

TSUBAME 共同利用 平成 30 年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 GPGPU による長周期地震動シミュレーション  
英文: Long-period ground motion simulation using GPGPU藤原広行  
Hiroyuki Fujiwara国立研究開発法人 防災科学技術研究所  
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience  
URL: <http://www.bosai.go.jp>

本課題では、南海トラフで発生する海溝型巨大地震を対象として、3次元差分法を用いた大規模地震波伝播シミュレーションにより長周期地震動の検討を行った。具体的には、震源パラメータの不確実性や破壊不均質性を考慮して126ケースの震源モデルを設定し、関東から九州までを計算対象領域とし、申請者らがTSUBAMEのGPU環境に対応させた地震動シミュレータGMSによる地震波伝播シミュレーションを実施し、それらの結果をもとに震源モデルの不確実性や不均質性を考慮した長周期地震動評価を行った。

We simulated long-period ground motion of Nankai-Trough megathrust earthquakes by the 3-D FDM of the Ground Motion Simulator (GMS) adapted to GPU on TSUBAME. We used 126 cases of seismic source model which have different source parameters such like hypocenter and asperity and simulated long-period ground motion for vast area from Kanto to Kyushu. These simulation results enable us to estimate long-period ground motions by considering uncertainties of source model on long period ground motions.

*Keywords:* 長周期地震動、3次元差分法、GMS、南海トラフ地震

## 背景と目的

大地震の際に超高層ビルや石油タンクなどの長大構造物が長周期地震動による被害を受けることが知られている。2011年東北地方太平洋沖地震の際に、大阪平野内の超高層ビルが長周期地震動による被害を受けた事例は、震源から遠く離れた平野や盆地においても、複雑な地下構造の影響によって増幅された長周期地震動が、構造物に被害を及ぼし得ることを示している。3次元差分法などの数値シミュレーションにより複雑な地下構造が長周期地震動に及ぼす影響を評価することが可能だが、長周期地震動の予測のためには、地下構造の情報に加え、震源からの地震波の励起特性(震源モデル)に関する情報も必要となる。

巨大地震の震源モデルを事前に予測することが極めて困難なことは、2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震からも明らかであり、長周期地震動の予測では、不確実性を考慮して多数の震源モデルを設定し、個々の震源モデルに対する予測に加え、予測結果がどの程度のばらつきを持つかを定量的に評価することが重要となる。そのためには計算コストの高い大規

模シミュレーションを多数行う必要がある。

そこで、本課題では、TSUBAMEのGPU環境を利用することで多数回の大規模地震波伝播シミュレーションを実施し、それにもとづいた長周期地震動のハザード評価を行った。

## 概要

南海トラフで発生する海溝型巨大地震を対象として、震源パラメータの不確実性や破壊不均質性を考慮して126ケースの震源モデルを設定し、関東から九州までを計算対象領域とし、3次元差分法を用いた大規模地震波伝播シミュレーションにより長周期地震動の検討を行った。シミュレーションには申請者らがTSUBAMEのGPU環境に対応させた地震動シミュレータGMSを使用した。

本検討で対象とした震源モデルは、地震調査研究推進本部の長期評価([https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou\\_pdf/nankai\\_2.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/nankai_2.pdf))で例示された15の震源域のうち、マグニチュード8程度に相当する6つの震源域(図1)に対

応するもので、それぞれ破壊開始点やアスペリティの配置を変えた計 126 モデルを設定した。

地下構造モデルは防災科学技術研究所で作成している全国の 3 次元地下構造モデルにプレート構造を付与したものをを用いた。南北 670km、東西 870km、深さ 100km までの領域を水平方向 105m、深さ方向 105m(深さ 8km 以深ではその 3 倍の大きさ)の格子でモデル化した。格子数は約 61 億である。

地震波伝播シミュレーションでは、地下構造モデルを水平方向に 8×6 に分割し、それぞれの部分領域に 1つの GPU を割り付けて計算処理を行った。計算結果は、GMS の 1D Dump 機能を利用し、地動速度の 1 成分を 1 ファイルとして東西、南北、上下の 3 成分について出力した。1 ファイルには、陸域に約 2km 間隔で設定した約 5 万観測点の毎タイムステップ(全部で 49600 ステップ= 310 秒)の地動速度値が記録されており、1 ファイルで約 40GB である。震源モデルの大きさにもよるが、TSUBAME3.0 の 48GPU(24 ノード)を使用した実行時間は平均 68 分であり、95%以上は 70 分以下であった。

#### 結果および考察

出力された 1D Dump ファイルに対して、フィルタ、ダウンサンプリングのポスト処理を行い、各ケースについて速度応答スペクトルの空間分布を求め、さらに、結果を統計処理し、6 つの震源域それぞれに対する平均的な速度応答スペクトル(周期 3 秒)の空間分布を求めた(図 1)。図 1 では、同図左列に示した震源モデルに対応する速度応答スペクトル分布と、同じ震源域を有する複数の震源モデルに対する速度応答スペクトルの平均値(震源域ごとに 6 モデルから 30 モデルの平均値)の分布を示している。

震源域名の前半のアルファベット 2 文字は、震源域の東西方向の両端の地名を表しており、T は都井岬、A は足摺岬、O は御前崎、F は富士川に対応している。後半の 3 桁の数字は深さ方向の広がりを示しており、110 は浅部と中部、010 は中部のみを震源域とする震源モデルに対応している。

図 1 右列の平均値分布からは、東西方向の広がりが同じ場合には、浅部まで震源域が広がっている方

(AO110、AF110、TO110)が地震動は大きいことがわかる。さらに、図 1 左列に示した震源モデルに対する地震動分布(図 1 中列)においても、浅部を震源域に含む場合の方が浅部を含まない場合に比べ東海から関東の地域にかけて地震動が大きい。浅部の有無による地震動の違いは、平均値の分布(図 1 右列)で見られるよりも顕著である。

本検討のような大規模シミュレーションを要する地震動評価では、計算機資源などに制約がある場合には少数の限られた震源モデルのみを対象とせざるを得ず、破壊開始点位置やアスペリティ配置等によって地震動分布がどの程度のばらつきを持つのかを検討することが困難である。

また、平均値の分布がわかりやすいが、地震動が大きい地域は限られており、大阪平野、濃尾平野、関東平野や日本海側の平野、盆地部に概ね限定されており、長周期地震動評価において地下構造の影響を適切に評価することの重要性を示している。

#### まとめ、今後の課題

TSUBAME の GPU 環境を用いて、南海トラフの海溝型巨大地震を対象とした 126 ケースの震源モデルに対する長周期地震動シミュレーションを行い、震源モデルの違いによるばらつきを含んだ長周期地震動評価を行った。

今後は、本研究で行った検討を南海トラフの地震のみならず、他の地域で想定されている巨大地震に対して適用していく必要がある。また、本課題で設定した多数の震源モデルが長周期地震動のばらつきを評価する上で十分な母集団となっているかについて検討することが重要な課題である。そのためにはさらに多くの震源モデルに対するシミュレーションが必要になることから、計算コードの高度化を図るなどし、計算の効率化を高め必要もある。

また、シミュレーションによって得られる膨大な計算結果から、防災、減災に有用な情報を抽出し、効果的に可視化する手法を開発することも今後の重要な課題である。

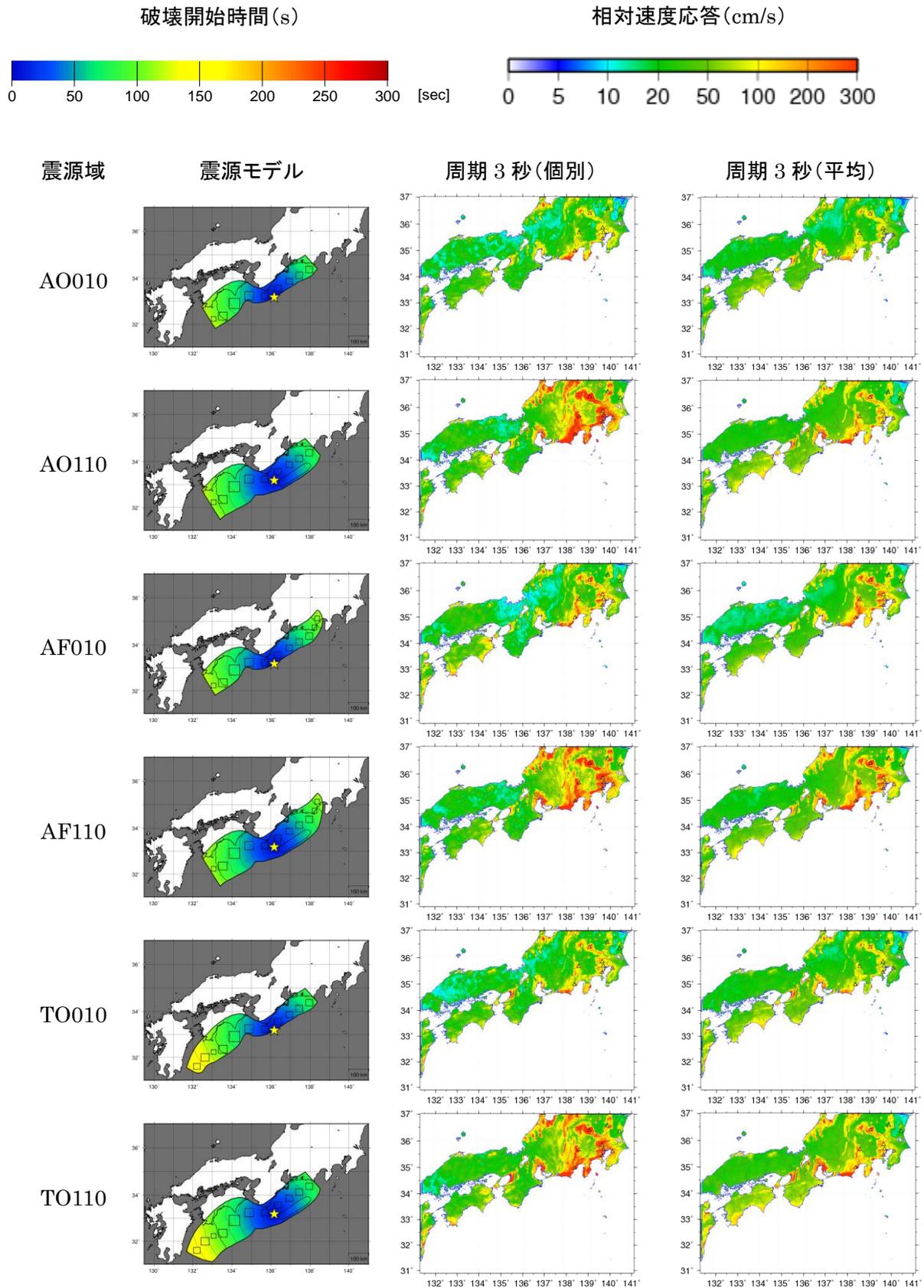


図1 6つの震源域の断層面（左列：星印は破壊開始点、矩形領域はアスペリティ、色は破壊開始時間）と、速度応答値（周期3秒、減衰5%）の空間分布（中列：左列の震源モデルに対応するもの、右列：同じ震源域を有する震源モデルでの平均値）。