

1 2 - 5 2006年千島列島沖地震の余震活動の時空間変化とストレス変化 —アウターライズ地震の前駆すべりの可能性—

On- and Off-fault Aftershocks of the 2006 Kuril Island Subduction Earthquake Triggered by a Slow Slip Preceding the 2007 Great Outer-rise Normal Faulting Earthquake

統計数理研究所
産業技術総合研究所活断層研究センター
Institute of Statistical Mathematics
Active Fault Research Center, AIST

1. 2006年11月の地震による狭義および広義余震のトリガーリング.

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と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。NEIC カタログによると、最初の地震の余震は2つの群に分かれている。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オフフォールト広義余震である。ハーバード大学 CMT 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(第1図)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。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こりやすくなる。アウターライズの広義余震の方が本震断層周辺の狭義の余震活動よりかなり活発であるのは興味深い。

2. 余震活動の経緯とその時空間的特徴.

ETASモデルによる理論的累積数と比べるとこの余震活動は順調に減衰しているように見える(第2図)。一体、アウターライズにおける巨大地震の前にして、これは余震活動に相対的静穏化が見られなかった例なのであろうか？両地域の活動が共に順調に減衰したのであろうか？

そこで、ETASモデルの変換時間のもと、時空間的経過をプロットして見た。アウターライズの広義余震は本震後20日頃から静穏化し、狭義の余震は相補的に活発化するという様子が見られる(第3図)。

3. 狭義および広義余震活動の相補的变化を定量的に説明する物理モデル.

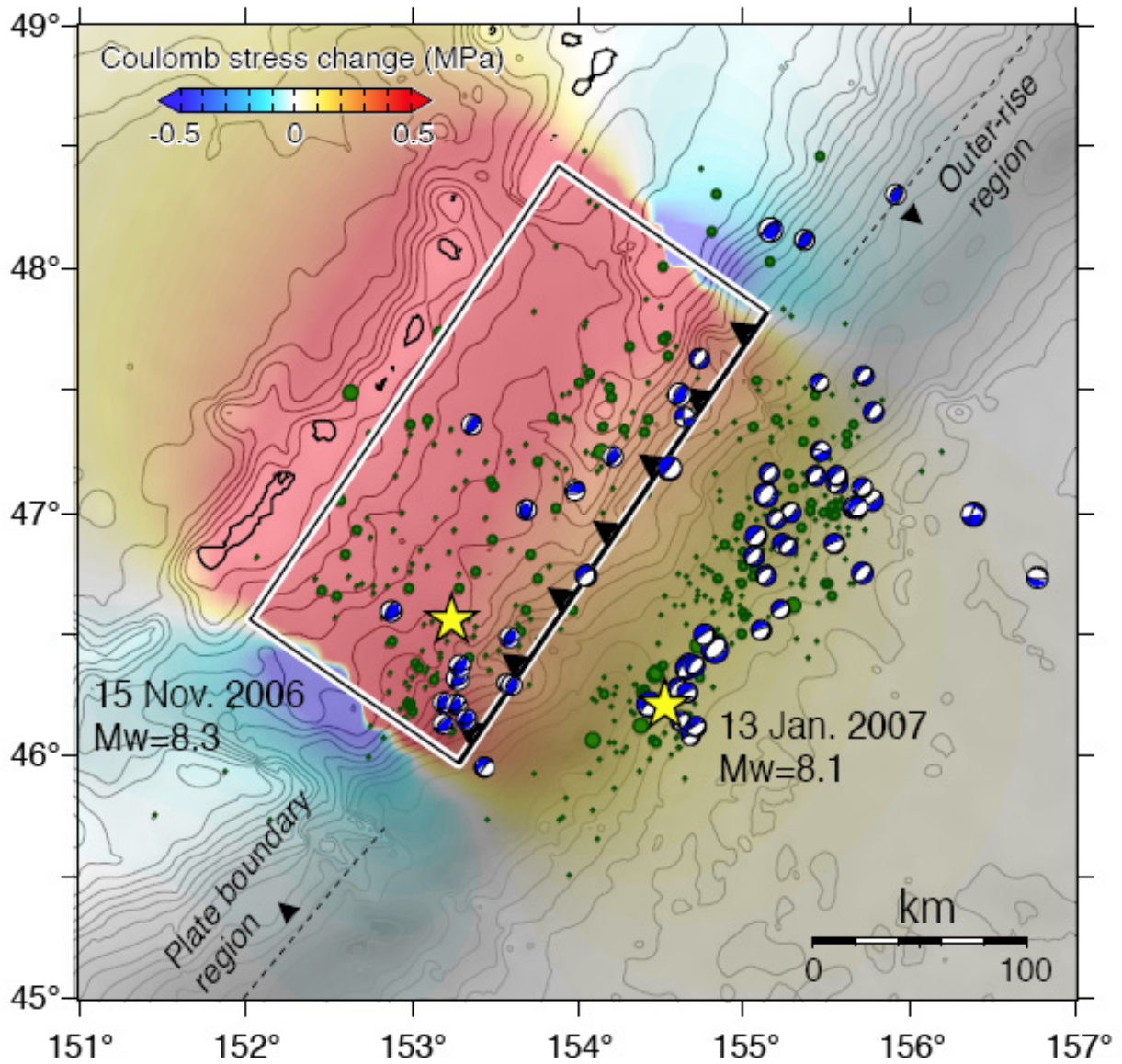
この現象は、非地震性すべりを仮定したストレス変化で定量的に説明できる。すなわち、11月の本震の破壊すべりで広義余震がトリガーされたが、同時にアウターライズのアスペリティ周辺の非地震性滑りも促進されることも考えられる。この滑りによって、そのストレス変化がアウターライズの余震域の断層群に対してストレスシャドウとして働き自然な減衰活動が異常に低下し、狭義の余震域の断層群においてはクーロン破壊ストレスが増加し余震活動がやや活発化したと考えられる(第4図)。

ここでは非地震性の滑りによって両余震域のストレスのローディング率が変わったというモデルで Dieterich の rate/state of friction 則に基づいてシミュレーション計算を行い余震の発生率変化の再現性を確認した(第5図)。

(尾形良彦, 遠田晋次)

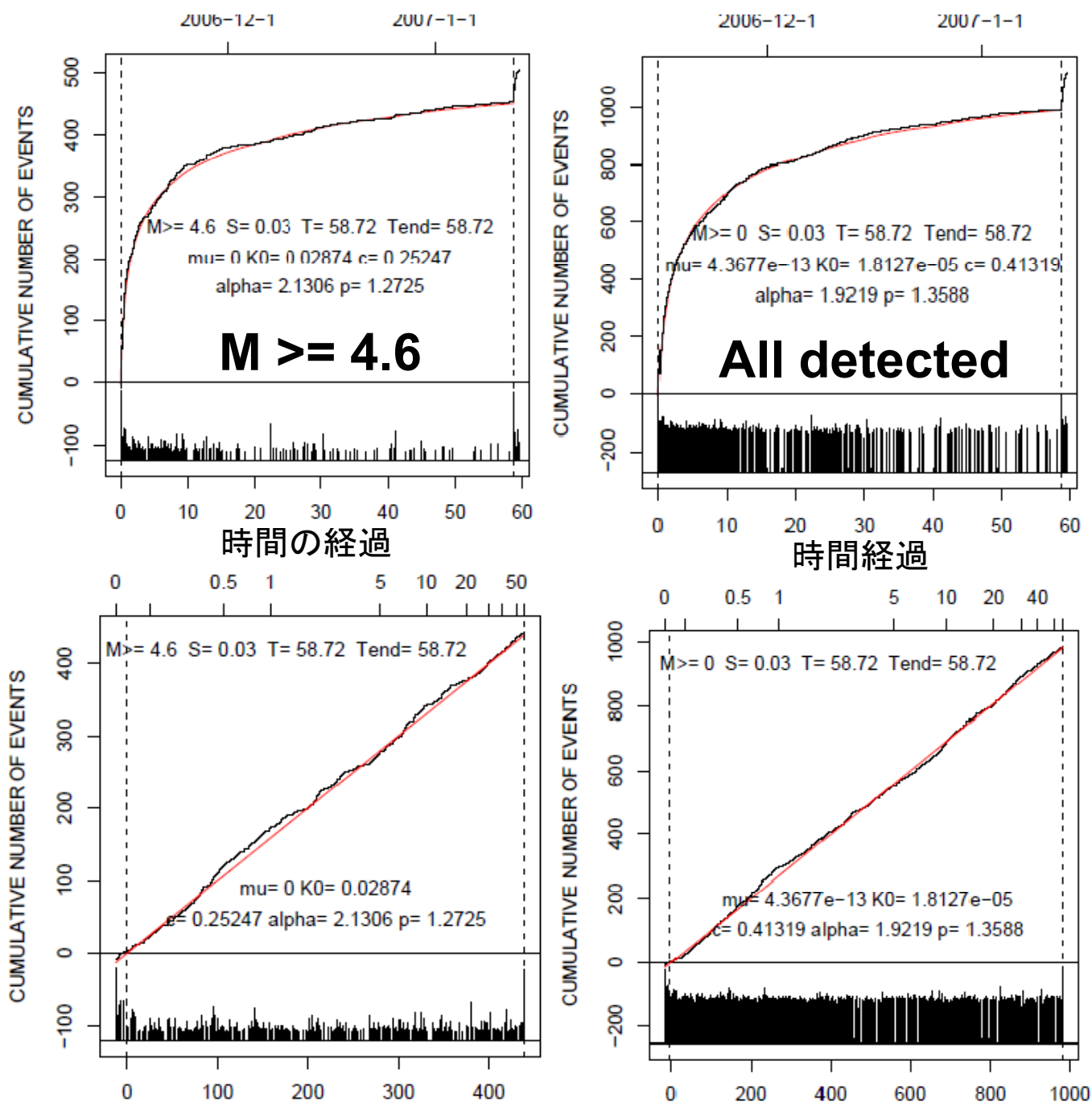
参考文献

- 1) Lay, T. et al. (1989) Phys. Earth Planet. Inter., 54, 258–312.
- 2) Dieterich, J. (1994), A constitutive law for rate of earthquake production and its application to earthquake clustering. J. Geophys. Res., 99, 2601–2618.



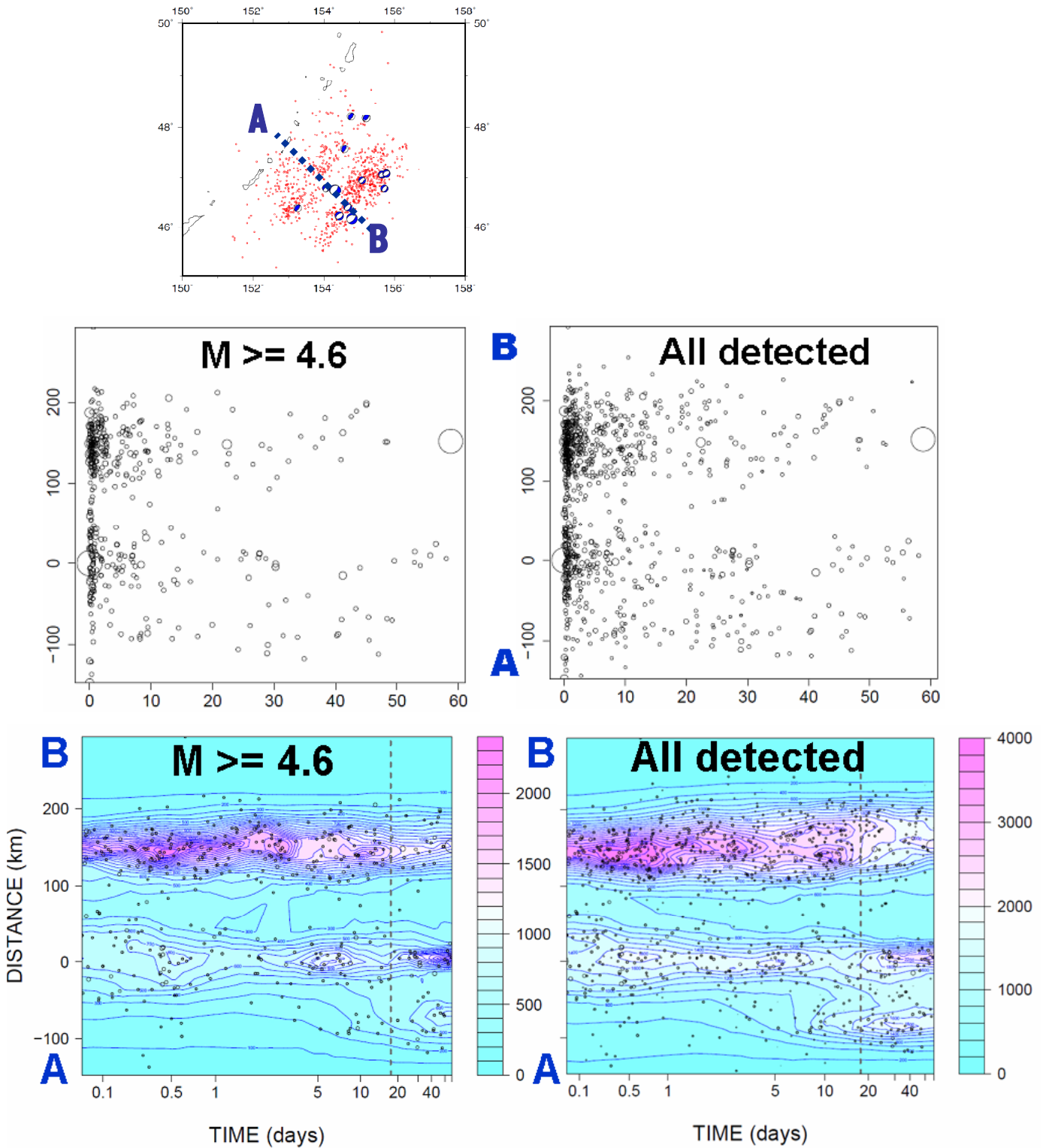
第1図 2007年1月の地震までの2006年11月の地震の余震の震央 (USGSのPDEカタログ) とメカニズム解 (ハーバードCMTカタログ), および本震の断層モデルとそのアウターライズの正断層に対する・CFSパターン。

Fig. 1 Coseismic Coulomb stress change (・CFS) caused by the 15 November 2006 event of Mw=8.3 resolved onto the normal fault rupture plane of the subsequent 13 January 2007 earthquake of Mw=8.1 at a depth of 15 km. Earthquakes of Mw \geq 4.6 recorded by USGS in the period between the two mainshocks are plotted onto the stress pattern. The source parameters for the 2006 event are from one of the global CMT solution (strike 214°, dip 15°, and rake 97°) assuming a 250 x 120 km fault with 3.5 m of uniform slip keeping the seismic moment 3.4×10^{21} Nm. Off-fault aftershocks ignited soon after the 2006 event in the outer rise region are correlated with the stress increase by the 2006 event. Note that on-fault aftershocks along the plate boundary are irrelevant to this ・CFS pattern



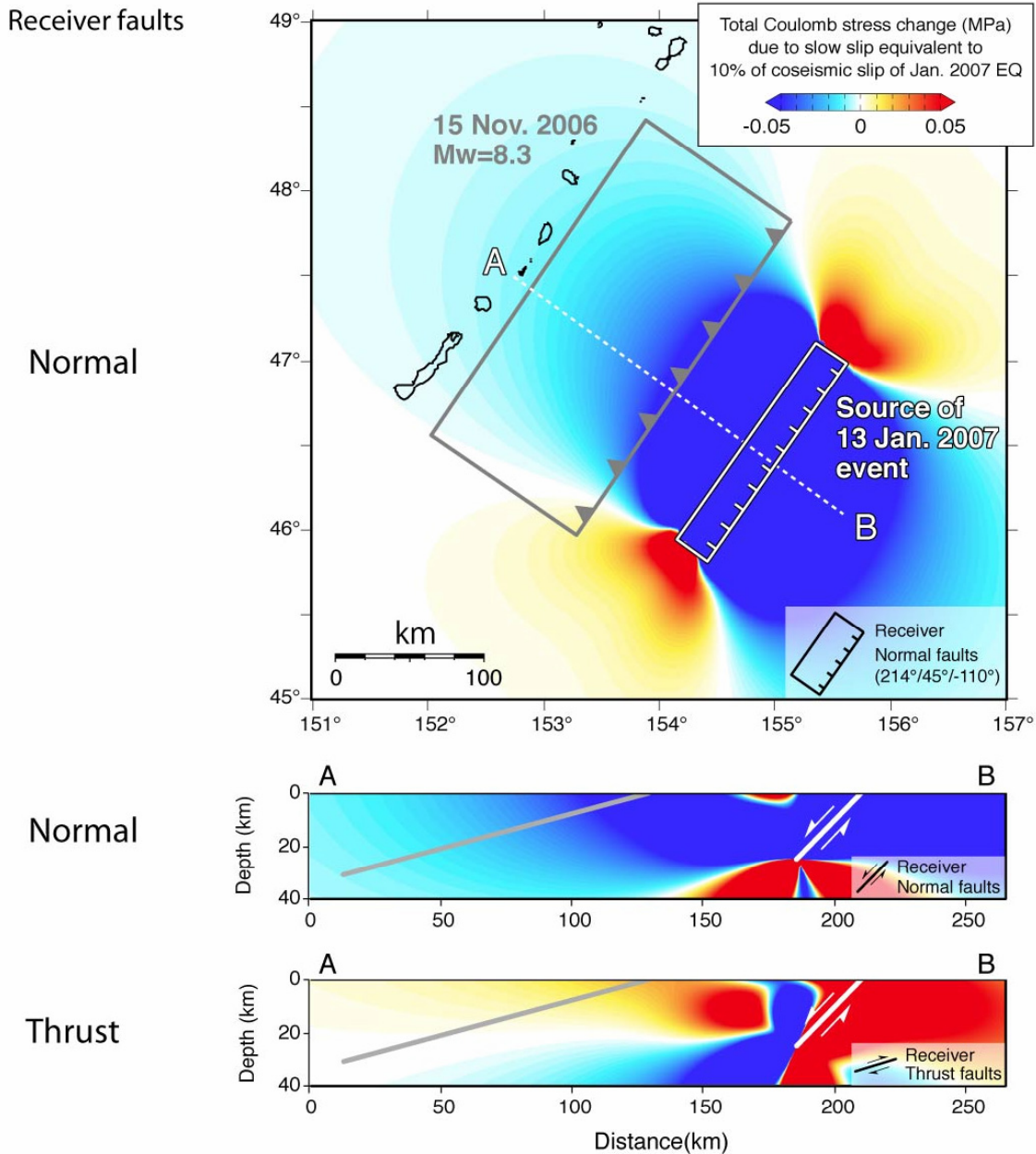
第2図 2006年11月15日の地震の余震活動の2007年1月13日までのMT図と累積関数. 赤い累積曲線は余震データにETASモデルをあてはめた理論的累積曲線. 上図が通常の時間推移で下図がETASモデルによる変換時間.

Fig. 2 The cumulative number and magnitude of aftershocks of the sequence of events during the period from the mainshock on 15 November 2006 to 13 January 2007 against the ordinary time (top) and transformed time (bottom). Red curves show theoretical cumulative curve calculated by the ETAS model.



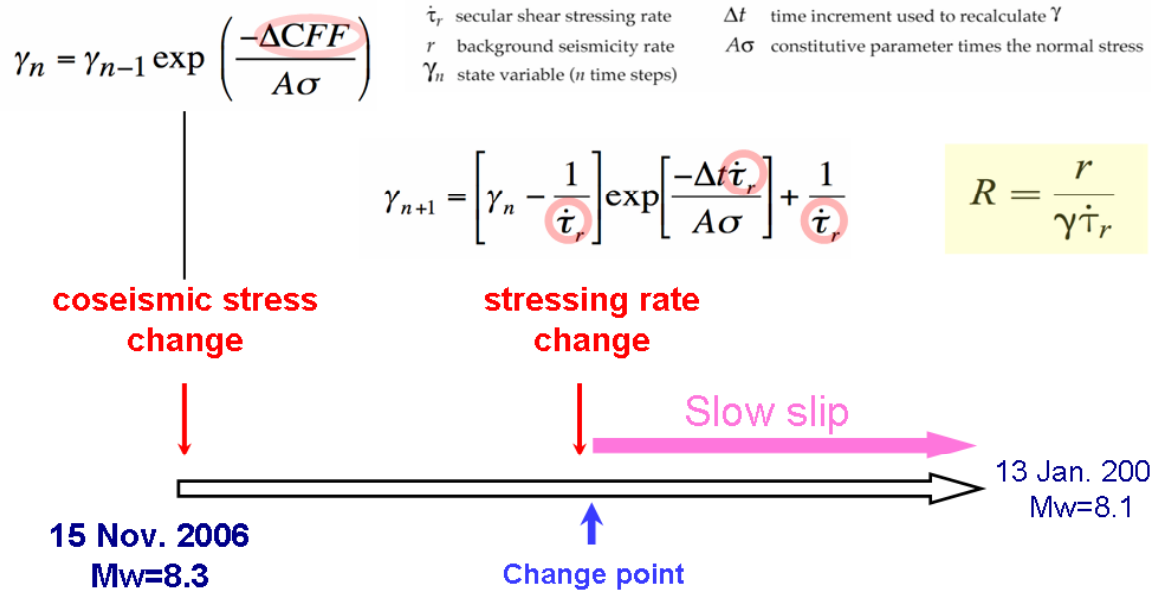
第3図 線分A-Bに投影した震央に対するETASモデルによる通常時間（中段）と変換時間（下段）の時空間図。

Fig. 3 Space-time plots of aftershocks. The vertical axis represents the coordinate of projected to the A-B segment, and the horizontal axis represents either ordinary time or the transformed time as indicated in Figure 2.



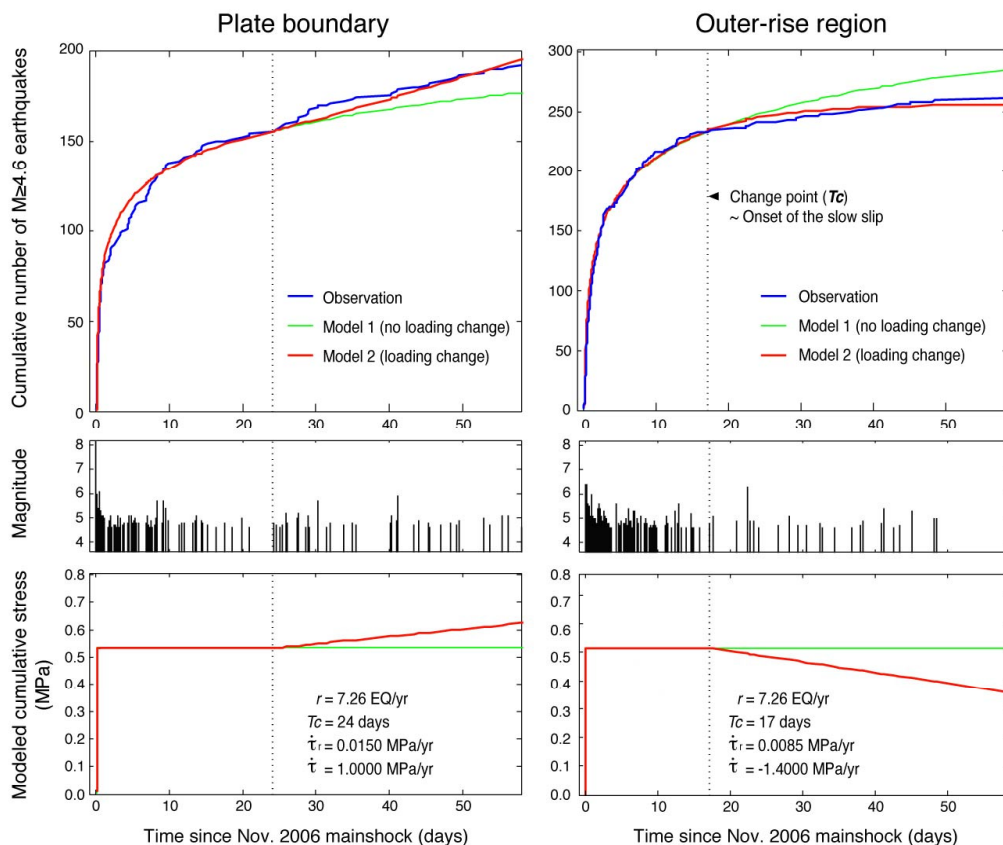
第4図 2007年1月13日の地震の破壊すべりを仮定したときのクーロン破壊ストレスの増減分布。上中段図は受け手の断層群が正断層型である場合で、下段図は受け手の断層群が11月の地震と類似の逆断層型である場合。

Fig. 4 (a) Map and (b) cross section of \bullet CFS caused by an ideal pre-slip (10% of the coseismic slip) of the 13 January 2007 earthquake resolved onto the normal faults parallel to the 2007 event. From the ETAS models and anomalous on- and off-fault aftershock sequence of the 2006 event, we speculate that precursory slow slip on the 2007 source lasting about 40 days has brought normal faults in the outer rise region farther from failure. In contrast, such a slow slip might have brought the thrust faults along the subduction interface closer to failure (c). The source parameters for the 2007 event are similar to the NW-dipping fault of Fujii and Satake (2008), which has a 160 x 35 km fault of strike 215°, dip 45°, and rake \bullet 110° with a uniform slip of 0.85 m (\sim 20 mm/day).



第5図 ゆっくりすべりに伴う応力レート変化による Dieterich の状態変数 $\dot{\gamma}$ と地震発生率 R の時間変化の説明図.

Fig. 5 Illustration of rate/state stress transfer model of Dieterich applying to examine the change of the state $\dot{\gamma}$ and the occurrence rate R due to the change of stress loading rate caused by slow slip.



第6図 2006年9月1日から11月15日までのプレート境界領域(左)とアウターライズ領域(右)の余震活動の累積関数(青色). 緑と赤の累積曲線は下図にあるような同色のクーロンストレス変化の基でrate/stateストレス変換則で計算された理論累積曲線.

Fig. 6 Observed and modeled cumulative number of earthquakes as a function of time for (a) subduction interplate and (b) outer-rise intraplate seismicities during the period between the 15 November 2006 and 13 January 2007 events. The stress history is modeled by a single stress step at the time 0 and changes in shear stressing rate at change points (vertical dotted line) analysed by ETAS model. See the methods section for the model procedure and parameter explanation..