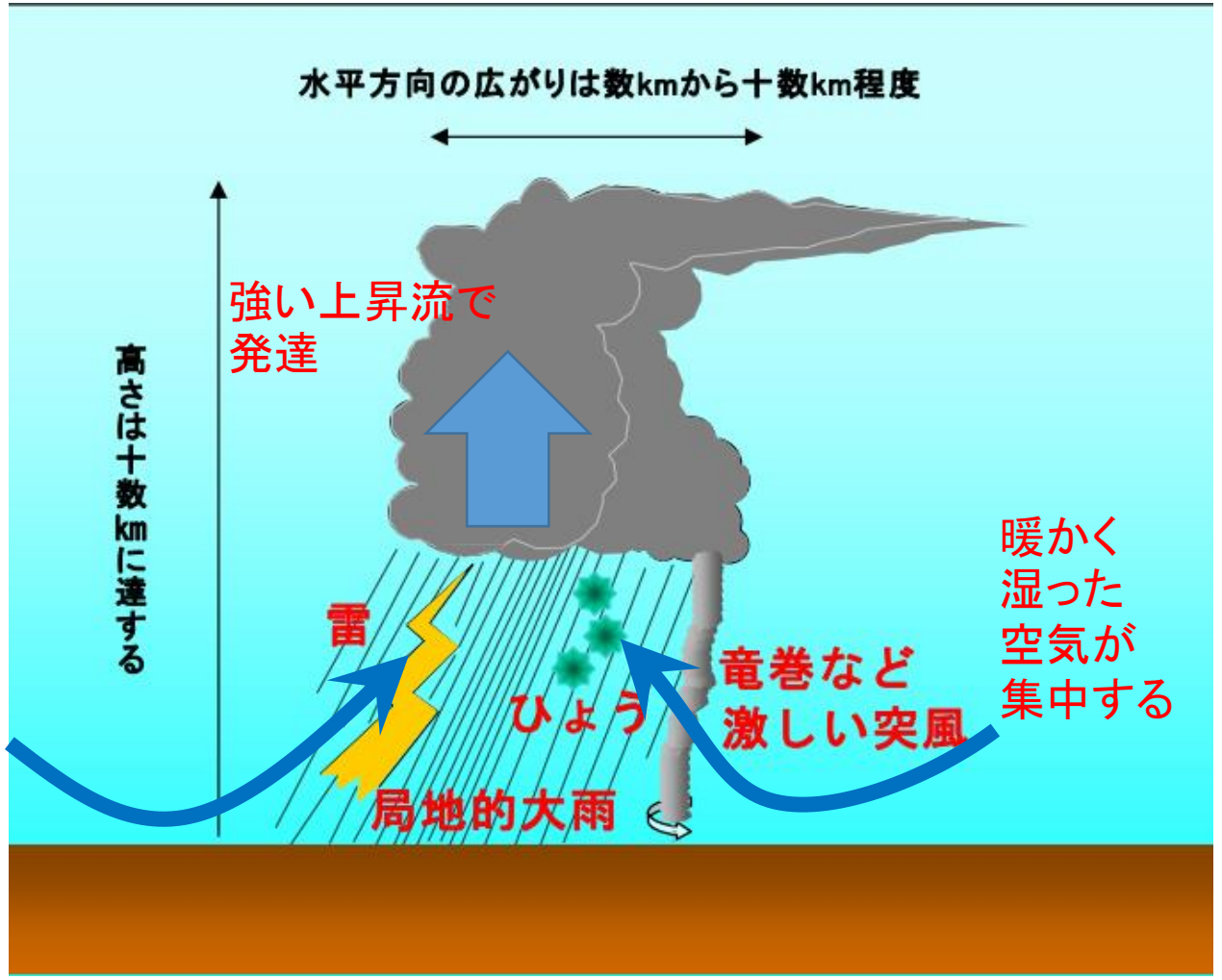
大アンサンブルが予測する豪雨・洪水

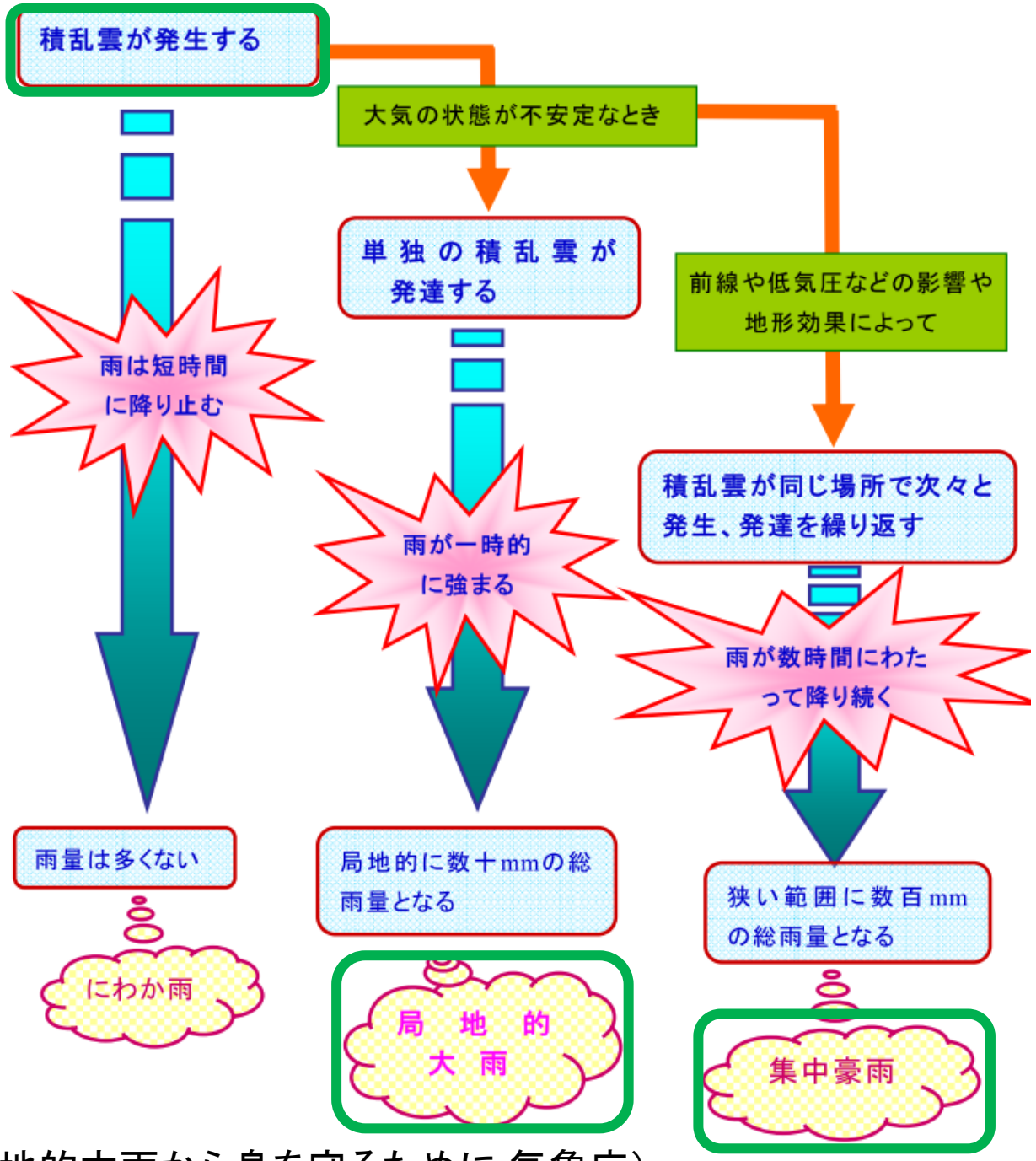
川畑拓矢

（気象研究所、気象業務支援センター）

集中豪雨を引き起こす積乱雲



(局地的大雨から身を守るために 気象庁)を改変



(局地的大雨から身を守るために 気象庁)

まず積乱雲が発生し、
2，3個の積乱雲により局地的に大雨となり、
次々と発生して集中豪雨となる。

予測したい！

積乱雲はカオス系

豪雨の予測は難しい

Which cloud will become a cumulonimbus?

確率的? Yes!
非線形? Yes!
非ガウス? Yes!

予測においては・・・
- カオス性が卓越する
- 予測可能性が低くなる

短い時間間隔で
多くの観測を同化して
カオスの発達を抑える

様々な可能性（カオス）
そのものを予測する

豪雨予報：二つのアプローチ

- **決定論的予報**
  いつ、どこで、どのくらいの雨が降るかを量的に示す
  ← カオスなので長い時間の予測は不可能
- **確率的予報**
  大雨が降る確率を精密に示す
  ← 多くのアンサンブル計算が必要

確率的予報？

- 物理法則に基づいたアンサンブル予報
- 現在の降水確率予報は....

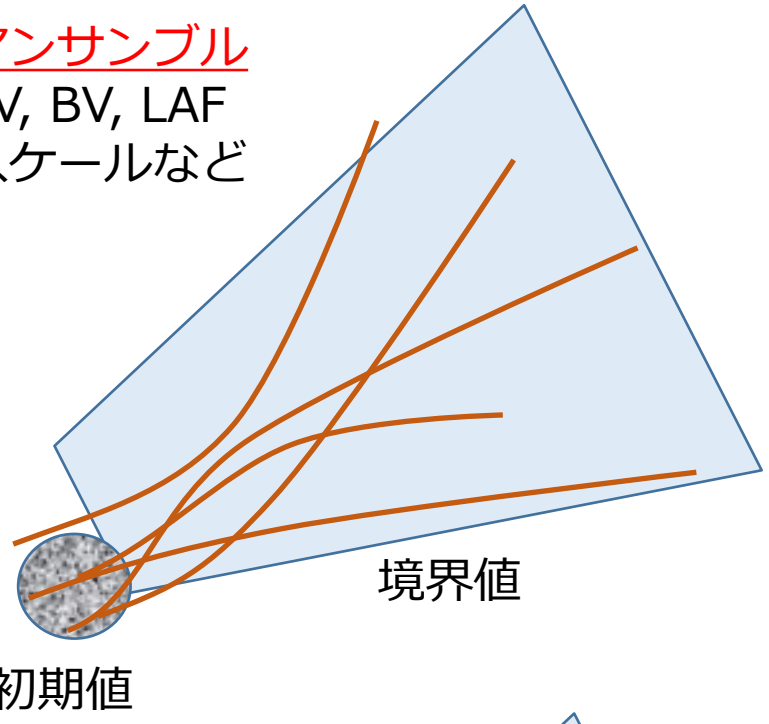
  モデルの決定論的予報→ガイダンス→降水
  過去の統計から将来の確率を推測
- アンサンブル予報？？？

  「アンサンブルは、音楽用語で2人以上が同時に演奏すること（Wikipedia)」→おのおの異なった楽器あるいは楽譜で一つの楽曲を演奏する。
- 気象学では...

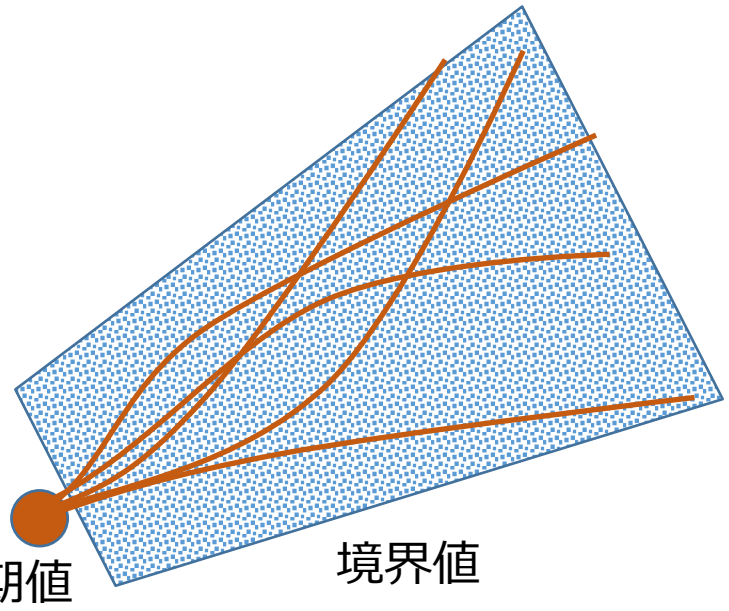
  少しずつ異なった予報を多数集めて、確率を求める。

初期値アンサンブル

EnKF, SV, BV, LAF
ダウンスケールなど

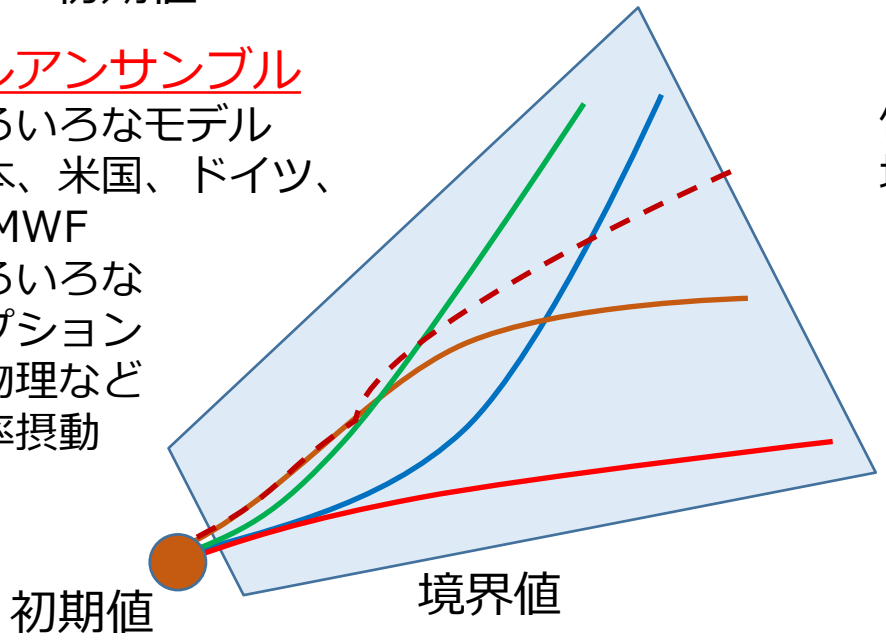


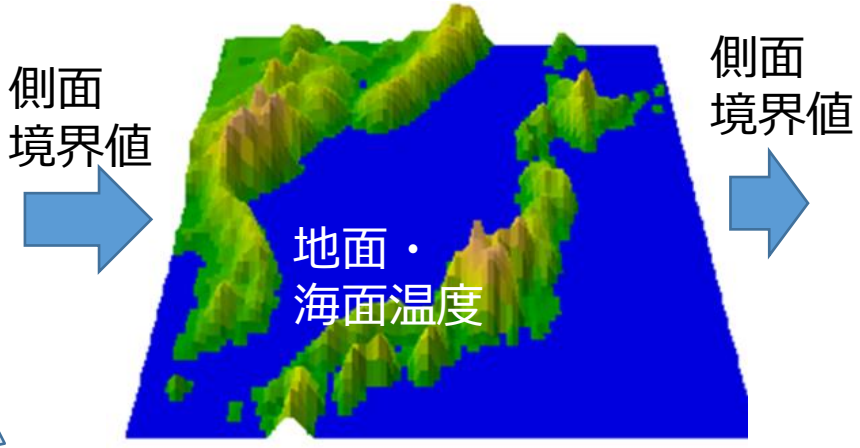
境界値アンサンブル



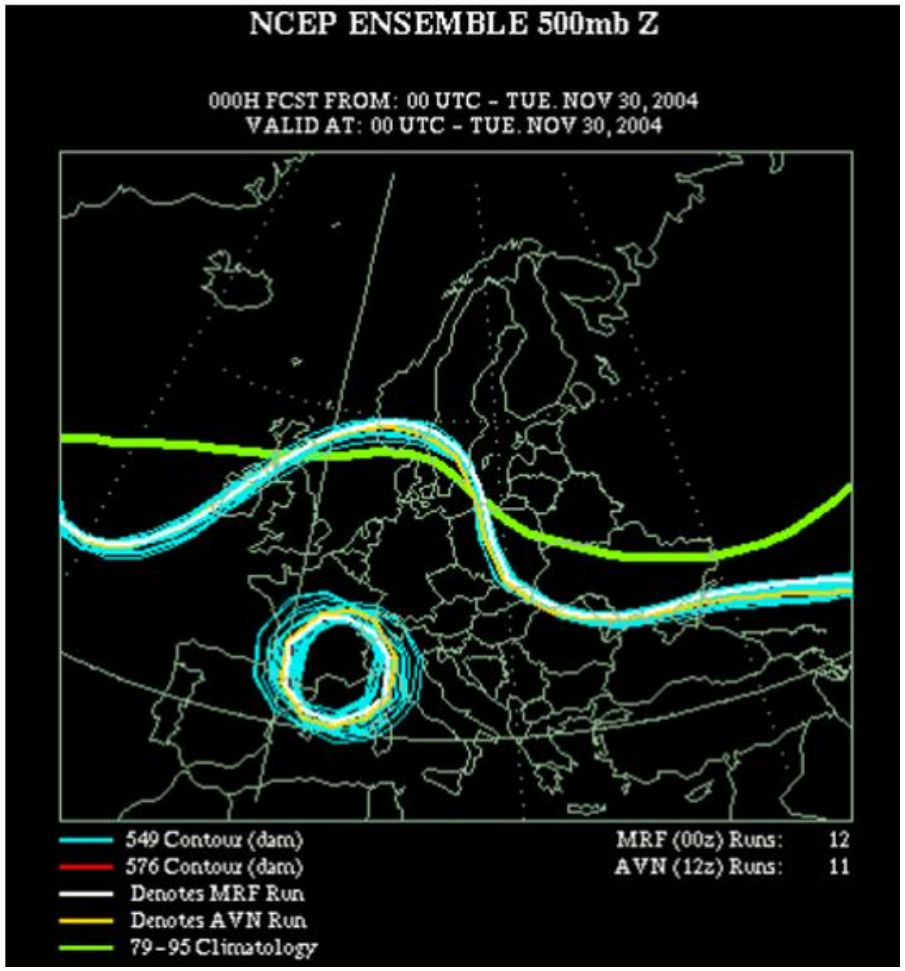
モデルアンサンブル

- いろいろなモデル
  日本、米国、ドイツ、ECMWF
- いろいろなオプション
  雲物理など
- 確率摂動



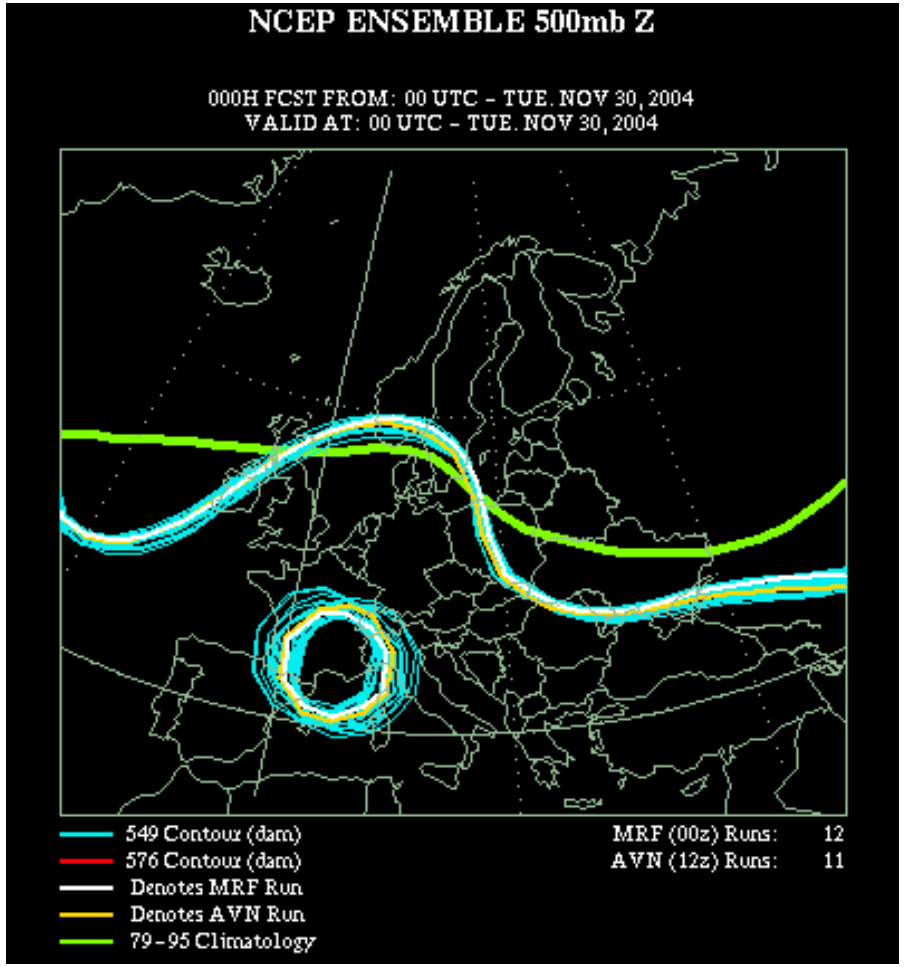


アンサンブル予報



少しだけ違う初期値から出発した多数の予報。時間がたつと、まったく違う予報になる。→ カオス

アンサンブル予報



少しだけ違う初期値から出発した多数の予報。時間がたつと、まったく違う予報になる。→ カオス

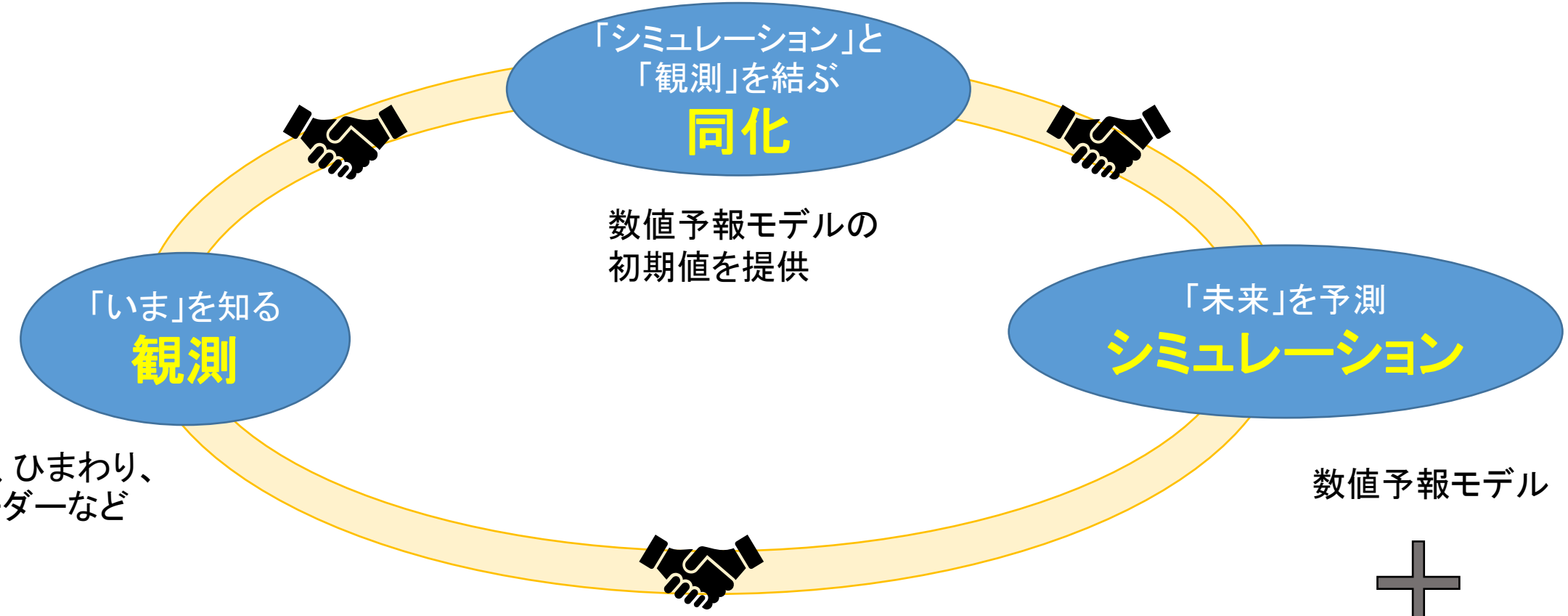
アンサンブル予報によって得られる付加情報

アンサンブル数

大

- **マルチシナリオ**
  複数のシミュレーションがあると様々な場合の想定が可能
  （大雨や強風について、起こりうる様々な場所、時間、強さ）
- **信頼度情報**
  複数のシミュレーションが似たような予測を行った場合は、これを信頼してよさそう
- **確率予測**
  多数のシミュレーションがあるなら、信頼度を確率で表すことが出来る。
  （100mm以上の雨が80%の確率）

天気予報の仕組み



アメダス、ひまわり、
気象レーダーなど

数値予報モデル

＋

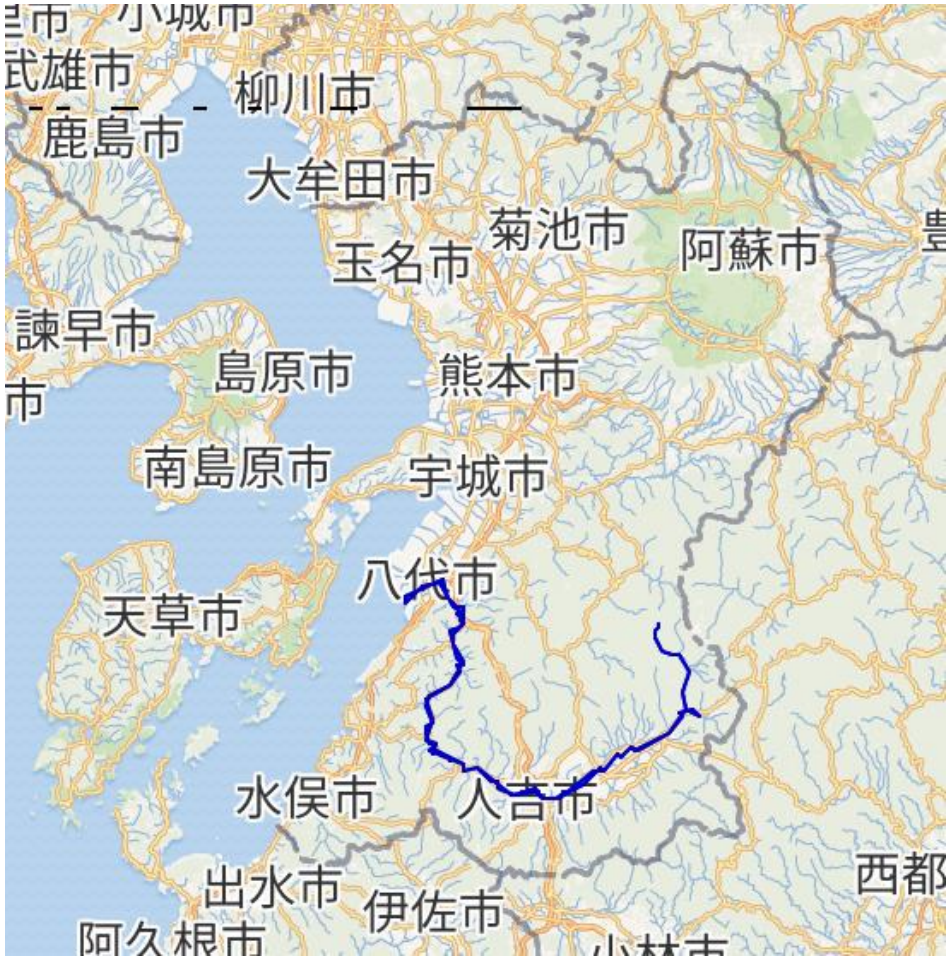
確率予測　アンサンブル
シミュレーション

令和2年7月豪雨

期間：2020年7月3日～31日

九州各地で洪水や土砂災害が発生，死者70名以上

球磨川が氾濫



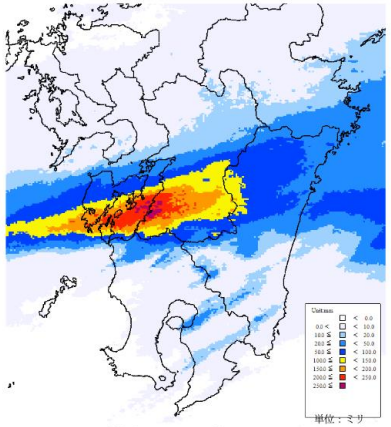
Courtesy of Hirockawa

令和2年7月豪雨（2020.07.03–08）

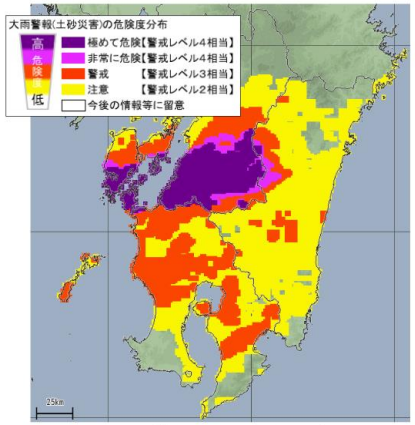
7月4日と6日に，九州5県に**大雨特別警報**発表

4日：熊本県，鹿児島県

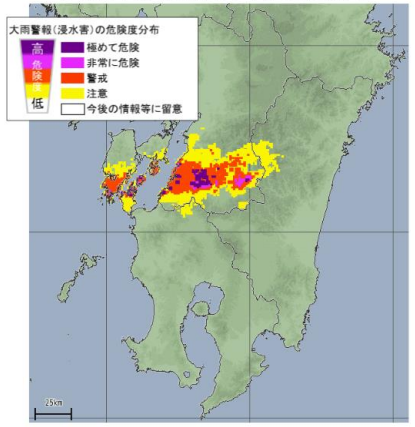
3 時間降水量（解析雨量）



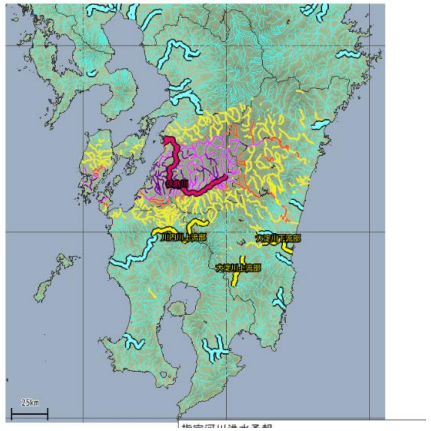
大雨警報（土砂災害）の危険度分布



大雨警報（浸水害）の危険度分布

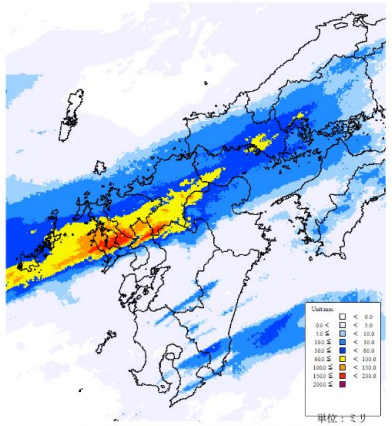


洪水警報の危険度分布

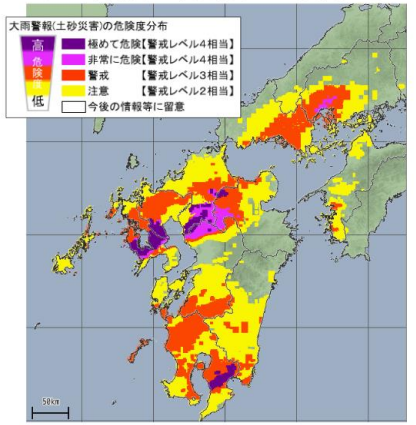


6日：福岡県，佐賀県，長崎県

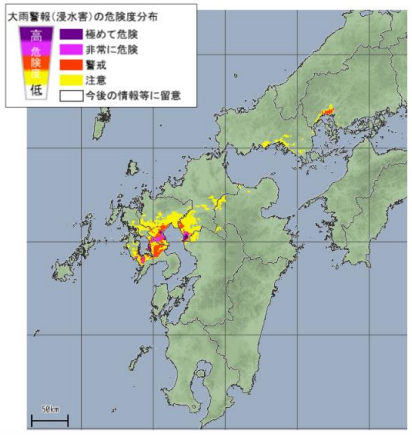
3 時間降水量（解析雨量）



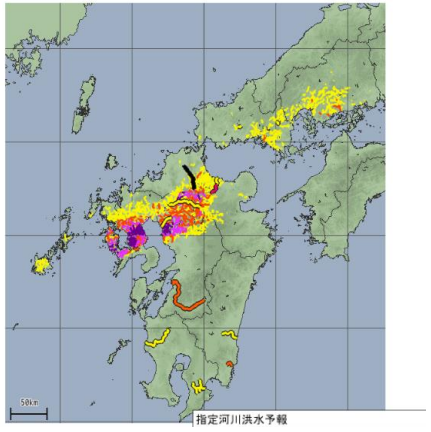
大雨警報（土砂災害）の危険度分布



大雨警報（浸水害）の危険度分布



洪水警報の危険度分布



気象庁HP：災害をもたらした気象事例より
http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/20200811.html

Courtesy of Hirockawa

令和2年7月豪雨の大気の循環場

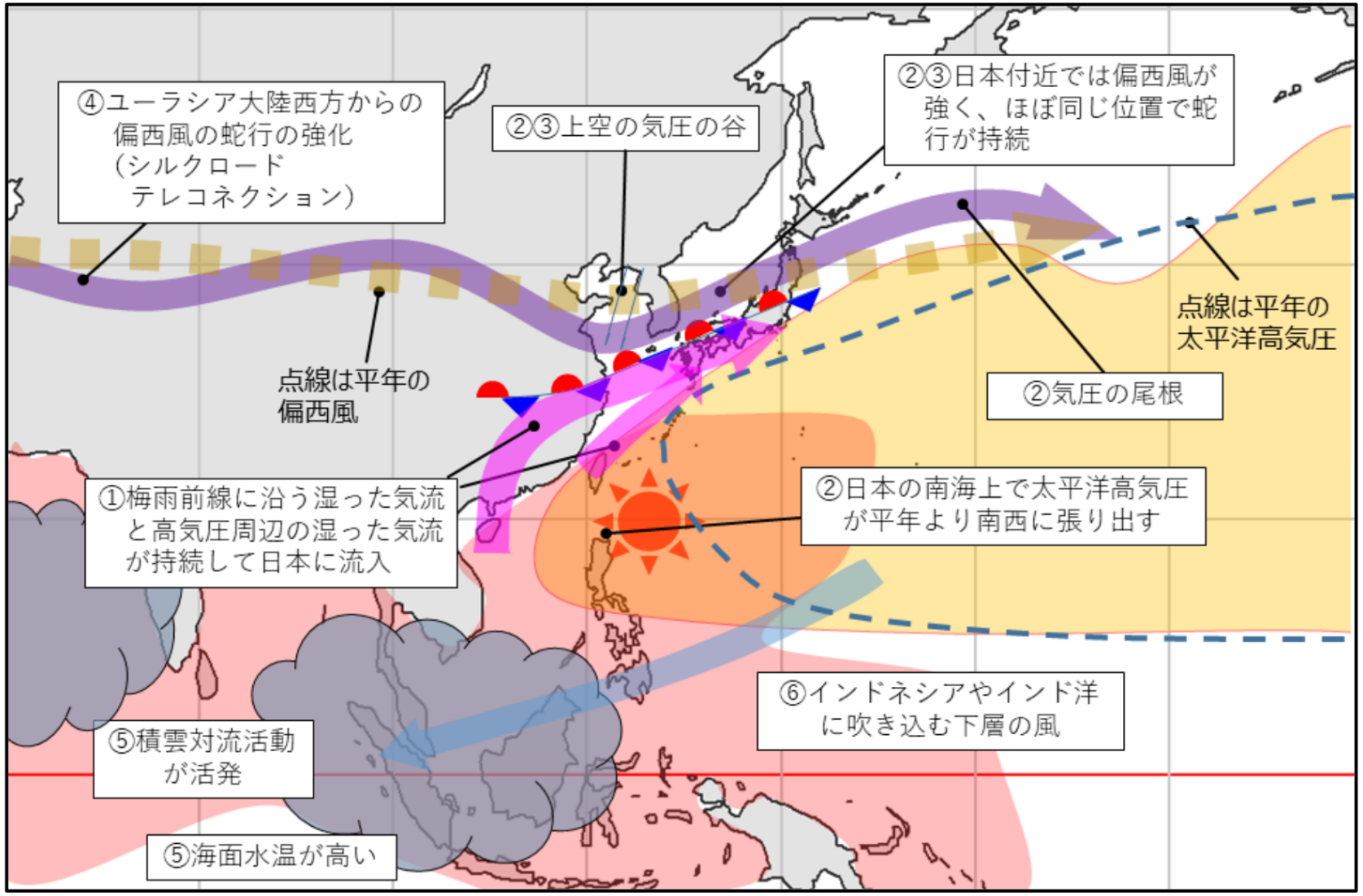


図２－１　長期間にわたる大雨に関連した大規模な大気の流れ

「令和2年7月豪雨」の特徴と関連する大気の流れについて（速報）より
https://www.jma.go.jp/jma/press/2007/31a/press_r02gou20200731.html

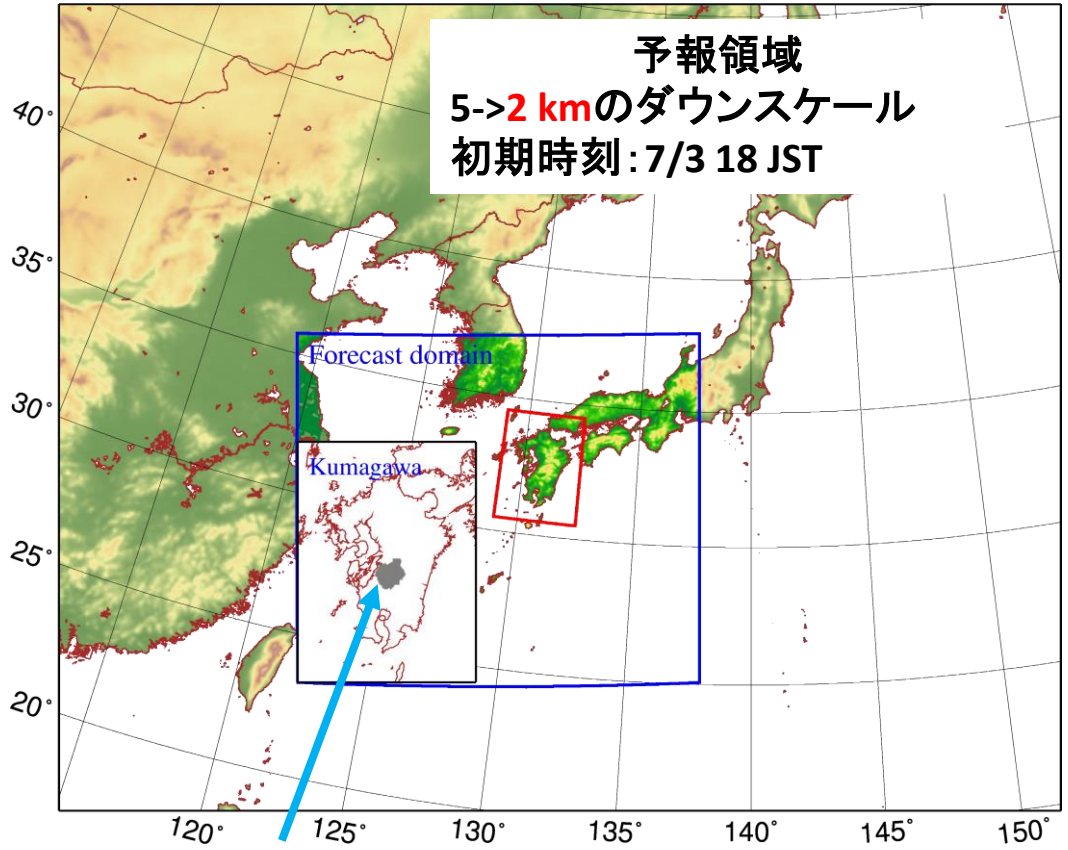
Courtesy of Hirockawa

1000メンバーでアンサンブル実験を行いました

実験設定（Duc. et al 2020）

1000-アンサンブル（100も）

初期時刻：7/3 18 JST
解析領域
（15->5 kmのインクリメント法）



球磨川流域
（検証領域）

気象庁メソ予報（asuca）

初期時刻：7/3 18 JST
領域：解析領域（左図）と同じ
解像度：15->5 kmのインクリメント法

気象庁メソアンサンブル（MEPS）

初期時刻：7/3 21 JST
領域、解像度ともメソ予報と同じ
メンバー数：20
主にマルチシナリオ・信頼度向け（私見）

DET：
初期時刻におけるアンサンブル平均からの一本の予報

アンサンブル平均：
対象時刻におけるアンサンブル平均値

天気予報の仕組み

- 初期値
  気象庁メソ解析、100メンバー、1000メンバー
- モデル（解像度 2km、5km）
  NHM、asuca
- アンサンブル
  気象庁メソアンサンブル、100メンバー、1000メンバー

数値予報モデル

＋

確率予測　アンサンブル
シミュレーション

降水量予測（7/4 03-09時）

気象レーダー

現業モデルasuca

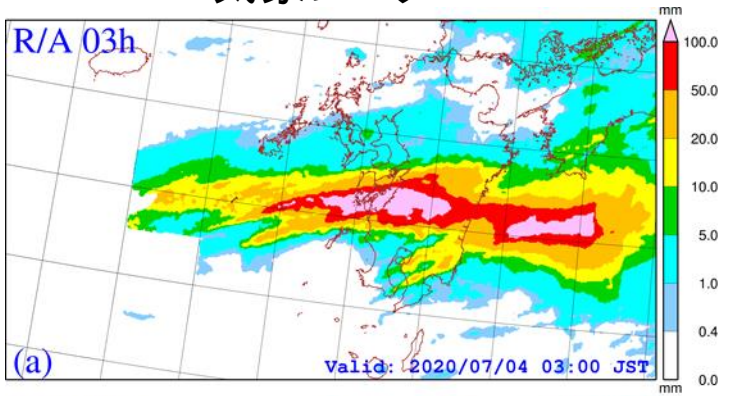
100-アンサンブル

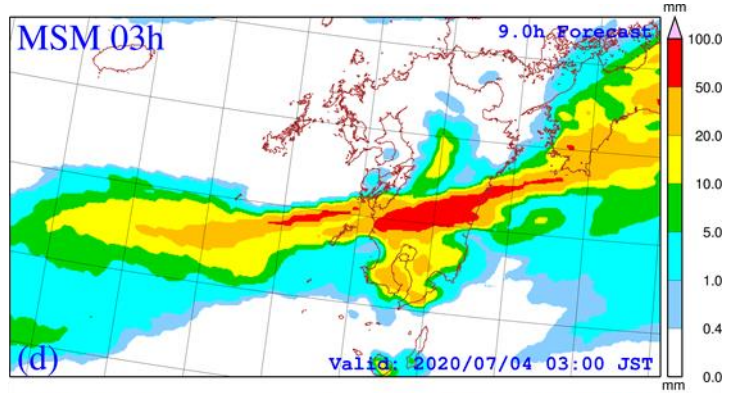
7/4 03時

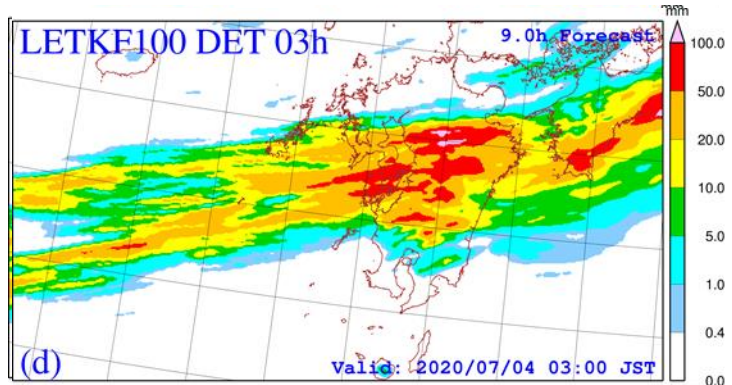
7/4 06時

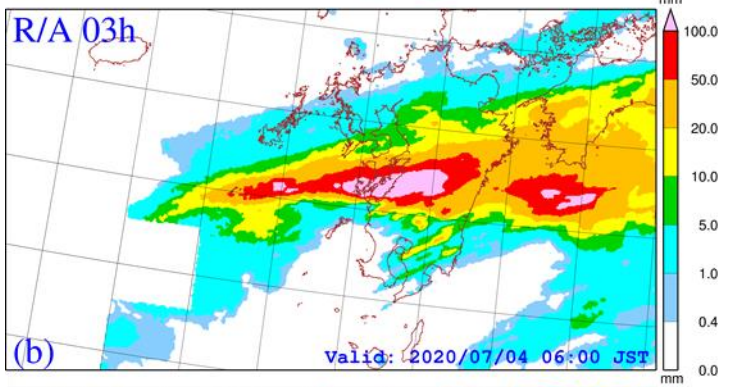
氾濫！

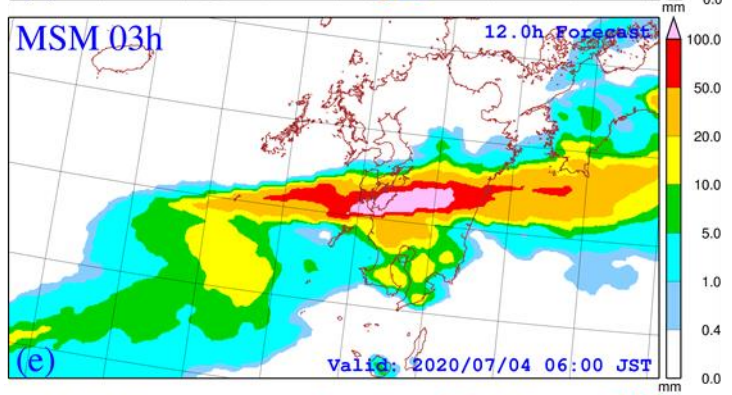
7/4 09時

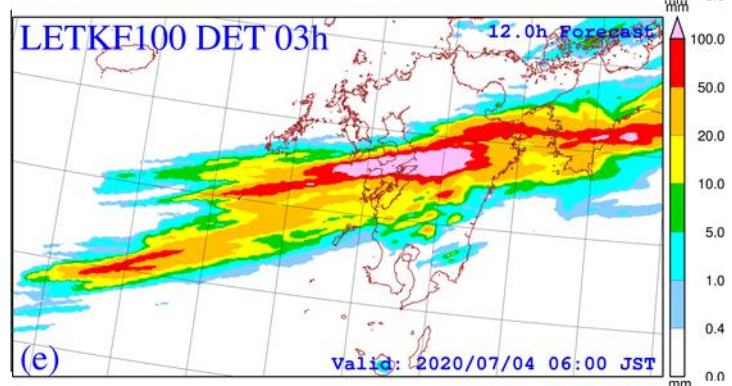


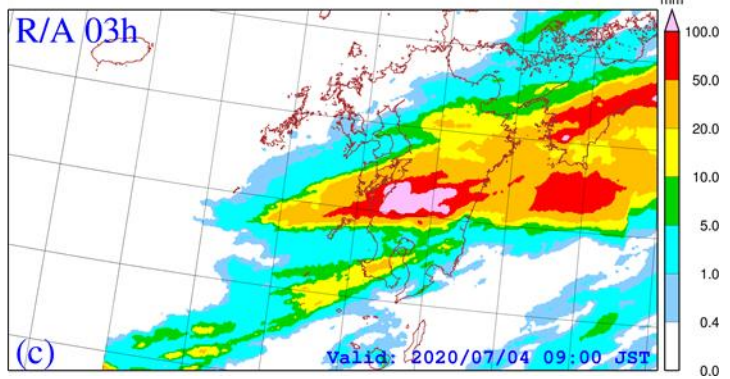


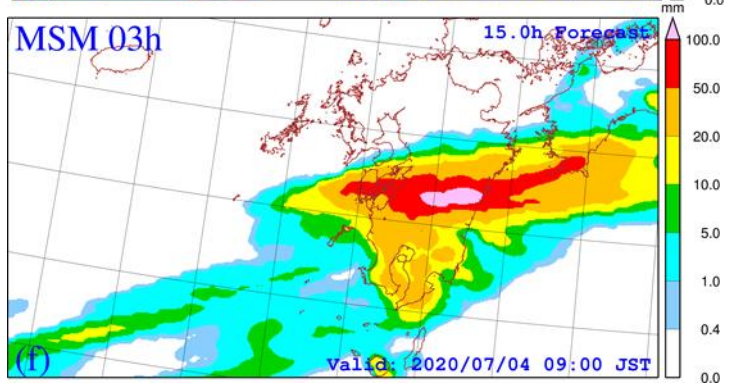


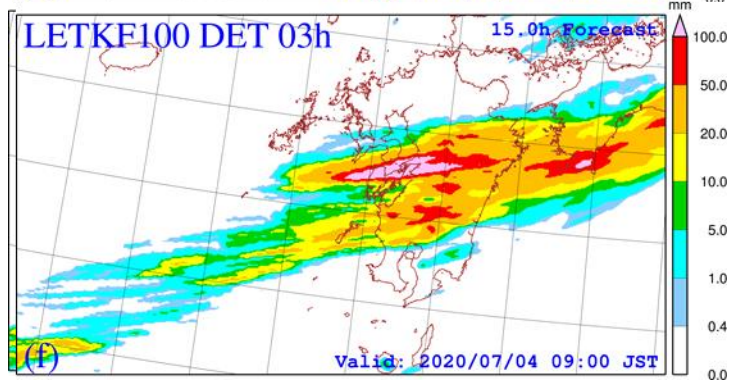












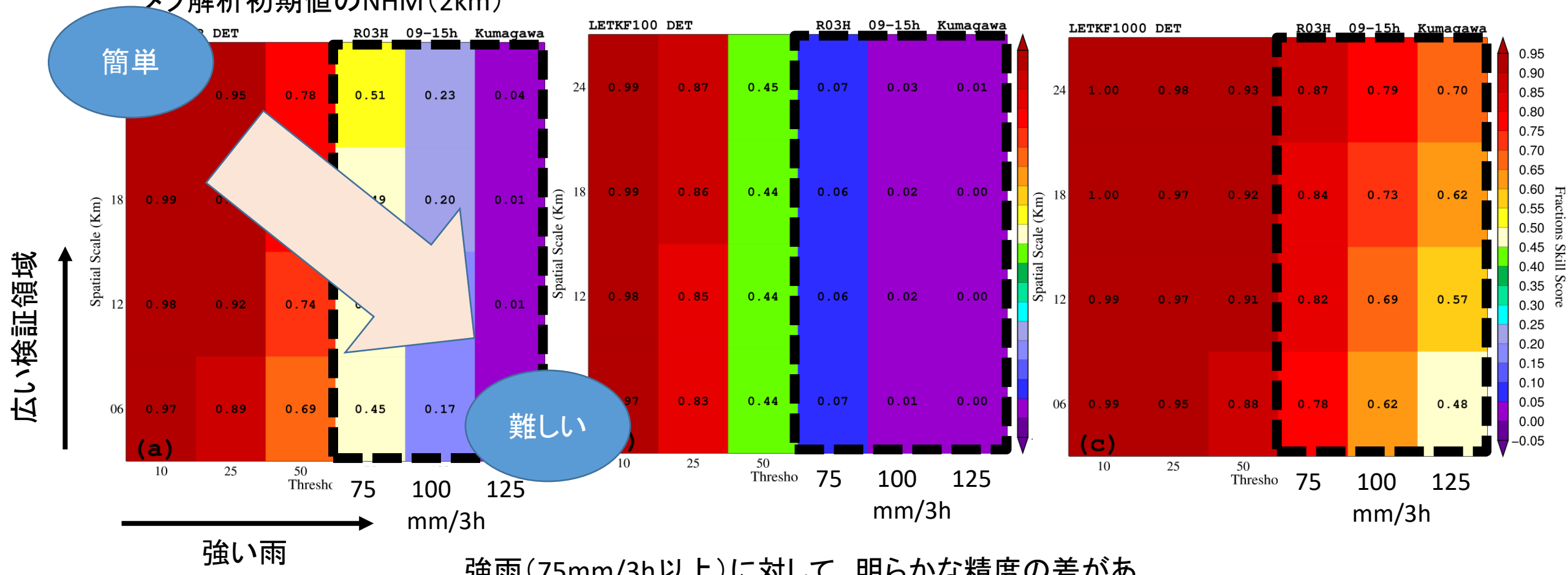
予測精度検証（FSS）

7/4 03-09 JST　3時間降水量

メソ解析初期値のNHM（2km）

100-アンサンブル

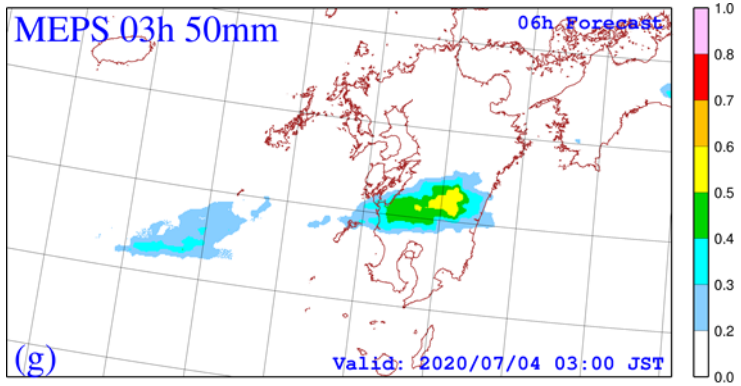
1000-アンサンブル

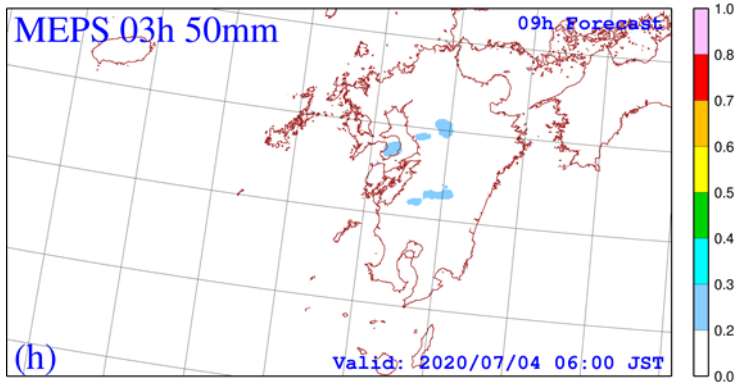


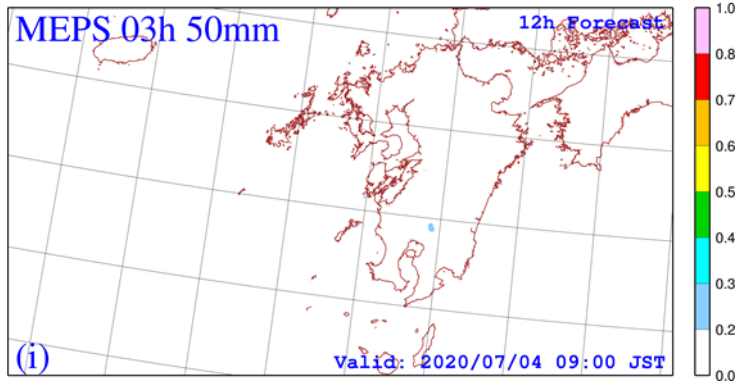
強雨（75mm/3h以上）に対して、明らかな精度の差がある。特に100mm/3h以上に対して、メソ解析初期値と100-メンバーアンサンブルはほぼ予測スキルがないが、1000-アンサンブルは高い精度がある

確率予測（50 mm/3h：7/4 03-09JST）

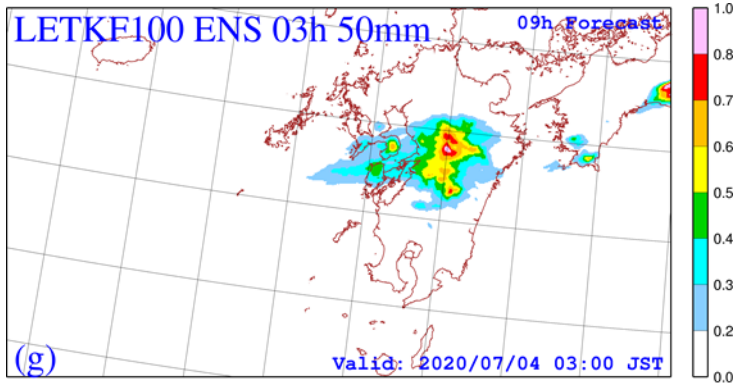
メソアンサンブル
（20メンバー：主にマルチシナリオ）

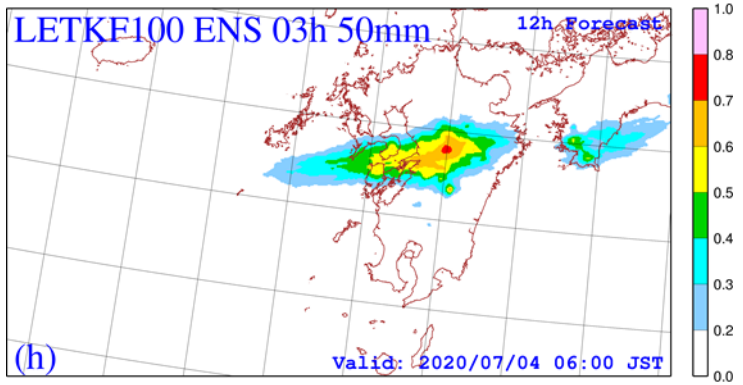


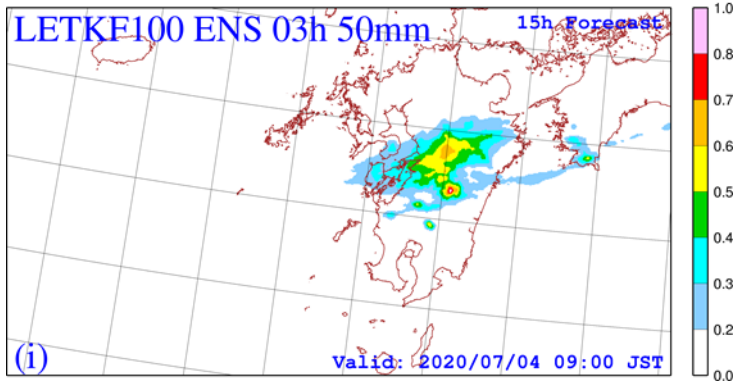




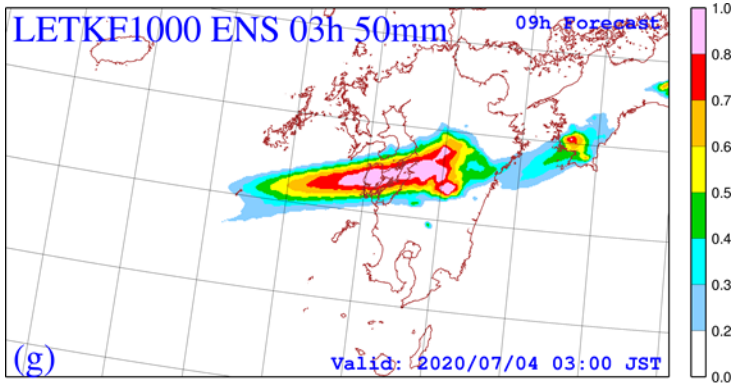
100-アンサンブル
（信頼度）

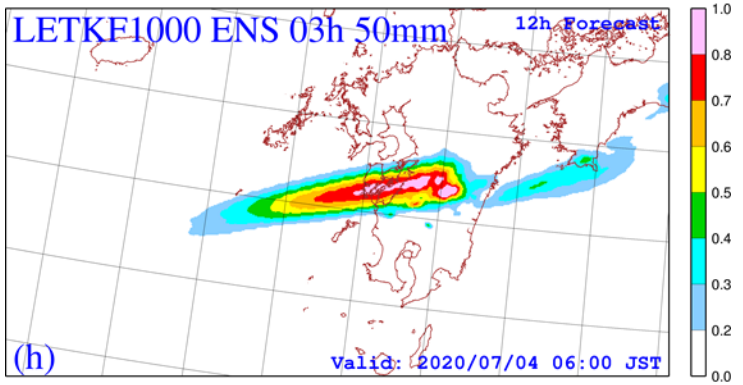


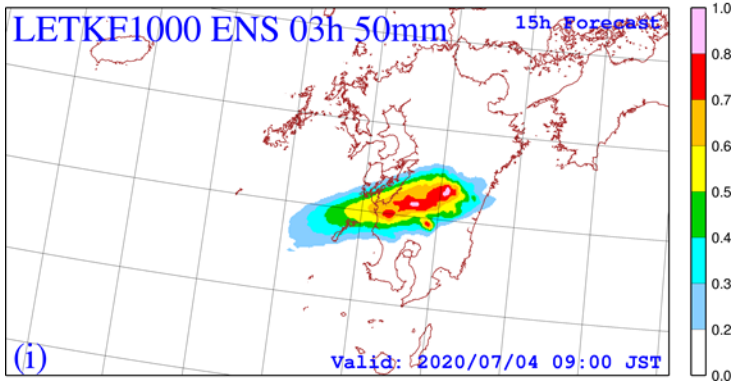




1000-アンサンブル
（確率）

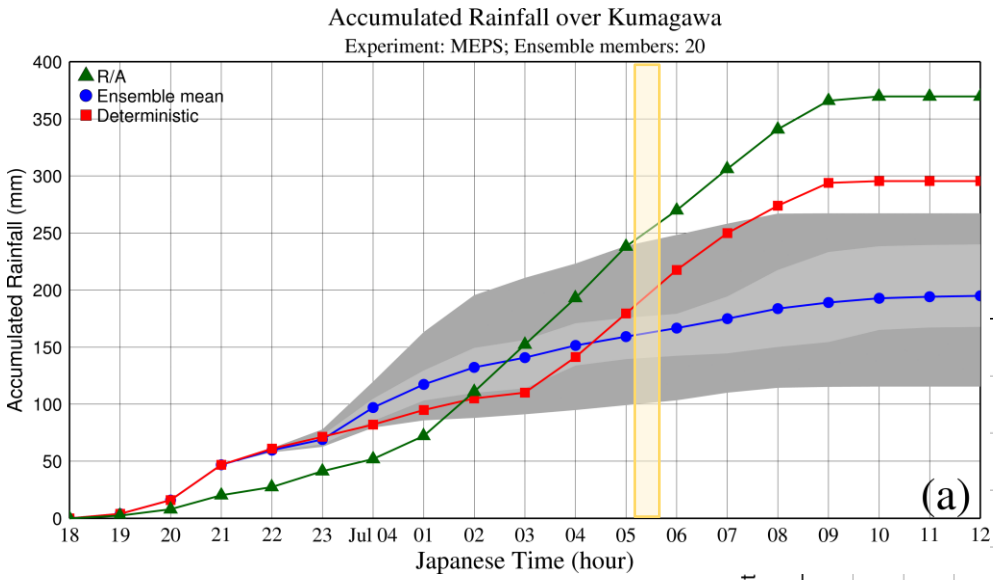






球磨川流域における積算降水量

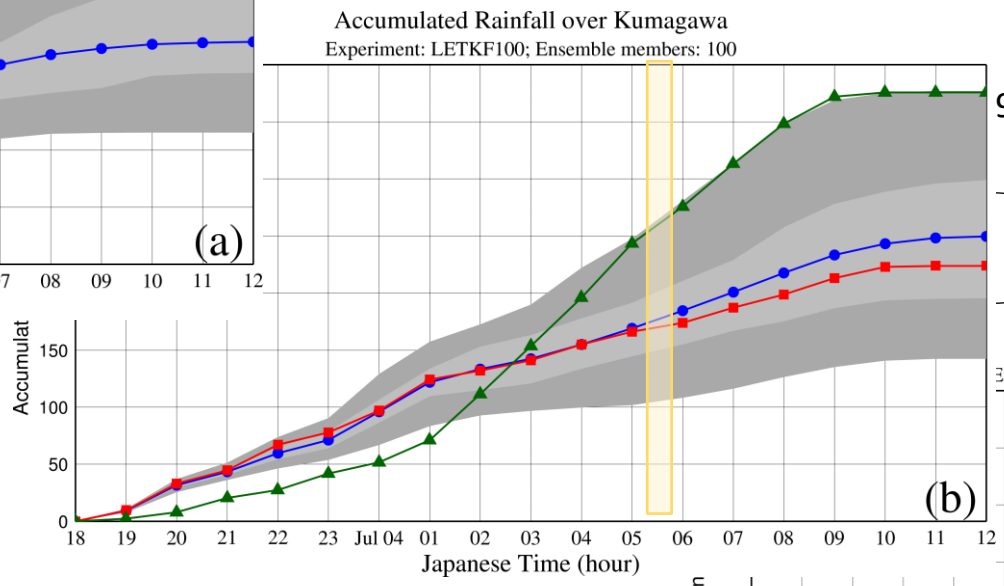
メソアンサンブル



観測雨量

予報値

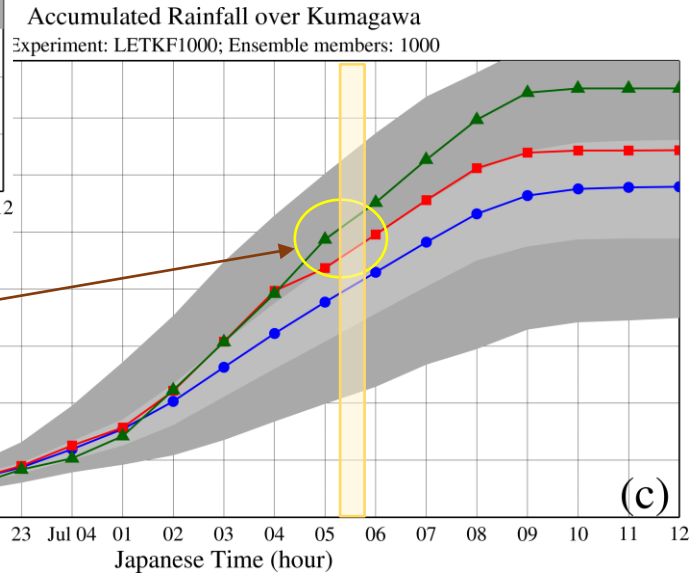
100-アンサンブル



98%

50%

1000-アンサンブル



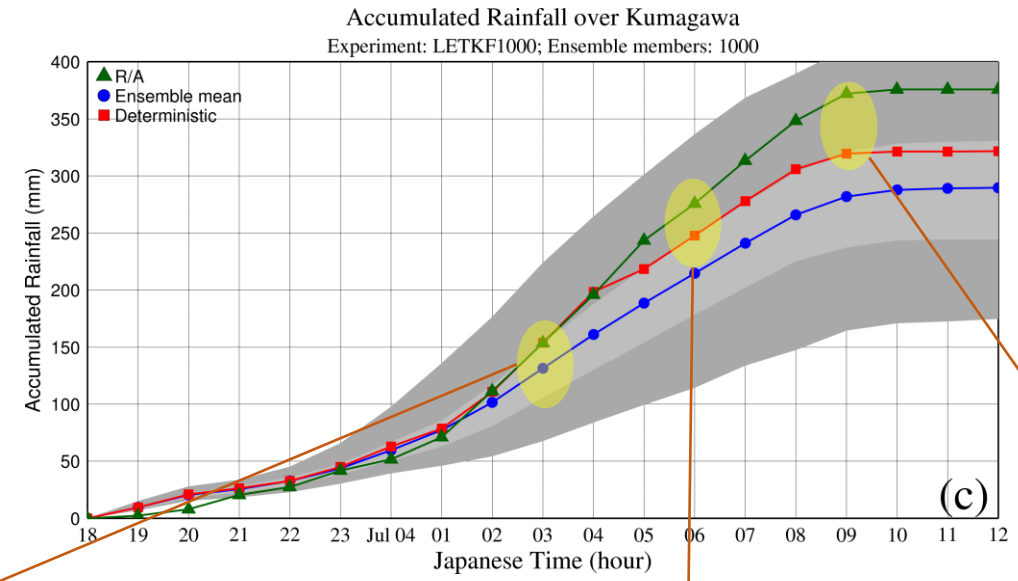
避難指示、
氾濫時刻

洪水に直結する積算降水量予測の精度が高く、かつ高い信頼度で予測

確率値(1000-アンサンブル)

いくつかの閾値

370 mm	300	200
10%	30%	90%



確率値は10~25%程度で、
高い確率とは言えない

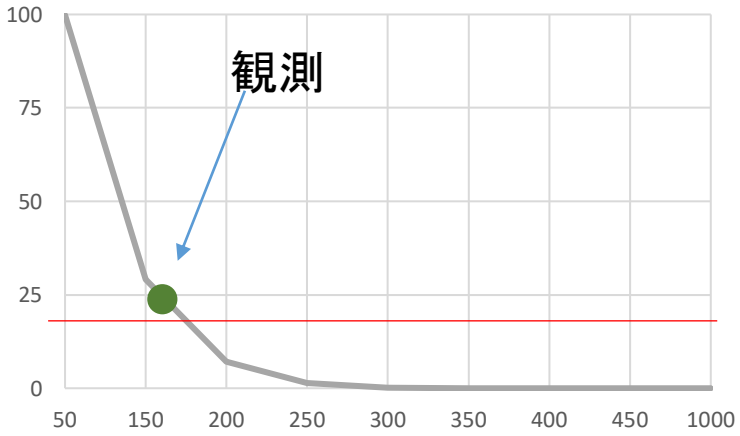
200mmの積算降水量に対しては
90%であり、極めて高い。

洪水を引き起こす降水量を
高い確率で予測できたのか？

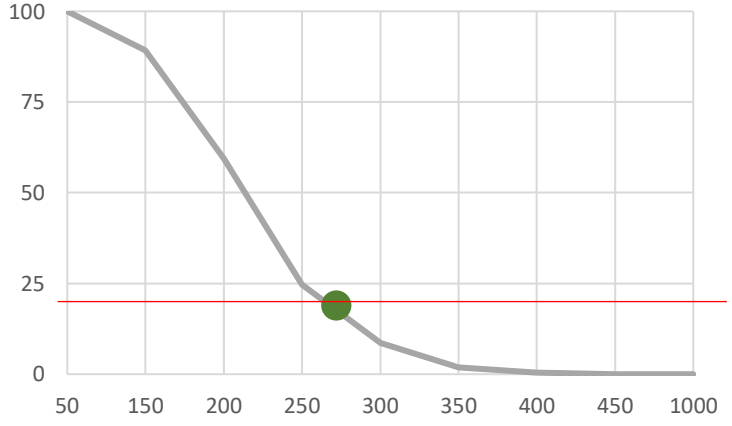
分かりません。。。。

確率値(%)

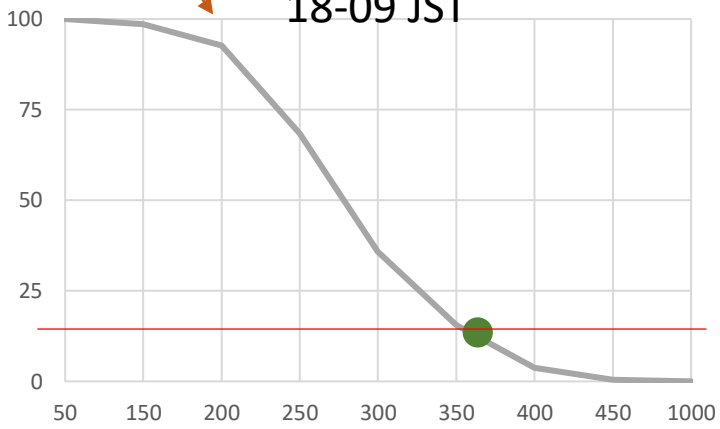
18-03 JST



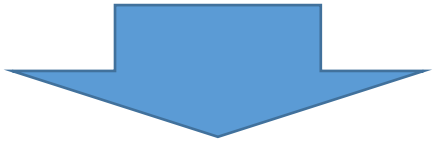
18-06 JST



18-09 JST



- **7/4 6時の氾濫**を対象に、**7/3 18時を初期時刻**とする1000メンバーアンサンブル予報を実施。
- 特に強雨に対して高い精度の降水予報を実現。
- 200mm以上の積算降水量に対して**高い確率予測**を実現。



- **12時間前の線状降水帯予測に成功**
  <-- 前日夕方あるいは夜早くに避難開始可能

課題:
- 観測値と比べて降水量が少ない。-> 確率値も低い
- 高解像化、広領域化が必要。
- 同化していない衛星データ、GNSS、レーダーデータ等も追加。

雨がどのくらい降ったら

洪水になるのか？

土砂崩れが起きるのか？

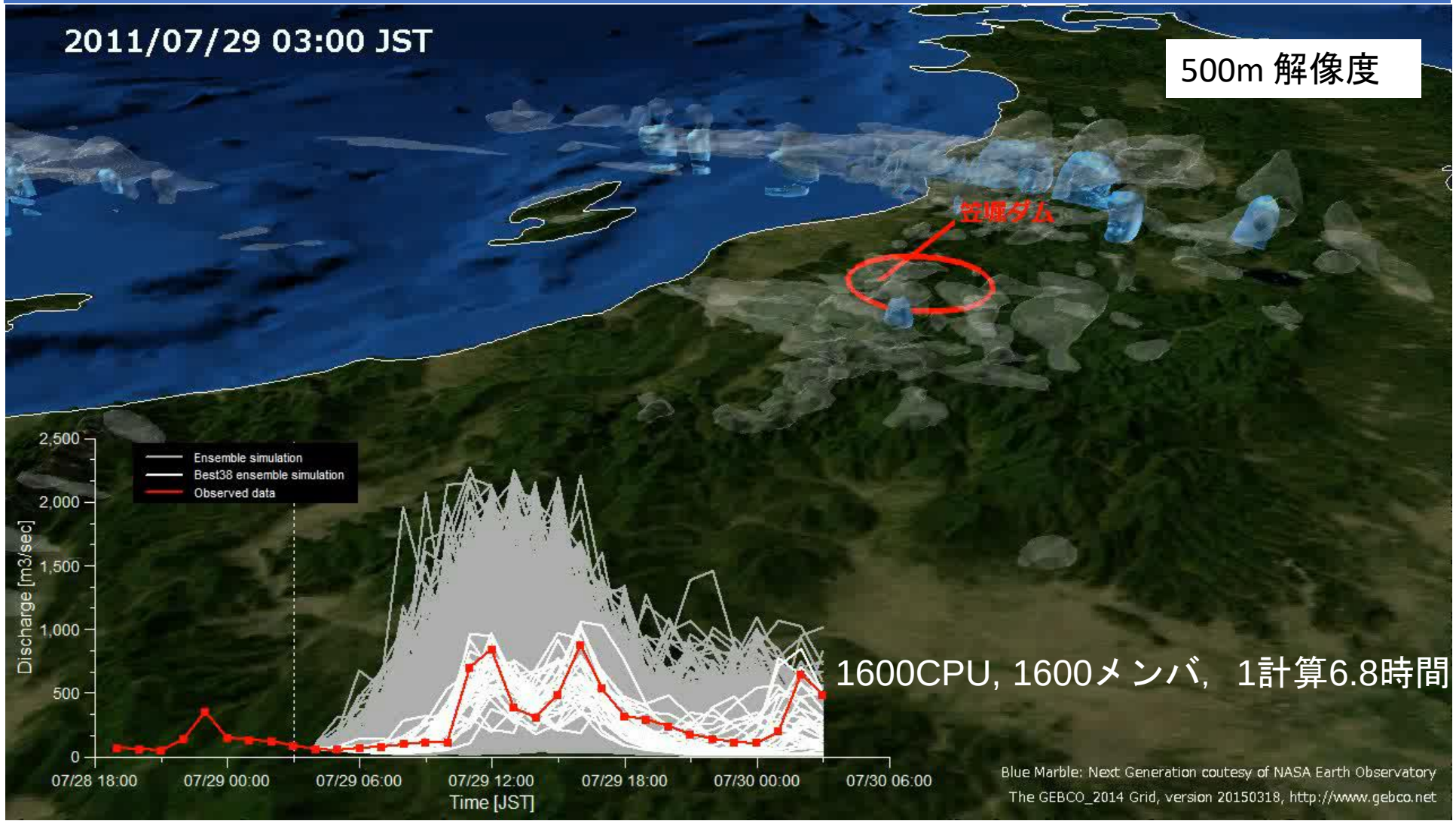
河川流量モデルを使って

降水量を河川に流れる水量に

変換（計算）すれば良い。

大アンサンブルで！

平成23年新潟・福島豪雨（2011年7月26～30日）



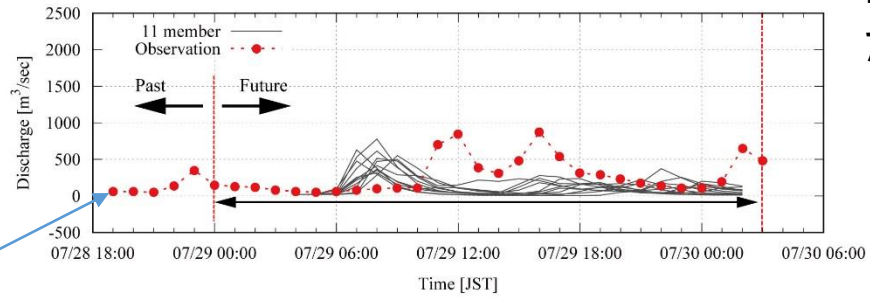
Duc, L. & Saito, K.: A 4DEnVAR data assimilation system without vertical localization using the K computer. Japan Geoscience Union meeting, Chiba, Japan, 2017.

Kobayashi, K., Duc, L., Apip, Oizumi, T., and Saito, K.: Ensemble flood simulation for a small dam catchment in Japan using nonhydrostatic model rainfalls - Part 2: Flood forecasting, using 1600-member 4D-EnVar-predicted rainfalls, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 20, 755-770, 2020.

Courtesy of Kobayashi

笠原ダムに流れ込む流量

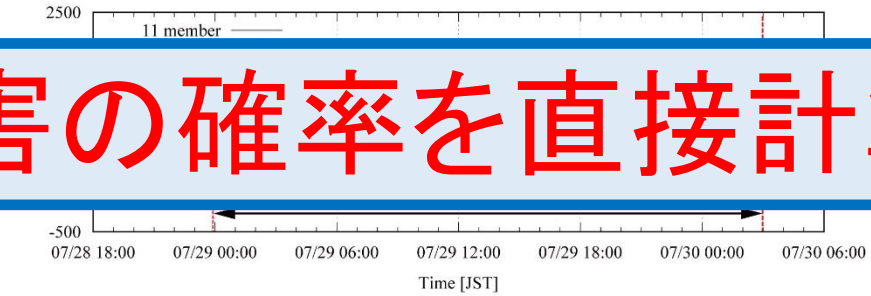
(a) 11 member



観測値

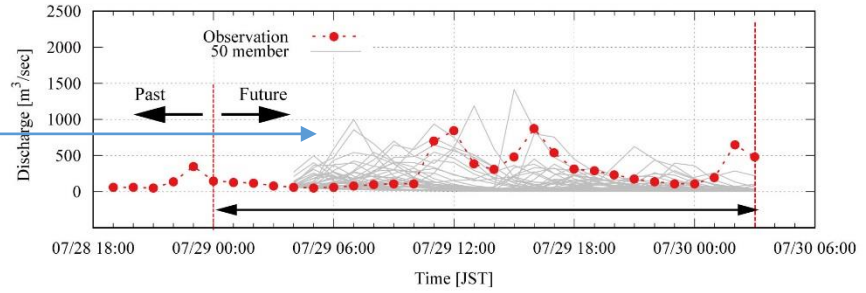
11メンバーでは観測値を捉えたメンバーが存在しない（確率0%）

(b) 11 member (position shift)



災害の確率を直接計算！

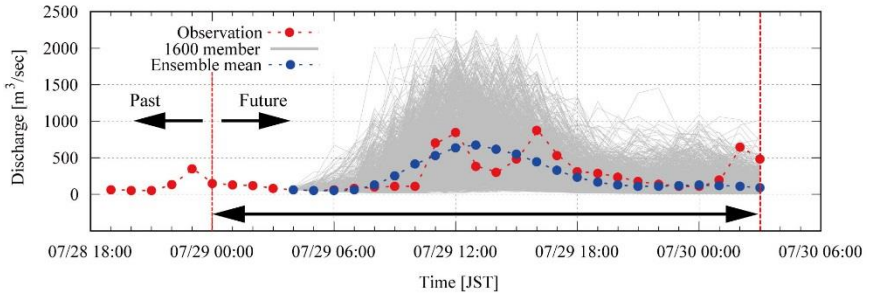
(c) 50 member



アンサンブルによる予測

50メンバーでは、観測値が予測の範囲に入っている（ぎりぎり）

(d) 1600 member



1600メンバーでは、アンサンブル予測が観測値を十分にカバーし、確率を計算できる

Kobayashi et al. (2020)

Courtesy of Kobayashi

Weather forecast から
（天気予報）
Impact-based forecast へ
（災害リスク予報）

スーパーコンピュータ「富岳」を使って何を実現？

- 「Weather forecast」から **Impact-based forecast** へ
  気象によって人間活動は様々に影響を受ける。
  単に気象の予報をするだけでなく、その影響までを評価。

- 気象予報の精度が担保されることが大前提
  決定論的　-> 高解像シミュレーション、モデリング
  確率論的　-> 大アンサンブル
  } データ同化、現象解明

- 気象情報のユーザーを拡大
  気象現象によるどのような影響が？
  ダメージを軽減？

1時間先から2日先までの気象災害によるリスクを評価