

12 - 12 地震発生に至るプロセスとしてのゆっくりすべりと予測における役割 Slow slips as preseismic processes and their roles for earthquake forecasting

堀 高峰 (海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター)

Takane Hori, R&D Center for Earthquake and Tsunami
Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

地震波の放出を伴わないプレート境界でのゆっくりしたすべりは、地震後に震源域の周囲に発生する余効すべりや自発的に発生するスロースリップイベント (SSE) がある。従来は、こうしたゆっくりすべりは、地震性すべりを起こさないところで生じるものと考えられてきた。しかし、M9の地震が発生した東北地方太平洋沖では、M9地震発生以前には、その震源域内でM7クラスの地震が発生するとともに、その周囲で余効すべりが生じていた。さらに、それらの余効すべりは本震と同程度かそれ以上のモーメントを解放していたとの指摘がある¹⁾。また震源近傍でSSEが発生していたこともわかった²⁾。

こうしたゆっくりすべりの発生が、M9地震の発生に至る必然的なプロセスの一環なのか、あるいはこれらのすべりとM9地震発生には直接の関係がないのかは、まだ結論が出ている訳ではない。しかし、地震発生サイクルのモデルによれば^{3,4)}、繰り返し大地震を発生する震源域内で、より小規模な地震とそれに伴う余効すべりが発生したり (第1図)、SSEが発生したり (第2図) することは、条件次第で起こり得る。第1図に示したように、余効すべりは、大地震のサイクルの前半に比べて、後半の方が全体としてすべり速度が大きく、広い範囲で発生する。また、SSEについては、第2図左に示したように、摩擦パラメタ A/B の値によって起こり方が大きく異なるが、値が大きい場合には、地震発生サイクル中の後半で何度かすべりが加速して、地震にならずに減速することを繰り返した後で、大地震発生に至る。このように、これらのゆっくりすべりは、震源域全体での大地震に至る必然的なプロセスの一環として発生すると言える。このため、ゆっくりすべりの起こり方から、大地震発生の予測につながる情報を引き出せる可能性がある。

そこで以下では、震源域内で発生するゆっくりすべりのシミュレーション結果の1例を模擬データとして、その後の推移を予測する数値実験を試みた結果⁵⁾を紹介する。また、最後に、来年度から開始予定の「予測実験の試行」に向けた議論のたたき台を提示する。

2. 震源域内ゆっくりすべりを用いた予測の数値実験の試み

予測の数値実験の方法としては、あらかじめ用意した複数の地震発生サイクルの計算結果のうちの1つを真の場合とし、ノイズを加えたものを模擬データとする (第3図)。そこから一定期間 (ここでは30日) を切り出す。日々データが更新されることを模擬する意味で、1日ずつずらした模擬データが与えられるものとする。各データに対して、真の場合と同じパラメタで異なるサイクルや、異なるパラメタに対する1サイクル毎のシミュレーション結果 (以下、シナリオと呼ぶ) との残差を、初期値をずらしつつ計算し、残差が正規分布にしたがうとの仮定のもとで尤度を求める。その上で、全シナリオで和をとった結果の分布を第4図と第5図に示した。第4図は模擬データ内での地震発生前95日間、第5図は大地震より前に発生したSSEを含む100日間となっている。第5図の黒点線でSSEの加速の終わりを示したが、黒点線までの尤度の分布と地震発生前とを比較す

ると、パターンが類似しており、地震前と SSE の加速とを区別することが難しいことを示唆している。ただし、シナリオを増やしたり、模擬データの長さを変えたりすることで、区別ができる可能性は残っている。

3. 予測実験の試行に向けて

来年度から行う計画である予測実験の試行に向けて、次々回の重点検討課題での議論のたたき台をここで示しておく。まず、対象となるモニタリングや推移予測の項目としては、プレート境界のすべり・固着のはがれ、ゆっくりすべりの長期的加速・SSE・余効すべり、地震活動（前震判定・相対的静穏化・活発化・ b 値変化・潮汐相関等）といったものが挙げられる。これまでモニタリングしてきた項目と大きくは変わらないが、大地震前に、大地震に向けた推移を検討するという観点を入れることが大きく異なる。

予測実験を試行するにあたっては、懸案事項として、起こりうることにかなり幅がある、つまり不確定さが非常に大きいことをどのように扱うか、不意打ちも起こりうることを前提であることをどう伝えるかということがある。ただ、予測は空振りをおそれずに、現状のモニタリング結果とそれが意味すること（巨大地震発生に関連して）を普段から伝えることが目的であることを忘れないことが必要である。

また、ひとくちに予測といっても、様々な時間スケールがあることに留意する必要がある。東北地方太平洋沖地震を例にすれば、静穏化は 10 数年～数年、潮汐相関・ b 値低下・余効すべり大・SSE・ゆっくり地震の変化は数年、前震活動・ゆっくりすべりの加速は数ヶ月～数日というように桁で異なるタイミングで発生していた。このことを踏まえた上で、予測内容をどの時点でどのように公開して議論するかを考える必要がある。

予知連での議論の内容としては、現象そのものの確からしさ、誤差やバイアスなどを個別の現象に対して吟味するとともに、複数の現象の同期性を見ることが重要である。そのため、1つの現象に対して力学的メカニズムから対応して生じると考えられる他の現象の確認をするといったことも必要と言える。その上で、過去の事例がどうであったか、シミュレーションにもとづくどのようなシナリオがあり得るかを検討する。

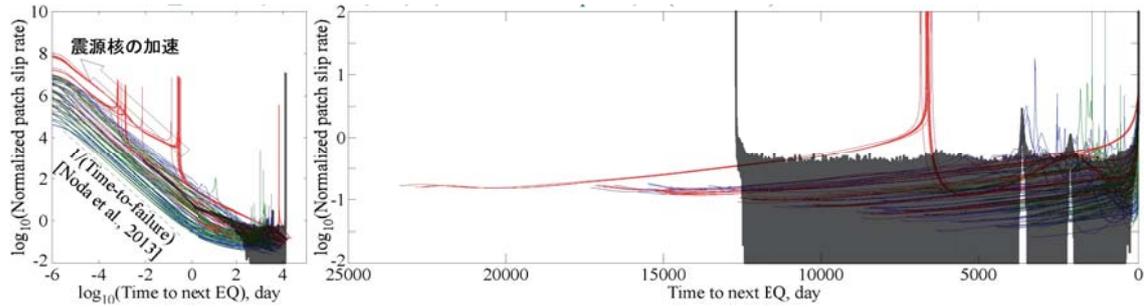
最後に、議論を行うタイミングとしては、定期的に、モニタリングの $+\alpha$ として行うとともに、学会での発表を受けた議論といったことも考えられるかも知れない。

参 考 文 献

- 1) Suito, H., T. Nishimura, M. Tobita, T. Imakiire, and S. Ozawa (2011), Interplate fault slip along the Japan Trench before the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake as inferred from GPS data, *Earth Planets Space*, 63, 615-619, doi:10.5047/eps.2011.06.053.
- 2) Ito, Y., R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Iinuma, M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K. Suzuki, T. Tsuji, J. Ashi (2013), Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, 600, 14-26.
- 3) Noda, H., M. Nakatani, and T. Hori (2013), Large nucleation before large earthquakes is sometimes skipped due to cascade-up—Implications from a rate and state simulation of faults with hierarchical asperities, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 118, 2924–2952, doi:10.1002/jgrb.50211.
- 4) Noda, H., and T. Hori (2014), Under what circumstances does a seismogenic patch produce

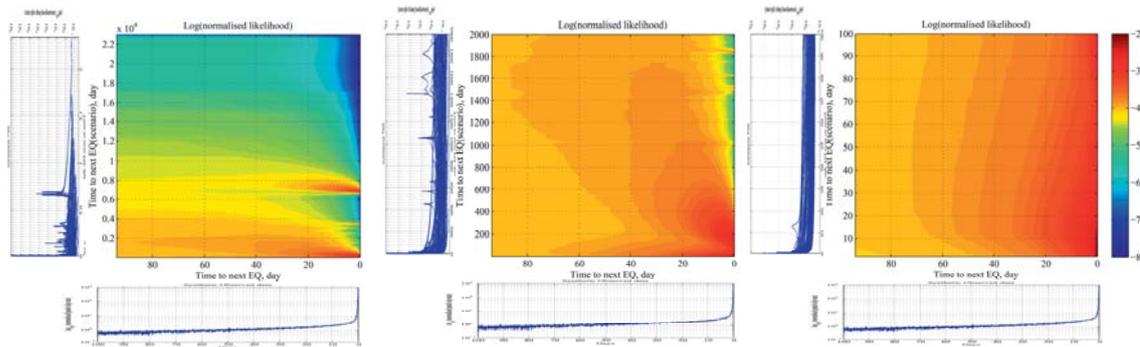
aseismic transients in the later interseismic period?, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7477–7484, doi:10.1002/2014GL061676.

- 5) 日吉善久・堀高峰・野田博之 (2014), 動的地震発生サイクルシミュレーション結果を利用した地震発生予測システムの評価, 2014年日本地震学会秋季大会, S08-P05.



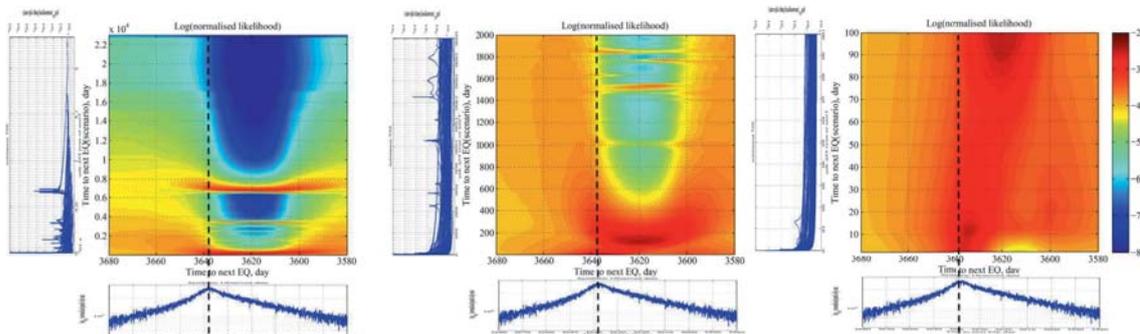
第3図 標準偏差 $0.1V_{pl}$ のガウス分布でノイズを加えた模擬データ（黒線）と様々なシナリオ（色は摩擦パラメタの違い）のすべり速度変化。

Fig.3 Synthetic data with Gaussian noise of $0.1V_{pl}$ standard deviation (Black line) and various scenarios (colors correspond to the different scenarios with different frictional parameters).



第4図 地震前95日の模擬データに対する尤度分布. 左：シナリオ全体，中：シナリオ地震前2,000日間の拡大図，右：シナリオ地震前100日間の拡大図。

Fig.4 Likelihood distribution for 100days including a slow slip event. Left: Whole the scenarios, Middle: 2,000 days magnified, Right: 100 days magnified.



第5図 スロースリップを挟んだ100日の模擬データに対する尤度分布. 左：シナリオ全体，中：シナリオ地震前2,000日の拡大図，右：シナリオ地震前100日の拡大図。

Fig.5 Likelihood distribution for 100days including a slow slip event. Left: Whole the scenarios, Middle: 2,000 days magnified, Right: 100 days magnified.