Japan Geoscience Union Meeting 2015
(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

SSS29-14 会場:A05 時間:5 月 24 日 17:15-17:30

H 行列法を適用した大規模準動的地震発生サイクルシミュレーション
Large-scale earthquake cycle simulations with Hierarchical Matrices Method

大谷 真紀子 [1*] ; 平原 和朗 [1]
OHTANI, Makiko[1*] ; HIRAHARA, Kazuro[1]

[1] 京大・理
[1]Sci., Kyoto University

近年、地震計・GPS(Global Positioning System) 観測網の発達により、沈み込み帯プレート境界では巨大地震やスロースリップを含む様々な時空間スケールのすべりが発生していることが分かってきた。これらはプレート境界面上で密に分布しており、互いに影響を及ぼし合っていると考えられる。例えば Ariyoshi et al. (2014) では、南海トラフを想定し、深部・浅部低周波地震の活動度が巨大地震発生域のプレート境界の固着状態を示すバロメータとなりうる可能性を示した。このように、プレート境界面上で発生する様々なすべり現象の相互作用を検証することで、巨大地震の発生予測に関する知見が得られる可能性がある。すべり現象の相互作用の検証には地震発生サイクルシミュレーション (ECS: Earthquake Cycle Simulation) が有効である。ECS とは、プレート境界面上での摩擦を仮定し、「プレートの沈み込みによる応力蓄積→地震等による応力の解放→応力蓄積」をくりかえす地震発生サイクルを計算機上でシミュレートする。地震の応力蓄積過程から破壊に至すべての期間を対象とするため、様々な時空間スケール・タイミングで発生する多様なすべり現象を同時に考慮することができる。本講演では、実際の巨大地震発生領域を対象に大規模 ECS を行う際の課題及びそれに対する取り組みについて議論する。

マルチスケールなすべり現象を考慮するには広い計算領域及び細かい解像度が必要となり、計算量の点で問題がある。このような大規模問題に対しては、通常計算量の少ない境界要素法が用いられ、また慣性の項を近似した準動的スキームが用いられる。このとき総離散断層セル数Nに対して計算量は $O(N^2)$ であり、大規模問題の実現にはさらなる計算の省メモリ化・高速化が必要となる。

本研究では、準動的 ECS の高速化手法として H 行列法を用いる。H 行列法とは Hackbush (1999) により考案された密行列圧縮手法であり、対角部に大きい値を持ちそこから離れるに従って小さな値をもつような行列に適用できる。対象となる行列を、対角部は小さな小行列・対角部から離れるに従って大きな小行列となるように階層的に分割し、各小行列内で低ランク近似を行うことで、効率的な圧縮を実現する。準動的 ECS では、断層面上の応力を算出する際にすべり応答行列 × すべりを計算する。すべり応答行列は、行・列方向それぞれに一次元的にならべた断層セル列を source, receiver として対応させたときの、行・列方向断層セル j, i に対するすべり応答関数K_{ij} を要素とする。K_{ij} は j, i セル間の距離に従って減衰するため、断層セルが距離順に並べられている場合に H 行列法適用可能な行列となる。本研究ではライブラリ HLib を用いて H 行列を作成している。H 行列法の適用により、計算量は $O(N^2)$ から $O(N)$~$O(N\log N)$ へと削減された。

また、現状の ECS では取り入れられていない効果も多い。実際の巨大地震発生領域を対象とする際には、どれだけ現実的なモデル設定が必要であるのかを知るためにも、これらの効果を検証する必要がある。本研究では形状の効果に注目し、準動的 ECS への任意の地表面形状の導入を行った。すべり応答関数として解析解が存在するのは全無限または半無限弾性体中における弾性問題のみに対してであり、これらの仮定下での ECS しか行われていない。しかしながら実際の沈み込み帯では地表面は平坦でなく、例えば 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生した宮城沖では、海溝軸は最大で 7km 落ち込んだ位置にあり、地表面は平坦であるとはいえない。

そこで本研究では、Hok and Fukuyama(2011) の動的破壊モデルにおいて地表面を考慮する方法を用いて、任意の地表面形状が存在するときのすべり応答関数を解析的に求める方法を構築し準動的 ECS における地表面形状の効果を検証した。沈み込み帯海溝付近で一般的な、海溝軸から陸地に向かって上に凸な地表面形状を設定すると、海溝軸の位置に平坦な地表面を設定した場合にくらべて、地表面の効果は小さくなる。これは主に断層面から地表面への距離が変化することによるといえる。また問題によってはすべりの様相が変化する場合があるので注意が必要であるということが分かった。すべりの様相が変化する任意の地表面形状の導入により、複数のプレートにまたがるような広い領域をモデル領域とすることが可能となった。本研究により解析的に求めたすべり応答関数においても H 行列法を適用することができ、大規模問題への適用も可能であると考える。

キーワード: 準動的, 地震発生サイクル, H 行列法
Keywords: quasi-dynamic, earthquake cycle, Hierarchical Matrices method