

福井県における地下水質と低沸点有機塩素化合物調査(第3報)

—丹南地域におけるトリクロロエチレン汚染について—

坊 栄二・持田壮一*・宇都宮高栄・青木啓子・山口慎一
高田敏夫・加藤賢二・八木光行・内田利勝・林 隆一郎

Survey of Groundwater Quality and Volatile Chlorinated Hydrocarbons in Fukui Prefecture (3)

—Groundwater Pollutions by Trichloroethylene in the Tannan Region—

Eiji BOU, Souichi MOCHIDA, Takae UTSUNOMIYA, Keiko AOKI, Shinichi YAMAGUCHI,
Toshio TAKATA, Kenji KATOU, Mitsuyuki YAGI, Toshikatsu UCHIDA, Ryuichirou HAYASHI

Abstract

Groundwater pollutions by volatile chlorinated hydrocarbons(VCHs) were found at seven areas in the Tannan region (Takefu City, Sabae City), Fukui prefecture. The detected VCHs were trichloroethylene(TCE), tetrachloroethylene (PCE). The areas polluted by TCE were five and the areas by PCE were two. The three areas polluted by TCE out of seven are close to one another.

Therefore, to indicate the flow of groundwater we applied its quality datas to the hexa-diagram and clusteranalysis. In addition to the results of these survies, we found that the three areas polluted by TCE were givenrise to the same pollutant.

1 はじめに

平成元年度から5年度までに実施した地下水質調査の結果、丹南地域(武生市、鯖江市、丹生郡、南条郡、今立郡)において、武生市と鯖江市の7地区で有機塩素化合物が評価基準を超えて検出された。

その内訳はトリクロロエチレン(以下TCEと略)による汚染が5地区、テトラクロロエチレン(以下PCEと略)による汚染が2地区であった。

汚染井戸周辺地区調査の結果、この7地区のうちTCE汚染の2地区とPCE汚染の2地区については、汚染の範囲も限定され地域的にも離れていたことから、それぞれ個別の汚染源によるものと考えられる。しかし、TCE汚染の武生市大虫、本保地区、鯖江市豊地区の3地区については、隣接しているもののそれぞれの間が水田地帯で調査井戸がなかったため、これら3地区の汚染について関連性があるかどうか不明であった。

このため、地下水質調査により地下水流の解析等を行い、3地区の汚染の関連性について検討したので、その概要について報告する。

2 調査方法

2.1 調査地域の概要

有機塩素化合物による地下水汚染があった武生市と鯖江市は、丹南地域の中心として繊維工業、電気機械、眼鏡枠製造業が主要産業を占め、また、近年では電子機器製造業

等のいわゆるハイテク産業の進出もみられるなど、工業集積の比較的大きい地域である。

当地域は、福井平野南端の「鯖江・武生盆地」と称される地域で、東側は越前中央山地、西側は丹生山地によって限られている。盆地内には、長泉寺山、愛宕山、茶臼山などの大小の孤立丘が散在している。中央部を北流する日野川は、比較的広い氾濫原をもち、今宿町付近から盆地様地形を展開し始める。

今回報告するTCE汚染があった武生市大虫、本保地区、鯖江市豊地区の3地区(以下、吉野瀬地域と称する)は、いずれも日野川左岸の盆地南西部に位置する。西部の丹生山地・丘陵地から吉野瀬川、大虫川等の小河川が流入して小扇状地を形成している。また、平野部にはいくつかの小さな孤立丘があり、複雑な地形となっている。

2.2 水質分析方法

水質調査項目のうちTCE、PCE、および、地下水溶解成分等の解析項目については、第1報¹⁾ および第2報²⁾ と同一の分析方法で行った。1,1-ジクロロエチレン等の有機塩素化合物については、ページ・トラップ・ガスクロマトグラフ質量分析法で分析した。ページ・トラップ装置はテクマー社製LSC-2000型、ガスクロマトグラフはHP社製の5980-II型、質量分析装置はHP社製の5972A型を用いた。

3 調査結果と考察

3.1 地下水中の有機塩素化合物

*現 福井県生活科学センター

吉野瀬地域の3地区の汚染井戸周辺地区調査の結果に基づくTCEの検出状況を表1に示す。また、当地域のTCE濃度分布を図1に示す。なお、図には近接する地点を省略し、当地域周辺の概況調査等の結果を合わせた。

表1 吉野瀬地域のTCE検出状況

地区名	調査地点数	TCE検出数	調査時期
大虫地区	52	24(13)	H2年 3月
本保地区	24	16(9)	H1年12月
豊地区	39	6(2)	H2年 6月
合 計	115	46(24)	

()内の数は評価基準超過数

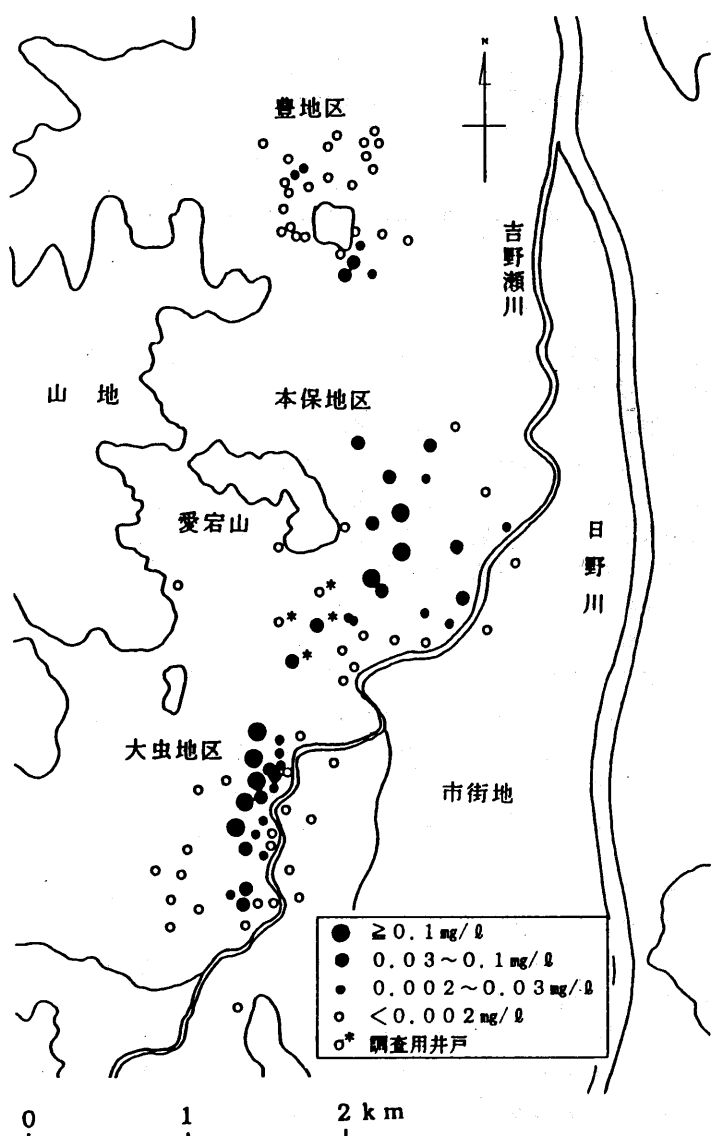


図1 吉野瀬地域のTCE濃度分布図

3.1.1 武生市大虫地区

52地点のうち24地点でTCEが検出され、そのうち13地点で評価基準を超えた。汚染は吉野瀬川に沿って細い帯状に北北東に伸びていた。検出されたTCEの最高濃度は0.12mg/Lで、評価基準を超過した範囲は約0.2km²であった。

これより北は水田地帯で調査できなかったが、平成3年8月に、市が新たに大虫地区と本保地区の間の水田地帯で4本の調査用井戸(図1の*印)を掘削し水質検査したところ、本保寄りの2本の井戸から評価基準を超えるTCEが検出された。

3.1.2 武生市本保地区

24地点のうち16地点でTCEが検出され、そのうち9地点で評価基準を超えた。検出されたTCEの最高濃度は0.11mg/Lで、評価基準を超過した範囲は約1.2km²であった。前述した大虫地区と異なり、汚染は南北、東西両方向に広がっていた。

3.1.3 鯖江市豊地区

39地点のうち6地点でTCEが検出され、その内2地点が評価基準を超えた。検出されたTCEの最高濃度は0.061mg/Lで、評価基準を超過した範囲は約0.01km²であった。評価基準を超えた地点はいずれも本地区の最南端の一部の地域に限られていた。なお、当地区の中心部に微量のTCEが検出された地点があるが、周辺の状況からみて最南端の汚染とは関連性は薄く、別の汚染源によるものと考えられる。

3.2 地下水流の解析

地下水の流動を推定するために、pH、電気伝導度等の解析項目について検討してみた。なお、大虫地区の井戸と水田地帯で掘削した調査用井戸については汚染井戸周辺地区調査時に解析項目を測定していなかったため、平成5年8月に解析項目を測定した。さらに、解析を行うにあたり当地域の周辺の武生市街地の調査地点も含めた。なお、TCEによる汚染はほとんど深さ20mまでの浅井戸にみられるため、深さ20mまでの85地点について検討を行った。

表2に、地区別の水質分析結果を示す。また、表3に、解析項目として測定した10項目の相関係数マトリックスを示す。

3.2.1 pH

pHは5.6から6.7の範囲にあり、そのほとんどが6.0から6.4の間でバラツキは少なかった。比較的pHの高い地点は市街地東部の日野川沿いにみられる。pHと他の項目との間には特に相関はみられない。

3.2.2 電気伝導度

電気伝導度は、地表から地下に浸透する過程で種々の物質を溶解して増加するため、電気伝導度の分布から地下水の流動方向を推察することができる³⁾。

本地域の電気伝導度は107から261μS/cmの範囲であった。日野川沿いの市街地東部と吉野瀬川沿いの大虫地区、本保地区南部は電気伝導度が低く、両河川の影響が強く表れている。その後、本保地区北部、豊地区の順に高くなっており、地下水の流動方向を示しているものと思われる。

表2 解析項目分析結果

	項目 単位	水温 ℃	pH	電気伝導度 μS/cm	酸消費量 mg/l	塩素イオン mg/l	硫酸イオン mg/l	硝酸イオン mg/l	Naイオン mg/l	Kイオン mg/l	Caイオン mg/l	Mgイオン mg/l
市街地区	平均	14.79	6.36	141.63	37.64	9.69	11.03	4.61	9.44	1.72	11.99	3.36
	最大	17.0	6.7	189.0	58.6	13.9	16.5	9.0	12.0	3.4	18.0	4.6
	最小	12.5	6.0	107.0	30.5	7.3	7.0	0.0	6.4	1.1	9.3	1.9
	標準偏差	0.89	0.18	22.35	6.25	1.94	2.56	1.61	1.37	0.46	2.63	0.70
大虫地区	平均	15.71	6.09	148.74	35.06	13.26	8.78	3.70	8.31	1.45	5.81	3.45
	最大	17.6	6.3	188.5	55.4	16.9	11.1	8.5	9.8	3.4	8.6	5.1
	最小	14.1	5.9	128.0	26.2	9.6	7.0	1.3	6.4	1.0	4.6	2.5
	標準偏差	0.93	0.11	14.62	5.95	1.77	1.12	1.66	0.81	0.51	0.92	0.62
本保地区	平均	14.78	6.09	165.05	39.69	15.26	10.57	5.61	10.49	1.53	12.42	5.33
	最大	16.0	6.4	261.0	70.1	21.9	16.6	46.2	14.0	6.3	20.8	8.1
	最小	12.0	5.6	108.0	12.5	11.0	7.5	0.0	7.0	0.7	6.3	2.9
	標準偏差	0.88	0.18	34.10	13.11	2.28	2.23	9.50	1.42	1.16	3.32	1.31
豊地区	平均	15.21	6.07	198.91	46.79	33.96	20.37	5.48	11.93	1.75	14.00	5.77
	最大	17.0	6.3	239.0	79.0	38.1	33.0	24.3	13.6	2.7	19.7	7.9
	最小	14.2	5.9	163.0	24.8	27.4	14.6	0.0	10.0	1.3	9.8	4.3
	標準偏差	0.69	0.09	17.72	12.64	2.84	4.97	6.86	0.81	0.38	2.02	0.88
全体	平均	15.10	6.15	165.55	40.14	18.92	13.11	4.99	10.15	1.61	11.37	4.57
	最大	17.6	6.7	261.0	79.0	38.1	33.0	46.2	14.0	6.3	20.8	8.1
	最小	12.0	5.6	107.0	12.5	7.3	7.0	0.0	6.4	0.7	4.6	1.9
	標準偏差	0.92	0.18	32.98	11.35	10.11	5.72	6.22	1.79	0.71	3.86	1.44

表3 解析項目の相関係数マトリックス

	pH	電気伝導度	酸消費量	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
電気伝導度	-0.278								
酸消費量	0.151	0.725							
Cl ⁻	-0.388	0.669	0.366						
SO ₄ ²⁻	-0.282	0.696	0.281	0.750					
NO ₃ ⁻	-0.327	0.201	-0.388	0.063	0.313				
Na ⁺	-0.203	0.715	0.523	0.629	0.554	0.144			
K ⁺	-0.246	0.223	-0.213	0.111	0.229	0.739	0.263		
Ca ²⁺	-0.040	0.566	0.307	0.489	0.589	0.314	0.561	0.231	
Mg ²⁺	-0.304	0.852	0.672	0.620	0.554	0.077	0.698	0.003	0.573

3.2.3 酸消費量および陰イオン

酸消費量(pH 4.8)は重炭酸イオンと関係があり、地中に長く滞留している水ほど増加する傾向がある³⁾。本地域での酸消費量は電気伝導度と強い相関がみられ、電気伝導度と同様、地下水の流動方向をよく示している。また、塩素イオン、硫酸イオンも市街地・大虫地区、本保地区、豊地区の順に高くなっている。硝酸イオンは0.1~46.2mg/ℓと検出範囲は広がっているが、豊、本保地区の一部の井戸を除くとほとんどが10mg/ℓ以下で、地域的な差はみられなかった。

3.2.4 陽イオン

Naイオンは6.4~14.0mg/ℓ、Kイオンは0.7~6.3mg/ℓ、Caイオンは4.6~20.8mg/ℓ、Mgイオンは1.9~8.1mg/ℓの範

囲にあった。このうち、NaイオンとMgイオンは電気伝導度との相関が強く、大虫・市街地、本保、豊地区の順に高くなっており、地下水の流動方向と一致している。大虫地区のCaイオンは他の地区の約1/2と低いのが特徴的である。Kイオンについては地域的な差はみられなかった。

3.2.5 ヘキサダイアグラム

図2に、主要イオンの当量濃度を用いて作成したヘキサダイアグラムを示す。なお、井戸が接近してヘキサダイアグラムが類似する地点は省いた。

武生市街地で利用されている地下水の大部分は日野川の伏流水であるが、吉野瀬川左岸部では吉野瀬川の伏流水が利用されている⁴⁾。いずれも自由面地下水もしくは部分的に被圧された地下水を利用していると推定される。

武生扇状地扇央部の市街地を流れる日野川の伏流水は炭酸カルシウム型であるが、市街地西部では溶存イオン濃度が高く、炭酸ナトリウム型に移行する途中の型を示している。市街地における滞水層の地質がほぼ全域にわたって粘土混じりの砂礫層である⁴⁾ことから、西部では地下水が停滞していることを示唆している。

市街地東部の日野川沿いでは溶存イオン濃度も低く、日野川の直接的な影響がみられる。

大虫地区および本保地区の南部ではCaイオンが少なく、見かけ上、弱い炭酸ナトリウム型を示しているが、当地区は吉野瀬川扇状地の扇央部、扇端部にあたり、吉野瀬川の影響を受けた溶存イオンが少ない地下水である。

本保地区の大部分は炭酸カルシウム型を示しているが、地区の中ほどから溶存イオンが増加し、炭酸ナトリウム型へ移行する途中の型を示している。この地区の井戸の深さ

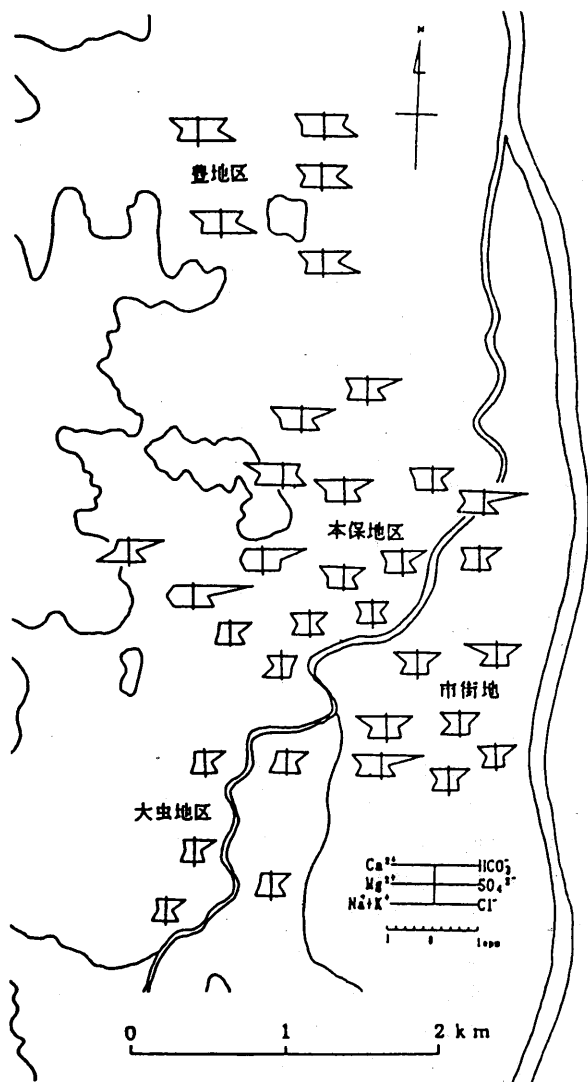


図2 吉野瀬地域のヘキサダイアグラム

が20m前後であることから、地下水の滞留によるものと考えられる。

豊地区では、塩素イオン、硫酸イオン濃度が高く、非炭酸カルシウム型を示し、地下水の停滞によるものと推定される。

3.2.6 クラスター分析

クラスター分析は解析項目10成分のデータを標準化して地点間の非類似度としてユークリッド平方距離を用い、地形および地下水の流動と良く一致するウォード法を用いた。

クラスター分析結果を図3に示す。85地点の地下水は2群に分類され、I群は日野川、吉野瀬川周辺の溶存イオンの少ない炭酸カルシウム型ないし弱い炭酸ナトリウム型の地下水に対応し、II群は炭酸カルシウム型から炭酸ナトリウム型へ移行する途中型および非炭酸カルシウム型の溶存

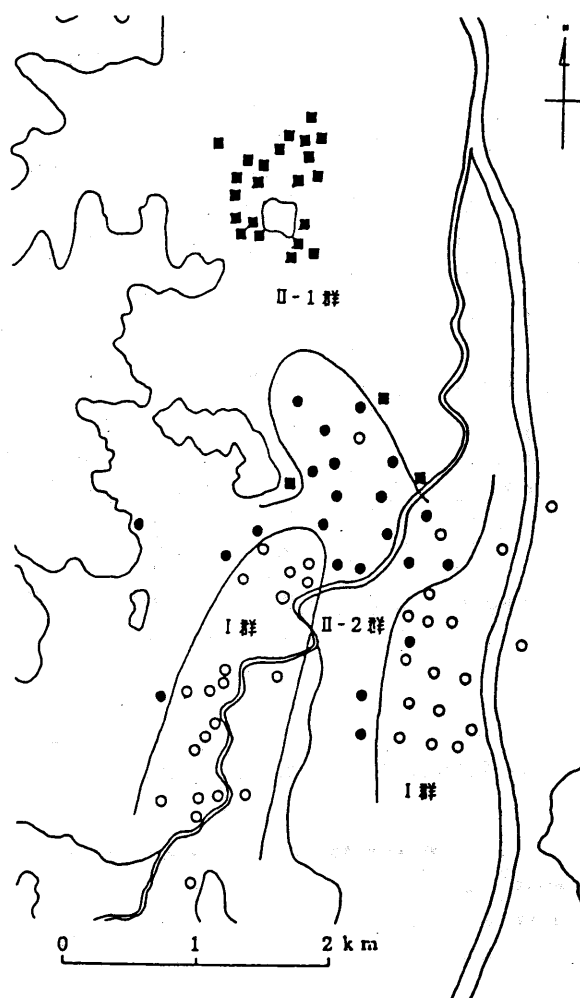


図3 吉野瀬地域のクラスター分析結果

イオンの多い地下水と対応している。II群はさらに本保地区の北端で2群に分けられ、II-1群は豊地区の非炭酸カルシウム型に対応し、II-2群は本保地区の大部分と市街地北西部の炭酸カルシウム型から炭酸ナトリウム型に移行中型に対応している。

3.3 地下水流と汚染施設の特定

これまでの検討結果から推定した吉野瀬地域の地下水の流動を図4に示す。

吉野瀬川の伏流水は、大虫地区では吉野瀬川と並流して流下し、そのまま北進して水田地帯に流れ込んでいる。その後、孤立丘である愛宕山や西側の山地から流れ込む地下水に押される形でやや東側に進路を変え、本保地区へ流れ込んでいる。このことは水田地帯で掘削した4本の調査用井戸のうち、TCEが検出された本保地区寄りの2本の井戸の水質が吉野瀬川伏流水の性格を有しており、愛宕山寄りの2本の井戸の水質と大きく異なっていたことから裏付けされる。

本保地区の地下水は、武生市街地を流れる伏流水の延長と考えられている⁴⁾が、さらに、吉野瀬川伏流水も南西側から流入して、複雑な地下水の流れとなっている。電気伝導度や溶存物質の分布から、同地区内の地下水は北進しているとみられる。さらに、TCEの濃度分布をみると、西側で高濃度部がみられるが低濃度部は東側にも広範囲にみられることから、吉野瀬川の伏流水は東方向にも流下しているものと推定される。

その後、本保地区の地下水は日野川の旧河道⁵⁾に沿って豊地区へと流下しているものと推定される。

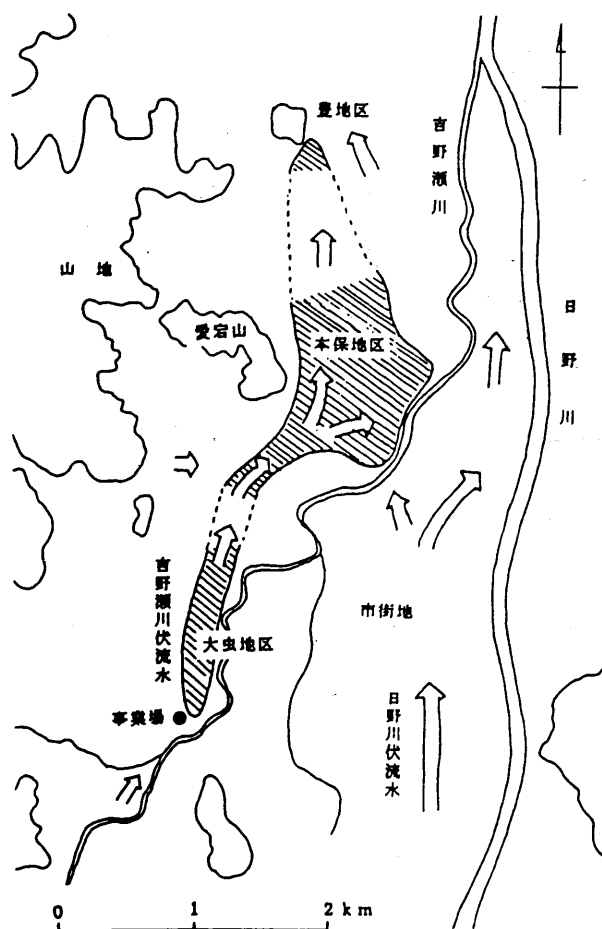


図4 吉野瀬地域の地下水流とTCE汚染

これら3地区の地下水の上流部にあたる大虫地区の南端に電子部品製造事業場があり、地下水汚染はここから帯状に北進する形で始まっている。当事業場は過去に大量のTCEを使用していたことがあり、立入り調査を行った。

事業場敷地内でガス検知管を用いて土壌ガス調査を実施したところ、一部の地点でTCEが微量検出されたものの高濃度の地点は見つからなかった。これは、数年前の工場

建屋の建設の際に表層の土を客土したことが原因と考えられる。そこで、事業者が県の指導によりTCE使用施設があった場所の周辺で調査用井戸を掘削し水質検査したところ、高濃度のTCEが検出された。さらに、フィンガープリント法による敷地内の詳細調査の結果、高濃度の汚染ブルームが発見され、当事業場が汚染源と判明した。

本保地区の汚染については、地下水流の解析から大虫地区の汚染の延長と推定される。なお、当地区に新たな汚染源があるかどうかについては、これまでの地下水流の解析だけでは言及できないが、当地区には大量にTCEを使用していた事業場がないことから可能性は低いと思われる。

豊地区の汚染については、汚染がみられる地域の地下水流の上流側は水田地帯であり、このさらに上流の本保地区の汚染された地下水の流下によるものと推定される。

3.4 TCE分解生成物

TCE、PCEで汚染された地下水から微生物によって分解されたジクロロエチレン類が、同時に検出されたという事例が数多く報告されている⁶⁾。

当地域においても、定期モニタリング地点14箇所と汚染事業所敷地内の井戸4箇所、これら分解生成物の測定を行った。1,1-ジクロロエチレン(以下1,1-DCEと略)、cis-1,2-ジクロロエチレン(以下cis-1,2-DCEと略)、trans-1,2-ジクロロエチレン(以下trans-1,2-DCEと略)の3種の異性体のうち、当地域で検出されたのはcis-1,2-DCEのみであった。全地点ともcis-1,2-DCEの濃度レベルは低く、最高でも汚染事業場敷地内の井戸の0.0073mg/lであった。

TCEとcis-1,2-DCEの濃度の関係を図5に示す。cis-1,2-DCEとTCEの濃度比は、汚染事業所敷地内の井戸ではやや高くなっているが、下流側の3地区はいずれも約3/100以下であった。

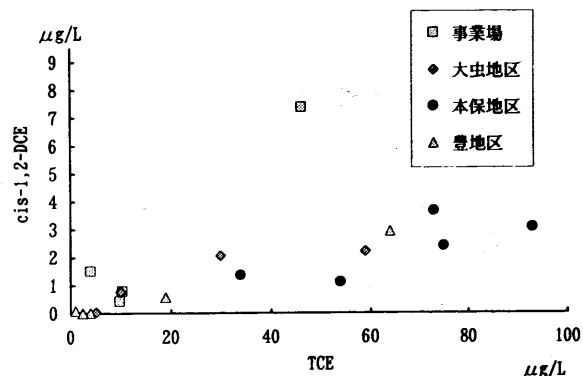


図5 TCEとcis-1,2-DCEの濃度の関係

cis-1,2-DCE濃度は、汚染源から遠ざかるに伴い微生物による分解が進み、相対的に高くなる傾向にあると報告されている⁶⁾が、当地域においては、汚染源近傍で若干の

分解が起こったものの、流下過程では分解が進んでいないようである。これは、汚染源近傍と下流地域の土壌の違いによるものでないかと考えられる。

3.5 TCE濃度の経年変化

最後に、汚染発見時から平成5年度までの3地区の主な定期モニタリング地点におけるTCE濃度の経年変化を図6に示す。

大虫地区では年々やや減少傾向がみられるが、本保・豊地区ではほぼ横ばいの状況となっている。本保・豊地区で濃度の変化がみられないのは、両地区の地下水の停滞によるものと考えられる。汚染の末端部にあたる豊地区で濃度が上昇していないことや、市が定期的に行っている周辺調査の結果からも汚染の拡大がみられないことから、少なくとも汚染発見時から現在まで汚染は拡大していないことが認められる。

なお、現在、汚染源にあたる事業所で揚水対策や地中曝気、真空抽出対策を、また、大虫地区および豊地区では市が揚水対策を実施しており、今後、汚染は改善の方向に向かうものと思われる。

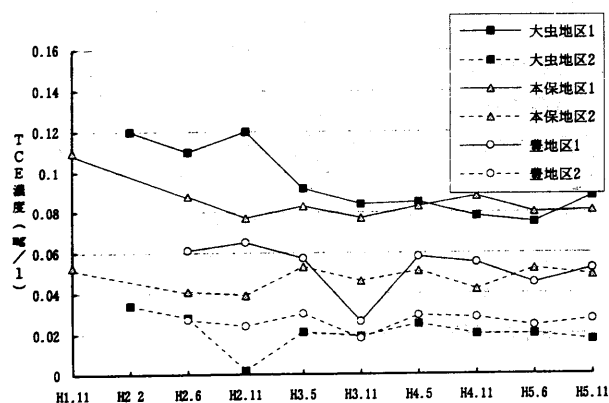


図6 TCE濃度の経年変化

4 まとめ

丹南地域でトリクロロエチレンが評価基準を超えて検出された地区のうち隣接している武生市大虫、本保および鯖江市豊の3地区について、水質項目を中心に地下水流の解析を行った。

- (1) 日野川左岸の鯖江・武生盆地南西部の地下水は日野川伏流水と吉野瀬川伏流水の2つからなる。吉野瀬川伏流水は大虫地区で吉野瀬川と並流して流下した後、孤立丘の愛宕山付近でやや東に流路を変えて本保地区へ流れ込み、本保地区で日野川伏流水の一部と合流し複雑に流れを変えた後、豊地区に向かっている。
- (2) 地下水の水質は主に自由面地下水の特徴を示す炭酸カルシウム型であるが、武生市街地西部、本保地区では炭酸カルシウム型から炭酸ナトリウム型へ移行する途中型で、鯖江市豊地区は非炭酸カルシウム型である。
- (3) 武生市大虫地区、本保地区、鯖江市豊地区の3地区のトリクロロエチレンによる地下水汚染は、同一の汚染源によるものと推定される。
- (4) トリクロロエチレンの分解生成物としてcis-1,2-ジクロロエチレンが検出されたが、その濃度は低く流下過程においても分解は進んでいない。
- (5) トリクロロエチレン濃度は横ばいないし減少傾向にあり、また、汚染の範囲の拡大も認められない。

参考文献

- 1) 山口慎一他：福井県公害センター年報，福井県における地下水水質と低沸点有機塩素化合物調査（第1報），19，p. p. 138-145，1989.
- 2) 持田壮一他：福井県環境センター年報，福井県における地下水水質と低沸点有機塩素化合物調査（第2報），20，p. p. 128-133，1990.
- 3) 山本荘毅：「地下水調査法」，古今書院，1983.
- 4) 福井県：「福井県水理地質図説明書」，1965.
- 5) 武生市：「武生市の地下水」，1970.
- 6) 国立環境研究所：「特別研究報告 トリクロロエチレン等の地下水汚染の防止に関する研究」，1994.