

研究紹介

地震防災対策強化地域及び活断層近傍における地下水等総合観測研究

佃 栄吉¹ 小泉尚嗣² 森原保人²

Eikichi TSUKUDA, Naoji KOIZUMI and Yasuto KUWAHARA (2000) Integrated Groundwater Monitoring Studies in the Intensified Observation Area and near Major Active Faults. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 51 (9), p. 435-445, 20 figs.

Abstract: This project started in 1999 to succeed the previous project "Groundwater monitoring studies in the Tokai intensified observation area and other special observation areas for earthquake prediction research". The main purposes of this project are 1) to maintain the integrated monitoring well network system composed of 40 observation wells in Tokai, southern Kanto, Kinki and Chubu regions, and to develop more effective methods of data processing and analysis, 2) to clarify the mechanism of hydrological precursors of earthquakes, 3) to study changes of groundwater level, crustal strain, radon concentration, etc. related to earthquakes. Some results of this project for FY 1999 are briefly introduced in this paper earthquakes.

要 旨

平成11年度から15年度までの5カ年計画で実施する工業技術院特別研究「地震防災対策強化地域及び活断層近傍における地下水等総合観測研究」について、その概要とともに、平成11年度の研究成果について紹介する。本研究では観測強化地域である東海・南関東地域及び活断層が密集している近畿・中部地域の地下水、3成分地殻歪み等の観測を高精度かつ高分解能で行い、できるだけ欠測無く行うことにより、その変動を詳細に記録し解析することを重要視している。そのため、1) 地下水等に関する観測・解析処理技術の高度化に関する研究、2) 地下水等の変動メカニズムに関する研究、3) 活断層近傍の地下水等変動に関する研究の3つの重点課題を挙げ、研究を進めている。

1. はじめに

本研究は平成10年度まで実施していた工業技術院特別研究「観測強化地域及び特定観測地域における地下水等観測研究」を継承し、巨大地震の発生が予測されている東海・南関東地域及び活断層が密集して発達している近畿・中部地域において、地震予知技術の実用化に資するため、地下水等の観測を継続し、観測・解析技術の高度化を図ることを目的としている。平成10年度までの特別

研究では東海及び南関東地域の観測体制について近代化及び高度化を図ったほか、近畿・中部地域に新たな総合観測施設を展開することができた(本特集号 P391-400参照)。本研究では平成11年度から15年度の5カ年計画として、これらの総合観測データも含め、観測の維持・データの解析に重点を置き、地震予知技術の高度化を目指して以下の研究を行うことにしている。

1) 地下水等に関する観測の維持・解析処理技術の高度化に関する研究。

東海・南関東地域で実施している地下水等の観測体制を維持継続するとともに、より高感度の地下水観測井の開発、既存観測井の見直しに努め、地震の前駆的変動の解析技術の高度化(補正処理、ノイズレベル調査)を進め、判定会(気象庁)での検討に資する。また、近畿・中部地域の主要な活断層近傍に設置している地下水観測体制を維持・継続し、高品質の連続データを蓄積する。また、必要に応じて観測施設の再配置等を行う。

2) 地下水等の変動メカニズムに関する研究。

地震に対して敏感に反応する地下水観測井の特徴解明、地下水位の地殻変動に対する周波数特性の解明、地下水位変化と地殻変動の空間的広がり、ラドン濃度の地殻変動に対する応答特性の解明等の研究を実施する。

3) 活断層近傍の地下水等変動に関する研究。

酸素・水素同位体を用いて地下水流動の研究を行い、

¹ 地質調査所企画室長 (Director of Research Planning Office, GSJ)

² 地質調査所地震地質部 (Earthquake Research Department, GSJ)

Keywords: groundwater monitoring, earthquake prediction, intensified observation area, active fault, hydrological precursor, groundwater level, borehole strain meter, data correction system

活断層による地下水流動遮断の影響等を解明する。また、活断層に関する歪み・応力蓄積過程と地震活動の関係に関する研究を行う。

2. 研究内容および成果の概要

5カ年計画の初年度として以下の研究を実施した。ここではそれらの概略を記すこととし、詳細な内容については引用した個々の論文を参照していただきたい。

1) 地下水等の観測・解析処理技術の高度化に関する研究

各観測施設における通信等のトラブルに関して適切に処置を行い、観測の維持に努めた。処理解析システムについては、解析ソフトウェアの改良と共に2000年問題対応のための必要な最小限の処置をとり、データの収集に関しては大きなトラブルを回避できた。また、データ公開の一つの手段として取り組んでいる公開WEB (Well Web, <http://150.29.8.261/GSJ/>) の改善を行った。2) 以降で述べる各研究に基づき、各観測施設・観測項目の

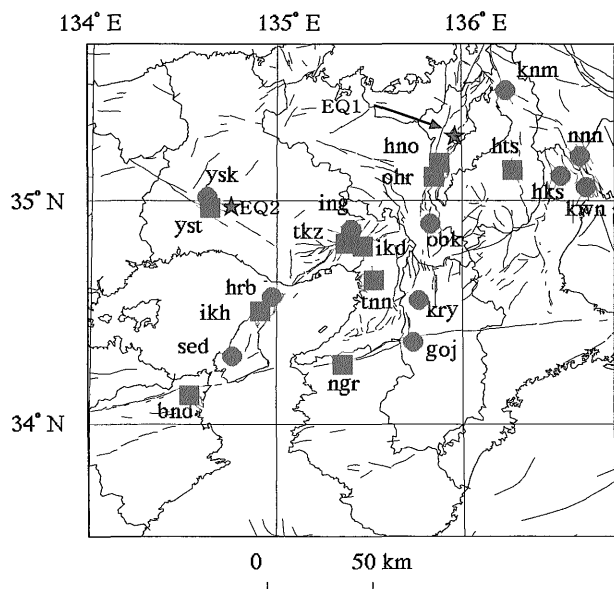
評価を行い、個々の観測の継続についての是非を検討した。

東海地域判定会(気象庁)及び地震予知連絡会(国土地理院)へは東海・伊豆地域の地下水観測結果、近畿・中部地域の各種観測結果及び解析結果をとりまとめて、コメントをつけて定期的に報告している(地質調査所, 1999a; 1999b; 1999c; 1999d; 1999e; 1999f; 地質調査所, 2000a; 2000b; 2000c; 2000d; 2000e; 2000f など)。また、必要に応じて、地震調査委員会(地震調査研究推進本部, 科技厅)へも観測結果を報告している。これらは地質調査所が観測項目を分担して組織的に行っている重要な業務の一つとして引き続き行う必要がある。

2) 地下水位変動のメカニズムに関する研究

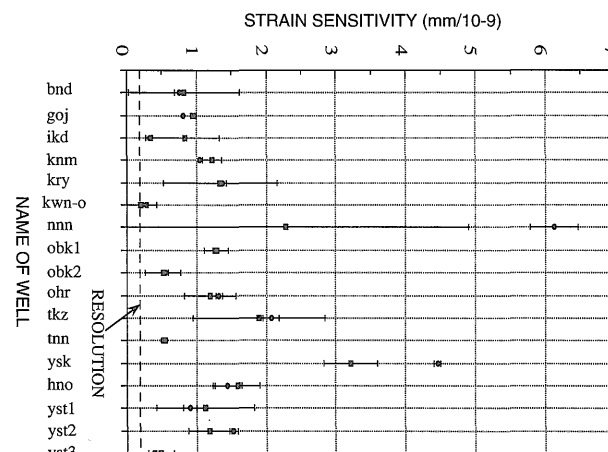
近畿およびその周辺地域に設置した地質調査所の地下水観測網の各観測井について、その特性及び地殻変動に対する感度に関して評価を行った。その結果、潮汐または地震時について 10^{-9} またはそれより大きい体積歪変化(あるいはそれに相当する地殻変動)を、26観測井の中の17~20の井戸で地下水位として検出できることがわかった(小泉他, 1999a, 近畿地域の観測井の分布を第1図に、第2図に良好な観測井の感度を示す。)

1999年4月17日に発生した兵庫県南西部の地震(第1図EQ2, M3.8)の数時間から10数時間前に、山崎断層地域に設置した安富観測井において、異常な地下水位・地殻歪変化があることを検出した(小泉他, 1999b, Ko-



第1図 地下水観測点(●・■)と活断層分布および地震の震央(★)(地質調査所, 1999b; 小泉他, 1999aより)。■は3成分ボアホール型歪計を併設している観測点。EQ1が1999年3月16日の滋賀県北部の地震(M4.9)で、EQ2が1999年4月17日の兵庫県南西部の地震(M3.8)。

Fig. 1 Distribution of active faults, epicenters (★) and groundwater observation stations of the Geological Survey of Japan (●・■). At the stations shown by the solid squares, crustal strain is also observed by 3-component borehole-type strain meters. EQ1 means the earthquake (M4.9) in the northern part of the Shiga Prefecture. EQ2 means the earthquake (M3.8) in the southwestern part of the Hyogo Prefecture.



第2図 潮汐解析から得られる各観測井戸の水位の体積歪み変化に対する感度(■がO₁分潮(周期25.8時間)で●がM₂分潮(周期12.4時間)に対するもの、RESOLUTIONは水位計の分解能を示す(小泉ほか, 1999aより)。

Fig. 2 Volumetric strain sensitivity of the well water levels calculated from the tidal analysis. ■ and ● are the O₁ component (Period: 25.8 hours) and M₂ component, respectively. 'RESOLUTION' means the resolution of the water level meter.

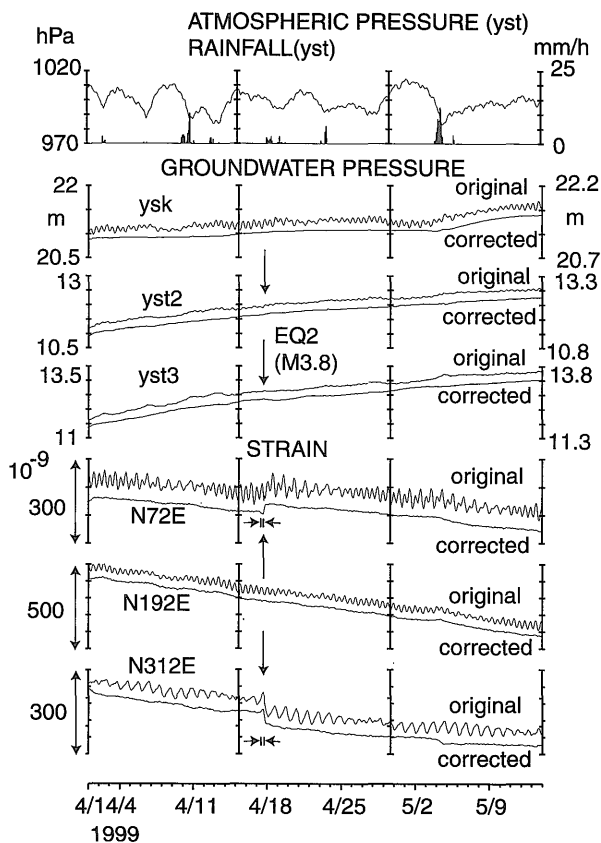
izumi *et al.*, 2000, 第3図及び第4図)。これについては近傍の京都大学防災研究所の地殻変動観測トンネル内の伸縮計にも同様な変化が観測されており(京都大学防災研究所地震予知研究センター, 1999), その信頼性は高い。

平成11年3月16日の滋賀県北部の地震(第1図EQ1, M4.9)に関して, 花折断層沿いに設置した花折・大原観測井の両観測井において, 地下水位と地殻歪みに異常な変化が認められた。これは信頼度の高い地震の前兆変化として認定できることから, 地震予知連絡会等に報告し

(地質調査所, 2000f; 長ほか, 2000), 貴重な観測結果として高い評価を受けた。第5図及び第6図に花折観測井の結果を示す。観測井を設置する過程で得られた資料を基に, 花折・大原観測井に関して求められた地殻応力値の解析し, 国内の他地点での地殻応力値との比較結果についてまとめた(地質調査所, 1999a; 2000c)。

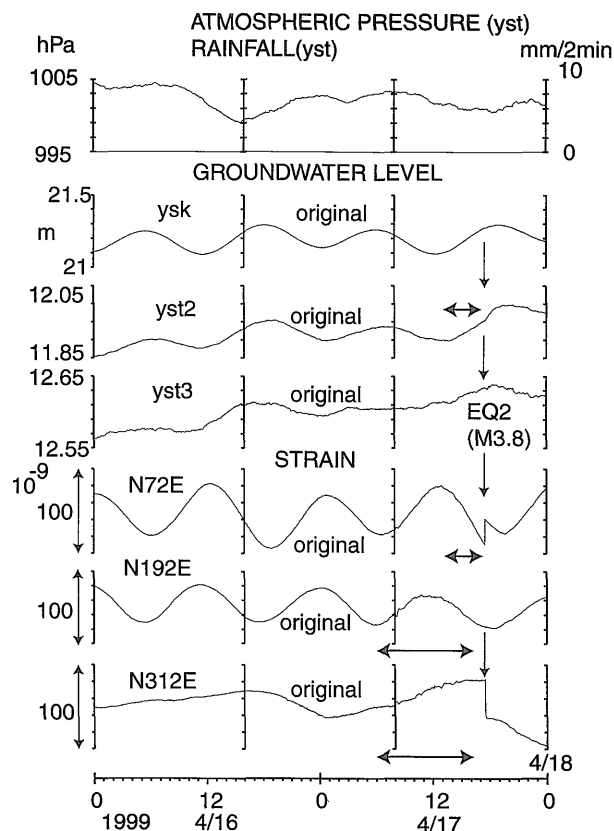
近畿地方およびその周辺部の地質調査所地下水観測網に併設した14点からなるGPS観測点の1996年7月~1998年12月までのデータを解析・評価した(地質調査所, 2000c)。第7図に筑波局を基点とした各地点の水平速度ベクトルを示す。この結果は地質調査所観測点近傍の国土地理院GPS観測点のそれとほぼ一致した。また, 地盤の鉛直変動と地下水位変動とを比較した(Ohtani *et al.*, 2000; 地質調査所2000c, 第8図及び第9図)。

三重県に発達する鈴鹿東縁断層系に沿って設置した北勢観測井について, 観測井の構造やその周辺の地下構造等を取りまとめて報告した。観測井は西傾斜の活断層である同断層の通過してその下部にストレーナが設置されている(佐藤他, 2000a, 第10図及び第11図)。



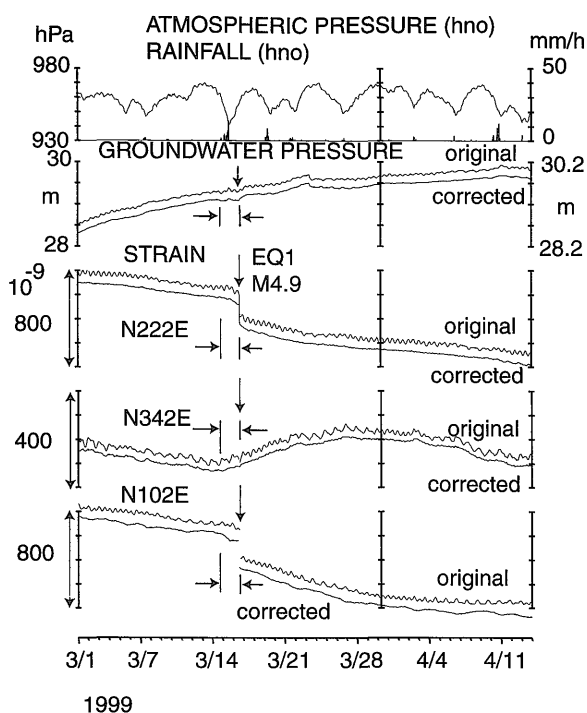
第3図 EQ2発生前後におけるystの地殻歪・地下水位とyskの地下水位の観測結果(1時間値)。yst2とyst3はystにおける2つの観測井戸。鉛直方向の矢印は地震の発生時を示し, 水平方向の矢印は歪み変化に異常が認められる期間を示す。correctedは生データ(original)から潮汐成分と気圧の寄与を除去したものである(Koizumi *et al.*, 2000より)。

Fig. 3 Observational results of the crustal strains at yst and groundwater levels at yst and ysk before and after the occurrence of EQ2. yst2 and yst3 are the observational wells at yst. The hourly values are shown. The vertical arrows show the occurrence of EQ2. The horizontal arrows show the period while anomalous changes in the crustal strains can be recognized. The tidal and barometric effects on the groundwater levels and strains are eliminated from the 'original' data and the residuals are shown as 'corrected'.

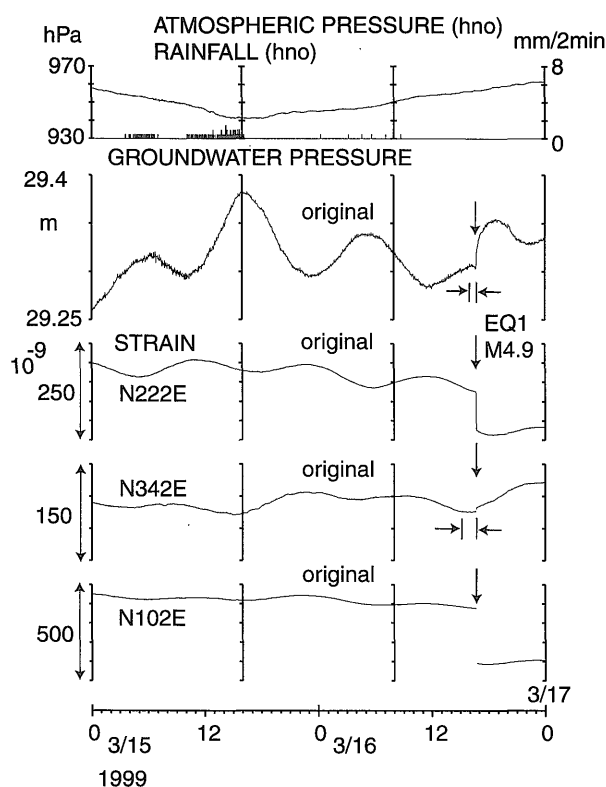


第4図 EQ2発生直前直後におけるystの地殻歪・地下水位とyskの地下水位の観測結果(2分値)(Koizumi *et al.*, 2000より)。

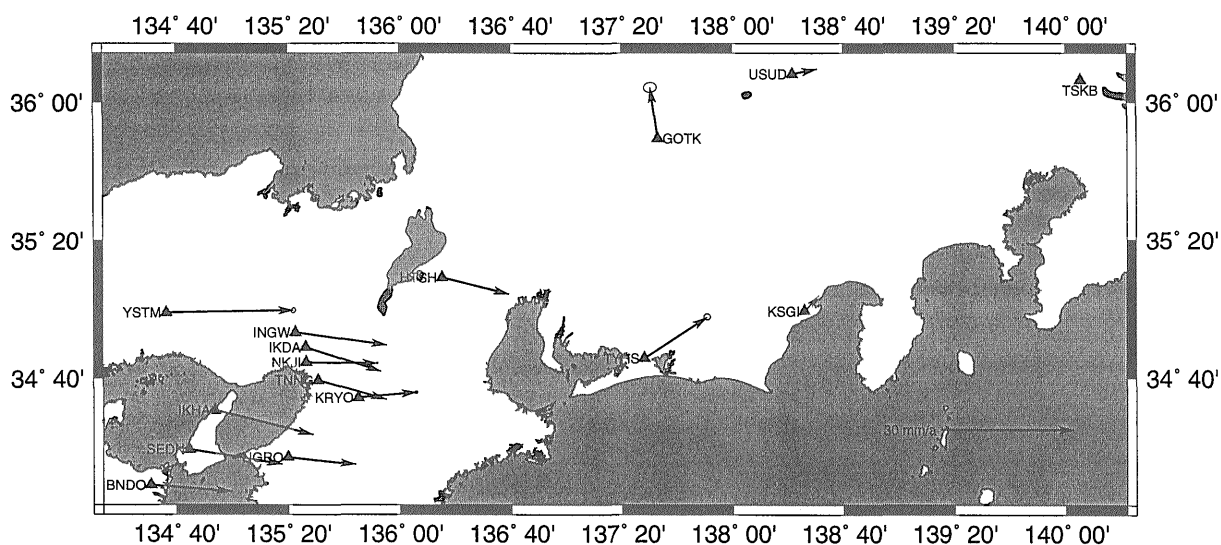
Fig. 4 Observational results of crustal strains at yst and groundwater levels at yst and ysk just before and after the occurrence of EQ2. The original two-minute values are shown.



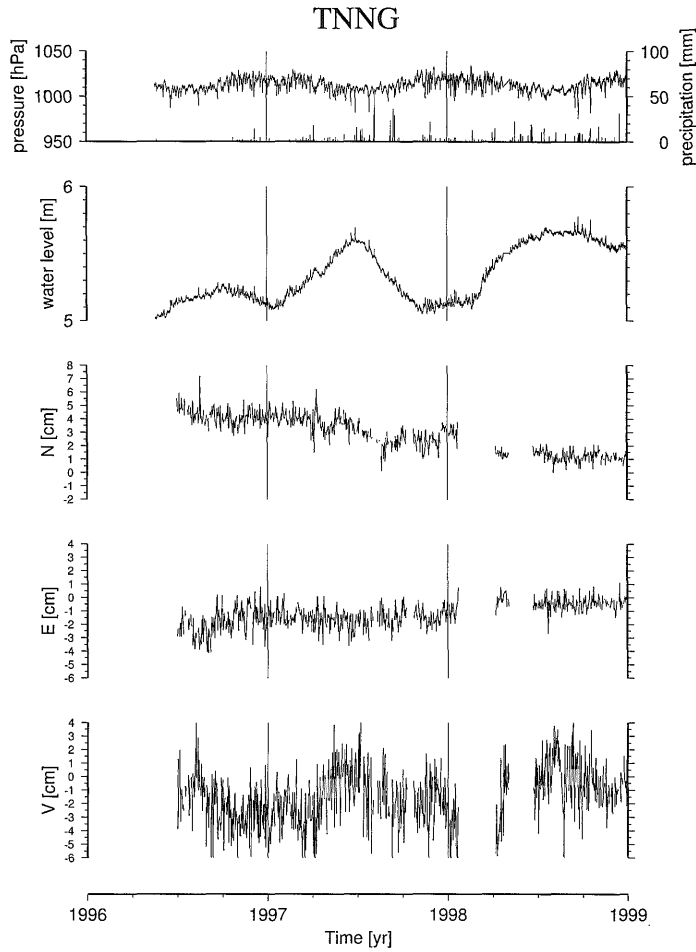
第5図 EQ1発生前後における hno の地殻歪・地下水位観測結果(1時間値)(地質調査所, 1999f より).
 Fig. 5 Observational results of the crustal strains and groundwater level at hno before and after the occurrence of EQ1. The hourly values are shown.



第6図 EQ1発生直前直後における hno の地殻歪・地下水位の観測結果(2分値)(地質調査所, 1999f より).
 Fig. 6 Observational results of the crustal strains and groundwater level at hno just before and after the occurrence of EQ1. The original two-minute values are shown.

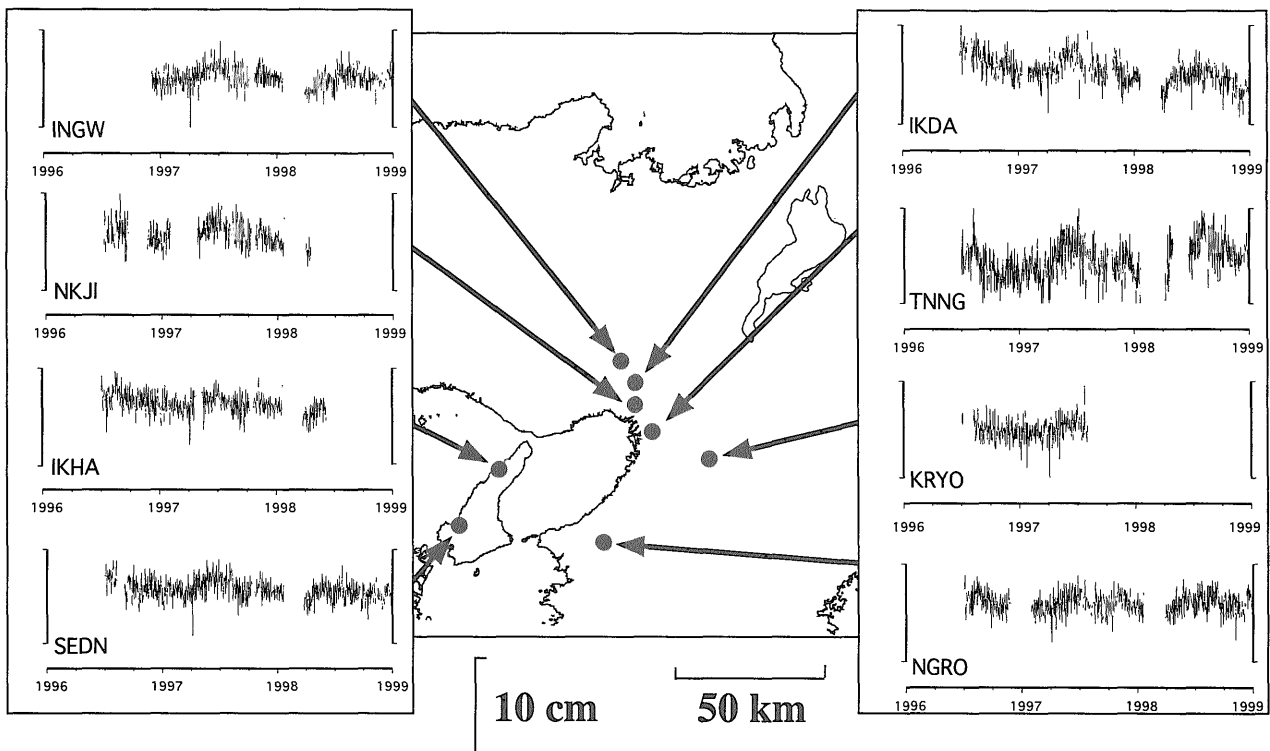


第7図 地質調査所 GPS 観測局及び2つの国土地理院観測局 (Ohtani *et al.*, 2000). 1996年7月から(但し、豊橋, 王滝, 安富については1998年から) 1998年12月までのデータを用いて求められた筑波局に対する各局の水平速度ベクトルを示す。
 Fig. 7 Station location map of the GSJ's CGPS stations and two GSI stations (TSKB, USUD). The horizontal velocities relative to TSKB derived using the data from July 1996 to December 1998 (for TYHS, GOTK, and YSTM, the observations started from 1998) are also shown.



第 8 図 天王寺 (TNG) における、地上気圧、時間雨量、地下水位 (Ohtani *et al.*, 2000). GPS 局の南北変動成分、東西変動成分、鉛直変動成分を上から下に示す。

Fig. 8 From top to bottom, the time series of atmospheric pressure, hourly precipitation, groundwater level, GPS station variations of north, east, and vertical components are shown at Tennoji station (TNG).



第 9 図 近畿地方周辺における地質調査所 GPS 観測局の鉛直成分変位 (Ohtani *et al.*, 2000).
Fig. 9 variations of the vertical component in the GSJ's GPS stations around the Kansai district.

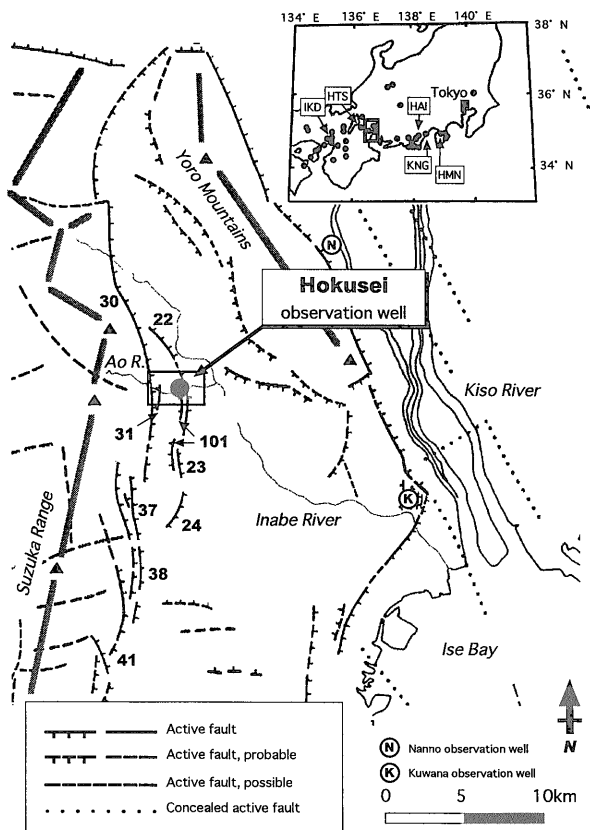
伊豆半島東部にある大室山北観測井の水位データと気象庁東伊豆観測点の体積歪データを解析し、1995年9月、1996年10月、1997年3月及び1999年4月に発生した4つの伊東沖の群発地震の前に地下水位および体積歪に異常な変化が生じていることを検出した (Koizumi *et al.*, 1999)。4つの群発地震と観測点の分布を第12図に、1995年9月の異常な変化例を第13図に示す。また、それらが伊東沖群発地震の主因であるマグマの貫入に伴う地殻変

動によって生じていることを明らかにした (第14図)。

跡津川断層沿いの設置された宮川及び跡津川観測点の2ヶ所の3成分歪計による観測の結果、日本の活断層ではじめて間欠的クリープが存在することが明らかになった。宮川観測点は跡津川断層のロックしている部分に位置し、跡津川観測点はクリープしている部分に位置している。なお、このクリープ現象に関する地震は観測されていない。クリープ継続時間は約3時間であり、クリープ領域は長さ5 km、幅2 km、断層上端の深さが1 km、すべり量0.5mm程度とすることで観測値がほぼ説明される (伊藤・栗原, 1999; 地質調査所, 1999c, 第15図及び第16図)。

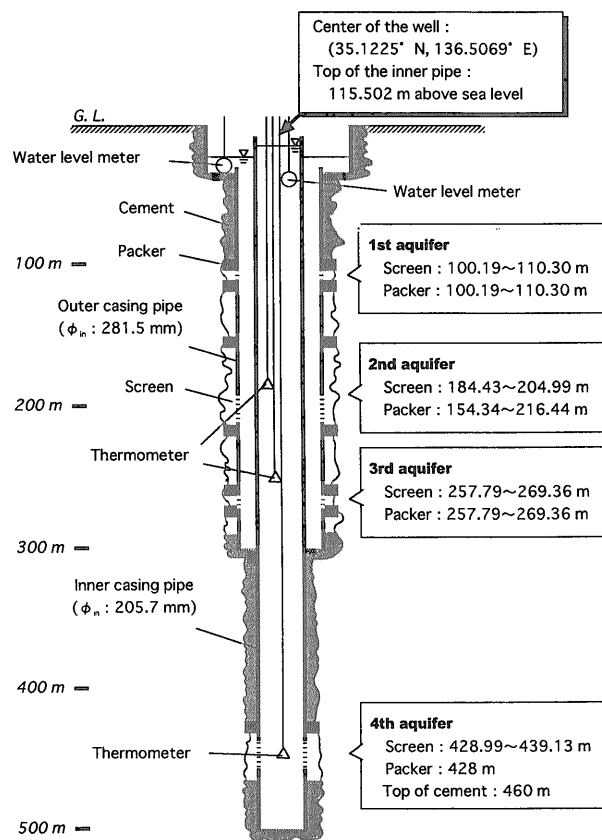
1948年長野県西部地震の発生域である王滝地域で継続している3成分歪計観測では、歪み速度は一定ではなく、2-3ヶ月程度で歪の蓄積速度が変化することがわかった (地質調査所, 1999d; 第17図)。

有馬-高槻-六甲断層帯近傍3地点における兵庫県南部地震以後の3成分歪計による観測の結果、主歪みの方向と極性については宝塚観測点ではほぼ北東-南西方向に縮み、池田観測点ではほぼ北東-南西方向に伸び、育波観測点は東北東-西南西方向に縮みであることがわかった。地震後約5年間それぞれの地点での主歪みの方向の変化は見られないことも明らかとなった (地質調査所, 1999

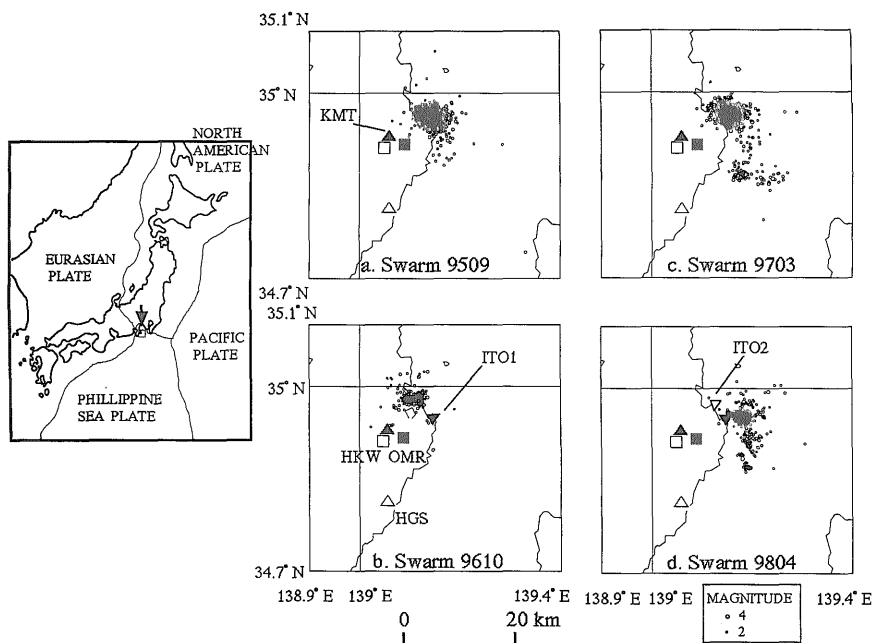


第10図 北勢観測井の位置 (佐藤他, 2000a)。活断層位置と番号は活断層研究会 (1991) による。活断層の名前は、22: 治田断層, 23: 宇賀断層, 24: 田光断層, 30: 藤原岳断層, 31: 新町断層, 37: 釈迦ヶ岳断層, 38: 御在所岳断層, 41: 入道ヶ岳断層, 101: 石榑北山断層。図右上は地質調査所の観測井 (HAI: 榛原, KSN: 草薙, HMN: 姫の湯, HTS: 秦荘, IKD: 池田) の位置を示す。

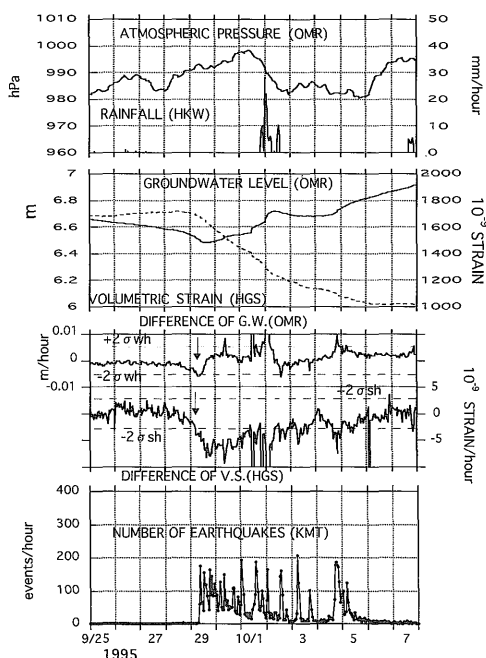
Fig. 10 Location map of the Hokusei observation well. Distribution and number of the active faults are according to the Research Group for Active Faults of Japan (1991). Name of the active faults are 22: Hatta, 23: Uga, 24: Tabika, 30: Fujiwaradake, 31: Shinmach, 37: Shakadake, 38: Gozaishodake and 41: Nyudougatake, 101: Ishigurekitayama. The upper right map shows the location of the observation wells of the Geological Survey of Japan (GSJ) (HAI: Haibara, KSN: Kusanagi, HMN: Himenoyu, HTS: Hata-sho, IKD: Ikeda).



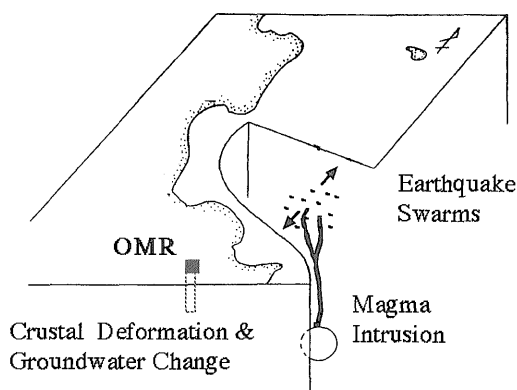
第11図 北勢観測井の構造 (佐藤他, 2000a)。Fig. 11 Structure of the Hokusei observation well.



第12図 観測点配置と4つの群発地震の分布 (Koizumi *et al.*, 1999より)。■：大室山北観測井 (OMR)，□：冷川南観測井 (HKW)，▲：氣象庁鎌田地震観測点 (KMT)，△：氣象庁東伊豆体積歪観測点 (HGS)，▼：防災科学技術研究所地殻傾斜観測点 (ITO1)，▽：東京大学地震研究所地殻歪・傾斜観測点 (ITO2)。
 Fig. 12 Location of observation stations and epicenter distribution of four earthquake swarms off the east coast of the Izu Peninsula. ■: 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13図 Swarm9509前後の観測結果 (1時間値) (Koizumi *et al.*, 1999より)。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。
 Fig. 13 Observational results before and during Swarm 9509. 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 $\pm 2\sigma_{sh}$.

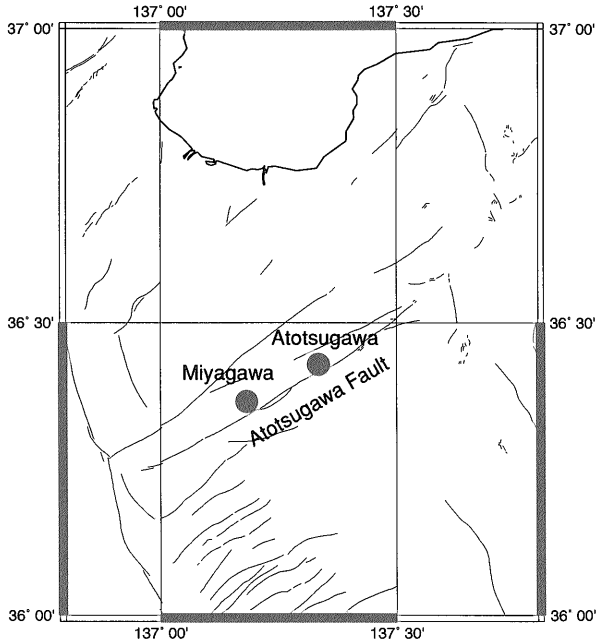


第14図 マグマの上昇と群発地震・地殻変動・地下水変化との関係 (Koizumi *et al.*, 1999より)。
 Fig. 14 Relationship among the magma intrusion, earthquake swarms, crustal deformation and groundwater change.

e; 第18図)。主歪みの絶対値は時間と共に減少していることから、岩石の非弾性的性質による応力緩和過程によるものと解釈される。

3) 活断層近傍での地下水等変動に関する研究

淡路島野島断層地域において継続的に行っている湧水調査 (温度, 湧出量, 水質) の結果 (1995年~1998年) をとりまとめた (Sato *et al.*, 2000; 佐藤他, 2000b, 第19図, 第20図)。1995年兵庫県南部地震後3年間の野島断層周辺表層部の透水量係数は $10^2 \sim 10^3 \text{ cm}^2/\text{s}$ であって

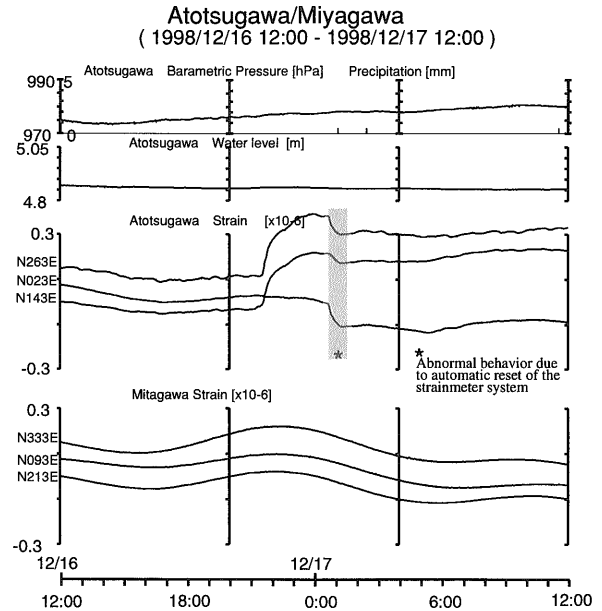


第15図 跡津川断層沿いの宮川・跡津川における地殻活動総合観測点位置(地質調査所, 1999cより)。
Fig. 15 Location map of the observation boreholes at Miyagawa and Atotsugawa along the Atotsugawa fault.

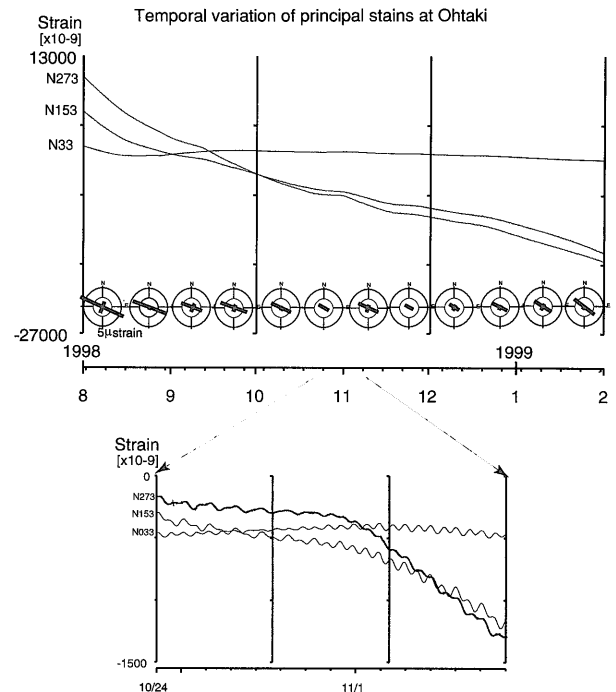
地震前の7倍程度となっていると推定される。他方、野島断層小倉地区の1800m孔で1997年2~3月に行われた注水試験の際に求められている野島断層のごく近傍の深さ数百mにおける透水量係数は $10^5 \text{cm}^2/\text{s}$ となっている(Kitagawa *et al.*, 1999)。両方の帯水層の厚さが不明なので、この値は単純には比較できないが、野島断層深部では表層に比べて透水係数が相当大きいことがわかる。

3. ま と め

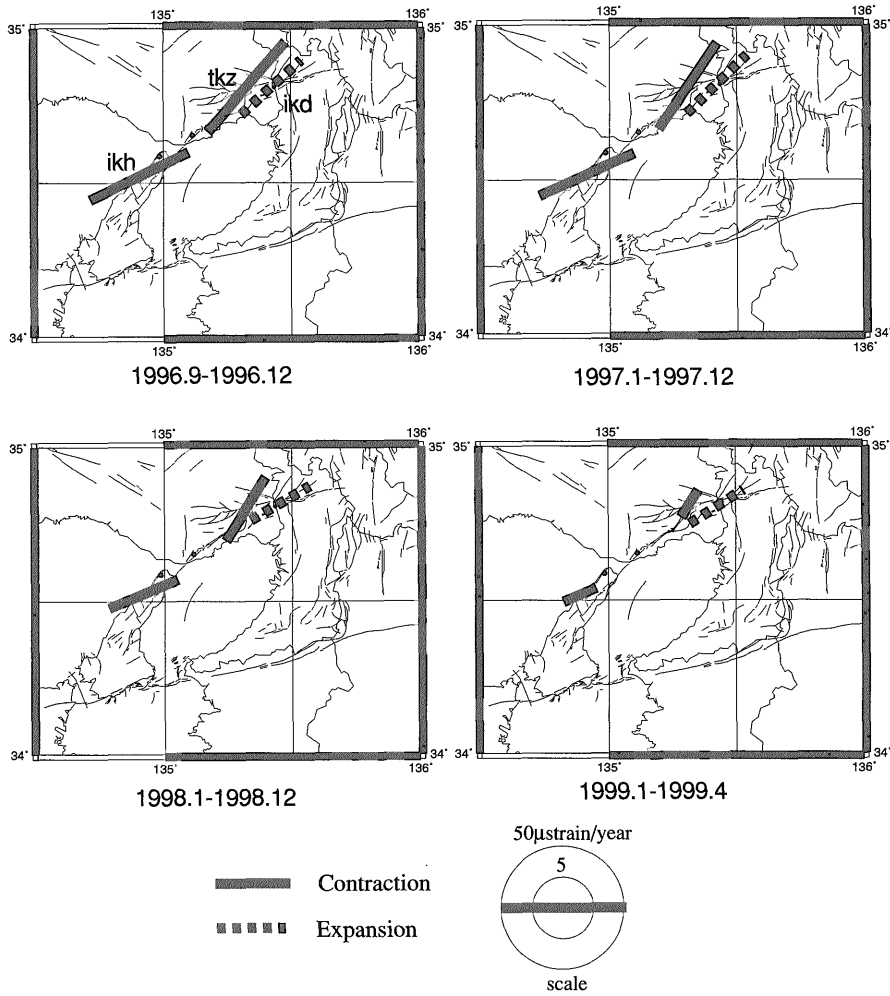
本研究においては、研究者のチームワークを基に、観測施設の維持管理を行い、高品質の連続データの蓄積に重点をおいている。平成11年度は2000年問題への対応も含めおおむね初期の目標が達成できた。次年度以降は地震予知の実用化を目指し、水文学、地質学、地震化学、地震学の諸分野の融合を図り、さらなる研究の進展が期待できよう。なお、本研究には筆者らの他、地震地質部より伊藤久男、高橋 誠、佐藤 務、伊藤 忍、大谷 竜、今西和俊、佐藤隆司、長 秋雄、地質情報センターから松本則夫が参加している。さらに、岐阜大学から佐々木嘉三、田坂茂樹、東京大学から五十嵐丈二、大野正夫、京都大学から渡辺邦彦、岩田知孝、名古屋大学から山内常生の各氏及び米国地質調査所の Dr. E. A. Royloffs の参加を得ている。今後もこのような大学及び海外研究機関との連携をすすめて、地震地下水研究を中心とした観測



第16図 跡津川断層沿いの跡津川・宮川観測点の3成分歪計における間欠的クリープによる歪変化(地質調査所, 1999cより)。
Fig. 16 A temporal strain change due to the episodic creep along the Atotsugawa fault.

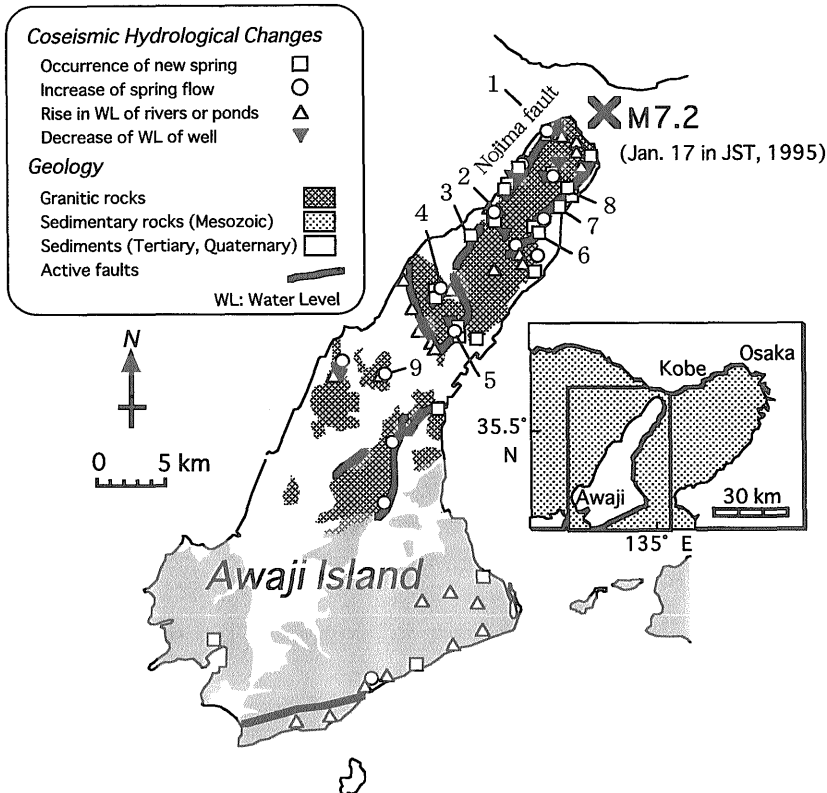


第17図 王滝で観測された3成分歪計・主歪の計算結果(地質調査所, 1999dより)。
下図は歪み変化の大きい時期の拡大図。
Fig. 17 An example of the three component strain data obtained at the GSJ Ohtaki borehole observatory. The values and the directions of principal strains for 15- or 16-day periods are also shown as a polar diagram. The lower figure shows detailed strain data when a large change was observed.



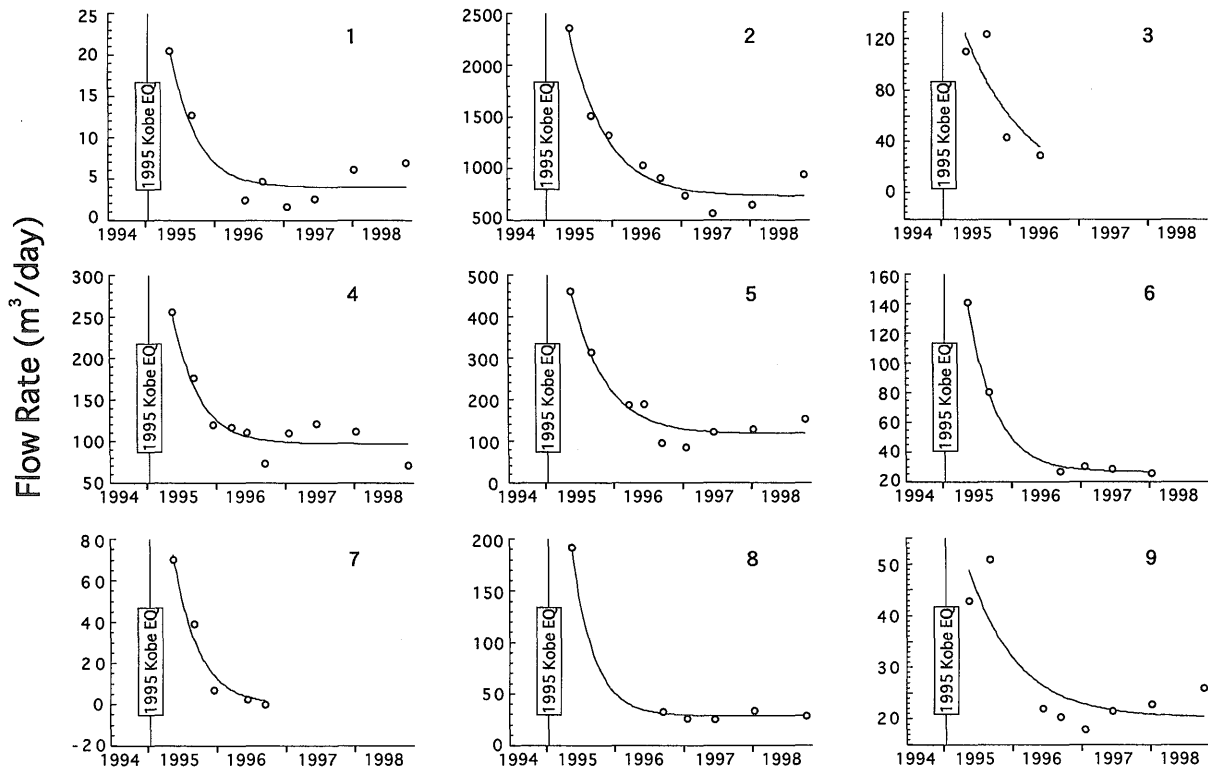
第18図 有馬・高槻・六甲断層帯近傍の主歪の変化（地質調査所，1999eより）。

Fig. 18 Temporal change of principal strains along the Arima-Takatsuki-Rokko fault zone.



第19図 湧出量を測定している湧水の位置（佐藤他，2000bより）。番号は第20図と同じ。1995年兵庫県南部地震後の地下水異常の分布は，佐藤・高橋(1997)による。

Fig. 19 Location of spring flow measurement points. Numbers correspond to those in Fig. 20. Distribution of the coseismic hydrologic changes and geology by Sato and Takahashi (1997) are also shown.



第20図 湧出量の測定結果(佐藤他, 2000bより)。曲線は指数関数で近似を行った結果。

Fig. 20 Coseismic spring flow changes associated with the Kobe earthquake on January 17, 1995. Curved lines are the results of exponential fittings.

研究の中核的研究拠点として位置づけられるようにしたい。

文 献

地質調査所(1999a) 花折断層大津市花折峠附近及び大原での地殻応力測定結果。地震予知連絡会会報, **61**, 491-494。
 地質調査所(1999b) 近畿地域の地下水位・歪観測結果(1998年11月~1999年4月), 地震予知連絡会会報, **62**, 457-463。
 地質調査所(1999c) 跡津川断層沿いの歪計で観測されたクリープ現象について。地震予知連絡会報, **62**, 359-361。
 地質調査所(1999d) 長野県西部・岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果(1998年11月~1999年1月)。地震予知連絡会報, **62**, 355-358。
 地質調査所(1999e) 有馬-高槻-六甲断層帯近傍における1995年兵庫県南部地震以降の主歪の変化。地震予知連絡会報, **62**, 432-433。
 地質調査所(1999f) 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変化。地震予知連絡

会報, **62**, 446-452。

地質調査所(2000a) 東海・伊豆地域におけるテレメータによる地下水等観測結果(1999年5月~1999年10月)。地震予知連絡会会報, **63**, 301-306。
 地質調査所(2000b) 長野県西部・岐阜県東部の活断層周辺における地殻活動観測結果(1999年5月~1999年10月)。地震予知連絡会報, **63**, 331-334。
 地質調査所(2000c) 地質調査所GPS連続観測網の初期成果及び地下水位のと比較。地震予知連絡会会報, **63**, 365-370。
 地質調査所(2000d) 有馬-高槻-六甲断層帯近傍における地殻活動観測結果。(1999年5月~1999年10月) 地震予知連絡会会報, **63**, 371-374。
 地質調査所(2000e) 花折断層京都市大原での地殻応力値と全国の地殻応力値の比較。地震予知連絡会会報, **63**, 386-389。
 地質調査所(2000f) 近畿地域の地下水位・歪観測結果(1999年5月~1999年10月), 地震予知連絡会会報, **63**, 390-396。
 長 秋雄・小泉尚嗣・佃 栄吉(2000) 1999年3月16日の滋賀県北部の地震(M4.9)前後における周辺の地下水位・地殻歪の変化について, 地震

2, 投稿中.

- 伊藤久男・乗原保人 (1999) 跡津川断層沿いの歪計で観測されたクリープ現象について. 日本地震学会講演予稿集 1999年度秋季大会. 141.
- Kitagawa, Y., Koizumi, N., Notsu, K. and Igarashi, G. (1999) Water injection experiments and discharge changes at the Nojima Fault in Awaji Island, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 3173-3176.
- 小泉尚嗣・佃 栄吉・高橋 誠・佐藤 努・松本則夫・伊藤久男・乗原保人・長 秋雄・佐藤隆司 (1999a) 近畿地域およびその周辺地域における地震予知研究のための地質調査所による地下水位観測, *温泉科学*, **49**, 18-33.
- 小泉尚嗣・高橋誠・佃 栄吉・松本則夫 (1999b) 1999年4月17日の山崎断層の地震 (M3.9) 前後における地下水位・地殻歪の変化, 日本地震学会講演予稿集, P149.
- Koizumi, N., Tsukuda, E., Kamigaichi, O., Matsumoto, N., Takahashi, M. and Sato, T. (1999) Preseismic changes in groundwater level and volumetric strain associated with earthquake swarms off the east coast of the Izu Peninsula, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 3509-3512.
- Koizumi, N., Cho, A., Takahashi, M., Tsukuda, E. (2000) Groundwater level observation of Geological Survey of Japan in and around the Kinki district, Japan for earthquake prediction research, *Proceedings of the HOKUDAN International Symposium and School on Active Faulting*, 183-186.
- 京都大学防災研究所地震予知研究センター (1999) 山崎断層の地震 (1999年4月17日 M3.9) に先行した歪変化. 地震予知連絡会報, **62**, 369-374.
- Ohtani, R., Koizumi, N., Matsumoto, N. and Tsukuda, E. (2000) Preliminary results from permanent GPS array by Geological Survey of Japan in conjunction with groundwater level observation, *Earth Planets Space*, (in press).
- 佐藤 努・高橋 誠 (1997) 淡路島の異常湧水の化学組成変化-1995年兵庫県南部地震による影響-. *地球科学*, **31**, 89-98.
- 佐藤 努・高橋 誠・佃 栄吉・上村 尚・菅原豊松 (2000a) 鈴鹿東縁断層帯における地下水観測井の新設-北勢観測井-, *地調月報*, **51**, 1-16.
- 佐藤 努・酒井隆太郎・古屋和夫・児玉敏雄 (2000 b) 地震後の湧出量から推定される水頭拡散率, *地下水技術*, **42**, 16-22.
- Sato, T., Sasaki, R., Furuya, K. and Kodama, T. (2000) Coseismic spring flow changes associated with the 1995 Kobe earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, **27**, 1219-1222.

(受付: 2000年6月21日; 受理: 2000年7月26日)