

## 大規模マルチスケール地震サイクルシミュレーション Large- and multi-scale earthquake cycle simulation

平原 和朗<sup>1\*</sup>, 大谷 真紀子<sup>1</sup>, 兵藤 守<sup>2</sup>, 堀 高峰<sup>2</sup>

Kazuro Hirahara<sup>1\*</sup>, Makiko Ohtani<sup>1</sup>, Mamoru Hyodo<sup>2</sup>, Takane Hori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup> Grad. School Science, Kyoto University, <sup>2</sup> JAMSTEC

Tse and Rice(1986) 以来、速度・状態依存の摩擦構成則に基づく、地震サイクルシミュレーションが行われ、過去の地震発生履歴の再現に成功し、地震発生予測に役立てようという研究が行われている。通常、半無限均質弾性媒質中に、断層面やプレート境界を設定し、摩擦パラメータを分布させ、プレート運動を駆動力とする地震サイクルを計算している。その際、境界要素法的に、断層面やプレート境界を摩擦パラメータから決まる臨界セルサイズより小さなセル(通常 1km 以下)に分割し、各セルにおける運動方程式と摩擦力を連立させて、すべりの発展を追っている。現状における課題として、1) 準動的ではなく動的破壊伝播過程を地震サイクル計算に含める必要性、2) 媒質の不均質性・粘弾性媒質の影響、3) 断層帯における間隙流体の問題、4) 高速すべりににおける摩擦構成則の問題が挙げられる。これらに加えて、大規模マルチスケールシミュレーションの問題が挙げられる。

本講演では、主として、均質弾性体における準動的な地震サイクルシミュレーションに話を限り、次世代スーパーコンピュータを念頭に、まず、特に沈み込み帯における、大規模マルチスケール地震サイクルシミュレーションの必要性を議論する。これには 1) 2011 年東北地方太平洋沖地震や南海トラフ巨大地震といった超巨大地震サイクル、また、日本列島全域のプレート境界を対象とした列島規模地震サイクルシミュレーションといった大規模シミュレーション、2) 地域を限ったものでも、マグニチュード分布が GR 則に従う小地震から大地震まで含むマルチスケール地震サイクルシミュレーションが挙げられる。これは例えば、東北日本と南海トラフで発生する地震規模分布の違い、大地震発生前の  $b$  値の時間変化のメカニズム解明、更には短期・長期スロースリップを含む南海トラフ地震サイクルシミュレーションなどがターゲットになる。

これらの大規模マルチスケールシミュレーション実現するには、計算メモリおよび計算時間が膨大になることが障害となる。また、データ同化手法を用いた摩擦パラメータ推定が最近行われようとしているが、その際にも膨大な繰り返し計算が必要となる。こういった大規模マルチスケールシミュレーションやデータ同化を実現するためには、地震サイクルシミュレーションにおいて、省メモリ化・高速化が必須である。断層やプレート境界を  $N$  個のセルに分割した場合、すべり応答関数行列 ( $N \times N$ ) とすべり遅れベクトル ( $N$ ) の積、すなわち  $O(N \times N)$  の繰り返し計算がシミュレーションで必要とされる。このメモリ量や計算量を  $O(N)$ - $O(N \log N)$  とする省メモリ化・高速化手法として、FFT (高速フーリエ変換)、FMM (高速多重極法)、更には H-matrices (階層型行列) 法が挙げられる。これらの手法を適用し、どのように大規模マルチスケールシミュレーションに挑もうとしているか、現状と展望を述べる。

キーワード: 地震サイクル, 大規模シミュレーション, マルチスケールシミュレーション, プレート境界地震, 沈み込み帯

Keywords: Earthquake cycle, Large-scale simulation, Multi-scale simulation, Interplate earthquake, Subduction zone