

154. RBCAにおけるリスク評価について（その2） ーリスク計算に用いるパラメーターについてー

○藤長愛一郎（土壌環境センター），RBCA研究WG（同）

1. はじめに

人の健康に関するリスクを算出するためには、まず、汚染現場の有害物質濃度と暴露経路から摂取量を計算し、そして、有害物質の毒性によりリスクを数値として算出する。そこで、摂取量を計算する際には、数多くのパラメーターが必要となる。

これらのパラメーターは、有害物質の物理化学性質、有害物質の媒体となる土壌、地盤中から地上への移動に関係する建物や表層、人の体や生活などの暴露形態、また毒性に関するものに大別される。図1に地下に存在する有害物質が人に摂取されるまでに関係するパラメーターの種類の概念図を示す。本論文では、分類されたパラメーターを整理し、文献による差を検討する。

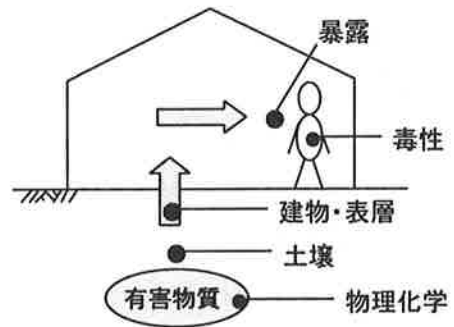


図1 リスク計算に必要なパラメーターの分類の概念図

2. 物理化学パラメーター

(1) 物理化学パラメーターの種類

有害物質の物理化学性質の中で、RBCAでパラメーターとして有用なものは、土壌ー地下水ー空気中における有害物質の状態・移動を計算するためのものであり、以下のように分類できる。

- ① 分子拡散：空気中の分子拡散(Dair)、水中の分子拡散(Dwat)
- ② 土壌ー水の分配：有機炭素ー水吸着係数(Koc)、オクタノールー水分配係数(LogPow)、水ー土壌分配係数(Kd)
- ③ 気体ー水の分配：ヘンリー定数(H)、蒸気圧(Pv)
- ④ 水への溶解度(S)

(2) 物理化学パラメーターの文献値の比較

表1に参考文献別の物理化学パラメーターの例^{1)~5)}を示す。この表より、各パラメーターの文献による数値差は以下の様である。

- ・ 数倍程度の差：Koc、H、S
- ・ 2倍以内の差：Pv
- ・ ほぼ同じ値：logPow

また、ASTM¹⁾のガイドブックの文献は、基本的にU.S.EPA²⁾であることが分かる。

表1 主な物理化学パラメーターの文献比較

定義	空気中の分子拡散係数	水中の分子拡散係数		有機炭素-水吸着係数		オクタノール/水分配係数		水-土壌分配係数	ヘンリー定数		
	D_{air}	D_{wat}		K_{oc}		Log P_{ow}		K_d	H		
単位	$cm^2/秒$	$cm^2/秒$		L-水/kg-有機炭素				L-水/kg-土壌	$atm \cdot m^3/mol$		
出典	EPA/ASTM	EPA/ASTM	CRC:イオン形態	EPA/ASTM	Yaws (20°C)	EPA/ASTM	PRTR/ハザード評価	ASTM	EPA/ASTM	PRTR	Yaws (25°C)
カドミウム	-	-	7.19E-06	-	-	-	-	3.63	-	-	-
有機りん(EPN)	-	-	-	-	-	-	3.85	-	-	1.29E-07	-
鉛	-	-	9.45E-06	-	-	-	-	-	-	-	-
六価クロム	-	-	5.95E-06	-	-	-	-	-	-	-	-
無機水銀	3.07E-02	6.30E-06	9.13E-06 8.47E-06	-	-	-	-	2.3	1.14E-02	-	-
シス-1,2-ジクロロエチレン	7.36E-02	1.13E-05	-	35.5	80.2	1.86	1.86	-	4.08E-03	4.08E-03	7.36E-03
トリクロロエチレン	7.90E-02	9.10E-06	-	166	137	2.71	2.61	-	1.03E-02	9.08E-03	1.16E-02
テトラクロロエチレン	7.20E-02	8.50E-06	-	155	359	2.67	3.40	-	1.84E-02	2.68E-02	2.69E-02

3. 土壌パラメーター

土壌パラメーターは、土壌の性質を表すパラメーターと土壌の状態を表すパラメーターからなっている。土壌の性質を表すパラメーターとしては、土壌体積密度（乾土）、毛管水縁の高さ、有機炭素含有量、土壌間隙率、毛管水縁領域の土壌含水率・土壌空気含有率がある。土壌の状態を表すパラメーターとしては、通気帯（不飽和帯）の厚さ、地下水の深度、表層土壌の厚さ、土壌・水のpHがあり、通気帯の厚さの影響も受ける因子として通気帯（不飽和帯）の土壌含水率・土壌空気含有率がある。

パラメーターのデフォルト値とその他の文献値の比較

土壌パラメーターについて、ASTM²⁾の中に値は示されていない。ASTMのRBCA TOOL KITソフト⁶⁾では全土壌に対するデフォルト値と、支配的なUSCS（米国土壌分類システム；Unified Soil Classification System）土壌タイプ毎のデフォルト値が示されている。EPA¹⁾では、土壌体積密度（乾土）については、デフォルト値 $1.50g/cm^3$ が米国土壌における最頻値として示されている。また、通気帯の土壌含水率のデフォルト値 0.15 は土壌の 10wt% の年平均土壌含水率に一致することも示されている。土質ごとの有効間隙率や有機炭素含有量について整理された。ここで示されている有機炭素含有量はRBCA TOOL KITに示されているデフォルト値（土壌タイプに関わらず 0.01）よりも1~2オーダー低い値となっている。

4. 建物・表層パラメーター

ASTM²⁾などの建物および表層パラメーターのデフォルト値（表2）を検討する。

(1) 建物パラメーター

多くはEPAが「合理的な上限（reasonable high end）の暴露濃度を評価するための」計算例で用いた値と一致している。この計算例は大部分がJohnsonら⁷⁾によるものである。

(2) 表層パラメータ

地表面土壌の厚さ（ L_{ss} ）と地域的な全吸入可能土壌粒子の飛散量（ P_e ）を除いてEPA⁸⁾と一致している。

表2 建物・表層のパラメーターの文献比較

	記号	定義	ASTM ²⁾	EPA ¹⁾⁸⁾	土壌中のダイオキシンに関する検討会 ⁹⁾
建物パラメーター	L_b	閉鎖空間の容積/浸透面積の比 (cm)	住居200、工場300	300	—
	ER	閉鎖空間の空気交換速度 (1/日)	12	12	—
	L_{crack}	閉鎖空間の基礎または壁の厚さ (cm)	15	15	—
	n	亀裂の面積分 (cm ² -亀裂/cm ² -全面積)	0.01	—	—
	dP	屋内/屋外の気圧差 (g/(cm ² ·s ²))	0	10	—
	k_v	土壌のガス透過度 (cm ²)	1.00E-08	1.00E-08	—
	Z_{crack}	スラブの底の深さ (cm)	15	200	—
	X_{crack}	スラブの周囲の長さ (cm)	3400	3400	—
表層パラメーター	A_b	スラブの面積 (cm ²)	7.00E+05	1.38E+06	—
	t	表面放出蒸気フラックス期間 (年)	30	25	—
	U_{air}	周辺混合層の風速 (cm/s)	225	225	—
	D_{air}	混合層の高さ (cm)	200	200	—
	A	汚染源の面積 (cm ²)	2.03E+07	2.03E+07	3.14E+08
	W	汚染源の幅 (cm)	4500	4500	—
	L_{ss}	地表面土壌の厚さ (cm)	100	—	5
	P_e	吸入可能土壌粒子の飛散量 (g/cm ² -空気)	6.90E-14	1E-09	—

5. 暴露パラメーター

暴露パラメーターは、人の体と生活様式に関するパラメーターからなっている。それらは時間あたり人体に取り入れる量とその頻度により、摂取量を計算するものである。摂取経路は、摂食（胃への摂取）、吸入（肺への摂取）、皮膚摂取に大別され、それぞれの摂取量を計算するために各パラメーターが必要となる。また、住宅地と工場や商用地では、暴露パラメーターの値には差が出る。そこで、土地用途別にリスクを計算する場合には、住宅地と工場・商用地など2種類の値が必要となる。日本の環境基準値には土地用途の区別はなく、一律の同じ値で規制されている。

米国、オランダ、日本の暴露パラメーターの文献値を表3にまとめる。この表より、各パラメーターの値は各国の文献の違いによるばらつきがあるものの、2倍程度であることが分かる。

表3 暴露パラメーターの文献比較

記号	各パラメーター		U.S.EPA ¹⁾⁸⁾		ASTM ²⁾		オランダ	オランダ	日本 ¹²⁾
	項目		住宅地	工場	住宅地	工場	CSOIL ¹⁰⁾	RIVM ¹¹⁾	
E_f	摂取頻度	(日/年)	350	225(屋外), 250(屋内)	350	250	—	—	365
Ed_A	摂取期間	大人	30	25	30	25	—	—	64(重金属), 24(ダイオキシン, VOCs)
Ed_C	(年)	子供	6(非発癌)	—	—	—	—	1-4	
Iw_A	水の日摂取量	大人	2.3	2.3	2	1	2	2	2
Iw_C	(L/日)	子供	1.5	—	—	—	1	1	—
Bw_A	体重	大人	70	70	70	70	70	60	50(実際56)
Bw_C	(kg)	子供	15	—	—	—	15	14	15(実際14)
At	影響期間 (日)	癌以外: At_{Non}	10,950 (30年)	9,125 (25年)	10,950 (30年)	9,125 (25年)	—	—	70年(実際の寿命: 80年)
		癌: At_{Can}	25,550 (70年)		25,550 (70年)		—	—	
Ih_A	日呼吸量	大人	15.2		20(屋外), 15(屋内)	20	20	20	15
Ih_C	(m ³ /日)	子供	8.3	—	—	—	7.6	7.6	—
Is_A	土粒子摂取量	大人	100	100(屋外), 50(屋内)	100	50	50	—	100
Is_C	(mg/日)	子供	200	—	—	—	150	86	200

しかし、暴露パラメーターの差よりも、各摂取経路の計算式や採用する摂取経路が各国で異なり、何を計算に考慮するかで、リスクの計算結果が大きく異なる可能性がある。また、暴露パラメーターの内でも、皮膚からの吸収や魚の体内濃度などは、個人差や有害物質による差が大きいものなど、一概に定めるのは困難なものもある。

6. 毒性パラメーター

デフォルト値とその他の文献値との比較

ASTM²⁾、IRIS¹³⁾、RBCA Tool Kit ソフト⁶⁾の各デフォルト値をテトラクロロエチレン(PCE)について表4に示す。

ASTMは、まずIRISおよびFederal Register(米国官報)のデータを最優先して使用し、それらにデータがない場合は、HEAST(EPA健康影響評価要約表)などのデータを使用している。

表4 PCEの毒性パラメーター文献値

	定義	単位	ASTM ²⁾	IRIS ¹³⁾	Tool Kit ⁶⁾
RfD _o	経口摂取の慢性参照容量	mg/(kg・日)	0.010	0.010	0.010
RfC _i	蒸気吸入の慢性参照濃度	mg/m ³	0.035	-	0.035
SF _o	経口摂取による発癌係数	1/(mg/(kg・日))	0.052	-	0.052
SF _i	吸入による発癌係数	1/(mg/(kg・日))	0.002	-	-

7. おわりに

日本における適用を考えるうえで、土壌パラメーター、建物・表層パラメーター、暴露パラメーターについては、日本の地盤環境、生活習慣、人体に適合した値を使用する必要がある。そのためには日本における文献調査および統計調査データが必要となる。また、全てのパラメーターについて言えることは、感度解析などによって影響の大きいパラメーターをまず把握し、そして、そのパラメーターについて慎重に検討することで、効率よく研究を進めることができると考えている。

参考文献

- 1) EPA: Soil Screening Guidance (EPA/540/R95/128) or Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I. (EPA/540/1-89/002).
- 2) ASTM: E2081-00 Standard guide for risk-based corrective action, 2000.
- 3) Yaws: Chemical properties handbook, the McGraw-Hill Co., 1999
- 4) PRTR: PRTR法指定化学物質データ検索 環境省環境保健部環境安全課および経済産業省
- 5) ハザード評価: 化学物質安全性(ハザード)評価シート, (財)化学物質評価研究機構
- 6) RBCA TOOL KIT: Software Guidance Manual:GROUNDWATER SERVICES,INC.
- 7) Johnson and Ettinger: Heuristic model for prediction the intrusion rate of contaminant vapors into building, Env. Sci. and Tech. 25(8), 1445-1452, 1991.
- 8) EPA: Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I. Human Health Evaluation Manual (Part A). EPA/540/1-89/002, 1989.
- 9) 土壌中のダイオキシンに関する検討会 第4回 参考資料4-3, 1998.
- 10) R. vanden Berg: Human Exposure to Soil Contamination: A Qualitative and Quantitative Analysis Towards Proposals for Human Toxicological Intervention Values, National Institute of Public Health and the Environment, the Netherlands, Report no. 725201011, 1994.
- 11) Linders, J.B.H.J., Risicobeoordelino voor de mens bij blootstelling aan stoffen. Utgangspunten en veronderstellingen. RIVN-rapportnr. 725201003. RIVM, Bilthoven, 1990.
- 12) 環境庁: ダイオキシン類に係る大気環境濃度低減のための目標値に関する検討会報告, 1997.
- 13) IRIS: Integrated Risk Information System(IRIS), U.S.EPA.