

“Estimation of frictional parameters in afterslip areas by assimilating GPS data:
Application to the 2003 Tokachi-oki earthquake”

(GPS データの同化による余効すべり域の摩擦パラメータの推定

: 2003 年十勝沖地震への適用)

加納 将行

京都大学理学研究科地球惑星科学専攻 2014 年 3 月学位授与

はじめに

大地震の発生に伴って地震性すべりの大きな領域の周囲に余効すべりが発生することが知られている。さらに余効すべりの時空間発展に伴う応力擾乱によって、新たに別の地震が誘発される可能性が示唆されている。本研究では、余効すべりの時空間発展の予測、さらにはすべりに誘発される地震の発生予測を念頭において、すべりの時空間発展の様式を規定している摩擦特性の推定手法の開発を目的とする。すべりの時空間発展は弾性体の運動方程式と摩擦則を数値的に解くことで得られる。本研究では摩擦則として速度状態依存摩擦構成則を用いて、摩擦特性を規定している 3 つの摩擦パラメータを観測データから推定する手法を確立した。まず、理想的に観測点が配置された場合の断層モデルを用いて、プレート境界面におけるすべり速度・地表面における変位の 2 種類の人工データを作成し、摩擦パラメータの推定に関する数値実験を行った。その上で、2003 年十勝沖地震時に観測された GPS データへの適用を試みた。また推定手法はアジョイント法を用いた。以下に、本論文の概略を述べる。

アジョイント法

本研究では摩擦パラメータの推定手法としてデータ同化手法の一種であるアジョイント法を用いた。データ同化は数値シミュレーションに観測データを取り込むことで、シミュレーションにおける初期値や境界条件・モデルパラメータの推定を行うことを目的の 1 つとしている。数あるデータ同化手法の中でもアジョイント法は計算量を抑えて効率よくパラメータ推定が実行可能な手法で、地震のすべりの時空間発展のような一回のフォワード計算の計算コストが大きい問題に適している。具体的には、設定した評価関数（本研究では観測値と理論値の残差二乗和で設定）に対して、評価関数のパラメータに対する勾配を計算し、パラメータの更新を行う。この計算を評価関数がある最小値に収束するまで反復的に行い、最終的に評価関数が収束した時に得られたパラメータが推定値として求められる。

理想的な状況下での数値実験

最初に理想的に観測点が配置された場合の断層モデルに基づいて、断層面上のすべり速度データあるいは地表面における変位データを作成し、この擬似データを用いて

摩擦パラメータの推定に関する数値実験を行った。このとき余効すべり発生域の摩擦パラメータは空間的に一様であると仮定した。また、シミュレーションにおけるすべり速度や状態変数の初期値および地震発生域の摩擦パラメータは真値に固定し、余効すべり発生域の摩擦パラメータのみの推定を行った。その結果、観測データがすべり速度の加速フェーズと減速フェーズを含んでいればすべての摩擦パラメータが拘束できることが分かった。また摩擦パラメータの最適化によって、余効すべりの時空間発展の予測、さらには余効すべりで誘発される地震の発生予測が改善された。

2003年十勝沖地震への適用：数値実験

前項で開発した摩擦パラメータの推定手法を実際の2003年十勝沖地震直後のGPSデータに適用した。北海道および北東北におけるGPS観測点配置を導入した。また、摩擦パラメータの空間不均質を導入し、摩擦パラメータの推定に加え空間パターンの推定を試みた。まず地表変位擬似データを作成し数値実験を行った。その結果、観測データがすべり速度の加速フェーズと減速フェーズを含み、かつ、観測データにその領域に対する分解能があればすべての摩擦パラメータが拘束できることが分かった。

2003年十勝沖地震への適用：実データの同化

前項の数値実験の結果を受けて、国土地理院のGPS観測網において観測された地表データに同手法を適用した。その結果、加速フェーズと減速フェーズを捉えた領域の摩擦パラメータを拘束することに成功した。一方で、すべりが発生していない領域の摩擦パラメータは拘束できないことが分かった。また十勝沖地震の余効すべりは速度強化域で発生していることが示唆された。

議論

前項において推定された摩擦パラメータから求めた余効すべりの分布は、従来の運動学的インバージョンで求められたすべり分布と大きく異なるものとなった。この違いを検証するために、運動学的インバージョンで推定された初期すべり時刻を初期値として摩擦パラメータの推定を試みた。このとき初期状態変数は定常状態を仮定して求めている。その結果、摩擦パラメータの推定は初期値に依存することが分かった。このとき推定されたすべり分布も十勝沖地震域の西側に大きなすべりを示しており、運動学的インバージョンと本研究の推定結果の違いには、本研究で用いた数値モデルの高度化などさらなる検討が必要である。一方でどちらの推定結果も十勝沖地震発生域の東側と西側で摩擦パラメータが異なることを示しており、すべりが大きな領域での摩擦パラメータの拘束に成功している。このことは、本研究で開発した手法が断層面上の摩擦特性を推定する上で有効であることを示しており、プレート境界面の摩擦特性の理解を進めることに貢献できるものである。