## 9-7 2016 年鳥取県中部の地震(M6.6)前後の活動について Seismic activity before and after the 2016 Central Tottori Prefecture earthquake

統計数理研究所 東京大学地震研究所 東京大学生産技術研究所 東京工業大学 The Institute of Statistical Mathematics Earthquake Research Institute, University of Tokyo Institute of Industrial Science, University of Tokyo Tokyo Institute of Technology

2016年10月の鳥取県中部地震(M6.6)の前月,9月半ばからM6.6本震の震源域の一部に平行 に沿って近接する前震活動が有り,さらに本震と同日に,場所を変えてM4.2から始まる本震直近 での前震活動が有った.

本震前の地震群の時間間隔の集中度・空間的配置の集中度・マグニチュード増減パターンなどの 統計的特徴による2つの前震判別手法<sup>1)</sup>を用いて,M6.6 鳥取県中部地震の約1ヵ月前からの地震 活動について本震発生確率を評価した(第1図).

CSEP 日本地震活動予測検証センター(東大地震研究所内)に登録・検証中の階層的時空間 ETAS モデル<sup>2)</sup>による,M4以上の地震に関する,短期的確率予測の時空間映像のスナップショット(第2図)を示した.さらに,これらの前震活動および余震活動の各々を時間領域 ETAS モデルで解析した.いずれも活動度の推移は ETAS モデルで良くあてはまるが,9月の前震活動(第3図上段)は北西方向に移動,M4.2 で始まる前震(第3図下段)は深い方向に移動,余震活動(第4図)は西方に拡散している.

本震直後の余震検出率の時間変動を推定<sup>3)</sup>して、大森・宇津の余震減衰則とGutenberg-Richter則により、鳥取県中部の地震(M6.6)の余震確率の推移が、本震直後3時間から48時間までHi-net 準リアルタイムデータによって良く予測できている(第5図).またETASモデルのシミュレーションによる余震活動の中期予測を試みた<sup>3)</sup>(第6図).

本解析にかんして気象庁一元化震源データ防災科技研 Hi-net データおよび地震活動解析ソフトウェア TSEIS と XETAS を使用した.

(尾形良彦, 鶴岡弘, 近江崇宏, 野村俊一, 熊沢貴雄, 合原一幸)

参考文献

1) 東京工業大学・統計数理研究所(2016) 連絡会報 96 (12-22), 652.

2) Ogata, Y. (2001), EPS, 63(3), 217.

3) 東大生産研究所・統計数理研究所 (2014) 連絡会報 91 (3-2), 66.



- 第1図 下限マグニチュードを M3 としたマグニチュード列に関して、「現在までの地震の最大マ グニチュードより 0.5 以上大きい地震発生の予測確率」(上段図)、「マグニチュード一定 以上(M≧4.5,5.0)の本震の予測確率」(下段図)の2つの予測方法<sup>1)</sup>による本震発生確率 の推移を示している.いずれの方法による確率も、本震(M6.6)発生前は最大5~10%程 度まで上昇し、本震発生後に大きく下降して推移している.左列は累積発生数、右列は本 震発生時を基準(ゼロ)とした日数をそれぞれ横軸に取っている.
- Fig.1 Development of foreshock probabilities. Upper and lower panels show the different forecasts <sup>1)</sup>, which predicts the probability of "a mainshock that exceeds the pre-shock maximum magnitude by 0.5 or more", and "a main shock with a magnitude equal to or greater than a certain magnitude ( $M \ge 4.5, 5.0$ )", respectively. Horizontal axes of left and right panels are the cumulative number of occurrences and days from the main shock of M6.6, respectively.



- 第2図 HIST-ETAS<sup>2)</sup> モデルを用いた 2016 年鳥取県中部の地震(M6.6)の前後の地震活動の時空 間確率分布(10x10 km<sup>2</sup> 当たり)の予測の各時刻における空間スナップショット. CSEP 日 本検証センターに提出されたモデルの値を用いている.
- Fig.2 Snap shot figures of the space-time forecast of earthquakes during 2016 Central Tottori Prefecture earthquake sequence by using the HIST-ETAS model. The model parameters values are the same as those that had been submitted to the CSEP Japan Testing Center at ERI.



第3図 2016年 M6.6 鳥取県中部の地震の前震活動(M≧1.0)の ETAS モデルによる解析結果.地震の累積数時間経過, M-T 図, および経度, 緯度 並びに深さ対 ETAS 変換時間の時空間プロット.上段図は 2016 年9月1日から 10月 21日 12時 12分 M4.2 最大前震までの地震活動,下段 図は M4.2 前震から M6.6 本震までの活動.前者には北西方向への移動,後者には深さ方向への移動が見られる.

Fig.3 Foreshock activities ( $M \ge 1.0$ ) during the periods from Sept. 2016 preceding the M4.2 foreshock (top row panels) and from M4.2 till the M6.6 main shock (bottom row panels), respectively, fitted by the ETAS models. The cumulative estimates (red curves) with the M-T diagrams, and longitudes, latitudes, and depths against transformed time regarding the fitted ETAS model are plotted.



- 第4図 2016年 M6.6 鳥取県中部の地震の余震活動の ETAS モデルによる解析結果.上段は下限マグニチュード Mc2.0 で,下段は Mc3.0 の余震の累 積数時間の経過, M-T 図,および経度,緯度並びに深さ対 ETAS 変換時間.西方への拡散,深さ 5~6 km周辺への収束,および本震周辺での 余震活動の立ち遅れが見られる.
- Fig.4 Analyzed results of aftershocks of the 2016 Central Tottori Prefecture earthquake of M6.6 by the ETAS model. The cumulative estimates (red curves) of the aftershocks are plotted with the threshold magnitude Mc = 2.0 (top rows) and Mc = 3.0 (bottom rows), with the M-T diagrams. After those, longitudes, latitudes, and depths against transformed time regarding the fitted ETAS model are plotted.



- 第5図 余震確率のリアルタイム確率予測法<sup>3)</sup>による予測と結果.赤線およびピンク色の領域が Hi-net の自動震源処理カタログを用いた期待予測値 とその 95%信頼区間.予測モデルは大森-宇津則と Gutenberg-Richter 則を用い,パラメータ値は初期の余震のデータ欠損を考慮して推定さ れている.予測分布はベイズ型予測を用いて求めた.概ね予測分布がその後の JMA データの経験分布と一致している.
- Fig.5 Real-time aftershock forecast<sup>3</sup> of the 2016 Tottori Prefecture earthquake of M6.6. A red line and pink zone respectively represents the forecasted numbers and the 95% predictive intervals estimated based on the Hi-net automatic hypocenter catalog: web version. The Omori-Utsu and Gutenberg-Richter models are adopted: these parameter values are estimated by considering the data missing rate of early aftershocks. The predictive distribution is determined using the Bayesian forecast. The observation well agrees with our forecasts.



- 第6図 2016年鳥取県地震(M6.6)のETASモデルのシミュレーションを用いた余震活動の予測<sup>3)</sup>.
  JMA 一元化カタログを用いた.本震後の一週間のデータから次の三週間の活動を予測.
  ETAS モデルのパラメータは事後分布からサンプルされた 1000 個の異なるパラメータ値を使用.マグニチュードのモデルは上限のない GR 則(赤線)及び一週間の最大余震のマグニチュードに0.3を足したマグニチュードを上限とした改訂 GR 則(青線)の二つを用いた. グラフの右側のバーは予測分布の 2.5%, 25%, 50%, 75%, 97.5%点を表している.
- Fig.6 Retrospective forecast of aftershock activity of the 2016 Tottori earthquake of M6.6 by using the ETAS model simulation<sup>3)</sup>. We have used the JMA unified catalog. The first week data after the main shock is used to prepare forecast for the following period of three weeks. For the ETAS model, 1000 different parameters sampled from the posterior probability distribution are used. We have used the GR model (red) and a truncated GR (blue) at the magnitude 0.3 greater than the maximum magnitude of the aftershocks in the first week. The bars represent the 2.5%, 25%, 50%, 75%, and 97.5% points of the predictive distributions.