

スーパーコンピュータ を用いた

豪雨や洪水の予測に向けて

川畑 拓矢

(気象観測研究部)

講演の動画は [こちらをクリック](#)



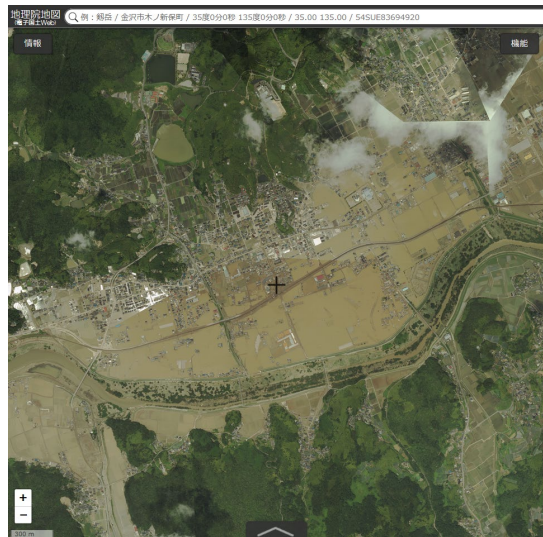
令和2年度気象研究所研究成果発表会

毎年襲ってくる豪雨・洪水



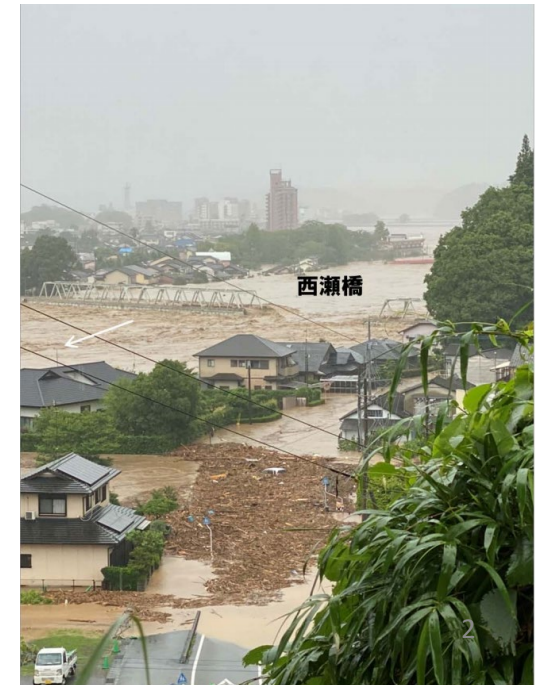
鬼怒川氾濫
(平成27年9月関東・東北豪雨)
国交省

阿武隈川氾濫
(令和元年東日本台風)
国交省



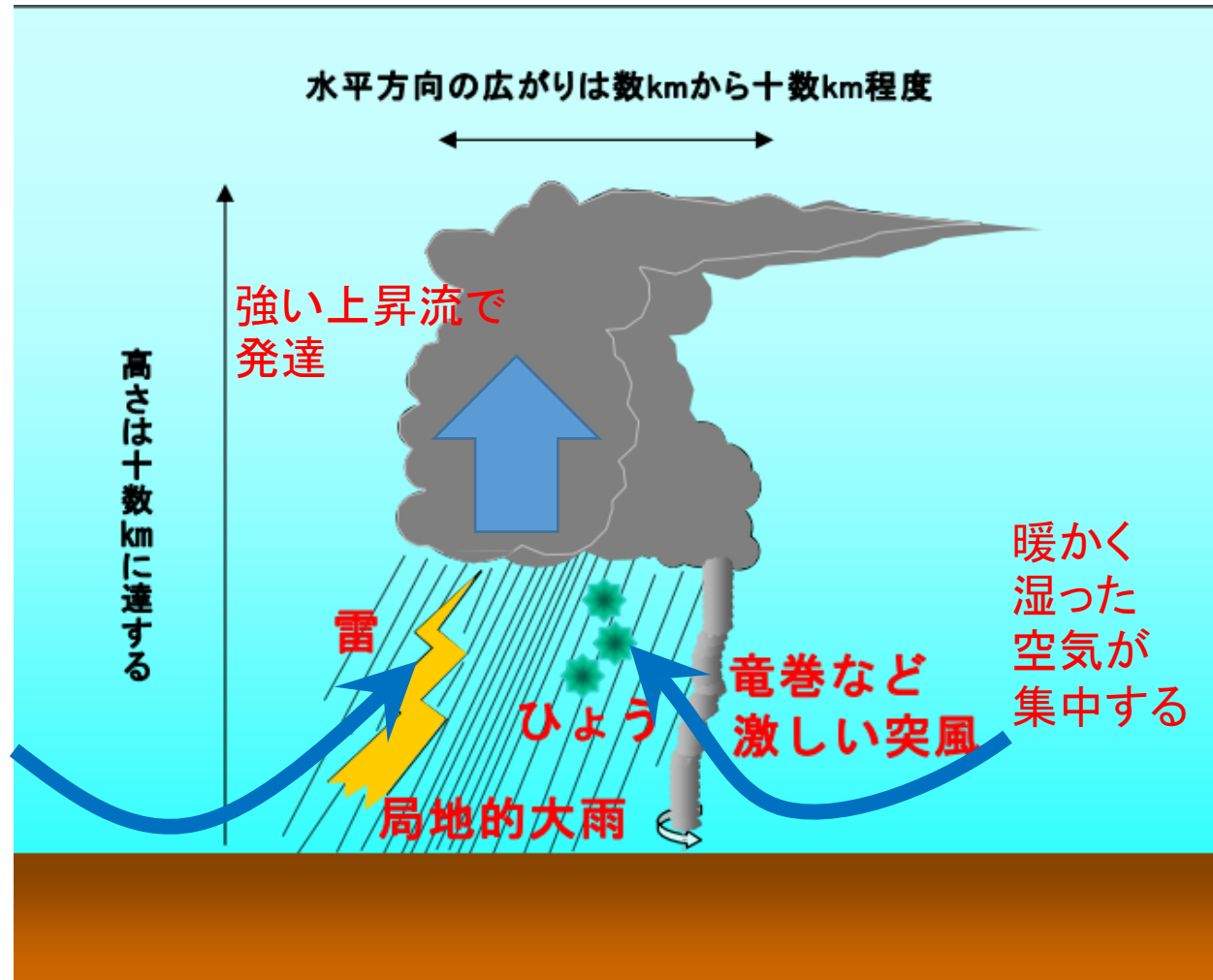
真備町洪水
(平成30年7月豪雨)
国土地理院

球磨川氾濫
(令和2年7月豪雨)
国土交通省九州地方整備局

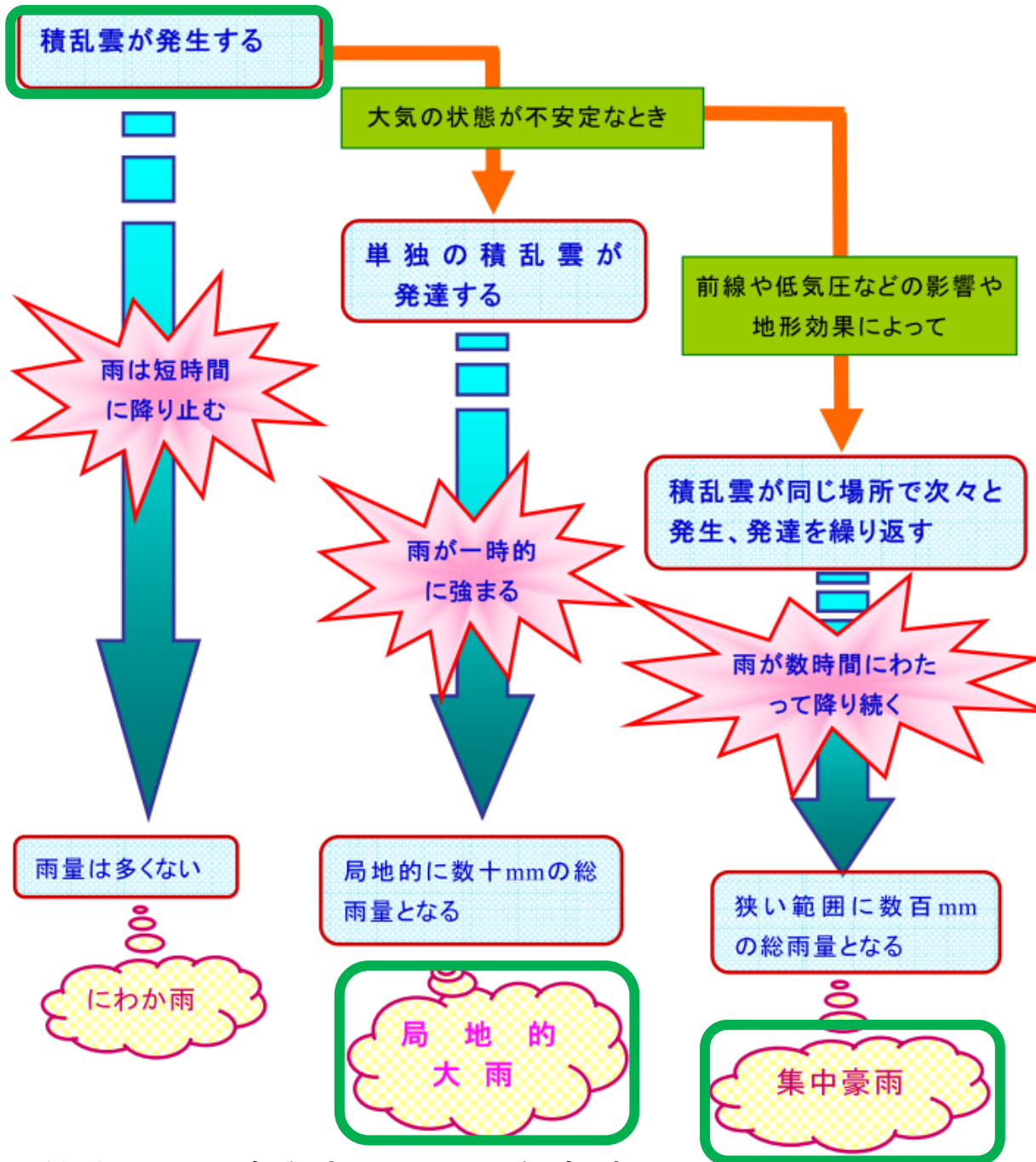


あとで詳しく！

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



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！

(局地的大雨から身を守るために 気象庁)

豪雨予測:二つのアプローチ

単一の予測

午後3時



何時に、
自分の真上に
どのくらいの量の
雨が降るのか？

夕方6時



知りたい！ → 長時間の予測は不可能

カオスだから

アンサンブル

確率的な予測

朝9時



何時に、
自分の真上に
どれくらい
何%の確率で
降るのか？

予測1
予測2

曇20%

夕方6時
弱い雨 50%



やや強い雨 20%

予測10

予測9



強い雨 10%

モデルで

様々な未来の可能性を確率で表現
→ 比較的長時間の予測が可能

確率的予測？

- アンサンブル？？？

「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

少しず
シミュ
出来る

- 現在の降

単一のシ



行する。
率を求めることが

数値予報とアンサンブルとカオス

「いま」を知る
観測

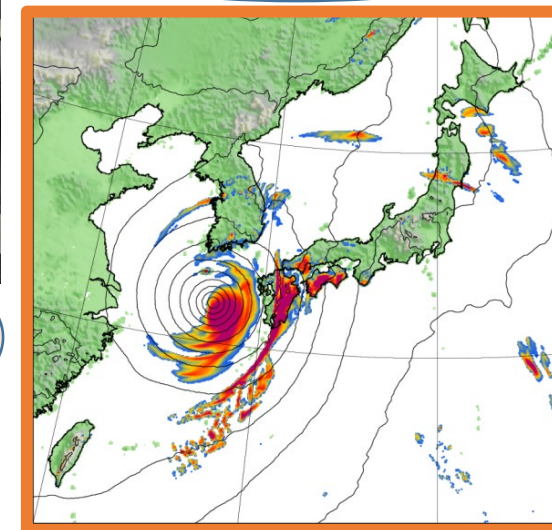
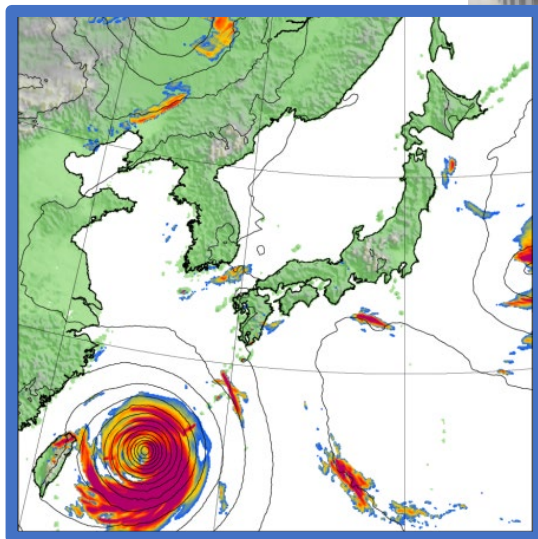
「シミュレーション」と
「観測」を結ぶ
同化

「未来」を予測
シミュレーション

数値予報モデルの
初期値を提供

スパコンで

アメダス、ひまわり、
気象レーダーなど

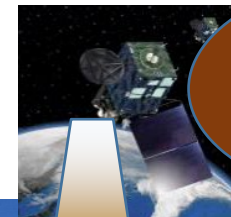


数値予報とアンサンブルとカオス

「いま」を知る
観測

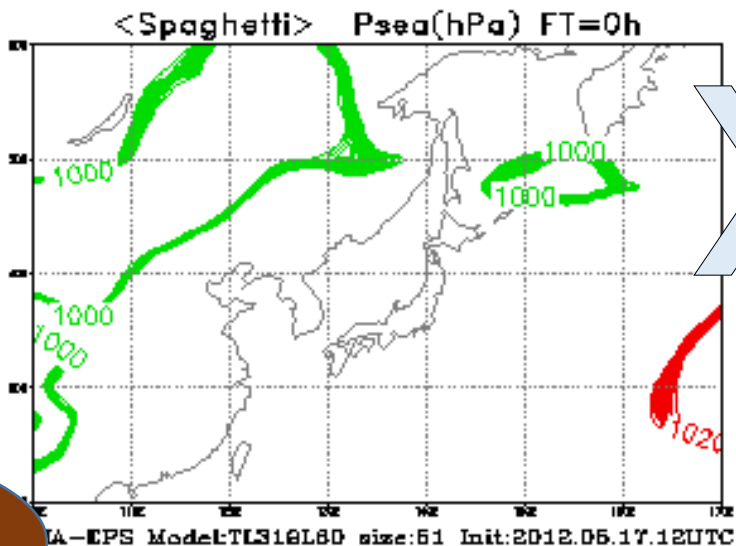
「シミュレーション」と
「観測」を結ぶ
同化

「未来」を予測
シミュレーション

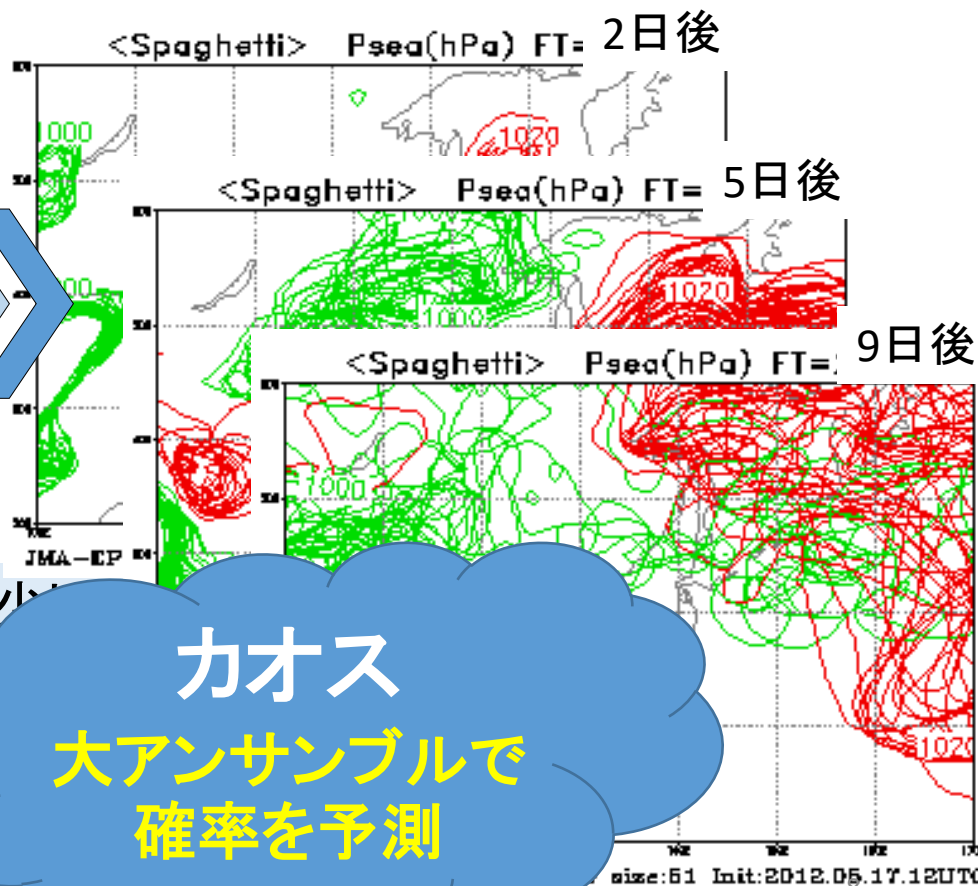


アメダス、ひまわり、
気象レーダーなど

「確率」を予測
アンサンブル



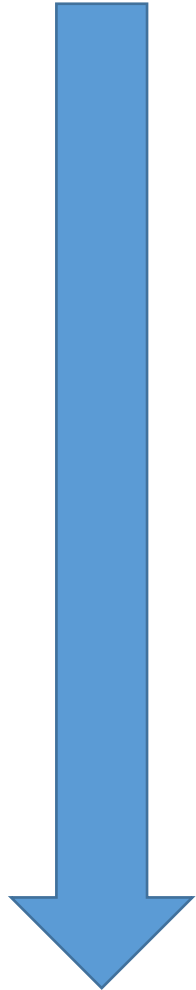
少しずつ異なった初期値



カオス
大アンサンブルで
確率を予測

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

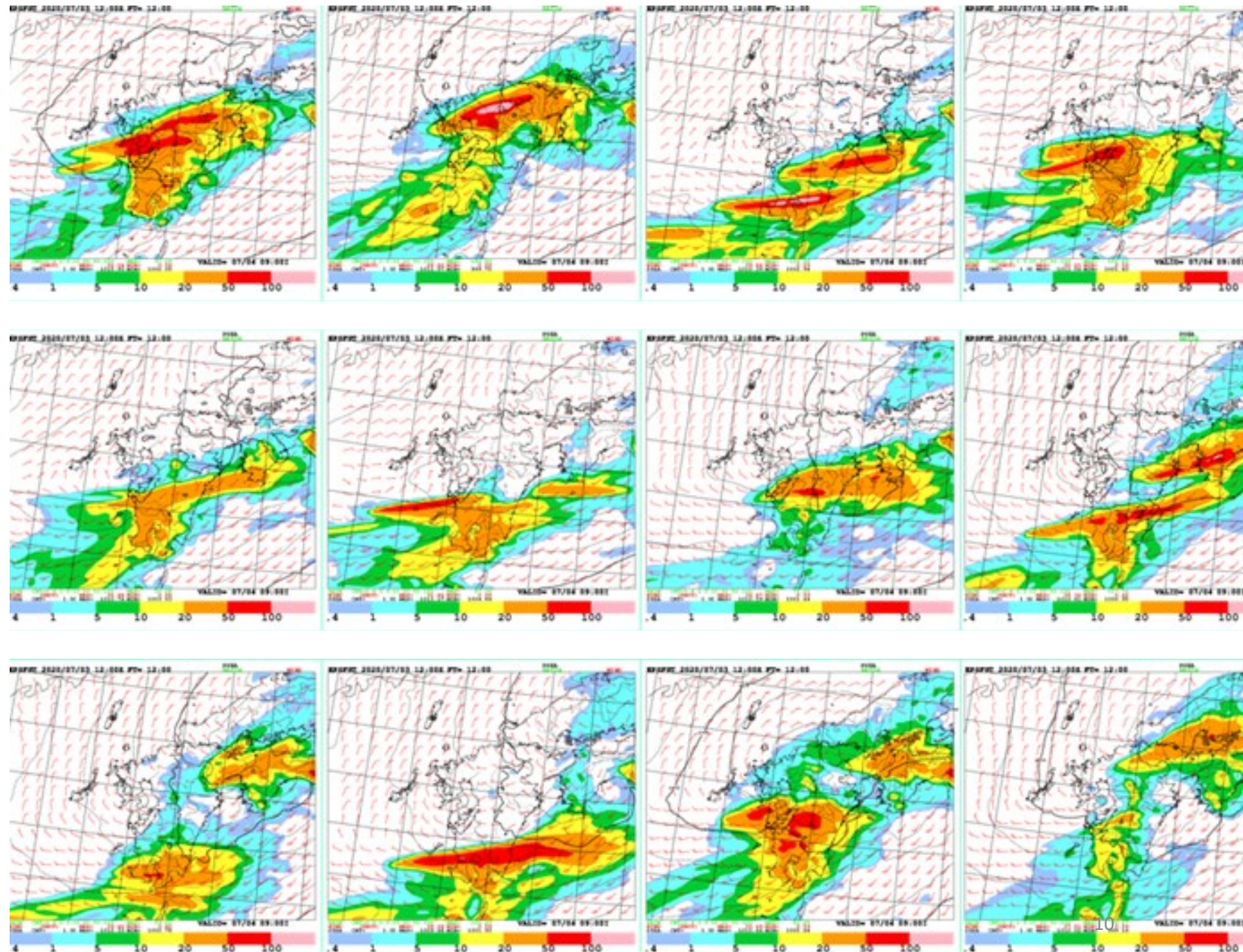


大

- **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)

マルチシナリオ例

- 九州各地の様々な場所に、様々な形の線状降水帯が予測されている。



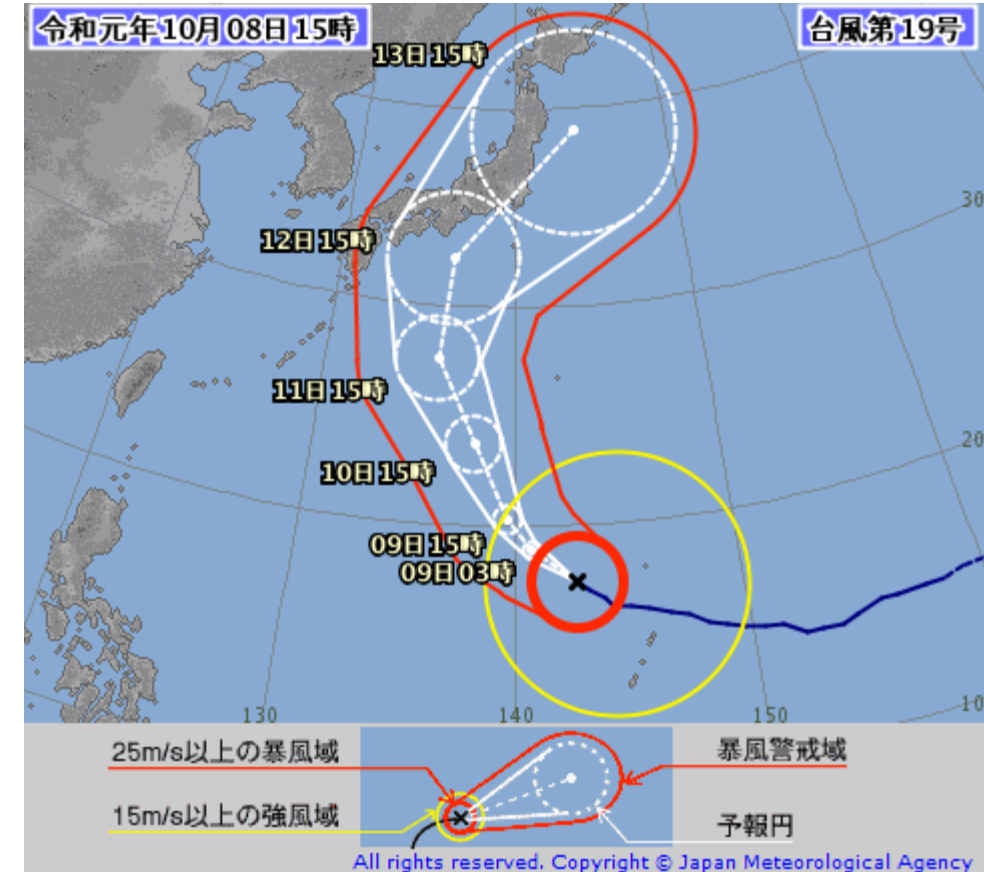
信頼度の利用例

週間予報や台風予報ではアンサンブル情報を利用して、予報の信頼度を付加している

東京	最高(°C)	23	17 (16~20)	19 (17~22)	21 (18~23)	22 (20~25)	23 (20~26)	20 (17~23)
	最低(°C)	12	11 (10~13)	9 (8~11)	9 (7~11)	12 (10~16)	13 (11~15)	10 (8~12)
伊豆諸島	晴時々曇	曇一時雨	曇時々晴	曇時々晴	曇	曇	曇時々晴	
伊豆諸島 府県天気予報へ								
降水確率(%)	30/10/10/10	50	30	30	40	40	30	
信頼度			A	A	C	C	A	

信頼度の各階級の内容

信頼度	内容	検証結果※
A	確度が高い予報 ・適中率が明日予報並みに高い ・降水の有無の予報が翌日に変わる可能性がほとんどない	・降水有無の適中率：平均 88% ・翌日に降水の有無の予報が変わる割合：平均 1%
B	確度がやや高い予報 ・適中率が4日先の予報と同程度 ・降水の有無の予報が翌日に変わる可能性が低い	・降水有無の適中率：平均 73% ・翌日に降水の有無の予報が変わる割合：平均 6%
C	確度がやや低い予報 ・適中率が信頼度Bよりも低い ・もしくは ・降水の有無の予報が翌日に変わる可能性が信頼度Bよりも高い	・降水有無の適中率：平均 58% ・翌日に降水の有無の予報が変わる割合：平均 16%



気象庁HPより

防災・減災に資する新時代の 大アンサンブル気象・大気環境予測

目標：激甚化する集中豪雨等の極端気象現象からの防災・減災を実現

代表機関：東京大学大気海洋研究所
研究開発課題責任者：佐藤正樹

テーマ1
「短時間領域スケール予測」
線状降水帯などの
気象災害の確率予測の
実現

協力機関：気象業務支援センター
川畑拓矢

テーマ2
「長時間全球スケール予測」
週から数か月先までの台風等、
極端気象現象の確率予測の実現
代表機関：東京大学大気海洋研究所

宮川知己
協力機関：海洋研究開発機構
中野満寿男

テーマ3
「先進的大規模データ同化」
気象・大気質同化による
大規模データ同化手法の開発
協力機関：国立環境研究所
八代尚

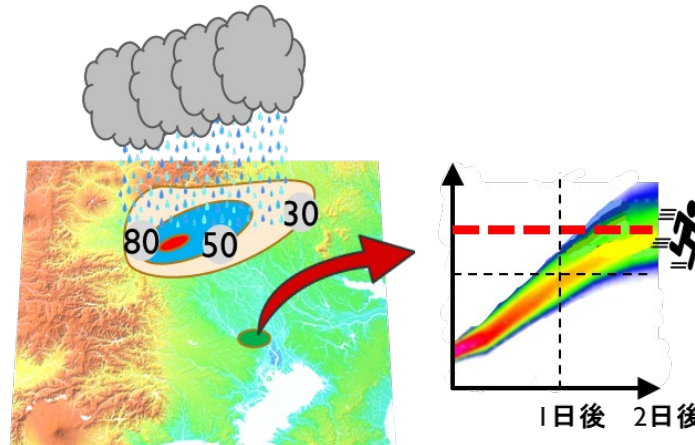
テーマ横断

協力機関：理化学研究所

三好建正 (分担者)

豪雨発生を猶予時間を長く持った**確率**
予測情報の提供が可能な新時代の予測
技術を確立

数日程度から季節スケールの大規模に
災害をもたらす事例の気象・大気環境
予測実験 (大アンサンブル) を実施



特別警報級の大雨確率 避難基準に達する確率

- 1000メンバー、高解像度 (1 km)、日本領域の大アンサンブル予測
- 気象庁危険度分布と結合して、気象予測から**災害リスク**予測へ進化！

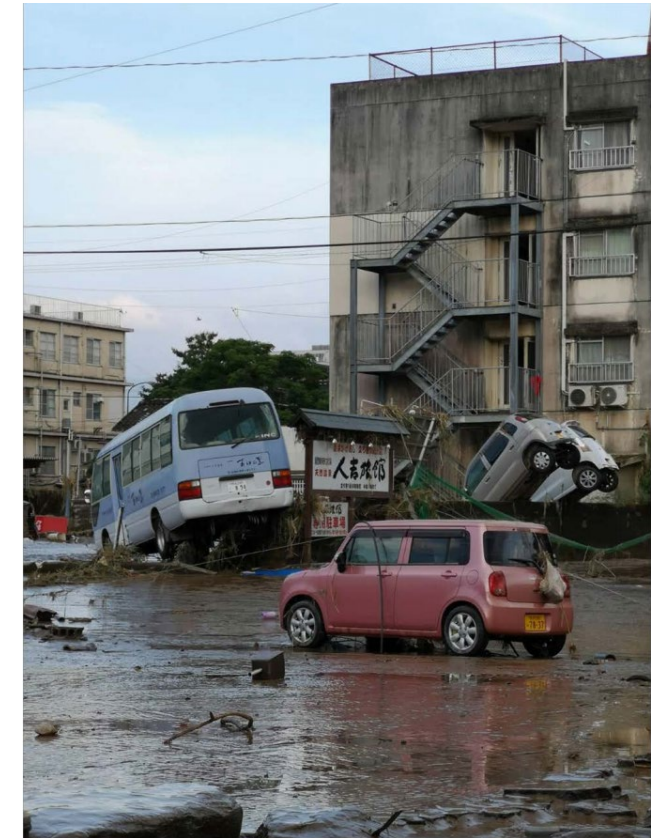
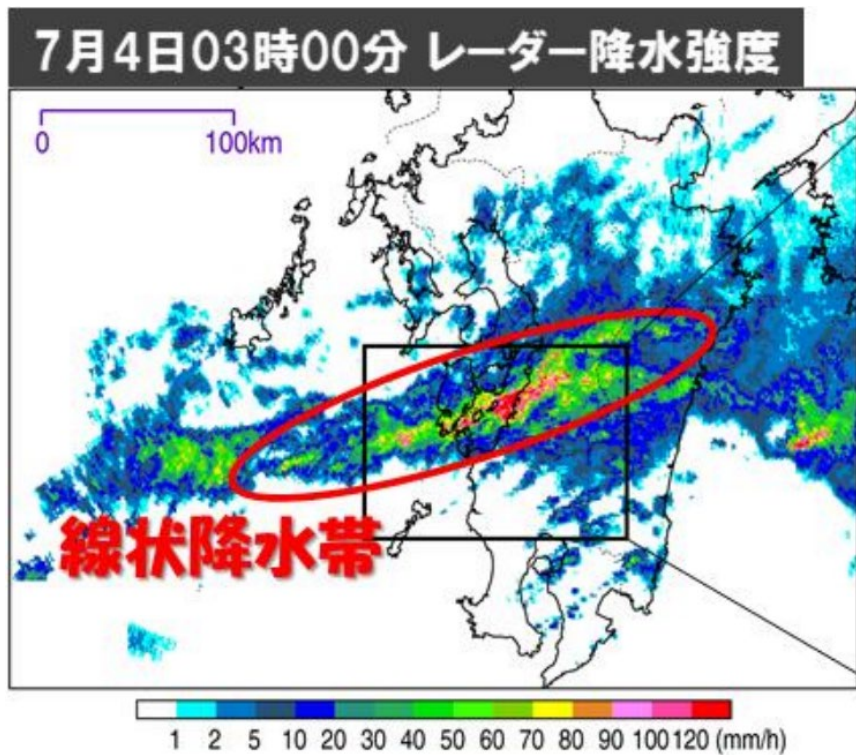


スーパーコンピュータ「富岳」

2期連続世界第1位
(TOP500、HPCG、HPL-AI、Graph500)

確率予測： 令和2年7月豪雨

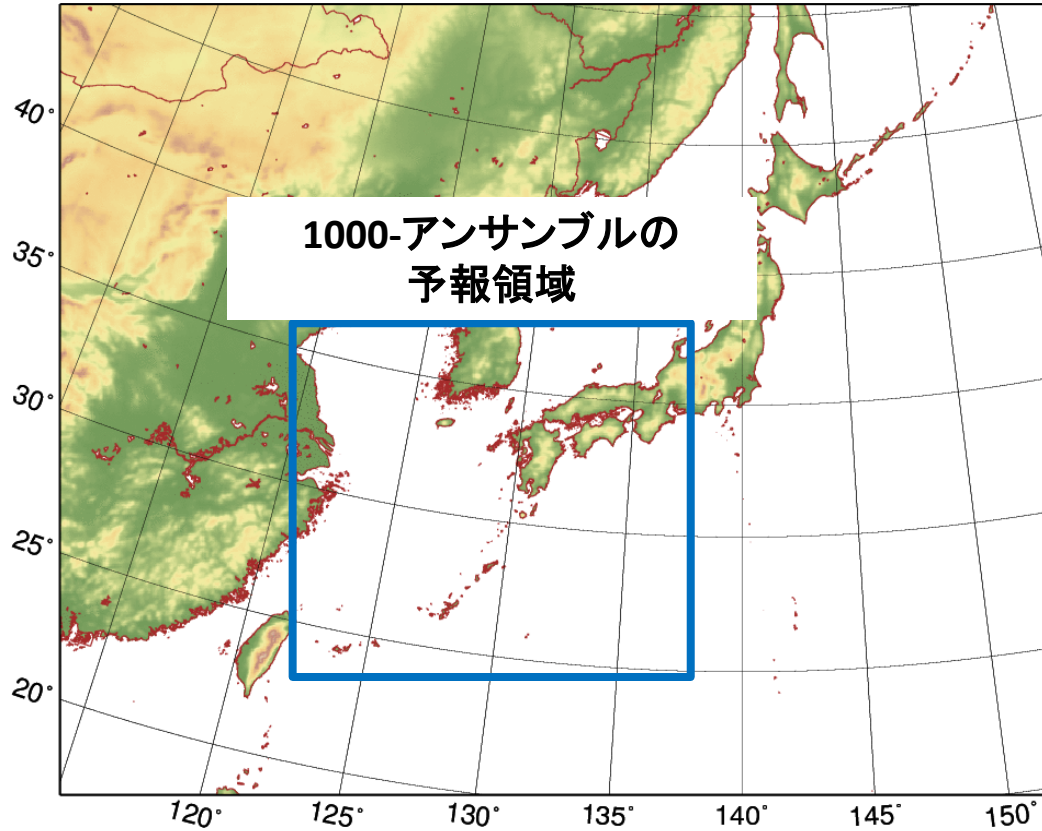
- 線状降水帯による集中豪雨により、7月4日早朝、熊本県球磨川が氾濫。
- 7月31日まで日本各地に被害をもたらした一連の大雨は「令和2年7月豪雨」と名称が定められた。
- 死者84名（令和2年11月2日14時時点内閣府とりまとめ）。
- **線状降水帯の発生数は2009年以降で最多**（Hirockawa et al. 2020）



球磨川浸水状況(7月4日)
国土交通省九州地方整備局

実験設定 (Duc et al. 2020)

メソモデル、メソアンサンブルの予報領域



1000-アンサンブル

(富岳と気象研スパコンで計算)

初期時刻: 7/3 18 JST

領域: 左図(青枠)

解像度: 2 km

メンバー数: **1000**

気象庁メソモデル

初期時刻: 7/3 18 JST

領域: 左図全領域

解像度: 5 km

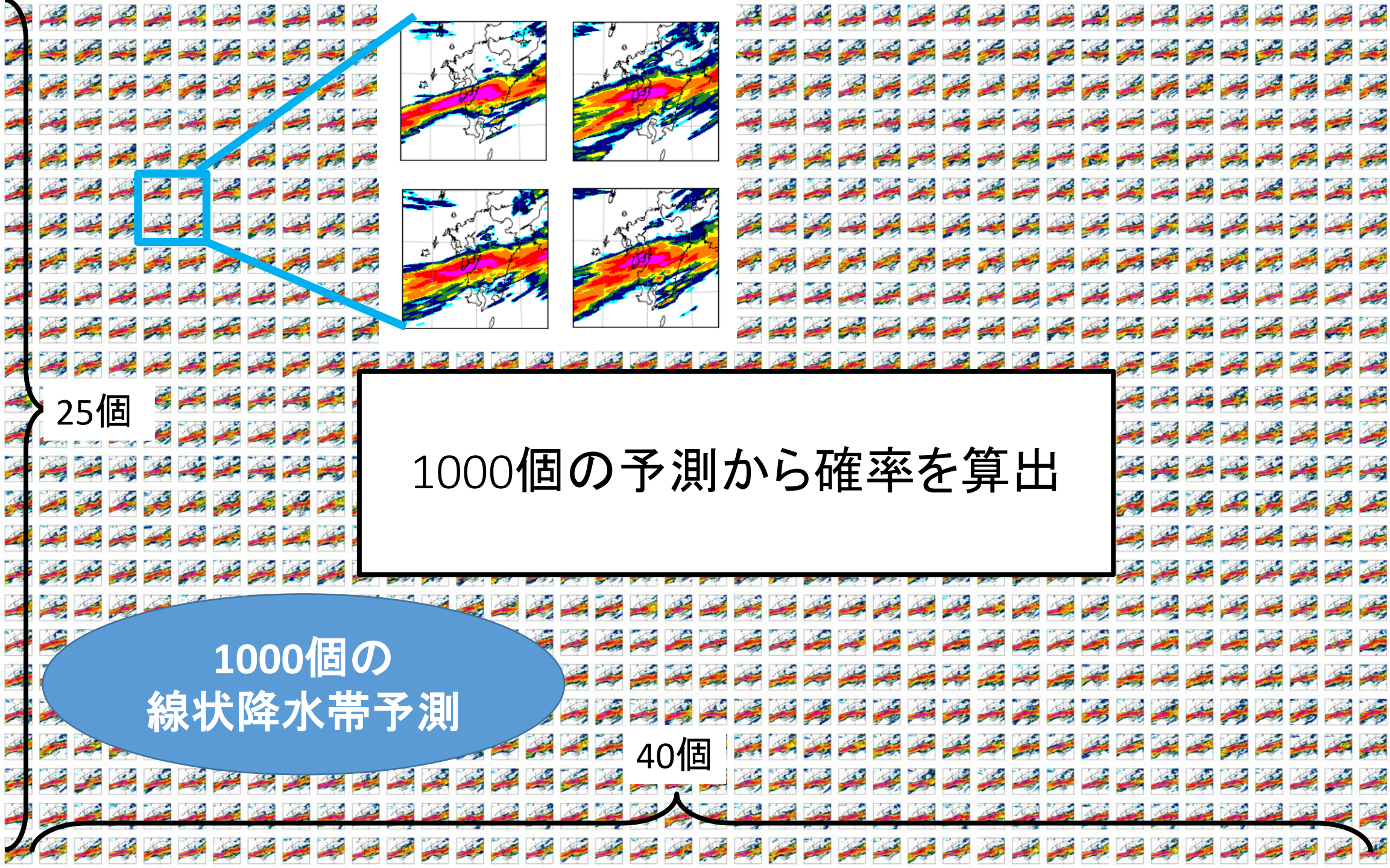
気象庁メソアンサンブル

初期時刻: 7/3 21 JST

領域、解像度とも

メソモデルと同じ

メンバー数: 21



25個

1000個の予測から確率を算出

1000個の
線状降水帯予測

40個

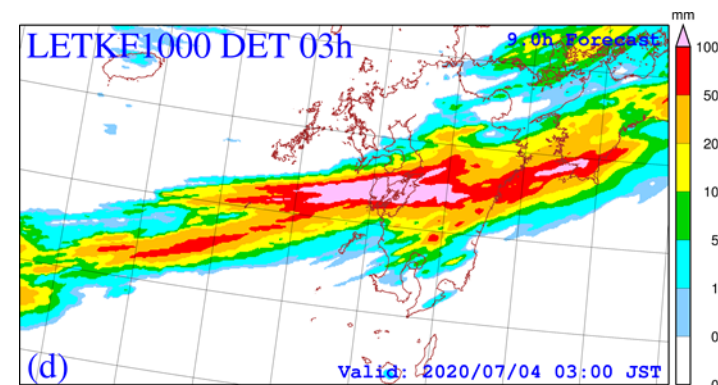
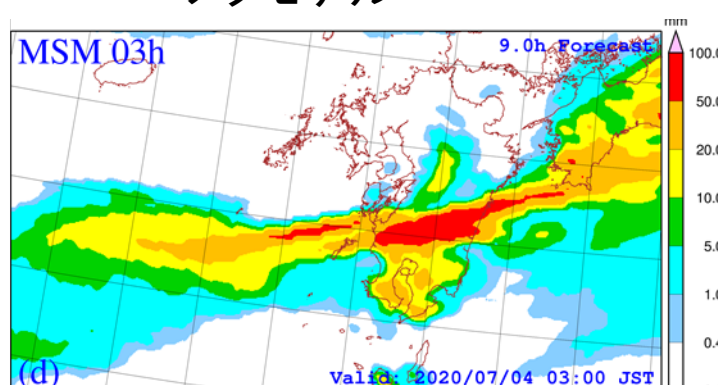
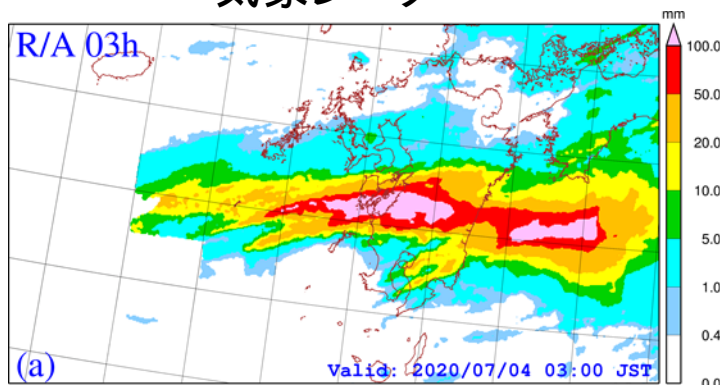
降水量予測(7/4 03-09時)

気象レーダー

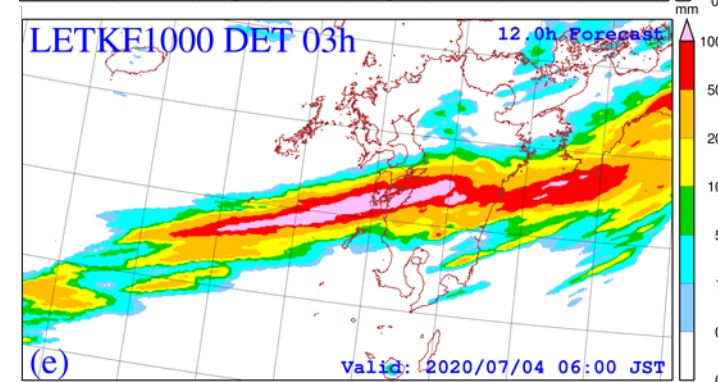
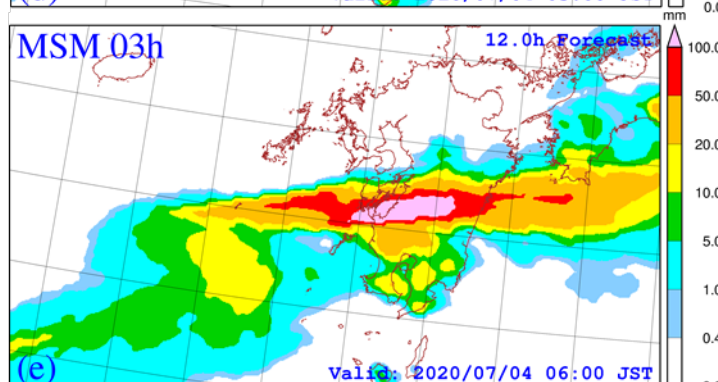
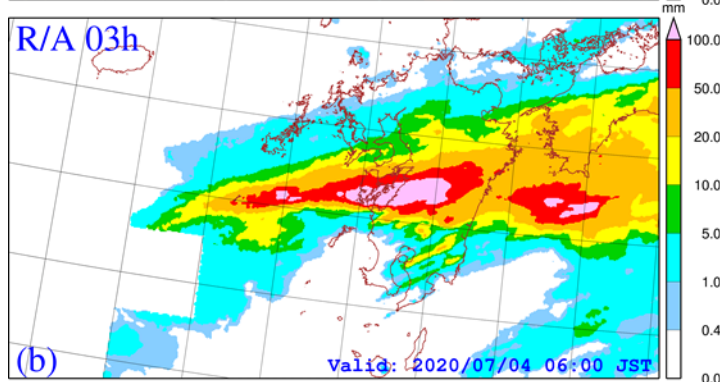
メソモデル

1000-アンサンブル

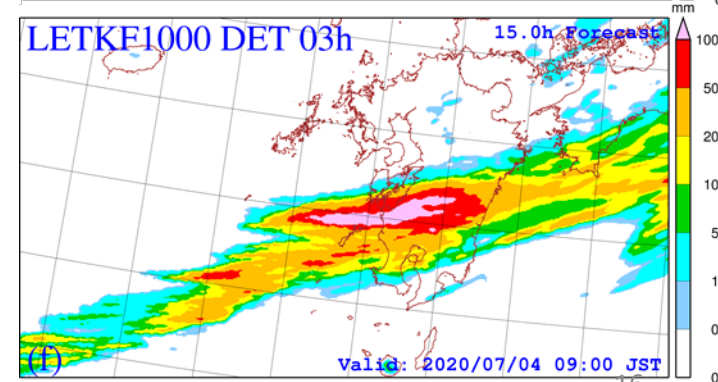
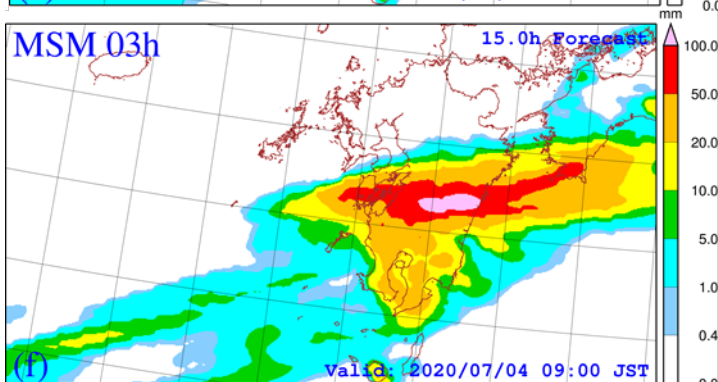
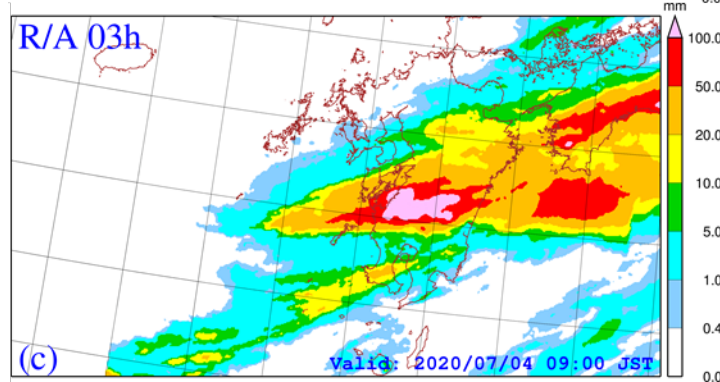
7/4 03時



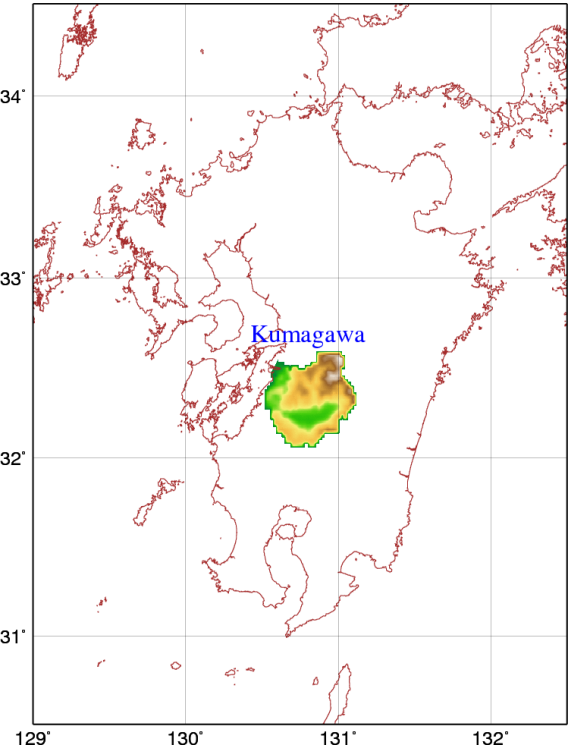
7/4 06時
氾濫



7/4 09時

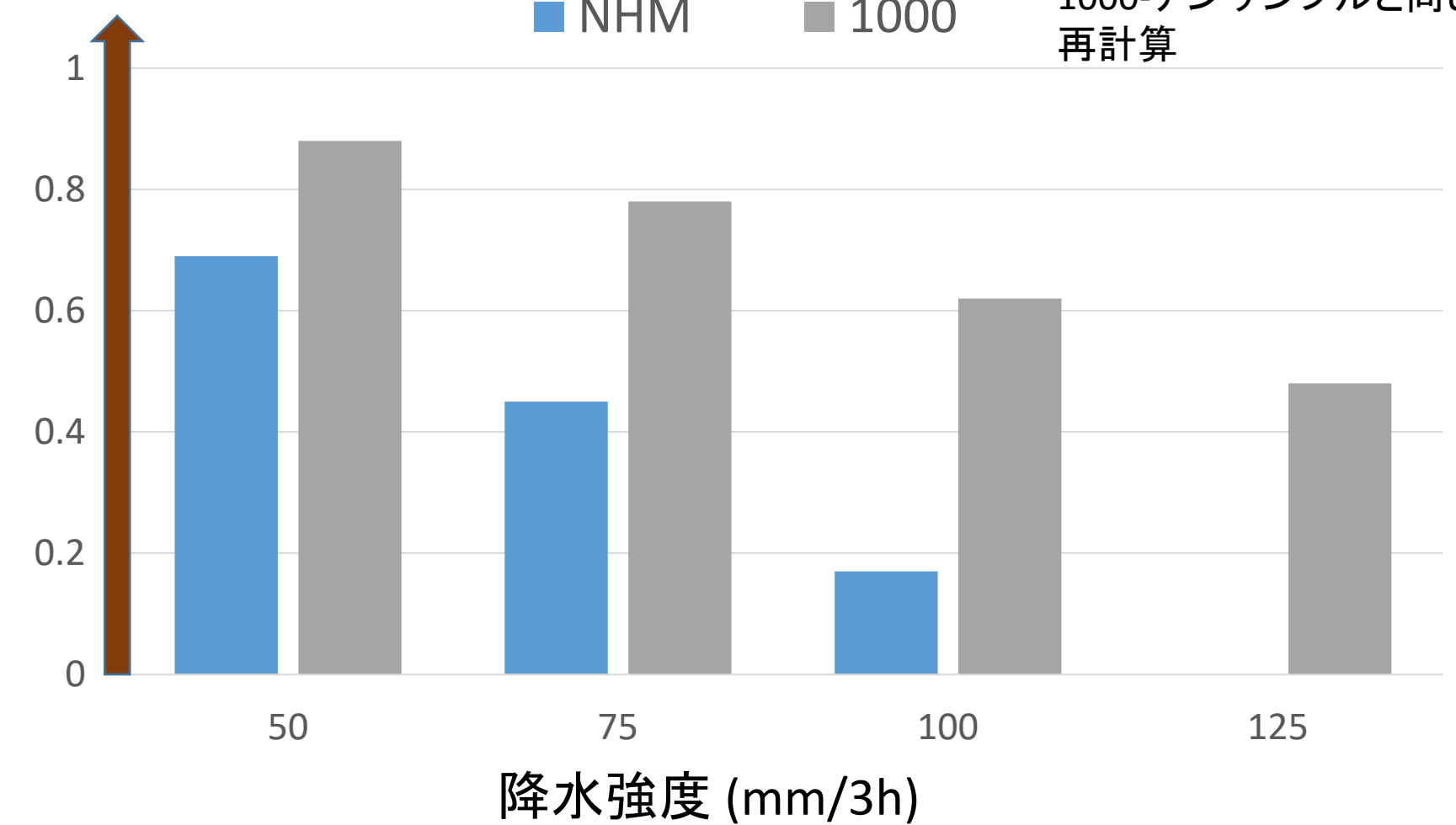


予測精度検証 (Fractions Skill Score)



検証領域
(球磨川流域)

精度が良い



NHM: 解像度5kmのメソモデルを
1000-アンサンブルと同じ2kmで
再計算

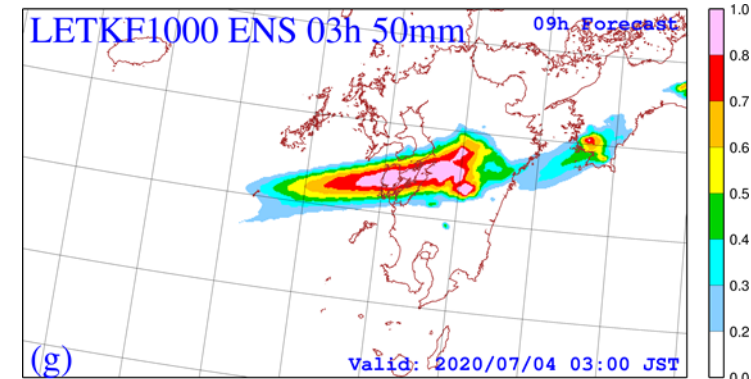
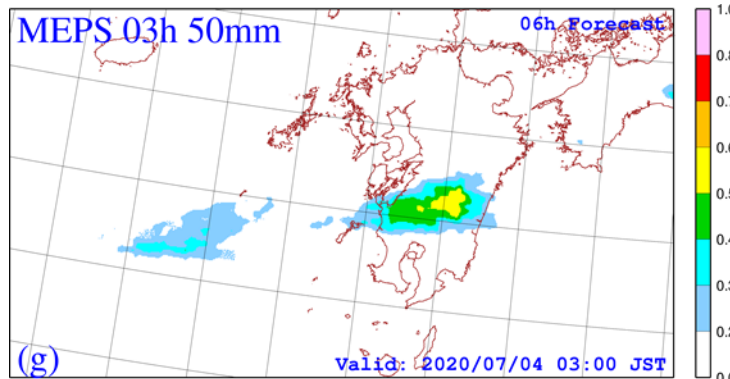
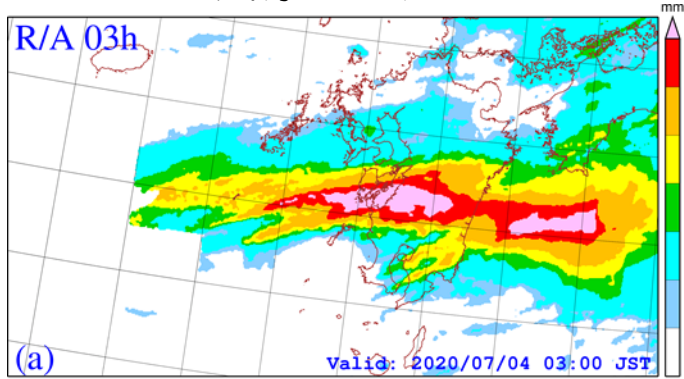
確率予測(50 mm/3h: 7/4 03-09JST)

気象レーダー

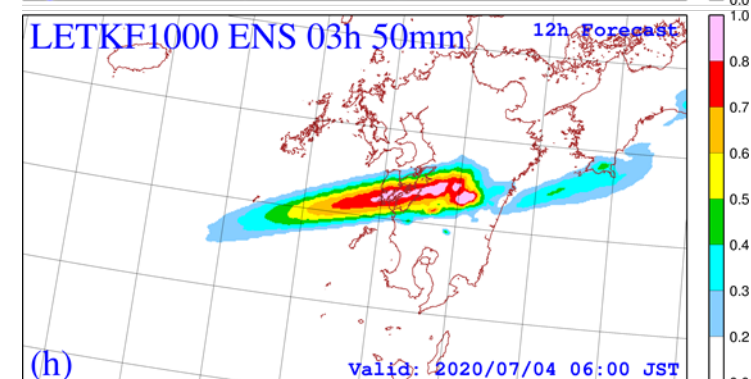
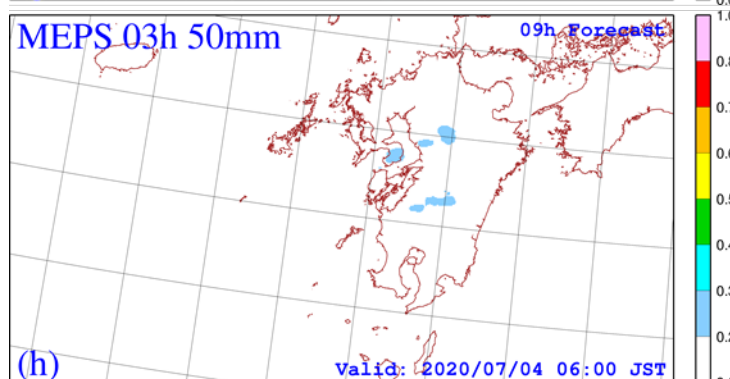
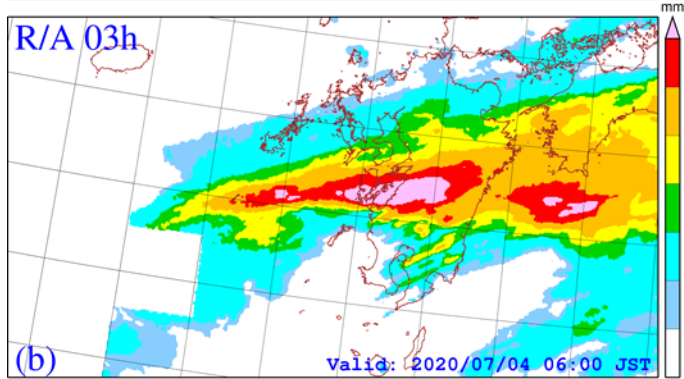
メソアンサンブル(21メンバー)

1000-アンサンブル

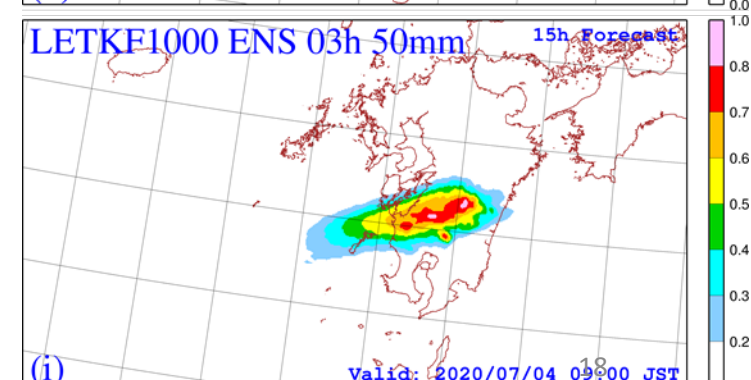
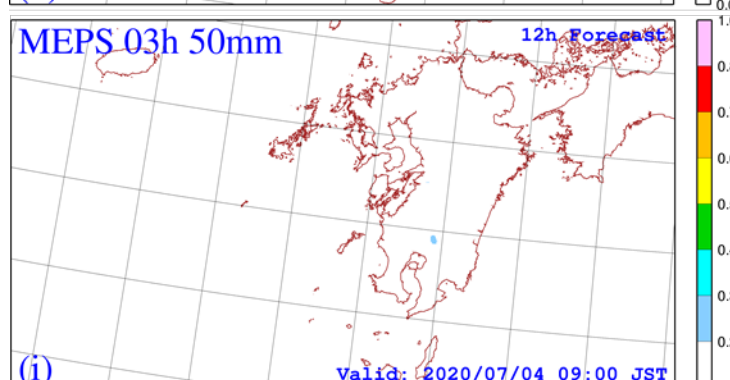
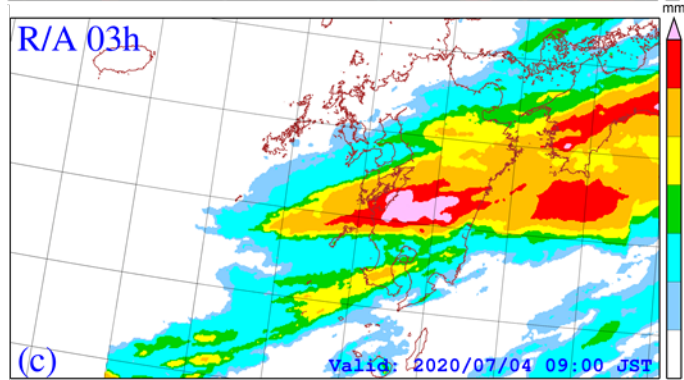
7/4 03時



7/4 06時
氾濫



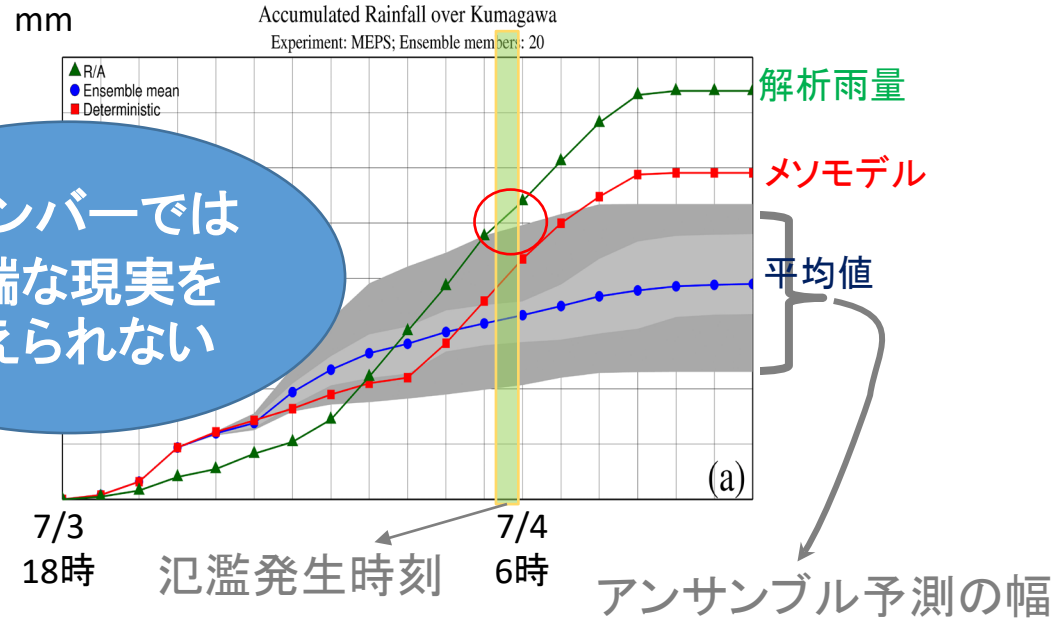
7/4 09時



球磨川流域における積算降水量

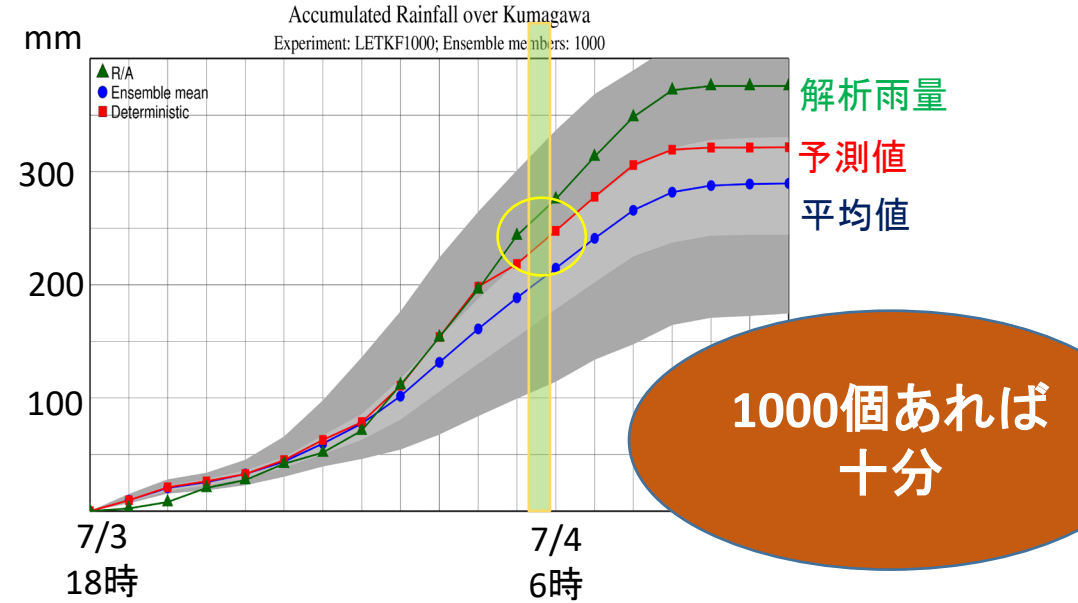
前日18時から降った総降水量 → 災害に結びつく

メソアンサンブル



平均値: 20個の初期値から計算した21アンサンブルの平均

1000-アンサンブル



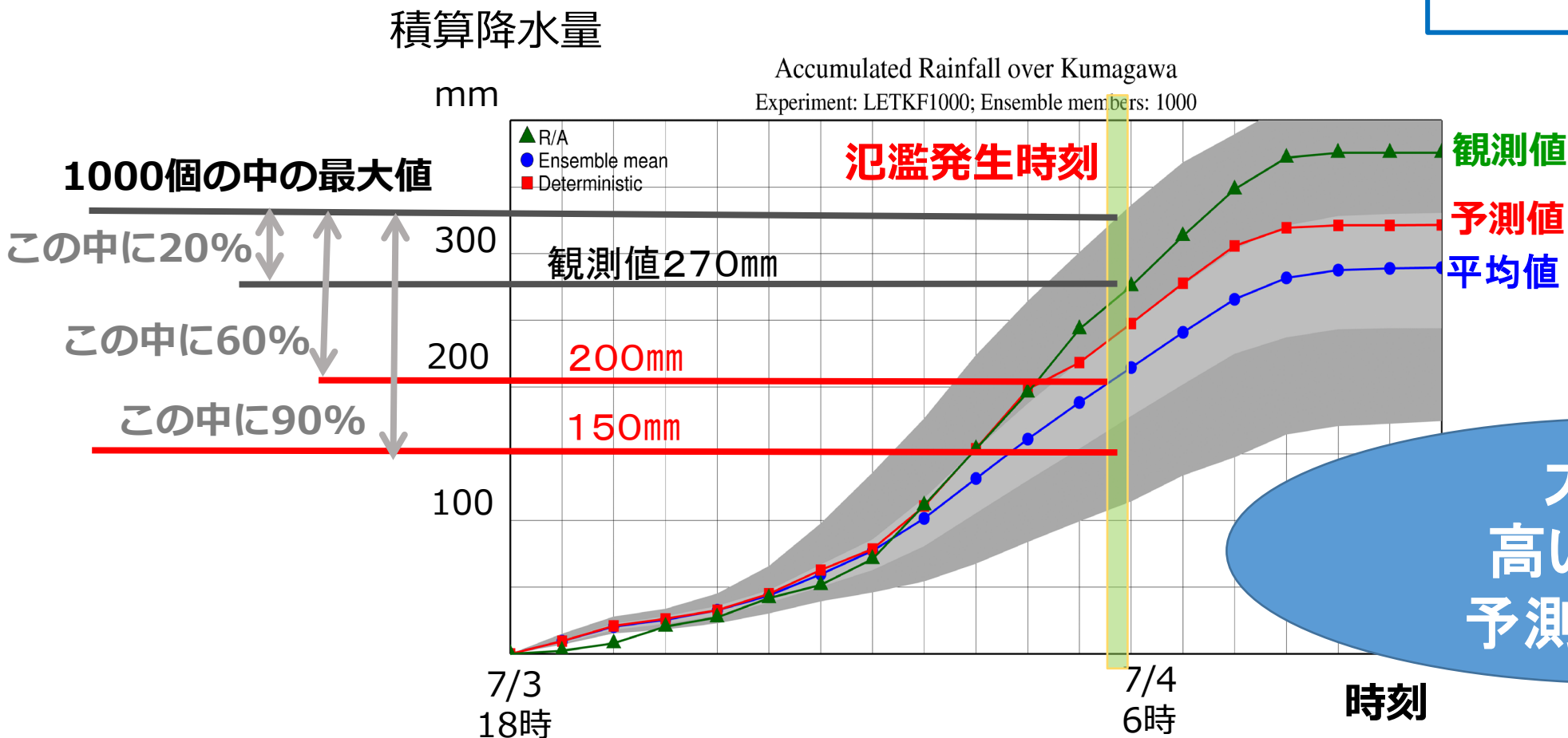
予測値: 1000アンサンブルを平均した1個の初期値を用いた予測
平均値: 1000個の初期値から計算した1000アンサンブルの平均

雨が降り続くことが災害をもたらす

その発生確率は？

球磨川氾濫時に積算降水量が

- 観測値の270mmを越える確率は20%
- 200mmは60%
- 150mmは90%



12時間先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

- 予測の信頼度を提供
- 豪雨発生まで猶予のある早い時間に情報を提供

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。

雨がどのくらい降ると

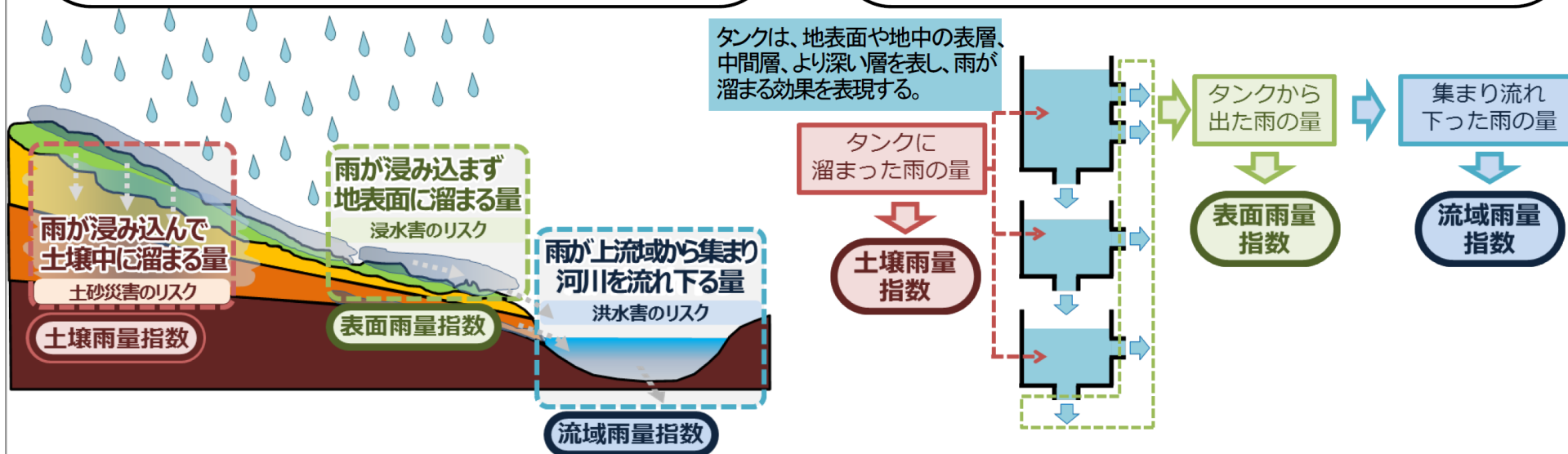
洪水や土砂崩れが発生するのか？

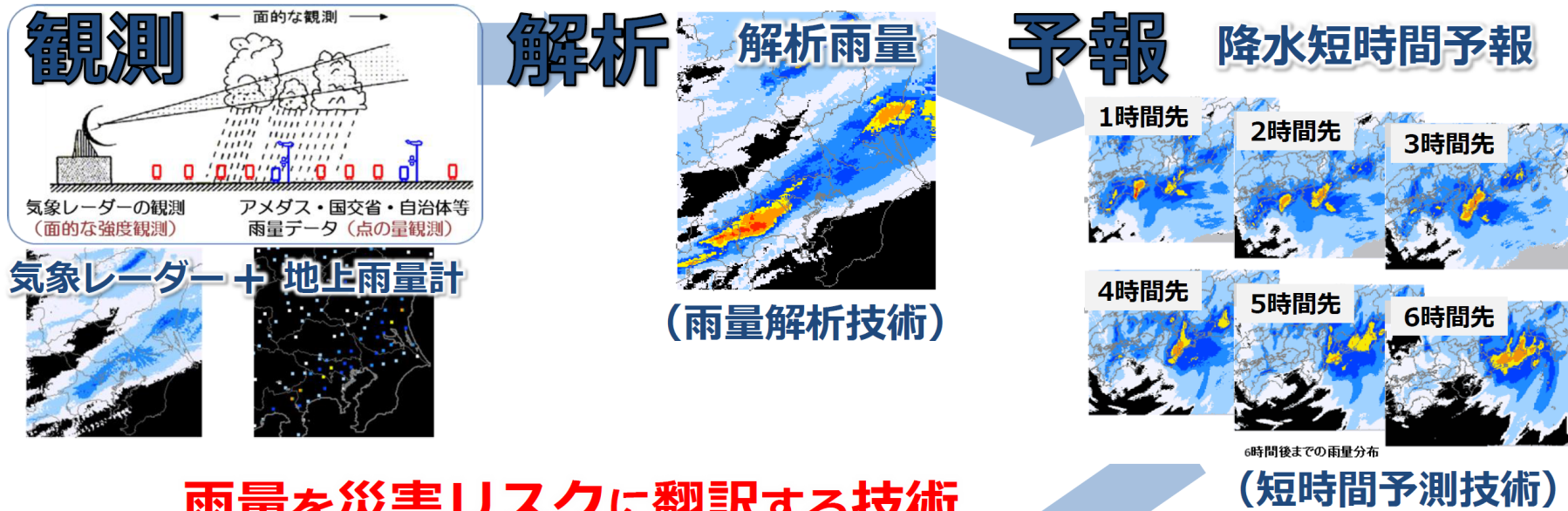
知りたい！

- 災害をもたらすような現象に対して、降った雨の量だけに着目するのではなく、降った雨が「素因」の影響を受けて、どのような振る舞いをするかに着目。
- 降雨の地下浸透や河川への流出といったプロセスを「タンクモデル」で模式化して、各々の災害リスクの高まりを指数化した。
- 降った雨の量（誘因）に加え、素因の影響も考慮された「3つの指数」は、従来の雨量に比べ、それぞれ災害との結びつきが強くなり、その結果、大雨・洪水警報の精度向上につながった。

雨によって
災害リスクが高まるメカニズム

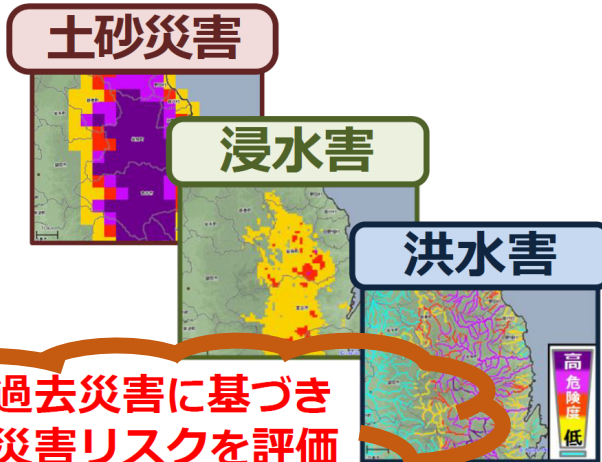
左のメカニズムを“**タンクモデル**”で表現し
各々の災害リスクの高まりを“**指数**”化





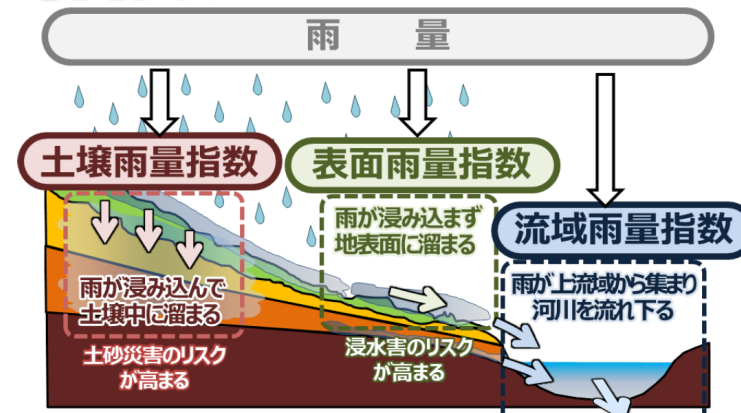
雨量を災害リスクに翻訳する技術

危険度分布



過去災害に基づき
災害リスクを評価

指数

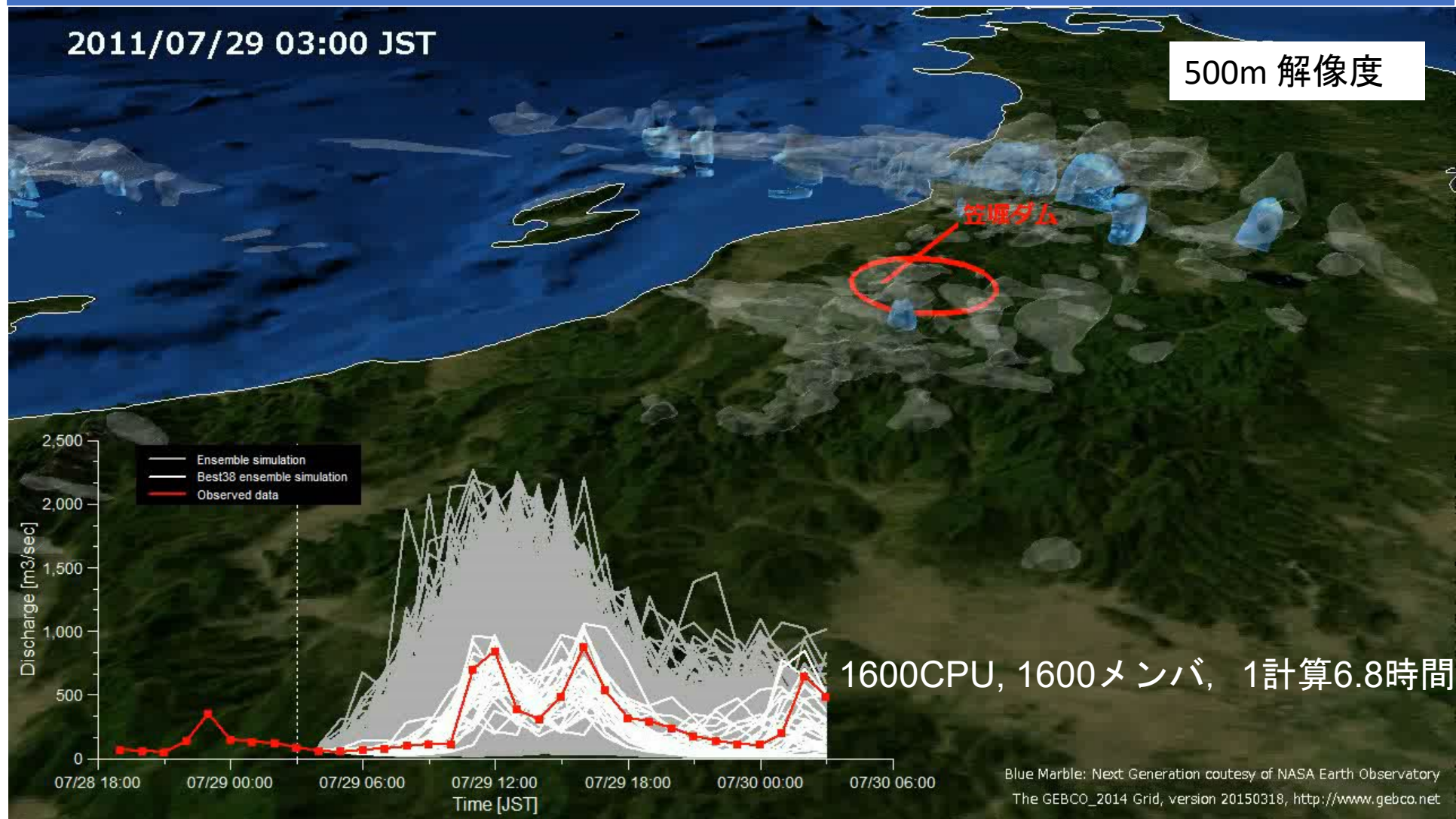


雨量情報から災害危険度を指数化

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)



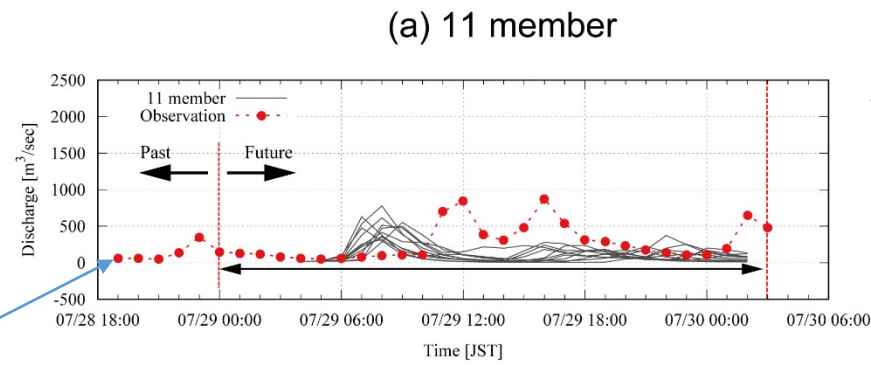
Duc, L. & Saito, K.: A 4D-EnVAR data assimilation system without vertical localization using the K computer. Japan Geoscience Union meeting, Chiba, Japan, 2017.

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

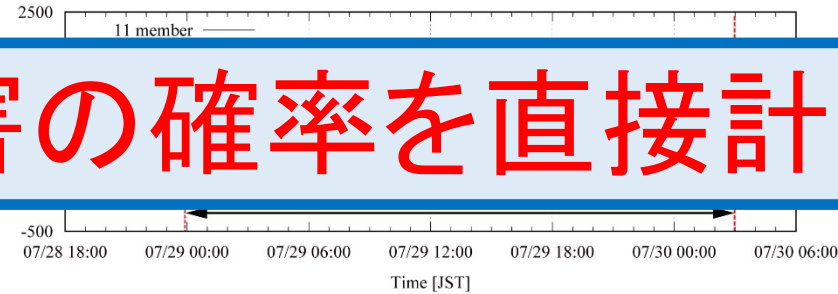
笠原ダムに流れ込む流量

観測値



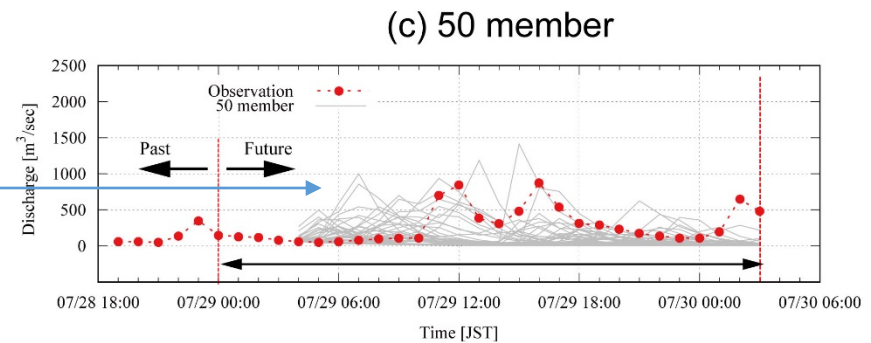
11メンバーでは観測値を捉えたメンバーが存在しない
(確率0%)

(b) 11 member (position shift)



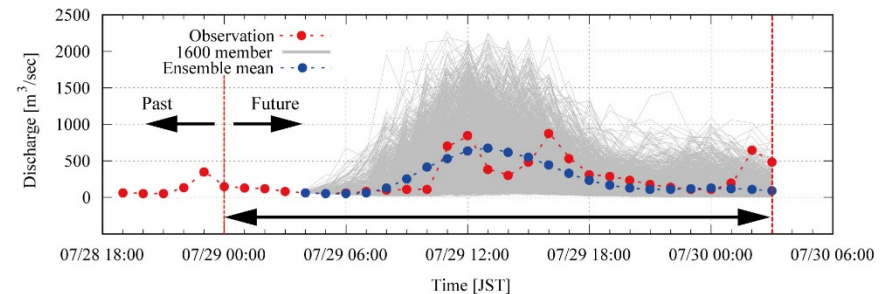
災害の確率を直接計算！

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

Weather forecast から
(天気予報)

Impact-based forecast へ
(災害リスク予報)

ご清聴、ありがとうございました。