

地下水の水位・水質変化と水年代

～川崎のいわゆる“古い水”について～

阿部喜久男・永井 茂・池田喜代治 (技術部化学課) 村下敏夫 (環境地質部)

1 ま え が き

川崎における地盤の異常隆起について 一昨年12月の地震予知連絡会の発表以来 大学や政府機関による各種の調査 観測が続けられてきたが 51年2月現在

- (1) 地震発生の要素となる微小地震は観測されない
- (2) 地下水に含まれるラドンの濃度は非常に安定で変化がない
- (3) 地質調査所が50年7月と12月に 人工地震による地震波速度の測定を行なったが 変化は見られず 地震波形もほぼ同じである
- (4) 地下水位に大きな変化は見られない
- (5) 地盤の隆起も最近ゆるやかになった
- (6) 古い水は依然存在するが 最近新しい水に変わりつつある

等の事実から 地震との結びつきは非常に薄らいできた。

私達はすでに本誌 No. 254 (1975年10月)で 川崎市における地下水の揚水量 水位のデータなどの検討から 今回の地盤隆起の主要な原因は 揚水量の減少→水位の上昇→過去に生じた地盤沈下の一部回復 によるものであるとの見解を紹介した。

その後 東大理学部脇田氏らの調査によって 国道1

号線付近より東側(海岸部)の地下水が トリチウム ^{14}C などの測定から 非常に年代の古い水であることが明らかにされ その“古い水”の供給源がどこかということが焦点になった。

この問題を解明するため 私達は川崎市周辺の地下水の水質調査を実施し 過去2回(昭和30年 41年)の調査結果および地下水位観測データなどを合わせて検討した。 その結果は 川崎市のいわゆる“古い水”は 地下水塩水化の機構から十分説明できることが分った。

つぎに私達の調査結果にもとづく見解を紹介する。

2 “古い水”の由来

昨年5月6日に開かれた地震予知連絡会は 川崎の地盤隆起に関する5項目の統一見解の一項目として 「旧多摩川沿いの地下水層については 国道1号線より上流では トリチウム濃度が高く ^{14}C 年代が若い が それより下流では トリチウム濃度が低く ^{14}C 年代が古い」ということを 東大理学部の調査結果に基づいて発表した。 新聞やニュースで “一万年以上前の古い水” とし

第1表 水質・ ^3H ・ ^{14}C 年代炭素同位体比測定結果

深 度 (ストレーナ) (m)	化 学 組 成 mg/l					^3H conc.* (T.U.)	^{14}C age* (y)	$\delta^{14}\text{C}^*$ (% of moden C)	$\delta^{13}\text{C}^{**}$ (%)
	Cl	COD	全 鉄	全 硬 度 CaCO ₃ ppm	アルカリ度 CaCO ₃ ppm				
A 75.8	740	21	9.6	500	310	1.16±0.10	12,080± 580	-(22.2±1.6)	-8.9
B 91 (31-48 63-89)	940	41	15	500		0.09±0.13			
C (28-36 45-55 78-89)	610	19	9.4	340	470	0.50±0.16	11,900± 590	-(22.6±1.7)	-1.1
D 90 (66-72)	400	19	22	300	340	1.83±0.18	6,240± 180	-(46.0±1.1)	-8.0
U 72.5						1.10±0.15			
F 55 (34-44)	95	15	14	200		24.8 ±0.3			
N 120 (30-115)	36	13	11	120	250	67.8 ±0.5	3,990± 670	-(60.9±4.9)	
Q 117 (16-105)	41	30	4.2	104		30.7 ±0.2			
L 60 (18-56)	26	5.1	3.6	100	90	60.2 ±0.6	Modern	+(108±6)	
T 37 (15-22)						27.1 ±0.8			
M 19	19	1.1	0.05	80	80	36.5 ±0.8	Modern	+(112±8)	
O 120 (36-100)	106	170	5.0	42		8.2 ±0.2			
H 100 (36-100)	85	230	3.8	120		1.56±0.13			
P 150	43	210	3.6	100		0.28±0.16	25,100±2,500	-(4.42±1.18)	
R 80	6.4	3.8	0.44	76		1.16±0.15			
G 150 (22-131)	39	10	5.0	130					

* 学習院大学 ** 岡山大学温泉研究所

て大きく取り上げられたので まだ記憶に新しいと思う。

この“古い水”の由来が 地盤隆起との関連で大きな焦点になった。これについて 東大理学部は“古い水”は一種のチャンネルを通して地下深部から上昇するという見解を出している。脇田宏氏の論文(地震予知連絡会会報 第14巻 第15巻)をもとに “古い水”の由来についての概要をまず紹介する。

(1) “古い水”とその起源

東大理学部による調査結果は 第1表に 試料採取位置と水質組成による地下水区分は 第1図に示した。

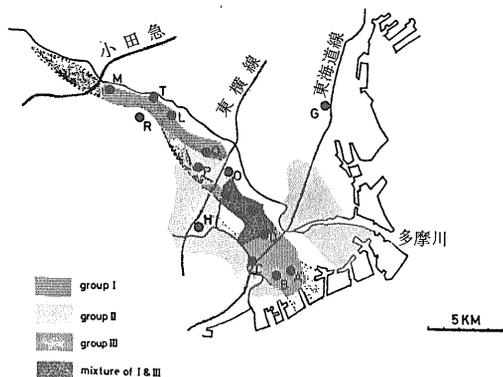
“古い水”ということで問題になったのは ^{14}C 法による年代で 表にあるように A 12,080年 B 11,900年 D 6,240年 N 3,990年という測定結果に基づいている。

彼らは水質組成の違いから 川崎市における地下水を4つのグループに区分し つぎのような相違点をあげている(各グループの分布域は第1図)。

- ① 上流域の地下水(グループI)：塩化物イオン 総硬度 有機物が少なく トリチウム濃度の高い多摩川系の新しい水
- ② 下流域の地下水(グループIII)：塩化物イオン 総硬度ともに高いが 有機物が少なく 年代の古い水
- ③ 中流域の地下水(グループIとIIIの混合)
- ④ 旧河道両側の第三紀層の地下水(グループII)：塩化物イオンおよび総硬度は低いが 有機物に富み 黒かつ色の水

そして これら4グループの水質の違いから 現在下流域を占めている “古い水” の供給源として

- ① 最も透水係数の高い上流方向からの流入でないこと
- ② つぎに透水係数の高い下流方向からの流入でもないこと
- ③ 両側の第三紀層から来たと考えることも困難である



第1図 試料採取点および地下水区分図

から 残された可能性として この“古い水”は帯水層の下部 それもかなり深い所から湧出したものであろうという推論を下している。

(2) 深部からの水の移動

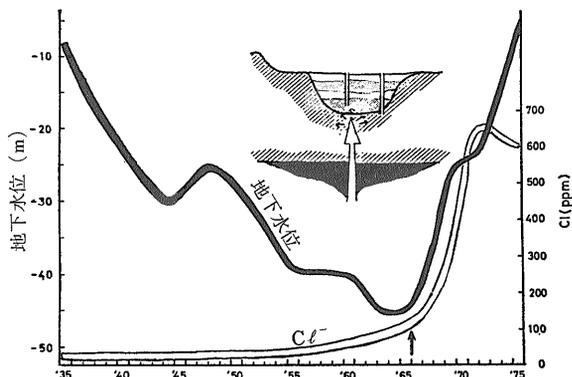
地下深部から “古い水” が上昇する機構について 第2図に示す国道1号線付近の井戸(D点)の地下水位と塩化物イオン濃度の変化から説明している。以下脇田氏の解釈を原文のまま紹介する。

“昭和初期には多摩川系の水が入っていたことが 塩素濃度から推定される。産業活動の進展とともに 当初-8m程度であった地下水位は低下の一途をたどる。1966年頃 水位が-45m程度に低下した時期から 水位の急激な上昇が始まり 同時に塩素濃度の急激な増加も観測されている。当時は 産業活動が最も活発な時期であり この水位上昇が 揚水量の低下だけによるとは考えられない。

この頃 帯水層の下部に一種のチャンネルが開通して 地下深部から 塩素濃度の高い大量の水が湧出するようになったと思われる。このような水の湧出により 上流から滲透する多摩川系の水は 下流域に入ることを妨げられ 両者がぶつかり合い 静水圧的につり合ったかの状態で 帯水層全域の水位上昇が進行した”

彼はまた 地下水中のトリチウム濃度の経時変化を示し(第3図) つぎのような説明をしている(以下原文のまま)。

“地点BおよびCでは ^3H 濃度は非常に低く一定で 1972年10月に行なわれた測定の結果ともよい一致を示している。地点A D Fでは 3月以降著しい変化が観測されている。 ^3H 濃度の増加している地域では 多摩川系の水の混入度が增大していることを意味する。一つの帯水層である地域には 上流からの水の混入度が増加し 別の地域では低下しているということは 深部の圧力の低下により 湧出量の減少した地域に多摩川系の水の混入度が增大している結果であると解釈できるであろう”



第2図 国道1号線付近(D地点)における水位と塩化物イオン濃度の経年変化 地下深部よりの湧出機構

第2表

第2 地下水の水質比較 (上流・下流)

	pH	アルカリ度 CaCO ₃ ppm	Cl ⁻ ppm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Fe ²⁺ ppm
伏流水型 (溝の口より上流側)	6.2~6.4	72~74	20~23	25~26	6~9	<0.10
淡水型 (溝の口より下流側)	6.6~6.9	160~200	28~32	27~31	12~15	7~14

3 川崎市における水理地質と水利用

詳細はすでに本誌 No. 254 (1975年10月) で説明しているのこゝでは要点のみに止める。第4図は川崎市東部における地下水理の概略を示したものである。

この地域の地下水利用は 多摩川旧河道沿いの第四紀洪積層中の地下水 (第2地下水) と その下部にある第三紀上総層群 (広義の三浦層群) 中の地下水 (第3地下水) に大別される。第2地下水は溝の口付近を境に 上流側と下流側で水質が非常に異なる。第2表は昭和50年調査における両者の水質の比較を示したものである。

上流側は天水の補給を直接受け かつ多摩川表流水との交流が密接な いわば“伏流水型地下水”で水質も良く水量も多い。一方下流側は被圧地下水となり 有機物の分解などによって還元状態にあり 第一鉄イオン (Fe²⁺) 炭酸水素イオン (HCO₃⁻) が非常に増加する。

そして 水理学的に地下水の補給量は限定されるので 多量の揚水は大きな水位低下をもたらす あとで触れるように地下水の塩水化をひき起こしている。

第3地下水は溝の口付近より下流側は 京浜地帯特有の黒かつ色の着色水で 有機物 (主としてフミン酸) が多く 炭酸水素ナトリウム型 (NaHCO₃ 型) という第三紀層地下水特有の水質組成をもっている。そして海岸部に近いほど また深度の深いほど塩分濃度が増大する。水量的には帯水層の水理学的要素は上位の洪積層より劣

るため 多くを望めない。そのため 当地域における水利用は 旧河道の第2地下水に集中し それが得られない場合にのみ第3地下水が利用されている。

4 川崎市における水質の変化—塩水化の経緯—

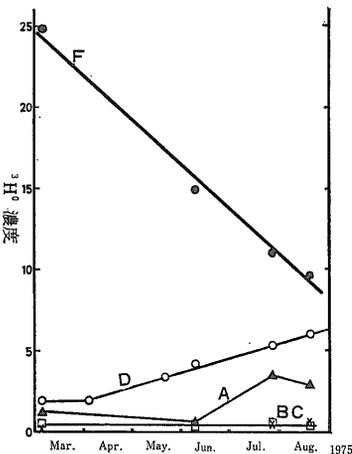
(1) 水質の現状と水質区分

今回調査 (昭和50年4月~12月) における調査井の位置は第5図に示した。図には示さなかったが 第2地下水 (記号A) の分布する地域がほぼ多摩川旧河道に相当する。水質分析結果をもとにキーダイアグラムを作成すると第6図のようになり 第2地下水は4グループ (伏流水型 [伏流水も淡水であるが 溝の口を境に上流と下流で 地下水の水質が明瞭に異なるので説明の都合上本文では区別した] 淡水型 中間型 塩水型) に 第3地下水は3グループ (淡水型 中間型 塩水型) に区分され 塩水化に伴ってほぼ矢印の方向に水質組成が移行すると考えられる。各グループごとに代表的な試料についてヘキサダイアグラム (六成分水質図) を作成すると第7図のようになり また第2地下水の各グループの分布地域を図示すると第8図になる。

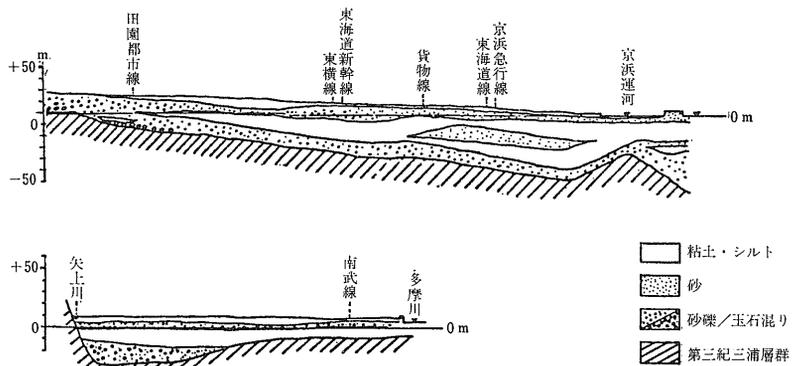
なお第2地下水の伏流水型および淡水型の水質が 塩水化を受ける以前における 川崎地区本来の水質であったと考えられる。

(2) 水質の経時変化—塩水化の進行—

川崎地区についての水質調査は 昭和30年と41年 (何



第3図 トリチウム濃度の経時変化



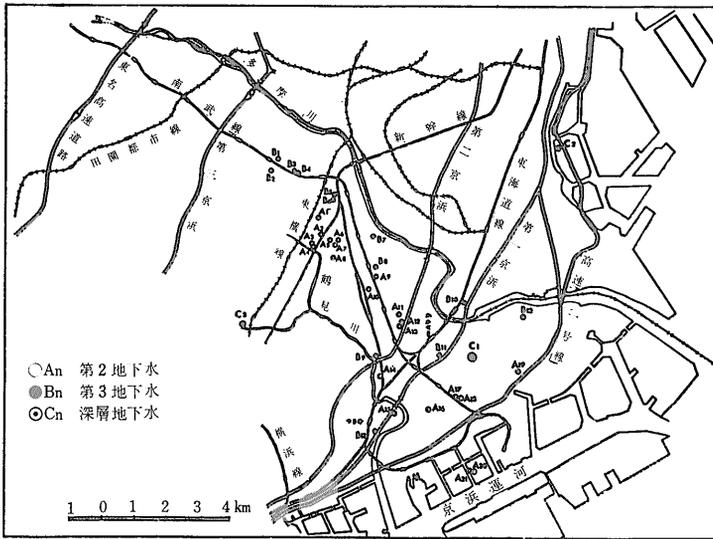
第4図 川崎市東部における水理地質断面

れも地質調査所) 47年(川崎市 横浜市)等が行なわれていたので これらのデータと今回のデータをもとに水質の経時変化を検討してみた。第9図はヘキサダイアグラムによる経時変化を示したものである。第2地下水では淡水型の変化は少ないが 中間型および塩水型では溶存成分の増加 とくにナトリウムイオンと塩化物イオンの増加 すなわち塩水化の進行がはっきり認められる。これに対し 第3地下水での変化は少なく 塩水型の B₁₁は逆に溶存成分が大幅に減少している。

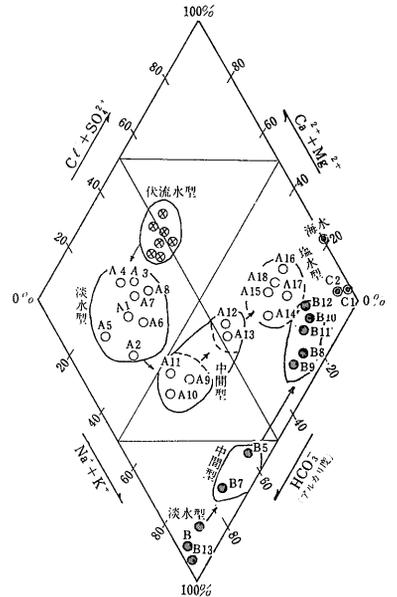
つぎにキーダイアグラムでの変化を第10図に示したが 第2地下水では水質組成が NaCl 型に移行し 第3地下水は NaHCO₃ 型に逆行している。

5 川崎市における塩水化の原因

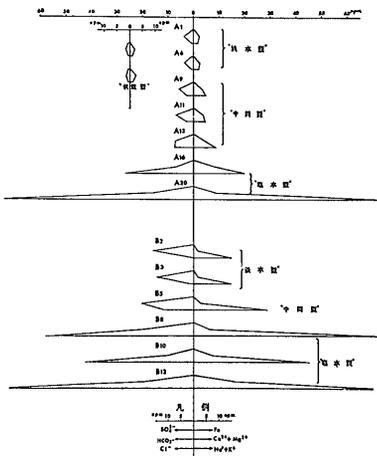
川崎地区においては 第2地下水 第3地下水とも塩水化を生じているが 塩水化の原因は根本的に異なる。



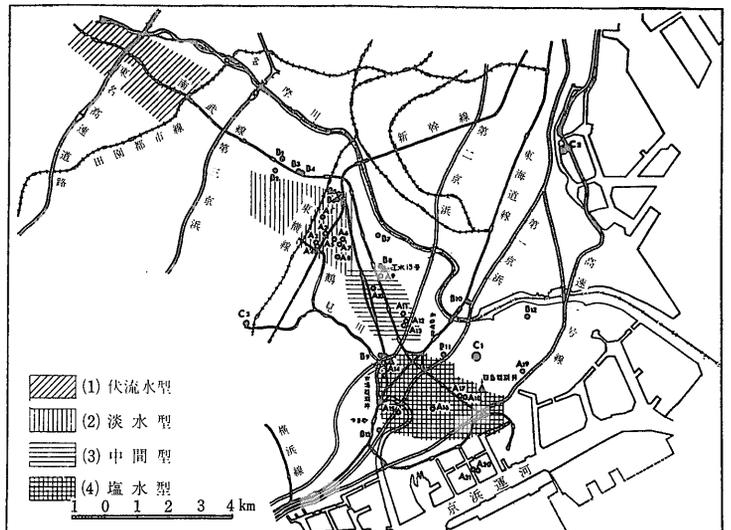
第5図 試料採取位置



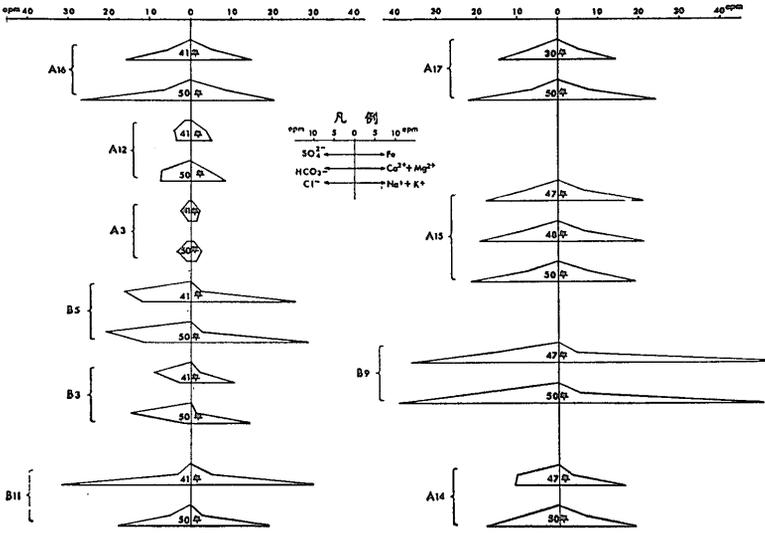
第6図 キーダイアグラムと水質区分



第7図 ヘキサダイアグラムと水質区分



第8図 第2地下水の水質区分と分布地域

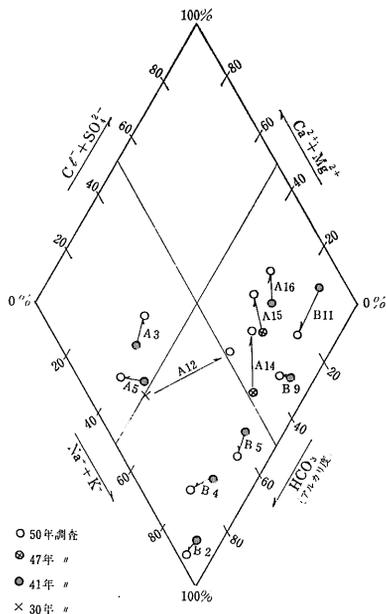


第9図
ヘキサダイアグラムによる水質の経時変化

(1) 第2 地下水の塩水化

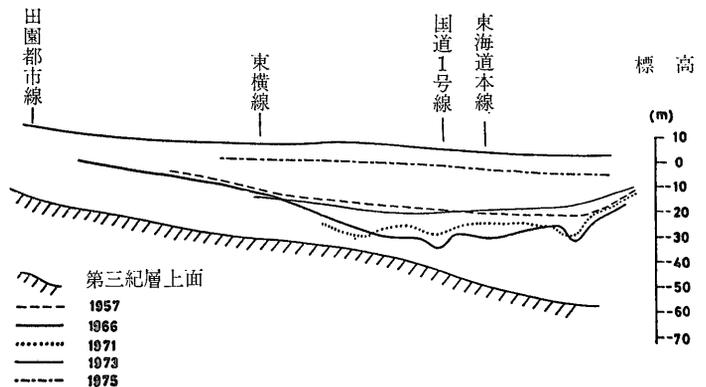
先にも若干触れたが 多摩川の旧河道といっても溝の口付近より下流側では地下水の補給量には限度があり補給量を超える揚水は地下水位を異常に低下させる。具体例をあげると 川崎市工業用水道水源井15号(地質調査所が依頼している地下水位観測井 以下工水15号井とする)の水位は 東横線以东の総揚水量が 2,000m³/日の現在(51年1月) T. P.(東京湾中等潮位)で0mあるが 最も揚水量の多かった36年(63,500m³/日)には-29mであった。このような水位低下は上部地層中の

水をしぼり出し 地盤沈下をひき起したのであるが 同時に揚水井を中心に水位低下地域を形成する。水は高きから低きへ流れるものであり 水位低下地域には周囲から水が流れ込むが 多摩川旧河道という細長い帯水層では 上流側と下流側から補給されることになる。しかし川崎地区では 上流側での揚水が多く 下流側より上流側の水位が低いため 必然的に下流側よりの補給が多くなる。ところが 川崎では海が近いので 下流側の水は古くから海岸部に存在していた塩分濃度の高い水であり この水の流入によって塩水化を生じたのである。



第10図 キエダイアグラムによる水質組成の経時変化

第11図 は旧河道沿いの水位断面を経時的に比較したものである。昭和32年当時 すでに海岸近くでは完全に内陸部の方が海岸部より水位が下っており この地域の塩水化はかなり進んでいた。41年は水位が一番低下した時期で 断面的に幾つかの谷部が生じ 国道1号線付



第11図 旧河道沿い第2 地下水の水位経時変化

第3表 最近の塩化物イオン濃度の変化

水質区分	試料No.	第1回		第2回		約半年間のCl ⁻ 変化
		採水月日	Cl ⁻ ppm	採水月日	Cl ⁻ ppm	
淡水型	A 6	50. 5.23	30.4	50.12.15	28.8	ほぼ変化なし
	A 7	50. 5.22	29.6	50.12.12	30.9	
中間型	A 9	50. 6.18	97.4	50.12. 8	74.2	} かなり減少
	A10	50. 5.27	62.6	50.12.17	49.5	
	A11	50. 6.18	93.9	50.12. 8	74.2	
	A12	"	260	"	148	} 大幅に減少
	A13	"	262	"	159	
塩水型	A14	50. 7.17	630	50.12.10	643	ほぼ変化なし
	A15	"	756	"	763	
	A16	50. 5. 6	946	50.12. 9	968	
	A17	"	779	"	781	
	A18	50. 6.19	727	"	739	

年までは 両観測井の丁度中間に位置する横浜市市場観測井が最低の水位を示し 43年には田島観測井より市場観測井の方が7.7mも低い水位となっている。

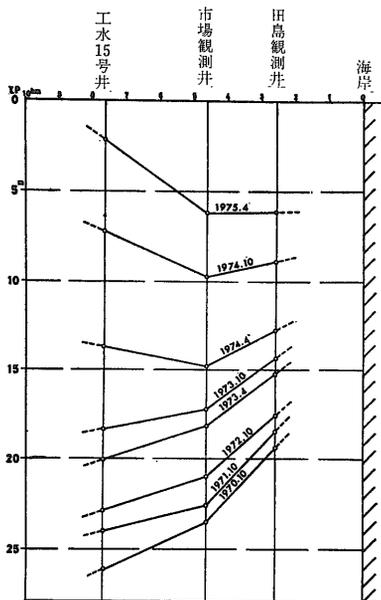
第2地下水では このような水位逆転によって海岸部の塩分濃度の高い水と呼ばこんで塩水化を生じたのであり 第13図に示した等塩分濃度値の経時変化で 年々等値線が内陸側に移行していることから説明できる。

なお最近の揚水量減少は 水位の上昇とともに 上流側が高く下流側が低いという正常な水位勾配に戻ったため 塩水化の範囲も徐々に後退を始めた。 第3表は最近の塩化物イオン濃度変化図であるが それを明瞭な示している。

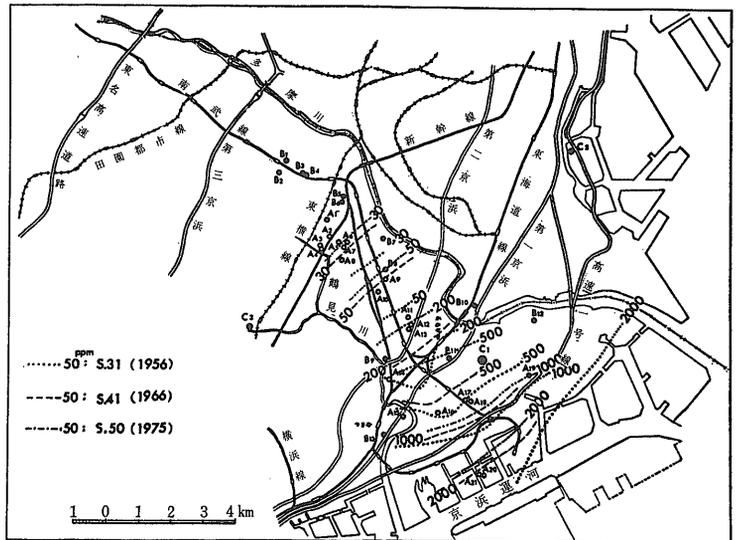
(2) 第3地下水の塩水化

第2地下水の塩水化は 水位逆転による海岸部の高塩分地下水の逆流という2次的(外因的)原因であるのに対し 第3地下水の塩水化は1次的(内面的)原因による。 第14図は50年に地質調査所が掘さくした 深度1,016mの水位・水質観測井(以下川崎GS観測井とする)で採取したコア間隙水中の塩化物イオン濃度である。 深さとともに塩化物イオン濃度は急激に増加し 1,000mでは16,000ppmと海水の濃度(約19,000ppm)にちかづく。 第三紀上総層群はもともと化石海水を含んでおり 上部は淡水で希釈されているが 下部になるほど塩分濃度は一般に増加する。 そのため 第3地下水は井戸深度が深くなるほど また揚水によって水位が低くな

近で最低となり 上流から下流への地下水の補給はこの地点で完全に断たれていることを示している。 この時期に東海道線以東地区の揚水量は激減し(37年18,000m³/日→42年1,100m³/日) 揚水は東横線—東海道線間に集中したため 海側より内陸側の水位が低いという逆転現象が一層強まり 塩水化の範囲も内陸側に広がった。 水位の逆転状況を観測井のデータで示したのが第12図である。 川崎市田島観測井と工水15号井間の距離は5.1km この間で45年には6.6mと逆の水位差を生じたのである。 なお観測記録のはっきりしている38年から44



第12図 観測井での水位経時変化 (T.P.基準)



第13図 第2地下水における塩化物イオン等濃度値線の経時変化

るほど塩分濃度は増加する。第3地下水の塩水化は水位低下により 下部の塩分濃度の高い水が揚水されるために生ずるのである。

6 川崎市における地下水の年代

川崎の地盤隆起に関連して地下水年代が問題になった。水年代で新しいとか古いとかいうが その基準ははっきりとしていない。強いて基準を設けるとすれば あとでトリチウムについて触れるが 水の構成元素である水素の放射性同位元素であるトリチウム濃度が 1950年代初めの水爆実験開始以来 急激に増加して それ以前の地下水中のトリチウム濃度とはっきり区別できるようになった。そこで このトリチウム濃度の差から 1950年以前の水を古い水 1950年以後の水を新しい水と区分するのが最も妥当であろう。

私達は川崎地区の地下水について いろいろな角度からその年代の検討してみた。以下その検討結果について述べる。

(1) 水質のタイプと相対的地下水年代

第2地下水について 水質のタイプごとに相対的な年代比較を示す。

“伏流水型地下水” 天水の補給を直接受け 多摩川表流水との交流が密接であり 年代は最も新しい

“淡水型地下水” 最近まで揚水量の最も多かった地域で旧河道中では水位が一番低かったが 水位勾配は正常で 地下水の補給は上流側から行なわれるため 年代は比較的新しい

“中間型地下水” 10数年前より水位勾配が逆転し 地下水の補給は下流側からも行なわれるようになったため年代は比較的古い

“塩水型地下水” 数10年にわたって水位が下流側（海側）より低いという逆転状態が続き 地下水の補給は主として海岸部に古くから存在した高塩分地下水の逆流と 地盤沈下の原因となった地層水のしぼり出しに限られていたため 年代は最も古い

第3地下水は第三紀層中の地下水で もともと年代の古い水であるが 深度と塩化物イオン濃度との関係からみて 塩化物イオン濃度の高い水ほど年代は古いと考えられる。

(2) トリチウムによる地下水年代

トリチウムは水素の放射性同位元素で 原子量は3 半減期は12.26年である。大気中で宇宙線の作用で生成され HTOの形で水となって自然界を循環している。

1950年代初めの水爆実験以後は 人工トリチウムが急激に増加し しかも変動が激しいが それ以前は降水中の天然トリチウムはほぼ平衡状態にあり その濃度は 約10T.U. (1T.U.は水素原子 10^{18} 個あたり1個のトリチウム原子を意味する)とされている。そこで 地下水中のトリチウム濃度を測定し 当初のトリチウム濃度を約10T.U.に仮定し この濃度からの減少量を半減期12.26年から計算した 第15図のトリチウム減衰曲線を用いて おおよその年代（降雨として地上に到達してから地下水として揚水されるまでの時間）が分かるのである。ただしこの場合 地下水が流動する過程でトコロテン式に押し流され 混合や拡散のないことが前提である。

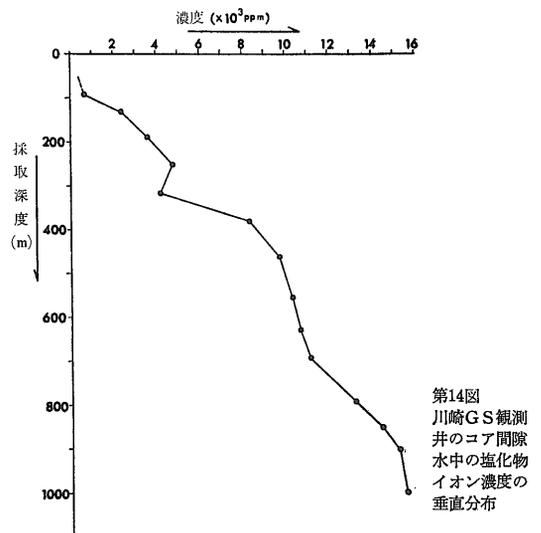
東大理学部で測定した川崎の地下水中のトリチウム濃度（第1表参照）から トリチウム減衰曲線を用いて地下水年代を求めると 第4表のようになる。なお水質区分は地質調査所方式を用いた。

この結果は表から分かるように “古い水”といわれるもので40～60年である。

(3) 水理学的計算による地下水年代

地下水の年代を推定する方法として水理学的方法がある。すなわち 帯水層の透水係数と有効間げき率 地下水面勾配（ここではかん養源から揚水地点までの距離と水位差とした）から 計算によって求めるのである。ただし この場合には 地下水が流動する間に 揚水などによる水位変化がなく 地下水水位勾配がなめらかであることを前提とする。

計算の一例とし かん養源を溝の口 揚水点を渡田と



第14図
川崎GS観測井のコア間隙水中の塩化物イオン濃度の垂直分布

し 昭和41年の資料から水位差(約30m)をとっての計算は

距離(L) 12,000m
 水位差(h) 30m
 透水係数(k) $3.4 \times 10^{-4} \text{m/s}$
 有効間引き率(p) 0.2

$$v \text{ (流速)} = k \times \frac{h}{L} \times \frac{1}{p} = 3.4 \times 10^{-4} \times \frac{3 \times 10^4}{1.2 \times 10^4} \times \frac{1}{2 \times 10^{-1}}$$

$$= 4.25 \times 10^{-6} \text{m/s}$$

$$= 0.367 \text{m/d}$$

$$= 134 \text{m/Y}$$

年代 = $12,000 \text{m} / 134 \text{m} = 89.5 \text{年}$

揚水量データの無い昭和33年までの揚水状況 戦中・戦後の揚水量減少時期の影響 また地下水の流動中における混合・拡散などにより かん養地帯から揚水地点までの地下水の到達時間(年代)は 計算値とは必ずしも一致しない。 実際には東横線付近から下流側では 多量の地下水を汲み上げていたので 流速は計算値より速いことが考えられる。 したがって 水理学的にみて数10年から100年程度の年代であることは間違いないであろう。

(4) ^{14}C 法による年代測定法の問題点

川崎地区の地下水について ^{14}C 法による年代測定によって 上流域の地下水は現代の新しい水 中流域の地下水は数1,000年以前 下流域の地下水は10,000年以上前の“古い水”という結果が出されている。 これに対して私達の調査結果は せいぜい数10年から100年程度の年代であり この違いはどこから来るのか 年代測定法としての ^{14}C 法について 考えられる問題点をあげてみた。

第4表 トリチウム濃度と地下水年代

	No.	トリチウム濃度	地下水年代	
第2地下水	伏流水型	L	60.2 ± 0.6	現代(昭和25年以後)
		M	36.5 ± 0.8	"
	淡水型	N	67.8 ± 0.5	"
		中間型	F	24.8 ± 0.3
	D		1.83 ± 0.18	約30年以前
	塩水型	A	1.16 ± 0.10	" 38 "
C		0.50 ± 0.16	" 53 "	
第3地下水	淡水型	P	0.28 ± 0.16	" 63 "
		R	1.16 ± 0.15	" 38 "
	中間型	H	1.56 ± 0.13	" 33 "

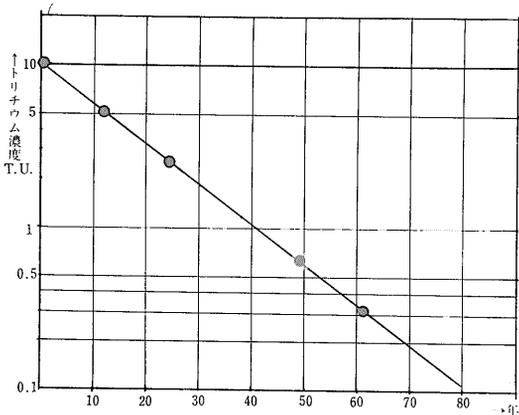
No. (試料採取位置)は第1図参照
 トリチウム濃度データは第1表を使用

① ^{14}C 法の原理

^{14}C は炭素(^{12}C)の放射性同位元素で 半減期は約5,700年である。 大気中で宇宙線の作用で生成され 自然界においては量的にほぼ平衡状態にある。 大気中で生成された ^{14}C は 二酸化炭素(CO_2)の形で雨水に溶け込み 地下水中では炭酸水素イオン(HCO_3^-)の形で溶存する。 この地下水が地層中を流動ないし滞溜している間に 外部から年代の異なった炭素化合物が 全く供給されない(クローズドシステム)場合に限って 地下水中の ^{14}C 濃度を求め 1950年の ^{14}C 濃度を基準とし その比率から地下水の年代を求めることができるのである。 しかし この方法は 半減期が大きいために若い年代(数100年以下)測定はむずかしく また岩石や化石などと違って 地下水はクローズドシステムでないために 地下水の年代測定法として ^{14}C 法を用いることは疑問視されている。

② 地下水中の炭素の起源

炭素は地下水中には炭酸イオン(主として炭酸水素イオン)と遊離二酸化炭素の形で溶存しているが 何れも地下水として雨水あるいは表流水が地層中に滲透する時の量は 一般には非常に少ない。 しかし この地下水が地層中を流動する過程で 周囲の地層と接触し 土壌・岩石中の炭酸塩や有機物を分解し それから生じた二酸化炭素を溶解するため その量は次第に増加してゆく。 川崎の場合 上流の登戸付近の地下水(伏流水であり 地層からの炭素の供給は少ない)中のアルカリ度(単位は $\text{CaCO}_3 \text{ ppm}$ 1.22を乗ずるとを $\text{HCO}_3^- \text{ ppm}$ 0.12を乗ずると C ppm になる)は約70ppmであるがこ



第15図 トリチウム減衰曲線(トリチウム濃度と年代の関係図)

れが中流域（平間付近）では 約 200ppm と約 3 倍になり 下流域（渡田付近）では 約 350ppm と約 5 倍に増加する。この増加したアルカリ度（炭素も同じ割合で増加する）は ほとんどが地層からの溶出と考えられる。

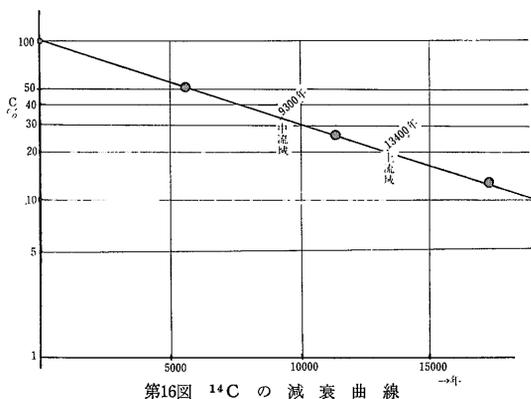
③ 地層起源炭素の測定結果に与える影響

¹⁴C 法は1950年の炭素中における ¹⁴C 量を 100% とし 試料中の ¹⁴C 量を測定し 測定値から1950年の基準値に対する比率 (%) を求め ¹⁴C の減衰曲線(第16図) から年代を算出する。¹⁴C は半減期から計算して 約 6 万年で 0.1% 以下 (この状態の炭素を dead carbon と呼ぶ) となる。地層から供給される炭素は 地層の年代とは一致しないが 地層の年代に近いと考えられ 当然 数万年あるいは数10万年以前の炭素—dead carbon—であり ¹⁴C はほとんどゼロと考えてよいであろう。この dead carbon が地下水に溶けこんだ場合 地下水の年代はどうなるであろうか。現代の新しい水 (¹⁴C が 100%) に等量の dead carbon が加わると ¹⁴C の比率は 50% になり 年代は 5,700 年に 2 倍量の dead carbon が加われば ¹⁴C の比率は 33.3% になり 年代は約 9,000 年になる。

川崎の場合 前述のように中流域で約 2 倍量の炭素が 下流域で約 4 倍量の炭素が地層より供給されており それだけで約 9,000 年 約 13,000 年以前の “古い水” という結果になるのである。

7 “古い水” とその供給源

川崎の多摩川中流域と下流域の地下水年代が非常に古く (数 1,000 年～1 万年以上) その “古い水” が地下

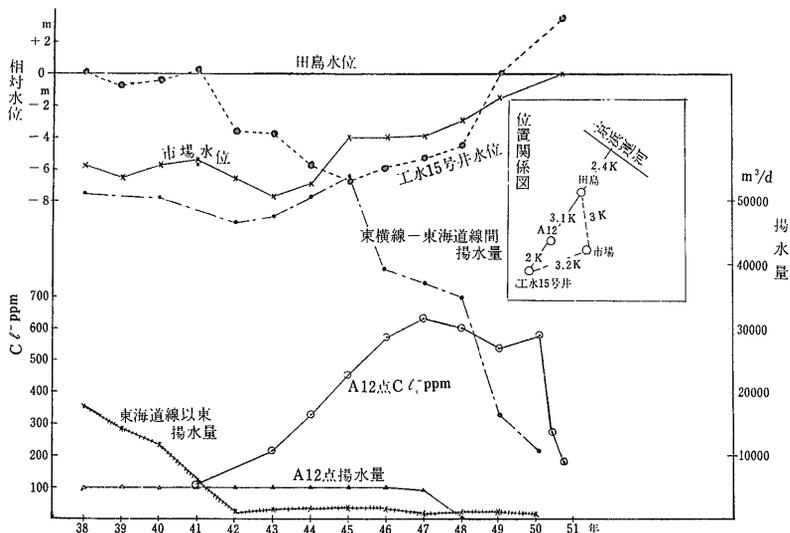


第16図 ¹⁴C の減衰曲線

深くより上昇するという説が出されているが 私達のこの問題に対する見解はつぎの通りである。

まず “古い水” (水の年代) については 前節で述べたように それほど古い水ではなく せいぜい数10年ないし 100 年程度前の水であろうと推定した。

つぎに この水の供給源については 塩水化の原因の項で述べたように 揚水量の増加→地下水位の低下→水位勾配の逆転で 全て説明できる。国道 1 号線付近の深井戸 (A12) における塩化物イオンの異常増加について 水理学的に解析をしてみる (A12は第 2 図の地点Dと同じ)。第17図 は東海道線以東地区・東横線—東海道線間・A12点における揚水量の経年変化 田島観測井・市場観測井・工水15号井の水位経年変動 (T. P. 基準 田島観測井の水位を 0m とした相対水位) A12点における塩化物イオン濃度の経年変化および位置関係を示した



第17図 揚水量 水位 塩化物イオン濃度の経年変化

ものである。図で分るように 38年にはすでに田島観測井より内陸部の市場観測井の水位が低下しており 三者の中でここが丁度谷部を形成していた（A12点では47年まで 5,000m³/日の揚水をしており 市場観測井より水位は下っていた）。その水位差は約6m 水位差からみて41年頃までは地下水の供給は上流側 下流側から同じように受けていたが 42年から44年までは下流側からの供給が優勢になり 45年以降は下流方向からだけの供給になったことが分かる。30年当時すでに下流域を占めていた高塩分地下水が 始めは徐々に だんだんスピードアップ（表現上のイメージで 実際の流動速度は小さい）されてこの地域に引き寄せられ 43年頃から塩化物イオン濃度が急激に増加したと考えられる。49年に工水15号井の水位が市場観測井の水位を上まわり 51年8月には 市場観測井・田島観測井の水位を3.5m 上まわるようになった。その結果 上流から淡水が下流に供給されるようになり 塩化物イオンが急激な減少を始めたのである。

なお 地下深部からの水の供給を考える場合 つぎの点から無理が考えられる。第一は浅い地下水と深い地下水の水圧（水位）の問題である。すなわち 地下深部から水の上昇があるとすれば 当然深部地下水の水圧（水位）は相当高くなければならない。しかし 深度1,000mの川崎G S観測井の水位は約 -20m で 浅い地下水（第2地下水）の水位（田島観測井水位 現在 -3.6m 40年当時で-26m）より低い。第二は水質の問題である。川崎で“古い水”といわれている地下水の塩化物イオン濃度は 500~900ppm である。川崎における地下水中の塩化物イオン濃度は 旧河道の下部にある第3地下水では 深くなるほど増加し 下流域では深度100~150m の第3地下水で1,000~2,000ppm である。川崎G S観測井のコア間隙水中の塩化物イオン濃度（第14図参照）は1,000mで16,000ppm となっている。もし地下深部より上昇するとすれば 塩化物イオン濃度はもっと高くなければならないと考えられる。

8 ま と め

以上の結果をまとめると

- (1) 川崎市における水利用は第2地下水（旧河道地下水）と第3地下水（第三紀層地下水）に限られるが 水質 水量の関係から第2地下水に集中し それが得られない場合にのみ第3地下水が利用されている。

- (2) 第2地下水は溝の口付近より下流側では補給量が限定されており 補給量以上の揚水が長年にわたって続けられた結果 水位低下・地盤沈下・塩水化などを生じた。
- (3) 塩水化の原因は第2地下水と第3地下水で根本的に異なる。第2地下水は揚水量の増加によって水位が低下するが 揚水位置の関係から 海側より内陸側での水位低下が大きく 水位勾配の逆転を生じ 海側に古くから存在していた高塩分地下水の逆流によって塩水化を生じた。第3地下水はもともと化石海水を含んでおり 水位低下によって下部のより高塩分地下水を汲み上げることによって塩水化を生じた。
- (4) 地下水年代はトリチウム濃度から計算すれば いわゆる“古い水”の年代は数10年程度であり また水理学的な計算値（数10年~100年）ともほぼ一致した。
- (5) “古い水”（下流域地下水）は 水位低下→水位勾配の逆転→高塩分地下水の逆流 によって生じたものであり 地下深部からの上昇を考えなくても説明できる。

等の点が明らかになった。

最後に 本稿をまとめるにあたり 貴重な資料を提供して下さった 川崎市公害局 横浜市公害局 また調査にあたって御協力の頂いた 川崎市水道局および関係各社の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 岸 和男・永井 茂(1975)：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
- 2) 脇田 宏(1975)：多摩川下流域にみられる地盤隆起現象の地球化学的研究 地震予知連絡会会報 第14巻
- 3) 脇田 宏(1976)：多摩川下流域における地下水の最近の地球化学的研究 地震予知連絡会会報 第15巻
- 4) 工業用水調査グループ(1957)：川崎・横浜両市工業用水源地域調査報告 地調月報 vol. 8 no. 11
- 5) 川崎市計画局(1967)：川崎市における地下水塩水化についての調査報告
- 6) 川崎市公害局(1975)：川崎市地下水総合調査報告
- 7) 横浜市公害局(1975)：横浜市地下水総合調査報告
- 8) 横浜市公害局(1973)：横浜市地盤沈下調査報告書(昭和48年度)
- 9) 横浜市公害局(1974)：横浜市地盤沈下調査報告書(昭和49年度)