

9-4 1997年豊後水道ゆっくりイベント

1997 slow thrust slip event occurred beneath the Bungo Channel, southwest Japan

名古屋大学大学院理学研究科

Graduate school of science, Nagoya University

国土地理院の全国GPS観測網（GEONET）によって、1997年に豊後水道域で約1年にもわたって進行していた「ゆっくり地震」（Slow Thrust Slip event; 以下STSイベントと呼ぶ）がとらえられた²⁾。第1図は九州北部の前原観測点を基準点とする1996年4月からそれぞれ1年ごとの期間での年平均速度を示したものである。期間（I）と（III）では、南海トラフで沈み込むフィリピン海プレート（PH）と上盤側のアムールプレート（AM）との間の強いカップリングによる北西方向の動きが四国から九州北部にかけて見られる。ところが1997年4月からの1年間（期間II）には、四国西部と九州北東部の北西方向の速度が減速している。約1年間にわたりこのような減速が継続したのち、もとの速度が回復された（期間III）。豊後水道付近では期間（II）において定常状態とは反対方向の動きが現れていたことになる。これは豊後水道下のAM-PH間のカップリングが一時的に弱まったことを示唆している。

第2図-(a)に代表的な観測点位置の時間変化を示す。1996年10、12月の日向灘地震の震源に近い佐土原では地震時のステップ的変動とそれに引き続くアフタースリップ⁵⁾による変動が見られる。豊後水道をはさんで九州側の佐伯と四国側の御荘では、ゆっくりとした立ち上がりをもつ、1年間にもわたって続く変動が見える。第2図-(b)はこのゆっくりした変動（イベント成分： $F(t)$ ）のみを示す。 $F(t)$ は2次曲線と直線の組み合わせでモデル化し、各観測点の変位が $u(t)=F(t)+a+b*t+c*\sin(2*\pi*t/T_0)+d*\cos(2*\pi*t/T_0)$ と表されると仮定して各成分毎に求めた。すなわち、イベント成分 $F(t)$ は、第2図-(a)に例示する元のデータから定常運動、年周変化($T_0=1$ 年)、地震時のジャンプを取り除いたものである。なお、第8図-(a)には今回使用した全56点の観測点分布と、定常成分と年周成分を差し引いた $F(t)$ （第8図-(b)～第8図-(e)）を示した。

第2図-(b)に示したゆっくりイベントによる水平変動を地図上にプロットしたものを第3図-(a)に示す。また、その変位を説明する断層すべりモデル（面積60kmX60km）も同時に示している。

第3図-(b)には、推定断層位置の断面図を震源分布⁴⁾に重ねてプロットした。最大すべり量は18cm、地震モーメント $M_0=1.1*10^{19}\text{Nm}$ ($M_w=6.6$)と推定された。また、第4図は、豊後水道をはさんで四国側から九州側へのイベント成分を図示しており、イベントの開始時の移り変わりを示唆する。そこで、第2図-(b)や第4図に示したなめらかな曲線を入力データとして、仮定した断層面上（第3図-(a)）でのすべりの時間発展を15日間毎のすべり量分布として解析した（第5図）。このイベントは、まず1997年の始めに四国側（図の下側）から破壊が始まり、1997年7月ぐらいまでかけて領域の北側（右側）を東から西へ（下から上へ）伝播し、その後メインの破壊が領域の中央部に移り、徐々に西へ伝播したと考えられる。ただし、この変動の期間の前半は地表変位も小さく、暫定的な結果である。しかしながら、1997年7月頃から主要なSTSイベントが始まり、その破壊がその後半年近

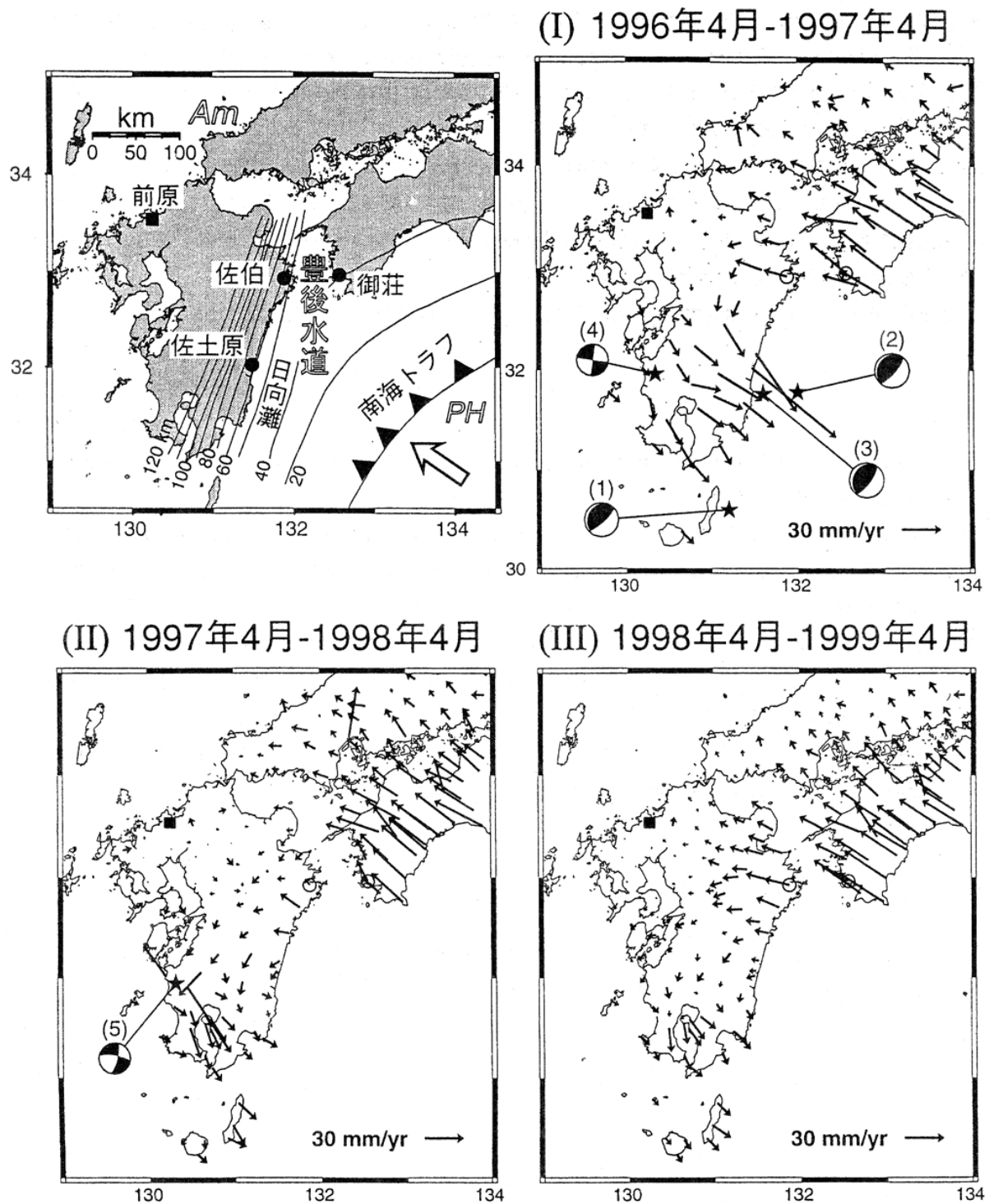
くをかけて、西に伝播していったことは確からしい。

第 6 図には、これまでに観測されているゆっくりイベントを、それらの特徴的継続時間と特徴的長さによってまとめた^{1),3)}。それぞれの文献での呼称に従い分類した。「地震」現象はその大きさの多様性が大きい、継続時間でも 6 けた以上の多様性があることがわかる。しかし、各イベントの特性がこの図だけで区別されるわけではない。第 7 図には、第 6 図上でほぼ同じところに位置する 1994 年三陸はるか沖地震のアフタースリップと豊後水道の STS イベントの地表変位の変化を示した。これがそのまま両イベントの震源時間関数を表すわけではないが、変位の立ち上がりと減速の部分が大きく異なることは注目すべきだろう。地震発生初期の震源核形成過程でもこれに類似した震源過程を持つかも知れない³⁾。このような準静的なすべりの伝播を観測的に研究することは、震源核形成過程の理解を得る上で重要であろう。

貴重な GPS データを取得され、ご提供いただいた国土地理院の方々に感謝いたします。

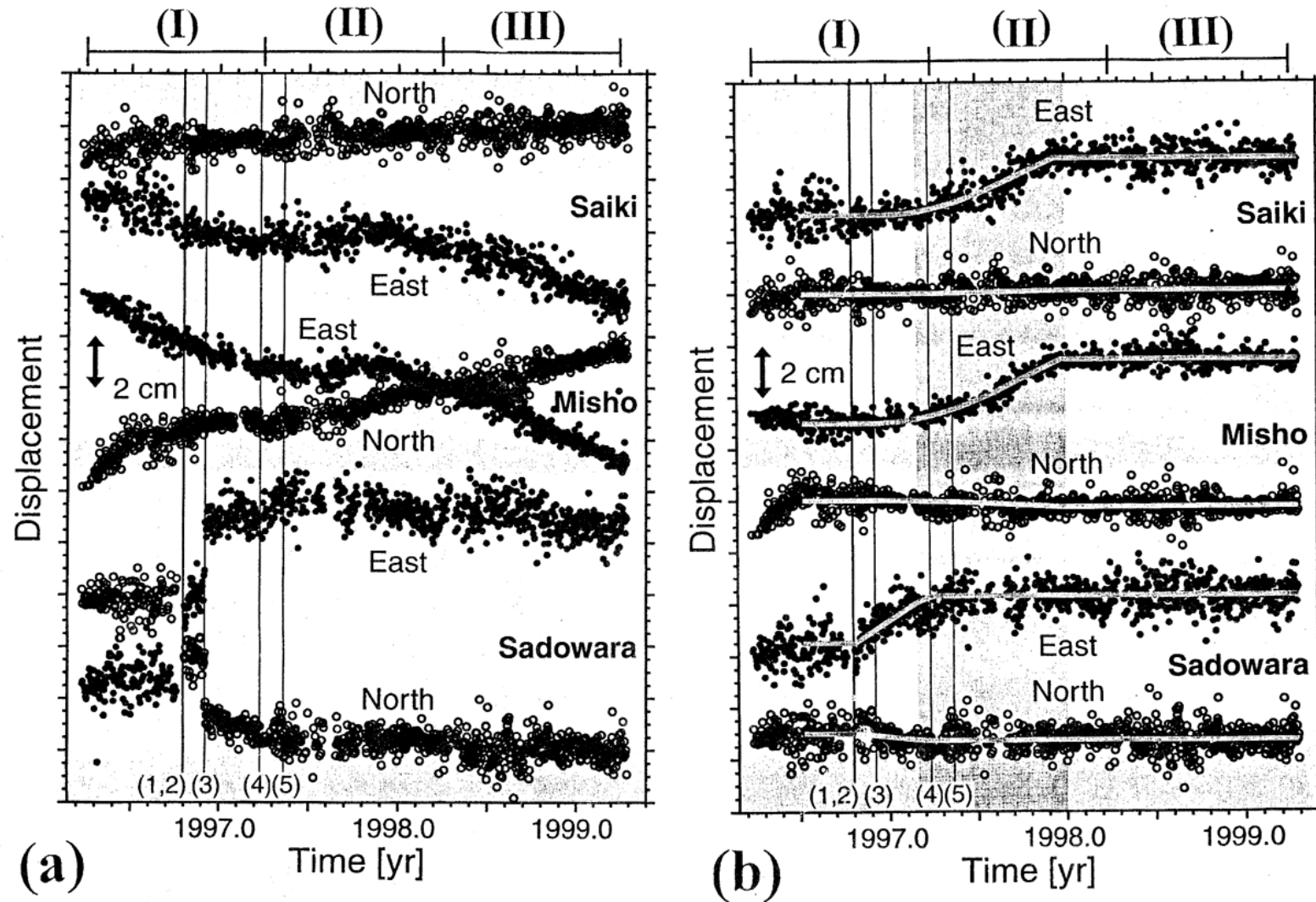
参 考 文 献

- 1) Beroza, G.C., and T.H. Jordan, Searching for slow and silent earthquakes using free oscillations, J. Geophys. Res., 95, 2485-2510, 1990.
- 2) Hirose, H., K. Hirahara, F. Kimata, N. Fujii, S. Miyazaki, A slow thrust slip event following the two 1996 Hyuganada earthquakes beneath the Bungo Channel, southwest Japan, Geophys. Res. Lett., 26, 3237-3240, 1999.
- 3) 廣瀬仁・平原和朗・宮崎真一, ゆっくり地震—地震像が変わる, 科学, 70, 200-206, 2000.
- 4) 大阪管区气象台, 近畿・中国・四国地方の地震活動 (1997 年 2 月-1997 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 58, 484-487, 1997.
- 5) 西村宗・安藤雅孝・宮崎真一, 南海トラフ沿いのプレート間カップリングと九州南部の南東向き運動について, 地震 2, 51, 443-456, 1999.



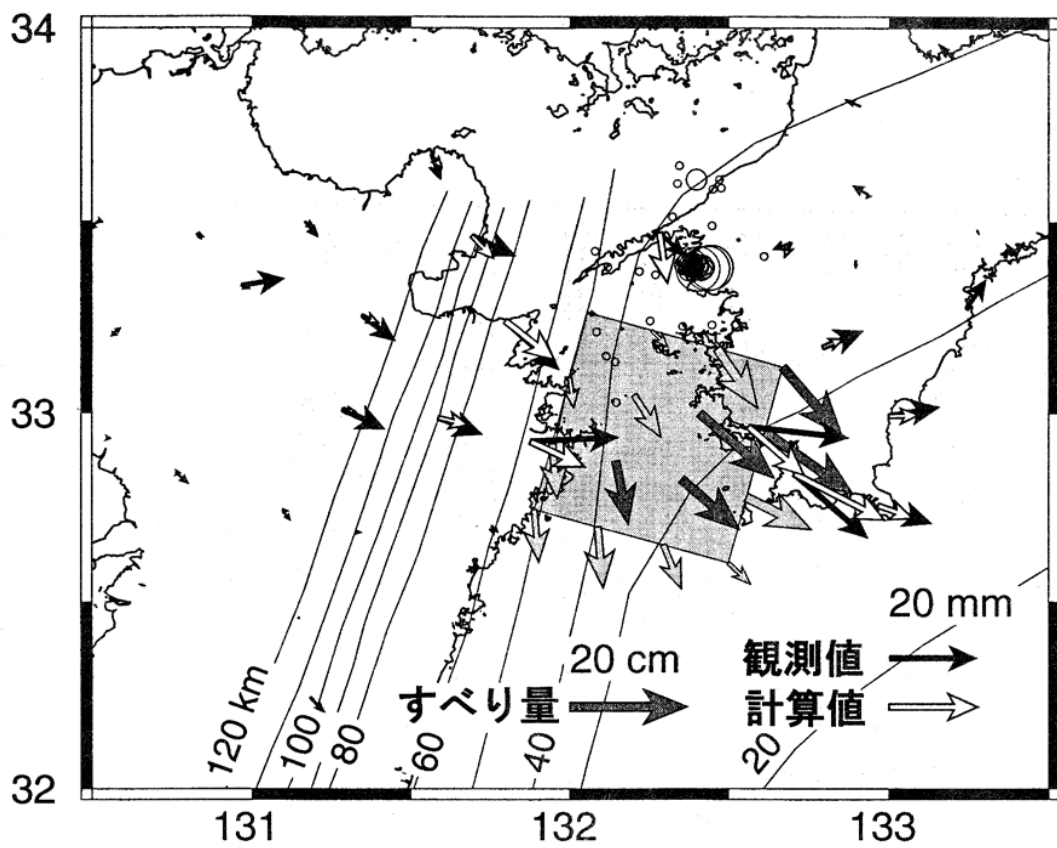
第1図 西南日本における GEONET による3年間の速度場の変化 (1996年4月-1999年4月)。前原観測点 (■) を基準点とした。それぞれの期間に発生した $M \geq 6$ の地震の震央とメカニズム (CMT 解) も示している。

Fig.1 Variation of horizontal velocity fields of southwest Japan for 3 years (Apr.1996 - Apr.1999). Reference station is Maebaru (denoted as ■).

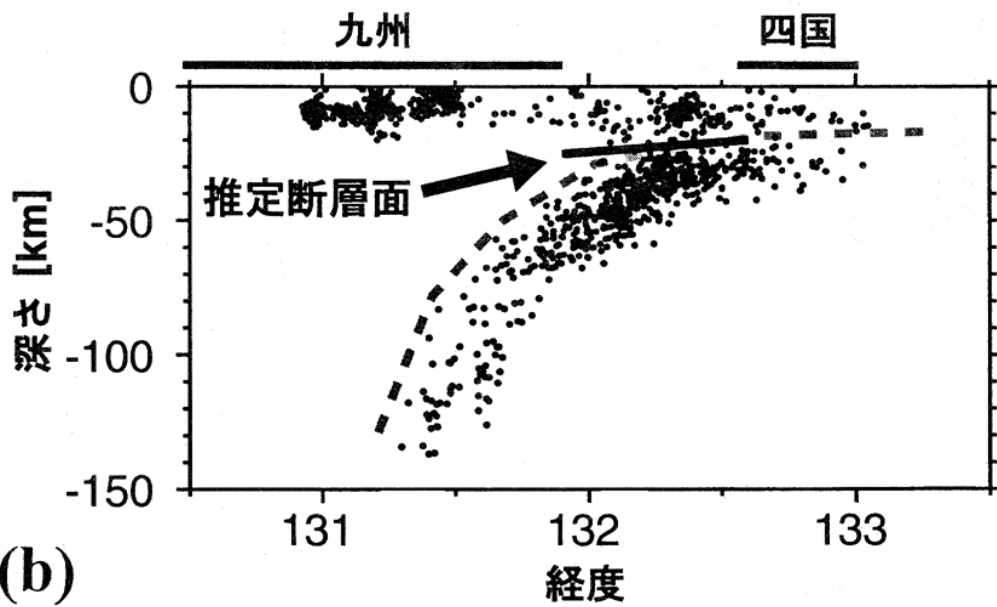


第2図 観測点水平位置の時間変化。(a)生データ, (b)定常・年周・地震時ステップを取り除いたゆっくりイベント成分を示す。縦線は第1図に示した地震の発生時刻を表している。

Fig.2 Horizontal position changes of 3 stations. (a)Original data, (b)slow event components after removing steady state motions, annual changes and coseismic steps. Vertical lines denote the origin times of the large earthquakes shown in Fig



(a)



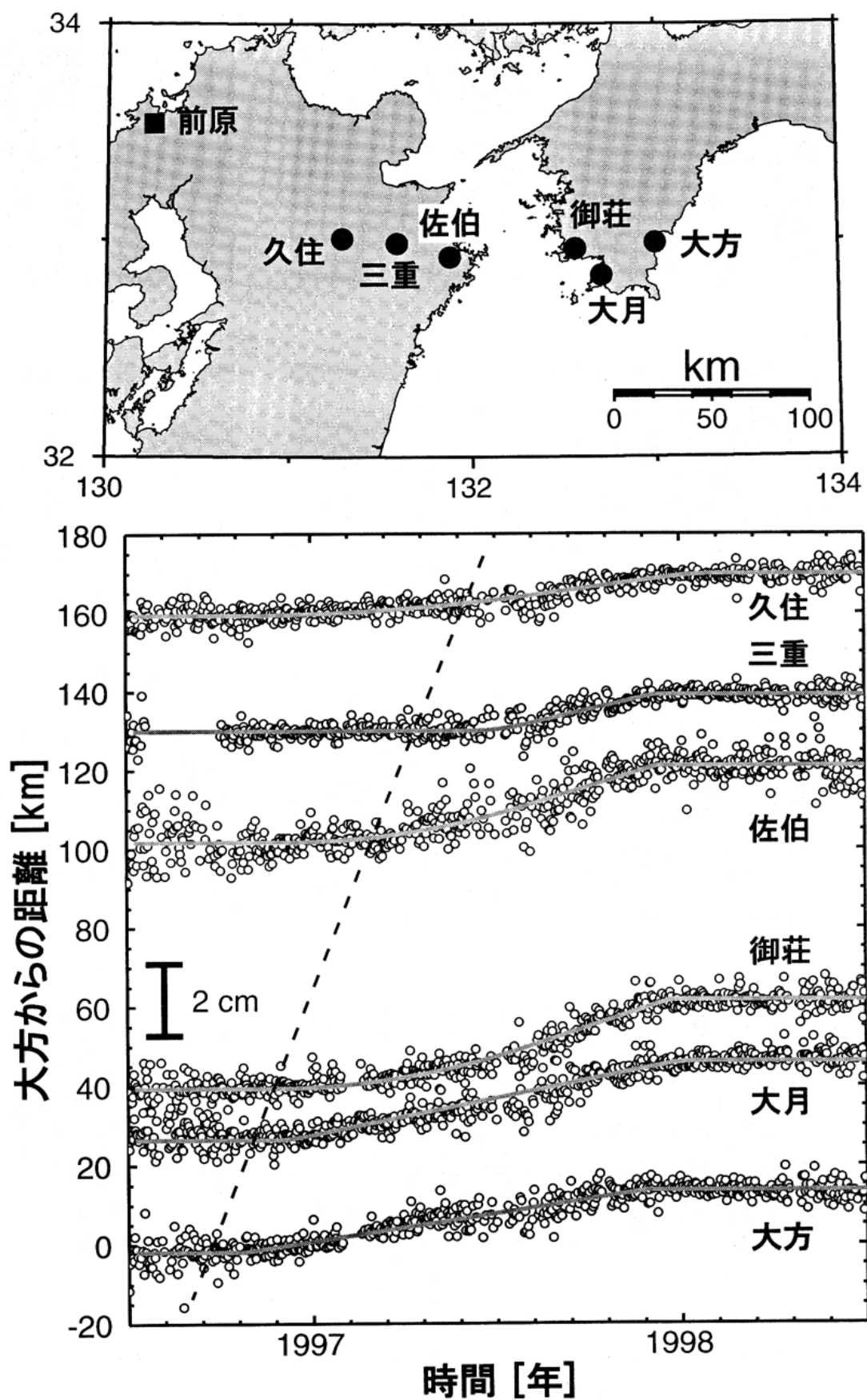
(b)

第3図 (a) ゆっくりイベントによる地表変位と推定された断層すべり分布。

(b) 微小地震の震源分布（気象庁）とゆっくりイベントの推定断層面の断面図。

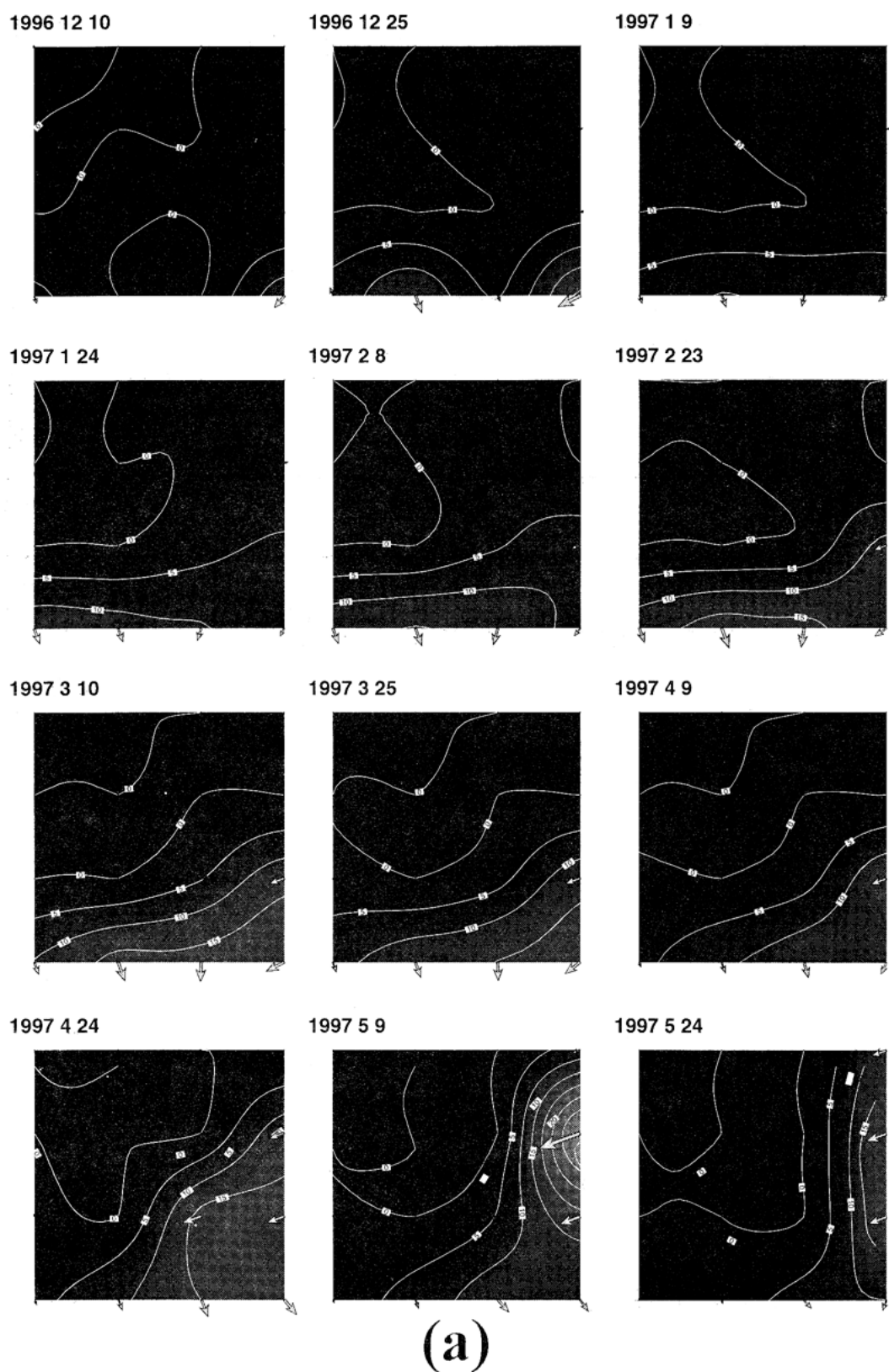
Fig.3 (a) Horizontal surface displacements due to the slow event and estimated fault slip distribution.

(b) Vertical profile of micro seismicity (JMA) and estimated fault depth of the slow event.



第4図 足摺岬から前原に至る GPS 観測点位置の時間変化（東成分）。断層面上ですべりが東から西へ伝播したことを反映している。

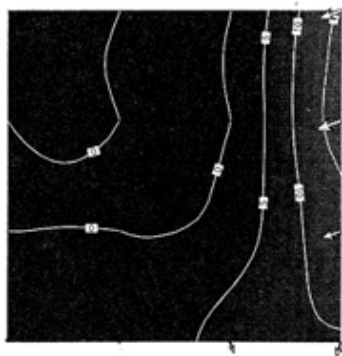
Fig.4 Time series of eastward position changes of GPS sites around the Bungo Channel.



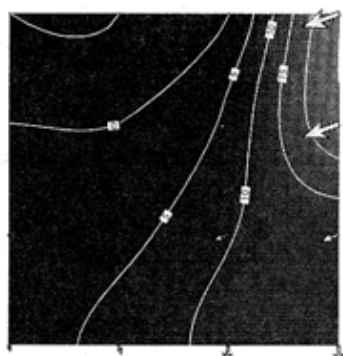
第5 図-(a) 仮定した断層面上でのすべりの時間発展。第3 図-a と同じ断層領域を示している。横軸が走向 (N15°E), 縦軸が傾斜 (N75°W) 方向である。左上に示した日付から 15 日間のすべりの進行を表している。

Fig.5-(a) Time variation of slow slip on the fault. The displayed areas are the same as the fault area shown in Fig.3a. The horizontal is on the strike direction (N15°E) and the vertical is on the dip direction (N75°W).

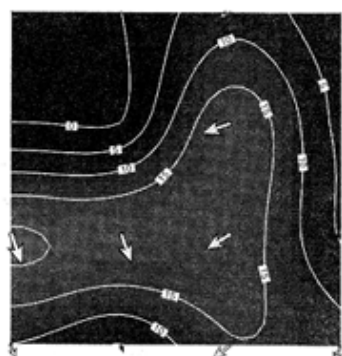
1997 6 8



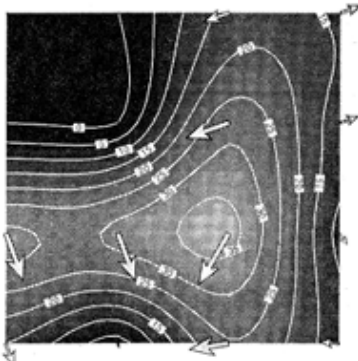
1997 6 23



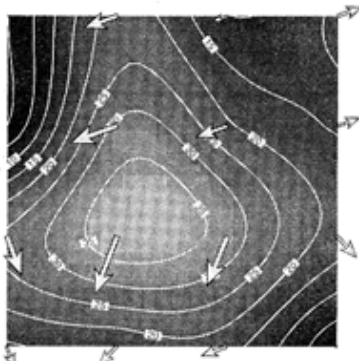
1997 7 8



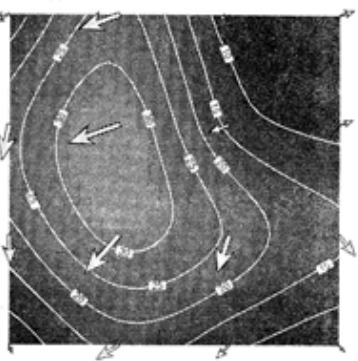
1997 7 23



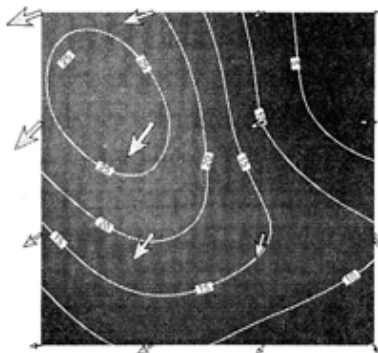
1997 8 7



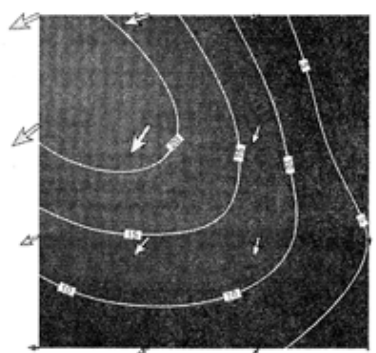
1997 8 22



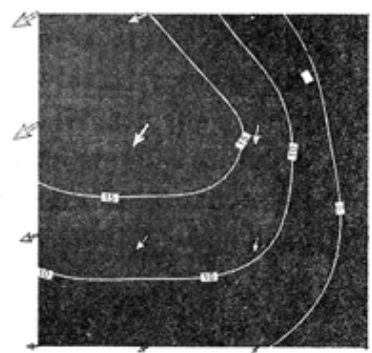
1997 9 6



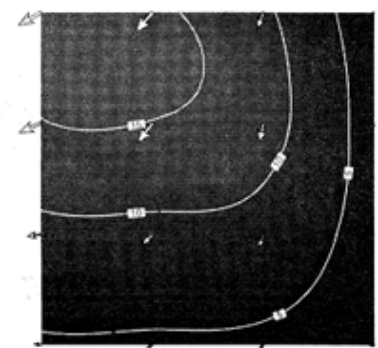
1997 9 21



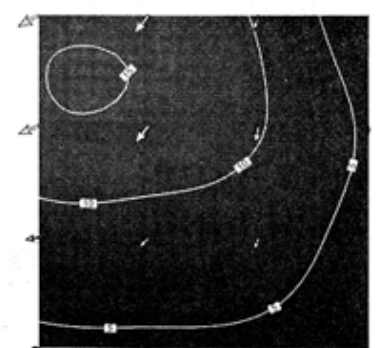
1997 10 6



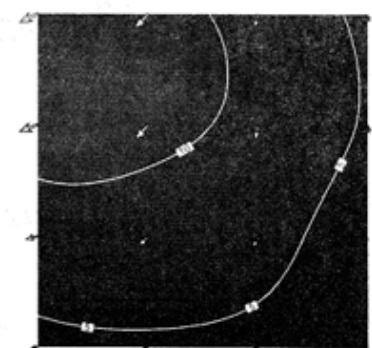
1997 10 21



1997 11 5



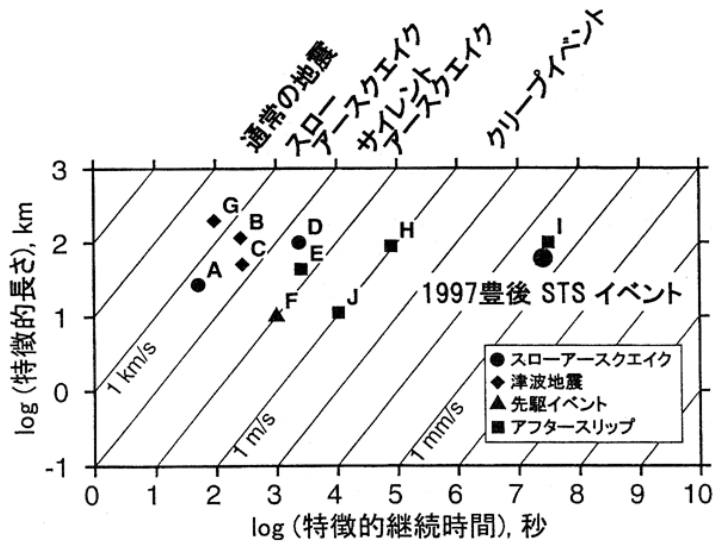
1997 11 20



(b)

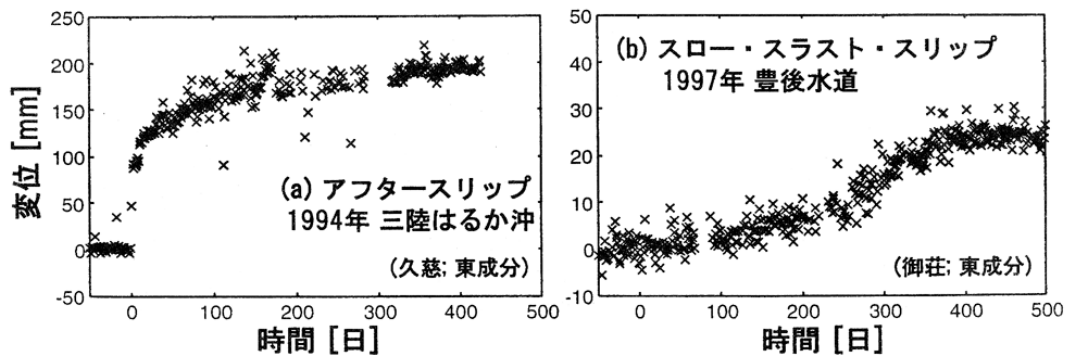
第5図-(b) つづき

Fig.5-(b) Continued.



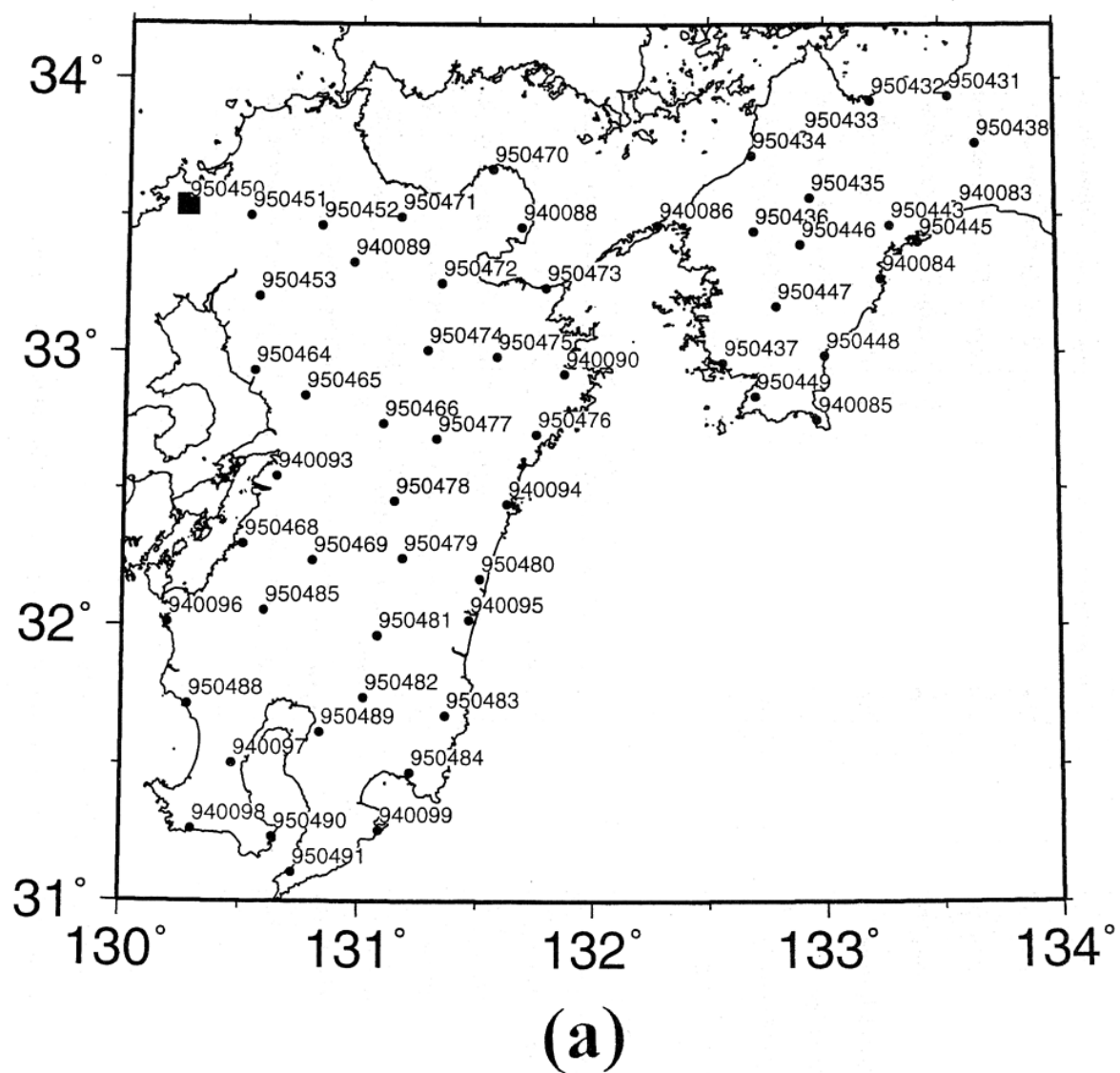
第6図 ゆっくりイベントのまとめ図(1)に加筆。横軸にイベントの特徴的な継続時間(時定数), 縦軸にその特徴的な長さをそれぞれ対数軸に対してとってある(A,1978年バンダ海地震, B, 1896年三陸地震, C,1946年アリューシャン列島地震, D,1960年チリ地震, E,1978年伊豆大島地震, F,1976年フリウリ地震, G,1992年ニカラグア地震, H,1992年三陸地震, I,1994年三陸はるか沖地震, J,1997年愛知県東部地震)。

Fig.6 Classification diagram for slow events (modified after Beroza and Jordan[1990]).The horizontal axis denotes the slow events' logarithmic characteristic duration and the vertical axis denotes logarithmic characteristic length (A,1978 Banda Sea earthquake; B,1896 Sanriku earthquake; C,1946 Aleutian Islands earthquake; D,1960 Chilean earthquake; E,1978 Izu-Oshima earthquake; F,precursors to the 1976 Friuli earthquake; G,1992 Nicaragua earthquake; H,1992 Sanriku earthquake; I,1994 Sanriku-Haruka-Oki earthquake; J,1997 Aichiken-Tobu earthquake).



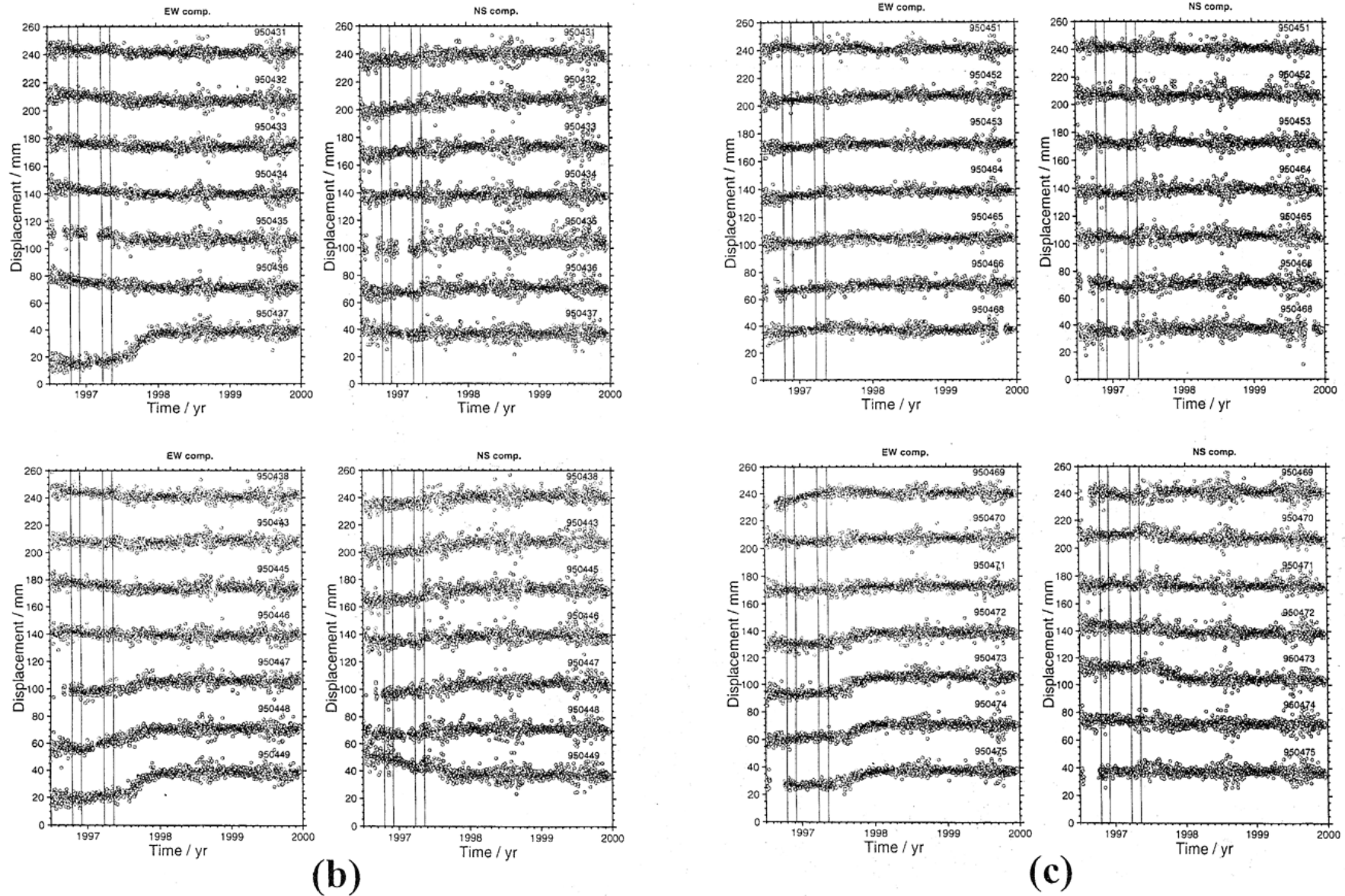
第7図 アフタースリップと STS イベントの地表変位の時間変化の比較。(a)アフタースリップ (1994年 三陸はるか沖), (b)1997年豊後水道の STS イベント。ともに GEONET による。イベントの始まりから約500日間の変化を示している。縦軸のスケールが両者で違うことに注意。

Fig.7 Comparison of the difference between the observed surface displacement time series of the afterslip and that of the STS event. (a)Afterslip following the 1994 Sanriku-Haruka-Oki earthquake; (b)1997 Bungo Channel STS event. Both records were observed by GEONET. Surface displacements for 500 days since the beginning of each event are shown.



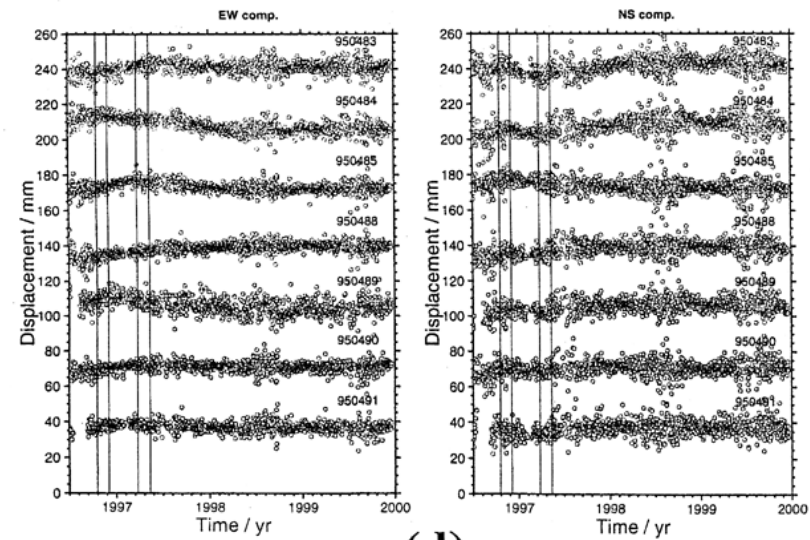
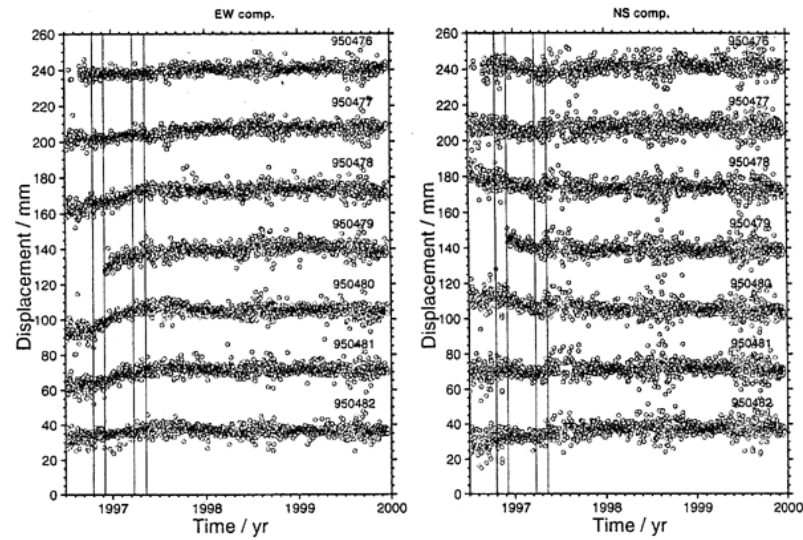
第8 図(a) 解析に用いた全ての観測点位置

Fig.8-(a) Index map of the all stations used in this analysis.

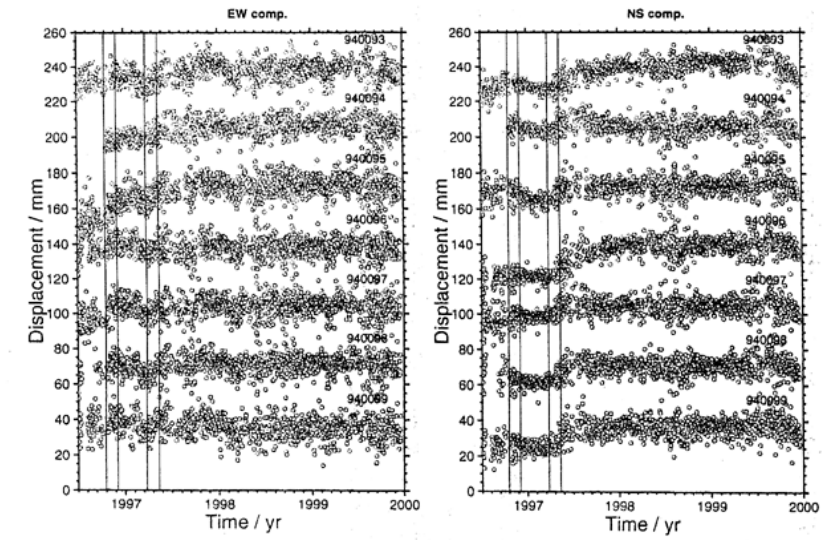
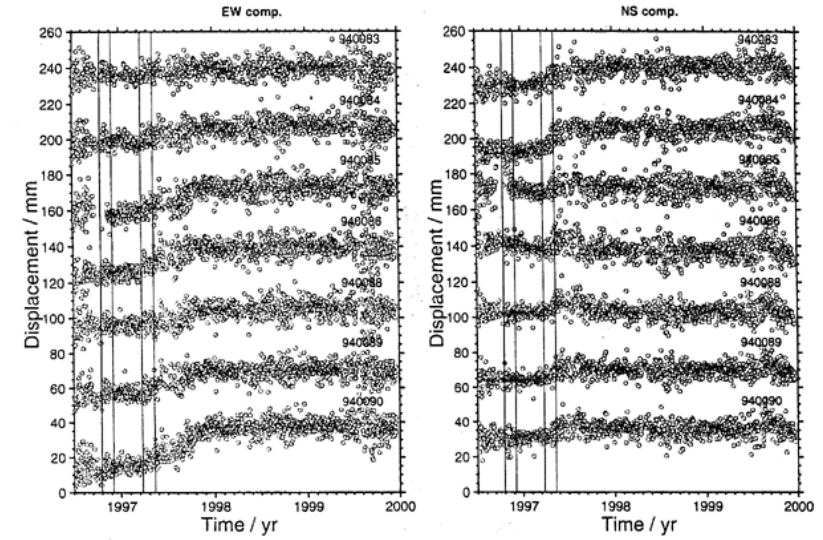


第8図 (b)~(c) 定常成分と年周期成分を取り除いた後のイベント成分 $F(t)$ 。

Fig.8 (b)-(c) Event component $F(t)$, of each GPS site after removing the steady state and the annual components.



(d)



(e)

第 8 図 (d)~(e) 定常成分と年周期成分を取り除いた後のイベント成分 $F(t)$ 。

Fig.8 (d)~(e) Event component $F(t)$, of each GPS site after removing the steady state and the annual components.