

[JHPCN シンポジウム]

2025 年度 JHPCN 採択課題ポスター紹介

2025 年度学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠における当センター利用課題のポスター4 件をご紹介します。

- ・ jh250002 「FMO プログラム ABINIT-MP の次世代化」
研究代表者 望月祐志（立教大学）
- ・ jh250020 「気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響評価：線状降水帯を対象として」
研究代表者 平賀優介（東北大学）
- ・ jh250062 「複数拠点の連携による緊急ジョブ実行基盤の構築と評価」
研究代表者 滝沢寛之（東北大学）
- ・ jh250066 「宇宙初期における位相欠陥の一般相対論的シミュレーション」
研究代表者 北嶋直弥（東北大学）

jh250002

FMOプログラムABINIT-MPの次世代化



課題代表者: 望月祐志(立教大) / 共同研究者: 中野達也(RIST), 坂倉耕太(阪大), 片桐孝洋, 星野哲也(名大), 大島啓史, 森崎浩(九大), 中島研吾(京大)
森崎吉隆(科学大), 滝沢寛之(東北大), 加藤孝広(NBC), 泰岡順治, 平野秀典, 山本謙士(慶應大), 土居英男, 奥脇弘次(立教大)



FMO計算のためのプログラム

◆GAMESS-US [米国Gordonグループ]: Fedorov/Gordon
GAUSSIANに抗し得る有力なフリーソフト、世界規模
⇒ 様々な機能をFMO化、多様な計算、GDDI並利

◆ABINIT-MP: 望月、中野
実用機能は十分、東大系P1-CREST-P3などで開発 (Fortran)
⇒ IOレス、MPI、OpenMP/MPI混成並列、スパンコンと好相性

◆PAICCS: 石川
FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆OpenFMO: 福富、鬼頭ら
FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

FMO計算のためのプログラム

◆GAMESS-US [米国Gordonグループ]: Fedorov/Gordon
GAUSSIANに抗し得る有力なフリーソフト、世界規模
⇒ 様々な機能をFMO化、多様な計算、GDDI並利

◆ABINIT-MP: 望月、中野
実用機能は十分、東大系P1-CREST-P3などで開発 (Fortran)
⇒ IOレス、MPI、OpenMP/MPI混成並列、スパンコンと好相性

◆PAICCS: 石川
FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆OpenFMO: 福富、鬼頭ら
FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

ABINIT-MPの主な機能 (オープンソースとして整備中)

◆エネルギー
→ FMO4: HF, MP2
→ FMO2: HF+CCSD(T), LR
→ FMO2: CIS/CIS(D)

◆エネルギー微分
→ FMO4: HF, MP2
→ FMO2: MP2構造最適化, MD

◆その他機能
→ SCIFIE, Pb, sp2-BDA, d(w)
→ 電子密度生成, CAFI, FILM

◆並列化環境 (PC〜スパンコン)
→ MPI, OpenMP/MPI混成
→ 最深部はBLAS処理

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

◆FMO-MP2(RI)に特化 (C)
⇒ MPI並利

◆FMO-HF (C)
⇒ 超並列指向

リリース状況のまとめ (2024年9月時点)

◆Ver. 1系の最終リリース版はRev. 22 (2020年6月3日)
「関数のサポート (直交10成分のみ)
MFMOによる指定領域のみでのMP2/MP3計算
加速されたPIEDA (「富岳」の新型コプロセッサでの改良)

◆「富岳」時代でVer. 1からVer. 2へ移行 - Open Ver. 2 Rev. 4 (2021年9月16日)
単一構造サンプルでの可視化解析の「限界」
統計的な相互作用解析の重要性 (MDベースで百〜千サンプル構造を対象)
大規模系の扱いの必要性 (タンパク質の液体モデルは数万フラグメントに)
可視化ツールによる解析が効率的 (フラグメントが4〜5万を往復)
HPC分野の専門家とコラボしての高速化 (特に「富岳」などのA64FX向け)
基本のMP2計算ではVer. 1 Rev. 22で1.2〜1.4倍の加速

◆最新リリース版 - Open Ver. 2 Rev. 8 (2023年9月25日)
PIEDA機能の強化 (分散力寄与の区別、静電相互作用のRESP評価)
多層FMOでの基底エネルギーとイオン化エネルギーの算定
更なる高速化を実現、MP2計算はVer. 1 Rev. 22で1.5〜2.0倍の加速
素で2万フラグメントの液体モデルの扱い (「富岳」では多サンプル処理が可)

◆Ver. 2 Rev. 8 (2023年9月25日)
PIEDA機能の強化 (分散力寄与の



2025年度課題 気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響評価： 線状降水帯を対象として (jh250020)

課題代表者：平賀優介 Yusuke Hiraga (yusuke.hiraga.c3@tohoku.ac.jp)
Department of Civil and Environmental Eng. Tohoku University, Sendai, Japan

JHPCN第17回シンポジウム
July 10-11, 2025

■ 研究の背景：

- ① 気候変動に伴い、極端降水の程度や発生頻度の増加が報告・予測されている。

・治水計画においては、“想定最大クラスの降雨（発生確率 $10^{-3} \sim 10^{-6}$ ）”を流域ごとに設定し、対策を講じることが求められている。
将来手戻りのない治水策を実施するためにも、気候変動の影響を考慮することが重要である。

特に過去の発生事例に限られる、
北海道・東北で顕著である

ここで、**気候変動が想定最大クラスのような超低頻度豪雨にどのような影響を与えるかは未だ良く分かっていない。**

これは主に以下が重要な要因である：

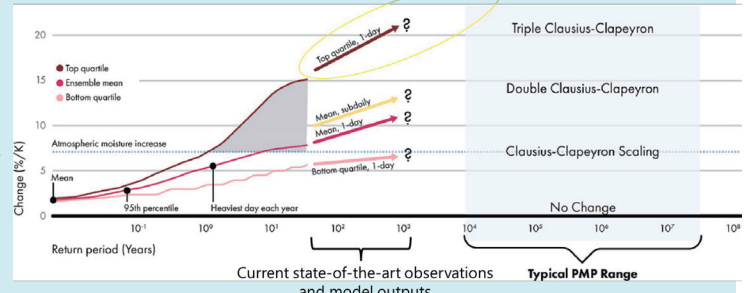
・未だ観測(10年)や気候モデルの出力(10年)と、想定最大クラス降雨の頻度には乖離があること

・一般的に短時間の極端な降雨であるほど、気候変動の影響は複雑になること(熱力学的影響だけでなく力学的影響の重要性が増すこと) 右図→

- ②

課題代表者は近年、この気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響を解明する手法を提案した (Hiraga et al., 2025; JoH)

本手法は数値気象モデルを基にしており、過去に生じた極端な豪雨の降雨量を流域にとって最大化し、気候変動の影響も同時に考慮することにより、気候変動下の最大降雨を推定するものである。



■ 課題と目的：

課題： Hiraga et al. (2025)の手法は、高解像度数値気象計算に基づくものであり、気候変動の不確実性を考慮した影響評価を実現するには、多数のアンサンブル数値実験が必要になる。数値計算のコストが膨大になる点が主な技術的制約となる。

目的： ① WRFモデルによる豪雨シミュレーションの高速化を実現する

② 気候変動シナリオのアンサンブル計算を効率的に実施するためのモジュールを開発する



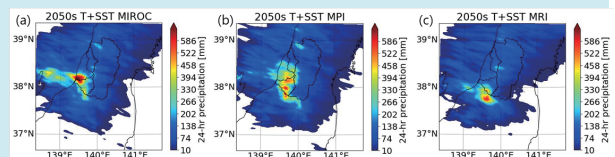
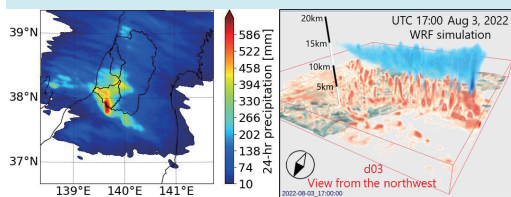
東北大学サイバー
サイエンスセンター
と共同で実施

■ 本課題の進捗：

- ① 東北大学AOBA-S (SX-Aurora TSUBASA)にWRFモデルv4を並列化可能として実装完了

高解像度での2022年線状降水帯の数値計算結果：

気候変動による気温と海水面温度の変化を考慮した計算結果：



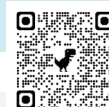
- ② WRFモデルに適用可能かつ高速なアンサンブルデータ同化モジュールの実装を完了



DART

WRFへの適用が可能な、データ同化システムData Assimilation Research Testbed (DART)を基に、アンサンブルカルマンフィルタを高速に適用できるモジュールをAOBA-S上に実装した。

- ③ 本研究を取り上げていただいた動画がAOBAの杜ページで公開！



■ 今後の展望：

- ・対象の線状降水帯に対して、降雨の最大化計算・気候変動シナリオの両点において大規模なアンサンブル計算を実施し、気候変動が想定最大クラスの降雨に与える影響を定量化する。
- ・対象とする線状降水帯の事例数を増やし、気候変動の影響を一般化することを試みる。

参考文献：

- 1) Pendergrass, A. G. (2018). What precipitation is extreme?. Science, 360(6393), 1072-1073.
- 2) Hiraga, Y., Tahara, R., & Meza, J. (2025). A methodology to estimate Probable Maximum Precipitation (PMP) under climate change using a numerical weather model. Journal of Hydrology, 652, 132659.

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 公募型共同研究 令和7年度採択課題

17th Symposium

jh250062

Joint Usage / Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures

滝沢寛之(東北大) 越村俊一(東北大)

伊達達(大阪大) 片桐孝洋(名古屋大) 齋佐昭裕(東北大) 江川隆輔(東京電機大) 高橋慧智(大阪大) 河合直聡(東北大)
下村隆一(東北大) 大村竜彦(東北大) 佐藤佳彦(NECソリューションイノベータ)

複数拠点の連携による緊急ジョブ実行基盤の構築と評価

研究目的

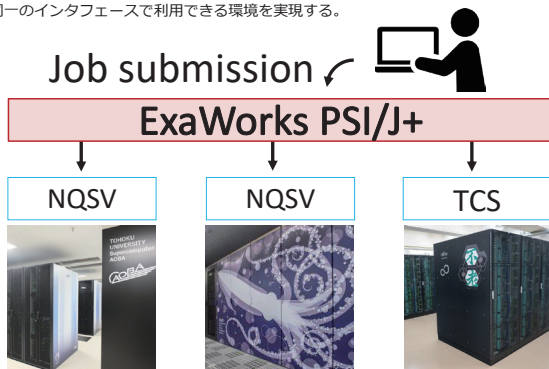
東北大学サイバーサイエンスセンターと大阪大学D3 センターは、大規模地震発生時に津波シミュレーションを緊急実行して被害範囲や規模を推定し、内閣府やいくつかの地方自治体に通知する「リアルタイム津波浸水・被害予測システム」を安定的に共同運用してきた。本研究の目的は、そのような緊急ジョブ実行の仕組みを他のJHPCN構成機関でも広く実行できるように拡充し、より大規模、より多様な需要に応えるための基盤を確立することである。各構成機関の計算資源はハードウェア構成や種類が異なるだけでなく、その運用方針やシステムソフトウェアも異なっている。そのような差異を隠蔽しつつ、事前に定められた評価基準に基づいて適切なシステムを選択して緊急ジョブを実行する仕組みを構築する。その結果として、JHPCN 構成機関が提供する計算資源を緊急時には防災減災にも活用する機構と組織・体制の確立を目指すという、社会的要請の観点から極めて意義深い研究計画となっている。

研究計画

本研究では、学術目的で提供されている計算資源から適切なものを選択し、緊急ジョブを投入して締切時間までに計算結果を得る基盤の実証実験を目的としている。研究代表者の滝沢は、副代表者の越村が代表を務める戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の研究開発テーマ「津波災害デジタルツインの構築とスマート・レジリエンスの実現」(災害デジタルツインプロジェクト)に参加しており、共同研究者の一人としてExpressHPC フレームワーク(ExpHPC)を開発している^[1]。本研究は、複数機関にまたがる計算資源での緊急ジョブ実行を実現するExpHPC を用いた実証実験と、その運用可能性と課題の明確化を目的とする研究計画となっている。その第一歩として、2025 年度には東北大学、大阪大学、および名古屋大学の計算資源を対象として、ExpHPC の開発を進めるとともに動的資源選択の実証実験を行う。

ジョブスケジューラや運用の差異を隠蔽する抽象化レイヤーの構築

現在、本研究代表者の滝沢らは災害デジタルツインプロジェクトにおいてジョブスケジューラ等の差異を隠蔽するための抽象化レイヤーを構築しており、多様なジョブスケジューラを同一のインタフェースで利用するための環境が整備されつつある。同抽象化レイヤーは、米国ExaWorks Projectで開発されてきたPortable Submission Interface for Jobs (PSI/J)^[2]を拡張することで実装されている。オリジナルのPSI/Jでも、世界中で広く採用されているジョブスケジューラであるSlurmやPBS Pro等には対応しているが、国内で採用事例の多いNEC NQSVやFujitsu Technical Computing Suite (TCS) には未対応である。このため、NQSVやTCSの基本機能を利用できる抽象化レイヤーを実装し、異なるジョブスケジューラで運用されている複数の計算資源を同一のインタフェースで利用できる環境を実現する。

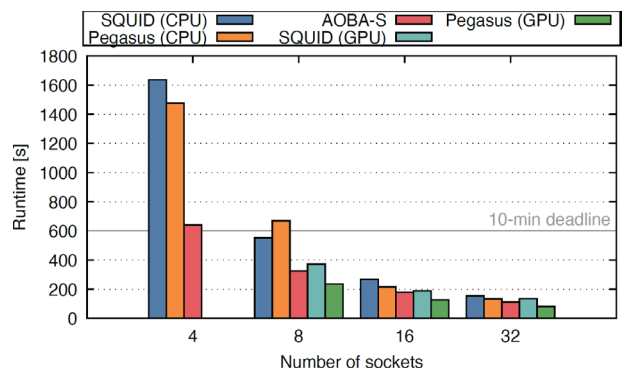
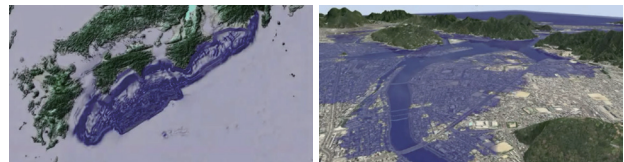
3大学のスパコン間の様々な差異を隠蔽する抽象化レイヤー
PSI/Jを経由してジョブを投入できる環境の構築

東北大学サイバーサイエンスセンターのスパコンAOBAと大阪大学D3センターのスパコンSQUIDはNQSVをジョブスケジューラとして使っている。一方、名古屋大学情報基盤センターのスパコン不老はTCSを使っている。また、同じジョブスケジューラを使っている場合でも、それぞれのシステムは異なる運用方針や利用規則に基づいて運用されており、各システムの利用方法には様々な差異がある。代表的な相違として、緊急ジョブの割り込み実行(preemptive execution)の可否や、ジョブキューの構成、ジョブ投入可能なホスト(フロントエンド)へのログイン方法などの違いが考えられる。令和7年度には、上記の3つのシステムに対して、拡張版のPSI/Jを介してジョブを投入できる環境を実際に構築し、インタフェースの共通化の実現可能性と技術的課題の明確化を行う。

津波シミュレーションコードの性能可搬性の実現

リアルタイム津波浸水・被害予測システムの中核をなす津波シミュレーションコードは、長年にわたってベクトルシステム向けに開発・最適化されてきた^[3]。しかし現在、同コードのGPU 環境への移植と性能評価が行われている。本研究課題では、津波シミュレーションコードの性能可搬性を高めるとともに、同コードが緊急ジョブとして実行されるワークフロー全体を様々な計算資源で実行して性能解析とさらなる高速化の検討を行う。

津波シミュレーションコードは階層的なメッシュ構造を採用しており、最も細かいメッシュサイズが10m×10mの条件下で高知県の6時間先までの津波浸水被害予測を行う場合、締切時間である10分間以内に緊急シミュレーションを実行できるようになっている^[4]。しかし、さらに高い空間分解能で日本全国の津波浸水被害予測を行うことを目標としており、データ同化やアンサンブル実行といった技術も活用するためには、5 Pflop/s以上の実効性能を達成が必要であると試算されている。計算ノード数の増加にともなう計算負荷の不均衡が深刻化することがわかっていることから、令和7年度には本シミュレーションの計算負荷均衡を考慮した領域分割方法を検討する。

高知県の津波浸水被害予測結果の例と各種スパコンでの実行時間^[4]

緊急ジョブ実行に関する各種統計情報の取得と考察

本研究では実運用システムでの緊急ジョブ実行を前提としているため、ジョブ投入時のシステム混雑状況に依存して実行開始までの待ち時間が大きく変化する。このため、各システムの混雑状況とジョブ開始時間との関係を把握し、適切な計算資源選択に活用することはExpHPCの開発において最重要課題の一つである。本研究では、津波シミュレーションコードを緊急ジョブとして実行する一連のワークフローを定期的に投入し、その時のシステム状況と実行開始時刻等の様々な統計情報を実測によって収集する。その統計情報は、ExpHPC において適材適所の計算資源選択を実現するための基礎データとなる。それらの情報に基づいて構成拠点の研究者間で議論を行い、今後の運用に向けて解決すべき課題を明確化する。

参考文献

- [1] Takizawa et al., "ExpressHPC: Towards Connected Supercomputing Enabling On-demand Job Execution for Disaster Resilience," SC24 Combined Workshop on Interactive and Urgent HPC, 2024.
- [2] ExaWorks PSI/J, <https://exaworks.org/psij>.
- [3] Musa et al., "Real-time Tsunami Inundation Forecast System for Tsunami Disaster Prevention and Mitigation," Journal of Supercomputing, vol.74, no.7, pp.3093–3113, 2018.
- [4] Takahashi et al., "Modernizing an Operational Real-time Tsunami Simulator to Support Diverse Hardware Platforms," IEEE International Conference on Cluster Computing, 2024.

JHPCN

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第17回シンポジウム

Japan High Performance Computing and Networking plus Large-scale Data Analyzing and Information Systems

2025年7月10日, 11日

東京コンファレンスセンター・品川

課題番号 jh250066

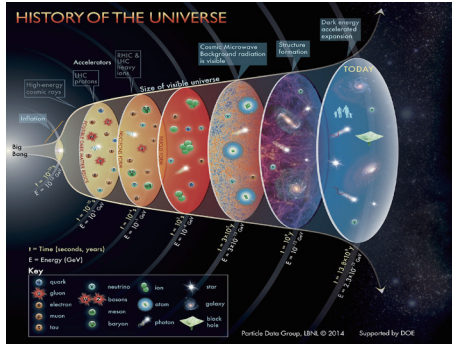
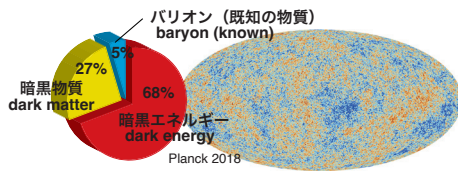
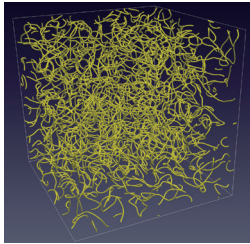
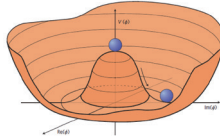
宇宙初期における位相欠陥の一般相対論的シミュレーション

General relativistic simulation of topological defects in the early universe

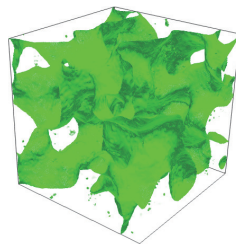


北嶋 直弥 / Naoya Kitajima 東北大学 学際科学フロンティア研究所 / FRIS, Tohoku University

共同研究者：神田行宏（東大 ICRR）、藤林翔（東北大学際研）、滝沢寛之（東北大学サイバーサイエンスセンター）

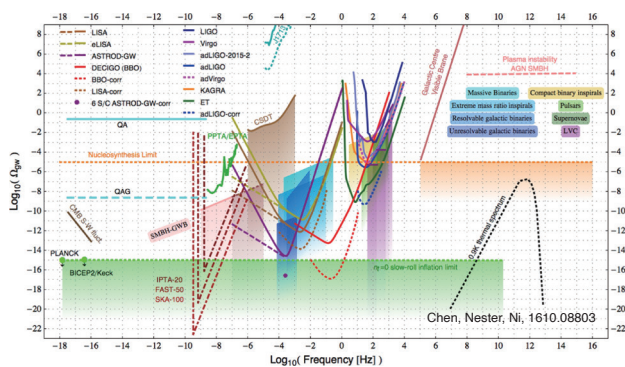
Q. 宇宙はどのようにして始まったのか？
How did the Universe begin?Q. 宇宙は何でできているか？
What is the Universe made of?Q. どのようにして初期宇宙を探るか？
How can we probe the early Universe?自発的対称性の破れ
Spontaneous symmetry breaking

宇宙ひも / Cosmic string



ドメインウォール / domain wall

Gravitational wave observation as a probe of the early Universe



Numerical relativity

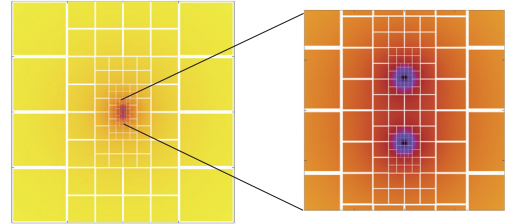
"Matter tells spacetime how to curve,
and spacetime tells matter how to move."
John A. Wheeler

$${}^{(4)}R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} {}^{(4)}R g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

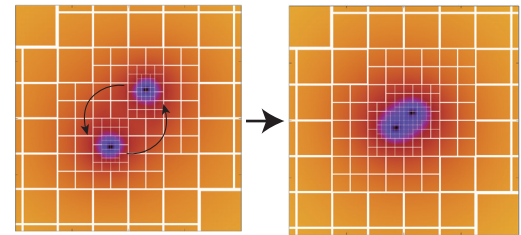
CCZ4 formulation

$$\begin{aligned} \partial_t \chi &= \frac{2}{3} \alpha \chi K - \frac{2}{3} \chi \partial_k \beta^k + \beta^k \partial_k \chi, \\ \partial_t \gamma_{ij} &= -2\alpha \tilde{A}_{ij} + 2\gamma_{k(i} \partial_{j)} \beta^k - \frac{2}{3} \gamma_{ij} \partial_k \beta^k + \beta^k \partial_k \gamma_{ij}, \\ \partial_t \tilde{A}_{ij} &= \chi [-D_i D_j \alpha + \alpha (R_{ij} + D_i Z_j + D_j Z_i - 8\pi S_{ij})]^{TF} \\ &\quad + \alpha [\tilde{A}_{ij} (K - 2\Theta) - 2\tilde{A}_{ik} \tilde{A}_{jl}^k] - 2\tilde{A}_{k(i} \partial_{j)} \beta^k - \frac{2}{3} \tilde{A}_{ij} \partial_k \beta^k + \beta^k \partial_k \tilde{A}_{ij}, \\ \partial_t K &= -D_i D^i \alpha + \alpha (R + 2D_i Z^i + K^2 - 2\Theta K) + \beta^i \partial_i K - 3\alpha \kappa_1 (1 + \kappa_2) \Theta + 4\pi \alpha (S - 3\rho), \\ \partial_t \Theta &= \frac{\alpha}{2} (R + 2D_i Z^i - \tilde{A}_{ij} \tilde{A}^{ij} + \frac{2}{3} K^2 - 2\Theta K) - Z^i \partial_i \alpha + \beta^k \partial_k \Theta - \alpha \kappa_1 (2 + \kappa_2) \Theta - 8\pi \alpha \mu, \\ \partial_t \tilde{\Gamma}^i &= -2\tilde{A}^{ij} \partial_j \alpha + 2\alpha \left(\tilde{\Gamma}_{jk}^i \tilde{A}^{jk} - \frac{3}{2\chi} \tilde{A}^{ij} \partial_j \chi - \frac{2}{3} \gamma^{ij} \partial_j K \right) \\ &\quad + 2\gamma^{ij} \left(\alpha \partial_j \Theta - \Theta \partial_j \alpha - \frac{2}{3} \alpha K Z_j \right) \\ &\quad + \beta^k \partial_k \tilde{\Gamma}^i + \gamma^{jk} \partial_j \partial_k \beta^i + \frac{1}{3} \gamma^{ij} \partial_j \partial_k \beta^k + \frac{2}{3} \tilde{\Gamma}^{ij} \partial_k \beta^k - \tilde{\Gamma}^k \partial_k \beta^i \\ &\quad + 2\kappa_3 \left(\frac{2}{3} \gamma^{ij} Z_j \partial_k \beta^k - \gamma^{jk} Z_j \partial_k \beta^i \right) - 2\alpha \kappa_1 \gamma^{ij} Z_j - 16\pi \alpha \gamma^{ij} S_j. \end{aligned}$$

Adaptive mesh refinement (AMR)

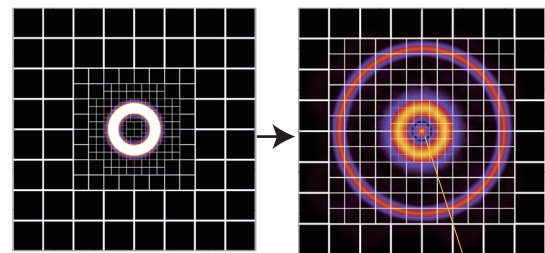


Binary black hole merger (test)



Purpose of this project

Cosmic string loop → Black hole
Domain wall collapse → Black hole



scalar field implosion (test simulation)

black hole