

- 3 特定有害物質を含む地下水が到達し得る「一定範囲」について
(「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置の技術的手法の解説」より)

土壤汚染対策法に基づく 調査及び措置の技術的手法の解説

監修： 環境省
Ministry of the Environment

編： 国土環境センター
GEPC Geo-Environmental Protection Center

地下水汚染が生じたとすれば規則第 17 条各号に規定する地点が地下水汚染が拡大するおそれがある当該土地の周辺に該当することとなる場合の考え方（特定有害物質を含む地下水が到達し得る「一定の範囲」）

1. 基本的な考え方

汚染土壌から特定有害物質が地下水に溶出した場合に、当該特定有害物質を含む地下水が到達し得る範囲（以下「一定の範囲」という。）は、同一の特定有害物質であっても、それぞれの場所における地下水の流向・流速等に関する諸条件により大きく異なる。

したがって、個々の事例ごとに地下水の流向・流速等や地下水質の測定結果に基づき、「一定の範囲」を設定することが望ましいとされているが、これが困難である場合には、一般値を参考にすることになる。この一般値を定めるに当たっての「一定の範囲」の考え方は、環境省によれば以下のとおりとされている。

(1) 「一定の範囲」の設定の考え方

「一定の範囲」については、以下に示す 3 つの観点から「汚染地下水が到達する可能性が高い範囲」としてその一般値を設定するとともに、当該一般値の設定条件（透水係数、動水勾配等）に適合しないことが明らかな地域においては、都道府県において透水係数、動水勾配等を考慮し、別途設定することが適当である。

① 人の健康の保護

汚染土壌から溶出した特定有害物質が地下水中に侵入すると、当該特定有害物質は地下水の流れとともに周辺の土地へと移動する。地下水中の汚染物質の濃度は移動距離や時間とともに減少することは実際のサイトにおいてよく見られることである。これは「Natural Attenuation（自然減衰）」と呼ばれるが、自然減衰には、①土壌粒子への吸着、②気相への揮発、③希釈・拡散、④化学分解、⑤微生物分解など、帯水層での様々な現象が関与する。このような自然減衰が期待されるものの、汚染された土地の下流側の一定範囲内では、地下水中の汚染物質の濃度が地下水環境基準を超過する。地下水環境基準を超過する地下水（汚染地下水）を飲用したとしても、ただちに人の健康に影響が出るとは限らないが、この一定の範囲内において常態として地下水の飲用利用が行われていれば、地下水を飲用利用することによる人の健康への影響が生じるおそれがある。したがって、法の目的である「有害物質からの人の健康の保護」の観点からは、土壌汚染が原因となった汚染地下水が到達し得る最大の範囲が「一定の範囲」の最大の場合と考えられる。

② 措置命令を受けた者の経済的な負担

地下水摂取リスクの観点からは、原則として原位置封じ込め措置が命じられることとなる。ただし、第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）により高濃度に土壌が汚染されている場合には土壌汚染の除去措置が命じられる。原位置封じ込め措置あるいは土壌汚染の除去措置

の如何を問わず、地下水摂取リスクを対象とした措置の費用は直接摂取のそれよりもかなり高額であり、経済的理由から措置を実施できない場合が想定され得ることや、工場等の用地の転用が進まなくなるおそれもある。さらに、「一定の範囲」の妥当性を巡る行政訴訟が発生することも考えられる。したがって、これらの問題発生の防止や「一定の範囲」を必要以上に広くすると措置命令を受ける者に過重な経済的負担を課すこととなることを勧告すると、「一定の範囲」とは、「汚染地下水が到達する可能性が高い範囲」とすることが適当と考えられる。

③ 地域の特性

地下水は身近な環境要素として貴重であり、いったん地下水汚染が拡大すれば、その回復が困難であるという脆弱性も有する。したがって、地下水の汚染を未然に防止することは地域の環境行政の側面から重要である。これらの観点からみると、地下水摂取リスクに係る措置を発動する主要素である「一定の範囲」は、国が示す「一定の範囲」の考え方を踏まえ、都道府県が、地理的、地質的な状況や地域の特性を勧告して、事例ごとに柔軟に対応できることが必要であり、国が「一定の範囲」の考え方に基づき設定した一般値に対して、当該一般値の設定条件（透水係数、動水勾配等）に適合しないことが明らかな地域においては、都道府県において透水係数、動水勾配等を考慮し、別途設定することが適当と考えられる。

このように、「一定の範囲」については、①法の目的である人の健康の保護、②措置命令を受けた者の経済的負担の2つの観点を考慮することとし、その一般値を設定するにあたっては、汚染の事例のうち70～80%程度の事例がこの範囲内にある距離とすることが考えられる。

さらに、③地域の特性の観点から、必要に応じ都道府県が別途設定することが適当である。

なお、「一定の範囲」の一般値は2.1に示すとおり、地下水の実流速が23m/年程度の状態（帯水層の透水係数は 3×10^{-3} cm/秒程度）を想定したものである。これは、一般的な帯水層の条件としては適当であるが、旧河道や扇状地などのように、透水係数がこれよりも数オーダー大きな条件には適用できない。これらの帯水層条件が想定される場合には、他の地区の事例等を参考に、個別に「一定の範囲」を適切に設定することが必要である。

(2) 汚染の到達時間

汚染が到達し得る一定の範囲とは、「合理的な時間内」において汚染が到達し得る一定の範囲と考えられる。合理的な時間とは、人の健康の保護を前提とした場合には、例えば人の一生の期間を考慮して、汚染物質が帯水層中に浸透し、地下水汚染を引き起こしてから100年程度を目安とすることが適当であろう。

(3) 特定有害物質の種類による区分

環境省の地下水汚染実態調査によると、地下水浄化基準を超過する項目は、法に基づく特定有害物質に含まれない硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素を除けば、第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）による事例が多い（図-1）。また、「土壤汚染対策法に係る技術的事項について」（平成14年9月20日中央環境審議会答申。以下「中環審答申」という。）に示されるように、汚染源（推定）から基準超過井戸までの最長距離は、重金属では1,000m（六価クロムの事例）であるのに対し、第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）では10,700m（トリクロロエチレンの事例）と、その10倍程度である。したがって、「一定の範囲」の設定においては、当該特定有害物質が第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）の場合と、その他の物質の場合とに分けることが適当である。

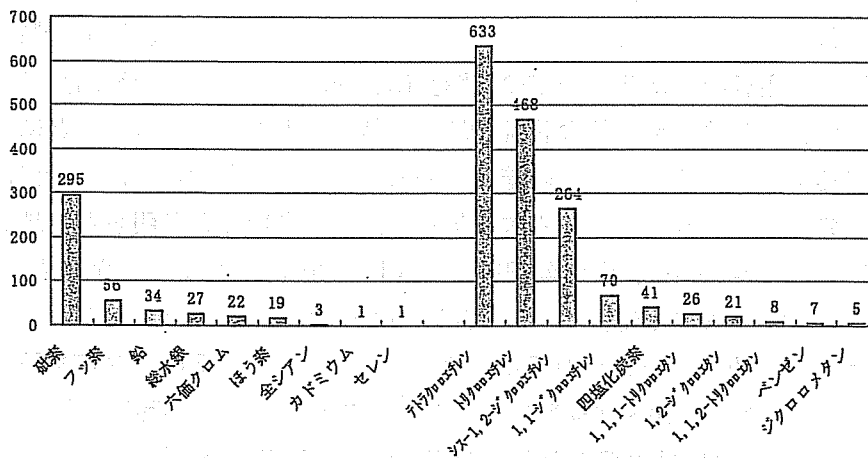


図-1 基準超過項目（地下水）
平成12年度地下水質測定結果（環境省）より

2. 「一定の範囲」の一般値の設定

ここでは、物質の種類ごとの一般値について、環境省による導出の考え方を紹介する。

2.1 第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）

中環審答申に示された、第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）による地下水汚染の汚染源（推定）から基準超過井戸までの最長距離（以下「汚染の到達距離（VOCs）」という。）の事例（図-2）によると、その80%が650m以内となる。

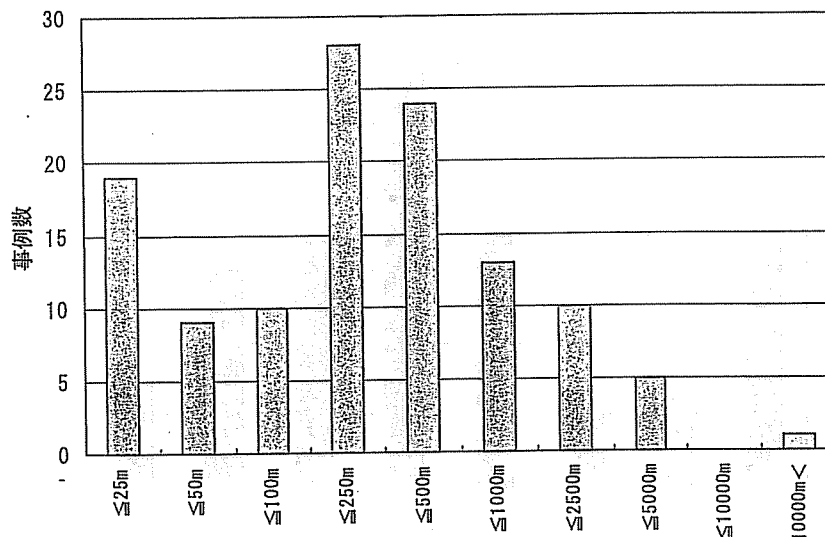


図-2 汚染の到達距離 (VOCs) の事例頻度
(現在：汚染発生30年後)

これら中環審答申に示された現在の状態は、特定有害物質による地下水汚染が発生してから概ね30年後の状態を示すものと推定されるが、現在から70年後、すなわち地下水汚染が発生してから概ね100年後には、「汚染の到達距離 (VOCs)」は現在の1.6倍程度に拡大すると推定される。これは、第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）による地下水汚染が、拡散と吸着、分解による濃度減衰をともないながら拡大する状況を考慮したシミュレーション解析に基づくものである（図-3）。

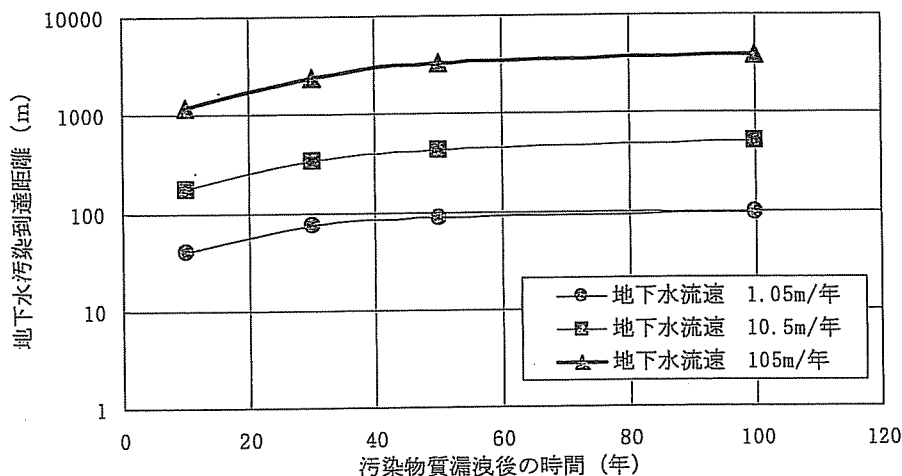


図-3 汚染の到達距離 (VOCs) の変化
汚染物質の半減期7年

中環審答申に示された現在の「汚染の到達距離 (VOCs)」を一律に 1.6 倍することにより、地下水汚染が発生してから 100 年後 (現在から 70 年後) の「汚染の到達距離 (VOCs)」を求めた (図-4)。その結果、100 年後には、70~80%では 1,000m 程度以内となる。言い換えれば、汚染が発生してから 100 年後においても、70~80%の事例では、「汚染の到達距離 (VOCs)」が 1,000m 程度を超えることはないであろうと考えられる。

したがって、特定有害物質が第一種特定有害物質 (揮発性有機化合物) のときの「一定の範囲」の一般値は、概ね 1,000m とすることが適当である。

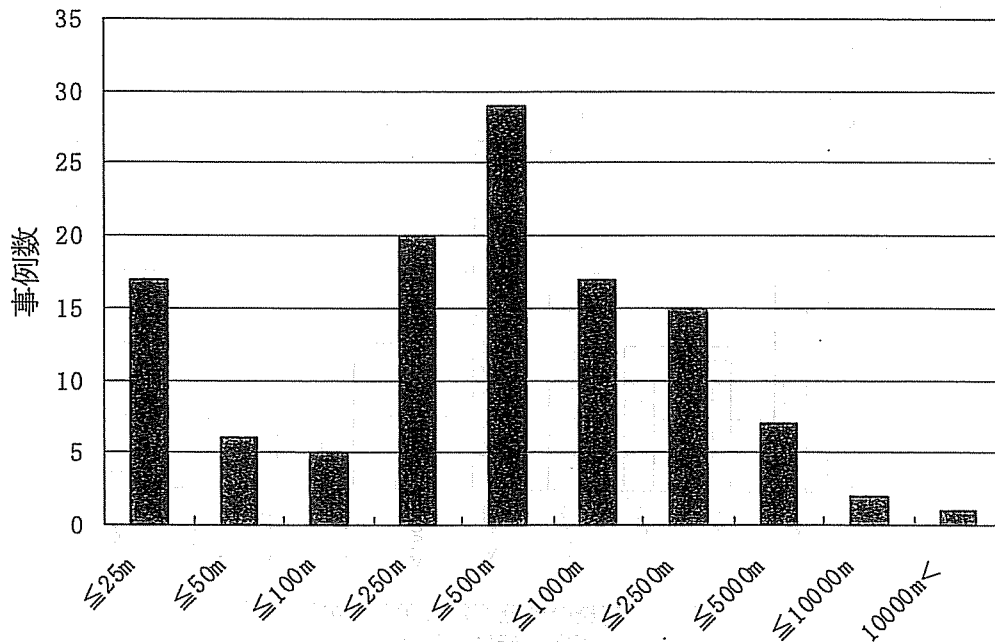


図-4 汚染の到達距離 (VOCs) の事例頻度予測 (汚染発生 100 年後)

—設定値の妥当性の検証—

この設定の妥当性を検証するため、汚染が発生してから100年後の「汚染の到達距離 (VOCs)」が1,000mのときに相当する地下水実流速をシミュレーション解析結果に基づき推定すると (図-5)、地下水実流速は23m/年となる。

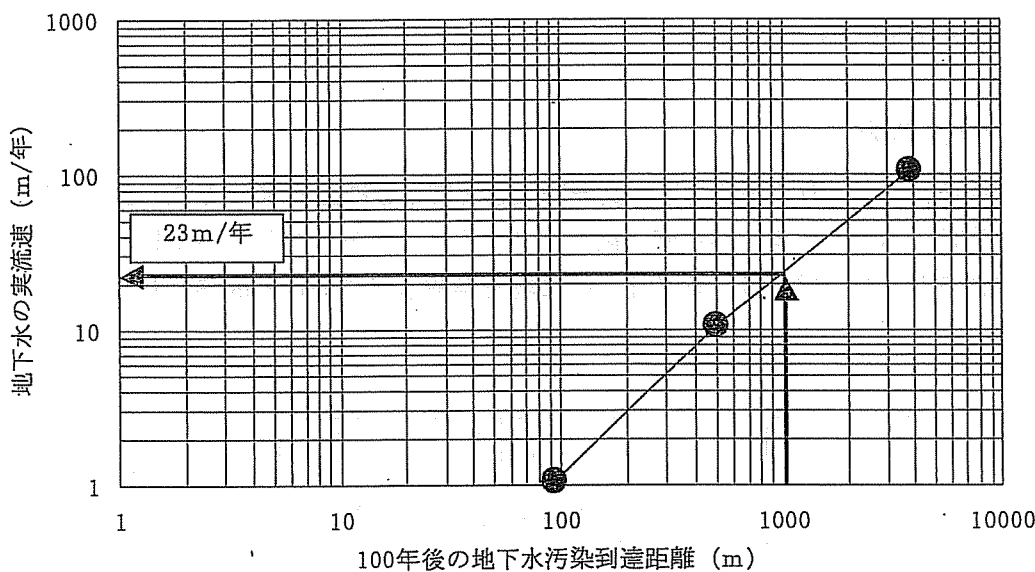


図-5 地下水汚染到達距離と地下水流速の関係

一般的な地下水の動水勾配 (1/200) と有効間隙率 (0.2) より、地下水実流速 23m/年に相当する透水係数を求めると (図-6)、 3×10^{-3} cm/秒となる。この透水係数はシルト質砂～きれいな砂の透水係数に相当するが、一般的な帯水層の透水係数としては妥当な値となる。したがって、「一定の範囲」の一般値を1,000mとすることは、一般的な帯水層を流れる地下水の流速に基づくものであり、妥当な設定であると判断できる。

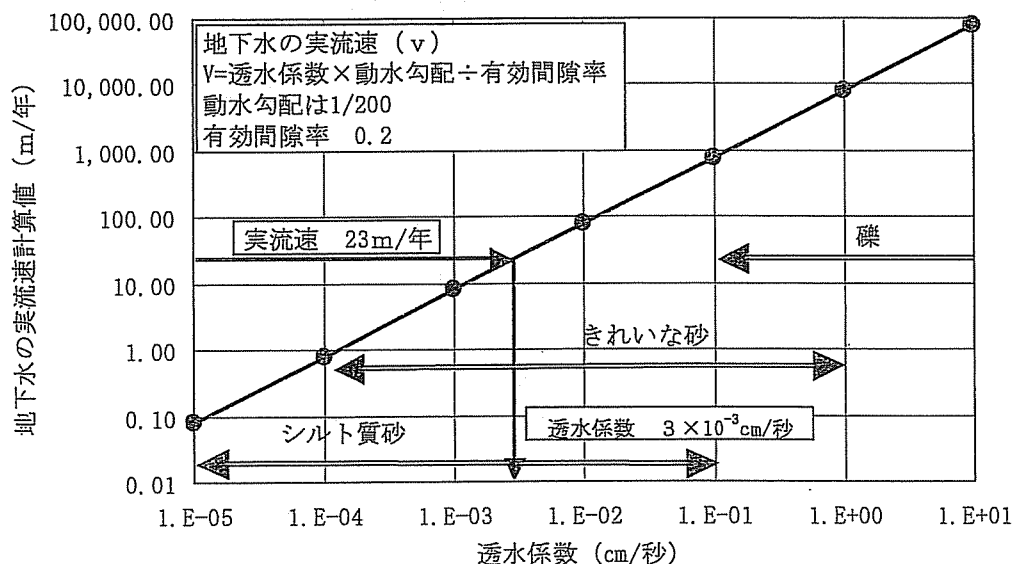


図-6 透水係数と地下水実流速の関係

2.2 重金属等

中環審答申に示された地下水汚染事例解析の対象となった6事例と、社団法人土壌環境センター（以下「土壌環境センター」という。）が収集した29事例をあわせた35事例を用いて、第二種特定有害物質（重金属等）による地下水汚染の到達距離の検討を行った。なお、事例の物質ごとの内訳は、全シアン4件、鉛2件、六価クロム11件、砒素9件、水銀1件、ふっ素5件、ほう素1件である。

(1) 物質の区分

各事例に示された汚染地下水到達距離を物質ごとに図-7に示した。到達距離が相対的に長い物質は、六価クロム、ふっ素、砒素及びほう素である。これらの物質は全て陰イオン性の物質であるが、この結果は、陰イオン性の物質が帯水層中を比較的移動しやすいことを裏付けている。

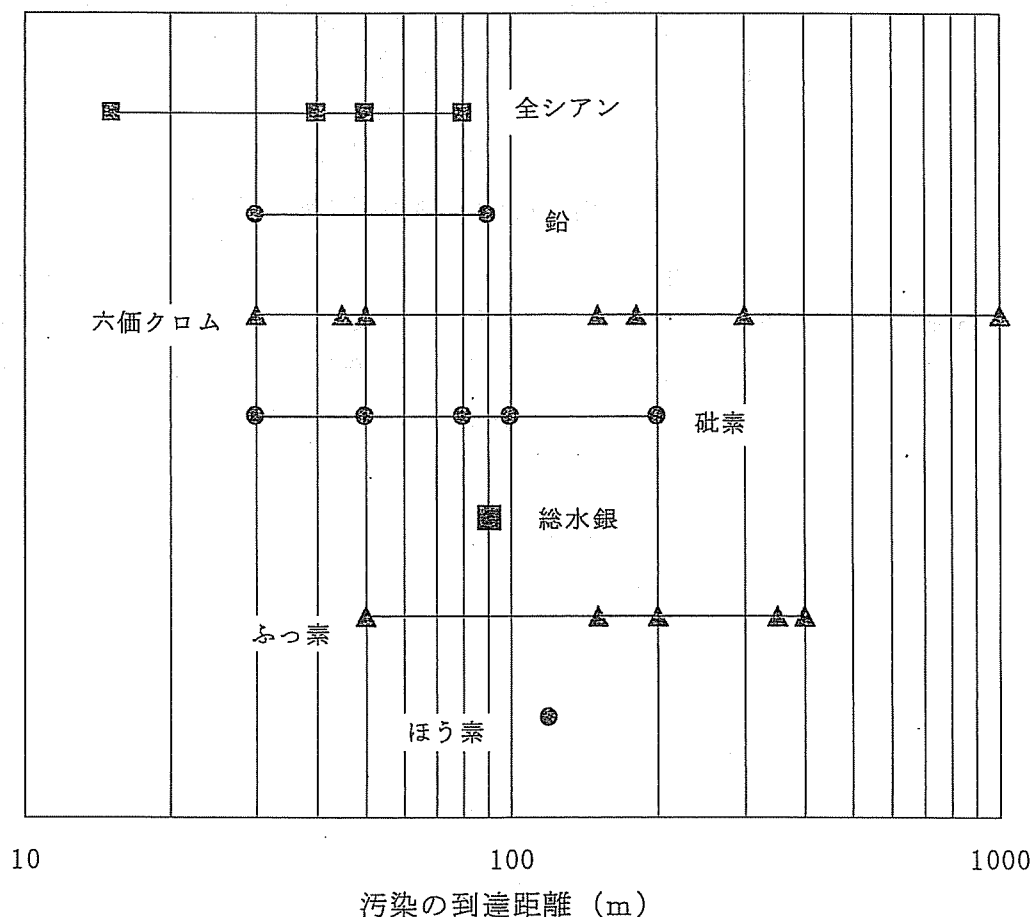


図-7 物質ごとの汚染の到達距離（重金属等）

これら4種の物質の中でも最も到達距離が長い物質は六価クロムである。六価クロムによる地下水汚染が長い距離を移動する可能性があることは、中環審答申にも見られ(1000mが2件)、また、自治体のヒアリングにおいても第二種特定有害物質(重金属等)による地下水汚染の到達距離が長い事例としては、六価クロムによる事例が示されている。

一方、鉛、総水銀、全シアンは全ての事例で汚染地下水到達距離が100m以下であり、上記の4物質と比べて相対的に移動距離が短いことが分かる。

これらの事例に基づき、第二種特定有害物質(重金属等)による汚染地下水の到達距離の検討においては、第二種特定有害物質(重金属等)を以下の3種に区分することとした(図-8)。

- ①六価クロム : 移動性が最も大きく、地下水汚染の事例も多い。
- ②砒素、ほう素、ふっ素 : 移動性が相対的に大きく、地下水汚染の事例も多い。ほう素はふっ素と同様な挙動をする。
- ③鉛、総水銀、全シアン : 移動性が相対的に小さい。

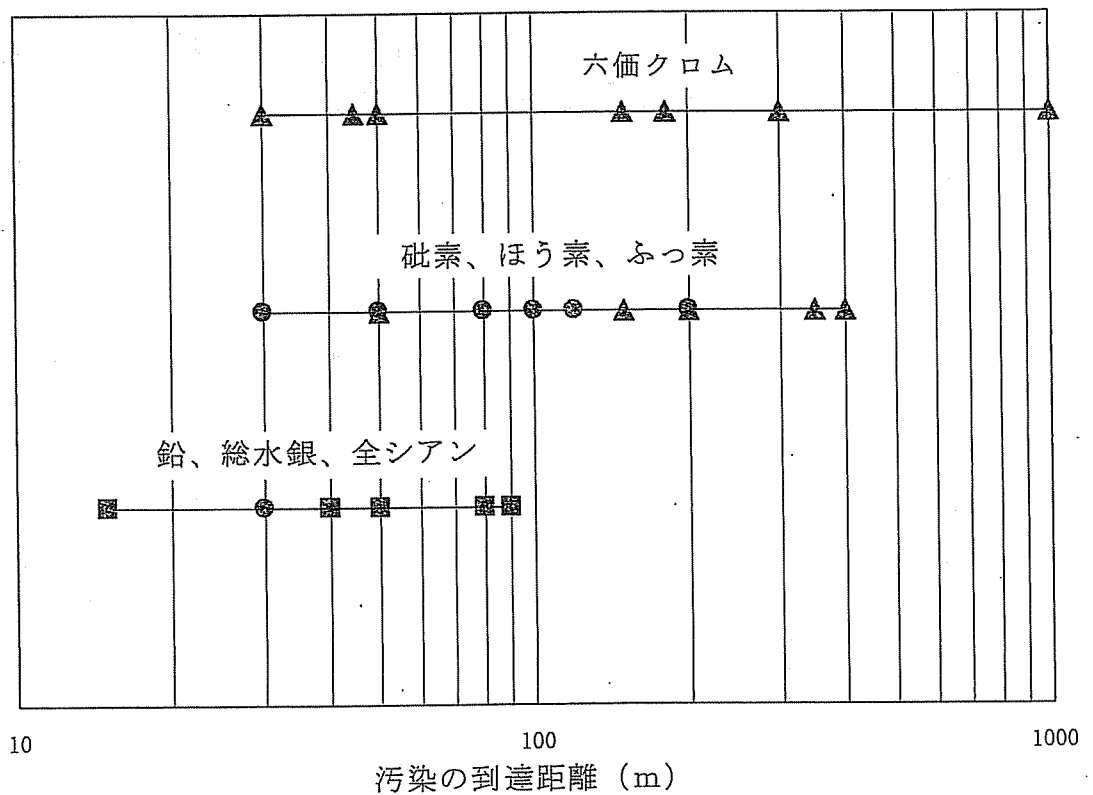


図-8 重金属等グループの区分

① 六価クロム

六価クロムでは、地下水実流速 23m/年に相当する「汚染の到達距離（重金属等）」は、概ね 80～250m の範囲となる（図-10）。これは現在の状態を示すものであるが、現在の状態を第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）と同じく汚染が発生してから 30 年後と仮定し、現在から 70 年後、すなわち汚染が発生してから 100 年後の「汚染の到達距離（重金属等）」を推定した。中環審答申に示された重金属等の地下水汚染シミュレーション（六価クロム ケース 1-3）では、30 年後の汚染地下水の到達距離と 100 年後の到達距離の比率が 2.7 倍となっている。したがって、汚染が発生してから 100 年後には現在よりも到達距離が 2.7 倍に拡大していると仮定し、汚染の到達距離を求めた。この結果、汚染が浸透してから 100 年後の「汚染の到達距離（重金属等）」は、概ね 216～675m（平均 445m）となる。したがって、特定有害物質が六価クロムである場合の「一定の範囲」の一般値は、概ね 500m とすることが適当である。

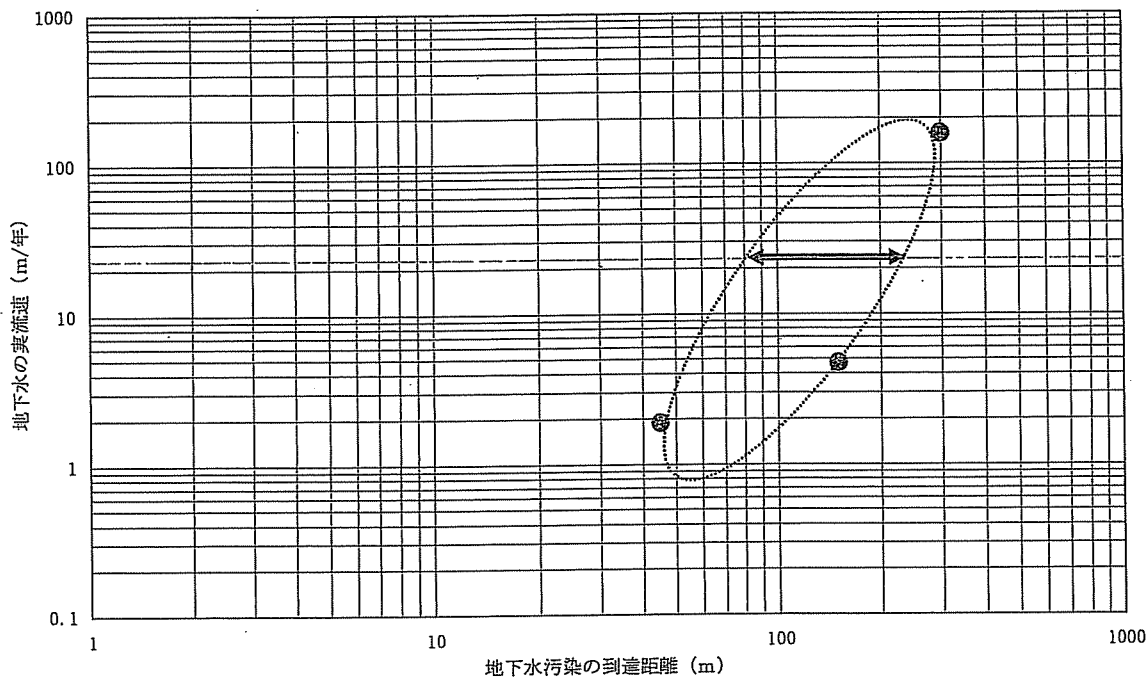


図-10 重金属等の地下水汚染到達距離の推定（六価クロム）

[参考]

独立行政法人国立環境研究所が行った地下水汚染事例の解析では、六価クロムの汚染地下水到達距離が 1,000m の事例が 2 件示されている。これらの事例は N 川沿いの扇状地の事例と見られるが、地理的には扇頂部（扇状地の最上流部）に相当するため、礫が主体の帯水層であると想像される。図-6 から推定されるように、礫が主体の帯水層における地下水の実流速は 1,000m/年を超えると見られる。また、図-10 より、地下水の実流速 1,000m/年の場合の六価クロムによる地下水汚染の到達距離は 500～1,000m 程度と推定される。以上のことから、上記の 2 つの事例で汚染地下水の到達距離が 1,000m と長いことの原因は、これらの事例は地

下水流速が早い扇状地の扇頂部で発生したためと考えられる。

このように、地域の水理地質条件によっては地下水汚染の到達距離が極めて長くなるおそれがあることから、「一定の範囲」の設定にあたっては、その地域の水理地質条件を反映した個別の設定を行なうことが望ましい。

② 砒素・ほう素・ふっ素

砒素、ほう素、ふっ素では、地下水実流速 23m/年に相当する「汚染の到達距離 (重金属等)」は、概ね 55~150m の範囲となる (図-11)。これは現在の状態であるが、現在の状態が汚染が発生してから 30 年後と仮定し、現在から 70 年後、すなわち汚染が発生してから 100 年後には、「汚染の到達距離 (重金属等)」は 2.2 倍に拡大していると推定した。これは、六価クロムを対象とした地下水シミュレーション解析と鉛を対象とした解析から求められた比率の平均値である。この仮定に基づけば、汚染が浸透してから 100 年後の「汚染の到達距離 (重金属等)」は、概ね 121~330m (平均 226m) となる。したがって、特定有害物質が砒素・ほう素・ふっ素である場合の「一定の範囲」の一般値は、概ね 250m とすることが適当である。

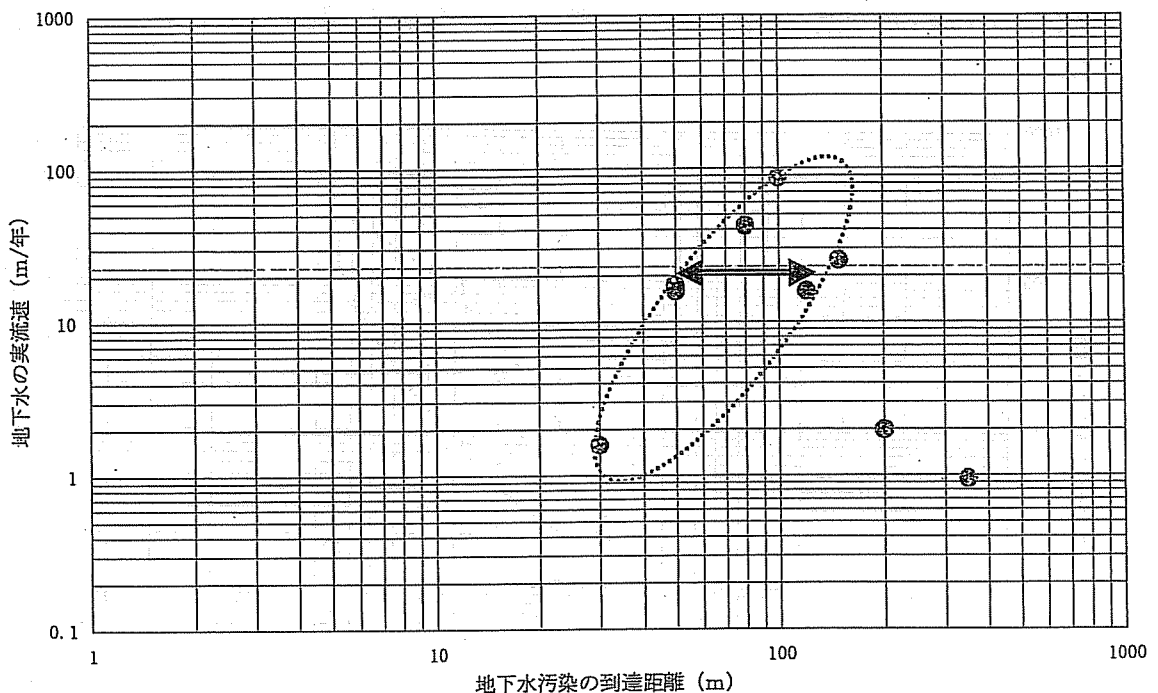


図-11 重金属等の地下水汚染到達距離の推定 (砒素、ほう素、ふっ素)

[備考]

図-11 では、図に示した楕円の範囲から外れた事例が 2 事例 (到達距離が 200m と 350m) 見られる。これらはともに、ふっ素による地下水汚染の事例である。

前者の事例では、透水係数が 5×10^{-4} cm/秒、動水勾配は 1/400 であるため、地下水の実流速は 1.971m/年と推定している。この透水係数はシルト質砂程度の値であるが、このサイトの地質が砂、シルト、粘土の互層であることから、汚染された地下水が透水性の高い砂層を卓越的に流れた可能性が考えられる。

後者の事例では、「敷地内揚水により汚染が拡大した可能性」があることが、記録に残されている。

③ 全シアン、鉛、総水銀

全シアン、鉛、総水銀では、地下水実流速 23m/年に相当する「汚染の到達距離 (重金属等)」は、概ね 25~60m の範囲となる (図-12)。これは現在の状態を示すものであるが、現在の状態を第一種特定有害物質 (揮発性有機化合物) と同じく汚染が発生してから 30 年後と仮定し、現在から 70 年後、すなわち汚染が発生してから 100 年後の「汚染の到達距離 (重金属等)」を推定した。中環審答申に示された重金属の地下水汚染シミュレーション (鉛 ケース 4-2) では、30 年後の汚染地下水の到達距離と 100 年後の到達距離の比率が 1.8 倍となっている。したがって、汚染が発生してから 100 年後には現在よりも到達距離が 1.8 倍に拡大していると仮定し、汚染の到達距離を求めた。この結果、汚染が浸透してから 100 年後の「汚染の到達距離 (重金属等)」は、概ね 45~108m (平均 77m) となる。したがって、特定有害物質が全シアン・鉛・総水銀のときの「一定の範囲」の一般値は、概ね 80m とすることが適当である。

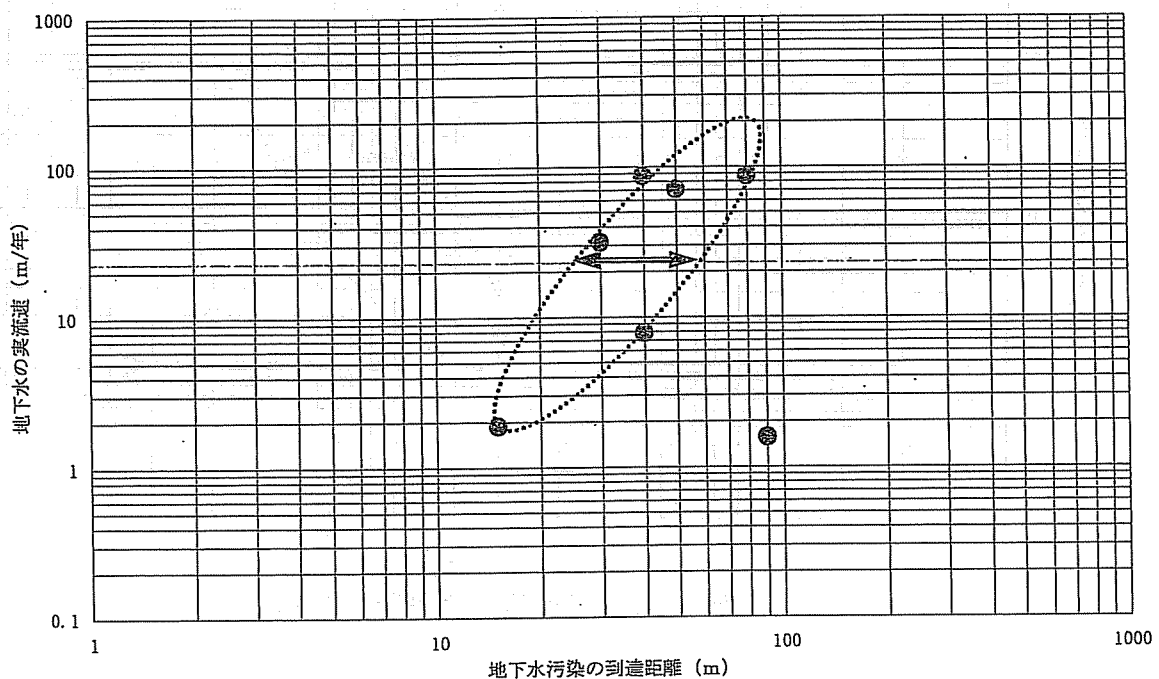


図-12 重金属等の地下水汚染到達距離の推定 (全シアン、鉛、総水銀)

[備考]

図-12 では、図に示した楕円から外れた事例が 1 事例 (到達距離 90m 鉛、水銀) 見られる。

この事例は、原材料、不良品の埋設、充填液の漏洩が原因であるが、強酸性の充填液により溶解度が高められた汚染物質が帯水層中に溶出したため、移動性が高められたものと推定される。

2.3 その他の重金属等及び農薬の取扱い

上記のとおり、第一種特定有害物質（揮発性有機化合物）、第二種特定有害物質（重金属等：全シアン、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、ふっ素、ほう素）については事例をベースに汚染地下水が到達する可能性が高い範囲を設定することができる。一方、特定有害物質には、これらのほかに第二種特定有害物質（重金属等：カドミウム、水銀（アルキル水銀）、セレン）、及び第三種特定有害物質（農薬等：PCB、チウラム、シマジン、チオベンカルブ、有機りん化合物）が含まれる。これらの物質については地下水汚染の到達距離に関する事例が得られなかった。また、環境省が継続的に実施している地下水汚染事例に関する調査でも地下水環境基準を超過する事例は見られない（表-1）。したがって、これらの物質による汚染地下水が到達する可能性が高い範囲は、全シアン・鉛・総水銀のグループに区分している。

表-1 地下水質の超過事例数

有害物質	調査数	超過数	超過率
カドミウム	2,997	0	0.00%
アルキル水銀	1,048	0	0.00%
PCB	1,818	0	0.00%
セレン	2,634	0	0.00%
チウラム	2,528	0	0.00%
シマジン	2,508	0	0.00%
チオベンカルブ	2,453	0	0.00%

3. 汚染が到達する可能性が高い範囲を設定する際の留意事項

- 汚染が到達する可能性が高い範囲は、原則として不圧地下水の主流動方向の左右それぞれ 90 度の全体で 180 度（当該地域が一定の勾配を持つこと等から地下水の主流動方向が大きく変化することがないと認められる場合には、左右それぞれ 60 度の全体で 120 度）の範囲とする。
- 水理基盤となる山地等、及び一定条件を満たした河川等を越える汚染地下水の移動は生じないものとする。

(1) 地下水流動方向の設定

帯水層中の汚染物質は、地下水の流れとともに移動することから、汚染地下水が到達する範囲の設定においては地下水流動方向が重要である。したがって、既存井戸あるいは地下水観測井を用いた地下水一斉測水調査などにより、対象となる指定区域周辺の地下水位の分布及び地下水流動方向の把握を行うことが望ましい。しかし、この調査のためには十分な数の井戸が分布することが必要であることから、現実的には実施が困難である場合が多いと思われる。このような場合には、以下の手法により地下水の主流動方向の推定を行うことが適当と考えられる。

一般には自然状態においては不圧地下水の流動方向は、地表面の傾きと調和的であることが多い。したがって、地形図（改変された地域では旧地形図）から地表面の傾きの主方向を求め、これを地下水が流れる概ねの方向（流向）とみなすことができる。

(2) 汚染地下水が到達する可能性が高い範囲の平面的な拡がり

地下水の流動方向は、降水量や水田の湛水等の涵養条件の変化、河川等の水位の変化、及び周辺の地下水利用による影響等により安定しない場合も多い。この程度はサイトにより異なるが、環境条件に大きな変化がなければ、地下水の流動方向が逆転することは少ない。そこで、汚染地下水が到達する一定の範囲の設定においては、一般的には現地調査あるいは地形図の判読等によって求められた地下水の主流動方向を中心に、左右 90 度（当該地域が一定の勾配を持つこと等から地下水の主流動方向が大きく変化することがないと認められる場合には、左右 60 度）の範囲に地下水が流れる可能性があることとみなすことが適当と考えられる。

なお、特殊な地質条件等により地下水の主流動方向が大きく変化することもあり、複数年にわたる複数箇所の地下水位分布と水質の実測データが存在する場合など、地下水の流動方向と汚染地下水の移動の方向が特定できるときには、上記によらずこの結果を勘案して汚染地下水が到達する可能性が高い範囲の平面的な拡がりを設定することが適当と考えられる。

(3) 河川・山地の考慮

土壌汚染を原因とする地下水汚染では、一般には汚染物質が地表から供給されるため、最初に不圧帯水層中の地下水（不圧地下水）が汚染される。不圧帯水層中の汚染物質がさらに下位の被圧帯水層へと移動し、被圧帯水層が汚染されることもある。しかし、不圧帯水層と被圧帯水層を区分する難透水層が十分な厚さで連続する場合などにおいては、汚染が及ぶ帯水層が不

圧帯水層に限られることが多い。したがって、汚染地下水の周囲への移動においては、第一義的に不圧地下水を対象とすることが適当と考えられる。ただし、対象となる土地の水理地質条件によっては、河川等をまたがる汚染地下水の流動が発生している場合もある。したがって、河川等を境界とする場合には、対象となる土地及びその周辺の地質構造と地下水の流動状況、河川等との関係を調査することが望ましい。なお、河川等とは、①常時流水が認められ、かつ三面張りの構造となっていない河川、②湖沼・海である。

不圧帯水層中の汚染物質は不圧地下水の流れとともに下流側へと移動し、汚染された範囲が拡大する。不圧地下水の流れは、地形、水文地質構造（帯水層の分布、水理基盤の分布）、地下水の涵養条件（河川、湖沼、水田、降水の浸透等）と流出条件（河川、湧水、人為的揚水）などの諸条件によって決まってくる。これらの条件はサイトにより異なるが、一般には、山地等の水理基盤が露出した場所、及び河川等の地表水体がひとつの不圧地下水の水文区の境界となることが多い。すなわち、水理基盤内では地下水の流れが無視できる程度に小さいことから、水理基盤は水文区の境界（閉鎖境界）となる。一方、河川等の水面は不圧地下水と連続することが多いことから、水文区内の不圧地下水が河川等を越えて流動することは少ない。

