

川崎地区水位・水質観測井について(その5 水質編)

池田喜代治・阿部喜久男 (技術部化学課)

1. ま え が き

関東大震災(M.:7.9)が1923年に南関東に起って以来 既に52年経過した。

今日では 当時よりはるかに人口は増加し 交通網は発達し 建造物は高層化し さらに東京湾に面してはオイルタンクの林立するコンビナート化した工場群の存在のために もしも関東大震災と同じ規模の地震が起こったら 予測もつかない大災害を招くことになるだろう。もし地震が予知できれば 地震のもたらす災害を最小限に押えることが可能なのだが。

一昨年暮 川崎市東部地域に直下型の地震が起こるかも知れないという地震警報があった。これは 昭和46年頃から 川崎市の元木町で 4cm の地盤の隆起が観測されたためである。

この警報が発せられてから 関係諸機関は 日本での地震予知研究を進める上での一つのテストフィールドとして大きなエネルギーを注入し 地質調査所も隆起現象の解明のために調査活動を行ってきた。

川崎地区の水位・水質観測井(以下 川崎GS観測井とする)での諸観測も この調査活動の一端として行なわれているもので 今回は ここに設置された水質自動観測装置の設置の意味 装置の概要およびこれまでに得られた測定結果などについて述べる。

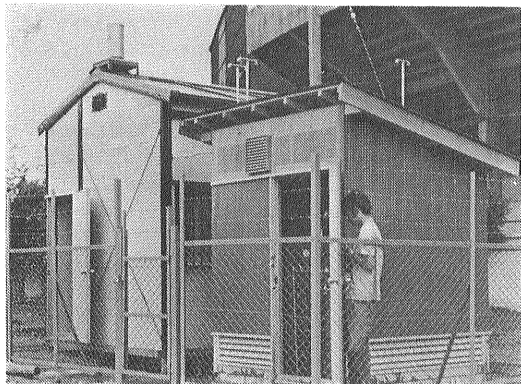
2. 地震の前兆現象としての地下水の変化について

川崎地区の地盤隆起に関しては 地震予知連絡会会報

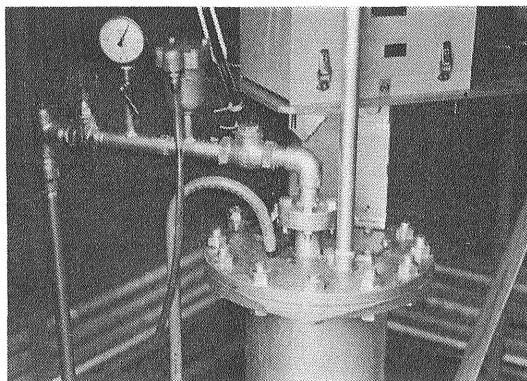
第14 15巻 当所の地質ニュース 254 256 262の各号 それに新聞紙上などにも その経緯 内容が詳しく報ぜられているように 関係諸機関が行なった中間的なまとめから 昭和50年5月 地震予知連絡会は「川崎地区の地盤の隆起現象は地下水の水位の回復と関係がある」旨の発表をし 「今後も諸観測を集中的に行ない 今後の経過を監視し 現象解明に努める必要がある」と結んでいる。このように 川崎の地盤変動は地下水に大きなかわりがあることがわかったが 本来 地震と地下水とは大きなかわりがあり わが国で起こった過去の地震の際に 地下水の噴出や 水位の変化が起こった例 ときとしては地震の前に水位の変化が起こったという記録があるといわれている。

最近 地殻内で起こる地震の先行現象について Schoelzらはダイラタンシー・モデルという仮説(地殻にストレスが高まると微小割目を生じ 体積が膨張し その部分への地下水流入などに伴う各種の地震先行現象を発生するという説)を発表している。この仮説を裏付ける現象が起こっていれば 地下水と岩石との間に起こる相互作用のために地下水に変化を生じ たとえば 地下水中のラドン(Rn)や そのほか 溶存化学成分に変化を与えることが期待できる。したがって 地下水についてラドン 水質 ガス等を連続観測することによって地震の前兆現象をとらえることができる可能性がある。

この可能性は ソ連ではタシケント地震の前兆として



写真① 水位・水質観測井 ちょうど川崎球場の外野席の直ぐうしろに位置する 右側は井戸小屋 左側は観測小屋となっている



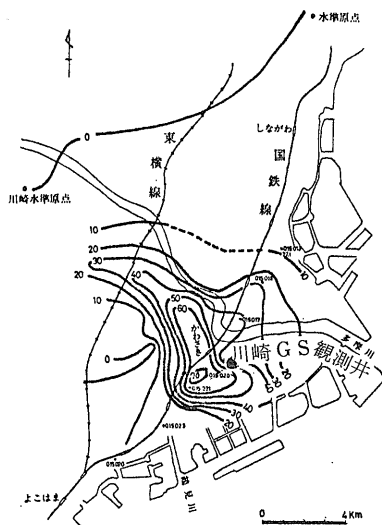
写真② 井戸小屋内にある観測井の管頭部 -44mの深度に設置してある水温センサーの電極ケーブルが見える

この地区の地下水中のラドン濃度が約3倍に増加したのちに地震が起こり 地震発生直後に平常値に戻ったと報告されているように またそのほかの地下水の溶存化学成分の変化が起こったことで確認されている。

中国では 地下水の変化(地下水の水位 泡・濁りの異常 ラドン濃度の変化など) 地電流 土地傾斜の変化 それに動物の異常な行動などをあわせて検討し 地震の発生を予測している。 1975年2月4日に起こった遼東半島南部の営口 海域一帯の地震(M.:7.3)は地震の前兆をとらえることによって地震発生の予知に成功し すでに大きなニュースとして報道されたとおりである。

昨年 地質調査所が 川崎東部地区の地盤隆起の目玉の付近に 川崎GS観測井を掘さくし 地下水中のラドン 水質 ガス等の観測を行ってきたのは 地下水のこれら諸項目が 前述のように地震の先行現象に伴って変動する要素であり 長期的な観測によって隆起原因の実態究明に役立てることができるからである。

期間 1975g~1970₂
単位 mm
水準原点・川崎水準原点不動



第1図
最近5か年間の
多摩川下流
域地盤隆起図
(国土地理院
1975)

3. 川崎GS観測井の位置と地球化学的背景

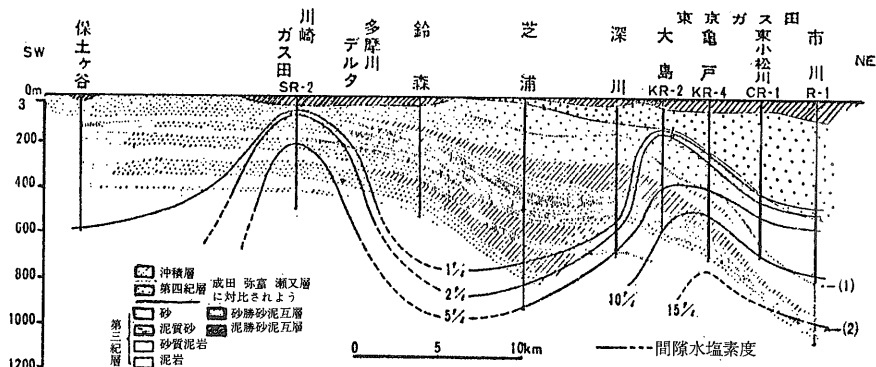
川崎GS観測井は 川崎駅の東側 約1kmの富士見公園内にある。 この付近は 第1図のように川崎の異常な地盤隆起の中心部に近い所であって また 川崎ガス田として開発された多摩川河口域に含まれている 川崎東部のガス鉱床地区については 当所 燃料部の福田技官ら(地質ニュース256号)によると

地下100m近くまで上昇していることが知られている。これは先に述べた断層〔川崎一鶴見付近では断層(60°~80°傾斜の正断層で東西性 南落ちのものが多い)の発達が著しい〕の影響によるものであろう」と述べている。

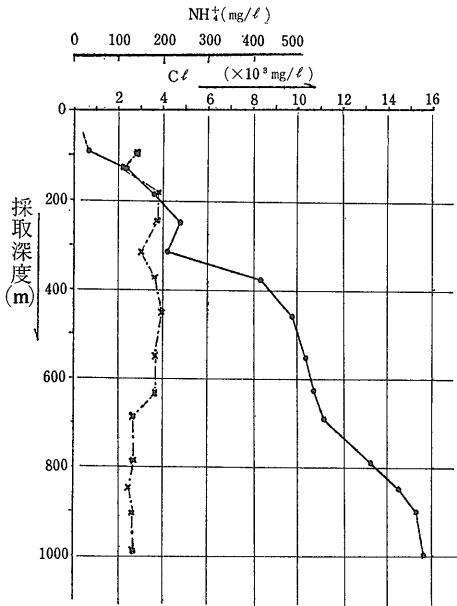
このような地化学的背景は 第3図で示すように 川崎GS観測井のコア間隙水中の塩化物イオン濃度でも裏付けられる 深度100m付近からコア間隙水中の塩化物イオン濃度は著しく増加しはじめ 1,000mの深さでは約16,000mg/lの濃度になっている。 また同図のアンモニウムイオン(NH₄⁺)濃度の垂直分布は全般に著しく高く 100~200mg/lであることから 地層中の間隙水は 比較的 浅いところまで塩分濃度の高い天然ガス付随水としての性格をもっていることが知られる。

「このガス鉱床には 一般の海成層中の水溶性ガス鉱床には見られない地化学的な異常が認められる。 すなわち ガス付随水(地層水)中の塩化物イオン(Cl⁻)濃度の分布は地層面と斜交しており(第2図) 周辺と同じ深度のところよりも 著しく高い値を示している。 たとえば 川崎駅付近の川崎SR2および3という坑井から1ℓ当り4gという塩化物イオン濃度を示す水が

なお 川崎GS観測井の掘さくによって明らかになっ



第2図
川崎・東京両ガス田をとる地質・地化学断面(石和田靖章 1956)
(1) Xマーカー(全原均二 1952)
(2) 江東砂層(同上)
(3) 第2星川凝灰層(伊田一善 1955)の位置



第3図 川崎GS観測井のコア間隙水中の塩化物イオン濃度 アンモニウムイオン濃度の垂直分布

第1表 川崎GS観測井の地下水の水質および溶存ガス組成

水質 (mg/l)	川崎GS観測井	標準海水
pH	7.5	
HCO ₃ ⁻	410	140
Cl ⁻	16,280	18,980
SO ₄ ²⁻	4.1	2,649
Br ⁻	82.2	65
I ⁻	20.4	0.05
Na ⁺	9,310	10,556
K ⁺	310	380
Ca ²⁺	440	400
Mg ²⁺	200	1,272
NH ₄ ⁺	105	—
Fe ²⁺	3.8	} 0.002~0.02
Fe ³⁺	1.9	
Mn	0.19	0.001~0.01
SiO ₂	80.0	0.04~8.6
COD	107	—

ガス組成 (vol. %)				
CH ₄	N ₂	CO ₂	Ar	C ₂ H ₆
98.97	0.54	0.39	0.08	0.01

た坑井地質は次のとおりである (福田ほか4名 地質ニュース 256号)。

- A層 3 ~ 30m 沖積層
- C層 30 ~ 701m 上総層群
- D層 701~1,016m 鎌倉(三浦)層群

であるので 800m 以深にストレーナー (収水層) 深度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ある。

ここで川崎GS観測井の坑井の仕上げ深度およびストレーナーを次に示す。

- 仕上げ深度 83.89mまで 245mmφ CP
1,016mまで 114mmφ CP
- ストレーナー深度 808.70 ~ 819.02m (10.32m)
861.10~1,015.74m (154.64m)

4. 川崎GS観測井の地下水の水質とガス組成

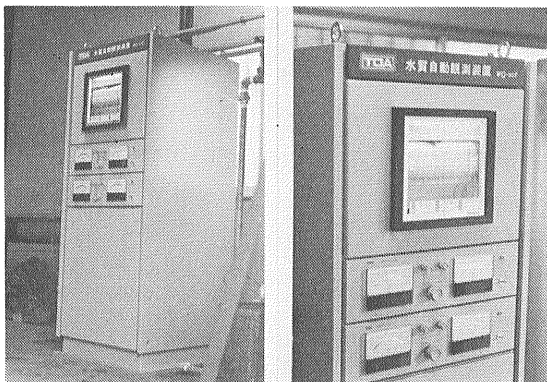
本井の地下水の水質分析結果を 海水の値と比較しやすいように併記して第1表に示し また地下水から分離するガスの組成を同表に掲げた。

地下水の水質は 前述の深度1,000m 付近のコア間隙水中の塩化物イオン濃度とほぼ同じで 海水に匹敵する濃度であるが 硫酸イオン (SO₄²⁻) マグネシウムイオン (Mg²⁺) が海水より著しく少なく またアンモニウムイオン 陽素イオン (I⁻) が海水より著しく多い特徴を示し 間隙水と同様に天然ガス付随水としての水質である。 ナトリウムイオン (Na⁺) と塩化物イオンを主体とした Na-Clが全溶存成分の90%以上を占める水質である。

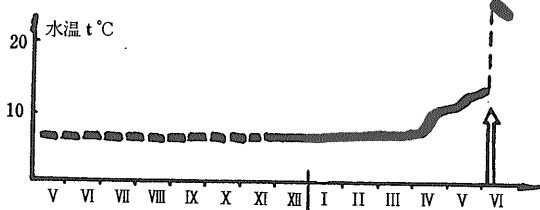
含有するガスは メタン (CH₄) 約99%の良質な天然ガスとしての組成である。

5. 水質自動観測装置の測定項目

地下水の水質から 地殻内の変化についての情報を得ようとする場合の測定項目は 水質を端的に表現し 地球化学的に意味のあるものでなければならない。 しかも測定結果が 即刻 絶えず得られる連続測定のできる



写真③④ 観測小屋内に設置した水質自動観測装置



ものが都合がよい。川崎GS観測井に設置する水質自動観測装置は 上述の考え方を基本として計画し 電導度と水温を測定項目として選んだ。

電導度（現在改訂中の JIS K0101 では電気伝導率となる）は 水中の溶存成分の総イオン濃度と関係がある。一般に地下水は陰イオンとして塩化物イオン 硫酸イオン 炭酸水素イオン (HCO_3^-) を また 陽イオンとしてナトリウムイオン カリウムイオン (K^+) カルシウムイオン (Ca^{2+}) マグネシウムイオンを主成分としている。これらのイオンのほかに微量成分が含まれるが こうしたイオンの総和が電導度と関係がある。したがって 溶存化学成分の濃度の変化が起これば電導度は 当然変化するので 水質の変化を電導度でチェックするのは非常に都合がよい。また電導度の装置は技術的に 連続測定上のトラブルが少ないこと 精度 安定性などの優れた諸点を備えている。参考までに溶存成分総量 (TDS) と電導度 (EC) との関係式の一例を次に示す。

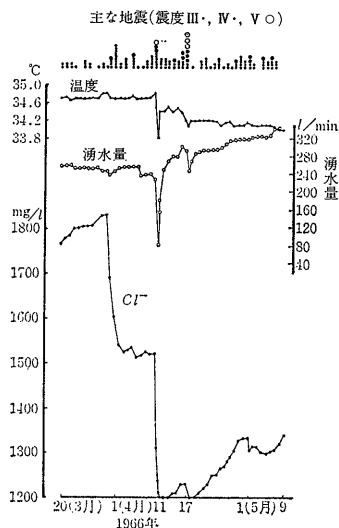
$$\text{TDS (mg/l)} = \text{EC } (\mu\text{S/cm}) \times 0.67$$

水温も地下深部における地殻の異常についての情報を得るのに適した項目と思われる。ソ連の “Dzhety-Oguz” 温泉の地震前におこった水温の変化や わが国の松代地震で反覆しておこった余震の前後での水温の変化などを第4 5図に示した。水温測定装置も測定精度 安定性などの点で連続測定を行なうのに適している。

6. 水質自動観測装置の設計上のポイント

川崎GS観測井の地下水は 前述のように高塩分濃度である。したがって 電導度の測定レベルが非常に高いため 水質の微少な変化をとらえるには測定レベル部分を拡大する必要があると考え 水温も同様な考え方で装置の条件を決定した。また装置自身を含めて設置場所が野外の観測小屋であり とくに夏期と冬期には気温の影響を受けやすいので 年間を通じて 正しい連続観測ができるだけの性能を保持しなければならない。こ

第4図
„Dzhety-Oguz” 温泉
の深くない井戸から出る
冷水の温度が4月から高
くなりはじめ 地震後
水温は急に飛躍した。
水量は10倍になった。
そして6月5日に温泉か
ら東方35kmの地点で8
～9級の地震がおこった
(脇田 野津 1976)



第5図
加賀井温泉2号井におけ
る地震に伴う湧水量 水
温および塩化物含量の変
化(野口 上野 西井戸
1969)

これらのことを基本として 次の諸項目を基準として装置の設計・作成をした。

- ① 水温 電導度を連続測定し 自己記録が可能であること。
- ② 水温 電導度の変化部分の拡大測定が可能で 拡大部分の自己記録が可能であること。
- ③ 温度センサー（電極ケーブルも含めて）は 高塩分地下水に対して耐久性を有し 追従性に優れており センサーと電極ケーブル間のシールドが完全であること。
- ④ 電導度センサーは測定範囲が広く 再現性 耐久性 安定性などの諸特性が優れていること。
- ⑤ 装置全体（センサー部 測定部 記録部）の耐久性 安定性がよく 十分な精度をもつこと。

7. 水質自動観測装置の構成

前項の設計・作成基準で具体化した装置の構成を第6図に示す また仕様は次のようにした。

装置仕様

1. 温度測定

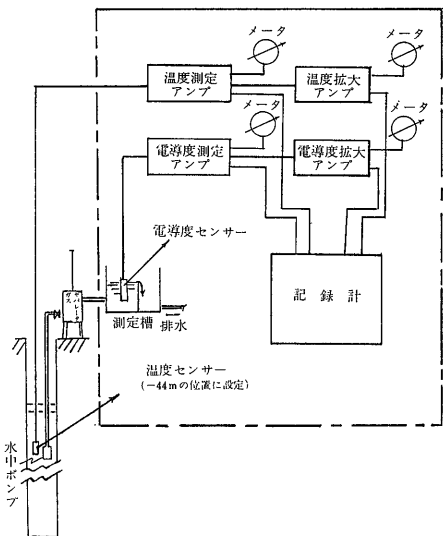
測定方式 金属センサー(ニッケル)による温度測定
測定範囲 0～50°C
精 度 0.5°C
拡大測定範囲 0～50°C間の任意の温度
±2°C フルスケール

2. 電導度測定

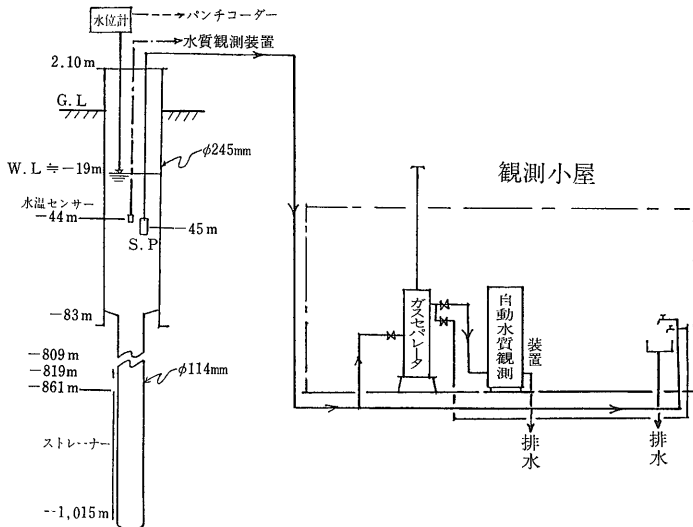
測定方式 四電極法による電導度測定
測定範囲 0～50mσ/cm
精 度 5%
温度補償範囲 5～35°C (自動)
拡大測定範囲 0～50mσ/cm間の任意の電導度
±3mσ/cm フルスケール

3. 記録計

方 式 電位差計方式



第6図 水質自動観測装置構成図



第7図 水質自動観測のフローダイヤグラム

- 入力 0~10mV
- 目盛の長さ 180mm
- 指示精度 全目盛の±0.5%
- 不感動範囲 全目盛の0.1%
- 平衡時間 全目盛移動2.5秒
- 記録個所数 6個所
- チャート速度 12.5mm/h 2.5mm/h

観測装置は第7図のように観測小屋内に設置し 観測井の水中ポンプが連続揚水(揚水量約6m³/日)している地下水を絶えず測定している。

装置の外観は(第8図)幅570cm 高さ1,500cm 奥行630cmで 装置の下部に電導度の測定槽が設けてあり 電導度センサーがこの槽にセットされている。地

下水はガスセパレーターを経て絶えず測定槽に流入し オーバフローで排水される。

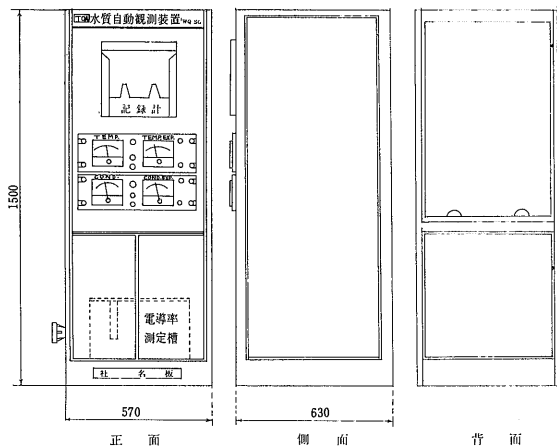
水温センサーは 地表から-44mの深度の井戸内に設置し ここでの水温を絶えず測定している。

8. 測定結果

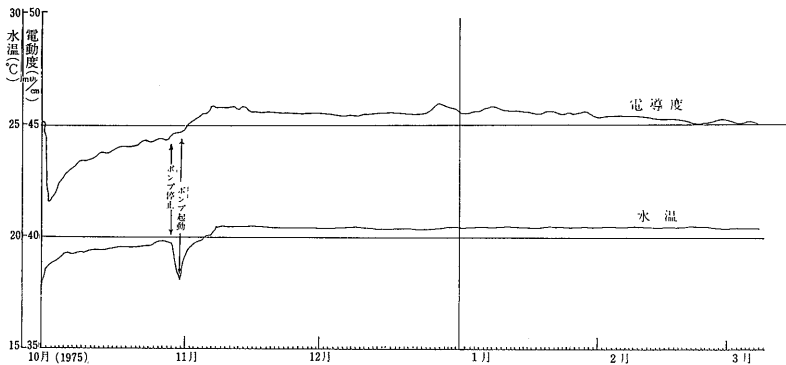
本装置による水質の自動観測は 昨年の10月1日から測定を開始し 測定結果は刻々と記録紙上に記録されている。測定開始からの水温・電導度の測定結果を第9図に示す。

最初の1か月余り 11月上旬までは 水温 電導度ともに変動が大きく 井戸の仕上直後の不安定期がしばらく続いたことを示している。またこの間に一度 水中ポンプが停止するトラブルがおこったが この間の揚水停止によって水温が低下している。11月上旬以降 ようやく 水温 電導度ともに定常値となり その後の変化は両項目ともに非常に少ない。定常値になってからの水温は 20.4°C 変動幅は±0.05°Cで極めて安定である。電導度は定常値になった11月上旬以降は 45.3±0.3m³/cm³であって やはり安定である。電導度のこの変動幅は 第10図に示した塩化物イオン濃度と電導度との関係(実験によって求めた)からわかるように 塩化物イオンとして±140mg/lの変動に相当している。

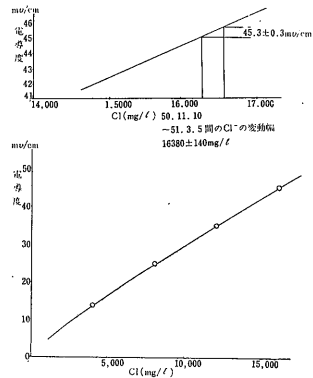
前述した水温の変動は 主として1月中旬から2月下旬の間におこった日変化による。この間の記録紙を見ると(第11図) 朝の7~8時に最低を 午後の3~4時に最高を示していることが水温の拡大目盛(0.04°C/1目盛)で読み取れる。



第8図 水質自動観測装置の外観



第9図 川崎GS観測井の水温 電導度の測定結果



第10図 水質自動観測装置の電導度と観測井地下水中のCl⁻濃度との関係

電導度についても水温と同様な日変化が観測されて朝6～7時に最低 午後2～5時に最高を記録している。これらの高低差は 拡大目盛で5目盛程度であって電導度として0.3mV/cm (0.06mV/cm/1目盛)に相当する。

両項目の日変化は 最高 最低の時間が ほぼ一定であり 極寒の時期に表われた現象であるので 気温の影響が非常に僅かであるが 地下-44mの水温に及んでい

ることを示したものと考えられる。 また電導度は 装置内の測定槽にセンサーがあるので 気温の影響は水温センサーに与えるよりも大きいと思われるので それがセンサーの特性に及んだと考えられる。

現在までのところ 水温 電導度の両測定結果は 非常に安定であり 特に水質の変化はおこっていない。

文 献

建設省国土地理院 (1975) : 地震予知連絡会報 第14巻
 建設省国土地理院 (1976) : 地震予知連絡会報 第15巻
 福田理・垣見俊弘・河内英幸・高木慎一郎・田中信一(1976) :
 川崎地区水位・水質観測井について ～その1 坑井編①
 ～ 地質ニュース No. 259
 岸和男・永井茂 (1974) : 川崎における異常地盤隆起の原因を
 探る 地質ニュース No. 254
 岸和男 (1976) : 川崎地区水位・水質観測井について その4
 施設・設備と水位変化 地質ニュース No. 262
 脇田宏 (1976) : 地球化学的方法による地震予知の研究 ぶん
 せき 1976-1号
 脇田宏・野津憲治 (1976) : 地球化学的方法による地震予知
 論文集
 野口喜三雄・上野精一・西井戸敏夫 (1969) : 松代群発地震に
 ともなう温泉水の変化に関する地球化学的研究 温泉科学
 vol. 45 no. 6
 尾池和夫 (1975) : 中国における地震予知の成功 科学 vol. 45
 no. 6
 力武常次 (1975) : 中国の地震研究 科学 vol. 45 no. 6

第11図
 1976年2月2日～2月
 3日の観測チャート

