

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21651078

研究課題名（和文）GPU コンピューティングによる津波予報技術の革新と制度設計

研究課題名（英文）Real-time tsunami simulation using GPU

研究代表者

越村 俊一（KOSHIMURA SHUNICHI）

東北大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50360847

研究成果の概要（和文）：

次世代津波速報のための GPU コンピューティング技術の基盤を構築し、全国を対象とした津波到達前予測を踏まえたシミュレーション拡張の技術的要件を明らかにした。日本近海で発生するいかなる地震津波に対しても到達前に計算を終了させて津波到達時間・沿岸津波高・浸水域・浸水深・家屋被害棟数・津波継続時間を予測することを目標とし、低コストかつ実用的なシミュレーションシステムを、2 種類の GPU を用いて試作し、実用化するための技術的要件を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Using Graphics Processing Unit (GPU), we conducted a development of real-time simulation model of tsunami propagation and coastal inundation. Consequently, with a prototype, we terminated the estimation of tsunami travel time and the maximum tsunami height within 8 minutes for 60 minutes of tsunami propagation. Based on the findings of running GPU tsunami simulation in our prototype system, the future perspective to develop a tsunami warning system based on the real-time simulation was clarified.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	800,000	0	800,000
2010 年度	1,300,000	0	1,300,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	270,000	3,270,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：津波，GPU，リアルタイムコンピューティング，津波警報

## 1. 研究開始当初の背景

ゲーム機や画像の描画を目的として PC に搭載されているグラフィックプロセッシングユニット(GPU)を科学技術計算にも利用しようとする研究が、GPU コンピューティング技術

として最近注目されている。GPU は 1 枚あたり最大 240 個の微小なプロセッサを搭載し、CPU(現在は 1 枚あたり 4 プロセッサ)の約 30 倍の処理性能(理論値)と低コストを誇る。最新鋭のテレビゲームが美しいリアルな画像

を高速表示できるのは、画像の描画に GPU の並列演算能力を最大限活用しているからであるが、GPU で高速演算を行うためのプログラミング環境が整わなかったこともあり、科学技術計算の分野では普及が遅れていた。しかし近年、GPU の演算能力に目をつけた天体物理学や分子動力学の研究者が応用研究を始め、2004 年には流体計算の GPU 活用例が紹介され、2008 年には流体計算において従来の CPU を用いた計算法に対し 85 倍の高速演算に成功したことが報告され、GPU のポテンシャルが実証され始めている。

## 2. 研究の目的

本研究では、GPU コンピューティング技術を津波予測に応用することで、津波到達前のリアルタイム予測を可能とする真の技術革新を目指す。しかし GPU を利用した計算には、専用の言語を用いた極めて高度なプログラム開発や、独自の計算メモリ管理・並列化のアルゴリズムを新たに考案する必要があり、GPU コンピューティングに特化した独自の津波解析システムを開発し、津波(浸水域・浸水深・家屋被害)の到達前予測を目指した並列化アルゴリズムと計算領域・空間分解能を、GPU の演算性能の関連で明らかにすることを第一の目的とする。

## 3. 研究の方法

(1)津波解析手法の GPU への実装と効果の実証：まず、GPU 上で高速に動作する津波解析手法を開発する。基礎となる解析プログラムは、東北大学で開発・改良を行った TUNAMI-Code である。プログラミング言語は、GPU の演算に特化した CUDA(NVIDIA 社が無償で公開)を使用する (図 1, 2)。

(2)次世代津波速報のための GPU コンピューティング技術の基盤構築：全国を対象とした津波到達前予測を踏まえたシミュレーション拡張の技術的要件を明らかにする。日本近海で発生するいかなる地震津波に対しても到達前(5分以内)に計算を終了させて津波到達時間・沿岸津波高・浸水域・浸水深・家屋被害棟数・津波継続時間を予測することを目標とし、システムの計算速度を対象領域の大きさ、計算に利用するメッシュ数および GPU のスペックとの関連で検証する。この技術を次世代の津波速報と位置づけ、実用化するための技術的要件を明らかにする。

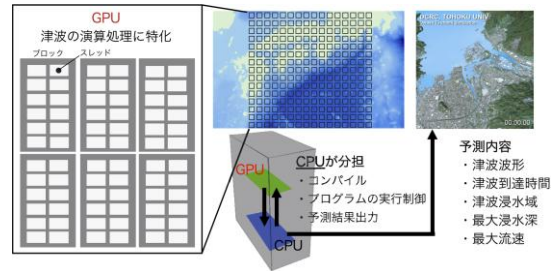


図 1 GPU コンピューティングによる津波解析システムの概念図

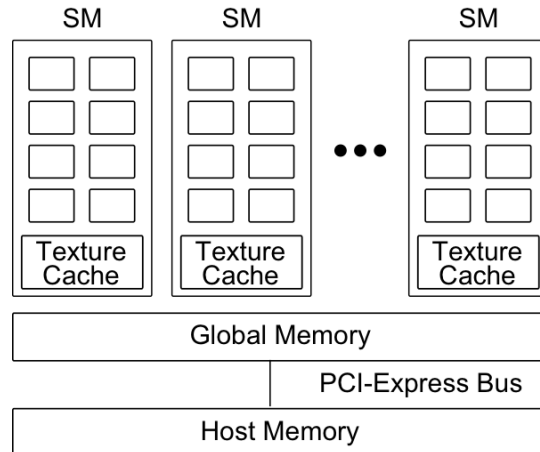


図 2 プログラムにおけるメモリ利用の概念

表 1 GPU コンピューティングによる津波解析システムの諸元の一例

CPU	Intel Core i7 Extreme 980 6Core 3.33GHz
GPU	NVIDIA TESLA C2070
メモリ	メイン:24GB VRAM:6GB
支配方程式	非線形長波式
格子間隔	1350m~50m
格子数 (領域 1)	900 × 500
格子数 (領域 2)	1021 × 601
格子数 (領域 3)	715 × 601
格子数 (領域 4)	1411 × 1291
時間刻み	0.5s

## 4. 研究成果

次世代津波速報のための GPU コンピューティング技術の基盤を構築し、全国を対象とした津波到達前予測を踏まえたシミュレーション拡張の技術的要件を明らかにした (表 1 に例示)。日本近海で発生するいかなる地震津波に対しても到達前に計算を終了させて津波到達時間・沿岸津波高・浸水域・浸水深・家屋被害棟数・津波継続時間を予測することを目標とし、システムの計算速度を対象領域の大きさ、計算に利用するメッシュ数および

GPUのスペックとの関連で検証した。この技術を次世代の津波速報と位置づけ、実用化するための技術的要件を明らかにした。なお、検証計算には、図3、図4で示す計算領域・初期条件および表1で示す計算諸元を考慮し、領域内での津波第一波到達時間(図5)、最大波の到達時間、最大波の波高(図6)を出力した。

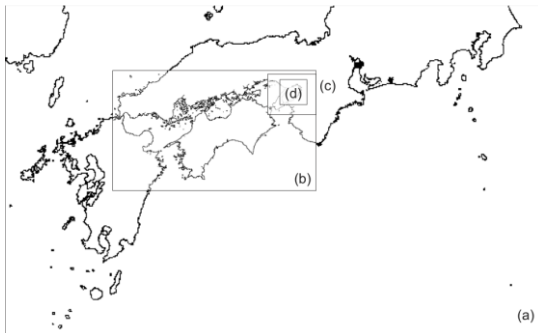


図3 検証計算のために設定した計算領域

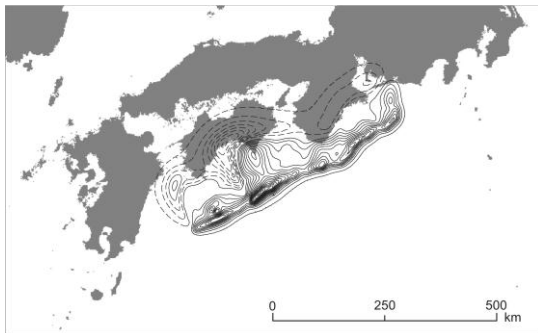


図4 検証計算で用いた津波の波源モデル

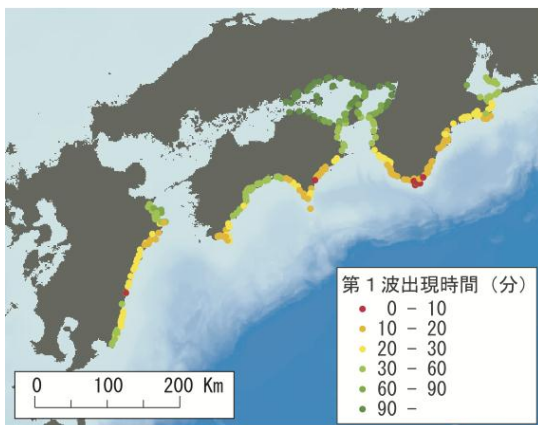


図5 リアルタイム解析結果の表示例(津波第一波到達時間)

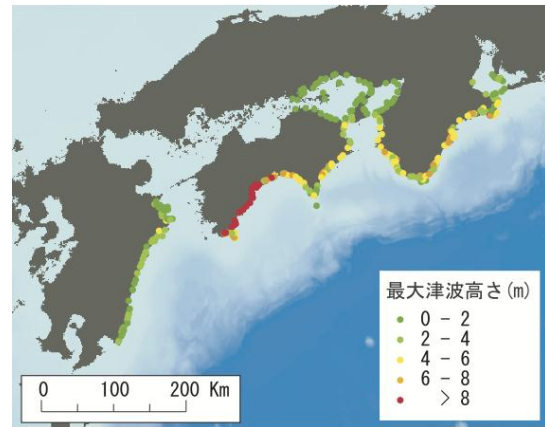


図6 リアルタイム解析結果の表示例(津波最大波の波高)

低コストかつ実用的なシミュレーションシステムを、2種類のGPUを用いて試作した。ひとつは、NVIDIA TESLA GPUを搭載したLinux OSのPC、もうひとつは同Quadroを搭載したMac OSのワークステーションである。どちらもCUDA Fortranでソースコードを記述し、PGIコンパイラ・アクセラレータを用いてコンパイルする環境を構築した。従来のFortranで記述し、CPUで実行するプログラムに比較し、約30倍の高速化に成功した(表2)。本システムを沿岸地域に配備することで、安価なリアルタイム浸水予測システムを構築することができることが実証できた。

表2 津波解析コードの内部処理(100時間ステップ)にかかるCPUとGPUの実行時間の比較

副プログラム名	CPUでの実行時間(ms)	GPUでの実行時間(ms)
水位計算	8908.98	345.56
開境界処理	29.27	4.73
領域接続	53.97	39.04
流量計算	157498.68	5653.08
領域接続	64.76	31.66
時刻歴最大値の更新	8534.91	110.62
変数の更新	2812.84	215.63
合計	177901.41	6400.32

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

1. 郷右近英臣, 越村俊一, 今井健太郎, 2009年米領サモア地震・津波の発生メカニズムの検討, 土木学会論文集 B2, Vol. 67, I\_211-I\_215, 2011 (査読有)
2. 林 豊, 越村俊一, 今村文彦, 遠地地震津

波の減衰予測のためのMRMS振幅の時間減衰モデル, 土木学会論文集 B2, Vol. 67, I\_216-I\_220, 2011 (査読有)

3. 福井貴也, 越村俊一, 松山昌史 格子ボルツマン法による津波氾濫流の2D-3Dハイブリッド・シミュレーション, 土木学会論文集 B2, Vol.66, 61-65, 2010 (査読有)
4. 荒木 健, 越村俊一, 格子ボルツマン法による水・油二相流れの数値シミュレーション, 土木学会論文集 B2, Vol.66, 66-70, 2010 (査読有)
5. 越村俊一, 香月恒介, 茂渡悠介, GPU コンピューティングによる津波解析の高速化とリアルタイム浸水予測, 土木学会論文集 B2, Vol.66, 191-195, 2010 (査読有)

[学会発表] (計5件)

1. 越村俊一, 自然災害に関する数値シミュレーション技術の現状と課題, 土木学会応用力学講演会, 2012年1月17日, 東京
2. 越村俊一, 東日本大震災における情報通信技術の役割, 日本建築学会, 2011年12月15日, 東京
3. 越村俊一, 地震被害予測の現状と課題, 2011年災害研究フォーラム, 2011年11月14日, 東京
4. 越村俊一, 東北地方太平洋沖地震津波の被害と教訓, シンポジウム: 大地震・大津波に備えて, -海からの視点で考える 2011年10月31日, 神戸
5. 越村俊一, 香月恒介, 茂渡悠介 GPUによる津波伝播・遡上のリアルタイムシミュレーション, 計算工学講演会, 2010年5月26日, 福岡

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:

国内外の別:

[その他]  
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

越村 俊一 (KOSHIMURA SHUNICHI)  
東北大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 50360847

(2) 研究分担者

林 豊 (HAYASHI YUTAKA)  
気象庁気象研究所・地震火山研究部・主任  
研究官  
研究者番号: 40370332

(3) 連携研究者

( )

研究者番号: