

## 特集

## 土壌汚染とリスク評価

土壌汚染対策におけるリスク評価の  
適用に関する検討

中島 誠\*

キーワード：土壌汚染対策，リスク評価，ベースラインリスク，修復目標，修復方法選定

## 1. はじめに

土壌汚染による問題は土壌中の汚染物質の存在そのものではなく、土壌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、土壌汚染対策の本来の目的は、汚染土壌をなくすことではなく、汚染土壌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えることにある。

土壌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、土壌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行われるとともに、そのためのリスク評価の方法も開発されている。わが国でも、2003年2月の土壌汚染対策法の施行により、環境リスクの低減を主眼としたリスクベースの考え方が土壌汚染対策に取り入れられるようになった。しかしながら、土壌汚染対策法で取り入れられた考え方は、一律の基準値である指定基準（土壌溶出量基準，土壌含有量基準）をもって汚染土壌を定義し、汚染土壌そのものまたは汚染土壌からの溶出分をその濃度のまま生涯にわたって人が摂取するという考え方に基づくものであり、汚染物質が汚染土壌からリスク受容体（人）まで移動する間の汚染物質の濃度の減衰や土地の利用形態の違いによる暴露期間および暴露頻度の違い等、サイト特有の条件までは考慮されていない。また、都道府県等が把握している2004年度（平成16年度）の土壌汚染事例362件の内、296件（82%）で汚染土壌の掘削除去が行われており<sup>1)</sup>、ハザード管理的な土壌汚染の完全浄化が

行われている割合が非常に多いのが現状である。そのため、汚染物質が汚染土壌からリスク受容体（人）まで移動する間の汚染物質の減衰や土地の利用形態の違いによる暴露期間および暴露頻度の違い等、サイト特有の条件を考慮したリスク評価の結果に基づく合理的な土壌汚染対策の仕組みを求める声も増えてきている。

このような背景の下、(社)土壌環境センターでは、「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壌汚染対策プロジェクトで果たしている役割を参考に、わが国の今後の土壌汚染対策におけるリスク評価の適用性および有効活用する場合の基本的な考え方を2004年度より検討している。

本稿では、2004年度の検討成果を中心に、当部会の検討状況を紹介する。

## 2. 土壌汚染対策におけるリスク評価の有効性

## 2.1 リスク管理の有効性

土壌・地下水汚染の場合は、すでに地盤中に化学物質が漏洩してしまった後の問題であることから、すでに負荷として環境に与えられた環境物質が人の健康や生活環境に悪影響を及ぼすおそれが環境リスクの対象である。

土壌汚染対策における環境リスクへの対応方法として、ハザード管理とリスク管理が考えられる。ハザード管理は化学物質のもつ有害性（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、リスク管理は化学物質による環境リスクの大きさを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

A study about application of risk assessment on soil contamination countermeasures

\* (社)土壌環境センター Makoto NAKASHIMA

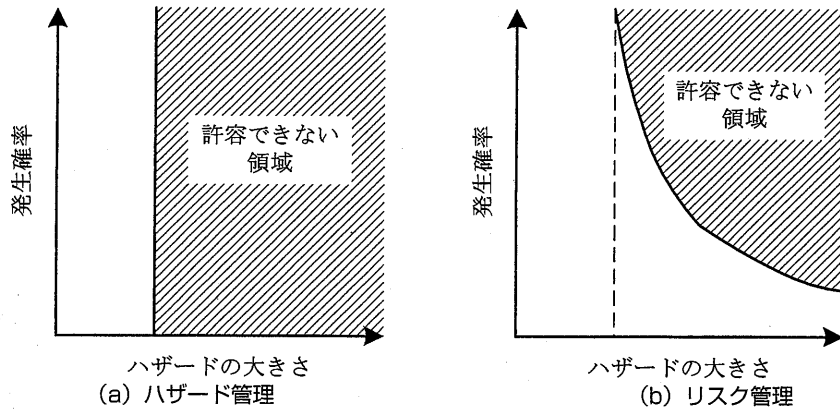


図-1 ハザード管理とリスク管理

示す。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物質はそれに暴露する可能性の有無にかかわらず地盤中に存在してはならないことになり、汚染土壌・地下水を完全浄化するしか対策手段がなくなってしまう。これに対して、リスク管理では、許容できないレベルの有害性をもつ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リスクが問題となることはなく、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)。

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

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	リスク管理	ハザード管理	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

定量化の主なメリットとして、以下のことが考えられる。

- (1)現況(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把握することが可能。
- (2)修復対策を検討する際に、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。
- (3)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(2)の対策目標を達成できる方法を抽出することが可能。
- (4)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。

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。

- (5)サイト毎の暴露経路の違いやその中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中の汚染物質濃度を評価することが可能。
- (6)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. 欧米等におけるリスク評価の位置付け

各国の土壤汚染対策に関する法的枠組みと其中でのリスク評価の位置付けを、アメリカ、オラ

ンダ、イギリス、カナダ、ドイツ、オーストラリアの6ヶ国および日本を対象に主として各国政府のホームページ上の情報を収集・整理することにより把握した。州毎にリスク評価の位置付けが異なる可能性のあるアメリカについては、代表的な州としてカリフォルニア州、イリノイ州も調査対象とした。

調査対象とした9つの国・州は、いずれも調査や対策における発動基準や浄化目標を土地利用や水文地質条件毎に一律の値で設定しており、その一律値の設定にリスク評価を利用している。

日本ではリスク評価で求められた値を唯一の基準値として発動基準と浄化目標の両方に使用しているが、オランダでは土壌の性質毎にリスク評価で求められた値が発動基準としてのみ利用され、イギリス、カナダおよびドイツの3ヶ国では土地利用毎にリスク評価で求めた値が条件付の発動基準として、アメリカ（カリフォルニア州、イリノイ州を含む）およびオーストラリアでは土地利用毎にリスク評価で求めた値がスクリーニング値としてそれぞれ利用されている<sup>2)</sup>。

#### 4. アメリカにおけるリスク評価の利用実態

アメリカでは、スーパーファンドのためのリスク評価ガイダンス（RAGS：Risk Assessment Guidance for Superfund）<sup>3-5)</sup>がU.S.EPAより公表されており、スーパーファンドサイトにおける土壌汚染調査・リスク評価・対策の概要をまとめた意思決定記録（ROD：Record of Decision）が個

別サイト毎に整理され、U.S.EPAのホームページ上で公表されている。

RAGSでは、対策検討調査／フィージビリティ（RI/FS）の中で、人の健康保護の観点から次の3つを対象にリスク評価を行うことになっている（図-2）。

- (1)ベースラインリスク（修復対策実施前の状態におけるリスク）の評価<sup>3)</sup>
- (2)PRGs（予察的修復目標）の設定<sup>4)</sup>
- (3)修復方法の選択肢に対するリスク評価<sup>5)</sup>

修復方法の選択のためのクライテリアは表2に示すとおりであり、調査対象とした9件のRODにおいても複数の選択肢から修復方法を選択する際の閾値クライテリアの一つとして、人の健康および環境すべての保護の観点でのリスク評価が利用されていた。

修復方法の評価・選択事例として、アイダホ州の油汚染事例（U.S.EPA ID: ID4890008952）のRODに記されていた内容を紹介する。

この事例は、燃料保管タンクおよび配管から漏洩した軽油、灯油、全石油系炭化水素（TPH）による土壌汚染の事例であり、汚染土壌の直接摂取によるリスクに対して閾値クライテリアを満たす4つの修復方法が抽出され、表3に示すかたちで調整クライテリアを使った評価が行われた。RODに記述されている評価を分かりやすく3段階で示すと表4に示すようになる。この事例では、ランドファーマーミングとバイオベンティングが長期的な効果、毒性の移動性と汚染物質の量の低減に

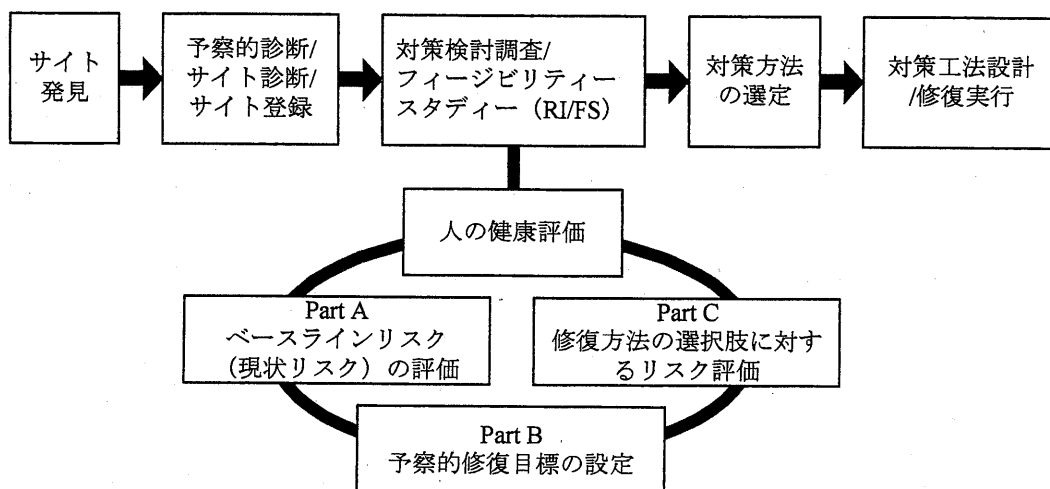


図-2 スーパーファンド法の修復プロセスと人の健康評価の実施時期の関係

表2 スーパーファンド法における修復方法選択のためのクライテリア

分類	クライテリア
閾値クライテリア Threshold Criteria	人の健康および環境すべての保護
	関連する連邦あるいは州の法規や規則 (ARARs) の遵守
調整クライテリア Balancing Criteria	長期的な効果と性能
	浄化措置による汚染物質の毒性, 移動性, あるいは体積の低減
	短期的な効果
	実現可能性
修正クライテリア Modifying Criteria	州, サポートする省の承認
	地域社会での承認

表3 アイダホ州の油汚染事例における修復方法の評価事例

方法	立ち入り規制	封じこめ (覆土)	ランドファーミング	バイオベンディング
修復対策の対処	長期間	短期間	短期間	中期間
汚染物質の残存	その場に残存	その場に残存 拡散防止	なし	なし
長期的効果	低い (汚染物質残存)	あり (中・長期)	高い	高い
短期的効果	高い	低下 (工事中)	低下 (工事中)	—
コスト	\$1.4 百万	\$1.6 百万	\$0.6 百万	\$1.9 百万
毒性・移動性・量	低減なし	低減なし	中程度	低減
実現可能性	高い	低い	中対策	高い
その他			対策後, サンプリングにより検証, 等	対策後, サンプリングにより検証, 作業員や環境に対するリスクは中程度

表4 アイダホ州の油汚染事例における修復方法の評価・選択事例

工法	立ち入り規制	封じこめ (覆土)	ランドファーミング	バイオベンディング
閾値クライテリア	○	○	○	○
調整クライテリア	①長期的効果	×	△	○
	②毒性等の低減	×	×	○
	③短期的効果	○	△	△
	④実現可能性	○	×	△
	⑤コスト	△	△	○
修正クライテリア	-	-	-	-

優れていると評価され, コスト面の比較および調整クライテリアの判断によりランドファーミングが選択されている。

### 5. リスク評価モデルの特性

リスク評価で用いるモデルについて, 日本および欧米で開発されたものの中で, パソコン上で計算が可能であり, かつ誰でも利用することが可能なモデルに日本の GERAS-1, Risk Learning およびアメリカの RBCA Tool Kit, オランダの RISC-HUMAN 3.1, イギリスの CLEA2002等がある。RBCA Tool Kit は ASTM E2081-00をベースに, RISC HUMAN 3.1は CSOIL, VOLA-SOIL および SEDI-SOIL をベースにそれぞれ開発されており, より詳細なリスク評価を行うための変更が加えられている。表5はこれらのリスク評価モデルの特徴を整理したものである。表中の包括モデルは汚染源における修復目標および目標リスク設定を対象としたモデルであり, サイトモデルは暴露対象者までの汚染物質の横方向の輸送における自然減衰等も考慮したモデルである。

表5 リスク評価モデルの特徴

モデル名称	開発国	モデル種類	汚染媒体	暴露対象の評価
GERAS-1	日本	包括モデル	土壌・地下水	オンサイト
RBCA Tool Kit	アメリカ	サイトモデル	土壌・地下水	オンサイト, オフサイト
RISC-HUMAN 3.1	オランダ	包括モデル	土壌・地下水	オンサイト
CLEA 2002	イギリス	包括モデル	土壌	オンサイト
Risk Learning	日本	包括モデル	土壌・地下水	オンサイト

これらのリスク評価モデルを用いて、指定区域台帳や文献でデータが公表されていた事例や部会員の所属元企業がデータを保有している事例、計7事例（揮発性有機化合物2件、重金属等4件、油1件）についてリスク評価を実施した。その結果、リスク評価モデルの違いにより、屋外大気吸入によるハザード比の差が最大で約1000倍、土壌摂取によるハザード比の差が最大で約100倍異なるという事例があった。このケーススタディーの詳細については、畠ほか<sup>6)</sup>で報告している。このようなケーススタディーの結果から、既存のリスク評価を用いてリスク評価を行う場合には、各リスク評価モデルの特性を踏まえて適切なものを選択・使用する必要があることが把握された。

## 6. リスク評価の用途

ここまで述べてきた欧米等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、わが国の土壌・地下水汚染対策においてどのような場面でど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。

表6に土壌・地下水汚染対策において考えられるリスク評価の用途の一例を示す。これらの用途と2.2で前述した定量的なリスク評価の有効性を考え合わせると、RAGSの手法をベースに、以下のような手順でわが国の土壌汚染対策にリスク評価を活用していく方法が有効であるという結論に至った。

- (1)現状（修復対策実施前の状態）の人の健康リスクを評価する。
- (2)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。
- (3)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方法を選定する。

## 7. おわりに

本稿では、土壌・地下水汚染における定量的なリスク評価の必要性および有効性を整理し、リスク評価の用途や活用方法について部会活動で検討

表6 考えられるリスク評価の用途

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
リスクコミュニケーション	作業員の安全確保
	作業工程への反映
	行政・利害関係者への説明

してきた成果をとりまとめた。

現在は、わが国の土壌汚染対策におけるリスク評価の用途・活用方法の提案の作成と、リスク評価を有効活用する場合の基本的概念や留意点のとりまとめを進めているところである。

参考文献

1) 環境省水・大気環境局：平成16年度土壌汚染対策法の施行状況および土壌汚染調査・対策事例等に関する調査結果, 69p. (2006)  
 2) 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, p.231-235 (2006)

3) U.S.EPA : Risk assessment guidance for Superfund volume I: Human health evaluation manual (Part A) interim final, EPA/540/1-89/002 (1989)  
 4) 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)  
 5) 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 (1991)  
 6) 島 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, p.341-344 (2006)

● WORK・ねっとわーく ●

**松本 光弘**

奈良県保健環境研究センター

ICP-MS による環境測定について

私は、現在、奈良県保健環境研究センターで、水環境担当の部署で試験・調査・研究の仕事をしております。当センターは奈良県の保健環境についての中核研究機関であり、水環境担当では、取り扱う水試料は河川水、湖沼水、工場排水、産業廃棄物、温泉水、飲料水等と非常に多岐にわたっており、これらを色々な機器（イオンクロマトグラフ、原子吸光測定装置、GC-MS等）を用いて測定を行っています。

昨年10月に当センターに長年の要望であったICP-MS（誘導結合プラズマ質量分析装置）が入り、現在、環境中の元素分析に大活躍であります。この装置の特徴は、ほとんど全ての元素を高感度（ppbからpptレベル）に測定できることに加えて、1試料当たり数分程度で、未知の試料中に存在するLi(リチウム)からU(ウラン)までの多元素の濃度についての情報を得るための半定量ソフトが組み込まれています。これは未知試料中の多元素の濃

会員通信

度情報を得るのに大変有効な方法と考えられます。このような方法は、蛍光X線分析装置のファンダメンタルパラメータ法とよく似ていますが、蛍光X線分析装置では理論的に蛍光X線強度やマ



トリックス補正等を計算するために、かなり正確な測定値を得ることができます。一方、ICP-MSの場合は経験的な補正式で補正し、またマトリックス補正もされていないため、その精度については検討していかなければならないと思います。

現在、ICP-MSについて色々な検討を行っていますが、ICP-MSについて率直に意見交換ができる場が少ないように思われます。もちろん学会等での発表の場はありますが、日頃の疑問等について何か掲示板ができればと考えております。この「WORK・ねっとわーく」をご覧になった方でICP-MSの研究会がありますとか、一緒に意見交換の場を作りましょうかと考えておられる方はご連絡ください。

E-mail : m.matsumoto@ihe.pref.nara.jp  
 〒630-8131 奈良市大森町57-6  
 奈良県保健環境研究センター