

# 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)

地震予知・地球化学的研究グループ

昭和53年度から実施された工業技術院特別研究「地震予知に関する地球化学的研究」は 57年度をもって終了した。ここに この研究が進められた経緯を含めて成果の概要を紹介する。

## 1 はじめに

地震と地下水 地下ガスの異常 古くて新しい課題である。

地震の発生は地殻にたまった歪の解放(岩石の破壊)による現象であるが この解放に至る過程において地下流体の移動 地下の岩石と地下水間の相互作用 岩石中のガスの移動(水とガスの反応も含む)などの結果 地球化学的变化が生ずることが考えられる。実際 地震の前後に地下水あるいは温泉水の湧出量 水位 水温 化学成分等の変化 噴砂 噴ガスの現象が経験的事実として数多く知られている。

しかし 我が国においては地質構造の複雑さ 都市開発による人工的ノイズの発生などの理由により 約10年前までは積極的に地震予知の一手法として地下水 あるいは地下ガスの観測を行おうという気運はなかったようである。測地学審議会の建議 地震予知計画においても 第1次(昭和40~43年度)~第3次(昭和49~53年度)当初までは地下水等の観測研究は盛り込まれていなかった。

ところが 昭和48年ショルツら(1973)によって地震発生メカニズムの解釈に「ダイラタンシーモデル」が提唱され 地震前後にみられる物理現象 地下水の変化などを統一的に説明する試みがなされたこと また 昭和48年以降 ソ連 中国などで地下水 地下ガスの地球化学的研究により地震予知に成功した例が相次いで報告され 地震予知に対する地下水等の役割が俄かに注目されるようになってきた。

我が国においても ほぼ同時期に東大理学部を中心として 地震予知をめざした地下水の研究 とくに 水中のラドンに関する研究が東海地域で始められた。

## 「地盤変動に関する特別研究」発足

折しも 昭和49年12月5日開催された第27回地震予知連絡会において 国土地理院から川崎市多摩川下流域に地盤隆起現象がみられることが報告され 関係機関が協力して地震発生との関連性を含めてその原因を解明することになった(別項1)。

この地震予知連絡会での報告は 場所が場所だけに社会的 経済的影響も大きいことから 早速 翌6日には地震予知研究推進連絡会議(地震予知に関する観測研究を行っている国の関係機関の連絡会 のちに昭和51年10月からは地震予知推進本部となる)が開催され 関係機関の研究分担項目について打合せが行われた。

その結果 地質調査所は 1. 地質構造・活構造の調査 2. 人工地震による地震波速度の観測 3. 地下水位・水質の観測 を分担することになり 急拠研究計画を立案した。ここに 当所としては初めて地震予知を目的とした地下水の観測研究が計画された。

これらの研究計画は 年末の大蔵省での概算要求の査定時期であったが 工業技術院特別研究(以下特別研究)「地盤変動に関する特別研究」(昭和50年度 単年度)として認められ観測研究がスタートした。

地下水の観測研究は 川崎市 横浜市内の既存地下水井の水位 水質に関するデータの収集・解析を精力的に進める一方 地震予知のための専用地下水観測井(深度1,016m)を川崎市富士見公園内に新設し 水位 水質の自動測定装置を設置してデータの収集を開始した。また 既存井を利用し水質 溶存ガス等の定期観測(1~4回/月)も集中的に行い変動の把握に努めた。

その結果 当該地域の地盤隆起の原因は 地下水の揚水規制に伴う地盤の回復現象で 地震発生にかかる地殻変動の可能性は非常に薄いことを明かにしたが(地質調

脚注)

グループ長:東野徳夫

:加藤完 永井茂 池田喜代治 田口雄作 高橋誠 吉川清志 大場信雄<sup>1)</sup> 垣見俊弘\* 衣笠善博 佃栄吉 杉山雄一 村下敬夫 森和雄 岸和男(以上 環境地質部) 安藤直行 比留川貴\*\* 永田松三 後藤準次 阿部喜久男 伊藤吉助<sup>1)</sup> (以上 技術部) 石戸恒雄(地殻熱部) 浦井稔(物理探査部) 植田芳郎\*\*\* 東元定雄(中国出張所) 阿部智彦(東北出張所) <sup>1)</sup>元所員 \*現次長 \*\*現地地殻熱部 \*\*\*現技術部

査所 1975 1976 岸・永井1975 永井・村下1976 垣見1979)  
この研究は 平野部における地盤変動解明のケーススタ  
ディとして貴重であること 専用観測井によるデータの  
収集の必要性などの観点から(別項2) 研究計画を2ケ  
年延長し 昭和52年度までの3ケ年計画に修正し 地震  
予知のための地下水 溶存ガスの観測手法の標準化を図  
りながら定期観測を継続した。昭和52年度末までの観  
測結果には 地震に結びつくような異常は認められな  
かった。

別項1. 第27回地震予知連絡会(昭和49年12月5日)  
で検討された内容を12月26日に決定

#### 最近における多摩川下流地域の地盤隆起現象 について

昨日 地震予知連絡会は 川崎市およびその周辺の  
地盤隆起についての見解を公表いたしました。 国土  
地理院は 東京一藤沢間の水準測量を毎年行っており  
ますが これによると 1971年以来川崎市を中心とし  
て半径数キロの地域が 大きい所で年間1センチ程度  
隆起しつつあることが認められます。

しかし 地盤隆起の顕著な地域が かつて地下水汲  
み上げによる地盤沈下の著しかった地域と概ね一致す  
ることから考えて 地盤沈下現象との関連において生  
じたものでないかという疑いが持たれます。

微小地震の発生など他の地震前兆と思われる現象は  
現在何も観測されておりません。 なお 地盤の隆起  
が地震発生に結びつかなかった事例もあり 今回地盤  
隆起が測定されたということだけから これが直ちに  
地震の起ることに結びつくと考えすることはできません。

しかし 川崎地域が社会的に極めて重要な地域であ  
ることから 万が一を考慮し 今回の現象の実態をつ  
かむために 関係各機関が協力して各種の観測を集約  
的に行うことが必要であると考えます。

この調査のためには 川崎市をはじめとして広く東  
京都 神奈川県 地方公共団体 企業に協力を願うこ  
とが必要であります。 そのためには 今回の地盤隆  
起の件について予め当連絡会の見解を公表しておくこ  
とが かえって根もない流言が流され人心を不安に導  
かない方法であろうと考えた次第であります。

今後 各種の研究 観測が進み必要な資料が入手で  
きますと 社会に対しより正確な判断を伝えることが  
できるものと思えます。

また 仮に今回の隆起が地震に結びつくものとして  
も 隆起の生じた範囲から考えて 決して大地震では  
なく マグニチュードとして5ないし6であり 中心  
およびその周辺で震度5(強震)になる程度と思われ  
ます。

昭和49年12月27日

地震予知連絡会会長  
萩原 尊 礼

地震予知研究推進連絡会議議長  
武 安 義 光 殿

別項2. 第33回地震予知連絡会(昭和51年5月24日)  
で決定

#### 多摩川下流域の異常隆起に関する 調査結果について

昭和49年末 地震予知連絡会は多摩川下流域の地盤  
が異常隆起していることを報告した。 従来 地震前  
に地盤の異常隆起が観測された例もあり この隆起が  
地震に結びつく現象であるとするれば 何等かの異常が  
現われると思われる諸項目について関係諸機関によ  
って観測調査が行われた。

現在までの観測結果によると ①地震活動 ②地震  
波速度 ③地下水のラドン含有量 ④地殻水平歪等  
について いずれも異常が観測されていない。 地震予  
知に関するわれわれの見聞から判断すると 多摩川下  
流域の隆起が地震の発生に結びつく公算はかなりうす  
いと言える。

しかし 地盤隆起そのものは依然として継続して  
おり その原因は地下水の状態に関連があると推定され  
るが 確かなことは不明である。 日本の大都市はほ  
んどが平野部に位置しているの この種の地震異  
常隆起の原因を究明することは 日本の地震予知の推  
進に極めて大切であり 今後とも諸種の観測は継続す  
る必要がある。

#### 伊豆半島 東海地域等の地下水観測体制の整備

川崎の地盤隆起の原因解明にほぼ見通しが得られた頃  
今度は 昭和51年5月開催の第33回地震予知連絡会にお  
いて 国土地理院より 伊豆半島東部地域(冷川峠あたり  
が中心)の地盤隆起の報告があり 別項3の発表 また  
同年8月の第34回地震予知連絡会及び同年10月の地震学  
会において 石橋氏(当時東大震研)より東海地方に巨大  
地震発生の可能性に関する研究成果が報告され 国会で  
も取上げられた。 この石橋橋については 同年11月開  
催の第35回地震予知連絡会で慎重な審議がなされ 別項  
4の統一見解を発表した。

これらの発表を受け特別研究では 清水及び静岡市内  
に地下水位観測井を新設し 観測研究を開始した。 ま  
た 科学技術庁は特別研究促進調整費(以下特調費)を組  
み観測研究を補強することになり 当所では「伊豆半島  
東部の地盤隆起に関する特別研究」及び「東海地方東部  
における地殻活動に関する研究」(いずれも昭和51年度単  
年度)を計画し 活構造調査 地震波速度調査とともに  
地下水の観測研究を実施し 水位 水質 ラドン等の基  
礎調査並びに定期観測によりデータの収集を図り変動の  
把握に努めた(地質調査所 1979)。 後者の研究において  
は 清水市内に専用観測井が新設され ラドン及び水質

(pH, 電気伝導率)の自動観測装置の設置による連続観測が開始された。

別項3. 第33回地震予知連絡会(昭和51年5月24日)で決定

#### 伊豆半島東部における地盤隆起 および群発地震について

水準測量によると伊豆半島中東部一帯に1969年より1976年までの7年間に十数センチメートルに及ぶ地盤の隆起が観測されています。また昨年10月から伊豆半島中部の遠笠山を中心に微小地震が群発しております。

この地域は地質年代的に新しい火山活動地域であるため、このような隆起や微小地震はしばしば起り得る現象とも考えられますが、これら諸現象の相互関係をより一層明らかにするため、各種の観測を実施する必要がありますと考えます。

昭和51年5月25日

地震予知連絡会会長  
萩原 尊礼

地震予知研究推進連絡会議議長  
久良知 章 悟 殿

別項4. 35回地震予知連絡会(昭和51年11月29日)で決定

#### 東海地震について

地震予知連絡会では、東海地方の遠州灘で最近120年間大地震が発生しておらず、地震の空白域の存在が明らかになっていること、及び明治以来の東海駿河湾沿岸の地殻上下変動及び地殻水平歪の様相から同地域の社会的重要性を考慮して、昭和49年2月東海地方を観測強化地域に指定し、各機関の協力のもとに調査観測を実施して来た。現在までに確認されたことは

1. 古文書等の記録から1854年の安政東海地震の震源域は遠州灘から駿河湾内部におよんでいた。
  2. 1944年(昭和19年)東南海地震の震源域は余震の分布と地殻変動等から遠州灘西部におよんでいることが推定されるが、御前崎沖には達していない。
  3. 御前崎南方沖から駿河湾内にかけての地域には安政東海地震以後大地震が起っていない。
  4. 御前崎から駿河湾西岸にかけて、明治以来顕著に沈降が認められ、また駿河湾を中心に西北西—東南東の水平圧縮が観測されている。
- 等である。

現在までの観測結果によれば、発生時期を推測できる前兆現象と思われるものは見出されていない。しかし、現在の観測態勢は充分とは言えないので、駿河湾周辺を含む東海地方の観測をさらに強化し、監視を続けて行く必要がある。

#### 地震予知計画に地下水の研究の導入

このような情勢下において国の地震予知計画を審議する測地学審議会は、昭和50年7月すでにスタートしている第3次地震予知計画(昭和49~53年度)の「一部見直し」を行い、地下水の研究の必要性、また昭和51年12月には「再度一部見直し」を行い、とくに東海地域の地下水の観測強化を建議し、地質調査所に地下水の研究の分担機関の1つとした。さらに第4次計画(昭和54~58年度)の建議においては、地質調査所は地下水の観測研究、地下水データの集中・処理体制の整備を分担することが盛り込まれた。

これらの建議を具体化するため地震予知推進本部は、東海地域の観測体制の一層の強化を決定し、特調費により「東海地域の地震予知に関する総合研究」及び「東海地域の観測データの総合解析処理に関する総合研究」(いずれも昭和52~53年度)が特別研究と平行的に実施され、専用観測井4井(相良…水位、大東…水位・ラドン、榛原…水位、浜岡…水位・ラドン)の新設を図り、連続観測体制が整備された。これらの観測データは、静岡県が独自に設置した5井のラドン観測井(富士宮、蒲原、静岡、袋井及び新居)のデータとともにテレメータ化、コンピュータ導入による処理体制も整えられ、観測網は飛躍的に拡充された(加藤ら1977、加藤ら1979、加藤ら1980、佃ら1980a、佃ら1980b、垣見・東野1980、加藤ら1981a、東野ら1981)。そのほか、昭和52年8月の第38回地震予知連絡会において、特定観測地域に指定されている島根県東部地域の宍道湖周辺に地盤隆起現象がみられることが報告され、特別研究により当該地域の地下水の基礎調査並びに松江市内の既存井を利用して地下水位の連続観測も開始した。

上述したように、川崎市の地盤隆起の原因解明を契機としてスタートした「地盤変動に関する特別研究」は、特調費による地下水観測体制の整備等で補強されながら、本格的な観測研究の時期を迎え、昭和53年度からは発展的に観測内容を引継ぐかたちで新たに5ヶ年計画として特別研究「地震予知に関する地球化学的研究」が発足することになった。

#### 「大規模地震対策特別措置法」の制定

上述の東海地域に巨大地震発生の可能性の指摘は、伊豆半島—大島付近での地震活動の活発化とも相俟って、国及び自治体、とくに藤原の静岡県などが強い関心を示すことになり、県独自で地震予知、防災対策を図るとともに、国に対して地震予知・防災対策の一元化を強く働きかけた。途中の経過は省略するが、その結果「世界でも初めての「大規模地震対策特別措置法」(別項5)が

制定され 昭和53年12月14日施行された。また 同法の施行に伴い 気象庁に「地震防災対策強化地域判定会」が設置され 同庁に集中されている東海地域の各種観測データの異常に関する判定を行うことになった。

科学技術庁は 上記法律を具体化するため関係機関協議のもとに特調費「フィリピン海プレート北端部の地殻活動に関する総合研究（昭和53～54年度）」「東海地域における地震前兆現象の検出に関する総合研究」（昭和54年度）及び「フィリピン海プレート北端部の地震テクニクスに関する総合研究」（昭和55～57年度）による研究を計画し 東海地域の観測体制の一層の強化を図ることになった。当所においてはこれらの研究のなかで陸域及び海域の地殻構造 活動史等の調査 精密重力調査 地下水の観測等を分担した。地下水については 小田原市 松崎町 御前崎町内に 専用地下水観測井（水位 自噴量 自然電位 比抵抗などの連続観測）を新設し データの収集・解析が行われた。なお 特調費による研究終了後 観測研究は特別研究に引継がれた。その他 本研究が発足して間もなく 宮城県沖地震（昭和53年6月12日 M7.4）が発生したが これに伴い仙台市内の既存井の基礎調査 及び水位 ラドンの連続観測並びに水質ラドンの定期観測を新たに計画し観測研究が進められた。地震予知に関する地下水等の観測研究の推移を第1表に示す。

#### 別項5. 大規模地震対策特別措置法（抜粋）

（昭和53年6月15日）  
法律第73号

大規模地震対策特別措置法をここに公布する。

##### 大規模地震対策特別措置法

（目的）

第1条 この法律は 大規模な地震による災害から国民の生命 身体及び財産を保護するため 地震防災対策強化地域の指定 地震観測体制の整備 その他地震防災体制の整備に関する事項及び地震防災応急対策その他地震防災に関する事項について 特別の措置を定めることにより 地震防災対策の強化を図り もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的とする。

（強化地域に係る地震に関する観測及び測量の実施の強化）

第4条 国は 強化地域に係る大規模な地震の発生を予知し もって地震災害の発生を防止し 又は軽減するため 計画的に 地象 水象等の常時観測を実施し 地震に関する土地及び水域の測量（以下この条及び第33条において「測量」という）の密度を高める等観測及び測量の実施の強化を図らなければならない。

（科学技術の振興等）

第33条 国は 地震の発生を予知するため 地震に関する観測及び測量のための施設及び設備の整備に努めるとともに 地震の発生の予知に資する科学技術の振興を図るため 研究体制の整備 研究の推進及びその成果の普及に努めなければならない。

#### 謝 辞

本研究を進めるに当たり 静岡県庁 島根県庁 宮城県庁をはじめ関係自治体の各位 井戸及び調査地所有者 観測依頼者の各位には 観測研究の趣旨に御理解を頂くとともに有益な御教示 御協力を賜った。ここに 厚く御礼を申し上げる。

## 2 地震予知に関する地球化学的研究

現在 地震予知の研究は地殻変動や地震活動等にあられる種々の現象を解析し 将来起こるであろう地震の「場所」と「大きさ」を長期的に予測しようとする「長期的予知」と地震直前の現象を捕えて地震が「いつ」起るかを短期的に予測しようとする「短期的予知」の面から研究が進められている。本研究で実施する地下水の研究は過去の地震に際して知られている種々の変化などから「短期的予知」に役立つものと位置づけされ 実用化を目指している。但し この場合は自動観測装置による連続的測定並びに常時監視という要件を満たすことが前提となる。

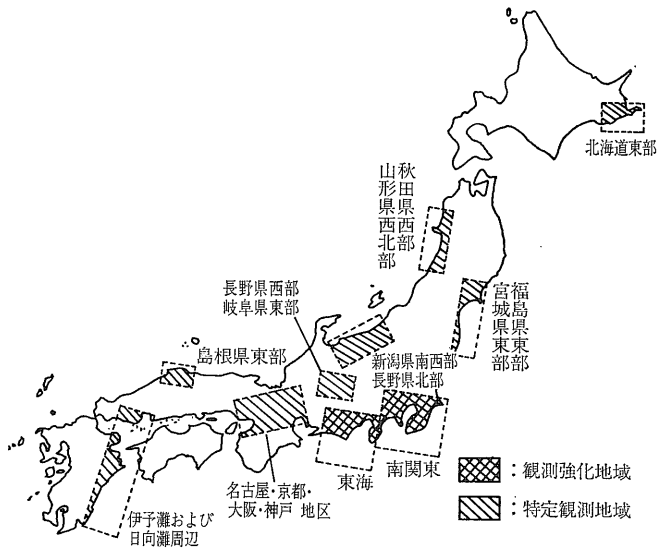
本研究は大別して 1. 地下水総合観測システムに関する研究 2. 地殻変動地域における土壤ガス中の化学成分の挙動に関する研究 の2テーマからなる。

1. の研究は 前特別研究及び特調費により観測研究の対象とした観測指定地域内の地下水観測網を引継ぎ 長期にわたるデータの収集を図り それらのデータに基づいて ① 観測井ごとにデータ中に含まれる自然的要因（気圧 降水量 潮汐など）及び人為的要因（近接井の揚水 周辺地域のかんがいなど）による影響について検討し井戸特性の把握 ② 生データに対し①で得られた影響量を補正し地殻変動に伴う異常検出の解析法の確立 ③ 各観測井の井戸特性から地震予知に対する観測井としての適否の判断 ④ 観測研究を実施しながら期間中に発生した地震に対応した変化事例の蓄積 及び解析などの観点から研究を進めた。

2. の研究は 地球内部に存在が知られているガス体の大気中への放出現象に着目し その移動が容易と考えられる地殻の弱線（例えば 活断層 地震断層 破碎帯など）附近の土壤ガスの化学成分濃度 深部起源ガスの供給の有無 繰り返し測定による変動の把握などに重点を置き新しい予知技術として地下ガスの適用の可能性について

第1表 地質調査所における地震予知に関する地下水等の観測研究の推移一覧

研究項目	年 度										主 な 事 項	
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59		60
測地学審議会、地震予知研究 第3次 (49～53年度) 第4次 (54～58年度) 第5次 (59～63年度) [第1次(40～43年度)] [第2次(44～48年度)]												第3次○50年7月。建議の「一部見直し」地下水研究の必要性 ○51年12月。建議の「再度見直し」東海地域の地下水の研究の必要性 第4次○短期的予知として地下水の観測、データの集中処理体制及び常時監視体制の整備 第5次○同上、地下ガスの研究の推進
(工業技術院特別研究) 1)地盤変動に関する特別研究  2)地震予知に関する地球化学的研究  3)地震予知に関する地下ガスの研究 (昭和58～63年度)												1)○地震予知を目的とした地下水の観測研究を開始 ○地下水位、水質変動と川崎の異常地盤隆起現象の解明 川崎観測井(水質、ラドン)新設、川崎市、横浜市内の既存井の定期観測 ○伊豆、東海、島根県東部地域の既存井の基礎調査、定期観測 東海地域 清水(水位)、賤機(水位)、駒形(水位)観測井新設、観測開始 2)○南関東、東海、島根県東部、宮城県東部の各地域の地下水位あるいは温泉井を対象とし、水位、水温、ラドン、水質等の連続あるいは定期観測によるデータの収集・解析 ○地震前兆現象検出手法の確立 ○地震前後の変化例の蓄積 ○山岳地域(神縄・国府津一松田、伊豆、阿寺、松代)の活断層地震断層周辺の土壌ガス中の化学成分の実態把握、深部起源ガスの供給の可能性の追求 短期的地震予知情報に関する地下水の観測研究は58年度より経常研究として実施 3)○地下ガスによる地震予知技術の開発
(科学技術庁特調費) 1)伊豆半島東部の地盤隆起に関する特別研究 2)東海地方東部における地殻活動に関する特別研究 3)東海地域の地震予知に関する総合研究 4)東海地域の観測データ総合解析処理に関する総合研究 5)フィリピン海プレート北端部の地殻活動に関する総合研究 6)東海地域における地震前兆現象の検出に関する総合研究 7)フィリピン海プレート北端部の地震テクニクスに関する総合研究												1)○地盤隆起周辺地域の既存地下水井の水位、ラドン、水質等の観測体制の整備及びデータの収集開始 2)○東海地域の地下水の定期観測網の整備及び観測、データの収集開始 ○清水観測井(ラドン、水質)新設、テレメータ化の整備、データの収集開始 3)相良観測井(水位)、榛原観測井(水位)、浜岡観測井(水位、ラドン)大東観測位(ラドン・水位)の新設、テレメータ化の整備、データの収集開始 4)○東海地域の観測データの送・受信系、データ収録・処理系、気象庁への転送系のシステムの確立(静岡県設置のラドン観測井5井のテレメータ化も含む)、データの解析研究 5)○鴨宮観測井(水位)新設、データ収集開始 6)○松崎観測井(自噴量、水温、自然電位、比抵抗)新設、データ収集開始 7)○御前崎観測井(水位、水温、自然電位、比抵抗)新設、データ収集開始(56年度以降は自省予算で観測を継続) 特調費により進められた地下水の水位、ラドン等の連続観測は特別研究に引継がれている。



第1図 観測指定地域図

検討した。

事例研究の対象地域としては 山岳地帯の活構造発達地域と群発地震発生地域を取りあげ 前者は神縄・国府津-松田断層地域（フィリピン海プレート北端部に位置し 年平均変位速度数mm/年に達する）及び阿寺断層地域（本邦第1級の活断層） 後者は伊豆半島東部地域（昭和49年頃より半島内及び大島間で群発地震が活発化）及び松代地域（昭和40～41年頃群発地震活発化 群発地震に際し大量の高塩分濃度の地下水の噴出深部起源と考えられるヘリウム 二酸化炭素などを地表で確認）をモデル地域とした。

### 2.1 地下水総合観測システムに関する研究

本項は 1. 地下水位 水質変動の研究 2. 観測データの解析手法の研究 からなる

#### 2.1.1 地下水位 水質変動の研究

地下水位 水質等の観測研究は 地震予知連絡会により指定されている観測強化及び特定観測地域（第1図）のうち 関東西部（埼玉県下） 筑波 川崎 小田原 伊豆半島 東海地域（以上観測強化地域）及び島根県東部（松江市） 宮城県東部（仙台市及びその周辺）地域（以上特定観測地域）内の地下水井あるいは温泉井を対象として行った 地下水観測井一覧を第2表に示す。なお本表には遊離ガスのみを観測した東海地域の石川ガス井は除外した。

#### (1) 地下水の観測方法

当所で行っている地下水の観測法には 観測井に自動測定装置を設置し 連続的にデータを収集する連続観測

と一定間隔（1回/日～月）をおいて手観測する定期観測がある。連続観測井のうち とくに 東海地域の観測井は大部分テレメータ化が図られ リアルタイムでデータの収集 監視ができる方式がとられている（詳細は後述する）。また テレメータ化されていない観測井のデータは原則として1回/週の頻度で記録紙を回収して読み取り 作表を行っている。

各観測井における観測項目及び観測方法を第3表に示す。なお 地震予知を目的とした観測研究においては同一地点で繰り返し測定を行いそのなかから微小な変化を見出すことが多いので測定精度の向上が要求される。そのため いくつかの改良を行った。

水位計については従来から使用されている水位計の測定精度は 1 cm であるが 触針方式のセンサー部を改良し 1 mm 精度の測定を可能にした。この水位計は 筑波 榛原 浜岡 御前崎の観測井に設置した。また揚水井で水中のラドンを連続測定する場合 予備実験の結果ポンプによる揚水量を一定に保持しないとラドン濃度に影響することが明かとなった。そこで 水中ポンプによる揚水量を 3～10l/min の範囲で任意設定の揚水量を得ることのできる自動制御装置を試作し 観測井に設置した。本装置により 揚水量 10l/min 時に 5% 以内の変動量におさえることが可能となり ラドンの測定精度を向上させることができた。その他 複数の帯水層間の自然電位並びに帯水層の比抵抗を測定する装置の試作（東野ら 1982）自動水質測定装置の電気伝導率 温度測定部に拡大読みとり機構を組み込み 微小な変化を読み取る工夫なども行った。また 水質の定期観測においては 所定の分析条件のもとで数回前の試料を挾

第2表 地下水観測井一覧

昭和58年3月現在

地域名	観測井名	位置	水源種類	自噴動力別	深度(m)	観測法 定期連続	観測項目	調査期間(年度)										備考	
								50	51	52	53	54	55	56	57	58			
関東 西部	K T-1深谷1号	深谷市	水	動	94	定	Rn, pH EC												
	K T-2深谷10号	〃	〃	〃	120	〃	〃												
	K T-2'深谷6号	〃	〃	〃	190	〃	〃												
	K T-3 人形浄水場5号	鴻巣市	〃	〃	250	〃	〃												
	K T-4箕田8号	〃	〃	〃	300	〃	〃												
	K T-5 戸田西部4号	戸田市	〃	〃	250	〃	〃												
	K T-5' 戸田東部1号	〃	〃	〃	230	〃	〃												
	K T-6 仙波浄水場5号	川越市	〃	〃	180	〃	〃												
	K T-7霞ヶ 関浄水場3号	〃	〃	〃	230	〃	〃												
	K T-8 所沢東部4号	所沢市	〃	〃	300	〃	〃												
	K T-8' 所沢東部1号	〃	〃	〃	300	〃	〃												
	K T-9 吉川浄水場7号	吉川町	〃	〃	305	〃	〃												
川崎	地調観測井	川崎市	〃	〃	1,016	連	L Tw, Q												
						〃	Rn												テレメータ
						定	Q, G												
筑波	地調観測井1号	谷田部町	〃	-	62	連	L, Tw												構内テレメータ
	〃 2号	〃	〃	-	150	〃	〃												〃
	〃 3号	〃	〃	-	300	〃	〃												〃
小田原	鴨宮地調観測井	小田原市	〃	-	500	〃	L												
伊豆 半島	1-1 中伊豆カントリー	中伊豆町	〃	動	150	定	Rn, Q G												
	1-2 年川水道水源	修善寺町	〃	湧	-	〃	Rn, Q												
	1-3 生コン水源	〃	〃	動	30	〃	Rn, Q, G												
	1-4 大京観光2号泉	中伊豆町	温	自	500	〃	Tw, Rn, Q, G												
	1-5 吉本源泉	〃	〃	〃	500	〃	Tw, Rn, Q, G												
	1-6 佐藤源泉	〃	〃	-	500	連	L												
	1-7 水道山第1水源	伊東市	水	湧	-	定	D, Q												

注) 湧: 自然湧水 Rn: ラドン R: 比抵抗 Tw: 水温 EC: 電気伝導率 Q: 水質 D: 自噴量 G: ガス  
L: 水位 SP: 自然電位





第2表 地下水観測井一覧表

地域名	観測井名	位置	水源種類	自噴動力別	深度(m)	観測法 定期連続	観測項目	調査期間(年度)										備考			
								50	51	52	53	54	55	56	57	58					
伊豆半島	1-32 吉川温泉源泉	河津町	温	自	400	定	D, Rn, Q, G														
	1-33 サイクルスポーツ源泉	修善寺町	〃	動	1,200	〃	Rn, Q, G														
	1-34 殖産土地赤沢1号源泉	伊東市	〃	自	779	〃	〃														
							連	Tw													
	1-35 殖産土地水源	〃	水	〃	150	定	Rn, Q, G														
	1-36 土橋水源	熱海市	〃	動	80	〃	〃														
	1-37 梅園水源	〃	水	—	80	連	L														
	1-38 殖産土地赤沢6号源泉	伊東市	温	自	597	〃	Tw														
							定	Rn, Q, G													
	1-39 松崎地調観測井	松崎市	水	自	200	連	Tw, D, Sp, R														
	1-40 榎本温泉源泉	河津町	温	〃	200	定	Q, D														
1-41 峰温泉2号源泉	〃	〃	〃	36	〃	Q													58年度以降不定期		
東海	T-1 清水地調観測井	清水市	水	—	50	連	L, Tw													テレメータ	
	T-1' 〃	〃	〃	動	60	〃	Rn, Q													テレメータ	
							定	Rn, Q, G													
	T-2 庵原水道水源	〃	〃	〃	30	〃	Rn, Q, G														
	T-3 農協3号	〃	〃	〃	70	〃	Rn, Q														
	T-4 井宮水源	静岡市	〃	〃	不明	〃	〃													ストレーナー 52~78m	
	T-5 丸子新田水源	〃	〃	〃	100	〃	Rn, Q, G														
	T-6 田宮模型水源	〃	〃	〃	130	〃	Rn, Q														
	T-7 東海都市ガス41号井	焼津市	〃	自・動	175	〃	Rn, Q, G														
	T-8 焼津上水10号	〃	〃	動	不明	〃	〃													ストレーナー 102~135m	
	T-9 志太鉦泉	藤枝市	鉦	湧	—	〃	〃														
							連	Rn, Tw													
T-10 榛原水道6号	吉田町	水	動	180	定	Rn, Q, G															
T-11 大阪水源	大東町	水	〃	130	〃	〃															
T-12 大東地調観測井	〃	〃	〃	260	〃	〃															
						連	Rn													テレメーター	

第2表 地下水観測井一覧表

地域名	観測井名	位置	水源種類	自噴動力別	深度(m)	観測法 定期連続	観測項目	調査期間(年度)											備考
								50	51	52	53	54	55	56	57	58			
東海	T-13 駒形地調観測井	静岡市	水	—	22	連	L												
	T-14 相良地調観測井	相良市	水	—	170	連	〃												テレメーター
	T-15 富士宮観測井	富士宮市	水	動	120	連	Rn												静岡県設置 テレメーター
	T-16 蒲原観測井	蒲原町	水	〃	121	連	〃												〃
	T-17 静岡観測井	静岡市	水	〃	150	連	〃												〃
	T-18 袋井観測井	袋井市	水	〃	130	連	〃												〃
	T-19 新居観測井	新居町	水	〃	393	連	〃												
	T-20 賤機地調観測井	静岡市	水	—	100	連	L												テレメーター
	T-21 榛原地調観測井	榛原町	水	—	170	連	L, Tw												
	T-22 浜岡地調観測井	浜岡町	水	動	270	定	Rn, Q, G												
					—	連	L, Tw												テレメーター
	T-23 御前崎地調観測井	御前崎町	水	自	170	連	Tw, D(L), Sp, R											テレメーター	
島根県東部	松江観測井	松江町	水	—	150	連	L												
宮城県東部	M-1 コカコーラ5号	仙台市	水	動	200	定	Q												
						連	Rn												
	M-2 仙台郵政研修所	〃	〃	—	200	連	L												
	M-3 フジカラー水源	〃	〃	動	100	定	Rn, Q												
	M-4 東北ゴム水源	〃	〃	〃	110	連	〃												
	M-5 宮城第2病院水源	〃	〃	〃	100	連	〃												
	M-6 今泉清掃所水源	〃	〃	〃	30	連	〃												
	M-7 国立仙台病院水源	〃	〃	〃	180	連	〃												
	M-8 タカノ湯源泉	宮城町	温	湧	—	〃	〃												
M-9 奥仙台ホテル源泉	〃	〃	自	200	〃	〃													

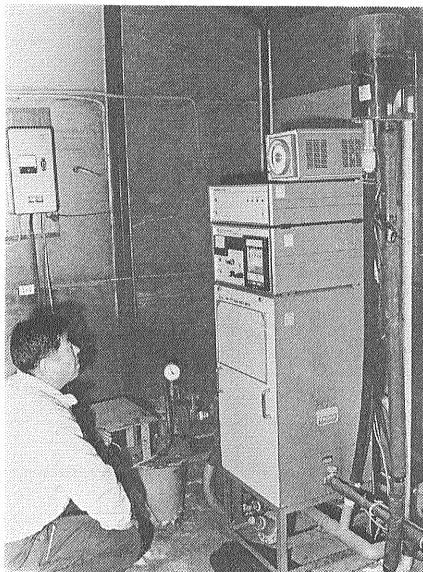
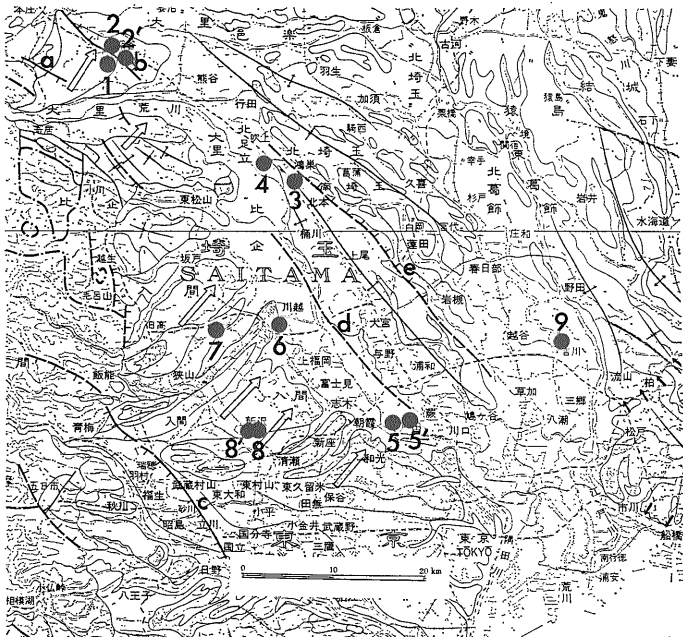


写真1 水中ラドン自動測定装置



第2図 関東西部（埼玉県下）地域における 地下水観測井の位置略図

1～9：観測井  
 a～e：活断層 a：櫛引 b：深谷 c：立川 d：荒川 e：綾瀬川（垣見ら1982 1/50万活構造図 東京）

みながら同時に分析を行い 分析データの再現性のチェックなどにも配慮した。

(2) 関東西部（埼玉県下）地域における地下水中のラドン濃度の観測結果

調査対象地域は 地震予知の上からは直下型地震の発生地域として重視されているにもかかわらず 関東造盆地運動により新第三系及び第四系の堆積物が非常に厚い

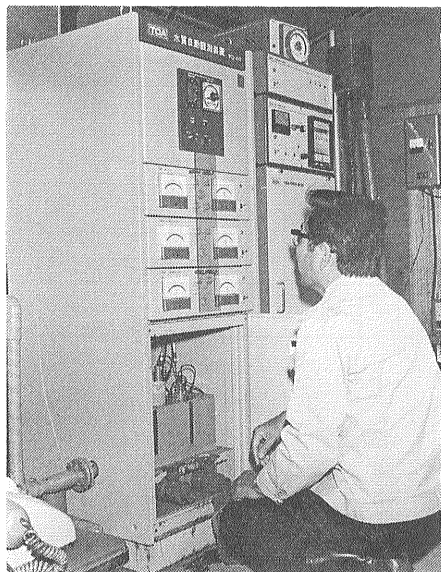


写真2 水質自動測定装置



写真3 水位自動測定装置

第3表 観測方法一覧

観測項目	観測法	連続観測	定期観測
水位	触針式センサーによる自記記録		
水温	白金抵抗体あるいはサーミスターによる自記記録		標準温度計による手観測
水量	流量計あるいはバケツ方式による自記記録		一定容器による手観測
水質	pH 電気伝導率測定センサーによる自記記録		水質主成分の化学分析
αトラック			硝酸セルローズフィルムのα線飛跡計数
ラドン	ZnS シンチレーションカウンター方式による自記記録		液体シンチレータ抽出後、液体シンチレーションカウンターによる計測
溶存ガス			二酸化炭素追出し後、ガスクロマトグラフによる測定
遊離ガス・土壌ガス			(一般ガス) クロマトグラフによる測定 (ラドン) ラドンカウンターによる計測

第4表 関東西部地域における地下水中のラドン濃度の  
 平均値 標準偏差及び変動率(昭和51年4月～  
 54年3月)

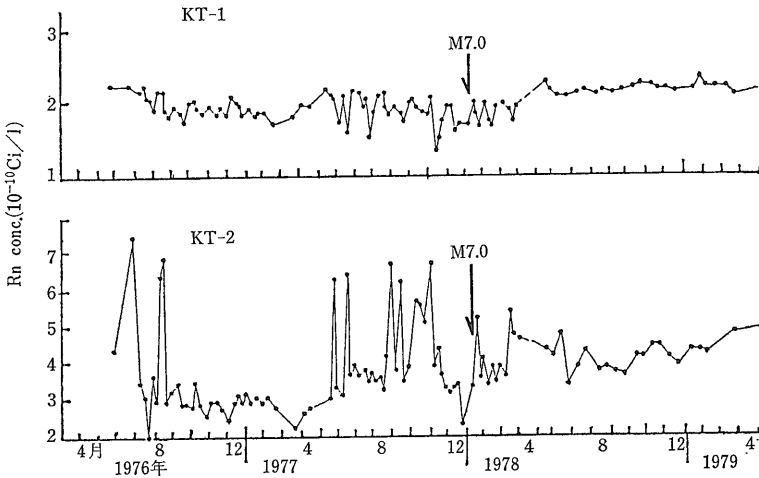
観測井名	試料数	平均値	標準偏差	C.V. %
KT-1 深谷1号	97	2.00	0.18	9.0
KT-2 深谷10号	97	3.88	1.11	28.6
KT-3 鴻巣5号	108	3.73	0.49	13.3
KT-4 鴻巣8号	113	4.39	0.23	5.4
KT-5 戸田市西4	111	2.01	0.22	9.28
KT-5' 戸田市東1	89	2.27	0.39	17.24
KT-6 川越仙5	111	8.89	0.44	4.91
-7 川越	110	8.91	0.83	9.36
KT-8 所沢東4	111	4.91	0.40	8.15
KT-9 吉川町	88	1.62	0.17	10.28

ため活断層などの分布に関しては不明なところが多い。現在までに判っているものとして関東西縁部に深谷 榑挽立川など 平野部に荒川 綾瀬川などの活断層が存在する(第2図参照)。

本地域の観測は 第2図 第2表に示す観測井を対象とし 第四紀層の地下水中のラドン濃度の実態把握及び経時的変化に関する基礎資料の収集に重点をおいて観測研究を行った。定期観測は昭和51年度から開始し 観測間隔は53年3月までは1回/週 56年3月までは2回/月 その後は観測終了の昭和58年3月まで1回/20日である。

観測の結果 1) 本観測地点のラドン濃度は  $2 \sim 10 \times 10^{-10} \text{Ci/l}$  の範囲で 戸田 鴻巣 所沢 川越の順にラドン濃度の高い地下水が分布する。埼玉県下において1984年4月号

は 西高東低の傾向が認められる。2) ラドン濃度の変動は観測井により異なり 昭和51年～53年の3年間のデータによると変動係数は4.91～28.6%である(第4表)。手観測による測定誤差は ラドン濃度  $1 \times 10^{-10} \text{Ci/l}$  の場合 最大5%程度であるので10%を越える KT2 KT3 KT5' KT9の観測井では 測定時の揚水条件の差異あるいは自然的要因によるラドン濃度の変化が考えられる。3) ラドン濃度は揚水量(取水量)と関係する例がみられる。すなわち KT4 においては 取水量  $5,000 \text{m}^3/\text{月}$  以下のときは減少し KT7 では逆に増加する。複数の帯水層からの揚水に伴う供給地下水のバランスの乱れが原因と考えられる。4) 長期的変動は観測井により異なり KT3 KT6 KT7 は52年7月頃から当初値に比し6～18%の減少を示すのに対して KT2 KT8 は年ごとに増加し 約5年間に前者は  $3 \times 10^{-10} \text{Ci/l}$  から  $7 \times 10^{-10} \text{Ci/l}$  後者は  $4.5 \times 10^{-10} \text{Ci/l}$  から  $6 \times 10^{-10} \text{Ci/l}$  に達している。帯水層における地下水の流動の変化が示唆される。5) 短期的変動としては KT2において昭和52年5月～53年1月の期間内に認められた7～8回に及ぶスパイク状のラドン濃度の変化が特徴的である(第3図)。本観測井は第3図に示すように深谷断層直上に位置していること この変化が1978年伊豆大島近海地震(昭和53年1月14日 M7.0) 前の方に頻繁にみられることなどから断層を通してラドンの供給がなされたものと考えられる。これに類する変化として昭和55年3月頃 KT8 を除く各観測井のラドン濃度が一様に約10%増加し 5～6月には元のレベルに戻る現象がみられた。この変化は この年の6月及び9月の地震(伊豆半島東方沖 M6.7 及び千葉県中部 M6.1) との関連



第3図 関東西部地域の KT-1 及び -2 におけるラドン濃度の観測結果

返しながら1.2m/月の回復速度で上昇する。62m井の水位変動パターンは150m井のそれと類似しているが局所的な低下がみられるのが特徴で年間変動幅は約3m程度である。2) 300m井の深度240mにおける地下水温は水位が低下しはじめる4月中旬頃から徐々に上昇し最低水位を記録する7月上旬～8月中旬にかけて最高水温となり8月中旬から1月上旬まで水位が回復するにつれて水温は徐々に低下するパターンを示す。水位とは逆の関係にある。3) これらの現象は150m井の主要取水層(100m付近)である//第3帯水層//からの大規模揚水によりその帯水層にお

で変化した可能性も考えられるが定期観測のみの結果であるので詳細な変化は判らない。

本観測研究により関東平野部の一部についてではあるが第四紀層地下水中のラドン濃度に関する基礎的データの収集変動の要因などを把握することができ今後に予想される首都圏における地震予知体制の構築に際し参考資料となるであろう。

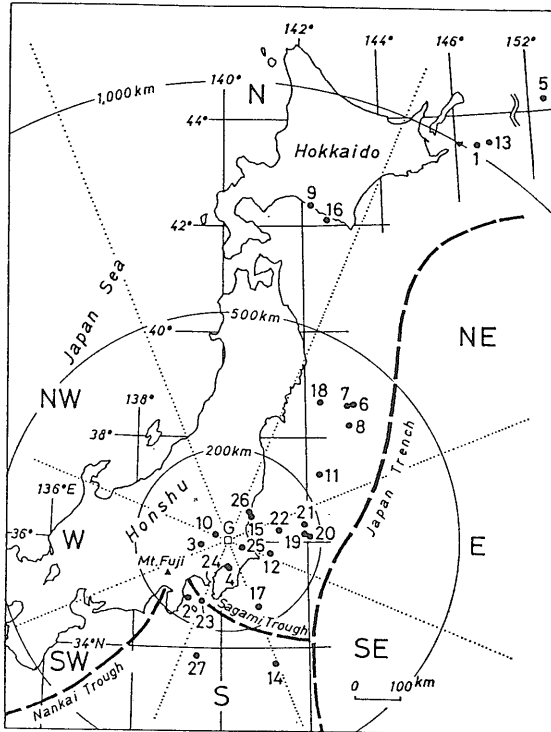
(3) 筑波地区地質調査所構内における地下水の観測結果

筑波移転時に地震予知を目的とした地下水観測井3井(62m井 150m井 300m井)を地調構内に新設し昭和55年2月より水位・水温の観測を実施している。約3年分のデータが収集され解析の結果 1) 3本の観測井ともほぼ1年周期で繰り返される水位変動が認められる。すなわち300m井では4月下旬～5月上旬に最高水位7月下旬～8月上旬に最低水位を示す。両者の水位差は約2mで単周期の変化パターンであるが1サイクルの変化型は非対称で水位低下時の方が上昇時よりも急激に変化する。150m井では1月上旬に最高水位が出現しその後水位はやや低下するものの安定状態を維持し4月下旬以降2～3ヶ月間に5～7mもの急激な水位低下をみる。7月上旬から水位は回復しはじめ1月上旬まで多少の昇降を繰り返

第5表 コサイスマミックな水位変動が生じた地震リスト(昭和55年2月～57年12月)

No.	Origin Time		Epicenter		H (km)	M	Well No.			
	Date	Time	Name of District	Long.			Lat.	1	2	3
1	'80/	2/23 14:51	SE OFF HOKKAIDO	146°33'	43°27'	30	6.8	@	X	X
2		6/29 16:20	IZU PEN REGION	139 14	34 55	10	6.7	@	@	@
3		9/24 04:10	SOUTHERN KANTO	139 48	35 58'	80	5.4	@	@	X
4		9/25 02:54	SE COAST OF KANTO	140 13	35 31	80	6.1	@	@	X
5		12/31 19:32	KURILE IS	152 22	46 14	70	7.1	@	?	@
6	'81/	1/19 03:11	E OFF N HONSHU	143 09	38 38	0	6.1	@	X	@
7		1/19 03:17	E OFF MID-TOHOKU	142 58	38 36	0	7.0	@	@	@
8		1/23 04:34	E OFF N HONSHU	143 03	38 14	0	6.6	X	@	@
9		1/23 13:58	S COAST OF HOKKAIDO	142 12	42 25	130	7.1	X	@	@
10		1/28 12:47	NORTHERN KANTO	139 51	36 10	60	5.0	@	@	@
11		4/13 12:04	E OFF S TOHOKU	142 21	37 16	30	5.7	@	@	-
12		9/ 2 18:24	E OFF KANTO	141 08	35 48	40	5.8	@	@	?
13		9/ 3 14:35	SE OFF HOKKAIDO	146 49	43 28	30	6.5	@	X	@
14	'82/	2/21 04:18	SE OFF KANTO	141 14	33 43	40	6.4	@	@	@
15		3/ 7 08:14	E COAST OF KANTO	140 39	36 28	60	5.5	@	@	?
16		3/21 11:32	S OFF HOKKAIDO	142 36	42 04	40	7.1	@	@	@
17		3/27 09:19	S OFF KANTO	140 51	34 47	50	5.6	@	X	X
18		6/ 1 05:13	E OFF MID-TOHOKU	142 20	38 41	40	6.2	@	X	X
19		7/23 23:23	E OFF KANTO	141 57	36 11	30	7.0	@	@	-
20		7/24 02:53	E OFF KANTO	142 03	36 07	30	6.2	@	@	-
21		7/25 17:01	E OFF KANTO	141 56	36 20	10	5.9	@	@	-
22		8/ 3 01:26	E OFF KANTO	141 22	36 13	30	4.5	@	X	-
23		8/12 13:33	S OFF KANTO	139 34	34 53	30	5.7	@	-	X
24		9/30 01:10	TOKYO BAY REGION	140 09	35 32	70	4.6	X	X	@
25		10/25 00:50	E COAST OF KANTO	140 31	35 54	40	4.2	@	@	?
26		11/10 08:37	E COAST OF KANTO	140 38	36 34	100	5.1	X	@	?
27		12/28 15:37	NEAR MIYAKEJIMA	139 27	33 52	20	6.4	@	@	@

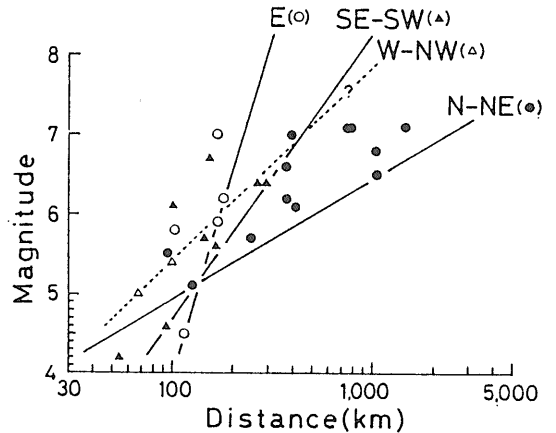
注) @ : 変化あり X : 変化なし ? : 検討中 - : 記録なし  
観測井番号 1 : 62m# 2 : 150m# 3 : 300m#



第4図 筑波観測井(G)を中心とした震央分布図

る急激な水位低下をひき起すとともに その上下帯水層の水位低下も誘発するものと考えられる。とくに 水位低下時における第3帯水層以深の地下水は その補給源をより深層(縦方向)に求めることになる。従って 300m 井の水位低下に伴う水温の上昇は より深層に存在する高温の地下水の流動に起因するものと考えられる(田口, 1981)。4) 各観測井の水位は気圧と関連し 300m 井では気圧 1 mb 当り 3 mm 150m井及び62m井では 2 mmの補正が必要である。5) 雨量強度の強い降水に際しては時間遅れなく水位の上昇がみられる。これは 降水の直接浸透によるものでなく圧力伝播の影響と考えられる。6) 地震との対応 55年2月から57年12月までの約3年間にわたる観測期間中に発生した地震と水位との関係について詳細な検討を行ったが 今のところ 明瞭な地震の前兆とみられる変化は得られていない。しかし コサイスマックな水位変動例が27例得られた(地質調査所 1983a)。第5表に水位変動が生じた地震リストを示す。なお ここで取扱った水位変動は地震に対応して3本のうちいずれかの観測井で 1 mm以上の水位上昇あるいは低下が記録されたものである。水位変動を及ぼした地震の震央位置を第4図に 水位変動が生じた地震のマグニチュードと震源までの距離の方

1984年4月号



第5図 筑波観測井において 水位変動が生じた地震のマグニチュードと震源までの距離の方位ごとの関係

位ごとの関係を第5図に示す。これらのことから ① 筑波観測井はマグニチュード5.0以下の地震に対しては 水位変動は殆んど現出しない。② 10mm以上の水位変動が観測されたのは 地震リストのうち No.3の地震の際の150m 井(水位下降) No.12の150m 井(下降) No.15の62m井(下降)と150m 井(下降)及びNo.19の62m井(下降)と150m 井(上昇)しかなく 大部分は 10mm以下である。③ 水位変動と地震の方位との上盤関係は N-SE 方向では日本海溝をはさみ その(アジアプレート)側で発生した地震に対してのみ現われる。これに対し SW 方向の南海トラフの上盤側の地震に対しては現われない。④ 水位変動が現われた地震は 観測井から500km 以内のものが約8割を占め 方向別では NE 及びE 方向の地震が全体の6割を占めている。⑤ N-NE 方向では 遠くの大きな地震に対して水位変動が現われる。とくに No.1 5 13は本井から1,000km以上も離れた場所での地震である。E 方向では 200km以内の地震に対してのみ水位変動が現われることなど地震に対する井戸の特性が明らかとなった。

#### (4) 川崎地区地質調査所観測井におけるラドン・水質の観測結果

本観測井は 川崎市富士見公園内に位置し 前特別研究により設置したものである。800m 以深にストレーナ(収水層)をもつ本井の地下水は鎌倉層群の地層中に分布するもので高塩分水( $Cl$  16,000mg/l かつメタン系の遊離ガス( $CH_4$ , 99%)を伴う。昭和51年観測当初のラドン濃度は 地下水中で  $0.4 \times 10^{-10}Ci/l$  ガス中で  $1.5 \times 10^{-10}Ci/l$  を示し 気・液相のラドンの分配はほぼ理論値と一致している。これまでの観測結果によると

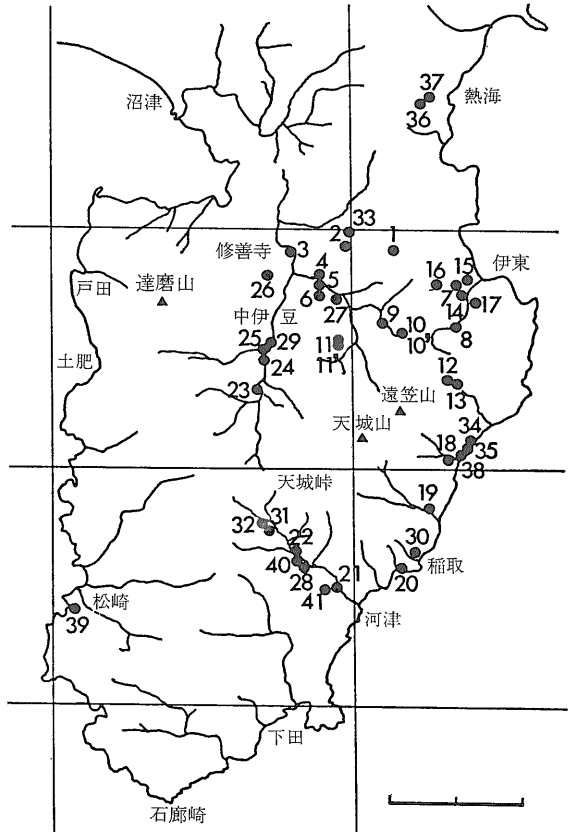
1) ラドン濃度は長期的には減少傾向を示し57年12月現在 地下水中の濃度は  $0.15 \times 10^{-12} \text{Ci/l}$  となっている.  
 2) 水温は  $23^\circ\text{C}$  電気伝導率は  $45 \text{mS/cm}$  前後の値であるが 両者とも揚水量と正の相関がある. すなわち 揚水量  $5 \sim 15 \text{l/min}$  の範囲では 揚水量  $1 \text{l/min}$  当り水温  $0.22^\circ\text{C}$  電気伝導率  $0.1 \text{mS/cm}$  の変化が認められる. 3) 水温には年周的変動がみられ 1月に最低  $8 \sim 9$ 月に最高値を示す. 水温差は約  $1^\circ\text{C}$  である. 電気伝導率には明瞭な年周変化はみられない. 4) 地震に対する変化例としては 51年5月 東京湾東部地震 ( $M4.1$ ) に対し 地震の7時間前から電気伝導率  $0.7 \text{mS/cm}$  の増加 55年9月の千葉県中部地震 ( $M6.1$ ) に際し 3日前に水温  $0.1^\circ\text{C}$  の上昇などの現象が認められている. なお ラドンについては とくに変化はみられない.

本観測井では約4年にわたりラドンの自動観測を実施したが 鉄分による給水等の目詰り 高塩分水による装置の腐蝕等が著しくなったので ラドンの観測は57年度をもって打ち切ることとした. 今後は 水位の観測に切替える予定である.

(5) 小田原地区地質調査所観測井(鴨宮)における水位の観測結果

昭和54年度 フィリピン海プレート北端部の造構運動解明の一環として 国府津-松田断層の活動及び周辺地域地域の平野部の地質構造を明かにするため 小田原市鴨宮青果市場内において深度  $500 \text{m}$  のボーリングを行ったが本観測井はそれを利用し 水位観測井として仕上げ足柄平野部の地下水挙動に関する基礎資料の収集を行うこととした.

観測井の地質柱状は  $70 \text{m}$  以深は特徴のない砂礫層となっている. ストレーナ位置は  $391 \sim 501 \text{m}$  間に設置したが この位置は 平野部で利用されている地下水井群のストレーナ位置より約  $200 \text{m}$  深い. 55年4月より観測を開始し 約3年間にわたりデータの収集 検討を行った. その結果 1) 本観測井の水位は 周辺の工場群の揚水の影響を強く受け 月へ金曜日間は規則的に8時頃より水位が低下し 18時頃より回復のパターンを示す. 低下量は約  $30 \text{cm}$  土へ月曜日の朝にかけては水位が回復するが この期間のみ潮汐による水位変動が読みとれる. 2) 年周変化としては 夏低冬高で変動幅は約  $70 \text{cm}$  である. 3) 水温は水位変化と対応し 水位があがると水温は上昇する. 水位  $30 \text{cm}$  当り約  $0.2^\circ\text{C}$  の変化である. 4) 地震との対応は 55年6月伊豆半島東方沖地震 ( $M6.7$ ) に際してユサイスミックに約  $2 \text{cm}$  の水位上昇が認められた. なお 本観測井

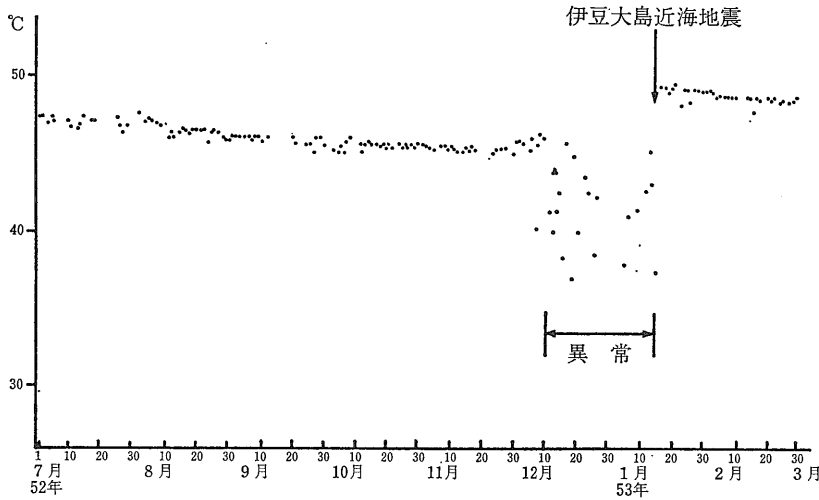


第6図 伊豆半島地域における地下水観測井の位置略図(スケールは1目盛5km)

は上述のように近接する工場群の揚水の影響を直接受けることが明かとなったので 水位の観測は57年度で終了することとした.

(6) 伊豆半島地域における水温 水位 自噴量 水質 ラドン 溶存ガス等の観測結果

伊豆半島東部地域においては 昭和49年頃から群発地震が起りはじめ 50年10月には一段と活発化した. また51年はじめに行われた国土地理院の水準測量の結果 東部地域は 過去7年間に冷川峠付近の約  $15 \text{cm}$  の地盤隆起を最大とし 全般的に隆起していることが地震予知連絡会で報告された. これを受け 関係機関協力のもとで観測研究を強化することになり 当所では 当面既存の温泉(新第三紀)及び地下水井を対象とし水温 水位 水質等の基礎調査 定期観測あるいは自動観測体制の整備等を図り 地震発生との関連性を究明することになった. 観測・研究の対象とした観測井の位置を第6図 観測項目を第2表に示す.



第7図 伊豆半島 I-4 における  
1978年伊豆大島近海地震  
の水温の変化

(A) 水温

水温の観測はすべて温泉を対象とし、昭和51年度から原則として1日1回の測定でスタートしたが、54年度からは一部の観測井に自動観測装置を設置し連続観測も導入した。観測データを検討した結果、1) 動力揚水井の水温は断続揚水あるいはポンプの故障等の理由によりデータのバラツキが目立ち、地震予知のための観測井としては不適当と判断される。2) 自噴井のI-34及びI-38について連続観測を実施したが、I-34の水温は非常に安定しており、年周変化もみられない。年間の水温の変動幅は  $40.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$  程度である。I-38の水温には季節変化(2~3月最高値、6~7月最低値)がみられ、年間の変動幅は約  $1^\circ\text{C}$  である。また、自噴量と水温には正の相関がみられ、 $100\text{l}/\text{min}$ 、当り  $0.5^\circ\text{C}$  変化する。3) 地震との対応例としては、I-4 において第7図に示すように1978年伊豆大島近海地震(M7.0)の発生約1ヶ月前から自噴圧低下に伴う水温の低下(約  $10^\circ\text{C}$ )、I-21 においては、同地震の約70日前の11月5日、近接する峰2号ふっとう泉の自噴停止に伴い水温が段階的に上昇(自噴停止4日後  $63.5^\circ\text{C} \rightarrow 70^\circ\text{C}$ 、14日後  $70^\circ\text{C} \rightarrow 71^\circ\text{C}$ 、25日後  $71.0^\circ\text{C} \rightarrow 71.5^\circ\text{C}$ 、37日後  $71.5^\circ\text{C} \rightarrow 73^\circ\text{C}$ 、52日後  $73.0^\circ\text{C} \rightarrow 75^\circ\text{C}$ )し、地震発生前の約20日間は  $75^\circ\text{C}$  を維持した。自噴停止から地震までの間に約  $13^\circ\text{C}$  の水温上昇をみている(第8図)。この水温の急激な上昇の直接的な原因は峰2号の自噴停止に伴う周辺温泉帯水層の蓄熱作用によるものと考えられる。このようにI-4及びI-21における地震前の自噴圧の低下及び自噴の停止は、いずれも地震の前兆的現象とみることができ、その結果、水温の異常変化をもたらしたのと考えられる(永井ら1979)。

その他コサイスミックな変化としては、I-5 において1978年伊豆大島近海地震直後から自噴圧の低下による水温の低下(約  $10^\circ\text{C}$ )、I-24及び25において1980年伊豆半島東方沖地震に対し、両者とも地震直後に約  $1^\circ\text{C}$  の水温の低下がみられている。

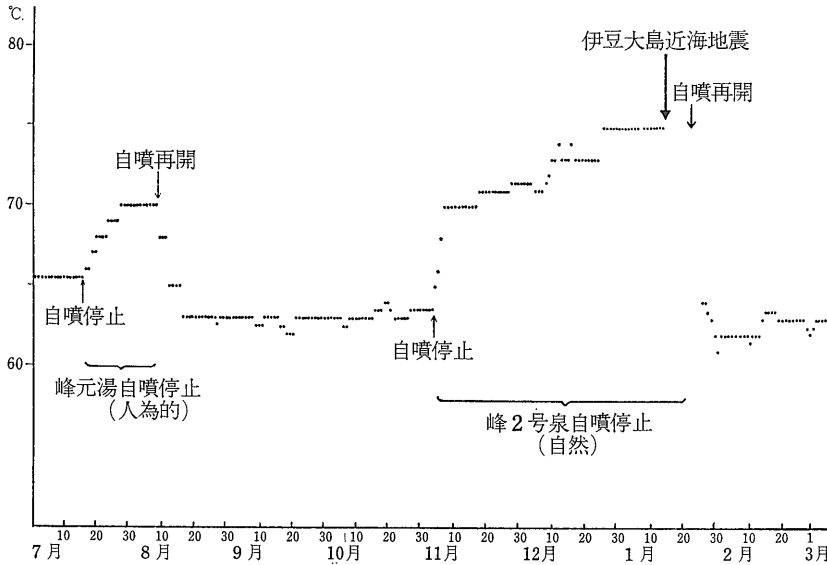
(B) 水位・自噴量

水位の連続観測はI-6及び37、自噴量の連続観測はI-11'及び39で行い、長期的なデータの収集を図った。I-6の水位には気圧との対応がみられ、気圧  $1\text{mb}$  当り  $5\text{mm}$  の水位変化を示す。降水の影響は小さい。年間の水位変動幅は  $50\text{cm}$  以内である。I-37は梅園断層上に位置する観測井で不圧地下水のため降水の影響を直接的に受けることが明かとなった。

I-11'の自噴量にはやや季節的な変化がみられ、渇水期  $28\text{m}^3/\text{日}$ 、豊水期  $32\text{m}^3/\text{日}$  程度である。日変化はとくにみられない。降水による増加は明瞭である。I-39の自噴量は気圧と逆相関を示す。降水、潮汐との対応も明瞭である。季節変化が著しく、渇水期には自噴が停止する年もある。

地震との対応例としては、I-6 において1978年伊豆大島近海地震の約1.5ヶ月前からそれまで安定していた水位が低下しはじめ、地震の約2週間前を底(ここまでに約  $20\text{cm}$  の低下)として上昇に転じ、ほぼ平常時のレベルに戻ったところで地震の発生をみている。地震前を詳細にみると、約1.5日前からは今まで気圧との対応を示していた水位が殆んど動かなくなる現象もみられる(第9図)。地震直後は、約  $80\text{cm}$  の急激な水位低下をもたらした。また、約1日の間は気圧との対応も示してい





第8図 伊豆半島 I-21 における 1978年伊豆大島近海地震 (1月14日 M 7.0) 前後の水温の変化

ない。これらの一連の水位の変化は前兆的現象と考えられる(岸1979)。その他 コサイスミックな変化としては I-11' において同上の地震直後に自噴量が約 10l/min 増加(岸1979) 1980年伊豆半島東方沖地震直後に約 6l/min の増加した例がある。また I-37 においては 1980年伊豆半島東方沖地震直後に約 80cm の水位低下がみられ この回復には約 1年 2ヶ月を要している(地質調査所 1981a, 田口・永井1982)。

(C) 水質

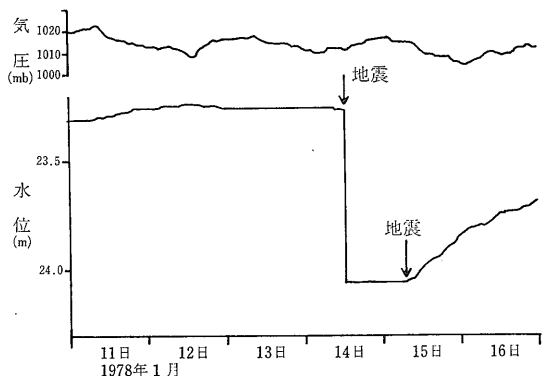
水質の観測は 第2表に示す観測井について昭和51年4月より基礎調査及び定期観測を行った。観測開始以来 延26井の水井戸 温泉井を対象として測定を実施したが 最終的には自噴の温泉源泉 7井を選定し 長期的な水質変動の把握に努めた。

I-28 は Na・Ca-SO<sub>4</sub> 型の泉質を示し 溶存成分量は自噴量と逆相関の関係にある。通常 水質は比較的安定しているが 地震などのショックにより自噴量が増加すると Na Ca が減少する傾向がある。I-31 は Ca・Na-SO<sub>4</sub> 型の泉質で自噴量 水質とも安定している。1980年伊豆半島東方沖地震に際し 直後に自噴量が約30%増加したがそれに伴い水質変化はみられない。I-32 は Ca・Na-SO<sub>4</sub> 型の泉質であるが溶存成分は少ない。通常は深部の温泉 1 に対して地下水 6 の混合比で自噴しているものと考えられる。地震に対する変化としては53年11~12月の川奈崎群発地震(最大 M5.2) 1980年伊豆半島東方沖地震の 2~3ヶ月前に10%を越える溶存成分の増加がみられ その後 ほぼ平常値になったところで地震の発生をみている。また 地震直後は各成分とも

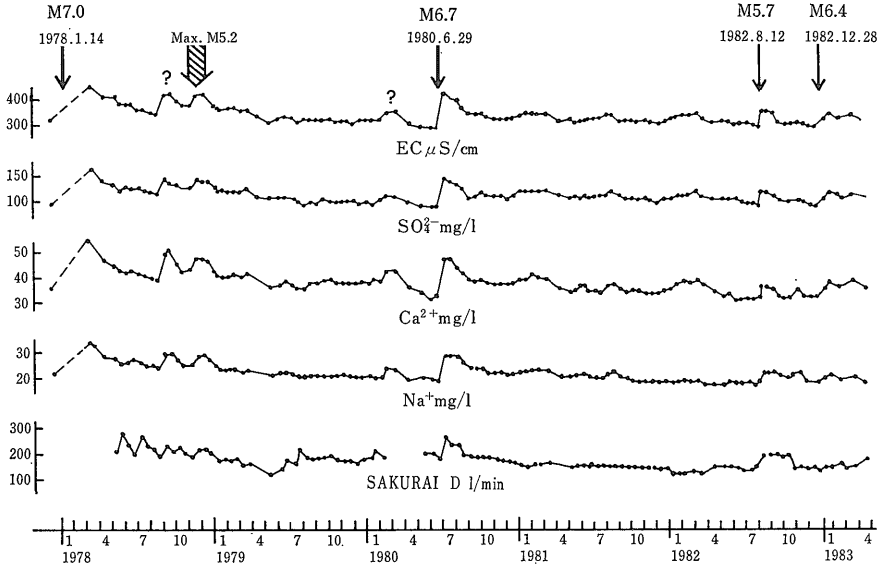
約30%の増加を示した(第10図)。地殻歪等による混合比の変化が水質に現れるものと推察される(地質調査所 1981b)。I-34 は Na-SO<sub>4</sub>・Cl 型の泉質で溶存成分は少ない。I-32 と同様に温泉水と地下水の混合が推定されるが 地震に対しては 1978年伊豆大島近海地震直後に各成分とも約 10%の減少を示し 平常値への回復に約 1.5年を要している。その他 I-30 38 39の水質はほぼ安定しており今のところ地震との対応は認められない。

(D) 地下水中のラドン

地下水中のラドン濃度の観測は 第2表に示す温泉地下水を対象として 昭和51年4月より基礎調査及び定期観測を開始し 特別研究終了までに観測井の見直しなどを行いながら延19井について測定を行った。伊豆

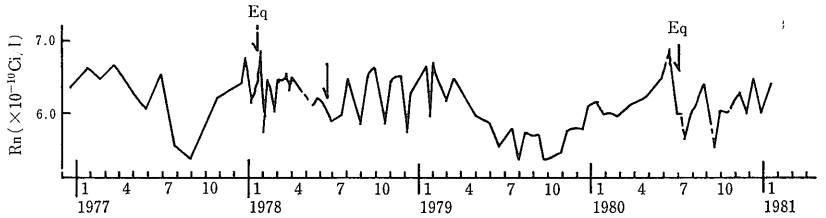


第9図 伊豆半島 I-6 における 1978年伊豆大島近海地震前後の水位変化



第10図 伊豆半島 I-32 における 水質の観測結果

第11図 伊豆半島 I-11' における ラドン濃度の観測結果



半島東部地域の地下水中のラドン濃度は  $0.1 \sim 6 \times 10^{-10}$  Ci/l の範囲にあり 一般地下水は I-11' の  $6 \times 10^{-10}$  Ci/l を除き  $1 \times 10^{-10}$  Ci/l 以下のものが多い。温泉水も河津町地区の I-28 31 及び 32 のラドン濃度は低い ( $0.1 \sim 0.5 \times 10^{-10}$  Ci/l)。平常時のラドン濃度の変動率は 5～9% の範囲であるが 分析操作上の変動率 5% を考慮すると安定しているとみることができる。地震に対する変化としては I-11' 29 において 1978 年伊豆大島近海地震の発生 4～6 ヶ月前からラドン濃度の減少→増加の現象がみられ ほぼ回復した時点で地震の発生をみている。第11図に I-11' の例を示す。この観測点では 51 年12月～52年6月間の平均値が  $6.45 \times 10^{-10}$  Ci/l 変動率 3.3% と極めて安定した濃度を示していたが 7～8 月の減少時には最大17%の低下がみられる(池田ら1979)。このような変化は1980年伊豆半島東方沖地震の発生前にも観測されている。この観測井は姫ノ湯活断層直上部に位置し 水井戸であるにもかかわらずラドン濃度が異常に高く ラドンに限れば異質な地下水と云うことができる。断層を通じてのラドン供給が考えられ 地下深部の地殻歪などの状態変化に伴い供給量が変わる条件を有

しているであろう。伊豆半島地域においては注目すべき観測井なので 56年にラドン自動観測装置を設置 57年にはテレメータ化も図り観測を実施している。

(E) 地下水中の溶存ガス

地下水中の溶存ガスの観測は 第2表に示す温泉 一般地下水井を対象として 昭和51年4月より基礎調査及び定期観測を開始し これまでに延21井についてガス成分の測定を行った。

その結果 溶存ガス総量は地下水の場合 20～23ml/l 温泉水の場合 14～19ml/l程度を含み ガス組成は窒素型である。温泉水には微量成分としてヘリウムが 10～80ppm含まれ その含有量は水温と正の相関を示す。長期的にデータが収集された観測井のガス成分の測定値を第6表に示す。

地震あるいは火山活動により変化が期待される成分としては 地下ガスの成因から考えて 溶存ガス総量 ヘリウム 水素 二酸化炭素などが挙げられるが 第6表にみられるように 一般地下水井は これら深部情報に関する成分は含んでいない。

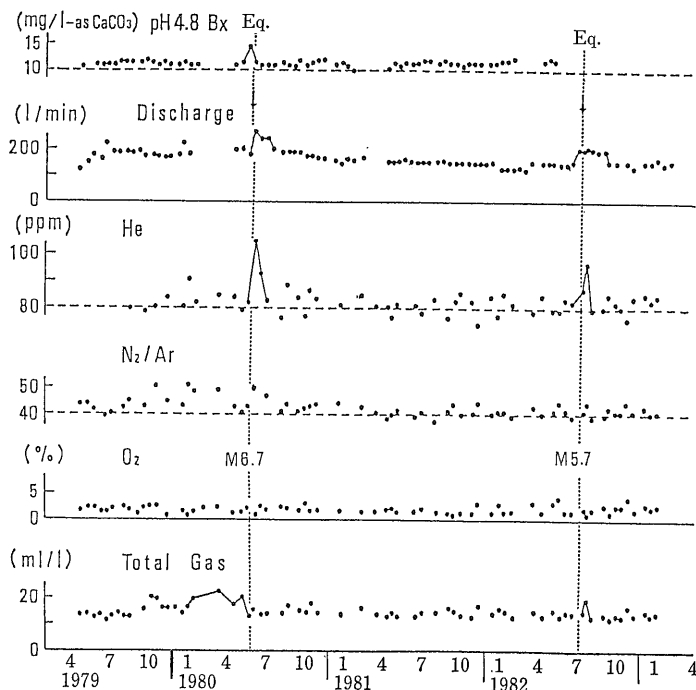
第6表 伊豆半島地域における温泉・地下水観測井の水中溶存ガス成分含有量

	井戸の種類	自噴別 動力	水 温 ℃	溶存ガス総量 ml/l	N <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	Ar %	He ppm	備 考
I-11'	水井戸	自	15	21	70	28	1.7	2	
I-35	"	"	16	23	67	31	1.7	2	
I-36	"	動	17	20	73~78	20~25	1.8	2	
I-27	温泉	"	51	14~19	91~97	1~7	2~2.2	30~65	地上水の混入
I-28	"	自	25	17	96	<2	2.2	50	
I-29	"	動	40	17	83	15	2.0	40	地下水の混入
I-30	"	自	32	18	96	<2	2.2	10~15	
I-31	"	"	56	15	96	<2	2.2	80	
I-32	"	"	25	21	81~86	12~17	1.9	6~12	地下水の混入
I-34	"	"	41	16	88~96	2~10	2~2.2	40~60	

地震に対する変化としては I-31において1980年伊豆半島東方地震の約3ヶ月前から溶存ガス総量が増加（16から20ml/l）し直前には二酸化炭素濃度に対応するpH 4.8アルカリ度の増加（11.5から14.5mg/l CaCO<sub>3</sub>として）もみられこれらは前兆的現象と考えられる。また地震直後にはヘリウムが80から105ppmと急増した。地震後のヘリウムの増加は57年8月の伊豆大島近海の地震（M5.7）の際にも認められている（第12図 地質調査所 1984a）。その他 I-27及び28においても1978年

伊豆大島近海地震直後にヘリウムが平常値の1.5~2倍に変化した例が得られている（永田ら1979）。このようなヘリウムの増加の原因としては地震活動により岩石中にトラップされているウラン・トリウム起源のヘリウムが放出されるものと考えられる。

以上 概述したように伊豆半島地域の温泉水に含まれる溶存ガス成分の一部には地震前後に明かに変化するいくつかの実例が得られ今後地震予知手法の1つとして発展が期待される。（次回は6月号に掲載）



第12図 伊豆半島 I-31 における 水中の溶存ガスの観測結果