

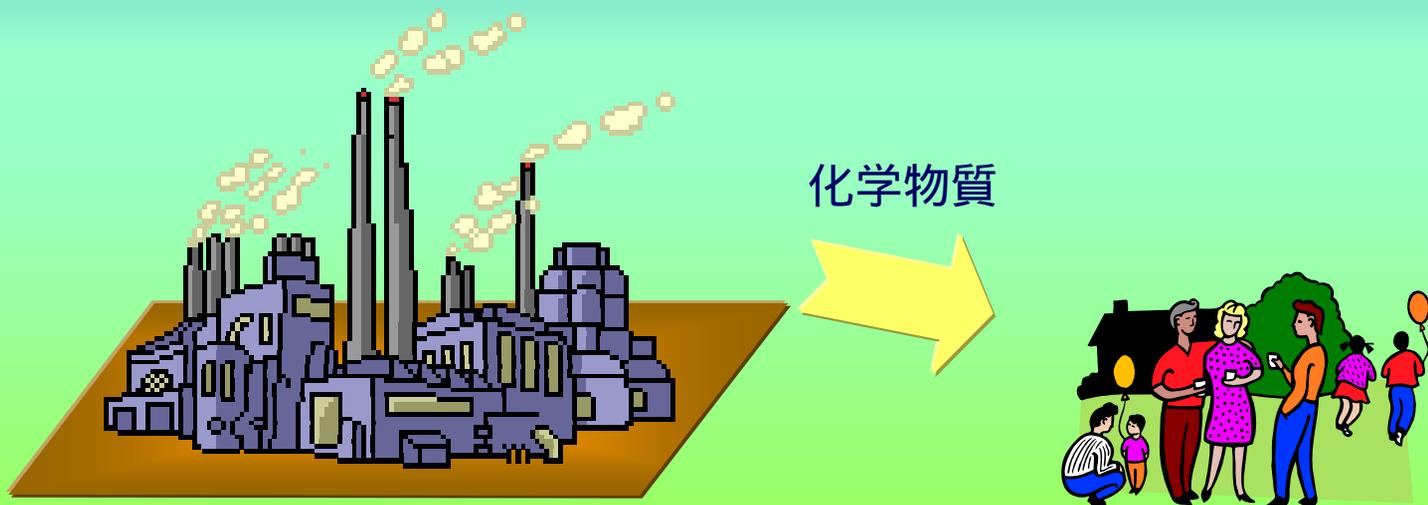
大気汚染物質の 排出源推定法の開発

横浜国立大学

(株)トクヤマ

岡崎 聖司

有害大気汚染物質の健康影響



大気経由の曝露

- 低濃度の曝露
- 長期間にわたる
- 濃度に分布

大きな
累積曝露量

健康リスク

どの程度の濃度なのか?

大気中の化学物質濃度を知る

	測定	シミュレーション
値の信頼性	真値	計算値の検証が必要
値の性質	限定された値 <ul style="list-style-type: none">● 時刻● 位置● 気象条件	任意の時間、空間地点の濃度が推定可能
必要事項	微量分析技術 人手 費用 時間	パラメータ <ul style="list-style-type: none">● 排出源位置● 排出量● 有効煙突高度● 気象条件

測定とシミュレーションの組合せ



1回の測定でリスク評価に必要な年間平均濃度の空間分布推定

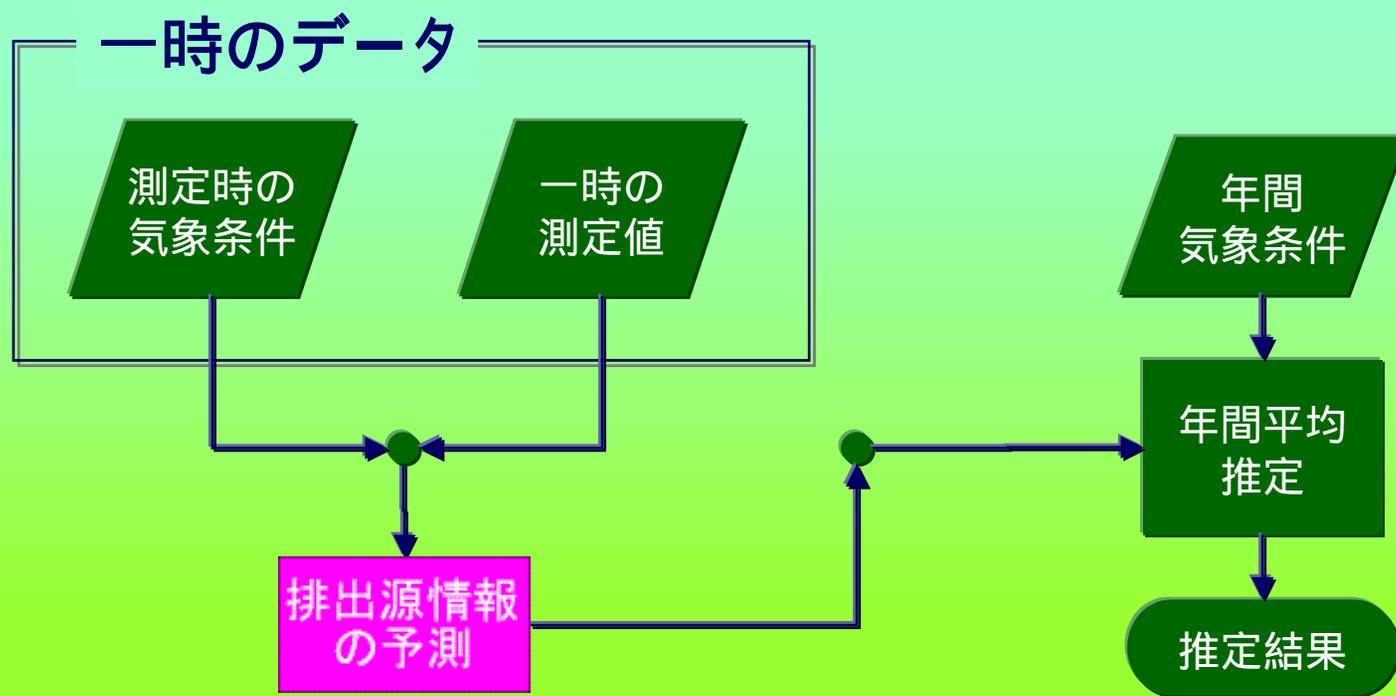
シミュレーションと排出源情報

➡ 排出源情報

- シミュレーションを行うためには必要。
- 一般の人々は入手が困難。
- 漏れなどの場合、工場の人でも正確に知ることとは難しい。

測定値から排出源情報を推定する

推定方法の構成



排出源の予測

年間平均濃度の空間分布の推定

ブルームモデル

$$C = \frac{Q}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2\right) \left(\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right) \right)$$

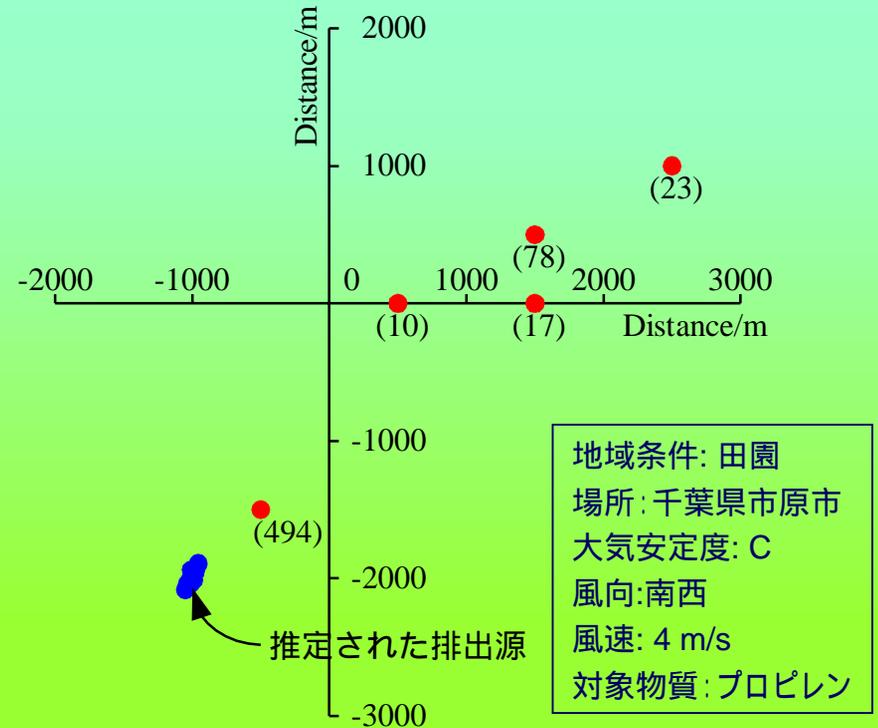
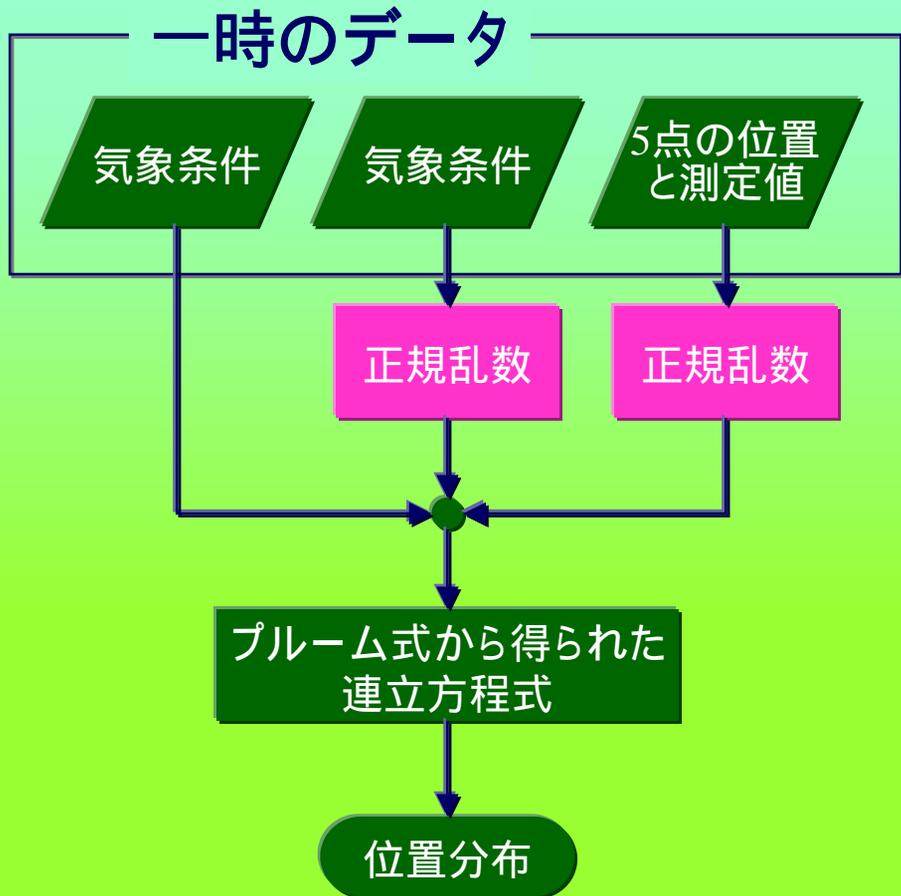
⇒ 既知の値

- C: 測定濃度
- (x_1, y_1) : 測定地点
- z_r : 測定高さ(0)
- θ : 風向
- u : 風速
- その他気象条件

⇒ 未知の値

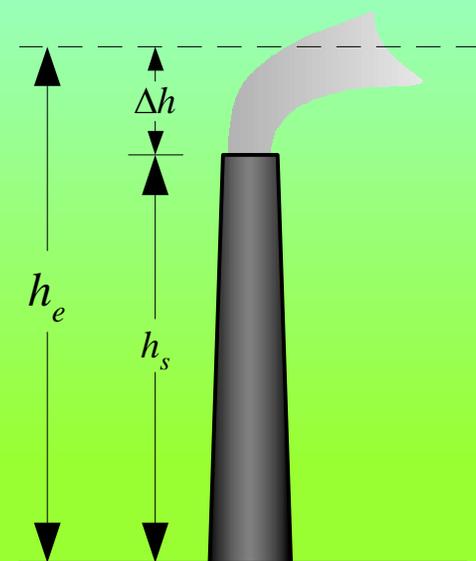
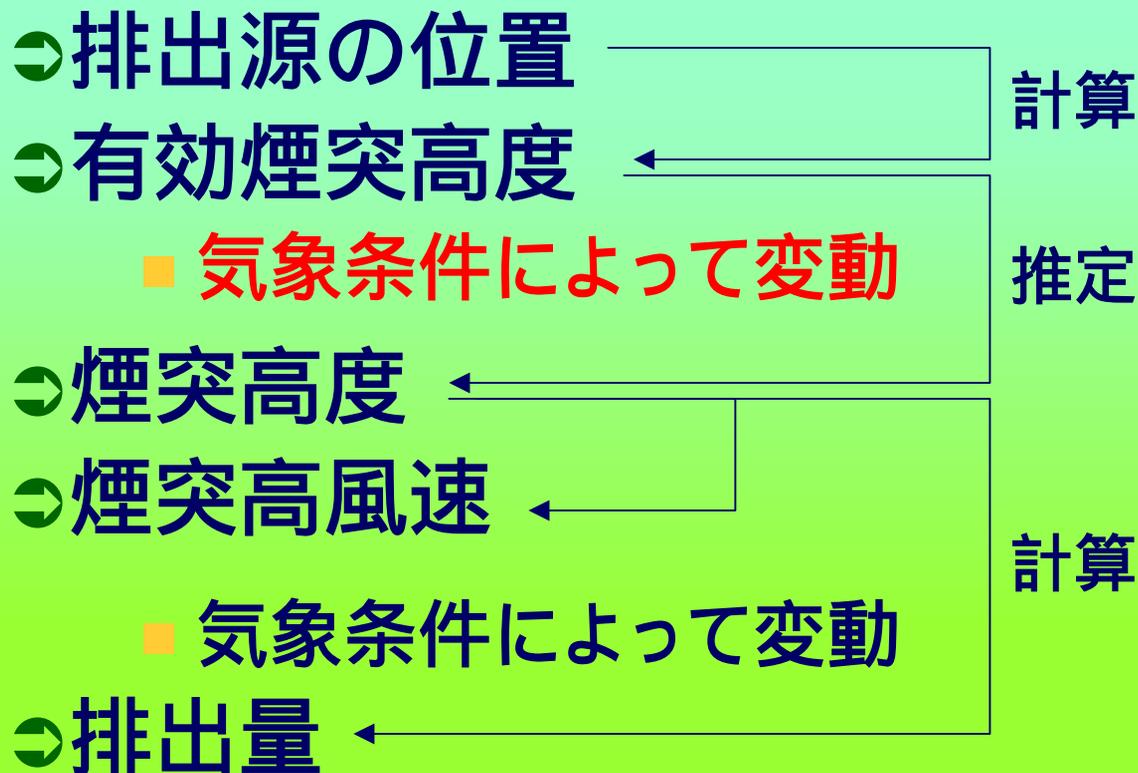
- X, Y: 排出源の位置
- σ_y, σ_z : 拡散幅 } Xの関数
- Q: 排出量 }
- u_s : 煙突高風速 }
- h_e : 有効煙突高度

排出源位置の推定



その他の物質でも
同等の予測が可能

排出源情報の獲得



気象条件に応じた煙上昇高度(Δh)推定法の開発

有効煙突高度を変化させる気象要因

⇒ 大気安定度(上昇気流、下降気流)

⇒ 風速

⇒ 気温

- 実質上の要因 排出温度 - 気温
- 排出温度は不明
- 有効煙突高度に対する変化量が小さい。
- 年間平均にすれば、影響は小さい。

通常の状態

- ◆ Stack-tip downwashが無視できる
- ◆ 煙上昇が浮力支配

	大気安定度	風速
	煙上昇高度(Δh)	プルーム上昇係数
基準	中立時の Δh (x)	風速 1m/s の Δh
上昇気流	$y = ax$	1
中立	-	1
下降気流	$\log y = b \log x + c$	地上風速 ^{2/3}

$$\text{プルーム上昇係数} = \frac{\text{当該風速のときの煙上昇高度}}{\text{風速 } 1 \text{ m/s のときの煙上昇高度}} \times u_{ref}$$

通常以外の条件

⇒ Stack-tip downwash(SD)

$$SD = 2d_s \frac{v_s}{u_s} \quad v_s < 1.5u_s$$

$$\therefore SD < 3d_s$$

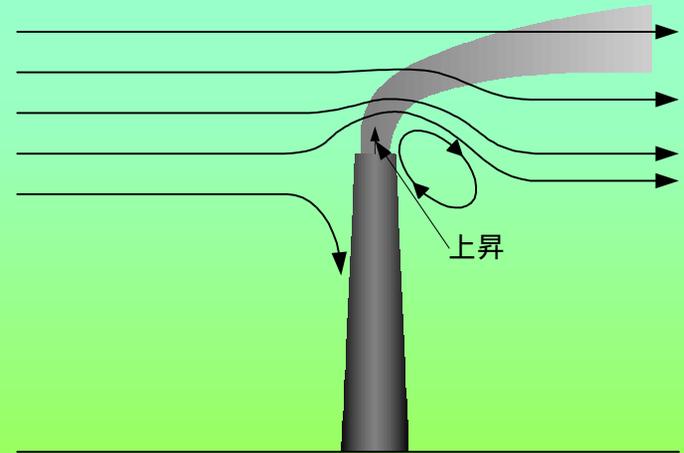
d_s : 煙突内径 v_s : 排出速度

u_s : 煙突高風速

□ 無視できる

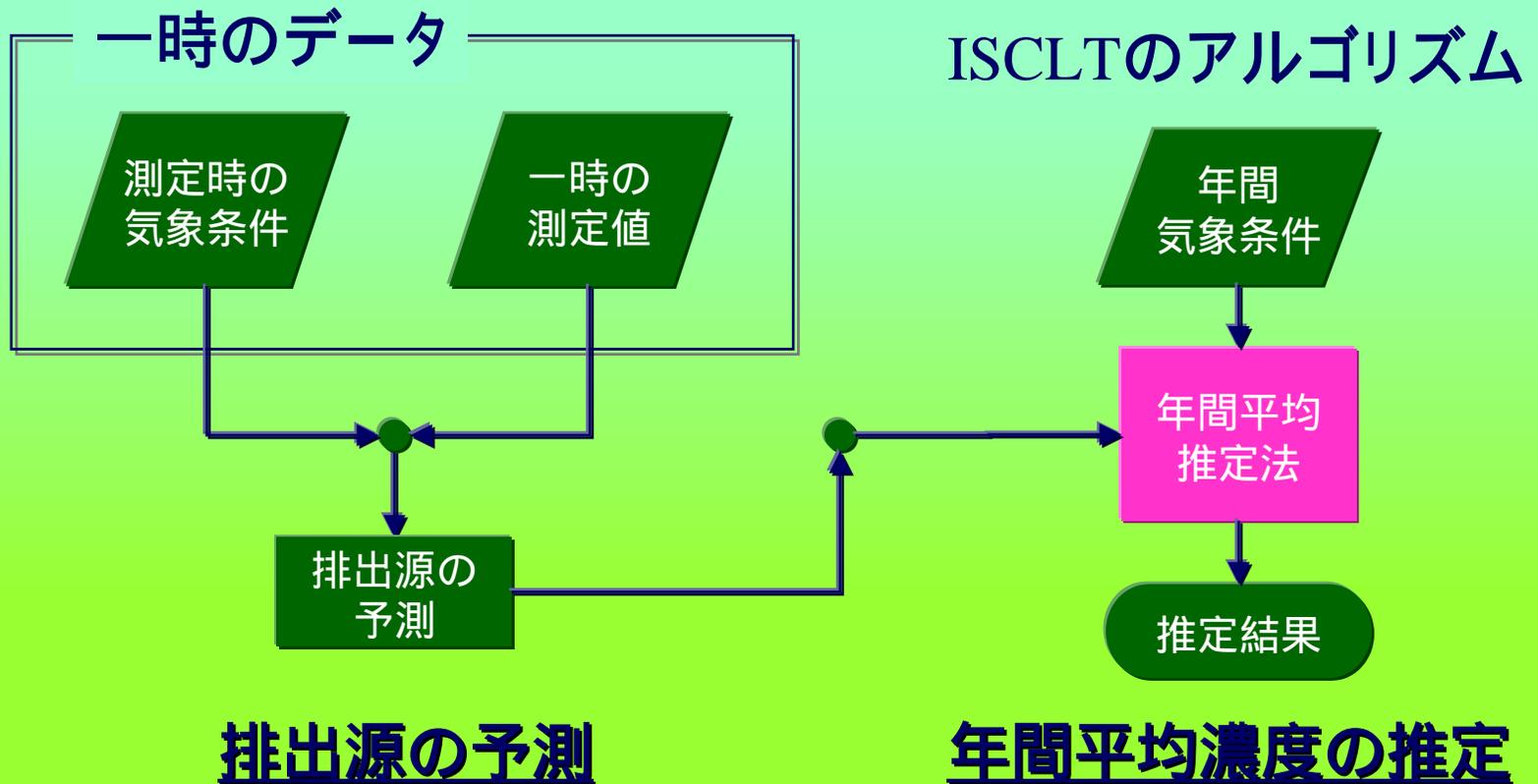
⇒ 運動量上昇

□ 排気温が気温と同等以下の場合



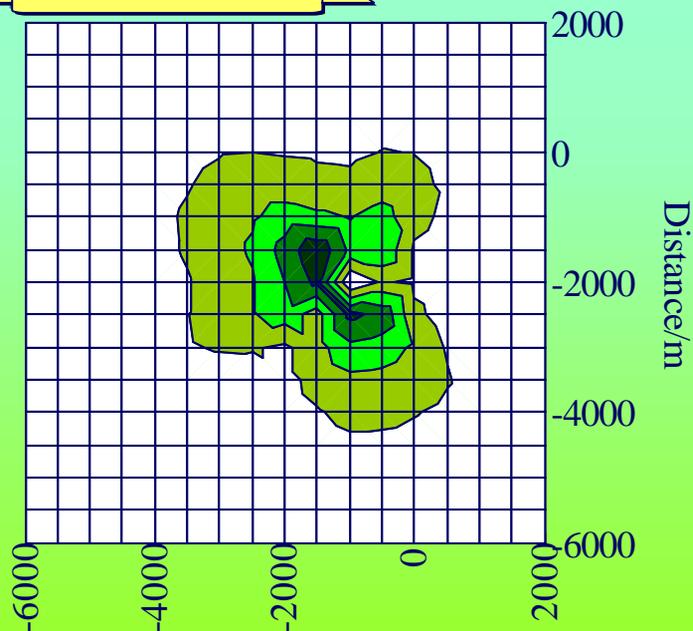
通常以外の条件の頻度は低い

推定方法の構成



本方法とISCLTの比較

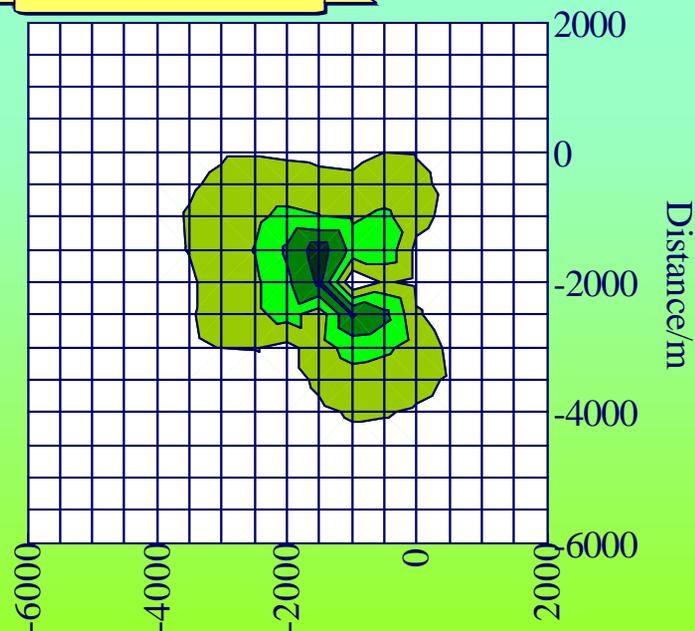
Our Method



Distance/m

Area Type : Rural	(-500,-1500)	494 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
風速 : 4m/s	(500,0)	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
風向 : 南西	(1500,0)	17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
大気安定度 : C	(1500,500)	78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
年間気象 : 市原1995年	(2500,1000)	23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ISCLT



Distance/m

排出源位置 : (-1000,2000)	煙突内径 : 0.4m
排出速度 : 20g/s	煙突高度 : 25m
排出ガス温度 : 400K	排出ガス速度 : 12m/s
年間気象 : 市原1995年	

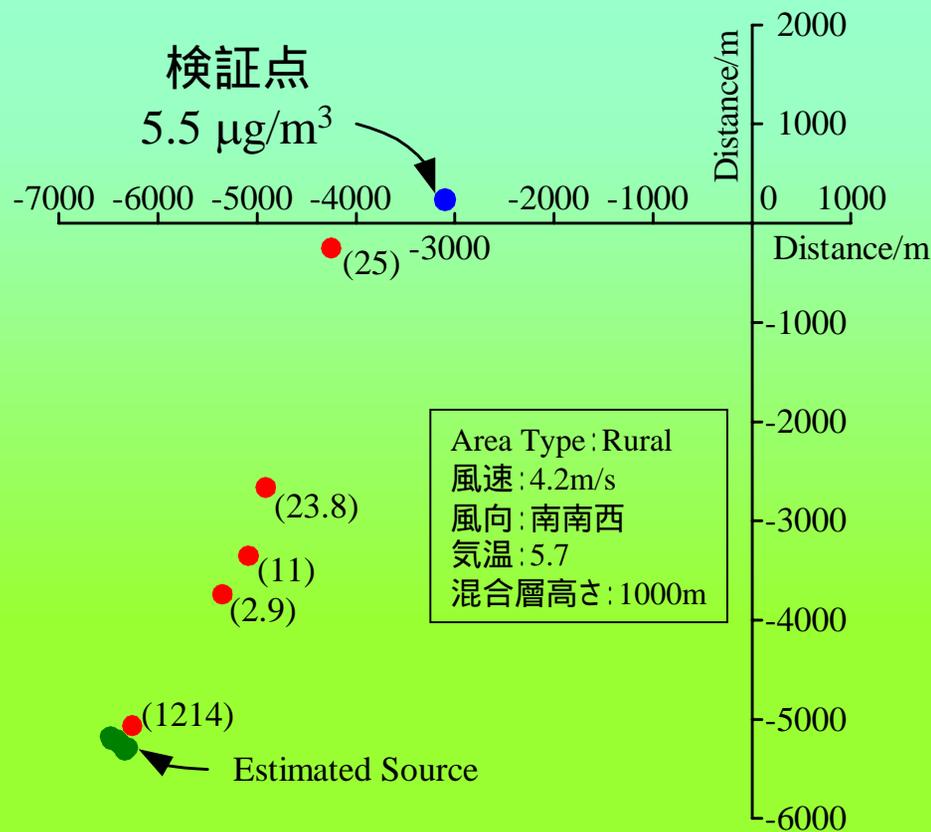
0-5
 5-10
 10-15
 15-20
 20-25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

実測定試料による推定

- ➡ 場所: 千葉県市原市
- ➡ 対象化学物質: エチレン
- ➡ 日時: 1996年3月4日
13時
- ➡ 風: 南南西、4.2m/s
- ➡ 気温: 5.7
- ➡ 大気安定度: 弱不安定



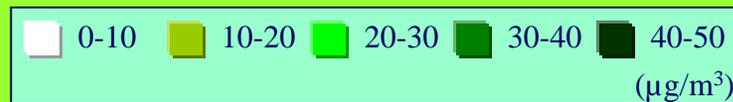
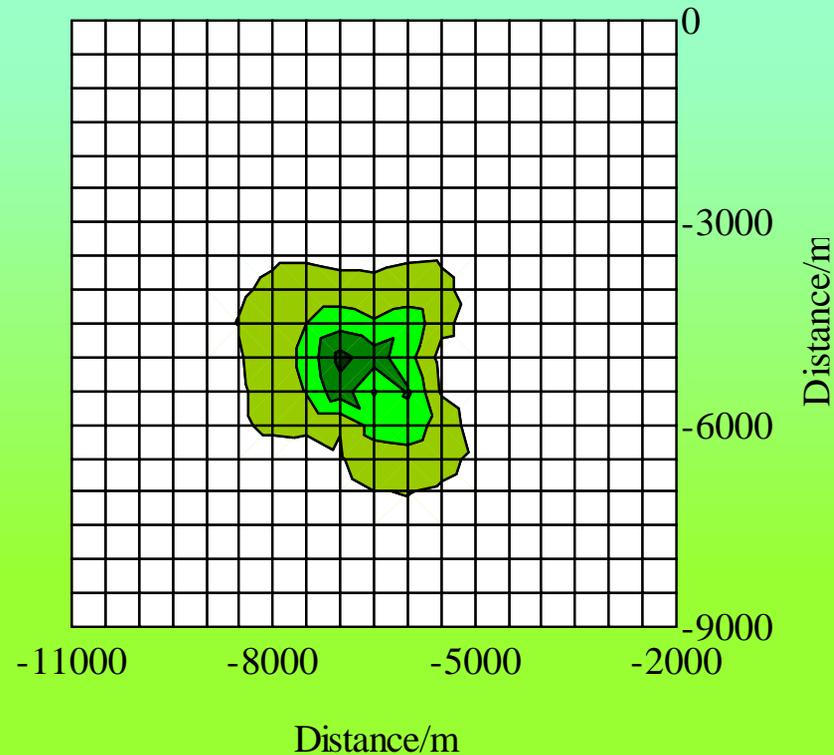
実試料による推定～排出源



()内は測定値、単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- ➡ 推定排出源
(-6361.62, -5261.75)
- ➡ 有効煙突高度
26.92m
- ➡ 推定煙突高度
25m
- ➡ 排出量
36.51g/s
- ➡ 検証点の濃度
3.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

実試料による推定 ~ 年間分布



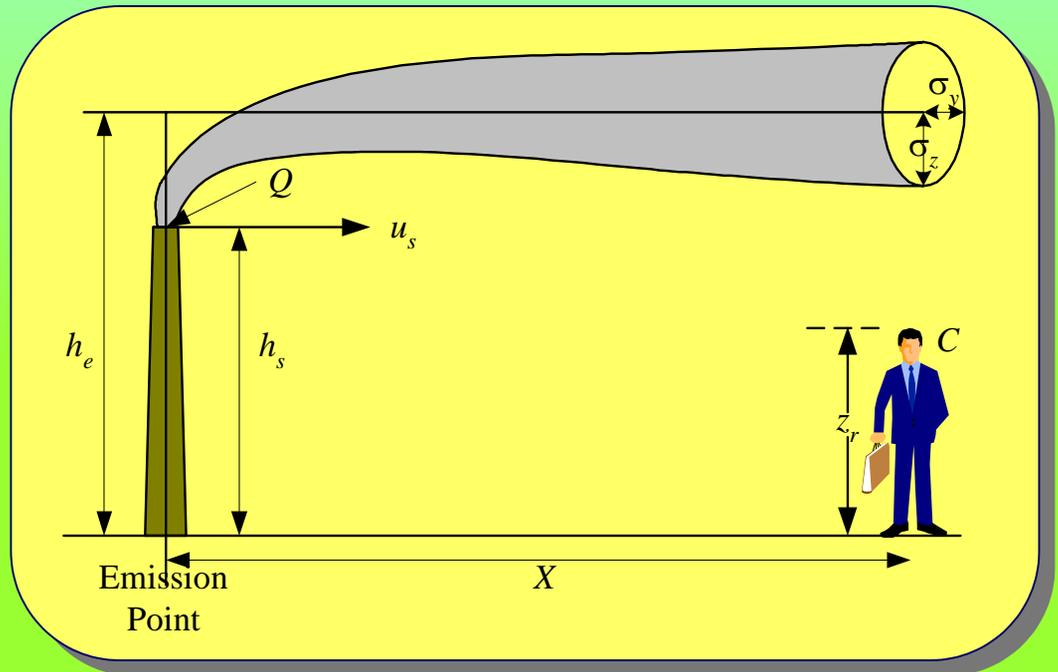
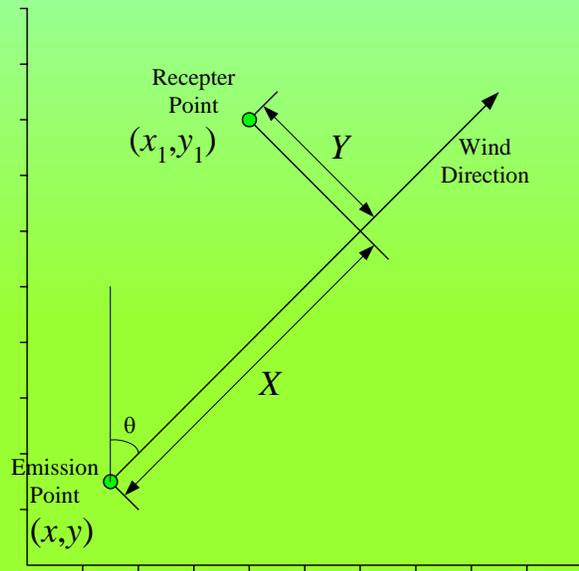
まとめ

- ⇒ 一時の測定値から化学物質のリスク評価に必要な年間平均濃度の空間分布を推定する新規な方法を開発
- ⇒ 一時の測定値から、年間平均濃度を推定するための排出源推定方法を新たに開発
 - 排出源位置の特定
 - 種々の気象条件における有効煙突高度推定
- ⇒ 本方法は排出源周辺の化学物質への長期曝露に伴う健康リスク推定に役立つことが期待される。



ブルームモデル

$$C = \frac{Q}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{Y}{\sigma_y}\right)^2\right) \left(\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r - h_e}{\sigma_z}\right)^2\right) + \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{z_r + h_e}{\sigma_z}\right)^2\right) \right)$$



Briggsの有効煙突高度推定法

Stack-tip downwash

$$\begin{cases} h'_s = h_s + 2d_s \frac{v_s}{u_s} & v_s < 1.5u_s \\ h'_s = h_s & v_s \geq 1.5u_s \end{cases}$$

Flux Parameter

$$\begin{cases} F_b = gv_s d_s^2 \left(\frac{T_s - T_a}{4T_s} \right) \\ F_m = v_s^2 d_s^2 \frac{T_a}{4T_s} \end{cases}$$

浮力・運動量判定

不安定、中立

$$\begin{cases} (\Delta T)_c = 0.0297T_s \frac{v_s^{1/3}}{d_s^{2/3}} & F_b < 55 \\ (\Delta T)_c = 0.00575T_s \frac{v_s^{2/3}}{d_s^{1/3}} & F_b \geq 55 \end{cases}$$

不安定、中立

浮力

$$\begin{cases} h_e = h'_s + 21.425 \frac{F_b^{3/4}}{u_s} & F_b < 55 \\ h_e = h'_s + 38.71 \frac{F_b^{3/5}}{u_s} & F_b \geq 55 \end{cases}$$

運動量

$$h_e = h'_s + 3d_s \frac{v_s}{u_s}$$

安定

浮力

$$h_e = h'_s + 2.6 \left(\frac{F_b}{u_s s} \right)^{1/3}$$

運動量

$$h_e = h'_s + 1.5 \left(\frac{F_m}{u_s \sqrt{s}} \right)^{1/3}$$

安定

$$s = g \frac{\partial \theta / \partial z}{T_a}$$

$$(\Delta T)_c = 0.019582T_s v_s \sqrt{s}$$

判定

$$(\Delta T)_c \leq T_s - T_a \quad \text{buoyancy}$$

$$(\Delta T)_c > T_s - T_a \quad \text{momentum}$$

h_s : 煙突高度

d_s : 煙突内径

F_b : 浮力フラックスパラメータ

T_a : 気温

h'_s : 修正煙突高度

v_s : 排出速度

F_m : 運動量フラックスパラメータ

T_s : 排出温度

h_e : 有効煙突高度

u_s : 煙突高風速

s : 安定度パラメータ

$(\Delta T)_c$: 温度交差

通常条件における h_e 推定法

$$Pe = Pe_D \left(\frac{h_s}{z_{ref}} \right)^{p_D - p} \quad (\text{不安定})$$

$$\log Pe = \frac{4}{9} \log Pe_D + \left(\log 2.6 - \frac{4}{9} \log 21.425 - \frac{1}{3} \log s + \frac{1}{9} \log u_{ref} \right) + \left(\frac{4}{9} p_D - \frac{p}{3} \right) (\log h_s - \log z_{ref}) \quad (\text{安定で } F_b < 55)$$

$$\log Pe = \frac{5}{9} \log Pe_D + \left(\log 2.6 - \frac{5}{9} \log 38.71 - \frac{1}{3} \log s + \frac{2}{9} \log u_{ref} \right) + \left(\frac{5}{9} p_D - \frac{p}{3} \right) (\log h_s - \log z_{ref}) \quad (\text{安定で } F_b \geq 55)$$

風速べき乗則

$$u_s = u_{ref} \left(\frac{h_s}{z_{ref}} \right)^p$$

u_s : 煙突高風速、 u_{ref} : 地上高風速、 h_s : 煙突高度
 z_{ref} : 地上高風速測定高度、 p : 風速指数

標準的な風速指数

安定度カテゴリー	Rural指数	Urban指数
A	0.07	0.15
B	0.07	0.15
C	0.10	0.20
D	0.15	0.25
E	0.35	0.30
F	0.55	0.30