

三次元均質半無限弾性体を仮定した地震サイクルシミュレーションにおける高速多重極法 (FMM) を用いた応力計算法の開発

FMM Application to the Slip Response Function Used in EQ Cycle Simulations in a Semi-infinite Elastic Medium.

大谷 真紀子^{1*}, 平原 和朗¹

Makiko Ohtani^{1*}, Kazuro Hirahara¹

¹京大・理・地球惑星・地球物理

¹Grad. School of Sciences, Kyoto Univ.

沈み込み帯を想定した地震サイクルシミュレーションが最近行なわれており、これによりプレート表面で観測されるすべりの多様性が理解され、また将来起こりうる地震についての情報も得ることができるようになった。よりよい理解と有益な情報の獲得のためにはプレート表面における摩擦状態の分布を推定することが重要である。しかしながら、シミュレーションを行い摩擦パラメータを推定するには何度も繰り返し計算を行う必要がある。

モデル化においては通常プレート表面をN個のセルに分割し離散化する必要がある。この地震サイクルシミュレーションではすべり応答関数の行列とすべりベクトルをかけたものを計算するが、ここで必要とされる計算量は $O(N^2)$ である。セルサイズを小さくとり大きな領域を計算しようとする場合にはNは大きくなる。その結果大きいメモリサイズが必要となり、また繰り返し計算にはとても時間がかかるようになる。南海トラフやスマトラ巨大地震震源域のような大規模領域や、数メートルという小さなセルサイズを必要とする様々な空間スケールを持つ階層的摩擦パラメータ分布を持つような非常に不均質な領域において摩擦パラメータの推定を行うためには小さなメモリサイズで速く計算する手法の開発が必要である。

高速多重極法(FMM)は多体問題における相互作用などの高速計算に有効な手法である。遠い地点からの寄与はまとめて計算し、近くの地点からの寄与は直接計算をするのだが、ルジャンドル陪関数を用いて距離の関数を展開することによって、遠くの地点からの寄与をまとめることができる。この方法は電磁場の分野や天体分野のような問題において良く使われている手法である。FMMを用いるとその計算量は $O(N)$ となり、またメモリサイズも小さくなる。本発表では、地震サイクルシミュレーションにおいて高速計算を行う手法を開発する目的で、FMMの適用可能性を評価した。

三次元均質全無限弾性体における弾性体クラック問題へのFMMの適用は、Yoshida et al.(2009)で詳しく行われている。まずこの全無限における解をもとにして、半無限媒質におけるすべり応答関数とすべりベクトルをかけたものの計算にFMMを適用し、その精度を評価した。

半無限弾性体において多重極展開を行ったが、計算する方程式には展開することの出来ない項が含まれていた。傾斜角方向の応力についてみれば、傾斜角が0度あるいは傾斜角が0度ではなくてもすべりが走行成分を持つ場合においては高精度でFMMを用いて計算することができる。しかし傾斜角が0度ではなく傾斜方向にすべりをもつときには、展開することのできない項が比較的大きく値をもち、高精度で計算することができない。

沈み込み帯においては、傾斜角は約20度で、すべりは傾斜方向の成分を大きくもつ。この場合に、展開することのできない項を無視して応力を計算すると、Okada(1992)を用いて計算した応力とくらべた精度は、半無限の解のかわりに全無限の解を使った場合よりはよくなっているが、走行方向のすべりに対する場合などにくらべると悪くなっている。そこで、この場合には他の方法を考える必要がある。Fukuyama et al. (2009)では、動的破壊シミュレーションで全無限のすべり応答関数を用いて半無限弾性体における応力を計算する方法が開発されている。この方法に従い、準静的シミュレーションにおいて、プレート表面でのすべりによる地表変位の計算を加えると、沈み込み帯においても無限弾性体におけるFMMを半無限媒質中の問題に適用することができる。先に述べた近似した方程式にFMMを用いる方法に比べて、この方法は計算時間がかかるが精度は良くなることが期待される。また、海溝やトラフに近い複雑な形状の海底地形を扱うこともできる利点を持っている。

キーワード:地震サイクルシミュレーション,高速多重極法

Keywords: earthquake cycle simulation, Fast Multipole Method