

長時間アンサンブル降雨予測による 事前放流の早期開始判断と回復可能性の検証

(一財) 日本気象協会	木谷 和大
(一財) 日本気象協会	鈴木 豪太
(独) 水資源機構	松橋 輝明
(独) 水資源機構	田村 和則
(独) 水資源機構	木戸 研太郎
京都大学 防災研究所	角 哲也

1 はじめに

2 使用したデータ

3 5日間総雨量の予測精度

4 5日前での事前放流判定基準超過と回復可能性

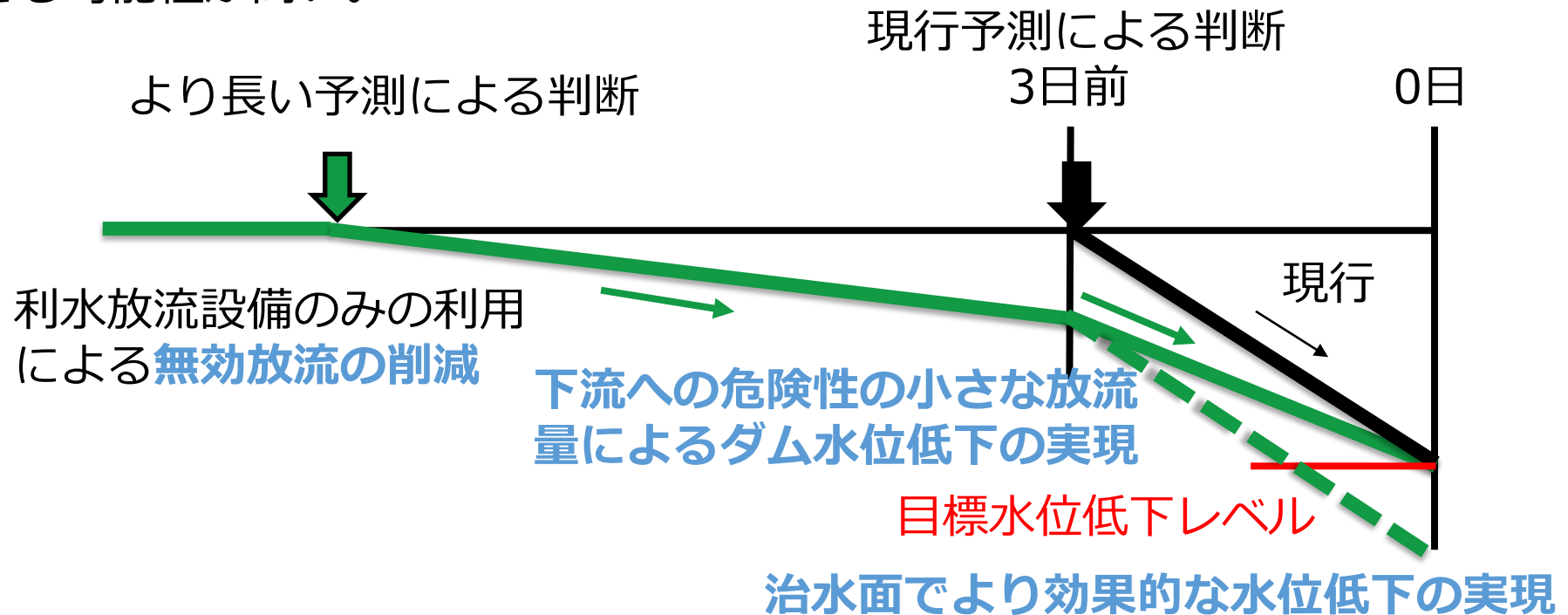
5 考察

6 結論

1-1 事前放流：洪水前に放流を実施し洪水調節容量を拡大

問題点：大規模豪雨時には既存の洪水調節容量だけでは大幅に不足 →事前放流の推進

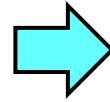
- 令和元年12月、**既存ダム**の洪水調節機能の強化に向けた**基本方針**を内閣官房が発表
- 令和2年4月、国土交通省が**事前放流ガイドライン**を発表し、治水協定の締結を推進
- 事前放流ガイドラインで規定されている雨量予測は、**GSMガイダンス（84時間）が最長**のため、**より長い予測を用いると、より効果的な事前放流が実施**できる可能性が高い。



1-2 アンサンブル予測とは

気象予測が外れる原因

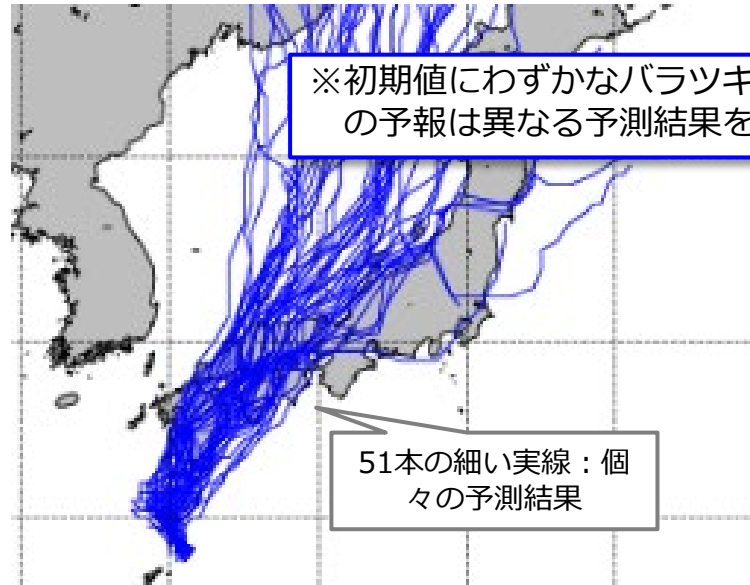
- ✓ 数値予報モデルには不完全性
- ✓ 初期値に含まれる誤差
→ 予報時間とともに誤差が拡大（カオス）
- ✓ 特に予測時間が長い場合、1本の予測では精度に限界



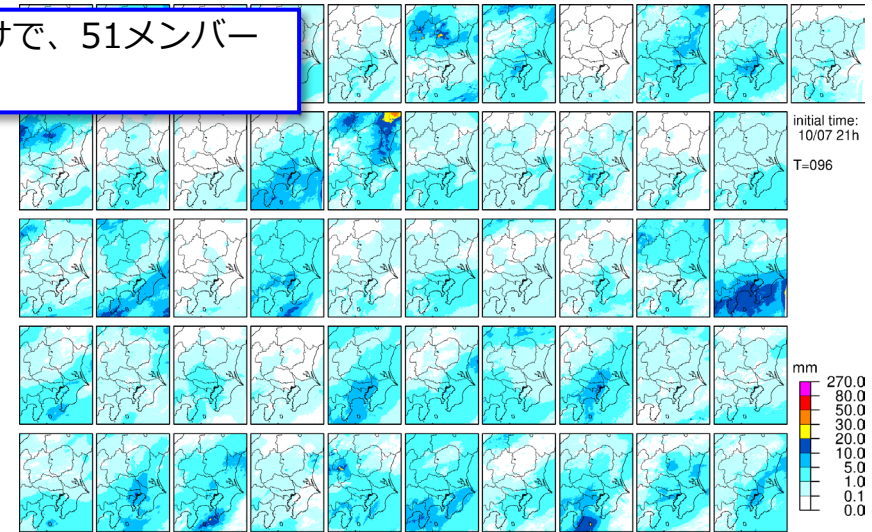
アンサンブル（集団）予測

- ✓ 少しずつ異なる初期値を多数用意して、多数の予測計算を実施
- ✓ 最悪ケース（安全側）や現象の起きる確度を予測可能

予測時間が長い予測ではアンサンブル予測が活躍



台風進路に対するアンサンブル予測の例



令和元年東日本台風の予測例（10/7 21時時点）

1-3 先行研究と本研究の目的

現業アンサンブルモデルを用いたダム・河川管理への適用の先行研究

- 田原・大石：淀川水系の台風事例について、気象庁アンサンブルモデルを用いて、事前放流の空振りを防ぐことができる可能性を示唆
- 野原ら：気象庁1か月アンサンブルモデル等を用いて平年値に基づく操作よりも渇水被害を抑える結果を示した

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「国家レジリエンス（減災・防災）の強化」 テーマVI.スーパー台風被害予測システム開発 1. 統合ダム管理システム※ における取組

- 木谷ら：全国の55流域を俯瞰的に眺めた場合の予測特性について解析を行いより予測時間の長い雨量予測を用いることで、治水ダム等では**洪水前の水位低下がより効果的に実施**できるとともに、発電等を目的とする利水ダムでは**無効放流を削減**できる可能性を示した

※国立大学法人京都大学、独立行政法人水資源機構、一般財団法人日本気象協会 で実施

洪水後に水位が十分に回復しない事例に関する検討は十分ではない

本研究では、**回復可能性に着目して、長時間アンサンブル降雨予測を用いた事前放流の早期開始判断可能性の検証**を行った

1 はじめに

2 使用したデータ

3 5日間総雨量の予測精度

4 5日前での事前放流判定基準超過と回復可能性

5 考察

6 結論

2-1 使用したデータ (2017~2021年の5/1~10/31)

項目	JWAアンサンブル (本研究での 使用予測データ)	ECMWF*1 (元データ)	気象庁 (週間アンサンブル)	気象庁 (メソアンサンブル)
格子解像度	日本域 約5km	全球 約25km (0.25°)	全球 約110km 日本域 約40km	日本域 約5km
予報時間	15日先	15日先	11日先	39時間先
出力時間間隔	1時間	3時間※2	6時間	3時間
更新間隔	2回/日	2回/日	2回/日	4回/日
メンバー数 ※3	51メンバー	51メンバー	51メンバー	21メンバー
備考	メッシュサイズ大：台風等の大きなスケールの気象現象を対象 (本業務ではダウンスケーリングにより地形性降雨を表現)			平成31年度運用開始 格子解像度や予報時間は MSMと同じ仕様

※1：ヨーロッパ中期予報センター

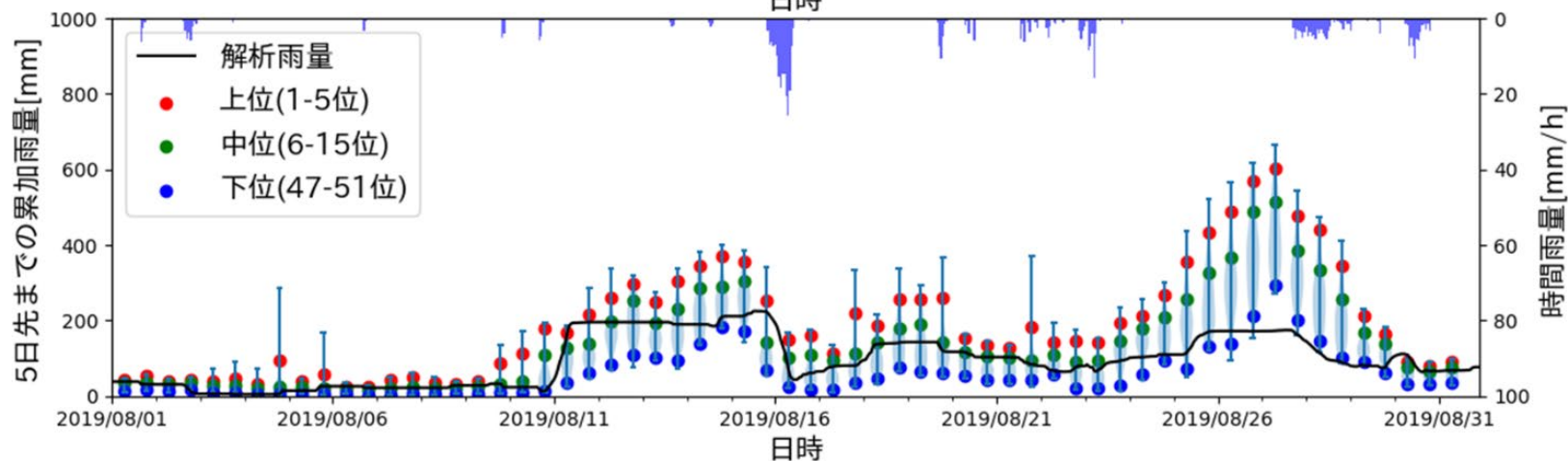
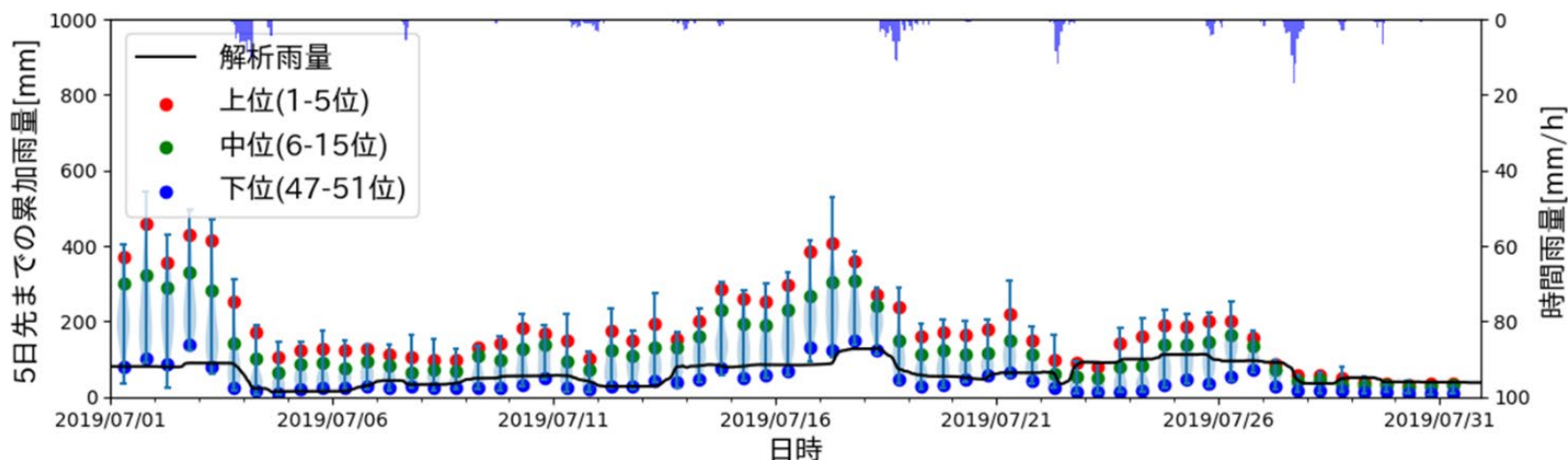
※2：90時間先までは1時間間隔、7日先以降は6時間間隔

※3：わずかに異なる初期値から計算する予測値の数

- ✓ 気象協会ではECMWFのデータを購入して活用
- ✓ 気象庁のアンサンブルと比較し、予報時間長・解像度でECMWFに優位性
- ✓ 気象協会独自に頻度バイアス補正とAI技術による時空間ダウンスケーリングを実施
【1時間雨量・5km格子】

2-2 予測の例

- 51メンバーは目先の5日間雨量でソートし、上位（1～5位）、中位（6～15位）、下位（47～51位）の3種類の情報に整理。
- 下記の中部地方Jダムでの5日先までの総降水量（2019年7月・8月）を見ると、概ねほとんどの予測でアンサンブル予測の上位～下位の間に入っている。



1 はじめに

2 使用したデータ

3 5日間総雨量の予測精度

4 5日前での事前放流判定基準超過と回復可能性

5 考察

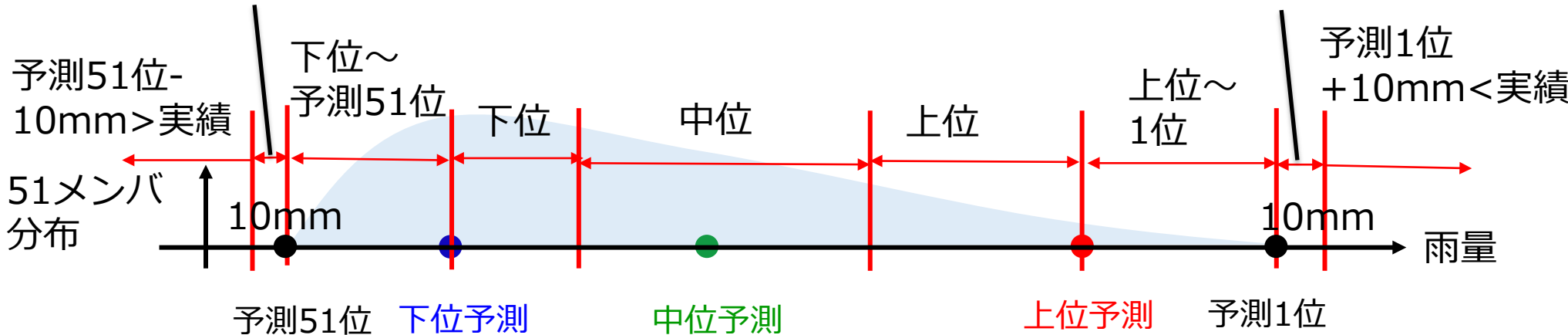
6 結論

3-1 5日間総雨量の予測精度

- 各流域のアンサンブル予測の5日間総雨量について、上位・中位・下位の3パターンの予測に加えて、1位、51位の5パターンの5日間総降雨量に対して、実績雨量がどの予測に最も近かったか分類
- アンサンブル上位・中位・下位は、予測発表時刻(初期時刻+9時間)から5日先までの総雨量を用いて順位付け

予測51位-10mm > 実績 > 予測51位

予測1位+10mm < 実績 < 予測1位

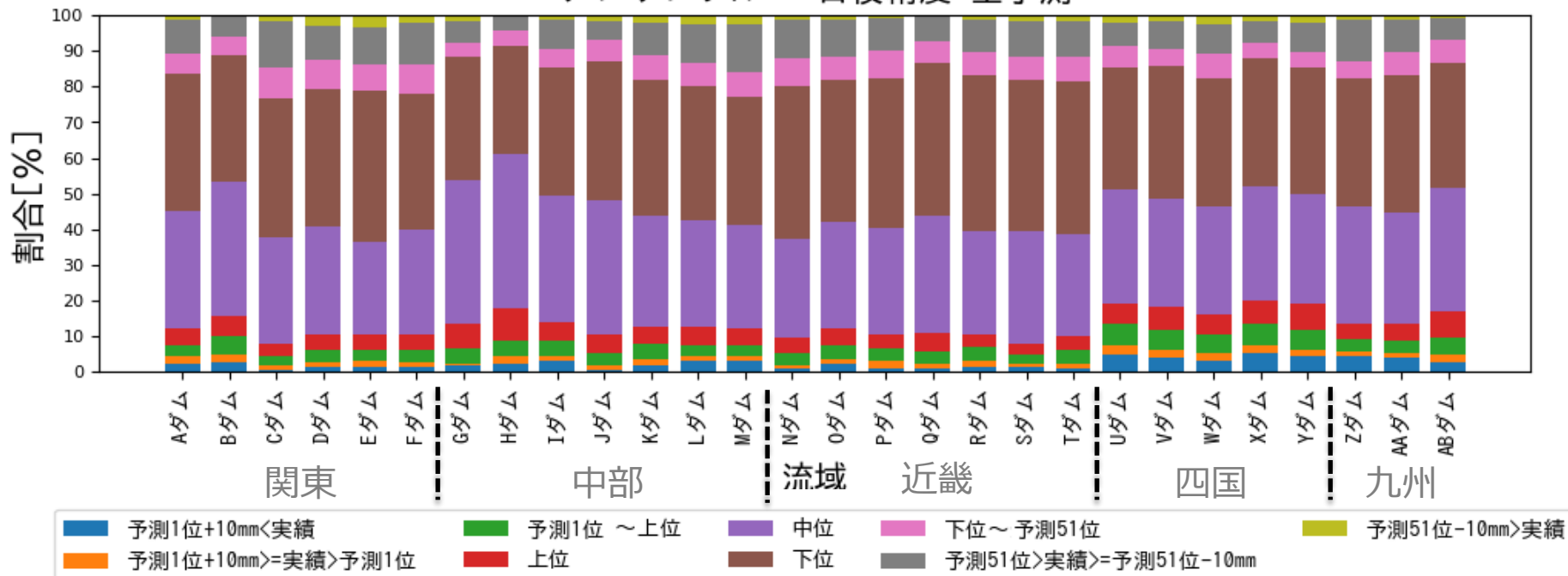


3-2 全予測結果

期間中すべての予測で分類した結果を示す。

- ✓ 下位または中位予測が実績雨量に近い
- ✓ アンサンブル予測を用いた場合、回復しない可能性がある、**予測51位よりも実績が小さい割合は最大15%程度**含まれていたが、**ほとんどが予測51位-10mm以内**であった。
- ✓ 関東の方が過大予測の割合はやや高めであった
- ✓ 四国・九州地方では上位や予測1位～上位の割合が相対的に多くなっていた

アンサンブル 5日後精度 全予測

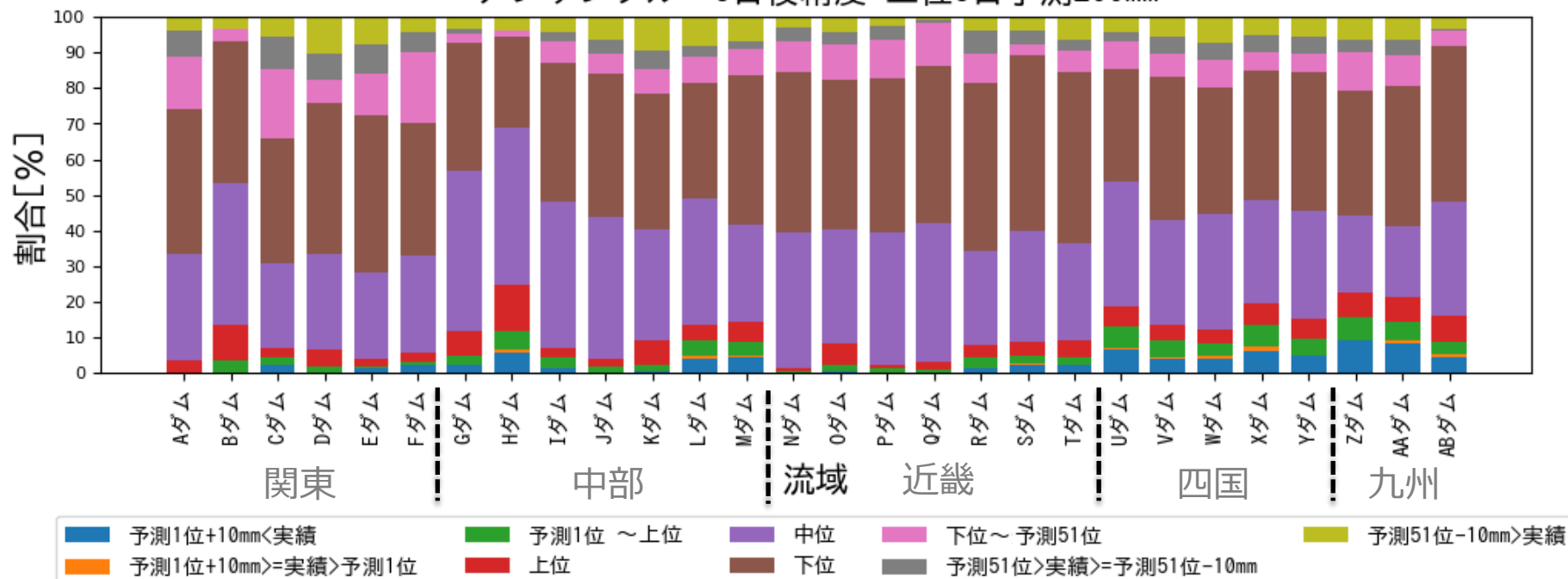


3-3 上位予測が200mm以上の予測結果

事前放流の検討対象となるような事例として、上位予測が200mm以上の予測結果を整理した結果を示す。

- ✓ 全予測と同じく、下位または中位予測が実績雨量に近い
- ✓ 全予測よりも予測51位>実績となる割合が増えているが最大20%程度

アンサンブル 5日後精度 上位5日予測200mm



- 1 はじめに
- 2 使用したデータ
- 3 5日間総雨量の予測精度
- 4 5日前での事前放流判定基準超過と回復可能性
- 5 考察
- 6 結論

- 事前放流を行った場合の回復可能性を以下の手法で確認した。
- 木戸らを参考に、アンサンブル上位予測において5日先までに治水協定による降雨継続時間に対して事前放流**基準雨量超過**があった際に、**下位予測に基づき水位低下量を設定**して事前放流を開始することを仮定（早期事前放流）
- 事前放流実施について見逃しを避けるために積極的に行いつつ、回復可能なように放流量を抑えることを意図

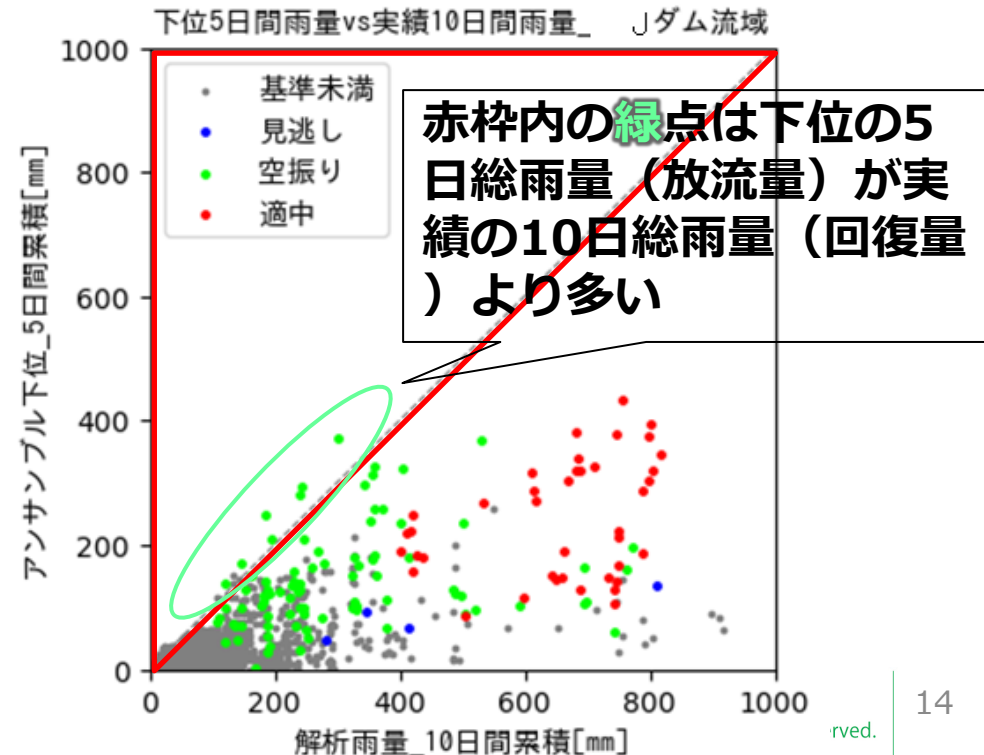
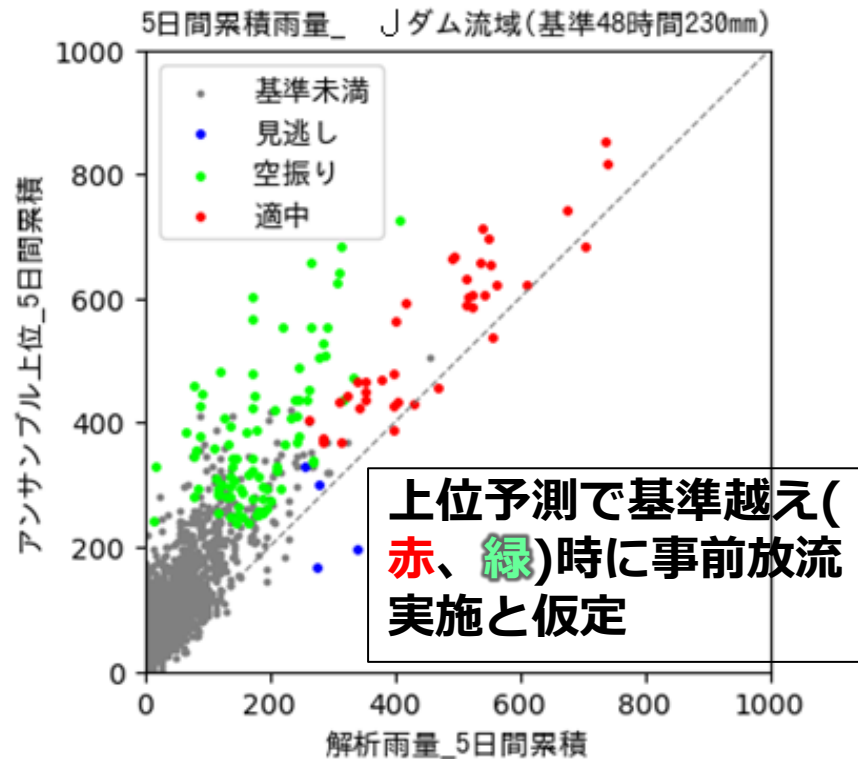
【検討方法】

1. 5日間先までの間に治水協定による降雨継続時間に対して、上位予測が基準降雨量以上のケースを洗い出し。
 - ※基準降雨量以上の判定は、以下2パターンで実施
 - A:5日先までアンサンブルを使用するパターン
 - B:5日先までの内、3日先までは除外するパターン
(3日先まではガイダンス予測による判定を優先する想定、本研究では簡便のため、ガイダンスの判定結果は考慮しない)
2. 1の①②（=早期事前放流開始と判断）について、下位予測5日間総雨量と実績10日間総雨量※の比較を実施。
 - ※実際の回復には6日先以降の流入もカウントできるため。

4-2 中部地方Jダムの例 (5日先までアンサンブル使用)

- 毎回のアンサンブル上位予測の5日間総雨量と実績の5日間総雨量の散布図を作成し、期間内に基準超過したかどうかで色分け(左図)
 - アンサンブル下位予測の5日間総雨量と実績の10日間総雨量の散布図を作成し、左図の同じ時刻と同じ色になるよう色分け(右図)
- 上位予測で基準超過を判定し、下位予測と実績で比較
- ✓ 上位予測では基準超過をかなりの割合で捕捉できているが、空振りも多い。
 - ✓ 放流判断事例のうち下位総雨量 < 実績総雨量となり回復しない可能性のある事例がある。

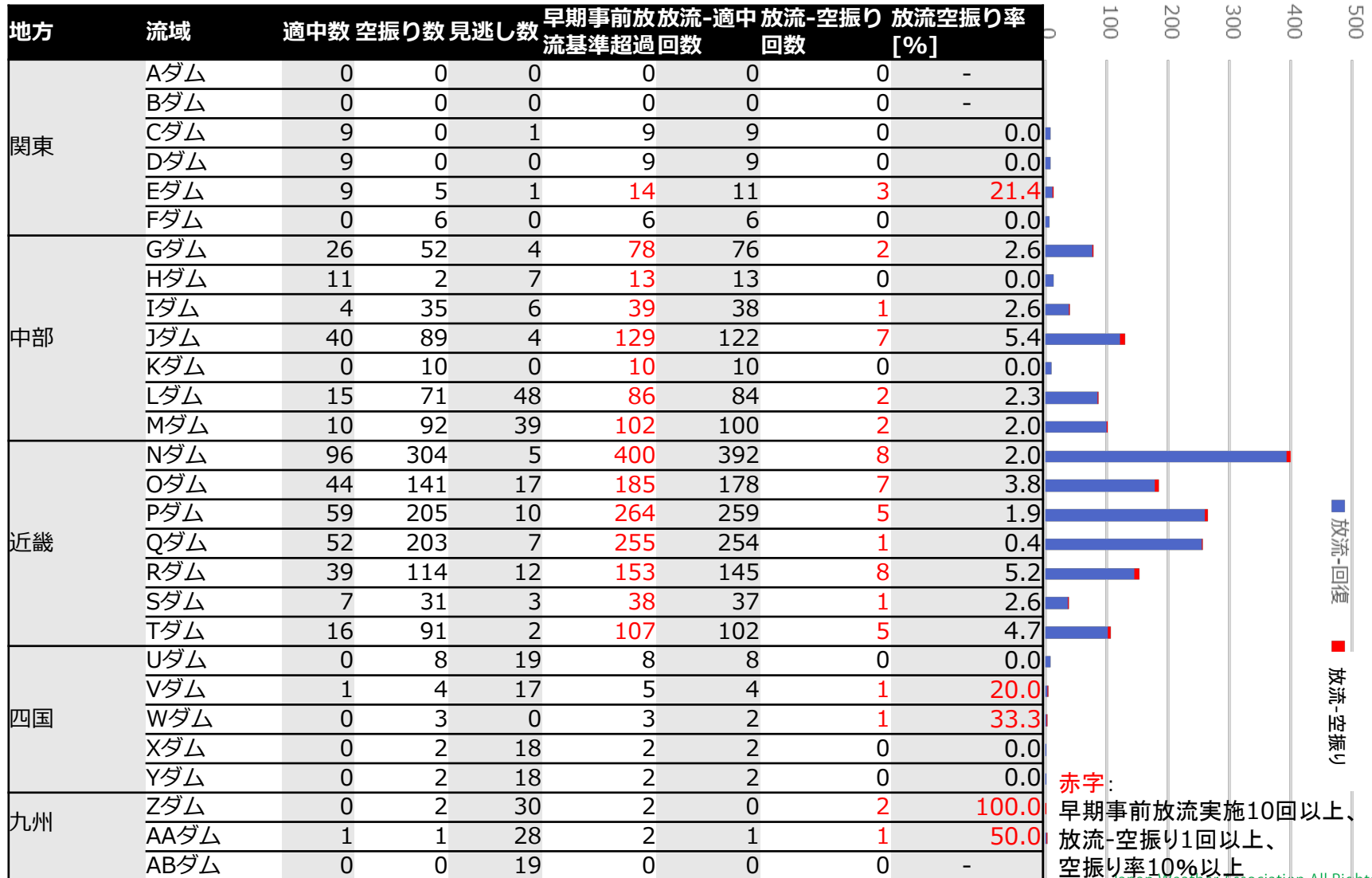
解析雨量 基準超過	上位予測 基準超過	分類	色
○	○	適中	赤
×	○	空振り	緑
○	×	見逃し	青
×	×	基準未満	灰



4-3 A.5日先までアンサンプル使用

■ 5日先までアンサンプルを使用して早期事前放流判定した結果を示す。

┌ 1.上位による放流判断 ─┐ 2.下位と実績の比較 ─┐



4-3 A.5日先までアンサンブル使用

■ 5日先までアンサンブルを使用して早期事前放流判定した結果を示す。

┌ 1.上位による放流判断 ─┐ ┌ 2.下位と実績の比較 ─┐

地方	流域	適中数	空振り数	見逃し数	早期事前放流基準超過回数	放流-適中回数	放流-空振り回数	放流空振り率 [%]
関東	Aダム	0	0	0	0	0	0	-
	Bダム	0	0	0	0	0	0	-
	Cダム	9	0	1	9	9	0	0.0
	Dダム	9	0	0	9	9	0	0.0
	Eダム	9	5	1	14			
	Fダム	0	6	0	6			
中部	Gダム	26	52	4	78			
	Hダム	11	2	7	13			
	Iダム	4	35	6				
	Jダム	40	89					
	Kダム	0	10	0	10			
	Lダム	15	71	48	86	84	2	2.3
近畿	Mダム	10	92	39	102	100	2	2.0
	Nダム	96	304	5	400			
	Oダム	44	141	17	185			
	Pダム	59	205	10	264			
	Qダム	52	203	7	255			
	Rダム	39	114	12	153			
四国	Sダム	7	31	3	38	37	1	2.6
	Tダム	16	91	2	107	102	5	4.7
	Uダム	0	8	19	8	8	0	0.0
	Vダム	1	4	17	5			
	Wダム	0	3	0	3			
	Xダム	0	2	18	2			
九州	Yダム	0	2	18	2			
	Zダム	0	2	30				
	AAダム	1	1	28	2			
	ABダム	0	0	19	0	0	0	-

空振り数が多い
 →上位による積極的実施を想定しているため実績では基準を超過しない場合も多くなっていることに留意

実施回数が多い
 →基準時間に比して基準雨量が小さいことが要因として考えられる

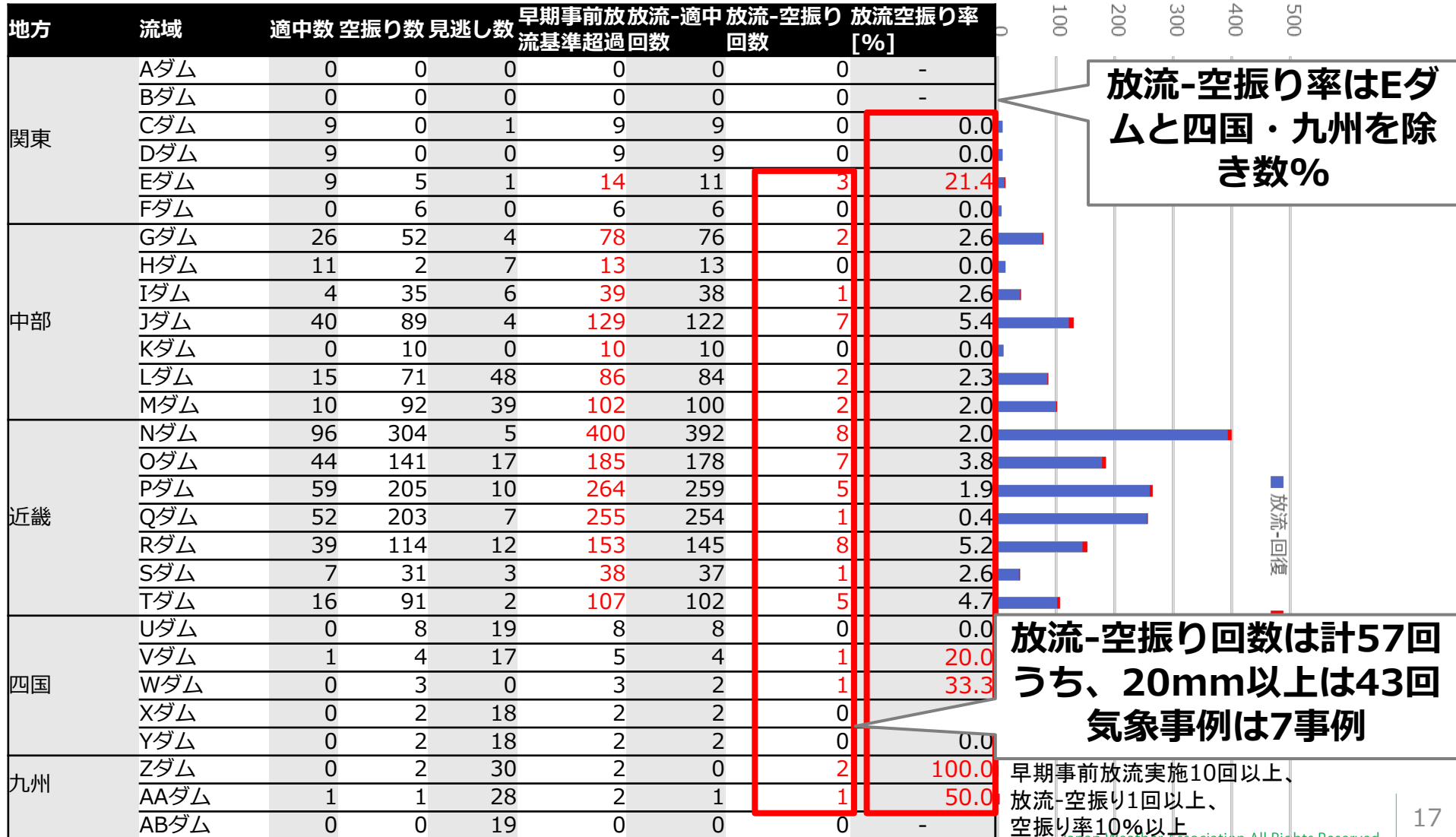
空振り数は少ないものの見逃し数が多く、効果が限定的
 →数値モデルで予測が困難な時空間規模の比較的小さい降雨が多い

■ 放流-回復
 ■ 放流-空振り
 以上、

4-3 A.5日先までアンサンブル使用

■ 5日先までアンサンブルを使用して早期事前放流判定した結果を示す。

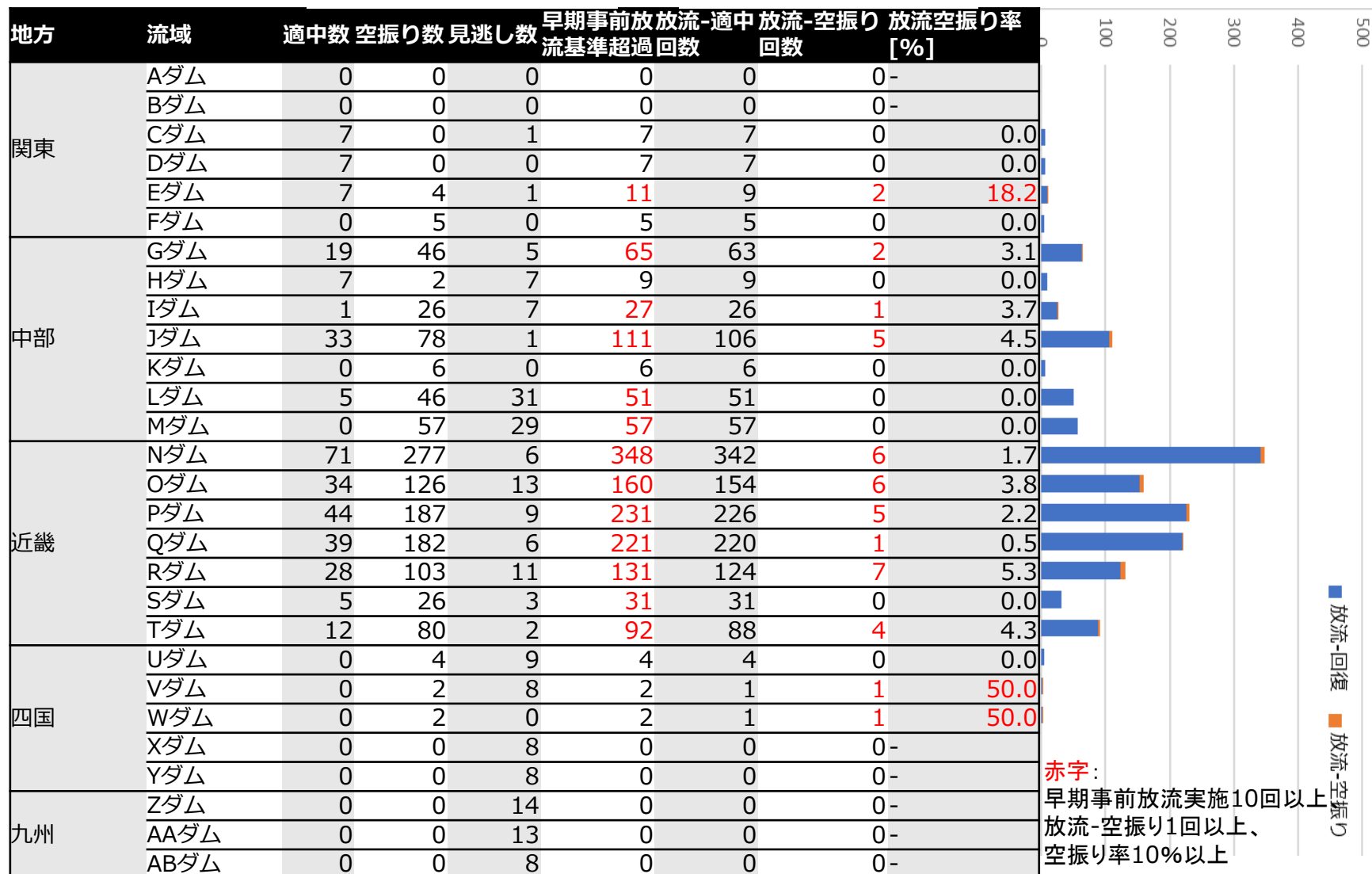
┌ 1.上位による放流判断 ─┐ ┌ 2.下位と実績の比較 ─┐



4-4 B.3日先までを除外

- 3日先までを除外すると、放流-空振り回数は全流域で41回
うち、20mm以上空振りは29回。気象事例としては、6事例

┌ 1.上位による放流判断 ┐ ┌ 2.下位と実績の比較 ┐



4-5 早期事前放流で20mm以上空振りした気象事例

- 3日先までを除外した場合、下位予測5日総雨量が実績10日総雨量よりも20mm以上大きかったケースが発生した気象事例は以下の6事例

番号	期間	流域	気象要因
1	2019/7/1~3	近畿Tダム	台風第12号 + 前線
2	2019/8/27	中部Jダム	低気圧 + 停滞前線
3	2020/7/25~26	中部Jダム	停滞前線
4	2020/9/20~23	近畿複数, 関東Eダム	台風第12号 + 停滞前線
5	2020/10/8~9	近畿複数	台風第14号 + 停滞前線
6	2021/9/26	近畿複数	台風第16号

- 1 はじめに
- 2 使用したデータ
- 3 5日間総雨量の予測精度
- 4 5日前での事前放流判定基準超過と回復可能性
- 5 考察
- 6 結論

■ 洪水調節容量の考慮

事前放流ガイドラインではダム貯水位が洪水期制限水位にある場合
事前放流による確保容量 = (予測降雨量によるダム貯水池へ流入する総量)
 - (洪水調節容量)
 - (洪水調節に伴う放流量の時間累積量等)

簡便のため、洪水調節に伴う放流量等が0と仮定すると、**下位予測の雨量が洪水調節容量の相当雨量以下であれば、事前放流を行わない**という判断となる。

番号1の空振り事例では、20mm以上の空振りが2回発生したが、**いずれのケースでもTダム洪水調節容量相当雨量以下であったため、早期事前放流を行わない**という結果となった。

河川維持流量や利水補給等のための放流の時間累積量を考慮すると、**より事前放流を行わないという判断となる事例が増える**

利水リスクについても、より低く抑えられると考えられる

表 番号1の事例における下位予測の予測雨量と洪水調節容量の相当雨量

予測発表時刻	流域	アンサンブル下位予測 5日間総雨量	洪水調節容量相 当雨量
2019/7/1 18:00Tダム		76.6	152
2019/7/2 6:00Tダム		92.7	152

5-2 空振り事例の利水リスクの確認②

■ 放流量の考慮

実際に雨が降り始めていない段階で早期事前放流を行うと判断した場合、
下流側の河川利用者の安全性を考慮すると、

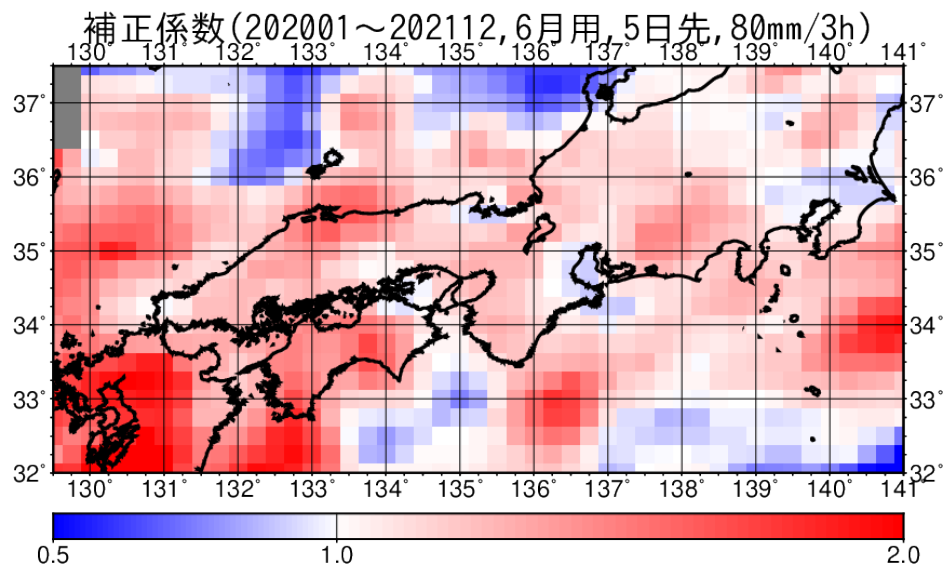
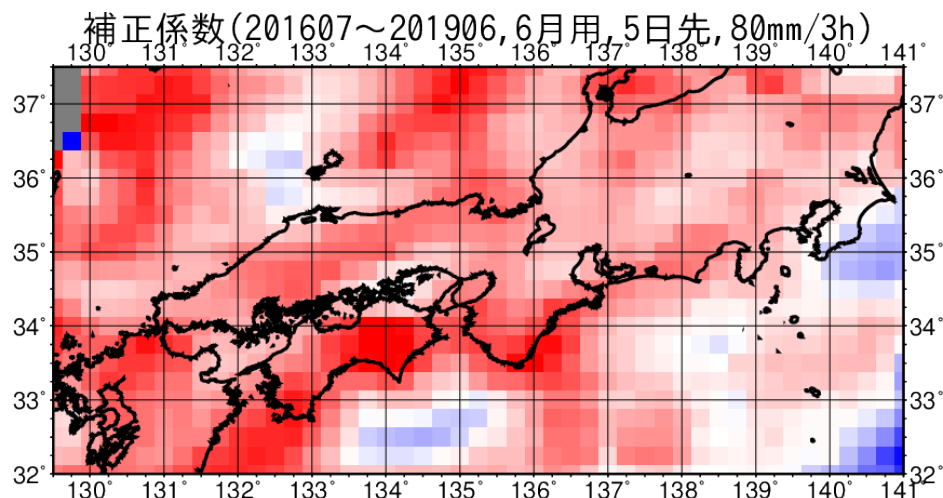
放流はゲートを用いず、利水や発電のための放流量以下で目標水位を目指すことが現実的
事例2では放流量の時間積算 = 220mm < 実績10日間総雨量248mmとなり回復可能

→大きな空振りとされた事例についても、**より詳細に見ると利水リスクは限定的**

表 番号2の事例における放流量を考慮した放流量

発表時刻	上位予測5日先までの最大48時間雨量	基準雨量	下位予測5日間総雨量	放流量の時間積算相当雨量	実績10日間総雨量	操作
2019/8/25 18:00	199.5	230.0	68.5	0.0	232.2	基準以下のため未実施
2019/8/26 6:00	302.1	230.0	129.1	0.0	239.0	基準超過により利水最大55mm/12hで低下開始
2019/8/26 18:00	275.9	230.0	139.5	55.0	240.6	早期事前放流継続
2019/8/27 6:00	355.4	230.0	209.1	110.0	247.9	早期事前放流継続
2019/8/27 18:00	313.8	230.0	295.7	165.0	244.2	早期事前放流継続 (降雨開始)
2019/8/28 6:00	303.7	230.0	209.8	220.0	194.3	目標水位到達のため、放水水位維持

赤字は表内のピークを表す



頻度バイアス補正係数の変化

頻度バイアス補正係数の変化を確認

上段：2016年7月～2019年6月（今回使用）

下段：2020年1月～2021年12月

陸域では赤色が減少し白色(1倍)に近づいている

予測が過大方向に過剰に補正されている可能性がある

- 1 はじめに
- 2 使用したデータ
- 3 5日間総雨量の予測精度
- 4 5日前での事前放流判定基準超過と回復可能性
- 5 考察
- 6 結論

- 本研究では、長時間アンサンブル降雨予測を用いた事前放流操作の検証として、既往研究では検討が不十分であった**利水容量の回復可能性（利水リスク）**に着目して検討を行った。
- 上位・中位・下位の3パターンについて、5日間総雨量の全予測で見ると下位予測または中位予測が実績雨量に近いという結果になった。回復しない可能性がある**過大予測（51位>実績）は最大15%程度含まれていたが、ほとんどが51位-10mm以内であり、その程度は限定的であった。**
- アンサンブル上位予測において5日先までに基準雨量超過があった際に、アンサンブル下位予測総降雨量（5日間）と実績総降雨量（10日間）とを比較した結果、**下位予測>実績となる事例の割合としては数%程度であった。**
- **洪水調節容量の考慮や放流量を考慮するとさらに利水リスクは限定的であった。**
- **下位予測に基づき早期事前放流を実施しておけば回復しない可能性は小さく、事前放流における長時間アンサンブル降雨予測活用の有効性が示された。**