

2-3 千島列島沖の地震活動の時空間パターンとストレス変化

Anomalies of seismicity in space and time measured by the ETAS model and stress changes

統計数理研究所

Institute of Statistical Mathematics

1. 千島列島沖に続発した2つの巨大地震.

2006年11月15日と翌年1月13日にM8クラスの巨大地震が千島列島沖で相次いで発生した。前者は沈み込む太平洋プレートのプレート境界で起きた低角逆断層型で、後者はその場所の海溝外側で沈み込む太平洋プレート内（アウターライズ）で起きた最大級の正断層型の地震である。一般に、プレート境界型巨大地震が発生した後は、このタイプの地震が起りやすくなる（第1図）¹⁾。

2. 2006年11月の地震の余震群の空間的特徴.

NEICカタログによると、この余震は2つの群に分かれていることが分かる（第1図）。西北部の群れが本震断層周辺の余震であり、南西部の群れが本震によってトリガーされたアウターライズでの広義余震と考えられる。ハーバードカタログに採取されているこの二つの群れにおける余震の発震機構は前者が逆断層型で後者が正断層型になっており、オフフォールト地震の誘発作用はクーロンの破壊応力変化からも裏付けられている（第1図）。アウターライズの広義余震の方が本震断層周辺の余震の活動よりかなり活発であるのは興味深い。この2つの余震群のb値は共に1.5前後で差は無かった（第2図）。ただし、アウターライズで、その本震後、b値はさらに2.0に至っている。4月15日までの狭義の余震活動と1月13日のアウターライズでの巨大地震の余震活動を示したが、通常地震活動に差がある（第8図）。

3. 2006年11月の地震の余震活動の静穏化とその時空間的特徴.

この余震活動が順調に推移しているか否かはMT図や累積関数などの目視では明瞭でないが、ETASモデルによる理論的累積数（発生率の積分）を物差し（第3図）にして時空間的経過を見ると静穏化は狭義の余震域には見られず、アウターライズの広義余震域に本震後半月頃から、それまでより点が希薄化するとうかたちで見られる（第4図）。この相対的静穏化現象は、前駆的非地震性すべりを仮定したストレス変化のパターンで説明することが可能である（第5図）。すなわち、11月の本震の破壊すべりが起こったときに、クーロン破壊ストレスの増加したアウターライズの断層群では広義余震の断層破壊が促進されるが、12月初め頃に新年1月の巨大地震の断層内の非地震性滑りが誘発されたと考えられる。これによって、そのストレス変化がアウターライズの余震域の断層群に対してストレスシャドウとして働き、そのために自然な減衰活動が異常に低下する。他方、狭義の余震の断層群においてはクーロン破壊ストレスがわずかに増加し余震活動がやや活発化したと考えられる。

4. 2006年11月の地震の前駆的地震活動.

最初の巨大地震に3ヵ月先立つ2006年9月から11月までの地震活動はいわゆる本震・余震型でなく群発地震型で推移している（第6図）。この期間全体をETASモデルで当てはめるとp値が大きい（ $p = 1.74$ ）が、当てはまりが良くない。最初の1ヶ月までは当てはまりが良いが、p値が異常に低く（ $p = 0.55$ ）、その後の活動はこれに合わせると極端に地震の発生率が低い。最初の異常に低いp値やその後の地震活動低下は、本震余震的緩和過程というよりは震源核の生成に関わる急激なストレス変化の存在を疑わせる。また、この前駆的地震活動のb値は1.15で、2006年11月の地震の余震のb値1.71より有意に小さい（第7図）。

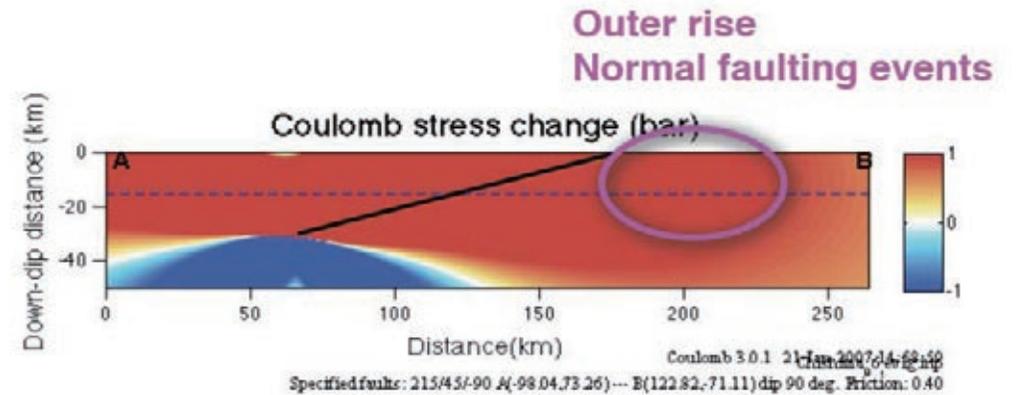
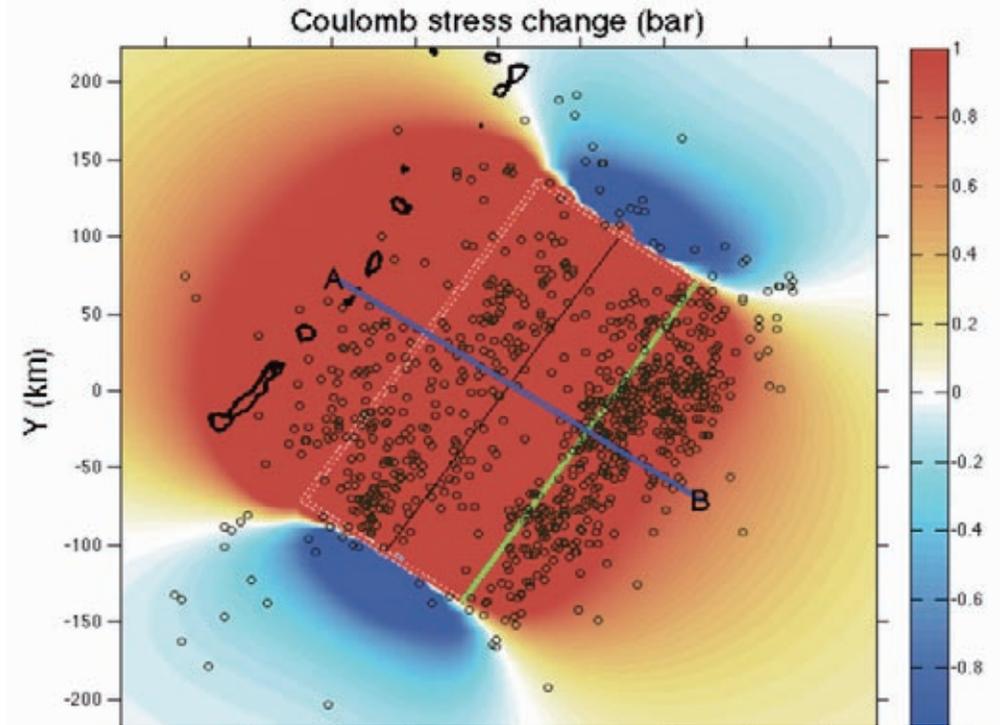
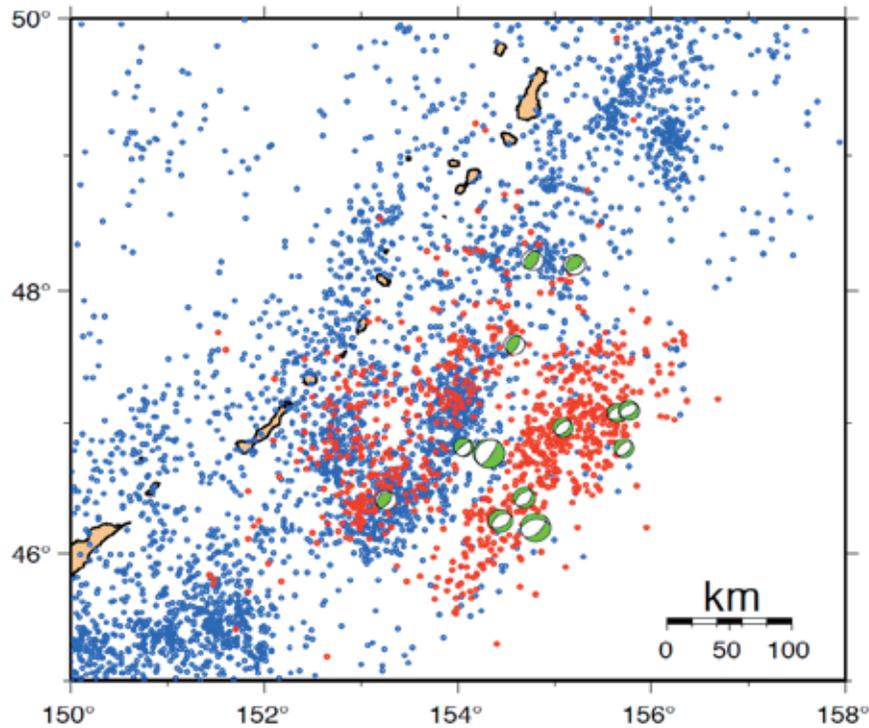
（尾形良彦，遠田晋次）

参考文献

- 1) Lay, T. et al. (1989) Phys. Earth Planet. Inter., 54, 258–312.

千島列島東方バックグラウンド地震活動と 2006年11月海溝型地震の余震

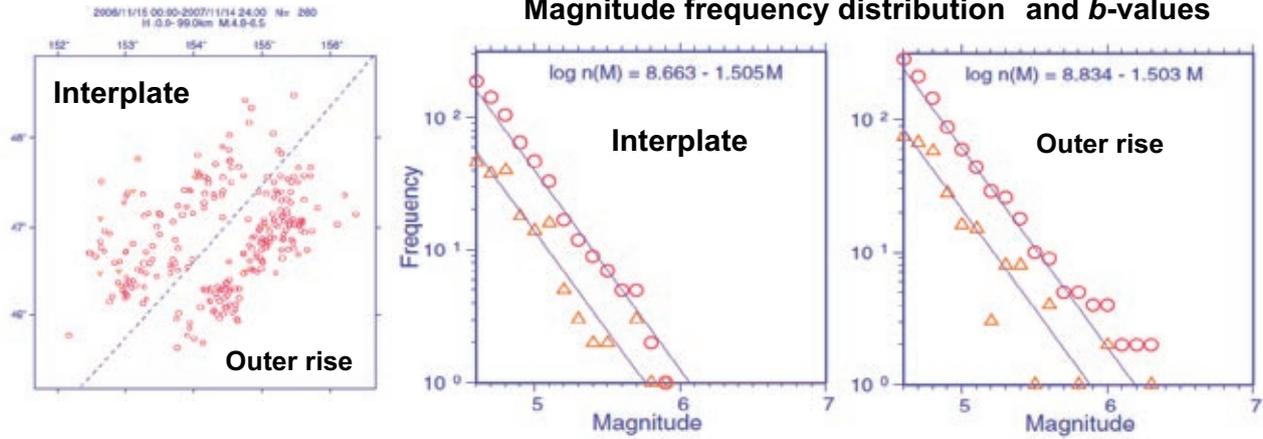
USGS/NEIC 1973-2006.11.14 2006.11.15-2007.1.13



第1図 左図. USGS の PDE カタログによる 1973 年から 2006 年 11 月 14 日までの地震の震央 (青色) と 2006 年9月以後2007年 1 月 13 日までの震央 (赤色) およびハーバード CMT カタログによるメカニズム解. 右図. 本震によるアウターライズの正断層での ΔCFS .

Fig. 1. Left: Epicenters of earthquakes during the periods from 1973 through 14 November 2006 (blue circles) and from the next day till 13 January 2007 (red dots), and CMT solution of Harvard catalog. Right figures: ΔCFS for the normal fault receivers.

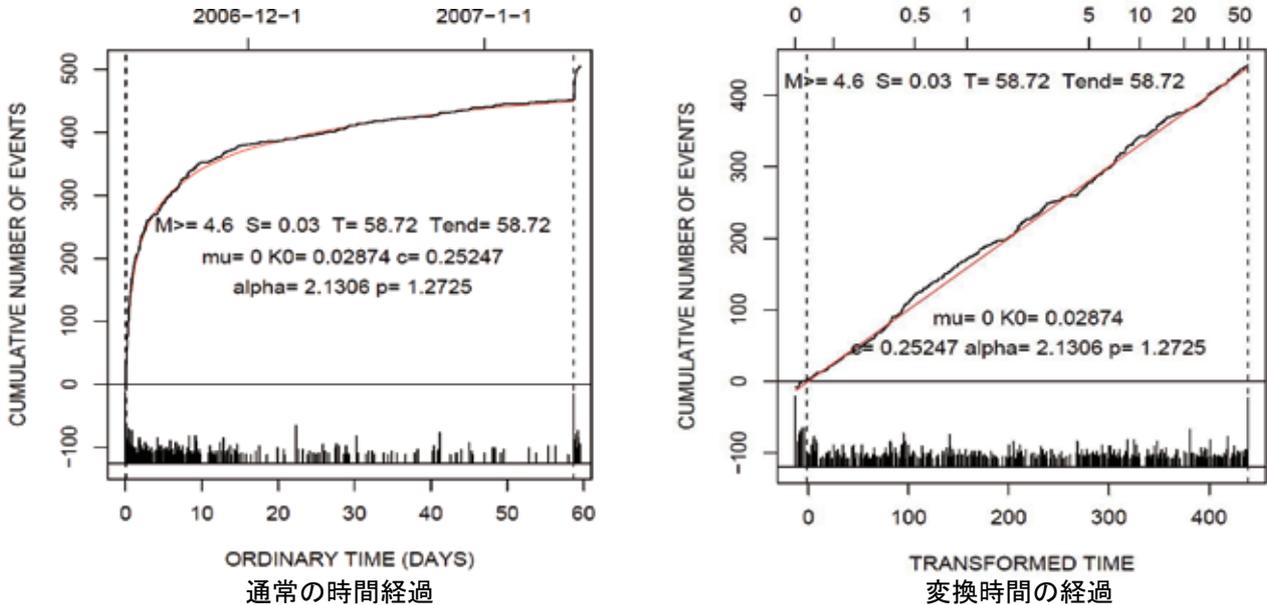
Magnitude frequency distribution and b-values



第2図 11月の巨大地震の狭義余震（北西部）とオフフォールト余震（アウターライズ，南東部）のマグニチュードの頻度分布とb値の比較。ただし本震後1日のデータは不完全であるので除いた。

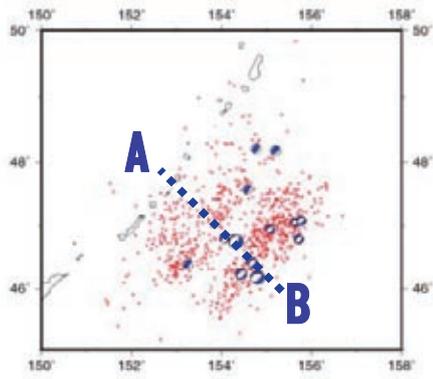
Fig.2 The magnitude frequencies and b-values of aftershocks (northwestern part) of the November great earthquake and it off-fault aftershocks (southeastern part, outer rise). Aftershocks occurred immediately after the mainshock are not take into account.

2006年11月15日の地震(M8.3)の余震活動



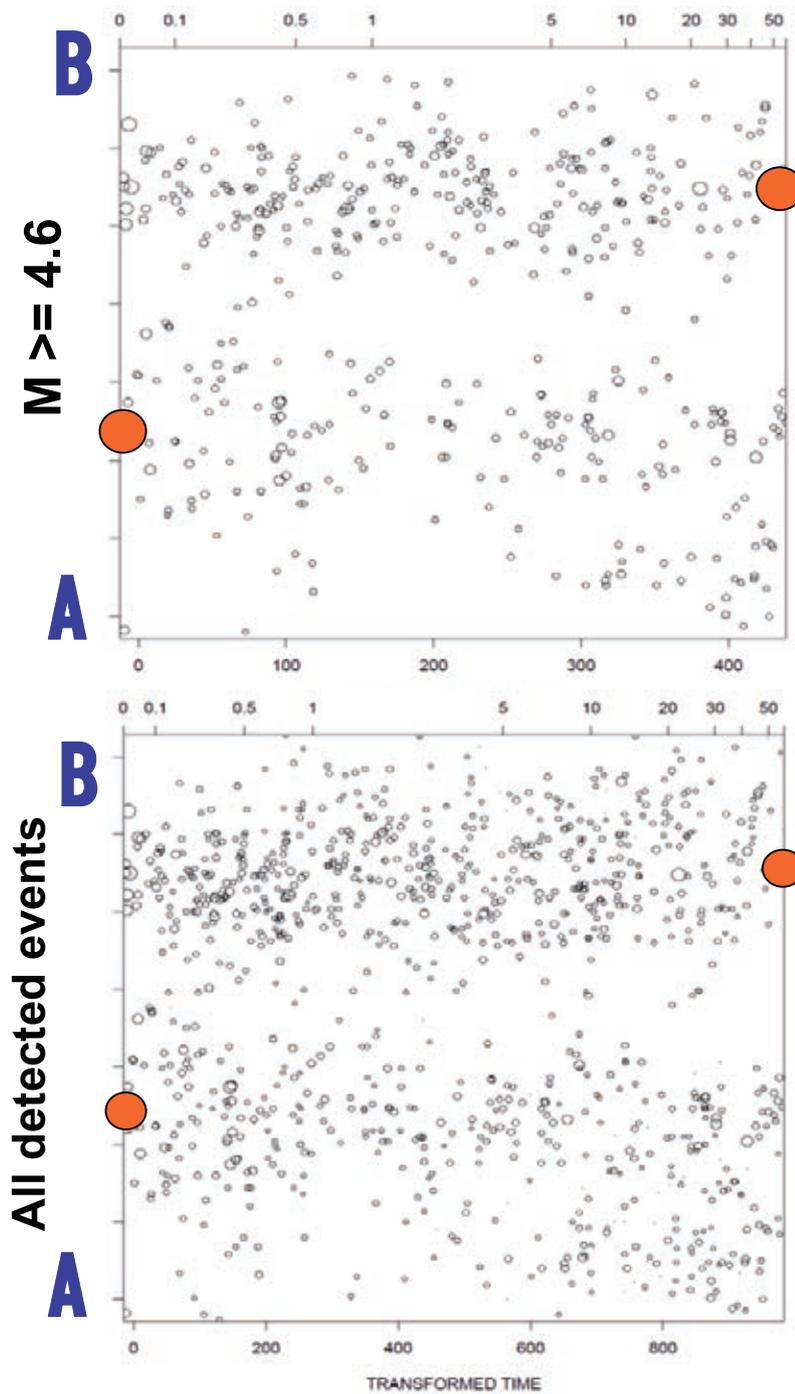
第3図 2006年11月15日の地震の余震活動の2007年1月13日までのMT図と累積関数。赤い累積曲線は余震データにETASモデルをあてはめた理論的累積曲線。横軸は左図が通常の時間推移で右図がETASモデルによる変換時間。

Fig.3 The cumulative number and magnitude of the whole aftershocks during the period from the mainshock on 15 November 2006 to 13 January 2007 against the ordinary time (left) and transformed time (right). Red curves show theoretical cumulative curve calculated by the ETAS model.



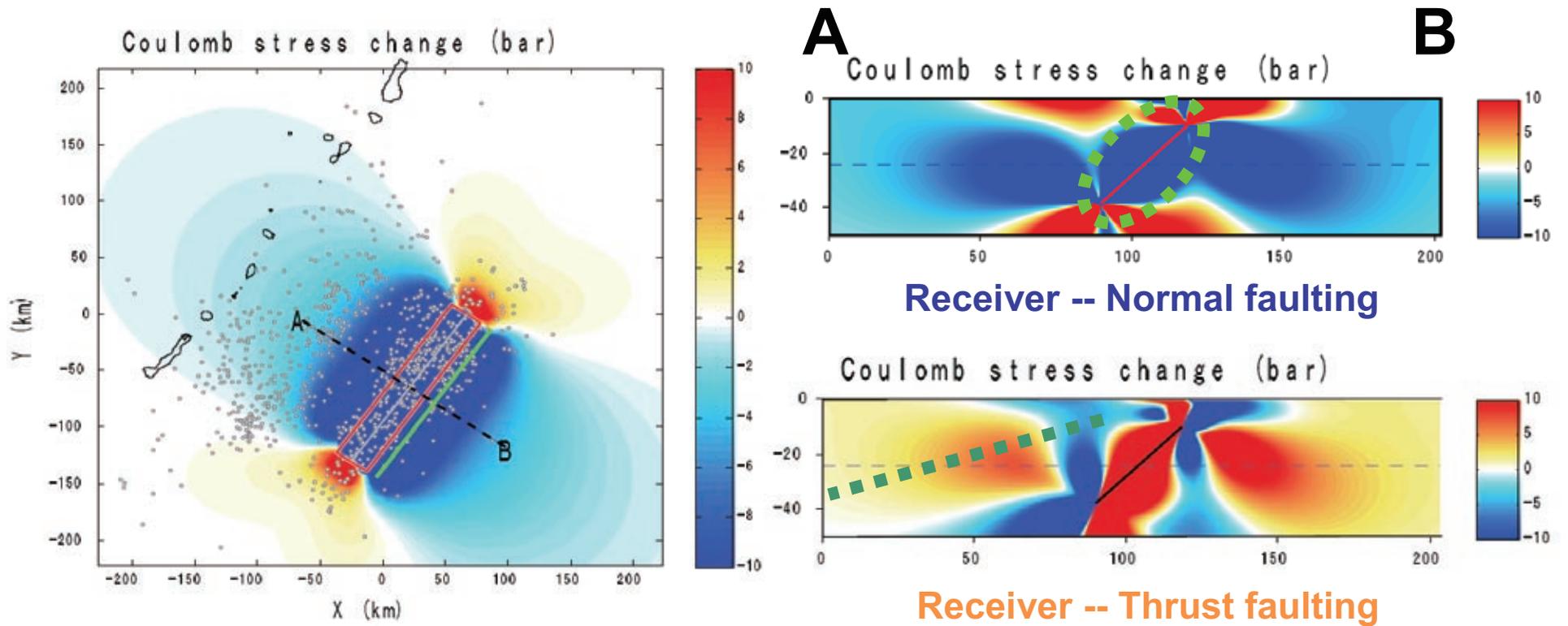
第4図。線分A-Bに投影した震央に対するETASモデルによる変換時間(第2図参照)の時空間図。

Fig. 4. Space-time plots of aftershocks. The vertical axis represents the coordinate of projected to the A-B segment, and the horizontal axis represents the transformed time as indicated in Figure 2.



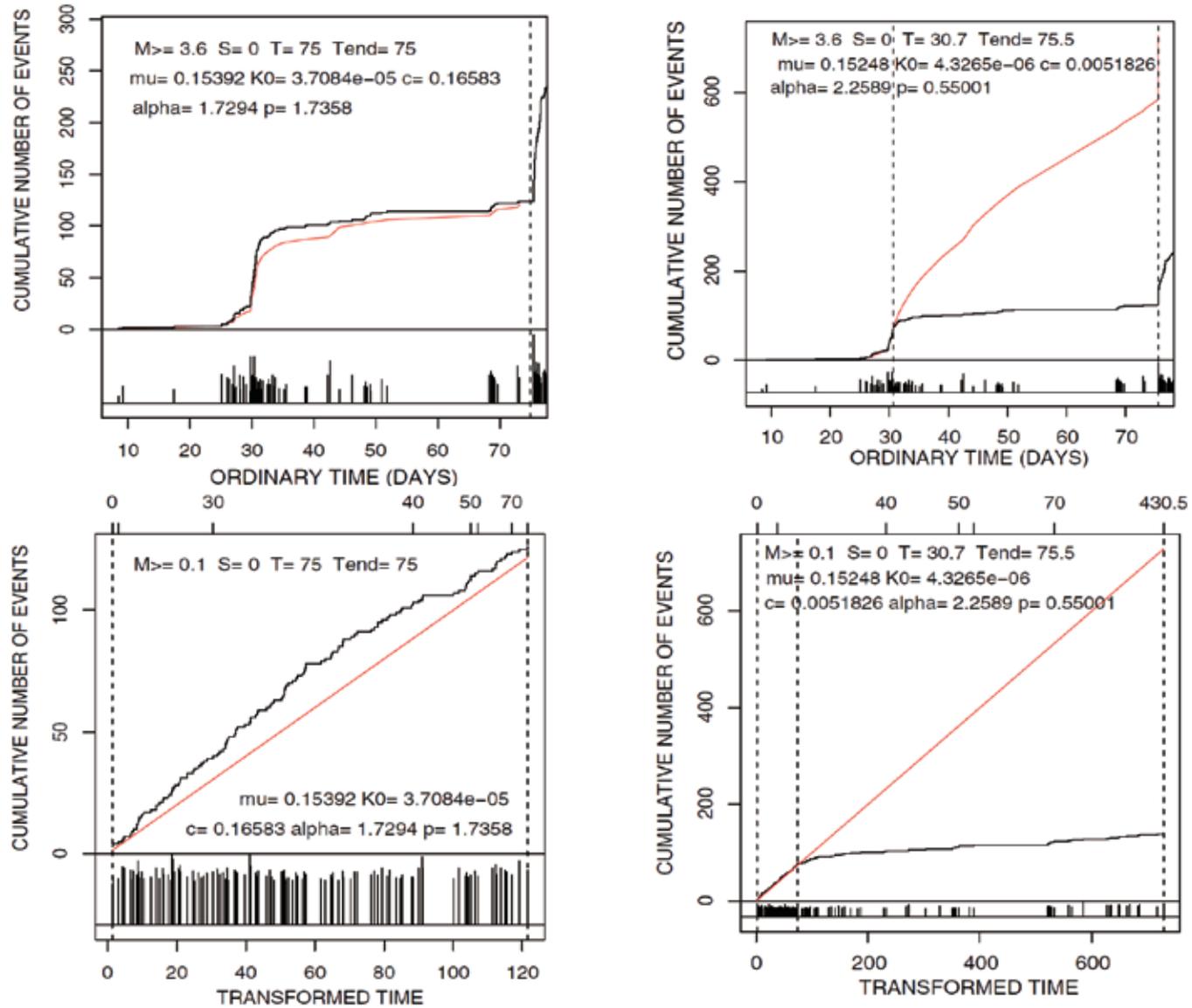
第4図 線分 A-B に投影した震央座標に対する ETAS モデルによる変換時間 (第3図参照) の時空間図.

Fig.4 Space-time plots of aftershocks. The vertical axis represents the coordinates of epicenters projected to the A-B segment, and the horizontal axis represents the transformed time as indicated in Figure 3.

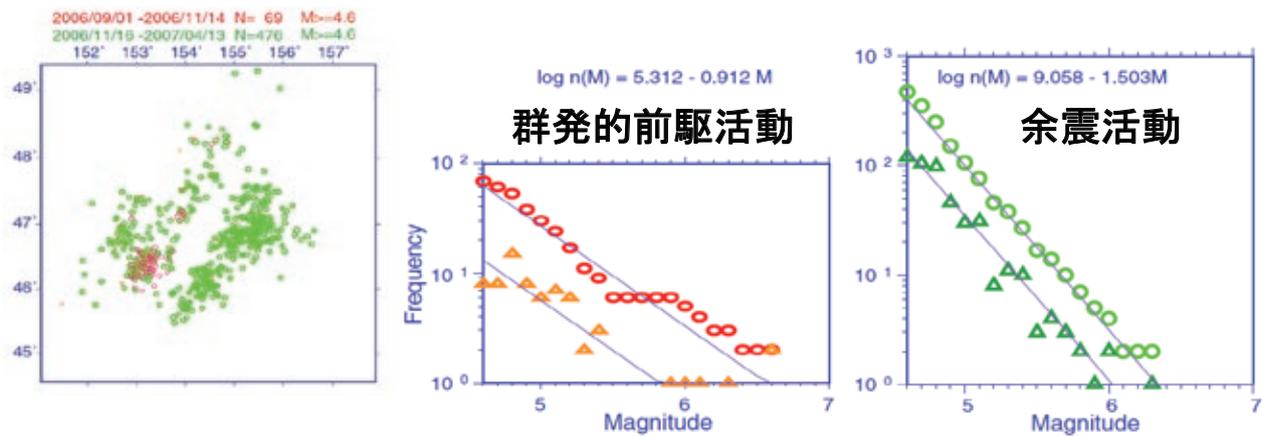


第5図 2007年1月13日の地震の破壊すべりを仮定したときのクーロン破壊ストレスの増減分布。上図と左上図は受け手の断層群が正断層型である場合で、右図は受け手の断層群が11月の地震と類似の逆断層型である場合。

Fig.5 Epicenters of aftershocks, and Δ CFP pattern at 25km depth (left) and A-B cross-section (top right) due to the slip on the fault of 13 January 2007 earthquake where the similar normal faulting is assumed as the receiver fault. The bottom right panel indicates the cross-sectional Δ CFP pattern where the receiver reverse faulting are similar to the 15 November 2006 earthquake.

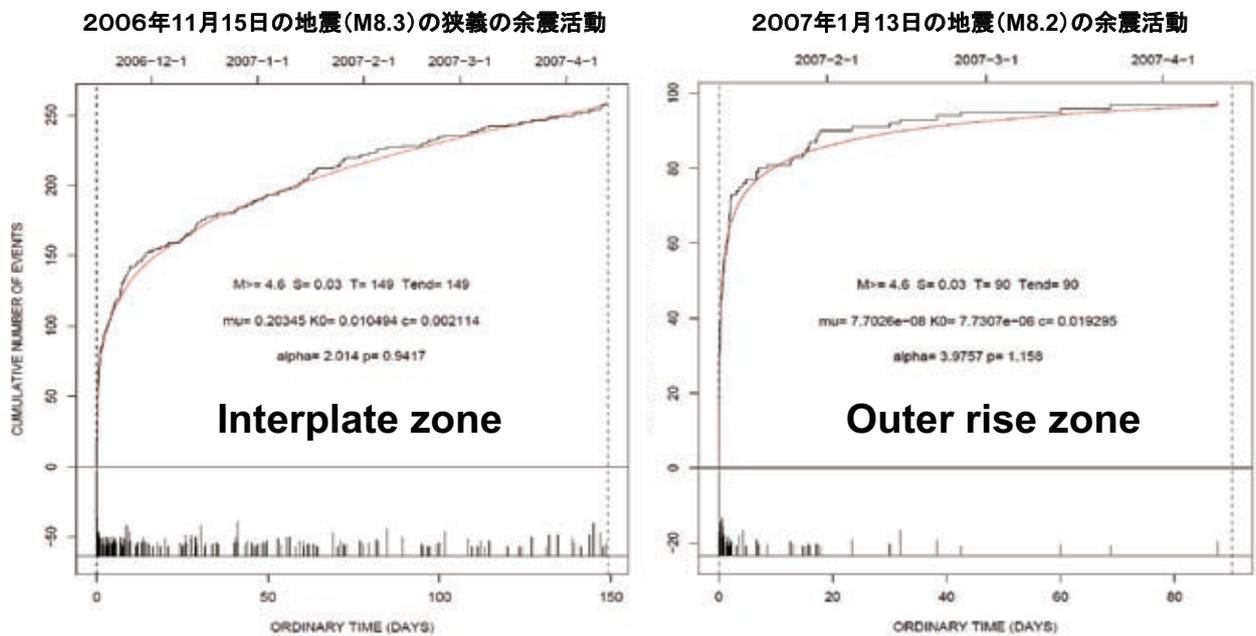


第6図 2006年9月1日から11月15日までの地震活動。赤い累積曲線は左図がこの全区間に当てはめた場合で右図が9月30日まで当てはめた場合の理論累積曲線。
 Fig. 6 The cumulative number and magnitude of earthquake against the ordinary time and transformed time. The red curves on the left panels are due to the ETAS models fitted to the whole period from September 2006 till November great event, while those in the right panel are the one fitted to the period of a first half month.



第7図 2006年9月1日から11月15日までの地震（赤色）と11月の巨大地震の余震（緑色）のマグニチュードの頻度分布とb値 ($M > 4.5$)、ただし本震後1日のデータは不完全であるので除いた。

Fig.7 The magnitude frequencies and b-values for the period from September 2006 till the November great event (red) and its aftershocks (green). Aftershocks occurred immediately after the mainshock are not take into account.



第8図 11月15日の地震の狭義の余震活動と1月13日のアウターライズでの地震の余震活動。

Fig.8 The cumulative number and magnitude of aftershocks in the subduction zone of the mainshock on 15 November 2006 (left) and aftershocks in the outer rise zone of the mainshock on 13 January 2007 (right). Red curves show theoretical cumulative curve calculated by the ETAS model.