## 8-5 2016年4月1日三重県南東沖の地震(M6.1)に続く群発地震活動の統計解析 Statistical analysis of the swarm activity induced by the 2016 April earthquake of M6.1 at the southeast off the coast of the Mie Prefecture

統計数理研究所 東京大学地震研究所 The Institute of Statistical Mathematics Earthquake Research Institute, University of Tokyo

2016年4月1日三重県南東沖でM6.1の地震が起きた.本震を囲むように余震が起きず,10km ほど離れた場所に30分程度の遅れで群発地震が誘発され余震の様に減衰しすぐ静穏化した.それ から18日後にほぼ同じ場所で再び活動し,直ぐ静穏化して現在(5月16日)に至っている.

本報告では気象庁一元化震源カタログの全ての検出データを使用するとともに、気象庁地震波 形データ(陸域)に海洋研究開発機構(JAMSTEC)の DONET 地震波形データ(海域)を併せて Matched Filter 法で再決定した震源データによる解析も並行して行った.いずれの震源データの群発 活動には大なり小なり震源の拡散や移動が見られ、以下に述べる統計解析の結果によると、互いに 同様な結果が得られ、今回の本震と誘発群発地震活動がプレート境界で起きたことを示唆している.

## 1. 地震の検出率とマグニチュード頻度分布 b 値の時間変化

検出された全地震のマグニチュード頻度分布の時間変化モデル<sup>1)</sup>のベイズ的平滑化解析を行う と、b 値の時間変動が認められるが、各マグニチュードの地震検出率は時間的に不変である.した がって M6.1 本震直後に余震が殆ど無いのは、大量に欠測したのではなく、続発した活動は或る程 度遅れて始まったことを示している.また、これは地震データが時間的に均質であるため、ETAS モデルなどの地震活動が下限マグニチュードに拘ることなく推定できる.b 値の時間変動はそれぞ れの震源データと同じ傾向を示し、最初の群発活動中で増加し、第2の群発地震でもさらに増加し ている.

## 2. 非定常 ETAS モデルによる解析

ここで使用する「非定常」ETAS モデル<sup>2.3)</sup>は従来の ETAS モデルの常時地震活動  $\mu$  と余震発生強度  $K_0$ のパラメータが次のように時間 t に依存するものである.

$$\lambda_{\theta}(t \mid H_{t}) = \mu(t) + \sum_{\{i: S < t_{i} < t\}} \frac{K_{0}(t_{i}) e^{\alpha(M_{i} - M_{c})}}{\left(t - t_{i} + c\right)^{p}}$$

他のパラメータ a, c, p は時間不変(定数)であり,周囲のテクトニックな地震活動に合わせて決める.  $\mu(t)$  は地震発生場での静的応力変化や断層弱化などに起因する地震発生率の変化を示す.他方  $K_d(t_i)$ は各地震の連鎖性(トリガリング)効果の大小(余震生産性)を示すが、実際は時刻  $t_i$  で起きた地 震 i の位置に依存することが分かる.この点過程モデルを今回の群発地震活動に当て嵌めた結果を 示す. 本解析にかんしてソフトウェア TSEIS と XETAS を使用した.

(熊澤貴雄, 尾形良彦, 加藤愛太郎, 鶴岡弘)

参考文献

- 1) 統計数理研究所,連絡会報 73 卷 (2005) 666.
- 2) Kumazawa, T. and Ogata, Y. J. Geophys. Res. 118 (2013) 6165.
- 3) 統計数理研究所·気象研究所,連絡会報 94 卷 (2015) (5-1) 136.



- 第1図 気象庁地震波形データ(陸域)に DONET 地震波形データ(海域)を併せて Matched Filter 法で再決定した 震源図.
- Fig.1 Hypocenters relocated by Matched Filter method from the JMA seismic waveform data (inland) and DONET seismic waveform data (sea area).



第2図 気象庁地震波形データ(陸域)に DONET 地震波形データ(海域)を併せて Matched Filter 法で再決定した 震源データによる時空間図と検出地震数の累積曲線.

Fig.2 The space-time distribution and the cumulative curve of the relocated earthquakes by Matched Filter method.



Matched Filter catalog, 2016/4/1 M6.5 ~, for 0.5days



- 第3図 2016年4月1日の M6.1 地震後半日間の GR マグニチュード頻度分布 b 値(上段図)と地震検出率パラメ ータ(中下段図)の時間変化と2倍誤差. 左側図は気象庁一元化データで右側図は気象庁と DONET から 決めたデータ.
- Fig.3 The time changes of the *b*-values (top panels) and the detection rate parameters (middle and bottom panels, respectively) with double error bands, during the period of half a day after the M6.1 earthquake on April 1, 2016. The left hand side panels use JMA data, and the right hand side panels use the relocated data determined by using both the JMA network and the DONET network.



- 第4図 (上段図) 非定常 ETAS モデルの強度関数 $\lambda(t)$  (灰色線) と常時地震活動 (background seismicity rate)  $\mu(t)$  (赤線). (中段図) 余震生産率 (aftershock productivity)  $K_0(t)$  (青) x 軸, y 軸共に対数スケール. (下段図) 対応する地震活動の M-T 図. 期間は 2016 年 4 月 1 日の M6.1 地震後半日間. 左側図は気象庁一元化デー タで右側図は気象庁と DONET から決めたデータによる結果.
- Fig.4 (Top panels) The intensity rate  $\lambda(t)$  (gray spiky lines) and the background seismicity rate  $\mu(t)$  (red curves) of the nonstationary ETAS model. (Middle panels) The aftershock productivity parameter  $K_0(t)$ . The x- and y-axis are both in logarithmic scale. (Bottom panels) the M-T plot of the corresponding seismicity, during the period of half a day after the M6.1 earthquake of April 1, 2016. The left hand side panels use the JMA data, and the right hand side panels use the waveform data from the JMA network and the DONET network.



- 第5図 (上段図と中段図)第4図の上段図と中段図のy軸をリニアスケールで与えたもの.(下段図)それぞれの 観測群発地震の累積関数(黒実曲線)と非定常 ETAS モデルによる理論累積曲線(灰色曲線). 黒点曲線 は0.05日以降をターゲット区間として定常 ETAS モデルを当て嵌めた場合の推定累積曲線.
- Fig.5 (Top and middle panels) Same as those in Fig. 4 except for given in linear scale on x-axis. (Bottom panels) The empirical cumulative function of the observed earthquakes (solid black thin curve) superimposed on the theoretical cumulative curve by nonstationary ETAS model (gray thick curve), with the estimations by the standard ETAS model for the target period after the first 0.05 days (vertical dashed black line).



Matched Filter catalog, 2016/4/1 M6.5 ~, for for 20days



第6図 第3図と同様であるが解析期間は M6.1 地震時から 20 日まで. Fig.6 Same way as those in Fig. 3 except that the fitted period is 20days after the M6.1 earthquake.



第7図 第4図と同様であるが解析期間は M6.1 地震時から 20 日まで. Fig.7 Same as those in Fig. 4 except that the fitted period is 20days after the M6.1 earthquake.



- 第8図 第7図の各群発期間の拡大図. 第1列と3列目はM6.1本震から0.5日間を対数時間スケールで,第2列 と4列目は2回目の群発活動開始(4月19日)から1日間の開始時刻からの対数時間スケールで表示した.
- Fig.8 Enlarged view of Fig. 7 for the active periods of the first 0.5 days span after the M6.1 (1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> columns) and a day span from the start of the second swarm (2<sup>nd</sup> and 4<sup>th</sup> columns). The x-axis is in logarithmic scale started from the beginning of each active period.



- 第9図 第5図をM6.1 地震から20日間延長した全区間について示した.(上段と中段図)第8図の上段と中段図のx軸, y軸をリニアスケールで示た.(下段)地震活動の累積図で説明文は第5図の下段と同じ.
- Fig.9 Extended figures of the nonstationary ETAS model as those in Fig. 5 for the entire period of 20 days from the M6.1 earthquake. (Top and Middle panels) Same plot as those in Fig. 8 except that both x- and y-axes are in linear scale. (Bottom) The corresponding cumulative curves throughout the entire period.