

## 成層粘弾性媒質中での準動的地震発生サイクルシミュレーション Quasi-dynamic earthquake cycle simulation in a layered viscoelastic medium

平原 和朗<sup>1\*</sup>, 鹿倉 洋介<sup>1</sup>, 大谷 真紀子<sup>1</sup>, 兵藤 守<sup>2</sup>, 堀 高峰<sup>2</sup>, 橋間 昭徳<sup>3</sup>

HIRAHARA, Kazuro<sup>1\*</sup>, SHIKAKURA, Yosuke<sup>1</sup>, OHTANI, Makiko<sup>1</sup>, HYODO, Mamoru<sup>2</sup>, HORI, Takane<sup>2</sup>, HASHIMA, Akinori<sup>3</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>3</sup> 千葉大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Grad. School Science, Kyoto University, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Grad. School Science, Chiba University

実験室での岩石実験から導かれた速度・状態依存の摩擦構成則に基づく、地震発生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。これらの研究のほとんどは、均質半無限弾性媒質を仮定してのものである。ところが、日本列島のように海洋性プレートが沈み込むサブダクション帯では、マントルウェッジは粘弾性構造をもち、大地震後数十年にわたる応力緩和および余効変動を生み出している。津波堆積物の研究から、東北地方太平洋沖地震の地震サイクルは数百年に及ぶと報告され、こういった超巨大地震では、粘弾性による応力緩和により、地震サイクルが大きな影響を受けると思われる。また、プレート境界地震発生の前後に内陸地震活動が高まることが報告されているが、この地震活動の相関には、マントルウェッジを介した粘弾性応力相互作用が大きな役割を果たしていると考えられる。

準動的地震発生サイクルシミュレーションでは、プレート境界を  $N$  個のセル (小断層) に分割し、各セルにおいて、プレート運動からのすべり遅れによる応力と速度・状態依存則に従う摩擦力の準動的な釣り合いを考え、各セルでのすべりの発展を追っている。粘弾性媒質における応力は、時間依存のすべり応答関数とすべり遅れ速度履歴の畳み込み積分で表され、全すべり速度履歴が必要となり、弾性媒質では時間に依存しない弾性すべり応答関数とすべり遅れの単なる積となるのと異なり、大変な計算になる。その重要性にも関わらず、これが、地震サイクル計算にこれまであまり粘弾性を考慮してこなかった一因であろう。

我々は、非弾性媒質における地震波動場の差分計算に用いられているメモリ変数を導入することで、履歴積分を必要としない方法を導入した (平原・他, 2011)。この方法では、すべり応答関数を  $M$  個の緩和関数の和で表し、各緩和関数に対応するメモリ変数を導入する。各メモリ変数は時間に関する 1 階の微分方程式に従い時間発展する。応力は、すべり遅れから各メモリ変数の和を引いたものと弾性すべり応答との積になり、弾性媒質におけるすべり遅れの代わりに、すべり遅れから時間変化するメモリ変数の和を引いたものを用い、形式的には全く弾性応答の応力計算式と同じ形をとる。このため、我々が導入した、弾性媒質での応力計算の省メモリ化・高速化手法が有効に働く。その手法では、弾性媒質におけるすべり応答関数行列 ( $N \times N$ ) とすべり遅れベクトル ( $N$ ) 積のメモリ・計算量は、 $O(N^2)$  であるが、階層化行列 (H-matrices) 法を用いて、 $O(N) \sim O(N \log N)$  となる省メモリ化・高速化を達成している (Ohtani et al., 2012)。計算コストの面で見ると、粘弾性媒質におけるある時刻における地震サイクル計算では、弾性計算に比べ、すべり応答関数を近似する  $N \times 3M$  個のパラメータ、 $N \times M$  個のメモリ変数がふえ、演算もメモリ変数の時間に関する  $N \times M$  個の 1 階微分方程式が加わり、弾性媒質に比べ、 $O(N \times M)$  のメモリおよび計算コストが増えるだけで、実際的な計算が可能になる。

本講演では、東北地方太平洋沖地震サイクルの 2 次元成層粘弾性シミュレーションを報告する。厚さ 40km の弾性層およびマクスウェル粘弾性媒質であるマントルウェッジを持つ成層構造中に、 $20^\circ$  で沈み込む太平洋プレート境界を仮定し、Kato and Yoshida (2011) の摩擦パラメータ分布を用いて、すべりの発展を追う。深さ 100km までを計算領域としているが、すべり速度弱体化特性をもつ地震発生層は粘弾性層中の深さ 55km まで設定している。すべり応答関数の計算には、Fukahata and Matsu'ura (2005, 2006), Hashima et al. (2008) に基づくプログラムを用いている。粘弾性層中でのすべり応答関数は時間と共に減衰しゼロになるが、弾性層中ではあるレベルに保たれる。粘弾性構造は地震の繰り返し間隔等に影響を与えるが、こういったすべり応答関数の違いは、特に粘弾性層中において弾性帯の場合とは大きく異なるすべり発展を生み出す。

キーワード: 地震発生サイクル, シミュレーション, 成層粘弾性媒質, 階層化行列法, メモリ変数

Keywords: Earthquake cycle, Simulation, Layered viscoelastic media, H-matrices method, Memory variables