

## 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。ところが、2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震のマグニチュード(M)は9.0で、強震動と巨大津波を発生させ、東北から関東地方にかけての広い領域で未曾有の大災害をもたらした。この地震の再来間隔は500年~1000年と言われ、およそ数十年から百年程度で繰り返す通常の巨大地震(M7~8)とは異なる超巨大地震であった。また、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。東北地方太平洋沖超巨大地震の発生を受けてこの地震に対する見直しも行われている。

こういう状況の中、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が、超巨大地震のシミュレーションにはモデル領域を大きくとる必要があり、更に東北地方ではM9震源域に多くのM7クラスの震源域を含む必要がある。また西南日本では、スロースリップの発生が観測され、巨大地震発生前にその活動度が変化する可能性があり、南海トラフ巨大地震に加えて長期的スロースリップの発生もシミュレーションに含む必要がある。このように、シミュレーションは大規模マルチスケールになってきている。更に現状は、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。

こういった大規模マルチスケールシミュレーションやデータ同化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、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、地殻下部やマンタ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したい。

## 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

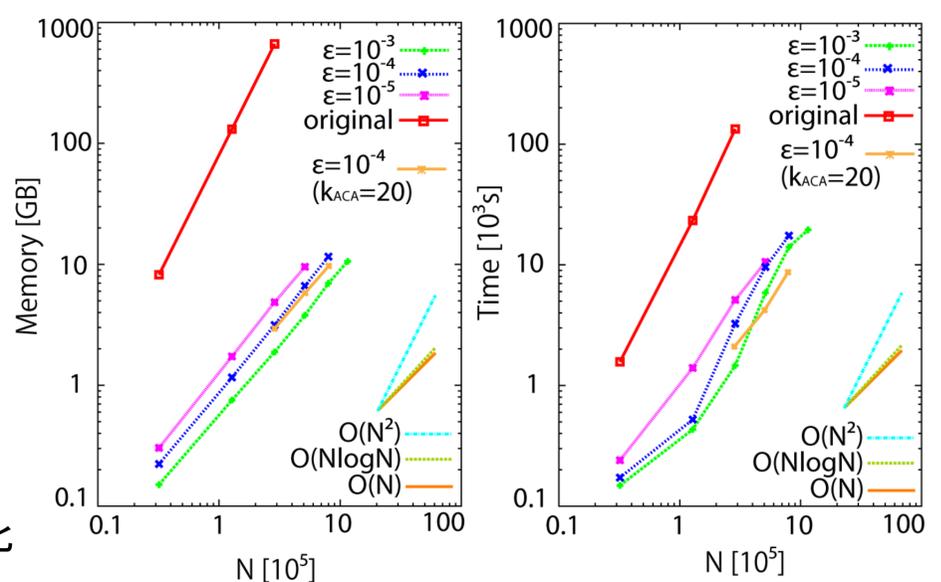
## a) Hierarchical Matrices (H-matrices) 法

## 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 $N$ 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、 $O(N*N)$ 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。

b)は地表を含む半無限媒質での応用を考慮して、Kernel Independent FMM (KIFMM)を検討する。

## 2-2) FEMメッシュ細分化を含むすべり応答関数計算 GeoFEMの四面体要素への対応を待つて研究を進める。



H-matrices法を「用いた場合のメモリ(左図)と計算量(右図)のセル数 $N$ への依存性 H-matrices法では階層的に小行列に分割しセルの距離が遠い小行列は低ランクで近似し、メモリおよび計算量を減らしている。近似精度 $\epsilon=10^{-4}$ 以下で十分な精度が得られるが、更に最外側小行列のランク $K_{ACA}$ を抑えることで、精度を保ちつつ、メモリは $O(N)$ 、計算量は $O(N) \sim O(N \log N)$ に抑えられる。