

(0060) わが国の土壤汚染対策におけるリスク評価手法の活用方策

○奥田信康¹・佐々木哲男¹・高階 修¹・立野久美¹・中島 誠¹・サステイナブル・アプローチ部会¹
¹土壤環境センター

1. はじめに

土壤汚染対策の本来の目的は、汚染土壤をなくすことではなく、土壤中の汚染物質による環境リスクを許容されるレベルに抑制し、管理することである。欧米ではこれらの考えを具現化した「リスクベースアプローチ手法」を用い、費用対効果の最大化を図りながら環境リスクを許容範囲まで合理的に低減する取り組みが進められている。また、近年、アジアの各国の土壤汚染対策においても同様の手法が採用されつつある状況にある。

わが国では、土壤汚染対策法改正検討時の「土壤環境施策のあり方に関する懇談会」にて、「わが国の法制度・施策の中での対策の必要性や妥当性の判断に関してサイトリスクアセスメントを活用できる仕組みについての議論を深めていくべき」とされ、今後のわが国の土壤汚染対策を考えると、ブラウンフィールド問題のスムーズな解決のため、土地利用を考慮したリスク評価に基づく基準の設定や、サイト条件を考慮したリスク評価の効果的な活用が重要になり、わが国の状況に応じたリスク評価モデルの活用促進が求められている¹⁾。

土壤環境センターでは、わが国の土壤汚染対策におけるリスク評価の活用方法やリスク評価方法について検討を行い、土壤汚染のリスク評価に関するガイダンス²⁾を作成し、サイト環境リスク評価モデル (Site Environmental Risk Assessment Model : 以下、「SERAM」と略す。) の作成と計算ツールを開発し、いくつかのケーススタディを行ってきた³⁾。本報告では、これらのガイダンス案および資料、計算ツールを用いたわが国の土壤汚染対策におけるリスク評価手法および評価事例の紹介とリスク評価活用上の留意点について述べる。

2. リスク評価の活用の目的

リスク評価の活用は、土壤汚染による汚染地および近隣地の人の健康リスクを定量評価し、適切かつ合理的な対応策を立案することを目的とする。リスク評価の活用の場面として、現況リスクの評価、修復目標の設定、対策方法の選定の3つの方法を基本に考える。

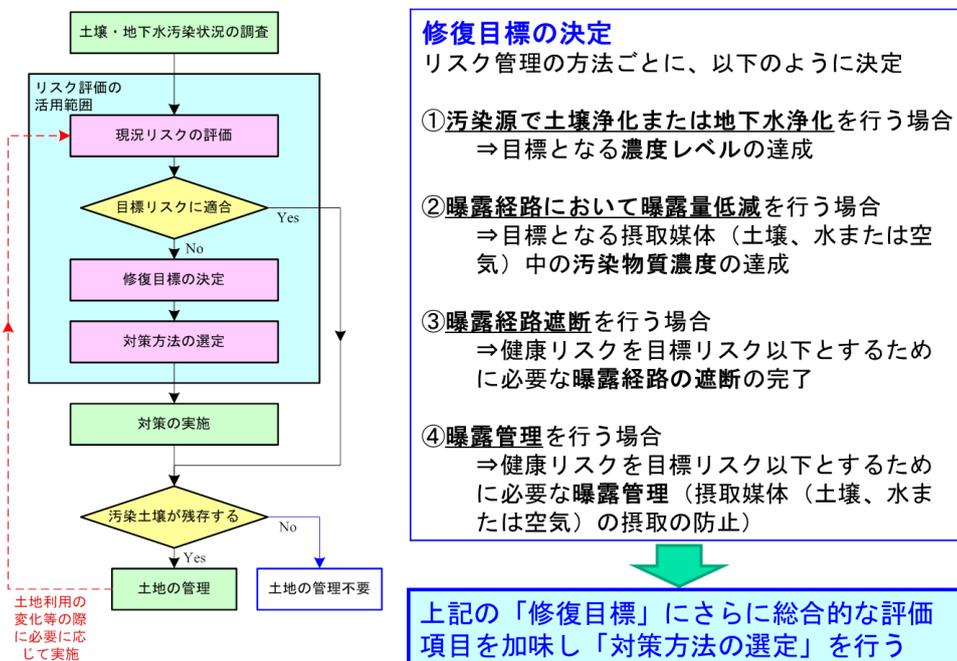


図-1 土壤・地下水汚染対策におけるリスク評価の活用方法

Activation Method of Risk Assessment Technique for Soil Contamination Problems in Japan
Nobuyasu Okuda¹, Tetsuo Sasaki¹, Osamu Takashina¹, Kumi Tateno¹, Makoto Nakashima¹ and Study Group for Sustainable Approach¹ (¹GEPC)

連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-5 KS ビル 3F 一般社団法人土壤環境センター
TEL03-5215-5955 FAX03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

3. リスク評価活用支援ツール（ガイダンス、SERAM、SERAM マニュアル）

（1）リスク評価手法普及化ガイダンス

土壌・地下水汚染対策におけるリスク評価活用の有用性、リスク評価の考え方、使い方および実施方法の理解を深めるために、一般向け・実務者向けガイダンスを作成した。

1) 「リスク評価を活用した土壌・地下水汚染対策の考え方²⁾（以下、「一般向けガイダンス」という。）」

土壌・地下水汚染問題に直面した事業者や土地所有者、周辺住民等の利害関係者に、リスク評価を活用して合理的に土壌・地下水汚染対策を行うことのメリットを理解してもらうことを目的とする啓蒙パンフレットの資料である。本資料は、土壌環境センターのウェブサイトにて公開後、2015年4月から2016年1月末までに、355人がダウンロードしている。

2) 「土壌・地下水汚染のリスク評価とその活用に関するガイダンス（以下、「実務者向けガイダンス」という。）」

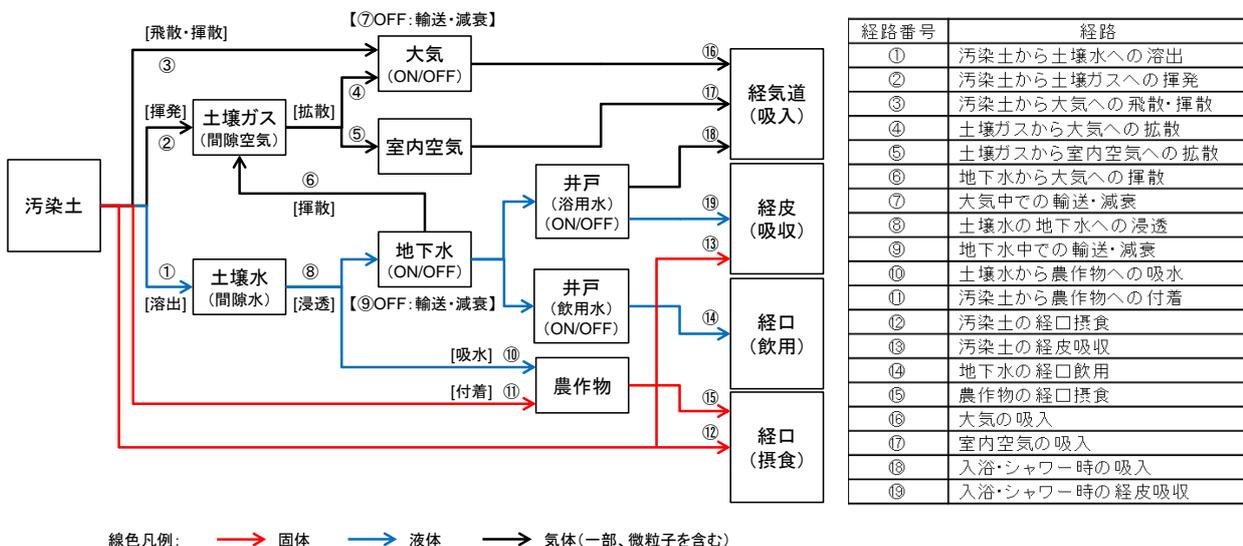
実際に土壌・地下水汚染対策を実施する技術者に、リスク評価を活用して合理的に土壌・地下水汚染対策を行うことのメリットや考え方を理解してもらうこと、および自らがリスク評価を活用して土壌・地下水汚染対策を行う場合の方法を理解してもらうことを目的とした参考書的な資料である。土壌環境センター会員向けの資料であり、一般公開は行っていない。

表ー1 一般向けガイダンスと実務者向けガイダンスの目次構成および同一内容を記載した章の対比

一般向けガイダンス 「リスク評価を活用した土壌・地下水汚染対策の考え方」 目次	実務者向けガイダンス 「土壌・地下水汚染のリスク評価とその活用に関するガイダンス」目次
1. 本ガイダンスの使い方	1. はじめに
2. 土壌・地下水汚染とは	
3. 環境リスクとは	2. 土壌・地下水汚染のリスク評価
4. 土壌・地下水汚染のハザード管理とリスク管理	
5. 土壌・地下水汚染のリスク管理とリスク評価	
6. 土壌・地下水汚染対策におけるリスク評価の活用	3. わが国の土壌・地下水汚染対策におけるリスク評価の活用方法
	4. リスク評価モデル（SERAM）の使用
	5. SERAMを用いたリスク評価事例
	6. リスク評価を活用する上での注意事項
附録 リスク評価を活用した土壌汚染対策と土壌汚染対策法における土壌汚染対策の比較	

（2）サイト環境リスク評価モデル「SERAMマニュアル」

SERAM マニュアルとは、SERAM で用いる式や各種パラメーターおよび活用のための留意点等をまとめた参考資料である。図-2 に SERAM で設定した曝露経路を、表-2 にまとめた情報の構成と概要を示す。



図ー2 サイト環境リスク評価モデル（SERAM）で設定した曝露経路

表-2 SERAMマニュアルの概要

タイトル	概要
○ SERAM マニュアル (本文)	
1. 総説	マニュアルの目的、リスク評価の目的、リスク評価の方法
2. サイト環境リスク評価モデル「SERAM」	対象とする曝露経路、SERAM モデルの構成、曝露量を推定する計算式、パラメーターの設定
3. 計算式の詳細	曝露経路ごとの計算式の考え方、計算式の内容、選定理由
4. モデル・パラメーター設定の留意事項	SERAM 計算ツールのための概念的サイトモデル、汚染濃度の設定方法、物理化学パラメーターの設定方法、毒性パラメーターの設定方法
5. おわりに	
○ SERAM マニュアル付属資料	
I 計算式整理表	SERAM の曝露量を推定する計算式を式番号ごとに整理した資料
II パラメーターツリー	SERAM で使用する計算式を、パラメーターごとに区分し、各パラメーターの相互関係を明示した資料
III デフォルト値・パラメーター提案値一覧表	SERAM によるリスク評価に用いるデフォルト値およびパラメーターの提案値一覧表
IV パラメーター個別表	付属資料IIIで示すパラメーターごとの説明資料
V 日本の各種基準値とその設定根拠	日本の土壤環境基準、土壤汚染対策法に規定される特定有害物質の基準値の一覧表と基準値の設定根拠を整理した資料
VI 日本における金属類の溶出特性	金属類の溶出特性として、分配係数 (Kd) に関する説明と日本の土壤試料より得られた実験結果を整理した資料
VII 油分画分測定事例	新油および処理後の油分画分濃度の測定結果を集めた資料

(3) SERAM計算ツール「SERAM-Software」

リスク評価モデル SERAM を用いた検討を行う際に使用可能な計算シートである。階層1および階層2までの計算が可能であり、土壤汚染対策法の対象物質、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、油分 (TPH) の化学物質パラメーターのデフォルト値を準備している。

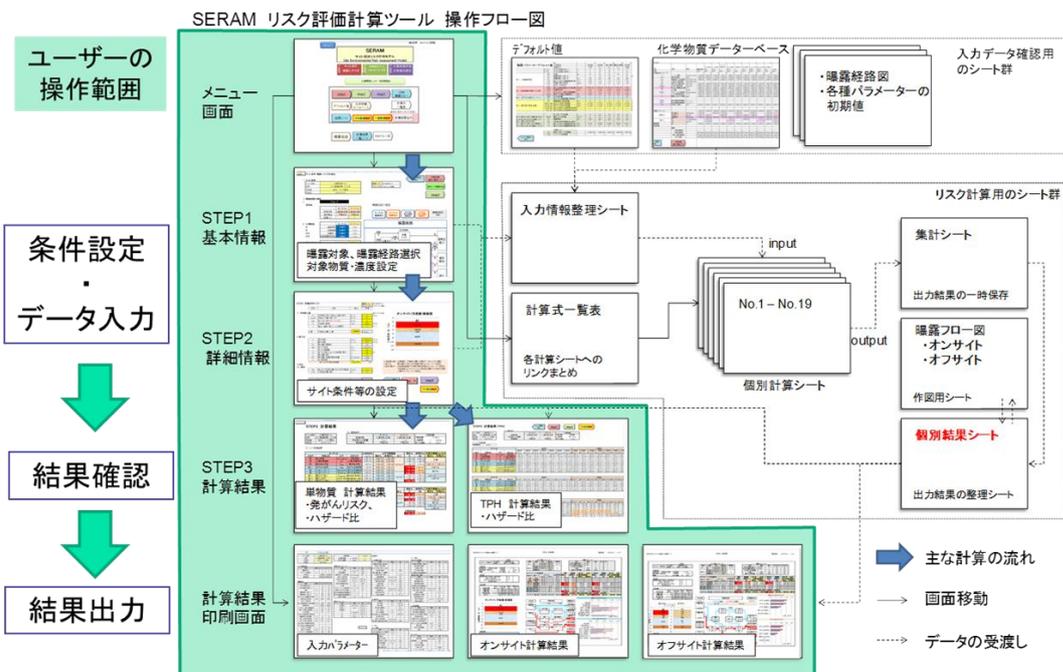


図-3 SERAM計算ツール (操作フロー図)

4. 土壌汚染対策におけるリスク評価活用事例

(1) テトラクロロエチレンによる汚染サイト（工場）の評価

テトラクロロエチレンを基板洗浄に使用した履歴のある工場において、テトラクロロエチレンの土壌・地下水汚染に対するオンサイト（工場・従業員）およびオフサイト（100m 下流の居住地）の健康リスク評価を行った。オンサイト・オフサイト共に、テトラクロロエチレンが汚染源土壌から溶出し、地下水として摂取・利用する経路においてリスク目標値（目標ハザード比：THQ）を超過し、対策が必要であるという結果を得た。

タイトル：テトラクロロエチレンによる汚染サイト（工場）の評価

サイトの概要、汚染状況、リスク評価の目的

◆サイトの概要

リスク評価の対象とするサイトは敷地面積約 10,000 m² の工場で、周辺には住宅が存在する。工場の操業開始は 1940 年と古く、過去に機械部品やプリント基板の洗浄のためにテトラクロロエチレンを使用しており、土壌及び地下水汚染が存在している。当該サイトの地質調査の結果、GL-0~2.0 m が盛土、GL-2.0~7.0 m が砂層、GL-7.0~10.5 m がシルト層であり、地下水位は GL-3.0 m であった。

◆設定した汚染状況

当該サイトで土壌地下水汚染の状況を調査した結果、土壌汚染は GL-2.0~8.5 m に存在しており、汚染の最大濃度は 700 mg/kg（土壌全含有量）であった。また、敷地内の観測井戸でテトラクロロエチレンの地下水最大濃度 2.5 mg/L が確認されている。汚染は敷地内の 1,000 m² に分布しており、汚染が存在する場所から敷地境界までの距離は約 100 m ほどである。

◆リスク評価の目的

当該サイト周辺に住宅が存在するため、工場の土壌地下水汚染に起因する周辺住民の健康被害のリスクの存在の有無を調査する。また、工場の従業員の健康被害のリスク評価を行い、今後の工場の汚染に対する対策立案の基礎資料とする。なお、テトラクロロエチレンは非発がん性物質として評価を行った。

現況リスク評価

◆現況のリスク評価

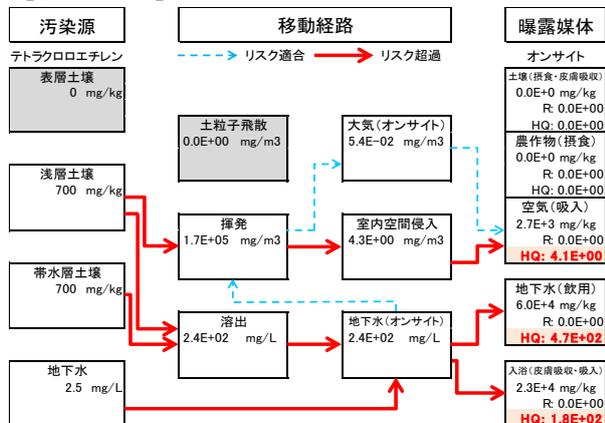
テトラクロロエチレンを非発がん性物質としてサイトの土壌・地下水汚染のリスクを評価した結果、オンサイトでは屋内空気（吸入）、地下水（飲用）、入浴（皮膚吸収・吸入）の経路で THQ を超え、この中で地下水（飲用）のリスクが最も大きいことが確認された。また、オフサイトでは地下水（飲用）、入浴（皮膚吸収・吸入）の経路で THQ を超え、同じく、地下水（飲用）のリスクが大きいことが確認された。

この評価結果により、当該サイトのテトラクロロエチレンの土壌地下水汚染に対して、修復対策の実施または更なるサイトの情報を収集する調査の実施が必要なが確認された。

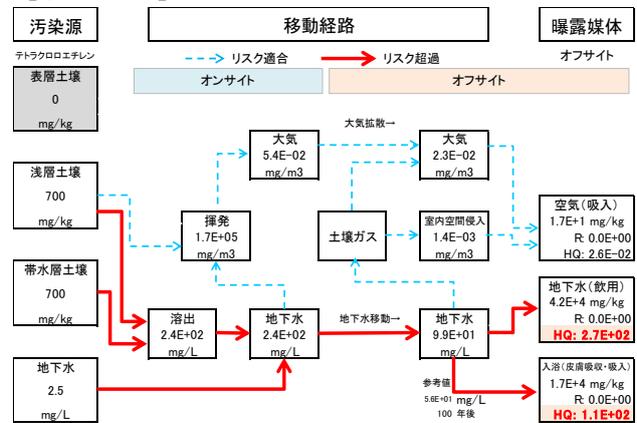
現状のリスク評価を基に土壌浄化対策および地下水浄化対策を立案する場合、土壌・地下水の対策目標値は、以下の値となる。

- ・オンサイトの受容体に対する目標リスク達成の場合 : 土壌 0.41 mg/kg、地下水 0.51 mg/L
- ・オフサイトの受容体に対する目標リスク達成の場合 : 土壌 0.76 mg/kg、地下水 0.67 mg/L

【オンサイト】



【オフサイト】



曝露媒体名称
生涯曝露量
発がんリスク
ハザード比

目標リスク超過
目録リスク超過

図 曝露媒体・曝露経路毎のリスク評価（左 オンサイト・右 オフサイト）

(2) 水銀による土壌・地下水汚染事例の現況評価

水銀による高濃度の表層土壌汚染と地下水汚染が検出された工場において、オンサイト（工場従業員）およびオフサイト（100m 下流・居住地）に対する健康リスク評価を行った。オンサイトでは地下水を利用しないので、表層土の直接摂取と揮発ガスの屋外吸入の曝露経路が、オフサイトでは表層土からの揮発ガスの屋外吸入と表層土から溶出する汚染物質を含む地下水を飲用する曝露経路がリスク目標値（目標ハザード比：THQ）以上となった。いずれも表層土の高濃度汚染に起因するため、リスク評価に基づく対策対象は表層土由来のみとなり、地下水由来の対策は不要と判断された。

タイトル：水銀による土壌・地下水汚染事例

サイトの概要、汚染状況、リスク評価の目的

◆サイトの概要

土質：砂質土主体の埋土（GL 0~-1.0 m）
シルト層（GL -1.0~-1.5 m）
砂層（GL -1.5~-6.0 m）※帯水層
地下水位：GL-1.5 m
土地利用：オンサイト（工場）、
オフサイト（戸建住宅・集合）
リスク受容体：従業員（オンサイト）、
住民（オフサイト）
※敷地境界からの距離：100m

入力パラメータ	モデル入力値
汚染源の深さ(汚染土上端の深さ)	0m
汚染土下端の深さ	1m
地下水の深さ	-1.5m
不飽和土層の土質	シルト質砂(土質パラメータの土質から選択)
帯水層の厚さ	4.5m
透水係数	1.0×10 ⁻³ cm/s (仮定)
動水勾配	0.005 (地下水位観測結果にもとづく)
地下水涵養量	30cm/y (デフォルト値)
土地利用	オンサイト(工場)、 オフサイト(居住地-戸建)
汚染源の幅	40m
地下水流向に沿った汚染源の長さ	100m
水平方向風速	1.2m/s (仮定)
大気混合層の高さ	2m (デフォルト値)
呼吸ゾーンの高さ	1.5m (デフォルト値)

◆設定した汚染状況

汚染物質：水銀（非発がん性）
汚染原因：人為的
土壌汚染状況：平面範囲 4,000 m² 最高濃度（全含有量）94,000 mg/kg
地下水汚染状況：地下水中水銀濃度 0.014 mg/L

◆リスク評価の目的

揮発性を有する水銀の土壌・地下水汚染による各曝露経路における現況リスクを把握し、効果的な土壌汚染源の除去対策、もしくは曝露経路の遮断を行うことを目的とする。

現況リスク評価

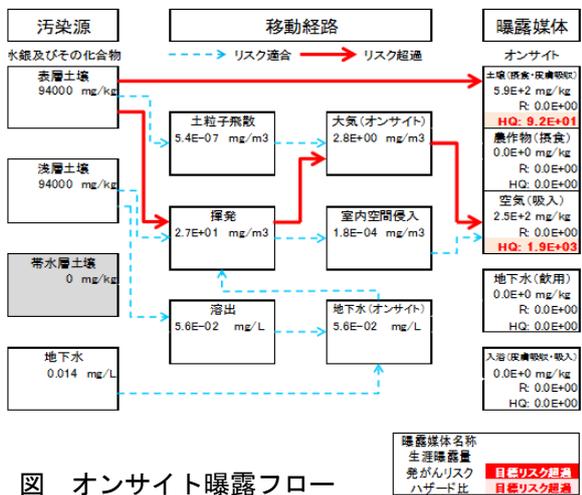
◆階層1 評価結果

・土壌由来：HQ=3.8×10³
・地下水由来：HQ=1.9×10⁰ } リスク目標値（目標ハザード比：THQ=1）以上

◆階層2 評価結果

①オンサイト：商工業地
(地下水飲用・入浴なし)

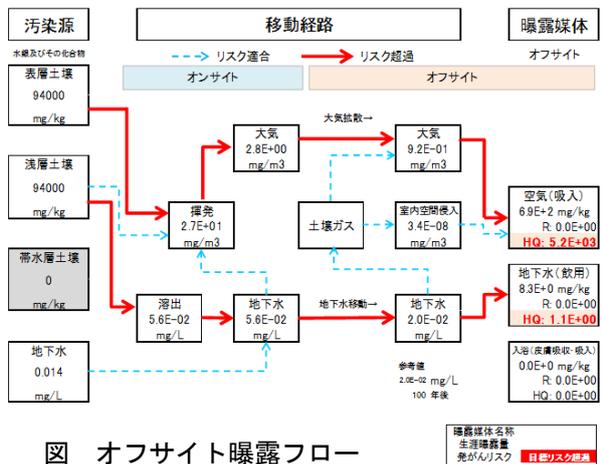
土壌由来：HQ=1.9×10³
屋外空気吸入経路、表層土壌の飛散による直接摂取（摂食・皮膚吸収）経路が THQ を上回った。
地下水由来：HQ=1.7×10⁻¹
THQ を下回ったため、地下水汚染由来に関する対策は不要と判断される。



②オフサイト：戸建住宅（木造）
(地下水飲用・入浴あり)

土壌由来：HQ=5.2×10³（主に屋外空気）
屋外空気吸入経路、土壌溶出由来の地下水飲用経路が THQ を上回った。

地下水由来：HQ=3.7×10⁻¹
THQ を下回ったため、地下水汚染由来に関する対策は不要と判断される。



5. リスク評価を活用する上での留意事項

リスク評価を土壌・地下水汚染対策に活用する上での留意事項を表-3に示す。リスク評価の実施者にはリスク評価の全体から細部まで十分に間違いがないよう配慮し、リスク評価の結果を使用する者に対して適正なリスク評価結果を伝達するよう努力することが望まれる。

表-3 リスク評価を活用する上での留意事項

No	項目	内容
1	リスク評価の信頼性の確保	リスク評価における条件設定やモデル構築について、自らが求めるリスク評価結果となるような恣意的な操作を行わないことが必須であり、設定条件や設定値は全て報告書に明記し、明らかにすることが必要である。
2	リスク評価に使用するリスク評価モデル	リスク評価の結果は、様々な仮定のもとに算定される結果であることから、目的に合った評価モデルを使用することが重要である。
3	リスク評価に用いる設定値	リスク評価モデルに組み込むパラメーターや係数等は、根拠のある適切な値を使用する必要がある。
4	リスク評価に用いる汚染濃度	土壌汚染対策におけるリスク評価の汚染土壌濃度入力値には土壌全含有量を用いるのが一般的である。なお、調査データとして土壌溶出量が入りやすいが、土壌溶出量と土壌全含有量との間には普遍的な相関は認められず、土質やサイト条件等の影響を受けるため、現時点では土壌溶出量から土壌全含有量の推定は行わないこととした。
5	リスク評価の対象とする有害性	土壌汚染対策におけるリスク評価では、長期的な慢性毒性により健康リスクを評価するのが基本である。一般的には、慢性毒性の方が急性毒性よりも低い濃度で影響が発現することから、多くの場合は慢性毒性による健康リスクの評価を行えば急性毒性によるリスクも考慮できていると考えられる。
6	リスク評価モデルの適用性の確認	リスク評価において、サイトの状況が設定した条件から外れている場合には、リスク評価モデルを見直し、適切な条件の下で再計算する必要がある。
7	対策実施後の扱い	土壌・地下水中に汚染物質が残存した状態となる対策方法を選定した場合、モニタリングを実施し、長期的な効果の持続性について確認する必要がある。また、サイトの状況や利用状況が変化した場合には、リスク評価モデルの見直しを行い、最適なモデルを用いたリスク評価を継続する必要がある。
8	使用者責任	リスク評価結果は、リスク評価を実施するユーザーの責任の範囲で使用するものである。

6. まとめ

本報告で紹介した「リスク評価を活用して土壌・地下水汚染による環境リスクを合理的に解決する」考え方は、欧米での土壌・地下水汚染対策に早くから取り入れられ、問題の解決に活用されている。また、これからのわが国の土壌汚染対策でも、対象とする土地の条件を考慮したリスク評価の活用が重要になると思われる。なお、本報告で紹介したリスク評価活用の取組みは、土壌汚染対策法で定められている現状のわが国の土壌汚染対策の取組みと必ずしも一致するものではない。そのため、現行の土壌汚染対策法の下ではリスク評価を活用できる場面は限られるが、法規制対象外物質による汚染の対策を行うときや、土地所有者が自主的に対策を実施して将来のリスクを低減させるとき等、今後、様々な場面でリスク評価が有効に活用できると考えている。

これまでの研究活動について、成果を土壌環境センターの内部報告書としてまとめるとともに、成果の一部を本研究集会や土壌環境センターホームページにて紹介した。今後、これらの資料が、土壌・地下水汚染対策におけるリスク評価の考え方およびその必要性や使い方について理解を深め、さらに、リスク評価の活用の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 中杉修身監修・土壌環境センター編(2008)：「実務者のための「土壌汚染リスク評価」活用入門」．化学工業日報社，327p.
- 2) 土壌環境センター(2014)：「リスク評価を活用した土壌汚染対策の考え方(ガイダンス)」，15p.
- 3) 白川 武・山本義男・田中宏幸・奥田信康・中島 誠・サステイナブル・アプローチ部会(2015)：油汚染サイトにおけるリスク評価モデル(SERAM)評価事例．第21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，S2-19.