



太田川水系 温井ダム2001年完成
国土交通省管理 多目的ダム
堤高156m, 総貯水容量8600万 m^3

アンサンブル降雨予測を用いた 多目的ダムの後期放流操作に関する研究

京都大学大学院 工学研究科都市社会工学専攻

○西 琴江・角哲也・岡本悠希

ダムの高度運用への社会的要請

背景と目的

対象領域
対象期間

手法

結果と考察

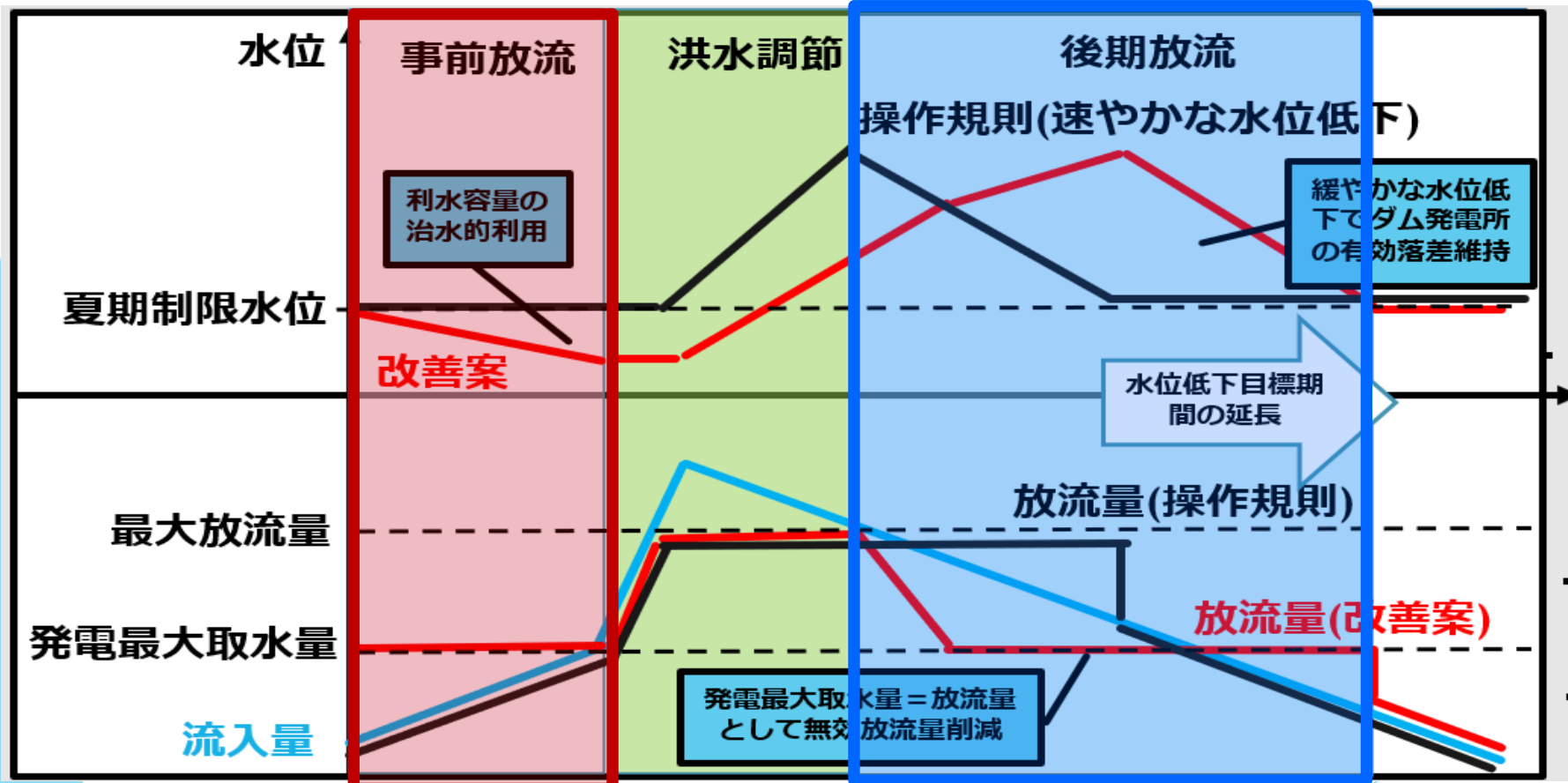
まとめ

7 エネルギーをみんなに
そしてクリーンに



＜水力発電の重要性＞ 電力価値・環境価値・社会価値

- ・異常豪雨対策としての**事前放流**→事前放流ガイドラインが提案されている
- ・洪水貯留水の有効活用としての**後期放流**→十分には制度化されていない



治水安全性の向上
発電量増加
弾力的管理でWIN-WINが実現

(技術革新)
長時間降雨予測
アンサンブル予測
活用拡大が必要

アンサンブル予測について



少しずつ異なる初期値を多数用意し、複数の予測値を示す予測手法。

ダム管理者は不安

Before

GSMガイダンス予測

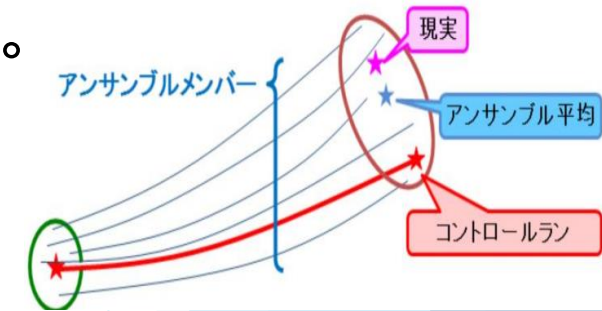
- ✓予測は2日～3日先まで
降雨の規模感（総降雨量、ダムへの総流入量）が不明
- ✓予測は1個（信頼性不明）
- ✓予測更新時に大きく変動
予測は当たらない！との感覚

ダム管理者は安心

After

長時間アンサンブル予測

- ✓予測は15日先まで（**長時間予測可能**）
→洪水の「先」が見える = 全体流入量が把握可能
（次の洪水への備え可能） 降雨の規模間の把握、早めの意思決定が可能
- ✓予測は51個（予測のばらつきから予測の不確実性評価可能）
→空振り（利水）リスク・見逃し（治水）リスク評価（**下位予測・上位予測**）
- ✓予測更新時に変動が少ない
予測に安定感あり



気象庁：数値予報解説資料集，アンサンブル予報より

- JWAアンサンブル予測
- ECMFW：欧州中期予報センター
 - メンバー数：51
 - 予測先行時間：15日
 - メッシュサイズ：5km（1kmも可能）
 - 予測間隔：12時間ごとに1時間降雨予測

提供：一般財団法人
日本気象協会

研究の目的
「治水安全性にも配慮した，水力発電に資する後期放流操作」のためのアンサンブル予測活用方法を検討

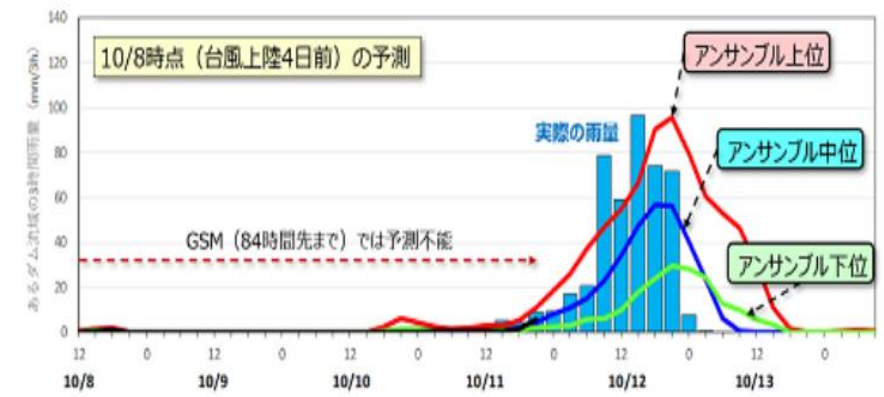
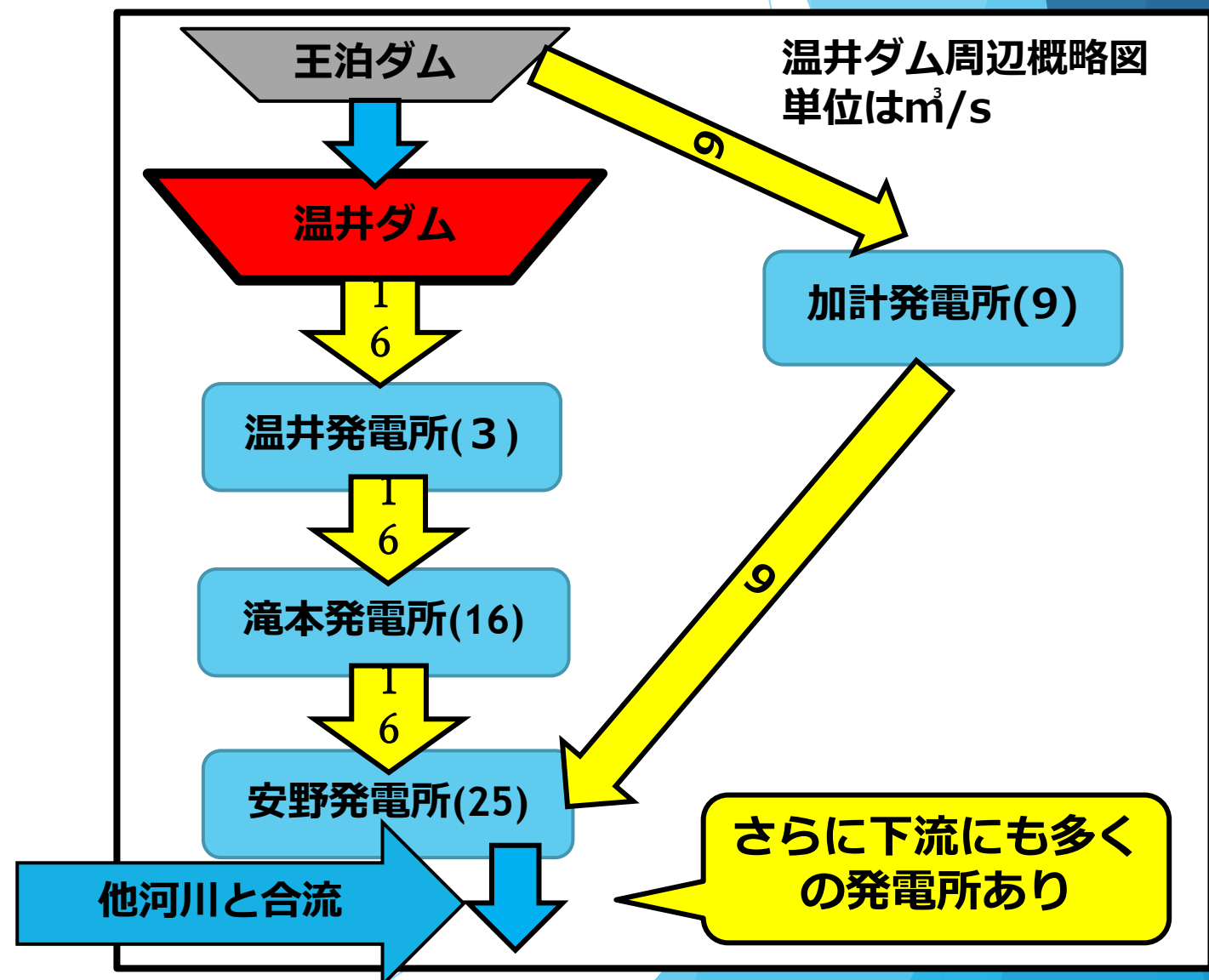


図2 あるダム流域に対するJWAアンサンブル予測の実例（令和元年東日本台風）

対象ダム：温井ダム (太田川水系滝山川)



- 流域唯一の多目的ダム
- 特に3つの水力発電所の発電量に大きく影響

対象期間

背景と
目的

対象領域
対象期間

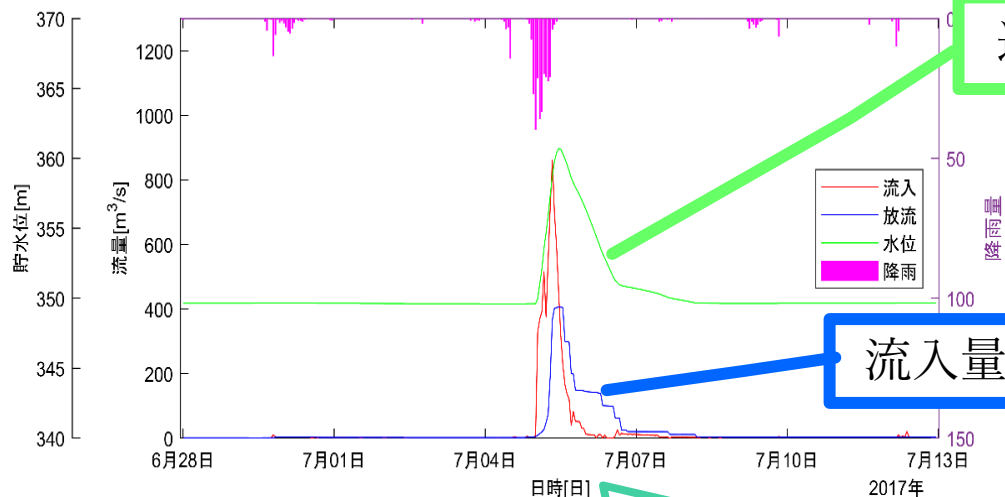
手法

結果と
考察

まとめ

2017年6/28~7/12

2021年8/5~8/21

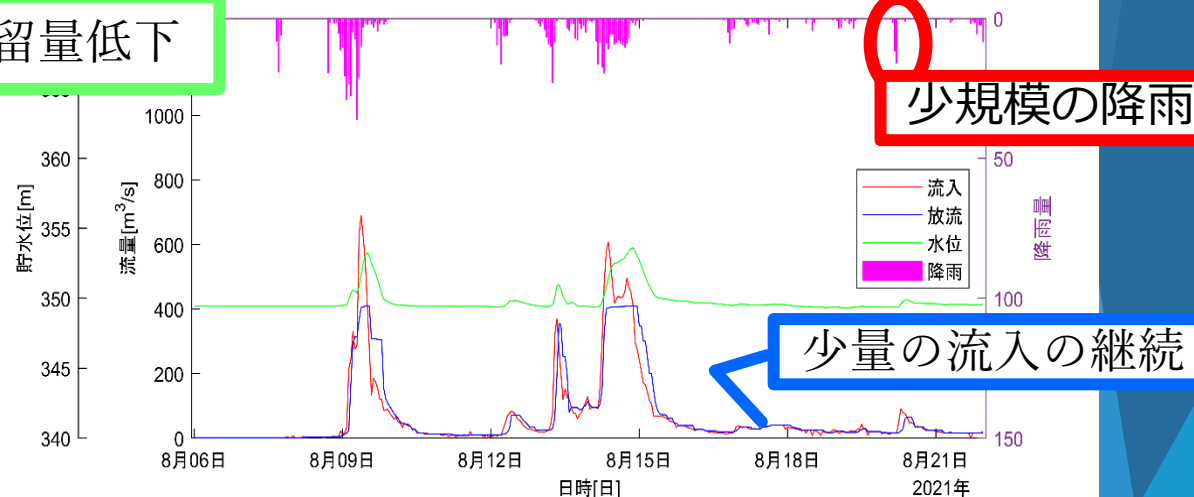


速やかな貯留量低下

流入量 < 放流量

<一山洪水>

最高水位が常時満水位を超えている
洪水終了後の流入はほとんどない



少規模の降雨

少量の流入の継続

<二山洪水>

最高水位は常時満水位に達しない
洪水終了後も少量の流入、小規模の
降雨が続く

研究の流れ

背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

まとめ

① アンサンブル予測活用方法の提案（累積降雨による順位付け）



② 降雨予測を流入量に変化



③ ダム放流パターンの選択



④ アンサンブル予測使用方法の評価

アンサンブル予測 使用方法の提案

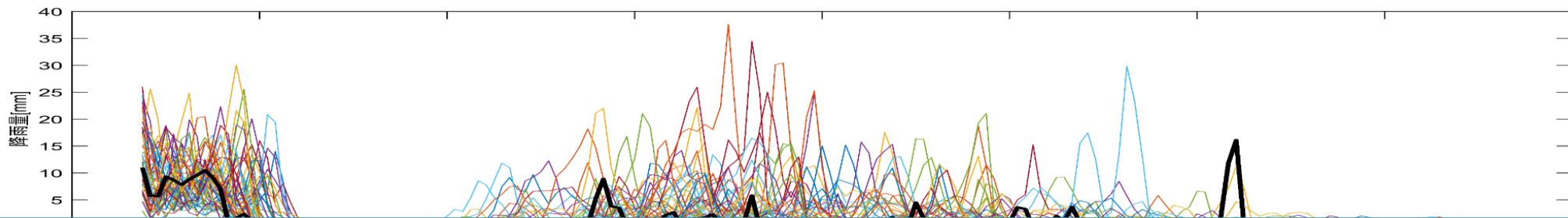
背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

まとめ



累積降雨大

累積降雨少

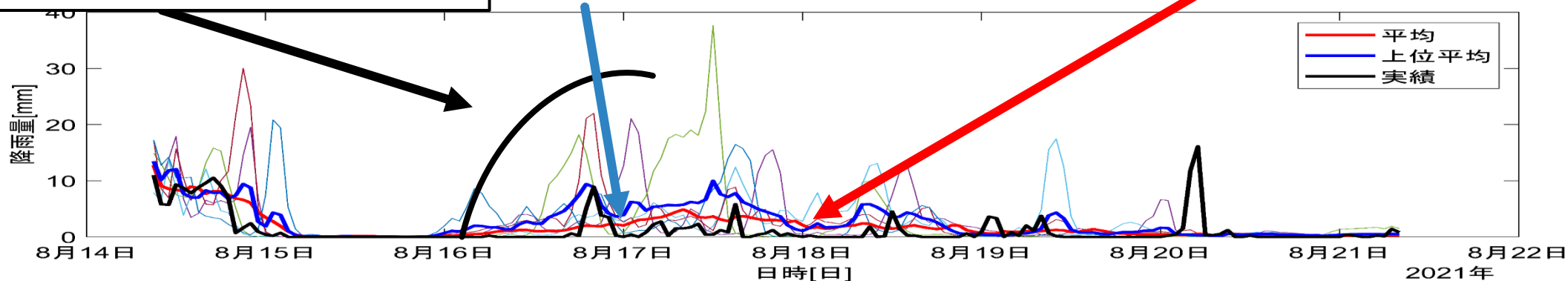
1, 2, 3, 4, 5

50, 51

①上位予測
(5位まで全て個別で活用)

②上位予測平均
(1~5位の平均)

③予測平均
(1~51位の平均)



降雨量の流入量への変換 DioVISTA/Flood



- ▶ 計算速度の向上：2次元不定流を日立独自の手法で計算の高速化を実現（168時間のシミュレーションが約3時間程度で計算可能）
- ▶ 地図の情報：国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図を使用（計算メッシュサイズ：100mメッシュ）
- ▶ 流域解析：5m
- ▶ 境界条件：上流端で流量0m³/s
- ▶ タイムステップ：0.25s, 0.50s(自動で設定)

- ▶ モデルの基礎式
 <河川モデル(一次元不定流)連続式、運動方程式>
 <流出モデル>

- キネマティックウェーブモデル
- 連続式 $q = \alpha h^m$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r$$

- t: 時間
- x: 距離, 流下方向が正
- h: 斜面から垂直に測った水深
- q: 単位幅流量
- r: 単位面積当たりの降雨強度
- α : 定数, $\alpha = \sqrt{i} / n_{slope}$
- n_{slope} : 等価粗度
- m: 定数, 5/3
- r: 単位面積当たりの降雨強度

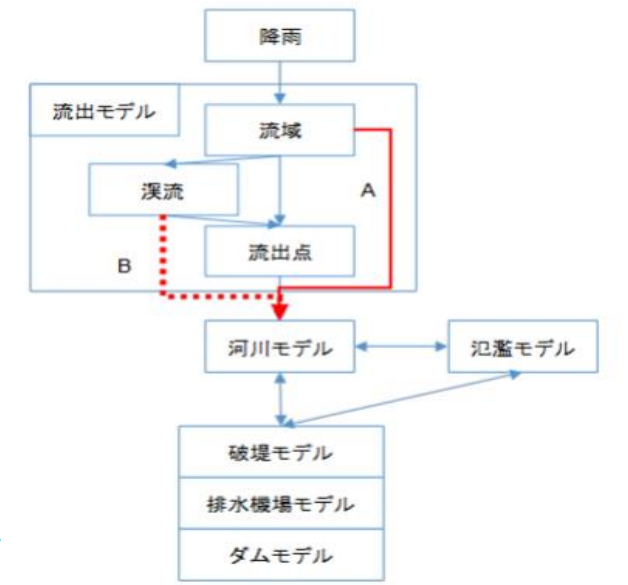
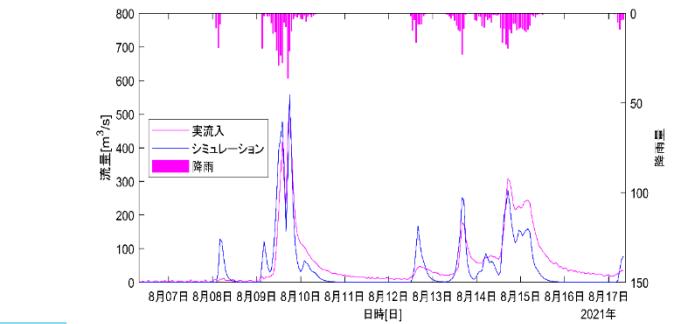


図: 流出モデルのオブジェクトの構造

$$NSE = 1 - \frac{\sum (q_0(i) - q_c(i))^2}{\sum (q_0(i) - q_{av})^2}$$

q_0 : 実測
 q_c : シミュレーション q_{av} : 平均
 NSE > 0.7 で高い再現性。
 2017: NSE = 0.7553, 2021: NSE = 0.7989



今回は降雨 - 流出モデルとして利用

協力：日立パワーソリューションズ

放流パターンを選択

背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

まとめ

安全かつ発電に効果的な後期放流

(長時間アンサンブル予測を用いて最適化)

- ① 目標期間 (仮に1週間と仮定) で制限水位に低下 (治水安全性確保)
- ② 水位低下の過程で無効放流を最小化 (発電最大化)

貯留量低下目標日時 (1週間後) に制限水位まで低下でき、最も無効放流量の少ない放流パターン (10[m³/s]刻み) を24時間おきに選択

400m³/s < 流入量

放流量 = 400m³/s

200m³/s < 流入量 < 400m³/s

放流量 = 流入量

流入量 < 200m³/s

放流量は16m³/s又は20~150m³/sの
10m³/s刻みの中から選択

放流パターンを選択例

背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

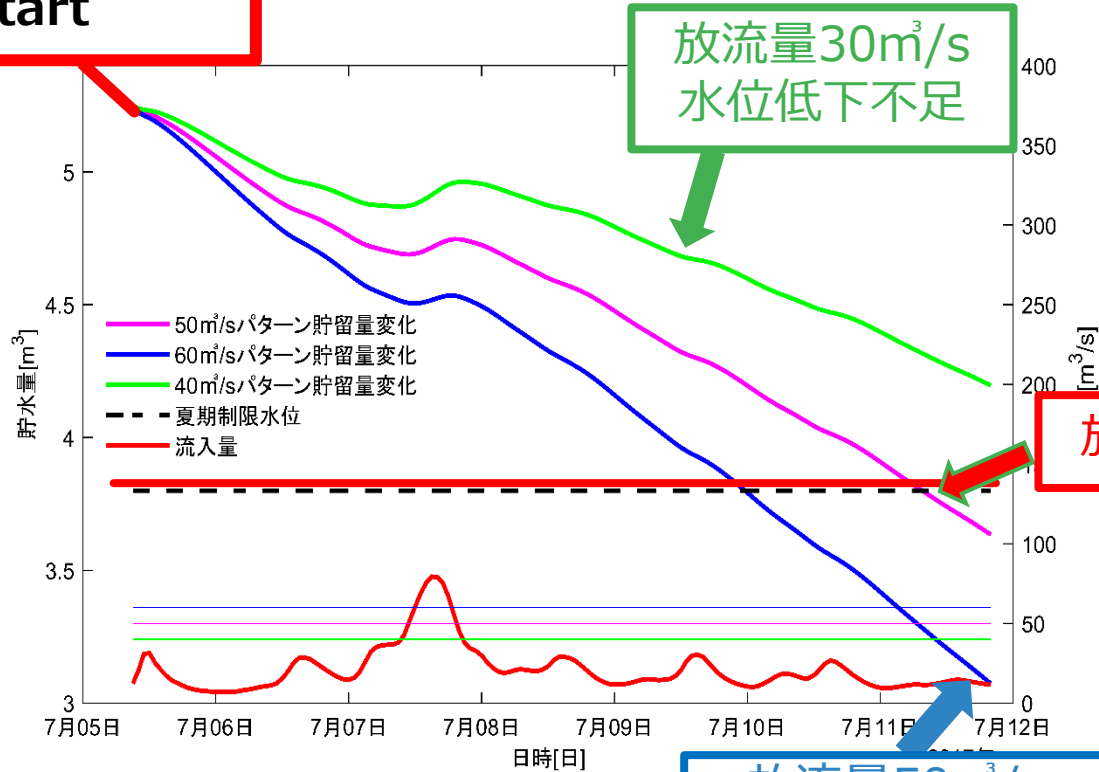
まとめ

2017/7/5の場合

上位予測 (1-5位を個別に使用)

予測平均(51本の平均)

放流量検討
start

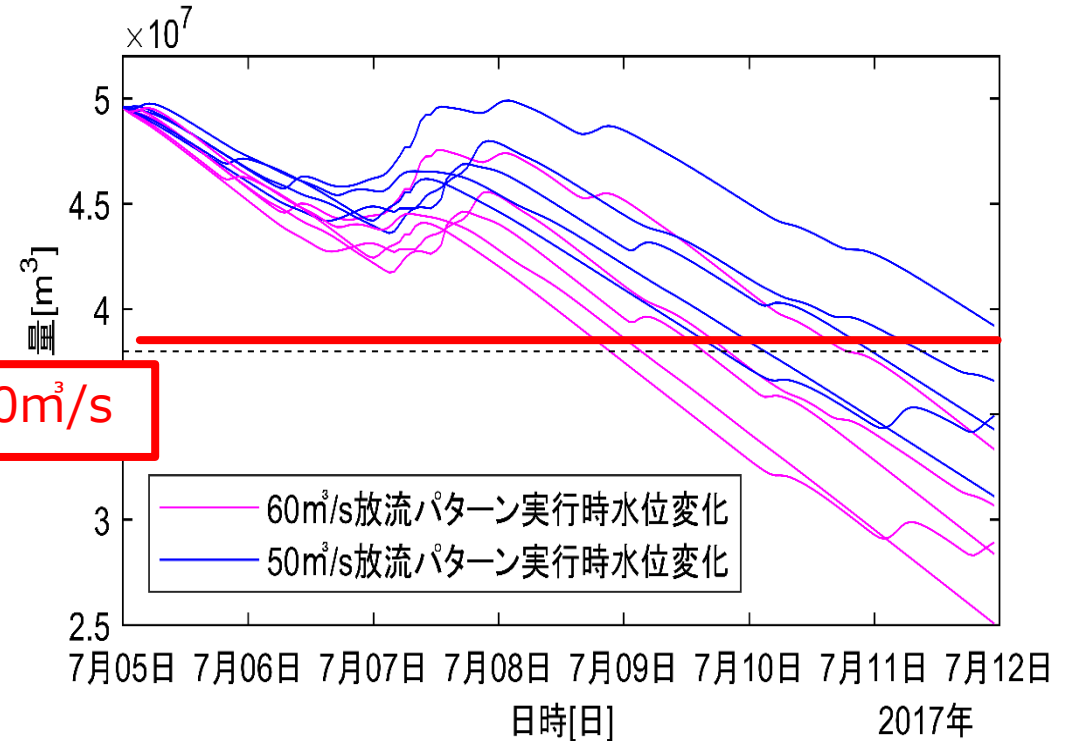


放流量30 m^3/s
水位低下不足

放流量40 m^3/s

放流量50 m^3/s
水位低下し過ぎ

放流量40[m^3/s]を選択



放流量60[m^3/s]を選択

アンサンブル予測使用方法 評価 (2017 6/28~7/12)

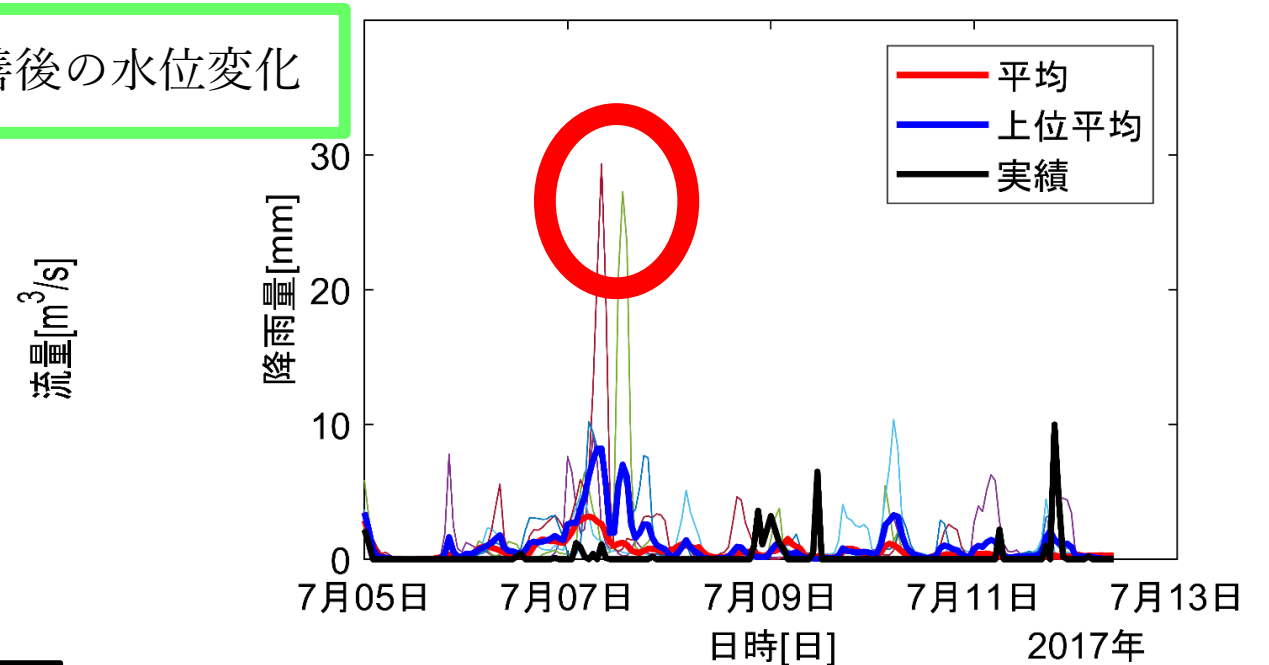
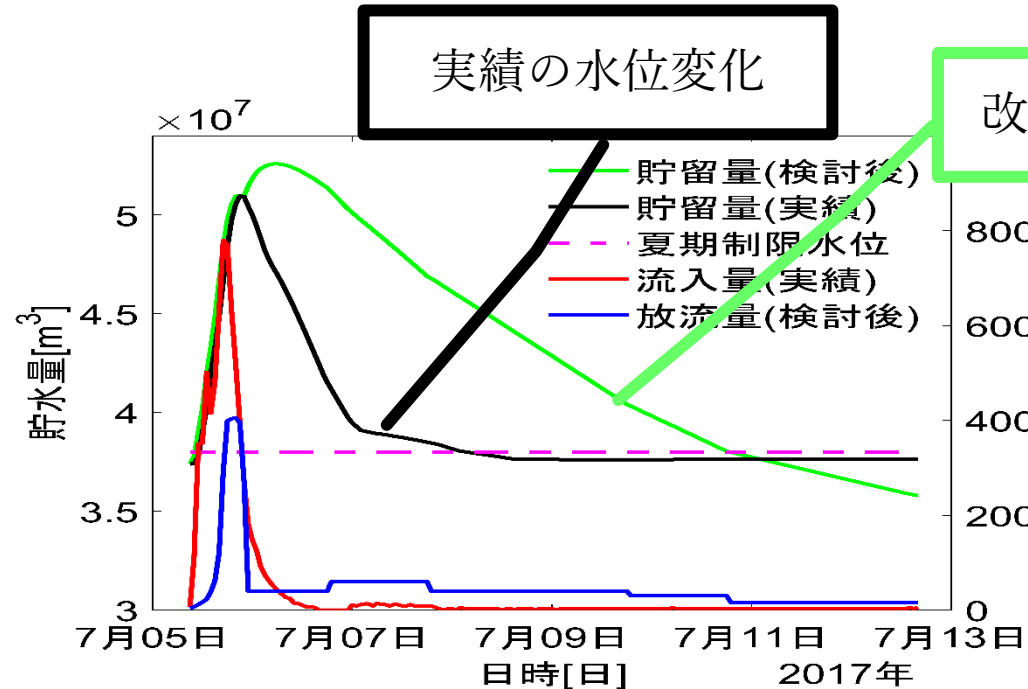
背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

まとめ



24時間ごとに予測を検討, 放流量を更新

決定した放流量 (単位は [m³/s])

	7/5	7/6	7/7	7/8	7/9	7/10
予測平均	40	60	40	40	30	16

発電増加量
③予測平均: +960.6 × 10³ kWh

アンサンブル予測使用方法 評価 (2021 8/5~8/21)

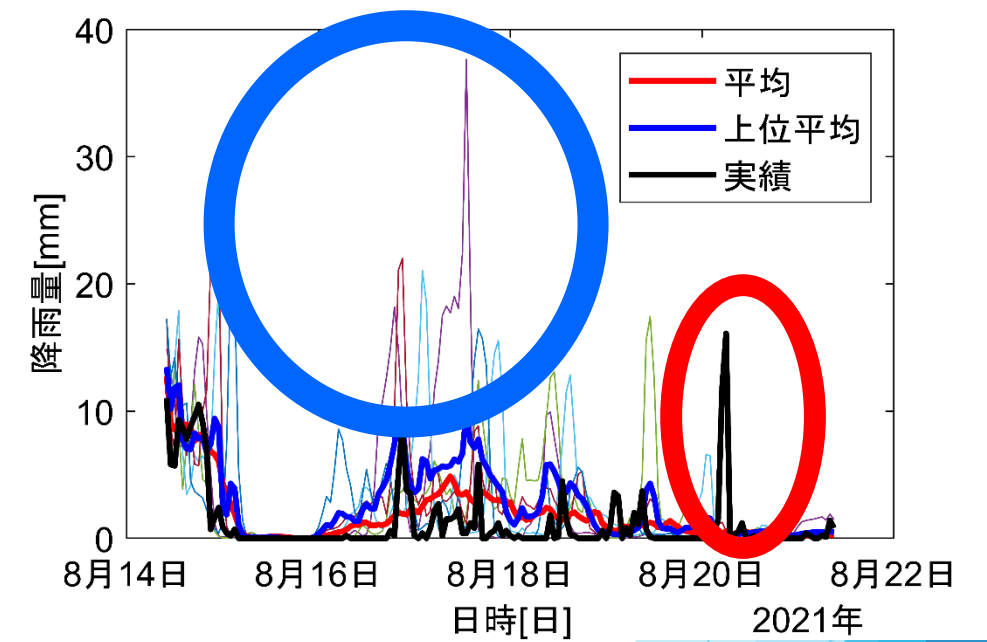
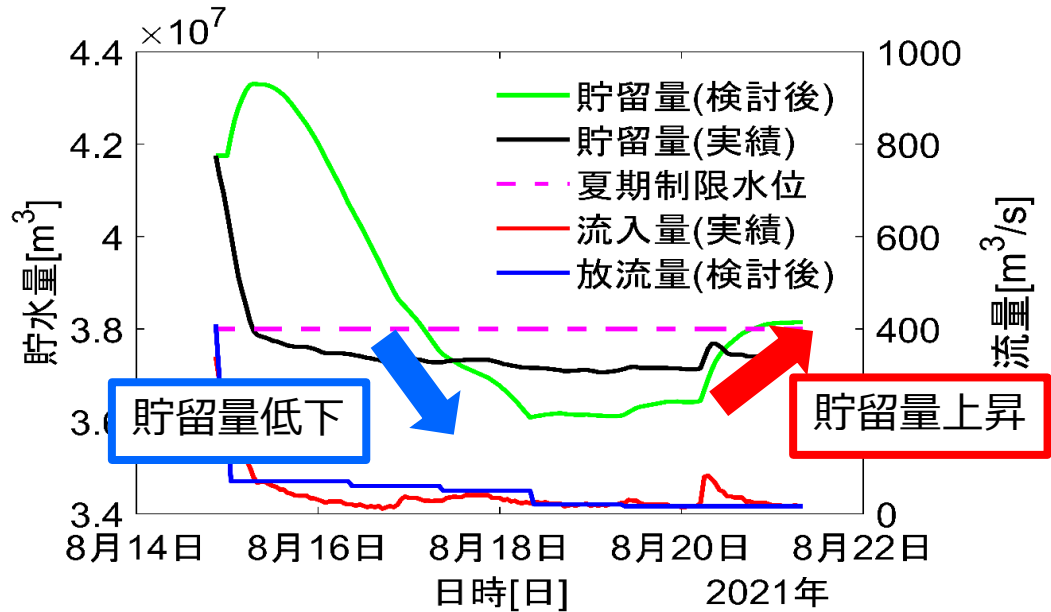
背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

まとめ



24時間ごとに予測を検討, 放流量を更新

決定した放流量 (単位は [m³/s])

	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19
上位5位予測	70	70	60	50	20	16

発電増加量 (温井発電所のみ)
①上位予測: +3,300kWh

アンサンブル予測使用方法 得失

背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

まとめ

	メリット	デメリット
①上位予測 (5位まで全 て活用)	<ul style="list-style-type: none">治水安全性の高い操作を選択予測を確率的に評価	<ul style="list-style-type: none">過大評価の可能性（発電量の増加があまり期待できない）
②予測上位 平均 (1位-5位)	<ul style="list-style-type: none">値に代表性がある治水安全性の高い操作を選択	<ul style="list-style-type: none">予測の時系列的意味を損なうやや過大評価の可能性
③予測平均 (1-51位)	<ul style="list-style-type: none">高い発電量増加が見込める過大評価，過小評価の予測メンバーの影響を受けにくい	<ul style="list-style-type: none">予測値の鈍化（治水安全性に問題ある可能性あり）予測を確率的に評価できない

アンサンブル予測の統計的な値
によって使い分けが必要

1) 予測幅の大きい洪水 → 安全側①または②
2) 予測幅の小さい洪水 → ③で発電最大化

結論と今後の課題

背景と
目的

対象領域
対象期間

手法

結果と
考察

まとめ

結論

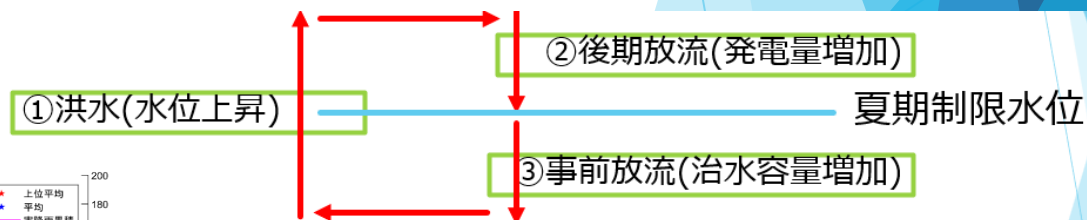
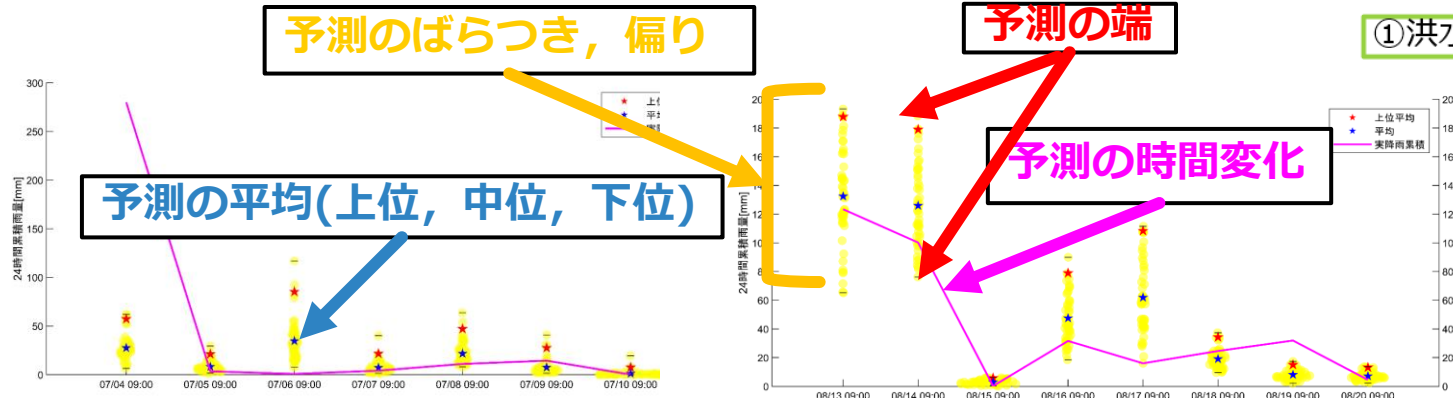
- 長時間アンサンブル予測を用いて洪水調節終了後、緩やかに貯留量低下させる操作決定手法を提案
- 予測活用方法の妥当性は予測メンバーのばらつき等によって変化
- 洪水調節終了直後に後期放流を開始すると貯留量が一時的に増加する。

今後の課題

- 貯留量低下期間を延長した場合の 効果の把握 (1週間→2週間など)
- アンサンブル予測のばらつきを考慮したダム操作 (ex.積算降雨量や移動平均で予測の時間的ばらつき緩和, 標準 偏差に着目)
- 縦列ダム群で連携した後期放流
- 貯留量増加による治水安全性や貯留量減少による渇水リスクの評価 (事前放流操作との連携)

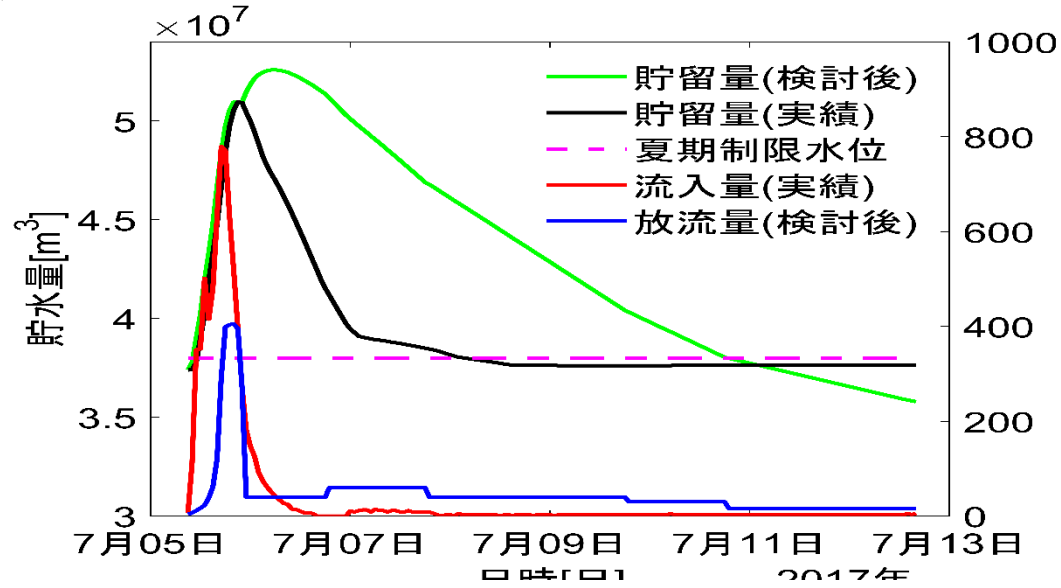
粒状散布図

治水渇水の
リスク評価に活用

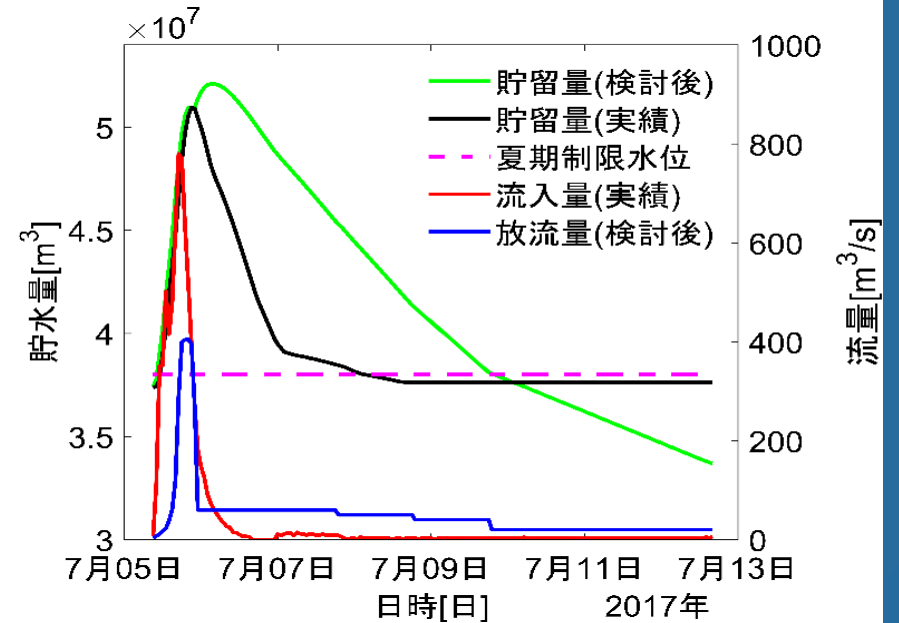


付録：対象期間の予測と全検討2017

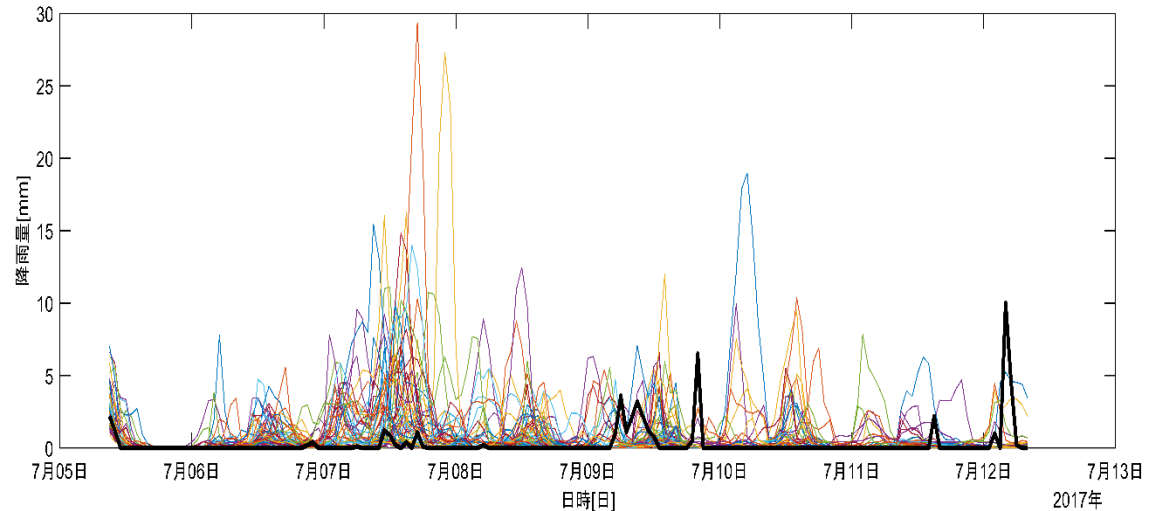
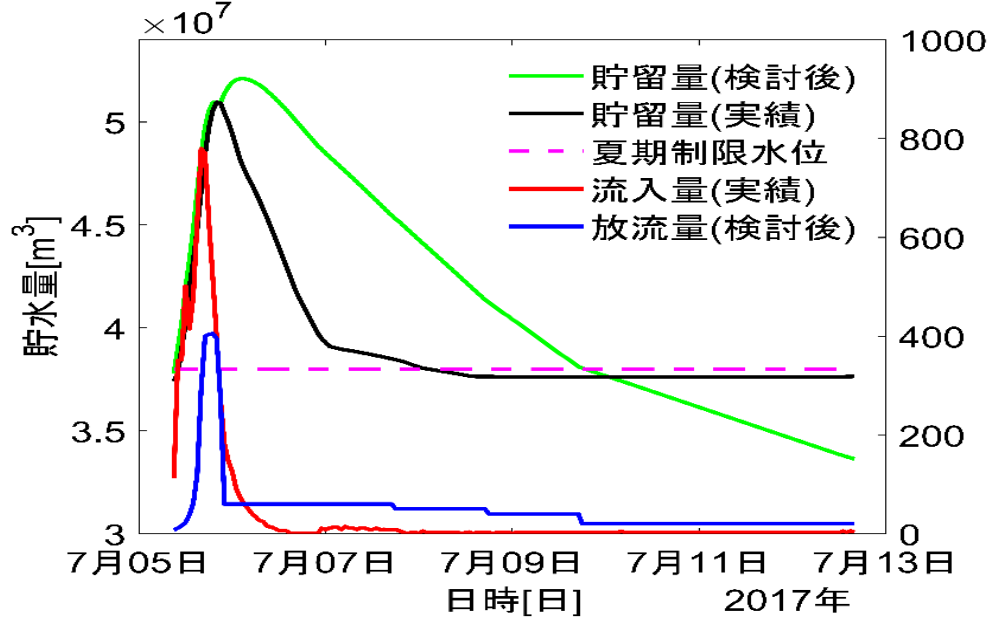
予測平均



予測上位平均

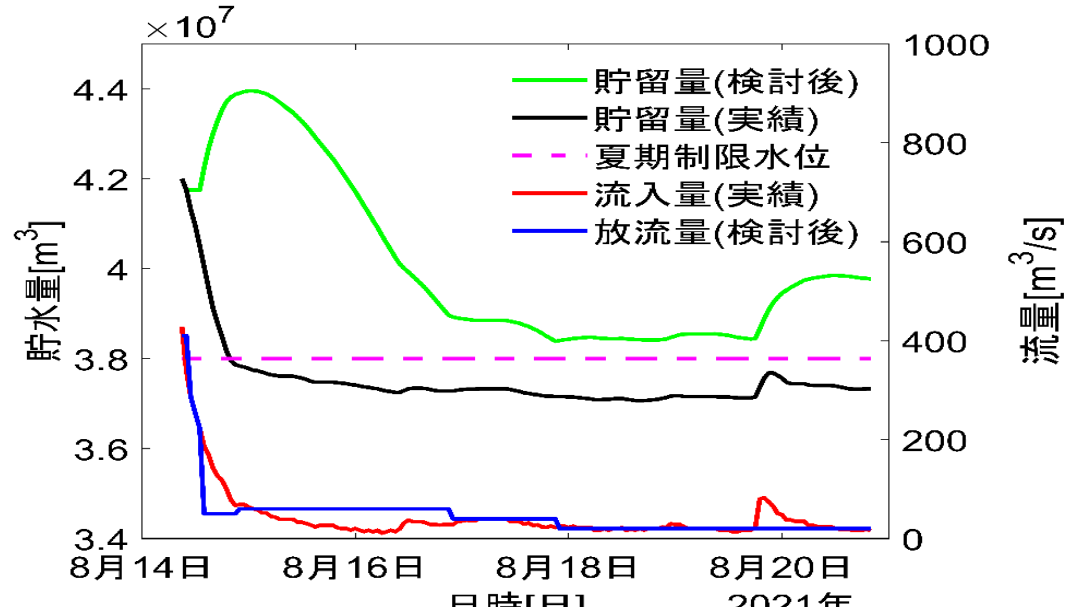


上位予測

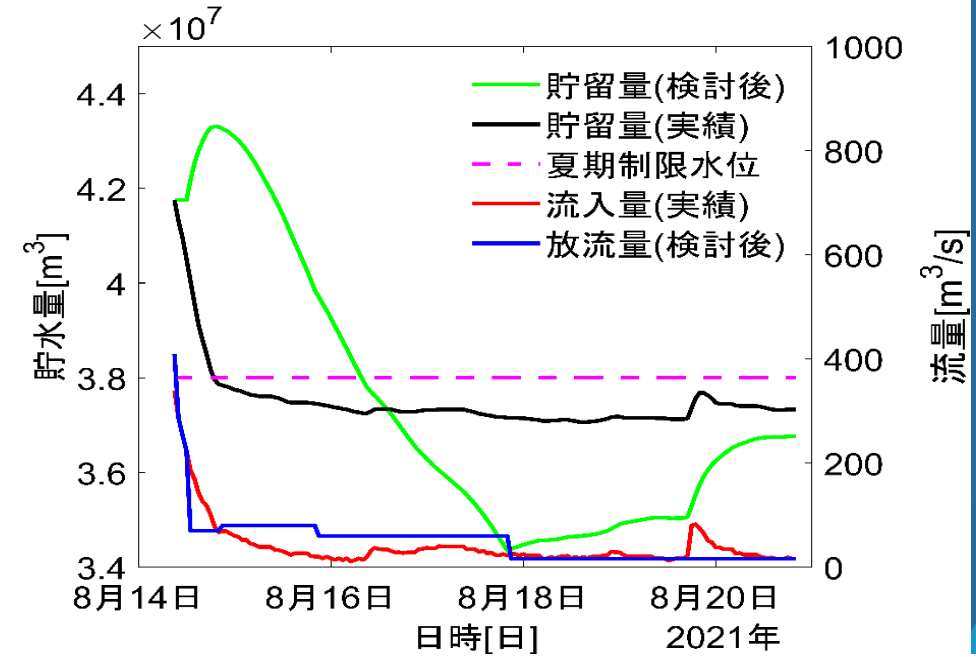


付録：対象期間の予測と全検討2021

予測平均



予測上位平均



上位予測

