

# 重金属汚染サイトへの健康リスク評価モデルの適応とその評価

- The human health risk assessment model's adjustment to contaminated site by heavy metal -

保高 徹生<sup>1,2</sup>・松田 裕之<sup>3</sup>・中島 誠<sup>2</sup>・武 曉峰<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>横国大院環境情報学府・<sup>2</sup>国際航業(株)・<sup>3</sup>横国大院環境情報研究科・<sup>4</sup>清華大学水利水電工程系

Tetsuo Yasutaka<sup>1,2</sup>, Hiroyuki Matsuda<sup>3</sup>, Makoto Nakashima<sup>2</sup>, Xiaofeng Wu<sup>2,3</sup>

(<sup>1</sup>Yokohama Univ, <sup>2</sup>Kokusai Kogyo, <sup>3</sup>Yokohama Univ, <sup>4</sup>Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University)

## 1. はじめに

近年、工場跡地の再開発や売却の際、あるいは環境管理の一環として土壤汚染調査を実施する事業者が増加しており、土壤汚染の判明件数が著しく増加している。土壤汚染対策法における土壤汚染対策は、完全浄化(全て環境基準に適合させること)もしくは暴露経路の遮断を提示しており、暴露経路が遮断された状態の土壤汚染地は管理を行っていくこととされている。しかしながら土壤汚染調査対策の実態は、その大部分を占める土地売買時には、買主側から完全浄化を求められる場合が多い。この完全浄化を実施するためには多大な費用がかかり、土地の遊休化や企業活動に深刻な影響を与えかねない。

著者らは、完全浄化や暴露経路の遮断という対策に加え、暴露および土地利用形態を考慮した人の健康リスクの有無により対策の必要性について議論することで、これらの問題について解決策を検討している。本研究では、U.S.EPAの土壤中の重金属の暴露の考え方をベースに、一般環境からの暴露量および毒性に基づいた暴露評価期間という概念を加え、重金属に汚染された土壤を経由した人の健康リスク評価モデルを提案し、実際の鉛汚染サイトに適応した。その結果、土地利用形態により、浄化目標値および対策必要区画が異なることが確認されたので報告する。

2. リスク評価の手法 土壤中の重金属に起因する人の健康リスク評価は、 サイトアセスメントに

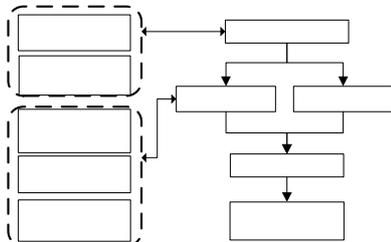


図1 人の健康リスク評価の概念図

表1 土地利用および暴露評価期間に応じた暴露パラメーター

			生涯			幼児期	
			商用地	公園	住宅地	公園	住宅地
摂取頻度	(day/year)	$Ef_A$	250(週5回)	50(週1回)	365	-	-
		$Ef_C$	0	250(週5回)	365	250(週5回)	365
摂取期間	(year)	$Ed_A$	35(勤続)	74	74	-	-
		$Ed_C$	0	6 <sup>2)</sup>	6 <sup>2)</sup>	6 <sup>2)</sup>	6 <sup>2)</sup>
影響期間	(year)	$At$	80 <sup>4)</sup>	80 <sup>4)</sup>	80 <sup>4)</sup>	6	6

表2 一般環境からの鉛の暴露量

摂取経路	鉛摂取量 ( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )
食物による摂取	0.88
水による摂取	0.0004
大気からの摂取	0.011
一般環境からの鉛の合計暴露量	0.89

よる重金属の濃度および範囲の把握、暴露評価による、対象地からの人への重金属の暴露量の算定、重金属の毒性の評価、人の健康リスクの大小の評価という手順をとる。本研究における人の健康リスク評価の概念図を図1に示す。

## 2.1. 土壤・地下水からの暴露評価

1) 暴露経路 土壤中の重金属の人への暴露経路を図2に示す。我が国では通常、土壤中の重金属の含有量(土壤経由の暴露)および溶出量(地下水経由の暴露)を測定する。本研究では含有量を用いて、土壤経由の暴露評価を実施する。なお、本研究では地下水飲用はないと仮定し、地下水による暴露経路は考慮しないため溶出量は使用せず、水の飲用等による鉛の暴露は一般環境からの暴露として2.2.節で評価した。

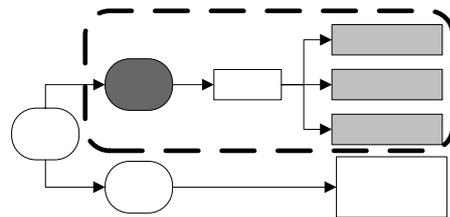


図2 土壤中の重金属の人への暴露経路

2) 暴露量評価 暴露量算定式は年齢考慮型式(U.S.EPA,2004)を一部変更した式(保高,2005)を使用した。暴露量評価は、対象地の土地利用形態(住宅地、公園、商用地)に応じて実施し、暴露評価期間は、鉛が幼児期に影響を与えることを考慮し、生涯と幼児期についてそれぞれ算定した。

暴露量評価は、対象地の土地利用形態(住宅地、公園、商用地)に応じて実施した。また、暴露評価期間は、鉛が幼児期に影響を与えることを考慮して、生涯と幼児期についてそれぞれ算定した。

土地利用および暴露評価期間に応じて設定したパラメーターを表2に示す。また必要な共通暴露パラメーターは(保高,2005)と同様とした。

2.2. 一般環境からの暴露評価 日常生活での一般環境からの鉛の暴露経路は、食物からの摂取、飲料水からの摂取、大気からの摂取の3つが考えられる。日本人の鉛の暴露量は、0.89  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ (土壤環境センター,2000)と推定した。日本人の一般環境からの鉛の暴露経路を表2に示す。

2.3. 毒性評価 鉛が人の健康に及ぼす影響は、例えば低濃度の慢性毒性では腎臓障害が知られており、最近慢性毒性によるIQの低下との関連性も報告されている。TDIについては、USEPAは閾値が明確でないこと等を理由にRfD(TDI同義)を設定していない。また、WHO(2002)は鉛の影響を受けやすい幼児や子供を対象に、血中鉛濃度を上昇させないPTWI(週間耐用量)25  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{week}$ (TDI換算:3.5  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )を設定している。本研究では健康リスク評価のエンドポイントを、鉛血中濃度を上昇させないこととし、WHO(2002)のTDI(3.5  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ )を使用した。

2.4. 健康リスク評価 鉛の毒性は非発がん性のため、健康リスク評価は閾値ありのモデルを用い、ハザード比が1未満ならリスクなし、1以上ならリスクありと定義した。またハザード比が1となる場合の土壤含有量を浄化目標値(リスクがない最大土壤含有量)とした。

3. 汚染サイトへの適応 上述のリスク評価モデルを用いて、実際に鉛による土壤汚染が発生しているサイトAにおいて、人の健康リスク評価を実施した。

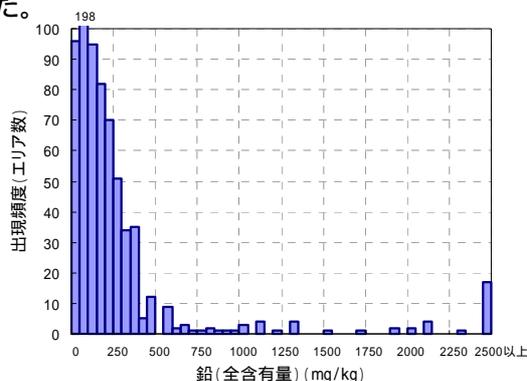


図3 鉛(全含有量)のヒストグラム

3.1. サイトデータ サイトAの739単位区画(10m×10mの調査実施最小区画)に分類される。各単位区画の鉛(含有量)の分析結果のヒストグラムを図3に示す。

3.2. リスク評価結果 サイトAの土地利用形態の違いによる浄化目標値を図4に、リスクありと判定された区画数を表3に示す。また、幼児期に影響を強く与える物質の場合は、幼児期のみの暴露評価を実施することが望ましいと考えられ、本研究の結果では生涯の暴露評価結果と比較して、浄化目標値は1/4~1/10となった(図4)。

4. 考察 本研究では、WHOのPTWIから求めたTDIを用いて、鉛に汚染された土壤の直接摂取による人の健康リスクについて、一般環境からの暴露を考慮したモデルを提案し、土地利用形態および暴露評価期間を考慮して評価した。浄化目標値(図4)は、土壤含有量基準(150mg/kg)と比較していずれの場合も高くなり、最も低い目標値が算出された幼児期-住宅地の評価で188mg/kg、最も高い目標値は生涯-商用地の評価で5008mg/kgとなった。また、Aサイトで対策が必要な区画数(表3)は土壤含有量基準で判断した対策が必要な区画数と比較して前者で76%、後者で1.2%となった。この結果は、人の健康リスクの観点からみると、土地利用の形態により浄化範囲および浄化目標濃度を軽減すること、つまり浄化費用を軽減することが可能となることを示唆している。

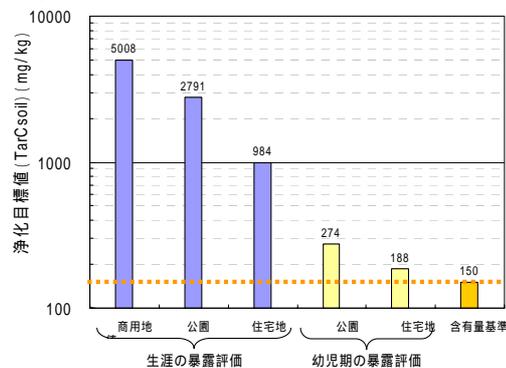


図4 土地利用の違いによる浄化目標値

表3 サイトAのリスクありと判断された区画数

	土壤含有量基準	生涯の暴露評価			幼児期の暴露評価	
		商用地	公園	住宅地	公園	住宅地
リスクありと判断された(対策が必要な)区画数 (リスクありと判断された区画数/ 土壤含有量基準を超過した区画数)	244区画	3区画 (1.2%)	10区画 (4.1%)	28区画 (12%)	78区画 (32%)	185区画 (76%)

参考文献

1)保高徹生,松田裕之,中島誠,武 暁峰,重金属汚染サイトへの健康リスク評価モデルの適応に関する検討,第11回地下水・土壤汚染とその防止対策に関する研究集会 講演要旨集,2005  
2) U.S. Environmental Protection Agency, User's Guide/Technical Background Document for Region 9 PRG Table, pp22-23, 2004  
3)土壤環境センター,含有量参考値再評価業務, pp.21~26, 2000  
4)藤長愛一郎,松久裕之,笹本讓,吉田幸司,リスクアセスメントに基づいた土壤・地下水複合汚染現場ごとの浄化目標値に関する検討,土木学会論文集, No.277, pp.39-43, 2003

5) U.S. Environmental Protection Agency, Exposure Factor Handbook, Table5-23, EPA/600/P-95/002Fa,1997  
6) Oregon DEQ, Guidance For Conduct of Deterministic Human Health Risk Assessments, Appendix A, pp.A-15-16,2000  
7) U.S. Environmental Protection Agency, Soil Screening Guidance: User's Guide, Publication 9355.4-23, pp.21-24,1996  
8) Joint FAO/WHO Expert Committee, Summary of Evaluations Performed by the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, 2002.  
9)World Health Organization, Safety evaluation of certain food additives and contaminants (WHO Food Additives Series, 44), 2000,

キーワード: 健康リスク評価、土壤汚染、鉛、土地利用形態、土地の遊休化