

# (S1-11) サイト環境リスク評価モデルSERAMによる土壤汚染サイトの健康リスク評価のケーススタディ

○田中宏幸・奥田信康・佐々木哲男・原元利浩・中島誠・リスク評価方法検証部会  
 土壤環境センター

## 1. はじめに

日本における土壤汚染の対応は、土壤汚染対策法で規定されている特定有害物質の基準適合を目標とすることが多い。一方、米国、英国、オランダ等に代表される欧米では、健康リスク評価を実施しサイト毎に浄化目標値を設定したり、土地利用別に管理値を導入するなど弾力的な対応がなされている。今後、日本におけるブラウンフィールド問題の解決や、自主対策計画における目標設定の根拠として、わが国固有のリスク評価手法の整備が有効である。

現在、日本では土壤汚染を取り扱うことのできる健康リスク評価モデルとして GERAS と KT-RISK の 2 つが公開されている。リスク評価方法検証部会の前身であるリスク評価活用方法検討部会(平成 19～21 年度)では、国内外のモデルの評価方法を調査し、わが国におけるリスク評価に基づいた土壤汚染対策の在り方について検討した<sup>1),2),3),4)</sup>。これまでに、主要な曝露経路の計算式を策定し、スクリーニングモデルとして SERAM (Site Environmental Risk Assessment Model : サイト環境リスク評価モデル) を提案した。さらに本部会では、SERAM を実用レベルに高める第一歩として、作成した計算モデルを用い想定した汚染サイトを対象としたケーススタディを実施し、計算モデルの整合性の確認と計算結果の妥当性の検証を行なった。本稿では、これらの検討結果について報告する。

## 2. 実施方法

### 2.1 対象サイト

ケーススタディを行なった対象サイトの設定条件を説明する。土地利用は半導体工場で、鉛とテトラクロロエチレン (PCE) の複数の汚染物質が存在する (図-1、2、表-1)。鉛と PCE の汚染範囲は異なり、鉛が 10,000 mg/kg、PCE が 100 mg/kg を最高濃度とし分布している。地表面は、工場・倉庫部は舗装されており、それ以外は裸地となっている。また、これらの汚染物質は地下水の流れによって将来的に敷地外に移流・拡散する可能性があり、下流側に

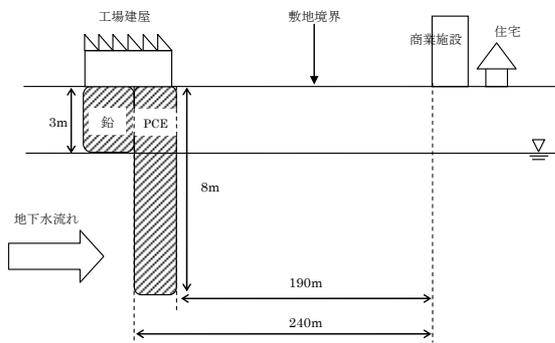


図-1 対象サイトの断面図

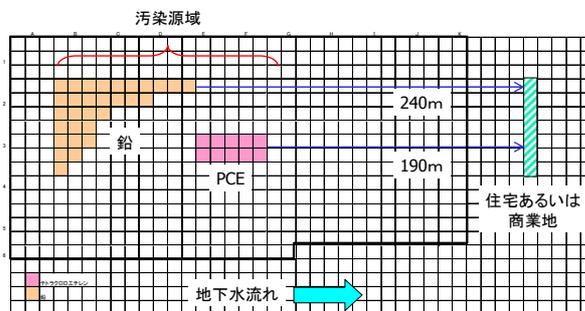


図-2 対象サイトの平面図

表-1 対象サイトの概要

項目	内容	
対象地土地利用	現在	半導体工場
	過去	(同上)
	未来	(同上)
対象地	面積	50,000㎡
	地表面の状況	舗装(工場・倉庫部) 裸地(グラウンド・緑地部)
汚染物質・濃度	汚染物質	鉛、PCE
	汚染濃度(全含有量)	鉛: 10,000mg/kg PCE: 100mg/kg ・PCEは飽和溶解度を考慮。 ・DNAPLは計算できないため想定外。
汚染面積・分布	汚染面積	鉛: 3,000㎡ PCE: 1,000㎡
	平面方向分布	敷地中央の1ヶ所
	鉛直方向分布	鉛: GL-0~3m PCE: GL-0~8m
土質、地質、地形等	鉛直方向の土質分布	GL-0~3m 不飽和帯(埋土) GL-3~8m 砂質土 GL-8m~ シルト
	地下水位	GL-3m
	透水係数	10 <sup>-2</sup> cm/sec
対象地の隣接	使用状態	工場
	用途地域	工業専用地域
飲用井戸の有無	常用井戸	なし
	災害時井戸	有り
リスク計算	計算パターン	①汚染源直上(オンサイト) ②敷地外(オフサイト・住宅) ③敷地外(オフサイト・商業地)

A Case Study of Human Health Risk Assessment for Soil Contamination by Site Environmental Risk Assessment Model "SERAM"  
 Hiroyuki Tanaka, Nobuyasu Okuda, Tetsuo Sasaki, Toshihiro Haramoto, Makoto Nakashima and Study Group of Using Risk Assessment (GEPC)

連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町4丁目2番地 (社) 土壤環境センター  
 TEL: 03-5215-5955 (代表) FAX: 03-5215-5954 E-mail: info@gepc.or.jp

表-2 受容体の土地利用と位置

受容体の場所	受容体の場所の土地利用	汚染物質	汚染源から受容体までの最短距離
汚染源直上	工業地	鉛	0m
		PCE	
敷地境界から50m	住宅	鉛	240m
		PCE	190m
	商業地	鉛	240m
		PCE	190m

表-3 曝露シナリオと考慮した経路

受容体	オンサイト		オフサイト			
	鉛	PCE	住宅		商業地	
化学物質	鉛	PCE	鉛	PCE	鉛	PCE
土壌直接摂取	○	○				
土壌皮膚接触(GSOIL型)		○				
井戸水の飲用(オンサイト)						
井戸水の飲用(オフサイト)			○	○		
屋外ガスの吸入(表層土壌-RBCA型)						
屋外ガスの吸入(表層土壌-CSOIL型)		○				
屋外ガスの吸入(地下土壌)						
屋外ガスの吸入(地下水)						
屋外ガスの吸入(地下水あるいは大気横移動) オフサイト				○		○
屋外土粒子の吸入	○	○				
室内ガスの吸入(床下空間あり)						
室内ガスの吸入(床下空間あり) オフサイト				○		
室内ガスの吸入(床下空間なし)		○				
室内ガスの吸入(床下空間なし) オフサイト						○
シャワーに伴う蒸気の吸入				○		
シャワーに伴う皮膚接触				○		

存在する住宅や商業地の利用者への影響が懸念されている。

2.2 曝露シナリオ

前節で示したサイトの状況から、代表的なケースとして、土地利用別の受容体（レセプター）の位置を表-2のような3種類を設定した。また、このとき、それぞれのシナリオで考慮する経路を表-3に示す。特に、オンサイトについては、主に建屋内での滞在とするが、一時的に建屋の外側に出る活動条件とした。オフサイトの住宅については、床下に空間を有する建築物に滞在し、飲用や浴用に住宅用地内の地下水を利用することと想定した。商業地では、コンクリート等による床板（スラブ）のある建築物に滞在するものとした。

2.3 評価方法

健康リスクの計算式には、SERAM 2010（2011年1月時点）を使用した（図-3）。それぞれの経路の曝露量を、曝露シナリオごとに設定したED（曝露時間）及び365日/年により平均化した値をもとに算出し、リスク値の評価を行った。今回は、閾値のある毒性物質についての許容度として評価をするハザード比（HQ）を使用し、許容しうる目標を各経路に対してHQ=1とした。なお、今回のケースは鉛とPCEの複合汚染であるが、健康リスクの評価は物質

三相分配

$$C_w = \frac{\rho_d}{\theta_{ws} + k_d \times \rho_d + H \times \theta_{as}} \times C_s$$

$$C_a = \frac{H \times \rho_d}{\theta_{ws} + k_d \times \rho_d + H \times \theta_{as}} \times C_s$$

$$k_d = f_{oc} \times k_{oc}$$

表層土壌 → 屋外空気 (GSOIL型)

$$C_{amb} = \frac{J}{DF_{amb}}$$

$$J = \min\{J_2, J_3 + J_4\}$$

$$J_2 = \frac{D_{air}}{d} \times C_{sa} \times 10^3$$

$$J_3 = \frac{E_v}{24} \times 3600 \times C_{sw} \times 10^3$$

$$J_4 = D_s^{eff} \times \frac{\rho_d}{dp} \times C_{ss} \times 10^3$$

大気中横移動

$$\frac{C(x)_i}{C_{si}} = \left( \frac{Q}{2\pi U_{air} \sigma_y \sigma_z} \right) \exp\left(-\frac{y_{air}^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{(z_{air} - \delta_{air})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z_{air} + \delta_{air})^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

$$Q = \frac{U_{air} \delta_{air} A}{L}$$

土粒子の飛散

$$C_{ss \cdot amb} = \frac{P_s \times \phi}{DF_{amb}} \times 10^3 \times C_{ss}$$

$$DF_{amb} = \frac{U_{air} \times \delta_{air}}{\sqrt{A}}$$

地下土壌間隙空気 → 屋外空気

(以下の2式の計算結果のうち小さい方を選択)

$$C_{amb} = \frac{1}{1 + \frac{L_s \times DF_{amb}}{D_s^{eff}}} \times C_a \times 10^3$$

$$C_{amb} = \frac{1}{DF_{amb}} \times \frac{\rho_d \times d_s}{\tau \times 31536000} \times C_s \times 10^3$$

水経由(間隙水→地下水)

$$C_{GW} = \frac{SAM}{LDF} \times C_w \quad SAM = \frac{L_1}{L_2}$$

$$LDF = 1 + \frac{V_{GW} \times \delta_{GW}}{I \times W}$$

$$\delta_{GW} = \min\left\{b, 0.10583 \times W + b \left[1 - \exp\left(-\frac{I \times W}{V_{GW} \times b}\right)\right]\right\}$$

表層土壌 → 屋外空気(RBCA型)

$$C_{amb} = \frac{\rho_d}{DF_{amb}} \times \sqrt{\frac{4 \times D_s^{eff} \times H}{\pi \times \tau \times 31536000 \times (\theta_{ws} + k_d \rho_d + H \theta_{as})}} \times C_{ss} \times 10^3$$

$$C_{amb} = \frac{1}{DF_{amb}} \times \frac{\rho_d \times d_s}{\tau \times 31536000} \times C_{ss} \times 10^3$$

$$DF_{amb} = \frac{U_{air} \times \delta_{air}}{\sqrt{A}} \quad D_s^{eff} = \left( D_{air} \times \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2} \right) + \left( D_{water} \times \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{H \times \theta_T^2} \right)$$

地下水 → 屋外空気(あるいは地表面土壌間隙空気)

$$C_{amb} = \frac{H}{1 + \frac{L_{gwoff} \times DF_{amb}}{D_{GW}^{eff}}} \times C_{GW} \times 10^3$$

$$D_S^{eff} = \frac{D_{air} \times \theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2} + \frac{D_{water} \times \theta_{wsoff}^{3.33}}{H \times \theta_T^2}$$

$$D_{GW}^{eff} = \frac{h_{coff} + h_v}{\frac{h_{coff}}{D_{cap}^{eff}} + \frac{h_v}{D_s^{eff}}}$$

$$D_{cap}^{eff} = \left( D_{air} \times \frac{\theta_{acap}^{3.33}}{\theta_T^2} \right) + \left( D_{water} \times \frac{\theta_{wcapoff}^{3.33}}{H \times \theta_T^2} \right)$$

地表面土壌間隙空気の場合  
DF<sub>amb</sub> = 1  
C<sub>amb</sub> → C<sub>sa,off</sub>

図-3 SERAMを構成する計算式

土壌間隙空気 → 室内空気

(床下空間あり)

$$C_{esp} = \frac{1}{1 + \frac{L_s \times DF_{crawl}}{D_s^{eff}}} \times F_{bi} \times \frac{0.5}{3600 \times ER} \times C_a \times 10^3$$

$$DF_{crawl} = ER_c \times L_{bc} \quad D_s^{eff} = (D_{as} \times \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2}) + (D_{water} \times \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{H \times \theta_T^2})$$

(床下空間なし)

$$C_{esp} = \frac{1}{(e^\xi + \frac{D_s^{eff}}{DF_{exp} \times L_s} + \frac{D_s^{eff} \times A_b \times (e^\xi - 1)}{Q_s \times L_s})} \times \frac{DF_{exp} \times L_s}{D_s^{eff} \times e^\xi} \times C_a$$

$$DF_{exp} = ER \times L_b$$

$$D_{crk}^{eff} = (D_{air} \times \frac{\theta_{crk}^{3.33}}{\theta_T^2}) + (D_{water} \times \frac{\theta_{vs\_crk}^{3.33}}{H \times \theta_T^2}) \quad Q_s = \frac{2 \times \pi \times \Delta P \times k_v \times X_{crk}}{\mu_{air} \ln(\frac{2 \times X_{crk} \times Z_{crk}}{A_b \times \eta})}$$

$$\xi = \frac{(Q_s / A_b)}{(D_{crk}^{eff} / L_{crk}) \times \eta}$$

地下水中横移動(地下水→オフサイト井戸)

$$C_{gw}(x, y, z, t) = \left\{ \frac{1}{8} \exp\left[ \frac{x}{2\alpha_z} \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4 \times \lambda \times \alpha_z \times R}{v}} \right) \right] \right\} \times \left\{ \operatorname{erfc}\left[ \frac{1}{2\sqrt{\alpha_z \times v / R \times t}} \left( x - \frac{vt}{R} \sqrt{1 + \frac{4 \times \lambda \times \alpha_z \times R}{v}} \right) \right] \right\} \times \left\{ \operatorname{erf}\left( \frac{y + \frac{S_w}{2}}{2\sqrt{\alpha_y \times x}} \right) - \operatorname{erf}\left( \frac{y - \frac{S_w}{2}}{2\sqrt{\alpha_y \times x}} \right) \right\} \times \left\{ \operatorname{erf}\left( \frac{z + \frac{S_z}{2}}{2\sqrt{\alpha_z \times x}} \right) - \operatorname{erf}\left( \frac{z - \frac{S_z}{2}}{2\sqrt{\alpha_z \times x}} \right) \right\} \times C_{gw}$$

土壌直接摂取

$$E_{ss \cdot ingest} = \frac{EF \times ED \times IR_{ss}}{BW} \times fa \times C_{ss}$$

水の飲用

$$E_{GW} = \frac{EF \times ED}{BW} \times (IR_w \times C_{GW} \times f_w)$$

屋外空気呼吸

$$E_{inhal \cdot amb} = \frac{EF \times ED \times IR_{amb}}{BW} \times C_{amb}$$

土壌皮膚接触(GSOIL 型)

$$DA = \frac{AF \times DAR \times fm \times A_{skin} \times tdo}{BW} \times C_{ss}$$

シャワー・吸入

$$Hsh = e^{(\ln(Klw \times Rgas \times Tsoil) + 0.024 \times (Tsh - Tsoil))}$$

$$kGcal = \frac{Kgc \times \left(\frac{18}{M}\right)^{0.5}}{3600}$$

$$kLcal = \frac{\left(Klc \times \left(\frac{44}{M}\right)^{0.5}\right)}{3600}$$

$$kwa = \left\{ \frac{Hsh}{Rgas \times Tsh} \times kLcal \times kGcal \right\} / \left\{ \left( \frac{Hsh}{Rgas \times Tsh} \times kGcal \right) + kLcal \right\} \times \frac{tf \times 3}{rd}$$

$$Cbr = \frac{kwa \times Vws \times C_{GW} \times 1000}{2 \times Vbr}$$

屋外土粒子の吸入

$$E_{ss \cdot inhal} = \frac{EF \times ED \times IR_{amb}}{BW} \times C_{ss \cdot amb} \times f_{ss}$$

屋内空気呼吸

$$E_{inhal \cdot esp} = \frac{EF \times ED \times IR_{esp}}{BW} \times C_{esp}$$

シャワー・皮膚接触

$$DARw = \left( \frac{5000 \times Perm}{5000 + Perm} \right) \times \left( \frac{e^{(-0.016 \times M)}}{1.5} \right)$$

$$Perm = 0.038 + 0.153 \times 10^{\log Kow}$$

$$DAw = \frac{Atot \times f \exp \times DARw \times tdrd \times (1 - kwa) \times C_{GW} \times 0.001}{BW}$$

$$IVw = \frac{\{Cbr \times 0.001 \times IR_{esp} \times (tdrd + tdsh)\} \times fa}{BW}$$

図-3 SERAMを構成する計算式(続き)

毎の評価に留めており、また、子供と大人あるいは性別の違いについては考慮していない。

2.4 パラメーター

健康リスク評価に必要なパラメーターとしては、汚染物質特有の物理化学的なものと毒性学的なもの、レセプター特有のもの、距離、高さ、長さ等の空間的なもの、土質等の条件を扱うものがある。以下では、その代表的なパラメーターについて、本ケーススタディで採用した設定値の説明を行う。なお、これらのパラメーター値には、十分な検証に基づいたデフォルト値の選定に至っていない暫定的な値も含まれている。

① 曝露パラメーター

表-4 は、曝露条件に関するパラメーターを示したものである。まず、V (植生や舗装・覆土による被覆率) は、オンサイトの状況を、敷地の 10% で土埃の発生原因となる裸地が存在するとした。EF と ED は、オンサイトの工場やオフサイトの商業地では 250 日/年×25 年間とした。Tii (屋内での 1 日あたりの曝露時間年間平均値) を、8 時間/日の労働時間のうち、Tdo (屋外での 1 日あたりの曝露時間年間平均値) や Tio (屋外での 1 日あたりの曝露時間年間平均値) との差分から導いた。A<sub>skin</sub> (屋外での露出皮膚面積) は、土壌及び巻き上げられた土壌粒子の皮膚接触を想定し、Atot (シャワー時に水と曝露する皮膚表面積) については、住宅ではシャワーを全身に浴びる場合を想定し

た。それ以外では、デフォルト値を採用した。

② 建物構造のパラメーター

オフサイトの住宅の場合、建築物を日本の木造家屋と想定しているが、SERAMは海外のモデルには含まれないこの曝露条件に対応できることが大きな特色となっているものの、これまで特有のパラメーターのデフォルト値が整備されていなかった。そこで、ER（室内空気交換率）、ERC（床下空間空気交換率）、Lbc（床下容積と地下空気浸透面積の比）については、建築基準法を根拠に、床下空間での土壌ガスの外気による希釈現象を考慮することとした（表-5）。

一方、オンサイトの工場建屋やオフサイトの商業地の場合には、気密性の高い建物構造としており、ER（室内空気交換率）は日本家屋と同値としながら、Kv（土壌の透過度）は建築基準法、η（亀裂の面積比）はRBCAから引用し設定した。

③ 汚染の深度分布に関するパラメーター

図-4は、汚染源の鉛直方向の存在形態に関するパラメーターを、図示したものである。これらのパラメーターは、複数の数式に異なる記号として存在している。これは、SERAMが国内外の各種のモデルに由来した数式から構成されていることによるものである。ここで、特に、Lsは地表面の汚染の影響に関する数式に含まれているものであるが、暫定的な数値として0.005mとし、また、PCEのL1およびdsは、地下水位以深部の取り扱いについては検討の余地はあるものの8mとした。

④ 毒性パラメーター

毒性パラメーターの設定値を表-6に示す。鉛は閾値のある毒性を有し、その参照用量（RfD）を採用した。PCEは、RBCA Tool Kitでは閾値のない毒性も紹介されているが、概ね閾値ありと判断した。なお、皮膚接触に関する毒性値について、PCEでは、RBCA Tool Kitが経口毒性と同値を採用していることに従った。

⑤ その他のパラメーター

その他に使用したパラメーターを、表-7でまとめて記す。

3. 結果と考察

前章で説明した曝露経路とパラメーター設定に従い実施したリスク値の計算結果を表-8、図-5に示す。

① 重要な曝露経路

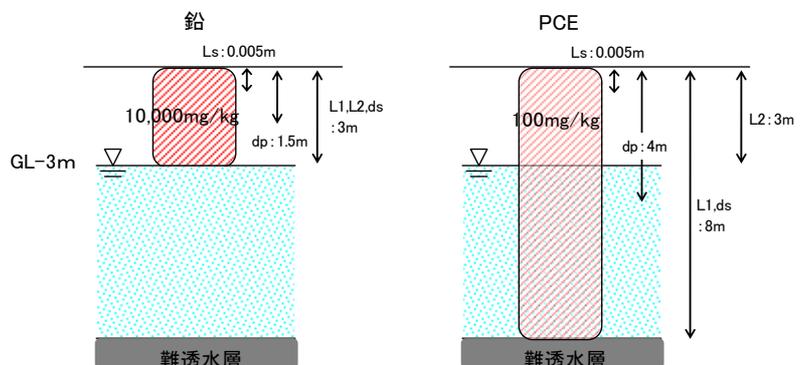
検討した3種類のシナリオにおいて、最も高リスクとなったのは、オフサイトにおける鉛とPCEの含まれた地下

表-4 曝露パラメーター

記号	名称	単位	式	オンサイト		オフサイト		設定根拠
				住宅	商業地	住宅	商業地	
V	糞生や舗装・覆土による被覆率	-	土粒子の飛散 土壌直接摂取 土壌皮膚接触	0.9	-	-	-	任意値
EF	曝露頻度	day/year	水の飲用 屋外・室内ガスの吸入 屋外土粒子の吸入 シャワー・皮膚接触・蒸気吸入	250	365	250	-	ASTM E1739-95
ED	曝露時間	year		25	70	25	-	EPA 9355.4-24
Tdo	屋外での1日あたりの曝露時間年間平均値	hr/day		1.14	-	-	-	CRM 曝露係数HB
Tio	屋外での1日あたりの曝露時間年間平均値	hr/day		1.14	1.14	1.14	-	CRM 曝露係数HB
Tii	屋内での1日あたりの曝露時間年間平均値	hr/day		6.86	22.86	6.86	-	全滞在時間と屋外滞在時間の差分
Irss	食物土壌の摂取率	kg/day		0.0001	-	-	-	環境省 土対法に係る技術的指針について
fa	体内への吸収率	-		-	1	-	-	安全側の任意値
IRW	水の飲用量	L/day		-	2	-	-	環境省 化学物質の環境リスク初期評価GL
AF	屋外での皮膚単位面積あたりの付着土壌量	kg/m <sup>2</sup>		0.038	-	-	-	RiscHuman
DAR	皮膚吸収率(有機)	1/hr		0.005	-	-	-	RiscHuman
A <sub>skin</sub>	屋外での露出皮膚面積	m <sup>2</sup>		0.17	-	-	-	RiscHuman
fm	土壌片の皮膚接触率	-		-	0.15	-	-	RiscHuman
IRamb	呼吸量	m <sup>3</sup> /day	屋外・室内ガスの吸入 屋外土粒子の吸入	-	15	-	-	環境省 化学物質の環境リスク初期評価GL
AV	呼吸量(シャワー)	m <sup>3</sup> /h		-	0.83	-	-	RiscHuman
tdrd	接触時間=シャワーを浴びる時間	h/d		-	0.25	-	-	RiscHuman
tdsh	乾燥と着衣の時間	h		-	0.25	-	-	RiscHuman
Atot	シャワー時に水と曝露する皮膚表面積	m <sup>2</sup>		-	1.8	-	-	RiscHuman
fexp	曝露される皮膚の割合	-		-	0.4	-	-	RiscHuman
BW	体重	kg	全般	-	50	-	-	環境省 化学物質の環境リスク初期評価GL

表-5 建物構造に関連したパラメーター

記号	名称	単位	数値	設定根拠
Fbi	床下空間から室内空間への奇与率	-	0.1	CSOIL GERAS
ER	室内空気交換率	1/sec	0.5	建築基準法施行令第20条8項
Ls	汚染源の深さ	m	3	地下水位
ERc	床下空気交換率	1/h	0.5	建築基準法施行令第20条8項
Lbc	床下容積と地下空気浸透面積の比	m	0.45	建築基準法 最小床下高
Ls	汚染源の深さ	m	3	地下水位
Lerk	建物基礎の厚さ	m	0.15	RBCA
Ab	建物基礎の面積	m <sup>2</sup>	70	任意値
ER	室内空気交換率	1/h	0.5	建築基準法施行令第20条8項
Lb	室内容積と地下空気浸透面積の比	m	2.1	建築基準法 最小居住室高
θ vs	亀裂土壌の体積含水率	cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> -soil	0.12	ASTM E2081-00
ΔP	室内と屋外の圧力差	g/cm <sup>2</sup>	20	CCME
Kv	土壌の透過度	m <sup>2</sup>	1.0E-12	RBCA
Xork	建物基礎の外周長	m	34	建築基準法施行令第20条8項
Zork	建物基礎の深さ	m	5	任意値
μ air	空気動粘度	g/cm <sup>2</sup>	1.8E-04	ASTM E2081-00
η	亀裂の面積比	-	0.001	RBCA
Lerk	建物基礎の厚さ	m	0.15	RBCA



Ls: 汚染源の深さ、L1: 汚染源土壌の厚さ、L2: 汚染源土壌の上端から地下水までの距離、ds: 汚染源土壌の厚さ、dp: 汚染土壌の平均深さ

図-4 汚染の深度分布と関連するパラメーター

表-6 毒性パラメーター

指標	鉛		PCE		単位
	RfD(経口)	RiscHuman	1.00E-02	RBCA	
閾値あり	3.60E-03	-	2.71E-01	RBCA	mg/kg/day
	-	-	-	RBCA	mg/m <sup>3</sup>

水の飲用の経路でそれぞれ  $2.8 \times 10^3$  と  $7.1 \times 10^1$  となり HQ が 1 を超過する結果となった。二番目に高いのは、オンサイトでの PCE の室内ガスの吸入で床下空間のない気密性の高い建築物の場合の  $3.6 \times 10^1$  であった。この経路による影響は、土壤汚染対策法では考慮されていないものの、欧米では問題として顕在化しており、地下水濃度や諸条件によっては危険な水準となる可能性がある。続いて、オンサイトで鉛汚染土壤を口から直接摂食する場合の  $1.8 \times 10^1$  が高かった。

高リスクであるという結果が得られた土壤の摂食と水の飲用の経路は、土壤汚染対策法において考慮されている経路でもあり、健康リスク評価では必須の経路である。

### ② その他の注意すべき曝露経路

オフサイトの住宅におけるシャワーに伴う皮膚接触の  $1.4 \times 10^2$  もやや高い結果であった。この原因としては、汚染源から受容体地点までの地下水移流の減衰効果として、機械的分散と流入地下水による希釈以外の、土壤への

の吸着、生物・化学的分解等は考慮せずに、汚染源から汚染物質が長期間流出し続けた場合に想定される最大濃度を算定しており、オフサイトのレセプター位置での PCE の地下水濃度が 18 mg/L と高濃度であることがあげられる。より詳しいサイト条件（帯水層の土質、吸着、生物分解、化学分解の可能性、地下水汚染分布など）が明らかになれば、現実の値により近いサイト固有のオフサイト地下水濃度の算定が可能となる。

また、オンサイトの土壤皮膚接触により PCE 汚染から受ける影響については、地表面での揮発を考慮できるようにした場合には、より低い値となると考えられる。

オンサイトの屋外空気の吸入では、CSOIL 型の表層→屋外空気式による HQ の  $1.5 \times 10^3$  が、同じ経路の RBCA 型や地下土壤間隙空気→屋外空気の  $2.1 \times 10^5$  より 100 倍程度高い値となった。この経路については、これら 3 種類の式から得られた計算結果をふまえ、屋外空気の曝露量を採用する際の考え方を整理する必要がある。

### ③ 今後の課題

オフサイトの地下水に関しては、PCE のみならず 250 mg/L となった鉛についても、過大な計算結果になっている可能性がある。重金属の土壤-水分配係数 (Kd) や飽和溶解度は、同一の物質であっても pH、酸化還元状態、化合物の形態等の複合的条件によって変化するが、現状では pH を考慮した Kd の推定式が知られるのみである。SERAM 2010 の三相分配式では、Kd には物質毎のデフォルト値を入力することで土壤間隙水濃度が計算されるが、この点はさらなる検討が必要である。

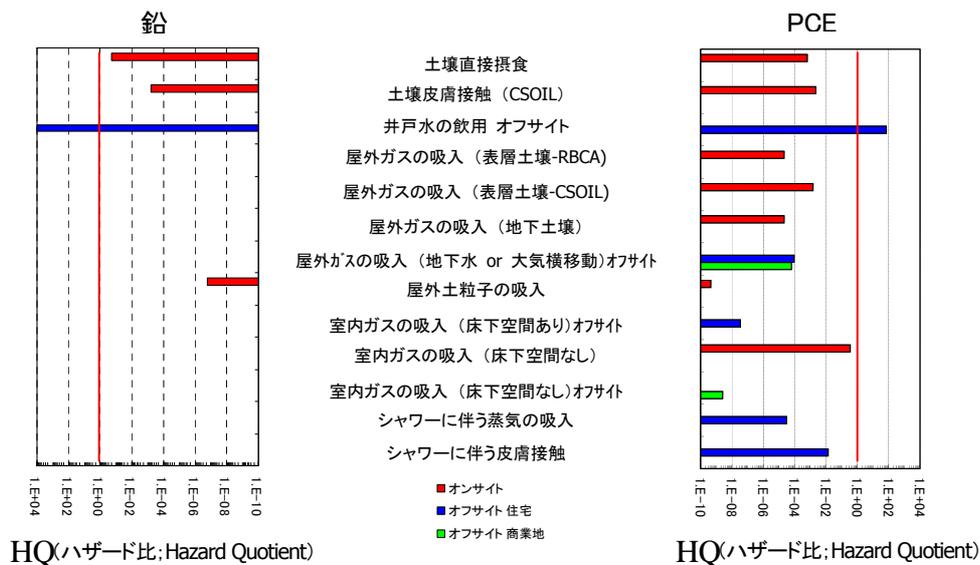
その他の課題としては、オンサイトのシナリオ設定、汚染の深度設定、表層の汚染を検討する場合の土壤濃度の

表-7 その他のパラメーター

種別	記号	名称	単位	数値	設定根拠
土質	$\rho d$	土壤乾燥密度	kg-soil/L-soil	1.5	地盤工学会
	kd	土壤-水分配係数	cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O/g-soil	10	TCEQ TRRR Protective Concentration Levels
	$\theta ws$	不飽和帯土の体積含水率	cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> -soil	0.12	ASTM E2081-00
	foc	有機炭素含有量	g-C/g-soil	0.01	ASTM E2081-00
	$\rho s$	土壤真比重	kg/L	2.65	EPA SoilScreeningGuidance
	H	ヘンリー定数(PCE)	cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> -air	0.723	NITE CHRIP
	Csol	飽和溶解度(PCE)	mg/L	200	RBCA
	koc	有機炭素-水分配係数(PCE)	cm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> O/g-OC	155	TCEQ TRRR Protective Concentration Levels
	Dair	空気中の拡散係数	m <sup>2</sup> /sec	0.0000072	TCEQ TRRR Protective Concentration Levels
	Dwater	水中の拡散係数	m <sup>2</sup> /sec	8.2E-10	TCEQ TRRR Protective Concentration Levels
深度	Ev	土壤からの蒸発水の流速	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /day	0.001	CSOIL
	Klw	ガス-水の分配係数(PCE)	mol.m <sup>-3</sup> gas / mol.m <sup>-3</sup> water	0.877	RischHuman
	Rgas	気体定数	Pa.m <sup>3</sup> /mol.K	8.3144	RischHuman
	Kgc	気相の物質輸送定数	m/h	29.8	RischHuman
	M	分子量(PCE)	g/mol	165.83	RBCA
	logKow	オクタノール-水分配係数(PCE)	(mol/kg dry soil) / (mol/dm <sup>3</sup> )	2.97	TCEQ TRRR Protective Concentration Levels
	ds	表層土の厚さ	m	8	サイト設定条件
	d	境界層厚さ	m	0.007	CSOIL
	dp	汚染土の平均深さ	m	1.5	サイト設定条件
	Ls	汚染源の深さ	m	0.005	任意値
サイト	Lgw	地下水の深さ	m	3	サイト設定条件
	hc	毛管帯の厚さ	m	0.05	ASTM E2081-00
	L1	汚染源土の厚さ(Pb)	cm	300	サイト設定条件
	L1	汚染源土の厚さ(PCE)	cm	800	サイト設定条件
	L2	汚染源土の上端から地下水までの距離	cm	300	サイト設定条件
	$\delta air$	大気混合層の高さ	m	2	ASTM E2081-00
	A	汚染源の面積(PCE)	m <sup>2</sup>	1,000	サイト設定条件
	A	汚染源の面積(Pb)	m <sup>2</sup>	3,000	サイト設定条件
	L	汚染源の幅(流動方向)	m	50	サイト設定条件
	x	発生源からの距離(X方向)	m	190	サイト設定条件
ガス塊	y	発生源からの距離(Y方向)	m	0	サイト設定条件
	W	地下水に沿った汚染源の長さ	cm	10,000	サイト設定条件
	x	評価点のx座標(Pb)	m	240	サイト設定条件
	x	評価点のx座標(PCE)	m	190	サイト設定条件
	Y	汚染源幅(Pb)	m	50	サイト設定条件
	Y	汚染源幅(PCE)	m	20	サイト設定条件
	$\tau$	揮発のための平均時間	year	30	ASTM E2081-00
	Pe	粉塵発生率	g/cm <sup>2</sup> ·sec	6.9E-14	ASTM E2081-00
	Tsoil	土壤中温度	K	283	RischHuman
	Tsh	シャワー温度	K	313	RischHuman
シャワー	Klc	液相の交換率	m/h	0.2	RischHuman
	tf	水滴の落下時間	s	1	RischHuman
	rd	水滴の半径	m	0.0005	RischHuman
	Vws	シャワー中の水量	m <sup>3</sup>	0.15	RischHuman
	Vbr	バスルーム容積	m <sup>3</sup>	15	RischHuman
	Uair	地上の大気混合層における平均風速	m/sec	2.25	RischHuman
	Q	点煙源の排出風量	m <sup>3</sup> /sec	250	任意値
	zair	呼吸ゾーンの高さ	m	1.5	環境省 H17 環境影響評価技術手法
	Vgw	地下水流速	cm/year	83.0	サイト設定条件
	i	地下水涵養量	cm/year	30	ASTM E2081-00
横移動	b	帯水層の厚さ	cm	500	サイト設定条件
	k	透水係数	cm/sec	0.01	サイト設定条件
	i	動水勾配	m/m	0.01	任意値
	$\theta e$	帯水層の間隙率	-	0.38	ASTM E2081-00
	y	評価点のy座標	m	0	サイト設定条件
	z	評価点のz座標	m	0	サイト設定条件
	Z	汚染源深さ	m	5	サイト設定条件(帯水層厚)

表一八 曝露経路毎の媒体濃度と健康リスク

受容体	オンサイト				オフサイト							
					住宅				商業地			
	鉛		PCE		鉛		PCE		鉛		PCE	
化学物質	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ
計算結果	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ
土壌直接摂食	土壌 10,000mg/kg	1.8E-01	土壌 100mg/kg	6.5E-04	-	-	-	-	-	-	-	-
土壌皮膚接触 (CSOIL型)	-	-	土壌 100mg/kg	2.2E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
井戸水の飲用 (オフサイト)	-	-	-	-	地下水 2.5E+02mg/L	2.8E+03	地下水 1.8E+01mg/L	7.1E+01	-	-	-	-
屋外ガスの吸入 (表層土壌-RBCA型)	-	-	屋外空気 1.1E-03mg/m3	2.1E-05	-	-	-	-	-	-	-	-
屋外ガスの吸入 (表層土壌-CSOIL型)	-	-	屋外空気 6.3E-01mg/m3	1.5E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
屋外ガスの吸入 (地下土壌)	-	-	屋外空気 1.1E-03mg/m3	2.1E-05	-	-	-	-	-	-	-	-
屋外ガスの吸入 (地下水あるいは大気横移動) オフサイト	-	-	-	-	-	-	屋外空気 2.7E-02mg/m3	9.3E-05	-	-	屋外空気 2.7E-02mg/m3	6.4E-05
屋外土粒子の吸入	土粒子由来空気 1.9E-05mg/m3	1.8E-07	土粒子由来空気 1.9E-07mg/m3	4.5E-10	-	-	-	-	-	-	-	-
室内ガスの吸入 (床下空間あり) オフサイト	-	-	-	-	-	-	室内空気 5.0E-07mg/m3	3.5E-08	-	-	-	-
室内ガスの吸入 (床下空間なし)	-	-	室内空気 2.5E+01mg/m3	3.6E-01	-	-	-	-	-	-	-	-
室内ガスの吸入 (床下空間なし) オフサイト	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	室内空気 3.8E-06mg/m3	2.6E-09
シャワーに伴う蒸気の吸入	-	-	-	-	-	-	バスルーム大気 1.5E+01 μg/m3	3.1E-05	-	-	-	-
シャワーに伴う皮膚接触	-	-	-	-	-	-	地下水 1.8E+01mg/L	1.4E-02	-	-	-	-
目標値	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1



図一五 健康リスクの比較

設定 (全含有量、固相濃度)、大気に関する横方向の移動式の計算条件、土壌中のガスの移動や建築物に関するパラメーターの妥当性の検討等があげられる。

参考文献

- 1) 伊貝聡司, 村上淑子 (2010): リスク評価モデルにおける我が国の建物構造を考慮した室内空気経路の曝露, 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.64~69.
- 2) 福浦清, 奥田信康, 伊貝聡司 (2010): わが国におけるリスク評価モデル (案) の計算式, 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.111~116.
- 3) 白井昌洋, 和知剛, 伊藤豊 (2010): 土壌汚染対策におけるリスク評価手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) 佐々木哲男, 菱川絢子, リスク評価活用方法検討部会(2010): わが国のリスク評価の対象とする曝露経路選定について, 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.461~466.