

逐次データ同化によるプレート境界固着・すべりの推移予測実験

堀 高峰・中田 令子 (海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター)

1. はじめに

将来、地震・津波による大きな被害が発生すると想定されている南海トラフや、東北地方太平洋沖地震後の余震等が懸念される日本海溝を主な対象として、定期的な海陸地殻変動のモニタリングとデータ解析を実施するとともに、巨大地震の発生に向けたプレート境界での固着・すべりの逐次推移予測のための逐次データ同化プログラムの開発を行っている。本課題では、地殻変動データのインバージョンによってプレート境界の固着・すべりの時空間変化を推定する解析と、その解析結果とシミュレーション結果との差を小さくするようにシミュレーションのパラメータや初期値を修正する手法の開発を行うとともに、逐次推移予測のための準備として地震発生サイクルの数値シミュレーションを行った。

以下では、日本海溝での逐次推移予測の準備として行った、東北地方太平洋沖地震前後を対象とした地震発生サイクルの数値シミュレーション結果について報告する。

2. 東北地方太平洋沖地震と宮城県沖地震

東北地方の日本海溝沿いの地域で2011年3月11日に発生したマグニチュード(M)9.0の地震(東北地方太平洋沖地震:本震)では、過去のM7前後の地震の震源域も含め、広範囲に破壊が及んだ。宮城県沖では、30~40年の再来間隔でM7.1~7.4の地震が繰り返し発生している。本震時のすべり量は、過去に単独で宮城県沖地震が発生した時よりも大きな値が推定されている。

過去の宮城県沖地震震源域内のすべり量の収支だけに注目すると、少なくともこれまでの再来間隔と同程度の年数が経過するまでは、同規模の地震は発生しないと考えられる。しかし、2011年の本震時には、過去の宮城県沖地震震源域を含めた広い領域で大きくすべっているため、単純な問題ではない可能性も考えられる。実際、地震調査研究推進本部では、この場所での今後30年以内の地震発生確率

を「不明」としている。そこで、宮城県沖での地震発生準備過程として、今後どのように応力の蓄積・解放が進むかを調べた。

3. 手法

数値計算では Ohtani et al. [2014]と同様の手法とプレート形状 [Baba et al., 2006]を用いた。このプレート境界面を $N(=127,367)$ 個の要素に離散化し、 N 個の要素それぞれに摩擦条件 (a, b, L) を与え、以下の3式から導出される連立微分方程式を、時間刻み幅可変の Runge-Kutta 法で時間積分する。

$$\frac{d\tau_i}{dt} = \sum_j K_{ij}(V_j - V_{pl,j}) - \eta \frac{dV_i}{dt} \quad (1)$$

$$V_i = V^* \exp\left[\frac{\tau_i - (\tau_{s,i} + \Delta\tau_{si})}{A_i}\right] \quad (2)$$

$$\frac{d\Delta\tau_{si}}{dt} = \frac{B_i}{L_i/V^*} \exp\left(-\frac{\Delta\tau_{si}}{B_i}\right) - B_i \frac{V_i}{L_i} \quad (3)$$

式(1)はプレートの相対運動に起因する要素 j のすべりによる要素 i のすべり方向の応力 τ の時間変化を表す。 K_{ij} はすべり応答関数で、要素 j の単位すべりによる要素 i での静的せん断応力変化である。 V はすべり速度、 V_{pl} はプレートの相対運動速度(8.4 cm/yr)である。 η は地震波の放射によるエネルギーの減衰を近似するダンピング係数で、本研究では $0.3G/2\beta$ とした。 G は剛性率 (30 GPa)、 β は S 波速度 (3.27 km/s)である。式(2)は断層の構成則 [Nakatani,2001]である。 V^* は任意のすべり速度 (V_{pl})、 $\tau_{s,i}$ は V^* で定常すべりをしているときの基準摩擦強度、 $\Delta\tau_s$ は基準摩擦強度からの変化である。 $A (=a\sigma)$ と $B (=b\sigma)$ はすべり速度変化とすべりに対する摩擦係数の変化を表し、 L は特徴的すべり量である。強度の時間発展則には式(3)のように aging law [Dieterich, 1979; Ruina, 1983]を用いた。

4. 結果と議論

M9 クラスの地震が2回発生するまで計算を行った (ES2 では 64 C P U、新 ES では 64 コアを使用して 35~40 時間)。Fig.1 の摩擦条

件で計算した場合、M9.1の地震の繰り返し間隔は772年、最大すべり量は62mであった。宮城県沖には破壊開始から1分後には破壊が伝播し、すべり量は10~20mに達した (Fig. 2)。本震後3年間の余効すべりは宮城県沖で2m以下であった。宮城県沖ではM7.1~7.4の地震が26~91年間隔で繰り返し発生した。これらの特徴に加え、福島県沖や茨城県沖での本震前~本震直後の挙動も、観測と概ね一致したシミュレーション結果が得られた。さらに、Fig. 1を基に少し値をばらつかせた多くの摩擦パラメータセットを用いたときにも同様の特徴が得られた。

これらの結果では、M9クラスの地震後に、宮城県沖でのM7クラスの地震の静穏化は見られず、M9クラスの地震が起きる前の繰り返し間隔と同じかそれより短いタイミングで、次の宮城県沖地震 (M7.1~7.4)が発生していた (Fig. 3)。Fig. 1のモデルを用いたとき、M9.1の地震の18年後に、M7.2の地震が宮城県沖で発生した。これらは、M9クラス地震の余効すべりによって宮城県沖での応力蓄積率が早かったためであると考えられる。

今後は、これらのシミュレーション結果と観測データを用いて、逐次推移予測の試行実験を行うとともに、摩擦パラメータをデータに合うように調整する手法の大規模計算対応を進める。これが実現すれば、事前予測できていなかった振る舞いをデータが示しても、それに追従して、推移を予測することが可能となると期待される。

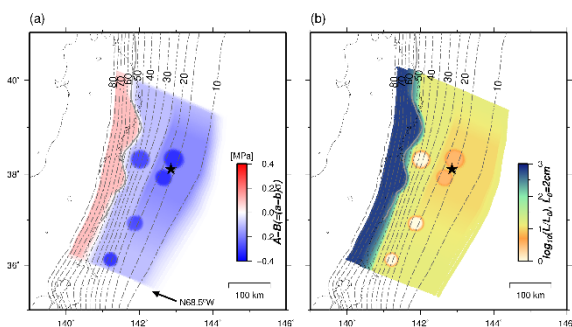


Figure 1. 摩擦パラメータの空間分布。(a)A-B (MPa)。(b)特徴的すべり量 L (m)。

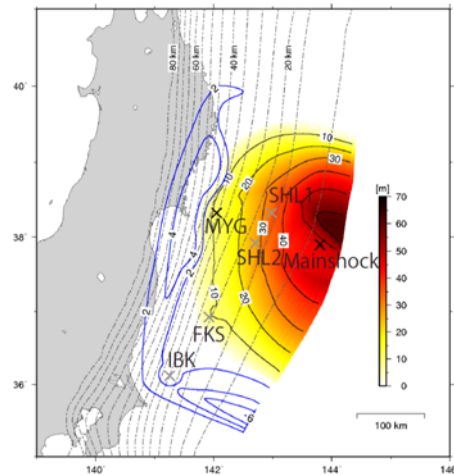


Figure 2. Fig.1の摩擦条件で行った数値シミュレーションで得られたM9.1地震のすべり(カラー)と余効すべり(コンター)分布。

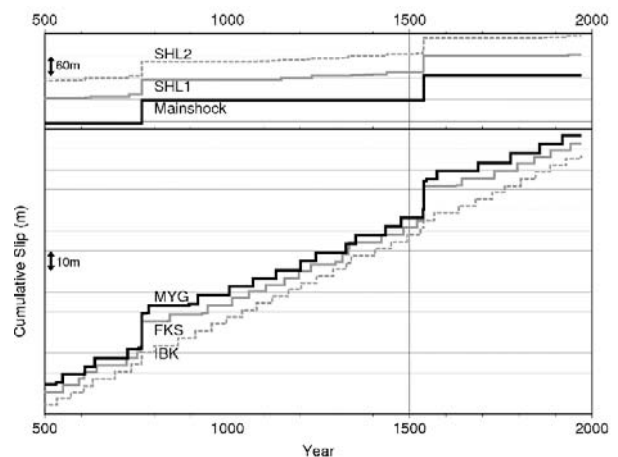


Figure 3. 累積すべりの時間変化。

引用文献

Baba, T., Ito, A., Kaneda, Y., Hayakawa, T. & Furumura, T., paper presented at Japan Geoscience Union, S111-006 (2006).
 Dieterich, J. H., *J. Geophys. Res.*, 84, B5, 2161-2168, doi: 10.1029/JB084iB05p02161 (1979).
 Nakatani, M., *J. Geophys. Res.*, 106(B7), 13347-13380, doi: 10.1029/2000JB900453 (2001).
 Ohtani M., Hirahara, K., Hori, T. & Hyodo, M., *Geophys. Res. Lett.*, 41, 1899-1906, doi:10.1002/2013GL058751 (2014).
 Ruina, A., *J. Geophys. Res.*, 88 (B12), 10359-10370, doi: 10.1029/JB088iB12p10359 (1983).

謝辞

数値計算には地球シミュレータを使用しました。