

工学システムのリスクと ステークホルダコミュニケーション

小野恭子

産業技術総合研究所 サーキュラーテクノロジー実装研究センター
日本学術会議連携会員（第三部）、日本リスク学会理事

本発表の内容は、原子力総合シンポジウム2024（2025年1月20日）の発表内容
(https://www.aesj.net/document/symp2024/5_ono.pdf) を再構成したものです。

なお、個人の見解に基づくものであり、所属組織を代表するものではありません。

発表要旨

1. リスクの性質、リスク評価の性質

リスク評価は予測・推定が多用される。その前提条件と結果を伝えることがリスクコミュニケーションの一つの要素。

2. 化学物質分野の災害事故時の影響予測事例

事故時の影響を事前に想定可能とする情報を提供するための研究について紹介。

3. リスク許容基準（安全目標）を用いたリスクコミュニケーション

どのような指標でリスクコミュニケーションするか。
リスク許容基準には何が求められるのか。

リスクの性質、リスク評価の性質

はじめに：安全とリスクの関係

- 安全の定義「許容不可能なリスクがないこと
(freedom from unacceptable risk) 」
(ISO/ICE Guide 51)
- 安全か否かは、その事柄のリスクの大小を示し、
かつ、「そのリスクを社会が許容できるか」を判断
することによって、初めて明らかとなる。

リスクの性質とリスク学の特徴

- リスク = 将来起こりうる、「安全」を脅かす課題
- リスク学では、まだ起こっていないが、起こるかもしれないことに対し、「どのくらい安全なら十分安全と言えるのか」を考えるための技法が発展してきた。前に進むための、意思決定の学問。
 - 時間的制約があり、十分な根拠が揃わないという不確実性のもとで何らかの（定量的）判断を下すための知恵のカタマリ
 - （純粹）科学の知見に加えて、そこから導かれる知見に基づく予測や推定の作法があり、かつ、そのウエイトが大きい

リスク評価の性質

- 科学的なデータに基づきながらも、仮定、推定も大きく関与する「**作法**」の**要素**がある。
- 従来型の科学だけでは決められないことを決める**手続き**を含めた、新しい科学である。

=レギュラトリーサイエンス

- (事故等の) シナリオの設定や、推定に用いたモデルなど、前提条件や仮定を共有することが重要 (これがなかなか難しい！)
- しかし、手続きの中身を知ることが、リスクコミュニケーションの一つ、第一歩ではないか。



リスク評価の手順と意義

知りたいこと

1. どこに、どの程度のリスクがあるのか？
2. ○○と比較して受け入れられるか？
3. 対策でどの程度リスクを減らすことができるか？

残留リスクの見える化

一般的な許容レベル提示

対策オプション
を（複数）提示

これらをエビデンスとともに説明すること
（リスクコミュニケーション）

災害事故時における影響予測 (化学物質管理分野)

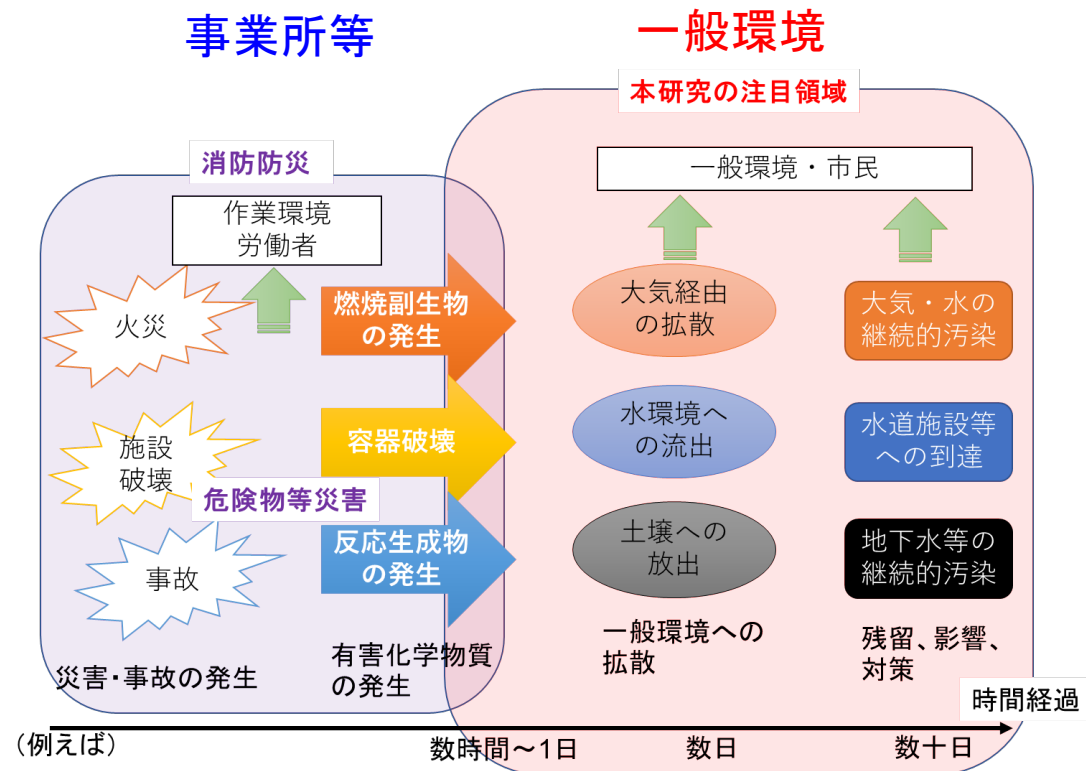
環境研究総合推進費 戦略的研究開発課題S-17

「災害・事故に起因する化学物質リスクの評価・管理手法の体系的構築に関する研究」より

災害・事故事象に対応する迅速拡散予測手法の開発

- 災害や事故による、事業所等からの非定常の化学物質排出は、近年の自然災害の増加から、注目が集まっている。
- 一般環境（事業所敷地外）のリスク最小化および環境汚染防止に対する関心の高まり
- 事故時の影響予測と対策策定のニーズ

一般環境における事故時の影響評価結果（たとえば、化学物質の排出時に、どの濃度でどこまで到達するか）やその対応策が、多くの場合明示されていない。

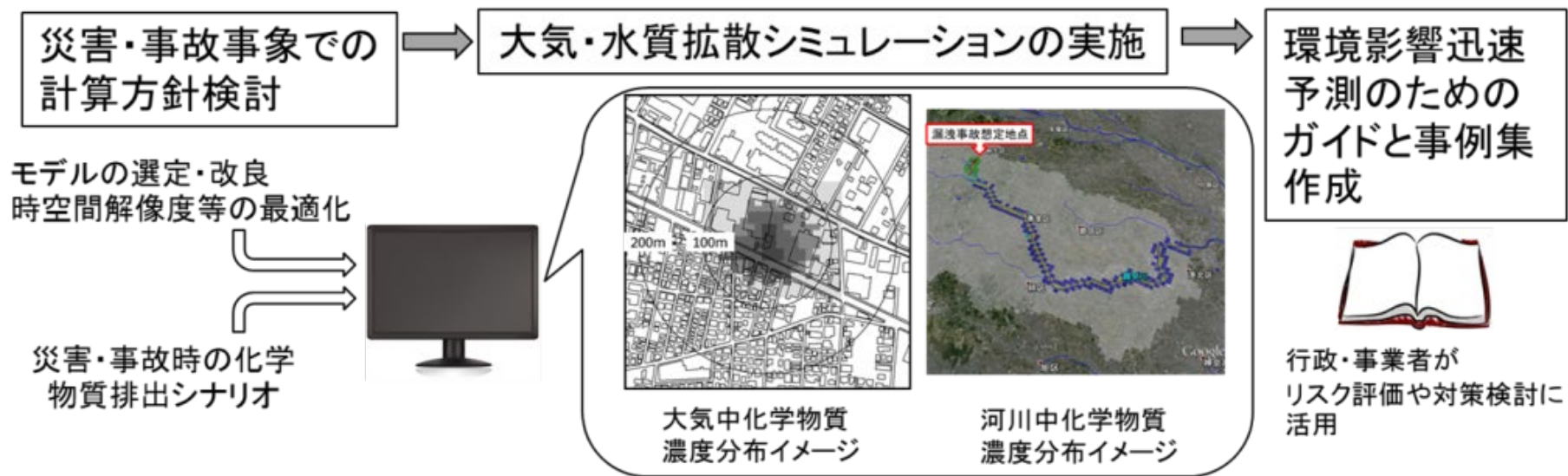


鈴木ら(2019)

http://www.nies.go.jp/res_project/s17/dsstrchmrisk/2019/pss/2_s17pslide20200221.pdf

災害・事故事象に対応する迅速拡散予測手法の開発

(産総研) 災害・事故時に影響が懸念される代表的な化学物質の大気および水域での拡散の迅速予測に資する手法を開発する。



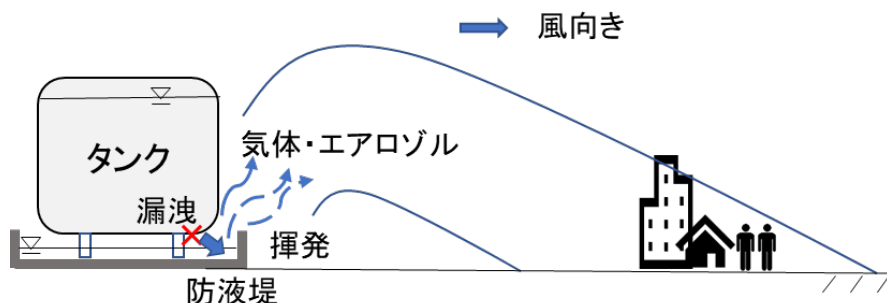
- ✓ 緊急対応（モニタリング、リスク対策）の空間範囲や期間を**事前に想定可能**
- ✓ 現在よりも速やかで**効率的な対策**の検討が可能
- ✓ 自治体や事業所の**緊急時の意思決定**を支援

災害・事故事象に対応する迅速拡散予測手法の開発 産総研 ともに挑む。つぎを創る。

大気拡散予測の実施例(VOC)

- 対象物質：揮発性有機化合物（VOC）のトルエン、アクリロニトリル、1,2-ジクロロエタン、1,4-ジオキサン、ナフタレン
- 定常大気拡散モデル（CANARY ver.4.6）を使用。流出の量と時間（10分、60分等）をシナリオとして設定。
- タンクからの直接排出、液体排出、水溜りからの蒸発、大気拡散の各プロセスを計算。

▶タンク内：温度15°C（ナフタレンのみ100°C）、容量100%で貯蔵、圧力120 kPa、配管径：20 mm、漏洩源の高さ：1 m。防液堤設定あり。



急性影響閾値を超える風下方向の距離[m] トルエン、AEGL2

大気安定度	D (昼間, 曇天時)		F (夜間等)	
	1.5	3	1.5	3
風速[m/s]				
排出速度[kg/s]				
2	8	2	21	19
4	24	3	30	26
6	31	3	37	32
8	36	4	42	37
10	40	4	48	41
20	59	50	66	57
40	77	71	90	82
60	90	87	110	100
80	100	100	120	110
100	110	110	130	130
200	130	140	160	170
400	170	190	200	230
600	190	220	240	270
800	230	240	260	310
1,000	240	270	280	340

オレンジ色：距離が**200m以上**となる条件。一般家屋が200m離れて存在すると想定。

【AEGL値の定義】AEGL2：不可逆な健康影響が持続、あるいは避難の能力が低下

恒見ら (2023) 地球環境28(2) 179

災害・事故事象に対応する迅速拡散予測手法 の開発（意義）

- 緊急対応（モニタリング、リスク対策）の空間範囲や期間を事前に想定可能とする情報を提供するもの。
- 拡散モデル式による推定手法を例示し、影響のありうる距離を具体的に明示した。
- 本研究開発の成果は、「災害・事故時の環境リスク管理に関する情報基盤」として国立環境研究所WEBサイトに公開されている。

リスク許容基準（安全目標）を用いた リスクコミュニケーション

リスク指標をどのように選ぶのか

- 目的、およびコミュニケーションしたい相手に合わせたリスク指標を選択すべき。
- 相手の知りたいことに応じて特定すべきリスクの種類が変わる。
- これは、システムが大きく複雑になっても同じはず

リスク指標の広がり例：学術会議報告（2017年）では安全目標として「年あたりの死亡数」のほかに「発生確率」が追加された。

⇒ 指標が柔軟に選択されるのはよいこと。しかし誰とのコミュニケーションに適するリスク指標か、点検する必要もある。



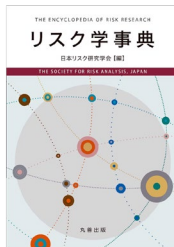
リスクアセスメントにおけるリスク指標の多様性

（「リスク学事典」第2章2-2）

リスク指標 = 特定すべきリスクの種類

カテゴリ	指標の例	管理方法への適用例*
人命・健康	死亡の数、確率	発がん性物質，工学プロセス（安全目標）
	病気発生の数、確率	
	損失余命	
	障害調整生命年（DALY）	WHOの疾病管理目標
	ハザード比、曝露マージン	多くの化学物質，食品，放射線（確定的影響）
生態系	生物種の絶滅確率	
	期待多様性損失	
	気温上昇幅	気候変動分野の目標
財産	Value at Risk	企業の経営判断
	発生確率	技術システム（例：原子力発電所の炉心溶融），洪水，地震
	損失金額期待値	災害リスク保険
統合化指標	世界リスク指標	自然災害の影響評価

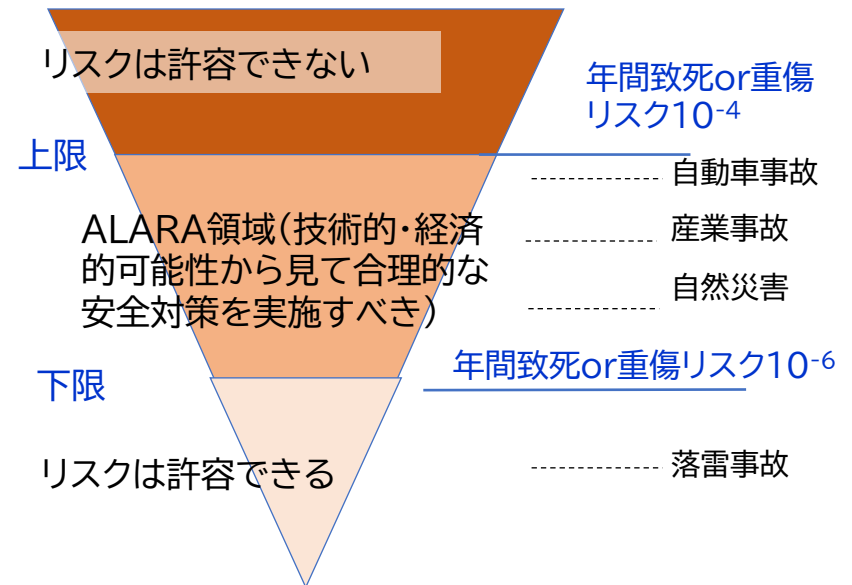
*分類は小野による



工学プラントのリスク許容基準

- ▶ 諸外国の産業界では、**リスク許容基準**（または安全目標）が、分野ごとに議論されており、安全を判断するうえで重要な情報となっている。
- ▶ 定量的リスク評価を実施することによって、リスクの大きさをリスクの許容基準と比較することで（社会が）リスクを受け入れられるかを検討できる。
- ▶ リスクの許容基準は、国によりさまざまであるものの、世界的には上限値で 10^{-6} から 10^{-4} [-/年]、下限値で 10^{-7} から 10^{-5} [-/年]の間の数値が採用されることが多い。
- ▶ リスクの許容基準の下限値を上回る場合、ALARA（As Low As Reasonably Achievable）の原則が適用される。ALARAの原則とは、技術的・経済的可能性から見て合理的な安全対策をすべて実施すべき、というものである。

リスクの許容基準の考え方



※数値は工学プラントの安全目標として用いられるものの一例である。

リスク許容基準をコミュニケーション に使う前に

- 「避けたいこと」「守りたいこと」を関係者間で合意できているか？
 - 死亡リスクだけでよいのか
 - 「人に対する影響に関しては、多くの異なる水準（死亡者、有害危険投与量、怪我、迷惑な行為のレベル等々）があってもよいにもかかわらず、毒性、熱、爆発の3つのインパクトすべてを共通の基盤でカバーして唯一のリスク結果を出す必要に駆られて、（中略）共通の尺度として死亡者数を好んで用いるようになった」

Kolluru (編)「化学物質総合安全管理のためのリスクアセスメントハンドブック」第13章、丸善
- 「受け入れられるリスク」を決める作法はあるか？
 - 残余のリスクにこれまで向き合ってきた経験から判断。

原子力の安全目標（案）

「安全目標に関する調査審議状況の中間とりまとめ」（2003）より抜粋

1. 定性的目標案：原子力利用活動に伴って放射線の放射や放射性物質の放散により公衆の健康被害が発生する可能性は、公衆の日常生活に伴う健康リスクを有意には増加させない水準に抑制されるべきである。

2. 定量的目標案（中略）また、原子力施設の事故に起因する放射線被ばくによって生じ得るがんによる、施設からある範囲の距離にある公衆の個人の平均死亡リスクは、年あたり百万分の1程度を超えないように抑制されるべきである。

原子力規制庁（2013）より抜粋

「安全目標に関し前回委員会（平成25年4月3日）までに議論された主な事項」（平成25年4月10日）

①（略）

②（中略）発電用原子炉については、

・事故時のCs137の放出量が100TBqを超えるような事故の発生頻度は、100万炉年に1回程度を超えないように抑制されるべきである（テロ等によるものを除く）

ことを、追加するべきであること。（以下略）

原子力の安全目標は、難しい

- 「事故時のCs137の放出量が100TBqを超えるような事故」では、敷地境界外（一般環境）のリスクがどの程度かが、俄かにわからない。
 - この目標で、何がどのくらい守られるのか。
 - 化学物質分野でも事故時の非定常漏洩についてはコミュニケーション不足が否めない。これまで「敷地外の影響はゼロ」という“説明”が多かった。
- リスク判断のエンドポイントは、人々の心に響くものか。
 - 安全目標は公衆の過剰被ばくによる死亡だけじゃない。土壌汚染やコミュニティ崩壊といったものも選ばれて良いのでは。
 - どのレベルを「受け入れられるリスク」と判断するか、という対話はあったのか。

まとめ

- リスクを説明するということは、評価の前提や作法を説明するということ
- 「事前に」影響範囲を把握するためにモデル推定を活用する
- どこまで安全なら十分安全か？という問いには、どのレベルを「受け入れられるリスク」と判断するか、という社会的な側面がある
- リスク指標は、人々の心に響くものかのチェックも重要

Thank you for attention !