

災害・事故等のリスク管理における対策オプションの 評価に関する研究

Evaluation of options for risk abatement under the disaster and accidental conditions

東海 明宏^{1*}・伊藤 理彩¹・中久保 豊彦²
Akihiro TOKAI^{1*}, Lisa Ito¹ and Toyohiko Nakakubo²

¹ 大阪大学 大学院工学研究科

² お茶の水女子大学 基幹研究院自然科学系

¹ Graduate School of Engineering, Osaka University

² Faculty of Core Research, Natural Science Division, Ochanomizu University

摘 要

災害・事故が増加傾向にあるなかで、災害・事故に伴う、化学物質排出事象への備えや可能な対策オプションの準備が求められてきた。本稿では、災害・事故時を対象として、化学物質の非定常排出事象をリスク論に基づき対策オプション評価のプロトタイプを整備するとともに、想定した事象に適用し、参考事例として知見を整備した。プロトタイプモデルの軸としては、指標性を念頭においた、シナリオの構築、段階的リスク評価と費用対効果推計からなる。土壌圏、水圏、多媒体圏をとりあげた事例解析を紹介し、事前対策について考察した。

キーワード：化学物質漏洩、災害・事故時、シナリオ分析、対策評価、リスク評価

Key words：chemical release, disaster accidental case, scenario analysis, option evaluation, risk assessment

1. はじめに

俯瞰的に、世界規模で災害リスクのスケール感を自然災害への曝露と自然災害への社会の脆弱性の積でスコア化した国連大学の World risk report (UNU, 2016)によると(図1)、日本は、脆弱性への対応能力は高く評価されてスコア化されている一方で、自然災害への曝露は高いことから、結論として災害リスクのスコアは高いと評価されている(図2)。このような、災害時脆弱性への高い対応能力は、社会基盤施設、産業基盤施設の整備・運営水準の高さを反映していることから、不可避免的に災害時における産業施設(コンビナート地区、PRTR事業所等)への被害という研究範囲の枠付のもとで、有害物質の突発的放出を対象としたリスク評価を、Natech (Hazardous material releases caused by Natural disaster)と称して現状と課題、研究知見が蓄積されてきた(Krausmann *et al.*, 2016)。日本では、兵庫県南部地震におけるLPG漏洩事象及びその時の避難態様(大西・木村, 2005)、東日本大震災時における有害物質の流出知見(消防庁, 2011)により危険物施設を対象とした詳細な流出事故事例が報告されてきた。

一方で、事故による化学物質の漏洩に関しては、石油コンビナート等特別防災区域における事故概要

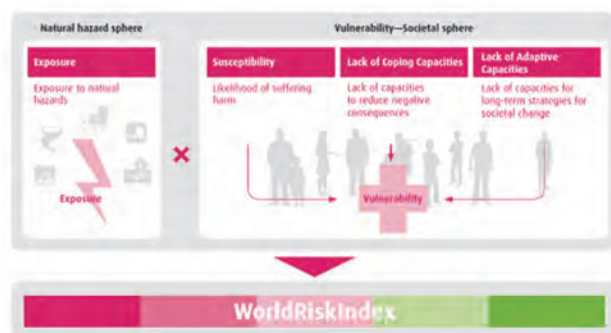


図1 災害リスクの定義(リスク=自然災害への曝露×社会の脆弱性(感受性, 対応能力, 適応能力)) (UNU, 2016).

として、事故種別に、火災、爆発、漏洩、その他に分けて調査結果が公表され、平成元(1989)年以降、爆発・その他はほぼ10件/年・全国程度で制御されているとともに、漏洩、火災は平成元(1989)年時点でそれぞれ、20件であったものが、令和4(2022)年では、200件、120件を超え、年による変動はあるものの、明確な増加をたどっている。事故発生原因は、人的要因34%、漏洩的要因61%、その他5%といった結果が公表されている(総務省消防庁特殊災害室, 2023)。

本研究では、非定常排出を対象とし、過去の事例

受付：2023年8月29日、受理：2023年11月21日

* 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 M3 棟509, E-mail: tokai@see.eng.osaka-u.ac.jp

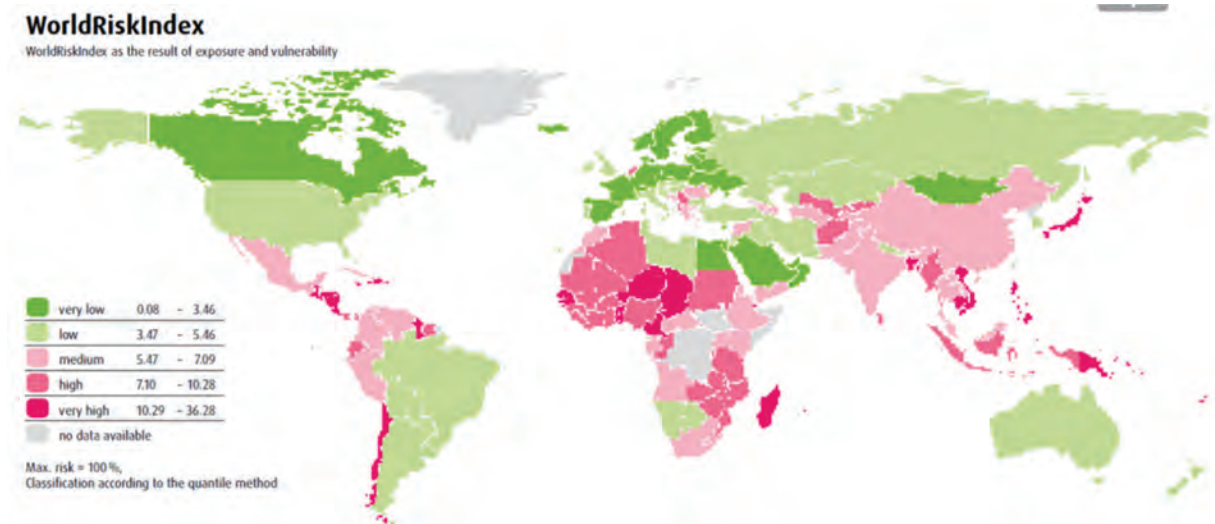


図2 世界リスク(曝露×脆弱性)(UNU, 2016)。

に学び、災害・事故をひとまとめで表現しているが、事故種別、非定常排出量の規模を念頭に置き、データが公表されているPRTR対象事業に焦点をあてた解析評価を実施した。災害・事故時の化学物質管理には、災害・事故の発生頻度と事業所における化学物質管理実態の2つの要素を考慮する必要がある。前者は、防災学分野で取り組まれ、後者は、実務において環境への排出負荷の自主管理という側面でデータ基盤が構築されてきているが、災害・事故時は対象範囲外とされてきた。本研究では、災害・事故という端緒事象が原因となって非平常時の化学物質排出によるリスク、そして対策オプションの評価を可能とするプロトタイプモデルを検討した。

2. では対策オプションの評価戦略と代表的シナリオの構築について述べ、3. では、土壌圏、水圏、多媒体圏を対象としたケーススタディについて説明し、そして4. でまとめを述べる。ここで、対策オプションとは、事象が展開してゆく過程で準備しておくべきひとまとまりの対応策を指す。

2. 対策オプションの評価戦略と代表的シナリオ構築の考え方

2.1 解析評価の枠組み

図3に示したものは、非定常流出を起点とした災害・事故の事象把握、対応の時制の進展にしたがった、段階的評価の枠組みとして整理したものであり、その根幹は、急性毒性管理フェーズ、亜急性毒性管理フェーズ、慢性毒性管理フェーズに分けて、対策オプション導入によるリスク削減率、回復までの期間を定量し、先行研究の組合せを通じて、代表シナリオを設計する構成となっている。図4における外力のレベルは、災害・事故の再現期間を反映する軸である。通常、自然災害に限定した頻度推定は災害学分野で蓄積があるが、ここで扱っている災

害・事故による突発的事象の頻度の推定は、災害により誘発される事故の頻度推定となり、複合的性格が含まれることから、このような複合事象の再現期間の推定は今後の重要な課題のひとつである。これを与件として、対策のフェーズ、ライフステージとの組合せで、対策オプションの範囲を限定することが容易になる。以上の整理に基づき、対策オプション導入の有無のもとで、災害・事故時と平時におけるリスク削減、回復時間推定を以下の式(1)で行った。

$$\text{指標} = \frac{(\text{災害・事故時/平時})_{\text{対策オプション有}}}{(\text{災害・事故時/平時})_{\text{対策オプション無}}} \quad (1)$$

2.2 対策オプションの範囲

化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律」(化審法)、特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」(化管法)においては、通常操業時を想定したリスク評価であり、災害・事故時は想定されていないが、企業においては、レスポンスブルケアの枠組みのもとで、災害の種類、発生・事象分岐に対応させて対策オプションに関する行動内容を公表している。大阪府では、化学物質を扱う事業所で今日からできる対策事例を公表している(大阪府 HP)。

企業、地方自治体でまとめられた対策オプションの範囲は、災害後の想定事象推移に対応して、行政、企業、市民に向けて広範囲に整理されている。また、大阪府では、1月17日に図上の演習を行い、ロールプレイを通じて、備えの確認をしている。対策オプションは、ソフト対策、ハード対策、リスクコミュニケーションに関連する対策まで網羅している。このように、現実の動きを参考にし、なるべく明解な差を見やすい対策、すなわち、その有無を解析条件に反映させやすい対策に絞り込んだ。そのため、突発的排出抑制、曝露経路の遮断・抑制に関係

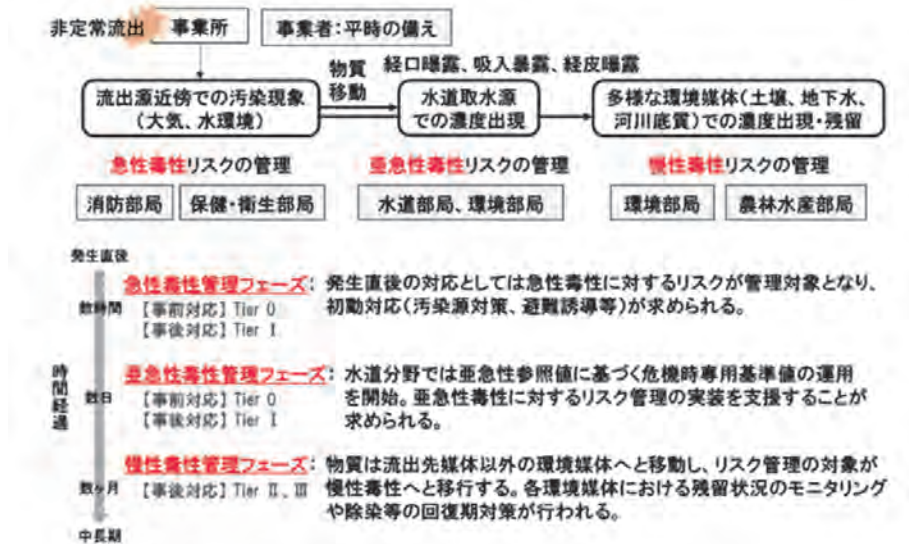


図3 段階的評価の枠組み。

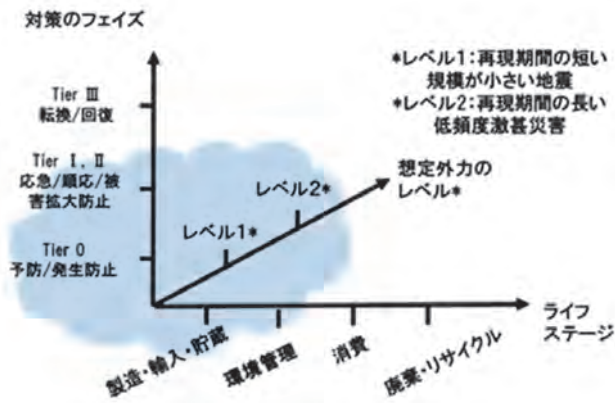


図4 想定外力のレベル。

する対策オプションに限定してその効果の評価を行った。

2.3 ケーススタディの選択基準

災害・事故時におけるケーススタディは、端緒事象、誘発事象、突発的排出事象、機能不全、評価エンドポイントの設定と対策オプション評価、リスク管理の場面決定という順を経て実施した。本研究では、図3の災害・事故時のリスクの段階的評価の枠組みにしたがって、急性毒性管理フェーズ、亜急性毒性管理フェーズ、慢性毒性管理フェーズの3に分け、懸念媒体として、気圏、水圏、土壌圏、環境多媒体圏、その他非定常状況について、指標的な意味のあるケーススタディを通じて、災害・事故時対応オプションの特性を明らかにすることを試みた。なお、紙面の都合上、本稿では、土壌圏、水圏、多媒体圏を対象に行ったケーススタディに限定して解説する。

2.4 シナリオの構成

災害・事故時においては排出過程が最も影響することから、簡単化のために、複合曝露事象を扱う上で、複数事業所×複数物質同時という状況を、Σ単

表1 ケーススタディの一覧。

	土壌圏	水圏	多媒体圏
スクリーニングのための指標の組合せ	土砂災害危険区域×PRTR対象事業所	産業集積×水再利用頻度	産業集積×水再利用頻度
ケーススタディ	全国スクリーニング後、特定サイト	淀川水系	淀川水系
端緒事象	土砂災害事象	過去の事例に基づき決定した事故流出事象	仮想的事故流出事象
流出態様	n-ヘキサン、点源貯蔵量	ジクロロメタン、点源貯蔵量	Sb, アクリロニトリル面源貯蔵量
リスク評価のエンドポイント	大気経由の急性曝露	浄水場への流入・飲料水時の亜急性曝露	重要媒体の変遷を慢性曝露で考察

一事業所×単一物質の評価に置き換えることができる条件を整理し(中久保ほか, 2016), 潜在的流出量の規模推定結果を利用した(豊田ほか, 2023)。したがって、次章以降のケーススタディでは、一事業所、一物質ごとの評価を行った(表1)。

3. ケーススタディを通じた考察

3.1 土壌圏～土砂災害

この節では、森口ほか(2021, 2022)による成果を以下に解説する。

3.1.1 地点の抽出

空間的な事業所の立地は、1960年から始まった用途地域制で制御されてきた一方で、事業所でどのような物質が扱われているのか法制度のもとで把握され始めたのは、2000年施行の化学物質排出把握管理促進法による。用途地域制は、防火地域の決定ということも関係していたことから、考え方において

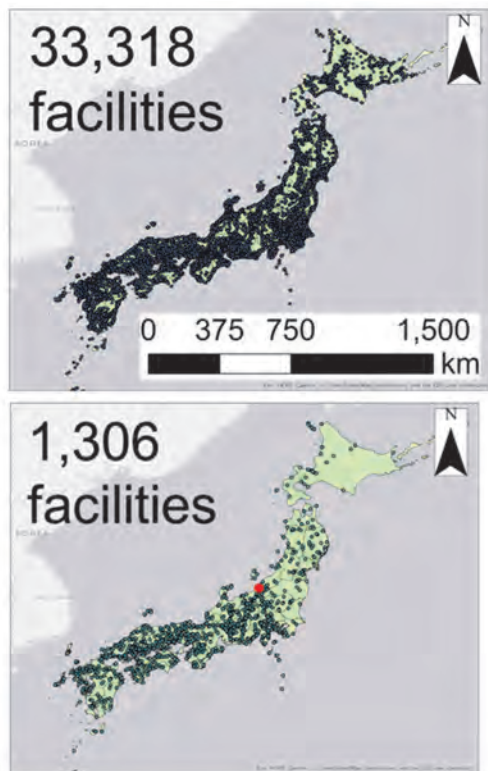


図5 日本全国のPRTR事業所の分布(上)土砂災害危険区域に立地するPRTR事業所(下)。

は、火災という事故で誘発される被害を含んでいた面もある。一方で、後者の事業所で扱っている化学物質等の排出把握は、事業所の自主的管理、データの公表を通じた peer pressure による自主管理で進められてきている。なお、アメリカのPRTRは化学工場の事故時の排出に対し、国民の知る権利からスタートしている。土砂災害警戒区域とは、土砂災害防止法に基づき指定された区域で、急傾斜地の崩壊、土石流、地滑りが発生した場合に住民等の生命または身体に危害が生じるおそれがあると認められた土地の区域である。PRTR対象事業所は日本全国で33,318か所あり、そのうち、土砂災害危険区域に立地するPRTR事業所は、1,306か所であった。このように、全国を対象としてスクリーニングを実施した結果を図5に示す。概観すると、比較的西日本に土砂災害危険区域に立地するPRTR事業所が分布している。この図で赤丸で示した箇所について、災害端緒事象、突発的流出、曝露解析、リスク評価を実施した。

3.1.2 地点における事業所のリスク評価

抽出した地点を対象としたリスク評価の手順を図6に示した。なお、詳細は、森口ほか(2021)の原著を参照されたい。図7で白抜き四角で示した事業所を対象に、対象化学物質としてn-ヘキサンを選択し、事故後の大気中濃度を算出し、急性被ばくガイドラインレベル(AEGL, Acute Exposure Guideline Level. AEGL-1; 不快レベル, AEGL-2; 障害レベル, AEGL-3; 致死レベル)に基づく想定シナリオ下で、対

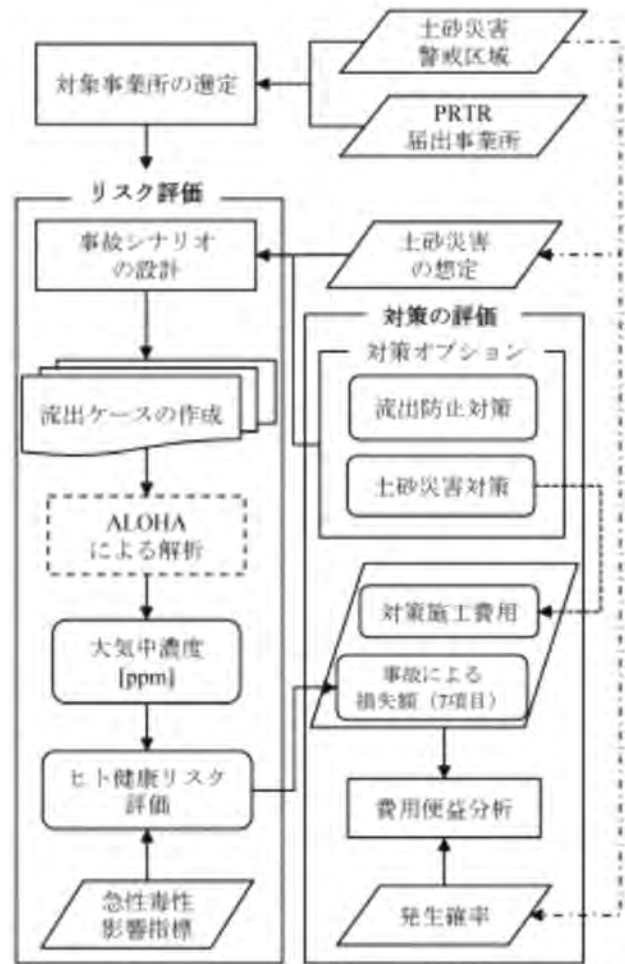


図6 解析手順(森口ほか, 2021)。

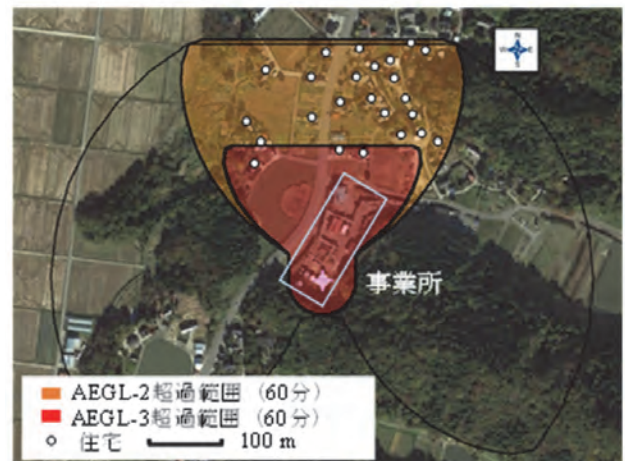


図7 防油壁が機能しない場合の配管破裂事例の濃度分布(森口ほか, 2021)。

曝露評価の結果を策工事費や補償等の事故費用を算定した。具体的には、タンク付属配管破損ケースでは、防油堤が機能しない場合、AEGL-3の超過範囲に事業所と住宅3軒が該当し、AEGL-2の超過範囲には住宅21軒が含まれるという結果となった。さらに、防油堤が機能する場合においても事業所内の屋外濃度は5分以内にAEGL-3の濃度を超過した。

3.1.3 対策の評価

ここでは、費用便益分析を行うとともに、費用便益比にて、対策の評価を行った。対策としては、避難を実施、防油堤が機能した場合、防油堤が機能しなかった場合(タンクの転倒)、防油堤が機能しない場合(タンク附属配管の破壊)の4通りを検討し、それぞれ、費用便益比で1.20, 38.2, 41.5, 41.5と推算され、各対策の合理性について、見通しを与えることができた。なお、推算結果とともに、どういった項目を費用として計上し、あるいは便益として計上するかによっても当然、推算結果は変容する。この点に関し、原著(森口ほか, 2021)においては感度解析の結果を示しているのので、こちらと合わせてご参照願いたい。したがって、最終の推算結果のみならず、設定条件とともに、考察することで、事前に準備すべき対策について目安を与えてくれるものと考えている。さらに、全国のPRTR事業所を扱っている物質のハザード、脆弱性から俯瞰的に分類を行い、類型ごとに事業所数を明らかにしている。

3.2 水圏～内陸で発生した事故的排出事象の評価

この節では、北本ほか(2020, 2021)による成果を以下に解説する。淀川は、国内において最も再利用率の高い水源であり、給水人口約1,100万人、流域の産業集積を考慮すると、常時存在する物質への対応のみならず、突発的に排出される事象に対し、どれほどの対応能力を有しているか、現有の対応能力を増強すべきかに関する将来への備えを検討することは、同様な水利用システムを有する地域に対して、指標性を有するケーススタディといえる。

3.2.1 水源水質事故事例に基づく想定解析評価

まず、現行の高度浄水処理プロセスによる常在物質を対象としたリスク削減能力を評価した上で、図8に解析手順の全体像を示した。まず、過去の水質事故事例を整理し、1994, 1997及び1998年に発生した淀川水系におけるジクロロメタン検出事故を考察の対象としている。事の詳細は原著(北本ほか, 2020; 2021)に委ねるとして、対象期間、原水中のジクロロメタンの濃度の設定、浄水場における除去率の設定、浄水中のジクロロメタン濃度の推定が必要となる(北本ほか, 2021)。そして、対策オプションとして、現状の継続とともに、対策1:粒状活性炭更新周期4年、対策2:粒状活性炭更新周期3年、対策3:エアレーション処理導入、対策4:粉末活性炭注入を行った場合の費用と効果の比較を行った。得られた結果を表2に示した。なお、表中の0.02 mg/Lはジクロロメタンの水道水質基準値である。このように、それぞれの対策導入時の効果を水質基準超過回数で評価するとともに、現状に対して追加的にかかる費用を推算することで対策技術導入判断の目安を示すことができている。

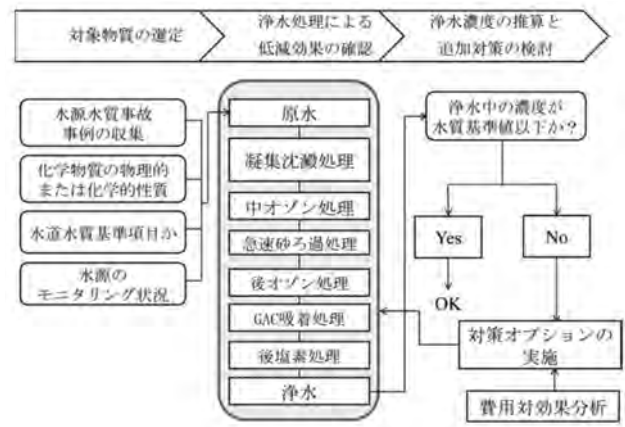


図8 解析手順(北本ほか, 2021)。

表2 対策オプションの費用対効果の抜粋(北本ほか, 2021より改変)。

	水質基準 超過回数	0.02mg/L(ジクロロメタンの水道水質基準値)の低減に要する追加費用(千円)
現状	12	—
対策1 粒状活性炭更新周期4年	8	134,116
対策2 粒状活性炭更新周期3年	6	270,412
対策3 エアレーション処理導入	0	6,512,241
対策4 粉末活性炭注入	12	232,700

3.2.2 突発的流出を含めた水道原水に検出されうる物質を考慮した対応能力

原水中の検出頻度を縦軸に、浄水処理性を横軸にとると、3つの領域が形成され、原水中に常時存在する物質、突発的に流入が懸念される物質、未規制物質等を考慮した水安全計画に即した対応を整理した(図9)。水源のモニタリング、流出源への要望、水源の変更という領域、対策オプションを確保し、費用対効果の知見を充実すべき対応、そして常設の処理で低減可能な対策オプション領域について想定物質を割り付けている。このようにまとめることで、対応戦略への備え、関係機関との連携がより明確になったといえる(北本ほか, 2021)。

3.3 環境多媒体：慢性毒性フェーズにおけるアクリロニトリルの流出

本節では落合ほか(2019)による、回復期における慢性毒性管理フェーズでの対策支援を検討している。

3.3.1 刻々と変化する状況の把握

Posthunma らによる(Posthunma *et al.*, 2014)UNDAC(United Nations Disaster Assessment and Coordination)のFEAT(Flash Environment Assessment Tool)の枠組みを参考にし、突発的排出後の刻々と変化する状況を環境多媒体を対象にして、残留汚染媒体と曝露経

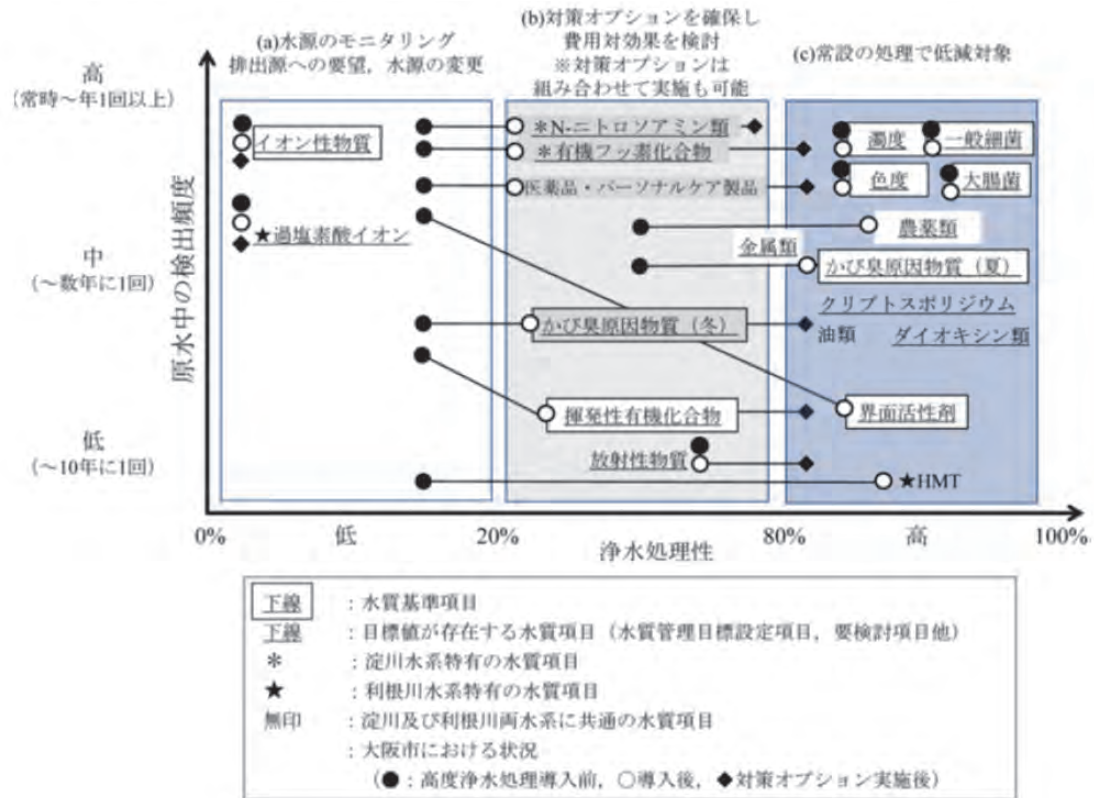


図9 水道原水に含まれる成分及び出現頻度を考慮した対応戦略の分類(北本ほか, 2021)。

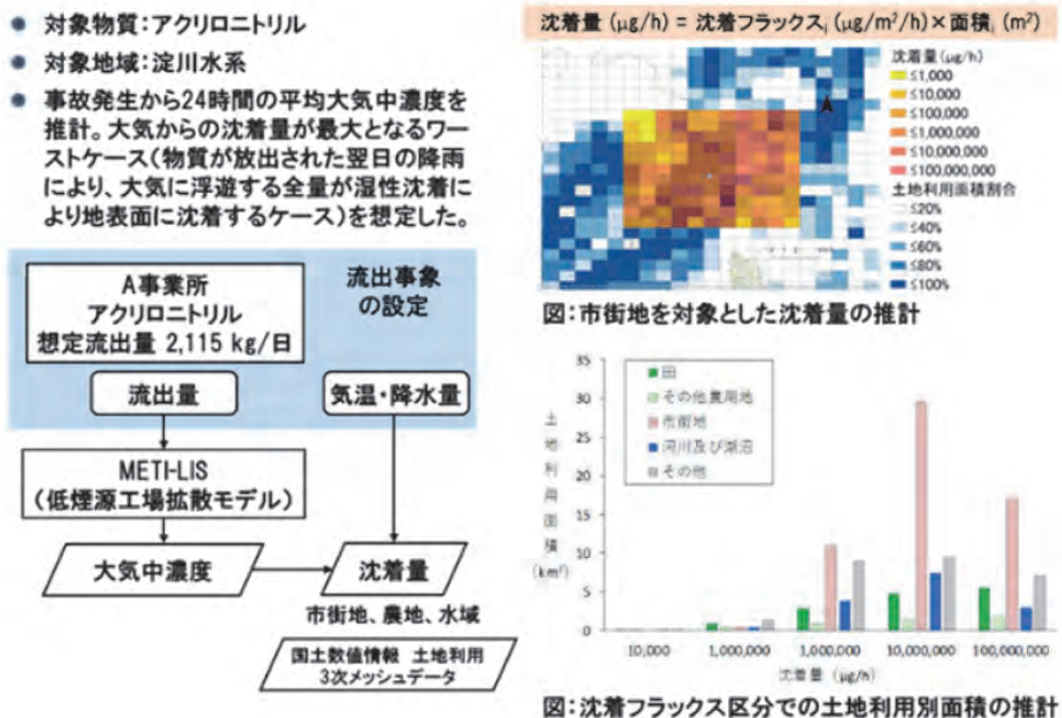


図10 回復期にむけた対応戦略の絞り込み。

路の特定に帰着させて、対応の見通しを得る方法を物性データベースの整備に焦点をあてて取り組んでいる。環境多媒体：慢性毒性フェーズにおいて、アクリロニトリル流出事故の場合、消火用水や雨水、下水処理水への移行による河川水濃度の増加を考慮した短期的な環境管理対策が検討課題となりうるこ

とが明らかとなった(図10)。このように、物質の移動傾向の把握が慢性毒性フェーズにおける対策立案の支援となることが期待される。

3.4 対策オプション評価、展望と課題

本稿で検討したケーススタディは、公開されているデータを基にして、端緒事象、突発的排出過程、

エンドポイントに対する評価として、既存の指標を活用した評価を行った。データにたどり着けない、データが不足している箇所については、感度解析とともに、推論の架け橋のもとで、解析を実施した。多事業所・多物質・排出量未知という本来の問題に対し、優先順位をつけ、よりリスクが懸念される対象に限定していくことで、1事業所×1物質×設定排出量、という問題に置き換えることで、平常時に対する非平常時の曝露濃度の倍率と継続時間を定量的に示すことができるようになった。推算に基づく研究は、おのずと制限がかかるが、起こりうることを想定に置き換えて得られた解析結果に基づいて、事前の対策の発動の判断に生かすことができるのではないかと考えている。回復時間は、不必要な曝露回避のために必要な時間の目安となると考える。対策オプションを用意するとすれば、どのようなことが優先的に考えられるか、その想定を通じて事前に整理することに重点をおいたものであることを断っておきたい。

大阪府が1月17日に実施しているコンビナート地区での想定災害、図上演習に、筆者らは、2020年度にオブザーバーとして参加させていただいた。この図上演習は、コロナ禍の期間、一時取組が縮小されたが、ロールプレイを通じた疑似体験ができる機会は、関係者、住民に対し、事前の備えの気付きの定着化に向けた貴重な試みであるといえる。

4. おわりに

本稿は、S17-1-(2)課題で、災害・事故等のリスク管理における対策オプションの評価に関する研究として実施した5か年の研究内容を抜粋したものである。

これまでの平時を対象としたリスク評価方法の拡張で可能となることに重点をおいて進めてきたが、本課題は、環境リスク学、防災学を環境マネジメントの視点で、関連する分野を更に目的合理的に組み立てていくことが必要な分野である。防災学においては、人命と資産を守ることが最優先事項である。一方で復興後の地域の生業には、産業集積の維持・復興も重要である。本研究では、このような優先性の現実を考慮し、実質的な融合的評価の試みは限定的となってしまった。令和4(2022)年11月4日には、「指定化学物質等取扱事業者が講ずべき第一種指定化学物質等及び第二種指定化学物質等の管理に係る措置に関する指針の一部を改正する告示」が公布され、化学物質管理指針においては、地方公共団体との連携、災害による被害の防止に関わる平時からの取り組み、の2つが新たに定義されている。今後、一層それらの具体化にむけた基盤的知見の充実が必要となる。

なお、本稿では、論点が発散するため説明を控え

たが、本研究では、災害・事故時に関係する非定常排出事象の解析として、南海トラフ地震と化学物質に関する研究(田窪ほか, 2022; Hamamoto *et al.*, 2021; 小林ほか, 2023)、旧廃止鉱山からの災害時の金属流出(Xu *et al.*, 2022)、災害時におけるCovid-19の感染動向(山上ほか, 2022)といった課題にも取り組んだ。詳細は、原著をそれぞれ参照いただければ幸いである。

謝 辞

本研究遂行に当たり、S17(JPMEERF18S11702)代表の鈴木規之氏(国立環境研究所)、同プロジェクトメンバー、アドバイザーボードメンバー各位から多くの寄与を得た。また、研究推進に当たっては、京都大学防災研究所 米山望准教授、同修士課程 田窪亮介氏、お茶の水女子大学大学院修士課程 落合遥氏、大阪大学大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻博士課程 北本靖子博士、森口暢人氏、Xu Zhong 氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- Hamamoto, S., Ito, L., Yoneyama, N. and Tokai, A. (2021a) Case study for the predictive environmental risk assessment of hexamethylenetetramine release to the Yodo river during a massive Tsunami attack, *Water*, 13, p.17.
- Hamamoto, S., Ito, L. and Tokai, A. (2021b) Assessment of renewal priority of water pipeline network against earthquake risk. *Water*, 13(4), 572. <https://doi.org/10.3390/w13040572>
- 北本靖子・伊藤理彩・東海明宏(2021)水道水源における化学物質流出事故に対する高度浄水処理及び対策オプションの評価. 環境科学会誌, 35(3).
- 北本靖子・小島直也・東海明宏(2020)高度浄水処理導入による消毒副生成物間のトレードオフ評価. 環境科学会誌, 33(3).
- 小林諒真・伊藤理彩・東海明宏(2023)南海トラフ巨大地震の津波を起因とした化学物質流出の防止対策と仮想流出時のリスク評価. リスク学研究, 33(1): 27-41.
- Krausmann, E., Cruz, A. M. and Salzano, E. (2016) Natech Risk Assessment and Management: Reducing the Risk of Natural-Hazard Impact on Hazardous Installations, Elsevier.
- 森口暢人・伊藤理彩・東海明宏(2021)土砂災害を起因とした化学物質流出事故のリスク評価と対策の費用便益分析. リスク学研究, 31(3), 195-218.
- 森口暢人・伊藤理彩・東海明宏(2022)土砂災害警戒区域内に立地するPRTR対象事業所における

- Natech リスクの抽出. 環境科学会誌, 35, 6, 355–376.
- 中久保豊彦・多田悠人・東海明宏(2016)地震に伴うPRTR対象物質の流出による浄水場機能への影響評価とその対策効果分析. 日本リスク研究学会誌, 26(3), 131–140.
- 落合 遥・中久保豊彦・伊藤理彩・小島直也・東海明宏(2019)化学物質の非定常流出事象を対象とした環境媒体での移動・残留特性の体系的整理. 日本リスク学会 2019 年次大会プログラム, 194–199.
- 大西一嘉・木村康隆(2005)兵庫県南部地震におけるLPG漏洩に伴う住民避難に関する研究：六甲アイランドにおけるアンケート調査. 地域安全学会論文集.
- 大阪府(HP)化学物質を取り扱う事業所で今日からできる対策事例：明日起きるかもしれない大規模災害に備えて. https://www.pref.osaka.lg.jp/kankyo_hozen/shidou/jireishu.html
- Posthunma, L. *et al* (2014) The first Environmental Assessment Tool: World wide first aid for chemical accidents response pro action, prevention and preparedness. *Environment International*, 72, 140–156.
- 消防庁(2011)東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書.
- 総務省消防庁特殊災害室(2023)石油コンビナート等特別防災区域の特定事業所における事故概要(令和4年中). <https://www.fdma.go.jp/pressrelease/houdou/items/3c3ebaa50813f1e678e708288ed8a8b2e914d362.pdf>
- 田窪亮介・米山 望・東海明宏・伊藤理彩(2022)河川水塩分を考慮した南海トラフ地震津波来襲時の淀川における化学物質拡散予測. 土木学会論文集 B3(海洋開発), 78, 2, 823–828.
- 豊田真弘・伊藤理彩・石田剛久・小島直也・中久保豊彦・多田悠人・東海明宏(2023)PRTRすそ切り以下事業所における自然災害時の化学物質の流出事故を想定した潜在的流出規模の推計. リスク学研究, 33, 1.
- UNU (2016) World risk reporting. https://collections.unu.edu/eserv/UNU:5763/WorldRiskReport2016_small_meta.pdf
- Xu, Z., Ito, L., Leticia Sarmiento dos Muchangos and Tokai, A (2022) Health risk assessment and cost-benefit analysis of agricultural soil remediation for tailing dam failure in Jinding mining area, SW China, *Environ Geochem Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01445-z>
- 山上颯太・伊藤理彩・Dos Muchangos Leticia・東海明宏(2022)SIRモデルを用いた南海トラフ巨大地震発生時におけるCOVID-19感染動向の推定と病床不足数の推算. リスク学研究, 31(4), 281–293.

東海 明宏／Akihiro TOKAI



2008年、大阪大学大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻 教授。環境リスク評価・管理学。

伊藤 理彩／Lisa ITO

2023年、大阪大学大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻 特任講師。地球化学・環境化学・環境リスク評価学、環境工学。

中久保 豊彦／Toyohiko NAKAKUBO



2019年、お茶の水女子大学大学院基幹研究環境エネルギー院自然科学系 准教授。現・大阪大学大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻准教授、環境システム学。
