

12-9 プレート境界滑り時空間変化の推移予測

Forecast of spatio-temporal variation in slip on the plate boundary

堀 高峰 (海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト)

Takane Hori, Earthquake and Tsunami Research Project for Disaster Prevention

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

プレート境界地震のうち M8 後半から 9 の地震は、ほとんどが沈み込み境界で発生してきた。そして、その震源域の大部分は海底下に存在する。そのため、地震発生の準備過程や地震時、地震後の地殻変動は、震源域から離れた陸上からの観測もしくは、オフラインデータを後から解析するしかなかった。実際、2011 年東北地方太平洋沖地震の際にも、地震の前に間欠的なゆっくりすべりや前震後の余効すべりの本震震源への伝播が起こったが、それらは主に、地震後にオフラインデータを解析することによって明らかにされた¹⁾ (第 1 図)。しかし、M8~9 の巨大地震発生が危惧されている南海トラフでは、1944 年東南海地震 (M8.0) の震源域の真上で、海底ケーブルネットワーク (DONET1) によるリアルタイムでの地震波と地殻変動観測が 2011 年 8 月から開始されている。また、西隣の 1946 年南海地震 (M8.2) 震源域でも、数年以内に同様な観測網 (DONET2) が完成する予定である (第 2 図)。さらに、日本海溝においても、海底ケーブルネットワークが構築されつつある。このように、震源域直上の海底地殻変動が、リアルタイムで観測できる環境が整いつつあるため、リアルタイムに何らかの変動が見られた場合に、その後の推移を予測する必要性が近い将来に出てくるのが現実のものとなっている。そこで、プレート境界のすべりの時空間変化を予測するシステムが必要となる。

2. 予測システムの考え方

プレート境界地震とその準備過程や地震後の余効すべりといった現象は、プレート境界でのすべりの時空間変化として近似的に数理モデル化されていて、数値シミュレーションも可能であり、すべりの時空間変化と地殻変動の観測データを結びつける観測方程式を立てることができる。したがって、データ同化を用いた一般的な予測科学の方法論に準拠することで、プレート境界でのすべりの時空間発展を予測することが、原理的に可能である。ここで扱う系は、すべりの時空間変化が普段はゆっくり進行するが、しきい値を超えると急激にすべりが加速する (地震の発生)、その上、しきい値がすべりの履歴に依存して変化するというように、非線形性が強い。また、その非線形性を大きく左右する、プレート境界面の摩擦則は様々なものが提案されており、今後もさらに改良していく必要がある。このため、予測システムとしては、データ同化手法の中で、非線形数理モデルに手を加えずにそのまま適用可能で、かつ、様々なモデルに適用する際の柔軟性が高い、SIS (Sequential Importance Sampling) と呼ばれる逐次データ同化手法の一種を適用する²⁾。SIS では、数理モデルに誤差を許容せず、多数の初期値やモデルパラメタの組み合わせに対するシミュレーションを行ない、その結果の各時刻のアンサンブルを、系の各時刻の状態を表す確率密度分布の多数の実現値とみなす。そして、各実現値に対して観測方程式を適用した結果と観測データとの残差にもとづいて尤度を計算し、尤度に応じて実現値の重み付けをすることで、各時刻で観測データが与えられたもとで

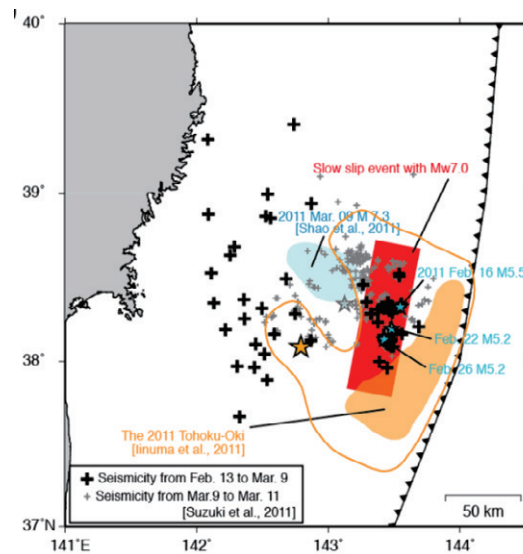
の条件付き確率密度分布を得る（第3図）。ここで、簡単のため、観測データの誤差にはガウス分布を仮定して尤度を求める。このように、多数の初期値・パラメタの組み合わせに対して、観測データとの合い具合に応じた重み付けが各時刻に与えられる。そのため、観測データがない将来の予測は、多数のシミュレーション結果に、最後の時刻での重みをつけたアンサンブルで表される。したがって、推移予測システムは、（1）多数の初期値とパラメタの組み合わせ（数理モデルが異なる組み合わせも可）でシミュレーションを行い、観測方程式を適用した結果を集めたデータベース（シミュレーションデータベース）と、（2）（1）と比較できるように加工した観測データ（観測データベース）、そして（3）（1）と（2）の残差から尤度を求めるプログラムの3つから構成される（第4図）。

3. 現状と課題

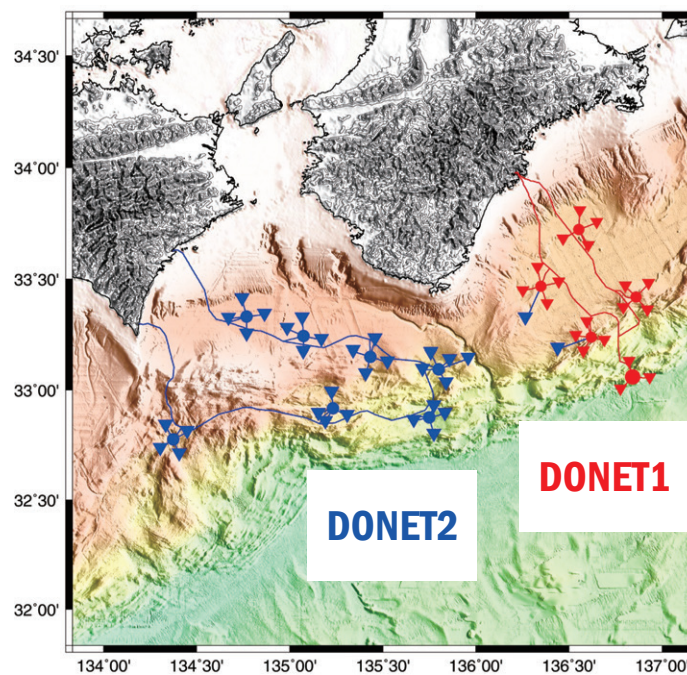
現在、この予測システムのプロトタイプとして、南海トラフを対象とした実験を行っている。現状では、実データとしては陸上観測の GEONET を用いており、DONET データについては、GEONET と比較して尤度が大きいシナリオとの比較のみを行っている。用意したシミュレーションデータベース（118 シナリオ）で、紀伊半島～日向灘にかけて、太平洋岸に近い 22 観測点での約 16 年間の GEONET 上下変動データに対して、残差最小の初期値を求めた例を示す（第5図）。平均的にはどのシナリオもデータにある程度整合したものとなっていることがわかる。ただし、赤で示した観測点では、シナリオによってデータと整合するものとそうでないものがわかれており、青で示した観測点では、どのシナリオも現状ではあまりデータと整合しておらず、シナリオをさらに増やす必要性を示している。今後は、より広いパラメタ範囲でシミュレーションを行なうとともに、シミュレーションと観測データにずれが見られた場合に、その差を解析して原因を特定することで、事前に用意したケースだけでは扱い切れない現象を迫えるようにする必要がある。また、実際に普段と異なる変動が観測された場合に、どのようにその観測結果や推移予測を情報提供するのかについて、情報の受け手となるべき様々な立場の人達と議論して、コンセンサスを得る必要がある。そのためにも、現象が実際に起こり始めて、完了する前の予測実験を試行することで、推移予測の際にどのような状況になるかを検討することが重要である。

参考文献

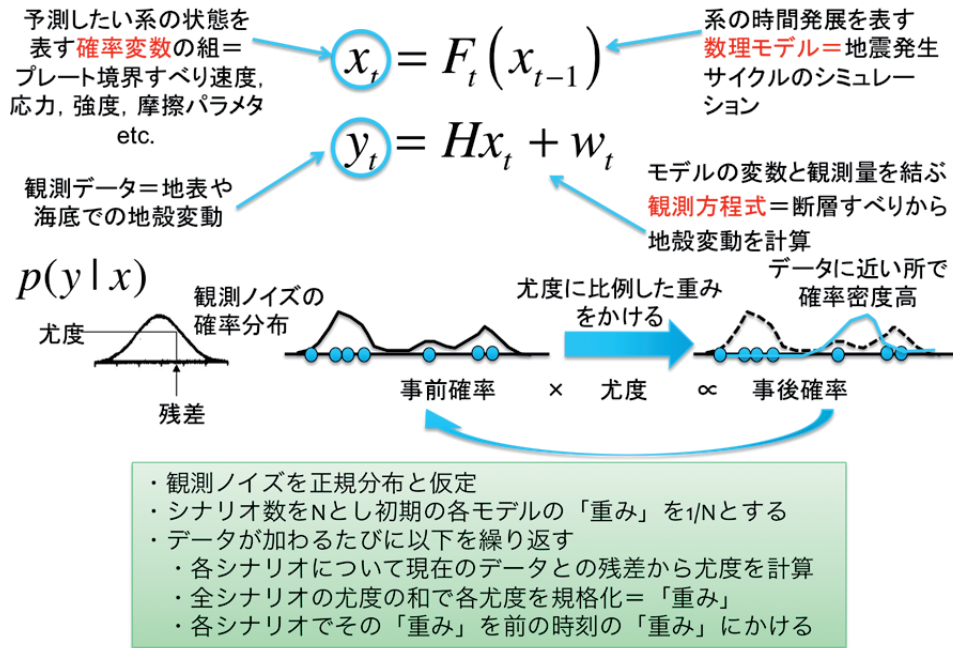
- 1) Ito, Y., R. Hino, M. Kido, H. Fujimoto, Y. Osada, D. Inazu, Y. Ohta, T. Iinuma, M. Ohzono, S. Miura, M. Mishina, K. Suzuki, T. Tsuji, J. Ashi, Episodic slow slip events in the Japan subduction zone before the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Tectonophysics*, 600, 14–26, 2013.
- 2) Hori, T., S. Miyazaki, M. Hyodo, R. Nakata, Y. Kaneda, An earthquake forecasting system based on the sequential data assimilation of the slip on the plate boundary, *Theoretical and Applied Mechanics Japan*, in press.



第 1 図 東北地方太平洋沖地震の震源域内で発生したゆっくりすべり¹⁾
 Fig.1 Slow slip event occurred within the source area of the 2011 Tohoku-oki earthquake¹⁾ .

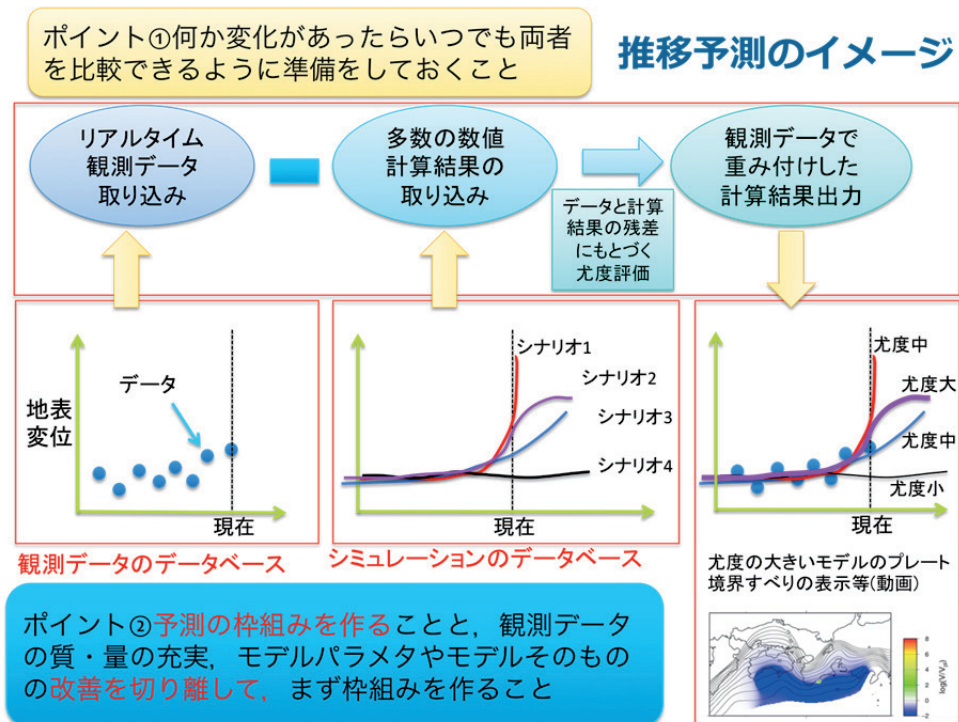


第 2 図 南海トラフの震源域に展開されている海底ケーブルネットワーク (DONET)
 Fig.2 Ocean bottom cable network along the Nankai trough (DONET)



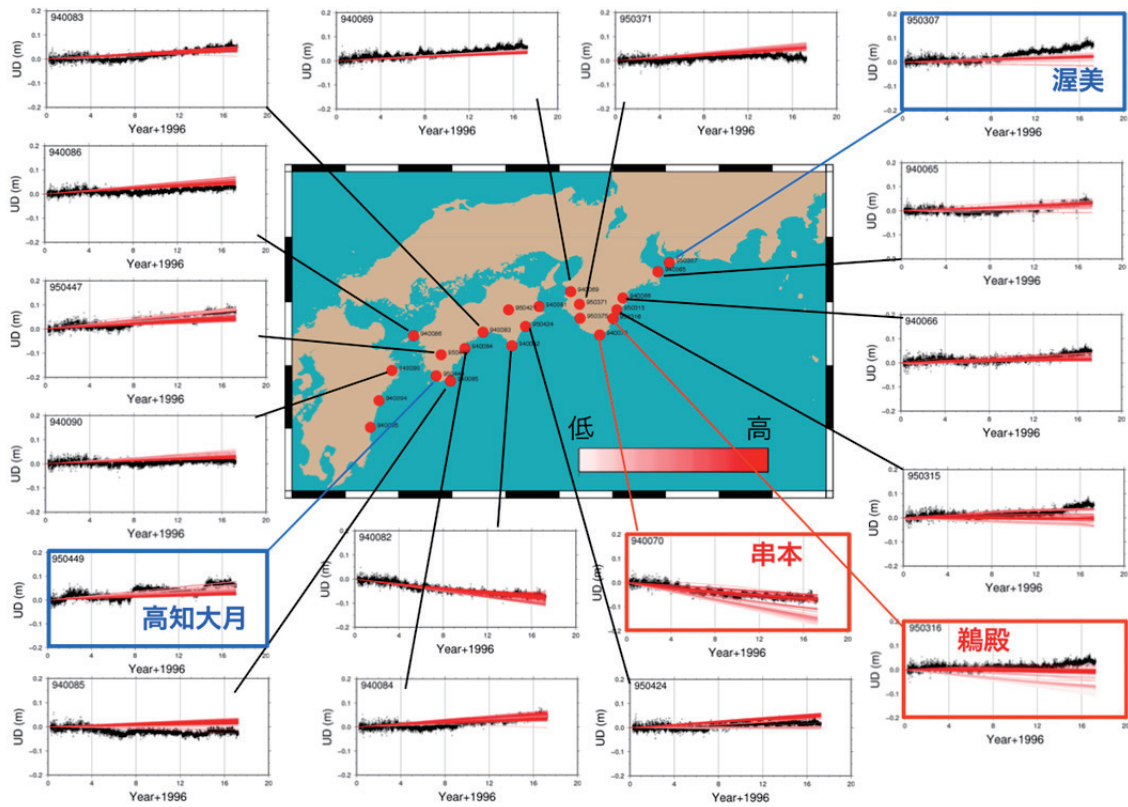
第3図 推移予測手法としての逐次データ同化

Fig.3 Sequential data assimilation for a method of forecast



第4図 推移予測システムのイメージ

Fig.4 Schematic image of an earthquake forecasting system



第5図 地震発生サイクルシナリオと GEONET データとの比較.

Fig.5 Comparison between scenarios of earthquake generation cycle simulation and GEONET data.