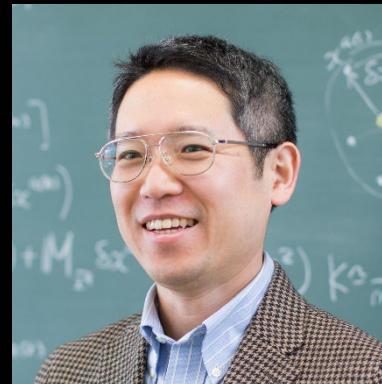


# 「富岳」を使ったゲリラ豪雨予報 2021年夏季のリアルタイム実証実験



みよしたけまさ  
**三好 建正**

Ph.D. (Meteorology)  
データ同化研究者

理化学研究所  
計算科学研究中心  
データ同化研究チーム



# Who am I?

大学卒業  
↓  
気象庁企画課 (2年)  
↓  
気象庁数値予報課 (1.25年)  
↓  
メリーランド大学大学院留学  
(2年, M.S. and Ph.D.)  
↓  
気象庁数値予報課 (3.5年)  
↓  
メリーランド大学 (4年)  
↓  
理化学研究所 (9年+)



<http://data-assimilation.riken.jp/~miyoshi/>

## Takemasa Miyoshi, Ph.D.

Team Leader

Data Assimilation Research Team  
RIKEN Center for Computational Science



Deputy Director

RIKEN interdisciplinary Theoretical and Mathematical Sciences  
(iTHERMS) Program

Chief Scientist

Prediction Science Laboratory  
RIKEN Cluster for Pioneering Research

Visiting Professor

University of Maryland, College Park

Affiliate Professor

Graduate School of Science, Kyoto University

Visiting Principal Scientist

Application Laboratory, JAMSTEC

Research Counselor

Servicio Meteorológico Nacional (National Meteorological Service),  
Argentina



## Education

- **2005** Ph.D. in Meteorology, University of Maryland, College Park, Maryland, USA ([Dissertation PDF](#))
- **2004** M.S. in Meteorology, University of Maryland, College Park, Maryland, USA ([Scholarly Paper PDF](#))
- **2000** B.S. in Physics, Faculty of Science, Kyoto University, Kyoto, Japan

<http://tedxsannomiya.com/en/speakers/takemasa-miyoshi/>

# データ同化研究チーム

Data Assimilation Research Team

<http://www.data-assimilation.riken.jp/>



## データ同化研究チームについて

データ同化は、現実世界のデータと仮想世界のシミュレーションを結びます。例えば天気予報では、スーパーコンピュータによる大気シミュレーションと実測データを組み合わせます。この要となるのが、データ同化です。データ同化を高度に探求することで、最新鋭のレーダー観測、スーパーコンピュータ「京」を組み合わせ、これまで困難だったゲリラ豪雨の予測を可能にしました。データ同化は天気予報を超えて未来をつなぎ、その可能性が広がり始めています。

▶ [Youtube 動画: データ同化研究 -ゲリラ豪雨予測から、その先へ-](#)

▶ [理研天気予報 トップページ](#)



<https://www.agu.org/Fall-Meeting/Pages/About/AGU-TV>



Full 5-min version <https://www.youtube.com/watch?v=-yvCreWytdg>

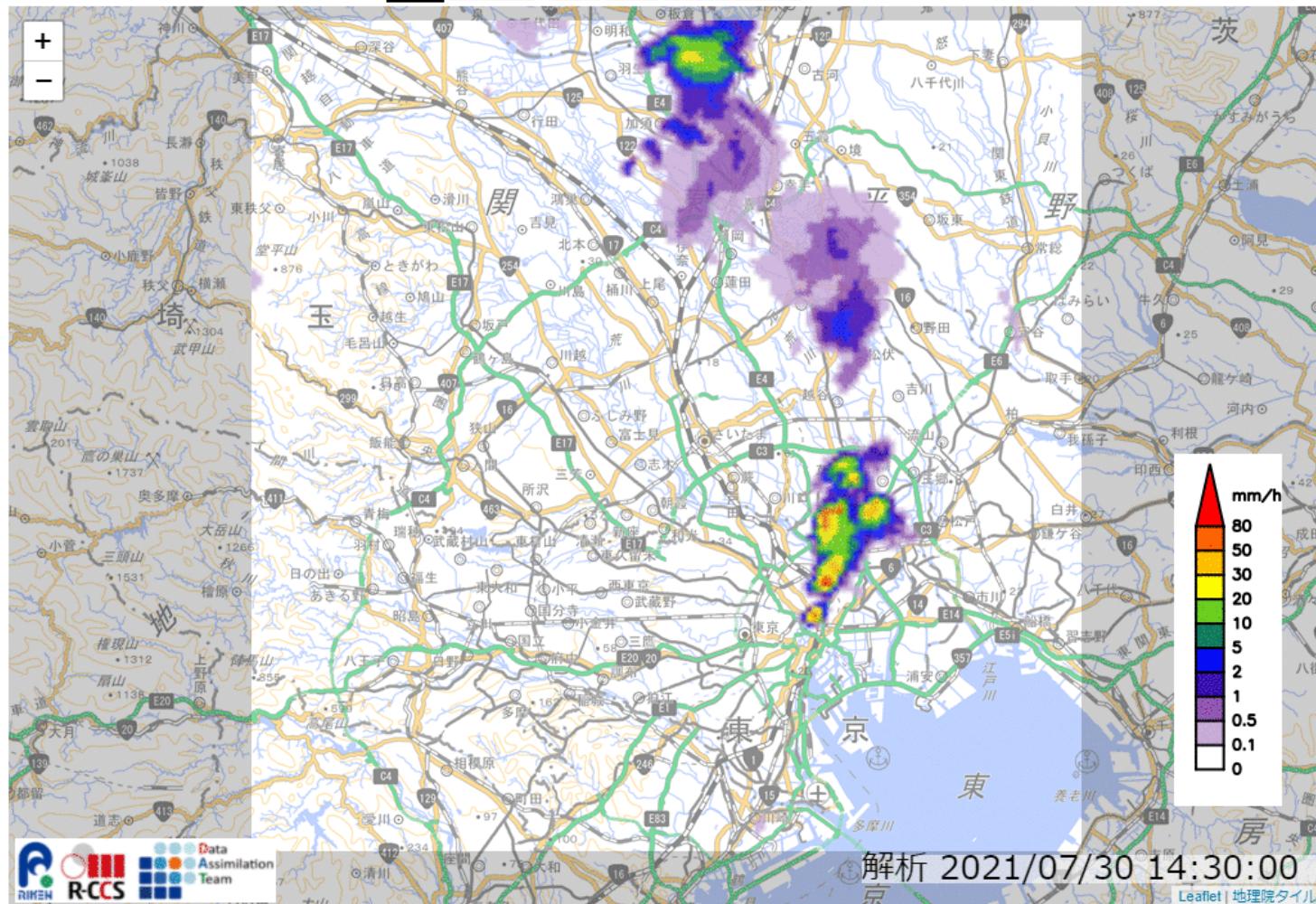
<https://weather.riken.jp/>

予報開始時刻: 2021/07/30 14:30:00 ?

&lt;&lt; 解析 2021/07/30 14:30:00 &gt;&gt;

予測 確率予測 観測 解析 気象庁レーダー ?

□ アニメーション



2021年7月13日

[← 前の記事](#) [↑ 一覧へ戻る](#) [→ 次の記事](#)

理化学研究所

情報・システム研究機構 国立情報学研究所

情報通信研究機構

大阪大学

株式会社エムティーアイ

科学技術振興機構

**7月20日-8月8日  
8月24日-9月5日**

## 「富岳」を使ったゲリラ豪雨予報

-首都圏で30秒ごとに更新するリアルタイム実証実験を開始-

[英語ページ](#)

理化学研究所（理研）計算科学研究センター データ同化研究チームの三好建正チームリーダー、雨宮新特別研究員、運用技術部門システム運転技術ユニットの宇野篤也ユニットリーダー、情報・システム研究機構 国立情報学研究所アーキテクチャ科学研究系の石川裕教授、情報通信研究機構 電磁波研究所電磁波伝搬研究センター リモートセンシング研究室の佐藤晋介総括研究員、大阪大学大学院工学研究科の牛尾知雄教授、株式会社エムティーアイ ライフ事業部気象サービス部の小池佳奈部長らの共同研究グループは、2021年7月20日から8月8日までと8月24日から9月5日までの期間、スーパーコンピュータ「富岳」<sup>[1]</sup>を使い、首都圏において30秒ごとに更新する30分後までの超高速高性能降水予報のリアルタイム実証実験を行います。

本研究は、近年増大する突発的なゲリラ豪雨<sup>[2]</sup>などの降水リスクに対して、「富岳」上の仮想世界と現実世界をリアルタイムにリンクさせることで、「富岳」の高度な利用可能性を切り拓き、超スマート社会Society 5.0<sup>[3]</sup>の実現に貢献するものと期待できます。

共同研究グループは2020年に、さいたま市に設置されている情報通信研究機構が運用する最新鋭のマルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダー（MP-PAWR）<sup>[4]</sup>による30秒ごとの雨雲の詳細な観測データと、筑波大学と東京大学が共同で運営する最先端共同HPC基盤施設（JCAHPC）のスーパーコンピュータOakforest-PACS<sup>[5]</sup>を用いて、首都圏において30秒ごとに新しいデータを取り込んで更新し、30分後までを予測する実証実験を行いました。

今回は、2021年3月に共用を開始した「富岳」を使うことで、前年よりも20倍大きな1,000通りのアンサンブル計算<sup>[6]</sup>を行います。また、システム全体を改良し、30秒ごとに更新する解像度500mの気象予測をリアルタイムで行います。このリアルタイム予報は世界唯一の取り組みで、研究に着手した2013年10月以降のさまざまな成果の集大成です。さらに、「富岳」のリアルタイム利用は初めての試みで、超スマート社会Society 5.0の実現に向け、「富岳」の新しい活用方法を切り拓きます。

実証実験で得る予報データは、気象業務法に基づく予報業務許可のもと、理研の天気予報研究のウェブページ [□](#) および株式会社エムティーアイのスマートフォンアプリ「3D雨雲ウォッチ」 [□](#) で7月20日正午から公開します。

## 運用状況

通常運用中

「富岳」運用ステータス

運用スケジュール

## 利用者支援

利用者ポータル

成果発表

申請

利用に関して

お問い合わせ

[運用情報] Resource for ordinary users is reduced (available resource: 91%, due to real-time execution)

この期間、一般向けの提供資源が縮小されます。

実時間型ジョブ実行のため、提供される資源規模は、全体の約91%までとなります。

この期間、一般向けにはログインノード 1 は利用できません。

2021-06-02

スケジュール終了日時

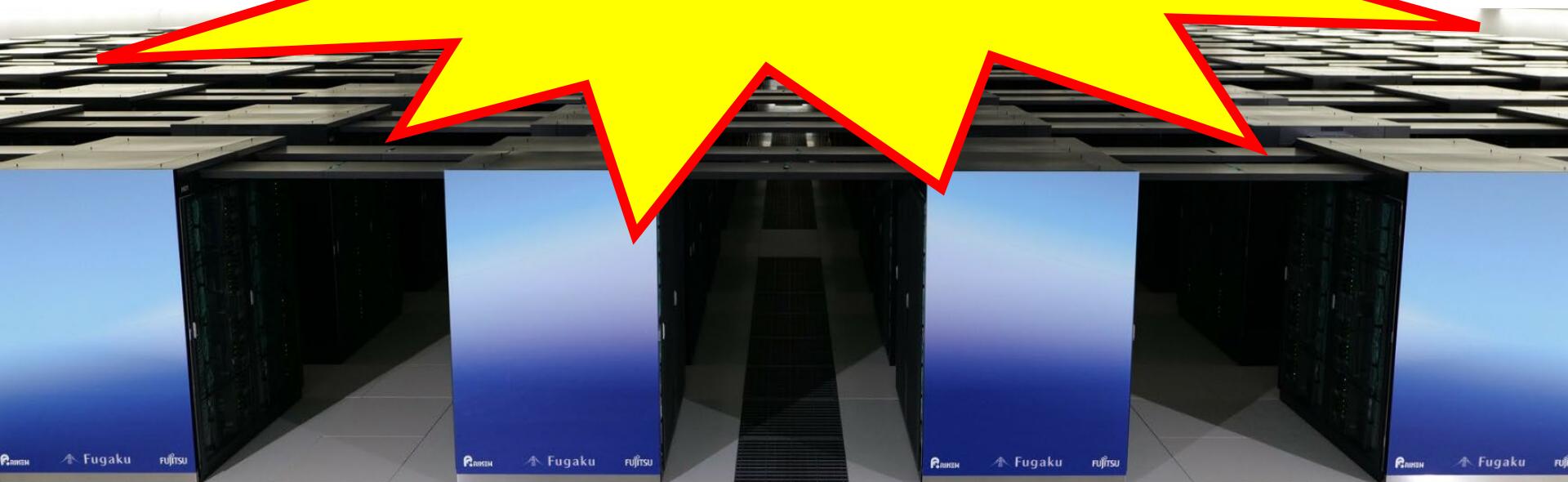
2021-08-09 00:00

スケジュール開始日時

2021-07-19 15:00



富岳の約9%を専有



**運用状況**

通常運用中

「富岳」運用ステータス

■ 運用スケジュール

**利用者支援**

利用者サポート

**[運用情報]**Resource for ordinary users is reduced (available resource: 91%, due to real-time execution)

この期間、一般向けの提供資源が縮小されます。

実時間型ジョブ実行のため、提供される資源規模は、全体の約91%までとなります。

この期間、一般向けにはログインノード1は利用できません。

2021-06-02

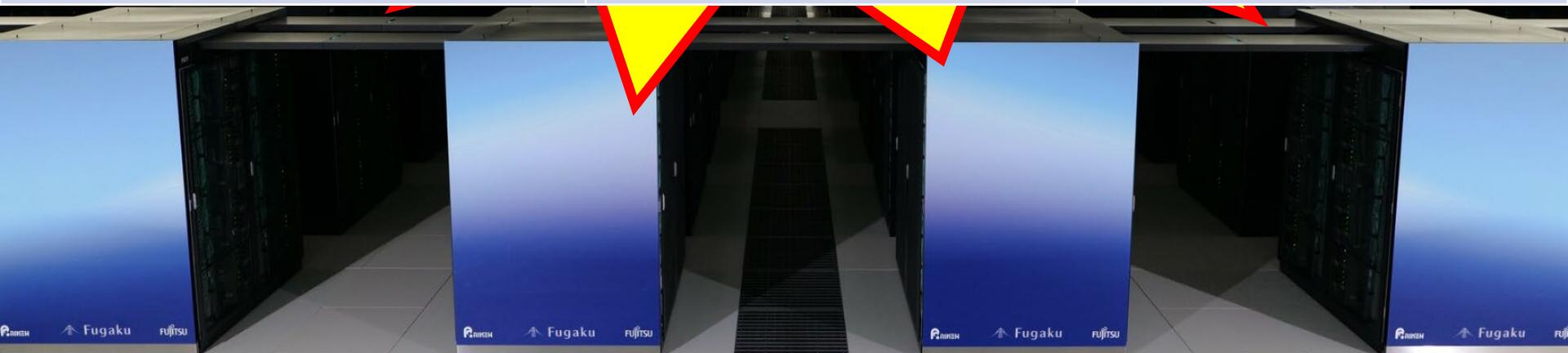
スケジュール終了日時

2021-08-09 00:00

スケジュール開始日時

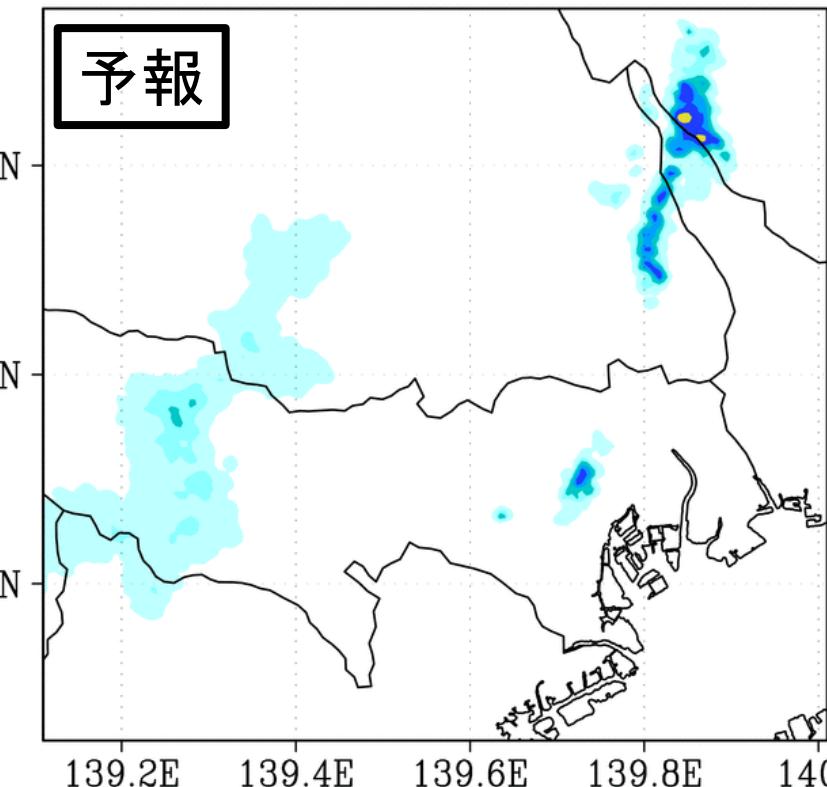
2021-07-19 15:00

	2020	2021
コンピュータ	Oakforest-PACS	<b>富岳</b>
データ同化アンサンブル数	50	<b>1000</b>
予報アンサンブル数	1	<b>10</b>
境界データ	米国NCEP全球モデル	<b>気象庁メソモデル</b>
計算領域数	4	<b>2 (簡素化、安定化)</b>

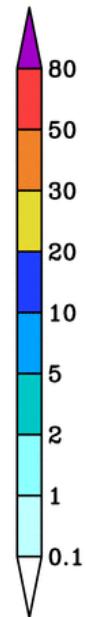
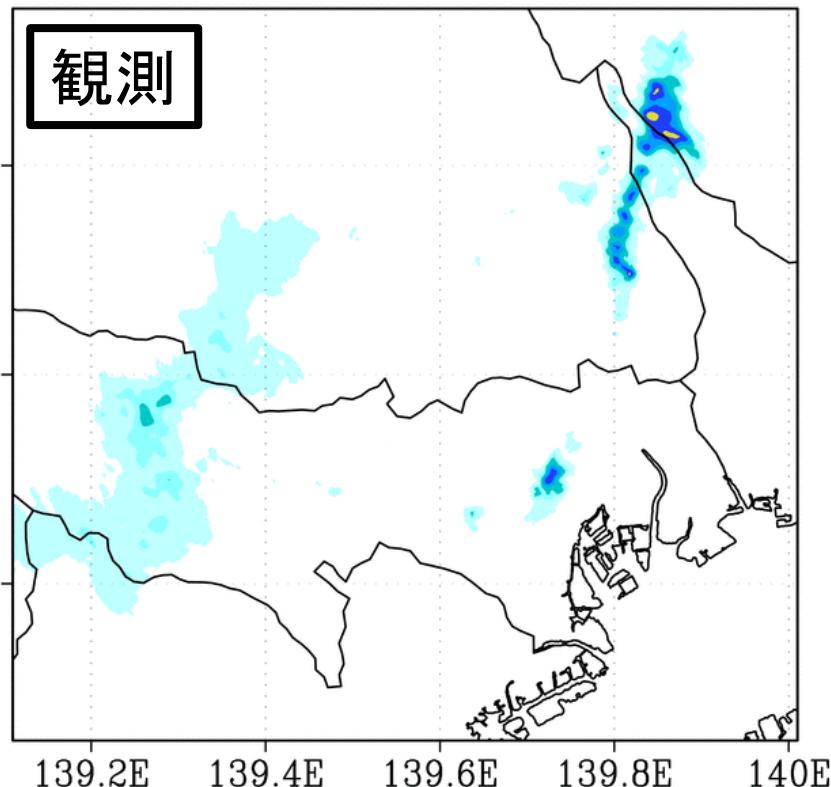


# 2021年7月29日 19:30頃

Forecast [mm/h] 19:20:00 July 29



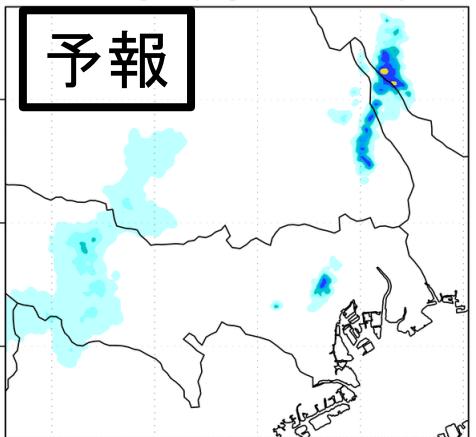
Observation [mm/h] 19:20:00 July 29



# 2021年7月29日19:30頃

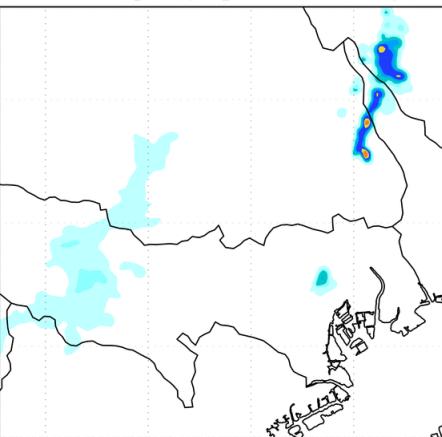
**19:20  
+0 min.**

Forecast [mm/h] 19:20:00 July 29



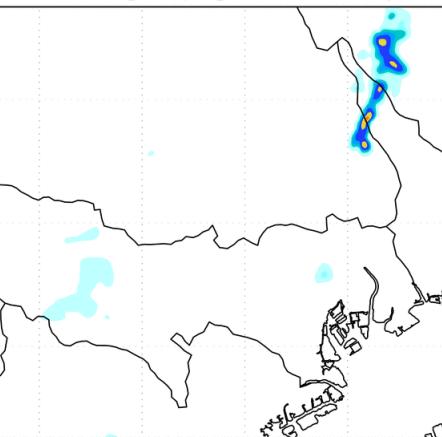
**+10 min.**

Forecast [mm/h] 19:30:00 July 29



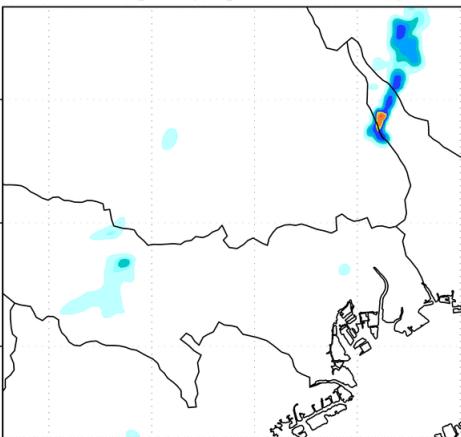
**+20 min.**

Forecast [mm/h] 19:40:00 July 29



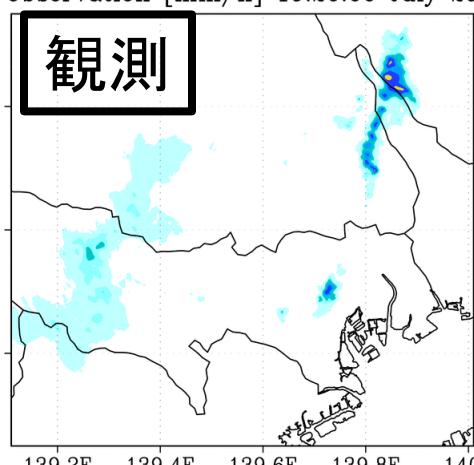
**+30 min.**

Forecast [mm/h] 19:50:00 July 29

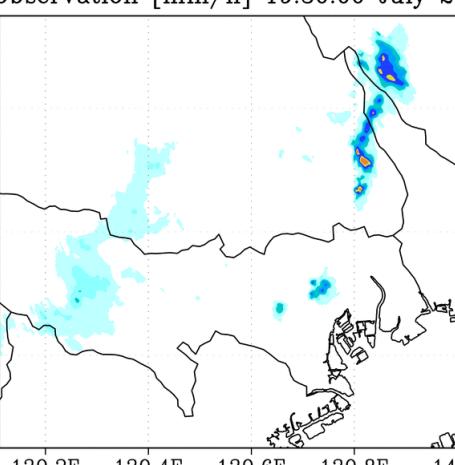


**観測**

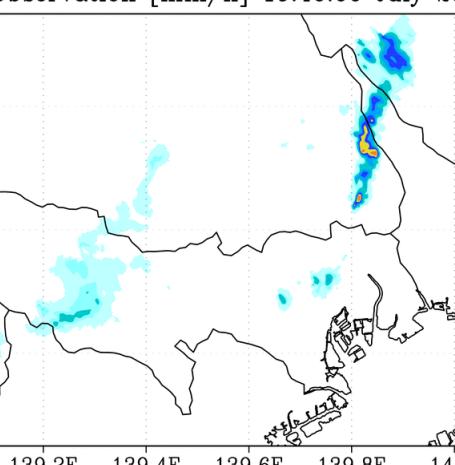
Observation [mm/h] 19:20:00 July 29



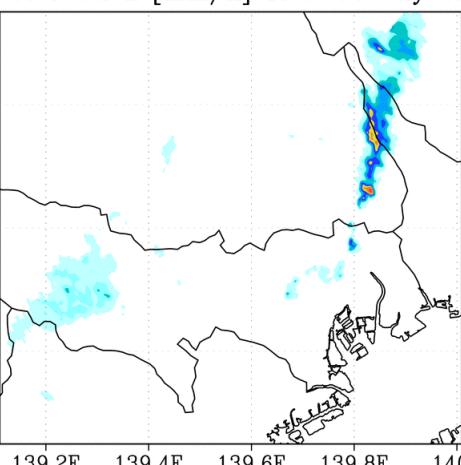
Observation [mm/h] 19:30:00 July 29



Observation [mm/h] 19:40:00 July 29



Observation [mm/h] 19:50:00 July 29



# 2021年7月30日15:30頃

30分予報

15:30観測



30分予報  
強雨確率(>30mm/h)



# たったの10分で!!



増水直前



増水時

1.34 m  わずか10分!!

(出典:気象庁パンフレット)

神戸市の都賀川  
5名の方が流され死亡  
(2008年7月28日)

# ビッグデータ同化

観測・実験データ



100x

ビッグデータ

データ同化



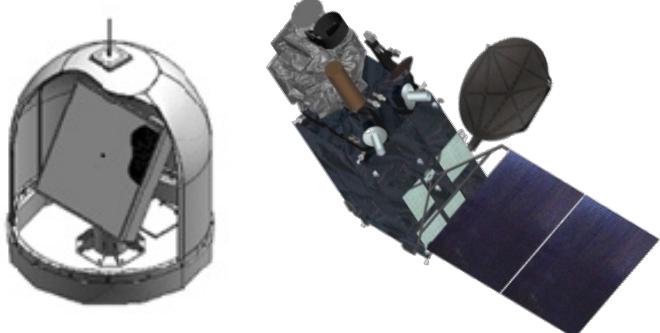
シミュレーション



100x

ビッグデータ

新型センサ、IoT



スーパーコンピュータ



September 2012 – August 2019



©RIKEN



TimeStep: 7

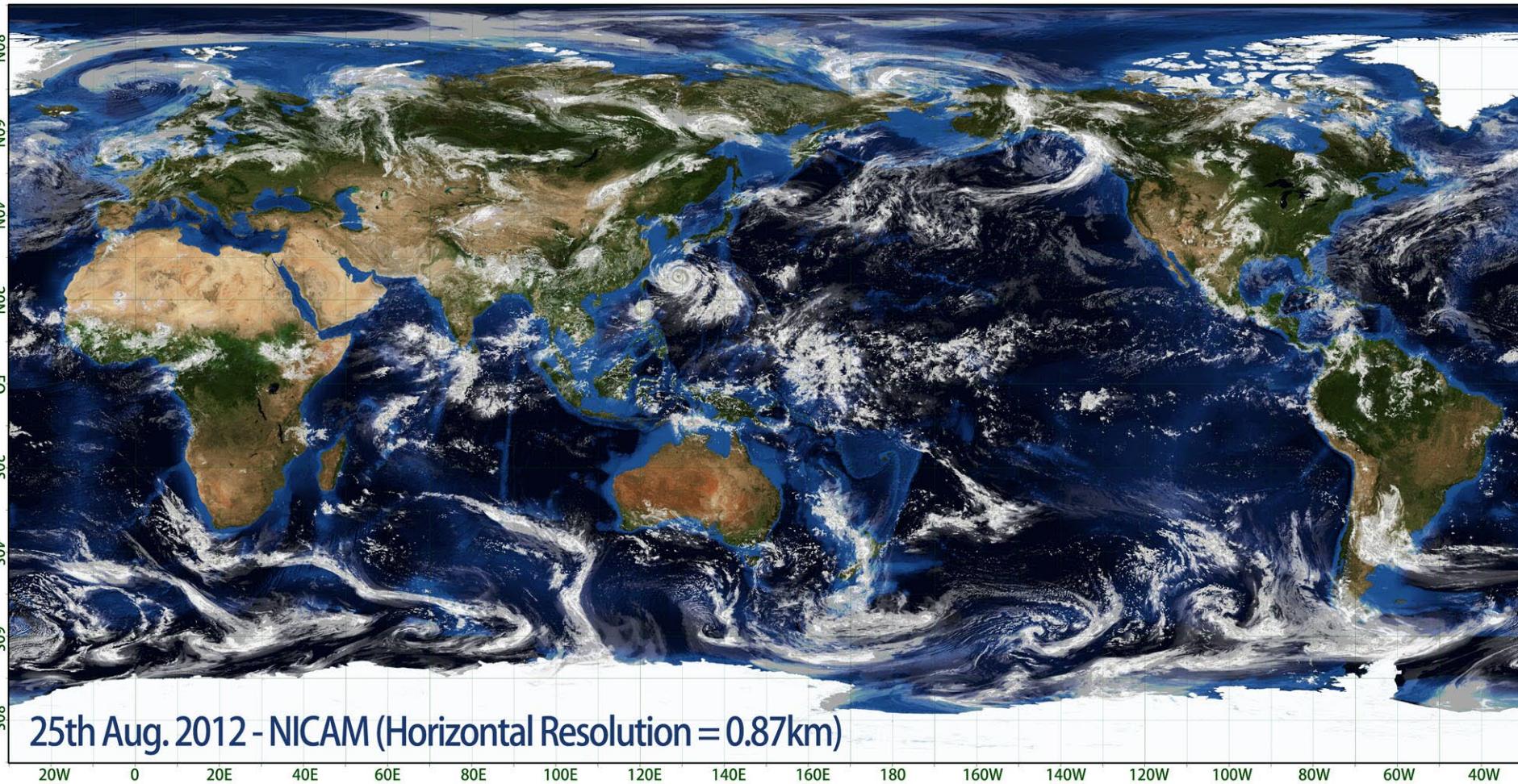
©JAMSTEC・AORI (SPIRE Field3), RIKEN/AICS  
Visualized by Ryuji Yoshida

cf. TEDxSannomiya

<http://tedxsannomiya.com/speakers/takemasa-miyoshi/>

# 最先端のシミュレーション (*Miyamoto et al. 2013*)

「京」による全球870メートル世界最高解像度のシミュレーション

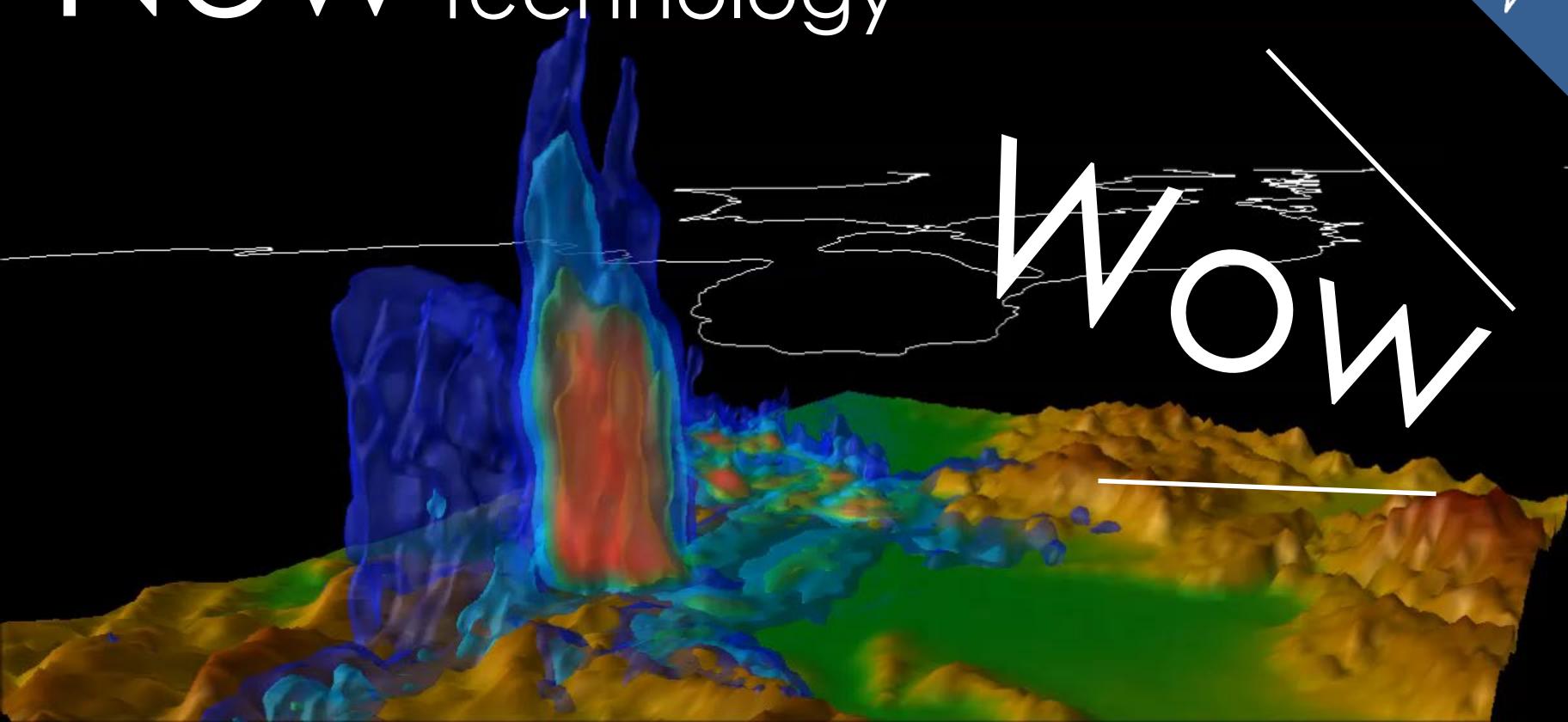


©JAMSTEC・AORI (SPIRE Field3), RIKEN/AICS  
Visualized by Ryuji Yoshida

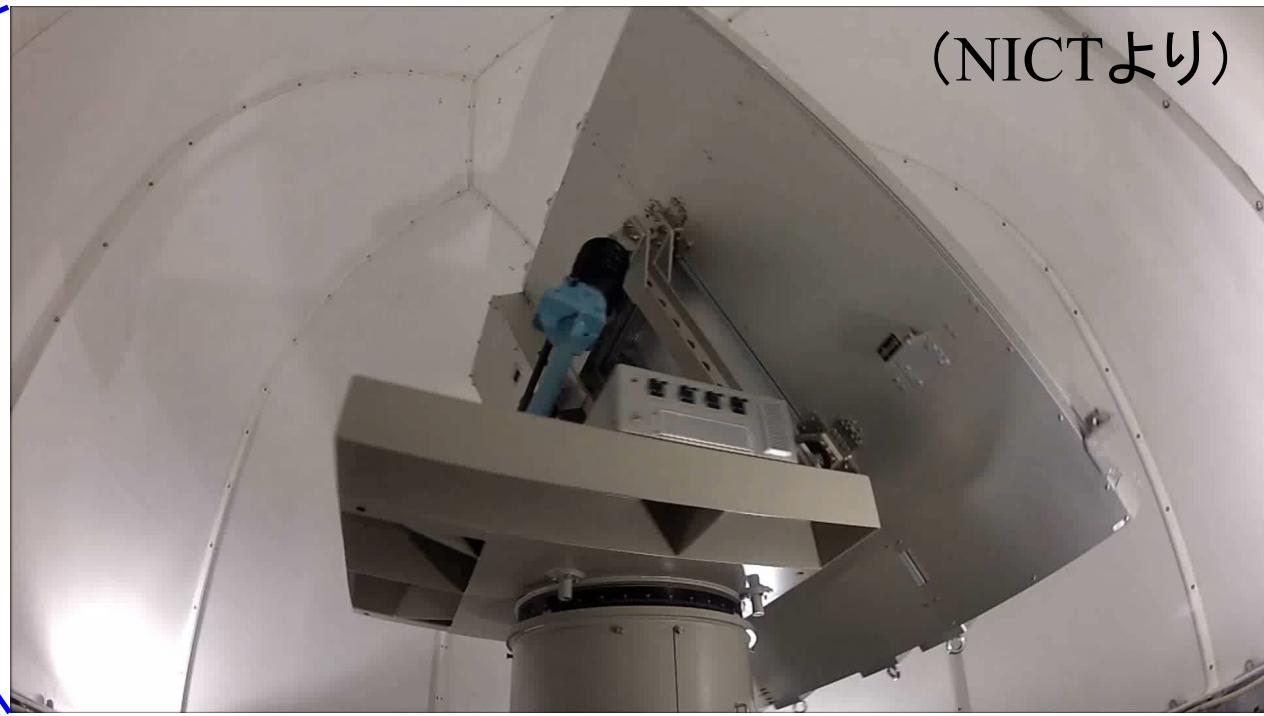
# New radar technology



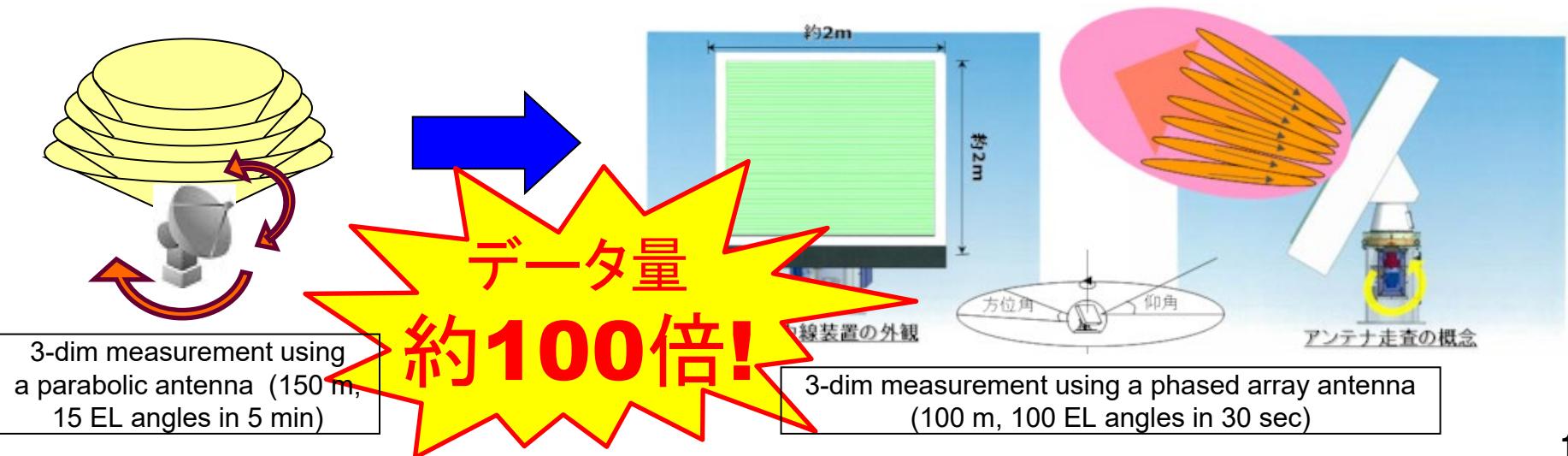
WOW



# Phased Array Weather Radar (PAWR)

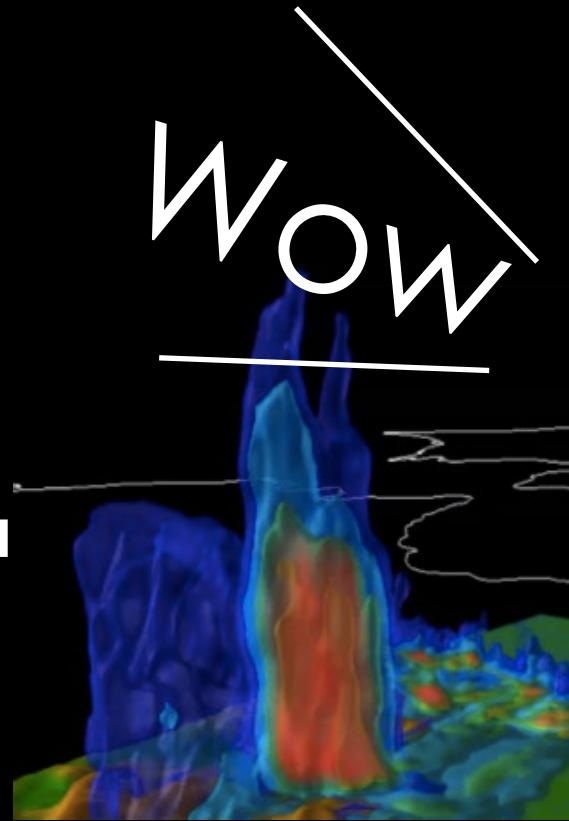


(NICTより)





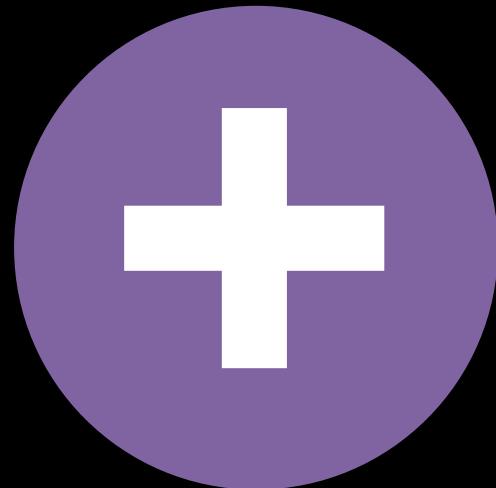
+

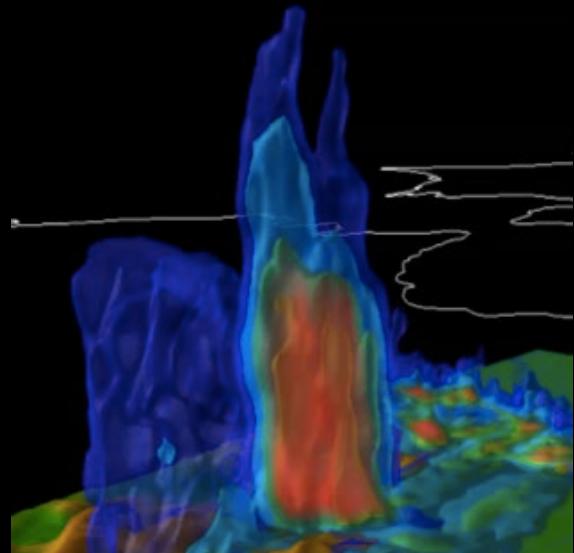
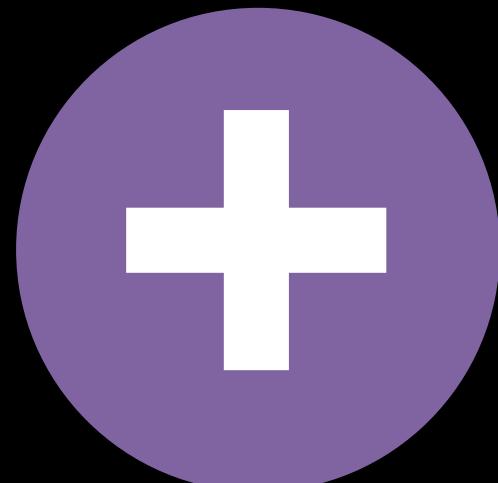


=



# Data Assimilation





= ~~ゲリラ豪雨~~

# ビッグデータ同化

観測・実験データ



100x

ビッグデータ

データ同化



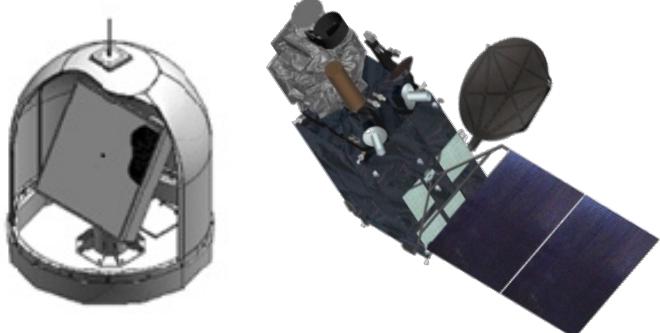
シミュレーション



100x

ビッグデータ

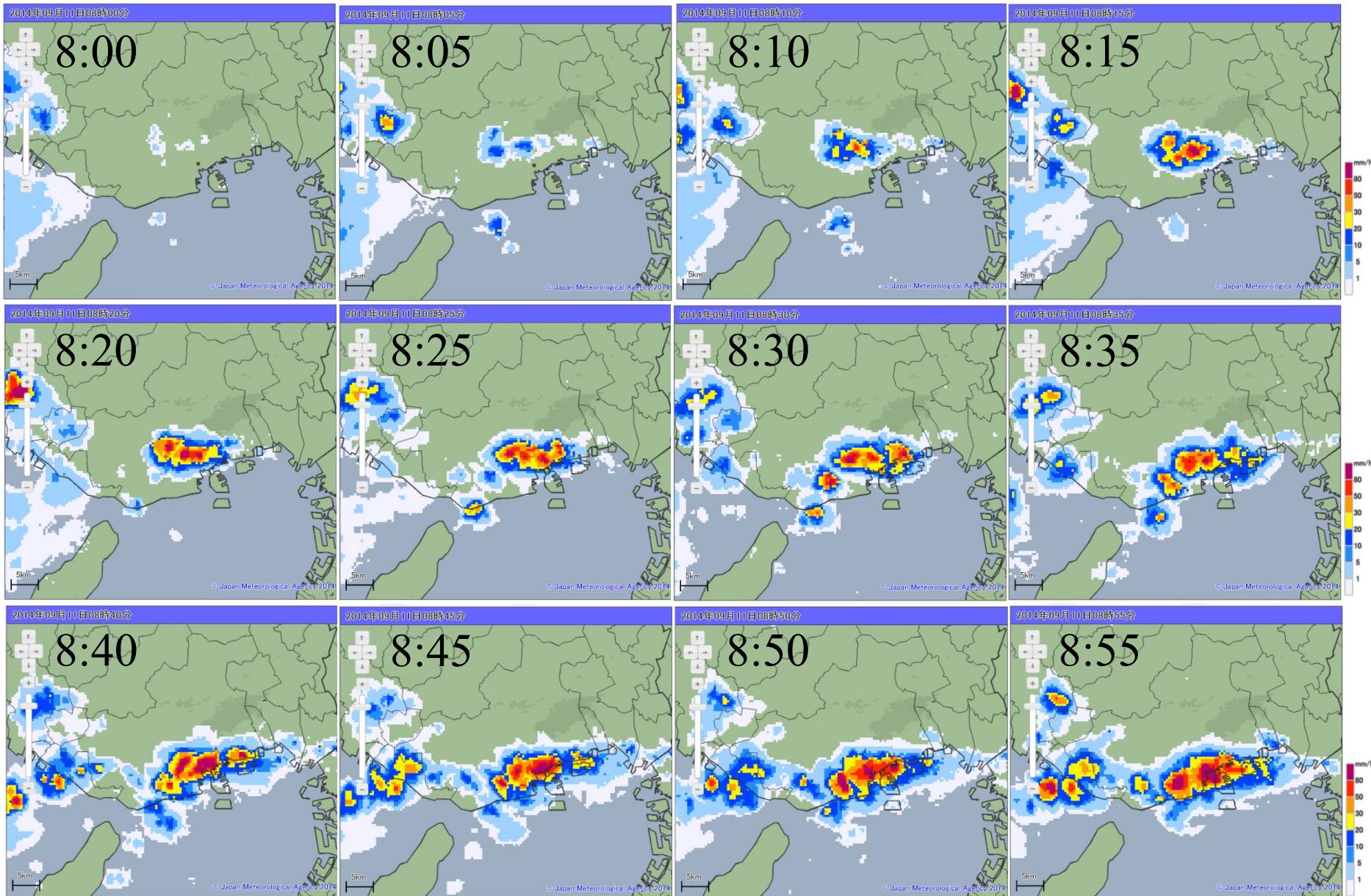
新型センサ、IoT



スーパーコンピュータ



# 2014年9月11日の朝、ゲリラ豪雨



# 2014年9月11日朝、ゲリラ豪雨

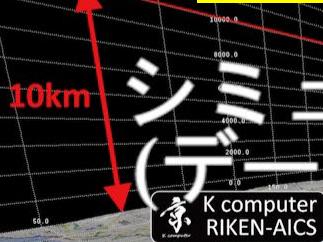
理化学研究所計算科学研究機構  
データ同化研究チーム

観測データ

2014.09.11 08:01:00

シミュレーション  
(100mビッグデータ同化)

>42,000 views  
#11 of RIKEN channel



シミュレーション  
(データ同化なし)

10km

シミュレーション  
(1kmデータ同化)

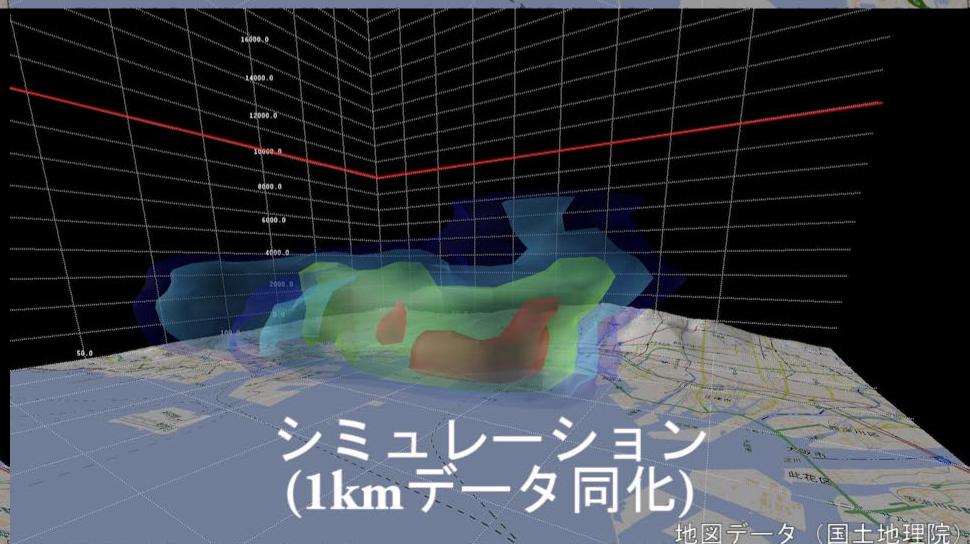
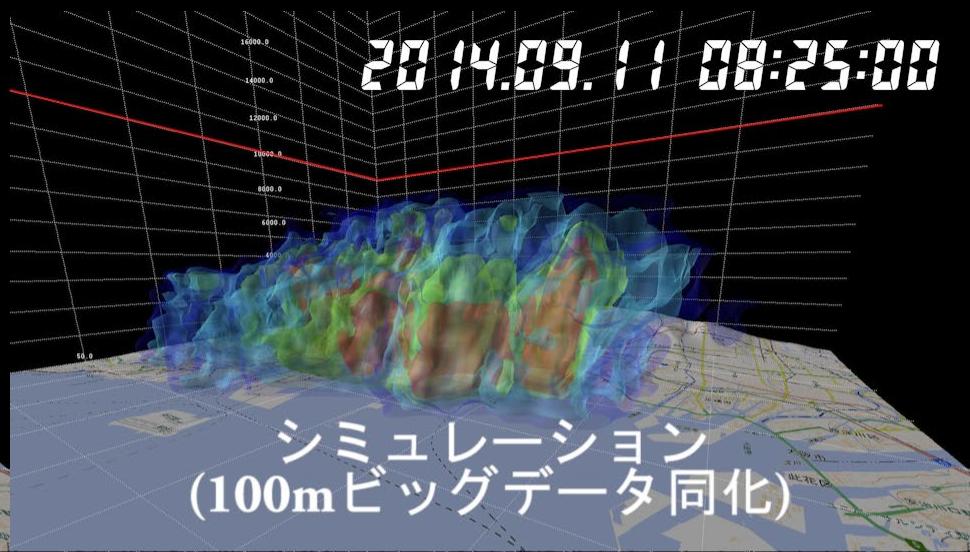
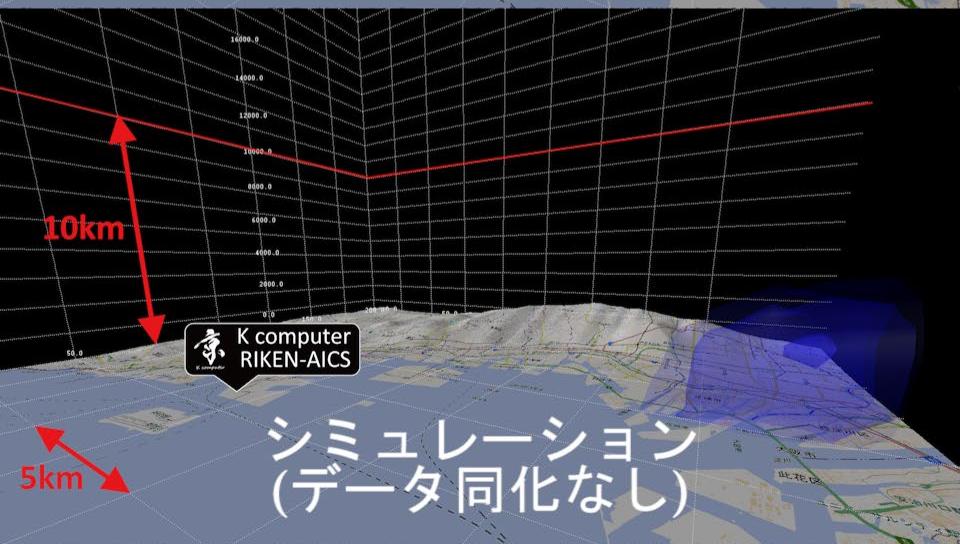
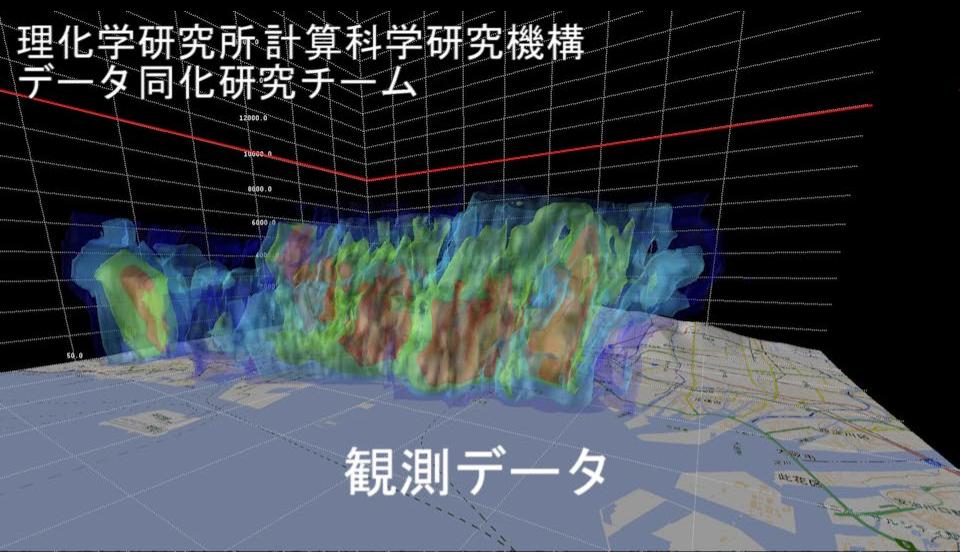
地図データ（国土地理院）

Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=42NZTGdp1Js>

# 30秒更新のゲリラ豪雨予測手法

Miyoshi et al. (2016, BAMS ,doi:10.1175/BAMS-D-15-00144.1)

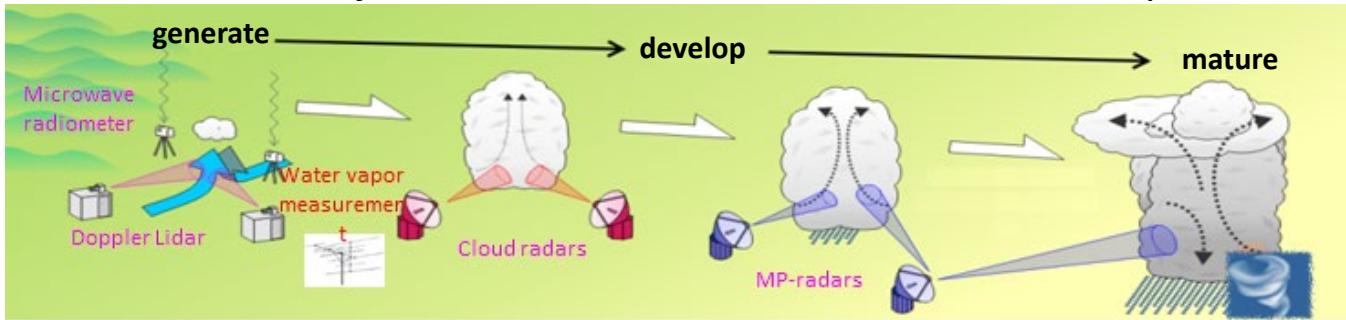
理化学研究所計算科学研究機構  
データ同化研究チーム



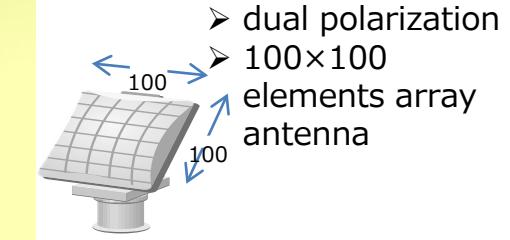
Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=42NZTGdp1Js>

# Development of MP-PAWR

Multi-parameter phased array weather radar (MP-PAWR) was developed by SIP (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program) in 2014-2018 as a research subject of “torrential rainfall and tornadoes prediction.”



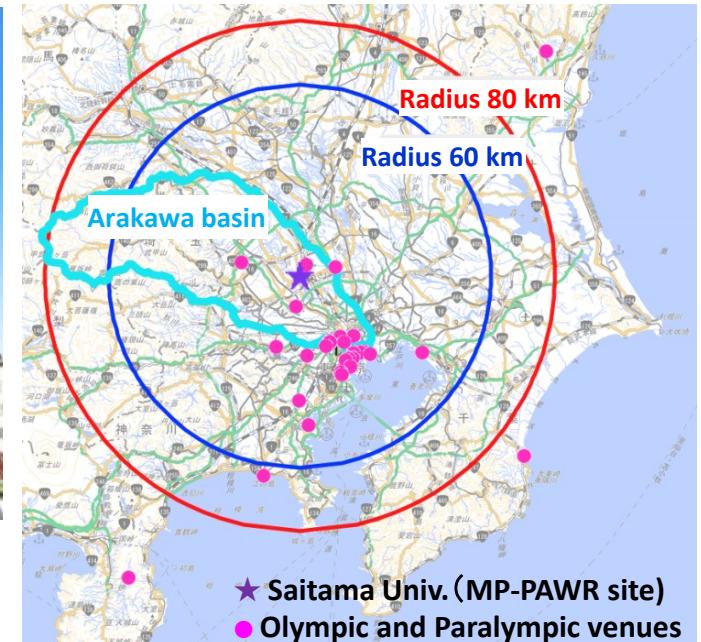
Early forecasting by water vapor, cloud, and precipitation observation



MP-PAWR features



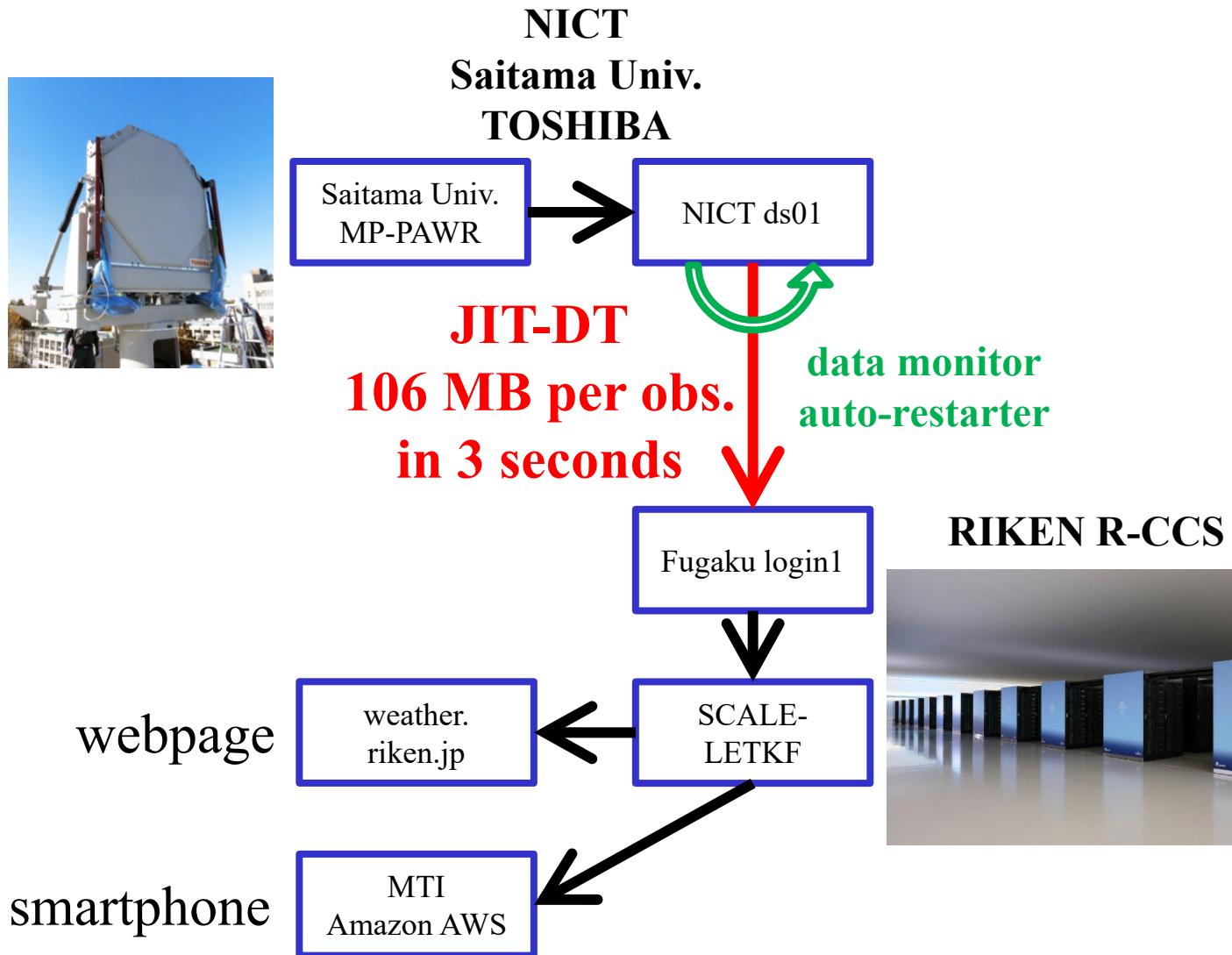
MP-PAWR antenna



MP-PAWR observation area

MP-PAWR installed at Saitama Univ. on Nov 21, 2017, and observation began in July 2018.

# Real-time data transfer



# Real-time workflow

JMA mesoscale model (5km)



3-hour update

**Outer domain** (1.5km)

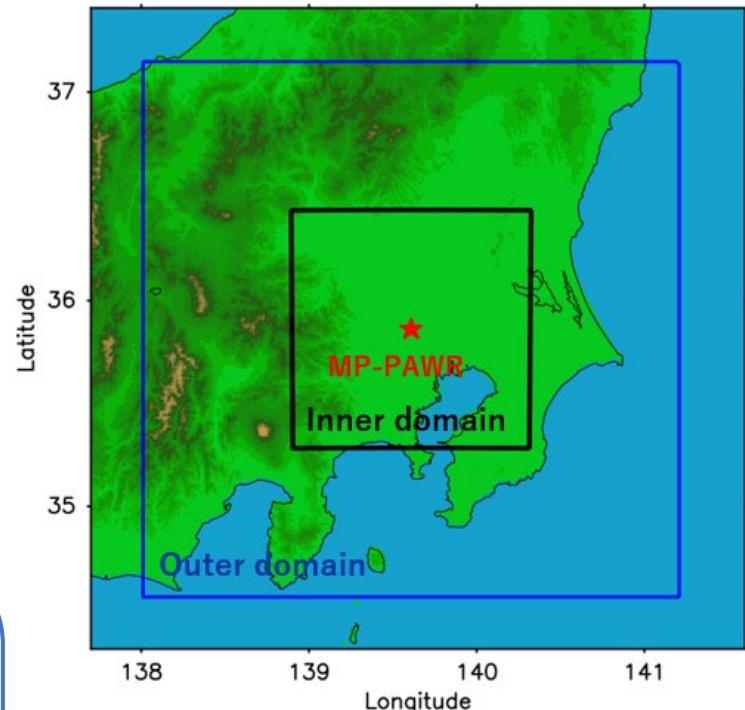
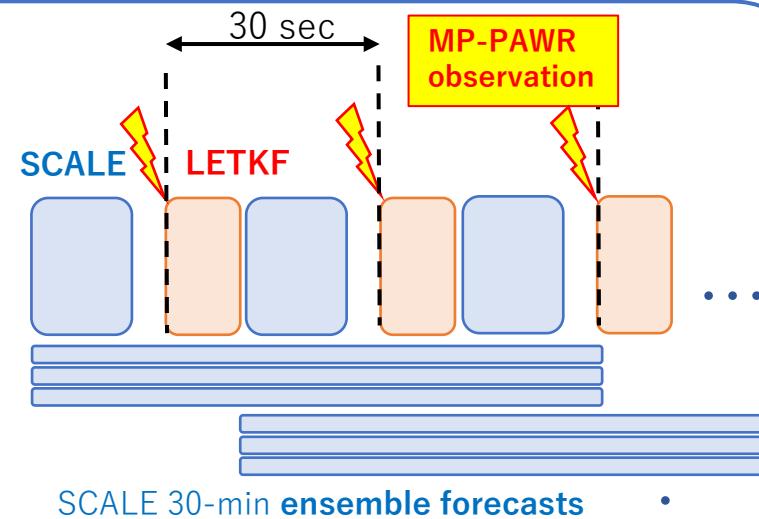
2002 nodes



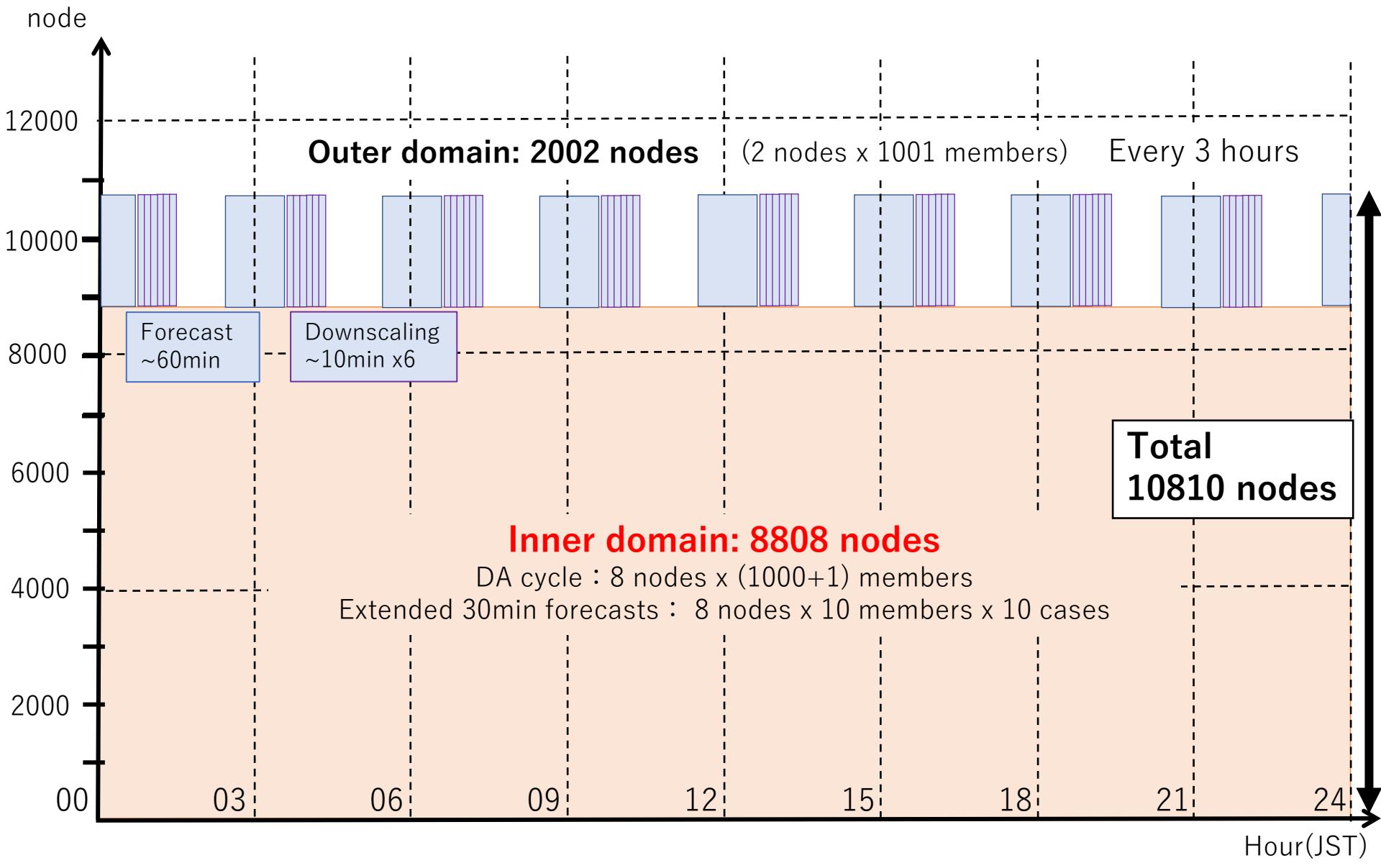
30-sec update

**Inner domain**  
(500m)

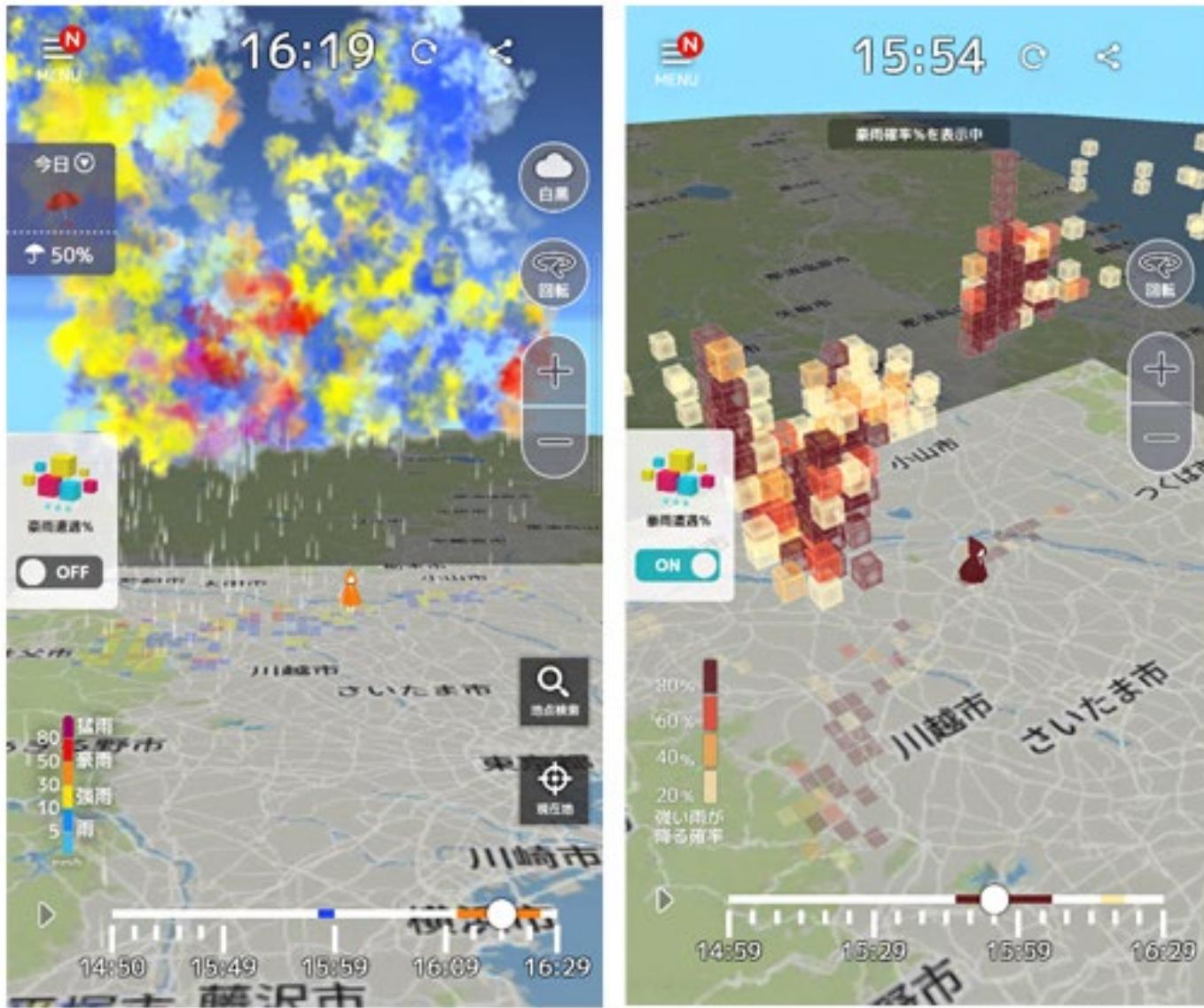
8808 nodes



# Real-time job scheduling



# スマホアプリ「3D雨雲ウォッチ」（エムティーアイ）

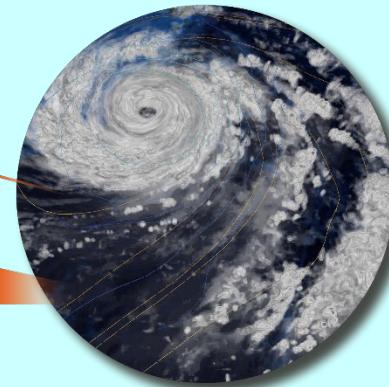


# データ同化

観測・実験データ



シミュレーション



データ同化

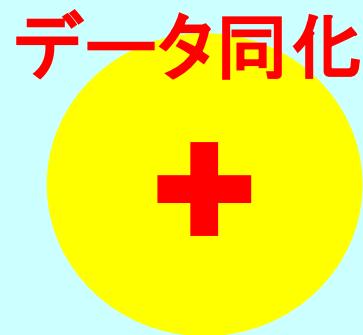
Data Assimilation

データ同化は、シミュレーションと現実世界を結びつけ、相乗効果を生み出す。

双方の情報を最大限に抽出

# データ同化

観測・実験データ



シミュレーション



>2

データ  
**Data-driven**  
帰納  
現実世界

**Process-driven**  
演繹  
サイバー空間

観測・実験データ

シミュレーション

1

データ同化  
+

1

>2

データ  
Data-driven

帰納  
現実世界

観測・実験データ

Process-driven

演繹  
サイバー空間

シミュレーション

## データ同化の数理

力学系 dynamical systems

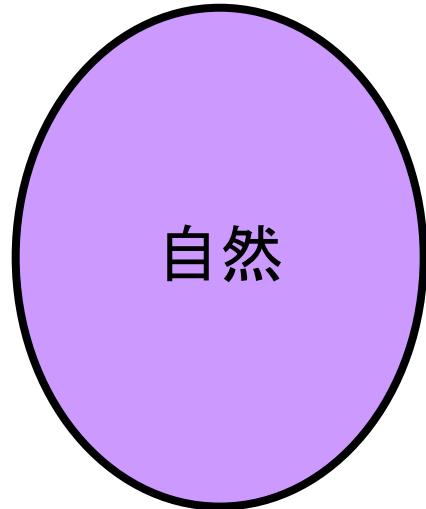
統計数理 statistical mathematics

UQ (uncertainty quantification)

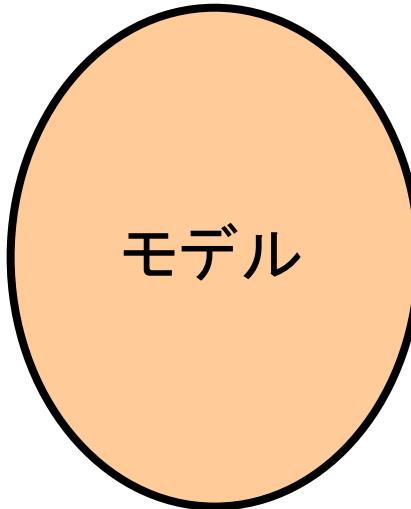
>2

# カオス同期 Chaos Synchronization

Master (drive) system

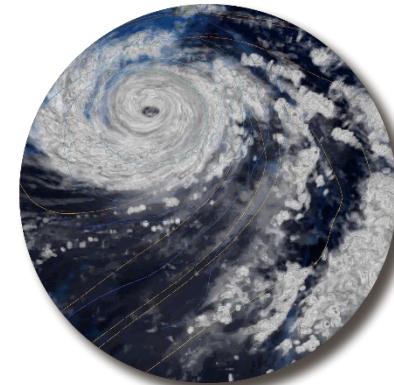


Slave (response) system



観測

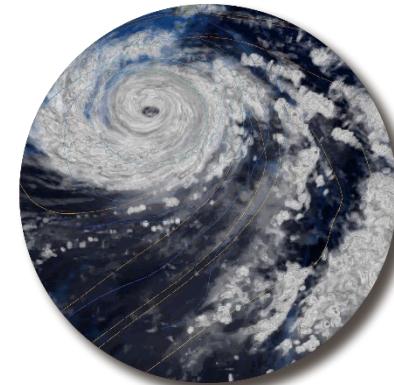
何らかの情報伝達



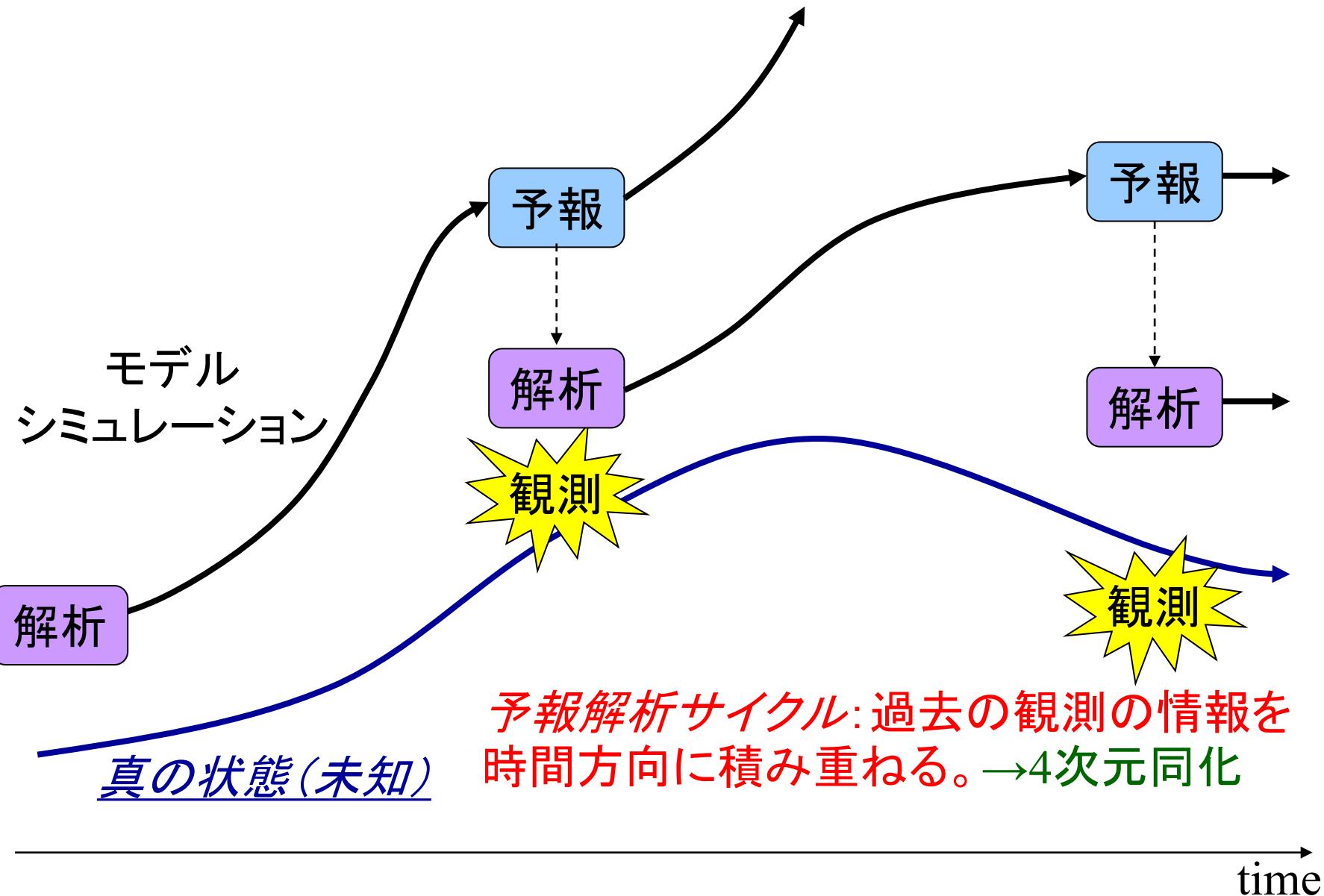
# カオス同期 Chaos Synchronization

Master (drive) system

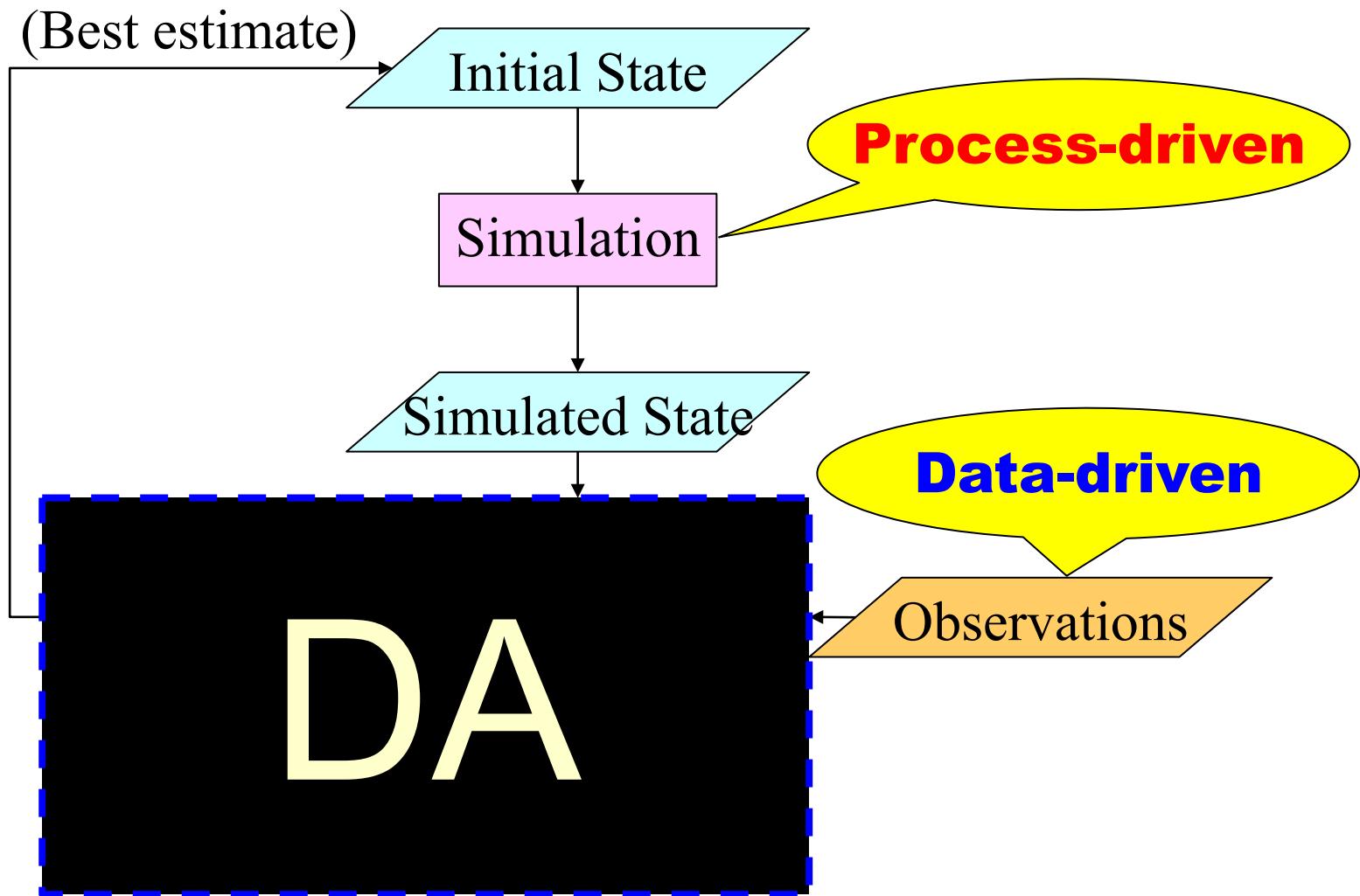
Slave (response) system



# 数値天気予報のしくみ

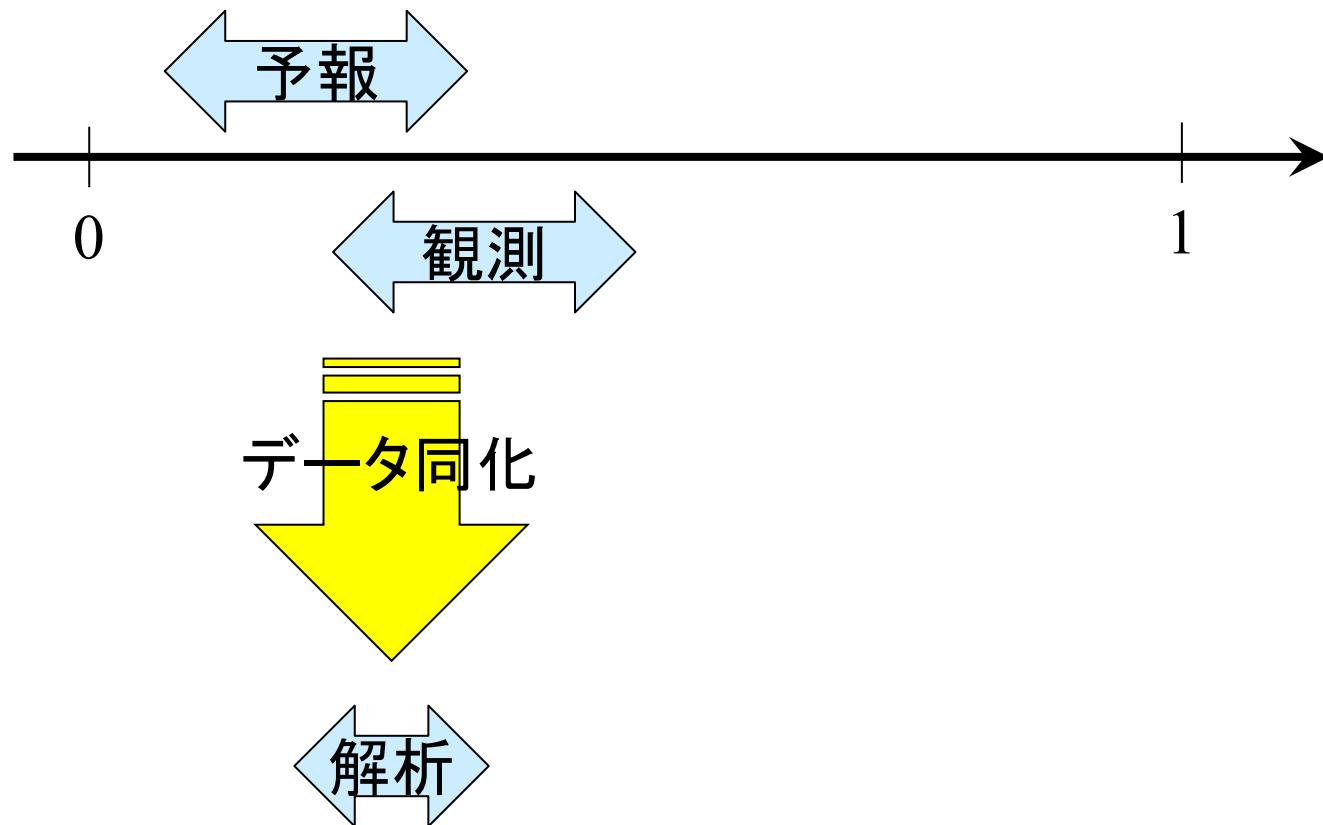


# データ同化(DA)のworkflow

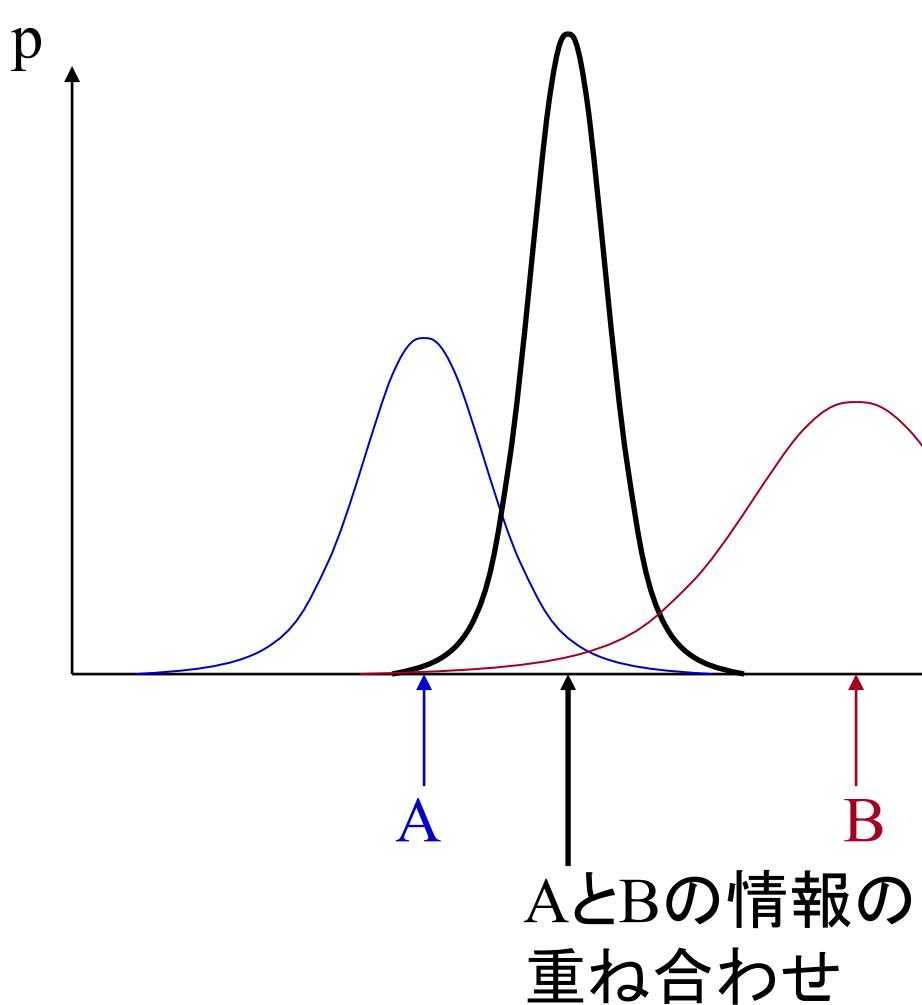


# データ同化 = 誤差の数理

---



# 2つの情報の重ね合わせ(ベイズ推定)

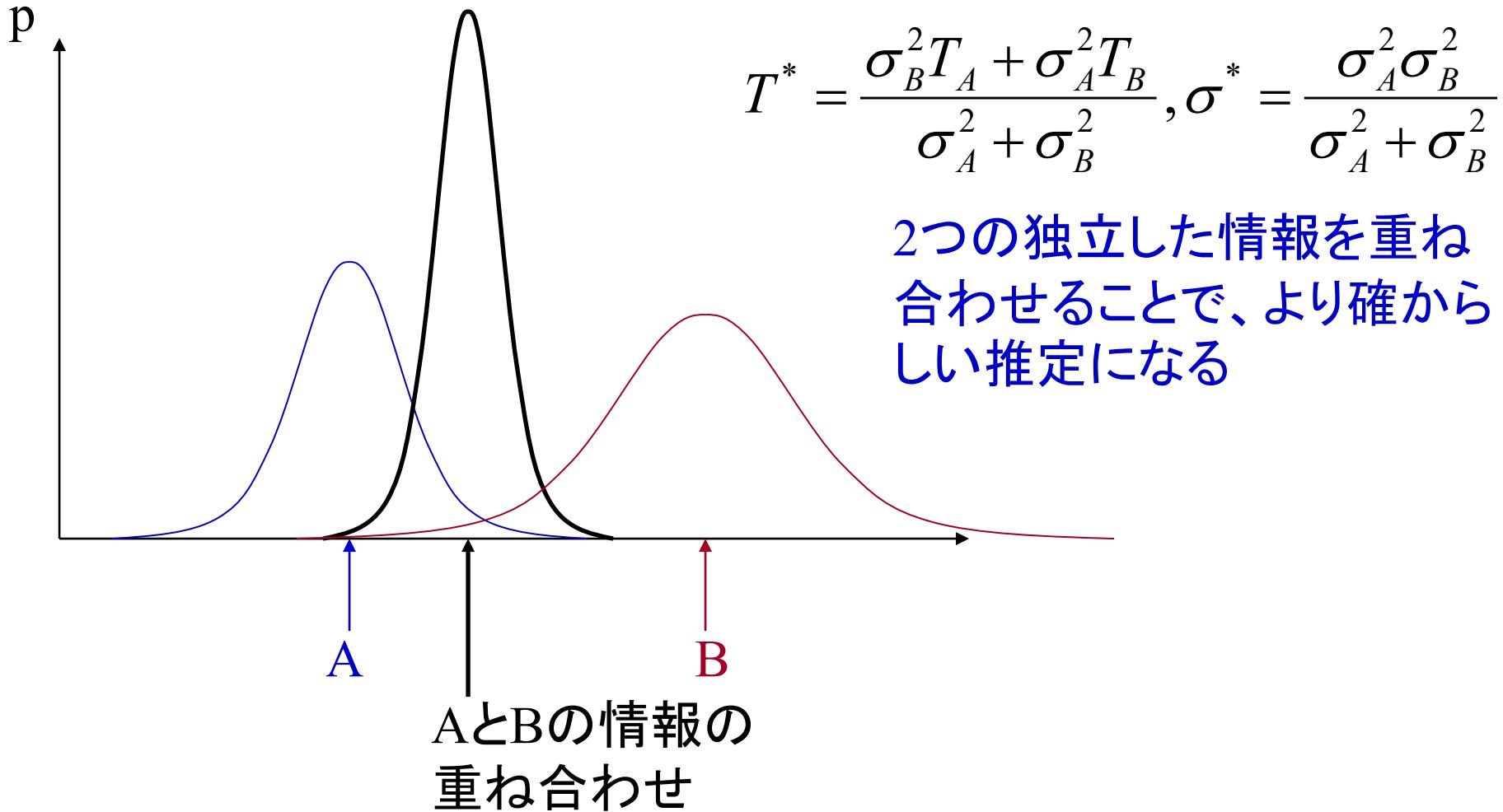


$$p_A(T) \propto \exp\left[-\frac{(T - T_A)^2}{2\sigma_A^2}\right]$$

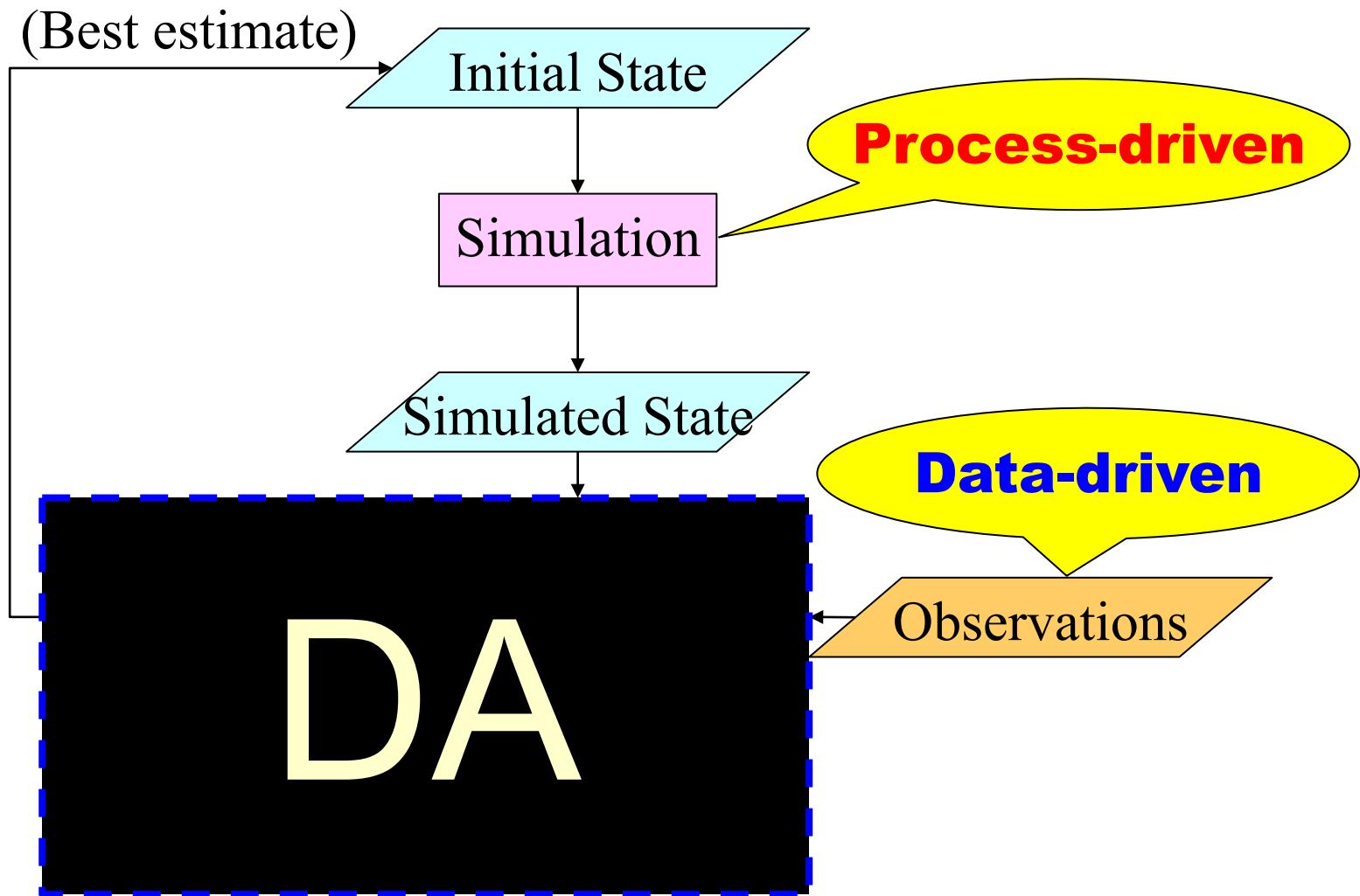
$$p_B(T) \propto \exp\left[-\frac{(T - T_B)^2}{2\sigma_B^2}\right]$$

$$\begin{aligned} p_{A \cap B}(T) &= p_A(T) \cdot p_B(T) \\ &\propto \exp\left[-\frac{(T - T_A)^2}{2\sigma_A^2} - \frac{(T - T_B)^2}{2\sigma_B^2}\right] \\ &\propto \exp\left[-\frac{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}{2\sigma_A^2 \sigma_B^2} \left(T - \frac{\sigma_B^2 T_A + \sigma_A^2 T_B}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}\right)^2\right] \end{aligned}$$

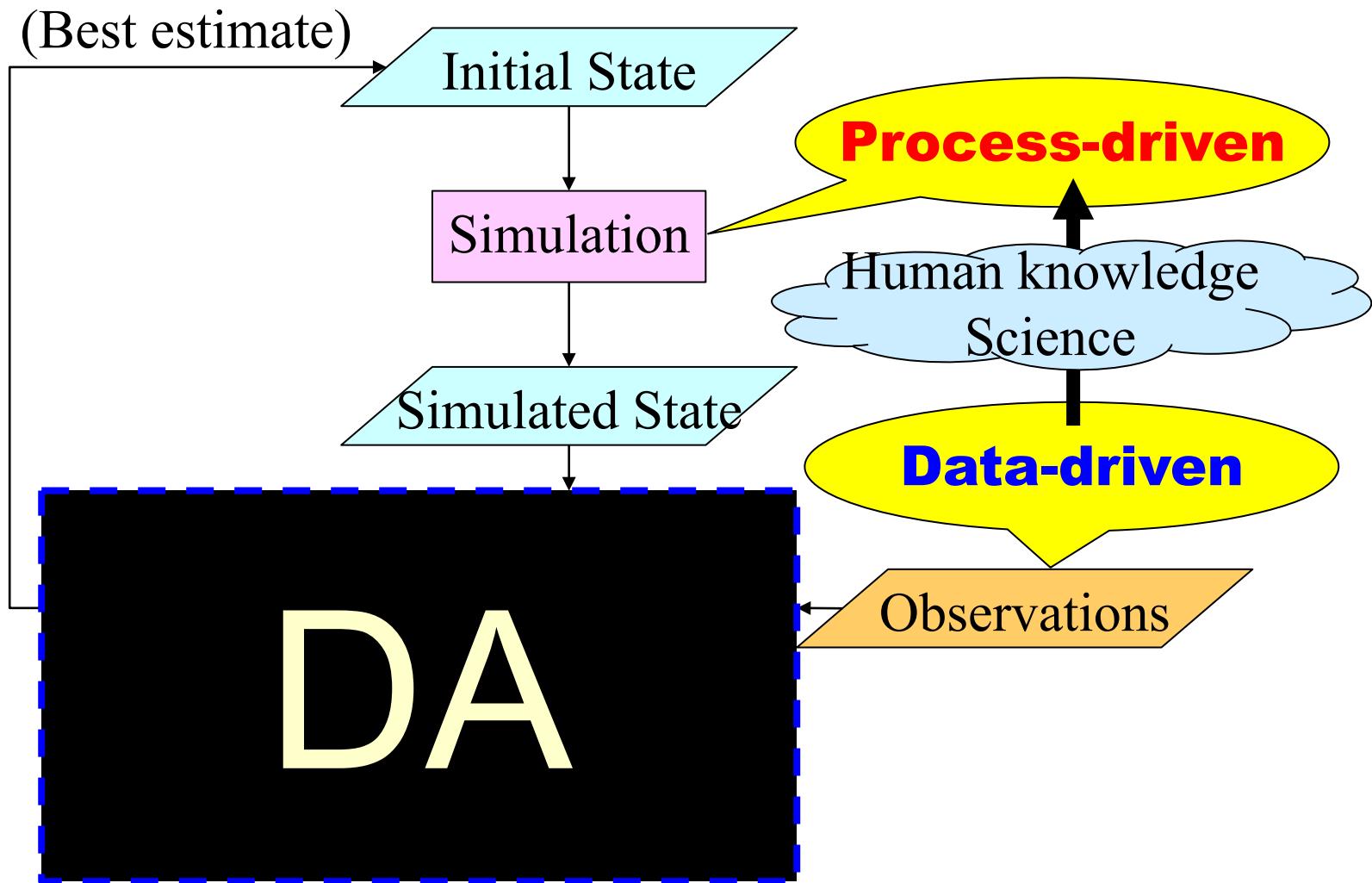
# 2つの情報の重ね合わせ(ベイズ推定)



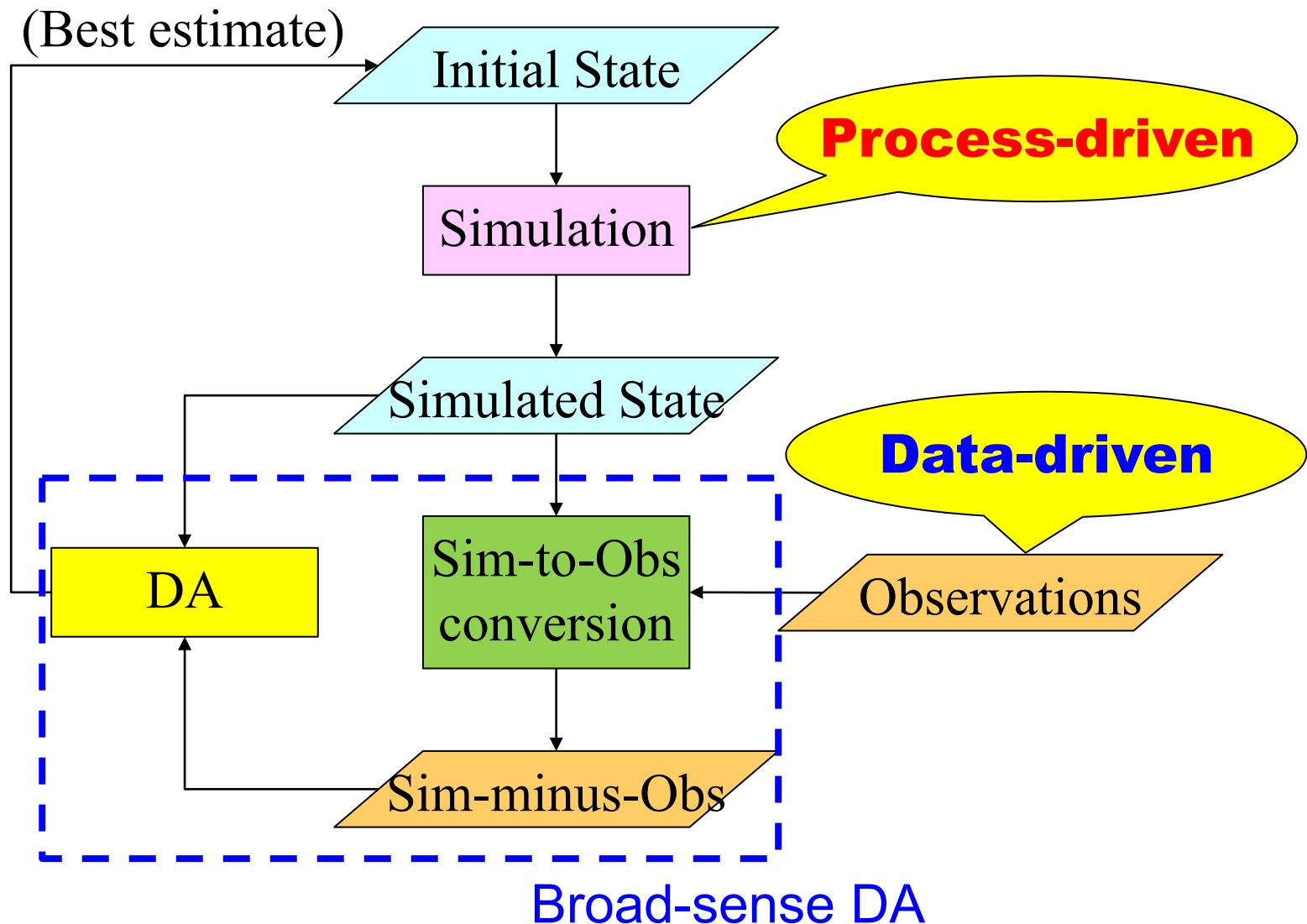
# データ同化(DA)のworkflow



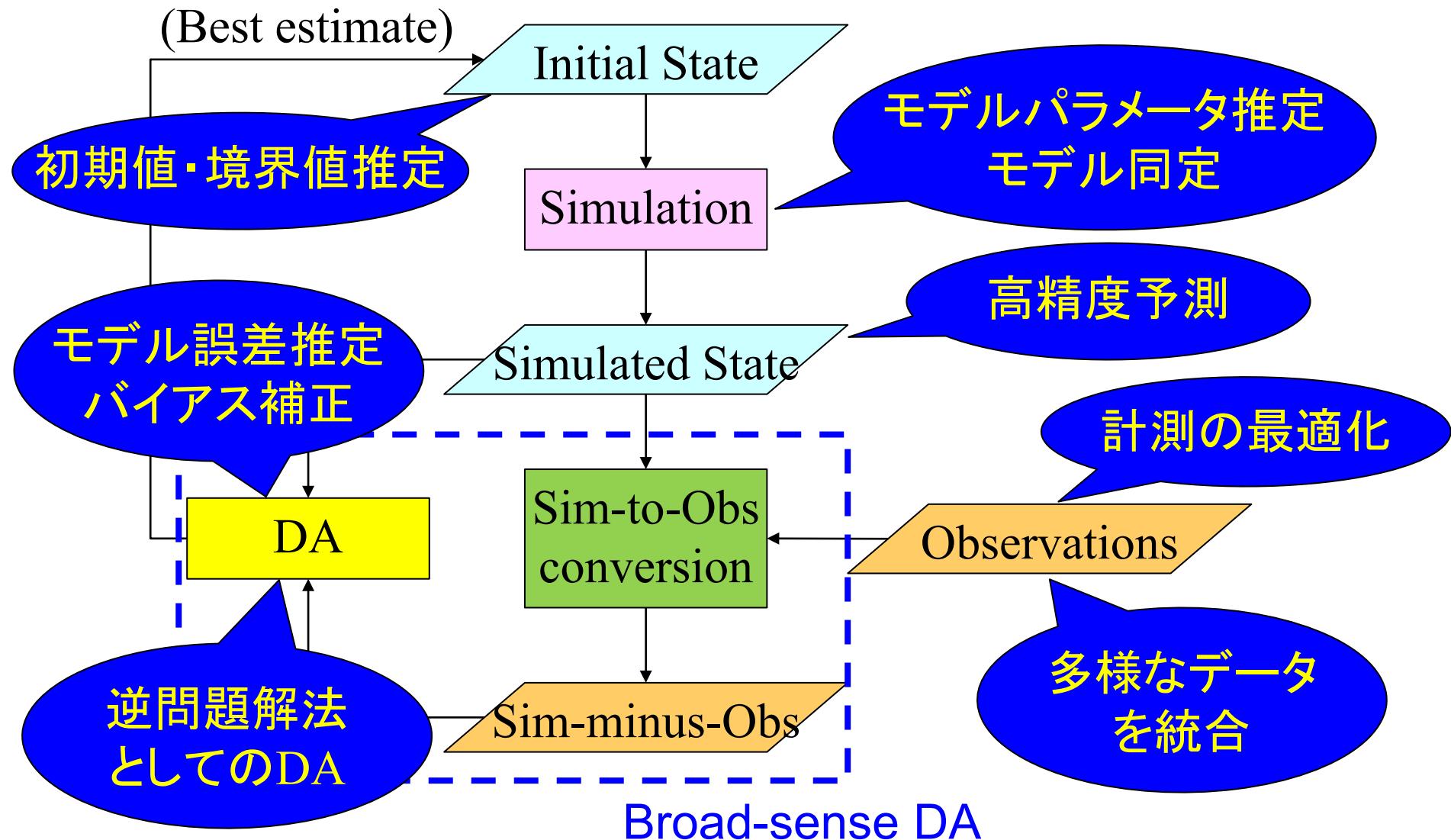
# データ同化(DA)のworkflow



# データ同化(DA)のworkflow



# データ同化(DA)でできること

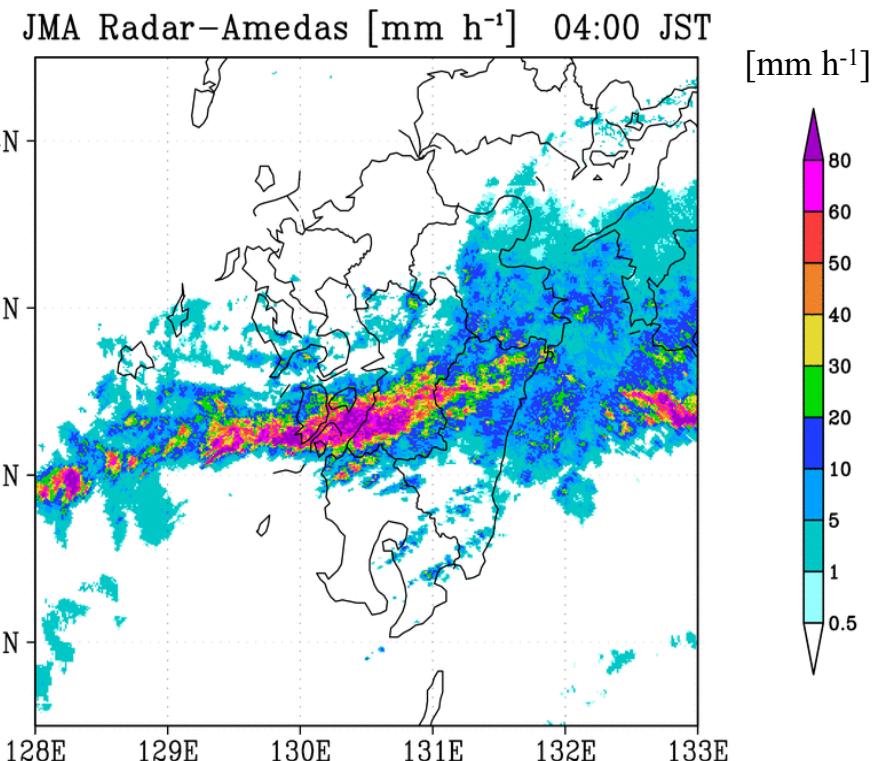


# もしPAWRがたくさんあったら？

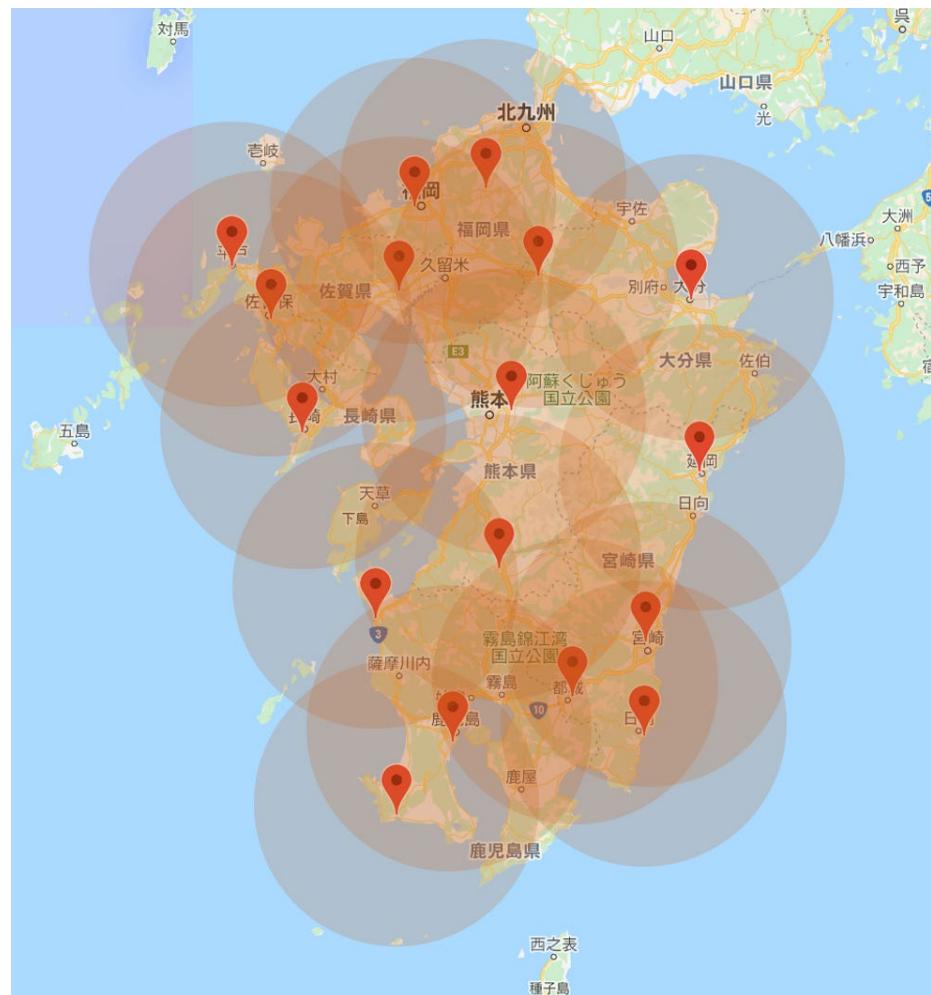
## 観測システムシミュレーション実験

### An Observing System Simulation Experiment (OSSE)

2020年7月豪雨

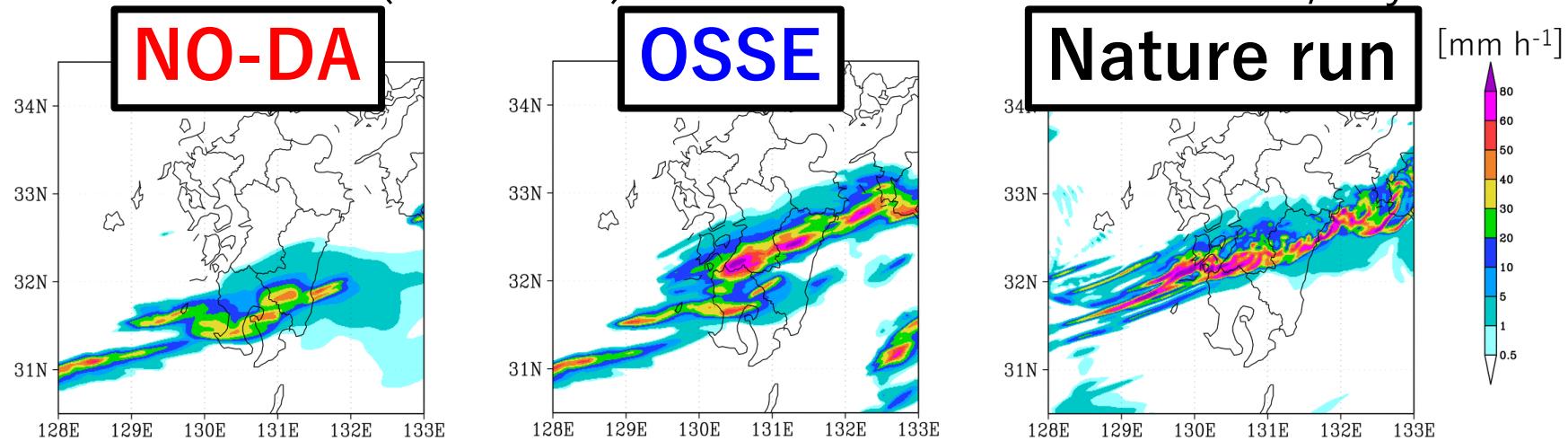


仮想のPAWRネットワーク

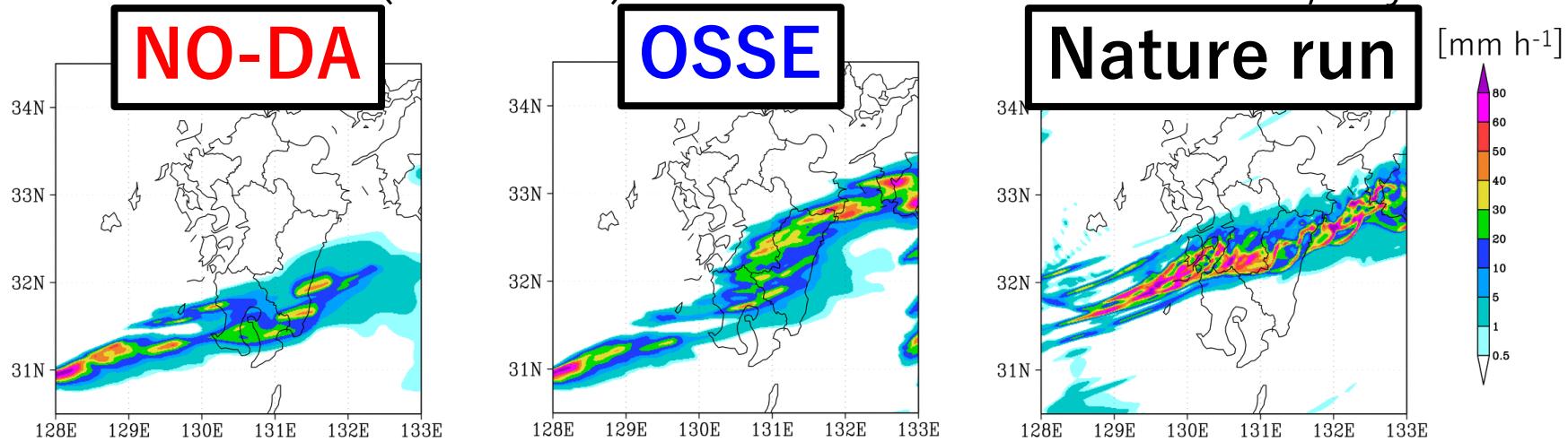


*Maejima&Miyoshi (in prep.)*

Rain forecast (FT=0h-1h) Valid time 0400 JST~0500 JST, July 4



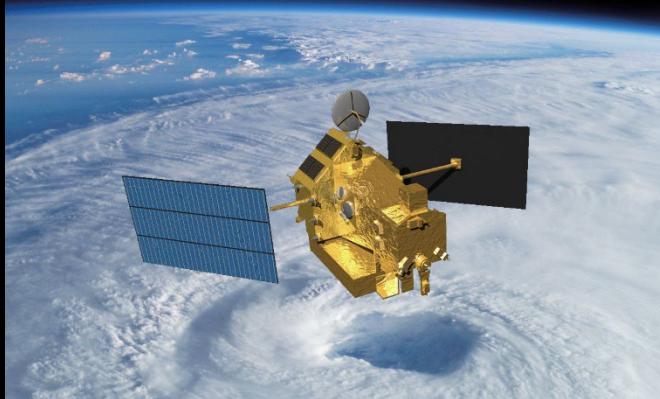
Rain forecast (FT=1h-2h) Valid time 0500 JST~0600 JST, July 4



# もし静止気象レーダ衛星があつたら？

TRMM (1997-2015)

Low-earth orbit satellite (<2000km)



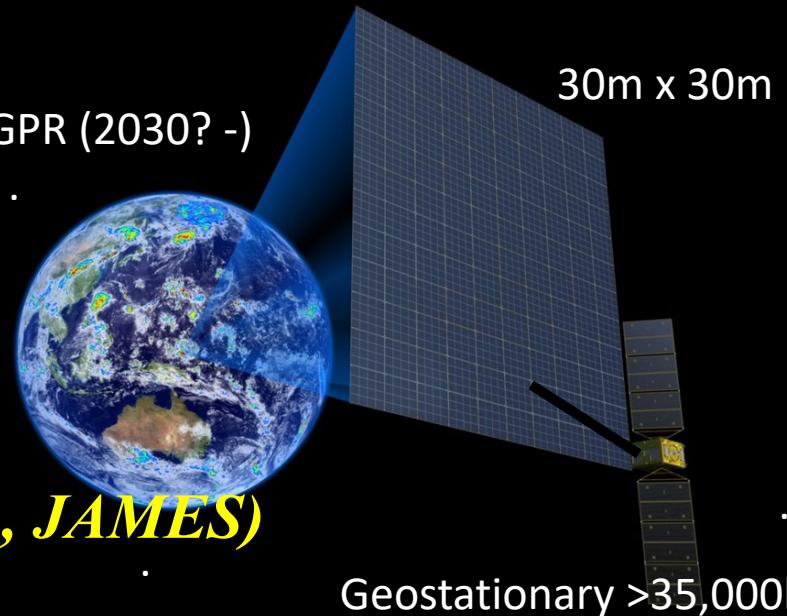
GPM (2014-)

Low-earth orbit satellites (<2000km)



and the next  
generation? ....

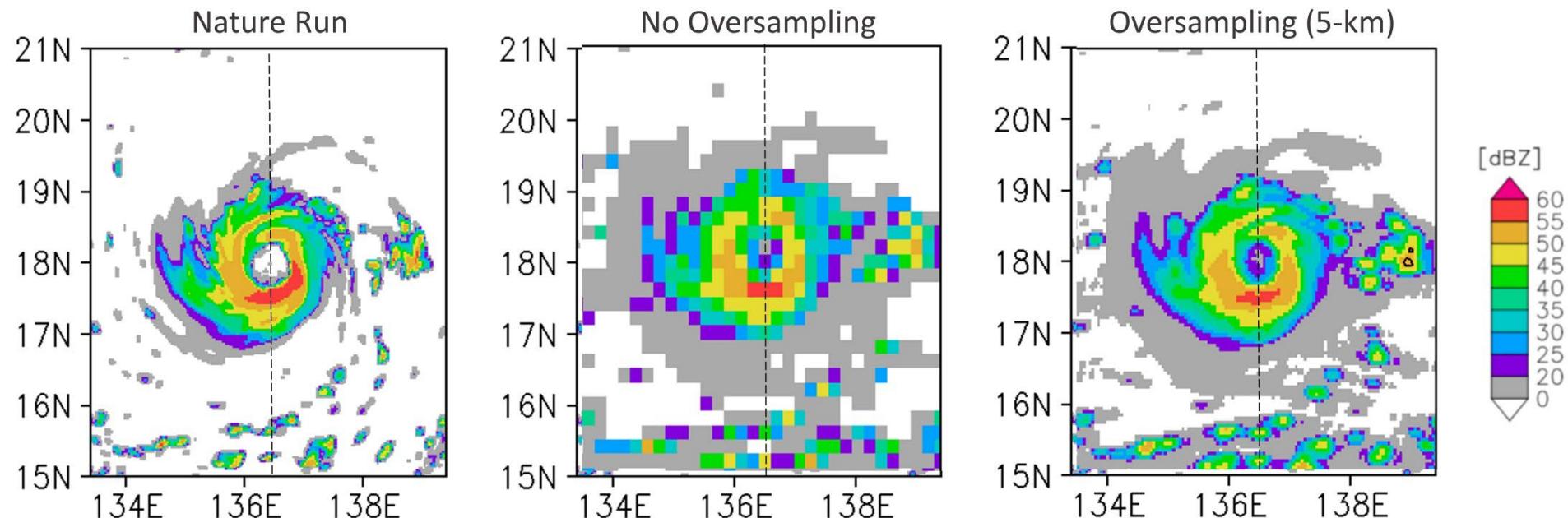
GPR (2030? -)



*Taylor, Okazaki, Miyoshi, et al. (2021, JAMES)*

<https://doi.org/10.2151/sola.2021-008>

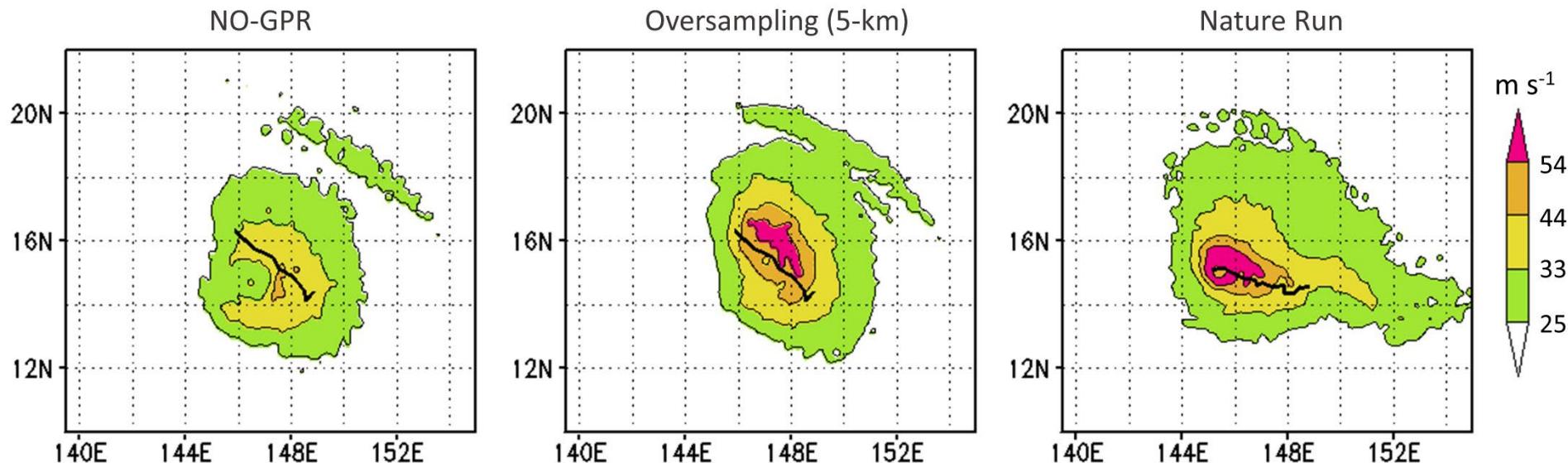
# センサー設計の比較シミュレーション



2021年7月7日理化学研究所プレスリリース  
[https://www.riken.jp/press/2021/20210707\\_1/index.html](https://www.riken.jp/press/2021/20210707_1/index.html)

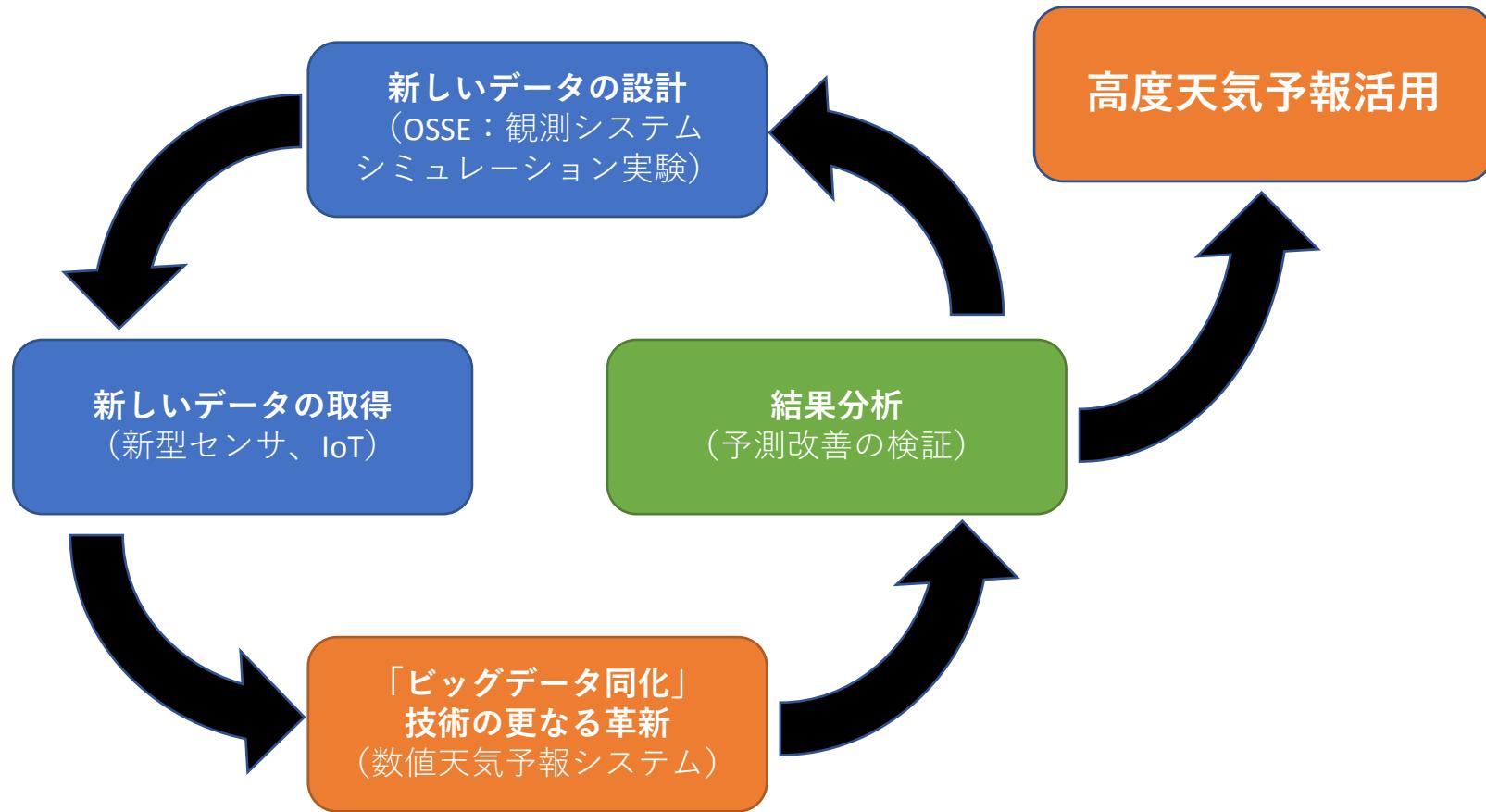
# 台風の強風予測を改善

## Observing System Simulation Experiment (OSSE)



2021年7月7日理化学研究所プレスリリース

[https://www.riken.jp/press/2021/20210707\\_1/index.html](https://www.riken.jp/press/2021/20210707_1/index.html)



# AETHER(アイテール)プロジェクト

日本初民間気象衛星の宇宙実証に向けた産学連携プロジェクト

観測データ

2021年9月27日始動



人工衛星



データ同化

センサー(マイクロ波サウンダー)



理化学研究所

気象予報



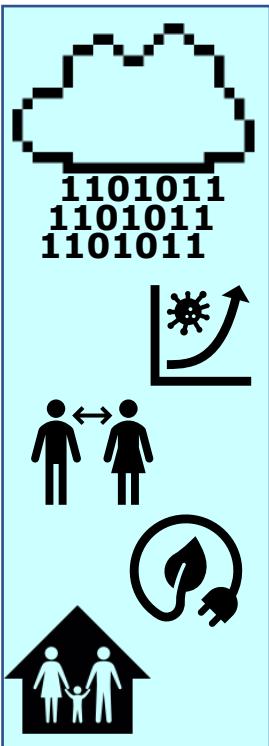
出典 : <https://star-ale.com/news/2021/09/27/000179.html>

## サイバー世界

## 現実世界

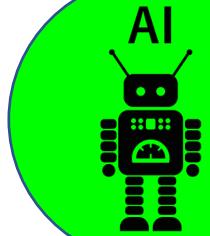
同期・予測・制御

シミュレーション

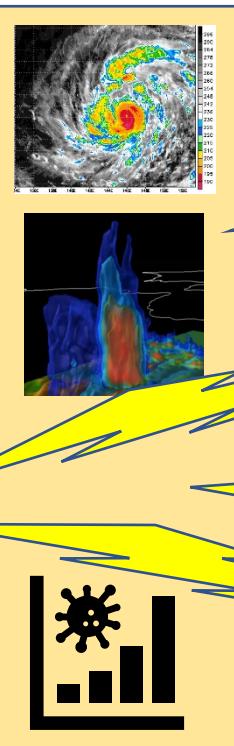


ビッグデータ同化

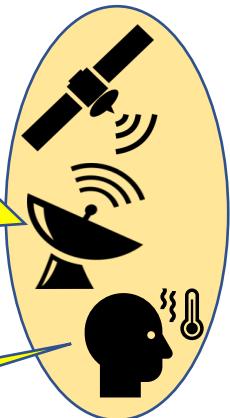
Data Assimilation



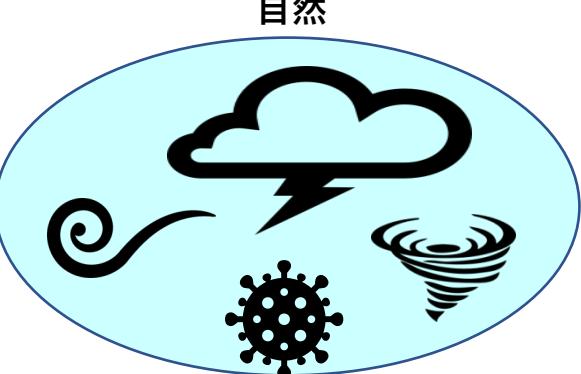
ビッグデータ



計測



自然



IoT



生活・社会経済

## ムーンショット目標8

2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現



国立研究開発法人  
科学技術振興機構  
Japan Science and Technology Agency

気象予測  
→制御

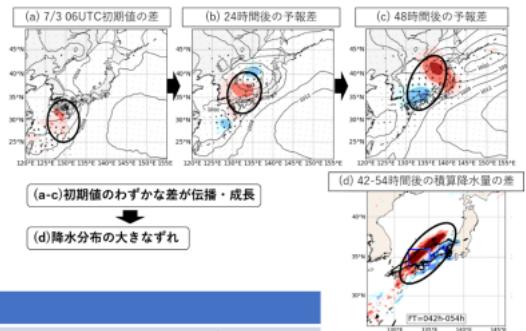
### (1) 2050年の社会像

気象を制御し、豪雨や台風などの気象災害の恐怖から解放された社会

- ・コロナ禍の避難所の密の問題
- ・「バタフライ効果」
  - ・大気にわずかな擾動（介入操作）
  - ・豪雨や台風を変化
  - ・人間活動への影響を最小化

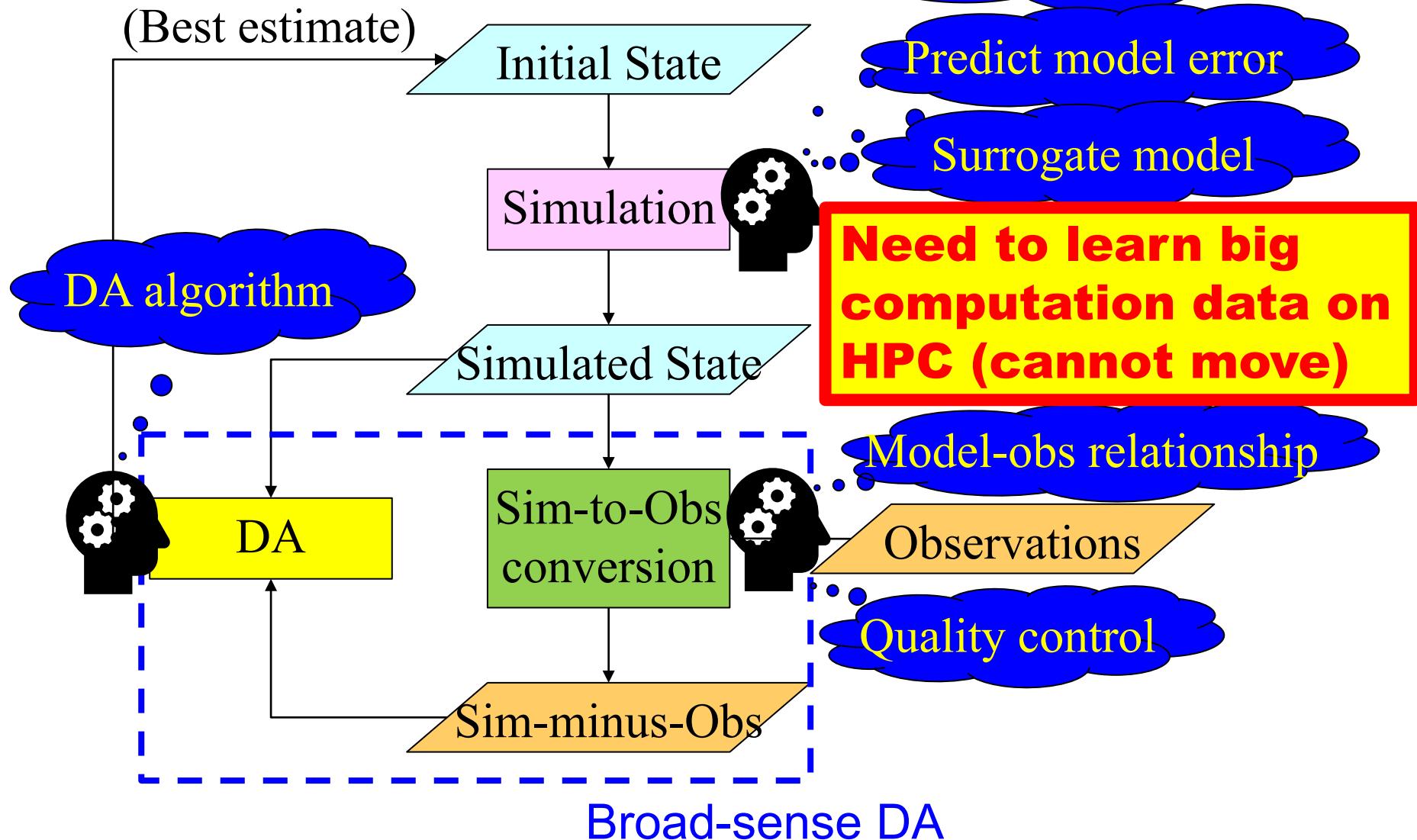
#### 既往研究 vs. 本提案

既往研究	本提案
クラウドシーディングによる人工降雨	カオス力学系の予測可能性理論→制御
気候変動のジオエンジニアリング	永久に地球環境を変える操作は対象外

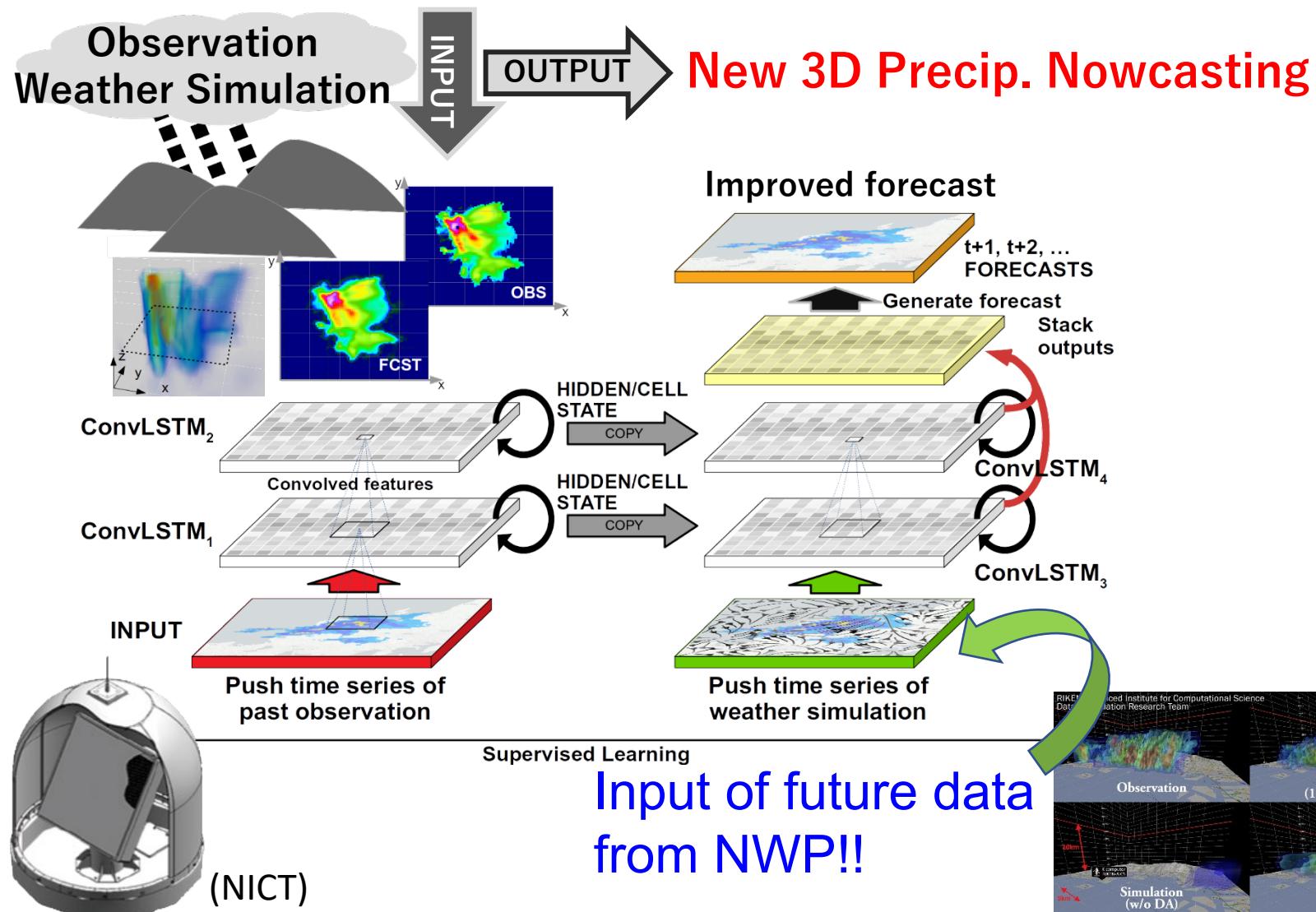


（ミレニア調査研究より）

# DA-AI Integration

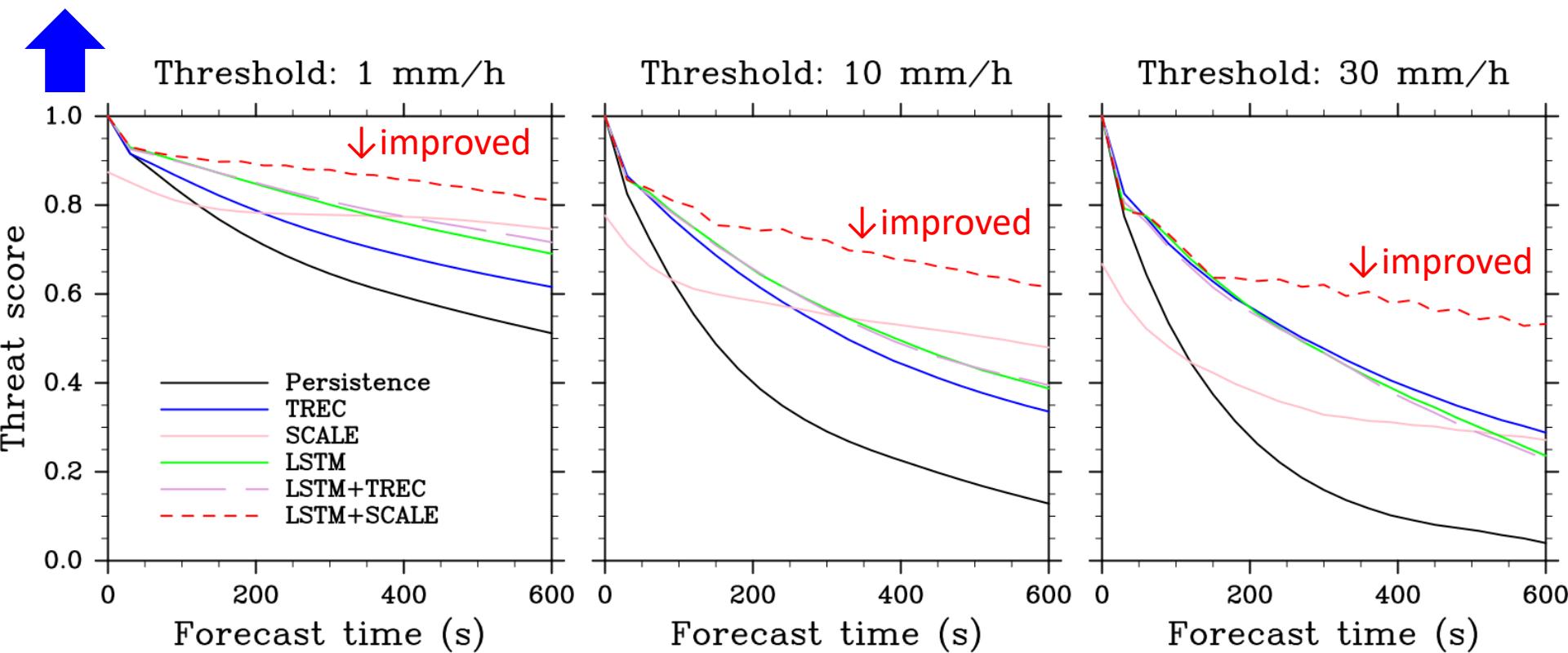


# Fusing ML+DA+Simulation

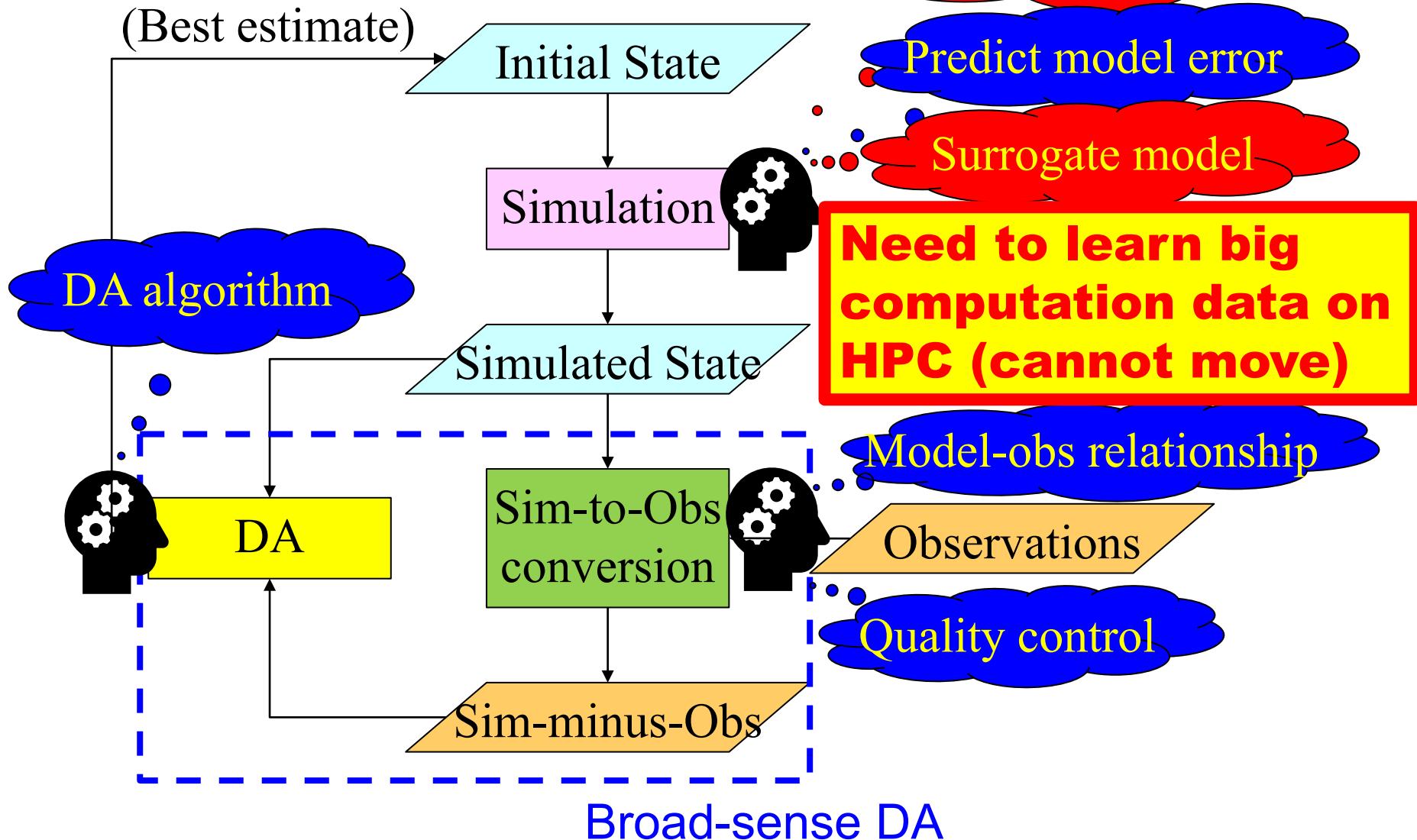


# Preliminary results: Using future data in Conv-LSTM is effective.

Better



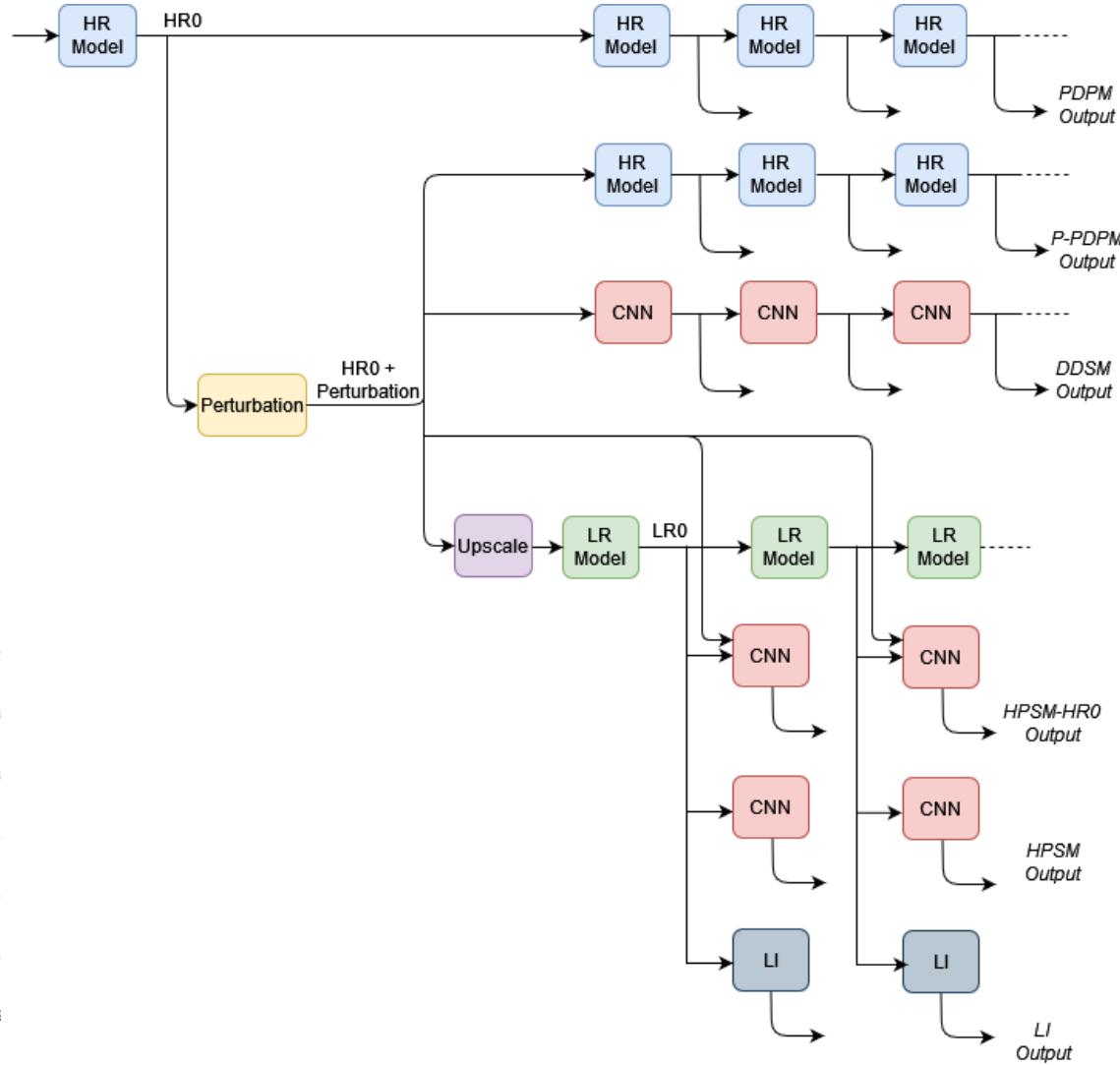
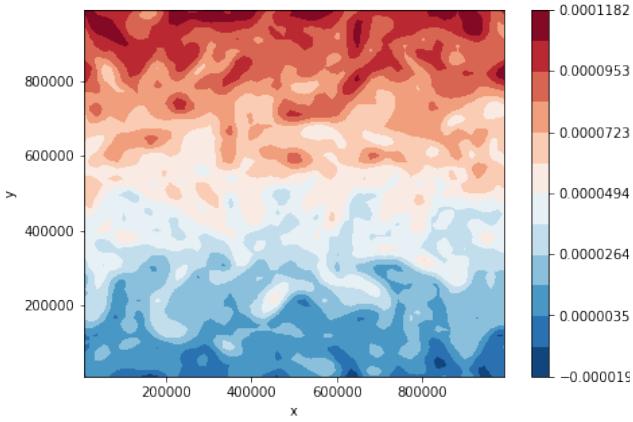
# DA-AI Integration



# Climate Model Acceleration by Machine Learning

## Experiment

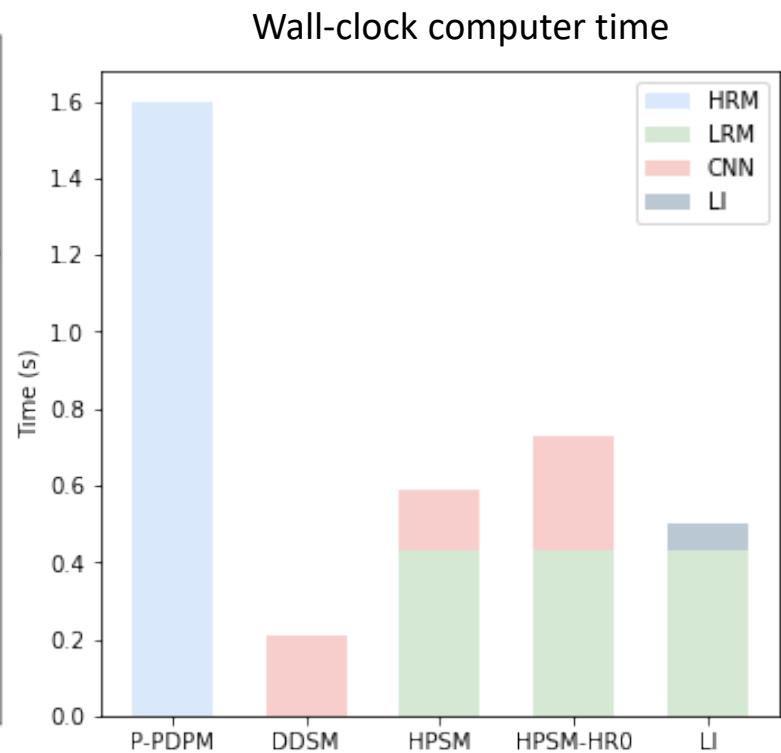
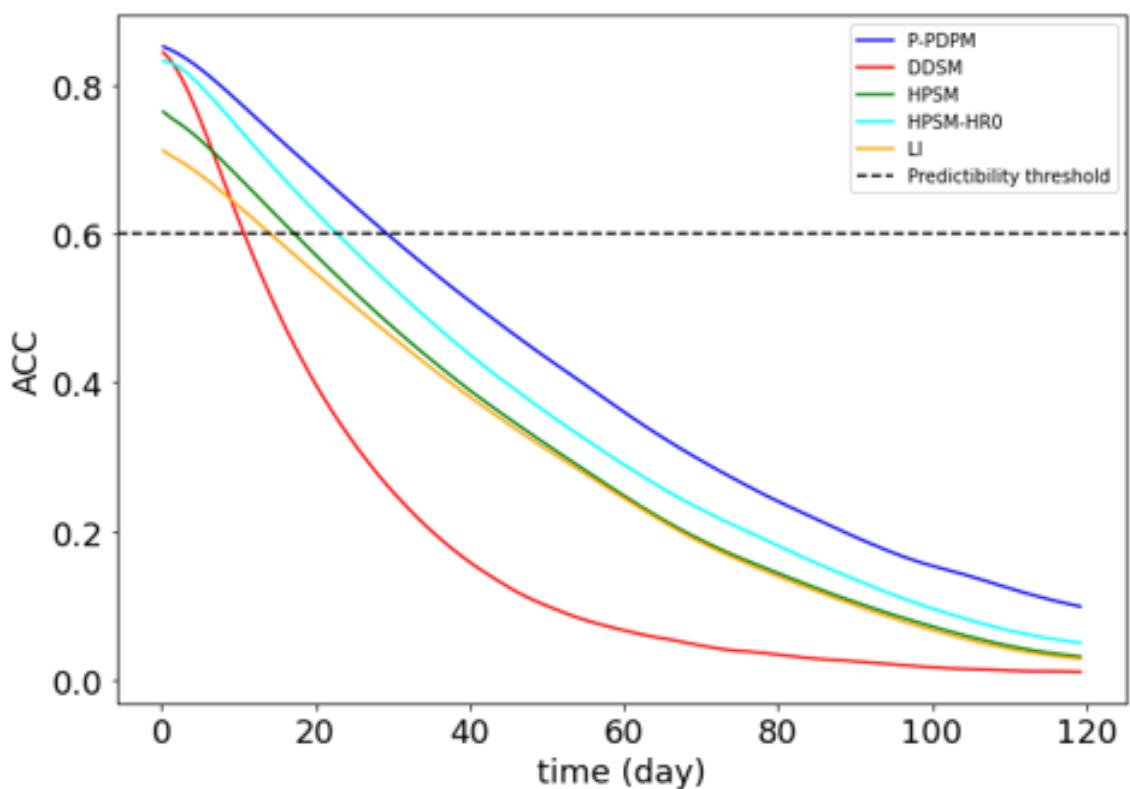
- Quasi-Geostrophic model: Potential Vorticity
- Models:
  1. Process-Driven Physical Model (*PDPM*)
  2. Data-Driven Statistical Model (*DDSM*)
  3. Hybrid Physical-Statistical Model (*HPSM*)



# Model Acceleration: Results

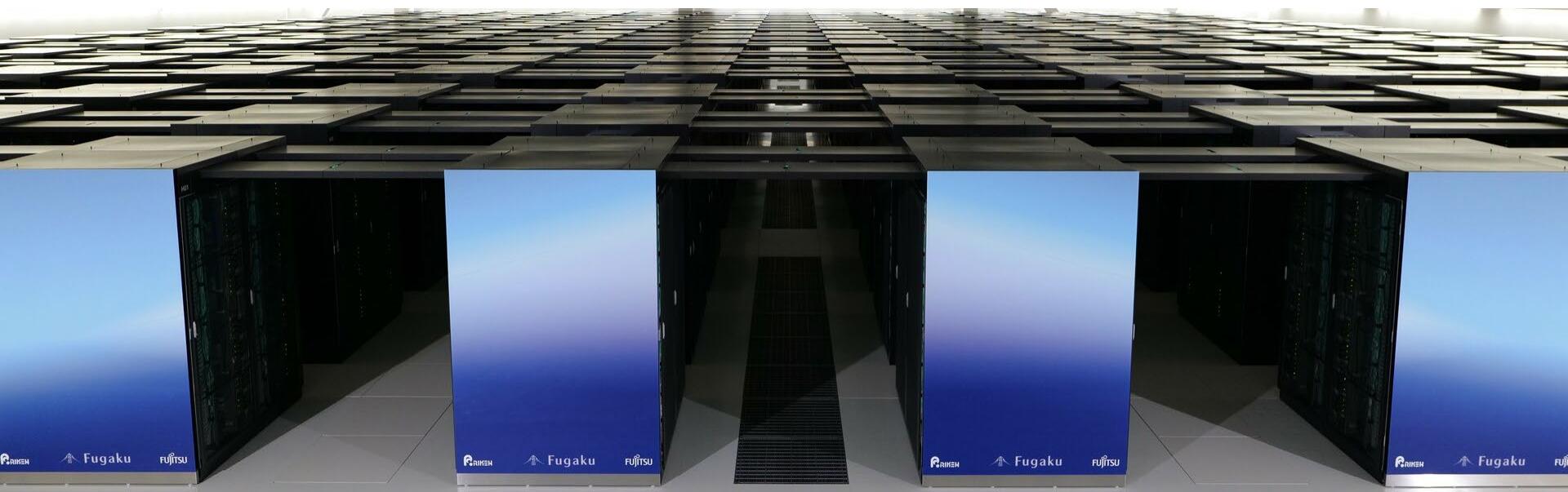
Criterion: Anomaly Correlation Coefficient (ACC)

Predictability range: ACC > 0.6

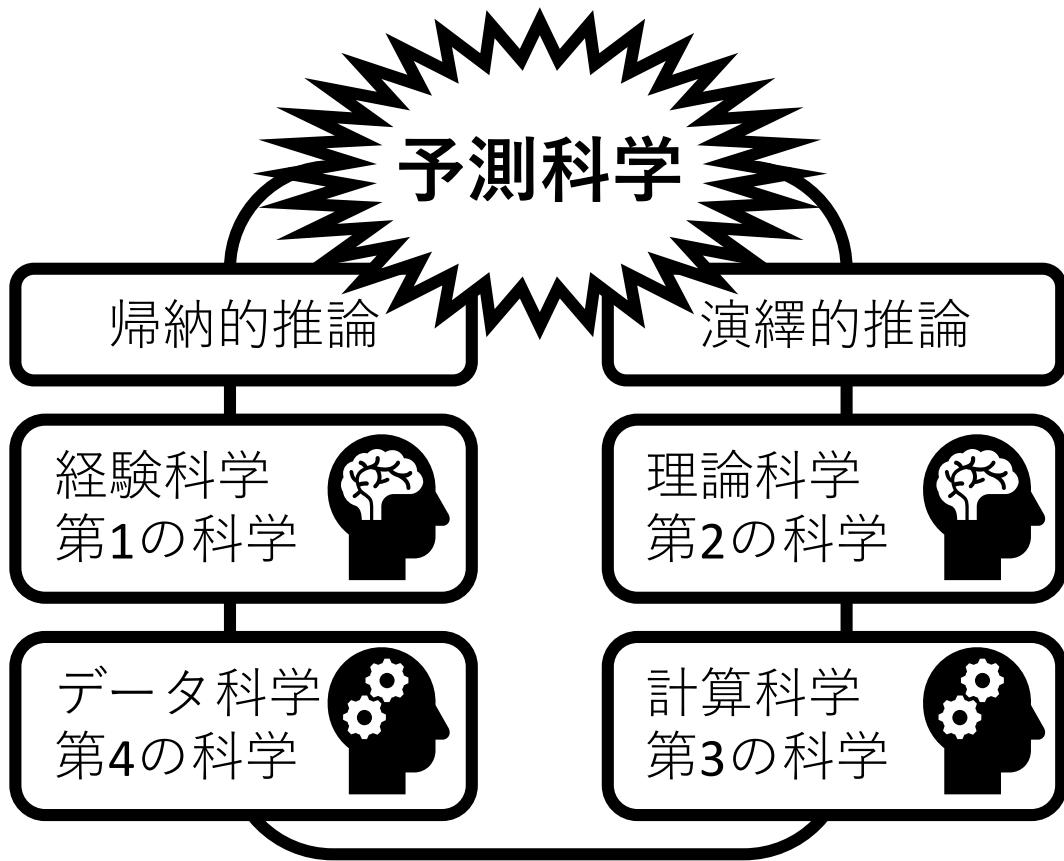


# Future

Using AI in DA  
Fusing AI and DA with HPC  
→ New meteorology  
(the 5<sup>th</sup> Science)



**データ同化**  
気象からの脱皮  
様々な分野へ





<http://prediction.riken.jp/>



## PREDICTION

Science – understanding principles and fundamental laws of phenomena, or answering “why.”

Every human being leads our lives by predicting what will happen now and near future. We always have something curious about the future but often it is hard to know. Therefore, we developed methods for prediction based on science.

Thus far, we did not explore a science of prediction itself. Instead, prediction has been developed in each field separately. Fusing the prediction methods and finding what are common and different in different fields might lead to a new science of prediction. This is a grand challenge of this project.



Prediction Science  
Laboratory,  
RIKEN Cluster for  
Pioneering Research  
Takemasa Miyoshi

# データ同化(DA)でできること

