

化学汚染災害廃棄物の処理計画策定における 優先化学物質の選定方法の検討 ～堺泉北臨海工業地帯を例として～

水谷 聡¹⁾・池田歩夢²⁾・杉浦隆介³⁾・中村 智⁴⁾

1) 大阪公立大学 大学院工学研究科 e-mail: miz@omu.ac.jp

2) 大阪公立大学 大学院工学研究科 e-mail: kyam03.a22@gmail.com

3) 元 大阪市立大学 大学院工学研究科 e-mail: r.sugiura0221@gmail.com

4) 大阪府立環境農林水産総合研究所 e-mail: NakamuraSato@mbox.kannousuiken-osaka.or.jp

災害時に化学物質が漏洩して生じる化学汚染災害廃棄物の処理計画を立てるに際して、優先的に検討すべき化学物質を選定する方法について、堺泉北臨海工業地帯を例として検討した。液体および水溶性のある固体の中で、化学物質の取扱量と PRTR の届出件数の上位 20 物質の和集合を選定する方法を提案した。また PRTR で届出されている排出・移動量を用いると、主に原材料として使用するような化学物質を抽出できない可能性があることも示した。

Key words : 災害廃棄物, 化学物質汚染, PRTR, 災害廃棄物処理計画

1. 背景と目的

地震や津波、洪水などの災害時には多くの災害廃棄物が発生し、各自治体には災害廃棄物処理計画を立てることが求められている。災害廃棄物は膨大な発生量にまず目が向くが、適正処理やリサイクルを進める上では、事業所などから漏洩した化学物質に汚染されたがれきや土壌など、化学汚染廃棄物への対応も非常に重要である。過去の災害でも化学物質は漏洩して問題を引き起こしており¹⁾、国の災害廃棄物対策指針(改訂版)²⁾では、「地方公共団体は、有害物質の保管場所等について PRTR (化学物質排出移動量届出制度) 等の情報を収集し、あらかじめ地図などで把握する」ことが望ましいとされている。ここで、PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) とは、有害性のある多様な化学物質について、環境中へ排出された量(排出量)や、処理するために事業所の外に運び出された量(移動量、両者を合わせて、排出・移動量と呼ぶ)を事業者が把握し、集計し、公表する制度である。

PRTR で把握し、届出する必要がある化学物質は、人や生態系への有害性(オゾン層破壊性を含む)があり、環境中に広く存在する(暴露可能性がある)物質で、462 物質(「亜鉛の水溶性化合物」などの項目もあり、正確には 462 物質群)が指定されている。しかし、自治体等にとって、全ての化学物質を対象として想定し、災害廃棄物処理計画を立てることは事実上、不可能である。そもそも実際には全ての化学物質が使用されているわけではない上、取り扱われている量や有害性、災害時の漏洩・移動性なども地域によって様々であるため、化学物質を絞って計画を立てることが現実的であるが、その方法は確立されていない。そこで本研究では、堺泉北臨海工業地帯を例として、実際に取り扱われている化学物質を物性によって分類するとともに、災害時の挙動を推定し、災害廃棄物処理計画を立てるに当たっての優先物質の選定方法を検討し、提案した。なお、大阪府は、条例による独自の「大阪府化学物質管理制度」を有しており、PRTR での排出・移動量に加えて、化学物質取扱量の届出を事業所に求めている。優先物質を選定するに際しては取扱量を活用するとともに、PRTR の排出・移動量を用いる際の注意点についても検討した。

2. 研究方法

(1) 検討対象地の選定

PRTRの排出・移動量に加えて、化学物質の取扱量が報告されている大阪府下の事業所を対象とすること、一定量以上の化学物質を取り扱っている複数の事業所が集まっている地域で検討することが望ましいこと、地震に加え津波・高潮などの水害も想定される臨海部が望ましいこと、化学物質に関する情報を提供して頂けること、などを総合的に勘案し、堺市堺区、堺市西区、高石市の一部を含む、堺泉北臨海工業地帯において、2016年度にPRTR及び大阪府化学物質管理制度の届出が1項目以上あった106の事業所を対象とした。事業所の業種は20種類に渡っているが、主な業種は、多い順に化学工業、金属製品製造業、非鉄金属製造業であり、それらが全体の半分以上を占めていた。この地域は、南海トラフ巨大地震では震度6弱の揺れとともに、激しい液状化及び最大2m程度の浸水が想定されている。

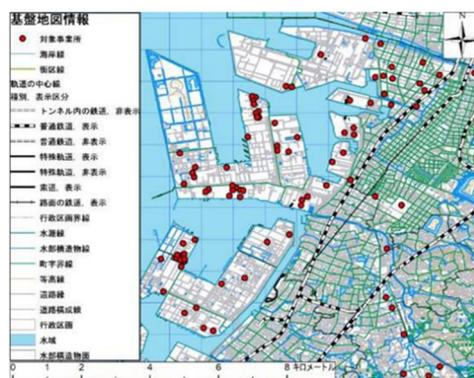


図1 検討対象地と対象事業所

(2) 化学物質の物性の把握と災害による漏洩時の挙動の検討

PRTR及び大阪府化学物質管理制度での対象物質のうち、対象事業所において届出のあった化学物質をリストアップした上で、各物質の物性情報（常温常圧下での物質の三態、融点、沸点、水溶性（水溶解度）、蒸気圧）を整理した。また、物性情報を踏まえて災害時の漏洩挙動を推定し、災害の種類に応じて優先的に挙動を把握すべき化学物質について検討した。

(3) 化学物質の量に基づく検討対象物質の選定方法の検討と提案

2(2)で整理した、優先的に挙動を把握すべき物性を有する化学物質を対象として、実際に使用されている量に基づいて、検討対象とすべき化学物質の選定方法を検討した。まず、多く使用されている化学物質には注意すべきであると考えた。ここで震災時における化学物質の漏洩を考える際、発災時点の各事業所における化学物質の存在量を用いることが最も望ましいが、現行の制度では行政は把握することができない。そこで、大阪府化学物質管理制度で把握されている取扱量を、各事業所における存在量を表す指標とした。各事業所の取扱量と存在量（在庫量）との間には、一定の正の相関関係が見られることが報告されている⁴⁾。また、対象地域において、化学物質が取り扱われている事業所の数が多いと漏洩の可能性が高くなると考え、PRTR届出件数も指標として用いた。この化学物質取扱量とPRTRの届出件数の両情報において、各上位n物質を抽出し、その和集合を優先物質として選定することとした。物質数についてはn=10、n=20のケースについて検討した。また、全国的に見れば取扱量が把握されている自治体は少なく、それらの自治体では、PRTRの排出・移動量の情報に基づいて判断する必要がある。そこで排出・移動量が上位である物質も同様に抽出した。

3. 結果と考察

(1) 対象地で使われている化学物質の種類と災害漏洩時の挙動の検討

2016年に届出があった化学物質は、対象となる462物質中、118物質であり、常温常圧での三態は、気体・液体・固体のいずれの状態の化学物質も含まれていた。ここで、災害が起きた際に化学物質が漏洩したとして、その後の挙動は各物質の物性によって大きく異なる。例えば、常温常圧で気体の物質の場合は、漏洩すれば速やかに大気中に揮散し、拡散していく。この場合、周辺住民への急性毒性や爆発・火災の危険性などに配慮する必要があるが、一方で、残存性は大きくないと考えられることから、化学汚染廃棄物として留まる可能性は低く、災害廃棄物処理計画を考える上では考慮する必要性は低い。これに対して、液体の物質の場合、漏洩すると流出して拡散し、水系を汚染するとともに、周辺の土壌やがれき類などを汚染することになるため、化学汚染廃棄物としての処理の必要性が生じる。固体の物質については、物理的な性状にもよるものの、地震やそれに伴う液状化であれば、漏洩

場所の周辺に留まり、汚染が広がらない可能性が高い。しかしながら、地震に伴う津波や、高潮や洪水などの水害の場合には、水と混合されて周辺に広がり汚染を引き起こす可能性が高い。ただし、この場合も、水溶性のない固体であれば、移動性は低いと思われる。以上を踏まえて、災害時に注意すべき化学物質について、物性と災害時の挙動を表1に示すとともに、化学物質に汚染された災害廃棄物の対策としては、液体と水溶性を有する固体を優先すべきであると考えた。

表1 化学物質の物性と災害時の挙動

常温常圧での状態	特徴	地震による拡散	水害による拡散	注意すべき汚染・被害等	化学汚染廃棄物対策の必要性
気体	-	○	○	火災、爆発、急性中毒等	低い
液体	揮発性あり	○	○	火災、土壌・がれき汚染、水系汚染、急性中毒等	やや高い
	揮発性なし	○	○	土壌・がれき汚染、水系汚染等	高い
固体	水溶性あり		○	土壌・がれき汚染、水系汚染等	高い
	水溶性なし			土壌・がれき汚染等	やや低い

(2) 対象地で使われている化学物質の物性

前節の考えに基づき、対象地域で使用されている化学物質を分類した。まず、各物質を常温常圧下での三態で分類した。ここで、「亜鉛の水溶性化合物」のように複数の物質が一つの届出項目としてまとめられている場合、物質によって常温常圧下での状態が異なるため、「液体または固体」などの表現にし、液体と固体両方に集計した。対象地域で使用されている化学物質は、液体が半分以上を占め、次に多い固体と合わせると全体の9割以上を占めた。次に、常温常圧で液体である65物質（塩化ビニルは沸点から常温で気体と考慮から外した）について、大気汚染防止法において揮発性有機化合物（VOC）に該当する主な物質として挙げている物質を「揮発性あり」に分類した。つづいて、物性を調べるに際して揮発性物質とされていた物質のうち、蒸気圧が最も低い物質を参考に、25℃の状態での蒸気圧の大小から揮発性の有無を判断した。25℃より低い温度でのデータしか得られず蒸気圧が下回っている物質や化合物の項目で物質によって揮発性の有無が分かれるもの、データがないものはその他として除外した。結果を表2に示す。対象地域で使用されているPRTR対象の化学物質は118物質であり、常温常圧では、気体が7物質（6%）、液体が65物質（55%）、固体が50物質（42%）であった。液体物質の62%が揮発性ありに分類され、揮発性に注意する必要があることが確認された。つづいて、常温常圧で固体である50物質について、水溶解度のデータから水溶性の有無を整理した。具体的には常温で1質量%以上の溶解度があるかどうかを判断基準とした。また、複数の化合物からなる項目で物質によって水溶性の有無が分かれる物質群やデータがないものはその他として除外した。固体物質の30%が「水溶性あり」に分類され、水溶性を有する物質も多いことが確認された。また、液体の物質と同時に流出する場合には、水溶性がなくてもそれらの物質と一緒に拡散される可能性があるほか、水溶性がなくても油には溶ける物質が含まれている可能性があり、災害時には油分が流出する事故も考えられる⁹⁾ので、化学物質の共存状況によっては、油状物質への溶解度についても確認しておく必要がある。また、PRTRでは複数の物質をまとめて一つの物質群として届出を求めている場合があるが、物質ごとに物性は異なっており、今回のような詳細な分析が難しくなるという課題が見られた。

表2 化学物質の物性と災害時の挙動

常温常圧での状態	物質数	割合*	特徴	物質数	各分類中での割合	全物質中の割合*
気体	7	5.9%	-	7	100%	5.9%
液体	65	55.1%	揮発性あり	41	62%	34.7%
			揮発性なし	14	32%	11.9%
			その他	10	6%	8.5%
固体	50	42.4%	水溶性あり	15	30%	12.7%
			水溶性なし	19	38%	16.1%
			その他	16	32%	13.6%

*気体・液体・固体の複数に含まれる物質があるため、合計は100%を越えている。

(3) 災害廃棄物対策として取り上げるべき対象物質の選定方法の検討と提案

対象地域で使用されている 118 の化学物質のうち、先の考え方で整理した、常温常圧で液体である物質、あるいは水溶性がある固体である物質は 81 物質であった。これらを一覧として表 3 に示す。

表 3 対象地域で使用されている化学物質と各指標での順位

化学物質名	特性	順位			化学物質名	特性	順位		
		取扱量	排出・移動量	届出件数			取扱量	排出・移動量	届出件数
アクリル酸エチル	液+揮				アクリル酸 2-ヒドロキシエチル	液			
アクリル酸及びその水溶性塩	液+揮				2-アミノエタノール(モノエタノールアミン)	液			6
アクリル酸ノルマル-ブチル	液+揮				3-イソシアトメチル-3,5,5-トリメチルクロヘキシル=イソシアネート	液			
アクリル酸メチル	液+揮				2-エチルヘキサン酸	液			
アクリロニトリル	液+揮	18	19		クレゾール	液			
アセトアルデヒド	液+揮				N,N-ジシクロヘキシルアミン	液			
アセトニトリル	液+揮				ジビニルベンゼン	液			
イソブチルアルデヒド	液+揮				N,N-ジメチルアセトアミド	液		5	
イソブレン	液+揮	20	14		N,N-ジメチルアニリン	液			
エタンチオール	液+揮				デシルアルコール(デカール), イソデシルアルコール	液			
エチルベンゼン	液+揮	10	6	3	テトラヒドロメチル無水フタル酸	液			
1,2-エポキシプロパン(酸化プロピレン)	液+揮		20		1-ノナノール(ノルマル-ノニルアルコール)	液			
キシレン	液+揮	1	1	2	フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)	液		4	15
クメン	液+揮	4	12		ヘキサメチレン=ジイソシアネート	液			
クロロベンゼン	液+揮				ポリ(オキシエチレン)=アルキルエーテル*1)	液	14	8	7
クロロホルム	液+揮				メタクリル酸	液	12		
酢酸ビニル	液+揮	7	17		メタクリル酸 2-エチルヘキシル	液			
1,4-ジオキサソ	液+揮				メタクリル酸 2, 3-エポキシプロピル	液			
シクロヘキシルアミン	液+揮				アルファ-メチルスチレン	液	17		
1,2-ジクロロエタン	液+揮				メチルナフタレン	液	9		18
ジクロロメタン(塩化メチレン)	液+揮		9	11	りん酸トリトリル	液			
N,N-ジメチルホルムアミド	液+揮		11	15	亜鉛の水溶性化合物	固+水		3	3
スチレン	液+揮	15	10	11	アクリルアミド	固+水			
テトラクロロエチレン	液+揮				パラ-アミノフェノール	固+水			
ターシャリ-ドデカンチオール	液+揮				メタ-アミノフェノール	固+水			
トリエチルアミン	液+揮				直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩*2)	固+水			
トリクロロエチレン	液+揮		13		塩化第二鉄(塩化鉄III)	固+水			7
1,2,4-トリメチルベンゼン	液+揮	6	18	5	クロロ酢酸	固+水			
1,3,5-トリメチルベンゼン	液+揮	16		7	4-クロロ-3-メチルフェノール	固+水			
トルエン	液+揮	2	2	1	シアナミド	固+水	13		
ヒドラジン	液+揮				N,N-ジメチルデシルアミン=N-オキシド	固+水			
ピリジン	液+揮				1,3,5,7-テトラアザトリシロ[3.3.1.1(3,7)]デカ(ヘキサメソテトラミン)	固+水			
1-プロモプロパン	液+揮				銅水溶性塩(錯塩を除く。)	固+水			
プロモメタン(臭化メチル)	液+揮				ヒドロキノ	固+水			
ノルマル-ヘキサン	液+揮	5	7	7	フェニレンジアミン	固+水			
ベンズアルデヒド	液+揮				無水フタル酸	固+水			
ベンゼン	液+揮	3	16	11	無水マレイン酸	固+水	19		11
メタクリル酸2-(ジメチルアミノ)エチル	液+揮				有機スズ化合物	液 or 固			
メタクリル酸ノルマル-ブチル	液+揮				トリレンジイソシアネート	液 or 固			
メタクリル酸メチル	液+揮	11			ふっ化水素及びその水溶性塩	液 or 固	8	15	15
モルホリン(テトラヒドロ-1,4-オキサジン)	液+揮								

*1)アルキル基の炭素数が12~15までのもの及びその混合物に限る

*2)アルキル基の炭素数が10~14までのもの及びその混合物に限る

これら 81 物質を対象に、災害廃棄物処理計画を立てるに当たって優先的に考慮すべき物質を選定した。大阪府化学物質管理制度で報告された取扱量、PRTR で届出された排出・移動量、PRTR あるいは大阪府化学物質管理制度によって届出がなされている事業所数に注目し、それぞれ上位 20 物質を把握し、結果を表 3 に順位で示した(上位 10 物質は太字とした)。ただし、届出事業所数に関しては、届出件数が 4 件までの物質は 18 物質で、届出件数が 3 件の物質を含めると 27 物質になったため 18 物質で打ち切った。なお、届出件数が 10 件以上あったのは、トルエン (33 件)、キシレン (32 件)、エチルベンゼン (21 件)、亜鉛の水溶性化合物 (21 件)、1,2,4-トリメチルベンゼン (14 件)、2-アミノエタノール (11 件) であった。

つづいて、抽出数を上位 10 物質とした場合、上位 20 物質とした場合について、二つのケースの化学物質の和集合として抽出された化学物質を表 4 に示す。

表 4 上位 10 物質と 20 物質とに着目して抽出された化学物質

上位 10 物質を抽出した場合	上位 20 物質を抽出した場合
<p>■共通して抽出された物質 (10 物質)</p> <p>キシレン[1], トルエン[2], ノルマル-ヘキサン[5], 1,2,4-トリメチルベンゼン[6], エチルベンゼン[10], ポリ(オキシエチレン)=アルキルエーテル† [14], 1,3,5-トリメチルベンゼン[16], 亜鉛の水溶性化合物[-], 2-アミノエタノール(モノエタノールアミン)[-], 塩化第二鉄(塩化鉄Ⅲ)[-],</p> <p>■排出・移動量では抽出されなかった物質 (5 物質)</p> <p>ベンゼン[3], クメン[4], 酢酸ビニル[7], フッ化水素及びその水溶性塩[8], メチルナフタレン[9],</p> <p>■取扱量では抽出されなかった物質 (4 物質)</p> <p>ジクロロメタン(塩化メチレン)[-], スチレン[15], N,N-ジメチルアセトアミド[-], フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)[-]</p>	<p>■共通して抽出された物質 (22 物質)</p> <p>キシレン[1], トルエン[2], ベンゼン[3], クメン[4], ノルマル-ヘキサン[5], 1,2,4-トリメチルベンゼン[6], 酢酸ビニル[7], フッ化水素及びその水溶性塩[8], メチルナフタレン[9], エチルベンゼン[10], ポリ(オキシエチレン)=アルキルエーテル† [14], スチレン[15], 1,3,5-トリメチルベンゼン[16], アクリロニトリル[18], 無水マレイン酸[19], イソプレン[20], ジクロロメタン(塩化メチレン)[-], N,N-ジメチルホルムアミド[-], 2-アミノエタノール(モノエタノールアミン)[-], フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)[-], 亜鉛の水溶性化合物[-], 塩化第二鉄(塩化鉄Ⅲ)[-]</p> <p>■排出・移動量では抽出されなかった物質 (4 物質)</p> <p>メタクリル酸メチル[11], メタクリル酸[12], シアナミド[13], アルファ-メチルスチレン[17],</p> <p>■取扱量では抽出されなかった物質 (3 物質)</p> <p>N,N-ジメチルアセトアミド[-], トリクロロエチレン[-], 1,2-エポキシプロパン(酸化プロピレン)[-]</p>

† アルキル基の炭素数が 12~15 までのもの及びその混合物に限る

[]は、取扱量での地域内での順位を示し、[-]は、20 位以内に入っていないことを示す

取扱量と届出件数の上位 10 物質の和集合では 15 物質、排出・移動量と届出件数の上位 10 物質の和集合では 14 物質が抽出され、共通していたのは 10 物質に留まった。また、取扱量が多い (3 位, 4 位, 7~9 位) ベンゼンとクメン, 酢酸ビニル, フッ化水素及びその水溶性塩, メチルナフタレンが抽出されなかった。取扱量と排出・移動量との間には、一定の相関関係が見られることは報告されている^{6,7)}が、これらは、いずれも主に化学製品の原料として使用される物質である。PRTR では製品として出荷された化学物質の量は届出の対象ではないことから、排出・移動量に注目して物質を選定すると、主に原材料として使用される化学物質が抽出されない可能性が高く、注意が必要であることが確認された。また、原材料として大量に使用されている化学物質が抽出されないのは好ましくないことから、上位 10 物質のみを抽出する方法は好ましくないと思われた。一方、各 20 物質について抽出した場合の和集合では、取扱量と届出件数とでは 26 物質、排出・移動量と届出件数とでは 25 物質が抽出された。このうち 22 物質が共通しており、また取扱量の上位 10 物質は全て抽出されていた。したがって取扱量が把握できて

いない地域でも、PRTRの排出・移動量の上位20物質と、届出件数の多い20物質を抽出して、その和集合を優先物質として選定すれば、取扱量の多い物質についてもほぼ把握できると考えられ、本提案の有効性が確認できた。

4. 結論

災害時に化学物質が漏洩して生じる化学汚染災害廃棄物の処理計画を立てるに際し、優先的に検討すべき化学物質を選定する方法について、堺泉北臨海工業地帯を対象地域として検討した。本研究で得た結論を以下に示す。

- ・PRTR対象の化学物質の特性を整理し、災害時の挙動を予測した結果、災害廃棄物処理計画を立てるに当たり優先的に検討すべき化学物質は、常温常圧で液体の物質及び水溶性のある固体の物質であると考えられた。
- ・対象地域で使用されているPRTR対象の化学物質は118物質であり、常温常圧では、気体が7物質(6%)、液体が65物質(55%)、固体が50物質(42%)であった。そのうち、液体と水溶性のある固体は81物質であった。
- ・PRTRでは異なる物質をまとめて一つの物質群として届出を求めているケースがあるが、漏洩時の詳細な挙動を考える上では、障害となることが確認された。
- ・取扱量と地域における化学物質の取扱量と、PRTR届出件数の上位20物質の和集合として優先化学物質を選定する方法を提案した。
- ・取扱量を把握していない地域においては、PRTRの排出・移動量の上位20物質と届出件数の上位20物質の和集合として物質を選定することで、優先化学物質を選定できるのではないかと思われた。ただし、排出・移動量に基づいて判断すると、主に原材料として使用されている化学物質が抽出されない懸念があることが確認され、注意が必要である。

5. 参考文献

- 1) 小口正弘, 滝上英孝, 遠藤和人, 大迫政浩 (2013): 東日本大震災で生じた津波堆積物中の化学物質, 安全工学, 52(1), 11-18
- 2) 環境省 (2022): 地方公共団体環境部局における化学物質に係る災害事故対応マニュアル策定の手引き 参考資料 5, <https://www.env.go.jp/content/900518774.pdf>
- 3) 環境省環境再生・資源循環局 災害廃棄物対策室 (2020): 災害廃棄物対策指針 (改訂版)
- 4) 中村智, 田和佑脩, 野呂和嗣, 矢吹芳教 (2021): 災害・事故に備えた化学物質の在庫量の推計, 環境化学, 31, 98-105
- 5) 佐賀県民環境部環境課 (2020): 令和元年佐賀豪雨災害に係る対応について (油流出関係), 第40回佐賀県環境審議会水質部会 参考資料3, <https://www.pref.saga.lg.jp/kiji00373356/index.html> など
- 6) 杉浦隆介, 水谷聡, 中村智, 貫上佳則 (2019): 震災時における化学物質汚染の予測に向けた化学物質の排出・移動量と取扱量の関係の評価—大阪府化学物質管理制度を活用して—, 土木学会論文集 G (環境), 75, III65~III72
- 7) 田和佑脩, 矢吹芳教, 野呂和嗣, 田澤慧, 水谷聡, 杉浦隆介, 中村智 (2021): PRTR データを活用した化学物質取扱量の推計, リスク学研究, 30, 177-185

【謝辞】本研究は、環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF18S11713) により実施した。