

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

滝沢寛之（東北大学）

概要

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)[1] を開発している。本申請課題は、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している。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った。

1 共同研究に関する情報

1.1 共同研究を実施した拠点名

- 東北大学 サイバーサイエンスセンター
- 名古屋大学 情報基盤センター
- 大阪大学 D3 センター
- mdx I

1.2 課題分野

- 大規模計算科学課題分野

1.3 参加研究者の役割分担

研究代表者の滝沢寛之は全体を総括しつつ、河合直聡、江川隆輔、下村陽一、大村竜義とともに基盤ソフト開発とスケジューリングアルゴリズム検討に取り組む。

副代表者の越村俊一は、撫佐昭裕および佐藤佳彦とともに津波シミュレーションに関する支援および助言を行う。

伊達進、片桐孝洋、および高橋慧智は、大阪

大学および名古屋大学の計算資源を利用した実証実験に関する支援および助言を行う。

2 研究の目的と意義

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 [2]。文部科学大臣賞や日本オープンイノベーション大賞 総務大臣賞を受賞するなど、その意義は社会的にも学術的にも高く評価されている。

本研究課題の目的は、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。本研究により、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。

3 当拠点公募型研究として実施した意義

JHPCN が提供する計算資源の利用範囲を拡大することを目的とした研究計画であり、その実用性を評価するために JHPCN 計算資源利用が必要不可欠であった。緊急ジョブ実行を実現するためには運用側の協力が必要であることから、複数の資源提供機関の教職員が参加する共同研究体制で実施した。具体的には、一般利用できない緊急ジョブキューの利用を特別に許可していただき、後述の実証実験(図2)を実施することができた。また、実運用システムに関する詳細な情報提供を受けることもできた。

4 前年度までに得られた研究成果の概要

該当なし。

5 今年度の研究成果の詳細

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。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している。

2025 年度には、東北大、大阪大、名古屋大の連携の実証実験を当初予定通り実施することができた。実証実験に参加したシステムとそのアーキテクチャを図1に示す。東北大学サイバーサイエンスセンターと大阪大学 D3 センターは緊急ジョブ実行のための専用キューを用意しており、運用側の協力により今回は特別に緊急ジョブキューを利用させさせてもらうことができた。名古屋大学情報基盤センターでは同様のジョブキューは提供していないため、高優先度キューを使って緊急ジョブを実行することにした。

本実証実験では、兵庫県、高知県、和歌山県の津波浸水被害予測シミュレーションを緊急実行した。ExpHPC のメタスケジューラは mdx-II 環境に構築された。メタスケジューラにより、緊急ジョブ実行がリクエストされた時点での状況に基づき、兵庫県が AOBA-S、高知県が SQUID、和歌山県が「不老」Type II に割り当てられた(図2)。これら3つの遠隔システムをを連携させることにより、実証実験では最悪でも6分以内にすべての推計結果を取得することができた。何度か同じ実験を繰り返すことにより、多くの場合には2~3分で実行を完了できることも確認された。現在、緊急ジョブ実行のメタ切時間は「実行リクエストから10分以内」と設定されており、今回の実験条件においてメタ切に十分間に合うように緊急ジョブを実行できることを確認することができた。本実証実験により、緊急ジョブ実行のための仕組みとしての ExpHPC の実用性が示されたことから、2025 年 11 月 7 日にその成功に関するプレスリリー

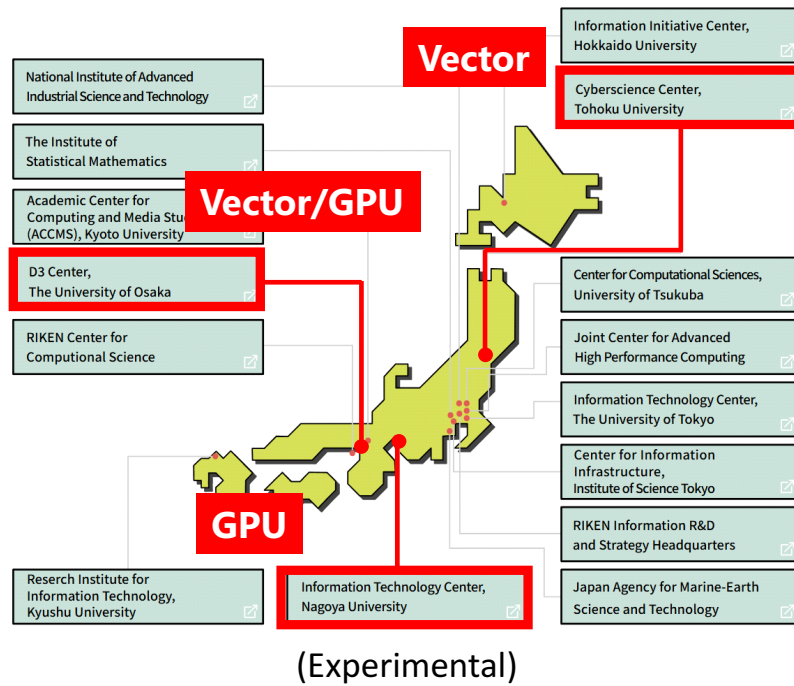


図 1 実証実験に利用したシステムとそのアーキテクチャ

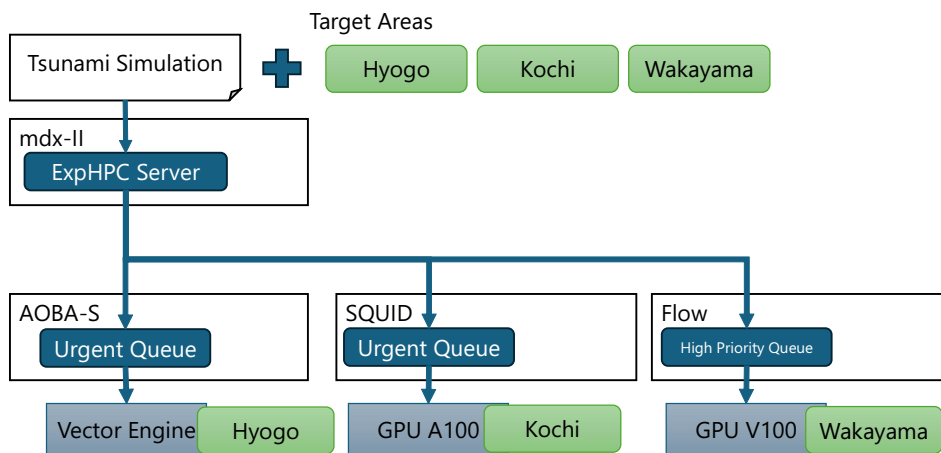


図 2 ExpressHPC の概要

スを開示した [3]。その成果は、日本経済新聞オンライン版 [4] など複数のインターネットメディアに掲載され、大きな反響を得ることができた。

以下、申請書で掲げた 3 つのサブテーマごとの進捗状況を述べる。

(1) 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、ExaWorks Project で開発されてきた Portable Submission Interface for Jobs (PSI/J)*¹を拡張することで実装されている。オリジナルの PSI/J では、国内で採用事例の多い NEC の NQSV や富士通の Technical Computing Suite (TCS) といったジョブスケジューラには未対応であった。このため本研究課題では、NQSV や TCS の基本機能を利用できる抽象化レイヤーを試作した。その結果として、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ようになった。本研究課題で開発した NQSV のサポート機能に関しては、本家 PSI/J にも取り込み済みである。

また、各機関でジョブスケジューラの設定をカスタマイズして運用している場合が多く、より多くの機関に協力を求めていくためには、そのような設定の違いも考慮する必要があることが明らかになった。

(2) 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・最適化されてきたが、現在では同コードの 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、東北大学サイバーサイエンスセンターの AOBA-S、大阪大学 D3 センターの SQUID GPU ノード、および名古屋大学情報基盤センターの「不老」Type II 向けにコンパイルできるように津波シミュレーションコードを調整し、妥当な性能が得られることを 2025 年度前半に確認することができた。

(3) 実運用環境での緊急ジョブ実行に関する各種統計情報の取得と考察

本研究課題では、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の明確化に取り組んできた。

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各計算資源に適切に対応付けるメタスケジューラの開発を目指し、そのための基礎となる統計情報の取得した。

前述の実証実験 (図 1 および図 2) において、緊急ジョブ実行開始までに要する統計情報が得られた (図 4)。緊急ジョブ投入時、ExpHPC は各システム上に管理用プロセス (ExpHPC Agent) を立ち上げる。その起動に要する時間は 1 秒以下であり、無視できることが分かっている (図 4 左)。一方、ジョブを投入してから実際に実行を開始するまでの時間に関しては各システムで統計的傾向が異なり (図 4 右)、緊急ジョブ実行の仕組みを利用した場合でもばらつきがあることがわかっている。これはジョブ投入時の各システムの混雑具合はもちろんのこと、各システムのジョブスケジューラの設定の違いにも起因していることが、分析の結果から判明している。例えば、実証実験を実施した日に「不老」Type II は比較的空いていたため、

*¹ <https://exaworks.org/psij>

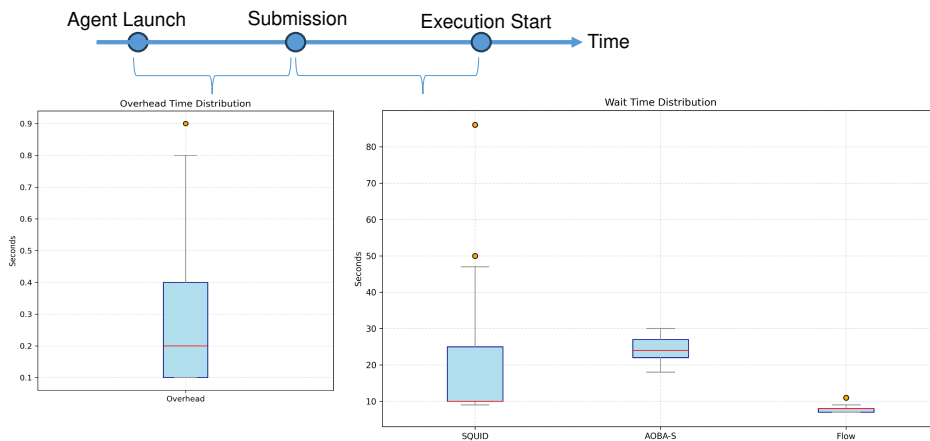


図3 緊急ジョブ実行までに要する時間の傾向

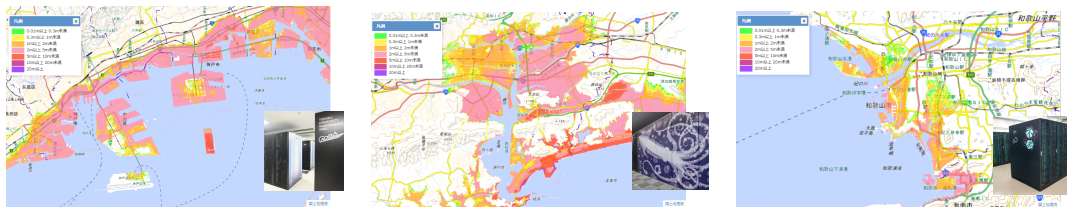


図4 各計算システムによる計算結果

ジョブ投入からすぐに実行が開始されている。また、AOBA-S と SQUID は同じジョブスケジューラを使って運用されているが、そのスケジューリング間隔のパラメータ設定が異なっているため、ジョブ投入から実行開始までの遅延時間の平均値が異なっている。

これらのオーバーヘッドを最悪値で見積もった場合でも、実証実験ではすべてのシミュレーションを6分以内に完了できており、緊急ジョブ実行のための仕組みとしての ExpHPC の実用性が示されている。今後はより多くの事例やタイミングで実証実験を繰り返し、これまでに得られている結論の一般性を検証する予定である。

6 進捗状況の自己評価と今後の展望

2025 年度は、当初の予定以上に研究を進めることができたと判断している。東北大学、大

阪大学、名古屋大学間での連携は実証実験とそのプレスリリースという形で成果として残すことができた。2025 年度には3つのサブテーマを設定して取り組んできたが、そのすべてにおいて当初計画以上の進捗がみられた。また、別途、他大学のジョブスケジューラの運用状況についても調査することができ、運用の差異に関する情報をまとめることができた。今後はさらに共同研究者を増やし、より大きな体制で緊急ジョブ実行の実証実験を進められることを計画している。

実証的な取り組みと並行して、ジョブスケジューリングを中心とする計算資源管理に関する学術的な研究も進めている。その成果の一部は、ジョブスケジューリングに関する老舗の国際ワークショップである JSSPP'25 で発表され、査読付き論文(ポストプロシーディングス)として掲載された。他にも、SC'25 にお

けるポスター発表(査読付き)や、SCA/HPC Asia 2026 でも投稿論文が採択された。また、GPU を含む計算資源を一時的に回収して緊急ジョブを実行する仕組みを検討し、情報処理学会 HPC 研究会で報告した。さらには、いくつかの招待講演等でも、研究代表者が本課題やその成果に言及している。

参考文献

- [1] H. Takizawa, T. Ohmura, K. Takahashi, Y. Shimomura, R. Egawa, Y. Sato, J. Yoshino, A. Musa, and S. Koshimura, “ExpressHPC: Towards Connected Supercomputing Enabling On-demand Job Execution for Disaster Resilience,” SC24 Combined Workshop on Interactive and Urgent HPC, 2024.
- [2] A. Musa, O. Watanabe, H. Matsuoka, H. Hokari, T. Inoue, Y. Murashima, Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, and H. Kobayashi, “Real-time Tsunami Inundation Forecast System for Tsunami Disaster Prevention and Mitigation,” Journal of Supercomputing, vol.74, no.7, pp.3093–3113, 2018.
- [3] 災害発生時の緊急対応のために異種複数のスパコンを連携させる実証実験に成功 –防災減災のために東北大学・大阪大学・名古屋大学が一致団結–, <https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2025/11/press20251107-03-A0BA.html>.
- [4] 日本経済新聞オンライン版, 東北大・阪大・名大、災害発生時の緊急対応のために異種複数のスパコンを連携させる実証実験に成功, https://www.nikkei.com/article/DGXZRSP699188_X01C25A1000000/.