

#### 4-6 1995～1998年に発生した4度の伊豆半島東方沖群発地震時の大室山北観測井の地下水位と東伊豆観測点の体積歪における変化について

### Changes in groundwater level at Omuroyama-kita well and volumetric strain at Higashi-izu station associated with 4 earthquake swarms off the east coast of the Izu Peninsula during the period from 1995 to 1998

地質調査所 気象庁

Geological Survey of Japan, Japan Meteorological Agency

地質調査所大室山北観測井（OMR）で観測を開始した1994年10月以来、伊豆半島では4つの規模の大きな群発地震が発生した。すなわち、1.1995年9月～10月に発生したもの（以降Swarm 9509とする）、2.1996年10月に発生したもの（以降Swarm 9610とする）、3.1997年3月に発生したもの（以降Swarm 9703とする）、4.1998年4月～5月に発生したものを以降Swarm 9804とする）である（第1図）。これらの4つの群発地震前後の大室山北観測井の地下水位変化と気象庁東伊豆観測点での体積歪変化についてまとめたので報告する。なお、第2-5図の東伊豆の体積歪変化については、 $5.5 \times 10^8$  strain/dayの縮みのトレンドを除去してある。また、体積歪変化の差分値をとる試みは、すでに気象庁が以前に行っている。

第1図に観測点の配置と4つの群発地震の震央分布を示す。第2図には1994年10月～1999年9月の観測結果を日平均値（気圧・水位・体積歪）、日平均値の差（水位・体積歪）、日積算値（降雨・鎌田での地震回数）で示してある。降雨に伴って、大室山北の水位が上昇し、東伊豆(HGS)の体積歪が減少する（縮む）ようすが、日平均値の差を見ると良く分かる。 $\sigma_w$  (0.0583 m/day) と  $\sigma_s$  ( $1.29 \times 10^8$  strain/day) は、大きな群発地震のなかった1997年4月～1998年3月の期間の、日平均値差の標準偏差である（ $\sigma_w$ :水位、 $\sigma_s$ :体積歪）。大雨の時と、群発地震の際に、それぞれの日平均値差が標準偏差の3倍を越えて変化することがわかる。第3図では、第2図と同じ項目の1時間値について、4つの群発地震前後にどのように変化するかをみたものである。ただし、水位はBAYTAP-Gの出力（トレンド+イレギュラー=生データから潮汐成分と気圧の寄与を除去したもの）の1時間値である。 $\sigma_{wh}$  (0.0026 m/hour) と  $\sigma_{sh}$  ( $1.4 \times 10^9$  strain/hour) は、1997年4月～1998年3月の期間における1時間値差の標準偏差である。大室山北の水位と東伊豆の体積歪の1時間値差をみてやると、大室山北の水位はSwarm9509とSwarm9703の発生前に $2\sigma_{wh}$ を越える変化をしており、東伊豆の体積歪はSwarm9509とSwarm9804の発生前に $2\sigma_{wh}$ を越える変化をしていることがわかる。なお、大室山北の潮汐変化から推定される体積歪変化に対する感度を第1表に示す。

伊豆半島およびその周辺のGPSや測地測量のデータから求められた多田（1998、私信）のモデル（第2表）に基づき、Okada（1992）<sup>1)</sup>のプログラムを用いて、4つの群発地震による体積歪変化の総量の分布を示したのが第4図である。また、群発地震前後の大室山北の地下水位変化の総量と、同観測点における第4図の計算から求められた体積歪変化の総量を比較したものが第5図である。群発地震前後の大室山北の地下水位変化の総量は、降雨による変化を含んでいるので、それほど正確な値ではないが、理論的に求められた大室山北観測井における群発地震による体積歪変化と良い

相関を示している。第5図から求められる地下水位の体積歪変化に対する感度は  $0.154 \text{ cm}/10^8$  で第1表で求められたものの半分程度である。これは、上述のように降雨の影響を水位変化が含んでいるためか、水位の体積歪変化に対する感度に周波数依存性があるのかもしれない。

(小泉尚嗣・佃 栄吉・上垣内修・松本則夫・高橋 誠・佐藤 努)

#### 参 考 文 献

- 1) Okada, Y. , Internal Deformation due to Shear and Tensile Faults in a Half-space, Bull. Seism. Soc. Amer., 82 (1992), 1018-1040.
- 2) 内藤宏人・吉川澄夫, 地殻変動解析支援プログラム MICAP-Gの開発, 地震2, 52 (1999), 101-104.
- 3) Sato, T., and H. Hanada, A program for the computation of oceanic tidal loading effects 'GOTIC', Int. Latitude Obs. Mizusawa, 18 (1984), 63-82.

第1表 大室山北観測井 (OMR) の地下水位の1994年10月～1998年10月の潮汐成分。理論体積歪は GOTIC<sup>3)</sup>を用いて計算している。AMPは振幅を示す。O<sub>1</sub>分潮とM<sub>2</sub>分潮の周期はそれぞれ、25.8時間と12.4時間である。カッコ内の値はBAYTAP-Gで計算される標準偏差を示す。

Table.1 Tidal components of the groundwater level at OMR during the period from October 1994 to October 1998.

	Groundwater level		Theoretical tidal Volumetric strain*		Strain Sensitivity	Phase Shift
	a. Amp** cm	b. Phase degree	c. Amp 10 <sup>-8</sup>	d. Phase degree	a/c cm/10 <sup>-8</sup>	b-d degree
O <sub>1</sub> ***	0.171 (0.051)	202.2 (17.3)	0.553 6.2	0.309	196.0 (0.092)	(17.3)
M <sub>2</sub> ***	0.279 168.6 (0.041)	0.865 (8.4)	16.4	0.322	152.2 (0.047)	(8.4)

\* Theoretical tidal volumetric strain, which includes the contribution of the earth tides and ocean tides, were calculated by the program 'GOTIC'<sup>3)</sup> [Sato and Hanada, 1984].

\*\* Amp means amplitude.

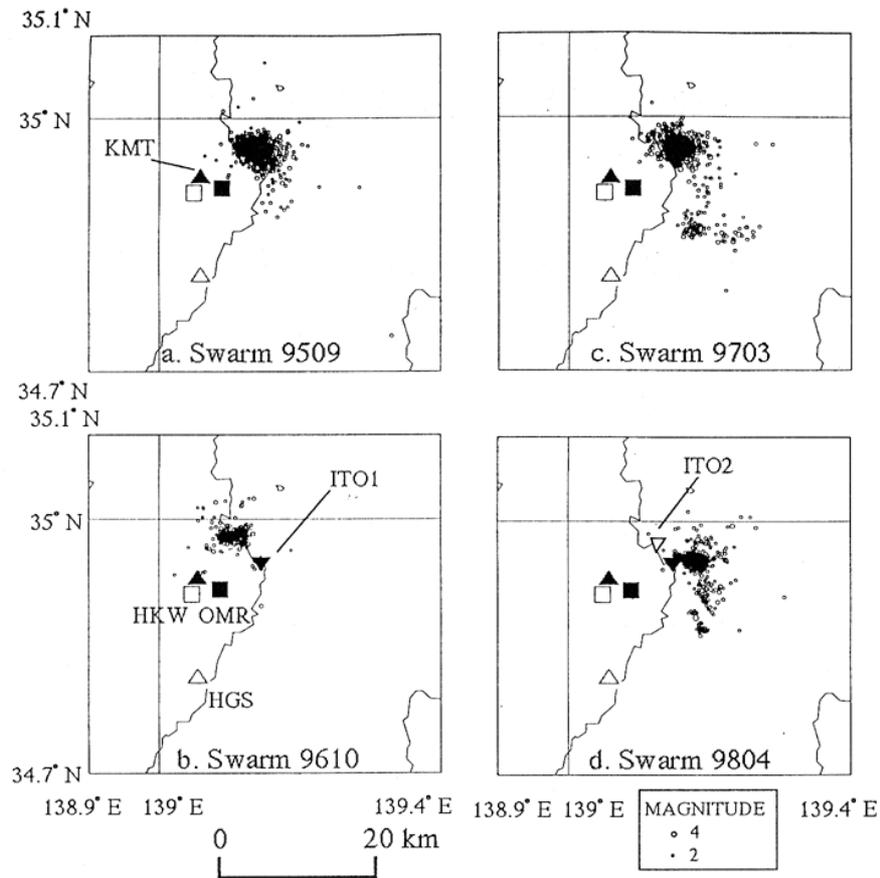
\*\*\* The period of O<sub>1</sub> and M<sub>2</sub> is 25.8 hours and 12.4 hours, respectively. Values in parentheses are the respective standard deviations.

第2表 4つの群発地震時の地殻変動を説明する断層モデル (多田, 私信, 1998)。緯度・経度・深さは矩形断層モデルの上部北西端の位置である。

Table.2 Parameters of the rectangular fault models for four earthquake swarms (E. Tada, personal communication, 1998).

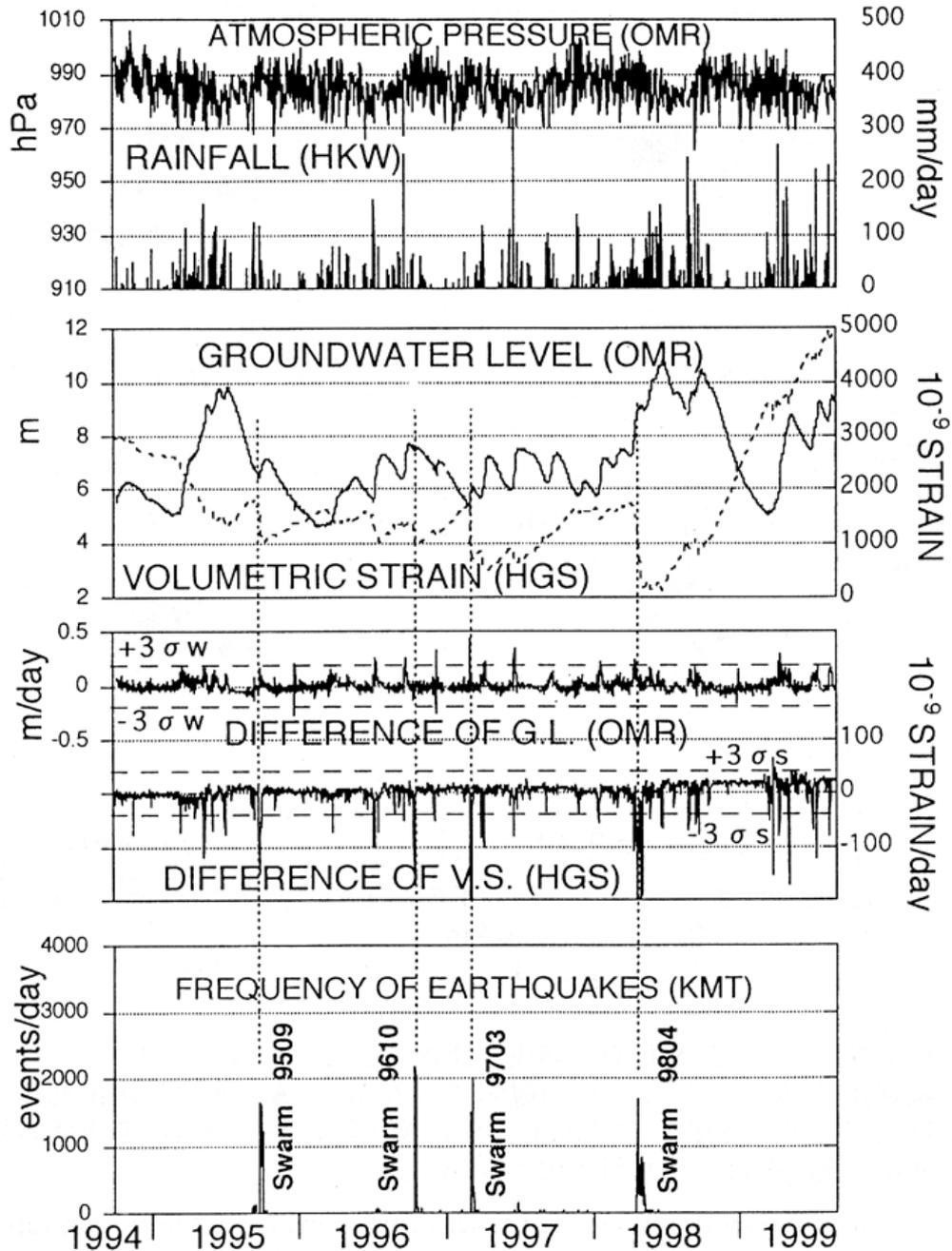
		Latitude* degree	Longitude* degree	Depth* km	Length km	Width km	Strike degree	Dip degree	Open m	Rake degree	Slip m
Swarm 9509	Fault 1	34.97915	139.15408	2.024	2.241	7.774	117.2	73.6	0.868		0
	Fault 2	34.95474	139.16036	6.666	1.324	3.299	118.4	76.2	0.812		0
Swarm 9610		34.98908	139.13572	4.336	1.192	8.382	123.2	60.1	1.149		0
Swarm 9703	Fault 1	34.97008	139.16104	0.508	1.994	5.757	126.1	76.1	1.112		0
	Fault 2	34.96413	139.18267	2.269	4.307	2.472	156.5	65	0	-10.4	1.231
Swarm 9804	Fault 1	34.95996	139.17963	0.286	2.347	5.754	126.1	79.8	1.192		0
	Fault 2	34.95306	139.18034	1.615	5.342	1.867	167.1	64.8	0	5.1	0.818

\* Location of the upper northwest edge of the rectangular fault.



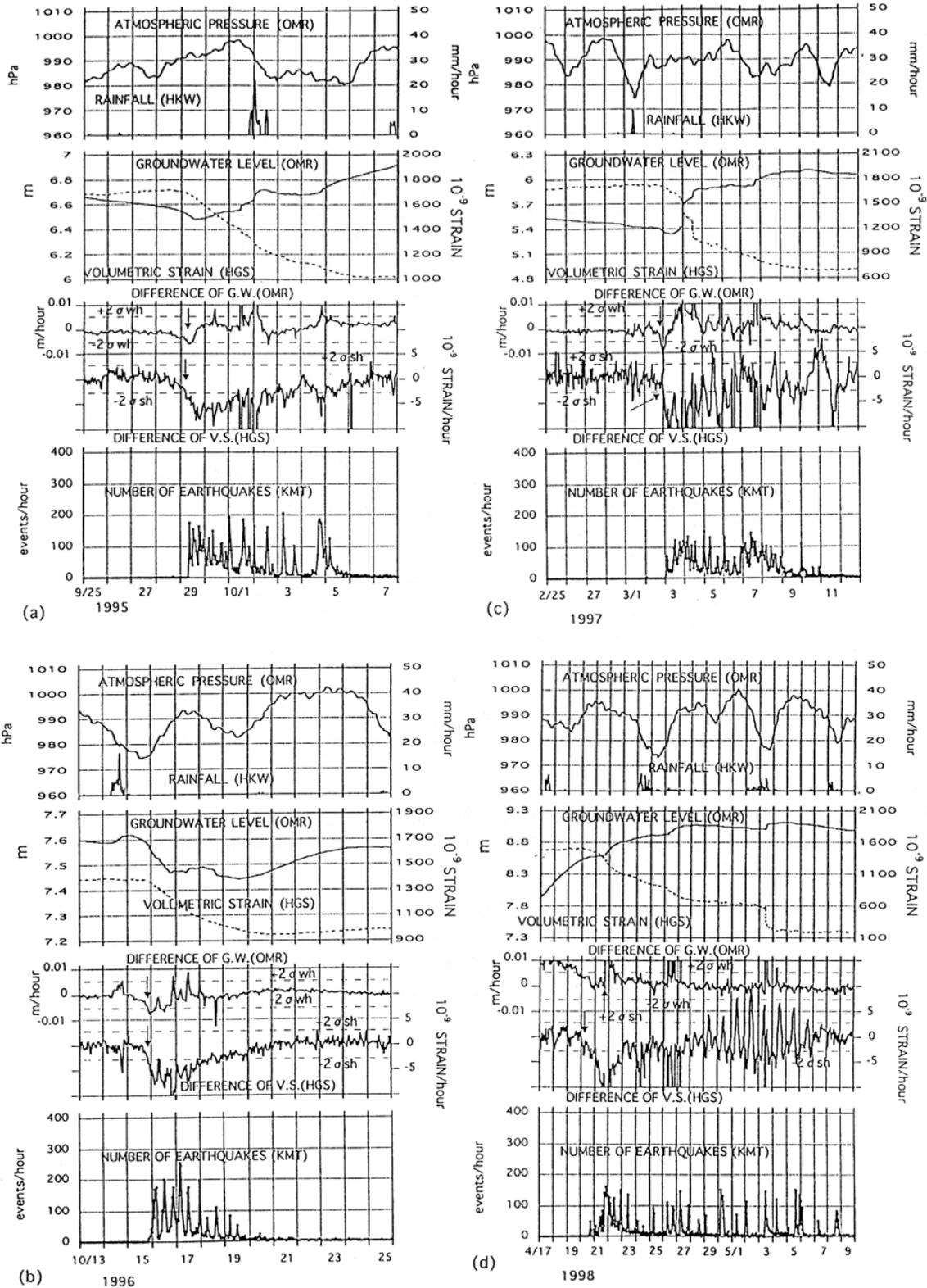
第1図 観測点配置と4つの群発地震の震央(深さ30km以浅, マグニチュード2以上)。■:大室山北観測井(OMR), □:冷川南観測井(HKW), ▲:気象庁鎌田地震観測点(KMT), △:気象庁東伊豆体積歪観測点(HGS), ▼:防災科学技術研究所傾斜観測点(ITO1), ▽:地震研究所地殻歪・傾斜観測点(ITO2)

Fig.1 Location of observation stations and epicenter distribution of four relatively large earthquake swarms off the east coast of the Izu Peninsula. Magnitudes of the earthquakes are 2.0 or greater with depths of 30 km or less. ■:Omuroyama-kita well (OMR), □:Hiekawa-minami well (HKW), ▲:Kamata seismic station(KMT), △:Higashi-Izu strain station (HGS), ▼: Ito 1 tilt station, ▽: Ito 2 strain and tilt station.



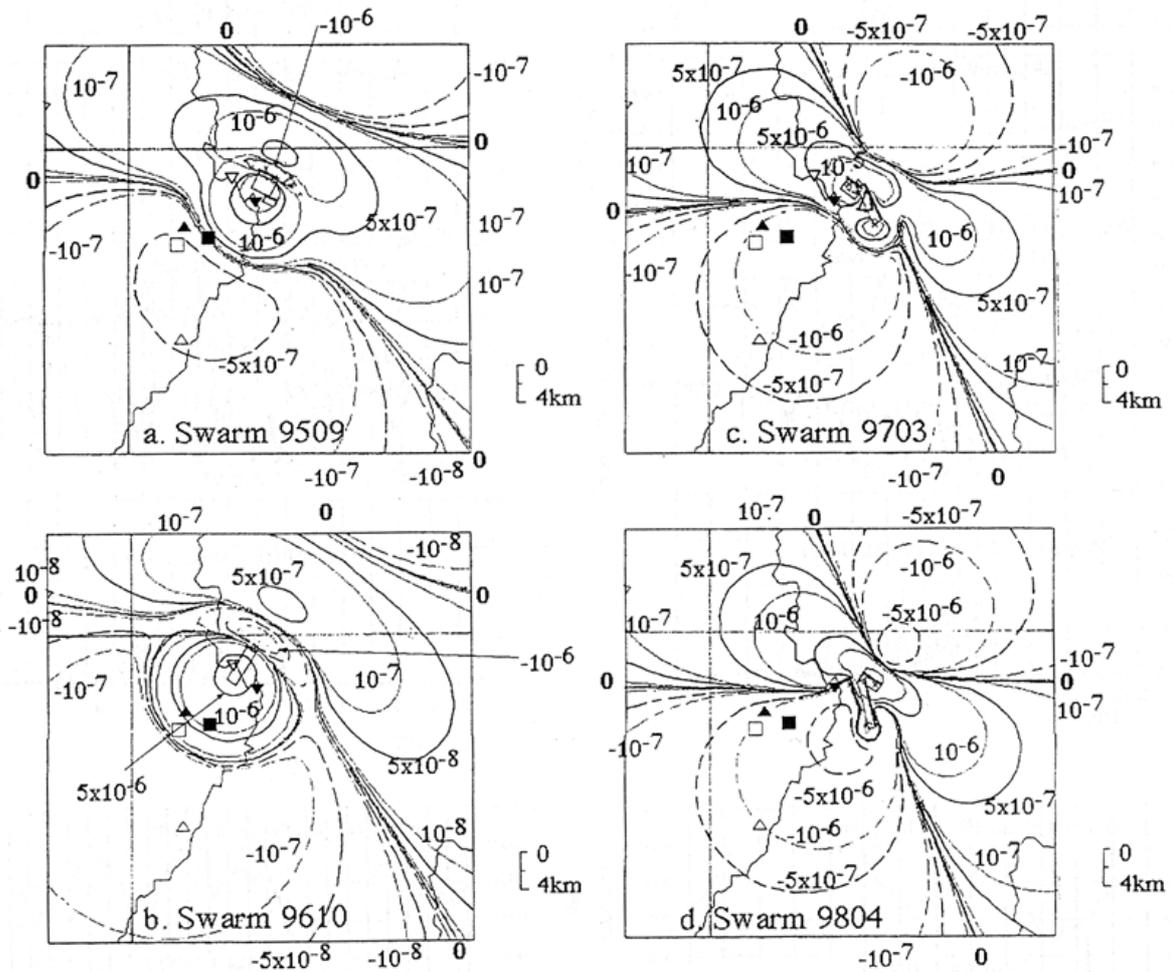
第2図 1994年10月～1999年9月の観測結果（1日値）。気圧（OMR）・地下水位（OMR）は生データの日平均値。体積歪（HGS）は、BAYTAP-Gの（トレンド+イレギュラー）出力から  $5.5 \times 10^{-8}$  strain/day のリニアトレンドを除去したものの日平均値，DIFFERENCE OF GLとDIFFERENCE OF V.S.は地下水位と体積歪の日平均値の差である。降雨と地震数は1日の合計値である。

Fig.2 Observational results during the period from October 1994 to September 1999. Atmospheric pressure and groundwater level at OMR, and volumetric strain at HGS are daily mean values. DIFFERENCE OF GW. and DIFFERENCE OF V.S. mean daily difference values of the groundwater level and volumetric strain, respectively. Rainfall at HKW and frequency of earthquakes at KMT show daily accumulated values.



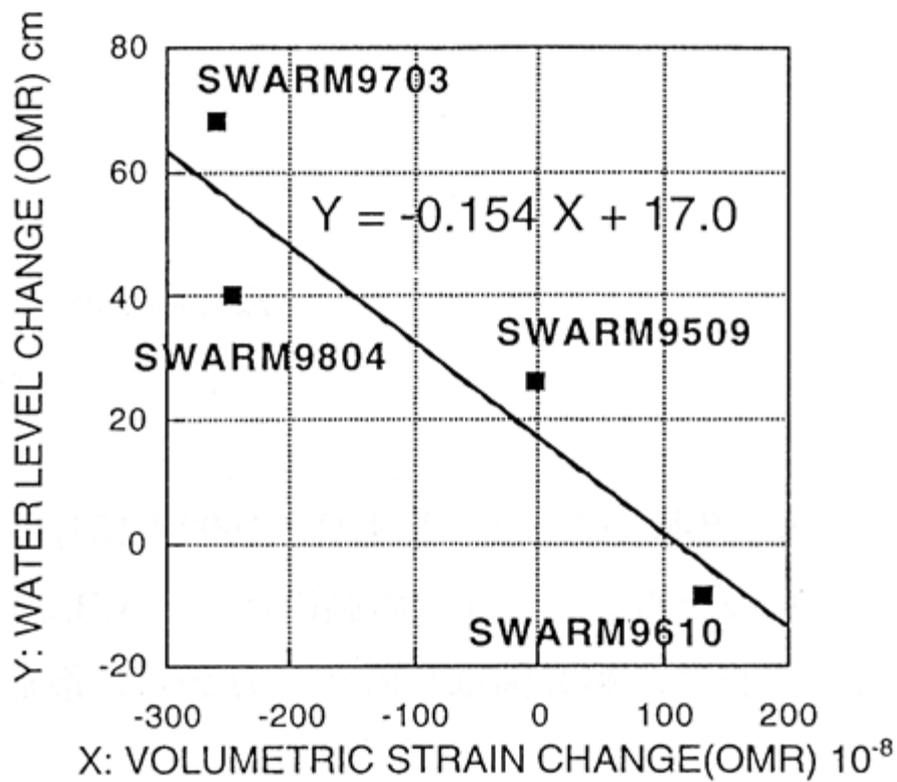
第3図 4つの群発地震前および群発地震時の観測結果（1時間値）。矢印は地震に関連すると思われる変化が $2\sigma_{wh}$ や $2\sigma_{sh}$ を最初に越えた時間を示す。a. Swarm 9509, b. Swarm 9610, c. Swarm 9703, d. Swarm 9804。

Fig.3 Observational results before and during the swarm activities. Each figure shows the hourly values. Arrows show the first time when the earthquake-related changes in the difference reached  $\pm 2\sigma_{wh}$  or  $\pm 2\sigma_{sh}$ , respectively. a. Swarm 9509, b. Swarm 9610, c. Swarm 9703, d. Swarm 9804.



第4図 第2表の断層モデルから計算された、地震後の体積歪総変化量の分布。実線および正の値は伸びを示し、破線および負の値は縮みを示す。図はMICAP-G (内藤・吉川, 1999)<sup>2)</sup>を用いて作成した。

Fig.4 Distribution of total volumetric strain changes calculated from the fault models (Table 2), which are shown by the rectangles. Positive values and solid lines show extension, and negative values and broken lines show contraction. This figure was drawn by MICAP-G [Naito and Yoshikawa, 1999]<sup>2)</sup>, which is a program to assist crustal deformation analysis.



第5図 群発地震の断層モデルより計算された大室山北観測井での群発地震後の体積歪変化（総量）と水位変化（総量）との比較。最小二乗近似により直線とその傾きを求めてある。

Fig.5 Comparison of the total theoretical volumetric strain changes to the total observed earthquake-related groundwater level changes at OMR. The straight line is fitted by the least squares method.