12 - 13 東北地方太平洋沖地震の余震活動と松本付近の誘発地震活動 Tohoku earthquake aftershock activity and triggered activity near Matsumoto

統計数理研究所 The Institute of Statistical Mathematics

1. 東北地方太平洋沖地震の余震活動

7ヵ月を過ぎて余震の検出率も上がった.11月6日現在の気象庁震源カタログによると余震は, 本震後約2週間を除いて,M3+やM4+で時空間的に一様な時空間パターンを期待できそうである (第1図).ほぼ完全な検出率M5+の地震活動には特段異常な時空間パターンを見ることができな い(第2図左側)がM4+やM3+のデータでは本震後半年経過して海溝の西側浅部地帯で活動が低 くなっている(第2図右下,第3図右上).これに対応するかのように階層時空間 ETAS モデルに よる余震の該当地域のp値は他地域に比べ大きくなっている(第3図左下).

2. 岩手県沖の(二次)余震活動

東北沖 M9 地震の余震域の北限で9月17日に岩手県沖の地震(M6.6)が起きた.この地震直後 の余震の幾つかは大粒であり(最大余震 M6.1),その後 M4+の余震が10月中旬まで無かった.し かし,この領域では元々b値が小さく(第4図左中段),本震と最大余震のマグニチュード差が小 さかった1,2(第4図左上段).また,11月6日現在の気象庁震源カタログで,この(二次)余震 を ETAS モデルで解析すると,変化点を置いての余震の静穏化は有意とならず,高いp値が推定さ れた(第4図左側). M9 地震前85年間の M5+の地震活動に当てはめた階層時空間 ETAS モデル3 のp値が高い傾向があり(第4図左下),この地域の余震活動の減衰が早いことが示唆される.

3. 松本付近の地震活動

群発地震活動に引き続き6月30日にM5.4の地震と引き続きM5.1の地震が起きたため、長期 予測確率の高い牛伏寺断層での来るべき地震との関連が心配される. ETAS モデルによると下限 M0.5以上の余震活動全体は順調に続いている(第7図上段).しかし、全ての検出余震データを大 森・宇津公式(第7図中段)でデトレンドした時空間分布は極めて不均質で局所的マイグレーショ ンが見える(第7図下段).流体絡みのスロースリップが関係しているかもしれない.これに遡って、 余震域付近ではM9地震に誘発されて地震活動が活発化していたがM5.4の地震に先立つこと1ヵ 月半ほどから静穏化が見られる(第5図と第6図).牛伏寺断層の一部かM5.4本震断層かどちら かのゆっくりしたすべりがストレスシャドウに同期して静穏化を起こした可能性が示唆される.

(尾形良彦)

参考文献

1. Mogi, K., 1976, Bull. Earthq. Res. Inst., 45, 711-726.

2. Utsu, T., 1969., J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., ser. 7, Geophys. 3(3), 129-195.

3. Ogata, Y., 2011, Earth, Planets and Space, 63, 217-229.



- 第1図 東北地方太平洋沖地震の2011年11月6日までの余震.上段図は検出された余震のマグニチュード対時間(対数日単位)とマグニチュード対地震の順番.中段図はマグニチュード頻度分布と 震央分布.下段図は時空間分布(M3+),ただし本震の震央を原点とし,北北東(NEN)と東 南東(ESE)方向の座標軸に射影したもの(震央分布の座標軸参照).
- Fig. 1 Aftershocks of the M9 earthquake till 06 Nov. 2011. Top panels show magnitude of detected aftershocks versus time (days) in logarithmic scale and the cumulative number, respectively. Middle row panels show the magnitude frequency distributions, and M3+ epicenter locations. Here we consider the space coordinates with axes of NNE and ESE directions with the origin at the M9 epicenter, so that plate boundary takes the similar depth values at the same value in ESE axis. Bottom panels show space-time plots projected to such axes.



- 第2図 上段図は余震の累積数と M-T 図(左が M5+, 右が M4+, 11 月 6 日現在). 赤曲線は ETAS モデ ルの理論累積数. α - 値が大きく2次余震の効果が小さい(大森・宇津の公式に近い). 中段図 は北北西軸への射影座標値対変換時間(左が M5+, 右が M4+). 下段図は東南東軸への射影座標 値対変換時間(左 M5+ と右 M4+, 11 月 6 日現在).
- Fig. 2 The top left and top right panels are cumulative numbers vs time and M-T diagrams of aftershocks of M5+ and M4+, respectively. Here the superimposed red curves are of the ETAS model that are fitted to the data. Here, the α -values of the ETAS is very large, indicating very close to the Omori-Utsu formula. Plots of transformed time against the projection axes that are shown in Figure 1. No anomaly is found in M5.0+ data, but in the bottom right panel we see that M4+ aftershocks has become sparser in the recent few month in the middle of aftershock zone.



東北地方太平洋沖地震の余震活動の特徴(続き)

- 第3図 上段左図は大森・宇津の式(赤曲線)で当てはめた余震(M3.0+, 11月6日現在).右側の図は 赤累積曲線でデトレンドした余震の時空間分布.海溝沿い西側の浅発余震活動が両側に比べて 低下している.下段左図は M4+ 余震に階層時空間 ETAS モデルを当てはめた p 値の空間変化図 で,海溝沿い西側領域で相対的に高い.
- Fig. 3 Right side panels show space-time plots that is detrended by the Omori-Utsu cumulative curve (red curve in top left panel) for the aftershocks of M3.0 or larger. Top right panel indicates that events in the middle zone (western side of the trench) have become sparser than both side regions. This zone corresponds to the zone of higher p-values (red) that is estimated by the hierachical space-time (HIST) ETAS model fitted to the M4+ aftershocks.



9月17日岩手県沖地震 (M6.6) の余震活動の特徴

- 第4図 9月17日の岩手県沖の地震(M6.6)の余震活動(右側図 M3.5+と M4+),及び付近の長期的 地震活動における本震と最大余震のマグニチュード差(上段左図),b値(中段左図)および HIST-ETAS モデルのp値の空間変化図(左下段).
- Fig. 4 The aftershock activity of M6.6 earthquake of 17 November 2011 at Iwate-Ken-Oki. Top left panel shows magnitude differences between the mainshock and the largest aftershock , b-values of G-R law, and p-values of the HIST-ETAS model. Right panels show cumulative curves (red) of the ETAS models that are fitted to the aftershocks till 8th November 2011.



3月11日からのM5.4の地震の余震域周辺の広域地震活動.

- 第5図 松本付近の3月11日から11月6日までの広域地震活動. 震央図(左上).検出された全ての 地震の累積数とM-T図(左中).マグニチュード頻度分布(右上)と地震の順番対マグニチュー ド(右中図).マグニチュード頻度はM0.2をピークにいつも同形で,検出率は本震直後を除き 各マグニチュードごとに一定である.下段図は広域の時空間図で,陰影は前後の活動に比べて 疎らな地震発生の期間.
- Fig. 5 Seismic activity around Matsumoto for the period from 11 March till 6 November 2011: Epicenters (top left), cumulative numbers and M-T diagram (left middle), magnitude frequency of the detected earthquakes (top right), serial number of earthquake against its magnitude (right middle), time vs longitude plot (bottom left) and latitude vs time plot (bottom right). Shaded zones indicate lower occurrence rate than preceding and later periods. These may be compared with the stress shadows in Figure 7



3月11日からのM5.4の地震の余震域周辺の地震活動.

- 第6図 M5.4の地震の余震域での地震活動. 震央図(左上).検出された全ての地震の累積数とM-T図(左中),牛伏寺断層またはM5.4の本震断層の一部がゆっくりすべったと仮定したときに北北西 南南東向き断層群の左横ずれを受け手としたクーロン変化図(右中段図,京都大学防災研究所遠田晋次氏提供),および時空間図(右中段と下段図)で,陰影は前後の活動に比べて疎らな地 震発生の期間と領域.
- Fig. 6 Seismicity in the M5.4 aftershock region (inset rectangular region) for the period from 11 March till 6 November 2011. Epicenters (top left), cumulative numbers and M-T diagram (left middle). Top right panel (courtesy of Prof. Toda, DPRI, Kyoto University) shows Coulomb failure stress increments of faults with the similar orientations to the source fault assuming slow slips on either Gofukuji fault or the M5.4 earthquake fault . The right middle panel shows latitude locations against occurrence times. The bottom left and bottom right panels show the coordinates of time vs longitude and depth vs time, respectively. Shaded zones suggest period of sparser occurrences than preceding and later periods. These may be compared with the stress.



- 第7図 11月6日までの M5.4 の地震の余震活動. 上段図は M0.5 + の余震の累積数と MT 図で,赤 累積曲線は当てはめた ETAS モデルのもの. 中段図は全ての検出余震に大森・宇津の式(赤累 積曲線)で当てはめた. 下段図は中段図の赤累積曲線でデトレンドした余震の時空間分布.
- Fig. 7 The aftershock activity of the M5.4 earthquake at Matsumoto. Top panels show the cumulative curves (red) of the ETAS model fitted to the M0.5+ aftershock activity in the period until 6th November 2011. The red curves in middle panels are due to the Omori-Utsu formula that is fitted to all detected aftershocks. The bottom panels show plot of space locations of all the detected aftershocks against the transformed times that is detrended by the Omori-Utsu formula (red curve in the middle panels).