

## 地下水の汚染と対策

和歌山大学 平田健正

## 汚染物質の検出状況

全国規模の地下水汚染調査は、1982年の環境省調査に始まる。この調査では、東京や京都など大都市と地域的なバランスを考慮して全国15都市から1360検体の地下水を採取し、トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンなど揮発性有機塩素化合物を中心に18物質が分析された。この調査で最も検出率の高かった物質は硝酸性窒素であり、約80%の試料から検出され、10%が水道水質基準値(10mg/L)を超過していた。ただ硝酸性窒素以上に注目されたのは、発ガンのおそれのあるトリクロロエチレンやテトラクロロエチレンであった(図1)。

1982年調査に引き続き、全国規模で地下水汚染モニタリングが継続されている。トリクロロエチレン及びテトラクロロエチレンの揮発性有機塩素化合物、重金属類としてヒ素及びフッ素と、硝酸性窒素の基準超過率を図2に示した。トリクロロエチレン及びテトラクロロエチレンは2009年度までに調査された約116,500検体の内、基準超過率はそれぞれ0.9%、1.3%であるのに対して、硝酸性窒素は56,700検体の内、5.1%が基準値を上回っている。さらに自然由来の汚染と判定されることが多いヒ素については、環境基準値が0.05mg/Lから0.01mg/Lに強化された1993年度以降基準超過率が高まり、毎年度1.3~3.1%、平均的には1.6%の地下水試料が環境基準を上回っている。フッ素の環境基準超過率は、0.7%である。なお硝酸性窒素やフッ素は、1999年に環境基準項目に追加された物質である。

## 地下水汚染対策事例(1)

1982年の環境省地下水汚染調査を受けて、1983年には旧厚生省が地下水を水道水源として利用している原水(井戸から揚水した地下水)の調査を行い、トリクロロエチレンによる地下水汚染が発見された。その後の地下水質調査で、水道水源井の上流で大量のトリクロロエチレンを使用する電機工場が判明した。電機工場では、部品の洗浄にトリクロロエチレンを使用しており、その配管の不備からトリクロロエチレン原液が地下浸透したことも明らかになった。この事例では、①水道水源の汚染はかなり早期に改善されたが、工場周辺民家で井戸水の使用が多かったため、当時、自治体も巻き込み、上水道の敷設に多大な労力と費用を要したこと、さらに②現在は、工場敷地外の地下水は環境基準以下であるが、この状態を確保・維持するためにも以下に紹介する地下水揚水浄化が現在も実施しなければならない状況にある。

一連の調査結果に基づいて、1984年にはトリクロロエチレン使用工場の建屋下から汚染土壌を掘削除去し、さらに深井戸などから汚染地下水の揚水除去も開始した。その結果、汚染土壌の掘削除去直後には、数十mg/Lに上る地下水濃度は急激に2桁程度低下している(図3)。ただトリクロロエチレンの環境基準は0.03mg/Lであり、これに比べると依然として1桁以上高濃度を維持していることが分かる。この地下水汚染を修復するため、主に深井戸(100m級)を用いて汚染物質の除去を行うことになった。結果は、図3に描くように15年間の揚水で27トンに上るトリクロロエチレンを除去し、当初10mg/Lを超えていた工場内の

浅層地下水質を環境基準値 0.03mg/L 以下にまで回復させることができた。確かに地下水揚水技術で汚染地下水を修復するには時間はかかるが、確実に汚染物質を回収することができ、地下水汚染対策には欠くことのできない技術であろう。

その一方で、高濃度のトリクロロエチレンが残留している深い地下水（深い土壌）濃度は、依然として数 mg/L の高濃度を維持しており、低下の兆しは見えない。そこで、2000 年から新たに深い地下水の浄化を行うため、ボーリング調査と揚水井、観測井の設置を行った。ボーリングにより得られた地下水中のトリクロロエチレン濃度の鉛直分布と井戸構造を図 4 に、揚水井や観測井の配置を図 5 に描いた。

揚水井は 9 本設置し、合計揚水量は 36t/hr である。この揚水システムは 2000 年から稼働しており、その後の浅井戸（D1 層）の地下水濃度を図 6 に、深井戸（D2 層）の地下水濃度を図 7 に示した。特徴的なことは、D1 層や D2 層から地下水を揚水することによって Y31（深井戸で深度は 100m 級、図 3 の深井戸）のトリクロロエチレン濃度が顕著に低下し、2002 年 4 月頃にはトリクロロエチレンの環境基準値 0.03mg/L をクリアしている。これは D1 層及び D2 層に滞留し、そこから 100m 深の地下水にまで溶け出していたトリクロロエチレンの拡散が抑制された結果であろう。

こうした対策によって、2000 年 4 月までに 29.4t、2000 年 4 月以降 2010 年 4 月までに 6.3t、合計して 35.7t のトリクロロエチレンを除去することができた。これらの揚水対策は 1984 年から開始し現在も継続しているが、27 年を経ても D1 層において 0.7mg/L 程度、D2 層において 8mg/L 程度の高濃度トリクロロエチレンが依然として地下水中に存在している。

## 地下水汚染対策事例(2)

電話機器の洗浄にトリクロロエチレンを使用していた事業場で、土壌地下水汚染が発見された事例である。事例(1)と同様、事例(2)も環境省の汚染機構解明調査や新技術開発調査の一環として、現地調査などを行ってきた。本事例は、土壌ガス調査とボーリング調査を組み合わせた高濃度汚染物質の把握手法の開発と対策技術としての土壌ガス吸引を実施した現場である。

ボーリングによって得られたトリクロロエチレンの土壌濃度を図 8 に、地下水揚水に伴う地下水中のトリクロロエチレン濃度の経時変化を図 9 に示す。

図 9 には、揚水した地下水のトリクロロエチレン濃度  $C$  を時間  $t$  に対して指数関数表示を行っている。ある程度のばらつきは認めることとして、図 9 中の(2)式から、トリクロロエチレン地下水濃度が環境基準値にまで減少する時間 ( $C = 0.03\text{mg/L}$  として算出) を求めると、31.2 年を要することになる。

## まとめ

土壌や地下水の水や物質の移動速度は、極めて遅い。それだけに一度汚染されると、その修復には極めて長い時間と経費がかかる。ここで紹介した事例は、何れも地下水揚水によって汚染物質の除去を行っている。地下水揚水は、確実に汚染物質を除去できる物理的な浄化技術として定着し、普及している。ただ時間が掛かることは否めず、2つの事例とも 30 年あるいはそれ以上の対策時間が必要となることを如実に物語っている。

(以上)

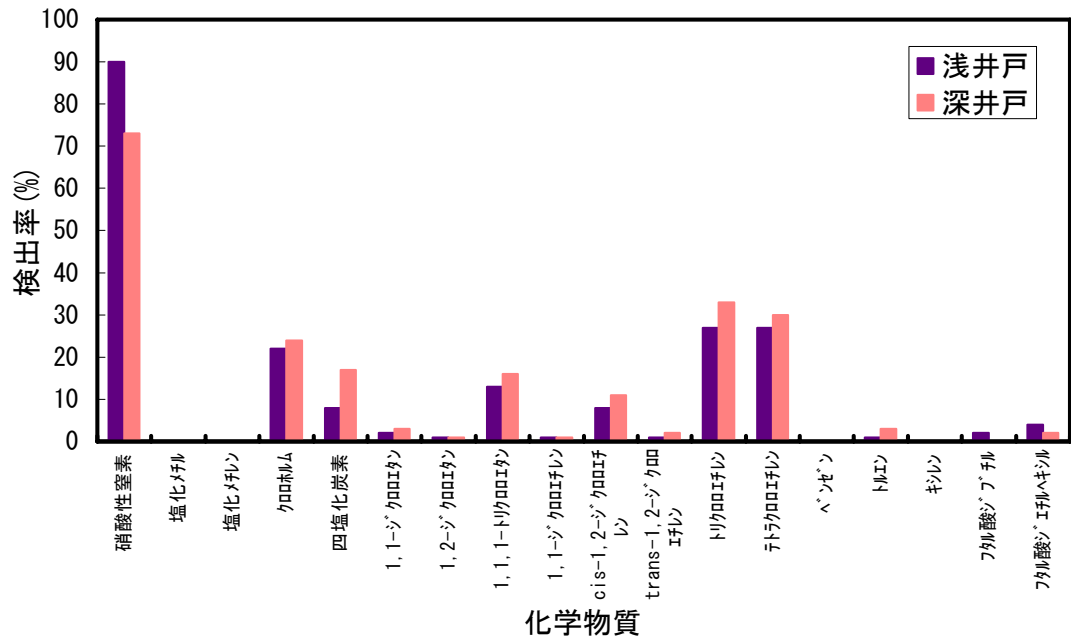


図1 1982年度の環境庁地下水汚染調査における化学物質の検出状況

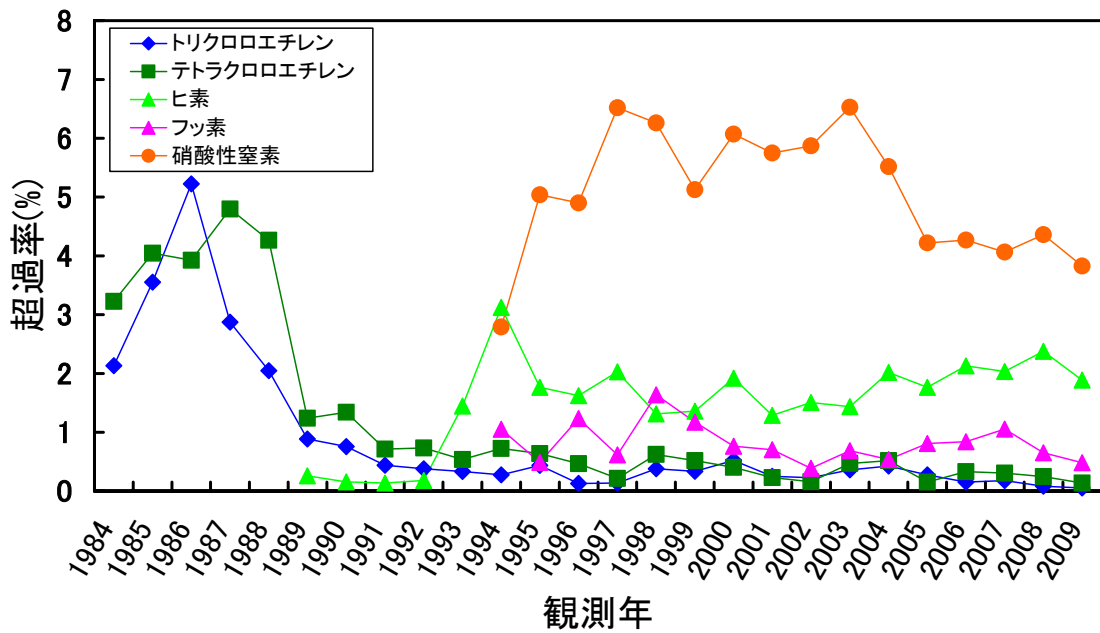


図2 地下水における環境基準超過率の推移

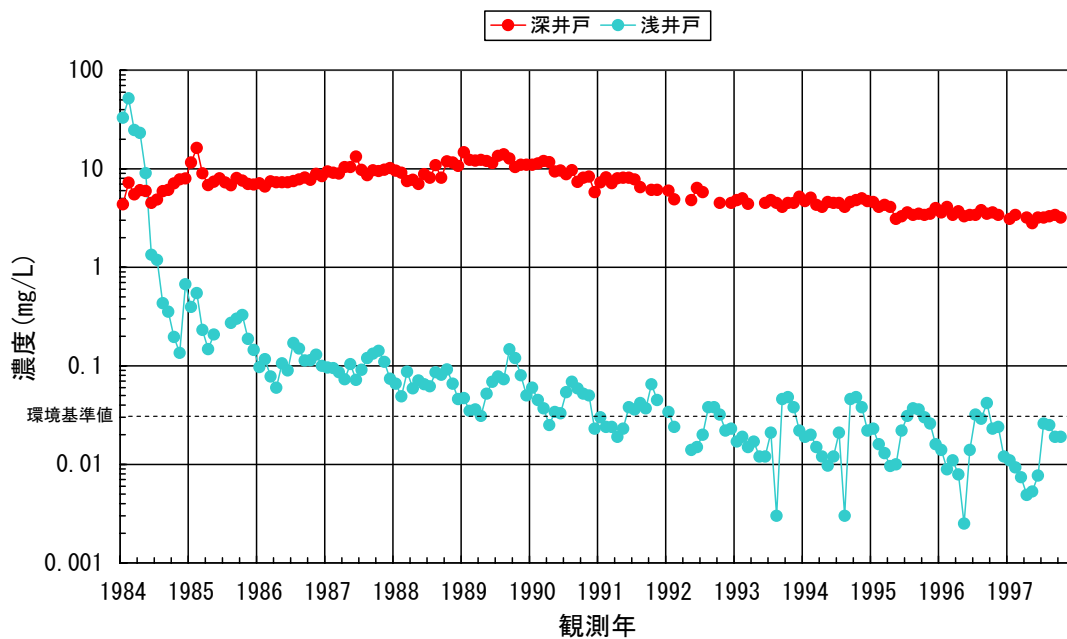


図3 地下水揚水によるトリクロロエチレン濃度の推移

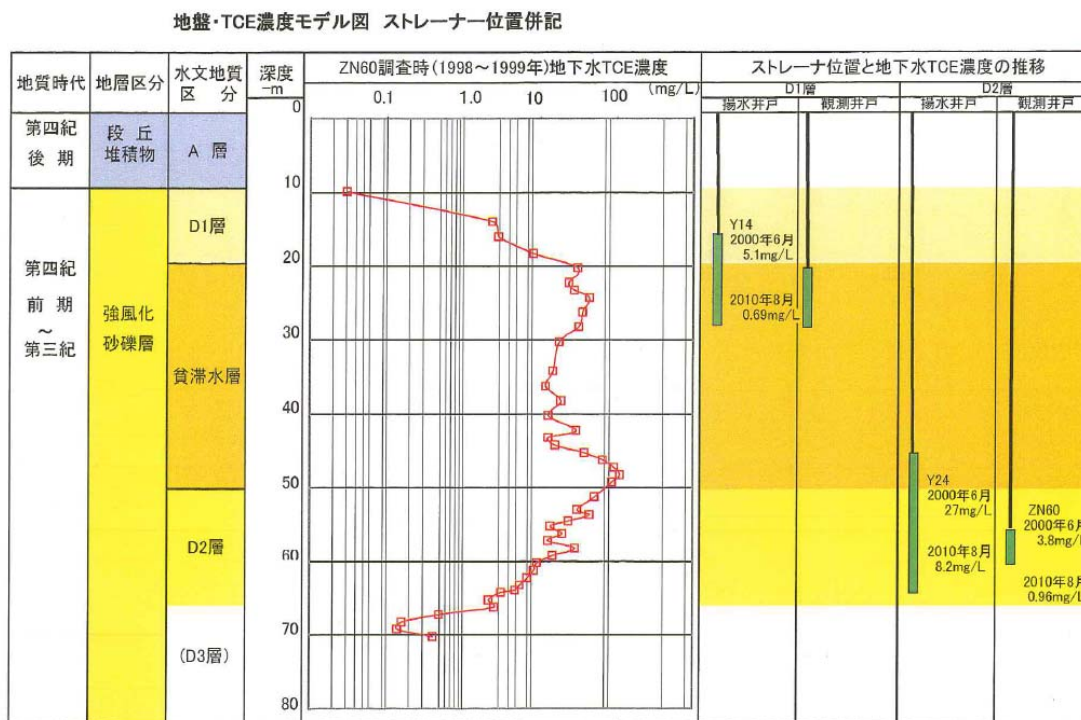


図4 地下水中のトリクロロエチレン濃度の鉛直分布

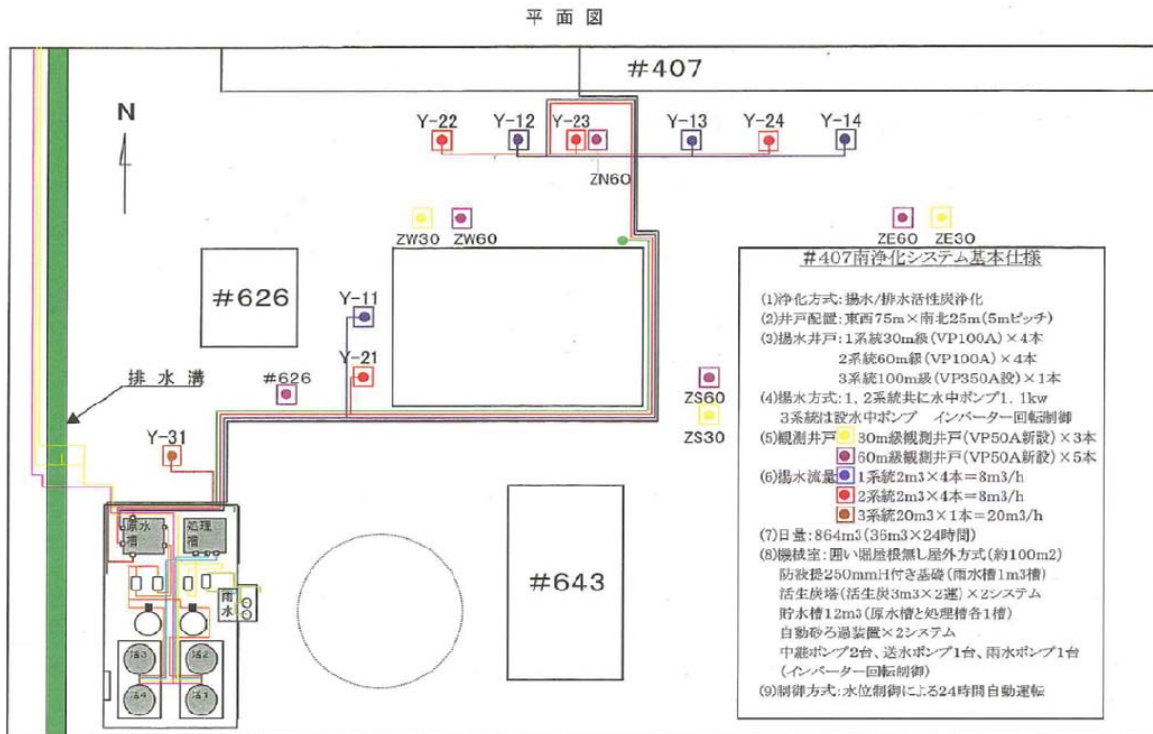


図5 揚水井及び観測井の位置

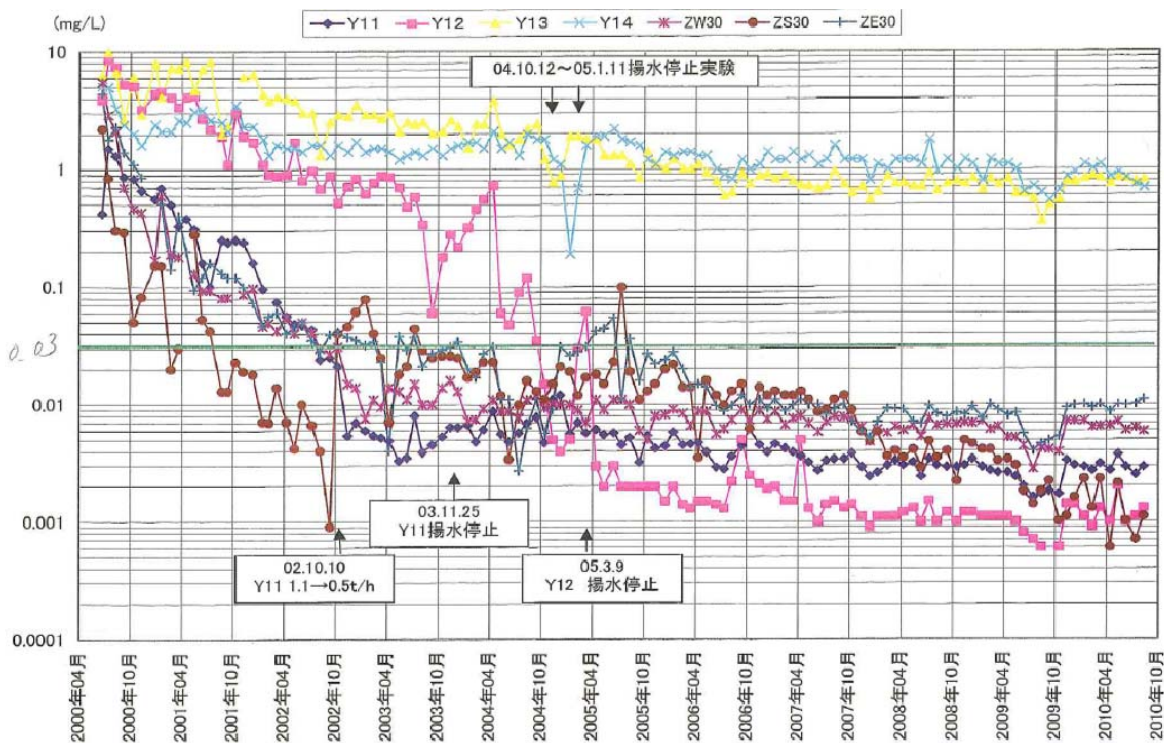


図6 浅い帯水層 (D1層) のトリクロロエチレン濃度の推移

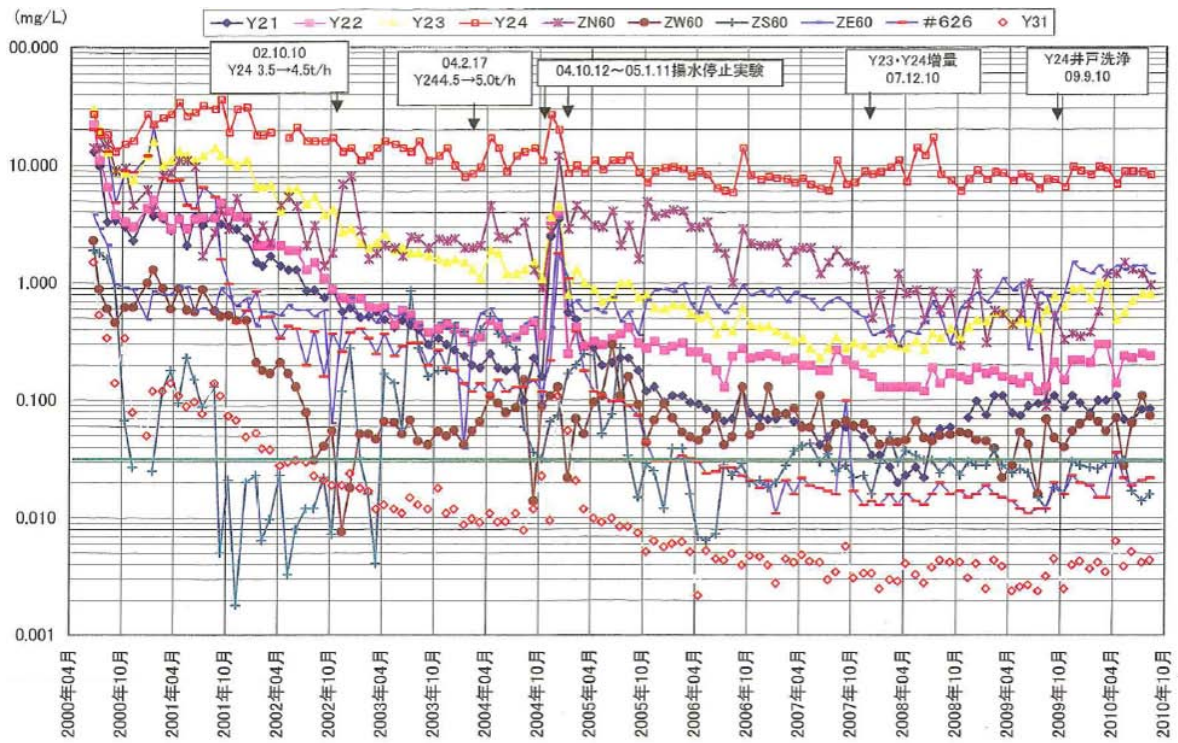


図7 深い帯水層（D2層）のトリクロロエチレン濃度の推移

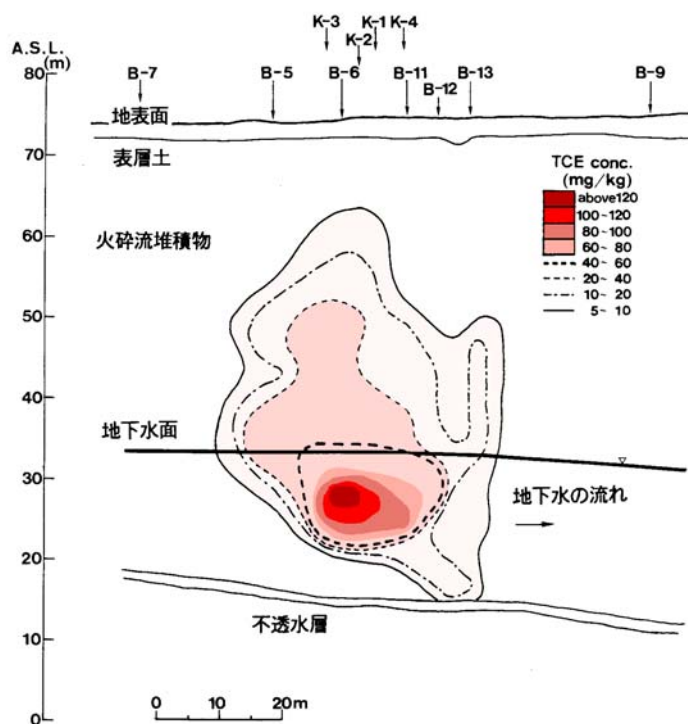


図8 土壌中のトリクロロエチレン濃度の分布

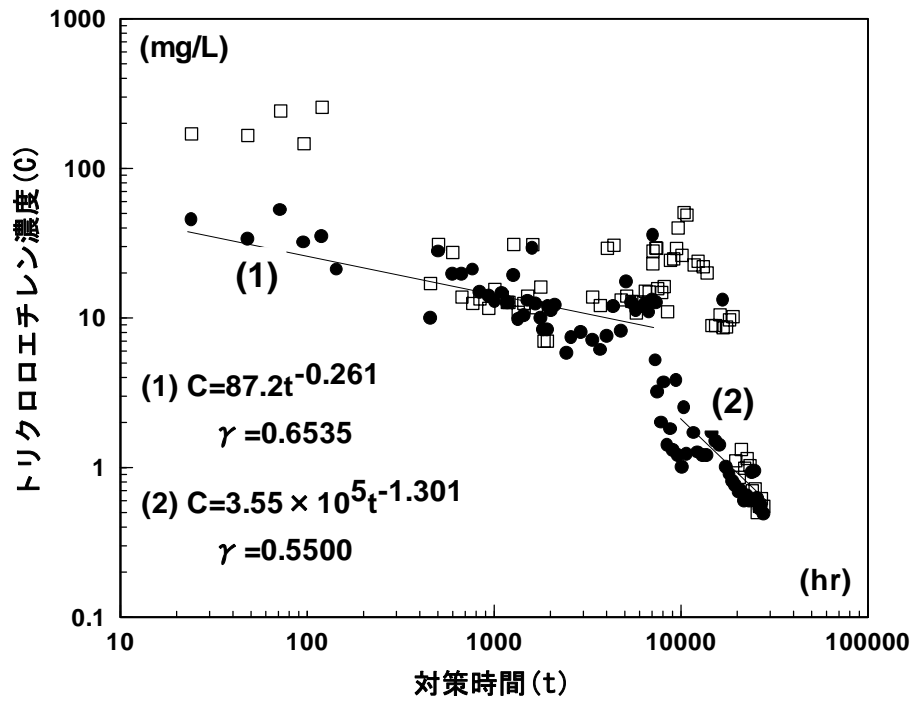


図9 地下水揚水によるトリクロロエチレン濃度の推移