

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
恒見清孝、小野恭子、石川百合子

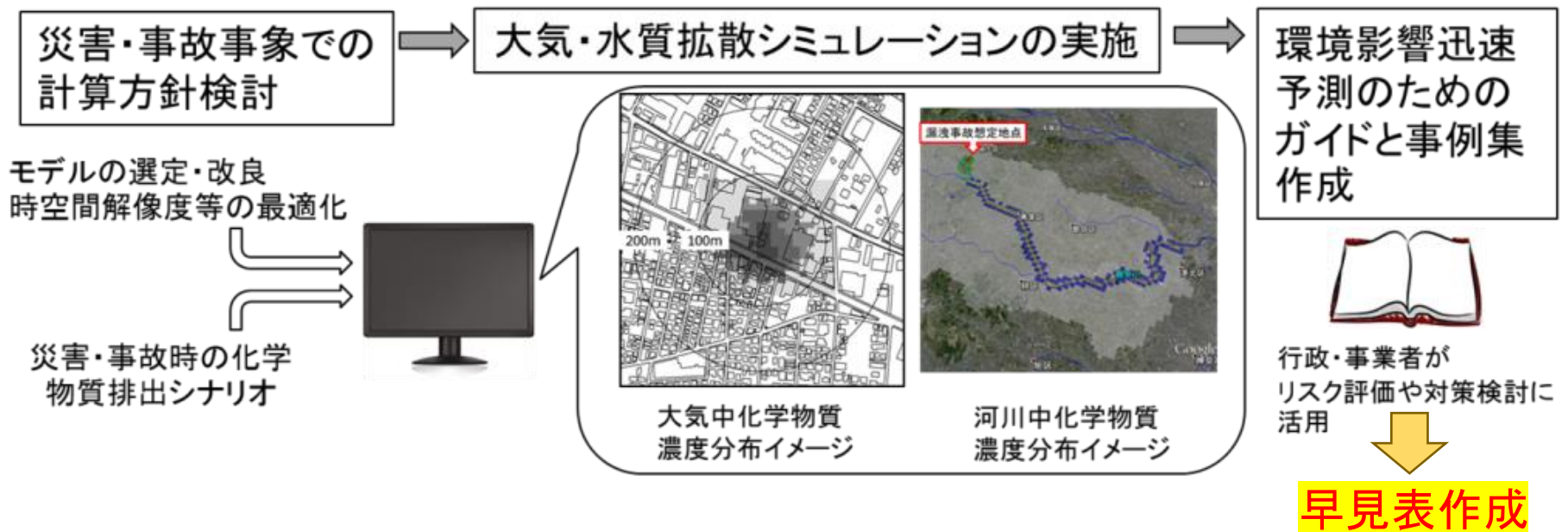
内容

1. 排出シナリオの作成
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

1. 排出シナリオの作成

研究目的

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移流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

排出シナリオの作成

早見表作成の背景

- ✓ **大気**: 米国環境保護庁(US.EPA)は、推奨する**拡散モデル式**を提示し、物質と排出シナリオによって**影響懸念のある距離を示す表**(Reference table)を公表。
- ✓ **水域**: **河川での化学物質流出事故**を想定した**予測ツール**開発例が国内外にあるが、他の河川水系への適用が難しい、雨天時・豪雨時の解析が難しい、国や自治体で簡便に利用できないなどの問題点あり。

排出シナリオ ✓ 1事業所での事故によるタンクからの化学物質排出

項目	大気	水域
場所	✓ 事業所、場所を特定しない	✓ 対象水系を類型化
排出経路	✓ 気体・エアロゾルとしての挙動、防液堤の水溜りからの蒸発後の 大気中での移流拡散	✓ 河川へ流出後の 水中での移流拡散
解析条件	✓ 風速、大気安定度	✓ 晴天時・雨天時・集中豪雨時
解析のアウトプット	✓ 大気中濃度 ✓ 急性毒性クライテリア を考慮して、避難すべき距離範囲を 早見表 で示す	✓ 河川中濃度 ✓ 河川水の 水質基準・環境基準 超過の時間帯と距離範囲を 早見表 で示す

2. 大気シミュレーション

大気拡散解析の研究内容

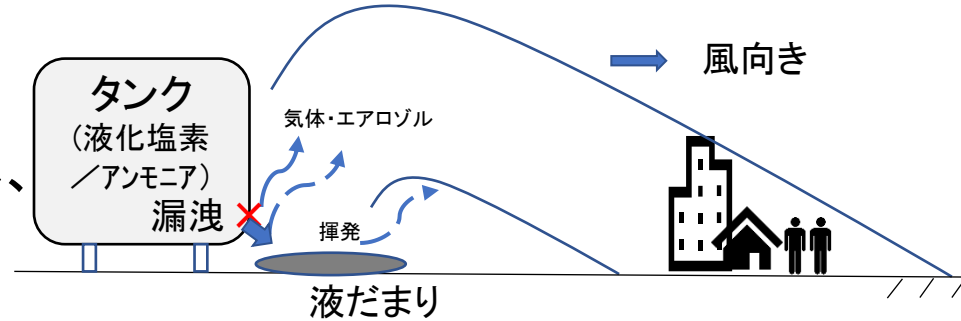
- ✓ 物質漏洩時の混合気体が**空気より重くなりやすい**物質（**アンモニア、塩素**等）：通常の拡散挙動と重ガスとしての挙動のどちらが卓越するかを解析し、漏洩シナリオにより挙動が異なったため、個別の物質ごとに早見表*を作成した。
- ✓ 物質漏洩時の混合気体が**空気より軽くなりやすい**物質（揮発性有機化学物質（**VOC**）等）：個別に早見表*を作成したほか、拡散挙動のみで濃度を説明できると想定されたため、トルエンを基準とした簡易な濃度推定を実施した。
 - 対象物質：**トルエン、アクリロニトリル、1,2-ジクロロエタン、1,4ジオキサン、ナフタレン**

*早見表では、避難すべき範囲の判断基準として、US.EPAが定めている**AEGL（急性曝露ガイドラインレベル）**を用いた。

- AEGL-2: 避難能力の欠如や不可逆的あるいは重篤な影響が増大
- AEGL-3: 公衆の生命が脅かされる健康影響、死亡の増加

アンモニアと塩素の拡散予測と早見表作成

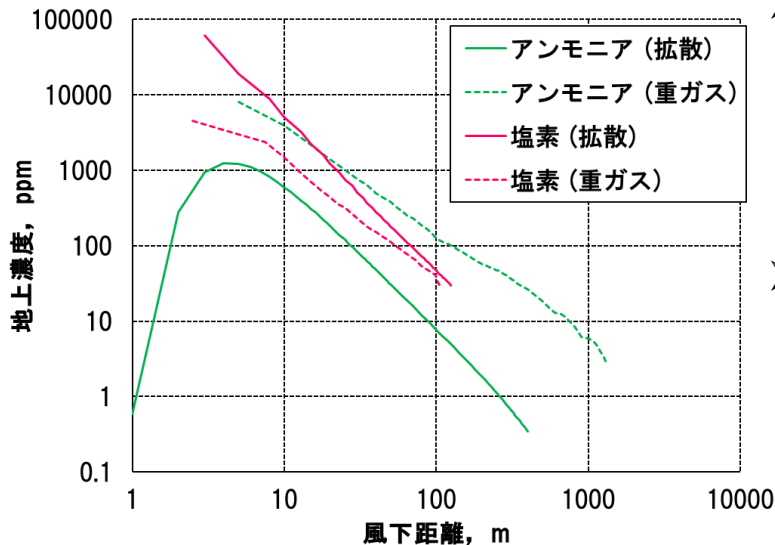
- ✓ タンクのバルブからの漏洩を仮定。10分間、一定速度で漏洩があると仮定し、排出速度を0.02-10 kg/sで設定。
- ✓ 重ガス挙動を模擬できる米国のCANARY ver.4.6を使用。



- タンク内: 温度-30°C、容量100%で貯蔵、圧力1.001 MPa、配管径: 20 mm、漏洩源の高さ: 1 m。防液堤設定なし。

同一条件におけるアンモニアと塩素の拡散形態別濃度分布

排出速度0.02kg/s、安定度F、風速1.5m/s



- アンモニアでは**重ガス型の濃度への寄与が大きい傾向**。
- 塩素では重ガス型拡散とプルーム拡散で**寄与が逆転する**場合がある。

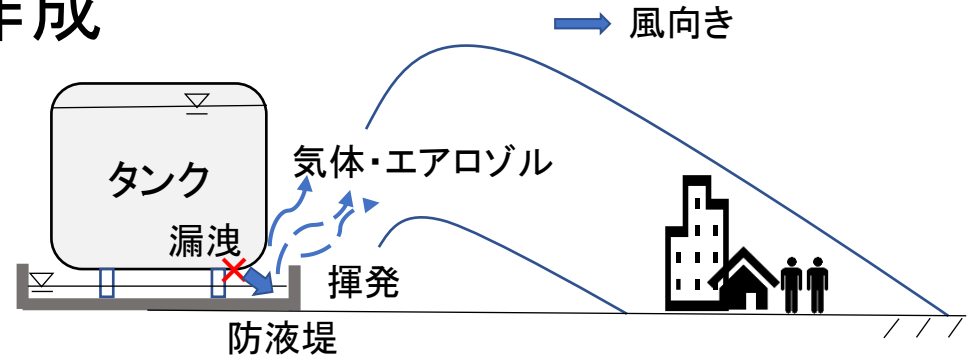
早見表の例: アンモニア AEGL2を超える風下方向の距離[m]

大気安定度	D (昼間, 曇天時)		F (夜間等)	
	1.5 [m/s]	3 [m/s]	1.5 [m/s]	3 [m/s]
風速				
排出速度 [kg/s]				
0.02	63	51	89	81
0.04	78	62	100	98
0.06	90	73	130	110
0.08	95	74	150	130
0.1	93	81	160	150
0.2	110	93	200	180
0.4	130	110	260	250
0.6	180	110	330	310
0.8	200	130	370	360
1	230	170	410	400
2	310	250	580	570
4	480	380	800	800
6	590	480	1000	1100
8	680	570	1000	1200
10	640	530	1000	1100

橙色: 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。

VOCの拡散予測と早見表作成

- ✓ 排出時間10分、60分のタンクからの定常漏洩とし、排出速度を0.2-1000 kg/sと変化させた。
- ✓ 濃度推定には米国のCANARY ver.4.6を使用。
- ✓ AEGL2 を超える風下方向の距離を示した。



- 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。

早見表の例: トルエン AEGL2を超える風下方向の距離[m]

大気安定度	D (昼間, 曇天時)				F (夜間等)			
	1.5 [m/s]		3 [m/s]		1.5 [m/s]		3 [m/s]	
風速	10	60	10	60	10	60	10	60
流出時間[分]								
流出速度 [kg/s]								
2	2	8	1	2	14	21	12	19
4	14	24	2	3	19	30	16	26
6	18	31	2	3	23	37	19	32
8	22	36	2	4	26	42	22	37
10	24	40	3	4	29	48	25	41
20	38	59	30	50	41	66	34	57
40	53	77	42	71	58	90	49	82
60	64	90	52	87	70	110	60	100
80	73	100	60	100	81	120	69	110
100	80	110	68	110	90	130	77	130
200	100	130	94	140	120	160	110	170
400	130	170	130	190	160	200	150	230
600	150	190	160	220	180	240	180	270
800	170	230	180	240	200	260	210	310
1,000	190	240	200	270	240	280	240	340

橙色: 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。

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。

トルエンの場合、10分値1,400ppm、60分値560ppm。

対トルエン比を用いたVOCの拡散予測

- ✓ 同一の拡散計算で、トルエン濃度を1とした場合の他の物質の濃度比(対トルエン比; ppm(重量)ベース)を求めた。
- ✓ 濃度の対トルエン比は、蒸気圧増加と共に大きくなった。
- ✓ 物性(蒸気圧)を入力変数とする濃度推定の可能性を示した。

VOC対象物質の物性値・毒性値

		トルエン	ナフタレン	1,4-ジオキサン	1,2-ジクロロエタン	アクリロニトリル
物理化学的性状	分子量g/mol	92.14	128.18	88.11	98.96	53.06
	融点[°C]	-94.9	80	11.8	-35.6	-83.51
	沸点[°C]	110.6	218	101.1	83.4	77.2
	蒸気圧[kPa] (@25°C)	3.8	0.011	4	11	15
	log(Kow)	2.73	3.3	-0.27	1.48	0.25
急性影響閾値(60分値)	AEGL1[ppm]	67	15	17	50	NR
	AEGL2[ppm]	560	83	320	200	1.7
	AEGL3[ppm]	3,700	500	760	300	28

物質の蒸気圧と濃度の対トルエン比との関係



対トルエン比を用いたVOC濃度簡易推定

排出速度10kg/s、60分排出、風速1.5m/s、安定度Fの場合

風下距離 [m]	トルエン [ppm]	推定濃度[ppm]			
		ナフタレン	1,4-ジオキサン	1,2-ジクロロエタン	アクリロニトリル
25	1,595	1,300	2,400	4,000	9,600
50	516	410	770	1,300	3,100
75	262	210	390	650	1,600
100	155	120	230	390	930
125	99	79	150	250	590
150	67	53	100	170	400

橙色: AEGL2を超過、赤色: AEGL3を超過

3. 水域シミュレーション

水域拡散解析の研究内容

- ✓ 事故対応のモデル改良のために、河川流域の非定常解析モデル(**AIST-SHANEL Ver.3.0**)の**時間解像度の詳細化**を図った。
- ✓ 複数の河川を対象に、事故時の化学物質流出による水域での拡散解析を行い、**流下距離と経過時間**ごとの河川水濃度の**早見表**を作成した。
- ✓ 事故発生地点の**河床勾配、集水面積、気象条件**(晴天時・雨天時・集中豪雨時)、物質排出量などのパラメータによる河川拡散の傾向を把握し、**早見表の類型化**を行った。

事故シナリオ設定

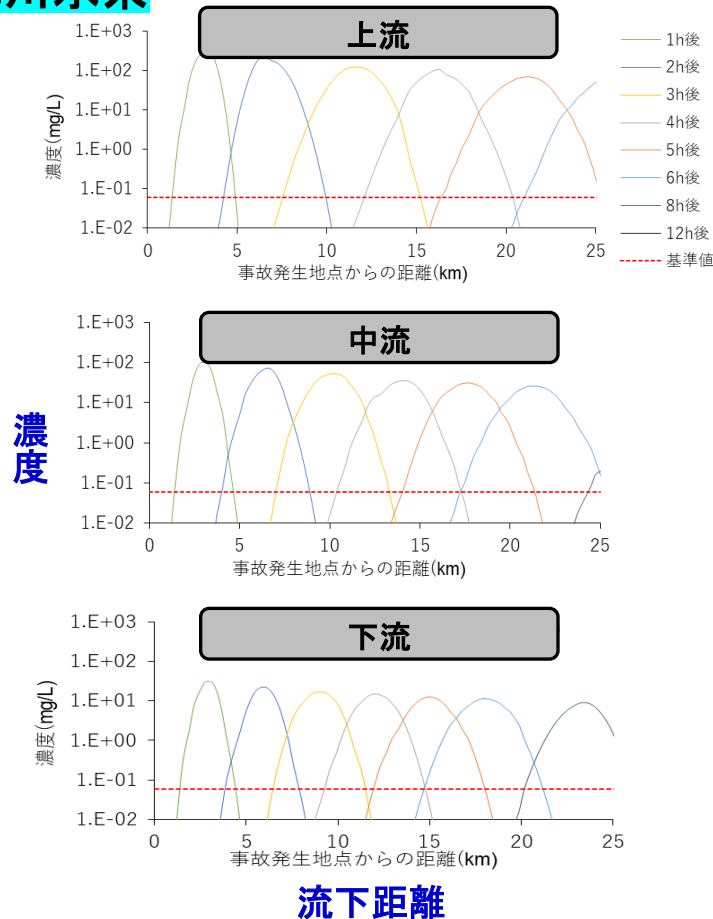
- ✓ 対象物質：**クロロホルム**(水道水質基準0.06mg/L以下)
- ✓ 対象水域：人口の多い自治体を流下し、流域規模が異なる3水系 **多摩川(中規模)、淀川(大規模)、日光川(小規模)**
- ✓ 想定事故：**晴天時、雨天時、集中豪雨時**に事業所でタンク漏洩が発生し、**対象物質1t**が河川へ流出

河川水濃度解析結果 (集水面積と河床勾配の関係)

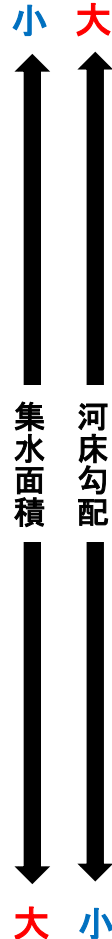
- ✓ 集水面積が大きいほど流量が大きくなるため、下流の河川水濃度が低くなる。
- ✓ 河床勾配が大きい上流ほど化学物質の流下時間は短くなる。

事故発生地点毎の化学物質流下状況の比較

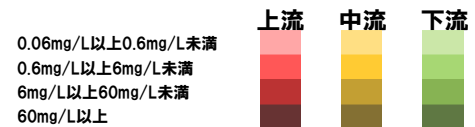
多摩川水系



赤い点線はクロロホルムの基準値 (0.06 mg L⁻¹)



経過時間



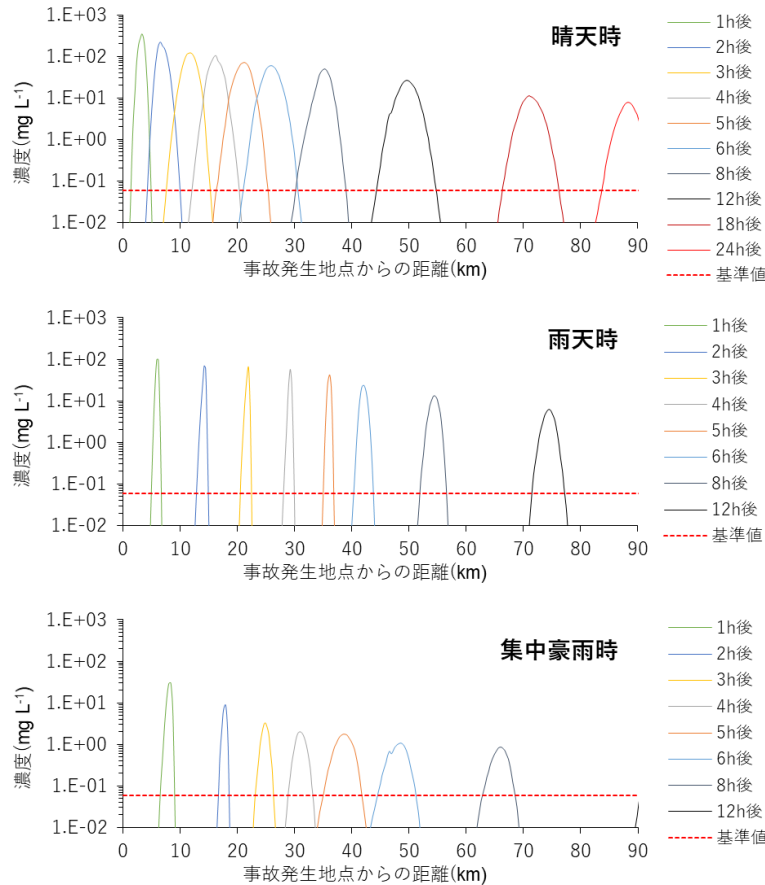
※クロロホルムの水道水質基準を超過する河川水濃度を色付け表示

河川水濃度解析結果(気象条件別)

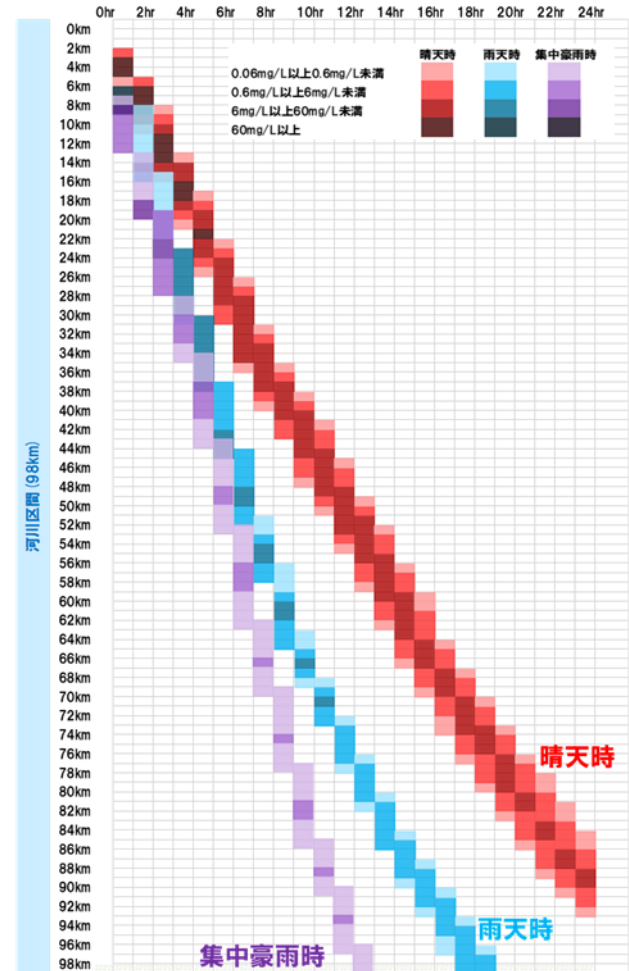
- ✓ 降雨量が多いほど、流下時間が短い。
- ✓ 事故発生地点からの距離が長いほど、降雨量の違いによる流下時間への影響が大きい。

多摩川水系

経過時間



流下距離



多摩川上流地点での事故発生後一定時間ごとの流下方向のクロロホルム濃度分布
赤い点線はクロロホルムの基準値(0.06 mg L⁻¹)

多摩川上流地点での気象条件別クロロホルム拡散予測早見表
水質基準値(0.06 mg L⁻¹)を超過する濃度を色付け

早見表の類型化

- ✓ 事故発生地点の**河床勾配**と**集水面積**を両軸として、**晴天時・雨天時・集中豪雨時**の拡散予測を1つの早見表に表示した。
- ✓ **河床勾配**が大きい上流ほど化学物質の流下速度が速く、流下時間は短くなる傾向
- ✓ **集水面積**が小さいほど気象条件による差が小さい傾向

大(急勾配)

河床勾配

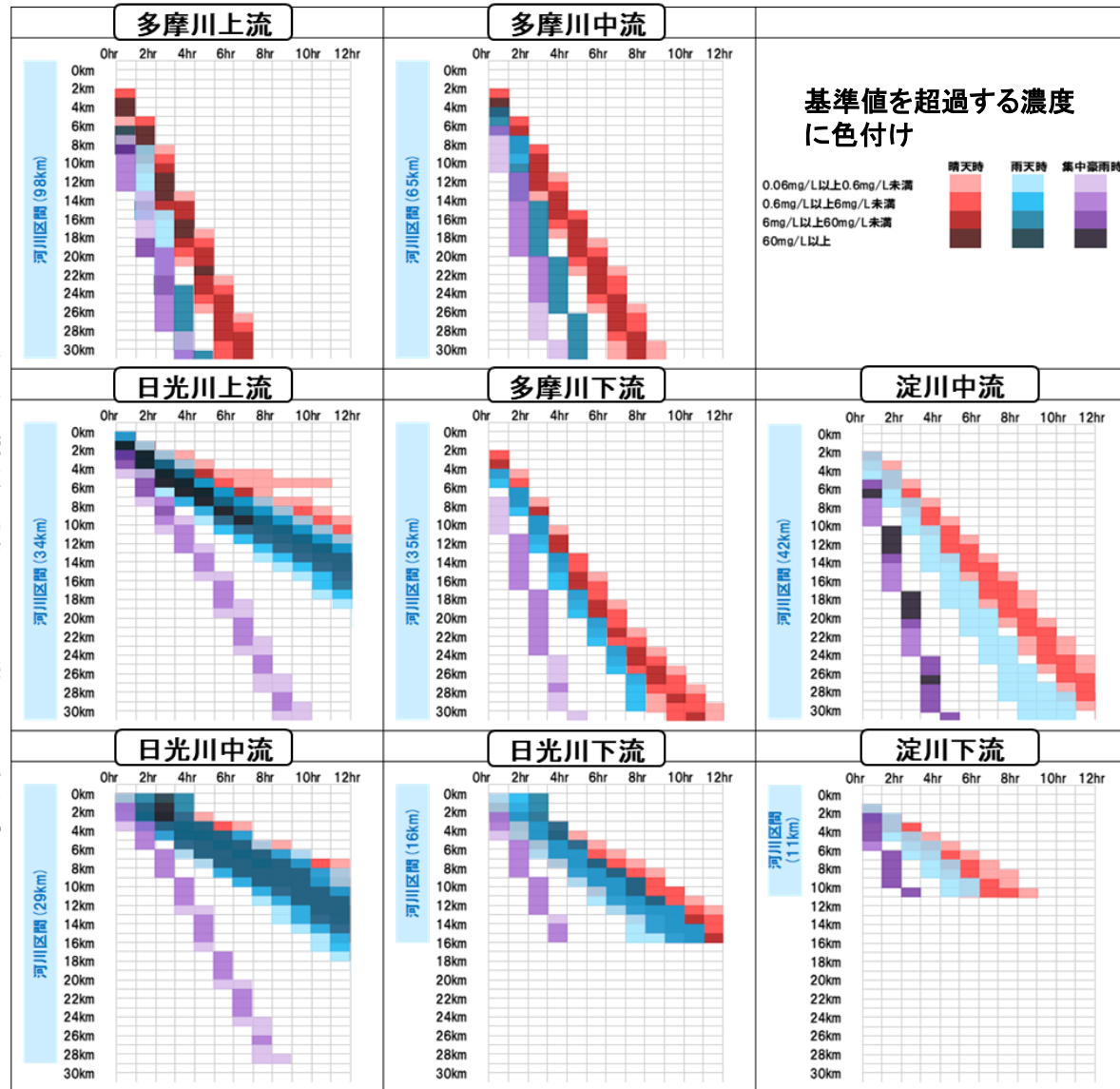
小(緩勾配)

事故発生地点からの流下距離 (km)

小(上流)

集水面積

大(下流)

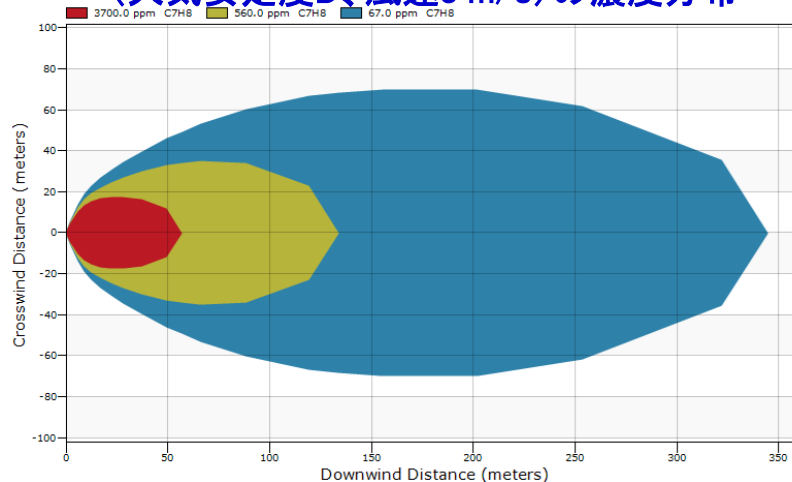


4. 成果

成果

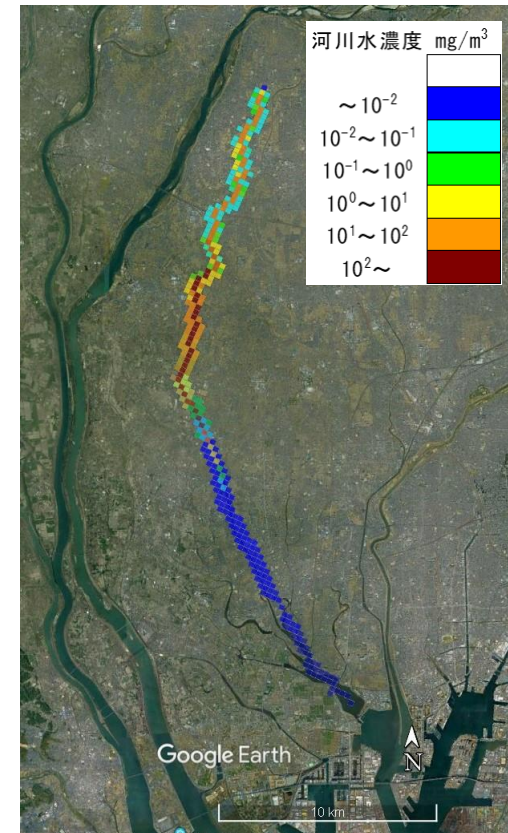
- ✓ **大気**: アンモニア・塩素について、重ガスモデルによる拡散解析を実施し、個別に**早見表**を作成した。揮発性有機化学物質(VOC)4物質について個別に**早見表**を作成し、対トルエン比にもとづく**蒸気圧**を入力変数とする濃度推定の可能性を示した。
- ✓ **水域**: 事故対応のモデル改良を行った。3河川を対象として事故発生地点の**集水面積と河床勾配を二軸**とし、クロロホルムの水質基準超過の距離範囲を気象条件別に表示**早見表の類型化**を行った。
- ✓ 早見表と、物質の**濃度分布図**が表示されるような拡散解析の出力データを、統合プラットフォーム開発担当者に提供。

トルエンがタンクから200 kg/sで60分排出した場合
(大気安定度D、風速3 m/s)の濃度分布



濃度分布図

日光川上流で晴天時にクロロホルムが瞬時に1t流出した場合の14時間後の濃度分布



成果一覽 2018-2022年度

学術論文

<査読あり>

小野恭子, 吉田愛, 加藤悦子, 恒見清孝. 化学物質非定常排出シナリオ構築のための事故情報解析. 安全工学 60(1) 15-23. 2021年2月

石川百合子, 村田道拓, 川口智也, 小野恭子, 恒見清孝. 化学物質流出事故対策に活用可能な河川流下予測早見表の開発 —多摩川, 淀川, 日光川におけるクロロホルムを例として—. 水環境学会誌(論文受理済)

<査読なし>

小野恭子. 災害・事故事象に対応する化学物質拡散予測と評価に関する現状と課題. 安全工学. 2021;60(3):168-174.

学会等における口頭発表

石川百合子, 村田道拓, 川口智也. 集中豪雨時にも対応可能な河川モデルAIST-SHANELの開発. 第53回日本水環境学会年会. 甲府. 2019年3月. (ポスター発表)

石川百合子, 村田道拓, 川口智也. 河川モデルAIST-SHANELを用いた集中豪雨時の懸濁態化学物質の濃度推定. 第54回日本水環境学会年会. 盛岡. 2020年3月.

村田道拓, 川口智也, 石川百合子. 任意の河川流域における懸濁物質に係るL-Q式係数の推定. 第57回環境工学研究フォーラム. オンライン. 2020年12月.

小野恭子, 恒見清孝. 化学物質非定常排出シナリオ構築のための毒劇物の漏洩・流出事故情報解析. 第53回安全工学研究発表会. オンライン. 2020年12月.

石川百合子, 村田道拓, 川口智也. 化学物質流出事故の発生条件が河川下流域への拡散状況に及ぼす影響解析. 第55回日本水環境学会年会. オンライン. 2021年3月. (ポスター発表)

小野恭子, 吉田愛, 恒見清孝. 災害・事故における化学物質の拡散予測と評価に関する現状と課題. 第34回日本リスク学会年次大会. オンライン. 2021年11月.

村田道拓, 坂口絢香, 川口智也, 石川百合子. 河川の流域特性が化学物質流出事故における下流域への拡散状況に及ぼす影響解析. 第56回日本水環境学会年会. オンライン. 2022年3月.

村田道拓, 大内義之, 川口智也, 石川百合子. AIST-SHANELによる化学物質拡散シミュレーションを用いた水質事故のリスク管理方法の提案. 第57回日本水環境学会年会. 松山. 2023年3月.

小野恭子, 吉田愛, 恒見清孝, 石川百合子. 災害・事故時における化学物質拡散予測とその管理への適用. 第35回日本リスク学会年次大会. 2022年11月.

恒見清孝, 石川百合子, 小野恭子. 化学物質流出事故による水域拡散の早見表作成. 第35回日本リスク学会年次大会. 2022年11月.

「国民との科学・技術対話」の実施

恒見清孝. 平成30年度化学物質の安全管理に関するシンポジウム. (主催:内閣府、2018年11月20日、東京大学生産技術研究所コンベンションホール、参加者約200名)にて講演.

恒見清孝. 第26回毒物劇物安全管理研究会(主催:山口県、2020年1月31日、山口県周南総合庁舎「さくらホール」、参加者約200名)にて講演.

恒見清孝. S17公開講演会(主催:国立研究開発法人国立環境研究所、2020年2月21日、TKP東京駅日本橋カンファレンスセンター、参加者約200名)にて講演.

小野恭子, 石川百合子, 恒見清孝. 令和2年度産総研安全科学研究部門部門講演会. (主催:国立研究開発法人産業技術総合研究所、2021年2月11日、オンライン、参加者約100名)にてポスター発表.

恒見清孝. 令和4年度産総研安全科学研究部門部門講演会. (主催:国立研究開発法人産業技術総合研究所、2023年2月7日、産業技術総合研究所臨海副都心センター、参加者約100名)にて講演.

ご清聴ありがとうございました。