

(S4-8) 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

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
土壌環境センター

1. はじめに

現在、リスク評価方法検証部会では、わが国におけるリスク評価に基づいた土壌汚染対策の在り方について検討しており、健康リスク評価の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) の開発を進めている。前報では、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¹⁾。今年、ガイダンスの作成、パラメーターの感度解析、他のモデルによる計算結果との比較等の作業と合わせて、複数のケーススタディを行ってきた。

さて、日本の油汚染問題に対しては、平成15年2月に環境省から施行された土壌汚染対策法において、健康被害を引き起こすリスク防止を根拠にベンゼンを規制項目に定めている。また、平成18年4月に環境省から示された油汚染対策ガイドラインでは、油膜、油臭による生活環境保全上のリスクを問題の契機としており、それを補完する評価方法として全石油系炭化水素(TPH)を提示しているものの一定の基準値等は設けておらず、汚染についての土地所有者等の対応の際の考え方が示されている。欧米において土地の利用用途に応じた油汚染に対するクライテリアが策定されている状況と比較すると、定量的な根拠による対策方針という観点からは、今後、油汚染対策ガイドラインを補うような考え方を整備する余地がある。さらには、現在、環境省では「ブラウンフィールドの活用検討」として、リスク管理の考え方を強めた汚染への対応策の検討が進められようとしており、今後、土地所有者は、これらの状況を考慮し将来の土地利用形態を見定めようとする合理的な汚染

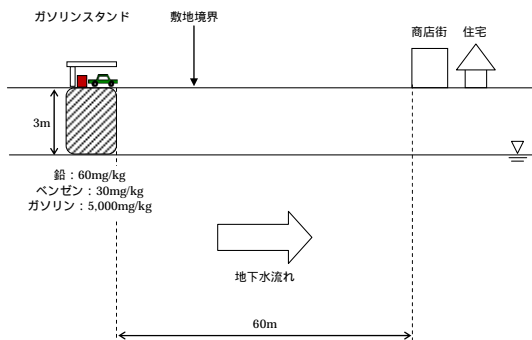


図 - 1 対象サイトの断面図

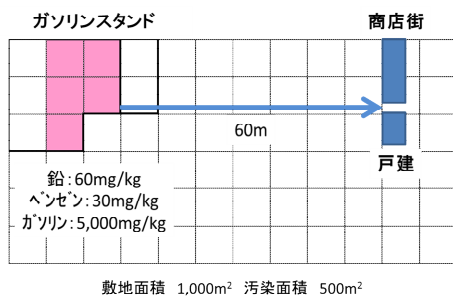


図 - 2 対象サイトの平面図

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
	面積	1,000m ²
	地表面の状況	舗装
汚染物質・濃度	汚染物質	鉛、ベンゼン、油 (TPH)
	汚染濃度 (全含有量)	鉛: 60mg/kg ベンゼン: 30mg/kg 油 (TPH): 5,000mg/kg TPHはガソリン由来
	汚染面積	500m ²
汚染面積・分布	平面方向分布	敷地中央の1ヶ所
	鉛直方向分布	GL-0 ~ 3m
	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
対象地の隣接	地下水位	GL-3m
	帯水層の透水係数	5.0×10 ⁻⁴ cm/sec
	使用状態	商店街、住宅 (戸建)
飲用井戸の有無	用途地域	近隣商業地域 低層住居専用地域
	常用井戸	有り
リスク計算	災害時井戸	有り
	計算パターン	汚染源直上 (オンサイト) 敷地外 (オフサイト)

A Case Study of Human Health Risk Assessment for a Gasoline Contaminated Site,
by Site Environmental Risk Assessment Model "SERAM"

Hiroyuki Tanaka, Nobuyasu Okuda, Tetsuo Sasaki, Toshihiro Haramoto, Katsutoshi Sugihara
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 (社)土壌環境センター

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

低減に取り組むことが求められることになる。そうした背景から、今後、油汚染の対策方針の設定根拠としてリスク評価の適用が期待されており、既に国内においても評価方法に関する検討がなされている²⁾。今回は、油汚染のケースを想定し、SERAM によって健康リスクを検討したので、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として、まず、土地用途はガソリンスタンドで、ガソリン由来の鉛、ベンゼン、油分という汚染物質が存在する(図-1、2、表-1)。各物質の汚染範囲は同一の500m²で、鉛が60mg/kg、ベンゼンが30mg/kg、油分としてTPHで5,000mg/kg(いずれも全含有量)が一様に分布している。地表面は、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。

2.2 曝露シナリオ

土地用途別のリスク受容体(レセプター)の位置は、表-2のような3種類と設定した。このときの、それぞれのシナリオで考慮する経路(表-3)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で滞在するものとした。

表-2 受容体の位置と土地利用

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
汚染源直上	ガソリンスタンド	鉛	0m
		ベンゼン	
		油(TPH)	
敷地境界から50m	住宅	鉛	60m
		ベンゼン	
		油(TPH)	
	商業地	鉛	
		ベンゼン	
		油(TPH)	

表-3 曝露シナリオと考慮した経路

受容体	オンサイト(ガソリンスタンド)	オフサイト			
		住宅(戸建)	住宅(アパート)	商業地(商店街)	商業地(商店街)
化学物質	鉛	ベンゼン	鉛	ベンゼン	鉛
経口接触					
土壌皮膚接触-候補式1(CSOIL)					
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)					
屋外ガスの吸入(表層土壌-CSOIL)					
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					
シャワーに伴い吸入する蒸気による曝露量					
シャワーによる皮膚吸収経路の曝露量					

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	
V	植生や舗装・覆土による被覆率	-	土粒子の飛散	1.0	-	-	サイト条件
EF	曝露頻度	dy	土壌直接摂取 土壌皮膚接触 水の飲用	250	365	250	サイト条件
ED	曝露時間	y	屋外・室内ガスの吸入 屋外土粒子の吸入 シャワーの皮膚接触・蒸気吸入	25	70	25	部会提案デフォルト値 サイト条件
To	屋外での1日あたりの曝露時間年間平均値	h/d	土壌直接摂取 土壌皮膚接触 屋外ガス吸引	6.86	1.14	1.14	部会提案デフォルト値 サイト条件
Ti	屋内での1日あたりの曝露時間年間平均値	h/d	室内ガス吸引	1.14	22.86	6.86	部会提案デフォルト値 サイト条件
IRss	表層土壌の摂取率	kg/d	土壌直接摂取	-	-	-	サイト条件
fa_ingest_ss	体内への吸収率	-	水の飲用	-	1	-	部会提案デフォルト値
IRw	水の飲用量	L/d	水の飲用	-	2	-	部会提案デフォルト値
DAEo	屋外での皮膚単位面積あたりの付着土壌量	kg/m ²	土壌皮膚接触	-	-	-	サイト条件
DAR	皮膚吸収率(鉛)	1/h	土壌皮膚接触	-	-	-	サイト条件
DAR	皮膚吸収率(PCB)	1/h	土壌皮膚接触	-	-	-	サイト条件
Askin	屋外での露出皮膚面積	m ²	土壌皮膚接触	-	-	-	サイト条件
fm	1/1000000、土壌粒子の皮膚接触率	-	土壌皮膚接触	-	-	-	サイト条件
IRamb	呼吸量	m ³ /d	屋外・室内ガスの吸入 屋外土粒子の吸入	-	15	-	部会提案デフォルト値
IRresp	呼吸量(シャワー)	m ³ /d	シャワーの蒸気吸入	-	0.15	-	部会提案デフォルト値
tdrd	接触時間=シャワーを浴びる時間	h/d	シャワーの蒸気吸入	-	1.25	-	部会提案デフォルト値
tdsh	乾燥と着衣の時間	h	シャワーの蒸気吸入	-	0.25	-	部会提案デフォルト値
Atot	シャワーと水泳時に水と曝露する皮膚表面積	m ²	シャワーの蒸気吸入	-	1.8	-	部会提案デフォルト値
fexp	曝露される皮膚の割合	-	シャワーの蒸気吸入	-	0.4	-	部会提案デフォルト値
BW	体重	kg	全般	-	50	-	部会提案デフォルト値

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寄与率	-	0.1	CSOIL, GERAS
ER	室内空気交換率	1/s	0.5	建築基準法施行令第20条8項
Ls	汚染源の深さ	m	3	サイト条件
Erc	床下空気交換率	1/s	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0.45m)
Dair	空気中の拡散係数	m ² /s	7.20E-06	部会提案デフォルト値
Ls	汚染源の深さ	m	3	サイト条件
Lerk	建物基礎の厚さ	m	0.15	RBCA
Ab	建物基礎の面積	m ²	70	サイト条件
ER	室内空気交換率	1/s	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(最小居住高さ2.1m)
θw_crk	亀裂土壌の体積含水率	cm ³ -H ₂ O/cm ³ -soil	0.12	部会提案デフォルト値
ΔP	室内と屋外の圧力差	g/cm ² ・s ²	100	CCME
Kv	土壌の透過度	m ²	1E-12	RBCA
Xerk	建物基礎の外周長	m	34	建築基準法施行令第20条8項
Zerk	建物基礎の深さ	m	5	サイト条件
μair	空気動粘度	g/cm ² ・s	1.81E-04	ASTME2081-00
η	亀裂の面積比	-	0.001	RBCA
Lerk	建物基礎の厚さ	m	0.15	RBCA

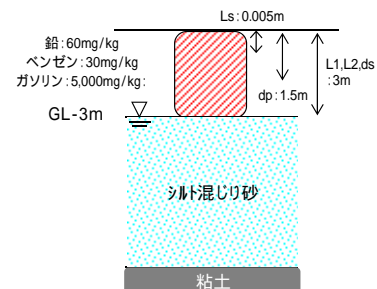


図-3 汚染の深度分布と関連するパラメーター

2.3 評価方法

健康リスクの計算式には、SERAM 2011 (2012年1月時点) を使用した¹⁾。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、3種の物質ともに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、今回のケースは複合汚染であるが、健康リスクの評価は物質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、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、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、本部会としての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。

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土埃の発生原因となる裸地が存在しないものとした。EF (曝露頻度) とED (曝露時間) は、オンサイトのガソリンスタンドやオフサイトの商業地では250日/年×25年間、住宅地では365日×70年間とした。Ti (屋内での1日あたりの曝露時間年間平均値) は、オンサイトやオフサイトの商業地では労働時間の8時間/日、あるいは住宅地での滞在時間の24時間/日と、To (屋外での1日あたりの曝露時間年間平均値) の差分から導いた。Askin (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、リスク部会の推奨するデフォルト値を採用した。

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では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。ただし、そのためのパラメーターのデフォルト値は整備されていなかったため、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

表-6 TPH画分毎の濃度設定

画分	存在率	濃度 (mg/kg)	
脂肪族	C5-6	0.18%	9
	C6-8	20.7%	1,037
	C8-10	5.7%	284
	C10-12	1.8%	89
	C12-16	-	-
	C16-21	-	-
芳香族	C5-7	15.3%	763
	C7-8	22.3%	1,117
	C8-10	24.5%	1,223
	C10-12	9.6%	479
	C12-16	-	-
	C16-21	-	-
合計	100%	5,000	

表-7 毒性パラメーター

項目	非発がん			
	RfD(経口) mg/kg/day	RfC(吸入) mg/m ³		
鉛	3.60E-03	-		
ベンゼン	4.00E-03	3.00E-02		
	RBCA	RBCA		
TPH	脂肪族	C5-6	6.00E-02	1.80E+01
		C6-8	6.00E-02	1.80E+01
		C8-10	1.00E-01	2.00E-01
		C10-12	1.00E-01	2.00E-01
		C12-16	1.00E-01	2.00E-01
		C16-21	2.00E+00	-
	芳香族	C5-7	4.00E-03	3.00E-02
		C7-8	1.00E-01	1.00E+00
		C8-10	4.00E-02	2.00E-01
		C10-12	4.00E-02	2.00E-01
		C12-16	4.00E-02	2.00E-01
		C16-21	3.00E-02	-
合計	3.00E-02	-		
	RBCA	RBCA		

表-8 油分の物理化学パラメーター

画分	分子量 M g/mol	空気中の分子 拡散係数 Dair m ² /s	水中の分子 拡散係数 Dwater m ² /s	有機炭素 - 水吸着係数 Koc L-H ₂ O/ kg-OC	ヘンリー 定数 H Pa・m ³ /mol	蒸気圧 Vp Pa	水溶解度 Csol mg/L-H ₂ O (20)	オクタノール 水分配係数 logKow L/kg (20-25)	
脂肪族	C5-6	81	1.00E-05	1.00E-09	7.90E+02	8.20E+04	3.50E+04	3.60E+02	3.28E+00
	C6-8	100	1.00E-05	1.00E-09	4.00E+03	1.20E+05	6.40E+03	5.40E+01	3.99E+00
	C8-10	130	1.00E-05	1.00E-09	3.20E+04	2.00E+05	6.40E+02	4.30E-01	4.89E+00
	C10-12	160	1.00E-05	1.00E-09	2.50E+05	3.00E+05	6.40E+01	3.40E-02	5.78E+00
	C12-16	200	1.00E-05	1.00E-09	5.00E+06	1.30E+06	4.90E+00	7.60E-04	7.09E+00
	C16-21	270	1.00E-05	1.00E-09	6.30E+08	1.20E+07	1.10E-01	2.50E-06	9.19E+00
芳香族	C5-7	78	1.00E-05	1.00E-09	7.90E+01	5.70E+02	1.30E+04	1.80E+03	2.28E+00
	C7-8	92	1.00E-05	1.00E-09	2.50E+01	6.70E+03	3.90E+03	5.20E+02	1.78E+00
	C8-10	120	1.00E-05	1.00E-09	1.60E+03	1.20E+03	6.40E+02	6.50E+01	3.59E+00
	C10-12	130	1.00E-05	1.00E-09	2.50E+03	3.50E+02	6.40E+01	2.50E+01	3.78E+00
	C12-16	150	1.00E-05	1.00E-09	5.00E+03	1.30E+02	4.90E+00	5.80E+00	4.09E+00
	C16-21	190	1.00E-05	1.00E-09	1.60E+04	3.20E+01	1.10E-01	6.50E-01	4.59E+00
C21-35	240	1.00E-05	1.00E-09	1.30E+05	1.70E+00	4.50E-05	6.60E-03	5.50E+00	

RiscHumanに採用されている次式により換算。 logKow=logKoc-log0.411

建物構造としており、ER(室内空気交換率)は日本家屋と同じ条件とするものの、Kv(土壌の透過度)は建築基準法、η(亀裂の面積比)にはRBCA³⁾から引用した値を使用した。

汚染の深度分布に関するパラメーター

図-3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。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ため、これらのパラメーターは、複数の数式間で異なる記号が用いられている。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、汚染は不飽和層のみに存在するとして、dpは1.5m、L1、L2及びdsは3mとした。

TPH画分毎の濃度設定

現在、油の土壌汚染に関する健康リスク評価には、例えば、坂本ら²⁾やT. T. Tsaiら⁴⁾の研究に示されるように、RBCAによるパラメーター等が適用される事例が多く、本検討もこれに参考としている。ここで必要とされる米国テキサス州のTexas Natural Resource Conservation Commissionによる試験法TNRCC 1005及び1006に沿ったTPHの分析では、大まかに脂肪族と芳香族に類別したうえで、C5~35を7つずつの画分に分けて定量化される。リスク評価の際には、この分析方法に従った定量化値を得ることが理想だが、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利用することも合理的と考えられ、文献値^{5),6)}を参考に表-6に示すような値を使用した。ただし、この濃度比とは、風化や分解の作用を受けていない新油状態の石油製品のものであることに留意が必要である。

毒性パラメーター

毒性パラメーターの設定値を表-7に示す。鉛、ベンゼン、TPHのいずれについても、閾値のある毒性を有し、その参照用量(RfD)及び参照濃度(RfC)を採用した。なお、皮膚接触に関する毒性値については、経口毒性を採用した⁷⁾。

油分の物理化学パラメーター

油分の物理化学的性状に関するものについては、RBCAで採用されているものとして、Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group⁸⁾によって示された値(表-8)を使用した。log KowについてはKocをもとに算出した値を使用した。

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-9にまとめて記す。

表-9 その他のパラメーター

種類	記号	名称	単位	数値	設定根拠
土質	pd	土壌乾燥密度	kg-soil/L-soil	1.5	部会提案デフォルト値
	kd	土壌-水分係数(鉛)	cm ³ -H ₂ O/g-soil	10	部会提案デフォルト値
	θws	不飽和帯土壌の体積含水率	cm ³ -H ₂ O/cm ³ -soil	0.12	部会提案デフォルト値
	foc	有機炭素含有量	g-C/g-soil	0.01	部会提案デフォルト値
	ps	土壌真比重	kg/L	2.65	部会提案デフォルト値
	H	ヘンリー定数(鉛)	cm ³ -H ₂ O/cm ³ -air	0	部会提案デフォルト値
	H	ヘンリー定数(ベンゼン)	cm ³ -H ₂ O/cm ³ -air	2.33E-01	部会提案デフォルト値
	H	ヘンリー定数(ガソリン)	cm ³ -H ₂ O/cm ³ -air	(別表参照)	
	Csol	飽和溶解度(ベンゼン)	mg/L	1.88E+03	部会提案デフォルト値
	Csol	飽和溶解度(ガソリン)	mg/L	(別表参照)	
物性	koc	有機炭素-水分係数(ベンゼン)	cm ³ -H ₂ O/g-OC	6.61E+01	部会提案デフォルト値
	koc	有機炭素-水分係数(ガソリン)	cm ³ -H ₂ O/g-OC	(別表参照)	
	Dair	空気中の拡散係数(ベンゼン)	m ² /s	8.80E-06	部会提案デフォルト値
	Dair	空気中の拡散係数(ガソリン)	m ² /s	(別表参照)	
	Dwater	水中の拡散係数(ベンゼン)	m ² /s	9.80E-10	部会提案デフォルト値
	Dwater	水中の拡散係数(ガソリン)	m ² /s	(別表参照)	
	Ev	土壌からの蒸発水の流量	m ³ /m ² /d	0.001	CSOIL
	Hsh	シャワー温度におけるヘンリー定数	Pa · m ³ /mol	0	Klw=0の場合
	Rgas	気体定数	Pa · m ³ /mol/K	8.3144	部会提案デフォルト値
	Kgc	気相の物質輸送定数	m/s	29.8	RiscHuman
深度	M	分子量(鉛)	g/mol	207.19	部会提案デフォルト値
	M	分子量(ベンゼン)	g/mol	(別表参照)	
	M	分子量(ガソリン)	g/mol	(別表参照)	
	logKow	オクタノール-水分係数(鉛)	(mol/kg-dry soil)/(mol/L)	0.729	部会提案デフォルト値
	logKow	オクタノール-水分係数(ベンゼン)	(mol/kg-dry soil)/(mol/L)	(別表参照)	
	logKow	オクタノール-水分係数(ガソリン)	(mol/kg-dry soil)/(mol/L)	(別表参照)	
	ds	揮発に係る汚染源土壌の厚さ	m	3	サイト条件
	d	境界層厚さ	m	0.007	部会提案デフォルト値
	dp	汚染土壌の平均深さ	m	1.5	サイト条件 0.05m、揮発性物質 1m
	Ls	汚染源の深さ	m	0.015	地表面から汚染源上端までの距離
サイト	Lgw	地下水の深さ	m	3	地表面から汚染源上端までの距離
	hc	毛管帯の厚さ	m	0.05	部会提案デフォルト値
	L1	汚染源土壌の厚さ	m	3	サイト条件
	L2	汚染源土壌の上端から地下水までの距離	m	8	サイト条件
	dair	大気混合層の高さ	m	2	部会提案デフォルト値
	A	汚染源の面積	m ²	500	サイト条件
	L	汚染源の幅(流動方向)	m	20	サイト条件
	x	発生源からの距離(X方向)	m	60	サイト条件
	y	発生源からの距離(Y方向)	m	0	サイト条件
	W	地下水に沿った汚染源の長さ	m	20	サイト条件
ガス状	nar	評価点のx座標	m	60	サイト条件
	Y	汚染源幅	m	30	サイト条件
	τ	揮発のための平均時間	y	30	部会提案デフォルト値
	Pe	粉塵発生率	g/cm ² · s	0	サイト条件
	Tsoil	土壌中温度	K	283	RiscHuman
	Tsh	シャワー温度	K	313	RiscHuman
	Kk	水の液相物質輸送定数	m/s	0.2	RiscHuman
	tf	水滴の落下時間	s	1	RiscHuman
	rd	水滴の半径	m	0.0005	RiscHuman
	Vws	シャワー中の水量	m ³	0.15	RiscHuman
シャワー	Vbr	バスルーム容積	m ³	15	RiscHuman
	Uair	大気混合層における平均風速	m/s	2.25	サイト条件
	Q	点煙源の排出風量	m ³ /s	250	サイト条件
	zair	呼吸ゾーンの高さ	m	1.5	部会提案デフォルト値
	Vgw	地下水流速	m/y	4.0	サイト条件
	Igw	地下水油流量	cm/y	30	サイト条件
	b	帯水層の厚さ	m	5	サイト条件
	ti/2	半減期	y	-	(分解なし)
	k	透水係数	m/y	32	サイト条件
	i	動水勾配	m/m	0.01	サイト条件
横移動	θe	帯水層の有効間隙率	-	0.39	社注じり砂 砂質土(部会値)
	y	評価点のy座標	m	0	-
	z	評価点のz座標	m	0	-
	Z	汚染源深さ	m	3	サイト条件
	t	経過時間	y	70	-

3. 結果

表 - 10 及び 11、図 - 4 に示す計算結果から、リスクの高い曝露経路としては次にあげる傾向が確認された。
第一に、オフサイトでの鉛・ベンゼン・ガソリンで汚染された地下水の飲用である。

次いで、オンサイトで、ガソリンの揮発成分による屋外あるいは室内ガスの吸入の経路も高いものがあった。
屋外ガスのリスクでは、ベンゼン、ガソリンともに CSOIL 式による計算値が、RBCA 式や地表面以外に地下土壌も考慮したものよりも 10~100 倍高い結果となっていた。

三つ目には、オフサイトでのベンゼン・ガソリンに汚染された地下水をシャワーに利用した場合の皮膚吸収やガスの吸入の経路である。

今回の計算結果から、舗装されている土地利用形態では、5,000 mg/kg のガソリン汚染により、オンサイトでのガス吸入による健康影響については許容できない水準であったほか、地下水の流向で 60 m 下流側に位置す

表 - 10 曝露経路毎の媒体濃度と健康リスク(鉛・ベンゼン)

受容体 化学物質 項目	オンサイト				オフサイト							
	鉛		ベンゼン		戸建				商業地			
	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
経口接触	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
土壌皮膚接触-候補式1 (CSOIL型)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
井戸水の飲用(オンサイト)	-	-	-	-	地下水 7.6E+01 mg/L	8.4E+02	地下水 3.9E+00 mg/L	3.8E+01	-	-	-	-
屋外ガスの吸入(表層土壌-RBCA)	-	-	屋外空気 2.6E-04 mg/m ³	1.7E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
屋外ガスの吸入(表層土壌-CSOIL)	-	-	屋外空気 1.6E-04 mg/m ³	7.3E-02	-	-	-	-	-	-	-	-
屋外ガスの吸入(地下土壌)	-	-	屋外空気 7.1E-04 mg/m ³	1.7E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
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 1.5E-03 mg/m ³	2.8E-03	-	-	屋外空気 1.5E-03 mg/m ³	6.8E-04
屋外土粒子の吸入	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
室内ガスの吸入(床下空間あり) オフサイト	-	-	-	-	-	-	室内空気 4.3E-08 mg/m ³	1.4E-06	-	-	-	-
室内ガスの吸入(床下空間なし)	-	-	室内空気 3.2E-05 mg/m ³	2.3E-03	-	-	-	-	-	-	-	-
室内ガスの吸入(床下空間なし) オフサイト	-	-	-	-	-	-	-	-	-	室内空気 1.3E-07 mg/m ³	1.2E-08	
シャワーに伴い吸入する蒸気による曝露量	-	-	-	-	-	-	浴室空気 4.7E+00 ug/m ³	3.3E+00	-	-	-	-
シャワーによる皮膚吸収経路の曝露量	-	-	-	-	-	-	地下水 3.9E+00 mg/L	1.4E+01	-	-	-	-
目標値	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1

表 - 11 曝露経路毎の媒体濃度と健康リスク(TPH)

受容体 項目	オンサイト		オフサイト			
	媒体濃度	HQ	戸建		商業地	
	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ	媒体濃度	HQ
経口接触	-	-	-	-	-	-
土壌皮膚接触(CSOIL型)	-	-	-	-	-	-
井戸水の飲用(オンサイト)	-	-	-	-	-	-
井戸水の飲用(オフサイト)	-	-	地下水 1.7E+00 mg/L	7.4E+00	-	-
屋外ガスの吸入(表層土壌-RBCA)	屋外空気 1.2E-01 mg/m ³	6.1E-02	-	-	-	-
屋外ガスの吸入(表層土壌-CSOIL)	屋外空気 6.5E+01 mg/m ³	4.4E+01	-	-	-	-
屋外ガスの吸入(地下土壌)	屋外空気 1.2E-01 mg/m ³	6.1E-02	-	-	-	-
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	-	-	屋外空気 6.4E+00 mg/m ³	1.5E+00	屋外空気 6.4E+00 mg/m ³	3.7E-01
屋外土粒子の吸入	-	-	-	-	-	-
室内ガスの吸入(床下空間あり) オフサイト	-	-	室内空気 2.1E-04 mg/m ³	1.0E-03	-	-
室内ガスの吸入(床下空間なし)	室内空気 1.2E+01 mg/m ³	1.4E+00	-	-	-	-
室内ガスの吸入(床下空間なし) オフサイト	-	-	-	-	室内空気 5.8E-04 mg/m ³	7.5E-05
シャワーに伴い吸入する蒸気による曝露量	-	-	浴室空気 1.9E+00 ug/m ³	6.6E-01	-	-
シャワーによる皮膚吸収経路の曝露量	-	-	地下水 1.7E+00 mg/L	8.6E+00	-	-
目標値	-	1	-	1	-	1

るオフサイトでも屋外のガスによるリスクが許容値を超過する可能性も示唆された。

また、ガソリン汚染によるリスクとして、油分に該当するものとして、ベンゼンとTPHの2種類を比較すると、ベンゼンは、オフサイトの飲用やシャワーの皮膚吸収でガソリンより高リスクとなる一方で、ガス吸入ではガソリンより低リスクとなる傾向が確認された。

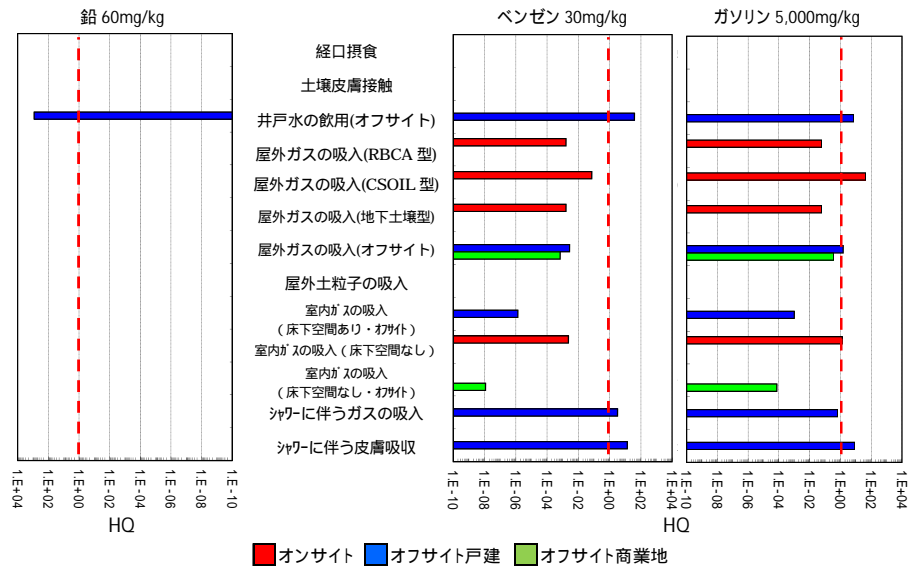


図 - 4 健康リスクの比較

4. 考察

地下水を飲用やシャワーに利用する場合に高リスクとな

った理由としては、汚染源からオフサイトのレセプターの位置に近いことのほかに、前報¹⁾でも述べたように、今回の計算では、地下水の移流拡散の際に吸着や分解による物質の減衰を考慮していないことがあげられる。

ガス化経路の複数の計算式による傾向は、ほかに実施したケーススタディにおいては異なったものとなった場合もあり、今後は、実施した感度解析等の結果等から、現状では複数使用しているガスによるリスクの計算式の選定の考え方を整理するようにしたい。

最後に、今回のケーススタディの結果から、ガソリンによる健康リスクの評価には、ベンゼンに合わせてTPH濃度による計算結果が必要であるといえる。また、TPH濃度による計算には、現在、油汚染対策ガイドラインで採用されている分析方法によるTPH濃度では画分毎の絶対量の測定に対応できないため、スクリーニングとしての評価の利用に備えて、種々の石油製品や風化等により変性した油分のTNRCC 1005及び1006のTPH画分に応じた成分構成データや物性値の充実が望まれる。

参考文献

- 1) 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: サイト環境リスク評価モデルSERAMによる土壌汚染サイトの健康リスク評価のケーススタディ, 第17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.48-53, 2011.
- 2) 坂本靖英, 西脇淳子, 原淳子, 川辺能成, 菅井裕一, 駒井武: 鉱物油に起因した土壌・地下水汚染を対象としたリスク評価システムの開発 - 土壌・地下水環境における油の移動現象の解析と複合成分に起因したリスクの定量的評価 -, 土木学会論文集G, vol.66, No.3, pp.159-178, 2010.
- 3) ASTM E-2081-00: Standard Guide for Risk-Based Corrective Action, 2000.
- 4) T. T. Tsai, C. M. Kao, R. Y. Surampalli, W. Y. Huang, J. P. Rao: Sensitivity Analysis of Risk Assessment at a Petroleum-Hydrocarbon Contaminated Site, Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, Vol.15, No.2, pp.89-98, 2011.
- 5) 丸山智代, 田中美記子, 北川聡, 久保田雅美: 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, pp.286-291, 2009.
- 6) 笹田直巳, 遠藤康仁: 油汚染調査方法 - 油種により異なる調査方法 -, 全地連「技術e-フォーラム2007」講演集, 2007.
- 7) Risk-Based Corrective Action (RBCA) Tool Kit: RBCA tool kit for chemical releases, Groundwater Services, Inc., Houston., 2008.
- 8) John B. Gustafson, Joan Griffith Tell, Doug Orem: Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group Series volume 3 Selection of Representative TPH Fractions Based on Fate and Transport Considerations, p.65, 1997.