

2-4 日本海東縁地域の地震活動ー空白域・プレート境界・活断層ー

Seismicity in the eastern margin of Japan Sea-Seismic gap, Plate boundary and Active fault-

東北大学大学院理学研究科

Graduate School of Science, Tohoku University

[地震活動]

1975年5月～2001年1月の期間に発生した深さ60km 以浅の地震の震央分布を、200m 毎の海底地形の等深線と共に第1図に示す。1983年日本海中部地震の震源域は海深2000m～3000mの領域内に分布している。

1983年日本海中部地震 (M7.7) に19年先行して発生した1964年男鹿半島沖地震 (M6.9) , およびその余震の再決定震源の分布 (海野ほか, 2001) を第2図に示す。地震月報のデータを用いてマスターイベント法で再決定した震源を○印で示す。1964年の地震の震源断層の北端部は、1983年の地震の震源断層の南端部と重なっており、これら二つの地震は、震源断層の一部を共用していたと考えられる。1983年の地震のすべり量分布 (Fukuyama and Irikura, 1986) は、主に破壊の開始点 (震源) の北側に分布しており、19年前にすべっていた南側では少ない。

1983年日本海中部地震の余震域の南端に隣接して発生した、1997年11月23日に発生したM5.6の地震とその余震の震源分布を第3図に示す。1964年男鹿半島沖地震 (M6.9) , 1983年日本海中部地震 (M7.7) および1997年の地震は、東側に傾斜した断層面を持っており、日本海東縁部の新生プレート境界で発生したプレート間地震であると考えられる。図中の太灰色破線は、1983年日本海中部地震に先行した非地震性の深部すべりの位置 (Linde et al., 1988) を表す。一点鎖線 (M, O, I) は、松澤 (1996) , Ohtake (1995) および石川 (1994) による地震の空白域を示す。

[空白域]

秋田・山形県沖におけるM3以上の震央分布を第4図に示す。東北大学の観測開始以来約19年間の震央分布が第4図 (a) である。この時期においては太線で示した領域においてもM4以上を含めた活動が見られていたが、図 (b) で示したように、1994年8月以降、この太線で囲まれた領域内の活動が低調になったため、「第二種空白域」を生じている可能性があることを指摘してきた (1)。その後この静穏状態は、1998年6月までの約4年間継続した (図 (c)) が、1998年7月以降は次第にM3以上の地震が太線内に発生してきており、現時点では「空白域」とは見えない。したがって、これまで見えていた「空白域」は大地震の先行現象ではなく、地震活動のゆらぎによる見かけのものであった可能性が高いと言わざるを得ない。

一方、第4図を見ると、1975年から観測がなされているにもかかわらず、秋田県沖でM4.5以上の地震が発生したのは1991年以降となっている。このことを気象庁のデータを用いて検証したのが第5図である。この図は、(a) 1926年～1990年、(b) 1991年～1999年のM4.5以上の浅発地震をプロットしたものである (初期の頃の震源決定精度を考慮して深さの下限を80kmとしてある)。図 (a) と図 (b) は相補的な分布のように見え、気象庁のデータでも東北大学のデータでも、1990年代に入ってから秋田沖でやや大き目の地震が発生しはじめたことが示されていることになる。

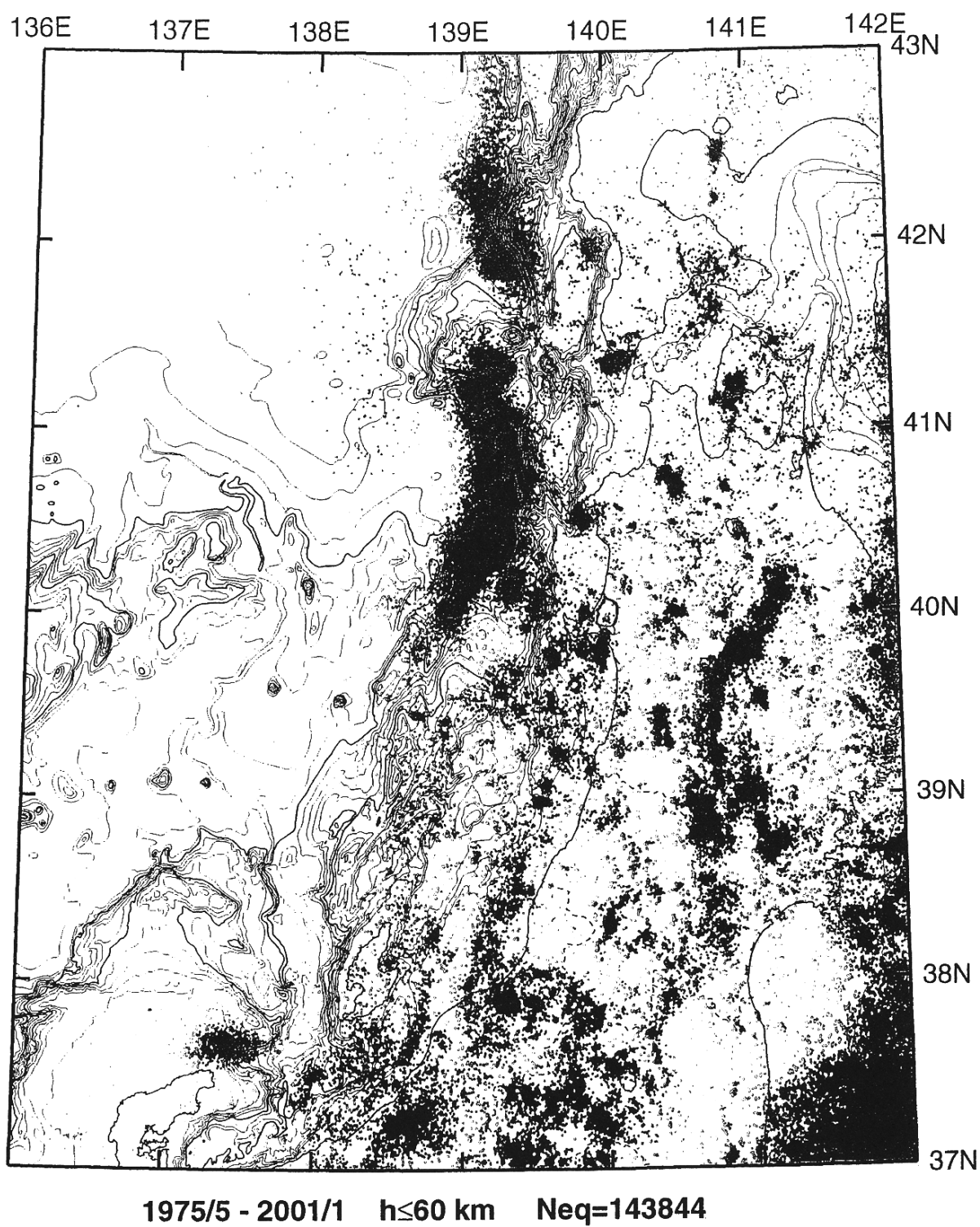
[地殻変動連続観測]

第6図には日本海沿岸の地殻変動連続観測点の配置を示した。記号はそれぞれ横坑式観測計器 (△), 体積歪計 (▼), 体積歪計と孔井式傾斜計 (□), 孔井式3成分歪計と傾斜計 (■) が設置されてい

ることを表している。第7図(a)~(c)には横坑式地殻変動連続観測点の男鹿(OGA), 五城目(GJM), および仁別(NIB)での石英管伸縮計および水管傾斜計により観測された歪, 傾斜変化を示す。期間は1984年1月から2001年1月である。各図の左では各成分の変化時系列, 右では最大傾斜ベクトルの軌跡を表している。EXNS, EXEW, GMNE は南北, 東西方向の線歪および剪断歪, DILT, GMAXは面積歪および最大剪断歪, TLNS, TLEWは南北および東西方向の傾斜, PRCPは日降水量をそれぞれ表している。降水量をのぞいた各成分は, 1985年から1999年までの15年間の平均的な年周変化を取り除いてある。縦軸の1目盛あたりのスケールは, 成分名わきの数値で表し, それぞれ単位はナノストレイおよびナノジアンである。図中の*記号は, 坑内での作業のため, 人工擾乱があった部分である。右図では各年のはじめに丸印をつけ, 年号を書き添えた。また, 番号付きの太直線は水管傾斜計の各成分の方位を表している。第8図(a)~(d)には男鹿(OGA), 五城目(GJM), 仁別(NIB)および本荘(HOJ)での体積歪計により観測された歪変化を示した。期間は1986年1月~2001年1月で, 膨張を正としている。計器深度は五城目が深さ100mで, 他は200mである。五城目は米国カーネギー研究所との共同研究として観測が実施されている。ATMPおよびPRCPは気圧および日降水量で, 降水量は最寄りの気象庁観測点のデータを用いた。第9図(a)~(e)は深浦(FKU), 岩城(IW3), 飛島(TBS), 酒田(SKT), 温海(ATM)において多成分孔井式観測計器により観測された歪および傾斜変化である。期間は1996年9月~2001年1月である。各図の左は各成分の変化時系列, 右は最大傾斜ベクトルの軌跡である。BSMDは体積歪計で膨張を正としている。BTLXおよびBTLYは傾斜計のX, Y成分で, その方位は右図にX, Yで示した。BSD1, BSD2, BSD3は3成分歪計のそれぞれ方位0°, 120°, 240°成分で, その方位の歪変化に敏感な隔壁の膨張を正としている。3成分歪計の0° は傾斜計のX成分と同方位である。飛島のDILTおよびSHMXは3成分歪計(石井式)の3成分から計算された面積歪と最大剪断歪である。ATMPは気圧変化, PRCPは最寄りの気象庁観測点における日降水量で, 歪成分には気圧変化の補正を加えた。時系列データにEおよびTで示した矢印は地震動あるいは落雷によって傾斜計に生じた跳びである。

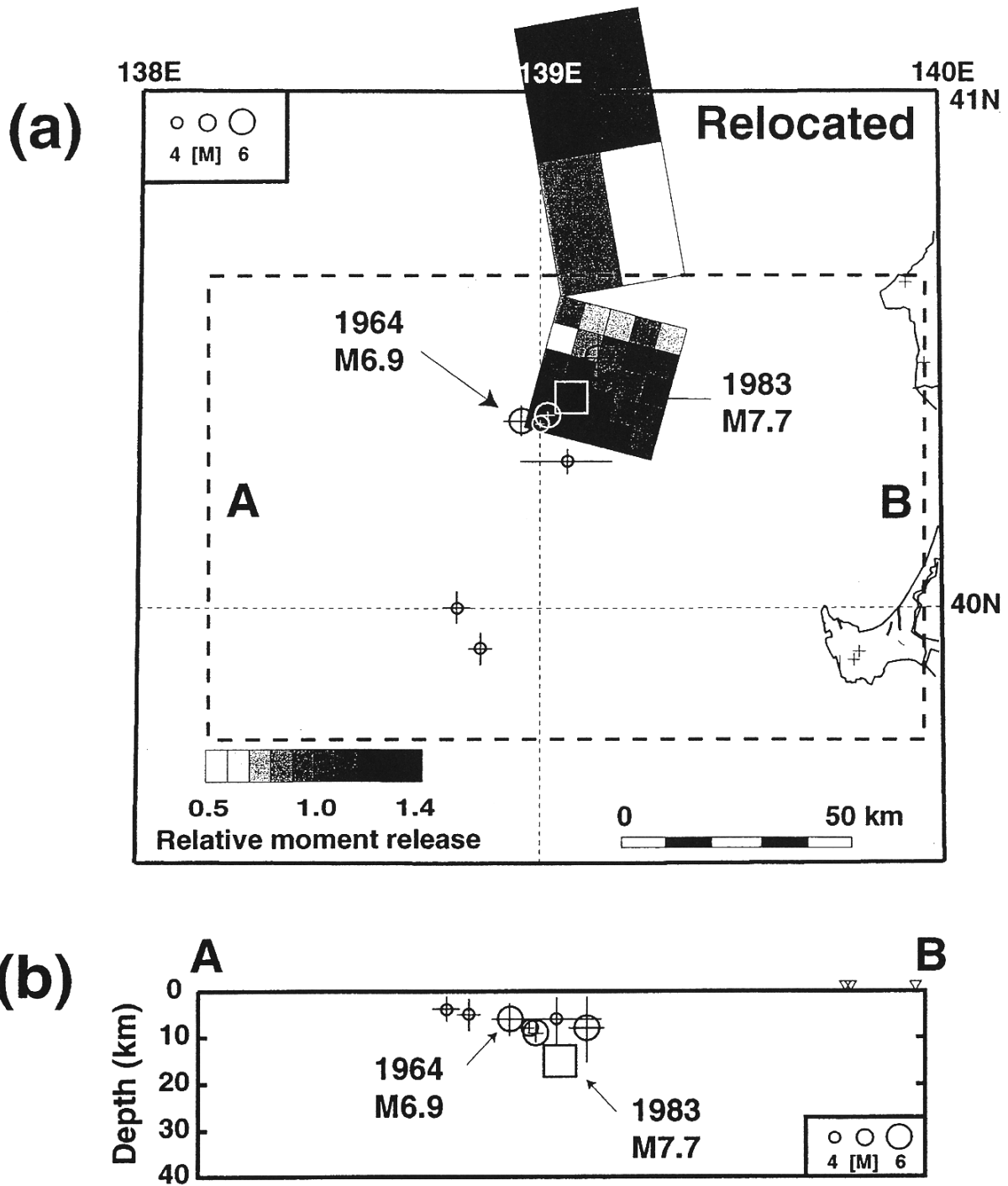
参 考 文 献

- 1) Fukuyama, E. and K. Irikura, Rupture process of the 1983 Japan Sea (Akita-Oki) earthquake using a waveform inversion method, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 1623 - 1640, 1986.
- 2) 石川有三, 残された空白域, 月刊地球号外7, 北海道南西沖地震と津波, 102 - 107, 1994.
- 3) Linde, A.T., K. Suyehiro, S. Miura, I.S. Sacks and A. Takagi, Episodic aseismic earthquake precursors, *Nature*, 334, 513 - 515, 1988.
- 4) 松澤 暢, 最近の秋田・山形県沖の地震活動について, 東北地域災害科学研究, 32, 293-302, 1996.
Ohtake, M., A seismic gap in the eastern margin of the Sea of Japan as inferred from the time-space distribution of past seismicity, *The Island Arc*, 4, 156 - 165, 1995.
- 5) 海野徳仁・伊藤喜宏・五十嵐俊博・長谷川昭, 1964年男鹿半島沖地震(M6.9) : 1983年日本海中部地震に19年先行したすべり?, *地震*, 2, 53, 263 - 268, 2001.



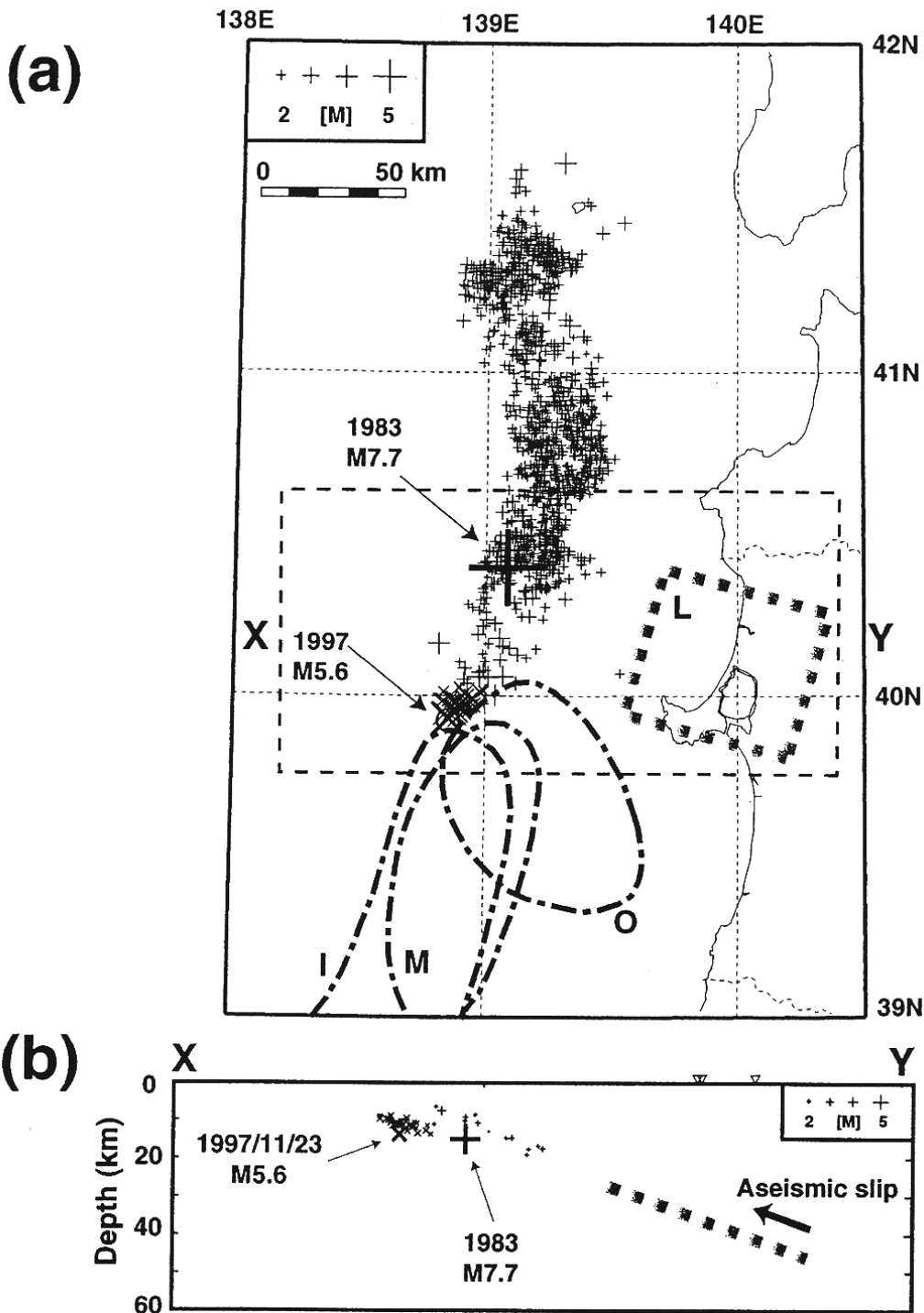
第1図 浅発地震（深さ60km以浅）の震央分布。1975年5月～2001年1月に東北大学・より決定された地震の震央を小丸印で、200m毎の海底地形の等深線と共に示す。

Fig.1 Epicenter distribution of earthquakes ($h \leq 60 \text{ km}$). Iso-depth is shown by thin line with 200 m interval.



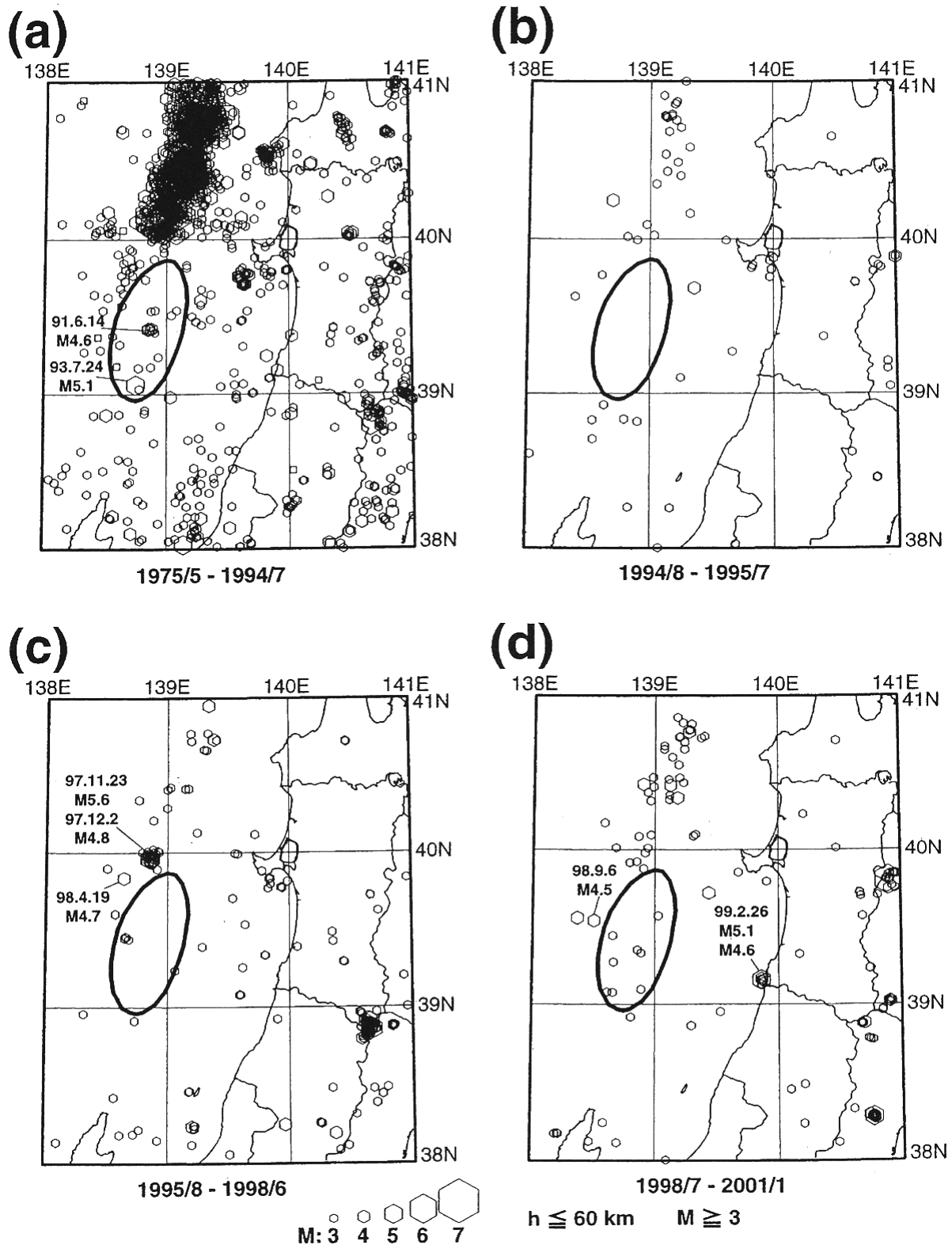
第2図 1964年男鹿半島沖地震 (M6.9) の震源分布 (海野ほか, 2001)。1983年日本海中部地震 (M7.7) の震央を□印で示す。本震 (M7.7) のモーメント解放量 (すべり量) 分布 (Fukuyama and Irikura, 1986) をグレースケールで示す。

Fig.2 Relocated hypocenter distribution (circles) of the 1964 Oga-oki earthquake and its aftershocks by using the master event method (Umino et al., 2001). (a) Map view and (b) EW vertical cross section. Estimation errors of hypocenters are shown by bars. Square denotes the hypocenter of the 1983 Japan Sea earthquake which was taken as the master event. Relative moment release on the fault plane of the 1983 Japan Sea earthquake is shown on the map view by gray scale [after Fukuyama and Irikura (1986)].



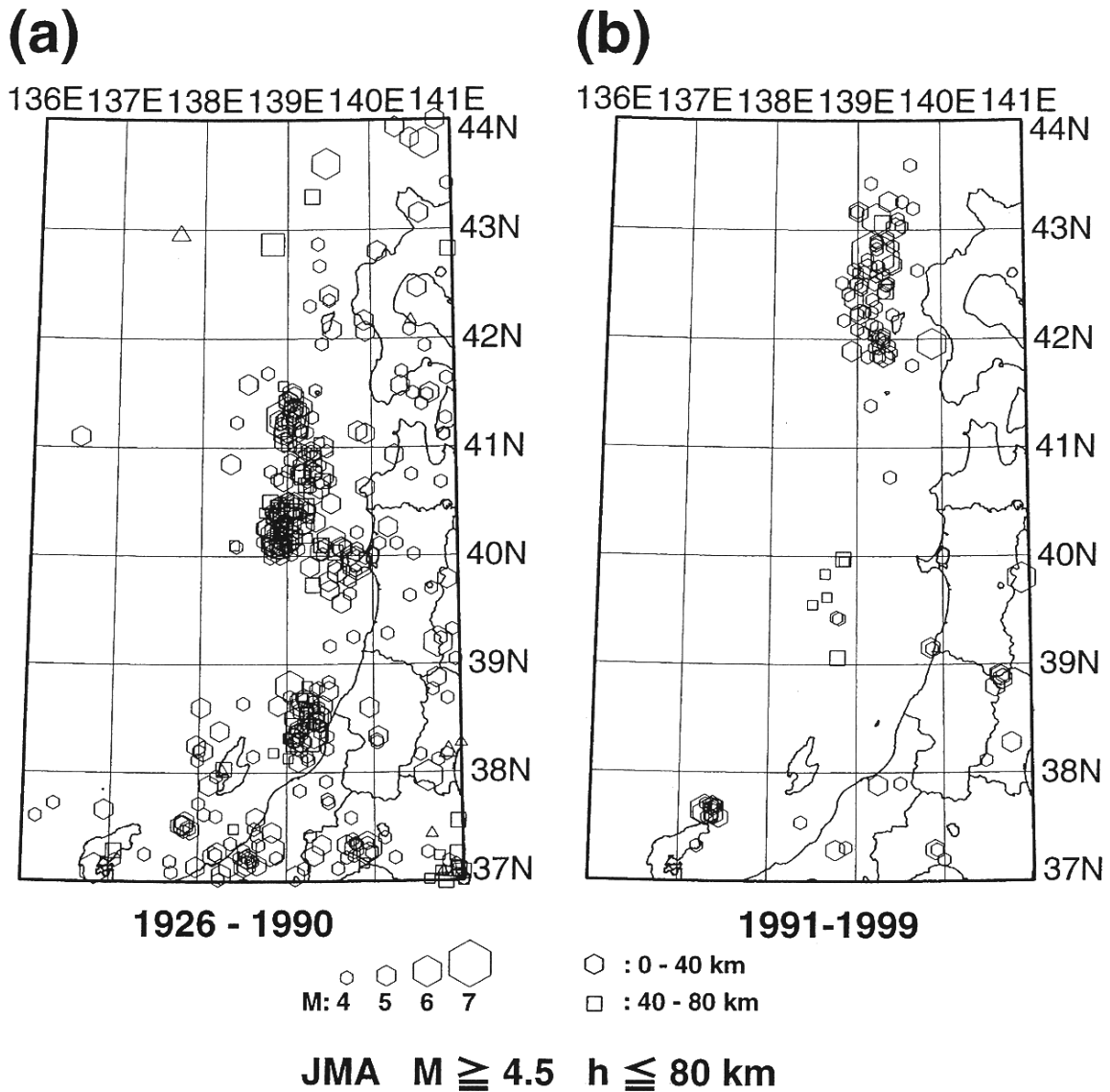
第3図 1983年日本海中部地震 (M7.7) および1997年の地震 (M5.6) の震源分布 (海野ほか, 2001)。+印は日本海中部地震, ×印は1997年の地震を表す。太破線 (L) は日本海中部地震に先行した深部すべりの位置 (Linde et al., 1988), 一点鎖線 (M, O, I) は, 松澤 (1996), Ohtake (1995) および石川 (1994) による地震の空白域を表す。

Fig.3 Hypocenter distribution (crosses) of 1997 M5.6 earthquake and its aftershocks located by using sP depth phase (Umino et al., 2001). (a) Map view and (b) EW vertical cross section. Hypocenter of the 1983 Japan Sea earthquake and 1964 Oga-oki earthquake are shown by a large square and large circle, respectively. Pluses and circles show locations of relocated aftershocks of the 1983 Japan Sea earthquake and 1964 Oga-oki earthquake, respectively. Location of the plane of aseismic preslip estimated by Linde et al. (1988) is shown by a dotted line (L). Dash-dotted lines M, O and I show the seismic gap off Akita and Yamagata prefectures proposed by Matsuzawa (1996), Ohtake (1995) and Ishikawa (1994), respectively.



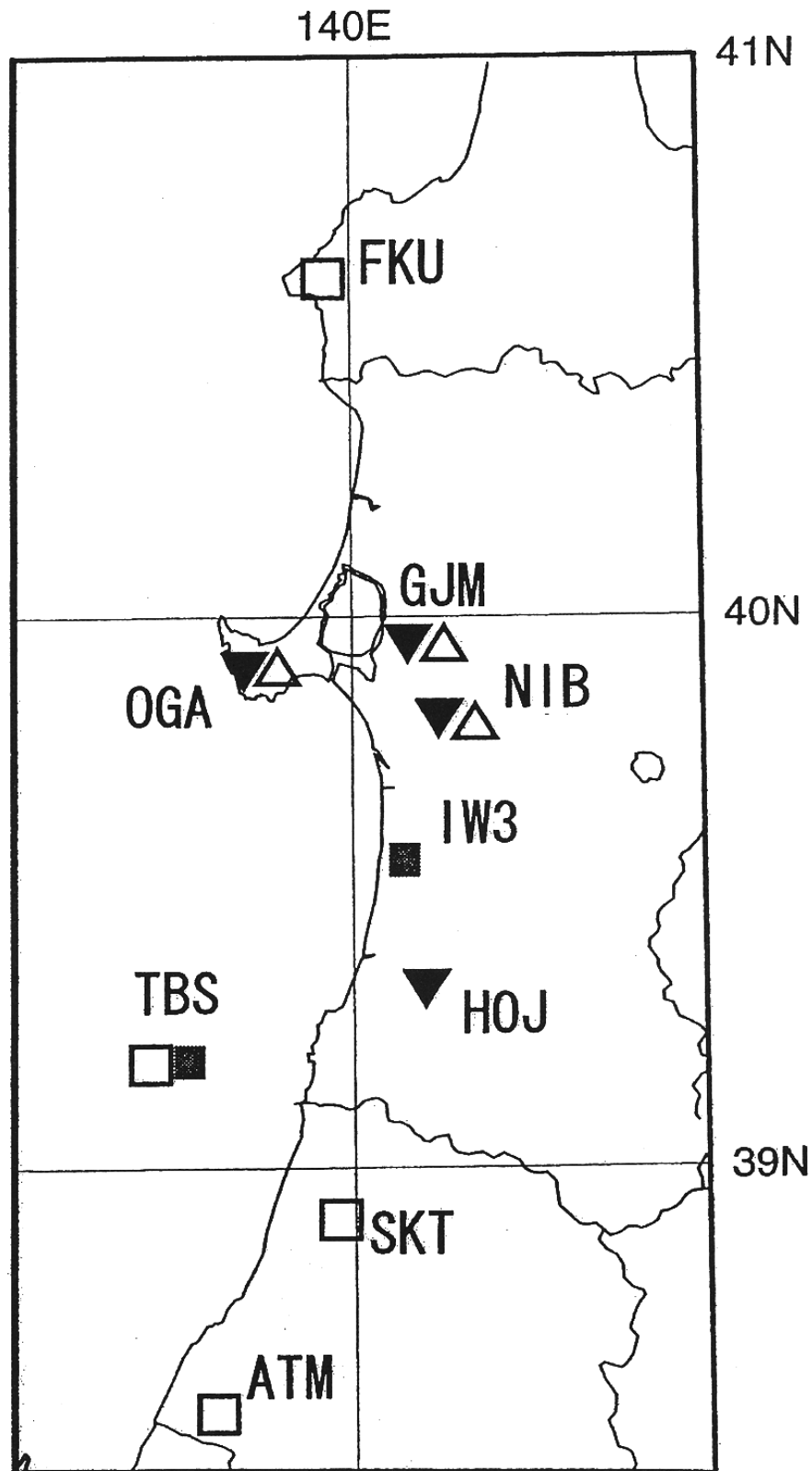
第4図 秋田・山形県沖におけるM3以上の浅発地震の震央分布。北緯39～40度，東経138～140度の領域に発生したM4.5以上の地震については発生日も示す。太線は松澤 1) によって「第二種空白域」の可能性があると指摘された領域を表す。(a) 1975年5月～1994年4月。(b) 1994年8月～1995年7月。(c) 1995年8月～1998年6月。(d) 1998年7月～2001年1月。

Fig.4 Epicenter distributions for the shallow events with M3 or larger off Akita and Yamagata prefectures. Heavy line indicates the location of Matsuzawa's "seismic gap of the second kind" 1). (a) May 1975 - April 1994. (b) August 1994 - July 1995. (c) August 1995 - June 1998. (d) July 1998 - January 2001.



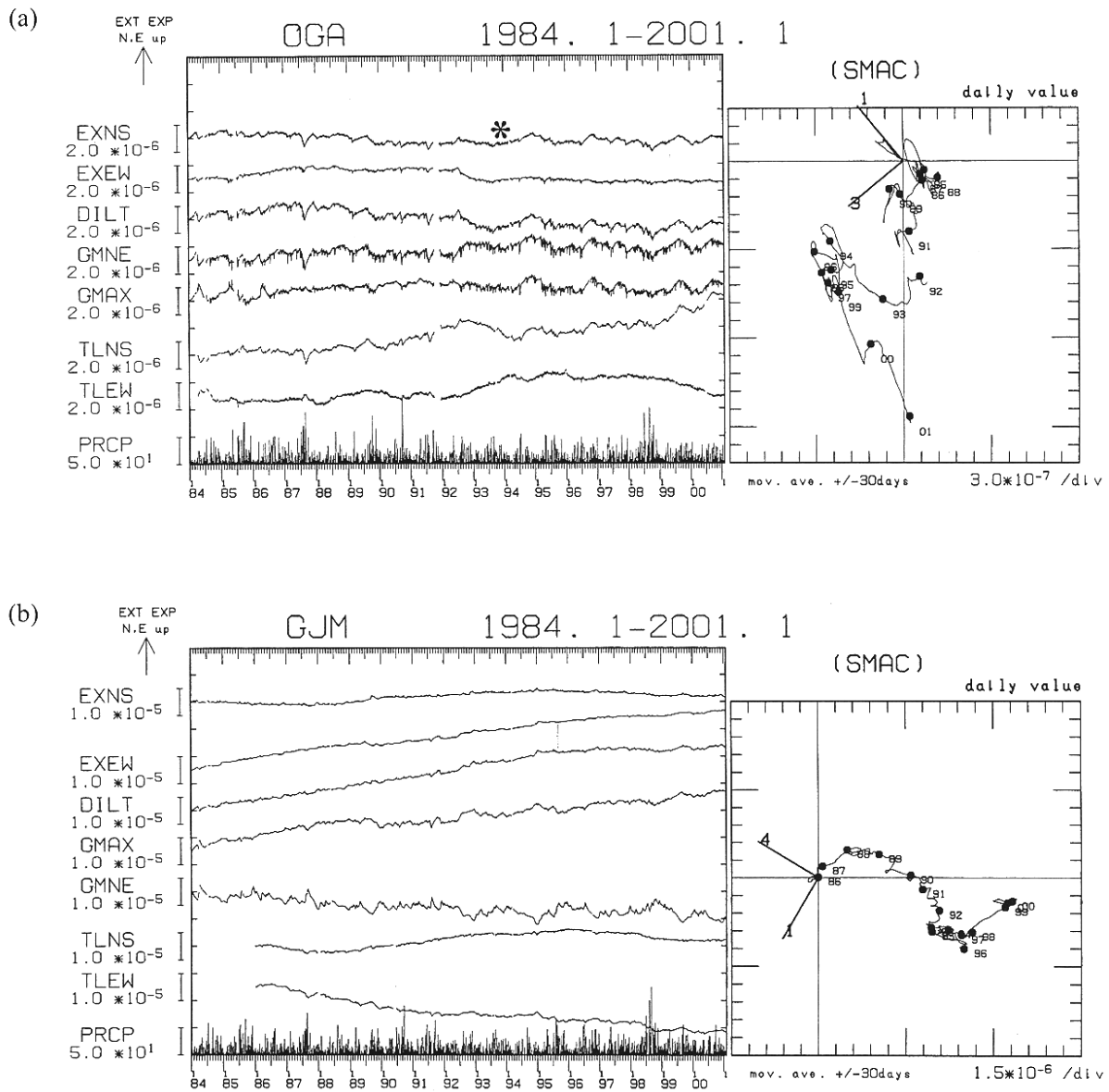
第5図 日本海東縁におけるM4.5以上の浅発地震の震央分布 (気象庁カタログによる)。(a) 192年～1990年。(b) 1991年～1999年。

Fig.5 Epicenter distributions for the shallow events with M4.5 or larger beneath the eastern margin of the Japan Sea (JMA data). (a) 1926 - 1990. (b) 1991 - 1999.



第6図 日本海沿岸の地殻変動連続観測点配置図。記号はそれぞれ横坑式観測計器 (△), 体積歪計 (▼), 体積歪計と孔井式傾斜計 (□), 孔井式3成分歪計と傾斜計 (■) が設置されていることを示す。

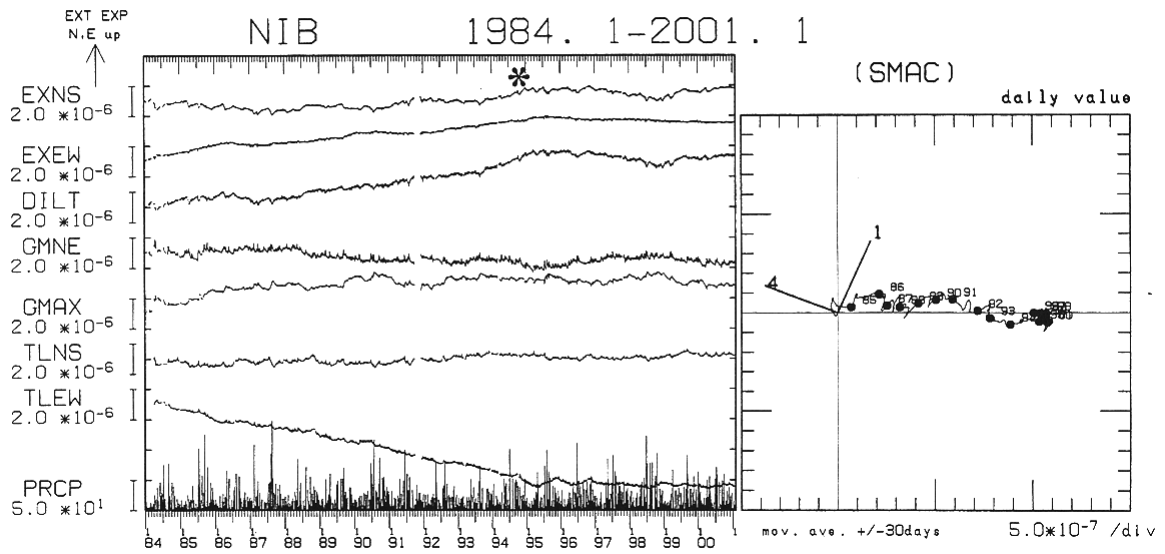
Fig.6 Locations of continuous observation stations of crustal deformation near the coast of the Japan sea. Hollow and solid triangles indicate stations where extensometers and water-tube tiltmeters are installed, and stations where borehole strainmeters are installed, respectively. Hollow squares and solid squares indicate stations where borehole strainmeters and tiltmeters are installed, and stations where borehole three component strainmeters and tiltmeters are installed, respectively.



第7図(a),(b) 横坑式地殻変動連続観測点の石英管伸縮計および水管傾斜計により観測された歪，傾斜変化（1984年1月～2001年1月）。各図の左は各成分の変化時系列，右は最大傾斜ベクトルの軌跡である。EXNS, EXEW, GMNE は南北，東西方向の線歪および剪断歪，DILT, GMAXは面積歪および最大剪断歪，TLNS, TLEWは南北および東西方向の傾斜，PRCPは日降水量をそれぞれ表している。降水量をのぞいた各成分は，平均的な年周変化を取り除いた。縦軸の1目盛あたりのスケールは，成分名わきの数値で表し，それぞれ単位はナノストレインおよびナノラジアンである。図中の*記号は，坑内での作業のため，人工擾乱がある部分である。右図では各年のはじめに丸印をつけ，年号を書き添えた。(a)男鹿(OGA)，(b)五城目(GJM)，(c)仁別(NIB)。

Fig.7(a),(b) Strain and tilt change observed by extensometers and water-tube tiltmeters at (a) OGA, (b)GJM, and (c)NIB for the period from January, 1984 to January, 2001. EXNS, EXEW, GMNE, DILT, GMAX, TLNS, TLEW, and PRCP denote NS-, EW- linear strain, NS-EW shear strain, areal dilatation, maximum shear strain, NS-, EW-tilt, and daily precipitation, respectively. Numeral shown besides each component name denotes scale per division in nano strains or nano radians. Normal annual change for the period are extracted from observed data. Asterisks show periods including artificial disturbances.

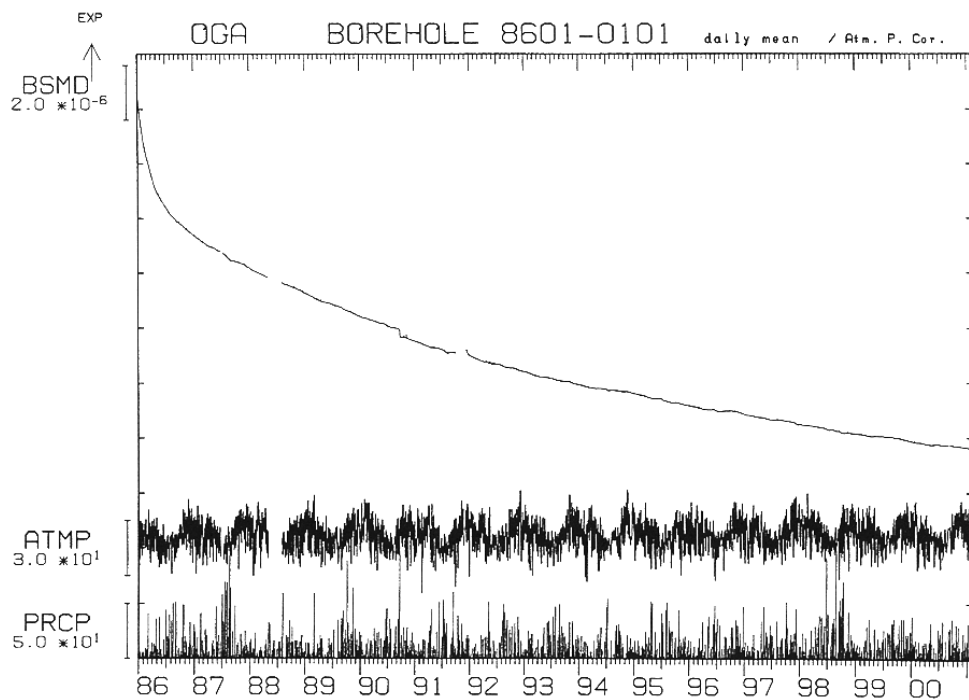
(c)



第7図(c) つづき

Fig.7(c) (Continued)

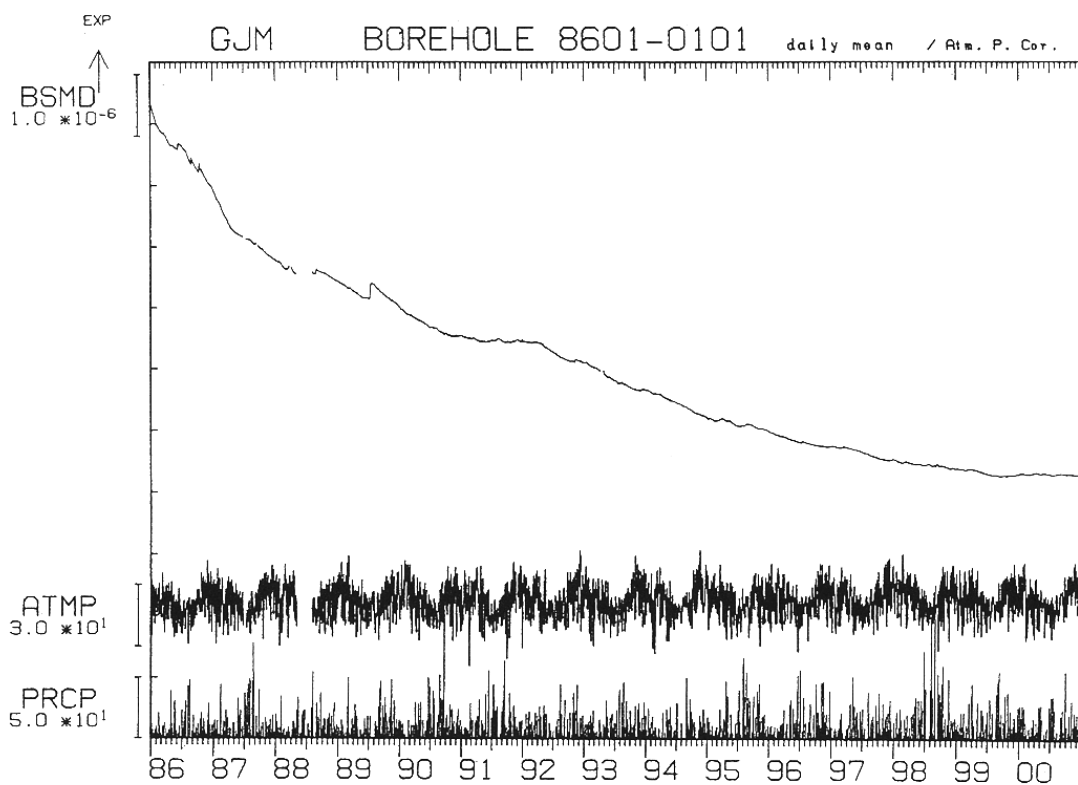
(a)



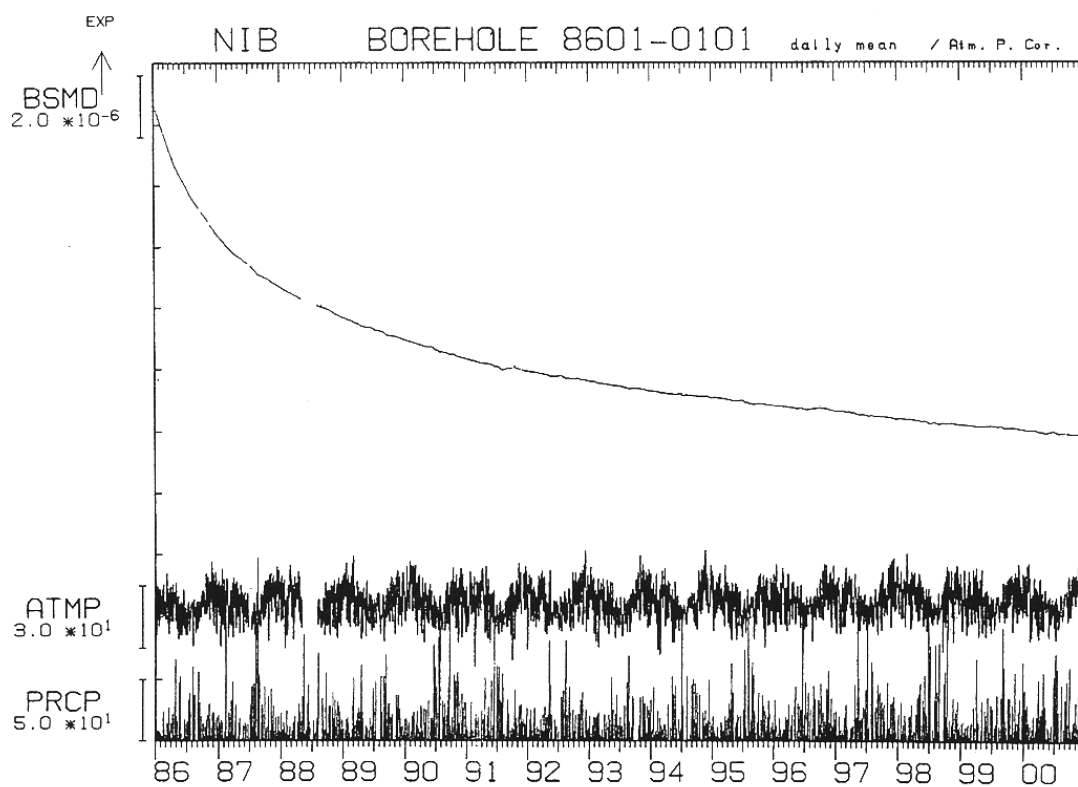
第8図(a) 体積歪計により観測された歪(1986年1月~2001年1月)。膨張を正としている。(a)男鹿(OGA), (c)仁別(NIB) および(d)本荘(HOJ) は深さ200m, (b)五城目(GJM)は深さ100mで米国カーネギー研究所との共同研究である。ATMPおよびPRCPは気圧および日降水量で、降水量は最寄りの気象庁観測点のデータを用いた。

Fig.8(a) Strain changes observed by borehole volumetric strainmeters at (a)OGA, (b)GJM, (c)NIB, and (d)HOJ in the period from January, 1986 to January, 2001. Instruments are installed at 200m deep but GJM at 100m deep. At GJM, the observation is performed in cooperative with DTM Carnegie Institution of Washington.

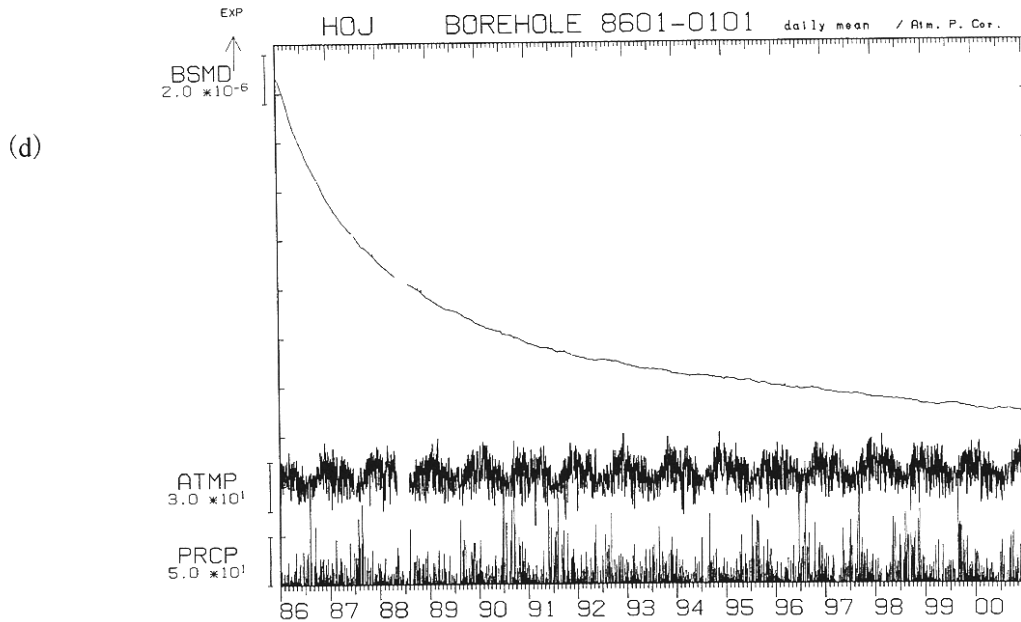
(b)



(c)

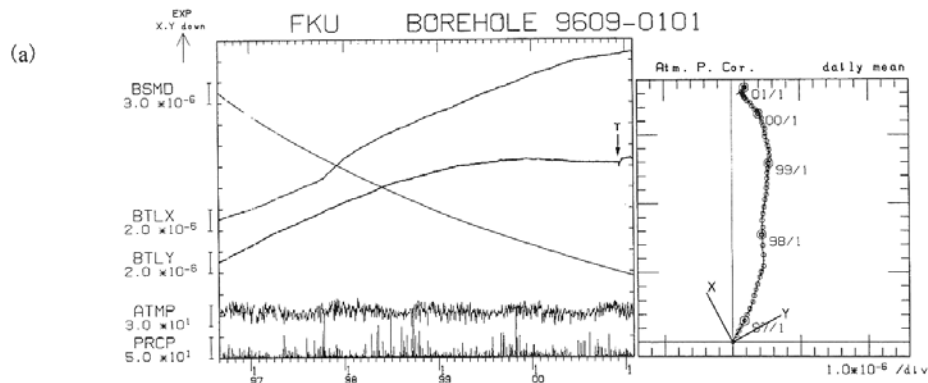


第8図(b),(c) つづき
Fig.8(b),(c) (Continued)



第8図(d) つづき

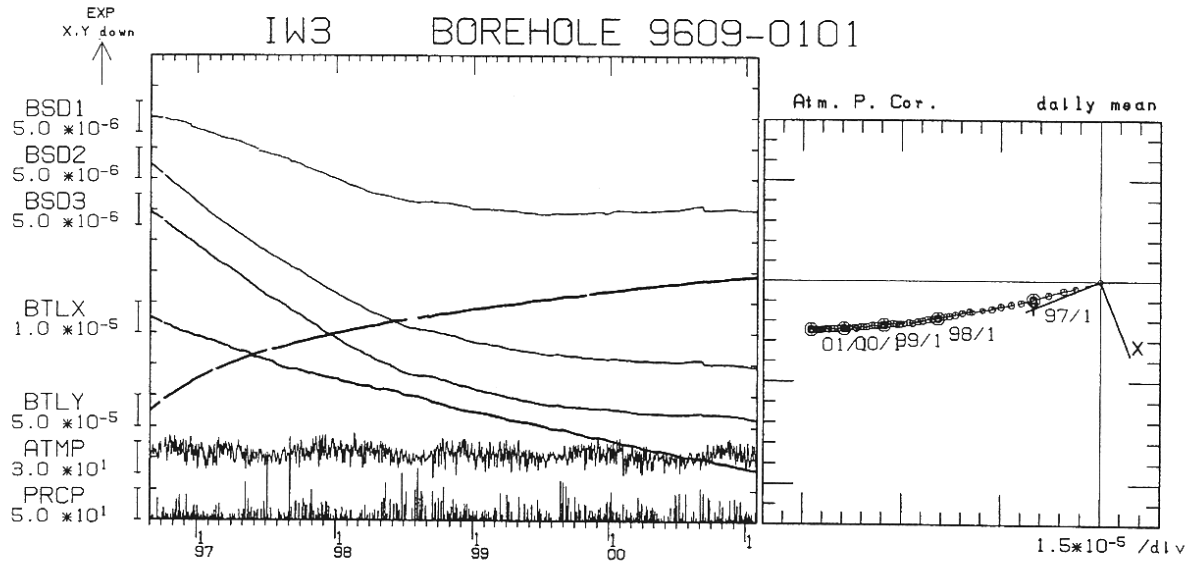
Fig.8(d) (Continued)



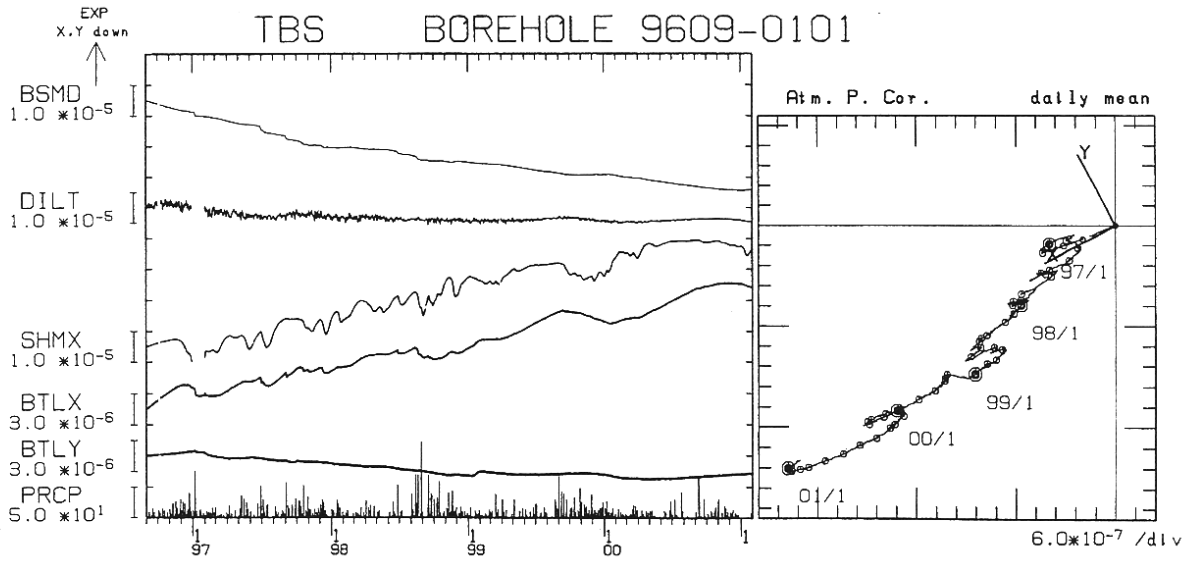
第9図(a) 多成分孔井式観測計器により観測された歪，傾斜変化（1996年9月～2001年1月）。各図の左は各成分の変化時系列，右は最大傾斜ベクトルの軌跡である。BSMDは体積歪計で膨張を正としている。BTLXおよびBTLYは傾斜計のX, Y成分で，その方位は右図にX, Yで示した。BSD1, BSD2, BSD3は3成分歪計のそれぞれ方位 0° ， 120° ， 240° 成分で，その方位の歪変化に敏感な隔壁の膨張を正としている。3成分歪計の 0° は傾斜計のX成分と同方位である。飛島のDILTおよびSHMXは3成分歪計（石井式）の3成分から計算された面積歪と最大剪断歪である。ATMPは気圧変化，PRCPは日降水量で，歪成分には気圧変化の補正を加えた。EおよびTで示した矢印は地震動あるいは落雷による傾斜計に生じた跳びである。(a)深浦(FKU)，(b)岩城(IW3)，(c)飛島(TBS)，(d)酒田(SKT)，(e)温海(ATM)。

Fig.9(a) Strain and tilt change observed by borehole strainmeters and tiltmeters at (a)FKU, (b)IW3, (c)TBS, (d)SKT, and (e)ATM for the period from September, 1996 to January, 2001. BTLX, BTLY indicate tilt change along X- and Y-axis of each instrument shown in the right panel of each station. BSMD, BSD1, BSD2, and BSD3 denote change in volumetric strain, linear strain along 0, 120, and 240 degrees measured from X-axis of three component strainmeters, respectively. DILT and SHMX indicate changes in areal dilatation and maximum shear strain calculated from 3-componet strain at TBS. ATMP and PRCP indicate atmospheric pressure and daily precipitation at each site. The left and right panel shows the temporal variation, and the change in the tilting vector, respectively. E and T noted beside traces of tilt changes indicate instrumental step by shock of earthquake or thunder, respectively.

(b)

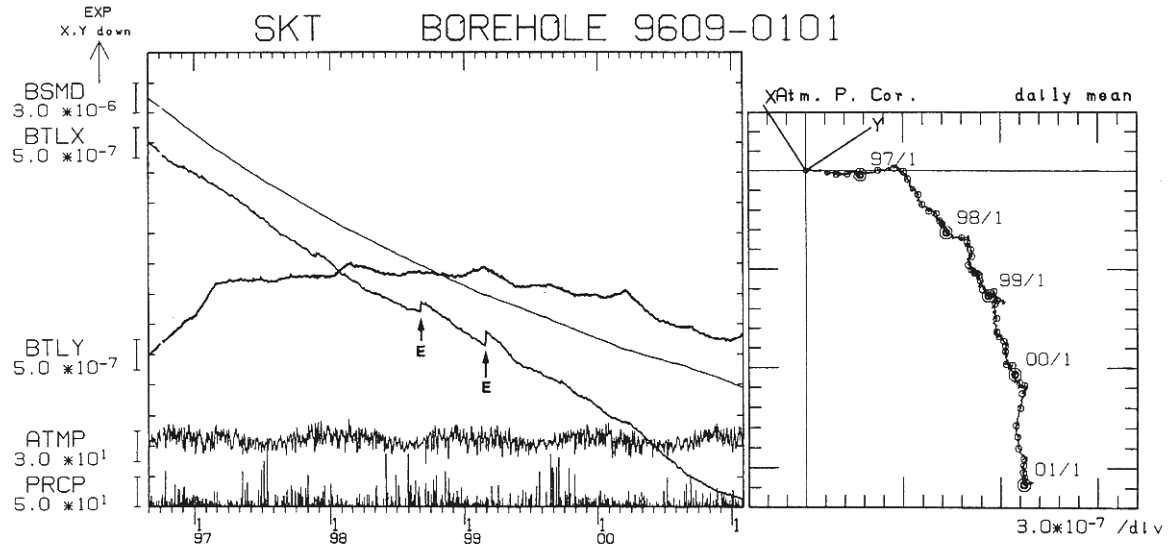


(c)

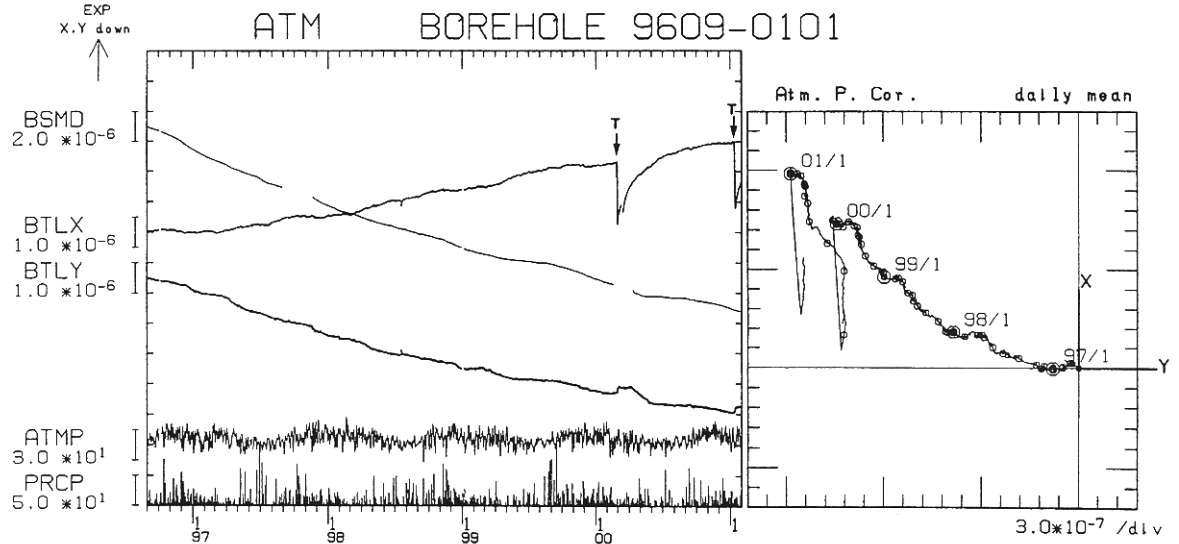


第9図(b),(c) つづき
Fig.9(b),(c) (Continued)

(d)



(e)



第9図(d),(e) つづき
Fig.9(d),(e) (Continued)