

## DIASを用いた発電ダムの最適運用による 利水・治水安全度の向上を目指して

代表機関： 国立大学法人東京大学

分担機関： 国立研究開発法人土木研究所、日本工営株式会社

協力機関： 東京電力株式会社、中部電力株式会社

# DIAS水課題アプリケーション開発

## 背景

水力発電分野において、ダム下流の洪水危険度を増すような異常放流を回避するためのダム操作の信頼性向上と、発電のための河川流水の効率的な利用(増電力)を支援する情報の提供が必要。

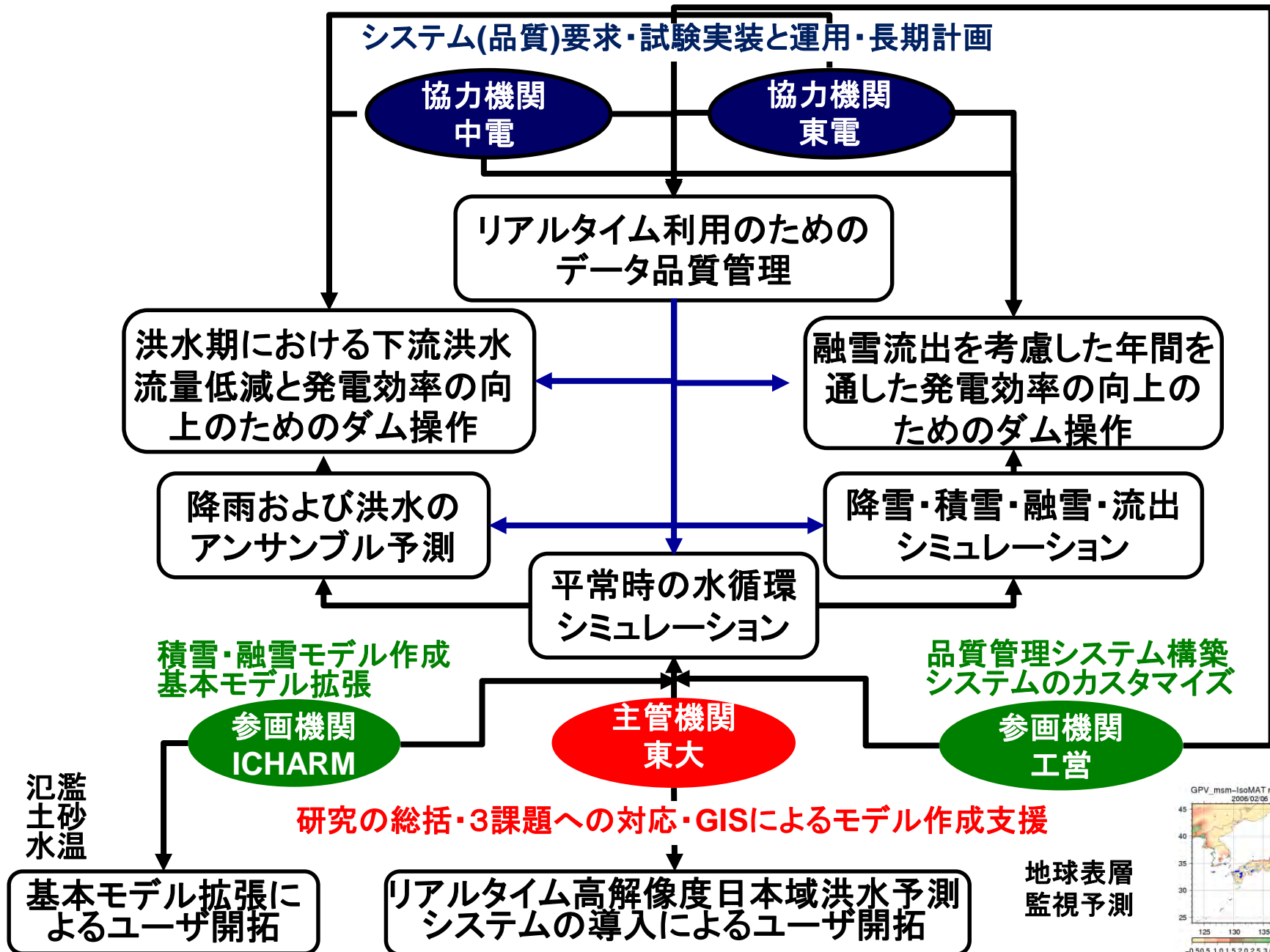
## 目的

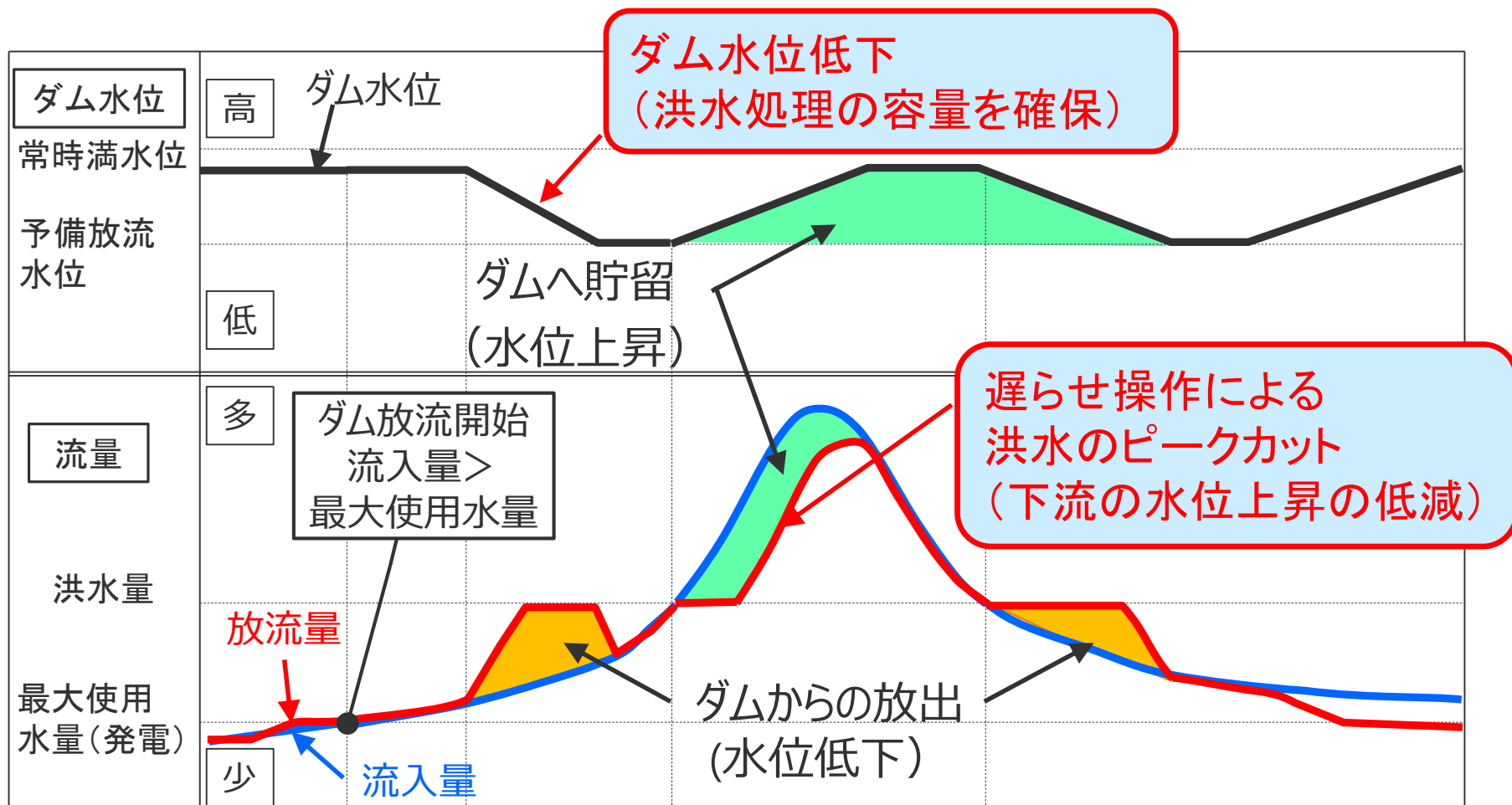
事前放流を含む新たなダム操作の安全性の確度を向上することにより、ダムの弾力的、効果的な操作の可能性を見出し、洪水リスクの低減と水資源の効果的利用を両立させるための技術開発。

## 展開

ユーザに広く公開されることで、ユーザが波及的なアプリケーションの開発を行い、産業活性化を促すとともに、超スマート社会の構築に貢献。

# DIAS水課題アプリケーション開発

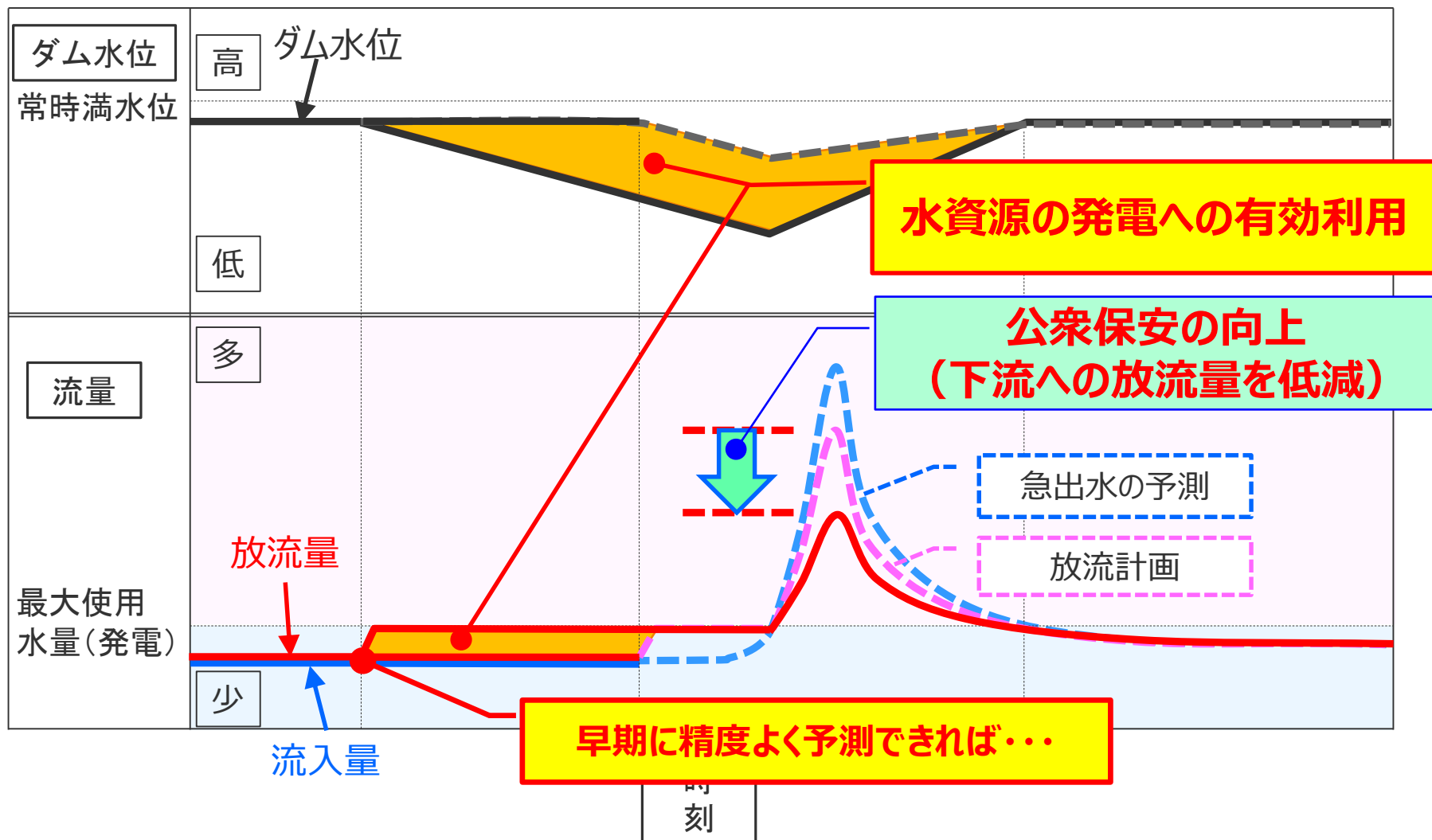




○ダム制御・・・時々刻々と状況が変化の中で、  
流入状況に基づいた確かな判断が重要となる。

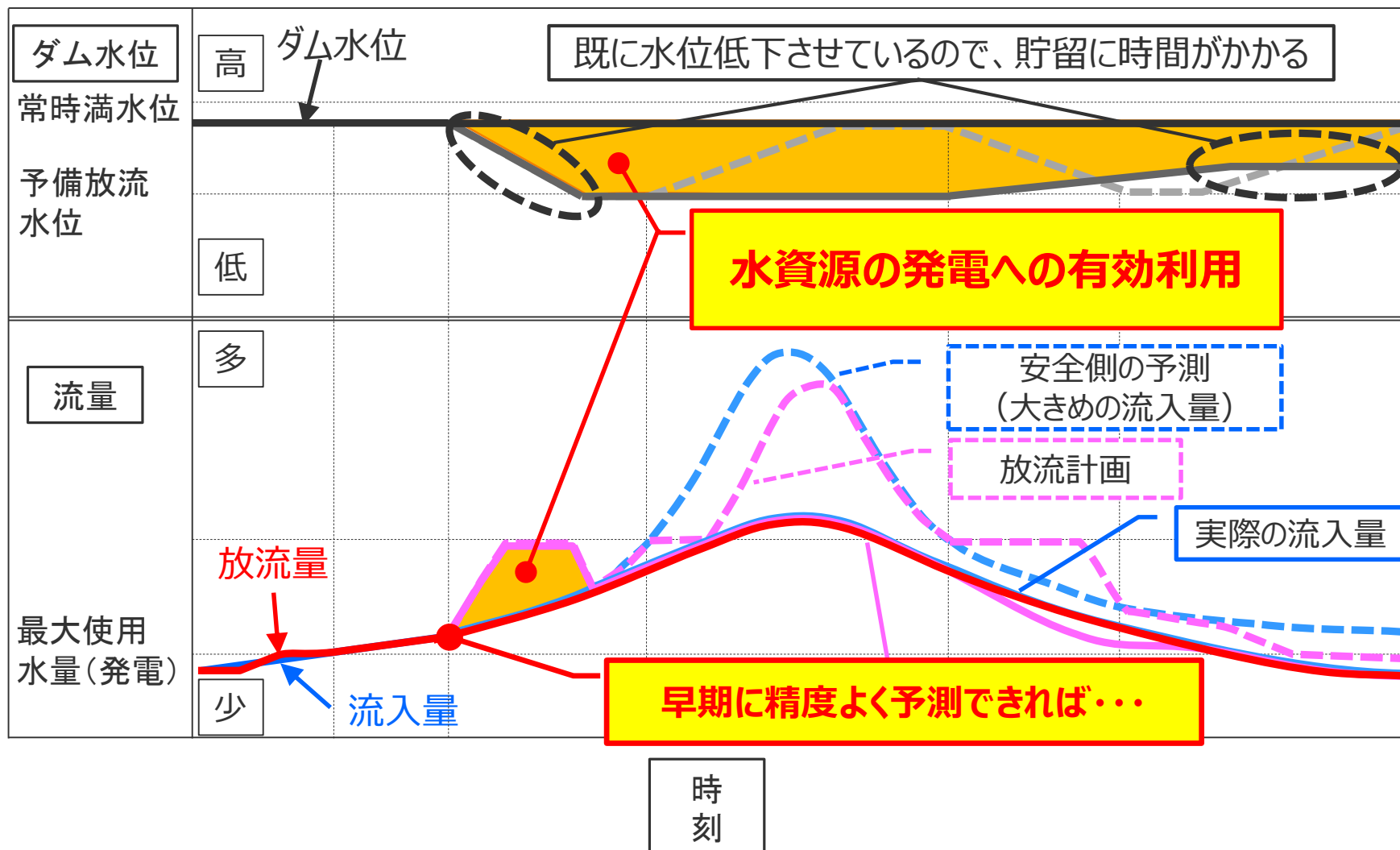
# ダム管理におけるDIAS活用への期待

## 例えば、局地的な集中豪雨による急出水の場合

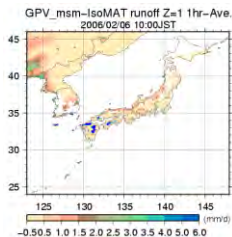
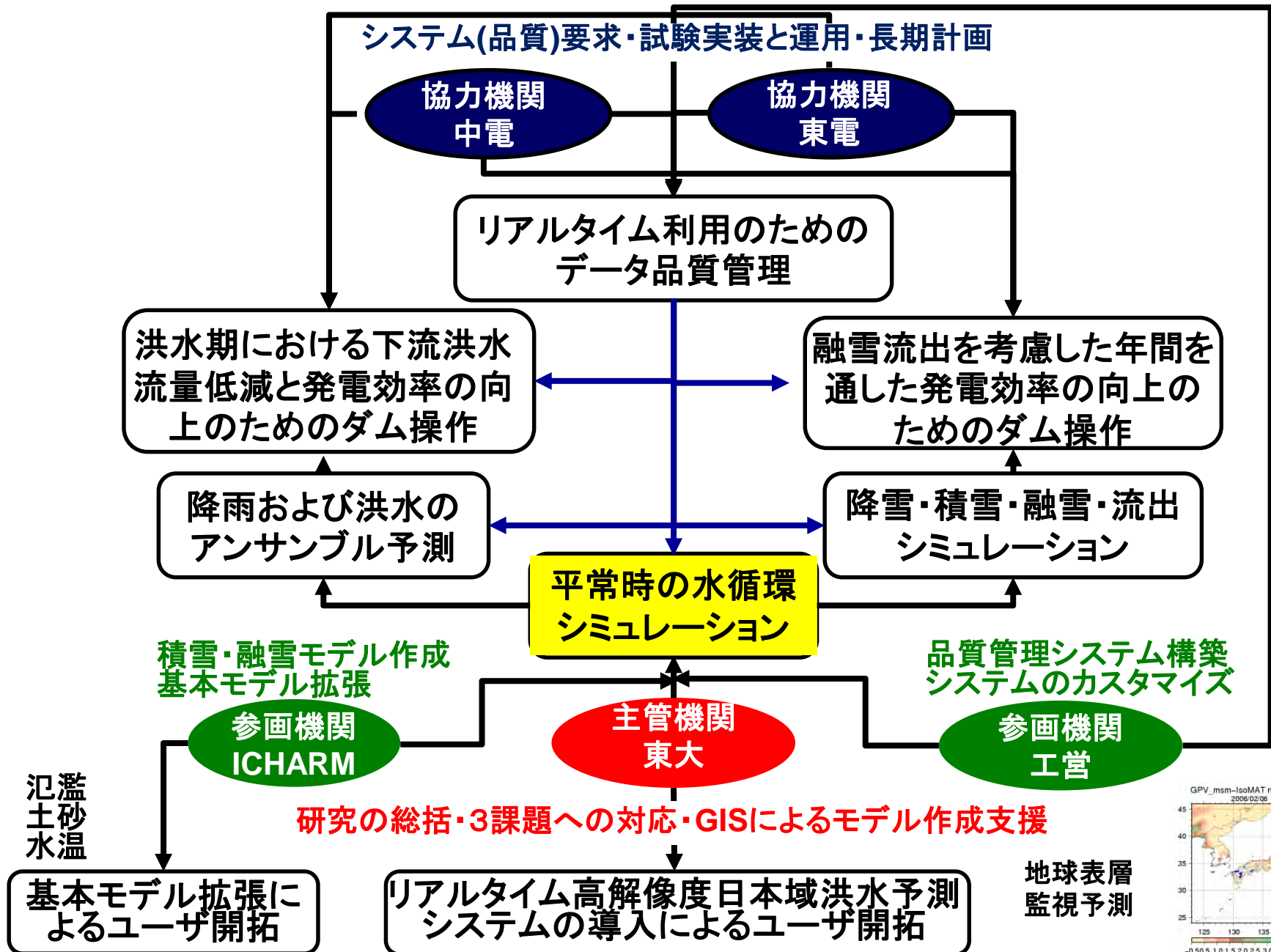


# ダム管理におけるDIAS活用への期待

例えば、大規模な出水が予測されたが、実際には流量が少なかった場合

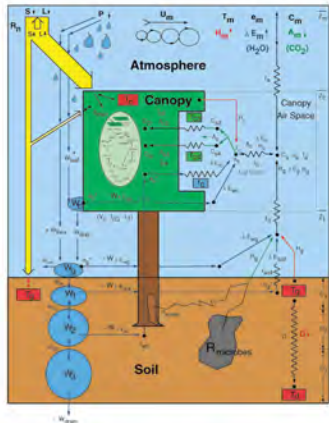


# DIAS水課題アプリケーション開発



# Hydrometeorology-Agriculture Coupled Model

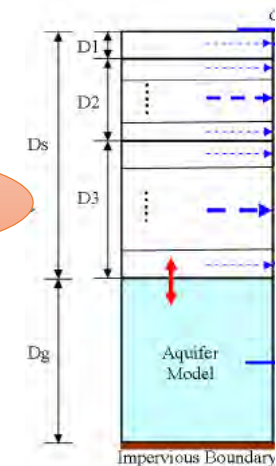
Energy and Water flux Balance



Dynamic Vegetation

Snow & Glacier

Permafrost



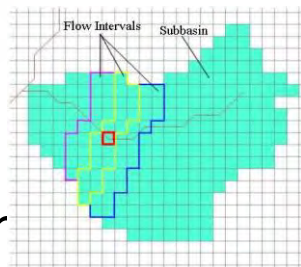
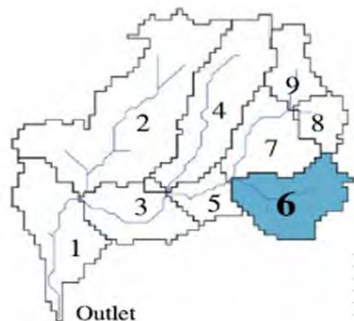
Vertical Soil moisture Profile

Irrigation System

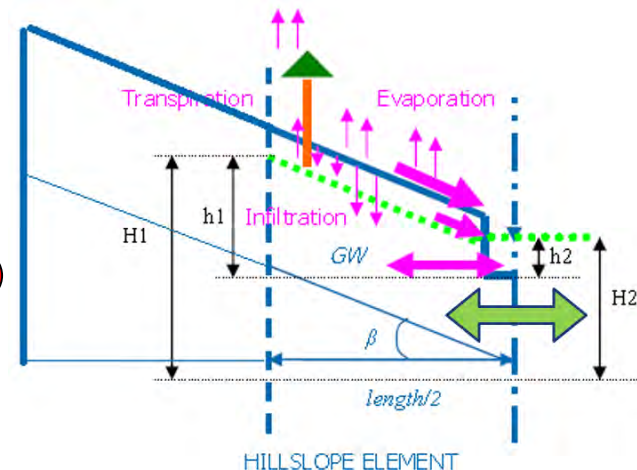
Dam Operation

Water and Energy Budget Distributed Hydrological Model (WEB-DHM)

Lateral flow, Gridded to Flow-interval



Rainfall, Runoff & Inundation (RRI)



Riverflow Via Kinematic Wave Equator



# Explanation of Proposed Methodology

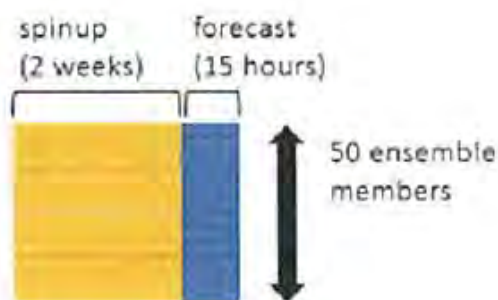
Both systems were operated for a 3-hour simulation period. (I.e. 1 forecast period)

50 ensemble members

14 day spin-up for current version

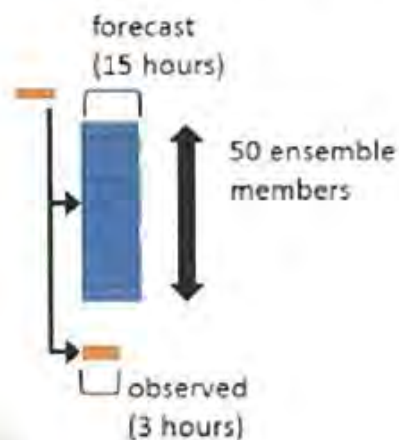
**single-core operation (no parallelization)**

## CURRENT



run-time = **2h 44m**

## DEVELOPMENT



run-time = **3m 12s**

about  
1 / 50 th  
( 2 % )

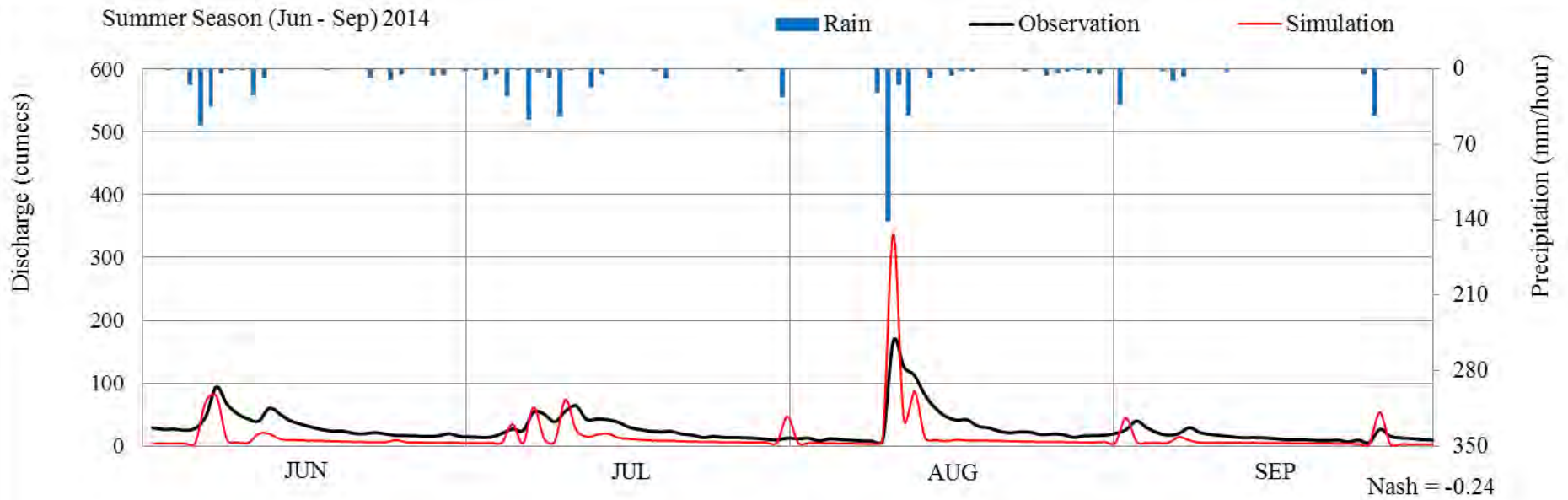
# Calibration: Soil/Land Surface Parameters

Sat Surface Hydraulic Conductivity

Soil Anisotropic Ratio

Roughness of Slope/River Bed

Maximum Surface retention



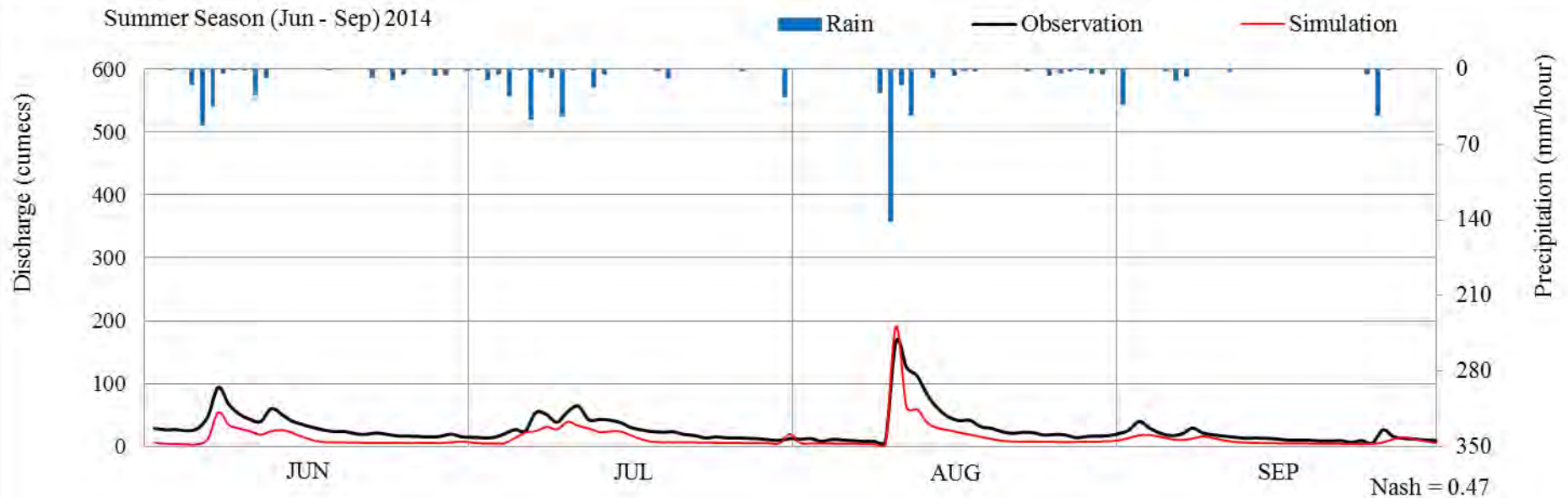
# Calibration: Soil/Land Surface Parameters

Sat Surface Hydraulic Conductivity

Soil Anisotropic Ratio

Roughness of Slope/River Bed

Maximum Surface retention



- Hydraulic conductivity ( $K$ ) is the rate at which water moves through a porous medium under a unit potential energy gradient.
- $K$  is very low at low to moderate water content, and increases nonlinearly to its saturated value ( $K_{sat}$ ) as water content increases.

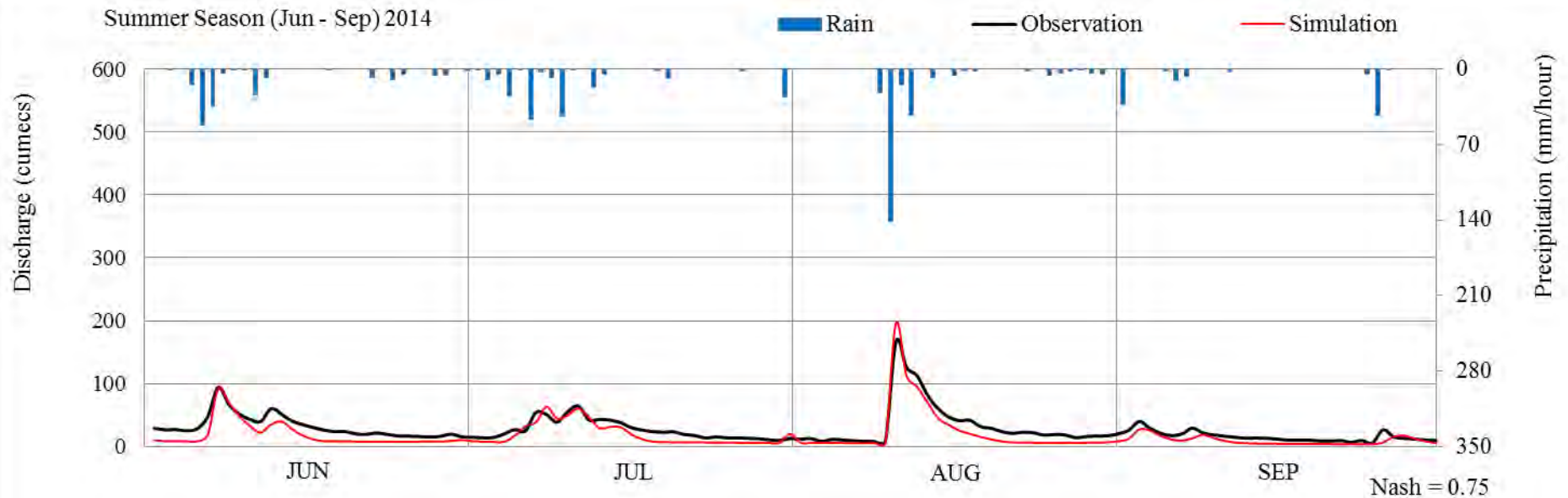
# Calibration: Soil/Land Surface Parameters

Sat Surface Hydraulic Conductivity

Soil Anisotropic Ratio

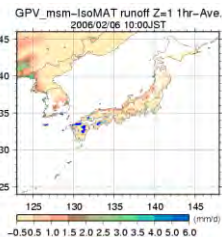
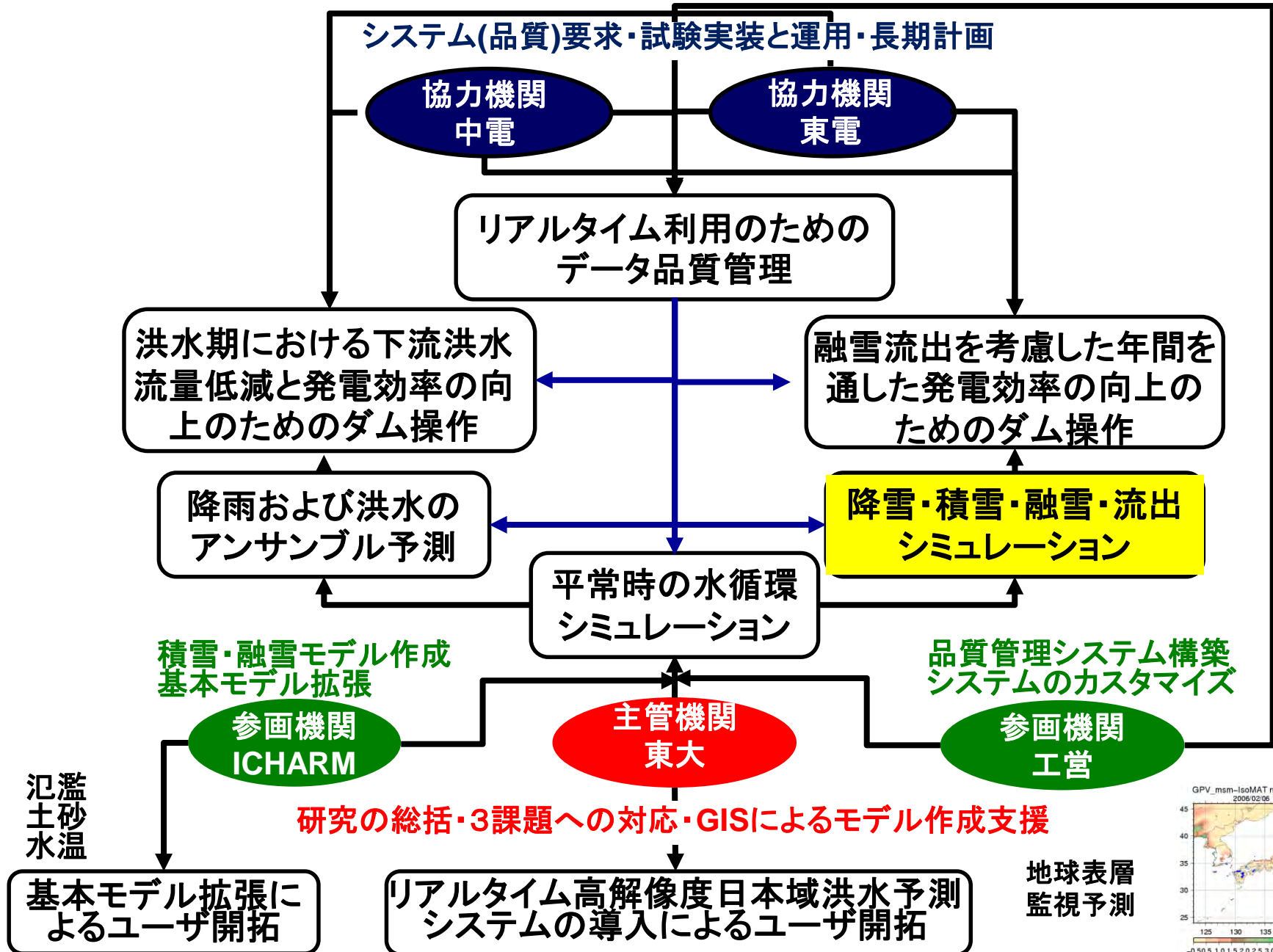
Roughness of Slope/River Bed

Maximum Surface retention



- It is basically the ration of the hydraulic conductivity ratio in direction of slope and normal to the slope
- Anisotropic behavior, with horizontal hydraulic conductivity ( $K_x$ ) greater than vertical hydraulic conductivity ( $K_y$ ), enhances the process of subsurface lateral flow and partial area saturation

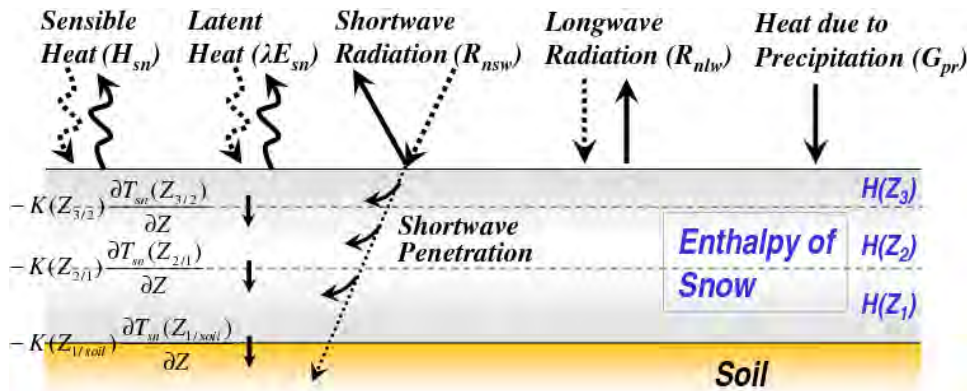
# DIAS水課題アプリケーション開発



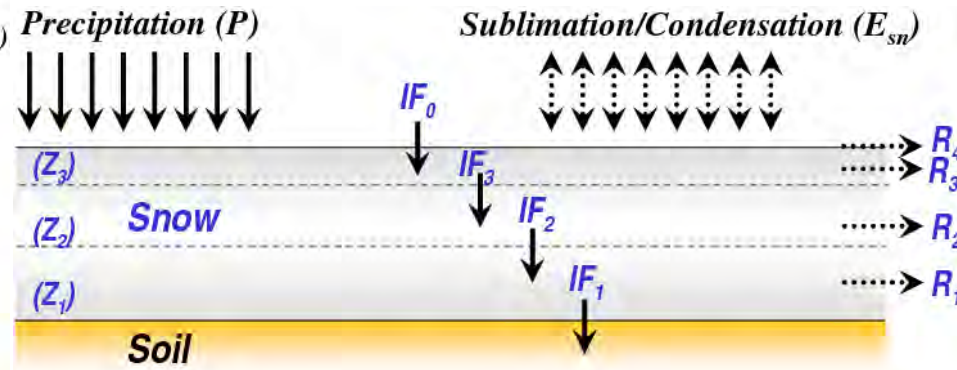
# Model Development: Snow

Shrestha et al. HESS 2013

## Energy Balance



## Mass Balance



- **Surface energy balance** – Top layer, **Conductive flux** – Underlying layer
- **Enthalpy – Cold content and Phase Change** – Refreezing/ Melting- Ice and Water content
- **Compaction** (destructive metamorphism, overburden and melt)
- **Density of fresh snow** – Parameterized from air temperature and wind speed

## Snow Albedo (Dickinson et al., 1993)

Fresh snow albedo (VIS),  $\alpha_{vis0} = 0.95$

Fresh snow albedo (NIR),  $\alpha_{nir0} = 0.65$

$\alpha_{vd} = \alpha_{vis0} \times (1 - 0.2 f_{age})$  Aging Effect

$\alpha_{nird} = \alpha_{nir0} \times (1 - 0.5 f_{age})$  Effect

$\alpha_{vis} = \alpha_{vd} + 0.4 f_{zen} (1 - \alpha_{vd})$  Zenith Effect

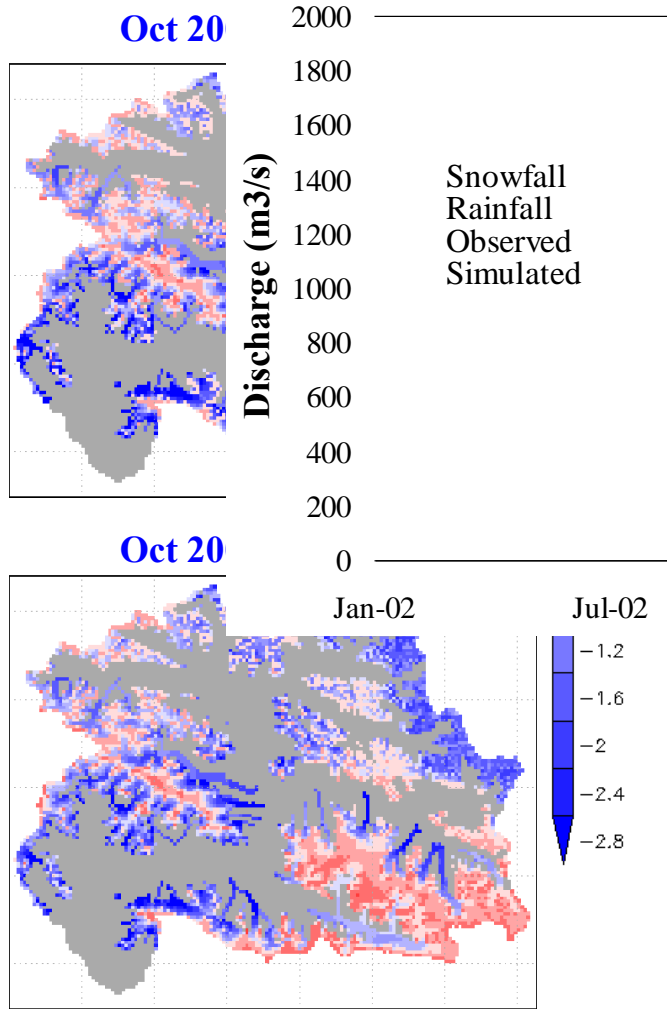
$\alpha_{nir} = \alpha_{nird} + 0.4 f_{zen} (1 - \alpha_{nird})$  Effect



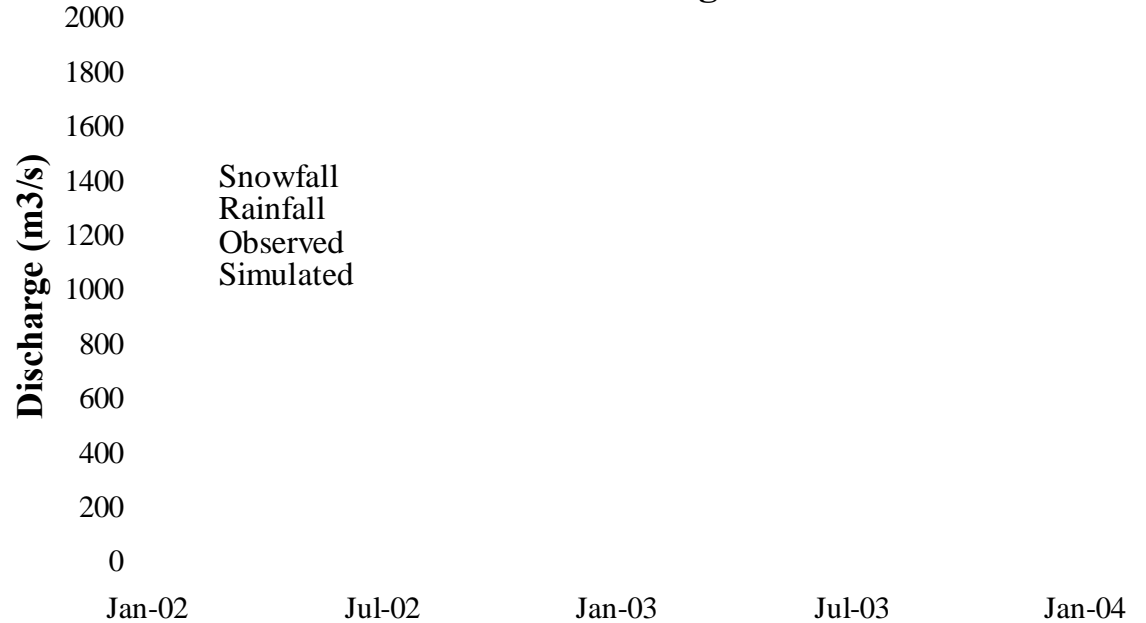
# Hunza: Mass Balance and Discharge

*Shrestha et al. JGR 2015*

## Net Mass Balance (m w. eq.)



## Discharge - Hunza River Basin

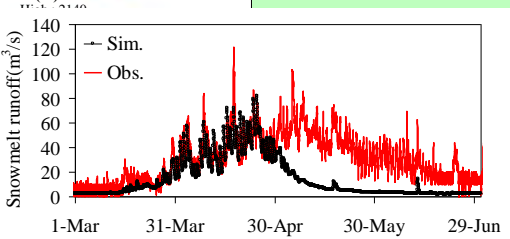
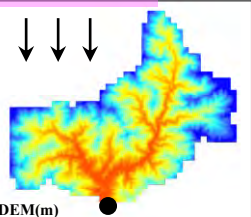


Year	Contribution to Discharge			Statistics		
	Rainfall	Snow melt	Glacier melt	NSE	MBE	R <sup>2</sup>
2002	12%	35%	53%	0.92	+4.56%	0.97
2003	10%	40%	50%	0.94	+3.65%	0.97

# Correcting snowfall in basin scale – Upper Tone, Japan (AWCI/CCAA)

Shrestha et al. JSCE 2015

## Snowfall



A large inconsistency between observed snowfall and snowmelt runoff

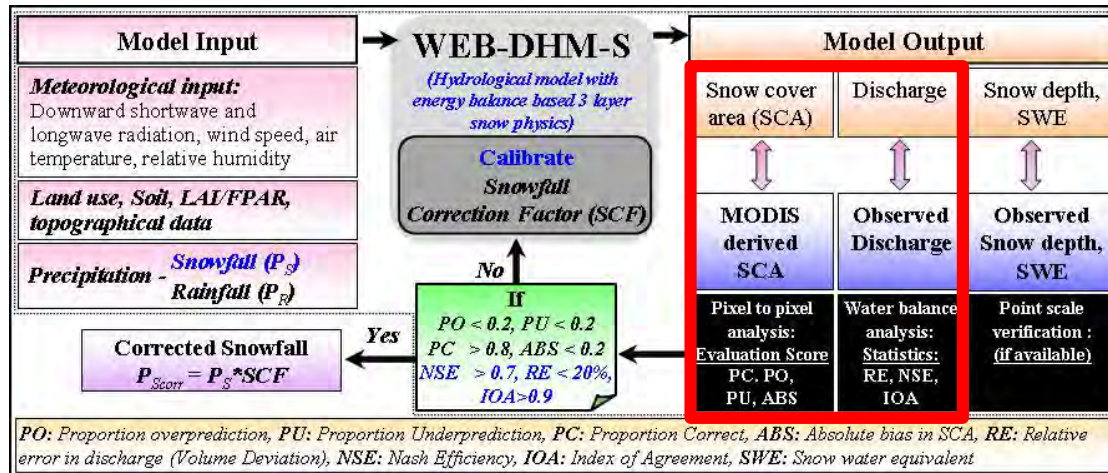
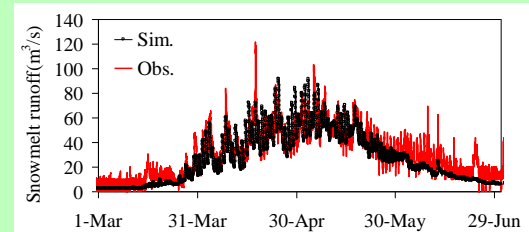
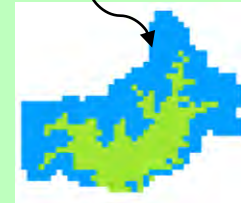
Is winter precipitation (snowfall) reliable?  
Need Adjustment/Correction

How to correct ?

Establish a method to correct snowfall  
(in point/basin scale)

$$SCF(z) = \{1 + (z - z_a) * C_f\}$$

## Snow cover area



## Contingency Table

Model Simulated	MODIS		
	Snow	No Snow	Marginal Total
Snow	A (Hit)	B (False Alarm)	A+B
No Snow	C (Miss)	D (Negative Correlation)	C+D
Marginal Total	A+C	B+D	A+B+C+D

$$PO = \frac{B}{A+B+C+D}$$

$$PU = \frac{C}{A+B+C+D}$$

$$PC = \frac{A+D}{A+B+C+D}$$

$$ABS = \frac{\sum_{i=1}^N (SCA_{MODEL} - SCA_{MODIS})}{N}$$

## Discharge evaluation

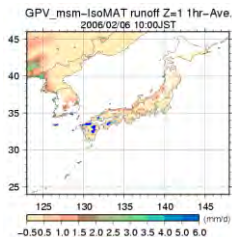
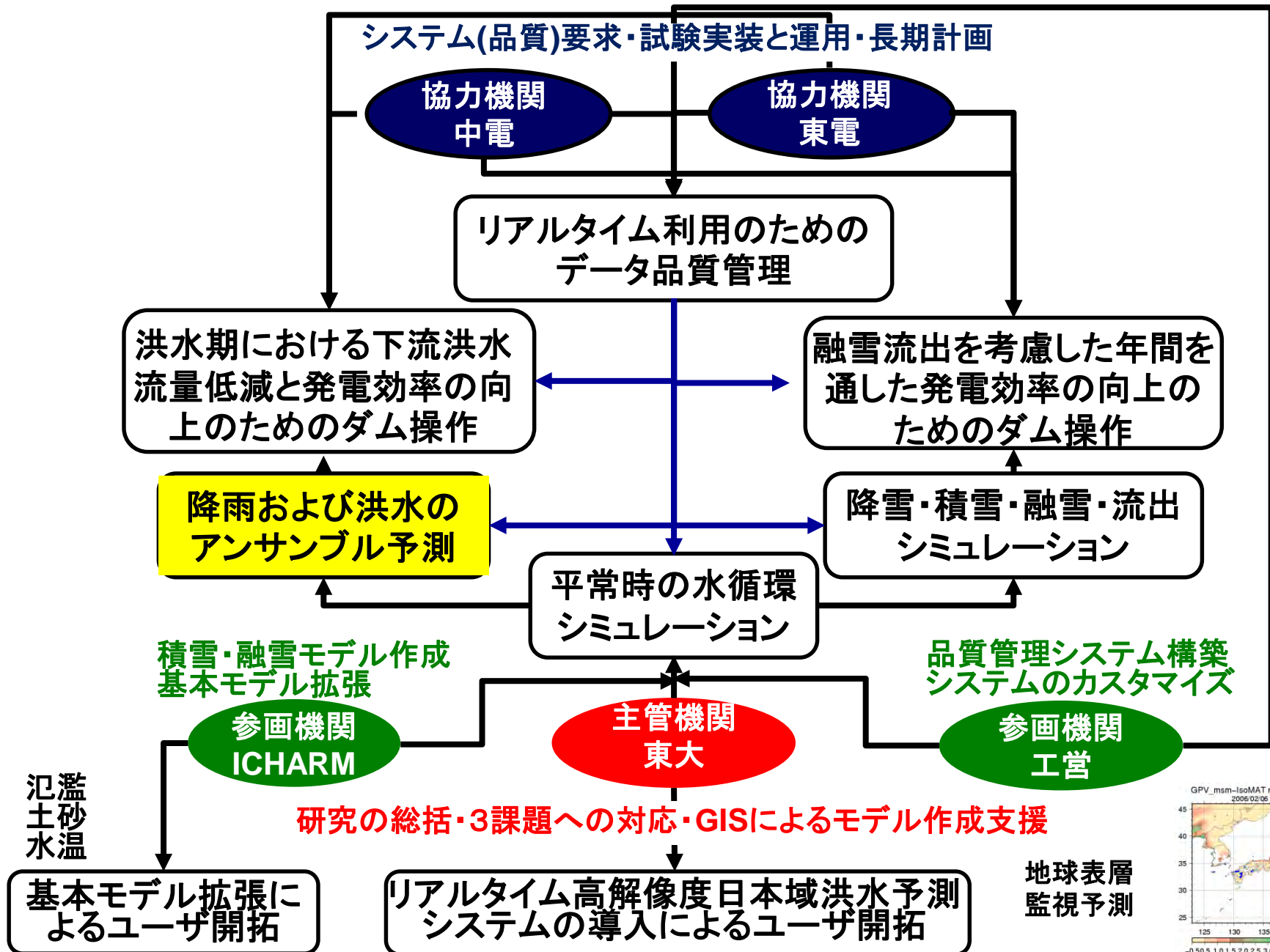
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2}$$

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{si} - Q_{oi})}{\sum_{i=1}^N Q_{oi}}$$

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^N (|Q_{si} - \bar{Q}_o| + |Q_{oi} - \bar{Q}_o|)^2}$$

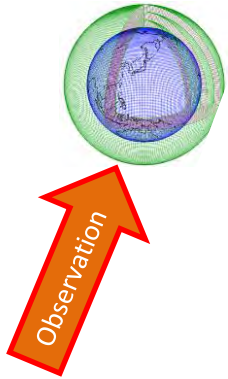


# DIAS水課題アプリケーション開発



# Probabilistic Streamflow Forecasting Utilizing Regional Ensemble Prediction System (EPS)

Japanese type: Downscaling with Mesoscale Data assimilation



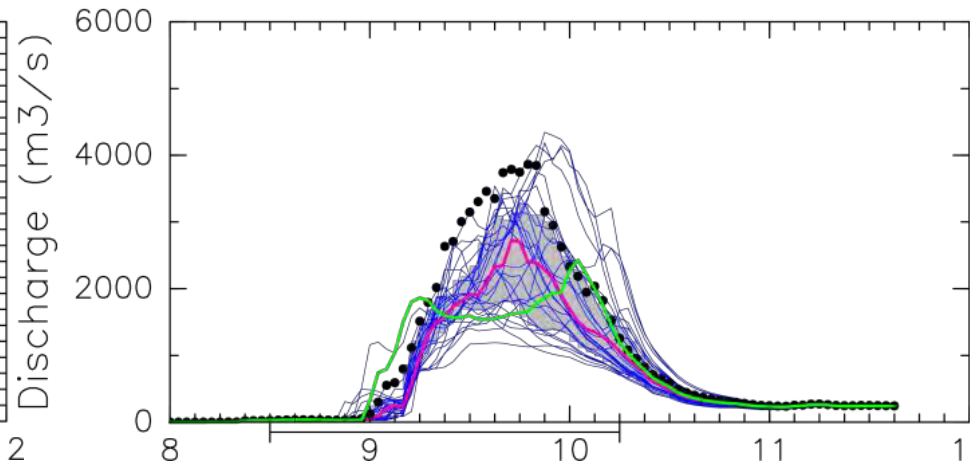
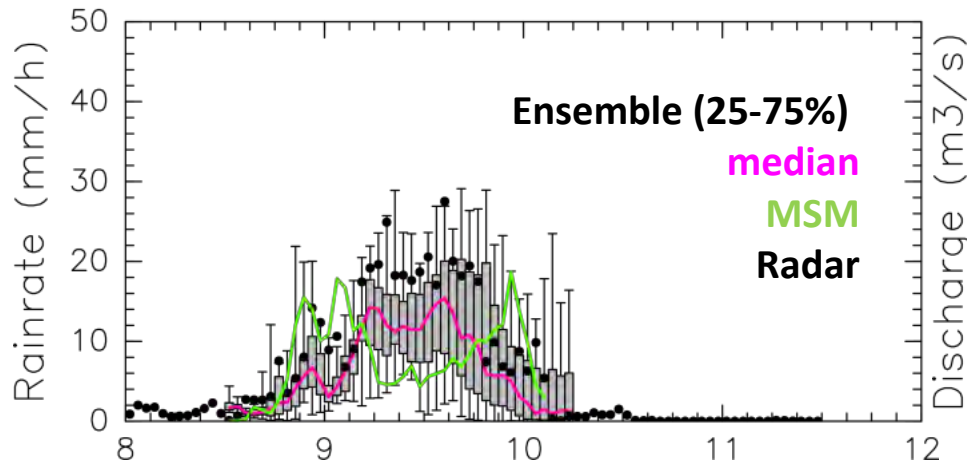
JMA

20 km GCM → 5 km regional ensemble, 11 member

ICHARM

20 km GCM → 3 km regional ensemble, 21~33 member

12z08 ~ FT=18h



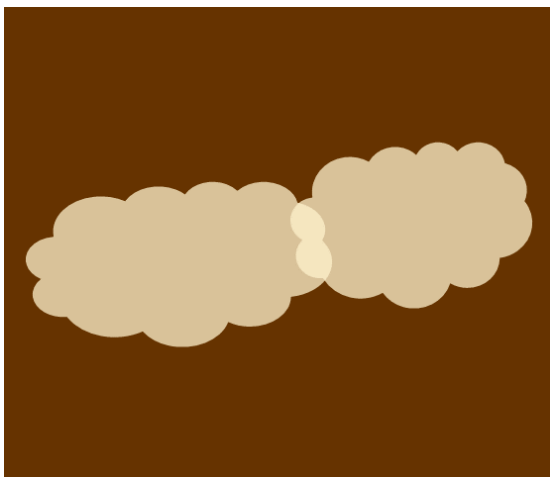
# 陸上の雲の同化は困難

模式図

衛星から見た  
陸上の雲



背景射出を取り  
除いた雲



大気-陸面結合データ同化システム  
(CALDAS-WRF)

土壌水分の  
最適化

低周波  
マイクロ波

高周波の陸面射出  
(背景情報)の算出



AMSR-E, AMSR2

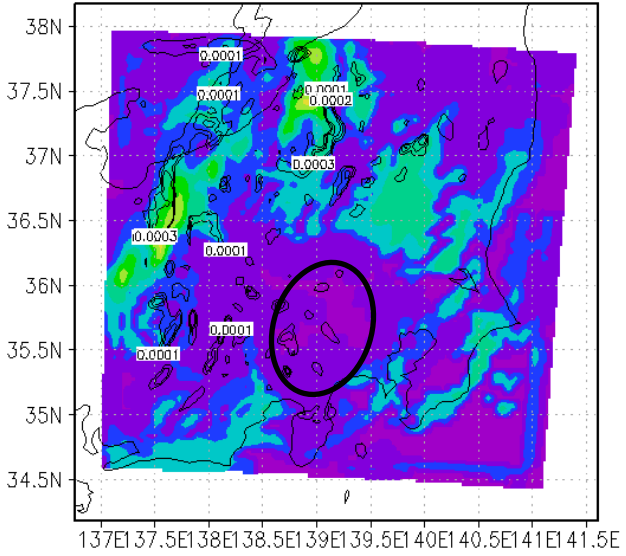
雲水量の  
最適化

高周波  
マイクロ波

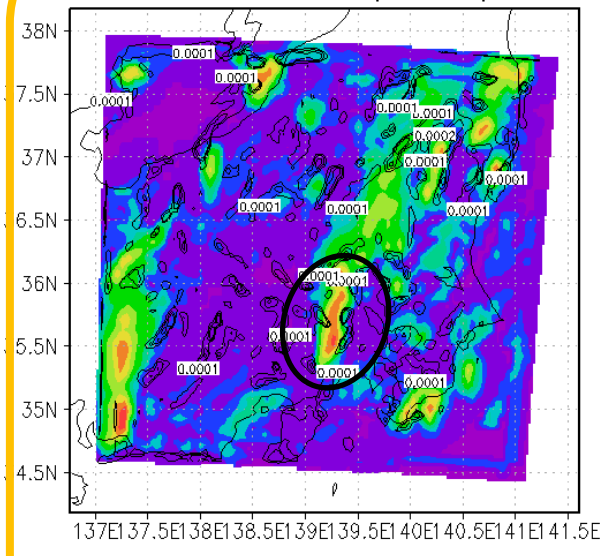
予測計算

# 予測雨量の比較 (17UTC on 28 August)

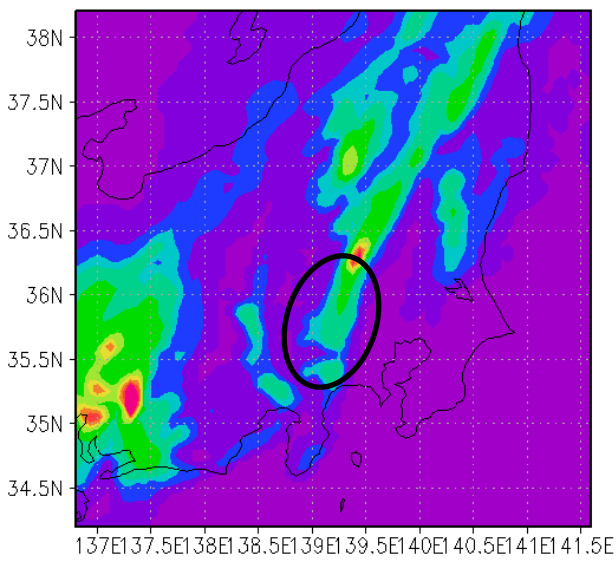
## NCEP FNL → WRF



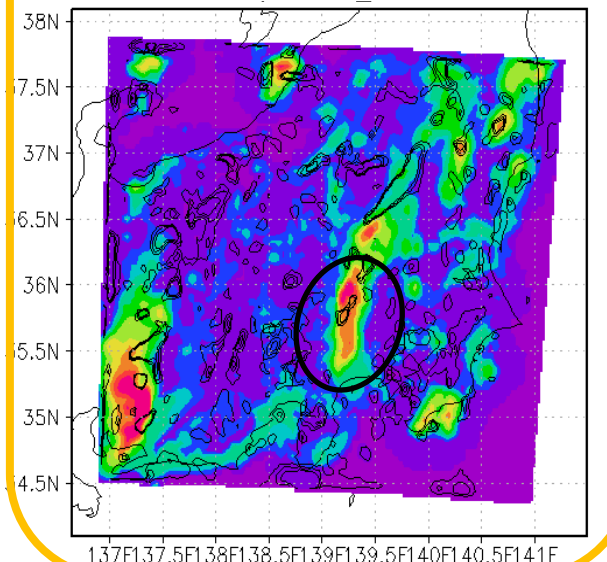
## NCEP FNL → CALDAS-WRF



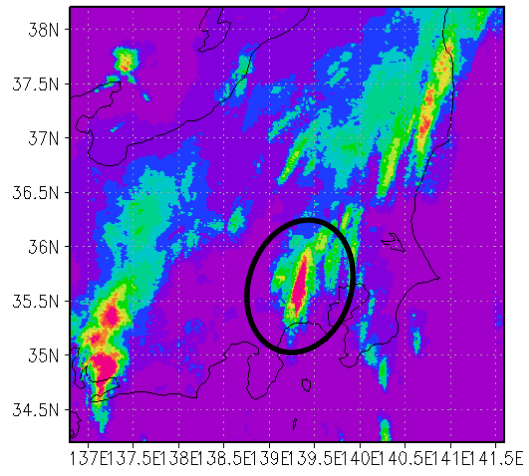
## JMA-MSM



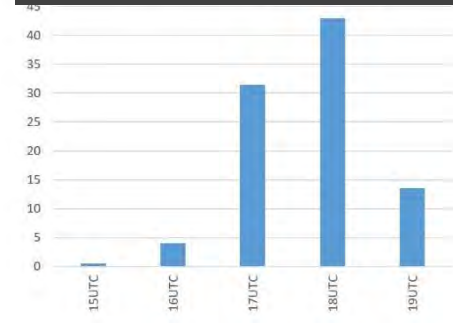
## JMS-MSM → CALDAS-WRF



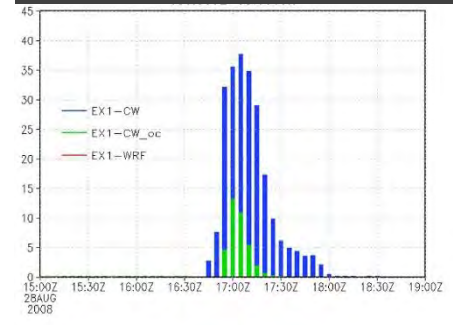
Precipitation rate (mm/hr) [AMeDAS] at 17Z28AUG2008



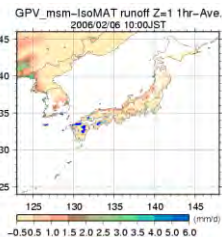
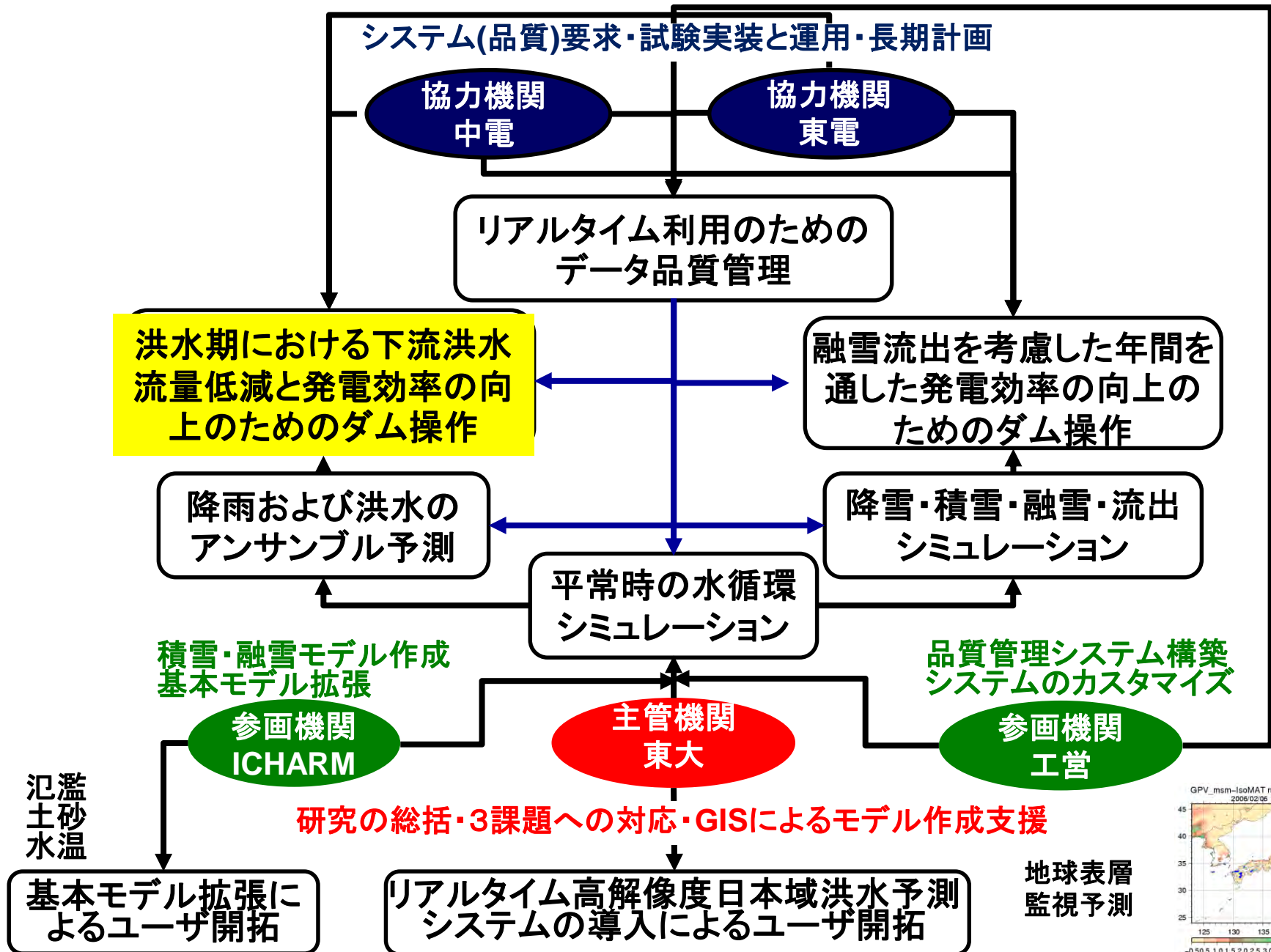
### AMeDAS



### CALDAS-WRF



# DIAS水課題アプリケーション開発



## 2. 具体的な評価の手順

降雨量, DEM, 土地利用, 横断面図

RRI(土木研究所)

水位, 流量, 浸水深, 浸水域

治水経済調査(国交省)

新規性！

事前放流量( $x[m^3]$ )

×

事前放流によるコスト

||

$f(x) =$  洪水被害額  $+ \alpha \times$  事前放流による損失

•  $\operatorname{argmin}\{f(x)\} = \{\max(x)\}$ であることを示す

•  $\alpha = 1/\text{降雨予測の的中率}$

## 2. 事前放流による損失計算

- 仮定；国土交通省の想定最大規模の豪雨(787mm/48h)が発生
- **降雨が始まる72時間前に事前放流をするかを決定**  
→降雨予測の的中率を考慮する必要がある
- 事前放流による損失評価式；

$$C(\text{エネルギー単価}[0.011\text{円/kJ}]) \times e(0.8[\text{エネルギー効率}]) \times X(\text{事前放流量}[m^3]) \times \rho(1.0[t/m^3]) \times g(9.8[m/s^2]) \times h(\text{落差}[m])$$

### 中電・東電への聞き取り調査のもと策定

ダム別貯水量・放流量(©中電・国交省)

	長島	井川	畑薙第二	畑薙第一	赤石
有効貯水量(千 $m^3$ )	68,000	108,366	7,247	60,255	1,429
予備放流量(千 $m^3$ ) (洪水調節容量[長島])	47,000	16,253	215	597	1,041
使用水量( $m^3/s$ )	1,150	80	50	60	28
落差(m)	-	92.7	164.1	101.7	162.6



# 2. 洪水被害額の計算

## ・洪水被害額=被害率×資産価値

浸水深ごとの被害率(©国交省)[家屋は土地勾配1/500を想定]

浸水深(cm)	家屋	家庭用品	事業在庫	事業償却	農家在庫	農家償却
0-49	0	0	0	0	0	0
50-99	0.205	0.326	0.267	0.453	0.37	0.237
100-199	0.382	0.508	0.586	0.789	0.491	0.297
200-299	0.681	0.928	0.897	0.966	0.767	0.651

資産価値計算表

項目	基礎数量	評価額	参考資料
家屋	床面積	105(m <sup>2</sup> /世帯) 16(万円/m <sup>2</sup> )	住宅経済関連データ 国勢調査
家庭用品	世帯数	1,493(万円/世帯)	
事業所償却資産 在庫	従業者数	273(万円/人) 563(万円/人)	
農漁家償却資産 在庫	世帯数	291(万円/世帯) 19(万円/世帯) 0.024(農漁家世帯率)	
被害感情	世帯数	200(万円/世帯)	

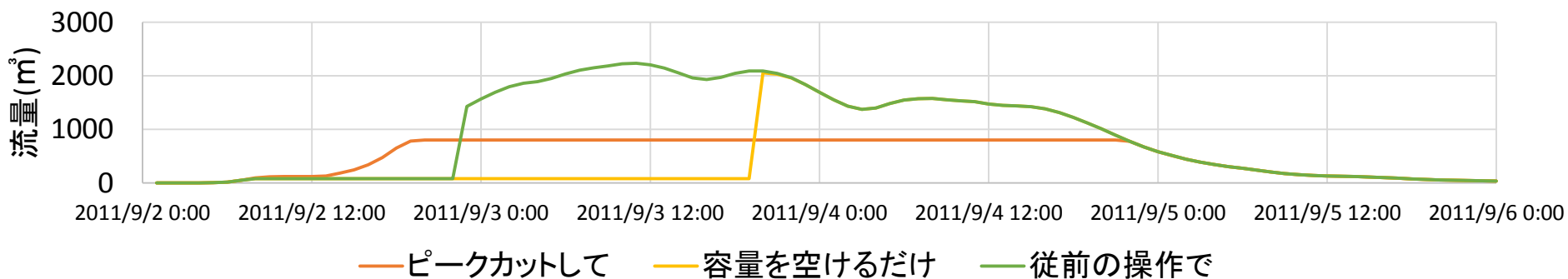
栗城ら(1996),松島ら(2007)



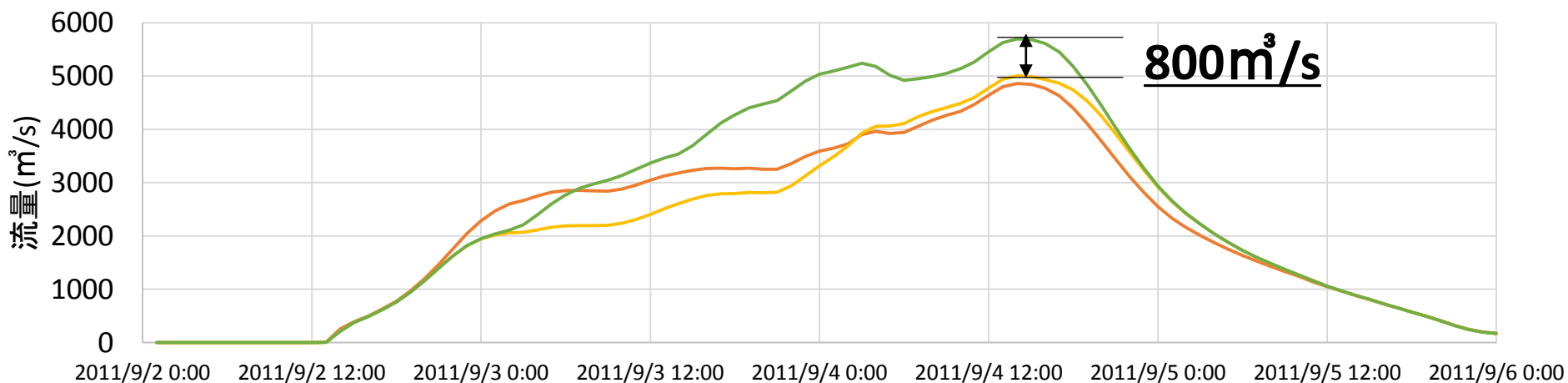
# 3. 事前放流による流量低減効果

•ダムの容量を開けておくだけで $800\text{m}^3/\text{s}$ の流量低減効果が得られる

井川ダム

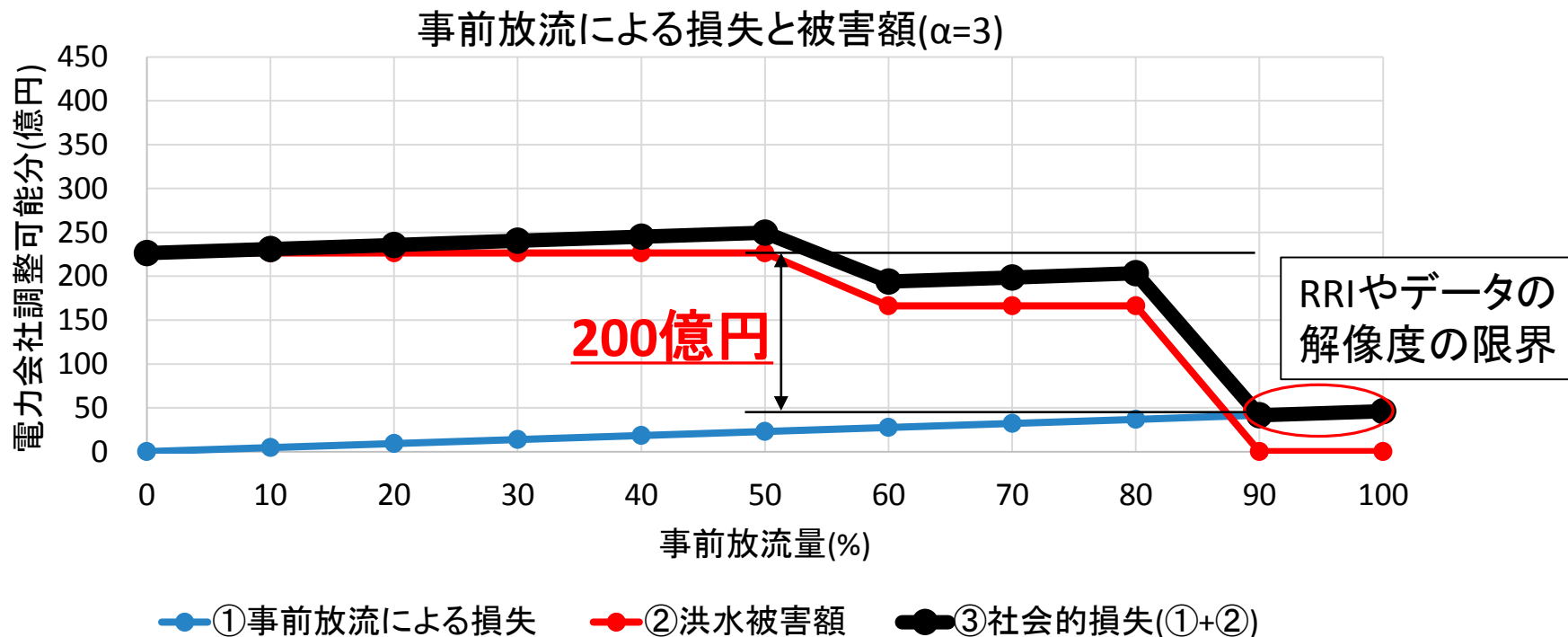


基準点神座(23.6kp)

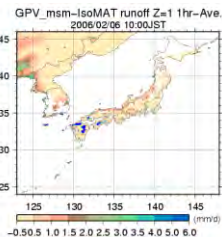
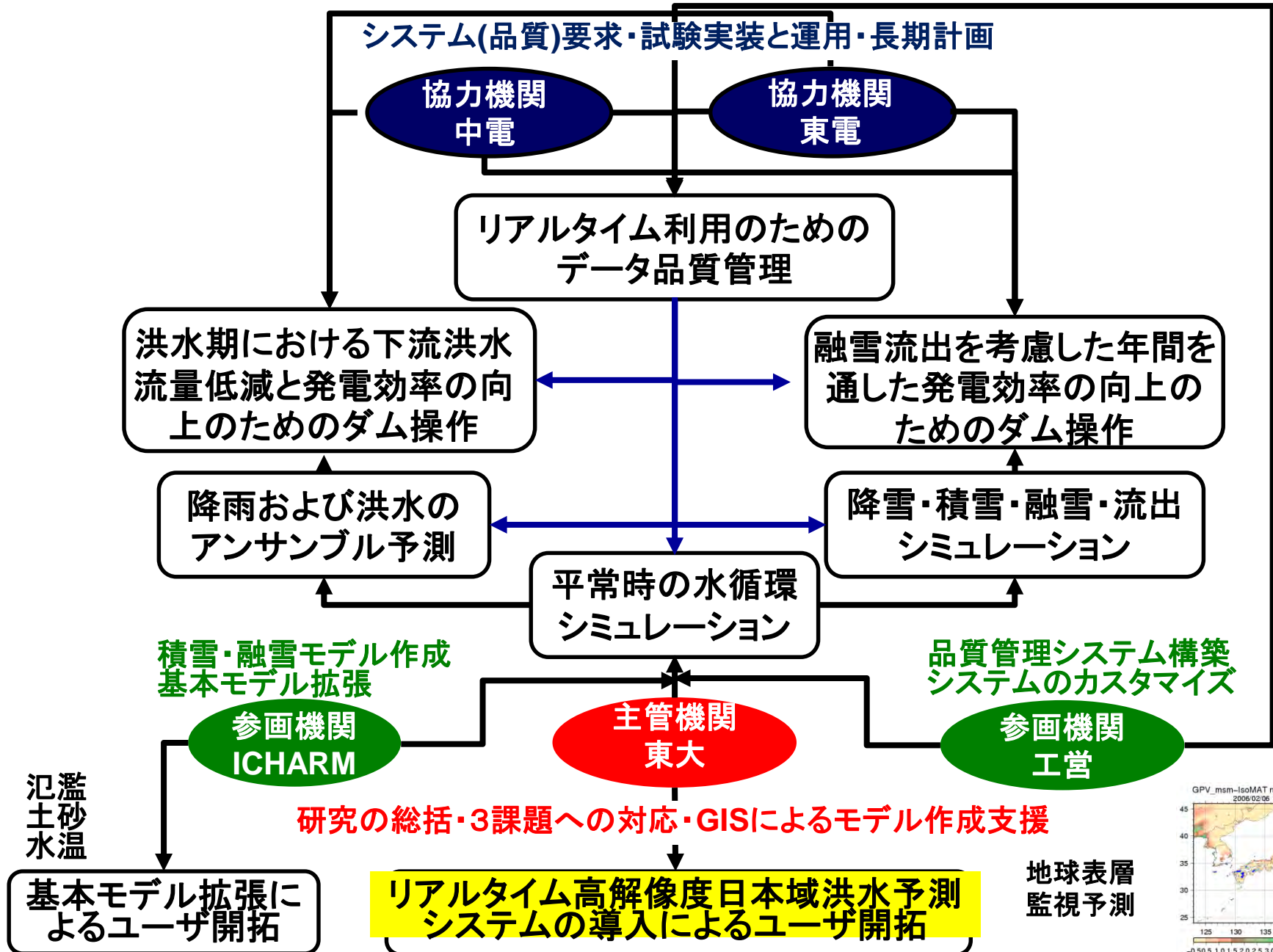


# 3. 損失/被害額評価式

- 大井川流域想定最大規模の降雨による推定被害額...**1兆3,500億円**
- Y軸...X%事前放流損失-100%事前放流損失; 電力会社調整可能分
- 3日前降雨予測の的中率である33%、すなわち $\alpha=3$ を代入した場合
- 長期降雨予測においては事前放流を100%行う方が最適**



# DIAS水課題アプリケーション開発





降水量

ECMWFアンサンブルデータセット  
時間解像度：6時間  
空間解像度：25km  
予報時間：240時間  
メンバー数：51

内挿

その他大気データ

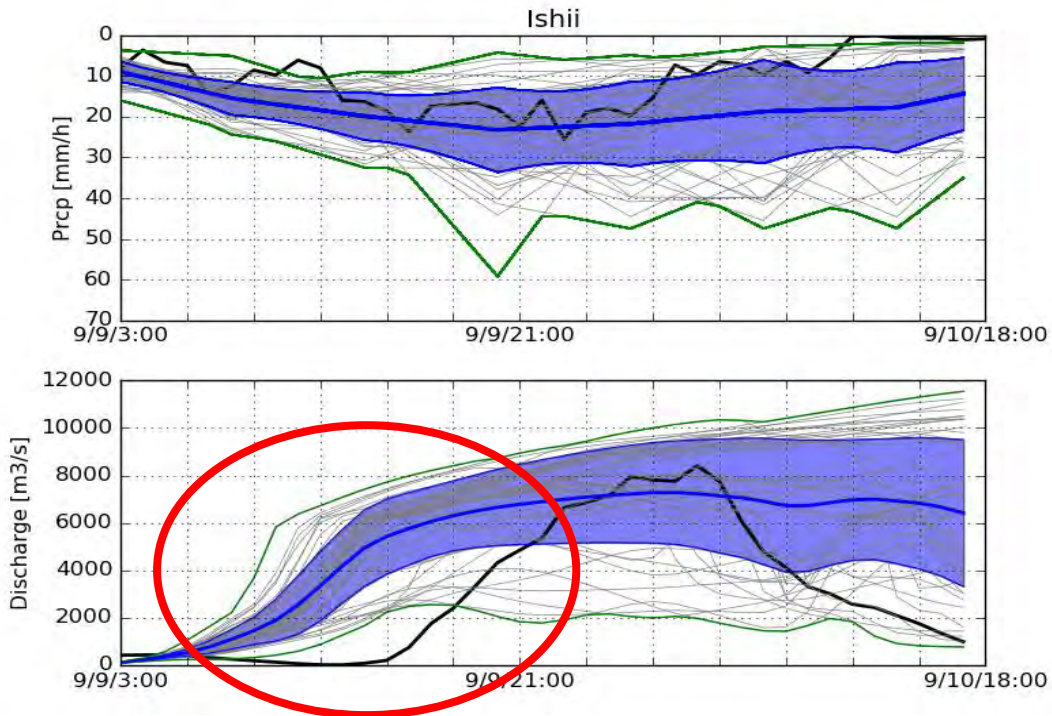
気象庁メソ数値予報モデル (MSM)  
時間解像度：1時間  
空間解像度：5km  
予報時間：39時間  
メンバー数：1

気象外力

アンサンブル大気データ  
時間解像度：1時間  
空間解像度：5km  
予報時間：39時間

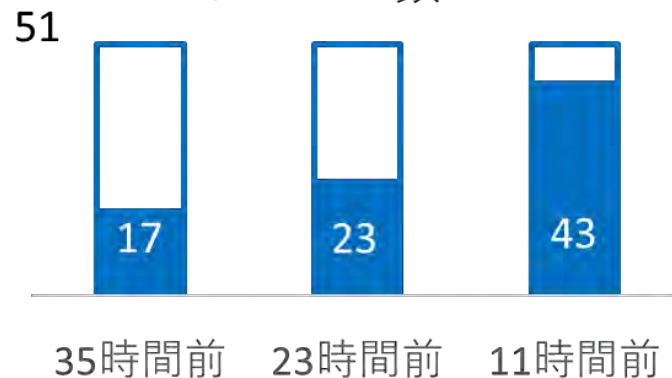
# 日本域0.05度洪水予測システム

MATSIRO+CaMa-Flood でアンサンブル降水入力による洪水予測システムを構築。鬼怒川洪水に適用。



モデル流量の立ち上がりが9時間程早い

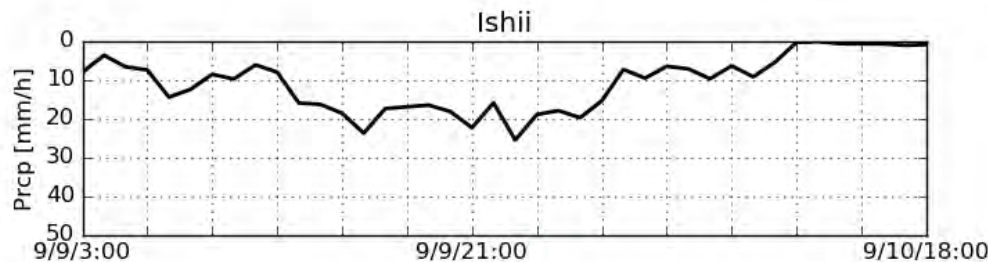
観測流量が赤線を越えた時刻に赤線を越える予報を出したメンバー数



石井（右）地点における予測成功メンバー数  
9/8/15:00, 9/9/03:00, 9/9/15:00

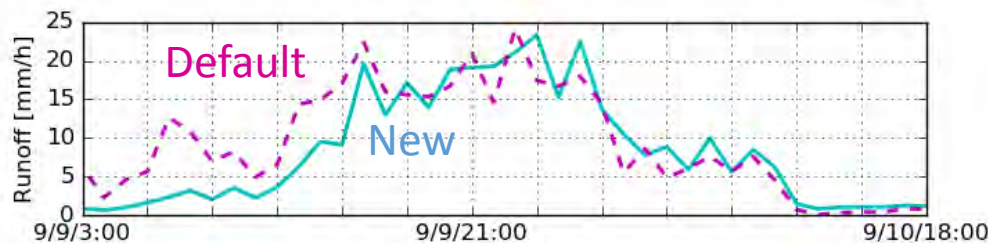
# 日本域0.05度洪水予測システム

土壌分類を高解像度にアップデートしたことで  
多くの流域でハイドログラフの立ち上がりが改善 (Yabu, in prep)

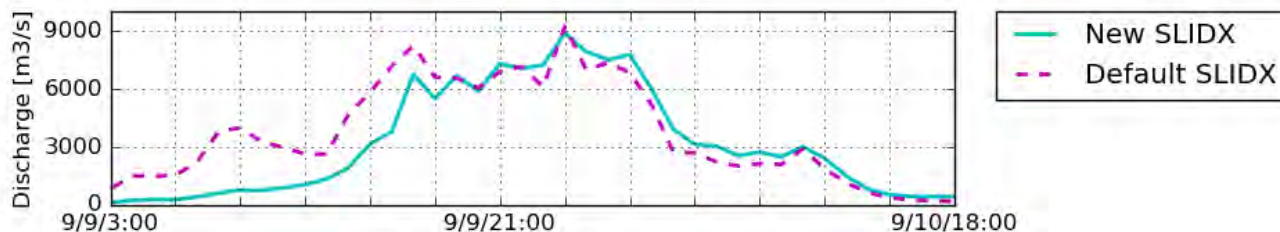


気象庁提供の  
レーダー降雨観測を  
入力

初期流出  
が減少



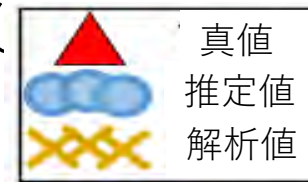
立ち上がり  
が改善



レーダー観測降雨入力のもとで  
新旧のSLIDXによる流量出力の比較



# データ同化を用いた初期値の作成

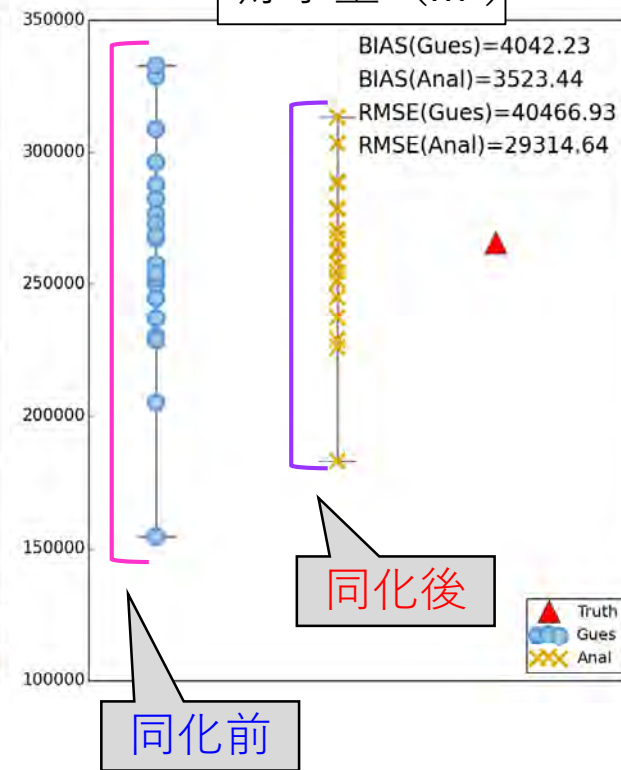
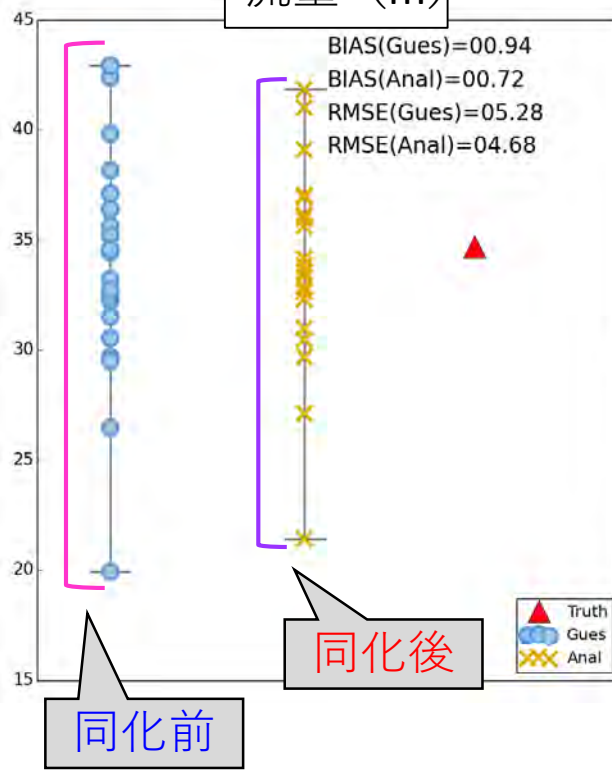
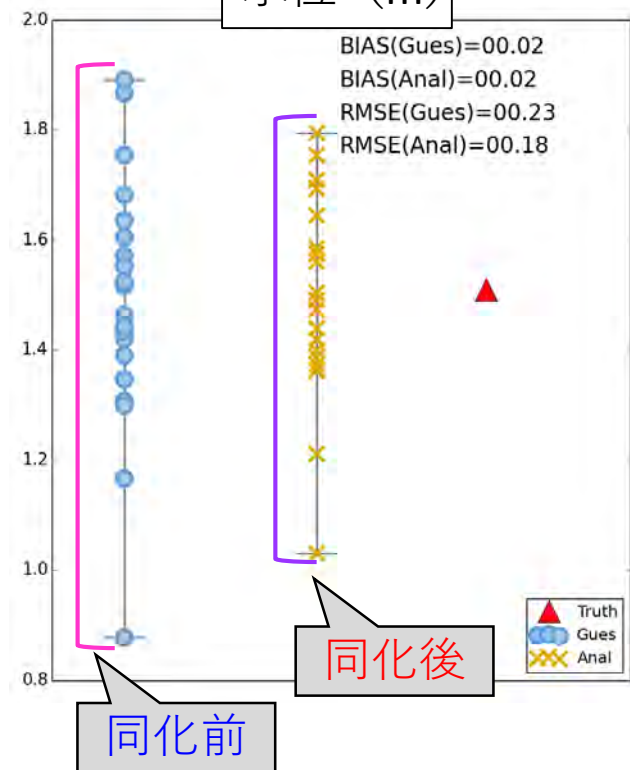


狐禅寺地点(メンバー数20)

### 水位 (m)

### 流量 (m)

### 貯水量 (m<sup>3</sup>)



- 同化によるスプレッド (メンバー間のばらつき) の減少が確認された

# DIAS水課題アプリケーション開発

