

7-4 2004年新潟県中越地震(M6.8)の余震活動の特徴と地震前の周辺部における地震活動の特徴について

On an anomalous aftershock activity of the 2004 Niigata-Ken-Chuetsu earthquake of M6.8, and intermediate-term seismicity anomalies preceding the rupture around the focal region

統計数理研究所 尾形良彦

Yosihiko Ogata, Institute of Statistical Mathematics

1. 余震活動の時空間パタンの特徴とそのクーロン破壊ストレスによる解釈

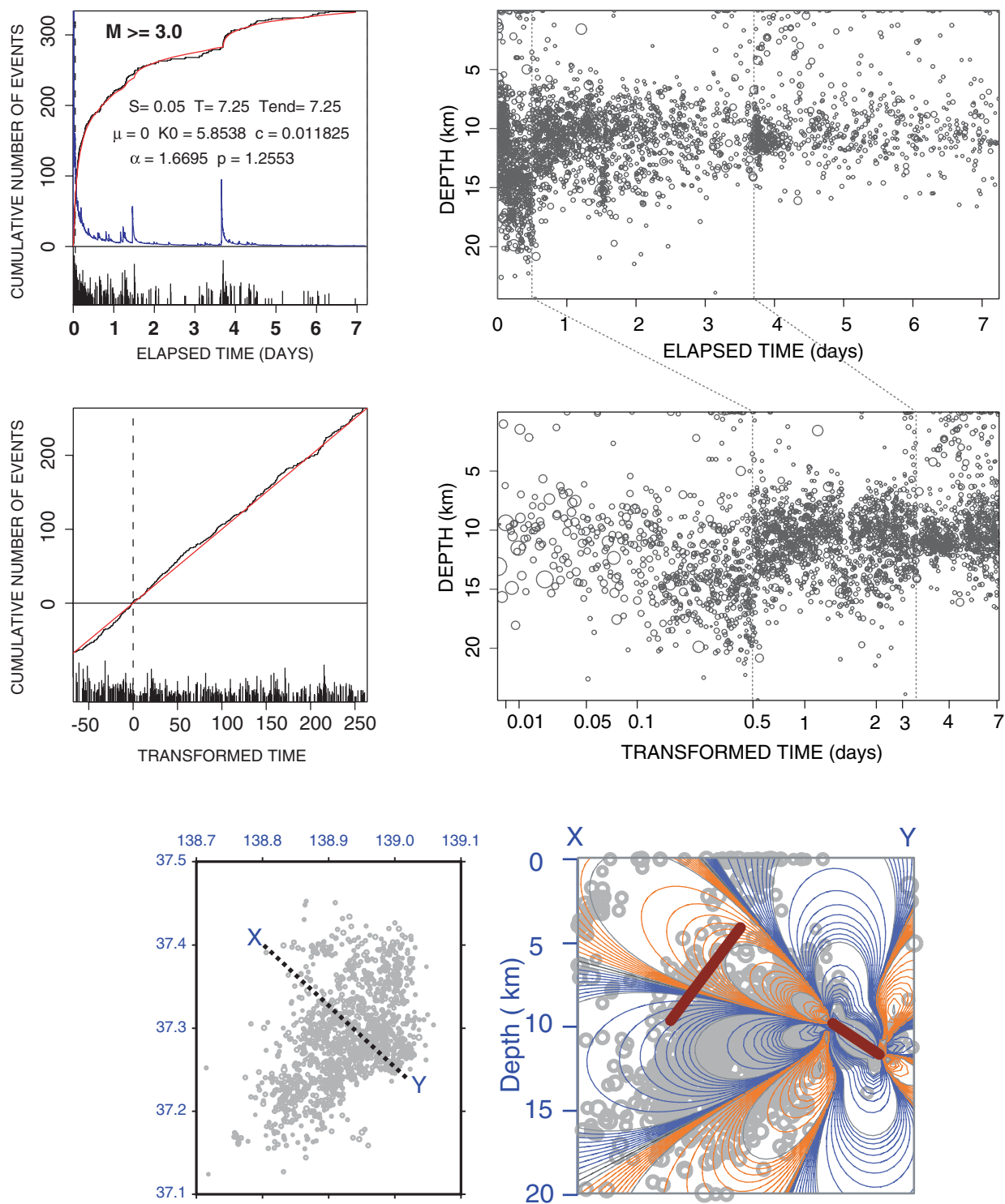
新潟県中越地震の後、本震(M6.8)と大きく変わらないマグニチュード6以上の大きな余震が頻発した。本震直後40分以内に最大余震を含むM6.3, 6.0, 6.5の余震が発生し、3.7日ほどでM6.1の余震が起きた。大きな余震(特に10月27日10時40分のM6.1の余震)の発生促進に働いたと考えられる本震による正の ΔCFF については、国土地理院、気象庁、東大地震研、京大防災研などから報告されている(第159回連絡会報参照)ので、ここでは図は割愛する。小さな下限マグニチュード(例えばM3.0)では余震列全体としてはETASモデルに従い順調に経緯しているように見える(第1図左上2図)が、深さ分布の時間経緯(第1図右上2図)は非常に独特である。取りたてて大きな余震が起きていないにも関わらず、本震発生後半日で深い余震が急に少なくなり逆に浅い余震が活発になっていく。この余震分布の移動現象を説明するものとして10月27日10時40分のM6.1の余震の前駆的すべりを考えてみた(第1図下2図, 5 cmのaseismic-slip)。深さ7~8 kmを境として浅いほうで正の ΔCFF (+数10~数100 millibars)、深いほうで負の ΔCFF (-数10~-数100 millibars)が見込まれる。ここに示された気象庁一元化震源が大学等の臨時観測で決められた震源(連絡会報73巻参照)より深めに決まっていることを考慮すると、特徴的な余震活動の推移を説明できるのではないかと考える。

何れにしても、今回の事例は、余震全体がETASモデルで順調に推移していることをもって、大きな余震が当面無いとは言えない事を示すものである。余震活動の静穏化が見られる場合は余震域の大部分がstress-shadowで無ければならないと考える。

2. 本震前の周辺部における中期的地震活動の特徴について

2004年新潟県中越地震の前駆的すべりを仮定して、震源域周辺の広域の地震活動の時間的推移について調べてみた。第1図で示された領域は、国土地理院によって決められた断層モデル(連絡会報73巻参照)に対して受け手断層群として東西圧縮の逆断層型を仮定したときの、 ΔCFF の正負を分ける等高線を境界とした東西南北の領域である。点線で示された、震源域近地と北アルプス脊梁部の群発地震以西の領域を除く各領域について、震源データ一元化(1997年10月)以降の時期に対してETASモデルによって解析してみた(第2図)。東西南北のいずれの領域でも、地震活動に変化がある場合が無い場合よりAICの意味で当てはまりが良く、特に静穏化を示す東と西の領域での活動変化は変化点探索のパナルティを含んでも有意である。南と北の領域では変化時点以降活発化しており、東西南北の各領域で ΔCFF の正負のパターンと調和的である。ただし、活動の変化は2001年から2002年にかけて起きているが、これらの変化点の時期が一致していない。第3図に、変化点を最初のものに共通に取って、その後の経過を見た。静穏化・活発化のパターンは変わらないが、変化時期は相変わらず一致しない。

本解析にかんしてソフトウェアTSEISとMICAP-Gおよび気象庁一元化震源データを使用した。

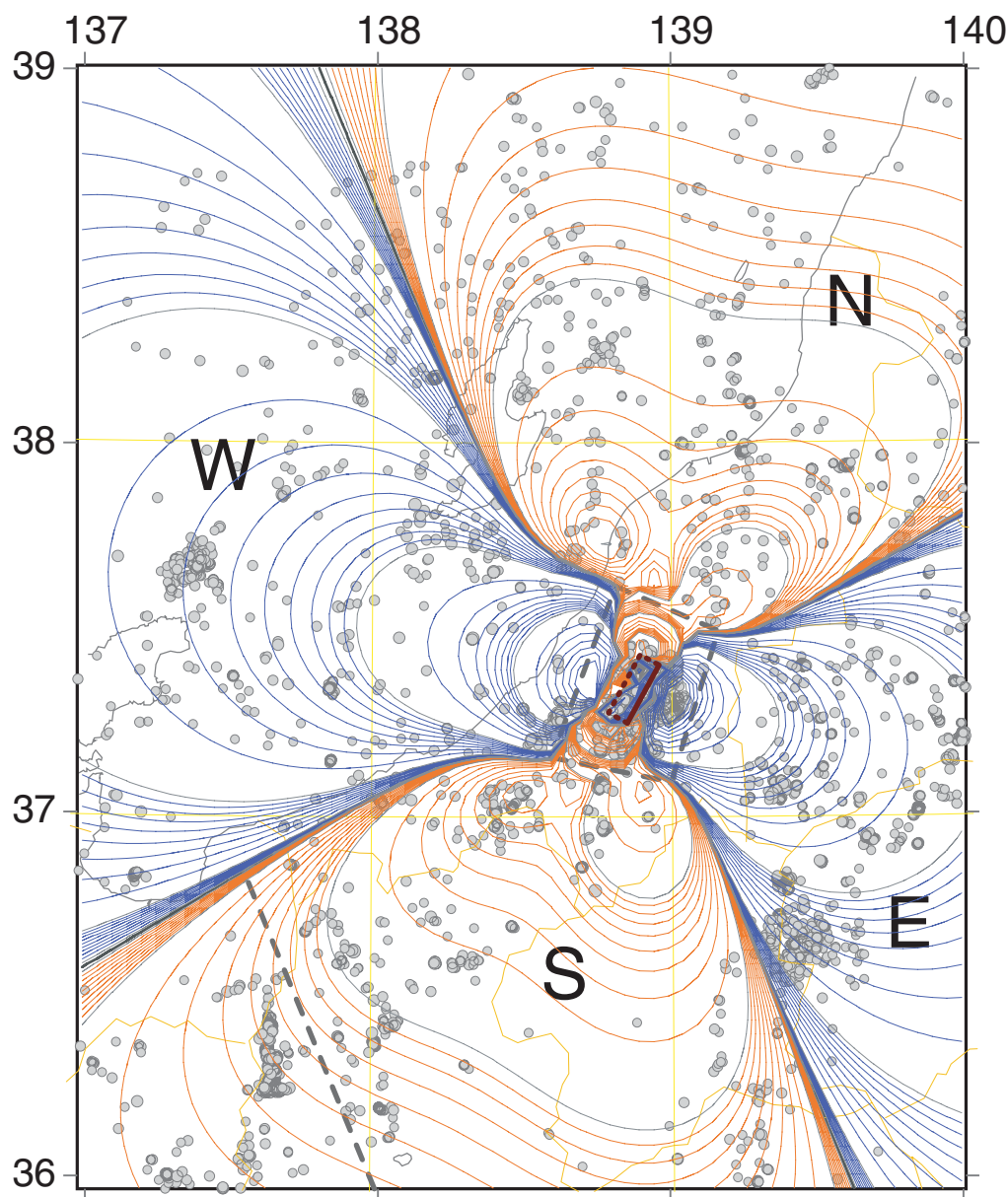


第1図 中越地震の余震活動。左上2図：下限 M 3.0 の余震の通常時間（上）と ETAS 変換時間（下）に対する累積曲線と MT 図。赤色曲線は ETAS モデルによる累積数の変化。右上2図：通常経過時間（上）および ETAS 変換時間（下）に対する震源の深さ分布の推移。下2図：10月27日10時40分の M6.1 の余震の断層モデル（国土地理院：連絡会報 73 巻参照）で 5cm の前駆的すべりを仮定し、受け手余震断層群として本震と同じ発震メカニズムを仮定した時の、地表線分 X-Y で切った深さ断面での ΔCFF 分布。

Fig.1 Aftershocks of the 2004 Niigata-Ken-Chuetsu earthquake of M6.8. Top left two panels show the cumulative number and magnitude of aftershocks (M 3) against the ordinary time and the transformed time by the ETAS model. Red curves show theoretical cumulative curve calculated by the ETAS. Top right two panels show the depths of M 1.0 events against the ordinary time and the transformed time, in which I am concerned with the drastic shift of the depth distribution of aftershocks around 0.5 days after the mainshock. The bottom two panels indicate the cross-section ΔCFF diagram on the plane of X-Y against depth for the aftershocks of similar mechanisms to the mainshock's (left red segment) assuming the precursory slip (right red segment) of the large M6.1 event that occurred 3.7 days after the mainshock.

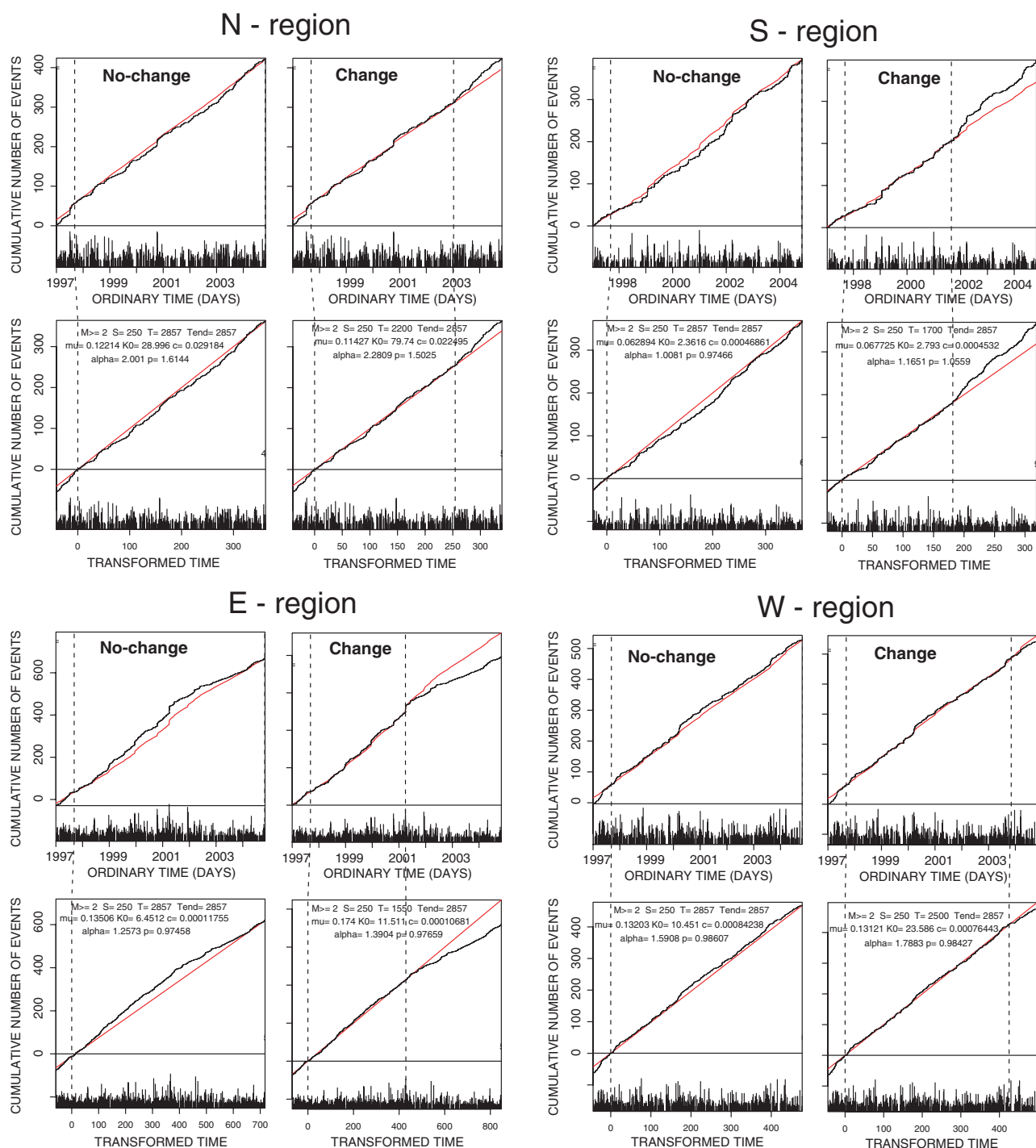
1997/01/01 - 2004/10/30 Number of events = 4060

Depth ≤ 25.0 km, $M \geq 2.0$



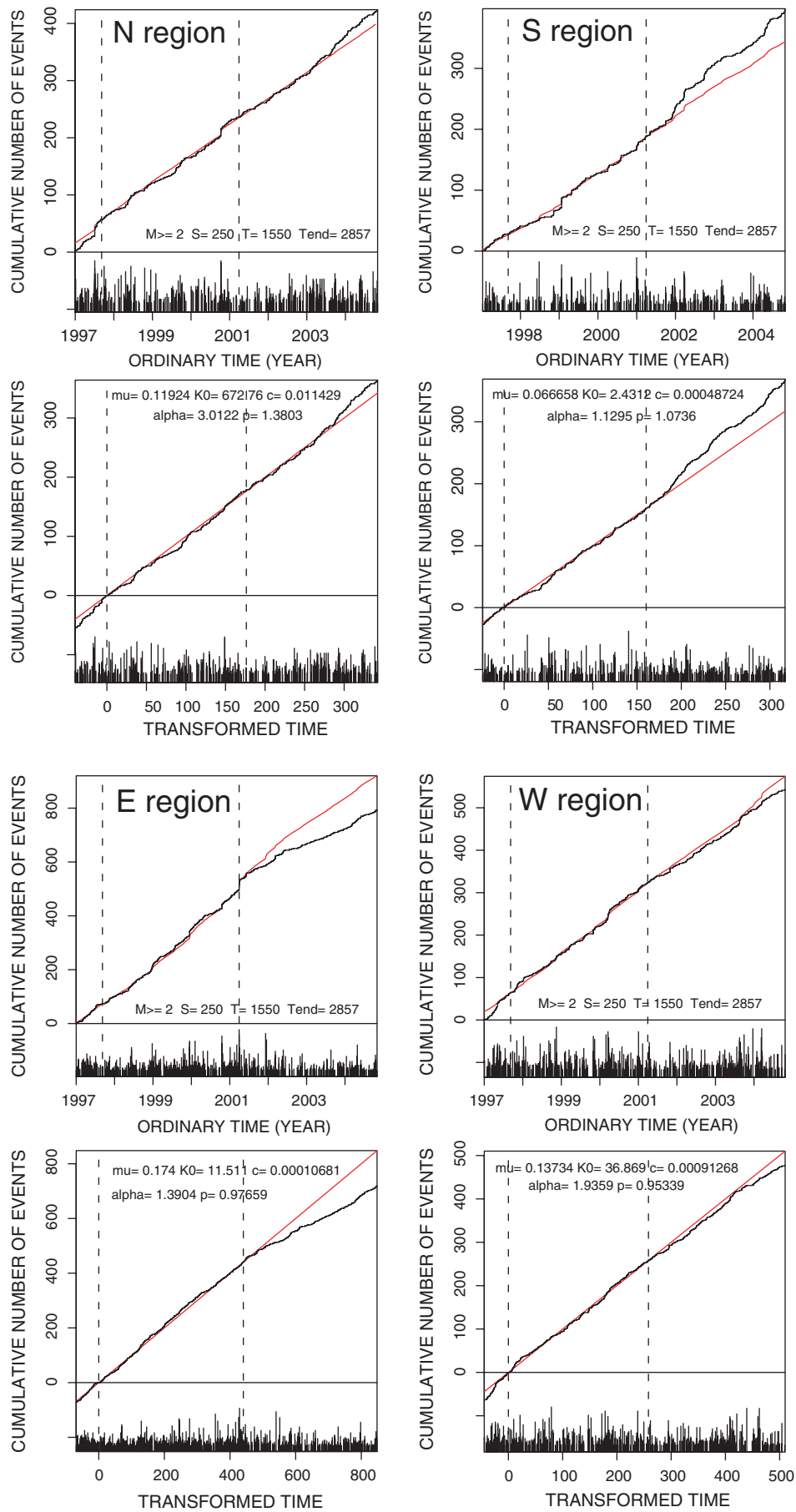
第2図 1997年から2004年10月までの地震 ($M \geq 2$) の震央と国土地理院の断層モデル (連絡会報 73 巻参照) に対して受け手の断層群としてはほぼ東西圧縮の逆断層型 (strike, dip, rake) $= (100, 45, 90)$ を仮定したときの 10km の深さでの ΔCFF パターン。赤い等高線の領域は正で、青い等高線の領域は負。 ΔCFF の正負を分ける東西南北の領域で、点線で示された震源近地の領域と北アルプス脊梁部の群発地震を含む西の領域を除く各領域の地震活動に ETAS モデルを適用する。

Fig.2 Epicenters of earthquakes with $M \geq 2$ during 1997 through October 2004, and ΔCFF pattern (10km depth) of faults with the angles (strike, dip, rake) $= (100, 45, 90)$ due to the slip on the fault model by the GSI (cf. this volume). Regions of red and blue contours show positive and negative ΔCFF values, respectively. The ETAS model is applied to the sequence of events during 1997~2004 in each of four regions divided by the counters of $\Delta CFF=0.0$, except for the vicinity of the source and southeastern fraction indicated by dotted lines.



第3図 第2図に示した各領域の下限 $M \geq 2.0$ の地震の累積曲線と MT 図。東西南北の領域の図ごとに、左側2図は全期間に当てはめた ETAS モデル (赤い累積曲線)、右側2図の赤線は change-point までの期間とそれ以後の予測累積曲線、上側2図は通常の時間で下側2図は ETAS の変換時間の累積数と MT 図。

Fig.3 Each of the 4 blocks, including the 4 panels, show the cumulative number and magnitude of the earthquakes from each of the four regions indicated in Figure 2, against the ordinary time and transformed time by the ETAS in the above and below panel, respectively. Red curves show theoretical and predicted cumulative curve. The actual cumulative number of events deviates upward in region N and S, but downward in E and W, from the predicted cumulative curve after the change-point.



第 4 図 第 3 図と同じ領域での同じ地震について、同じ change-point 時刻からの予測累積曲線と MT 図。
 Fig.4 The predicted cumulative curve by the ETAS after the same change-point shown by the dotted vertical line.