

研究代表者氏名(所属): 平原和朗 (京都大学大学院理学研究科)

研究課題名: 巨大地震発生サイクルシミュレーションの高度化



1) 研究目的・概要

東北日本では東から太平洋プレートが日本海溝沿いに、西南日本では南からフィリピン海プレートが南海トラフ沿いに沈み込んでいる。これらのプレートの沈み込みにより、およそ百年間隔でプレート間巨大地震が発生し、人的・物的被害を含む大災害が生じている。特に、南海トラフでは今世紀前半に巨大地震の発生が危惧され、その被害総額は国家の財政規模に相当すると試算されている。また、1995年神戸地震に見られるように、南海トラフ巨大地震発生の前50年から後10年の間に西南日本内陸活断層での地震活動が高まることも報告され、南海トラフ巨大地震による被害に加え、内陸地震による大被害も危惧されている。

こうした状況の中、最近、プレート間巨大地震の発生予測を目指して、岩石実験から導かれた摩擦構成則に基づき、プレート間巨大地震発生サイクルシミュレーションが行われている。

しかしながら、現状は、プレート境界に分布させる摩擦パラメータの推定は試行錯誤的に探索している段階であり、次のステップとして、気象海洋分野で開発されたデータ同化手法の導入による地震発生予測システムの構築を考える段階にある。また、特に西南日本の震源域深部で最近観測されている様々なスロースリップの活動は、巨大地震発生前に前兆の変動を示す可能性が指摘されており、巨大地震発生サイクル中での種々のスロースリップ活動変化を含むマルチスケールプレート間地震サイクルシミュレーションを行う必要がある。

こういったデータ同化やマルチスケール地震発生サイクルシミュレーションには長大な計算時間および大容量のメモリーを要し、現在のシミュレーション手法では南海トラフといった広領域での現実的な計算は不可能である。このため、本研究では、地震発生サイクルシミュレーションコードの高速化・省メモリー化を図る。

また前に述べたように、プレート間地震に加え内陸地震の発生も考慮するには、地震時における弾性応答のみならず、地殻下部やマンテルの粘弾性による時間遅れを考慮する必要がある。さらにプレートの沈み込みにより日本列島下には大きな不均質構造が作り出されている。現状のシミュレーションでは均質半無限弾性体を仮定しており、粘弾性や不均質性の影響は考慮されていない。そこで、3次元不均質粘弾性媒質中での内陸地震との相互作用を含むプレート間巨大地震サイクルシミュレーションに向けて、FEMメッシュ細分化コードを含むすべり応答関数計算コードを開発する。

2) 研究計画

2-1) 大規模マルチスケール地震発生サイクルシミュレーションの高速化・省メモリー化

すべり応答関数行列(各要素の大きさは r^3 で減衰: r は距離)とすべり(速度)ベクトル積の演算部分に

a) Hierarchical Matrices (H-matrices) 法

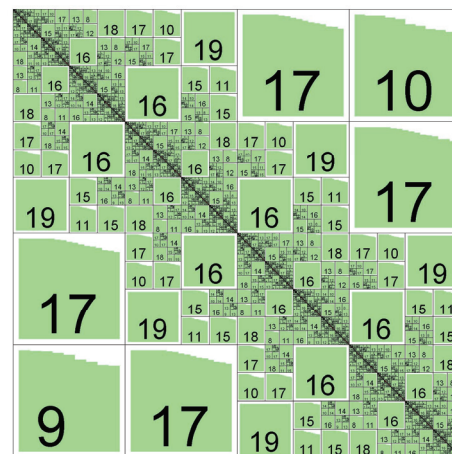
b) 高速多重極法 (FMM: Fast multipole Method)

を適用して、地震発生サイクルシミュレーションコードの高速化・省メモリー化を図る。プレート境界を M 個のセルに分割すると計算時間・メモリー量は、直接計算での $O(N^3)$ から $O(N) \sim (N \log N)$ に減少し、高速化・省メモリー化が期待される。

a)はHackbusch (Max-Planck-Institute)らより開発されたもので、かれらが開発したHLibライブラリーを用い、すべり応答関数行列の圧縮を行う。FEMによる不均質媒質でのすべり応答関数行列にも適用可能であるが、b)は N 体天体計算などで開発された手法であり、均質弾性媒質での計算の高速化となる。

H-matrixの例

$N=3,200, \epsilon=10^{-4}$ の場合のH-matrix
オリジナルの8,192 MBから224MBにメモリーサイズが減少している。



2-2) FEMメッシュ細分化を含むすべり応答関数計算

不均質粘弾性媒質中での地震発生サイクルシミュレーションのすべり応答関数計算には、我々の開発した有限要素法(FEM)コードGeoFEMを用いる。通常の西南日本3次元粘弾性FEMメッシュモデル(右下図)では、プレート境界面上を数10km程度のメッシュに切っているが、地震発生サイクルシミュレーションには、プレート境界面上数100m程度の詳細なメッシュに対するすべり応答関数計算が必要となり、超大規模計算となる。

そこで、代表的な詳細メッシュについて、すべり応答関数計算ですべりを与えるソースメッシュの周りだけを細分化して、すべり応答関数を計算するコードを開発する。さらに、これらの代表メッシュで得られたすべり応答関数を用いて、全プレート境界でのメッシュに対するすべり応答関数を適当な内挿関数を用い計算するコードを開発する。また、粘弾性媒質でのシミュレーションは、時間の履歴積分を含むので弾性媒質に比べ大規模計算になる。そこで、H-matrix法などの高速化手法を導入して粘弾性媒質中での地震発生サイクルシミュレーションコードの開発を行う。

