

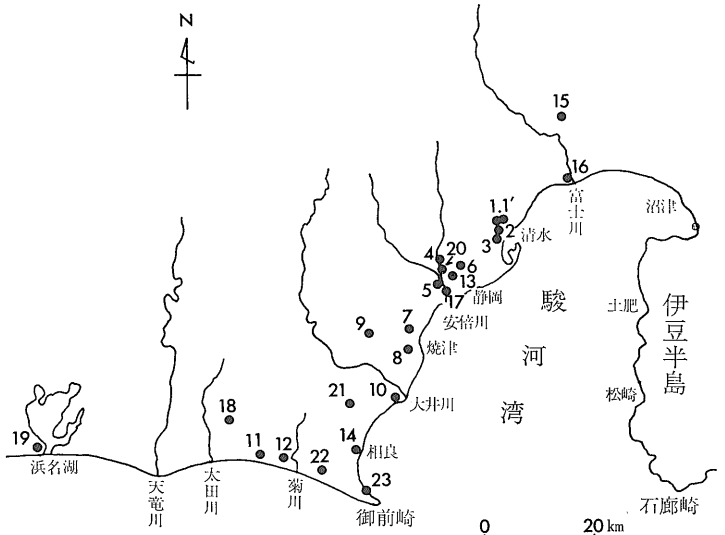
# 地質調査所における地下水・地下ガスによる 地震予知研究の概要(その2)

## 地震予知・地球化学的研究グループ

### (7) 東海地方東部地域における地下水位 水質 ラドン ガスの観測

昭和51年に地震予知連絡会 地震学会等で東海地方東部地域の駿河湾を震源域とする巨大地震発生の可能性が報告されたことを契機とし 地震予知推進本部は関係機関の協力のもとに東海地方の各種観測網の一層の強化を図ることを決定した。 当所においては 51年度から同地域内の既存井を対象として水質 溶存ガス等の基礎調査及び定期観測を開始するとともに年次展開により地震予知のための専用地下水観測井7井(清水2井 相良 榛原 浜岡 大東 御前崎)の新設 水位 ラドン等の自動測定装置の設置 観測データのテレメータ化などを図り 観測体制の整備を行った。 とくに テレメータ化された水位 ラドン 水質の観測データは 当所のコンピュータを経由して気象庁へもリアルタイムで送信し 気象庁での地震 歪等のデータとともに常時監視を行うことになった。

観測研究の対象とした観測井の位置略図を第13図 観測項目等を第2表に示した(前報)。



第13図 東海地域観測地下水井位置略図

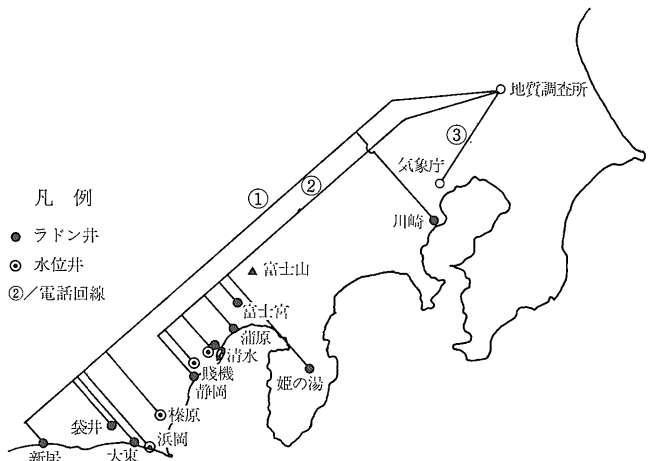
観測井の深度は50m ストレーナは44.5~50m間に設置した。 孔井の地質は 0~35m間は砂礫層 35~44m間は砂質泥岩 44~50m間は砂岩及び礫岩よりなる。 深度0~24mは扇状地堆積物 24m以深は中新世和田島層群・小河内層群と考えられている。

### (A) 地下水位の観測

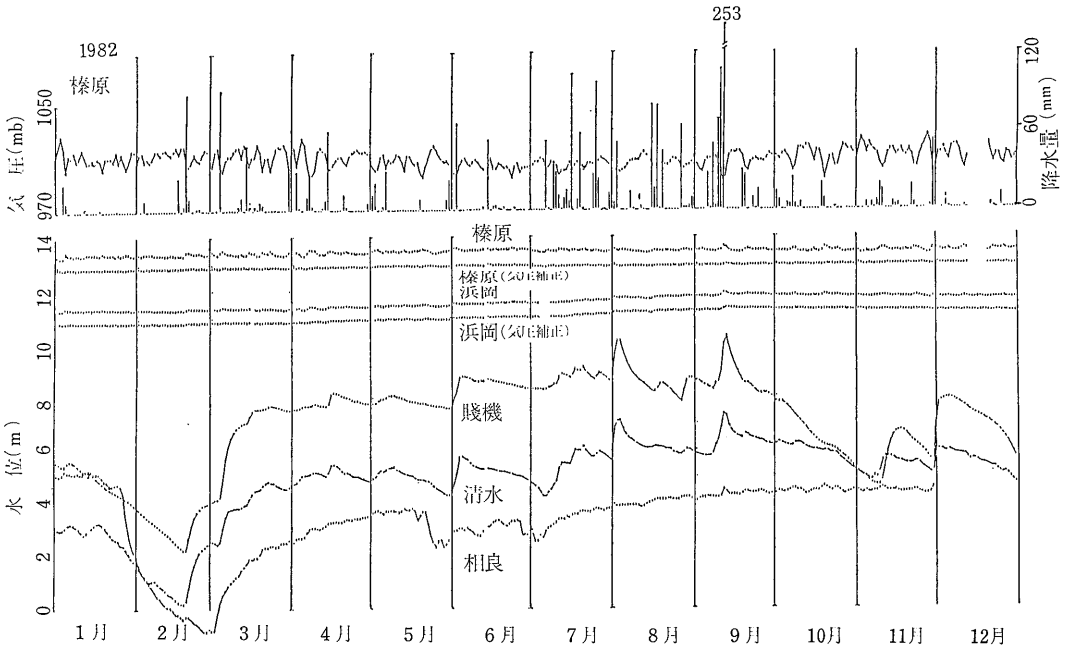
地下水位の連続観測は 昭和52年度から T-1 及び13 53年度から T-14及び20 54年度から T-21 及び22 56年度から T-23 で開始した。 これらのうち T-13を除き 観測データ(水位 水温 気圧 降水量)のテレメータ化が図られ(第14図) 現在 2分間隔で各種のデータの収集・処理が行われている。

以下に各観測井の概要及び現在までに得られた成果について概説する。

① T-1 観測井は新設井で清水市市原245 市立庵原中学校敷地内に位置し 観測井は第四紀沖積土の扇状堆積物上にある。



第14図 東海地域等における地震予知地下水テレメータ観測網 (昭和58年1月現在)



第15図 東海地域における地下水位の観測結果の一例

本観測井は 被圧帯水層の水位を測定しているが ストレーナ位置が地表より浅いこと 第四紀等の砂礫層 (不圧帯水床) が35m付近まで分布していることなどから降水の影響を強く受けることが明らかとなった. 杉山ら (1981) によると 地下水位は降水開始後数時間で上昇をはじめ 水位の上昇期間は一般に降水量が多いほど降水前の水位が低いほど長い. 降水量(R)とその降水による地下水位の上昇量( $\Delta H$ )との比 (雨量係数  $R/\Delta H$ ) は一定でなく  $\Delta H$  は降水前地下水位が7m (一定の深さのところをOとしそこからの高さを表す) の場合は Rの17~22倍 同じく9mの場合は Rの3~13倍を示し 降水前地下水位が高くなるに従って降水の影響は小さくなる傾向がある. また 無降水期間内の水位は一方向的に低下し その低下速度は10~20cm/日である. そのほか 日変化もみられ 通常は4~7時頃に最高水位 18~22時に最低水位を記録する. 日曜 祭日は変動幅が小さいことなどから 近接する工場等の揚水井の影響があらわれているものと考えられる.

② T-13観測井は既存井で安倍川の 氾濫原上に位置し 深度22m ストレーナ位置は16.5~22m間に設置されている. 地下水は第四紀砂礫層中の不圧地下水のため降水の影響が著しく 年間の水位変動幅は約2mである.

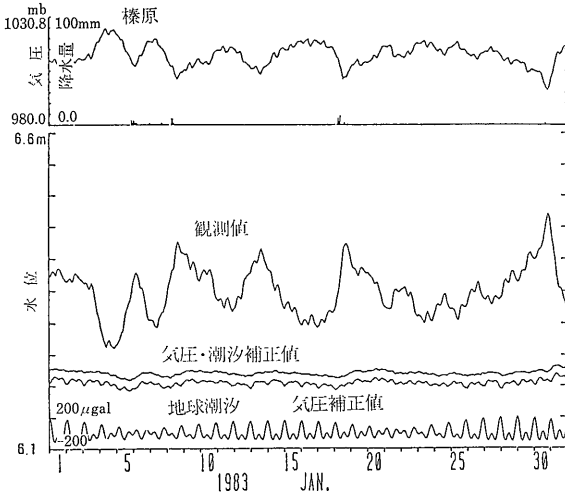
③ T-20観測井は新設井で T-13と同様安倍川の氾濫原上に位置し 深度100m ストレーナ位置は20~37m間に設置されている. 地下水は第四紀砂礫層中の不圧  
1984年6月号

地下水のため降水の影響を強く受ける. 年間の水位変動幅は8mに達する年もあることなどが明らかとなった. 地震予知を目的とした水位観測に対して降水の影響が非常に大きいので T-13とともに58年3月をもって観測を中止することにした.

④ T-14は新設井で相良町「つくしの家」敷地内にあり 海岸より約450m離れたところに位置する. 深度は170m ストレーナは44~55m及び115~126mの2ヶ所に設置されている. 孔井の地質は 0~10mは砂層 10~33mは泥岩 33~44mは礫層 44~170mは泥岩からなり 10m以深は第三紀相良層群と考えられる.

本観測井の水位には海洋潮汐による影響がみられ 潮汐による水位変動成分は清水港の潮位変動より平均40分の位相の遅れがあり 水位変動幅は潮位変動幅の1/5.7~6.0程度である. また 水位は気圧の変化と対応し 気圧1mb当り水位7mmの補正が必要であること その他 近接する工場の揚水 灌漑用の揚水などによる影響も受けることなどの井戸特性が明らかとなった (杉山ら 1981). しかし 56年11月中旬から相良町において本観測井から約1.8km離れた井戸を用いて水の注入 揚水試験が行われるようになったため 本井の水位は著しく乱れ 正常状態でのデータの収集が困難となり 57年11月で観測を中止した.

⑤ T-21観測井は新設井で 棒原町坂口に位置し 深度170m ストレーナは71~154mに設置されている. 孔井の地質は0~3mはローム 3~38mは泥岩 38~



第16図 榊原観測井における地下水位に対する気圧及潮汐補正の結果例

130mは砂岩を主とし 110~115m間に砂礫層を挟む。130~170mは泥岩からなる。3~130m間は第三紀掛川層群 130m以深は相良層群と考えられる。

本観測井の水井は 毎年2~3月に最低 8~9月に最高水位を記録し 年間の変動幅は50cm以下で比較的安定している。水位に与える影響としては 気圧 潮汐 降水量があるが とくに気圧の影響が大きい。気圧 1mb 当り水位 7.5mm 変化する。地球潮汐の影響は 1  $\mu$ gal 当り水位 0.03mm の補正が必要である。第15図に水位に対する気圧及び潮汐の補正例を示す。降水による影響もみられ 降水量 10mm/日以下の場合 は殆んど水位に影響を与えないが 10~100mmでは 1~2cm 水位が上昇する。水位の上昇期間は降水後 0.5~1日でありこの間は気圧の影響はかくされてしまうが 約1日後には気圧に対する水位変化が読みとれる状態になる。

⑥ T-22観測井は新設井で 浜岡町佐倉「佐倉保育園」内に位置し 深度 270m ストレーナは 154~265mに設置されている。孔井の地質は 0~19mは砂層 19~47mはシルト 47~160mは砂質泥岩 160~270mは泥岩からなる。深度 19m以深は第三紀相良層群と考えられ 上位の掛川層群は欠除している。観測当初は 水位及びラドンの複合観測としてスタートしたが ラドン測定のための揚水に際し揚水量の一定化に問題(市販の水中ポンプを使用した)が 一定量の揚水をコンスタントに

保つことが困難)があり 揚水が水位に影響を与えることが明らかとなった。そのため 55年度からラドン測定を中止し 水位単独井とした。水位観測のみに切り換えてからの水位には揚水の後遺症がみられ 安定した静水位に回復するのに約6ヶ月を要した。

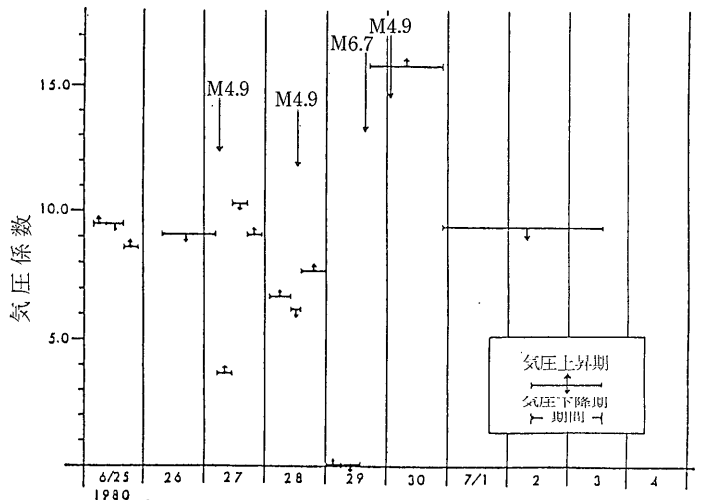
本観測井の水位は T-21と同様に 毎年2~3月最低 8~9月の最高水位のパターンを示し 年間の水位変動幅は約50cm以下で比較的安定している。水位に与える影響として気圧 潮汐 降水量があるが 気圧については 1mb当り3.5mm 地球潮汐については 1  $\mu$ gal当り 0.01mm の補正が必要である。降水量の影響は 10~100mm/日の降水量に対しては 降水前の無降水期間の長さにもよるが 1~3cm 程度の水位上昇をもたらす。

⑦ T-23は新設井で 御前崎地先に位置し 深度170m ストレーナは 103.8~113.9m 及び 151.6~162.9m の2ヶ所に設置されている。孔井の地質は 0~5.6mは埋立土 5.6~16mは砂岩 16~135mは泥岩 135~170mは砂質泥岩からなる。5.6m以深は第三紀相良層群に相当するものと考えられている。

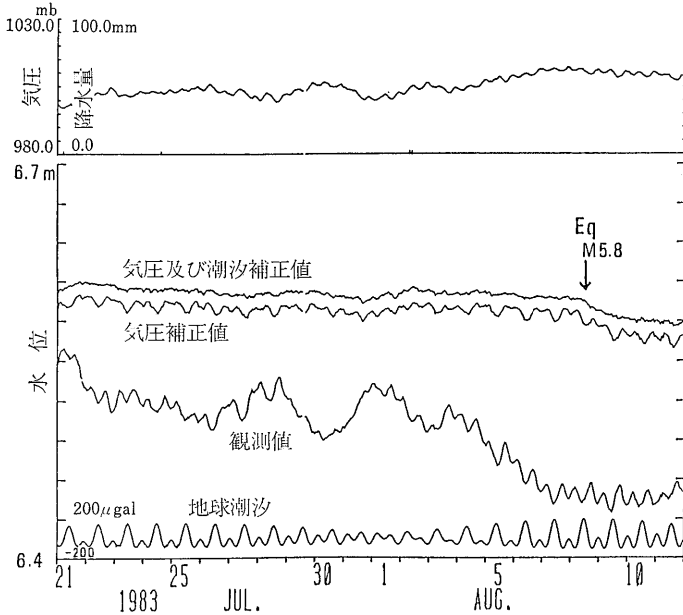
観測井設置当初の地下水位は 管頭より 116mであったが ゆっくり回復し 58年3月には ほぼ自噴する状態になった。水位は気圧とよい対応を示し 気圧1mb 当り 6mm の補正が必要である。潮汐及び降水の影響は殆んどみられない。自噴後の自噴量と気圧の間には 気圧 1mb当り自噴量8.5l/日の変化量が試算されている。

各観測井の長期的な観測結果の一例を第16図に示す。

地震との対応例としては T-21観測井において 55年6月下旬 伊豆半島東方沖の群発地震に際し 通常時に得られている水位と気圧との関係{気圧係数 水位の



第17図 榊原観測井における伊豆半島東方沖地震前後の気圧係数の変化



第18図 榛原観測井における1983.8.8 伊豆大島近海の地震 (M5.8) 直後にみられた水位低下

変化量 (mm) / 気圧の変化量 (mm) } に乱れが生じた (第17図)。とくに この群発地震中最大の地震 (6月29日 16時20分 M6.7) に対しては 地震の発生約16時間前から気圧変化に対して水位は全く対応しなくなるとともに地震後は急激な水位低下をもたらし 気圧係数が正常値になるのに約1日強を要している。地震前の現象は前兆的異常と考えられる (地質調査所 1981c)。また コサイスマミックな変化として 58年8月8日 神奈川—山梨県境付近を震源とする地震 (M5.8) に対し同じくT-21観測井において地震前後の地下水位記録に対して気圧 潮汐補正を行うことにより 生データでは検出できない地下水位の低下 (約1cm) が認められている (第18図)。

### (B) 水質の観測

昭和52年2月より水質 ラドンの観測井を選定するため第2表に示す地下水井を対象として 基礎調査及び定期観測を実施した。これらの観測井のうち T-1' 7 9 12及び22はメタン系のガスを伴う地下水である。

基礎調査の結果 ラドン濃度の高い伏流水起源 (第四紀層) の地下水井1井及び第三紀層中の地下水井4井を対象として定期観測を開始し 56年3月まで継続した。

定期観測井の水質 溶解ガス及び遊離ガスの分析結果を第7表に示す (地質調査所1981d)。

① T-1' 観測井は既述の水位観測井 (T-1) と同様 清水市庵原中学校敷地内にあり 深度60m 孔井の地質は T-1 と同様である。水質は第7表に示すように 昭和52年3月観測井新設当初より53年10月頃までは揚水とともに各成分とも増加傾向がみられ その後はほぼ安定している。水質と水位の間には 水位が下ると電気伝導率が上昇する傾向がみられ 地下水の涵養状況が水質に表われることを示している。

② T-7の観測井は 焼津駅北東約300m 東海道本線の北側に位置し 昭和32年ガス井として掘さくされた。深度は174.58m で 孔井の地質は 0~166.7m 間は沖積層 166.7~172.6m は第三紀高草山層群の黑色頁岩 172.6m 以深はアルカリ玄武岩である。ガス層は沖積層中にあるがガスの大半は高草山層群に由来するものと考えられている (杉山ら 1982)

水質は いわゆるガス水で水温  $41 \pm 3^{\circ}\text{C}$  電気伝導率  $17,000 \pm 700 \mu\text{s}/\text{cm}$   $\text{Cl} 6,000 \pm 300 \text{mg}/\text{l}$   $\text{Ca} 1,350 \pm 150 \text{mg}/\text{l}$  であるが 揚水井のため揚水条件により化学成分濃度は 約5%変動する。

定期観測の結果1978年伊豆大島近海地震に際し 地震後に水温  $3^{\circ}\text{C}$  電気伝導率  $1,000 \mu\text{s}/\text{cm}$   $\text{Cl} 400 \text{mg}/\text{l}$  増加した例が知られている。

③ T-9 観測井は 藤枝市志太598に位置しメタン系の天然ガスを伴う自然湧出泉である。付近の地質は 下部中新統大井川層群が広く分布し 天然ガスは志太累層下位の女神泥岩を母層としているものと考えられている (伊田 1952)。

55年度の定期観測の結果によると 水温は  $18.4 \sim 22.4^{\circ}\text{C}$  で年間約  $4^{\circ}\text{C}$  の変動幅があり 夏高冬低のパターンを示す。電気伝導率は  $19,000 \pm 200 \mu\text{s}/\text{cm}$   $\text{Cl}$  は  $5,700 \pm 100 \text{mg}/\text{l}$  程度でほぼ安定している。特徴的なことは  $F'$  を  $2.4 \pm 0.1 \text{mg}/\text{l}$  含むことである。現在までのところ 地震に対応したとみられる水質の変化は認められていない。

④ T-10 観測井は 榛原町静波 に位置する水道水源井で 大井川の氾濫原上にある。深度180m ストレーナ位置は150~168mに設置されている。地下水は第四紀砂礫層中にあり 定期観測の結果は各成分とも極めて安定している。

⑤ T-12 観測井は新設井で 大東町役場駐車場内に位置する。深度260m ストレーナは144.5~166.5m 及び210.5~221.5mの2ヶ所に設置されている。孔井の

第7表 東海地域の観測井の水質・溶存ガス及び遊離ガスの化学成分分析結果

観測井名	深度 m	ストレーナ位置 m	試料 採取年月	水温 °C	pH	電気伝 導率 μS/cm	アルカリ度 (CaCO <sub>3</sub> と して) ppm	Cl ppm	SO <sub>4</sub> ppm	Ca ppm	Mg ppm	Na ppm	K ppm
T-1'	60	43.5~60.0	52.4	17.8	9.1	250	94.0	20.0	5.9	2.5	0.2	48.0	0.2
			54.8	17.9	8.8	339	83.0	46.1	13.4	4.0	0.4	67.6	0.6
T-7	175	129.5~141.0 152.7~172.6	52.3	38.3	8.0	16,500	50.6	5,670.	0.0	1,380.	12.1	1,770.	7.6
T-9	自然湧 出	—	52.3	18.3	7.3	18,400	1,860.	5,793.	0.0	41.4	8.9	4,163.	31.8
T-10	180	150.0~168.0	52.3	15.5	7.1	166	47.0	5.2	23.8	10.6	1.3	20.9	—
T-12	260	144.5~166.5 210.5~221.5	54.9	22.2	8.0	5,020	1,330.	898.	—	7.4	8.6	1,140.	36.6

溶存ガス (Vol. /%)

観測井名	試料採取年月	He ppm	H <sub>2</sub> ppm	N <sub>2</sub> %	Ar %	O <sub>2</sub> %	CH <sub>4</sub> %
T-1'	54.8	3.6	10.7	85.02	1.70	0.28	13.0
T-10	52.3	4.6	8.6	89.32	2.21	8.47	0.0

遊離ガス (Vol. %)

観測井名	試料採取年月	He	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
石川ガス	55.7.7	0.0038	0.0000	3.06	0.06	0.10	96.62	0.16
T-7	〃	0.0044	0.0000	2.04	0.03	0.06	97.86	0.05
T-9	〃	0.0005	0.0008	1.15	0.03	0.14	90.23	8.45
T-12	〃	0.0006	0.0001	2.74	0.10	0.06	95.79	1.31

地質は 0~13m間は砂礫層 13~25m間はシルト 25~260m間は泥岩を主とし砂質泥岩を挟む。25m以深は第三紀掛川層群と考えられる。

水質は第7表に示すように Na-HCO<sub>3</sub>型で 多量のフミン質を含み黒褐色を呈するとともに CH<sub>4</sub>系のガスを伴う。定期観測の結果 水温は 21~22°Cの範囲であるが夏高冬低の傾向がみられる。53年4月揚水開始当初から56年3月までの長期的な水質変化をみると電気伝導率は 5,100μs/cm→4,900 Cl'は 900mg/l→870 と僅かに低下傾向がみられるものの揚水井としては安定しているとみることができる。

(C) 地下水中のラドンの観測

ラドンの基礎調査及び定期観測は 昭和52年2月から第2表に示す観測井を対象として実施した。各観測井のラドン濃度は 0.4~5×10<sup>-10</sup>Ci/lの範囲にあり 本調査で対象とした地下水の範囲においては第三紀層より第四紀層地下水の方が高い (T-2 4.13 T-3 5.19 T-6 4.32 T-10 4.5 いずれも ×10<sup>-10</sup>Ci/l 地質調査所 1981d) 一方 ラドンの自動観測化も51年度より進め 53年度末

までに地質調査所及び静岡県が設置した観測井も含めて7井のデータのテレメータ化が図られ 観測が本格化した。また 57年度には東海地域では最初の自噴井 (T-9) を対象としたラドンの連続観測も開始した。

ラドン自動観測化を図った井戸の水理地質並びに地球化学的背景については池田ら (1981) の報告があるがここではその概要を述べる。第8表に観測井の井戸諸元 第9表に水質分析結果を示す。なお T-1'及び12については (B) 水質の項で述べたので省略する。

① T-15観測井

本観測井は 富士川と潤井川との間にある星山丘陵の西北端に位置し この一帯は富士熔岩流中の大宮熔岩に覆われている。

地質柱状は54m以浅が上記の熔岩で その下位は更新世の鷲ノ田礫岩と考えられる。ストレーナはこの礫層にあり 静水位は富士熔岩の基底より深いところにある。

本観測井の水質は Ca-HCO<sub>3</sub>型で溶存成分が少ない。その化学的性質は富士熔岩地下水のグループに属し 水

第8表 東海地域ラドン自動観測井の井戸諸元

番号	名称	口径 mm	深度 m	ストレーナー m	静水 位 m	比湧水量 m <sup>3</sup> /day	透水係数 cm/sec	地質
T-1'	清水	200	60	49.0-54.5	9.26 (52年3月)	7.4	1.1×10 <sup>-4</sup>	中新世和田島層群・小河内層群
22	浜岡	200	270	153.9 <sup>3</sup> -264.4 <sup>4</sup>	14.65 (53年12月)	0.7	4.9×10 <sup>-6</sup>	中新世相良層群
12	大東	200	260	144.5-166.5 210.5-221.5	2.53 (52年12月)	1.4	7.6×10 <sup>-5</sup>	鮮新世掛川層群
15	富士宮	350	120	53.8-67.1 78.5-96.8 102.3-114.5	54.88 (49年12月)			更新世鷲ノ田礫層
16	蒲原	350	121	60.0-121.0	11.13 (47年8月)	8.3		第三紀岩渚安山岩層
17	静岡	300	150	100.8-117.3	0.43 (47年3月)	60.0	3.0×10 <sup>-8</sup>	更新統
18	袋井	300	130	64.0-75.0 99.5-124.5	23.52 (46年1月)	73.1		更新世小笠礫層
19	新居		393	260.5-271.5 299.0-304.5 365.0-370.5	9.10 (51年10月)	6.2		更新世西浜名累層

第9表 東海地域ラドン自動観測井の水質分析表

試料 採取地点	ストレーナーの位 置( )は井戸深度 (m)	電気伝 導率 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	炭酸水素 イオン $\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	塩化物 イオン $\text{Cl}^-$ (mg/l)	硫酸 イオン $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	ナトリ ウム $\text{Na}^+$ (mg/l)	カリウ ム $\text{K}^+$ (mg/l)	カルシ ウム $\text{Ca}^{2+}$ (mg/l)	マグネ シウム $\text{Mg}^{2+}$ (mg/l)	鉄 total $\text{Fe}$ (mg/l)	ラドン Rn-222 ( $\times 10^{-10}$ Ci/l)	採取 年月日
T-1' 清水観測井	(60) 49 -54.5	358	17.3	9.1	114.1	44.9	12.0	63.5	0.8	4.8	0.5	0.08	1.96	'79.6.14
22 浜岡 "	(270)154 -264.4	2,400	21.1	7.9	1708.	33.7	43.0	563.	24.5	14.0	6.1	2.20	1.12	'79.6.11
12 大東 "	(260)144.5-221.5(2)	4,960	22.2	8.0	1610.	874.1	8.0	1040.	28.1	7.6	7.9	0.28	1.51	'79.6.11
15 富士宮 "	(120) 53.8-114.5(3)	181	17.3	6.6	77.5	4.6	11.0	11.5	1.9	11.0	5.2	0.05	0.62	'80.2.29
16 蒲原 "	(121) 60 -121	476	20.5	7.7	84.2	68.3	33.4	19.7	2.3	41.2	11.1	0.10	4.63	'80.2.29
17 静岡 "	(150)100.8-117.3	222	18.2	7.7	68.0	6.4	18.0	4.2	1.0	21.2	3.8	0.25	2.56	'80.6.13
18 袋井 "	(130) 64 -124.5(2)	120	17.7	7.9	56.1	5.2	6.8	11.8	0.5	5.4	2.6	0.06	5.4	'80.2.29
19 新居 "	(393)260.5-370.5(3)	4,800	22.5	7.3	112.9	1297	175.7	732	6.5	93.0	66.0	0.33	2.04	'80.2.29

理地質学的な条件を勘案すると富士熔岩を通じて供給される富士山系の地下水と考えられる。ラドン濃度も熔岩中の地下水とほぼ等しく かつ低濃度である (第9表)。

② T-16観測井

本観測井は 富士川右岸の地震山にある蒲原町の上水道配水場敷地内に位置している。

地質柱状は深度60mまでは砂礫層 60~121mは硬い火山砂礫層であるが 電気検層では深度55m付近の粘土層を境に上・下部層に区分される。本井の南にある水井戸では深度67m付近に泥炭混り粘土の薄層があり この薄層と本井の上記粘土層とは同一のものと考えられる。

下部層は岩渚安山岩層と考えられているが詳細については不明である。

地下水は富士川下流右岸沿いの富士川町から蒲原町にかけて分布する第四紀層中の富士川系地下水と推定され  $\text{Cl}^-$  68mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$  33mg/l を含む。富士川左岸に分布する富士熔岩系の地下水と比較すると溶存成分が多い ラドン濃度は  $4.6 \times 10^{-10}\text{Ci/l}$  と比較的高い値を示

している (第9表)。

③ T-17観測井

本観測井は 安倍川右岸の静岡市立長田南中学校敷地内に位置する。

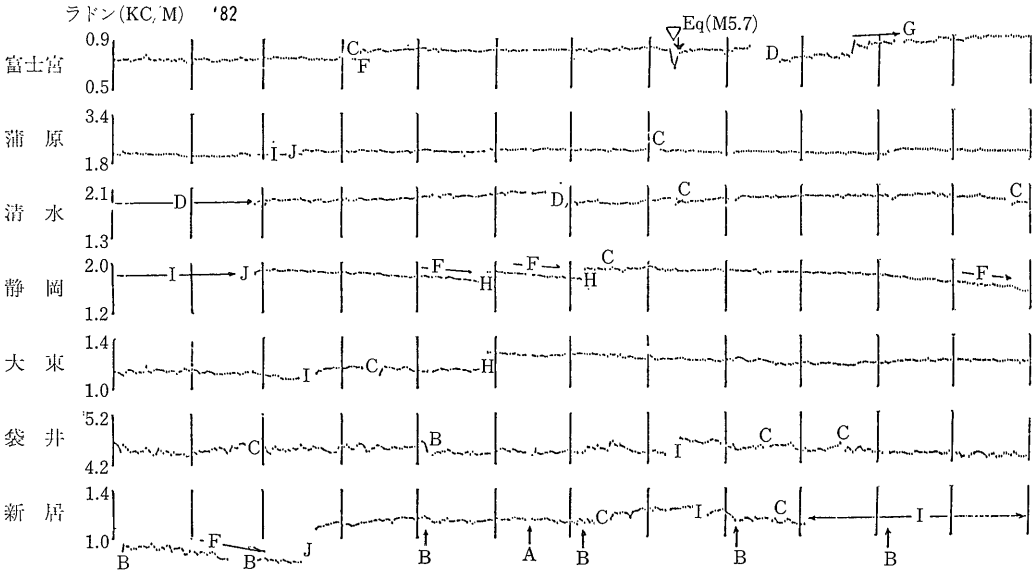
地質柱状は深度60mまでは大礫層と灰色粘土層 60~124mまでは礫層 それ以深は粘土層と砂礫層からなる。ストレーナは下部の礫層中にある。

水質は  $\text{Ca-HCO}_3$  型で溶存成分が少なく 安倍川系の循環地下水と推定される。ラドン濃度は  $2.5 \times 10^{-10}\text{Ci/l}$  である。

④ T-18観測井

本観測井は 袋井市豊沢に位置し 付近は第四紀更新世の小笠礫層が広く分布する

地質柱状は12m以浅は大礫(玉石) 12~59mまでは赤色粘土混り砂礫 59~98.5mは青色の砂礫と粘土 98.5mから再び茶褐色砂礫となる。ストレーナ部分の砂礫層は比湧水量から推測すると8本の観測井のうち最も透水性がよい (第8表)。



第19図 東海地域における地下水中のラドン濃度の観測結果の一例

(A: テレメータ送受信系のシステムダウン; B: 点検調整; C: 停電; D: ラドン計故障;  
 E: ラドン計不調; F: 揚水量減少; G: 揚水量増加; H: 揚水量調整; I: ポンプの故障;  
 J: ポンプ交換; ▽: 地震前後の異常変化; ?: 原因不明な変化)

水質は Ca-HCO<sub>3</sub> 型で 溶存成分が少なく 小笠丘陵帯で涵養される循環地下水と推定される。

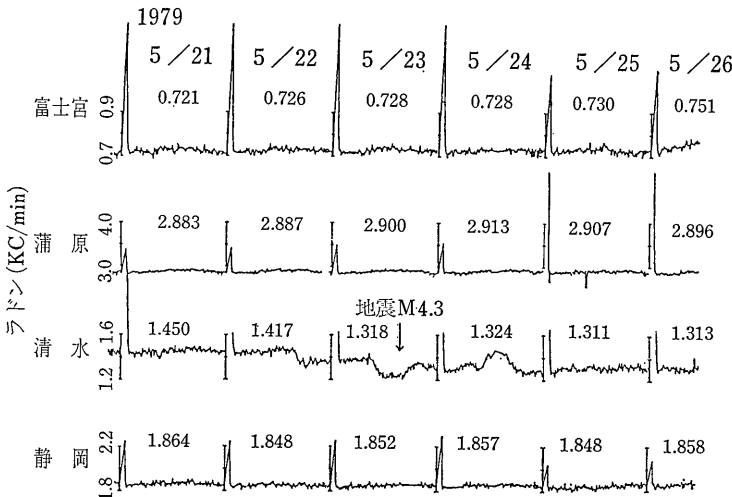
本観測井のストレナは 深度 64~75m 及び 99.5~124.5m の 2ヶ所に設定されているが 各層のラドン濃度は 上層が  $4.91 \times 10^{-10}$  Ci/l 下層が  $6.07 \times 10^{-10}$  Ci/l を示し深い方が高い。本井では 2層の混合水のラドン濃度を測定している。

⑤ T-19観測井

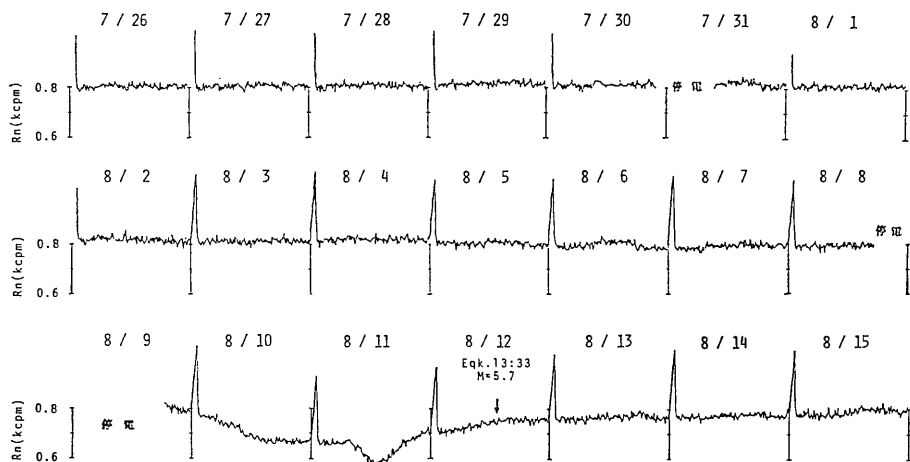
本観測井は 新居町新居に位置する。

地質柱状によると基礎岩 (372m以深) までは砂層 (主としてシルト質) と砂礫層との互層で 2枚の粘土層 (厚さ 13mと24m) を挟んでいる。全体として粗粒堆積物であって 更新世の西浜名累層に相当するものと考えられる。ストレナ部分の砂礫層の透水性は比湧水量から推定して 清水と蒲原観測井と同様に悪い (第8表)。

水質は Na-Cl 型で 8観測井のなかでは最も塩分濃度



第20図 清水観測井における静岡付近地震 (1979. 5. 23, M=4.3) 前後のラドン濃度変化



第21図  
富士宮観測井における伊豆大島近海の地震（1982. 8. 12, M=5.7）前後のラドン濃度の変化

が高く 約 1,300mg/l の  $Cl^-$  を含む。ラドン濃度は  $2.04 \times 10^{-10}Ci/l$  である。

⑥ T-22観測井

本観測井は 浜岡町佐倉保育園敷地内に位置する。

地質柱状は19m以浅は未団結の中粒砂層 19~47mはやや団結したシルト岩 47~145mは中-細粒砂混り泥岩 145~160mは砂質粘土 その下部はやや団結した黒色泥岩である。19m以深は相良層群と考えられる。

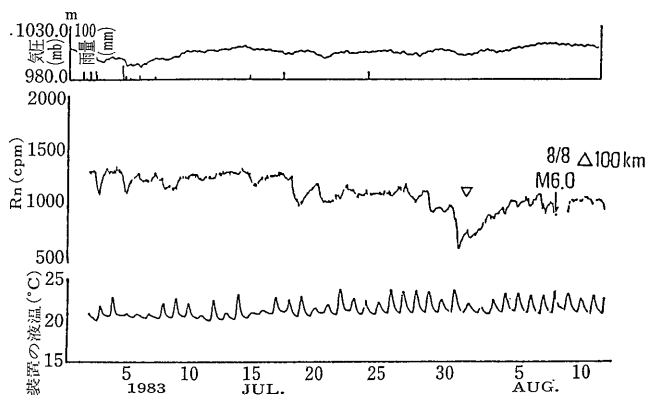
水質は  $Na-HCO_3$  型で高濃度の  $HCO_3^-$  を含むが  $Cl^-$  は 34mg/l の淡水地下水である。僅かに遊離ガスを含みラドン濃度は  $1.1 \times 10^{-10}Ci/l$  である。

長期的な観測結果にみられるラドン濃度に対する変動要因の主なもの は 気象的要因（気圧 降水量 気温など）揚水井においては揚水量の変化などがあるが 検討の結果 気象的要因による変化はラドン濃度に対して 5%以内の変動をもたらすことが明らかとなった（池田ら 1981）。揚水量の影響は揚水量制御装置の設置（前報2. 1. 1(1)参

照）により除去することが可能となった。

観測結果の一例を第19図に示す。

観測期間中に発生した地震に対応したとみられる変化としては 53年5月 静岡付近の地震（M4.3）に際しT-1' においてラドン濃度が地震の約24時間前にステップ状に減少し さらに 6時間前にもう一度減少する現象がみられた（第20図 地質調査所1980）。また 57年8月伊豆大島近海の地震（M5.7）に対し T-15 において地震の約2日前から減少し 1日前に最低（平常値比27%減）を示したのち回復に転じ ほぼ平常値に戻ったところで地震の発生をみている（第19 21図 池田ら1982）。これらはいずれも地殻応力変化に伴う地下水帯水層へのラドンの供給（ラドンそのものの供給量の減少あるいはラドン濃度の低い水の混入など）のバランスが崩れるためと考えられる。そのほか 最近連続観測を開始した T-9 において 58年8月8日 神奈川-山梨県境付近の地震（M5.8）に際し 地震の8日前にラドン濃度が大きく減少（約40%）し ほぼ もとのレベルに戻ったところで地震の発生をみている（第22図 地質調査所 1984b）。この地震前後 とくに地震直後から遊離ガスが異常に増加する現象がみられている（源泉元 青島氏談）

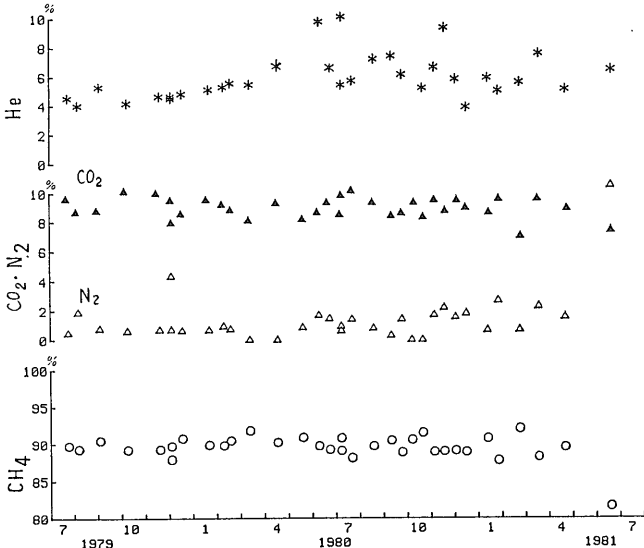


第22図 志太温泉における地震前のラドン濃度の変化

(D) 地下水中の遊離及び溶存ガスの観測

地下水中のガスの基礎調査及び定期観測は 昭和52年2月より第2表に示す観測井を対象として実施した。当地域は天然ガスの母層の発達する地域で 清水 焼津 相良などのガス田が知られている。観測井中 T-7 9 12 及びガス露頭の石川ガスはメタン系のガスを伴い メタン90~97%を含む。二酸化炭素は T-9 で 8~10%の値を示す以外は 1%前後である。ちっ素は





第23図 志太温泉における遊離ガスの化学成分の定期観測結果

石川ガスで約3%を含むが ほかは1~2%である(第7表). 微量成分としてはヘリウムがあり 石川ガス及びT-7で約40ppm程度含まれる.

遊離ガスの定期観測(2回/月)の一例として T-9の結果を第23図に示す. この図にみられるように54年8月から55年5月頃までは各成分とも大きな変動はみられないが 6月に入り下旬に発生した伊豆半島東方沖の群発地震の時期を境としてヘリウム含有量に平常値の数倍以上のスパイク状の増加がみられ 地殻変動に伴う供給ガス成分の変化を示したものと考えられる.

T-1'の溶存ガスのガス質は  $N_2CH_4$ 系で ガス総量は21~24ml/lを含む. 化学成分としてはメタン10~17% ちっ素78~85% 酸素1%以下  $N_2/Ar$ は約50で水井戸に比して約20%大きい. メタン濃度は観測井新設後の揚水開始とともに増加する傾向がみられたが 55年末頃に安定状態となっている(第24図). このパターンはラドン濃度の経時変化と調和的である.

T-11の溶存ガス組成は 帯水層水が大井川の伏流水に起因するため化学成分濃度は大気との平衡値に近く やや酸素が消費されているような値を示す. ヘリウム メタンなど深部起源に関する情報は含まれない. 長期的にも化学成分濃度は極めて安定している.

上述のように 深部情報を含むガスを伴う観測井には地殻変動に伴う影響が表われることが期待されるので T-1' 9 及び12についてはラドンの連続観測を実施している.

(8) 島根県東部地域松江観測井の水位観測

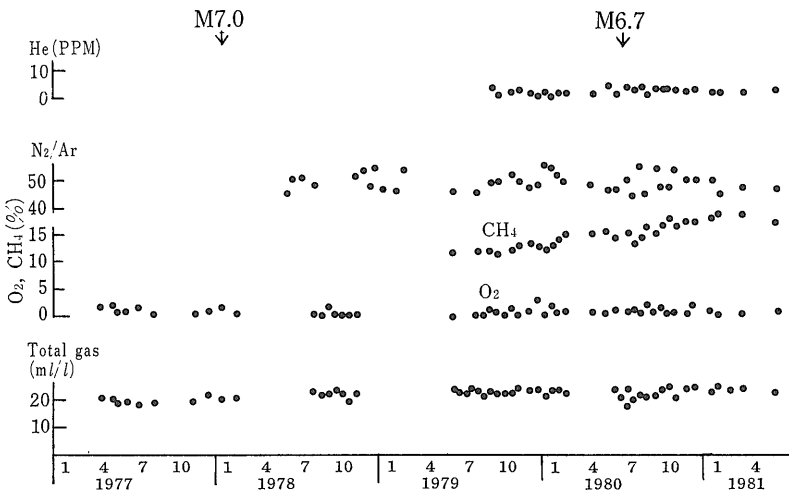
昭和52年8月に開催された第38回地震予知連絡会において 国土地理院より宍道湖周辺の地盤隆起現象の報告があり 前特研で当該地域の地下水の基礎調査を実施するとともに 松江市内の既存井を借用し水位の連続観測を53年4月より開始した. 観測は58年3月まで継続され5年のデータの収集が図られた.

検討の結果 ① 水位と気圧 潮汐との関係はとくにみられない. ② 夏季に近接井の揚水による時間単位の変動及び水田かんがい 融雪に起因する季節的変動(7~8月 1~3月)がみられる. ③ 地震に対する変化としては 53年6月の地震(M3)に対し数mmの上下変動がみられた(加藤 1979).

(9) 宮城県東部地域における水位ラドン 水質の観測

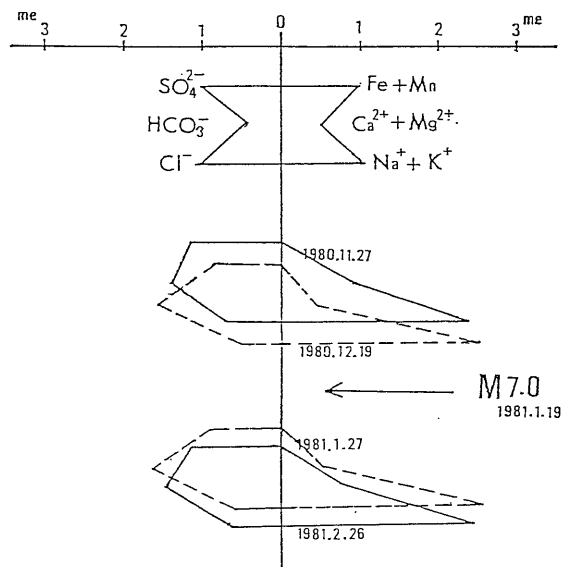
昭和53年6月 宮城県沖地震(M7.4)の発生に伴い 54年1月仙台市周辺地域の既存地下水井を対象として基礎調査を実施し 観測体制の整備を図った.

自動観測としては54年4月からM-2で水位 同年5月からM-1



第24図 清水観測井における水中溶存ガスの化学成分の定期観測結果

## M-7



第25図 宮城県東部(仙台市) M-7 観測井における地震前後の水質変化

でラドンの連続観測を開始した。定期観測は54年4月より仙台市内の地下水井(第2表参照)を対象とし、水質ラドンについて月1回の観測を行った。また57年6月から仙台市周辺の宮城町の温泉(自噴)2井を選定し定期観測を行っている。

検討の結果 ① M-2の水位には気圧との相関がややみられるものの夏季に近接井の揚水の影響が大きく毎年約60cmの水位低下がみられ、地殻変動に伴う微小な変化は検出しにくい。② M-1でのラドン濃度は1.4~1.75Kcpm(1.5~1.9×10<sup>-10</sup> Ci/l)の範囲であるが揚水時間の経過とともに水中の鉄分の増加による給水系の目詰り及びポンプの性能劣化のため長期的に安定したデータの収集が困難となった。また排水中の鉄分の処理などに問題がでたため56年度をもって観測を中止した。

③ 観測井の水質は M-3 4 5 6は伏流水起源 M-1 7は伏流水に第三紀層系の地下水が混入しているものと考えられる。長期的には伏流水系の地下水の水質変動は小さいのに対し、第三紀層系地下水が混入した地下水の変動は大きい。④ 地震との対応は56年1月の三陸沖地震(M7.0 仙台震度Ⅳ)の前後においてM-7の水質にカルシウム及びマグネシウムの減少、ナトリウムの増加が認められた(第25図)。月1回の観測なので詳細は判らないが、この観測井の位置が長町-利府構造線に近いことから地震に関連して帯水層に異常

変化が生じた可能性がある。

以上各地域における観測結果の概要について述べた。本研究により対象とした井戸は延約90井に達するが、地質条件、井戸条件などを含めて検討を行い、58年度以降観測を継続する井戸として、南関東4井、伊豆半島12井(不定期観測2井を含む)、東海10井、宮城県東部3井の計29井を選定した。

### 2.1.2 観測データの解析手法の研究

地下水の観測データ中には通常、自然的要因(気圧、降水量、潮汐など)及び人為的要因(近接井の揚水、水田などのかんがいなど)による影響量が含まれており、その量は観測井ごとに異なる。したがって得られた観測データから地震発生に関連する地殻変動による異常(前兆現象)を検出するためには、観測データからこれら要因による影響量を除去する解析法を確立する必要がある。本研究においては、各種の観測項目が整備された東海地域の水位、ラドンのテレメータ化された連続観測データについて検討を行った。

#### (a) 地下水の観測データのテレメータシステムの整備

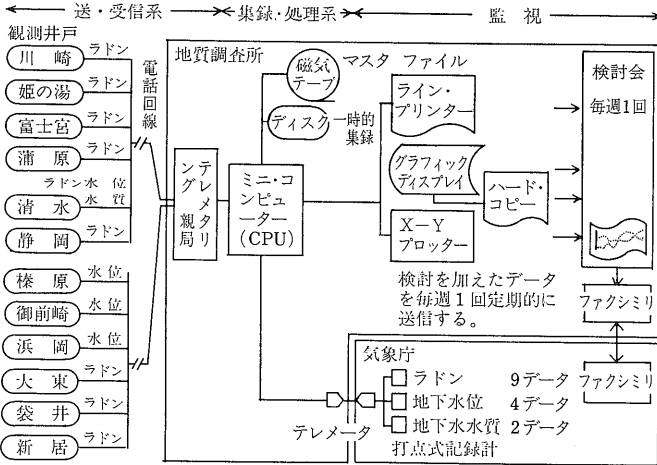
東海地域の地下水観測井のデータのテレメータ化は昭和52年、清水のT-1'のラドン観測井をはじめとし、現在までに延15井について実施された。データの伝送は観測井の子局と筑波庁舎内の親局間を電話回線によって行っている。

本システムは第26図に示すように ① データ送受信系 ② データ集録・処理系 ③ 監視及び気象庁へのデータ転送系の3系に分けられる。

① データ送受信系は、安立電気製のテレメタリングシステムを用い、それぞれの観測データはインターフェイスにより4~20mvの信号に変換され、子局装置(H-300)を使用し、電々公社の2本の専用電話回線を使用して地調の親局装置(H-100)に伝送している。

② データ集録・処理系は、ミニコンピュータシステム(三菱電機製)を用い、①で収集したデータの処理・解析を迅速・高能率で行う。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。58年1月現在、12の観測井から14成分(ラドン9、水位4、水質1)の観測データを2分間隔で収録し、1ヶ月分を1,200フィートの磁気テープ1本にファイルしている。本システムは53年3月に設置し、データの収集・処理プログラムは同年6月に完成させた。

③ データ転送系は、気象庁に設置した親局装置(H



第26図 地震予知のための地下水監視システム (昭和58年1月現在)

-100) 及び6打点記録計と地調の子局装置(H-300)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を53年12月に完成した。これにより気象庁において常時リアルタイムで監視する体制が整った。このほか地調でファイルされた観測データを一週間ごとにXYプロッタにより図化出力し解析結果などのコメントとともにファクシミリにて気象庁に伝送している。

データ解析に関するデータ集録・処理系のソフトウェアとしては同時に複数のプログラムを作動させることのできるマルチプログラム用オペレーションシステムを用いリアルタイム処理と併行してバッチ処理が行えるようになってきている。

主記憶装置はフォアグラウンド領域とバックグラウンド領域に分割し前者でリアルタイム処理後者でバッチ処理を行う。

フォアグラウンド領域ではテレメータからのデータ受入れマスターファイルの作成気象庁へのデータ出力などのリアルタイム処理バックグラウンド領域では各種のデータ解析(水位と気圧潮汐雨量との関係など)データのXYプロッターによる図化等のバッチ処理を行っている(佃ら 1980a 1980b)。

気象庁への送信データは常時監視体制下にあるが当所においても1日3回の定時的なデータのチェック24時間～一週間のデータ変動の把握などを日常業務としている。

また地震防災対策強化地域判定会地震予知連絡会には1～3ヶ月間の観測データを提供し検討資料とされている。

(b) 観測データの解析

① 水位について T-21 22 における水位変化は年間を通じて50cm以内であり水位変動をもたらす最も大きな要因は短期的には気圧の変動である。したがって微小な水位変動を検討するためには次のようにして気圧の影響を除去する必要がある。

まず水位と気圧との関係をみるため気圧係数を計算するがその際揚水等の人為的影響がある場合を考慮して24時間の階差を用いて計算を行った。その結果 T-21 ではタイムラグ110分の場合に最もよい相関を示し気圧係数 7.5mm/mb の値が得られた。T-22の気圧係数は 3.5mm/mb である。

気圧補正後の水位変動幅は約 2 cm に収まる。潮汐成分がみられる T-21 22 について気圧と同様な手法で求めた潮汐係数はそれぞれ 0.03 及び 0.01mm/μgal である。これらの結果から水位に対する気圧及び潮汐の補正が可能となった。

降水による影響の著しい T-1 及び 20 の水位についてタンクモデルによる補正を試みた。数週間程度のタイムスケールでは補正が可能であるが長期にわたる変動とくに両観測井にみられる2～3月にかけての急激な水位上昇(第15図参照)については説明できない。また T-21 及び 22 の水位と降水量との関係についても地形的な流域界を越える地質学的な集水域を考慮する必要がある。降水に対する補正は今後の検討課題である。

地震時の水位変動機構に関しては Tagutschi ら (1982) によるスポンジモデルによる解析が試みられている。

② ラドンについて ラドン濃度に対する変動要因について検討した結果気圧及び測定のための揚水量が影響する。潮汐降水量気温は測定装置の分析誤差範囲内におさまる(池田ら1981)。気圧の影響は T-1' 及び 18 に明らかで次の関係式で示される。

$$T-1' : \text{ラドン濃度 (Cpm)} = 3,600 - 1.84 \times (\text{気圧 mb})$$

$$T-18 : \text{ラドン濃度 (Cpm)} = 12,330 - 7.54 \times (\text{気圧 mb})$$

T-1' の場合気圧 10mb 当りラドン濃度 18.5Cpm 変化する。この値はラドン濃度に対して 1.1% の変化である。他の観測井は気圧との対応はみられない。

揚水量の影響は全観測井にみられ各観測井ごとに揚水量とラドン濃度との関係が得られており補正が可能となっている。