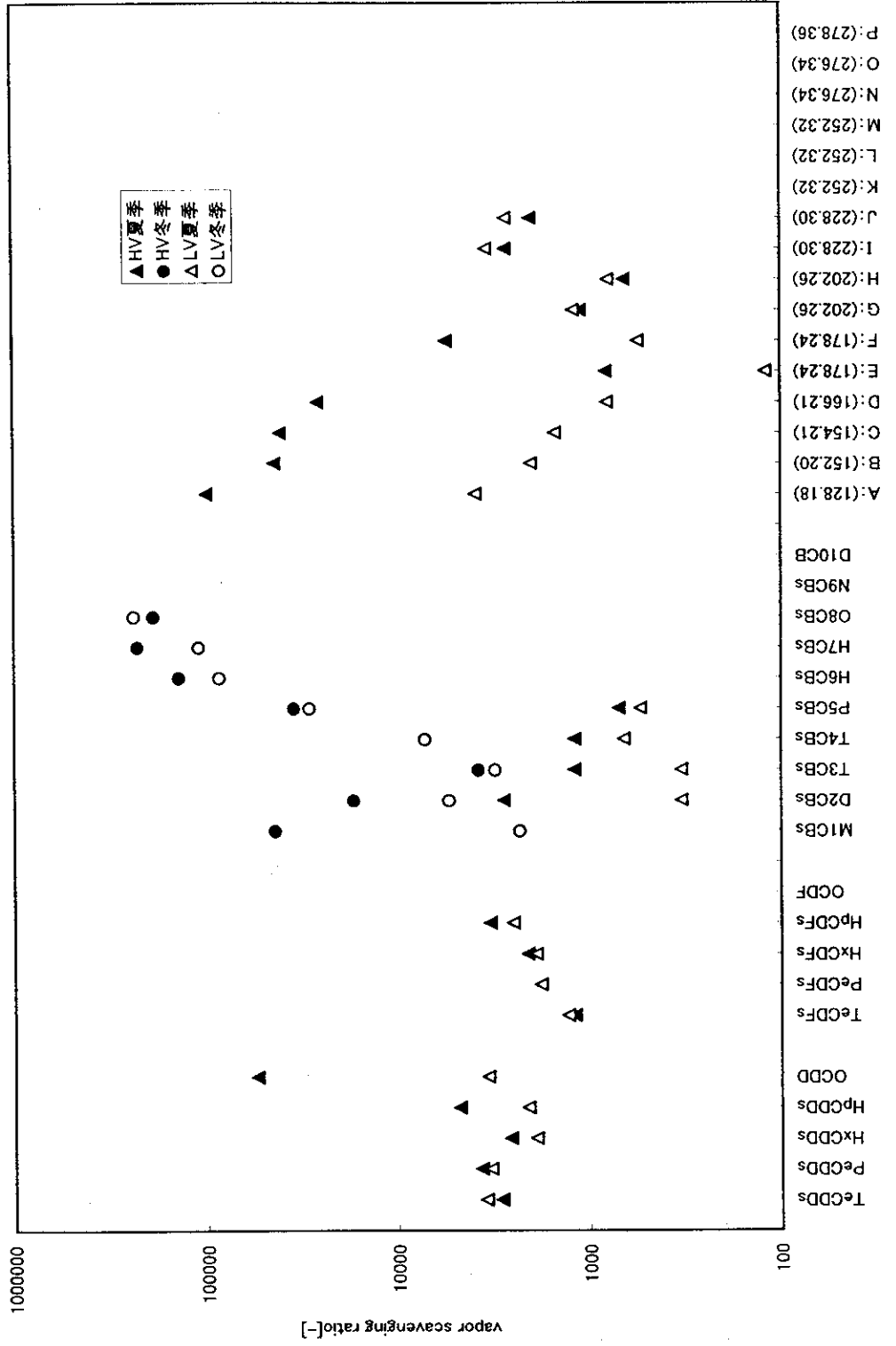


資料: vapor scavenging ratioのプロット



2. ダイオキシン類の拡散予測モデル

2. 1 調査目的

本調査は、A市清掃工場をモデルとした「都市ごみ焼却施設周辺環境等のダイオキシン類調査報告」(石川島播磨重工業株式会社、平成10年3月)の現地調査結果、および同工場の恒久対策実施後の平成11年度現地調査結果をもとに、ごみ焼却施設周辺環境におけるダイオキシン類の大気中濃度を再現できる拡散予測モデルを作成することを目的とする。

2. 2 調査概要

前年度の、「ダイオキシン類の拡散予測モデル報告」(帝人エコ・サイエンス株式会社、平成11年3月)の大気中濃度予測結果は、実測値と比べ1～2オーダー程度低い結果となった。今年度はその結果を踏まえ、下記①、②の検討事項を考慮して、まず窒素酸化物(NO_x)で現況再現を行って予測精度を向上させ、続いてダイオキシン類の予測を行った。なお、前年度においてはダイオキシン類総量で予測を行ったが、今年度においては対象発生源排出濃度がTEQ換算の値でしか公表されていないため、TEQ換算ベースで予測を行った。

①予測モデルの変更

従来用いていたプルームモデルの代わりに、滞留が考慮できるパフモデルを用いた。このとき、風の場合は時間と場所によって変化し、パフの中心が存在する点を囲む3つの測定局の風ベクトルより、距離の関数を重みとする加重平均による補間法から求めた。

②対象発生源の拡大

A市清掃工場を中心とした20km×20km内の大規模焼却施設、小型焼却炉および自動車も対象発生源とした。

2.3 調査手順

調査手順を図3-2-1に示す。

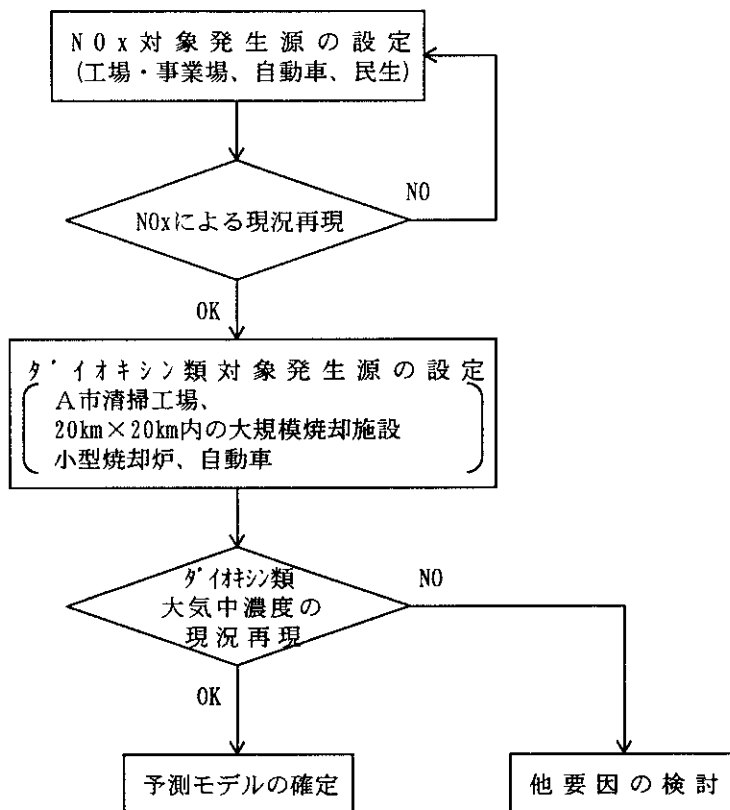


図3-2-1 調査手順

2. 4 気象の現況

1) 気象測定局の位置

気象測定局の位置を図3-2-2に示す。

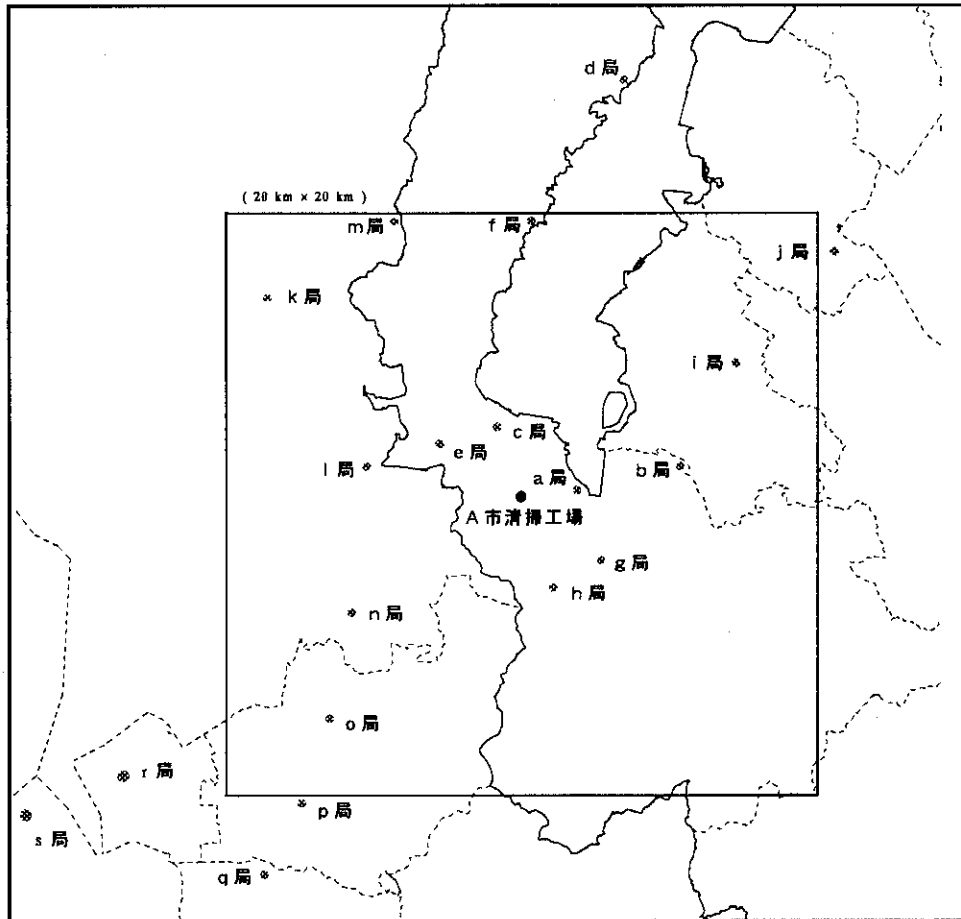


図3-2-2 気象測定局の位置

2) 風向・風速

平成9年度の風配図を図3-2-3に示す。各測定局とも各風向から万遍なく風が吹いているが、琵琶湖沿岸の測定局においては湖陸風が卓越している。なお、H地方気象台においては日射量・雲量のみを使用しているため、風配図は記載していない。

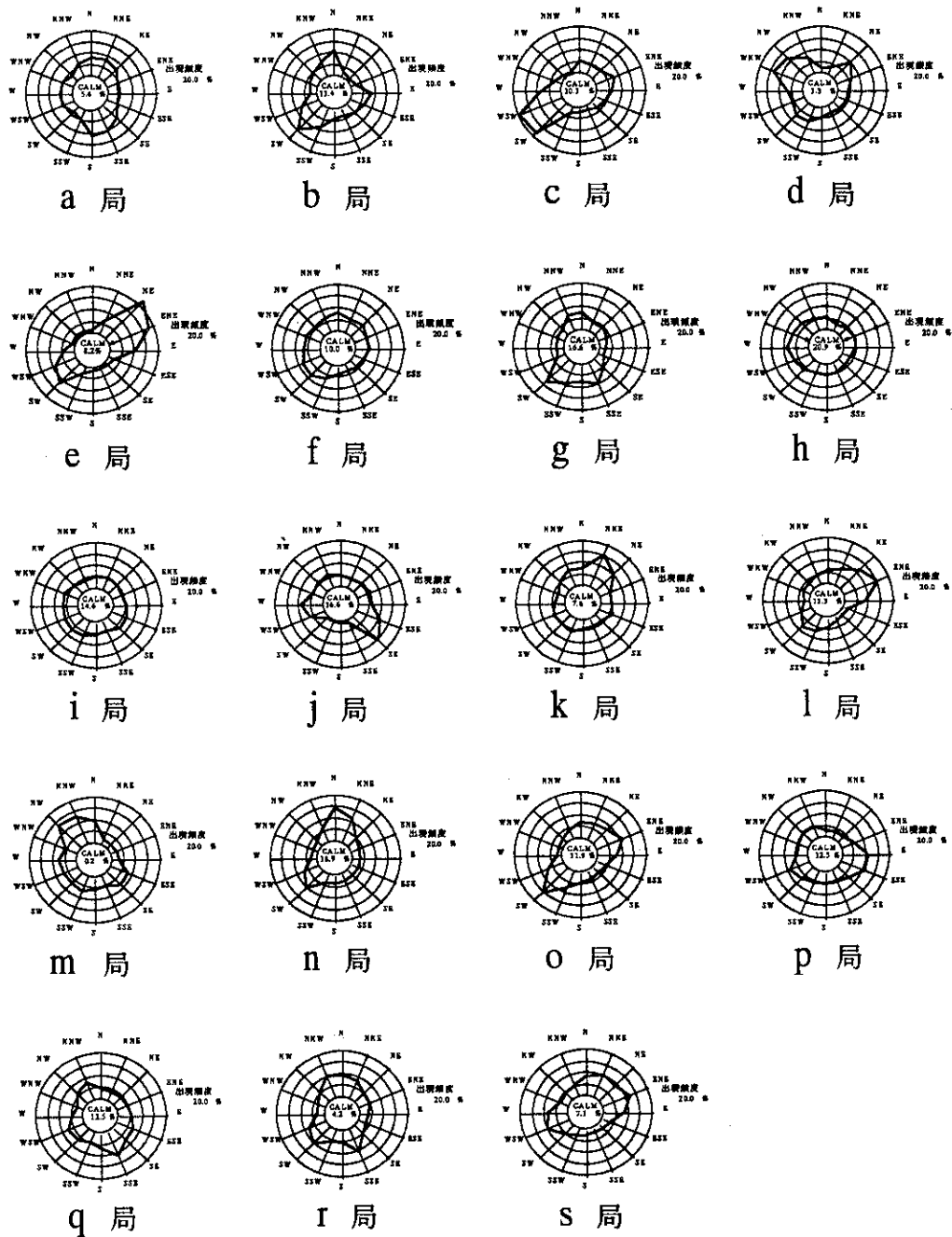


図3-2-3 風配図(平成9年度)

3) 大気安定度

大気安定度とは拡散場の状態を表すもので、日本ではPasquill安定度階級分類法を日射量と雲量で表すように解釈した表3-2-1が用いられている。同法では安定度をA～Gで表しており、Aが不安定側、Gが安定側となる。

表3-2-1 パスキル安定度階級分類法(日本式、1959)

風速 (地上10m) m/s	日射量(cal/cm ²)			本 曇 (8~10) (日中・夜間)	夜 間	
	≥50	49~25	≥24		上層雲(5~10) 中・下層雲(5~7)	雲量 (0~4)
<2	A	A-B	B	D	G	G
2~3	A-B	B	C	D	E	F
3~4	B	B-C	C	D	D	E
4~6	C	C-D	D	D	D	D
6<	C	D	D	D	D	D

A市清掃工場に最も近いところで日射量・雲量を測定しているのはH地方気象台であり、その地点のデータを用いて平成9年度の安定度出現頻度をまとめたところ図3-2-4のとおりとなった。

集計結果では中立のDが全体の60%弱を占め、次いで安定側のGが多いという結果になった。

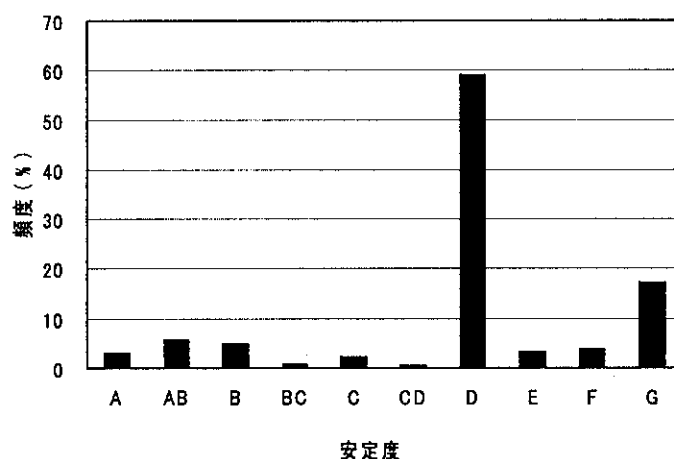


図3-2-4 パスキル安定度階級頻度(平成9年度データで集計)

4) 降水量

A市清掃工場付近では、A市アメダスで降水時間および降水量の観測が年間を通して行われている。平成9年度の降水時間および降水量を集計したところ、それぞれ656時間、1747mm/年であった。調査した平成9年度では10月の降水量、降水時間が少なかったが、全体的には夏場に多く、冬場に少ない日本における平均的な傾向を示していると考えられる。月別の集計結果は下図の通りである。

(日本における年間降水量は1750mm程度であり、b局は平均値程度である。)

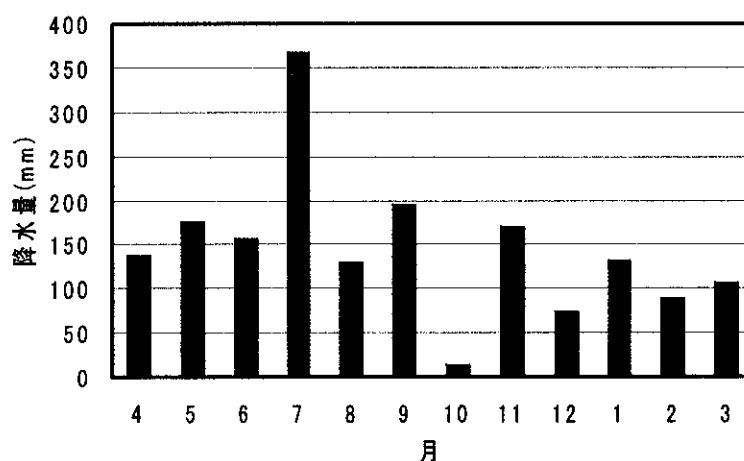


図3-2-5 月別降水量(平成9年度)

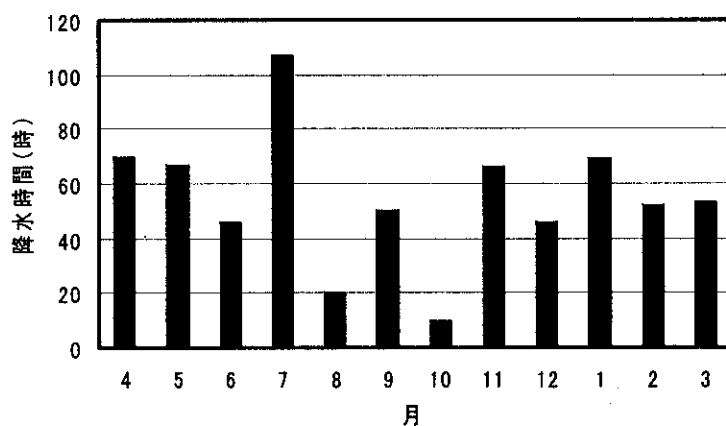


図3-2-6 月別降水時間(平成9年度)

降水量を時間あたりの強度としてその頻度を求めると、弱い雨（1～3mm/h）の頻度が8割強を占める結果となった。図3-2-7に降水時間の強度別頻度を示す。

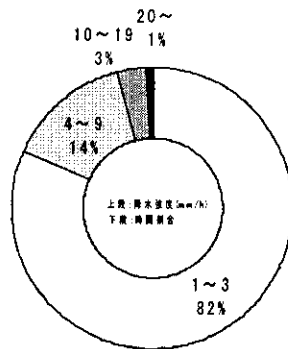


図3-2-7 降水時間の強度別頻度(平成9年度)

2. 5 予測モデル

1) 有効煙突高

有効煙突高推定式として、有風時にはCONCAWE式、弱風・無風時にはBriggs式を用いた。以下に推定式を示す。

CONCAWE式

$$\Delta H = 0.175 \cdot Q_H^{1/2} u^{-3/4}$$

Briggs式

$$\Delta H = 1.4 \cdot Q_H^{1/4} (d\theta/dz)^{-3/8}$$

ここで、 ΔH : 排ガス上昇高 (m)

Q_H : 排出熱量 (cal/s)

u : 煙突頭頂部における風速 (m/s)

$d\theta/dz$: 温位勾配 (°C/m)

また、 $Q_H = \rho \cdot C_p \cdot Q \cdot \Delta T$

ρ : 0°Cにおける排ガス密度 ($1.293 \times 10^3 \text{ g/m}^3$)

C_p : 定圧比熱 (0.24 cal/K/g)

Q : 単位時間あたりの排ガス量 (Nm^3/s)

ΔT : 排ガス温度 (T_G) と気温との温度差 ($T_G - 15^\circ\text{C}$)

また、ダイオキシンが粒子として浮遊粒子状物質に付着して拡散する場合には、浮遊粒子状物質の重力沈降を考慮する必要がある。浮遊粒子状物質の各粒径別の重力沈降は、煙流主軸を降下させる以下の式で表される。

$$He(x) = He(0) - V_s \cdot x/u$$

$He(x)$: 風下距離 (x) での煙流主軸

$He(0)$: 煙突位置での煙流主軸 (有効煙突高)

u : 平均風速 (m/s)

x : 風下距離 (m)

V_s : 粒子沈降速度 (m/s)

$$V_s = 2 \Gamma^2 \rho_{PG} / 9 \mu \rho_A$$

Γ : 粒子の半径 (m)

ρ_P : 粒子の比重 (kg/m^3)

g : 重力加速度 (m/s^2)

μ : 空気の動粘性係数 (m^2/s)

ρ_A : 空気の比重 (kg/m^3)

2) 拡散モデル

使用する拡散モデルは、パフの中心が時間とともに移動するパフモデルとした。パフモデルの概念を図3-2-8に示す。図に示されるようにある時間に点煙源から排出された物質は拡散しながら同時に風の流れに従って移流する。風の流れは時間と場所によって変化し、パフの中心が存在する点を囲む3つの測定局の風ベクトルより、距離の関数を重みとする加重平均による補間法から求めた。

以下の式より、風ベクトルの距離による加重平均を行った。

$$\vec{W}_{\text{puff}} = \frac{\sum_{i=1}^3 \frac{\vec{W}_i}{l_i^2}}{\sum_{i=1}^3 \frac{1}{l_i^2}}$$

\vec{W}_{puff} : パフの中心が存在する点の風ベクトル

\vec{W}_i : 各測定局 S_i における風ベクトル

l_i : パフの中心と各測定局 S_i との距離

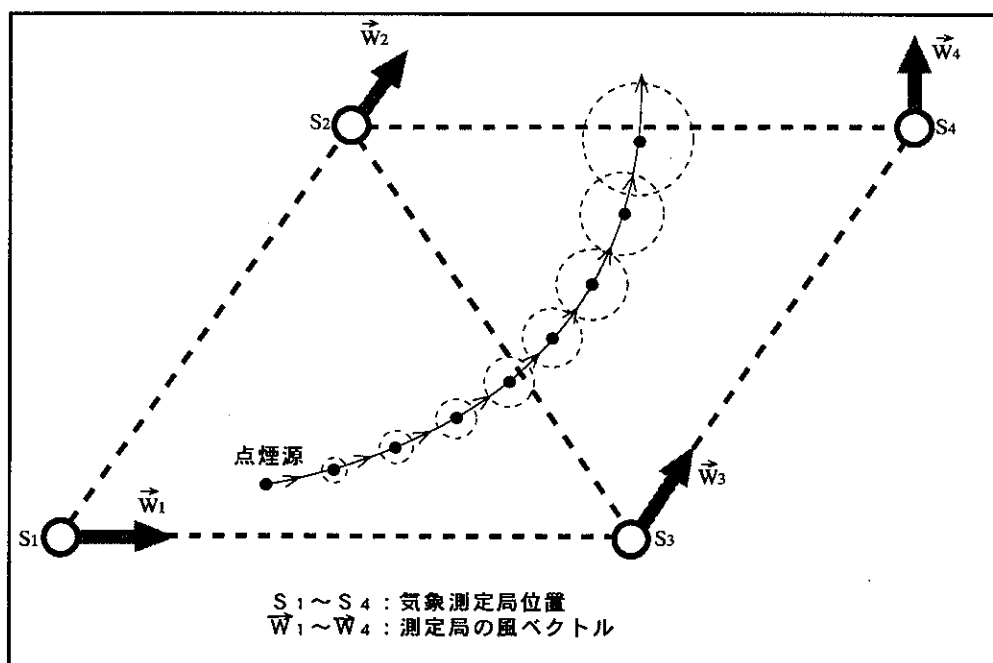


図3-2-8 パフモデルの概念

(1) 乾性沈着

乾性沈着を考慮した場合の大気中濃度には、地表面における煙流の反射項により沈着を表現する以下のモデルを用いた。これは、完全反射を仮定したパフモデルの基本式中における鉛直濃度分布を表す関数式に α という補正係数を用いて沈着の効果を評価する方法である。以下にパフモデル式を示す。

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \times \exp\left\{-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right\} \times F(x,z)$$

$$F(x,z) = \exp\left\{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \alpha(x) \exp\left\{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right\}$$

$$\alpha(x) = 1 - H(x)$$

$$H(x) = \frac{2Vd}{V_s + Vd + (uHe - V_s X) / \sigma_z \cdot (d\sigma_z/dx)}$$

C : 計算点濃度

Q : 煙源強度 (kg/s)

u : 風速 (m/s)

t : 経過時間 (s)

He : 有効煙突高 (m)

σ_x : 風下方向と平行な方向の拡散パラメータ

σ_y : 風下方向と垂直な方向の拡散パラメータ

σ_z : 高さ方向の拡散パラメータ

V_s : 粒子沈降速度 (m/s)

Vd : 乾性沈着速度 (m/s) (Vd = V_s + 0.006u)

有風時(風速1.0m/s以上)に用いる拡散パラメータ σ_x 、 σ_y 、 σ_z は、表3-2-2に示すPasquill-Gifford図の近似関数を用いた。

表3-2-2 Pasquill-Gifford図の近似関数

$$\sigma_x(x) = \sigma_y(x) = \gamma_y \cdot x^{\alpha_y}$$

安定度	α_y	γ_y	風下距離(m)
A	0.901	0.426	0~ 1000
	0.851	0.602	1000~
B	0.914	0.282	0~ 1000
	0.865	0.396	1000~
C	0.924	0.1772	0~ 1000
	0.885	0.232	1000~
D	0.929	0.1107	0~ 1000
	0.889	0.1467	1000~
E	0.921	0.0864	0~ 1000
	0.897	0.1019	1000~
F	0.929	0.0554	0~ 1000
	0.889	0.0733	1000~
G	0.921	0.0380	0~ 1000
	0.896	0.0452	1000~

出典)「窒素酸化物総量規制マニュアル(増補改訂版)」(環境庁、平成7年)

$$\sigma_z(x) = \gamma_z \cdot x^{\alpha_z}$$

安定度	α_z	γ_z	風下距離(m)
A	1.122	0.0800	0~ 300
	1.514	0.00855	300~ 500
	2.109	0.000212	500~
B	0.964	0.1272	0~ 500
	1.094	0.0570	500~
C	0.918	0.1068	0~
D	0.826	0.1046	0~ 1,000
	0.632	0.400	1,000~10,000
	0.555	0.811	10,000~
E	0.788	0.0928	0~ 1,000
	0.565	0.433	1,000~10,000
	0.415	1.732	10,000~
F	0.784	0.0621	0~ 1,000
	0.526	0.370	1,000~10,000
	0.323	2.41	10,000~
G	0.794	0.0373	0~ 1,000
	0.637	0.1105	1,000~ 2,000
	0.431	0.529	2,000~10,000
	0.222	3.62	10,000~

出典)「窒素酸化物総量規制マニュアル(増補改訂版)」(環境庁、平成7年)

弱風時(風速0.5~0.9m/s)に用いる拡散パラメータ σ_x 、 σ_y 、 σ_z は、3-2-3に示す値を、無風時(風速0.4m/s以下)に用いる拡散パラメータ σ_x 、 σ_y 、 σ_z は、表3-2-4に示す値を用いた。

表3-2-3 弱風時に係る拡散パラメータ

$$\sigma_x(t) = \sigma_y(t) = \alpha \cdot t, \quad \sigma_z(t) = \gamma \cdot t$$

パスキル安定度階級	α	γ
A	0.748	1.569
A~B	0.659	0.862
B	0.581	0.474
B~C	0.502	0.314
C	0.435	0.208
C~D	0.342	0.153
D	0.270	0.113
E	0.239	0.067
F	0.239	0.048
G	0.239	0.029

出典)「窒素酸化物総量規制マニュアル(増補改訂版)」(環境庁、平成7年)

表3-2-4 無風時に係る拡散パラメータ

$$\sigma_x(t) = \sigma_y(t) = \alpha \cdot t, \quad \sigma_z(t) = \gamma \cdot t$$

パスキル安定度階級	α	γ
A	0.948	1.569
A~B	0.859	0.862
B	0.781	0.474
B~C	0.702	0.314
C	0.635	0.208
C~D	0.542	0.153
D	0.470	0.113
E	0.439	0.067
F	0.439	0.048
G	0.439	0.029

出典)「窒素酸化物総量規制マニュアル(増補改訂版)」(環境庁、平成7年)

(2) 湿性沈着

湿性沈着としては、降水時に粒子が雨滴に補足され大気中から除去されるウォッシュアウトを考えることとした。評価するモデルとしては、時間により排出強度が減衰するモデルとし、以下にそのモデル式を示す。

$$Q(t) = Q_0 \cdot \exp(-\lambda t)$$

Q : 時刻tにおけるみなし排出強度

Q₀ : 排出源の排出強度

λ : 洗浄係数

洗浄係数λは、降水量を変数とした場合は、以下の式で表される。

$$\lambda(a) = 6.94 \times 10^{-4} E(a) \cdot I^{0.7}$$

λ(a) : 粒子の粒径(a)での洗浄係数

E(a) : 粒子の粒径(a)での衝突効率

I : 降水強度 (mm/h)

2. 6 NO_xによる現況再現

「大気環境シミュレーション調査業務報告書」(A市、平成11年3月)の発生源データ(工場・事業場、自動車、民生)を用いて、パフモデルにより平成8年度のNO_x濃度を予測し、現況再現を行った。また、実測値と予測値の整合性の評価については、「窒素酸化物総量規制マニュアル(増補改訂版)」(環境庁、平成7年)に従い評価を行った。

表3-2-5に実測値と予測値の比較を、表3-2-6に現況再現評価表を、図3-2-9に実測値と予測値の散布図を示す。

表3-2-6の評価結果より、本予測モデル(パフモデル)は予測対象地域の大気質濃度を予測するにあたり、整合性を有するものと考えられる。

表3-2-5 実測値と予測値の比較

	実測値(ppb)			予測値(ppb)		
	9/24 12:00	9/25 12:00	9/26 12:00	9/24 12:00	9/25 12:00	9/26 12:00
a局	28.0	29.0	73.0	14.7	40.5	68.3
b局	22.0	27.0	54.0	36.9	20.6	64.2
c局	83.0	81.0	96.0	51.9	71.9	101.6
d局	12.0	18.0	39.0	13.5	23.1	46.0
e局	14.0	22.0	92.0	22.3	30.4	96.0
f局	15.0	17.0	41.0	28.9	31.3	30.9
g局	61.0	60.0	53.0	44.9	49.5	32.1
h局	31.0	49.0	38.0	24.2	65.8	22.1

表3-2-6 現況再現評価表

項目	実測 平均値 (ppb)	計算 平均値 (ppb)	差 (a ₀) (ppb)	デー タ 数	相 関 係 数	回 帰 式	評 価 ラ ン ク
NO _x	43.97	42.98	0.99	24	0.87	$y = 3.62 + 0.94x$	C

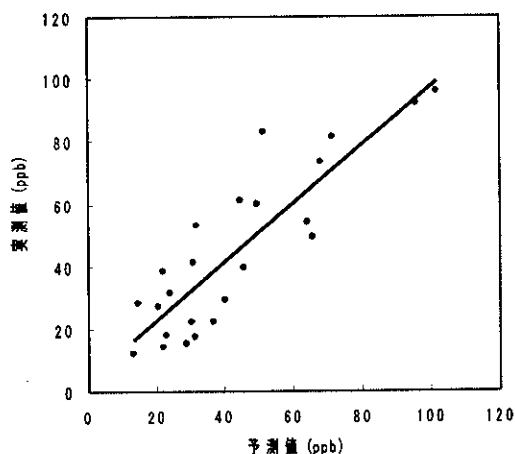


図3-2-9 実測値と予測値の散布図

2. 7 ダイオキシン類の拡散解析

予測対象年度は、平成9年度および平成11年度とした。ただし、発生源データについて、予測対象年度のデータがない場合には近い年度の値をそのまま用いることとした。

1) 予測に用いる気象条件

(1) 平成9年度

a. 風向・風速

大気中濃度のサンプリングが行われたH9. 9. 24～27の期間のA市清掃工場の風配図を図3-2-10に示す。9/24-9/25については、陸から湖へ、湖から陸への風が卓越している。9/25-9/26については、湖から陸へ、9/26-9/27については、陸から湖への風が卓越している。いずれの観測日も湖陸風が卓越する年間の観測結果と同じ傾向を示している。

風速については、9/24～25、9/25～26では平均1 m/s程度であり、9/26～27では平均2 m/s程度とやや強い風速であった。

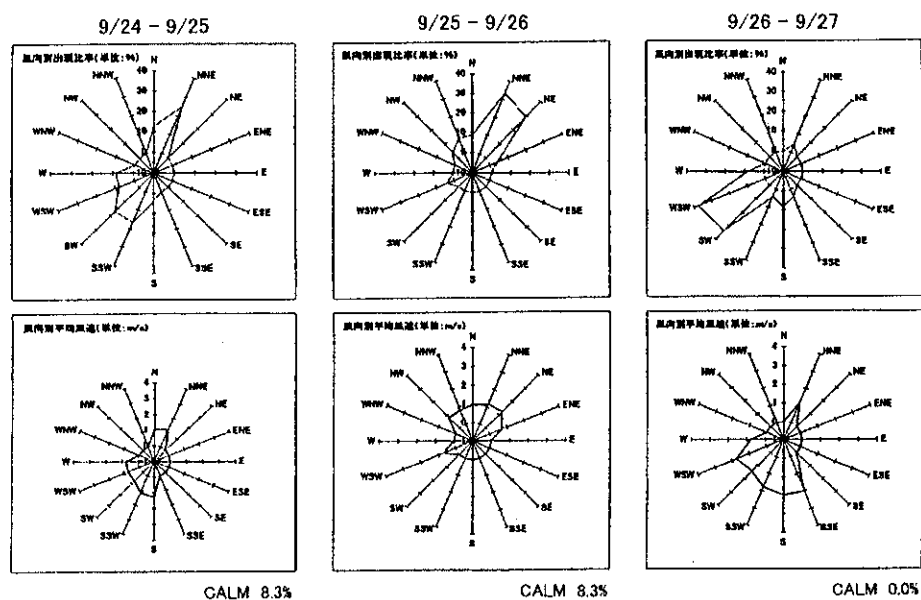


図3-2-10 風配図(A市清掃工場：H9. 9. 24～27)

b. 大気安定度

図3-2-11にパスキル安定度階級頻度を示す。9/24-9/25は、安定側のGが5割を占め、9/25-9/26は、不安定側のBと中立のDのみとなり、また9/26-9/27は、安定側のGが4割強を占め、次いで中立のDが多くなっている。

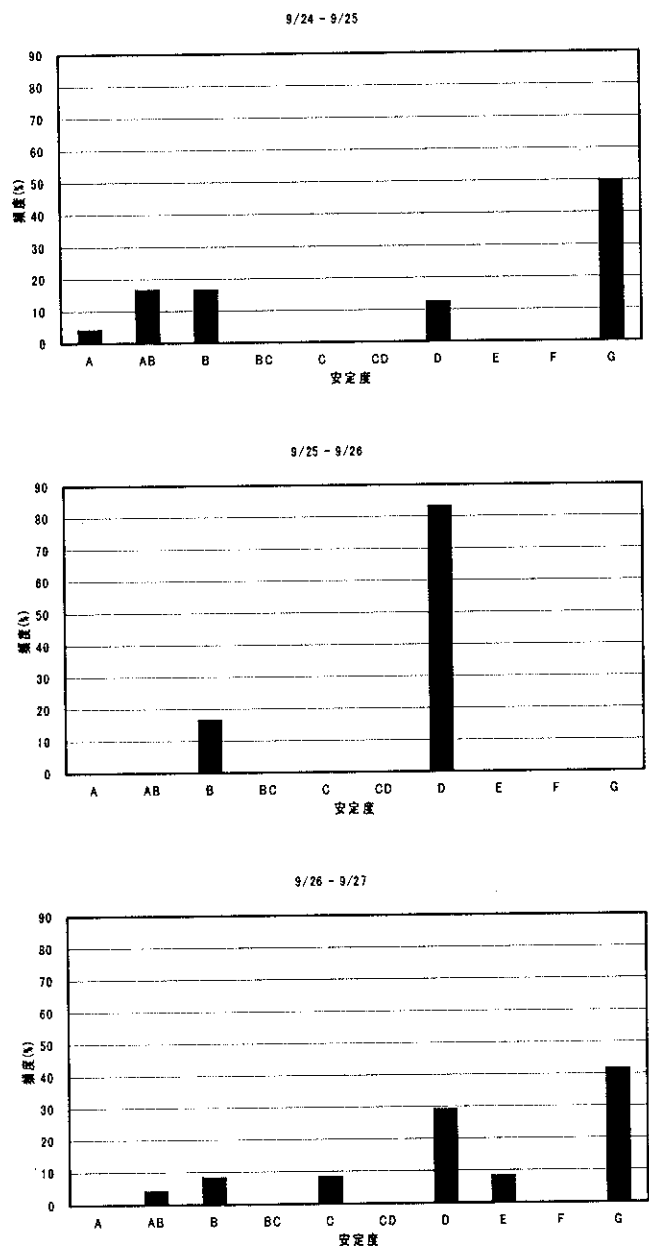


図3-2-11 パスキル安定度階級頻度 (A市清掃工場：H9.9.24～27)

c. 降雨量

図3-2-12に時間帯別の降雨量を示す。9/25～26の夜間にまとまった雨が観測されている。また、9/26～27にも若干の雨が観測された。

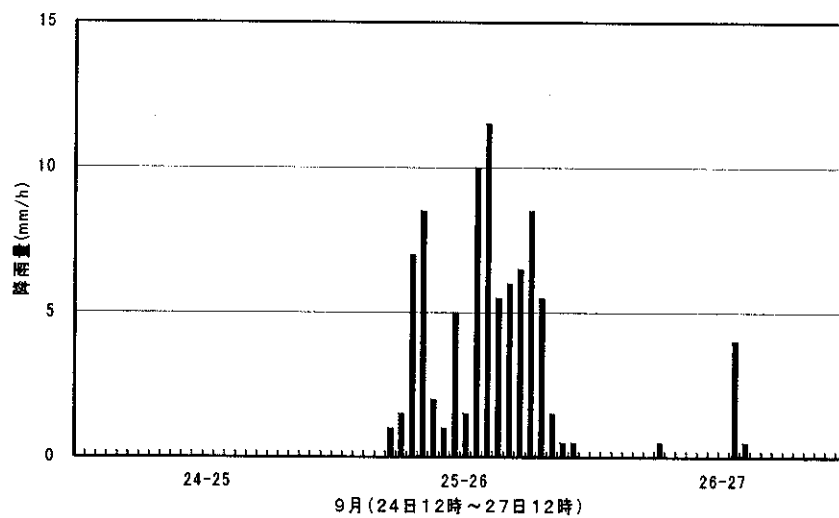


図3-2-12 降雨量(A市消防本部：H9.9.24～27)

(2) 平成11年度

a. 風向・風速

大気中濃度のサンプリングが行われたH11. 10. 19～22の期間では、A市清掃工場での風向風速データが得られなかったため、A市清掃工場に最も近いa局のデータを用いることとした。図3-2-13にa局の風配図を示す。10/20-10/21および10/21-10/22については、陸から湖へ、湖から陸への風が卓越している。10/19-10/20については、東からの風が卓越している。

風速については、3日間とも平均2 m/s程度とやや強い風速であった。

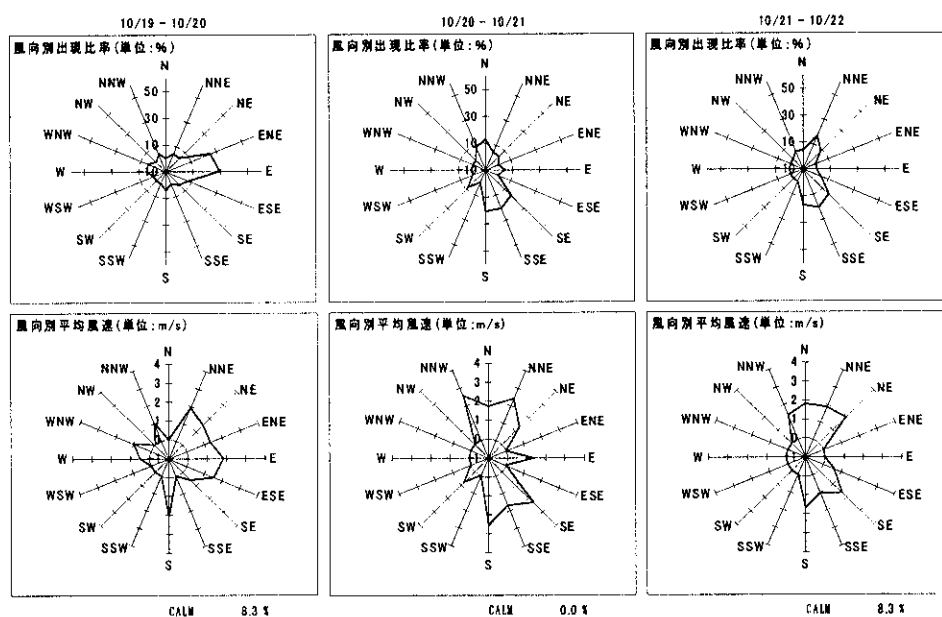


図3-2-13 風配図(a局:H11. 10. 19～22)

b. 大気安定度

図3-2-14にパスキル安定度階級頻度を示す。3日間とも安定側のGが5割を占めており、次いで中立のDが2～3割占め、残りが不安定側のA～Bとなっている。

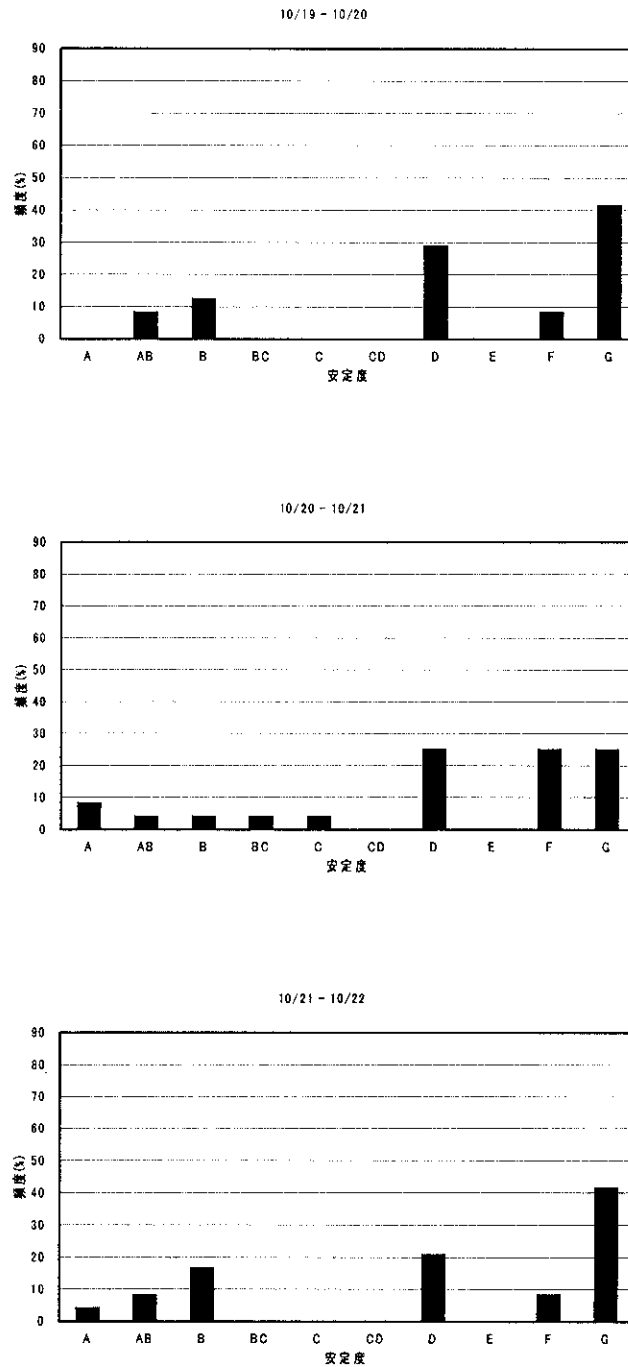


図3-2-14 パスキル安定度階級頻度 (a局およびH地方気象台より設定：H11.10.19～22)