

## 2 - 7 2003年十勝沖地震 (M8.0) 前後の北日本における地震活動の特徴について Seismicity changes and stress changes in and around the northern Japan relating to the 2003 Tokachi earthquake of M8.0

統計数理研究所

Institute of Statistical Mathematics

### 1. はじめに

2003年9月26日の十勝沖地震 (M8.0) は、1952年の十勝沖地震 (M8.1) のときと比べものにならない大量の観測データが得られ、地震時や余効の地殻変動や詳しい断層モデルなど、様々に地震の像がはっきりしてきた。しかし、これほどの巨大地震にも拘らず、明瞭な前駆的な地震活動異常や測地学的異常の報告が見られていない。震源データについては1990年代後半より一元化処理などの検知網と観測データの画期的な充実が相次ぎ、地震検知率が急激に変わっているので長中期間に渡る微小地震の活動解析は容易でない。しかし、ETASモデルによれば1993年北海道南西沖地震の余震の静穏化などの相対的な地震活動変化が1996年に顕著に見られるようである。十勝沖地震の地震前すべりのストレス変化との関係で説明する。また、地震時のストレス変化と各地域の活動変化を説明する。

### 2. 地震時の震源域周辺部における歪変化と地震活動変化

十勝沖地震の後、阿寒、摩周、足寄町などの火山フロント沿い(第1図、B地域、左下図)に浅い活動が活発化した。国土地理院の断層モデルに対して受け手のメカニズムとして、この地域の震源分布から推定される走行の垂直横ずれ型を仮定すると、十勝沖のすべりによりクーロン破壊数(CFF)が数パーセント増加している部分で活発化が起こったと考えられる。他方、その西側境界142.8度付近の活発な活動が静穏化(左上向き矢印参照)している。また、2003年5月に東側の境界(144度付近)での活動はいったん静穏化するが、A地域ではこれに対応して活発化している(縦点線および上向き矢印参照)。

次に、日高南部・浦河沖の3次元的な地震活動に特徴的な変化が見られる(第2図)。まず浦河付近の深さ0~20kmの地殻浅発地震活動が活発化し(第1図C地域も参照)、深さ20~45kmでは静穏化し、45km以深は活発化している。これらの現象を説明できるものとして、いわゆる日高衝突帯モデル(例えば、宇津<sup>1)</sup>参照)が考えられる。これによると20~45kmでは東北日本の地殻が日高山脈の下に潜り込むため北東傾斜の逆断層が卓越し( $\Delta CFF = -1 \sim -5$ bars)、その上部では南西-東北圧縮strike-slip( $\Delta CFF = +2 \sim +5$ bars)が考えられる。45km以深は十勝沖地震の断層の延長にある沈み込み太平洋プレートと北米プレートの境界逆断層型メカニズムで $+5 \sim +10$ bars前後のCFFの増加が見込まれる。

十勝沖地震の20分後に宮城県北部地震の余震域にM2.9の発震など9月26日中に14個の二次余震が検知された(第3図)。これが静的トリガリングならば $\Delta CFF = +5$ milli-barsで誘発されたことになる。一方、2004年宮城県沖(M7.0)の余震域では顕著な誘発が見られなかった。そこでの $\Delta CFF$ の符号は中立である。

### 3. 北日本における前駆的地震活動の静穏化・活発化とストレス変化

ここで言う北日本とは北緯39度以北46度以南の北海道・東北地方およびその東方と西方の海域

を含む広域を言う。改定マグニチュードの気象庁カタログで 1926 年から 2003 年までの M5 以上の地震を ETAS モデルで解析すると、1952 年、1968 年および今回の十勝沖地震前の 10 年間ほどの相対的な静穏化が見られる（第 4 図）。

一元化データで北日本を ETAS モデルで解析すると、（1）1993 年北海道南西沖地震の余震活動が 1996 年に顕著に低下（相対的静穏化）している（第 5 図上図、第 6 図）。十勝沖地震震源断層<sup>2)</sup> またはその深部で、本震より一桁小さい規模の先駆的滑り（第 7 図）を仮定する。さらに受け手の断層メカニズムとして東西圧縮逆断層（摩擦係数 0.4, dip 角 = 34 度）を仮定すると、北海道南西沖の余震域では -50 ミリバール程度の stress-shadow に入る。さらに、 $\Delta CFF$  の値としてはもう一桁小さくなるが、stress-shadow は 1983 年日本海中部地震の余震域の大半をも含む。（2）実際そこでは活動が 1996 年の同時期に低下している（第 5 図下三図）。

同時に、この前駆的滑りから、東北地方内陸部や東北沖プレート境界型の断層メカニズムの受け手としては  $CFF$  が増加する（前者は第 7 図参照、後者は省略）。（3）これに対応する東北地方内陸部の地震活動の相対的活発化が ETAS モデルで示される（第 8 図）。（4）1994 年三陸はるか沖の余震活動に相対的活発化が見られる（第 9 図）。さらに、（5）JMA のメカニズム頻度変化によると 1996 年を境に負の  $\Delta CFF$  の地震の割合が減って、小さい正の  $\Delta CFF$  の地震の割合が顕著に増えている<sup>3)</sup>。総じて、1996 年の夏から秋にかけて十勝沖地震の比較的大きな非地震性すべりがあったと考えても矛盾しない。

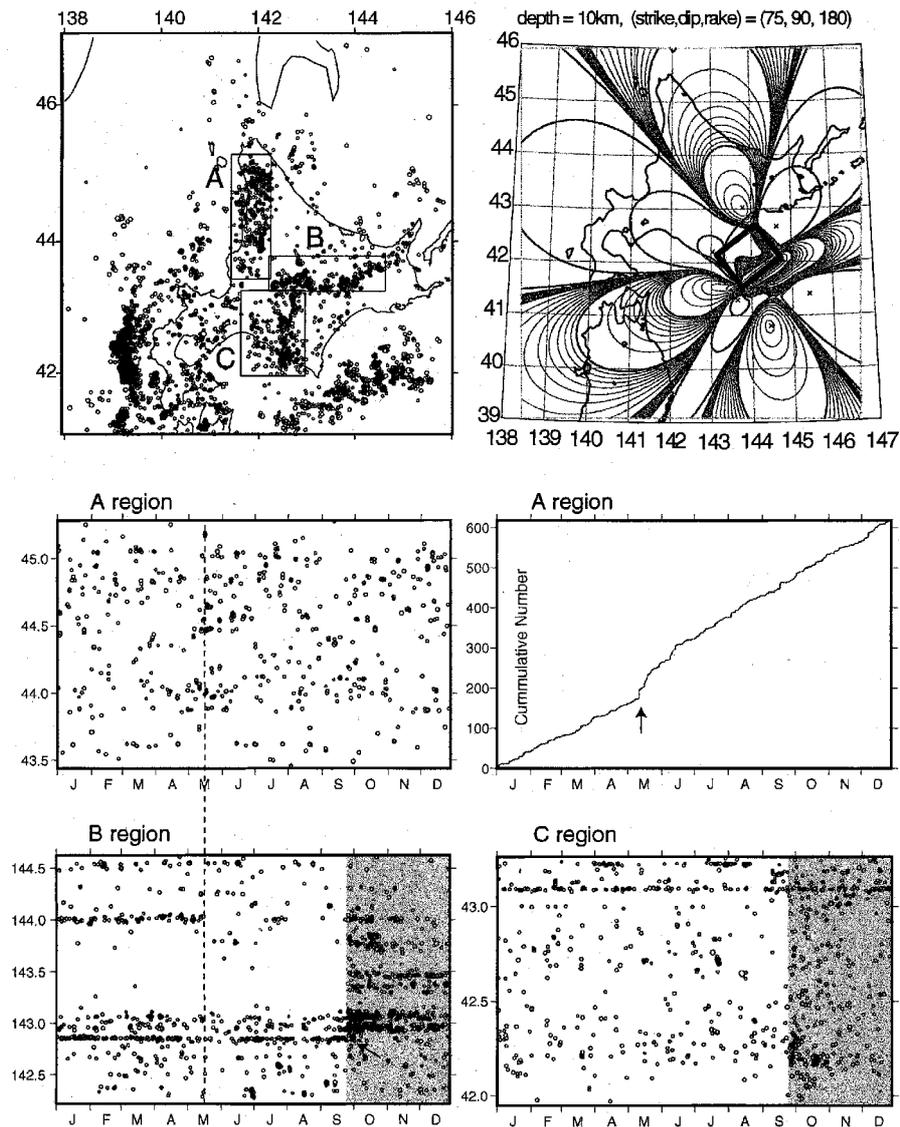
本解析にかんして TSEIS と MICAP-G を使用した。

（尾形良彦）

#### 参考文献

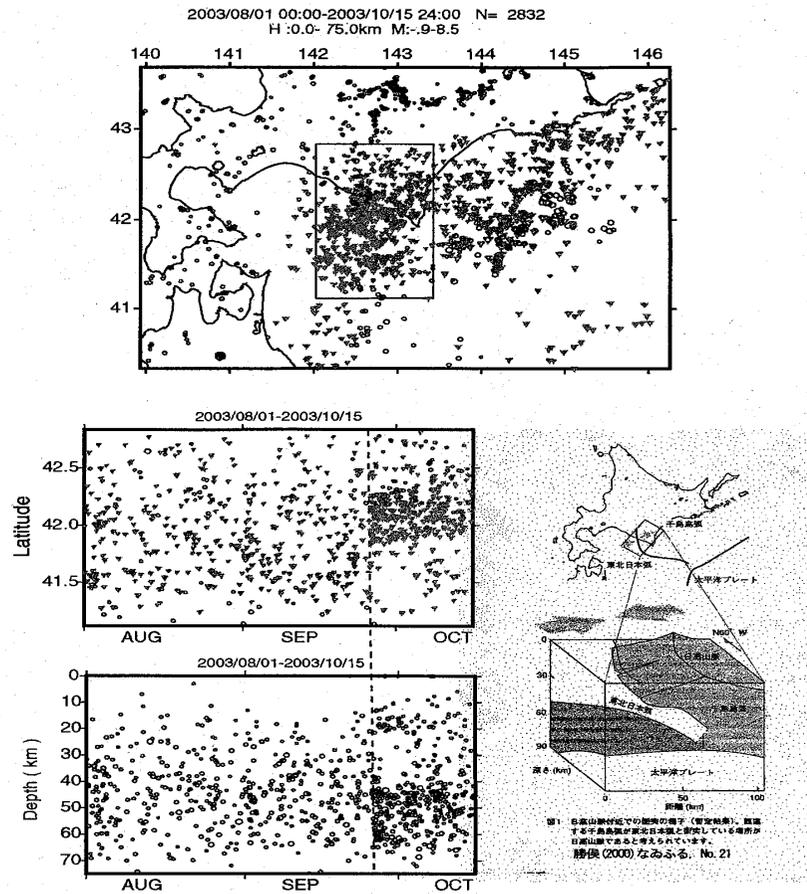
- 1) 宇津徳治, **地震学総説**, 16.2.2 節, 東京大学出版会, (1999).
- 2) 国土地理院, 連絡会報 71 巻 (2004), 26 頁.
- 3) 尾形良彦, (第 156 回, 別報告), 連絡会報 72 巻 (2004).

2003/01/01 00:00-2003/12/27 24:00 N= 8298  
 H:0.0-25.0km M:-9-8.5



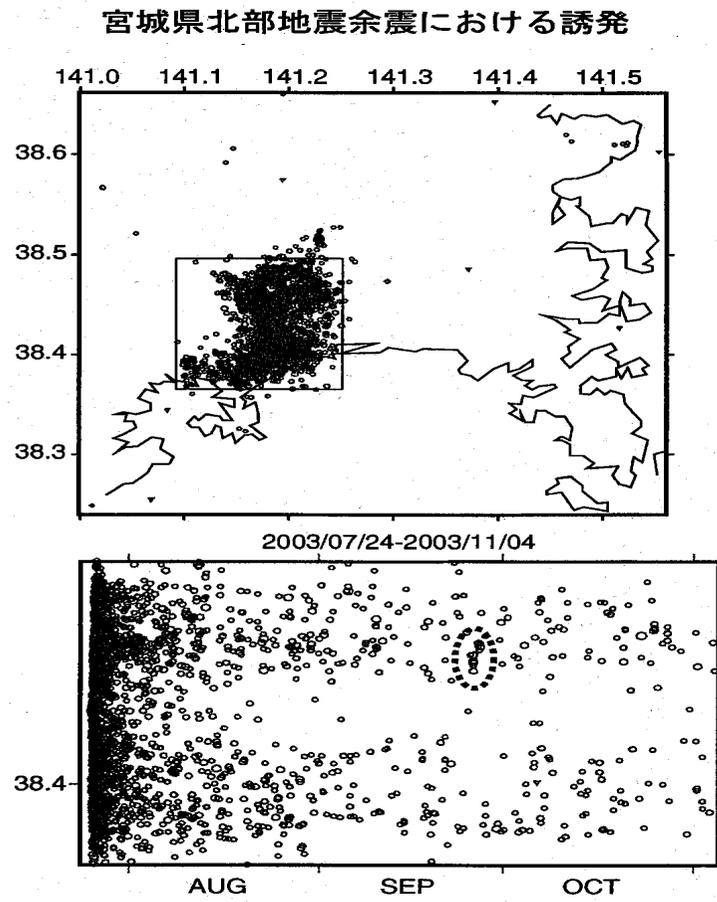
第1図 左上図：2003年に検出された浅い地震（深さ $\leq 25\text{km}$ ）。右上図：地理院の断層モデル<sup>2)</sup>で、10kmの深さの受け手のメカニズムが $\text{N}75^\circ\text{E}$ 走行方向の右ずれstrike-slipを仮定した $\Delta\text{CFF}$ （等高線幅の狭いほうが正の領域、そうでない方が負）。左中図：A地域での地震の時空間分布。右中図：A地域での地震の累積関数。左下図：B地域での地震の時空間分布。右下図：C地域での地震の時空間分布。

Fig. 1. Top left panel: shallow events detected through 2003 (depth  $\leq 25\text{km}$ ). Top right: spatial pattern of  $\Delta\text{CFF}$  for the receiver faults with  $\text{N}75^\circ\text{E}$  right lateral strike-slip at the depth of 10km and the slip model by the GPS data<sup>2)</sup>. Regions of narrower contour interval stand for those of positive  $\Delta\text{CFF}$  values, otherwise stress shadow. Middle left: space (latitude)-time plot of the events in region A. Middle right: cumulative function of time for the events in region A. Bottom left: space (longitude)-time plot of the events in region B. Conspicuous coseismic triggering of activation is seen as well as the quiescence (indicated by the arrow in the space-time panel). Also, the vertical dotted line shows the onset of the quiescence that appears synchronize the activation onset in the region A. Bottom right: space (latitude)-time plot of the events in region C.



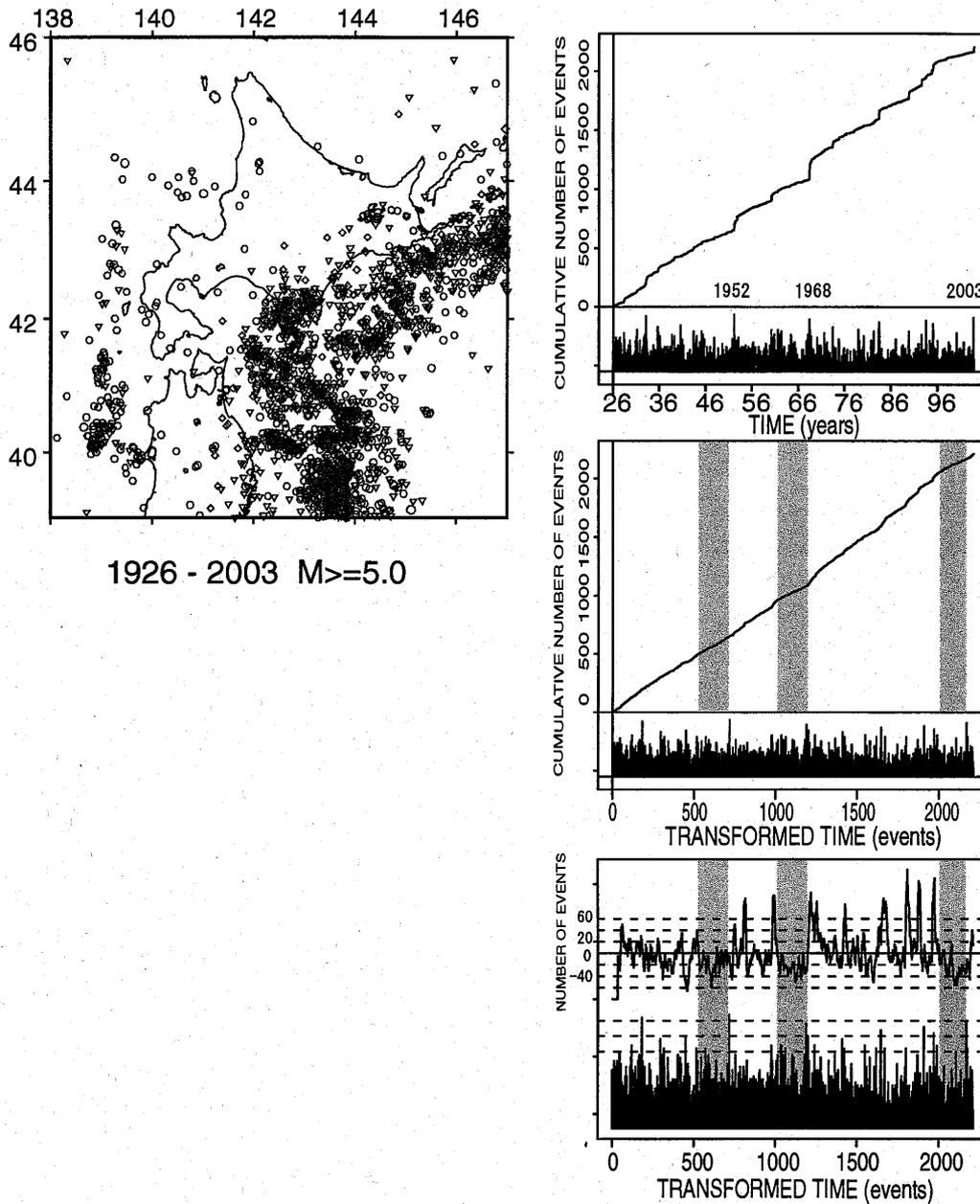
第 2 図 日高南部・浦河沖の地震時の 3 次元的な活動変化の時空間図 (時期は 2003 年 8 月 ~ 11 月 15 日)

Fig. 2. Space-time plots of the coseismic triggering of contrasting seismicity changes in the southern Hidaka and off the coast of Urakawa.



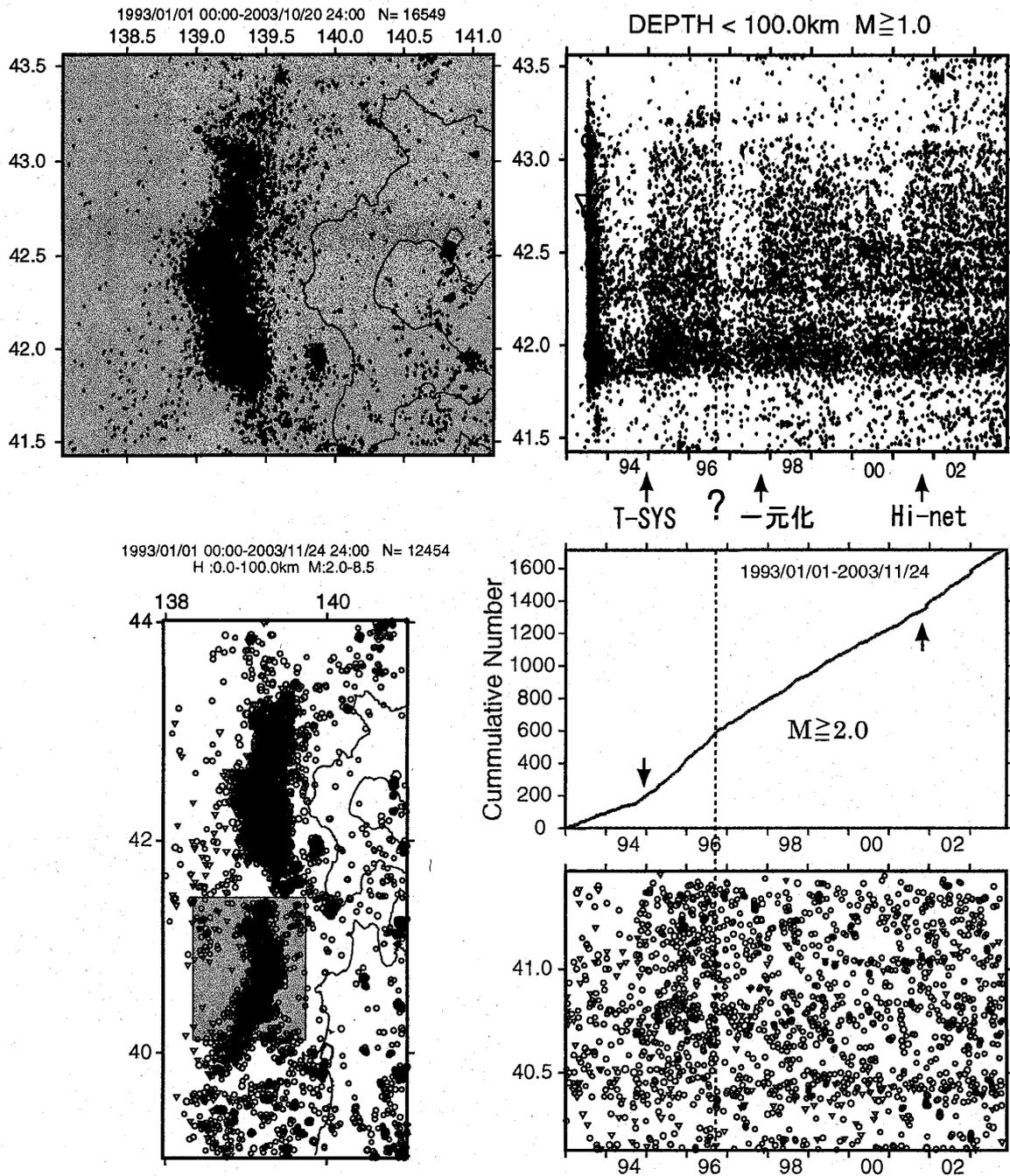
第 3 図 十勝沖地震の宮城県北部余震活動に対する誘発。

Fig. 3. Triggered events by the 2004 Tokachi-Oki earthquake of M8.0, in the aftershock activity of the 2004 Miyagi-Ken Northern earthquake of M6.2.



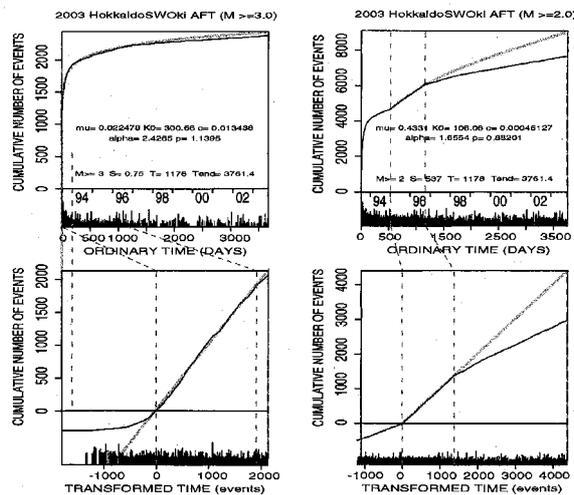
第 4 図 ETAS 解析による気象庁カタログの改定マグニチュード  $M5$  以上の地震長期活動。左側図：震央図。右側図：上から順に，1926-2003 年における累積地震数の通常の時間に関する経過と MT 図，ETAS モデルによる変換時間に関する累積地震数と MT 図，及び変換時間において一定の区間の地震数の推移である。1952 年，1968 年そして今回の 2003 年十勝沖地震のそれぞれの凡そ 10 年間（網掛けの区間）において相対的静穏化が見られる。

Fig. 4 Activity of earthquakes with  $M5$  or larger for the period 1926-2003. Left: epicenters. Right panels: cumulative number of the events and magnitudes against the ordinary time (top), cumulative number of the events and magnitudes against the transformed time by the fitted ETAS model (middle), and time series of number of events in the interval shifting along the transformed time (bottom). The relative quiescence is indicated during the shaded intervals ranging about 10 years preceding the 1952, 1968 and 2004 great Tokachi earthquakes.



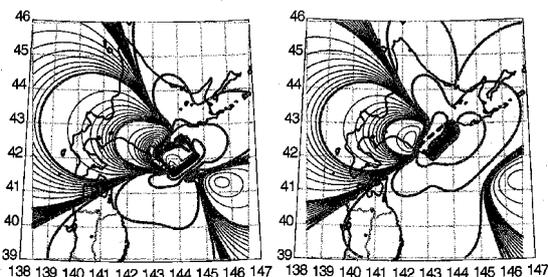
第 5 図 1993 年北海道南西沖地震の余震と周辺部の地震 ( $M \geq 1.0$ ), および 1983 年日本海中部地震の余震域 (網掛け矩形領域) で検出された  $M \geq 2.0$  以上の地震。左上下図: 震央図。右上下図: 時空間 (緯度) 分布。右中図は日本海中部地震の余震の 1993 年からの累積数。検知網の性能向上が相次ぎ, 検知率が急激に変わっている。矢印は, 札幌管区で津波警報システムの開始 (1995 年), 大学などの観測点との一元化 (1997 年 10 月), Hi-net の観測点を使用 (2001 年 10 月) ごとに検知率が向上している。点線は 1996 年の活動低下の変化時間を示す。

Fig.5 Detected  $M \geq 1.0$  events in the aftershock region of 1993 Hokkaido-Nansei-Oki earthquake of  $M7.8$ , and  $M \geq 2.0$  events in the aftershock region of the 1984 Akita-Oki earthquake of  $M7.8$ . Top left and bottom left: epicenters. Top right and bottom right: Space (latitude) versus time plot. The middle right: cumulative number of events corresponding to the bottom space-time plot. Arrows show the known drastic changes of detection rate, while the vertical dotted line indicates the change-point of seismicity lowering during 1996.



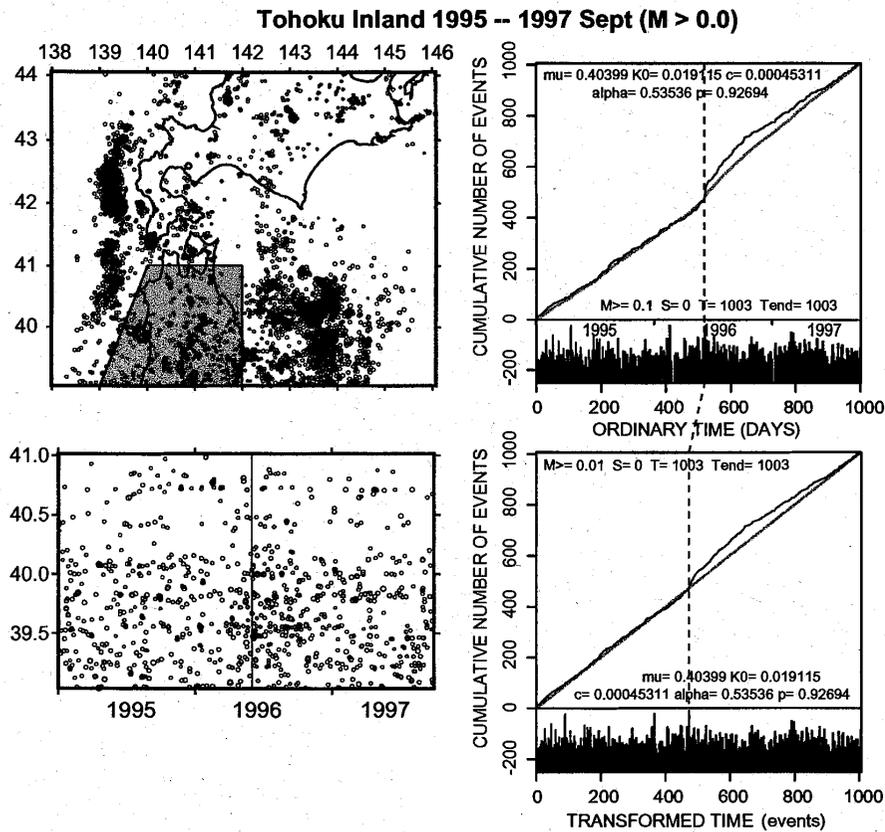
第 6 図 左上図：下限 M 3.0 の余震の累積曲線と MT 図。1996 年の 7 月ごろから ETAS 予測（灰色曲線）に比べて静穏化している。左下図：同じ内容を変換時刻に関して示した。右側上下図：下限マグニチュード M2.0 の余震の累積曲線と MT 図。ただし、データの不均質性のため ETAS モデルの当てはめのターゲット区間は 1995 年以降。

Fig. 6. Top left panel shows cumulative number of the aftershocks with M3.0 or larger, and the magnitude versus time plots. The grey curve shows the theoretical number of the aftershocks predicted by the ETAS model. The cumulative function of the actual seismicity deviates downwards from the predicted at July 1996. The bottom left panel shows the equal view, in which the time is transformed by the predicted cumulative curve so that the transformed occurrence times become uniformly distributed if the model is correct. The top right and bottom right panels show similar figures for the events of  $M \geq 2.0$  and show clearer quiescence although the fitted period is from 1995 owing to the incompleteness of the event data.



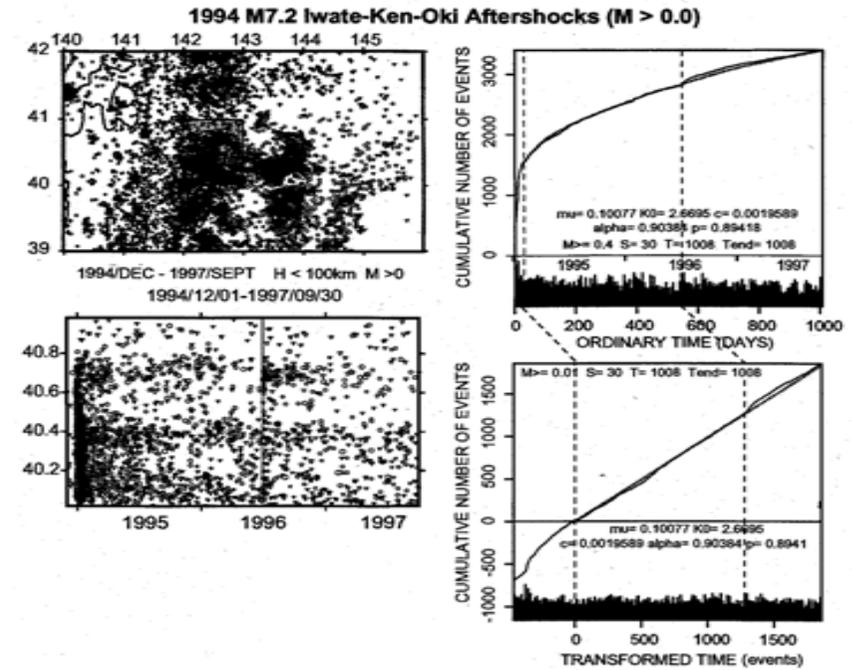
第 7 図 十勝沖地震の断層<sup>2)</sup>内（左図），または深部（右図）での先駆的すべり（本震の一桁小さいすべり規模～50 cm）に対する、受け手の発震メカニズムとして東西圧縮逆断層（摩擦係数 0.4, dip 角= 34 度）の  $\Delta CFF$  パターン。1993 年北海道南西沖地震や 1983 年日本海中部地震の余震域は stress-shadow に入り -5 ~ -50 millibars の  $\Delta CFF$  が期待される。

Fig.7 Top two panels show  $\Delta CFF$  patterns of E-W compressive thrust type mechanism (friction coefficient = 0.4, dip angle =  $34^\circ$ ) transferred from the precursory slip within the M8 Tokachi-oki seismic source<sup>2)</sup> (left panel) or on the subduction interface in an area deeper than the source (right panel). In the aftershock areas of the 1993 Hokkaido-Nansei-Oki earthquake of M7.7 and the 1995 Akita-Ken-oki earthquake of M7.7,  $\Delta CFF = -5 \sim -50$  millibars is expected if the slip size is 10% as small as the slip of the main rupture<sup>2)</sup>, say, ~50cm slip.



第 8 図 東北内陸部の地震の相対的活発化 (ETAS 予測比)。すべりモデルと受け手の断層メカニズムは第 7 図の場合と同じで、深さ 15km における  $\Delta CFF$  は +3 ~ +30 ミリバール。

Fig. 8. The activation of seismicity relative to the predicted rate by the ETAS model in shallow Tohoku inland region where the CFF increases by +3 ~ +30 millibars at 15km depth under the same settings as in Figure 7.



第 9 図 1994 年三陸はるか沖地震の最大余震、1995 年岩手県沖地震 (M7.0)、の (二次) 余震の相対的活発化 (ETAS 予測比)。すべりモデルは第 7 図の場合と同じで、受け手がプレート境界スラスト型メカニズムでの CFF 増加域 ( $\Delta CFF = +5 \sim +15$  ミリバール) になっている。

Fig. 9. Aftershocks of the 1995 Iwate-ken-oki earthquake of M7.0, the largest aftershock of the 1994 Sanrik-Haruka-oki earthquake. The activation relative to the predicted rate by the ETAS model took place during 1996, where the CFF increases by +5 ~ +15 millibars assuming the same precursory slip and the thrust type receiver faults with the similar dip and rake angles to the subducting Pacific plate.