

S 3 - 2 6 土壤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 -

中島 誠¹・奥田信康¹・小口深志¹・リスク評価適用性検討部会¹

¹（社）土壤環境センター

1. はじめに

土壤汚染による問題は、土壤汚染の存在そのものではなく、土壤中の汚染物質が様々な経路を通じて人の健康や環境に悪影響を及ぼすことである。したがって、土壤汚染対策の目的は、汚染土壌をなくすことではなく、汚染土壌の存在に起因したこれらの悪影響のおそれ、すなわち環境リスクを許容範囲内に抑制することである。

このような土壤汚染問題を環境リスクとして捉える考え方は欧米では早くから取り入れられており、土壤汚染による環境リスクを定量的に評価し、その低減を図るというリスクベースの取り組みが土壤汚染対策において一般的に行われ、そのためのリスク評価の方法としてCSOIL（オランダ）、RBCA（アメリカ）、CLEA（イギリス）等が開発されてきた。

（社）土壤環境センターでは、自主事業として平成14年度より「リスク評価適用性検討部会」を立ち上げ、欧米におけるリスク評価の実態や土壤汚染対策プロジェクトで果たしているリスク評価の役割を把握し、実際にどのような場面でリスク評価が適用できるのか、リスク評価の有効性や課題は何か等についてとりまとめ、わが国の今後の土壤汚染対策におけるリスク評価のあり方を考える上での基本的考え方を構築するための検討を進めてきており、諸外国の土壤汚染対策制度の中でのリスク評価の位置付けや利用実態、諸外国で利用されているリスク評価モデルの特性について整理してきた¹⁻⁵⁾。

本稿では、諸外国の土壤汚染対策におけるリスク評価の活用実態等を踏まえ、わが国の土壤汚染対策におけるリスク評価活用のイメージを検討するとともに、そのための課題を整理する。なお、本稿で展開する議論は（社）土壤環境センターとしての公式な見解ではなく、リスク評価適用性検討部会としての現段階での検討結果である。

2. リスク評価の有効性

2.1 ハザード管理とリスク管理

土壤汚染対策におけるリスク評価の有効性について議論するため、まず最初に、ハザード管理とリスク管理の概念を取り上げる。

ハザード管理はハザード評価結果として得られる化学物質の有害性（ハザード）に基づいて化学物質自体に対してとられる対策であり、リスク管理はリスク評価によって定量的に評価され

た化学物質による環境リスク（= 有害性 × 暴露量）の大きさを暴露量の調整によって管理する対策である。

図1にハザード管理とリスク管理の概念図を示す。ハザード管理では、(a)に示されるように、許容できない領域はハザードの大きさのみで決まる。これに対して、リスク管理では、(b)に示されるように、許容できない領域はハザードの大きさと発生確率の組み合わせにより決まってくる。

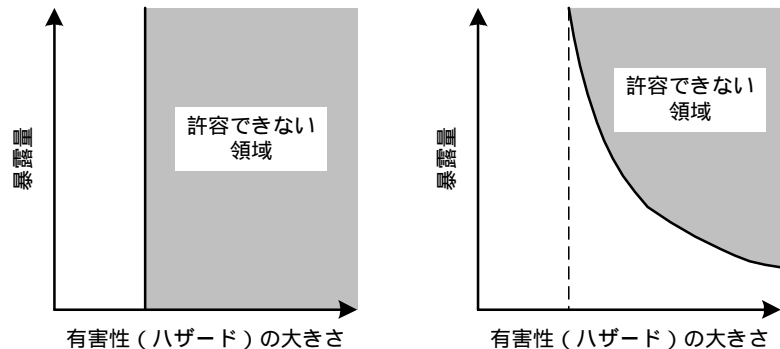


図1 ハザード管理とリスク管理

Examination of applicability of risk assessment for soil contamination (Part V)

- Application image and problems of risk assessment in Japan -

Makoto NAKASHIMA¹, Nobuyasu OKUDA¹, Fukashi Oguchi, Risk-WG¹

¹Geo-Environmental Protection Center (GEPC)

連絡先： 〒102-0085 東京都千代田区六番町2 国際航業(株) 地盤環境エンジニアリング事業部 中島 誠
TEL 03-3288-9473 FAX 03-3288-9380 E-mail makoto_nakashima@kkc.co.jp

このような考え方を土壤汚染対策に当てはめて考えると、ハザード管理では許容できないレベルのハザード、すなわち有害性をもつ化学物質はそれに暴露する可能性の有無に関係なく、地盤中に存在してはいけないうことになり、汚染土壌・地下水を完全に浄化するしか対策手段がなくなってしまう。一方、リスク管理では、許容できないレベルの有害性をもつ化学物質が地盤中に存在しているとしても、それに暴露する可能性がない、または暴露量が許容される範囲内にある場合には暴露管理、暴露経路遮断および暴露量低減といった対策手段の採用も可能になる（表1）。

表1 土壤汚染対策におけるハザード管理とリスク管理

リスク管理方法	ハザード管理	リスク管理	代表的な修復方法
汚染土壌・地下水浄化			原位置浄化 除去（抽出）
暴露管理	×		立入禁止措置 モニタリング
暴露経路遮断	×		盛土・覆土 遮水・遮断 不溶化 封じ込め
暴露量低減	×		原位置浄化 除去（抽出） MNA ENA 透過性地下水浄化壁

2.2 リスク定量化の有効性

リスク管理を有効に機能させるためには、そのベースとなるリスクの種類と大きさの定量的な評価、すなわち環境リスク評価が重要である。

土壤汚染対策プロジェクトにおける環境リスク定量化の主なメリットとして、以下のことが考えられる。

現況（修復対策未実施の状態）における環境リスクを定量化し、許容されるリスクレベルと比較することにより、修復対策の必要性や緊急度を客観的に評価することが可能

修復対策を検討すべき際に、環境リスクの観点から達成すべき状態（対策目標）を定量的かつ客観的に把握することが可能

修復対策の方法を検討する際に、候補となる修復方法を実施した場合に残存する環境リスクを定量的かつ客観的に把握することが可能であり、上記の対策目標を達成できる方法を抽出することが可能

修復対策を実施していく際の関係者間でのリスクコミュニケーションにおいて、関係者が共通のものさしによる定量的かつ客観的な評価結果に基づく議論を行うことが可能になり、上記～について相互理解を果たすことを容易にする

また、環境リスクの定量化を土壤汚染サイト毎に行うことの有効性として、次のことが挙げられる。

サイト毎の暴露経路の違いやその中での汚染物質濃度の減衰状況の違いを反映したかたちで、暴露地点における環境媒体（土壌、水、空気）中の汚染物質濃度を評価することが可能

土地利用条件によるリスク受容体の環境媒体摂取条件の違いを考慮したかたちで汚染物質の暴露量を評価することが可能

3. リスク評価の用途

リスク管理およびリスク定量化の有効性、および諸外国におけるリスク評価の位置付けや利用実態、リスク評価モデルの特性を踏まえ、わが国の土壤汚染対策においてどのような場面でそのようにリスク評価を活用するのが有効かについて検討を行った。

リスク評価の用途は、土壤汚染対策に直接関係する用途と、評価対象とする土地を資産として考えることによる土壤汚染と間接的に関係する用途が考えられる。

3.1 土壌・地下水汚染に直接関係する用途

表2に、土壤汚染対策に直接関係するリスク評価の用途の一例を示す。リスク評価の最も基本的な用途としては、諸外国でリスク評価の用途とされているような、リスク評価を用いた試算に基づく基準値等の設定、環境リスクの定量的評価によるサイト毎の汚染状況の評価や対策実施の必要性の判断、敷地外への影響の評価、修復対策実施完了の判断、修復対策の工法や規模の選定が考えられる。また、応用的な用途として、複数のサイトを抱えた事業者等がどのサイトから修復対策に取り組むか優先順位を付けるのに用いるケースや、複数の修復対策方法を組み合わせて合理的な修復対策を行うための環境リスクに基づいた修復対策方法切り替えの客観的な判断に用いるケース、汚染原因者や土地所有者等が行政や利害関係者（住

表2 土壌汚染対策に直接関係するリスク評価の用途例

分類	用途
基準値の設定	一律のスクリーニング値，発動基準，修復目標等の設定
	土地利用の条件を考慮した発動基準，修復目標の設定
サイトの調査・評価	サイトの汚染状況の評価（環境リスクの定量的評価）
	修復対策実施の判断
修復対策の選定・評価	修復対策実施の優先順位付け
	修復方法の選定，規模の決定
	敷地外への影響の定量的評価
修復対策実施に伴う判定	修復方法を切り替える際の判断根拠 （例）能動的浄化から受動的浄化へ 汚染源浄化から MNA（科学的自然減衰）へ
	修復対策完了の判断
修復工事の施工管理・安全管理	作業員の安全確保
	作業工程への反映
リスクコミュニケーション	行政・利害関係者への説明

民，土地所有者等）とリスクコミュニケーションを行う際の共通の情報（コミュニケーション材料）として定量的なリスク評価結果を使用するケース等が考えられる。

3.2 土壌・地下水汚染に間接的に関係する用途

土壌・地下水汚染と間接的に関係する用途には，汚染の場となる土地が土地所有者にとって資産価値を持っており，土壌・地下水汚染の存在がその資産価値を下げてしまうことに起因して生じてくる資産価値評価のためのリスク評価が考えられる。具体的には，

土壌・地下水汚染がない場合の土地の資産価値に対して，土壌・地下水汚染の存在やその可能性に対する減額幅をどれだけ見込めばよいのかを評価する際にリスク評価を活用しようとするもの

土壌・地下水汚染が存在する可能性とその場合の減額幅をリスク評価の活用によって定量的に評価し，その評価結果を不動産取引の意思決定や保険の掛金設定等に利用しようとするもの

等が考えられ，これらの用途では不動産鑑定士，金融機関，不動産ディベロッパー，保険会社等がリスク評価結果のユーザーになるものと思われる。

また，汚染原因者や土地所有者の立場で考えると，土壌・地下水汚染対策の実施により回復される土地の資産価値等を経営立場から利益として評価したいというニーズがあり，環境会計におけるみなし効果としてリスク回避効果を組み入れるためにリスク評価を活用するという用途等も考えられる。これらの場合のリスク評価のユーザーは事業者や公認会計士等になると思われる。

このように，リスク評価によって土壌・地下水汚染による環境リスクを定量化し，それを経済的価値に変換して利用したいと考えている，または実際に利用し始めているビジネス分野が存在しているが，このような分野が求めるリスク評価の内容は特定の目的に合ったかたちで簡略化されたものであることが予想される。

3.3 リスク評価の活用が望まれる分野

現状の不動産取引において，指定基準等を超える汚染土壌が存在する土地やその存在が疑われる土地のまま売買されているケースは少なく，売買対象となる土地に基準を超過する汚染土壌が存在すればその土地をすべて浄化（原位置浄化または掘削除去）した上で売買することを土地の購入者等が要求するケースが多い。この場合，環境リスクの許容範囲内にあり，リスク低減の必要性がない土地であったとしても汚染土壌が存在するというだけで完全浄化を行わなければならないことになり，土地所有者等に非常に大きな経済的負担を強いることになってしまい，土地の売却価格に対する対策費用の負担が大きいために土地の売却ができなくなる零細な工場やその跡地が増加し，いわゆるブラウンフィールド問題が顕在化することが懸念されている。

ブラウンフィールドとは，U.S.EPA の定義によると「汚染の存在または汚染の可能性により有効利用や開発が妨げられている土地」であり，工場跡地，遊休地，老朽化した工業用地等が再開発または有効に活用されないまま残されている状態のことをいい⁶⁾，国によるブラウンフィールドの定義に違いはあるが欧米で広く顕在化してきている。

欧米ではブラウンフィールド対策のための一方策としてリスク評価を活用したリスクベースの土壌汚染

対策が取り入れられており、わが国で顕在化しつつあるブラウンフィールド問題の解決においても、リスク評価を有効に活用し合理的な対応を図っていくことが望まれる。

4. わが国におけるリスク評価の活用方法のイメージ

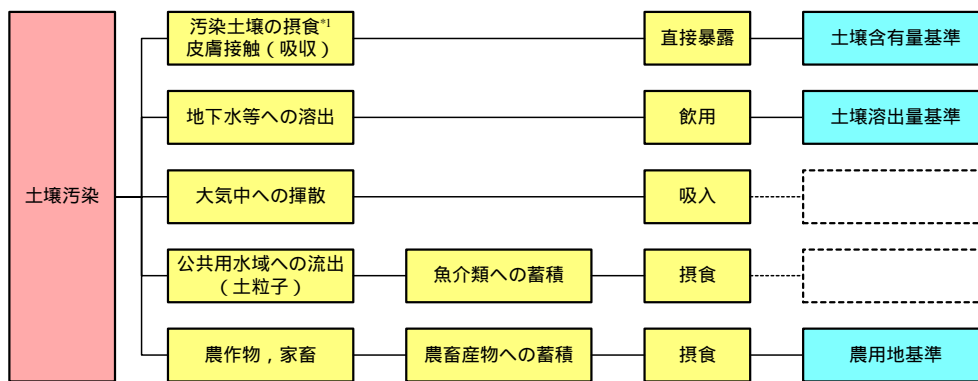
4.1 土壤汚染対策法におけるリスク評価の特徴

土壤汚染対策法の施行を契機に、リスクベースで土壤汚染対策を行うという概念が取り込まれるようになってきた。土壤汚染対策法は、「汚染土壤があれば必ず浄化しなければならない」というハザード管理の考え方ではなく、「汚染土壤を管理下に置いた上で、人の健康への悪影響のおそれを許容範囲にまで低減していく」というリスク管理の考え方に基づいており、具体的には、汚染土壤の直接摂取による人の健康リスクと土壤からの溶出に起因する汚染地下水の摂取による人の健康リスクを許容範囲まで低減することが目的とされている。

図2は土壤汚染に起因する有害物質の暴露経路と対応する基準の考え方を示すものであるが、この内の上2つの暴露経路に対して指定基準（土壤含有量基準，土壤溶出量基準）が定められている。土壤溶出量基準および土壤含有量基準は、汚染土壤の直接摂取および土壤からの溶出に起因する汚染地下水の摂取に対して人の健康等に関するリスクの管理が必要と考えられる濃度レベルで設定されており、土地の利用形態に関わらず一律の値とされている。これら以外の暴露経路、すなわち、汚染された土壤粒子を含む大気への吸入や土壤・水を介して汚染物質が蓄積した魚介類・家畜等の摂取については現状において十分な知見が得られていないとの理由で基準等が定められていない。なお、農畜産物経由の暴露に対しては、土壤環境基準において農用地基準が定められている。

土壤溶出量基準や土壤含有量基準を超過した汚染土壤に対するリスク管理では、汚染土壤を直接摂取する可能性または汚染土壤からの溶出に起因する汚染地下水を人が摂取する可能性がある場合に土地の利用状況等を踏まえた適切な措置を選択・実施し、環境リスクの低減を図ることとされている。また、人が汚染物質を摂取する可能性がない場合や環境リスク低減後においては、土地の改変等に伴う新たな環境リスクの発生を防止するためのリスク管理が行われる。

このように、現在の土壤汚染対策におけるリスク評価の考え方は、汚染土壤中の汚染物質がリスク受容体である人に摂取されるまでの暴露経路中における汚染物質濃度の減衰や、その土地の利用形態における人の汚染物質に対する暴露頻度の違い等、サイト特有の条件までを考慮したものではなく、汚染源の汚染土壤または汚染土壤からの溶出水と同じ濃度の状態で生涯にわたって人が汚染物質を摂取するという非常に保守的な（安全側の）考え方となっている。



*1：飛散による土粒子の摂取を含む

図2 土壤汚染対策に直接関係するリスク評価の用途例

4.2 わが国におけるリスク評価の活用方法案

わが国の土壤汚染サイトの状況を見てみると、工業団地内，住宅地付近，周辺に住宅がほとんどない等の周辺の土地の条件や地価等が様々である。このような多様な状況の土壤汚染サイトが存在する中で、わが国においてもサイト特有の条件も考慮したリスクベースの評価方法を取り入れ、柔軟な対応を図ることにより、土壤汚染対策がさらに進むものと期待される。

わが国の土壤汚染対策におけるリスク評価の活用方法として、現時点では以下の3つが考えられる。

現状（対策実施前の状態）の人の健康リスクを評価する
 人の健康リスクの値が許容範囲を超える場合は修復目標を決める
 修復方法の選択肢について、修復対策実施後に残存するリスクの評価を行い、修復目標が達成可能な修復方法を選定する。

これらの活用方法は、U.S.EPA が RAGS (Risk Assessment Guidance for Superfund) で定義しているリスク評価の活用方法であり⁷⁻⁹⁾、アメリカではスーパーファンドサイトにおける対策検討調査/フィージビリティスタディー (RI/FS) の中でリスク評価が活用されている¹⁾。わが国においても、この RAGS におけるリスク評価の活用方法はわが国の土壤汚染対策プロジェクトの遂行においても有効であると思われる。

4.3 修復対策方法毎のリスク低減効果

修復方法の選択では、修復方法ごとにどのようなリスク低減効果が得られるのかを把握し、有望な修復対策方法の選択肢を抽出することが重要である。そこで、主な修復方法を取り上げ、その方法で修復対策を実施した場合の修復対策完了後に残存するリスクの状況を整理した。

図3に主な修復方法における修復対策完了後の残存リスクの状況を概念図で示す。図中の×印は暴露経路を遮断していることを示し、枠を青色の太線としたところは浄化や不溶化等の措置の実施対象となる媒体を示している。

暴露管理においては、(b)に示すように、人が汚染物質を含む環境媒体（土壌、空気、水）を摂取する段階で暴露経路を遮断するため、その環境媒体に至る暴露経路の状況は(a)の対策実施前と同じである。暴露経路遮断では、(c)～(f)に示すように、暴露経路の遮断箇所以降の環境媒体中の汚染物質濃度が0となり、その環境媒体の摂取による人の健康リスクは0となる。暴露量低減では、(g)～(h)に示すように、措置実施対象媒体中の汚染物質濃度がその摂取による人の健康リスクが許容範囲内となるレベルまで低下し、それ以降の暴露経路中での環境媒体の摂取による人の健康リスクもそれ以下のレベルまで低減される。土壌汚染の除去では、(i)および(j)に示されるように、敷地内（汚染源）での環境媒体の摂取

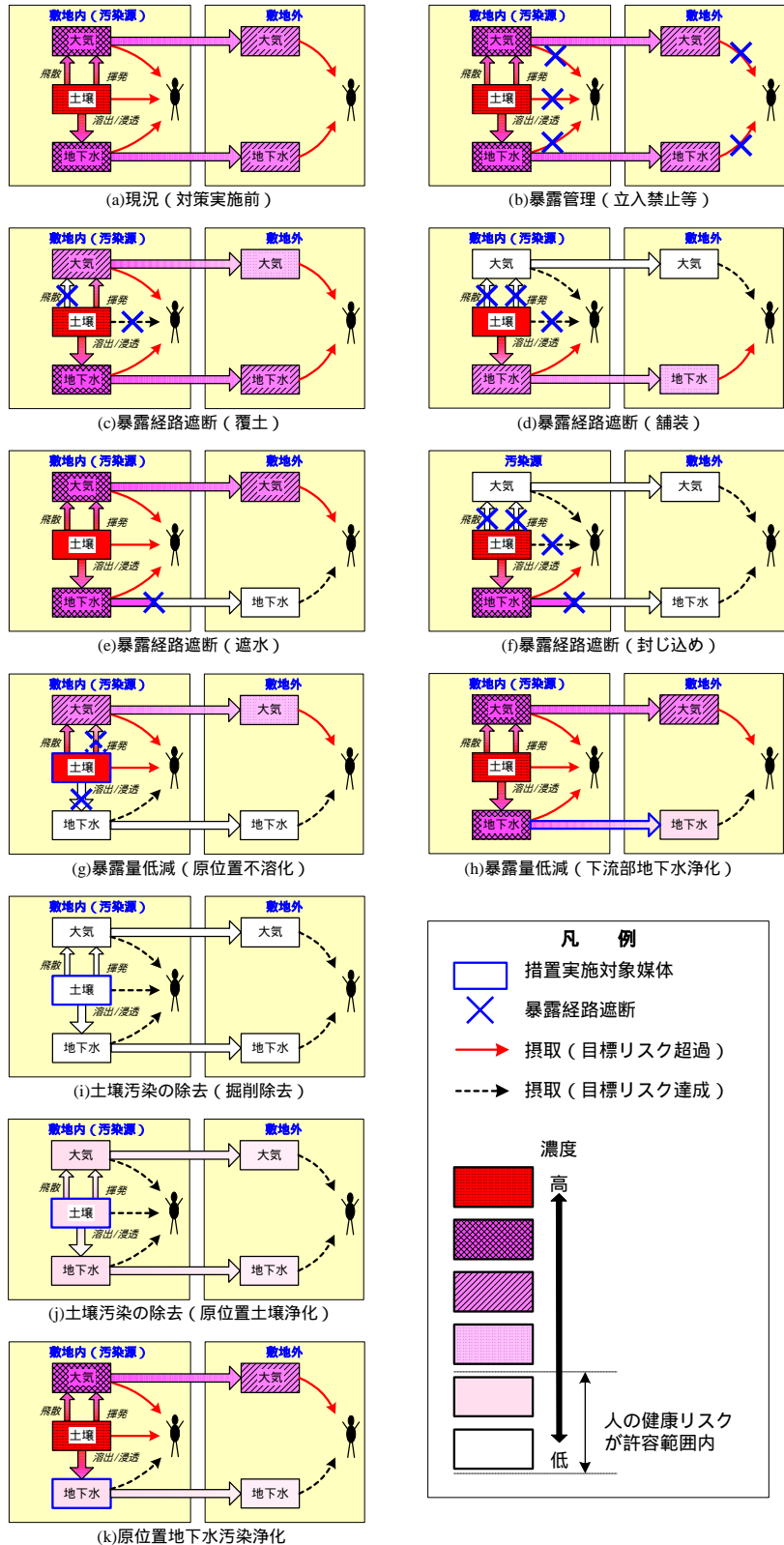


図3 主な修復方法における修復対策完了後の残存リスク概念

取による人の健康リスクが許容範囲内となり、それ以降、すなわち敷地外での環境媒体の摂取による人の健康リスクもそれ以下のレベルまで低減される。原位置地下水浄化では、(k)に示されるように、地下水の摂取による人の健康リスクが許容範囲内となる。

修復方法の選択肢の抽出においては、このような各修復方法の特徴を理解し、修復対策の対象となる土壌汚染サイトの状況に応じて、一つの方法または複数の方法の組合せからなる修復方法の選択肢を抽出することが重要である。

4.4 リスク評価活用における課題

リスク評価で使用するリスク評価モデルについて、多くの国で汚染物質の土壌中全含有量をもとに土壌汚染の評価が行われているため、現存するリスク評価モデルはいずれも土壌中の汚染物質全含有量(以下、「土壌全含有量」)をもとに解析をスタートするものである。しかしながら、わが国の土壌汚染調査で測定される項目は土壌溶出量および土壌含有量(平成15年環境省告示第19号による)であり、一般に土壌全含有量のデータは取得されない。そのため、リスク評価の活用を一般化させるためには、土壌溶出量または土壌含有量(平成15年環境省告示第19号による)の値から土壌中全含有量を推定する方法や、わが国の土壌汚染調査で通常測定される各環境媒体中の汚染物質濃度(土壌溶出量、土壌含有量、地下水濃度、土壌ガス濃度等)をもとにリスク解析を行うためのリスク評価モデルの開発に取り組むか、あるいは土壌汚染調査の中に土壌全含有量の測定を位置付けることが課題となってくる。

また、現状においては、既存のリスク評価モデルが利用されるケースが多いと思われるが、リスク評価モデルの違いによって解析結果に大きな違いが出るケースがあることが確認されていることから²⁾、各リスク評価モデルの特性を踏まえた適切なモデルの選択・使用が課題となる。今後は、わが国の実状に合ったリスク評価モデルの確立に向けた検討が必要になってくると考えられる。

5. おわりに

本稿では、土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性についてこれまで検討してきた成果^{1~5)}をもとに、わが国の土壌汚染対策におけるリスク評価の用途、活用のイメージ、活用における課題を検討・整理した。一例として示した3つのリスク評価の活用方法はわが国の土壌汚染対策においても有効であると思われるが、そのためには4.4で示したような課題を解決していくことが重要であり、行政、企業、住民等、利害関係者の土壌汚染によるリスクおよびその評価に対する理解を深めていくことも必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 福浦 清・和知 剛・白井昌洋・リスク評価適用性検討部会：土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性の検討(その1) - 諸外国におけるリスク評価の土壌汚染対策への適用について - .第12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, 231~235, 2006.
- 2) 畠 俊郎・奥田信康・川辺能成・小山 孝・リスク評価適用性検討部会：土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性の検討(その2) - リスク評価モデルの特性比較 - .第12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, 341~344, 2006.
- 3) 白井昌洋・キショール パラズリ・菱川絢子・リスク評価適用性検討部会：土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性の検討(その3) - 米国におけるリスク評価の活用事例 - .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,(印刷中), 2007.
- 4) 藤長愛一郎・川辺能成・福浦 清・リスク評価適用性検討部会：土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性の検討(その4) - 日欧米のリスク評価モデルにおける暴露評価方法の比較 - .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,(印刷中), 2007.
- 5) 中島 誠：土壌汚染対策におけるリスク評価の適用に関する検討．環境技術, 36(3), 174~179, 2007.
- 6) 汚染不動産リスク研究会編：汚染不動産の基礎知識．東洋経済新報社, 18~21, 2003.
- 7) U.S.EPA：Risk assessment guidance for superfund volume I- Human health evaluation manual (Part A) interim final . EPA/540/1-89/002, 1989.
- 8) U.S.EPA：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, 1991.
- 9) U.S.EPA：Risk assessment guidance for superfund volume I- Human health evaluation manual (Part C, risk evaluation of remedial alternatives) . Publication 9285.7-01C .