

シミュレーションとAIの融合で拓く水害予測の未来

澤田洋平
東京大学

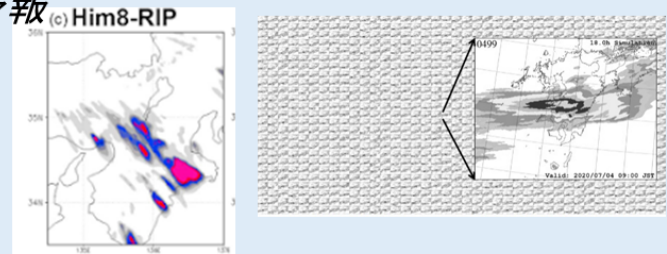
0.. 自己紹介



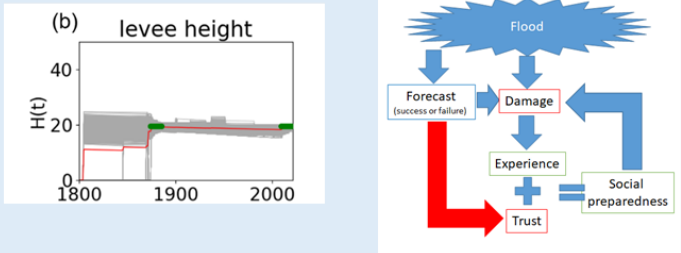
澤田研究室@東京大学 社会基盤学専攻 数理水害科学研究グループ

社会気象学 対豪雨・洪水災害

人々の意思決定にインパクトを与える
天気予報

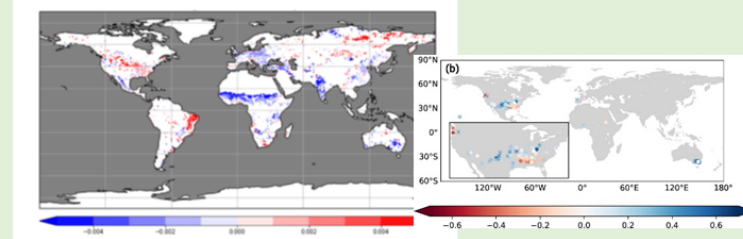


洪水と人間活動の相互作用の理解

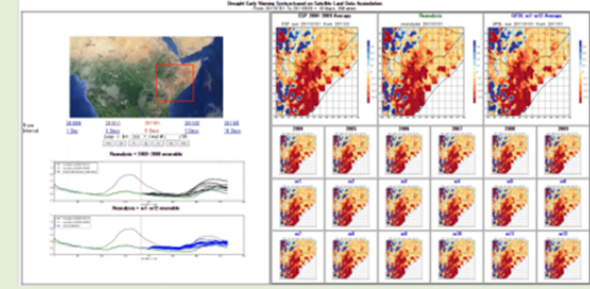


生態水文情報学 対干ばつ災害

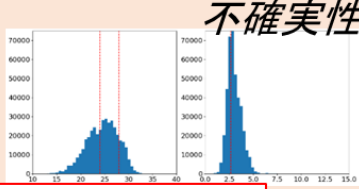
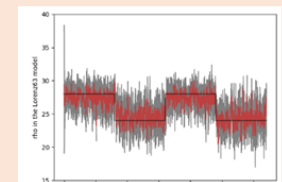
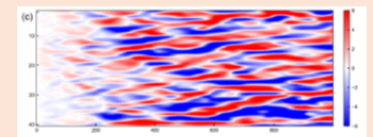
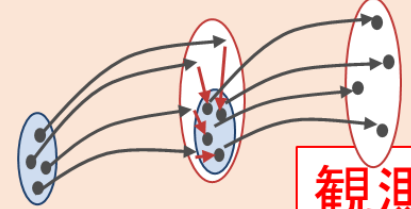
水-植生-人間結合系の理解



開発途上国における干ばつ予測



データ同化と機械学習の融合



不確実性定量化

観測-シミュレーション統合の統計数理
より現場に即した数値計算を求めて

澤田洋平 (さわだ ようへい)
1988年 神奈川県茅ヶ崎市生
2016年3月
東京大学工学系研究科
社会基盤学専攻博士課程修了
2016年4月-2017年3月
理化学研究所計算科学研究機構 特別研究員
2017年4月-2019年3月
気象庁気象研究所 研究官
2019年4月-
東京大学大学院工学系研究科 准教授

専門分野: シミュレーション・観測データ統合、
水文気象学、災害予測

個人HP: <https://sites.google.com/view/yoheisawada/home>
研究室HP: <https://sites.google.com/view/sawadaresearchgroup/home>

1. Introduction

1.1. 激甚水害の予測は人類文明のGrand Challenge



常総水害 (2015)



東日本台風 (2019)

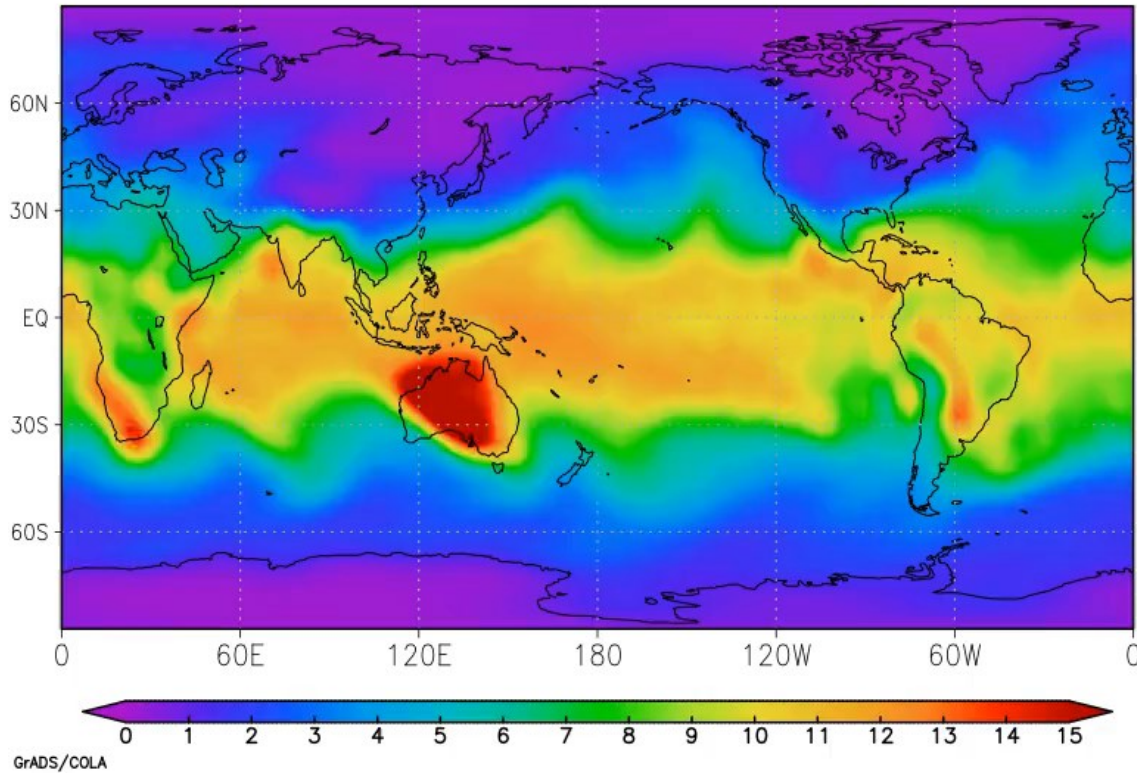


7月豪雨(2020)

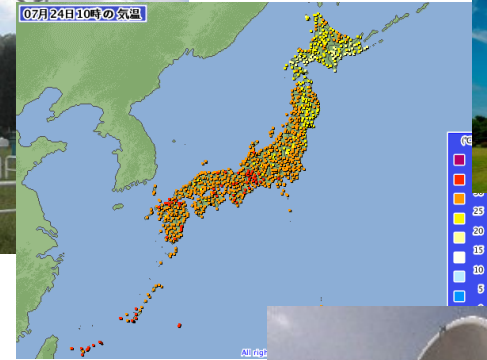
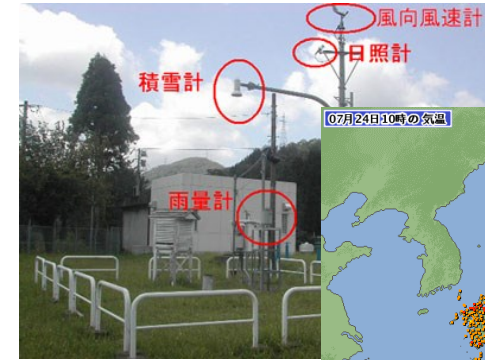
1.3. 水害予測(激甚な天気の予測)は超大規模系、かつスモールデータ問題

超大規模系

数日より先の予測は、地球全体をくまなく解くことが求められる



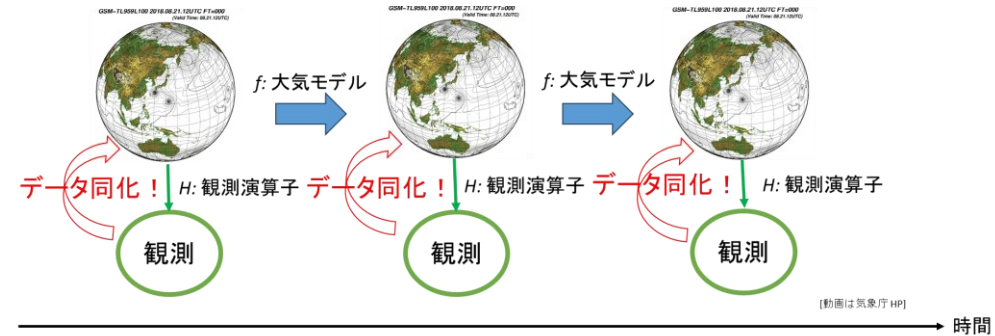
絶対的にはビッグだが
相対的にはスモールな
観測データ



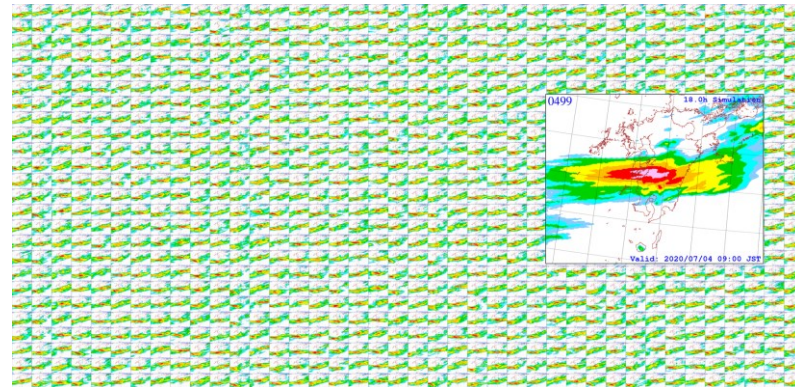
→スパコン上で膨大なデータを処理・活用し、データよりもはるかに大きい大規模系をリアルタイムに予測することが求められる

1.4. 本日の内容

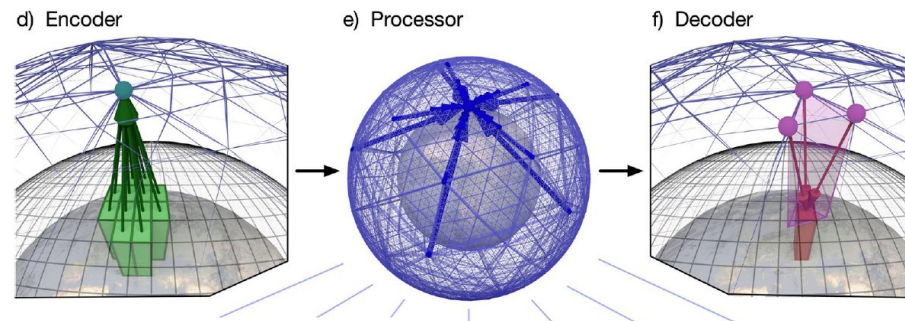
- 水害予測の問題設定とコア技術としてのデータ同化



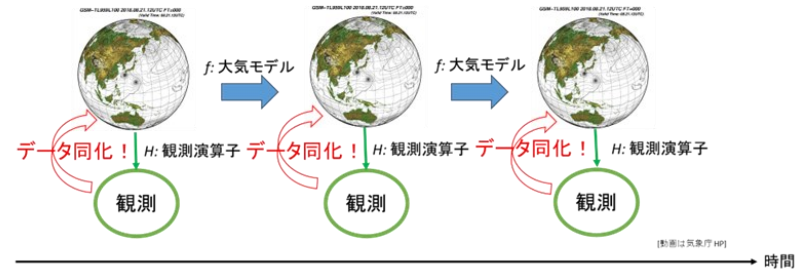
- 水害予測の最先端



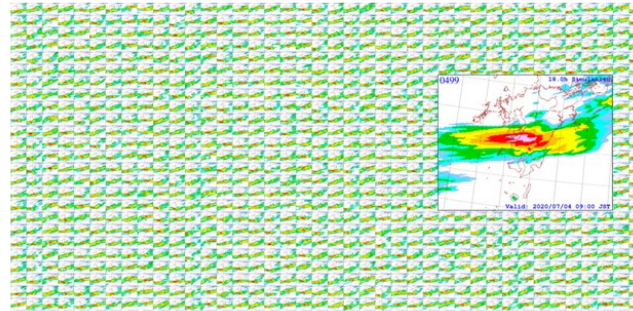
- AIは水害予測を変えるか？



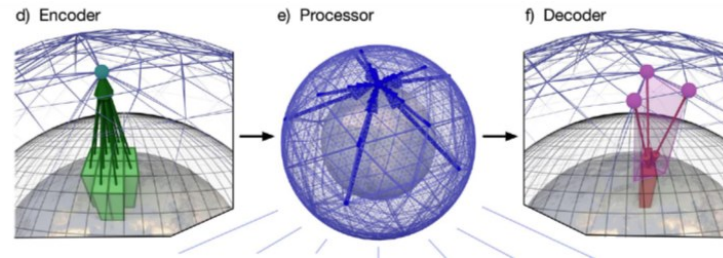
- 水害予測の問題設定とコア技術としてのデータ同化



- 水害予測の最先端

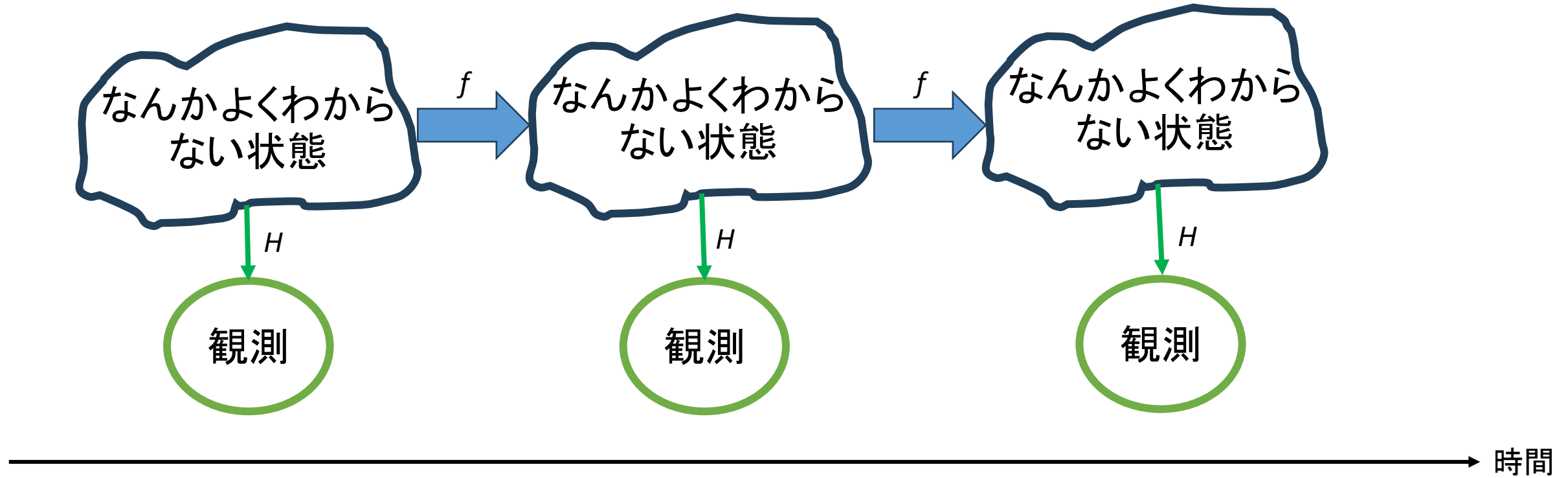


- AIは水害予測を変えるか？



2. 水害予測の問題設定とコア技術としてのデータ同化

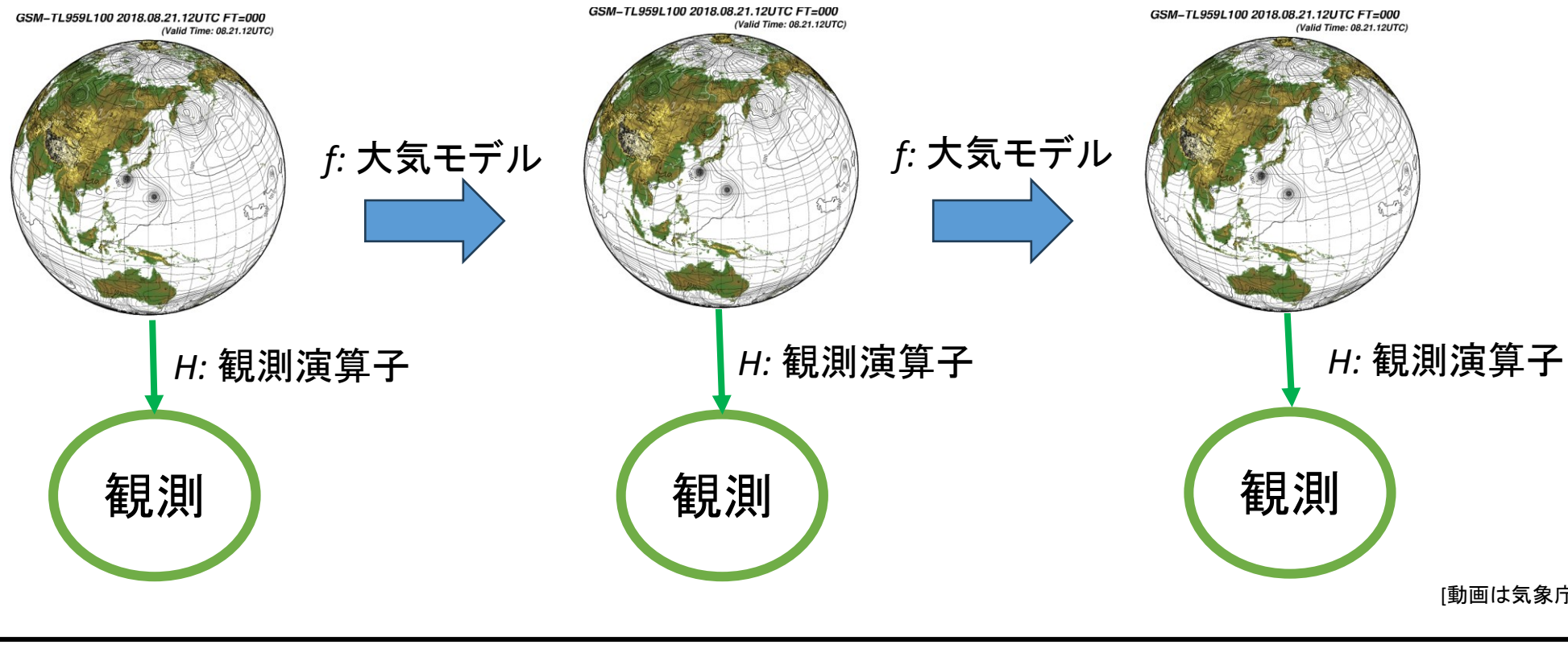
2.1. 水害予測(というよりおよそあらゆる予測)は隠れ状態推定問題



例えば、ニューラルネットワークの状態を隠れ状態だとして、観測の時系列だけから H と f を学習できれば、それが現代的なデータ駆動型予測

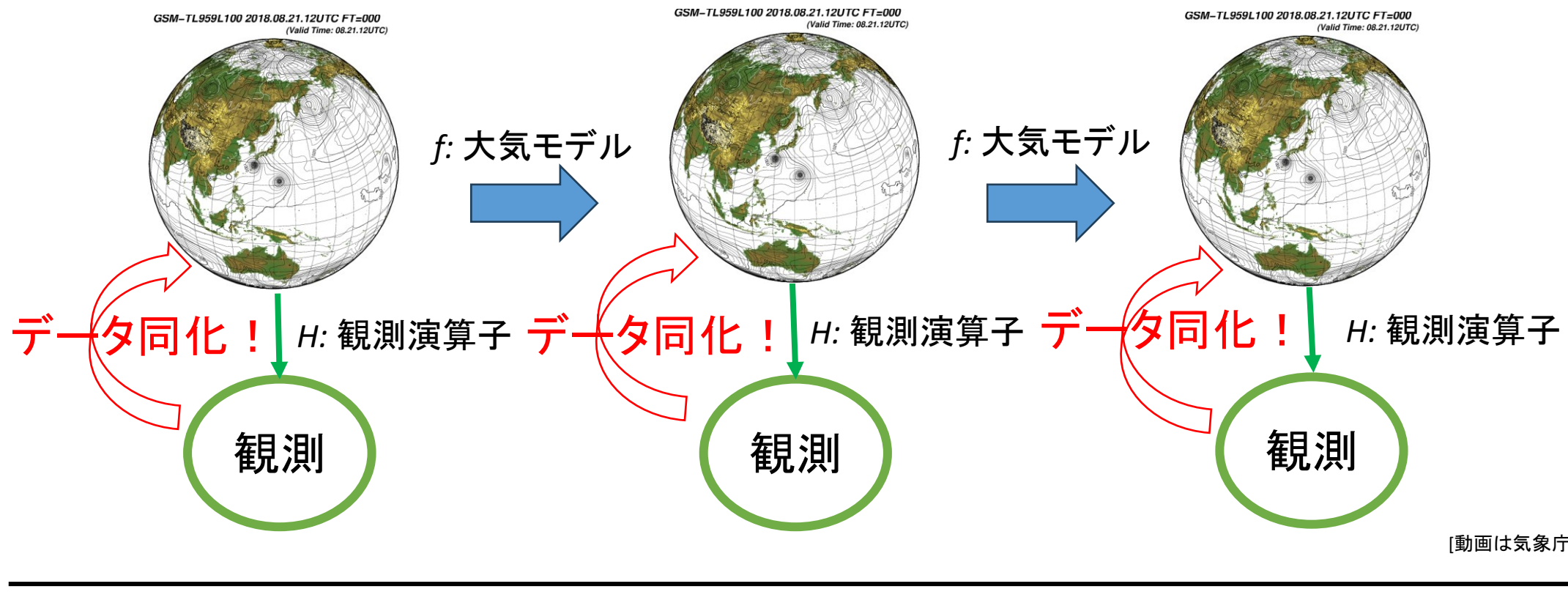
→観測が相対的に少ない気象/水害予測では多くの場合困難

2.2. 地球科学では隠れ状態を物理法則としてかなりしっかり書いて解ける



気象学の蓄積により、観測できていないところも含めて、地球の大気全体をくまなく物理法則に基づいて解くことが(ある程度)できる。

2.3. そこでデータ同化が有効



シミュレーションによる予測のずれを、観測データを用いて逐次的に修正していく

→プロセス駆動型 + データ駆動型 の予測

2.4. データ同化とは？

数値シミュレーション



統合

長所:なんたって(一応)計算できる。
経験したことのない未来や反実仮想の世界も計算できる。
短所:無数の仮定・単純化が必要で、(一般的に)あまり正確でない。

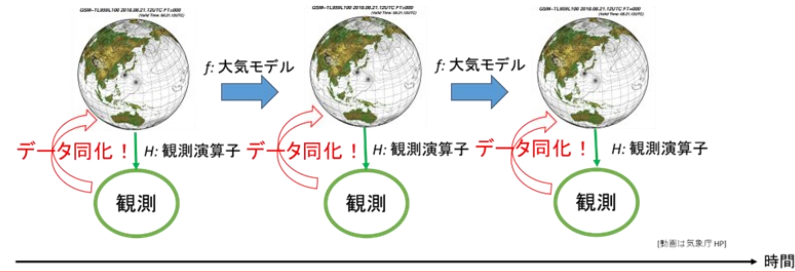
観測



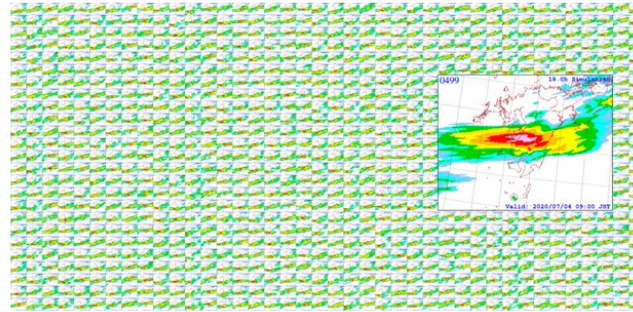
長所:(一般的には)正確
短所:広大な地球システムのほんの一部しか見ることができない。未来は観測できない。

元々は制御工学から生まれた手法だが、スーパーコンピュータ上でビッグシミュレーション×ビッグデータを効率よく安定的に解くために地球科学のデータ同化は独自の進化を遂げてきた

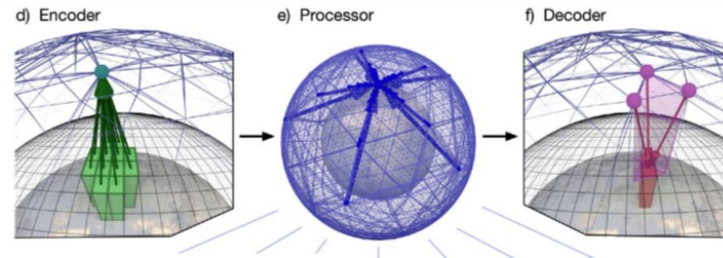
- 水害予測の問題設定とコア技術としてのデータ同化



- 水害予測の最先端



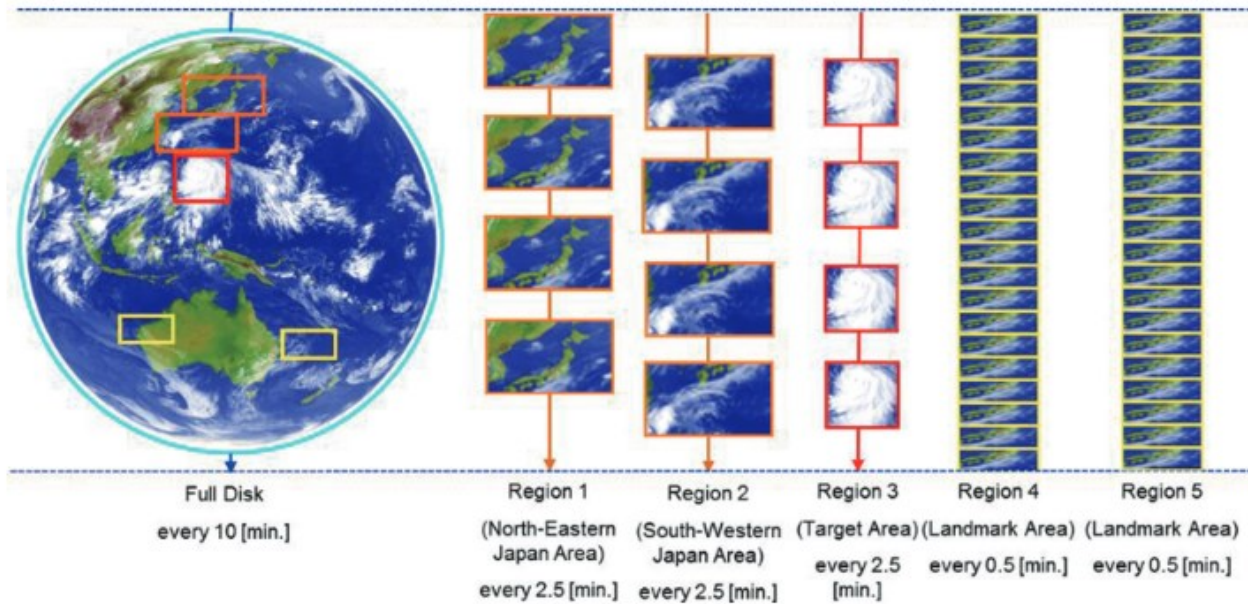
- AIは水害予測を変えるか？



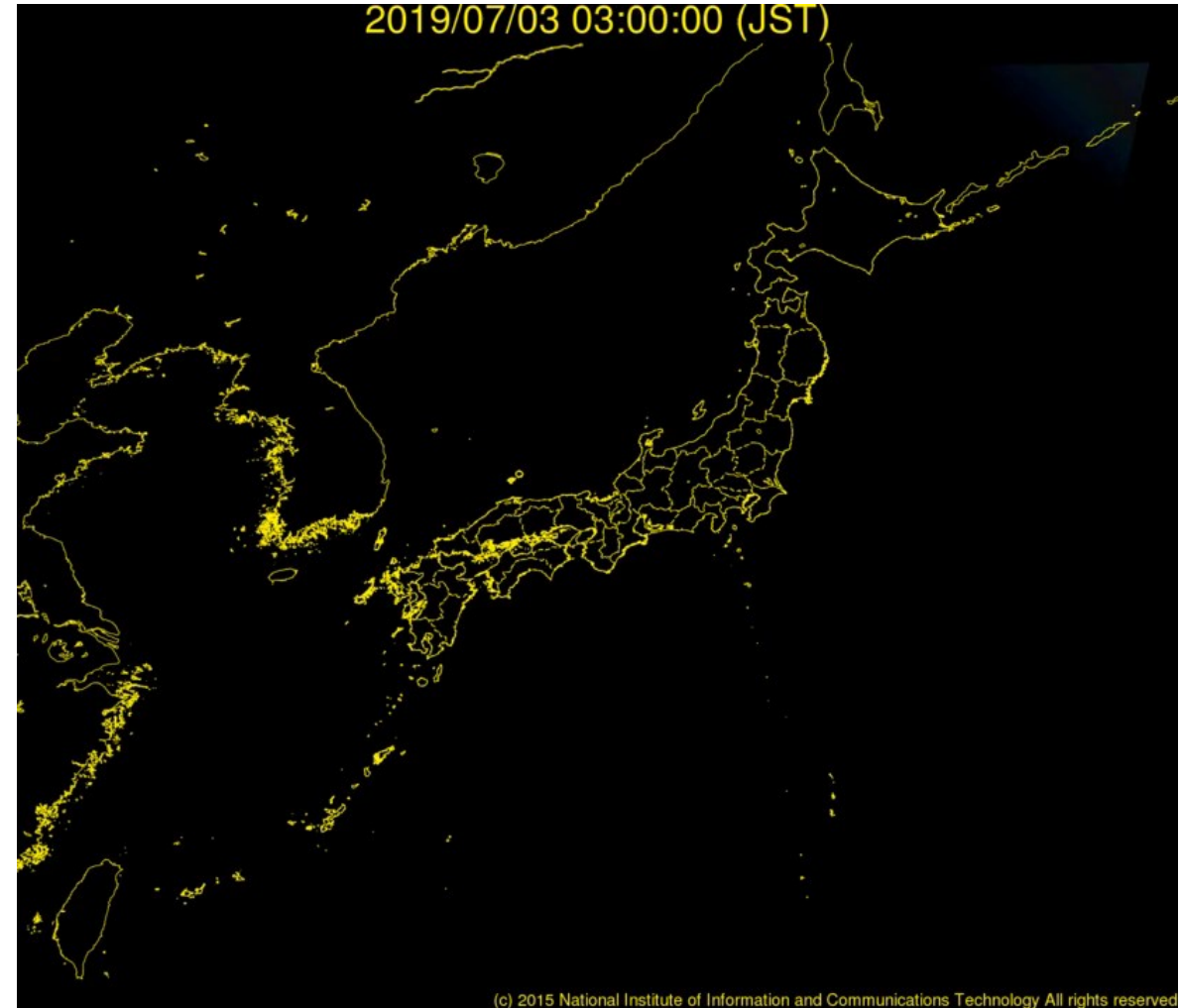
3. 水害予測の最先端

3.1.1. ひまわり8/9号というイノベーション

静止気象衛星ひまわりシリーズは日本の天気予報の根幹をなす。2014年打ち上げの8/9号は全体を10分おき、日本域に限っては2.5分おきに観測が可能。



[Bessho et al 2016]

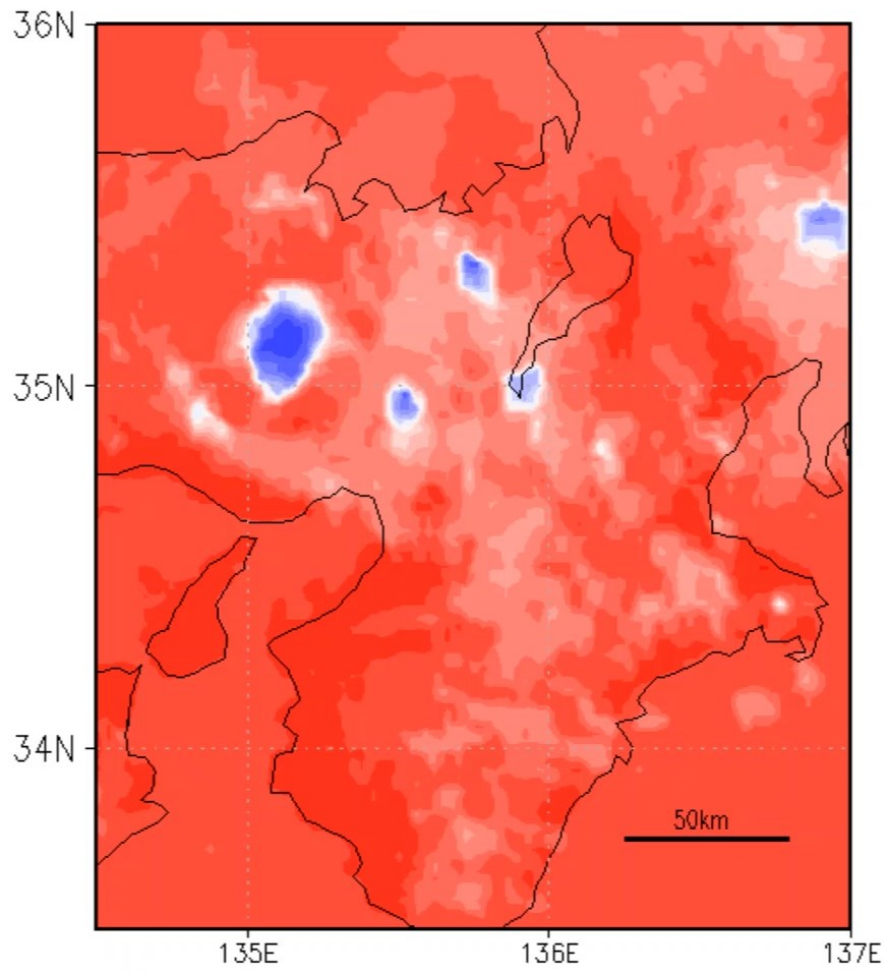


→しかしこれでも「スモールデータ」。このデータを生かし切って水害を予測する知恵が重要。

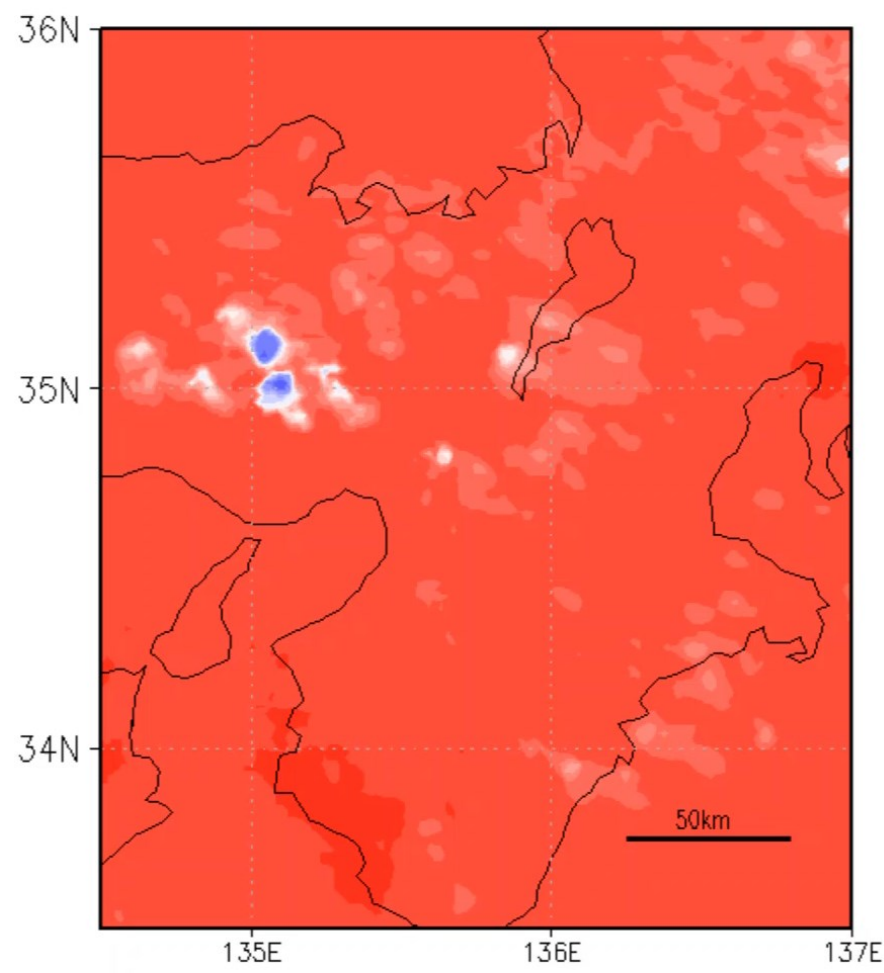
3.1.2. ひまわり観測と大規模気象シミュレーションの統合によるゲリラ豪雨予測

とても高頻度に観測できることでゲリラ豪雨のシグナルを正確にとらえ、シミュレーションに統合できるようになった

観測



シミュレーション

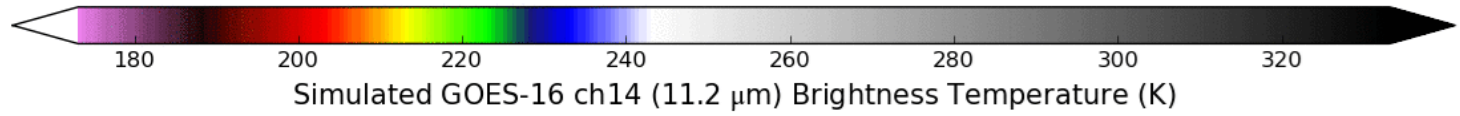
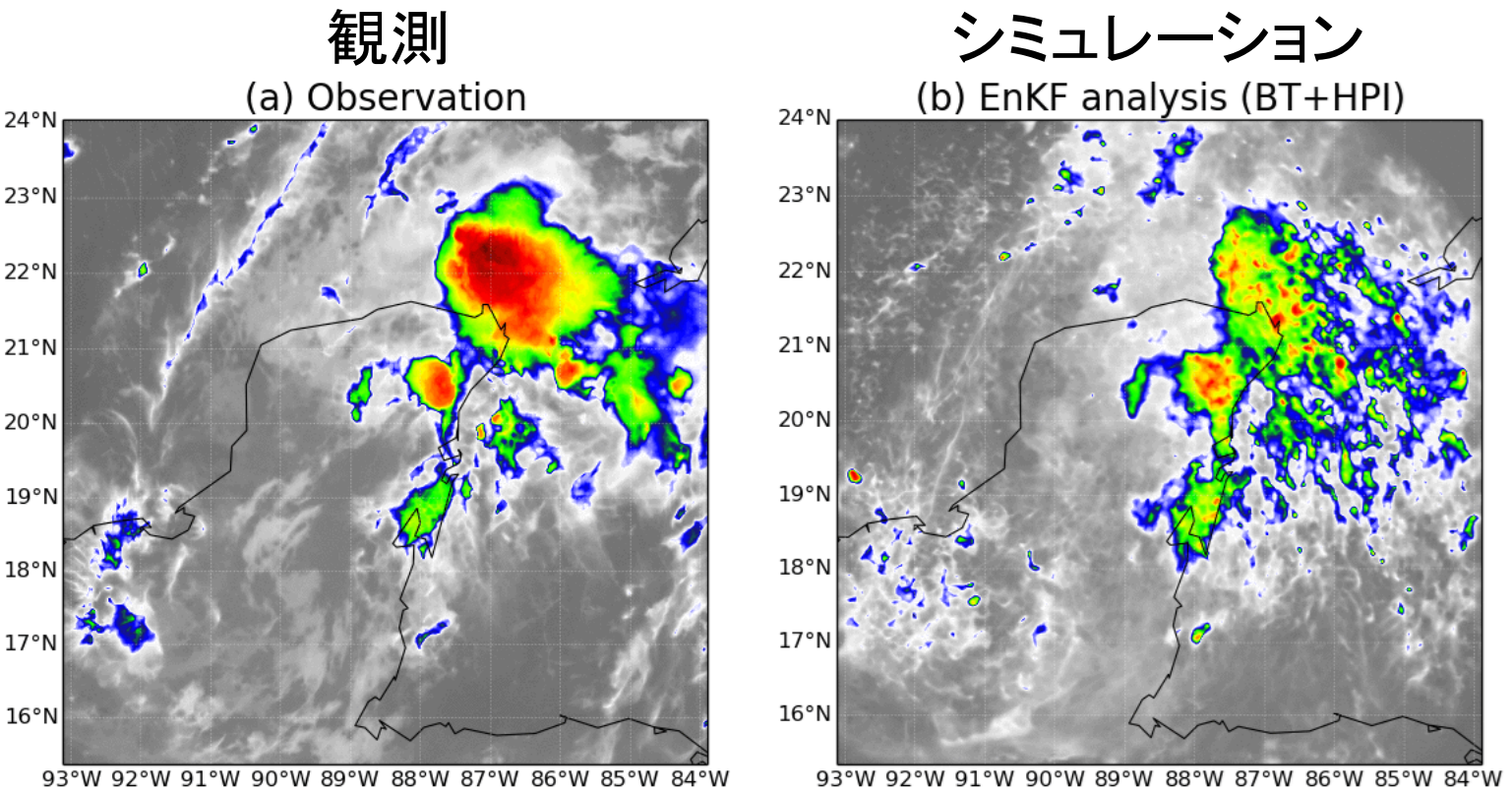


青いところに雨雲がある

[Sawada et al. 2019]

3.1.3. ひまわり観測と大規模気象シミュレーションの統合による台風急発達予測

海上の台風もしっかり監視。スパコンによる高解像度シミュレーションで台風の内部の個別の積乱雲も正確にシミュレーションできる時代に

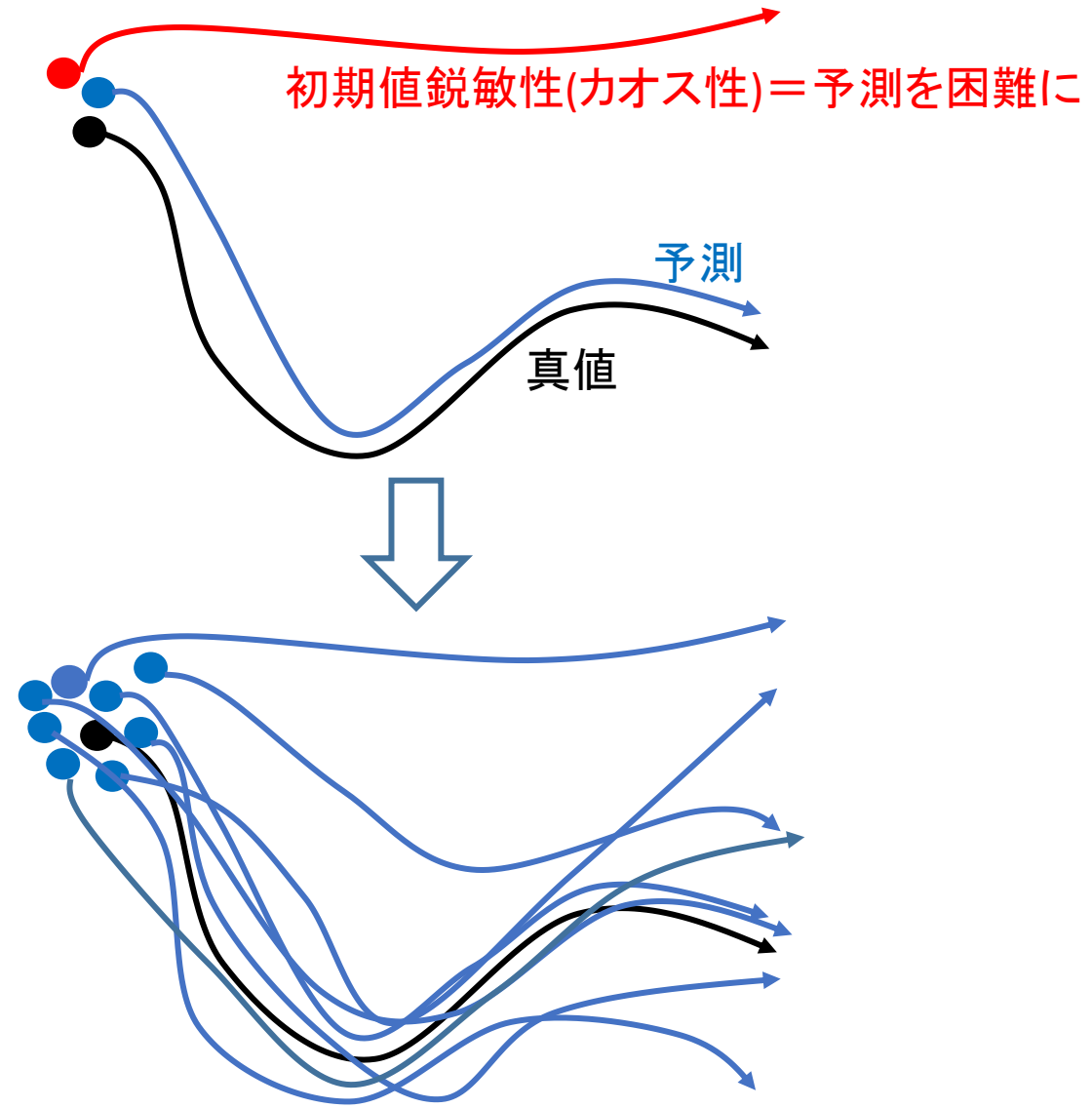
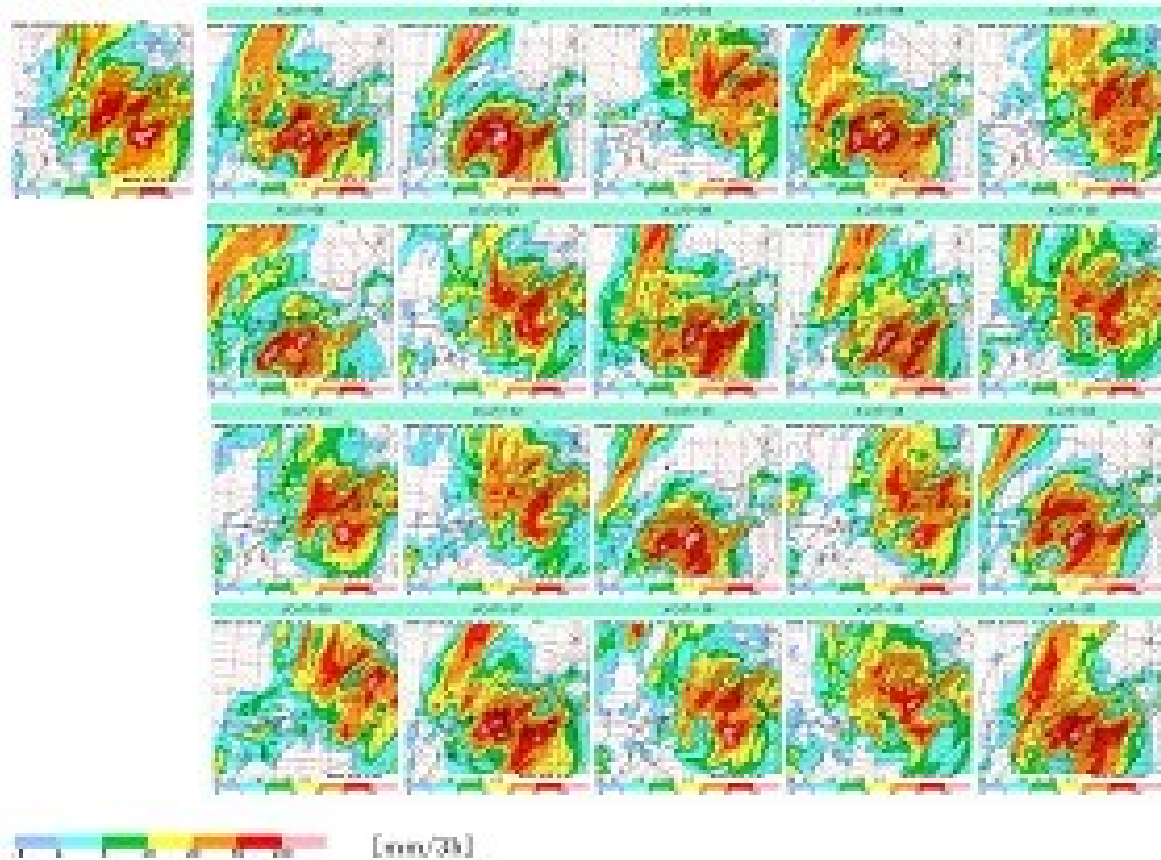


[2017-08-22_12:00]

[Minamide and Zhang 2018]

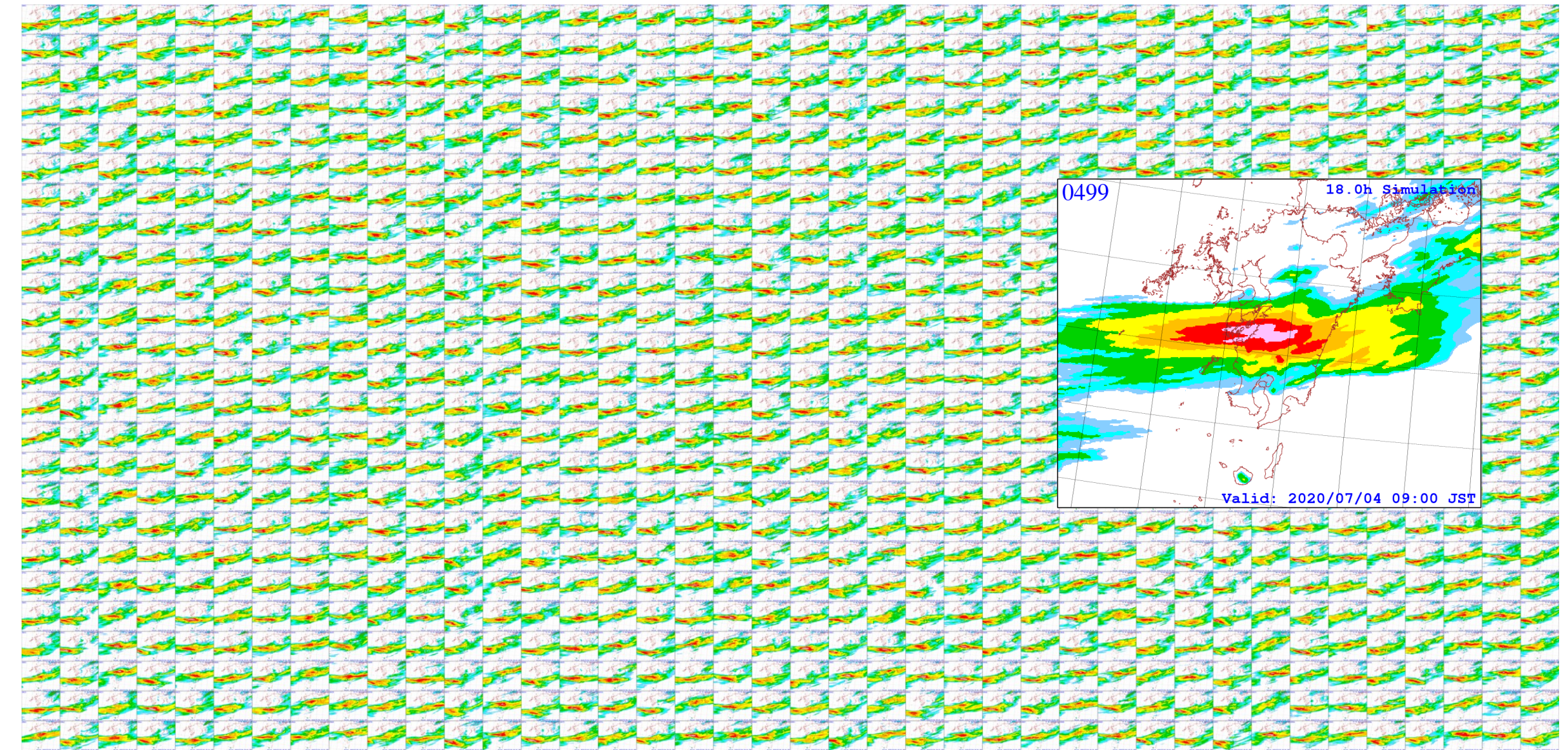
3.2.1. 水害予測は確率予測の時代へ

気象庁メソアンサンブルシステム



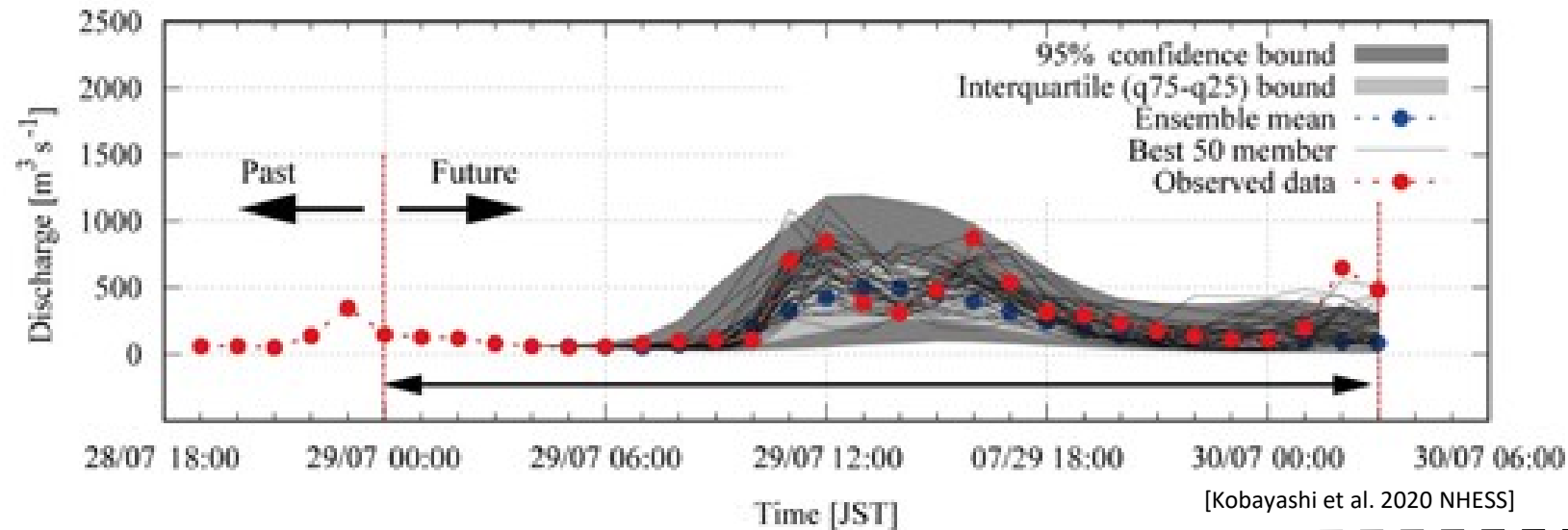
3.2.2. スーパーコンピュータ「富岳」の力で超巨大アンサンブル水害予測に挑戦

1000メンバによる2020年熊本豪雨予測実験



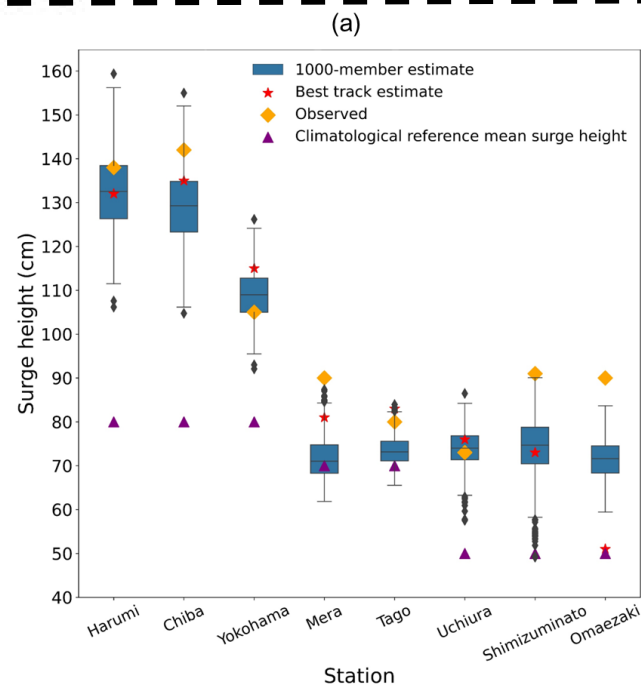
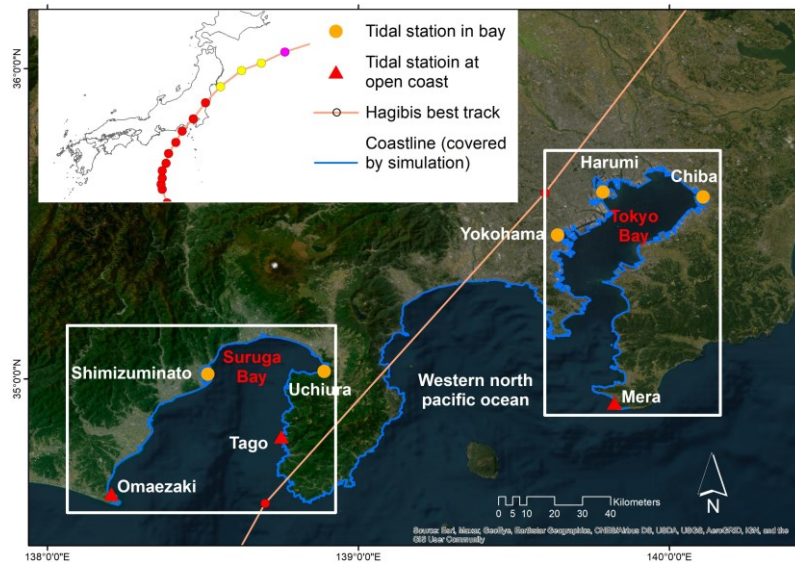
3.2.3. 社会にもたらすインパクトそのものの予測へ

1000メンバによる洪水氾濫予測



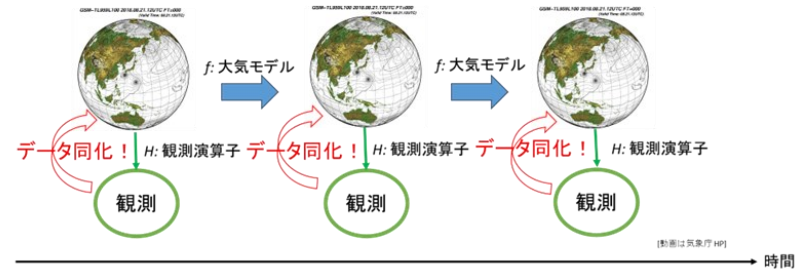
水害ハザードそのものを
確率予測して高度な
社会的意決定につなげ
るフェーズに

1000メンバによる港の高潮予測

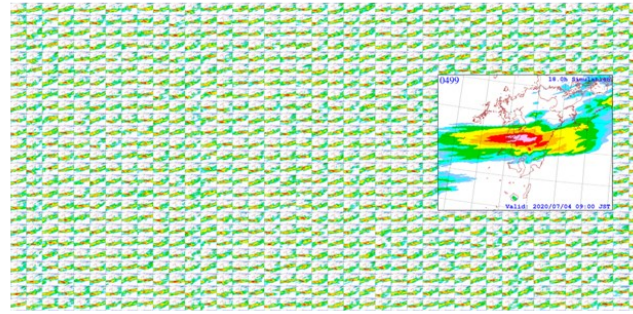


青箱ひげ: 1000メンバーの高潮水位
赤星: 気象庁ベストトラックを入力とした
高潮モデル
黄色ダイヤ: 観測潮位

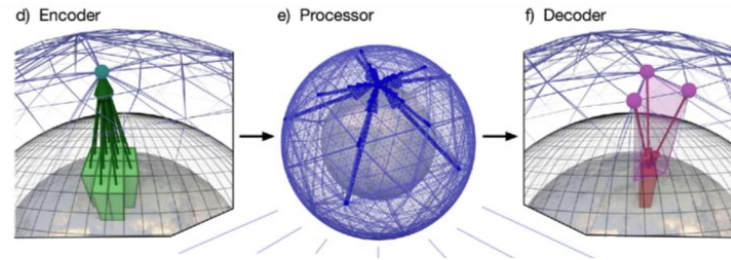
- 水害予測の問題設定とコア技術としてのデータ同化



- 水害予測の最先端

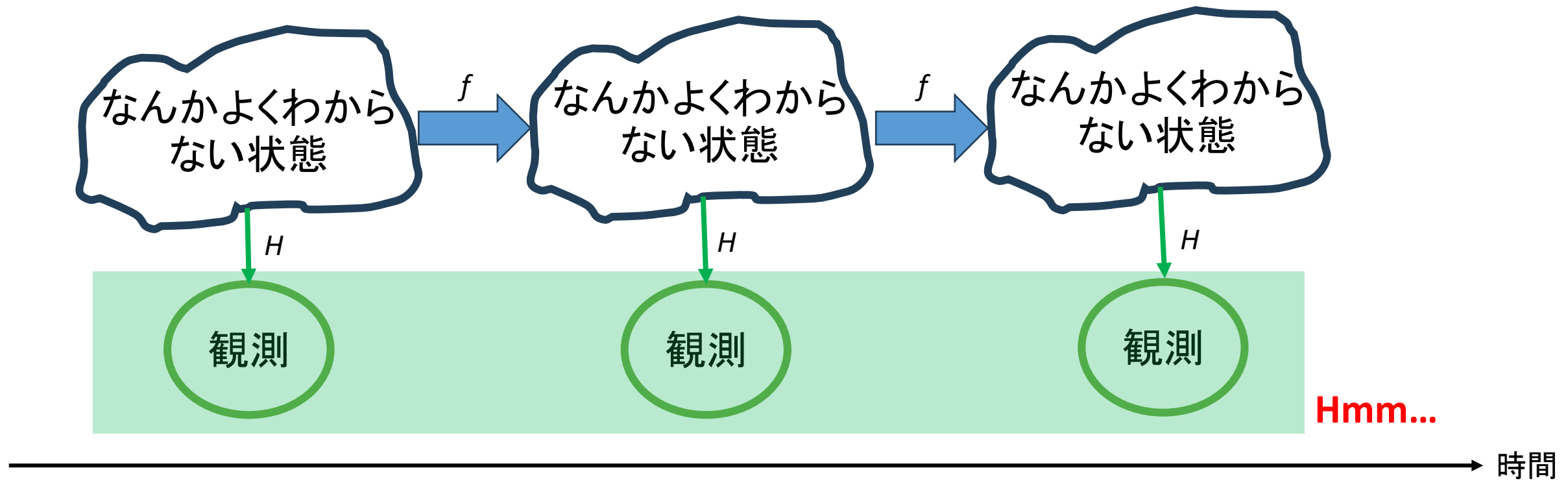


- AIは水害予測を変えるか？



4. AI は水害予測を変えるか？

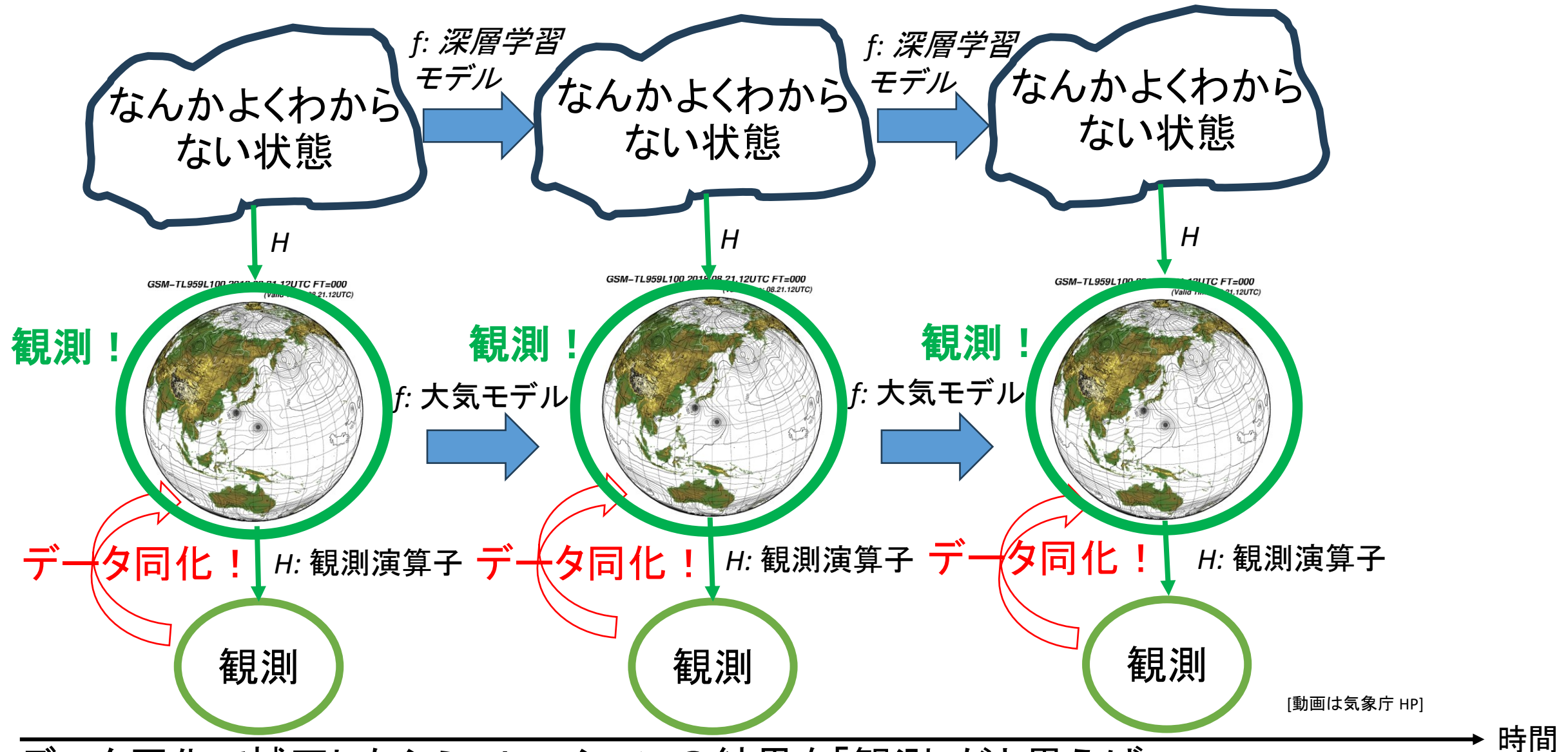
4.1. データだけから隠れ状態推定/予測はうまく行かないが...



例えば、ニューラルネットワークの状態を隠れ状態だとして、観測の時系列だけから H と f を学習できれば、それが現代的なデータ駆動型予測

→観測が相対的に少ない気象/水害予測では多くの場合困難

4.2.1. データ同化を学習する機械学習？

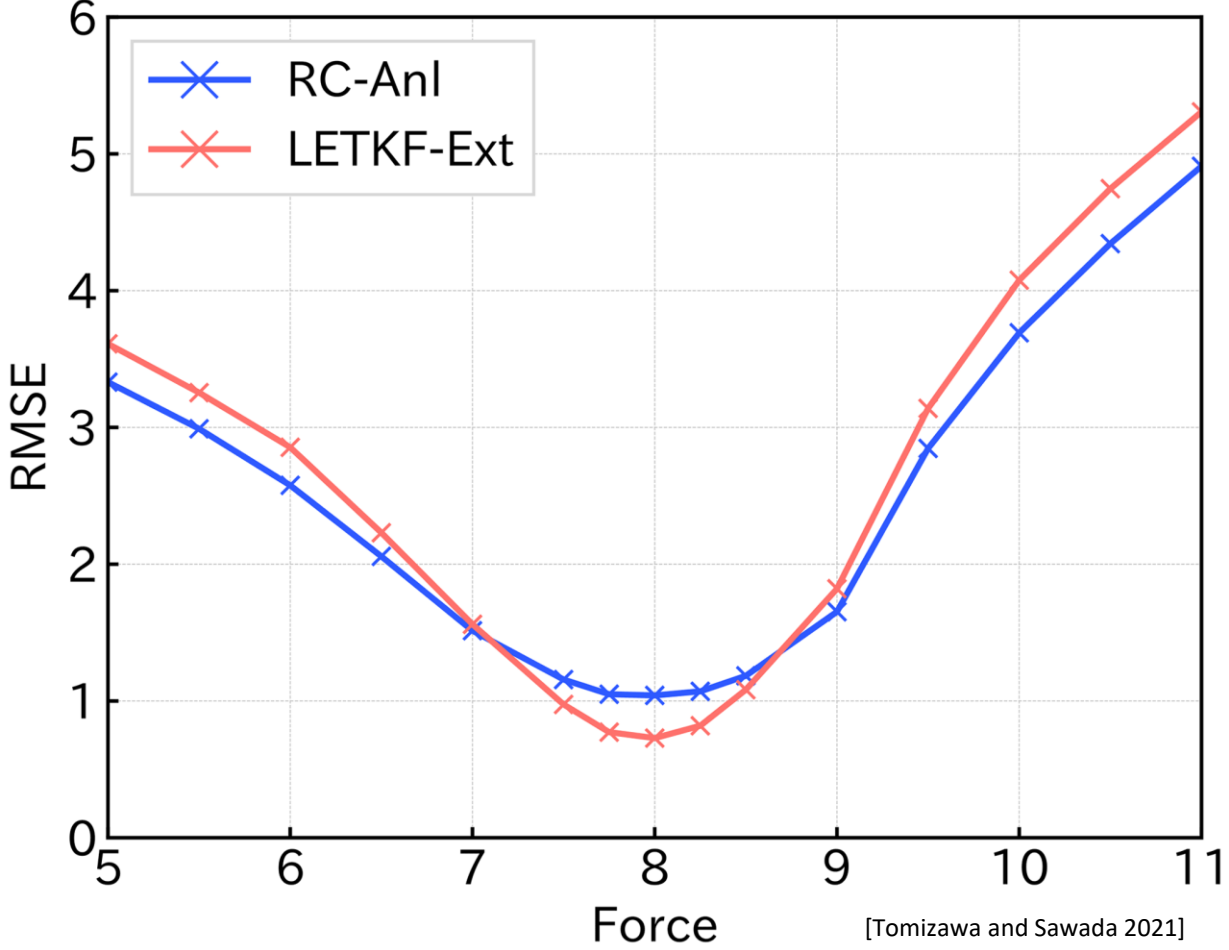


[動画は気象庁 HP]

→データ同化で補正したシミュレーションの結果を「観測」だと思えば、
深層学習をトレーニング可能なのではないか？

4.2.2. データ同化を学習する機械学習はうまくいく

元々のシミュレーションにバイアスがある場合、この戦略は元々のデータ同化によるシミュレーション予測を上回るという理論的解析



X軸の両端に行くとシミュレーションのバイアス大
この時機械学習(青線)がシミュレーション(赤線)より正確

近年、複数のTech Giantsから現業気象予測を上回ったという報告が相次ぐ

nature
Explore content | About the journal | Publish with us

nature > articles > article

Article | Open access | Published: 05 July 2023

Accurate medium-range global weather forecasting with 3D neural networks

Kaifeng Bi, Lingxi Xie, Hengheng Zhang, Xin Chen, Xiaotao Gu & Qi Tian

Nature 619, 533–538 (2023) | Cite this article

124k Accesses | 6 Citations | 1569 Altmetric | Metrics

RESEARCH ARTICLE OPEN ACCESS

FourCastNet: Accelerating Global High-Resolution Weather Forecasting Using Adaptive Fourier Neural Operators

Authors: Thorsten Kurth, Shashank Subramanian, Peter Harrington, Jaideep Pathak, Morteza Mardani, David Hall, Andrea Miele, Karthik Kashinath, Anima Anandkumar | Authors Info & Claims

PASC '23: Proceedings of the Platform for Advanced Scientific Computing Conference • June 2023 • Article No.: 13 • Pages 1–11
• https://doi.org/10.1145/3592979.3593412

Science | Current Issue | First release papers | Archive | About | Submit

HOME > SCIENCE > VOL. 382, NO. 6677 > LEARNING SKILLFUL MEDIUM-RANGE GLOBAL WEATHER FORECASTING

RESEARCH ARTICLE | WEATHER FORECASTING

Learning skillful medium-range global weather forecasting

REMI LAM, ALVARO SANCHEZ-GONZALEZ, MATTHEW WILLSON, PETER WIRNSBERGER, MEIRE FORTUNATO, FERRAN ALET, SUMAN RAVURI, TIMO EWALDS, ZACH EATON-ROSEN, [..], AND PETER BATTAGLIA | +8 authors | Authors Info & Affiliations

SCIENCE • 14 Nov 2023 • Vol 382, Issue 6677 • pp. 1416-1421 • DOI: 10.1126/science.adl2336

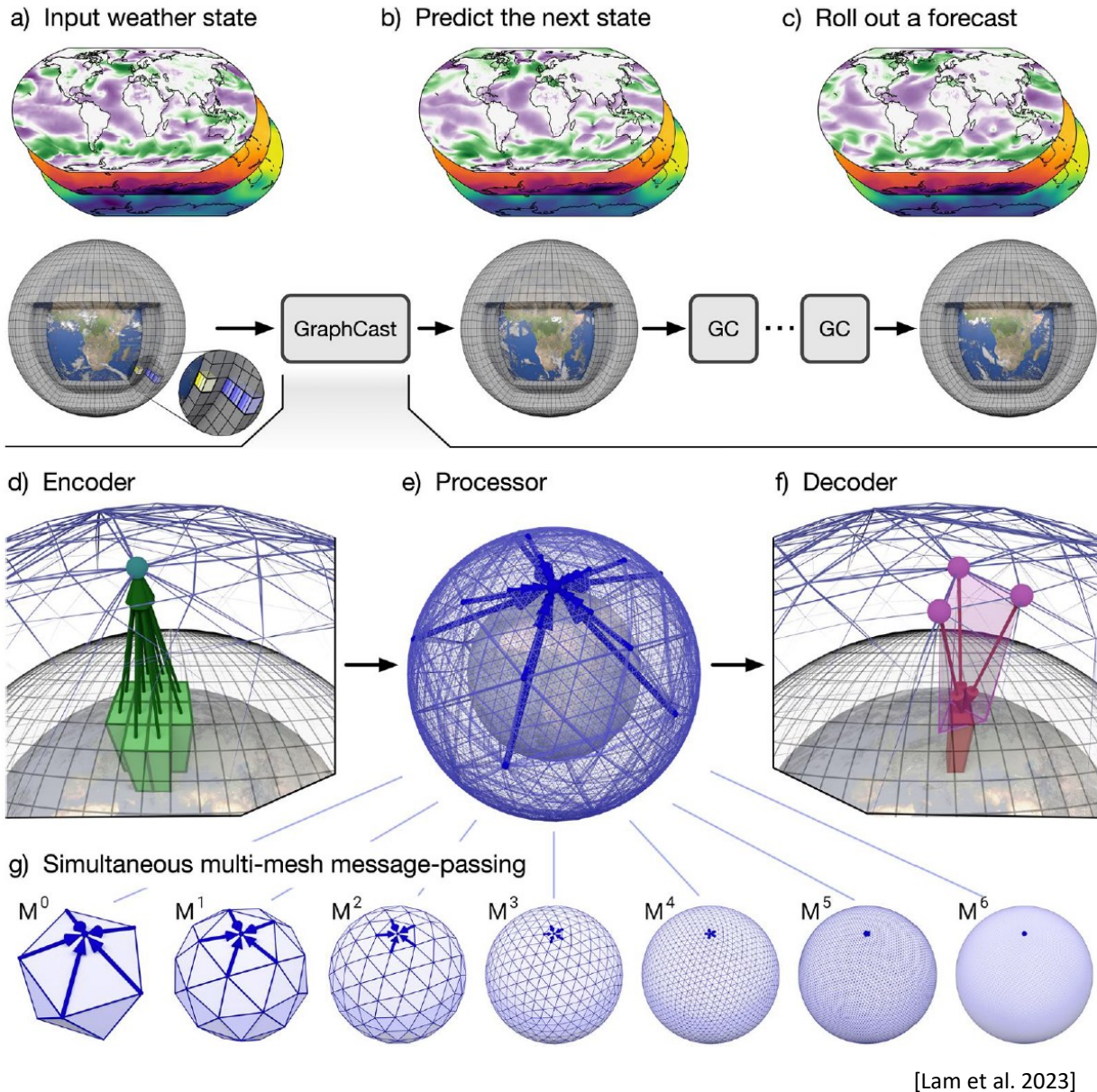
Huawei group

NVIDIA group

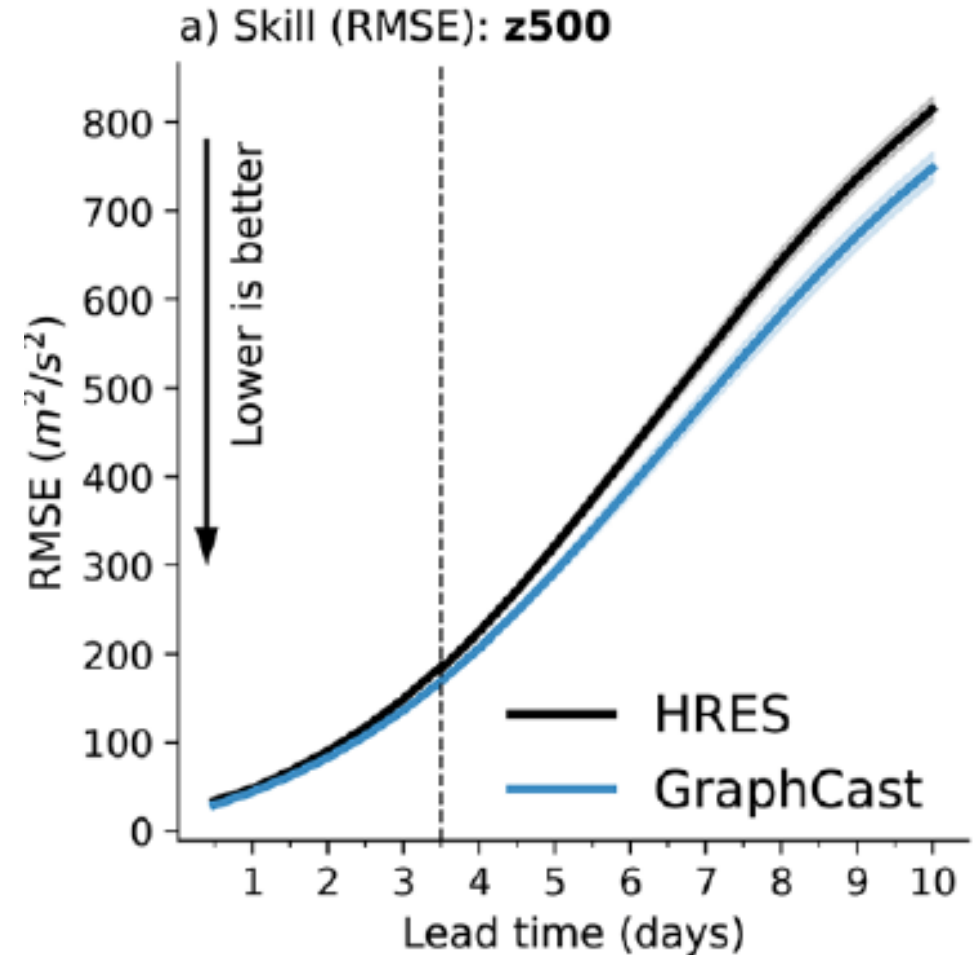
Google DeepMind group

ng Japan! 2024

4.3. Google DeepMindのGraphCast

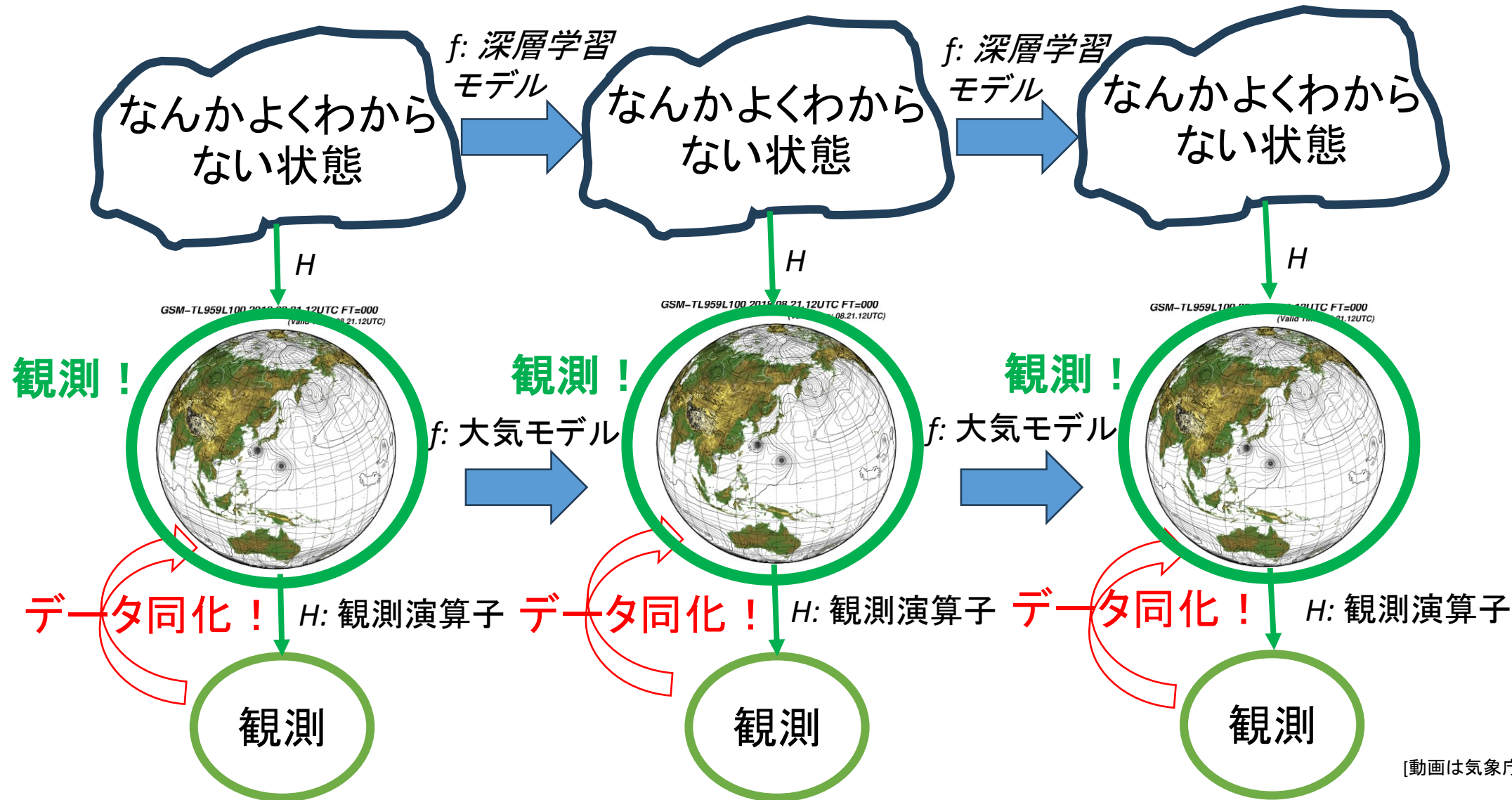


気圧の予測で現業予報を上回る



→水害に直接つながる降水などでも性能が出るのはもう少し先か？

4.4.1. シミュレーションとAIの融合でさらにその先へ(1)

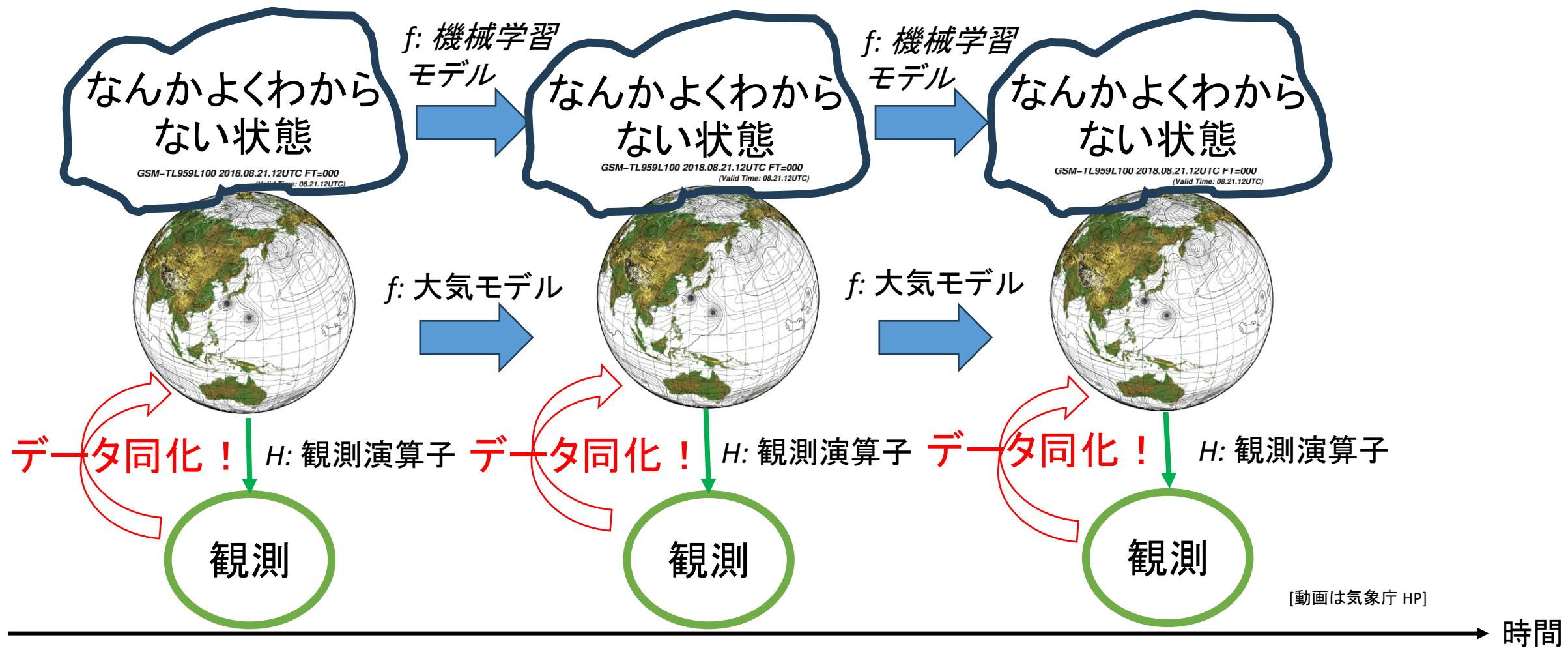


[動画は気象庁 HP]

→データ同化を学習する機械学習でまるまるニューラルネットワークに置き換えて予測するのもよいが…

時間

4.4.1. シミュレーションとAIの融合でさらにその先へ(1)

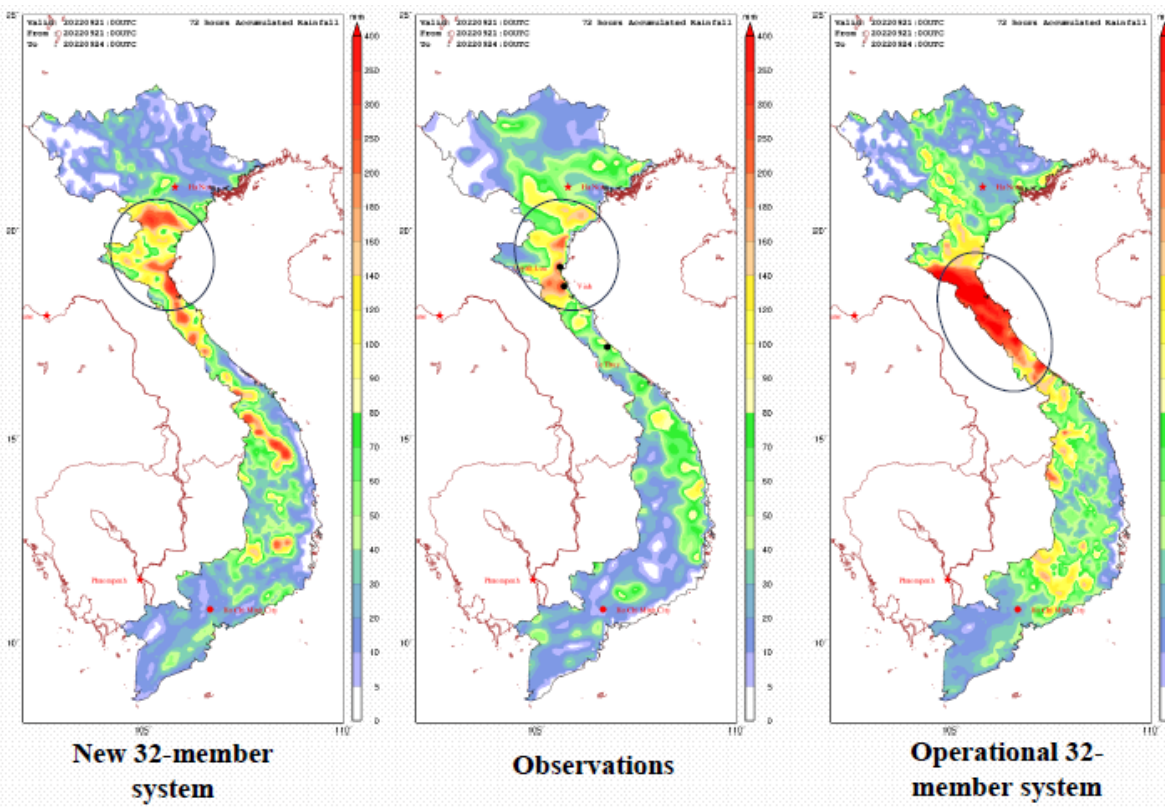
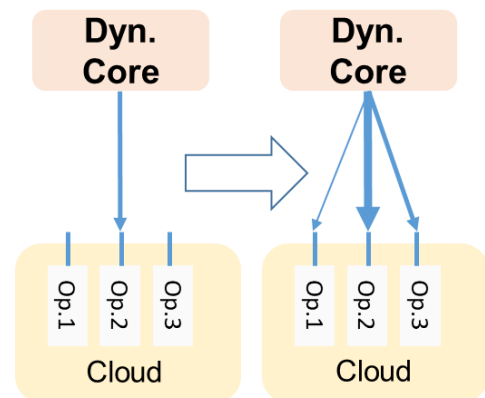


→わかるところは物理法則を書いたモデルで、わからないところはデータから学ぶというのもいいのではないか。

→説明可能性が高く、現象理解にも貢献できる人機融合気象モデリング!!

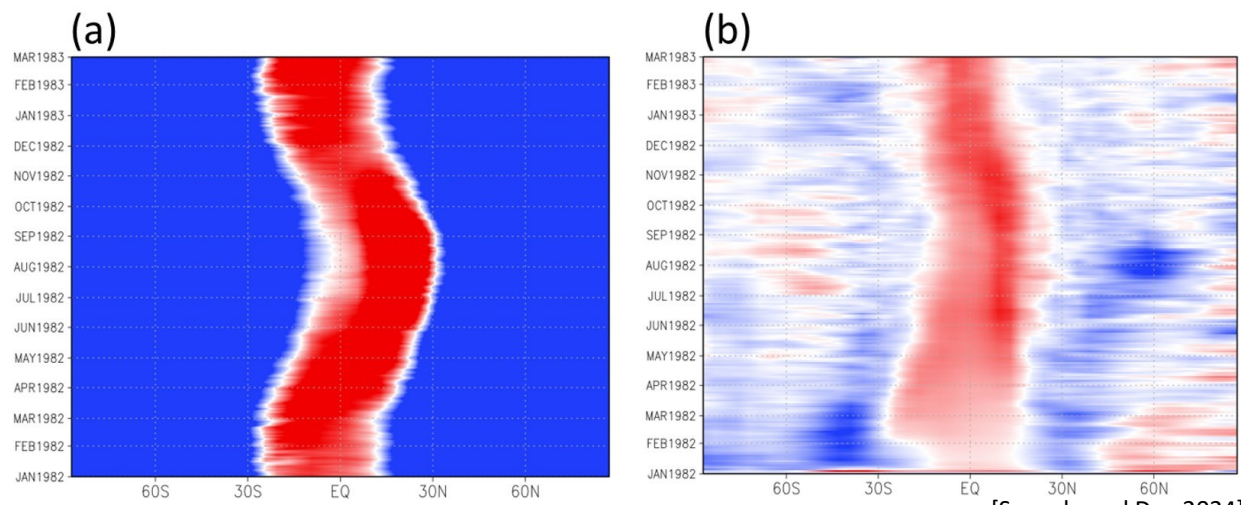
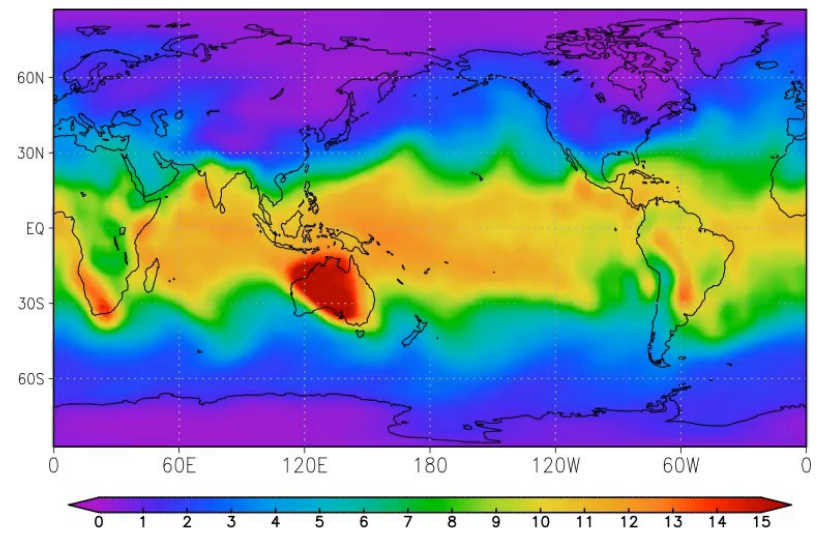
4.4.2. シミュレーションとAIの融合でさらにその先へ(2)

理論では決めきれない
モデル選択をデータに
基づいて動的に行う。
ベトナム水文気象庁と
の共同研究



[Hung et al. in prep]

積乱雲が発生する条件(トリガー)のみ
をデータ駆動で学び、それ以外は物理
則で解く



[Sawada and Duc 2024]

5. まとめ

- 水害予測の問題設定とコア技術としてのデータ同化
 - 水害予測は超大規模系、かつデータの容量は大きいが「スモールデータ」問題
 - 地球科学専用に独自の進化を遂げたデータ同化の統計数理が大きな役割を果たしてきた
- 水害予測の最先端
 - 最新鋭の観測機器とスーパーコンピュータの融合により極端気象と水害の予測は進化を続けている
 - トrendはアンサンブルによる確率予測と、それに基づいた社会インパクト予測
- AIは水害予測を変えるか？
 - 変えるだろう。しかし「スモールデータ」問題という本質的な問題はいまのところ解決されていないため、従前のデータ同化による予測が依然として重要
 - 地球科学における現象モデリングの在り方自体が変容し、百花繚乱のモデリングスタイルが日々生み出させるエキサイティングな時代に