

## 第13章 地下水汚染対策

### 1. 汚染物質の検出状況

#### 1.1 揮発性有機塩素化合物

昭和57年（1982年）の環境庁調査に引き続き、全国規模で地下水汚染モニタリングが継続されている。一例として、図13-1には1994年度の結果の内、有機塩素化合物の最高濃度の汚染マップを描いた。1995年までに全国各地で59000検体の地下水が調査されており、この資料を基に図13-2にはトリクロロエチレンなど3物質の基準超過率の推移を描いた。調査の始まった当初には、2～5%の試料でトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンの基準を超える汚染が見つかったが、最近では1%以下にまで低下している。一見、地下水汚染は改善しているようにも思えるが、調査資料は毎年調査井戸を変えてモニタリングしている概況調査であり、この結果は汚染物質の使用量の多い工業地域や都市域での調査が一段落し、最近では汚染の可能性の少ない地域にまで調査が進んできたからに他ならない。

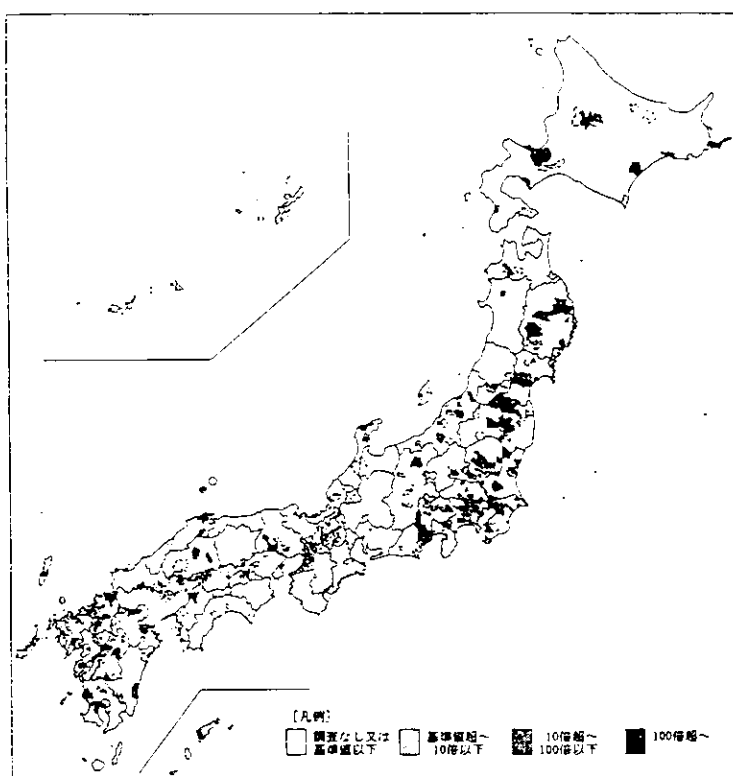


図13-1 揮発性有機塩素化合物による地下水汚染マップ（最高濃度、1994）

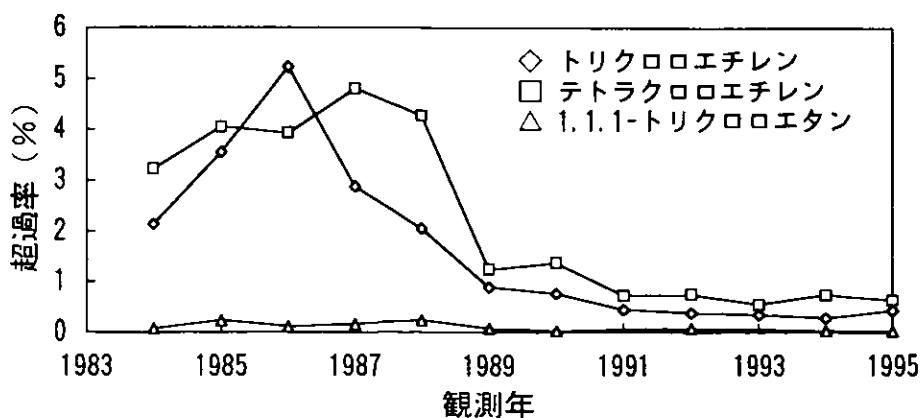


図13-2 揮発性有機塩素化合物の基準超過率の推移

## 1. 2 重金属類

重金属による地下水汚染についても、1989年から体系的に調査されている。これによると、PCB、アルキル水銀と有機リンを除いて、水質環境基準を超える汚染が見つまっている。特に、ヒ素と水銀は旧基準から見ても毎年かなり高い割合で基準超過が見い出されている（表13-1）。ヒ素と鉛は水質環境基準の改定に伴い評価基準が強化されており（鉛：0.1→0.01、ヒ素：0.05→0.01mg/l）、特にヒ素は今後も確実に汚染事例は増加すると予想される。重金属による市街地土壌汚染事例も確実に増加しており、メッキ工場などの金属製品製造業、化学工業、試験研究機関などで6価クロム、鉛、水銀、カドミウムなどが見つまっている。

ヒ素やクロムは土壌や岩石にも含まれている。平均的な地殻存在量は、ヒ素：1.8mg/kg、クロム：100mg/kgであり、地質由来の自然起源の汚染も存在する。地質由来の汚染として、インド・ベンガル地方のヒ素汚染が知られている。これは深層地下水を農業用水として大量に揚水したため、浅層地下水がその下位にある砒鉄鉱を浸透して深層地下水に至り、ヒ素を含む深層地下水を生活用水として利用したため、皮膚炎や皮膚ガンが発現した事例である。

表13-1 地下水からの有害物質の検出状況

調査年度	基準超過率 (%)					基準値(mg/l)
	1989	1990	1991	1992	1993	
6価クロム	0.0	0.03	0.03	0.0	0.04	0.05
ヒ素	0.26	0.16	0.14	0.18	1.44	0.01
総水銀	0.0	0.12	0.10	0.11	0.11	0.0005

1992年までのヒ素は旧基準の0.05mg/lに対する超過率

## 1. 3 硝酸性窒素

硝酸性窒素は1982年の環境庁調査で検出率が80%と最も高く、10%で水道水質基準を超えていた物質である。水環境中の窒素酸化物は、微生物による大気中の窒素ガスの固定に始まるが、自然状態で固定される窒素量に見合う窒素が工業的に固定されており、この自然循環量に上乘せされた余剰な窒素が、水や物質の滞留時間の長い地下水環境に蓄積されたと考えられている。

硝酸性窒素は降水にも含まれるが、主要な供給源は農業系（有機・無機肥料、植物残渣）、畜産系（畜産廃棄物の農地還元、畜舎排水の地下浸透）、生活排水や工場排水の地下浸透、などである。降水について酸性雨などの観測結果をみると、わが国全国平均で無機態窒素濃度は0.52mg/l、年降水量を1755mmとすると年負荷量は9.1kg/haとなる。このように平均的にわが国では年間約10kg/haの窒素が降水によってもたらされているが、この程度では地下水に高濃度な硝酸汚染を招くことはない。

生活排水を土壌トレンチなどで土壌浸透処理をした場合でも、基準を超える硝酸性窒素が地下浸透するとみられるが、小規模な土壌浸透処理は地下水での混合・希釈が期待できる。ただ都市域など人口の集中した地域での大量の土壌浸透処理は地下水汚染を招く恐れがある。

こうした要因の中で、最も懸念される窒素供給源は農地への施肥と肥料成分の地下水への溶脱である。農地の内、水田については窒素の年間施肥量は40～60kg/ha程度であり、降水負荷量と比べても数倍程度に収まっている。さらに施肥量と作物吸収量がバランスしていることが多く、しかも水田への流入窒素量より流出窒素量の方が少なく、水質浄化に役立つこともある。ところが畑地作物について、特にレタス、セロリや茶などの食葉野菜では年間施肥量が1トン/haを超えることもまれではない。こうした多量の窒素施肥と灌漑を繰り返すことによって、肥料成分のかなりの部分が地下浸透するとみられている。図13-3には畑地への窒素施肥量と地下水への溶脱量を比較した。これらの観測結果をみる限りでは、年間の窒素施肥量が100～200kg/haまでは地下水への溶脱量は降雨負荷量と大差ないのに対して、200kg/haを超える付近から急激に増加し、施肥量の約半量が地下浸透していること

が読み取れる。

農地への施肥に由来する硝酸汚染として、沖縄県宮古島と岐阜県各務原市が知られている。図13-4には、地下水中で検出される硝酸性窒素濃度の推移の一例として、1989年の沖縄県宮古島地下水の観測例を描いた<sup>2)</sup>。1966年の調査では、硝酸性窒素濃度の平均値は1.92mg/lであったのが、23年後の1989年には7.58mg/lにまで約4倍も上昇している。サトウキビの収量を上げるため、1970年代から急増した化学肥料の施肥が濃度上昇の原因とされているが、これに生活排水の土壌浸透処理が重なり、地下水の硝酸汚染を加速したと考えられている。

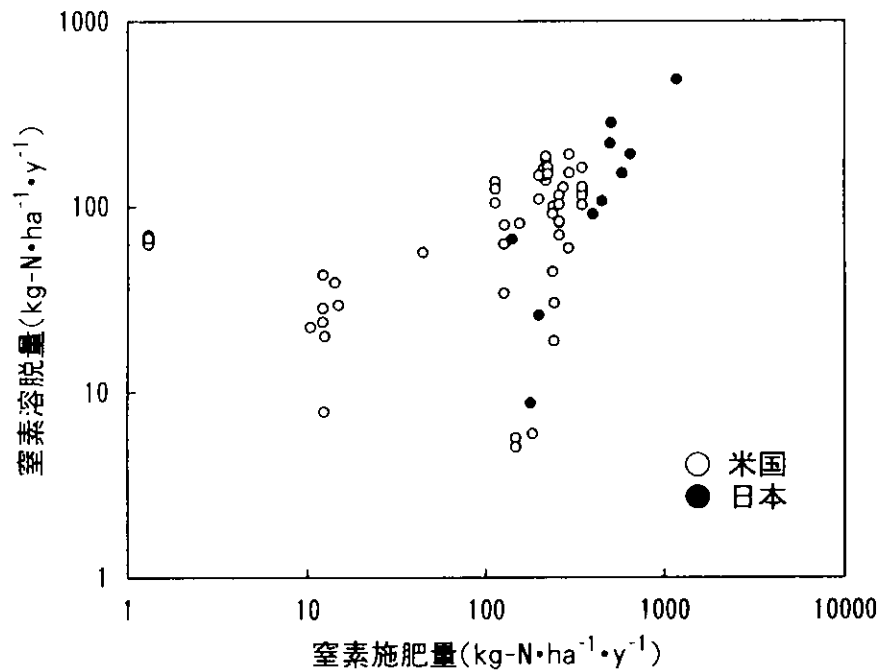


図13-3 畑地への窒素施肥量と地下水への溶脱量（文献1）にわが国の資料を加えて作成）

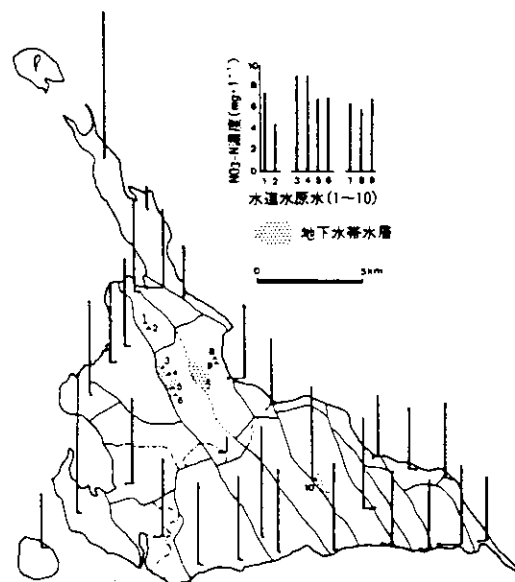


図13-4 宮古島地下水の硝酸性窒素濃度の空間分布（1989年の観測値）<sup>2)</sup>

#### 1. 4 その他の汚染物質

硝酸性窒素に加えて、農業由来の汚染として農薬があり、わが国でもPCNB（ペンタクロロニトロベンゼン）や臭素農薬が地下水から検出されている。PCNB自体の毒性は低い、製造過程で不純物として生成されたHCB（ヘキサクロロベンゼン）を含むことから注目されている物質である。

石油類の汚染も散見されるが、現在のところ大規模な地下水汚染を引き起こすまでには至っていない。さらにフタル酸エステルもかなりの割合で検出されている。フタル酸ジエチルヘキシルは指針値を超える汚染はないものの、1/10を超えるレベルで幅広く検出されており、フタル酸エステルと同様、可塑剤として使用されているアジピン酸ジエチルヘキシルも地下水から検出されている。

## 2. 地下水汚染対策

### 2. 1 未然防止対策

地下水汚染対策は、大きくは汚染の未然防止対策と汚染された地下水を修復する浄化対策からなる。概況調査により地下水汚染が発見されると、汚染要因や汚染の範囲を確定するための汚染井戸周辺地区調査を実施し、この調査結果から地下水の利用状況に応じて緊急対策を講じることになる。飲用されている場合には、代替水源の確保や汲み上げた汚染地下水そのものを浄化する対策である。さらに水質汚濁防止法では、表8-1に示した有害物質を含む水の地下浸透を規制しており、公共用水域へ排出するときには、基準値の10倍濃度を排出基準と定め、汚染の未然防止対策を実施している。

### 2. 2 浄化対策と対策技術の分類

1997年4月からは、地下水環境を保全するために、水質汚濁防止法を改正し、より厳しい措置がとられている。地下水から有害物質が基準値を超えて検出されたときには、汚染原因を究明し、この汚染源が特定施設であり、対象とする地下水が飲用されている、あるいは飲用に供される可能性がある場合には、都道府県知事が汚染原因者に対して浄化命令を発動できることになっている。

こうした法制度の整備と並行して、汚染された地下水浄化を担保する技術も必要となる。地下環境中では、水の移動速度が遅く、もともと有機物量が少ないため、微生物活性が低い。そのため汚染された地下空間から汚染物質を除去、無害化しない限り、地下水は水資源としての価値を失う恐れがあるからである。その技術として、わが国では対策の進んでいる欧米から技術導入され、またわが国独自に開発された技術を含め、さまざまな手法が考案されている。

土壌・地下水汚染の浄化対策技術は、土壌や地下水中から汚染物質を除去し、あるいは無害化する技術である。図13-5に示したように、大きくは①汚染物質の拡散防止技術と②汚染物質の分解・除去技術に分かれるが、これらの対策は密接に関連しており、浄化効果を挙げるには、適切に組み合わせて実施する必要がある<sup>3)</sup>。

汚染物質の拡散防止技術には、不飽和土壌中に存在する汚染物質の地下水への溶出を防ぐ方法と地下水流れを制御して、地下水汚染の拡散を防止する方法がある。地下水への溶出防止には、汚染土壌を封じ込める手法と汚染物質を不溶化する手法が考えられ、後者は主に重金属などの無機イオンの汚染物質に用いられている。

汚染土壌の封じ込めには、汚染土壌の周囲をプラスチックシート、粘土や鋼矢板などで囲い込む方法と、汚染土壌を固化する方法がある。固化技術として、セメントミルクや水ガラスを用いたグラウト技術が多用されているが、液状の汚染物質までは固化できない。固化技術としては、これら以外にも地中に高電流を流し、高温状態で土壌をガラス固化する技術も開発されているが、主に重金属や放

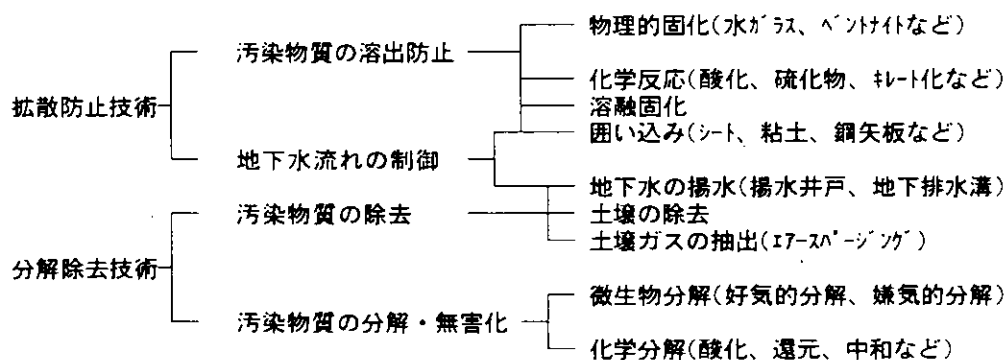


図13-5 土壌・地下水汚染浄化技術の分類

放射性物質の処理に用いられている。

一方、土壌・地下水中から汚染物質を除去する技術には、土壌・地下水中から汚染物質そのものを取り出し処理する方法と、取り出さず原位置で無害化する技術が考えられる。このうち、微生物分解はガソリンなど比較的分解されやすい炭化水素の浄化に用いられてきた。空気や栄養物質を注入して、土壌中に生息する微生物の活性を上げる方法であり、米国では原位置処理技術として定着しつつある。

揮発性有機塩素化合物の無害化技術としては、化学分解と微生物分解が考えられる。化学分解には、過酸化水素、オゾンや次亜塩素酸などを用いる方法が検討されている。また微生物分解には、現場に生息している微生物の活性を高める方法と活性の高い微生物を汚染現場の土壌や地下水に注入する方法がある。ただ微生物分解に伴って1,1-ジクロロエチレンなどの多様な副産物が生成されるため、安全性には十分に留意しなければならない。これら揮発性有機塩素化合物の無害化処理技術は、将来に期待される技術ではあっても、研究段階にあるか、実用化に向けて現地実証実験の段階にある。

### 3. 地下水汚染浄化の対策例

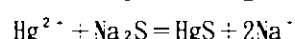
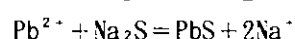
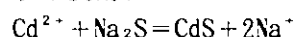
#### 3. 1 重金属汚染

##### 3. 1. 1 物理的処理

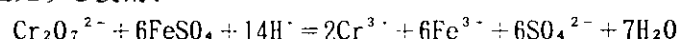
農用地の土壌からは銅、カドミウム、ヒ素など、市街地では水銀、カドミウム、鉛、ヒ素などの重金属が検出されることが多い。土壌中の重金属はもともと水には溶けにくく、カドミウムなどは陽イオンとして表層土壌に保持されるため、掘削除去、客土、天地返し、遮水工や現場固化などが物理的技術として用いられている。農用地ではカドミウムを中心として6140haで対策計画が策定されているが、1994年度までに80%（4920ha）で排土や客土を行って対策が完了している<sup>4)</sup>。また1994年度の環境庁アンケート調査でも、土壌汚染対策を実施した318件のうち、約30%が封じ込め処理であり、覆土工も16%に上っている。

##### 3. 1. 2 化学的処理

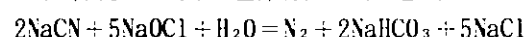
重金属は化学形態によって水溶解度が異なるため、酸化・還元や中和処理を行って不溶化する技術もある。例えば、カドミウム・鉛・水銀化合物などには硫化ナトリウムを加え、水溶解度の低い硫化物にする技術、



6価クロムには還元剤として硫酸第一鉄（速効性）・亜炭（遅効性）・鶏糞などを用いて3価クロムに還元する技術、



シアン化合物には次亜塩素酸ソーダを用いた酸化分解技術、



などである。いずれの場合も効果の持続性が問題であり、化学処理後は土壌の溶出試験を行い、基準を上回る場合には遮水工、遮断工による封じ込め措置が取られる。ただしカドミウムとヒ素などの対策は全く逆であり、多様な汚染物質が共存している場合には、化学反応を利用した汚染土壌の処理は難しい。

封じ込め対策や化学的不溶化対策では、原位置に汚染物質は依然として残っており、東京都の6価クロム事例を見るまでもなく、汚染が再び生じる恐れがある。恒久対策として重金属や放射性物質を対象に地中に高電流を流し、土壌を溶融固化し、固体体に汚染物質を閉じこめるガラス固化技術も開発・実用化されている。汚染土壌を分級・洗浄すれば、高濃度部分を取り出せる可能性があり、分別した低濃度部分は溶出試験をクリアすれば資源として再利用できる可能性もある。さらに土壌中に電流を流し、イオン化した汚染物質を抽出する技術なども、現在わが国で現場実証試験が行われている。

クロム鉍滓埋め立て地域で68000m<sup>3</sup>の鉍滓と96700m<sup>3</sup>の汚染土壌を除去し、収容施設に封じ込めた事例がある。この対策ではクロム鉍滓撤去跡地では硫酸第一鉄と消石灰で還元中和処理して表土を埋め

戻し、整地復元の措置がとられている。水銀汚染についても、硫化ナトリウム・硫酸第一鉄・コロイド硫黄を散布して水銀を安定化した対策例がある。

汚染された地下水を原位置で化学処理し、汚染の拡散防止を行った事例もある。図13-6は6価クロムに汚染された地下水（宙水）にまで深さ6mの溝を掘り、宙水の通過する部分に亜炭と酸性白土を充填して埋め戻している<sup>5)</sup>。この対策は汚染土壌を除去するまでの応急措置として実施したものである。

### 3. 2 揮発性有機塩素化合物汚染

#### 3. 2. 1 汚染の特徴

トリクロロエチレンなどの有機塩素化合物は、①油脂洗浄力が強い、②高揮発性があり、③燃えにくい、など溶剤として優れた性質がある。そのため金属部品や電子部品の脱脂洗浄、ドライクリーニング溶剤など幅広く使用されている。ただ揮発性有機塩素化合物は土壌には吸着されにくく、粘性や表面張力が水の1/2から1/3と小さいうえに、比重が1.5前後もあるため、不飽和土壌中を容易に、しかも横方向には広がらず真っ直ぐ下に浸透する性質がある。これまでに明らかになった汚染要因の多くは、溶剤タンクや配管からの溶剤の漏れ、高濃度に溶剤を含む廃棄物の埋め立てなどであり、こうした事態が生じると、原液か原液に近い汚染物質が地下浸透すると考えられる。

図13-7には火砕流堆積物が厚く積もった地域で観測されたトリクロロエチレンの土壌濃度分布を描いているが、40m 以上も浸透すること、この程度浸透しても10mg/kgを超える高濃度汚染は半径20m程度に収まっていることが分かる。浅い土壌汚染では 10万mg/kgを上回る汚染が検出されることもあるが、こうした極端な汚染はごく狭い範囲に限られており、数m離れると土壌濃度は2～3桁減少する。

表13-2には汚染源付近で観測された、土壌濃度、地下水濃度と土壌ガス濃度の最大値をまとめた。このように汚染源付近ではほとんどの事例で100mg/kgを超える高濃度土壌汚染が見いだされており、数万～数十万 mg/kgと汚染物質が原液状態で土壌中に存在している事例もある。地下水濃度については、トリクロロエチレンとテトラクロロエチレンいずれも水飽和溶解度（トリクロロエチレン：1100mg/l、テトラクロロエチレン：150mg/l）を超える高濃度汚染が検出されており、汚染物質は地下水中にまで侵入していることが分かる。さらに土壌中に汚染物質原液が存在すれば、飽和蒸気圧に等しい濃度（トリクロロエチレン：76300ppmv、テトラクロロエチレン：18400ppmv）が観測されるはずであり、実際の汚染現場でも1万ppmvを超える高濃度土壌ガスが検出されている事例もある。

#### 3. 2. 2 浄化対策例

##### (1) 汚染土壌の除去

地下数mといった浅い土壌汚染では、土壌を掘削・除去する技術が多用されている。ただ汚染土壌を掘削すると高濃度な汚染物質が大気中に揮散する恐れがあるため、大気環境基準（トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンとも0.2mg/m<sup>3</sup>以

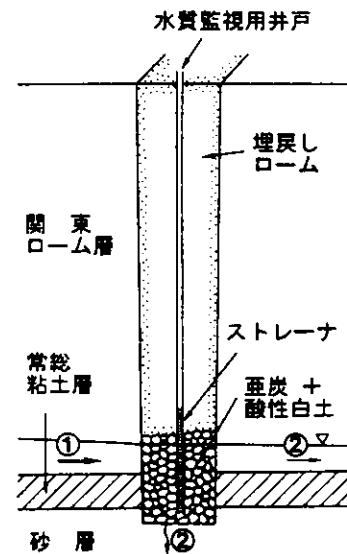


図13-6 宙水層に設けた6価クロム処理用障壁。①汚染された上流地下水、②処理された地下水の流れ<sup>5)</sup>。

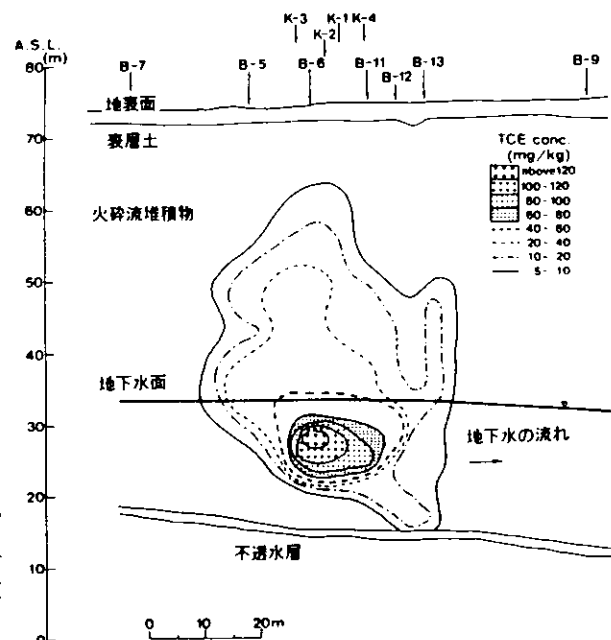


図13-7 土壌中のトリクロロエチレン濃度の分布

下)を目安として、適切な作業環境や周辺環境を保つことが望まれる。掘削した土壌は、2次汚染を招かないよう、熱をかけ汚染物質を抽出するなど適切に処理する必要がある。処理後土壌については、溶出試験を行い、基準を満たせば元位置に埋め戻すこともできる。

汚染土壌を掘削すると、その直後に地下水質は急激に回復する。ところが深い土壌や地下水中の汚染物質までは除去できないため、汚染土壌除去後には地下水の揚水も実施する必要がある、継続して地下水を汲み上げ、十数トンのトリクロロエチレンを回収して水道水質基準近くまで地下水を浄化した事例がある(図13-8)。

### (2) 土壌ガスの吸引

土壌ガス吸引技術は、不飽和間隙中の土壌ガスに気化した汚染物質を土壌ガスとともに吸引除去する技術であり、数カ月から1年の対策で数百kgから1トンのトリクロロエチレンが除去されている。この土壌ガス吸引技術は、不飽和土壌を対象とした浄化技術であり地下水までは修復できないこと、さらに減圧吸引によって地下水位が上昇するため、土壌ガス吸引技術では大量の地下水の汲み上げも必要となる。土壌ガスも地下水も除去した対策事例によると、対策初期には土壌ガス吸引による汚染物質除去率は地下水揚水を1桁上回っていたが、対策の進捗とともに除去率が低下し、両者の除去率は逆転することも明らかにされている(図13-9)。この事例では、対策開始7000時間から地下水揚水量を2トン/時間から30トン/時間にまで強化したため、この揚水量増加も寄与して土壌ガス吸引と地下水揚水の除去率は逆転している。このように水に溶けにくい汚染物質を地下水揚水で除去するには時間はかかるが、長年の揚水で汚染土壌除去や土壌ガス吸引技術より多くの汚染物質を回収できる可能性があり、地下水揚水は地下水浄化には欠かすことのできない基本的な技術であることが分かる。

表13-2 土壌・地下水汚染事例で観測された土壌・地下水・土壌ガス濃度の最大値

事例 No	汚染物質	土 壌 (mg/kg)	深 度 (m)	土 質	地 下 水 (mg/l)	土 壌 ガ ス (ppm)
1	トリクロロエチレン	865 dry	2.5	粘 土	137	1500
2	トリクロロエチレン	6600 wet	2	砂質粘土	140	—
3	トリクロロエチレン	40 dry	25~27	シルト	360000	—
4	トリクロロエチレン	10 dry	0.7	表 土	410	—
5	トリクロロエチレン	138	46	砂質シルト	455	9400
6	トリクロロエチレン	232	3	砂 礫	1390	—
7	トリクロロエチレン	210000	7~8	砂質シルト	40	—
8	トリクロロエチレン	4300	4.5	有機質粘土	28	—
	テトラクロロエチレン	18000			75	—
9	テトラクロロエチレン	360	5.5	シルト	80	—
10	テトラクロロエチレン	8100	2.1	砂 礫	33	14000
11	テトラクロロエチレン	25000	0.8	粘 土	22	3000
12	テトラクロロエチレン	62000 dry	2.3	シルト混砂	160	14000

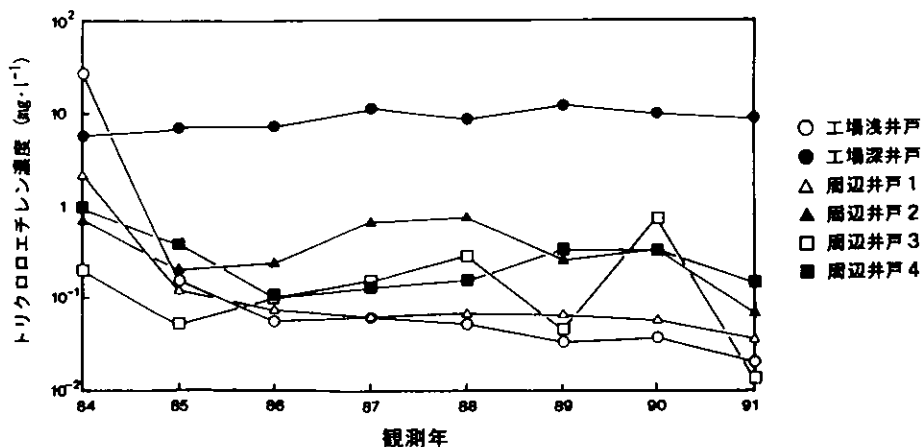


図13-8 土壌掘削(1984年5月)後の地下水中のトリクロロエチレン濃度の推移

ただ地下水揚水による汚染の浄化にはかなりの時間を要することも事実である。図13-9と同じ資料を用いて、図13-10には揚水した地下水に含まれるトリクロロエチレン濃度の経時変化を示している。図には2本の対策井で得られた地下水濃度を指数関数に当てはめ、その近似曲線を載せているが、このうち(2)の近似曲線から汚染された地下水濃度が地下水質環境基準0.03mg/lにまで減少するのに要する時間を求めると、31.3年となる。このようにトリクロロエチレンなどの揮発性有機塩素化合物は水には溶けにくく、難分解性物質であるため、一度こうした微量有害化学物質に地下水が汚染されると、元の清浄な姿に戻すには長い時間がかかることが分かる<sup>6)</sup>。

土壌ガス吸引とは逆に、空気や蒸気を不飽和土壌や地下水中に吹き込み、ガス流れや地下水流れを攪乱して浄化するエアースパージング技術<sup>7)</sup>も開発されている。空気を注入することによって微生物分解も期待できるとされているが、わが国ではまだ現場実証試験の段階にある。

### (3) 微生物分解技術

土壌ガスの吸引や地下水揚水などの物理的な浄化技術は、手法に違いはあっても、最終的には汚染物質を気化させ活性炭で回収している。低沸点化合物の除去技術として理にかなっていても、活性炭

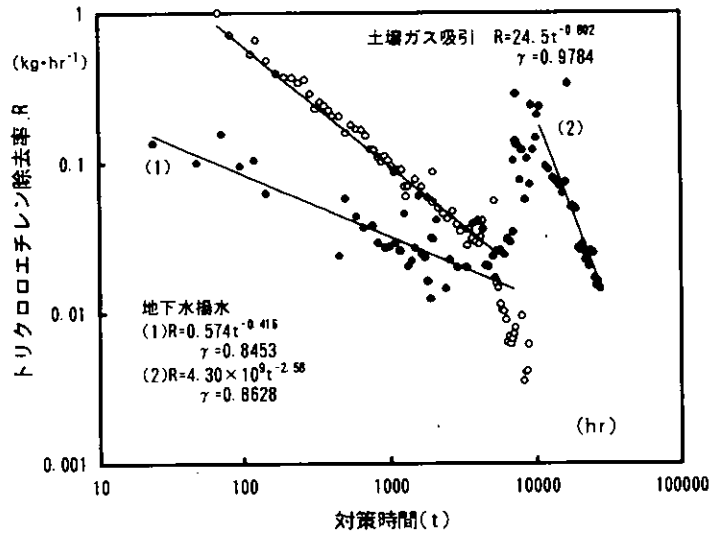


図13-9 土壌ガス吸引と地下水揚水によるトリクロロエチレン除去率の比較

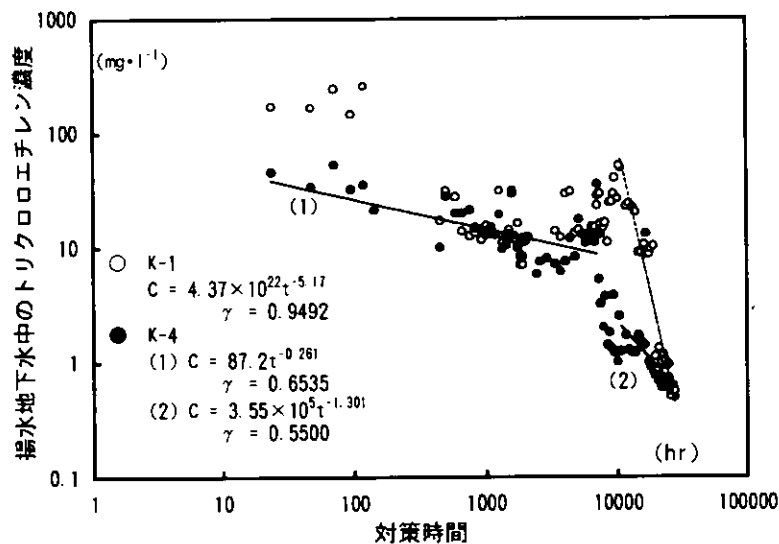


図13-10 揚水した地下水に含まれるトリクロロエチレン濃度の経時変化



から着脱した溶液や活性炭そのものを焼却処分することになり、これが不十分であると非意図的な汚染物質を生成する恐れもある。対策に時間がかかったり、物理的な限界もある。これに対し、微生物分解は原位置で汚染物質を炭酸ガスにまで完全分解できる可能性がある。

微生物分解は、ガソリンなど比較的分解されやすい炭化水素の浄化技術として、欧米では既に実用化されている。一方、トリクロロエチレンなどは、もともと微生物分解されにくい物質であるが、それでも嫌気的条件下ではかなり効率よく分解する微生物が発見されている<sup>8)</sup>。実用化を目指して米国では既に現場実証実験が進められており、現場から抽出した分解微生物を栄養物質とともに地下水中に注入してトリクロロエチレン濃度で3 mg/lの地下水を浄化した実績もある。わが国でも汚染地下水中にメタン、栄養塩類や酸素を吹き込み、地下水中に生息する微生物活性を上げる浄化技術の実証試験が行われている(図13-11)<sup>9)</sup>。注入開始後に、地下水中のトリクロロエチレン濃度は低下しているが、これは注入水の希釈によるものである。そして注入を停止した後もトリクロロエチレン濃度は低い状態が続き、その間40日の対策で約1.2kgのトリクロロエチレンが無害化されたと報告されている。ただ好氣的雰囲気での微生物分解は、トリクロロエチレンについては現状では数十mg/lが限界であることも事実である。したがって最初に物理的な除去技術を施し、高濃度汚染を取り除いた後でなければ適用できないのが現状である。ところが汚染源中心には飽和水溶解度の汚染地下水が滞留しており、浄化対策技術として微生物分解技術を定着させるには、この程度の汚染まで無害化できる必要があろう。一方、還元的脱塩素反応では、テトラクロロエチレンからトリクロロエチレン、ジクロロエチレンを経て、塩化ビニルの生成することが指摘されており<sup>10)</sup>、分解生成物の毒性が問題となる。化学的に塩素で飽和したテトラクロロエチレンは還元状態でないと塩素はずれず、テトラクロロエチレンの分解については還元的雰囲気の維持管理手法や好氣的分解を組み合わせた技術の開発も必要となろう。

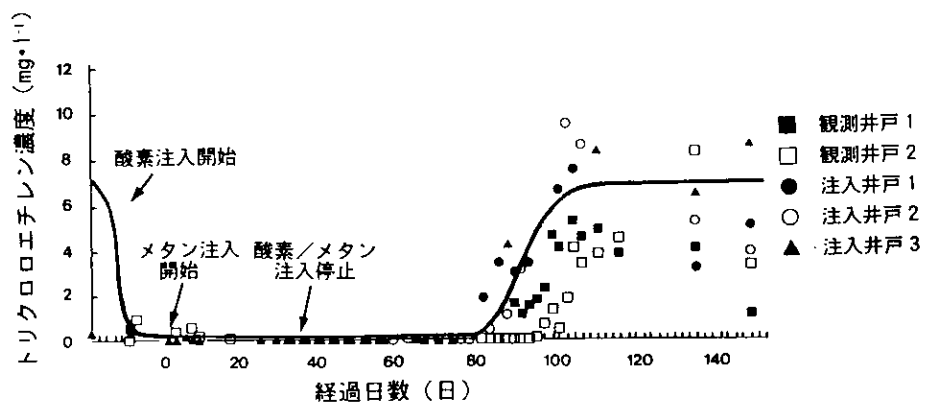


図13-11 注入井と観測井におけるトリクロロエチレン濃度の経時変化<sup>9)</sup>

### 3. 3 硝酸性窒素

地下水への硝酸性窒素の供給源には、大きくは生活排水・工場排水の土壌浸透処理に由来する点源、農地に施用された肥料成分の溶脱に由来する非点源の2つの形態がある。このうち最も懸念されているのが農地への施肥であり、汚染物質の供給源が面的に拡がりを持っているため、汚染された地下水の浄化そのものは極めて困難であり、施肥量を減量する以外に有効な手だてのないのが現状である。

ところが単に肥料を減らし、その結果、農作物の収量や品質が低下しては有効な対策として機能しない。必要な時期に、適量の肥料を施用するなど、肥培管理が重要となる。それには対象とする作物それぞれについて、圃場試験やライシメータ試験を実施する必要がある。かなりの時間と経費がかかる。そのためわが国では、硝酸汚染対策としての肥料の減量化はまだ始まったばかりであり、対策例は少ないが、その一つに岐阜県各務原市がある。

各務原台地はニンジンの生産で知られているが、1970年代から多量の無機化学肥料がニンジン畑地に施用されてきた。その結果、1980年代に入り畑地地下水の硝酸性窒素濃度が25mg/lを上回り、生活

用水を取水していたいくつかの揚水井は閉鎖に追い込まれた。これと並行して、過剰な無機化学肥料がニンジンの品質に影響を及ぼし、農業生産と地下水質保全の両面から肥料の減量化が急務の課題となった。こうした背景から、綿密な圃場試験やポット試験を繰り返し、従来から慣行的に行われてきた年間窒素施肥量400kg/haを300kg/haにまで減らしても、ニンジンの収量や品質に影響のないことを確かめ、実際の畑地で肥料の減量化を実践している。この減量化には、無機化学肥料を減らすことはもちろん、有機肥料や肥効調節肥料も導入されている<sup>11)</sup>。

肥料の減量化は1990年代から始まっているが、この前後の各務原台地地下水の硝酸性窒素濃度の分布を図13-12に描いた。減肥対策によって1980年代には硝酸性窒素濃度で25mg/lを超えていた範囲が狭くなり、対策の効果が現れていることが分かる。各務原台地地下水は浅い不圧地下水であり、地上での人間活動の影響を受けやすい反面、有効な対策を実施すれば効果も比較的早く現れる好適な事例である。

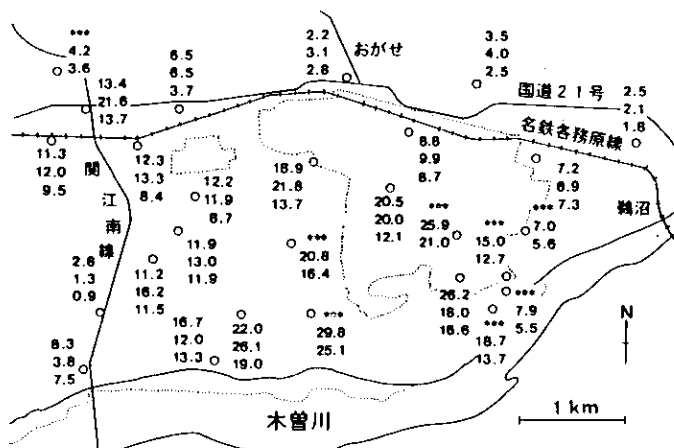


図13-12 各務原台地地下水中の硝酸性窒素濃度の推移<sup>11)</sup>。図中の数字は、上段：1984年7月、中段：1990年7月、下段：1994年7月の観測値で、単位はmg/l。

#### 4. まとめ

重金属類による浄化対策は、調査手法を含めある程度マニュアル化されている。封じ込めや不溶化技術に加え、最近では積極的に汚染物質を除去する技術の開発も進められている。揮発性有機塩素化合物については、汚染土壌の除去、地下水の揚水や土壌ガス吸引といった物理的な汚染物質除去技術を中心に汚染現地に適用され、修復技術としての有効性が実証されるとともに、評価も定まりつつある。もちろん先端的な技術の開発と導入は、浄化対策の効率化をはかるために必要であるが、多額の経費がかかる。その意味で簡易な技術の開発は、浄化対策の促進に不可欠である。例えば、土壌ガス吸引については鉄パイプを打ち込むだけで、ロータリー掘りした吸引井と何ら遜色ない汚染物質の除去率が得られているし、深さが7m程度までであればウエルポイントも有効である<sup>12)</sup>。

このように見ると、土壌・地下水汚染の浄化対策技術は、調査技術を含めてほぼメニューが揃いつつあるといえる。それぞれの技術には適性があり、汚染物質の存在形態、地下水の利用形態や対策にかかる経費など、目的にあった適切な技術の選定・実施が重要である。

#### 参考文献

- 1) 川西琢也, 川島博之, 尾崎保夫(1991)地下水の硝酸性窒素濃度の上昇と農業生産—諸外国の研究事例のとりまとめと今後の課題—, 用水と廃水, 33, 17-28.
- 2) 宮古島地下水水質保全対策協議会(1993)平成4年度宮古島地下水水質保全調査報告, 224p.
- 3) 平田健正(1994)土壌・地下水汚染の浄化技術の現状と課題, 水環境学会誌, 17, 86-90.
- 4) 環境庁編(1996)平成7年版環境白書, 大蔵省印刷局, 415p.
- 5) 佐藤賢司, 古野邦雄, 高梨祐司, 原 雄, 楡井 久(1991)地下水汚染の事例研究・防食加工工場周辺, 共立出版, 地下水汚染論, 291-305.

- 6) 平田健正, 江種伸之, 中杉修身, 石坂信也(1996)土壤ガス吸引と地下水揚水を併用した地下環境汚染の修復, 環境工学研究論文集, 33, 47-55.
- 7) Lundegard, P.D. and LaBrec-que, D.(1995)Air sparging in a sandy aquifer(Florence, Oregon, USA):actual and apparent radius of influence, J. Contaminant Hydro., 19, 1-27.
- 8) 田上四郎, 徳永隆司, 永淵義孝, 世良暢之, 北森成治, 常盤寛(1993)汚染土壌から分離した高濃度テトラクロロエチレンの分解菌, 第27回日本水環境学会年会講演集, 628-629.
- 9) 小山田久実ら(1995)トリクロロエチレン汚染現場への原位置バイオレメディエーションの適用, 第4回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, 75-78.
- 10) Vogel, T.M. and McCarty, P.L.(1985)Biotransformation of tetrachloroethylene to trichloroethylene, dichloroethylene, vinyl chloride, and carbon dioxide under methanogenic conditions. Appl. Environ. Microbiol., 49, 1080-1083.
- 11) 寺尾 宏(1996)畑作地帯の硝酸性窒素による地下水汚染と軽減対策-岐阜県各務原台地における汚染事例-, 水環境学会誌, 19, pp. 956-960.
- 12) 長藤哲夫, 鈴木孝治, 下村雅則, 中杉修身, 平田健正, 鞍谷保之(1994)浅層砂礫層における揮発性有機塩素化合物の気液混合抽出法による土壌浄化と予測, 水環境学会誌, 17, 641-649.