

富岳NEXT FS気象・気候分野公開研究会
第4回気象・気候 計算科学研究連絡会

趣旨説明

小玉知央（海洋研究開発機構）

開催趣旨

- 本会合では、**2030年頃に見込まれるポスト「富岳」時代**に向けたフュージビリティスタディ（FS）の状況を報告するとともに、関連分野（物理気象モデル、AI気象モデル、観測データ、プログラミング環境）において最先端の研究開発を実施している研究者の方々に研究開発の現状や将来展望を講演していただく。
- ここ数年で急速に広まった **"AI for Science"** という大きな潮流の中、参加者それぞれがポスト「富岳」時代の気象・気候分野の姿を思い描くとともに参加者間で議論を行うことで、気象・気候分野の更なる発展を目指す。

太字：招待講演

2/27 (木) 13:00-17:40 (現地開場 12:30 / 現地撤収 18:00)

- 13:00-13:25 「趣旨説明」および「次世代計算基盤に向けたこれまでの取り組み」
小玉知央 (海洋研究開発機構)
- 13:25-13:50 「微気象と深層学習：予測から科学的理解への架け橋」
安田勇輝 (東京科学大学)
- 13:50-14:15 「SCALE-SDM を用いた研究の現状と将来展望」
島伸一郎 (兵庫県立大学)
- 14:15-14:40 「SCALE-DG の開発進捗について」
河合佑太 (理研 R-CCS)

————— (休憩) —————

- 15:00-15:25 「AI 台風予報の現状と将来展望」
山口宗彦 (気象研究所)
- 15:25-15:50 「全球 LES の現状と将来展望」
松岸修平 (東京大学大気海洋研究所)
- 15:50-16:15 「2030 年に向けた気象業務の将来展望と、気象庁の取組」
長谷川昌樹 (気象庁)
- 16:15-16:40 「GPU 対応：性能可搬性が高いプログラミング環境の検討」
山崎一哉 (東京大学情報基盤センター)

————— (休憩) —————

- 17:00-17:30 「AI for Science ロードマップの紹介」および「自由討論」
中野満寿男 (海洋研究開発機構)
- 17:30-17:40 「まとめ」
足立幸穂 (理研 R-CCS)

小スケール



大スケール

プログラミング環境

日本気象学会 計算科学研究連絡会

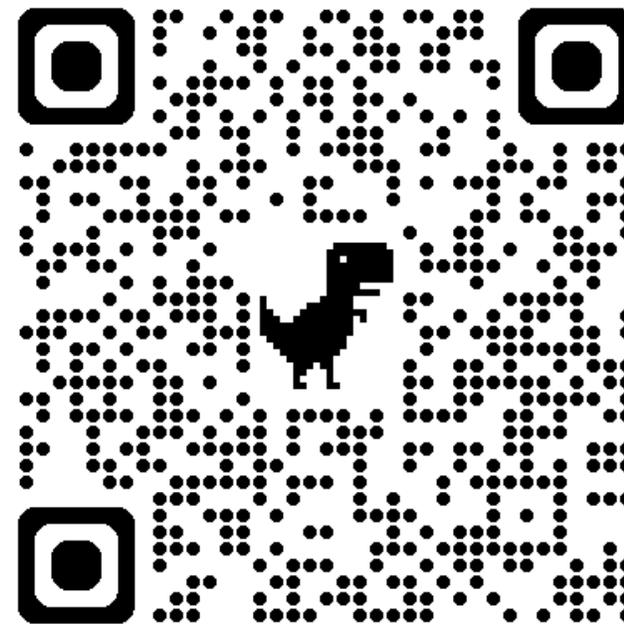
- 趣旨

- 計算科学研究連絡会は計算機を活用した気象・気候研究に焦点をあて、シミュレーション・解析・観測データ処理に関わる計算手法や、高性能計算・大規模並列計算・ソフトウェアツールに関する知見など、計算機を有効活用して個々の科学的課題を解決するための分野横断的な情報交換を推進することを目的としています。

- <https://metsoc-hpc.github.io/>

- 参加資格：特になし

- ML参加者、世話人募集中！

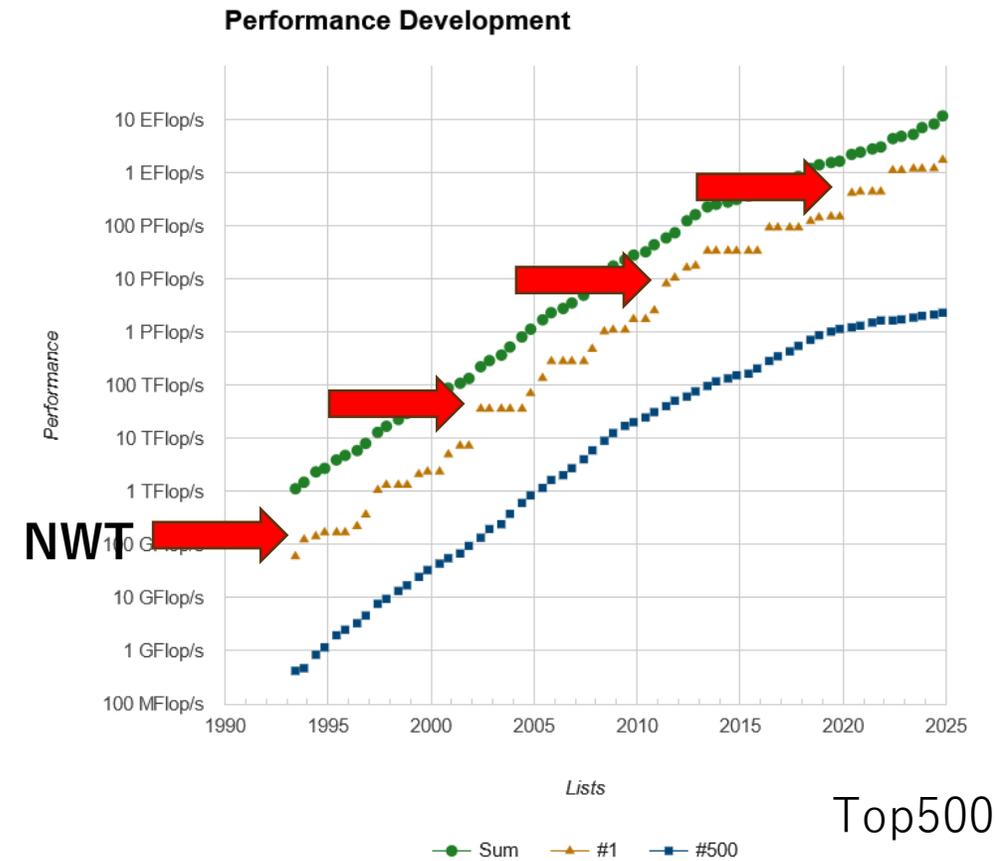
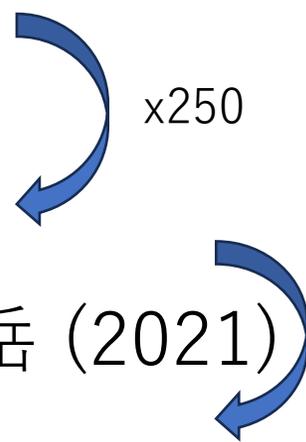


通称：富岳NEXT
(理研側の呼び方)

次世代計算基盤に向けたこれ
までの取り組み

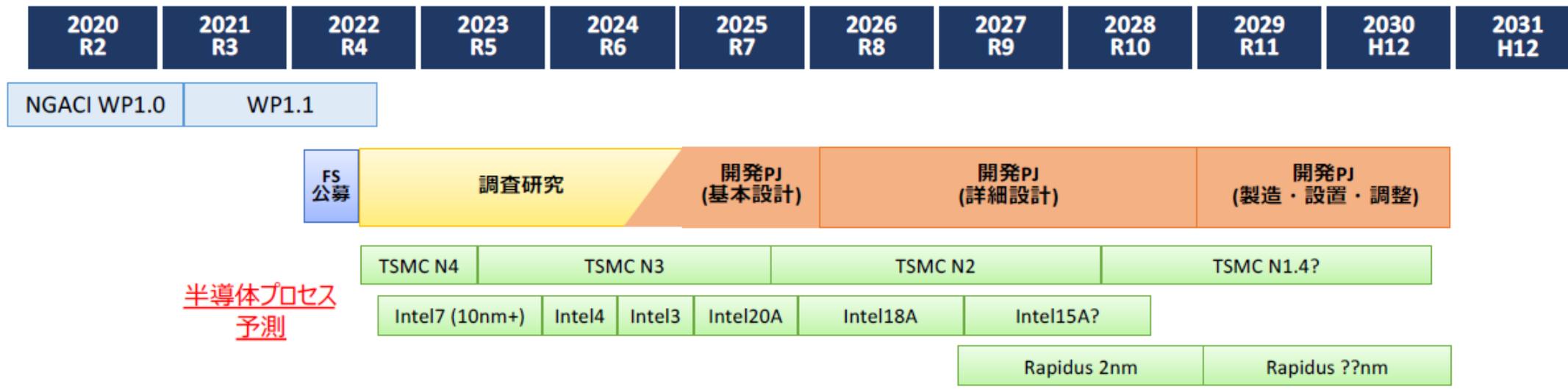
フラッグシップマシン

- 地球シミュレータ (2002)
 - 40 TFLOPS (FP64)
- 京コンピュータ (2012)
 - 10.62 PFLOPS (FP64)
- スーパーコンピュータ富岳 (2021) $\times 50$
 - 488 PFLOPS (FP64)
 - 977 PFLOPS (FP32)
 - 1.94 EFLOPS (FP16)



- 計算科学ロードマップ2012, 2014, 2017, **2023**
 - <https://hpcic-kkf.com/>
- NGACI (次世代先端的計算基盤) 白書 (2020年)
 - <https://sites.google.com/view/ngaci/>

富岳Next スケジュール予測



(参考) 富岳開発スケジュール実績



https://www.sskn.gr.jp/MAINSITE/event/2020/20210121-sci/lecture-01/20210121_sci-ishikawa.pdf

「次世代計算基盤に係る調査研究」実施体制

2022年8月開始

アプリケーションポジウム
(2025/3/25、日本橋)

文部科学省（「次世代計算基盤に係る調査研究」評価委員会）

PD会議

運営委員会

アドバイザー・ユーザWG

令和4年7月時点

気象気候関連は
3件講演の予定

システム調査研究チーム（代表機関：理化学研究所）

アーキテクチャ 調査研究	理化学研究所	富士通株式会社	日本AMD株式会社	インテル株式会社	
システムソフトウェア ・ライブラリ調査研究	理化学研究所	東北大学	筑波大学	大阪大学	九州大学

アプリケーション 調査研究	北海道大学	横浜市立大学	物質・材料研究機構	海洋研究開発機構	東京大学
------------------	-------	--------	-----------	----------	------

理化学研究所	筑波大学	東京工業大学
--------	------	--------

その他協力機関：株式会社データダイレクト・ネットワークス・ジャパン、
国立情報学研究所、名古屋大学、NVIDIA Corporation、
Hewlett-Packard Enterprise、京都大学、国立王立
日本原子力研究開発機構

システム調査研究チーム（代表機関：神戸大学）

アーキテクチャ 調査研究	株式会社 Preferred Networks	東京大学	国立情報学研究所	神戸大学
システムソフトウェア ・ライブラリ調査研究	会津大学	松江高専	株式会社 Preferred Networks	神戸大学

アプリケーション 調査研究	順天堂大学	株式会社 Preferred Networks	海洋研究開発機構	国立環境研究所
東洋大学	名古屋大学	広島大学	東京大学	神戸大学

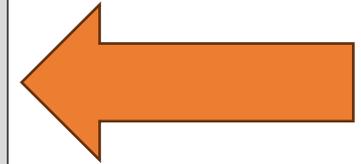
新計算原理調査研究チーム（代表機関：慶應義塾大学）

慶應義塾大学	理化学研究所	九州大学	東北大学	日本電気 株式会社	その他協力機関 ：富士通株式会社
--------	--------	------	------	--------------	---------------------

運用技術調査研究チーム（代表機関：東京大学）

東京大学	理化学研究所	東京工業大学	国立情報学研究所
------	--------	--------	----------

その他協力機関：名古屋大
学、大阪大学、九州大学、
産業技術総合研究所



取組概要

次世代計算基盤には、SDGs・Society5.0の実現に向けた課題解決のためのプラットフォームとしての役割が求められる。そこで、今後の科学に「研究DX」をもたらす**高度なデジタルツイン実現の基盤**として、**広範な計算手法・シミュレーション技法や大規模データを駆使しつつ、それらが密に連携しながら全体のワークフロー実行が可能な汎用性の高い計算基盤の実現を目指し、あるべきアーキテクチャやシステムソフトウェア・ライブラリ技術について、アプリケーションとのコデザインを通じた調査研究を行う。**

特に、システム設計の基本理念として演算精度も考慮しながら必要な計算性能を確保し、**電力制約の下でデータ移動を高度化・効率化する“FLOPS to Byte”指向のシステム構築**を、アーキテクチャ開発からアルゴリズム設計、アプリケーション技術に至るまで実践する。

ALL Japan体制のもと、実効的な性能を向上させる次世代計算基盤のシステム構成や要素技術の調査検討、要素技術の開発を、アーキテクチャ・システムソフトウェアとアプリケーションとのコデザインを通じて実施する。



調査内容

アーキテクチャ調査研究

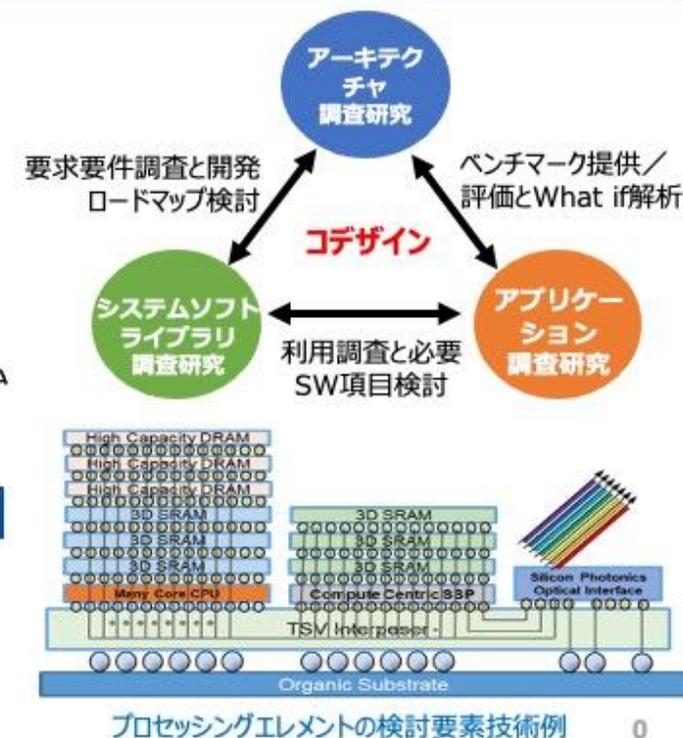
- 半導体技術・パッケージング技術動向を踏まえつつ、**システム全体やその構成要素について考え得る技術的可能性や総合性能を調査**（新規要素技術として三次元積層メモリ技術、強スケーリング・計算インテンシブ向けアクセラレータ、チップ間直接光通信技術などを意識）
- アプリケーション調査研究G提供の**ベンチマークセットの性能解析に基づき将来システムの性能を予測**、また次世代アプリ開発へとフィードバック

システムソフトウェア・ライブラリ調査研究

- 従来のソフトウェアに加え、データ利活用促進、機械学習技術と第一原理シミュレーションや大規模リアルタイムデータ処理との高度な融合、高セキュリティの担保などを主要検討項目と据え、**国内で開発すべきソフトを優先度も含めて明らかにしつつ今後の開発ロードマップを策定**

アプリケーション調査研究

- **複数アーキテクチャを统一的に評価するための広範なベンチマークセットを構築し、それを利用したアーキテクチャ評価結果を踏まえてアルゴリズムやパラメータの改善を検討しつつベンチマークセットを更新しながら、性能モデルも利用した探索的な“What if”の視点で解析**を行う
- 次世代計算基盤に向けてどのようなアルゴリズムのクラスが大幅な進化が見込まれるか、の指標も抽出して今後のアプリ発展につなげる



スケジュール

	2022 H2	2023 H1	2023 H2	2024 H1	2024 H2
アーキテクチャ	テクノロジー・アーキ技術の調査・検討	ベンチマーキングによる性能予測	アーキ選択と要素技術開発		
システムソフトウェア	既存ツールや利用動向調査	新規開発ソフト項目検討・定量的評価	将来の要件整理とロードマップ		
アプリケーション	アプリ調査とベンチマーク設計	ベンチマーク評価に基づく性能分析	ターゲット問題に向けた検討		

GL: グループリーダー
AD: アドバイザー
SGL: サブグループリーダー

システム調査研究チーム
(代表機関) 理化学研究所
【代表者: 近藤, AD: 松岡(理研)】

アーキテクチャ調査研究グループ
取りまとめ担当: (代表機関) 理化学研究所◎
【GL: 佐野, 副GL: 三輪(電通大), AD: 天野(慶大)】

- アーキテクチャ調査研究サブG1
(理化学研究所)
【SGL: 泰地】
- アーキテクチャ調査研究サブG2
(分担機関) 富士通株式会社
【SGL: 新庄】
- アーキテクチャ調査研究サブG3
(分担機関) インテル株式会社
【SGL: 矢澤】
- アーキテクチャ調査研究サブG4
(分担機関) 日本AMD株式会社
【SGL: 吉田】
- アーキテクチャ調査研究サブG5
(協力機関) NVIDIA Corporation
【SGL: Wells】
- アーキテクチャ調査研究サブG6
(協力機関) Hewlett Packard Enterprise
【SGL: 根岸】
- アーキテクチャ調査研究サブG7
(協力機関) Arm Ltd.
【SGL: Lecomber】

システムソフト・ライブラリ調査研究グループ
取りまとめ担当: (代表機関) 理化学研究所◎
【GL: 佐藤, 副GL: 片桐(理研), 佐藤(豊橋技大) AD: 佐藤(理研)】

- スケジューラ・ランタイムサブG
(分担機関) 東北大学
【SGL: 滝沢】
- IO・ストレージ・ファイルシステムサブG
(分担機関) 筑波大学
【SGL: 建部】
- ストレージアーキ・パターン調査
(協力機関) 株式会社DDNジャパン
【機関代表: 橋爪】
- OS・仮想化・クラウド連携サブG
(協力機関) 国立情報学研究所
【SGL: 竹房】
- HPC利用環境サブG
(分担機関) 大阪大学
【SGL: 伊達】

システムソフト取りまとめ補助
(協力機関) 名古屋大学
【機関代表: 片桐】

- 通信ライブラリサブG
(分担機関) 九州大学
【SGL: 南里】
- コンパイラ・プログラミングモデルサブG
(理化学研究所)
【SGL: 辻】
- 数値ライブラリサブG
(理化学研究所)
【SGL: 今村】
- AIフレームワークサブG
(理化学研究所)
【SGL: Mohamed】

アプリケーション調査研究グループ
取りまとめ担当: (分担機関) 東京大学◎
【GL: 下川辺, 副GL: 岩下(北大), 高橋(筑波大), 深沢(京大), AD: 中島・富田(理研)】

- 生命科学分野サブG
(分担機関) 横浜市立大学
【SGL: 寺山】
- 新物質・エネルギーサブG
(分担機関) 物質・材料研究機構
【SGL: 山地, 副SGL: 福島(東大)】
- 気象・気候サブG
(分担機関) 海洋開発研究機構
【SGL: 小玉】
- 地震・津波防災
(分担機関) 東京大学
【SGL: 藤田】
- ものづくり分野サブG
(理化学研究所)
【SGL: 大西】
- ものづくり分野協力
(協力機関) 宇宙航空研究開発機構
【機関代表: 高木】
- 基礎科学分野サブG
(理化学研究所)
【SGL: 青木】
- 宇宙・惑星アプリ分野協力
(協力機関) 国立天文台
【機関代表: 瀧脇】

アプリケーション調査研究グループ

アプリ調査研究取りまとめ補助
(協力機関) 京都大学
【機関代表: 深沢】
(協力機関) 北海道大学
【機関代表: 岩下】

- 社会科学分野サブG
(理化学研究所)
【SGL: 榎本】
- デジタルツイン・Society5.0分野サブG
(分担機関) 東京大学
【SGL: 下川辺】
- デジタルツイン・Society5.0分野協力
(協力機関) 日本原子力研究開発機構
【機関代表: 小野寺】
- 気象庁モデル評価・解析サブG
(理化学研究所)
【SGL: 児玉】
- 気象庁モデル評価・解析協力
(協力機関) 気象庁気象研究所
【機関代表: 永戸】
- 科学技術計算アルゴリズムサブG
(分担機関) 筑波大学
【SGL: 高橋】
- 機械学習アルゴリズムサブG
(分担機関) 東京工業大学
【SGL: 横田】
- ベンチマーク構築サブG
(理化学研究所)
【SGL: 村井】
- 性能モデリングサブG
(理化学研究所)
【SGL: Domke】

気象・気候

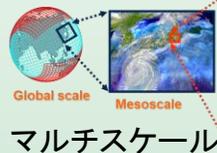
分野取りまとめ：小玉知央@JAMSTEC、足立幸穂@理化学研究所、中野満寿男@JAMSTEC
 参加者：39名（うち研究協力者：22名） アプリ情報提供モデル：14

- 気象現象や気候・地球システムの理解・予測のため、対象とする時空間スケールや主な用途（研究・現業）に応じて多種多様な気象・気候モデルが開発されている。
 - HPCI活用の方向性：高解像度化、大アンサンブル化、長期積分化、プロセス精緻化
 - 基礎的な研究とともに、現業予測での利活用や気候変動適応策といった社会実装を意識した研究も重視

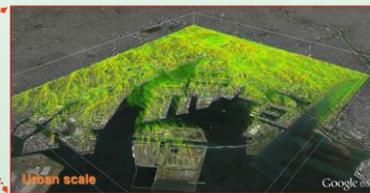
研究

時空間スケール

データ同化



マルチスケール



全球雲解像

粒子法



超水滴法による巨大積雲のシミュレーション結果。松嶋(神戸大)作成。

雷モデル

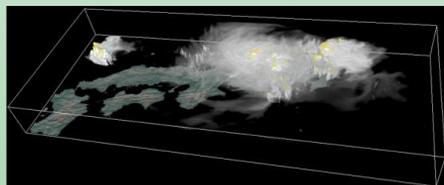


図1: 気象雷モデルの計算例。日本を横断した台風周辺の(白)雲と(黄色)雷の分布

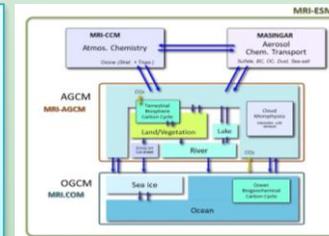
現業

気象庁で運用中の主な数値予報モデル

モデル領域	asuca/asuca-Varを利用するモデル			GSMを利用するモデル		
	局地モデル (LFM)	メソモデル (MSM)	メソEPS (MEPS)	全球モデル (GSM)	全球EPS (GEPS)	季節EPS (JMA/MRI-CPS3)
水平解像度	2km	5km	5km	約20km	約27km(18日まで) 約40km(それ以降)	大気約55km、 海洋約25km
予報期間	10時間(毎時)	78時間(00,12UTC) 39時間(03,09,09,15,18,21UTC)	39時間(00,06,12,18UTC)	24時間(00,12UTC) 132時間(06,18UTC)	55日(06,18UTC) 11日(00UTC) 18日(12UTC) 34日(2週2回)	7か月(毎日)
メンバー数	1	1	21	1	51(18日まで) 25(それ以降)	5
主要な目的	航空気象情報 防衛気象情報 降水短時間予報	防災気象情報 降水短時間予報 航空気象情報 分庁予報 時系列予報 府県天気予報	防災気象情報 降水短時間予報 分布予報 時系列予報 府県天気予報	台風予報 分布予報 時系列予報 前報天気予報 週間天気予報 航空気象情報	台風予報 週間天気予報 早期天気予報 2週間天気予報 1か月予報	3か月予報 短期予報 季節予報 1K-2週視察
初期値解手法	ハイブリッド 3次元差分法	4次元差分法	メソモデルの初期値 +SVの摂動 (初期値+摂動)	ハイブリッド 4次元差分法	全球モデルの初期値 +SVの摂動 +LETKF**の摂動	大気、大気モデル初期値 +100m***の摂動 海洋、4次元差分法 +海洋船舶観測

※SV: 特異ベクトル / **LETKF: 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ / ***BGM法: 成長モード育成法

気象庁からは、ベンチマークとして黄色の網掛け部分の提供を検討している

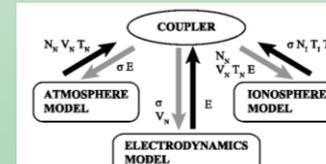


地球システム



河口域での出水による懸濁粒子輸送・沈降過程

海洋非静力



電離圏結合

気象・気候SGで実施してきたこと

- ベンチマークセットの作成・提出と代表アプリの選定
 - 気象・気候SGでも独自評価
- 気象・気候分野の次世代スパコンにおけるブレークスルー、およびそれを達成するための要求スペックの取りまとめ
- モデルコンポーネントのGPU対応検討
 - 雲微物理スキーム、放射スキームなど
- AI気象モデルおよびDSL（ドメイン特化言語）の内外動向調査
- モデル開発者のコミュニティ形成、草の根的な研究活動

アプリ情報提供モデル一覧

赤字: ベンチマーク提供モデル
赤太字: 代表アプリ

● 領域モデル

- asuca (気象庁メソモデル)、asuca-Var (同・変分法データ同化システム)
- **SCALE-LETKF** (アンサンブルデータ同化)
- **SCALE-LT** (雷モデル)、**SCALE-SDM** (超水滴法)
- Kinaco (非静力学海洋モデル)

● 全球モデル

- GSM (気象庁現業大気モデル)
- **NICAM/NICOCO** (非静力学大気モデル/大気海洋結合モデル)、**NICAM-IO**
- NICAM-LETKF (アンサンブルデータ同化)
- MRI-ESM (地球システムモデル)
- GAIA (大気圏－電離圏結合モデル)

● マルチスケールモデル

- MSSG (全球・メソ・都市マルチスケール大気海洋結合モデル)

● 力学コア

- **ISPACK3/SPML** (全球スペクトル法)
- **不連続ガラージン法**

ベンチマーク結果の例：SCALE vs. NICAM

表 4.4.2 各モデルにおける実験設定

	SCALE-RM					NICAM				
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
プロセス数	36	144	576	36	144	40	160	640	40	160
水平格子間隔[km]	1.0	0.5	0.25	0.5	0.25	56	28	14	28	14
格子数/プロセス数	4096			16384		4096			16384	

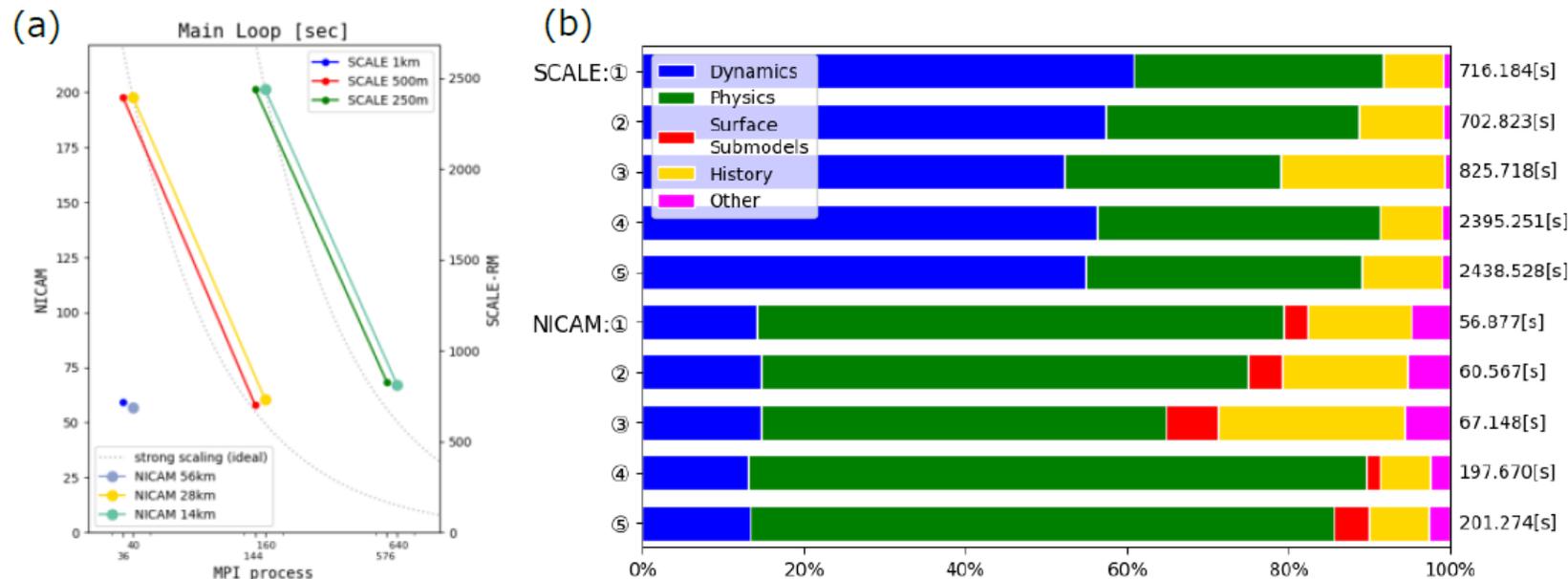


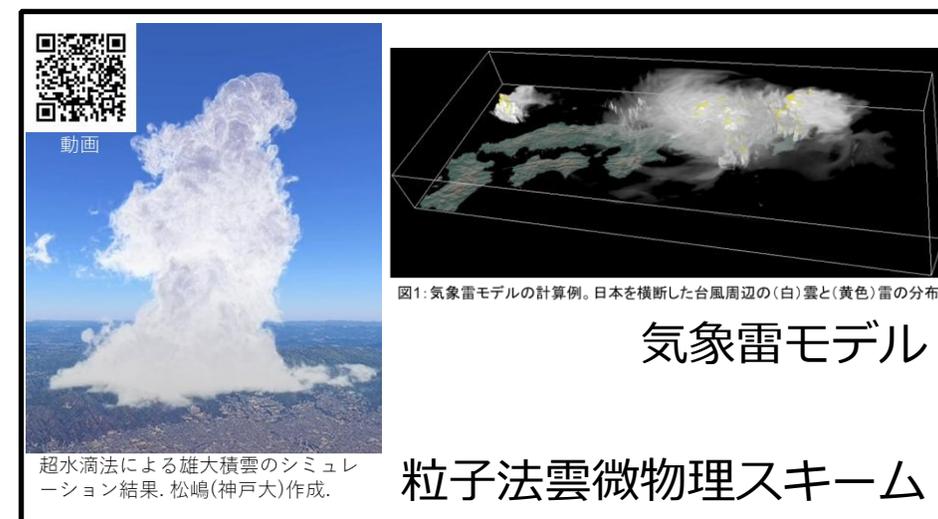
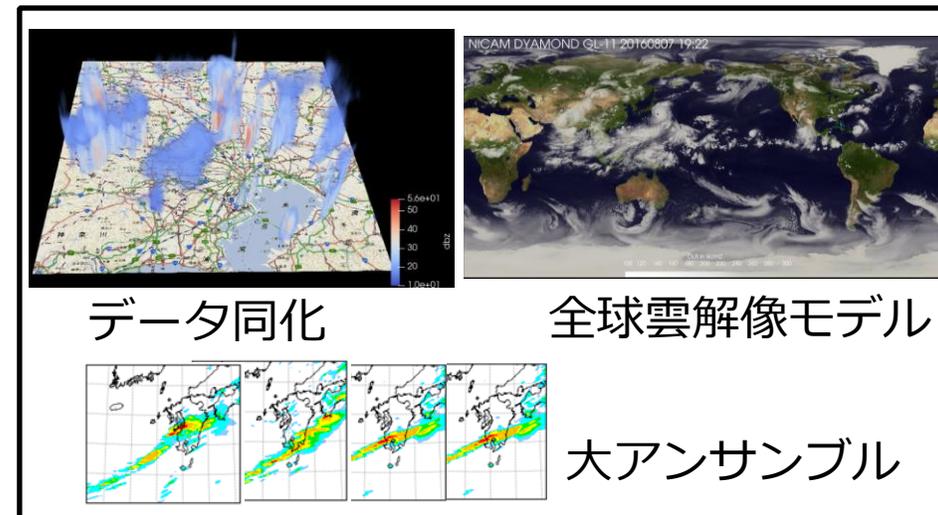
図 4.4.2 (a) モデル全体の計算時間のMPIプロセス数および水平解像度依存性。モデルによって縦軸が異なることに注意。(b) 力学、物理、陸面、出力 (History) およびそれ以外の過程の全体の計算時間への寄与。丸囲みの数字は表 4.4.2を参照。

次世代計算機で期待されるブレークスルー

- ・ 毎年災害をもたらす集中豪雨・台風の予測精度の大幅向上に向けたリアルできめ細やかな気象予測システムの開発。竜巻・雷頻度予測の実用化、シナリオを網羅する確率予測、3次元高密度観測とデータ科学による高頻度リアルタイム予測の実現。
- ・ 気候変動の理解と予測を質的に高める精緻な地球システムモデルの実現。特に、気候変動適応策で実利用可能な台風・極端現象・都市気候予測、パリ協定へ資する温室効果ガス吸排出量推定、気候系における海洋中規模渦の役割の解明。
- ・ これまで不可能であった大規模数値実験の実現による、微小から惑星スケールに至るまでの現象の包括的理解の獲得。さらに精緻な物理的表現が可能な次世代型の力学、雲微物理、放射スキームの開発と実証。低精度、AI代理モデルによる高速化。

ブレークスルーに必要な計算環境、解決すべき課題

- ・ ワークフロー全体で富岳比数十倍以上の実効性能向上。
- ・ 加速演算器を利用するための高いソースコード書き換えコストおよび効率的利用に向けた大幅なアルゴリズム改変が課題。
- ・ リアルタイム予測や全系実験を見据えたシステム高可用性。
- ・ 高速・大容量なglobal/localストレージ。
- ・ 多様な力学・物理スキームやターゲット問題に対応可能な、メモリバンド幅、メモリ量、キャッシュ、IO、通信等の設計。



要求資源量の見積もり

2023年度成果報告書より

アプリ名	問題	ノード時間積 (total)	入出力ファイル サイズ (total)	解析数	計算時間 /解析	総メモリ量 /解析
asuca	①	4.6 億 Nh	25.2 PB	1,000	10.3 日	75 TiB
	②	9,920 万 Nh	1.8 PB	1	10.3 日	7.5 PiB
asuca-Var		6,900 万 Nh	81 TB	1	12 日	4.8 PiB
GSM		8.2 億 Nh	56 PB	1,000	8.9 日	124 TiB
SCALE-LETKF		5,000 万 Nh	24 PB	1	20-30 日	検討中
SCALE-LT		2,100 万 Nh	100 TB	20	< 1 日	360 GiB
SCALE-SDM		7,900 万 Nh	6.4 PB	1	9.2 日	41 TiB
kinaco		3,900 万 Nh	検討中	1	1 日	91 TiB
NICAM/NICOCO	①	5.8 億 Nh	35 PB	1	10 日	42 PiB
	②	1.7 億 Nh	19 PB	1	2,250 日	1.3 TiB
MRI-ESM		1,550 万 Nh	83 PB	1	511 日	28 TiB
GAIA		2,000 万 Nh	100 TB	1	10 日	1 TiB
MSSG	①	2,900 万 Nh	5.9 PB	1	7.5 日	8.9 PiB
	②	5,100 万 Nh	2.6 PB	1	14 日	3.8 PiB
ISPACK3/SPML		2,000 万 Nh	1 PB	1	30 日	930 GiB
SCALE-DG		300 万 Nh	2 PB	1	40 日	36 PiB

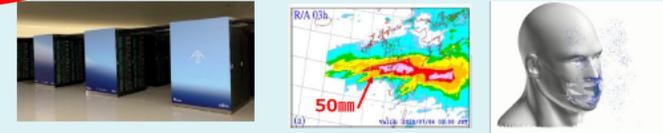
※ノード時間積および計算時間は富岳タイプのアーキテクチャを想定して推定

HPCI計画推進委員会 次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ ポイント (R6年6月)

<近年の情勢変化>

- ・「富岳」が令和3年3月より共用を開始。社会的な課題への対応を含め産学官の各分野で着実に成果を創出
- ・生成AIに係る技術革新などにより、研究開発に必要な計算資源の需要が急拡大するとともに多様化
- ・AIシミュレーション、リアルタイムデータや自動実験などを組み合わせた取組(AI for Science)の重要性が指摘
- ・世界各国で「富岳」を上回る性能の計算機の開発、高度化が加速
- ・GPUなどの加速部を活用した計算手法がこれまで以上に主流に
- ・半導体分野をはじめとするデジタル産業の再興を目指した取組が進展

(富岳の活用事例)



<次世代計算基盤に求められるフラッグシップシステム>

計算基盤の重要性が増し、求められる機能も多様化・変化していく中であっても、**時代の要請に常に応える計算能力を提供**

【方向性】

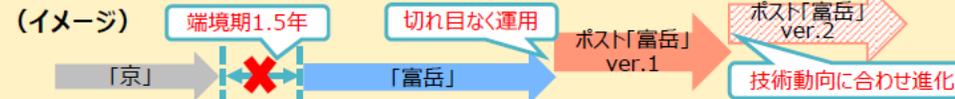
- ・AI for Scienceをはじめとした新たな時代を先導し、卓越した研究成果を創出
- ・計算速度のみの追求ではなくAI性能をはじめ、あらゆる分野で世界最高水準の計算能力を提供
- ・自国の技術を中心にスパコンを開発・整備する能力を確保し、コア技術を特定
- ・利用拡大、要素技術の世界での普及により、我が国の産業競争力や経済安全保障の強化に貢献
- ・長期間にわたり同一のシステムで稼働するのではなく、需要の変化に柔軟に対応し、十分な性能を常に提供し続ける

【求められる性能・機能】

- 遅くとも2030年頃の運転開始を目指し、科学者コミュニティの需要予測を踏まえ、電力性能の大幅向上により以下の計算環境を提供
 - ・既存の「富岳」でのシミュレーション → 現状の5~10倍以上の実効性能
 - ・AI学習・推論に必要となる性能 → 世界最高水準の利用環境(実効性能50EFLOPS以上※) ※2030年代に想定される最先端の基盤モデルを数か月程度で学習可能な実効性能
- 加速部の導入、コア技術としてCPU開発、インテグレーション、メモリ実装技術を位置づけ
 - システムソフトウェアの開発においては、運用開始後も継続的に改善を図るべき
 - 開発の成果が社会実装され、広く普及することが重要

【求められる開発・整備の手法、利用拡大に向けた取組】

- 「端境期」を極力生じさせず、利用環境を維持
- 適時・柔軟に入れ替え又は拡張可能とし、進化し続けるシステム
- 将来の需要増に大きく貢献し得る技術の評価・研究開発を継続
- 開発アプリケーションの継続利用・改良に加え、生成AI利用など新たなHPC領域の開拓
- 成果創出の加速、新領域の拡大に向けた研究開発プログラムの実施と利用の拡大
 - 構成要素の調達には、国内の製造技術の成熟状況を見極めて対応
 - 量子コンピュータについては、別途計算機ネットワークに接続し、ユーザーに利用環境を提供する方針



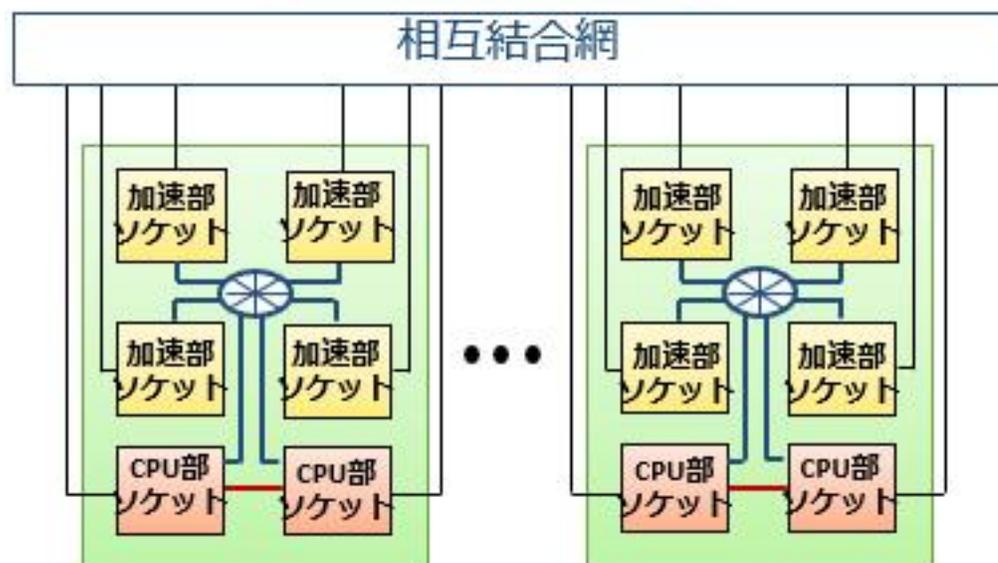
【開発主体】

- 理化学研究所を開発主体とし、引き続き検討を進める。検討にあたっては、節目におけるHPCI計画推進委員会等での評価、開発費用の過度な増大回避などが求められる

“AI for Science”

- “AIとシミュレーション、多様なデータを組み合わせるなどして、科学技術にAIを活用し、研究プロセスを大きく加速させる取組み。”
(RIKEN)
- “helping scientists to generate hypotheses, design experiments, collect and interpret large datasets, and **gain insights that might not have been possible using traditional scientific methods alone**”
(Wang et al. 2023 Nature)
- 気象・気候分野での適用例
 - AI気象モデル（モデル全体の置き換え）
 - 物理スキームのAI代理モデル
 - ダウンスケーリング（超解像）
 - …
- AI for Science roadmap (気象・気候分野：中野さん取りまとめ)
 - <https://cs-forum.github.io/roadmap-2023/>

高帯域&ヘテロジニアスなノードアーキと システム全体の構成例



ターゲットとするシステム全体の性能

項目	CPU	加速部
合計ノード数	3400ノード以上	
FP64ベクトル性能	48PFLOPS以上	3.0EFLOPS以上
FP16/BF16行列演算性能	1.5EFLOPS以上	150EFLOPS以上
FP8行列演算性能	3.0ELOPS以上	300EFLOP以上
FP8行列演算性能 (sparsity考慮)	—	600EFLOPS以上
メインメモリサイズ	10PiB以上	10PiB以上
メインメモリバンド幅	7PB/s以上	800PB/s以上
合計消費電力	40MW以下 (計算ノードおよびストレージ)	

今後の「AI for Science」の発展を見据えつつ
既存HPCアプリで現行の5~10倍以上の実効計算性能
AI処理でZettaスケールのピーク性能を念頭に50EFLOPS以上の実効性能を実現するシステムを開発・整備し
シミュレーションとAIの融合により総合的に数十倍のアプリ実行高速化を目指す

想定システム（富岳との比較）

ターゲットとするシステム全体の性能

項目	CPU	加速部
合計ノード数	3400ノード以上	
FP64ベクトル性能	48PFLOPS以上	3.0EFLOPS以上
FP16/BF16行列演算性能	1.5EFLOPS以上	150EFLOPS以上
FP8行列演算性能	3.0EFLOPS以上	300EFLOPS以上
FP8行列演算性能（sparsity考慮）	—	600EFLOPS以上
メインメモリサイズ	10PiB以上	10PiB以上
メインメモリバンド幅	7PB/s以上	800PB/s以上
合計消費電力	40MW以下（計算ノードおよびストレージ）	

富岳（CPUのみ）
158,976 ノード
488 PFLOPS
1.95 EFLOPS（FP16）
3.90（INT8）
—
4.85 PiB
163 PB/s
30MW

「富岳」の次世代となる新たなフラッグシップシステムの開発・整備

令和7年度予算額（案）

8億円
（新規）

令和6年度補正予算額

69億円



文部科学省

事業目的・概要

- 生成AIの進展などをはじめとして、計算科学だけでなく科学技術・イノベーション全体、そして産業競争力の観点等からも、計算基盤の重要性がさらに増しており、今後、計算資源の需要が増大するとともに、求められる機能も変遷・多様化していくことが予想されている。
- このような社会ニーズに応えるため、「富岳」の後継となる新たなフラッグシップシステムを開発・整備し、国内の産学官の利用者に対してあらゆる分野で世界最高水準の計算資源を提供する。これにより、新たな時代を先導し、国際的に卓越した研究成果の創出、産業競争力の強化ならびに社会的課題の解決などに貢献する。

経済財政運営と改革の基本方針2024（令和6年6月21日）

- 官民共同の仕組み等による大型研究施設の戦略的な整備・活用・高度化の推進※（略）等を図る。※（略）スーパーコンピュータ「富岳」等。
- 官民連携の下、データ整備を含む研究開発力の強化や利活用の促進、計算資源の大規模化・複雑化に対応したインフラの高度化、個人のスキル情報の蓄積・可視化を通じた人材の育成・確保を進める

新しい資本主義実行計画2024（令和6年6月21日）

- AI開発に不可欠な計算資源を諸外国に対して劣後せず、幅広い開発者が利用できるよう、引き続き官民で整備を進める。
- 科学研究データ創出基盤の強化（AI for Science：科学の成果を得るためにAIを活用すること）や（略）を官民で加速するとともに、「富岳」の次世代となる優れたAI性能を有する新たなフラッグシップシステムの開発・整備に着手する。

事業内容



「京」、「富岳」設置場所：兵庫県神戸市（ポートアイランド）

移行期間
（端境期）
約1.5年間



【近年の情勢変化】

- 生成AIの技術革新などにより必要な計算資源の需要が急拡大するとともに多様化
- AIとシミュレーションなどを組み合わせた取組（AI for Science）の重要性が指摘
- 世界各国で、「富岳」を上回る性能のコンピュータの開発、高度化が加速
- GPUなどの加速部を活用した計算手法がこれまで以上に主流に

「端境期」を極力
生じさせず、利用
環境を維持

新たなフラッグ
シップシステム

遅くとも2030年頃～

【スケジュール（イメージ）】



HPCI計画推進委員会 次世代計算基盤に関する最終とりまとめ （令和6年6月）より抜粋

【システムの概要】

- 開発主体：理化学研究所
- CPUに加えて、GPUなどの加速部を導入
- 既存の「富岳」でのシミュレーション → 「富岳」の5～10倍以上の実効性能
- AIの学習・推論に必要な性能 → 世界最高水準の利用環境（実効性能50EFLOPS以上）
- 電力性能の大幅向上により、上記の計算環境を提供

【開発・整備の手法、利用拡大に向けた取組】

- 適時・柔軟に入れ替え又は拡張可能とし、進化し続けるシステム
- 将来の需要増に大きく貢献し得る技術評価・研究開発を実施

まとめに代えて・・・

- 国内の多くの気象・気候モデルGの協力を得ながら、これまで3事業年度にわたり富岳NEXT FSプロジェクトを推進してきた。
 - ベンチマークセットの作成・評価
 - 想定成果の検討、要求資源の見積もり
 - GPU対応検討、AIおよびDSL内外動向調査、など
- “AI for Science”の潮流は富岳NEXTの方向性に急転換をもたらした。富岳NEXTにおいて最先端の研究活動を実施していくためには、AI性能の利活用が事実上不可欠である。
- 物理モデル開発者にとっては困難な時代ともいえるが、高いAI性能を上手く使いこなすことで新たな成果を挙げるチャンスが訪れているともいえる。