地下水や土壌中の揮発性塩素化有機化合物の 分解生成物

渡辺 正敏, 鎌田 敏幸, 山守 英朋, 伊藤 英一

名古屋市環境科学研究所 (〒457 名古屋市南区豊田5-16-8)

[平成 8 年12月 2 日受理]

Degradation Products of Volatile Chlorinated Organic Compounds (VOC) in Groundwater and Soil

Masatoshi WATANABE, Toshiyuki KAMATA,
Hidetomo YAMAMORI and Eiichi ITO

Nagoya City Environmental Science Reserch Institute
(5-16-8 Toyota, Minami-ku, Nagoya 457)

[Received December 2, 1996]

Summary

An analytical method of vinylchloride (VC) and chloroethane (CA), i. e., degradation products of tetrachloroethylene (PCE), trichloroethylene (TCE) and 1,1,1-trichloroethane (TCA) in groundwater, was studied using a headspace/gas chromatography/mass spectrometry (HS/GC/MS)

In order to analyze VC and CA, the GC column oven was kept at an initial temperature of -20°C for 2min to separate VOC peak and methanol peak, then ramped at a rate of 10°C/min to 200°C. The mass spectra were measured in the mass range 35~200 amu to avoid background noise. VC and CA were detected in the groundwater contaminated by *cis*-1,2-dichloroethylene (*cis*-1,2-DCE). VC was detected more frequently in shallower wells (6 samples) than in deeper wells (6 samples).

In the case of soil core samples contaminated by PCE, concentration of PCE, TCE and *cis*-1,2-DCE were higher in the clay layer and the silt layer than in the sand layer. PCE concentration in the upper clay layer was higher than in the lower silt layer, but *cis*-1,2-DCE concentration was almost equal between the two layers. The behavior of *cis*-1,2-DCE in soil was different from that of PCE.

The results suggested that *cis*-1,2-DCE in the upper clay layer transferred easily to the lower silt layer than PCE, and that the biodegradation of PCE proceeded in subsurface soil including organic carbon.

Key words: VOC, degradation products(VC, CA and 1,1-DCA), groundwater, soil, HS/GC/MS

1. はじめに

環境庁によって行われた1982年度の化学物質による地下水汚染調査から、テトラクロロエチレン (PCE), トリクロロエチレン (TCE), 1,1,1-トリクロロエタン (TCA) による汚染の存在が明らかになった。さらに1988年度の全国調査では、PCE等上記3物質に加えて、1,1-ジクロロエチレン (1,1-DCE), *cis*-1,2-ジクロロエチレン (*cis*-1,2-DCE), *trans*-1,2-ジクロロエチレン (*trans*-1,2-DCE) も高い検出率 (359検体中、それぞれ15.9%, 31.2%, 12.5%) で検出され、1,1-DCE, *cis*-1,2-DCEはWHOのガイドラインやEPAの基準値を越える場合もあった。又、1982年度と比較して汚染は拡大傾向を示しており、その汚染源としてPCE, TCE, TCAの生物分解、又は非生物分解が関与している可能性が高いことが示された¹⁾。著者らも10年以上にわたって地下水中の化学物質を調査しており、当初はPCE, TCE, TCAを、さらに数年前よりPCE等の濃度の高い井戸を対象にジクロロエチレン類 (DCE類) を加えて調査を継続している。

PCE等は難分解性であるが、矢口ら²⁾はPCEは嫌気性条件下で土壤微生物によってDCE類、特に*cis*-1,2-DCEを最終分解生成物として分解すると報告している。著者らの地下水調査でもPCE等より*cis*-1,2-DCEの濃度が高い場合があり、土壤微生物による分解への関与が疑われている。そこで、微生物による脱塩素反応により、PCE, TCEからDCE類、さらにビニルクロライド (VC) への分解も考えられるが、これについては矢木ら³⁾はDCE類も土壤の種類や異性体によって分解挙動は異なるが60日程で分解すると報告している。小松ら⁴⁾は下水処理場の消化槽汚泥に*cis*-1,2-DCEを添加して、分解実験を25℃と35℃で行ったところ、25℃では10日間程でVCに完全に分解して、エチレンさらにエタンにまで分解したと報告している。また、金ら⁵⁾は土壤にTCAを添加して分解実験を行い、分解生成物として1,1-ジクロロエタン (DCA), クロロエタン (CA) を確認している。しかし、これらの報告はバイアルビンでの分解実験の結果であるので、実際の地中環境で確認する必要がある。そこでHS/GC/MSを用いてVC, 1,1-DCAそしてCAの分析法を検討すると共に、分解が進んでいる井戸、つまり過去の調査で*cis*-1,2-DCE濃度の高かった井戸を選んでこれらの分解生成物を調査したので報告する。

又、10年以上にわたって調査している汚染井戸のPCE等の経年変化や、排気ダクトからのPCEで汚染された地点のボーリングによって得られた深度別地下水や、土壤コアサンプルのPCEや分解物の垂直分布も併せて報告する。

2. 実験方法

2. 1 試薬

標準品はPCE, TCE, TCA, 1,1-DCE, *cis*-1,2-DCE, *trans*-1,2-DCEについては、東京化成社製の混合標準液である水中の揮発性有機化合物分析用標準溶液 (各1 mg/ml, メタノール溶液), 1,1-DCAは東京化成社製の水質分析用標準溶液 (1 mg/ml, メタノール溶液) を、CAとVCはスベルコ社製で (200 µg/ml, メタノール溶液) を、内部標準品のフルオロベンゼン-d₅はアルドリッチ社製を用いた。各々の標準品は和光純薬社製のトリハロメタン測定用のメタノールで希釈して用いた。

土壤抽出溶媒には和光純薬社製の1級エタノールと特級*n*-デカンを用いた。

2. 2 試料

地下水はガラスビンに採取して、氷冷したアイスボックスで実験室に搬入した。搬入された試料9 mlを塩析剤として塩化ナトリウム3 gを予め加えてある22 mlバイアルビンに入れ、更に内部標準品としてフルオロベンゼン-d₅を0.5 µg/lになるように加えて分析用試料とした。

土壤掘削方法は土壤採取管を小型動力ハンマーで打ち込むSCSC式で行った。土壤からの抽出は、50 mlのスクリーキャップ付き遠心分離管に土壤を5 g秤量して、エタノールを10 ml加えて振とう機で20分間振とうし、更に振とう操作を翌日、翌々日と繰り返した後、水20 mlと*n*-デカン10 mlを加えて1分間激しく振とうした。静置後、遠心分離を10分間行い、*n*-デカン層を分取してSEP-PAKシリカカートリッジでクリーンアップした。*n*-デカン溶液を土壤分析用試料とした。

2. 3 測定装置と条件

地下水はHS/GC/MSで分析した。

装置と測定条件をTable 1の(A)に示す。

土壤試料は上記の抽出操作の後にGC/MSで分析した。装置と測定条件をTable 1の(B)に示す。

3. 調査結果

3. 1 HS/GC/MSによる地下水中の分解物の測定

通常行っている環境基準項目の測定条件では、VCとCAのピークは内標準物質や標準物質を希釈するために用いるメタノールやエタノールのピークと分離する事が出来ない。分離条件を検討したところ、希釈溶媒に何を使うかで違ってくるが、メタノールを用いる場合は昇温開始のカラム恒温槽温度を-20℃から昇温するのが最適だった。今回測定に用いたイオントラップ型質量分析型は真空度の関係から空気中の窒素等のバックグラウンドノ

Table 1 Instrument conditions for groundwater and soil

(A) for groundwater

Head space sampler Conditions

apparatus	: Perkin Elmer HS-40
sample temp.	: 60°C
needle temp.	: 100°C
transfer temp.	: 110°C
GC cycle time	: 30 min
thermost. time	: 30 min
pressuriz. time	: 5.0 min
injection time	: 0.2 min
withdrawal time	: 2.0 min

Gas Chromatograph Conditions

apparatus	: Varian 3400
column	: Vocol, 30m×0.25mm i.d. df=1.5 μ m
carrier gas	: helium at 1ml/min
temp. program	: isothermal at -20°C for 2min programmed from -20°C to 200°C at 10°C/min
coolant	: liquid CO ₂
injection mode	: split, split ratio=1:10
injector temp.	: 220°C
transferline temp.	: 220°C

Mass spectrometry conditions

apparatus	: Finnigan mat magnum
manifold temp.	: 220°C
mass range	: m/z = 35~200
scan speed	: 1.66 scans/second
ioniz. mode	: EI

(B) for soil

Gas Chromatograph Conditions

apparatus	: Varian 3400
column	: Vocol, 30m×0.25mm i.d. df=1.5 μ m
carrier gas	: helium at 1ml/min
temp. program	: isothermal at 40°C for 1min programmed from 40°C to 220°C at 15°C/min iso- thermal at 220°C for 7min
injection mode	: split, split ratio=1:10
injector temp.	: 220°C
transferline temp.	: 220°C

Mass spectrometry conditions

apparatus	: Finnigan mat magnum
manifold temp.	: 220°C
mass range	: m/z = 60~260
scan speed	: 1.66 scans/second
ioniz. mode	: EI

イズが多いため、フラグメントイオン27, 28は試料が低濃度の場合に測定が困難になる。そこで実試料は低濃度が予想されるので、測定にはノイズを減少させるためにM/Z: 35~200のマスレンジを用いた。また、CAのマススペクトルパターンはNISTライブラリーと異なり、イオン強度はフラグメントイオン49が最も強く現れた。汚染地下水から得られたトータルイオンクロマトグラムとVC, 1,1-DCA, CAのマススペクトルをFig. 1に示す。この井戸は過去の調査で *cis*-1,2-DCE濃度がTCEより高く、微生物分解が進んだ井戸として注目していたが、予想した通り分解物としてVCが80.9 μ g/l, 1,1-DCAが0.37 μ g/lそしてCAが0.6 μ g/l検出された。

3. 2 汚染井戸の汚染物質とその分解物

Table 2に、現在までの調査でPCE, TCE (TCEもPCEの分解物と考えられるがTCEそのものと区別出来ないで汚染物質とした。)からの分解物と考えられるDCE類が検出された井戸で、深さが20mまでの浅い地下水の分析結果をA~Fに、50mより深い地下水の分析結果をG~Lに示す。DCE類が比較的高濃度で検出された井戸はいずれもA~Fの浅井戸であった。Aは汚染物質(PCE, TCE, TCA)と分解物(DCE類, VC, 1,1-DCA, CA)の濃度がほぼ同程度である。BはTCE, PCEの濃度が高くDCE類の濃度も高いが、VCは6.1 μ g/lである。C, DはPCE, TCEの合計よりDCE類の濃度が高く、VCも各々16 μ g/l, 80.9 μ g/lと比較的高い濃度で検出された。特にD(3.1で測定した井戸)からはVCの他、1,1-DCAやCAも検出された。EとFは汚染物質はほとんど分解して分解物が98%以上で、そのうち *cis*-1,2-DCE濃度が一番高く、次にVC濃度が高い井戸である。A~Fの浅井戸は沖積層に位置しているため、土壌は比較的肥沃であり土壌微生物による分解が進んでいると考えられた。鈴木ら⁶⁾は沖積低地で採取した地下水はDCE類が生成して生分解が進行していたと報告している。Gは井戸の深さ150mの深井戸で帯水層はP層に分類されている。土壌は小石混じりの赤土でやせており、その為か汚染物質は98.8%と高い割合で、濃度もPCEで1mg/lもあるが分解物は少なくともDCE類が1.2%にすぎない。H~Lの深井戸も同様に汚染物質は98.3%~77.6%と高い割合で、分解物は1.7%~22.4%と低くて、DCE類の濃度は一桁の μ g/lが多い。VC, 1,1-DCA, CAは検出下限以下だった。

アメリカのカリフォルニア州⁷⁾では45ft.より浅い帯水層の地下水からTCEが72mg/l, 1,2-DCEが67mg/l, 1,1-DCEが12mg/l, VCが25mg/l, TCAが330mg/l, 1,1-DCAが10mg/l検出された例があり、汚染物質の濃度は我々が通常調査する地下水と比較するとまさにけた違いであるが、その分解物の濃度も比例して高い。

Fig. 1 Chromatogram of volatile chlorinated organic compounds (VOC) and mass spectra of VC, CA and 1,1-DCA in groundwater

Table 2 Pollutants and Degradation products in shallow wells (A) and deep wells (B)

(A) Shallow wells

Sampling Station	A	B	C	D	E	F
Depth of well (m)	<10	<10	<10	20	20	<10
PCE (μ g/l)	356	941	533	0.3	<0.2	<0.2
TCE (μ g/l)	128	5135	64.4	284	1.9	0.8
TCA (μ g/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Pollutants ratio *(%)	59	76.1	41.4	34.1	1.2	1.6
1,1-DCE (μ g/l)	1.7	10.6	6.7	1.8	0.4	<0.2
<i>trans</i> -1,2-DCE (μ g/l)	1.3	18.1	<0.2	20.8	0.7	<0.2
<i>cis</i> -1,2-DCE (μ g/l)	333	1868	822	445	152	34.9
VC (μ g/l)	<0.5	6.1	16	80.9	3.2	11.5
1,1-DCA (μ g/l)	<0.02	3.5	<0.02	0.37	0.02	1.5
CA (μ g/l)	<0.3	<0.3	<0.3	0.6	<0.3	<0.3
Deg. pro. ratio ** (%)	41	23.9	58.6	65.9	98.8	98.4

(B) Deep wells

Sampling Station	G	H	I	J	K	L
Depth of well (m)	150	50	56	50	70	100
PCE (μ g/l)	1061	88.1	119	19	96	16
TCE (μ g/l)	723	2.7	5.8	3.3	35	16
TCA (μ g/l)	8.6	0.25	1.1	0.2	<0.2	<0.2
Pollutants ratio *(%)	98.8	98.3	94.4	94.5	87.6	77.6
1,1-DCE (μ g/l)	16.9	<0.2	0.61	0.3	0.29	<0.2
<i>trans</i> -1,2-DCE (μ g/l)	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.25
<i>cis</i> -1,2-DCE (μ g/l)	4.7	1.56	6.8	1.1	18.3	9.1
VC (μ g/l)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
1,1-DCA (μ g/l)	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
CA (μ g/l)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Deg. pro. ratio ** (%)	1.2	1.7	5.6	5.5	12.4	22.4

* Pollutants ratio = (PCE+TCE+TCA)/Total

** Degradation products ratio

= (1,1-DCE+*trans*-1,2-DCE+*cis*-1,2-DCE+VC+1,1-DCA+CA)/Total

3. 3 汚染井戸の汚染物質とその分解物の経年変化

1983年頃より継続して調査している汚染井戸の経年濃度変化をFig. 2に示す。NO. 1の事業所の井戸は浅井戸で、周辺は事業所や住宅の混在する場所で、汚染物質は主にTCEである。濃度は $3.82 \sim 10.8 \text{ mg/l}$ で平均 7.12 mg/l ($n=19$)であった。事業所でTCEを一時期使用していたことや、井戸水の高濃度汚染を考慮すれば、この場合はTCE原体による土壌汚染由来の垂直型地下水汚染と考えられる。

Fig. 2 Variation of VOC concentration in contaminated wells for thirteen years period

- TCE
- PCE
- ▲— 1,1,1-trichloroethane
- cis-1,2-dichloroethylene
- △— 1,1-dichloroethylene
- ×— trans-1,2-dichloroethylene

分解物である *cis*-1,2-DCE は $1.50 \sim 2.90 \text{ mg/l}$ で平均 1.79 mg/l ($n=8$), *trans*-1,2-DCE は $0.010 \sim 0.074 \text{ mg/l}$ で平均 0.022 mg/l ($n=8$), 1,1-DCE は $0.002 \sim 0.058 \text{ mg/l}$ で平均 0.011 mg/l ($n=8$) であった。分解物の経年変化はTCEの増減に連動していて、TCEに対するその割合は1984年当時より増加している。TCEの濃度が高いこともあり *cis*-1,2-DCE も高い値であるが、10年以上にわたって 2 mg/l 前後の値を示し大きく変化することはなかった。

NO. 2の事業所の井戸は深井戸で帯水層はP層である。汚染物質はTCE (1990年から使用中止), PCE (1988年から使用中止), TCA (1983年頃より現在まではほぼ25トン/年) でいずれも当事業所で使用されていた。使用量はTCAが他の数倍～10倍であるが、地下水汚染の現況はTCEが $0.068 \sim 0.72 \text{ mg/l}$ で平均は 0.39 mg/l ($n=17$), PCEが $0.062 \sim 1.0 \text{ mg/l}$ で平均は 0.50 mg/l ($n=17$) と高い値だったが、TCAが $0.005 \sim 0.040 \text{ mg/l}$ で平均は 0.018 mg/l ($n=17$) と低い値で、各々の使用量に対応しなかった。当事業所では過去にTCEとPCEの残渣処理を所内の空き地で行っており、それが地下水汚染の原因と考えられる。経年的にはTCE, PCE濃度が共に1989年7月からそれ以前の2～3倍に増加し、経年変化のパターンは似ていた。分解物は1,1-DCEが $0.005 \sim 0.016 \text{ mg/l}$ で平均は 0.009 mg/l ($n=6$), *cis*-1,2-DCE は $0.002 \sim 0.004 \text{ mg/l}$ で平均は 0.003 mg/l ($n=6$) だった。汚染物質の濃度と比べると分解物の濃度は低かった。当地の地質は有炭素含有量0.1%以下の赤土のため分解微生物の活動が不活発なためと考えられる。矢口ら⁸⁾はPCEの生分解を検討した結果、有機質の多い土壌の方が少ない土壌より生分解力強いと報告している。

NO. 3の事業所の井戸は浅井戸で、汚染物質はPCEである。汚染原因事業所は当事業所ではなくて南西約70mにあるクリーニング店と考えられる。クリーニング店の井戸水からは1984年に 126 mg/l のPCEが検出されたこともあった。なおこのクリーニング店は1990年に廃業届を提出している。PCEは $0.033 \sim 3.95 \text{ mg/l}$ で平均は 1.66 mg/l ($n=17$), TCEは $0.03 \sim 1.11 \text{ mg/l}$ で平均は 0.41 mg/l ($n=17$), *cis*-1,2-DCE は $0.28 \sim 1.03 \text{ mg/l}$ で平均 0.66 mg/l ($n=8$) だった。1987年まではPCEとTCEの濃度比はほぼ1:1で、*cis*-1,2-DCEの方が濃度が高いことからPCEの生分解は進んでいたが、1988年に汚染水塊が移動してきた結果、PCEの濃度は急上昇した。分解物であるTCEはそれに伴って上昇したが *cis*-1,2-DCE はそれ程でもなかった。NO. 1, NO. 2の井戸と異なり水平方向への汚染の移動であり、また汚染水塊の先端を把握したケースとして注目していたが、あいにく井戸は閉鎖されてしまった。

3. 4 PCE等の垂直分布と挙動

PCE使用事業所の排気ダクト直下をボーリングして得られた深度別地下水や土壌コアサンプルのPCE等を分析した結果をFig. 3, Fig. 4に示す。ボーリング地点の地層は1.0mまでは粘土層で上層0.5m程は整地用の小石や、れき混じりで有機炭素を5%程含んでいた。1.0mから1.4mにかけては細砂混じりの粘土層があり、さらに粗粒砂層と続き3m程で地下水面が現れた。8m付近には0.2m程のシルト層が存在した。地下水からは深さ1mでPCEが $340\mu\text{g}/\ell$ 、TCEが $10\mu\text{g}/\ell$ 検出されたが、4.15mから8.45mに至る間に両物質とも約10分の1に減少した。各深度の地下水からcis-1,2-DCEは若干のピークが認められたが定量下限以下($0.2\mu\text{g}/\ell$)だった。この場合TCEは分解物と考えられ、その割合はどの深度でもPCEの約3%であった。

土壌コアサンプルのPCEは深さ0.3mで $20.5\mu\text{g}/\text{g}$ 検出されて最高濃度であったが下層に行くに従って減少した。1.0mで $0.53\mu\text{g}/\text{g}$ 、8m付近のシルト層ではその前後の採取深度より若干増加しても $0.06\mu\text{g}/\text{g}$ だった。分解物と考えられるTCEやcis-1,2-DCEは0.3mで $0.25\mu\text{g}/\text{g}$ と $0.90\mu\text{g}/\text{g}$ 検出され、PCE同様に下層に行くに従って減少した。1mではTCEは $0.006\mu\text{g}/\text{g}$ 、cis-1,2-DCEは検出されなかった。しかし、8m付近のシルト層では増加してTCEは $0.09\mu\text{g}/\text{g}$ 、cis-1,2-DCE $0.72\mu\text{g}/\text{g}$ 検出された。

地層中のこれらのVOC濃度分布は0.3mの粘土層で最高濃度を示し、次に8m付近のシルト層で高い値を示した。8mのシルト層と0.3mの粘土層のVOC含有量を比べると、その割合はPCE : 0.29%, TCE : 36%,

Fig. 3 Variation of VOC concentration in groundwater for depth and stratum

cis-1,2-DCE : 80%で、シルト層ではPCEは少なくcis-1,2-DCEは多かった。上述したように深度別地下水のcis-1,2-DCEは定量下限以下だったことから、今回のような試料採取が冬季(2月)の雨が少ない時期で、さらに汚染原因が排気ダクトからのPCEで比較的濃度が低い場合には、上層の粘土層からの移動は起こらないと考えられた。しかし、梅雨や台風時期の大降雨時や地下水位の変動による水の移動と共に、cis-1,2-DCEはPCEより移動し易いが、途中が砂層なのであまり収着されずにシルト層に達して収着され、またcis-1,2-DCEが分解されにくいので蓄積されたと考えられた。このようにこれらのVOCの土壌中での挙動は各々異なっていた。その理由は各々の分解速度、水溶解度(20℃でPCE : $150\text{mg}/\ell$ 、TCE : $1000\text{mg}/\ell$ 、cis-1,2-DCE : $3500\text{mg}/\ell$)や⁹⁾、成瀬¹⁰⁾が報告しているように土壌中の有機物や無機物の種類の違いに起因する収着、脱着速度の違いによると考えられた。

4. まとめ

PCEは嫌気的な条件下でTCE→DCE→VC→エチレン→エタンに分解される。TCAも同様に1,1-DCA→CAに分解されることが実験段階では確認されている。しかし地下水等の実試料での報告例は少ない。そこでこれらの分解物の調査にあたって測定条件を検討したところ、HS/GC/MS法のGCカラム恒温槽の初期温度を-20℃から始めることによって、内標準物質等を希釈するために用いるメタノール等のピークとVC、CAピークを分離できた。またバックグランドノイズを減少させるためにM/Z : 35~200のマスレンジを用いた。分解が進んでい

Fig. 4 Variation of VOC concentration in core samples

と思われた井戸水から3種類のDCE異性体, VC, 1,1-DCA, CAを検出した。これらの分解物のなかで, VCは日本の水道水基準にはないがWHOのガイドラインに発癌リスク外挿値から求めた値として $5 \mu\text{g}/\ell$ が定められている¹¹⁾。下記にも示すように分解が進んだ地下水からのVCの検出率が高いので, 今後測定項目に加える必要があると考えられる。

DCE類が検出された浅井戸 (<20m) 6ヶ所と深井戸 (>50m) 6ヶ所を比較したところ, 浅井戸のほうがDCE類の濃度は高く, VCは5/6, DCAは4/6, CAは1/6の井戸で検出された。分解物の割合も98%を越える井戸があり分解が進んでいた。深井戸ではDCE類の濃度は低く, VC, 1,1-DCA, CAはいずれも検出されず, 分解物の割合も低く1%台の井戸もあった。

汚染井戸を10年以上にわたって調査した結果, 垂直, 水平型汚染のいずれの井戸も, 汚染濃度は短期間に増加するが, 減少速度は遅い現象が見られた。

汚染物がPCEの場合における土壌コアサンプル中のPCEやDCE類は砂層には少なく粘土層やシルト層に多く含有されていた。下部のシルト層では上部の粘土層より分解物の割合が高かった。特に *cis*-1,2-DCEは粘土層とシルト層ではほぼ同量検出された。これはシルト層でのPCEの分解も考えられるが, *cis*-1,2-DCEが分解されにくいことや, PCEと*cis*-1,2-DCEの土壌への吸着, 脱着速度の違いや, 水への溶解度の違いによって, 移動速度が異なるためと考えられた。

要 約

地下水中のPCE, TCE, TCAの分解物であるVCやCAに対する分析法をHS/GC/MSを用いて検討した。VOCとメタノールのピークを分離するために, GC/MSのカラム恒温槽の初期温度を -20°C から, またバックグラウンドノイズを減らすために測定質量範囲をM/Z: 35~200に設定することにより分析できた。*cis*-1,2-DCEが多い地下水からVCやCAが検出された。浅井戸と深井戸を比較すると浅井戸の方がVCの検出率が高かった。PCEで汚染された土壌のコアサンプルを分析したところ, PCE, TCE, や*cis*-1,2-DCEは砂層より粘土層やシルト層に多く含有され, PCEは上部の粘土層に下部のシルト層より多く含まれ, また*cis*-1,2-DCEは二つの層にはほぼ同量含まれていた。PCEと*cis*-1,2-DCEは土壌中での挙動が異なり, また, PCEの分解は有機質が多く比較的浅い土壌中で進むと考えられた。

文 献

- 1) 環境庁水質保全局：昭和63年度地下水汚染実態調査結果, (1989)
- 2) 矢口久美子, 渡辺 学, 平田一郎, 伊藤 武, 濱田 昭：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 (1991)
- 3) 矢木修身, 内山裕夫：微生物によるクロロエチレン類の分解, 土と微生物, **37**, 37-44 (1991)
- 4) 小松俊哉, 桃井清至, 松尾友矩, 花木啓祐：塩化エチレン類の嫌気的生分解を促進させる因子について, 第27回日本水環境学会年会講演要旨集, 478-479 (1993)
- 5) 金 鍾国, 鈴木規之, 中西準子：土壌微生物による1,1,1-トリクロロエタンの分解に関する研究, 環境化学, **5**, 31-38 (1995)
- 6) 鈴木喜計, 江沢克己, 岩本広志, 生野 朗, 佐藤賢司, 楡井 久：地下水汚染現場における地層中のジクロロエチレン三異性体の挙動について, Proceedings of the 1st Symposium on Geo-Environment, 77-82 (1991)
- 7) U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE: Health Assessment for Fairchild Semiconductor Corporation Proposed National Priorities List Site, Intel Corporation National Priorities List Site, Raytheon Company National Priorities List Site, Mountain View, California, Region 9, Order No. PB90-118845, 4, (1989)
- 8) 矢口久美子, 鈴木俊也, 近藤治美, 山岸達典, 浜田 昭：東京都多摩地区湧水の有機塩素化合物による汚染, 第27回日本水環境学会講演要旨集, 252-253 (1993)
- 9) 昭和57年度環境庁委託業務結果報告書：有害物質による地下水汚染実態調査—文献調査書—, 27-32 (1983)
- 10) 成瀬洋児, 渡辺正敏, 土山秀樹, 伊藤英一, 矢木修身：トリクロロエチレンの土壌への吸着, 脱着について, 日本水環境学会誌, **16**, 346-353 (1993)
- 11) 安藤正典：飲料水中化学物質の生体影響, 第22回日本水環境学会セミナー講演資料集“化学物質による地下水汚染と水質基準改定の動向”, 50-59 (1993)