

変動解析研究室の現在の研究内容と今後の展望

—東海地域の地震予知研究及び内陸活断層の活動モニタリング—

佃 栄 吉¹⁾

1. はじめに

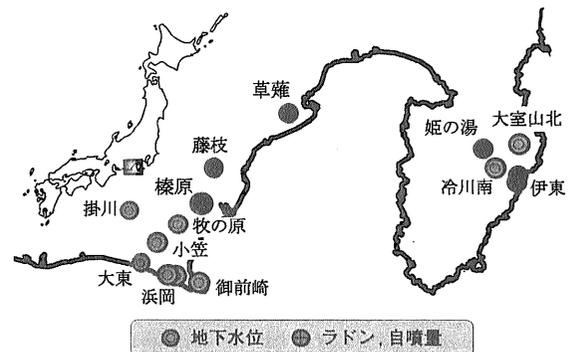
地下水観測による短期的地震予知研究は、1970年代初頭に登場したダイレイタンシー水拡散モデル (Sholz *et al.*, 1973) と1975年に発生した中国の海城地震の予知の成功などを契機として急速に関心を集め、1975年7月に出された文部省測地学審議会の建議、「第3次地震予知計画の一部見直しについて」に基づき、組織的な研究として取り組まれることとなった。地質調査所では1977年3月より、地下水のテレメータ連続観測を開始している(垣見・東野, 1980; 佃ほか, 1980)。1980年代初めまでの地下水・地下ガスに関わる観測研究の経緯と研究内容については地震予知・地球化学的研究グループ(1984a, 1984b, 1984c)に詳しく掲載されているのでそれらを参照していただきたい。この間、地震予知のための地下水観測研究は環境地質部地震化学課が主として担当してきたが、1997年7月からは改組により新設された地震地質部変動解析研究室に引き継がれ、研究が進められている。これを機に従来の地球化学中心のスタッフに加え、地球物理分野の研究者の充実が図られたので、研究のより一層の深化がなされるものと期待している。

地震予知研究としては、地下水観測研究は非常に新しい分野であり、変動メカニズムの解明などまだまだ多くの研究課題が残されている。しかし、兵庫県南部地震の際にも新ためて確認されたように、地震に伴う地下水の変動は著しい(佐藤, 1997; 佐藤ほか, 1997; Koizumi *et al.*, 1996など)ことからさらなる研究の進展が期待されている。全般的な最近の地下水観測による地震予知研究の内容については小泉(1997)などを参照していただくこととして、ここでは地質調査所で行っている地震予知

のための地下水観測に関する研究概要と最近整備を進めている地下水観測ネットワークについて紹介したい。

2. 東海地震と地下水観測

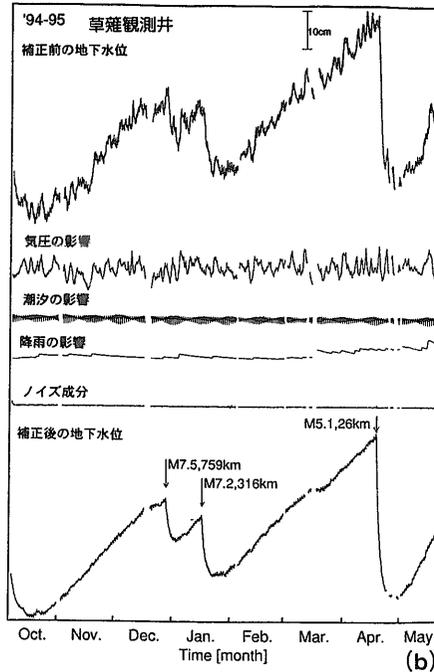
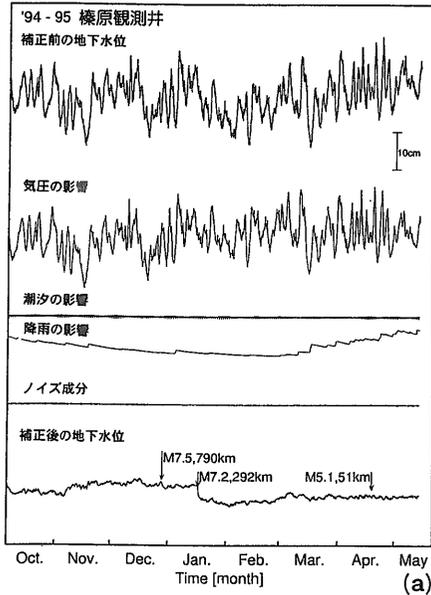
「東海地震」をターゲットとして、大規模地震対策特別措置法のもとに気象庁を事務局として「地震対策観測強化地域判定会」(以下、判定会と略す)が組織されている。毎年9月1日に実施される国の防災訓練では、東海地域に異常な地殻変動が観測され、招集された判定会の判定結果を受けて気象庁長官が内閣総理大臣にその旨を報告し、警戒宣言が発令されることからスタートする。地質調査所で観測している伊豆・東海地域の地下水観測データは地震活動、地殻歪み観測データとともに、短期的予知に有効なリアルタイム観測データとして、前兆変動の判定に重要な役割を担っている(佃ほか, 1980; 高橋, 1993)。現在、伊豆・東海地域では14ヵ所でテレメータ観測が行われている(第1図)。観測井では地下水位のほか、水温、水中ラドン濃度、電気伝導度、気圧、降水量などが2分おきに自



第1図 伊豆・東海地域の地下水観測井の位置図。

1) 地質調査所 地震地質部 変動解析研究室

キーワード: 地下水, 地震予知, 活断層, モニタリング, テレメータ, 変動解析研究室, 東海地震

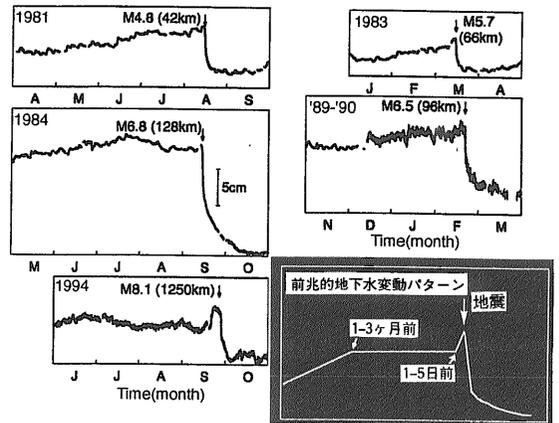


第2図 静岡県榛原観測井 (a) 及び草薙観測井 (b) の地震に伴った地下水位変動の例 (1994年10月~1995年5月)。原データから気圧、潮汐、降雨の影響を取り除き、真の地殻変動に関連した地下水位変動を取り出すことができる。

動連続観測されている。データは茨城県つくば市の地質調査所に送られるとともに、一部のデータは気象庁へも転送され24時間常時監視されている。

地震予知のための地下水観測研究の歴史は浅く、地質調査所ではまだ20年程度の観測実績しかない。これは巨大地震の発生間隔からしても圧倒的に短い期間である。しかし、この間のデータの蓄積と解析手法に関する研究の進展により、現在では地下水位変化に関する気圧、降水量、潮汐の影響を補正する統計的手法はすでに確立されている。その結果、地震の前兆的変動と見て取れる地下水位変化パターンを抽出することが可能となっている (Matsumoto,1992; Kitagawa and Matsumoto,1996)。以下に研究例を紹介する。

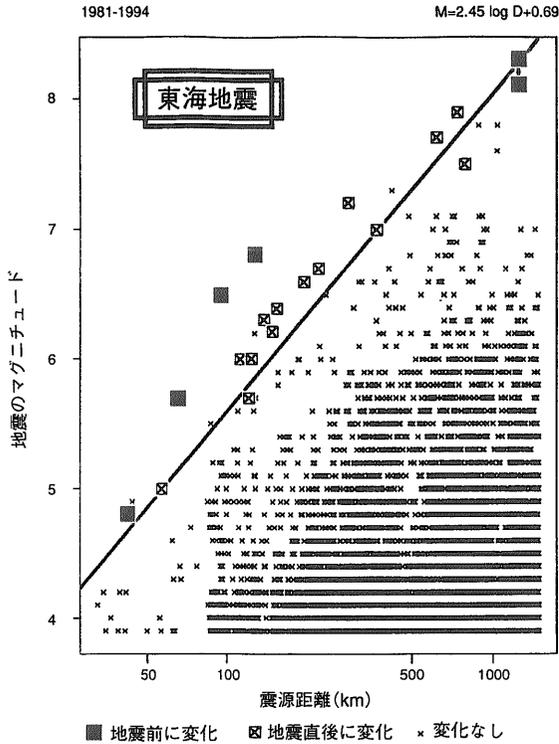
第2図 (a) は静岡県^{はいばら}榛原観測井の1994年10月から1995年5月にかけての地下水位データの解析事例である。1994年10月4日に発生したM8.1の北海道東方沖地震は観測点から1250kmも離れていたにも関わらず、明瞭な前兆的変動をとらえている。榛原観測井では第3図に示すように、この例も含めて大小5個の地震に対して前兆的変動パターンをとらえており、地殻変動に非常に敏感な観測井として注目している。前兆的变化を認識できるタイミングとしては、地震の1ヵ月から3ヵ月前に現れる



第3図 地震発生前及び直後の特徴的な地下水位変動パターン (榛原観測井の例; 松本, 1996による)。

長期的な水位上昇傾向が変化する時点、さらに直前の1日前から5日前に現れる水位が上昇に転じる時点である。第4図は榛原観測井から震源の距離と地震のマグニチュードの関係を図に示したものである。図の右上がりの直線より左上側の領域に入る地震に関しては前兆的変動が現れる可能性が大きいことを示している。東海地震は明らかにこの領域の地震であるので、榛原観測井では確実に前兆的变化が観測できるものと期待している。

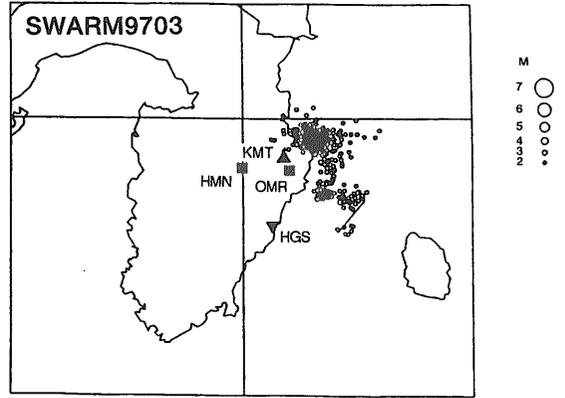
1994年10月から観測をはじめた静岡県^{くさなぎ}草薙運動



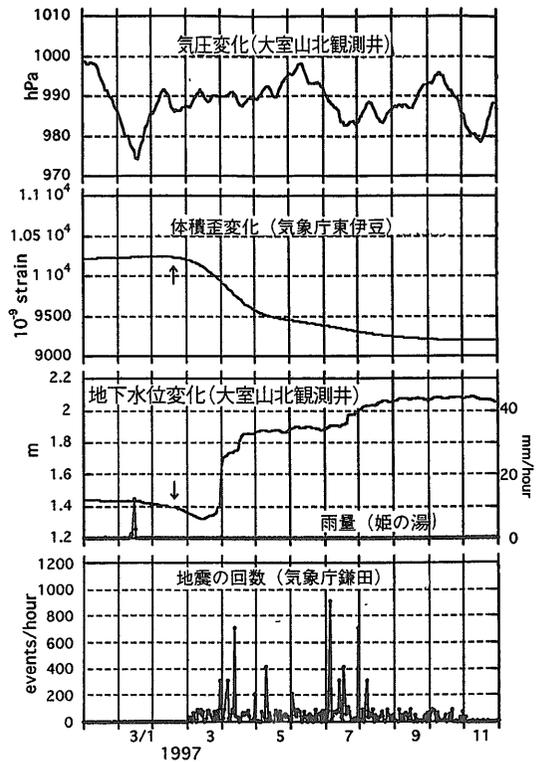
第4図 地震のマグニチュードと榛原観測井からの震央距離との関係(松本, 1996を一部改変). 図の右上がりの直線より左上側に位置する地震に対しては榛原観測井の水位データでは前兆的変動をとらえられる可能性がある.

公園内にある草薙観測井は、地震に伴う変動が榛原観測井よりも顕著に現れることが判っている(第2図b及び口絵参照). これにより榛原観測井とあわせて、より精度の高い前兆把握ができる可能性ができた. ここでは帯水層の下にある岩盤(静岡層群)に3成分ひずみ計も設置しており、地殻歪みと地下水位変化のメカニズムの研究を行うことにしている. 榛原観測井と草薙観測井がほかと比べて、なぜ地震に敏感であるのかについては、観測している帯水層が向斜構造を呈していること、地下水が被圧地下水のため流動しにくい環境にあることが要因ではないかと考えている(口絵参照). 後述べる近畿・中部地域の観測施設の整備では、この観点から設置地点の選定を行っている.

伊豆半島東部の伊東市に近い海域では、近年群発地震活動が活発である. これらの活動に伴って、地質調査所で観測している地下水位及び自噴量の変化が顕著に現れている. 特に、平成6年度から観

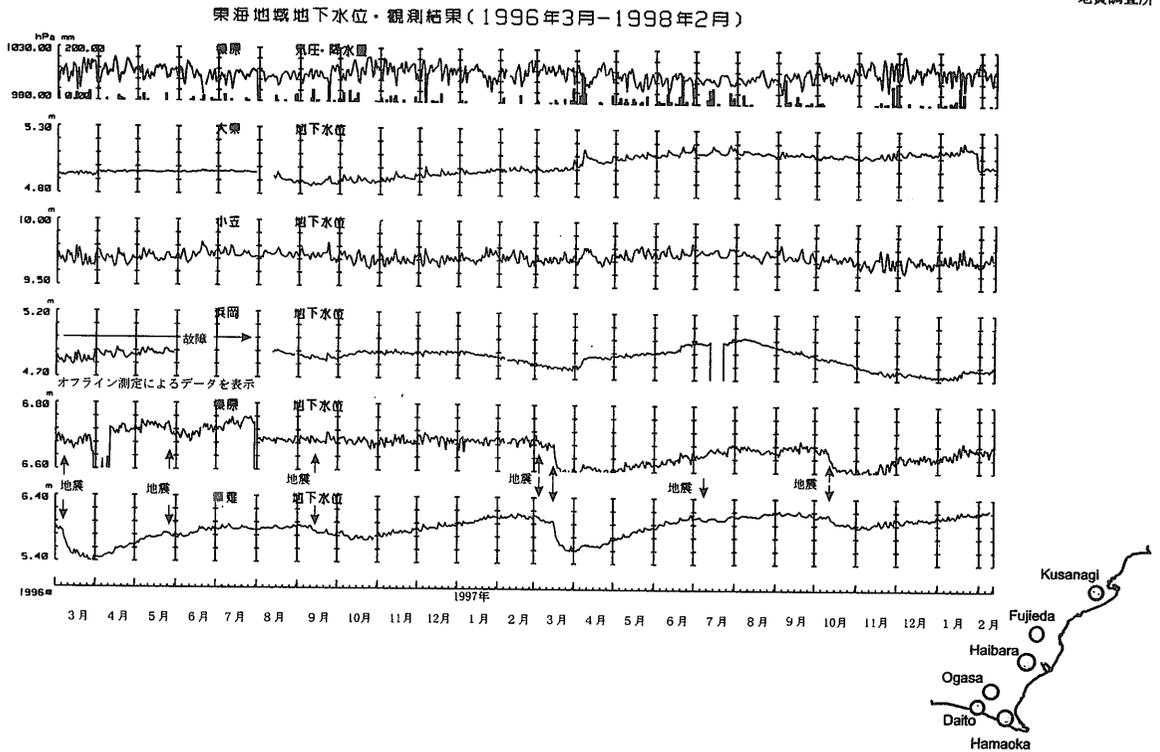


第5図 1997年3月の伊豆半島東方沖群発地震活動(小泉ほか, 1998による). HMN: 姫の湯観測井, OMR: 大室山北観測井, KMT: 気象庁鎌田観測点, HGS: 気象庁東伊豆観測点.



第6図 1997年2月28日~3月11日の観測結果(小泉ほか, 1998を一部改変). 図の矢印は群発地震発生前にデータが変化し始めたと思われる位置を示す.

測を開始した大室山北観測井(第5図参照)では、平成9年3月の群発地震活動に伴って、前兆と思われる水位変化をとらえていることが明らかとなっている(小泉ほか, 1998). 第6図は大室山北観測井の



第7図 地震予知連絡会に報告している東海地域の地下水観測結果の例。

水位データと気象庁の東伊豆観測点の体積歪計データと鎌田観測点での地震回数とを比較したものである。体積歪計のデータは原記録から潮汐と気圧の影響及び不規則ノイズを取り除いたもので、水位データは原記録から気圧の影響と不規則ノイズを取り除いている。これによると平成9年3月の群発地震活動の発生の約10時間前に水位が変化していることがわかる。体積歪計も同様に変化していることから、この結果は信頼性がかなり高いと判断している。

伊豆・東海地域のデータについては毎月開催される判定会に報告するとともに、地震予知連絡会においても報告している(第7図)。

3. 近畿・中部地域の活断層密集地帯における地下水等観測井の整備

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震(M7.2)を契機として、近畿地域西部において地下水観測を中心とした観測網を1995年より緊急に整備

することとなった。地質調査所としては活断層密集地域において内陸直下型地震の予知研究に新たに取り組むことになったわけである。すなわち、地表地震断層の野島断層を含む有馬-高槻-六甲断層帯、中央構造線活断層系、上町断層などを対象として、14観測施設において1996年から観測が始めている(佃ほか, 1996)。

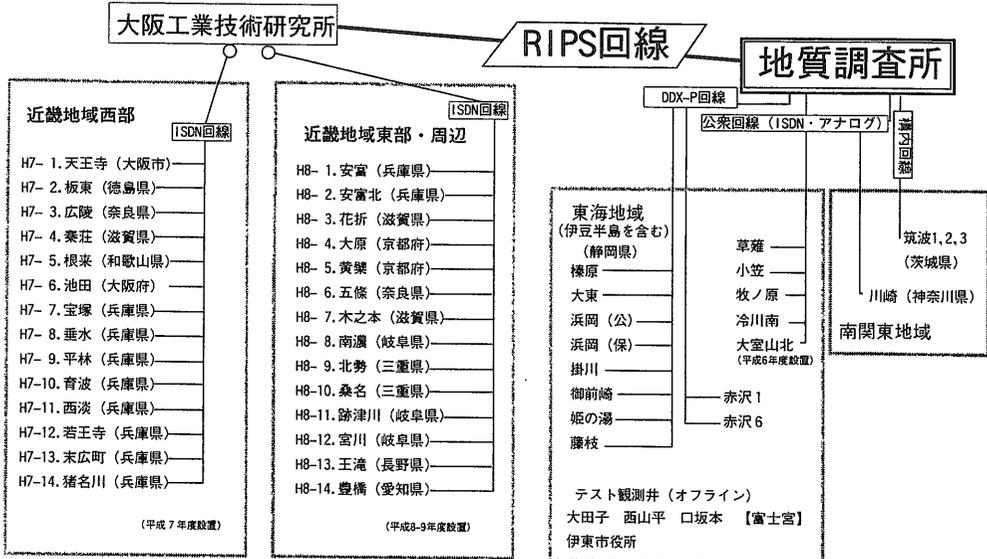
1997年からはさらに観測範囲を拡大することと、活動性の高い活断層の近傍でその活動をモニタリングするため、兵庫県の山崎断層、京都府から滋賀県にまたがる花折断層・黄檗断層、奈良県及び愛知県の中央構造線、三重県の鈴鹿東縁断層、岐阜県の柳ヶ瀬断層・養老断層・桑名断層、長野県の阿寺断層、岐阜県の跡津川断層をそれぞれ対象として、全部で14カ所の観測施設の整備に着手している。

以上に述べた近畿・中部地域に新たに展開された地下水等の観測施設の位置については第8図に示すとおりである。これら近畿地域及び中部地域の観測井は東海地域よりも大規模のもので、地表



第8図
地質調査所でテレメータ観測している地下水等観測施設の位置(1998年3月現在)。東海地域の観測地点名は第1図参照。そのほかは第9図参照。

テレメータネットワークの概要



第9図 地質調査所の地下水等観測ネットワークの概要(1998年3月)。

のノイズをさけるため、深度250m～1,000mの掘削孔を用い、地下水位、地殻歪み、水温、化学組成、ラドン濃度、地震、GPS、気圧、雨量などのデータを総合的に連続観測し、東海地域のデータと合わせて、茨城県つくば市の地質調査所へテレメータされている(第9図)。

4. おわりに

地質調査所では1977年3月より、東海地域の地下水のテレメータ連続観測に着手し、その後、順次

1998年3月号

体制を強化して今日に至っている。この間、適宜観測項目、観測地点の見直しを行ってきた。観測項目については地下水位が最も地震予知のために長期的に安定したデータであると評価している。地質調査所の地下水観測研究については当面以下の課題に取り組むことにしている。

a. 観測強化地域等における地下水観測体制を継続・維持し、高品質の連続データを収集し、大・小の地震に対する地下水変動の事例を蓄積する。観測データについては地震対策観測強化地域判定会等に報告するとともに、インターネット等

でのデータ流通体制を整える。

- b. それぞれの観測井の地震に対する特性を明らかにするとともに、前兆的変動を事前に認知するための、補正処理技術の改良及びノイズレベル調査を行う。これをもとに前兆自動認識プログラムを改良する。
- c. 観測データ及び他の地殻変動データをもとに、観測井再配置等の見直しを行う。
- d. 地下水位の変動について、観測地点の地質構造、GPS等測地データ、地殻歪データ、地震活動などをもとに、変動出現のメカニズムの解明に努め、地震前兆変動の認知精度向上に資する。

さらに、将来的には「地震調査研究推進本部、地震調査委員会」において「現在を含む今後数百年以内にマグニチュード8程度の規模の地震が発生する可能性がある」と評価されている、糸魚川-静岡構造線活断層系及び神縄-国府津-松田断層帯について、どのような観測体制の整備が可能か検討を進めたい。これらの地域に観測施設を整備することにより、南関東地域から近畿地域にかけて大都市圏を含む、活断層の密集地域をカバーした地下水観測ネットワークが一応の完成するものと考えている。また、東南海・南海道地震についても、その発生からすでに50年以上が経過し、観測データを蓄積すべき時期がきていると考えられるので、和歌山県南部や四国南部などで将来的に観測網の展開を検討している。さらに、既存の掘削孔などで利用可能なものの発掘も進めており、大深度の廃棄された地熱開発井、石油・天然ガス井など大いに利用したいと考えている。

観測網を広域に展開することはそれだけ地震と関連した変動データを多く収集できることにつながり、研究が急速に進歩するものと期待しているが、一方で研究所として長期的な観測を維持することは、研究補助スタッフの慢性的不足もあり、困難な問題も抱えている。しかし、長期的観測のデータがあって初めて地震予知研究が可能になるものであり、観測維持は国立研究所の重要な使命の一つとして今後とも継続していくこととしている。また、この研究で収集される高精度・高密度サンプリング・長期間・大深度の地下水観測データはほかにはないものであり、大深度地下開発・廃棄物地層

処分等の研究の基礎的資料としても利用可能なものできわめて貴重なものとなろう。

文 献

地震予知・地球化学的研究グループ(1984):地質調査所における地下水・地下ガスによる地震予知研究の概要(その1).地質ニュース, no.356, 6-24.

地震予知・地球化学的研究グループ(1984):地質調査所における地下水・地下ガスによる地震予知研究の概要(その2).地質ニュース, no.358, 14-24.

地震予知・地球化学的研究グループ(1984):地質調査所における地下水・地下ガスによる地震予知研究の概要(その3).地質ニュース, no.359, 16-26.

垣見俊弘・東野徳夫(1980):東海地域地下水観測網.地震予知研究シンポジウム(1980), 107-115.

Kitagawa, G. and Matsumoto, N. (1996): Detection of coseismic changes of underground water level. Jour. Am. Stat. Assoc., Application and case studies, no.434, 521-528.

小泉尚嗣(1997):地球化学的地震予知研究について.自然災害科学, 16-1,40-60.

Koizumi, N., Kano, Y., Kitagawa, Y., Sato, T., Takahashi, M., Nishimura, S., and Nishida, R. (1996): Groundwater anomalies associated with the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake. J. Phys., Earth, vol.44, 373-380.

小泉尚嗣・松本則夫・高橋 誠・佐藤 努・上垣内修(1998):1997年3月の伊豆半島東方沖群発地震前後の伊東市大室山北観測井における地下水位変動について.予知連絡会会報, vol. 59, 246-251.

Matsumoto, N. (1992): Regression analysis for anomalous changes of groundwater level due to earthquakes. Geophy. Res. Lett., 19, 1193-1196.

松本則夫(1996):東海地域の地下水位変動-地震及び地殻変動との比較.月刊地球, 号外no.14, 33-41.

佐藤 努(1997):水が突然噴き出す現象-地震活動による地下水変動-.月刊地球, 号外no.18, 17-22.

佐藤 努・高橋 誠(1997):淡路島の異常湧水の化学組成変化.地球化学, vol.31,89-98.

Scholz, C. H., Sykes, L. R. and Aggarwal, Y. P. (1973): Earthquake predictino: A physical basis-rock dilatancy and water diffusion may explain a large class of phenomena precursory to earthquakes, Science, 181, p.803-810.

高橋 誠(1993):地震予知のための地下水テレメータ観測システム.地学雑誌, vol.102, 241-251.

佃 栄吉・衣笠善博・杉山雄一(1980):東海地域地震予知のための地下水変動データ処理・監視システム.地調月報, vol.31,619-634.

佃 栄吉・高橋 誠・佐藤 努・松本則夫・伊藤久男(1996)地質調査所における地震予知地下水観測網-近畿地域の地下水観測網の新設-.地質ニュース, no.505, 11-15.

TSUKUDA Eikichi (1998): The recent and the future research programs of the seismotectonics section, GSJ - Earthquake prediction research of the Tokai earthquake and the activity monitoring of active faults.

<受付:1998年2月13日>