



長時間アンサンブル降雨予測 を活用したダム高度運用 シンポジウム



ダム高度運用に向けた 長時間アンサンブル予測の解説

2024年 12月23日

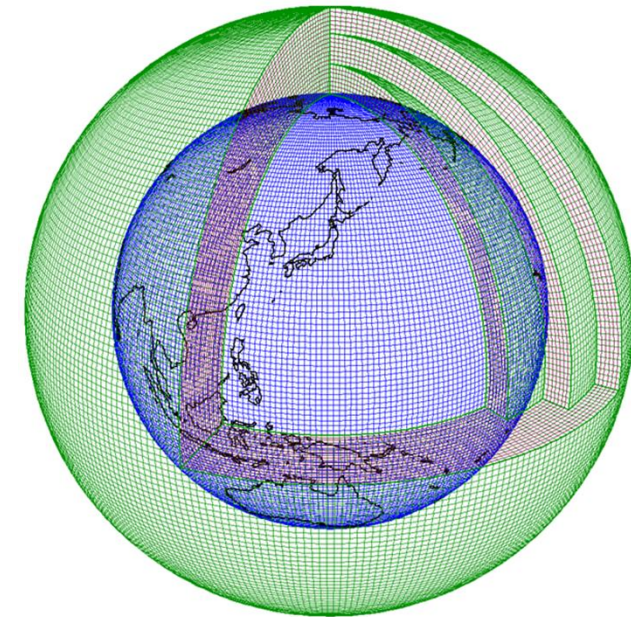
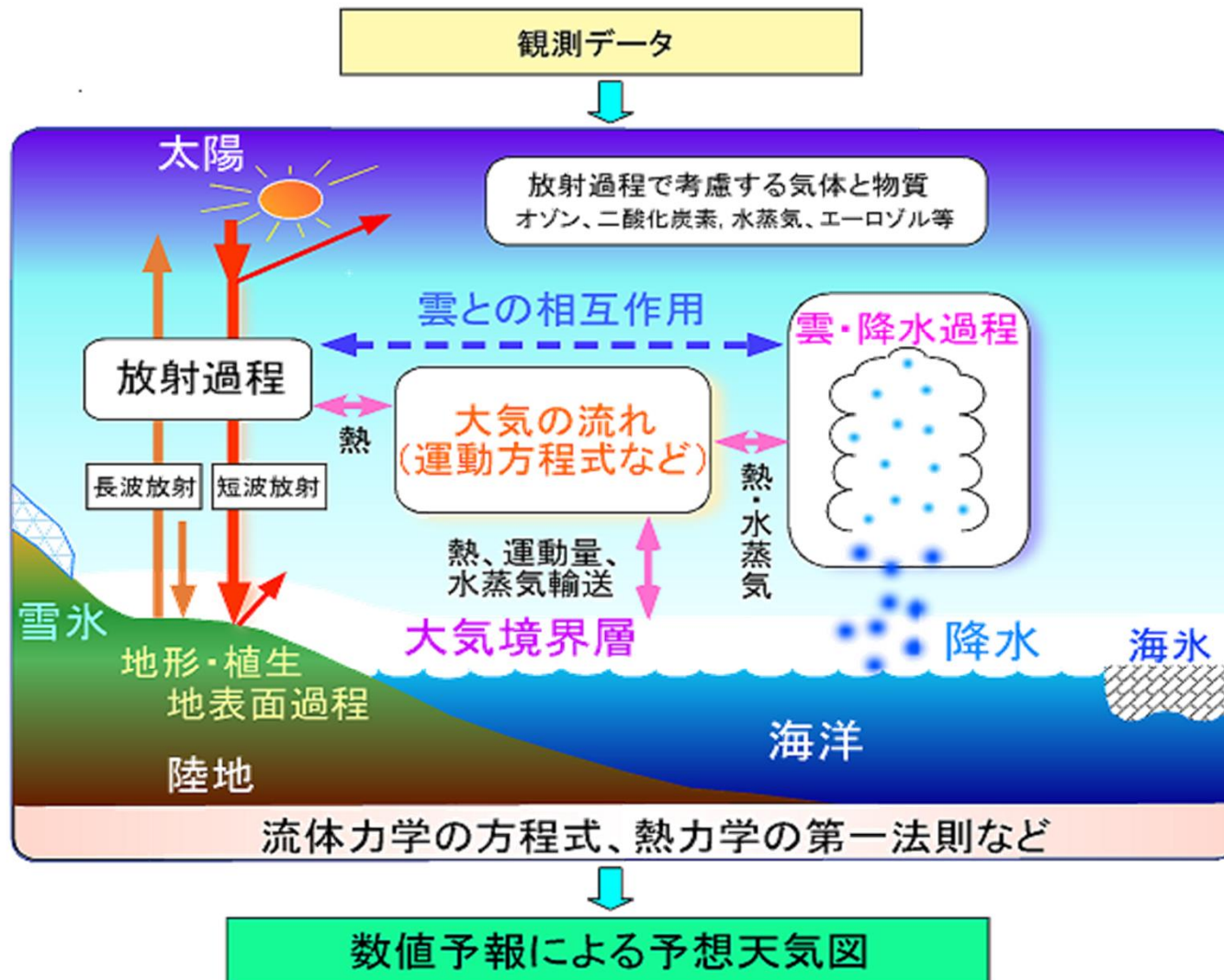
一般財団法人 日本気象協会
社会・防災事業部 道広有理

- 1 雨に関する予測技術
- 2 アンサンブル予測の概要
- 3 SIP/BRIDGEで活用している技術
- 4 長時間アンサンブル降雨予測の精度
- 5 ダム高度運用シミュレーション事例

1 雨に関する予測技術

数値予報（数値シミュレーション）

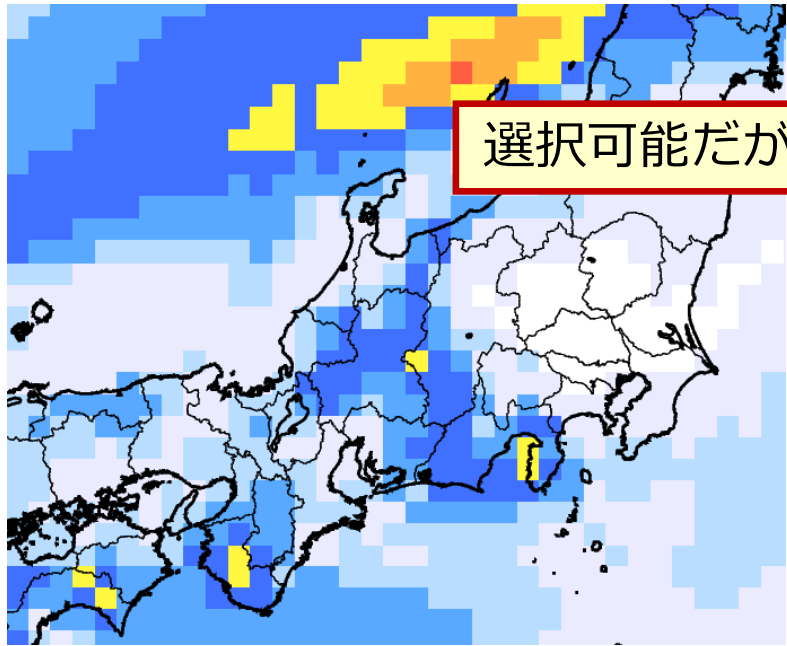
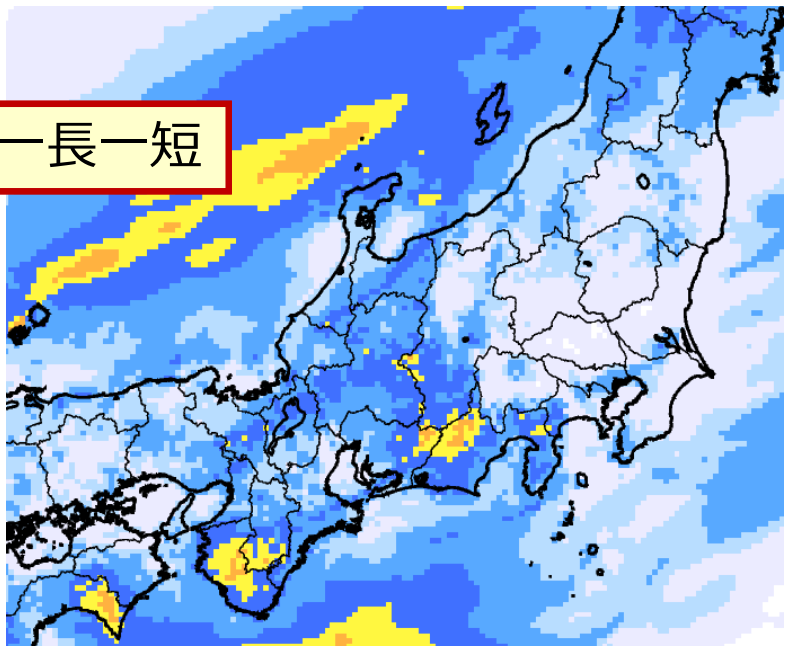
- ✓ コンピュータで物理過程を計算して気象現象を予測
- ✓ 天気予報を含め、ほぼ全ての予測情報のベースとなる
- ✓ 計算に時間がかかるため更新が遅い → 「初期時刻」の数時間後に利用可能



計算エリアを
格子点で区切る

予測データと解像度の関係

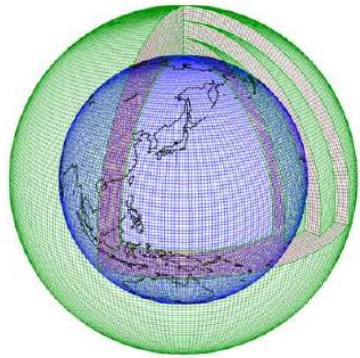
- ✓ 解像度が高い（格子間隔が小さい）ことが予測精度に直結する訳ではない
- ✓ 場所（流域）・時間（降雨波形）・量（降雨強度）を全て正確に予測することが必要

	GSMガイドンス	MSMガイドンス
格子間隔	20km	5km
特徴	広域的にメリハリのない雨 (絶対値が小さい)	局地的な分布を持った雨 (当たり外れが大きい)
サンプル		

選択可能だが一長一短

ガイダンス予測（数値予測の統計的補正）

数値予報

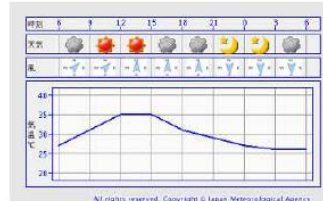


計算結果は未来の大気状態に対応する様々な数値の羅列（1億以上の格子点：ビックデータ）

翻訳・修正

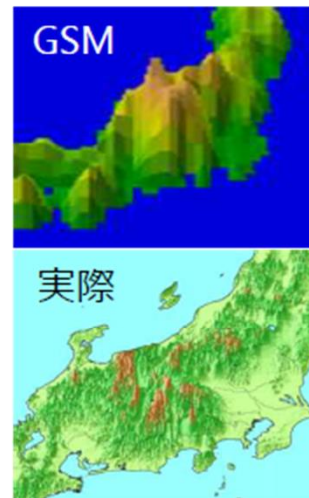
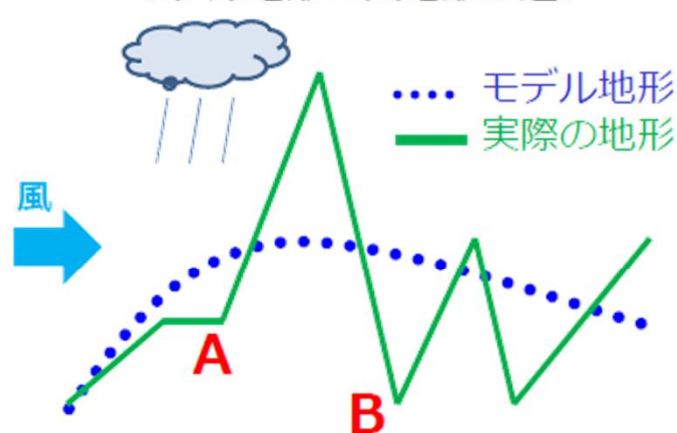
ガイダンス

晴・曇り・雨 
 最高気温27℃ 
 発雷確率30%... 



天気予報、防災情報等に
必要な情報

モデル地形と実地形の違い



実際の地形では

A：急斜面で地形性の降水多い
 B：標高低く、気温高い

モデルの地形では

A：地形がなだらかで降水少ない
 B：標高高く、気温低い

出典：気象庁資料

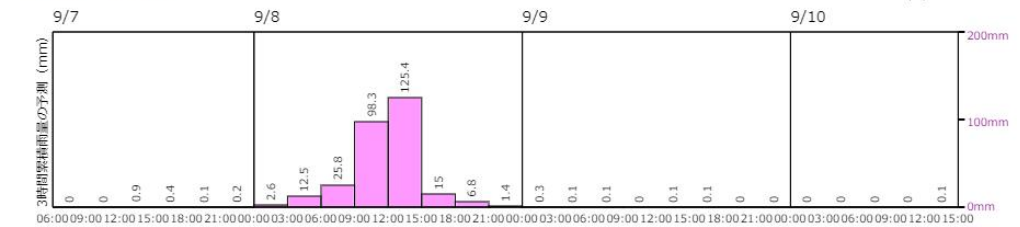
- 過去の予測と実況の関係を統計分析して補正係数を決定
- 事前放流ガイドラインではガイダンス予測で実施判断
- ただし**3時間雨量の単位**でデータが配信されるため注意が必要

数値予報の限界：2023年台風13号

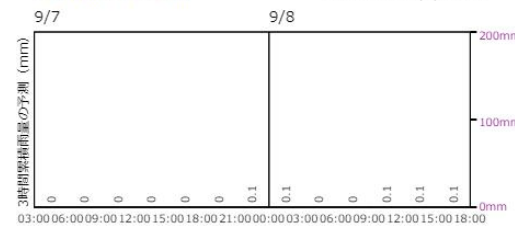
■ MSMとGSMの予測雨量が大きく異なる

- ✓ 2023年9月の台風13号では、MSMとGSMで台風経路の予測が全く異なっていた
- ✓ MSMは関東の東をかすめる経路、GSMは東海地方に上陸する予測
- ✓ 宇連ダム流域では、300mmと0mmという極端に異なる予測となった

GSM 3時間平均降水量ガイダンス (84時間先までの予測)
予測日時: 2023/9/7 3:00



MSM 3時間平均降水量ガイダンス (39時間先までの予測)
予測日時: 2023/9/7 3:00



降雨継続時間 24時間	GSMガイダンス	MSMガイダンス
予測降雨量※1	302.9mm	0mm
基準降雨量	180mm	
39時間累積雨量※2	-	0.3mm
72時間累積雨量※3	239mm	-

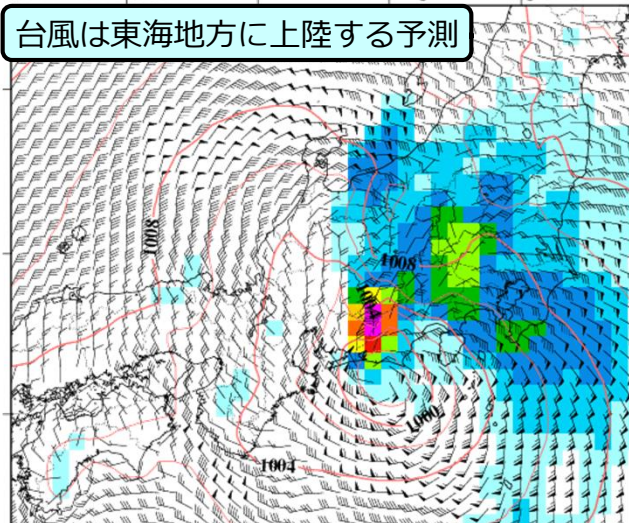
※1 GSM, MSMの24時間平均降水量ガイダンスをもとに算出
※2 MSMの24時間平均降水量ガイダンス及び3時間平均降水量ガイダンスをもとに算出
※3 GSMの72時間平均降水量ガイダンスをもとに算出

9/7 3時時点の宇連ダム予測雨量（事前放流ガイドライン）

9/7朝時点に発表された 9/8 14時の予測分布

初期時刻: 2023/09/07 03:00JST
予測時刻: 2023/09/08 14:00JST [Surface]

台風は東海地方に上陸する予測

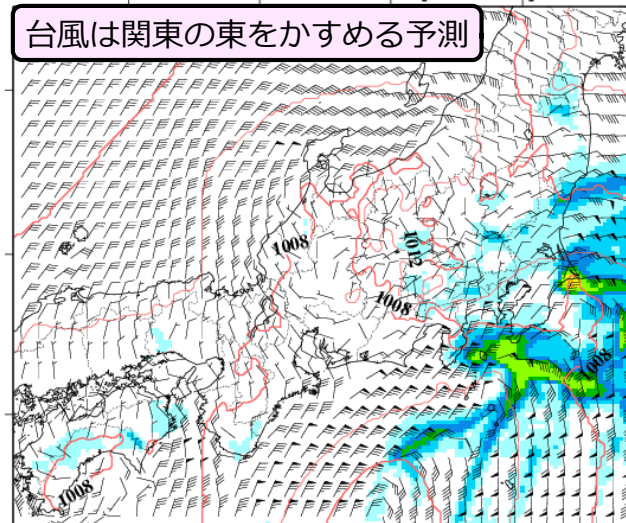


GSM

等値線(2hPa毎)は気圧を示す。
風速(m/s) 2m/s= 10m/s=/
前1時間降水量(mm)

初期時刻: 2023/09/07 03:00JST
予測時刻: 2023/09/08 14:00JST [Surface]

台風は関東の東をかすめる予測

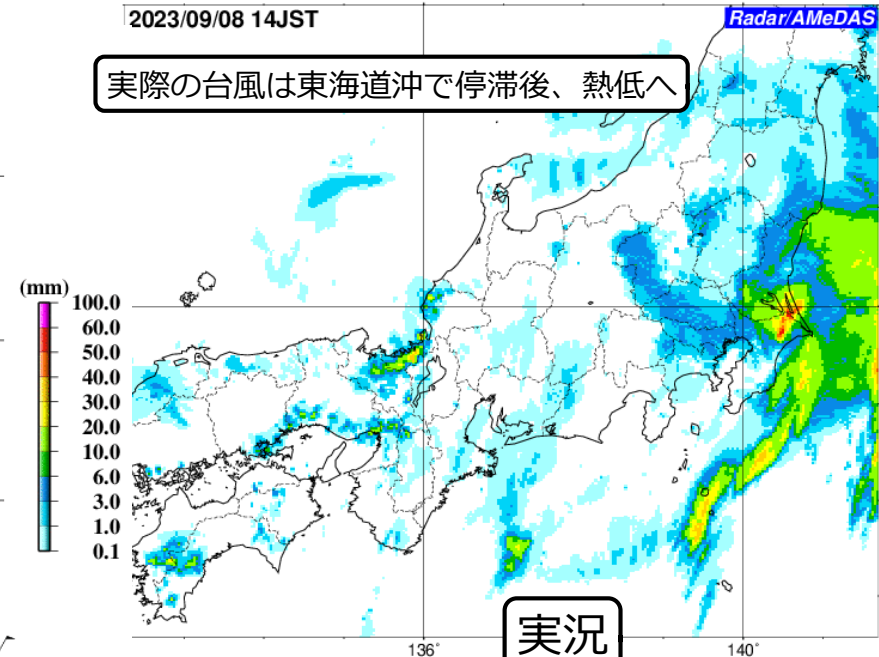


MSM

等値線(2hPa毎)は気圧を示す。
風速(m/s) 2m/s= 10m/s=/
前1時間降水量(mm)

2023/09/08 14JST

実際の台風は東海道沖で停滞後、熱低へ



実況

数値予報の限界：2024年台風10号

Confidential

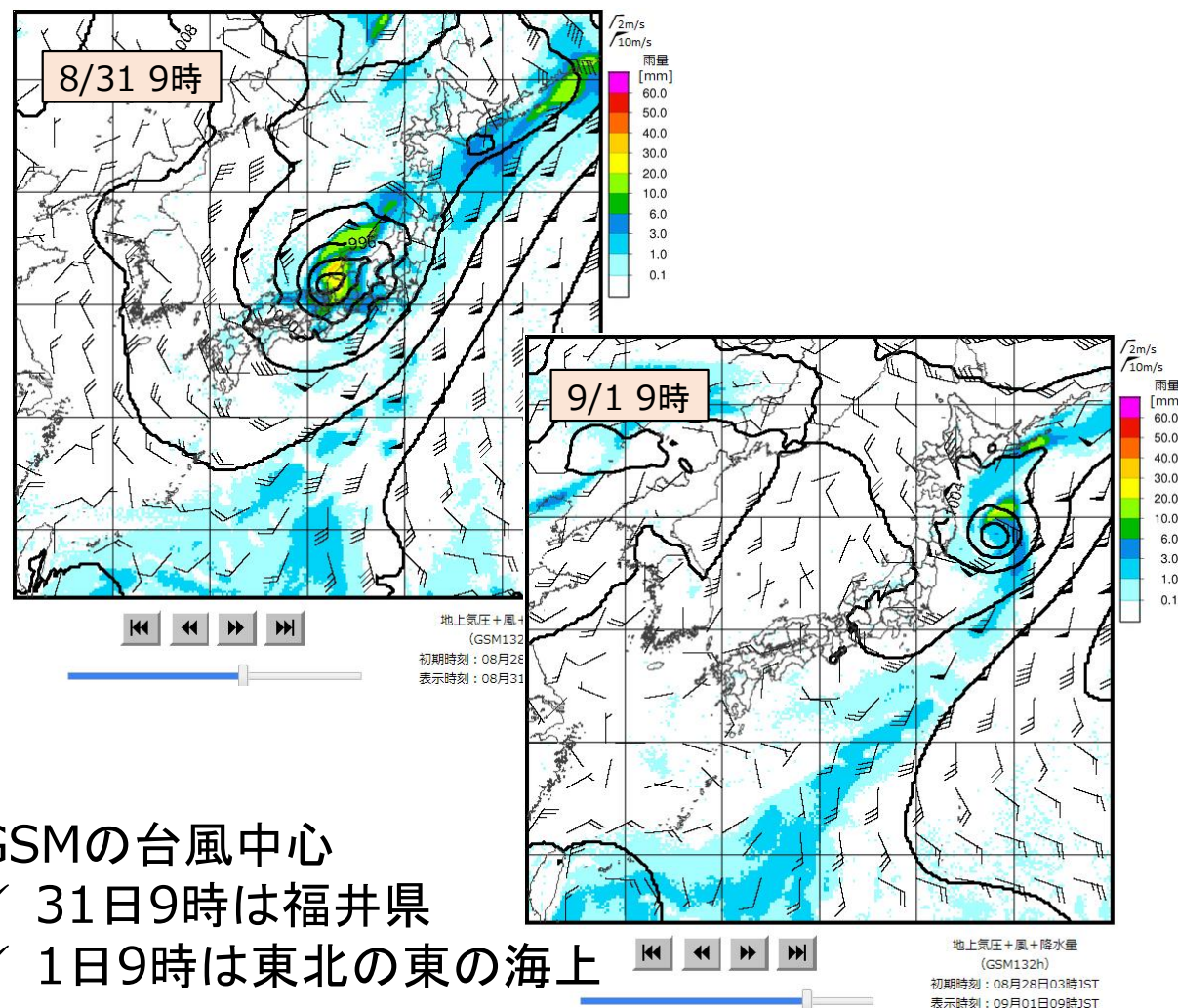
■ 台風情報（予報円中心）とGSMの台風位置が大きく異なる

- ✓ 台風情報の予報円にGSMで計算した台風の入っていない時間帯があった
- ✓ GSMガイダンスはGSMがベースであるため、台風情報と異なる予測となった



気象庁台風情報

- ✓ 31日9時は台風中心は高知県
- ✓ 1日9時は台風中心は紀伊半島



GSMの台風中心

- ✓ 31日9時は福井県
- ✓ 1日9時は東北の東の海上

8/28 3時のGSM予測

2 アンサンブル予測の概要

アンサンブル予測とは

■ 数値予報の課題を解決するための手段

観測値（初期値）に誤差がある

- ✓ 初期値にばらつきを与えて、複数の予測計算を実施
- ✓ ばらつき（摂動）を与える際は観測誤差の範囲内で与えることで、物理的に起こり得る現象として予測

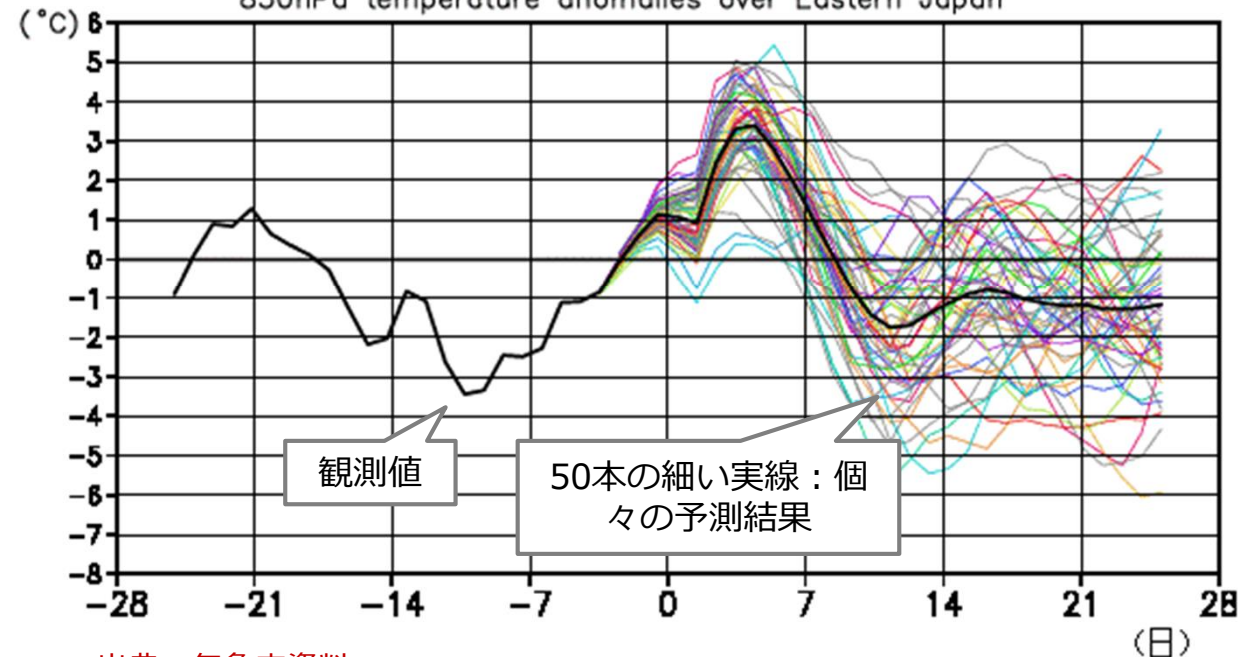
予測誤差を0にできない

- ✓ 複数の予測結果（メンバー）が存在することで、予測の幅や確率情報が得られる
- ✓ 予測誤差があることを前提とした利用方法

地上約1,500mにおける気温の平年差の予測

850hPa気温偏差 東日本（135E-140E, 35N-37.5N）

850hPa temperature anomalies over Eastern Japan



出典：気象庁資料

※初期値にわずかなバラツキを与えただけで、50個全ての予報が異なる予測結果を示していることがわかる

利用可能なアンサンブル予測情報

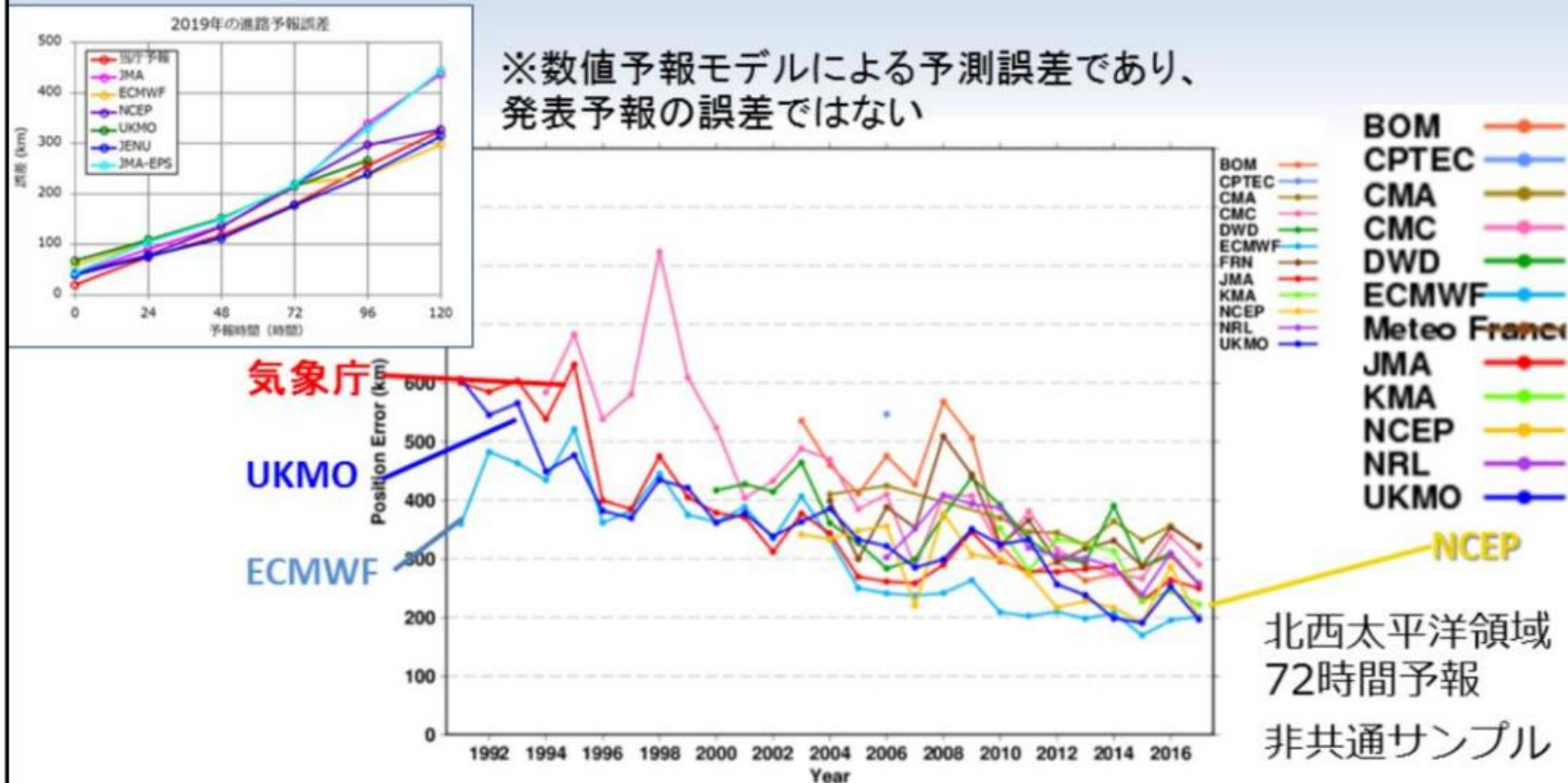
項目	長時間アンサンブル 降雨予測 (SIP/BRIDGEで活用)	ECMWF*1 (元データ)	気象庁 (週間アンサンブル)	気象庁 (メソアンサンブル)
格子解像度	日本域 約5km	全球 0.1°(約10km)	全球 1.25° 日本域 0.375°(約40km)	日本域 約5km
予報時間	15日先	15日先	11日先	39時間先
出力時間間隔	1時間	3時間	3時間	3時間
更新間隔	2回/日	2回/日	2回/日	4回/日
メンバー数	51メンバー	51メンバー	51メンバー	21メンバー
備考	長時間アンサンブル降雨予測ではダウンスケーリングにより地形性降雨を表現			格子解像度や予報時間は MSMと同じ仕様

※1：ヨーロッパ中期予報センター

- ✓ 気象庁のアンサンブルと比較し、予測時間長・解像度でECMWFに優位性
- ✓ SIP/BRIDGEでは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して活用 【1時間雨量・5km格子（一部1km格子）】

予測精度の比較（気象庁 vs ECMWF）

台風進路予報誤差国際比較



- 各数値予報モデルの結果を収集し、気象庁で追跡と検証を実施
- 気象庁は1996年以降、世界トップクラスの精度を維持している
- 最近はやや水をあけられている（特にECMWF）

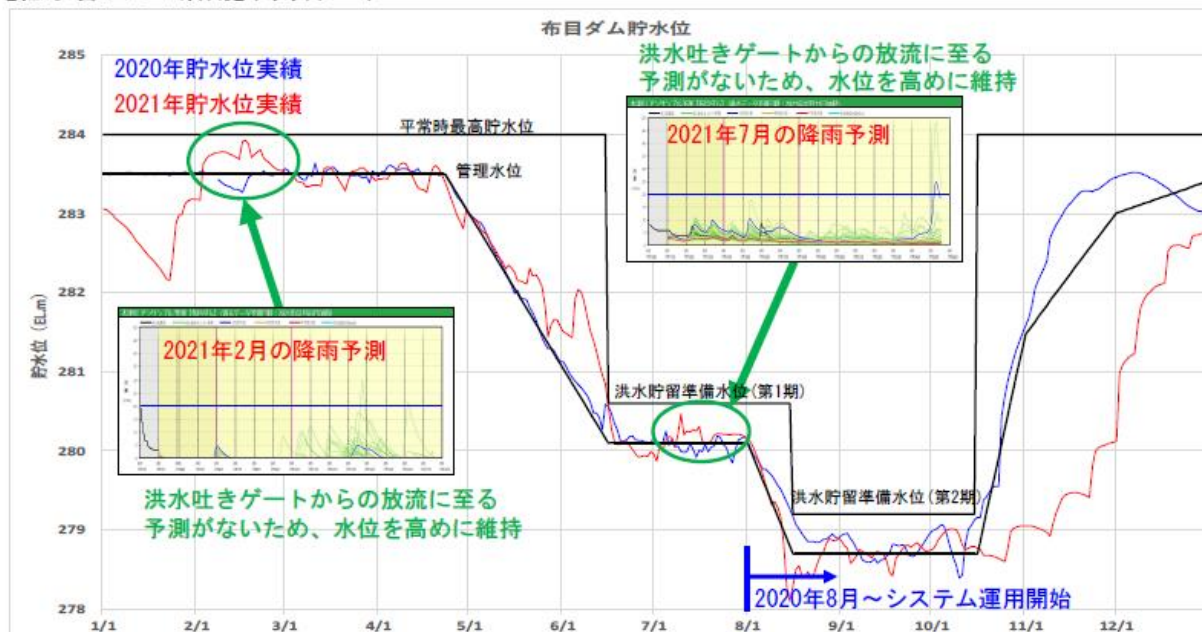
水局からの事務連絡（2024年4月）

■ダムの高度運用への長時間のアンサンブル降雨予測等の活用について

- ✓ 地整や水機構の課長向けの事務連絡
- ✓ 「長時間のアンサンブル降雨予測などを積極的に活用し、更なるダムの高度運用に取り組みたい」という指示
- ✓ 事前放流や後期放流の活用イメージを紹介
- ✓ **BRIDGE**で進めている国交省との協議が実を結んだ形

○突発的な降雨等へ対応するため、管理水位を設けた運用を行っているダムにおいて予測を活用。
○長時間アンサンブル降雨予測を活用し、洪水吐きゲートからの放流に至る降雨が予測されない場合は、高めの水位を維持、または水位を上昇させることで、発電効率を向上させる。

【低水管理での活用】(布目ダム)



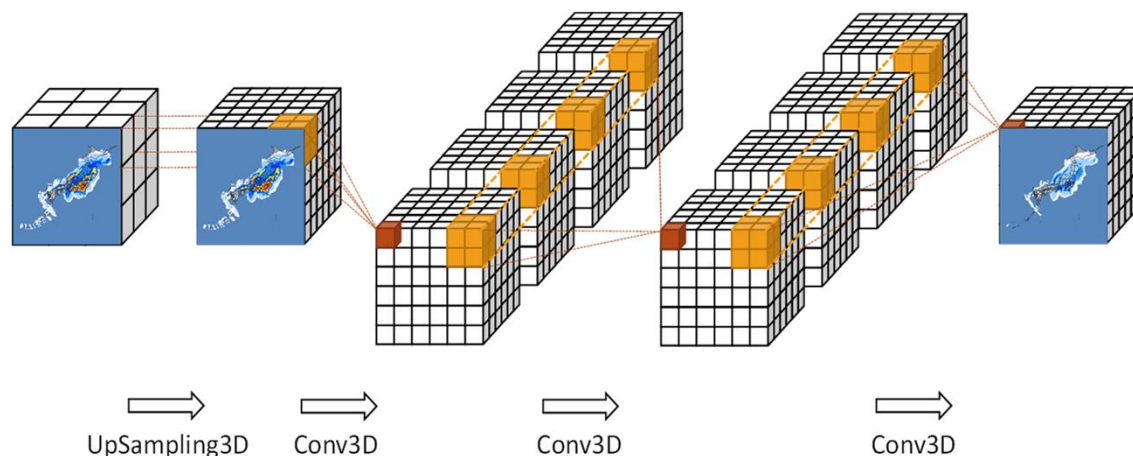
- ✓ 左図は参考につけられた資料の一部
- ✓ SIP2期の研究紹介や、木津川ダム総管、四十四田ダム(北上川ダム統管)の取組が紹介されている

3 SIP/BRIDGEで活用している技術

■ 深層学習による時空間ダウンスケーリング※

※ 山本、増田(河川技術論文集, vol.25, 2019)

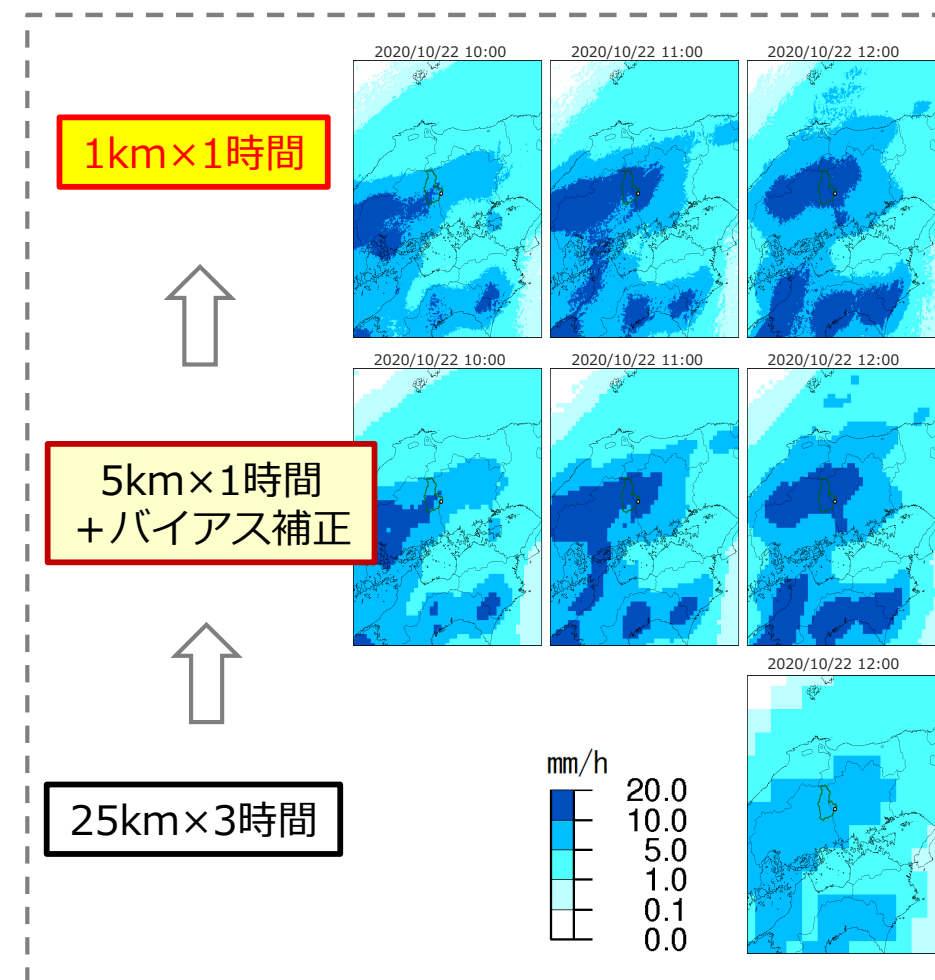
- ✓ 深層学習モデル(AI)により3時間雨量×25kmメッシュを1時間雨量×5kmメッシュに高解像度化
- ✓ GSMガイダンス、MSMガイダンスでの運用実績あり。
- ✓ 別途、バイアス補正も実施。



深層学習モデルのアーキテクチャ (簡易図)

■ 統計的ダウンスケーリング(SDS)

- ✓ 過去の解析雨量から相関係数の高い分布事例を複数抽出して重みづけ平均し、高解像度化
- ✓ 比較的計算が軽いというメリットあり
- ✓ 空間解像度5kmメッシュ→1kmメッシュに利用



高解像度化の手順

Japan Weather Association All Rights Reserved.

AIによる高解像度化の実例

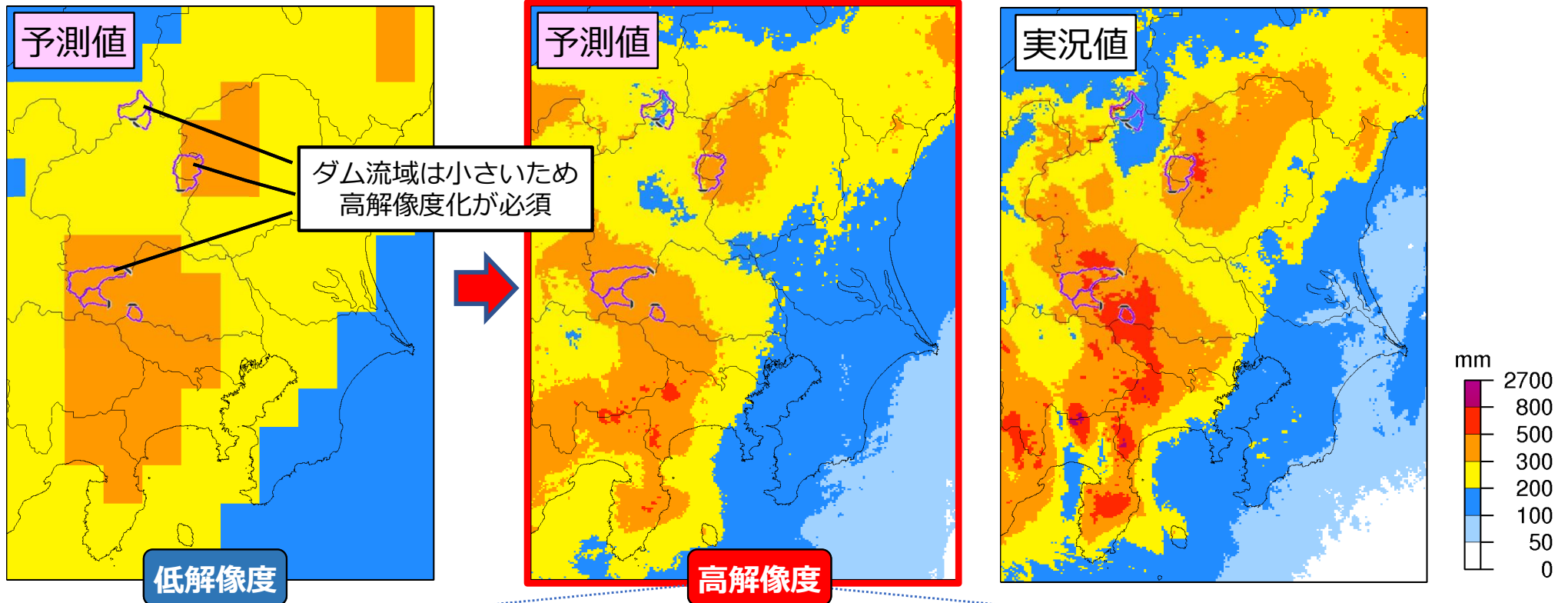
- **空間分解能の向上** →
- ・ 15日先までの予測データを1時間雨量に変換
 - ・ 1km格子に高解像度化（ダウンスケーリング）

令和元年東日本台風(台風19号)による大雨に対する予測：＜10月10日21時～10月14日9時までの84時間積算雨量＞

従来技術：GSM(20km)

開発技術：ECMWF(1km)

実況値（解析雨量）

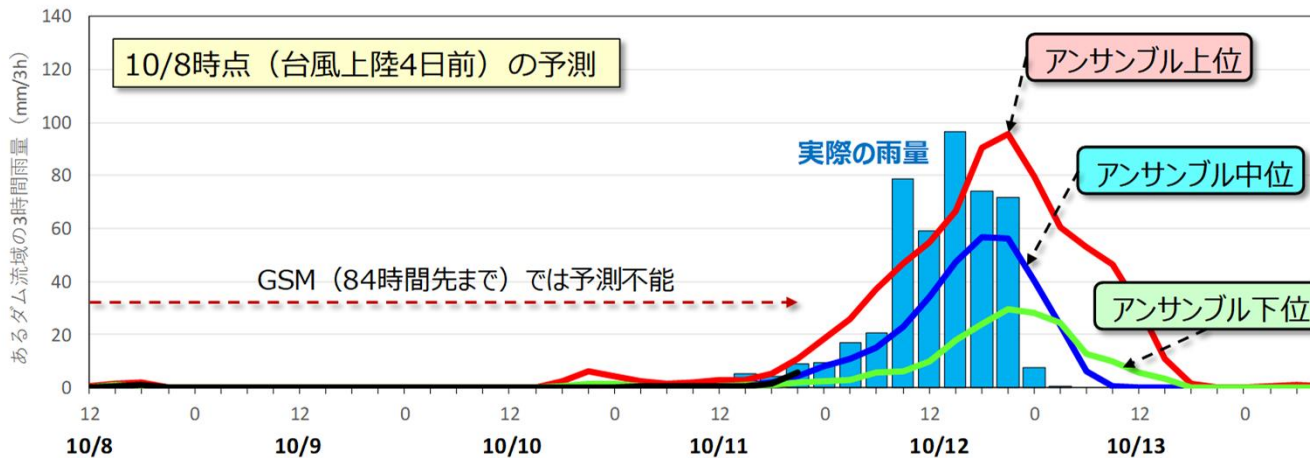


AIを用いたダウンスケーリング技術

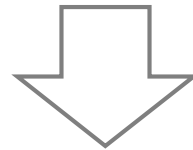
- ✓ 深層学習等により、過去の解析雨量（解像度1km格子）を学習
- ✓ 25km格子・3時間雨量のECMWFデータを、1km格子・1時間雨量に変換

上位・中位・下位の作成

■長期(15日間)・複数メンバ(51通り)の特長を活かす



- ✓ 複数メンバを平均することで
予測更新毎の変動が少ない、
上限・下限が定量的に確認
できるというメリット
- ✓ 上位:大雨のリスクを見逃さ
ないための安全側予測
中位:最も精度が高い予測
下位:最低でも見込まれる雨
を把握するための予測



- 上位・中位・下位の決定方法は、地域や利用目的によって変更
- 一例として、雨量の大きい順にメンバーを並べて、以下で計算
上位:1~5位 中位:6~15位 下位:47~51位
- 早期事前放流を「上位予測で実施判断」「下位予測で目標水位を決定」とすることで、治水・利水の両面にバランスよく対応できる

WEBによる情報提供

Confidential



関東地整管内に対して 2024年6月から提供開始

関東地方整備局管内ダムアンサンブル降雨予測情報

流域選択 利根川

地点選択 藤原ダム 相俣ダム 藁原ダム ハッ場ダム 矢木沢ダム 奈良俣ダム 下久保ダム 草木ダム

予測種別選択 概略 JWAアンサンブル 東国 MEPS MSM-G-AI GSM-G-AI GEPS 操作方法

概略【藤原ダム】

藤原ダム 降雨予測：3日先までの予測

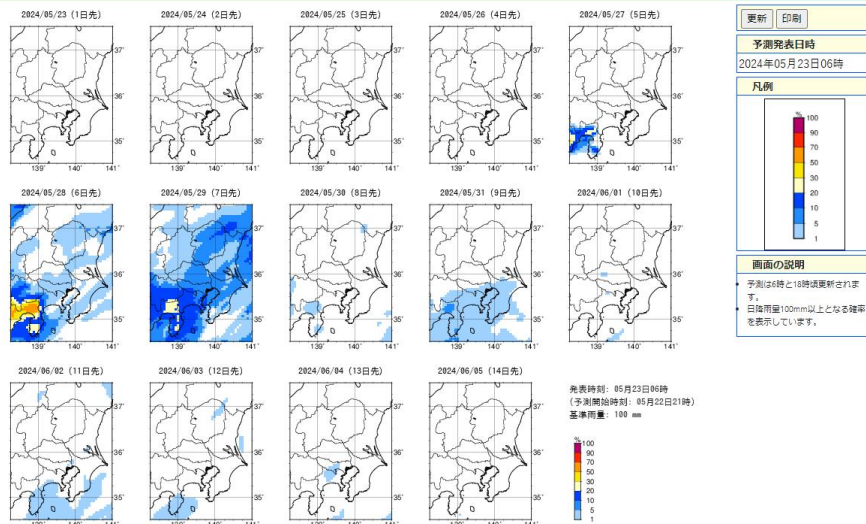
藤原ダム	～3日先											
	JWAアンサンブル			MEPS			MSM-G-AI			GSM-G-AI		
	上位	中位	下位	上位	中位	下位	上位	中位	下位	上位	中位	下位
予測初期時刻	07月16日21時			07月17日03時			07月17日06時			07月17日03時		
雨量	最大48時間雨量			34.3mm			30.8mm			25.5mm		
	350mm/48h超過			0 (0%)			0 (0%)			0 (0%)		

藤原ダム 降雨予測：4日先以降の予測

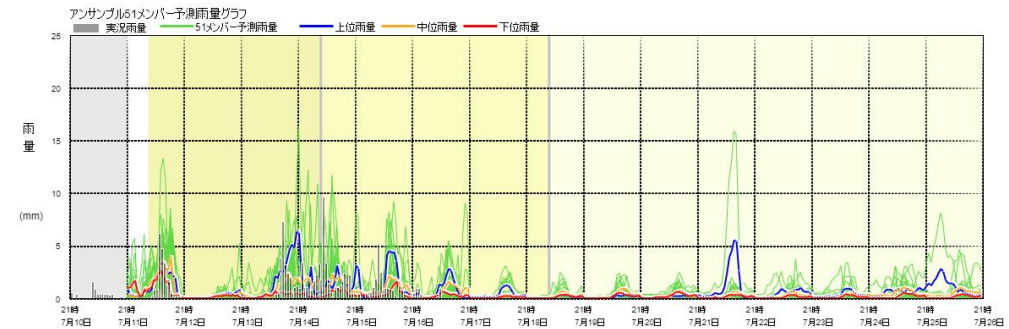
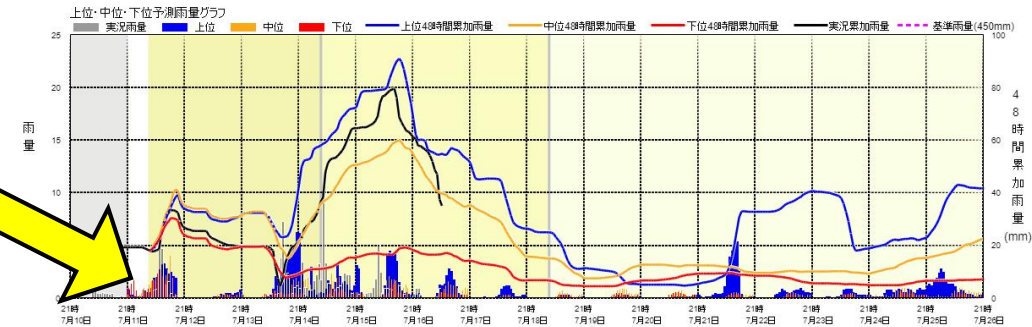
藤原ダム	4日～7日先						8日先～					
	JWAアンサンブル			GEPS			JWAアンサンブル			GEPS		
	上位	中位	下位	上位	中位	下位	上位	中位	下位	上位	中位	下位
予測初期時刻	07月16日21時			07月16日21時			07月16日21時			07月16日21時		
雨量	最大48時間雨量			36.4mm			16.2mm			9.0mm		
	350mm/48h超過			0 (0%)			0 (0%)			0 (0%)		

※ [] (予測名の欄) にマウスを移動させると、上中下位の判定方法が表示されます。

日降雨量100mm以上となる確率



JWAアンサンブル予測【川治ダム】 2024年07月12日06時更新 (過去データ表示中 予測初期時刻：2024年07月11日21時)



JWAアンサンブル予測【川治ダム】 2024年07月12日06時更新 (過去データ表示中 予測初期時刻：2024年07月11日21時)

日時分	1時間雨量				日時分	48時間累加雨量			
	実況雨量 (mm)	上位雨量 (mm)	中位雨量 (mm)	下位雨量 (mm)		実況雨量 (mm)	上位雨量 (mm)	中位雨量 (mm)	下位雨量 (mm)
2024/07/11 22:00	0.0	0.8	0.3	1.0	2024/07/11 22:00	18.9	18.9	18.9	18.9
2024/07/11 23:00	0.0	0.3	0.2	1.0	2024/07/11 23:00	18.9	18.9	18.9	18.9
2024/07/12 00:00	0.0	0.3	0.2	1.4	2024/07/12 00:00	18.9	18.9	18.9	18.9
2024/07/12 01:00	0.0	0.2	0.1	1.7	2024/07/12 01:00	18.9	18.9	18.9	18.9
2024/07/12 02:00	0.0	0.2	0.2	0.7	2024/07/12 02:00	18.9	18.9	18.9	18.9
2024/07/12 03:00	0.0	0.2	0.3	0.2	2024/07/12 03:00	18.9	18.9	18.9	18.9
2024/07/12 04:00	0.0	0.2	0.5	0.2	2024/07/12 04:00	18.5	18.5	18.5	18.5
2024/07/12 05:00	0.0	0.7	1.0	0.8	2024/07/12 05:00	18.1	18.1	18.1	18.1
2024/07/12 06:00	0.0	0.6	0.6	0.7	2024/07/12 06:00	17.7	17.7	17.7	17.7
2024/07/12 07:00	0.0	0.6	1.3	0.9	2024/07/12 07:00	17.3	17.9	18.6	18.2

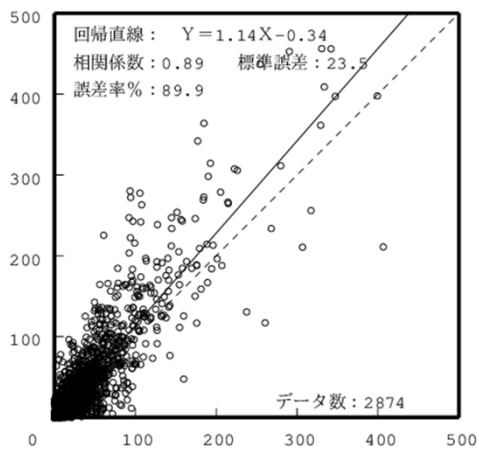
4 長時間アンサンブル降雨予測の精度

予測と実況の比較（2日間雨量）：岩屋ダム流域

■ アンサンブル予測

■ ガイダンス予測

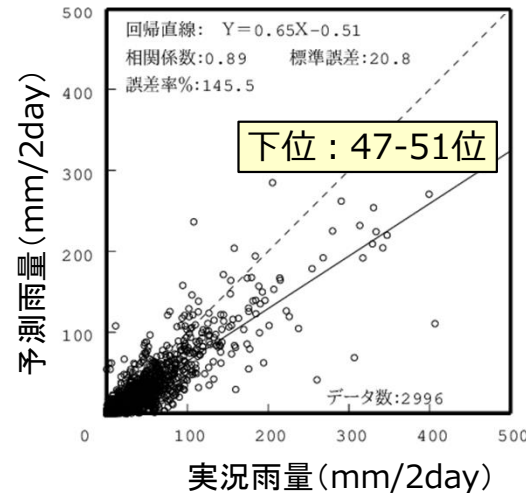
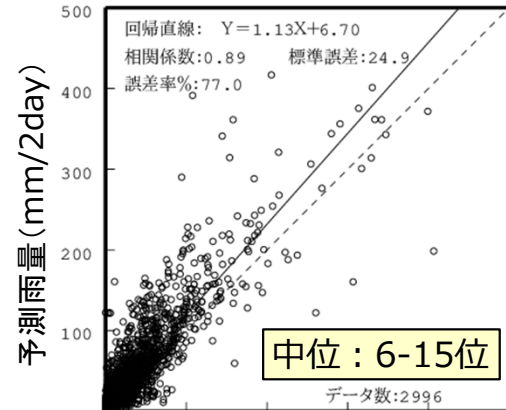
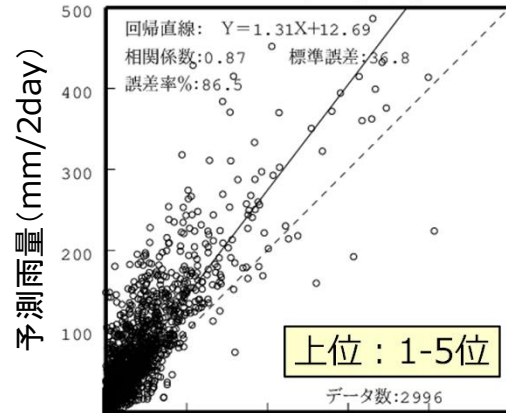
1～2日先予測



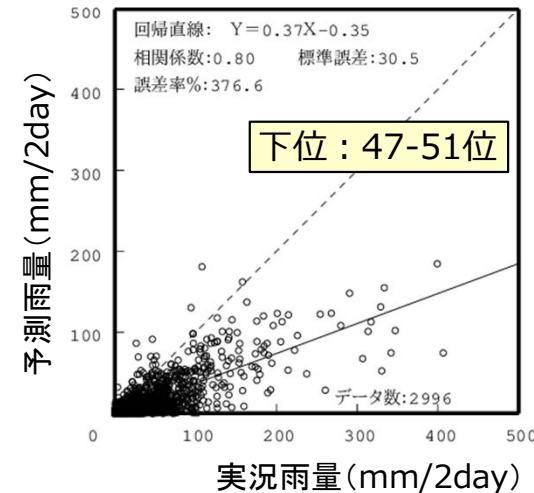
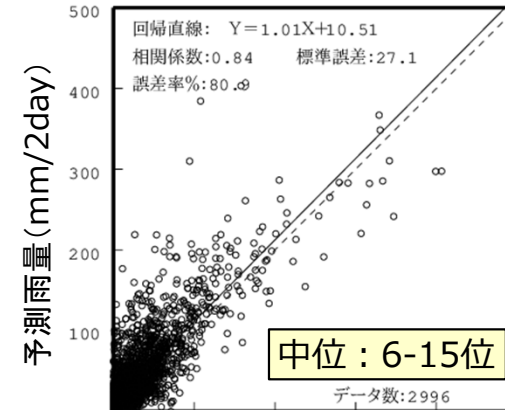
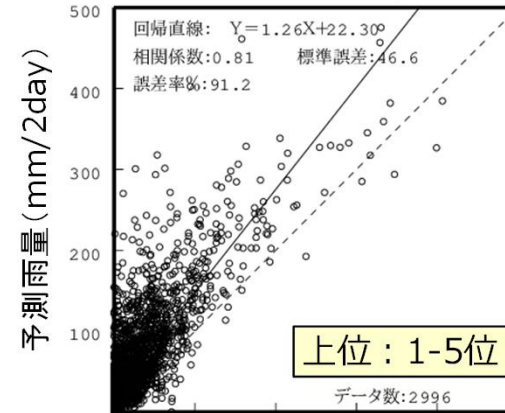
ガイダンス予測とアンサンブル中位は、精度が同程度

2017-2023年暖候期

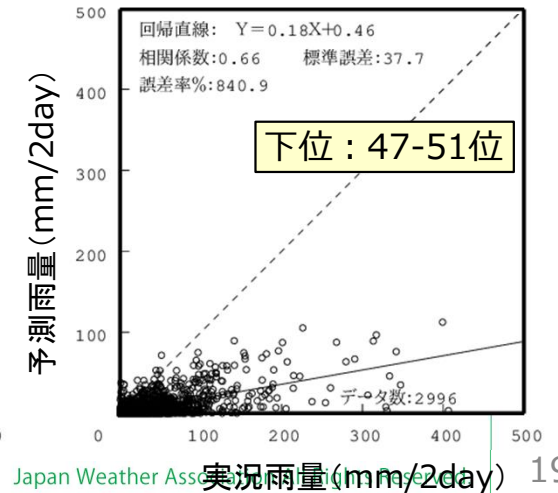
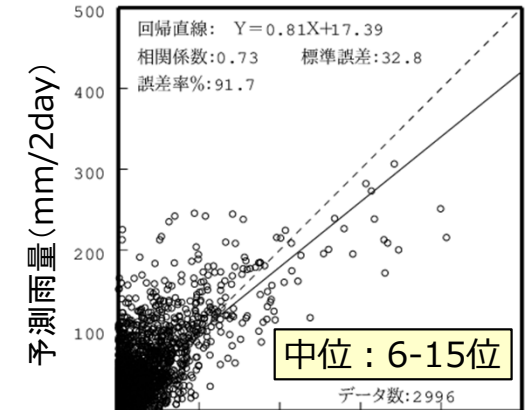
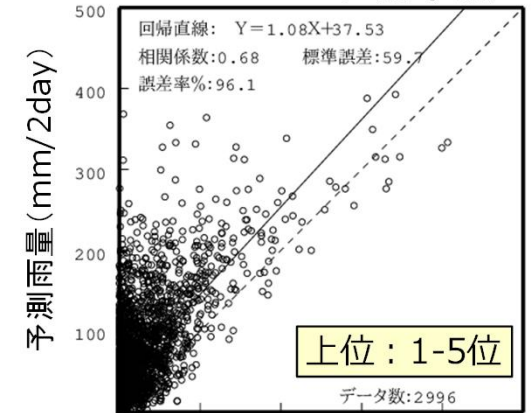
1～2日先予測



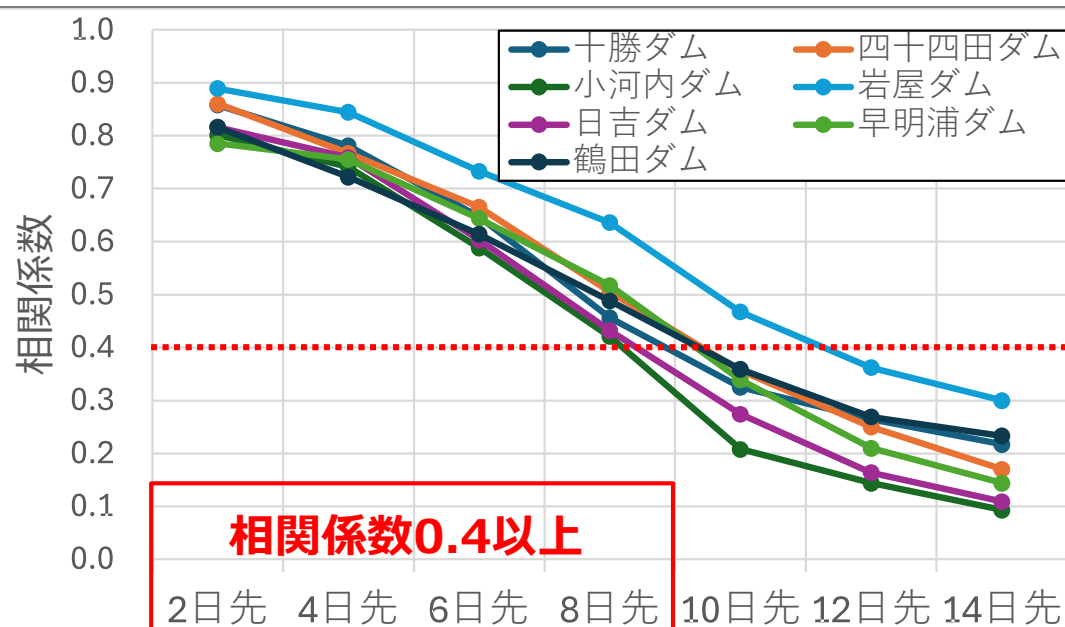
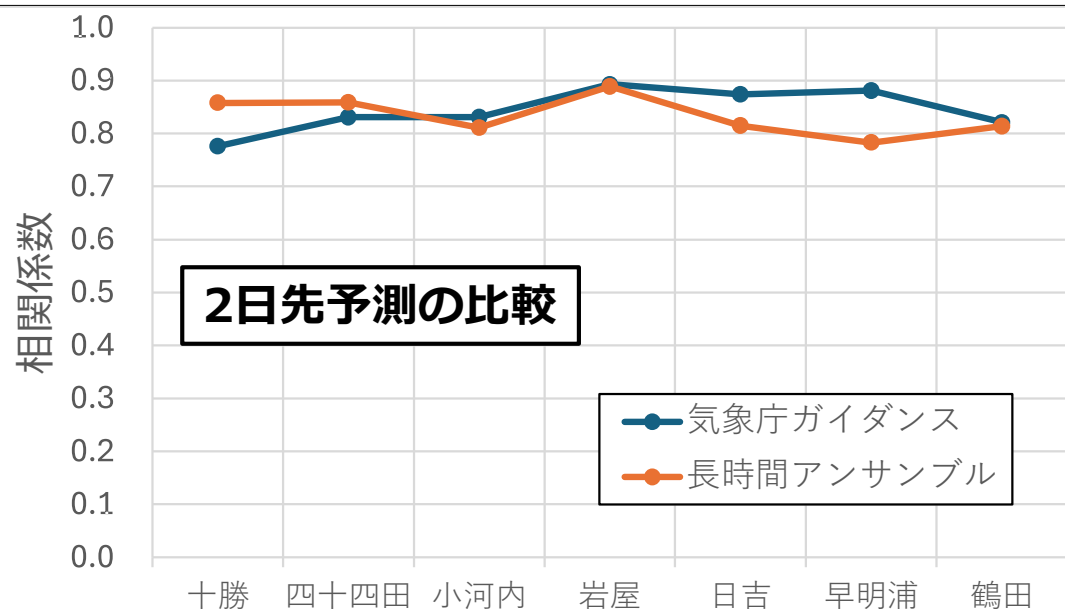
3～4日先予測



5～6日先予測



日本各地のダム流域における中位予測の予測精度



2017-2023年暖候期

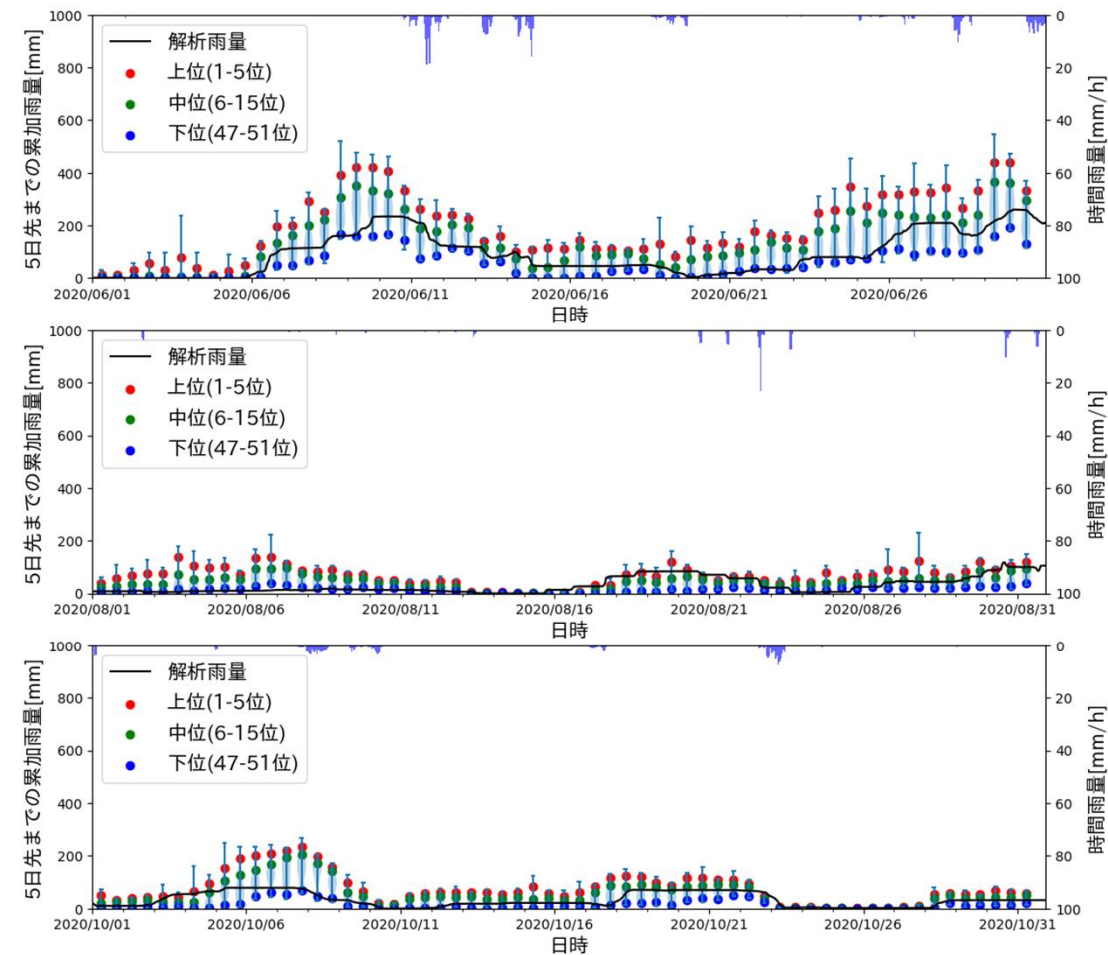
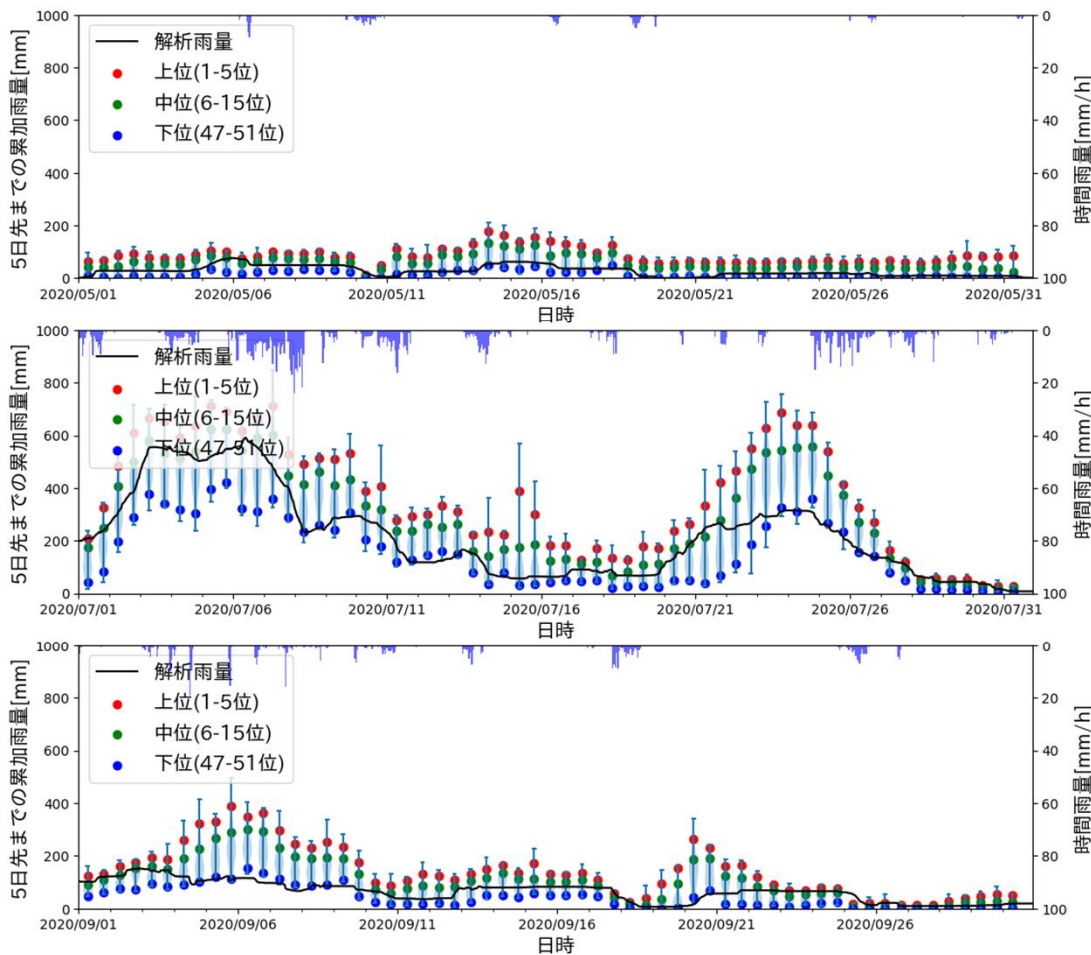


- ✓ 全国的にガイダンスと長時間アンサンブル中位の予測精度は概ね同程度
- ✓ 総合的にみて長時間アンサンブル予測の8日先（実質7日間）までは定量的な利用が可能と考えられる

※9時（21時）データは18時（6時）ごろ配信

予測精度の一例：5日先までの累積雨量

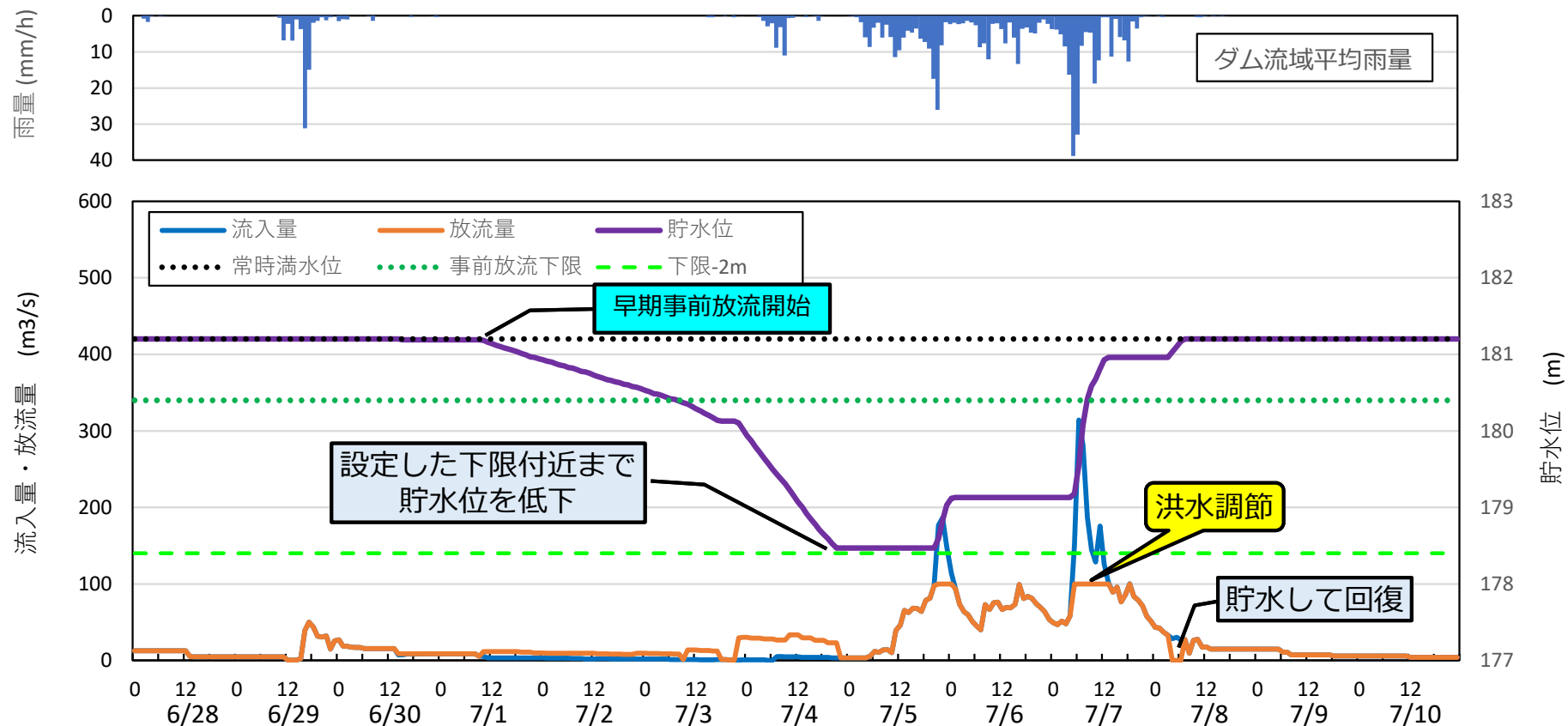
- ✓ アンサンブル予測について、5日先までの累積予測雨量をプロットし、実績(解析雨量)と比較した。
- ✓ 大部分が上位～下位の間に真値がある。下位予測は真値よりも常に小さいため、利水リスクを避けた事前放流の目安となり得る。



5 ダム高度運用シミュレーション事例

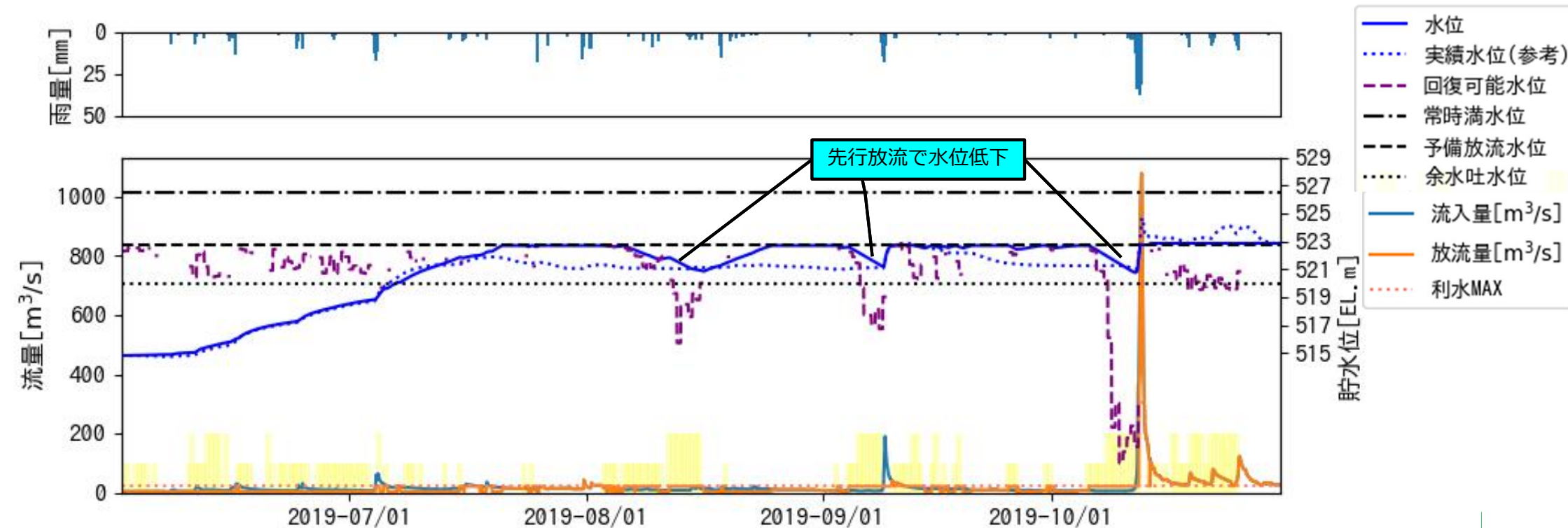
平成30年7月豪雨時の早期事前放流

- ✓ 洪水調節容量を有する都道府県管理の多目的ダムでのシミュレーション事例。
- ✓ 長時間アンサンブル予測は10日先までを利用し、**上位予測（目先5日間予測雨量の1～5位を平均）**の最大24時間雨量を計算して基準超過を判定。目標水位は**下位予測（47～51位を平均）**によるダム流入量を計算して決定。
- ✓ 降雨開始3日以上前から早期事前放流を開始し、ゆっくりと貯水位を低下させている。降雨開始前の放流量を小さく抑えられている。



利水専用ダムの貯水位運用

- ✓ 都道府県管理の利水専用ダムを対象としたシミュレーション事例。洪水調節容量が存在しないため、洪水時にゲート放流が発生する頻度が大きいことが悩み。
- ✓ ガイダンスに加え、アンサンプルの上位予測で先行放流の実施を決定、目標水位は下位予測で算定（7日先まで）。水位の低下は発電放流で実施。
- ✓ 出水の前に貯水位を下げしておくことで、ピークカットやゲート放流抑制を実現。
- ✓ 6年間の平均で、**ゲート放流は量的にも時間的にも3割削減が可能**。出水前に効率的に水位を下げることで、**期間中の平均水位を1.9m高くできる**ことが示された。



アンサンプル7日間で先行放流可能なら黄色背景、ガイダンス84時間でも可能なら長さ2倍

長時間アンサンブル降雨予測の活用方法

- ✓ 長時間アンサンブルは、1日2回更新（6時と18時ごろ）、15日先までの1時間雨量です。
- ✓ 全国5kmメッシュで、過去データは2017年以降のデータが提供可能です。
- ✓ WEBによる予測情報の提供が、最も利用されている形態となります。
- ✓ 独自のシステム（流出予測など）へのデータ連携も可能です。

