

滝沢寛之(東北大) 越村俊一(東北大)伊達進(大阪大) 片桐孝洋(名古屋大) 撫佐昭裕(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)
下村陽一(東北大) 大村竜義(東北大) 佐藤佳彦(NECソリューションイノベータ)

JHPCN

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**

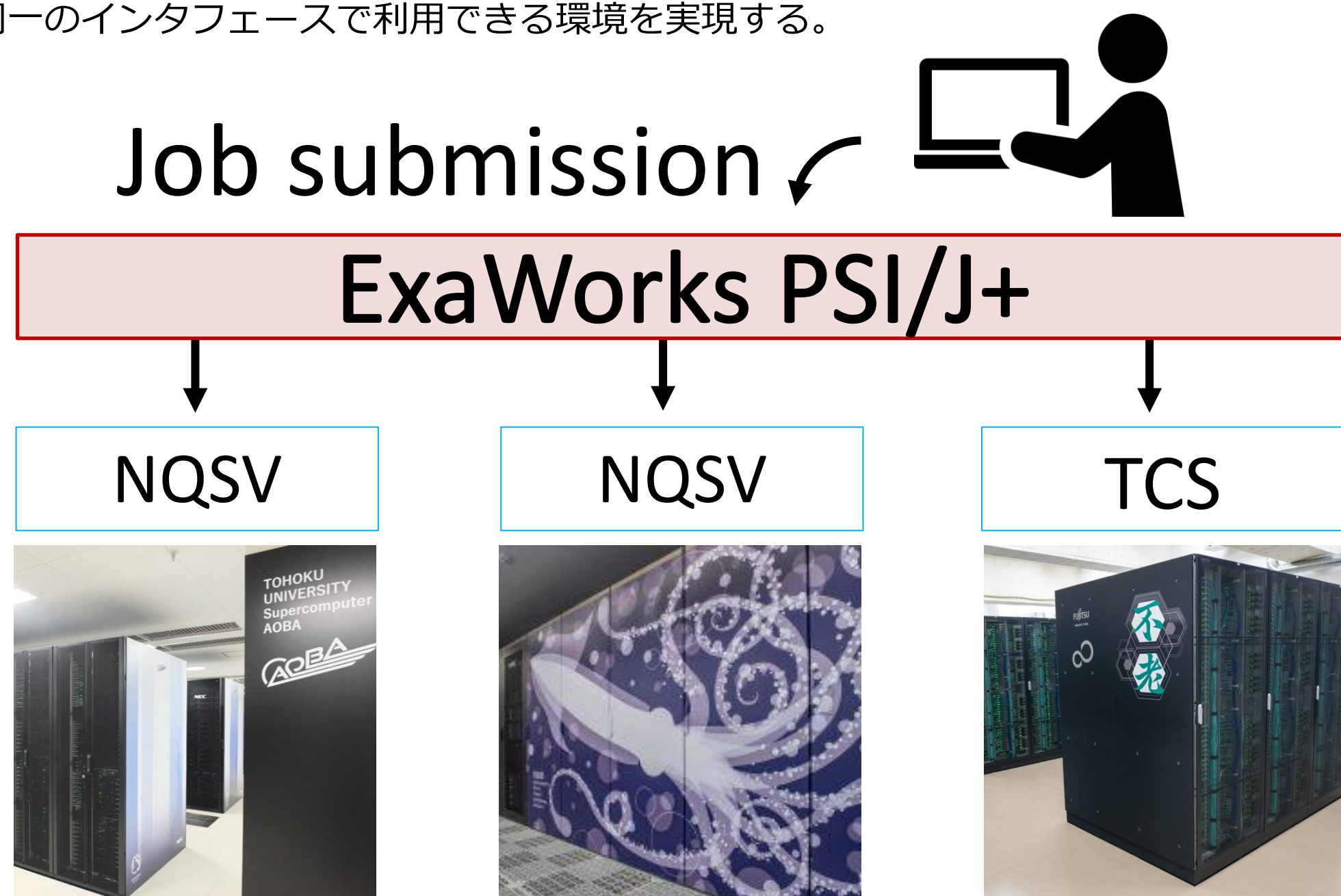
東北大学サイバーサイエンスセンターと大阪大学D3 センターは、大規模地震発生時に津波シミュレーションを緊急実行して被害範囲や規模を推定し、内閣府やいくつかの地方自治体に通知する「リアルタイム津波浸水・被害予測システム」を安定的に共同運用してきた。本研究の目的は、そのような緊急ジョブ実行の仕組みを他のJHPCN構成機関でも広く実行できるように拡充し、より大規模、より多様な需要に応えるための基盤を確立することである。各構成機関の計算資源はハードウェア構成や種類が異なるだけではなく、その運用方針やシステムソフトウェアも異なっている。そのような差異を隠蔽しつつ、事前に定められた評価基準に基づいて適切な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^[4]。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**

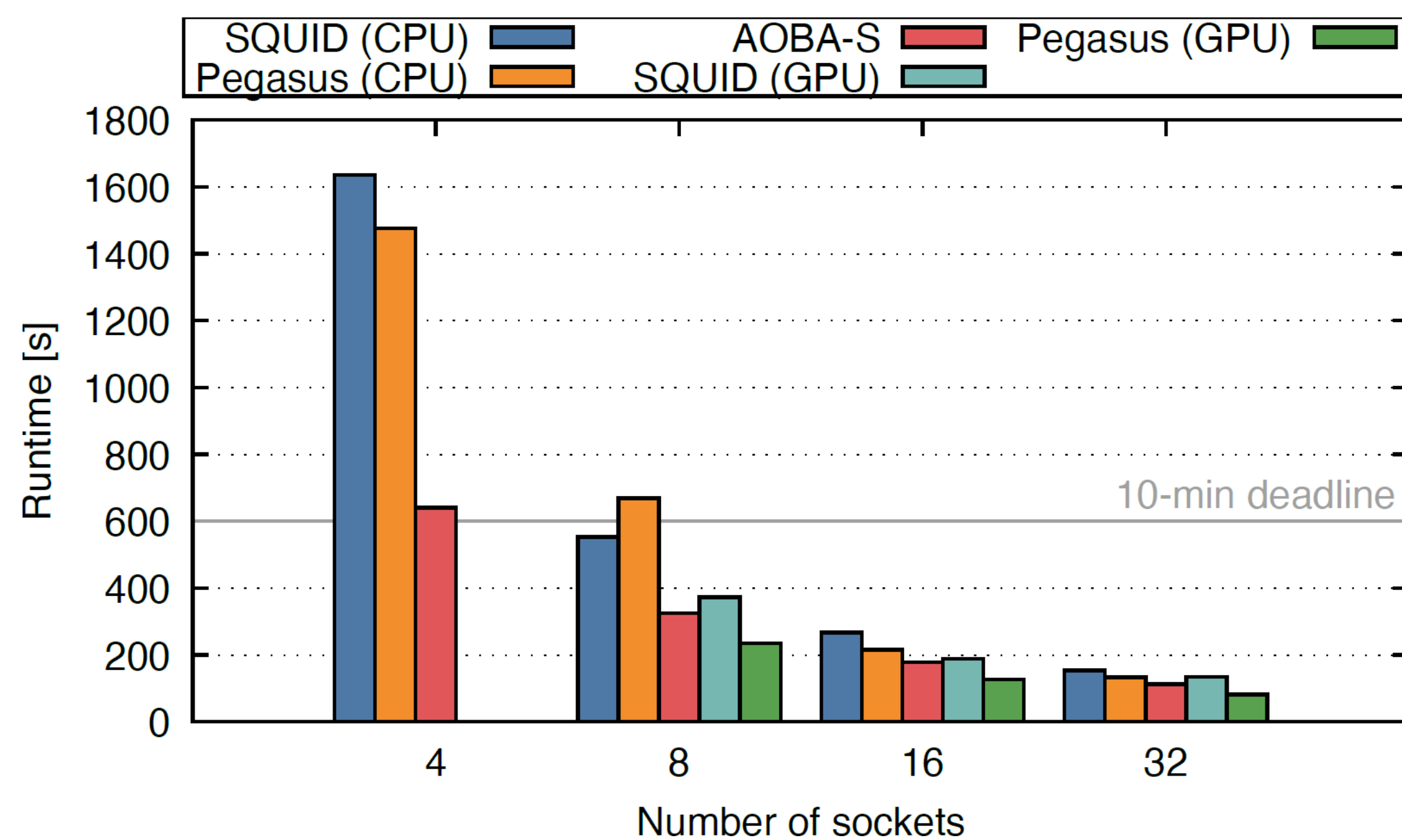
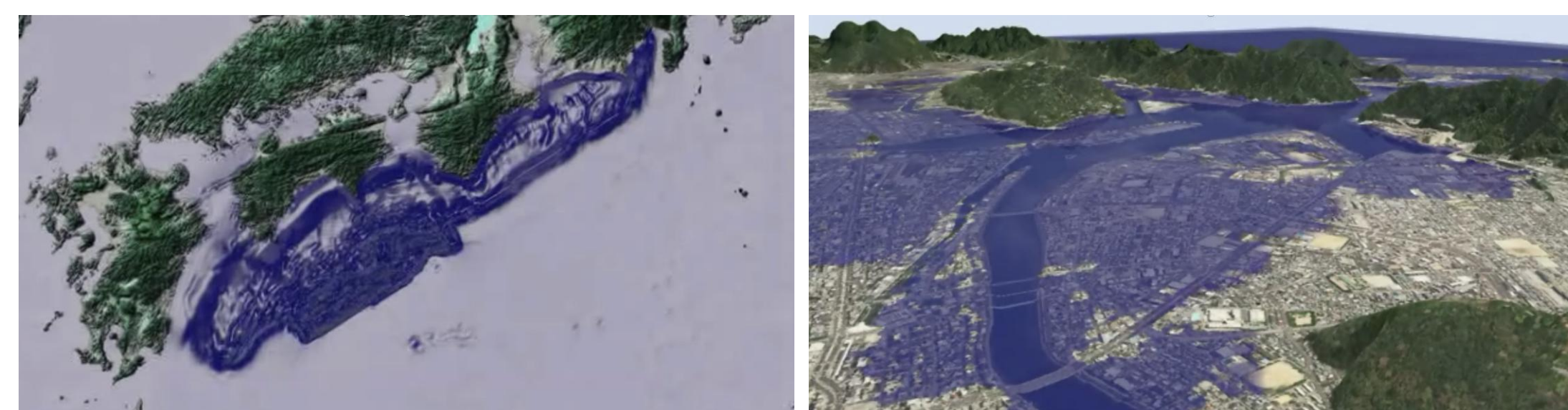
東北大学サイバーサイエンスセンターの**スパコンAoba**と大阪大学D3センターの**スパコンSQUID**はNQSVをジョブスケジューラとして使っている。一方、名古屋大学情報基盤センターの**スパコン不老**はTCSを使っている。また、同じジョブスケジューラを使っている場合でも、それぞれのシステムは異なる運用方針や利用規則に基づいて運用されており、各システムの利用方法には様々な差異がある。代表的な相違として、緊急ジョブの割り込み実行(preemptive execution)の可否や、ジョブキューの構成、ジョブ投入可能なホスト(フロントエンド)へのログイン方法などの違いが考えられる。

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する必要があると試算されている。計算ノード数の増加にともなって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.