〔論説〕

東海地方東部地域の地震予知に関する地下水観測システムについて

加藤 完* 池田喜代治* 佃 栄吉* 杉山 雄一*
村下 敏夫* 井野 盛夫**

**The Observation System of the Ground Water for Earthquake
Prediction in the Eastern Part of the Tokai District**

Kan KATOH, Kiyoji IKEDA, Eikichi TSUKUDA, Yuichi SUGIYAMA,
Toshio MURASHITA, Morio INO

Abstract

The South Kanto and the Tokai Districts were designated as an intensive observation area for earthquake prediction by the coordinating committee for earthquake prediction on February 1974. It was reported also, that the Tokai District has a great possibility to be hit by a big earthquake originated in the Bay of Suruga by the Seismological Society of Japan on October 1976.

Then the Geological Survey of Japan had constructed the automatic observation system of the ground water in the eastern part of the Tokai District, during a period from November 1976 to March 1979, as a part of the integrated observation system by the governmental organizations related.

This system are constituted:

1. 12 observation wells for earthquake prediction which are installed with 6 water level, 1 water quality and 8 radon concentration observation systems.
2. Data telemetering system to the Japan Meteorological Agency via the Geological Survey of Japan from these wells.

The final goal of the project for Tokai big earthquake prediction is to catch the pre-causer of the earthquake, processing and analyzing the observation data derived from these system.

1. まえがき

東海地方は、地震予知連絡会により昭和48年2月以来「観測強化地域」に指定されているが、昭和51年10月の地震学会において、駿河湾を震源域とする大地震の発生の可能性が指摘されたこと等を契機として、地震予知計画に参加している機関が、この地域における観測の強化を急ぐこととなった。

図一 地震予知組織図

地質調査所では地殻活構造や地震波速度の調査・観測とともに、地下水の研究・観測をも担当し、当地域に、地震予知に関する地下水観測システムを設置することになった。この計画は、昭和51年度後半に発足し、昭和53年度には一応完成した。

本観測システムの特徴は、第1には、観測井の分布が予想される大地震の震源域をほぼカバーしていることである。第2には、連続観測でかつその観測データはすべて地質調査所にテレメータ伝送され、さらにそのうちの主要なデータは、気象庁にリアルタイムでテレメータ伝送されることにより、常時監視の体制がとられていることである。このデータは昭和52年4月より発足した「東海地域判定会」による判定のための資料として役立てられることとなっている。

後述するように、地震予知のための地下水変動の研究はその緒についたばかりであり、未だ基礎的研究の段階にあることは云うまでもない。このような情勢の中で、わが国はもとより世界でも例をみない、リアルタイムの地下水観測網が短期間に作られたためこの観測システムには、ソフト（解析・

* 地質調査所 Geological Survey of Japan

** 静岡県庁 Shizuoka Prefectural Government

判定)の面はもとより、ハード面でも多くの問題点をかかえていることは明らかである。筆者らはこのシステムを作動していく中で、一つ一つ問題を解決し、真の完成に近づけたいと考えている。

小論においては、この観測システムの主としてハード面について、その概要を紹介し、大方の御助言、御批判を得ることとしたい。

2. 地震予知計画における地下水変動の役割

大地震の前に地下水位が変り、自噴現象や逆に地下水の涸渇がみられたり、温泉の水温が変化したり、水が濁ったりすることは、昔から経験的によく知られている(那須1976)。

近年日本でも、1946年の南海地震($M=8.1$)の前に、四国南岸や紀伊半島において、井戸水位が変化したり、濁ったことが報告されている(水路局1948, 沢村1966)。1964年の新潟地震($M=7.5$)に際しては、農林省の新潟地盤沈下観測井19のうち14井が、地震の約9時間前から地盤上昇($0.3 \sim 0.4 \text{ mm/9 h}$)を記録し、また地震の約1日前からメタンガスを噴出した観測井が1井あったことが知られている(農林省1964)。

しかしながら、わが国の地震予知計画においては、発足当初(昭和40年度)はもとより、昭和49年度からの第3次地震予知計画においてすら、地下水による地震予知の計画はまったく採用されなかった。地震予知計画に関する測地学審議会の建議のなかで、地下水の役割りが始めて言及されたのは昭和50年7月(第3次計画の一部見直し建議)であった。

この建議に影響を及ぼしたのは、第1には、諸外国、とくにソ連と中国において、地震予知に対する地下水の役割りが重要視されており、水位や水中ラドン濃度による予知の成功例(ウロモフ・マワシエフ1974, 朱鳳鳴1976)が現われたことであろう。第2には、地震発生に関する「ダイラタンシー・水拡散モデル」が提唱され(シヨルツほか1973)、これによって、地震前における地下水・ラドンなどの変化も、他の物理現象とともに統一的に解釈されるようになったことが挙げられよう。そして第3には、昭和48年東大理学部において地震予知のためのラドン観測・研究が開始されたり、昭和49年末に発表された川崎地区の地盤隆起に地下水が関与していることが注目され、東大理学部や地質調査所によって水理地質学および水地球化学的な調査がかなり徹底的に行われたことが挙げられよう(脇田ほか1976, 永井・村下1976)。

これ以後、地震予知に関する地下水の研究や観測は進展し、現在に至っている。この間に地震前兆としての地下水変動を示した例が数多く報告されるようになった。おもなものは次のとおりである。

1976年8月の河津地震($M=5.4$)に際して伊豆半島姫ノ湯のラドン定期観測(1週間毎)で、ラドン濃度が2日前に増加したことが報告されている(池田ほか1979)。

1978年1月の伊豆大島近海地震($M=7.0$)に際して、伊豆半島船原の水位観測井の水位が9ヶ月にわたって上昇を続け(山口・小高1978)、峰温泉における自噴泉が2ヶ月前から自噴停止し、上白岩の自噴泉が1ヶ月前から自噴圧を低下している(永井ほか1979)。冷川における自噴泉のラドン連続観測で、2ヶ月前からラドン濃度が低下し、5日前には急激に低下した(脇田ほか1978)。また伊豆半島各地における地下水中のラドン定期観測で、ラドン濃度が地震前通常の変動巾5~9%に比較し、14~45%と異常な変動を示した(池田ほか1979)。

1978年6月の宮城県沖地震($M=7.4$)に際して、前述の新潟地盤沈下観測井において、再度地震の約9時間前に地盤の上昇が観測され、仙台・原町・静岡の観測井で水位上昇、山形のそれで水位低下があったという報告もある(磯崎ほか1979)。

このほか、名古屋大学犬山地殻変動観測所の秩父古生層中を切る断層から湧出する地下水中のガスのHe/Ar比とN₂/Ar比が、地震（かなり遠方のものを含む）の前に顕著に変化することが発表されている（杉崎1978）。

一方、民間の有志（アマチュア）による地下水位の観測も盛んに行われるようになった。とくに「なまずの会」による主として浅井戸（約110井）の地下水観測のデータは、きわめて組織的に処理されている。その結果、伊豆大島近海地震や宮城県沖地震をはじめとして、多くの地震前における水位異常例が報告されている（神奈川温泉地学研究所1978等）。

3. 地下水（水位・水質・ラドン）観測井の設置

力武（1976）は地震先行現象の先行時間と本震のマグニチュード（ M ）との関係を調べた際、先行時間が M と相関している場合と、 M とは無関係に直前の異常を示す場合のあることを認め、それぞれを第1種及び第2種の先行現象と名付けた。

このような前兆的変動が現われるメカニズムは、まだ詳しく解明されていないが、次の2つのケースがあるようである。1. 地震前に震源域の地殻に状態変化が生ずる結果、その影響が地表近くの水圧・水質・ガスの実体的変化として現われることがある。2. 地震直前に震源域で急激な歪の変化があれば、それが遠隔地まで伝播し、その水位、水圧を変化させる可能性がある。この場合井戸の水位は敏感な体積歪計の役割を果していることになる。前者は力武による第1種、後者は第2種の先行現象にほぼ相当するものであろう(垣見1978)。

本観測システムの設計に際しては、上記の第1種の先行現象が現われることが期待される場所、すなわち、騎河トラフ沿いに南北に走り西方へ傾斜する逆断層運動によって発生すると想定される、東海地震の震源域（石橋1976等）の陸上部分をカバーすることとした。

観測井の設置に際しては、自然的要因（降水）及び人為的要因（灌漑・揚水）の影響の少ない、第三紀層中の地下水を対象として、既存井の選定及び新設井の位置選定を行った。

一方、静岡県は独自で既存井を利用し、新居・袋井・静岡・蒲原・富士宮の5ヶ所にラドン観測井を設置した。これらの観測データは一括して解析するため地質調査所にテレメータ伝送されている。これら観測井の位置は図一2に示した。

圖一-2 地下水觀測井位置圖

図-3 清水・静岡（財機南），静岡（みづほ）観測井付近の地質および観測井位置図

3-1 清水地区水位観測井

本観測井は庵原川左岸の清水市立庵原中学校敷地内に位置している。観測井は第四紀沖積世の扇状地堆積物上にあり、北方の山地は第三紀中新世の富士川層群の下部層よりなる（図-3）。孔井地質は図-4に観測井の諸元は表-1に、揚水試験の結果は表-2に示した。

内部は図-5および表-3に示すような観測機器類とテレメーターシステムを使用して、観測データを地質調査所に伝送している。以下に述べる水位観測井は本観測井とはほぼ同様な観測機器類をセットしている。

3-2 清水地区水質・ラドン観測井

本観測井は水位観測井の東南約150m離れた所に位置し、地形および地質は水位観測井のそれとほぼ同じである（図-3）。孔井地質は図-4に、観測井の諸元は

表-1に、揚水試験および水質試験の結果は表-2と表-4に示した。

内部は図-6および表-3に示すように、深度40mにセットした水中ポンプより毎分5ℓ揚水し、水中ラドン連続測定装置と水質自動測定器に送水している。前者は地下水中のラドンガスのα線量・水温・流量を計測し、後者は水温・電気伝導率・pHを計測するとともに、テレメーターシステムを使用して観測データを地質調査所に伝送している。以下に述べるラドン観測井は水質自動測定器を除いた観測機器をセットしている。

表-1 観測井諸元一覧表

名 称	位 置	観 測 機 器	ストレーナー部・地層	深 度 (m)	ストレーナー (m)	口 径 (mm)	観測期間 (年・月)
地質調査所 清水地区 水位観測井	清水市市原 庵原中学校	水位計・雨量計・気 圧計・温度計・水温計	第三紀 富士川層群	50	44.5~50	200	1977.4~
地質調査所 清水地区 水質・ラドン観測井	清水市市原 庵原中学校	水質自動観測装置 ラドン計	第三紀 富士川層群	60	43.5~60	200	1977.4~
地質調査所 静岡地区 水位観測井	静岡市 賤機南小学校	水位計・雨量計・気 圧計・水温計	第四紀 沖積層	100	20~37	300	1978.2~
地質調査所 相良地区 水位観測井	相良町相良 つくしの家	水位計・雨量計・気 圧計・水温計	第三紀 相良層群	170	44~55 115~126	200	1978.2~
地質調査所 大東地区 水位・ラドン観測井	大東町三俣 大東町役場	水位計・雨量計・気 圧計・水温計・ラドン計	第三紀 掛川層群	260	144.5~166.5 210.5~221.5	200	1978.2~
地質調査所 榛原地区 水位観測井	榛原町坂口	水位計・雨量計・気 圧計・水温計	第三紀 掛川・相良層群	170	71~154	200	1979.3~
地質調査所 次岡地区 水位・ラドン観測井	次岡町佐倉 佐倉保育園	水位計・雨量計・気 圧計・水温計・ラドン計	第三紀 相良層群	270	154~265	200	1979.3~
静岡県 新居 ラドン観測井	新居町新居	ラドン計	?	393	260.5~271.5 299~304.5 365~370.5	300(200mm 300(299mm))	1978.7~
静岡県 袋井 ラドン観測井	袋井市豊沢	ラドン計	第四紀 小笠山礫層	130	64~75 99.5~124.5	300	1978.7~
静岡県 静岡 ラドン観測井	静岡市みづほ 長田南小学校	ラドン計	第四紀 沖積層	150	100.8~117.3	300	1978.7~
静岡県 蒲原 ラドン観測井	蒲原町 蒲原地震山下	ラドン計	第四紀 火山礫層	121	60~121	350	1978.7~
静岡県 富山宮 ラドン観測井	富士宮市 安原山上1原	ラドン計	第四紀 鷺ノ田礫層	120	53.8~67.1 78.5~96.8 102.3~114.5	350	1978.7~

図一4 地下水観測井の孔井地質図

表-2 揚水試験一覧表

観 測 井 名	水理常数		透水量係数 m^2/sec	透水係数 cm/sec
	解析法			
地調清水水位観測井	連 続	Theis	7.96×10^{-6}	1.59×10^{-4}
	連 続	Jacob	9.10×10^{-6}	1.80×10^{-4}
	回 復	Theis	6.12×10^{-6}	1.22×10^{-4}
	回 復	Jacob	6.50×10^{-6}	1.30×10^{-4}
	平 均 値		7.42×10^{-6}	1.48×10^{-4}
地調清水水質・ラドン 観測井	連 続	Theis	3.98×10^{-6}	2.65×10^{-5}
	連 続	Jacob	2.23×10^{-5}	1.49×10^{-4}
	回 復	Theis	3.98×10^{-6}	2.65×10^{-5}
	回 復	Jacob	3.52×10^{-5}	2.35×10^{-4}
	平 均 値		1.64×10^{-5}	1.09×10^{-4}
地調相良水位観測井	回 復	Jacob	5.54×10^{-3}	1.40×10^{-2}
地調大東水位・ラドン 観測井	連 続	Theis	2.10×10^{-5}	7.00×10^{-5}
	連 続	Jacob	2.43×10^{-5}	8.10×10^{-5}
	回 復	Theis	2.30×10^{-5}	7.67×10^{-5}
	回 復	Jacob	2.34×10^{-5}	7.80×10^{-5}
	平 均 値		2.29×10^{-5}	7.64×10^{-5}
地調榛原水位観測井	回 復	Jacob	4.70×10^{-6}	4.60×10^{-5}
地調浜岡水位・ラドン 観測井	降 下	Theis	5.43×10^{-6}	5.43×10^{-6}
	降 下	Jacob	5.02×10^{-6}	5.02×10^{-6}
	降 下	Stallman	5.26×10^{-6}	5.26×10^{-6}
	回 復	Jacob	3.75×10^{-6}	3.75×10^{-6}
	平 均 値		4.86×10^{-6}	4.86×10^{-6}

測定項目 水位 水温 雨量 湿度 気圧

図-5 地質調査所清水地区水位観測井

表-3 自動観測機器一覧表

観測井名	水位計	水温計	雨量計	気圧計	湿度計	水質自動 分析装置	水中イオン 連続測定器
地調清水観測井(水圧)	I-504	F-741	B-020	F-401	M-727		
地調清水観測井(水質分析)						WA-52T	EQM-101R
地調静岡観測井(水圧)	I-504	F-741	B-020	F-401			
地調相良観測井(水圧)	I-504	F-741	B-020	F-401			
地調大東観測井(水質分析)	I-504	F-741	B-020	F-401			NW-101R
静岡泉新井観測井(水圧)							NW-101R
静岡半田井観測井(水圧)							NW-101R
静岡半田原観測井(水圧)							NW-101R
静岡半田富工官観測井(水圧)							NW-101R
地調樫原観測井(水圧)	I-504	F-741	B-020	F-401			
地調浜岡観測井(水質分析)	I-504	F-741	B-020	F-401			NW-101R

表-4 水質試験一覧表

観測井名	水温	pH	TIC(mg/L) (CaCO ₃ 換算)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	採取年月日	備考
静岡泉新井観測井	18.4℃	9.0	75.9	872.3	166.5	645.0	14.0	7.0	7.2	1977.5	井戸水(1977)
静岡蒲原観測井	16.0	7.7	64.6	38.4	-	-	-	-	-	1977.7	"
地調清水観測井	17.6	9.0	94.0	23.6	7.6	59.3	0.4	2.9	0.3	1977.6	
地調大東観測井	21.0	7.6	1340.0	892.0	-	-	-	-	-	1978.4	
地調浜岡観測井	20.8	8.0	1350.0	33.3	14.3	500.0	24.5	14.0	6.1	1978.12

図-6 地質調査所清水地区水質・ラドン観測井

3-3 静岡地区水位観測井

本観測井は安倍川左岸の静岡市松富上組，市立賤機南小学校敷地内に位置している。付近は安倍川の河川堆積物よりなり，東側は賤機山―竜爪山と続くアルカリ玄武岩類が，南北に帯状に山地を形成している（図-3）。孔井地質は図-4に，観測井の諸元は表-1に示した。

3-4 相良地区水位観測井

本観測井は相良海岸砂丘上の相良町立「つくしの家」敷地内に位置している。付近は第三紀中新世の相良層群が広く分布している（図-7）。孔井地質は図-4に，観測井の諸元は表-1に揚水試験の結果は表-2に示した。

図-7 袋井・大東・浜岡・相良・榛原観測井付近の地質および観測井位置図

3-5 大東地区水位・ラドン観測井

本観測井は菊川右岸の大東町役場駐車場内に位置している。付近は第三紀鮮新世の掛川層群が分布している（図-7）。孔井地質は図-4に，観測井の諸元は表-1に，揚水試験および水質試験の結果は表-2と表-4に示した。

3-6 榛原地区水位観測井

本観測井および浜岡地区水位・ラドン観測井は気象庁の体積歪計を設置した場所に近接し，体積歪計の観測結果と水位・ラドンの観測結果を相互比較できるよう配慮した。本観測井の位置は榛原町坂口石雲寺の東側にある。なお気象庁体積歪計埋設位置からの距離は約 200 m である。付近は第三紀鮮新世の掛川層群の下部層が分布している（図-7）。孔井地質は図-4に，観測井の諸元は表-1に，揚水試験および水質試験の結果は表-2と表-4に示した。

3-7 浜岡地区水位・ラドン観測井

本観測井は浜岡町佐倉保育園敷地内に位置している。気象庁体積歪計の埋設位置からの距離は約 150 m である。付近は第三紀中新世の相良層群が分布している（図-7）。孔井地質は図-4に，観測井の諸元は表-1に，揚水試験の結果は表-2に示した。

3-8 新居ラドン観測井

本観測井は浜名湖西岸砂州上の新居町新居に位置している。孔井地質は図-4に，観測井の諸元は

表一1に、水質試験の結果は表一4に示した。

3-9 袋井ラドン観測井

本観測井は小笠山山腹上の袋井市豊沢に位置している。付近は第四紀洪積世の小笠山礫層が広く分布している（図一7）。孔井地質は図一4に観測井の諸元は表一1に示した。

3-10 静岡ラドン観測井

本観測井は安倍川右岸の静岡市みづは、市立長田南中学校敷地内に位置している。付近は河川堆積物よりなり、西側は賤機山から南北に続くアルカリ玄武岩類が山地を形成している（図一3）。孔井地質は図一4に観測井の諸元は表一1に示した。

3-11 蒲原ラドン観測井

本観測井は富士川右岸の蒲原町地震山下、上水道配水場敷地内に位置している。付近は富士川河川堆積物よりなり、地名のごとく1854年の安政東海地震（M=8.4）の時に生じた高まりを形成している（図一8）。孔井地質は図一4に、観測井の諸元は表一1に、水質試験の結果は表一4に示した。

図一8 蒲原・富士宮観測井付近の地質および観測井位置図

3-12 富士宮ラドン観測井

本観測井は富士川と澗井川との間、富士宮市安居山宇上の原、上水道安居山配水池敷地内に位置している。付近は富士熔岩流中の大宮熔岩におおわれている（図一8）。孔井地質は図一4に、観測井の諸元は表一1に示した。

4 自動観測機器

水位観測井における観測機器類は、水位に影響を与える自然的要因を除去し、真の水位変化を求めるため、水位計のほかに雨量計・気圧計・湿度計、また水温変化を求めるため水温計を同時にセットした。これら機器類の仕様は表一5に示した。

フロートレス水位計は電極水面検出方式であって、小口径の観測井 あるいは揚水井での水位の測定が可能である。

雨量計は転倒升方式である。

気圧計は大気圧の変化をベローズの伸縮として検出する方式で、これを差動インダクトと増巾器で電圧信号として出力する。

湿度計は湿度の変化を毛髪伸縮として検出する方式で、これをトランスを用いて電圧変化として出力する。

水温計は温度の変化を白金線の電気抵抗変化として検出する方式であって、水圧10kg/cm²まで耐える機構になっている。

電子式自動平衡記録計（30日巻）は 観測データを6打点方式で記録する（図一9）。記録されたチャートは1週間毎に地質調査所に郵送され、テレメータ記録のチェック等に用いられる。

水質観測井における観測機器として、水質自動測定器が用いられ、水温・電気伝導率・pHが自動測定される。温度は金属センサーによる、電気伝導率は四電極法による、pHは電極法による測定方式である（表一5）。観測データは6打点記録計（30日巻）に打ち出される。

表一5 自動観測機器仕様表

品 名	型 式	仕 様
フロートレス水位発信器	I - 504	測定範囲：0～10m 測定精度：±1cm 測定間隔3段切替 (10sec, 1min, 5min)
		電源：DC 12V
雨量計感部	B - 020	測定範囲：0～100mm 測定精度：±0.5% 口径：200mm
		電源：AC100V 1転倒降雨量：1mm
水温計感部	E - 741	測定範囲：5～25℃ 測定精度：±0.3℃ 耐水圧：10kg/cm ²
湿度計感部	G - 301	測定範囲：0～100% 測定精度：±5%
気 圧 計	F - 401	測定範囲：930～1050mb
水位変換器	M - 734	測定範囲：0～10m 精度：±0.5% 変換方式：ポテンショメータ
雨量変換器	M - 728	測定範囲：0～100mm 精度：±0.5% 変換方式：パルス電圧方式
湿度変換器	M - 727	測定範囲：0～100% 精度：±0.5% 変換方式：差動トランス
		変位量—電圧変換方式
ITE mv 温度変換器	M - 5351	直流mv信号又は测温抵抗体の抵抗値変化信号を 4～20mA DCへ出力信号に変換する
		精度：±0.5%
電子自動平衡記録計	M - 186	記録点数：6打点 記録方式：色別打点式 打点間隔：6sec (50Hz)
		記録紙：25mm/h 30日 チャートスピード：3段切替 (12.5, 25, 50mm/h)
変換ユニットケース	M - 720	容量：DC 5V 1A 電源AC100V 10V, 50/60Hz
水質自動測定器	WQ-52T	pH測定 測定範囲：pH 2～12 精度±0.05%
		温度測定 測定範囲：0～50℃ 精度：±0.5℃
		電気伝導率測定 測定範囲：0～50mS/cm 精度：5%
		記録計 精度：±0.5% 記録点数：6打点 チャートスピード：2段切替 (12.5, 25 mm/h)
水中ラドン連続測定装置	NW 101	検出部 シンチレータ：ZnS (Ag) シンチレータ面積 200φmm 流量可変範囲：0.5～5 ℓ/min
		温度測定範囲：5～30℃
		計測部 指示計：0～1000, 0～300count/min 0～1500V
		指示精度：±3% 記録計：EM-800-06(6打点式)
		内容： 計数率 (C/min) 水温 (℃) チェック時間と曜日, 流量 (ℓ/min)
		テレメータ用インターフェイス 入力：ラドン信号, 流量信号, 温度信号
		出力：ラドン濃度 4～20mA 流量信号 4～20mA 温度 4～20mA

図-9 水位観測データ (モニター用)

ラドン観測井における観測機器として、水中ラドン連続測定装置を用いている。地下水中のラドンガスの α 線量はZnS (Ag) シンチレーション検出器によって検出される、と同時に水温・流入量も計測される(表-4)。観測データは打点記録計(30日巻)に打ち出される(図-10)。

観測データのテレメータによる地下水変動の監視システムとして、地下水の観測データの送受信系、データ集録・処理系および気象庁への転送系の3系のシステムを完成させた。

図-10 ラドン観測データ (モニター用)

データ収集系は安立電気製のテレメタリングシステムを用い、A回線は清水(水位・水質・ラドン)静岡(水位)、相良(水位)の4井、B回線は新居・袋井・静岡・蒲原・富士宮の5井のラドン、C回線は大東(水位・ラドン)、浜岡(水位・ラドン)、榛原(水位)の3井の観測データを収集する。それぞれの観測データはインタフェースに4~20mVの信号に変換され、子局装置と電信電話公社の3本の専用回線を使用して、地質調査所の親局装置へ伝送している。

データ集録・処理系はミニコンピュターシステムを使用し、収集したデータの受入、マスターファイルの作成、気象庁へのデータ出力等、リアルタイムで処理している。併せて各種のデータ解析（水位と雨量・気圧・潮汐との関係等）、データのXYプロッターによる図化出力等のバッチ処理が可能である。また各観測データをモニターするため、グラフィックディスプレイが付加されている。

データ転送系は気象庁に設置した親局装置および6打点記録計と地質調査所の子局装置からなる。データ集録・処理系で処理した観測データをリアルタイム・テレメータ伝送するシステムは1978年12月に完成した。このほか、地質調査所でファイルされて観測データを、1週間毎にXYプロッターをより図化出力し、解析結果についてのコメントとともに、高速ファクシミリにて気象庁に伝送している。なお高速ファクシミリは関係省庁との間のデータ情報の伝送も可能な体制になっている（図-11）

図-11 観測データ収集・集録・処理・転送系統図

5 観測データの解析

水位・水質・ラドンの観測データには、自然的要因（降水・気圧・潮汐）及び人為的要因（灌漑・揚水）が含まれる。これらのデータから地震の前兆現象である地殻変動による変化のみを抽出して、予知情報とするには、上述の各要因についての詳細な検討が不可欠である。これらの要因は、観測井の位置及び周辺の条件によって差異がある。このため各観測井についてそれぞれ固有の特性について詳細な検討を行っている。現在までのところ、いくつかの観測井について若干のデータが得られている。

5-1 気圧の影響

気圧の変化は自由面地下水の水面には影響ないが、被圧地下水の水圧には影響を及ぼす。気圧と水圧との関係は気圧が高くなると水圧が低下し、気圧が低くなると水圧が上昇する。気圧の変動とそれに対応する水圧変動との割合は、帯水層の気圧効率と呼ばれ、その値は20～75%の範囲にある（村下1976）。

被圧地下水中にストレーナーがある水位観測井のうち、大東観測井における気圧と水位との関係は

図一12に示したように、相関係数0.91, 勾配 $-0.67\text{cm}/\text{mb}$ ではほぼ1直線上に並ぶ。しかしながら清水・相良の観測井では他の要因（雨量・潮汐・近接井の揚水）の影響の方が大きい。一方浜岡・榛原の観測井では、観測期間が短かく、両者の関係は今のところ明らかでない。

図一12 大東観測井の水位と気圧の関係図

5-2 潮汐の影響

海岸或は河川に近接する井戸では、潮汐の干満・河川水位の変動に応じて水位は日変動する。この変動は内陸に向かって減少し、ある距離以上離れると影響をうけなくなる。被圧帯水層の水圧変動は荷重の変動によって起る。例へば潮位が上昇して荷重が増加すると、帯水層内で水圧と土の応力が増加して、井戸の水位が上昇する。従って水位上昇は潮汐荷重によって生ずる帯水層の水頭圧の増加にすぎない（村下 1977）。

直線距離で海岸より 300m の距離にある相良観測井では、水位が潮汐の影響を受け、図一13に示したように変動している。潮位変動は清水検潮所のデータを使用し、45分シフトして潮汐の影響を除いた水位（A-B）を示した。この補正後の水位の変動は近接している製氷工場の揚水による影響であって1月1日及び3日は揚水しないため変動が少なく、また最低水位が工場終業の17時30分～18時に現われていることから明らかである。なおこの製氷工場は4月から揚水を停止したためこの影響はなくなった。

図-13 相良観測井の水位に対する潮汐と揚水の影響

5-3 降水の影響

地下水は自然的には降水・河川水から、人為的には灌漑用水によって養われる。地下水位は、1時的に降雨が多い時、豊水期と渇水期、あるいは豊水年と渇水年等に応じて、それぞれ変動する。このような水位の変動は、自由面地下水・被圧地下水を問わず起っている（村下 1977）。

図-14 静岡観測井の水位に対する降水の影響

自由面地下水中にストレーナーがある静岡水位観測井、被圧地下水中にストレーナーがあるがその深度が極めて浅い清水水位観測井では、降水は水位の変動に大きな影響を与えている（図-14. 15）

また清水水位観測井の水位と、150m離れた水質・ラドン観測井の電気伝導率は極めて良い相関を示している。（図-16）このことは水位が低下すると難帯水層を通じての、自由面地下水からの漏水による補給が少なくなることを暗示している。

図—15 清水観測井の水位に対する降水の影響

6 観測結果の一例

水位観測井の水位変化を図—17に示した。この図で明らかのように、清水及び静岡水位の観測井の水位は降水による影響をうけて大きく変動している。相良水位観測井の水位は上昇を続けていることが判る。

図—18は清水水質・ラドン観測井における、ラドン連続測定器への流入量及びラドン濃度の変化の関係を示したものである。流入量の増減によりラドン濃度も増減することが判る。

図—19・20は、相良水位観測井の4日間の雨量・気圧・水温・水位と、富士宮・蒲原・清水・静岡ラドン観測井のラドン濃度の変化をXYプロッターにより図化出力した例である。

7 ま と め

本観測システムはわが国において、始めて東海地方東部地域で試みられた。1976年より3ヶ年計画で、合計12の観測井を完成させ、水位自動観測装置6・水質自動観測装置1・ラドン自動観測装置8を設置した。

各観測井から地質調査所まで観測データは3本の専用回線を使用したテレメータ収集系、ミニコンピューターを使用したデータ収録・処理系、収録・処理した観測データをリアルタイムで、気象庁へのテレメータ転送系、及びXYプロッターにより図化したものを高速ファクシミリによる転送系を一応完成させた。

そのほか、観測データに影響を与える自然的及び人為的要因を取除くため、各観測井について検討を進めている。

しかしながら、現在までの観測データを検討すると、自動観測及びテレメータ機器類の故障・停電・ラドン連続測定器への流入量変化等による、観測の中断・異常観測値がみら

図-16 清水観測井の水位と電気伝導率の関係図

図-17 水位観測井の水位の日平均値の推移

SHIM
1978

1979

図-18 清水観測井のラドン濃度の日平均値の推移

れる。テレメータ機器類の故障と地質調査所の停電による欠測は、郵送されるモニター記録によって補正されているが、将来安定しかつ良質なデータを得るためこれら機器類の保守・管理・点検等検討を要する問題が残されている。

さらに、今後観測データを蓄積し、各観測井の個有な特性を正確に把握し、地殻変動による異常の効率的な抽出について研究を進め、地震予知の有効な手段としての地下水観測システムを確立することに努めたい。

謝 辞：

本観測システム設置にあたり敷地を提供し、また、ご協力を頂いた静岡県及び各市町の関係各位に厚く御礼申し上げます。また、本論作成にあたり終始御指導をいただいた。地質調査所松野久也部長・垣見俊弘課長・東野徳夫課長・衣笠善博氏に厚く御礼申し上げます。

文 献

井野盛夫・池田喜代治（1977）：静岡県ラドン観測予定井のラドンの測定結果についての報告 静岡県。

池田喜代治・永井茂・後藤隼次・阿部喜久男・永田松三・大場信雄（1979）：伊豆半島東部地域における地下水中のラドン濃度と伊豆大島近海地震前後におけるその変化について 地調特別報告 7，129～149。

図-19 相良観測井の水位データ

- 石橋克彦 (1976) : 東海地方に予想される大地震の再検討 地震学会講演予稿集1976 2, 30—34。
- 磯崎義正・地震と地下水ワーキンググループ (1979) : 地震に伴う地下水と地盤変動について, 日本地質学会 討論会講演要旨27~32。
- 神奈川県温泉地学研究所 (1978) : 伊豆大島近海地震の前兆水位変化 神奈川県温泉地学研究所報告 9—4, 2~11。
- 神奈川県温泉地学研究所 (1978) : 宮城県沖地震と水位異常 神奈川県温泉地学研究所報告 10—1 2—4。

図-20 ラドン観測井のラドン濃度データ

神奈川県温泉地学研究所 (1978) : 千葉県西部地震と前兆水位変化 神奈川県温泉地学研究所報告 10—2, 1~3。

神奈川県温泉地学研究所 (1978) : 伊豆大島近海地震の前兆異常変化と気象庁歪計の前兆異常変化 神奈川県温泉地学研究所報告 10—2, 19~20。

垣見俊弘 (1978) : 地下水に関する調査研究, 浅田敏 (編) 地震予知の反省と展望 学術月報 31—7, 13~14。

加藤完・衣笠善博・村下敏夫・垣見俊弘・池田喜代治 (1977) : 静岡県清水市における地震予知のための水位および水質観測井の設置について 地質ニュース279, 14~19。

加藤完・佃栄吉・村下敏夫・池田喜代治・井野盛夫 (1979) : 東海地域における地震予知のための地下水観測井の増設について 地質ニュース 294, 16~22。

沢村武雄 (1966) : 「日本の地震と津波」 高知新聞社 93~97。

静岡県 (1974) : 静岡県の地質及び地質図 静岡県。

朱鳳鳴 (1976) : 海域に発生したM7.3の地震に関する予知・予報と防災の概況 地震学会中国地震考察団講演論文集 15~26。

杉崎隆一 (1978) : 地球化学的地震予知 科学 38—11, 704~710。

水路局 (1948) : 南海大地震調査報告 水路要報増刊号。

那須信治編 (1976) : 「大地震の前兆に関する資料」 古今書院 14~18。

永井茂・村下敏夫 (1976) : 川崎市における地盤の変動と地下水との関係 工業用水 215, 46~49。

永井茂・池田喜代治・後藤隼次・阿部喜久男・永田松三・大場信雄 (1979) : 伊豆半島東部地域にお

ける地下水の水温・水質と伊豆大島近海地震前後におけるその変化について 地調特別報告, 87～118。

農林省(1964)：新潟地盤沈下調査報告書 7。

村下敏夫(1976)：「地下水学要論」昭晃堂 24～29。44～47。

山口林造・小高俊一(1978)：伊豆大島近海地震の前兆伊豆船原・柿木における地下水位の変化 地震学会講演予稿集 71。

脇田宏・野津憲治・中村裕二・森岡正名・野口正安(1976)：多摩川下流域の地盤隆起と地下水中のラドン濃度 地震 29—1, 71～81。

脇田宏・野津憲治・中村裕二・野口正安・浅田敏(1978)：時系列にあらわれた地下水中のラドン濃度の異常変化 地震学会講演予稿集 1978 1, 70。

脇田宏(1978)：中国の地震予知と地球化学 地震学会 1977年地震学会訪中代表団報告集 113～134。力武常次(1976)「地震予知論入門」 共立全書 179～183。

ウロモウ・マクシェフ(萩原尊礼)(1974)：地下水の地球化学的調査による地震予知の研究 31～35。

ショルツ・サイクス・アガワル(中村一明)(1973)：地震予知の物理的基礎 科学 43—9, 541～549。

(受付：1979年5月20日, 受理：1980年1月10日)