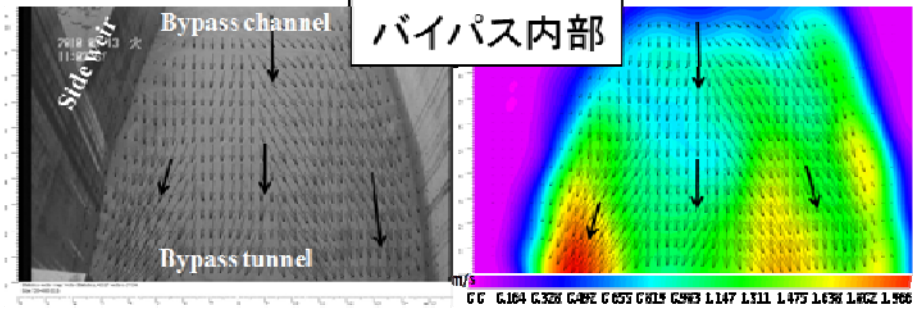


図 12 バイパス内部の流速分布

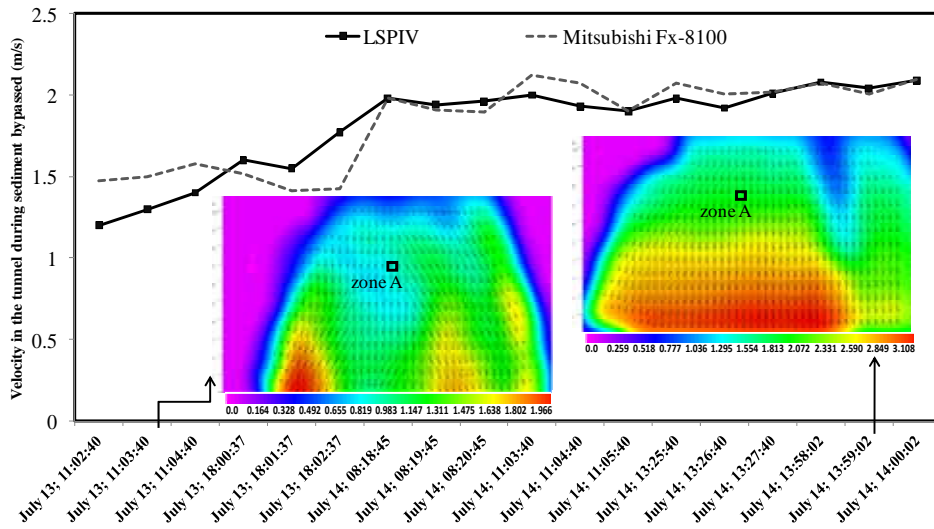


図 13 流速計測手法の比較 (LSPIV および FX-8100 (三菱電機))

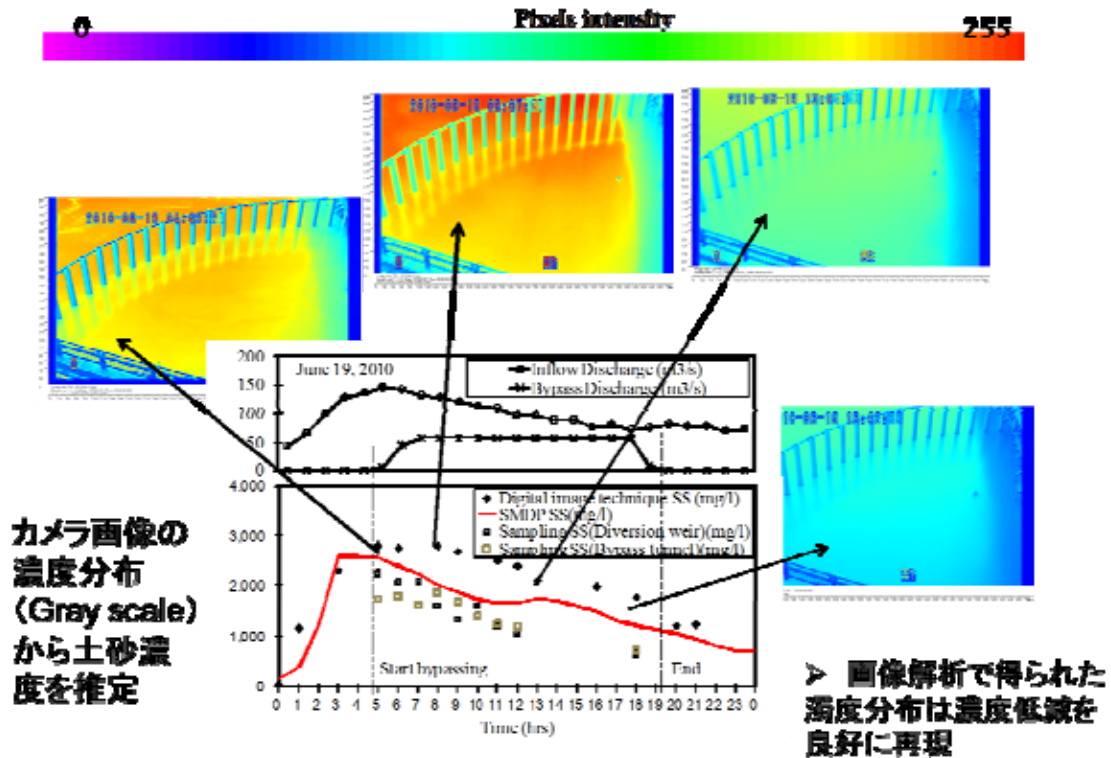


図 14 ITV 画像を用いた濁度計測

(3) 排砂バイパス操作を高度化するための土砂流出予測および操作支援モデルの開発

1) 線形重回帰式モデル (MRL)

説明変数として、貯水池流入量(I)、流域平均時間雨量(P)および流出を考慮した2, 3時間積算雨量(P2, P3)さらに、これらを2つの流域(杉島・鷹岩地点)に分解したもの(SPおよびTP)、また杉島・鷹岩地点の濁度(SCおよびTC)をとりあげ、さらにリードタイムを考慮し、現在時刻から最大5時間前までのデータを対象とし、貯水池濁度(RC)との重相関分析を行った。ここで対象としたのは、これら説明変数となるデータセットがそろっている図6に示す9洪水である。なお、リードタイムは実操作を考慮して最低2時間(2)は確保するものとした。

その結果、相関係数の最適なパラメータとして、表2に示すように $I(t-2)$, $PT3(t-5)$, $PS3(t-4)$, $TC(t-2)$, $SC2(t-2)$ の組み合わせが得られ、以下の重回帰モデルを作成した。これを2011年9月の台風12号時の実績濁度と比較し、図15に示すように良好な再現性が確認された。

$$RC(t) = 9.45 \times I(t-2) - 106 \times PT3(t-5) + 220 \times PS3(t-4) + 0.567 \times TC(t-2) + 0.066 \times SC2(t-2) - 211 \quad (1)$$

表2 MLRによる貯水池濁度(RC(t))予測モデルの検討

α (t時間前)	-1	-2	-3	-4	-5
貯水池流入量(I(t- α))	0.610	0.494	0.380	0.284	0.207
流域平均雨量(PT(t- α))	0.082	0.139	0.306	0.382	0.447
流域平均2時間積算雨量(P2(t- α))	0.119	0.240	0.391	0.468	0.490
流域平均3時間積算雨量(P3(t- α))	0.194	0.325	0.473	0.519	0.520
鷹岩雨量(PT(t- α))	0.084	0.138	0.297	0.356	0.419
鷹岩2時間積算雨量(PT2(t- α))	0.119	0.231	0.373	0.436	0.459
鷹岩3時間積算雨量(PT3(t- α))	0.186	0.309	0.446	0.483	0.487
杉島雨量(PS(t- α))	0.080	0.137	0.291	0.394	0.441
杉島2時間積算雨量(PS2(t- α))	0.119	0.234	0.387	0.473	0.491
杉島3時間積算雨量(PS3(t- α))	0.192	0.328	0.467	0.528	0.526
鷹岩濁度(TC(t- α))	0.544	0.526	0.431	0.359	0.319
鷹岩2時間平均濁度(TC2(t- α))	0.585	0.521	0.429	0.366	0.606
鷹岩3時間平均濁度(TC3(t- α))	0.588	0.512	0.423	0.359	0.298
杉島濁度(SC(t- α))	0.643	0.676	0.589	0.534	0.428
杉島2時間平均濁度(SC2(t- α))	0.746	0.719	0.637	0.549	0.435
杉島3時間平均濁度(SC3(t- α))	0.788	0.682	0.590	0.498	0.412

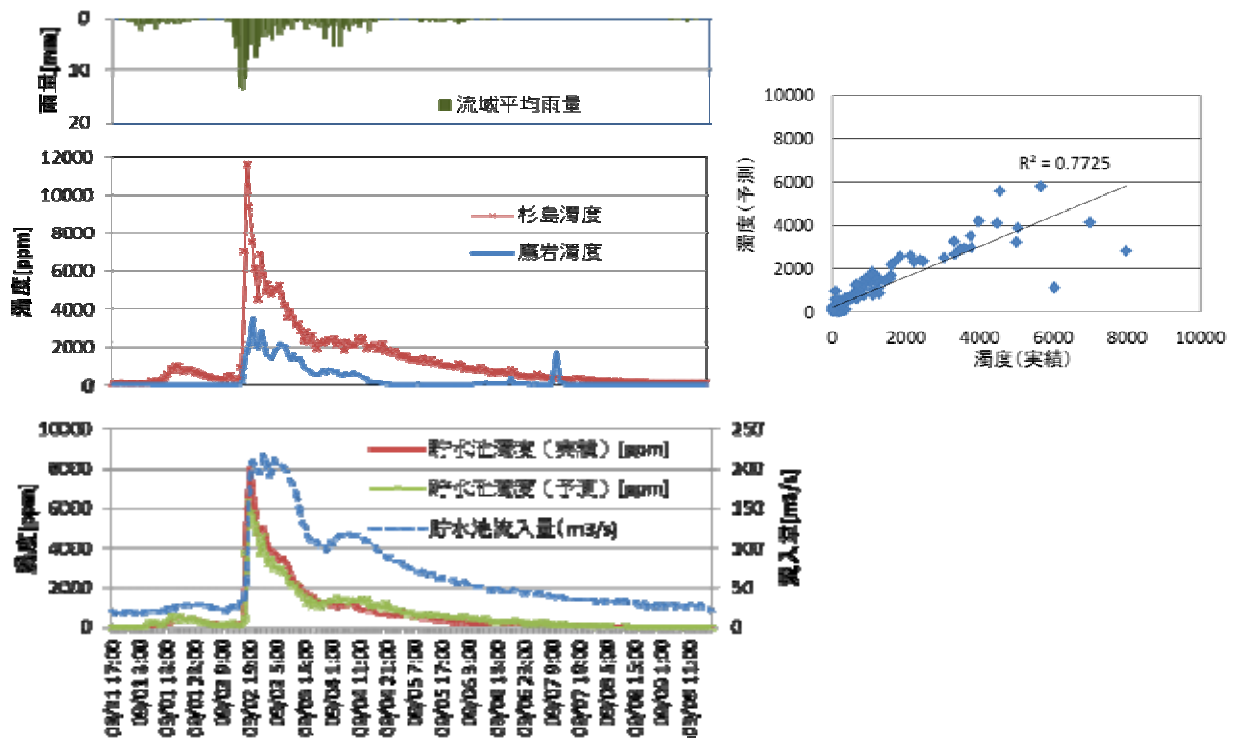


図 15 濁度予測の再現性 (2011 年台風 12 号)

2) 人工ニューラルネットワーク予測モデル (Artificial Neural Network: ANN)

ダム貯水池に流入する濁質量を予測するための人工ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: ANN, 以下 ANN と呼ぶ) 予測モデルの構築について検討を行った。貯水池におけるバイパス運用の意思決定に資するため、3 時間先までの時間単位の濁質の流入状況を予測するモデルの構築を行い、濁質量としては過去の出水時に測定されたデータがある SS (浮遊物質量) を採用した。ANN の構成に関しては、3 層パーセプトロン形式を採用し、出力層のユニットは、それぞれ 1 時間先、2 時間先および 3 時間先のダム貯水池直上流地点 (飯島橋地点) における SS ($SS(t+1)$ 、 $SS(t+2)$ 、 $SS(t+3)$) を出力するように設定した。また、入力層のユニット (予測因子) については、単回帰分析の結果も考慮し、予測実施時点までに観測されている降水量、流入量、および SS の任意の組合せを検討したが、ここではそのうち代表的な例として、以下の 3 通りのケースを挙げる。

すなわち、

- 1) 2 時間前、1 時間前および現時刻のダム上流域平均降水量 ($P(t-2)$ 、 $P(t-1)$ 、 $P(t)$)、現時刻におけるダム流入量 ($I(t)$) および SS ($SS(t)$) の 5 因子 (ケース 1)
- 2) 1 時間前までのダム上流域平均の 3 時間積算降水量 ($P3(t-1)$)、現時刻におけるダム流入量 ($I(t)$) および SS ($SS(t)$) の 3 因子 (ケース 2)
- 3) 現時刻までのダム上流域平均の 3 時間積算降水量 ($P3(t)$)、現時刻におけるダム流入量 ($I(t)$) および SS ($SS(t)$) の 3 因子 (ケース 3)

を入力変数としたものである。

ANN の構築に用いたデータについては、過去に SS の測定が行われている出水事例のうち、流入量のピーク以前から逡減部にかけてのデータが比較的良く揃っている 6 出水事例における観測値を用い、表 3 に示すようにこのうち 5 出水事例を学習用として ANN の各層のユニット間の結合係数および中間層・出力層の各ユニットのオフセットの調整に、1 出水事例を検証に用いた。なお、中間層のユニット数については、学習用に利用できるデータがそれほど多くなかったことから、できる限り少ないユニット数とすることを念頭に置きながら、各入力ユニットのケースごとに検証用の出力結果が概ね良くなるように設定した結果、ケース 1~3 とともに 5 個であった。

各ケースにおける濁質予測 ANN の推定状況と検証結果を表 4(a), (b)に示す。検証の結果、 $P3(t), I(t), SS(t)$ を入力変数とするケース 3 が RMSE (%), 相関係数のいずれの評価でも最も良好であった。特に、リードタイムが先となる $SS(t+3)$ の予測時において、他の二つのケースと比較した場合の改善度合が顕著であった。このことから、SS の予測には、時間単位の雨量よりもある程度の時間で積算した雨量を入力変数として採用する方が予測精度の向上が期待できること、また、特に 3 時間先の流入濁質量の予測を行う上では、できる限り直近の積算降雨情報を用いることが重要であることが示唆される。

図 16(a), (b)にケース 3 における濁質予測 ANN の推定状況と検証状況の時系列を示す。図 16(a)に示す推定状況からは、学習用データセット初期にあるような低い SS の再現ができていなかったり、あるいはデータセット後期にあるような高い SS が観測されたイベントの後期においてやや不自然な立ち上がりがあったりするものの、概ね SS の動きを再現できていることが分かる。

表 3 検討対象洪水

目的	データを利用した出水事例
学習用	2004.10.8 出水、2005.7.5 出水、2007.5.25 出水、 2007.7.15 出水、2007.9.6 出水
検証用	2006.7.19 出水

表 4 (a) 濁質予測 ANN の推定状況 (学習に用いた事例を予測した場合)

ケース	予測因子	RMSE (%)			相関係数		
		$SS(t+1)$	$SS(t+2)$	$SS(t+3)$	$SS(t+1)$	$SS(t+2)$	$SS(t+3)$
1	$P(t-2), P(t-1), P(t), I(t), SS(t)$	59.3	73.7	65.5	0.960	0.930	0.914
2	$P3(t-1), I(t), SS(t)$	73.5	89.8	76.8	0.979	0.942	0.895
3	$P3(t), I(t), SS(t)$	76.8	83.9	94.6	0.977	0.978	0.952

表 4 (b) 濁質予測 ANN の検証結果 (検証用の事例を予測した場合)

ケース	予測因子	RMSE (%)			相関係数		
		$SS(t+1)$	$SS(t+2)$	$SS(t+3)$	$SS(t+1)$	$SS(t+2)$	$SS(t+3)$
1	$P(t-2), P(t-1), P(t), I(t), SS(t)$	29.1	36.1	42.7	0.849	0.650	0.472
2	$P3(t-1), I(t), SS(t)$	21.4	28.6	35.3	0.899	0.742	0.568
3	$P3(t), I(t), SS(t)$	20.7	23.6	24.5	0.887	0.824	0.750

一方、図 16(b)の検証状況からは、全体的な SS の動きは表現できているものの、二山性の出水の前半の小さなピーク時における SS の立ち上がり時期が早い、二山目のピークの立ち上がりが遅い、二山目のピークの前に不自然な SS の立ち上がりがある、などの点で真値との差が認められる。この点については、入力変数の増加やそれを妨げている濁質量の観測データの少なさを改善することによって、さらに精度を改善することが可能になると考えられる。

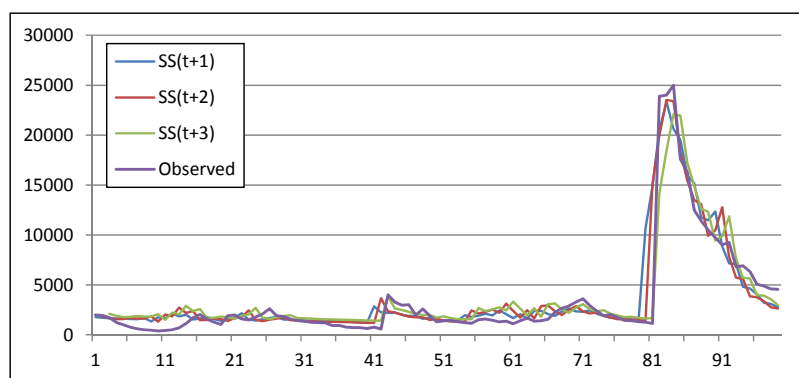


図 16 (a) 濁質予測 ANN の推定状況の時系列 (学習に用いた事例を予測した場合)

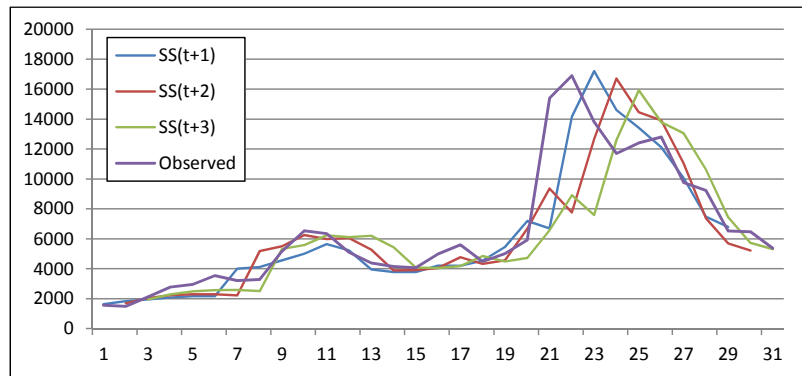


図 16 (b) 濁質予測 ANN の検証状況の時系列 (検証用の事例を予測した場合)

3) 排砂バイパス操作を高度化するための操作支援モデルの開発

ここでは、予測モデルとして得られた線形重回帰モデルを用いて排砂バイパスのスイッチング操作を流入濁度予測値をもとに行うことを検討する。なお、現在の操作は流入量ベースであり、100m³/s を基準としてバイパス操作が行われている。これに対して、濁度予測モデルを用いることにより、排砂バイパス本来の目的である「高濁度流入水」の放流をより高精度に行うことが可能になることが期待される。

そこで、図 8 に示した 3 つの代表洪水について、現行操作 (流入量ベース) と流入濁度予測に基づく操作 (濁度ベース: 濁度基準値 1000, 1500, 2000ppm) を比較したものを図 17(a), (b), (c) に示す。これらの総括を行ったものを表 5 に示す。

これによれば、濁度値 1500ppm でスイッチング操作を行うことにより、バイパス効果を低下させずに大幅にバイパス放流時間を軽減させることができることがわかる。これにより、Mode3 による貯水位の回復が確実になるとともに、貯水池内の流動が十分に確保されることから、大規模洪水後の貯水池の濁水長期化などの水質悪化問題を防止することにも貢献するものと期待される。

表 5 放流基準によるバイパス効果 (放流濁質量) の比較

上段: 濁質量 = 濁度 (ppm) × 流量 (m³/s) (10⁹)
 下段: バイパス運用時間 (hr)

放流基準	2010年梅雨前線	2011台風12号	2011年台風15号
i 貯水池流入量 100m ³ /s基準	19.37 (48)	13.62 (17)	7.06 (14)
ii 貯水池濁度 1000ppm基準	20.19 (10+45+9=64)	13.89 (28+20=48)	7.24 (17)
iii 貯水池濁度 1500ppm基準	18.22 (36+2=38)	12.62 (23+8=31)	6.96 (13)
iv 貯水池濁度 2000ppm基準	16.29 (27)	11.73 (22)	6.23 (9)

バイパス濁質量は同等、操作運用時間は大きく短縮可能

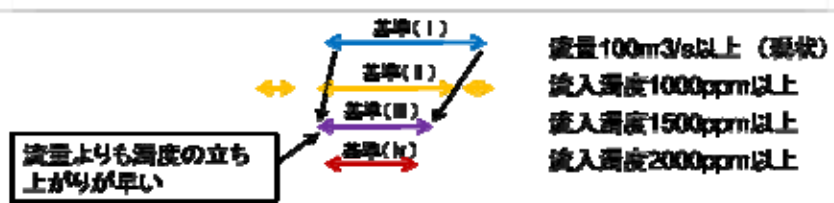
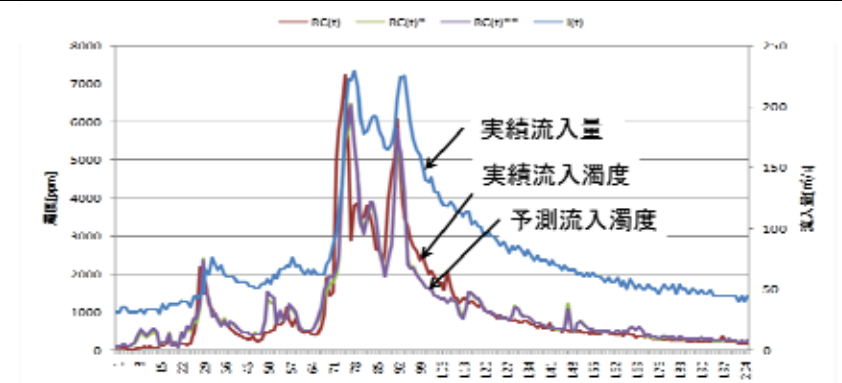


図 17(a) バイパス操作の比較 (2010 年梅雨前線)

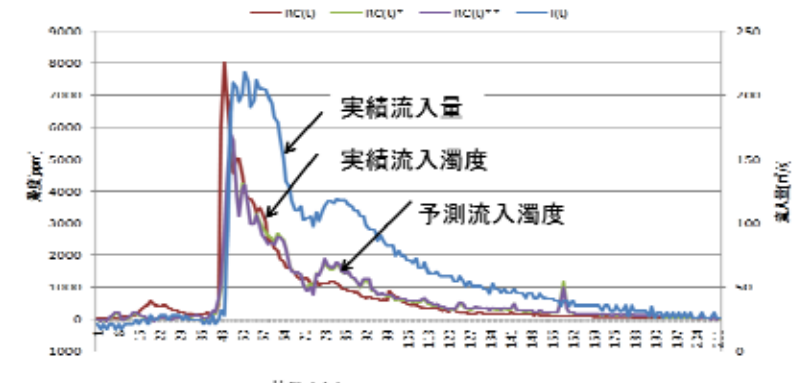


図 17(b) バイパス操作の比較 (2011 年台風 12 号)

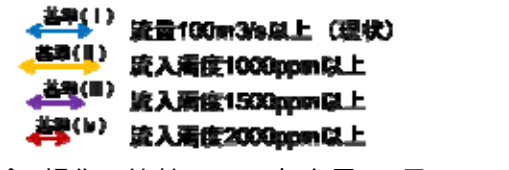
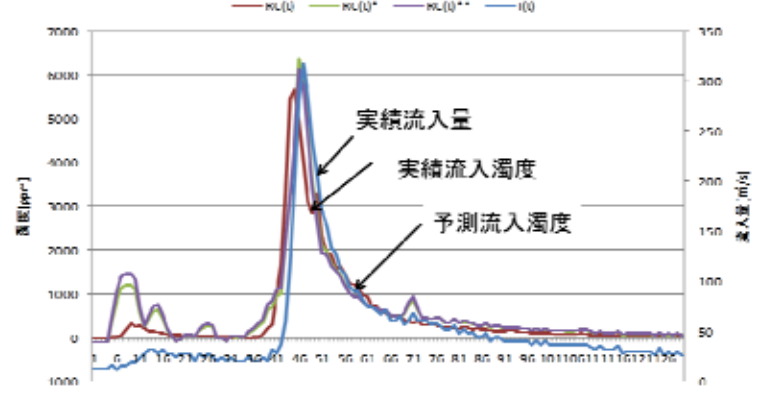


図 17(c) バイパス操作の比較 (2011 年台風 15 号)

3. 結論

以上、本研究で得られた成果をまとめると以下のとおりである。

- 1) 美和ダムの排砂バイパス操作の高度化のために、ダム上流域の濁度計測および分派堰上流～バイパス流入部における ITV カメラを用いた流動場および濁度場計測を行い、2010-2011 年の 2 か年にわたり合計 8 回のバイパス放流を含む 13 回の洪水イベント時の現地モニタリングを実施することができた。
- 2) バイパス対象洪水の特徴は、流域平均雨量 10mm/h 以上、積算雨量 100mm 以上、流入量ピークまでの積算雨量 50mm 以上、100m³/s 以上の洪水、貯水池濁度ピークで概ね 5000ppm 以上などである。また、濁度に関しては、杉島が鷹岩の 2 倍の濁度であり、分派堰までの到達時間は 4 時間程度である。
- 3) 排砂バイパス操作を高度化するための土砂流出予測に関しては、流入量、降雨、上流濁度データを用いて、濁度・流出予測モデルの検討 (MLR (線形重回帰) および ANN (ニューラルネット)) を行った結果、MLR では、流入量、上流域降雨量、上流濁度を用いて予測式を構築することができた。
- 4) 排砂バイパスの運用 (開始・終了) 判断の改善による操作支援モデルの開発に関しては、貯水池流入濁度基準として 1500ppm を用いることで、現状 (流入量基準 100m³/s) よりも、より合理的な操作 (バイパス効率、運用時間) が可能となることを提示した。
- 5) バイパス効果のモニタリング手法の開発に関しては、バイパスモードによる流動場の分類 (Mode1, 2, 3) を行うとともに、ITV カメラ画像を用いた貯水池内流動場の計測手法を開発し、流入部の最大流速 0.5m/s およびバイパス内部の最大流速 2m/s を計測するとともに、画像データを用いた濁度計測の可能性を提示した。

今後の課題・展望 (本技術研究開発で得られた成果を踏まえ、成果のさらなる発展や河川行政への活用に向けた、今後の課題・展望等を具体的に記載ください)

本研究で実施したダム上流域の濁度計測と、データを用いた流入濁度予測モデル開発は、排砂バイパスに限らず、貯水池土砂管理を進めるための基本技術であり、さらなる技術開発 (より高濁度領域をカバー) と現地実装が重要である。

また、ITV カメラを用いた流動場と濁度場の計測手法については、さらなる精度検証が必要であるものの、既存の河川監視カメラの高度利用方策として汎用性が高く、他の河川などにおいても導入・活用されることを期待したい。

美和ダム排砂バイパスに関しては、残る計画施設としての湖内対策システムがあり、特に、ダム下流河川に対する環境影響を考慮しつつ、効果的に貯水池からの土砂排出を行うより高度な操作管理を支援する手法の検討が重要である。

(参考文献)

1. Sameh A. Kantoush, Tetsuya Sumi and Mitsuhiro Murasaki : Evaluation of Sediment Bypass Efficiency by Flow Field and Sediment Concentration Monitoring Techniques, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.55, S169-S174, 2011.
2. Sameh A. Kantoush, Tetsuya Sumi, and Yasuhiro Takemon : Lighten the load, International Water Power & Dam Construction, May, 38-45, 2011.
3. Tetsuya Sumi , Sameh A. Kantoush : Comprehensive Sediment Management Strategies in Japan: Sediment bypass tunnels , Proceedings of The 34th IAHR World Congress, 1803-1810 , 2011.
4. Tetsuya Sumi , Sameh A. Kantoush and Shoji Suzuki : Performance of Miwa Dam Sediment Bypass Tunnel, Evaluation of Upstream and Downstream State and Bypassing Efficiency, ICOLD 24th Congress, Kyoto, Q. 92 – R. 38, 576-596, July, 2012.