

(0039) サイト環境リスク評価モデル SERAM のツールの開発と活用方法

○奥田信康¹・佐々木哲男¹・リスク評価モデル普及・ツール化検討部会¹

¹ 土壤環境センター

1. はじめに

(一社) 土壤環境センター技術委員会リスク評価モデル普及・ツール化検討部会では、わが国の土壤汚染対策におけるリスク評価の活用について普及・啓発を図るため、サイト環境リスク評価モデル (Site Environmental Risk Assessment Model: 以下、「SERAM」と略す。) の開発とツール化作業および土壤汚染対策のリスク評価におけるガイダンス (案) の作成を行っている¹⁾。図-1 に SERAM の曝露経路 (概念サイトモデル) を示す。

SERAM は、汚染源における土壤含有量を起点として土壤・地下水・空気の媒体間移動後の曝露濃度を算出し、評価シナリオに基づく摂取量と有害物質の毒性値を用い、人の健康リスク評価を行う計算モデルである。このモデルに沿ってリスク評価を実施する際には、Microsoft Excel (マイクロソフト・エクセル) により作成したリスク評価計算ツール「SERAM2012」を用いた。

汚染源土壤は、地表面および帯水層との距離により、表層・浅層・帯水層に区分けして計算を行っている。主たる評価対象は、居住地-住人と商工業地-従業員を想定しており、土壤摂取・地下水飲用・空気吸入を主たる経路とする。SERAM の特長としては、主たる経路の他、家庭菜園で栽培された農作物の摂取や汚染地下水を入浴に用いるオプション経路による曝露評価の検討も実施可能であることがあげられる。

本稿では、ガソリンスタンドでの土壤汚染を想定し、SERAM を用いた想定汚染サイトのリスク評価とそれに基づく対策方針検討を行った事例について報告する。

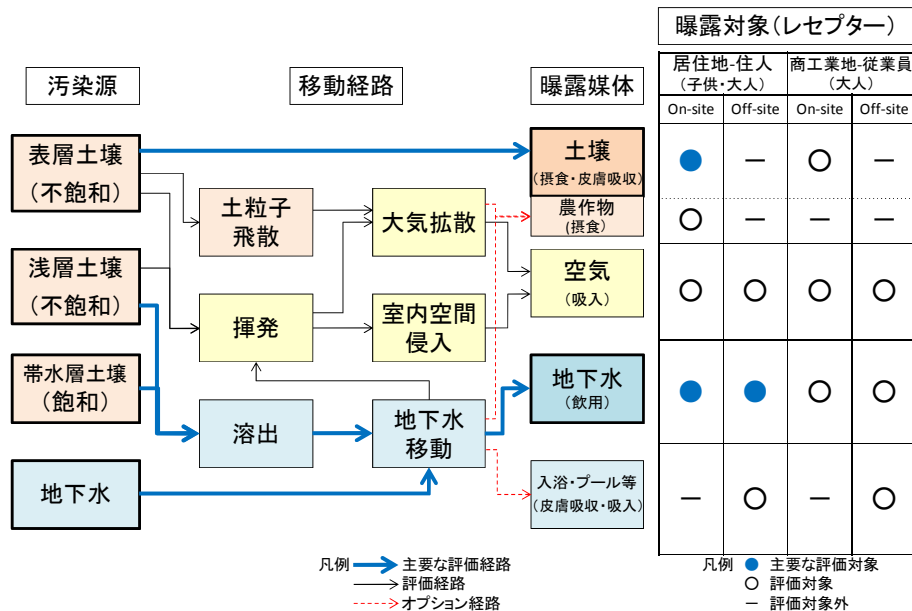


図-1 SERAM の曝露経路 (概念サイトモデル)

2. 検討方法

2.1 リスク評価対象サイトの汚染状況

ケーススタディの条件を以下のように設定した。ガソリンスタンドにおける鉛、ベンゼン、油 (ガソリン) による土壤・地下水汚染を想定。各物質の汚染範囲は同一の 500 m² で、汚染は一樣に分布しており、鉛の濃度は 1,000 mg/kg、ベンゼンは 30 mg/kg、油 (ガソリン) は TPH で 2,000 mg/kg (いずれも全含有量)。地表面は、現状はすべて舗装されている。また、これらの汚染物質は地下水の流れによって敷地外に移流・拡散しており、下流側に存在する住宅や商業地の利用者への影響が懸念される。

A case study of human health risk assesment for a contaminated land
used by Site Environmental Risk Assessment Model "SERAM"

Nobuyasu Okuda, Tetsuo Sasaki, and Study Group for Verification of the Risk Assessment Method (GEPC)

連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町 4-2 (一社) 土壤環境センター

TEL 03-5215-5955 FAX 03-5215-5954 E-mail info@gepc.or.jp

評価対象となる受容体は、オンサイト（ガソリンスタンド）およびオンサイトから 60 m 離れたオフサイト（住宅・商業地）と設定した。対象サイトの概要、平面、断面情報を表-1、図-2、図-3 に示す。それぞれのシナリオとして、特に、オンサイトについては、標準的な勤務時間 8 時間のうち、1.14 時間は建屋内の滞在という活動条件とした。オフサイトの住宅では、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）のある建築物に標準的な勤務時間分だけ滞在するものとした。

表-1 対象サイトの概要

項目	内容		敷地面積 1,000 m ² 汚染面積 500 m ²		受容体の位置 受容体の位置する土地の用途	汚染物質	汚染源から受容体までの最短距離
対象地土地用途	現在	ガソリンスタンド					
	過去	(同上)					
	未来	コンビニエンスストア					
対象地	想定場所	商業地と隣接し、その周りが住宅地であるようなガソリンスタンド			ガソリンスタンド	鉛、ベンゼン、油 (TPH)	60m
	面積	1,000m ²			住宅	鉛、ベンゼン、油 (TPH)	
汚染物質・濃度	地表面の状況	舗装			商業地	鉛、ベンゼン、油 (TPH)	敷地境界から 50m
	汚染物質	鉛、ベンゼン、油 (TPH)					
	汚染濃度 (全含有量)	鉛 : 1,000 mg/kg ベンゼン : 30 mg/kg 油 (TPH) : 2,000 mg/kg TPHはガソリン由来					
汚染面積・分布	汚染面積	500m ²					
	平面方向分布	敷地中央の 1ヶ所					
土質・地質・地形等	鉛直方向の土質分布	GL-0~3m 不飽和帯 GL-3~8m シルト混じり砂 GL-8m~ 粘土					
	地下水水位	GL-3m					
	帯水層の透水係数	5.0×10 ⁻⁷ cm/sec					
対象地の隣接	使用状態	商店街、住宅 (戸建)					
	用途地域	近隣商業地域 低層住居専用地域					
飲用井戸の有無	常用井戸	有り					
	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)					

図-2 対象サイトの平面情報

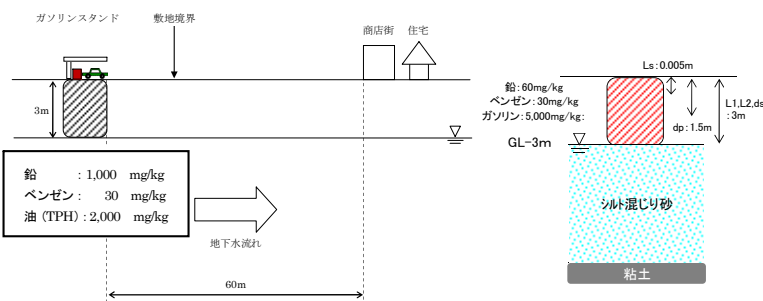


図-3 対象サイトの断面情報

2.2 リスク評価のための各種パラメーター

本ケーススタディでは、鉛、ベンゼン、油（以下、「ガソリン」と称す。）を対象物質とし、土壌・地下水・空気・建物を介する有害物質の移行を評価した。用いたパラメーターを表-2、図-3、図-4 に示す。健康リスク評価に必要なパラメーターとしては、汚染物質固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、および土質等の条件を扱うものがある。

1) 物質固有のパラメーター

対象物質ごとに、土壌含有量（全含有量）、物理化学パラメーター、毒性パラメーターを適切に設定する必要がある。SERAM では、土壌汚染対策法の特定有害物質、トルエン、キシレン、脂肪族・芳香族炭化水素（EC5~35の各々7画分）について参考となるデフォルト値を準備している。ただし、リスク評価の実施に際しては、リスク評価者自らが適切なパラメーターを使用できているかについて、確認する必要がある。

本ケーススタディでは、ガソリンの成分ごとの入力値の設定に留意した。ガソリンは、主に炭素数 5~12 相当の脂肪族炭化水素、芳香族炭化水素の混合物であり、個々の成分の存在比率は一定ではない。さらに、土壌に浸透後、ある程度の期間が経過し揮発・希釈・吸着・生物分解等の影響を受けその組成は新油状態から変化する。そのためリスク評価を行う場合には、対象サイトの土壌を採取し、脂肪族および芳香族炭化水素の各成分ごとの含有量を測定する必要がある。試験方法としては、米国テキサス州の Texas Natural Resource Conservation Commission による TNRCC 1005 および 1006 に従い、大まかに脂肪族と芳香族に類別したうえで、EC5~35 を 7つの画分（脂肪族・芳香族 計 14 画分）に分けて定量化する方法をとる。

なお、現在、ISO/TC190（地盤環境）では石油系炭化水素で汚染された土壌のリスクを評価するための ISO 規格の検討が行われており、SC7/WG4 にて TPH の炭素数レンジによる画分の方法やリスク評価で取り上げる曝露経路等に関する ISO 規格として ISO11504（地盤環境-石油系炭化水素で汚染された土壌からの影響のアセスメント）が成立し、SC3/WG6 にてそのリスク評価に用いる TPH 試験方法について審議が行われている²⁾。

リスク評価実施の際にはこれらの分析方法に従うべきであるが、現状では測定可能な機関が限られているため、スクリーニング評価の段階では日本の油汚染対策ガイドラインで採用されている USEPA 8015B による TPH をもとに、上記の 14 画分に対応した濃度比を採用し、丸山らの文献値³⁾を参考に表-2 に示す新油状態の石油製品

に相当値を使用した。なお、評価対象の炭素数レンジは EC5~35 であるが、ガソリンは EC13~35 が存在しないため表-2 では省き、EC5~12 の 4 つの画分 (脂肪族・芳香族 計 8 画分) についてパラメーターを表示した。

表-2 物質固有のパラメーター (土壌含有量、物理化学パラメーター、毒性パラメーター)

記号	名称	単位	ベンゼン	鉛及びその化合物	脂肪族炭化水素				芳香族炭化水素			
					EC>5-6	EC>6-8	EC>8-10	EC>10-12	EC>5-7	EC>7-8	EC>8-10	EC>10-12
Cs	土壌含有量	mg/kg	30	1000	3.6	414	114	36	306	446	490	192
①物理化学パラメーター												
H	ヘンリー定数	cm ³ -H ₂ O/ cm ³ -air	0.23		33	48	81	121	0.23	2.70	0.48	0.14
Csol	飽和溶解度	mg/L	1,880		360	54	0.430	0.034	1,800	520	65	25
koc	有機炭素-水分係数	cm ³ -H ₂ O/g-OC	66		790	4,000	32,000	250,000	79	25	1,600	2,500
kd	土壌-水分係数	cm ³ -H ₂ O/g-soil		36,000								
Dair	空気中の拡散係数	m ² /sec	8.8E-06		1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05
Dwater	水中の拡散係数	m ² /sec	9.8E-10		1.0E-09	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-09	1.0E-09
M	分子量	g/mol	78.1	207.2	81	100	130	160	78	92	120	130
logKow	オクタノール-水分係数	(mol/kg)/(mol/dm ³)	2.13		3.28	3.99	4.89	5.78	2.28	1.78	3.59	3.78
τ	揮発のための平均時間	year	30		30	30	30	30	30	30	30	30
②毒性パラメーター												
非発がん	RfD(経口)	mg/kg/day	0.004	0.0035	0.06	0.06	0.1	0.1	0.004	0.1	0.04	0.04
	RfC(吸入)	mg/m ³	0.0319	0.0005	18	18	0.2	0.2	0.03	1	0.2	0.2
発がん	SF	1/(mg/kg/day)	0.025									
	UR	mg/m ³	0.003									
曝露頻度	ED	year	30	70	30	30	30	30	30	30	30	30

表-3 曝露シナリオパラメーター

項目	記号	土地用途 年齢区分	単位	商工業地	居住地
				大人	生涯
平均化時間	AT_risk	平均化時間(発ガン)	y	70	70
	AT_HQ	平均化時間(非発ガン)	y	25	30
⑩土壌直接摂取	BW	体重	kg	50	50
	ED	曝露時間(土壌・水)	y	25	30
	EF	曝露頻度(土壌・水)	d/y	365	365
	Tdo	屋外・曝露時間平均値	h/d	1.14	1.29
	Irrss	表層土壌の摂取率	mg/d	50	109
	fa	体内への吸収率	-	1	1
⑪土壌皮膚接触	DAEo	屋外・皮膚への付着土壌量	kg/m ²	0.005	0.005
	DAR	皮膚吸収率	l/hr	0.005	0.0054
	Fm	土壌片の皮膚接触率	-	0.15	0.15
	Askin	屋外での露出皮膚面積	m ²	0.5	0.48
⑫地下水の飲用	IRW	水の飲用量	L/d	2	1.9
	fw	水中有害物質の吸収率	-	1	1
吸入の平均時間	AT_inhal	ガス吸入平均時間	y	30	30
⑬屋外ガスの吸入(表層土壌)	IRamb	屋外での呼吸量	m ³ /d	15	15
⑭屋外ガスの吸入オフサイト	EF	曝露頻度	d/y	250	250
⑮屋外土粒子の吸入	fss	土粒子状有害物質の肺での吸収率	-	1	1
⑯室内ガスの吸入(床下空間あり)	Tii	屋内・曝露時間平均値	h/d	22.86	22.71
⑰室内ガスの吸入(床下空間あり)オフサイト	Tij	屋内・曝露時間平均値	h/d	8	8

目標リスク

R	発がんリスク目標値	1.00E-05	1.00E-05
THQ	ハザード比目標値	1	1

2) 曝露シナリオパラメーター

曝露シナリオとして、居住地と商工業地の 2 条件を設定している。特に、有害物質に曝露される期間 ED として、有機物質・農薬・油分では居住地で 30 年・商工業地で 25 年、重金属では 70 年と設定し、平均化時間 (発がん) は 70 年、平均化時間 (非発がん) では各 ED と同じ期間と設定した。

3) 土質・地下水・空気・建物パラメーター

汚染源における汚染土壌の存在位置、不飽和土壌・毛管帯土壌等の土質、地下水の移動に関する各種パラメーター、屋外・屋内における空気濃度を推定するための各種パラメーターを設定した。建物の床形式として、住宅では通気性の高い日本の木造家屋タイプを、商工業地では気密性の高いコンクリート床タイプを想定した。

地表面は舗装で被覆されていたが、解体工事に伴い舗装が除去されることを想定し、被覆率 fss=0 として計算を行った。

表-4 土質・地下水・空気・建物パラメーター

記号	名称	単位	入力値
1. 汚染源土壌			
Ls	汚染源の深さ(汚染土上端の深さ)	m	0
L2	汚染土下端の深さ	m	3
Lgw	地下水の深さ(地下水水位)	m	3
A	汚染源の面積	m ²	500
fss	植生や舗装・覆土による被覆率	-	0
土質	不飽和土層の土質		5 Sandy Silt
ρd	土壌乾燥密度	kg-soil/L-soil	1.51
θws	不飽和帯体積含水率	cm ³ -H ₂ O/ cm ³ -soil	0.26
foc	有機炭素含有量	g-C/g-soil	0.02
ρs	土壌真比重	kg/L	2.65
hc	毛管帯の厚さ	m	0.11
θwcap	毛管帯体積含水率	cm ³ -H ₂ O/ cm ³ -soil	0.387
Pe	粉塵発生率	mg/m ² ・sec	6.9E-07
ds	表層土壌の厚さ	m	0.5
Kv	土壌の透過度	m ²	1E-15
2. 地下水			
k	透水係数	cm/s	0.0005
i	動水勾配	m/m	0.01
θe	帯水層の間隙率	-	0.43
Vgw	地下水流速	m/y	3.67E+00
I	地下水涵養量	cm/y	30
W	地下水流向に沿った汚染源の長さ	m	22.36068
b	帯水層の厚さ	m	5
kd	土壌-水分係数	cm ³ -H ₂ O/ g-soil	10
foc	帯水層の有機炭素含有量	g-C/g-soil	0.02
3. 空気			
3.1. 屋外			
Uair	地上の大気混合層における平均風速	m/sec	1.2
δair	大気混合層の高さ	m	2
d	境界層厚さ	m	0.1
dp	汚染土壌の平均深さ	m	1.5
Ev	土壌からの蒸発水の流束	m ³ /m ² /day	0.001
Q	点煙源の排出風量	m ³ /sec	250
zair	呼吸ゾーンの高さ	m	1.5
L	汚染源の幅(流動方向)	m	30
3.2. 屋内			
⑤-1 土壌間隙空気 → 室内空気 (日本の木造家屋)			
Fbi	床下空間から室内空間への寄与率	-	0.1
ER	室内空気交換率	1/h	0.5
Ls	汚染源の深さ	m	0
ERc	床下空気交換率	1/h	0.5
Lbc	床下容積と地下空気浸透面積の比	m	0.45
⑤-2 土壌間隙空気 → 室内空気 (気密性の高い建物)			
Ls	汚染源の深さ	m	0
Lcrk	建物基礎の厚さ	m	0.15
Ab	建物基礎の面積	m ²	70
Lb	室内容積と地下空気浸透面積の比	m	2.1
θws	亀裂土壌の体積含水率	cm ³ -H ₂ O/ cm ³ -soil	2.6E-01
ΔP	室内と屋外の圧力差	g/cm ² ・s ²	100
Kv	土壌の透過度	m ²	1.0E-15
Xcrk	建物基礎の外周長	m	34
Zcrk	建物基礎の深さ	m	0.5
μair	空気の動粘度	g/cm ² ・s ²	0.000181
η	亀裂の面積比	-	0.001

3. 計算結果

3.1 人の健康リスク

SERAM によるリスク計算結果を図-3に示す。目標リスクとして発がんリスク ($R=1 \times 10^{-5}$) および非発がんハザード比 ($HQ=1$) を超過する曝露経路に対し、対策が必要となる。

ベンゼン 30 mg/kg、ガソリン 2,000 mg/kg に対して地下水の飲用がすべての評価点で大きく目標リスクを超過している。他には、オンサイトの屋内ガスの吸入、オフサイト(住宅)のシャワー時の吸入蒸気・皮膚吸収でも目標リスクを超過している。鉛 1,000 mg/kg に対してはすべての経路・評価点で目標リスクを満足する。

ガソリン成分の内、芳香族 EC5~8 画分は揮発性・水溶解度が高く、土壌等への吸着性が低いため、環境中の移動速度が速い。さらに芳香族 EC5~7 の毒性パラメーターRfD(経口)が、0.004 mg/kg/day と他の炭化水素に比べ低い値であり、リスクを押し上げる主要因となっている。芳香族 EC5~8 画分の土壌含有量は 750 mg/kg(全体の 38%) であるが、ガソリンの全体リスクに対し芳香族 EC5~8 の画分が占める割合はオンサイト・地下水の飲用リスクの 99%、屋内ガスの吸入リスクの 95%と非常に高くなっている。

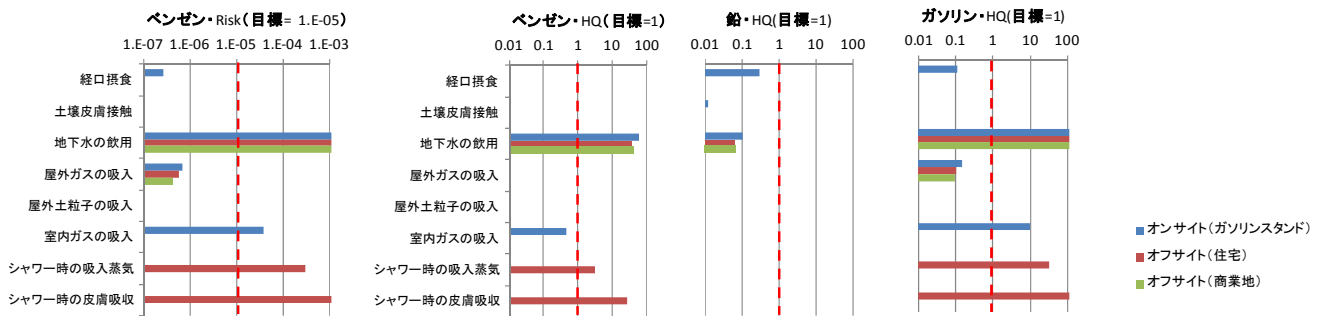


図-3 リスク評価結果(発がんR・非発がんHQ)

3.2 曝露経路

目標リスクを超過した物質(ベンゼン・ガソリン)の曝露経路を図-4に示す。目標リスク超過に起因する汚染源、移動経路、異動媒体、曝露対象を実線(赤色)で明示した。最も影響の高い経路は、浅層土壌から溶出し、地下水として飲用される経路である。対策方法には汚染源の除去・濃度の低減、移動経路の遮断、地下水飲用の中止等が挙げられ、サイトの状況に応じて最適な方法を選択することが必要である。

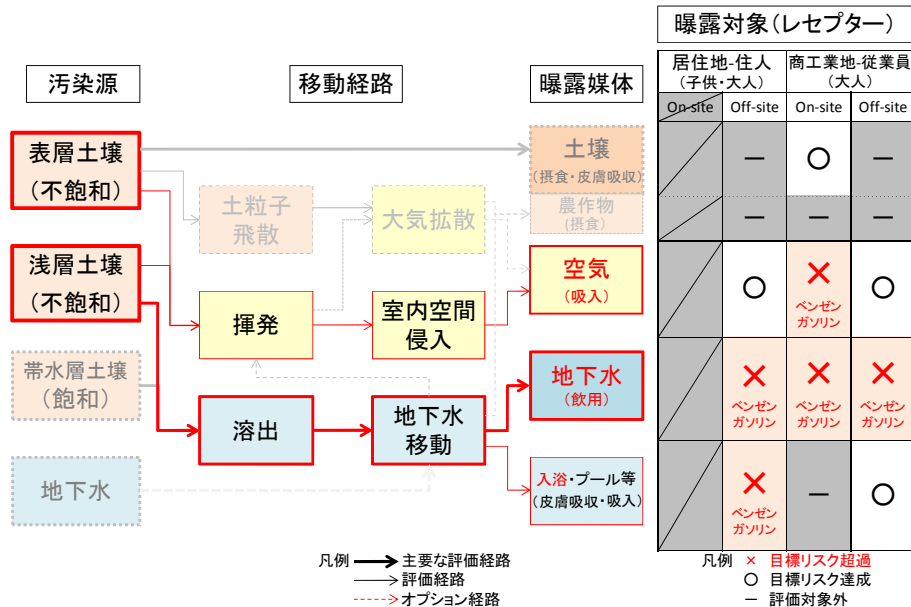


図-4 リスク評価結果(曝露経路)

3.3 対策目標値

SERAM の計算結果として累積暴露量、発がん R・非発がん HQ、対策目標値の一覧を表-5に示す。対策目標値とは、曝露経路ごとに目標リスクを満足する汚染源での各物質の土壌含有量を逆算し求めたものである。すべての経路で目標リスクを達成するためには、いずれもリスクが最大となるオンサイト・地下水の飲用経路で目標リスク達成となるベンゼン 0.133 mg/kg、ガソリン 3.25 mg/kg が対策目標値となる。オフサイトの目標リスク

を満足するには、ベンゼン 0.180 mg/kg (住宅 (戸建)・地下水の飲用)、ガソリン 4.92 mg/kg (住宅 (戸建)・シャワー時の皮膚吸収) が対策目標値として設定される。表-5 では各曝露シナリオにおける最小のリスク値と対策目標値を赤枠と黄色塗りつぶしで強調した。

表-5 SERAM 計算結果 (累積暴露量、発がん R・非発がんリスク HQ、対策目標値)

ガソリンスタンド											
・オンサイト(0m) ・評価対象 商工業地 ・建物構造 コンクリート床 経口摂取 土壌皮膚接触	ベンゼン 30 mg/kg				鉛 1000 mg/kg			ガソリン 2000 mg/kg			
	累積暴露量 (mg/kg)	発がん R	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	累積暴露量 (mg/kg)	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	累積暴露量 (mg/kg)	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	
地下水の飲用	2.30E+03	2.25E-03	6.30E+01	1.33E-01	4.76E-01	3.24E+00	1.01E-01	9.86E+03	7.61E+04	6.15E+02	3.25E+00
対策目標				1.33E-01	4.76E-01			3.50E+03			3.25E+00

住宅(戸建)											
・オフサイト(60m) ・評価対象 住宅地(生涯) ・建物構造 戸建住宅	ベンゼン 30 mg/kg				鉛 1000 mg/kg			ガソリン 2000 mg/kg			
	累積暴露量 (mg/kg)	発がん R	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	累積暴露量 (mg/kg)	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	累積暴露量 (mg/kg)	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	
地下水の飲用	1.71E+03	1.67E-03	3.90E+01	1.80E-01	7.69E-01	5.61E+00	6.27E-02	1.59E+04	5.65E+04	3.80E+02	5.26E+00
対策目標				1.80E-01	7.69E-01			1.59E+04			4.92E+00

商業地											
・オフサイト(60m) ・評価対象 商工業地 ・建物構造 コンクリート床	ベンゼン 30 mg/kg				鉛 1000 mg/kg			ガソリン 2000 mg/kg			
	累積暴露量 (mg/kg)	発がん R	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	累積暴露量 (mg/kg)	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	累積暴露量 (mg/kg)	非発がん HQ	対策目標値(mg/kg)	
地下水の飲用	1.49E+03	1.45E-03	4.07E+01	2.08E-01	7.38E-01	2.09E+00	6.55E-02	1.53E+04	4.92E+04	3.97E+02	5.03E+00
対策目標				2.08E-01	7.38E-01			1.53E+04			5.03E+00

4. 対策方法の検討

4.1 対策方法の検討方法

表-6 の評価項目を用いてサイト状況への適用性を整理し、最適な対策方法を検討する。対策の流れを図-5 に示す。

表-6 対策案決定のための評価項目

No.	評価項目	検討内容	判断基準 【●: 必達項目】
1	目標リスクの達成	発がん物質: 生涯過剰発がんリスク R=10 ⁻⁵ 、 非発がん物質: ハザード比 HQ=1	●: 目標達成
2	参照する基準等の遵守	法・条例等の基準に適合するか (大気・地下水等)	●: 基準適合
3	長期的効果と持続性	対策完了後の残存リスク(対策方法の長期的な修復能力の評価等)の評価。	長期的に安定である
4	毒性、移動性、量の減少	汚染物質の状態の評価。 (分解性や移動性の高い物質は、長期的にリスクが変化する)	対策の状況が大きく変化しても重大な影響は生じない
5	短期的効果	対策完了直後のリスク(対策実施による即効性)の評価。	対策効果の即効性
6	実現可能性	対象地において実現可能な対策方法か。	実現可能である
7	対策費用	対策に要する費用。	許容範囲内である
8	自治体の承諾		承認が得られる
9	コミュニティの承諾		承認が得られる
10	その他の条件	1~9 以外の条件	
	総合評価	1~10 の条件の総合評価	

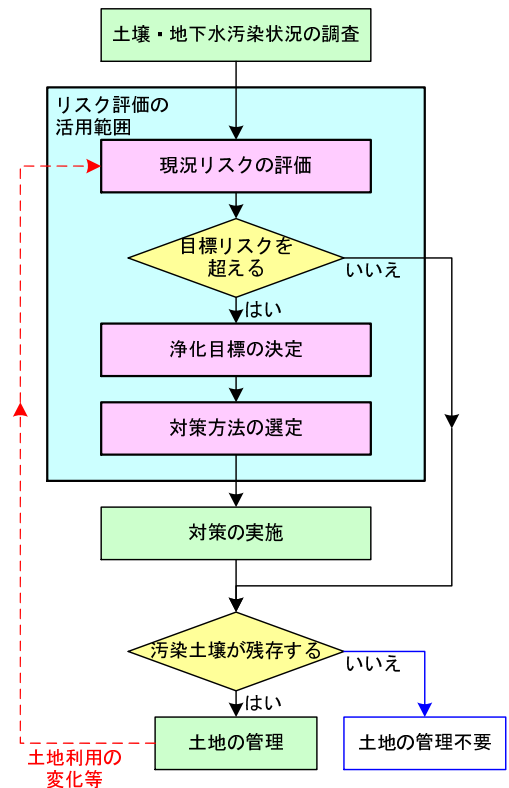


図-5 リスク評価を用いた土壌汚染対策の流れ

4.2 対策方法の選定

本サイトにおける対策方法として、掘削除去、原位置封じ込め、原位置浄化を選択し、表-6 に基づき評価を行った。リスク評価結果より、対象物質はベンゼン、ガソリン (特に芳香族 EC5~8 画分) であり、対策目的は、

浅層土壌から溶出し地下水として飲用される経路、表層土壌・浅層土壌から揮発し室内ガスとして吸入される経路およびシャワー時の蒸気の吸入と皮膚吸収での経路における目標リスクの達成である。各々の対策目標値は、ベンゼン 0.133 mg/kg・ガソリン 3.25 mg/kg であり、対策後には対策目標値以下に低減する必要がある。

現状（対策なし）の場合には、オフサイトの地下水汚染リスクが高く無対策では周辺住民・自治体の了解は得られないため、早急な対応が必要であると評価される。

対策方法として、掘削除去は、短期間で汚染が除去でき関係者に対策効果の理解が得られやすい利点があるが、施工・処分に高い費用が必要で大規模な工事となり、工事期間中の周辺環境への影響が大きい。原位置封じ込めは、オフサイトへの汚染地下水の流出を抑制できるが、オンサイトの地下水および屋内ガスの濃度低減の効果が無いため目標リスクが満足できず、飲用中止等の追加措置が必要となる。また、本ケースでは、回避不能な地下埋設物があり、その盛り替えには非常に費用が掛かることが判明した。原位置浄化は、大規模な工事を行わずに比較的安価に汚染物質を分解・抽出することができる。なお、本サイトでは適用性確認試験を実施し、良好に汚染物質の濃度低減が進行する状態であることが確認されている。

総合的に判断すると、本サイトの対策方法としては掘削除去または原位置浄化の適用が可能である。そこで、最終的な対策案の決定は、周辺住民・自治体の意向およびサイトの今後の土地利用のスケジュールと経済性を考慮して行うことが適切である。さらに、状況に応じては複数の対策方法を組み合わせて適用することで、単一の対策方法を適用する場合よりも合理的な対策計画を立案することも可能である。

表一七 対策方法比較表（凡例 ○：良い、△：課題あり、×：難あり）

No.	評価項目	対策方法			
		現状（対策なし）	掘削除去 濃度超過部分を入替え	原位置封じ込め 敷地外周に遮水壁設置	原位置浄化 ベンゼン・ガソリンを分解・抽出
1	目標リスク達成	× 地下水・屋内ガス	○ 達成可能	× わずか地下水・屋内ガス	○ 達成可能
2	参照する基準等の遵守	× ベンゼン・鉛	○	○	○
3	長期的効果と持続性	×	○ 持続性あり	△ 維持管理が必要	○ 持続性あり
4	毒性、移動性、量の減少	×	○ 量の減少	△ 移動性の減少	○ 量の減少
5	短期的効果	× 汚染物質流出拡大	○ 短期間で達成	○ 短期間で達成	△ 数年以内に達成
6	実現可能性	×	△ 周辺への影響有	× 地下埋設の阻害有	○ 試験にて効果確認
7	対策費用	× 土地取引に支障	× 施工・処分費高	× 地下埋設管の盛替	○ 比較的安価
8	自治体の承諾	× 敷地外へ影響有	○	○	○
9	コミュニティーの承諾	× 敷地外へ影響有	△ 工事時騒音・振動	△ 周辺地下水影響	○ 大規模工事が無い
総合評価		× 対策必要	○ 短期間で完了	× 措置必要・施工難	○ 最も安価

5. まとめ

本検討では、ガソリンスタンドにおけるベンゼン・鉛・ガソリンの土壌汚染サイトを想定し、SERAM によるリスク評価とその評価に基づく対策案選定手順について示した。汚染サイトにおける汚染物質の挙動を網羅的に把握し、オンサイトおよびオフサイトの曝露対象に及ぼす影響を人の健康リスクとして評価することで、当該サイトでの土壌汚染による悪影響の大小を明確にすることができる。また、対策案の選定において、汚染の全体状況を把握したうえで主要な曝露経路をきちんと理解することが、汚染の影響低減のために効果的な対策の遂行に有効となる。

今後は、リスク評価を用いて土壌汚染サイトの評価・対策を支援するツールとして SERAM をブラッシュアップさせ、様々な場面で活用していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 田中宏幸・奥田信康・佐々木哲男・原元利浩・杉原勝利・リスク評価方法検証部会(2012)：サイト環境リスク評価モデル SERAM によるガソリン汚染サイトの健康リスクに関するケーススタディ，第 18 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
- 2) 中島誠・王寧・保高徹生・ISO/TC190 部会(2013)：石油系炭化水素汚染土壌によるリスクの影響評価に関する ISO 規格化の動き，第 19 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
- 3) 丸山智代・田中美記子・北川聡・久保田雅美(2009)：ガスクロマトグラフィーによる土壌の全石油系炭化水素 (TPH) 定量法の比較・検討，第 15 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