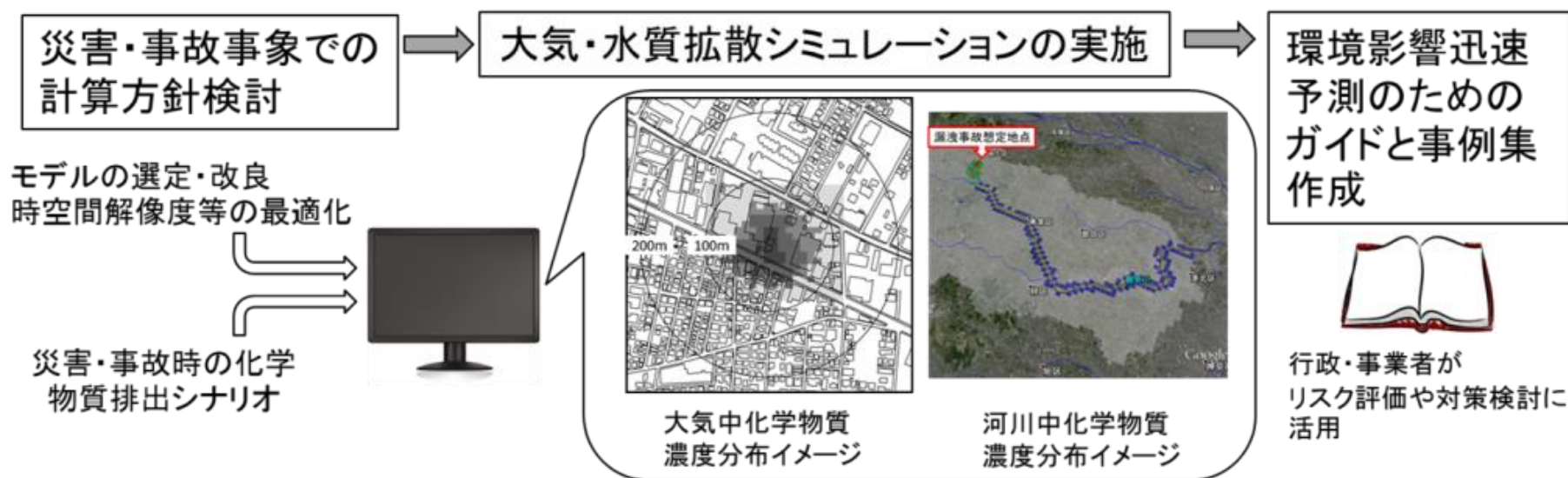


災害・事故事象による化学物質の 大気・水域拡散予測手法の開発

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
安全科学研究部門 研究グループ長
恒見清孝

災害・事故事象に対応する迅速拡散予測手法の開発

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、**緊急対応コストの削減**に有用

内容

1. 事故・排出シナリオの検討
2. 大気シミュレーション
3. 水域シミュレーション
4. 成果と課題

1. 事故・排出シナリオの検討

事故シナリオの構築

	事前(平常時)	事中(事故が起こった最中)	直後(事故停止直後)	残留・長期
対象場所・発生源	代表事業所選択 (大規模、事故事例あり)	モデル推定結果から発生源特定	→	→
対象物質	代表物質選択	対象候補洗い出し	物質同定	→
排出量・速度	パターン化 →		貯蔵量、排出速度、排出時間設定	→
気象データ	パターン化 →		事故時の風向、風速、降雨量設定	→
環境中濃度分布	パターンごとにモデル推定	簡易測定	モデル推定	モニタリング(orモデル)による経時変化推定
リスク判定	毒性クライテリア(急性or慢性)と比較、避難(被害)距離 早見表 の作成	避難(被害)距離 早見表 でおおよその被害想定	毒性クライテリア(急性or慢性)と比較、被害範囲の把握	被害収束状況の把握

✓ 事前・事中を想定した被害距離**早見表**を作成

排出曝露シナリオの作成

項目	大気	水域
シナリオの範囲	✓ 1事業所での事故による化学物質排出 ✓ 大気拡散 ✓ 周辺住民曝露・避難	✓ 化学物質の河川への排出（晴天時・雨天時・集中豪雨時） ✓ 河川での動態
場所	✓ 特定の事業所を対象にしない。 ✓ 場所を特定しない。	✓ 流域面積等で対象水系を類型化
排出曝露経路	✓ タンクからの液体排出 ✓ 水溜りからの蒸発 ✓ 大気拡散	✓ タンクからの液体排出 ✓ 河川流入移動
住民曝露	✓ 屋内・屋外での曝露濃度、急性毒性を考慮 ✓ 事故の際に避難すべき距離範囲を早見表で示す	✓ 河川水の水質基準・環境基準にもとづく ✓ 事故の際に基準を超過する時間帯と距離範囲を早見表で示す

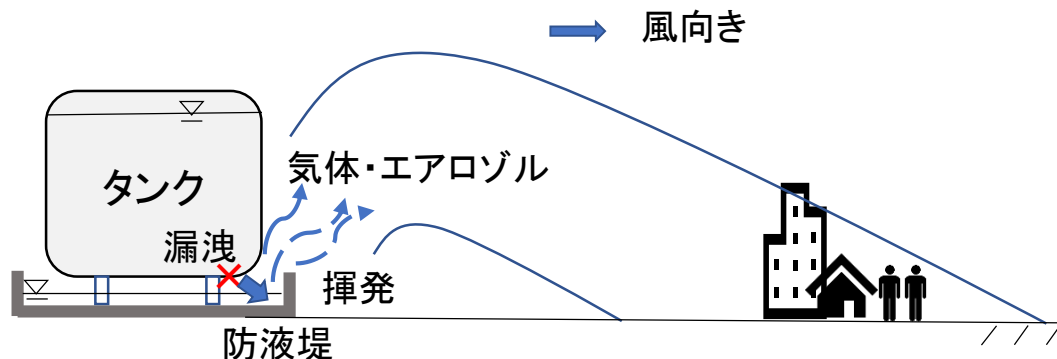
事故による同時多発的な化学物質の大気・水域排出については検討しない。

2. 大気シミュレーション

大気シミュレーションの方法

大気中濃度推定方法

- プルーム拡散式および高密度拡散モデルを備えた定常モデル(米国CANARY ver.4.6)を使用。
- 定常排出とし、排出(流出)時間を10分・60分等を設定。
- 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。



対象物質・シナリオ

- 揮発性有機化合物(VOC)のトルエンを対象。
- タンク容量100%で貯蔵されていた時、事故による漏洩が起こったと想定。
- 漏洩シナリオ
漏洩の遮断が成功した場合(10分・60分で漏洩/流出がストップする。)
⇒屋外で急性影響閾値を超える距離範囲を判定
- 急性影響閾値には、米国環境保護庁が定めているAEGL(急性曝露ガイドラインレベル)を用いる。

急性影響閾値の種類

急性影響閾値	作成機関	定義	物質数
IDLH (30分)	NIOSH 労働安全衛生 研究所	➤ 生命を脅かす又は回復不能な健康への影響を生じる可能性が高い、あるいは避難の能力を妨げる濃度 ➤ 脱出を妨げる目や呼吸器への刺激の予防も考慮されている	383
AEGL-1 (10分, 30分, 1時間, 4時間, 8時間)	U.S. EPA 米国環境保護 庁	➤ 顕著な不快感、刺激、無症状の影響が一般の集団に知覚されうる濃度 ➤ 影響は一時的で、曝露が止むと回復する	176
AEGL-2 (10分, 30分, 1時間, 4時間, 8時間)		➤ 回復不能又は重篤な健康影響が長期間持続する、あるいは避難の能力が低下する濃度 ➤ 視覚や呼吸器系への刺激も考慮したデータが用いられている	
AEGL-3 (10分, 30分, 1時間, 4時間, 8時間)		➤ 生命を脅かす健康影響を生じる、又は死亡に至る濃度	
ERPG-1 (1時間)	AIHA 米国工業衛生 協会	➤ 顕著な不快感、刺激、無症状の影響が一般の集団に知覚されうる濃度 (AEGL-1と同等)	146
ERPG-2 (1時間)		➤ 防護措置を取るための能力を低下させる重篤または回復不能な健康影響及び症状を生じない最大限度濃度 (AEGL-2と同等)	
ERPG-3 (1時間)		➤ 生命を脅かす健康影響を生じない最大限度濃度	

(原子力規制庁, 2017他)

急性影響閾値の例

代表的な化学物質に対するAEGL値(60分、単位ppm)

化学物質	AEGL-1	AEGL-2	AEGL-3
アクリロニトリル	13	50	150
アンモニア	30	160	1,100
塩化水素	1.8	22	100
塩素	0.50	2.0	20
キシレン	130	920	2500*
硝酸	0.16	24	92
スチレン	20	130	1100*
トルエン	67	560	3700*
ヒドラジン	0.10	13	35
ベンゼン	52	800	4000*
ホルムアルデヒド	0.90	14	56
メタノール	530	2,100	7200*
硫酸	0.20	8.7	160

【AEGL値の定義】

AEGL1: 顕著な不快感、
刺激の知覚

AEGL2: 不可逆な健康影
響が持続、あるいは避
難の能力が低下

AEGL3: 死に至る可能性
の増加

* 毒性以外のハザードも加味して
算出された値

(参考: US EPA AEGL ウェブサイト
<https://www.epa.gov/aegl>)

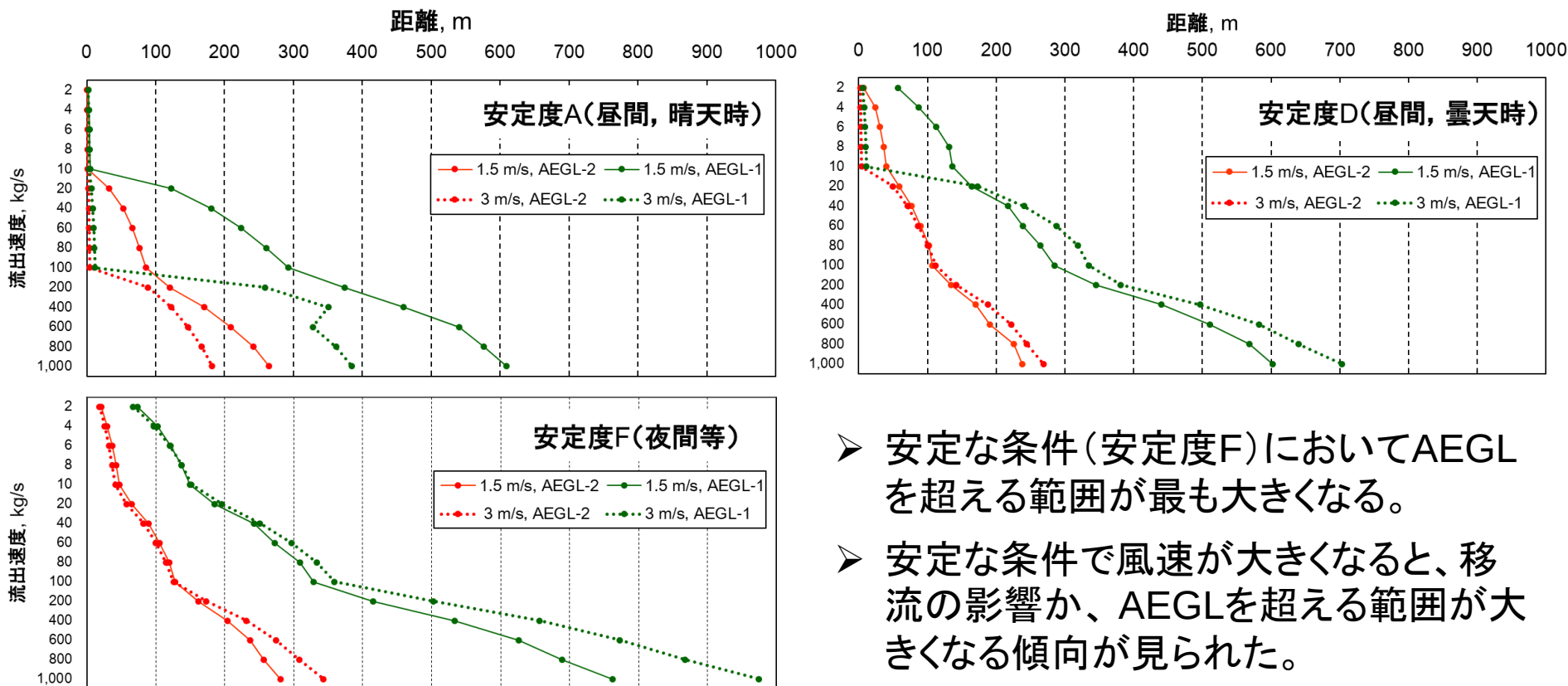
大気シミュレーションによるAEGLを超える範囲の算出

気象パラメータ(安定度, 風速)がAEGLを超える範囲に与える影響を解析した。

安定度・風速とAEGL値(60分)を超える範囲の関係

トルエンが60分間流出した場合の例。

タンク内温度15°C、圧力0.12MPa(常温常圧)、液体での流出が起きたと想定。外気温: 15°C



- 安定な条件(安定度F)においてAEGLを超える範囲が最も大きくなる。
- 安定な条件で風速が大きくなると、移流の影響か、AEGLを超える範囲が大きくなる傾向が見られた。

避難すべき範囲等を示した早見表の作成

- AEGL1を超える範囲では、避難による影響の低減が図れる。
- AEGL2を超える範囲では、濃度低減等、避難以外の対策(屋内退避等)が必要。

早見表(マトリックス)の例

事故時のトルエン流出(10分間、60分間)により時間平均濃度(10分、60分)がAEGL値を超える範囲*
(大気安定度:D, F、風速:1.5, 3 [m/s]) * 数値は見直しの可能性あり

AEGL1を超える風下方向の距離 [m]

大気安定度	A (昼間, 晴天時)				D (昼間, 曇天時)				F (夜間等)			
	1.5 [m/s]		3 [m/s]		1.5 [m/s]		3 [m/s]		1.5 [m/s]		3 [m/s]	
風速	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60
流出時間 [分]												
流出速度 [kg/s]												
2	3	3	2	2	66	57	6	6	86	74	78	67
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
20	140	120	7	7	190	160	200	170	220	190	230	200
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
200	360	370	300	260	400	350	470	380	510	420	620	500
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1,000	540	610	440	380	800	600	880	700	1100	760	1200	970

黄色、橙色: 距離が、それぞれ200m以上、500m以上となる条件。
AEGL1(これ以上で、顕著な不快感、刺激、無症状の影響が一般の集団に知覚されうる濃度): 67 ppm(10分、60分とも)

AEGL2を超える風下方向の距離 [m]

大気安定度	A (昼間, 晴天時)				D (昼間, 曇天時)				F (夜間等)			
	1.5 [m/s]		3 [m/s]		1.5 [m/s]		3 [m/s]		1.5 [m/s]		3 [m/s]	
風速	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60	10	60
流出時間 [分]												
流出速度 [kg/s]												
2	1	1	1	1	2	8	1	2	14	21	12	19
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
20	19	33	2	3	38	59	30	50	41	66	34	57
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
200	79	120	61	89	100	130	94	140	120	160	110	170
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
1,000	140	260	120	180	190	240	200	270	240	280	240	340

赤色: 距離が200m以上となる条件。
AEGL2(これ以上で、回復不能又は重篤な健康影響が長期間持続する、あるいは避難の能力が低下し始める濃度): 1400 ppm(10分)、560 ppm(60分)

3. 水域シミュレーション

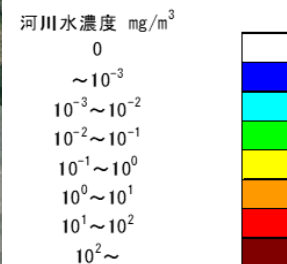
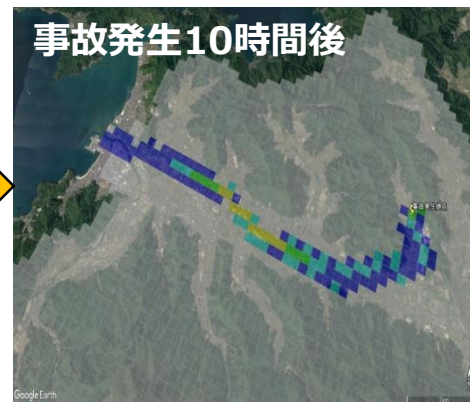
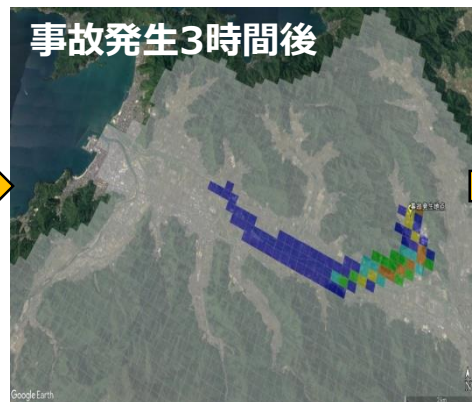
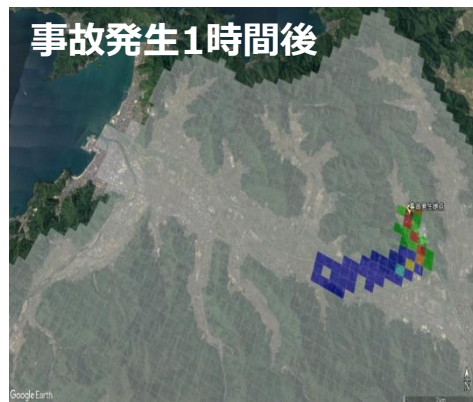
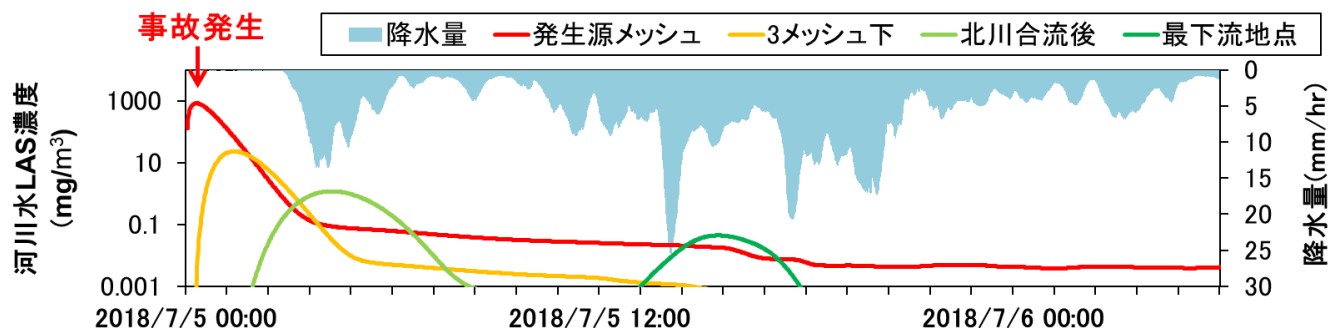
河川水中濃度推定モデルの改良

- 河川流域の非定常解析モデル(AIST-SHANEL Ver.3.0)を使用
- **流量**(晴天時、雨天時、集中豪雨時)の違いを反映できるようにモデル改良

改良(1)時間解像度の詳細化

国土交通省の250mメッシュ・1分単位の降雨レーダデータ(XRAIN)を使用可能とした

集中豪雨時に北川水系で直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩(LAS) 10t が流出した場合



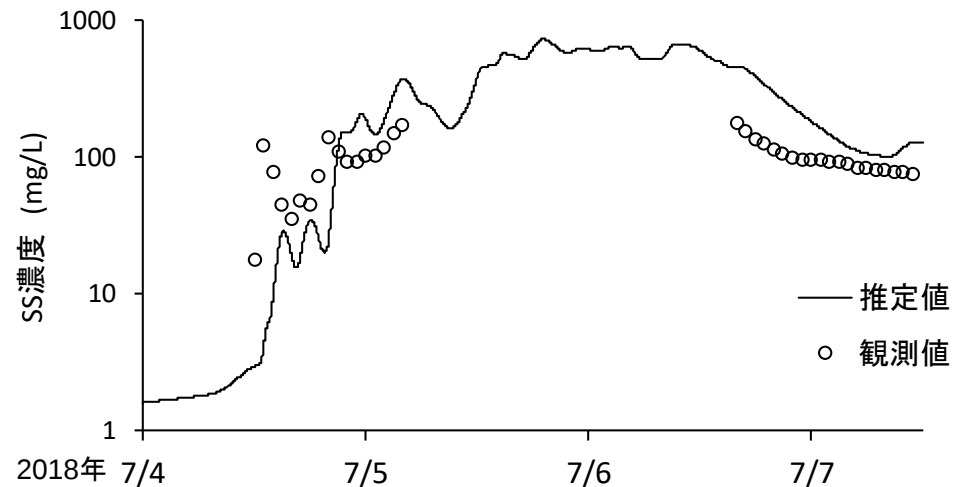
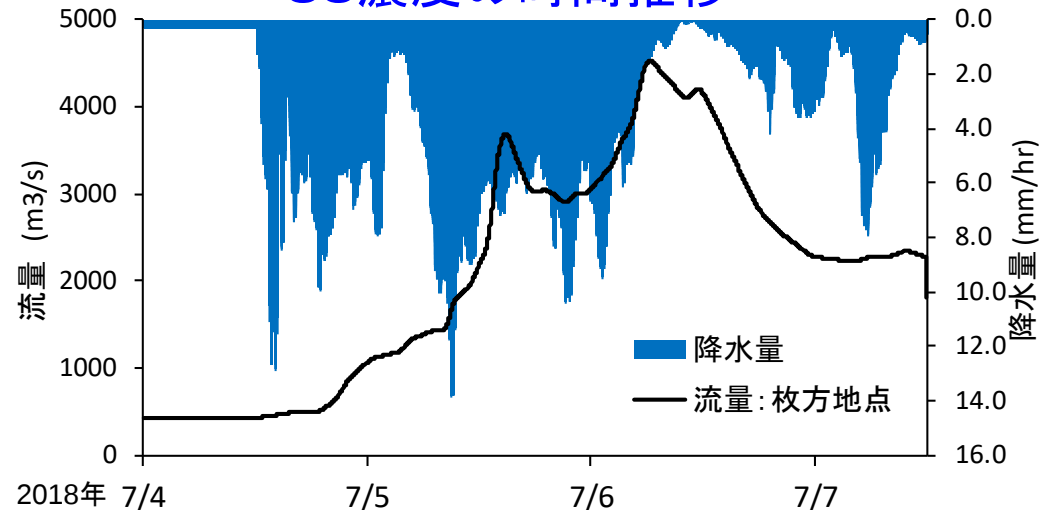
改良(2)集中豪雨時における河川水SS推定濃度の精度向上

- AIST-SHANELの懸濁物質(SS)濃度の解析に関するパラメータの改良
- 土地利用を考慮したSS流出解析パラメータのキャリブレーションを実施



- 出水時の河川水SS濃度の変動を再現
- 集中豪雨時の化学物質水中濃度推定の精度向上を実現

淀川水系 枚方地点での流量、降水量、SS濃度の時間推移



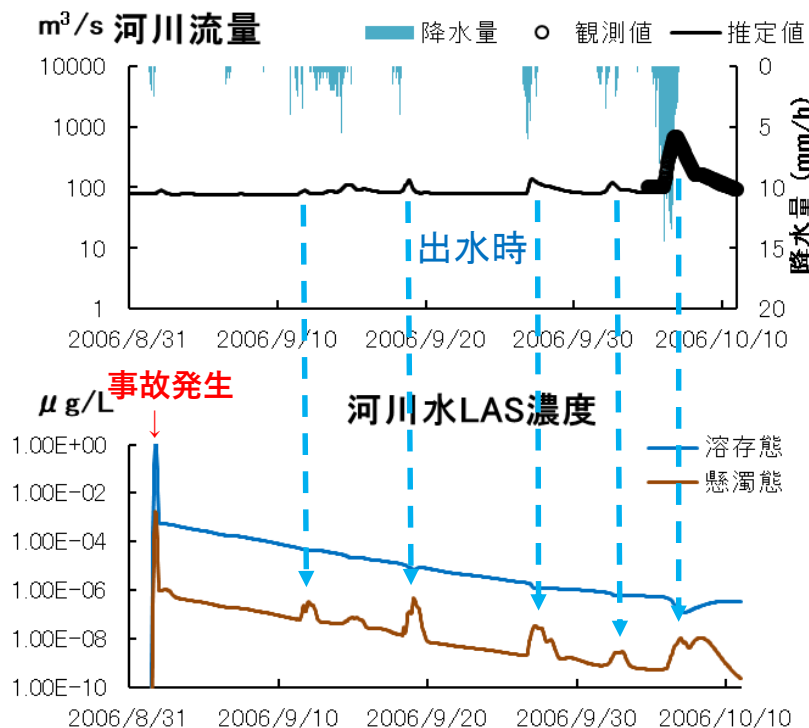
改良(3)集中豪雨時における化学物質の懸濁態・溶存態別濃度の拡散予測

【シナリオ】

- 集中豪雨時に、多摩川の事業所から**LAS(直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩)** 300kg が流出したと仮定
- 評価地点における溶存態、懸濁態のLAS濃度推移を確認

【予測結果】

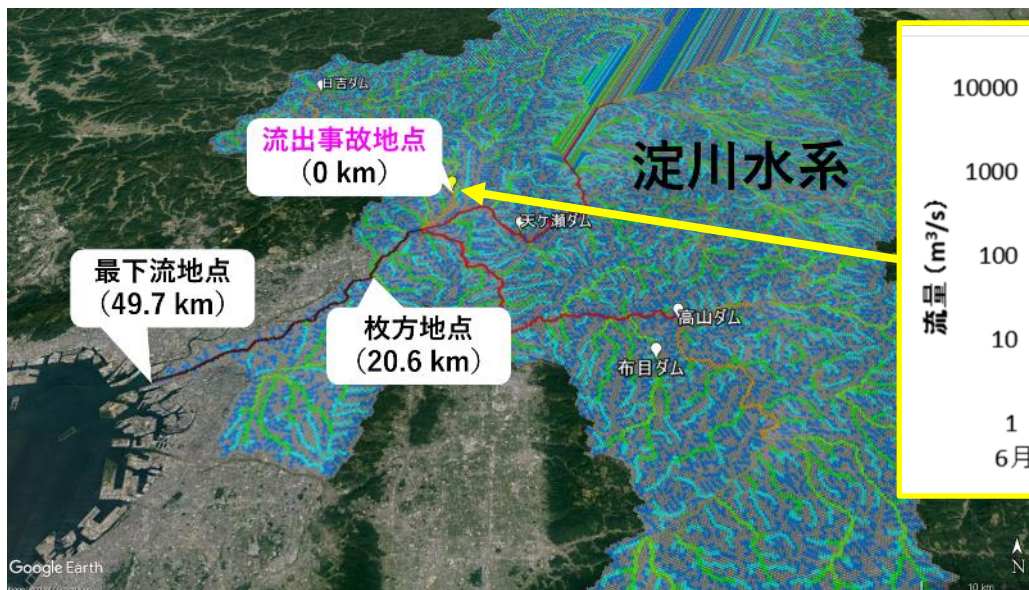
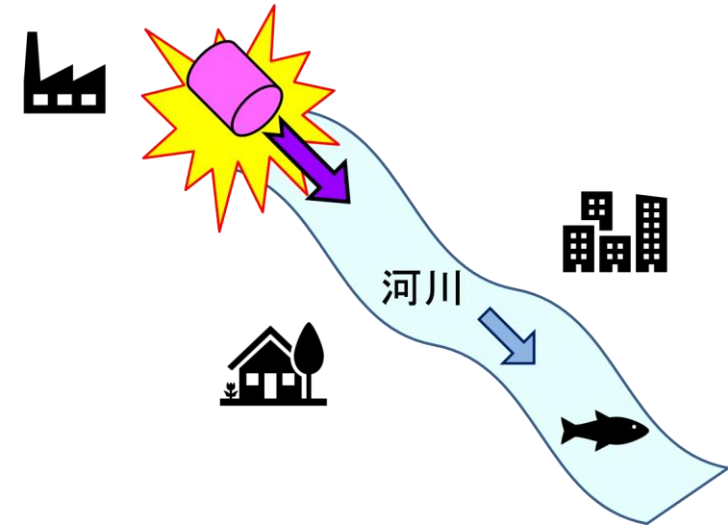
- 事故発生1か月後の出水時に懸濁態濃度の増加
- 吸着性の高い化学物質では出水時の河川底泥からの巻き上げによる水質への影響が大きくなる可能性を示した



水域シミュレーションの方法

- 対象物質: **クロロホルム**
- 対象水域: 淀川
- 想定シナリオ: **晴天時、集中豪雨時**に事業所でタンク漏洩が発生し、**0.1t、1t、10t**の物質量が河川へ流出
- 流出事故地点から下流までの濃度変化を解析
- **水質基準を超過する距離や時間**を推定

タンクからの漏洩
河川へ直接流出



日本の主な水質基準および水質基準に準ずる項目

関係省庁	項目		
厚生労働省	水道法に基づく 水質基準 項目		基準値 51項目
	水質管理目標設定項目		目標値 26項目
	要検討項目		目標値 47項目
環境省	環境基本法による公共用水域の水質汚濁に係る 環境基準	人の健康の保護に関する環境基準	基準値 27項目
		生活環境の保全に関する環境基準(水生生物保全環境基準を含む)	河川(湖沼を除く。)基準値 8項目 (水生生物3項目)
	要監視項目	人の健康の保護に係る項目	指針値 26項目
		水生生物の保全に係る項目	指針値 6項目

化学物質の水道水質基準と環境基準(例)

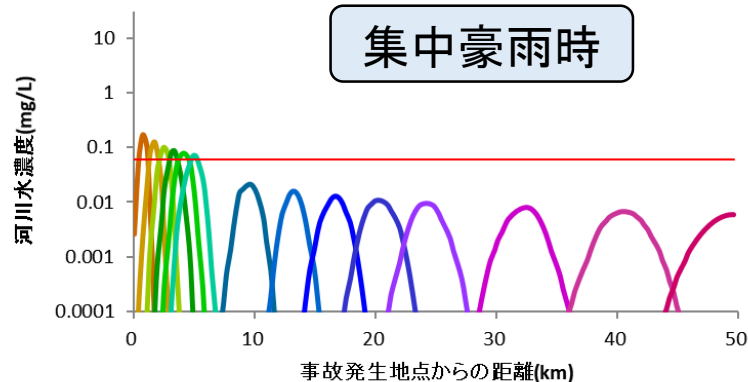
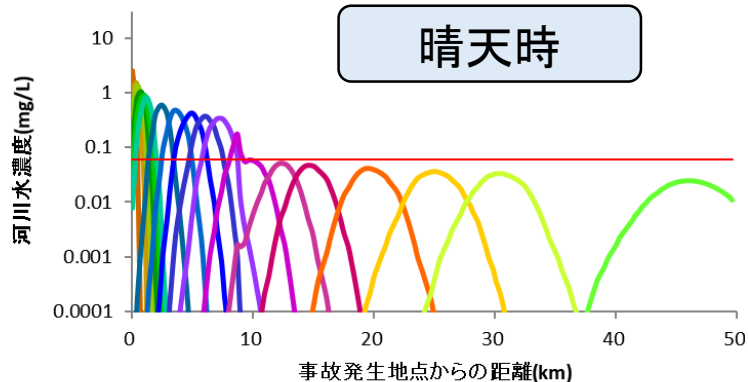
単位: mg/L

化学物質	水道水質基準	ヒト健康 環境基準	水生生物 環境基準
1,4-ジオキサン	0.05	0.05	
ジクロロメタン	0.02	0.02	
テトラクロロエチレン	0.01	0.01	
トリクロロエチレン	0.01	0.01	
ベンゼン	0.01	0.01	
四塩化炭素	0.002	0.002	
クロロホルム	0.06		
ブロモホルム	0.09		
ホルムアルデヒド	0.08		
ノニルフェノール			0.0006
直鎖アルキルベンゼンスルホン酸及びその塩(LAS)			0.02

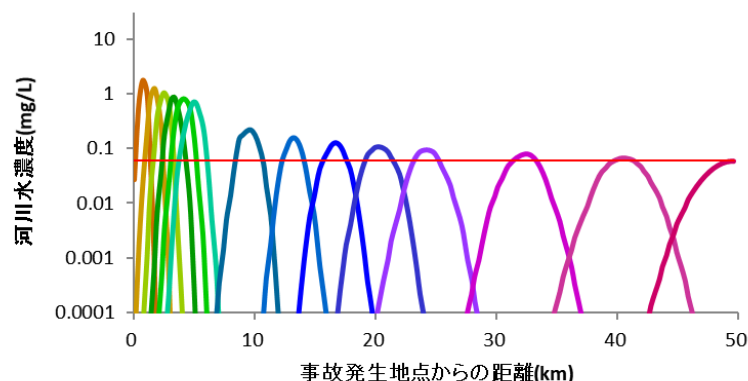
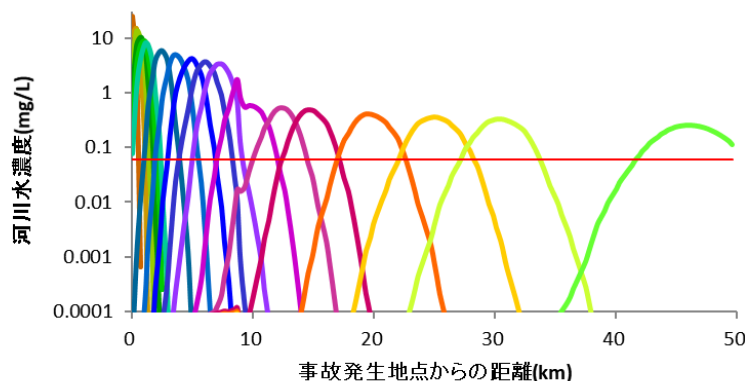
- 金属および化合物を除く
- 環境基準: 年間平均値
- 水生生物保全環境基準: 河川(湖沼を除く)での最小値

淀川におけるクロロホルム流出による濃度変化

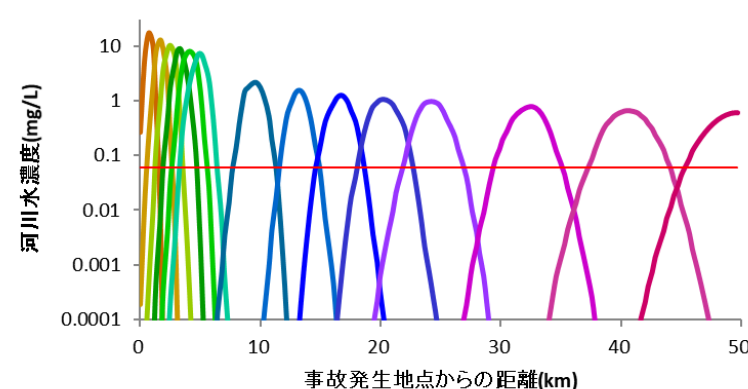
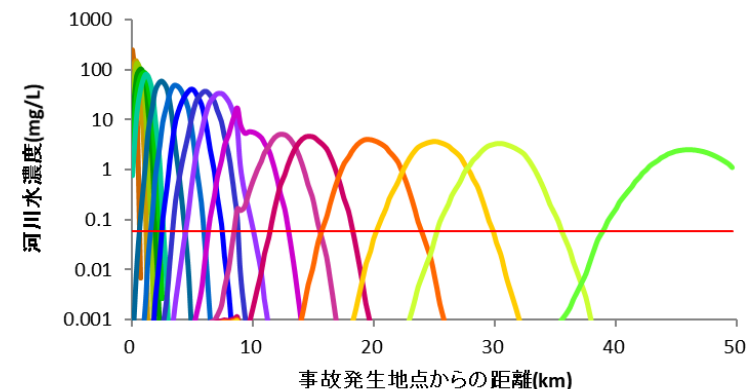
0.1t
流出



1t
流出



10t
流出



- 10分後
- 20分後
- 30分後
- 40分後
- 50分後
- 1時間後
- 2時間後
- 3時間後
- 4時間後
- 5時間後
- 6時間後
- 8時間後
- 10時間後
- 12時間後
- 16時間後
- 20時間後
- 24時間後
- 36時間後
- 48時間後
- 水質基準 (0.06 mg/L)

水質基準を超過する早見表の作成

- 事故時のクロロホルム流出による流下距離と経過時間ごとの河川水濃度の早見表を作成
- クロロホルムの**水道水質基準0.06 mg/Lを超過する河川水濃度を赤色でハイライト表示**

0.1t 流出

経過時間

1t 流出

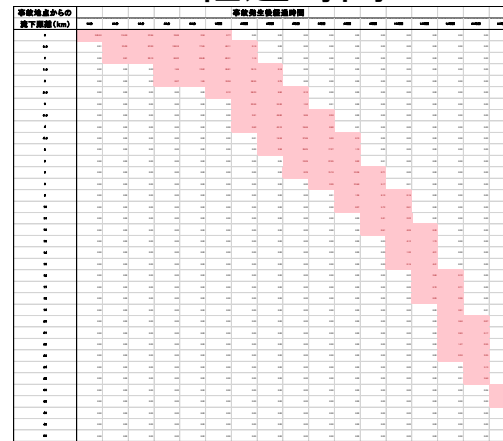
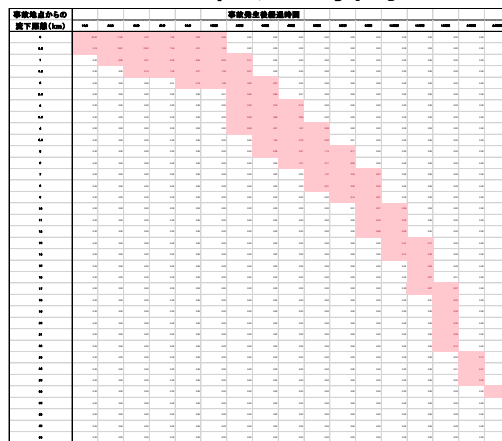
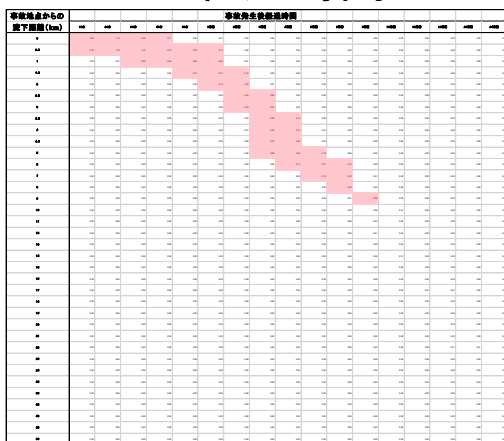
経過時間

10t 流出

経過時間

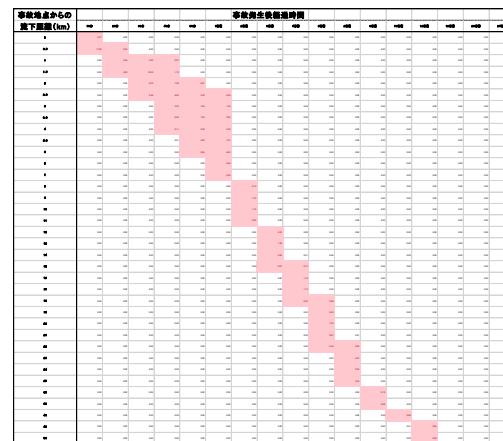
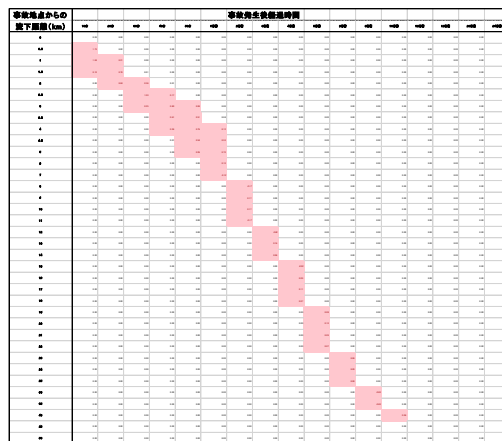
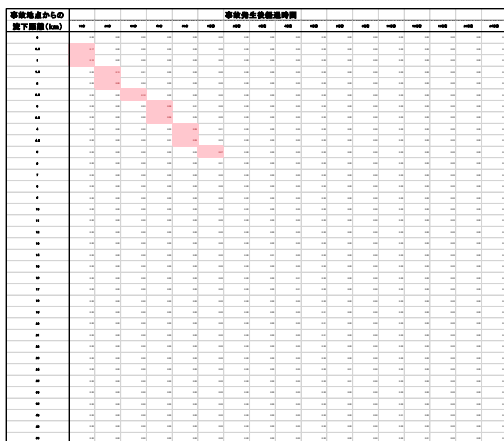
晴天時

流下距離



集中豪雨時

流下距離



4. 成果と課題

(1) 成果

- (シナリオ) 事故の事前～事中でのリスク判定方法(**早見表**)を設定した。
- (大気) 事故で漏洩するトルエンを対象として、風速と大気安定度を変化させた気象条件において、**急性影響閾値を超過する距離範囲を示す早見表を作成**した。
- (水域) 集中豪雨時対応のための時間解像度の詳細化、懸濁物質濃度や化学物質濃度の精度向上の観点から、**AIST-SHANELモデルを改良**した。
- (水域) クロロホルムを対象として、淀川水系における**水質基準を超過する距離範囲を示す早見表を作成**した。

(2) 課題

- (大気) 建屋内の空气中物質濃度も推定し、**屋内退避**シナリオを追加する。
- (水域) 河川の流域規模、流量や流速にもとづいた**河川の類型化**を図る。
- (共通) **物性**(蒸気圧、水溶解度、分解性、吸着性等)が異なる物質について、大気・水域シミュレーションを行う。
- (共通) **物性等の類型ごとの早見表**を作成する。