

高速多重極法を用いた無限均質弾性体中での大規模地震発生サイクルシミュレーション

Large-scale earthquake cycle simulations in an infinite homogeneous elastic medium with Fast Multipole Method

平原 和朗^{1*}, 大谷 真紀子¹, 光井 能麻², 堀 高峰³

Kazuro Hirahara^{1*}, Makiko Ohtani¹, Noa Mitsui², Takane Hori³

¹京都大学大学院理学研究科, ²名古屋大学大学院環境学研究科, ³海洋研究開発機構

¹Grad. School Science, Kyoto Univ., ²Grad. School Environ. St, Nagoya Univ., ³JAMSTEC

最近、摩擦実験から得られた速度・状態依存則に基づく地震発生サイクルシミュレーションにより、例えば、東北日本三陸沖 (Kato,2008) や西南日本南海トラフ(Hori,2006)といった沈み込み帯に見られる複雑な地震発生時空間系列を再現することに成功している。また、これらの地震発生シミュレーションは、地震発生予測につながると期待されている。しかしながら、これらのシミュレーションでは、試行錯誤的に摩擦パラメータ分布を求め、観測されたアスペリティーや破壊セグメント間の複雑な相互作用を説明する段階にある。次の段階として、気象予測や海洋予測で用いられているデータ同化技法を用いて摩擦パラメータを推定すると同時にシミュレーションにおける変数の初期値を推定することが考えられる。実際、こういった試みが始められている。しかしながら、こういった研究はまだ非常に単純化した理論的なものに限られている。それは、摩擦則の強い非線形性により非常に多くの繰り返し計算を要するのが第一の理由と考えられる。このため、ひとつの地震サイクル計算にも非常に多くの時間を要するため、現実的な大領域での地震サイクルを説明する摩擦パラメータ分布の推定が非常に困難なものになっている。こういった状況を打破するには、シミュレーションの高速化が必須と言える。

本研究では、高速多重法 (FMM) を用いて、地震サイクル計算に何度も現れる、すべり応答関数行列とすべり (速度) ベクトルの積の高速化を図っている。FMMは天体物理学におけるN体問題での長距離相互作用の高速計算のために開発され、多くの問題に適応されてきた。しかしながら、地震発生シミュレーションではTullis and Beeier(2008)以外の研究では用いられていないため、本研究で応用を試みた。FMMではグリーン関数の多重極展開により、遠くの多くの物体の寄与をまとめて評価してあたかもひとつの物体からの寄与のように扱うことを可能にし、高速化を図っている。実際、地震サイクルシミュレーションでは、プレート境界をNセルに分割し、直接計算すると、すべり応答関数行列とすべり (速度) ベクトルの積の計算には、 $O(N^2)$ の演算回数およびメモリー量を要するが、FMM計算では、 $O(N)$ の演算回数とメモリー量に減らすことが可能になる。例えば、1000x500kmのプレート境界面を1x1kmのセルに分割すると、 $N=5 \times 10^5$ 、0.1x0.1kmでは $N=5 \times 10^7$ になり、 5×10^5 や 5×10^7 の高速化・省メモリー化が図られることになる。このように、スマトラ巨大地震や南海トラフ巨大地震のような非常に大きな領域を扱う場合や、小さな領域でも、摩擦パラメータの変化に富んだ空間分布を配置させ、例えばM3からM7までの地震を発生させる多階層空間スケール摩擦モデルの場合などには、非常に大規模計算になり、FMMは威力を発揮すると期待される。

平原・他(2009)では、Yoshida et al.(2001)によるFMMの定式化とLiu and Nishimura (2006)による4分岐木構造アルゴリズムに基づき、均質無限媒質におけるすべり応答関数行列とすべり (速

度) ベクトルの積の計算にFMMを用いたコード開発を行った。Kato(2008)は、空間的な周期境界条件を仮定してFFTを用いて計算を高速化しているが、本研究では、このコードにFMMコードを実装した。

本講演では、まず、FMM適用による地震サイクル計算の高速化・省メモリー化の意義を述べ、地震サイクル計算における、FMM計算精度、CPUタイムについて報告する。最後に、大谷・平原により半無限媒質におけるFMMの可能性について、本セッションポスターにおいて議論されていることを付しておく。

キーワード:高速多重極法,地震サイクル,大規模シミュレーション,沈み込み帯,連動破壊,速度状態依存摩擦則

Keywords: Fast Multipole Method, Earthquake cycle, Large scale simulations, Subduction zone, Co-rupture, Rate and state friction law