

### 3-20 東北地方太平洋沖地震の前震活動と広域的静穏化について

#### Preshock activity and quiescence for long-term seismic activity in and around Japan

統計数理研究所

The Institute of Statistical Mathematics

##### 1. 前震活動の特徴について

前震活動は3月初めより始まっていたが、3月9日のM7.3の最大前震を先頭とする活動は顕著であった。この活動のb値は極めて低い<sup>1)</sup>。この活動の時間的な減衰は3月11日のM9の地震まで大森宇津の公式が(ETASモデルより)良く当てはまり、どの下限マグニチュードでもp値が有意に1より小さい(第1図)。この余震がこのまま続けば期待余震数(大森宇津の式の積分)が無限大になるので、どこかでp値が小さくなってもらわないと困る。果たして、一旦、M9本震が起きると、そのM7.3最大前震の余震域においては殆ど活動が無くなった(第1図)。M9本震直後は確かに検知率が悪いが、このことを勘案しても、この領域に関する限りはpが1以下というのを解消して、静穏化になっている。M9地震までの活動の、経度や緯度のETASでデトレンドした変換時間に対する時空間パターンは「一様な」余震活動(たとえばM9の余震活動参照)に比べて甚だしく非一様であり重心が移動しているように見える(第2図)。

##### 2. 長期的地震活動における超広域での静穏化

日本全体で常時的な地震活動を取り出すということで、その時間変化を見た。広域になると地震活動のパターンが場所ごとに違うので、除群化するときに支障がある。その違いを斟酌して常時地震活動を出すために地震活動の地域的特徴(場所ごとに異なるパラメタ値)を捉える時空間ETAS(HIST-ETAS)モデル<sup>2)</sup>による確率的除群法<sup>3)</sup>で常時地震を残した。すなわち各地震が常時活動の地震である確率は時空間ETASの中で常時地震活動の占める割合を計算して、その確率で取捨選択する。これを全ての地震について行う。宇津カタログの地震も履歴として使い、全日本(南西諸島を除く)の1926年から2011年M9の地震時までのM5+地震データを除群化して常時地震を得た(第3図)ところ、最近10年間西南日本を含む日本全国で常時地震が疎らになっている(第4図)。特に気になるのは西南日本の明瞭な静穏化である。この静穏化を追認するために西南日本と日向灘の活動についてのオリジナルデータに対して時間ETASモデルで解析したところ有意な相対的静穏化が見られる(第5図)。

これらの現象を説明するシナリオとしてGPSデータによるバックスリップ・インバージョン<sup>4)</sup>や小繰り返し地震による固着率低下地域<sup>5)</sup>を参考にして、宮城県福島県沖でのすべりが加速したと仮定し、東西圧縮の横ずれ断層と逆断層(西南日本や東北地方・日本海東縁)についてクーロン・ストレスの増減変化をプロットした(第6図上段左及び右図)。それらはストレスシャドウになる。また図には示さないが南北圧縮の横ずれ断層と逆断層(伊豆・伊豆諸島や関東地方)もほぼストレスシャドウになる。地震活動の静穏化はストレスシャドウと調和的であると考えられる。他方、別の気になるシナリオは、東海・東南海・南海トラフのプレート境界のすべりが加速しているためかもしれないということである。東海東南海(安政)昭和東南海・南海の断層角を仮定した「すべり」の加速について、北西-東南圧縮のプレート境界逆断層を受け手としてみると・CFSは正となる(第

6 図中段及び下段図)。これは日向灘の地震活動の静穏化と調和的でない。ゆえに後者のシナリオでの説明は難しいと考える。

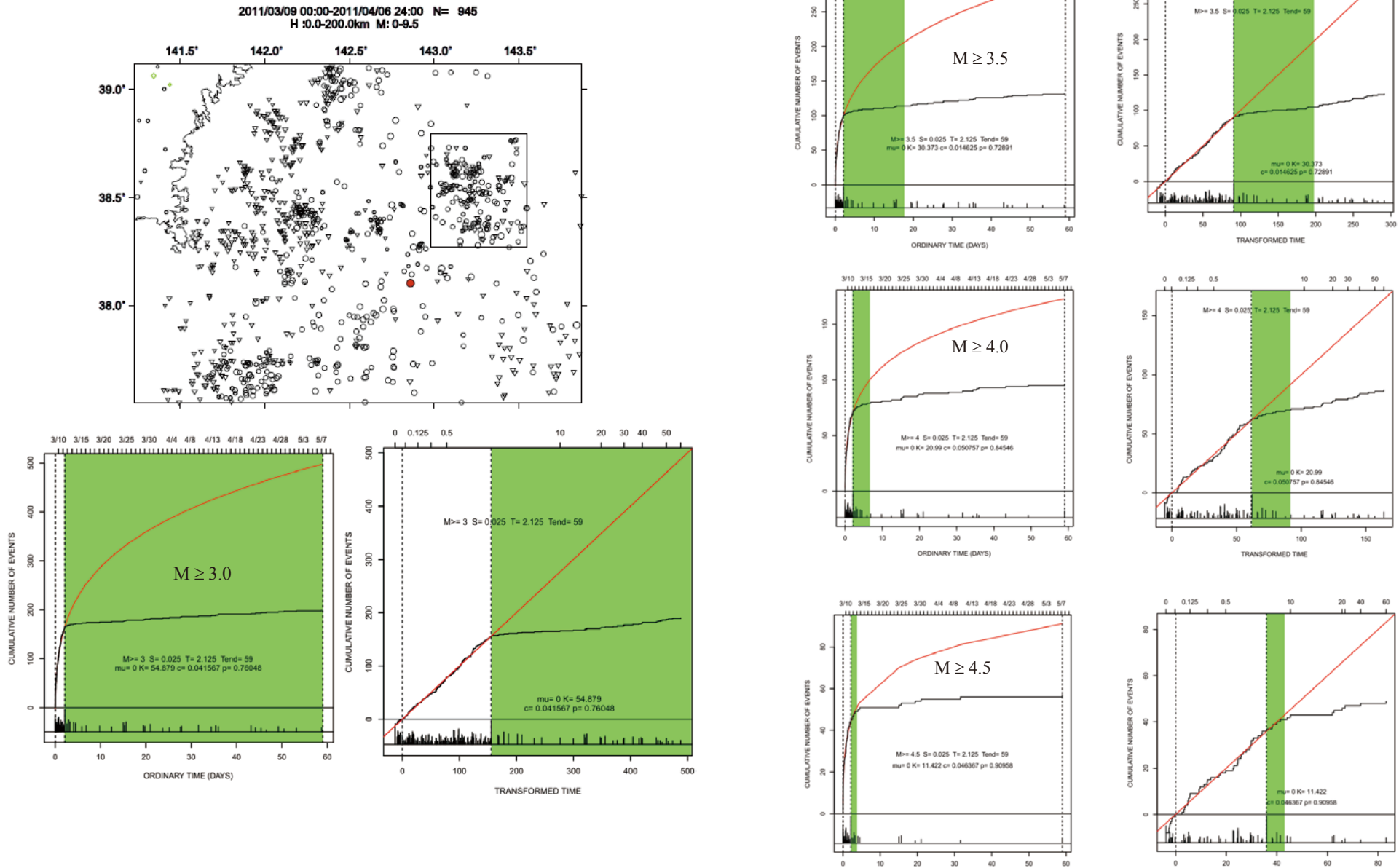
マグニチュード下限を下げた、最近の東北地方とその周辺の地震活動のパターンは少々複雑である。広域的な地震活動異常<sup>6)</sup>を説明するために採用した、2008年岩手県宮城県内陸地震の先駆的なすべりを仮定した DCFS 図の広域的なパターン(中段左パネル)は宮城県福島県沖のすべり(中段右)に起因するパターンと似ている。従って第7図にある各地域の地震活動異常は東北地方太平洋沖地震の前駆的活動異常であった可能性がある。

(尾形良彦)

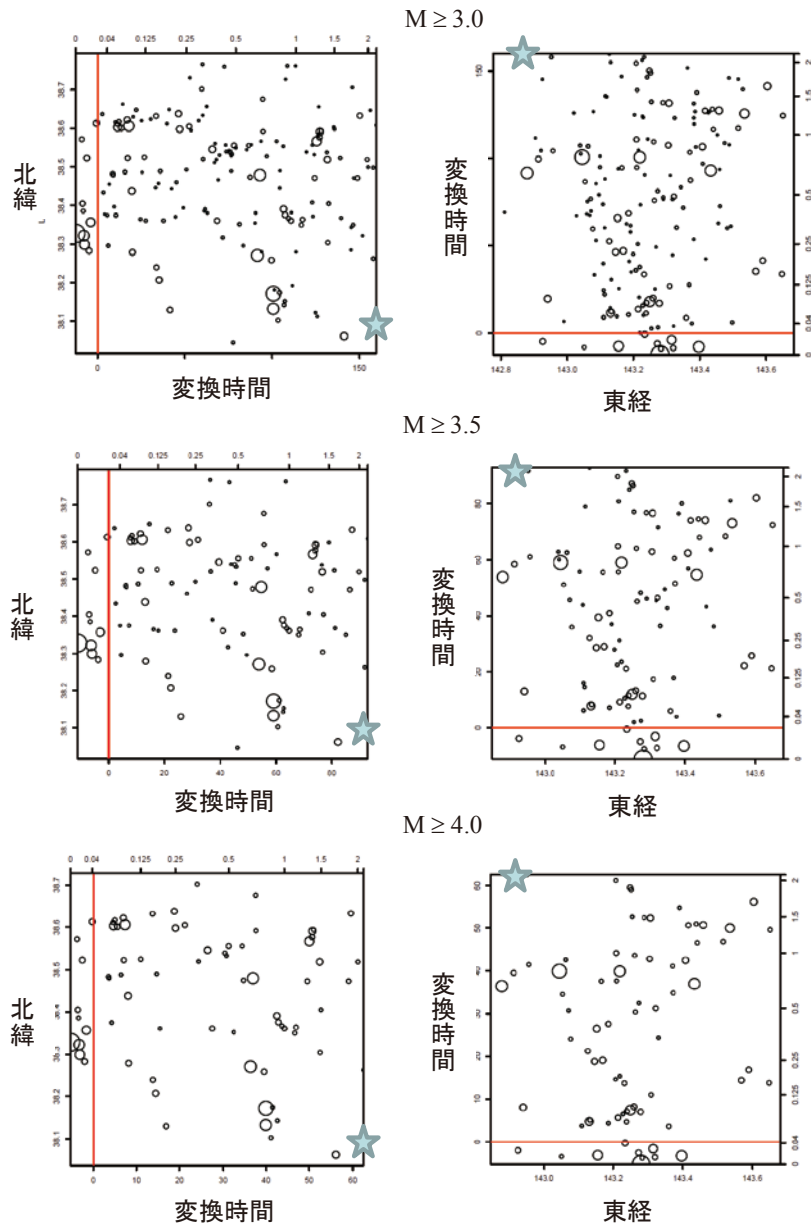
#### 参 考 文 献

- 1) 地震研究所, 予知連会報. 本巻
- 2) 統計数理研究所, 予知連会報 83 巻; Ogata, 2011, *Earth Planets Space*, 63
- 3) Zhuang et al., 2005, *J. Geophys. Res.*,
- 4) 国土地理院, 予知連会報. 本巻
- 5) 東北大学, 予知連会報. 本巻
- 6) Kumazawa et al., 2010, *J. Geophys. Res.*, 115.

# 東北地方太平洋沖地震の前震活動の特徴とその消長

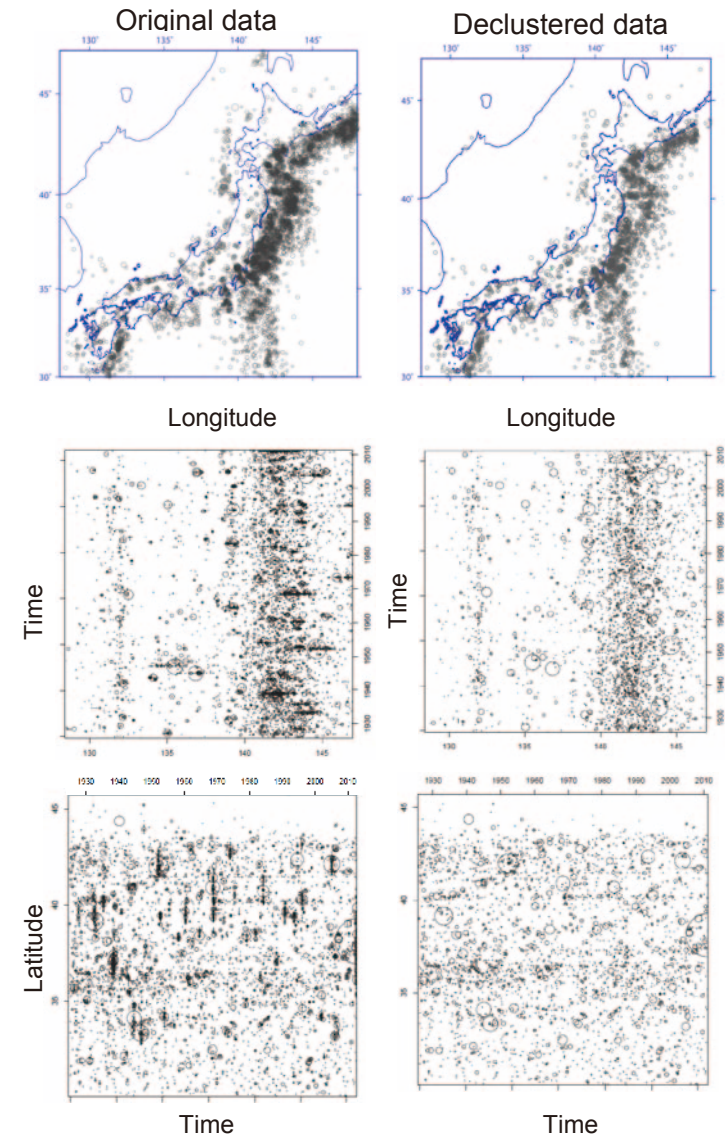


第1図. 前震活動の消長. 赤曲線はM9地震まで当てはめた大森・宇津の公式. どの下限Mでもp値が有意に1.0より小さい(b値も小さい). M9地震が起きると,殆ど活動が無くなった(静穏化). 緑の塗りはM9地震直後の, 夫々の下限Mでの検出率不十分の区間を示す.  
Fig. 1. The Omori-Utsu formula with  $p < 1$  fits well for respective threshold magnitude up until the M9 mainshock. After the M9 events the activity become significantly lower than the predicted.



第2図. M9地震(星印)までの活動の、経度や緯度の時間変換による時空間パターン。甚だしく非一様であり重心が移動しているように見える。  
 Fig. 2. Plots of location (latitude and longitude) against transformed time that is detrended by the Omori-Utsu function. The plots show heterogeneous and migrating feature

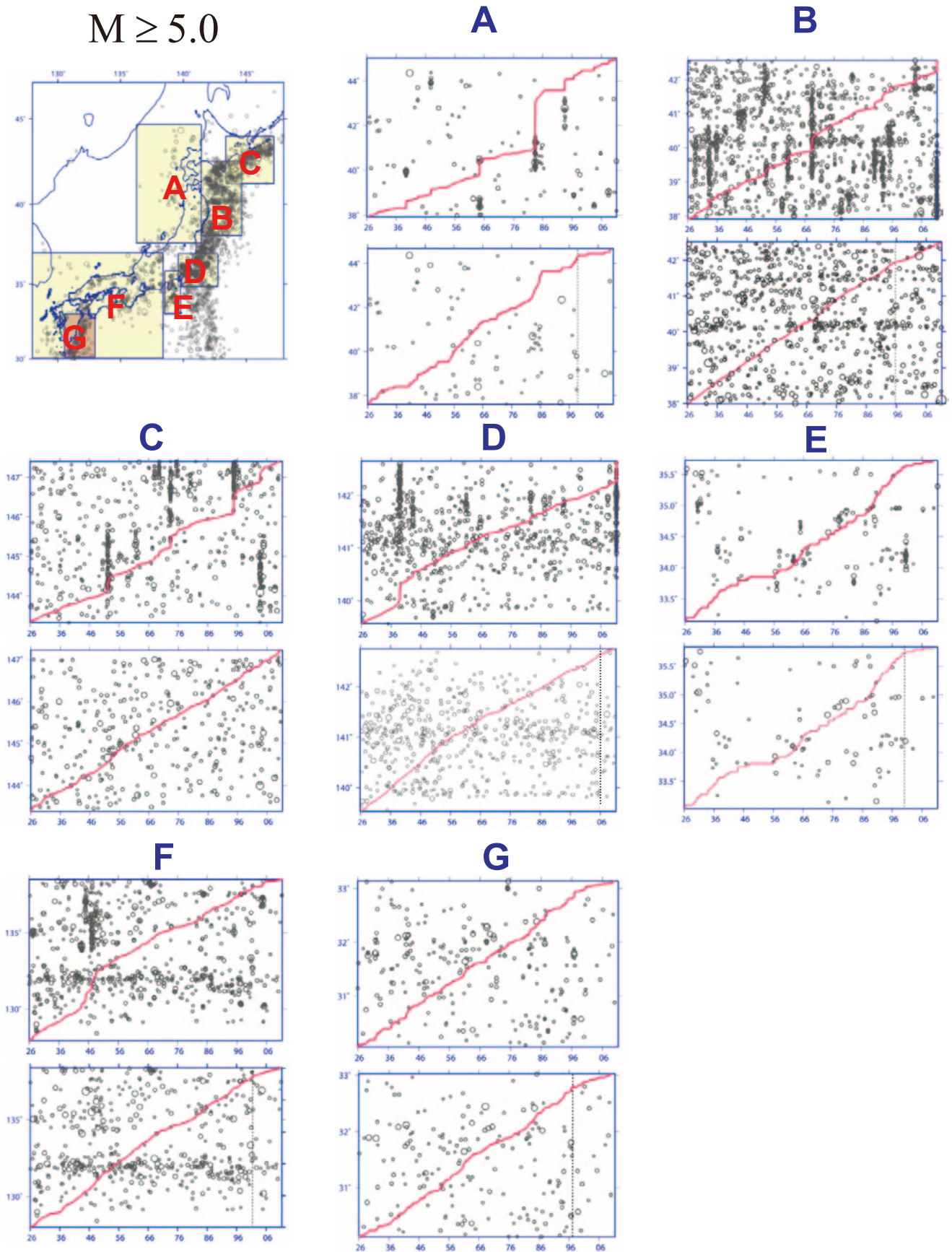
確率的除群法(Stochastic declustering)  $M \geq 5.0, h \leq 100\text{km}$



第3図. 1926年から2011年M9の地震時までの気象庁地震データ M5+ (左側) と階層的時空間ETAS (HIST-ETAS) モデルによる除群化によって得られた常時地震 (右側)。  
 Fig. 3. The background events (right hand side panels) by the stochastic declustering from the seismicity ( $M \geq 5.0$ ; left hand sides) in the main Japan islands during 1926-2011 March using the HIST-ETAS model.



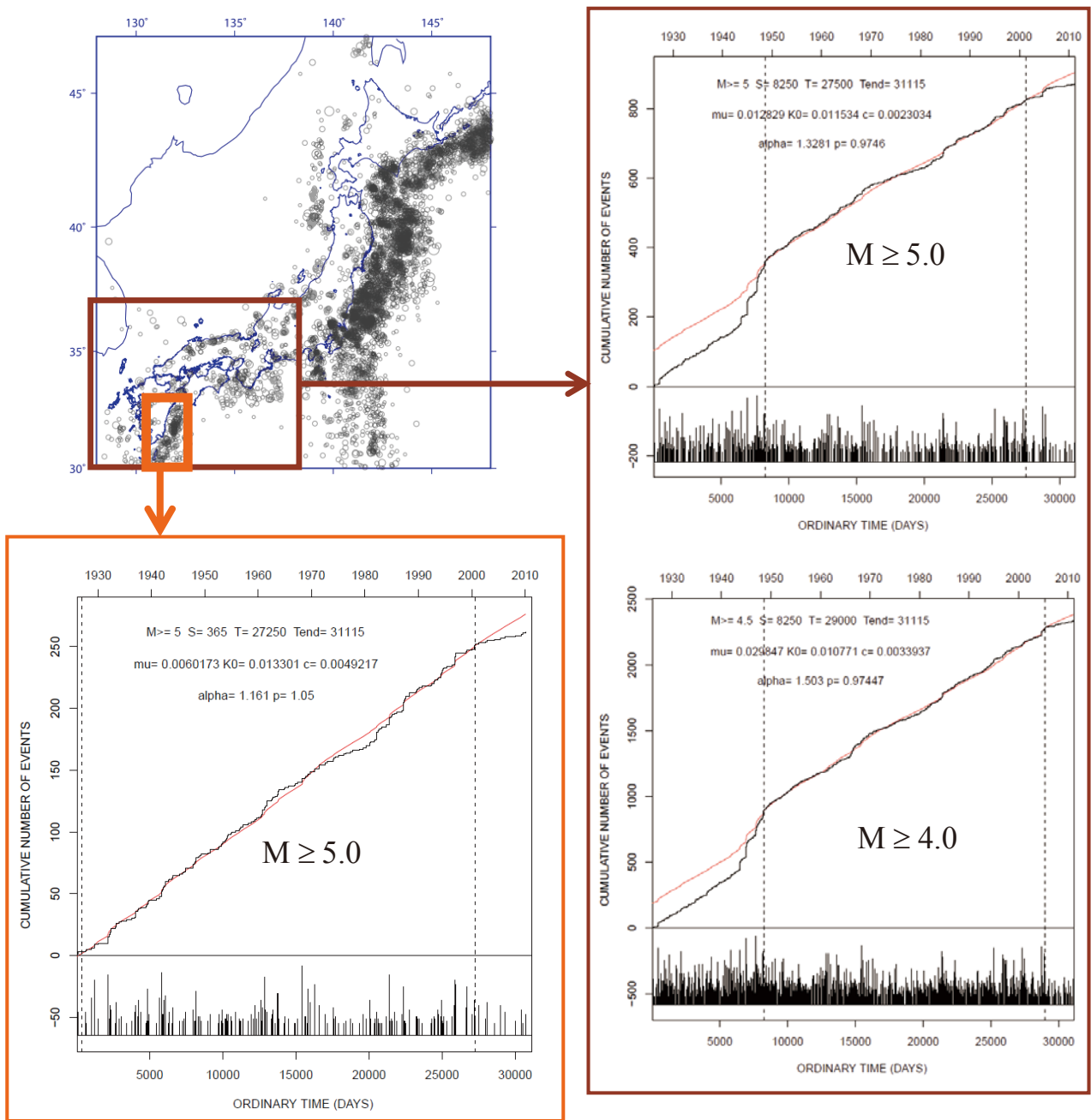
M ≥ 5.0



第4図. A 日本海東縁部, B 十勝沖三陸沖, C 北海道東方沖, D 関東・房総半島沖, E 伊豆半島・伊豆諸島, F 西南日本, G 日向灘沖の時空間分布図(緯度または経度対時間図). 各地域の地震(M5+: パネル対上段)の確率的除群による常時活動地震(パネル対下段). 赤線は基準化した累積関数. C地域を除き何れも最近の常時活動が低下している.

Fig. 4. Space (latitude or longitude) against the time of the original (upper of pair) and declustered (lower of pair) seismicity in regions A-G. Every region except C indicates the quiescence in background activity.

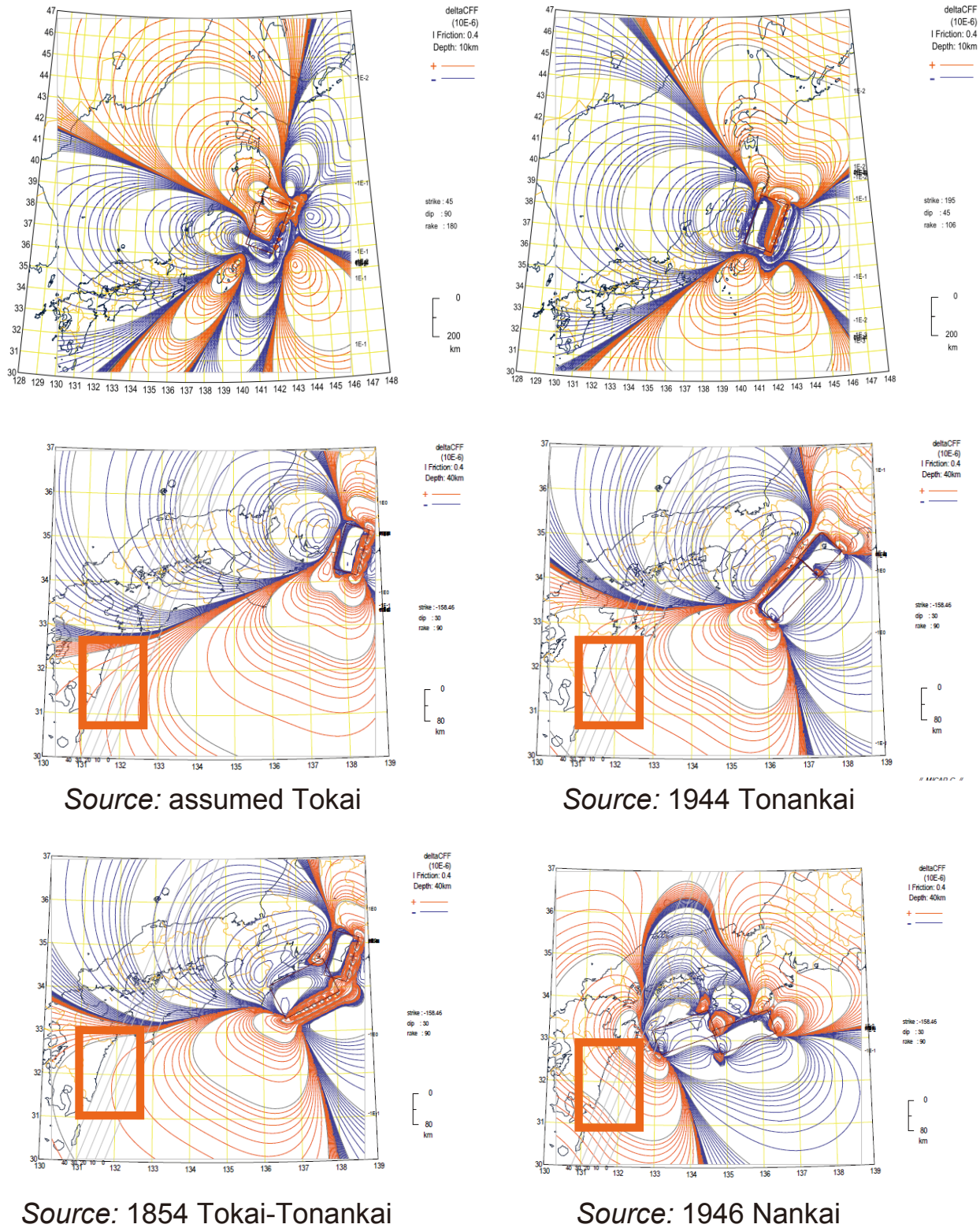
## Original data



第5図. 非除群データのETASモデルによる解析. 右側図では西南日本の1946年南海地震後からの活動に関して(南海地震以前の履歴を考慮して)あてはめている. 左下図は日向灘沖の1926年からの解析. いずれも相対的静穏化が有意である.

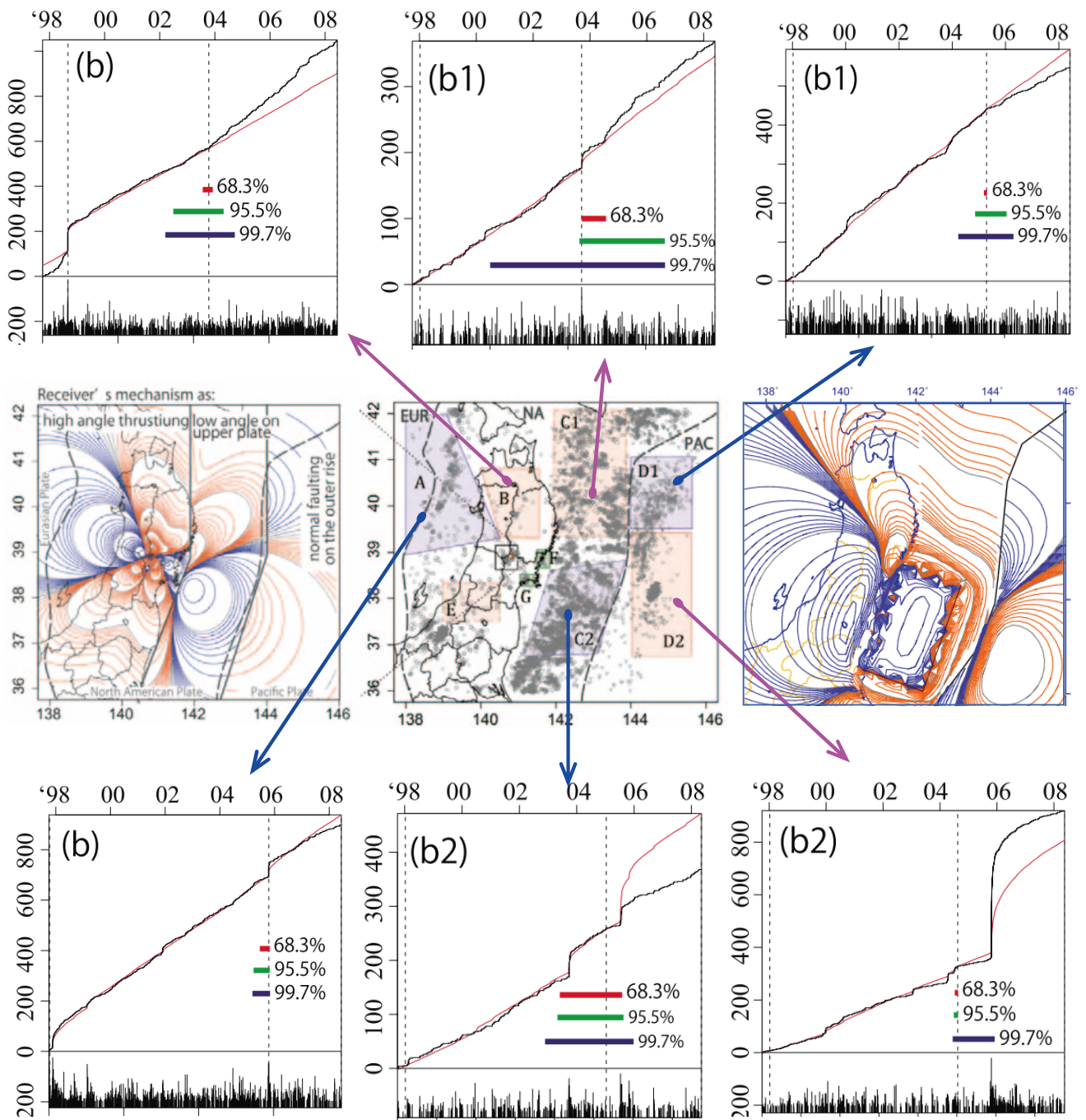
Fig. 5. The quiescence relative to the ETAS model is significant for the original data ( $M \geq 5.0$ ) from regions A, D and E.





第6図. 上段図は東北地方太平洋沖で「ゆっくりすべり」の加速を仮定し、受け手は東西圧縮の縦ずれ(左)または逆断層(右)のCoulombストレスの変化. 中下段は想定東海地震, 東海東南海(安政)地震, 昭和東南海地震および昭和南海地震の各地震の断層角を仮定した「すべり」を仮定して, 受け手は東西圧縮の逆断層のCoulombストレスの変化の図. 中下段のシナリオでは南西日本全体, 特に日向灘領域, の静穏化と全く調和的でない.

Fig. 6. The increments of the Coulomb failure stress for the considered regions under E-W compression field. The stress shadow supports the relative seismic quiescence caused by possible acceleration of slow-slips in Tohoku-oki area. On the other hand, possible slips in Tokai, Tonankai or Nankai sources are examined, but the Hyuganada zone (region E) of the relative quiescence are not at all covered by stress shadow.



第7図. 東北地方周辺の広域的な地震活動異常<sup>6)</sup> (上段と下段). 2008年岩手県宮城県内陸地震前のすべりを仮定したDCFS図の広域的特徴 (中段左パネル) は宮城県福島県沖でのすべり (中段右) と同様であり, A-Dの各地域の地震活動異常は東北地方太平洋沖地震の前駆活動である可能性がある.

Fig.7. The top and bottom row panels<sup>6)</sup> show empirical (black) and ETAS-based (red) cumulative functions of earthquakes during 1998-2008 from respective focal polygonal. The CFS increments in the middle row, left and right panels are due to assumed slow slip sources of the 2008 Tohoku inland of M7.1 and 2011 Tohoku-Oki of M9.0, respectively. The CFS increment patterns are consistent with the shown seismicity anomalies.