

# 相似地震の発生予測実験

○岡田正実(地震火山研究部、客員研究員)、青木重樹(地震火山研究部)、内田直希(東北大学)

## 1. はじめに

地震調査委員会は、内陸活断層及び海域(プレート境界)で発生する大地震の長期的な確率評価手法<sup>(1)</sup>をまとめ、30年間の発生確率(確率予測)などを公表しているが、予測結果の包括的な検証は、予測期間が終了していないために、まだ行われていない。また、過去に環太平洋のプレート境界大地震の確率予測<sup>(2)</sup>が行われたことがあるが、その後の統計的検定<sup>(3)</sup>では予測の有効性が否定されている。

そこで地震の長期的予測の有効性をさぐり、予測手法の改善を図るために、東北大学と共同で、プレート境界で繰り返し発生する相似地震を用いた予測検証実験を2006年に開始した。

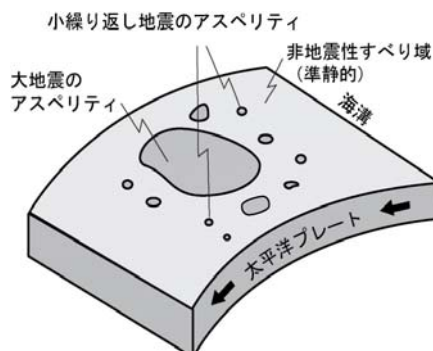
## 2. 相似地震の確率予測と検証

### 2.1. 相似地震とは

相似地震とは観測波形が極めてよく似た地震のことで、事実上同じ場所で同じ機構で起きている。ここで扱うのはM2.5～4程度の小地震である。プレート境界で発生するものは、第1図に示すように、プレート運動で絶えず滑っている領域に囲まれた小さな固着域(アスペリティ)があり、その部分が繰り返し破壊されるために発生すると考えられている<sup>(4)</sup>。

このタイプの相似地震は、対象地震の同定が客観的かつ容易で、将来も繰り返しが十分期待でき、発生間隔が1年～数年と短く、地震系列が多いなどの特徴から、予測実験に適しており、検証が十分可能である。

そこで、東北大学の相似地震カタログで、1993年以降で地震が5個以上あること、余震と推測されるものの割合が1/3未満であることなどを条件にして、予測系列を選出した。



第1図 プレート境界における相似地震発生機構

### 2.2. 予測確率の計算方法

基本的な考え方は、「特定の相似地震系列では、発生間隔がいつも同じ対数正規分布に従う。」という簡単なものである。最後の地震からの経過時間を考慮して、予測期間中の発生確率(条件付き確率)を統計的に求める。

各系列の地震数が少ないので系列データから推定した分布パラメータを用いて確率を計算すると、一般に予測の精度と信頼性が劣る。本研究では推定誤差を考慮した確率計算法(ベイズ統計や小標本論(精密標本論))で処理した。

ベイズ統計で使用する事前分布は、発生間隔の対数 $\log(T)$ の平均について一様であり、その分散については逆ガンマ分布を採用している(予測モデル)。成績比較のため、小標本論対数正規分布モデルと、地震発生が一様ランダムな場合に相当する指数分布モデルによる予測も行った。

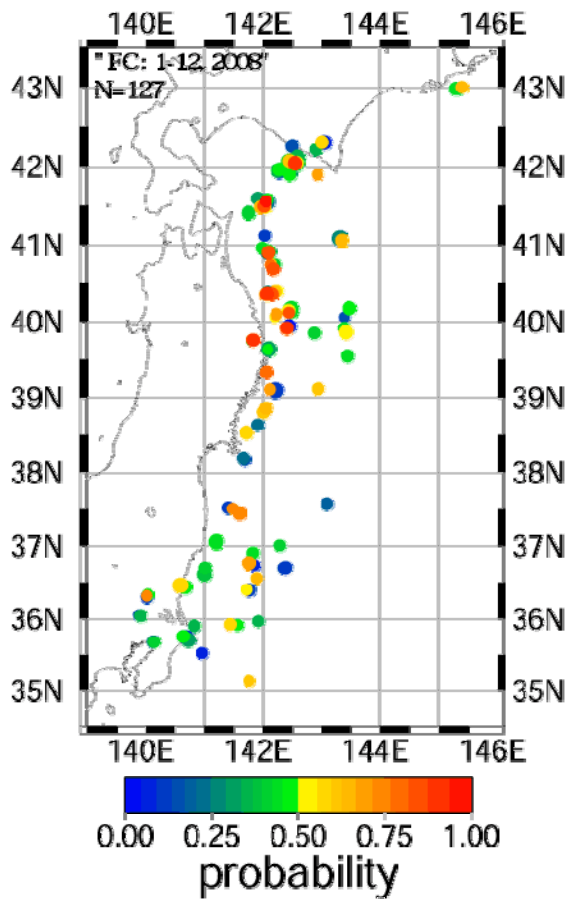
### 2.3. 確率予測の結果と検証

予測期間は、6ヶ月、12ヶ月、18ヶ月間の3種類である。予備的な予測実験を2006年から開始し、08年分から本格的に実施している。08年のベイズ統計による12ヶ月(1月～12月)予測<sup>(5)</sup>は、07年末までのデータから127系列について計算した。各系列の予測確率を地図上に示したものが第2図である。関東～北海道の太平洋岸近くに震源が分布している。十勝沖では、2003年十勝沖地震M8.0の余震が1/3以上を占める系列を除いたために、空白域となっている。三陸沿岸に発生確率が高いものが多い。

実際の発生状況(観測結果)は、第3図に示す通りで、予測確率の大小が該当地震の発生・非発生にかなり良く対応している。予測の適合度を調べるために、発生確率10%ごとに区切って集計したものが第4図である。期待される発生数(緑色)と実際の発生数(赤色)がよく似た分布をしており、予測確率が全体として妥当であったことを示している。

予測の検証は、各系列の地震発生がお互いに独立であると仮定して行った。個数検定、尤度検定およびBrierスコア検定は、いずれも棄却されず、合格した。平均対数尤度とBrierスコアは、東京の3、4日先の降水確率予報と同程度である。

指数分布モデルと成績比較すると、尤度比検定及びBrier



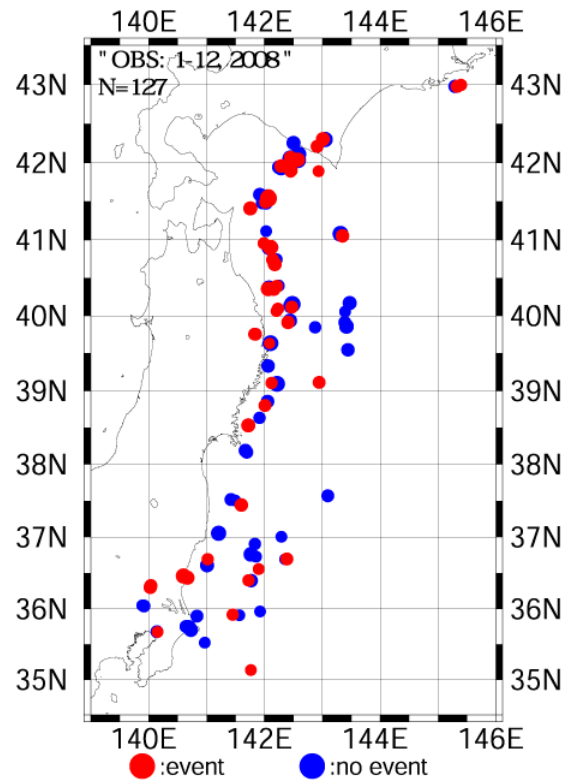
第2図 相似地震の2008年発生確率予測。

スコア差の検定では、予測モデルが有意に優れていた。しかし、小標本論対数正規分布モデルに対しては、予測モデルが劣っており、事前分布があまり良くなかったことが判明した。

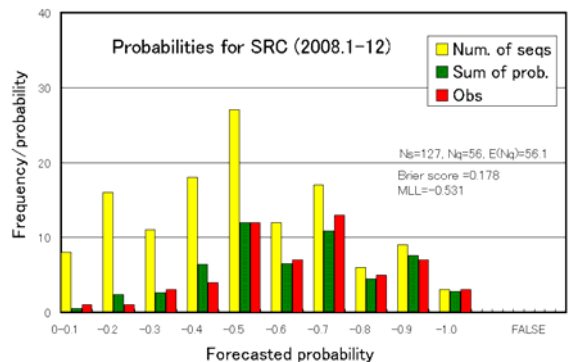
2009年の予測は、事前分布のパラメータを調整して計算し、09年4月に公開した。成績は08年の場合よりかなり劣っており、尤度検定とBrierスコア検定では棄却された。一つの原因は、2008年5月の茨城県沖地震M7.0等の余効変動で、異常に早く発生したものが含まれていることが挙げられる。しかし、指数分布モデルや小標本論モデルの予測と比べると、予測モデルの成績は有意に優れていた。予測の精度・信頼性を向上させるためには、今後地震の続発性を考慮することが必要である。

### 3. まとめ

統計的手法による地震の長期的予測可能性を調べるために、プレート境界で繰り返し発生する相似地震を用いて、発生予測検証実験を実施している。2008年の成績は良かったが、09年は、一部に大地震後の余効変動があったことなどから、概して成績が悪かった。今後も事前の予測と検証を続けるとともに、予測モデルの改良に取り組む必要がある。



第3図 確率予測した2008年相似地震の発生状況



第4図 2008年予測確率と該当地震の発生状況

### 参考文献

- (1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001: 長期的な地震発生確率の評価手法について, 99 pp.
- (2) Nishenko, S.P., 1991, 2003: Pure Appl. Geophys., 135, 169-256.
- (3) Kagan, Y. Y. and D. D. Jackson, 1995: J. Geophys. Res., 100, 3943-3959.
- (4) Igarashi, T., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, 2003: J. Geophys. Res., 108, 2249, doi:10.1029/2002JB001920.
- (5) Okada, M., N. Uchida, K. Maeda, and H. Takayama, 2009: Abstracts, Japan Geoscience Union Meeting, S220-009.

※本研究は、融合型経常研究「震源精度向上と地震活動情報の高度化に関する研究(平成21～25年度)」として行われている。主任研究者: 勝間田明男、研究分担者: 前田憲二、青木重樹、弘瀬冬樹、林豊、山崎明(現地磁気観測所)、岡田正実(客員研究員)。