

報告

地下水の汚染機構解明に関する研究 (その1)

渡辺正子 西井戸敏夫 森田一夫
板寺一洋
(非常勤研究員)

1 はじめに

昭和57年度に環境庁が全国の地下水の現状を把握するため15都市を選定し、浅井戸1083, 深井戸277の計1360検体の地下水と参考として河川水139検体について18物質の調査を行ったところ、硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素は87%の井戸から検出され、同様にトリクロロエチレン28%, テトラクロロエチレン27%, クロロホルム22%, 1,1,1-トリクロロエタン14%, 四塩化炭素10%が検出され、有機塩素系溶剤による地下水汚染が進んでいることが明らかになった。

一方、1982年10月、東京都内の水道水源井戸の一部(八王子市及び府中市)からWHOのガイドライン(0.03mg/ℓ)を超えるトリクロロエチレンが検出されて以来、都の関係局と区市の調査によって有機塩素系溶剤による地下水汚染が区部西域と多摩地域で判明した。

昭和60年度に東京都環境保全局が都内全域を2kmメッシュに分割した302ブロックで広域実態調査を行ったところ、調査井戸302本のうち74本(25%)からトリクロロエチレン等が検出され、そのうち21本(7%)が水道水の暫定水質基準^(注)を超えていた。昭和61年度から上記調査で汚染が確認された46ブロックの計90本の井戸を対象に継続調査が行われているが、その結果を表1に示した。多摩地域においては、基準値を超過する井戸はそれほど

減っていない。なお、1989年6月に水質汚濁防止法が改正され、トリクロロエチレン等を含む有害物質の地下浸透が抑制され、水質測定計画に基づく地下水の常時監視が義務づけられている。

東京都における地下水の利用状況を見ると、年間約40万m³弱が揚水され、とくに多摩地域では上水道の約33%を占めており、地下水の汚染防止は重要な課題であるといえる。

一般に有機塩素系溶剤によって地下水が汚染された場合、流動性が乏しいため汚染は継続し、また地下水の流向が直接把握できないため汚染の動向を予測することが難しい。筆者らは東京都町田市及び東久留米市の汚染がすでに確認されている地区内に存在する井戸で、地下水の主要成分や地下水の水位等から汚染の機構並びに動向を解明することを試みたが、これまでに得られた結果を報告する。

(注) 水道水の暫定水質基準(昭和59年厚生省通知)

トリクロロエチレン0.03mg/ℓ以下、テトラクロロエチレン0.01mg/ℓ以下、1,1,1-トリクロロエタン0.3mg/ℓ以下

表1 地下水の水質監視調査結果

	物質別基準超過井戸数(本)														
	トリクロロエチレン					テトラクロロエチレン					1,1,1-トリクロロエタン				
	61年度	62年度	63年度	元年度	2年度	61年度	62年度	63年度	元年度	2年度	61年度	62年度	63年度	元年度	2年度
全域	38	32	27	21	21	24	23	19	18	22	1	0	0	0	1
区部	16	12	10	4	4	9	8	7	5	8	0	0	0	0	0
多摩	22	20	17	17	17	15	15	12	13	14	1	0	0	0	1

資料:「環境保全局事業概要(平成2年版)」
東京都環境保全局「平成2年度公共用水域及び地下水の水質測定結果(概要)」

2 方 法

環境保全局及び多摩環境保全事務所がまとめた過去のデータと井戸台帳から、調査地区内の井戸の利用状況と場所を確認し調査井戸を選定した。雨量を考慮し、夏期と冬期に調査を行った。

現地で井戸枠の高さ、井戸の深さ、地下水位及び湛水深を測定し、これらから井戸の水面標高を求めた。その後、採水を行い、水温を測定し、試料は保冷箱に入れて持ち帰り、実験室で各項目の測定を行った。

測定項目と方法を表2に掲げる。

表2 測定項目と方法

項 目	測 定 方 法
水温	現地での温度計の目盛りが平衡になるまで流水し測定
pH	pHメーターで測定
有機塩素化合物	JIS K 0125 (用水・排水の低分子量ハロゲン化炭化水素試験方法) によるガスクロマトグラフィー
Na, K, Mg, Ca	JIS K 0102 (工場排水試験方法) による原子吸光度法
Cl, NO ₃ , SO ₄	液体クロマトグラフィー
HCO ₃	上水試験法による滴定法
電気伝導度	導電率計
地点標高	国土地理院の地図から読みとった
地下水位	水位計による測定

3 調査地区の概要

(1) 町田地区

図1に調査地区の地形の概況と調査井戸の位置を示した。調査地区は、東西を川ではさまれた台地で、標高は概ね74~85mである。

1984年に多摩環境保全事務所による調査で、トリクロロエチレンが最高825 $\mu\text{g}/\ell$ 検出されている。その後の広域調査、周辺調査の結果から、近くの工場が汚染源と思われるが、現在は事務所として使用され、トリクロロエチレン等は保管されていない。なお、本地区ではトリクロロエチレン以外に、微量の1,1,1-トリクロロエタン、テトラクロロエチレンが検出されている。

(2) 東久留米地区

図2に調査地区の地形の概況と調査井戸の位置を示し

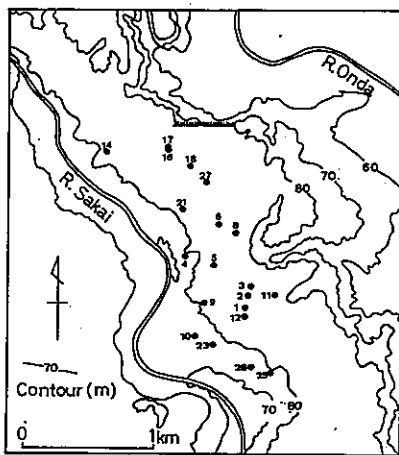


図1 町田地区の調査井戸の位置

(注) 図中の数字は、調査井戸Noを示す。

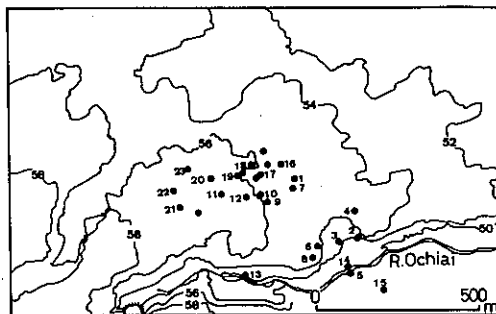


図2 東久留米地区の調査井戸の位置

(注) 図中の数字は、調査井戸Noを示す。

た。調査地区の標高は概ね54~58mの平坦な土地で、南側に川が流れ、川沿いに所どころ湧水のにじみ出しが見られる。

1985年の地下水周辺調査によりテトラクロロエチレンが最高168 $\mu\text{g}/\ell$ 検出されている。1989年に多摩環境保全事務所が付近のクリーニング店裏の駐車場土壌をガス検知管で調べたところ高濃度のテトラクロロエチレンガスが検出された。同店の井戸水からはテトラクロロエチレンが30 $\mu\text{g}/\ell$ 程度検出されており、その200m先の井戸からは約300 $\mu\text{g}/\ell$ が検出されている。なお、1990年3月に事業者は汚染土壌を除去し、コンクリート打ちを行った。本地区の汚染はテトラクロロエチレンが主であるが、その他にも微量の1,1,1-トリクロロエタン、トリクロロエチレンが検出されている。

4 結 果

(1) 町田地区

1990年7月に1回目の調査を行って概況を把握し、12月に20カ所の井戸について詳細な調査を行ったが、この結果を表3に示した。結果のうち、水道水の暫定水質基準を超えたものは、No.2, 28のトリクロロエチレンだけである。表4には、これらの井戸の水面標高その他を、図3には各調査井戸の位置にトリクロロエチレン濃度を図示したものを掲げた。また、図4には地下水中の陽イオン (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) と陰イオン (SO₄²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻) の当量濃度から作図したヘキサダイアグラムを示した。

(2) 東久留米地区

1990年8月に1回目の調査を行って概況を把握し、91年1月に20カ所の井戸と3カ所 (No.5, 13, 14) の湧水について詳細な調査を行ったが、この結果を表5に示した。結果のうち、水道水の暫定水質基準を超えたものは、No.1, 7, 10, 11のテトラクロロエチレンだけである。表6には、これらの井戸の水面標高その他を、図5には

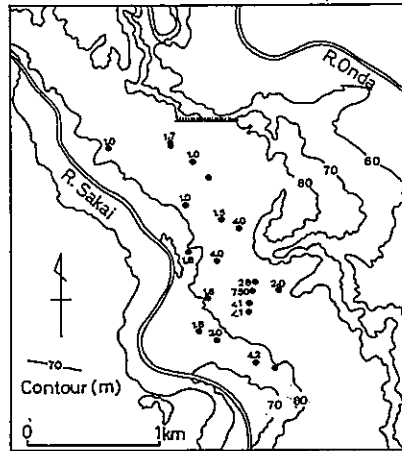


図3 トリクロロエチレンの分布 (町田地区)

(注) 図中の数字は、トリクロロエチレン濃度 (µg/l) を示す。

各調査井戸の位置にテトラクロロエチレン濃度を図示したものを掲げた。また図6には上記(1)と同様に作図したヘキサダイアグラムを示した。

表 3 町田地区地下水調査結果

No.	水温 (°C)	pH	電気伝導度 (µS/cm)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	1,1,1-トリクロロエタン (µg/l)	トリクロロエチレン (µg/l)	テトラクロロエチレン (µg/l)
1	12.5	6.6	170	9.3	0.5	7.5	8.4	6.2	26.2	4.3	15.3	12.0	<1	<1
2	14.0	6.7	200	4.6	0.3	8.8	12.6	12.9	32.7	5.6	25.4	60.0	750	1.0
3		6.7	280	5.7	0.6	11.6	18.4	19.8	41.0	5.7	35.1	20.0	28.0	1.5
4	16.8	6.4	560	27.5	1.5	26.2	24.3	33.4	15.9	73.9	103	2.0	1.8	<1
5	13.2	6.6	210	5.9	0.5	12.2	19.1	17.7	45.9	8.3	34.0	0.9	4.0	<1
6	10.5	7.0	200	7.6	1.7	3.8	15.4	14.3	78.4	68.3	26.1	1.6	1.5	2.0
8	14.5	6.5	290	6.6	0.7	11.5	18.7	21.0	43.5	7.2	35.3	4.5	4.0	<1
9	14.6	6.4	400	7.2	0.5	16.3	28.2	23.1	31.0	33.4	27.9	<1	1.6	<1
10	15.4	6.3	270	16.7	2.3	7.8	8.3	18.1	33.5	12.3	34.0	8.8	1.8	<1
11	13.5	6.4	280	5.6	0.5	11.9	20.4	18.0	37.1	6.3	39.8	<1	2.0	<1
12	14.5	6.4	240	5.5	0.3	11.8	17.5	23.8	48.2	10.8	25.4	14.0	<1	<1
14	13.1	6.2	410	11.0	1.1	12.4	18.6	14.3	78.4	68.3	13.1	<1	1.0	<1
16	15.4	6.2	210	19.5	8.0	5.8	7.1	18.8	26.6	37.7	18.3	7.0	1.2	<1
17	17.5	6.0	200	9.9	6.5	4.5	7.6	12.0	21.4	23.8	16.5	<1	1.7	<1
18	14.0	6.1	150	15.2	2.2	6.9	11.0	23.9	40.9	8.5	18.4	<1	1.0	<1
21	14.7	6.1	230	6.5	0.5	9.4	12.8	15.1	51.4	5.2	19.1	<1	1.0	<1
23	13.7	6.3	290	7.4	0.8	20.0	20.3	18.3	64.4	10.3	24.1	63.0	2.0	<1
25	採水不能													
27	14.5	6.0	170	8.0	1.4	5.7	8.3	15.2	24.8	5.8	14.4	<1	<1	<1
28	13.2	6.6	320	7.8	1.5	12.4	23.6	20.1	83.6	12.3	21.2	55.0	42.0	<1

表4 町田地区調査井戸の水面標高その他

No.	地点標高 (m)	井戸深さ (m)	湛水深 (m)	水面標高 (m)
1	84.0	18.7	4.71	70.3
2	84.0	18.8	4.51	70.2
3	84.0	測定不能		
4	78.0	8.5	4.87	74.9
5	80.0	測定不能		
6	85.0	19.3	4.54	70.9
8	85.0	18.9	4.37	70.9
9	81.0	15.3	4.53	70.8
10	76.0	11.7	4.26	69.2
11	84.0	約30		
12	84.0	18.7	4.56	70.1
14	80.0	約5		
16	86.0	9.0	6.41	83.9
17	86.0	約8		
18	85.8	7.9	5.67	84.1
21	81.0	測定不能		
23	76.0	測定不能		
25	80.0	12.8	3.44	71.1
27	85.5	9.8	5.29	81.6
28	74.0	12.9	6.17	67.9

(注) No.11, 14, 17の井戸深さは聞き取りによる数値

5 考 察

(1) 町田地区

調査地点は地形的にみると、台地部（標高約85m）と境川へ続く低地部（標高74~80m）とに区分できるが、表4に示したように、台地部中央のNo.1, 2, 6, 8, 12及び低地部のNo.4, 9, 10, 25, 28は水面標高がいずれも68~75mであり、これらの井戸の地下水は連続しているとみられる。これに対し、台地部北側のNo.16, 18, 27の水面標高は、ほぼ82~84mであり、これらの地下水は上記のものと直接連続していないと考える。

図4のヘキサダイアグラムの形状から水質の類似性を求め、これに調査井戸の位置関係を考慮して分類すると、No.1, 2, 3, 5, 8, 12, 21, 23, 27, 28のグループとNo.14, 16, 17のグループに区分できる。その他のNo.4, 6, 9, 10, 11, 18は類似性が不明確である。

先の3.(1)で述べた汚染源と思われる工場はNo.3が最も近いが、表3のトリクロロエチレンと1,1,1-トリクロロエタンの濃度をみると、No.3に隣接するNo.2が最も汚染の影響を受け、その影響は、水面標高や水質の類似性からNo.2と同一グループと考えられるNo.1, 3, 12に及んでいる。ただし、それぞれのトリクロロエチレン等の濃度から判断すると今後、この影響はNo.2の南側に主として現れると考えられる。なお、No.2の南のNo.23, 28については、トリクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン濃度からみて別の起源の存在が示唆される。またNo.23と28ではトリクロロエチレン/1,1,1-トリクロロエタンの濃度比が極端に異なることから、これらの起源は別個である可能性もある。

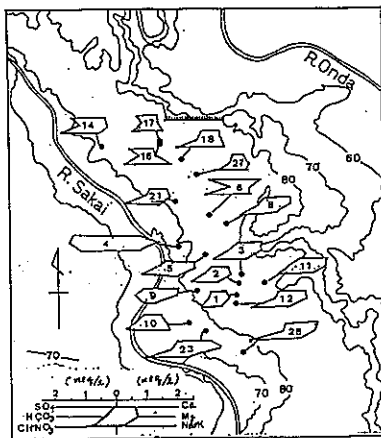


図4 ヘキサダイアグラムによる水質表示 (町田地区)

(注) 図中の数字は、調査井戸Noを示す。

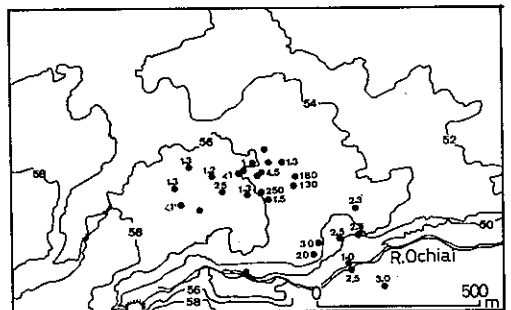


図5 テトラクロロエチレンの分布 (東久留米地区)

(注) 図中の数字は、テトラクロロエチレン濃度 (µg/l) を示す。

表 5 東久留米地区地下水調査結果

No.	水温 (°C)	pH	電気伝導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na (mg/ℓ)	K (mg/ℓ)	Mg (mg/ℓ)	Ca (mg/ℓ)	Cl (mg/ℓ)	NO ₃ (mg/ℓ)	SO ₄ (mg/ℓ)	HCO ₃ (mg/ℓ)	1,1,1-トリ クロロエタン ($\mu\text{g}/\ell$)	トリクロ ロエチレン ($\mu\text{g}/\ell$)	テトラクロ ロエチレン ($\mu\text{g}/\ell$)
1	16.1	6.0	290	12.2	5.5	8.8	12.0	21.9	48.2	20.6	22.2	23.0	7.0	180
2	16.7	6.0	290	12.7	1.8	9.2	12.6	20.1	40.6	23.8	24.8	20.0	15.8	2.6
3	16.8	6.0	280	13.1	2.9	8.8	5.6	20.3	41.4	23.2	24.5	19.5	15.0	2.5
4	16.2	6.0	290	12.5	1.9	9.4	12.5	21.1	45.3	23.2	24.7	19.0	12.5	2.3
5	16.1	6.0	300	13.7	0.9	9.2	13.2	21.5	43.1	25.5	24.4	18.0	24.0	2.5
6	15.1	6.0	280	12.6	1.1	9.0	12.4	19.8	40.6	23.4	24.8	19.0	18.0	3.0
7	15.4	5.9	280	11.6	3.5	8.4	12.1	20.6	45.2	20.0	20.6	22.0	6.5	130
8	16.7	6.1	300	17.5	1.6	9.4	10.9	22.8	38.5	22.8	28.2	17.0	12.0	2.0
9	13.3	6.0	270	12.4	2.6	7.8	11.9	19.7	44.8	17.6	21.2	21.0	5.6	1.5
10	15.4	6.0	280	11.7	3.8	8.1	10.1	20.2	44.4	20.7	21.2	20.0	5.8	250
11	16.7	5.9	280	10.9	2.4	8.5	12.0	20.6	42.2	20.8	21.3	25.0	8.3	25.0
12	13.9	6.0	270	10.6	1.4	8.3	13.4	19.9	43.0	16.9	22.8	35.0	8.0	1.3
13	16.2	6.1	290	11.9	1.0	8.9	14.2	19.2	37.7	23.7	27.9	14.0	15.0	2.6
14	12.1	6.8	400	12.1	2.7	8.6	24.4	20.6	25.5	30.0	65.9	6.0	2.6	1.0
15	16.5	6.1	310	14.6	1.2	9.7	14.9	22.5	43.4	25.9	26.7	16.0	20.0	3.0
16	15.6	6.0	280	12.4	2.4	8.9	12.4	21.8	43.0	21.3	22.4	21.0	5.5	1.3
17	13.8	6.8	280	11.7	4.5	8.4	11.9	21.2	41.5	21.7	21.5	17.0	3.0	4.5
18	14.8	5.9	280	11.2	3.0	8.6	12.1	21.4	42.9	21.8	21.6	16.0	3.8	1.0
19	16.0	6.0	270	10.0	1.2	8.4	14.2	20.1	44.7	17.8	22.6	27.0	3.8	<1
20	15.6	6.0	280	11.5	2.8	8.8	12.5	21.4	42.6	21.3	22.6	16.0	4.0	1.2
21	13.6	6.0	270	9.1	0.8	7.6	14.9	19.8	43.7	15.2	24.5	30.0	4.5	<1
22	15.9	5.9	280	11.2	1.4	9.1	12.4	20.6	41.9	21.8	22.3	20.3	5.5	1.3
23	14.5	5.8	270	10.9	1.8	8.9	11.9	20.8	37.4	22.4	23.7	16.0	4.0	1.3

(2) 東久留米地区

地形は西高東低ではあるが、概ね平坦であり、各井戸の水面標高はほぼ50m程度であることから(表6)、地下水はいずれも連続していると思われる。また、図6にみるようにヘキサダイアグラム形状は、No.14(湧水)を除き、いずれも類似している。これらの結果から調査区域内の地下水は大部分が同一水系に属すると考えられる。

表5に示したとおり、ほとんどの地下水からテトラクロロエチレンをはじめ1,1,1-トリクロロエタン、トリクロロエチレンが検出されている。調査井戸No.11は前述の汚染源とみられる事業所に最も近いが、テトラクロロエチレンはNo.11とその東側のNo.1, 7, 10に高い濃度で見出されており、汚染がこの方向に移動していることが、明瞭に認められる(図5)。この移動の方向と当地区の

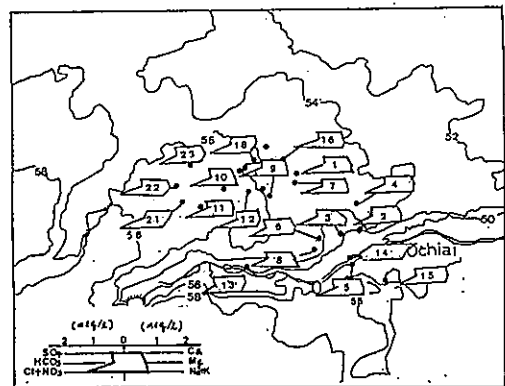


図6 ヘキサダイアグラムによる水質表示
(東久留米地区)

(注) 図中の数字は、調査井戸No.を示す。

表6 東久留米地区調査井戸等の水面標高その他

No.	地点標高 (m)	井戸深さ (m)	湛水深 (m)	水面標高 (m)
1	55.2	7.5	1.86	50.0
2	53.8	4.0	1.89	52.2
3	53.8	測定不能		
4	54.5	測定不能		
5	50.5	測定不能		
6	54.1	8.8	1.89	50.3
7	55.2	7.0	1.35	50.1
8	54.2	測定不能		
9	55.9	7.8	2.25	50.8
10	55.9	7.7	2.55	51.1
11	56.2	測定不能		
12	54.0	7.1	1.65	48.8
13	50.0	測定不能		
14	52.0	測定不能		
15	55.4	測定不能		
16	55.8	7.7	2.00	50.6
17	56.1	7.3	1.65	51.1
18	57.2	7.4	1.90	52.2
19	56.0	7.5	1.87	50.9
20	56.5	7.3	1.56	51.2
21	57.2	7.8	2.23	52.1
22	56.8	測定不能		
23	56.8	7.5	1.42	51.4

(注) No. 5, 13, 14は湧水

地形からみて地下水の流れは西から東へ向かっていると考えられる。

一方、1,1,1-トリクロロエタン、トリクロロエチレンの濃度分布についてはテトラクロロエチレンの場合のような明かな特徴がみられないことから、これらの起源はテトラクロロエチレンの場合と異なると思われるが、この点については、さらに調査が必要である。

本調査には町田市環境部環境生活課、東久留米市市民部経済課の御協力をいただいた。深く感謝します。

参考文献

- 1) 昭和61年度環境庁委託業務結果報告書、地下水質保全対策調査—地下水質調査マニュアル検討調査—、昭和62年3月。