
SIP国家レジリエンスの強化

テーマVI.スーパー台風被害予測システムの開発



「統合ダム管理システム」

アンサンブル降雨予測情報を用いた
ダムの事前放流の高度化

(独法)水資源機構

京都大学

(一財)日本気象協会

サブテーマ3：統合ダム管理システムの研究開発の背景

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
- ・ 台風19号では **6ダムで異常洪水時防災操作（緊急放流）実施**

解決策

- ・ 『事前放流』による多目的ダムの利水容量や利水ダムの治水活用

残る課題

- ・ 利水者は貯水量を失う**利水リスク**のために協力が進まない
- ・ 現状では2日程度までの確定的な降雨予測であり『事前放流』には**情報不足**



**神奈川県
城山ダム**



- : 異常洪水時防災操作 実施ダム
- : 異常洪水時防災操作 未実施ダム

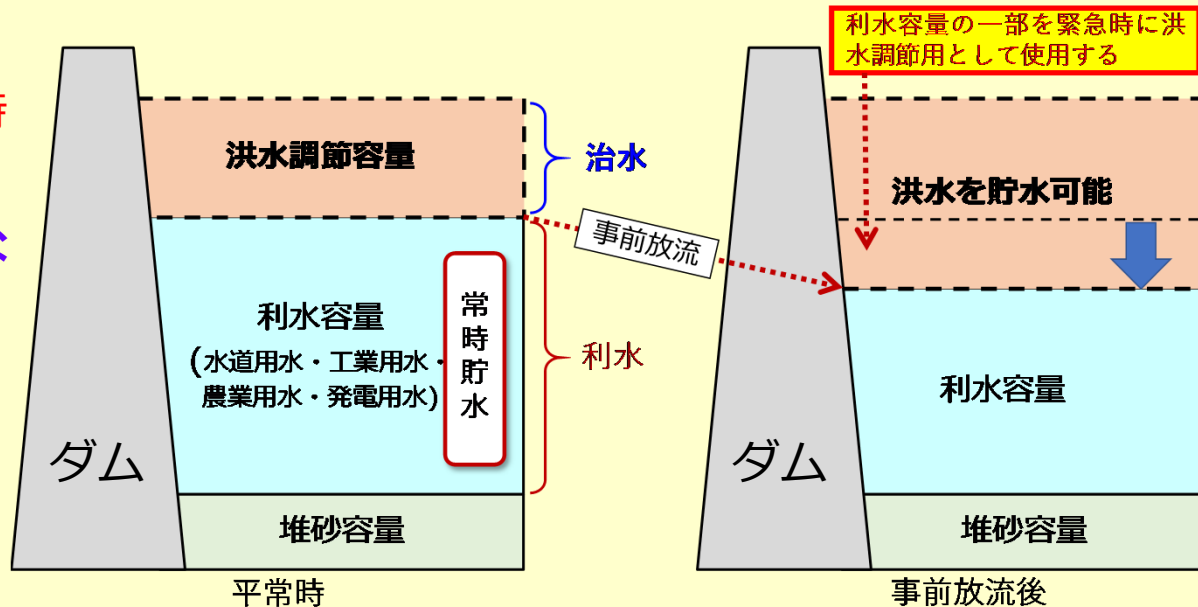
【台風19号における異常洪水時防災操作の状況】

統合ダム管理システムの研究開発の背景

『事前放流』の概念図

- 洪水を貯める部分を一時的に拡張する
- 予想に反して雨が降らない場合、水不足に陥る

予測精度に課題

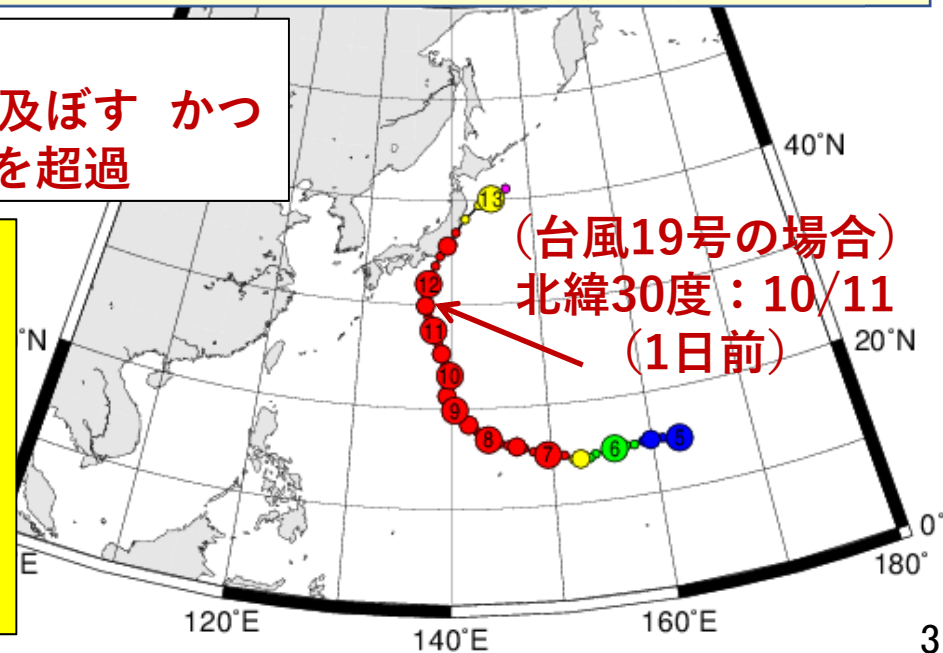


〔現状の事前放流開始基準の例〕

- ・ 台風が北緯30度を越えダム流域に影響を及ぼす かつ
- 県北部で24時間予測雨量が○○mmを超過

【問題点】

- ・ 台風が接近しないと判断できない
- ・ 判断情報が定量的ではない
- ・ 利用している降雨予測（MSM）は、3時間毎の更新時に予測雨量が大きく変動する場合があることや、事前放流が可能なのは実質半日程度と短いことが課題



事前放流の確実な実施に向けた必要な「コア技術」の開発

- 大規模洪水時に**流域の既設ダム(群)の有限な貯水容量を最大限活用**する仕組みが必要。
- そのため、ダム操作に使用する「**長時間・高解像度・高信頼性の降雨予測**」と、これを活用する「**最適なダム事前放流技術**」を開発。

事前放流ができていない現状

2～3日先までの
確定的（1個） } 降雨予測



洪水全体を捉えたダム流入量予測
が不可能な現実
(ダム操作予測ができない)

予測技術と
ダム操作の
限界



事前放流の確実な実施に向けた対応

①長時間アンサンブル降雨予測

15日先までの
アンサンブル（51個） } 降雨予測



確率的な幅をもった、洪水全体
を捉えたダム流入量予測の実現
(ダム操作予測が可能)



②ダム最適事前放流予測モデル

貯水量が回復しないリスクを考慮し
たダムの事前放流最適化技術を構築

予測技術の改善と
ダム操作の最適化

コア技術

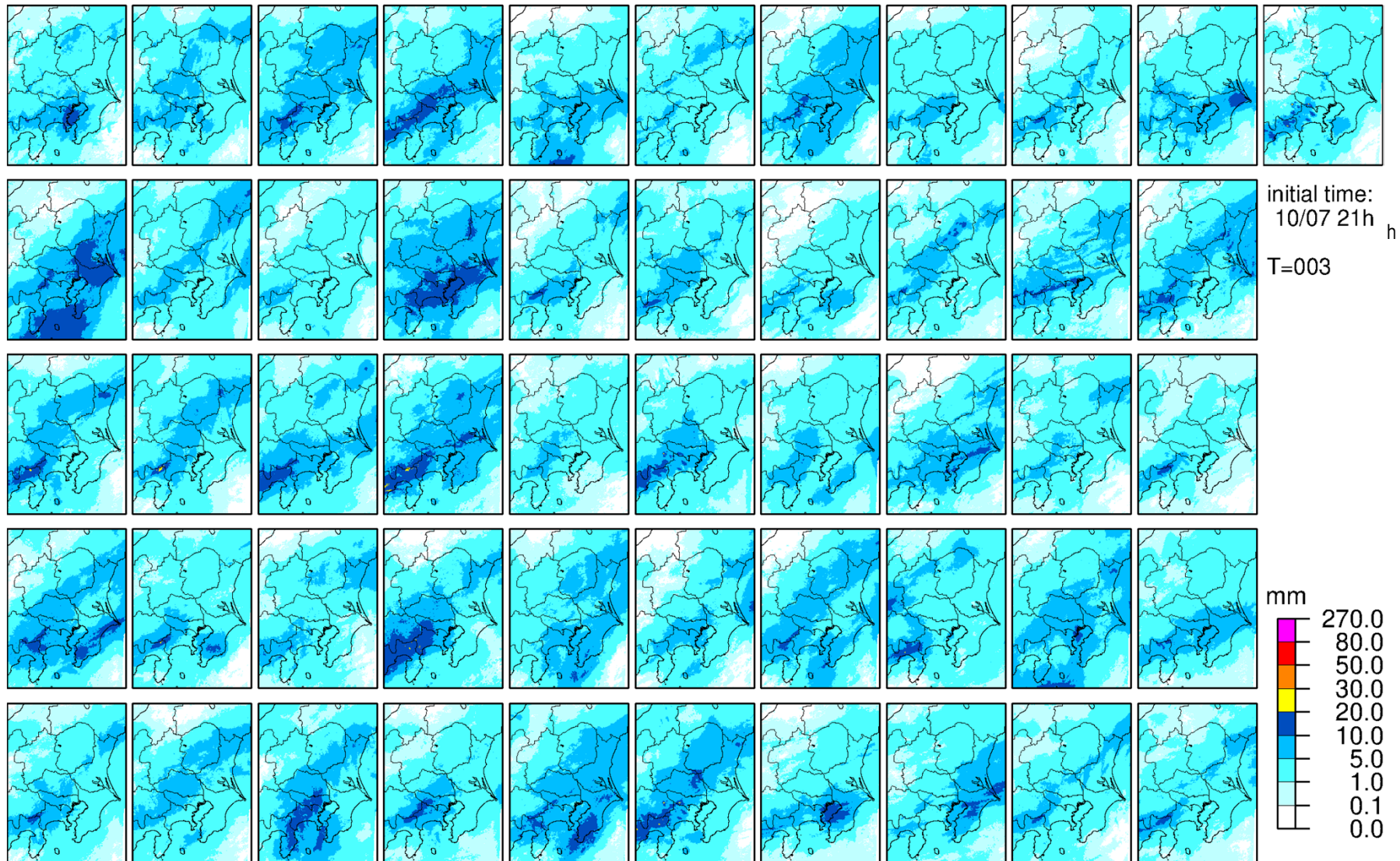
洪水において事前放流によるダムの
利水容量の活用は進まない

大規模洪水において事前放流によるダムの
利水容量の最大限活用が実現

長時間アンサンブル降雨予測の事例（2019台風19号）

台風19号上陸前（10/7 21時初期値）の関東地方のアンサンブル予測 5 1メンバー

資料：日本気象協会



長時間アンサンブル降雨予測

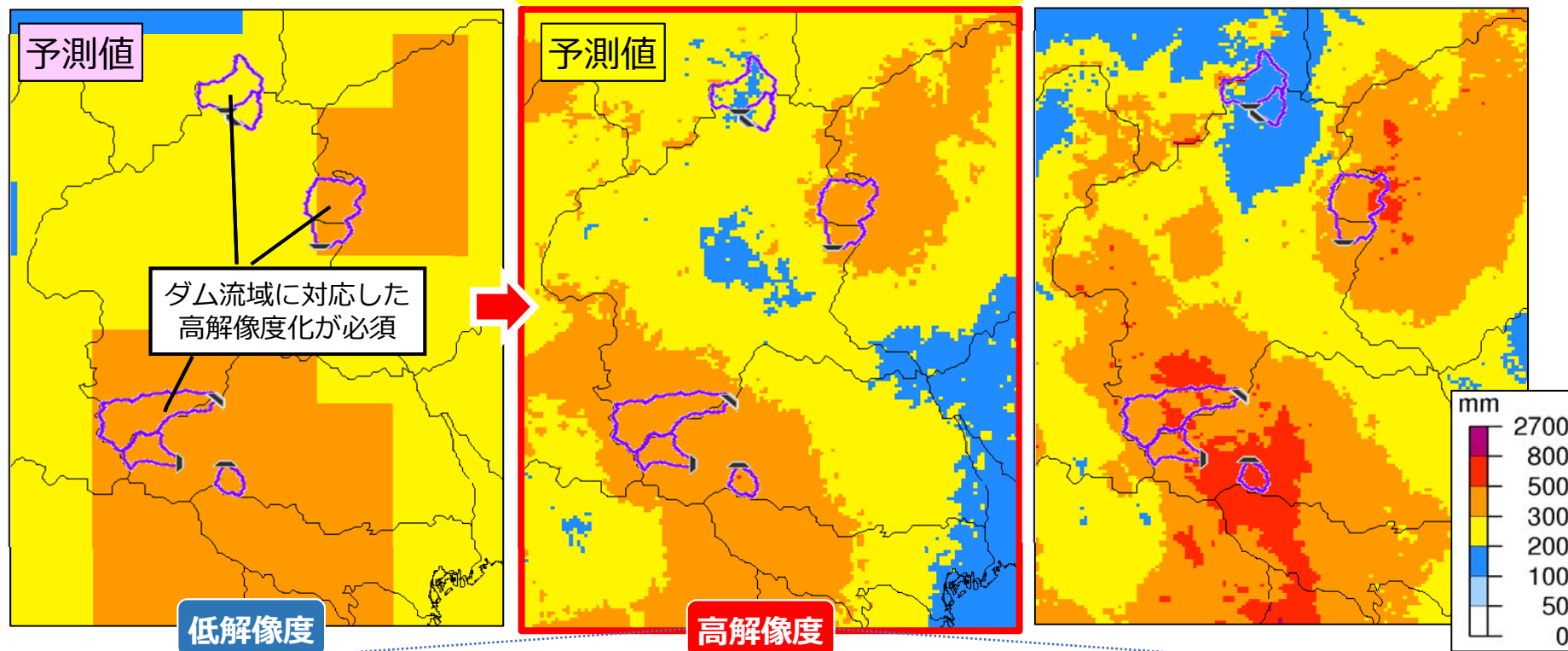
流域平均雨量を精度よく表すための
時空間分解能の向上 → **15日先までの予測データを1時間雨量に変換**
1km格子に高解像度化 (ダウンスケーリング)

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を用いた高解像度化 (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・51メンバーのECMWF*データを、1km格子・1時間雨量・51メンバーに変換

スパコン不要で
高速計算可能

複数手法の組み合
わせで高精度化

気象予測が外れる原因

- 数値予報モデルの不完全性
- 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）



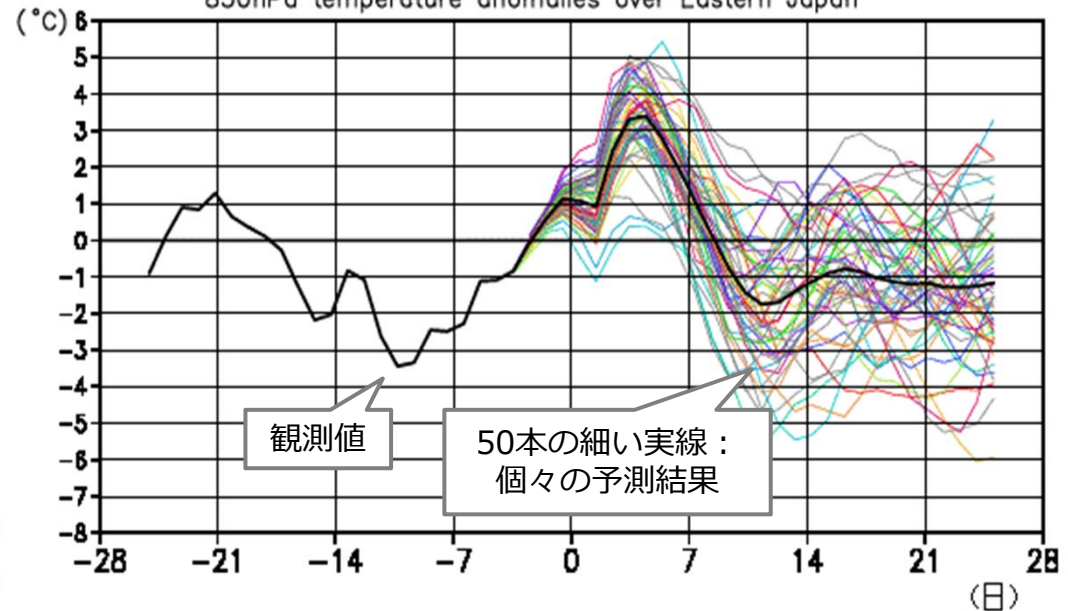
アンサンブル（集団）予測

- 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
→ **最も起こりやすい現象**
や現象の起きる確度を予測

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



※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	ECMWF*1 (15日予測)	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	全球 約25km (0.25°)	全球 約110km 日本域 約60km	日本域 約5km
予報時間	15日先	11日先	39時間先
出力時間間隔	1時間～6時間※2	6時間	3時間
更新間隔	2回/日	2回/日	4回/日
メンバー数※3	51メンバー	27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		平成31年度運用開始 格子解像度や計算手法は MSMと同じ仕様

※1：ヨーロッパ中期予報センター

※2：93時間先以降3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
- ✓ ECMWFのデータ要素：
降水量、降雪量（水当量）、海面更正気圧、地上気温、地上風速（U,V）など

ダム最適事前放流予測モデル

■ アンサンブル降雨予測から対象ダムの治水・利水リスクの算定イメージ

長時間予測により、早期から放流計画策定や関係者調整可能

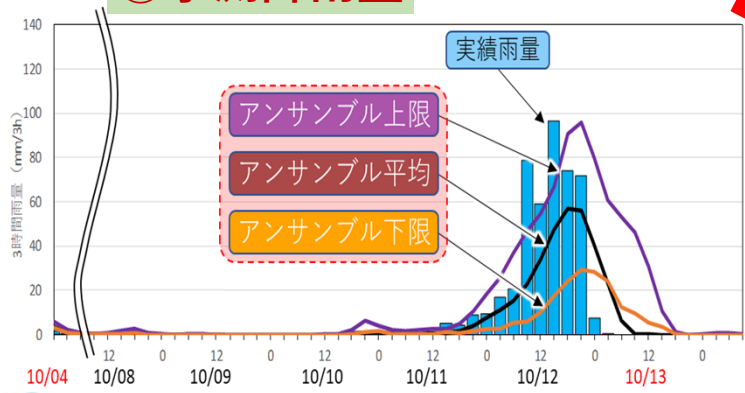
台風到達の15日前から、予測更新毎に、最適なダム事前放流計画を提示

いつから どのくらいの放流量を いつまで

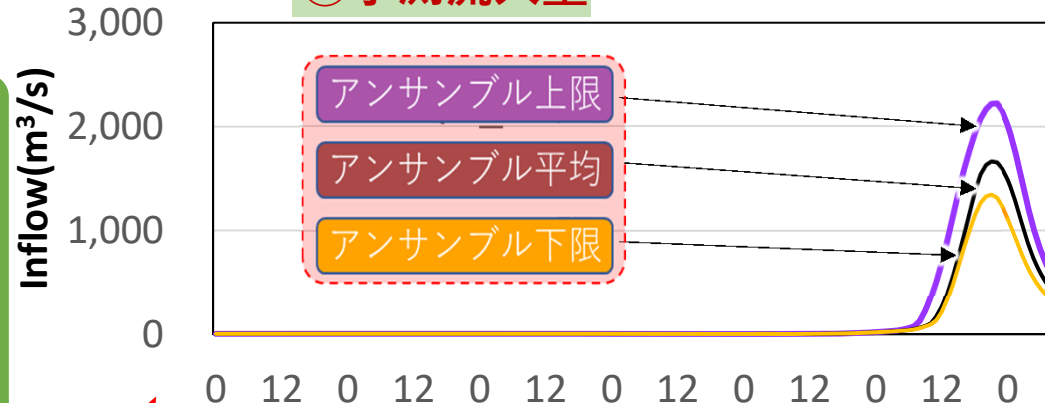
逐次最適化により、途中で変更・中断・中止することも可能

★★利水リスクを増大させず、治水効果を最大化★★

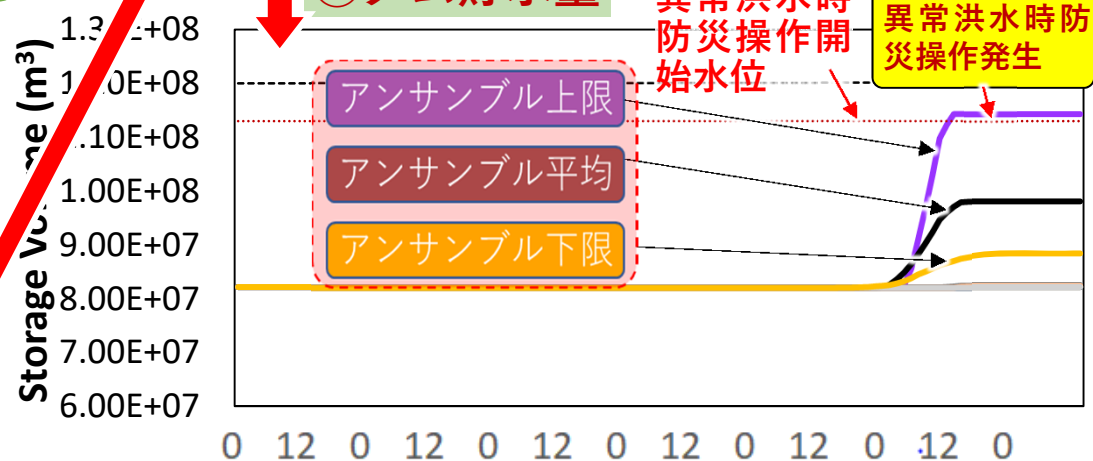
① 予測降雨量



② 予測流入量



③ ダム貯水量



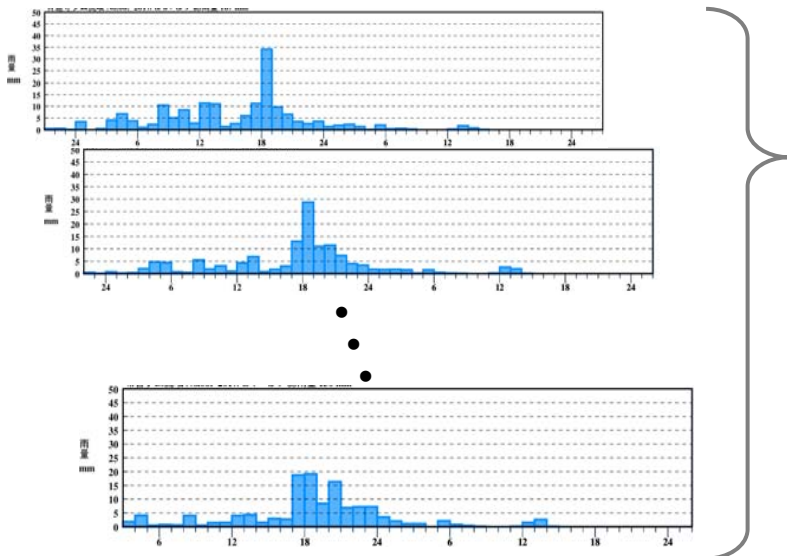
上限：異常洪水防災操作の可能性あり ⇒ 事前放流必要

下限：貯水量の回復可能量把握 ⇒ この分を事前放流可能

最適な事前放流計画を作成

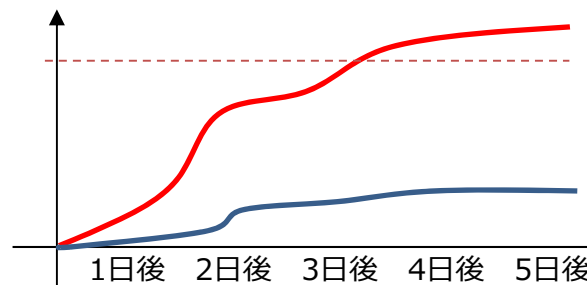
アンサンブル予測を用いた事前放流

5日先までのアンサンブル予測



- ・上位の予測雨量を用いて事前放流を判断（見逃しの防止）
- ・下位の予測雨量を用いて事前放流の量を判断（空振りの防止）

降り始めからの
累積雨量



上位の予測

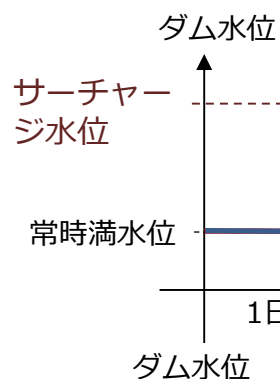
ダム洪水調節能力の限界付近

下位の予測



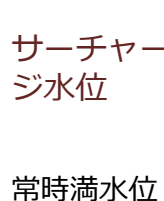
ダムの洪水調節容量を超える危険性

上限の予測



下限の予測

ダム水位



上限の予測

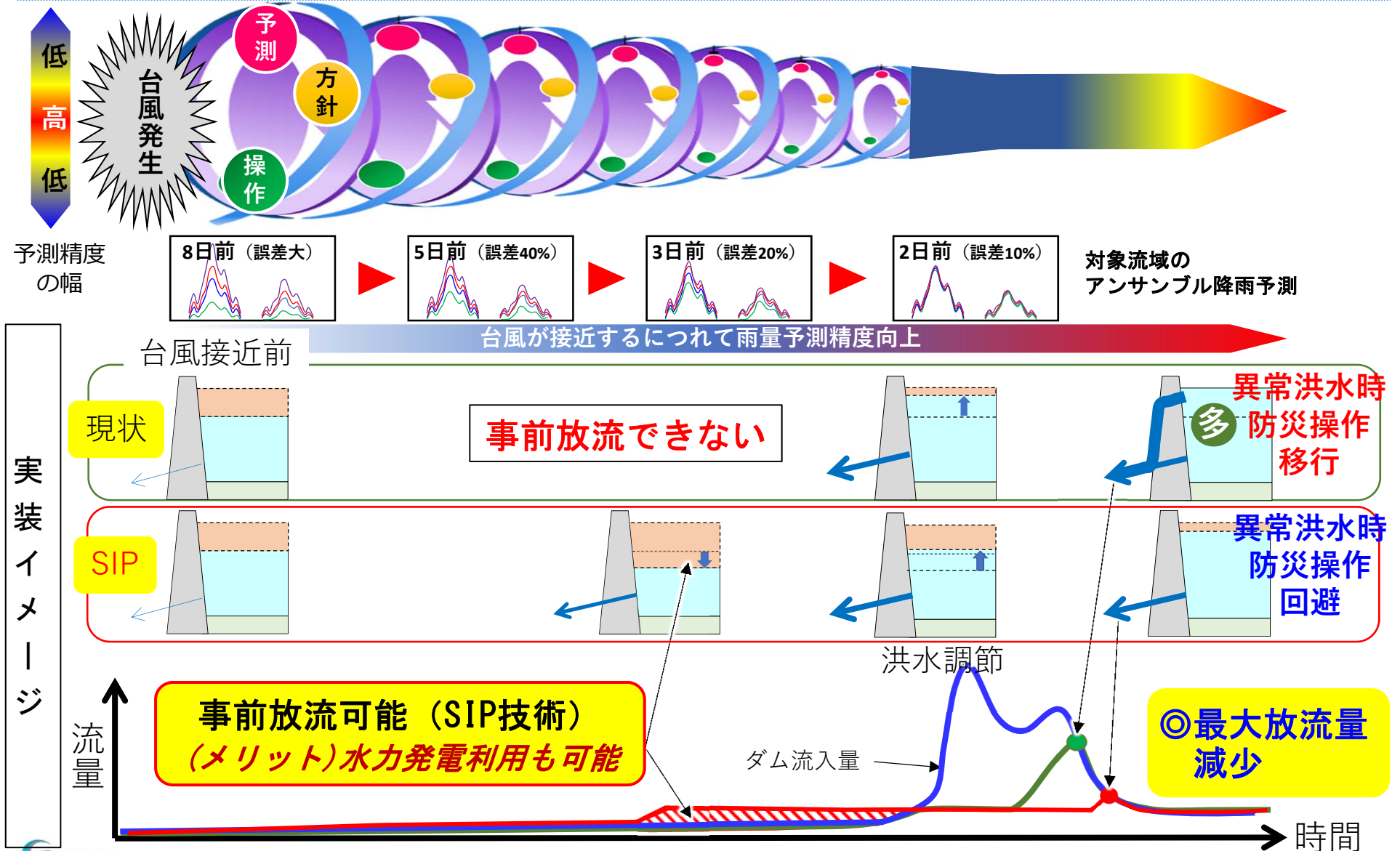
下限の予測

洪水量到達 = ダムが貯水を開始する時点

下限予測で回復可能な量が事前放流可能量

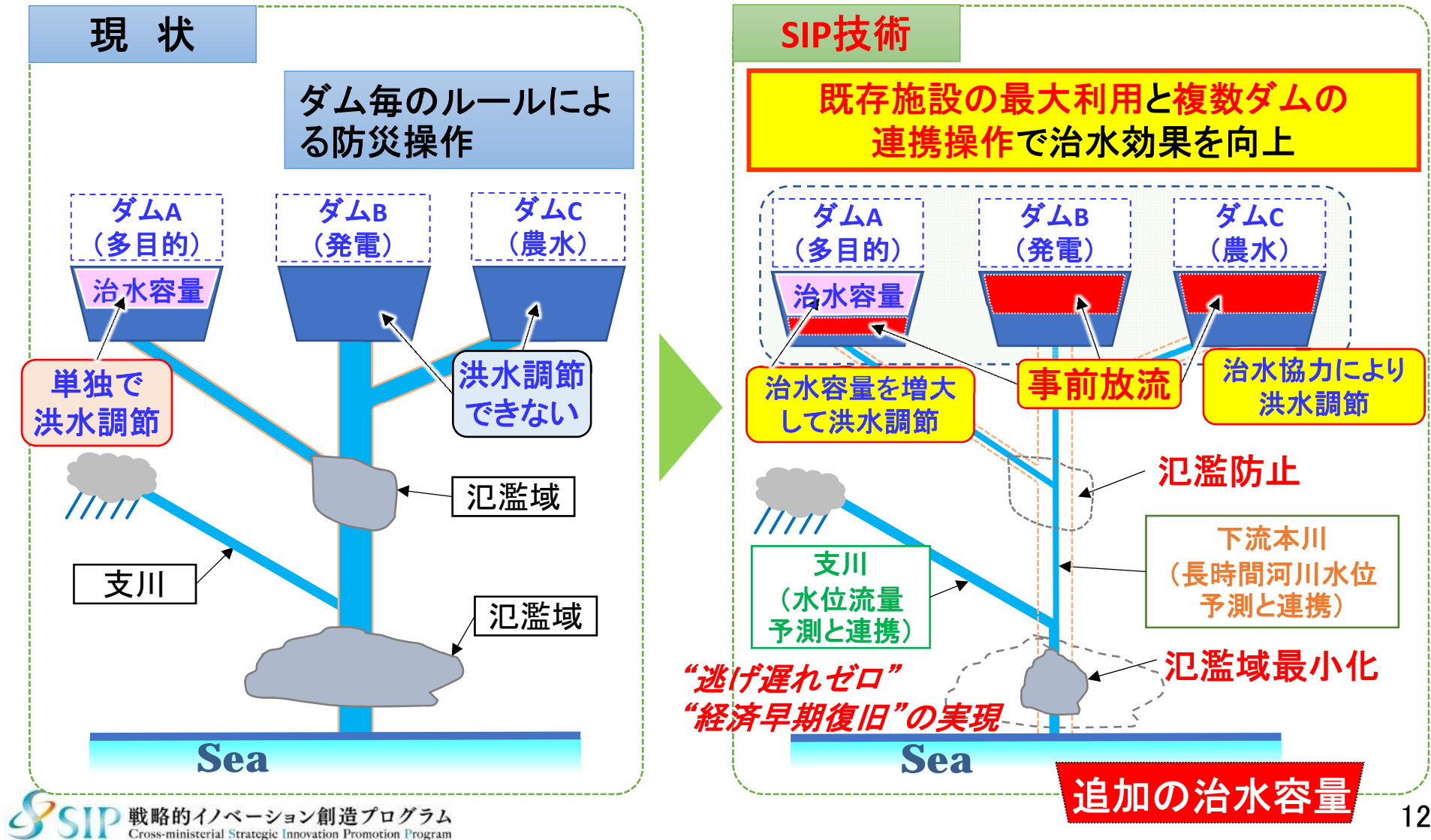
ダム最適事前放流予測モデル

➤ 時々刻々と変化する降雨予測情報に基づき、**ダム事前放流操作を逐次最適化**



統合ダム管理システムの実装イメージ

- 「長時間・高解像度・高信頼性の降雨予測」と「最適なダム事前放流技術」を開発
- さらに、流域内の複数ダム(利水ダムを含む)の連携操作に展開



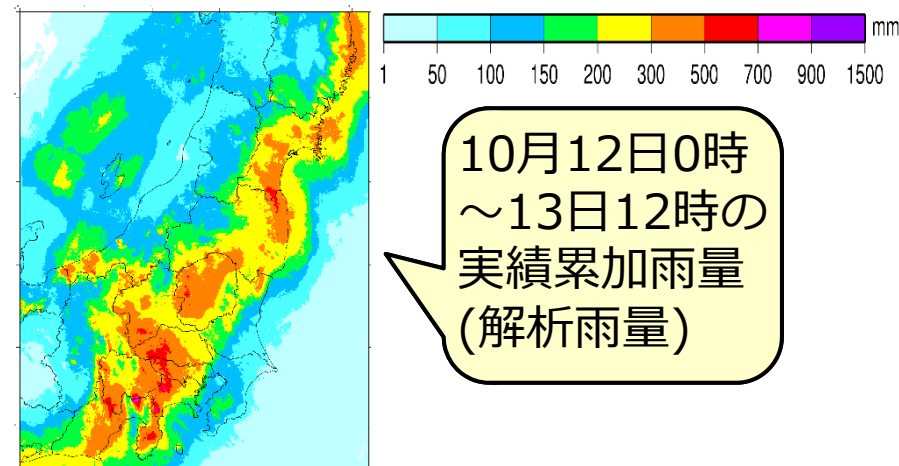
アンサンブル予報を活用した確率予測 (ECMWF,51メンバ)

資料: 日本気象協会

2019年台風第19号: 10/12 7時頃上陸

台風経路3シナリオに対応した予測雨量
(上段: 平均予測、下段: 最大予測)

13日21時までの予測累加量 mm



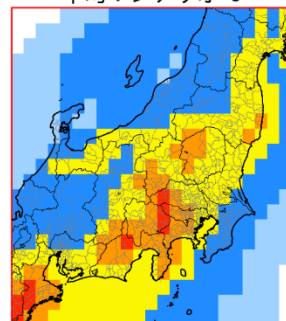
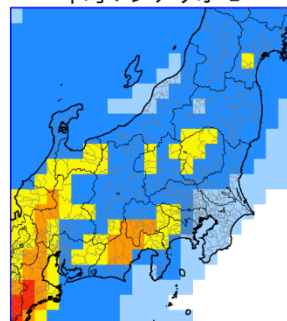
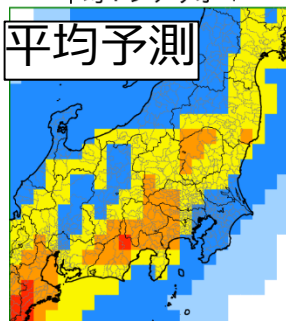
最小予測

2019/10/07 21:00から144時間先までの累積雨量: 台風第19号

平均: シナリオ 1

平均: シナリオ 2

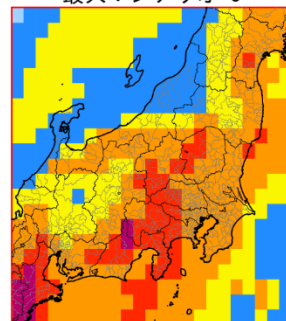
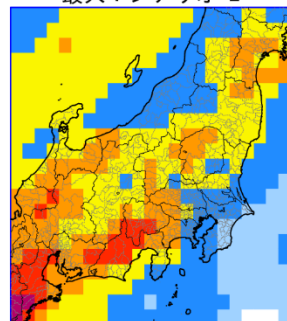
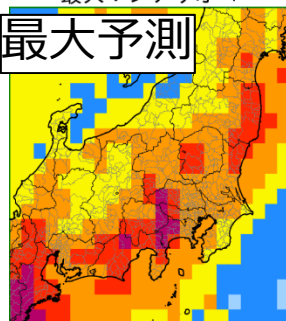
平均: シナリオ 3



最大: シナリオ 1

最大: シナリオ 2

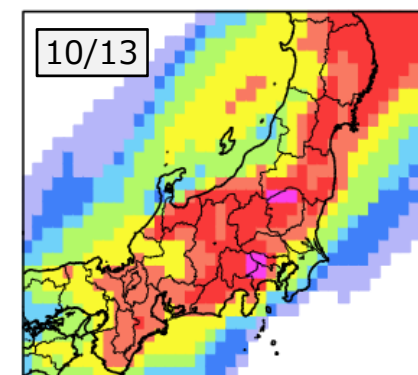
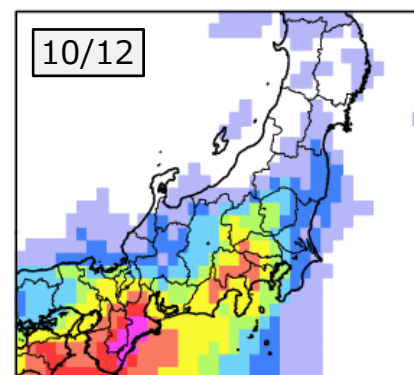
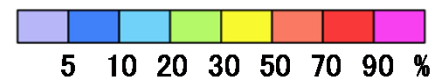
最大: シナリオ 3



10/7 上陸5日前時点の予測

■ 大雨となる確率を分布図で提供

日雨量100mm以上の確率



10/7 上陸5日前時点の予測

SIP技術の概要

- 大規模洪水時に流域の既設ダム(群)の有限な貯水容量を最大限活用する仕組みが必要
- そのため、ダム操作に使用する「長時間・高解像度・高信頼性の降雨予測」と、これを活用する「最適なダム事前放流技術」を開発
 - ECMWF(欧州中期予報センター)の配信する51メンバーのアンサンブル降雨予測データ(25kmメッシュ・3時間雨量)を、AIを用いて1kmメッシュ・1時間雨量に変換
 - 台風到達の15日前から予測更新毎に最適なダム事前放流計画を提示
 - 逐次最適化により途中で変更・中断・中止することも可能
- 降雨量の上限・平均・下限が時間経過ごとに更新されて提供
 - これを用いて利水リスクを増大させずに治水効果を最大化
 - 水位低下を水力発電設備で実施すれば、放流によるエネルギーロスも防止可能
- さらに、このシステムを流域内の複数のダム群や利水ダムにも拡張して「ダム群の連携操作」を実現し、流域全体の安全度の向上が可能