

地震発生サイクルモデルのデータ同化手法開発

Development of data assimilation method for constructing earthquake generation cycle model

光井 能麻 [1]; 堀 高峰 [2]; 宮崎 真一 [3]; 金田 義行 [4]; 平原 和朗 [5]

Noa Mitsui[1]; Takane Hori[2]; Shin'ichi Miyazaki[3]; Yoshiyuki Kaneda[4]; Kazuro Hirahara[5]

[1] JAMSTEC,IFREE; [2] IFREE, JAMSTEC; [3] 地震研; [4] 海洋機構; [5] 京大・理・地球惑星・地球物理

[1] IFREE,JAMSTEC; [2] IFREE, JAMSTEC; [3] ERI; [4] JAMSTEC,IFREE,DONET; [5] Geophysics, Sciences, Kyoto Univ.

将来発生する巨大地震に向けて、地殻変動等の観測データを用いた定量的な地震発生予測モデルの構築が望まれている。予測モデル構築のためには、観測データをシミュレーションに効率良く取り入れるためのデータ同化手法の開発が重要となる。従来、観測データに近いシミュレーションにするためのモデルパラメータや初期値の推定は、研究者が試行錯誤で行ってきた。本研究は観測された時系列データから自動的に適切なモデルパラメータや初期値の分布を推定する手法の開発を目指している。できるだけ単純なモデルで手法を開発するため、1あるいは2断層の地震発生サイクルシミュレーションモデルをここでは対象とする。また扱えるデータ(地殻変動や地震発生間隔等)が様々な時間スケールを持っていることから、(1)長期間データを用いたモデルの初期条件探索と(2)逐次的データ同化の2段階からなるデータ同化を考える。

(1) 長期間データを用いたモデルの初期条件探索

初期条件探索は、[1]初期パラメータ設定、[2]フォワードシミュレーションおよび評価関数値の計算、[3]次期パラメータ設定、[4]評価関数値が一定の基準を超えるまで[2],[3]を繰り返す、という手順で最適解の分布を求める。効率的な手法構築のため、まずデータ期間や再現する現象の違いがパラメータ推定にどう影響するか検討した(光井他、2006)。

断層面上の変位を時系列データとし、すべり速度・状態依存摩擦則を適用した2断層モデルの摩擦パラメータ(a-b,L)を推定した。解となる2つの断層の摩擦パラメータは、断層1は不安定で地震を発生しやすい(a-b < 0)、断層2は断層1より安定(a-b ~ 0)で地震間のスロースリップ(a-b < 0)または地震後の余効すべり(a-b > 0)を発生しやすい条件に設定した。その結果、下記の知見を得た。

1. a-bは周期、Lは地震時のすべりで決まりやすい
2. 安定性が高い条件ほど良い解を推定しやすい(他の断層から擾乱を受け、すべりが複雑になり情報が増すため)
3. 地震時が1回のみ1サイクルのデータを用いると、地震間の細かい変動に同化し、かつ地震時の変動量でa-bを詳細に決定(地震間のデータの重みが増す)
4. データが地震間のみの場合、断層2のスロースリップをよく再現するように解を推定。断層2に与える擾乱の大きさと関係するため断層1のパラメータもほぼ推定可能
5. 余効すべりのデータを用いた場合、断層2の解がa-b > 0でもa-b < 0と推定される場合もある
6. 地震間のみデータを用いた場合、地震時の挙動が大きく違う場合もある

(2) 逐次的データ同化

近年のGPS観測のようにデータが逐次更新される場合には、それに合わせてモデルパラメータや初期値を更新していく逐次的データ同化手法も必要となる。ここでは非線形性の強い問題への適用可能性が高いとされている粒子フィルターという手法を取り上げる。粒子フィルターでは、確率密度分布をガウス分布等の解析関数として表すのではなく、その独立な実現値と見なせる多数の「粒子」で近似する。この方法では、逐次入力されるデータに整合するようにパラメータや初期値の分布を更新する。まず適当な分布に基づいて(例えばある範囲内でランダムに)パラメータや初期値を各粒子に与え、その値を用いて各粒子毎にシミュレーションを行うことで、次の時間ステップの結果を得る(「予測」)。次にその結果に対して、データとの適合具合を尤度で評価し、尤度が大きい粒子を高い確率で残すような再抽出を行って、データと整合性の高い粒子の集合を作る。

この手法を、最も単純な1断層モデルを用いてテストした。断層面にすべり速度・状態依存摩擦則に従う摩擦が働いていると仮定する。普段固着して、ある時期に高速なすべり(地震に相当)を起こして、また固着するという条件での計算結果から、すべり速度の時系列データ(0.5年間隔)を作成する。パラメータを既知として、すべり速度と状態変数の初期値を推定した場合、計算開始時点ではばらついてはいたが、最初の地震後にはほぼデータと同様な時間変化を示すことが確かめられた。一方、初期値が既知でモデルパラメータを推定した場合、複数のパラメータを独立かつランダムに与えると、少数の粒子ではデータに近いパターンを得るのが困難であった。

これらの結果を踏まえ、効率的なパラメータおよび初期値の分布推定のためには次のような課題に取り組む必要がある。フォワード計算を系統的に行い、どのデータがどのパラメータの拘束に効くか、パラメータ同士にどのような関係があるかを検討し、先験情報として利用する。効果的なパラメータ/初期値の探索アルゴリズムを調べる。この同時に、可能性の低いデータ範囲を推定し除外する仕組みを取り入れる必要がある。