

7-11 能登半島周辺の地震活動と地殻変動について

Anomalies of seismicity and crustal movement in and around the Noto Peninsula before the 2007 earthquake of M6.9

統計数理研究所 尾形良彦

Yosihiko Ogata, Institute of Statistical Mathematics

1. 2007年能登半島地震(M6.9)の余震活動.

2007年3月25日午前9時42分にM6.9の地震が発生した. 本震発生から3月末日までの余震活動はM2.5を下限として3月31日までの余震にETASモデルをあてはめ, その後の理論的累積数(発生率の積分)を外延(予測)すると4月2日までは実際と良く重なり典型的な本震余震型として順調に推移していたが, その後1~2日間に静穏化が見られた.(第1図上段図). 変換時間の時空間(東西方向)分布から, 特に南西方向に顕著な余震の拡散が見られたが4月2日後に余震域で空洞化しているように見える(第1図2段目の図). 時間経過とともに検出率が高くなるのでデータとして不均質ではあるが, 検出された全ての余震の通常の時空間分布からも余震活動の空洞化が認められる(第1図3段目の図). この現象の説明を試みたのが下段にある?CFS図で, 4月6日のM4.7余震の前駆すべりによるストレスシャドウが余震域の中央部に掛かる(第1図最下段の図).

2. 2007年能登半島地震前の能登半島周辺の地震活動の特徴.

国土地理院による本震の断層モデル¹⁾と同じメカニズムの受け手の断層群(深さ10km)の?CFSを第2図冒頭図に表示した. これを目安に各領域での地震活動についてETASモデルをあてはめて調べた. ここで, 本震のメカニズム(Harvard大学CMTおよび防災科技研F-net), 過去の本震の断層モデル震源の配列および当該地域のストレス場を考慮して受け手の断層メカニズムを仮定した. それによると領域Fでは?CFSは中立であるが, その他の領域では第2図の冒頭図の?CFSの正・負とほぼ同様である. 各領域の地震活動の調査期間は下限マグニチュード(Mc)に関して均質なデータがなるべく多くなるように選んだ. 第2図B-Kに示す地震活動の活発化・静穏化・順調推移は有意性の差はあるが, 各領域での?CFSの正・負とほぼ調和的である. これらは能登半島地震の断層内での前駆的なすべりによる応力変化のためである可能性が高い. 1993年能登半島沖の地震の余震活動(K領域)について特記すべきことはMc=2.5で変換時間に関する累積関数が, 本震後110日から2年ほど相対的に静穏化しているが, その後最近までの傾きが赤直線の傾きより高くなっている(ETAS基準からの相対的活発化).

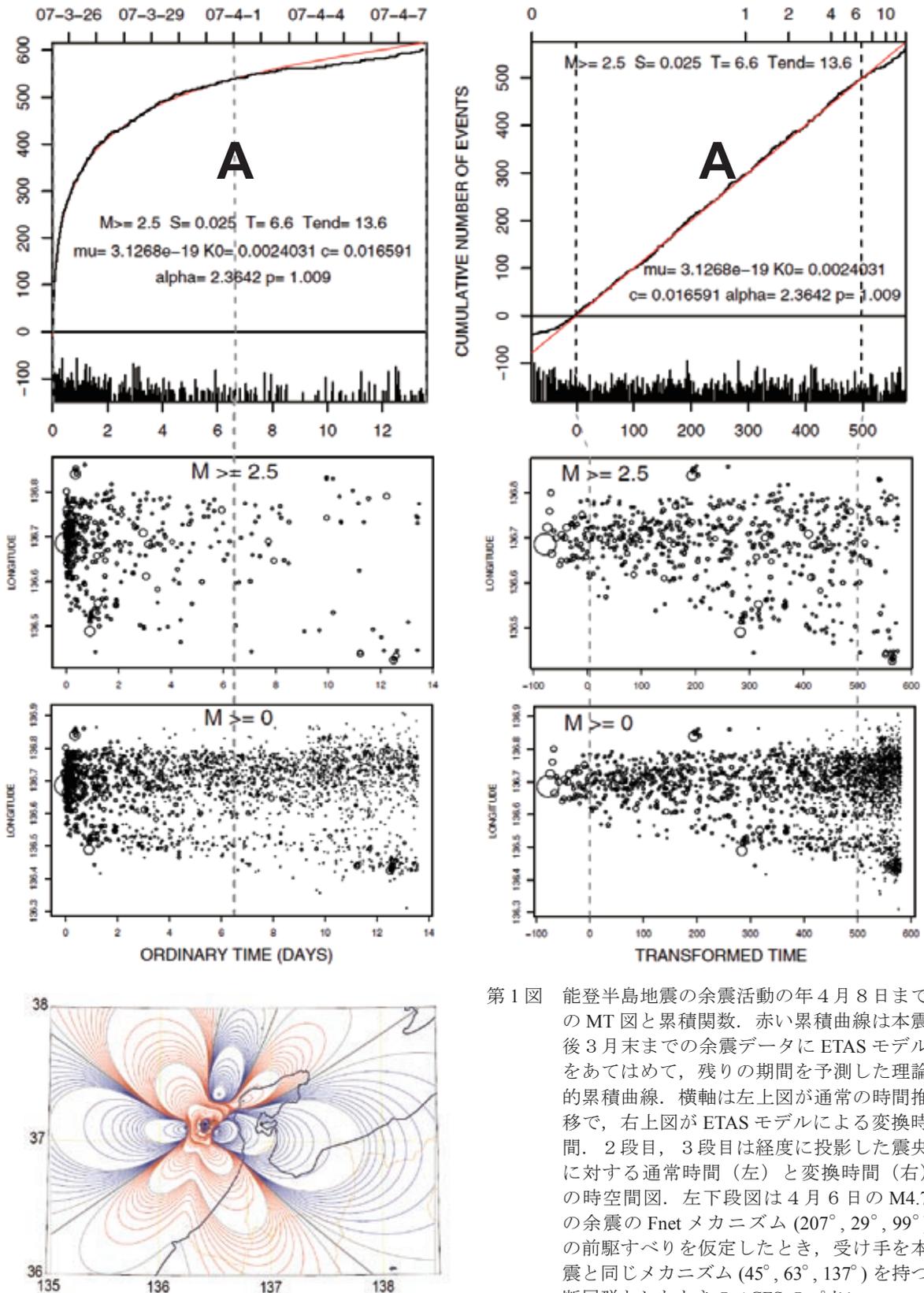
3. 2007年能登半島地震前の能登半島周辺の地殻変動の特徴.

能登半島地震の断層の周辺部のGEONETの基線間距離の前駆的变化の有無を調べてみた(第3図). 断層近辺で地震時に矢印にあるように大きく動いた, 富来, 能登島および輪島の各観測点と周辺地域の観測点との基線間距離の長期変動の時系列のトレンド変化を調べた. 第3図左下の源時系列には, 縦の点線で示す時期に, 富来観測点に起因する人為的なジャンプ, 2004年紀伊半島沖地震や2004年中越地震によるジャンプが見られる基線がある. その場合には, これらのジャンプ時以後のデータ値を上下に平行移動して補正した時系列を第3図右下に与えた. これらから, 2001年末頃まで一定の速度で距離が縮んでいたが, いずれも途中から系統的に外れている. この逸脱とコサイスマミックな変動が調和的であり, 紀伊半島沖地震や中越地震より前から3~4年間に亘ってゆっくりすべりがあった事を示す.

同様な地震活動と地殻活動の前駆的異常を中越地震と福岡県西方沖の地震の周辺部につき報告した²⁾.

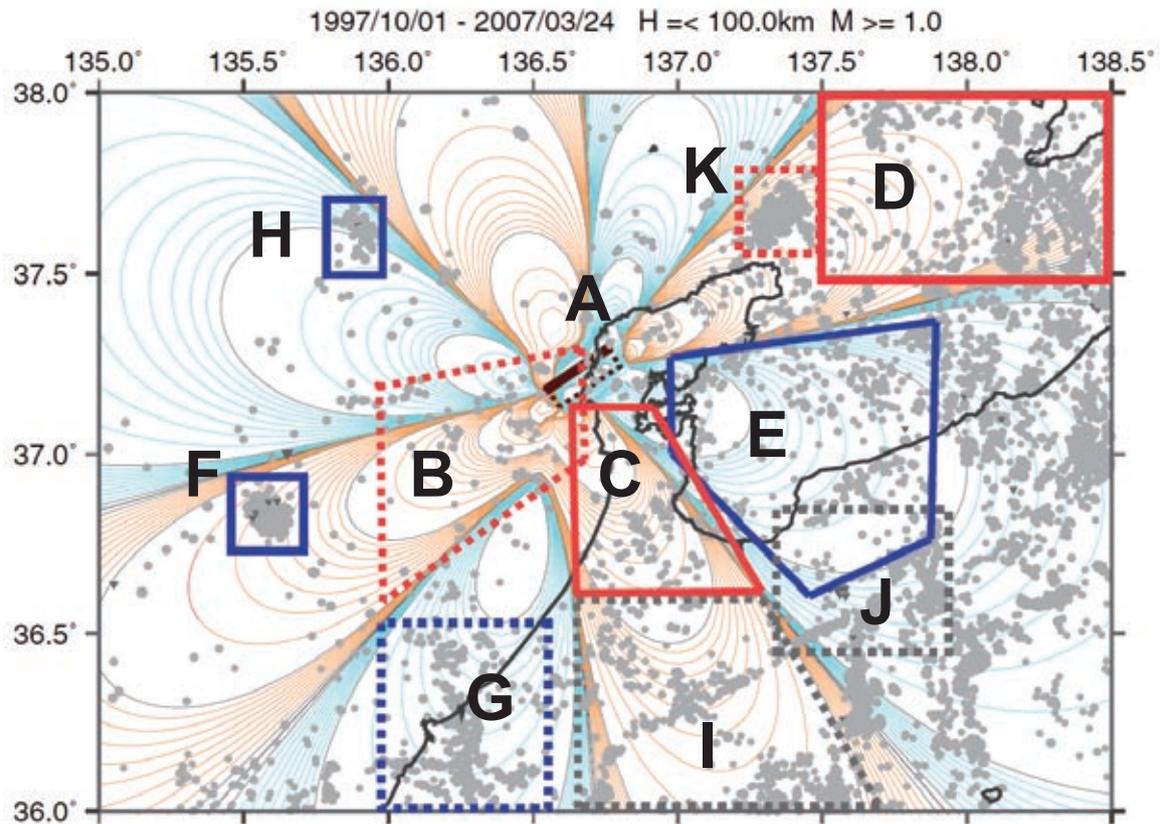
参 考 文 献

- 1) 国土地理院, 予知連会報, 78巻(2007), 424-456.
- 2) 統計数理研究所(尾形良彦), 予知連会報, 77巻(2006), 452-459.



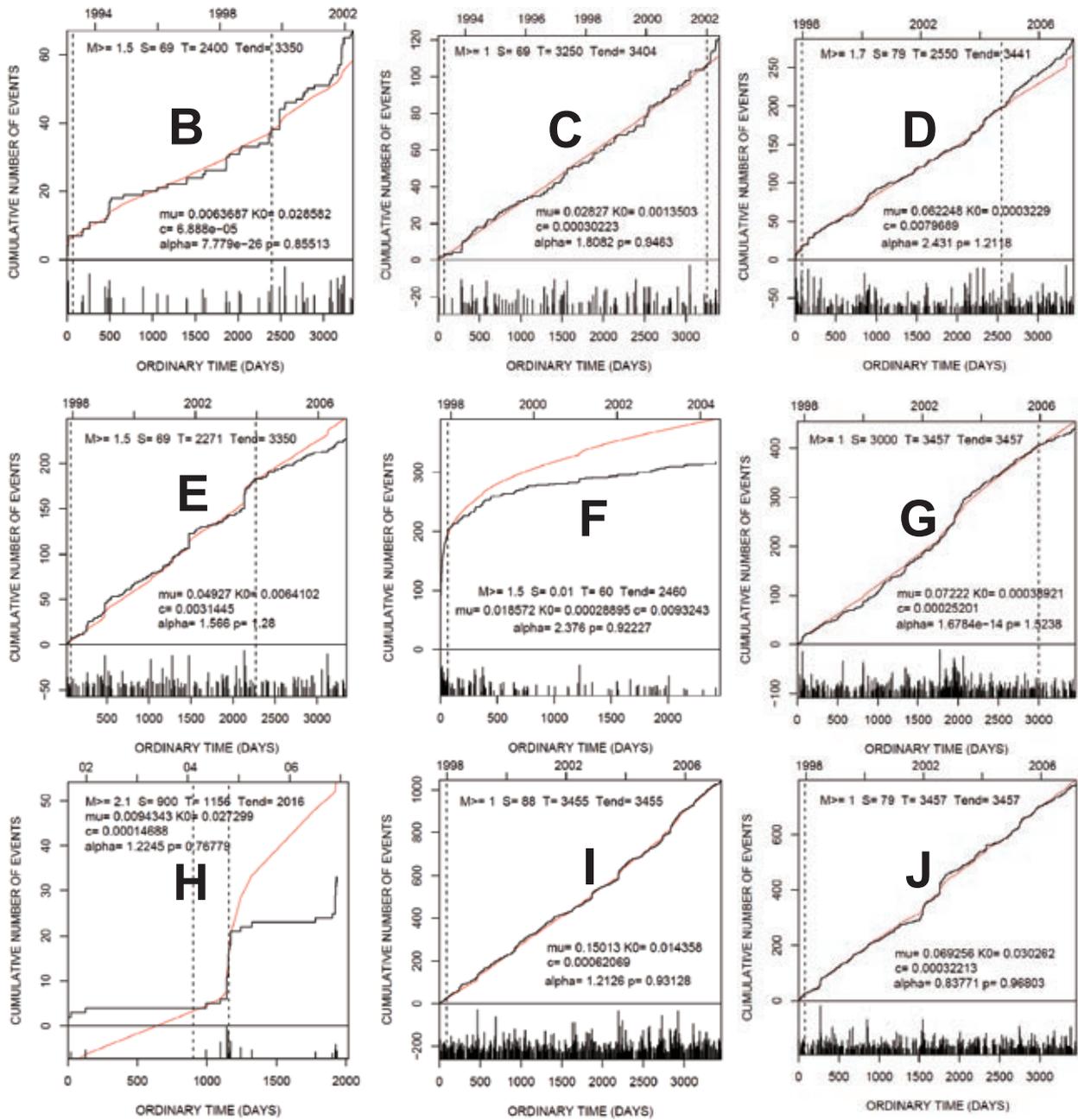
第1図 能登半島地震の余震活動の年4月8日までのMT図と累積関数。赤い累積曲線は本震後3月末までの余震データにETASモデルをあてはめて、残りの期間を予測した理論的累積曲線。横軸は左上図が通常的时间推移で、右上図がETASモデルによる変換時間。2段目、3段目は経度に投影した震央に対する通常時間(左)と変換時間(右)の時空間図。左下段図は4月6日のM4.7の余震のFnetメカニズム(207°, 29°, 99°)の前駆すべりを仮定したとき、受け手を本震と同じメカニズム(45°, 63°, 137°)を持つ断層群としたときの ΔCFS のパターン。

Fig.1 The cumulative number and magnitude of aftershocks of the sequence of events during the period from the mainshock through 8 April 2007 against the ordinary time (left) and transformed time (right). Red curves show theoretical cumulative curve calculated by the ETAS model. Space-time plots of aftershocks, where the vertical axis represents the coordinate of projected to the longitude axis, and the horizontal axes represent the ordinary and transformed time as indicated in the top diagrams. The bottom left panel shows the ΔCFS pattern of the receiver faults of the same angle as the mainshock assuming the precursory slip of the M4.7 aftershock on 6 April which has the mechanism (207°, 29°, 99°) according to the F-net catalog.

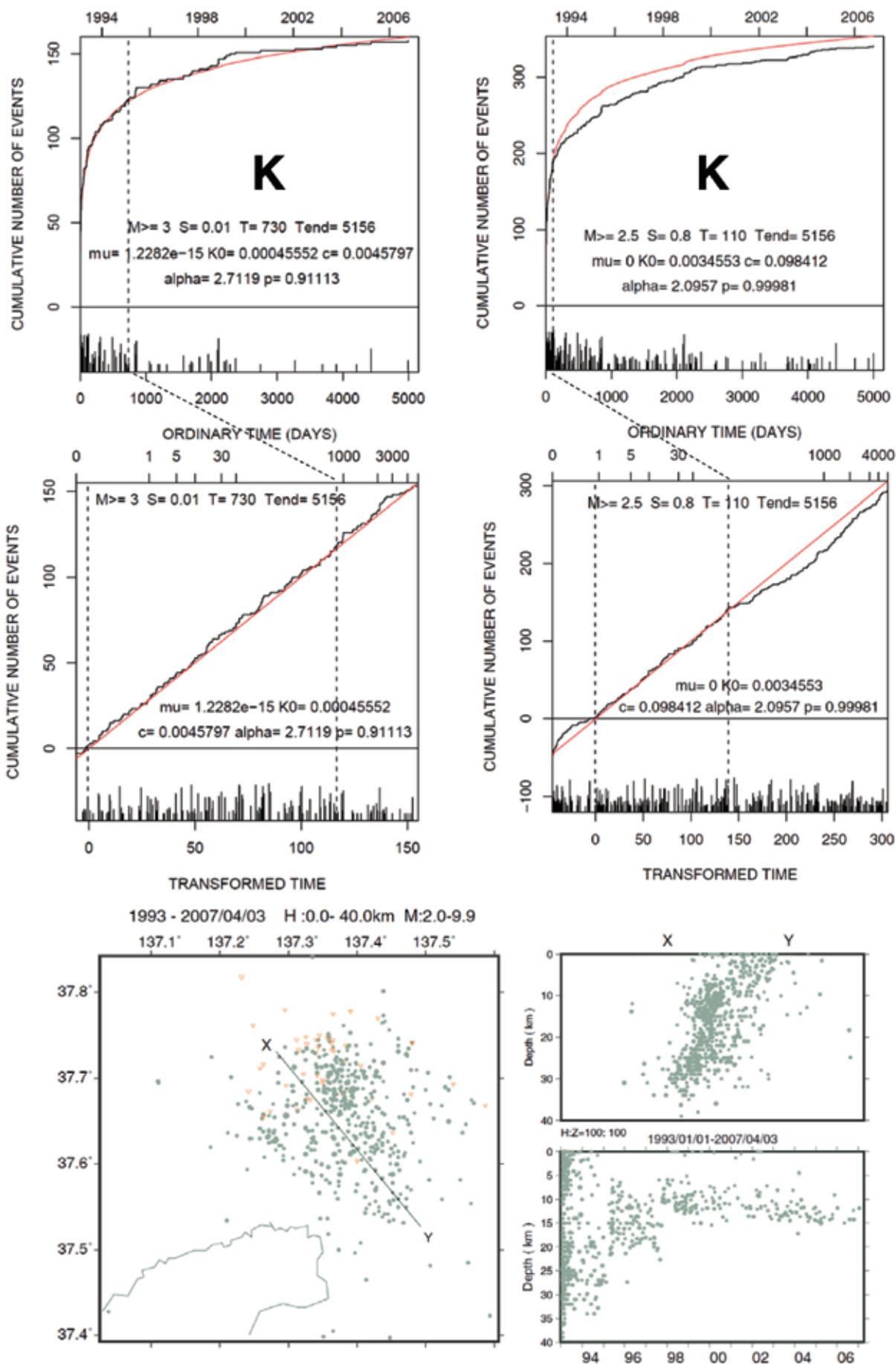


第2図 1997年10月から2007年3月24日までの地震 ($M \geq 1$) の震央と国土地理院の断層モデルに対して受け手の断層群として同じメカニズムを仮定したときの10kmの深さでの ΔCFS で赤い等高線の領域は正值、青い等高線の領域は負の値。矩形や多角形の領域の枠の色は、その領域内の地震活動を解析した結果（後続図B-K参照）、赤が活発化、青が静穏化、灰色が順調な推移を示し、実線は変化が有意であったが、点線は有意性を確認できなかったものを示す。後続図B-Kは各領域の地震活動のMT図と累積曲線で赤い曲線は縦の点線で挟まれた区間で推定されたETASモデルで計算された理論的累積値で先の時間へ外延（予測）したもの。K図は1993年能登半島沖の地震の余震の震源図と深さ対時間経過をプロットした。

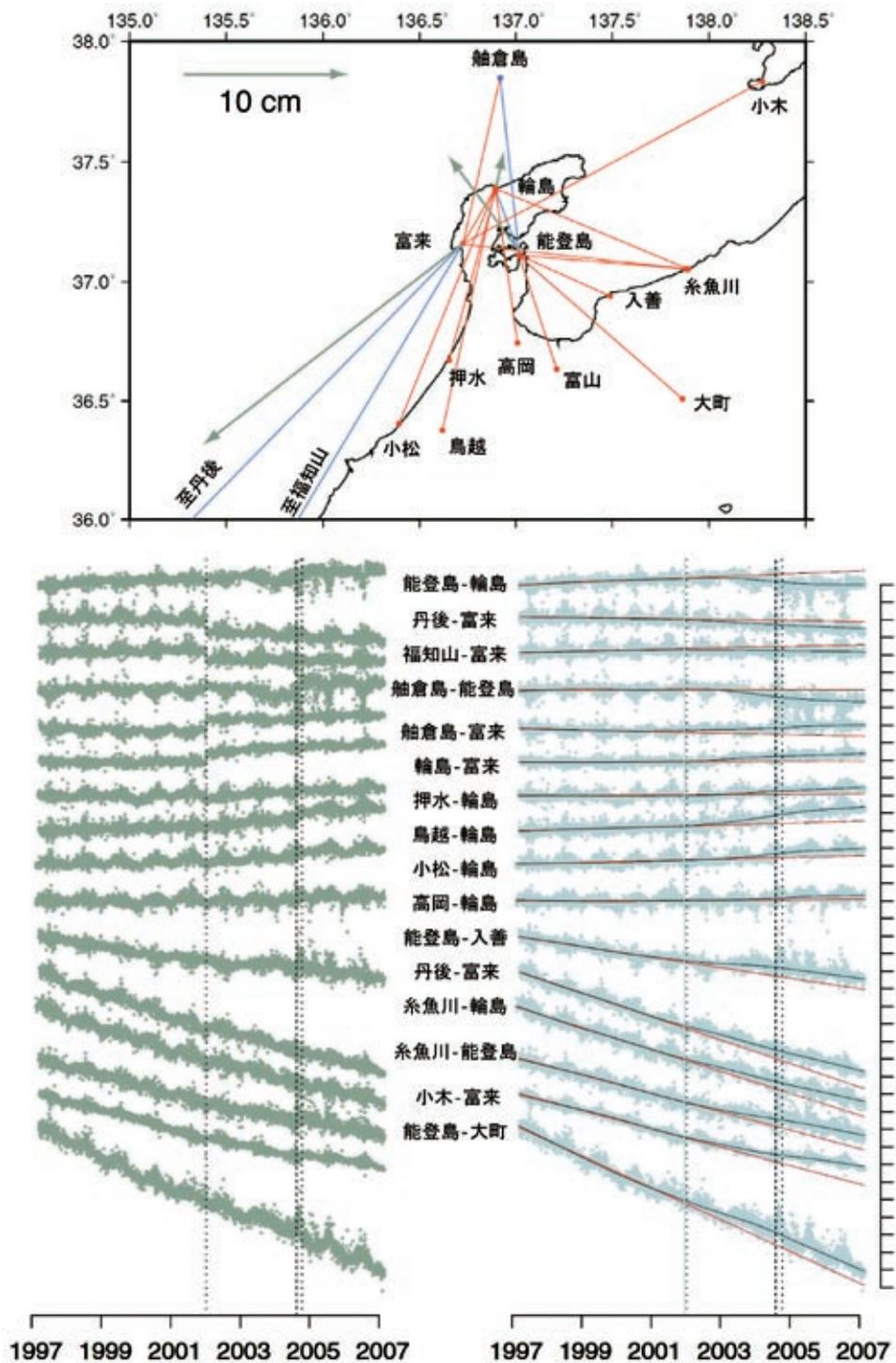
Fig.2 The top panel shows the epicenters of earthquakes with $M \geq 1$ during the period from October 1997 through 24 March 2007, and ΔCFS pattern (10km depth) of the receiver faults with the same angles as the mainshock fault model by the GSI of Japan. Regions of red and blue contours show positive and negative ΔCFS values, respectively. The red, blue and gray color of the boundary of the polygonal regions B-K indicate activation, quiescence and as predicted relative to the extrapolated cumulative curve of the ETAS model (the red curve), where the ETAS model is applied to the sequence of earthquakes in the first period indicated by the two vertical dotted lines in the subsequent panels B-K. The solid and dotted boundaries of the polygonal regions indicate significant change of the seismicity and others, respectively. The K zone stands for the aftershocks of the 1993 Noto Peninsula earthquake, where the diagrams of hypocenters and depth vs time are provided in the subsequent diagram.



第2図 つづき
Fig.2 Continued



第2図 つづき
 Fig.2 Continued



第3図 能登半島地震断層周りの GEONET の基線間距離の時系列。左列が原時系列で、3本の縦の点線は富来観測点と他の観測点との基線におけるジャンプ、2004年紀伊半島沖の地震や中越地震に伴うずれの可能性を示す。右列はそれらのジャンプがあればこれらを補正した時系列である。上段の図の矢印は地理院が与えたコサイスミックな水平変動(1)。基線間時系列の滑らかな曲線が季節性を取り除いたもので、1997年から2001年まで直線で当てはめ、その先を予測した(赤直線)。上の地図にある基線の色は赤が減速、青が加速である。

Fig.3 The examined geodetic base-lines between the GEONET GPS stations around the rupture source (top panel). Gray arrows show the horizontal coseismic displacements of the GEONET stations by the GSI. The time series in the bottom left show the original daily time series records of each base-line distance between the stations indicated in the top panel, and the three dotted vertical lines shows jumps due to the receiver replacement and coseismic displacement of the 2004 Kii Peninsula Earthquake and 2004 Chuetsu Earthquake, respectively. The bottom right diagram shows time series that are offset these jumps, associated with the fitted straight line during the period from 1997 through 2001. The blue smooth curve in the bottom right panel shows the average within 365 days' moving window. The blue and red colors of the baselines on the top diagram show the deceleration and acceleration with the stressing anomaly, respectively, according to the residuals in the bottom panel.