

有機塩素化合物による地下水汚染の動態

瀬戸太郎, 田邊健夫, 三村春雄, 橋本 茂, 宮下雄次*
(水質環境部, *温泉地学研究所)

The movements of groundwater pollution by chlorinated organic compounds

Taiichiro SETO, Takeo TANABE, Haruo MIMURA, Shigeru HASHIMOTO, Yuji MIYASHITA*
(Water Quality Division, *Hot Springs Research Institute)

キーワード：地下水汚染, 有機塩素化合物, 厚木市, トリクロロエチレン, テトラクロロエチレン

1. はじめに

神奈川県では地下水汚染の動向を監視するため水質汚濁防止法第16条に基づくモニタリング調査を継続的に実施している。

その結果, 平成7年に厚木市内の尼寺工業団地(以下, 「工業団地」という。)及びその周辺地区において, トリクロロエチレン等が評価基準(平成9年3月から環境基準。以下「環境基準」という。)を超過していることが判明した。このため, 県機関や厚木市で構成する地下水汚染対策検討会を設置し, 汚染源特定調査を行うとともに, 工場指導等による地下水汚染防止対策を進めてきたところである。

今回, 6年以上経過した時点での汚染状況を再調査し, 汚染濃度, 汚染範囲等の変化について比較・検討を行うとともに, 浄化対策の効果及び今後の浄化対策等について検討したので報告する。

2. 調査方法

2.1 調査地点

今回は, 平成7年の調査で高濃度に検出された地点を中心に, 尼寺原台地辺縁部, 国道129号線より東側の平野部に調査範囲を広げて実施した。

平成7年: 44地点(工業用水: 24地点, 生活用水: 18地点, 湧水: 2地点)

平成13年: 49地点(工業用水: 25地点, 生活用水: 24地点)

重複地点: 24地点(工業用水: 19地点, 生活用水: 5地点)

2.2 調査方法

地下水は, 井戸に水中ポンプが設置されている場合にはポンプ稼働数分後に蛇口で採取し, ポンプが設置されていない場合にはステンレス製ピーカーで汲み上げた。

分析はトリクロロエチレン(TCE), テトラクロロエチレン(PCE), 1,1,1-トリクロロエタン(MC)について, 日本工業規格 K0125 5.2 ヘッドスペース-ガスクロマトグラフ質量分析法に従って行った。

3. 結果及び考察

3.1 水質分析結果及び濃度分布・汚染状況

平成7年と13年のTCE, PCEの分析結果を表1に示した。

なお, MCについてはいずれの地点においても環境基準以下であったことから結果の記載は省略した。

3.1.1 トリクロロエチレン(TCE)の状況

平成7年と13年のTCEの濃度分布を図1及び図2に示した。図には, 各地点の濃度をもとに, 環境基準0.03mg/lを超える地点は棒グラフ, その他の地点は印で示し, 併せて0.002(定量下限値), 0.01, 0.03, 0.1mg/lの等濃度線を示した。

平成7年の状況を見ると, 環境基準を超えた地点は11地点で, そのうち6地点が0.1mg/lを超えていた。環境基準を超えた地域は工業団地(工業団地は, 図1の中央, 井戸番号23付近から西側で, 道路を挟んで両側に位置する。)の北西部, 中部, 南東部から国道129号線に至るエリアの3か所に認められ, 特に南東部から国道129号線に至る区域が広がった。なお, 0.002mg/l以上の地域は工業団地に沿って尼寺原台地南半分で認められ, 北西から南東方向に幅約600mで帯状に分布していた。

平成13年の状況は, 環境基準0.03mg/lを超える地点は9地点で, 0.1mg/lを超える地点は見られなかった。環境基準を超える地域は工業団地の北西部, 南東部から国道129号線に至るエリア, 国道129号線より東側の平野部で東名高速道路の北側に

表1 地下水水質分析結果

井戸番号	所在地	TCE		PCE		井戸番号	所在地	TCE		PCE	
		平成7年	平成13年	平成7年	平成13年			平成7年	平成13年	平成7年	平成13年
1	飯山	-	ND	-	ND	38	恩名	0.18	-	0.081	-
2	飯山	0.16	-	0.020	-	39	恩名	0.13	-	0.011	-
3	緑が丘5	0.039	0.021	ND	ND	40	恩名	0.028	-	0.0026	-
4	緑が丘5	ND	ND	ND	ND	41	恩名	ND	-	ND	-
5	緑が丘5	0.028	0.045	ND	ND	42	恩名	ND	-	ND	-
6	緑が丘5	0.022	0.070	ND	0.0027	43	恩名	ND	-	ND	-
7	緑が丘5	ND	ND	0.006	0.010	44	恩名	-	0.033	-	0.0045
8	緑が丘5	ND	ND	0.086	0.0032	45	恩名	ND	-	ND	-
9	温水	0.011	0.018	ND	0.0024	46	恩名	-	ND	-	ND
10	緑が丘5	0.032	0.022	0.38	0.34	47	恩名	0.25	0.085	0.058	0.015
11	緑が丘5	0.14	0.040	0.094	0.18	48	恩名	ND	-	ND	-
12	緑が丘5	0.22	0.004	0.22	0.047	49	恩名	0.069	0.038	0.007	0.0076
13	緑が丘5	-	ND	-	0.0073	50	恩名	0.065	0.041	0.010	0.0094
14	緑が丘5	-	ND	-	0.0043	51	南町	-	0.029	-	0.0076
15	温水	-	ND	-	ND	52	南町	-	0.005	-	0.0034
16	温水	ND	-	ND	-	53	旭町2	-	ND	-	ND
17,18	戸室5	0.008	ND	0.024	0.0054	54	旭町5	-	0.004	-	ND
19	恩名	0.003	0.010	ND	0.0054	55	旭町4	-	0.005	-	ND
20	恩名	0.008	0.027	0.041	0.033	56	旭町4	-	ND	-	ND
21	恩名	ND	0.005	ND	ND	57	岡田4	-	ND	-	ND
22	恩名	0.023	0.026	0.067	0.096	58	岡田3	-	0.035	-	0.0057
23	恩名	0.051	0.039	0.016	0.034	59	岡田5	-	0.029	-	0.0044
24	恩名	0.0053	0.025	ND	0.0043	60	林	ND	ND	ND	ND
25	恩名	0.011	0.025	ND	0.0058	61	水引1	-	ND	-	ND
26,27	恩名	0.004	0.014	ND	ND	62	松枝1	-	ND	-	ND
28	戸室2	ND	-	ND	-	63	寿町2	-	ND	-	ND
29	戸室2	ND	-	ND	-	64	温水西	ND	-	ND	-
30	戸室2	ND	-	ND	-	65	温水	-	ND	-	ND
31	戸室3	ND	-	ND	-	66	温水	-	ND	-	ND
32	戸室2	ND	-	ND	-	67	温水	-	ND	-	ND
33	戸室2	ND	-	ND	-	68	船子	-	ND	-	ND
34	戸室2	ND	-	ND	-	69	船子	-	ND	-	ND
35	戸室2	ND	0.008	ND	0.0036	地下水環境基準		0.03		0.01	
36	恩名	ND	0.024	ND	0.041	定量下限値		0.002		0.0005	
37	栄町2	ND	ND	ND	ND						

TCE:トリクロロエチレン PCE:テトラクロロエチレン

ND とは定量下限値未満であることを示す。

- は欠測を示す。

位置するエリアの3か所であった。なお、0.002mg/l以上の地域は工業団地の北西から南東方向に帯状に分布していたが、恩曾川より南側では検出された地点はなかった。

これらの濃度分布の変化を比較すると、平成7年に0.1mg/lを超えていた高濃度地域は、平成13年にはなくなり、0.03mg/lの環境基準を超える地域も全体に大幅な濃度の低下が見られた。しかし、平成7年には調査を実施していなかった国道129号線東側の相模川近傍でも環境基準を超える地点が認められた。尼寺原台地の地下水の流動については、4.2で後述するように、北西から南東に向かう流れが主流であるが、台地の辺縁部では北東方向及び南西方向に広がる流れもあり、0.002mg/l以上の地域については幅を拡大する傾向が見られた。

3.1.2 テトラクロロエチレン(PCE)の状況
PCEの濃度分布を図3及び図4に示す。図には、

TCEと同様、環境基準0.01mg/lを超える地点は棒グラフ、他の地点は印で示し、併せて等濃度線を示した。

平成7年の状況は、0.05mg/lを超える地点が7地点あり、そのうち0.1mg/lを超える地点は2地点であった。0.01mg/lの環境基準を超える地域は工業団地北西部から同南東部、さらに国道129号線に至るエリアにかけて幅200~500mで帯状に分布していた。また、0.001mg/l以上のエリアは工業団地の北西から南東方向に幅500mで帯状に分布していた。

平成13年の状況は、0.05mg/lを超える地点が3地点、そのうち0.1mg/lを超える地点は2地点であった。0.01mg/lの環境基準を超える地域は工業団地の北西から南東方向に幅200~300mで帯状に分布する他、工業団地南東端の北東方向にも認められた。また、0.001mg/l以上のエリアは工業団地の北西から南東方向に幅500~1000mで帯状に分布していた。なお、恩曾川より南側では検出された地点はなかった。

図1 トリクロロエチレンの濃度分布（平成7年）



図2 トリクロロエチレンの濃度分布（平成13年）



図3 テトラクロロエチレンの濃度分布（平成7年）

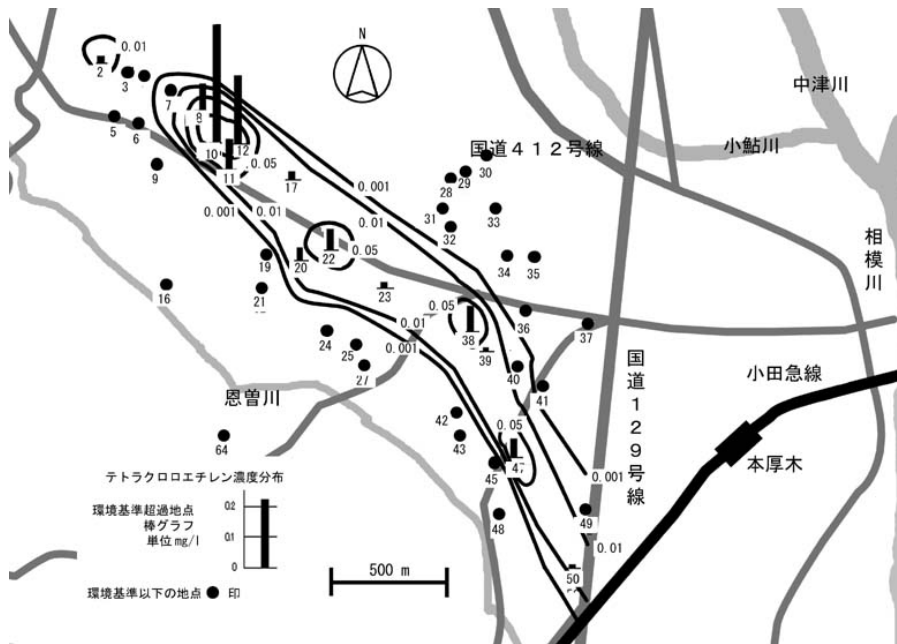


図4 テトラクロロエチレンの濃度分布（平成13年）

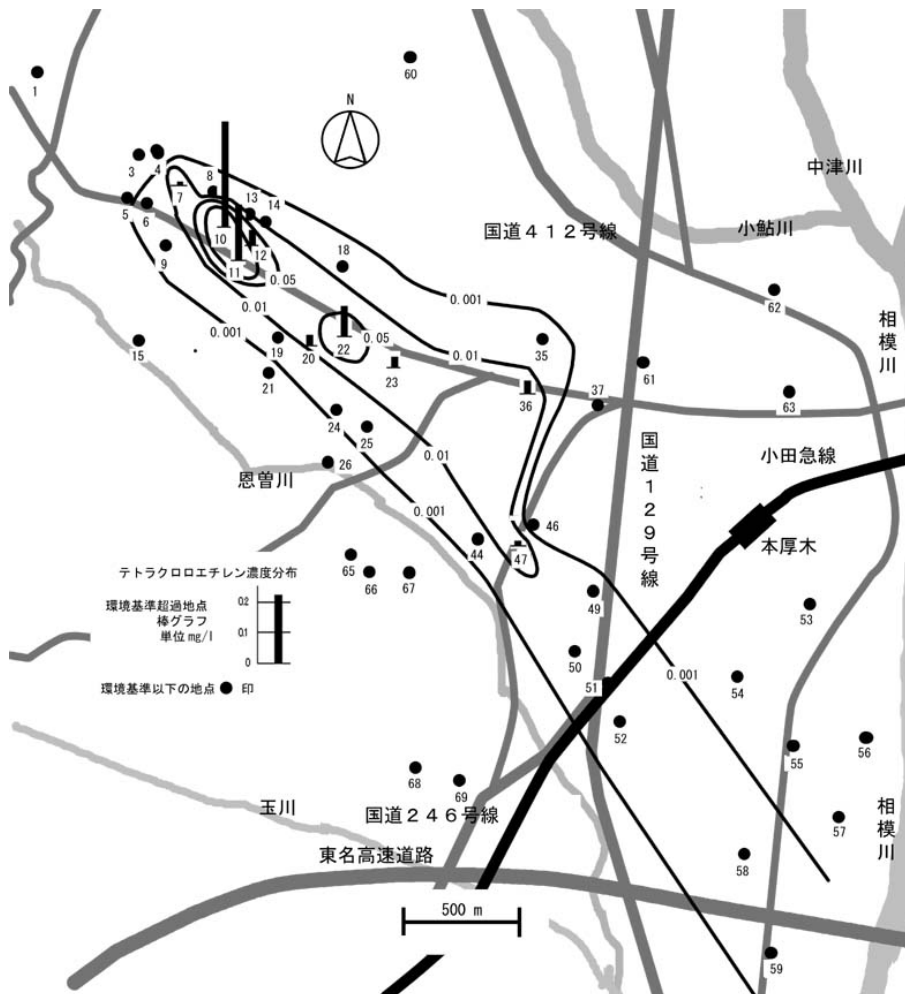
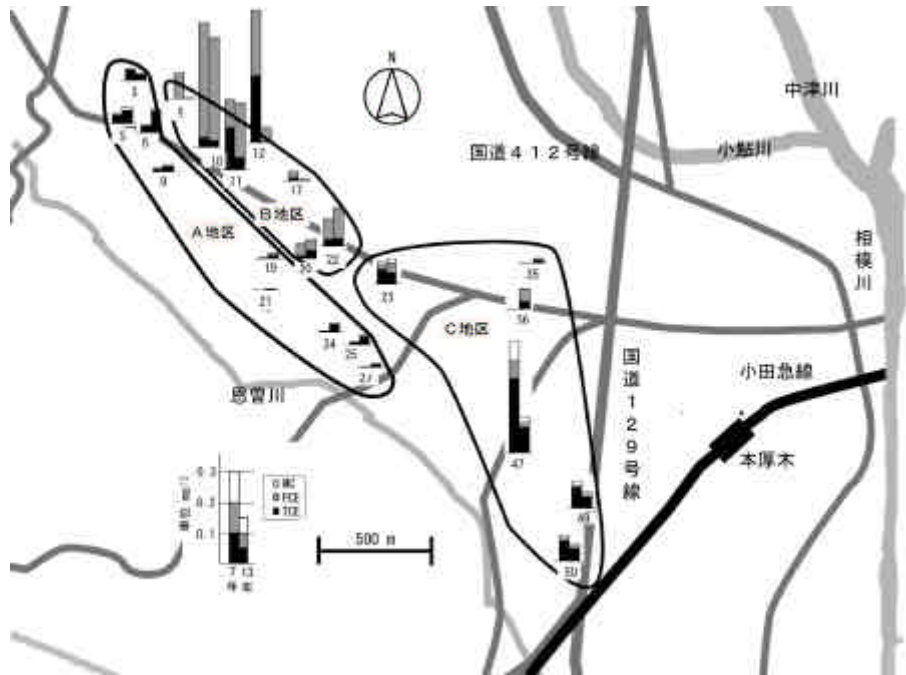


図5 汚染物質の成分構成と変化



これらの濃度分布の変化を比較すると、工業団地北西部の0.1mg/lを超える高濃度地域は平成7年と13年では地点も濃度もあまり変化が見られなかった。その下流側に点在していた0.05mg/lを超える地点は3か所から1か所に減少した。0.01mg/lの環境基準を超えるエリアは平成7年に比べそれほど大きな変化はないが、尼寺原台地辺縁部の北東方向に幅が広がる傾向にあった。また、0.001mg/l以上のエリアについても工業団地の北東及び南西方向に幅を拡大する傾向が見られた。

3.2 汚染物質の成分構成

平成7年及び13年ともに測定を実施した地点について、TCE、PCE及びMCの成分構成とその変化を図5に示した。

成分構成から見て、TCEが多く検出された工業団地の北西から南側に位置するエリア(A地区)、PCEが多く検出された工業団地の北側に位置するエリア(B地区)及びTCE、PCE、MCの3物質が検出された工業団地の東側から平野部に位置するエリア(C地区)の3地区に分類することができた。

A地区では、工業団地の最北西に位置する高濃度地点(図1参照、平成13年は井戸枯れで欠測)周辺の影響を受けている可能性がある。B地区ではPCEの他に多少TCEも見られることから、A地区の高濃度地点から、又はB地区内の別の汚染源からの影響を受けていることも考えられる。また、C地区ではA地区、B地区による複合汚染やMCを含めた別汚染源による影響が考えられる。

なお、3エリアに分類した地区の中でも、平成7年に高濃度で検出された地点は一部を除き減少傾向にあるのに対し、A地区では濃度は低いながらもTCEが増加傾向にあり、またB地区南東部からC地区北部についてもPCEなどに若干濃度の増加傾向が認められた。

4. 地形・地質

4.1 地質について

尼寺原台地及び相模川低地の北西 - 南東方向の地質断面模式図を図6に示した。

この地域は国道129号線の西側で尼寺原台地と相模川低地に分けられ、尼寺原台地を台地に沿って北西 - 南東断面で見た場合、地層は大まかに地表からローム層、砂礫層、粘土層、砂礫層、基盤となっており、不透水層である粘土層は不連続な状態で存在している。

また、相模川低地では沖積層と呼ばれる砂礫や粘土層が堆積した地層となっている。

工業団地の立地する面では深度20~30m以深に砂礫層が分布し、ローム層がそれを直接覆っている。これらの地質状況から見ると、台地部分の地下水は主に砂礫層中を流れていると考えられる。

4.2 地下水流動について

地下水の等水頭線図を図7に示した。

地下水は等水頭線の数値の大きい方から小さい方へ等値線にほぼ直交する向きに流れることから、北西から南東方向に向かって流動している。また、

図6 地質断面模式図(断面ABCは図7参照)

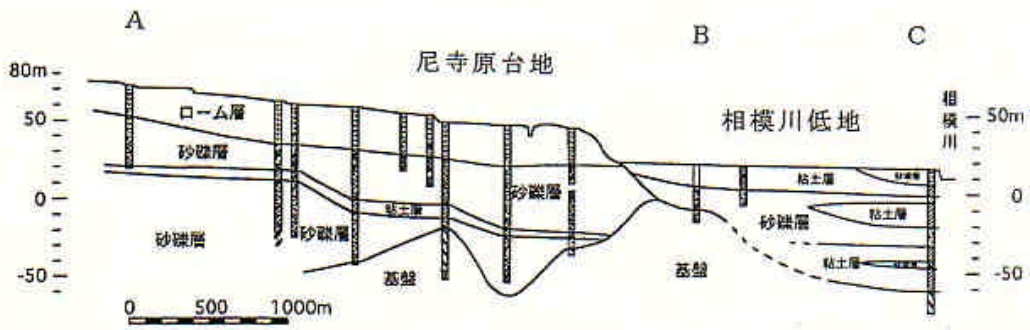
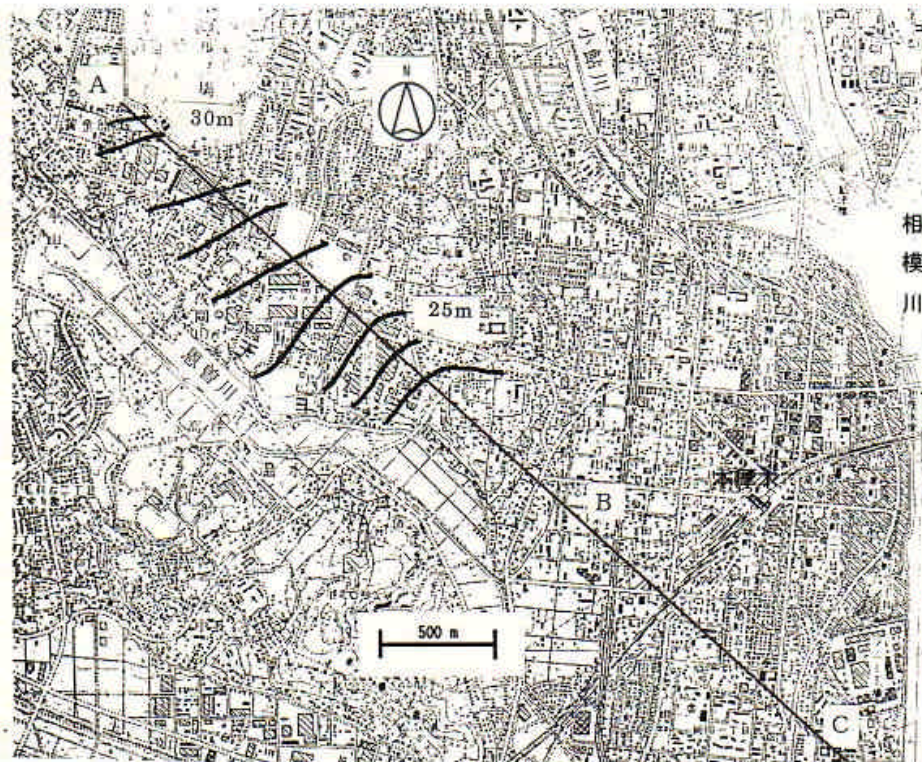


図7 地下水の等水頭線図



台地の辺縁部ではそれぞれ恩曾川，小鮎川に向かって流動し，数か所で湧水となって地表に流出している。

地下水の流れる速さは地下水面の傾きと地層の透水性から算出することができる。尼寺原台地の地下水の傾きは北西側の地下水頭標高約31mから南東側の地下水頭標高約23mまでの標高差8mに対し，水平距離が1.7kmあることから，傾きは8m / 1700m 地下水は砂礫層中に存在することから，地質の透水係数を0.1cm / sec，有効間隙率を0.3と仮定すると，下式で示すように地下水の流速は，年間約500mと推定される。

$$\begin{aligned} \text{地下水の実流速} &= \text{透水係数} \times \text{傾き} / \text{間隙率} \\ &= 0.1(\text{cm} / \text{sec}) \times (8 / 1700) / 0.3 \end{aligned}$$

$$= 0.0016(\text{cm} / \text{sec}) = 1.4(\text{m} / \text{day})$$

$$= 490(\text{m} / \text{year})$$

地下水の流速は，地質の透水係数によって大きく異なるが，日本での平均的な流速が1日当たり約1mと言われており，尼寺原台地の地下水流速はほぼ平均的な値である。地下水のTCE等の調査結果では，台地の北西から南東方向に帯状に分布しており，これらの汚染物質はローム層中を浸透した後，砂礫層中の地下水の流れののって広がったものと思われる。また，地下水が流動する砂礫層の中には不透水層となる粘土層が挟まれているが，場所によって不連続となっており，上層から浸透した汚染物質が粘土層の間隙からより深い地下水へ浸透しているものと思われる。

5. 企業の浄化対策

5.1 A社の対策

平成7年の県の調査後、企業で詳細調査を実施した結果、TCEによる土壤汚染が判明し、それ以後、次の浄化対策を実施している。

- A区：・土壤ガス吸引による高濃度汚染ポイントでの浄化 4地点（深度27～32m）
 - ・浄化用揚水井による地下水浄化 3地点（深度40～45m, ストレーナ位置26～36m）
- B区：・土壤ガス吸引による高濃度汚染ポイントでの浄化 1地点（深度25m）

なお、A社による浄化用揚水井の水質分析結果では、今回サンプリングした工業用井戸（深度100m）に比べ、1桁高い濃度で推移しているとのことであり、これらの井戸は、汚染物質が下流に流れることを防ぐバリアー井戸の役目を果たしているのではないかと考えられる。この浄化対策効果及び地下水の流動に伴う拡散によって、平成7年から13年にかけてTCEが大きく減少したものと思われる。

5.2 B社の対策

A社と同様に、企業の詳細調査でPCEによる土壤汚染が判明し、次の浄化対策を実施している。

- ・土壤ガス吸引による高濃度汚染ポイントでの浄化 5地点8本

このうち、2地点は深度約25mの吸引孔で浄化し、3地点は土壤ガス濃度の高濃度検出地点が深度19mであるため、同一地点でこれらの上下の深度6m及び25mで、2本の吸引孔により浄化している。

PCEについては、工業団地北西部のB社の下流側にある工場で依然高濃度であること、またその下流側では汚染の広がりはあるものの0.05mg/l以上の地点が減少していることなどを考慮すると、この工場の下流側に位置する工場の井戸がバリアーの役目を果たし拡散を防いでいるものと思われる。また、その下流域については地下水の流動に伴う拡散によって濃度が低下しているものと思われる。

したがって、B社の下流側にある工場の井戸の濃度を低下させるためには、汚染源での効果的な対策が必要と考えられる。

6. まとめ

平成7年にTCEとPCEの汚染が見られた地域を中心に、平成13年に再調査して汚染の状況を見たところ、両調査で、TCE、PCEともに検出範囲及び環境基準を上回っている範囲は尼寺原台地の南半分を北西から南東方向に工業団地を縦断し、さらに南東方向に及んでいることがわかった。

平成7年の調査に比べると、環境基準を超える

エリアはあまり変わらないが、高濃度で検出されていた地点は特にTCEで大幅に低くなっており、一部企業の浄化対策等の効果が見られた。一方、平成7年の調査で実施していなかった下流域平野部での環境基準超過や、前回検出されていなかった台地東側の辺縁部への広がりも見られた。

TCEについては、6年間で高濃度地域が大幅に減少していることから、現在の対策を続けることによって、環境基準を達成すると考えられる。

PCEについては下流側では多少低下しているが、上流側で依然高濃度にあることから今後も予断を許さない状況にある。高濃度地点での揚水の継続と、発生源における抜本的な浄化対策が必要と考えられる。