

NA-03

代表者:竹中博士(九州大)

## GPUを用いた地震波伝播シミュレーション

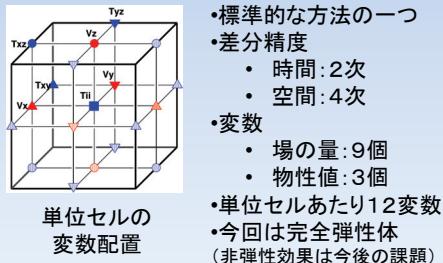
岡元太郎(東工大)、竹中博士(九州大)、中村武史(海洋研究開発機構)、青木尊之(東工大)

JHPCN

## はじめに

## 地震波伝播計算

- 様々な研究の基盤
  - 強震動の予測
  - 地震の震源過程の推定
  - 地球・惑星内部構造の推定
- 大規模計算
  - 不均質性、地形、海水層などの効果
  - 数十億格子点以上の計算
- メモリ・インテンシブ
- GPUの高帯域幅と複数のGPUを利用して  
従来型CPUクラスタよりも  
高性能な計算を目指す

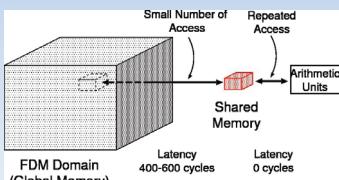
時間領域差分法  
(Finite Difference Time Domain)

## 計算機システム

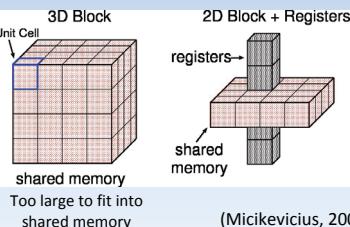
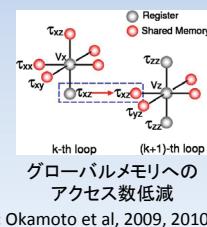
- 東京工業大学学術情報センター TSUBAMEグリッドクラスター
- ホストコンピュータ
  - AMD Opteron 2.4 GHz (16 core, 32 GByte)
  - Infiniband (10 Gbps)
- GPU
  - NVIDIA Tesla S1070 (1.44 GHz)
  - PCI-Express Gen1.0 × 8
  - CUDA開発環境を利用
- 全て単精度演算(CPU、GPU)

## 単一GPU計算: メモリ利用法

## グローバルメモリと共有メモリ

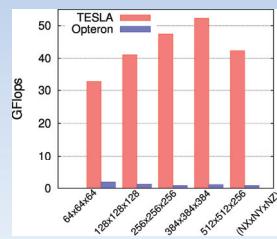


## 2次元ブロックを選択

共有メモリとレジスタ  
の間でデータ交換

(Micikevicius, 2009; Okamoto et al, 2009, 2010)

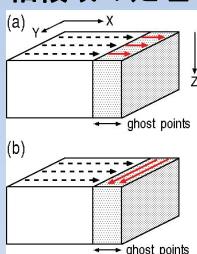
## 単一GPUプログラムの性能



- GPU: 52GFlops (384x384x384)
- 3.3ms / 百万格子点 / 時間ステップ
- CPU: 1.2GFlops
- 43倍の高速化

## マルチGPU計算: 3次元分割

## 袖領域の処理



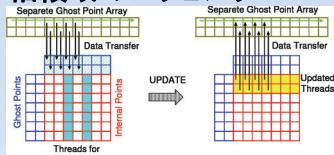
## 内部領域配列を延長(a)

- 簡単である
- 袖領域内部でメモリは不連続
- GPU-ホスト間で莫大な回数のデータ転送関数コールが必要 ⇒ 時間がかかり実用にならない

## 独立な配列を用意(b)

- GPU-ホスト間は一度のデータ転送関数コールで済む
- マッピング処理は複雑になる(下図)

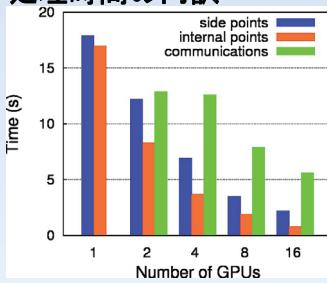
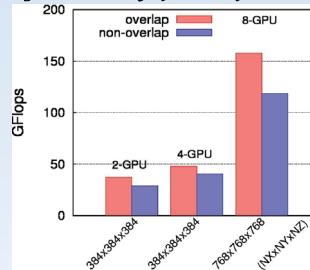
## 袖領域のマッピング



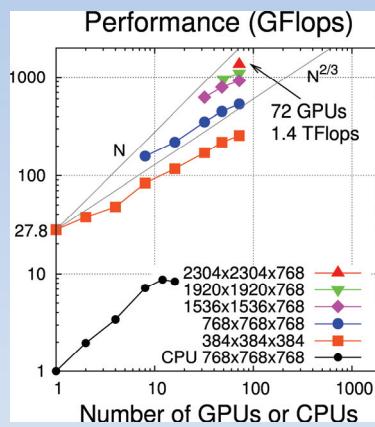
## 現状ではマッピング処理が複雑

- 袖領域を含む側面計算に時間がかかる(図「処理時間の内訳」)
- それでも、通信と内部領域計算とをオーバーラップ(Aoki et al. 2010 ほか)させることにより、性能向上が可能(下図)

## 処理時間の内訳

通信と内部領域計算の  
オーバーラッピング

## マルチGPUプログラムのスケーラビリティ



## GPUプログラム

- CUDA+MPI
- 3次元分割
- オーバーラップ
- Strong Scaling  $\propto N^{2/3}$
- Weak Scaling  $\propto N$
- 72GPUで1.4TFlops
- 20倍の高速化

## CPUプログラム

- Fortran+OpenMP
- 1次元分割

## 波形の比較

GPU計算波形とCPU計算波形とは、ほぼ完全に一致する。

計算パラメータ  
 $V_p$  5800m/s,  $V_s$  3600m/s,  $\rho$  2600kg/m<sup>3</sup>  
 $\Delta x$  200m,  $\Delta t$  0.005s, Source Depth 1000m (isotropic source)

## 今後の課題

1. 袖領域処理の最適化・高速化を試みる。
  2. 非弾性減衰効果を粘弾性レオロジーモデルを用いたスキームを用いて導入する。
  3. 実際の陸海地形を含む地球内部構造モデルを用いたシミュレーションを実施する。
- 謝辞: 計算には東京工業大学学術情報センターのTSUBAMEグリッドクラスタを利用させていただきました。