

環境リスク評価講習会【実践編】 ～大気拡散数理モデルの理論的背景について～

令和元年9月

みずほ情報総研株式会社
環境エネルギー第2部
佐々木 佑真

環境リスク評価講習会【実践編】の目的

大気拡散モデル(METI-LIS等)を使ってリスク評価ができる！

(ご説明の流れ)

1. 大気拡散モデルのイメージを掴む
どのようなパラメータが結果に影響するか？
2. 簡易ツールを用いたリスク評価を実践する
簡単な条件を仮定した大気拡散モデルによるリスク評価を実践する
2. METI-LISを用いたリスク評価を実践する

本資料の目次(ご説明の内容)

1. 大気拡散モデルのイメージ

大気拡散モデル／シミュレーションにおける濃度分布のイメージ等についてご説明

2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順、計算条件を変えたときの濃度変化等についてご説明

3. まとめ

本資料のまとめ

1. 大気拡散モデルのイメージ(基礎編より)

化学物質は、大気で「風」に吹かれて拡散

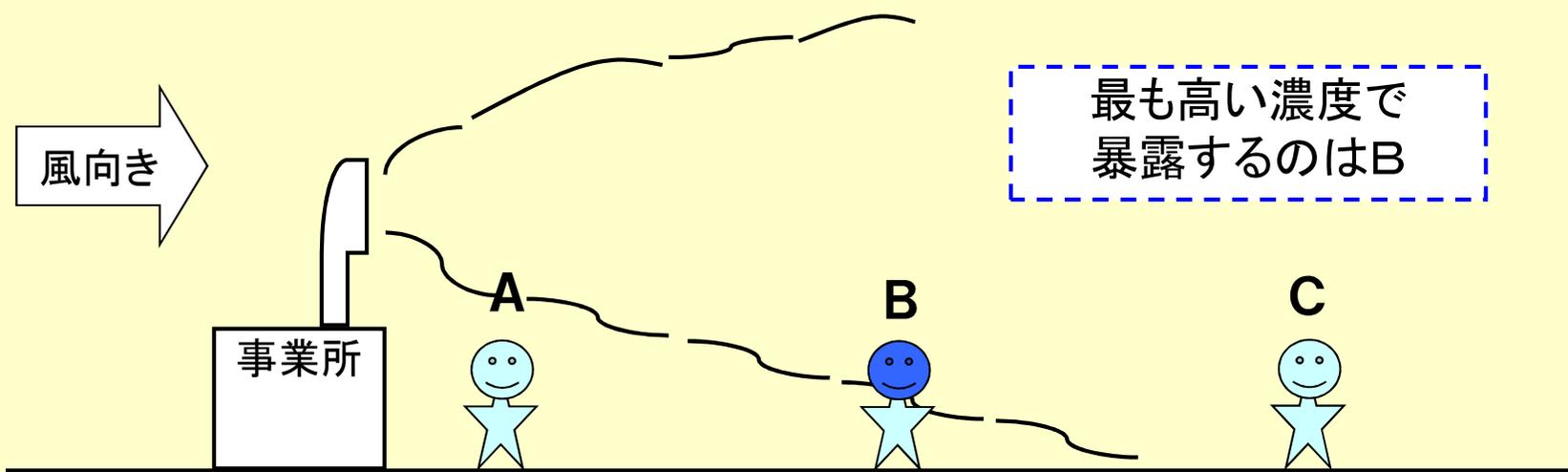
■ 風と化学物質の挙動の関係

◆鉛直方向・水平方向に拡散されながら、風下に移動する

- 風向と風速の影響
- (季節変動や気象変動の影響)

◆地表の濃度は、排出源から近いほど濃度が高い

- 例外的に、風下で初めて地表に落ちる距離までは、その傾向とならない

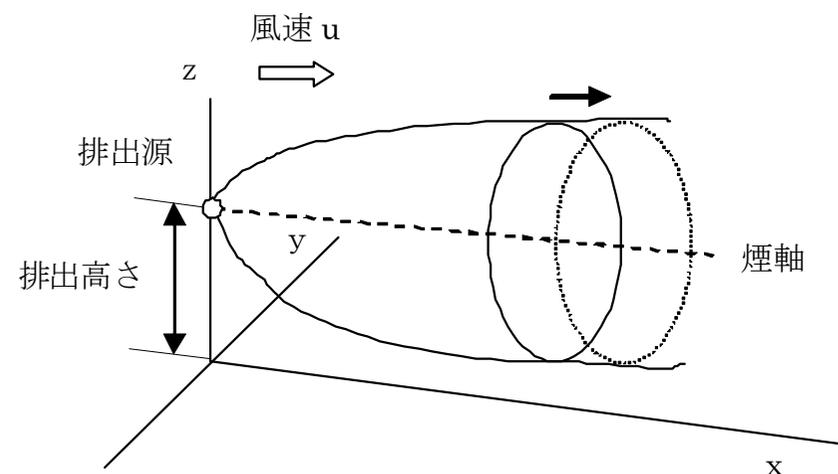
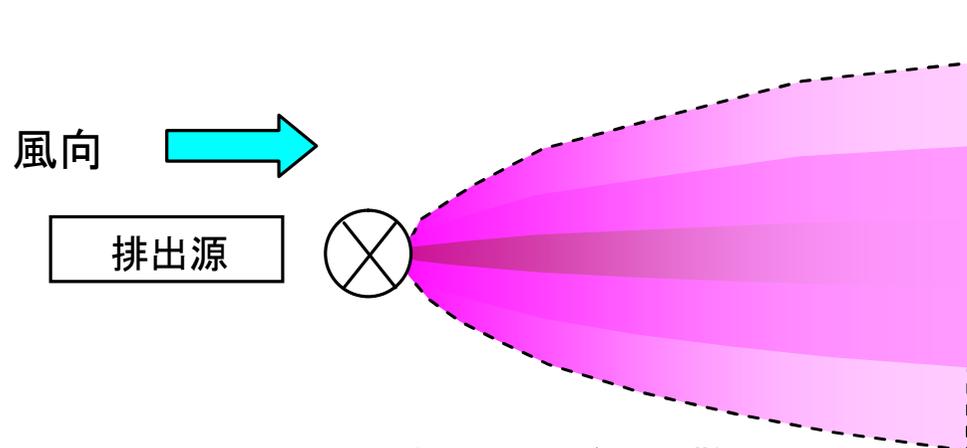


1. 大気拡散モデルのイメージ

プルームモデルのイメージ(1) ～有風時のモデル～

煙の拡散(プルーム)を定量的に予測するための計算式(モデル)

【プルーム式による表現】(水平方向の図(左)と立体的に見た図(右))



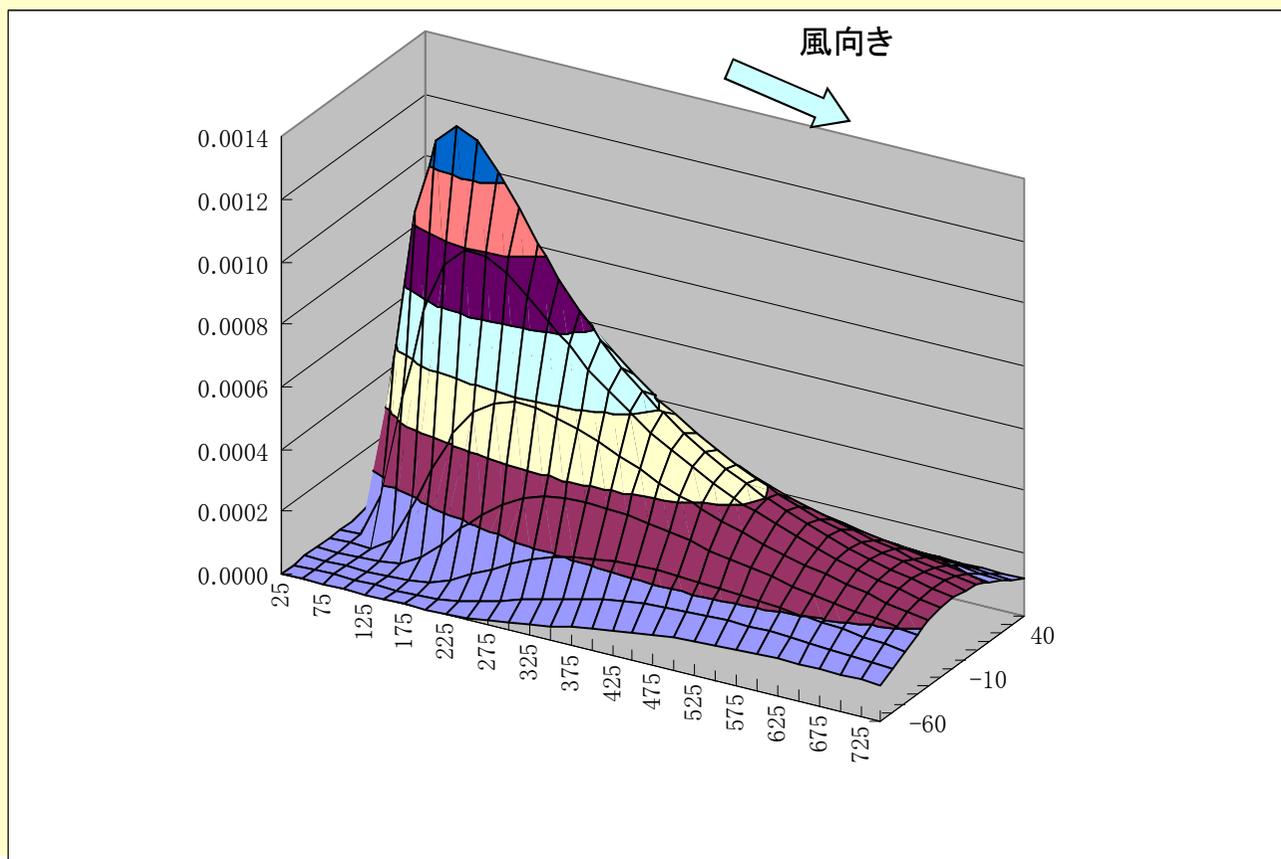
風下側に流されながら拡散
<有風時>

1. 大気拡散モデルのイメージ

プルームモデルのイメージ(2) ～有風時のモデル～

■ プルームモデルの濃度分布イメージ

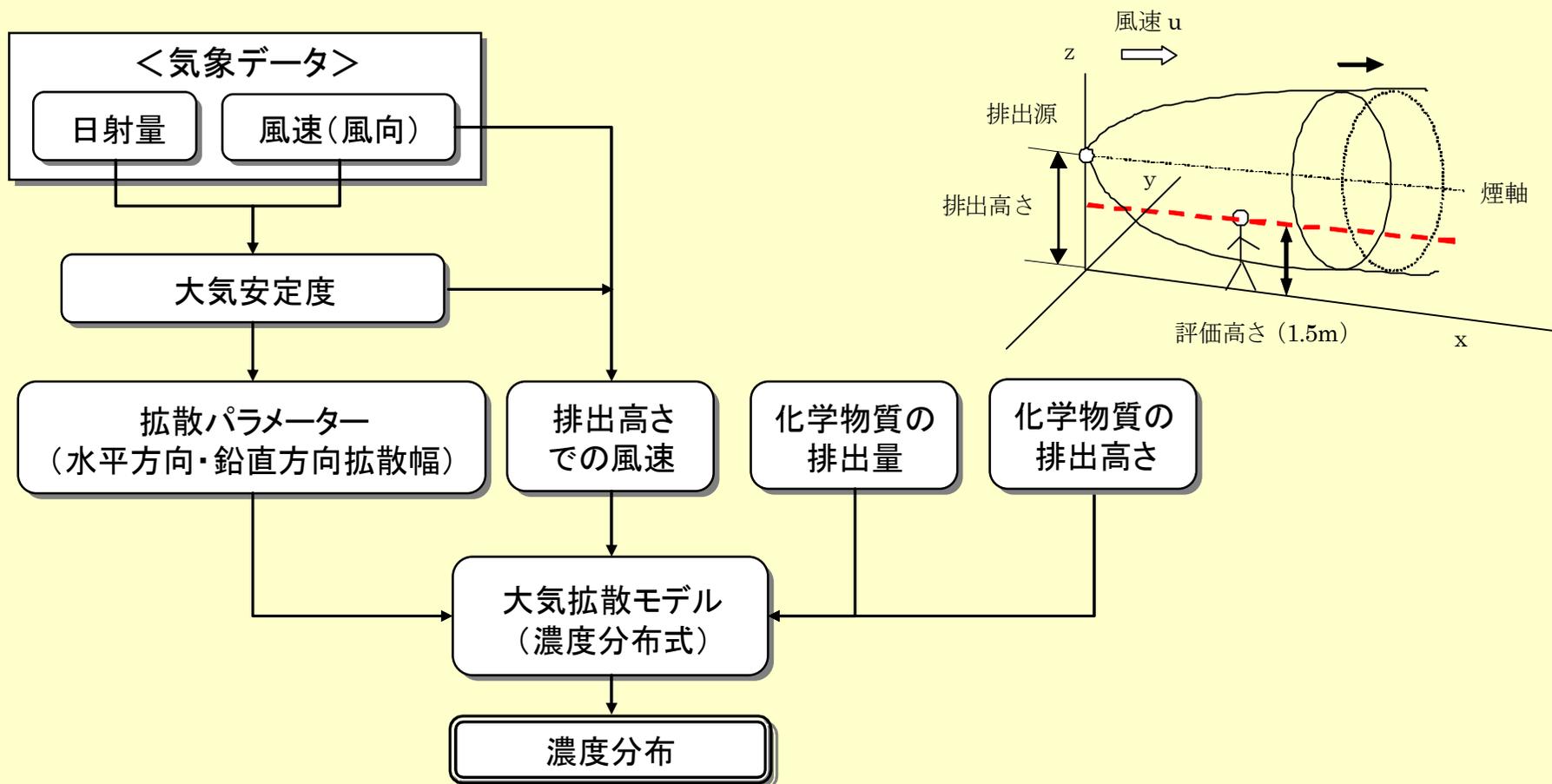
■ 地上から一定の高さにおける(水平面)濃度分布



2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(1)

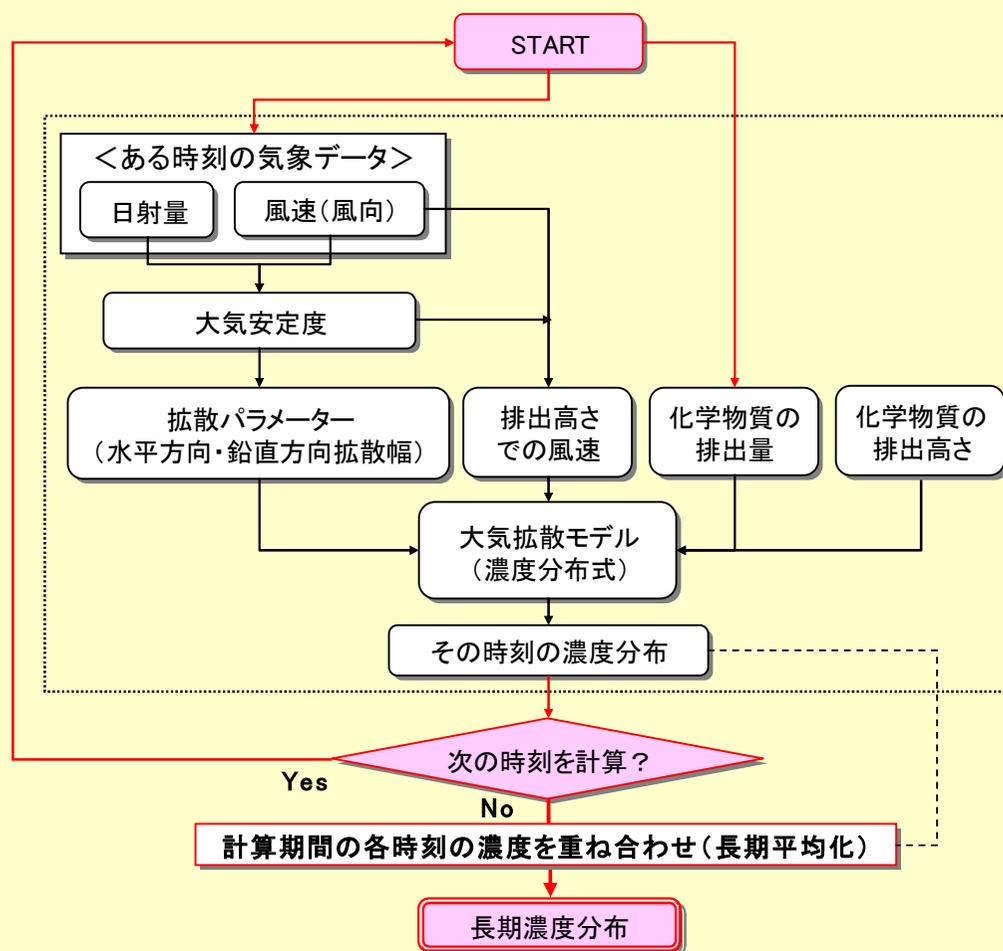
■ 基本的な計算手順 ～短期(1時間など)の濃度算定方法～



2. 大気環境濃度の算定方法

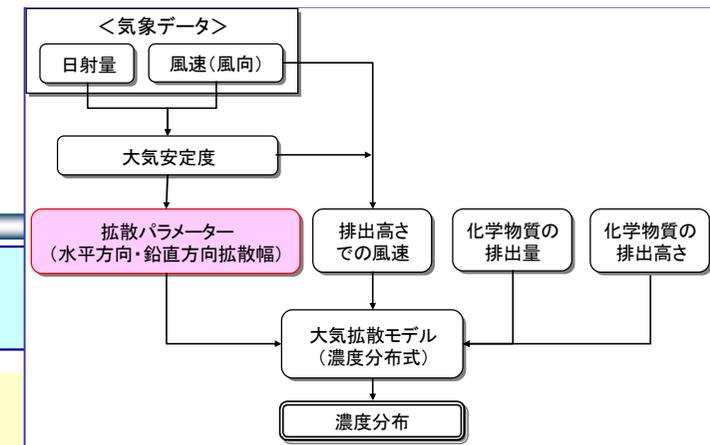
一般的な大気拡散モデルの計算手順(2)

■ 長期(年間平均値など)の濃度算定方法



2. 大気環境濃度の算定方法

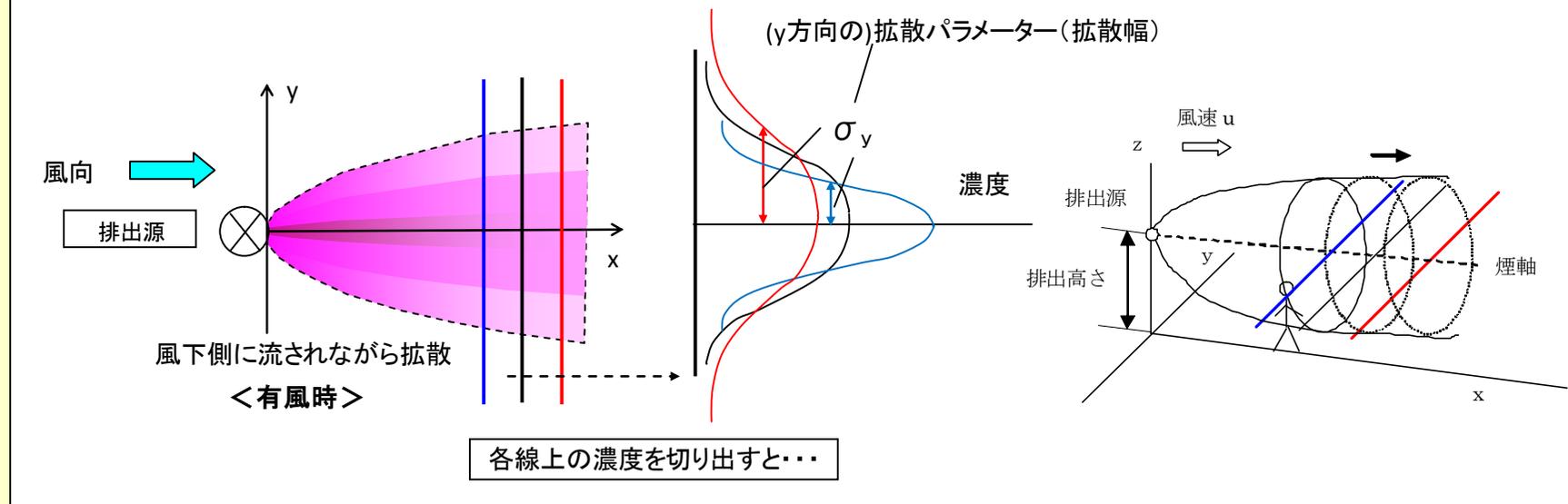
一般的な大気拡散モデルの計算手順(3)



■ 拡散パラメーター(拡散幅)

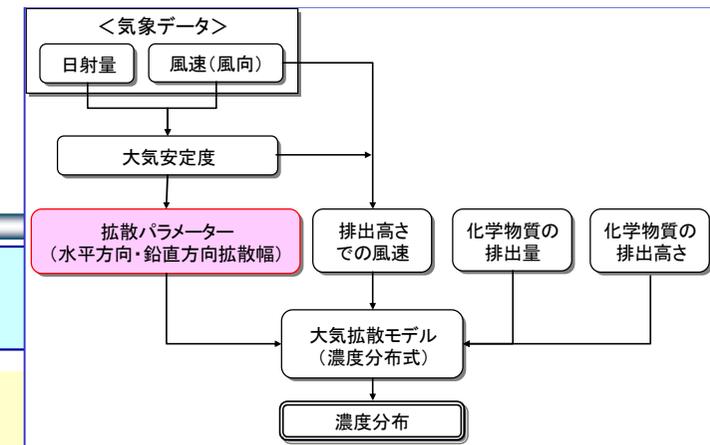
- ◆ 排出源から遠ざかると、拡散幅が大きくなる(下図。鉛直方向も同じイメージ。)
- ◆ 大気安定度により拡散パラメーター(拡散幅)が変化(後述)

【プルーム式による表現】(水平方向の図(左)と濃度分布の図(中))



2. 大気環境濃度の算定方法

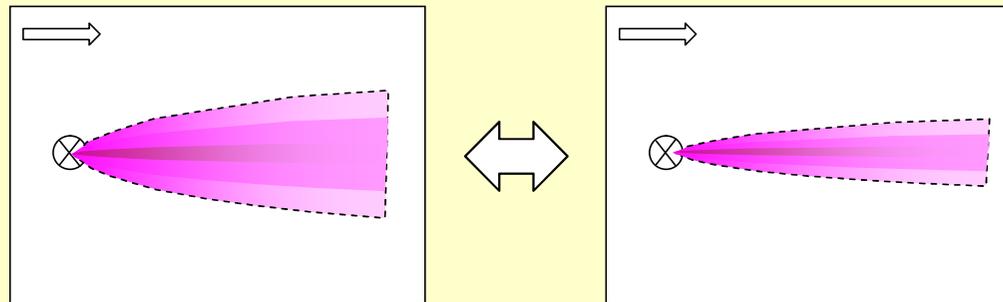
一般的な大気拡散モデルの計算手順(4)



■ 拡散パラメーター(水平・鉛直拡散幅)

- ◆ 排出源から遠ざかると、拡散幅が大きくなる
- ◆ 大気安定度がF(安定)→A(不安定)に変わると拡散幅が大きくなる

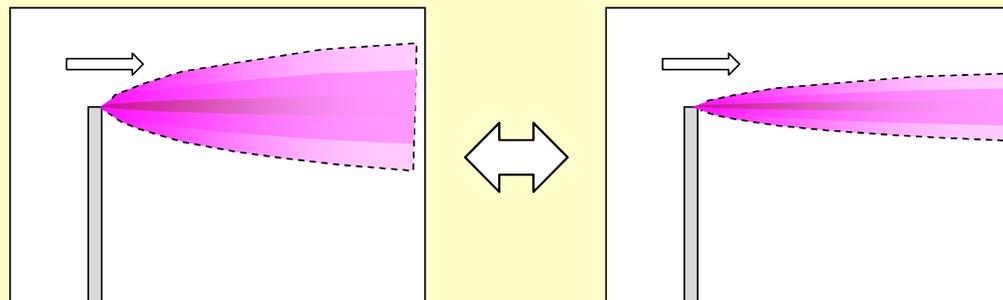
水平方向
(※煙突の上
から見た場合)



A～F: パスキル(Pasquill)の安定度階級

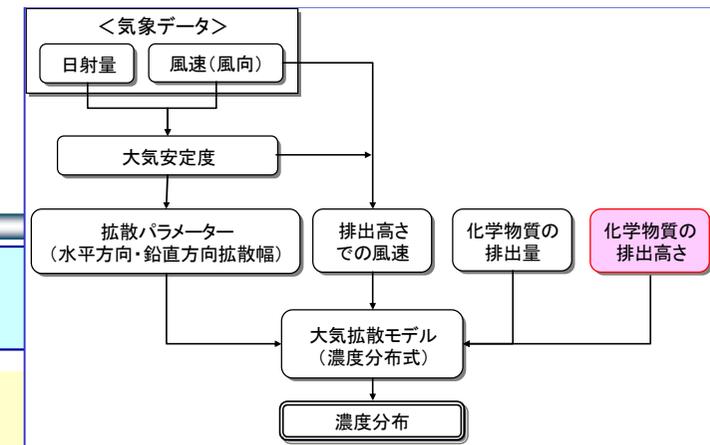
A	B	C	D	E	F
←不安定			中立	安定→	

鉛直方向
(※煙突の横
から見た場合)



2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(5)



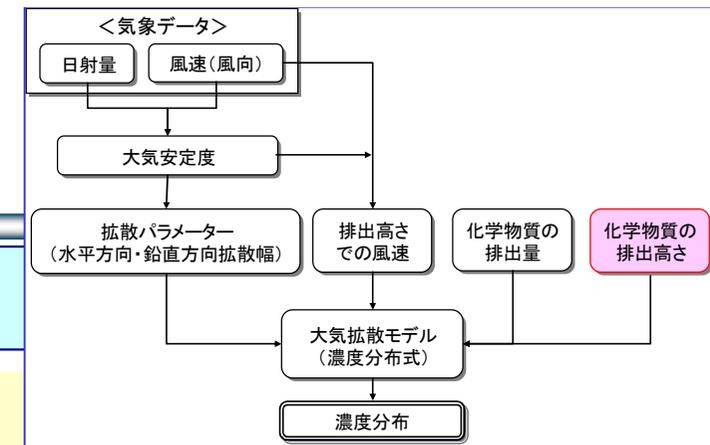
■ 化学物質の排出高さ

- ◆ 簡易には煙突・放散塔等の高さを設定
- ◆ 化学物質の排出速度が風速に比べ小さい場合は、煙突等の背後に生じる渦に巻き込まれ、物質が地上へ降下することがある(Stack-tipダウンウォッシュ)
- ◆ 排出されるガスが周囲の外気と比べ高温の場合は、浮力等が生じるため物質が排出口付近で上昇する(浮力上昇)

⇒METI-LISでは、このような効果を考慮し、化学物質の排出高さを「補正」する機能が備わっている(また煙突等の影響のほかに、近傍の建物等の影響によるダウンウォッシュを考慮したシミュレーションも可能)

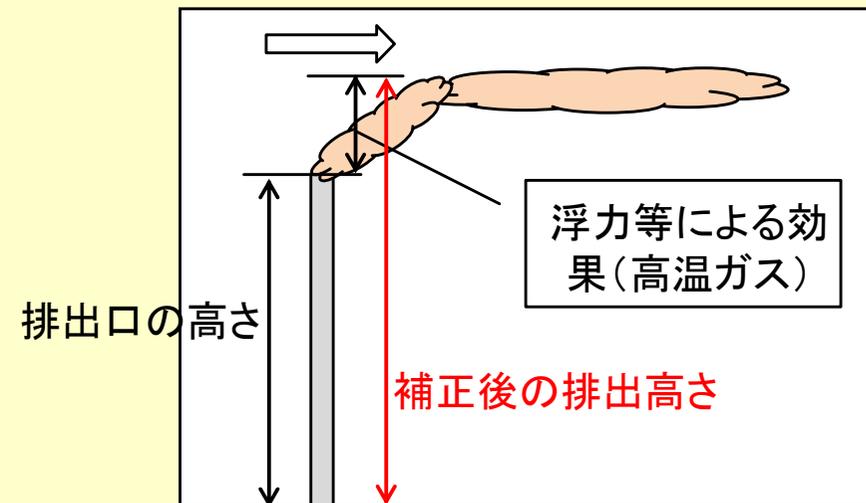
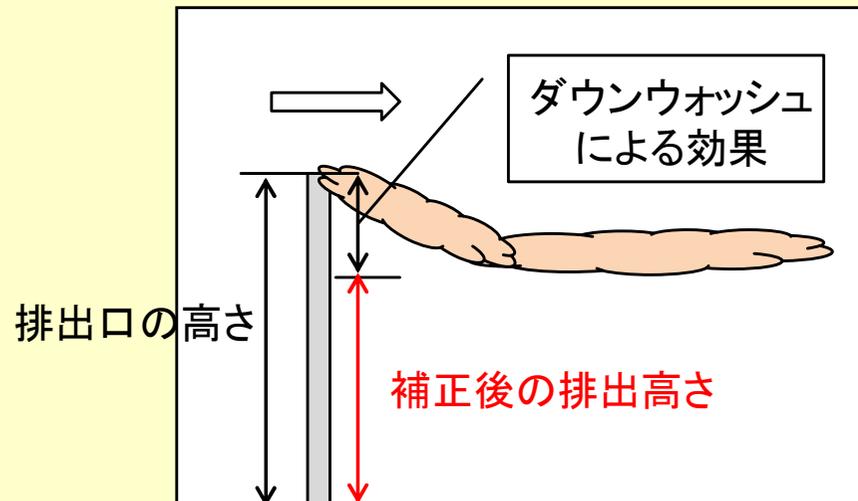
2. 大気環境濃度の算定方法

一般的な大気拡散モデルの計算手順(6)



■ 化学物質の排出高さの補正のイメージ

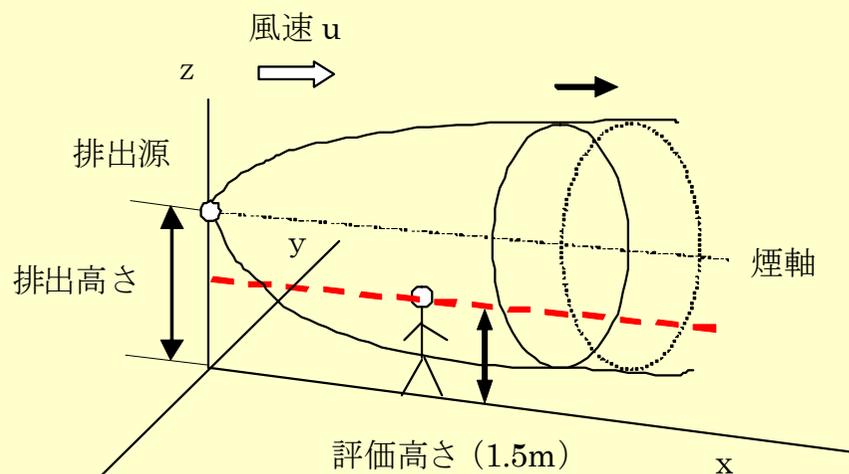
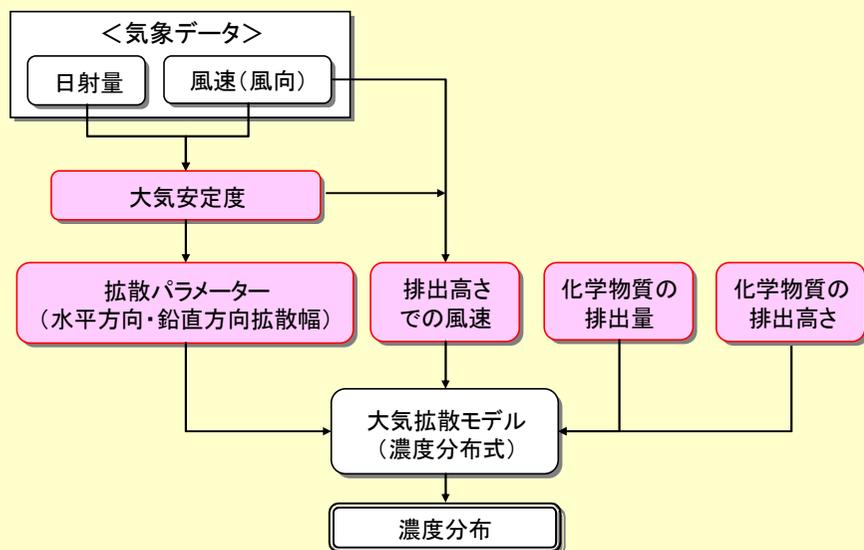
- ◆ Stack-tipダウンウォッシュを考慮する場合(ガスの排出速度と排出口の口径で補正高さ(下がる方向)が決まる。左図参照。)
- ◆ 浮力等によるガスの上昇を考慮する場合(排出ガス温度と排出量で補正高さ(上がる方向)が決まる。右図参照。)



2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(1)

- 大気拡散モデルへの入力値となる計算条件を変えたときの、最も濃度が高くなる風下方向(下図赤線)の濃度分布の変化をみる
⇒モデルに関する直観的理解
- 変化させる計算条件は下図の4つ(大気安定度は間接的に関連)

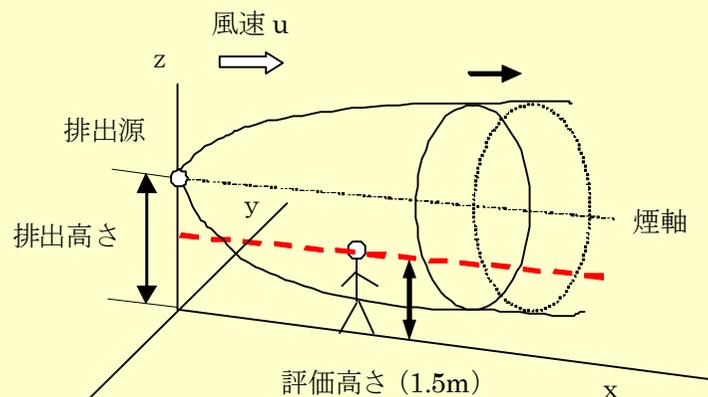


2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(2)

- 以下では、No.1～4について濃度分布の変化を示す
- 変化させるときの計算条件は下表のとおり

No.	入力項目	基本計算条件	変化させるときの条件
1	排出量(kg/year)	100.0	100kg/yr～500kg/yr(100kg/yr刻み)
2	風速 u (m/s)	1.0	1.0m/s～5.0m/s(1m/s刻み)
3	大気安定度	D	A～F
4	排出高さ H_s [m]	3.0	1m～5m(1m刻み)
—	評価地点(X_{ref})	—	風下10m～1000m(固定)
—	評価高さ(地上m)(Z_{ref})	1.5	固定

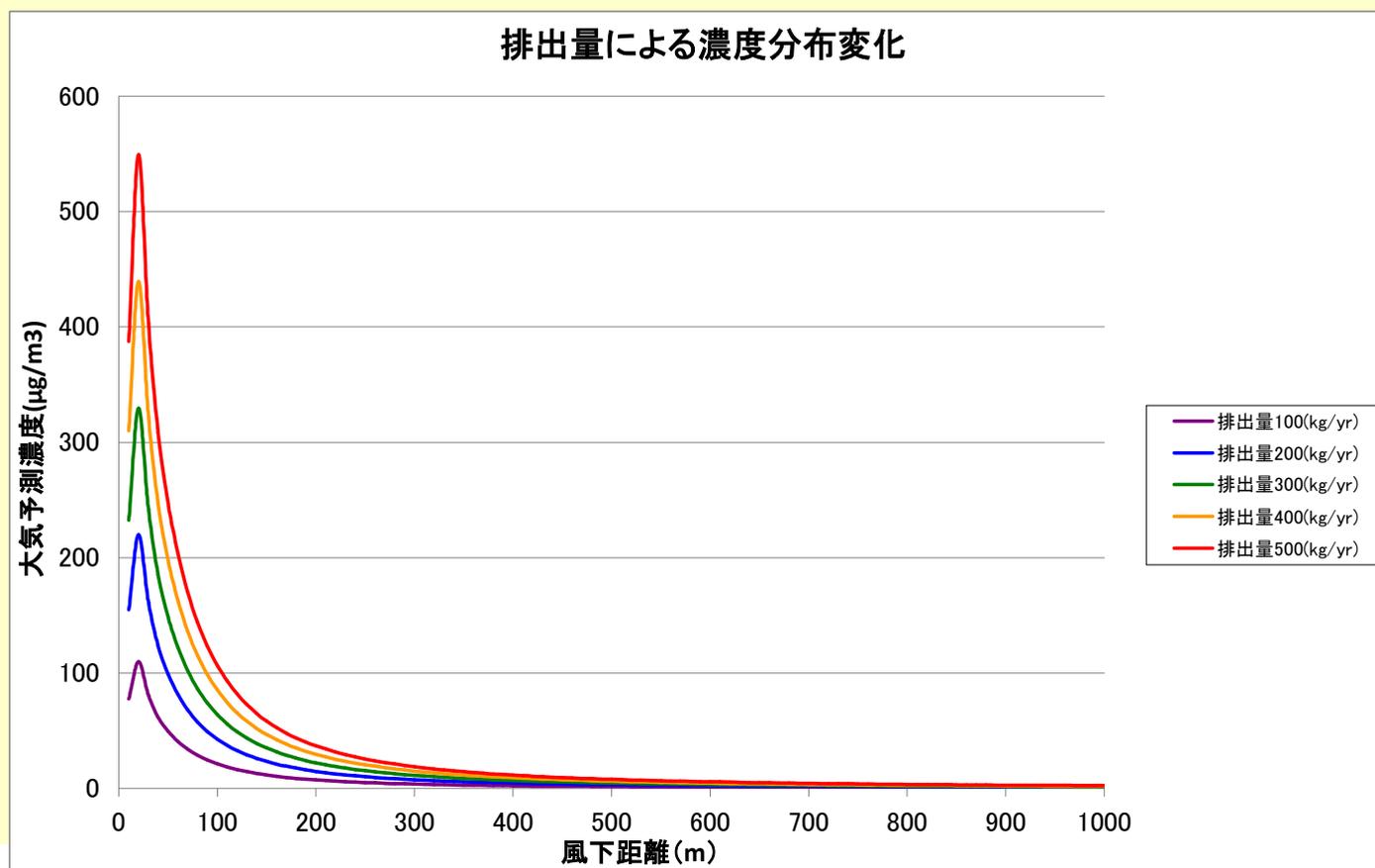


2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(3)

■ 排出量の変化による濃度分布の変化

◆ 濃度は排出量に比例し、分布は変わらない(排出量2倍→濃度2倍)

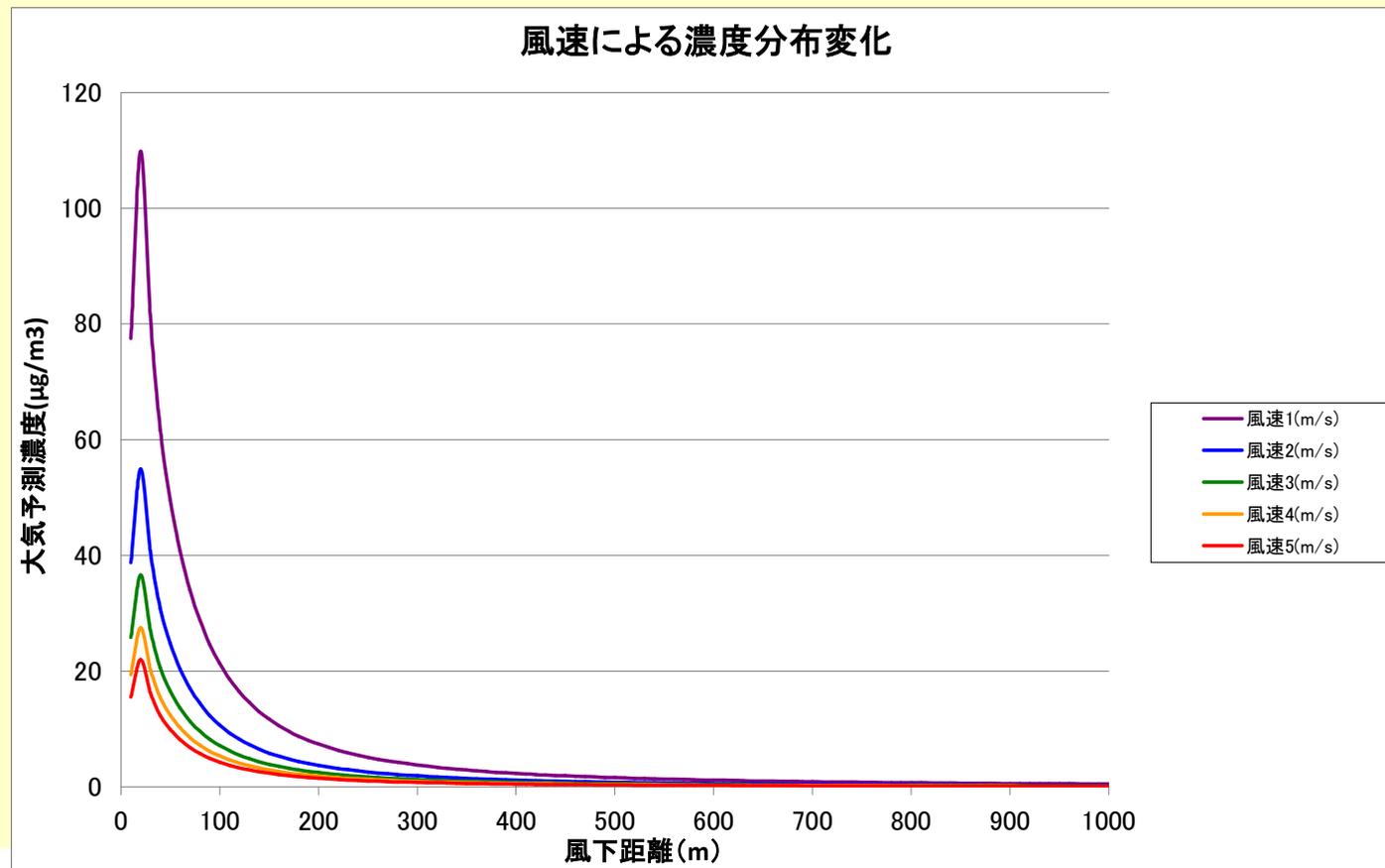


2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(4)

■ 風速の変化による濃度分布の変化

◆ 濃度は風速に反比例し、風速が大きいと濃度は低下(風速2倍→濃度1/2)

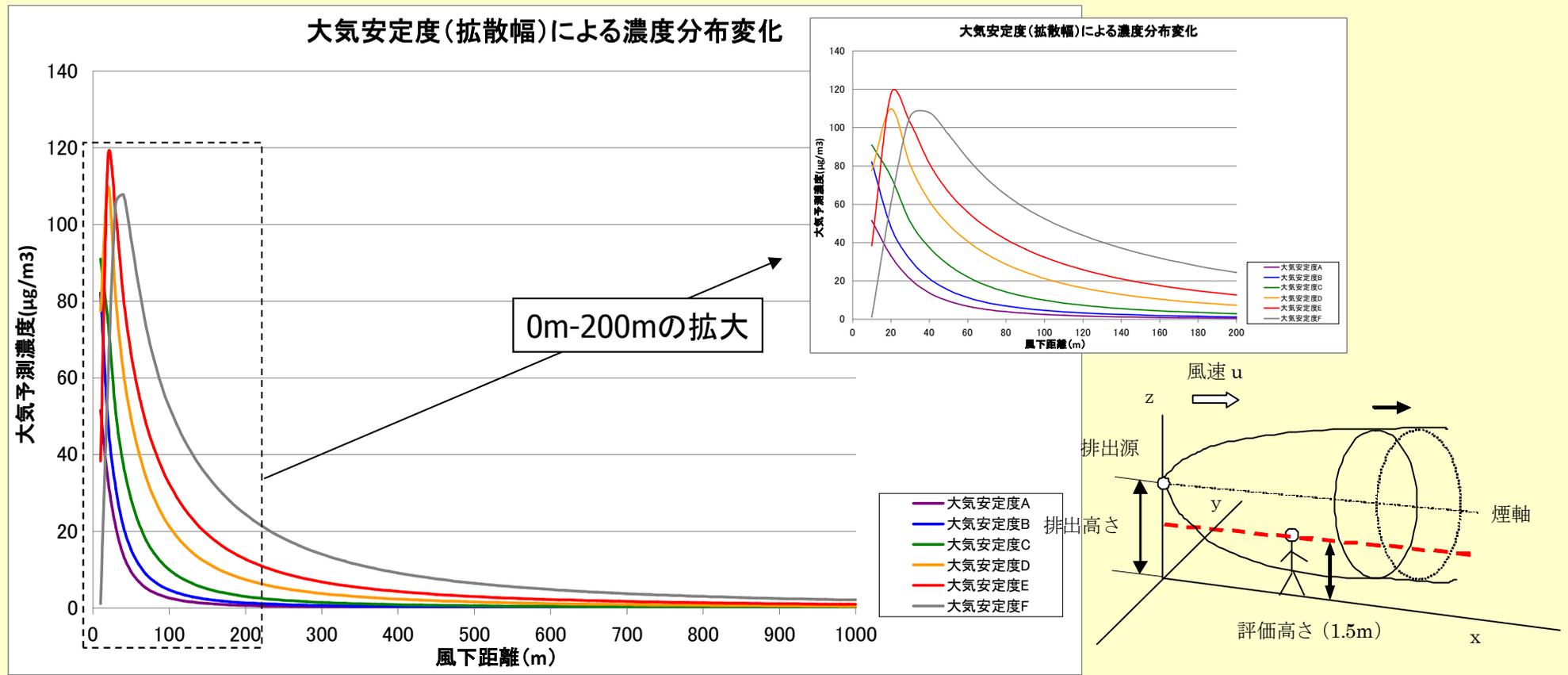


2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(5)

■ 拡散パラメーター(水平方向・鉛直方向拡散幅)の変化

◆ 排出源近傍以外は拡散幅が広がるほど(大気安定度F→A)、濃度は低下

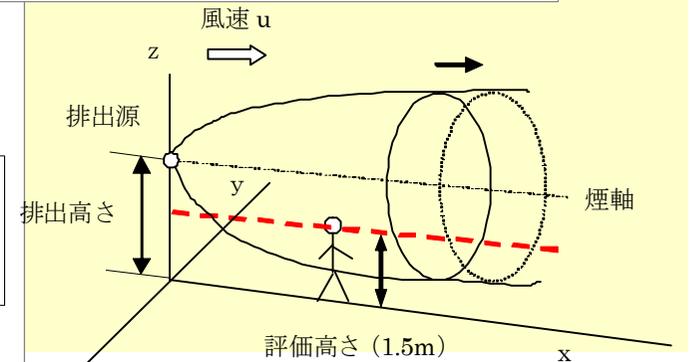
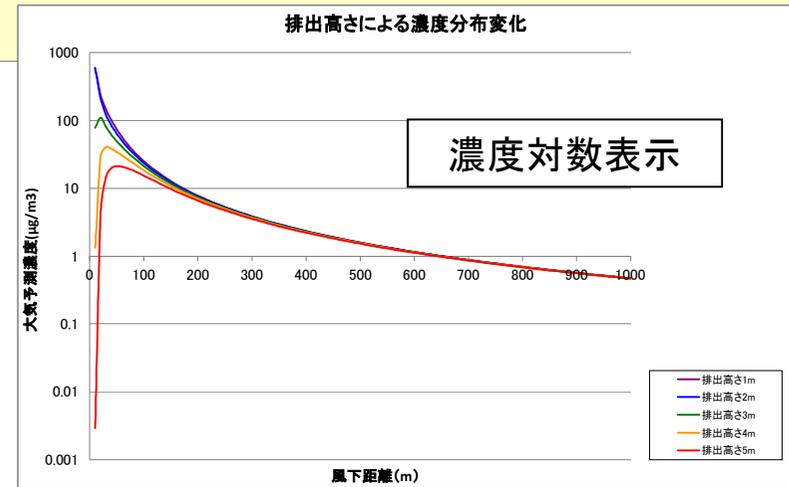
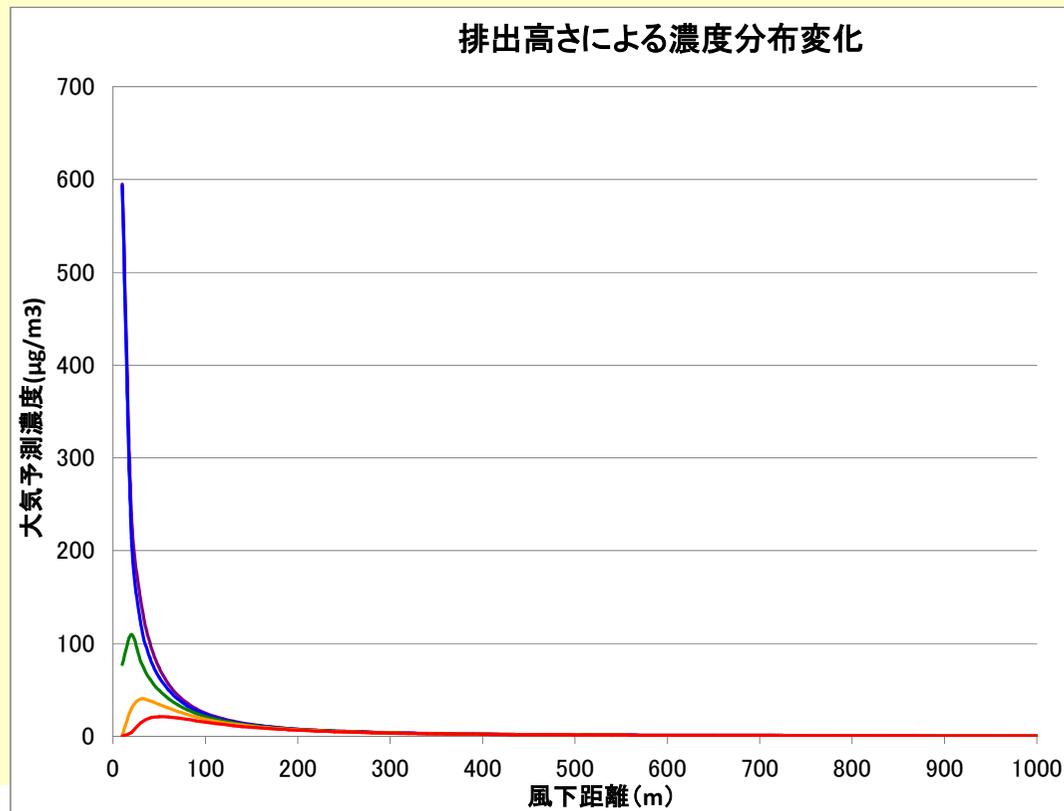


2. 大気環境濃度の算定方法

計算条件を変えたときの濃度分布の変化(6)

■ 排出高さによる濃度分布の変化

- ◆ 排出源付近で排出高さが評価高さ(1.5m)の近くで濃度が高いが、100m過ぎると同程度



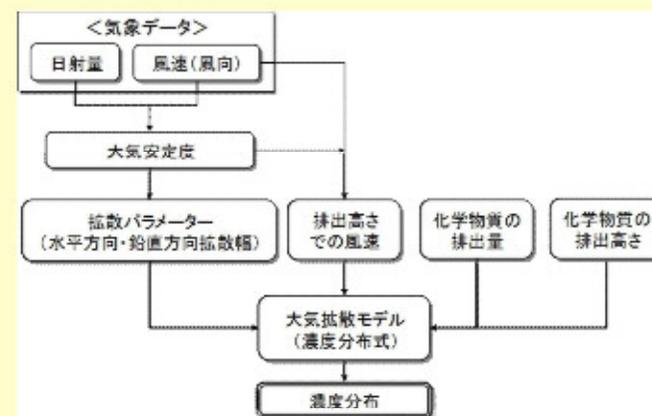
3. まとめ

本資料のまとめ

■ 大気拡散モデルで計算するために必要なパラメーター

- ① 拡散パラメーター
- ② 排出高さでの風速
- ③ 化学物質の排出量
- ④ 化学物質の排出高さ

} = 気象データ



■ 大気環境濃度の管理のためには、③化学物質の排出量を管理することが最も重要。

以上

**【簡易なリスク評価を行うには】
簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)
を用いた演習**

令和元年9月

みずほ情報総研株式会社
環境エネルギー第2部
佐々木 佑真

1. 簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)の提案

簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)とは(1)

- 大気拡散数理モデルにはMETI-LISをはじめ、様々なモデルが存在しているが、本質的な違いはない。
- しかし、一部のモデルには使いこなすためには、ある程度訓練と時間が必要となる。
- 例えば複数のPRTR物質を排出している中で、「どの物質の対策を優先すべきなのか(対策物質の優先度設定)」、「どの程度まで排出量を減らすべきなのか(削減目標の設定)」を判断する上で、有害性評価とあわせ、簡易に暴露評価及びリスク評価を行うことが重要。
- そこで、簡便かつ上記のような判断材料として利用できる、簡易ツールをご提案。

1. 簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)の提案

簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)とは(2)

- 簡易ツールは、大気拡散モデルの特性を踏まえ、実際の気象データ等を使わずに、安全側の評価となるような計算条件を予め設定しておき、**最低限のデータ入力(排出量と排出高さ)**で、**仮想的な大気環境濃度をエクセル等の計算ソフトで簡易に予測する**
- 簡易ツールを使うと、例えば
 - ◆ “排出量(入力)→大気環境濃度(出力)”がすぐ計算できる
 - ◆ さらには、ある物質の有害性評価値(有害性評価の結果、ヒトに影響がでないとされる許容濃度)と、目標安全値(例えば環境基準値や許容濃度等からさらに10倍余裕をみておく)とから、排出量の削減目標値を知ることができる。

1. 簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)の提案

簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)とは(3)

■ 注意事項

- ◆ただし、本簡易ツールは、あくまでも仮想的かつ化学物質の濃度が高めに出る状況を知るために作成したモデルであるため、METI-LIS等の1年間の詳細な気象条件を入力した場合の計算結果とは異なる。(安全側の推算)
- ◆使用に際しては、少なくとも評価地点(排出源から敷地境界までの最短距離等)及び排出高さについて、事業所ごとの実際の数値を入力することが必要。

1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易ツールの概要(1)

■ 簡易ツールの設定内容

項目	設定	備考
大気拡散モデル	正規型プルーム	一般的な式
風速(排出高さ)	デフォルト1m/s	一般的なプルームの風速適用範囲の中で最も安全側の設定
大気安定度	デフォルト大気安定度D	大気安定度はDの出現頻度が圧倒的に多い
水平拡散パラメーター	大気安定度に対応する拡散パラメーター	ツール内部で計算
鉛直拡散パラメーター	大気安定度に対応する拡散パラメーター	ツール内部で計算
排出高さ	ユーザー入力	実際の高さを入力
排出量	ユーザー入力	実際の評価対象物質に関する年間排出量等を入力
同一方向に風が吹く頻度	デフォルト0.25	実際に観測される16方位のうち、ある方位だけに風向が偏る確率。
評価地点	ユーザー入力	風下の任意の距離
評価高さ	デフォルト1.5m	成人の呼吸の高さ

1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易ツールの概要(2)

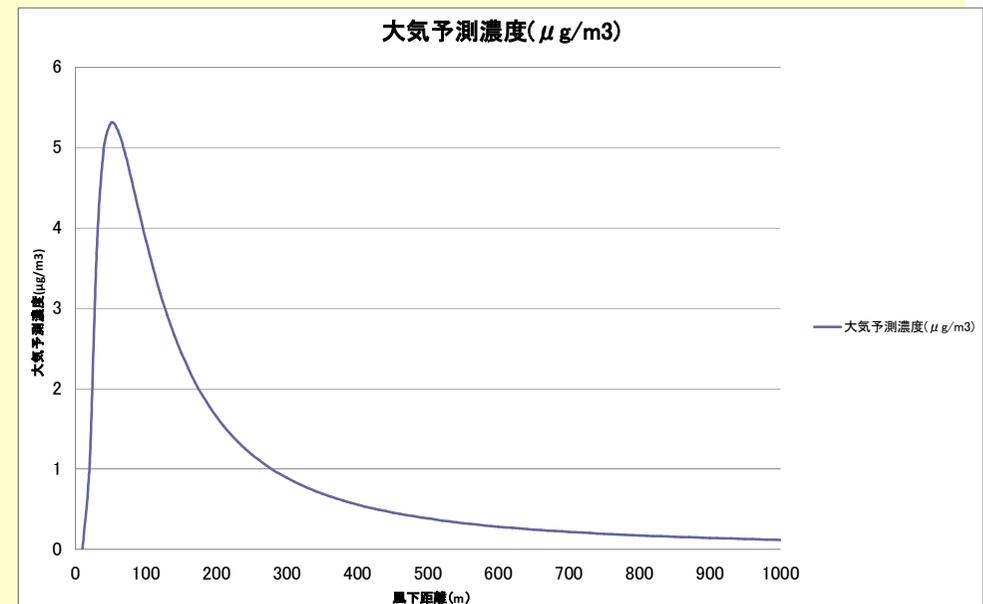
■ 簡易ツールのイメージ

<計算条件>

入力項目	入力条件	備考
排出量(kg/year)	100.0	PRTR排出データ等
排出量($\mu\text{g/s}$)	3171.0	上記から平均値を計算
風速u(m/s)	1.0	排出高さでの風速 (デフォルト1.0)
大気安定度	D	デフォルトD
排出高Hs[m]	5.0	補正後の排出高さ
評価地点(Xref)	100	風下距離m (10m-1000mの範囲、 10m刻みで)
評価高さ(地上m)(Zref)	1.5	デフォルト1.5m
同一方向に風が吹く頻度	0.25	デフォルト0.25

<計算結果>

大気予測濃度($\mu\text{g/m}^3$)	3.84
-----------------------------	------



1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)の使い方(1)

■ 簡易ツールの入力値の制限等について(1)

- ◆ 基本的には網掛けの項目について入力
- ◆ 各入力条件に入力の制限がある(下表)

<計算条件>

入力項目	入力条件	備考	入力の制限
排出量(kg/year)	100.0	PRTR排出データ等	0より大きい数値
排出量(μ g/s)	3171.0	上記から平均値を計算	計算箇所
風速u(m/s)	1.0	排出高さでの風速 (デフォルト1.0)	1以上の数値
大気安定度	D	デフォルトD	プルダウンから選択
排出高Hs[m]	5.0	補正後の排出高さ	0より大きい数値
評価地点(Xref)	100	風下距離m (10m-1000mの範囲、 10m刻みで)	プルダウンから選択
評価高さ(地上m)(Zref)	1.5	デフォルト1.5m	0より大きい数値
同一方向に風が吹く頻度	0.25	デフォルト0.25	0より大きい数値

1. 簡易ツール(大気環境濃度の予測ツール)について

簡易な大気環境濃度予測ツール(簡易ツール)の使い方(2)

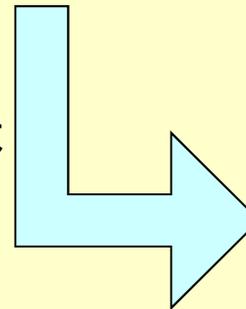
■ 簡易ツールの入力値の制限等について(2)

- ◆ METI-LISの内部では最終的に下表を使用
- ◆ よって、理論的には大気安定度ごとに地上風速の範囲がある

大気安定度分類表(METI-LIS内部で最終的に使われているもの)

地上風速 U(m/s)		日中				夜間 (日射量Q=0)
		日射量Q(kW/m ²)				
		多い←		→少ない		
		Q≥0.6	0.6>Q≥0.3	0.3>Q≥0.15	Q<0.15	
弱い ↑	U<2	A	A	B	D	F
	2≤U<3	A	B	C	D	E
	3≤U<4	B	B	C	D	D
↓ 強い	4≤U<6	C	C	D	D	D
	6≤U	C	D	D	D	D

簡易ツールでは



大気安定度	地上風速u(m/s)
A	$u < 3$
B	$u < 4$
C	$u \geq 2$
D	—
E	$2 \leq u < 3$
F	$u < 2$

2. ケーススタディ リスク評価の復習(基礎編参照)

2. 環境リスク評価の具体的手順

(5) リスク判定 <無毒性量による環境リスク評価>

「暴露濃度」と「無毒性量 (NOAEL)」を用いて、「MOE」を求める

■ 無毒性量 (NOAEL) を用いる場合

◆ MOE (Margin of Exposure) とは、人に対する無毒性量と暴露濃度の比率

$$\text{MOE} = \frac{\text{無毒性量} [\text{mg}/\text{m}^3]}{\text{暴露濃度} [\mu\text{g}/\text{m}^3]} \times 1,000$$

◆ MOE が小さいほど、リスクが大きい

MOEの値	レベル判定
10未満	レベル1
10以上 100未満	レベル2
100以上	レベル3

環境リスク
↑ 大
↓ 小

2. ケーススタディ① 削減目標の設定方法

■ 例題

- ◆ 事業所の煙突から、現在キシレンを年間10,000kg排出している。
- ◆ 煙突から風下100mの地点において、健康リスクが大きい場合、リスクを小さくしたい。(リスクのレベルが「1」であれば「2」、「2」であれば「3」にしたい。)
- ◆ キシレンの年間排出量を何kgまで削減すればよいか。

■ 条件

◆ 計算条件

入力項目	入力条件
風速u(m/s)	1.0
大気安定度	D
排出高Hs[m]	5.0
評価地点(Xref)	100
評価高さ(地上m)(Zref)	1.5
同一方向に風が吹く頻度	0.25

◆ キシレンの有害性指標

政令番号	物質名	種類	値
1-80	キシレン	無毒性量	2.2mg/m ³

(出典 「手引き」別表)

2. ケーススタディ① 削減目標の設定方法

■ 設定手順(例)

①風下100m地点のキシレンの大気環境濃度を推算

- ・年間排出量を10,000kgに設定する
- ・簡易ツールを用いて、大気環境濃度は_____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と予測される。

②リスク判定の実施

- ・大気環境濃度(暴露濃度)と無毒性量を用いてMOEを算出する。
- ・MOE = _____

③リスク削減の目標を設定

- ・リスクのレベルが「1」の場合は「2」に、「2」の場合は「3」になるよう削減目標を求める。

④削減目標の設定

2. ケーススタディ② 対策物質の優先度設定方法

■ 例題

- ◆ 事業所の煙突から、現在トルエンを年間250kg、ヒドラジンを年間10kg排出している。
- ◆ 煙突から風下100mの地点において、健康リスクがある場合、リスクを小さくしたい。(リスクのレベルが「1」であれば「2」、「2」であれば「3」にしたい。)
- ◆ どちらを優先的に対策すべきか(優先度)を決定したい。

■ 条件

◆ 計算条件 標

入力項目	入力条件
風速u(m/s)	1.0
大気安定度	D
排出高Hs[m]	5.0
評価地点(Xref)	100
評価高さ(地上m)(Zref)	1.5
同一方向に風が吹く頻度	0.25

◆ トルエン、ヒドラジンの有害性指

政令番号	物質名	種類	値
1-300	トルエン	無毒性量	7.9mg/m ³
1-333	ヒドラジン	無毒性量	0.003mg/m ³

(出典 「手引き」別表)

2. ケーススタディ② 対策物質の優先度設定方法

■ 設定手順(例)

①それぞれの化学物質について、風下100m地点の大気環境濃度を推算

- ・年間排出量をトルエン250kg、ヒドラジン10kgに設定する。
- ・簡易ツールにより、大気環境濃度はトルエン _____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ヒドラジン _____ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と予測される。

②リスク評価の実施

- ・大気環境濃度(暴露濃度)と無毒性量を用いてMOEを算出する。
- ・トルエン MOE = _____ (レベル____に相当)
- ・ヒドラジン MOE = _____ (レベル____に相当)

③MOEの比較

- ・MOEは、_____
- ・そのため、_____の削減を優先的に実施する。

2. ケーススタディ① 削減目標の設定方法

■ 設定手順(例)

①風下100m地点のキシレンの大気環境濃度を推算

- ・年間排出量を10,000kgに設定する
- ・簡易ツールを用いて、大気環境濃度は 384 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と予測される。

②リスク判定の実施

- ・大気環境濃度(暴露濃度)と無毒性量を用いてMOEを算出する。
- ・MOE = $2.2 [\text{mg}/\text{m}^3] \div 384 [\mu\text{g}/\text{m}^3] \times 1000 = 5.7$ (リスクレベル1)

③リスク削減の目標を設定

- ・リスクのレベルが「1」の場合は「2」に、「2」の場合は「3」になるよう削減目標を求める。

MOEを10以上100未満(リスクレベル2)にするためには、

$\text{MOE } 10 = 2.2 [\text{mg}/\text{m}^3] / \text{【目標大気環境濃度】} [\mu\text{g}/\text{m}^3] \times 1000$ より

風下100m地点における【目標大気環境濃度】が $220 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$ となればよい。

④削減目標の設定

年間排出量の削減目標は、 $10000 [\text{kg}/\text{year}] \times (220/384) = 5729.1\cdots [\text{kg}/\text{year}]$

よって、削減目標は約5700[kg/year]と設定すればよい。

2. ケーススタディ② 対策物質の優先度設定方法

■ 設定手順(例)

①それぞれの化学物質について、風下100m地点の大気環境濃度を推算

- ・年間排出量をトルエン250kg、ヒドラジン10kgに設定する。
- ・簡易ツールにより、大気環境濃度はトルエン 9.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、ヒドラジン 0.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と予測される。

②リスク評価の実施

- ・大気環境濃度(暴露濃度)と無毒性量を用いてMOEを算出する。
- ・トルエン MOE = $7.9 \div 9.60 \times 1000 = 823$ (レベル 3 に相当)
- ・ヒドラジン MOE = $0.003 \div 0.38 \times 1000 = 7.9$ (レベル 1 に相当)

③MOEの比較

- ・MOEは、トルエン > ヒドラジン
- ・そのため、ヒドラジン の削減を優先的に実施する。