

## 地下水汚染の機構解明に関する研究 (その3)

渡辺正子 西井戸敏夫  
森田一夫 細野義純  
(現、水質保全部) (非常勤研究員)

## 要 旨

有機塩素系溶剤による地下水汚染が確認されている町田地区、東久留米地区で地下水汚染機構を明らかにするため、1990年度から92年度まで調査を行った。

町田地区は、15~16mの厚いローム層に被覆された礫層中の地下水で、ローム層中に粘土層は存在せず、汚染物質は下方へ移動しやすい。これまでに行った3回の一斉調査では、地下水汚染の範囲は拡大しておらず、汚染物質は時間の経過とともに、水平方向よりも主として垂直方向に移動していると思われる。汚染の顕著な調査井戸では、多量の降水のあとに、汚染物質濃度の増加がみられた。

東久留米地区では、地表付近に汚染物質が存在している。ローム層は5~6mと薄く、汚染源とみられる地点付近のローム層の下部に粘土質の部分が存在しているため、汚染物質の下方への移動が阻止されている。一方、3回の一斉調査でも、平面的な汚染の拡大は認められなかった。汚染物質は粘土質層の不連続の部分から、回り込み、全体的には側方より下方へ移動していると思われる。主帯水層の透水係数を得て計算された浸透流速は、降水後に、汚染物質濃度が増加するまでのタイムラグを説明できた。

## 1 はじめに

有害化学物質が地下水で検出される場合は、直接投棄された場合を除き、土壌を介して汚染物質が移動したものである。このような地下水汚染の機構を解明するためには、

- ①汚染源と汚染物質の種類
- ②汚染物質の移動に係わる土壌及び地質の状態
- ③汚染物質の運搬媒体としての地下水の状況

を総合的に捉える必要がある。これらの前提のもとに、有機塩素系溶剤による地下水汚染機構を解明するための調査方法を検討し、以下により、地下水調査を実施した。すなわち、1990年度は汚染の生じている範囲を確認する作業を行った。町田地区と東久留米地区の各20か所の井戸で地下水調査を行い、汚染源と汚染範囲を把握するため汚染地図を描いた。同時に地下水の水質分析の結果から主成分についてヘキサダイアグラムを描き、それぞれの地下水標高と併せ、地下水系を把握した。

91年度は汚染現象の推移を解明し、また汚染物質の媒体を把握するために、汚染の顕著な井戸を両地区でそれぞれ3か所選び、降水と汚染物質の濃度との関係につ

て調査したところ、多量の降水後に汚染物質濃度が上昇する現象が認められた。しかし、91年度はJR武蔵野線小平駅のU型擁壁の浮上に見られるように10月の月降水量は533mmに達し、年降水量は2000mmを超える降水量の多い年であった。

92年度は汚染源と推定される部分から汚染井戸への汚染物質の移動過程と速度を把握することを調査の目標とした。また降水量と汚染物質濃度との関係の再確認を行った。さらに汚染範囲の拡大の有無を確認するため、一斉調査を再度行った。

90年度及び91年度の結果については既に報告<sup>1,2)</sup>したが、これらに92年度の結果を加えて総括し、以下に報告する。

なお90年度の報告<sup>1)</sup>の調査井戸のNoは本報のNoと一致し、91年度報告<sup>2)</sup>の町田地区St.1, St.2, St.3は本報のNo.3, No.2, No.1であり、東久留米地区のSt.1, St.2, St.3は本報のNo.11, No.10, No.1である。

## 2 調査地区の概要

## (1) 町田地区

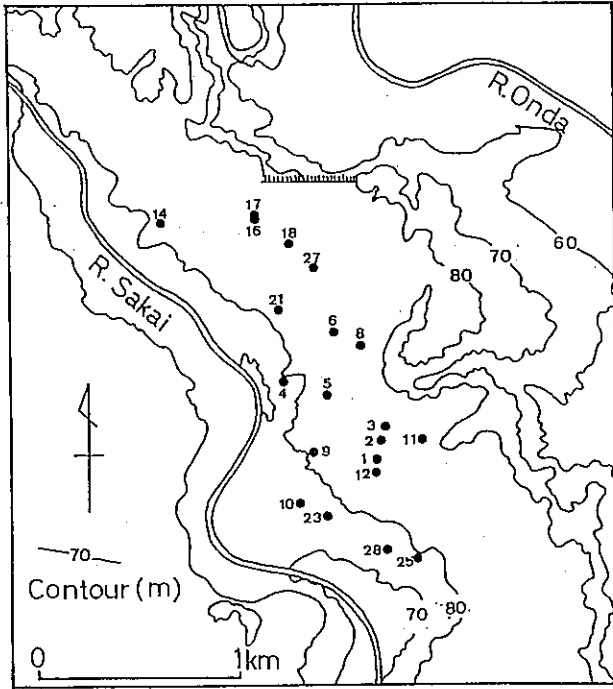


図1 町田地区の調査地点概要  
(注) 図中の番号は調査井戸の番号を表す。

図1に調査地区の地形の概要と調査井戸の位置を示した。調査地区は東西を川で挟まれた台地面上で、一部に河川に沿う低位面上の部分がある。標高は概ね74~86mである。高位の台地面は相模野面の東端部に属し、既存のボーリング資料によると15~16mの厚いローム層に被覆された段丘構成礫層中に地下水は存在する。後述する6mまでのオーガボーリングの結果から、表層部分はスコリアを主とする砂質ロームであって、汚染物質の下方への移動は比較的容易であると思われる。

90年12月の一斉調査で、地下水汚染は高位面上の4地点からトリクロロエチレンが高濃度で検出され、最高No.2で750 $\mu\text{g}/\text{l}$ を示した。同様に91年11月に同地点(No.2)で8700 $\mu\text{g}/\text{l}$ が検出されたが、これは前述のように10月の月降水量が533mmを記録した翌月であり、降水量と汚染物質濃度の相関関係が推察された。

(2) 東久留米地区

図2に調査地区の地形の概要と調査井戸の位置を示した。調査地区の標高は概ね54~58mの台地面上で、南側に川が流れ、河谷沿いの斜面上に所々で湧水のしみ出しが見られる。台地面は広義の武蔵野面でローム層が5~6mで被覆する。

1985年、環境保全局多摩環境保全事務所の地下水周辺

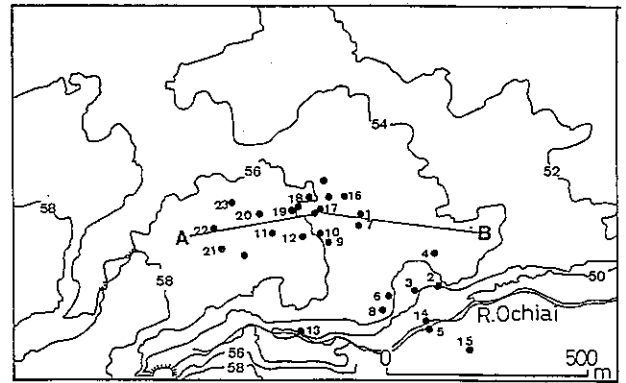


図2 東久留米地区の調査地点概要  
(注) 図中の番号は調査井戸の番号を表す。

調査によりテトラクロロエチレンがNo.1で170 $\mu\text{g}/\text{l}$ が検出された。89年に同事務所が、付近のクリーニング店裏の駐車場で、ガス検知管を使用し土壌中のガスを調べたところ、高濃度のテトラクロロエチレンが検出された。同店の井戸水(No.11)からテトラクロロエチレンが23 $\mu\text{g}/\text{l}$ 検出されたが、この井戸の地下水位等の情報は不明である。その210m先の井戸(No.1)から約220 $\mu\text{g}/\text{l}$ が検出された。90年3月に同店の事業者が、表面より50cmの土壌を除去した。91年1月の一斉調査でクリーニング店から東側210m以内の範囲で、3か所の高濃度に汚染された井戸が判明し、現在もこの状態が継続している。No.1とNo.11のほぼ中間のNo.10で91年10月及び11月に320 $\mu\text{g}/\text{l}$ が検出されたが、これは町田地区と同様に多降水月の後であり、汚染物質濃度と降水量の相関関係が推定された。No.1では90年3月の土壌除去後、テトラクロロエチレンの濃度が従前より減少し、その効果が現れたと推察される。

3 調査方法

(1) 調査井戸の選定

環境保全局水質保全部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、調査地区内の井戸状況と場所を確認し、町田地区及び東久留米地区でそれぞれ20か所の調査井戸を選択した。90年度と92年度に各1回ずつ一斉調査を行った。

また、一斉調査で汚染が確認された両地区の地点から3か所ずつを選び、91年6月から隔月に、降水の多くなる10月から2月までは、毎月調査を行った。

(2) 地下水標高

現場で各調査井戸の地下水位を指示式水位測定器を用いて実測し、測水地点の標高を東京都都市計画局発行の1/2500地形図から読みとり、その差を地下水面標高とした。

また、町田地区のNo.2で91年11月から92年2月まで、東久留米地区のNo.10で92年6月から現在まで、自記水位計を設置して地下水位の変化の連続記録を行った。

(3) 水質

測定項目と方法は前報<sup>3)</sup>と同様である

(4) 土壌

汚染源とみられている地点と汚染井戸の間の数地点で、簡易オーガを用い土壌を4~6mまで掘削し、短い深度別に試料を採取し、地質を判定し、汚染物質濃度を測定した。土色の判定のほか、鉱物種、粒形、粒度を観察し、粗密、土湿、硬軟を判定し、総合的な判断から、地質の表示を行った。結果の一部を表1、表2に示す。

表1 町田地区の土地調査結果 (No.2)

試料採取深度	含水比	汚染物質濃度 ( $\mu\text{g/g. dry}$ )	土色	地質表示
表面	—	不検出	赤黒色 7.5 R-2/1	表土
50cm	72	"	赤黒色 7.5 R-2/1	表土
100cm	107	"	赤黒色 7.5 R-2/1	砂質ローム
150cm	136	"	褐色 7.5YR-4/4	ローム
200cm	126	"	褐色 7.5YR-4/6	ローム
250cm	136	"	褐色 7.5YR-4/6	ローム
300cm	124	"	褐色 7.5YR-4/6	ローム
350cm	96	"	暗褐色 10 YR-3/4	砂質ローム
400cm	85	"	暗褐色 10 YR-3/4	砂質ローム
450cm	69	"	褐色 7.5YR-4/3	砂質ローム
500cm	76	"	暗褐色 7.5YR-3/3	砂質ローム
550cm	102	"	暗褐色 7.5YR-3/4	ローム
600cm	102	"	褐色 7.5YR-4/4	砂質ローム

注) 土色は農林水産技術会議事務局監修、(財)日本色彩研究所色票監修「標準土色帖」による。同冊中に記載の記号は 色相-明度/彩度 を示している。

4 結果

(1) 汚染の範囲

①町田地区

90年7月に予備調査を行い、同年12月及び92年8月に一斉調査を行った。90年12月の調査で前述のように、4

表2 東久留米地区土地調査結果 (No.11)

試料採取深度	含水比	汚染物質濃度 ( $\mu\text{g/g. dry}$ )	土色	地質表示
0~3cm	160	<0.01	褐色 10YR-4/4 黒褐色 10YR-3/2	埋め戻し土
5~10cm	126	0.12	黒褐色 10YR-3/2	表土
15~20cm	131	0.01	赤褐色 2.5YR-2/1	表土
25~30cm	165	1.71	暗褐色 7.5YR-2/2	ローム
35~40cm	166	0.99	黒褐色 7.5YR-2/2	ローム
45~50cm	138	1.24	黒褐色 7.5YR-2/2	ローム
55~60cm	117	0.53	黒褐色 7.5YR-2/2	ローム
65~70cm	111	0.37	黒褐色-暗褐色 5YR-2/2~2/3	ローム
75~80cm	104	0.06	黒褐色 7.5YR-2/2	ローム
115~145cm	120	<0.01	上部 黒褐色 7.5YR-2/2 下部 褐色 7.5YR-4/4	ローム 粘土質ローム
170~200cm	95	<0.01	暗褐色 7.5YR-3/3	粘土質ローム
230~260cm	91	<0.01	暗褐色 7.5YR-3/3	粘土混じりシルト
290~320cm	96	<0.01	暗褐色 7.5YR-3/3	粘土混じりシルト
350~380cm	94	<0.01	暗褐色 7.5YR-3/4	シルト質粘土
410~440cm	53	<0.01	暗褐色 7.5YR-3/3	シルト質ローム

注) 土色は農林水産技術会議事務局監修、(財)日本色彩研究所色票監修「標準土色帖」による。同冊中に記載の記号は 色相-明度/彩度 を示している。

地点の井戸からトリクロロエチレンが検出された。

92年の一斉調査ではNo.2で2900 $\mu\text{g/l}$ 、No.13で150 $\mu\text{g/l}$ 、と水道水質基準を超える濃度が検出されたが、顕著な汚染が検出される範囲は、90年12月の調査結果と比べ、拡大はしていなかった。

②東久留米地区

90年8月に予備調査を行い、91年1月及び92年6月に一斉調査を行った。92年の調査ではNo.10で200 $\mu\text{g/l}$ 、No.1で140 $\mu\text{g/l}$ と高濃度検出されたが、町田地区同様に顕著な汚染が検出される範囲は91年の調査結果と比べて拡大はしていなかった。

(2) 地下水面標高

①町田地区

90年12月の調査は9、10月の多降水月の後であり、全体的に地下水位が上昇していた。地下水面標高で分類すると、調査地北部の82~84mと中央部から南ないし西部の68~75mとに水系を区分できる。ヘキサダイアグラムの形と併せて判断すると、地下水系は調査地北部の地表面から浅いところの帯水で、その付近にレンズ状に水が溜まった宙水域、中央部の段丘稜層中の部分及び低位面下の部分に分けられ、顕著な汚染地域は中央部の高位面下の部分に限られていた。92年8月の調査では、90年12月の調査よりも地下水位が全体的に下がっている。

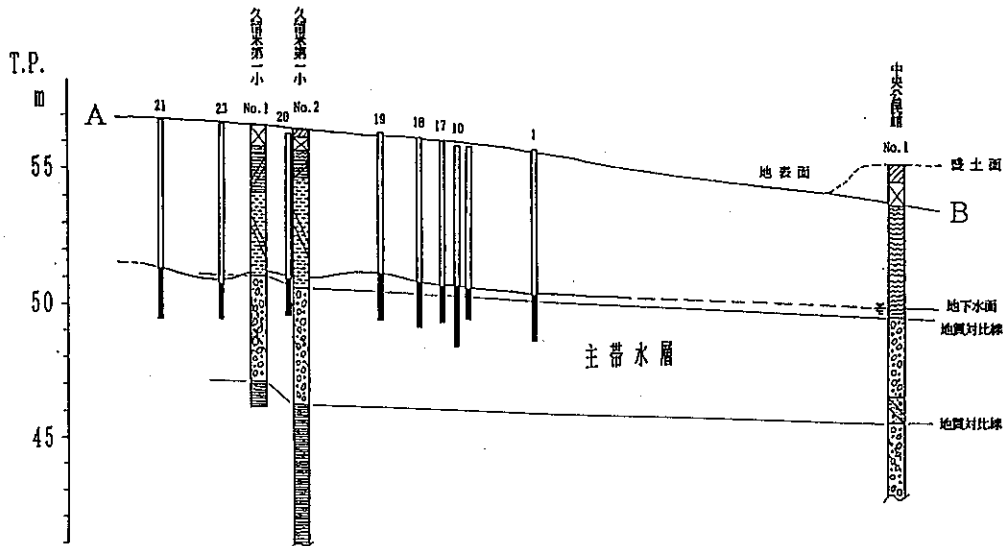
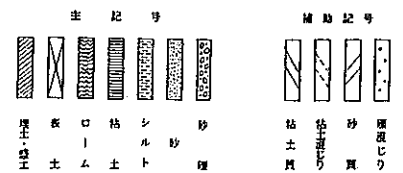


図3 地質断面図および調査井戸と主帯水層の位置関係を示す図(東久留米地区, A-B断面)

(注) 図中の番号は調査井戸の番号を表す。

柱状図に用いる記号



②東久留米地区

2回の一斉調査の結果から、地下水面は地形面を反映して東にゆるく傾斜し、連続していることが分かった。ヘキサダイアグラムの形も相似であり、同一の水系と考えられる。

既存のボーリング資料を参考として作成した、この地域の地質断面図と調査井戸の位置及び深さ、ならびに地下水面標高を図3に示す。この図で調査井戸の黒色の部分は92年6月の調査の湛水深でその上限を連ねた部分が地下水面である。この図から地下水面はローム層と礫層の境界に位置するが、若干ローム層に入り込んでいることが分かる。

(3) 降水量、地下水位と汚染物質濃度の関係

①町田地区

前述のように、一斉調査で汚染が確認された調査井戸から3か所を選び、90年6月から93年8月まで継続的な調査を行った。91年11月にNo.2でトリクロロエチレン約8700 $\mu\text{g}/\text{l}$ が検出された。また92年11月に4100 $\mu\text{g}/\text{l}$ が検出されたが、これらの時期は多量の降水の後で(図4)、地中に浸透した過剰な水が汚染物質を移動させていると考えられる。91年11月から92年2月まで、No.2での地下水位の連続測定では、ほぼ5~2cm/日の割合で指数関数的に降下し、11月20日から2月4日まで77日間に2.2mの水位降下となった。この間、11月28日に日降水

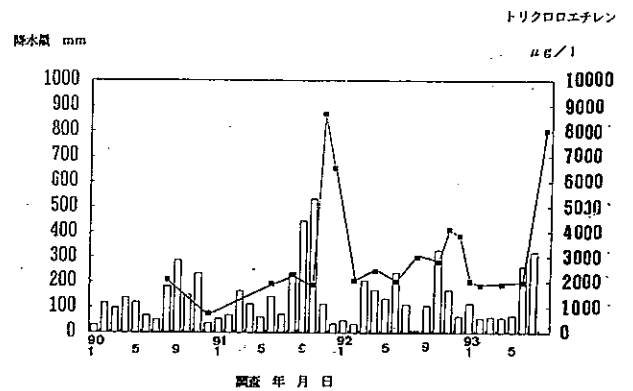


図4 降水量とトリクロロエチレン濃度の関係(町田地区 No. 2)

量34mmの降水もあったが、これにより地下水位は一時的に数cmの上昇をみたが、翌日からは再び降下が継続した(図5)。これに対応してテトラクロロエチレン濃度も2100 $\mu\text{g}/\text{l}$ と急激に減少し、地下水位の影響が推察された。

②東久留米地区

町田地区と同様に90年7月から93年8月まで継続的な調査を行った。なお90年3月に汚染源付近の土壤が除去されている。調査井戸No. 1、No.10とも91年11月、92年

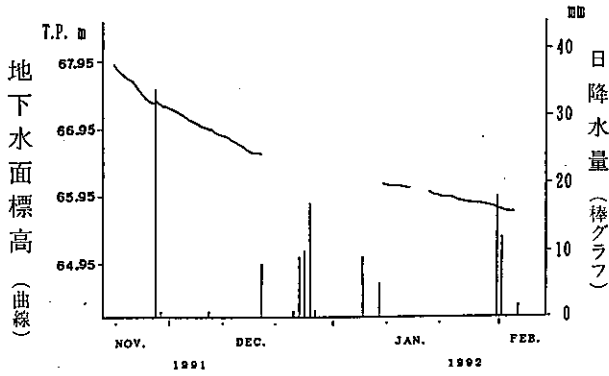


図5 地下水位の変化を示すハイドログラフ  
(町田地区 No.2)

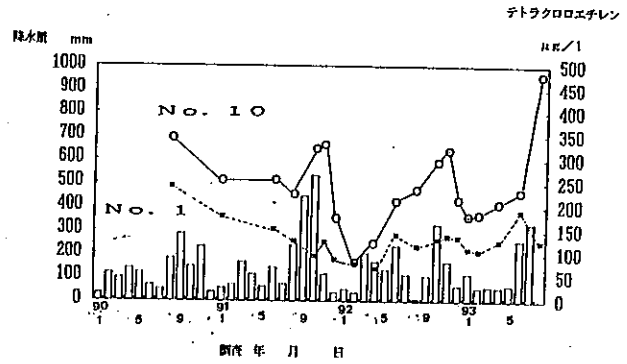


図6 降水量とテトラクロロエチレン濃度の関係  
(東久留米地区 No.1 No.10)

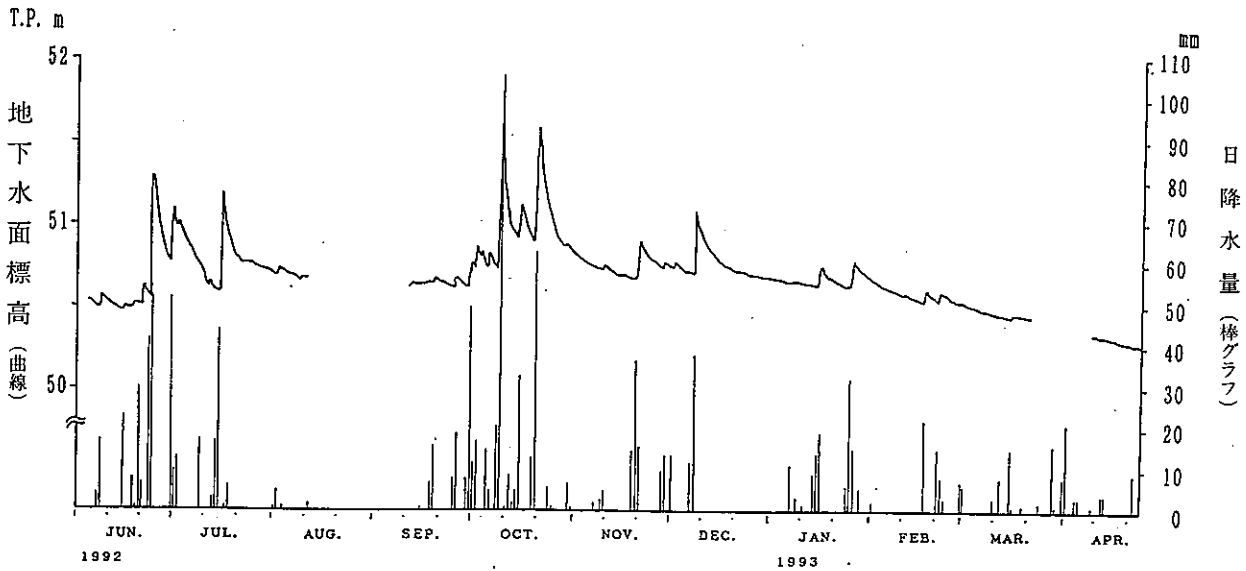


図7 地下水位の変化を示すハイドログラフ  
(東久留米地区 No.10)

11月にテトラクロロエチレン濃度のピークが現れ、これは町田地区と同様、多量の降水後であり(図6)、降水量と汚染物質濃度との間に関係が示唆される。

No.10に自記水位計を設置し、92年6月から現在まで水位の連続測定を行っているが、降水に伴って、水位は比較的鋭敏に反応する。日降水量が50mmを超える程度の雨量があると、水位は1m程度上昇する傾向がある。しかし、降下するのも速く、数日後には元に戻る(図7)。

この調査井戸について揚水に伴う水位降下の状況から透水係数を算出したところ、 $(1.43\sim 1.99) \times 10^{-1} \text{cm/秒}$ の値を得た。

(4) 土 壤

①町田地区

No.2で行った6mまでの土壌調査の結果では大きくみ

れば褐色ロームが連続し、概ね均質であり、とくに粘土質やシルト質部の存在は確認できなかった。また、トリクロロエチレンはどの層からも検出されなかった(表1)。

②東久留米地区

92年11月、93年2月にNo.11からNo.10、No.1の間、数か所で簡易オーガを用いて土壌掘削を行った。汚染源とみられているNo.11の裏の駐車場の土壌掘削の結果を表2に示した。地表から1.3m程度の深さを境に地質が異なり、それ以浅は砂質ロームで疎な黒色スコリアを主とする黒ボク土であり、汚染物質の移動は容易であると考えられる。1.7m以深の部分は、粘土質で含水比もほぼ一定で、密なロームが存在しており、下位の主帯水層まで続くものと考えられる。テトラクロロエチレンは70cmまでの地表付近に残存しており、上部土壌の黒ボク土の部分か

ら最大 $1.7\mu\text{g/g.dry}$ が検出され、下位のシルト質ないし粘土質ロームの部分からは検出されなかった。このことから粘土質部分の地層の存在が有機塩素系溶剤の下方への移動を阻止しているものと考えられる。No.11の近辺以外の他の部分で行った土壌掘削の結果からは、テトラクロロエチレンは検出されなかった。さらに詳しく汚染の状態を調べるために、93年6月に前出の駐車場で数か所の表土を採取し、テトラクロロエチレン濃度を調べたところNo.11寄りの土壌で検出された。なお多摩環境保全事務所が89年12月に検知管を用い土壌中のガスを測定し、同地点の3か所で高濃度を検出している。

## 5 考 察

### ① 町田地区

ローム層が厚く堆積した地質条件のもとでの降水と地下水位の変動の関係は、ローム層の本来の性質が、水を多量に保持できることから、降水によってもたらされた水は、最初に乾燥したローム層の部分を解消するために働き（土湿不足を補う）、直ちに地下水位を上昇させる傾向にないことが知られている。いわばローム層が地下水面の変動を平滑化する作用をもっている。図5の町田地区における自記水位計の記録からも、この事実が確認された。

汚染井戸（No.2）近傍で6mまでの土壌採掘を行ったが、汚染物質はいずれの土壌からも検出されなかった（表1）。したがって、汚染物質は6m以深の層に存在するのかもしれない。なお、この付近の地下水位は、通常15m（図5でT.P67.95mに相当）よりも深い部分に位置する。

降水量と汚染物質濃度の関係を図4に示したが、同図から少量の降水が続いて土湿不足が解消されたのち、多量の降水があると、地下水位が上昇して土壌に残存する汚染物質を洗い出し、またはピストン流（地下水の浸透に伴う下方への押し出し流）の状態となって、下位の礫層中の地下水に汚染物質を移動させたものと解することができる。その結果、調査井戸の汚染物質が降水後に、増加したものと思われる。

3回の一斉調査によると、汚染濃度の増減や、地下水面の変動にもかかわらず、汚染の平面的な範囲は、拡大されていない。このことは町田地区の汚染された地下水の多くの部分は側方へ流動するよりも、下方へ流動する

結果と思われる。

### ② 東久留米地区

ローム層の被覆は5～6mとそれほど厚くない。汚染井戸No.11の近傍の土壌調査の結果（表2）によると、汚染物質は深さ70～80cmまでのローム層に残存しているようである。また、このローム層は、深さ1.3m辺りから粘土質となり（土色が明らかに異なってくる）、この部分によって汚染物質の下方への移動が阻止されていることが分かる。

この地点の上部ローム層の含水比は110以上で変化が大きく、下層の粘土質の部分ではほぼ95であった。ロームの含水比は降雨の状態等によって変化する。一方、粘土質の部分では土粒子に付着した水分が多く、ほぼ一定の含水比が維持されていることから、水分を強く保持していることを意味し、これによって汚染物質の移動が抑えられるいると考えられる。

No.11に設置した自記水位計の記録（図7）によると降水後の地下水面の変動は、鋭敏である。これは、東久留米地区のローム層が薄く、かつ粘土質の部分が存在し、土湿不足が小さいためと考えられる。

3回の一斉調査結果では、町田地区と同様に、汚染範囲の平面的な拡大は認められなかった。この結果は、粘土質の部分がレンズ状のものであり、地層が連続性を持ったものでない事実を証明するものである。たとえば、93年2月に行ったNo.10での土壌調査では、粘土質の部分は3.5m以深の部分に限られていた。

汚染源に近いNo.11付近にもたらされた過剰な降水は、土壌中の汚染物質を洗い出したのち、粘土層を回り込んだ形で流動し、粘土層の薄い部分、または欠落した部分を経由して、下方の主帯水層に流出すると考えられる。汚染井戸（No.1、No.7、No.10、No.11）は、この流出の影響を直接受けている部分と考えられる。なお東久留米地区の地下水位は、一般的に5m前後である。

また自記水位計の記録をもとに、一定揚水に伴う水位降下の状況から透水係数 $K$ を算出すると $(1.43\sim 1.99)\times 10^{-1}\text{cm/秒}$ が得られた。これは主帯水層である礫層についての値である。礫層中の地下水の浸透流速 $V$ は、 $V=K\times I$ で、 $I$ は動水こう配を表す。汚染源とNo.10の距離110m、その間の標高差を1.5mとして、 $V$ を計算すると $2.3\sim 3.2\text{m/日}$ となる。まわりこみの経路は明かでないが、この値で110mを割ると34～48日と

なり、図2の降水後、汚染濃度のピークが現れるタイムラグ（約1か月）とほぼ一致する。

90年3月にNo.11近傍の汚染土壌を除去しており、それ以前はNo.1、No.10ともに高濃度に汚染されていたが、除去以後No.1で減少傾向がみられ、除去の効果があったと推定される。

## 6 まとめ

有機塩素系溶剤による地下水汚染が確認されている町田地区、東久留米地区で汚染機構を明らかにするため、調査を行った。町田地区は主としてトリクロロエチレン、東久留米地区はテトラクロロエチレンによる汚染であるが、1990年度から92年度まででは、両地区とも地下水汚染範囲の拡大は認められなかった。

町田地区では、地表から6mまでの土壌に汚染物質は存在しなかった。同地区は15~16mの厚いローム層に被覆されているため、地下水は水平方向よりも垂直方向に移動しやすい。汚染の著しい調査井戸周辺では、降水によってまずローム層に不足する水分が補われ、次いで過剰となった浸透水は、深部に存在する汚染物質に接して洗い出し、さらにピストン流の状態となって下位の礫層中に侵入し、これが汚染物質を移動させると考えられる。なお、汚染源とみられる地点に近い調査井戸（No.2）の地下水位は、通常15mよりも深い位置にある。町田地区では顕著な地下水汚染が、汚染源と見られる地点近傍の限られた範囲だけに止まっていること及びこの範囲内の調査井戸では多量の降水後に汚染物質濃度が上昇することが、上記の汚染機構を裏付けている。

東久留米地区では、地表付近の土壌から汚染物質の存在が確認された。同地区は、ローム層が5~6mと薄く、

汚染物質が確認された地点の下位土壌に粘土質の部分が認められ、汚染物質はその上部に滞留していると考えられる。この地区の地下水位は一般に5m前後であり、降水に敏感に反応する。東久留米地区の地下水汚染機構は若干複雑である。降水は土壌中の汚染物質を洗い出し、比較的速やかに粘土質部に沿って一旦、側方に流動するが、粘土質部の欠落した部分等に達して、回り込みを生じ下方の主帯水層中に流出する。調査井戸のうち、汚染の顕著な井戸（No.1、No.7、No.10、No.11）はこの回り込みの影響を直接受けていると考えられる。土壌の透水係数から算出した礫層中の浸透流速は、汚染井戸（No.10）で汚染濃度のピークが降水後現れるまでのタイムラグ（約1か月）とほぼ一致している。これらの汚染井戸以外では、汚染物質の変化は現在のところ認められない。したがって、東久留米地区では一部の地域を除き、町田地区と同様に汚染物質の移動は全体として下方に向かっていると考えられる。

本調査には町田市環境部生活課、東久留米市市民部経済課及び各調査井戸の関係者の方々に御協力をいただき、深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 渡辺 正子ら：地下水汚染の機構解明に関する研究（その1）渡辺 正子ら都環境科学研究所年報1991-2、P.191.
- 2) 渡辺 正子ら：地下水汚染の機構解明に関する研究（その2）、東京都環境科学研究所年報1992、P.179.

## Studies on Pollution Mechanism of Underground-water Pollution

Masako Watanabe, Tosio Nishiido,  
Kazuo Morita\* and Yoshizumi Hosono\*\*  
\* Water Quality Protection Division  
\*\* Part time Researcher

Study on pollution mechanism of underground water Research was made to explain mechanism of underground water at Matida and Higashikurume district, where pollutions of organic chlorinated compounds was found, from 1990 till 1993.

Matida district was covered with Kantou loam layer of about 15~16m thick. Underground water was among gravel layer, but there was no clayer among Kantou loam layer. Contamination substance moved easily vertical than horizontal.

At higashikurume district, there was pollution substance near surface of the earth. Thickness of Kantou loam was 5~6m thick and there was clayer under contamination source. Contamination substance seemed to move along lack of clayer and vertical diffuse. Coeffichent of permeability was calculated from record of underground water level.