

7-14 1999年3月16日の滋賀県北部の地震 (M4.9) 前後における
花折観測井と大原観測井での地殻歪と地下水位の変化
**Crustal strain changes and groundwater level changes related to
the Shiga-ken hokubu earthquake (M4.9) on 16 March, 1999.**

地 質 調 査 所
Geological Survey of Japan

地質調査所では、花折断層南部の2地点（滋賀県大津市花折峠付近と京都府京都市左京区大原）に観測井を設け、地殻歪・地下水位等の連続観測を1998年2月より行っている。1999年3月16日16時43分に発生した滋賀県北部の地震（M4.9、深さ12km、P軸方位は東南東-西北西の逆断層型）に前後して、地殻歪及び地下水位の変化を両観測井で観測した。この地震の震央と両観測井の位置を第1図に示す。両観測井の諸元を第1表に示す。

<花折観測井で観測した地殻歪の変化>

花折観測井での地震前4ヶ月から地震後40日までの観測データを第2図に示す。第2図では計測・表示システムのオートシフト機能が動作しており、地震時の歪ステップを正しく表示できていない。また、地震前9日間の観測データを第3図に示す。この期間の花折観測井では、湧水状態（3気圧、毎分130cc）にある地下水の採水作業にともない、水圧が変動している。

地殻歪のN102成分（歪3）で、地震の前後で顕著な歪変化を観測した。この方向は地震のP軸とほぼ並行（花折断層の走向とほぼ直交）な方向である。N102成分では、2月4日から歪の変化傾向が縮み側に曲がり始めた（第2図の矢印）。3月になると縮みの傾向はより顕著になった。3月14日からはさらに加速した（第3図の矢印）地震発生時までの積算量で150ナノストレインの縮みを観測した。地震時には、縮み量360ナノストレインの歪ステップが生じた。地震後も、歪の縮みは4月6日まで継続し、その積算量は210ナノストレインであった。4月6日以降は2月期の変化速度に復帰している。尚、N102成分は、採水作業に伴う水圧変化にほとんど反応しない。

N342成分（歪2）では、3月2日から歪の変化傾向が伸び側に曲がり始め（第2図の矢印）、3月14日以降は伸びに転じるまでになった（第3図の矢印）。地震発生時までの積算量で80ナノストレインの伸びを観測した。地震時には、縮み量60ナノストレインの歪ステップが生じた。地震後は、歪の伸びが4月6日まで継続し、その積算量は170ナノストレインであった。4月6日以降は2月後半期の変化速度に復帰している。尚、N342成分は、採水作業に伴う水圧変動にわずかであるが応答するが、3月以降の水圧変化は緩やかな単調増加であり、上述の歪変化は水圧変化によるとは考えられない。

N222成分（歪1）は、採水作業に伴う水圧変化に鋭敏に反応するため、地震前の歪変化異常を検出できていない。3月15日10時頃からの縮みの発生（第3図）は降雨による影響と考えられる。地震時には縮み量100ナノストレインの歪ステップが生じた。地震後は歪の縮みが3月28日まで継続し、その積算量は80ナノストレインであった。3月28日以降は2月後半期の変化速度に復帰している。

<大原観測井で観測した地殻歪の変化>

大原観測井での同期間の観測データを、第4図と第5図に示す。大原観測井の地殻歪のN68成分(歪2)でのステップ状の変化は計器異常によるものである。大原観測井での歪変化は、花折観測井の歪変化より一桁小さく、明瞭でない。

N308成分(歪1)では、3月7日から歪の変化傾向が縮み側に曲がり始め、地震発生時までの積算量で14ナノストレインの縮みを観測した。この方向はP軸にほぼ平行(花折断層の走向方向にほぼ直交)な方向である。

N188成分(歪3)では、3月14日から歪の伸びを観測した(第5図の矢印)。

大原観測井での地震時の歪ステップ量はN308成分・N188成分・N68成分で、それぞれ24ナノストレイン(伸び)・16ナノストレイン(伸び)・25ナノストレイン(縮み)であり、花折観測井での歪ステップ量より一桁小さい。

大原観測井では、花折観測井で見られたような地震後の歪変化は観測されていない。3月20日から3月25日頃にかけての3成分に共通した30ナノストレイン前後の縮みは、同時期に起きている地下水位の上昇に起因するものと考えられる。

<大原観測井と花折観測井で観測した地下水位の変化>

大原観測井と花折観測井で、地震の直前90~20分に地下水位の異常(水位低下)を観測した。

大原観測井では、潮汐による地下水位の上昇が地震の直前90分から停滞した(第6図)。水位停滞の発生と同時に地殻歪のN308成分(◇印)に伸びが生じているように見える。翌17日の地下水位変化と比較すると、地震発生時までの水位の積算低下量は6mmである。大原観測井での地震時の水位変化は低下であり、直前90分間の異常(水位上昇の停滞)は地震時の変化と同センスである。

花折観測井では、水圧が地震の直前20分から低下し始めた(第7図)。地震発生時までの水圧の積算低下量は4mm相当である。花折観測井での地震時の水圧変化は増加であり、直前20分間の異常(水圧低下)は地震時の変化と逆センスである。

大原観測井では、2月12日の亀岡の地震(M4.0, 震源距離30km)と3月16日の滋賀県北部の地震(M4.9, 震源距離21km)の前に、同様の地下水位変化を観測した。

亀岡の地震では1月16日から26日にかけて水位が55mm上昇し、以降は地震発生時まで水位はほぼ一定であった。

滋賀県北部の地震では、2月13日~25日にかけて水位が76mm上昇し、以降は地震発生時まで水位はほぼ一定であった(第6図の矢印)。

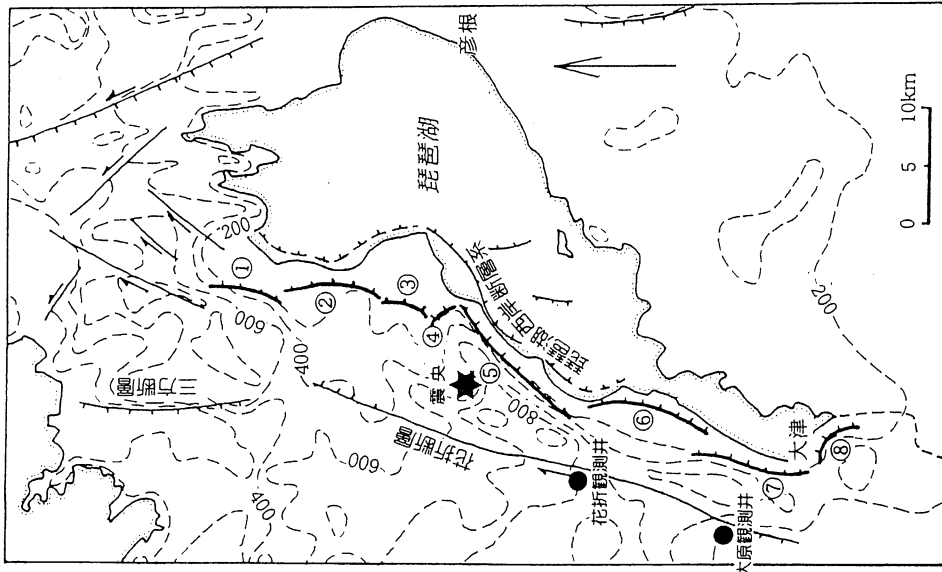
これまで述べた地震前後の地殻歪の変化と地下水位の変化を、それぞれ第2表と第3表にとりまとめた。

(長 秋雄, 小泉尚嗣)

第1表 花折観測井と大原観測井の諸元

Table. 1 Descriptions of Hanaore and Ohara observation stations

	花折観測井	大原観測井
滋賀県北部の地震震央(震源)距離	12km (17km)	21km (24km)
観測井位置	東経 135° 51' 25.3" 北緯 35° 11' 12.8" 標高 476m	東経 135° 49' 19.7" 北緯 35° 06' 28.4" 標高 217m
花折断層との位置	西に500m	西に600m
花折断層の走向	N-S (NO) (断層屈曲部)	NNE-SSW (N20) (断層直線部)
地下水測定 1) 測定計器 2) ストレーナ深度 3) 樫孔区間 4) 地下地質 5) 透水係数 6) 潮汐(両)振幅	地上の圧力計 (500kPa計) (毎分130ccの湧水状態) G.L.-234.8m~245.7m G.L.-226m~260m 破碎頁岩(丹波帯中古生層) 一軸強度: 2MPa ヤング率: 0.7GPa 7.5×10 ⁻⁸ cm/sec 4 cm相当	G.L.-12mに設置した水位計 G.L.-255.6m~266.6m G.L.-245m~270m 花崗閃緑岩 一軸強度: 200MPa ヤング率: 60GPa 1.0×10 ⁻⁵ cm/sec 3 cm
地殻歪測定 1) 測定計器 2) 設置深度 3) 地下地質 4) 潮汐(両)振幅	石井式水平3成分 (明豊エンジニアリング製) G.L.-270m 緑色岩(丹波帯中古生層) 一軸強度: 65MPa~110MPa ヤング率: 30GPa~60GPa N102成分: 30×10 ⁻⁹ N342成分: 10×10 ⁻⁹ N222成分: 20×10 ⁻⁹	石井式水平3成分 (明豊エンジニアリング製) G.L.-278m 花崗閃緑岩 一軸強度: 200MPa ヤング率: 60GPa N308成分: 20×10 ⁻⁹ N188成分: 10×10 ⁻⁹ N 68成分: 30×10 ⁻⁹

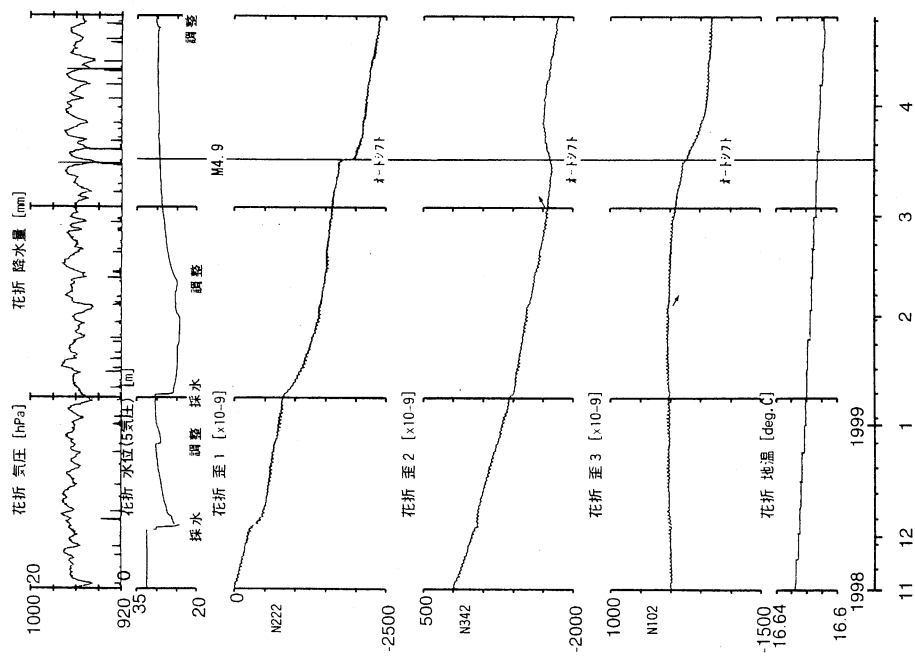


第1図 3月16日滋賀県北部の地震の震央と観測井位置及び周辺の活断層

①酒波断層, ②饗庭野断層, ③上寺断層, ④拝戸断層, ⑤比良断層, ⑥堅田断層, ⑦比叡断層, ⑧膳所断層. 小松原(1998)に加筆.

Fig. 1 Location of the earthquake (M4.9), Hanaore and Ohara observation stations and active faults.

花折観測井 (大津市) (時間値)
(1998/11/16 00:00 - 1999/04/26 00:00)



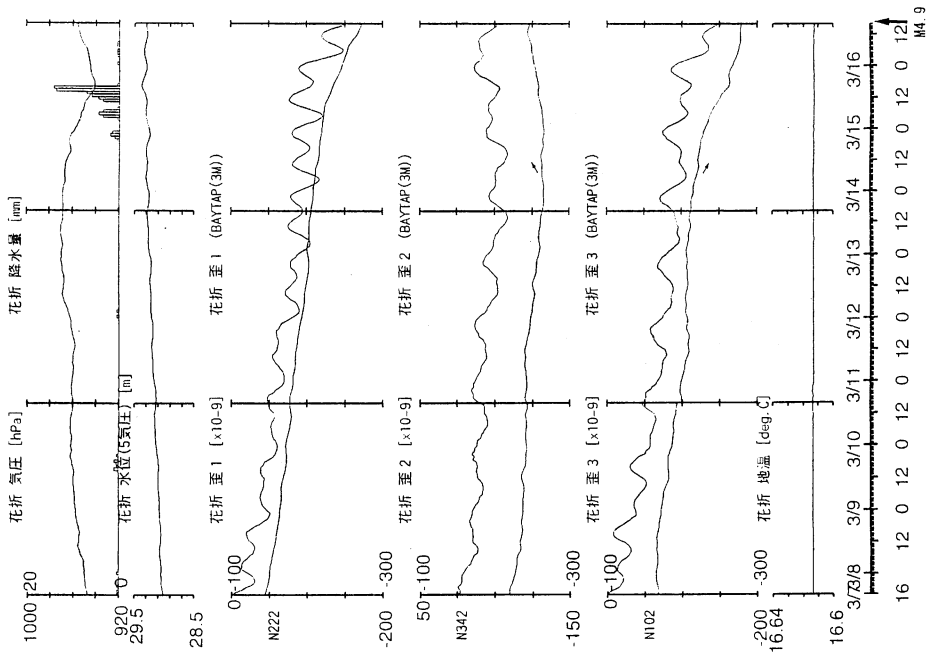
第2図 花折観測井での地震前4ヶ月と地震後40日間の観測データ

Fig. 2 Observation results at Hanare station from Nov. 16, 1998 to Apr. 25, 1999.

Atmospherical pressure, rainfall, groundwater pressure, horizontal crustal strain 1 (N222E direction), 2 (N342E), 3 (N102E) and underground temperature.

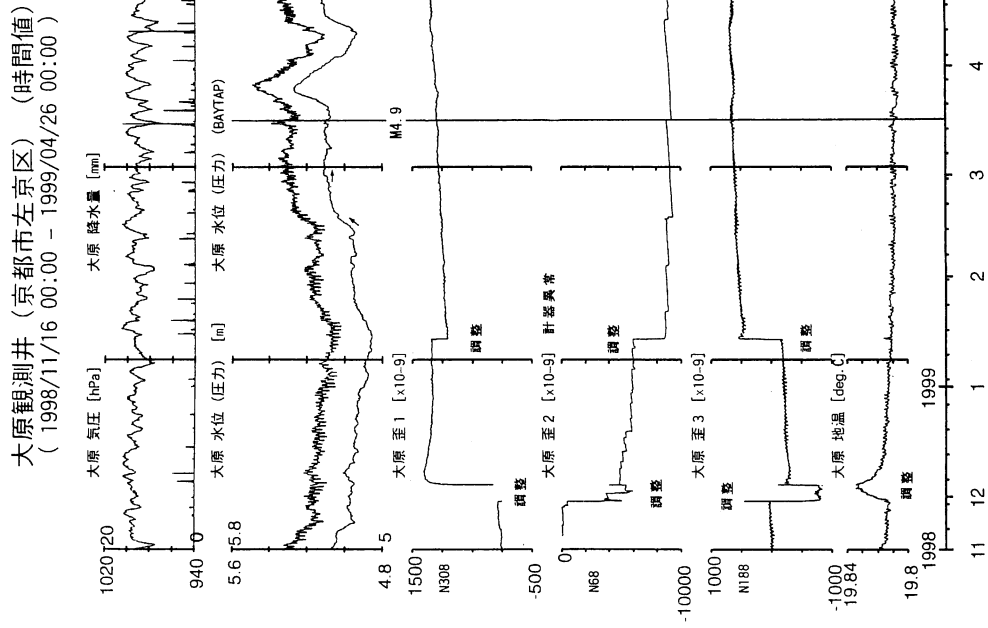
Co-seismic strain steps are not drawn in stain 2 and strain 3 owing to the auto sift drawing system.

花折観測井 (大津市) (時間値)
(1999/03/07 16:00 - 1999/03/16 16:00)



第3図 花折観測井での地震前9日間の観測データ

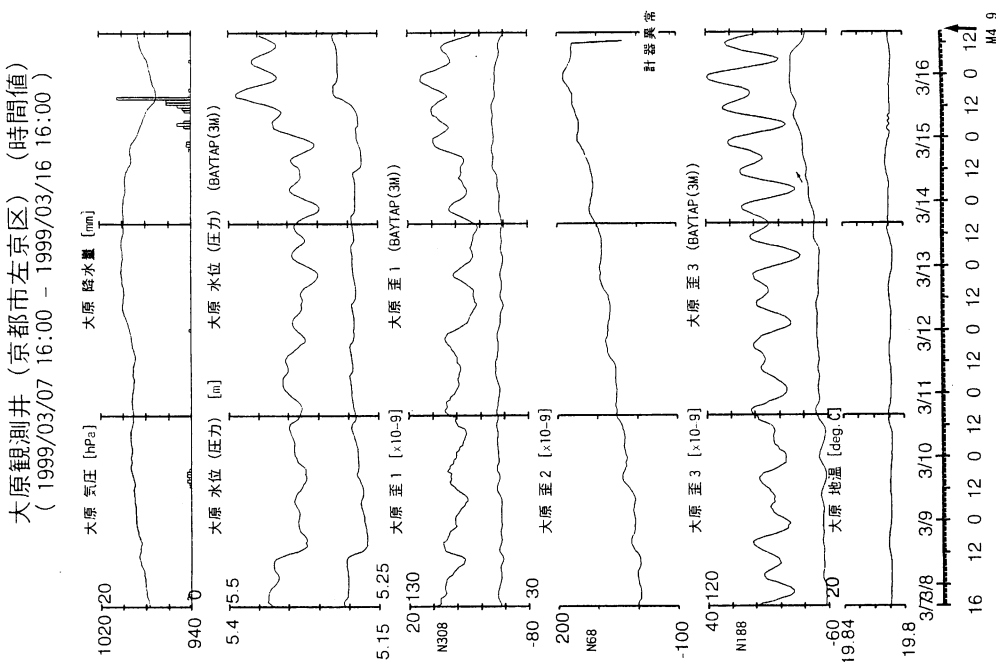
Fig. 3 Observation results at Hanare station 9 days before the earthquake (4. 9). Smooth trends are calculated by BAYTAP-G.



第4図 大原観測井での地震前4ヶ月と地震後40日間の観測データ

Fig. 4 Observation results at Ohara station from Nov. 16, 1998 to Apr. 25, 1999.

Atmospherical pressure, rainfall, groundwater level, horizontal crustal strain 1 (N308E direction), 2 (N68E), 3 (N188E) and underground temperature.

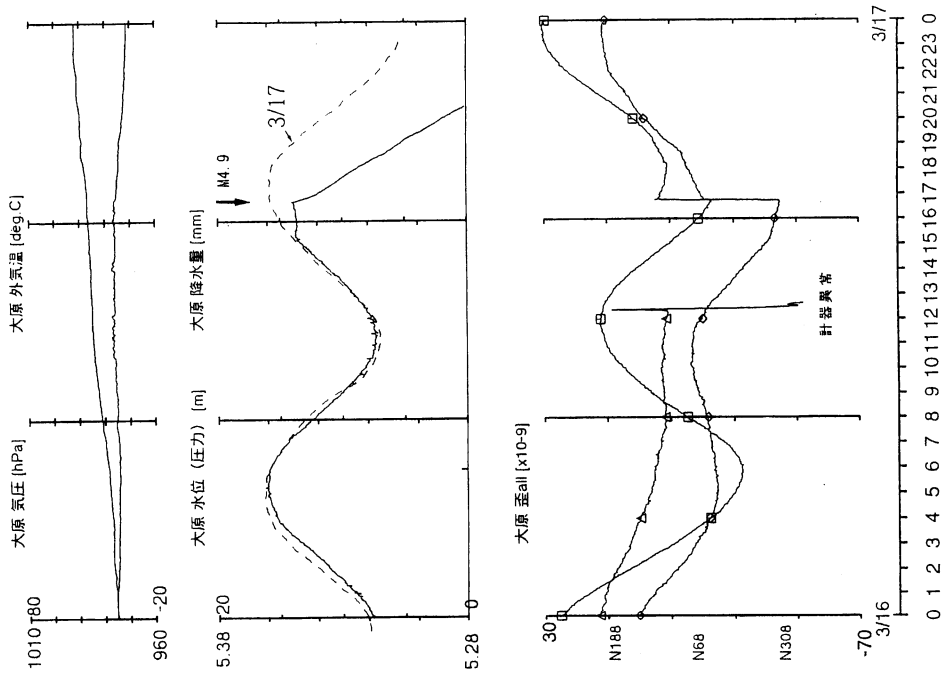


第5図 大原観測井での地震前9日間の観測データ

Fig. 5 Observation results at Ohara station 9 days before the earthquake (M4.9).

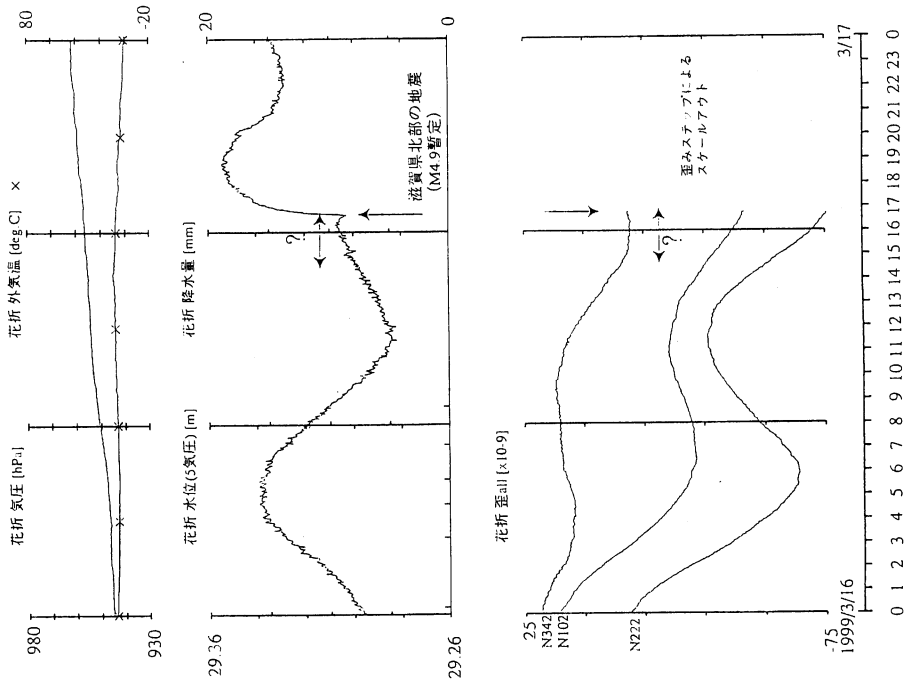
Smooth trends are calculated by BAYTAP-G.

大原観測井 (京都市左京区) (2分値)
(1999/03/16 00:00 - 1999/03/17 00:00)



第6図 大原観測井での地震当日の観測データ
Observation results at Ohara station on Mar. 16, 1999.
Atmospherical pressure, temperature, groundwater level, rainfall and horizontal crustal strains.

花折観測井 (大津市) (2分値)
(1999/03/16 00:00 - 1999/03/17 00:00)



第7図 花折観測井での地震当日の観測データ
Observation results at Ohara station on Mar. 16, 1999.
Atmospherical pressure, temperature, groundwater pressure, rainfall and horizontal crustal strains. Strain data after the earthquake are out of scale.

第2表 3月16日滋賀県北部の地震の前後での地殻歪の変化

Table. 2 Crustal strain changes related to the earthquake (M4.9).

	地震前(4ヶ月) 1998/11/16~1999/3/16	地震前(9日) 3/7/16:00~3/16/16:00	地震時	地震後(40日) 1999/3/16~4/25
花折観測井 N102成分 (P軸とほぼ平行)	2/4~EQ: 縮み 積算量 -150n (Baytap-G)	3/14~: 縮み 加速	縮み -360n	EQ~4/6: 縮み → 定常化(縮み) 積算量 -210n (Baytap-G) 2月の歪速度
N342成分 (P軸とほぼ直交)	3/2~EQ: 伸び 積算量 +80n (Baytap-G)	3/14~: 伸び 加速	縮み -60n	EQ~4/6: 伸び → 定常化(縮み) 積算量 +170n (Baytap-G) 2月後半の歪速度
N222成分	(口元圧変化に回答)	3/15~: 縮み?(雨)	縮み -100n	EQ~3/28: 縮み → 定常化(縮み) 積算量 -80n (Baytap-G) 2月後半の歪速度
大原観測井 N308成分 (P軸とほぼ平行)	3/7~EQ: 縮み 積算量 -14n (Baytap-G)	定常(縮み)	伸び +24n	3/20~3/24: 縮み → 定常化(伸び) 積算量 -25n (Baytap-G) 地震前の歪速度
N188成分 (P軸とほぼ直交)	変化なし	3/14~: 伸び 3/16~: 縮み?(雨)	伸び +16n	3/20~3/25: 縮み → 4/10~: 縮み 積算量 -35n (Baytap-G) (地下水位上昇)
N 68成分	(計器異常)	(計器異常)	縮み -25n?	3/20~3/25: 縮み?

第3表 3月16日滋賀県北部の地震の前後での地下水位の変化

Table. 3 Ground water level changes related to the earthquake (M4.9).

	地震前(4ヶ月) 1998/11/16~1999/3/16	地震前(9日) 3/9/16:00~	地震直前 (90分)	地震時	地震後(40日) 1999/3/16~4/25
花折観測井	(湧水採取作業中)	(水圧回復中)	20分前から 水圧低下? -4mm相当	水圧増加	変化なし (水圧回復中)
大原観測井	1/16~1/26: 水位上昇 +55mm (Baytap-G) 1/27~2/12: 水位一定 2/12 亀岡の地震(M4.0) 震源距離 30km 2/13~2/25: 水位上昇 +76mm (Baytap-G) 2/26~3/16: 水位一定	水位一定	90分前から 水位低下 -6mm (対翌日比)	水位低下	EQ ~3/17: 水位低下? -19mm (Baytap-G) 3/20~3/25: 水位上昇 +114mm (Baytap-G) (この期間, 降雨あり) 3/26~4/9: 水位低下 4/10~4/25: 水位上昇 (4月10日の降雨の影響)