

4. 予測降水量を活用したダム貯水池水質の効率的管理に関する技術開発

ダム貯水池での富栄養化や濁水長期化は、平水時や出水時における流域からの栄養塩や濁水の流入とその貯留が引き金となっている。これに対して、曝気循環、深層曝気や選択取水等の様々な手法を用いて対応してきた。

本研究は、三春ダムを対象に気象衛星による地球規模の気象観測等による予測降水量を活用したダム貯水池水質の効率的な管理技術を検討するとともに、この管理技術を実用化する場合に課題となる降水量等の予測誤差の影響を評価するものである。三春ダムを対象にしたのは、流入水バイパス管、浅層循環装置、深層曝気装置、流入水浄化施設、前貯水池の5つもの水質対策が取られており、水質観測データが充実していることから、水質改善効果を把握するのに適していると考えたためである。

4-1 ダム流域の流出モデルと貯水池水質モデルの構築

4-1-1 対象とするダムの概要

三春ダムは、一級河川・阿武隈川の支川、大滝根川に建設された多目的ダムであり、ダム貯水池の諸元を表 4-1-1 に、水位毎の貯水池形状を図 4-1-1 に示す。

ダムサイト周辺は標高270～390mのなだらかな丘陵地で、その上流では大滝根川に蛇石川、牛縊川、樋渡川、蛇沢川の4支川が合流している。ダム貯水池（貯水池の名称『さくら湖』）は、図 4-1-1に示すように“八ツ手の葉”のような複雑な形状をしている。

表 4-1-1 三春ダム貯水池の諸元

集水面積	226.4km ²	洪水調節水深	15.0m
湛水面積	2.9km ²	利水水深	(洪水期) 9.2m (非洪水期) 17.2m
湛水延長	4.3km	総貯水容量	42,800,000m ³
サーチャージ水位	EL. 333.00m	有効貯水容量	36,000,000m ³
常時満水位	EL. 326.00m	洪水調節容量	28,000,000m ³
制限水位	EL. 318.00m	利水容量	(洪水期) 8,000,000m ³ (非洪水期) 19,800,000m ³
最低水位	EL. 308.80m	堆砂容量	6,800,000m ³

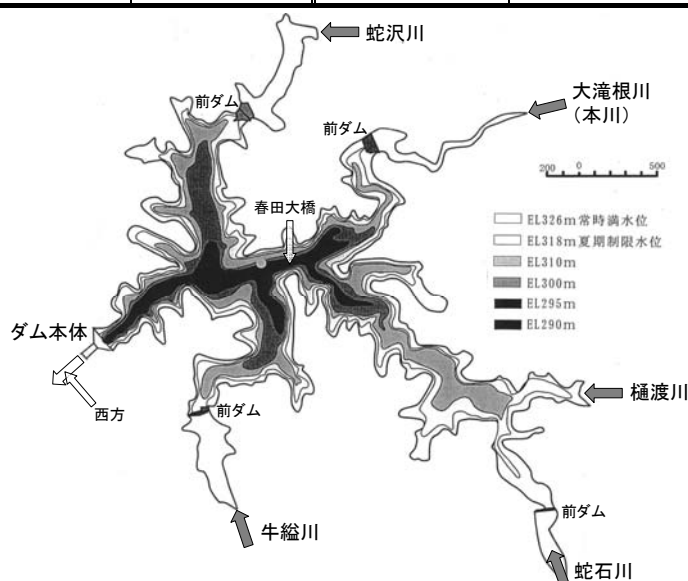


図 4-1-1 三春ダム貯水池の形状

三春ダム貯水池の年間滞留時間及び回転率は、ダム運用計算(昭和 57 年～平成 3 年)よりそれぞれ 45 日、8.1 回/年で、夏期(6～9 月)はそれぞれ 28 日、4.3 回/夏期である。一般的に植物プランクトンは 5～10 日間程度で増殖するとされており、ダム貯水池は年間を通して、植物プランクトンが増殖するに十分な滞留時間を有している。

4-1-2 流出解析モデルの構築

(1) 三春ダム流出解析モデル諸元

本検討において、降雨予測データから貯水池流入量を推定する必要がある。貯水池流入量の推定手法として、三春ダムで実際に用いられている洪水予測システム(木村の貯留関数法に基づく流出解析モデル)を基に構築した。モデル定数は、三春ダム簡易流出予測システム(平成 15 年度版)に用いられている以下の地形モデル、各諸元を採用した。

1) 流域分割モデル及び流域流出率

流域分割はダム上流一括とし、流域流出率は、流出量推定時刻までの積算雨量の関数とし、表 4-1-2 のように設定する。表に示す積算雨量を超える雨量について所定の流域流出率を与えている。

表 4-1-2 ダム上流域の流出率設定表

積算雨量(mm)	流域流出率 f
0.0	0.100
30.0	0.150
60.0	0.160
70.0	0.200
80.0	0.250
90.0	0.280
100.0	0.350
200.0	0.450
400.0	0.520

2) 入力データ

貯留関数モデル入力データとしては、次の 2 点である。

a. ダム流域平均雨量(時間雨量)

ダム流域平均雨量は、ダム上流域の 5 雨量局(大滝根、常葉、片曾根、鞍掛、ダムサイト)を用い、ティーセン法により求める。

b. 貯水池流入量データ(毎時平均流入量)

貯水池流入量データ(全流入量時間平均データ)は、予測開始時刻の 1 時間前、2 時間前の流入量を流出量予測の初期条件として与える。

(2) 流出解析結果

(1)の流出解析モデルを用いて、実績流域平均雨量を入力データとし、初期時刻から 48 時間先までのダム流入量の推定を行った結果を、平成 14 年 7 月及び平成 16 年 7 月の 2 出水を例として示す。図 4-1-2 は、初期時刻は平成 14 年 7 月出水では 10 日 12 時から 6 時間毎に 6 時点、平成 16 年 7 月出水では 11 日 0 時から 6 時間毎に 8 時点について示した計算結果である。なお、基底流量は計算対象期間の最小流量とした。本図は、初期時刻の実績流入量を起点として、48 時間先までの実績流域平均雨量から推定した流出量を繋げたものである。本図によれば、流出解析値は実績のダム流入量に対してやや多めの値を示す傾向が見られるが、ある程度の初期降雨後に降雨予測を行う場合は少なめの値となる場合がある。

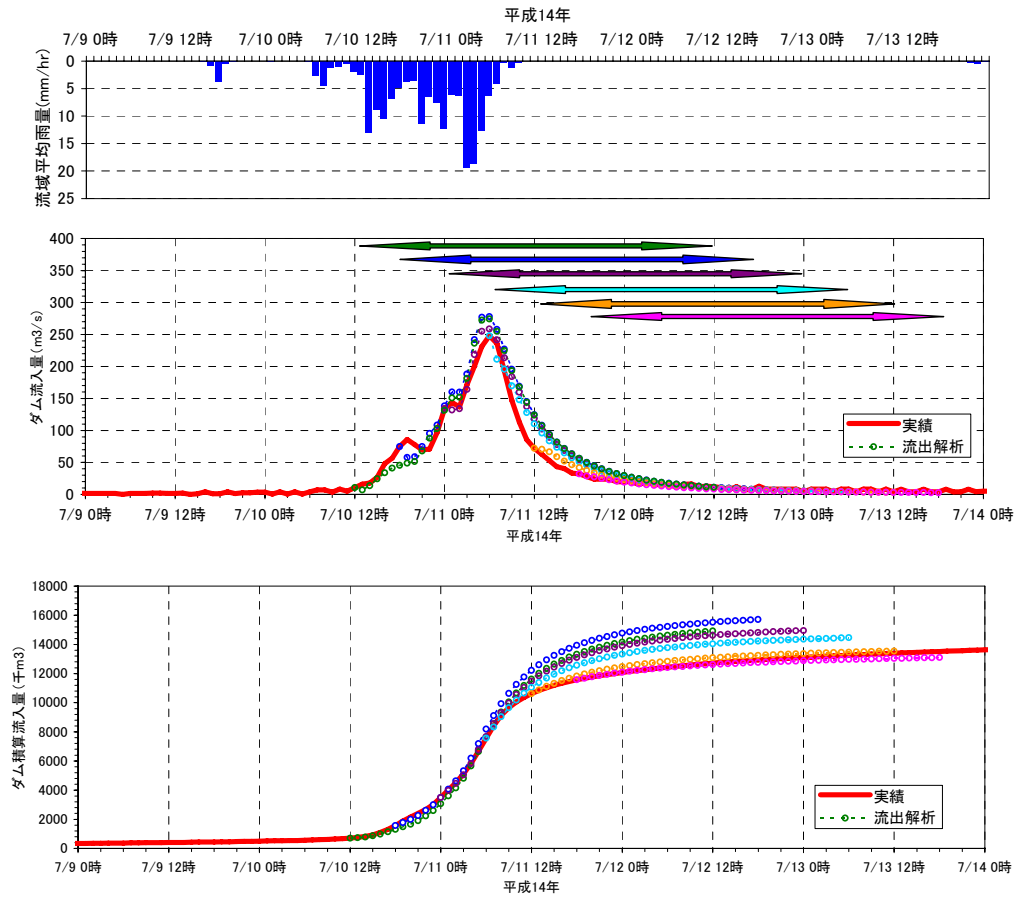


図 4-1-2(1) 平成 14 年 7 月出水時流出解析結果 (矢印は予測期間)

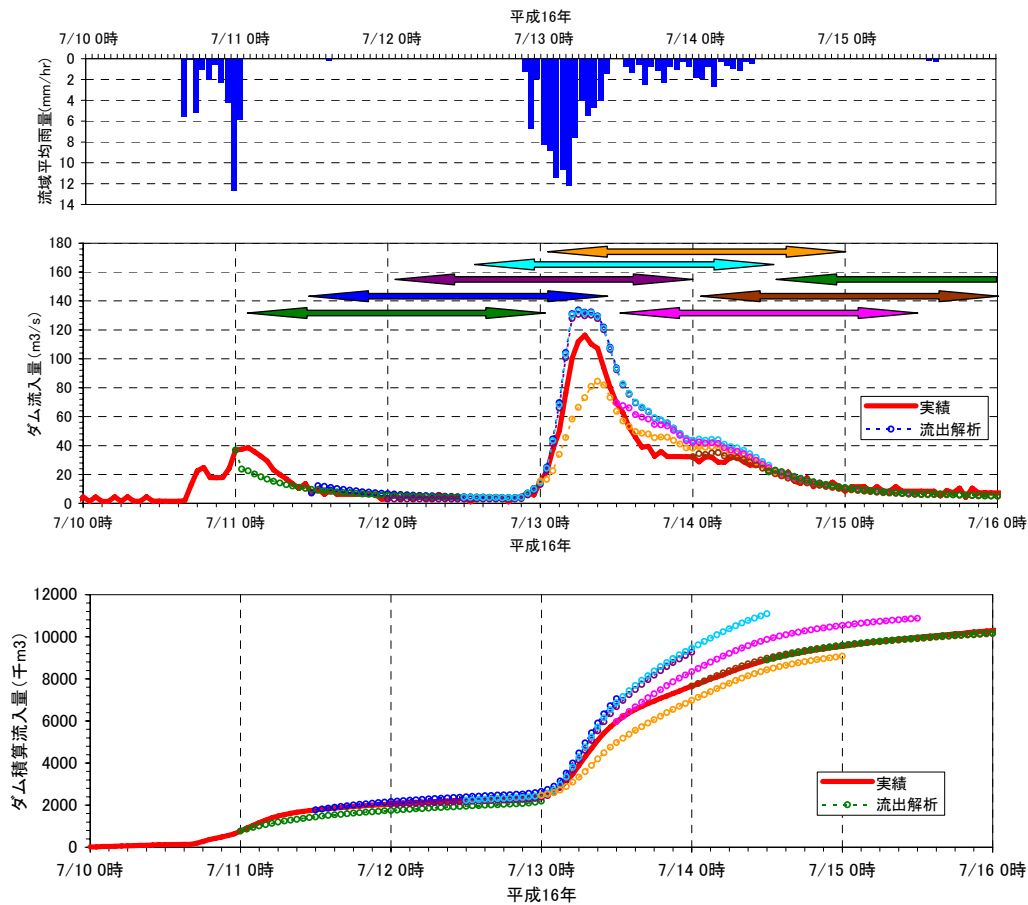


図 4-1-2(2) 平成 16 年 7 月出水時流出解析結果 (矢印は予測期間)

4-1-3 貯水池水質予測モデル

(1) モデル概要

検討に用いた貯水池の水質予測モデルは、図 4-1-3の各コントロールボリュームを対象に、水理流動モデルから出力される「流れ」と「水温」、及び流入水質を入力条件として、生態系モデルに適用するものである。

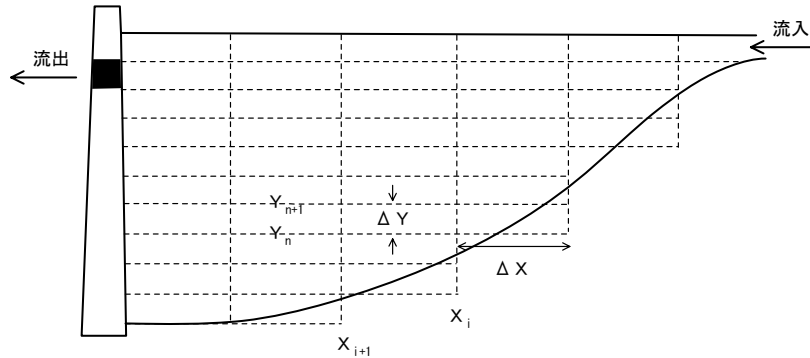


図 4-1-3 2次元モデルの水域分割

1) 水理流動モデル

水に関する基礎方程式は、水の密度に関する非圧縮性の仮定に基づく、質量保存則、運動量保存則及び熱力学第一法則を基本とする。また、水面と大気間の熱収支要素には、水を温める過程として日射による短波放射と大気からの長波（赤外）放射があり、水面を冷やす過程としては水面からの長波逆放射、水の蒸発による潜熱および接水気層内の乱流熱輸送（顕熱）がある。各項に関して、短波放射はBeer式、長波放射はSwinbankの式、潜熱及び顕熱輸送はRohwerの式により求める。

2) 生態系モデル

生態系モデルの概念図は図 4-1-4 のとおりである。本モデルで取り扱う水質項目は水温、濁度の他、図中で緑色の枠内に表示された項目である。

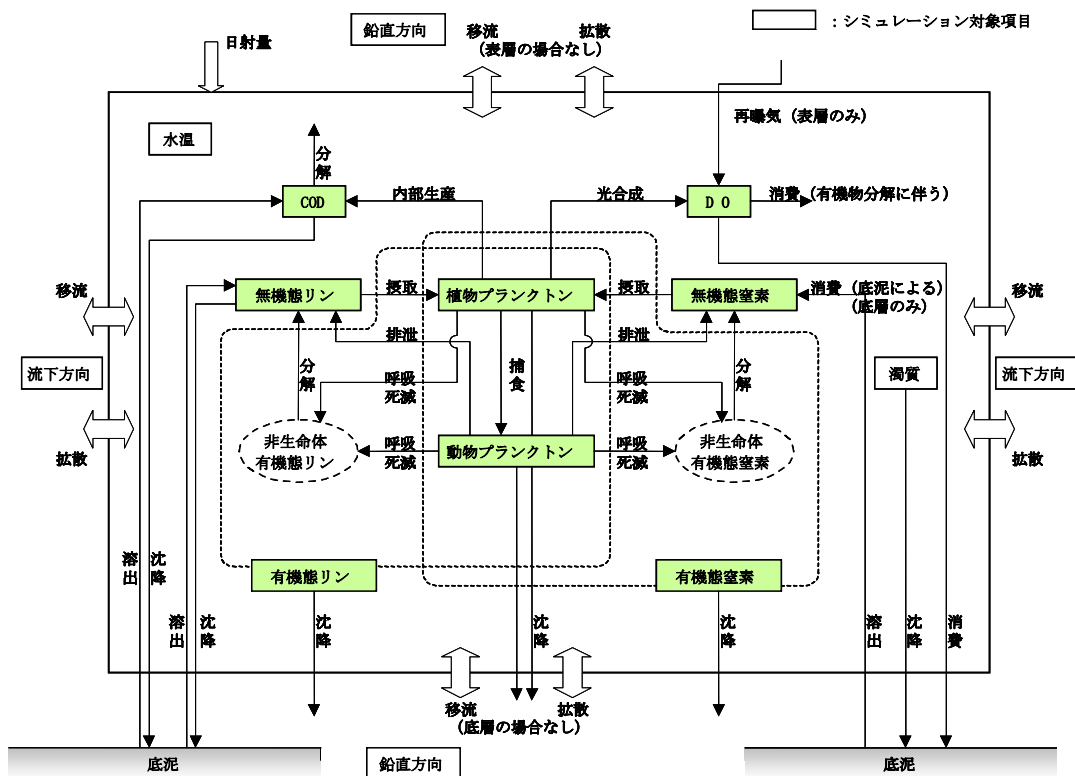


図 4-1-4 生態系モデル概念図 (CODは溶存態、懸濁態を考慮)

(2) 入力条件の設定

1) 貯水池形状

貯水池は、流下方向に300m、鉛直方向に2mピッチでBOX分割 ($\Delta X=300m$, $\Delta Y=2m$) し、貯水池水質予測を行った。三春ダムの平面分割図を図4-1-5に示す。

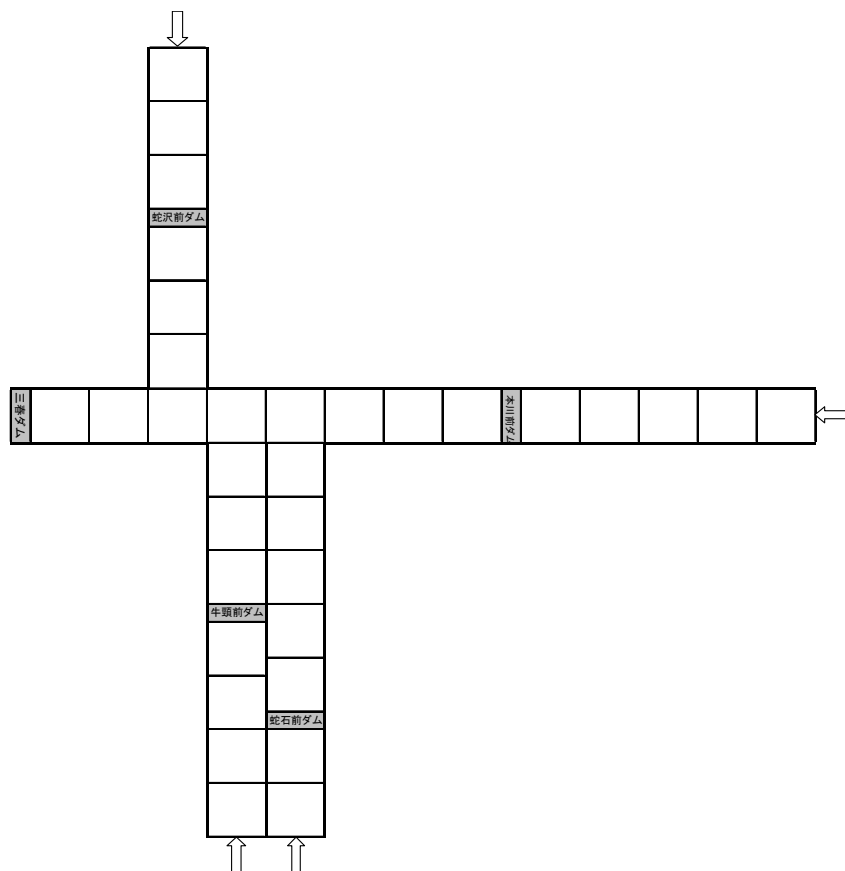


図4-1-5 三春ダムの平面分割

2) 気象条件

シミュレーションに用いた気象条件（日単位で与える）を表 4-1-3に示す。なお、三春ダム管理所観測値の欠測値については、アメダス（船引）と福島地方気象台の観測値を用いた。

表 4-1-3 気象条件

項目	観測地点
平均気温 $^{\circ}C$ 、湿度%、平均風速 m/s 、日射積算 $MJ/m^2/day$	三春ダム管理所観測値
雲量（10分率）	福島県地方気象台観測値
流入水温	本川前ダム日平均流入水温測定値

3) 流量・貯水位条件

流入量・放流量は、三春ダム日報記録のダム流入量・放流量を日単位で与えた。各支川毎の流入量は、総流入量を流域面積で按分して用いた。

4) 流入水質条件

本川（大滝根川）の流域面積($193.32km^2$)の三春ダム全体の流域面積($226.40km^2$)の85%を占める。また三春ダムの水質は前ダムの影響を大きく受けるため、ダム貯水池への流入水質は、表4-1-4に示

す本川（大滝根川）前貯水池流出地点L-Q式を代表して設定した。

(3) モデルパラメータの検証

(2)で示した入力条件を用い、現況水質を再現するために平成10年～16年を対象にモデルパラメータの同定計算を行った結果を図4-1-6に示す。ここで表層実測は水深0.5m、表層計算は水面から水深2mまでの平均である。水温、水質ともに概ね再現できている。またダムサイトにおける水温・水質の鉛直分布とダム下流放流水質（西方地点（ダム堤体から約1km下流））については平成14、16年の再現結果を図4-1-7～8に示す。なお、モデル上ではD-TPはIPと同等として扱っている。

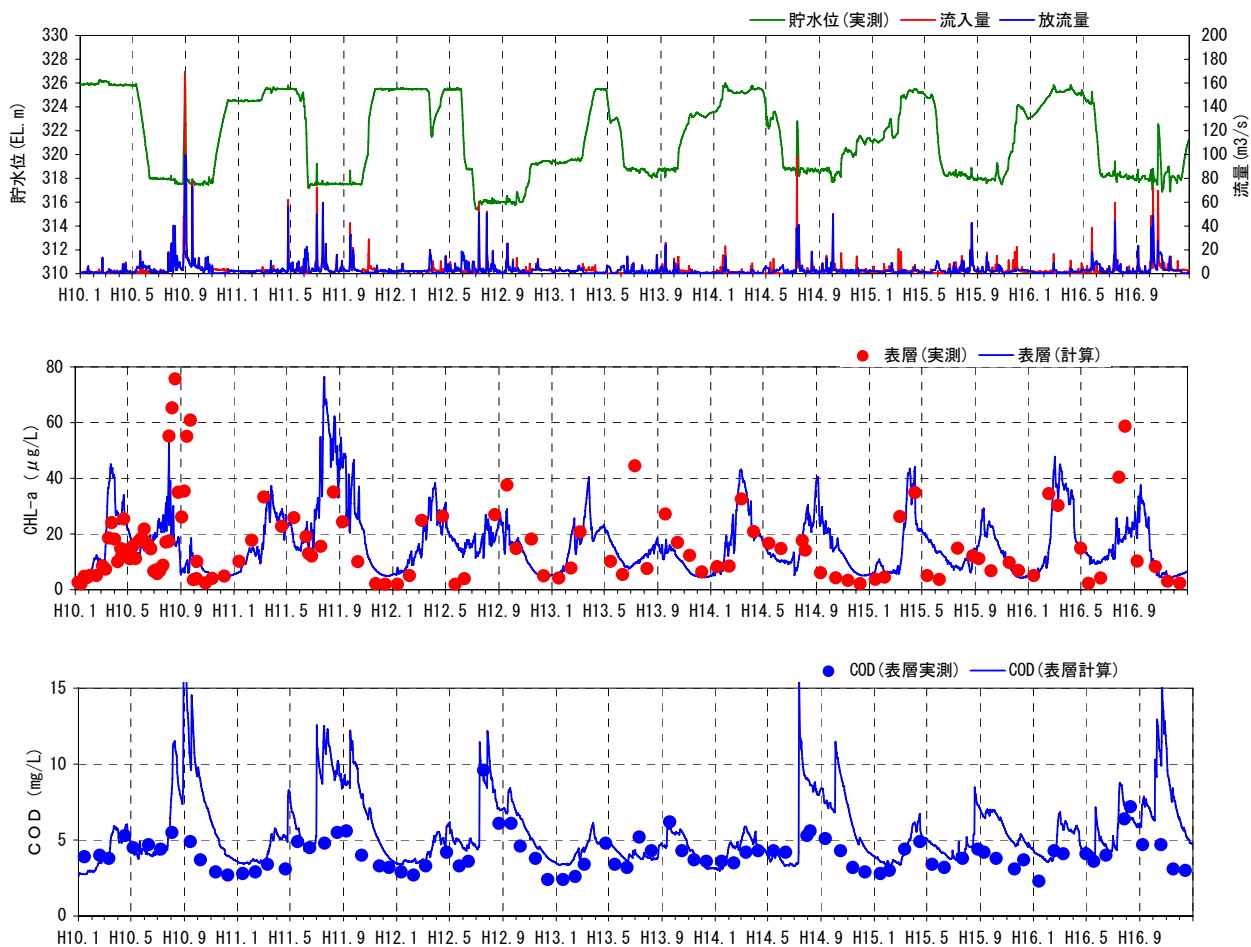


図4-1-6(1) 同定結果(ダムサイト水質時系列)

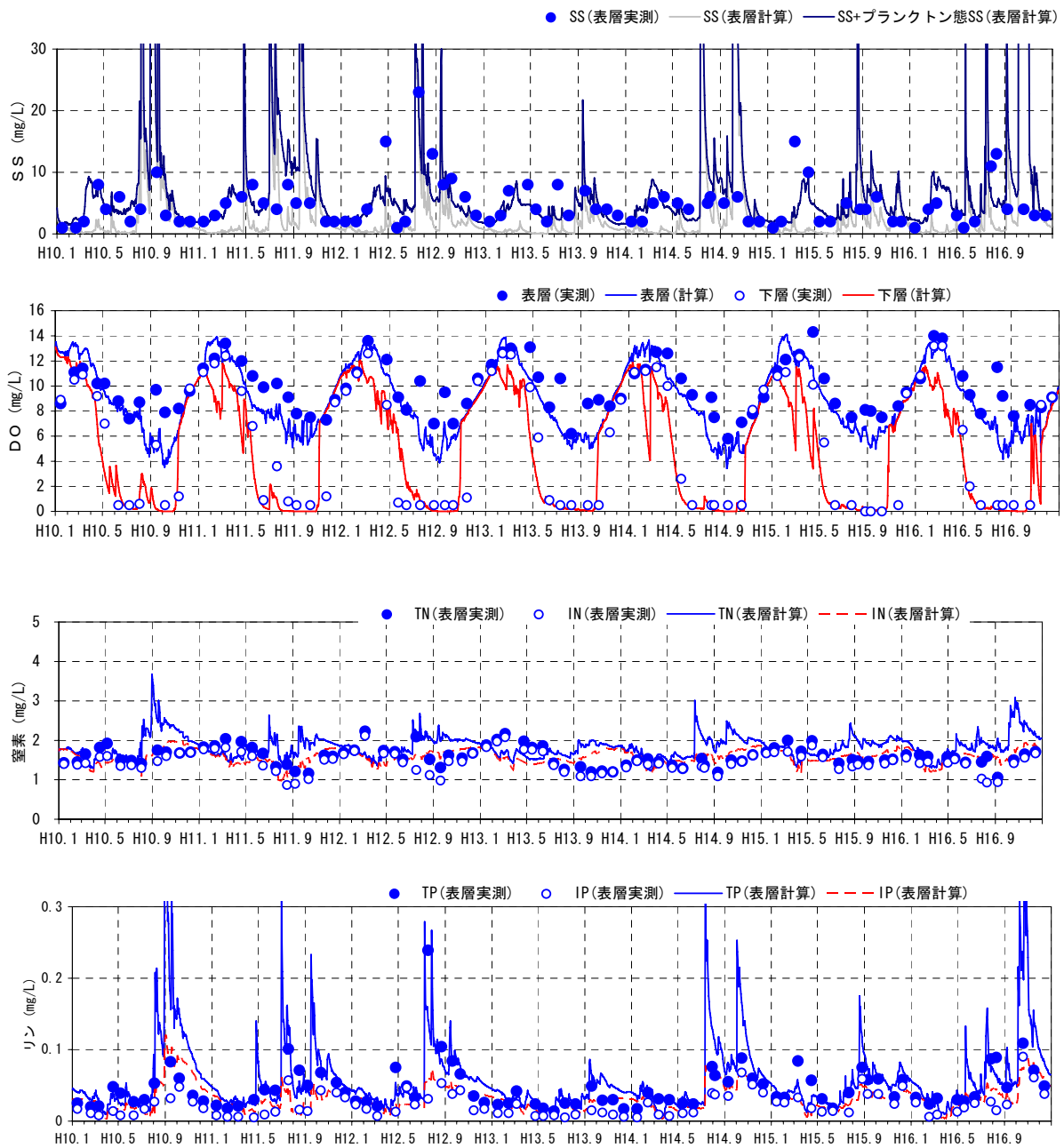


図 4-1-6(2) 同定計算結果(ダムサイト水質時系列)

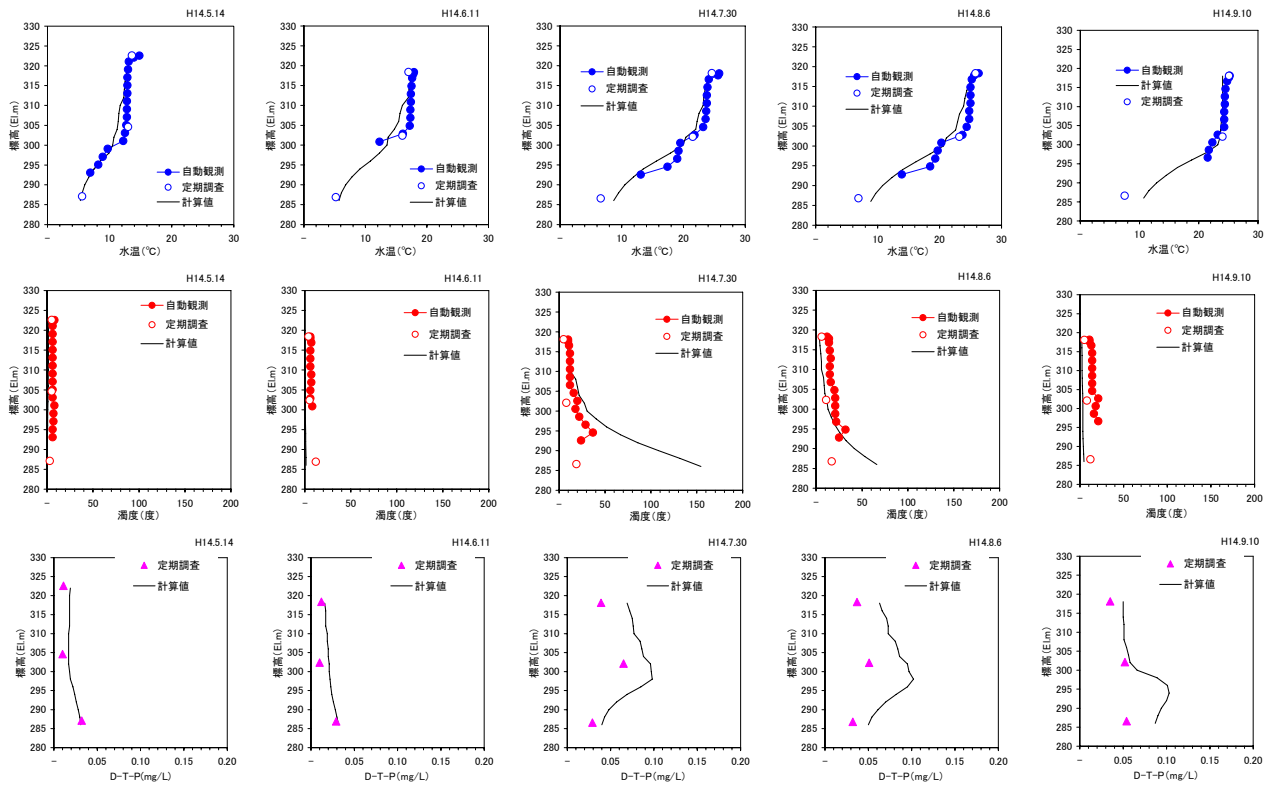


図 4-1-7(1) 同定計算結果 (ダムサイトにおける水温・水質の鉛直分布) 平成 14 年

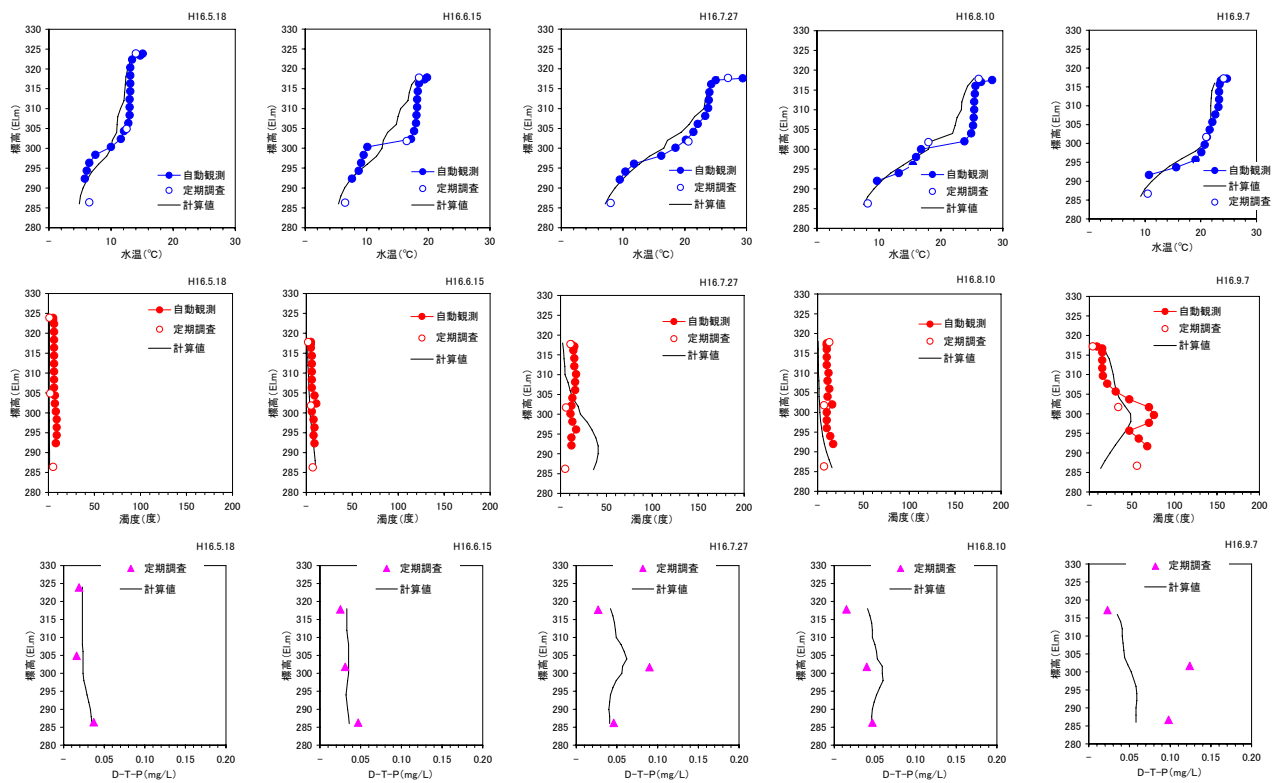


図 4-1-7(2) 同定計算結果 (ダムサイトにおける水温・水質の鉛直分布) 平成 16 年

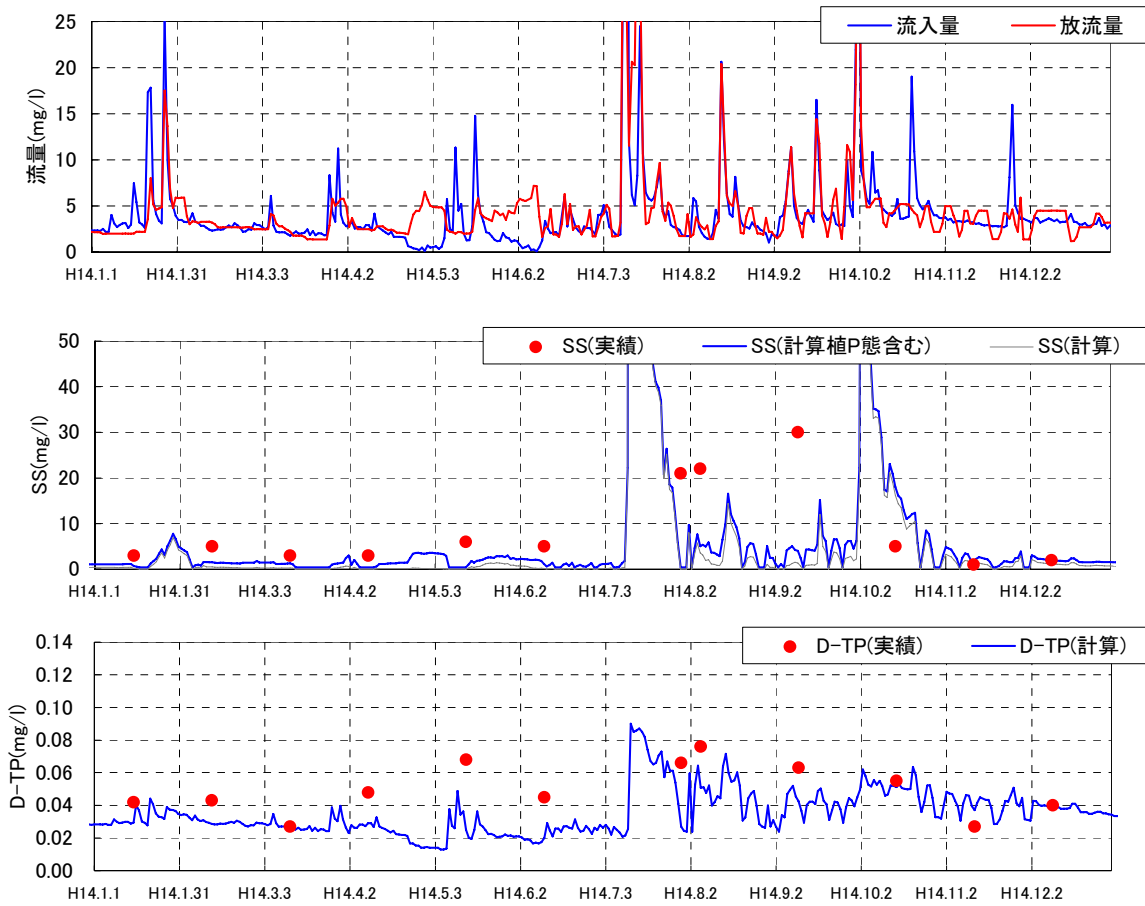


図 4-1-8(1) 同定計算結果(西方地点 水質時系列) 平成 14 年

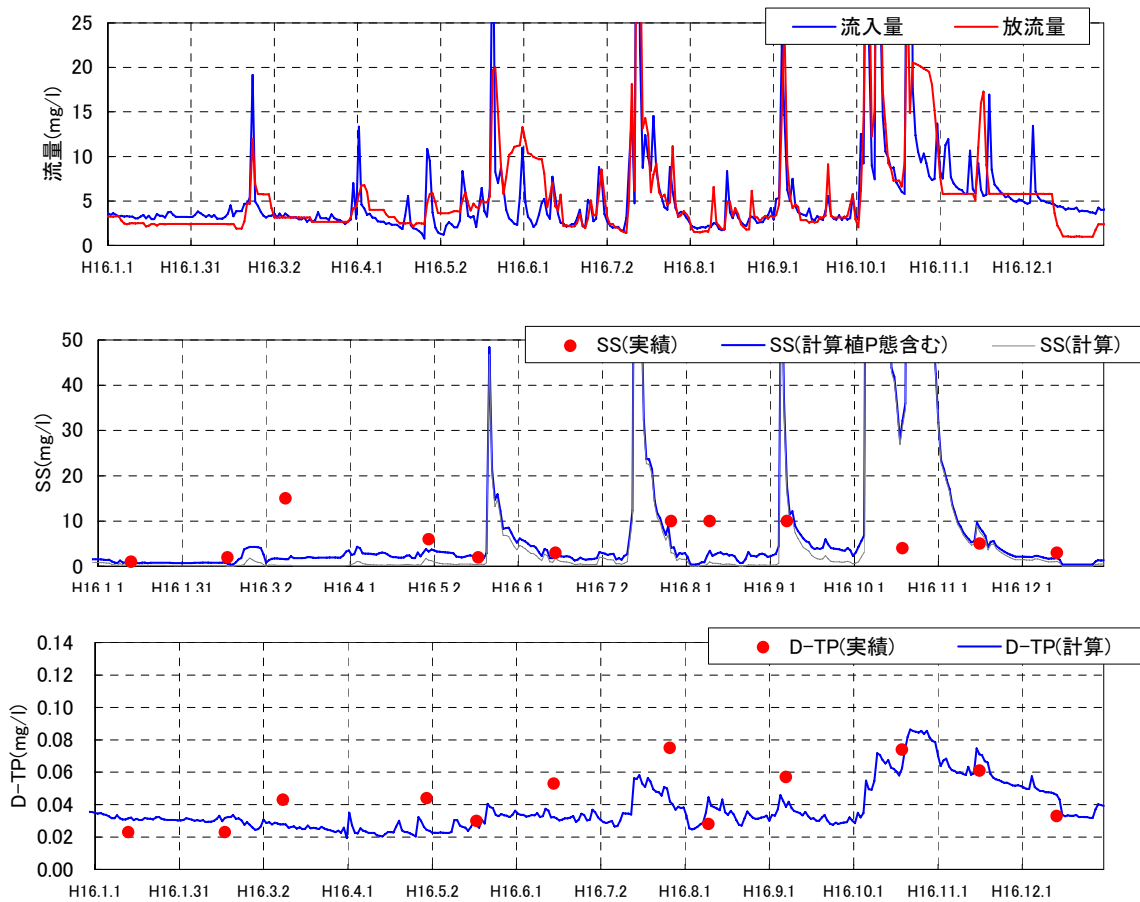


図 4-1-8(2) 同定計算結果(西方地点 水質時系列) 平成 16 年

4-2 降雨予測情報を活用したダム操作方法の検討

4-2-1 検討に用いるダム操作ルールの設定

(1) 現行運用ルール

三春ダムでの、洪水期における現行の出水期間の運用方法は概ね以下の通りである。

1) ダム流入量が $25\text{m}^3/\text{s}$ (選択取水能力) 未満の時

基本的に、下流維持流量(ダム直下地点で $0.824\text{m}^3/\text{s}$)を確保しながら、洪水期は貯水位が制限水位を上回らないように放流量を設定し、選択取水設備(またはバイパス放流管)による放流を行う。

2) ダム流入量の増加時期

ダム流入量が $25\text{m}^3/\text{s}$ 以上では、コンジット放流(ダム堤体中腹に設置される放流管ゲートからの放流)に切り替え、基本的には「放流の原則(ダム直下流の水位上昇速度が一定以下となるよう放流量の設定)」に従い放流量を増加させる。

3) ダム流入量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 以上の場合

コンジット放流量は、 $100\text{m}^3/\text{s}$ で頭切りして洪水調節を行う。

4) 洪水後(ダム流入量 $100\text{m}^3/\text{s}$ 未満)

コンジット放流量は、 $100\text{m}^3/\text{s}$ を上限として貯水池水位の低下速度最大 $1\text{m}/\text{日}$ の範囲内で放流し(堤体の安全性の確保のため)、貯水位を制限水位 $\text{EL}318.0\text{m}$ まで低下させる。

5) 制限水位到達後

流入量=放流量となるよう、コンジット放流量を減少させる。

6) 流入量 $25\text{m}^3/\text{s}$ 未満に低下した場合

ダム流入量 $25\text{m}^3/\text{s}$ 未満では、選択取水に切り替え、下流維持流量が確保されるよう運用する

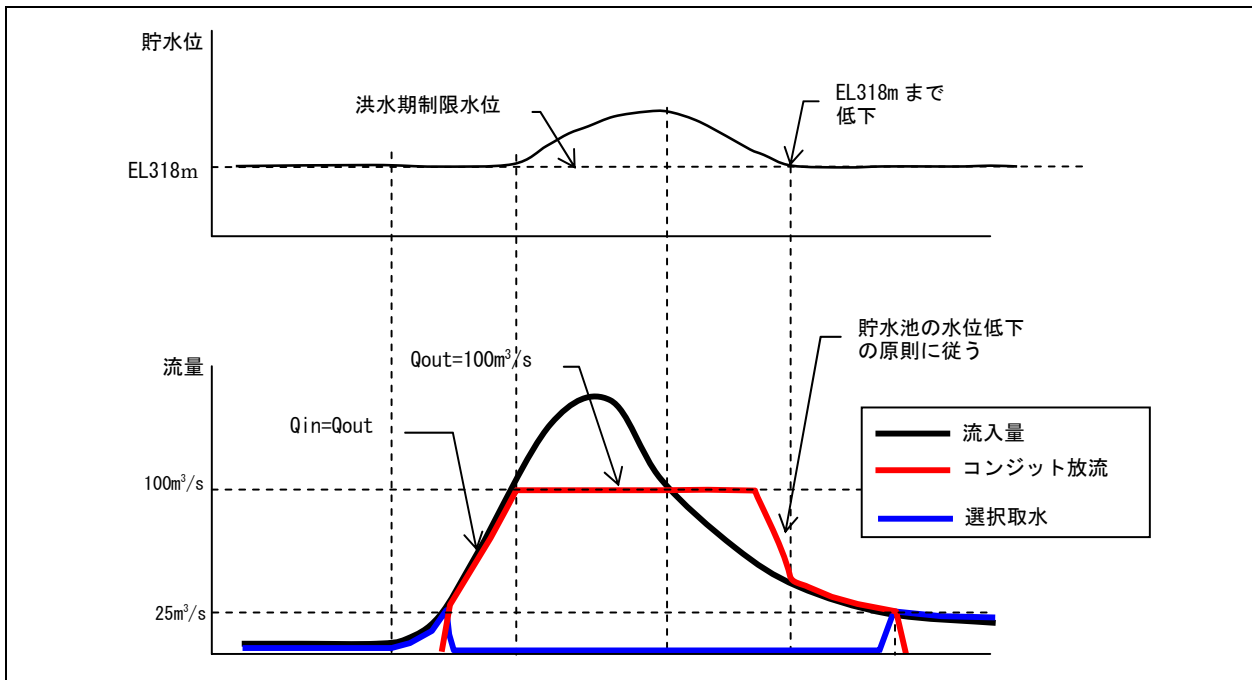
7) ダム直接取水

ダム直接取水として郡山市浄水場 $0.493\text{m}^3/\text{s}$ 、その他、灌漑用水取水が許可されている。

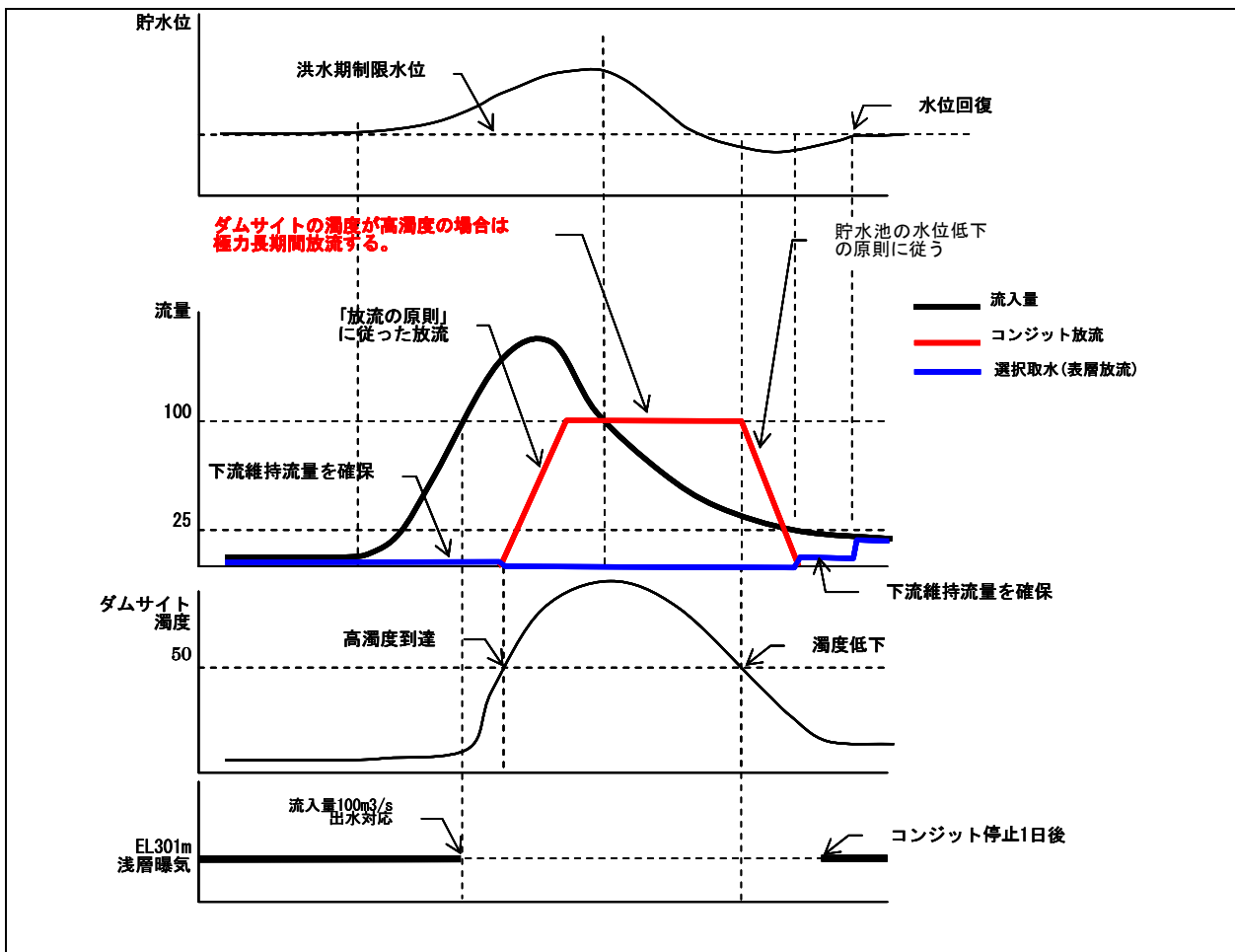
(2) ダム操作ルール検討の基本的な考え方

三春ダム貯水池で顕著な富栄養化現象が夏季の大、中規模出水後に見られ、その一因として出水時に流入する高濃度の栄養塩にあると言われている。水質改善のために、高濁度水塊がダムサイトに近づいてからコンジット放流を開始し、制限水位を下回っても高濁度水塊が通過し終わるまでコンジット追加放流することで、濃い濁水塊を、その拡散を押さえながら比較的スムーズにダムサイトまで引き寄せ放流することが可能になるとの仮定において、その仮定に基づくダム放流操作が実施のどの程度有効か調べることにした。さらに、曝気を出水後、早期に再稼働することによる表層循環層厚の維持により植物プランクトンの抑制効果が期待されることからこれについても有効性を調べることにした。

また、降雨予測情報を用いることで、放流操作に幅が持たせられる可能性があることに着目し、高負荷を貯水池に極力滞留させないようにする、「水質改善に着目したダム操作ルール(以下、水質改善ルールと表記)」について検討することとし、その基本的な考え方のイメージを図 4-2-1、図 4-2-2 に示す。



現行ルール (イメージ)



水質改善ルール (イメージ)

図 4-2-1 水質改善に着目したダム操作ルールのイメージ

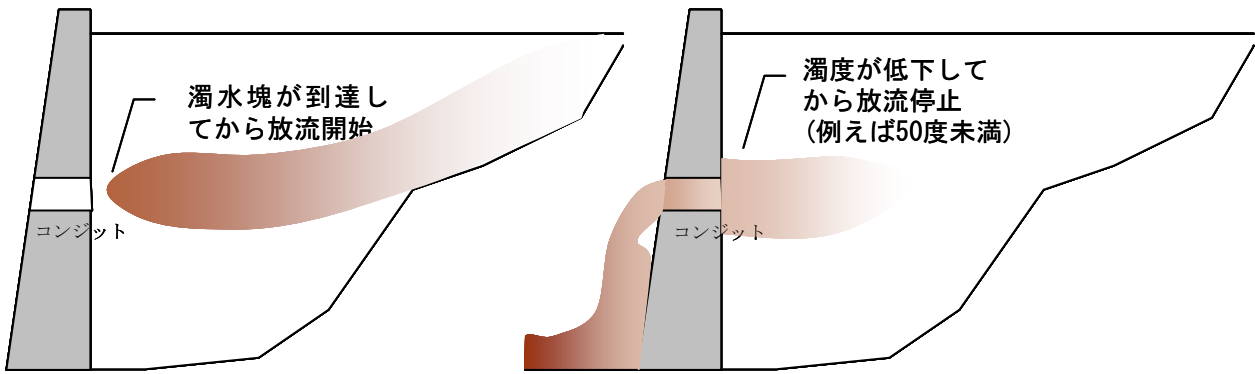


図 4-2-2 コンジットによる濁水塊の効率的な放流操作(イメージ)

(3) 降雨予測情報の活用方法

降雨予測情報の活用方法の基本的な考え方を以下に示す。降雨予測情報により、ダム流入量を正確に把握することができれば、治水・利水面から影響が生じない範囲で、放流操作を変更できると考えられる。

そこで、本ケーススタディーでは、濁水塊の到達状況に応じたコンジット放流を行う操作と、降雨予測情報を利用して治水・利水面から影響がない範囲内でコンジット放流を行う操作を組み合わせ、**治水・利水・水質の3者を考慮した最適な運用に近づける**ことを目指す。

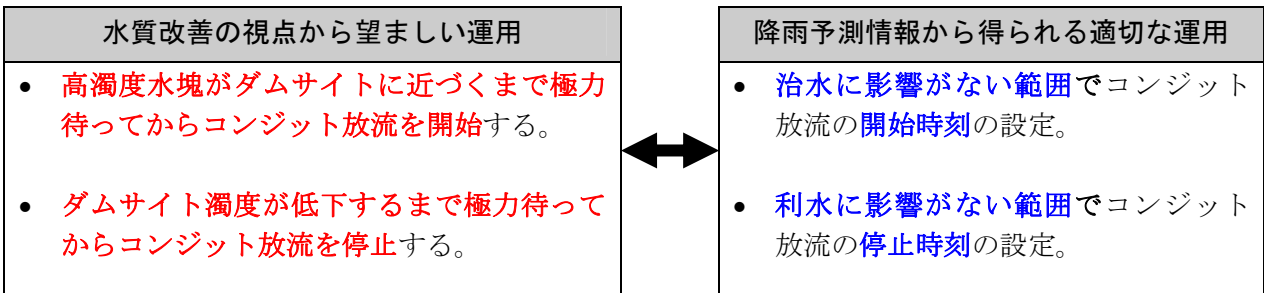


図 4-2-3 降雨予測情報を用いたダム操作ルールの基本的な考え方

(4) 降雨予測情報を用いない場合のダム操作ルールの立案

降雨予測情報を用いたダム操作ルールによる水質改善効果や治水・利水面の影響を把握するため、その比較対照として降雨予測情報を用いない場合における操作ルールを設定する。その概要を下記に示す。

1) 放流開始の判断方法

濁度 50 度以上の濁水塊が基準点(春田大橋地点 EL303.6m)に到達したら、到達した時刻からコンジット放流を開始する。

2) 放流終了の判断

基準点の濁度が 50 度未満に低下した時刻でコンジット放流を停止し、維持流量のみ放流するものとする。

(5) 降雨予測情報を活用したダム操作ルールの立案

以下に降雨予測情報を活用したダム操作ルールの概要を示す。

1) 放流開始の判断方法

- 下図のように降雨情報より得られたダム流入量を貯留したとき、サーチャージ水位未満となるような放流開始限界時刻を推定し、遅くともこの時刻までにはコンジット放流を開始する。
- また、濁度50度以上の濁水塊がこれより早期に基準点(春田大橋地点EL303.6m)に到達したら到達した時刻からコンジット放流を開始するものとする。なお、濁度の設定値を50度としたのは、三春ダムの水質保全施設(浅層曝気施設)運用において、曝気標高切り替えの基準としていることに基づいている(放流終了の判断についても同様)。

表 4-2-1 放流開始時の制限事項

目的	制限事項
水質面	出水により、基準点に濁度 50 度以上の濁水塊が到達した時点からコンジット放流を開始。
治水面	出水により、貯水位がサーチャージ水位 (EL333m) を越えないように、コンジット放流を開始。

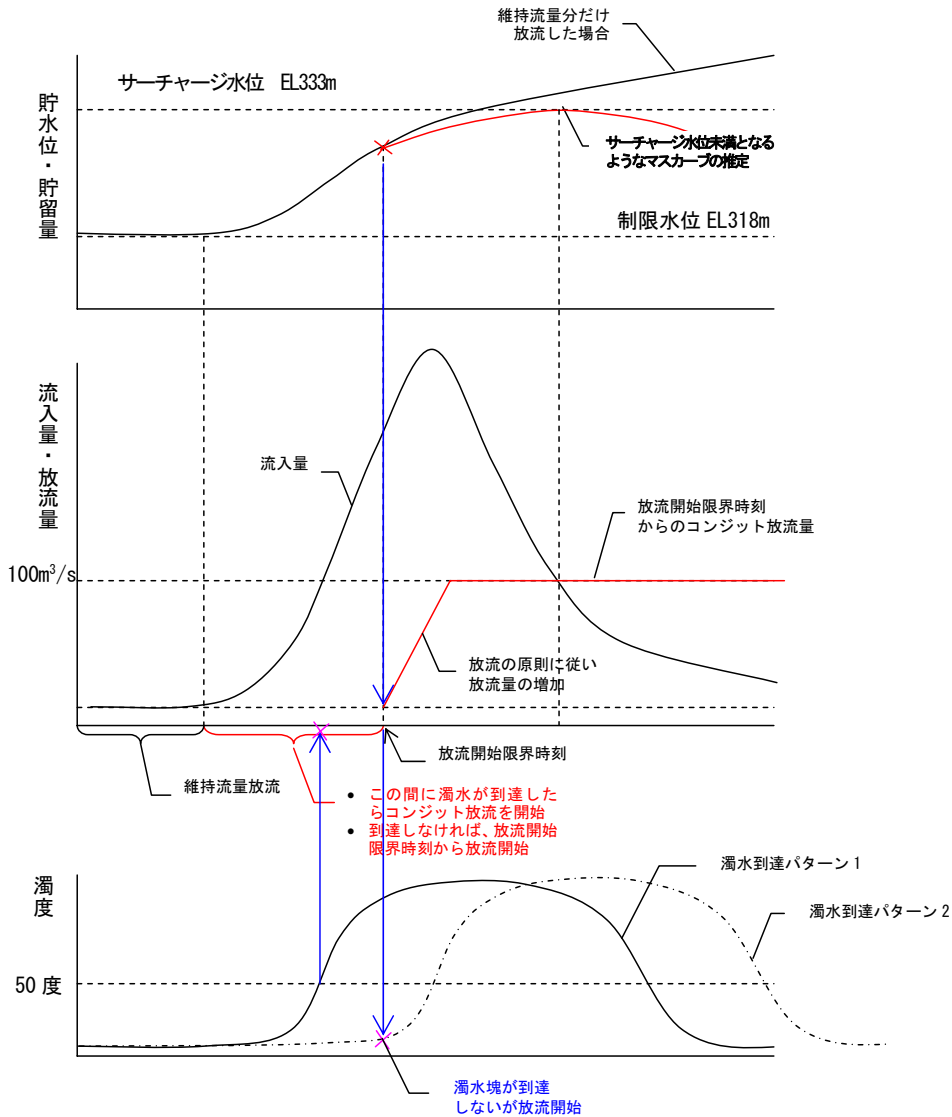


図 4-2-4 コンジット放流開始時の判断

2) 放流終了の判断

- 下図のように降雨情報によって得られたダム流入量と貯水池水位低下速度-1m/日の範囲内で放流操作をしたとき、降雨予測期間の範囲内で制限水位に戻すことができるような放流終了限界時刻を推定し、この時刻にコンジット放流を終了するものとする。
- 6時間前から51時間先の降雨予測情報 (RSM)は1日2回 (9時、21時)に出される。従って、それ以外の時間では51時間先までは降雨予測のデータがない。そのような場合は、基準点の濁度が50度未満に低下した時刻でコンジット放流を停止し、維持流量のみ放流するものとする。

表 4-2-2 放流終了時の制限事項

目的	制限事項
水質面	<ul style="list-style-type: none"> ● 降雨予測情報が得られる場合は、降雨予測情報により、貯水池水位を制限水位まで戻すことができる限界時刻まで、なるべく長期間放流を継続する。 ● 降雨予測情報が得られない場合は、基準点の濁度が50度未満に低下した時点でコンジット放流を停止する。
利水面	<ul style="list-style-type: none"> ● コンジットによる追加放流を行う場合は、降雨予測期間の範囲内で水位を制限水位に戻す。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ● 貯水池水位低下速度-1m/日以内となるように放流量を減少させる (堤体安全性の確保)。 ● ダム直下流の流量は下流維持流量として最低限0.824m³/sを確保する。

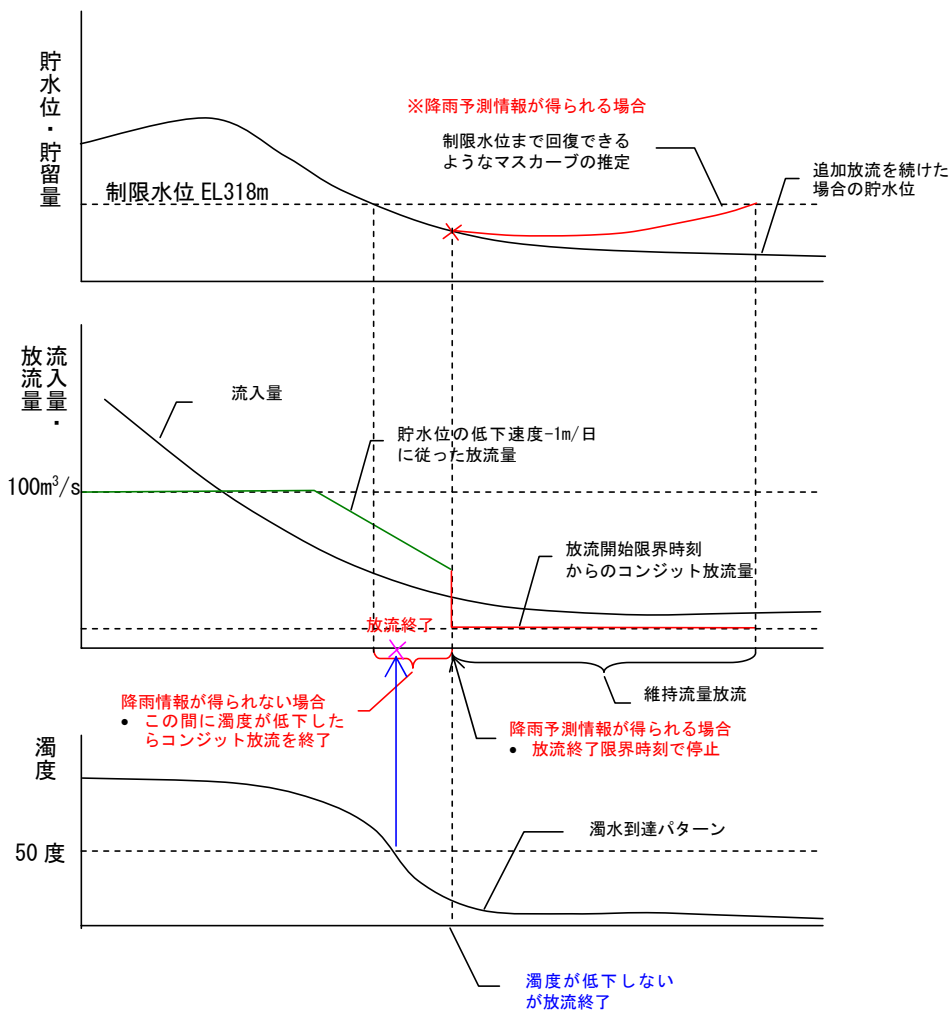


図 4-2-5 コンジット放流開始時の判断

4-2-2 降雨予測情報の精度評価

(1) 検討対象出水の選定

本検討では、降雨予測情報を活用したダム操作の可能性について検討を行う事を目的としていることから、ここでは、まず現有降雨予測モデルの予測精度を把握し、現有降雨予測精度での予測情報をダム操作へ適用する場合の可能性を確認する。ここでは、検討対象出水として現在気象庁で利用されている降雨予測モデルに改訂された平成14年3月以降(これ以前は降雨予測精度が劣るため)の出水を用いるものとする。

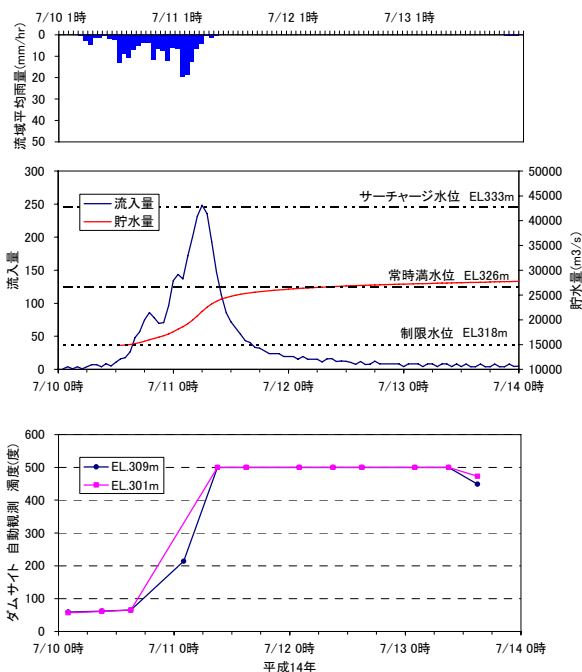
ここで、平成14年3月以降の出水の内、①ピーク流入量がコンジット放流能力の100m³/s前後の出水、②総流入量が1200万m³(制限水位と常時満水位の間の容量)前後の出水、③制限水位期(6/11～10/10)の出水、の①～③を満たす出水を整理すると表4-2-3の4出水が挙げられる。本検討では、下記4出水の内、出水規模の異なる次の2出水を採用するものとした。出水期間のコンジットゲート標高EL301mと最低水位309mの濁度と流量の関係を図4-2-6に示した。

- 平成14年7月出水・・・総流入量をため込むと常時満水位まで上昇する。
- 平成16年7月出水・・・H15.8出水、H16.10出水と比べて濁度のピーク濃度が高く、50度以上の高濁度が長期間続いた。

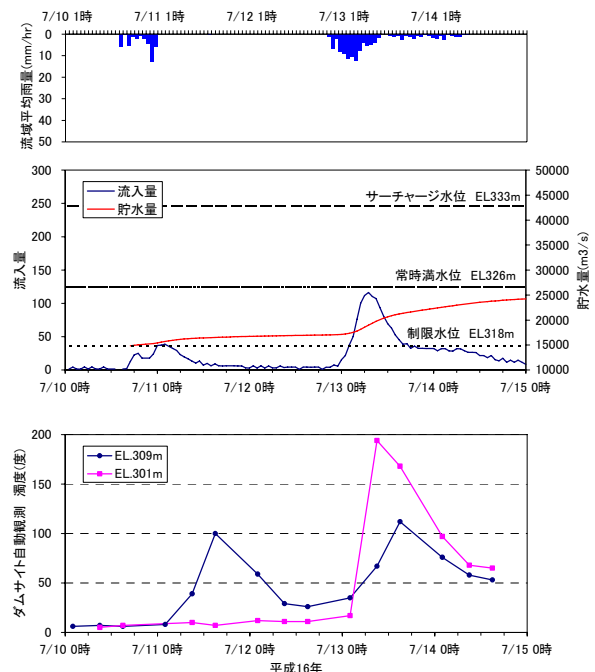
表 4-2-3 検討対象出水 ※降雨予測情報が得られた平成14年3月以降の出水

ダム操作への適用可能性検討対象	出水期間	積算雨量 mm	ピーク流入量 m ³ /s	総流入量 千m ³	流量規模 (確率年)	流出波形
●	H14. 7. 10～H14. 7. 13	179.3	248.1	11,730	5年	単独
	H15. 8. 14～H15. 8. 22	151.2	97.0	9,573	1年	2山(中1日)
●	H16. 7. 10～H16. 7. 14	151.9	116.3	8,194	1年	2山(中1日)
	H16. 10. 8～H16. 10. 10	109.5	122.3	8,803	1年	2山(中2日)の後半

(備考)総流入量は15m³/s以上の出水期間で積算した。



(平成14年7月出水)



(平成16年7月出水)

図 4-2-6 出水期間の流入量と濁度

(2) 降雨予測情報の入手

気象庁から入手した降雨予測データは、表 4-2-4 に示した 2 種類のデータである。RSM モデルは、1～2 日までの数時間の平均的な雨量(あるいは積算雨量)の把握に用いられるのに対し、短時間降雨予報は 6 時間先程度の短時間先までの 1 時間雨量の把握に用いられる。本検討では、前述した検討対象洪水を含め、平成 14 年 3 月以降の以下に示す 5 出水について、予測データを気象庁から入手した。

降雨予測情報の入手期間

出水	入手期間
1	H14. 7. 4～7. 25
2	H14. 9. 23～10. 5
3	H15. 8. 7～8. 24
4	H16. 7. 3～8. 2
5	H16. 9. 27～10. 25

表 4-2-4 気象庁から入手した降雨予測データ内容

予測データ	予測内容			予測データ提供までのタイムラグ	備考
	先行時間	メッシュ	計算頻度と初期値時刻		
RSM (領域数値予報モデル)	51 時間 先	約 15km の メッシュ間隔 ・緯度方向 8 分 ・経度方向 8 分	1 日 2 回 UTC(協定世界時)で 0 時 (日本時で 9 時)と、12 時 (日本時で 21 時)	観測データ収集に 3 時間、 解析に 1 時間 15 分、合計で 4 時間 15 分程度後から配信 開始。	RSM (領域モデル; 東アジアの広領域を計算対象) というモデルを運用し、その計算結果である GPV (Grid Point Value) を配信している。
降水 短時間予報	6 時間 先	約 5km の メッシュ間隔 ・緯度方向 3 分 ・経度方向 3 分 45 秒	・2003 年 5 月までは毎正 時 ・6 月以降は毎正時と 30 分の 30 分毎	観測データ収集に 9 分、解 析に 7 分、合計で 16 分程度 後から配信開始。	約 2.5km メッシュのレーダー・アメ ダス解析雨量の実況データを用いて、 雨域の移動速度に発達・衰弱を加味 し、数値予報の予測雨量を結合して 予測する。

(3) 降雨予測情報の利用

現段階で、降雨予測情報は、RSM モデルによる 51 時間先までの予測データが 12 時間毎、一方、降水短時間予報による 6 時間先までの予測データは 1 時間毎(2003 年 6 月以降は 30 分毎)に入手できる。従って、降雨予測情報は 6 時間先までの予測は降水短時間予報を用い、7 時間以上先は RSM モデルによるデータを継ぎ足して、51 時間先までの降雨予測値を作成し用いるものとする。

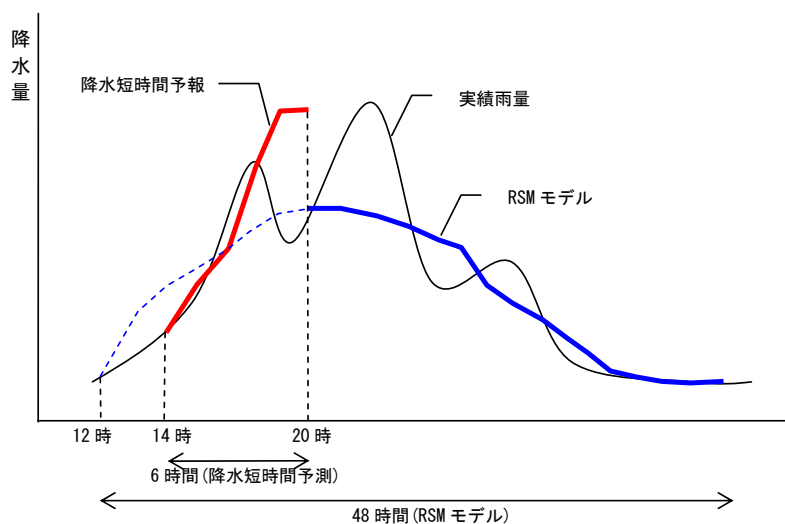


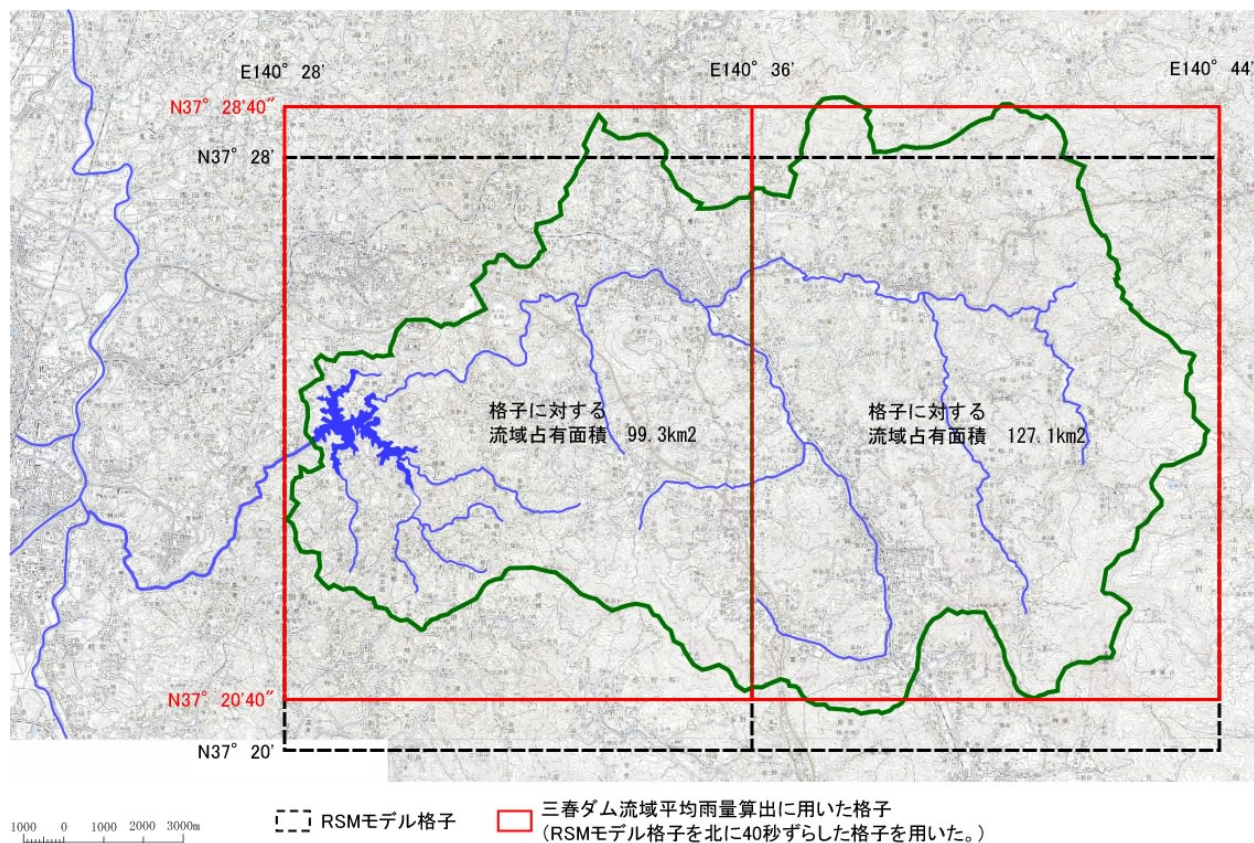
図 4-2-7 降雨予測情報の利用

1) RSM モデル

a. 流域平均雨量の算定

RSM モデルによる降雨予測データは、12 時間毎に更新され、現時刻から 51 時間先までの予測データが計算される。データは、格子間隔 8 分の格子について予測値が出力される。予測範囲は図 4-2-8 の点線で囲む格子内である。

三春ダムに適用するにあたり、図 4-2-8 の赤線で囲まれた格子内を RSM モデルによる格子と同等の降雨予測情報を持つと仮定して、格子内の平均雨量を算定し、さらに流域占有率で比例按分して流域平均雨量データを作成した。



(備考) 三春ダム流域平均雨量は赤色ラインの格子データに流域占有面積率を掛けて算定した。

図 4-2-8 RSM モデル格子から三春ダム流域の位置関係

b. 予測結果

予測を行った 5 出水のうち、平成 14 年 7 月、16 年 7 月の検討対象出水について、RSM による予測データに基づく、三春ダムの流域平均雨量についての現時刻から 2 日先までの予測結果を図 4-2-9 に示す。

(備考) RSMモデル降雨予測は、0時と12時の予測時点から2日先までの予測結果を、予測時点毎に色分けして示した(矢印の幅が48時間)。

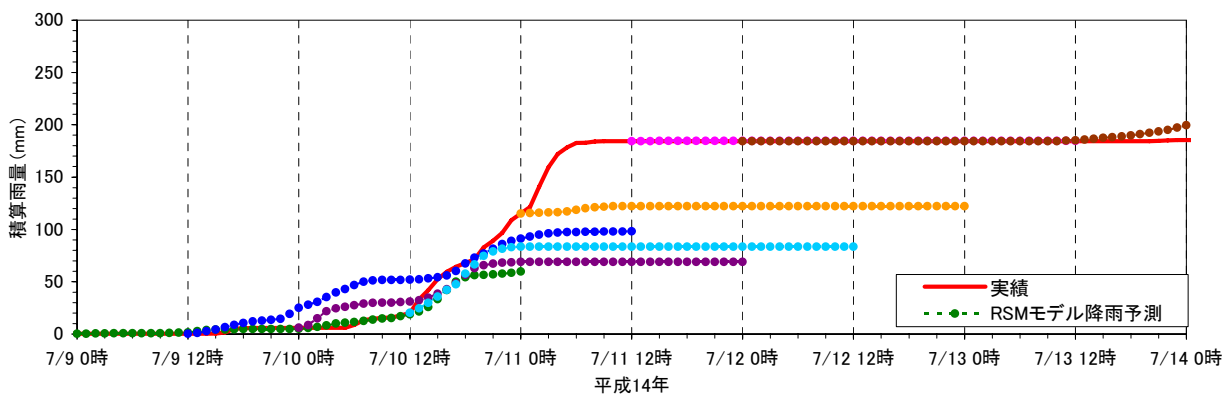
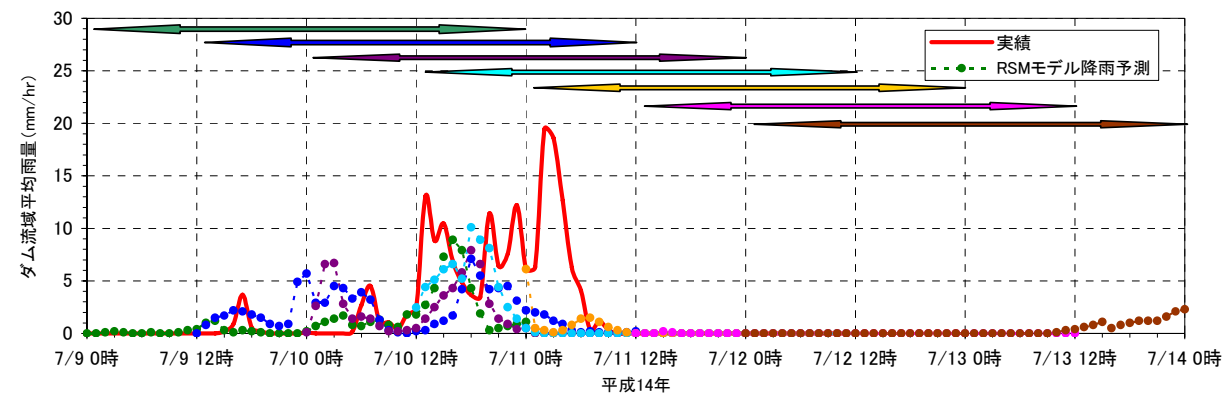


図 4-2-9(1) RSMモデルによる2日先までの降雨予測結果(平成14年7月、出水1)

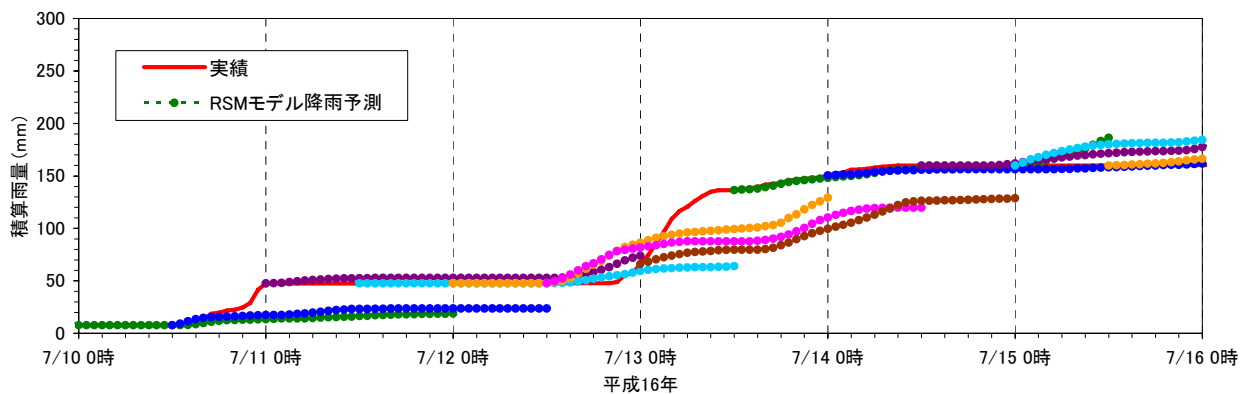
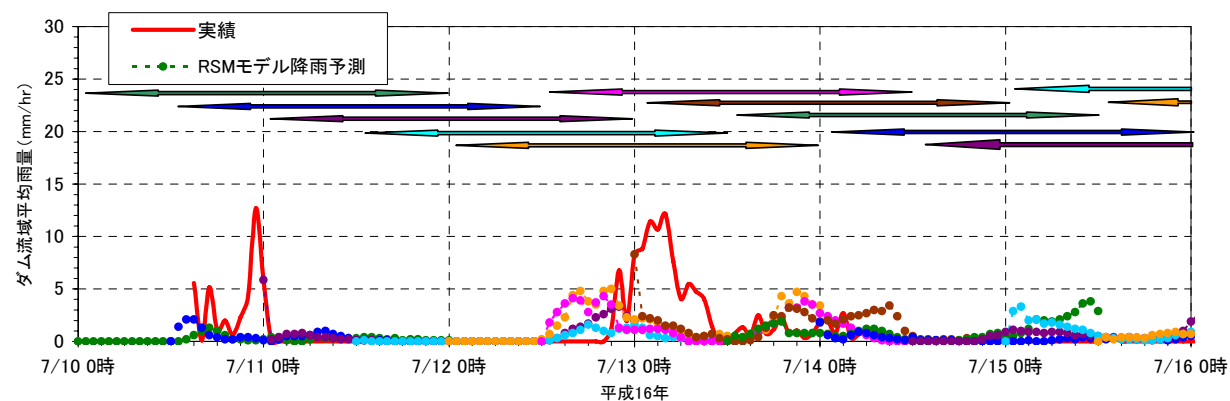


図 4-2-9(2) RSMモデルによる2日先までの降雨予測結果(平成16年7月、出水4)

c. 予測誤差

5 出水を対象に予測誤差として、「(備考)本検討における予測誤差の考え方について」で示した手法により算定した予測誤差率を0～48時間先までとりまとめた。図4-2-10に平成14年7月、16年7月の2出水の積算雨量の予測誤差率を示す。全5出水の積算雨量の予測誤差率の上限と下限及びその平均を図4-2-11に整理した。各出水の予測誤差率の上限・下限の平均値では、以下の傾向が見られた。

- 上限は、6時間先までは誤差率が10～20%程度まで増加、6～36時間先までは10～20%前後で推移し、36時間以降で誤差率が減少している。
- 下限は、12時間先までは誤差率が60%程度まで低下、それ以降の誤差は大きく変動しない。

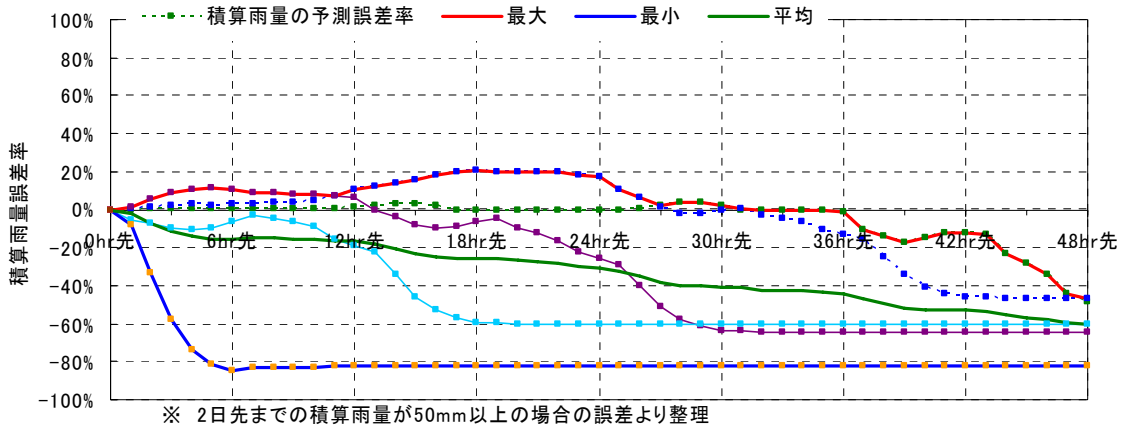


図4-2-10(1) 積算雨量予測誤差(平成14年7月、出水1)

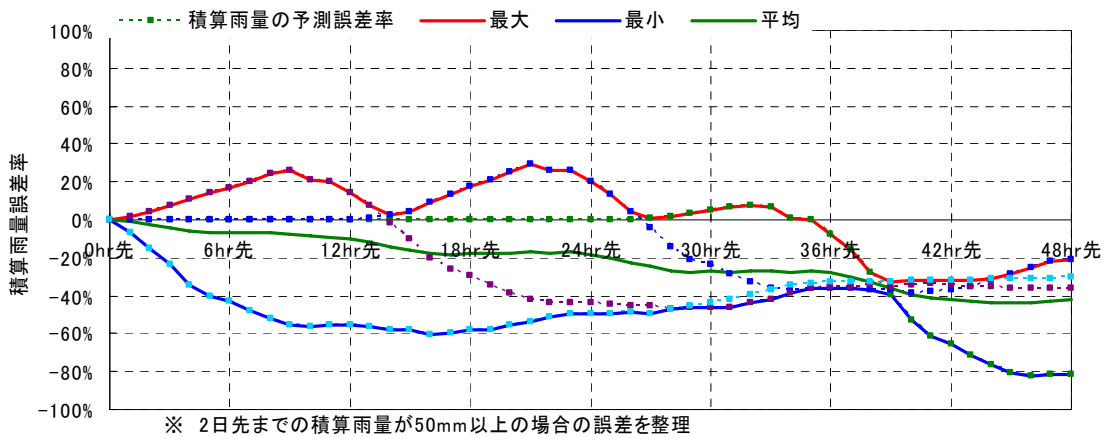


図4-2-10(2) 積算雨量予測誤差(平成16年7月、出水4)

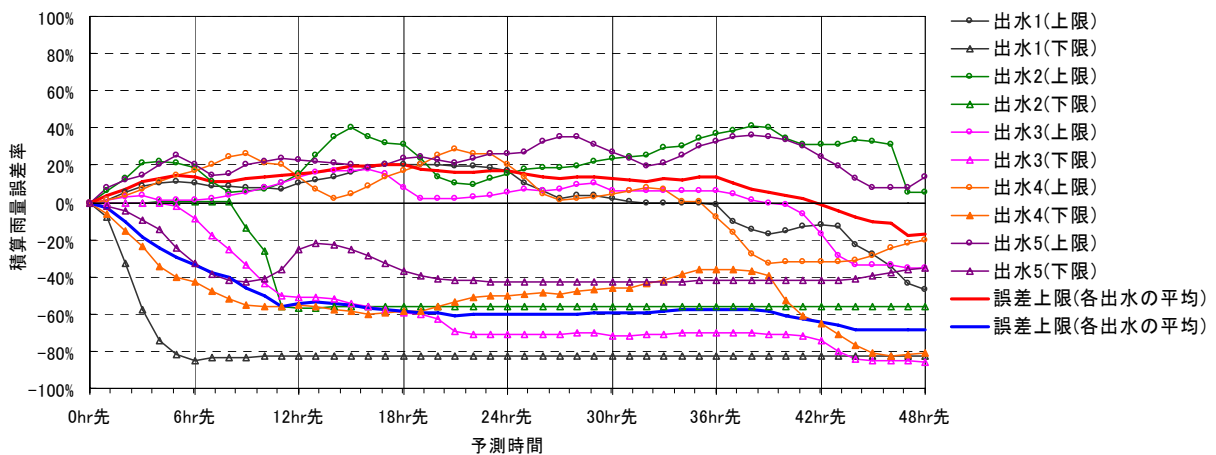


図4-2-11 RSMモデルによる実績積算雨量に対する予測誤差

(備考) 本検討における予測誤差の考え方について

(1) 降雨予測誤差の種類

降雨予測誤差の要因としては、以下の2種類の誤差が挙げられる。

- 降雨規模の誤差 …… 雨域の発達・衰弱に関する予測誤差
- 降雨波形のズレによる誤差 …… 雨域の移動速度・方向の予測誤差

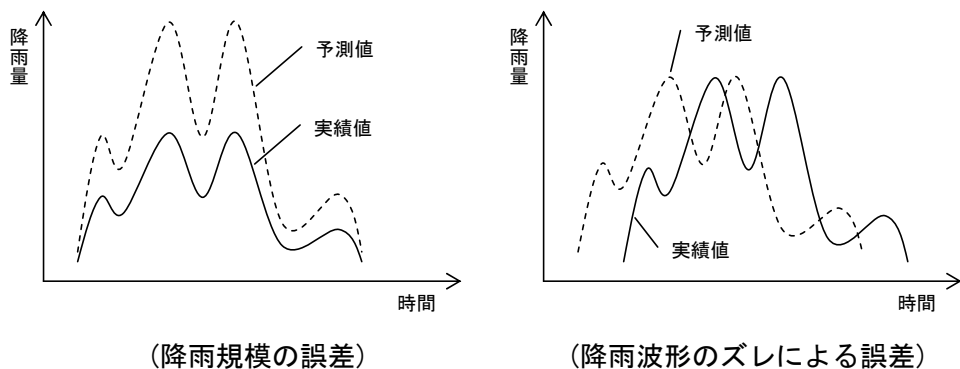


図-1 降雨予測誤差のイメージ

(2) 降雨予測誤差の表現方法

本検討では、降雨予測結果を用いて、貯留関数法による流出解析結果として貯水池流入量を得ることを目的としている。ここで、貯留関数法では、流域に降った雨の履歴が重要となる。すなわち、「降雨強度」とともに「積算雨量」が重要なファクターと言える。

そこで、本検討における降雨予測誤差の表現方法としては、前述(1)の2種類の予測誤差要因、「降雨波形のズレによる誤差」「降雨規模の誤差」の両者を総括的に表現できる手法として、予測時間先の流域積算雨量の差を用いるものとした。

積算雨量を用いて誤差を表すことにより、たとえば降雨の到達が実績値より早ければ、積算雨量は上限側の予測値(図-2 参照)となり、遅れば下限側の予測値(図-2 参照)をとる。また、降雨規模が大きければ上限予測値をとり、小さければ下限予測値をとる。

本検討では、下図に示す誤差の上限値、下限値は「予測時間毎に一意に決定するもの」と仮定し、予測時間毎の積算雨量予測誤差の特性を整理した。

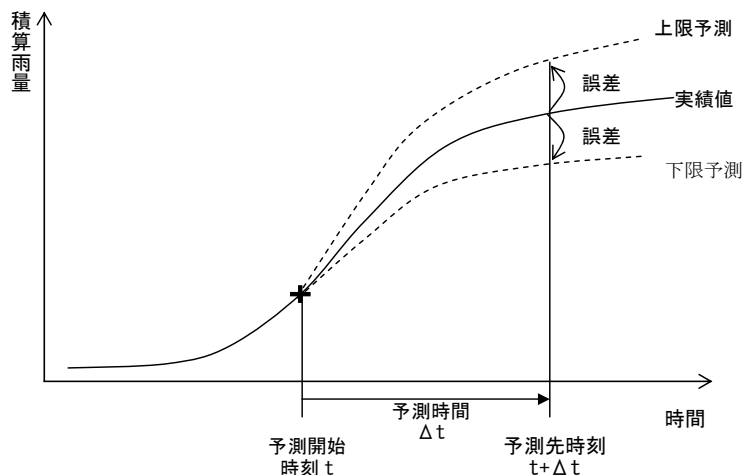


図-2 降雨予測誤差の表現方法(イメージ)

(3) 予測誤差率の算定

予測誤差率は、予測時点から今後 2 日先までの積算雨量を分母、予測時間 Δt 後の誤差を分子として、予測時点から 2 日先までの降雨規模に対する誤差の割合として設定する。

$$\text{予測誤差率} = \frac{\text{予測時点から予測時間 } \Delta t \text{ 後までの積算雨量誤差 (mm)}}{\text{予測時点から今後 2 日先までの積算雨量 (mm)}}$$

ここで、予測誤差率の分母は、今後一連の降雨現象が完結するまでに降る総雨量に対する誤差の大きさを表現することを目的としている。

また、2 日先までの積算雨量を用いた理由として、現行予測(RSM)モデルの予測対象時間スケールであることと、気圧変化の時間スケールが 2 日程度のスケールであり¹⁾、雨域の接近から通過までの一連の降雨現象が概ね完結する時間スケールに相当すると意図したものである。

(参考文献)

- 1) 沖大幹：水文・水資源のための気象予測概論、気象予測とその水文・水資源への応用、水文・水資源学会企画・事業委員会、p6、1992

2) 降水短時間予報

a. 流域平均雨量の算定

流域平均雨量の算定は、降水短時間予報に使われた約 5km 間隔の格子(図 4-2-12 参照)内に占める流域面積率で按分して算定した。

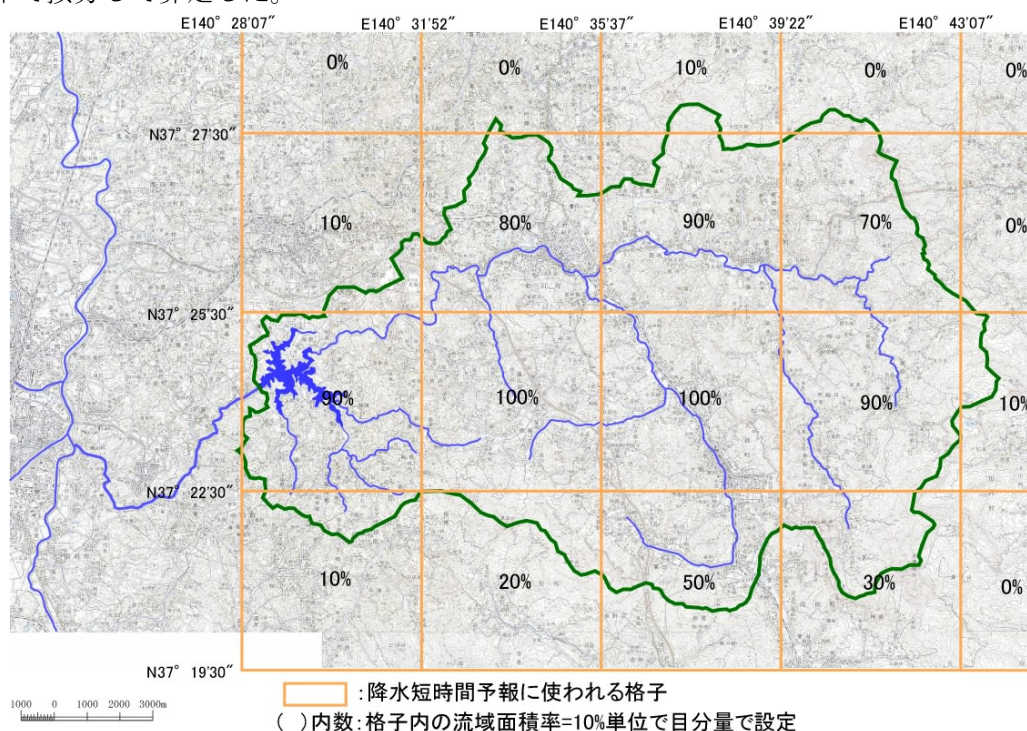


図 4-2-12 降水短時間予報に使われる格子と三春ダム流域の位置関係

b. 予測結果

平成 14 年 7 月、16 年 7 月の検討対象出水について、RSM による予測データを元に、三春ダムの流域平均雨量を算定した現時刻から 2 日先までの予測結果を図 4-2-13 に示す。

(備考) 短時間降雨予測は、3 時間毎に予測時点から 6 時間先までの予測結果を、予測時点毎に色分けして示した (矢印の幅が 6 時間)。

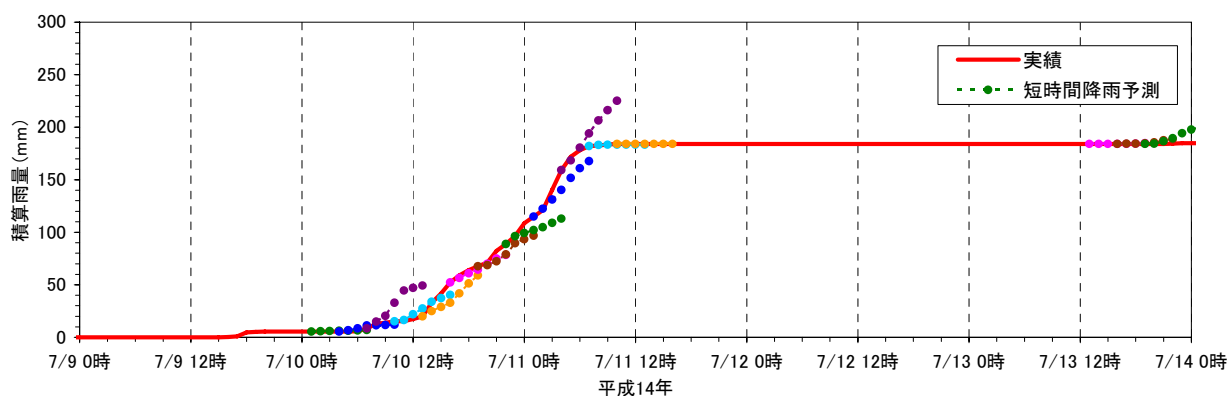
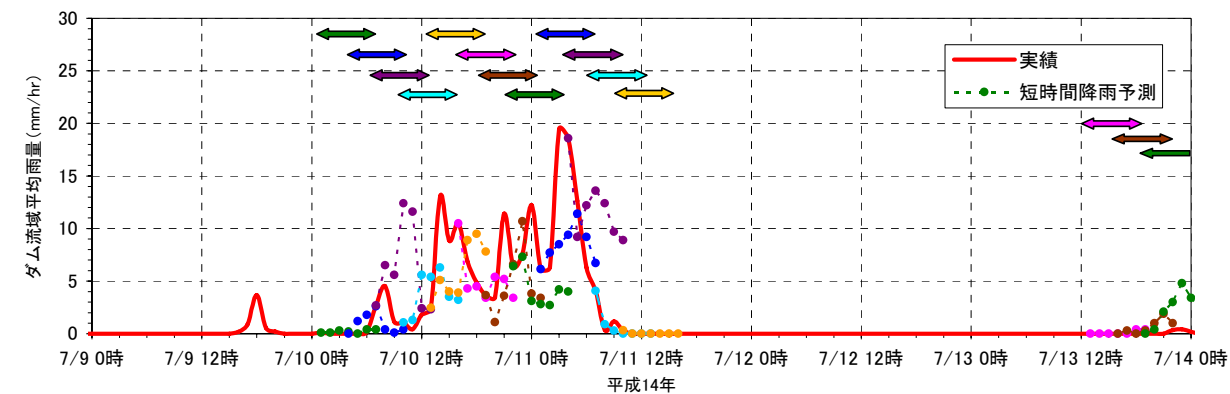


図 4. 1. 13(1) 降水短時間予報による 6 時間先までの降雨予測結果(平成 14 年 7 月、出水 1)

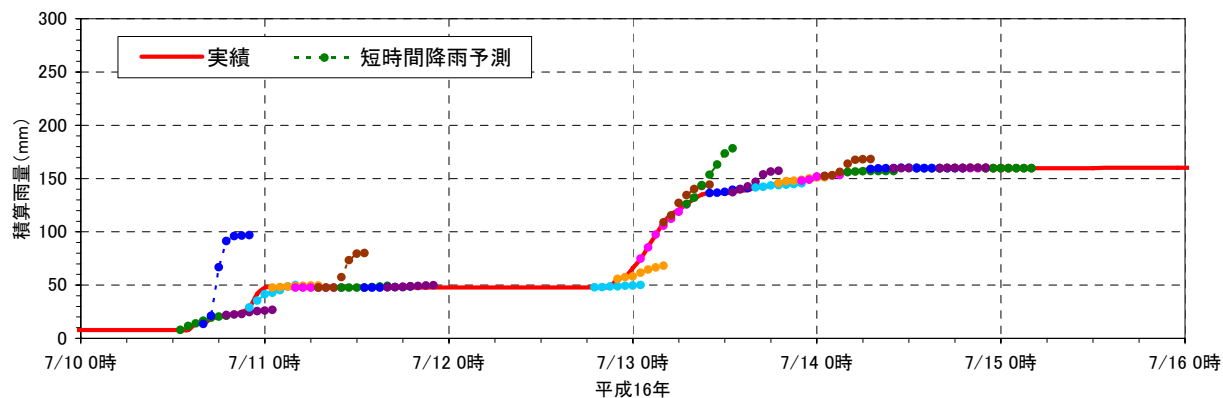
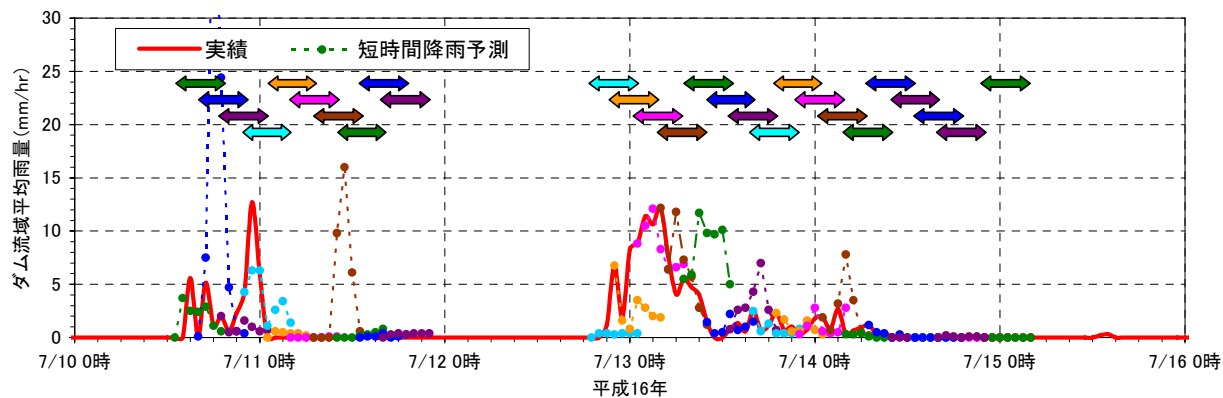


図 4. 1. 13(2) 降水短時間予報による 6 時間先までの降雨予測結果(平成 16 年 7 月、出水 4)

c. 予測誤差

5 出水を対象に予測誤差として、「(備考)本検討における予測誤差の考え方について」で示した手法により算定した予測誤差率を 0～6 時間先までとりまとめた。図 4-2-14 に平成 14 年 7 月、16 年 7 月の 2 出水の積算雨量の予測誤差率を示す。また、全 5 出水の積算雨量の予測誤差率の上限と下限及びその平均を図 4-2-15 に整理した。各出水の予測誤差率の上限・下限の平均値では、以下の傾向が見られた。

- 上限は、6 時間先まで誤差率が 20%程度まで徐々に増加する。
- 下限は、6 時間先まで誤差率が-40%程度まで徐々に低下する。

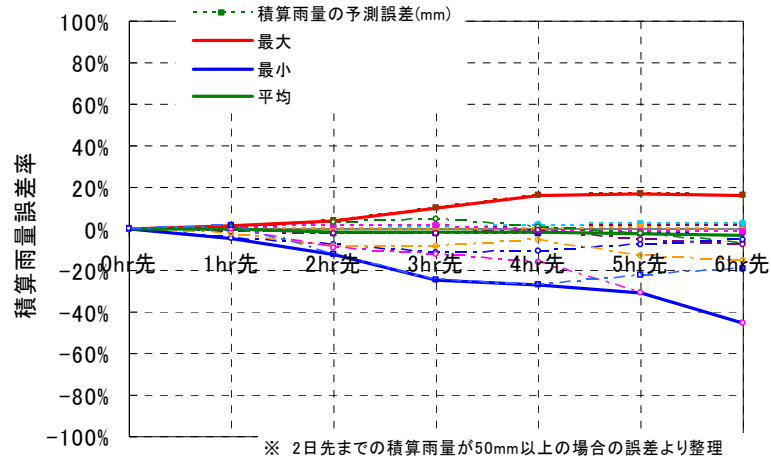


図 4-2-14(1) 積算雨量予測誤差(平成 14 年 7 月、出水 1)

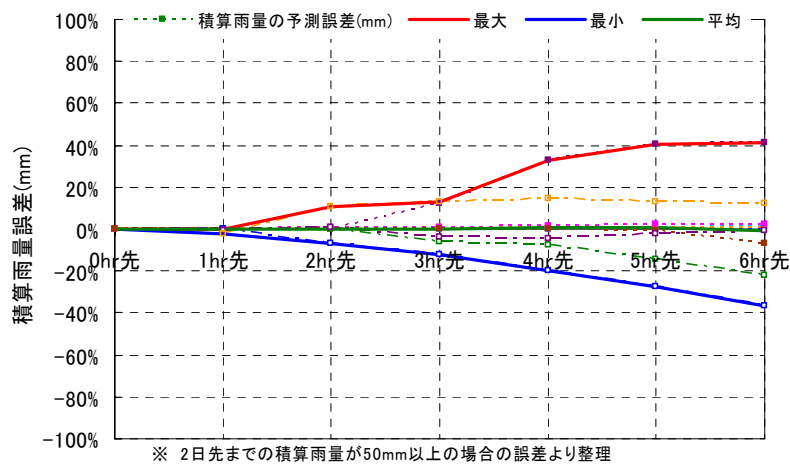


図 4-2-14(2) 積算雨量予測誤差(平成 16 年 7 月、出水 4)

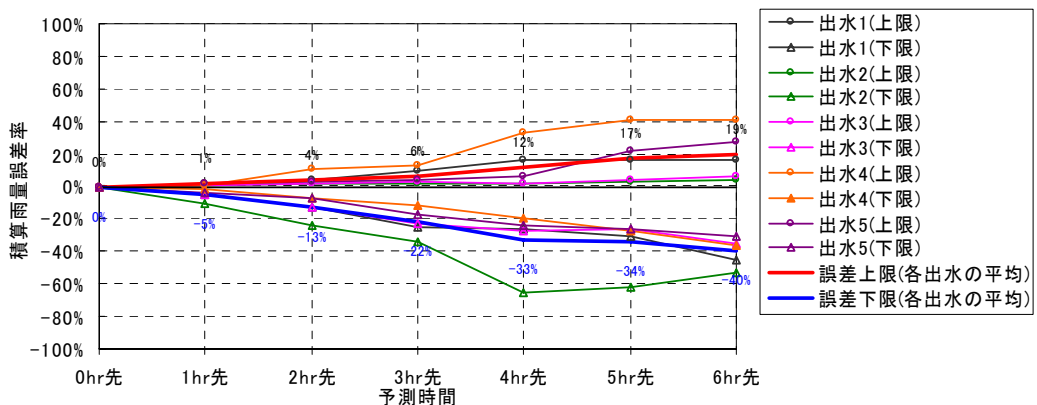


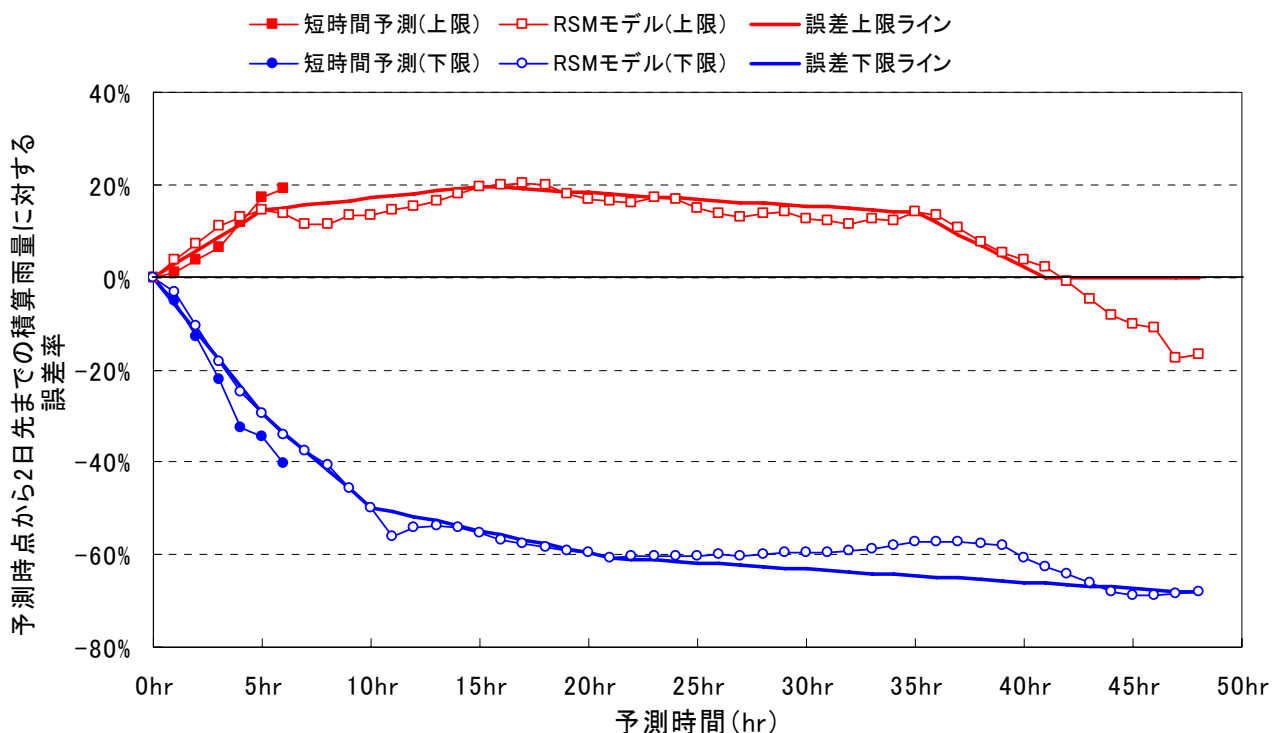
図 4-2-15 降水短時間予報による実績積算雨量に対する予測誤差

3) 降雨予測誤差を考慮した降雨予測資料の作成

1)、2)において整理した気象庁所有の各予測モデル(RSMモデル、降水短時間予報)による積算雨量の予測値の予測誤差を考慮した降雨予測資料を作成する。ここで、出水毎に生じる予測誤差の幅を評価するため、現行の降雨予測モデルによる予測値の上限値と下限値を以下の手法により推定する。

- 手順 1) 図 4-2-16 の誤差率推定ラインより得られる予測時間の誤差率を、予測時点から 2 日先までの積算雨量に乗じた結果を、当該予測時刻から予測時間後までの実績積算雨量に対する誤差とする。
- 手順 2) 実績積算雨量に予測誤差を足しあわせて、誤差(上・下限)を含んだ積算雨量を作成する。
- 手順 3) 誤差を含んだ積算雨量より、各予測時刻の実績雨量を逆算する。

次ページ以降の降雨予測情報を用いた検討では、誤差率が 0 の場合 (以下、「完全降雨予測」と表記) と、誤差の上限予測の場合、誤差の下限予測の場合の 3 つのケースについて行う。このような検討を行うのは、現行予測が常に上限と下限の予測の誤差を含んでいる可能性があることから、その予測誤差を考慮して運用すればどのような結果になるか把握する必要があると考えたためである。



(備考) 誤差の上限と下限ラインは、誤差推定対象の各洪水について RSM モデルの誤差の上限、下限を推定し、さらにその上下限を平均した誤差を、モデルが持つ誤差の上下限とした。なお、上限が実績値に対して低くなる場合は、実績値より低くならないことを条件として誤差は 0 とした。

図 4-2-16 積算雨量の予測誤差上・下限値の設定

4-3 降水量予測情報を用いたダム水質管理の検討

4-3-1 降雨予測情報を用いた水質予測

(1) 検討ケースの設定

本検討では、まず図 4-2-1 で示した水質改善ルールにおいて、4-2-1(4)で示した降雨予測情報がないことを前提とする運用（以降、「**降雨予測を用いない運用**」と呼ぶ）を行った場合の効果を把握する。これは現行と異なる運用を行った場合、コンジット放流の開始を遅らせてサーチャージ水位を超過するリスクと、コンジット放流の停止を遅らせることによる制限水位を長期間下回るリスクを把握するために行うものである。次に、4-2-1(5)に示したルールに従い、降雨予測情報を利用しながら、治水、利水への影響にも配慮した運用（以降、「**降雨予測情報を用いた運用**」と呼ぶ）を行うことによる効果と治水、利水のリスクを回避する可能性を把握する。

表 4-3-1 降雨予測情報を用いたダム水質管理の検討の目的

目的	内容
<ul style="list-style-type: none"> 「降雨予測を用いない運用」による水質改善効果等を把握する。 	現行運用に対して、どの程度の水質改善効果が得られ、治水・利水への影響を及ぼすか把握する。
<ul style="list-style-type: none"> 「降雨予測情報を用いた運用」により水質・治水・利水へのそれぞれの影響を把握する。 	降雨予測情報を用いた運用にあたり以下の点を把握する。 <ul style="list-style-type: none"> ▶ 降雨予測情報を利用した運用によって、現状より水質改善に資する運用となりうるか。 ▶ 治水面・利水面に対して影響を与えないためには、降雨予測精度がどの程度であればよいか。

上記の目的に基づいて検討を行うために、以下のように検討ケースを設定する。なお、放流量の設定は毎時正時に行うこととする。

表 4-3-2 検討の目的と対応する条件設定

検討目的	比較ケース	検討条件	Case
「降雨予測を用いない運用」による水質改善効果等の把握	現行ルール	図 4-2-1 の現行ルールに基づき運用。	c001
	水質改善ルール（降雨予測なし）	<ul style="list-style-type: none"> 図 4-2-1 の水質改善ルールに基づき運用。 降雨予測情報は与えず、基準地点（春田大橋：三春ダム貯水池中心部）の SS 濃度により、放流判断を行う。 	c002
「降雨予測情報を用いた運用」により水質・治水・利水へのそれぞれの影響を把握	<u>完全降雨予測（パーフェクト降雨予測）</u> 情報に基づく流出解析結果を用いた運用ケース	<ul style="list-style-type: none"> 図 4-2-1 の水質改善ルールに基づき運用。 降雨予測情報として 51 時間先まで誤差が無く完全に予測されたと想定した情報を用い、51 時間先までの水位を推定し、放流判断を行う。 	c003
	<u>現行予測誤差の上限予測</u> をした結果に基づく流出解析結果を用いた運用ケース	<ul style="list-style-type: none"> 図 4-2-1 の水質改善ルールに基づき運用。 51 時間先までの現行の降雨予測精度において、積算雨量の誤差率が上限となる降雨予測値を用い、51 時間先までの水位を推定し、放流判断を行う。 	c005
	<u>現行予測誤差の下限予測</u> をした結果に基づく流出解析結果を用いた運用ケース	<ul style="list-style-type: none"> 図 4-2-1 の水質改善ルールに基づき運用。 51 時間先までの現行の降雨予測精度において、積算雨量の誤差率が下限となる降雨予測値を用い、51 時間先までの水位を推定し、放流判断を行う。 	c006

(備考) 降雨予測情報は、6 時間先までは降水短時間予報の予測結果。7～51 時間先までは RSM モデルに基づく予測結果より、三春ダム流域平均雨量を算定し用いた。

(上記以外の条件)・曝気施設は、出水開始時点で停止とした。

(2) 降雨予測情報の活用の可能性評価

4-2-1 で示した降雨予測情報の活用方法に従い、数時間先までの降雨予測情報を用いて流入量を推定しながら、コンジット放流操作の判断を行うことで、「水質の改善」・「利水への影響の回避」・「治水への影響の回避」の観点から効果が得られるかどうか検討した。

各洪水において、51 時間先までの降雨予測情報を活用して運用操作を行った場合の放流操作結果で評価する。なお、操作結果の評価は、「治水」「利水」に対して影響を与えないように水質改善することを目的として以下の定義に従い、リスク評価を行った。対象出水は 4-2-2(1) で選定した平成 14 年 7 月、16 年 7 月の 2 出水である。

【リスクの定義】

各リスクは、以下のように定義した。

治水リスク：運用ルールに基づいてダム操作した結果、サーチャージ水位を上回る場合は治水リスクがあると評価する。

利水リスク：過放流により制限水位を下回る場合は、制限水位に回復する時間と降雨予測情報の予測期間（51 時間）との差により評価することとし、制限水位に回復する時間遅れが 1 日以上の場合に利水リスクがあると評価する。（表 4-2-2 参考）

①. 出水 1 : (平成 14 年 7 月出水)

a. 「降雨予測を用いない運用」による水質改善効果、治水・利水への影響の把握

- 表 4-3-3 より「現行運用 c001」に対して「降雨予測を用いない運用 c002b」では、D-TP で 10%改善する。
- 図 4-3-1(3)より湖内平均水質で見ると、D-TP 濃度では、「現行運用 c001」に対して、「降雨予測を用いない運用 c002b」は出水後全体的に 0.01mg/L 程度まで改善する傾向が見られた。
- 図 4-3-1(1)より治水リスクでは、「現行運用 c001」に対して、貯水位は上昇しているが常時満水位にも到達していない。
- 表 4-3-3、図 4-3-1(1)より利水リスクでは、「現行運用 c001」に対して、「降雨予測を用いない運用 c002b」では水質改善効果を得ようとして濃い濁水塊が通過し切るまで放流した場合、制限水位に回復するまでに 10 日以上にわたる期間が要するために、本運用ルールでは利水リスクがあると言える。

b. 「降雨予測情報を用いた運用」による水質改善効果、治水・利水への影響の把握

(水質改善効果)

- 「降雨予測情報を用いた運用」では、利水リスクを考慮してコンジット放流の停止を早めた(水質から見ると早すぎた)ため、「完全降雨予測情報を用いた運用 c003」でも水質改善にはつながらなかった。図 4-3-1(2)から、何れのケースについても、積算放流負荷量が「現行運用 c001」を上回るのは 7 月 16 日 0 時前後以降であり、貯水位が制限水位+1m 程度まで低下した段階まで時間を要していることから、4-2-1(2)で立てた仮定（高濁度水塊の貯留の有効性）が成立していない可能性がある。
- 図 4-3-1(3)より湖内平均水質で見ると、SS では「完全降雨予測情報を用いた運用 c003」では、利水リスクを考慮してコンジット放流の停止を早めたが、「降雨予測を用いない運用 c002b」と同様の結果となった。一方、D-TP 濃度では「完全降雨予測情報を用いた運用 c003」では、

コンジット放流停止後の水質改善がなく、「現行運用 c001」と同じ水質レベルになった。また、

- 図 4-3-1(3)より降雨予測誤差による湖内平均水質の違いは見られなかった。

(治水リスク)

- 図 4-3-1(1)より「現行運用 c001」に対して、貯水位は上昇しているが常時満水位にも到達していない。
- 図 4-3-1(1)よりいずれのケースも濁水到達後コンジット放流開始しており、予測誤差による運用の違いは見られなかった。

(利水リスク)

- 表 4-3-3、図 4-3-1(1)より利水リスクでは、降雨予測情報を用いることでいずれのケースも降雨予測期間内に制限水位を回復している。これは図 4-2-16 にて表れているように降雨予測の後半では積算雨量が実績より少なめに評価されていることに起因すると考えられる。
- 図 4-3-1(3)より予測誤差による運用の違いは殆ど見られなかった。

表 4-3-3 各ケースの運用結果(出水 1)

評価期間: H14/7/10 15時 ~ H14/7/24 0時

運用方法		現行運用	水質改善ルール				備考1	
使用降雨		—	降雨予測は 用いない	実績降雨 (ハーフエクト予測)	現行予測 誤差上限	現行予測 誤差下限		
ケース番号		c001	c002-b	c003	c005	c006		
コンジット	a 放流開始時刻	7/10 16時	7/11 3時	7/11 3時	7/11 3時	7/11 3時	コンジットの数値が0より大きくなった時刻。	
	b 放流開始理由	流入量増加	濁水塊到達	濁水塊到達	濁水塊到達	濁水塊到達		
	b 放流停止時刻	7/12 12時	7/20 5時	7/17 13時	7/17 13時	7/17 12時	コンジットの数値が0に戻った時刻	
	c 放流停止理由	制限水位まで低下	濁水塊通過後	水位回復	水位回復	水位回復		
	c b-a	44hr	218hr	154hr	154hr	153hr		
最大水位時	d 水位	EL.m	320.5	323.5	323.5	323.5	323.5	コンジット放流期間中の最大水位
	e 洪水貯水量	万 ³	305	717	717	717	717	制限水位以上の貯水量
	f 発生時刻		7/11 10時	7/11 11時	7/11 11時	7/11 11時	7/11 11時	
	g f-a		18hr	8hr	8hr	8hr	8hr	
制限水位時	h 発生時刻		7/13 23時	7/17 0時	7/17 0時	7/17 0時	7/17 0時	水位増加後制限水位まで低下した時刻
最低水位時	i 水位	EL.m	318.0	314.8	317.4	317.4	317.5	
	j 発生時刻		7/13 23時	7/20 5時	7/17 13時	7/17 13時	7/17 12時	
	k j-h		0hr	77hr	13hr	13hr	12hr	追加放流時間
水位回復時	l 発生時刻		7/13 23時	回復に10日以上要す	7/18 10時	7/18 10時	7/18 7時	EL317.9mより高い水位に回復
	m l-h		0hr	240hr	34hr	34hr	31hr	10日以上は10日とする
D-TP負荷量	n 流入負荷量	kg	43,533	43,533	43,533	43,533	43,533	7/10 15時~7/24 0時の間の貯水池流入負荷量
	o 放流負荷量	kg	33,508	38,028	33,634	33,634	33,612	7/10 15時~7/24 0時の間の下流放流負荷量
	p 下流放出率 (=o/n)		77.0%	87.4%	77.3%	77.3%	77.2%	
	q 残存率 (=1-p)		23%	13%	23%	23%	23%	
SS負荷量	r 流入負荷量	t	394,616	394,616	394,616	394,616	394,616	7/10 15時~7/24 0時の間の貯水池流入負荷量
	s 放流負荷量	t	145,007	151,752	146,117	146,117	145,990	7/10 15時~7/24 0時の間の下流放流負荷量
	t 下流放出率		36.7%	38.5%	37.0%	37.0%	37.0%	
	u 残存率		63%	62%	63%	63%	63%	

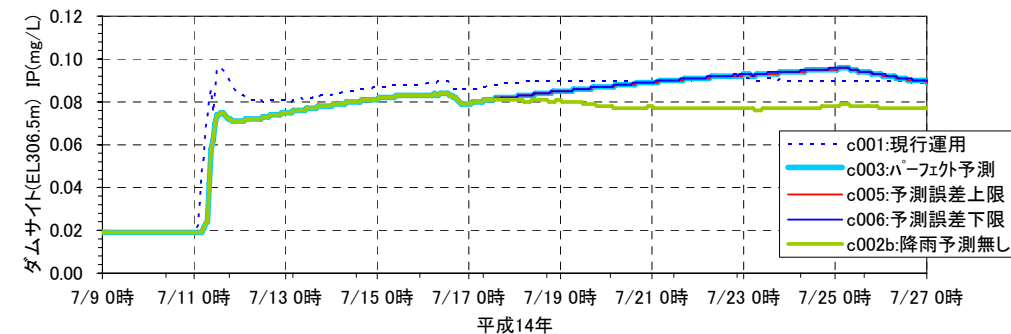
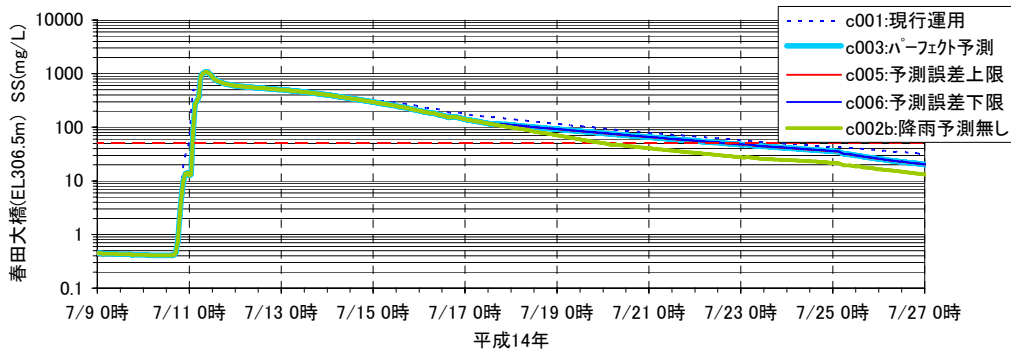
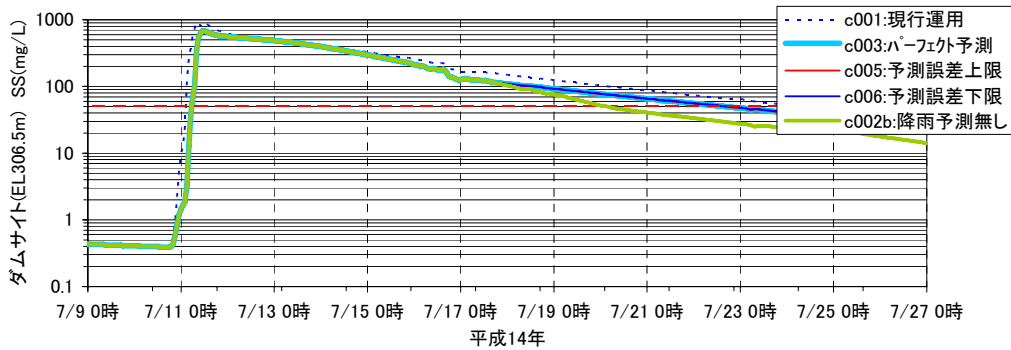
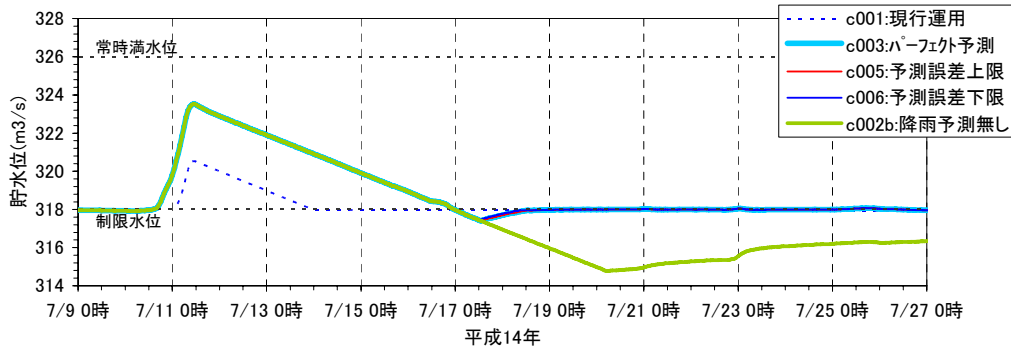
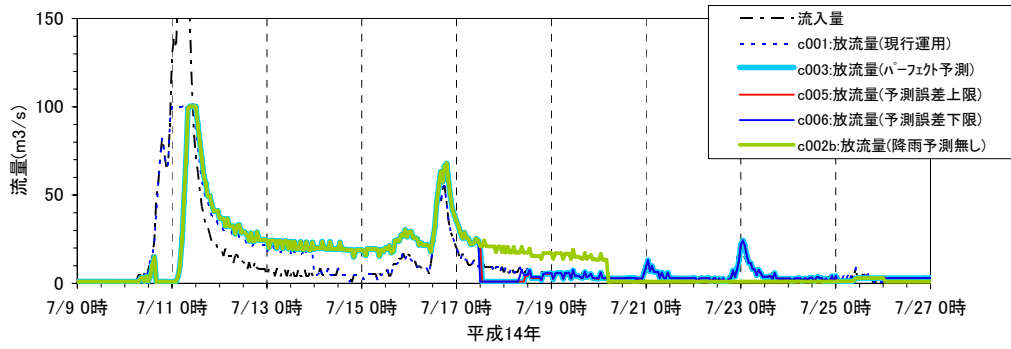


図 4-3-1(1) 各ケースの運用結果(出水 1)

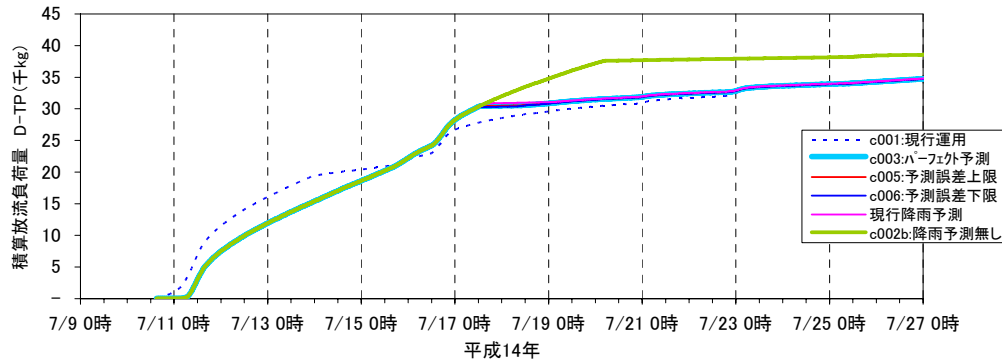
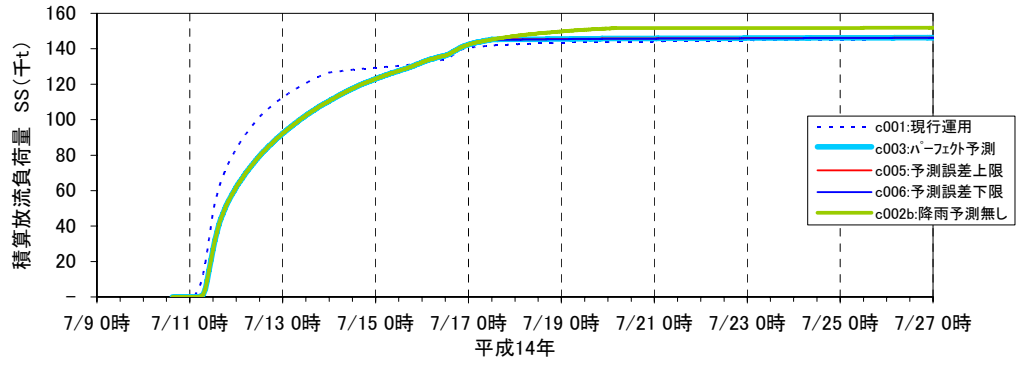


図 4-3-1 (2) 各ケースの運用結果(出水 1)

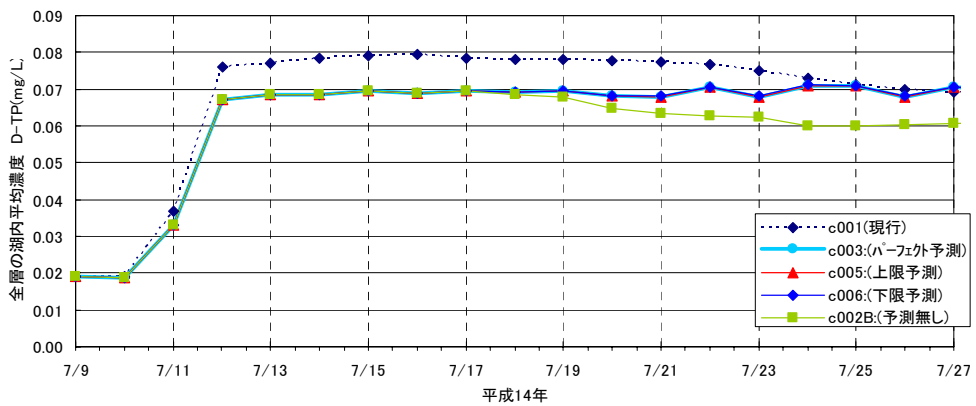
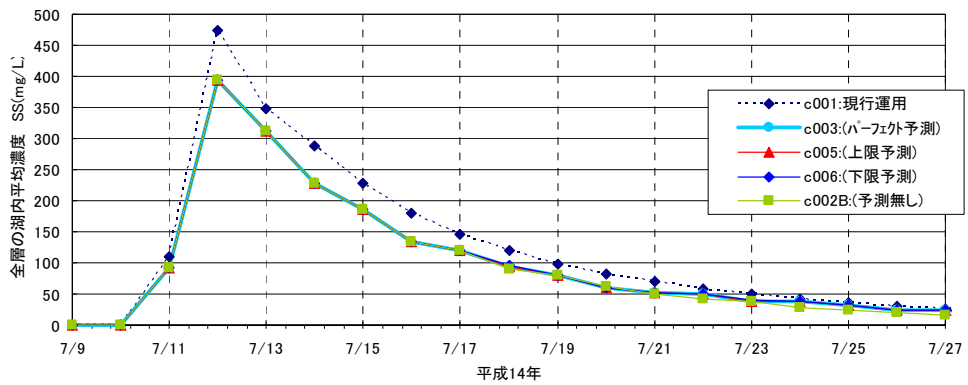


図 4-3-1 (3) 各ケースの湖内全層平均水質(出水 1)

②. 出水 4 : (平成 16 年 7 月出水)

a. 「降雨予測を用いない運用」による水質改善効果、治水・利水への影響の把握

- 表 4-3-4 より「現行運用 c001」に対して「降雨予測を用いない運用 c002」では、殆ど水質は改善されない。
- 図 4-3-2(3)より湖内平均水質で見ると、SS、D-TP ともに「現行運用 c001」に対して、「降雨予測を用いない運用 c002b」は SS で 10mg/l 程度、D-TP で 0.01mg/l 未満の若干の改善が見られた。
- 図 4-3-2(1)より治水リスクでは、「現行運用 c001」に対して、「降雨予測を用いない運用 c002b」では貯水位は上昇しているが常時満水位にも到達していない。
- 表 4-3-4 より利水リスクでは、「現行運用 c001」に対して、「降雨予測を用いない運用 c002b」では水質改善効果を得ようとして濃い濁水塊が通過し切るまで放流した場合、制限水位に回復するまでに 83 時間かかるために、本運用ルールでは利水リスクがあると言える。

b. 「降雨予測情報を用いた運用」による水質改善効果、治水・利水への影響の把握

(水質改善効果)

- 表 4-3-4 より「現行運用 c001」に対して「降雨予測を用いた運用」では、殆ど水質は改善されない。
- 図 4-3-2(3)より湖内平均水質で見ると、SS、D-TP ともに「現行運用 c001」に対して、「降雨予測を用いない運用 c002b」は SS で 10mg/l 程度、D-TP で 0.01mg/l 未満の若干ながら、「降雨予測を用いない運用 c002b」と同程度の改善が見られた。

(治水リスク)

- 図 4-3-2(1)より治水リスクでは、「現行運用 c001」に対して、「降雨予測を用いた運用」では貯水位は上昇しているが常時満水位にも到達していない。
- 図 4-3-2(1)よりいずれのケースも濁水到達後コンジット放流開始しており、予測誤差による運用の違いは見られなかった。

(利水リスク)

- 表 4-3-4、図 4-3-2(1)より利水リスクでは、「現行運用 c001」に対して、降雨予測情報を用いることでいずれのケースも降雨予測期間内に制限水位を回復している。
- 表 4-3-4 より予測誤差による運用の違いでは、「現行降雨予測の予測誤差下限値を用いた運用 c006」では、利水上安全側となり、1 日で制限水位に回復している。

表 4-3-4 各ケースの運用結果(出水 4)

評価期間: H16/7/11 0時 ~ H16/7/23 0時

運用方法		現行運用	水質改善ルール				備考2		
使用降雨		—	降雨予測は 用いない	実績降雨 (パーフェクト予測)	現行予測 誤差上限	現行予測 誤差下限			
ケース番号		c001	c002-b	c003	c005	c006			
コンジット	a	放流開始時刻	7/11 0時	7/13 10時	7/13 10時	7/13 10時	7/13 10時	コンジットの数値が0より大きくなった時刻。	
		放流開始理由	流入量増加	濁水塊到達	濁水塊到達	濁水塊到達	濁水塊到達		
	b	放流停止時刻	7/13 17時	7/18 14時	7/18 10時	7/18 6時	7/17 14時	コンジットの数値が0に戻った時刻	
		放流停止理由	制限水位まで低下	濁水塊通過後	水位回復	水位回復	水位回復		
	c	b-a	65hr	124hr	120hr	116hr	100hr		
最大水位時	d	水位	EL.m	318.3	321.7	321.7	321.7	321.7	コンジット放流期間中の最大水位
	e	洪水貯水量	万m ³	29	455	455	455	455	制限水位以上の貯水量
	f	発生時刻		7/13 10時	7/13 14時	7/13 14時	7/13 14時	7/13 14時	
	g	f-a		58hr	4hr	4hr	4hr	4hr	
制限水位時	h	発生時刻		7/13 17時	7/17 5時	7/17 5時	7/17 5時	7/17 5時	水位増加後制限水位まで低下した時刻
最低水位時	i	水位	EL.m	318.0	316.6	316.8	317.0	317.6	
	j	発生時刻		7/13 17時	7/18 14時	7/18 10時	7/18 6時	7/17 14時	
	k	i-h		0hr	33hr	29hr	25hr	9hr	追加放流時間
水位回復時	l	発生時刻		7/13 17時	7/20 16時	7/20 3時	7/19 21時	7/18 5時	EL317.9mより高い水位に回復
	m	l-j		0hr	83hr	70hr	64hr	24hr	10日以上は10日とする
D-TP負荷量	n	流入負荷量	kg	22,395	22,395	22,395	22,395	22,395	7/11 0時~7/23 0時の間の貯水池流入負荷量
	o	放流負荷量	kg	16,328	16,294	16,369	16,328	16,067	7/11 0時~7/23 0時の間の下流放流負荷量
	p	下流放出率 (=o/n)		72.9%	72.8%	73.1%	72.9%	71.7%	
	q	残存率 (=1-p)		27%	27%	27%	27%	28%	
SS負荷量	r	流入負荷量	t	86,940	86,940	86,940	86,940	86,940	7/11 0時~7/23 0時の間の貯水池流入負荷量
	s	放流負荷量	t	27,569	28,163	28,348	28,135	27,292	7/11 0時~7/23 0時の間の下流放流負荷量
	t	下流放出率		31.7%	32.4%	32.6%	32.4%	31.4%	
	u	残存率		68%	68%	67%	68%	69%	

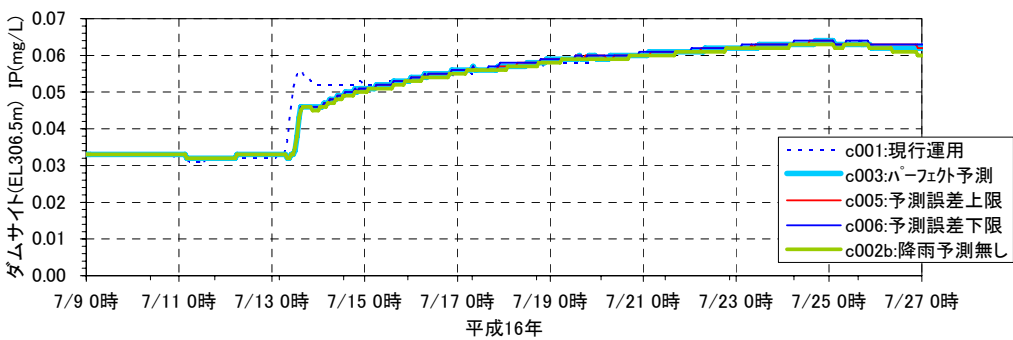
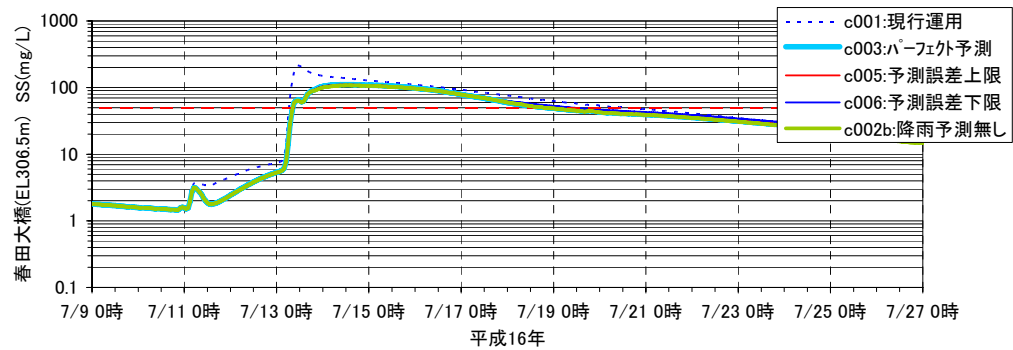
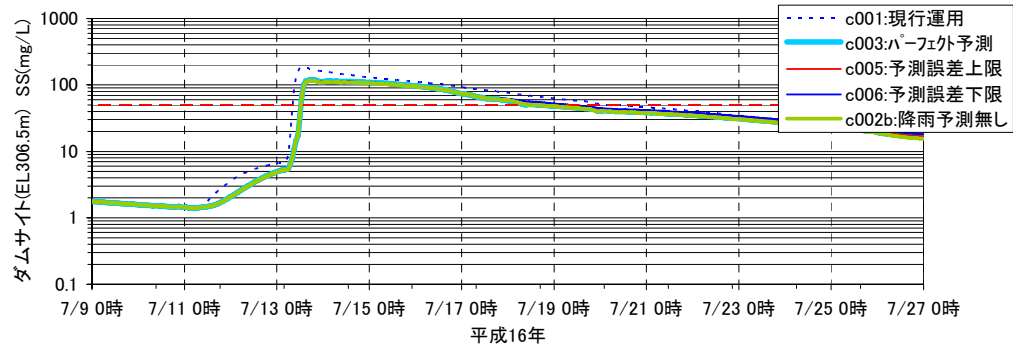
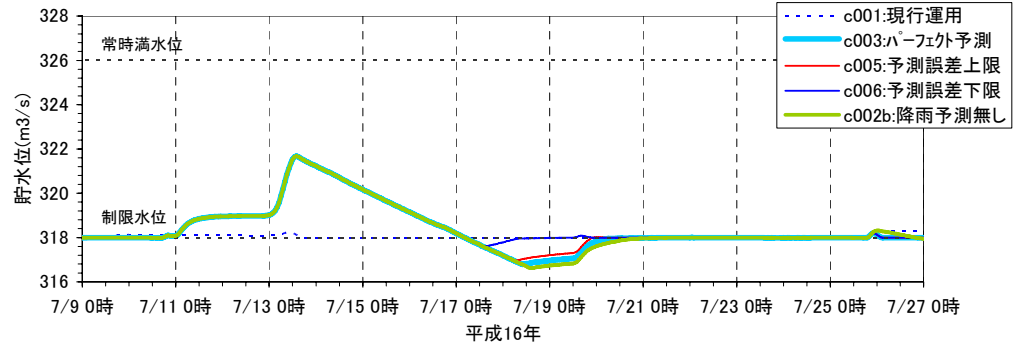
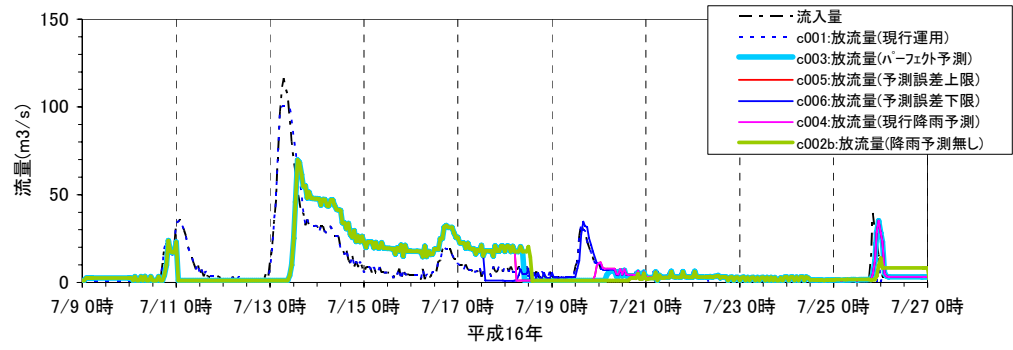


図 4-3-2(1) 各ケースの運用結果(出水 4)

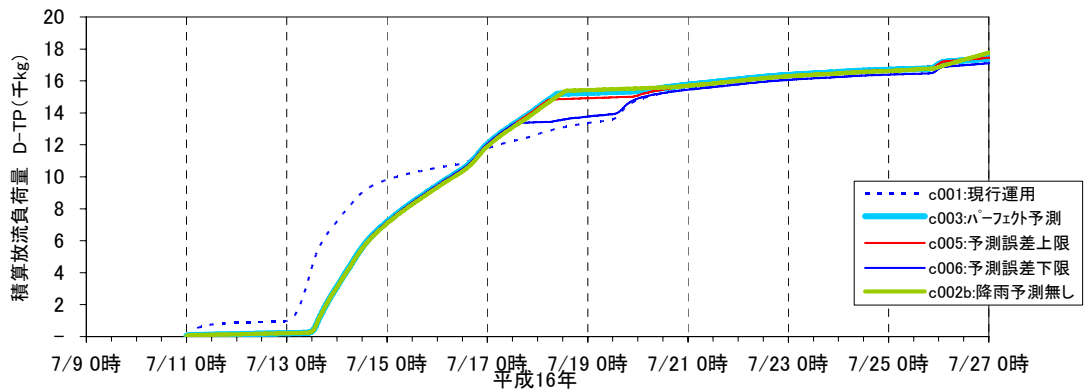
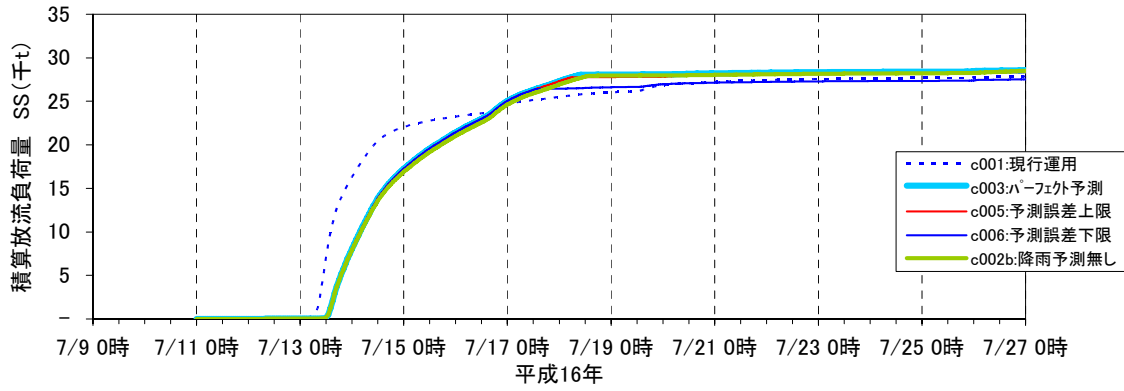


図 4-3-2(2) 各ケースの運用結果(出水 4)

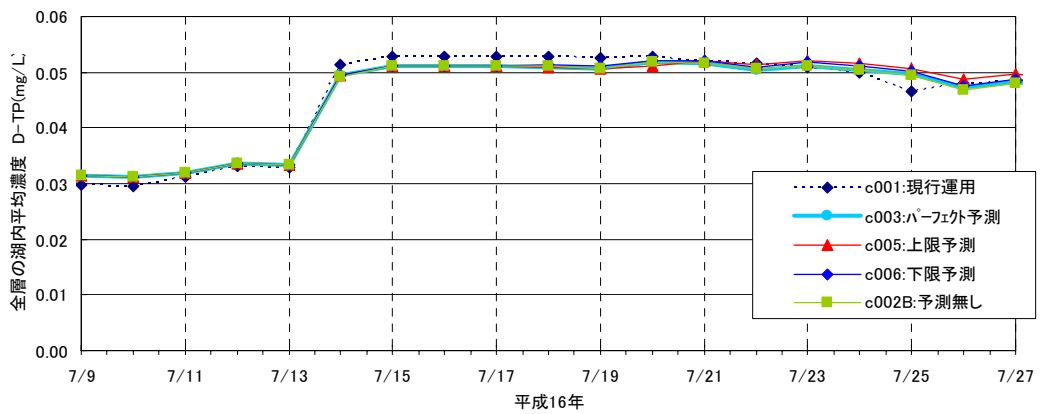
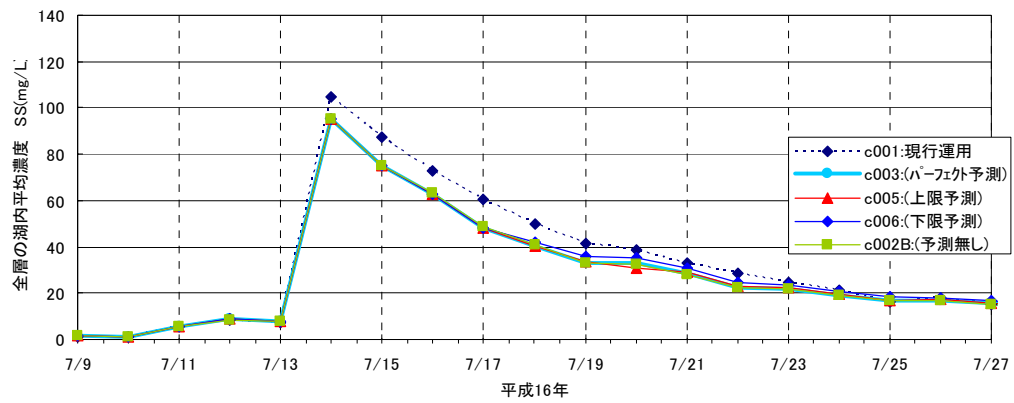


図 4-3-2(3) 各ケースの湖内全層平均水質(出水 4)

4-3-2 降雨予測誤差に伴うダム水質管理のリスクに係わる検討

(1) 予測誤差に伴う運用管理上のリスク整理

1) 降雨予測資料を用いたシミュレーションによるリスクの概要

4-3-1 において検討した、降雨予測情報を用いた運用におけるリスク及び降雨予測資料の予測誤差に伴うリスクについて整理した。

表 4-3-5 降雨予測資料を用いたシミュレーションに基づくダム操作におけるリスク及び効果

リスク及び効果	リスク及び効果の特徴
治水リスク	<ul style="list-style-type: none"> 検討対象出水がいずれも中規模であるため、降雨予測と実測との差異を吸収する十分な余裕がダムの貯留容量にあり、実測降雨によりサーチャージ水位を上回る状況にはならなかった。
利水リスク	<ul style="list-style-type: none"> 降雨予測情報を用いた場合、降雨予測期間から1日以内に制限水位を回復している。ただし、降雨予測情報を用いない場合、平成14年7月出水では、出水後の流入量の減少が早く、コンジット追加放流の停止後に制限水位まで戻すのに10日以上要しており、降雨予測情報を用いた場合のリスク評価期間（降雨予測期間（51時間）から1日以内）を比較して極めて大きい。
水質改善効果	<ul style="list-style-type: none"> 降雨予測情報を用いた運用を行うことにより、貯水池全層平均水質が若干改善する場合があることが示された。ただし、D-TPなど、出水後による濃度上昇に対して改善量が大きいケースでも0.01mg/L程度と小さく、プランクトンを抑制する程のレベルではない。

(備考)制限水位と常時満水位の間の容量は1180万m³である。

2) 降雨予測モデルの要件

降雨予測資料をダム操作に用いる場合に、利水のリスクを最小限に抑えながら、水質改善効果を最大限発揮するために、降雨予測モデルに求められる条件を以下に整理する。なお、治水リスクの考慮した降雨予測においては、大規模出水の事例をもとに検討を行う必要があるが、今回の検討対象洪水は確率年が5年程度の中規模の洪水しかデータが得られなかったため、十分な考察はできていない。ここでは、降雨予測情報を用いたダム操作において比較的效果が見られた平成14年出水程度の規模の出水を主に想定した検討を行う。

利水リスクとして、本検討では「制限水位を下回る追加放流は、降雨予測期間の終了から1日以内に制限水位を回復できる見込みがある場合に行う」ことを条件として検討を行った結果、次の点でリスクが生じることが示された。

• 比較的效果が見られた平成14年規模の出水は、出水後の流入量が少ないため、コンジット停止後から制限水位を回復まで長期を要する。

- 図4-3-3のように、比較的效果が見られた平成14年規模の出水では、「降雨予測を用いない運用c002b」では、追加放流によりEL315m程度まで低下後にコンジット放流を停止し、貯留を開始している。この場合、制限水位まで回復するまでに300万m³を貯留しなければならない。
- 表4-3-6の三春ダムの流入量より、低水流量時(流入量平均値2.5m³/s)には、最低放流量0.824m³/sとダム直接取水量0.493m³/sを考慮すると、貯留日数は30日(約1ヶ月)程度を要し、さらに渇水流量時(流入量平均値1.2m³/s)では貯留できない計算となる。

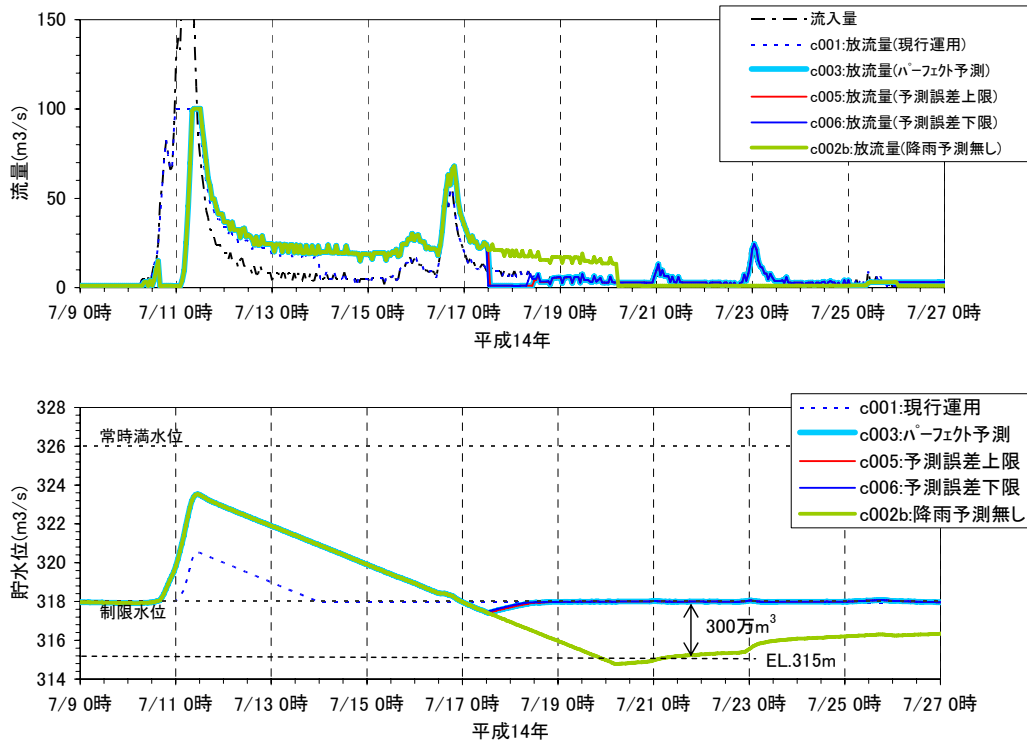


図 4-3-3 降雨予測情報を用いたダム操作による水位変化

表 4-3-6 三春ダムの流入流況

	豊水量 m ³ /s	平水量 m ³ /s	低水量 m ³ /s	渇水量 m ³ /s
平成 9 年	2.9	1.9	1.6	0.6
平成 10 年	5.8	3.6	2.5	1.3
平成 11 年	4.3	3.2	2.7	1.8
平成 12 年	4.6	3.3	2.7	2.1
平成 13 年	3.7	2.9	2.2	0.7
平成 14 年	4.0	3.0	2.2	0.5
平成 15 年	4.9	3.6	2.7	1.1
平成 16 年	5.5	3.5	3.0	1.8
最大	5.8	3.6	3.0	2.1
平均	4.5	3.1	2.5	1.2
最小	2.9	1.9	1.6	0.5

次に、貯留期間中の降雨を考慮した場合以下のようなになる。

- 図 4-3-4 によれば無降雨期間は長くとも 15 日程度で、図 4-3-5 のように、過去 8 カ年の実績から 1 日あたり 20 万 m³ 程度の流入量が得られる可能性がある。ただし、12 日以上は無降雨期間のケースで日流入量が 20 万 m³ 以下となる可能性が 40% (5 回のうち 2 回) ある (図 4-3-5 において丸で示した 5 ケースで評価した場合)。
- 利水量について 1 日あたり 11.4 万 m³ (最低放流量 0.824m³/s、ダム直接取水量 0.493m³/s) を考慮すると、35 日程度(約 1 ヶ月)で回復することができる。

以上から利水リスクを踏まえて判断すると、

- 効果が得やすい EL315m までの追加放流を許した場合、約 1 ヶ月程度で制限水位を回復することができる可能性があると考えられる。しかしながら、既存の統計情報では期待される日流入量が得られないリスクが存在するため、1 ヶ月程度は制限水位の回復まで

の貯留期間として許容する場合は、無降雨期間の流入量の不確実性を考慮に入れた検討が必要となる。

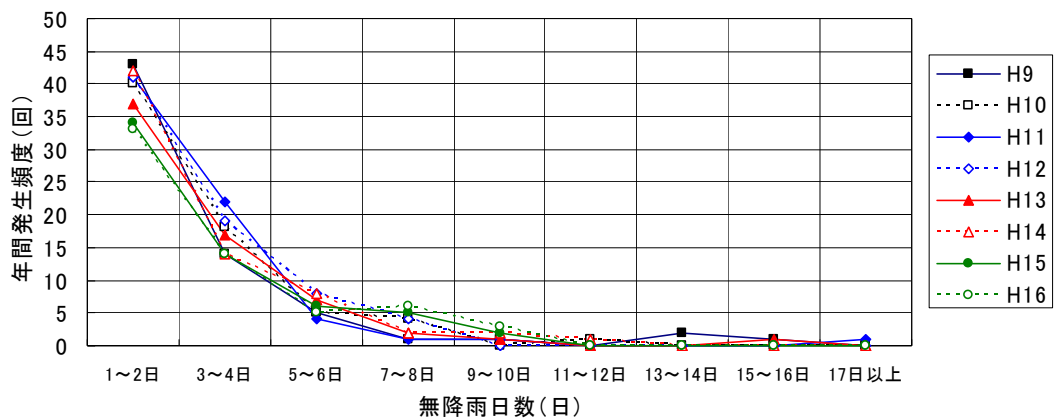


図 4-3-4 無降雨日数の年間発生頻度

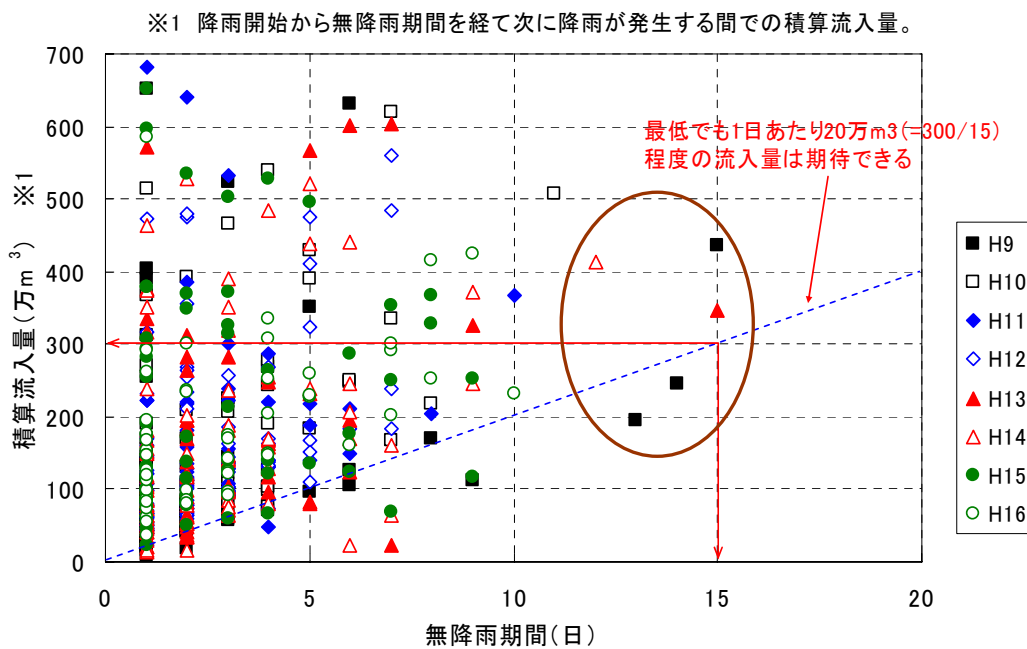
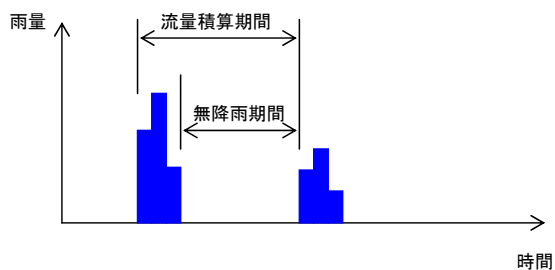


図 4-3-5 無降雨日数と積算流入量の関係



(備考) 無降雨期間と流量積算期間の考え方

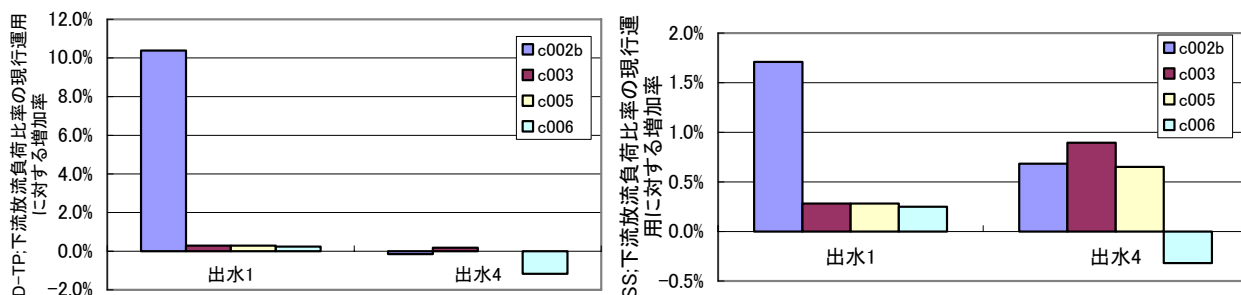
(2) 実効性と適用上の課題点の整理

出水時に流入した負荷を早期に下流放流することを念頭においた降雨予測情報を用いたダム操作として、「高濁度水塊到達後放流」と「追加放流」を採用した(4-2-1(2)参考)。以下に水質改善効果、治水リスク、利水リスクの3点から、降雨予測情報を用いた運用ルールの実効性と適用上の課題を示す。

①. 水質改善効果

(出水時の下流放流負荷量の比較)

- 図4-3-6より、流入負荷の下流放流負荷比率(下流放流負荷を流入負荷で除したもの)について「現行運用 c001」と「降雨予測資料を用いない運用 c002b」を比較すると、SSの増加率は小さく、大きくとも2%程度である。一方、D-TPでは、総流入量500~1000万m³程度の中規模出水(出水1)では、10%程度増加した。ただし、評価対象期間の期末時の水位が各ケースにより異なることに留意する必要がある。
- その一方で、51時間先までの降雨予測を用いた場合、制限水位からさらに追加放流する際に51時間先までに制限水位が回復できる範囲内で追加放流を停止するため、現行運用による下流放流負荷比率を比較するとD-TP、SSとも最大でも1%未満の増程度しか期待できない。
- また、出水4の「現行降雨予測の予測誤差下限値を用いた運用 c006」ではD-TP、SSとも「現行運用」よりも流入負荷の下流放流負荷比率が少なくなっているが、その理由として「現行降雨予測の予測誤差下限値を用いた運用 c006」では利水上安全側に働いて、「現行運用 c001」よりもダム貯水池内に負荷を貯留しているためと考えられる。



ケース:	c002b: 降雨予測は用いない	c005: 降雨予測誤差上限: 51時間先予測
	c003: パーフェクト降雨予測; 51時間先予測	c006: 降雨予測誤差下限: 51時間先予測
対象期間:	出水1: 平成14年7月10日~7月24日	出水4: 平成16年7月11日~7月23日

図4-3-6 下流放流負荷比率の現行運用との比較

水質改善効果の実効性を総合的に判断すると、本検討の降雨予測を用いたダム操作では、利水リスクを考慮して高濁度水塊が通過し終わる前にコンジット放流を停止してしまうため、ダム下流に放流される総負荷量は現行ルールと比較してさほど減少せず、富栄養化を抑制するほどの改善効果が得られなかった。濁水塊を放流しきるためには、当初設定した放流終了限界時刻を越えて、制限水位から3m低下(貯水容量で約300万m³)するまでさらに放流を続ける必要がある。低水流量時の場合、最低放流量を考慮すると制限水位を回復するまでに1ヶ月程度を要する(H14.7出水の場合)。

②. 治水リスク

検討対象出水がいずれも中規模であるため、降雨予測と実測との差異を吸収する十分な余裕がダムの貯留容量にあり、実測降雨によりサーチャージ水位を上回る状況にはならなかった。大規模出水の場合、

水質改善ルールでは降雨予測誤差によりサーチャージ水位を上回る可能性が出てくる。そのような可能性を評価するには大規模洪水の降雨予測を用いた検討が必要であり、降雨予測による治水リスクを軽減するためには、降雨予測精度、特に下限予測誤差の改善と、予測時間の延伸が課題である。

③. 利水リスク

水質改善ルールでは、予測期間内に制限水位に戻るようダム操作を規定していることから、利水リスクの評価については予測期間(51時間)との誤差により評価することとした。予測誤差を考慮した上で何れのケースも制限水位に回復する時間の遅れが1日以内であることから、今回検討したルールによる利水上のリスクはさほど大きくなく、この点においては有効な手法になる可能性がある。しかし、①で指摘したように、当初期待した水質改善効果は発揮できていない。水質改善効果を得ようとして濃い濁水塊が通過し切るまで放流した場合、制限水位に回復するまでに1ヶ月以上かかるために、今度は利水リスクが許容範囲を越えてしまう。したがって、制限水位への回復の当初見込みからの遅れを1日程度までしか許容しない場合は、「出水により流入する負荷の内、その主たる部分を極力早期下流放流する」目的から実効性が低い。

利水リスクを踏まえた実効性を高めるには下記の課題点が挙げられる。

- より長時間追加放流を行うためには、水位を低下させなければならず、長期間にわたって制限水位未満の期間が発生する可能性が高くなる。
- 従って、適用に当たっては、水位回復を保証する降雨予測技術の向上と、この水位低下期間の利水者の利害得失を十分整理する必要がある。
- ある程度の効果が得られると考えられる EL315m (制限水位-3m) までの追加放流を許しても、約1ヶ月程度で制限水位を回復することができる可能性がある。しかしながら、既存の統計情報では期待される日流入量が得られないリスクが存在するため、1ヶ月程度は制限水位回復までの貯留期間として許容する場合は、無降雨期間の流入量の不確実性を考慮に入れた検討が必要となる。

3) まとめ

流域からの降雨流出モデルとダム水質モデルにより、降雨予測情報を踏まえ、濁水塊のダムサイト到達時差を考慮した遅れ放流や、予測される降雨による貯水量回復を見込んだ濁水の継続放流といったダム操作をシミュレートした結果、富栄養化を抑制するほどの大幅な水質改善効果は期待できないことがわかった。ただ、今回の放流操作は降雨予測期間内(51時間)に制限水位が回復するような条件設定を行っているために、現況と比較して水質改善の観点からは劇的な改善効果が表れていない。1ヶ月程度の長期降雨予測が可能となれば一層柔軟なダム操作を行うことができる可能性がある。

今後の課題として、降雨予測情報を用いた運用を行う場合、治水、利水に関するリスクをダム操作に持たせることに対して、行政や法制度、社会的合意に関する検討を行うことが不可欠となる。また、治水安全度や利水安全度への影響についてより深く検討するには、異なる特徴を持つダムを対象にした検討が必要である。総合的な水管理という観点から、降雨予測情報のダム水質管理への活用には、より一層降雨予測精度の向上が必要である。