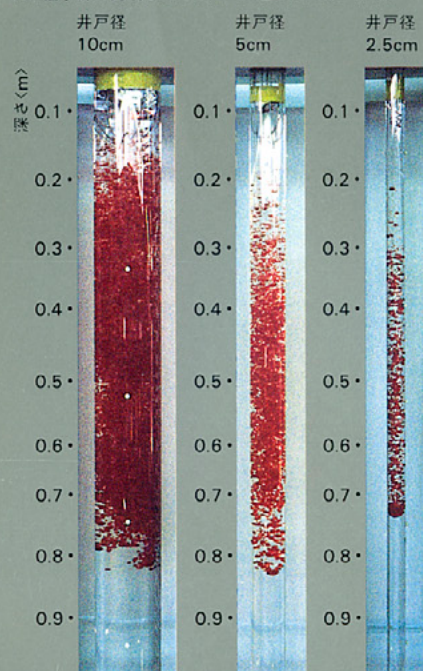
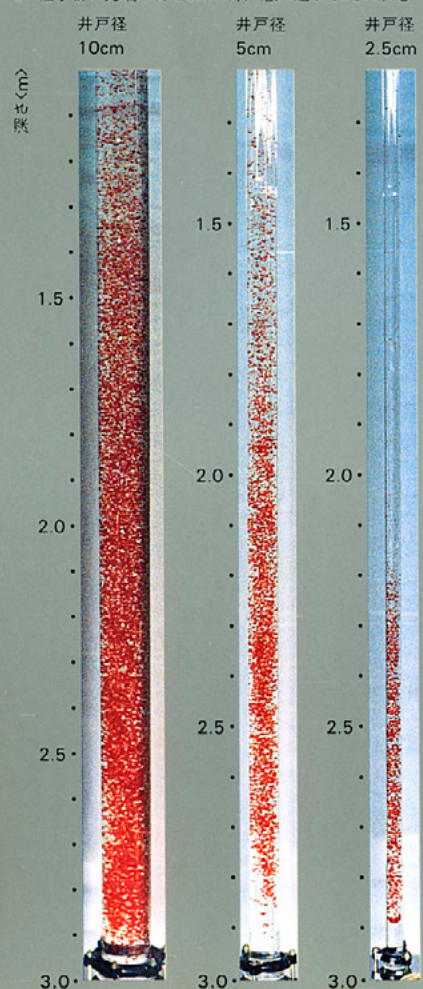


写真①井戸内でのトリクロロエチレンの水中落下実験

A: 粒子群の先端が深さ0.8mに達したときの状態

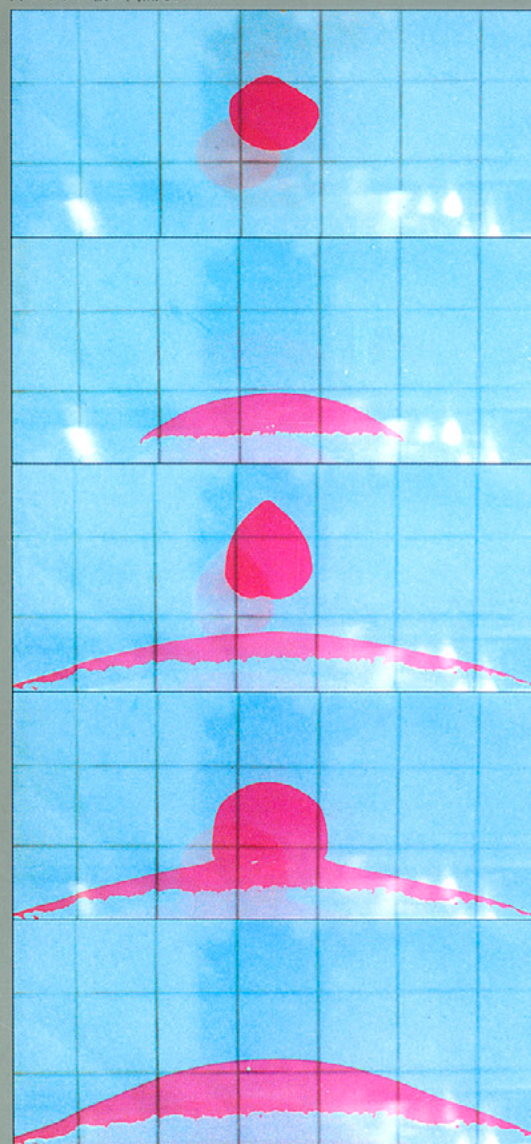


B: 粒子群の先端が深さ3mの井戸底に達したときの状態

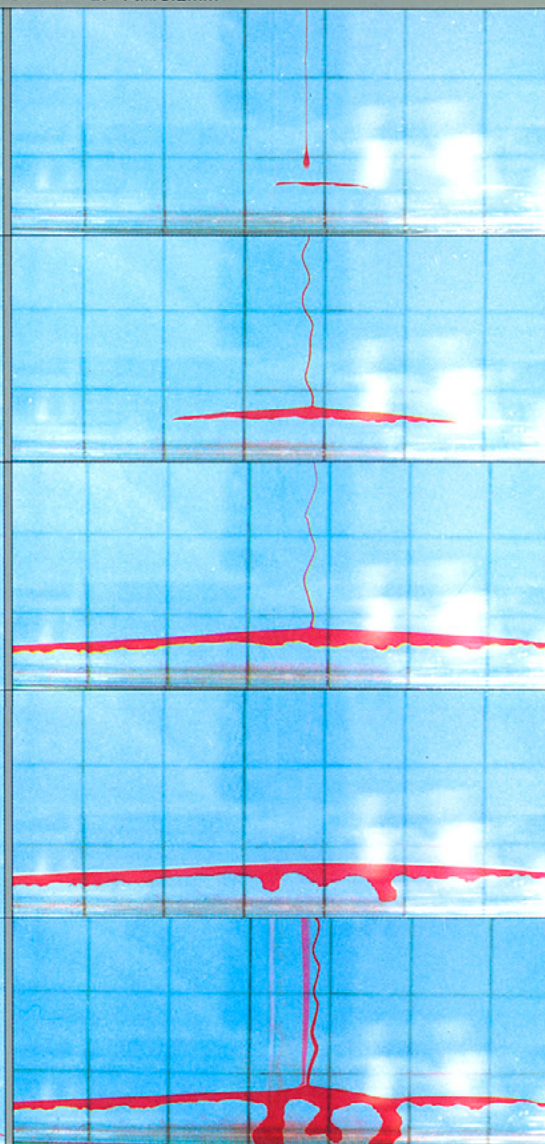


写真②ヘルショウモデルを用いたトリクロロエチレンの浸透実験

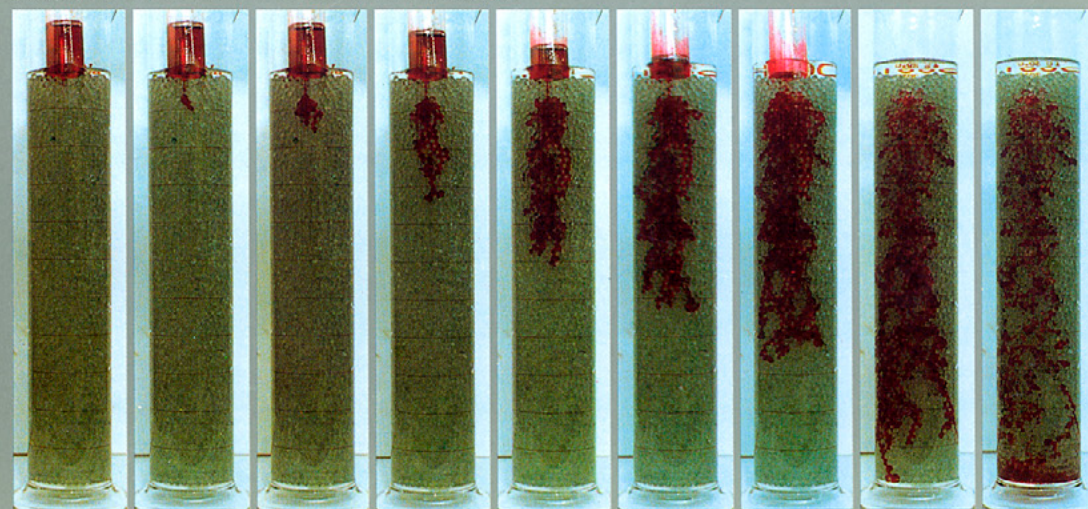
A: ガラス板の間隔0.1mm



B: ガラス板の間隔0.2mm



写真③飽和多孔体中におけるトリクロロエチレンの浸透実験



トリクロロエチレン等による地下水汚染の経路

村岡浩爾＝国立公害研究所水質土壌環境部長

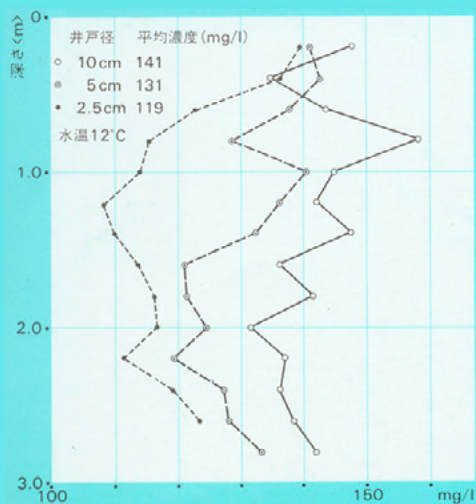
平田健正＝国立公害研究所水質土壌環境部主任研究員

米国議会の下部組織 OTA (Office of Technology Assessment) の調査によると、地下水中で検出された物質は、有機化学物質175種、無機化学物質(金属、非金属、無機酸) 27種、放射性核種19種、その他に微生物や生物遺体となっている。有機化学物質の中で、揮発性塩素化脂肪族炭化水素と類される数種類が、少なくとも新しい地下水汚染として登場してきた物質である。日本では「トリクロロエチレン等」という行政用語が使われるが、これはトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、1,1,1,1-トリクロロエタンの3種類をさす。昭和57年度に行った環境庁の全国主要都市地下水調査で対象となった物質は、この3種を含む12種類の塩素化炭化水素と、ベンゼンなど3種の芳香族炭化水素、2種のフタル酸化合物、それに硝酸塩であった。

地下水汚染は、古くから重金属や農業によるものがあったが、なぜ最近のように揮発性塩素化炭化水素による汚染が注目されているか、その最も大きな原因は唯一つ、それらの物質が社会的に有用であるからである。有機溶剤と呼ばれるように、引火等の危険がなく、抜群の洗浄力があるため、IC 産業はこの物質なくして成り立たないとまで言われている、もっとも、IC 産業だけがこれを使っているわけではなく、またIC産業ではこの有機溶剤だけが問題ではない。IC 産業で使用される化学物質は50種余にのぼる。また昭和61年から62年にかけて、環境庁、厚生省、通商産業省、労働省が共同で行った IC 産業環境保全実態調査では、トリクロロニチレン等のほかにフッ素化合物、ホウ素化合物など、8ないし10項目について、大気や水域への排出実態等が調べられている。とはいうものの、地下水汚染の実態からみて、やはりトリクロロエチレン等の有機溶剤の問題が重要となる。(本文、30ページ 地下水の汚染参照)

さて、私たち地下水を利用する住民として、また住民に安全な水を供給する行政側として、このトリクロロエチレン等による地下水汚染で、一番知りたいのは何なのかを次にまとめた。

図1 - 井戸水中のトリクロロエチレンの濃度分布



(1)健康への影響

住民はこれを一番不安がっている。毒性の種類には普通急性毒性、催奇形性、変異原性、発がん性が考えられる。トリクロロエチレンの例でいうと、急性毒性は体重1 kg 当り7 gを経口で摂取すると死亡するとされている。催奇形性は動物実験では観察されていない。変異原性は動物実験では認められるが、人間に対する詳しい影響は判っていない。発ガン性はあると言える。人間に対する発ガンリスクは極めて不明瞭な評価でしかないが、現行の飲料水暫定基準からのリスク評価では、基準値の100倍の濃度の水を生涯飲み続けると、1,000人に1人はガンになるということになる。急性毒性は余程の不注意でもない限り起らないから、私たちの心配は今のところ発ガン性にあると言える。

(2)地下水への汚染経路

地下水汚染が発覚すると、誰もがその原因は何かと思う。原因が判らなくても水源転換など応急対策は行われる。しかし汚染の根を断つにはやはり原因を知る必要がある。ところが大抵の場合、厳密にはそれが明らかでない。あの工場から漏れたらいい、と言えればいい方で、汚染の侵入地点とそこでの現象、すなわちどれだけの量が土壌や水を伝わって行ったか、その後どうなっているのかというように、地下水に溶け込むまでのところがよく判らない。従って汚染回復対策のとりようもない。この点に鑑み、しばしば大きな地下水汚染に結びつく原液の井戸水や土壌での侵入状態について、国立公害研究所で実験が行われた。その例が裏面の写真である。

写真 井戸内でのトリクロロエチレンの水中落下

内径が10cm、5cm、2.5cm、深さは各3mのパイレックスガラス製の模型井を3本つくり、トリクロロエチレン(以下TCEと略す)原液の井戸水中での落下特性と井戸水への溶解量を調べた。TCE原液の投下量は、井戸径の大きい順に、392.7ml、98.2ml、24.5mlで、この量は、それぞれの井戸の深さ5cmの容量に相当する。TCEなどの有機塩素化合物は、水よりも重く、表面張力や粘性は水よりも小さい、という特徴をもつ。そのため、井戸水中へ投下すれば、自重で落下していくが、そのさい、粒径にして最大1.5cm程度までの粒子群に分裂して落下する。写真 Aは、粒子群の先端が深さ0.8m、写真 Bは、深さ3.0mの井戸底に達したときの状態である。写真中の赤い部分がTCE原液で、本来TCEは無色透明であるが、実験ではFat・Redでこのように着色している。写真から判るように、井戸径の大きいものほど、落下に伴う粒子群の分散も大きい。また、先端部の沈降速度も井戸径の大きいものほど速い。

粒子が落下してしまったあとの井戸水中のTCE濃度を図1に示す。図にみるように、井戸径の大きいものほど濃度も高く、それぞれの平均濃度は、井戸径の大きい順に、141mg/l、131mg/l、119mg/lとなる。こ

のように、TCE原液をただ投下するだけで、それぞれの井戸で、100mg/l以上のものが井戸水中に溶ける。TCEの飲料水の暫定基準値は0.03mg/lであるから、内径10cmの井戸では、その約4,700倍ものTCEが井戸水中に溶けこんだことになる。そして、井戸がもっと深くて、TCEがこの濃度で溶けていくとすれば、内径10cmの井戸に投棄された392.7mlのTCE原液は、深さにして500m以上の井戸水を汚染してしまうことになる。

写真 ヘルショウモデルを用いたトリクロロエチレンの浸透

土壌は一般に不均質で、これを不攪乱の状態で採取して実験することは難しい。そのため、毛管の発達した地下水面付近の浸透現象をモデル化し、その動きを調べる手法の1つにヘルショウ(Hele-Shaw)モデルがある。これは、2枚のガラス板をごく僅かな間隔をあけて水槽に立て、その間隙に毛管帯を作る仕組みになっている。ガラス板の間隙は、上部は空気、下部は水で満たされるが、空気の部分は土壌の不飽和帯、水の部分は土壌の飽和帯に相当する。

写真 Aは板間隔が0.1mm、写真 Bは板間隔が0.2mmの実験で、写真中のメッシュは、それぞれ5cm間隔である。間隔0.1mmの実験では、不飽和帯を浸透してきたTCEは毛管帯上に溜り、追加されたTCEによって山が高くなると共に、画面両側に裾野が広がっていく。しかしTCEは、飽和帯に侵入することはない。この実験は、土壌粒子が小さく、間隙規模の小さな多孔体中での浸透現象に相当する。

一方、間隔0.2mmの実験では、不飽和帯に落下してきたTCEは、毛管上界面で最初づかに盛り上がり、その後連続して注入されたTCEによって、飽和帯中にフィンガーが発達し始め、終には飽和帯へ侵入する。土壌粒子がやや大きくなり、間隙の大きい多孔体中では、これに近い浸透現象が実際に起っているものと思われる。

写真 飽和多孔体におけるトリクロロエチレンの浸透 不飽和土壌中を浸透し、地下水面にまで到達したTCEは、飽和帯中ではどのような動きを示すのか。写真は、粒径5mmのガラスビーズを、内径6.5cm、深さ30cmの円筒カラムに充填し、TCE原液を飽和多孔体の上面から注入したときの連続写真である。TCEは、横方向にはあまり拡がることなく浸透するが、多孔体の間隙中にTCE原液が残留するのが特徴的である。この実験でのTCEの浸透速度は、1.1cm/sであった。この写真以外にも、ビーズ径3mmと径1mmのもので実験したが、ビーズ径が小さくなる程浸透速度は減少し、間隙中へのTCE原液の残留量が増加する。間隙中に残留したTCEは、徐々に地下水中に溶解していくものと思われる。したがって、現実にごうした事態が生じると、地下水の流れはきわめてゆっくりとしているので、汚染が長期化する可能性が高い。