

課題番号 : jh190030-NAH

大規模津波浸水被害推計シミュレーションの マルチプラットフォーム向け最適化手法の研究

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第12回シンポジウム
2020年 7月9日

東北大学サイバーサイエンスセンター
撫佐昭裕

Contents

1. 背景・目的

1. 津波浸水被害推計システムの紹介
2. 本研究の目的

2. 研究成果

1. ループラインモデルによる解析
2. プログラムの高速化
3. GPUへの移植
4. 全国規模に向けたシミュレーション

3. まとめ

東日本大震災の教訓からシステムを開発

大きな地震発生後、津波襲来。しかし状況の把握ができなかった。

- 津波がどこまで来たのか？ どのような被害か？
- 迅速な救援計画が立案できず、対応が遅れた。

コンピュータシミュレーションで被害を早期把握する

津波浸水被害推計システムを開発

- 内閣府総合防災システムの一機能として稼働中
 - ・対象 南海トラフ地震、相模トラフ地震
 - ・地域 茨城県～鹿児島県
 - ・30分以内に被害推計レポートを内閣府に送付
- 総務省の事業として複数の自治体が利用



システムの概要



津波の可能性がある場合、
スパコンをシステムに自動組み込みを行う

東北大学, 大阪大学 二重化システム


緊急地震速報
地震・津波データ
GPS測位データ

断層設定サーバ

データ受信

津波発生の判定

断層の動きを推計

シミュレーション開始指示

データ処理サーバ

レポート・可視化処理

SX-ACE



他ジョブの一時停止

緊急モードで最優先実行

津波浸水被害推計
シミュレーション実行


津波浸水予測
被害予測

計算モデル：TUNAMI

- Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigating Tsunami
- ユネスコ, 国土交通省で採用されているモデル

項 目	内 容
モデル	非線形長波理論
計算スキーム	Staggered Leap-frog 法 移流項は風上差分
潮位	朔望平均満潮面
格子構造	階層型格子（多角形格子）

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u}(\eta + h)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v}(\eta + h)$$

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}$$

$$\frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2}$$

本研究の目的

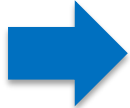
■ 政府，自治体の防災機能向上のため今後以下を行う必要がある．

- 対象領域の拡大

- ・ 南海トラフ，相模トラフ から 全国 へ

- より精細なシミュレーション

- ・ 対象沿岸域を30m格子 から 10m格子 へ



演算量の増加に対応した高速化

- 耐障害性・耐災害性の向上

- ・ 仙台と大阪の2拠点 から 多数拠点 へ



マルチプラットフォームの対応 (Xeon, Xeon Phi, GPU)

評価に利用したシステム

- 大阪大学 Octopus, SX-ACE
- 東北大学 SX-ACE
- その他 SX-Aurora TSUBASA



システム名	コア性能 (単精度) (Gflop/s)	コア数	ソケット性能 (単精度) (Gflop/s)	メモリバ ンド幅 (GB/s)
Xeon Gold	108.8	12	1996.8	128
Xeon Phi(KNL)	83.2	68	6092.8	115.2
Tesla P100	2.96	3,584	10,600	180
SX-ACE	64	4	256	256
SX-Aurora TSUBASA	608.25	8	4866.0	1350

(注) 本プログラムは単精度浮動小数点を利用している。

システムが利用出来たことに感謝いたします。

ルーフラインモデルによる解析

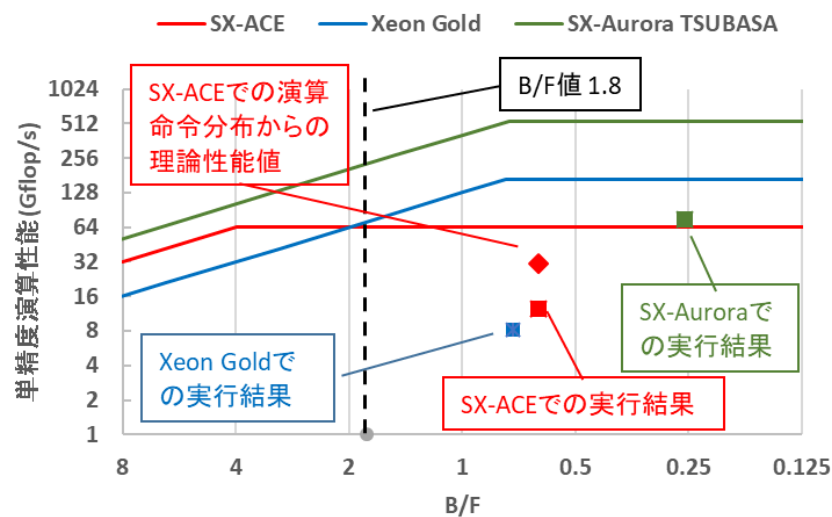
■ プログラム上のB/Fは1.8

■ Xeon Gold, SX-ACE, SX-Aurora TSUBASAで計測した実B/Fは0.26から0.73

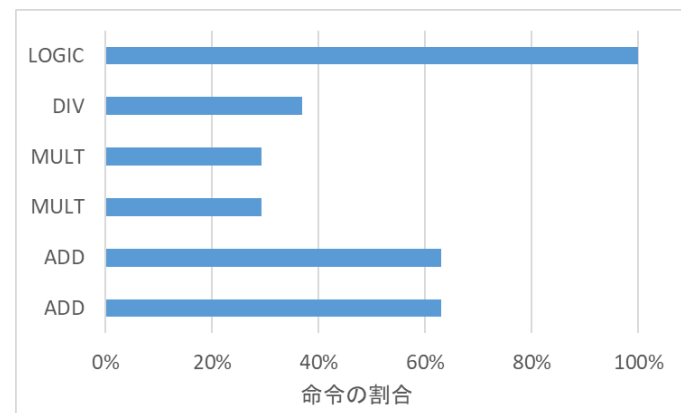
- キャッシュ等の利用でメモリ負荷低下
- 演算律速のプログラムと判明

■ ルーフラインモデルと実性性能の乖離

- SX-ACEで演算命令の分布を調査
 - ・ 論理演算が性能を決めている
 - ・ 理想的な性能は演算器の理論性能の50%
 - ・ 実性能は理論性能の25%
 - － 演算相互の依存関係とデータロードの待ち時間による



3つのシステムにおけるルーフラインモデル



SX-ACEにおける演算命令の分布

プログラムの高速化

■ ループラインの調査をもとに論理演算の削減を検討した

■ 削減はコストの高い運動方程式のサブルーチン

- 波の伝搬と遡上計算のため、格子の“水”の「あり、なし」を判定



浸水の深い領域を分離してIF文を削減

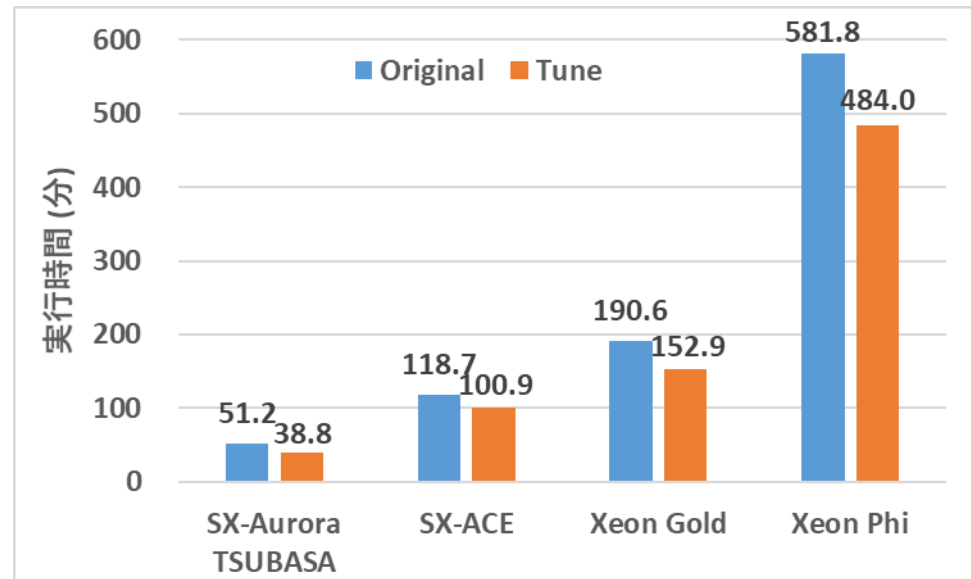
- 演算領域の境界の判定



本処理を別ルーチンに分離してIF文を削減

■ 論理演算の17%を削減

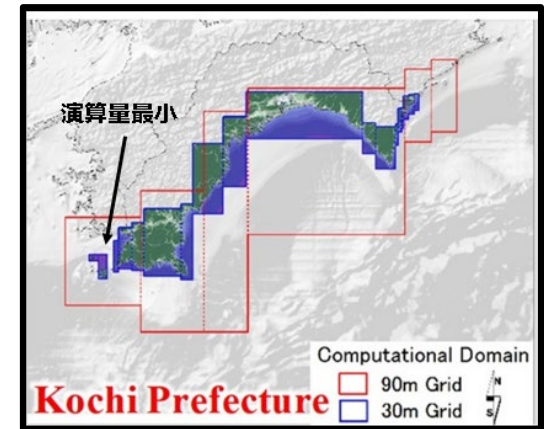
■ 実行時間を17%から30%削減



プログラムの高速化

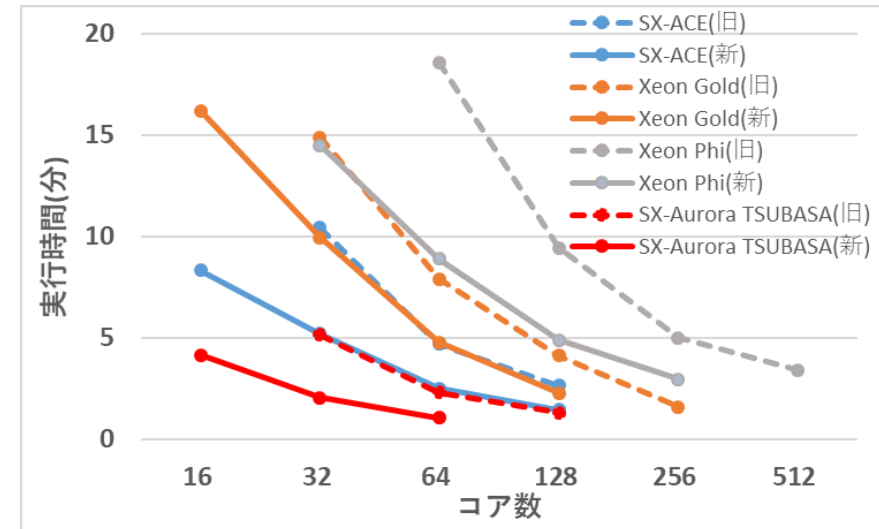
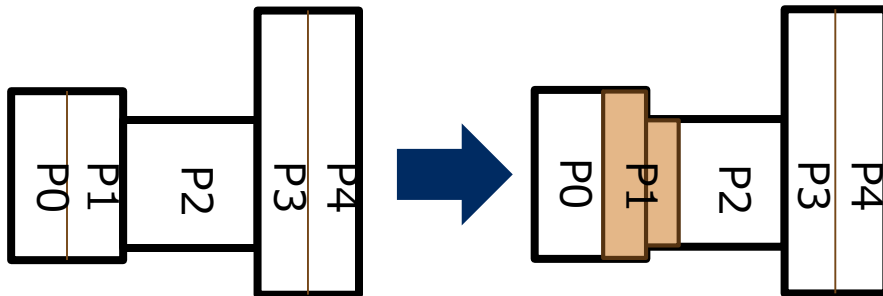
階層型格子（多角形格子）

- 演算量を削減するため、計算領域を長方形から多角形にした
 - ・ 多角形をいくつかの矩形で構成
 - ・ 各矩形で領域を分割して並列化を実施



演算のロード・インバランスを改善

- 矩形を跨がった領域分割を実施
- 実行時間を2/3から1/2に削減



プログラムのGPUへの移植

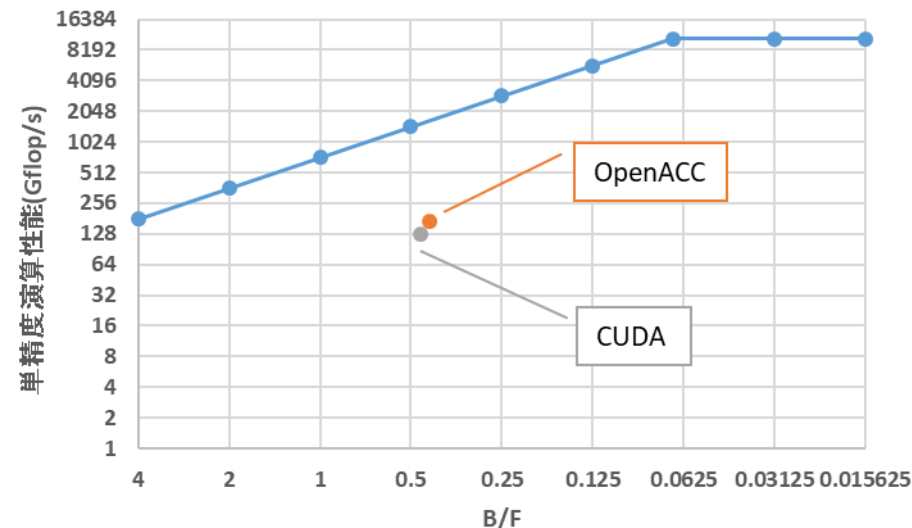
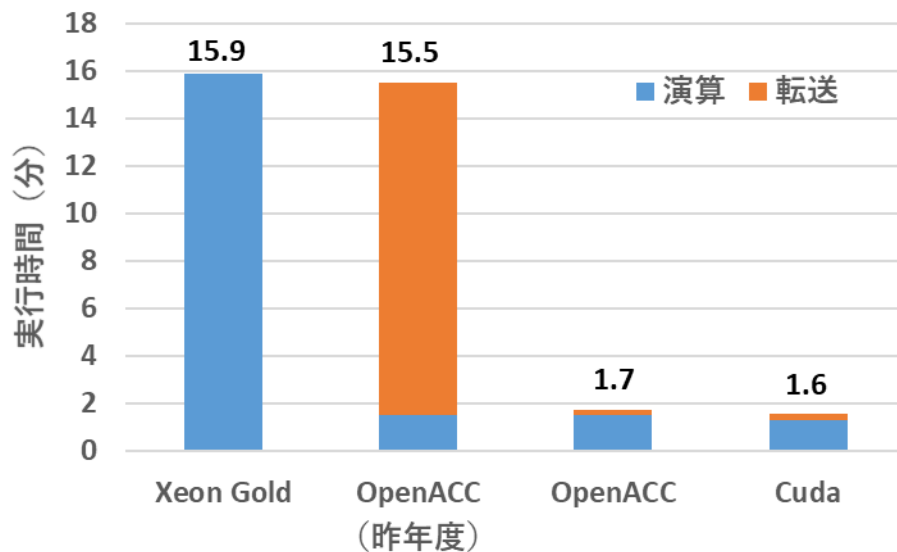
OpenACC（PGIコンパイラ）とCUDA Fortranを用いてGPU化

- CPUとのデータ転送を削減するため，時間発展ループの前にデータ転送.

Xeon Gold1コアとTesla P100の比較

- 実行時間が約1/10に

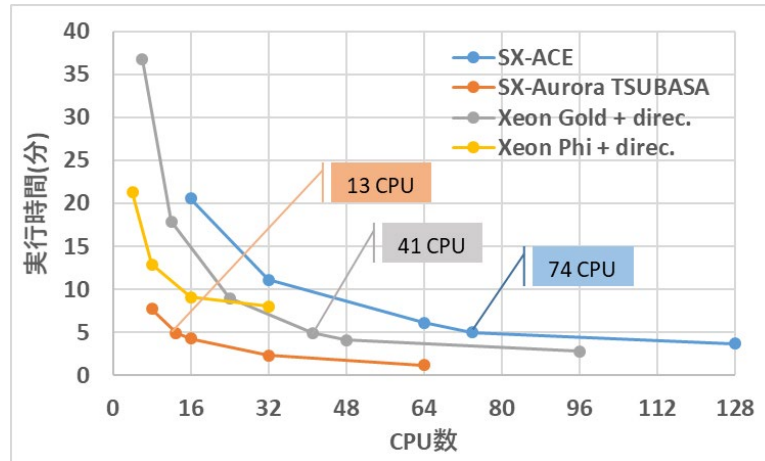
今後，シェアードメモリ等の利用を検討する.



全国規模に向けたシミュレーション

高知県10m格子, 6時間シミュレーション

●高速化を行ったプログラムでの実行時間



5分をターゲットした場合,

- ・ SX-ACE 74CPU
- ・ SX-Aurora TSUBASA 13CPU
- ・ Xeon Gold 41CPU

が必要

10m格子による全国規模に必要なCPU数

●全国規模のリアルタイムシミュレーションへの可能性が明らかになった

	高知県	西日本	太平洋全沿岸
SX-ACE	74	1,998	6,993
SX-Aurora TSUBASA	13	351	1,229
Xeon Gold	41	1,107	3,875

まとめ

■ 政府，自治体向けに津波浸水被害推計システムを開発

■ 我が国の津波防災力向上のため，以下の研究を実施

- ルーフラインモデルによる解析
- プログラムの高速化
- SX-Aurora TSUBASA, SX-ACE, Xeon Gold, Xeon Phiでの性能評価
- GPUへの移植
- 全国規模に向けたシミュレーション

■ 成果

- マルチプラットフォームの可能性を示した
- 領域拡大，精細さの向上の可能性を示した

■ 予定

- GPUでの高速化，通信処理の調査