

(0113) 大規模地下水汚染の事例と特性

○鈴木弘明¹・中島 誠¹・菊池 毅¹・日笠山徹巳¹・門間聖子¹・
 土壌・地下水汚染の総合的な対応に関する検討分科会¹、
¹一般社団法人土壌環境センター

1. わが国の土壌・地下水汚染に関する対応の歴史

1.1 国による土壌・地下水汚染への対応

わが国の土壌・地下水汚染に係わる法制度等の対応は、1970(昭和45)年に公布された「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」に始まり、地下水汚染に係わる「トリクロロエチレン等の排出に係る暫定指導指針」が1984(昭和59)年に、土壌汚染に係わる「市街地土壌汚染に係る暫定対策指針」が1986(昭和61)年に策定され、1989(平成元年)年には「水質汚濁防止法」の改正により地下浸透規制や地下水水質監視が追加された。

また、1991(平成3)年には、「土壌の汚染に係る環境基準(土壌環境基準)」が告示され、1994(平成6)年には「重金属等に係る土壌汚染調査・対策指針及び有機塩素系化合物等に係る土壌・地下水汚染調査・対策暫定指針(平成6年指針)」が策定された。さらに、1996(平成8)年には「水質汚濁防止法」の改正により、地下水浄化基準が追加されると共に、油の流出事故の措置に関する規定が整備された。この後、1997(平成9)年になって「地下水の水質汚濁に係る環境基準」が告示され、同年には「土壌・地下水汚染対策ハンドブック」が公開されて実務者の技術力増強が図られた。1999(平成11)年には、平成6年指針が全面的に改定され、「土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針及び同運用基準¹⁾」が公開されて、土壌汚染、地下水汚染の両面からの対応が行われるようになった。調査・対策指針¹⁾では、土壌・地下水汚染の調査・対策の進め方について、その契機・目的及び調査主体に応じて、(1) 地下水汚染契機型、(2) 現況把握型、(3) 汚染発見型の3つに場合分けし、それぞれの場合ごとに調査の進め方等についての考え方が示された(表-1)。

表-1 調査・対策指針¹⁾に示された調査・対策の契機による場合分けの概要

<p>①地下水汚染契機型 (契機) 水質汚濁防止法の常時監視等による地下水汚染の判明 (汚染) 汚染井戸が存在 (目的) 地下水汚染源の究明及び対策の実施 (主体) 都道府県等又は都道府県等の指導等を受けた事業者等 (対応) まず、関係地域を設定し、地下水汚染源推定を実施</p>	
<p>②現況把握型 (契機) 事業活動の状況からみて汚染のおそれがある場合に、事業場の移転、跡地の再利用等の土地改変の機会等を実施 (汚染) 対象地内の汚染の有無は未知 (目的) 土壌・地下水の汚染の状況(有無)の把握 (主体) 公有地等管理者又は事業者等 (対応) 基本的に対象地全体について対象地概況調査を実施 汚染が判明した場合には都道府県等に連絡、所要の対策を実施</p>	
<p>③汚染発見型 (契機) 対象地内の土壌・地下水汚染の発見 (汚染) 土壌又は地下水汚染が存在 (目的) 汚染原因の究明及び対策の実施 (主体) 汚染を発見した公有地等管理者又は事業者等 (対応) 汚染を発見した旨を都道府県等に連絡 発見した汚染の周辺を重点的に調査</p>	

Large-scale groundwater contamination cases and their commonality

Hiroaki Suzuki¹, Makoto Nakashima¹, Takeshi Kikuchi¹, Tetsumi Higasayama¹, Mariko Monma¹
 and Study group on comprehensive response of soil and groundwater contamination¹ (¹GEPC)
 連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F (一社)土壌環境センター
 TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

この調査・対策指針における土壤汚染に該当する部分については、2002(平成14)年の「土壤汚染対策法」の公布を機に、同法施行通知²⁾において廃止するとされた。しかしながら、以降の土壤汚染対策法の施行通知にはこれに該当する記述はなく、調査・対策指針の位置付けは、やや不明確なものになっている。

水質汚濁防止法については、2011(平成23)年6月22日の改正により有害物質による地下水汚染の未然防止として、地下浸透防止のための構造規定等が新たに設けられている。

以上のように、日本の法制度においては、土壤汚染について土壤汚染対策法が、地下水汚染について水質汚濁防止法が施行されており、個別に運用されているのが現状である。

1.2 自治体による土壤・地下水汚染への対応

法規制等とは別に、自治体独自の条例・要綱等により土壤・地下水汚染に対応している例もある。

土壤汚染については、東京都や横浜市等のように、土壤汚染対策法の施行以前から条例・要綱等により規定している自治体がある。また、汚染土壤の移動(一定規模以上の受入)の観点では、千葉県等が規制を設けている、いわゆる「残土条例」の存在が挙げられる。現在、千葉県では、土砂等の埋立面積が3,000 m²以上の事業(特定事業)について許可制とし、5,000 m³以内毎の地質分析結果を付けた土砂等発生元証明書の提出が義務付けられている。

地下水汚染に関する条例・要綱等については、東京都、千葉県、愛知県、滋賀県、秦野市等、多くの自治体で制定されている。例えば、千葉県では1989(平成元)年～2008(平成20)年まで「千葉県地下水汚染防止対策指導要綱及び実施要領」が公布・運用されていた。指導要綱では、“地下水が県民の貴重な水資源であることにかんがみ、対象物質による地下水の汚染を防止するために必要な対策を実施することにより、地下水の水質の保全を図ることを目的とする”とされ、地下水を資源として捉えている。このように地下水汚染の対応の必要性を人の健康被害の防止の観点よりも大きく捉えている条例としては、東京都の「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例(環境確保条例)」も挙げられる。

千葉県の指導要綱では、事業場で使用する対象物質による地下水汚染が確認された場合は、自らの責任において汚染物質の除去に努めなければならないことが掲げられており、汚染原因者が自ら対策をとる必要性が明確になっている。このような観点から、千葉県では地下水汚染の原因者を特定する目的で「地下水汚染機構解明調査」と称される一連の調査を県が実施し、汚染原因者に浄化対策を実施させる構造が形成された経緯がある。指導要綱が廃止されて以降は、「千葉県環境保全条例」により地下水の汚染を防止するため、事業者に対する指導が「地質汚染防止対策ガイドライン」により行われているが、“事業者が自主的に取り組む際の……”とされており、その実効性は以前より低下している感がある。

なお、千葉県や東京都等における土壤汚染対策法施行以前の条例等では、調査・対策が土壤・地下水汚染を一体として対応する概念があることも重要な特徴として挙げられる。

以降では、土壤・地下水汚染の調査・対策を一体として捉えるための基礎資料として、地下水汚染(特に大規模地下水汚染)のいくつかの事例を整理するとともに、その課題点等について検討する。

2. わが国の大規模地下水汚染の事例

2.1 わが国の地下水汚染の規模

土壤汚染対策法における区域指定(要措置区域/形質変更時要届出区域)の判断要件として、飲用井戸に対する地下水汚染の到達距離(健康被害が生ずるおそれに関する基準への該当性判断)がある。地下水汚染の到達距離については、一般値が設定されており、「土壤汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン³⁾」の appendix-1 でその考え方が示されている。この中では、地下水汚染の事例収集結果が示されており、中央環境審議会の答申「土壤汚染対策法に係る技術的事項について⁴⁾」から引用されている。この「汚染源(推定)から基準超過井戸までの最長距離等」のデータを用いて特定有害物質毎の地下水汚染の規模を整理した(図-1、2)。

汚染源(推定)から基準超過井戸までの最長距離は、第一種特定有害物質では、最大10.7 km(トリクロロエチレン)である。データ数の多いテトラクロロエチレンでは、最大2.9 km、平均0.4 km(データ数82)であり、トリクロロエチレンでは、最大10.7 km、平均1.2 km(データ数30)となっている。なお、1 kmを超える事例は、テトラクロロエチレンで8件(約10%)、トリクロロエチレンで10件(約33%)となっている。

また、第二種特定有害物質については、データが少なく明確ではないが、六価クロムでは、最大1.0 km、平均0.4 km(データ数6)となっている。また、ふっ素では1事例であるが0.4 kmとなっている。

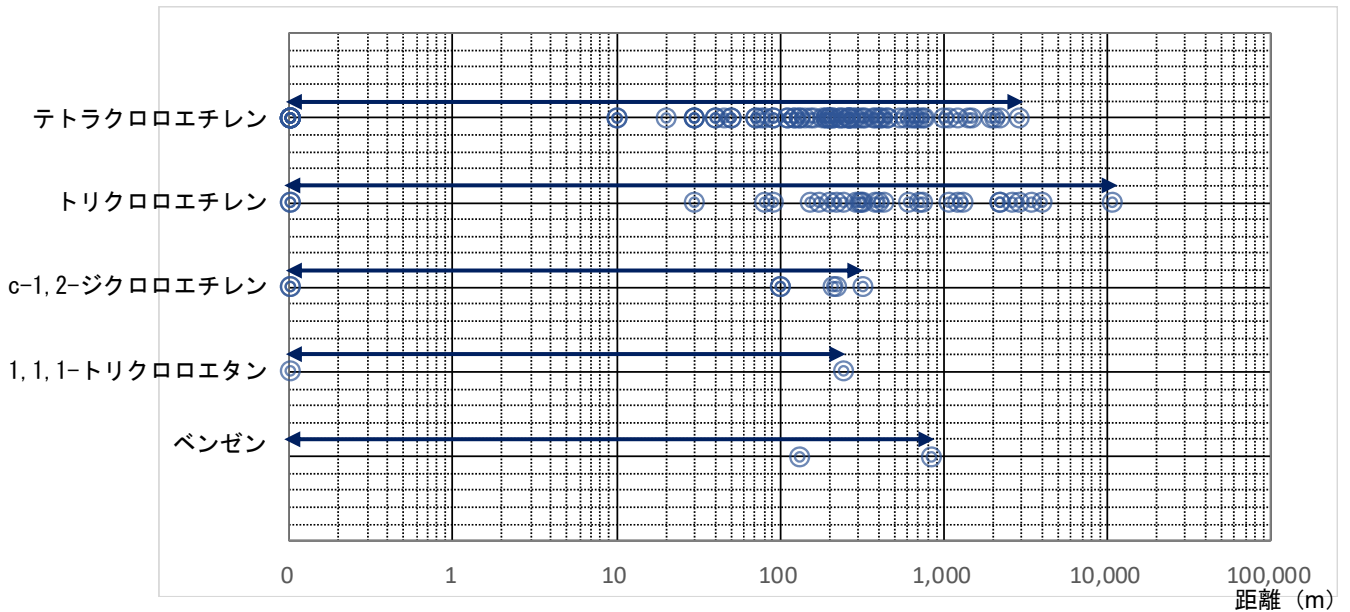


図-1 汚染源（推定）から基準超過井戸までの最長距離（第一種特定有害物質）

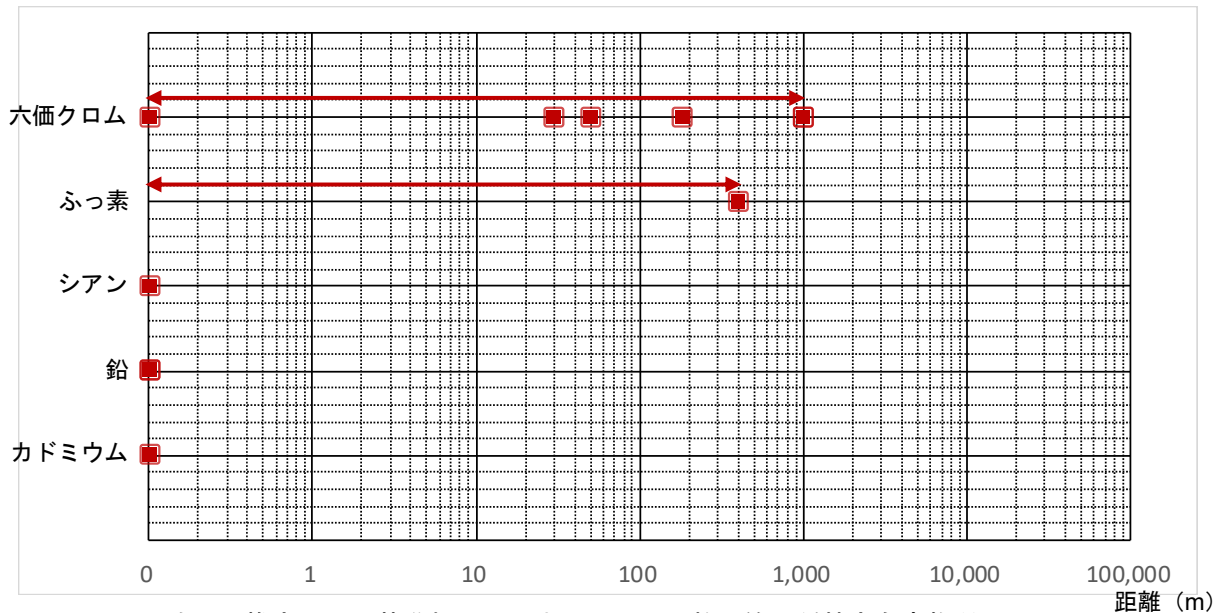


図-2 汚染源（推定）から基準超過井戸までの最長距離（第二種特定有害物質）

2.2 わが国の大規模地下水汚染事例

個々の事例として公開されている文献等を収集し、大規模地下水汚染事例として、① 滋賀県東近江市（旧 八日市市）、② 岐阜県岐阜市、③ 神奈川県秦野市、④ 福島県福島市の概要を整理する。

2.2.1 滋賀県東近江市（旧 八日市市）の事例⁵⁾

滋賀県東近江市（旧 八日市市）における事例では、トリクロロエチレンによる地下水汚染がおおよそ 13.5 km（約 40 km²）にも及んでいる（図-3）。

滋賀県が 1983 年以降行った調査では、民家の浅井戸 94 カ所の内、愛知川の旧河道（蛇砂川）流域に点在する 27 カ所から 0.03 mg/L を超えるトリクロロエチレンが検出された。当時、汚染源付近の工業団地では 6 社程度がトリクロロエチレンを使用していたが汚染源の特定は困難として、県は揮発性有機化合物の地下浸透の削減を指導したのみにとどまっている。その後、長期にわたる水質調査の結果から

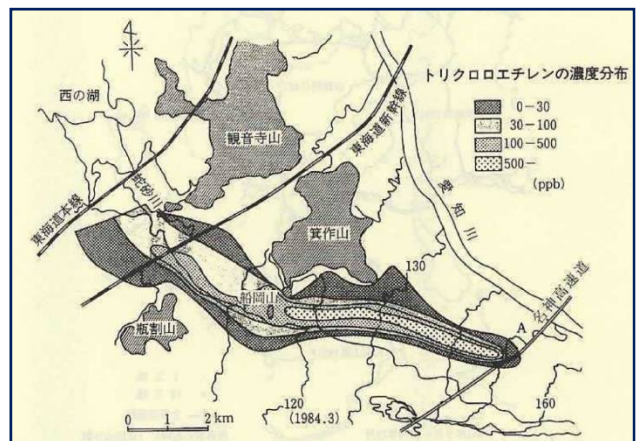


図-3 滋賀県東近江市（旧 八日市市）：愛知川扇状地の事例⁵⁾

汚染源は、ラジエーター製造工場の一角であったことが判明している。地下水汚染分布範囲は、琵琶湖西岸の愛知川の扇状地の一角で発生しており、扇状地堆積物は透水性が高いこと、および汚染範囲が帯状分布を示していることから、この方向（旧河道方向）に透水性の高いゾーンが発達していることがわかる。

2.2.2 岐阜県岐阜市（南部地区）の事例⁶⁻⁸⁾

岐阜県岐阜市南部地区の地下水汚染は、テトラクロロエチレンによる地下水汚染が南北：4.5 km、東西：3 km（約 3.8 km²）に及んでいる（図-4）。

岐阜市が行った調査（1984年9月～1986年12月）では、7地区888カ所の井戸水からトリクロロエチレン等3物質のいずれかが検出され、そのうち459カ所が0.03 mg/Lを超えていた。定期的なモニタリング調査の結果、経年的な汚染濃度の減少が見られないことから、2000年11月～2001年6月にかけて再調査を実施し、4地区を汚染地区として設定した。この内、岐阜市南部地区の地下水汚染源は、テトラクロロエチレンを使用していた近接する2事業場（クリーニング事業場、毛皮製造工場）の跡地であることが判明している。地下水汚染が認められる地質は、玉石混じり砂礫であり、長良川の扇状地堆積物と考えられている。また、帯水層内の地下水は、0.1～3 m/d程度の流速で南下していると推測されている。

汚染源対策では、東側のクリーニング事業場跡地について2002年2月～2003年3月にかけて土壌ガス吸引法（不飽和帯）＋エアスパーキング法（飽和帯）が、西側の毛皮製造工場跡地について2003年8月～2004年8月にかけて鉄粉による原位置浄化が、それぞれ実施された。その結果、対策後の汚染エリアの面積は、約55%縮小し、1.7 km²となった。なお、当該地点については引き続き追加対策、モニタリングが行われている。

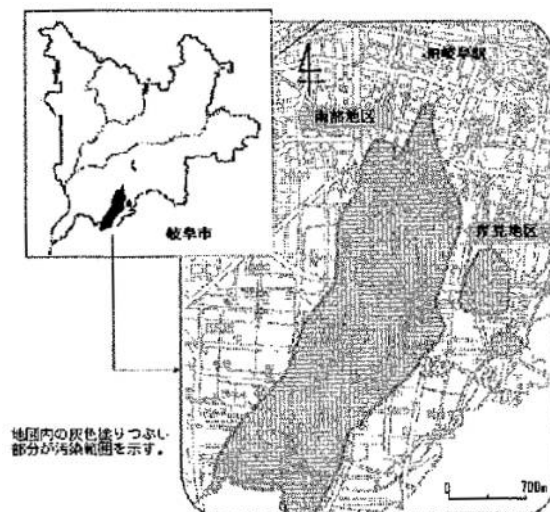


図-4 岐阜県岐阜市：南部地区の事例⁷⁾

2.2.3 神奈川県秦野市の事例⁹⁾

神奈川県秦野市の事例では、明確な地下水汚染範囲を示す資料は入手できなかったが、秦野盆地（東西約6 km、南北約4 km）の表層に分布する丹沢山地由来の扇状地堆積物中で地下水汚染が生じている。

1989年1月に、秦野駅近くにある「弘法の清水」がテトラクロロエチレンで汚染されているという報道を契機に、調査・対策が実施された。調査は、131社の事業所を対象に開始され、45社で汚染が認められた。

対策は、掘削除去や土壌ガス吸引を個々の事業所で行い、市では揚水曝気法により浄化処理した水を下流の帯水層に直接還元した。回収した汚染物質の総量は、17,700 kgを超える。2012年1月には、地下水の浄化目標「テトラクロロエチレン：0.01 mg/L以下」を達成し、2014年1月1日に「秦野盆地湧水群」の「名水復活」を宣言している。

2.2.4 福島県福島市（佐倉下地区）の事例^{10,11)}

1990年に調査が実施された福島県福島市佐倉下地区の事例では、トリクロロエチレンと1,1,1-トリクロロエタンによる地下水汚染が幅200～400 m、長さ1.3 km以上（約0.23 km²以上）に及んでおり、検出範囲は約0.35 km²以上となっている（図-5）。また、地下水汚染は、深さ50 m以上と複数の帯水層に及んでおり、マルチスクリーン井戸からの汚染の拡大が推定されている。汚染源は、地下水流動上流部の使用履歴がある工場と推定されているが、特定はされていない。

地下水汚染が認められる地質は、荒川沿いの厚い砂礫層であり、新期段丘の下部に分布すること、数枚の薄い難透水性の地層が挟在することから古い扇状地堆積物の可能性が想定される。

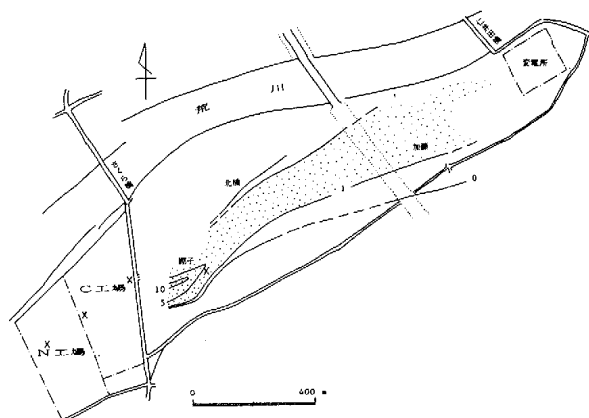


図-5 福島県福島市：佐倉下付近原の町の事例¹⁰⁾

2.2.5 大規模地下水汚染事例のまとめ

今回収集した大規模地下水汚染の事例では、汚染物質はいずれも揮発性有機化合物（テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン等）であった。一般に理解されていることであるが、これらの揮発性有機化合物は、DNAPL（dense nonaqueous phase liquid：重非水液）に分類されるものであり、原液が帯水層の底まで速やかに浸透するとともに、帯水層底面の傾斜や地下水の流れによって広がって、少しずつ地下水中に溶解した成分が地下水流動方向下流側に広がることにより、規模の大きな地下水汚染を生ずることになったものである。また、大規模地下水汚染が認められた地区の地盤は、いずれも砂礫層が主体であることから、透水性が高い。また、主に扇状地堆積物であり、扇状地は河川の山地出口付近から平野部にかけて発達するために動水勾配も比較的大きく、地下水の流速が速いため、比較的短時間で広域な地下水汚染が引き起こされたものと考えられる。

3. わが国の大規模地下水汚染の地形・地質特性

大規模地下水汚染が発生している（いた）地区の共通の地形・地質特性として、「扇状地」が挙げられる。

日本の国土の約2/3は山地であり、弧状の列島であることから、山から海までの距離が短く、流れが急なため山地と平野（盆地）との境界部に多くの扇状地が発達している。齊藤¹²⁾によれば、扇面面積2 km²以上の扇状地が国内に490箇所（複合扇状地を分割した場合586箇所）認められている。整理された一覧表¹²⁾を用いて日本の扇状地の地形特性を検討した。

扇状地の距離（縦長）は、最大42.5 km、平均7.0 kmである。扇状地の最大幅は、最大19.0 km、平均3.1 kmである。扇状地の平均勾配は、最大70.6‰（1/14.2）、最小2.0‰（1/500）、平均16.3‰（1/61.3）である。

扇状地の距離と平均勾配との関係は、概ね逆相関となり、扇状地の距離が長くなるほど勾配は緩くなる傾向が認められる（図-6）。

扇状地の距離1 km毎に頻度を整理すると、3-4 kmの扇状地が114箇所と最も多い（図-7）。距離2-3 kmの扇状地の平均勾配は26.5‰（1/38）、3-4 kmの扇状地の平均勾配は21.9‰（1/46）となる（図-8）。（注：平均勾配は、各扇状地の平均勾配の平均値）

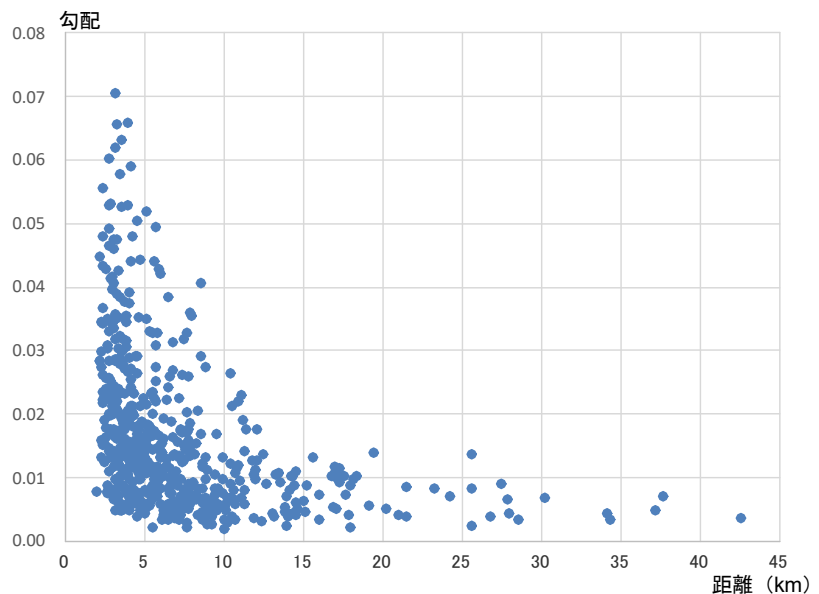


図-6 扇状地の距離と平均勾配との関係

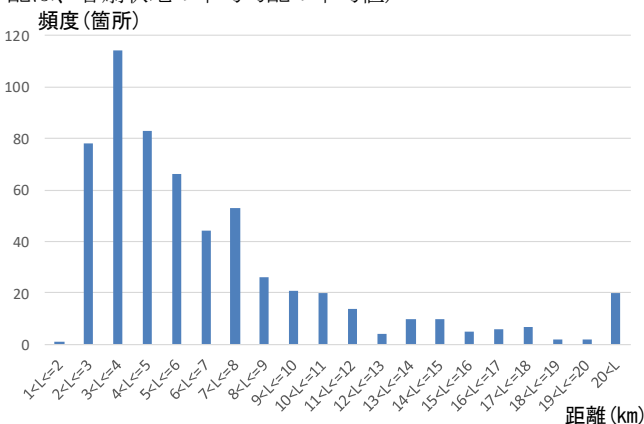


図-7 日本の扇状地の距離毎の頻度

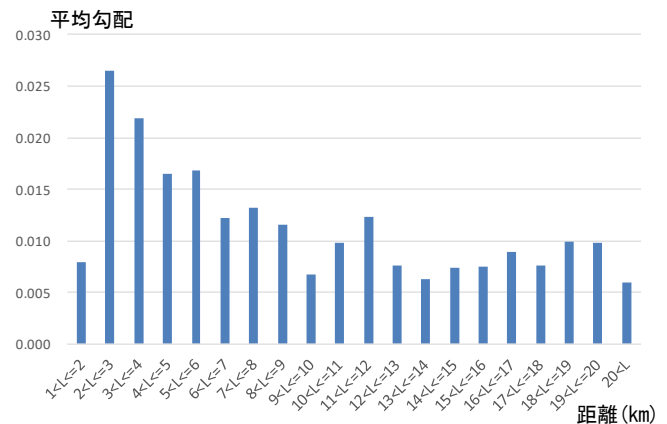


図-8 日本の扇状地の距離毎の平均勾配

わが国には扇状地が多く分布し、水はけの良い土地であることから、一般的には果樹園等の農用地として利用される。しかしながら、特に大規模扇状地の場合、比較的地形勾配が緩いことから、水利用の観点より、工場の立地条件にも合うものと考えられる。

このような地域に立地した工場から特定有害物質が漏洩した場合、大規模地下水汚染が生じる可能性が高いといえる。

4. 土壌・地下水汚染調査・対策の（現状と）課題

わが国の土壌・地下水汚染に係わる制度及び大規模地下水汚染の事例とその特性を整理してきたが、調査・対策に係わる現状と課題等について整理する。

- ・水質汚濁防止法では、地下水の水質の浄化に係る措置命令等（法第14条の3）により地下水汚染を規制しているが、“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”に限定されている。
- ・土壌汚染対策法では、法第5条による地下水汚染契機の調査命令の枠組みは存在するが、既設飲用井戸において地下水汚染が存在する、ないしは土壌汚染の存在が把握されていてその土壌汚染を原因として地下水汚染が生ずるおそれが高い場合にのみ、調査命令が発出されることが可能である。
- ・土壌・地下水汚染を一体として扱っていた「土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針及び同運用基準」については、現時点でも環境省のホームページで概要が公開されているが、現在も土壌汚染が対象に含まれているのかなど、その運用について明確になっていない。
- ・水質汚濁防止法や土壌汚染対策法において、地下水の保全の観点からの調査・対策のスキームはないが、一部の地方自治体では条例等による調査・対策が実施されている。

5. まとめ

今後、以下の点について引き続きとりまとめる計画である。

- ・国内の地下水汚染に対する条例等の収集整理
国内の地下水汚染に係わる条例等の収集整理を継続するとともに、特に古くから条例等を整備している自治体についてその内容の変遷を整理することにより地下水汚染に対する自治体の対応の考え方を整理する。
- ・国内における大規模地下水汚染の事例収集および原因検討
国内における大規模地下水汚染事例の収集整理を継続するとともに、今回収集した事例から想定される扇状地地下水における汚染機構と他の地下水における汚染機構の相違等についても整理を行う。
- ・国内における土壌・地下水汚染を一体化して対応した事例等の収集整理
新たに、土壌・地下水汚染を一体化して対応した事例（特に成功事例=グッドプラクティス）の収集、事例解析から土壌・地下水汚染を一体化して対応する必要性等を整理する。

参考文献

- 1) 環境庁(1999)：土壌・地下水汚染に係る調査・対策指針および運用基準，pp.135
- 2) 環境省(2003)：土壌汚染対策法の施行について，環水土第20号，平成15年2月4日公布，<https://www.env.go.jp/water/dojo/law/tsuuchi.pdf>
- 3) 環境省(2019)：土壌汚染対策法ガイドライン第1編「土壌汚染対策法に基づく調査及び措置に関するガイドライン（改訂第3版）」，pp.773，http://www.env.go.jp/water/dojo/gl-man/dojogl2019_1.pdf
- 4) 中央環境審議会(2002)：土壌汚染対策法に係る技術的事項について（答申），平成14年9月20日，<http://www.env.go.jp/council/toshin/t10-h1407.html>
- 5) 新藤静夫ほか(1987)：地下水の存在にかかわる自然的要因と人為的要因—特に地中における物質の挙動を中心として—，水資源研究センター研究報告，no.7，p.53-77
- 6) 岐阜市(2019)：テトラクロロエチレン等による地下水汚染調査について，<https://www.city.gifu.lg.jp/6982.htm>
- 7) 片桐 猛ほか(2004)：岐阜市南部地区クリーニング所跡地の土壌・地下水汚染調査・対策事例，地下水技術，vol.46，no.5，p.17-24
- 8) 平井一郎ほか(2009)：岐阜市におけるテトラクロロエチレンによる地下水汚染対策について，第15回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会 講演予稿集，S4-3
- 9) 秦野市環境保全課(2011)：地下水汚染対策，<http://www.city.hadano.kanagawa.jp/www/contents/1001000000630/simple/23-2suidoushinngikaishiryous.pdf>
- 10) 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(人間と自然)研究報告，no.2，p.11-17
- 11) 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(人間と自然)研究報告，no.3，p.19-30
- 12) 斉藤享治(1998)：大学テキスト 日本の扇状地，古今書院，pp.288

(上記 URL 最終確認日：2019年6月7日)