

令和元年6月10日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12845

研究課題名（和文）次世代コプロセッサの活用によるコミュニティ津波予報システムの構築

研究課題名（英文）Community Tsunami Inundation Forecast using Next Generation Co-processor

研究代表者

越村 俊一（Koshimura, Shunichi）

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：50360847

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000円

研究成果の概要（和文）：大幅な演算性能向上が期待される次世代コプロセッサを活用して、自治体などコミュニティでの自立的・分散的な運用が可能なりアルタイム津波浸水・被害予測システムを構築することを目的とし、計算モデル、計算資源量や予測内容の量と質、および導入するハードウェアについての仕様を明らかにした。計算モデルについては、非線形長波式の差分法による従来のモデルに加え、近年開発が進められている新しい計算法である格子ボルツマン法を検討し、2011年東北地方太平洋沖地震津波の再現計算とその評価を通じて、次世代の数値計算モデルとしての有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の最大の意義は、高精度リアルタイム津波浸水予測を、安価な次世代プロセッサを用いることで実行可能にし、さらに大学等での大規模なスーパーコンピュータと同等以上のパフォーマンスを達成できたことである。これにより、自治体などコミュニティでの自立的・分散的な運用が可能なりアルタイム津波浸水・被害予測システムを構築することが可能になった。さらには、我が国だけでなく、津波リスクの高い諸外国への展開が可能になったことが重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：Using a next-generation co-processor, we aim to develop a community tsunami inundation forecast system to be implemented in a community-level tsunami disaster response. To achieve the goal, the research team conducted a research to optimize a tsunami inundation model running on a new computational platforms, to clarify the required computational resources, quality of the simulation, potential hardware configurations. As a result, we found that the TUNAMI code (Tohoku University's tsunami inundation simulation code) can be efficiently optimized on a new vector processor called SX-AuroraTSUBASA. It achieved a performance to execute the 6-hour inundation forecast with 10 m resolution in about 4 minutes using 256 cores. This research achievement leads to construct a community-based tsunami inundation forecast system for the end-users such as local municipality.

研究分野：津波予報

キーワード：シミュレーション 高性能計算 広域被害把握

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

科学技術において、HPCI(=High Performance Computing Infrastructure)は社会的に重要な課題を解決するために必要な基盤として位置づけられている。防災の分野では、越村らは東北大学のスーパーコンピュータを利用したリアルタイム津波浸水予測システムを構築し、地震発生から数分以内での浸水予測を可能とした。一方、現在の気象庁の1予報区のリアルタイム予報に必要な計算資源は膨大であり、日本全国(66予報区)を網羅する津波予測を現有のスーパーコンピュータで実現することは極めて難しい。この解決策として、次世代のコプロセッサ(CPUの補助を担う演算装置)を効果的に活用し、沿岸コミュニティに小型のシステムを分散配置することで、低コストの革新的な津波予測システムの構築が可能になるという着想に至った。

### 2. 研究の目的

大幅な演算性能向上が期待される次世代コプロセッサを活用して、自治体などコミュニティでの自立的・分散的な運用が可能なりアルタイム津波浸水・被害予測システムを構築することを目的とし、計算モデル、計算資源量や予測内容の量と質、および導入するハードウェアについての仕様を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) まず、非線形長波式の差分法による従来のモデルを採用した場合の性能評価を、複数のコンピュータアーキテクチャを用いて比較し、その優劣について評価した。予測システムに組み込む次世代チップの候補としては、Intel製プロセッサ(Xeon)、NEC製のベクトルプロセッサSX-ACE、および最新のベクトルプロセッサSX-Auroraを候補として、性能評価を行った。

性能評価は、南海トラフ地震津波による被害が想定される高知県沿岸部とし、高知県津波予報区に対する空間解像度10mの津波浸水解析を対象に、まずベクトル演算の効率化を行った。ここでは、井上ら①による多角形領域接続・MPI並列津波解析モデルを利用して検討を行った。本モデルは、平面2次元非線形長波理論及び有限差分法による、世界標準となっているTUNAMI(Tohoku University Numerical Analysis Model for Inundation)コード②に基づくコードである。解析領域及びネスティングの形状を従来の矩形から多角形に拡張し、高精度解析の対象地域を津波の遡上しうる沿岸域に限定することで、解析格子数を削減し安定条件を緩和した、特に広域津波解析で効率的なモデルである。多角形領域は、矩形の「ブロック」を積み重ねることで表現した(図1)。

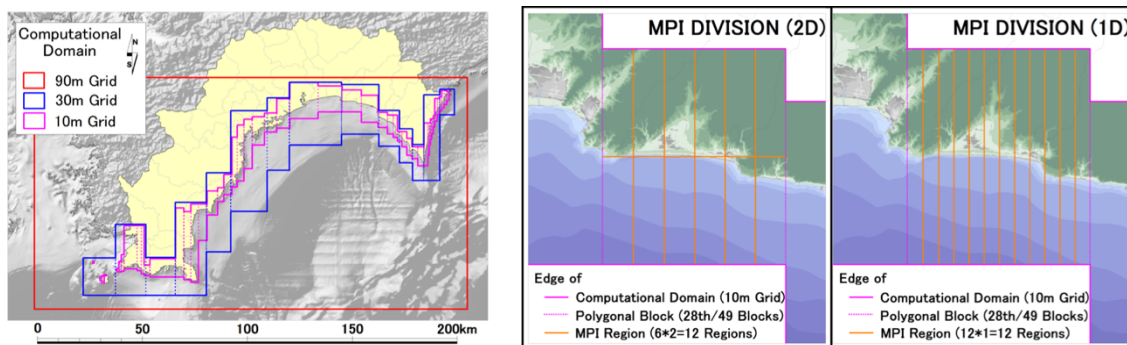


図1 高知県津波予報区を対象とした多角形領域設定(左)とMPI領域分割(右:2次元・1次元)の概略

(2) 自治体などコミュニティでの自立的・分散的な運用が可能なりアルタイム津波浸水・被害予測システムを構築することを目標に、計算モデル、計算資源量や予測内容の量と質、および導入するハードウェアについての仕様を明らかにした。

### 4. 研究成果

(1) 非線形長波式の差分法によるTUNAMIコードを採用した場合の性能評価を、複数のコンピュータアーキテクチャを用いて比較し、その優劣について評価した。予測システムに組み込む次世代チップ評価の候補として、Intel製のプロセッサ(Xeon Gold)、NECのベクトルプロセッサSX-ACE、および最新のNEC製ベクトルプロセッサSX-Aurora TSUBASAの性能評価を行った(表1)。その結果、SX-Aurora TSUBASAが最も効率性が高く、ベクトル化、計算領域の最適化、並列処理における負荷分散によって、従来法よりも大幅な性能向上が期待できることを明らかにした。

これに加え、Intel Xeon機においては、若干性能は落ちるが、リアルタイム予測としては実用上十分な性能が得られた(図2)。

結論として、SX-Aurora TSUBASAは非常に安価にシステム構築が可能であり、民間事業者、地方自治体などのユーザにも導入が可能になるため、一連の解析システムを分散配置して自動化することが可能となり、利用可能性を大幅に広げることができた。

(2) 上記の検討から、本研究で提唱したリアルタイム津波浸水・被害予測方式を利用して、自立・

分散型の津波予報システムを構築する場合のハードウェアとしては、最新型ベクトル型プロセッサ SX-Aurora TSUBASA を配したシステムが、コスト、性能、冗長性から最も優れていることを確認することができた。SX-Aurora TSUBASA の特徴は、図 3 に示すように、計算のニーズとコストに応じて柔軟なハードウェア構成が可能であり、スーパーコンピュータに匹敵する性能をもちながら、導入コストが低いことが特徴である。

高精度リアルタイム津波浸水予測を、安価な次世代プロセッサを用いることで実行可能にし、さらに大学等での大規模なスーパーコンピュータと同等以上のパフォーマンスを達成できたことで、自治体などコミュニティでの自立的・分散的な運用が可能なりリアルタイム津波浸水・被害予測システムを構築することが可能になった。我が国だけでなく、津波リスクの高い諸外国への展開が可能になったことにおいても意義が高い。

表 1 SX-ACE(ベクトル型スパコン)と SX-Aurora (次世代ベクトルプロセッサ) の諸元

	SX-ACE	SX-Aurora TSUBASA
System Performance	707 Tflops (2,560 nodes)	N/A
Node Performance	276 Gflops (4 cores)	2.15 Tflops (8 cores)
Single Core Performance	69 Gflops	268 Gflops
Memory Through-put	256 GB/sec./node	1.2 TB/sec
Memory Capacity	64 GB/node	64 GB/node

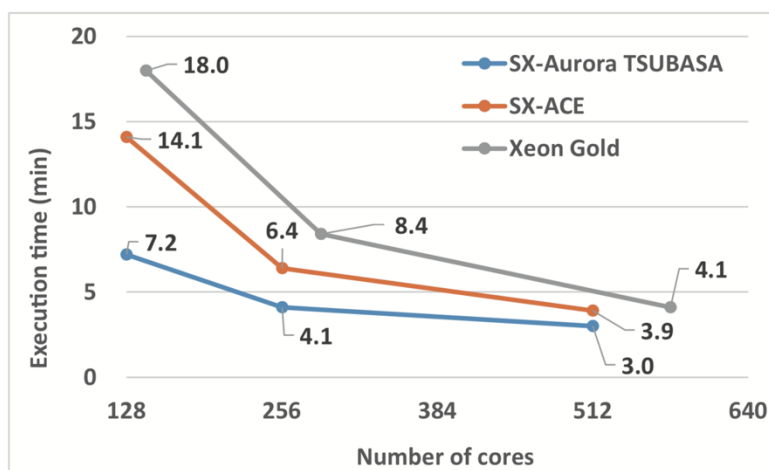


図 2 津波浸水予測計算のパフォーマンス比較 (10mメッシュ, 6 時間分の予測)

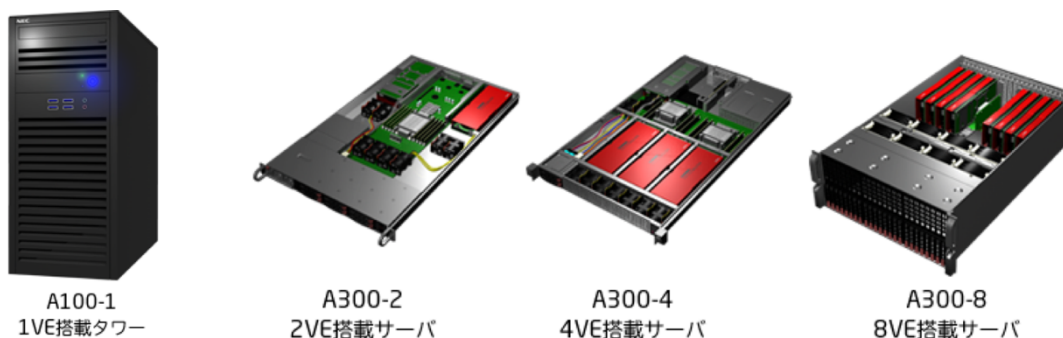


図 3 ベクトルプロセッサ SX-Aurora TSUBASA のハードウェア構成

<引用文献>

- ① 井上拓也, 阿部孝志, 越村 俊一, 撫佐 昭裕, 村嶋 陽一, 小林 広明, 多角形領域接続・MPI 並列津波解析モデルの複数解像度における全国津波解析への適用性検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 73 巻, 2 号, I\_319-I\_324, 2017.
- ② 越村俊一, 阿部孝志, 撫佐昭裕, 村嶋陽一, 鈴木崇之, 井上拓也, 太田雄策, 日野亮太, 佐藤佳彦, 加地正明, 小林広明, スーパーコンピュータによるリアルタイム津波浸水被害予測, SENAC Vol. 51, No. 1, 2018.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① A. Musa, O. Watanabe, H. Matsuoka, H. Hokari, T. Inoue, Y. Murashima, Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, H. Kobayashi, Real-Time Tsunami Inundation Forecast

- System for Tsunami Disaster Prevention and Mitigation, Journal of Supercomputing, pp.1-21, 2018. 査読あり <https://doi.org/10.1007/s11227-018-2363-0>
- ② A. Musa, T. Abe, T. Inoue, H. Hokari, Y. Murashima, Y. Kido, S. Date, S. Shimojo, S. Koshimura, H. Kobayashi, A Real-Time Tsunami Inundation Forecast System Using Vector Supercomputer SX-ACE, Journal of Disaster Research, Vol.13, No.2, pp. 234-244, 2018. 査読あり doi: 10.20965/jdr.2018.p0234
  - ③ 佐藤兼太, 越村俊一, MRT-LBM の弱圧縮を考慮した 2D-3D ハイブリッド津波解析手法に関する数値的検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.74, No.2, I\_175-I\_180, 2018. 査読あり [https://doi.org/10.2208/kaigan.74.I\\_175](https://doi.org/10.2208/kaigan.74.I_175)
  - ④ 越村俊一, 阿部孝志, 撫佐昭裕, 村嶋陽一, 鈴木崇之, 井上拓也, 太田雄策, 日野亮太, 佐藤佳彦, 加地正明, 小林広明, スーパーコンピュータによるリアルタイム津波浸水被害予測, SENAC, Vol.51, No.1, 2018. 査読なし <http://hdl.handle.net/10097/00125077>
  - ⑤ 井上拓也, 阿部孝志, 越村俊一, 撫佐昭裕, 村嶋陽一, 小林広明, 多角形領域接続・MPI 並列津波解析モデルの複数解像度における全国津波解析への適用性検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 73 巻, 2 号, I\_319-I\_324, 2017. 査読あり [https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I\\_319](https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_319)
  - ⑥ 佐藤兼太, 越村俊一, PLIC-VOF 法を用いた格子ボルツマン法の津波数値解析に向けた基礎検証, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 73 巻, 2 号, I\_7-I\_12, 2017. 査読あり [https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I\\_7](https://doi.org/10.2208/kaigan.73.I_7)
  - ⑦ 井上拓也, 阿部孝志, 越村俊一, 撫佐昭裕, 村嶋陽一, 小林広明, 多角形領域接続・MPI 並列による広域津波解析の効率化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, I\_373-I\_378, 2016. 査読あり [https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I\\_373](https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_373)
  - ⑧ 井上拓也, 太田雄策, 越村俊一, 日野亮太, 川元智司, 檜山洋平, 道家友紀, GNSS によるリアルタイム断層推定情報の津波解析への適用手法の検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, I\_355-I\_360, 2016. 査読あり [https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I\\_355](https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_355)
  - ⑨ 古屋敬士, 越村俊一, 日野亮太, 太田雄策, 井上拓也, 緊急地震速報を用いた二段階多数津波シナリオ解析による最悪シナリオ即時推定, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, I\_307-I\_312, 2016. 査読あり [https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I\\_307](https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_307)
  - ⑩ 佐藤兼太, 越村俊一, 多緩和時間モデルを用いた格子ボルツマン法による自由表面流れ解析の高精度化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.72, No.2, I\_253-I\_258, 2016. 査読あり [https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I\\_253](https://doi.org/10.2208/kaigan.72.I_253)
  - ⑪ 佐藤兼太, Bruno ADRIANO, 越村俊一, 外力項に着目した格子ボルツマン法による津波数値計算の高精度化に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.72, No2 p. I\_145-I\_150, 2016. 査読あり [https://doi.org/10.2208/jscejoe.72.I\\_145](https://doi.org/10.2208/jscejoe.72.I_145)

〔学会発表〕 (計 6 件)

- ① S. Koshimura, Paradigm shift of Japan's tsunami disaster management for enhancing disaster resilience, 12th International Symposium on Disaster Risk Management(招待講演), 2018
- ② S. Koshimura, Y. Murashima, A. Musa, R. Hino, Y. Ohta, H. Kobayashi, M. Kachi, Y. Sato, Tsunami Inundation and Damage Forecasting with High-Performance Computing Infrastructure, U.S. National Conference on Earthquake Engineering(国際学会), 2018.
- ③ S. Koshimura, Rest-Time Tsunami Inundation Forecast, Rest-Time Tsunami Inundation Forecast, Understanding Risk Forum(招待講演), 2018.
- ④ S. Koshimura, R. Hino, Y. Ohta, H. Kobayashi, Y. Murashima, A. Musa, Rapid tsunami inundation and damage forecasting with precise tsunami source model with GNSS data, GNSS Tsunami Early Warning System Workshop(招待講演), 2017.
- ⑤ S. Koshimura, Y. Murashima, R. Hino, Y. Ohta, H. Kobayashi, M. Kachi and Y. Sato, Rapid Tsunami Inundation and Damage Estimation with High-Performance Computing and Networking, International Tsunami Symposium, 2017.
- ⑥ 越村俊一, 広域災害の把握と評価, 土木学会水工学夏期研修会(招待講演), 2016.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 撫佐 昭裕

ローマ字氏名: Akihiro Musa