



資料1

議題1

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

数値予報モデル開発懇談会(第8回)

令和6年3月8日

気象庁

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- **はじめに 重点計画の確認**
- 令和5年度の進捗
- 令和6年度以降の計画
- ご議論頂きたいポイント

はじめに

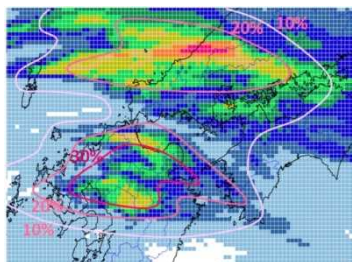
○気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」(平成30年8月20日)

目標と取り組みの具体的内容(気象分科会提言資料より抜粋)

半日前からの早め早めの防災対応等に直結する予測精度の向上

概ね3～5年後

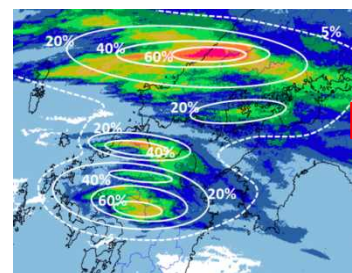
半日程度前から線状降水帯の発生・停滞等に伴う集中豪雨の発生可能性を把握



線状降水帯に伴う集中豪雨発生の可能性(概ね3年後のイメージ)

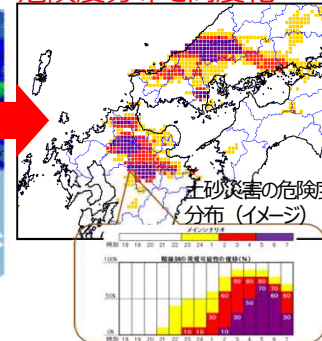
2030年

半日程度前から線状降水帯の発生・停滞等に伴う集中豪雨の可能性を確度高く把握し、これに伴う災害発生危険度分布も提供



降水予測及び線状降水帯による大雨発生の可能性(2030年イメージ)

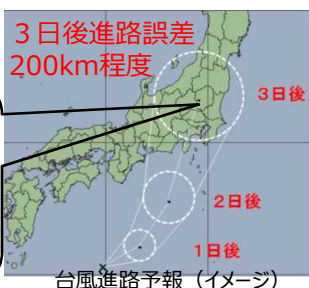
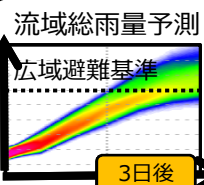
危険度分布を高度化



大雨災害の危険度分布(イメージ)

数日前からの大規模災害に備えた広域避難に資する台風・集中豪雨などの予測精度向上

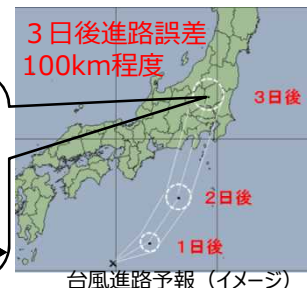
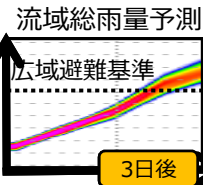
概ね3年後



台風進路予報(イメージ)

予測幅はまだ大きいものの、3日先までの流域総雨量を把握

2030年



台風進路予報(イメージ)

目標と取り組みの具体的な内容 (気象分科会提言資料より抜粋)

気候リスク低減、生産性向上に資する数ヶ月先までの予測精度向上

2030年

気温は日別、暴風・大雪は週の前後半程度で、1次細分区域ごとの顕著現象を精度高く予測

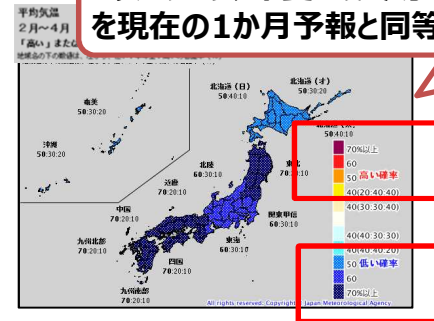
顕著現象の可能性	1日先	2日先	3日先	4日先	5日先	6日先	7日先	8~10日先	11~14日先
秋田 (気温)									
秋田県沿岸 (暴風)								[高]	[中]
秋田県沿岸 (大雪)								[中]	

熱波・寒波の可能性を週ごとに端的に表現

	1週目	2週目	3週目	4週目
関東甲信地方	低温	平年並	顕著な高温 [可能性大]	顕著な高温 [可能性中]

- 熱中症、雪害等に対する可能な限り早期の事前対策。
- 物流、農業、水産業等の各産業における気候によるリスクの軽減。

3ヶ月先の、冷夏・暖冬等の顕著な高温低温を現在の1か月予報と同等の精度で予測



生産、流通、販売等への利用を通じて広く社会経済の気候によるリスクを軽減、生産性を向上。

地球温暖化対策を支援する数十年～100年後の情報の高度化

2030年

- 自治体等の適応策を支援するため、
- ① きめ細かな予測
 - ② 数十年先までの近未来予測
 - ③ 極端現象や海洋等の予測
 - ④ 将来の予測に対する統一見解を提供する。

既に顕在化し、今後ますます深刻化する地球温暖化への、自治体や民間における適応策策定へ貢献。

○ 気象災害の防止・軽減、社会経済活動における生産性向上に資するよう、交通政策審議会気象分科会提言「2030年の科学技術を見据えた気象業務のあり方」に示された方向性に基づき、防災分野を始め社会における情報サービス基盤である数値予報の技術開発を強力かつ着実に推進していくため、「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」を策定する。

1. 気象業務を巡る環境認識

① 自然災害の変化

- 自然災害の激甚化、気候変動で深刻化のおそれ
- 平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨など、線状降水帯を伴う豪雨が頻発
- 伊勢湾・カスリーン級の台風が襲来した場合、長期間の都市機能のまひなど深刻な被害が想定される

② 社会情勢の急速な変化

- IoTやAIの社会実装が進展、ICT機器が急速に普及
- 少子高齢化・人口減少社会の到来、それに伴う社会基盤の脆弱化
- 超スマート社会（Society 5.0）や生産性革命の実現に向けて、気象・気候予測へのニーズが増大

③ 科学技術の飛躍的発展

- 数値予報を支えるスーパーコンピュータとシミュレーション技術の飛躍的な発展
- 多種多様なセンサによる、地球の観測ビッグデータ時代の到来
- 数値予報研究開発の国際競争や連携が加速

2. 数値予報に関する気象庁のビジョン

国民一人一人の安全・安心を守り、活力ある社会を実現する数値予報イノベーション

気象・気候予測の根幹である数値予報は、安全・安心で豊かな生活に不可欠な社会基盤。その高度化・精度向上を強力に推し進めて、防災をはじめ社会の様々なサービスの充実・発展に直接・効果的に貢献し、国民共有の新たな財産に

3. 2030年における重点目標

自然災害や社会情勢の変化と科学技術の発展を踏まえ、ビジョンの実現に向けて重点目標を掲げる

① 豪雨防災

集中豪雨発生前に、明るいうちからの避難等、早期の警戒・避難を実現

② 台風防災

大規模災害に備えた広域避難・対応を可能にする数日先予測の高精度化

③ 社会経済活動への貢献

生産・流通計画の最適化等に役立つ高精度な気象・気候予測を実現

④ 温暖化への適応策

「わが町」の地球温暖化予測により、国や自治体等の適応策策定に貢献

4. 技術革新の推進

重点目標の達成に向け、鍵となる技術革新を重点的に推進

① 次世代技術による地球の観測ビッグデータ活用

- 線状降水帯を生み出す湿った空気や、台風を取り巻く大気や海洋について、衛星等の観測ビッグデータを活用し、“地球の現在を的確に捉え”、高精度の予測を可能に

② 日本の気象を世界最高の精度と解像度でシミュレーション

- 最新のスーパーコンピュータとシミュレーション技術により、熱波・寒波など大規模現象から台風、線状降水帯を構成する積乱雲まで、詳細かつ高精度に“日本の気象を予測”

③ 確率予測とAI技術の融合による意思決定支援

- 集中豪雨時の避難から地球温暖化の適応策まで、その予測情報に加えて予測の不確実性を利用者に分かりやすく伝えて“意思決定に貢献”

5. 開発マネジメントの強化

技術革新の実現には開発マネジメントの強化が必須

① 幅広い連携の推進

- 産学官オールジャパンの連携を実現するとともに、国際的連携も強化し、数値予報に関する研究と開発を力強く推進

② 開発者の育成と確保

- 世界最先端の科学技術に基づいた開発を実現するため、多様な人材の活躍を推進し、高度専門家や開発リーダーを育成

③ 研究・開発基盤の整備

- スーパーコンピュータ、AI等基盤ソフトウェアなどの研究・開発を支える最先端のハード・ソフトを重点的に強化

線状降水帯の予測精度向上等に向けた取組の強化・加速化

※令和5年6月7日第6回 線状降水帯ワーキンググループ資料より（一部を最新の状況に修正）

線状降水帯の予測精度向上を前倒しで推進し、予測精度向上を踏まえた情報の提供を早期に実現するため、水蒸気観測等の強化、気象庁スーパーコンピュータの強化や「富岳」を活用した予測技術の開発等を早急に進める。これらの技術開発の推進に必要な体制を強化。

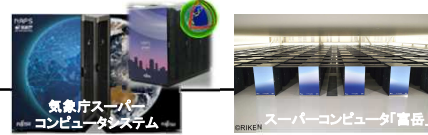
観測の強化

- ・陸上観測の強化・・・マイクロ波放射計、アメダス、高層気象観測装置
- ・気象衛星観測の強化・・・極軌道気象衛星受信装置、最新センサ活用に係る技術開発
- ・局地的大雨の監視の強化・・・二重偏波気象レーダー
- ・洋上観測の強化・・・「凌風丸」代船建造、船舶GNSS観測の拡充



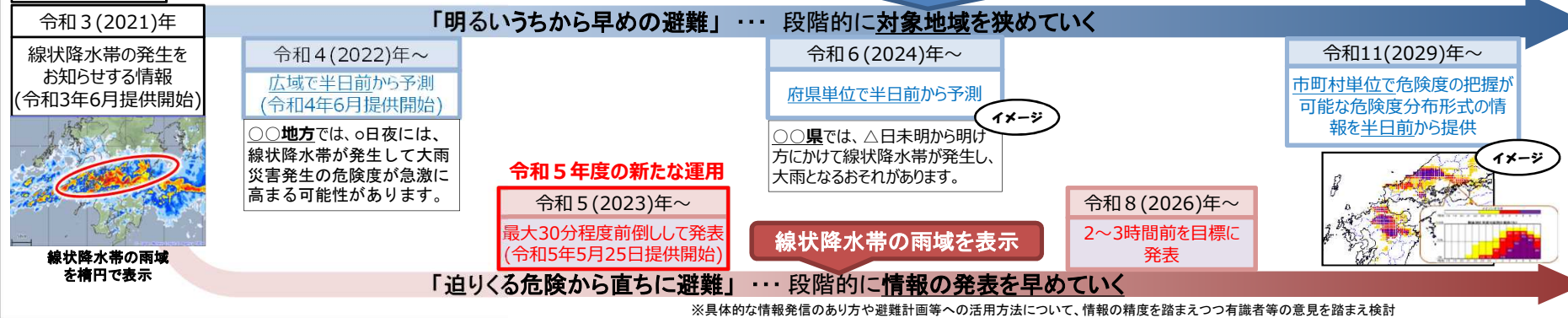
予測の強化

- ・高度化した局地アンサンブル予報等の数値予報モデルによる予測精度向上等を実現するためのスーパーコンピュータシステムの整備
- ・線状降水帯の機構説明のための、梅雨期の集中観測、関連実験設備（風洞）の強化
- ・「富岳」を活用した予測技術開発



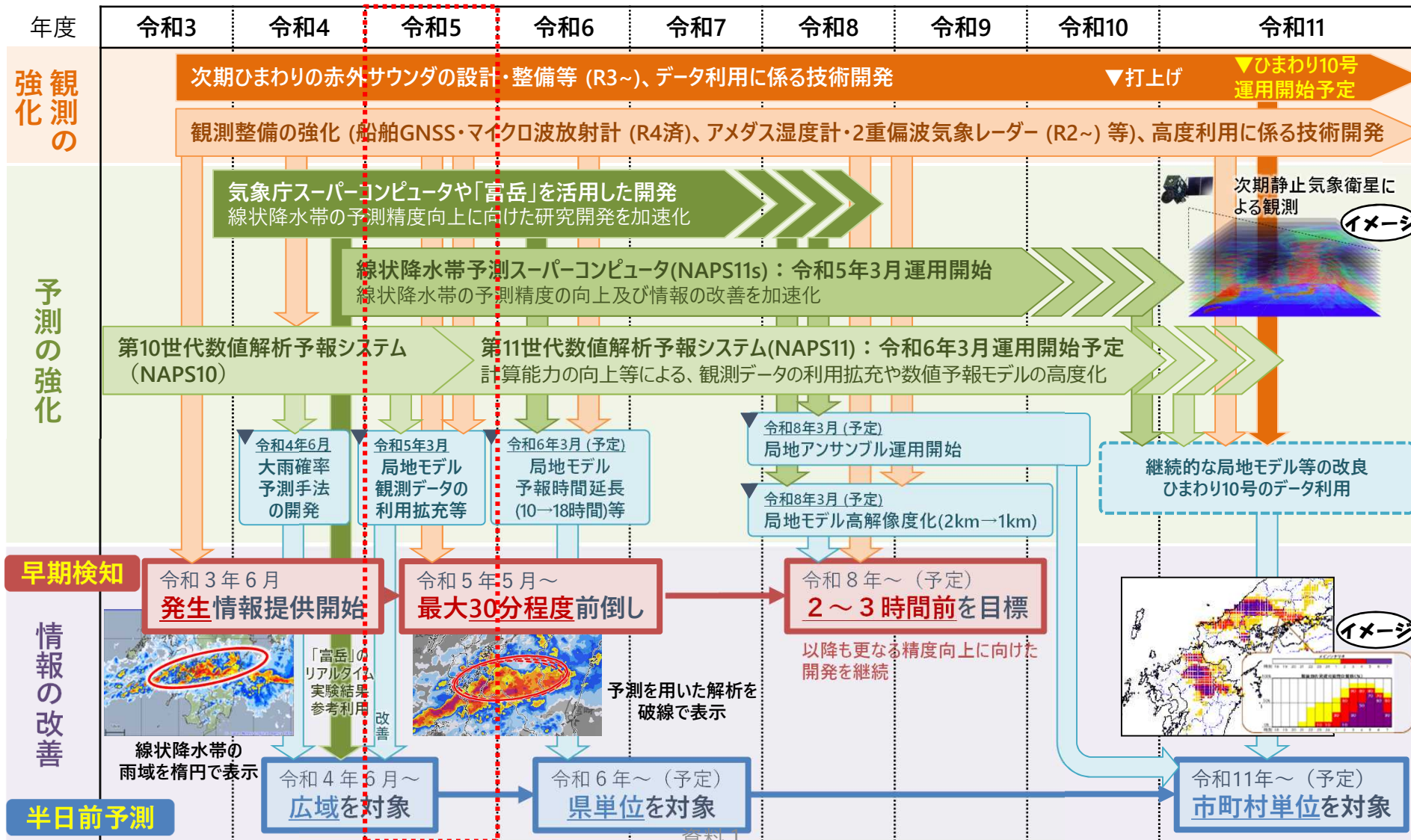
順次反映

情報の改善



線状降水帯の予測精度向上に向けたロードマップ

観測能力を大幅に強化した次期静止気象衛星等による水蒸気観測等の強化とともに、強化した気象庁スーパーコンピュータやスーパーコンピュータ「富岳」を活用した予測技術の開発等により予測を強化し、防災気象情報を段階的に改善。



資料1

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- はじめに 重点計画の確認
- **令和5年度の進捗**
- 令和6年度以降の計画
- ご議論頂きたいポイント

令和5年度の主要な進捗

①豪雨防災 ②台風防災

○スーパーコンピュータ「富岳」での局地モデルのリアルタイム実行(令和5年6月～10月)

- ・水平解像度1km、日本全域、18時間予報の設定でリアルタイム実行を実施
- ・計算領域を、西日本領域(令和4年)から日本全域(現業の局地モデルと同じ領域)に拡大

○メソ・局地解析における観測データ利用手法の改良(令和5年11月)

- ・沖縄・松江レーダー更新後の利用再開

○全球・メソ・局地解析における観測データ利用手法の改良(3月)

- ・地上設置型マイクロ波放射計の観測データの利用開始(メソ・局地)
- ・米国の極軌道衛星NOAA-21の観測データの利用開始(全球・メソ・局地)

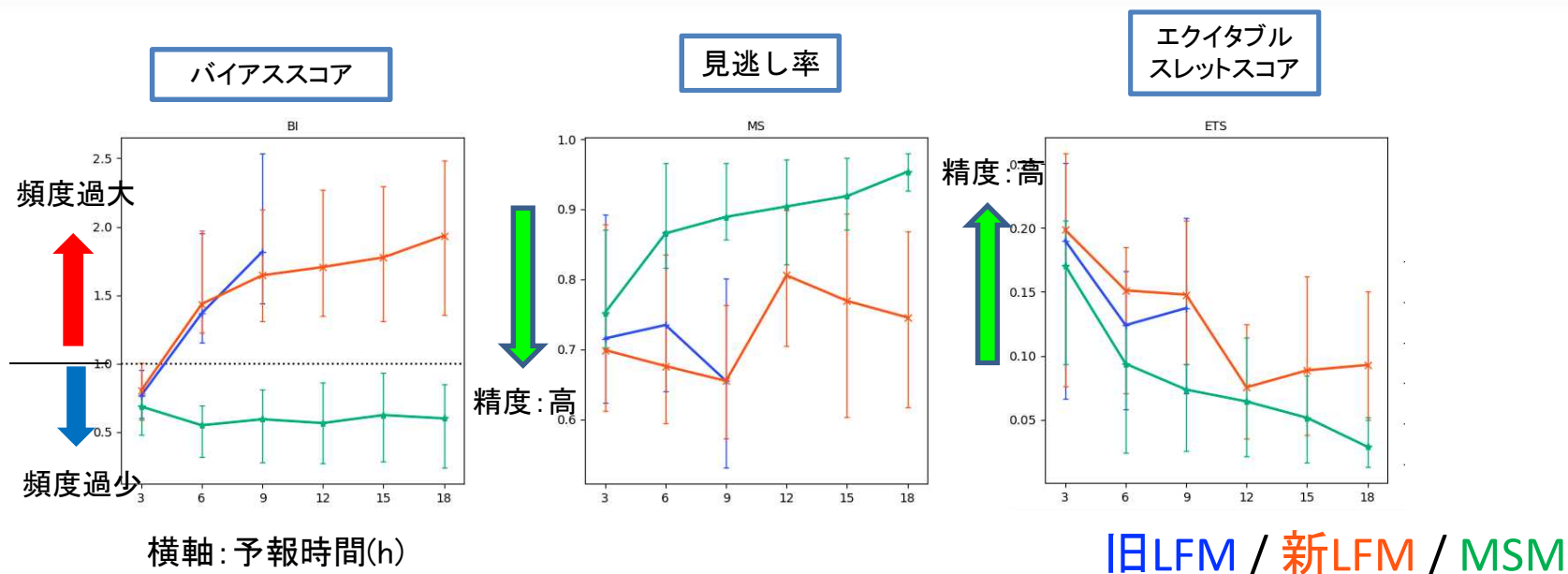
○局地モデルの予報時間延長、予報モデルの改良(3月)

- ・物理過程(雲物理過程、放射過程)、力学過程の改良
- ・線状降水帯予測スーパーコンピュータ向けの高速化(富岳政策対応枠の成果活用)

○高潮モデルの予報時間78時間化(令和5年7月)

局地モデルの予報時間延長

降水量 30 mm/3h に関する予測時間別の精度(解析雨量で検証した各スコア)



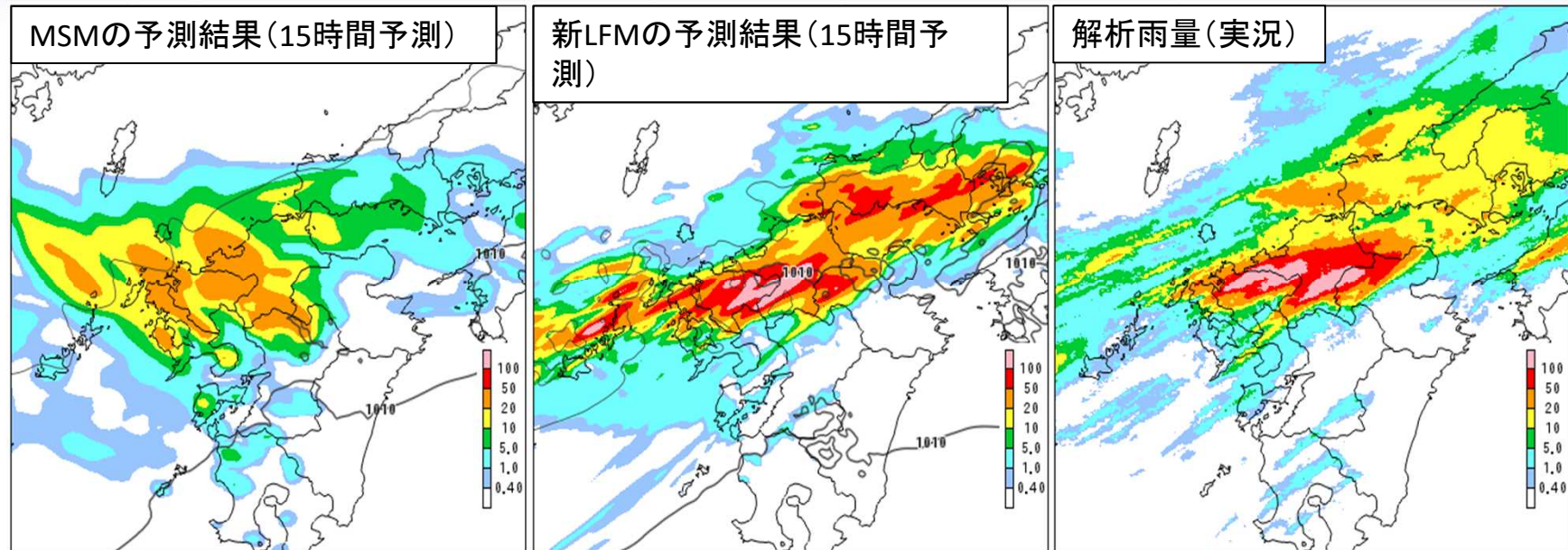
旧LFM(10時間まで)から予測時間延長することで、同予測時間のMSMよりも高い精度を維持。さらにLFM改良によって、従来より改善。

旧・新LFMともにMSMより強雨予測頻度が高い。

空振り率はLFMとMSMで同程度(図略)だが、見逃し率はLFMの方が低く、これによりLFMのエクイタブルスレットスコアが高くなっている。

線状降水帯事例の半日前からの予測結果

2023年7月10日6時までの前3時間降水量



LFM では 100mm/3h の予測ができており、MSM と比べて実況の分布に近い予測ができています。

線状降水帯半日前予測にはこれまで主に水平解像度5kmのメソモデルを用いていた(局地モデルの利用は発生6~9時間前に限られていた)ところ、**半日程度前から水平解像度2kmの局地モデルが使用可能**となる

地上設置型マイクロ波放射計の利用

- 線状降水帯を引き起こす幅数百キロメートル規模の水蒸気の流入を捉えるため、水蒸気の高度分布を測定可能なマイクロ波放射計を西日本中心の17箇所に設置。
- 数値予報での利用は、試験環境にて可降水量データの同化をリアルタイムで実施しつつ、データ品質の確認・改良を進め、令和6年3月より正式利用開始。

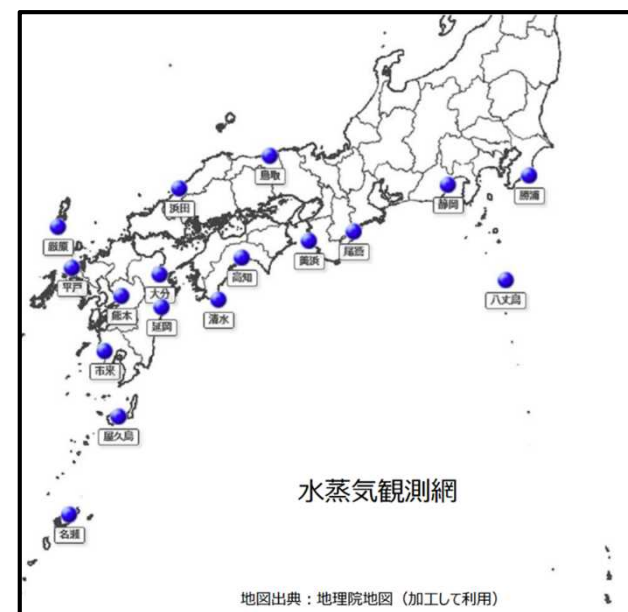


マイクロ波放射計

＜数値予報での利用＞

- マイクロ波放射計から算出した可降水量をメソ・局地解析において同化

→ 対流圏下層での水蒸気場の解析精度向上。



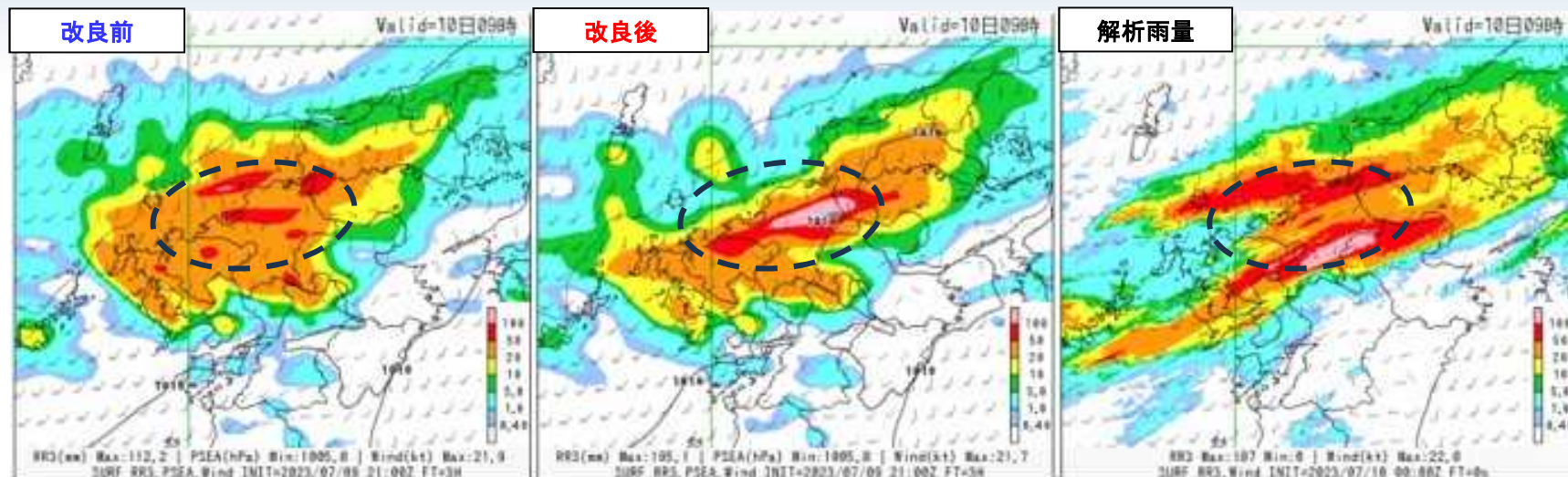
出典: 令和5年6月7日 線状降水帯予測精度向上ワーキンググループ(第6回会合)資料

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/shingikai/kondankai/senjokousuitai_WG/part6/part6-shiryo1.pdf

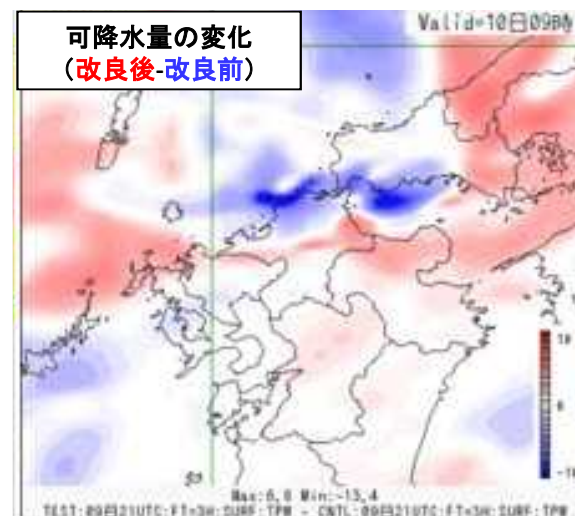
地上設置型マイクロ波放射計の利用

線状降水帯に伴う降水予測の改善例

2023年7月10日9時を対象としたメソ数値予報システムにおける3時間予測の3時間降水量（カラー）



地上設置型マイクロ波放射計の観測データを同化することにより、線状降水帯周辺の水蒸気分布が修正され、線状降水帯に伴う降水の形状や強度の予測が改善



令和5年度の主要な進捗

緑：開発継続

③社会経済活動への貢献

○ 気象庁第3次長期再解析(JRA-3Q)の公開(令和5年3月)

- ・DIAS等を通じて全期間のデータ公開、総合報告論文出版

○ 季節予報システムの改良

- ・1か月予報への利用検討、地球システム要素(オゾン)予報変数化の開発

○ 全球アンサンブル予報システムの改良

- ・SST摂動改善に向けた開発

○ 大気化学モデルの改良

- ・オゾンデータ同化手法改善に向けた開発

④温暖化への適応策

○ GSMベースの新地球システムモデル(MRI-ESM3)の開発

- ・構築したMRI-ESM3のモデル積分及び調整を実施

○ asucaベースの新地域気候モデルの開発

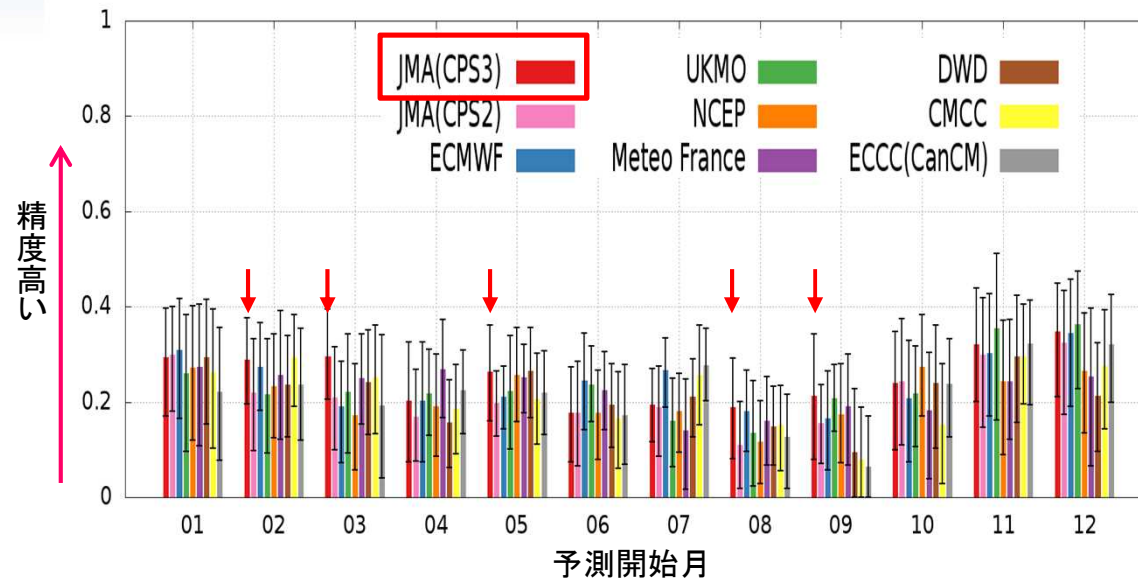
- ・JRA-55を境界条件とする現在気候実験(1991~2020年)を実施し、降水量の再現性向上を確認
- ・感度実験用に都市スキームをオフライン化するとともに、都市関連のパラメーターの調整を実施

○ 新温暖化予測実験システムの開発

- ・中解像度(60km)全球大気モデルについて、日本付近の再現性を向上させるシステム改良を実施し、梅雨の季節進行再現性の向上、冬季の日本周辺の低温バイアスの改善、熱帯低気圧強度の改善等を確認
- ・実験仕様を検討・策定し、次期気候予測データセット用中解像度全球大気モデル計算を開始

社会経済活動への貢献： 季節EPSの3か月予測精度国際比較

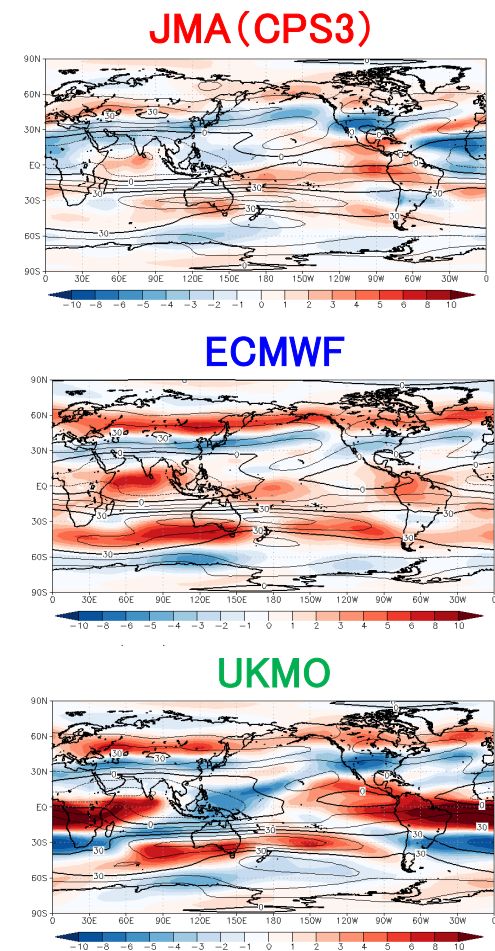
北半球500hPa高度のアノマリー相関



コペルニクス気候変動サービス(C3S)参加機関の再予報(1993~2016)による北半球500hPa高度の3か月予測アノマリー相関(対ERA5)。

- 大気海洋結合モデルである**季節EPS(CPS3)**は、3か月平均北半球500hPa高度の予測精度が**統計的に高い**ことが多く(左図の赤丸)、200hPa東西風も全球的に**バイアスが小さい**傾向(右図)

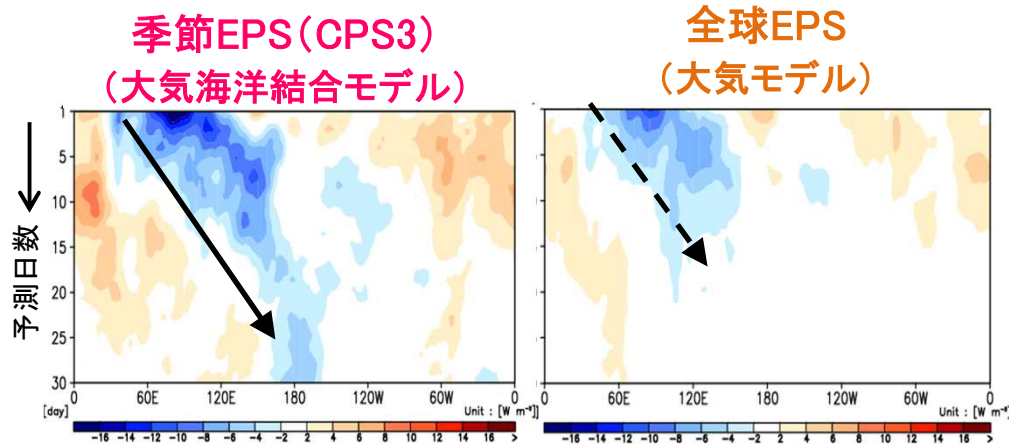
200hPa東西風のバイアス (5月初期月の6~8月予測平均、対ERA5)



社会経済活動への貢献： 季節EPSでの1か月予報へ(MJO予測検証)

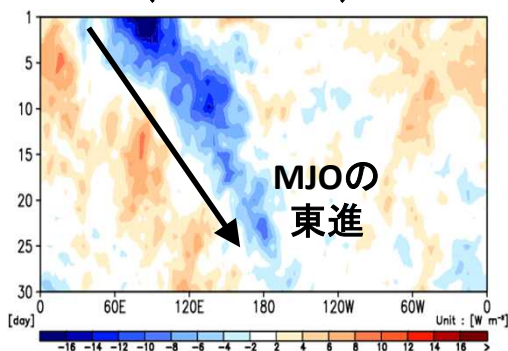
MJO東進予測比較

外向き長波放射(OLR)の時間-経度断面

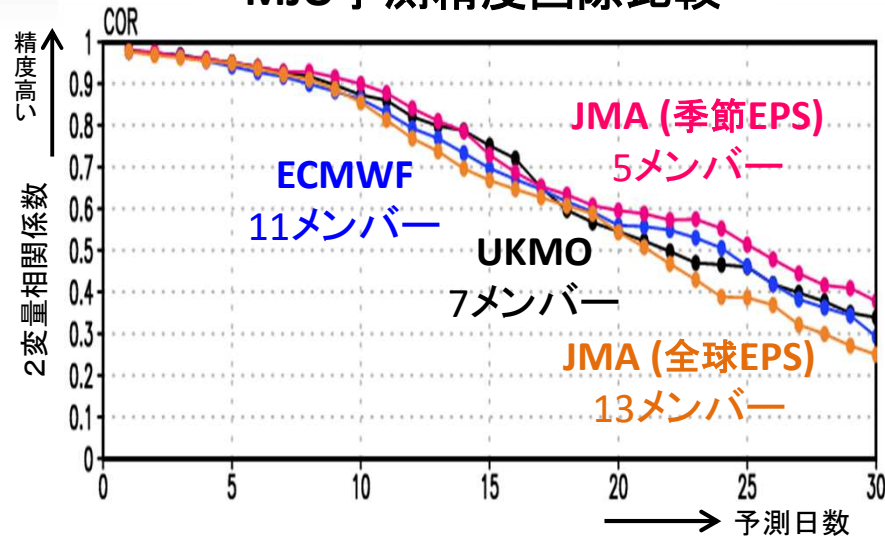


再予報(1991~2020)による比較結果

衛星解析
(NOAA OLR)



MJO予測精度国際比較



S2S参加機関の再予報(1993~2016)による比較結果

- 季節内から季節予測(S2S: Sub-seasonal to Seasonal)プロジェクトにCPS3データを提供開始し(2023年2月)、季節内予測研究での利用と比較評価結果などを得られるようになった。
- CPS3は、1か月予報で利用中の全球EPSよりもMJO等の予測精度が高い。今後は次期季節EPS(CPS4)を開発し、1か月予報に用いるモデルを現行の全球EPSからCPS3を改良したCPS4に置き換えることを目指す。

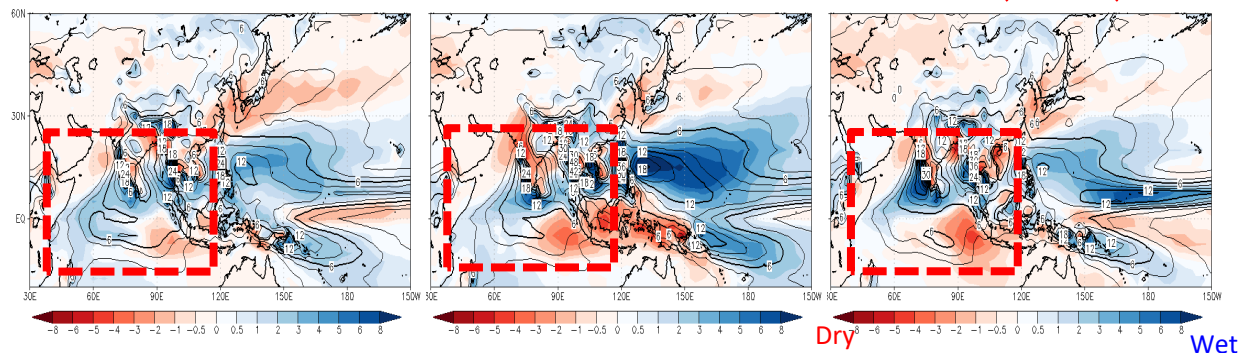
社会経済活動への貢献： 季節EPS開発の今後の課題

3か月降水予測バイアス(5月初期日6~8月平均)

ECMWF

UKMO

JMA(CPS3)



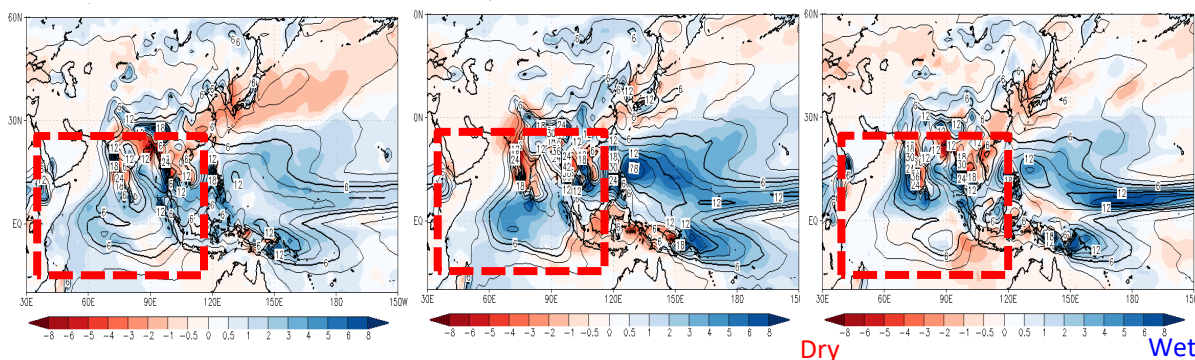
- ▶ インド洋の降水バイアスパターンは、他センターも同様の傾向。CPS3でも今後の課題。

1か月降水予測バイアス(7月平均)

ECMWF

UKMO

JMA(CPS3)



- ▶ 3か月予測でも1か月予測でも同じバイアス傾向が見られ、アジアモンスーンの時期に顕著となるため、調査中。

C3S参加機関の再予報(1993~2016)による10メンバー平均降水バイアス(対GPCP降水データ)

「温暖化への適応策」関連システムの開発進捗

新地球システムモデル

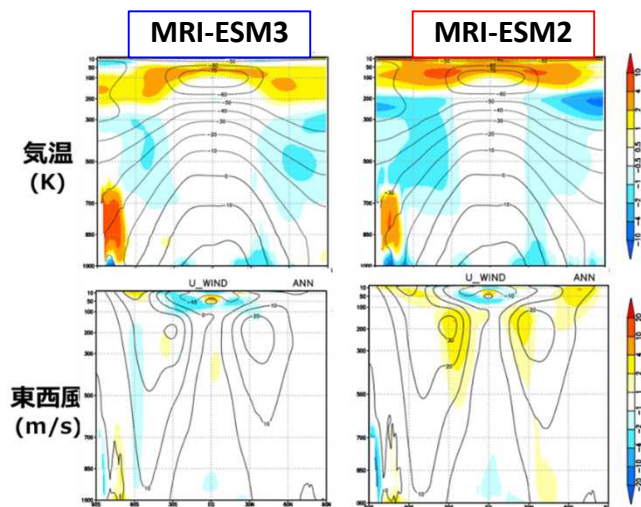
- 現業大気モデル(GSM)を海洋・化学モデル等と結合して新地球システムモデル(MRI-ESM3)を開発。
- 力学フレームや物理スキームの改良等により高速化や気候再現性の向上を実現

新地域気候モデル

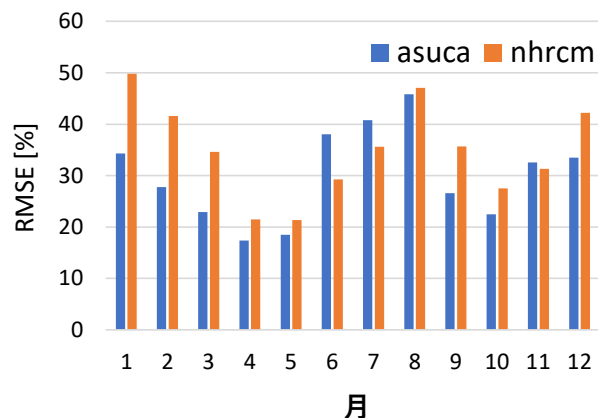
- 現業数値予報モデルasucaをベースとした新たな地域気候モデルについて、開発及び性能評価を行い、既存モデル(NHRCM)と同等以上の性能を確認。
- 地域気候モデル特有のスキームであるスペクトルナッジングの処理を工夫し、モデルを高速化。

新温暖化予測実験システム

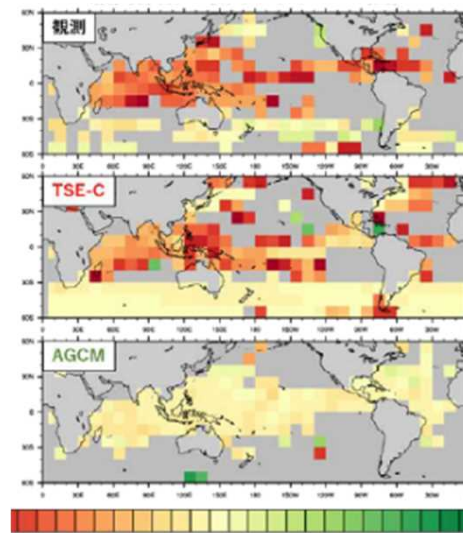
- 地球システムモデルの海洋部分について観測データ等を同化する、気候再現性の高い地球温暖化予測等のためのシステム(TSE-C)を開発。
- 大気海洋結合効果の導入により、SSTと降水の時間相関や台風の緯度分布、降水季節進行等が改善。



- 帯状平均した気温・東西風バイアスの鉛直緯度断面
- 1979-2014年の現在気候再現実験



- 日本陸上における月降水量のRMSE (%)
- 水平5km格子による1991-2020年の現在気候再現実験



- SST-降水ラグ相関(相関係数が最大となるラグ(日))
- 全球60kmモデルによる1961年以降の現在気候再現実験

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- はじめに 重点計画の確認
- 令和5年度の進捗
- **令和6年度以降の計画**
- ご議論頂きたいポイント

令和6年度以降の主な数値予報改善・開発計画

①豪雨防災 ②台風防災

○全球数値予報システムと全球アンサンブル予報システムの改良

- ・物理過程等改良、モデルアンサンブル手法改良、MPI分割手法改良等、令和5年度までに進めてきた改良の取り込み
- ・将来の水平高解像度化に向けた開発、物理過程の改良や高速化(単精度化を含む)・省メモリ化・GPU利用開発の継続

○メソ数値予報システムの改良

- ・令和4～5年度までの局地数値予報システムの開発成果(雲物理過程、地形性抵抗、標高オリジナルデータセット更新)の取り込み

○局地数値予報システムの改良

- ・水平高解像度化(2km→1km)に向けた物理過程の改良、スーパーコンピュータ「富岳」を用いた1kmLFMの開発、高速化(単精度化を含む)・省メモリ化・GPU利用等の開発継続

○局地アンサンブル予報システムの開発

- ・スーパーコンピュータ「富岳」等を用いた2km 18時間予報の構成のシステム開発

令和6年度以降の主な数値予報改善・開発計画

①豪雨防災 ②台風防災

○各数値予報システムの観測データ利用手法改良

- ・令和4年度以降に整備されたアメダス湿度計の利用開始、令和5年度に二重偏波気象レーダーに更新された新潟・名瀬レーダーの利用再開。
- ・「富岳」政策対応枠利用課題として、高解像度ひまわり晴天放射輝度及び二重偏波気象レーダーの観測データ利用手法高度化を通じた線状降水帯の予測精度向上に向けた共同研究3件の推進

○高潮・波浪モデルの高度化

- ・少ない計算機資源で動作するモデルの開発と、その導入による高解像度化・高速化。
- ・より精緻な台風ボーガス手法の開発。

令和6年度以降の主な数値予報改善・開発計画

③社会経済活動への貢献

○季節予報システムの改良

- ・次期季節予報システムの開発(1か月予報での大気海洋結合モデル利用)、地球システム要素(オゾン)の予報変数化、海洋モデルの高速化(単精度化を含む)、海洋データ同化改善の検討、等

○全球アンサンブル予報システムの改良

- ・SST摂動の改良、大気海洋結合化に向けた調査・検討、等

○海況監視予測システムの改良

- ・海洋データ同化への新規衛星データ追加、海洋モデルの高速化(単精度化を含む)、等

○大気化学モデルの改良

- ・観測データ利用高度化の検討、等

④温暖化への適応策

○GSMベースの新地球システムモデル(MRI-ESM3)の開発

- ・構築したMRI-ESM3の各コンポーネントモデルの改良を継続

○asucaベースの新地域気候モデルの開発

- ・オフライン化した都市スキームを利用しつつ、スキーム内で雪を取り扱えるように調整・改良

○新温暖化予測実験システムの開発

- ・システム改良の継続、次期気候予測データセット用計算の実施等

線状降水帯の予測の強化に向けた取組

- 半日程度前からの予測に資するため、令和6年3月5日に局地モデルの予測時間延長を実施(前述)
- 線状降水帯予測スーパーコンピュータや「富岳」を活用し、令和7年度末に以下を計画
 - 局地モデルの高解像度化(解像度2km⇒1km)
 - 局地アンサンブル予報システムの運用開始
- 「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」の節目となる大きなマイルストーンと位置付けられ、以下の開発課題に取り組む
 - 高解像度モデルに適した物理過程の改良
 - 最適な摂動の検討
 - モデルの高速化に向けた開発

スーパーコンピュータ「富岳」での 局地モデルのリアルタイム実行

- 文部科学省・理化学研究所の全面的な協力を得て、スーパーコンピュータ「富岳」の成果創出加速プログラムや政策対応枠課題により、高解像度数値予報モデル、局地アンサンブル予報システム、全球モデル等の開発を進めている。
- 令和5年6月～10月に、開発中の高解像度数値予報モデル(水平解像度1kmの局地モデル:富岳1kmLFM)を用いたリアルタイムシミュレーション実験を実施した。
 - **令和4年度に行った九州周辺を対象とした領域を日本全体に拡大し、現業運用中の局地モデルと同じ領域で実験を実施**
- 実験の結果、高解像度化した数値予報モデルでは線状降水帯の予測が向上する傾向が確認された。
- 本実験の成果も活用し、局地モデルの予報時間延長(2km10時間⇒2km18時間)を実施。今後、高解像度化(令和7年度末、2km18時間⇒1km18時間)を目指す。



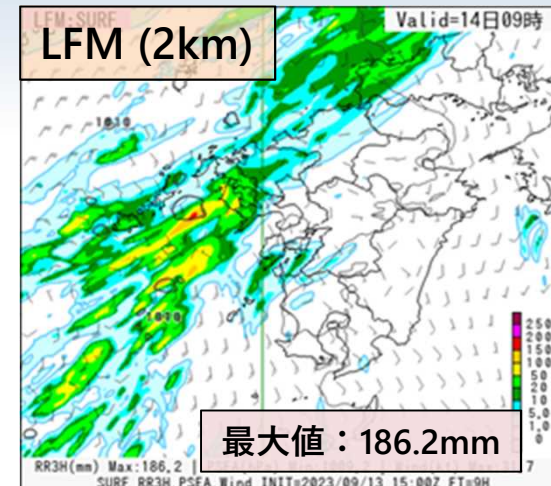
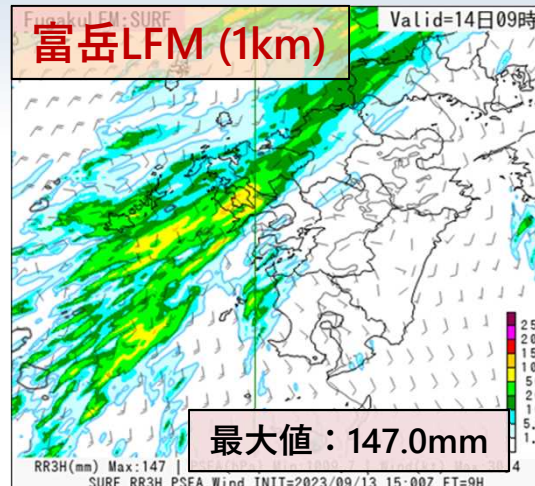
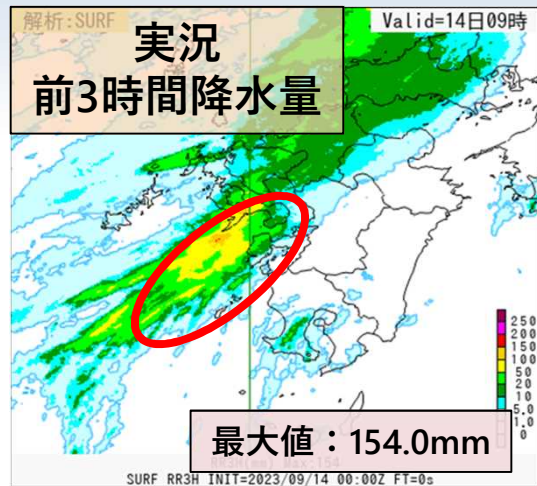
令和5年の領域

	富岳 1km (R5)	富岳 1km (R4)	2km LFM	MSM
水平解像度	1km	1km	2km	5km
領域	日本域	西日本狭領域	日本域	日本と周辺海域
水平格子数	3161 x 2601	1400 x 1400	1581 x 1301	817 x 661
予報時間	18時間	18時間	18時間(最大)	78時間(最大)
実行頻度	2回/日 (03, 15 UTC)	2回/日 (03, 15 UTC)	24回/日	8回/日

令和5年度は、
令和5年3月に更新された2kmLFMを1km高解像度化して運用。
モデル本体、初期値、境界値は2km LFMと同一設定

富岳リアルタイム1km局地モデル

・2023年9月14日9時対象：長崎県で線状降水帯が発生した事例（前3時間降水量）



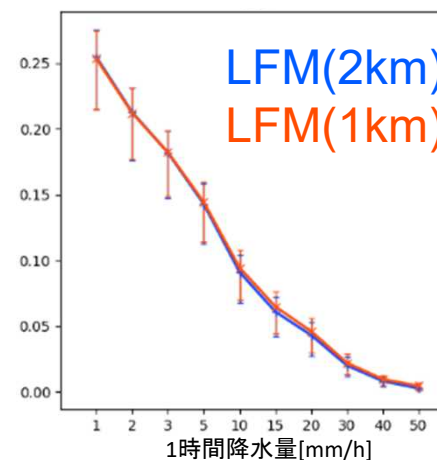
2kmのLFMでは実況と比べ降水量が過剰なのに対し、
1kmのLFMは降水量や降水域がより実況に近づいた

・統計検証結果(2023年6～10月)

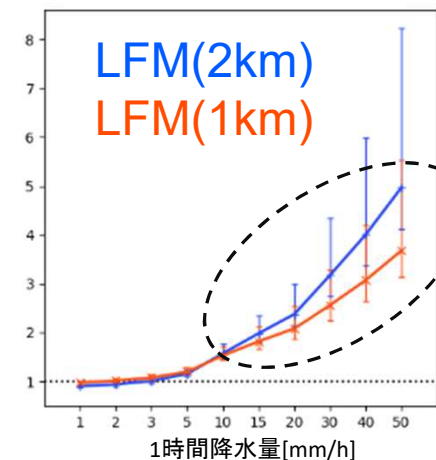
- ✓ 1kmLFMのバイアスコアは15mm/h
以上で2kmLFMより改善傾向
- ✓ ETSは概ね中立

閾値別(1時間毎1～18時間予測平均)
10km格子平均 1時間降水量

ETS

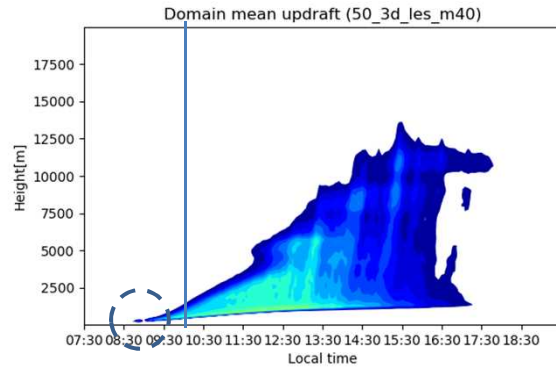


バイアスコア

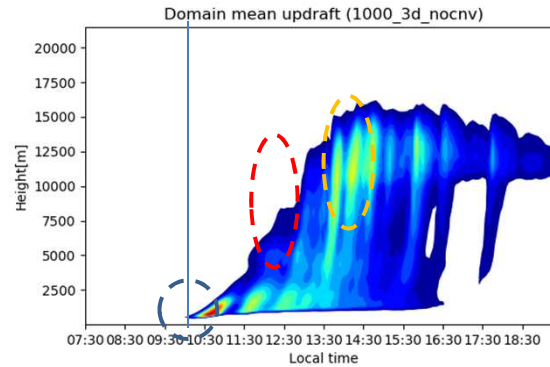


理想実験から見られる高解像度化の効果

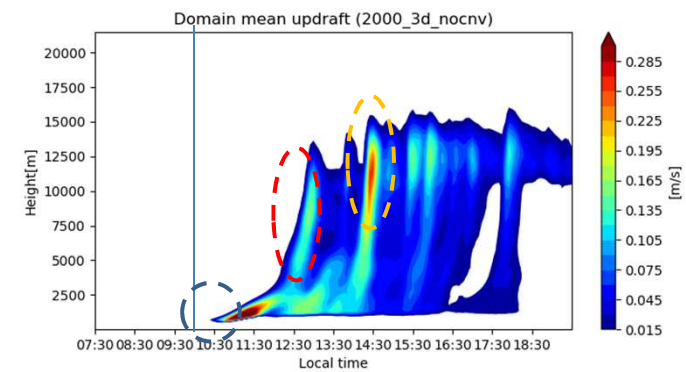
水平解像度50m



水平解像度1km



水平解像度2km



- Grabowski et al. (2006)が提案した積雲対流の理想実験から得られた領域平均した対流性上昇流の時間-高度断面
- 水平解像度1kmでは、対流の立ち上がりのタイミングや浅い対流から深い対流への遷移が改善され、過大な深い対流が緩和される
- 高解像度化の利点を活かしつつ、対流に伴う鉛直輸送に関わる諸過程のさらなる改善が課題

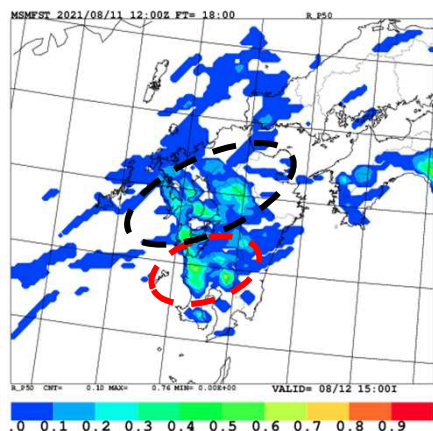
局地アンサンブル予報システム開発

- 局地モデルをベースとしたアンサンブル予測システムを開発中
 - 局地モデルが線状の強雨を表現しやすいことから、メソモデルをベースとするメソアンサンブル(MEPS)よりも高い確率で線状降水帯による大雨の可能性を捕捉することを確認
 - 初期摂動にメソアンサンブル(MEPS)予測の摂動を利用。線状降水帯の予測の不確実性を表現するアンサンブル予報システムとして、捉えるべき不確実性をより明らかにし、そのために必要な摂動の検討をさらに進めることが課題。
- 本実験の成果を活用し、局地アンサンブルの運用開始(令和7年度末)を目指す。

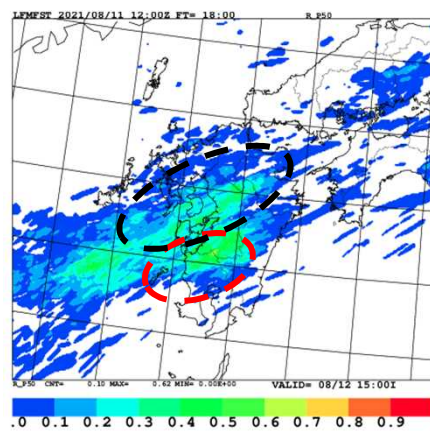
(令和3年8月12日15JSTの事例)

3時間降水量が50mm以上のメンバーの割合(50mm/3h超過確率)

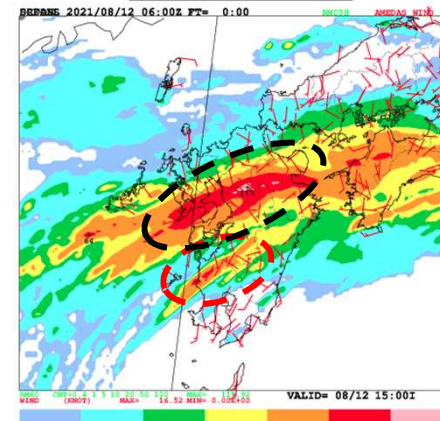
現業5kmMEPS(21メンバー)の予測
(15時間前からの予測)



「富岳」2kmLEPS(21メンバー)の予測
(15時間前からの予測)



実際の降水
(観測)



現業5kmMEPSと「富岳」2kmLEPSの比較

- 【左図】 気象庁スパコンで現業運用中の水平解像度5kmのメソアンサンブル予報システム(MEPS)による予測:
 - 50mm/3h以上の強雨の可能性は捕捉出来ているものの、線状の降水は予測できていない
- 【中図】 「富岳」で開発中の水平解像度2kmの局地アンサンブル予報システム(LEPS)の実験による予測:
 - 線状の降水を高い確率(30~40%)で捕捉

近年の計算機の動向を見据えた開発

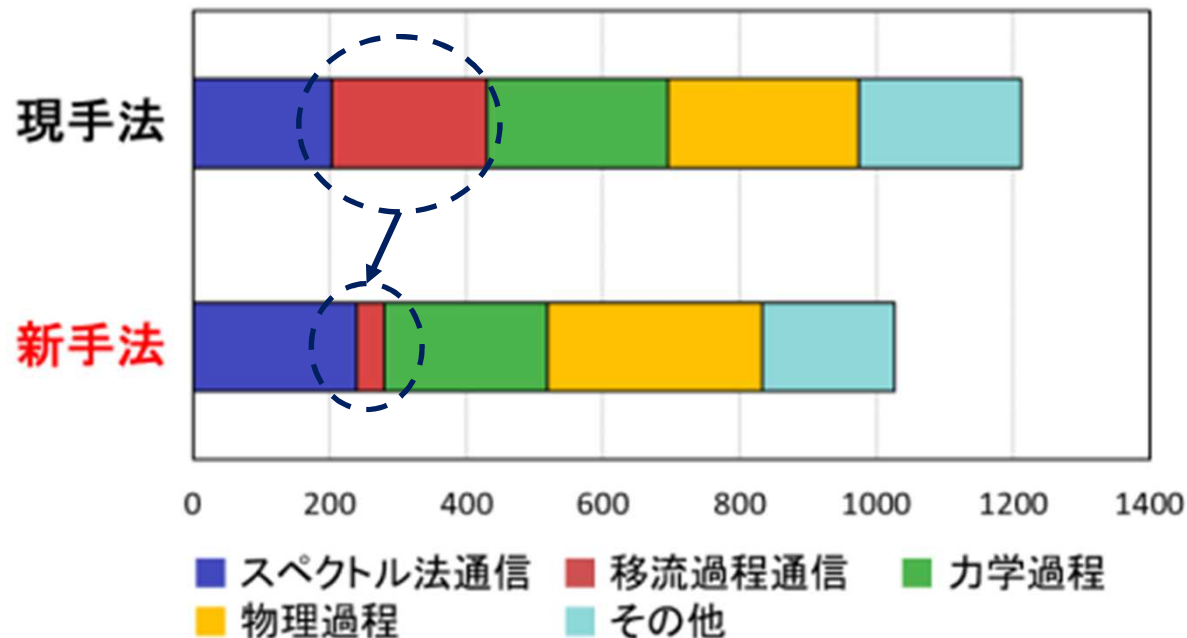
- 新しいスーパーコンピュータシステムの運用開始(令和6年3月)
 - 令和5年3月に運用開始した「線状降水帯予測スーパーコンピュータ」と合わせて、前スーパーコンピュータシステムの約4倍の計算能力に性能向上
- 近年の計算機の動向の変化
 - 汎用型計算機の性能向上の鈍化
 - GPU等のアクセラレータを持つ計算機が主流となりつつあり、HPCの趨勢の変化が見られる
- 運用中の計算機を最大限活用しつつ、次世代計算機に向けては動向の変化を見据えた開発として以下に着手
 - GPU対応、単精度化、通信最適化等の開発
 - 数値予報モデルの一部の機械学習への置き換えに関する調査

GSMの高速化

TQ959L128(水平解像度約13km)での実行時間比較

CrayXC50(更新前の気象庁スパコン)、960MPIでの実行時間[s]

MPI分割手法の改良



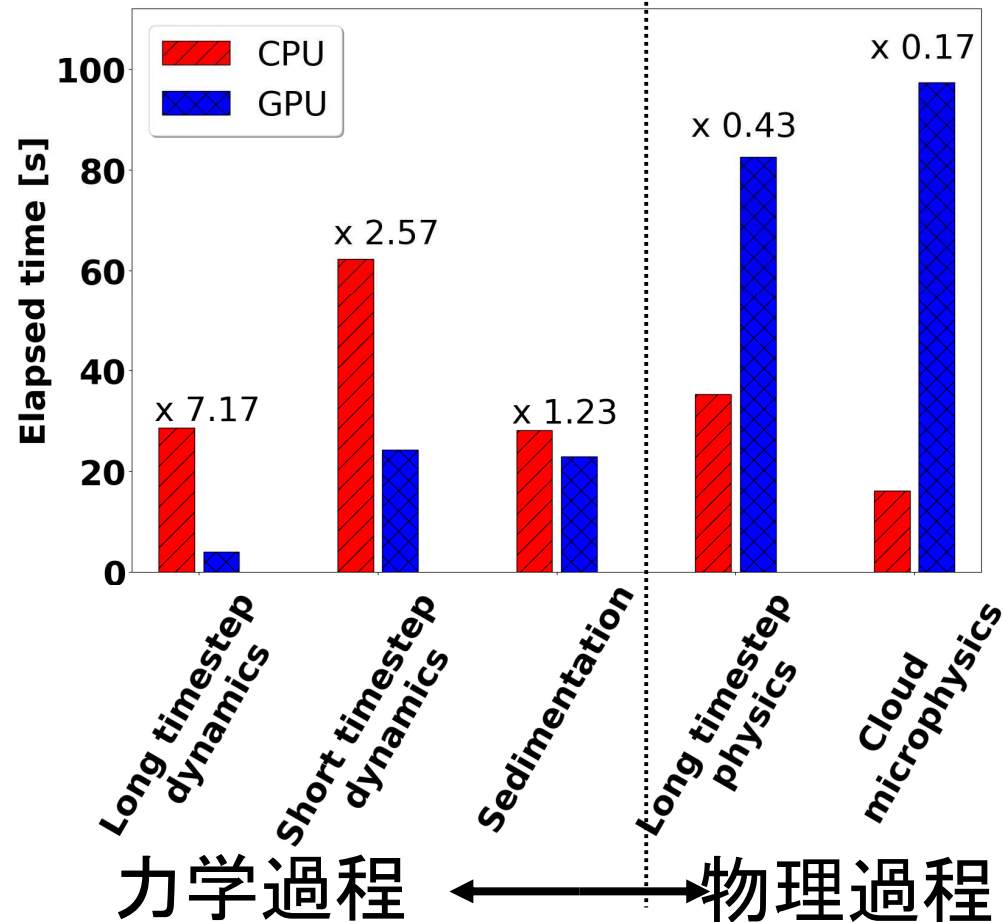
- ・高解像度GSMは通信律速であるため、MPI分割手法の改良が高速化に寄与
- ・MPI分割手法改良により、移流過程通信の時間が大きく削減される。
- ・ロードバランスの悪化により物理過程の計算時間は増加するものの、移流過程通信の高速化が大きく上回るため、全体としては約15%の高速化
- ・その他の高速化として、GSMの単精度化にも取り組んでいる

asucaのGPU (OpenACC) 化

CPU: Intel Xeon Gold 6226 2.7GHz 12C/24T x2 with DDR4 memory (140GB/s)

GPU: NVIDIA Tesla V100-PCIe-32GB x1 with HBM2 memory (900GB/s)

格子数: (nx,ny,nz) = (150,150,76) ~ 現業モデル設定の1ノード当たりの格子数と同程度



力学過程

- ✓ 比較的少ない修正で高い加速率を得られる
- ✓ MPI通信の最適化が課題

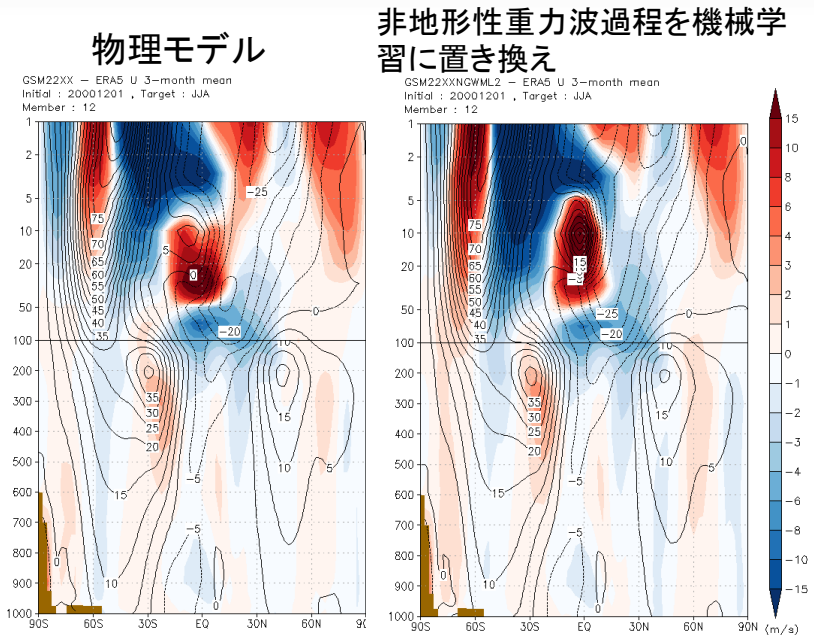
物理過程

- ✓ 力学過程に比べると加速率は低い
- ✓ 性能を得るためには多くのコード修正やアルゴリズム変更を要する
- ✓ 最内ループのベクトル化や、省メモリ化が課題

数値予報モデルでのAI活用

- AI技術の利用により、以下のようなことが期待される
 - アクセラレータとして既存モデルを高速化すること
 - 計算速度の面で実用困難な精緻なモデルによる表現を少ない計算コストで代替可能にすること
- 数値予報モデルにおける機械学習利用の知見を得ることを目的に気象庁全球モデル(GSM)の非地形性重力波過程をニューラルネットワークで学習したエミュレータを作成
 - 系統誤差の特徴含めて物理モデルを良く模倣
 - CPU上の計算では物理モデルを凌駕するほどの高速化は得られていない(GPU利用は今後の課題)。

東経0度~360度で平均した東西風[m/s]の緯度-高度断面(等値線)とその誤差(カラー)



ドメイン知識活用が模倣の上で重要であった

- 当該過程は成層圏の場の層の再現性で重要なものであるため、成層圏の重みの大きい損失関数の選択。
- 目的変数を工夫することで、元の物理モデルにおける保存則を成り立たせる。

「2030年に向けた 数値予報技術開発重点計画」 の取組状況と課題

- はじめに 重点計画の確認
- 令和5年度の進捗
- 令和6年度以降の計画
- **ご議論頂きたいポイント**

ご議論いただきたいポイント

- 気象庁では、「2030年に向けた数値予報技術開発重点計画」で掲げた「豪雨防災」「台風防災」「社会経済活動への貢献」「温暖化への適応策」の各重点目標の達成に向けた取組を実施している。
- 以下についてご議論いただきたい。
 - 重点計画の目標達成に向けた現状と課題・開発の方向性
 - 令和5年度の進捗状況
 - 令和6年度以降の開発計画
- 特に、
 - 重点目標の節目となる線状降水帯の予測の強化
 - 近年の計算機動向を見据えた数値予報モデルの高速化に関する取組についてご助言をいただきたい