

# Evaluation of Groundwater Pollution in Kanazawa on Behavior of Tetrachloroethylene and Its Degradation Products

|       |                                                                                             |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者:<br>公開日: 2017-10-04<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En):<br>作成者:<br>メールアドレス:<br>所属: |
| URL   | <a href="http://hdl.handle.net/2297/24823">http://hdl.handle.net/2297/24823</a>             |

## テトラクロロエチレン及びその分解物質挙動解析に基づく 金沢市地下水の汚染評価

宮川 みどり\*, \*\*\*, 坂井 恒\*\*, 塩谷 稔哉\*,  
木津 良 —\*\*\*, 早川 和 —\*\*\*

### Evaluation of Groundwater Pollution in Kanazawa on Behavior of Tetrachloroethylene and Its Degradation Products

Midori MIYAKAWA\*, \*\*\*, Hisashi SAKAI\*\*, Toshiya SHIOTANI\*,  
Ryouichi KIZU\*\*\* and Kazuichi HAYAKAWA\*\*\*

\* Environmental Preservation Section, Environmental Affairs Department, Kanazawa City, 3-4-25 Sainen, Kanazawa, Ishikawa 920-0024, Japan

\*\* Tomuroshinbo Reclaimed Land Site, Environmental General Affairs Section, Environmental Affairs Department, Kanazawa City, 48-1 Ri Tomuroshinbo, Kanazawa, Ishikawa 920-1105, Japan

\*\*\* Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University, 13-1 Takara-Machi, Kanazawa, Ishikawa 920-0934, Japan

#### Abstract

Groundwater pollution with tetrachloroethylene (or perchloroethylene, PCE) has been found in several sites in Kanazawa City from 1982. In this study, the concentrations of PCE and its degradation products (trichloroethylene (TCE), and cis-1,2-dichloroethylene (cis-DCE)) in well water samples in two contaminated areas in Kanazawa City were analyzed. One is area T located in the center of the city, and another is area I located in the southwest of the city. Groundwater was sampled at 19 existing wells at area T and at 5 existing wells at area I. Using the result of the analysis of the total molar concentration of the three compounds and the degradation ratio calculated from the molar fraction of the products (TCE+cis-DCE), contaminations were evaluated in two areas. In area T, 1) although the polluted area increased until 2000, it was decreased in 2003. This tendency was influenced by the relationship between the total concentration of VOCs and the distance from the tentative contamination source. 2) The decrease in the area polluted with PCE described above might be due to pumping of the polluted groundwater from August 2000. 3) The increase in the degradation ratio of PCE suggested that the nonaqueous PCE liquid phase had already disappeared at the contamination source. In the area I, 4) the decrease in the PCE concentration and the increase in the PCE degradation ratio suggested that the original liquid PCE did not exist at the contamination source. 5) The distribution of the degradation ratio of PCE suggested that the contamination source existed in the east-southeast direction of this group of research wells.

**Key words:** tetrachloroethylene, PCE, groundwater contamination, degradation product, effect of pumping

#### 1. はじめに

テトラクロロエチレン(PCE)等の揮発性有機塩素化合物(VOCs)による土壌・地下水汚染が全国各地で顕在化している。これらの汚染サイトのなかには、土壌・地下水中に依然としてVOCsが原液のままとどまっている(原液溜まり)場合もあり、正確に汚染状況を把握することが、適切にかつ効率的に汚染処理対策を実施する上で必要である。

また近年、Monitored Natural Attenuation(MNA)「科学的自然減衰」が欧米で地下水汚染浄化手法の一つとして注目されている<sup>1, 2)</sup>。この背景には、例えば高濃度汚染源の

除去を実施しても、一旦汚染された地下水は汚染が低濃度・広範囲に広がっているために、その人為的浄化は長期化し、費用も高騰する等の現実的問題がある。MNAは地下水中の汚染物質の自然減衰を科学的に測定し評価した上で、各汚染サイト固有のこのメカニズムを、従来の浄化手法に組み入れるもので、適用にあたっては地下水の流動はもちろんのこと、汚染状況に関する十分なデータがそろっていること等が前提となる。

このように、どのような汚染処理対策を実施するにしても、また実施しない場合も、各汚染サイトにおける、水文地理、汚染濃度分布等の把握は不可欠である。

一方、PCEは土壌・地下水中で還元的脱塩素作用によ

\* 金沢市環境部環境保全課 〒920-0024 石川県金沢市西念 3-4-25

\*\* 金沢市環境部環境総務課戸室新保理立場 〒920-1105 石川県金沢市戸室新保 48-1

\*\*\* 金沢大学大学院自然科学研究科 〒920-0934 石川県金沢市宝町13-1

り、より塩素数の少ないトリクロロエチレン (TCE), ジクロロエチレン (DCE) 等に生物分解される<sup>3)</sup>。そのため、PCEの汚染状況を把握するためにはこれら分解生成物等を含めた総合的調査・解析が重要である。

2003年現在、金沢市域にはPCE汚染サイトが2カ所存在している。著者らは前報<sup>4)</sup>で金沢市域における地下水流動を、一般水質項目を用いたキーダイヤグラム、並びに多変量解析手法により明らかにした。この地下水流動に基づいて、市域に存在するPCE汚染サイトの1カ所で、市内中心部のT町汚染地区について、PCEとその分解生成物の化学量論的關係<sup>5-8)</sup>から、汚染物質動態及び分解特性について推定した。その結果、この汚染地区ではPCE, TCE, cis-DCEのモル濃度の和と汚染源からの距離の間には負の相関関係があり、それとは逆に、PCE分解度 (PCE, TCE, cis-DCEのモル濃度の和に占める分解生成物モル濃度の割合) は汚染源からの距離に応じて高くなっていった。また、汚染源付近には原液状のPCEが残留している可能性が示唆された。当地区は、汚染濃度レベルが高かったため、金沢市では2000年8月より、地下水揚水による浄化対策を実施している。一方、残る1カ所の汚染サイトであるI町汚染地区は、汚染濃度レベルが環境基準値付近と低いため自然浄化に任せている。

そこで本研究では、T町地区について、PCE汚染濃度の1982年からの長期的推移と、2001年以降のPCEとその分解生成物の挙動解析を行い、その結果から地下水汚染状況の経過と浄化対策の効果を評価した。また、I町地区についても、PCE分解生成物等を用いた地下水汚染解析手法を適用し、PCE汚染状況の評価を行った。

## 2. 調査

### 2.1 調査地区の概要

金沢市は市域面積467.77 km<sup>2</sup>で、Fig. 1に示すとおり市域の標高は南東が高く、北西に行くにしたがって低くなり

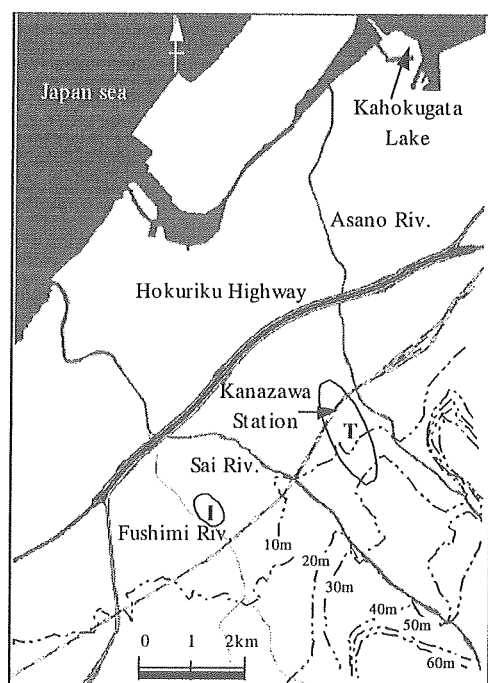


Fig. 1 Location of T and I areas contaminated with PCE

日本海へと続いている。地質的には、南東、丘陵台地部は主として第四期洪積世の卯辰山層と大桑層で構成されており、これらの砂礫層中の地下水を採水している場合が多い。一方、金沢市南方15 kmにある手取川の扇状地堆積物が、市域南西部から北東部の河北潟付近にまでのびて、さらにこの上に、犀川、浅野川の扇状地が複合して沖積平野を形成している。平野部ではこれらの扇状地堆積物層が主要な帯水層となっている。

今回調査を行った井戸は観測井ではなく、すべて実際に使用されているもので、多くは深さ50~200m程度であり、複数のストレーナー (取水口) がいくつかある帯水層に配置されている。金沢市域の平野部においては深さ200mまでに第1, 第2, 第3帯水層が存在するが、その湧出能力及び平野部に広く分布しているという点から、ほとんどの井戸は第1帯水層の地下水を取水している<sup>13)</sup>。

地下水の流れは、基本的に地形に沿って、南東→北西であるが、地形の傾きの小さい平野部では地下水位等高線の幅も広く、また人為的揚水の影響も受けやすい。上述の手取川扇状地堆積物が南西から北東に向かってのびていることも、地下水の流れに影響を与えていると考えられる。

そのため著者らは前報<sup>4)</sup>で、市内最大のPCE汚染地区T (Fig. 1)のある犀川と浅野川に挟まれた地域について、一般水質項目の濃度データを用いて多変量解析を行い、地下水の流れを推定した。その結果、この地域には南から北へほぼまっすぐな地下水の流れがあることが明らかになっている。

### 2.2 試料及び分析方法

採水は1999~2003年にかけて1~2月と6月に実施した。原則として井戸に設置されているポンプを用いたが、その際ポンプ起動後に十分時間が経過し水質が安定してから採水するよう留意した。また採水した試料は冷蔵して直ちに実験室に持ち帰り、速やかに分析に供した。

PCE及びその分解生成物はヘッドスペース-GC/MS法 (JIS準拠) で分析した。

後でFig. 2に示す等濃度線は、T町汚染地区に分布する115の調査井戸のデータを用いて作成したものである。ただし、1982~1997年調査データはPCEのみについて、ヘッドスペース-GC-ECD法による分析を行って得られたものである。

### 2.3 PCE及びその分解生成物挙動解析方法

PCEは土壌・地下水中で生物学的あるいは非生物的作用を受け、還元的脱塩素反応により、TCE, DCE類 (主としてcis-DCE) に分解される。しかし、cis-DCEは極めて分解されにくく、人工的に培養されたcis-DCE分解微生物の導入等がなければ、cis-DCEで残留する<sup>5-12)</sup>。

そのためTCE及びcis-DCEの供給がPCEの分解以外にない場合、PCE, TCE及びcis-DCEのモル濃度之和は分解反応の全期間を通して一定で、分解前のPCEモル濃度に相当する<sup>5-8)</sup>。またこのモル濃度之和に対するPCE分解生成物モル濃度 (TCEとcis-DCEのモル濃度之和) の割合 (%) から、対象となる汚染サイトのPCEの分解度が以下の式(1)のように数量化できる。

$$\text{PCE分解度 (\%)} = \frac{[\text{TCE}] + [\text{cis-DCE}]}{[\text{PCE}] + [\text{TCE}] + [\text{cis-DCE}]} \quad (1)$$

ここで、[TCE]はTCEのモル濃度 ( $\text{nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ )、[cis-DCE]はcis-DCEのモル濃度 ( $\text{nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ )、[PCE]はPCEのモル濃度 ( $\text{nmol}\cdot\text{l}^{-1}$ )である。

地下の土壌や帯水層に存在する原液状のPCEは、地下水に溶け出し、濃度が低くなってから微生物による分解を受けると考えられる。そのため分解度は、単純に原液状の汚染物質が地下に浸透してから時間ではなく、PCEが地下水に溶け出し、少なくとも飽和濃度以下になり<sup>14)</sup>、分解が開始されてからの時間に依存的に大きくなる。

つまり、分解度が低い井戸ほど汚染源に近く、この数値が経年的に変化しないときは、上流に位置する汚染源の土壌あるいは帯水層の底に原液状のPCE(原液溜まり)が依然として存在していると推定される。逆に、分解度が高く、また経年的にその数値が上昇している場合は、地下水流動変化や栄養塩類等の注入によるPCE分解微生物増加等、地下環境の急激な変化がない限り、汚染源の原液溜まりは消失、もしくは移動した可能性があると考えられる。

このように、PCE及び分解生成物モル濃度と分解度を解析することにより、PCE濃度だけで判断するより、詳細な汚染状況評価ができると考えられる。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 金沢市におけるVOCsによる地下水汚染状況

金沢市では、1982年の地下水汚染調査でPCE汚染が発見されて以来、市内全域の井戸(931井戸)について調査を実施し、数カ所の汚染地区を確認した<sup>13)</sup>。このうち2003年2月現在、環境基準値を超える汚染井戸が存在する地区は、Fig. 1に示したとおり、犀川、浅野川に挟まれた市内中心部のT地区と、市域の南西、伏見川に沿ったI地区の2カ所である。

金沢市ではPCEは、クリーニング業を中心に1970年頃から使用されている。最も多く使用されていた時期は1992~1993年度で年間48t、近年は減少傾向にあるものの未だに年間30t程度である。使用事業所は市内全域に分布しているが、現在ではクローズドシステムでの使用がほとんどで、1982~1985年までに把握している汚染地区の他には新たな汚染地区は発見されていない。つまり、現在も残る汚染地区のPCEは1985年以前からのものと考えられる。

一方、TCEは使用量自体が非常に少なく、現在は年間5kg程度で、また過去に使用していた事業所も限られ、その分布は先述のT地区、I地区とは重ならない。実際、これらの地区では過去に環境基準を超えるTCEが検出されたことはない。また、cis-DCEは市内の事業所等での使用実績はない。したがって、以下の考察では当該汚染地区で測定されたTCE、cis-DCEはすべてPCEの分解生成物として取り扱う。

#### 3.2 T地区の汚染解析

##### 3.2.1 PCE等濃度線図の経年変化

Fig. 2は、T町汚染地区における、PCE地下水汚染等濃度線図の経年変化を示す。1982年の汚染発見時から既に、PCEの環境基準値( $10\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )を超える範囲が1km以上にわたって広がっており、またその範囲の大部分は $50\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ も越えていた。さらに、1982~1984年から1999~2000年までは、汚染範囲は拡大の一途をたどっているものの、 $50\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上の高濃度域はほとんど変わっていない。それぞれの年代で、調査地点中最高濃度を示す井戸は、いつも変わらずこの汚染範囲の南端に位置していた。これらのことから、汚染源はこの汚染範囲の南端付近と考えられるが、この付近はビルの林立する市内中心部であり、ボーリング調査や、土壌ガス調査等を行うことは非常に困難である。しかし植え込みや公園等、一部の土壌の露出した地点で土壌ガス調査を実施したところ、全地点でPCE不検出であり、この結果から不飽和帯には原液溜まりが存在している可能性は低いと考えられた。また、PCE使用事業所は汚染発見当時にはこの地区に存在しなかった。従って、汚染源はそれ以前に存在していた事業所と推定されるが、特定には至っていない。

そのため金沢市は、長年にわたって汚染地区のモニタリングや、汚染井戸についての飲用防止指導などの対策は行ってきたものの、本格的な浄化対策には着手できずにいたが、2001年8月より、Fig. 3に示す③の井戸で地下水揚水法による汚染拡大防止対策を開始した。年間約 $2\ \text{万}\ \text{m}^3$ (日量 $50\ \text{m}^3$ )の地下水を揚水し下水道で処理、これにより下流域への汚染物質の拡散を防止する。Fig. 2によると、2002~2003年調査では汚染範囲は縮小し、また高濃度域が縮小した上に、若干下流方向に移動したことがわかる

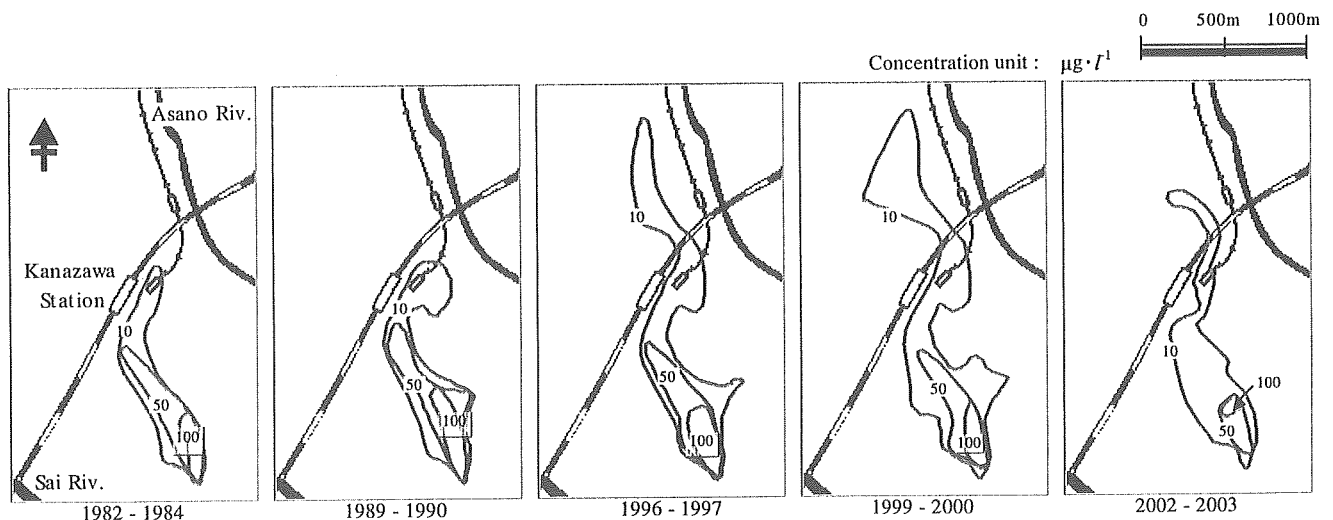


Fig. 2 Time course of PCE-polluted groundwater in T area

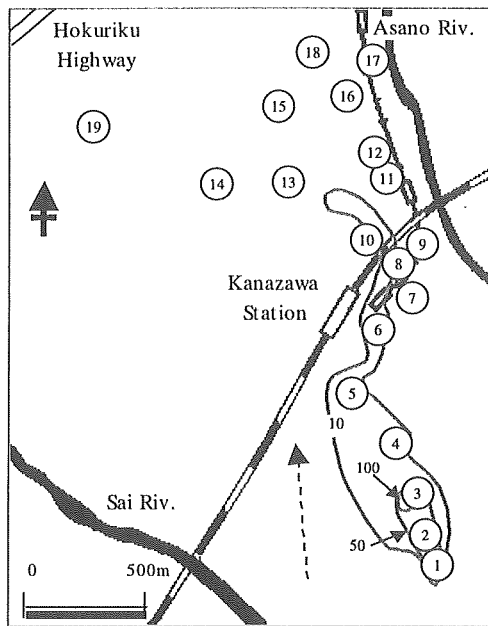


Fig. 3 Sampling wells in T area

Lines 10, 50 and 100 mean the contaminated levels of 10, 50 and  $100\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  in 2002-2003.

Broken arrow indicates the flow direction of groundwater.

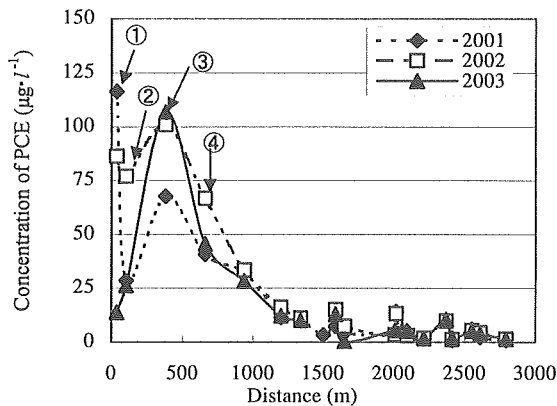


Fig. 4 Relationship between PCE concentration and distance from the tentative contamination source

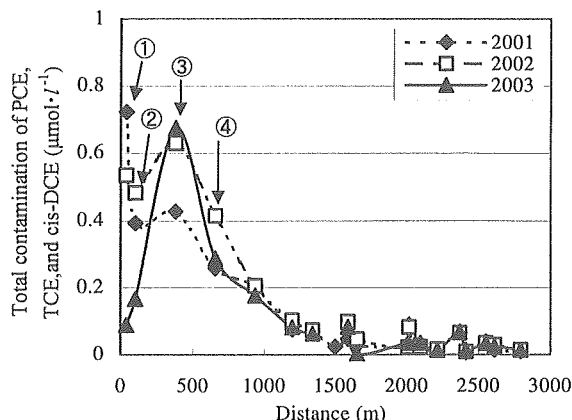


Fig. 5 Relationship between the total PCEs concentration and distance from the tentative contamination source

### 3.2.2 PCEとその分解生成物濃度経年変化

Fig. 2 の 2002~2003 年調査における等濃度線の変化をより詳しく検討するため、2001~2003 年の PCE とその分解生成物のデータを用いて、経年的な解析を行った。調査井戸は Fig. 3 に示す 19 井戸であり、多変量解析により判明した地下水の流れ<sup>4)</sup>に沿って、上流から順に番号を付した。これまでに最高濃度が検出されていた汚染区域南端の井戸 (①の南 37 m) を仮の汚染源とし、そこからの地下水の流れに沿った距離と PCE 濃度との関係を示した (Fig. 4)。この図から、対策を開始した翌年から 3 年の間に、①の濃度は著しく低下した反面、③の濃度は上昇傾向を示し、高濃度域が仮汚染源から下流に移動していることがわかる。しかし、②では 2001 年には周辺の井戸に比べ極端に低かった PCE 濃度が 2002 年にいったん上昇したものの 2003 年には 2001 年と同程度に戻っており上述の全体的傾向とは若干異なっている。

PCE は地下水流により移流分散してその汚染範囲が拡大していくとともに、地下水中等で分解されて TCE や cis-DCE が生成される。したがって、Fig. 4 のように地下水中の PCE 濃度変化だけでは、その変化の原因が移流分散によるのか、分解によるのか、あるいはその両方によるのか判断がつかず、②における場合のようにその経年的傾向を把握することができない。そこで、先に述べた分解生成物モル濃度を用いることによって、分解以外の因子、つまり地下水流による汚染物質の移流分散の経年変化を調べた。

分解生成物モル濃度と仮汚染源からの距離との関係を Fig. 5 に示す。2001 年は仮汚染源からの距離が増えるにしたがって、モル濃度は減少していた。しかし 2002 年には①でモル濃度の低下傾向が見られ、逆に③でモル濃度の上昇が起こっている。この傾向は、2003 年にはより顕著になっている。また②では 2001 年から 2002 年には若干上昇するものの大きな変化はなかったモル濃度が、2003 年には著しく低下した。明らかに高濃度域は下流側へ移動しているが、④では 2002 年に一旦上昇するものの、2003 年には 2001 年程度に戻っている。③の井戸は、従来は消雪用のみ使用されていたが、浄化対策として年間通して揚水を実施している井戸である。

Fig. 2 で 1996-1997 年から 1999-2000 年、すなわち揚水による汚染浄化対策を実施する前の 3 年間の等濃度線の変化は  $10\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  の範囲が広がっているだけで、 $50, 100\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  の範囲には大きな変化がみられなかった。それに対し、1999-2000 年から 2002-2003 年の 3 年間では、 $10\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  の範囲が縮小し、さらに  $50, 100\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  の範囲も揚水対策井戸である③を中心に縮小及び移動した。これらのことから、③における揚水は、汚染物質の下流域への拡散を防止するだけでなく、汚染源付近に対しても影響を及ぼした可能性が示唆された。

### 3.2.3 PCE 分解度経年変化

PCE 分解度は、仮汚染源からの距離が増加するに従って高くなる傾向を示した (Fig. 6)。②では 2001 年の PCE 分解度が 56 % と著しく高かったものの、2002 年、2003 年には下がっていた。まわりの井戸の分解度が低いことから、2001 年に限って分解を進ませた理由は土壌・地下水にあるとは考えにくい。しかしその詳細についてはデータがなく明確ではないため、分解度の考察からは

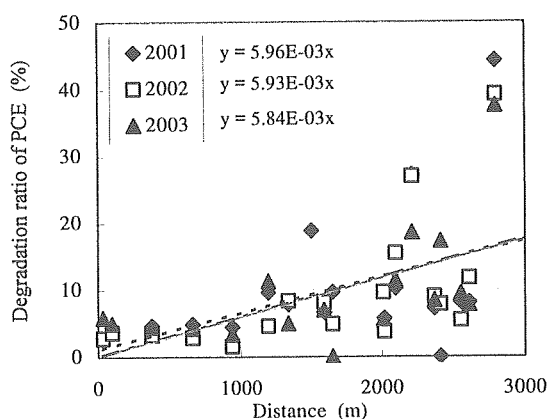


Fig. 6 Relationship between degradation ratio of PCE and distance from the tentative contamination source

Table 1 Change in degradation ratios of 4 wells near the tentative contamination source

| Well No. | Distance* (m) | Degradation ratio of PCE (%) |      |      |
|----------|---------------|------------------------------|------|------|
|          |               | 2001                         | 2002 | 2003 |
| 1        | 37            | 2.72                         | 2.76 | 5.84 |
| 2        | 101           | -                            | 3.66 | 4.91 |
| 3        | 378           | 4.59                         | 4.25 | 4.39 |
| 4        | 662           | 4.81                         | 4.01 | 4.19 |

\* Distance from the tentative contamination source

除外した。

2001~2003年の間に、PCE濃度も (Fig. 4) モル濃度 (Fig. 5) も距離との関係に経年的変化がみられたが、この汚染地区全体としては、ばらつきはあるもののPCE分解度と仮汚染源からの距離の関係はほとんど経年的に変化していない。Fig. 6にそれぞれの年の関係式を示したとおり、その傾きはいずれも  $5.9 \times 10^{-3}$  ( $\% \cdot m^{-1}$ ) 程度である。

しかし、Table 1に示すように、浄化対策井戸 (③) 付近についていえば、汚染源に最も近いと考えられる①、②は、浄化対策開始直後の2001年にはまだ低かった分解度が2003年には急激に上昇し、これに対し③及びこれより下流にある④はほとんど変化していない。

分解度は汚染源、それも原液溜まりの存在する汚染源に近いほど低くなるメカニズムは上述したとおりである。つまり③の井戸での揚水対策により、①付近にあった原液溜まりが下流にシフトしたか、もしくは消失した可能性が考えられる。Fig. 2, 4のPCEの濃度変化だけを見ると、2002~2003年に仮汚染源の①付近から③付近へと原液溜まりが移動した可能性が考えられる。その場合、③では原液状PCEが地下水に溶けだしてから時間が短くほとんど分解を受けていないためPCE分解度は2001年よりも低下し、④についても同様の傾向になるはずである。しかし実際には両者とも2001~2003年で大きな変化がない。このことから、少なくとも③における揚水による影響範囲内の原液溜まりは消失したと推定される。上流域における汚染地下水揚水と、下流域での移流分散 (希釈) や生物分解による自然浄化により、この汚染地区の汚染範囲は今後さらに縮小してゆくものと考え

えられる。

### 3.3 I地区の汚染解析

#### 3.3.1 PCEとその分解生成物濃度の経年変化

伏見川に沿ったI地区 (Fig. 1) はもともと井戸のあまりない地区で、調査点が非常に少ない。また地形は平坦で地下水位等高線の幅が広く、地下水の流動を判断することは難しいが、おおまかには川の流れに沿っているものと考えられる<sup>13)</sup>。そこで、T地区の結果を応用して、PCEとその分解生成物の濃度の経年変化とPCE分解度から地下水汚染状況の評価を試みた。調査地点はFig. 7に示すとおりである。

これらの地点におけるPCE濃度の経年変化をFig. 8に示す。この中で最もPCE濃度が高い①の井戸は明らかに低下傾向を示している。④、⑤は横ばいか、僅かに低下傾向にある。

#### 3.2.2 PCE分解度経年変化

地点別PCE分解度の変化をFig. 9に示す。井戸ごとに違いはあるが、最も分解度が低い①においても10%を越えており、T地区に比べて高い。また、①<②<④<③<⑤の順に分解度が増加しており、小さいほど汚染源に近いと考え、これら5つの調査井戸の分布位置から東~南東方向に汚染源が存在していた可能性がある。実際、①の井戸の南東約500mの位置に1985年調査のPCE濃度が  $130 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  に達する井戸が存在してい

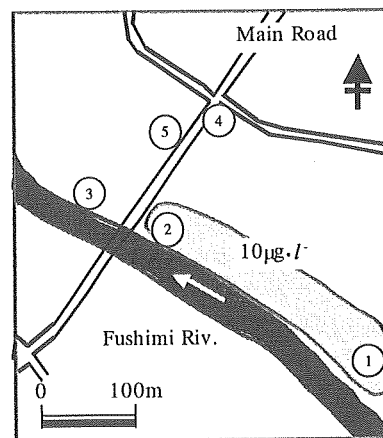


Fig. 7 Sampling sites in area I for the analysis of degradation products  
 $10 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  mean the contaminated level in 2002-2003.

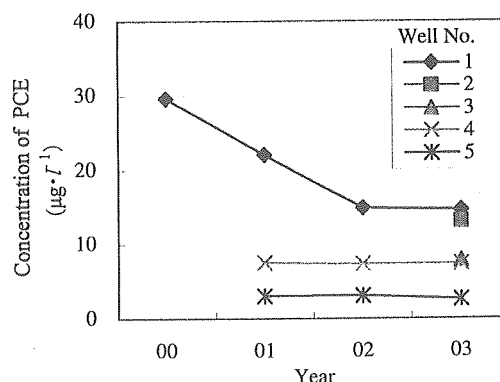


Fig. 8 Changes of PCE concentrations at five sites in Fig. 7

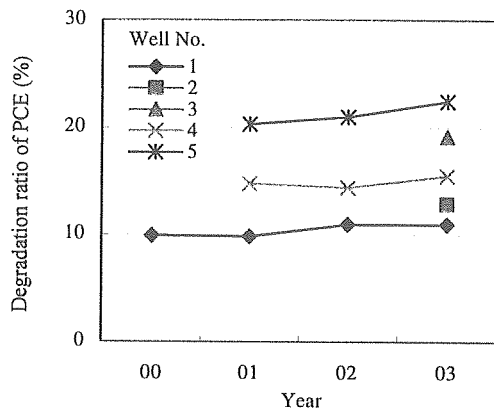


Fig. 9 Changes in PCE degradation ratios at five sites in Fig. 7

た。この井戸は1987年には廃止になっており、その後の調査データはないものの、この井戸の周辺にI地区の汚染源が存在していたと考えられる。これらのことから、今回の調査井戸付近に汚染源はなかったか、あったとしてもかなり以前に原液溜まりが消失していたと考えられる。さらに、わずかにではあるがすべての地点で分解度が上昇している。この調査井戸付近の上流に汚染源があり、そこにある原液状PCEが地下水に溶解してから、移流分散により調査井戸群に到達するまでの時間は、地下水流動に大きな変化がなければほぼ一定である。すなわち分解を受ける時間=程度は多少のばらつきはあっても変化がないはずである。逆に今回の調査結果のようにすべての地点で分解度が上昇傾向にあったことは、原液溜まりが汚染源に既に存在していないためと推定される。

また、③及び⑤は揚水量の多い井戸で、年間合わせて約20万m<sup>3</sup>の地下水が使用されている。Fig. 8の結果と考え合わせると、これらの井戸での揚水は事実上下流域への汚染拡散を防止していると推定される。さらに原液溜まりも消失している可能性が高く、汚染濃度も環境基準を少し超える程度であることから、この地区については揚水以外の浄化対策を行っても効果は薄いと考えられる。

#### 4. 結 論

金沢市内の2カ所のPCE地下水汚染地区について、PCEとその分解生成物のモル濃度と、PCE分解度を用いて地下水汚染状況の解析を試みた結果、次の結論を得た。

##### T地区について

1) 汚染濃度等高線図から、2000年までは汚染範囲は拡大傾向にあったが、2003年には縮小に向かっていることが判明した。この傾向はモル濃度と仮汚染源からの距離の関係にも顕著に現れていた。

2) 汚染範囲の拡大から縮小への転換の要因として、2000年8月より実施の揚水による浄化対策の効果が考えられた。

3) PCE分解度の追跡により、汚染地下水揚水による浄化対策が汚染源に残留していた汚染物質に及ぼした影響も解析できた。すなわち、汚染源付近と想定される

地点の分解度が経年的に上昇したことから、少なくともこの揚水による影響範囲内の原液溜まりは既に消失した可能性が示された。

##### I町地区について

4) PCE濃度は明らかな低下傾向にあり、環境基準をわずかに超えるレベルである。PCE分解度は上昇傾向にあった。このことから、この汚染源には原液溜まりは存在していないと推定された。

5) PCE分解度の分布から、汚染源はこの調査井戸群の東～南東方向と推定された。この方向には15年前に廃止されたが、かつてPCEが高濃度に検出された井戸が存在し、この井戸付近にI地区の汚染源が存在していた可能性があった。

(原稿受付 2003年6月13日)

(原稿受理 2003年9月26日)

#### 参 考 文 献

- 1) 前川統一郎, 中杉修身, MNA 研究部会 (2000) MNA (科学的自然減衰) の定義と基本的考え方, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第7回講演集, 13-14.
- 2) 白鳥寿一, 中杉修身, MNA 研究部会 (2000) MNA (科学的自然減衰) の適用条件に関する研究, 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第7回講演集, 117-1184.
- 3) 矢木修身, 内山裕夫 (1989) 揮発性塩素化脂肪族炭化水素の微生物分解, 微生物, 5, 535-544.
- 4) 宮川みどり, 小寺康文, 塩谷稔哉, 木津良一, 早川和一 (2003) 金沢市における地下水流動の多変量解析とそれに基づくテトラクロロエチレン及びその分解物質挙動解析, 水環境学会誌, 26, 437-442.
- 5) 二宮勝幸, 酒井学, 柏木宣久 (1992) テトラクロロエチレン分解反応モデルを用いた地下水汚染解析方法, 水環境学会誌, 15, 822-827.
- 6) 二宮勝幸, 酒井学 (1993) テトラクロロエチレン分解反応モデルを用いた地下水汚染解析方法, 水環境学会誌, 16, 742-746.
- 7) 二宮勝幸, 大場栄次, 酒井学, 若林信夫, 悪七由美子 (1994) 分解反応モデルを用いたテトラクロロエチレンによる汚染地下水の評価, 水環境学会誌, 17, 383-389.
- 8) Ninomiya, K., Sakai, M., Ohba, E., and Kashiwagi, N. (1994) Kinetic model for the biotransformation of tetrachloroethylene in groundwater, *Water Science and Technology*, 30, 13-18.
- 9) Volk, R. M., Neger, M. and Schule, J. (1988) A contribution to the biodegradation of volatile chlorinated hydrocarbons in groundwater and sewage, *Contaminated Soil*, 2, 1159-1162.
- 10) 環境庁水質保全局 (1989) 昭和63年度地下水汚染実態調査結果 (ジクロロエチレンの地下水汚染状況について) .
- 11) 矢口久美子, 渡辺学, 平田一郎, 伊藤武, 濱田明 (1991) 嫌気性土壌細菌によるテトラクロロエチレンの生分解に関する研究, 水質汚濁研究, 14, 479-486.
- 12) 吉川サナエ, 林久緒, 山本順昭, 大島道孝, 横田覚 (1992) 川崎市における地下水中のトリクロロエチレン, ジクロロエチレンの低沸点有機塩素化合物の調査結果, 水環境学会誌, 15, 762-767.
- 13) 金沢市環境保全課 (2000) 土壌・地下水汚染対策研究会報告書.
- 14) 徳永隆司, 永淵義孝, 田上四郎, 世良暢之, 北森成治, 常盤寛 (1992) テトラクロロエチレンの微生物分解, 第19回環境保全・公害防止研究発表会講演集, 88-90.