

スーパーコンピュータ「富岳」



2020年6月23日
理化学研究所 富士通株式会社
スーパーコンピュータ「富岳」TOP500、
HPCG、HPL-AIにおいて世界第1位を獲得
－ Society5.0実現の情報技術基盤としての
総合的な高性能を実証－

「京」(2012-2019)
10PF(LINPACK)

「富岳」(2020-)
415PF (LINPACK)



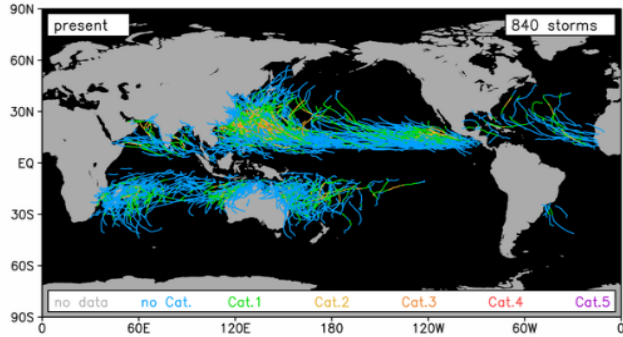
「富岳」成果創出加速プログラム(2020～2022年度)
「富岳」を用いた成果を早期に創出することを目的として
文部科学省が設置

- ① 人類の普遍的課題への挑戦と未来開拓
- ② 国民の生命・財産を守る取組の強化：本課題が採択
- ③ 産業競争力の強化
- ④ 研究基盤

以上4領域について、19課題が選定。
選定された課題は、「富岳」の計算資源を優先的に無償
で使用し、速やかな成果創出を目指す。

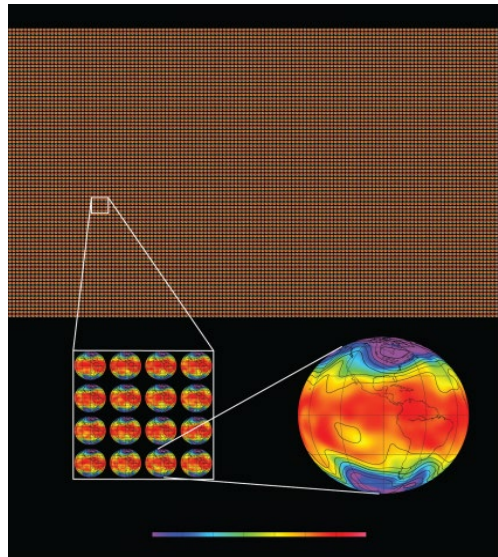
「京」「富岳」による気象気候研究

Kodama et al. (2015 JMSJ; 2020 GMD)

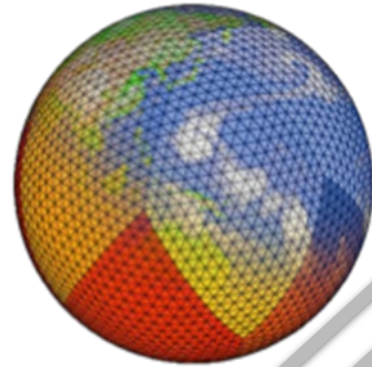


高解像度モデルによる長期積分

NICAM-AMIP 30年積分
HighResMIP 100年積分



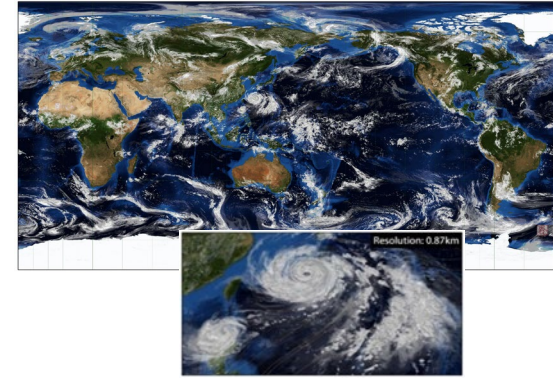
Miyoshi et al. (2015, Computer)



解像度
Resolution

超高解像度計算
NICAM全球870m
メッシュ実験

Miyamoto et al.(2013, GRL)



積分時間
Duration

Computer resources
with good computational
efficiency

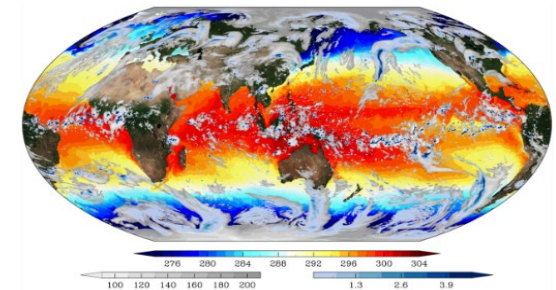
複雑性
Complexity

全球雲解像・渦解像大気海洋
結合モデル

NICAM+COCO MJO 予測実験

事例数
Ensemble

大アンサンブル実験
NICAM-LETKF
1000アンサンブル同化



Miyakawa et al. (2017, GRL)

「京」「富岳」による気象気候研究

「京」「富岳」を利用した気象気候研究プロジェクト

- [京] 2010.10-2016.3 : 次世代スーパーコンピュータ戦略プログラム 分野3
防災・減災に資する気象・気候・環境予測研究
- [京] 2015.2-2020.3 : 「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」重点課題(フラッグシップ2020)
「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化」
- [富岳] 2020.4-2023.3 : 「富岳」成果創出加速プログラム
「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」

「富岳」はフラッグシップコンピュータ、様々な分野で利用 ⇔ 現業の気象予報は専用スーパーコンピュータを利用

「富岳」の役割

- ✓ 従来の計算資源では実現不可能であった新手法のテスト。
- ✓ 今後の気象庁等の現業予報機関による数値天気予報の目指すべき方向を示す。

気象庁「[2030年に向けた数値予報技術開発重点計画](#)」への貢献、さらにその先の方向性を指し示す

「富岳」による気象予測が、直ちに現業的に利用できるわけではない

- ✓ 現業的には常時専有して利用する必要がある。
- ✓ 長期間の過去事例に適用し、新手法の優劣の評価が必要。
- ✓ 気象業務法の制約

現在の集中豪雨・台風の予測への「富岳」の利用

- ✓ 予測が難しかった事例に関して、どのような点を改良すれば予測が可能かを調べ、今後の現業予測の方向性を示す：[cf. 解像度、アンサンブル数、観測データ](#)
- ✓ 現象の理解・メカニズムの解明により、物理的な理由に基づく予測の改善に結び付く [cf. 海面水温、水蒸気、太平洋高気圧の張り出し、ジェット気流の予測等](#)

本研究課題の背景

気象災害は増加・激甚化しており、台風・集中豪雨のより高度な予測が必要とされている。

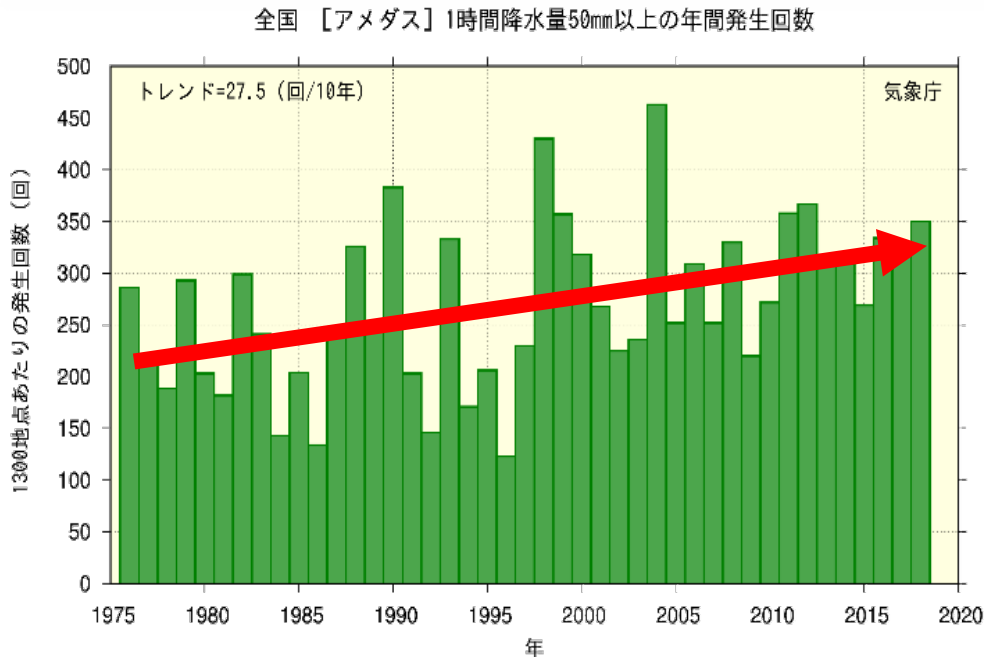
- 地球温暖化はすでに顕在化し、極端現象の今後の頻発化が予測されている
- 平成は災害の時代・多数の犠牲、令和の新時代は災害から国民を守るために最新科学技術の活用が求められている（国土強靱化基本計画(H30)）。

異常気象 豪雨や猛暑の日本が世界で最悪の被害 独の環境NGO

2019年12月5日 (COP25 スペインマドリッド)

台風の保険金試算 2兆円超 2年連続で過去最大級
2019.11.11

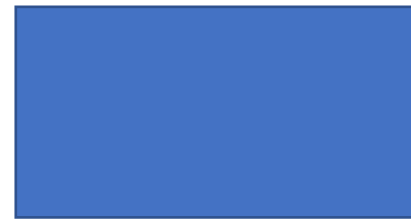
豪雨の発生が近年、増加傾向



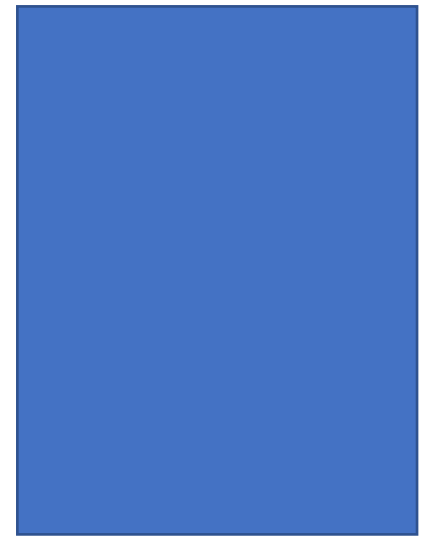
西日本豪雨(2018)



台風19号 (2019)

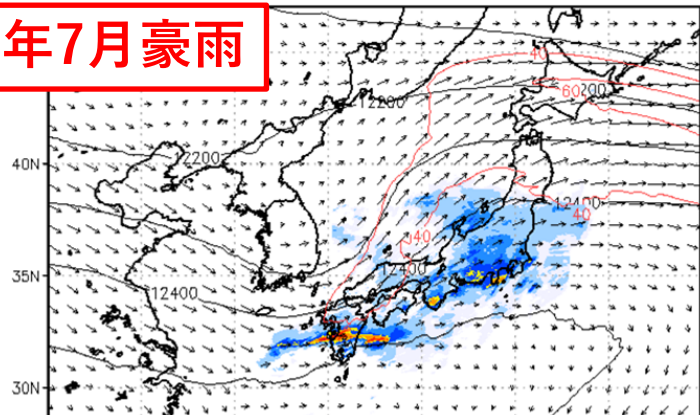


台風15号 (2019)

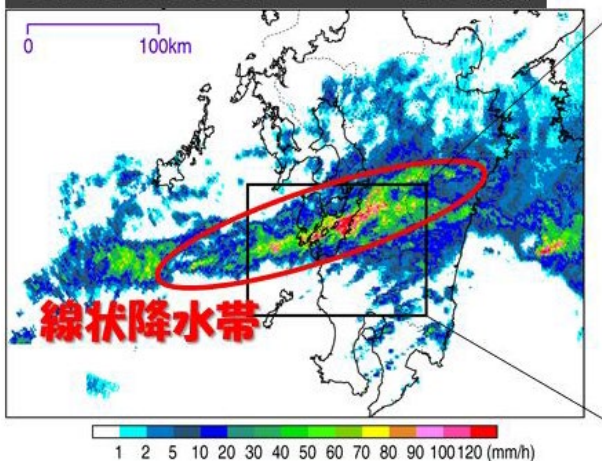


台風21号 (2018)

令和2年7月豪雨



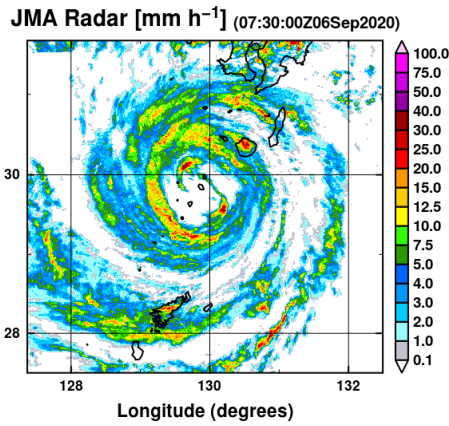
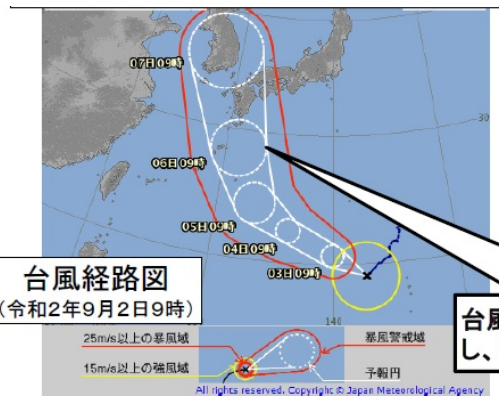
7月4日03時00分 レーダー降水強度



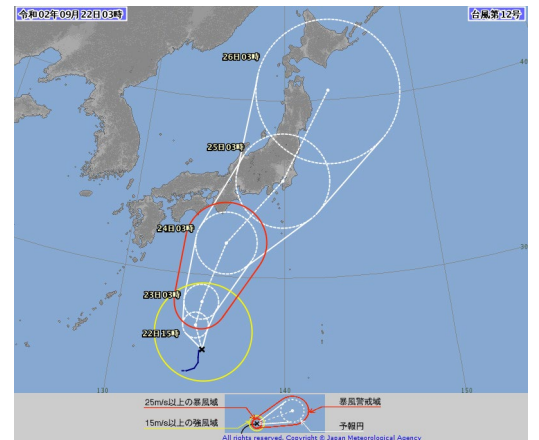
- 死者行方不明者86名（内閣府9月3日時点）
- 大雨特別警報：7月4-8日、熊本県、鹿児島県、長崎県、佐賀県、福岡県、岐阜県、長野県
- 事前に特別警報の可能性について発表はなかった

7月3日日中に特別警報の可能性を発表できるか、検討が必要

令和2年台風10号



令和2年台風12号



台風10号

- 9月1日21時に台風が発達
- 発生直後に日本への接近の予想が発表、特別警報の可能性

台風12号

- 9月21日12時に台風が発達
 - 9月20日時点で日本への接近の予想経路が発表
- 2020年9月9日から24時間以内に台風が発達が予想される熱帯低気圧についても進路予想が発表されている。

- より以前に、台風が発生・接近が予測できないか。
- 近年、日本により近い位置で発生・発達する台風が増えている。今後、温暖化によりこの傾向はより顕著になる可能性がある。

本研究課題の目標

- 近年激甚化する集中豪雨等の極端気象現象からの防災・減災を実現するために、
 - 数日程度から数週間～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）を富岳を用いて実施
 - リードタイム（予測から豪雨発生までの猶予時間）をも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
- 気象災害の原因である集中豪雨や台風に対して、
 - 積乱雲等を忠実に表現する高解像度の大アンサンブル実験を実施
 - 近年の著しい観測技術の進歩がもたらした高精度・高頻度・高密度になった観測データ（観測ビッグデータ）と組み合わせた先進的な予測技術開発
 - 確率予測情報を付加した高精度な数値天気予報による、革新的な数値気象・大気環境予測技術を実現
- 上記の目的のために、テーマ1～3の研究内容を実施
 - テーマ1 「短時間領域スケール予測」 数日先までの豪雨等シビアウェザーの確率予測を実現
 - テーマ2 「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を実現
 - テーマ3 「先進的大規模データ同化手法」 気象・大気質同化による大規模データ同化手法を開発

各テーマ計画

テーマ1

「短時間領域スケール予測」

気象庁現業システムの超高度化

- 現業と同領域、解像度2kmで1000メンバーの大アンサンブル計算
- **特別警報級大雨の確率分布**
- **危険度分布確率メッシュ情報**
- 現業システムの将来提案

確率気象情報の新しい利用

- 洪水、土砂災害、風害、高潮害の確率メッシュ情報
- 避難行動促進

高解像度シミュレーションとAI

竜巻、台風などの現象メカニズム解明、画期的なモデリング

テーマ2

「全球スケール予測」

週から1ヶ月の全球～領域～局地極端気象のシナリオ確率予測

- 週から1ヶ月: 解像度14km NICAMを用いて1000メンバーのアンサンブル計算
- 天候変化のタイムライン的シナリオ確率予測

1~3か月予測: 季節～季節内変動～週のシナリオ確率予測

- 1~3ヶ月、100メンバーアンサンブル実験
- NICAM & 高解像度大気海洋結合モデル実験
- エルニーニョ/ラニーニャ～季節内振動～台風・総観規模～集中豪雨の階層構造確率予測

大アンサンブルによる天候変動のシナリオ予測
早期警戒のための情報を創出

- 大アンサンブル予測の組み合わせによる階層的な予測情報の創出。
- 天候変動の時空間階層構造のシナリオ予測

テーマ3: 共通基盤技術開発

「先進的大規模データ同化」

全球3.5km1000アンサンブルデータ同化実験

- シミュレーション気象学・データ科学におけるグランドチャレンジ
- 富岳の可用性実証

気象場・大気質を同時に同化するシステムの開発検証

- 衛星ビックデータのさらなる活用
- 気象予報と大気環境予測のシナジー効果

高解像度・大アンサンブルによる地球環境予測

- 人為的温室効果ガス排出量の検証ツール高度化
- PM2.5等の大気汚染予測性能向上

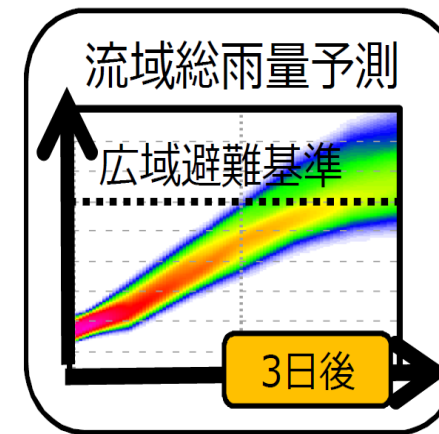
テーマ1 「短時間領域スケール予測」

集中豪雨・台風による特別警報の可能性を、数日程度のスケールで、より事前に発表可能な技術を開発

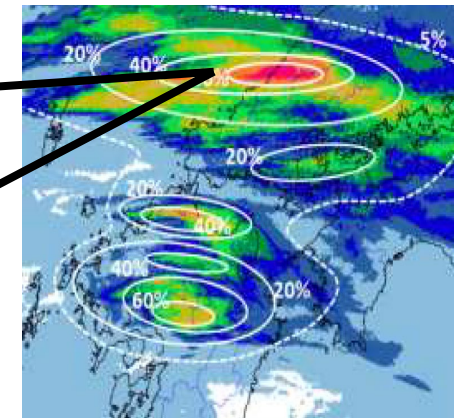
✓ 「一日前」に「学区スケール」の、実際に可能な避難情報の創出



現在発表されている流域雨量指数
(気象庁)



避難基準に達する確率



特別警報級の大雨
確率分布

気象・浸水・避難シミュレーションの融合
+
避難しやすくなる確率情報の活用方法

テーマ2 「全球スケール予測」

250万人の広域避難 大混雑・大渋滞発生

江東5区の250万人の住民が一旦に広域避難(浸水域外に避難)しようすると、大混雑・大渋滞が発生します。

一旦に避難すると... 機や駅に避難者が集中し、大混雑や大渋滞が発生するおそれがあります。

巨大台風が近づいて 風や雨が... 電車のダイヤが乱れたり、運行停止になるおそれがあります。

250万人が広域避難するために 江東5区共同で 3日前(72時間前)から情報を発表します

3日前 72時間前

もしかしら、今日 72時間後に 猛烈な台風が接近する可能性があるとき

2日前 48時間前

どうやら、可能性が 48時間後に 猛烈な台風が接近する可能性があるとき

1日前 24時間前

いよいよそのときが 24時間後に 猛烈な台風が接近する可能性があるとき

9時間前

行き場を失ったら 9時間後に 広域避難することができないとき

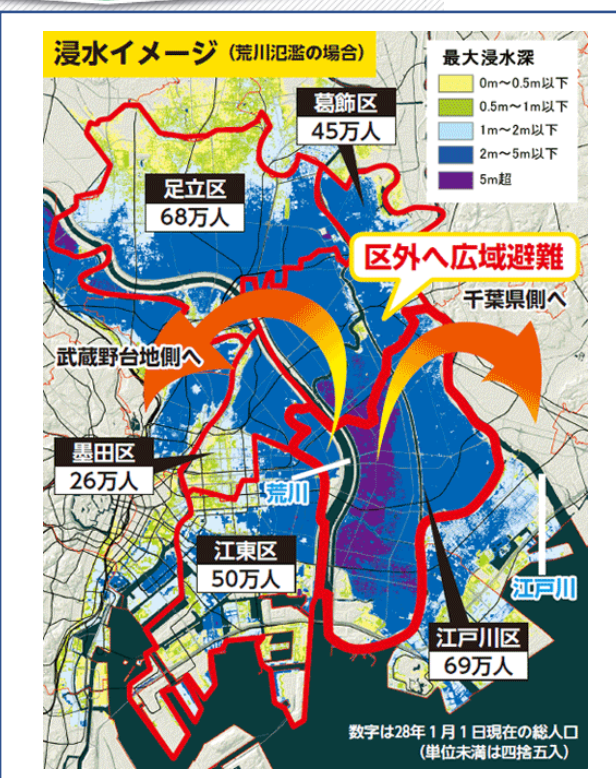
避難発生

あなた自身 気象情報

江東5区大規模水害ハザード各々のWebサイトからご

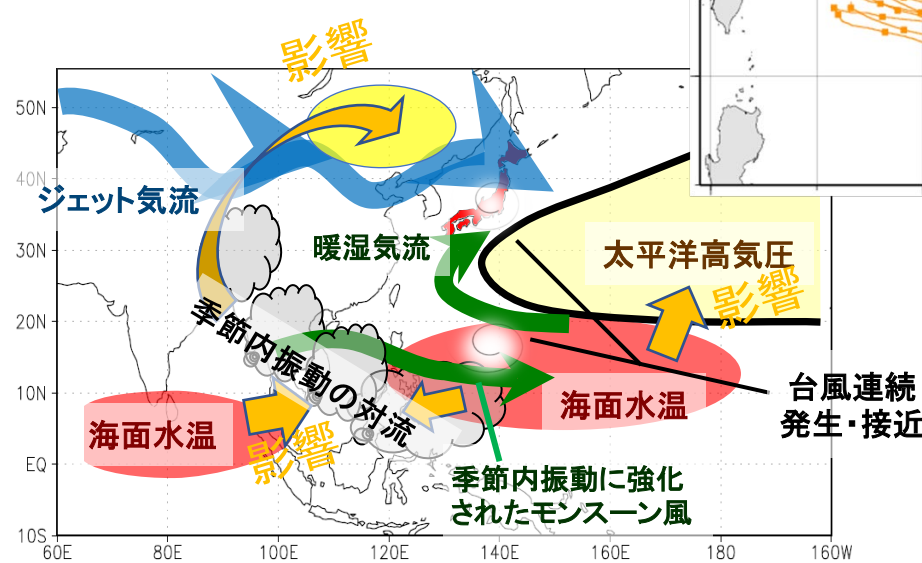
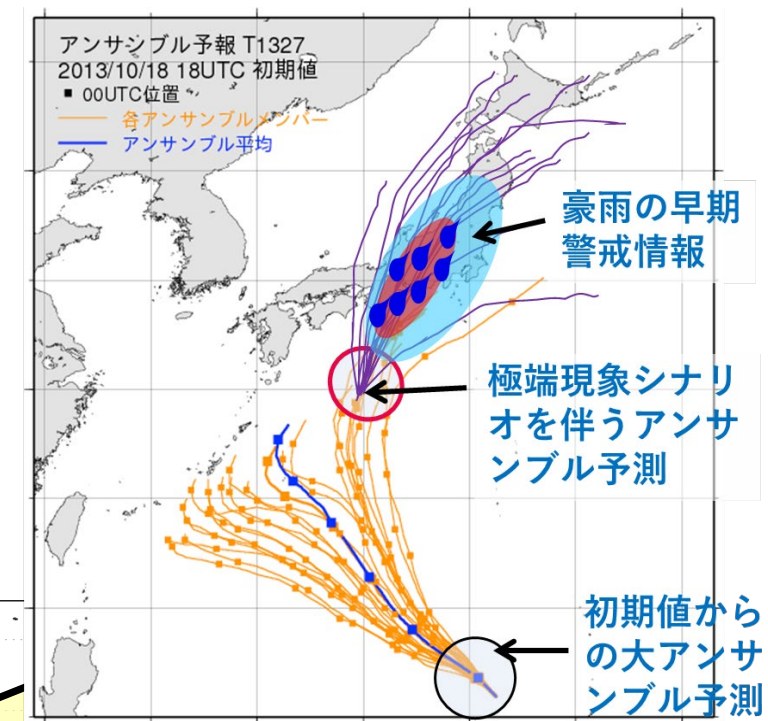
発行 : 江東5区広域避難 対応方針

お問い合わせ先: 江戸川区 危機管理



台風発生前からの予測：発生、進路、強度、上陸の可能性

✓ 「一週間前」に大規模避難に有効な予測情報の提供が可能になることを目指す



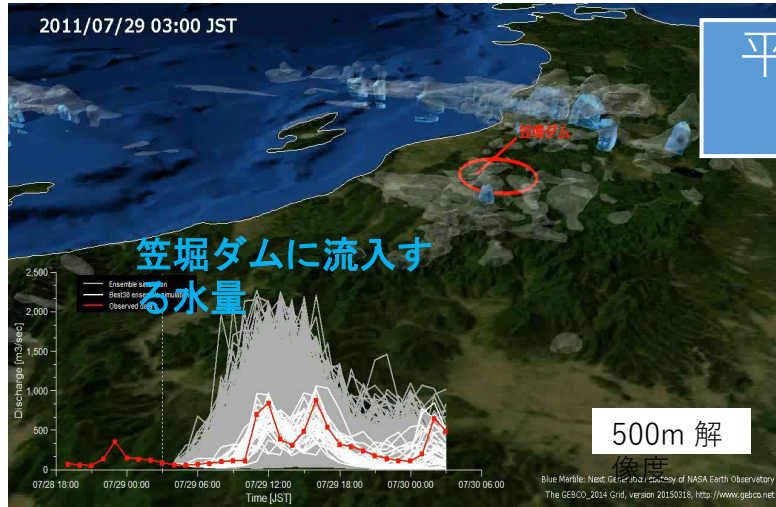
- 週～月～季節、全球～領域～局地の階層的な確率予測情報を創出
- 台風接近リスクに影響する要素・天候変動のタイムライン的シナリオ予測

(江戸川区ホームページより)

江東5区大規模水害避難対応方針 (28年8月策定)

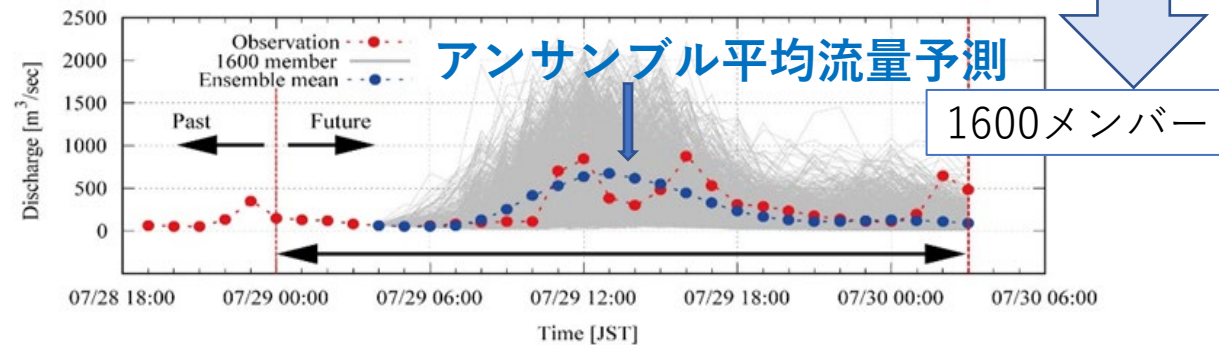
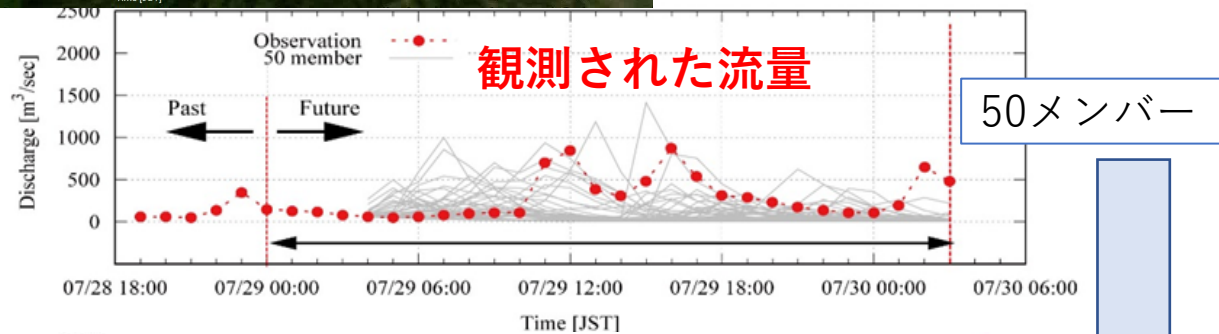
「富岳」で初めて可能となる超大規模計算・データ解析

大アンサンブル・高解像度シミュレーションによる高精度確率予測



平成23年新潟・福島豪雨
(2011年7月)

笠堀ダムに流入する水量の予測：
アンサンブルによって可能なシナリオをみれなく予測し、ダム操作へ



長いリードタイムでの確率的・タイムライン的予測情報の提供

- 局地豪雨：3日前、学区レベル、実際の有効な避難に結び付く決め細かな情報の提供。
- 台風：月～週前からの確率的進路・強度予測、大規模避難に結び付く情報の提供。

大アンサンブルの必要性

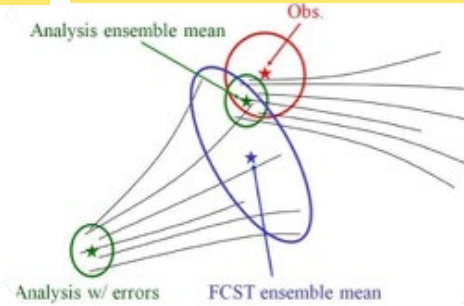
- 観測ビッグデータの同化
- リスク予報には十分なデータ数に基づく確率情報が必要（滑らかなPDF）
- 確率的に稀な極端事象の予測
- メカニズム解明：アンサンブルメンバーの初期値に遡れば、実際になぜ豪雨をなったのかの原因が含まれている。

富岳に向けたアプリケーション開発：NICAM-LETKF

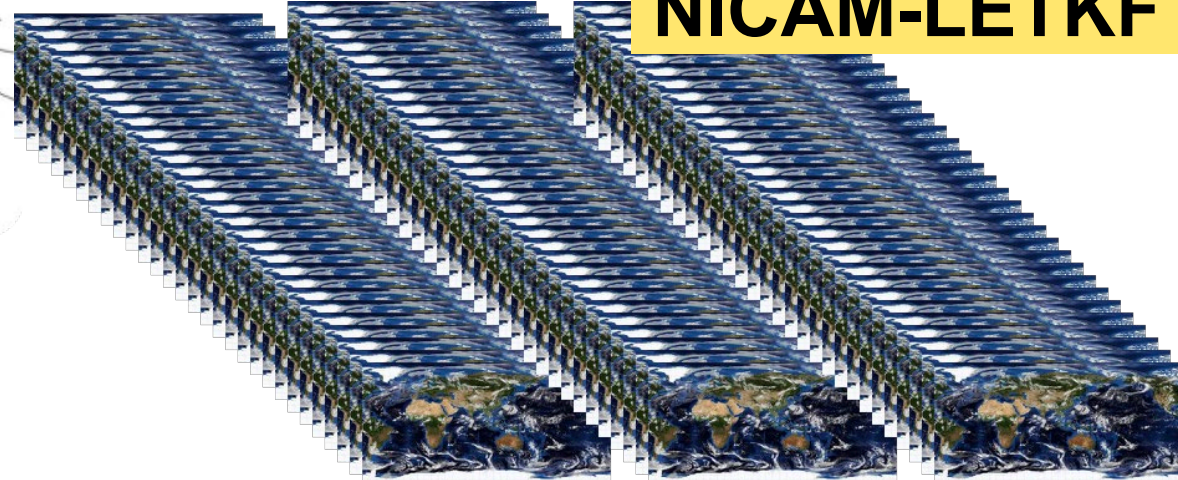
全球雲解像モデル NICAM

アンサンブルデータ同化システム LETKF

+



NICAM-LETKF



NICAM-LETKF：

全球3.5kmメッシュ, 100層 (40億格子)

x 1000アンサンブル・データ同化シミュレーション

□ 1サイクルのデータ交換量 3 Pbyte：

世界最大級の大規模データ駆動型シミュレーション

□ 全球→領域→局地予報を高精度かつ直接的に繋ぐ気象予測の標準的なアプリケーション

□ 20万行を超える巨大プログラムの積極的な改良

□ 「京」の「100倍」を担うグランドチャレンジアプリケーション：富岳コデザインにおいて高い計算性能を早期に実現

SC20 Gordon Bell 賞を目指した開発が進行中
(2020年11月19日発表)

ACM AWARDS ADVANCED GRADES OF MEMBERSHIP SIG AWARDS NOMINATING PROCESS AWARDS COMMITTEES ESTABLISHING AN ACM AWARD AWARD SPONSORS

Specific Types of Contributions

ACM Gordon Bell Prize

Innovations in applying high-performance computing to science, engineering, and large-scale data analytics

Award Winners

Nominations

Committee Members

AI・データ科学と計算科学の融合など新たな科学的アプローチ

- 観測ビッグデータのデータ同化
- 高解像度・大アンサンブルデータのAI利用

ビッグコンピューティングとAIの協奏

同化手法改善 モデリング

- 非ガウス、非線形
- 結合同化
- パラメータ推定
- 超高解像同化

高解像度・大アンサンブルシミュレーション
観測ビッグデータ同化
1000メンバーデータ
1km：日本域、51時間予報
14km：全球、1か月予報

気象現象解明 シナリオ予報

- 大アンサンブルのシミュレーション結果を擬似現実(Virtual Reality)のデータとして利用
- 台風検出・進路・強度予測
AIによる「ドボラック法」の革新
- 線状降水帯のメカニズム
- 温帯低気圧～竜巻の階層構造
- 季節内振動～台風～集中豪雨の天候シナリオ予測
- 確率が低い超極端現象を捕捉

AIが創る新しいモデル

- パラメタリゼーション
- モデルパラメータ

AIが推定する要因解析

- 流域雨量指数等の高度化された現業システムによる確率予報
- 洪水モデルによる確率予報
- 高潮の確率予報
- 土砂崩れ予報
- 突風による建物被害評価
- 熱波による高温リスク評価
- 避難行動などの評価

「富岳」により実現

Impact-based forecast

リスク予報

世界標準を大きく凌駕する100万アンサンブルで真の確率情報を創出

AI台風コンペ (SIGNATE)



<https://signate.jp/competitions/134>

実施体制

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**

社会実装連携協議会：連携機関（気象庁、国立環境研究所、JAXA、東京海上研究所等）

諮問委員会

運営委員会

テーマ1 「短時間領域スケール予測」

シビアウェザー・気象災害被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1責任者）

連携機関：気象庁（気象研究所、数値予報課、気象防災推進室）、東北大学、琉球大学、東京工業大学、横浜国立大学、東北大学、京都大学（防災研究所、総合生存学館）、神戸大学、千葉大学、熊本大学、龍谷大学、統計数理研究所、東京大学（大気海洋研究所、総合研究機構）、海洋研究開発機構

海外機関：ベトナム気象局

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（テーマ2責任者）

協力機関：海洋研究開発機構

中野満寿男（テーマ2分担者）

連携機関：気象庁（予報部数値予報課、アジア太平洋気象防災センター、気候情報課、気象研究所）、東京大学（大学院理学系研究科地球惑星科学専攻）、宇宙航空研究開発機構、東京海上研究所

海外機関：マックスプランク気象研究所、米国地球流体研究所

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3責任者；司会）

連携機関：海洋研究開発機構、理化学研究所、東京大学（大気海洋研究所）、気象庁（気象研究所）、宇宙航空研究開発機構、北海道大学、千葉大学、九州大学

海外機関：米国ジェット推進研究所、中国科学院大気物理研究所

テーマ横断 協力機関：理化学研究所計算科学研究センター

三好建正（テーマ横断、分担者）

雨宮新（テーマ横断、研究員）

海外機関：ドイツ気象局、メルボルン大学、ミュンヘン大学、香港大学、台湾中央大学、ブエノスアイレス大学、IMT-Atalntique (仏)

本講演からのメッセージ

- 「富岳」を利用した気象・大気環境予測課題がスタート
- 高解像度な大アンサンブル予測：
 - ✓ 格子間隔数km程度以下、1000程度のアンサンブル数。
- 「短時間領域スケール予測」、「全球スケール予測」、および大気質同化等「先進的大規模データ同化」を推進。
 - ✓ 集中豪雨・台風による特別警報の可能性を、数日程度のスケールで、より事前に発表可能な技術を開発
 - ✓ 台風発生前からの発生、進路、強度、上陸の可能性を予測、「一週間前」に大規模避難に有効な予測情報の提供が可能とする技術の開発
 - ✓ 全球雲解像モデルNICAM（格子間隔3.5km）による1000アンサンブル同化実験をグランドチャレンジとして開発
- 将来の現業予報へ反映することを念頭に、「富岳」研究を進めている。
 - ✓ 気象気候予測研究は、従来より（「地球シミュレータ」「京」等）フラッグシップ・スーパーコンピュータを利用した研究を推進しており、現在の現業の予測技術は、10年以上にわたる研究の成果に基づいている。

ありがとうございました。