

有機塩素系溶剤による地質環境汚染とその対策について  
－福島県を中心にして－  
(課題番号08640566)

平成8年度～平成9年度科学研究費補助金（基盤研究C）研究成果報告書

平成10年3月

研究代表者 中 馬 教 允  
(福島大学行政社会学部教授)

# 有機塩素系溶剤による地質環境汚染とその対策について —福島県を中心にして—

目次

I はじめに

1 科研費による研究の組織等

2 研究の目的等

II 福島県の地質環境汚染状況

1 汚染地区

2 汚染源

3 飲用井戸の汚染

III 地質と汚染の進行との関係

1 中通り地方

2 浜通り地方

3 会津地方

IV 問題の所在とその解決の方向

1 情報公開

2 法令の適切な運用

3 浄化対策

4 浄化対象

5 浄化対策費の確保

6 その他の問題

IV おわりに

引用文献

## I はじめに

### 1 科研費による研究の組織等

#### 研究組織

研究代表者：中馬教允(福島大学行政社会学部教授)

#### 研究経費

平成8年度：600千円

平成9年度：500千円

計 1,100千円

#### 研究発表

##### (1) 学会誌等

- ・(中馬教允, 福島盆地の有機塩素系溶剤による地下水汚染—福島市佐倉下地区の例—, 福島大学特定研究「自然と人間」, No. 2, 1991年3月.)
- ・(中馬教允, 福島盆地南部の有機塩素系溶剤による地下水汚染について, 福島大学特定研究「自然と人間」, No. 3, 1992年3月.)

- ・(中馬教允, 地質環境の保全を—有機塩素系溶剤による汚染の実態から—, 地学教育と科学運動, No. 26, 1996年10月.)

## 2 研究の目的等

1989年に水質汚濁防止法が改正されて, 地下水の水質測定項目にトリクロロエチレン及びテトラクロロエチレンが加えられた。福島県は同法に基づく測定の結果を, 汚染の場所を特定できない形で, 「水質年報」として公表している(福島県, 1990~1996)。同県による1989年度から1995年度までの測定数は, 3,000点を大きく越している。それによれば, 福島県下にも有機塩素系溶剤による数多くの地下水汚染地区が存在している。これら汚染地区内では, 汚染地下水を飲用する住民が数多いものの, 汚染地の浄化対策は手付かずの状態に近い。

筆者は, 1989年から福島県の有機塩素系溶剤による地下水汚染の実態を把握する作業を開始し, 井戸水を中心にして現在までに延べ945点の水質を分析した。この作業は, 電話帳によって有機塩素系溶剤を使用している可能性のある事業場を把握し, その周辺の井戸水を検知管及びECD付きガスクロマトグラフを用いて分析するものである。福島県水質年報が公表されるようになった後は, この年報も調査地点の選定の参考にした。

ここでは, 福島県の有機塩素系溶剤による汚染の実態, 地質構成と汚染の進行との関係, 地下水汚染に関わる問題の所在とその解決の方向等について述べることにする。

この研究を進めるにあたり, 福島大学

行政社会学部地域環境ゼミの学生諸氏に、現地調査等の協力を得た。この研究の一部に、上述の通り文部省の科学研究費補助金を活用した。これらの関係者及び機関に感謝の意を表す。

## II 福島県の地質環境汚染状況

### 1 汚染地区

ここで取り上げる化学物質は、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、1,1-ジクロロエチレン、シス-1,2-ジクロロエチレン及び1,1,2-トリクロロエタンの6物質である。

筆者の分析結果及び1990～1996年度福

島県水質年報に基づいて、これら化学物質による汚染が確認または報告されたことのある地区を、市郡別にまとめたものが表1である。福島県水質年報は、汚染地区を特定できない形で調査結果を公表していること、年度や調査種目によって同一範囲でも地区名を変えている場合があることなどから、必ずしも正確な汚染地区数をあげているものではない。また、現在では汚染が消失している地区がある可能性もないではない。その点で表1の地区数は、不確かさを含むものになっている。それを踏まえた上で記すのであるが、福島県の汚染地区は170を越している可能性がある（詳細は資料参照）。こ

表1 福島県の化学物質別市郡別汚染地区数

市・郡名	汚染地区			トリクロロエチレン 汚染地区数		テトラクロロエチレン 汚染地区数		1,1,1-トリクロロエタン 汚染地区数		1,1-ジクロロエチレン 汚染地区数		シス1,2-ジクロロ エチレン汚染地区数		1,1,2-トリクロロエタン 汚染地区数	
	総数	超過	以下	超過	以下	超過	以下	超過	以下	超過	以下	超過	以下	超過	以下
福島市	22	13	9	5	14	9	8	0	16	0	5	3	1	0	1
会津若松市	14	7	7	2	8	7	1	0	11	0	1	1	1	0	1
いわき市	7	0	7	0	2	0	4	0	5	0	0	0	0	0	0
喜多方市	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
郡山市	20	10	10	6	7	7	7	2	8	1	4	4	1	0	2
白河市	9	5	4	2	3	3	3	2	6	1	0	1	0	0	0
須賀川市	14	5	9	4	9	3	2	2	6	2	0	1	0	1	0
相馬市	2	0	2	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0
二本松市	2	0	2	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0
原町市	6	2	4	0	4	1	5	0	5	0	0	0	0	0	0
安達郡	6	4	2	4	1	3	1	1	5	0	3	1	2	0	0
石川郡	6	2	4	1	3	2	2	0	3	0	0	1	0	0	0
岩瀬郡	12	5	7	3	2	2	4	2	9	0	2	0	1	0	0
大沼郡	3	0	3	0	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0
北会津郡	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
相馬郡	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
伊達郡	17	7	10	5	10	6	4	0	10	1	3	3	2	1	1
田村郡	6	2	4	1	4	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0
西白河郡	8	2	6	2	4	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0
東白川郡	5	0	5	0	0	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0
双葉郡	4	2	2	1	3	1	1	0	4	0	1	0	1	0	0
南会津郡	4	2	2	1	1	1	2	1	1	0	0	0	1	0	0
耶麻郡	5	2	3	1	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0
合計	176	70	106	38	78	49	53	11	113	5	22	15	10	2	5

注)

①筆者の研究及び1990～1996年度福島県水質年報により、これまでに確認又は報告があった地区を示す。  
②福島県水質年報は、汚染場所を具体的には公表していないので、地区数に若干の誤差が生ずる可能性がある。

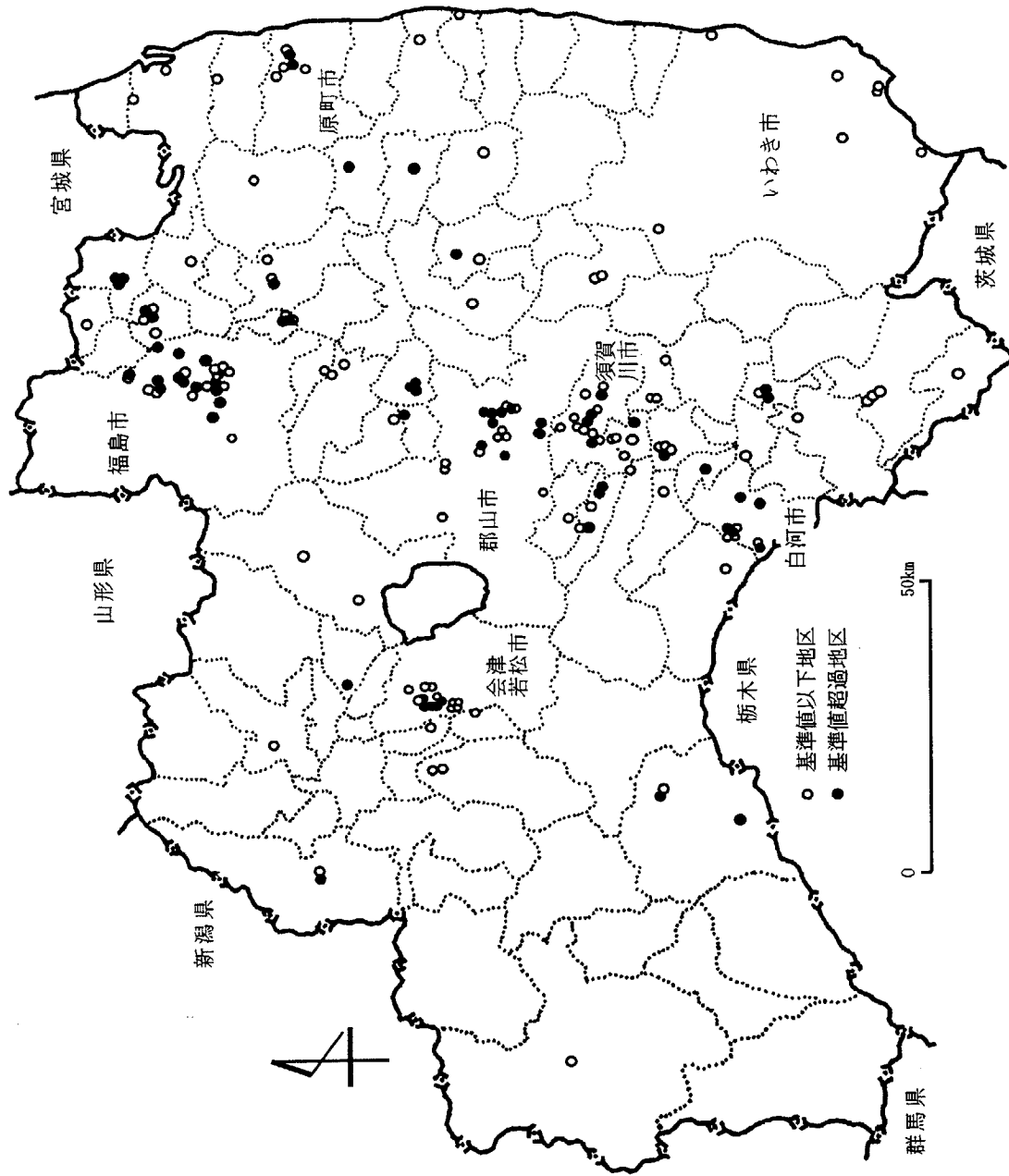


図1 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区  
 (筆者により確認され、又は、1990～1996年度福島県水質年報に報告された地区を示す。)

のうち、日本の水質基準値を超過する井戸を1カ所でも含む地区はおよそ70、それ以下は106程度である。

福島県下の有機塩素系溶剤による汚染地区は、中通り地方を中心にして、会津盆地、阿武隈山地、浜通り平野の広い範囲に認められる(図1)。会津の山間地、新地町～いわき市の平野及び阿武隈山地には比較的少ない。

市郡別に見ると、福島市・郡山市・須賀川市・白河市・伊達郡・岩瀬郡の中通り地方に汚染地区が密集し、会津若松市にも汚染地が多い。いわき市内には井戸が少なく、既存の井戸を利用した調査には大きな制約がある。このため、同市内の汚染の実状には不明な部分が多い。

汚染の状況を化学物質別にみると、トリクロロエチレン・テトラクロロエチレン・1,1,1-トリクロロエタンの3者による汚染地は、いずれも100地区を越えている。1,1,1-トリクロロエタンの水質基準値は大きいために、汚染地の数に占める基準値を超過する汚染地の数は少ない。

## 2 汚染源

地下水汚染の原因者(社)を、厳密に特定する作業は行っていないが、汚染状況、事業場の位置、製品等を判断して、汚染源を推定できる地区がある。これに、福島県水質年報に記載される「推定汚染源」を加えると、福島県下の汚染源を推定できる地区が46ある(表2)。最も数の多い汚染源はクリーニング業である。これに、電機機械器具製造業、精密機械器具製造業が続いている。このほか、光学機械器具製造業、化学工業製品製造業、医薬品製造業による汚染も存在する。

汚染源と推定される業種のうち、福島市や会津若松市にはクリーニング業が、須賀川市や伊達郡内には電機機械器具製造業が目につく。阿武隈山地には小規模

表2 汚染源の業種とその地区数

市郡名	総数	洗濯業	電気機械器具製造業	精密機械器具製造業	その他
福島市	12	6	1	1	4
会津若松市	5	5	0	0	0
郡山市	5	1	0	0	4
白河市	3	1	0	0	2
須賀川市	6	2	3	1	0
安達郡	2	1	0	0	1
石川郡	1	0	0	0	1
岩瀬郡	3	0	0	2	1
伊達郡	6	2	3	1	0
田村郡	1	0	0	0	1
西白河郡	1	0	0	0	1
双葉郡	1	0	0	1	0
合計	46	18	7	6	15

表3 汚染井戸に占める「飲用」及び「飲雑用」井戸の割合

年度	飲用・飲雑用井戸数(A)	汚染井戸数(B)	割合(A/B, %)
92	192	442	43.4
93	98	272	36
94	86	257	33.5
95	117	295	39.7

な光学機械器具製造業や精密機械器具製造業による汚染が散見される。

## 3 飲用井戸の汚染

地下水に恵まれた福島県では、これを飲用する家庭は数多く、有機塩素系溶剤による汚染地下水を利用しているケースが目につく。1992年度から1995年度までの福島県水質年報によって、有機塩素系溶剤による汚染が判明した井戸のうち、「飲用」あるいは「飲雑用」とされたものの数と割合を示したものが表3である。この4年間に、先に記した化学物質による汚染が判明した井戸は年間257～442井あり、「飲用」あるいは「飲雑用」に使用されていた井戸は、その36～43%を占めていた。

## III 地質と汚染の進行との関係

### 1 中通り地方

中通り地方の中心部は、東の阿武隈山

地と西の奥羽脊梁山地の間に広がる、盆地及び両山地の山麓部に位置する。中通り地方の南部一帯には前期更新世の、溶結部を伴う火砕流堆積物が発達し、白河層と呼ばれている（鈴木ら、1976；真鍋ら、1987）。この溶結部や上下に発達する砂礫層は、有能な帯水層を構成する。白河層の溶結部の割れ目を通じて、一部に有機塩素系溶剤が浸入しているところがある。割れ目を通して汚染が進行する場合、汚染質が比較的簡単に深部に達する。阿武隈山地を構成する花崗岩は、大量の地下水を得ることは一般には困難であるものの、ある程度の地下水はその風化部に含まれ、浅井戸を用いて飲雑用などとして利用されてきた。高濃度のテトラクロロエチレンやトリクロロエチレンによる汚染が認められるものの、花崗岩の風化部の透水性は低く、一般に汚染範囲はせまい。しかし、幾つかの断層系が発達するこの山地（中馬・高橋、1981）でも、裂かを通じて汚染が深部に達する可能性がある。

福島盆地や郡山盆地は、盆地を埋積する更新世から完新世の砂礫層で構成され、有能な帯水層が発達している。砂礫層は盆地の縁辺部に近づくにつれて厚さや礫径を増す傾向がある（中馬・木村、1998）。空隙や地下水に富む砂礫層に汚染物質が浸入すると、汚染は地下水の流れに沿って比較的簡単に拡大する。井戸の掘削に伴って開口された難透水層を通過して、汚染質が深部は浸透する可能性がある。これに関して福島市佐倉の場合を報告したことがある（中馬、1992）。ここでは、福島市郷野目に例をとって、地下水汚染の状況を述べる。

福島盆地の南部は、30～150mを越す盆地埋積層を伴っている。図2は、東北新幹線沿いに130本を越すボーリング資料を用いて、濁川付近から信夫山の間

面を、主として層相に基づいて区分した図である。中馬・木村(1998)も参考にしてこの図を検討すると、信夫山以南の福島盆地の埋積層は、およそ、下部の粘土・シルトを主とする部分、中部の礫や泥炭を伴い砂、シルト・粘土からなる部分、上部の礫及びシルト・粘土からなる部分に区分できる。

濁川付近の30～50mの深さには基盤の花崗岩類が伏在する。基盤岩類は荒川の北方で深くなり、福島駅付近では150m以下に存在する（中馬・木村、1998）。中部及び下部の両者は、真鍋ら（1992）のS2以下に対応し、更新世の堆積物であると考えられる。この判断は、竹内・中馬（1991）の年代測定の結果とも矛盾しない。上部は大森川から北では礫層が、その南部では粘土・シルト層が主体を占める。礫層は荒川・松川とその支流が、主として奥羽脊梁山地から運び出したもので、安山岩質礫が主体を占める。真鍋ら（1992）のS1に対応し、ほぼ完新世の堆積層である。

上部の礫層は福島盆地の南部の最も有能な帯水層であり、奥羽脊梁山地に近づくにつれて肥厚する。福島盆地に見られる浅井戸は主としてこの層から採水している。福島市郷野目ではこの礫層中に数多くの浅井戸が設置されている。同礫層中の地下水はトリクロロエチレンによって汚染され、その末端は大森川を超えて第一中学校付近まで達している（図3）。図2から判断されるように、上部の礫層は大森川の下を通り、北方へ連続している。汚染質はここを通り、大森川の左岸側へ拡散したものと推定される。第一中学校の西方には、同じくトリクロロエチレンによる小規模な汚染が認められるが、濃度分布からみて、金込町～第一中学校付近の汚染とは汚染源を異にしている。

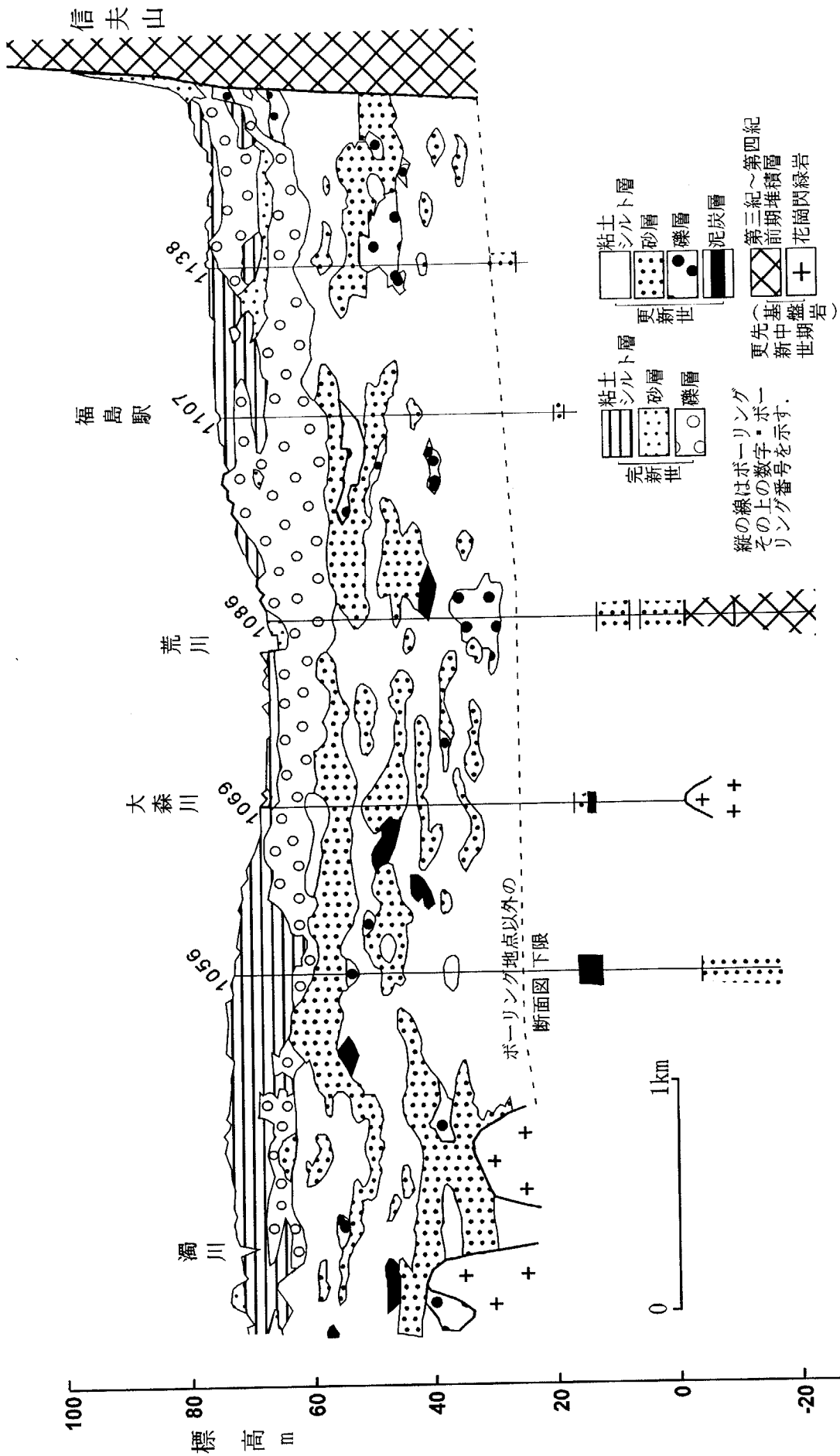


図2 福島盆地南部、東北新幹線沿いの地質断面図(濁川-信夫山間)  
(日本国有鉄道仙台新幹線工事局福島工事事務所, 1981に加筆・  
編集)

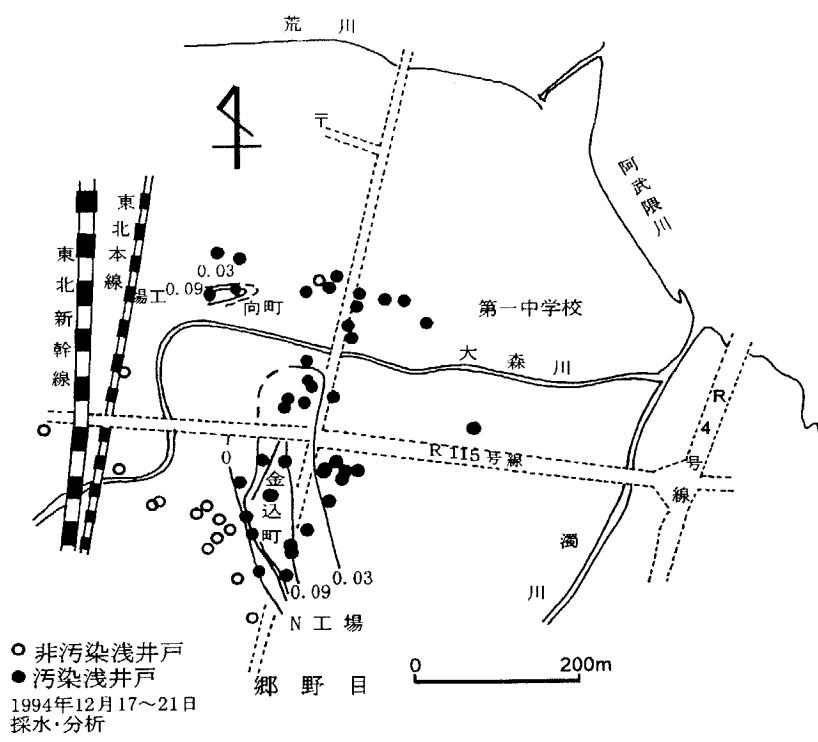


図3 福島市郷野目のトリクロロエチレンによる地下水汚染(単位:mg/l)

不圧地下水は一般には地形と調和して流下することから、金込町及び向町付近のトリクロロエチレンによる汚染は、それぞれ図3に示した工場付近またはさらにその上流部に汚染源があるものと推定される。

## 2 浜通り地方

浜通り地方の平野部は、挟炭層を伴う第三紀層が広がるいわき市を除いて、ほ

ぼ類似した地質で構成される。すなわち、丘陵地に鮮新世の竜の口層が、それを浸食して、更新世の段丘群と完新世の低地を構成する礫を主体とする地層が発達する(中馬, 1985)。厚さ300mを越す竜の口層には被圧帯水層が含まれ、かつては広域において自噴井をもたらしていた。段丘群及び低地を構成する地層には、不圧地下水が含まれ、広く利用されている。

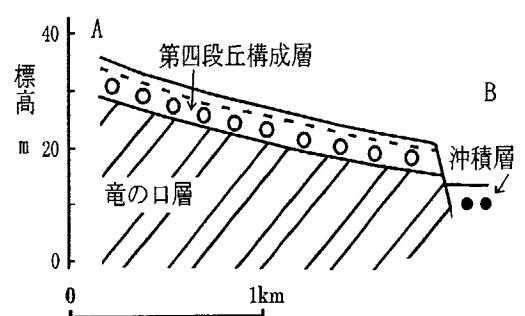


図4 原町市の地質断面図 (位置は図5参照)

原町市の市街地を乗せる第四段丘はかつての新田川が形成した、浜通り地方で最も規模の大きい段丘である。段丘構成層はほぼ花崗岩礫で占められる。同層は、上流部では垂角～垂円巨礫及び大礫で構成されるが、下流になるにつれて細粒化し、原町市街地付近では中～大礫になる。段丘構成層は一般には数m程度の厚さしかない(図4)。この層は浜通り平野で最も有能な不圧帯水層であり、多



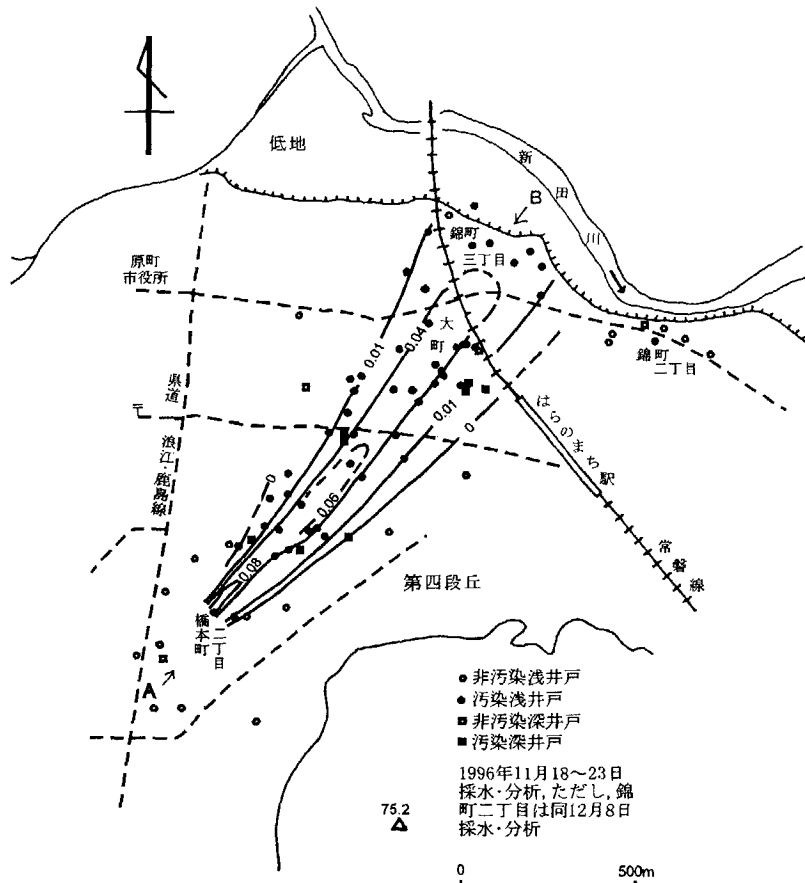


図5 原町市のテトラクロロエチレンによる地下水汚染(単位:mg/l)

数の井戸から、大量の地下水が採取されている。

原町市の橋本町二丁目から錦町三丁目 にいたる1.4km余りの間(大町周辺地区)は、テトラクロロエチレンによって汚染され、福島県下で屈指の広がりをもつ汚染地区になっている。汚染範囲は上流部で幅100m未満、末端の段丘崖付近で幅約500mあり、細長く带状に伸びている(図5)。汚染の中心線の方法は、不圧地下水の流動方向(東北農政局計画部, 1979)とよく調和し、汚染質が地下水の流れに乗って広がっていることを示唆している。

段丘構成層の直下には、竜の口層が不整合に厚く発達する。この付近の竜の口層は礫混じり砂が卓越し、段丘構成層中の地下水や汚染質は容易にここへ浸透できる層相を呈する。事実、大町地区の竜

の口層はテトラクロロエチレンによって、少なくとも50mの深さまでは高濃度に汚染されている。

汚染源は特定されていないが、汚染濃度の最も高い付近にはかつて工場があり、また、その直上流部にはクリーニン

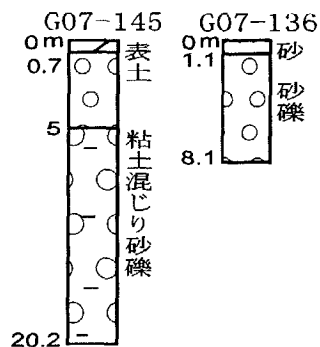


図6 西若松駅付近のボーリング柱状図(位置は図7参照)

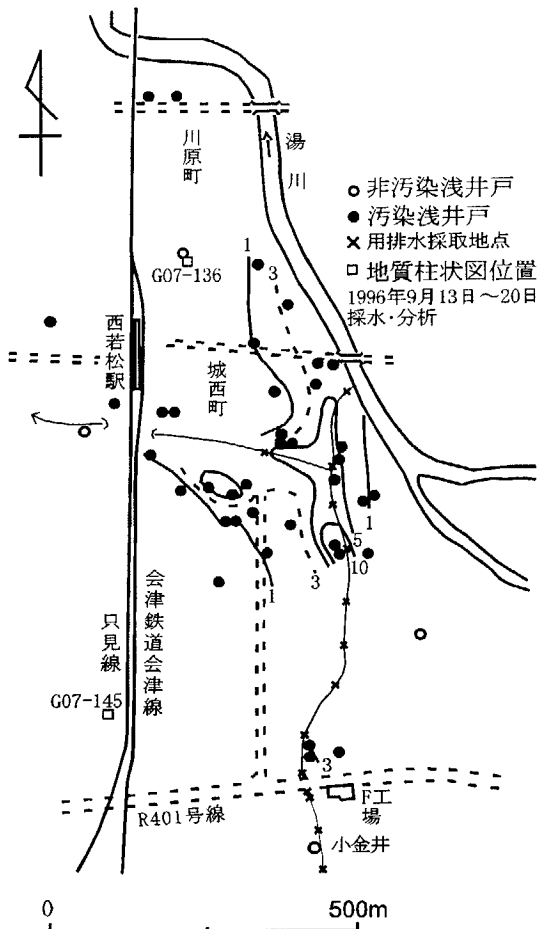


図7 会津若松市のテトラクロロエチレンによる地下水汚染(単位:10<sup>-2</sup>mg/l)

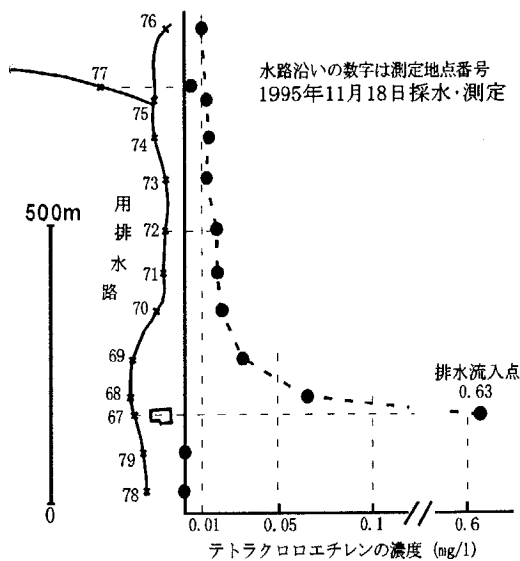


図8 用排水路のテトラクロロエチレンによる汚染(単位:mg/l, 位置は図7参照)

グ工場がある。両者のさらに上流部には汚染は認められていない。3 会津地方

形成が中期更新世以降に始まったとされる現在の会津盆地には、厚さ150mを越す砂礫層が堆積している(鈴木・吉田, 1987)。この砂礫は大川(阿賀川)やその支流が搬出したもので、会津若松市街地は搬出された礫が造る扇状地上に位置する。

川原町付近の表層部は砂礫によって構成され(図6)、有能な不圧帯水層になっている。井戸の深さは数mから15m程度のものが多く、不圧地下水が採取されている。

小金井から城西町を経て川原町にいたる範囲(川原町周辺地区)は、テトラクロロエチレンによる汚染が認められる

(図7)。この汚染は、筆者が確認した福島県下の汚染地区の中では特異な様相を呈している。すなわち、汚染が小用排水路に沿うように広がっていること、高濃度部がテトラクロロエチレンを使用しない住宅地や小水路に接していることである。

1995年及び1996年の水質分析の結果、この小用排水路には高濃度のテトラクロロエチレンが認められた(図8)。上述の特異な汚染分布は、ルーズな礫が直下にくるこの水路からテトラクロロエチレンが浸透してもたらされたものと推定される。

#### IV 問題の所在とその解決の方向

##### 1 情報公開

水質汚濁防止法に基づく水質調査の結果が、福島県では調査後約2年経過して「水質年報」として公表されている。この年報からは、具体的にどこがどのように汚染されているのか、なぜ汚染されているのか、どこに汚染源があるのか、といった情報は得られない。

誰も己の健康を気遣い、生活環境を

良好に保つ願いを持っているはずである。この願いをかなえる第一歩は、自らの生活環境の実態を知ることである。水質汚濁防止法に基づく調査の結果を、住民が実状をよく理解できるように公表することがまず必要である。

米国シリコンバレーでは、「Fact Sheet」として汚染地区ごとに汚染範囲等がわかる詳細な資料が公表される。浄化対策に当たっては、計画書を担当窓口はもとより図書館などで公開し、また、住民に対する説明会をもつとともに、これに対する住民の意見を求めている。こうした努力が、住民の生活環境を保全しようとする意志を形成し、あるいは強化している。さらに、住民が関係官庁の環境保全に対する努力を理解することにも役立っている。

## 2 適切な法令の運用

先に記したとおり、会津若松市川原町周辺地区では高濃度のテトラクロロエチレンを水路に放出したために、広範な地域がこれによって汚染されている可能性が高い。放出されたテトラクロロエチレンの濃度は、筆者が測定した時点では水質汚濁防止法が定める基準値を大きく上回っていた(図8)。

事業者が環境の悪化を招く化学物質を放出すべきでないことは当然として、関係当局はこうした事態が起こらない法の運用に心がけることが求められる。日本には地表付近の透水性が高く、容易に化学物質が地下に浸透する砂礫で構成されるところが広いことに思いをいたす必要もあろう。

## 3 浄化対策

福島県は化学物質による汚染が判明した井戸の所有者に対して、煮沸飲用や水源の上水道への転換を、汚染源の事業者

に対しては、汚染土壌の除去や汚染地下水の揚水を行うよう指導している。

しかし、こうした対策は極めてわずかの汚染地区で実施されているにすぎず、また、事業場の外でこうした対策が取られた事例を筆者は知らない。福島市内では事業場内で浄化対策を取りながら、筆者が調査に訪れた時点では、汚染地下水を飲用する住民の井戸は、関係機関による調査さえ行われていなかったことがあった。

地質・地下水の汚染地を浄化する場合、なぜ浄化するのか、どこに目標を置いて浄化するのか、予め明確にしておく必要がある。

少なくとも国の飲用水の水質基準を超える有機塩素系溶剤による汚染地区は、それ以下になるように計画的に浄化する必要がある。

米国連邦及びカリフォルニア州の両環境保護庁は、飲用水の水質基準値に満たない複数の化学物質によって汚染されている場合でも、それぞれの化学物質の危険度の和が一定の基準値を超えるならば、浄化の対象にしている。地下において汚染質が異なる物質に変化し、さらに毒性が高くなることがあること、科学的に予測できない危険性を予め組み込んでおきたいことがその理由である。

汚染地の浄化の必要性については、既に述べられてきた(吉田, 1995; 中馬, 1996)ように、次の5点をあげることができる。

第1は、住民の健康を守る観点である。有機塩素系溶剤を含む水道水を飲用した住民やその胎児が、深刻な健康被害に直面した可能性があることは、米国カリフォルニア州 Epidemiological Studies and Surveillance Section (1988) などが明らかにし、日本には吉田(1989)によって詳しく紹介されている。福島県保

原町では、国の飲用水の水質基準値の100倍を超える、高濃度のテトラクロロエチレンを含む井戸水を用いて飼育していた魚の背骨が曲がり、あるいは腫瘍が出来て、魚が死亡するに至ったことがあった。

第2は、水資源を保全する観点である。日本では年間に130億m<sup>3</sup>を越す地下水が利用されている（水収支研究グループ、1993）。福島盆地内の地下水利用量は年間2000万m<sup>3</sup>に達する（福島県、1981）。

このように利用される地下水は循環性を有し、地質を初めとする環境を保全することによって、末長く利用できる可能性をもつ資源である。地下水資源を地表水に代替することは、ダムサイトの逼迫や経費の高騰、関係住民の同意を得ることの難しさ等を勘案すると、相当の困難を伴うものである。

第3は、土地所有権の侵害を排除する観点である。化学物質によって所有地が汚染されることに対する土地所有者の関心は、日本ではまだ低いと言わざるをえないが、汚染地を浄化する事態が生じた場合、莫大な経費と時間を費やすことになる。土地を汚染されることによって土地の価値が低下し、ひいては土地所有権を侵害されることにつながる可能性がある。この侵害を排除し、あるいは防止する観点から、汚染地の浄化が必要である。

第4は、地球環境を守る観点である。1, 1, 1-トリクロロエタンや四塩化炭素などが、オゾン層の破壊や地球温暖化をもたらす物質であることは広く認められ、日本における前者の生産・使用は、モントリオール議定書の締約により、1996年から禁止されている（環境庁地球環境部、1995）。地質環境中には大量のこれら物質が放出されており、地下水の揚水に伴い、あるいは気化によって大気中へ出ている。

第5は、労働環境を保全する観点である。前4者に比べてやや比重の軽い観点であるとは言え、放置できない問題を含んでいよう。都市部を中心にして、大規模な建築や地下空間の開発が進められている。この都市部こそ、有機塩素系溶剤による汚染地区が多いところである。ここで働く人達の健康を保つ上から、汚染地の浄化を進める必要がある。

浄化方法についても考慮すべきことがあるのではないだろうか。有機塩素系溶剤は地下の空隙中に微小滴状や、場合によっては一種のたまりになって存在し、通常の地下水流のもとでは汚染質が流動しないことは、実験によって確かめられている（*Hunt et al.*, 1988b）。水への溶解度が著しく小さいこともあって、揚水法による浄化には長期間とそれに伴う経費が必要になる。汚染源の条件によっては、汚染土の除去も困難な場合があるであろう。こうした難問を解決するために、高濃度汚染部に蒸気を注入する方法が有効であると言われ（*Hunt et al.*, 1988a）、米国サンノゼ市内の扇状地にある汚染地区では、同様の考えから電熱により汚染質を気化し、回収する方法が採られている例がある。要するに、経費の面からも、対策に要する時間の面からも、効率の高い方法を採用することが求められる。

#### 4 浄化対象

改正水質汚濁防止法は、1997年4月以降、知事に「特定事業場において有害物質に該当する物質を含む水の地下への浸透があったことにより、現に人の健康に係る被害が生じ、又は生ずるおそれがあると認めるときは、総理府令で定めるところにより、その被害を防止するために必要な限度において、当該特定事業場の設置者（相続又は合併によりその地位を継承した者を含む。）に対し、相当の期

継承した者を含む。) に対し、相当の期限を定めて、地下水の水質の浄化のための措置をとることを命ずる」(第十四条の三) 権限を付与した。

上述したとおり、地質汚染の浄化の必要性は、人の健康被害の観点以外にも存在するのであり、この法は浄化の対象や必要性をあまりにも狭く捉えていると言わざるをえない。加えて、命令を受けた者は常にこれに従わねばならないのではなく、協力を求められるにすぎない場合さえある。

汚染地の浄化の必要性を広く捉え、浄化を積極的に進めていく必要がある。

### 5 浄化対策費の確保

米国のスーパーファンド法が、広く責任者を定めて、遡及して過去の汚染行為の責任を問い、多面的に浄化費用を確保して、国や州政府が協力しながら浄化を進めていることはよく知られている。

日本では、地方自治体が先導する形で条例や要綱を制定して、地質汚染対策に乗り出してきたことは、吉田(1995)に詳しい。

日本の水質汚濁防止法が知事に浄化命令権を付与したとはいえ、国や自治体が確保し、あるいは立て替える等の浄化対策費に関する国の制度は存在しない。福島県下で推定される汚染原因者は、多くは零細業者であって、汚染機構の解明や浄化対策に要する経費を負担する能力に欠けるであろう。汚染原因者に相当の負担を求めることは当然としても、国や自治体によって浄化対策費が確保されない限り、例え浄化命令を発したとしても、その実効性は期待できない。

### 6 その他の問題

水質汚濁防止法に基づく福島県の地下水の水質調査は、「概況調査」・「定期モニタリング調査」・「汚染井戸周辺地区

調査」に分けて実施されている。水質年報に見る限り、調査対象の井戸がどの帯水層から採水する井戸であるのか不明である。地下水や地層の汚染源・汚染範囲及びその機構を解明し、浄化対策を検討する上で、どこが、何によって、どのように汚染されているのか、汚染はどのように進行してきたのか等を把握する必要がある。水質汚濁防止法に基づく地下水の水質調査の内容に、少なくとも試料採取井のストレーナの深さ及び帯水層の状況を明らかにすることが望まれる。

福島県は1995年度の時点で23の環境基準健康項目に硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素、有機リンの25項目を水質測定の対象項目にしている。こうした化学物質の他に、身近に利用されている石油製品などは多い。それらが汚染をもたらしている可能性はないのか、確認の作業が必要である。

米国シリコンバレーでは、1995年にはガソリンスタンドから漏出した化学物質の汚染調査がほぼ終了し、サンタクララ・バレー水管理特別区の担当者によると、浄化すべき汚染地区が700を越すであろうとのことであった。

### IV おわりに

本稿では福島県の有機塩素系溶剤による地下水汚染の実態と、それから読み取れる幾つかの問題点及びその解決の方向等についてのべた。筆者が調査した範囲内でさえも、汚染地下水を生活用水にする家庭がおびただしい数に上った。この汚染の深刻さ、地下水を含む地質汚染地の浄化の必要性が理解されて、一刻も早く浄化に着手されることが望まれる。浄化の技術は既に存在し、汚染源に近づくための経費はさほど大きくない。環境問題に大きな責任をもつ行政組織の決断が待たれる段階である。

- 引用文献
- 中馬教允, 1985: 小海岸平野の水文地質構造と地盤沈下の関係—福島県原町市の例—, 広島大学地学研究報告, No. 25.
- 中馬教允, 1991: 福島盆地の有機塩素系溶剤による地下水汚染—福島市佐倉下地区の例—, 福島大学特定研究「自然と人間」, No. 2.
- 中馬教允, 1992: 福島盆地南部の有機塩素系溶剤による地下水汚染について, 福島大学特定研究「自然と人間」No. 3.
- 中馬教允, 1996: 地質環境の保全を—有機塩素系溶剤による汚染の実態から—, 地学教育と科学運動, No. 26.
- 中馬教允・木村純一, 1998: 南部福島盆地の陸水中の微量元素組成, 「砒素をめぐる環境問題—自然地質・人工地質の有害性と無害性—», 東海大学出版会(東京).
- 中馬教允・高橋禎一, 1981: 花崗岩地帯の地下水流動系—中部阿武隈山地の例—, 「堆積盆中の流体移動—石油・水・熱の流れを追って—, 東海大学出版会(東京).
- Epidemiological Studies and Surveillance Section, California Department of Health Services, 1988: Pregnancy Outcomes in Santa Clara County 1980-1985.
- 福島県, 1981: 地下水利用等基礎調査報告書—福島県における地下水問題の状況.
- 福島県, 1991: 水質年報(平成2年度).
- 福島県, 1992: 水質年報(平成3年度).
- 福島県, 1993: 水質年報(平成4年度).
- 福島県, 1994: 水質年報(平成5年度).
- 福島県, 1995: 水質年報(平成6年度).
- 福島県, 1996: 水質年報(平成7年度).
- 福島県地質調査資料集編集委員会(編), 1993: 福島県地盤・地質調査資料集, 福島県地質調査業協会.
- James R. Hunt, Nicholas Sitar and Kent S. Udell, 1988a: Nonaqueous Phase Liquid Transport and Cleanup, 1. Analysis of Mechanisms, *Water Resources Research*, vol. 24, no. 8.
- James R. Hunt, Nicholas Sitar and Kent S. Udell, 1988b: Nonaqueous Phase Liquid Transport and Cleanup, 2. Experimental Studies, *Water Resources Research*, vol. 24, no. 8.
- 環境庁地球環境部, 1995: 地球温暖化の我が国への影響…地球環境の行方, 中央法規(東京).
- 真鍋健一・芳賀喜代次・川口洋・伊佐津大介, 1987: 東北地方南部の火砕流堆積物の古地磁気学的研究, 福島大学教育学部理科報告No. 39.
- 真鍋健一・竹内貞子・矢部文江, 1992: 福島盆地の第四系, 福島大学特定研究「自然と人間」No. 3.
- 水収支研究グループ, 1993: 地下水資源・環境論—その理論と実践—, 共立出版(東京).
- 日本国有鉄道仙台新幹線工事事務所, 1981: 東北新幹線(白河・桑折間)地質図.
- 鈴木敬治・植田良夫・真鍋健一, 1976: 東北地方南部地域における後期新生代の凝灰岩のK-Ar年代, 福島大学教育学部理科報告No. 26.

- 鈴木敬治・吉田義，1987：会津盆地の形成，アーバンクボタ，No. 26.
- 鈴木敬治・吉田義・真鍋健一・中馬教允，1982：5万分の1表層地質図及び同説明書，土地分類基本調査「福島」，福島県.
- 竹内貞子・中馬教允，1991：福島盆地における上部更新統の堆積年代—日本の第四紀層の14C年代（174）—，地球科学，Vol. 45，No. 4.
- 東北農政局計画部，1979：原町地区地盤沈下調査報告書.
- 吉田文和，1989：ハイテク汚染，岩波新書，岩波書店（東京）.
- 吉田文和，1995：地質汚染と浄化制度，北海道大学「人間と環境」，Vol. 21，No. 3.

## 資 料

- ・ 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区一覧表
- ・ 中馬教允：「福島盆地の有機塩素系溶剤による地下水汚染―福島市佐倉下地区の例―」
- ・ 中馬教允：「福島盆地南部の有機塩素系溶剤による地下水汚染について」
- ・ 中馬教允：「地質環境の保全を―有機塩素系溶剤による汚染の実態から―」



資料 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区一覧 (その1)

市・郡名	地区名	トリクロロエチレン CHCl <sub>3</sub> ・CCl <sub>2</sub> wqs=0.03		五クロロエチレン CCl <sub>2</sub> ・CCl <sub>2</sub> wqs=0.01		1,1,1-トリクロロエチレン CH <sub>3</sub> ・CCl <sub>3</sub> wqs=0.3		四塩化炭素 CCl <sub>4</sub> wqs=0.001		1,1-ジクロロエチレン CH <sub>2</sub> ・CCl <sub>2</sub> wqs=0.02		cis-1,2-ジクロロエチレン cis-CHCl・CHCl wqs=0.04		1,1,2-トリクロロエチレン CHCl <sub>2</sub> ・CH <sub>2</sub> Cl wqs=0.006		備考 (汚染範囲等)		
		濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度					
福島市	荒井	0.002	90			0.002	94											
	飯坂町周辺地区	0.011	91	0.87	91	0.002	91											
	飯坂町平野			0.0031	92	0.017	95											
	五十辺船ノ内地区	0.0009	92	0.0658	92	0.004	93											
	泉I周辺地区	0.013	90	0.062	90	0.001	90			0.0025	97	0.058	94	0.0009	94	大仏-仲田		
	泉II周辺地区	0.018	94	0.18	94	0.001	90			0.0024	94					表・砂子川		
	大森	0.007	91			0.0051	95											
	上島渡周辺地区	0.0007	94	0.35	90	0.002	90											
	黒岩I周辺地区	0.067	93															
	黒岩II周辺地区	0.025	91	0.0012	92	0.03	93			0.003	94	0.73	95			釜込町		
	郷野目周辺地区	0.51	93	0.0014	94	0.2	90			0.004	94					棚子-加藤東		
	佐倉周辺地区	0.32	90	0.0005	90	0.0079	92									大金谷		
	笹木野	0.019	92	0.0006	92	0.001	92									下堰場-前原前		
	笹谷I周辺地区	0.01	91	0.46	92	0.0064	95					0.1	95			西中川原		
	笹谷II					0.003	89											
	瀬上町I周辺地区	0.096	89	72	91	0.003	89											
	瀬上町II周辺地区			0.0012	94													
	野田町周辺地区	0.012	89	0.031	89													
	伏拝地区	0.0165	92	0.0008	92													
	方木田字白釜地区	0.0005	92			0.0005	92											
	向町地区	0.099	94	0.0064	94	0.0046	94											
	渡利周辺地区			0.015	92	0.61	92	0.024	89									
	大町周辺地区	0.0292	96	0.4408	96	0.076	96			0.0029	95	0.011	95			舟場		
川原町周辺地区	0.026	91	0.17	91	0.0015	95			0.002	95	0.008	94	0.005	96	大町・中町 鮎脇町-川原町			
城東町			0.0029	92														
城前					0.0014	95												
新橋町周辺地区	0.034	92	0.61	91	0.001	92												
中町周辺地区	0.008	95	0.021	95	0.003	95												
七月町地区	0.005	96	0.0184	96	0.0153	96					0.2	95						
門田町飯寺I	0.01	92			0.0007	95												
門田町飯寺II					0.0037	95												
門田町飯寺III	0.007	93			0.0008	95												
門田町飯寺IV	0.009	95																
門田町年貢	0.047	89	3.1	89	0.005	91												
門田町吉周辺地区			0.031	90	0.02	89												
山見町周辺地区	0.004	92	0.031	90														

資料 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区一覽(その2)

市・郡名	地区名	CHCl <sub>3</sub> ・CCl <sub>2</sub> 濃度 年度		CHCl <sub>2</sub> ・CCl <sub>2</sub> 濃度 年度		CH <sub>3</sub> ・CCl <sub>3</sub> 濃度 年度		四塩化炭素 CCl <sub>4</sub> 濃度 年度		1,1-ジクロロエチレン CH <sub>2</sub> ・CCl <sub>2</sub> 濃度 年度		cis-1,2-ジクロロエチレン cis-CHCl <sub>2</sub> ・CHCl <sub>2</sub> 濃度 年度		1,1,2-トリクロロエチレン CHCl <sub>2</sub> ・CH <sub>2</sub> Cl 濃度 年度		備考 (汚染範囲等)		
		濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度			
いわき市	小名浜Ⅰ	0.002	93	0.004	91	0.001	93											
	小名浜Ⅲ					0.0006	95											
	鹿島町下矢田			0.0011	89													
	三和町下三坂	0.008	94	0.002	94	0.002	93											
	常磐上湯長谷町					0.0009	94											
	錦町					0.0005	95											
	久之浜町久之浜			0.0016	89													
	中寺			0.0018	94	0.002	95											
	喜多方市	熱海町安子島			0.0005	92	0.21	94										
	郡山市	熱海町Ⅰ			0.008	95												
		熱海町中山			0.0019	92												
		池ノ台			0.0033	90												
		石塚	0.011	94	0.0014	94	0.31	94										
大槻町				0.035	92	0.0096	95			0.078	94							
笹川周辺地区		0.41	90	1.2364	92	0.0025	92			0.004	95	0.096	94					
笹川一丁目地区		0.0297	92	0.66	90	0.4	92					0.25	95	0.0052	94	郡山工業団地		
外河原周辺地区		0.0921	92															
田村町金屋		0.002	90			0.0023	94			0.004	95							
田村町下行合		0.038	93	0.06	89													
田村町徳定周辺地区				0.028	92	0.0006	92											
富田町藤野地区		0.0008	94	0.0012	93													
富田町館南				0.004	93	0.062	90											
麓山	0.004	93	0.017	92	0.006	92												
富久山町久保田周辺地区	0.062	90	0.017	92	0.0008	92			0.012	95	0.099	94	0.0017	95	水穴			
富久山町福原周辺地区	5.8	92									2.3	95						
細沼町	0.0201	92																
三穂田町富岡	0.007	92			0.0472	94			0.0069	94						五丁目-越渡		
横塚五丁目地区周辺地区	0.4369	92	0.0034	94	0.0014	94												
白河市	阴戸			0.0008	94	0.0014	94											
	円明寺周辺地区	0.092	92	0.66	90	1.9	90					0.085	94					
	双石周辺地区			0.031	90	0.0056	94											
	白坂周辺地区	0.013	90			0.0016	95											
	点坂Ⅱ	0.004	95	0.036	95	0.079	95											
	昭和町	0.45	89			0.71	95											
	関辺周辺地区 道場小路 横町周辺地区	0.003	92	0.0024	92	0.006	92											

資料 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区一覧(その3)

市・郡名	地区名	トリクロロエチレン CHCl <sub>3</sub> -CCl <sub>2</sub> wqs=0.03		テトラクロロエチレン CCl <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> wqs=0.01		1,1,1-トリクロロエタン CH <sub>3</sub> -CCl <sub>3</sub> wqs=0.3		四塩化炭素 CCl <sub>4</sub> wqs=0.002		1,1-ジクロロエチレン CH <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> wqs=0.02		シス1,2-ジクロロエチレン cis-CHCl-CHCl wqs=0.04		1,1,2-トリクロロエタン CHCl <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> Cl wqs=0.006		備考 (汚染範囲等)	
		濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度		
須賀川市	小作田周辺地区	0.005	89	0.14	89												
	塩田字小五	0.0021	95			0.0389	95										
	下宿前	0.002	93	0.0005	92												
	滑川	0.008	92	0.0005	95	0.0002	95										
	八幡町	0.0143	95														
	保土原	0.003	95														
	南上町周辺地区	7.1	94	4.8	95	6.2	93			0.53	95	0.14	95	0.0084	95		
	森宿	0.002	92			0.018	93										
	横山町I	0.16	93			0.0083	94										
	横山町II	0.008	95			0.0028	94										
相馬市	横山町III	0.066	94			0.0048	95										
	横山町V																
	和田	0.021	91														
	和田	7.3935	95	10.2858	95	3.9414	95			0.5255	95						
	和田道																
	椎木					0.08	92										
	程田					0.039	95			0.003	94						
	安達ヶ原	0.011	94			0.032	92										
	小高内			0.0012	90	0.003	93										
	原町市	大町周辺地区	0.0037	96	0.2	90	0.019	90									橋本町-錦町
北長野				0.0012	93	0.001	92										
北町				0.0011	90	0.002	93										
国見町		0.0007	94	0.0072	94	0.0004	94										
高見町		0.029	90	0.0017	91	0.022	91										
高見町		0.0131	96	0.0003	96												
錦町地区										0.0122	96						
安達郡																	
石川郡		安達町 渋川	0.007	95			0.014	94									
		大玉村 玉井					0.21	94									
	白次村 糠沢I 周辺地区	0.052	94	0.83	92	0.0023	95					0.006	94			原	
	糠沢II	2.1	91	0.12	91	6.4	91			0.005	94						
	糠沢III 周辺地区	0.08	90	0.0009	90	0.087	95			0.016	95	0.006	95				
	本宮町 上町周辺地区	0.2	89	6.3	89	0.13	89			0.002	94	0.19	94				
	浅川町 浅川I 周辺地区	0.1	93	0.047	91	0.007	90					0.048	95				
	浅川II 周辺地区			0.37	91												
	大野塚	0.004	94	0.0009	94	0.003	94										
	玉川村 岩法寺 中	0.007	92			0.0013	95										

資料 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区一覽(その4)

市・郡名	地区名	ト)CHCl <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> wqs=0.03		テ)CCL <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> wqs=0.01		1, 1, 1-トリクロロエタン CH <sub>3</sub> -CCl <sub>3</sub> wqs=0.3		四塩化炭素 CCl <sub>4</sub> wqs=0.002		1, 1-ジクロロエタン CH <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> wqs=0.02		シス, 2-ジクロロエタン cis-CHCl-CHCl wqs=0.04		1, 1, 2-トリクロロエタン CHCl <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> Cl wqs=0.006		備考 (汚染範囲等)
		濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	
玉川村	南須釜	0.003	94	0.0006	94											
岩瀬郡	梅田					0.002	93									
鏡石町	鏡田 I	0.005	90	0.0009	92	0.006	90									
	鏡田 II					0.0005	94									
	笠石					0.48	95									
天栄村	成田 I 周辺地区	0.52	95	0.0037	94	0.001	93									
長沼町	高林			0.0039	91	0.005	92									
	木之崎 I 周辺地区	0.68	89	0.76	89	0.009	89									
	木之崎 II 周辺地区	0.086	91			0.43	92			0.017	94					
	志茂			0.0014	95											
	滝					0.0228	95									賀川川沿い
	長沼 I					0.001	93									
	長沼 II 周辺地区	0.009	92	0.013	92	0.096	92			0.004	94	0.008	94			
大沼郡	鹿島					0.001	91									
会津高田町	高田			0.0007	93	0.12	95			0.011	95					
会津本郷町	大石															
北会津郡	伊和保					0.0011	95									
相馬郡	草野	0.004	91													
飯館村	山下	0.002	92	0.0029	89	0.002	92									
鹿島町																
伊達郡	飯野町													0.0096	97	
	飯野宇前川地区	0.0451	97	0.001	97	0.0005	97									
	大久保字馬場田地区	0.0004	97			0.0005	97									
	小平地区	0.0005	97	0.0005	97											
	明治周辺地区	0.2155	97			0.22	95			0.64	94			0.0006	95	藤柄
川俣町	飯坂	0.008	95													
	中丁	0.004	95													
	八反田周辺地区	0.42	94	0.99	92	0.19	91			0.01	94	0.18	95			太子堂
国見町	山崎	0.003	91													
伊達町	箱崎			0.0012	95											
保原町	栢町周辺地区	0.012	93	0.53	92	0.002	93					0.004	95			
	栢町	0.005	91	0.0057	94	0.004	91									
	八丁目 I	0.005	89													

資料 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区一覧(その5)

市・郡名	地区名	トリクロロエチレン CHCl <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> 濃度		テトラクロロエチレン CCl <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> 濃度		1,1,1-トリクロロエタン CH <sub>3</sub> -CCl <sub>3</sub> 濃度		四塩化炭素 CCl <sub>4</sub> 濃度		1,1-ジクロロエチレン CH <sub>2</sub> -CCl <sub>2</sub> 濃度		シス,2-ジクロロエチレン cis-CHCl-CHCl 濃度		1,1,2-トリクロロエタン CHCl <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> Cl 濃度		備考 (汚染範囲等)
		濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	
保原町	八丁目II周辺地区	0.081	95	1.2143	94	0.04	91			0.0093	94	0.31	95			
梁川町	白川田周辺地区	0.007	91	0.75	92							0.005	95			
	本町周辺地区	0.09	91	0.76	91	0.004	93			0.002	95	0.26	95			
	南本町周辺地区	0.021	94	0.084	92	0.002	90									
霊山町	石田					0.011	92									
田村郡	小野新町	0.011	89													
	飯豊					0.0015	94									
常葉町	久保周辺地区	0.048	89	0.29	90	1.5	90									
	常葉	0.02	95	0.047	95	0.1	92									
船引町	船引	0.004	90	0.008	90											
都路村	古道II	0.002	92													
西白河郡																
泉崎村	泉崎	0.038	95			0.051	95									
大信村	中新城	0.004	93			0.001	93									
西郷村	小田倉	0.019	91													
東村	蕪内	0.002	90			0.0091	95									
矢吹町	大町	0.3	92			0.001	90									
	新町	0.002	90			0.018	95			0.005	95					
	堰ノ上周辺地区	0.002	93			0.044	95									
	丸ノ内															
東白川郡																
棚倉町	上台					0.016	93									
埴町	合宿	0.0036	94			0.0053	94									
	台宿	0.0053	95			0.0032	95									
	壇					0.21	94									
矢祭町	小田川					0.21	94									
双葉郡																
葛尾村	落合周辺地区	0.029	91	0.66	95	0.0621	97					0.005	95			
浪江町	赤字木周辺地区	0.056	91			0.043	92			0.002	94					
	川添	0.007	90			0.01	90									
双葉町	郡山	0.008	93	0.0023	93	0.003	93									
南会津郡																
田島町	糸沢周辺地区	0.053	89	0.0025	89	0.36	89									
	田島I	0.0053	91													
	田島II周辺地区	0.019	91	0.13	90							0.004	95			
只見町	福井					0.001	93									

資料 福島県の有機塩素系溶剤による汚染地区一覧(その6)

市・郡名	地区名	トリクロロエチレン CHCl <sub>3</sub> ・CCl <sub>2</sub> wqs=0.03		テトラクロロエチレン CCl <sub>2</sub> ・CCl <sub>2</sub> wqs=0.01		1,1,1-トリクロロエタン CH <sub>3</sub> ・CCl <sub>3</sub> wqs=0.3		四塩化炭素 CCl <sub>4</sub> wqs=0.002		1,1-ジクロロエチレン CH <sub>2</sub> ・CCl <sub>2</sub> wqs=0.02		シス,2-ジクロロエチレン cis-CHCl・CHCl wqs=0.04		1,1,2-トリクロロエタン CHCl <sub>2</sub> ・CH <sub>2</sub> Cl wqs=0.006		備考 (汚染範囲等)
		濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度	濃度	年度			
耶麻郡 猪苗代町 城南 若宮	野沢 I 周辺地区 野沢 II		91	0.0009	91											
			91	0.13	91		0.003	92								
			90	0.0025	90											
磐梯町	大谷周辺地区		91	0.021	91		0.006	91								

注)①この表は、筆者の資料及び1991～1996年版福島県水質年報により作成した。  
 ②汚染地区とは、筆者又は福島県によって汚染が確認又は報告されたことがある地区である。  
 ③斜体は筆者の資料であることを示す。  
 ④濃度の単位は1リットル中のmgである。

# 福島盆地の有機塩素系溶剤による地下水汚染

—福島市佐倉下地区の例—

中 馬 教 允\*

Groundwater Contamination with Chlorinated Solvents in the  
Fukushima Basin, Northeastern Japan

—An Example in the Sakura-shimo Area, Fukushima City—

Norichika CHUMAN

福島大学特定研究「自然と人間」研究報告No.2 別刷

1991年3月

## 福島盆地の有機塩素系溶剤による地下水汚染

—福島市佐倉下地区の例—

中馬教允\*

### Groundwater Contamination with Chlorinated Solvents in the Fukushima Basin, Northeastern Japan

—An Example in the Sakura-shimo Area, Fukushima City—

Norichika CHUMAN

#### 1. はじめに

福島盆地の表土及び地下水中の有機塩素系溶剤（トリクロロエチレン，テトラクロロエチレン等）による環境汚染の状況を，水文地質構造との関係において明らかにするために，研究を実施中である。これは1989年度に始まった「自然と人間」と題する，福島大学特定研究の一部である。現地調査は1990年8月1日以降開始し，未だに福島盆地の南半部に限られているが，上記溶剤による環境汚染は，広く，深く認めることができた。

表土が強く汚染されていることを確認した地区は，福島市渡利および瀬上にあり，また，同市佐倉下においてもこの疑いをもたれた。地下水の汚染は，福島市佐倉下，上鳥渡，渡利，および瀬上で確認した。詳細が公表されていないものの，後三者は福島県によってその汚染が確認されている場所と同一地点であろうと推定した。

今年度は，研究の途中ではあるが，福島市佐倉下地区の有機塩素系溶剤による地下水汚染について報告する。当地区には水道がなく，全戸が地下水を利用しているところである（1990年秋以降上水道を敷設中）。

**謝辞：**この研究を実施するにあたり，次の方々からご教示を得た。千葉県水質保全研究所楡井久・中島淳両氏，千葉県君津市鈴木喜計氏，第1回地下水汚染調査技術研究会講師および幹事の諸氏。また，福島県および宮城県下の地質調査業関係者からは，ボーリングおよび井戸資料を提供していただいた。福島大学行政社会学部杉山靖・高野利嗣両君には現地調査を手伝っていただいた。以上の方々に深い感謝の意を表する。

---

\* 福島大学行政社会学部応用社会学科



## 2. 調査方法

調査地点は、福島市上名倉字染内から仁井田字海老向の間にあり、一部荒川を隔てた仁井田字梵天に及んでいる(図1)。調査対象はすべて家庭用の井戸であり、その総数は69井である。このうち数井は降雨後の濃度変化を見るために、不定期的ではあるが4~5回調査した。現地調査は1990年8月上旬から同年10月中旬に実施した。すべての井戸が密栓してあるため、数分間放水した後蛇口から採取し、その場で濃度を測定した。

地下水中の有機塩素系溶剤の濃度は、検知管によって簡易定量した。この方法は、「被検物質以外のハロゲン化合物……にも検知管は正の反応を示すので」(竹田, 1986), 地下水中の物質を特定できない難点を有する。元

来, 分析精度は高くないとされる(竹田, 1985, 1986)が, 地下水温と気温の差が大きくなると, 精度を落とす可能性を有する。気温が高い場合, ガラス瓶中の気相部の気温測定中に温度が上昇し, 水中濃度の計算値に誤差を生む余地がある。これが低い場合には, 気相部の溶剤の濃度が著しく小さくなり, 気温が高い場合に比べて, 検知管に反応しにくくなる。

しかし, 有機塩素系溶剤による地下水汚染の立体的広がりや, 汚染機構を解明しようとする目的のためには, 別の方法により汚染質を特定できれば, 検知管によって得た濃度によって, この目的を一応達成することが出来ると判断した。分析が簡便に, 現地で行え, かつ, コストが低い利点を持つ。竹田(1985, 1986), 中島(1987)はこの方法による工場排水等の管理が可能であることを示し, 鈴木ら(1989, 1990), 楡井(1990)は千葉県君津市において有機塩素系溶剤による地下水汚染調査に応用した。

佐倉下地区では, 筆者が有機塩素系溶剤によって地下水が汚染されていることを確認した後, 1990年9月初め頃から, 福島県によって汚染質の特定と地下水中の濃度分析が行われ, 井戸所有者にその結果が通知された。民家から提供された資料によると, 汚染質はトリクロロエチレン(TCE)である。また, 12井の水中の濃度を, 筆者が1990年9月に検知管によって得た値と比較したものが図2である。両者は0.98の相関係数を持ち, 検知管法がここでは公定法によって得られた値に十分近く, かつ高い相関を持っていることを示している。

水文地質構造は, 既存のボーリングと井戸資料によって解明しようとした。しかし, 地下水汚染地区の上流部に4本しか資料がなく, 十分な解明が出来ていない。

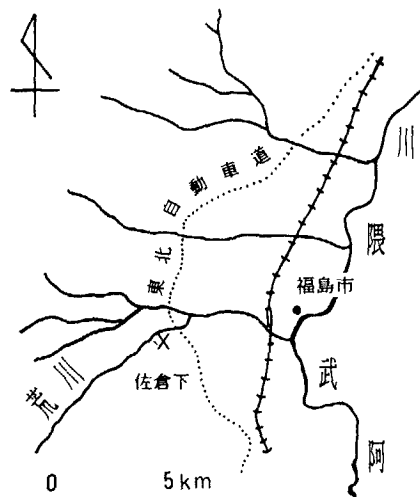


図1 調査位置(X印)

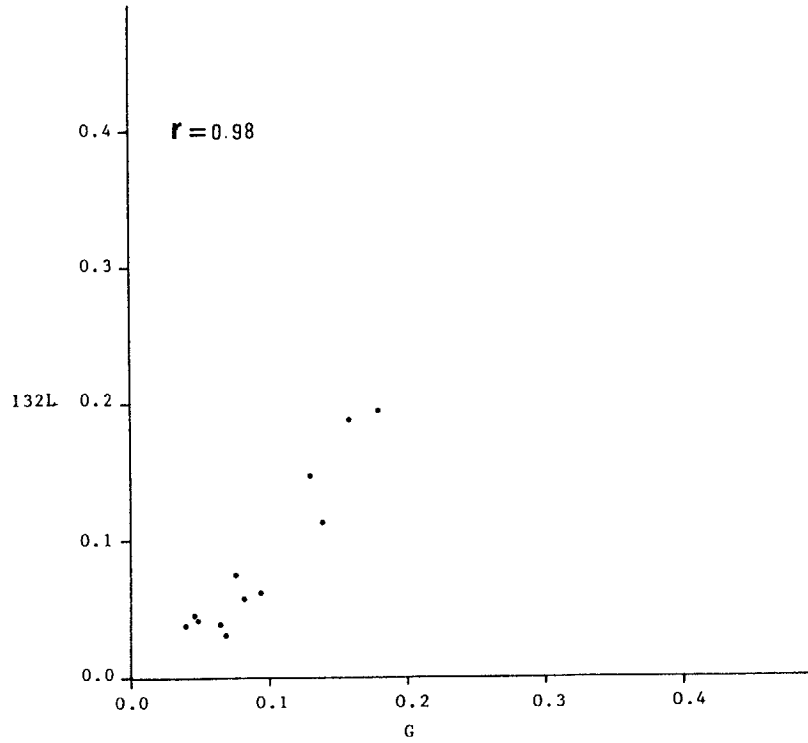


図2 検知管法と公定法による測定値の比較  
 G：福島保健所の分析値 132L：検知管法による分析値

### 3. 調査結果

#### (1) 汚染の面的広がり

日本ではTCEの飲料水の基準は0.03mg/lと定められている。米国のそれは0.005mg/lである。調査地

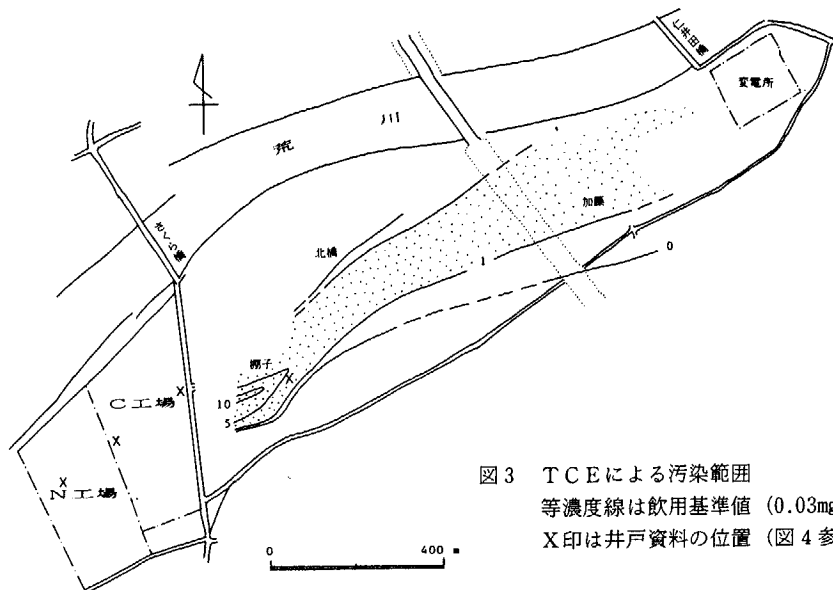


図3 TCEによる汚染範囲  
 等濃度線は飲用基準値 (0.03mg/l) の倍数で表示  
 X印は井戸資料の位置 (図4参照)

区で地下水中のTCEが日本の基準を上回る範囲は、佐倉下字棚子から仁井田の東北電力西福島変電所のすぐ西まで確認され、その面積は約23haある(図3)。同基準を下回る範囲を含めると、その範囲は約35haである。

TCEによる汚染地域と非汚染地域の南側境界は、地形面の境界とよく一致し、鮮明である。すなわち、二本柳〜久保付近には比高1m程度の新期の段丘崖が発達し、ここが境界部になっている。北側には井戸がない農地などが広がっており、必ずしも詳細はわからないが、境界は低地内に認められ、分析の対象とした井戸が密集するところでは、どこでも汚染地域と非汚染地域の境界は鮮明である。

汚染区域は飲用基準の1〜5倍の範囲が最も広く、10倍を越える範囲は限られている。最高濃度を示したのは佐倉下字棚子にあり、1990年8月9日に飲用基準の約14倍あった。翌10日に大雨があり、11日には9.7倍に低下しており、同日に測定した他の井戸でも濃度が低下していた。このことから、降雨によって希釈され、濃度が低下したことがうかがえた。1月後にはTCE濃度は8月9日の濃度近くに復していることが確認された。

棚子のすぐ上手にはC、N両工場があり、これら工場の上流(西)側及び測方(南側)では、TCEによる汚染が確認されない。

## (2) 汚染の垂直的広がり

棚子とその上手にある2工場敷地内に掘られた井戸資料によると、当地の地表下少なくとも50m付近までは、3層の砂礫と2層のシルト〜礫まじり粘土層によって構成されており、砂礫層はいずれも良質の帯水層になっている。深さ9〜11m、21〜28m付近にはシルト〜礫混じり粘土層があり、厚さに変化はあるものの、難透水層になっている(図4)。上位の難透水層(a層)は、C工場の東(棚子側)で礫分を増し、透水性が大きくなっていることを伺わせる。下位のそれ(b層)は連続性がよい。

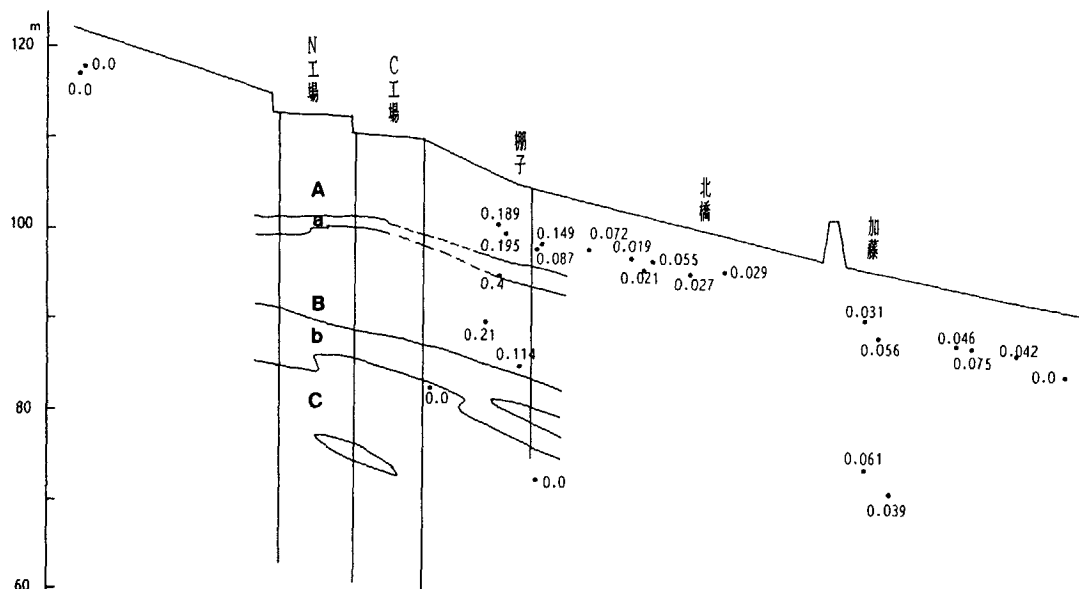


図4 帯水層ごとの汚染の広がり  
数値はTCE濃度(mg/l)、断面の位置は図3参照

TCEによる汚染区域内に住む大部分の住民は、上位の難透水層（a層）の上下にある、A、B両帯水層から採水しているが、一部には下位の難透水層（b層）の下にあるC帯水層から水を得ている。C、N両工場は工業用水として地下水を利用しているが、いずれもこれらの帯水層よりはるかに深いところから揚水している。

TCEによる汚染はA、B両帯水層に限られており、C層内にはほとんど認められない。A、B両帯水層の汚染は、飲用基準の1～5倍の範囲が両者とも広く、その状況に大きな違いはない。棚子から東の調査範囲内のA、B両帯水層内にあるTCEの量は、少なくとも40～60 $\mu$ lと推算される。

#### 4. 地下水汚染機構の考察

佐倉下～仁井田一帯のTCEの汚染源は、C、N両工場をはさむ棚子と染内間にあり、ここに報告した汚染範囲内にはない可能性が強い。その理由は次の通りである。

- ① TCEは人工の物質であって、一般の民家では使用しないものである。調査した範囲ではこれを使用した実績を確認できなかった。
- ② 棚子のすぐ上流（西）側のCおよびN工場では、これを使用していたことが報じられている（例えば、1990年12月7日の読売新聞福島版）。
- ③ 通常、汚染源とその直下の地層や帯水層は、極めて高い有機塩素系溶剤の濃度を示す（藤縄、1990；McCarty, 1990）。例えば、千葉県君津市ではTCEが飲用基準の数1,000倍以上（鈴木ら、1989）、テトラクロロエチレンでは静岡市でその46万倍（平口、1990）の高濃度の地下水が確認されている。一般の汚染源から汚染質は地下水に溶出して下流へ拡散するが、その濃度はそれほど高くない。汚染濃

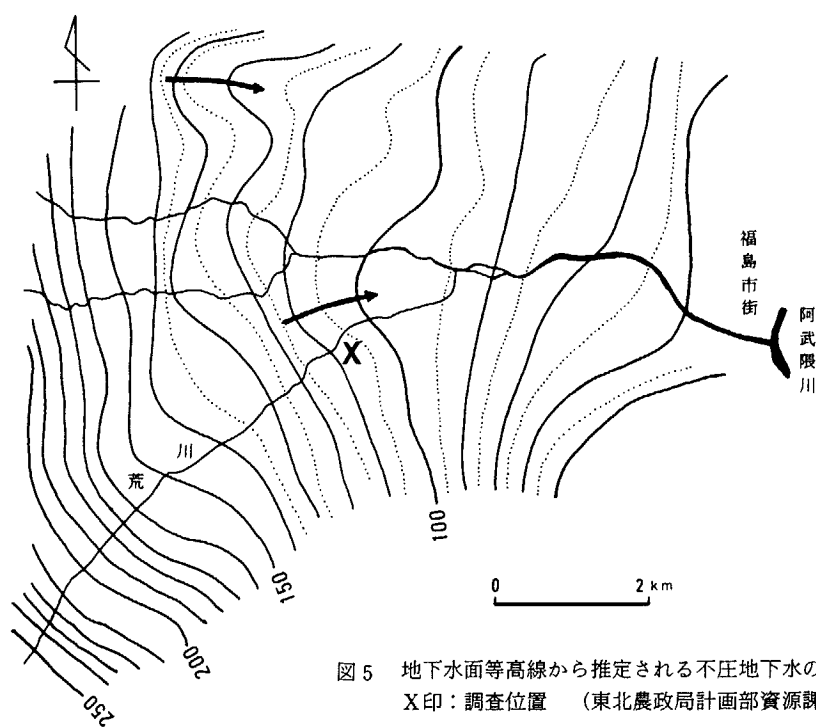


図5 地下水等高線から推定される不圧地下水の流動方向(矢印)  
X印：調査位置（東北農政局計画部資源課、1964より作成）

度から判断しても、佐倉下～仁井田間は汚染源からやや離れた位置にあるものと推定される。

- ④ ③の推定は、水文地質構造や地下水面等高線（図5）から推定される地下水の流動方向とも矛盾しない。

汚染源から地下に浸透したTCEは、a、b両難透水層に規制され、A、B両帯水層中を、下流の仁井田方向へ流動しているものと考えられる。難透水層のb層は岩相や比抵抗の値から判断して、C工場と棚子間では透水性を増し、TCEがA層からB層へ降下する「窓」になっている可能性が強い。

また、たくさんの民家はB層から採水しており、b層中の側管外側の井戸穴からTCEがB層へ拡散しているものと推定される。棚子一帯は（C、N工場が立地後）この20年間に、少なくとも2回程度水位が低下して揚水困難に陥り、井戸を掘り増ししている。1990年はこうした年に当たっている。地下水位の低下の原因についてはここでは言及しないが、こうした掘り増しによって難透水層に穴が開き、汚染質が下位の帯水層へ広がっていることを伺わせる。1990年秋にC層から採水するために設けた佐倉下字島地区の井戸から、作井直後に微量のTCEを検出したのは、TCEができたばかりの井戸穴を通して、C層へ漏れ出たためであると考えられる。ここ以外ではC層からTCEは検出されていない。

## 5. あとがき

ここに報じた成果は、まだ中間的なものである。今後筆者自身による汚染質の特定と検知管法の有効性を再確認する作業や、水文地質構造の解明等が残されている。さらに、福島盆地内の他の地区における汚染とその機構についても明らかにする課題がある。

佐倉下地区一帯のTCEによる汚染にかかわっては、

- ① TCEは使用する者（企業）が限られていること。
- ② 佐倉下一帯ではその使用者（の少なくとも一部）が判明していること。
- ③ 水文地質構造が単純なこと。
- ④ この研究によって、汚染源と推定される場が狭い範囲に絞られてきていること。
- ⑤ 汚染源特定にはすでに一定の技術が確立され、日本の各地でその有効性が確かめられていること。
- ⑥ 汚染がせいぜい地下30m程度までしか広がっていないため。作井等の経費が相対的に少なくてすむこと。

などから、汚染源の特定は容易であると言えよう。早急に汚染源を特定し、汚染質を除去することが求められる。地下水を利用する地域住民にとっては、直接生活の利便性や健康に関わることからである。また、貴重な水資源を保全し、利用する観点からも、このことは必要であろう。汚染域が拡大するにつれて、浄化に要する経費は飛躍的に増大することが、すでにいくつかの地域で経験され、知られている（McCarty, 1990）。

米国カリフォルニア州では、有機塩素系溶剤による地下水汚染の調査結果を市民に公開し、所管官庁と汚染企業と市民の3者が討議して、地下水浄化策をまとめてこれを実行する制度があり（California Water Quality Control Board, 1990a, b）、参考になるであろう。

## 引用文献

- California Water Quality Control Board(1990a) Intel-Santa Clara 3, Micro Storage /Intel Magnetics and Synertek Building #1, Santa Clara Superfund Sites. *Fact Sheet #1*.
- California Water Quality Control Board(1990b) Intel-Santa Clara 3 Superfund Site, Santa Clara California. *Fact Sheet #2*.
- 藤縄克之(1990) 「汚染される地下水」。共立出版(東京)。
- 平口達夫(1990) 静岡市における地下水汚染・地層汚染の処理技術, シンポジウム「地下水汚染・地層汚染とその対策—地下水を甦らせるために—」(演旨)。日本地質学会・日本地質学会関東支部。
- McCarty, P. L. (1990) Scientific Limits to Remediation of Contaminated Soils and Ground Water. *Ground Water and Soil Contamination Remediation: Toward Compatible Science, Policy, and Public Perception*. National Academy Press(Washington, D. C., USA).
- 中島 淳(1988) 検知管による水中のトリクロロエチレン及びテトラクロロエチレンの簡易測定について, 千葉県水質保全研究所年報(昭和62年度)。
- 楡井 久(1990) 地層汚染・地下水汚染の調査から対策へ, シンポジウム「地下水汚染・地層汚染とその対策—地下水を甦らせるために—」(演旨)。日本地質学会・日本地質学会関東支部。
- 佐藤賢司・鈴木喜計・楡井 久(1990) 調査過程における処理技術, シンポジウム「地下水汚染・地層汚染とその対策—地下水を甦らせるために—」(演旨)。日本地質学会・日本地質学会関東支部。
- 鈴木喜計・佐藤賢司・楡井 久(1989) 君津市における有機塩素化合物による地層汚染・地下水汚染調査研究と対策, シンポジウム「地下水汚染と地層汚染—地下水資源と地下環境の健全な利用をめざして—」(演旨)。日本地質学会・日本地質学会関東支部。
- 竹田一郎(1985) 検知管による水中の微量テトラクロロエチレンの簡易定量法, 分析化学, 34巻4号。
- 竹田一郎(1986) 検知管による水中の微量トリクロロエチレン及び1,1,1-トリクロロエタンの簡易定量, 分析化学, 35巻6号。
- 東北農政局計画部資源課(1964) 農業用大規模地下水調査報告書—福島盆地—。

福島盆地南部の有機塩素系溶剤による  
地下水汚染について

中 馬 教 允

**Groundwater Contamination with Chlorinated Solvents  
in the Southern Fukushima Basin, Northeastern Japan**

Norichika CHUMAN

福島大学特定研究「自然と人間」研究報告 No.3 別刷

1992年3月

## 福島盆地南部の有機塩素系溶剤による 地下水汚染について

中馬教允\*

### Groundwater Contamination with Chlorinated Solvents in the Southern Fukushima Basin, Northeastern Japan

Norichika CHUMAN

#### 1. はじめに

盆地群や海岸平野を擁し、水文地質学的条件に恵まれている福島県は、長い間地下水を飲料水や農業・工業用水などに大量に使用してきた歴史がある。ところが、近年各種の化学物質が使用されるようになって、これらの一部が不用意に、あるいは故意に、地下に浸透あるいは投棄されることによって、地下水が汚染される事態が各地で発生している。こうした化学物質の一部に、有機塩素系溶剤の代表的物質であるテトラクロロエチレン（PCE）・トリクロロエチレン（TCE）などがある。

筆者は、福島大学特定研究の一環として、福島盆地南部にある佐倉下・瀬上・渡利・上鳥渡4地区の、PCE・TCE等による汚染の実態を調査し、水文地質構造との関連で汚染の進行過程を考察した。水文地質構造の広域的概況を把握するために、町庭坂・渡利間を東西に通る地質断面図を作成して、この考察の参考にした（図1）。研究はまだ終了してはいないが、特定研究の終了年度にあたり、これまで得た成果をここに報告する。この小文は中間報告的性格を持つこともあり、ここでは先行研究については、必要最低限触れるにとどめることをお断りしておきたい。

謝辞：この研究を実施するに当たり、教育学部渡辺 明助教授と福島大学行政社会学部地域環境論ゼミの学生諸氏の協力を得たことを記し、感謝の意を表す。なお、ECD ガスクロマトグラフ分析には、「一般設備費」で購入した機器を使用した。

#### 2. 研究方法

##### (1) 水文地質構造

この特定研究費によって作孔して得た地質資料と、収集した既存のボーリング資料とによって、阿武隈川支流の松川及び荒川間を東西に通る水文地質、及び、佐倉下・瀬上・渡利の3地下水汚染地区の水文地質の概況を把握した。これに現地調査によって得た井戸資料とを合わせ、帯水層ごとの汚染の状況を確認し、汚染の機構を推定する作業を行った。

---

\* 福島大学行政社会学部応用社会学科



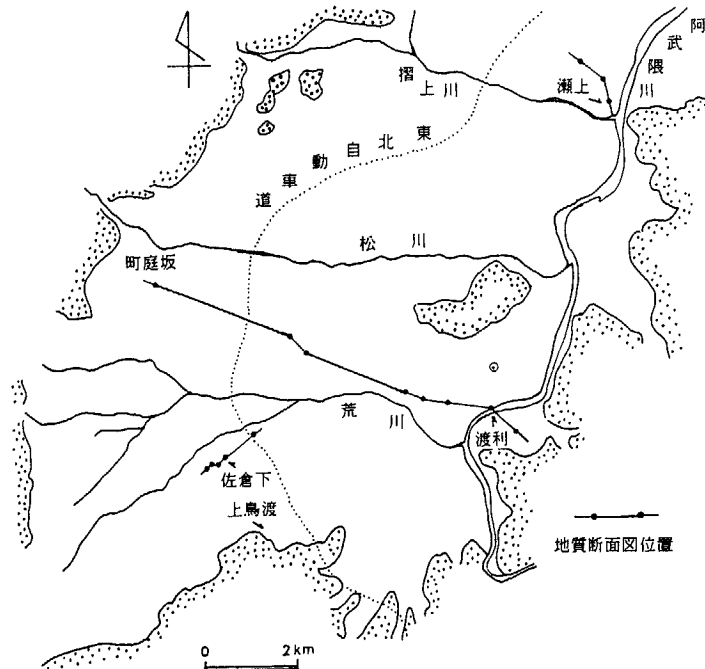


図1 研究地の位置（・印はボーリングまたは井戸の位置）

## (2) 地下水汚染状況

電話帳によって、有機塩素系溶剤を使用する可能性がある企業等をリストアップし、その企業等の近辺の井戸水を分析した。井戸水は可能な限り現地検知管によって汚染の有無を確認し、汚染されている場合その濃度を測定した。検知管を用いた水中の PCE、TCE の簡易定量は、次式によって可能である（竹田, 1985, 1986）。

$$\text{濃度 } C_L = \{ C_G \cdot M_w (0.1 / H + 0.108) \} / 100R (T + 273)$$

ただし、 $C_G$  は検知管によって求めた濃度、 $M_w$  は PCE または TCE の分子量、 $H$  は分配係数、 $R$  は気体定数、 $T$  は測定する気体の温度である。分配係数は竹田（1985, 1986）の実験結果によって求めた。

こうして求めた検知管による濃度は、エレクトロン・キャプチャー・ディテクター（ECD）を装備したガスクロマトグラフによる分析結果とよく調和し、例えば、佐倉下地区の TCE の測定結果によれば、両者の相関係数は 0.968 を示した。また、検知管による測定結果は  $y = 0.72x + 0.0249$  の回帰式でガスクロマトグラフの分析結果に近似可能である（図 2）。

検知管を用いて汚染の概況を把握した後、代表的な汚染井から採水し、日本工業規格に準拠して、ECD 付きガスクロマトグラフによって分析した。また、佐倉下・瀬上の両地区では、地下水汚染問題を担当する公共機関から、住民に文書によって連絡された井戸水の分析結果を参考にした。

更に、瀬上・渡利両地区では、若干の地点で土中ガスの PCE 濃度を測定した。

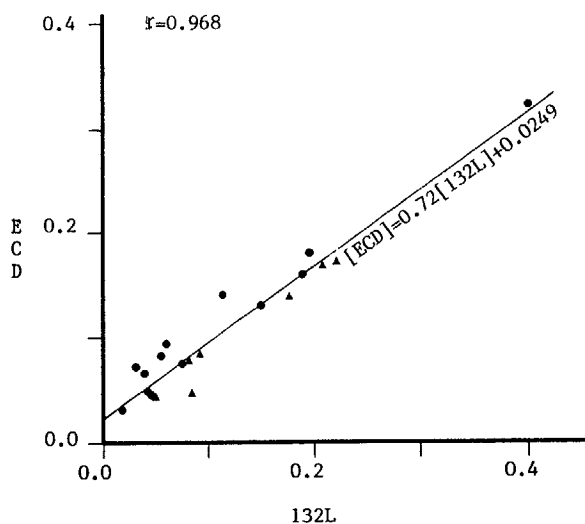


図2 検知管による測定値とガスクロマトグラフによる測定値の比較  
 ECD：ガスクロマトグラフによる分析値 132L：検知管による分析値  
 黒丸は公共機関の分析値と、採水日を異にする筆者の132Lによる測定値  
 三角は同一日に採取した試料のガスクロマトグラフと132Lによる分析値

### 3. 水文地質構造と地下水汚染の概要

#### (1) 町庭坂・渡利間の水文地質の概要

収集したボーリング資料によって、福島駅を通る東西方向の断面（図3）を作成したので、これに基づき水文地質構造を概観する。

盆地の基盤は広く花崗岩によって構成される。阿武隈川にかかる大仏橋の北（FNA 4-18地点）では約90mの深さに確認されるが、福島駅から笹木野付近では120mから150m以上の深さまで盆地埋積物で構成されている。福島駅の約1km南と笹木野の南西方のボーリングでは、深さ約120mで花崗岩に逢着している。東北新幹線沿いのボーリング資料によると、福島盆地南縁に向かうにつれて、大きくみると花崗岩はだんだん浅所に確認される。これらのことから、花崗岩は起伏にとみ、福島駅から笹木野付近で大きく落ち込んでいるものと推定される。

花崗岩の上には、火山灰質の堆積物が20~30m以上の厚さで堆積するところ（図3のFNA 4-18, 22）があり、福島盆地が形成されはじまる以前の堆積物である可能性がある。

福島盆地を構成する堆積物は、これらの上に重なって、厚い所では100m以上に達している。この中に、帯水層を構成する礫や砂の層と、加圧層を構成するシルト・粘土層がある。福島駅付近の盆央部では、盆地埋積物の大部分をシルトと粘土が占め、帯水層は盆地の西縁に近づくにつれて層の数と厚さを増す傾向がうかがえる。福島駅付近の帯水層は、大まかにみると、盆地埋積物の中部と上部に2~3層しか発達せず、優れた帯水層に必ずしも恵まれていない。このうち、最上部のものは盆地全体に広がるもので、福島盆地の中では最も有能な帯水層である。笹木野付近（ボーリング番号13）に進むと、全体に礫層が優勢になり、帯水層は7層識別される。このうち第I、II、Vの各帯水層は盆地全体に広がり、第III、IVの両帯水層も相当の広がりを持っている。こうした自然条件から、福島盆地の中で井戸が最も多く掘り込まれているのは、第I・第II帯水層である。

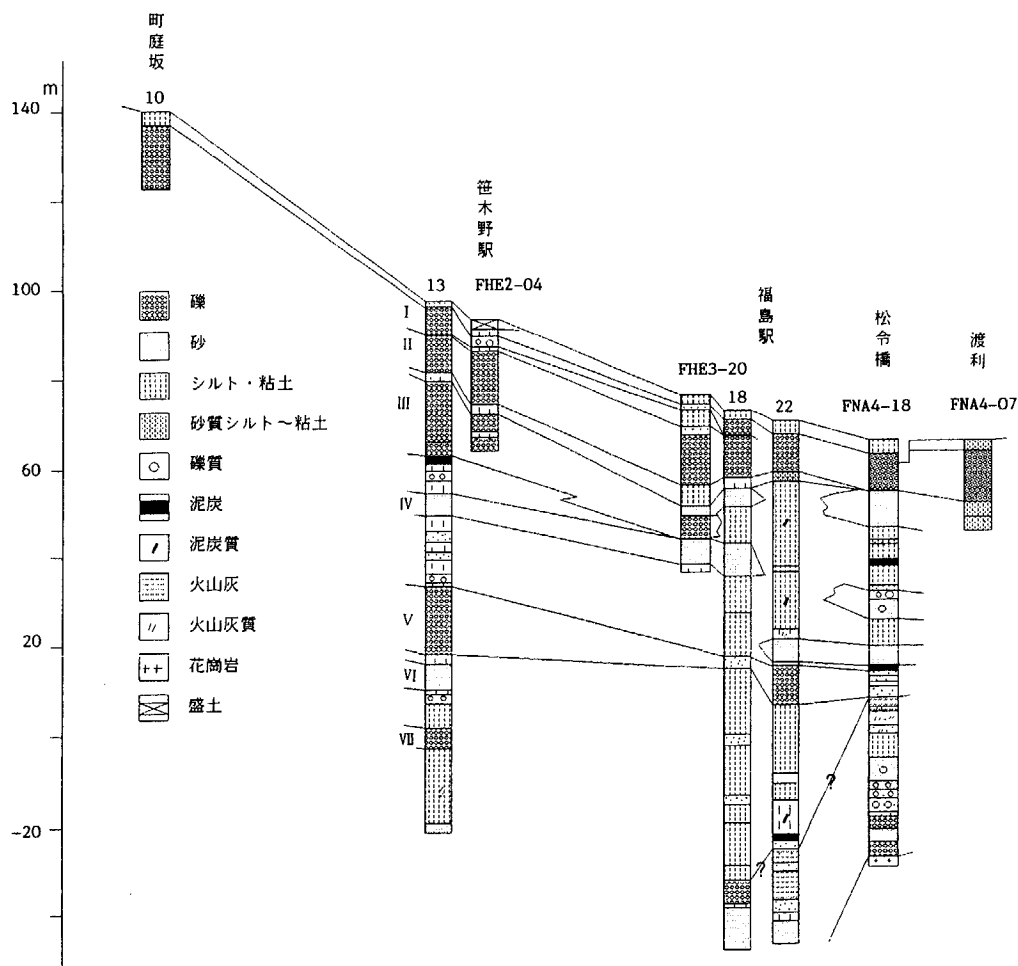


図3 町庭坂～渡利間の水文地質断面図（位置は図1参照）  
 算用数字のボーリング番号は鈴木ら（1982）に一致する。

## (2) 佐倉下付近の地下水汚染

福島市佐倉下～加藤一带は、TCE と1,1,1-トリクロロエタン（1,1,1-TCA）によって汚染されている（図4，5）。汚染の平面的規模は、幅200～400m，長さ1300m以上の約35haに及んでいる。このうち日本のTCEの暫定基準値である0.03mg/lの濃度を上回る面積は、約23haである。汚染地域と非汚染地域の境界は比較的判然としている。

この地区の地表下60m付近までは、間に2層の薄いシルト・粘土層をはさむ礫層によって構成されている（図6）。佐倉下のシルト・粘土層によって区分される礫層のうち、再上部の礫層は笹木野付近の第I層を浸食して形成された、荒川沿いでは最も新しい地層である。この下位に続く2つの礫層は、ほぼ笹木野付近の第II，III層に対比可能であると考えられる。地表直下の2つの帯水層は、地域住民が長い間利用してきた有能な帯水層である。

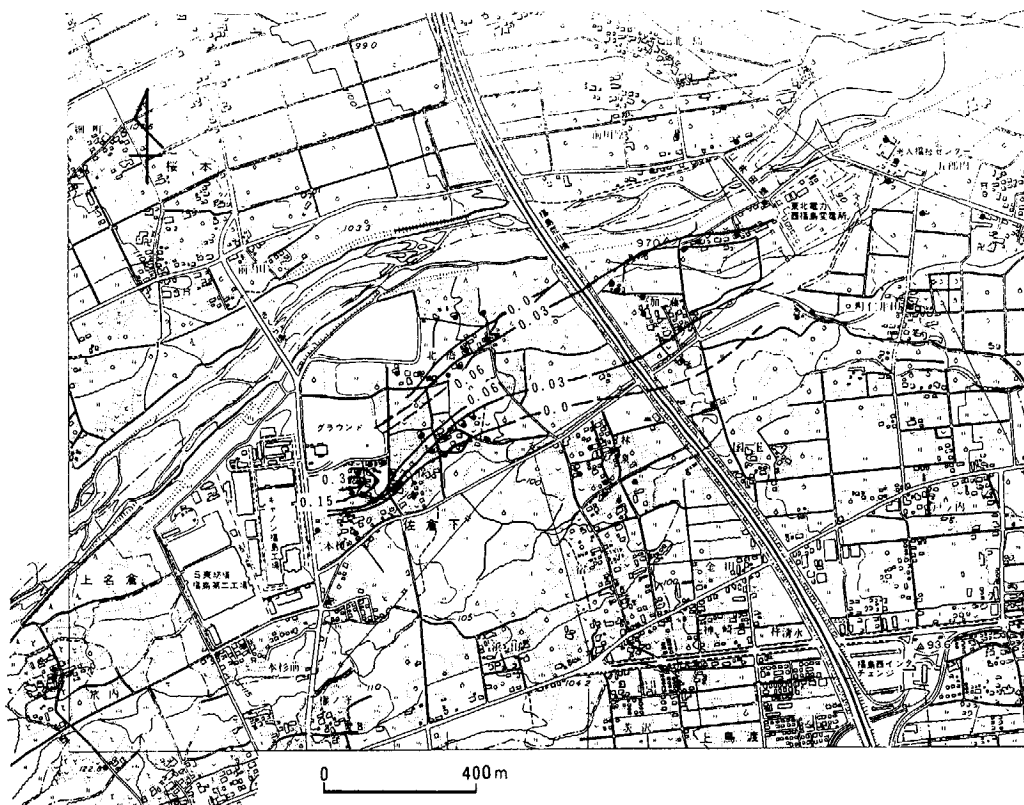
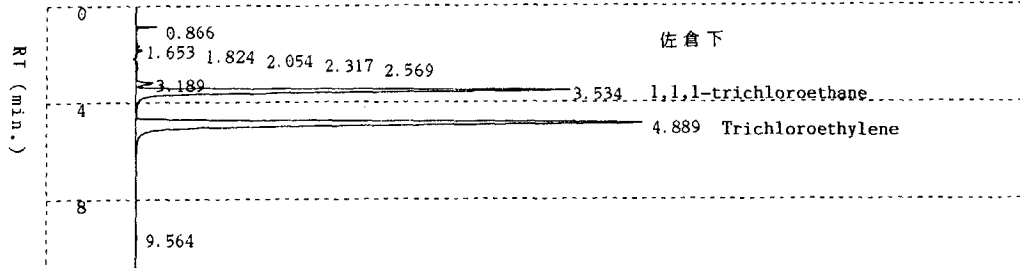


図4 佐倉下地区のTCE, 1,1,1-TCAによる地下水の汚染範囲 (単位はmg/l)

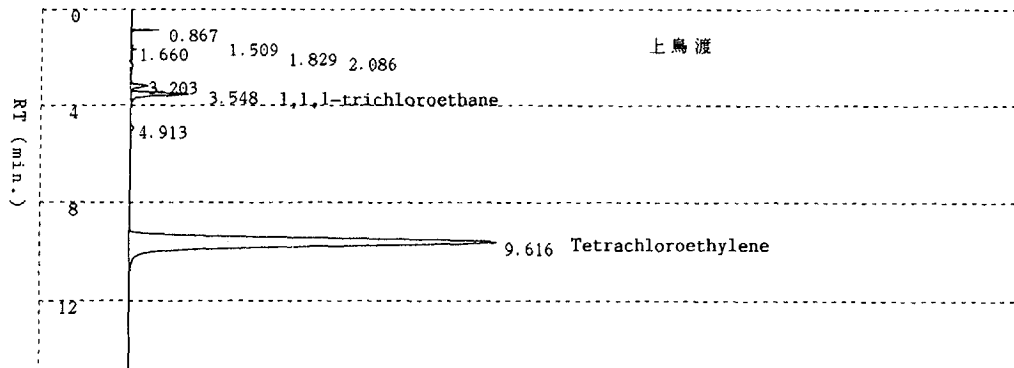
汚染地域の中心部に位置する棚子では、最上部の2層の帯水層は激しく汚染され、1990年夏の検知管による測定では、飲料水の暫定基準値の10倍を越す0.312mg/lのTCEが、また、1992年2月のECDによる分析では、TCEに加えて0.086~0.019mg/lの1,1,1-TCAが検出された。両者とも図4の汚染地域に広がっている。地表から3番目の帯水層はC工場に近いところ(図5のFNA 2-09参照)では地下水は汚染されていないものの、下流部の加藤地区に至ると明瞭に汚染が進んでいる。その中間に位置するFNA 2-12井のこの帯水層は、飲料水の暫定基準値を大きく下回る程度の汚染しか確認されていない。

地下水中の有機塩素系溶剤の濃度は、大雨の後低下する場合があることが確認された。

クロマト=2:FUKUSA.C06 92/02/01 15:59:11



クロマト=2:FUKUTO.C02 92/02/08 17:38:38



クロマト=2:FUKUWA.C02 92/02/07 17:30:30

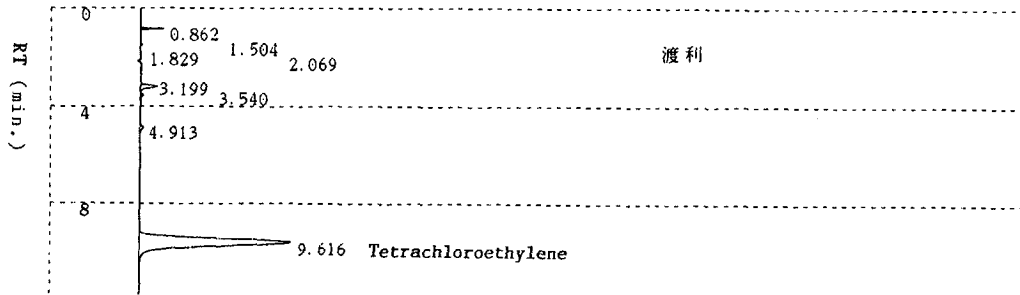


図5 佐倉下・上鳥渡・渡利地区のECD ガスクロマトグラム  
1992年2月採水・分析

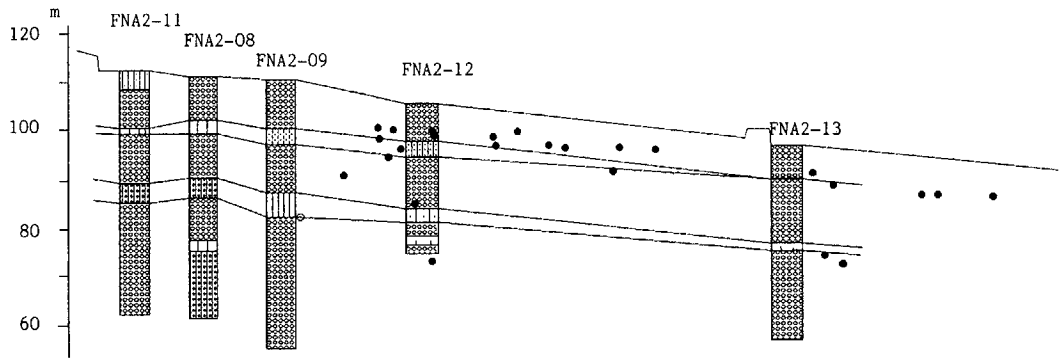


図6 佐倉下地区の井戸深度と帯水層の汚染状況  
断面の位置及び凡例は図1参照 黒丸は汚染井の、白丸は非汚染井の井底を示す。

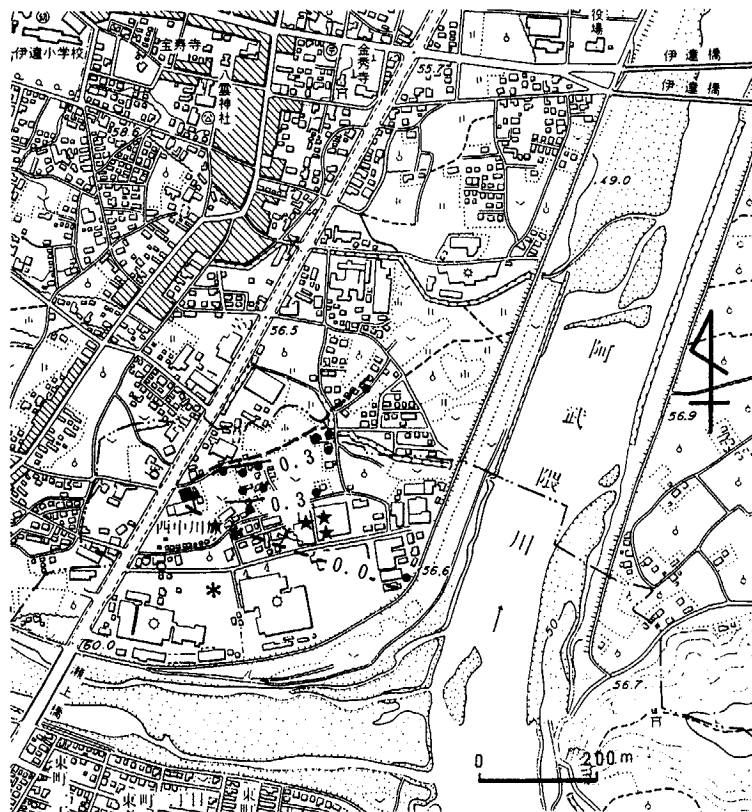


図7 瀬上地区のPCEによる地下水の汚染範囲（単位はmg/l）  
黒丸は汚染された浅井戸 白丸は汚染されない浅井戸  
星印は汚染された深井戸 雪印は汚染されない深井戸

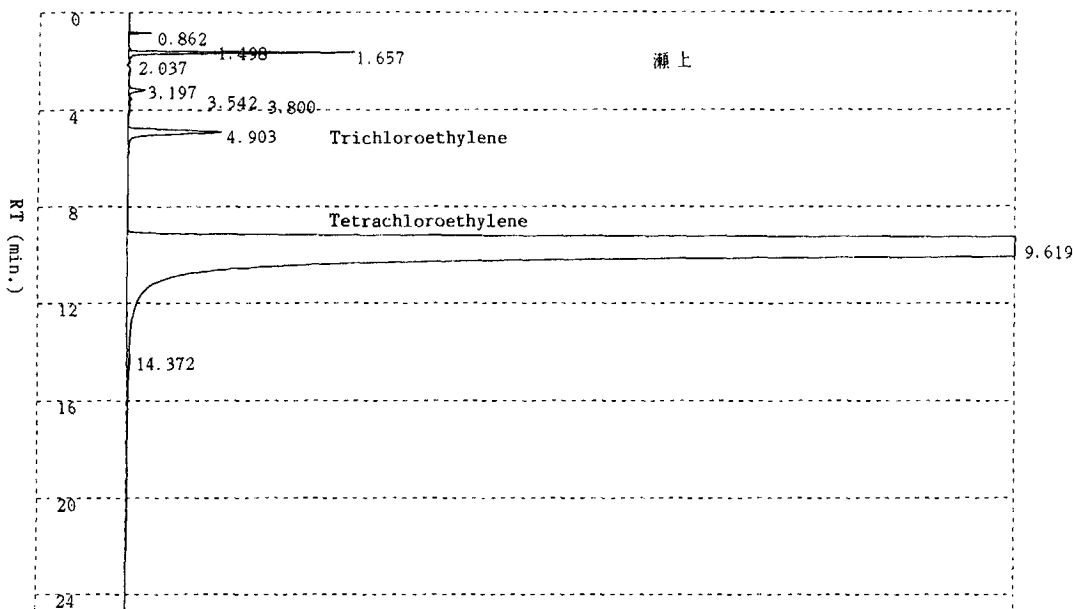


図8 瀬上地区の ECD ガスクロマトグラム  
1992年2月採水・分析

### (3) 瀬上の地下水汚染

福島市瀬上の国道4号線沿いには廃棄されたクリーニング工場が存在する。この下流部は PCE , TCE 及び有機塩素系溶剤と推定される未同定の化学物質によって激しく汚染され、汚染質は阿武隈川近くに達しているものと推定される(図7, 8)。住民からの聞き取り結果と福島県環境保健部(1990)を総合すると、公共機関が測定した1989年の測定値の最高濃度は、暫定基準値の1,300倍に当たる13mg/l を記録している。1992年2月の ECD を用いたガスクロマトフ分析によると、依然として PCE を2.0~0.3 mg/l 程度, TCE を0.02mg/l 程度を含む地下水が、中川原一带に存在する。

中川原一带は阿武隈川が形成した沖積平野に位置し、深さ60m 付近までは、2層のうすいシルト・粘土層をはさむ、厚い礫層によって構成されている(図9)。シルト・粘土層によって3分される礫層は、有能な帯水層を構成し、特に最上部の帯水層は、上水道を利用できない地区住民が、飲料などに使用してきた不圧地下水を大量に含んでいる。地区住民からの聞き取りによると、これら住民ばかりでなく、団地を構成する多くの工場も地下水を利用している。工場は数多くの深井戸を設置し、被圧地下水を採取している。これらの井戸の多くが、地表下2番目及び3番目の礫層から採水していると、井戸深度から推定される。

1990年夏の測定によると、中川原一带の地表直下は空隙の多い礫で構成され、この中に2 ppm 程度の PCE ガスが含まれていた。

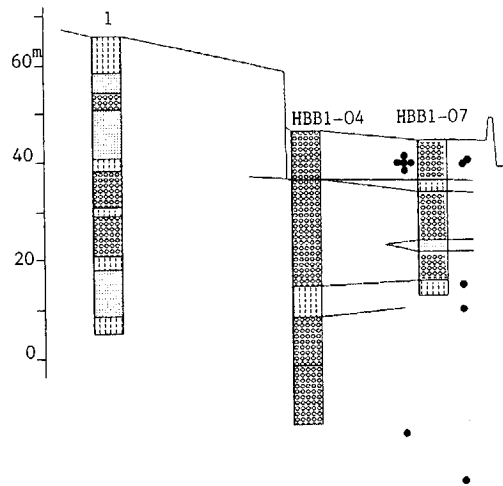


図9 瀬上地区の井戸深度と帯水層の汚染状況  
断面の位置及び凡例は図1参照 黒丸は汚染井の井底を示す。

#### (4) 渡利の地下水汚染

福島市の阿武隈川にかかる、渡利側の松令橋たもと近くの小範囲は、PCEによって汚染されている(図5, 10)。近傍のボーリング資料によると、当地区の地表下10m程度は礫層によって構成されており、これが帯水層になり、かつ汚染されているものと推定される。

汚染地区の上流部や阿武隈川の河川敷の土中には、PCEを含むガスが存在する。

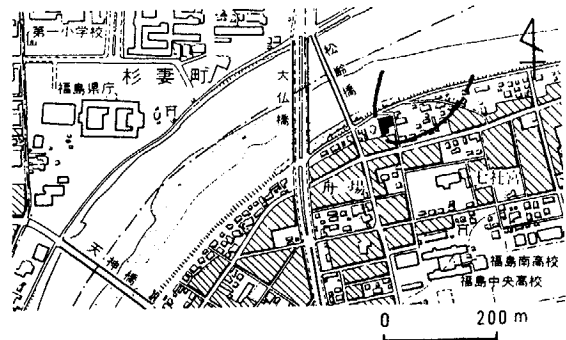


図10 渡利地区のPCEによる地下水の汚染範囲

#### (5) 上鳥渡付近の地下水汚染

福島市上鳥渡の表付近を最上流部として、その下流の松塚東付近までの幅70m~200m、長さ1km以上の間がPCEと低濃度の1,1,1-TCAによって汚染されている(図5, 11)。PCEが0.05mg/l程度の汚染地域は、最上流部から400~500mの範囲にとどまっている。汚染地域と非汚染地域の境界は、佐倉下と同様にここでもかなり明瞭である。ボーリング資料を収集できなかったため詳細は不明であるが、この一帯は荒川が形成した段化した扇状地上に位置すること、汚染地区の中の小露头観察の結果、上鳥渡付近の少なくとも表層部は、砂礫によって構成されているものと推定される。住民は1991年まで、深さ5~10m程度の浅井戸を設置し、不圧地下水を採取して飲用に供していた。





図11 上鳥渡地区のPCEによる地下水の汚染範囲(単位はmg/l)  
黒丸は調査井

#### 4. 地下水汚染機構に関わる考察

ここに扱った4地区の地下水汚染の機構は、単純なものと考えられる。PCE, TCE, 1,1,1-TCAはいずれも、一般の家庭ではめったに使用するものではなく、工場やクリーニング店などで洗浄剤として使用する場合が多い物質である。

##### (1) 佐倉下地区

汚染に見舞われている中心地の集落である棚子に、接するように2つの工場があり、そこでかつてTCEを使用していたことが報じられている(読売新聞1990年12月7日福島版)。この工場周辺の人家では、調査した範囲ではTCEや1,1,1-TCAを使用した実績を確認できなかった。昨年度報告(中馬, 1991)したように、「通常、汚染源とその直下の地層や帯水層は、極めて高い有機塩素系溶剤の濃度を示す(藤縄, 1990; McCarty, 1990)。例えば、千葉県君津市ではTCEが飲用基準の数1,000倍以上(鈴木ら, 1989)、テトラクロロエチレンでは静岡市でその46万倍(平口, 1990)の高濃度の地下水が確認されている。一般の汚染源から汚染質は地下水に溶出して下流へ拡散するが、その濃度はそれほど高くない。汚染濃度からしても、佐倉下~仁井田間は汚染源からやや離れた位置にあるものと推定される。」こうした推定は、水文地質構造や地下水等高線(東北農政局計画部資源課, 1964)から推定される地下水の流動方向とも矛盾しない。

汚染質は地表もしくは地下浅所から、礫で構成され、地表に連続する最上位の帯水層へ容易に浸透しえ

よう。最上部の砂質の難透水層はやや透水性が大きく、汚染質が2番目の帯水層へ浸透しうるように考えられる。2番目の難透水層は連続性もよく、かつ数m程度の厚さを持っていることから、汚染質を容易に下位の帯水層へ拡散させる条件はない。ただ、地区住民は長い間地下水を飲用にするために、多くの井戸を掘ってきた。このため、側管に沿って汚染質が下位へ浸入しうる条件が整っていった可能性がある。1990年の夏、図6のFNA 2-12の近くで約30mの井戸を設置したとき、上流部では汚染されていない地表下3番目の帯水層から、少量のTCEを確認した。

上述のことから、TCEと1,1,1-TCAの汚染源は2つの工場を含む棚子の上流側と、空き地を含む工場の上流側の間にある可能性はきわめて高い。

佐倉下地区に認められるTCEと1,1,1-TCAはいずれも高い濃度を示すことから、かつて使用されていたTCE中に、1,1,1-TCAが不純物として混入していたものとは考えにくい。両者は同時期に使用され、両者とも地下へ浸透させられたか、もしくは異なる時期に使用され、使用する有機塩素系溶剤の種類を変更した後も、繰り返し地下へ浸透させられた可能性が高い。

## (2) 瀬上・渡利・上鳥渡

瀬上では、廃棄されたクリーニング工場に近づくにつれて地下水の汚染濃度が著しく上昇し、また、ここを扇頂部とするような汚染地区が存在すること、筆者が現地調査を行った日に、偶然工場内の表土を扱っており、PCE臭がするとともに関係者によってPCEが検出されていたこと、地区住民がかつてクリーニング工場に対して、洗剤を入れるドラム缶の扱いを慎重にするように申し入れていたことなどから、汚染源はクリーニング工場である可能性がきわめて高い。PCEと共に検出されるTCEは、PCEに混入していた不純物である可能性があるが、図8の保持時間(RT)が1.65min.の未同定物質と共に、今は詳細不明である。

渡利の汚染地区の再上流部にもクリーニング店がある。検値管を用いた土中ガス中のPCEは、クリーニング工場に近づくにつれて濃度が高くなる傾向がある。ここでもクリーニング工場付近に汚染源が存在する可能性が高い。

上鳥渡では、汚染範囲の最上流部にクリーニング店があり、この付近でPCEの濃度が最も高い。この店の北側には2～3mの段丘崖があり、最上流部では段丘内だけが汚染されているが、下流に進むにつれて、下位の低地内の井戸も汚染されていく。こうしたことから、クリーニング店付近に汚染源が存在する可能性が高い。PCEは空隙率の高い礫層へ容易に浸透し、少なくとも不圧帯水層へ達している。

## 5. あとがき

ここに記した研究成果は、まだ中間的なものである。今後4地区の汚染範囲を特定する作業が残っている。ことに佐倉下地区ではTCEと1,1,1-TCAの汚染範囲に違いがあるか否かを明らかにすることは、汚染開始後の経過時間の違いを反映する可能性があることから、汚染の進行過程を解明する上で必要なことである。

瀬上地区の未同定物質を明らかにすることも残されている。

福島盆地には、ここに報告した以外にも、有機塩素系溶剤による地下水の汚染地区があり、研究を進める必要がある。

## 引用文献

- 中馬教允(1991) 福島盆地の有機塩素系溶剤による地下水汚染—福島市佐倉下地区の例—, 福島大学特定研「自然と人間」No.2.
- 藤縄克之(1990)「汚染される地下水」, 共立出版(東京).
- 福島県保健環境部(1990) 公害行政情報 No.49.
- 平口達夫(1990) 静岡市における地下水汚染・地層汚染の処理技術, シンポジウム「地下水汚染・地層汚染とその対策—地下水を甦らせるために—」(演旨), 日本地質学会・日本地質学会関東支部.
- McCarty, P. L. (1990) Scientific Limits to Remediation of Contaminated Soils and Ground Water. *Ground Water and Soil Contamination Remediation: Toward Compatible Science, Policy, and Public Perception*, National Academy Press (Washington, D. C., USA).
- 鈴木敬治・吉田 義・真鍋健一・中馬教允(1982) 5万分の1表層地質図「福島図幅」及び同説明書, 『土地分類基本調査福島』, 福島県.
- 鈴木喜計・佐藤賢司・楡井 久(1989) 君津市における有機塩素化合物による地層汚染・地下水汚染調査研究と対策, シンポジウム「地下水汚染と地層汚染—地下水資源と地下環境の健全な利用をめざして—」(演旨), 日本地質学会・日本地質学会関東支部.
- 竹田一郎(1985) 検知管による水中の微量テトラクロロエチレンの簡易定量法, 分析化学, 34巻4号.
- 竹田一郎(1986) 検知管による水中の微量トリクロロエチレン及び1,1,1-トリクロロエタンの簡易定量, 分析化学, 35巻6号.
- 東北農政局計画部資源課(1964) 農業用大規模地下水調査報告書—福島盆地—.

ISSN 0389-3766

地学教育と科学運動 26

特集 地質学サバイバルの道をさぐる

別刷

1996・10 地学団体研究会

## 地質環境の保全を — 有機塩素系溶剤による汚染の実態から —

中馬教允\*

### はじめに

約40年ぶりとも言われる現在の全国的・大規模な大学改革は、福島大学にも一般教育とそれに関連する専門教育の一部に改変をもたらした。しかし、そのことと「地質学サバイバルの道」との関連で、特に記すほどのものはない。

福島大学は人文社会系3学部からなる大学である。これを総合大学化するために、(理)工学系学部の創設が検討されている。筆者は、既存の同系学部は必ずしも現在の環境問題などに対処しえておらず、いっそう住民を考慮した研究・教育ができる学部の創設が必要ではないかと考えている。

この点に関連して、福島県内の有機塩素系溶剤による地下水汚染に焦点を当てながら、地質学的調査・研究の必要性を述べてみたい。あるいは、「地質学サバイバルの道」につながる可能性のある視点を含んでいるのではないかと考えるからである。

### 有機塩素系溶剤による地下水汚染

#### 全国の概要

環境白書(環境庁 1995)によると、1993年度

の全国の有機塩素系溶剤による地下水汚染の概要は、第1表の通りである。全調査井の中に占める飲料水の水質基準値を超過する井戸の数と割合は、トリクロロエチレン(TCE):368井、3.9%、テトラクロロエチレン(PCE):802井、8.5%、1,1,1-トリクロロエタン(MC):7井、0.1%であった。

この白書が示す数値は、汚染の一部を示すにすぎない可能性があることを、福島県(中馬 1996)や神奈川県(松本 1995)の汚染実態などから推測することができる。

市街地内177の事例について地下水の汚染源を、前記白書によって業種別に見てみると、TCEが電気機械器具製造業・金属製品製造業に、PCEが洗濯業に、MCが金属製品製造業に多くなっている。

#### 福島県の概要

福島県下のTCE・PCE・MCによる地下水汚染地区は、厳密さに課題を残すものの、合計146地区に達している(中馬 1996)。このうち、飲料水の水質基準値を超過する汚染が確認された地区数は64、同未満の汚染地区数は82となっている。

福島県(1990, 1991, 1992, 1993, 1994)に基づいて、全調査井に占める飲料水の水質基準値を

第1表 1993年度の全国の地下水汚染状況

化学物質名	基準値超過井戸本数とその百分率			
	概況調査	汚染井戸周辺地区調査	定期モニタリング調査	合計
四塩化炭素	0.04%(1/2,383本)	3.3%(12/360本)	1.3%(17/1,270本)	0.8%(30/4,013本)
1,1-ジクロロエチレン	0.1%(1/1,010本)		1.0%(6/583本)	0.4%(7/1,593本)
シス-1,2-ジクロロエチレン	0.9%(9/1,010本)	1.0%(1/103本)	3.8%(22/582本)	1.9%(32/1,695本)
トリクロロエチレン	0.3%(15/4,480本)	3.4%(44/1,286本)	8.4%(309/3,658本)	3.9%(368/9,424本)
テトラクロロエチレン	0.5%(24/4,480本)	8.3%(108/1,303本)	18.2%(670/3,678本)	8.5%(802/9,461本)
1,1,1-トリクロロエタン		0.2%(2/1,292本)	0.1%(5/3,383本)	0.1%(7/4,675本)

平成7年版環境白書より作成した。

\* 福島支部 福島大学行政社会学部 〒960-12 福島市松川町浅川字直道2

第2表 福島県の有機塩素系溶剤による汚染井戸 (中馬 1996)

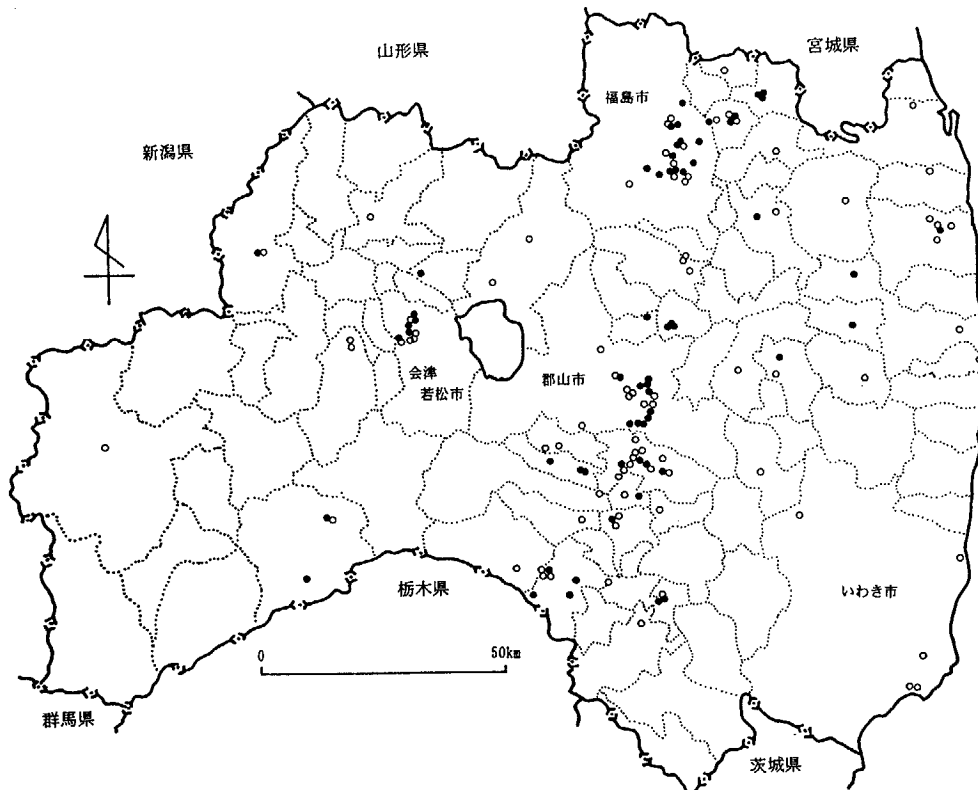
測定井戸数 (A)	内汚染井戸数 (B)	B/A (%)	飲料水の(暫定)水質基準値超過井戸					最高濃度の場所	
			井戸数C	C/A (%)	化学物質	井戸数	最高濃度		基準値比
2083	1182	56.7	461	22.1	TCE	118	6.30	210.0	須賀川市南上町(井戸番号5140-003200) 福島市瀬上町周辺地区1 安達郡白沢村糠沢二
					PCE	376	72.00	7200.0	
					MC	17	6.40	21.3	

TCE;トリクロロエチレン PCE;テトラクロロエチレン MC;1,1,1-トリクロロエタン  
水道水の水質基準値は、TCE:0.03mg/l, PCE:0.01mg/l, MC:0.3mg/lである。

超過する汚染井戸数と割合を年度別に算出すると、59~105井、50.9~12.2%に達する。この5年間の報告に記録された井戸水の最高の汚染濃度を見ると、TCE:7.39mg/l(飲料水の水質基準値の246倍)、PCE:72.00mg/l(同7,200倍)、MC:6.40mg/l(同21.3倍)となっている(第2表)。この3物質は単独で汚染をもたらしている場合が多いものの、TCE・PCE・MCの三者もしくはその二者が同時に汚染をもたらしている地区もある。

汚染地区は福島県中通り地方(JR東北本線沿い)に集中し、阿武隈山地や会津の山間盆地にも認めらる(第1図)。近年、大小規模の精密な電気機械器具製造業等がこうした地域に進出し、あるいは、ドライクリーニング業・板金業によって、汚染がもたらされている。

福島県下の平野内の汚染地は、多くが河岸段丘や沖積低地上にあり、汚染質はこれらを造る堆積物中を、地下水の流動方向や盆地埋積層の下部へ



第1図 福島県の有機塩素系溶剤による地下水汚染地区 (中馬 1996より作成)  
トリクロロエチレン・テトラクロロエチレン・1,1,1-トリクロロエタンの1物質又は複数物質による汚染を示す。黒丸:飲料水の水質基準値を上回る汚染地区、白丸:同基準値未満の汚染地区。

と拡散している(中馬 1992)。阿武隈山地では、花崗岩の風化部を中心に汚染が確認されるが、その広がりには狭い。

### 地質汚染対策

#### 全国の概要

日本には、有機塩素系溶剤による地質汚染地の浄化を定める法令はなかった(1996年の通常国会において、水質汚濁防止法の一部改正がなされ、一定の制約のもとで知事に汚染原因者に対する浄化命令権が付与された。1997年4月1日から施行される。)。都道府県及び市町村段階では、条例や要綱を制定し、汚染地の調査や対策をとっているところがある。これらの制度面については、吉田(1995)・日本地質学会環境地質研究委員会(1995)・菅野(1995MS)に紹介されている。

条例や要綱に基づく汚染地の浄化対策は、千葉県及び同県関係地方自治体等によって精力的に進められ、その成果の一部は詳細に公表されてきた(例えば、地下水問題研究会 1991; 水収支研究グループ 1993; 日本地質学会環境地質研究委員会 1995; Shibasaki And Research Group For Water Balance 1995)。

#### 福島県の概要

福島県下の有機塩素系溶剤による汚染地区のうち、若干の地区で行政指導によって浄化対策をとっているところがある。筆者の知る限りでは、地下水汚染地域に上水道を敷設する以外、この浄化事業は工場敷地内に限られ、汚染源の土石を除去し、あるいは汚染地下水を揚水するなどしている。こうした汚染対策は具体的には公表されず、地域住民がその事実を知らない場合が一般的である。福島市内では、クリーニング工場を閉鎖して汚染地層を除去しているにもかかわらず、工場敷地外の地下水汚染調査や対策は、筆者らが現地調査した時点ではなされていなかったという例もある。同工場の下流部には、地下水を使用して生活している民家が多数存在していた。

大部分の汚染地区では、汚染質の濃度を水質汚濁防止法に基づいて、年に1回程度継続して測定している。

#### 汚染地の浄化の必要性

有機塩素系溶剤による汚染地区の浄化の意義について、吉田(1995)は筆者の意見を入れて4点

にまとめている。ここでは5つの観点から浄化の必要性を述べてみたい。第1には、有機塩素系溶剤がもたらす健康問題である。これは発ガン性にとどまらない問題を含んでいることが、吉田(1989)によって詳細に述べられている。第2は、水資源の保全の観点である。日本列島では年間100億 $m^3$ を越す地下水が(水収支研究グループ 1973, 1993)、また福島盆地では年間2,000万 $m^3$ 程度の地下水が利用されている(福島県 1981)。こうした貴重な水資源が汚染によって失なわれてきており、地下水の流動に伴う汚染質の拡散につれて、その量は増加している。第3には、土地資源の価値の低下の観点である。アメリカのシリコンバレーでは、地質汚染に伴う土地や家屋の資産価値の低下が、住民によって心配されている(California R. W. Q. C. B. 1993)。土地が汚染を被ることによって、汚染行為と無関係な住民の土地所有権が侵害される危険性があるとも言えよう。第4には、オゾン層の破壊を防止する観点である。MCがオゾン層破壊物質であることに鑑み、揚水に伴い、あるいは自然に地表面から大気中へ移動するこの物質を、早急に回収することが必要である。「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」の締約によって、我が国は1996年当初からMCの生産・使用が禁止されている(環境庁地球環境部 1995)。第5には、都市部を中心にして大規模になされている(特に地下での)土木工事等の労働環境を保全する観点からも、有機塩素系溶剤による地下水汚染の浄化が必要である。

#### 有機塩素系溶剤による汚染地の把握を

有機塩素系溶剤による地質汚染は、全国的に深刻な事態になっているものと予想される。それにもかかわらず、その実態は一部の地域を除いて不明である。地質学に係わる者がその知識や技術を駆使して事態を明らかにし、それを住民に認識してもらう必要がある。住民は地質汚染に係わる自らの健康や環境問題を、上述の汚染地の浄化の必要性との関連から理解することができれば、共に汚染地の浄化を求める運動に携われるのではなかろうか。

シリコンバレーをはじめとして、アメリカでどうして地質汚染の浄化事業が精力的になされるようになったのか、大学の研究者とカリフォルニア

州環境保護庁の担当者に質問したところ、異口同音に、事態を心配する住民の怒りがあり、それがスーパーファンド法として実を結んだこと、及び、同法を武器として、環境保護庁の担当者は地質汚染浄化対策に精力的に取り組んでいることが指摘された。

事態を明らかにするためには調査・分析が必要である。有機塩素系溶剤による地下水汚染の有無とその水中の濃度は、検知管法（竹田 1985, 1986；鈴木ほか 1989）によってある程度正確に（中馬 1992）、簡単かつ安価に測定することが可能である。中学生にも測定可能な検知管法は、郷土の地質汚染の実態を知る手段となり得るはずである。有機塩素系溶剤を使用する事業所等は限られているので、電話帳などから汚染地をある程度予測することが可能である。

しかし、検知管法では物質を厳密に特定し、濃度を正確に分析することは不可能である。その作業は、近くに理解者をえて、ECD法等の適切な方法によって分析できるように、拠点を作ることが必要になる。

### おわりに

水質汚濁防止法は、地下水中の有機塩素系溶剤による汚染の実態を調査し、公表するよう定めてはいるが、具体的な汚染地等は明らかにならない書式で調査結果が発表されている。是非、私達がこれを明らかにして住民に知らせ、彼らと力を合わせて環境の浄化に結びつけていきたいものである。そのことが、住民によって地質学の有用性が理解される1つの道になる可能性があると考え、

### 文 献

California Regional Water Quality Control Board (1993) Investigation and Cleanup of South Bay Superfund Sites.1-23.  
 地下水問題研究会 (1991) 地下水汚染論—その基礎と応用—。共立出版、東京、340p..  
 中馬教允 (1992) 福島盆地南部の有機塩素系溶剤によ

る地下水汚染について。福島大学特定研究「自然と人間」, 3: 19-30.  
 中馬教允 (1996) 福島県の有機塩素系溶剤による地下水汚染の概要。福島大学特定研究「自然と人間」, 4: 19-27.  
 福島県 (1981) 地下水利用等基礎調査報告書—福島県における地下水問題の状況—。67p.  
 福島県 (1990) 平成元年度水質年報。438p.  
 福島県 (1991) 平成2年度水質年報。429p.  
 福島県 (1992) 平成3年度水質年報。475p.  
 福島県 (1993) 平成4年度水質年報。493p.  
 福島県 (1994) 平成5年度水質年報。521p.  
 環境庁 (1995) 平成7年版環境白書 (CD-ROM版)。大蔵省印刷局、東京。  
 環境庁地球環境部 (1995) 地球温暖化の我が国への影響…地球環境の行方。中央法規、東京、181p..  
 菅野亨 (1995MS) 条例からみた地質環境汚染対策の位置づけ。福島大学行政社会学部卒業論文、38p..  
 松本徹 (1995) 神奈川県 of 化学物質汚染対策—化学物質の管理による地下水汚染の防止—、地質汚染の責任…誰が出すべきか? 地質汚染調査・対策費を…。東海大学出版会、東京: 71-91.  
 水収支研究グループ (1973) 地下水資源論。共立出版、東京、397p..  
 水収支研究グループ (1993) 地下水資源・環境論—その理論と実践—。共立出版、東京、350p..  
 日本地質学会環境地質研究委員会 (1995) 地質汚染の責任—誰が出すべきか? 地質汚染調査・対策費を。東海大学出版会、東京、201p..  
 Shibasaki And Research Group For Water Balance (1995) ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF GROUNDWATER BASINS. TOKAI UNIVERSITY PRESS, TOKYO, 202p..  
 鈴木喜計・佐藤賢司・楡井久 (1989) 君津市における有機塩素化合物による地層汚染・地下水汚染調査研究と対策。第1回地下水汚染調査技術研修会テキスト、134-158。  
 竹田一郎 (1985) 検知管による水中の微量テトラクロロエチレンの簡易定量法。分析化学, 34, 4: 203-205。  
 竹田一郎 (1986) 検知管による水中の微量トリクロロエチレン及び1,1,1-トリクロロエタンの簡易定量。分析化学, 35, 6: 47-49。  
 吉田文和 (1989) ハイテク汚染。岩波新書、岩波書店、東京、190p..  
 吉田文和 (1995) 地質汚染と浄化制度。北海道大学「人間と環境」, 21, 3: 142-153。