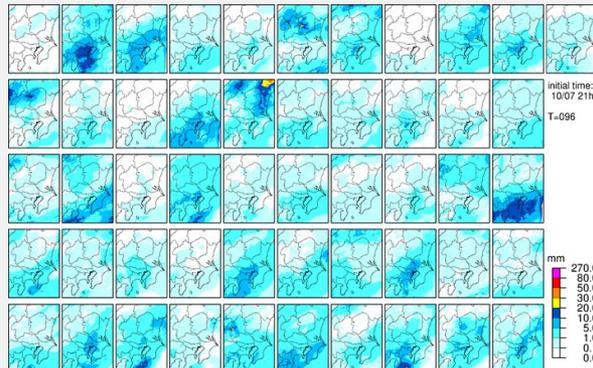


## 長時間アンサンブル降雨予測で見える世界 —ダム操作をどう変えるか？

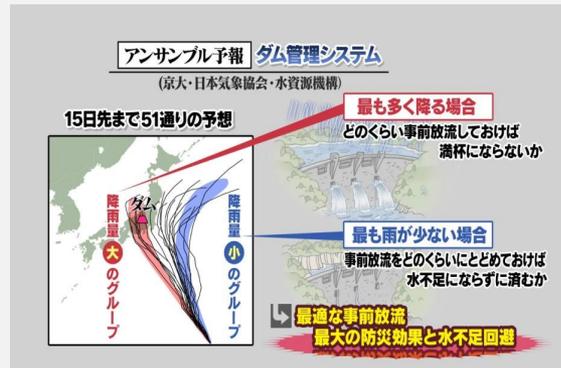
京都大学防災研究所 角 哲也

- SIP「国家レジリエンス(防災・減災)の強化  
テーマVI:スーパー台風被害予測システムの開発  
(河川・ダム)の長時間洪水予測・防災支援システム)
- ダム操作のパラダイムシフト  
(治水・利水のWIN-WINに向けて)
- 今後に向けて/JAPIC提言を踏まえて

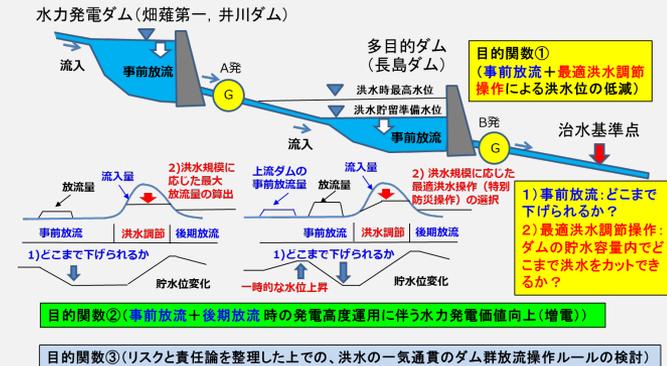
### 長時間アンサンブル降雨予測



### NHK 時論公論



### 治水・利水のWIN-WIN



- 長時間アンサンブル予測を提供することで、ダムの事前放流を早期に開始
- 利水効果を高め（無効放流の低減＝発電効率化）、治水効果を最大化

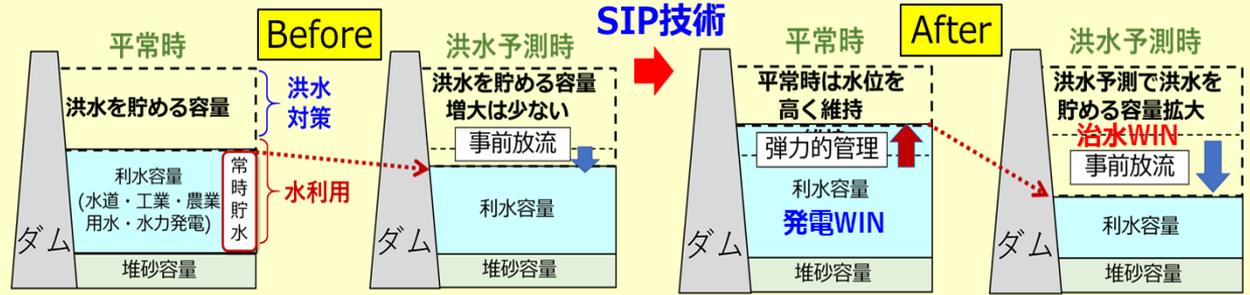
ダムの目的は「治水(洪水対策)」と「利水(水利用)」

**現状** 事前放流は限定的。1～3日程度  
 (R2開始の事前放流ガイドライン)

GSM(84時間)は予測不安定，MSM(39時間)は時間不足

ECMWF(51メンバー・15日先)活用

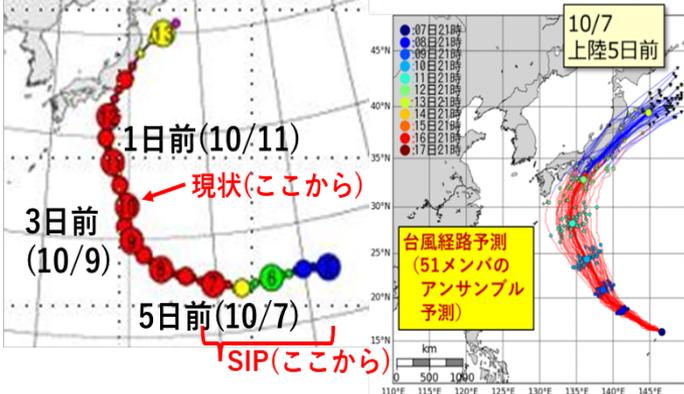
**SIP** 数日～1週間程度前からの事前放流を実現し、  
 洪水貯留機能の拡大(治水WIN)と  
 水力発電増大(発電WIN)を実現



- 全国の新成羽川ダム（中国電力）、河本ダム（岡山県）、一庫ダム・木津川ダム群（水資源機構）など、50ダム以上にプロトタイプモデルを提供
- 木津川ダム・荒川ダム群では、ダム群連携最適操作シミュレータ開発(量子アニーリング)
- R1東日本台風を例に利根川上流ダムで事前放流効果を検証（ダム工学会論文賞）
- 発電ダムの1週間単位の最適発電運用操作にも活用可能（3電力会社と連携）

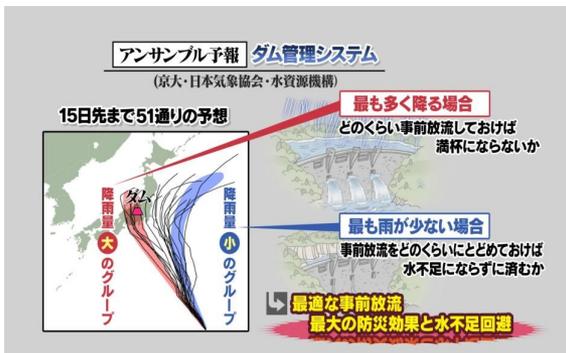
2019年台風19号

2019年台風19号時の長時間アンサンブル予測



4つのコア技術

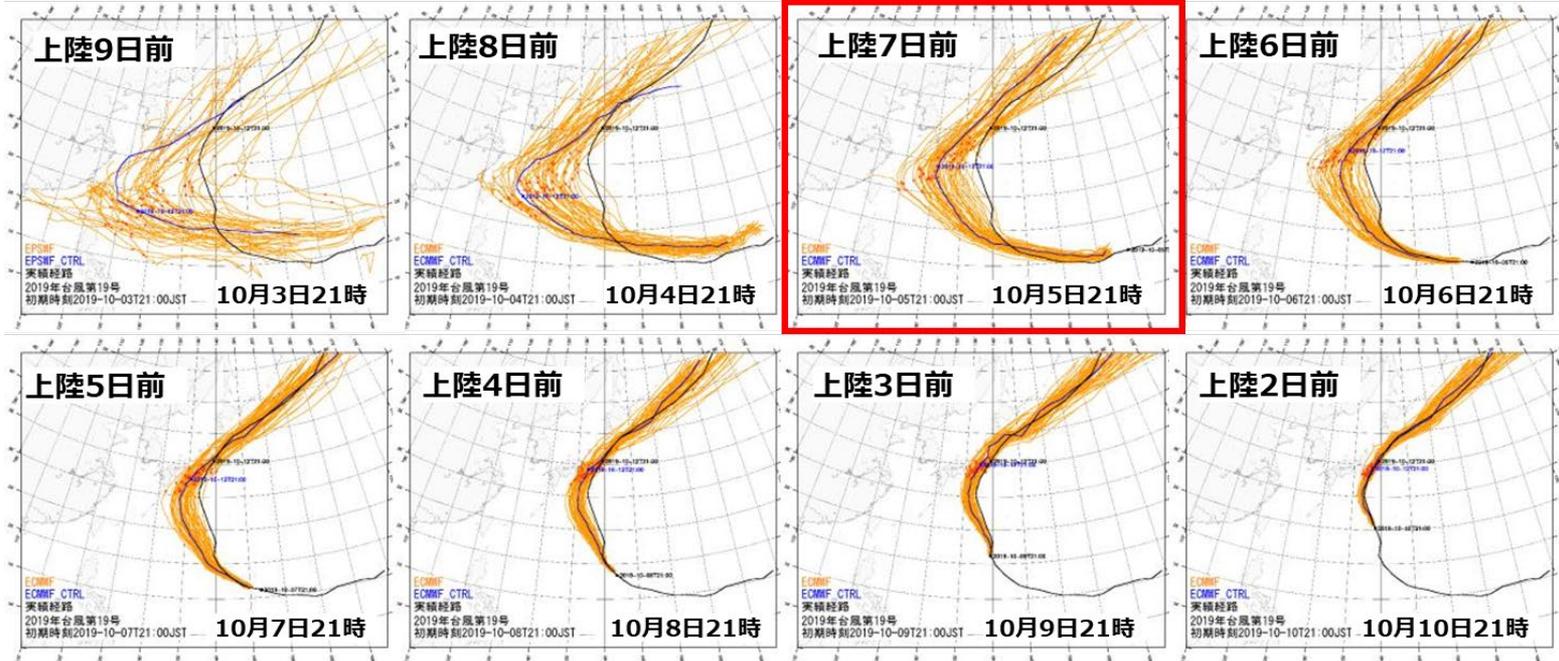
- ① 早期の事前放流開始  
 コア技術：アンサンブル気象予測を利用した長時間リードタイムの確保 (1-3日前 → 5-7日前)
- ② ダム流域への正確な流入量予測  
 コア技術：降雨予測の高解像度化 (20km → 1km)
- ③ 発電量の増大かつ洪水貯留能力の最大化  
 コア技術：アンサンブル流入量予測による予測幅の獲得 (1本の予測 → 51本の予測(上位/下位予測))
- ④ ダム群最適操作による治水効果の拡大  
 コア技術：ダム群連携最適操作シミュレータ



# アンサンブル予報による台風の進路予報例

## ● 欧州中期予報センター（ECMWF）による2019年台風第19号に対する進路予報

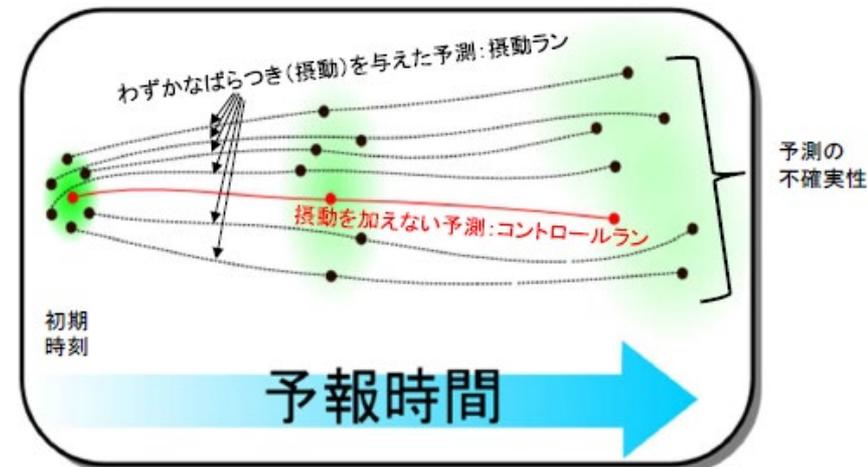
出典：ECMWF全球アンサンブル予報GPV



## アンサンブル降雨予測

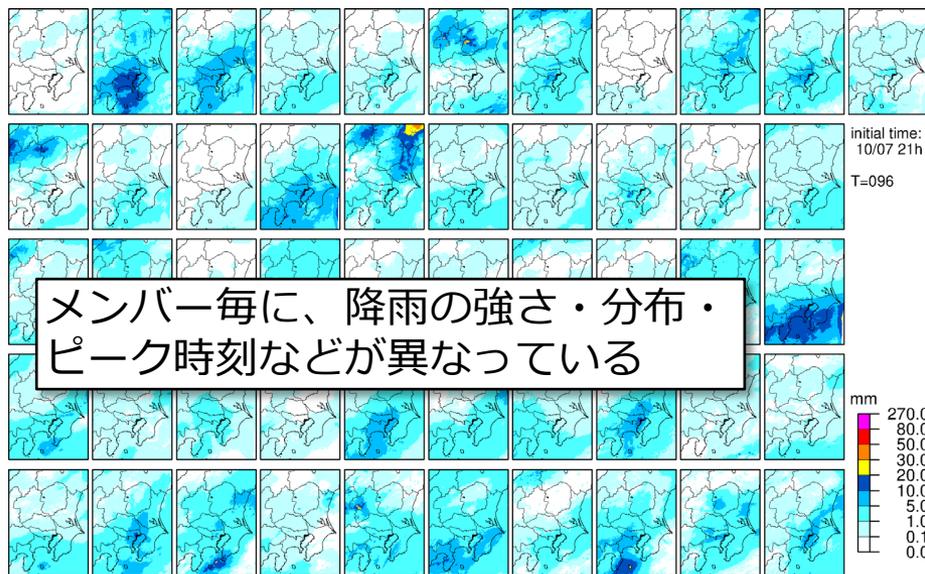
- 複数の予報値を得ることで最悪のケースや予測の不確実性等を考慮できる
- 事前放流への応用が期待されている

(出典：気象庁予報部数値予報課)



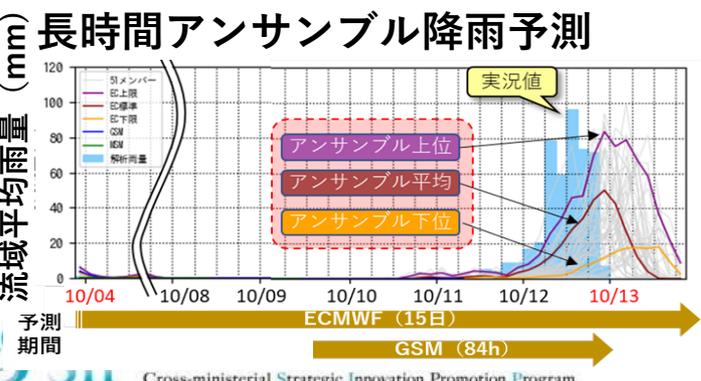
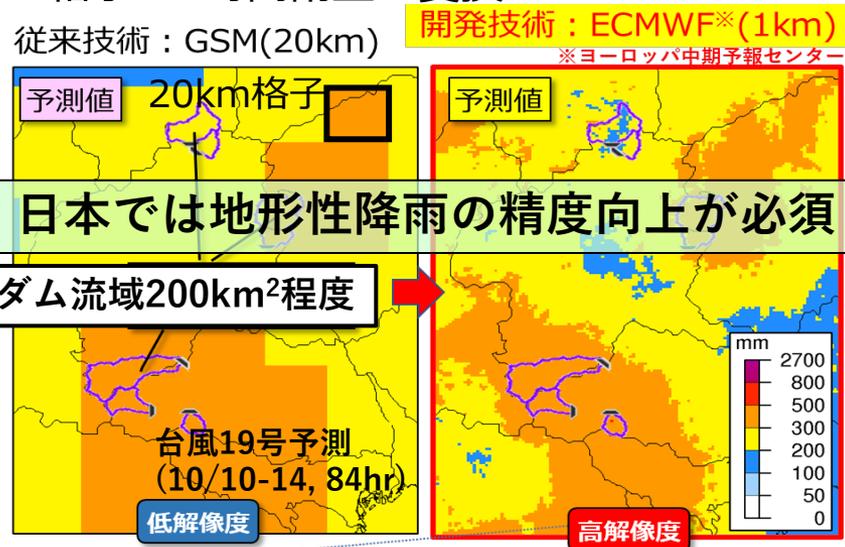
**① 早期の事前放流開始**  
 コア技術：アンサンブル気象予測を利用した長時間リードタイムの確保 (1-3日前 → 5-7日前)

**アンサンブル予報** ECMWF (欧州中期予報センター) の51メンバー・15日先まで

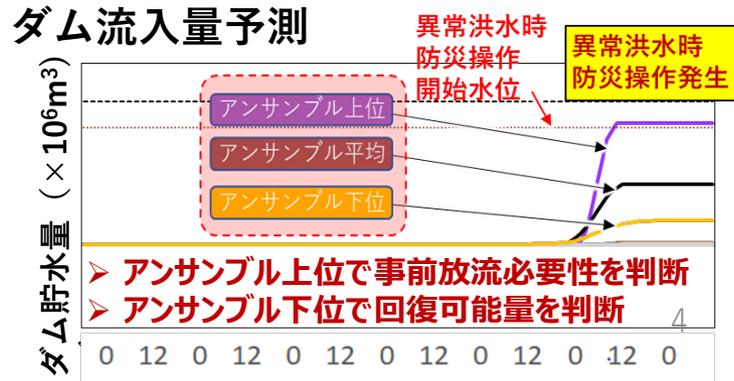


**② ダム流域への正確な流入量予測**  
 コア技術：降雨予測の高解像度化 (20km → 1km)

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10年分の解析雨量を学習  
 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



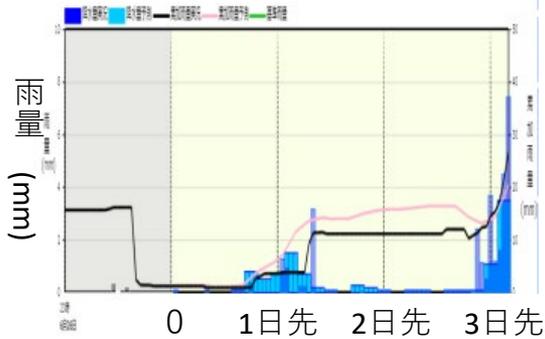
降雨-流出モデルを用いて、ダム流入量を予測



▶ アンサンブル上位で事前放流必要性を判断  
 ▶ アンサンブル下位で回復可能量を判断

# 長時間アンサンブル予測の有効性

## GSMガイドンス予測

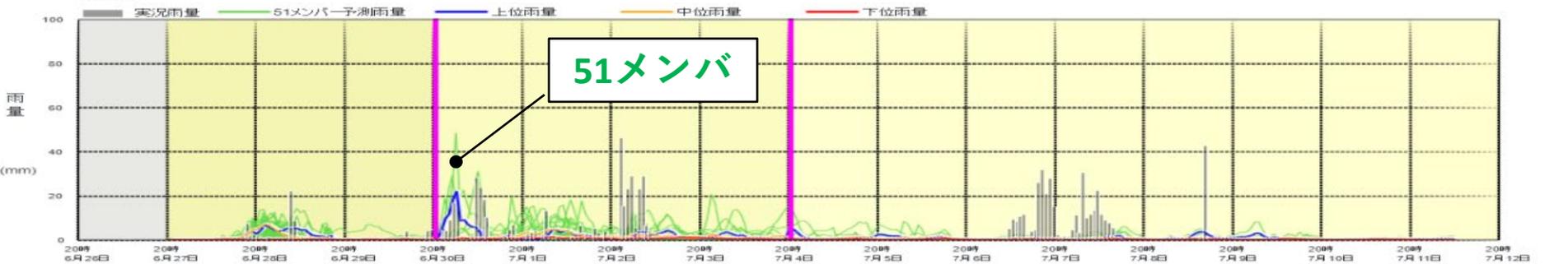
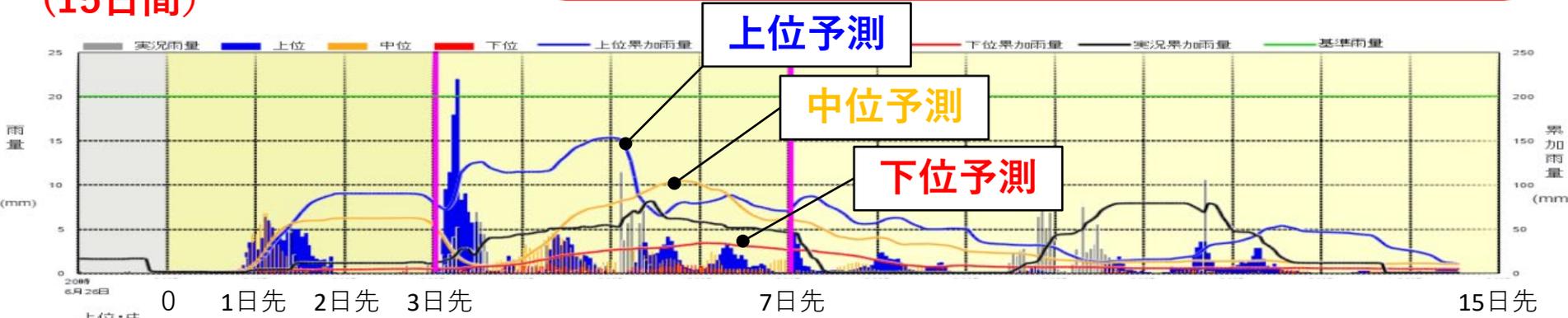


- ✓予測は2日～3日先まで
- ✓予測値は1つ
- ✓予測更新時に大きく変動
- ✓降雨の規模感（総降雨量、ダムへの総流入量）が把握しにくい

**ダム管理者の安心感アップ！**

- ✓ 予測は15日先まで
- ✓ 予測は51個（貯水量が回復しないリスク・洪水リスクを考慮）
- ✓ 予測更新時に変動が少ない
- ✓ 長時間アンサンブル予測により、洪水の「その先」が見える  
= ダムへの総流入量が把握可能（次の洪水への備えも可能）
- ✓ 事前放流の必要性を判断し、早期開始を可能に！

## 長時間アンサンブル予測 (15日間)



## GSMガイダンス予測

## 長時間アンサンブル予測(15日間)

10/9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28

10月9日  
(14日前)

14日前から降雨を  
確認 (準備開始)

洪水はまだ見えない

10月14日  
(9日前)

9日前から降雨  
予測が増加

10月18日  
(5日前)

5日前には、  
全貌が見えた

After

10月20日  
(3日前)

タイミング、流入  
量ともに、ほぼ正  
確に予測

降雨が見える  
のはこのタイ  
ミングから

Before

10月22日  
(1日前)

台風後のダム  
の運用も効率化

## 木津川 概略【比奈知ダム】

### 比奈知ダム 降雨流出予測

4～7日先の間の最大48時間降雨が200mmを超える確率はほぼ50%。  
420mmを超える可能性も。

**10月18日（5日前）**

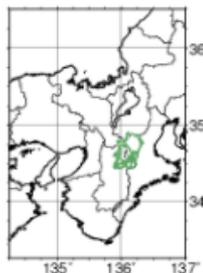
比奈知ダム		～3日先					4日～7日先			8日先～		
		アンサンブル予測			ガイダンス予測	予測	アンサンブル予測			アンサンブル予測		
		上位	中位	下位			上位	中位	下位	上位	中位	下位
予測発表時刻		10月18日08時			10月18日08時	10月18日08時	10月18日08時			10月18日08時		
雨量	最大48時間降雨	73.6mm	46.9mm	19.0mm	67.5mm	55.7mm	351.0mm	236.8mm	109.9mm	91.7mm	126.1mm	98.3mm
	200mm/48h超過	0 (0%)			0	0	25 (49%)			9 (18%)		
	420mm/48h超過	0 (0%)			0	0	2 (4%)			0 (0%)		
流入量	最大流入量	25.2m <sup>3</sup> /s	13.0m <sup>3</sup> /s	5.7m <sup>3</sup> /s	22.2m <sup>3</sup> /s	19.1m <sup>3</sup> /s	389.2m <sup>3</sup> /s	43.8m <sup>3</sup> /s	21.6m <sup>3</sup> /s	24.1m <sup>3</sup> /s	14.7m <sup>3</sup> /s	12.1m <sup>3</sup> /s
	30m <sup>3</sup> /s超過	2 (4%)			0	0	48 (94%)			3 (6%)		
	300m <sup>3</sup> /s超過	0 (0%)			0	0	10 (20%)			0 (0%)		
下流	下名張 7.4m超過	0 (0%)			0	0	13 (25%)			13 (25%)		
貯水位	305.0m超過(ただし書き開始)	0 (0%)			0	0	0 (0%)			0 (0%)		
	回復量(制限水位-0.2m)	44 (86%)			1	0	51 (100%)			35 (69%)		
	回復量(制限水位-0.5m)	39 (76%)			1	0	51 (100%)			17 (33%)		
	回復量(制限水位-0.8m)	30 (59%)			1	0	51 (100%)			9 (18%)		
	回復量(洪水調節容量)	0 (0%)			0	0	11 (22%)			0 (0%)		

4～7日先の間の最大流入量が300m<sup>3</sup>/sを超える確率はほぼ20%。

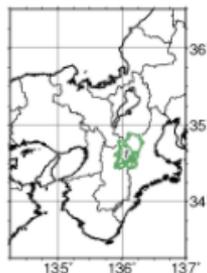
制限水位より0.8m低下させても100%回復可能見込み。

## 日降雨量100mm以上となる確率

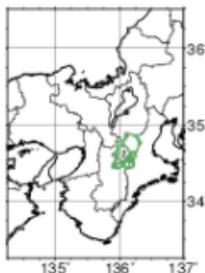
2022/04/08 (1日先)



2022/04/09 (2日先)



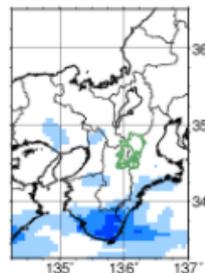
2022/04/10 (3日先)



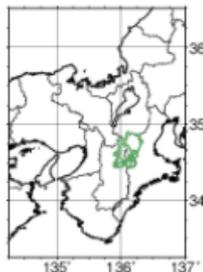
2022/04/11 (4日先)



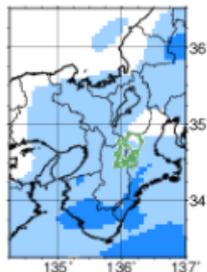
2022/04/12 (5日先)



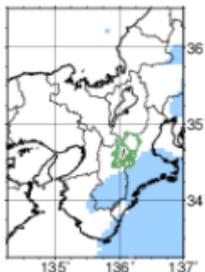
2022/04/13 (6日先)



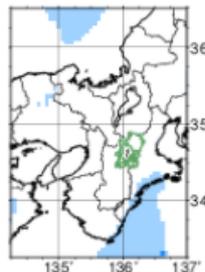
2022/04/14 (7日先)



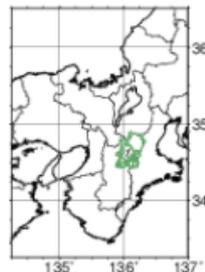
2022/04/15 (8日先)



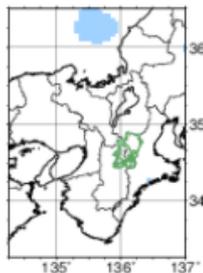
2022/04/16 (9日先)



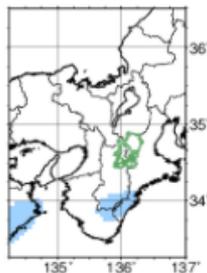
2022/04/17 (10日先)



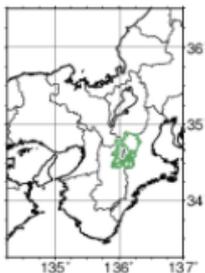
2022/04/18 (11日先)



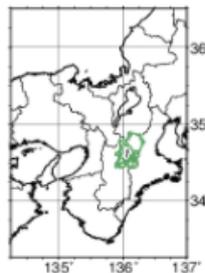
2022/04/19 (12日先)



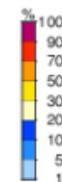
2022/04/20 (13日先)



2022/04/21 (14日先)

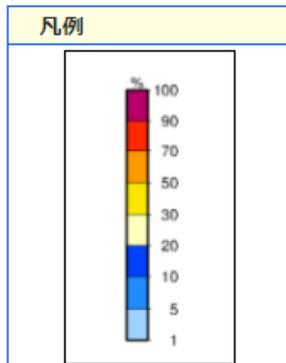


発表時刻: 04月08日08時  
 (予測開始時刻: 04月07日21時)  
 基準雨量: 100 mm



更新 印刷

予測発表日時  
 2022年04月08日08時



画面の説明

- 予測は8時頃と20時頃に更新されます。
- 日降雨量100mm以上となる確率を表示しています。

5kmメッシュ情報は全国をカバー

日雨量100mm以上となる確率

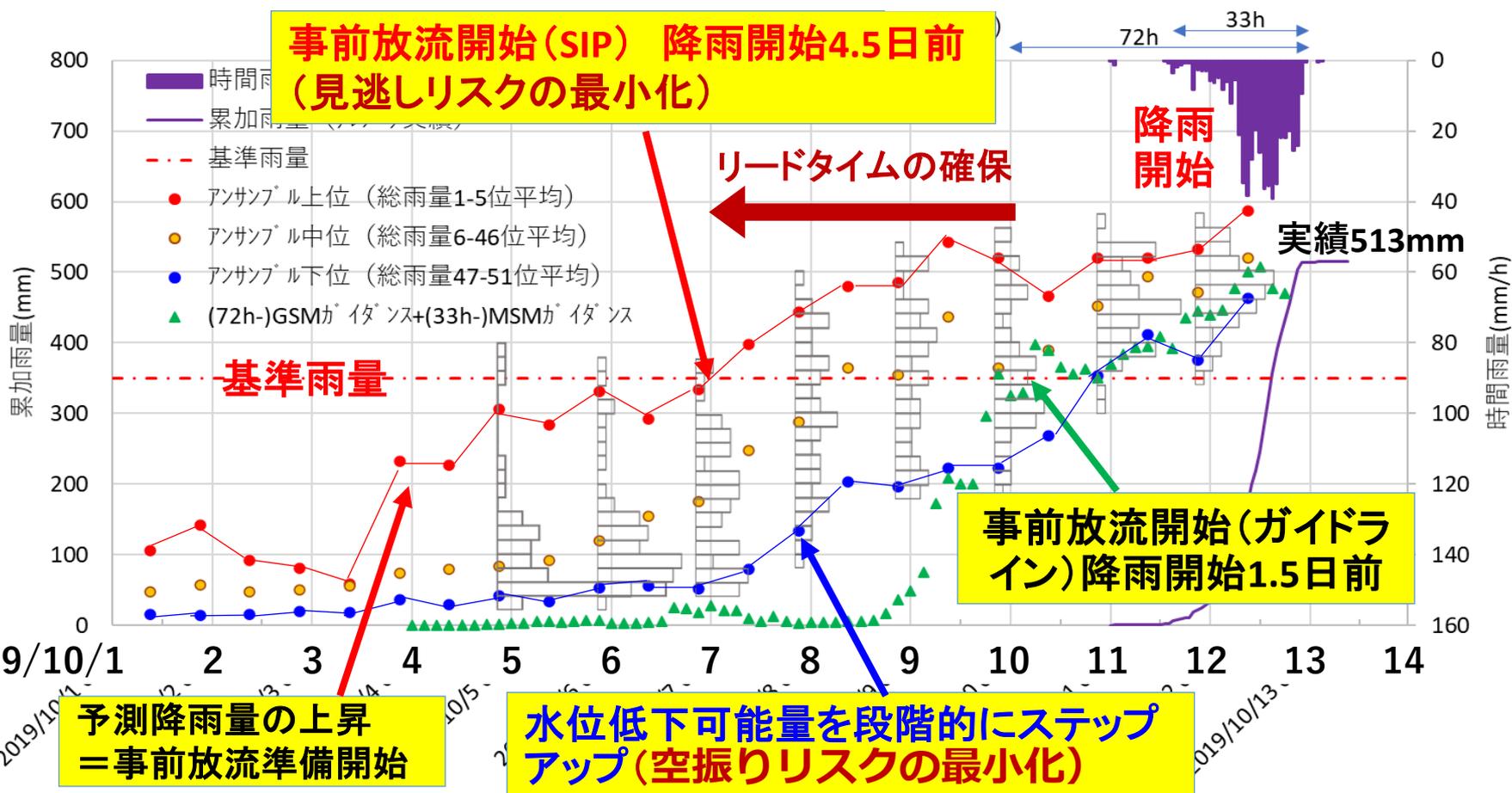
**アンサンブル上位予測**を用いて、より早くから事前放流開始可能

**アンサンブル下位予測**を用いて、水位低下させる量を段階的にステップアップ可能

予測情報の変化も逐次更新してアップデート、次の洪水にも備えることが可能

下久保ダム 雨量予測の変化（2019年台風19号）

台風19号 実績降雨



予測降雨量の上昇  
= 事前放流準備開始

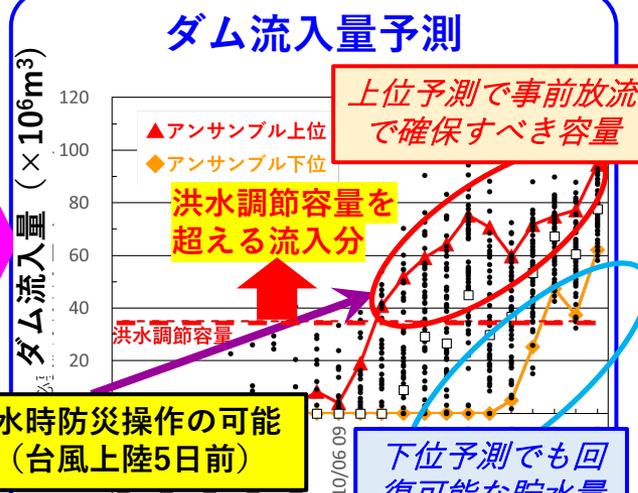
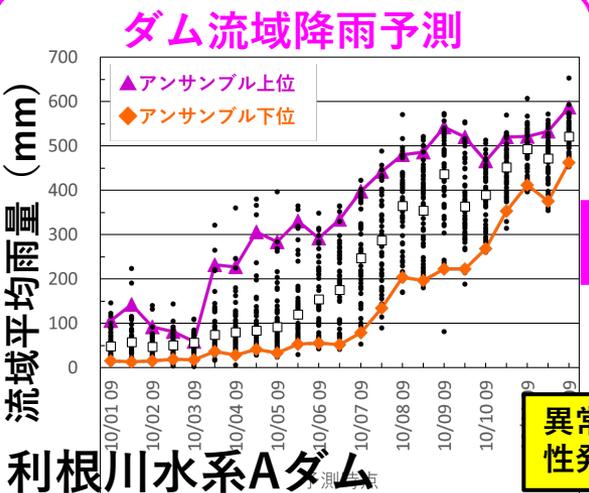
水位低下可能量を段階的にステップアップ(空振りリスクの最小化)

## ■ ダム事前放流への適用性検証 2019年台風19号の事例

**キラーコンテンツ**  
アンサンブル事前放流

長時間アンサンブル降雨予測を利用  
上位予測：事前放流必要性  
下位予測：低下可能な容量を予測し、  
早期に事前放流をスタート  
水力発電利用も可能

治水と発電のWIN-WINの実現



利根川水系Aダム

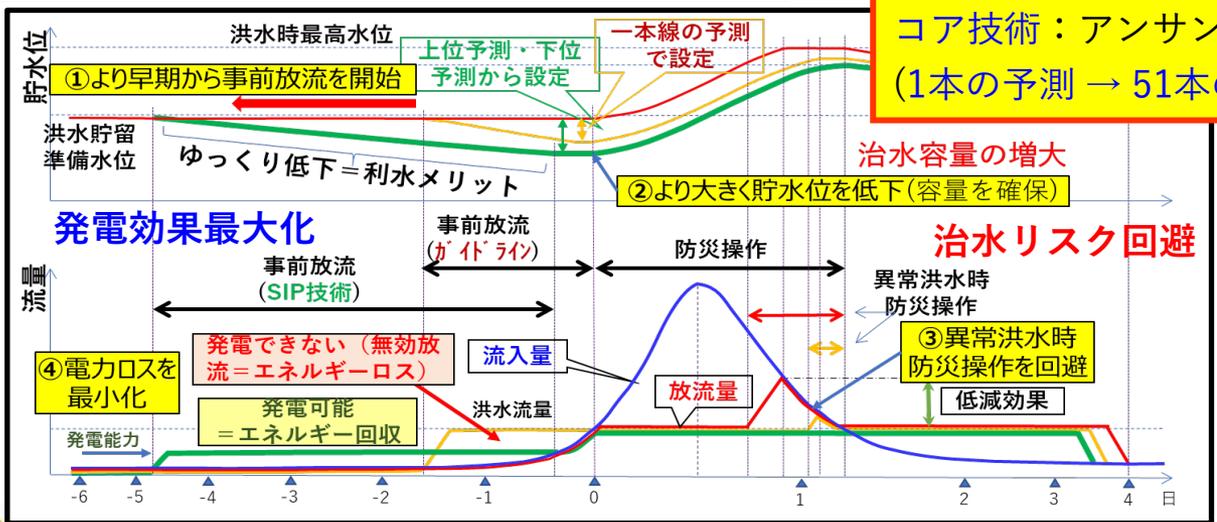
※アンサンブル上位：総雨量上位5メンバー(1-5位)平均  
アンサンブル下位：総雨量下位5メンバー(47-51位)平均

異常洪水時防災操作の可能性発生 (台風上陸5日前)

(※事前放流ガイドラインでは3日前から判断)

### アンサンブル事前放流の4つの効果

③洪水調節能力の最大化かつ発電量の増大  
コア技術：アンサンブル流入量予測による予測幅の獲得  
(1本の予測 → 51本の予測(上位/下位予測))



[草木ダム(R1T19)での試算]  
事前放流の早期化 (台風上陸1日前→4日前(10/8))、  
発電しながら事前放流  
(1,500万m<sup>3</sup>) 可能  
→ 発電量増加により最大  
2,500万円の増収

NHK時論公論2021.10.13

## アンサンブル予報 ダム管理システム

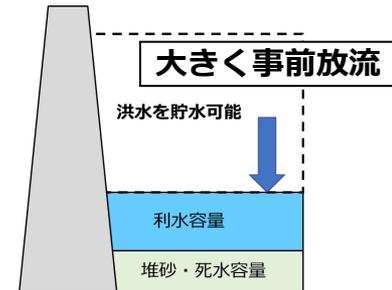
(京大・日本気象協会・水資源機構)

15日先まで51通りの予想



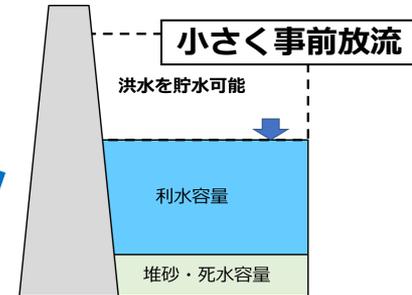
**最も多く降る場合**

どのくらい事前放流しておけば  
満杯にならないか



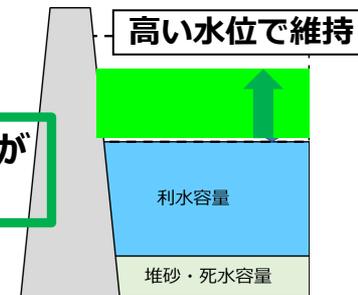
**最も雨が少ない場合**

事前放流をどのくらいにとどめておけば  
水不足にならずに済むか



**最適な事前放流  
最大の防災効果と水不足回避**

しばらく台風が  
来ない場合



<https://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/100/455613.html>

# 利水メリット（3つの視点）

## ●事前放流における発電最大活用

多目的ダム、利水ダムの事前放流を発電放流設備を使用して早期に開始しゆっくり水位低下を行い、電力エネルギーの有効活用が可能。短期間の貯水位低下では無効放流が増大する可能性。

## ●後期放流における発電最大活用

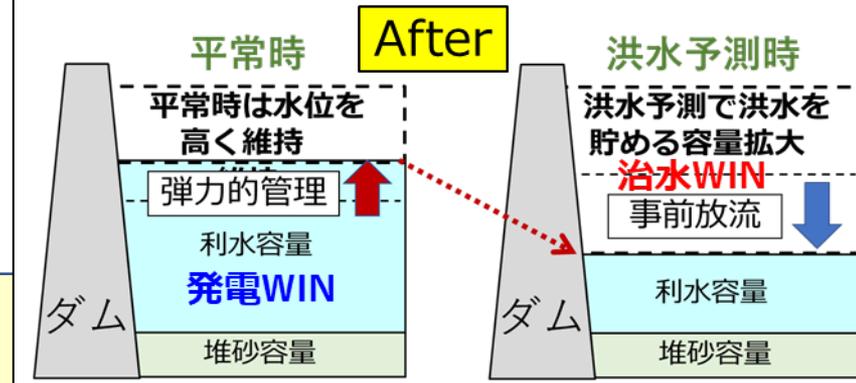
洪水調節後の後期放流（水位低下）において、その後の降雨が予測されない場合に発電放流設備をフルに活用してゆっくり水位低下を行い、電力エネルギーの有効活用が可能。

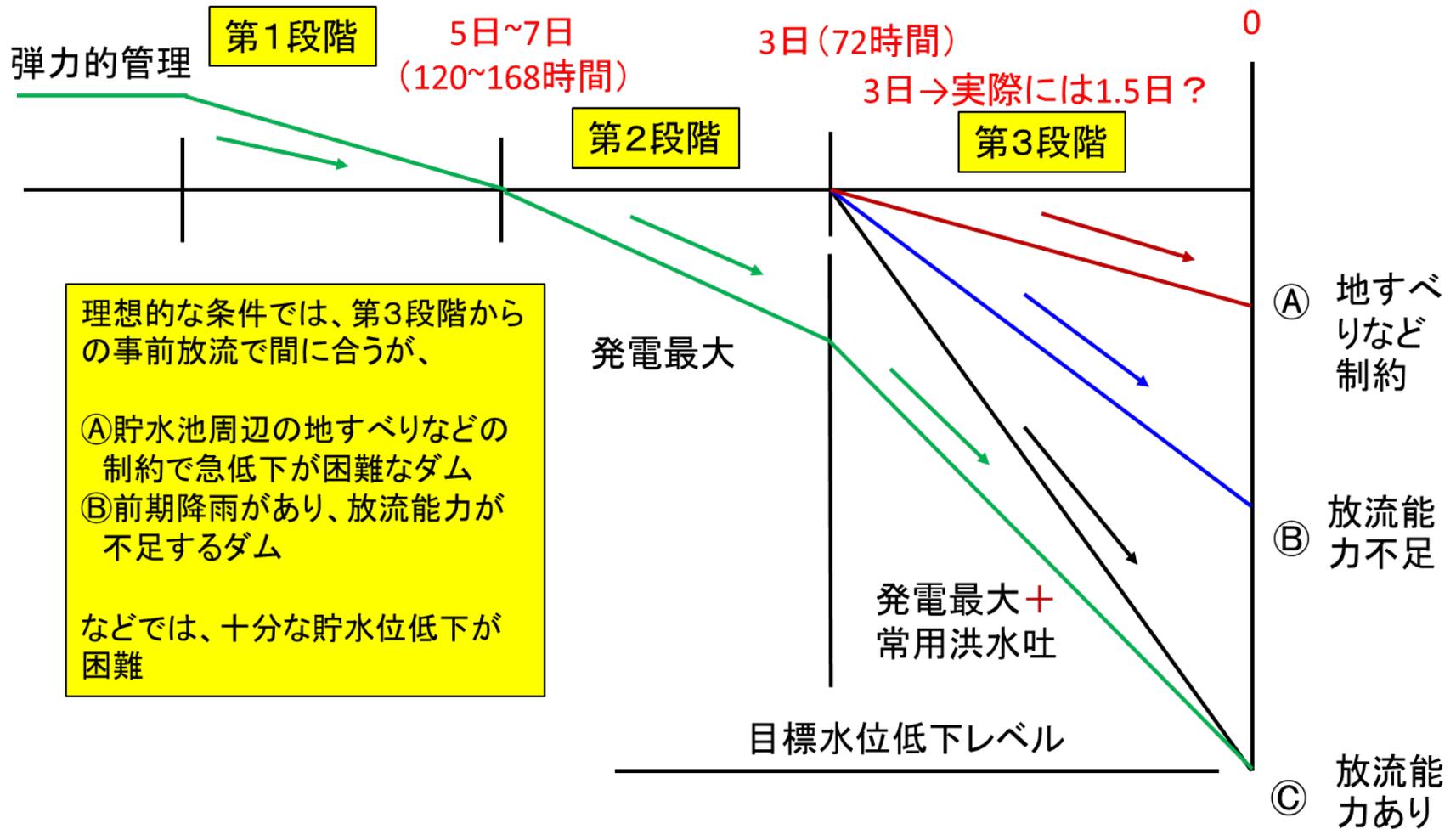
## ●平常時の管理水位引き上げ（弾力的管理）

1週間程度先までの洪水の発生の有無を見通した上で、多目的ダムや大型利水ダムの平常時の管理水位を引き上げ、平常時の水力発電計画における、水力発電価値（フロー（流量）、ストック（水頭）、調整力（貯水量（ $\Delta kW$ ））の最大化を実現。降雨が予測される場合は早期に速やかに事前放流を実施し、防災効果の最大化を実現。管理水位の弾力的な引き上げと多段階の事前放流をシームレスに実施し、限られたダムの貯水容量を最大限に活用。

SIP

数日～1週間程度前からの事前放流を実現し、洪水貯留機能の拡大(治水WIN)と水力発電増大(発電WIN)を実現





- 1段階目：従来の弾力的管理の事前放流相当（発電最大放流量で水位低下）
- 2段階目：出水に備えた予備的な空き容量確保（発電最大放流量で水位低下）
- 3段階目：事前放流ガイドライン相当

■ 長時間アンサンブル降雨予測により、**防災効果**と**水力発電価値向上**を結合する。

1) 事前放流による水位低下時の**発電エネルギー利用の最大化**のための**早期かつ段階的な事前放流手法**の検討 **①(事前放流に伴う発電損失の減少(増電))**

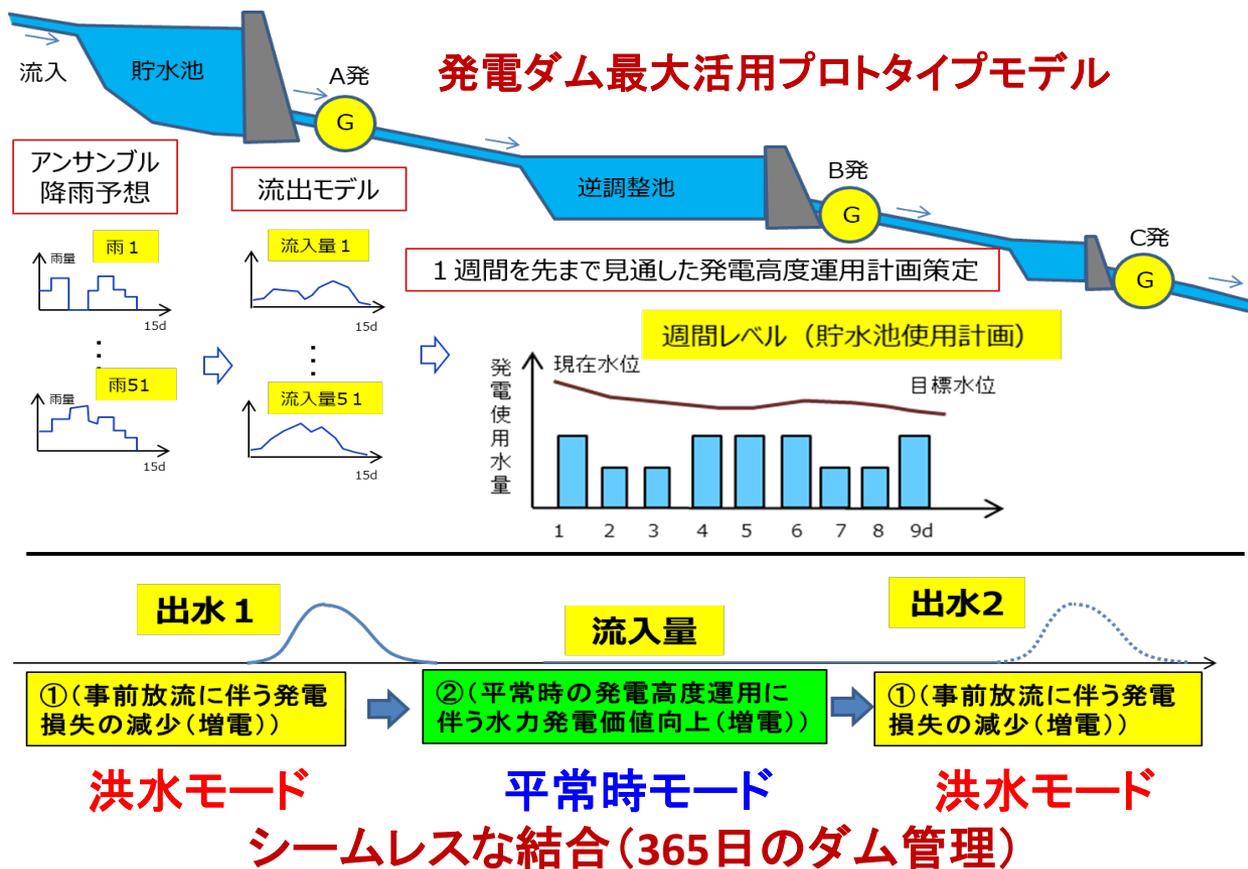
2) **1週間程度先までの洪水の発生の有無を見通した上で**、平常時の水力発電計画における、**水力発電価値(フロー(流量)、ストック(水頭))の最大化**と、**防災効果の最大化**を実現する手法の検討

**②(平常時の発電高度運用に伴う水力発電価値向上(増電))**

**目指す技術開発のポイント:**

事前放流を行わなければならない大規模洪水前後のみならず、**平常時**においても利水ダム(発電ダム)の「**発電目的の最大化**」のためにSIP技術を積極的に活用する

その延長として備えるべき**大規模洪水時の防災に貢献**



①何をおこなったか；

台風9号および後続の前線性豪雨を対象に長時間アンサンブル降雨予測を実施し、データ提供

②上手く行ったこと；

新成羽川ダムでは、8/2（5日前）に8/8-9の台風9号、その先の前線性降雨を同時に予測

③次への課題として残したこと；

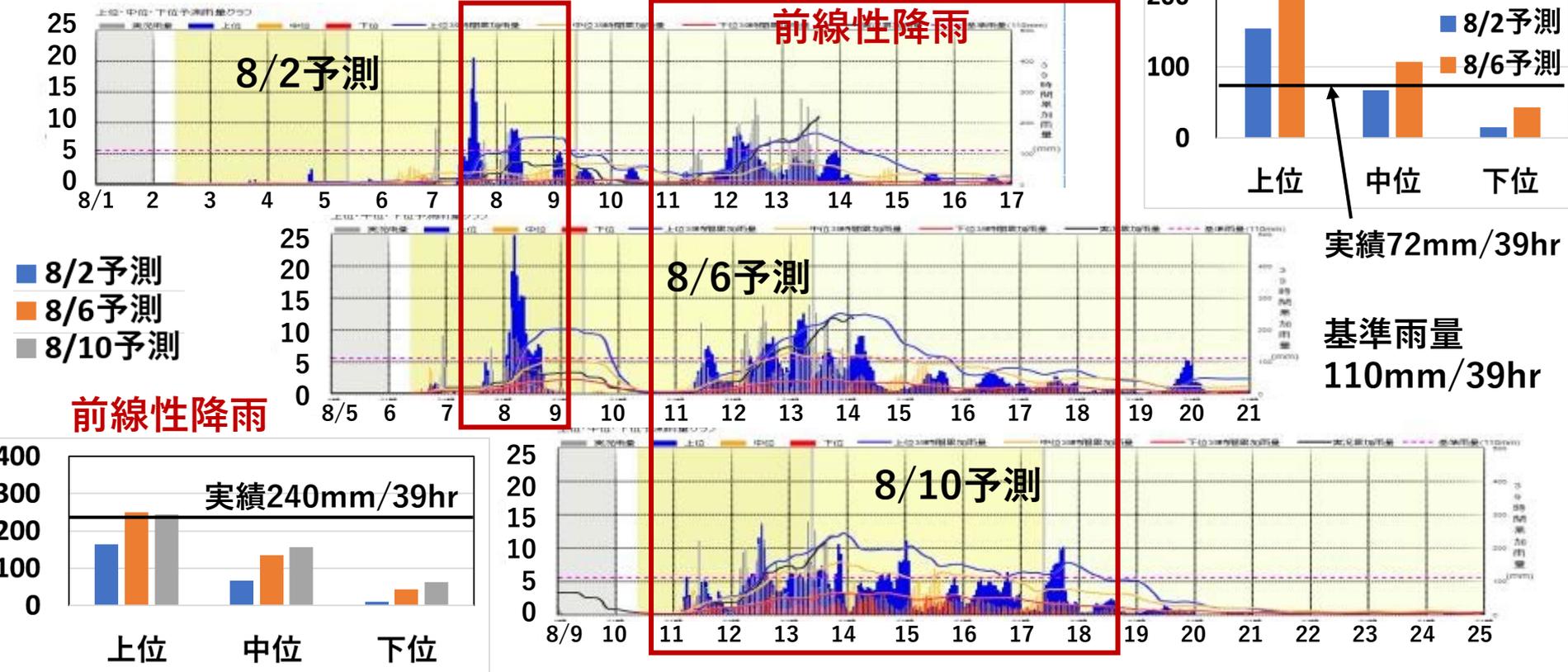
前線性降雨では大規模降雨を良好に予測（上位予測）、引き続き精度向上が必要

④どこにデータを提供して、どう使われたか； 検証中の新成羽川ダム、一庫ダム、木津川ダム群、荒川ダム群、黒部川、大井川、耳川などにアンサンブル予測データを提供し、事前放流実施判断に活用。

雨量(mm)

台風9号

台風9号



## ダムの分類

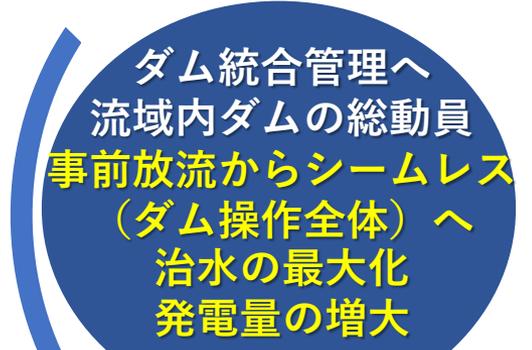


## SIPの背景と目的



**アンサンブル事前放流  
技術の開発**

## 今後の展開



- ・流域内ダムの適材・適所
- ・治水に貢献可能な(多目的・利水(発電))ダムに最高レベルの予測情報提供

ダムの分類		小規模ダム	中規模ダム	大規模ダム	ダム群
支援システム の コン テン ツ	アンサンブル降雨予測システム	●(中解像度：5km)	●(高解像度：1km)	●(高解像度：1km) ●(中解像度：5km)	●(高解像度：1km)
	流出予測システム		●	●	●
	事前放流モデル			●	●
	ダム群連携シミュレータ				●
活用方法	豪雨発生の可能性を把握し、対応準備に活用	流出予測・操作予測を行い事前放流計画に活用	流出予測・操作予測を行い	流出予測・操作予測を行い 最適事前放流計画提示	操作ルールを踏まえ複数の最適連携操作計画提示
対象ダムの機能分類	多目的ダム(容量小)	多目的ダム(容量小) 利水ダム(容量大)	多目的ダム(容量小) 利水ダム(容量大)	多目的ダム(容量大、小) 利水ダム(容量大)	多目的ダム群(容量大)
社会実装の進捗状況と見込み	R3年度	令和2年6月よりサービス全国展開 ➢ 亀山ダム、高滝ダム(千葉県)	➢ 木津川5ダム(水機構) - 試行開始 ➢ 河本ダム(岡山県) - 試行開始	➢ 新成羽川ダム(中国電力)、一庫ダム(水機構) - 試行開始 ➢ 電力ダム(関西・中部・九州) - モデル構築・過去検証 ➢ 令和2年10月より中部地整で降雨予測情報の利用を開始 ダム流域以外も含む全72流域 ➢ 水機構全ダム - モデル構築 試行開始	➢ 木津川3ダム(水機構) - 試行開始 ➢ 荒川ダム群(国交省、水機構) - モデル構築
	R4年度			➢ 電力ダム(関西・中部・九州) - 試行開始	➢ 荒川ダム群(国交省、水機構) - 試行開始

**最新情報：全国50ダム以上にプロトタイプモデルを提供**

# 今後に向けて

## • 事前放流について

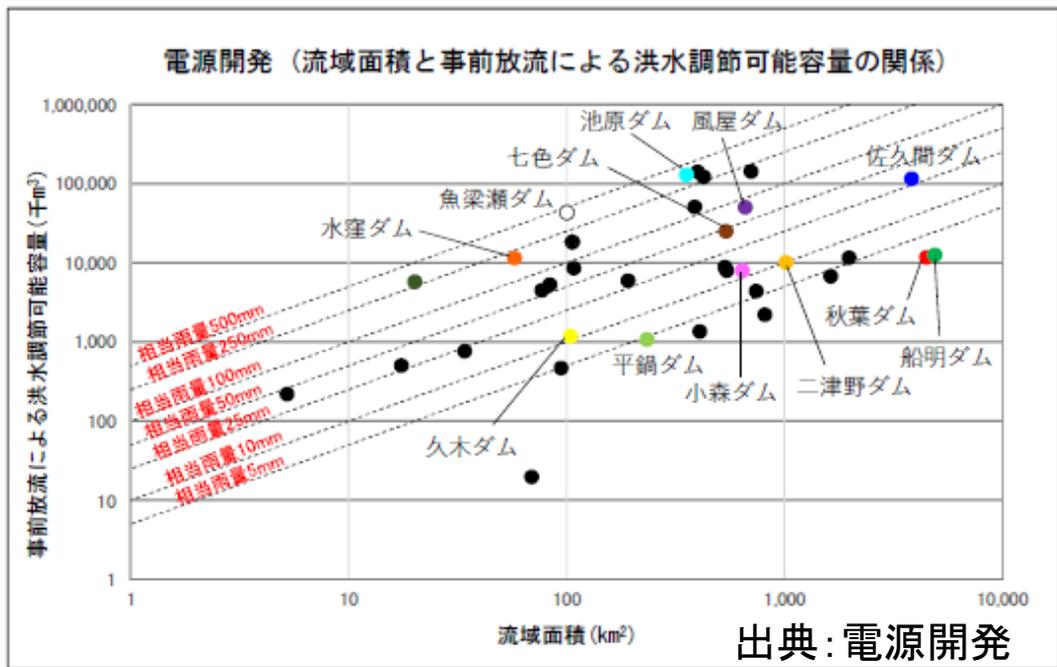
- 実施対象ダムを選別すべき(相当雨量, 流域面積支配率)
- 放流設備の強化(水位低下および低水位維持機能)は重要
- 縦列ダムの影響を考慮し, 具体的な洪水調節ルールの検討が必要
- 過剰な水位低下(放流設備が伴わない)は、放流開始時のリスクあり
- 堆砂移動には要注意
- ダム通砂操作(耳川など)との組合せ(長時間アンサンブル予測活用)も考慮

## • 社会実装に向けて

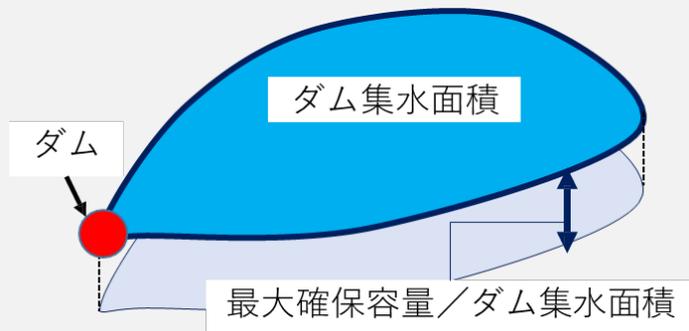
- 長時間アンサンブル予測を活用したダム操作へのルールづくり
- 特に、発電ダムの場合
  - 事前放流: 早期にスタートする、中小規模洪水を効果的に貯留するのは 現行ルールでも可能
  - 洪水調節: 遅らせ操作に対して、一定量放流を行うなど、いくつかの放流パターンを予め準備できないか(型紙方式)
  - 後期放流: 貯留水を有効活用してゆっくり低下  
(洪水警戒体制解除の条件、予測情報の考え方の革新が必要)  
← 長時間アンサンブルで次の洪水リスクの可視化が可能

# JCOLD既設ダムの合理的な活用・運用方策検討分科会

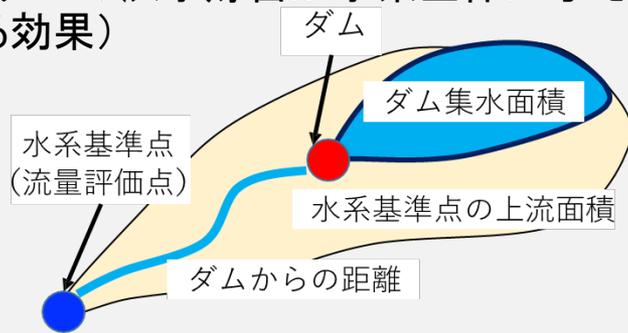
## 事前放流点検の進め方(案)



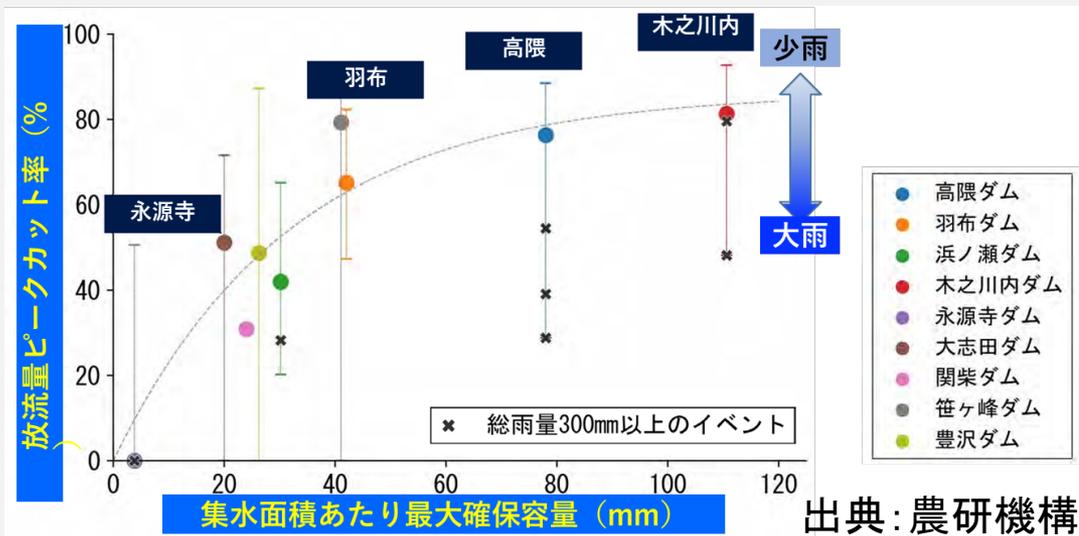
ダム地点での洪水貯留ポテンシャル  
(ダムの洪水貯留能力の評価)



水系全体での洪水貯留ポテンシャル  
(ダムの洪水貯留が水系全体に与える効果)



ダム地点の洪水貯留ポテンシャル  
(相当雨量)50mm程度以上は欲しい  
この程度あれば、放流量ピークカット率がある程度期待できる  
総雨量が大きくなるとカット率低下

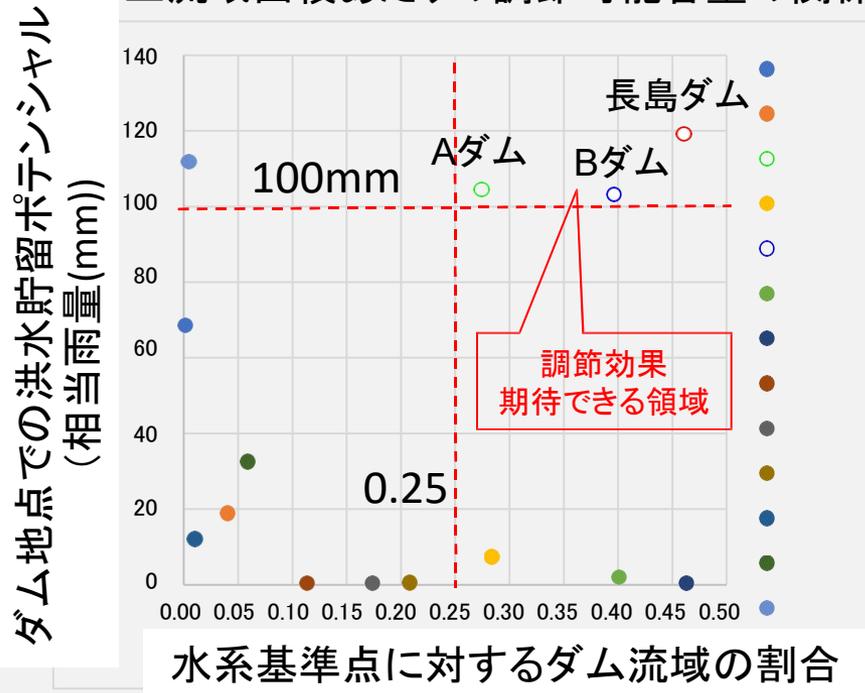


# 大井川水系の利水ダムの直轄基準点への効果の相関性

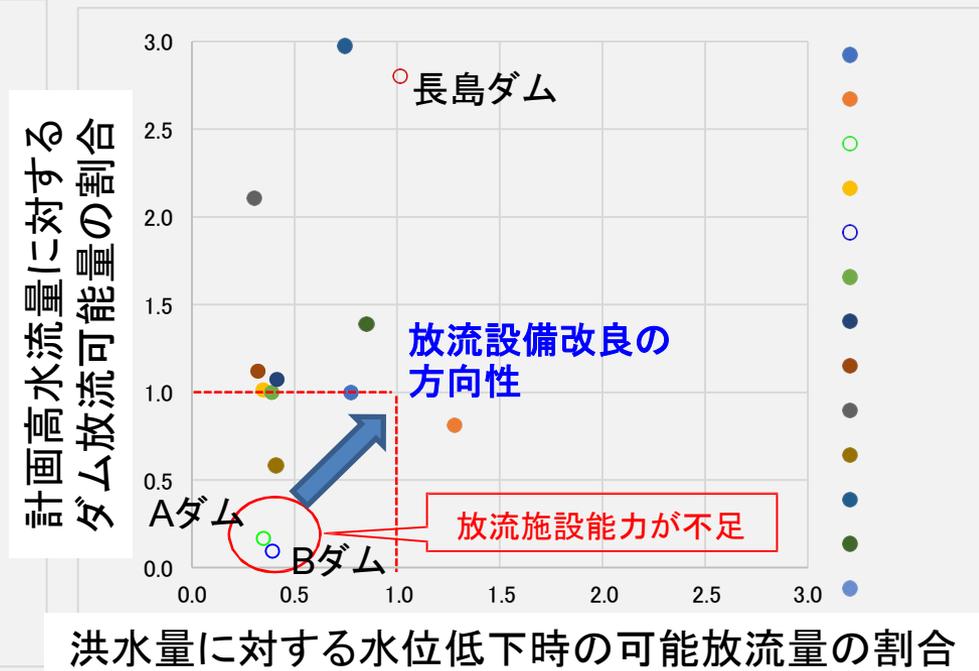
出典：国土交通省（資料に加筆）

- 神座基準地点への調節効果がある利水ダムを選別する指標として、①ダム地点での流域面積あたりの洪水調節可能容量、②基準点上流域に対するダム流域の面積占有率、③各ダムの放流施設能力を設定
- ①の指標では100mm以上、②の指標では25%以上のダムが、調節効果が期待できる利水ダムの選定基準と考えられる。
- また、③の放流施設能力の評価は、Aダム、Bダムは、事前放流、及び、洪水調節に必要な放流量に対し放流施設能力が劣っており、改良による効果が見込まれる。

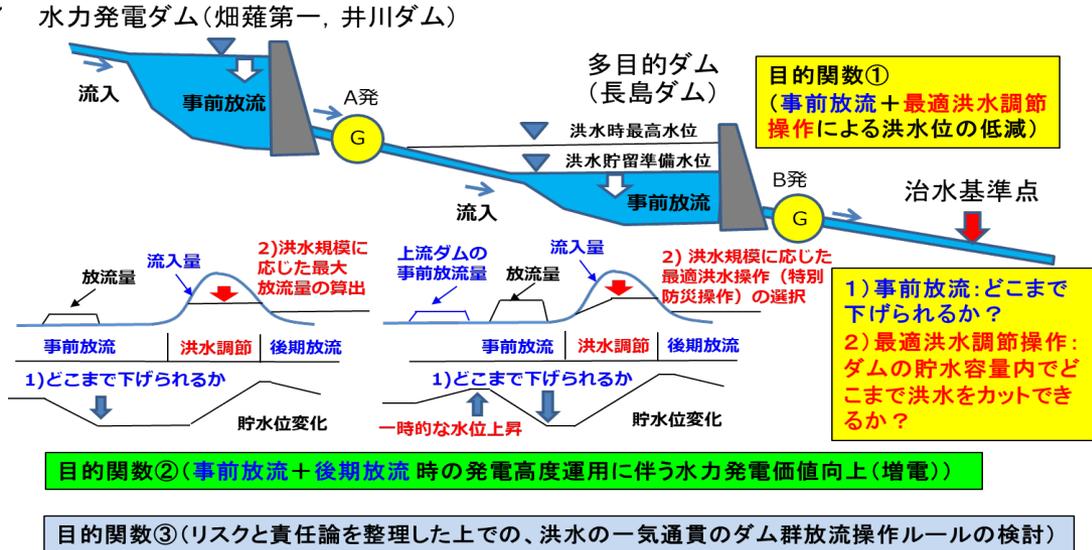
【神座基準点上流域に対する占有率とダム上流域面積あたりの調節可能容量の関係】



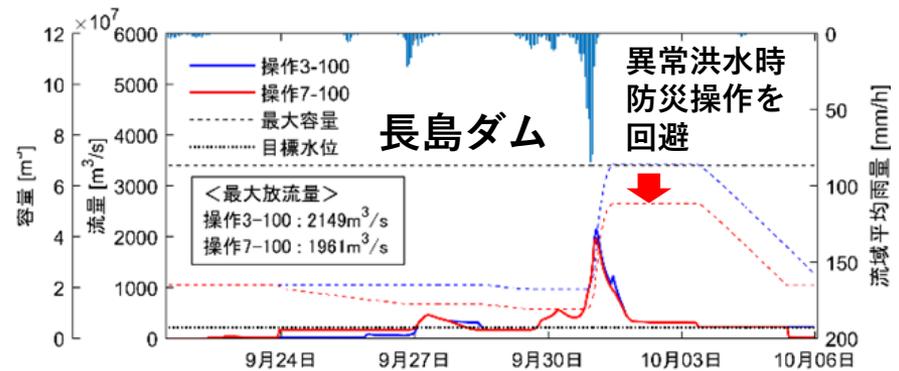
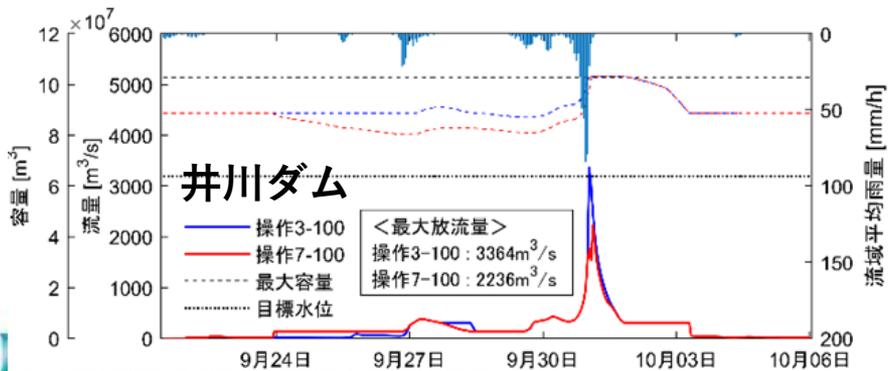
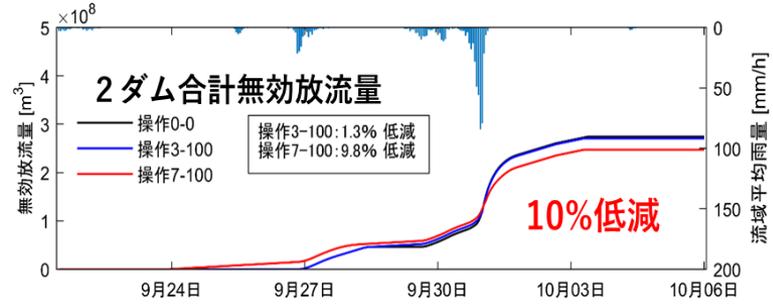
【可能容量相当での放流能力と設計洪水流量の関係】



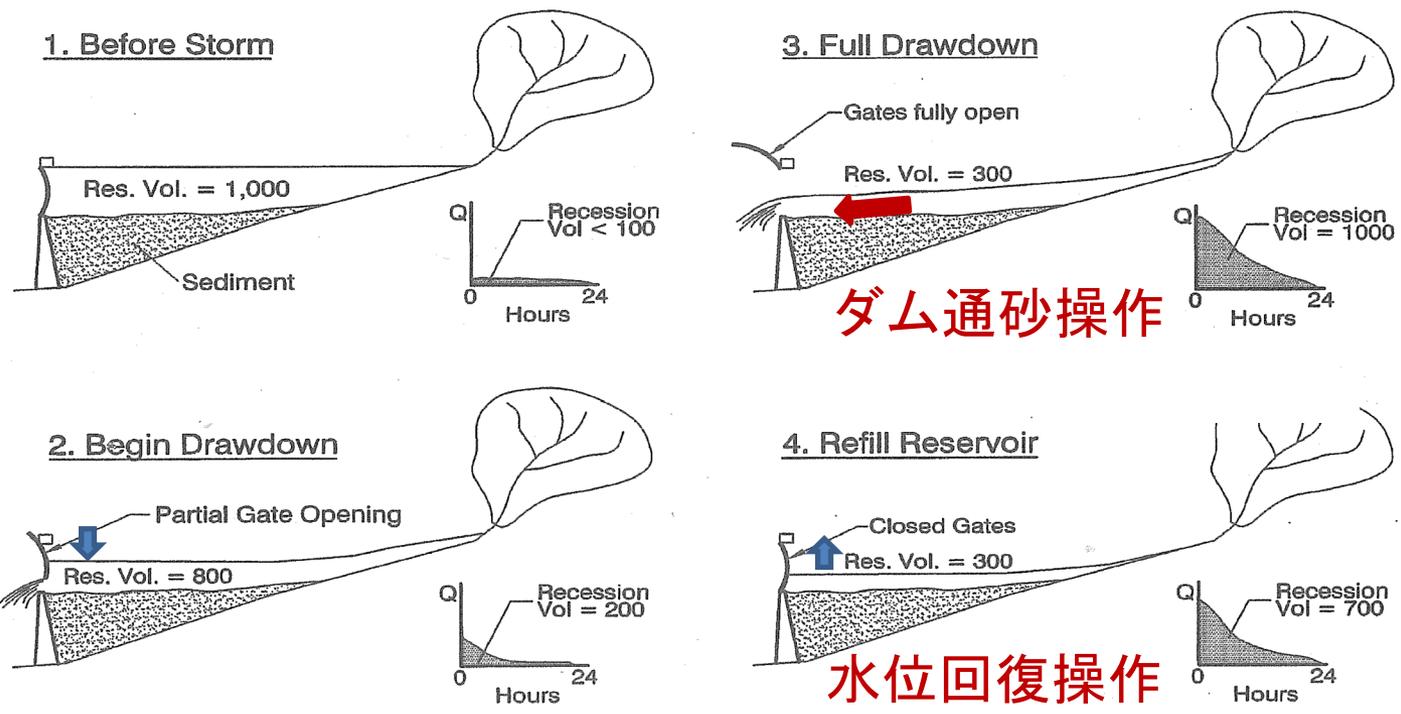
- 分布型降雨流出氾濫解析 (RRI) モデルに事前放流～洪水調節～後期放流を行うダムを縦列に組み
- 前期降雨があると縦列ダム (畑薙第一, 井川ダム) の事前放流が不完全になる
- 7日前から発電最大使用水量で事前放流(7-100)すれば大きな貯水量確保可能
- その結果, 3日前からの事前放流よりも各ダムでピーク放流量が減少し, 長島ダムの異常洪水時防災操作を回避
- 無効放流量も最大10%低減



降雨波形：2018年台風24号をベースにしたアンサンブル降雨波形から複数抽出して引伸 (500mm/48hr)

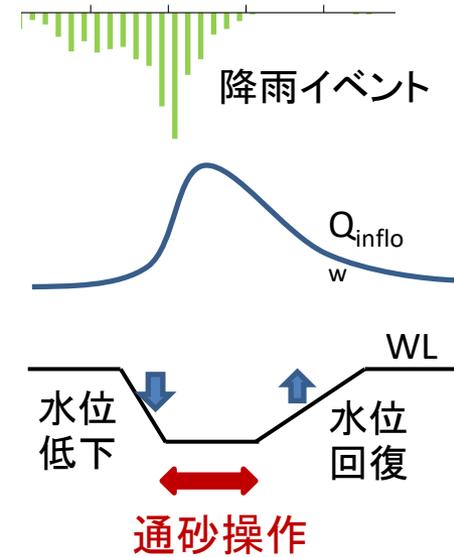


# 長時間アンサンブル予測のダム通砂操作への活用



ダム通砂操作

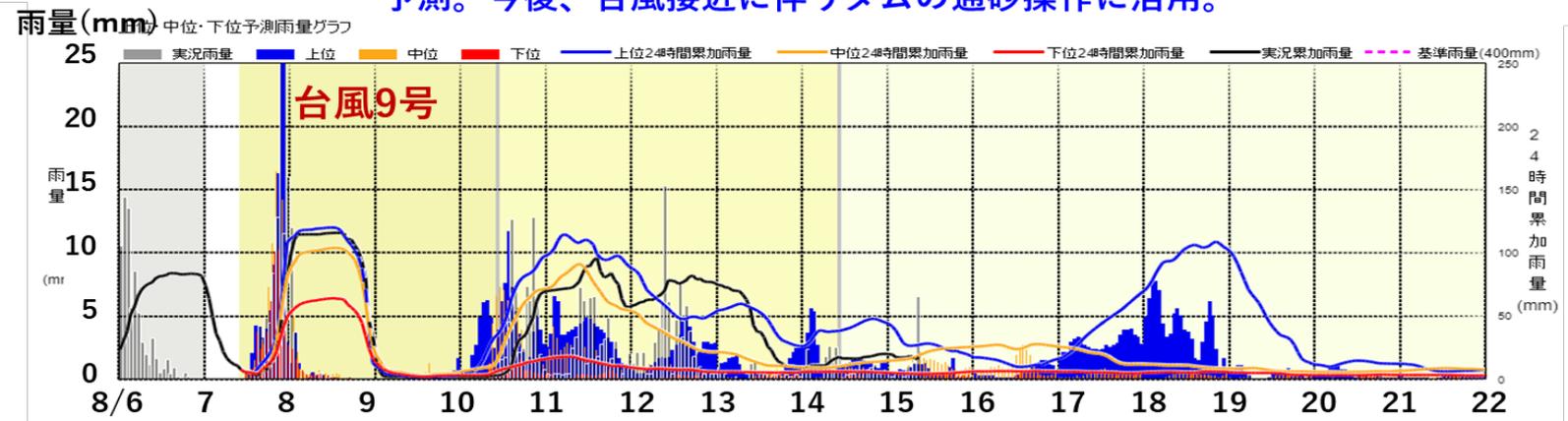
水位回復操作



Morris and Fan (1998), Reservoir Sedimentation Handbook

## 九州電力耳川下流域

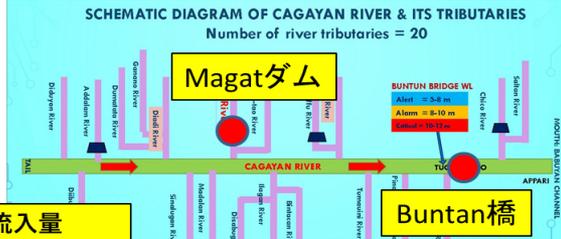
2021.8.7より配信開始。8/8-9の台風9号、その先の前線性降雨を同時に予測。今後、台風接近に伴うダムの通砂操作に活用。



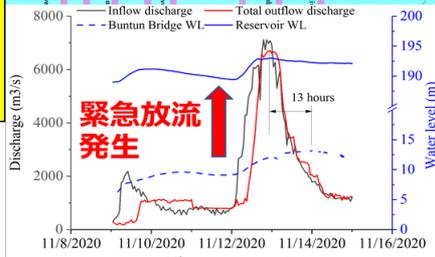
**JASTIP : 日ASEAN科学技術イノベーション共同研究拠点**  
**– WP4 防災・減災分野 (フィリピン台風Ulysses災害緊急調査)**

**2020年11月にルソン島を襲った台風Ulyssesでは、Cagayan川のMagatダムにおいて、洪水に備えた事前放流が不十分であったために緊急放流が発生し大きな社会問題化**

Flood and sediment disasters in Cagayan River Basin Due to Typhoon (Vamco) smashed Luzon Island on 11-12 Nov. 2020



黒: 流入量  
赤: 放流量  
青: ダム貯水位  
青破線: Buntan橋水位



Magatダム放流状況



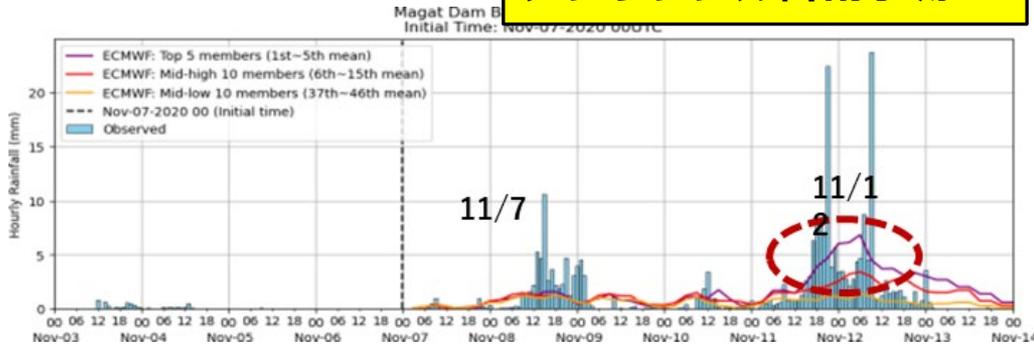
**明らかになっている課題**

- ・ 台風接近に伴う降雨予測, 降雨-流出モデル
- ・ ダム放流の意思決定 (洪水・渇水リスク評価)
- ・ ダム放流と下流洪水の関係
- ・ PAGASA (気象) / NIA (ダム管理) / DPWH (河道管理) の連携不足

**数日~1週間程度前からの事前放流を実現し、洪水貯留機能を拡大**

**SIPによる貢献: 長時間アンサンブル降雨予測**

- 調査研究課題**
1. 現地の水文・気象データ収集
  2. 降雨予測の課題分析と改善方策検討
  3. 降雨-流出モデルの検証 (RRIモデル)
  4. ダム湖の土砂流入/放流・堆積および堆砂対策検討



**台風上陸の約5日前の11/7に11/12の降雨が予測可能**

# JAPIC提言を踏まえて

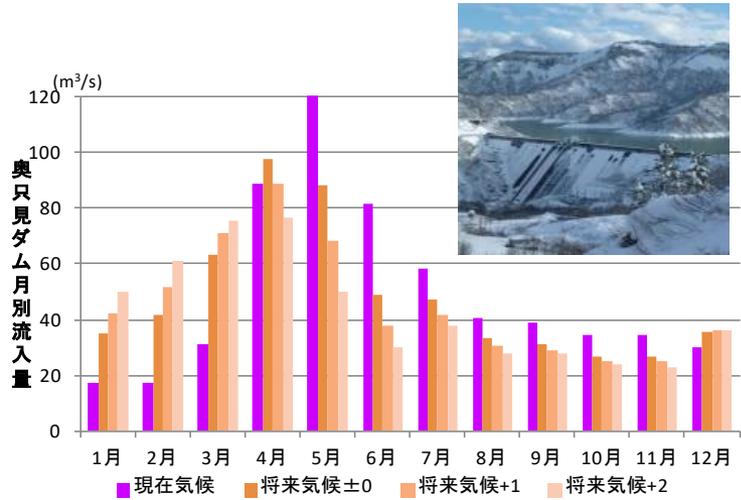
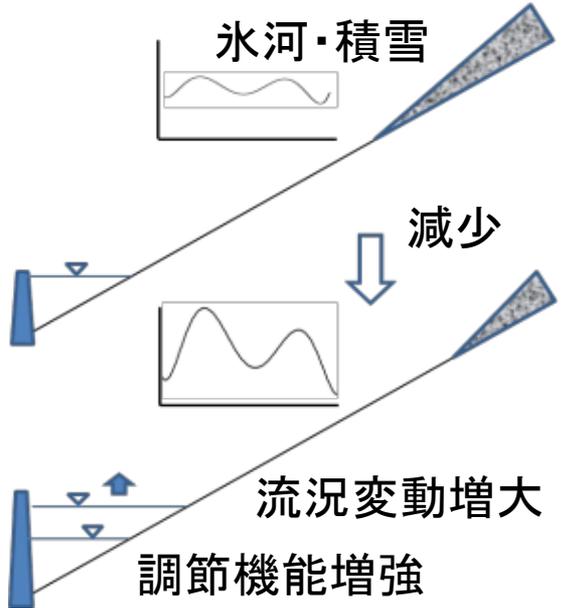
- ダムサイトは資源(有限)→世代を超えて有効活用
- 治水／利水の観点から最適配置(再開発／再編)
- 治水価値
  - ダム流域面積に対する洪水貯留の実力(相当雨量(mm))
    - ダム地点の洪水カット率
  - 下流基準点に対する貢献度(流域面積支配率)
    - 基準地点の洪水カット率
- 発電価値
  - ベースロード価値(kwh), 調整力価値(kw), 危機管理価値( $\Delta$ kw)
  - 水量およびその安定度×落差
  - いかに溢水(発電機を通らない無効放流)を減らすか
- 今後の方向性
  - 第一幕(流域治水:多目的ダム+利水ダムによる洪水貯留最大化)
  - 第二幕(流域マネジメント:複数ダムの組合せ最適化(ソフト／ハード))
    - 治水(win)、エネルギー(win)、地域活性化(win)
    - (留意点) 持続可能なシステムを目指す(堆砂対策が最優先)
    - 気候変動への適応(治水のみならず、利水(発電含む)影響も)
    - 異常渇水、積雪量減少(豪雪(ドカ雪)／少雪の変動性増加)
    - 適応策としてのダム貯水量の確保(嵩上げなど拡大策, 堆砂対策)

# 気候変動に伴う水力発電への影響

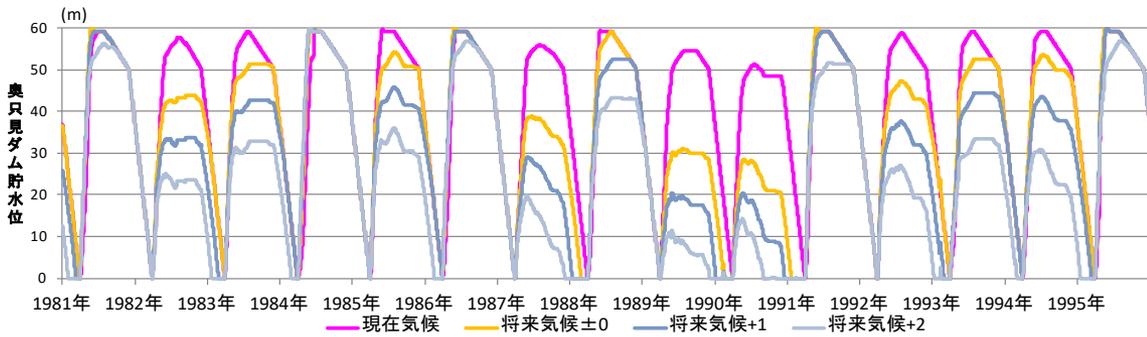


欧州アルプスにおける検討事例

(出典:角 哲也, ダム管理の新たな展開, 河川844, 2016.11)



冬季の流入量が増加、融雪期の流入量が減少



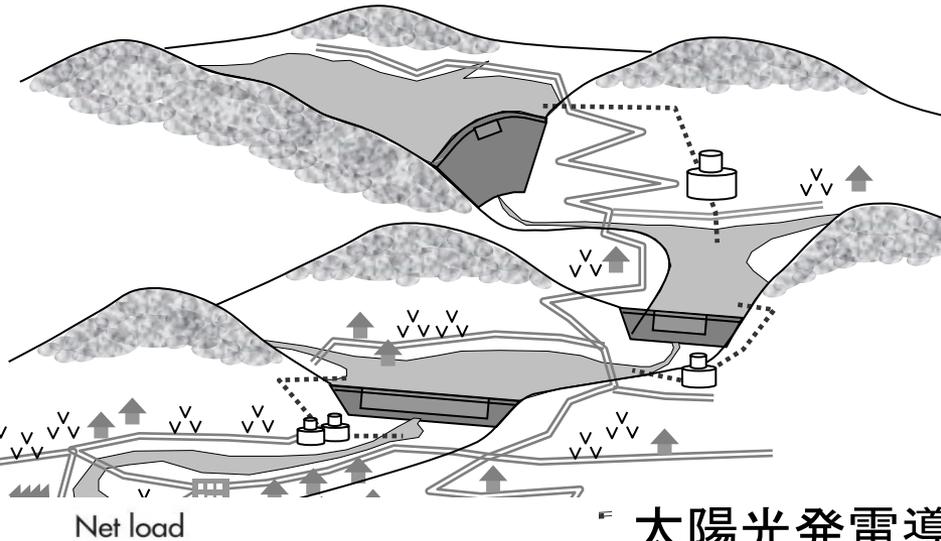
夏期に向けて貯水位を十分に回復させることができない年が増加

➡ 経年貯留戦略が必要

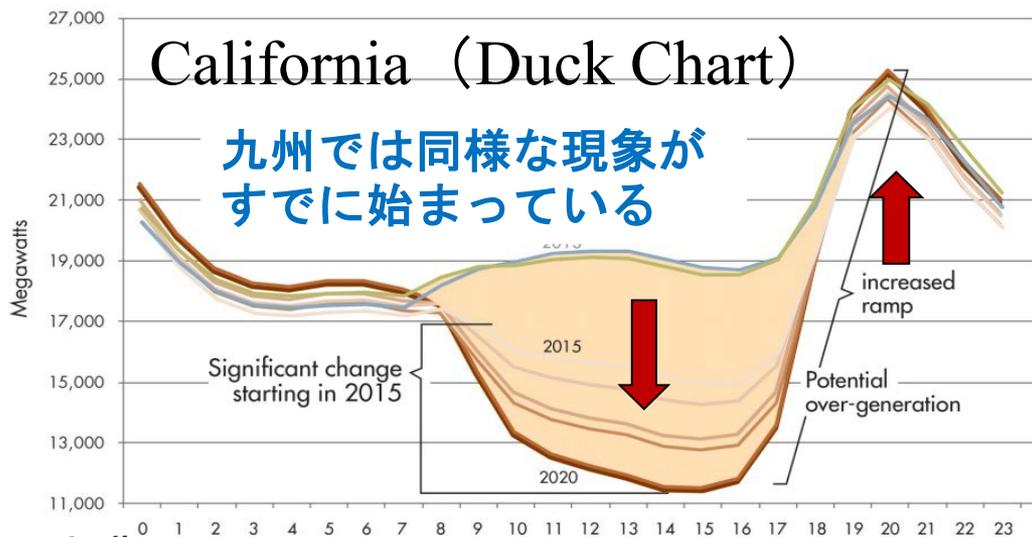
# 再生可能エネルギーの導入増大に応える 貯水池・調整池式水力発電の機能強化



- ・ 天気の変動大
- ・ 夕方に急激に発電量減少



- ・ 風の変動大



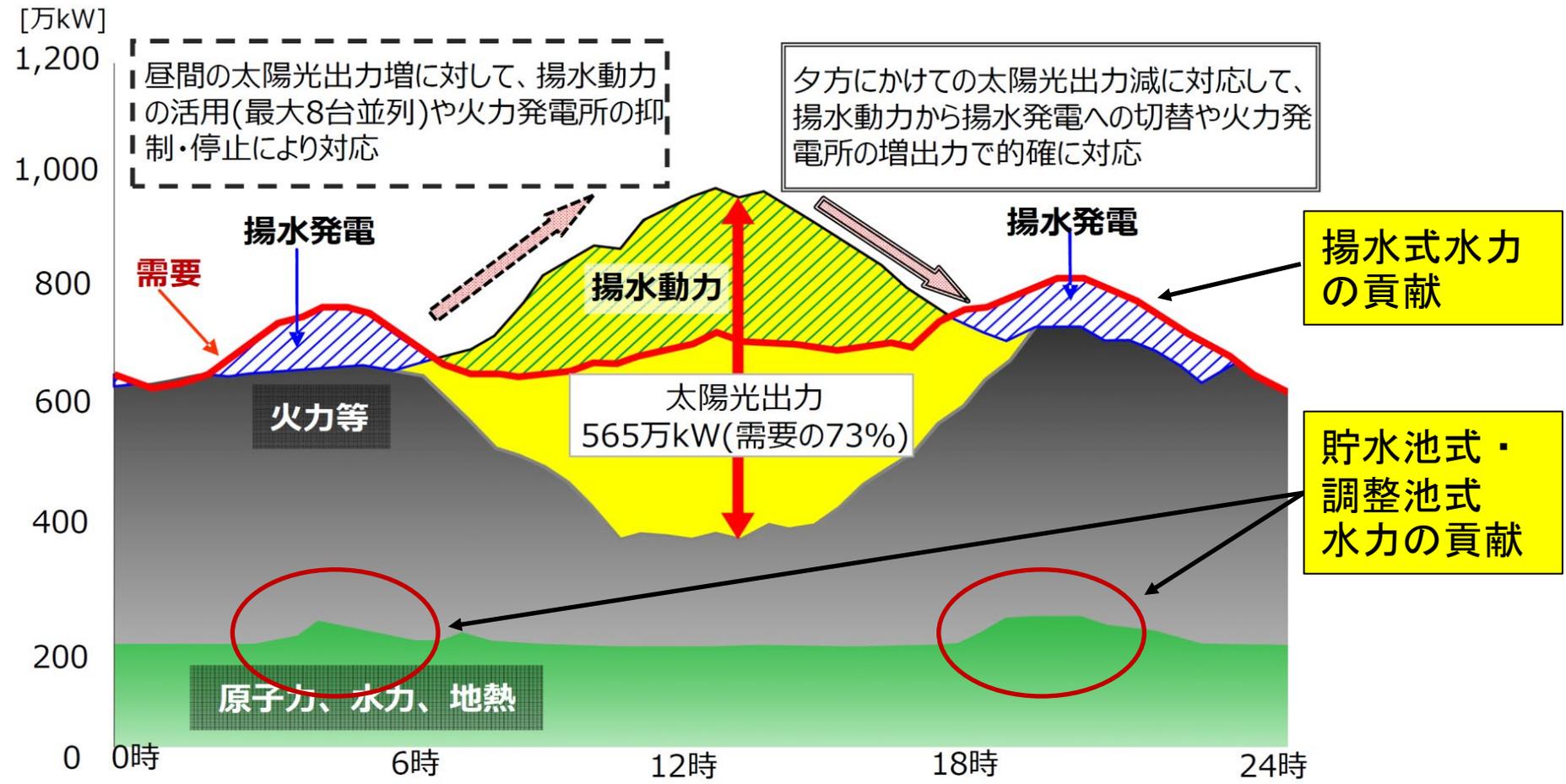
(出典：California ISO)

太陽光発電導入の進むカリフォルニアでは昼間の発電必要量が減り、夕方に急激に増加 (+13,000MW)  
この受給ギャップに水力発電は大きな機動力を発揮

貯水池・調整池式、揚水式水力発電の再評価・再投資

# 九州電力の揚水発電所の活躍 (小丸川発電所など)

(資源エネルギー庁)



欧州諸国 (スイス、オーストリアなどでは、同じ理由で揚水発電所の新設ビジネス)

# ダムの資産を次世代に良好につなぐために

治水  
利水（上水・農水・  
工水・発電等）

ダムは水を貯める器  
社会のニーズに応じて  
適応・再編可能  
水利権・コスト  
アロケーション

利水ダムの治水  
貢献(事前放流)

ダム本体  
コンクリート・ロックフィル  
ゲート設備（鋼構造物）  
機械設備（開閉装置）  
電気設備（ダムコン）

ダム堆砂  
ダム湖水質  
生物の縦断連続性

構造的  
安定性

持続可能  
なダムの  
条件

社会的  
適合性

環境  
適合性

ダムの体力（外力増大に対する耐力（気候変動・地震））  
ダムの健康度（経年劣化（ダム堆砂など））

ダムのアセットマネジメント