

(0110) 土壌・地下水汚染対策におけるリスク評価の活用についてのガイダンスの作成

○中島 誠¹・山田優子¹・鈴木弘明¹・白井昌洋¹・伊藤 豊¹・リスク評価モデル普及・ツール化検討部会¹
¹土壌環境センター

1. はじめに

土壌・地下水汚染対策の本来の目的は、汚染土壌や汚染地下水をすべてなくすことではなく、汚染土壌や汚染地下水に起因する人の健康や生活環境、生態系への悪影響のおそれ、すなわち環境リスクを許容されるレベルまで低減し、管理していくことにある。

わが国の土壌汚染対策では、2003年の土壌汚染対策法（以下「土対法」という。）の施行および2010年の土対法一部改正の施行により、要措置区域・形質変更時要届出区域の区分、要措置区域における指示措置の創設等、環境リスクの管理を基本とするリスクベースの考え方が強化されてきている。しかしながら、欧米等で広く取り入れられている汚染地ごとの条件の違いを考慮したサイトリスクアセスメントの考え方や手法までは取り入れられておらず、汚染物質を摂取するまでの曝露経路における濃度の減衰や土地利用の違いによる汚染された土壌や地下水の摂取条件が考慮されていない等、リスク評価を活用した土壌汚染対策の取組みは社会に根付いていない状況にある。

著者らは、わが国の土壌・地下水汚染対策を考える上でリスク評価を活用することが重要になってくると考え、リスク評価の活用方法についての技術的な検討^{1)~3)}やリスク評価モデルSERAMの開発^{4)~6)}を進めるとともに、リスク評価の活用や有効性について広く理解してもらうための実務者向けの入門書⁷⁾の執筆・出版やガイダンス案の作成を行ってきた。

本報では、土壌・地下水汚染対策におけるリスク評価の活用について理解を深めてもらうために作成した一般向けガイダンス案と、土壌・地下水汚染対策に対するリスク評価の考え方、必要性、使い方および実施方法を理解してもらうために作成した実務者向けガイダンス案について、構成と主な記載内容を紹介する。

2. ガイダンス案の作成

2.1 一般向けガイダンス案の構成

表－1に一般向けガイダンス案および実務者向けガイダンス案の目次構成を示す。表は、両ガイダンス案で同じ事項について執筆している章が対比できるように整理した。

一般向けガイダンスの位置付けは、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

表－1 一般向けガイダンス案と実務者向けガイダンス案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案 目次	実務者向けガイダンス案 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	

Development of guidance about the use of risk assessment for soil and groundwater contamination countermeasures

Makoto Nakashima¹, Yuko Yamada¹, Hiroaki Suzuki¹, Masahiro Shirai¹, Yutaka Ito¹

and Study Group for Verification of the Risk Assessment Model¹ (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

を目的とする啓蒙パンフレットの資料である。

一般向けガイダンス案は、ガイダンスの使い方を述べた上で、土壌・地下水汚染とはどのような状態でどのような物質により引き起こされるのか、環境リスクとはどのようなものでどのように発生するのか、土壌・地下水汚染による環境リスクに対してなぜリスク管理が有効なのか、リスク管理を行うためのリスク評価とはどのようなものかについてそれぞれ簡単に説明し、土壌・地下水汚染対策においてどのようにリスク評価を活用できるのかを示す構成とした。

2.2 実務者向けガイダンス案の構成

実務者向けガイダンスの位置付けは、実際に土壌・地下水汚染対策を実施する技術者やその計画や結果を評価する担当者等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。

実務者向けガイダンス案は、ガイダンス作成の背景およびガイダンス案の構成と内容を示した後、土壌・地下水汚染のリスク管理とそのためのリスク評価の概要、リスク評価を活用した土壌汚染対策の流れと各場面におけるリスク評価の利用方法、階層アプローチを利用したリスク評価の適用方法について考え方を説明するとともに、SERAM を用いてリスク評価を行うときのリスク評価の手順、具体的な計算方法およびパラメーター値の設定方法を示し、さらに SERAM を用いたケーススタディによる評価事例も示す構成とした。

3. ガイダンスで示している主な内容

一般向けガイダンス案および実務者向けガイダンス案で示している内容のうち、中心的な部分について以下で概説する。なお、3.3 で取り上げる階層アプローチについては、実務者向けガイダンス案においてのみ説明している。

3.1 土壌・地下水汚染対策におけるリスク管理の有効性

土壌・地下水汚染対策による環境リスクへの対応について、以下に示す「ハザード管理」と「リスク管理」のどちらの考え方で行うかにより適用可能な対策の方法に違いが出てくること、およびリスク管理の考え方で土壌・地下水汚染対策を行うことが有効であることを示した。

一般的な環境リスクの考え方では、土壌・地下水中に有害化学物質が存在すること自体が有害性（ハザード）ということになる。そう考えると、土壌・地下水汚染によるハザードをなくすためには、土壌・地下水から有害化学物質をすべてなくす必要が出てくる。しかしながら、自然由来で土壌中にわずかに存在している重金属等をすべてなくすことは現実的ではなく、自然界にも存在する有害化学物質の濃度が許容できる一定レベルの濃度を超えている状態をハザードとして取り扱うのが適切であると考えられる。この場合、ハザードをなくすためには、土壌・地下水中の有害化学物質の濃度を許容できる一定レベルの濃度以下にすることが必要となり、これが「ハザード管理」となる。わが国において、土対法で定められている土壌溶出量基準および土壌含有量基準に適合する状態は、ここでいう一定レベルの濃度以下の状態であると考えるのが妥当である。

これに対して、土壌・地下水汚染による環境リスクは、土壌・地下水中に存在する有害化学物質のハザードと曝露量（摂取量）の積で表されるものであり、土壌・地下水中の有害化学物質の曝露経路や曝露量により異なってくる。したがって、有害化学物質に曝露する機会がなければ環境リスクは生じず、曝露する機会があったとしても、健康被害が生じるおそれのある量よりも曝露量が少なければ環境リスクが許容されるレベルに収まることになる。この場合、曝露経路を遮断して曝露する機会をなくすことやハザードの大きさに応じて許容される曝露量を設定することが可能になる。これが「リスク管理」である。

表－2に、土壌・地下水汚染対策におけるハザード管理およびリスク管理の適用性を示す。ハザード管理では土壌・地下水汚染を浄化してなくすことしか選択できないが、リスク管理では曝露経路を遮断する方法（曝露経路遮断）、曝露する機会をなくす方法（曝露管理）および曝露経路における濃度の減衰を高めたりして曝露量を低減する方法（曝露量低減）を選択することも可能になる。

表－3は、土壌・地下水汚染による人の健康リスクに対して、ハザード管理およびリスク管理の具体的な方法として考えられるものを整理したものである。リスク管理では、多くの方法が選択肢となるため、土壌・地下水汚染が生じている土地の状態や今後の活用計画に合わせてフレキシブルに対策方法を選択することが可能になり、合理的かつ適正にリス

表－2 土壌・地下水汚染対策方法のハザード管理とリスク管理における適用性

対策方法	ハザード管理	リスク管理
曝露管理	×	○
曝露経路遮断	×	○
曝露量低減	×	○
土壌浄化	○	○
地下水浄化	○	○

表－3 土壌・地下水汚染対策におけるハザード管理およびリスク管理の方法と具体的な対策方法

対策実施位置		汚染源の範囲			汚染源の範囲の周辺	
曝露の形態		土壌からの直接摂取 (摂食、皮膚接触による吸収)	地下水の飲用	大気・室内空気の吸入	地下水の飲用	大気・室内空気の吸入
ハザード管理の方法	土壌浄化	・掘削除去 ・原位置浄化	・掘削除去 ・原位置浄化	・掘削除去 ・原位置浄化	－	－
リスク管理の方法	曝露管理	・立入禁止	・飲用禁止 ・地下水モニタリング	・立入禁止 ・大気・室内空気モニタリング ・土壌ガスモニタリング	・飲用禁止 ・地下水モニタリング	・立入禁止 ・大気・室内空気モニタリング ・土壌ガスモニタリング
	曝露経路遮断	・盛土 ・舗装 ・土壌入換え ・封じ込め	・封じ込め	・舗装 ・封じ込め ・建物補修(亀裂封鎖)	・封じ込め(地下水) ・遮水 ・透水性地下水浄化壁 ・バイオバリア ・バリア井戸	・封じ込め(空気) ・遮蔽
	曝露量低減	－	・不溶化 ・地下水浄化(減衰促進) ・原位置浄化(減衰促進)	・盛土 ・空気浄化 ・換気 ・原位置浄化(減衰促進)	・透水性地下水浄化壁(減衰促進) ・地下水浄化(減衰促進)	・空気浄化 ・換気
	土壌浄化	・掘削除去(全部、一部) ・原位置浄化(濃度低減)	・掘削除去(全部、一部) ・原位置浄化(濃度低減)	・掘削除去(全部、一部) ・原位置浄化(濃度低減)	－	－
	地下水浄化	・地下水揚水処理(濃度低減) ・原位置浄化(濃度低減)	・地下水揚水処理(濃度低減) ・原位置浄化(濃度低減)	・地下水揚水処理(濃度低減) ・原位置浄化(濃度低減)	・地下水揚水処理(濃度低減) ・原位置浄化(濃度低減)	・地下水揚水処理(濃度低減) ・原位置浄化(濃度低減)

ク管理を行うことができる。

3.2 土壌・地下水汚染対策におけるリスク管理の活用方法

土壌・地下水汚染による健康リスクに対するリスク管理では、図－1に示す土壌汚染対策の流れでリスク評価を行うことが可能である。

① 現況リスクの評価

対策を実施しない汚染状態（現況）における健康リスクを定量的に評価する。現況リスクが許容されるレベル（目標リスク）を超えている場合、健康リスクを低減するための対策を行う必要がある。なお、現況リスクが目標リスク以下の状態にあった場合でも、汚染土壌が存在していることが把握された場合には、土地利用の変化等によって現況リスクの前提となる状況が変化する可能性があるため、目標リスクを超えることがないよう管理していくことが必要である。

② 修復目標の決定

現況リスクが目標リスクを超えており、健康リスクを低減するための対策が必要であると判断された場合に、健康リスクを目標リスク以下とするために必要な修復目標を決定する。

修復目標は、リスク管理の方法ごとに、以下のように設定される。

- ・汚染源で土壌浄化または地下水汚染浄化を行う場合は、目標となる濃度レベルの達成
- ・曝露経路において曝露量低減を行う場合は、目標となる摂取媒体（土壌、水または空気）中の汚染物質濃度の達成
- ・曝露経路遮断を行う場合は、健康リスクを目標リスク以下とするために必要となる曝露経路の遮断の完了
- ・曝露管理を行う場合は、健康リスクを目標リスク以下とするために必要な曝露管理（摂取媒体（土壌、水または空気）の摂取の防止）

③ 対策方法の選定

対策方法の候補として複数の選択肢を選び、修復目標が達成可能である方法を選定する。このとき、修復目標を達成できるかどうかということのほか、次のような項目についても定量的または定性的に評価し、総合的な評価に基づいて対策方法を決定することが有効である。

- ・法や条例で定められている基準等（例えば、摂取する環境媒体（地下水、大気等）の基準、排水規制、騒音・振動に関する基準等）への適合性
- ・対策の実施による長期的な効果（効果の持続性）
- ・対策の実施による汚染物質の有害性、移動性または量の減少の有無
- ・対策の実施による短期的な効果（即効性）
- ・対策費用
- ・自治体の承諾が得られる可能性
- ・コミュニティの承諾が得られる可能性
- ・その他付加的な条件への適合性

このようなリスク評価の活用方法は、アメリカのRAGS (Risk Assessment Guidance for Superfund) の Part A～C^{8)~10)}で定義されているものと同じであり、合理的な対策方法の選定に有効であることが確認されている。

RAGS で定義されているリスク評価の活用方法はわが国の土壌・地下水汚染対策を遂行する上でも有効であると考えられる。そのため、ここで示した内容は、一般向けガイダンスと実務者ガイダンスの両方に記載した。

3.3 階層アプローチによるリスク管理の適用

図-1に示したリスク評価の活用範囲において、アメリカ等で広く用いられているRBCA (Risk-Based Corrective Action) で採用されている階層アプローチ¹¹⁾を用いることが有効であると考えられる。

図-2に、階層アプローチのフローを示す。階層アプローチでは、各階層でリスク評価を行い、その階層までの評価に基づいて対策を行うことが得策か、さらに高次の階層まで行って経済効率の高い対策方法を選択することが得策か、あるいはモニタリングのみを継続していけばよいのかを、ユーザー自身が判断し、意思決定する。このとき、いずれの階層に進んでも目標リスクは不変であり、階層によって汚染物質の曝露量の算定方法に違いはあるものの、対策完了後の健康リスクは同じ目標リスクを達成しているということが階層アプローチの特徴である。

初期サイトアセスメントでは、土壌・地下水汚染が人の健康に脅威を与えるまでの時間的な余裕を評価し、緊急性がある場合は暫定対策を行う。

階層1評価では、汚染源エリアと非汚染源エリア（風下側、地下水流動下

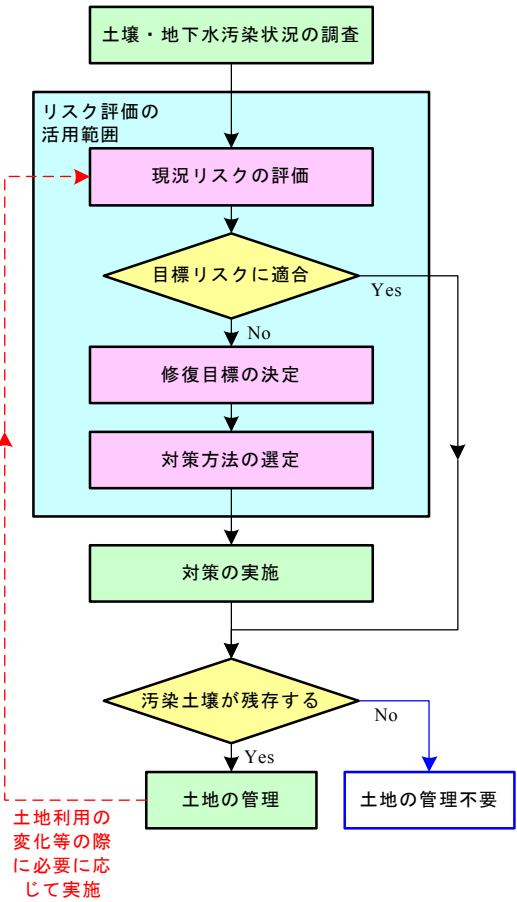


図-1 リスク評価を用いた土壌・地下水汚染対策の流れ

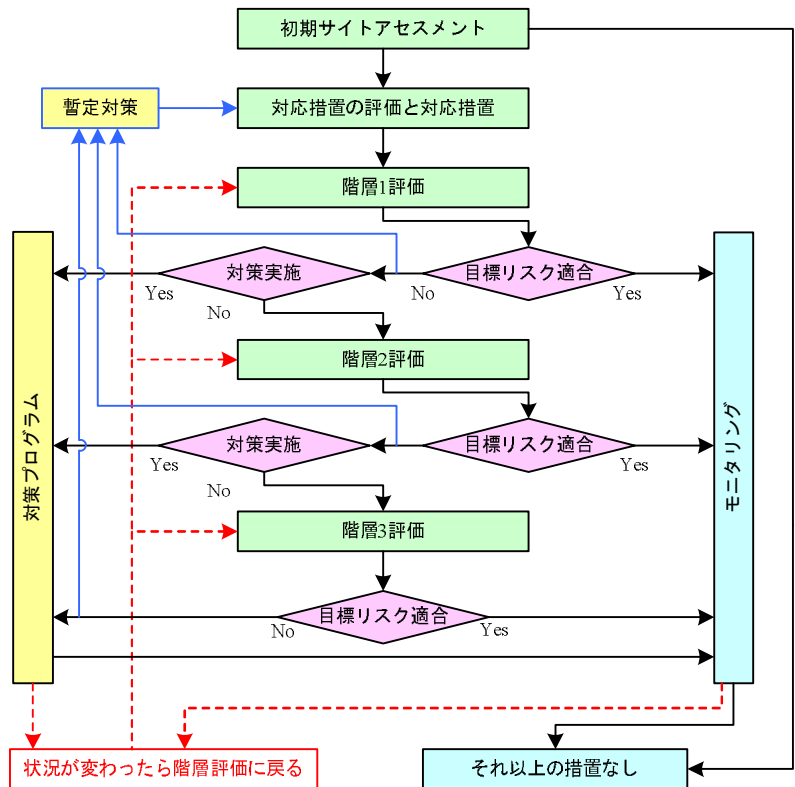
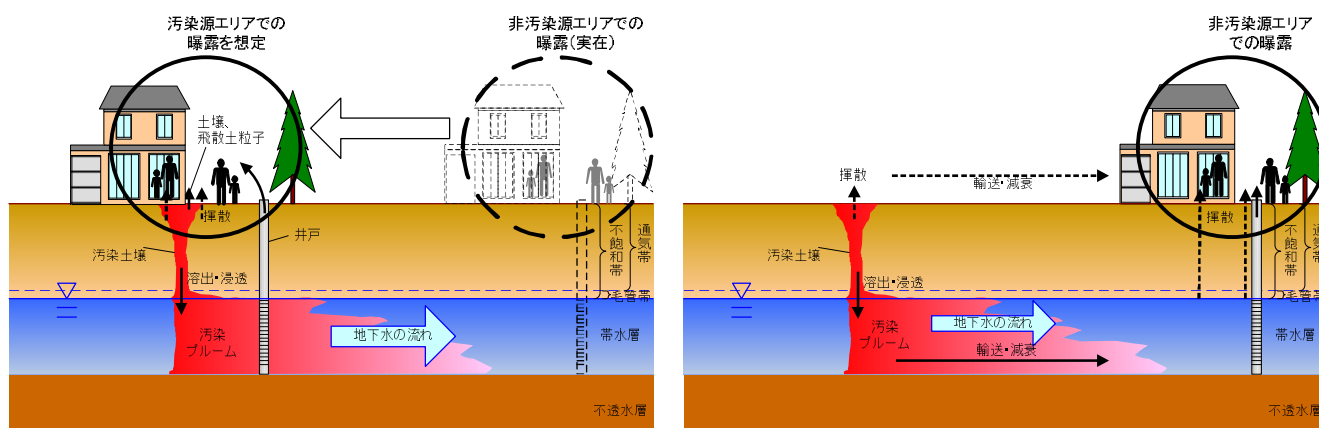


図-2 階層アプローチのフロー

流側)で想定されるリスク受容体(住宅地の住民、商業地または工業地の従業員)のすべてが汚染源エリア内に存在している状態を仮定し、それらの中で最も曝露量が大きくなるリスク受容体を対象に曝露経路ごとのリスク計算を行う。図-3(1)は非汚染源エリアが住宅地となっている場合の階層1の曝露シナリオで、図-4(1)は汚染源エリアが工業地、非汚染源エリアが住宅地となっている場合の階層1の曝露シナリオである。いずれのケースも、汚染源および非汚染源に存在する中で最も曝露経路および曝露量が多くなるリスク受容体、すなわち住宅地が汚染源に存在するものとしてリスク評価を行うことになる。

階層1では、鉛直方向の汚染物質の移動のみを考慮し、横方向の汚染物質の移動ともなう濃度の低下が考慮されていない。そのため、階層1評価の結果をもとに行う対策は保守的なものになるが、リスク評価を行うために必要となるパラメーターの数が少なく済み、その値を取得するための調査に係る費用や時間を節約できるというメリットがある。この階層1の評価で目標リスクが達成できていれば、非汚染源エリア内に存在するリスク受容体の健康リスクはさらに小さくなることから、すべてのリスク受容体で目標リスクが達成されているといえる。

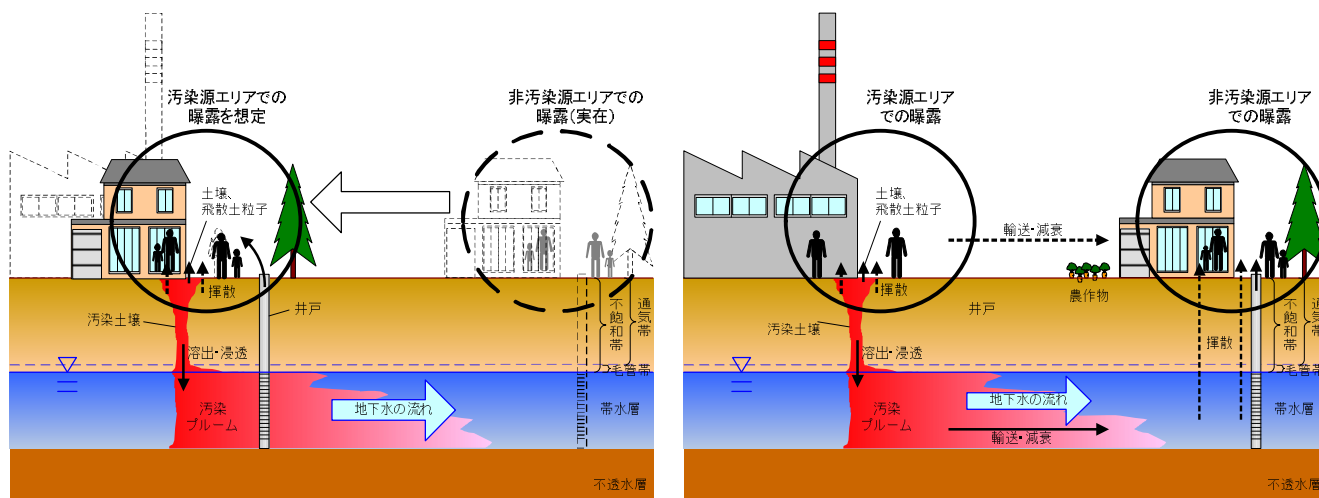
階層2評価では、汚染源エリアと非汚染源エリアで想定されるリスク受容体がすべて実際の汚染源との位置関係のまま存在している状態について、リスク受容体ごとに曝露経路ごとのリスク計算を行う。図-3(2)は非汚染源エリアが住宅地となっている場合の階層2の曝露シナリオで、図-4(2)は汚染源エリアが工業



(1) 階層1評価における曝露シナリオ

(2) 階層2評価における曝露シナリオ

図-3 階層1および階層2の曝露シナリオ設定(非汚染源エリア:住宅地)



(1) 階層1評価における曝露シナリオ

(2) 階層2評価における曝露シナリオ

図-4 階層1および階層2の曝露シナリオ設定(汚染源エリア:工業地、非汚染源エリア:住宅地)

地、非汚染源エリアが住宅地となっている場合の階層2の曝露シナリオである。いずれのケースも、リスク受容体の種類や汚染源エリアからリスク受容体までの距離を実際の状況に応じて設定し、リスク評価を行う。

階層2では、鉛直方向の汚染物質の移動に加え、横方向の汚染物質の移動も考慮されており、横方向の汚染物質の移動にともなう濃度の低下が考慮されている。そのため、階層1評価では目標リスクを達成しておらず対策が必要であると評価された土地であっても、階層2評価では目標リスクを達成しており対策不要と評価されるケースもある。

階層3評価では、階層2のときと同様に、汚染源エリアと非汚染源エリアで想定されるリスク受容体がすべて実際の汚染源との位置関係のまま存在している状態について、階層2よりも精度の高い方法で詳細に曝露量を求め、リスク評価を行う。階層3評価においても、階層1および階層2の評価で目標リスクを達成しておらず対策が必要であると評価された土地が、目標リスクを達成しており対策不要と判定されるケースがある。

このように説明すると、最初から階層2または階層3のアセスメントを行えばよいではないかといわれることも想定されるが、階層1の評価で目標リスク達成と判定された土地については階層2や階層3のアセスメントや各種パラメータ値取得のための調査に要する時間と費用が節約できるというメリットがある。

実務者向けガイドラインでは、階層アプローチの考え方とそれを活用することのメリットを中心に記載した。

4. おわりに

本報では、土壌・地下水汚染対策におけるリスク評価の活用に関する一般向けガイダンス案および実務者向けガイダンス案の構成と主な記載内容を紹介した。リスク評価を活用した取組みを社会に根付かせるためには、土壌・地下水汚染問題に直面した関係者（事業者、土地所有者、住民、行政担当者等）にそのメリットを理解してもらうこと、およびリスク評価を活用することになる実務者にリスク評価の適正な活用方法を理解してもらうことが重要である。そのため、一般向けガイダンス案については内容を精査した上でできるだけ早く公表したいと考えており、実務者向けガイダンスについては（一社）土壌環境センター会員限定でまずは公開し、チェック・修正を経た上で、最終的には公表できるようにしたいと考えている。

参考文献

- 1) 中島 誠・奥田信康・小口深志・リスク評価適用性検討部会(2007)：土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性の検討（その5）－わが国におけるリスク評価活用の概念と課題－，第13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，pp.382~387.
- 2) 中島 誠・奥田信康・リスク評価適用性検討部会・リスク評価活用方法検討部会(2009)：土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性の検討（その6）－わが国の土壌汚染対策におけるリスク評価の活用に向けて－，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集，pp.262~267.
- 3) 白井昌洋・和知 剛・伊藤 豊・リスク評価活用方法検討部会(2010)：土壌汚染対策におけるリスク評価方法の活用に関する検討，第16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，pp.223~226.
- 4) 田中宏幸・奥田信康・佐々木哲男・原元利浩・中島 誠(2011)：サイト環境リスク評価モデルSERAMによる土壌汚染サイトの健康リスク評価のケーススタディ，第17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，pp.48~53.
- 5) 奥田信康・佐々木哲男・リスク評価モデル普及・ツール化検討部会(2013)：サイトリスク評価モデルSERAMのツールの開発と活用方法，第19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，pp.574~579.
- 6) 奥田信康・佐々木哲男・田中宏幸・山田優子・向井一洋・リスク評価モデル普及・ツール化検討部会(2014)：SERAMツールの開発と活用事例，第20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，(印刷中).
- 7) 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.
- 8) U.S.EPA(1989)：Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I Human Health Evaluation Manual (Part A) Interim Final, EPA/540/1-89/002
- 9) U.S.EPA(1991)：Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I-Human Health Evaluation Manual (Part B, Development of Risk-based Preliminary Remediation Goals) Interim, EPA/540/R-92/003.
- 10) U.S.EPA(1991)：Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I-Human Health Evaluation Manual (Part C, Risk Evaluation of Remedial Alternatives) Interim, Publication 9285.7-01C.
- 11) ASTM(2004)：ASTM designation: E2081-00 (Reapproved 2004), Standard guide for risk-based corrective action for protection, 95p.