

# 平成29年度環境研究総合推進費 フイージビリティ研究(1FS-1701)

## 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の検討

Feasibility study on chemical risk assessment and management system  
as disaster and emergency response



国立環境研究所環境リスク・健康研究センター  
センター長 鈴木規之

平成29年度全体予算額12,700千円（間接経費込み）

発表者：国立保健医療科学院生活環境研究部 浅見真理

## ●研究体制●

研究代表者

国立環境研究所 環境リスク・健康研究センター  
センター長 鈴木規之

研究分担者

サブテーマ1：鈴木規之、分担：小山陽介（国環研）

サブテーマ2：浅見真理（国立保健医療科学院）

サブテーマ3：井ノ上哲志（堀場製作所）

サブテーマ4：中村智、分担：矢吹芳教、田和佑脩  
（大阪府立環境農林水産総合研究所）

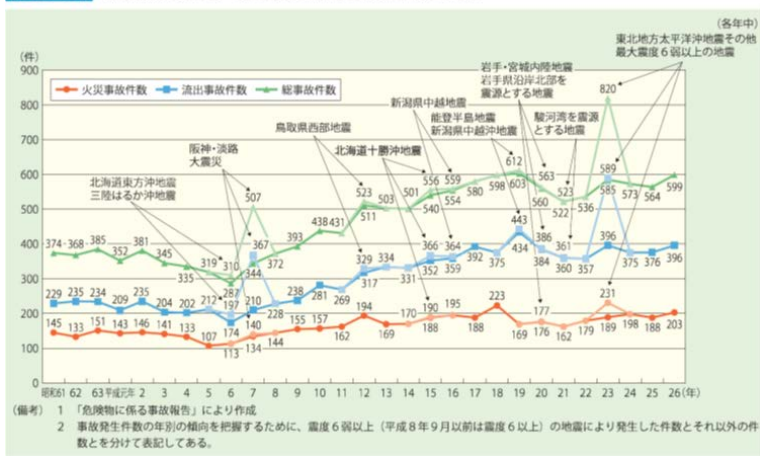
## ●研究開発目的●

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の検討を行い、戦略研究の枠組みを策定する

# 近年の化学物質による環境汚染事故

危険物施設における火災及び流出事故が近年増加(出典:平成27年消防白書)

第1-2-1図 危険物施設における火災及び流出事故発生件数の推移



米ウェストバージニア州エルク川水源に化学薬品(4-メチル-1-シクロヘキサンメタノール)流出、非常事態宣言(2014年1月)



中国天津におけるシアン工場爆発事故(2015年2月)



スペインカタルーニャ州、バルセロナの都市、イグアラダで硝酸、塩化鉄を扱う化学工場が爆発(2015年2月)

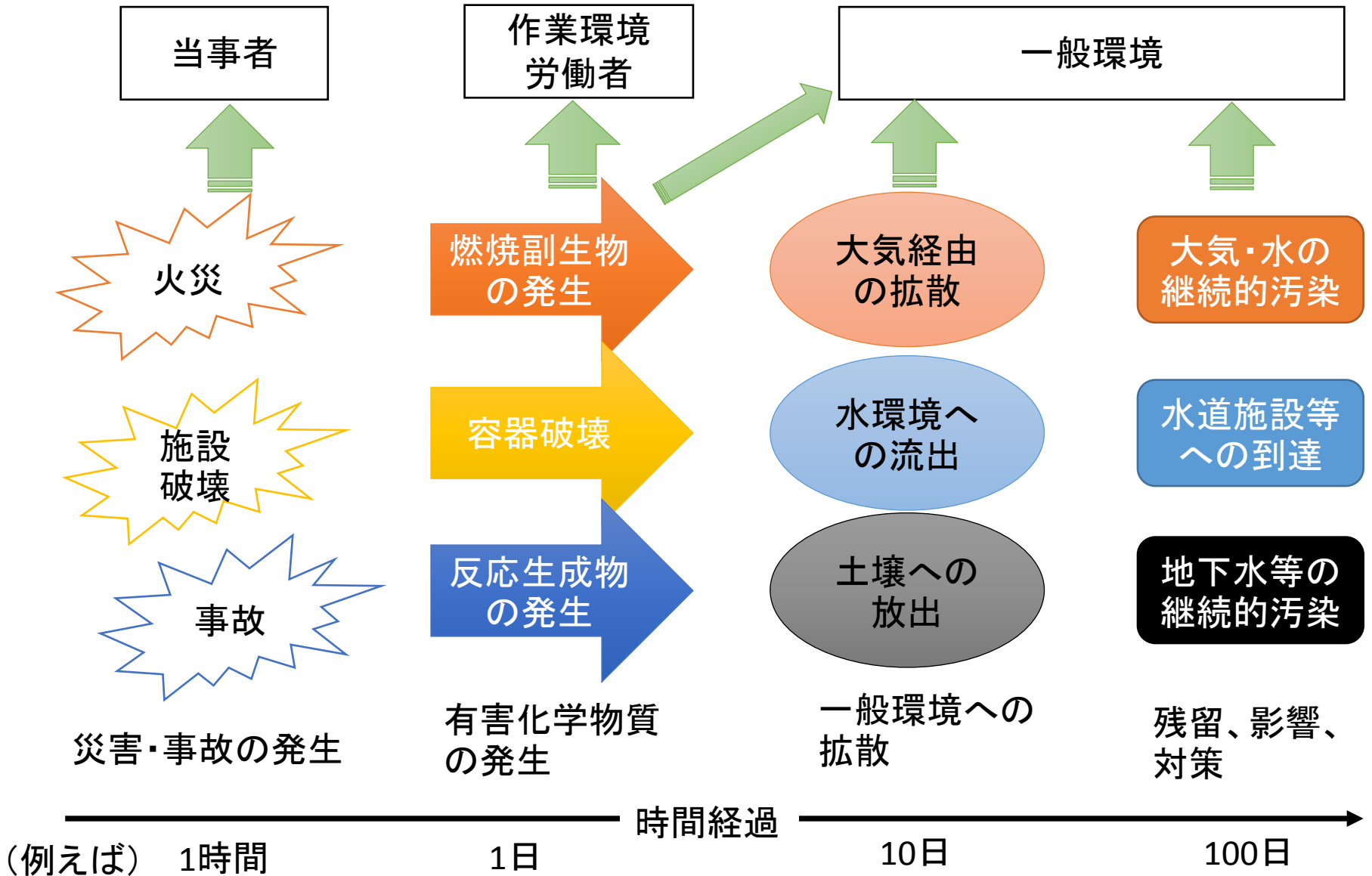


<http://jp.wsj.com/articles/>

<http://karapaia.com/archives/52184814.html>

# 災害・事故に起因する化学物質リスクの想定

化学物質リスクの発生



# 本研究が注目する研究領域

化学物質リスクの発生

当事者

作業環境  
労働者

一般環境

火災

燃焼副生物  
の発生

大気経由  
の拡散

大気・水の  
継続的汚染

施設  
破壊

容器破壊

水環境へ  
の流出

水道施設等  
への到達

事故

反応生成物  
の発生

土壌への  
放出

地下水等の  
継続的汚染

災害・事故の発生

有害化学物質  
の発生

一般環境への  
拡散

残留、影響、  
対策

本研究の注目領域

時間経過

(例えば) 1時間

1日

10日

100日

# 本研究が注目する研究領域

## 防災基本計画

化学物質リスクの発生

当事者

作業環境  
労働者

一般環境

消防防災

火災

燃焼副生物  
の発生

大気経由  
の拡散

大気・水の  
継続的汚染

施設  
破壊

容器破壊

水環境へ  
の流出

水道施設等  
への到達

危険物等災害

事故

反応生成物  
の発生

土壌への  
放出

地下水等の  
継続的汚染

災害・事故の発生

有害化学物質  
の発生

一般環境への  
拡散

残留、影響、  
対策

時間経過

(例えば) 1時間

1日

10日

100日

# 災害・事故に起因する化学物質リスク管理のあり方

本研究の注目領域

一般環境

一般環境への拡散は？

国・自治体  
調査研究機関

調査による状況把握

自治体  
研究機関  
試験機関

対策の開始及び実施

国・自治体  
環境部局、防災部局

非定常リスクの評価

国・自治体  
研究機関・調査機関

拡散  
移動

継続的汚染

情報共有・連携

防災基本計画

消防防災  
危険物等災害

災害  
事故

発生・漏洩

一般環境への  
拡散

残留、影響、  
対策

災害・事故の発生

有害化学物質  
の発生

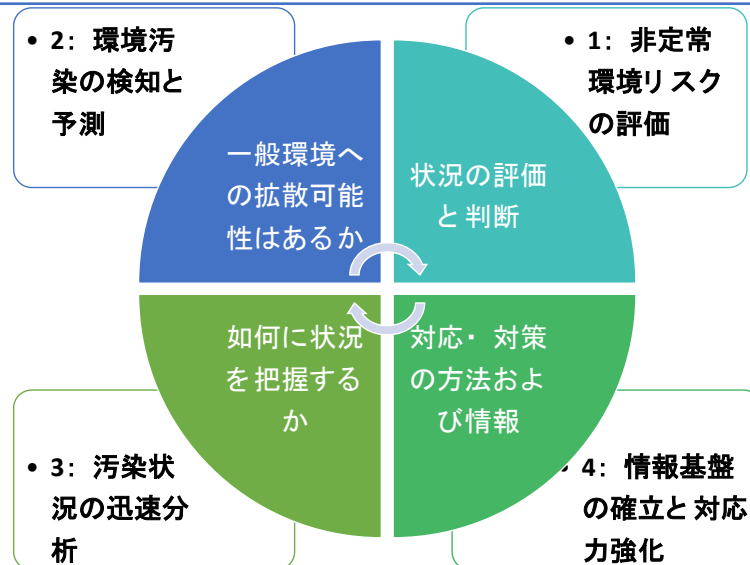
# 研究の全体目標と個別目標

## 全体目標

- 事故・災害で想定し得る非定常状態における異常検知の手法、迅速および網羅的分析手法、拡散予測の手法、曝露及びリスク評価の科学的手法を確立
- 化学物質の基礎情報（物性、毒性等）、化学物質の所在と排出可能性の情報、リスク管理対策の有効性の知見などの行政・社会的手法を確立し、科学的手法とあわせて活用可能な統合情報基盤として提供

## 個別目標

- ✓ 事故・災害にともなって想定される非定常的な環境リスクに対する曝露把握とリスク評価手法の開発
- ✓ 排出シナリオ、対策オプションの有効性の検討を行い、また各テーマの成果を統合して活用可能とする統合情報基盤の構築
- ✓ 連続監視等からの異常検知による災害・事故への対応のためのデータ解析、迅速検知および判断手法を確立
- ✓ 事故・災害に伴って想定される大気、水質、多媒体の汚染拡散の予測手法とその統合プラットフォームの開発
- ✓ 可搬型かつ十分な感度と網羅性を有し、多成分を測定可能な分析装置の開発
- ✓ 災害・事故後速やかに展開可能かつ物性に幅のある物質群をカバーする網羅分析手法の開発
- ✓ PRTR等既存情報に基づき化学物質の所在や潜在的排出可能性を事前及び迅速に提供できる情報基盤の構築
- ✓ 事故・災害後に環境中に残留する化学物質の監視手法と除去対策技術の開発





# 事故・災害時における化学物質リスク管理で考えられる諸課

	平常時	異常発生 <sup>題</sup>	一般環境への 拡散	汚染の継続
事前の情報把握・共有、基礎的検討 ⇒テーマ1,4	化学物質の基礎情報（物性、毒性など）や取扱量・保管量の把握 社会における強靱な対応力の強化			事故・対応事例の新規蓄積とDB化 将来へのフィードバック
影響・拡散予測 異常検知  ⇒テーマ2	事故・災害での漏出・発生シナリオの策定	注意喚起、ハザードマップの策定	可搬型装置、迅速分析による把握	実験室分析による対策範囲、方針の特定
	平常時のモニタリングに基づく異常検知手法の基礎の整備	異常検知状況の迅速把握と異常検知手法の開発 大気・水質・多媒体の拡散予測手法、モデルの開発		漏出予防と監視技術の開発
調査による状況把握 ⇒テーマ3	ベースラインの把握	迅速検知や可搬型装置による周辺状況の迅速把握	迅速分析、網羅分析による状況の迅速・正確な把握	バイオマーカーなどのモニタリング、フォローアップ監視
リスクの評価 ⇒テーマ1	急性毒性、亜急性毒性、慢性毒性情報の集積	現場作業者の保護 作業環境の評価	非定常環境の影響評価	長期影響の監視 新たな影響の知見集積
行政対応、対策の実施 ⇒テーマ4	環境部局と防災、消防・警察等の行政部局との連携体制の構築	緊急対応の分担・連携の体制整備	事故・災害時の情報伝達、クライシスコミュニケーションの実施	対策技術の開発、対策計画の策定

# 本研究課題の全体構成

## テーマ1

非定常状態に対するリスク管理基盤の構築  
(テーマリーダー：鈴木規之 (国立環境研究所))

課題1-1：非定常状態に対するリスク評価手法の開発とリスク管理基盤の構築による総括  
課題1-2：事故・災害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  
課題1-3：非定常状態における健康リスク評価手法の基礎的検討  
課題1-4：事故・災害等の非定常状況下における曝露量把握手法に関する研究

課題3-1：多成分同時分析を可能とする可搬型分析装置の開発  
課題3-2：災害・事故等で懸念される物質群のうち中揮発性物質に対する網羅的分析技術の開発と拡充  
課題3-3：災害・事故等で懸念される物質群のうち難揮発性物質に対する新規網羅分析手法の開発

## テーマ3

迅速分析手法の体系的開発  
(サブテーマリーダー：井ノ上哲志 (堀場製作所))

## テーマ2

非定常環境汚染の異常検知と影響予測手法の開発  
(サブテーマリーダー：浅見真理 (国立保健医療科学院))

課題2-1：非定常環境汚染の異常検知と影響予測に関する研究  
課題2-2：水質事故迅速モニタリング手法の開発と拡充  
課題2-3：非定常環境汚染の拡散予測手法の開発  
課題2-4：迅速予測手法の統合プラットフォームの開発

課題4-1：災害・事故時に活用可能な情報基盤の整備  
課題4-2：災害発生後に環境中に残留する化学物質の高度モニタリング評価手法の開発  
課題4-3：残留化学物質の除去対策技術の開発

## テーマ4

災害・事故への対応力強化に関する研究  
(サブテーマリーダー：中村智 (大阪府立環境農林水産研))

# (サマリー 2) 先行研究・プロジェクト・ソフトウェア事例の 収集

---



<https://solutions.marvin.vito.be/index.xhtml>



<http://merlin-expo.eu/>



<https://www.weblakes.com/>



<http://www.sspa.com/software/bioscreen>

**NORMALYSA**

Home Training Software Forum FAQ



[https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:45095663](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45095663)



<https://publicwiki.deltares.nl/display/OET>



<http://www.goldsim.com>



<https://ofmpub.epa.gov/igems-jsp/loginAction.do>



<http://it.tetratex.com/stepweb/default.htm>

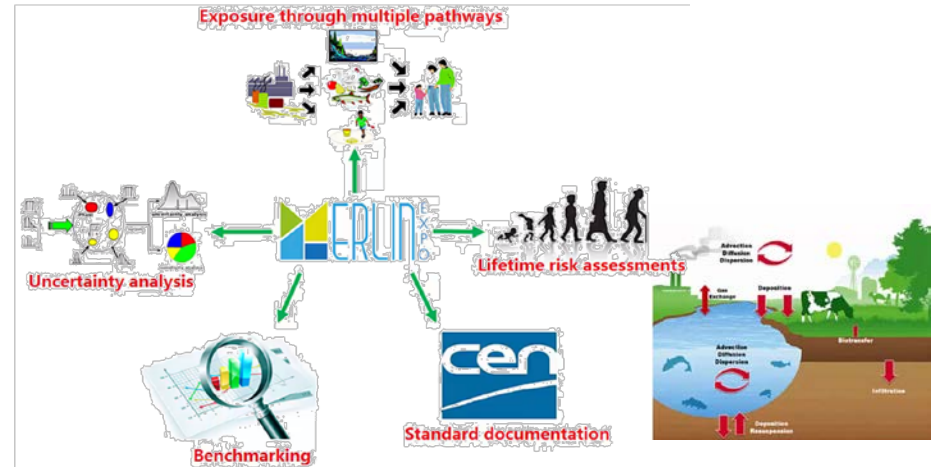
# 先行研究・プロジェクト・ソフトウェア事例

名称	開発主体	概要
<b>プロトコル・ガイドライン・情報</b>		
FEAT 2.0	国連、OCHA	災害時の行動評価調整ツール(緊急時の迅速なフィールドアセスメントを支援するポケットガイド)。化学物質漏洩事故による人体への影響、その低減のためのプライオリティ付けのためのオンサイトでの意思決定を支援
RiBaTox	EU FP7* SOLUTIONSプロジェクト	化学物質、水資源管理のための意思決定をサポートする新たなツール、モデル、手法(一貫したソリューション)
OpenEarth	Deltares社とTU Delft工科大学	OpenEarth: データ、モデル、ツールを共有し効率的に利用するための考え方、ユーザコミュニティ、インフラストラクチャー、ワークフロー、ノウハウの全体のツールボックスを統合化
<b>簡易ツール、スプレッドシート</b>		
STEPL	US-EPA	異なる土地利用からの栄養塩、土砂流州負荷量を計算するスプレッドシート(土地利用の最適化補助ツール)
Bioscreen-AT	SSP&A consultants	石油燃料等の炭化水素系化学物質の漏洩事故等を想定した地下水中の汚染物質移流分散解析を行うためのスクリーニングツールBioscreen (Newell et al. 1997)の改良版
<b>アプリケーションソフトウェア</b>		
GoldSim	GoldSim	元は放射性廃棄物処分場、鉱山廃水の流出をモデル化。不確実かつ複雑なシステム(環境、工学、経済)を対象とした意思決定、リスク評価のためのモンテカルロシミュレーションツールにより、対象システムに固有の不確実性を定量化するソフト。高度なGUIと確率論的シミュレーションにより、確率による意思決定を支援する物質移行モジュールを自在に組み合わせ可能
MERLIN-Expo	EUプロジェクト	多媒体モデル、PBPKモデルの統合化ツール。様々な化学物質の全ての曝露経路を評価し、ヒトへの内部曝露を推定。WHO推奨の感度解析、不確実性解析を行いた決定論、確率論的シミュレーション
NORMALYSA	IAEA MODARIA Working Group 3	自然由来の放射性物質に対するリスク評価ツール。Source/Transport pathways/Receptor/Doseをカバーするモデル(モジュール)とデータベースを搭載
IRAP-H View	Lakes Environmental Software	人間の健康に対する包括的なリスク評価を行うためのグラフィカルユーザーインターフェイス(US EPA Human Health Risk Assessment Protocol (HHRAP)に準拠)した多媒体モデル。多数の化学物質、汚染源、経路、暴露対象に対するリスクを同時に計算
IGEMS/CSM	US EPA	多媒体モデルとその実行に必要な環境データを搭載したウェブベースのアプリケーション。大気、消費者製品、材料、地下水に関するモデル、データを搭載。大気モデルはAERMOD(定常)、ISCST3(非定常)。地下水モデル: AT123D(USGSで開発された移流分散プロセスの様々な厳密解及び準厳密解を搭載した解析プログラム)。地図上に可視化するCSMと結合
STREAM-EU	ストックホルム大学、オランダDeltaresとのコラボ	大陸、流域スケールの溶質移動を予測。空間移動する漏洩源、化学物質物理化学特性、時間変化する水理データを考慮した水域、粒状性物質(土砂)、土壌、地下水のコンパートメントを用いたフガシティモデル



# MERLIN-Expo

- EUプロジェクト(2FUN/2007-2010->4FUN/ 2012-2015->MERLIN-Expo/2015-)で開発された多媒体モデル、PBPKモデルの統合化ツール
- 様々な化学物質の全ての暴露経路を評価
- ヒトへの内部暴露の推定
- WHO推奨の感度解析、不確実性解析
- 決定論、確率論的シミュレーション
- 複数の化学物質を扱い、ヒトや生物への暴露に対する多数の汚染経路を考慮
- 定常、非定常シミュレーション
- 複雑なシナリオを容易に組み立てることができるモジュール化構造



環境システムを離散コンパートメントによりモデル化  
(空気、土壌、作物、地表水、人体)



工場からの化学物質漏洩事故  
河川のモデル化例

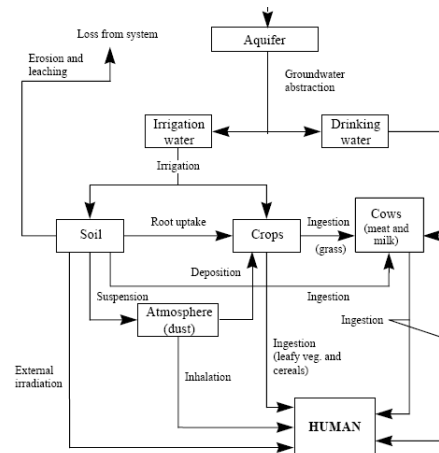
# GoldSim

- 不確かかつ複雑なシステム(環境、工学、経済)を対象とした意思決定、リスク評価のためのモンテカルロシミュレーションツールにより、対象システムに固有の不確か性を定量化
- 高度なグラフィックインターフェイスにより確率論的シミュレーションにより、計画・管理のためにより良い意思決定を確率を用いて支援
- 物質移行モジュールを自在に組合わせたコンパートメントモデル

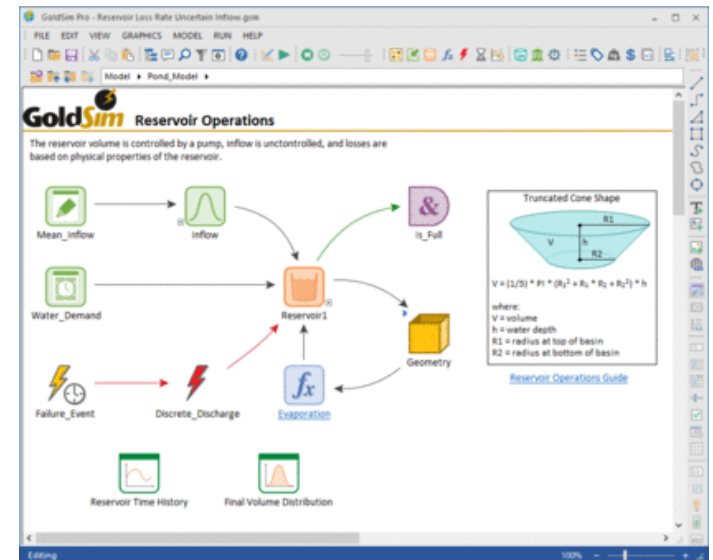
Uranium Mining Facility Environmental System



鉱山廃水のモデル化例



コンパートメントモデル



<http://www.goldsim.com/Web/Introduction/>

# インターフェースに関する考察

先行事例のインターフェースは以下のいずれかに分類される

## タイプ1

対象システムの構成がある程度決まっていることを前提とする定型化されたインターフェイス

*Static system modelling*

e.g. STEPL, IGEMS/CSM

## タイプ2

対象システムの構成要素、化学種、状態変化等の全てを組み立てるインターフェイス

*Dynamic system modelling*

e.g. STREAM-EU, MERLIN-Expo, GoldSim,

単純

インターフェースの操作性

複雑

# 分布型物理モデル系 .VS. コンパートメントモデル系

	空間離散化を行う 分布型物理モデル系	汚染経路の集中化を行う コンパートメントモデル系
「いつ、何が、どれほどの影響を受けるか…？」をアウトプットする	可能	可能
対象システムの幅広い時間・空間スケールに対する適用性	高い	高い
多様な化学物質、汚染経路の考慮	可能	可能
モデリング／コンピューティングの迅速性	困難	容易
不確実なシステムの確率論的取り扱いと支配パラメータの同定	困難	容易
排出源情報、迅速分析との連携	困難	容易
操作性の容易さ	困難	容易
結果表示の分かり易さ	高い	低い

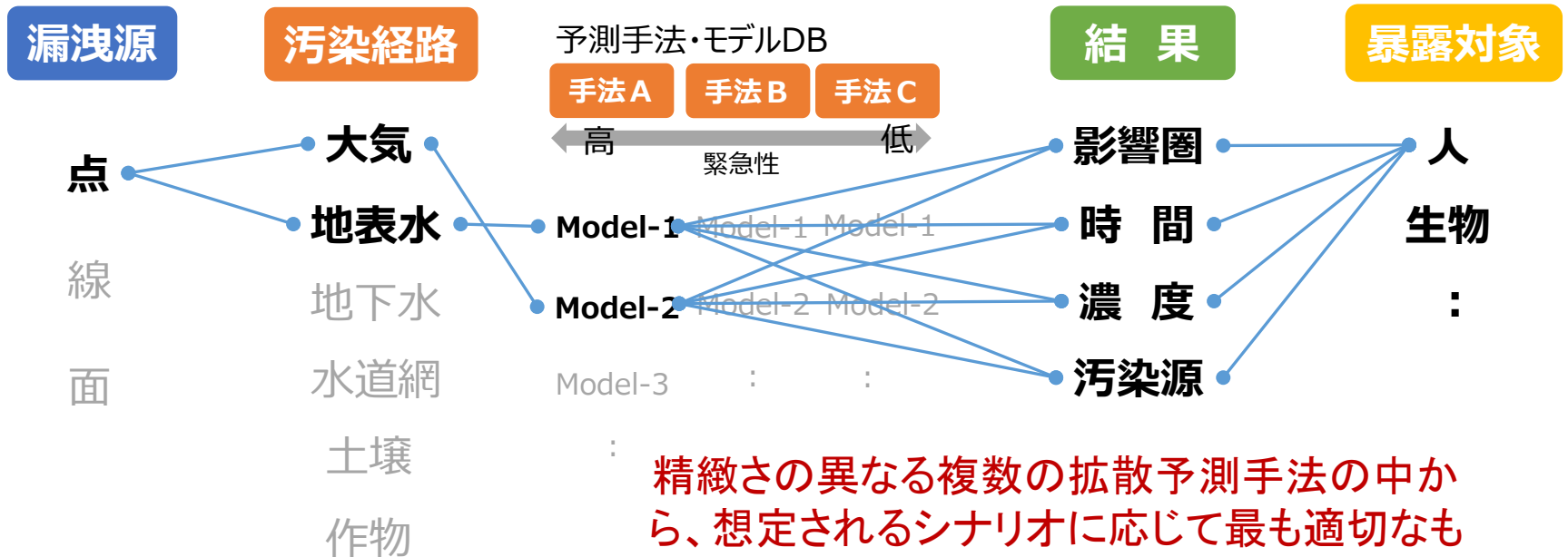
※拡散予測の迅速性は圧倒的にコンパートメントモデルが優位⇒現場要請に応じた使い分け？



# 想定するシナリオの策定について

シナリオ = 端緒事象 × 汚染経路 × 緊急度

例 (工場火災) (大気、水) (高)

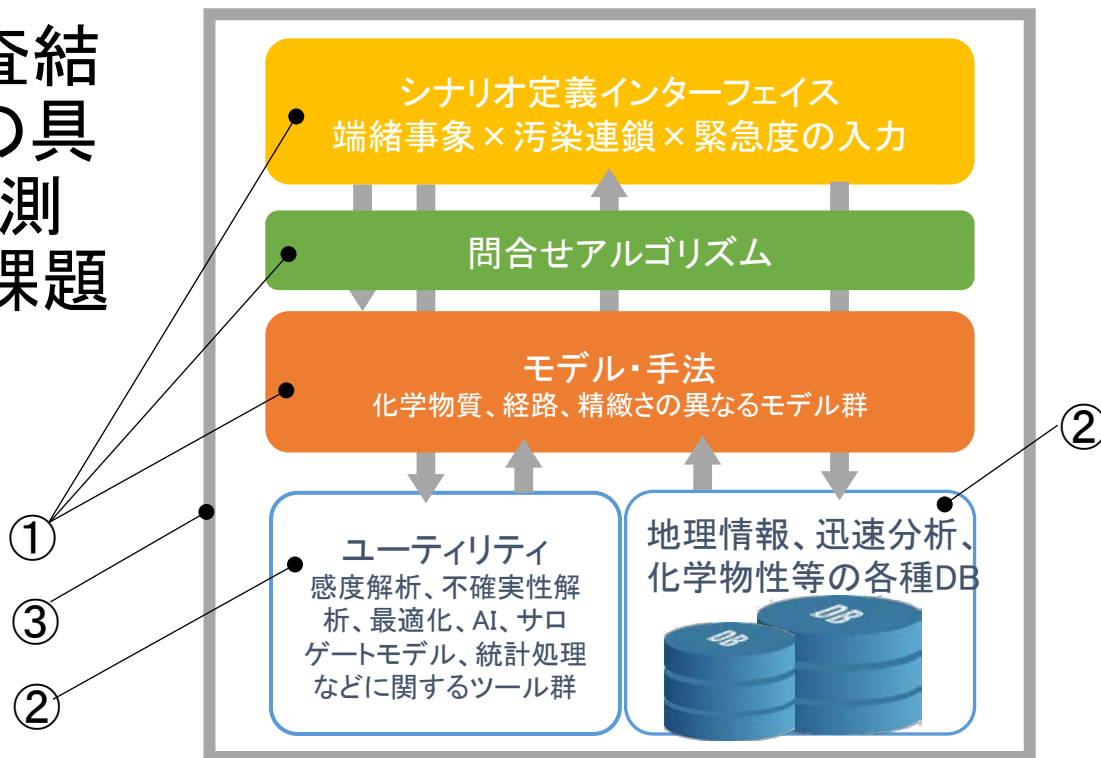


精緻さの異なる複数の拡散予測手法の中から、想定されるシナリオに応じて最も適切なものを抽出するアルゴリズム(手順)の必要性！

# モデリング・予測ツールの開発

既存事例の収集・調査結果を元に、拡散予測の具体的なモデリング、予測ツール開発に向けた課題を構築する

- ① コア
- ② ユーティリティ
- ③ ベース (プラットフォーム)



# FSとしての課題：対象物質の第一次リストの作成

情報収集を終え、毒性強度、物性（揮発性、水溶性など）、製造使用量、簡易リスク比などに基づく複数のランキングを作成して検討。研究初期に各テーマに提示する

## 対象物質リストの作成

\* 緊急時・作業環境などの基準をベースに基準値リストを作成（吸入ばく露中心）

(Acute Exposure Guideline Levels)

AEGL：約300物質  
(PAC：約3000物質)  
(Protective Action Criteria)

ACGIH, 環境化学会  
：約500物質

IRIS：約500物質

水道亜急性参照値：18物質

曝露条件を統一  
(例えば1週間)

基準値  
リスト

## ハザード情報の解析

\* 共通物質について、利用可能なハザード情報をエンドポイントごとに整理

発がん性

特定臓器  
毒性

変異原性

GHS：約3000物質

急性毒性

生殖毒性

感作性

懸念物質の追加（経口ばく露含む）

## 曝露可能性の推定

- \* 物性
- \* 製造使用量、用途
- \* 過去事例

⇒ これらから、事故時の排出可能性の予測シナリオを構成

- 排出可能性とハザードに基づくリスク指標により毒性エンドポイントごとに順位付け
- 共通物質を軸にランキングを集約
- 正確な評価は明らかに不可能だが、スタートリストとしての順位付けを目標として実施

# 対象物質リスト(農薬)

## ADI/出荷量の簡易指標による順位付けの例示(区分1~5はGHS区分による)

原体名	農薬分類	出荷量 (tまたはkL)	ADI(mg/kg /day)	急性毒性					感作性		生殖細胞 変異原性	発がん性	生殖毒性	特定標的臓器毒性		
				経口	経皮	吸入:ガス	吸入:蒸気	吸入:粉塵、 ミスト	呼吸器	皮膚				単回暴露	反復暴露	
ダゾメット	土壌殺菌 剤	2,844	0.0025	区分4	区分5	分類対象 外	分類でき ない	区分5	分類でき ない	区分外	区分外	区分外	区分外	区分2	区分2(神 経系)	区分2(肝 臓)
マンゼブ	有機硫黄 殺菌剤	2,139	0.00625	区分外	区分外	分類対象 外	分類でき ない	区分外	分類でき ない	区分1	区分外	区分外	区分外	区分外	分類でき ない	区分2(神 経系、甲 状腺、肝、 副腎)
ダイアジノ ン	有機リン 系殺虫剤	347	0.002	区分4	区分3	分類対象 外	分類でき ない	区分4	分類でき ない	区分1	分類でき ない	区分外	区分外	区分外	区分2(神 経系)	区分2(腎 臓、神経 系、肝臓、 精巣)
メチダチオ ン	有機リン 系殺虫剤	118	0.001	区分2	区分外	分類対象 外	分類でき ない	区分2	分類でき ない	区分外	区分外	区分外	区分外	区分2	区分1(神 経系)	区分1(肝 臓)
フィプロニ ル	フェニル ピラゾー ル系殺虫 剤	21	0.0002	区分3	区分外	分類対象 外	分類でき ない	区分3	分類でき ない	分類でき ない	区分外	区分外	区分外	区分2	区分1(神 経系)	区分1(神 経系)、区 分2(甲状 腺、肝臓)
フェンチオ ン	有機リン 系殺虫剤	48	0.0005	区分4	区分4	分類対象 外	分類でき ない	区分3	分類でき ない	区分外	区分外	区分外	区分外	区分2	区分1(神 経系)	区分1(神 経系)
カズサホス	殺線虫剤	21	0.00025	区分2	区分1	分類対象 外	分類でき ない	区分1	分類でき ない	区分1	区分外	区分外	区分外	区分外	区分1(全 身性、神 経系)	区分1(神 経系)、区 分2(全身 性)
フェントロ チオン	有機リン 系殺虫剤	411	0.005	区分4	区分4	分類対象 外	分類でき ない	分類でき ない	区分外	区分外	区分外	区分外	区分外	区分外	区分1(神 経系)	区分1(神 経系)
ホスチア ゼート	殺線虫剤	78	0.001	区分3	区分3	分類対象 外	分類でき ない	区分3	分類でき ない	区分1	区分外	区分外	区分外	区分1	区分1(全 身性、神 経系)	区分1(神 経系、副 腎)

# 事故・災害時における化学物質リスク管理及び研究の課題 - 4テーマの成果と集約 - 行政貢献

時間経過

(例えば)

1時間

1日

10日

100日

	事前		事後対応		一般環境への拡散		対策の実施	
	事項	内容	事項	内容	事項	内容	事項	内容
災害・事故への迅速な対応力の科学 ⇒テーマ2			災害・事故等の発生を速やかに検知	非常汚染の迅速検知と予測手法				
災害・事故直後の汚染状況の把握の科学 ⇒テーマ3			影響の及ぶ範囲や重篤度を迅速に予測	大気拡散、水質拡散、多媒体拡散の予測手法	対策範囲や種類の迅速検知			
災害・事故直後の汚染状況の把握の科学 ⇒テーマ3			事象発生後迅速に現地の汚染状況を把握	可搬型装置迅速分析				
現地行政を中心とする対応力強化の科学 テーマ4								
すべての時間経過の中で共通に必要な科学 ⇒テーマ1	状況の推移する非常化での管	非常状態におけるリスク評価	必要な評価手法、分					

影響予測の統合プラットフォーム

可搬・設置の迅速分析法群

PRTR等の現地行政を支援する情報基盤

すべての手法を横断的に検索・活用可能な統合リスク管理基盤

対策技術と監視

行政・現地・対策実施者・消防等外部機関などすべての者が事故・災害時の化学物質リスク管理に活用可能な基盤を提示

課題

# 研究の成果目標とアウトカム

## • 全体目標

- 事故・災害で想定し得る非定常環境における異常検知の手法、迅速および及び網羅的分析法、拡散予測の手法、曝露及びリスク評価の科学的手法を確立する
- 化学物質の基礎情報（物性、毒性等）や、化学物質の所在と排出可能性の情報を整備するとともに、リスク管理対策の有効性の知見などの行政・社会的手法を確立し、科学的手法とあわせて活用可能な統合リスク管理基盤として提供する



## • 期待されるアウトカム

- 事故・災害で想定される化学物質リスクに対応すべき科学的手法と情報を統合リスク管理基盤等を通じて広く行政が活用できる手法群として提供し、環境施策の実現に資する
- 研究の成果を通じて、将来のPRTRの方向性などの関連行政施策での課題を提示する
- 新たな分析機器や調査・分析体制を民間企業とともに開発することにより、わが国の産業の具体的発展の可能性を提供する