

$$C(R, z) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \gamma} \left\{ \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He - z)^2} + \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He + z)^2} \right\} \dots\dots\dots (1-9)$$

ここで

$$R : \text{点煙源と計算点の水平距離 (m)} \quad R^2 = x^2 + y^2$$

パフモデルによる無風時の大気拡散濃度の計算においては、前述のとおり拡散幅 σ_x , σ_y , σ_z を経過時間 t の関数として表わさなければならないので、図1-6に示すターナー線図⁸⁾が無風時の拡散幅として利用されることが多い。しかし、Turner線図はPasquill-Gifford線図を代表風速 5 m/s で、時間の関数に変更したものであるため、この線図をそのまま無風時の拡散幅として利用するのは不適當である。これについては後で記述する。

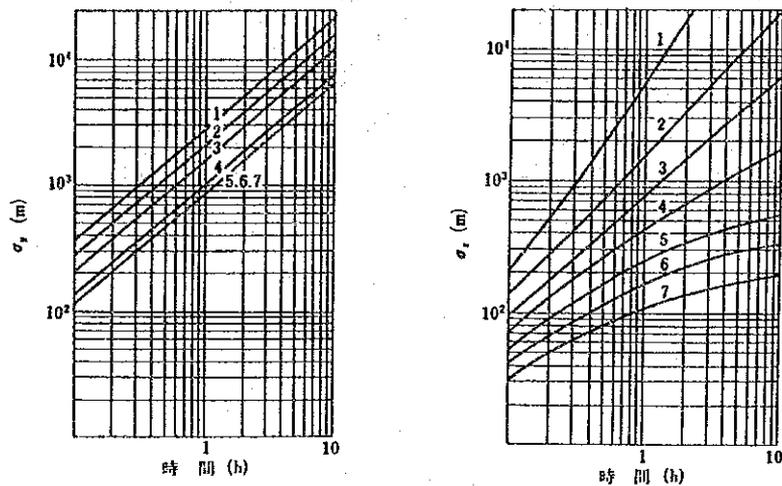


図1-6 ターナーの拡散幅

1.1.2 排ガス上昇高度の計算方法

大氣中に排出された煙は、その温度による浮力と吐出速度による運動量から、図1-7に示すように風に流されながらも上昇を続け一定高度に達する。この高度を有効煙突高 (He) と呼び、実煙突高 (Ho) に煙の上昇分 (ΔH) を加えたものとして表わされる。

先に述べた解析解モデルでは、計算の便宜上この有効煙突高さの点から煙が排出されたものとした方が便利であり、計算濃度自体にもそれほど大きな差は生じないことから、一般にはこのような仮定をおいて計算している。

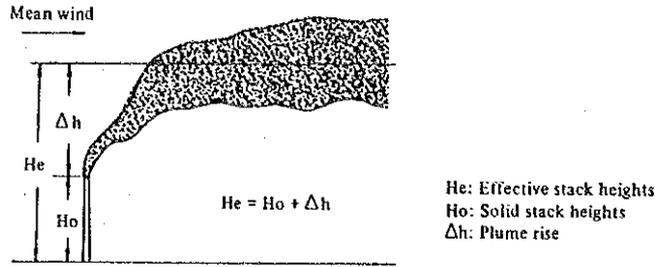


図 1-7 排煙上昇高と有効煙突高の関係

この煙上昇高度の計算式は多数提案されており、理論式と経験式に大別される。表 1-3 は種々の煙上昇高さ計算式とその適用範囲を示したものであり、各計算式による Δh の計算値はそれぞれ異なっており、弱風時にその差が大きく、最大 2 倍以上の差となる。最近の報文によれば⁹⁾ CONCAWE 式が実測値と一番整合が良いと云われている。

表 1-3 煙上昇高さ計算式と適用範囲

計算式	発表年	上昇限界高さ Δh 計算式 Q_H (kcal/sec), U (m/sec), H_s (m), ΔT (°K) T_a (°K), V (m/sec), Q_v (m ³ /sec), $\Delta\theta/\Delta z$ (°K/m)	関数形の 導入法	温度勾配又 は安定度に 対する適用性	式の導入に用いた実測データ対象範囲			
					Q_H (kcal/sec)	H_s (m)	U (m/sec)	V (m/sec)
1 Bosanquet 1st formula	1950	$\Delta h = \Delta h_m + \Delta h_p$ $\Delta h_m = [4.77 / (1 + 0.43U/V)] \cdot \sqrt{Q_H \cdot V/U}$ $\Delta h_p = 6.37g \frac{Q_H \cdot \Delta T}{U^2 \cdot T_a} (1n^2 P + \frac{2}{J} - 2)$ $J = \frac{U^2}{\sqrt{Q_H \cdot V}} (0.43 \sqrt{\frac{T_a}{g \Delta\theta/\Delta z}} - 0.28 \frac{V}{U} \frac{T_a}{\Delta T}) + 1$	Theoretical (Bosanquet)	Unstable to neutral $\Delta\theta/\Delta z = 0.003$	70-1500	-	3.1-8.1	8-10.8
2 Bosanquet 2nd formula	1957	$\Delta h = AU [f_1(\alpha) + f_2(\alpha) - \{0.615 \alpha_s^{1/2} f(\langle V/U \rangle^2 + 0.57) \alpha_s^{1/2}\}]$ $\Lambda = g \cdot Q_H \cdot \Delta T / 2 + C^2 T_a^2 U^4$ $\alpha = (1 + \Lambda_s) / \Lambda = (1/\Lambda_s) + \alpha_s$ $\alpha_s = \Lambda_s / \Lambda \quad 1 = x/U \quad \Lambda_s = 4 \cdot V \cdot T_a / 3y \Delta T$ $1 + \Lambda_s = 20 \text{ sec}, C = 0.13$ $f_1(\alpha), f_2(\alpha)$	Theoretical (Bosanquet)	Unstable to neutral $1 + \Lambda_s = 200 \text{ sec}$ at stable $1 + \Lambda_s = 1.572$ $\times [2T_a/g \Delta\theta/\Delta z]^{1/2}$	70-1500	-	3.1-8.1	8-10.8
3 Bosanquet II modified at CRIEPI	1965	Diffusion coefficient $C = 0.13$ of Bosanquet 2nd formula replaced by $C = 0.26U^{-1/2}$	Theoretical (Bosanquet)	Same as above	1500-17000	80-200	1-15	13.2-35
4 CERL formula (Lucas 2nd formula)	1967	$\Delta h = (104 + 0.17 H_s) Q_H^{1/2} / U$	Theoretical (Priestley)	Consideration not given	7000-25000	76-183	1.5-11.3	14-24.5
5 Moses & Carson formula	1968	$\Delta h = (C_1 V/D + C_2 Q_H^{1/2}) / U$ $C_1 = 0.35, C_2 = 5.41$ (at neutral)	Regression equation	C_1, C_2 different at unstable or stable	2-2500	34-183	1-11.7	2.2-24.5
6 CONCAWE formula	1968	$\Delta h = 5.53 Q_H^{1/2} / U^{1/4}$	Regression equation	Consideration not given	70-4000	-	4-10	3.3-17
7 Briggs formula	1969	$\Delta h = 1.6 F^{1/3} U^{-1} (3.5 x^K)^{1/3} \quad x^K = 34 F^{2/3} (F > 55 \text{ m}^2/\text{sec}^2)$ $\Delta h = 5.35 Q_H^{0.6} / U \quad (Q_H > 1500 \text{ kcal/sec})$	Dimensional analysis (Briggs)	Applied at unstable to neutral, another formula for stable	1000-21000	61-183	1.8-16.5	5.5-28.9
8 IVA formula	1971	$\Delta h = 114 C F^{1/3} / U, C = 1.58 - 41.4 \Delta\theta/\Delta z$ $\Delta\theta/\Delta z = 0 \quad \Delta h = 60 Q_H^{1/2} / U$	Dimensional analysis	$\Delta\theta/\Delta z \geq 0.003$	7000-25000	76-183	1.5-11.3	14-24.5
9 Okamoto, Okanishi and Shiozawa formula	1970	$\Delta h = 5.5 Q_H^{1/2} / U^{1/3}$	Regression equation	Consideration not given	100-47000	20-266	1-17	2-40

1.2 SO₂, NO_x及びNO₂拡散予測モデルの構築

大気汚染の予測手法としては、前節で記述したように種々の方法があり、各々特徴を有している。大気汚染の予測に際し、どの方法を採用するかは、その予測の目的、計算スケール、予測対象地域の地形等の状況を考慮して決定する必要がある。本調査の目的は、タイ国サムットプラカン県の現状及び将来における多数の発生源の広い範囲にわたる寄与濃度を計算することにある。さらに、予測に当っては各種気象条件の出現頻度を考慮した長期平均濃度（年平均値）を計算する必要がある。また、当該地域は比較的地形が平坦であり、地形による拡散場への影響は無視できるものと考えられる。

このようなことから、本調査では拡散モデルとして、正規型プルームモデル及び正規型パフモデルを採用し、1988年次におけるサムットプラカン県における全発生源を対象として拡散計算を行ない、測定局における計算値と実測値の整合性の検討を行い、この計算で用いた大気汚染質排出量、拡散パラメータ等が妥当なものであることを確認し、SO₂、NO_x及びNO₂拡散予測モデルの構築を図った。このSO₂、NO_x及びNO₂予測モデルは図1-8に示すように、気象モデル、発生源モデル、拡散モデル、NO₂変換モデル及び年平均値予測モデルにより構成されている。各モデルの構成要素を表1-4に示す。

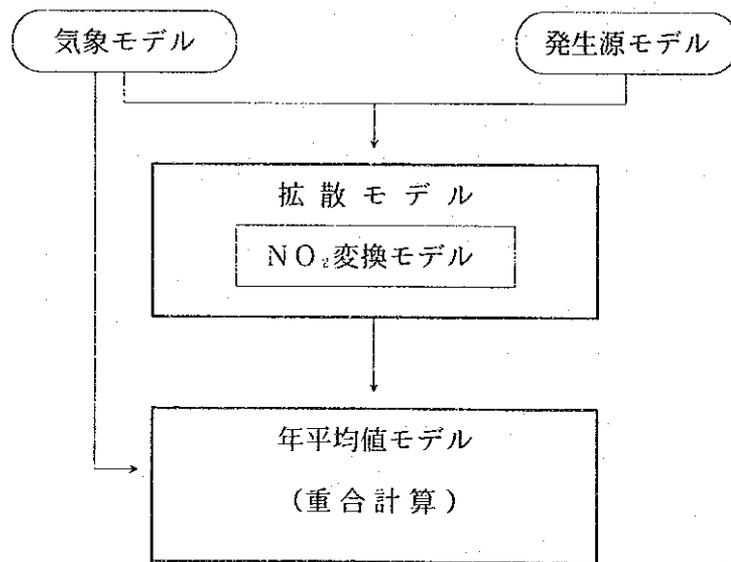


図1-8 SO₂、NO_x及びNO₂予測モデルの構成

表1-4 SO₂, NO_x及びNO₂予測モデルの構成要素

構成要素	内容項目	説明
気象モデル	気象頻度	風向・風速・大気安定度別の出現頻度
	上層風速計算式	指数法則により計算
	地表風速計算式	指数法則により計算
発生源モデル	発生源データ	各発生源の位置, 高さ, 排出量等の情報
	煙上昇高の計算式	CONCAWE式, Briggs式により計算
拡散モデル	拡散計算式	正規型ブルーム式, 正規型パフ式により計算
	拡散幅	有風時…工場及び船舶は山本・横山の方法を採用し, 自動車はHIWAYモデルの線図を用いた。 無風時…通商産業省による無風時の拡散幅を採用した。
NO ₂ 変換モデル	NO ₂ 変換式	指数近似型 NO→NO ₂ 変換式
	変換速度	NO→NO ₂ 変換速度係数
	O ₃ バックグラウンド	ONE B屋上におけるオゾン実測濃度の 大気安定度別中央値を使用
年平均値 予測モデル	年平均値の計算	気象条件別濃度をその気象頻度で加重平均して年平均値を計算

1.2.1 気象モデル

大気の流れ・拡散を支配する気象条件を風向風速及び大気安定度で代表させることとし, 次のように気象条件をモデル化して拡散計算に使用した。

(1) 気象の季節, 時間帯区分

第Ⅲ編1.1.1に記述したように, 気象の季節変化及び日変化を表1-5に示すように季・時間帯に区分し, この区分にしたがって実測値と計算値の整合性を検討した。

表1-5 気象の季節、時間帯区分

季 時間	雨季 5月～10月	乾季 11月～1月	中間 2月～4月
昼	7:00～17:59	7:00～17:59	7:00～17:59
夜	18:00～6:59	18:00～6:59	18:00～6:59

(2) 気象のブロック分割

当該地域は、第Ⅲ編1.1.5に記述したように、気象条件がほぼ一様であるので、MS1、MS2及びMS5のどの測定局で測定された気象条件を用いて拡散計算を行っても良いが、格子点（メッシュ点）の大気拡散濃度を計算する際には、そのメッシュ点に近い測定局の気象条件を用いて大気拡散濃度を計算する方が現実を良く再現出来ると考えられる。そこでここでは、各測定局の気象相関、当該地域の地形の状況及び発生源の分布等を総合的に勘案し、図1-9に示すように3つの気象ブロックに分割した。ここで、気象ブロックの分割に当っては、気象を測定していないMS3及びMS4をMS1が属するブロックに含めた場合と、MS2に属するブロックに含めた場合の二通りの拡散計算を行い、最終的にMS3とMS4をMS2に属するブロックに含めた方が、実測値と計算値の整合性が良かったので、図1-9に示すような気象ブロックに分割したものである。なお、工場及び船舶から排出される汚染質の拡散計算は、その発生源が属する気象条件（風向風速、大気安定度出現頻度）を計算に用い、自動車から排出される汚染質の拡散計算は、計算対象メッシュ点が属する気象条件を計算に用いた。

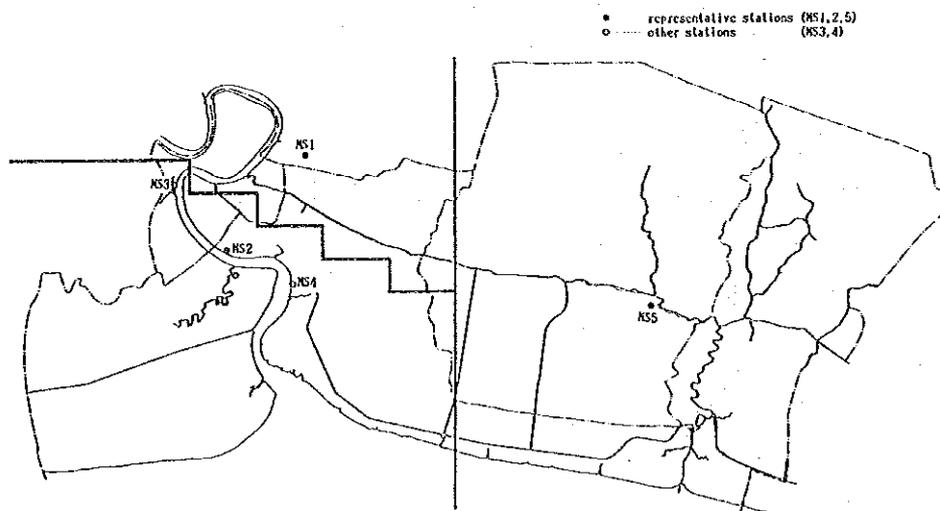


図1-9 気象ブロック分割と代表気象局

(3) 風向風速

風向は図1-10に示すように16方位に分類した。また、風速は表1-6に示すように6階級に分類し、各階級別に代表風速を設定した。

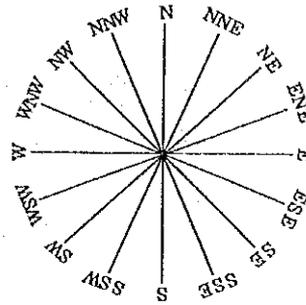


図1-10 風向分類

表1-6 風速階級と代表風速

風速ランク		代表風速
無風	0~0.4 m/s	CALM
有風	0.5~0.9 m/s	0.7 m/s
	1.0~1.9 m/s	1.5 m/s
	2.0~2.9 m/s	2.5 m/s
	3.0~4.9 m/s	4.0 m/s
	5.0~ m/s	6.0 m/s

(4) 大気安定度

本調査では、Ⅲ編1.1.7で記述したように、Pasquillの安定度分類を基に、雲量の代わりに放射収支量を用いて分類する日本の通商産業省の安定度分類（表Ⅲ-1-6）により、有風時A~F、無風時CA~CDのランクに区分した。拡散計算に使用する拡散幅は、これらの大気安定度に対応させて設定した（後述）。

(5) 上層並びに地表風速の推定

高度約2 kmまでの大気境界層（Planetary boundary layer）中では、地面粗度（Surface roughness）と大気流体の粘性抵抗のため、風速は下層ほど小さく

なっている。したがって、地表付近の低い所から排出された煙と、上空の高い所から排出された煙では、その移流・拡散の状況は異なったものとなる。そこで本調査では、発生源の排出高度に応じて、上層、中層及び地表層の3つの層に区分し、表1-7に示すように発生源別に上層及び地表層の風速を推定した。

1-7 拡散計算に使用する風速の取り扱い¹⁰⁾

層区分	対象発生源	風速の適用方法
上層	実煙突高30m以上の固定発生源	指数法則により各煙突の実煙突高度での風速を推定した。
中層	実煙突高30m未満の固定発生源及び船舶発生源	代表測定局の風速をそのまま適用した。
地表層	自動車	指数法則により地上3mでの風速を推定した。

なお、上層風速及び地表風速の推定は式(1-10)により計算した。ここで、指数Pの値は、サムットプラカン地区における上空の風の継続的な測定データの解析により定めることが望ましいが、そのデータが得られないので本調査では、アメリカのEPAがCDAマニュアルに用いたPの値(表1-8)を使用した。¹¹⁾

$$U_z = U_{z_0} \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^p \dots\dots\dots (1-10)$$

ここで、 U_z : 高度Zにおける風速 (m/s)

U_{z_0} : 高度 Z_0 での風速 (m/s), MS 1 ; $Z_0 = 30m$,

MS 2及び5 ; $Z_0 = 10m$

p ; 気象条件により定まる定数 (ベキ係数)

表1-8 ベキ係数Pの値

安定度	A	B	C	D	E	F・G
P	0.1	0.15	0.2	0.25	0.25	0.3

注) これらの値は、Brookhavenにある145mの塔の頂部と地上での風速観測値をもとに、De Marrais¹¹⁾がまとめたもので、海岸に近くゆるやかな起伏をもつ松林が散在するような地形におけるデータである。

1.2.2 発生源モデル

工場，自動車，船舶別に収集整理した発生源データを，拡散計算に利用できるよ
うに次のようにモデル化を行った。

(1) 煙源形態

各発生源を表1-9に示す煙源形態として扱った。

表1-9 煙源形態

発 生 源		煙 源 形 態
固定発生源	アンケート対象工場	点煙源
	アンケート対象外工場	2 km × 2 kmの面煙源
自 動 車		線煙源
船 舶	船 舶 (航行中)	点煙源
	フェリーボート (停泊中)	点煙源
	フェリーボート (航行中)	点煙源

(2) 発生源活動の時間変動

固定発生源については，施設別稼働状況及び稼働時間帯（第Ⅲ編表2-9参照）
より，季節，時間帯（表1-5）別汚染質排出量を計算した。また，自動車，船舶
については，現地調査結果に基づき，自動車交通量及び船舶隻数の昼夜変動を考慮
した。しかし，交通量，船舶隻数の月変動は小さいので，季節変動はないものとし
て扱った。

(3) 有効煙突高さ

1) 固定源（点源）の有効煙突高度

有効煙突高度は実煙突高度（H。）に煙の上昇高度（△H）を加えたもの
である。煙上昇式としては次のものを使用した。

① 有風時：CONCAWE式

$$\Delta H = 0.175 \cdot Q_{\text{H}}^{\frac{1}{2}} \cdot U^{-\frac{3}{4}} \dots\dots\dots (1-11)$$

ここで、

$$Q_H = \rho \cdot Q \cdot C_p \cdot \Delta T \text{ (cal/s) (排出熱量)}$$

$$\rho = 1.293 \times 10^3 \text{ g/m}^3 \text{ (0}^\circ\text{Cにおける空気の密度)}$$

$$C_p = 0.24 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{K} \text{ (定圧比熱)}$$

$$Q : \text{排ガス量 (Nm}^3\text{/s)}$$

ΔT : 排ガス温度と気温との温度差

$$\Delta T = (T_g - 28) ^\circ\text{C}$$

T_g : 排ガス温度 ($^\circ\text{C}$)

U : 煙突頭頂部の風速 (m/s)

② 無風時: Briggsの安定静穏時式

$$\Delta H = 1.4 \cdot Q_H^{\frac{1}{4}} \cdot (d\theta/dz)^{-\frac{3}{8}} \dots\dots\dots (1-12)$$

ここで、 $d\theta/dz$ については、次の値を使用した。

$$\text{日中 } d\theta/dz = 0.005 ^\circ\text{C/m (平均的温位勾配)}$$

$$\text{夜間 } d\theta/dz = 0.010 ^\circ\text{C/m (等温層)}$$

2) 固定源(面源)の有効煙突高度

実煙突高を20m程度と考えて、有効煙突高度を30mとした。

3) 自動車の有効煙突高度

自動車の有効煙突高度は、3mとした。¹⁰⁾

4) 船舶及びフェリーボートの有効煙突高度

船舶の有効煙突高度は20mとした。また、フェリーボートの有効煙突高度は5mとした。

1.2.3 拡散モデル

本調査では拡散モデルとして、正規型ブルームモデル及び正規型パフモデルを採用した。拡散計算式と計算に使用した拡散幅を以下に示す。

(1) 拡散式

煙源形態に対応して表1-10に示す拡散式を適用した。拡散計算式は次のとおりである。

表 1-10 発生源と適用した拡散式

発生源	煙源形態	拡散計算式	
		有風時 (u > 0.4 m/s)	無風時 (u ≤ 0.4 m/s)
固定点源 及び船舶	点煙源	ブルーム式 式 (1-13)	パフ式 式 (1-14)
固定面源	面煙源	面煙源ブルーム式 式 (1-15)	面煙源パフ式 式 (1-16)
自動車	線煙源	線煙源ブルーム式 式 (1-17)	線煙源パフ式 式 (1-18)

1) ブルーム式 (有風時の点煙源に適用)

ブルーム式による拡散濃度は式 (1-13) で表わされる。座標は煙源直下の地表面を原点とし、風下方向が x 軸、それと直角な水平方向が y 軸、高さ方向が z 軸となる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q_p}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \dots\dots\dots (1-13)$$

ここで、

- x : 計算点の x 座標 (m)
- y : 計算点の y 座標 (m)
- z : 計算点の z 座標 (m)
- Q_p : 点煙源強度 (m³/s)
- u : 風速 (m/s)
- He : 有効煙突高 (m)
- C(x, y, z) : 計算点(x, y, z) の濃度
- σ_y : y 方向の煙の拡散幅 (m)
- σ_z : z 方向の煙の拡散幅 (m)

2) パフ式 (無風時の点煙源に適用)

無風時の点煙源による大気拡散濃度は式 (1-14) により計算した。

$$C(R, z) = \frac{Q_p}{(2\pi)^{3/2} \gamma} \left\{ \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He - z)^2} + \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He + z)^2} \right\} \dots\dots\dots (1-14)$$

ここで、Rは点煙源と計算点の水平距離 (m) であり、 $R^2 = x^2 + y^2$ となる。また、 α 、 γ は拡散幅と輸送時間T (s) の比例定数であり、 $\alpha = \sigma_y / T$ 、 $\gamma = \sigma_z / T$ の関係にある。なお、無風継続時間は現地調査の結果より1時間程度であるので、 α 、 γ の値はT=3600秒の値を用いた。

3) 面煙源ブルーム式 (有風時の面煙源に適用)

固定面源については、その場所を特定することが困難なため2 km×2 kmの面煙源として扱った。その面煙源による拡散濃度は、図1-11に示すように面煙源を微小な $d\eta \times d\xi$ の発生源に分割し、この微小発生源を点煙源とみなして式(1-13)を面積分することにより計算した。

$$C(x, y, z) = \int_{x-a}^{x+a} \int_{y-a}^{y+a} \frac{Q_A}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \cdot \exp\left(-\frac{\eta^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+He)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] d\eta d\xi \dots\dots\dots (1-15)$$

ここで、 Q_A : 単位面積当りの排出強度 ($m^3/s/m^2$)

a : 面源の辺の長さの $1/2$ (m)

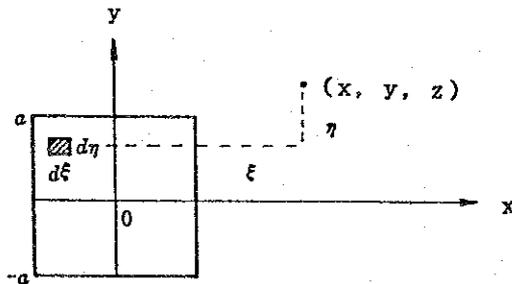


図1-11 面煙源の積分概念図 (有風時)

なお、計算点が面源内にある場合 ($x < a$)、 ξ の積分範囲は、 $x - a \sim x$ までとなる。

4) 面煙源パフ式 (無風時の面煙源に適用)

計算の便宜上、図1-12に示すように2 km × 2 kmの面煙源をその面積が等しい半径 $a' = 1.13 \text{ km}$ の円に近似し、 $d\theta \times dr$ の微小な煙源に分割し、それを点煙源とみなして点煙源パフ式(1-14)を次式のように積分することにより、面源からの拡散濃度を計算した。

$$C(R, z) = \int_0^{a'} \int_0^{2\pi} \frac{Q_A}{(2\pi)^{3/2} \gamma} \left\{ \frac{1}{R'^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He - z)^2} + \frac{1}{R'^2 + \frac{\alpha^2}{\gamma^2} (He + z)^2} \right\} r dr d\theta \dots (1-16)$$

ここで、 a' ; 等価円形煙源の半径 (m)

$$R' ; R' = \sqrt{R^2 + r^2 - 2rR \cos \theta}$$

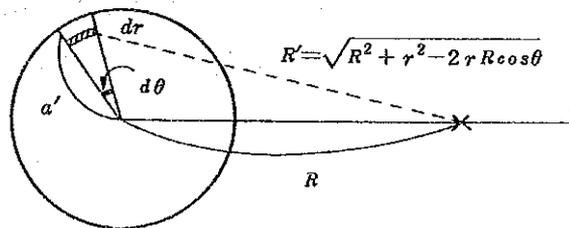


図1-12 面煙源の積分概念図 (無風時)

5) 線煙源ブルーム式 (有風時の線煙源に適用)

線源からの排出ガスによる地上濃度は、点源式、式(1-13)を線積分することにより求められる。実用的には図1-13に示すように、線源をN等分し、それぞれ点源と考えて点源式の重ね合わせとして計算した。

$$C(x, y) = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y_i^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(He - z)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(He + z)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\} \dots (1-17)$$

ここで、 Q_i ; i番目の区分線源 (点源) の排出量 (m^3/s)

y_i ; i 番目の区分線源の中央を通る風向に平行な x 軸と計算点の距離 (m)

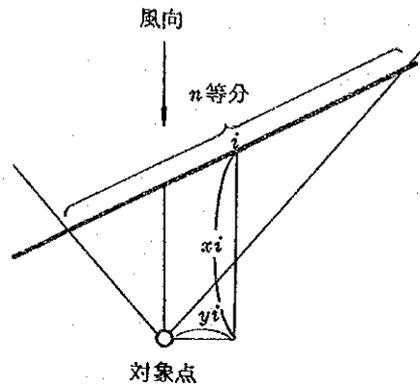


図 1-13 線源拡散式による大気拡散濃度計算概念図 (有風時)

6) 線煙源パフ式 (無風時の線煙源に適用)

自動車線源による無風時の大気拡散濃度は、点源パフ式 (1-14) を線積分することにより求められる。実際には、点源の無風時の計算の場合と同様に、 $\sigma_y = \alpha T$, $\sigma_z = \gamma T$ と表わし、計算点から道路線上との角度 θ を等角度で区分し (図 1-14)、個々の線源を点源に置き換えて拡散濃度を計算し、これらの濃度を重ね合わせて線源からの大気拡散濃度を計算した。

$$C(R) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{Q_i}{(2\pi)^{3/2} \alpha^2 \gamma} \left\{ \frac{1}{\frac{r_i^2}{\alpha^2} + \frac{(He-z)^2}{\gamma^2}} + \frac{1}{\frac{r_i^2}{\alpha^2} + \frac{(He+z)^2}{\gamma^2}} \right\} \right] \dots \dots \dots (1-18)$$

ここで、 Q_i ; 線源を N 個に等分割した微小線分の排出量 (m^3/s)

r_i ; 線源を N 個に等分割した微小線分と計算点の距離 (m)

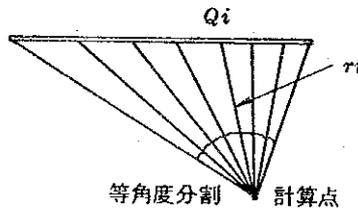


図 1-14 線源拡散式による大気拡散濃度計算概念図 (無風時)

(2) 拡散パラメータ (拡散幅)

拡散式を利用して環境大気の数値計算を行うとき、式中の拡散幅に具体的な値を与える必要がある。本調査においては、煙源高度に対応して次に示す拡散幅を用いた。

有風時における固定発生源及び船舶・フェリーボート……山本・横山式
 有風時における自動車………HIWAY線図
 無風時………MITI線図

(1) 有風時における固定発生源及び船舶・フェリーボートの拡散幅

有風時における固定発生源及び船舶・フェリーボートから排出される汚染物質の大気拡散濃度は、山本・横山の拡散パラメータ¹²⁾を用いて計算した。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= 0.018 \sigma_A \cdot x \\ \sigma_z &= 0.0054 k \sigma_E \cdot x \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-19)$$

ここで、 σ_y 、 σ_z はおのこの水平、鉛直方向の拡散幅 (m)、 σ_A 、 σ_E は水平、鉛直風向の標準偏差 (度)、 x は風下距離 (m)、 k は大気安定度によって定まる定数である。定数 k の値を表1-11に示す。なお、この表には、超音波風向風速計で測定された大気乱流の値より計算された安定度別の σ_A 、 σ_E の値も示してある。また、これらの値を使用して式(1-19)により計算した大気安定度別 σ_y 、 σ_z と風下距離 x との関係を図1-15に示す。P-G線図と山本・横山の拡散幅を比べると、水平方向拡散幅 σ_y は山本・横山による拡散幅の方がかなり大きな値となっている。これはP-G線図が3分間に対応する拡散幅であるのに対し、山本・横山の拡散幅は1時間に対応する拡散幅であるからである。

表1-11 大気安定度別拡散パラメータ k の値

パラメータ	A, B	C	D昼	D夜	E	F
安定度パラメータ k	2.67	2.04	1.0	1.0	0.83	0.83
水平風向標準偏差 σ_A (deg)	26.1	21.6	21.1	20.3	20.0	18.9
鉛直風向標準偏差 σ_E (deg)	11.7	8.8	7.9	7.5	6.7	6.2

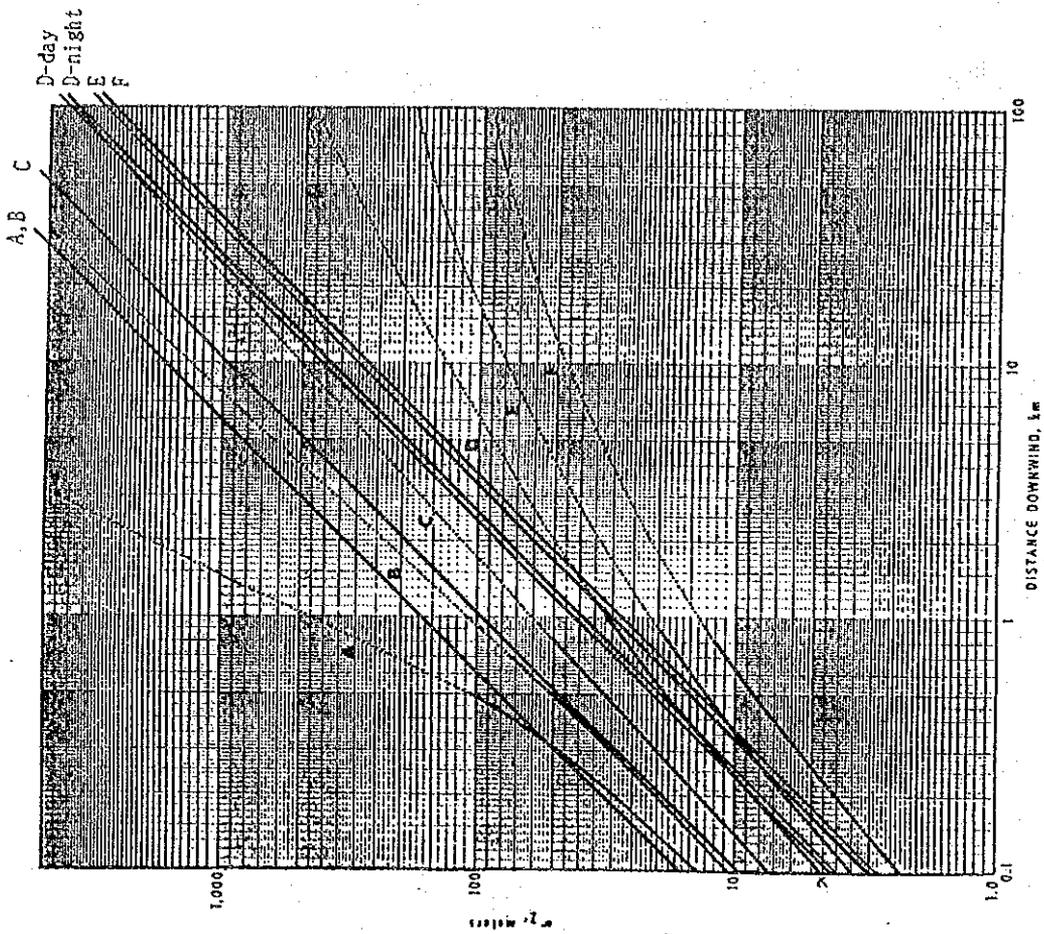
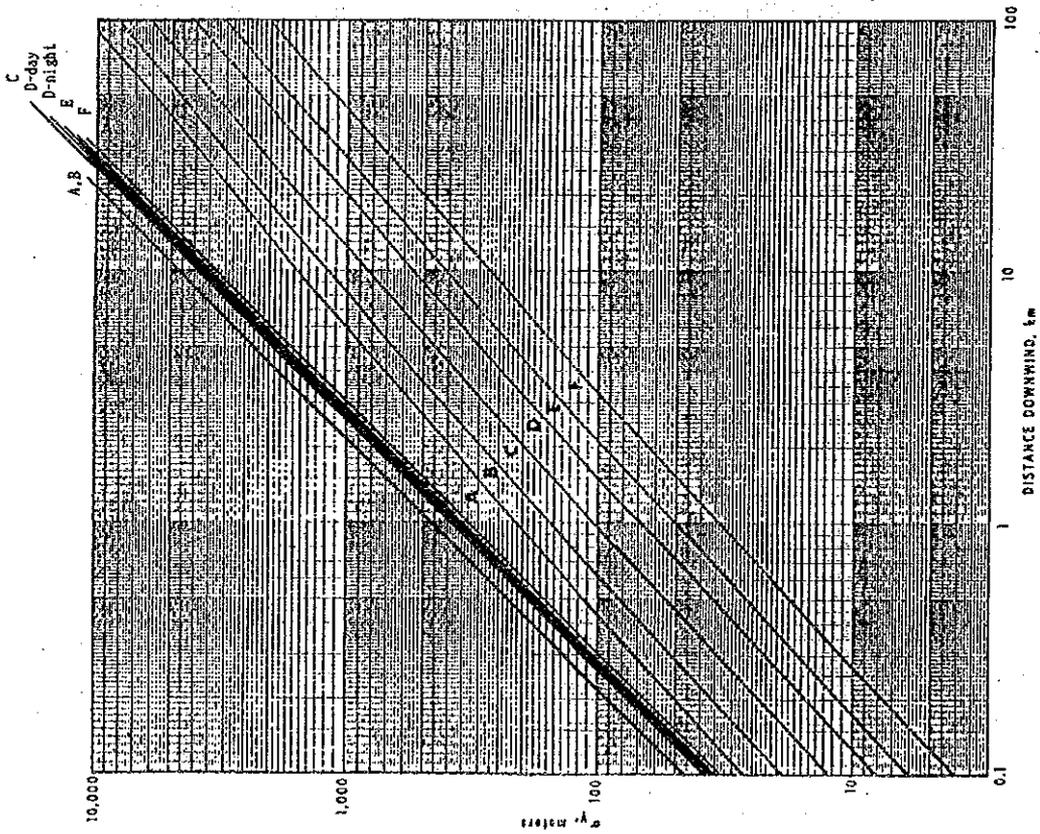


図 1-15 山本・横山による拡散幅

2) 有風時における自動車の拡散幅

有風時における自動車の拡散幅は、EPAのHIWAY線図¹⁴⁾を用いた。この拡散幅は式(1-20)で示され、図示すると図1-16のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y &= 465.1 (x+b) \tan \theta_p \\ \theta_p &= c - d \cdot \ln \left(\frac{x+b}{X_0} \right) \\ \sigma_z &= g \left(\frac{x+a}{X_0} \right)^h \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1-20)$$

ここで、

- x : 風下距離 (km)
- a : 初期拡散幅 σ_{z0} に対する係数 (km)
- b : 初期拡散幅 σ_{y0} に対する係数 (km)
- c : θ_p に関する係数 (度)
- d : θ_p に関する係数 (度)
- g : σ_z に関する係数 (m)
- h : σ_z に関するべき係数
- θ_p : 水平面でプルームが変動する角度の $1/2$ (度)
- X_0 : = 1 km

各係数の値は表1-12に示すとおりであり、これらの係数は $x = 0$ mで σ_z が約1.5m, σ_y が約3m(車の長さの $1/2$)となり、 $x = 100$ mで Pasquill-Gifford線図と一致するように設定されている。

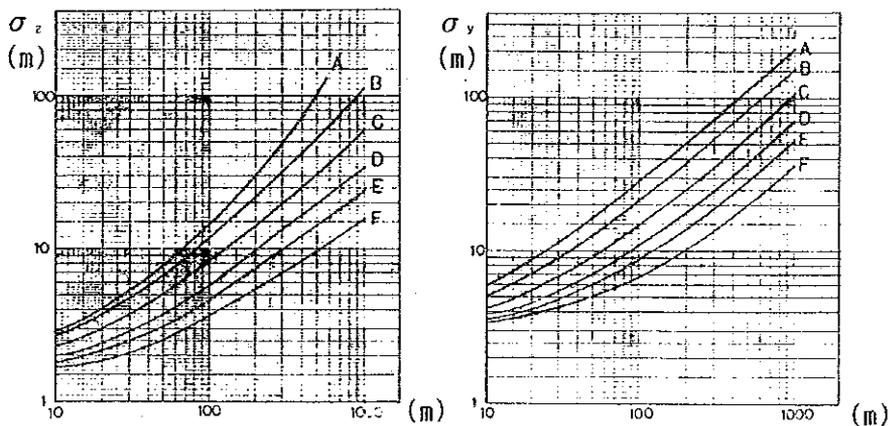


図1-16 HIWAYモデルにおける拡散幅

なお、実際の計算に際しては、実測値と計算値の整合性を良好にするため、半ランク不安定側の拡散幅を用いた(例えば、大気安定CのときはB-Cの拡散幅を用いる等)。

表1-12 HIWAYモデルで用いられている σ_y , σ_z の係数

HIWAY モデル線図 の階級	距離 (km) (E1)		θ_p に関する値(度)		その他	
	a	b	c	d	g(m)	h
A	0.00944	0.00863	24.167	25.334	1228	0.9447
B	0.01226	0.0132	18.333	18.096	90.673	0.93198
C	0.01736	0.0210	12.5	10.857	61.141	0.91465
D	0.02722	0.0348	8.333	0.72382	34.459	0.86974
E	0.03590	0.0471	6.25	0.54287	24.26	0.8366
F	0.05842	0.0733	4.167	0.36191	15.209	0.81558

注1) a, bは初期拡散幅 $\sigma_{y0} = 30\text{m}$, $\sigma_{z0} = 1.5\text{m}$ とするための係数

3) 無風時における拡散幅

無風時における拡散幅の推定は、まだ十分に確立されていない。一般的にはTurner線図が用いられることもあるが、地上10m程度の高さで無風であっても上層においてはある程度風が吹いている場合が多いので、このTurner線図を用いて無風時の濃度を計算すると、実測濃度と良く整合しない。通商産業省は、Turner線図に示されている拡散幅の値よりも数倍大きな値を用いて無風時の大気拡散濃度を計算すると、実測値を良く再現すると報告している。この線図を図1-17に示す。本調査においては、この線図を用いて無風時の大気拡散濃度を計算した。

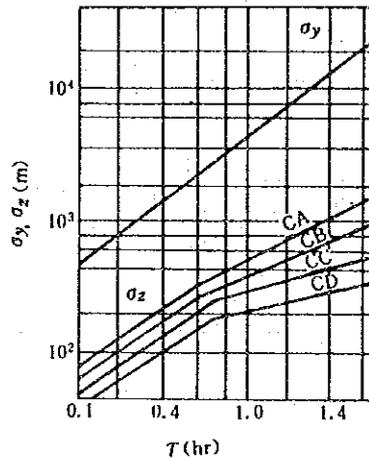


図1-17 通商産業省による無風時の拡散幅¹⁰⁾

4) 初期拡散幅 (σ_{z0})

① 固定発生源 (点源)

式(1-11)に示したように、煙上昇高度 ΔH は風速とともに変化するので、風速の変動があると ΔH も変化し、煙源の近くにおける煙は上下に広がり、煙の上昇高度が大きいほど、上昇高度の変動も大きくなり、初期拡散幅 σ_{z0} が大きくなる。実煙突データによるTVA線図¹⁾と点源拡散実験から求めた線図を比較することにより σ_{z0} の近距離($x=100\text{m}$)の値を、煙上昇などに伴う初期拡散幅 σ_{z0} と考えれば強安定時25m、中立時30m程度である。

ここでは、固定源(点源)の初期拡散幅 σ_{z0} は、煙上昇高度 ΔH とともに大きくなるとし、 $\Delta H=100\text{m}$ のときに不安定・中立の場合、 $\sigma_{z0}=30\text{m}$ 、安定の場合 $\sigma_{z0}=25\text{m}$ とした。しかし、 ΔH の増加とともに σ_{z0} は大きくなるが、上記のTVA線図のもとになっているデータ等を考慮して $\Delta H=100\text{m}$ の場合を上限値として、それ以上は σ_{z0} が増えないとし、 σ_{z0} の最小値は5mとした。これを図示したものが図1-18である。

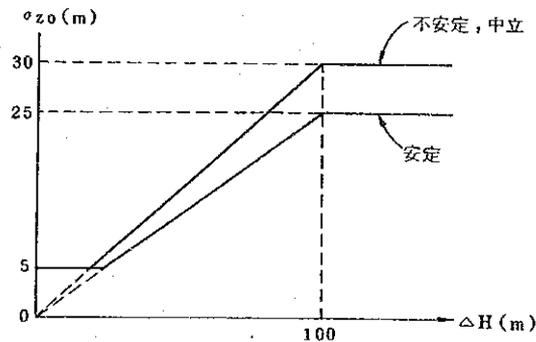


図1-18 固定源(点源)の初期拡散幅 σ_{z0} 。¹⁾

② 固定発生源(面源), 自動車, 船舶及びフェリーボート

固定発生源(面源), 自動車, 船舶及びフェリーボートの初期拡散幅 σ_{z0} は、5mとした。¹⁾

1.2.4 NO₂変換モデル

炭化水素及びNO_xを含む大気が長時間太陽光にさらされると、複雑な光化学反応が起り、NOの酸化、NO₂の分解、オキシダントの生成等が起る。しかし、拡散時間が1～2時間程度の短い場合には、煙突あるいは自動車から排出される窒素酸化物（そのほとんどがNOである）は、拡散の過程でオゾンと反応しNO₂に変換されて行く。このときの主な反応はオゾンによるNOの酸化と紫外線によるNOへの解離である。図1-19はワシントン大学のグループ¹⁶⁾によって測定された煙流内のNO_x及びO₃の分布である。NO_xの高濃度のところでO₃が低濃度となっていることが示されており、NOがO₃と反応していることが分る。

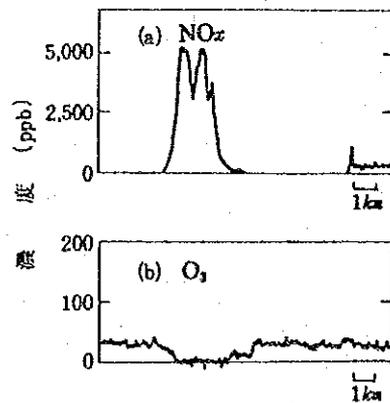


図1-19 煙流中のNO_x及びO₃濃度

山本と横山¹⁶⁾は、プルーム・パフ拡散モデルと組み合わせてNO及びNO₂濃度を計算するために、野外実験結果より次のような簡単な実験式を示した。

$$C_{NO_2} = C_{NO_x} (1 - \alpha e^{-kt}) \dots\dots\dots (1-21)$$

ここで、C_{NO_x}は拡散計算式で得られたNO_x濃度であり、NO₂濃度は保存されるものと仮定している。α、kは実験定数である。式(1-21)ではt→∞においてC_{NO₂}/C_{NO_x}=100%となるが、日中ではオゾンによる酸化と紫外線による一酸化窒素へのかい離反応等で平衡状態

($\frac{[NO] \cdot [O_3]}{[NO_2]} = \text{Const.}$)となりNOは100%NO₂に変換されない。夜間においてはNOへのかい離反応が存在しないので

オゾンがあれば100%NO₂へ変換されるものと考えられる。しかしながら実際の大气中ではNO₂/NO_xは日中における値と大差なく高々80%程度である。これはオ

ゾンの生成がないため上空等より供給されたオゾンがNO_xとの反応により消費されそれ以降の反応が進まないためと考えられる。大気の測定でオゾンとNOが共存するのは、汚染質等の気塊が空間的、時間的に不均一に存在しそれらの平均値として、濃度が測定されているからであると考えられる。したがって本調査では式(1-21)の代わりに式(1-22)によりNO₂の濃度を計算した。

$$C_{NO_2} = C_{NOx} \left\{ 1 - \frac{\alpha}{1 + \beta} (e^{-kt} + \beta) \right\} \dots\dots\dots (1-22)$$

ここで、

C_{NOx} : 拡散計算式で計算されたNO_x濃度

α : 拡散初期におけるNO/NO_x比 (α=0.9)

β : NO→NO₂の変換を抑制する定数 (β=0.3)

k : 見掛の反応速度定数

$$k = 0.0062 \cdot U \cdot C_{O_3} \text{ (固定点源)}$$

$$k = 0.062 \cdot U \cdot C_{O_3} \text{ (固定面源, 船舶)}$$

$$k = 0.208 \cdot U \cdot C_{O_3} \text{ (自動車)}$$

C_{O₃} : オゾンバックグラウンド濃度

U : 風速 (m/s)

なお、オゾンのバックグラウンド濃度は1988年に1年間にわたりONEBの屋上で測定された値(1時間値)を、表1-13に示すように大気安定度別に集計した値(中央値)を用いた。また、道路からのNO₂大気拡散濃度を計算する場合、風が道路に対して平行のとき(道路と風向のなす角度が30度以内)、バックグラウンド濃度としてのオゾンの供給が減少することを考慮して、式(1-23)によりオゾンバックグラウンド濃度を補正した。¹⁰⁾

表1-13 オゾンのバックグラウンド濃度

オゾン濃度 (ppm)	昼		夜	
	不安定	中立	中立	安定
	0.014	0.010	0.005	0.005

$$\text{昼 } [O_3]_{BG \text{ 平行風}} = 0.55 \times [O_3]_{BG} \dots\dots\dots (1-23)$$

$$\text{夜 } [O_3]_{BG \text{ 平行風}} = 0.33 \times [O_3]_{BG}$$

1.2.5 年平均値モデル

拡散計算は類型化された気象条件（風向・風速・大気安定度の組み合わせ）ごとに行い、これらの計算結果と気象条件の出現頻度から、年間の平均濃度を次のように計算した。

① 有風時の平均濃度計算

$$\bar{C} = \sum_i \sum_j \sum_k C(D_i, V_j, S_{ik}) \cdot f(D_i, V_j, S_{ik}) \dots\dots\dots (1-24)$$

ここに、

$C(D_i, V_j, S_{ik})$: 風向 D_i 、風速 V_j 、安定度階級 S_{ik} のときの1時間濃度

$f(D_i, V_j, S_{ik})$: 風向 D_i 、風速 V_j 、安定度階級 S_{ik} の出現頻度

② 無風時の平均濃度計算

$$\bar{C} = \sum_k C(S_{ik}) \cdot f(S_{ik}) \dots\dots\dots (1-25)$$

ここに、 $C(S_{ik})$: 安定度階級 S_{ik} のときの濃度

$f(S_{ik})$: 安定度階級 S_{ik} の出現頻度

上記、有風時及び無風時における計算は、季節・時間帯別に計算し、各々の出現頻度を考慮して平均値を求めた。

1.2.6 整合性の検討

1988年にサットプラカン県内で稼働している SO_2 、 NO_x の全発生源（工場、自動車、船舶及びフェリーボート）を対象として拡散計算を行い、測定局における濃度の実測値と計算値の整合性の検討を行った。なお、表1-14に示すように、整合性が得られるまで合計5回の計算を行った。

(1) 整合性の評価

各測定局における季別・時間帯別及び年間の実測値と計算値の一覧を表1-15に、実測値と計算値の散布図を図1-20に示す。また、これらの計算結果を次に示すシミュレーションモデルの判定条件¹⁷⁾によって評価した結果を表1-16に示す。これらの結果をみると、年間値の整合性は、 SO_2 の夜の整合性のランクがCであるのを除き、すべてAランクとなっており、本調査で使用したシミュレーションモデルは十分な精度を有していると判断した。

- ① 実測値の平均 (\bar{Y}) と計算値の平均 (\bar{X}) の差 (a_0) が次の範囲であること。

$$a_0 \leq \left\{ \frac{1}{3} (\bar{Y} - BG) + BG \right\}$$

BG ; バックグランド濃度

- ② a_0 が次の範囲であること

$$a_0 \leq \left\{ \frac{2}{5} (\bar{Y} - BG) + BG \right\}$$

- ③ 相関係数 (R) が0.71以上で、出来るだけ0.80を上回ること。
回帰係数 (a) が0.8から1.2の範囲にあること。
- ④ 推定誤差比 (S / \bar{Y}) が1/5を超えないこと。
- ⑤ S / \bar{Y} が1/4を超えないこと。
- ⑥ S / \bar{Y} が1/3を超えないこと。

以上の①～⑥の判定条件の組み合わせによって下表のランクを設ける。

評価ランク	判定基準
A	①③⑤または①④を満足
B	②⑤を満足
C	②⑥を満足

また、季節、時間帯の評価ランクは次のようであることが望ましい。

		季節区分	
		各季節	全年
時間帯区分	各時間帯	C	B
	全日	B	A

表1-14 SO₂, NO_x及びNO₂環境濃度シミュレーション改良の過程

条 件	第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	
自動車	拡散幅	P-G線図	HIWAY線図		半ラック不安定側のHIWAY線図を使用	
	ディーゼル車の重量	Heavy = 5.5 t Light = 1.62 t	Heavy = 9.75 t Light = 1.5 t	同 左		
	自動車のσ _{z0}	3 m	5 m			
	自動車のHe	2 m	3 m			
	反応係数	α=0.8 β昼=0.3, β夜=0.0 k=0.23	α=0.9 β=0.3 k=0.208			
	平行風のオゾン減少	考慮しない	考慮した			
	軽油のS分	0.56% (0.46%と0.65%の平均)			0.46%	
	小型貨物車	すべてディーゼル車とした			ディーゼル:ガソリン=3:1とした	
	MS5の直近交通量	現地調査の実測値 24267台/日を使用				BANGNA-TRAT HWY. の2地点の比で補正し、15577台/日
	工場・船舶	拡散幅	P-G線図	山本・横山式	同 左	
工場点源のHe (有風時)		大規模煙突; Moses & Carson式 小規模煙突; CONCAWE 式	CONCAWE 式			
反応係数		α=0.8 β昼=0.3, β夜=0.0 k;工場点源=0.0062 k;工場面源=0.062 k;船舶 =0.062	α=0.9 β=0.3 kは同左			
クワカクツ		考慮しない	考慮した (傘つき煙突は常にクワカクツ)	考慮しない		
σ _E のパラメータ k		A, B C D E F 2.7 1.0 1.0 0.83 0.83			A, B C D E F 2.67 2.04 1.0 0.83 0.83	
工場面源のHe		30 m			40 m	30 m
船舶及びフェリーボートのHe		船舶 ; 20m フェリー ; 5m		船舶 ; 30m フェリー停泊 ; 10m フェリー航行 ; 15m		船舶 ; 20m フェリー ; 5m
船舶のS分		重油として S分=2.5%				1000ト未満 1.03% 1000ト以上 2.5%
フェリーのS分		重油として S分=2.5%				軽油として 0.56%
フェリーの馬力		F1, F2, F3 航路とも 240ps				F1, F2 ; 225ps F3 ; 200ps

表1-15 SO₂, NO₂及びNO_x環境濃度の季節, 時間帯別実測値と計算値の比較

(上段: 実測値, 下段: 計算値)

(SO₂)

(unit: ppb)

STATION	South Wet			North Dry			South Dry			Annual		
	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave
(MS1) ONEB STATION	6.4	7.1	6.8	5.9	11.8	9.1	4.6	5.3	4.9	5.8	7.8	6.9
	7.1	12.8	10.2	4.3	9.0	6.8	5.7	8.3	7.1	6.1	10.7	8.6
(MS2) POWER PLANT	9.3	12.9	11.3	8.5	19.7	14.7	9.7	12.8	11.4	9.2	14.6	12.2
	10.2	12.0	11.2	9.6	16.5	13.4	9.2	7.2	8.2	9.8	12.0	11.0
(MS3) MIN.DEP.OFFICE	17.1	23.5	20.6	15.9	22.6	19.6	20.9	43.3	33.1	17.7	28.3	23.5
	20.8	25.1	23.1	16.4	16.8	16.6	20.5	16.3	18.2	19.6	20.8	20.3
(MS4) S.P.PRO.OFFICE	3.6	5.1	4.4	5.3	8.7	7.1	3.8	4.1	4.0	4.0	5.7	5.0
	6.5	9.5	8.1	6.5	12.1	9.6	5.5	5.9	5.7	6.3	9.3	7.9
(MS5) H.& I. ESTATE	3.5	4.4	4.0	1.8	3.0	2.5	1.6	1.7	1.7	2.4	3.2	2.9
	1.5	2.2	1.9	2.2	2.9	2.6	1.0	1.5	1.3	1.6	2.2	1.9

(NO₂)

STATION	South Wet			North Dry			South Dry			Annual		
	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave
(MS1) ONEB STATION	17.8	17.0	17.4	10.9	21.1	16.5	10.0	11.7	11.0	14.1	16.7	15.6
	10.9	14.8	13.0	11.8	18.4	15.4	8.4	10.4	9.5	10.5	14.6	12.7
(MS2) POWER PLANT	7.3	8.1	7.7	7.2	14.3	11.1	7.6	9.5	8.6	7.3	9.8	8.7
	5.8	9.0	7.5	4.0	8.7	6.5	5.4	6.3	5.9	5.3	8.2	6.9
(MS3) MIN.DEP.OFFICE	6.9	9.7	8.4	14.6	24.8	20.2	10.4	16.1	13.5	10.1	15.7	13.2
	9.6	9.7	9.7	8.1	7.7	7.9	9.3	6.9	8.0	9.2	8.5	8.8
(MS4) S.P.PRO.OFFICE	10.3	11.1	10.7	27.1	34.7	31.2	9.2	10.0	9.7	13.5	15.7	14.7
	10.0	11.3	10.7	11.8	18.0	15.2	8.3	7.4	7.8	10.0	12.0	11.1
(MS5) H.& I. ESTATE	3.4	5.7	4.7	4.1	8.3	6.4	3.5	5.2	4.4	3.6	6.1	5.0
	2.6	4.2	3.5	4.2	6.4	5.4	1.9	3.5	2.8	2.8	4.6	3.8

(NO_x)

STATION	South Wet			North Dry			South Dry			Annual		
	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave	Day	Nig.	Ave
(MS1) ONEB STATION	39.7	56.4	48.8	20.3	47.7	35.3	17.2	19.9	18.7	29.2	45.1	37.9
	25.0	43.4	35.0	24.2	54.4	40.6	16.8	25.2	21.4	22.8	41.7	33.0
(MS2) POWER PLANT	16.2	16.7	16.5	15.0	24.4	20.1	17.0	18.0	17.6	16.2	18.7	17.6
	11.8	15.5	13.8	7.1	14.1	10.9	11.6	10.3	10.9	10.6	13.9	12.4
(MS3) MIN.DEP.OFFICE	14.3	20.0	17.4	25.5	44.4	35.8	19.1	26.0	22.8	18.8	28.5	24.1
	23.9	24.9	24.5	21.3	21.4	21.3	22.9	17.7	20.1	23.0	22.3	22.6
(MS4) S.P.PRO.OFFICE	24.4	28.6	26.7	49.8	71.7	61.7	25.5	25.1	25.3	29.9	36.7	33.6
	24.3	30.9	27.9	27.3	47.0	38.0	21.2	21.6	21.4	24.3	32.7	28.8
(MS5) H.& I. ESTATE	8.3	12.0	10.3	6.8	11.5	9.4	5.5	7.1	6.3	7.2	10.5	9.0
	5.3	9.1	7.4	9.7	14.0	12.0	4.0	7.2	5.8	6.1	9.9	8.1

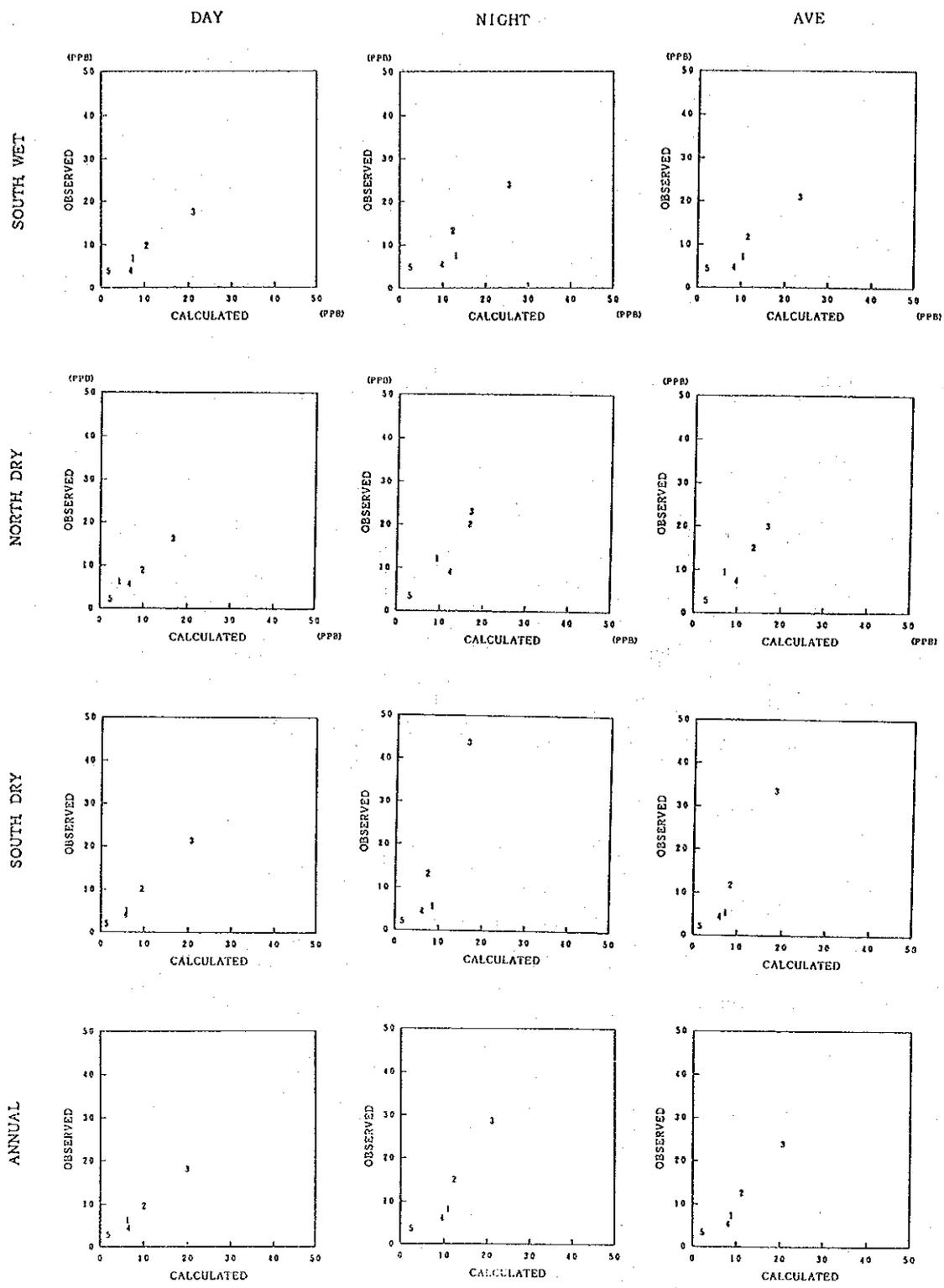


図1-20(1) SO₂環境濃度の実測値と計算値の比較

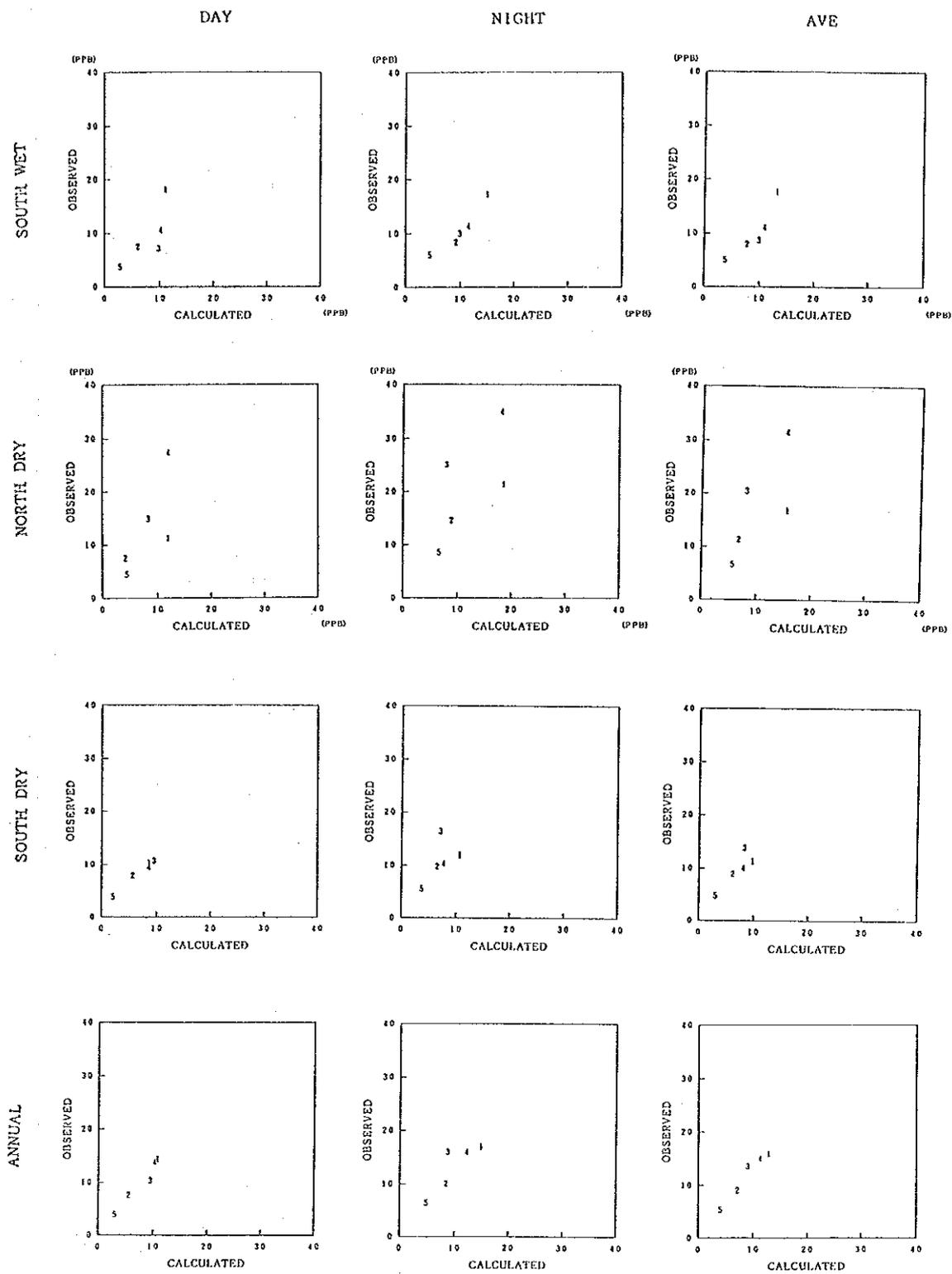


図1-20(2) NO₂環境濃度の実測値と計算値の比較

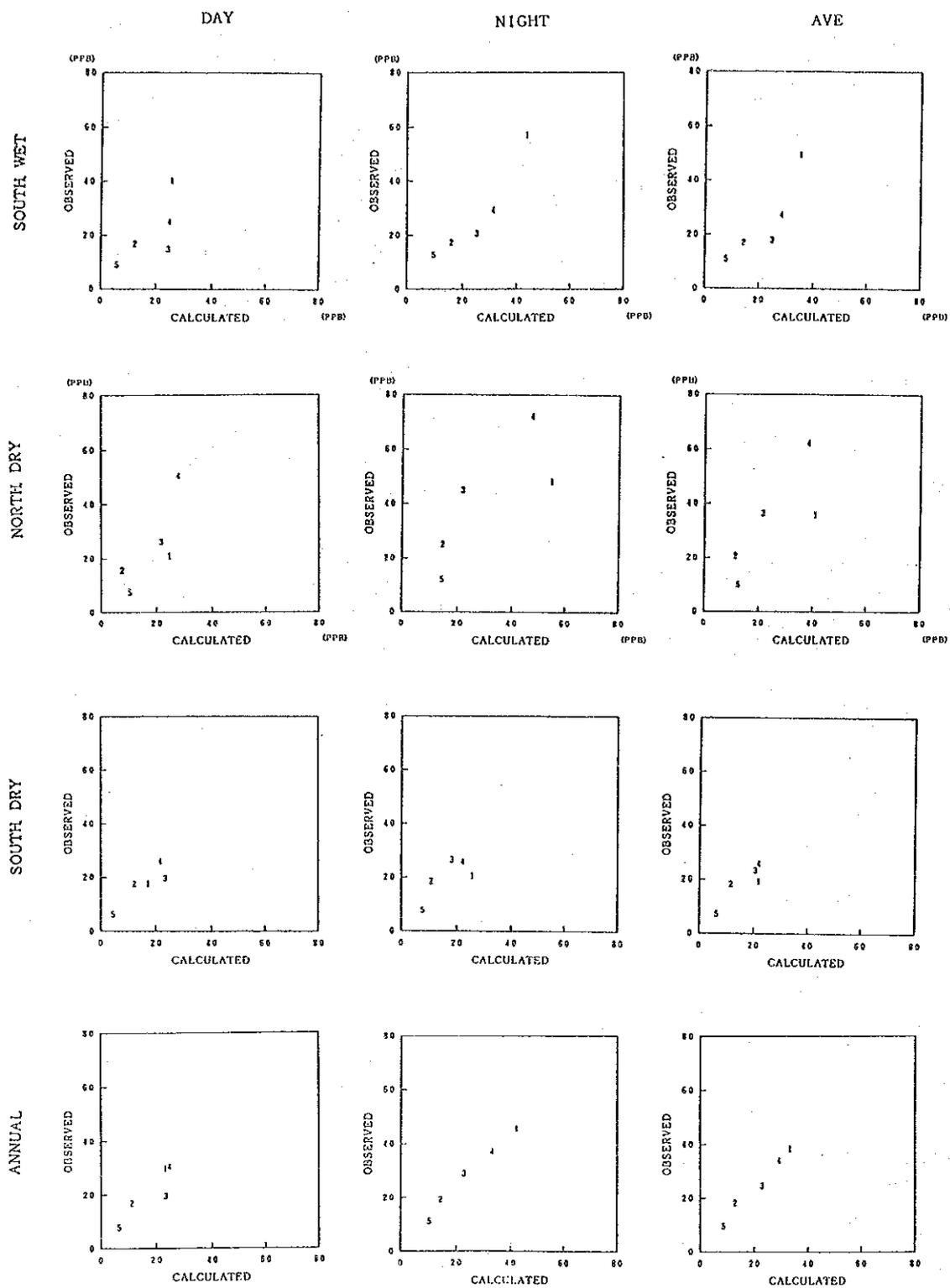


図 1-20(3) NO_x環境濃度の実測値と計算値の比較

表1-16 環境濃度シミュレーションモデルの整合性の評価

[SO₂]

Season and time zone		Ave. of obs. Y (ppb)	Ave. of cal. X (ppb)	A ₀ (Y-X) (ppb)	Regression equation	Corr. coef.	Vari. coef.	Rank
South Wet	Day	7.9	9.2	-1.3	$Y = 0.760X + 1.0$	0.969	0.25	B
	Night	10.6	12.3	-1.7	$Y = 0.881X - 0.3$	0.914	0.29	C
	Ave.	9.4	10.9	-1.5	$Y = 0.846X + 0.2$	0.947	0.24	A
North Dry	Day	7.5	7.8	-0.3	$Y = 0.936X + 0.2$	0.978	0.14	A
	Night	13.2	11.5	1.7	$Y = 1.272X - 1.4$	0.922	0.24	B
	Ave.	10.6	9.8	0.8	$Y = 1.162X - 0.8$	0.957	0.18	A
South Dry	Day	8.1	8.4	-0.3	$Y = 1.039X - 0.6$	0.991	0.12	A
	Night	13.4	7.8	5.6	$Y = 2.949X - 9.7$	0.922	0.83	-
	Ave.	11.0	8.1	2.9	$Y = 1.994X - 5.1$	0.966	0.57	-
Annual	Day	7.8	8.7	-0.8	$Y = 0.885X + 0.2$	0.987	0.14	A
	Night	11.9	11.0	0.9	$Y = 1.412X - 3.6$	0.936	0.33	C
	Ave.	10.1	9.9	0.1	$Y = 1.197X - 1.8$	0.968	0.22	A

[NO₂]

Season and time zone		Ave. of obs. Y (ppb)	Ave. of cal. X (ppb)	A ₀ (Y-X) (ppb)	Regression equation	Corr. coef.	Vari. coef.	Rank
South Wet	Day	9.1	7.8	1.4	$Y = 1.203X - 0.2$	0.776	0.34	-
	Night	10.3	9.8	0.5	$Y = 1.052X + 0.0$	0.953	0.11	A
	Ave.	9.8	8.9	0.9	$Y = 1.197X - 0.8$	0.908	0.19	A
North Dry	Day	12.8	8.0	4.8	$Y = 1.741X - 1.1$	0.750	0.46	-
	Night	20.6	11.8	8.8	$Y = 1.155X + 7.0$	0.677	0.32	C
	Ave.	17.1	10.1	7.0	$Y = 1.426X + 2.7$	0.729	0.36	-
South Dry	Day	8.1	6.7	1.5	$Y = 0.912X + 2.1$	0.989	0.05	A
	Night	10.5	6.9	3.6	$Y = 0.946X + 4.0$	0.586	0.27	C
	Ave.	9.4	6.8	2.6	$Y = 1.131X + 1.8$	0.872	0.16	A
Annual	Day	9.7	7.6	2.2	$Y = 1.272X + 0.1$	0.974	0.13	A
	Night	12.8	9.6	3.2	$Y = 1.032X + 2.9$	0.856	0.17	A
	Ave.	11.4	8.7	2.8	$Y = 1.238X + 0.7$	0.976	0.10	A

[NO_x]

Season and time zone		Ave. of obs. Y (ppb)	Ave. of cal. X (ppb)	A ₀ (Y-X) (ppb)	Regression equation	Corr. coef.	Vari. coef.	Rank
South Wet	Day	20.6	18.1	2.5	$Y = 0.942X + 3.6$	0.696	0.38	-
	Night	26.7	24.8	2.0	$Y = 1.238X - 3.9$	0.939	0.23	B
	Ave.	23.9	21.7	2.3	$Y = 1.192X - 1.9$	0.874	0.28	C
North Dry	Day	23.5	17.9	5.5	$Y = 1.432X - 2.2$	0.793	0.41	-
	Night	39.9	30.2	9.8	$Y = 0.948X + 11.3$	0.786	0.32	C
	Ave.	32.5	24.6	7.9	$Y = 1.119X + 5.0$	0.797	0.33	C
South Dry	Day	16.8	15.3	1.5	$Y = 0.830X + 4.1$	0.883	0.19	A
	Night	19.2	16.4	2.8	$Y = 0.719X + 7.4$	0.716	0.27	C
	Ave.	18.1	15.9	2.2	$Y = 0.896X + 3.9$	0.881	0.17	A
Annual	Day	20.2	17.4	2.9	$Y = 0.999X + 2.9$	0.882	0.20	A
	Night	27.9	24.1	3.8	$Y = 1.035X + 3.0$	0.989	0.07	A
	Ave.	24.4	21.0	3.5	$Y = 1.094X + 1.5$	0.988	0.08	A

(2) 測定局における発生源別寄与率

各測定局における計算値は表1-15に示すとおりであるが、発生源別（工場、自動車、船舶及びフェリーボート）寄与率算定の際には、この計算値にバックグラウンド濃度を加算して行った。

各測定局における実測濃度の平均値 \bar{y} と計算濃度の平均値 \bar{x} の差は、表1-16に示すようであるが、これは次のような要因により生じているものと考えられる。

- ① 対象地域内や隣接地域での発生源から排出された汚染物質が、海陸風等の循環流または風向変化によって再び対象地域内にまい戻ってくることで生ずる濃度
- ② 対象地域内及び隣接地域において把握し得なかった中小発生源、移動発生源等によって生ずる濃度
- ③ 汚染物質の長時間滞留による計算値に表わし難い濃度
- ④ 測定値の誤差
- ⑤ 地表面による汚染物質の吸収や吸着
- ⑥ 大気中における汚染物質の変質
- ⑦ 自然界におけるバックグラウンド濃度

本調査においては、この $\bar{y} - \bar{x}$ を広義のバックグラウンド濃度として計算値に加算した。表1-17にバックグラウンド濃度を考慮した測定局における年平均濃度の発生源別寄与濃度及び寄与率を示す。

SO₂濃度の寄与率の大きい発生源は、煙突高さが50m以下の群小工場と自動車であり、煙突高さが50m以上の比較的規模の大きい工場の寄与率は、せいぜい10%程度である。NO₂についてみると、自動車がかんがりの部分の寄与率を占め、次に船舶となっている。工場は大小工場を含めても10%程度の寄与率である。

表 1-17 測定局における発生源別寄与濃度

SO₂

測定局名	実測濃度 (ppb)	発生源種類別年平均寄与濃度及び寄与率																
		予測計 (ppb)	工場点源 H ₀ ≥ 50m		工場点源 H ₀ < 50m		工場面源		自動車		船舶 航行		フェリー 停泊		フェリー 航行		バックグラウンド	
			(ppb)	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)
(MS1) ONEB STATION	6.9	8.7	0.25	3	2.27	26	2.08	24	3.76	43	0.25	3	0.00	0	0.00	0	0.1	1
(MS2) POWER PLANT	12.2	11.1	1.01	9	3.97	36	3.68	33	0.95	9	1.35	12	0.00	0	0.01	0	0.1	1
(MS3) MIN. DEP. OFFICE	23.5	20.4	0.47	2	10.14	50	4.26	21	0.85	4	3.22	16	0.10	1	1.22	6	0.1	0
(MS4) S.P. PRO. OFFICE	5.0	8.0	0.07	1	2.00	25	1.55	19	3.46	43	0.62	10	0.00	0	0.00	0	0.1	1
(MS5) H. & I. ESTATE	2.9	2.0	0.01	0	0.32	16	0.42	21	1.14	57	0.01	0	0.00	0	0.00	0	0.1	5

NO₂

測定局名	実測濃度 (ppb)	発生源種類別年平均寄与濃度及び寄与率																
		予測計 (ppb)	工場点源 H ₀ ≥ 50m		工場点源 H ₀ < 50m		工場面源		自動車		船舶 航行		フェリー 停泊		フェリー 航行		バックグラウンド	
			(ppb)	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)
(MS1) ONEB STATION	15.6	15.5	0.18	1	0.09	1	0.17	1	12.00	77	0.29	2	0.00	0	0.01	0	2.8	18
(MS2) POWER PLANT	8.7	9.7	0.20	2	0.13	1	0.35	4	5.27	54	0.66	9	0.01	0	0.05	1	2.8	29
(MS3) MIN. DEP. OFFICE	13.2	11.6	0.30	3	0.25	2	0.57	5	4.08	35	1.72	15	0.15	1	1.74	15	2.8	24
(MS4) S.P. PRO. OFFICE	14.7	13.9	0.04	0	0.09	1	0.12	1	10.25	74	0.60	4	0.00	0	0.01	0	2.8	20
(MS5) H. & I. ESTATE	5.0	6.6	0.01	0	0.02	0	0.02	0	3.71	57	0.01	0	0.00	0	0.00	0	2.8	43

NO_x

測定局名	実測濃度 (ppb)	発生源種類別年平均寄与濃度及び寄与率																
		予測計 (ppb)	工場点源 H ₀ ≥ 50m		工場点源 H ₀ < 50m		工場面源		自動車		船舶 航行		フェリー 停泊		フェリー 航行		バックグラウンド	
			(ppb)	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)	%	(ppb)
(MS1) ONEB STATION	37.9	36.5	0.63	2	0.41	1	0.30	1	31.22	85	0.44	1	0.00	0	0.01	0	3.5	10
(MS2) POWER PLANT	17.6	15.9	1.42	9	0.66	4	0.72	5	7.06	45	2.42	15	0.01	0	0.07	0	3.5	22
(MS3) MIN. DEP. OFFICE	24.1	26.1	1.24	5	1.55	6	1.14	4	6.12	24	5.71	22	0.46	2	6.33	24	3.5	13
(MS4) S.P. PRO. OFFICE	33.6	32.3	0.18	1	0.42	1	0.22	1	26.54	82	1.46	4	0.00	0	0.01	0	3.5	11
(MS5) H. & I. ESTATE	9.0	11.6	0.02	0	0.03	1	0.05	0	7.97	63	0.01	0	0.00	0	0.00	0	3.5	30

1.3 大気拡散シミュレーションによる地域全体の環境濃度と発生源別寄与率の算定

1988年次における大気汚染物質排出量，気象条件をインプットデータとして， SO_2 ， NO_2 及び NO_x 環境濃度の季別，時間帯別及び年間平均値をサムットプラカン県全体（ $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ メッシュ）について計算した。また， SO_2 及び NO_2 の年間平均値については，高濃度地点を対象として発生源別寄与率を計算した。

1.3.1 サムットプラカン県全体の SO_2 ， NO_2 及び NO_x 濃度

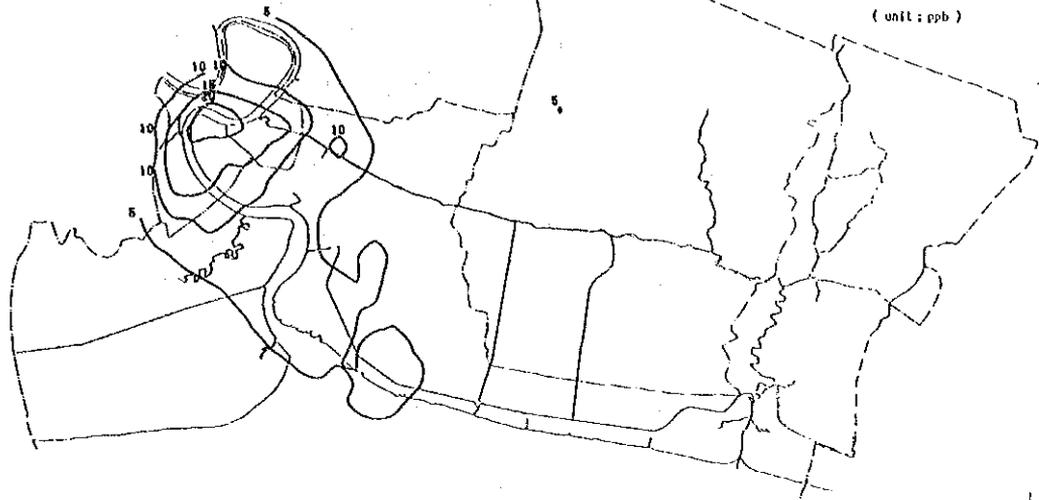
1988年次におけるサムットプラカン県全体の季別，時間帯別濃度及び年平均濃度を等濃度線図としてあらわしたものを図1-21に示す。なお，この計算値はバックグラウンド濃度を含むものである。

1.3.2 環境基準値との対比

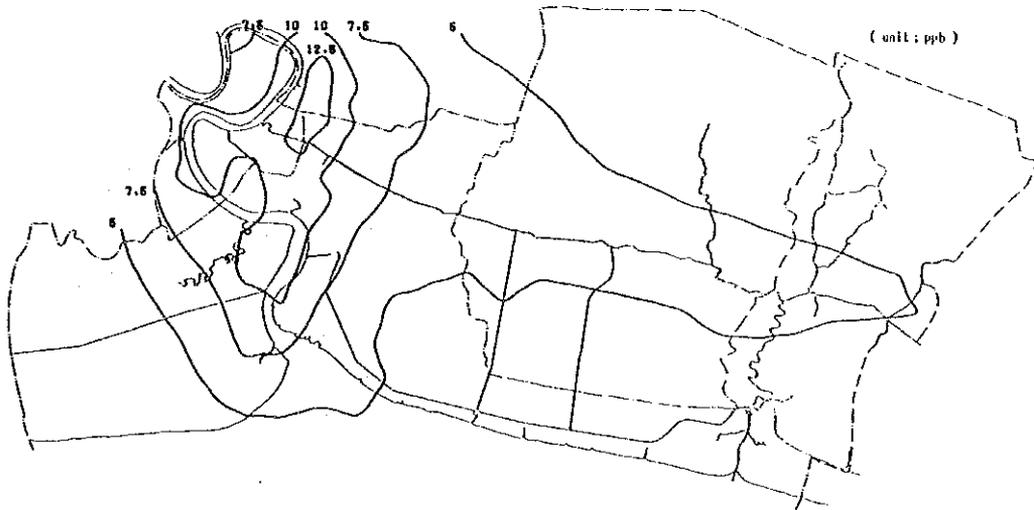
地域全体の年平均濃度と環境基準値の比較を行った。ところで，タイ国の環境基準値は表Ⅲ-1-17に示すように， SO_2 については日平均値並びに幾何年平均値， NO_2 については1時間平均値で決められている。しかし，環境濃度シミュレーション計算値は年平均値であるので，シミュレーション計算値と環境基準値を等価に対比する必要がある。そこで本調査においては，各測定局の実測値の年平均値と SO_2 日平均値並びに NO_2 1時間値の関係を一次関数の直線回帰式で表わし，この直線より計算した年平均値を，等価な日平均値あるいは1時間平均値に換算し，環境基準値との比較を行った。

図1-22に， SO_2 の年平均値と日平均値の関係並びに NO_2 の年平均値と1時間値の関係を示す。この図より， SO_2 については年平均値が42PPbを超えた場合，また， NO_2 については年平均値が18PPbを超えた場合が環境基準値を超えたことになる。図1-23に SO_2 ， NO_2 及び NO_x の年平均値の計算結果を示す。また，濃度ランク別メッシュ数を表1-18に示す。これらの結果より，サムットプラカン県では SO_2 ， NO_2 とも全域で環境基準を満足していることが分る。

SO₂



NO₂



NO_x

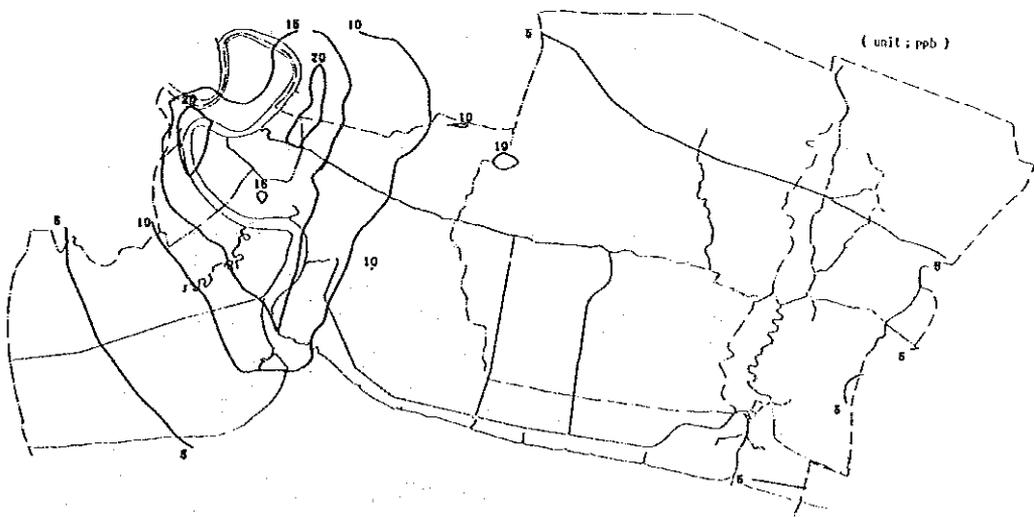


図1-21 現状(1988年次)におけるサムットプラカン県の大気汚染物質濃度

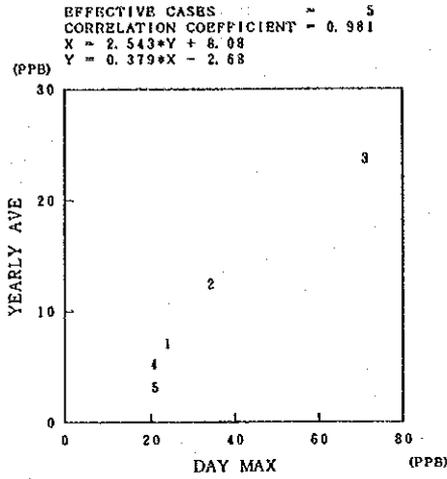


図1-22(1) SO₂の年平均濃度と日平均濃度の関係

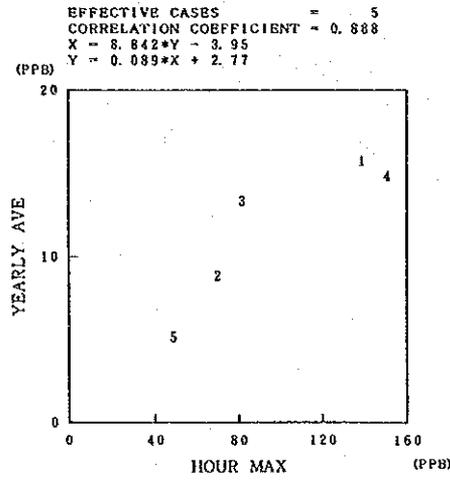


図1-22(2) NO₂の年平均濃度と1時間濃度の関係

表1-18 濃度ランク別メッシュ数

(SO ₂)		(NO ₂)		(NO _x)	
Rank of cocentration (ppb)	Number of mesh	Rank of cocentration (ppb)	Number of mesh	Rank of cocentration (ppb)	Number of mesh
0.0 ~ 5.0	977	0.0 ~ 5.0	674	0.0 ~ 5.0	277
5.0 ~ 10.0	128	5.0 ~ 7.5	305	5.0 ~ 10.0	676
10.0 ~ 15.0	28	7.5 ~ 10.0	109	10.0 ~ 15.0	116
15.0 ~ 20.0	21	10.0 ~ 12.5	64	15.0 ~ 20.0	79
20.0 ~ 25.0	5	12.5 ~ 15.0	7	20.0 ~ 25.0	9
TOTAL	1159	TOTAL	1159	25.0 ~ 30.0	2
				TOTAL	1159

1.3.3 発生源別寄与率の推定

サンプトプランカン県ではSO₂、NO₂とも環境基準値を超える地点が出現しないので、高濃度出現メッシュ点上位8地点を選び、その地点におけるSO₂及びNO₂の年平均濃度の発生源別寄与率を計算した。選出した8地点は表1-19及び図1-24に示すとおりである。

表1-19 高濃度地点とSO₂、NO₂年平均濃度

SD0	(SO ₂)			(NO ₂)		
	Mesh IX	Mesh IY	yearly average concentration (ppb)	Mesh IX	Mesh IY	yearly average concentration (ppb)
1)	16	24	22.9	22	26	14.3
2)	16	23	22.5	22	25	13.8
3)	17	23	21.9	22	27	13.7
4)	15	23	20.8	21	24	13.6
5)	17	24	20.4	21	23	13.4
6)	15	22	19.7	22	24	13.3
7)	18	23	19.6	21	25	12.8
8)	15	21	19.0	15	24	12.4

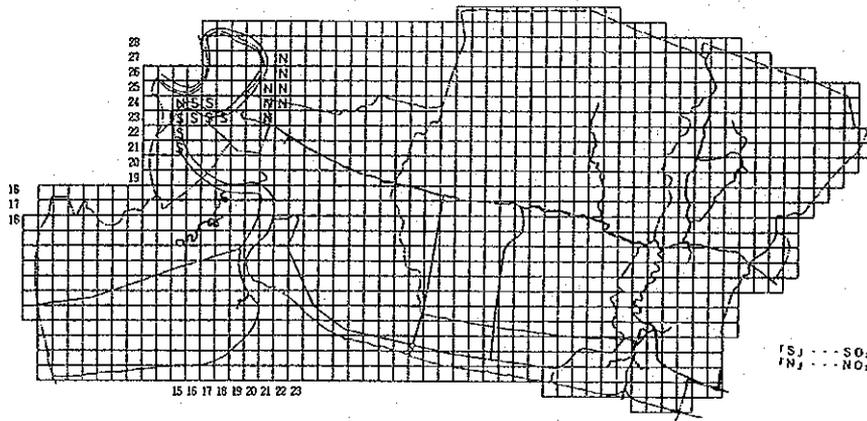


図1-24 寄与率を計算した高濃度地点

表1-20はSO₂及びNO₂の高濃度地点に寄与する発生源別寄与濃度と寄与率であり、寄与濃度が高い10発生源が記載されている。

これらの結果をみると、SO₂及びNO₂の年平均濃度が高い地点は、SO₂ではMS3の近くに、NO₂はMS1の近くに出現し、その発生源寄与率はSO₂の場合、工場(81.7~88.1%)、自動車(3.8~5.6%)、船舶(6.3~11.8%)、フェリーポート(0.1~8.0%)であり、NO₂の場合は、工場(3.0~8.4%)、自動車(28.6~74.6%)、船舶(2.4~12.2%)、フェリーポート(0.1~28.2%)となり、SO₂は工場が、NO₂では自動車が大きな寄与率を占めている。

工場の煙突別寄与率は、SO₂、NO₂とも煙突高さ10m程度の群小発生源が上位を占めているが、単独煙源で数十%もの大きな寄与を占める煙源はSO₂におけるUnited Grain Co., LTD (3-75-1) 以外はみあたらない。

表1-20(1) SO₂高濃度地点における発生源別寄与濃度(年平均値)

Rank 1 IX, IV=16, 24				Rank 2 IX, IV=15, 23				Rank 5 IX, IV=17, 24				Rank 6 IX, IV=15, 22			
Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Fact. No.	Sta. No.		SBD	Fact. No.	Sta. No.		SBD	Fact. No.	Sta. No.		SBD	Fact. No.	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	1	17.6	1	75	1	2.91	1	11	1	1.028	1	75	1	0.728
	2	111	3.7	2	4	2	0.576	2	14	2	0.583	2	47	2	0.556
	3	4	3.5	3	11	3	0.700	3	14	3	0.583	3	47	3	0.556
	4	69	2.0	4	47	4	0.700	4	75	4	0.576	4	11	4	0.484
	5	69	2.0	5	47	5	0.576	5	4	5	0.474	5	54	5	0.442
	6	47	2.7	6	52	6	0.576	6	4	6	0.474	6	54	6	0.442
	7	52	2.7	7	89	7	0.576	7	1	7	0.474	7	54	7	0.442
	8	52	2.7	8	14	8	0.428	8	98	8	0.414	8	54	8	0.442
	9	118	1.6	9	58	9	0.428	9	13	9	0.350	9	54	9	0.442
	10	118	1.6	10	58	10	0.428	10	13	10	0.350	10	54	10	0.442
Remaining stacks Sub total		4.788	28.2	Remaining stacks Sub total		5.093	22.5	Remaining stacks Sub total		4.574	23.6	Remaining stacks Sub total		5.075	25.2
Factory (area source)		6.014	26.3	Factory (area source)		6.349	28.2	Factory (area source)		5.584	27.3	Factory (area source)		5.430	27.5
Roadways (sailing)		0.318	1.3	Roadways (sailing)		0.569	2.4	Roadways (sailing)		0.583	2.4	Roadways (sailing)		0.576	2.4
Vessels (sailing)		2.340	10.2	Vessels (sailing)		1.479	6.6	Vessels (sailing)		1.885	8.8	Vessels (sailing)		0.576	2.4
Ferryboats (anchoring)		0.025	0.1	Ferryboats (anchoring)		0.017	0.1	Ferryboats (anchoring)		0.005	0.0	Ferryboats (anchoring)		0.005	0.0
Ferryboats (sailing)		0.154	0.7	Ferryboats (sailing)		0.187	0.8	Ferryboats (sailing)		0.100	0.5	Ferryboats (sailing)		0.100	0.5
Back ground		0.100	0.4	Back ground		0.100	0.4	Back ground		0.100	0.5	Back ground		0.100	0.5
TOTAL		22.886	100.0	TOTAL		22.496	100.0	TOTAL		20.441	100.0	TOTAL		19.684	100.0

Rank 3 IX, IV=17, 23				Rank 4 IX, IV=15, 23				Rank 7 IX, IV=18, 23				Rank 8 IX, IV=15, 21			
Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)	Type of source		Conce. of contr. (ppb)	Rate of contr. (%)
SBD	Fact. No.	Sta. No.		SBD	Fact. No.	Sta. No.		SBD	Fact. No.	Sta. No.		SBD	Fact. No.	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	1	9.6	1	75	1	1.354	1	14	1	1.388	1	47	1	1.025
	2	111	4.0	2	4	2	1.081	2	14	2	0.985	2	47	2	0.925
	3	4	0.8	3	11	3	1.081	3	14	3	0.985	3	47	3	0.925
	4	69	2.0	4	47	4	0.291	4	75	4	0.794	4	11	4	0.728
	5	69	2.0	5	11	5	0.410	5	4	5	0.624	5	54	5	0.583
	6	47	3.8	6	59	6	0.338	6	16	6	0.524	6	5	6	0.474
	7	52	3.0	7	98	7	0.318	7	11	7	0.450	7	54	7	0.442
	8	52	3.0	8	52	8	0.288	8	98	8	0.444	8	54	8	0.442
	9	118	2.1	9	52	9	0.288	9	13	9	0.444	9	54	9	0.442
	10	118	2.1	10	52	10	0.288	10	13	10	0.444	10	54	10	0.442
Remaining stacks Sub total		4.561	21.9	Remaining stacks Sub total		5.097	24.3	Remaining stacks Sub total		5.108	26.0	Remaining stacks Sub total		5.071	26.3
Factory (area source)		6.002	27.4	Factory (area source)		4.855	23.3	Factory (area source)		5.037	25.7	Factory (area source)		5.156	26.4
Roadways (sailing)		1.000	4.8	Roadways (sailing)		2.280	10.8	Roadways (sailing)		1.096	5.4	Roadways (sailing)		0.914	4.8
Vessels (sailing)		0.000	0.0	Vessels (sailing)		0.202	1.0	Vessels (sailing)		0.101	0.5	Vessels (sailing)		0.226	1.1
Ferryboats (anchoring)		0.000	0.0	Ferryboats (anchoring)		0.202	1.0	Ferryboats (anchoring)		0.101	0.5	Ferryboats (anchoring)		0.074	0.3
Ferryboats (sailing)		0.025	0.1	Ferryboats (sailing)		1.462	7.0	Ferryboats (sailing)		0.100	0.5	Ferryboats (sailing)		0.219	1.1
Back ground		0.100	0.5												
TOTAL		21.882	100.0	TOTAL		20.840	100.0	TOTAL		19.618	100.0	TOTAL		18.965	100.0

表 1 - 20(2) NO₂高濃度地点における発生源別奇与濃度 (年平均値)

(Rank 1 IX, IV=22, 25)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.058
	2	3	0.038
	3	3	0.024
	4	3	0.021
	5	3	0.015
	6	3	0.007
	7	3	0.005
	8	3	0.004
	9	3	0.004
	10	3	0.004
Remaining stacks Sub total			0.067
TOTAL			0.288
Factory (area source)			1.1
	Roadways		10.645
	Vessels (sailing)		0.372
	Ferryboats (anchoring)		0.072
	Ferryboats (sailing)		0.014
	Back ground		2.800
	TOTAL		14.272
TOTAL			100.0

(Rank 2 IX, IV=22, 25)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.053
	2	3	0.029
	3	3	0.023
	4	3	0.021
	5	3	0.020
	6	3	0.016
	7	3	0.008
	8	3	0.006
	9	3	0.005
	10	3	0.005
Remaining stacks Sub total			0.077
TOTAL			0.258
Factory (area source)			1.3
	Roadways		10.177
	Vessels (sailing)		0.344
	Ferryboats (anchoring)		0.001
	Ferryboats (sailing)		0.010
	Back ground		2.800
	TOTAL		13.898
TOTAL			100.0

(Rank 5 IX, IV=21, 23)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.082
	2	3	0.082
	3	3	0.082
	4	3	0.082
	5	3	0.082
	6	3	0.082
	7	3	0.010
	8	3	0.005
	9	3	0.005
	10	3	0.005
Remaining stacks Sub total			0.114
TOTAL			0.349
Factory (area source)			1.2
	Roadways		0.259
	Vessels (sailing)		8.534
	Ferryboats (anchoring)		0.001
	Ferryboats (sailing)		0.010
	Back ground		2.800
	TOTAL		13.450
TOTAL			100.0

(Rank 6 IX, IV=22, 24)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.048
	2	3	0.028
	3	3	0.028
	4	3	0.028
	5	3	0.028
	6	3	0.019
	7	3	0.013
	8	3	0.008
	9	3	0.008
	10	3	0.005
Remaining stacks Sub total			0.081
TOTAL			0.301
Factory (area source)			1.5
	Roadways		0.197
	Vessels (sailing)		8.505
	Ferryboats (anchoring)		0.001
	Ferryboats (sailing)		0.009
	Back ground		2.800
	TOTAL		13.343
TOTAL			100.0

(Rank 3 IX, IV=22, 27)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.055
	2	3	0.035
	3	3	0.020
	4	3	0.020
	5	3	0.020
	6	3	0.014
	7	3	0.008
	8	3	0.005
	9	3	0.005
	10	3	0.004
Remaining stacks Sub total			0.060
TOTAL			0.270
Factory (area source)			2.0
	Roadways		0.133
	Vessels (sailing)		10.057
	Ferryboats (anchoring)		0.306
	Ferryboats (sailing)		0.072
	Back ground		2.800
	TOTAL		13.634
TOTAL			100.0

(Rank 4 IX, IV=21, 24)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.061
	2	3	0.038
	3	3	0.032
	4	3	0.025
	5	3	0.022
	6	3	0.009
	7	3	0.005
	8	3	0.005
	9	3	0.005
	10	3	0.005
Remaining stacks Sub total			0.105
TOTAL			0.362
Factory (area source)			0.8
	Roadways		0.278
	Vessels (sailing)		9.708
	Ferryboats (anchoring)		0.001
	Ferryboats (sailing)		0.012
	Back ground		2.800
	TOTAL		13.600
TOTAL			100.0

(Rank 7 IX, IV=21, 25)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.065
	2	3	0.040
	3	3	0.035
	4	3	0.030
	5	3	0.025
	6	3	0.020
	7	3	0.007
	8	3	0.005
	9	3	0.004
	10	3	0.004
Remaining stacks Sub total			0.088
TOTAL			0.351
Factory (area source)			0.7
	Roadways		0.244
	Vessels (sailing)		8.582
	Ferryboats (anchoring)		0.002
	Ferryboats (sailing)		0.016
	Back ground		2.800
	TOTAL		12.884
TOTAL			100.0

(Rank 8 IX, IV=15, 24)

Type of source SED	Conce. of contr. (ppb)		Rate of contr. (%)
	Coun ty	Sta. No.	
Factory (po-int)	1	5	0.091
	2	3	0.045
	3	3	0.038
	4	3	0.037
	5	3	0.026
	6	3	0.021
	7	3	0.021
	8	3	0.021
	9	3	0.010
	10	3	0.010
Remaining stacks Sub total			0.182
TOTAL			0.557
Factory (area source)			1.2
	Roadways		0.593
	Vessels (sailing)		1.501
	Ferryboats (anchoring)		0.001
	Ferryboats (sailing)		0.001
	Back ground		2.800
	TOTAL		12.445
TOTAL			100.0

2. 化学質量平衡法による粒子状物質環境濃度の現状分析と評価

2.1 粒子状物質の発生源寄与率推定法

大気汚染物質の発生源と環境濃度との関連性は、ガス状物質（例えば SO_2 ）については通常、発生源での排出量が大气中で保存されることをベースとした大気拡散モデル、いわゆる発生源モデル（Source model）が開発利用されている。しかし粒子状物質については発生源の多様性、二次粒子の生成及び除去機構のモデル化等に種々の問題があり、大気拡散モデルを利用した予測手法は現在開発途上にある。これに代わるものとして最近、環境中での測定で得られる粒子状物質がもつ多くの情報（元素別濃度、イオン濃度、粒径、形状等）を基に、その発生源（種）（Source type）を推定する手法、いわゆるリセプターモデル（Receptor model）が開発されている。

そこでここでは粒子状物質を対象とした発生源モデルの問題点と、リセプターモデルを利用した発生源類型別寄与率推定法の概要を説明する。

2.1.1 発生源モデルと粒子状物質への応用の問題点

発生源情報に基づく発生源起点予測手法は、発生源での汚染物質排出強度、排出条件（煙源高度、排ガス量等）、気象条件（風向、風速、大気安定度等）及び地形条件などを基に、ある地点（測定点、メッシュ）での環境濃度と汚染寄与率を個々の煙源別（煙突別、工場別等）に推定する方法であり、濃度計算には拡散方程式を基礎として導かれたブルーム、パフモデル及び拡散場が複雑な場合（例えば地形）によく適用されている数値解法（Numerical model）などのモデルが広く利用されている。これらの大気拡散モデルは、環境保全計画や新設計画等に伴う事前環境影響評価を行うことができ、計画の判定や、より良い計画の選択が可能となること、同じ種類の汚染物質を排出する複数の発生源についても個別にその影響を評価できること、など多くの利点を持っている。しかし、これらの拡散モデルを粒子状物質に適用して環境濃度や汚染寄与率を求めるには次のような問題点があり、発生源モデルを利用した粒子物質の汚染予測を精度よく行うことは困難である。

(1) 環境濃度

粒径別の粒子状物質の短時間（少なくとも1時間）濃度を測定する測定器が開発されておらず、短時間内の風向風速等気象要素と粒径別粒子状物質濃度との関連を解析することが困難なこと。

(2) 発 生 源

発生源の多様性、二次粒子の生成機構を定量的に把握することなどが困難なこと。

① 固定源

重量濃度は容易に得られるが、施設別、燃料種別、稼働状況別及び集じん機種別等の粒径分布の情報が不足している。

② 自動車

自動車走行に伴う粒子状物質の発生は、排気ガスに含まれるもの、タイヤの摩耗、舗道の摩耗によるもの及び走行に伴う道路上の物質の巻き上げ飛散によるものがあるが、これらの区分が困難である。また粒径分布の情報も必要である。

③ 船舶、航空機

粒径分布のみならず、重量濃度についても排出原単位が不明である。

④ 粉じん発生施設

セメント製造、採石及び鉄鋼業などで使われている荷役機械（アンローダ、スタッカ、ベルトコンベア、リクレーマ）や石炭ヤード等堆積場及び土地造成などに起因する粒子状物質の排出量把握が困難である。

⑤ 自然源

海塩粒子、火山噴火、風じん及び植物の種子等に起因する粒子状物質の定量的把握が困難である。

⑥ その他

稲わら焼及び廃棄物の屋外焼却等に伴う粒子状物質の排出原単位が不明である。

(3) 予測モデル

重力沈降を考慮した拡散モデル、二次粒子の生成及び粒子状物質の除去機構（地表面への沈着、降水による除去、海上での消滅）等のモデル化が必要なこと。

2.1.2 リセプターモデル

リセプターモデルは、ある地点である期間に測定された粒子状物質の化学成分、粒子径、濃度変動及び粒子形態などの情報を基に、その期間にその地点に及ぼす発生源の同定や寄与率を推定する方法であり、最近の微量分析技術の進展により可能となった近年注目を集めている手法である。この方法は、気象条件や地形条件とは無関係に発生源の同定や寄与率の推定が可能なこと、把握されている発生源に関係なく、捕捉しがたい発生源や新しい発生源の同定ができること、測定データに基づくことから現実に起こる高濃度時の発生源評価が可能であること、などの利点がある。ただし、発生源モデルは個々の発生源が環境濃度に及ぼす影響を評価できたのに対し、このモデルは発生源種に対する評価であり、類似する化学性状を有する発生源が複数ある場合には、それらの発生源を個別に評価することはできない。またその評価は粒子状物質の測定を行っている場

合に限られ、将来予測は不可能である。

リセプターモデルは図2-1に示すように、顕微鏡による形態観察法、物理的解析法及び化学的解析法に大別できる。以下主なリセプターモデルについて概説する。

(1) 顕微鏡による形態観察法

顕微鏡観察法は粒子の大きさ、色、形状及び表面の特徴あるいは光学的特性からその発生源を推定する方法で、木の繊維や花粉など特徴的な形態をもつ粒子の発生源同定に有効な方法である。ただしこの方法による解析では、極めて多数の粒子を観察する必要があり、分析に時間がかかったり費用がかさむこと、非晶質粒子や粒子中のかなりの部分を占める有機性粒子に対し感度が悪いなどの欠点がある。

(2) 物理的解析法

① 流跡線解析法

風向風速データに基づいて、測定地点より順次風上側への流跡線をたどり、発生源域を同定する方法で、高濃度汚染時の発生源同定解析によく用いられる方法である。この方法は、極めて簡単な方法であるが、特定の発生源の寄与を定量的に評価することはできない。

② X線回折法

この方法による粒子の同定は、地殻鉱物、セメントダスト及び炭酸カルシウムなどの結晶質粒子の定量的同定が可能である。ただし、微細粒子や非晶質粒子の同定には適していない。

(3) 化学的解析法

① ラジオアイソトープ法

この方法は炭素化合物について、 $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ を測定し、化石燃料とそれ以外の炭素の割り当てに利用されている。この方法は ^{14}C の半減期が5730年で、数億年かけて貯えられた化石燃料中には ^{14}C は含まれていないことを利用した同定法である¹³⁾。

② 濃縮係数法

この方法は次式に示すように、粒子中の元素iの人工起源による濃縮度を調べ、発生源のインパクトを評価する方法である。発生源の成分データがある場合には定量的解析も可能である。

$$EF_i = \frac{(C_i/C_s) \text{ aerosol}}{(C_i/C_s) \text{ reference}}$$

ここで、 C_i/C_s ; 問題とする微量元素 i と基準元素 s との濃度比

③ 時系列解析法, 空間分布解析法

粒子状物質の重量や化学成分間の時系列的相関, あるいは, 化学成分濃度の空間的分布と発生源の化学成分及び位置分布データを基に発生源の推定を行うもので, 簡便な方法であるが, 特定の発生源の同定や定量的な推定は不可能である。

④ 化学質量平衡法

この方法は測定地点と発生源における粒子状物質の化学成分情報を統計的処理により発生源寄与率を定量的に推定する方法であり, Millerら¹⁹⁾により提案された手法である。

⑤ 多変量解析法

多変量解析法としては, 主成分分析, 因子分析, 回帰分析及びクラスター分析等の方法があり, これらの方法は, いずれも粒子の化学成分濃度に関する多数のサンプル間における変動に基づいて, 発生源寄与に関する情報を得るものである。この方法は化学質量平衡法で必要とされた発生源の種類や化学成分に関する事前の情報は必要としない。この方法をさらに発展させ, 発生源寄与率を定量的に推定するTTFA法 (Target Transformation Factor Analysis)²⁰⁾ が最近特に注目を浴びている。

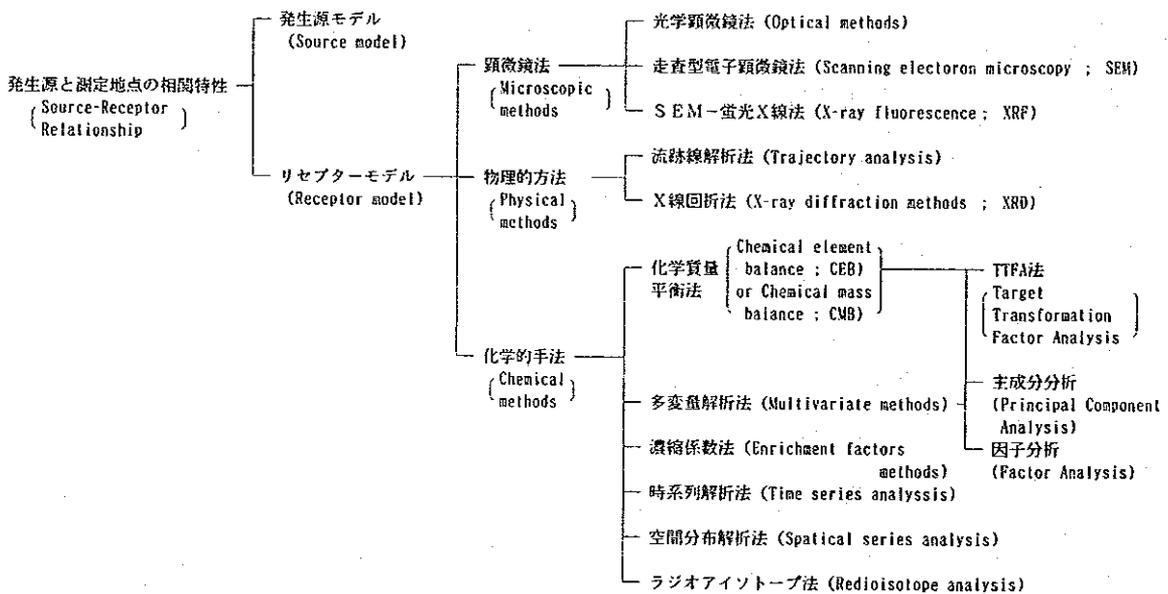


図 2 - 1 粒子状物質の寄与率推定法

2.2 化学質量平衡法 (Chemical mass balance method ; CMB法) による粒子状物質の発生源類型別寄与率の推定

短期現地調査で得られた化学成分のデータを用いて、各測定点における現状の粒子状物質の発生源類型別寄与率の推定を、各現地調査別に行った。

2.2.1 CMB法

CMB法は、ある地点で、ある期間に測定された粒子状物質の化学成分と、発生源での化学成分の情報を基に、その期間にその地点に及ぼす発生源種の寄与率を推定する方法であり、化学成分の微量分析の進展により可能となった近年注目を集めている手法である。なお、この方法は発生源種に対する評価であり、類似する化学性状を有する発生源が複数ある場合には、それらの発生源を個別に評価することはできない。また、その評価は粒子状物質の測定を行っている場所に限られ、将来予測はできない。

(1) CMB法による発生源類型別寄与率推定法

CMB法の基本的な考え方は次式に示す物質収支式を使用するものである。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{測定地点での} \\ \text{化学成分濃度} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{発生源類型ご} \\ \text{との寄与濃度} \end{array} \right\} \times \left\{ \begin{array}{l} \text{発生源類型ごとの発生源での粒} \\ \text{子状物質中の各化学成分の割合} \end{array} \right\} \dots (2-1)$$

ここで、CMB法の考え方を簡単な数値例で説明すれば以下のとおりである。

説明を簡単にするために、粉じんの発生源は2種類とし、アルミニウム (Al) とカルシウム (Ca) は土壌と工場以外からは粉じんとして大気中には放出されないと仮定する。

・発生源における粉じん組成は下記のとおりとする。

発生源 化学成分	土 壌	工 場
Al	10%	5%
Ca	1%	3%

・あるリセプターでの大気中粉じん濃度の測定結果は以下のとおりとする。

粉じん濃度	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Al	0.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ca	0.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

上記の発生源での成分組成データを f_{ij} 、そのマトリックス（行列）表示を F 、リセプターでの粉じん中の化学成分データを C_i 、その行列（ベクトル）表示を C とする。そして、大気中粉じんに対する土壌と工場の寄与率を $S_1(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、 $S_2(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ 、そのベクトル表示を S とする。

ここでは、AlとCaの発生源は土壌と工場だけと仮定しているため、土壌の寄与率に土壌中のAlの比率を乗じたものと、工場の寄与率に工場から排出される粉じん中のAlの比率を乗じたものの和は大気中での粉じん中のAlの濃度に等しくなる。この関係を数式で表わしたものが式(2-1)である。この S_1 、 S_2 は式(2-2)に示す連立方程式により解くことができる。

・Al元素について

$$0.10 \times S_1 + 0.05 \times S_2 = 0.55$$

・Ca元素について

$$0.01 \times S_1 + 0.03 \times S_2 = 0.08$$

..... (2-2)

この式(2-2)を行列表示で記せば、式(2-3)のようになる。

$$\begin{pmatrix} 0.55 \mu\text{g}/\text{m}^3 \\ 0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.10 & 0.05 \\ 0.01 & 0.03 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \\ S_2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{pmatrix} \quad \text{..... (2-3)}$$

すなわち、

$$C = F \cdot S \quad \text{..... (2-4)}$$

と表わすことができる。

この式(2-2)を解くと、 $S_1 = 5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $S_2 = 1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、土壌の寄与は $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (50%)、工場の寄与は $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10%) となる。

より一般的には、発生源類型ごと（土壌飛散、海塩粒子、石油燃焼、廃棄物焼却、自動車等）の粒子状物質中の各化学成分の割合を設定し、測定地点での各化学成分濃度と発生源での各化学成分組成データから、次式により測定地点での発生源寄与率を求める。

$$C_i = \sum_{j=1}^m F_{ij} \cdot \alpha_{ij} \cdot S_j \quad \text{..... (2-5)}$$

- ・ C_i = リセプターでの浮遊粉じんについての成分 i の濃度
- ・ F_{ij} = 発生源 j から放出される粉じんにおける成分 i の割合
- ・ α_{ij} = 発生源 j からリセプターに至るまでに成分 i が変化する割合
- ・ S_j = 発生源 j から放出される粉じんの濃度
- ・ m = 考慮している発生源の数

α_{ij} の値は、通常 $\alpha_{ij} = 1$ と仮定される。

$$C_i = \sum_{j=1}^m F_{ij} \cdot S_j \dots\dots\dots (2-6)$$

CMB法は、 F_{ij} の値が既知の場合に、 C_i の実測値から、 S_j の値を推定するものである。

m 個の発生源の S_j ($j = 1 \dots m$)を推定するのに、 n 個の成分の濃度 C_i ($i = 1 \dots n$)を測定すると、次の n 個の連立一次方程式が導かれる。

$$\left. \begin{array}{l} C_1 = F_{11} \cdot S_1 + F_{12} \cdot S_2 + \dots\dots + F_{1m} \cdot S_m \\ C_2 = F_{21} \cdot S_1 + F_{22} \cdot S_2 + \dots\dots + F_{2m} \cdot S_m \\ \vdots \\ C_n = F_{n1} \cdot S_1 + F_{n2} \cdot S_2 + \dots\dots + F_{nm} \cdot S_m \end{array} \right\} \dots\dots (2-7)$$

式(2-7)の行列表示は次式で表わされる。

$$C = F \cdot S \dots\dots\dots (2-8)$$

また、 m, n は次式を満たさなければならない。

$$n \geq m \dots\dots\dots (2-9)$$

式(2-6)を解く方法は、種々提案されており次のようなモデルがある。

- ① 指標元素連立方程式モデル
- ② 最小二乗法モデル
- ③ 重みつき最小二乗法モデル
- ④ 有効分散法モデル
- ⑤ リッチ回帰モデル

ここではこのうち、①～③について説明を加える。

1) 指標元素連立方程式モデル

式(2-6)は、少なくとも m 個の成分について、 C_i, F_{ij} の情報があれば、 m 個の発生源について S_j を推定し得ることを意味する。

指標元素連立方程式モデルは、考慮する発生源と同数の主要な元素を指標元素に選び、式(2-6)を解いて寄与率を計算する手法である。

$n=m$ の場合、 $F = [F_{ij}]$ は正方行列なので、式(2-8)の両辺に、左側から F の逆行列 F^{-1} をかけることによって、成分ベクトル $C = [C_i]$ から寄与率ベクトル $S = [S_j]$ ($j = 1 \dots m$)を求めることができる。

$$S = F^{-1} \cdot C \dots\dots\dots (2-10)$$

2) 最小二乗法モデル

式(2-6)は、 $n \geq m$ をみたす任意の n 個の方程式について、一般的に解くことができる。この場合、 S の推定値 \hat{S} は、成分ベクトルの実測値 C と推定値 $\hat{C} = F \cdot \hat{S}$

との差 (残差) が最小になるように求められる。(Sは \hat{S} の最小二乗推定値である。)

残差ベクトルを $E = \hat{C} - C$ とすると、残差の二乗和 ε^2 は次式で表される。

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= E' \cdot E = (\hat{C} - C)' \cdot (\hat{C} - C) \\ &= (F \cdot \hat{C} - C)' \cdot (F \cdot \hat{C} - C) \dots\dots (2-11) \end{aligned}$$

{ $(\hat{C} - C)'$ は $(\hat{C} - C)$ の転置行列を表す。 }

ε^2 が最小となる条件は $\frac{\sigma \varepsilon^2}{\sigma S} = 0$ である。

$$\frac{\sigma \varepsilon^2}{\sigma S} = 2 F' \cdot (F \cdot \hat{C} - C) = 0 \dots\dots\dots (2-12)$$

式 (2-12) を変形して次式が導かれる。

$$\hat{S} = (F' \cdot F)^{-1} \cdot F' \cdot C \dots\dots\dots (2-13)$$

3) 重みつき最小二乗法モデル

通常の最小二乗法モデルでは、全てのデータが同等に扱われる (等しく重みがかけられる)。しかし実際のデータでは、データによって精度 (正確さ) が異なるのが普通であり、全てのデータを同等に扱うことができない場合の方が多い。より正確なデータにより重く、重みをかけることによって、より正確な解を得ようとするモデルが重みつき最小二乗法モデルである。ここでは、重みとして、標準誤差 (偶発誤差の標準偏差) の逆数を考える。

C_i の値は、その値を得るために k 回の測定が行われた場合、通常、その平均値として求められる。

K 個の測定値 $C_i \alpha$ ($\alpha = 1, \dots, k$) について

$$C_i = \frac{1}{k} \sum_{\alpha=1}^k C_i \alpha \dots\dots\dots (2-14)$$

$C_i \alpha$ の標準偏差を σ_i 、標準誤差を S_i とすると、 σ_i 、 S_i は次式で定義される。

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{\alpha=1}^k (C_i \alpha - C_i)^2}{k-1}} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$S_i = \frac{\sigma_i}{\sqrt{k}} = \sqrt{\frac{\sum_{\alpha=1}^k (C_i \alpha - C_i)^2}{k(k-1)}} \dots\dots\dots (2-16)$$

従って、式 (2-6) より、基本式は次の通りである。

$$\frac{C_i}{S_i} = \frac{1}{S_i} \sum_{j=1}^m F_{ij} \cdot S_j = \sum_{j=1}^m \frac{F_{ij}}{S_i} \cdot S_j \dots\dots\dots (2-17)$$

ここで重み行列Wを次のように定義する。

$$W = \{W_{ij}^2\}, W_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{S_i} & (i=j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases} \dots\dots\dots (2-18)$$

このときの式(2-17)の行列表現は次のようになる。

$$W^{1/2} \cdot C = W^{1/2} \cdot F \cdot S \dots\dots\dots (2-19)$$

従ってSの推定値 \hat{S} は次式より求まる。

$$\begin{aligned} \hat{S} &= \{W^{1/2} \cdot F\}^{-1} \cdot \{W^{1/2} \cdot F\}^{-1} \cdot \{W^{1/2} \cdot F\}^{-1} \cdot W^{1/2} \cdot C \\ &= \{F^T \cdot W \cdot F\}^{-1} \cdot F^T \cdot W \cdot C \dots\dots\dots (2-20) \end{aligned}$$

(2) 発生源種と発生源組成

1) 発生源種

CMB法による発生源類型別の粒子状物質の寄与率推定には、その発生源に含まれる特有の元素(指標元素)を設定する必要がある。指標元素を持たない発生源の寄与率の推定は困難である。現在、指標元素を持つ発生源種としては、土壌、海塩粒子、ガソリン自動車、石油燃焼、鉄鋼、廃棄物焼却及びセメント硬化物(道路ダストを含む)などがある。

2) 発生源組成

CMB法による粒子状物質の寄与率を正確に推定するためには、発生源の組成データを収集することが非常に重要である。しかし、発生源の組成データは条件(運転、設備等)によって大きく変動するため、その発生源を正確に代表する組成データをそろえることは費用と時間がかかり、かなり困難である。また、実測を行わず、文献による発生源組成データを使用する場合は、対象地域の実態からのへだたりがあり、その推定結果は信頼性が低いという問題もある。

(3) 重み係数

重み付き最小二乗法による粒子状物質の発生源種類別寄与率推定では、各化学成分測定値について誤差分散を求めることが必要である。最近の事例をみると、Watson²¹⁾のように一律に10%を設定しているものもあるが、Scheff²²⁾では標準試料の繰り返し分析結果を用いて設定している。また、Kowalczyk²³⁾では、放射化分析での分析誤差とろ紙ブランク値の分散を考慮している。

2.2.2 CMB法による粒子状物質発生源種別寄与率の計算

(1) 計算法

(社)産業公害防止協会の検討²⁴⁾では、重み付き最小二乗法が一番安定した解が得られるので、ここではこの解法を用いた。

(2) 発生源種

粒子状物質の発生源種は下記に示す8種類とし、これら発生源の寄与率を計算した。

- ① 海塩粒子
- ② 土壌粒子
- ③ 自動車(ディーゼル車)
- ④ 自動車(ガソリン車)
- ⑤ 鉄鋼業
- ⑥ 石油燃焼
- ⑦ 廃棄物焼却
- ⑧ 道路堆積粉じん

(3) 発生源組成

各発生源に関連する化学成分として下記に示す18成分を選定した。これら18成分の発生源別の化学成分組成(発生源マトリックス)を表2-1に示す。なお、土壌及び道路ダストの組成はサムットプラカン工業地区内で採取した試料の分析値であり、その他の発生源の組成は文献による値である。

- | | | |
|----------|-------|--------------------|
| ① 海塩粒子関係 | | Na, Br |
| ② 土壌粒子関係 | | Al, Ca, Sc, Fe, Ti |
| ③ ディーゼル車 | | Cele, Corg |
| ④ ガソリン車 | | Pb, Br |
| ⑤ 鉄鋼業 | | Mn, Fe, Zn, Cr |
| ⑥ 石油燃焼 | | V, Ni |
| ⑦ 廃棄物焼却 | | K, Zn, Sb |
| ⑧ 道路ダスト | | Pb, Ca, Fe, Sc |

表 2 - 1 粒子状物質の発生源別化学成分組成

(unit;ppm)

	Sea salt	Soil	Diesel automobile	Gasoline automobile	Iron and steel Ind.	Fuel oil combustion	Refuse incineration	Road dust
Al	0.3	55500	240	1300	18000	14250	9770	50000
Br	1900	17.5	0	20000	140	60	6420	150
Ca	12000	1750	3260	0	47000	14500	13600	26000
Cr	0.001	27.5	46	21	4230	2760	570	33
Fe	0.29	12000	30700	4900	301000	28300	5900	18000
K	11000	31500	120	2000	11500	1300	100000	21000
Mn	0.058	365	77	51	27700	500	540	610
Na	304200	6500	120	200	7150	37800	88300	7200
Ni	0.014	30	0	38	1700	21000	135	25
Pb	0.087	70	490	120000	10500	900	53400	130
Sb	0.014	1.575	0.48	1.9	90	10	1120	3.4
Sc	0.001	4.45	0	0.12	2.9	0.33	0.74	4.5
Se	0.12	9.2	3.0	0	51	67	33	6.1
Ti	0.029	2700	0	0	1000	430	1380	2300
V	0.058	35.5	2.9	2.1	365	37700	27	46
Zn	0.029	17.5	1160	1400	26000	1700	79400	130
Cele	0	3250	620000	301000	33000	371000	94000	16000
Corg	0	1000	100000	263000	33000	24000	15000	600

発生源マトリックスの設定根拠を次に示す。

① 海塩粒子

海塩粒子の発生源組成は海水の組成そのものであり、溝畑の報告^{2.5)}より引用した。

② 土壌粒子及び道路ダスト

図 2 - 2 に示す地点で採取した土壌及び道路ダストの分析値を採用した。

土壌粒子； A, B 地点の土壌の分析値の平均値を土壌粒子の発生源組成とした。

道路ダスト； C 地点の道路ダストの分析値を道路ダストの発生源組成とした。

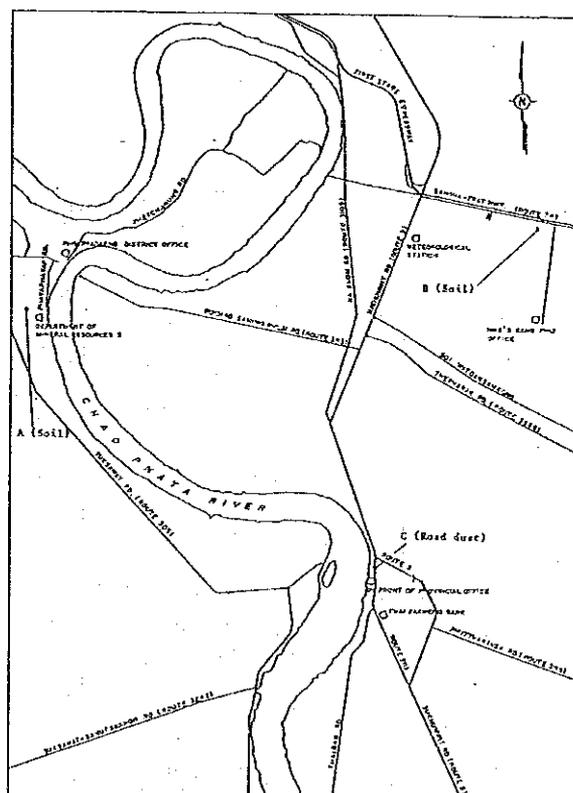


図 2 - 2 土壌及び道路ダスト試料の採取地点

③ ディーゼル車

福岡²⁶⁾、林²⁷⁾、小山²⁸⁾の報告データの平均値とした。

④ ガソリン車

炭素成分以外の化学成分は溝畑が報告している有鉛ガソリン車の値²⁵⁾を採用した。
炭素成分は内藤²⁹⁾の報告値とした。

⑤ 鉄鋼業

溝畑²⁵⁾、Catz³⁰⁾、Scheff³¹⁾の報告値の平均値とした。なお、炭素成分は林の報告²⁷⁾を引用した。

⑥ 石油燃焼

溝畑²⁵⁾、林²⁷⁾、Scheff³¹⁾、Friedlander³²⁾、Kowalczyk³³⁾の報告の平均値とした。

⑦ 廃棄物焼却

溝畑²⁵⁾、Scheff³¹⁾の報告値の平均値とした。

(4) 粒子状物質の化学成分濃度（リセプターにおける化学成分濃度）

粒子状物質の発生源種別寄与率推定に用いる化学成分濃度データは、第1次～第3次現地調査期間中にMS1～MS5においてローボリウムサンプラーにより捕集された浮遊粉じんを化学分析した値である。これらの化学成分（33元素、7イオン、元素状炭素、有機炭素）の分析方法並びに分析値はすでに報告したとおりであるが、発生源の指標となる18の化学成分についてまとめると表2-2に示すとおりである。なお、アンダーセンサンプラーにより捕集された浮遊粉じんの発生源別寄与率の推定は、浮遊粉じん中の炭素の分析を行っていないので行なわなかった。

表2-2 リセプターにおける化学成分濃度

(unit: ng/m³)

Chemical Component	1st Survey					2nd Survey					3rd Survey				
	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Al	1300	810	1100	1400	2200	760	310	490	650	570	770	410	410	820	740
Br	42	17	31	37	18	14	9	19	11	12	26	4.5	9.5	15	7.2
Ca	2100	1200	2600	1600	2100	730	<800	2000	1600	<500	1700	800	1300	1500	1300
Cr	6.5	7.3	31	5.1	3.3	3.7	10.0	10.0	2.9	0.77	7.9	7.9	7.3	4.5	5.0
Fe	1700	1300	4700	1700	1100	700	420	2000	400	260	1200	840	1700	940	450
K	1300	1100	1700	1200	2000	640	350	1300	750	540	<800	1400	1100	<800	<900
Mn	60	58	360	75	41	50	11	200	24	15	71	23	72	34	21
Na	1100	1700	1400	1500	1100	1400	2800	2100	1900	1800	780	1000	840	1100	790
Ni	19	<20	47	<10	<8	<7	19	55	6	<6	<10	22	18	<10	15
Pb	450	1590	780	290	30	50	20	380	50	<10	220	1100	230	140	40
Sb	29	64	17	17	5.4	5.1	1.4	6.5	1.7	0.47	5.6	32	10	4.1	3.1
Sc	0.20	0.13	0.19	0.20	0.23	0.11	0.054	0.078	0.076	0.071	0.15	0.11	0.10	0.14	0.15
Se	<0.9	<1.0	<2.0	<0.8	0.96	1.1	51	1.5	0.5	0.95	1.7	<1.0	<0.8	<0.7	<0.6
Ti	67	85	130	140	150	97	93	57	<100	82	62	<40	66	59	51
V	12	16	35	7.4	5.0	6.4	26	63	4.5	2.1	8.7	13	22	6.3	3.4
Zn	720	900	3700	760	140	250	82	2900	100	18	900	370	1100	370	160
Cele	15300	13500	16400	16200	9500	7500	7500	11500	11500	6200	10500	5500	8100	9700	4000
Corg	8700	5800	10800	9400	5700	4300	4000	5300	5800	4100	2700	2000	3200	4000	2000

(5) 重み係数

表2-2に示す化学成分のうち、Pb（蛍光X線分析法）、元素状炭素（Cele）と有機炭素（Corg）（熱分析法）以外の成分は放射化分析法で分析を行なった結果である。そこでここでは、(株)産業公害防止協会が同様な方法で測定した化学成分の分析精度（4回の分析値の分散の比較）の値を報告している²⁴⁾ので、原則としてこの値を用いることとし、検出限界以下のデータが多く測定誤差の評価を行っていない成分（K、Ni、Se）、測定誤差が報告されていない成分（Cele、Corg）については、それぞれ永塚⁴¹⁾、林³⁵⁾が報告している分析精度の値を用いることとした。この分析精度を表2-3に示す。

なお、計算に使用する重み係数はこの分析精度の逆数である。また、表2-2に示す検出限界以下の元素については、その濃度は検出限界以下の1/2の値と仮定し、重み係数を計算するための分析精度を10倍（1000%）とした。

表2-3 化学成分の分析精度

(unit %)

Component	IPCAJ	Nagatsuka et al.	Hayashi	Adopted
Al	5.8	15.7	—	5.8
Br	27.0	33.0	—	27.0
Ca	16.6	8.4	—	16.6
Cr	10.1	3.9	—	10.1
Fe	11.4	15.0	—	11.4
K	—	5.6	—	5.6
Mn	10.1	7.8	—	10.1
Na	10.1	13.8	—	10.1
Ni	—	—	—	10.0
Pb	11.0	—	—	11.0
Sb	5.6	22.6	—	5.6
Sc	9.6	22.9	—	9.6
Se	—	—	—	10.0
Ti	39.4	—	—	39.4
V	5.8	—	—	5.8
Zn	7.4	10.7	—	7.4
Cele	1.7	—	1.7	1.7
Corg	4.8	—	4.8	4.8

2.2.3 CMB法による粒子状物質発生源種別寄与率の計算結果

(1) 8発生源による寄与率推定結果

重み付き最小二乗法モデルを用いて、MS1～MS5の粒子状物質の発生源種別寄与率を季節別に推定した。この結果を表2-4に示す。

この結果をみると土壌の寄与率がマイナスを示したり、道路ダストの寄与率が100%を超えるなど異常な結果が多くみられる。そこで、表2-1に示す各発生源ごとの元素組成データを用いて表2-5に示すように発生源間の相関係数を調べてみた。この結果をみると、道路ダストと土壌粒子間の相関係数は0.866であり、両者の発生源組成が非常に似かよっていることが分かる。CMB法では発生源組成が完全に同一でなくても、非常に似かよっていれば、多重共線性と呼ばれる偶発誤差を引きおこし解が非常に不安定になり、発生源寄与率の識別が不可能になる。道路ダストと土壌ではこのような現象があらわれていると考えられる。

表2-4 粒子状物質の発生源種別寄与率推定結果 (8発生源)

【First survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	-0.2	2.6	-0.7	1.7	3.9
Soil	-65.1	-40.7	-30.8	-59.7	57.1
Diesel automobile	35.0	34.8	27.4	32.8	27.1
Gasoline automobile	-0.3	-3.4	-2.2	-2.0	-1.3
Iron and steel Ind.	0.0	0.7	8.9	-0.5	0.2
Fuel oil combustion	0.4	0.6	1.0	0.2	0.1
Refuse incineration	15.9	17.2	16.7	13.0	3.7
Road dust	112.5	68.5	53.1	102.7	29.6
TOTAL	98.2	80.4	73.4	88.2	120.3

【Second survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	9.9	20.6	9.2	15.3	22.6
Soil	-15.7	8.3	53.7	87.7	36.8
Diesel automobile	34.3	31.1	36.3	49.6	35.2
Gasoline automobile	-3.2	-0.9	-0.6	-0.5	-0.3
Iron and steel Ind.	0.8	0.6	3.2	1.0	-0.2
Fuel oil combustion	0.4	1.9	3.3	0.3	0.2
Refuse incineration	9.6	2.6	12.5	3.1	0.7
Road dust	60.4	5.9	-43.0	-64.5	3.6
TOTAL	96.6	70.1	74.6	92.0	98.5

【Third survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	1.4	4.2	-0.2	4.4	6.3
Soil	-109.0	57.8	-22.7	-67.5	-1.0
Diesel automobile	38.4	29.2	32.5	33.7	22.9
Gasoline automobile	-0.3	-4.6	-5.2	-0.9	-2.1
Iron and steel Ind.	2.4	2.7	2.4	0.8	1.8
Fuel oil combustion	0.4	1.1	1.4	0.3	0.3
Refuse incineration	11.8	17.5	21.9	7.8	7.2
Road dust	154.6	-40.8	42.0	108.3	48.4
TOTAL	99.8	67.1	72.2	86.9	83.8

表 2 - 5 発生源マトリックスの発生源間相関行列

Emission source	Sea salt	Soil	Diesel	Gasoline	Iron Steel	Fuel oil	Refuse	Road dust
Sea salt	1.000	0.014	-0.077	-0.115	-0.079	0.015	0.427	0.007
Soil	0.014	1.000	-0.064	-0.136	0.113	-0.041	0.183	0.866
Diesel automobile	-0.077	-0.064	1.000	0.794	0.065	0.983	0.432	0.153
Gasoline automobile	-0.115	-0.136	0.794	1.000	0.007	0.710	0.345	-0.010
Iron and Steel Ind.	-0.079	0.113	0.065	0.007	1.000	0.067	-0.068	0.267
Fuel oil combustion	0.015	-0.041	0.983	0.710	0.067	1.000	0.452	0.189
Refuse incineration	0.427	0.183	0.432	0.345	-0.068	0.452	1.000	0.180
Road dust	0.007	0.866	0.153	-0.010	0.267	0.189	0.180	1.000

(2) 7 発生源による寄与率推定結果

8 発生源による粒子状物質の発生源種別寄与率の計算では、土壌と道路ダストの発生源組成が類似しているため、解が不安定であった。土壌と道路ダストの化学成分組成は相関係数0.87と非常に似かよっているため、土壌と道路ダストを土壌+道路ダストとして同一の発生源とみなし、これを土壌の化学成分で代表して再度計算を行った。この結果を表 2 - 6 に示す。

これらの結果をみると、ガソリン自動車の寄与率がマイナスを示す地点が多くみられ、廃棄物焼却の寄与率が通常考えられる値より大きな値となっている。また、第 1 次現地調査時の MS 5 における寄与率が 100% を越えている。

表 2 - 6 粒子状物質の発生源種別寄与率推定結果 (7 発生源)

【First survey】		(%)				
Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5	
Sea salt	1.4	4.1	0.0	3.0	4.1	
Soil + Road dust	32.2	20.5	16.1	27.8	82.3	
Diesel automobile	37.3	36.2	28.4	35.0	27.8	
Gasoline automobile	1.3	-2.0	-1.4	-0.7	-1.3	
Iron and steel Ind.	1.0	1.4	9.3	0.2	0.3	
Fuel oil combustion	0.5	0.6	1.0	0.2	0.2	
Refuse incineration	12.1	13.6	15.1	10.0	3.6	
TOTAL	85.7	74.3	68.5	75.5	116.9	

【Second survey】		(%)				
Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5	
Sea salt	10.3	20.5	9.0	15.2	22.7	
Soil + Road dust	35.0	13.3	15.4	32.2	39.9	
Diesel automobile	35.7	31.2	35.5	47.8	35.3	
Gasoline automobile	-2.9	-0.9	-0.9	-0.6	-0.3	
Iron and steel Ind.	1.2	0.7	2.9	0.5	-0.2	
Fuel oil combustion	0.4	1.9	3.3	0.3	0.2	
Refuse incineration	8.9	2.6	12.9	3.3	0.7	
TOTAL	88.6	69.3	78.1	98.7	98.2	

【Third survey】

(%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	3.1	3.8	0.3	5.0	6.7
Soil + Road dust	17.1	21.4	14.9	18.0	37.7
Diesel automobile	41.5	28.4	33.3	36.0	24.0
Gasoline automobile	1.4	-5.0	-4.6	-0.1	-1.9
Iron and steel Ind.	3.8	2.3	2.7	1.7	2.3
Fuel oil combustion	0.4	1.1	1.4	0.3	0.3
Refuse incineration	7.6	18.0	20.7	6.0	6.8
TOTAL	74.9	70.0	68.8	67.0	75.9

(3) 7発生源による寄与率推定結果（ガソリン自動車、ディーゼル自動車及び廃棄物焼却の発生源組成を変えた場合）

7発生源による粒子状物質の発生源種別寄与率の計算では、ガソリン自動車の寄与率がマイナスになったり、廃棄物焼却の寄与率が通常考えられる値より大きな値を示すなど寄与率推定結果が不自然であった。この原因として、ガソリン自動車、ディーゼル自動車及び廃棄物焼却の発生源組成に問題があると考え、以下に示すような発生源組成の見直しを行った。

① ガソリン自動車

ガソリン車の発生源組成は溝畑の報告値を採用したが、このうちCaは0 ppmとなっている。しかし、自動車排ガス粉じん中にCaが存在することは明らかであり、福岡の報告²⁶⁾ではCaは1800ppmとなっている。そこで、ガソリン自動車の排ガス粉じん中のCa含有量を0 ppmから1800ppmに修正した。

② ディーゼル自動車

ディーゼル車の発生源組成は福岡、林²⁷⁾、小山らの報告値の平均値を採用したが、このうちFeについて3者の値を比べると表2-7に示すとおりになる。

表2-7 ディーゼル車排ガス粉じん中のFe分の比較

出典	福岡	林	小山
Fe	61000ppm	0ppm	360ppm

これをみると福岡の報告値は他の報告値と比較して鉄の含有量が大きい。そこで、鉄については、この福岡の報告値を除き360ppmとした。

③ 廃棄物焼却

廃棄物焼却の発生源組成は溝畑とScheffの報告値の平均値を採用したが、廃棄物焼却の場合、焼却の対象物質によって発生源組成は大きく変化する。タイ王国における廃棄物焼却の対象物質が不明であるため、ここではとりあえず溝畑の報告値を採用した。

このようにして修正した発生源組成を表2-8に示す。また、この発生源組成を用いて粒子状物質の発生源種別寄与率を計算した結果を表2-9に示す。

表2-8 粒子状物質の発生源別化学成分組成（ガソリン自動車，ディーゼル自動車，廃棄物焼却の発生源組成を修正したもの）

(unit:ppm)

	Sea salt	Soil + Road dust	Diesel automobile	Gasoline automobile	Iron and steel ind.	Fuel oil combustion	Refuse incineration
Al	0.3	55500	240	1300	18000	14250	4200
Br	1900	17.5	0	20000	140	60	830
Ca	12000	1750	3260	1800	47000	14500	11000
Cr	0.001	27.5	46	21	4230	2760	850
Fe	0.29	12000	360	4900	301000	28300	6200
K	11000	31500	120	2000	11500	1300	200000
Mn	0.058	365	77	51	27700	500	330
Na	304200	6500	120	200	7150	37800	120000
Ni	0.014	30	0	38	1700	21000	135
Pb	0.037	70	490	120000	10500	900	17000
Sb	0.014	1.575	0.48	1.9	90	10	610
Sc	0.001	4.45	0	0.12	2.9	0.33	0.46
Se	0.12	9.2	3.0	0	51	67	33
Ti	0.029	2700	0	0	1000	430	900
V	0.058	35.5	2.9	2.1	365	37700	27
Zn	0.029	17.5	1160	1400	26000	1700	26000
Cele	0	3250	620000	301000	33000	371000	94000
Corg	0	1000	100000	263000	33000	24000	15000

表2-9 粒子状物質の発生源種別寄与率推定結果（7発生源，ガソリン自動車，ディーゼル自動車，廃棄物焼却の発生源組成を修正した場合）

【First survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	2.5	6.0	0.9	4.7	1.9
Soil + Road dust	33.1	23.7	17.1	34.4	66.3
Diesel automobile	34.3	36.0	27.9	37.3	24.1
Gasoline automobile	5.2	1.9	3.2	3.2	-0.7
Iron and steel Ind.	1.6	2.2	11.0	0.9	-0.3
Fuel oil combustion	0.4	0.6	1.0	0.2	0.1
Refuse incineration	5.1	5.8	8.8	4.3	7.3
TOTAL	82.2	76.2	69.8	85.1	98.6

【Second survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	9.2	14.2	5.2	12.6	20.0
Soil + Road dust	30.3	10.2	12.0	28.8	38.8
Diesel automobile	32.3	29.5	27.3	47.7	33.7
Gasoline automobile	0.1	-0.3	2.4	0.0	-0.2
Iron and steel Ind.	1.6	1.0	2.2	0.8	-0.3
Fuel oil combustion	0.4	1.8	2.7	0.3	0.2
Refuse incineration	5.8	3.4	10.7	5.6	1.7
TOTAL	79.7	59.9	62.6	95.9	93.9

【Third survey】

(%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	4.5	-0.5	0.5	6.4	6.1
Soil + Road dust	23.5	21.3	14.9	23.5	30.9
Diesel automobile	38.1	26.1	28.5	37.6	23.3
Gasoline automobile	3.8	0.1	1.5	2.3	0.2
Iron and steel Ind.	4.4	2.4	2.9	2.4	3.0
Fuel oil combustion	0.4	1.1	1.3	0.3	0.3
Refuse incineration	1.4	24.8	13.0	2.0	6.0
TOTAL	76.0	75.4	62.6	74.6	69.8

これらの結果をみると、ガソリン自動車、鉄鋼業及び海塩粒子の寄与率がマイナスを示す地点がみられ、しかも、廃棄物焼却の寄与率も大きな値を示し、前回の計算結果とあまり変わっていない。

(4) 6 発生源による寄与率推定結果

ガソリン自動車、ディーゼル自動車及び廃棄物焼却の発生源組成を変えても、ガソリン自動車、鉄鋼業及び海塩粒子の寄与率がマイナスになる原因を次のように考えた。廃棄物焼却のPb, K, Na含有量はかなり多く、しかもこれらの元素は、それぞれガソリン自動車、鉄鋼業及び海塩粒子にも含まれていることから、廃棄物焼却に問題があると考えた。すなわち、サマツプラカン県内には大きな廃棄物焼却工場が無いにもかかわらず、これを粒子状物質の発生源としたことに問題があると考えた。そこで、廃棄物焼却を発生源から除いて粒子状物質の発生源種別寄与率の計算を行った。この結果を表2-10に示す。

表2-10 粒子状物質の発生源種別寄与率推定結果（6発生源、道路ダストと廃棄物焼却を除いた場合）

【First survey】

(%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	4.6	9.0	4.6	6.5	4.5
Soil + Road dust	41.1	29.4	23.9	42.8	75.7
Diesel automobile	34.8	36.9	28.9	37.8	24.7
Gasoline automobile	5.6	1.9	3.5	3.6	0.2
Iron and steel Ind.	2.2	2.9	12.7	1.5	0.9
Fuel oil combustion	0.4	0.6	1.0	0.2	0.1
TOTAL	88.8	80.6	74.6	92.4	106.1

【Second survey】

(%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	12.2	21.6	10.9	15.7	21.6
Soil + Road dust	41.5	14.2	15.1	34.6	39.2
Diesel automobile	32.8	29.9	28.7	48.4	34.3
Gasoline automobile	0.8	0.2	2.8	0.7	0.0
Iron and steel Ind.	2.4	1.1	4.3	1.6	0.2
Fuel oil combustion	0.3	1.8	2.7	0.3	0.1
TOTAL	90.1	68.8	64.5	101.3	95.4

【Third survey】

(%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	5.1	10.0	5.8	7.4	8.4
Soil + Road dust	28.3	27.1	18.9	30.8	48.3
Diesel automobile	38.2	29.8	30.2	37.8	23.8
Gasoline automobile	3.9	0.2	1.9	2.4	0.9
Iron and steel ind.	4.5	3.6	4.9	2.6	3.3
Fuel oil combustion	0.4	1.2	1.3	0.3	0.3
TOTAL	80.4	71.8	63.0	81.5	84.9

これらの結果をみると、第1次現地調査時のMS 5及び第2次現地調査時のMS 4における寄与率が100%を越えているが、マイナスの寄与率を示す発生源はなく、ほぼ妥当な結果が得られている。

(5) 7発生源による寄与率推定結果

道路ダストと廃棄物焼却を粒子状物質の発生源から除いて計算した粒子状物質の発生源種別寄与率推定では、ほぼ妥当な結果が得られた。しかし、サムットプラカン地区にはガラス工場が立地しており、これらの工場の粒子状物質の寄与率も調べておく必要がある。そこで、ガラス工場の粒子状物質の化学成分組成を飯豊らの報告³⁰⁾より引用し、粒子状物質の発生源種別寄与率を計算した。計算に使用した発生源別成分組成を表2-11に、寄与率推定結果を表2-12に示す。

表2-11 粒子状物質の発生源別化学成分組成 (7発生源, 廃棄物焼却の代わりにガラス工場を加えた場合)

(unit;ppm)

	Sea salt	Soil + Road dust	Diesel automobile	Gasoline automobile	Iron and steel ind.	Fuel oil combustion	Glass industry
Al	0.3	55500	240	1300	18000	14250	26700
Br	1900	17.5	0	20000	140	60	1080
Ca	12000	1750	3260	1800	47000	14500	31700
Cr	0.001	27.5	46	21	4230	2760	5160
Fe	0.29	12000	360	4900	301000	28300	10200
K	11000	31500	120	2000	11500	1300	23100
Mn	0.058	365	77	51	27700	500	7910
Na	304200	6500	120	200	7150	37800	42300
Ni	0.014	30	0	33	1700	21000	8820
Pb	0.037	70	490	120000	10500	900	39000
Sb	0.014	1.575	0.48	1.9	90	10	1800
Sc	0.001	4.45	0	0.12	1.3	0.33	2
Se	0.12	9.2	3.0	0	48	67	683
Ti	0.029	2700	0	0	1000	430	2400
V	0.058	35.5	2.9	2.1	365	37700	830
Zn	0.029	17.5	1160	1400	26000	1700	40100
Cele	0	3250	620000	301000	33000	371000	371000
Corg	0	1000	100000	263000	33000	24000	24000

表2-12 粒子状物質の発生源種別寄与率推定結果（7発生源、廃棄物焼却の代わりにガラス工場を加えた場合）

【First survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	4.5	8.9	4.5	6.5	4.4
Soil + Road dust	41.0	29.3	23.8	43.1	76.2
Diesel automobile	34.8	36.8	28.5	37.8	24.5
Gasoline automobile	5.6	1.9	3.5	3.6	0.1
Iron and steel Ind.	2.1	2.7	10.7	1.8	0.3
Fuel oil combustion	0.4	0.6	0.9	0.2	0.1
Glass industry	0.1	0.1	1.0	-0.2	0.5
TOTAL	88.6	80.4	72.9	92.9	106.2

【Second survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	12.2	22.6	10.7	15.8	21.3
Soil + Road dust	41.6	13.7	14.8	35.1	41.7
Diesel automobile	32.7	29.0	27.0	47.6	33.9
Gasoline automobile	0.8	-0.4	2.4	0.4	-0.2
Iron and steel Ind.	2.0	0.4	0.1	0.3	-0.7
Fuel oil combustion	0.3	1.6	2.4	0.2	0.1
Glass industry	0.4	2.0	3.7	1.4	0.7
TOTAL	89.8	68.9	61.1	100.9	96.9

【Third survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	5.0	9.7	5.7	7.4	8.4
Soil + Road dust	28.3	26.2	18.7	30.5	47.1
Diesel automobile	38.0	28.7	29.8	37.6	23.1
Gasoline automobile	3.8	0.1	1.9	2.4	0.5
Iron and steel Ind.	3.8	2.6	4.0	2.0	2.3
Fuel oil combustion	0.3	1.1	1.3	0.3	0.2
Glass industry	0.5	2.1	0.7	0.6	1.6
TOTAL	79.8	70.4	62.1	80.7	83.3

これらの結果をみると、ガソリン自動車（2地点）、鉄鋼業（1地点）及びガラス工場（1地点）でマイナスの寄与率を示している。また、第1次現地調査時のMS 5と第2次現地調査時のMS 4で寄与率が100%を越えている。

ここで、CMB法における元素ごとの適合性をみるために、各元素の計算値と実測値の比較を行った。この結果を表2-13に示す。これらの結果をみると、Al, Na, V, Ni, Pb, Ce, Mnは比較的1に近い値を示しており、土壌、海塩粒子、石油燃焼、ガソリン自動車、ディーゼル自動車及び鉄鋼業については発生源寄与率の推定精度が高いと思われる。しかし、Sb, Znは0.1前後の低い値を示す場合があり、ガラス工場の寄与率は不正確であると考えられる。

表 2-13(1) CMB法による計算結果についての元素別評価 (第1次現地調査)

MS 1

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	1544.680	1300.000	1.19
	Br	60.356	42.000	1.91 +
	Ca	237.305	2100.000	0.11 ---
	Cr	8.933	6.500	1.37
	Fe	784.282	1700.000	0.46 --
	K	914.378	1300.000	0.70
	Mn	51.488	60.000	0.86
	Na	1116.683	1100.000	1.02
	Ni	9.869	19.000	0.52 -
	Pb	473.892	450.000	1.05
	Sb	0.236	29.000	0.01 ---
	Sc	0.123	0.200	0.62 -
	Se	0.445	0.450	0.99
	Ti	74.809	67.000	1.12
	V	12.375	12.000	1.03
	Zn	71.802	720.000	0.10 ---
	C _{site}	15631.883	15300.000	1.02
C _{org}	3353.184	8700.000	0.39 --	
Total		24366.783	32906.150	0.74

MS 2

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	989.046	810.000	1.22
	Br	32.761	17.000	1.93 +
	Ca	246.933	1200.000	0.21 ---
	Cr	9.651	7.300	1.32
	Fe	709.371	1300.000	0.55 -
	K	619.898	1100.000	0.56 -
	Mn	52.987	58.000	0.91
	Na	1724.819	1700.000	1.01
	Ni	11.563	10.000	1.16
	Pb	165.451	1590.000	0.10 ---
	Sb	0.335	64.000	0.01 ---
	Sc	0.078	0.130	0.60 -
	Se	0.379	0.500	0.76
	Ti	47.990	86.000	0.56 -
	V	14.903	16.000	0.93
	Zn	72.119	960.000	0.08 ---
	C _{site}	13877.363	13500.000	1.03
C _{org}	2513.216	5800.000	0.43 --	
Total		21088.865	28218.930	0.75

MS 3

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	1321.682	1100.000	1.20
	Br	68.544	31.000	2.21 ++
	Ca	627.745	2600.000	0.24 ---
	Cr	46.547	31.000	1.50 +
	Fe	3021.493	4700.000	0.64 -
	K	807.878	1700.000	0.48 --
	Mn	267.251	360.000	0.74
	Na	1412.067	1400.000	1.01
	Ni	40.191	47.000	0.86
	Pb	494.477	780.000	0.63 -
	Sb	2.380	17.000	0.14 ---
	Sc	0.104	0.190	0.54 -
	Se	1.318	1.000	1.32
	Ti	65.672	130.000	0.51 -
	V	34.743	35.000	0.99
	Zn	302.729	3700.000	0.08 --
	C _{site}	16729.996	16400.000	1.02
C _{org}	3530.656	10800.000	0.33 --	
Total		28775.471	43832.190	0.66

MS 4

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	1629.855	1400.000	1.16
	Br	57.342	37.000	1.55 +
	Ca	244.567	1600.000	0.15 ---
	Cr	6.895	5.100	1.35
	Fe	730.138	1700.000	0.43 --
	K	975.355	1200.000	0.81
	Mn	44.904	75.000	0.60 -
	Na	1529.268	1500.000	1.02
	Ni	5.154	5.000	1.03
	Pb	313.569	290.000	1.08
	Sb	-0.034	17.000	0.00 ---
	Sc	0.130	0.200	0.65 -
	Se	0.331	0.400	0.83
	Ti	78.824	140.000	0.56 -
	V	7.138	7.400	0.96
	Zn	60.046	760.000	0.08 --
	C _{site}	16574.312	16200.000	1.02
C _{org}	3238.669	9400.000	0.34 --	
Total		25496.466	34337.100	0.74

MS 5

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	2643.747	2200.000	1.20
	Br	7.638	18.000	0.42 --
	Ca	184.978	2100.000	0.09 ---
	Cr	4.520	3.300	1.37
	Fe	638.449	1100.000	0.58 -
	K	1532.589	2000.000	0.77
	Mn	26.295	41.000	0.64 -
	Na	1158.068	1100.000	1.05
	Ni	5.642	4.000	1.41
	Pb	31.873	30.000	1.06
	Sb	0.625	5.400	0.12 ---
	Sc	0.212	0.230	0.92
	Se	0.694	0.960	0.72
	Ti	128.762	150.000	0.86
	V	4.391	5.000	0.88
	Zn	35.547	140.000	0.25 --
	C _{site}	9761.973	9500.000	1.03
C _{org}	1603.416	5700.000	0.28 --	
Total		17769.418	24097.890	0.74

表2-13(2) CMB法による計算結果についての元素別評価 (第2次現地調査)

MS 1

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	870.342	760.000	1.15
	Br	14.653	14.000	1.05
	Ca	160.346	730.000	0.22 ---
	Cr	5.053	3.700	1.37
	Fe	414.016	700.000	0.59 -
	K	544.630	640.000	0.85
	Mn	27.879	50.000	0.56 -
	Na	1478.572	1400.000	1.06
	Ni	5.204	3.500	1.49
	Pb	53.560	50.000	1.07
	Sb	0.331	5.100	0.06 ---
	Sc	0.069	0.110	0.63 -
	Se	0.309	1.100	0.28 ---
	Ti	42.388	97.000	0.44 ---
	V	5.161	6.400	0.81
	Zn	39.029	250.000	0.16 ---
	C _{org}	7699.875	7500.000	1.03
	C _{org}	1321.100	4300.000	0.31 ---
Total		12682.525	16510.910	0.77

MS 2

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	341.211	310.000	1.10
	Br	14.990	9.000	1.67 +
	Ca	198.370	400.000	0.50 ---
	Cr	7.272	10.000	0.73
	Fe	147.035	420.000	0.35 ---
	K	294.885	350.000	0.84
	Mn	14.159	11.000	1.29
	Na	2349.898	2800.000	1.02
	Ni	21.145	19.000	1.11
	Pb	19.870	20.000	0.99
	Sb	1.453	1.400	1.04
	Sc	0.026	0.054	0.49 ---
	Se	0.677	51.000	0.01 ---
	Ti	17.190	93.000	0.18 ---
	V	25.624	26.000	0.99
	Zn	50.477	82.000	0.62 -
	C _{org}	7730.535	7500.000	1.03
	C _{org}	1167.984	4000.000	0.29 ---
Total		12902.802	16107.454	0.80

MS 3

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	574.714	490.000	1.17
	Br	43.551	19.000	2.29 ++
	Ca	241.465	2000.000	0.12 ---
	Cr	16.745	10.000	1.67 +
	Fe	206.305	2000.000	0.10 ---
	K	405.469	1300.000	0.31 ---
	Mn	24.943	200.000	0.12 ---
	Na	2140.176	2100.000	1.02
	Ni	50.376	55.000	0.92
	Pb	269.834	380.000	0.71
	Sb	4.019	6.500	0.62 -
	Sc	0.044	0.078	0.57 -
	Se	1.739	1.500	1.16
	Ti	29.741	57.000	0.52 -
	V	56.861	63.000	0.90
	Zn	113.893	2900.000	0.04 ---
	C _{org}	11797.414	11500.000	1.03
	C _{org}	2087.456	5300.000	0.39 ---
Total		18064.446	28382.078	0.64

MS 4

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	780.470	650.000	1.20
	Br	15.426	11.000	1.40
	Ca	183.194	1600.000	0.11 ---
	Cr	4.882	2.900	1.68 +
	Fe	216.116	400.000	0.54 -
	K	514.601	750.000	0.69 -
	Mn	14.299	24.000	0.60 -
	Na	1990.674	1900.000	1.05
	Ni	7.353	6.000	1.23
	Pb	50.517	50.000	1.01
	Sb	1.054	1.700	0.62 -
	Sc	0.062	0.076	0.82
	Se	0.577	0.500	1.15
	Ti	38.356	50.000	0.77
	V	4.226	4.500	0.94
	Zn	47.794	100.000	0.48 ---
	C _{org}	11819.266	11500.000	1.03
	C _{org}	1923.789	5800.000	0.33 ---
Total		17612.656	22850.676	0.77

MS 5

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	689.247	570.000	1.21
	Br	11.255	12.000	0.94
	Ca	127.844	250.000	0.51 -
	Cr	1.153	0.770	1.50
	Fe	94.450	260.000	0.36 ---
	K	461.546	540.000	0.85
	Mn	1.432	15.000	0.10 ---
	Na	2010.291	1800.000	1.12
	Ni	2.709	3.000	0.90
	Pb	5.032	5.000	1.01
	Sb	0.387	0.470	0.82
	Sc	0.055	0.071	0.78
	Se	0.282	0.950	0.30 ---
	Ti	33.615	82.000	0.41 ---
	V	2.036	2.100	0.97
	Zn	15.130	18.000	0.84
	C _{org}	6338.141	6200.000	1.02
	C _{org}	1001.278	4100.000	0.24 ---
Total		10795.883	13859.361	0.78

表2-13(3) CMB法による計算結果についての元素別評価(第3次現地調査)

MS 1

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	713.921	770.000	0.93
	Br	37.488	26.000	1.44
	Ca	187.702	1700.000	0.11 ---
	Cr	9.499	7.900	1.20
	Fe	648.470	1200.000	0.54 -
	K	433.545	400.000	1.08
	Mn	52.119	71.000	0.73
	Na	760.479	780.000	0.97
	Ni	8.221	5.000	1.64 +
	Pb	231.136	220.000	1.05
	Sb	0.594	5.600	0.11 ---
	Sc	0.057	0.150	0.38 --
	Se	0.406	1.700	0.24 ---
	Ti	34.856	62.000	0.56 -
	V	6.675	8.700	0.77
	Zn	72.637	960.000	0.08 ---
	C _{calc}	10785.746	10600.000	1.02
C _{corr}	2128.732	2700.000	0.79	
Total		16122.284	19518.050	0.83

MS 2

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	466.560	410.000	1.14
	Br	7.012	4.500	1.56 +
	Ca	135.547	800.000	0.17 ---
	Cr	7.862	7.900	1.00
	Fe	340.066	840.000	0.40 --
	K	299.957	1400.000	0.21 ---
	Mn	29.501	23.000	1.28
	Na	969.502	1000.000	0.97
	Ni	13.747	22.000	0.62 -
	Pb	40.539	1100.000	0.04 ---
	Sb	1.186	32.000	0.04 ---
	Sc	0.037	0.110	0.33 --
	Se	0.572	0.500	1.14
	Ti	23.277	20.000	1.16
	V	13.359	13.000	1.03
	Zn	54.779	370.000	0.15 ---
	C _{calc}	5671.926	5500.000	1.03
C _{corr}	912.733	2000.000	0.46 --	
Total		8988.162	13543.010	0.66

MS 3

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	489.188	410.000	1.17
	Br	20.840	9.500	2.19 ++
	Ca	180.013	1300.000	0.14 ---
	Cr	10.874	7.300	1.49
	Fe	625.162	1700.000	0.37 --
	K	300.474	1100.000	0.27 --
	Mn	52.936	72.000	0.74
	Na	823.559	840.000	0.98
	Ni	16.849	18.000	0.94
	Pb	129.565	230.000	0.56 -
	Sb	0.699	10.000	0.07 ---
	Sc	0.038	0.100	0.38 --
	Se	0.424	0.400	1.06
	Ti	23.555	66.000	0.36 --
	V	21.214	22.000	0.96
	Zn	71.855	1100.000	0.07 ---
	C _{calc}	8314.117	8100.000	1.03
C _{corr}	1528.801	3200.000	0.48 -	
Total		12601.161	18185.300	0.69

MS 4

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	716.630	820.000	0.87
	Br	25.460	15.000	1.70 +
	Ca	156.055	1500.000	0.10 ---
	Cr	5.950	4.500	1.32
	Fe	405.389	940.000	0.43 --
	K	442.915	400.000	1.11
	Mn	29.717	34.000	0.87
	Na	1022.368	1100.000	0.93
	Ni	6.390	5.000	1.28
	Pb	140.459	140.000	1.00
	Sb	0.507	4.100	0.12 ---
	Sc	0.057	0.140	0.41 --
	Se	0.361	0.350	1.03
	Ti	34.938	59.000	0.59 -
	V	5.699	6.300	0.90
	Zn	49.285	370.000	0.13 ---
	C _{calc}	9962.352	9700.000	1.03
C _{corr}	1827.459	4000.000	0.46 -	
Total		14831.991	19098.390	0.78

MS 5

Element		Calculated (ng/m ³)	Observed (ng/m ³)	Calculated Observed
Index elements	Al	723.439	740.000	0.98
	Br	7.945	7.200	1.10
	Ca	112.521	1300.000	0.09 ---
	Cr	5.590	5.000	1.12
	Fe	344.264	450.000	0.77
	K	439.167	450.000	0.98
	Mn	25.428	21.000	1.21
	Na	791.229	790.000	1.00
	Ni	6.493	15.000	0.43 --
	Pb	44.405	40.000	1.11
	Sb	0.845	3.100	0.27 --
	Sc	0.058	0.150	0.38 --
	Se	0.459	0.300	1.53 +
	Ti	35.642	51.000	0.70 -
	V	3.398	3.400	1.00
	Zn	40.651	160.000	0.25 --
	C _{calc}	4105.918	4000.000	1.03
C _{corr}	698.811	2000.000	0.35 --	
Total		7386.262	10036.150	0.74

今回の計算のように寄与率の合計が100%を越えたり、マイナスの寄与率を示す発生源が存在したり、一部の元素で計算値と実測値の整合性が悪い原因は、発生源組成に問題があると考えられる。すなわち、今回の計算では発生源組成は文献値を利用したものであり、サムットプラカン地域の実態からのへだたりがあったものと考えられる。しかし、いずれにしてもマイナスの寄与率を示す発生源の絶対値は非常に小さく、これらの発生源の寄与率をゼロと考えれば、全体としてはほぼ妥当な寄与率の推定結果と考えられる。

(6) 二次粒子を考慮した場合の寄与率推定結果

表2-14は、Ellsaesser³⁷⁾が地球上で粒子状物質発生量(粒径 $< 5 \mu\text{m}$)を自然発生源と人為発生源に分けて、それぞれの発生源別に分けて推定したものである。地球上での粒子状物質の発生量の推定はあくまで一つの目安であって決して正確なものではないが、この結果では自然発生源の粒子が全粒子の69%を占めており、二次粒子は全粒子の45%を占めている。

表2-14 地球規模での粒子状物質発生量

	粒径 $< 5 \mu\text{m}$ の発生量 ($10^4 \text{ton} \cdot \text{yr}^{-1}$)	
	自然発生	人為的発生
一次粒子		
海塩粒子	500	
土壌粒子	100	150*
森林火災	5	60*
火山	25	-
工場・発電所・焼却場など	-	30
小 合 計	870 (100%)	240 (28%)
二次粒子		
硫黄化合物	335	200
窒素化合物	60	35
炭化水素	75	15
小 合 計	720 (100%)	250 (35%)
合 計	1590 (100%)	490 (31%)

*間接的に人間活動に伴うもの

これら二次粒子は SO_2 、 H_2S などの硫黄化合物、 NO_x や NH_3 などの窒素化合物、あるいはテルペンなど植物性の炭化水素のように、発生源からは気体物質として大気中に放出されたものが、大気中で化学反応と諸々の後続化学反応を経て粒子状物質に転化したものの総称である。

ここでは、二次粒子は硝酸塩と硫酸塩が大部分を占め、粒子中の NO_3^- 及び SO_4^{2-} は全てアンモニウム塩として存在しているものと仮定して二次粒子の量を推定した。なお海塩粒子中には硫酸イオンが含まれているので、二次粒子の硫酸イオンの量を求める際には、海塩粒子起源の硫酸イオンを差し引いておく必要がある。すなわち、海塩粒子中

のS分は溝畑²⁵⁾の報告より2.6%と考え、海塩粒子濃度より海塩粒子中のSの推定濃度〔S_{sea}〕を求めることができる。したがって、ローボリウムサンプラーにより捕集された粒子状物質中のNO₃濃度を〔NO₃〕、SO₄²⁻の濃度を〔SO₄²⁻〕とすると、二次粒子の寄与濃度は次式により求められる。

$$\begin{aligned} \text{二次粒子濃度} = & \left\{ \left[\text{SO}_4^{2-} \right] - \left[\text{S}_{\text{sea}} \right] \times \frac{96}{32} \right\} \\ & \times \frac{132}{96} + \left[\text{NO}_3 \right] \times \frac{80}{62} \dots\dots\dots (2-21) \end{aligned}$$

7 発生源による粒子状物質の寄与率推定結果 (表 2-12) に二次粒子の寄与率を加えた結果を表 2-15 に示す。

表 2-15 粒子状物質の発生源種別寄与率推定結果 (二次粒子を考慮した場合)

【First survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	4.5	8.9	4.5	6.5	4.4
Soil + Road dust	41.0	29.3	23.8	43.1	76.2
Diesel automobile	34.8	36.8	28.5	37.8	24.5
Gasoline automobile	5.6	1.9	3.5	3.6	0.1
Iron and steel ind.	2.1	2.7	10.7	1.8	0.3
Fuel oil combustion	0.4	0.6	0.9	0.2	0.1
Glass industry	0.1	0.1	1.0	-0.2	0.5
Sub total	88.6	80.4	72.9	92.9	106.2
Secondary	12.5	19.1	16.1	14.7	10.4
Total	101.1	99.5	89.0	107.6	116.6

【Second survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	12.2	22.6	10.7	15.8	21.3
Soil + Road dust	41.6	13.7	14.8	35.1	41.7
Diesel automobile	32.7	29.0	27.0	47.6	33.9
Gasoline automobile	0.8	-0.4	2.4	0.4	-0.2
Iron and steel ind.	2.0	0.4	0.1	0.3	-0.7
Fuel oil combustion	0.3	1.6	2.4	0.2	0.1
Glass industry	0.4	2.0	3.7	1.4	0.7
Sub total	89.8	68.9	61.1	100.9	96.9
Secondary	14.0	24.9	16.9	15.7	11.1
Total	103.8	93.8	78.0	116.6	108.0

【Third survey】 (%)

Component	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Sea salt	5.0	9.7	5.7	7.4	8.4
Soil + Road dust	28.3	26.2	18.7	30.5	47.1
Diesel automobile	38.0	28.7	29.8	37.6	23.1
Gasoline automobile	3.8	0.1	1.9	2.4	0.5
Iron and steel ind.	3.8	2.6	4.0	2.0	2.3
Fuel oil combustion	0.3	1.1	1.3	0.3	0.2
Glass industry	0.5	2.1	0.7	0.6	1.6
Sub total	79.8	70.4	62.1	80.7	83.3
Secondary	11.5	25.9	20.3	11.1	10.8
Total	91.3	96.3	82.4	91.8	94.1

これらの結果をみると、粒子状物質の寄与率の合計が100%を越える測定局が存在しているが、これは、粒子状物質中の SO_4^{2-} 、 NO_3 をすべてアンモニウム塩として二次粒子とみなしたのが主な原因と考えられる。なお、寄与率の合計が100%に達していない測定局がみられるが、未把握部分の主なものは焼畑により生成する粒子状物質が占めているものと思われる。

2.2.4 粒子状物質の発生源種別寄与率推定結果の評価

粒子状物質の発生源として、海塩粒子、土壌+道路ダスト、ディーゼル自動車、ガソリン自動車、鉄鋼業、石油燃焼及びガラス工業を考慮し、CMB法によりこれら発生源の寄与率を推定した結果（表2-12）を考察すると次のとおりである。

(1) 海塩粒子

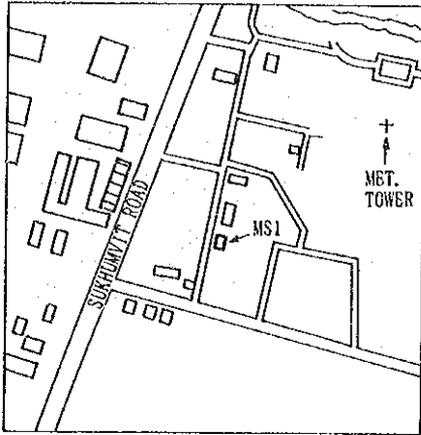
海塩粒子の寄与率の高い測定局は、MS 2、MS 3、MS 4である。この原因は、これらの測定局は図2-3に示すように、いずれもチャオプラヤ川のごく近傍にあるためと思われる。特にMS 2の寄与率が高いが、これは、図2-4に示す風配図から考察すると、MS 2はチャオプラヤ川のちょうど風下に当たり、MS 3及びMS 4は、どちらかと云うと平行風になっているためと考えられる。季節的にみると、第2次現地調査時に寄与率が高くなっているが、これも風配図から分るように、川から吹く風の頻度が大きいためと考えられる。

(2) 土壌+道路ダスト

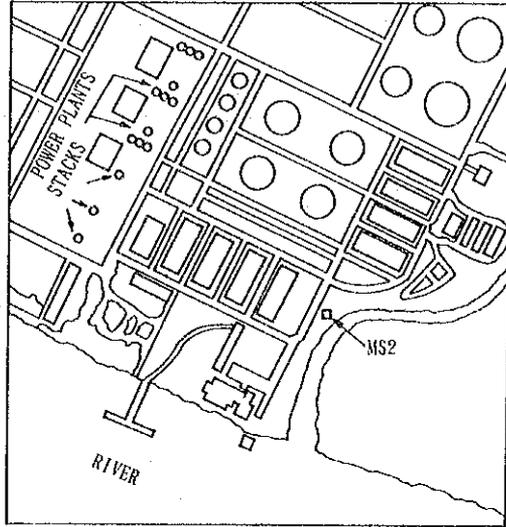
土壌と道路ダストの寄与率の大きい測定局はMS 1、MS 4及びMS 5である。MS 1の西約90mは日交通量77,000台のSukhumvit道路が走っており、道路ダストの影響を受けているものと考えられる。また、MS 4の東側約100mも日交通量約35,000台のSukhumit道路が位置し、道路ダストの影響を受けているものと思われる。

MS 5は土壌及び道路ダストの寄与率が一番大きい測定局であるが、この測定局の北側約120mには未舗装のTheparak道路が位置しており、このため土壌及び道路ダストの寄与率が高くなっているものと思われる。なお、この測定局の周辺は表土がむき出しになっている地域であり、土壌の巻き上げもかなり多いと考えられる。

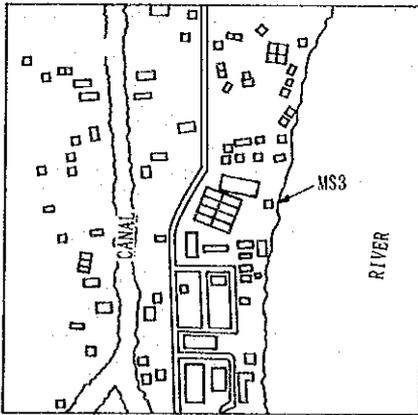
MS 1



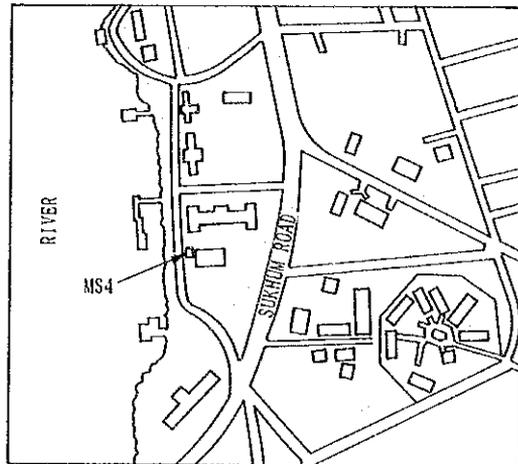
MS 2



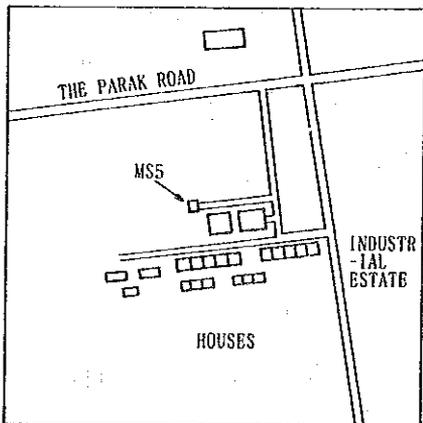
MS 3



MS 4



MS 5



N

0 100 500 m

A horizontal scale bar with tick marks at 0, 100, and 500 meters.

图 2-3 测定局周边图

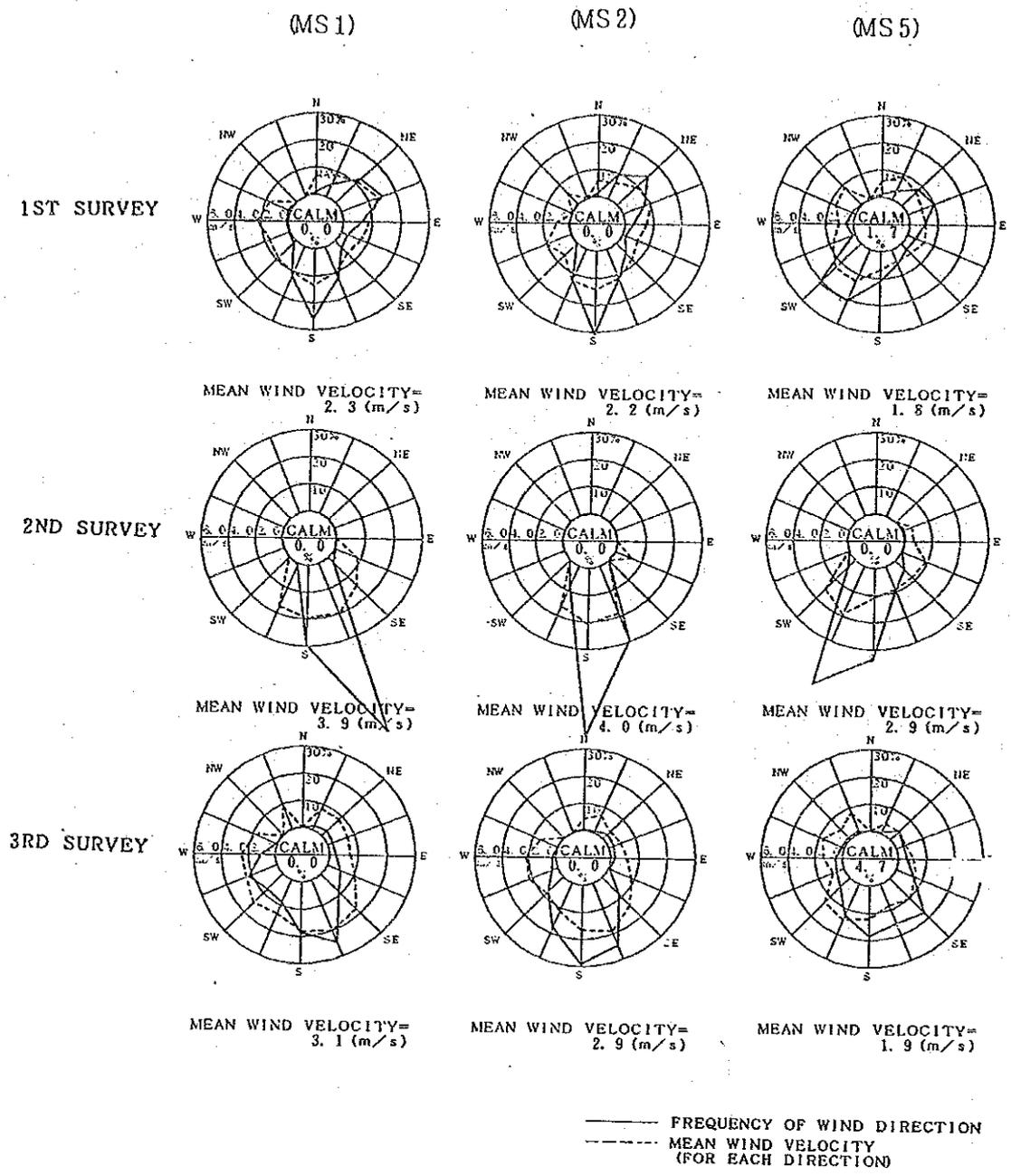


図 2 - 4 調査期間中の風配図

(3) ディーゼル自動車, ガソリン自動車

ディーゼル自動車とガソリン自動車の寄与率の大きい測定局はMS1とMS4であり, この原因は道路ダストの場合と同様に考えられる。ディーゼル自動車の寄与率は23~48%でかなり大きく, ガソリン自動車の寄与率は, 0~5%前後でありかなり低い。

(4) 鉄鋼業

鉄鋼業による寄与率が高い測定局はMS 3であるが、これはこの測定局が位置するチャオプラヤ川沿いの対岸に製鉄所（電炉）が立地しているためと考えられる。このことは、製鉄所の位置している方向から風が吹く（NE）頻度が多い第1次現地調査時が、他の現地調査時（第2、第3次）よりも製鉄所の寄与率が高いことから明らかである。

(5) 石油燃焼

石油燃焼の寄与率が比較的高い測定局はMS 2とMS 3であるが、寄与率そのものは2%前後である。その他の測定局は1%以下の寄与率であり、特に煙源からはなれたMS 5は0.1%前後の寄与率でありかなり低い。なお、発電所構内に立地しているMS 2における石油燃焼の寄与率が1%前後と低いのは、発電所の煙突が104mと高いので、MS 2に影響を及ぼしていないためと考えられる。

(6) ガラス工業

ガラス工業の寄与率は0.1~2%前後であるが、地域的な特徴はみられない。なお、アルミ製錬工場もガラス工業と同じような化学成分を排出しているので、ここで示したガラス工業の寄与率の中にはアルミ工場の寄与も含まれていることを留意しておかなければならない。

(7) 自然発生源と人為発生源の寄与率

今回の計算では土壌の巻き上がり（自然発生源）と道路ダスト（人為発生源）を明確に分けて寄与率を推定することは出来なかったが、人為発生源で一番寄与率の大きい発生源はディーゼル自動車（排ガス車の黒煙）であり、次に道路ダストになっており、石油燃焼及び鉄鋼業による寄与率は数%でかなり小さな寄与率である。自然発生源と人為発生源の寄与率の割合は、地点及び季節により異なるが、おおよそ半々と云えよう。これらの推定結果は世界各国で推定されている値とほぼ一致している。

文 献

- 1) T. S. Walters; The importance of diffusion along the mean wind direction for ground-level crosswind line source, *Atmos. Env.*, 3, 461-466. (1969)
- 2) G. I. Taylor; Diffusion by Continuous movements, *Proc. London Math. Soc.* (1921)
- 3) F. Pasquill, The estimation of the dispersion of windborne material, *Met. Mag.*, 90, 33-49. (1961)
- 4) F. A. Gifford; Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric dispersion, *Nucl. Saf.*, 2, 4, 47-57. (1961)
- 5) D. B. Turner; Workbook of atmospheric dispersion estimate, Office of Air Programs Publ., No AP-26, U. S. E. P. A. Research Triangle Park, N. C. (1970)
- 6) S. R. Hanna, G. A. Briggs, J. Deardorff, B. A. Egan, F. A. Gifford, and F. Pasquill; AMS Workshop on Stability Classification Schemes and Sigma Curves-Summary of Recommendations, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 58, 1305-1309. (1977)
- 7) Texas Air Control Board; User's Guide to the Texas Episodic Model, Texas Air Control Board Permits Section, Austin., PP. 215 (1979)
- 8) D. B. Turner; A diffusion model for an urban area, *J. App. Met.*, 3, 83-91. (1964)
- 9) 早稲田大学, (株)産業公害防止協会; 大気汚染濃度予測のための調査研究報告書 — 煤煙上昇高度の推定方法について —, (1985)
- 10) 通商産業省, (株)産業公害防止協会; 産業公害総合事前調査における大気に係る環境濃度予測手法マニュアル., 昭和57年1月.
- 11) G. A. De Marrais; Wind speed profiles at Brookhaven National Laboratory, *J. Met.*, 16. (1959)
- 12) 山本晋, 横山長之; 煙流拡散幅の推定法, *大気汚染研究.*, 9 (1974)
- 13) J. R. Zimmerman and R. S. Thompson; Users guide for HIWAY, a highway air pollution model., EPA-650/4-74-008. (1975)
- 14) S. B. Carpenter, T. L. Montgomery, J. M. Leavitt, W. C. Colbaugh and F. W. Thomas; Principal plume dispersion models: TVA power plants, *J. Air Poll. Control.* (1971)
- 15) University of Washington; Reactions of nitrogen oxides, ozone and sulfur in power plant plumes., EPRI EA-270. (1976)
- 16) 横山長之, 山本晋; 大気中のNO酸化速度について, *産業公害.*, 12, 867-872. (1976)
- 17) 環境庁; 窒素酸化物総量規制マニュアル., 昭和57年5月.

- 18) J. A. Cooper, L. A. Currie and G. A. Klouda, "Assessment of Contemporary Carbon Combustion Source Contributions to Urban Air Particulate Levels Using carbon-14 Measurements", *Environ. Sci. Technol.*, 15, 1045 ~1050 (1981)
- 19) M. S. Miller, S. K. Friedlander and G. M. Hidy, "A Chemical Element Balance for Pasadena Aerosol", *J. Colloid Interface Sci.*, 39 165~176 (1972)
- 20) 例えば, D. J. Alpert and P. K. Hopke, "A Quantitative Determination of Sources in the Boston Urban Aerosol", *Atmos. Environ.*, 14 1137~1146 (1980)
- 21) J. G. Watson, J. A. Cooper and J. J. Huntzicker, "The effective variance weighting for least squares calculations applied to the mass balance receptor model", *Atmos. Environ.*, 18, 7, 1347-1355 (1984)
- 22) P. A. Scheff, R. A. Wadden and R. J. Allen, "Development and validation of a chemical element mass balance for Chicago" *Environ. Sci. Technol.*, 18, 12, 923-931 (1984)
- 23) G. S. Kowalczyk, G. E. Gordon and S. W. Rheingrover, "Identification of atmospheric particulate sources in Washington, D. C. using chemical element balances", *Environ. Sci. Technol.*, 16, 2, 79-90 (1982)
- 24) (財)産業公害防止協会, 粒子状物質の挙動に関する調査研究 5., (1984)
- 25) 溝畑郎, 真室哲雄; 堺における大気浮遊粒子状物質中の諸元素の発生源同定 (I), *大気汚染学会誌.*, 15, 5 (1980)
- 26) 福崎紀夫, 谷中隆明, 漆山佳雄, 霜鳥達雄, 市川義夫; 道路粉じんによる大気汚染実態把握のための基礎的検討 (第1報), *新潟公害研報告.*, 8, 18 (1983)
- 27) 林久緒, 井上康明, 早坂孝夫, 小池順一, 井上敏明, 黒沢芳則, 佐藤静雄; 道路端における浮遊粉じんの発生源寄与率推定, *第27回大気汚染学会要旨集.*, 298 (1986)
- 28) 小山太八郎, 谷本高; 兵庫県の浮遊粉じんの発生源の推定, *第27回大気汚染学会要旨集.*, 297 (1986)
- 29) 内藤秀和; 千葉県事例, *第27回大気汚染学会要旨集.*, 199 (1986)
- 30) D. F. Gatz, "Relative contributions of Different Source of Urban Aerosols: Application of a New Estimation Method to Multiple Sites in Chicago", *Atmos. Environ.*, 9, 1-8 (1975)
- 31) P. A. Scheff, "Development and Validation of a Chemical Element Mass Balance for Chicago", *Environ. Sci. Technol.*, 18, 12, 923-931 (1984)

- 32) S.K.Friedlander, "Chemical Element Balances and Identification of Air Pollution Sources", Environ. Sci. Technol., 7, 3, 235-240 (1973)
- 33) G.S.Kowalczyk, C.E.Choquette and G.E.Gordon, "Chemical Element Balances and identification of Air Pollution Sources in Washington, D.C., Atmos". Environ., 12, 1143-1153 (1978)
- 34) 永塚澄子, 堀口泰裕; 放射化分析法入門 (基礎編), 環境と測定技術., 9, 44 (1982)
- 35) 林久緒, 井上康明, 早坂孝夫, 黒沢芳則, 佐藤静雄; 元素分析計を用いた浮遊粉じん中の炭素等の分析法, 大気汚染学会誌., 20, 349 (1985)
- 36) 飯豊修司, 鈴木房宗, 内藤秀和, 星野充, 鈴木将天; ガラス溶接炉から排出されるダストの特性, 千葉県公害研究所報告., 15, 1, 31-40 (1983)
- 37) H.E.Ellsaesser, "The Changing Global Environment (S.F.Singer ed.)", 235-269. D.Reidel Publishing Co. (1975)

第VI編 排出源改善とその効果の検討

1. 概 要

前編での検討により、サムットプラカン県におけるSO₂、NO₂環境濃度は、現状（1988年次）においては、タイ国の環境基準値をすべての地域で満足していることが明らかになった。しかし、タイ国の第六次経済社会開発及びこれに続く経済社会開発がすすめられると、環境への影響が懸念されることから、まず最初に発生源対策を実施せずに、経済開発がすすめられた場合の将来年次（1992年次及び1999年次）におけるSO₂及びNO₂環境濃度を予測した。この結果、当該地域ではNO₂濃度が1999年次に環境基準を超えることが明らかになった。そこで、将来年次におけるNO₂環境改善のために具体的な排出源改善方策とその効果について検討を行った。また、SO₂環境濃度は経済社会開発がすすめられても環境基準を超えることはないが、高濃度地点の寄与率は工場が大きな割合を占めること、タイ国においては現在工場に対するSO₂排出規制が実施されておらず、このままではSO₂排出に係る工場間の公平性の問題を生ずることから、工場に対するSO₂排出規制方式を検討するとともに、将来（1999年次）において排出規制を実施した場合のSO₂環境濃度を予測した。

2. 発生源対策を実施しない場合の将来年次におけるSO₂、NO_x排出量

2.1 工 場

将来年次における大気汚染質排出量の推定は、企業から将来年次の詳細な煙源データを収集することを原則とするが、本調査では企業からのデータが得られなかったので、別の方法により推定した。すなわち工場については、タイ国における総生産額の伸び率（Thailand Development Research Institute; G.D.P. by Sector, July 1988 より）及びエネルギーの弾性率を設定し、次式により将来年次の燃料使用量を推定した。この値にSO₂並びにNO_x排出係数を乗じて将来年次におけるSO₂、NO_x排出量を計算した。

$$W_t = W_0 \times (1 + e \cdot p)^n \dots\dots\dots (2-1)$$

ここで、

W_t ; 工場の1992年次及び1999年次の燃料使用量

W₀ ; 工場の1988年次の燃料使用量

p ; 総生産額の伸び率

e ; 弾性率 ; 0.8

n ; 年 数

なお、pの値(年率)は、1988年～1991年は0.0578、1991年～1996年が0.0513、1996年～2001年が0.0542となっている。これらの値を式(2-1)に代入して、1988年次を基本年次として1992年次及び1999年次の燃料使用量の倍率を求めると、それぞれ1.192、1.590となる。このようにして計算した将来年次における工場から排出されるSO₂、NO_x量を表2-1及び図2-1に示す。なお、SO₂、NO_x量の推定に当っては、タイ国政府がサムットプラカン工業地域に立地を計画している表2-2に示す工場も将来煙源に加え、将来年次におけるSO₂、NO_x量を計算した。なお、これらの工場の燃料使用量は、従業員当たりの燃料使用量原単位(第IV編表2-27)より推定した。

表2-1 将来年次にサムットプラカン県から排出されるSO₂、NO_x量

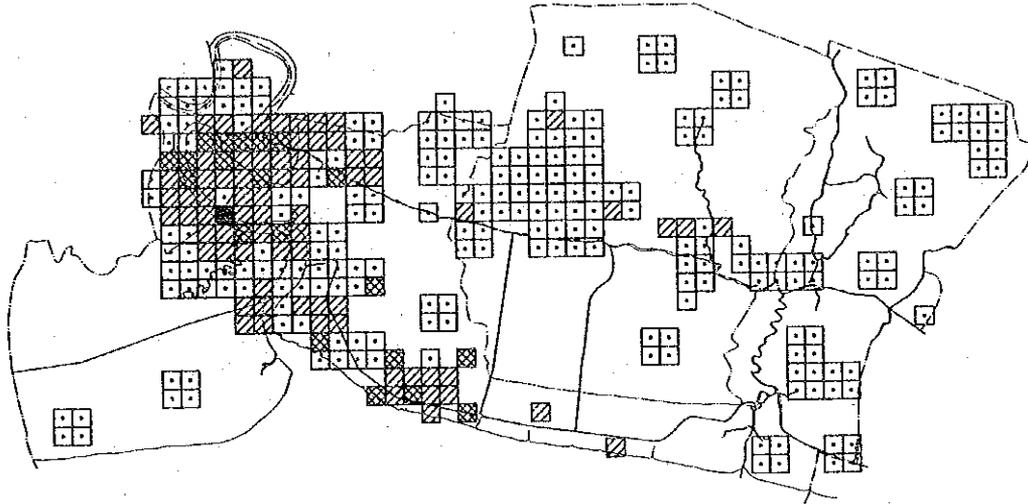
Name of source		Type of source	SO ₂ emission volume (ton/year)			NO _x emission volume (ton/year)		
			1988	1992 (92/88)	1999 (99/88)	1988	1992 (92/88)	1999 (99/88)
Stationary sources	Questionnaire return	point	13649	16269 (1.19)	21701 (1.59)	8108	9665 (1.19)	12892 (1.59)
	Questionnaire nothing	area	4681	5580 (1.19)	7443 (1.59)	712	848 (1.19)	1132 (1.59)
	Industrial estate	area	—	298 (—)	298 (—)	—	28 (—)	28 (—)
	Sub total			18330	22147 (1.21)	29442 (1.61)	8820	10541 (1.20)
Road way		line	1474	1829 (1.24)	2261 (1.53)	7812	10448 (1.34)	15119 (1.94)
Vessels and Ferryboats	Vessels (sailing)	point	1263	1505 (1.19)	2007 (1.59)	1623	1935 (1.19)	2581 (1.59)
	Ferryboats (anchoring)	point	8	11 (1.38)	17 (2.16)	26	36 (1.38)	57 (2.16)
	Ferryboats (sailing)	point	59	82 (1.38)	128 (2.16)	221	304 (1.38)	476 (2.16)
	Sub total			1330	1598 (1.20)	2152 (1.62)	1870	2275 (1.22)
TOTAL			21134	25574 (1.21)	33855 (1.60)	18502	23264 (1.26)	32285 (1.74)

表2-2 新規立地工場の概要

Site	Factory name	Product	Code	Area (m ²)	Number of employee (per-person)	Fuel gener. (0.01 kl/y/per.)	Fuel consumption (kl/y)	SO ₂ emission volume (t/y)	NO _x emission volume (t/y)
Bangplee Industrial Estate	Eternal Petrochemical CO.,LTD	Phthalic anhydride	42	64,488	160	250	400	18.00	1.74
	Kitz (Thailand) CO.,LTD	Brass & Bronze valve	64(8)	1,600	150	72	108	5.02	0.47
Bangpoo Industrial Estate	Carbee Thanawat CO.,LTD	Prawn Chip	10(2)	5,054	(163)	438	1,616	75.14	7.03
	Southeast Asian Packaging CO.,LTD	Canned food	7(1)	13,340	90	438	3,460	160.89	15.05
			7(1)	6,616	700				
	Lion Tire (Thailand) CO.,LTD	Tire & Tube	51	26,194	205	250	513	23.85	2.23
Shinfu Dyeing CO.,LTD	Dyeing	22(2)	11,830	200	155	310	14.42	1.35	
TOTAL							6,407	297.92	27.87

1992年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (kt ² /h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	234
▨	1.0 ~ 10.0	73
▩	10.0 ~ 100.0	20
■	100.0 ~	1



1999年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (kt ² /h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	217
▨	1.0 ~ 10.0	88
▩	10.0 ~ 100.0	22
■	100.0 ~	1

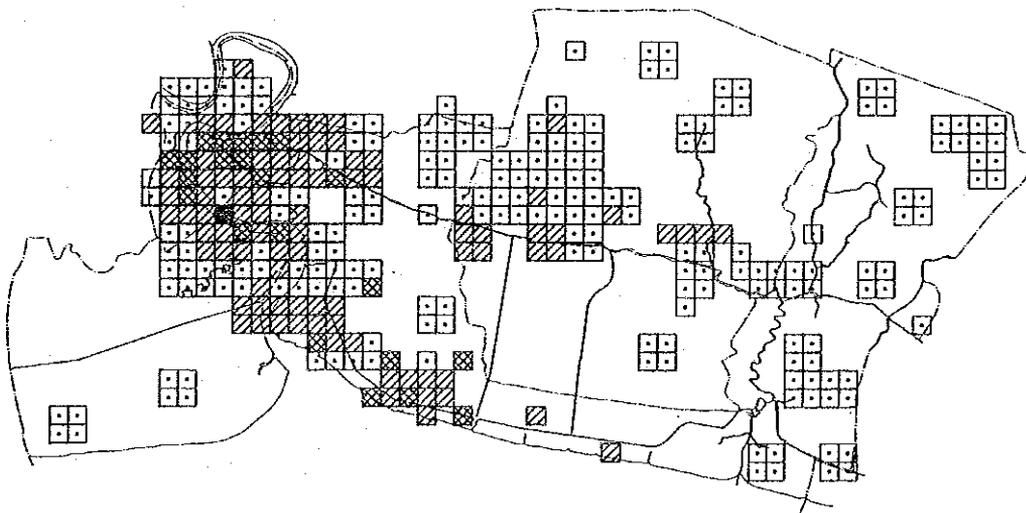
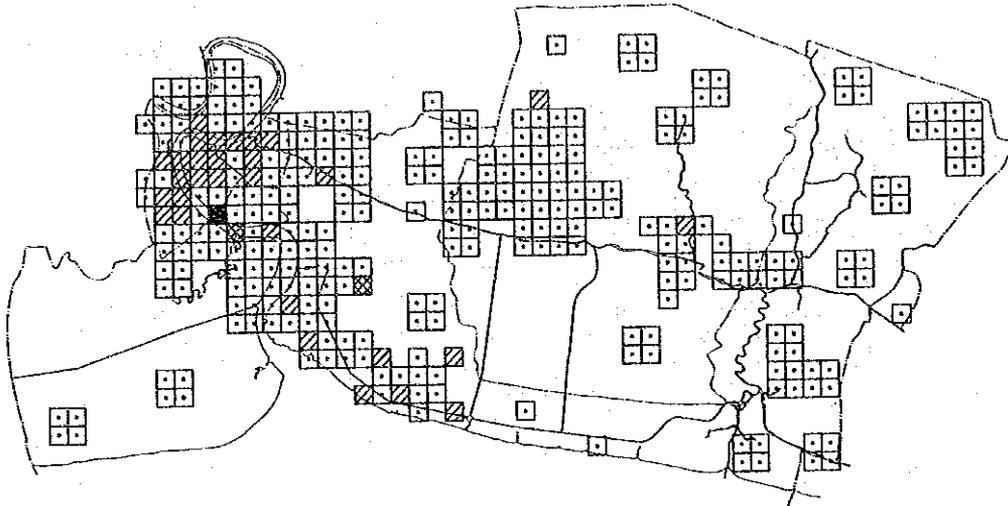


図2-1(1) 工場から排出されるメッシュ別SO₂量

1992年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (Na ³ /H)	Number of mesh
□	0.0 - 1.0	288
▨	1.0 - 10.0	30
▩	10.0 - 100.0	2
■	100.0 -	1



1999年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (Na ³ /H)	Number of mesh
□	0.0 - 1.0	282
▨	1.0 - 10.0	35
▩	10.0 - 100.0	3
■	100.0 -	1

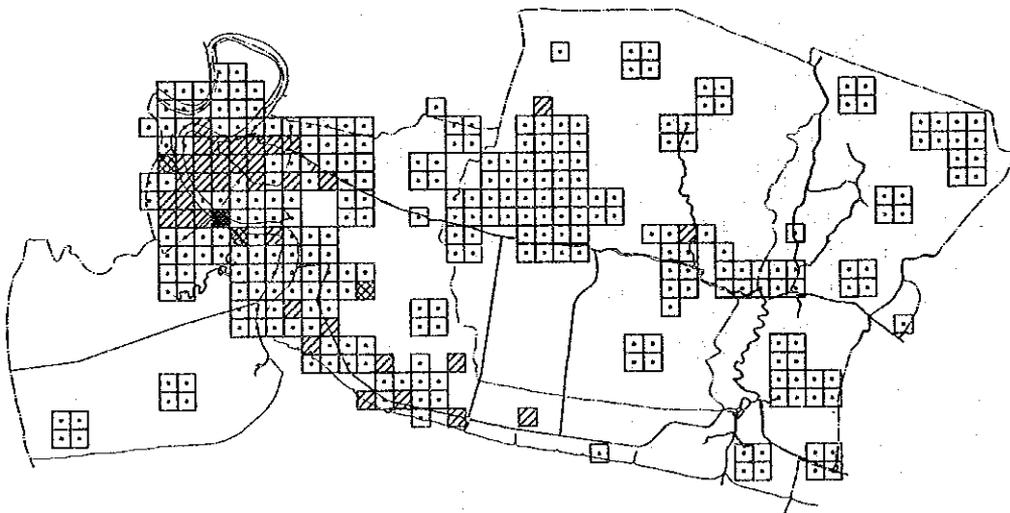


図2-1(2) 工場から排出されるメッシュ別NO_x量

2.2 船 舶

船舶隻数の伸び率は、タイ国における総生産額の伸び率に比例すると考え、工場の場合と同様な方法で船舶隻数を推定し、この隻数にSO₂、NO_x排出係数を乗じて、将来におけるSO₂、NO_x量を計算した。この結果を表2-1及び図2-2に示す。

2.3 自動車、フェリーボート

自動車から排出される将来におけるSO₂、NO_x量は；サムットプラカン県内の自動車所有台数の予測（吉田幹正；アジア経済研究所，Ms. Chuta Manasphaibul；Associate Professor, Faculty of Economics, chulalongkorn University, Ms. Orakit Singkalavanich；Director, Planning Division, Dept. of Export Promotion, Ministry of Commerce, タイの1980年代経済開発政策，アジア経済研究所，1989）に記載されている1991年次及び2001年次の台数を参考にして1992年次，1999年次の自動車台数を推定して、この台数にSO₂、NO_x排出係数を乗じて計算した。この結果を表2-1及び図2-3に示す。なお、自動車保有台数の伸び率は表2-3に示すとおりである。

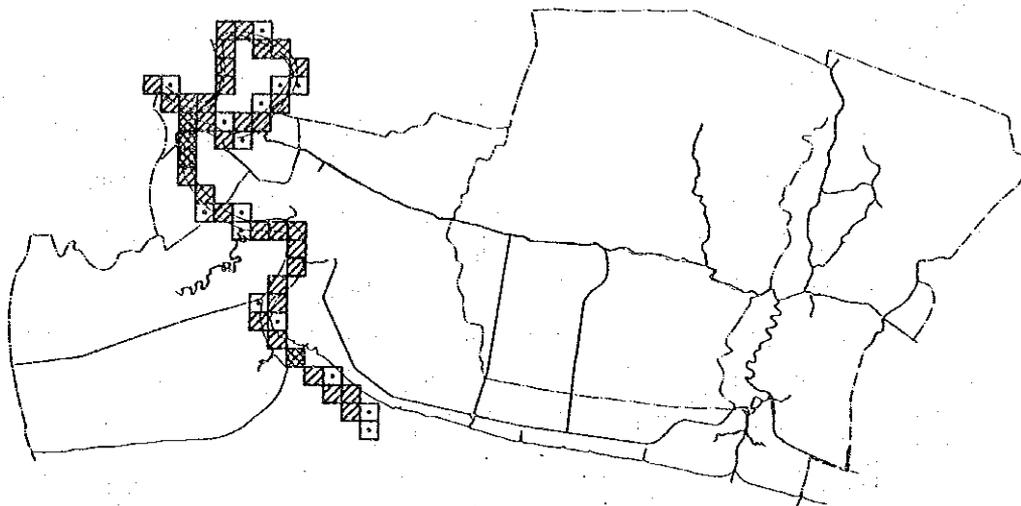
表2-3 自動車保有台数の伸び率

vehicle type	自動車所有台数の伸び率		備 考
	1992/1988	1999/1988	
Light vehicle Heavy vehicle	1.241	1.532	トラック+バスの台数の伸び率を適用
Gasoline LPG	1.529	2.725	乗用車の伸び率を適用
Motor cycle	1.526	3.034	オートバイの伸び率を適用

フェリーボートから排出される将来におけるSO₂、NO_x量は、フェリーボート航行隻数がPuchao Saming Phla Roadを走行する自動車台数に比例すると考え、フェリーボート航行隻数の伸び率を1992/1988=1.376、1999/1988=2.155として、将来におけるフェリーボート航行隻数を推定し、この値にSO₂、NO_x排出係数を乗じて計算した。この結果を表2-1及び図2-2に示す。

1992年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (kg/h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	15
▨	1.0 ~ 2.0	33
▩	2.0 ~ 3.0	4



1999年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (kg/h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	14
▨	1.0 ~ 2.0	18
▩	2.0 ~ 3.0	18
▧	3.0 ~	2

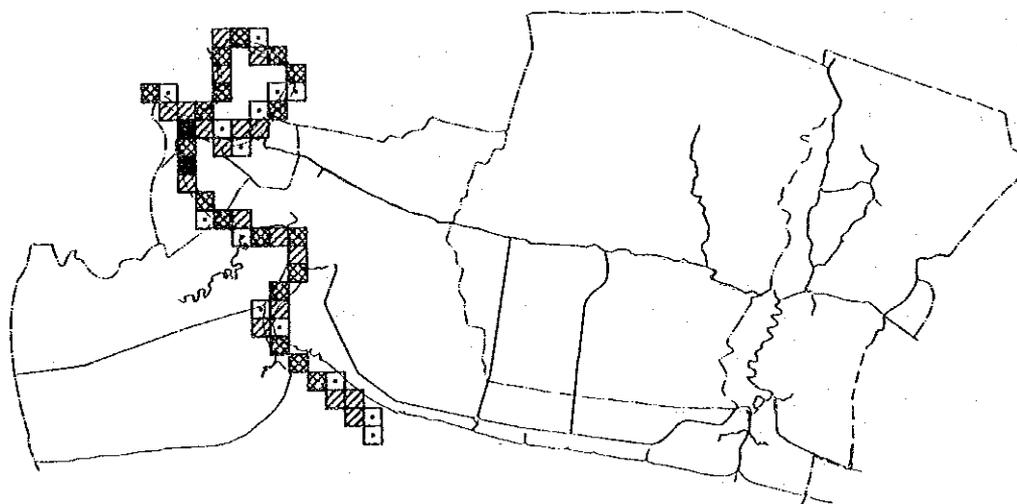
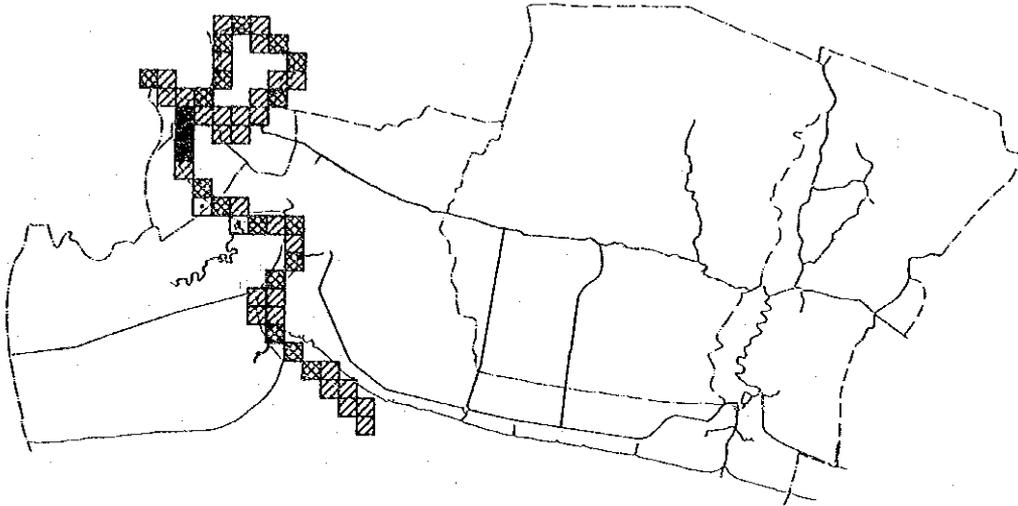


図2-2(1) 船舶及びフェリーボートから排出されるSO₂量

1992年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (t/a ² /H)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	2
▨	1.0 ~ 3.0	30
▩	3.0 ~ 5.0	17
■	5.0 ~	3



1999年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (t/a ² /H)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	2
▨	1.0 ~ 3.0	29
▩	3.0 ~ 5.0	17
■	5.0 ~	4

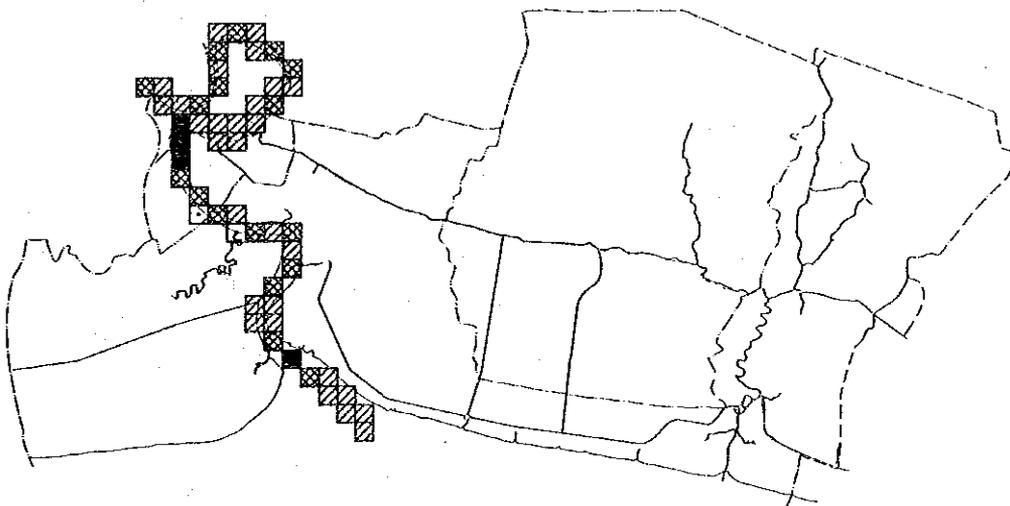
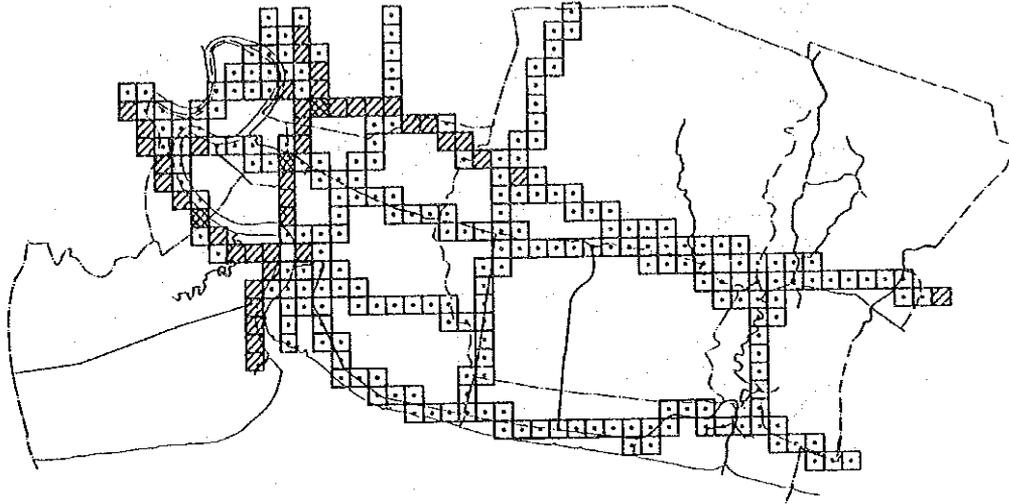


図2-2(2) 船舶及びフェリーボートから排出されるNO_x量

1992年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (kg ² /d)	Number of mesh
□	0.0 ~ 0.5	226
▨	0.5 ~ 1.0	40
▩	1.0 ~ 2.0	3



1999年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (kg ² /d)	Number of mesh
□	0.0 ~ 0.5	202
▨	0.5 ~ 1.0	52
▩	1.0 ~ 2.0	15

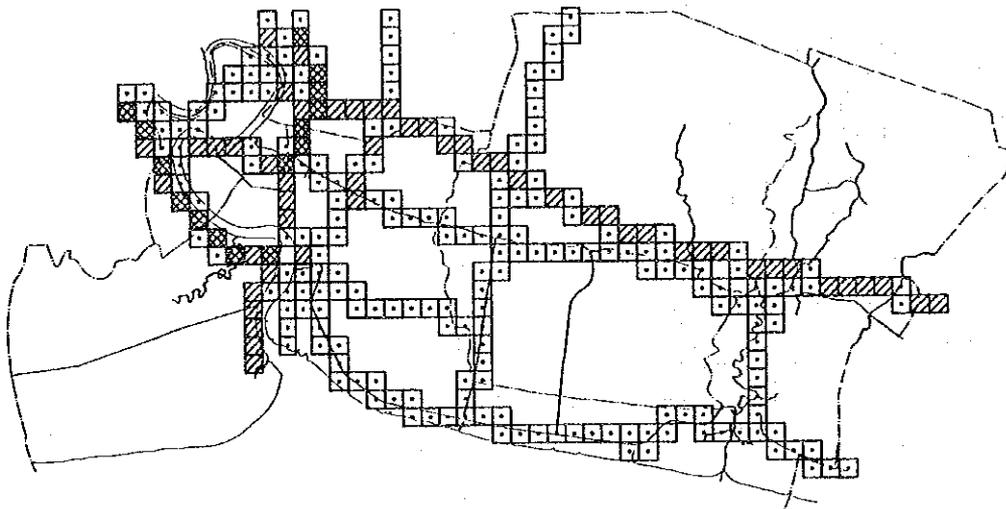
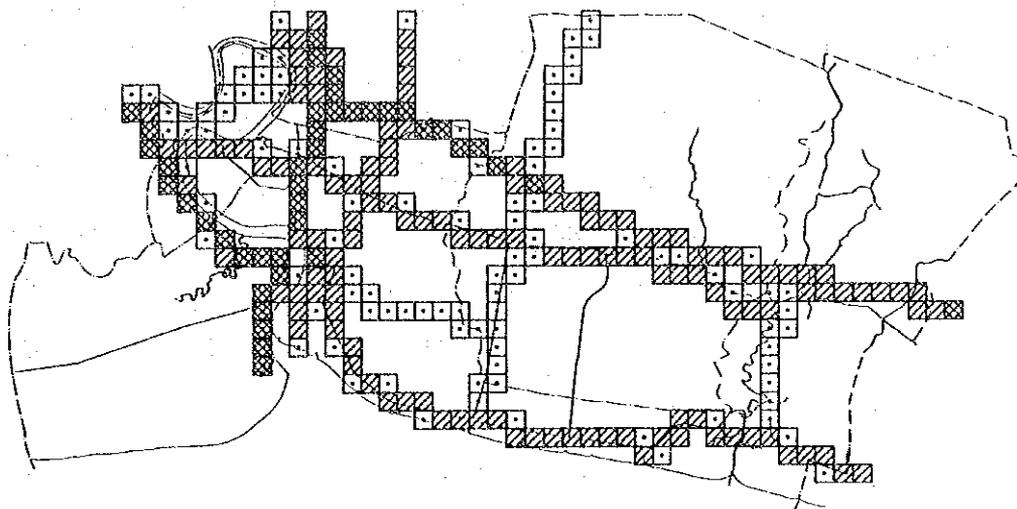


図2-3(1) 自動車から排出されるSO₂量

1992年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (t/a)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	99
▨	1.0 ~ 4.0	129
▩	4.0 ~ 10.0	41



1999年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (t/a)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	86
▨	1.0 ~ 4.0	101
▩	4.0 ~ 10.0	68
▪	10.0 ~	11

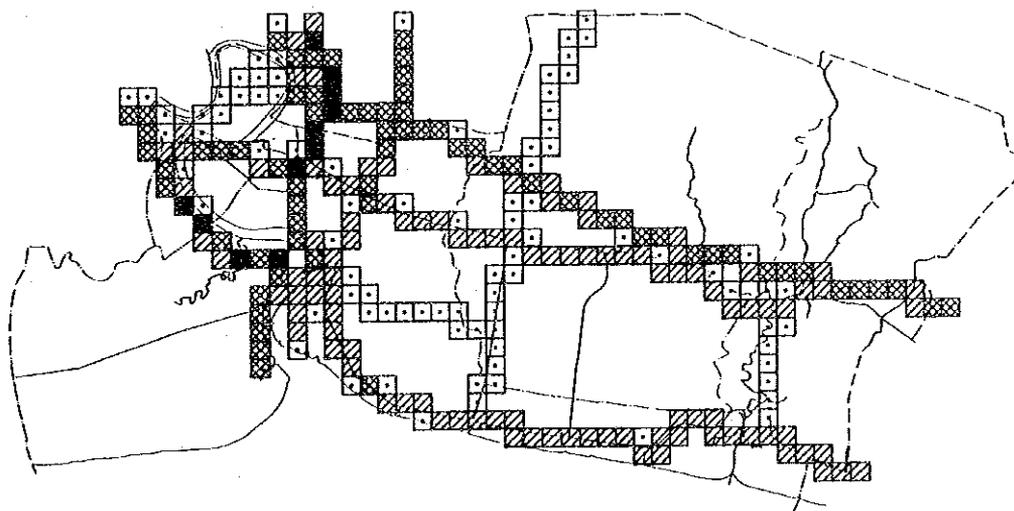


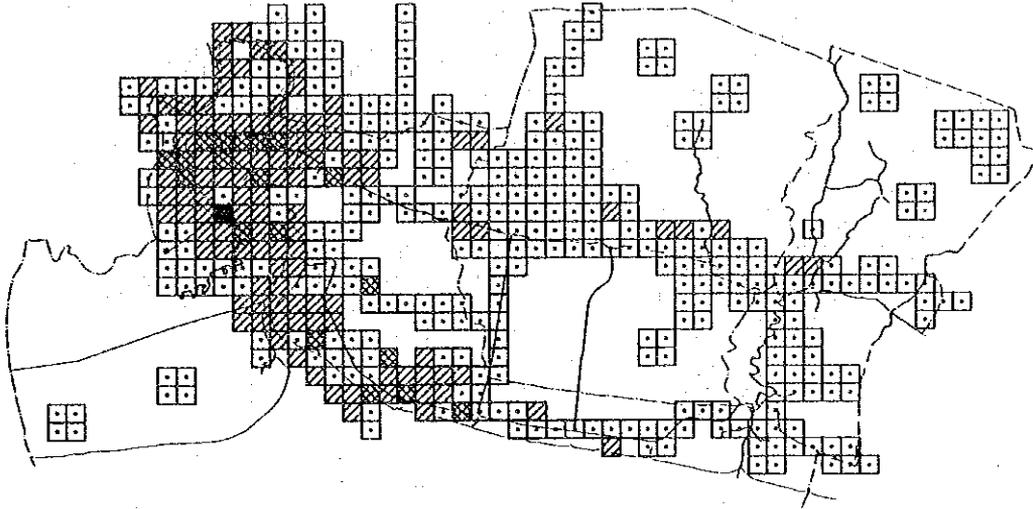
図 2 - 3 (2) 自動車から排出されるNO_x量

2.4 発生源対策を実施しない場合の将来年次におけるサムットプラカン全域から排出されるSO₂、NO_x量

サムットプラカン県内のSO₂、NO_x排出源として、工場、自動車、船舶及びフェリーボートを対象として、これら排出源の発生源対策を行わない場合の将来年次のSO₂、NO_x量を集計した。この結果を表2-1に示す。また、サムットプラカン県全域のメッシュ別SO₂、NO_x排出量を図2-4に示す。これらの結果をみると、1992年次にサムットプラカン県内から排出されるSO₂及びNO_x量は、それぞれ、25,574トン/年、23,264トン/年であり、1988年次の排出量（SO₂；21,134トン/年、NO_x；18,502トン/年）と比較すると、SO₂で1.21倍、NO_xで1.26倍となっている。また、1999年次についてみると、SO₂；33,855トン/年、NO_x；32,285トン/年となり、1988年次のSO₂、NO_x排出量と比べると、それぞれ1.60倍、1.74倍となっている。

1992年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (t/a ² /10)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	318
▤	1.0 ~ 10.0	113
▥	10.0 ~ 100.0	19
▧	100.0 ~	1



1999年次SO₂

Rank	Emission volume SO ₂ (t/a ² /10)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	324
▤	1.0 ~ 10.0	133
▥	10.0 ~ 100.0	23
▧	100.0 ~	1

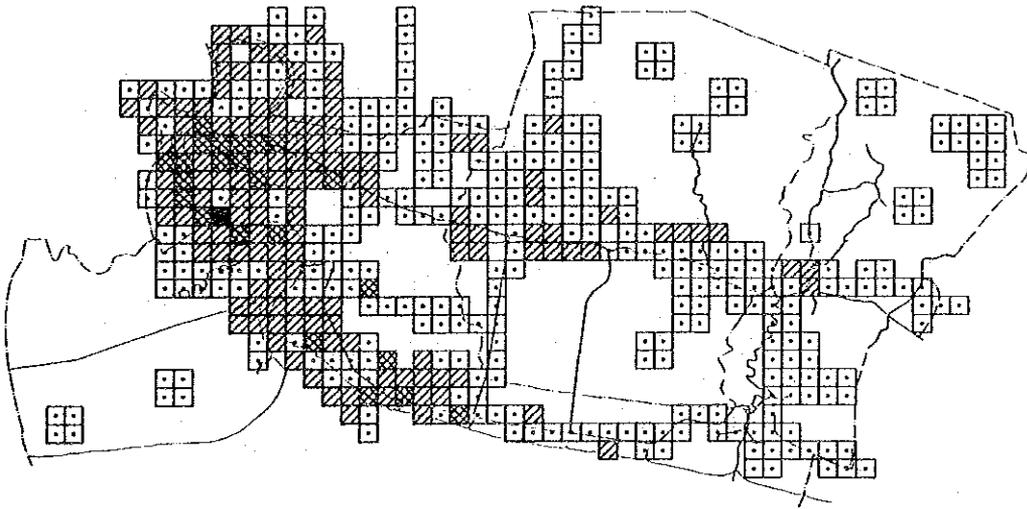
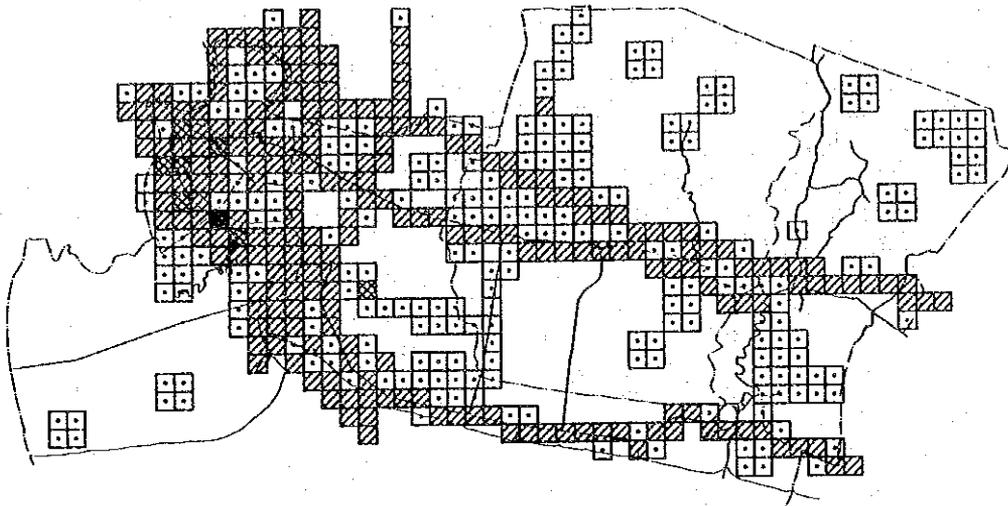


図2-4(1) 全発生源から排出されるSO₂量

1992年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (t/a ² /h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	245
▤	1.0 ~ 10.0	222
▥	10.0 ~ 100.0	7
▧	100.0 ~	1



1999年次NO_x

Rank	Emission volume NO _x (t/a ² /h)	Number of mesh
□	0.0 ~ 1.0	227
▤	1.0 ~ 10.0	226
▥	10.0 ~ 100.0	21
▧	100.0 ~	1

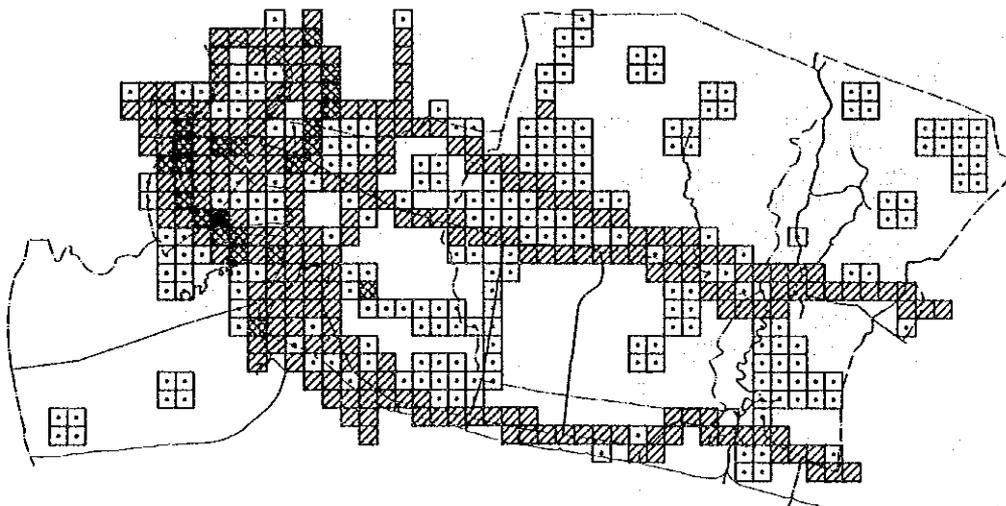


図 2 - 4 (2) 全発生源から排出されるNO_x量

3. 発生源対策を実施しない場合のSO₂, NO_x環境濃度の将来予測

3.1 煙源データのモデル化

前章で記載したSO₂, NO_x排出量をインプットデータとして将来予測を行うために、工場煙源（点源対象工場）のモデル化を行った。すなわち、工場の既設施設の燃料使用量の増加対策は次の優先順位によるものとして煙源データを作成した。

表3-1に燃料使用量の増加対策一覧を示す。

- ① 負荷率のアップ
- ② 稼働時間の延長
- ③ 同一施設への燃料配分
- ④ 現状と同じ規模の施設の増設

表3-1 燃料使用量の増加対策

処 置	1992年	1999年
① 負荷率のアップ	まず、稼働時間を変更せず、負荷率をアップさせた。負荷率アップ分は、通常湿り排ガス量もアップするとした。	
② 稼働時間の延長	①で燃料使用量の増加分を吸収できない場合、稼働時間を延長するものとした。	
③ 同一の施設への燃料配分	①、②で吸収できない場合、同一施設分類で余裕のある施設があれば配分を行った。	
	3-47-3 (休止1施設を稼働させるとした。)	1-64-3 (休止施設を稼働) 3-5-2 (") 3-9-3 (余 裕 あり) 3-14-4 (休止施設を稼働) 3-47-3 (") 3-57-2 (")
④ 新增設	①、②、③で吸収できない場合、施設を新增設した。	
	2-12-101 3-4-101 以上2施設を 新增設した。	1-51-101 2-3-101 2-12-101 2-17-101 3-4-101 3-14-101 3-23-101, 102, 103 3-33-101 3-42-101 3-57-103 3-77-101 3-78-101 3-105-101 以上15施設を 新增設した。

3.2 拡散条件

将来濃度を推定するために用いたシミュレーションモデルは現状実測濃度を良く再現出来ることのできる第V編で記述した大気拡散モデルを採用した。また、将来濃度を予測するために必要な気象条件は、年間の平均的な気象条件は将来においても大きく変わらないと考え、現状濃度を計算するのに用いた条件と同一とした。