

土木研究所資料

広域大気拡散計算とその特性

昭和59年 3 月

建設省土木研究所
道路部交通環境研究室

Copyright © 1984 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

ま え が き

自動車排出ガスによる大気汚染の直接的な影響は、一般には道路周辺の局地的な範囲に限られると考えられ、その予測・評価においても通常、道路端から100～150mの範囲が対象とされている。しかし、湾岸道路の計画などの大規模な道路の整備の場合には、交通流動パターンに大きな変化をもたらすため、自動車排出ガスによる大気汚染の濃度も地域的に大きく変化することが考えられる。したがって、道路近傍のミクロな大気拡散だけでなく、道路網全体を含む広域の大気拡散の現象について検討を求められる場合がある。また、各排出源の排出規制などを考慮した場合の将来における大気汚染濃度、もしくは将来のバックグラウンド濃度を求める場合においても固定発生源を含む広域の拡散計算が必要となってくる。

本報告は、このような広域の大気汚染予測を行う際の資料として活用することを目的として、気象、発生源、拡散モデル、拡散予測モデルのプログラミング、拡散予測モデルの性格、傾向の分析などの検討結果をとりまとめたものである。

昭和59年3月

交通環境研究室 足立 義雄
石田 稔
日名子 信広

目 次

まえがき	
1. 広域拡散予測の概要	1
2. 気 象	4
2-1 広域拡散に影響を及ぼす気象要因	4
2-2 気象データの種類	6
2-3 気象の経年変化	6
2-4 気象資料の整理方法	7
3. 発生源	15
3-1 発生源調査	15
3-2 工場・事業場	15
3-3 家 庭	18
3-4 自動車	19
3-5 船 舶	20
4. 拡散モデル	21
4-1 正規型プルーム・パフモデル	21
4-2 J E Aモデル	21
4-3 鉛直濃度一様式	22
4-4 同一条件における計算値の比較	22
4-5 各モデルの適用性	24
5. 広域拡散計算プログラムの概要	25
5-1 発生源モデル	25
5-2 気象モデル	25
5-3 拡散モデル	25
5-4 プログラム試算例	29
6. 気象条件の与え方による予測値の変動	31
6-1 気象条件の区分, 平均化	32
6-2 計算時間の比較	36
6-3 気象ブロックの分割	36
7. 感度分析結果	38
7-1 検討方法	38
7-2 排出源モデル	39
7-3 評価地点	40

7-4	拡散の影響範囲	40
7-5	発生源の有効煙突高	50
7-6	拡散パラメータ	50
7-7	混合層高度による感度	50
あとがき		54
参考文献		55

1. 広域拡散予測の概要

大気汚染予測を対象地域の空間的規模で分類すると次の3つ程度に分類される。^{1) 2)}

- ① 一つの県あるいはそれ以上の範囲に及ぶ広域汚染
- ② 一つの都市程度の範囲を対象とする中規模スケールの汚染
- ③ 対象道路沿線の局地的な地域の汚染

これらの分類は便宜上、それぞれマクロ、メソ、ミクロ・スケールモデルと名付けられた例もある。²⁾ 本資料ではこのうち中規模以上の主として広域の拡散予測を扱う。

大気拡散予測モデルについては表-1.1¹⁾のようなモデルがあり、それぞれ特徴を有している。

表-1.1 大気汚染濃度の推定と予測に用いられる方法(拡散モデル)の分類

方法	モデル	特徴
物理的モデル	煙流モデル (プルーム)	拡散を煙流で表現する。場が定常の場合の濃度の空間分布を求めるのに適する。
	煙塊モデル (パフ)	拡散を煙塊で表現する。場が非定常の場合や静穏、微風時の濃度の空間分布が求められる。計算時間は煙流モデルより長い。
	箱モデル (ボックス)	箱内の濃度は一様とみなし、煙の流入出、箱内濃度について煙量の収支を計算する。広域汚染の計算に適する。
	差分モデル (拡散の微分方程式)	拡散の微分方程式を数値的に解く、拡散のモデル実験に適する。光化学反応、雨洗などのある場合にも適用できる。
	風洞と水路モデル (模型実験法)	地形の複雑な場合やダウンウォッシュのある場合の濃度予測に適している。気流のはく離のある場での拡散予測に使える。
統計的モデル	回帰モデル	過去の濃度、風向・風速の値を用い予測値と実測値の2乗誤差を最小にする原理で、数時間先の予測をする。
	分類による方法	過去の濃度と天気図のパターン等との関連を調べる経験的な方法、いろいろの方式がある。

(注) ダウンウォッシュ：煙流が建物や煙突自身の後方にできるうずの負圧部に引込まれる現象

これまで広域大気拡散予測に用いられた例では、これらのモデルのうち正規型のプルーム・パフ式を用いたものが最も多い。道路計画の立場から予測計算が行われた例としては、千葉県北部地域を中心に予測したものがある。その他では、水島地域の汚染予測³⁾を始めとして硫酸化物の総量規制⁴⁾、窒素酸化物総量規制⁵⁾で広く用いられている。差分モデルを用いた例では、南関東大気環境調査⁶⁾、東京湾横断道路大気質影響調査⁷⁾がある。

プルーム・パフモデルのうち正規型のモデルは汎用性・計算の容易さ、パラメータの簡素さ、適合性などの点ですぐれており、比較的小さな領域を対象とする場合には、道路環境評価に用いる予測手法(案)でも確かめられ、用いられている。ただし、プルームモデルは平坦な地形で、風速・風向が定常な条件での解析解

モデルで、厳密には地形に起伏があったり、建物がある場合には適用できない。しかし、広域汚染が問題となるような地域は沿岸の平野部が主であり、大きな山地が影響するような場合はほとんど考えられない。多少の起伏や建物の影響は平面的なスケールの大きさに比べると小さく、平坦性の問題については拡散パラメータなどを考慮することでよいと考えられる。また、風向・風速の定常性については、対象範囲を限るかまたは評価時間が長時間であれば、風向・風速の出現頻度も特定のものに偏らないので、誤差も少なくなると考えられる。

差分モデルについては、地形条件が変化し、風向・風速が非定常、非一様である場合を扱えるので広域の場合にすぐれているほか、 NO_x などの反応も拡散と同時に計算できる。しかし、計算時間がかかること、つまり長期平均濃度の予測には不利であること、メッシュごとの気象地形条件など精度にみあう入力データをそろえるのが現状では非常に困難であること、しかもメッシュ内の平均濃度しか求まらないことなどの点で問題がある。ボックスモデルは差分モデルより計算時間、入力データ数が少ないが、その分精密さに欠ける。風洞模型実験は比較的小さな地域であれば複雑な地形の影響等も把握できずぐれているが、広域の場合には気象条件が全対象領域で定常・一様となり、また費用もかかる。また統計的モデルについては、過去の気象パターンと濃度の関係から今後の濃度を推定するもので、排出源別に予測できないため、排出源の変動を含む予測には適さないと考える。

以上の観点から広域拡散の検討にはプルーム・パフモデルまたは差分モデルが有力となるが、本資料では計算の容易さ・パラメータの簡素さ、任意の点を予測できることを重視し、プルーム・パフモデルを基本的に用いて広域拡散を検討するものである。

大気拡散を行う上で基本的に重要な3要素は気象データ、発生源データ、拡散モデルであり、さらに精度を確認するための照合データ等が含まれるが、全体の計算フローは一般に図-1.1のようになる。

以下の章では気象データ、排出源データ、拡散モデルの概要、データの集め方、整理方法について紹介し、全体の計算プログラムの概要と感度分析計算結果について述べる。

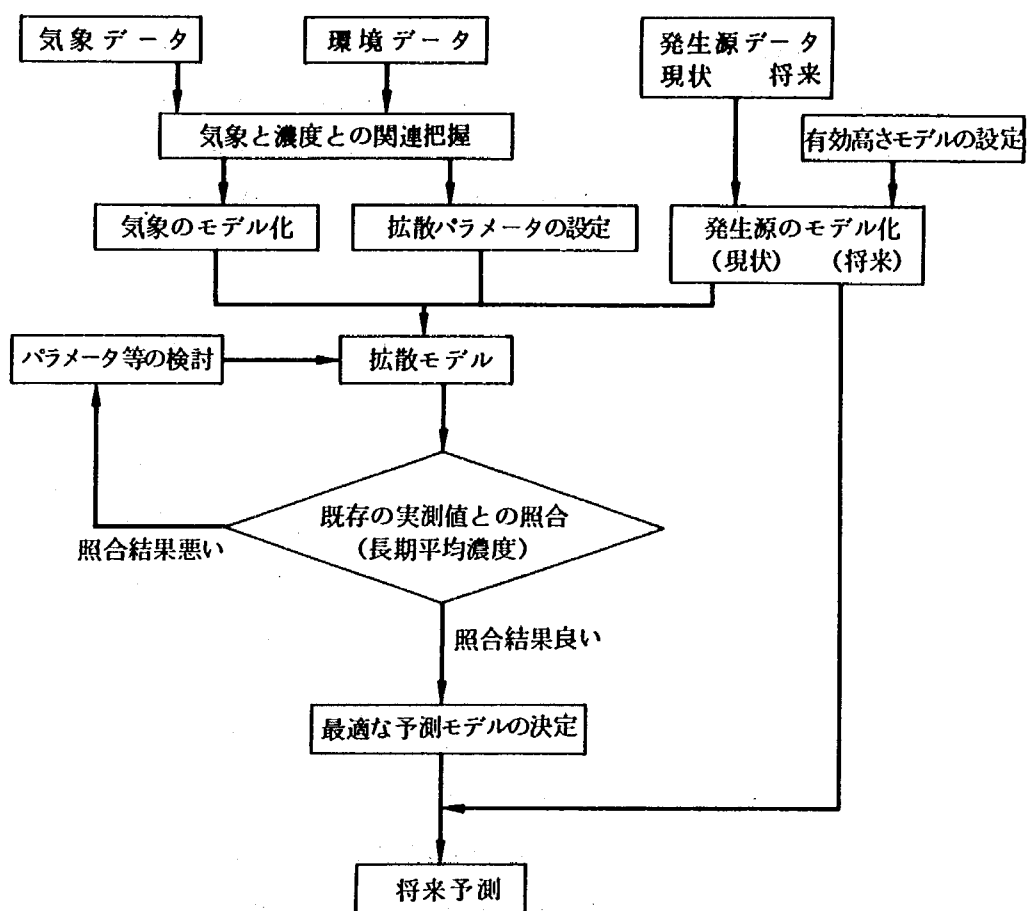


図- 1.1 広域拡散計算フロー

2. 気 象

発生源から排出された汚染物質は、風による移流、拡散を行いながら大気中に拡散していく。自動車からの排出ガス拡散予測の場合には排出源が地表付近にあるため、低層の気象条件だけを考慮すればよいが、工場の煙突など高い排出源がある場合には上層の気象条件も必要となる。従って広域拡散予測のうえでは地表付近の風向・風速、大気安定度のほかに上層の風向、風速、逆転層、混合層高度などの考慮が必要な場合がある。

2-1 広域拡散に影響を及ぼす気象要因

(1) 地上風

広域拡散に影響を及ぼすものは、地表から1000m程度までの大気境界層と呼ばれる気層の状態である。特に高度が50～100m以下の層は接地境界層といい、地表面摩擦の影響を受けやすい。地上風は比較的平坦な地形の場合、地上10m程度で測定されたものであり、特殊な地形、例えば山地や丘陵、河川などのほかに都市内の建物など周辺の地形の影響を特に受けやすい。

(2) 上層風

地表より100m以上1000m程度までの大気層を上部摩擦域といい、地表面の摩擦の影響が少なく、地上風とは様相が異なる。50m以上の高煙突がある場合では有効煙突高が100m以上に達するものがあることから、これらの拡散を支配する風としては100m程度以上の上空で測られた値を利用することが望ましい。一般に上層風は地表面の摩擦の影響が少ないため風速が強く、風配図は地上風に比較してはっきりした形をしている。

(3) 大気安定度

一般の大気は100m毎に約 0.55°C の割合の気温減率で低くなっている。しかし、実際の大気の気温減率(γ)はその割合にならないこともあり、乾燥断熱減率(Γ_d)との大小関係で大気の垂直方向の安定性が異なる。 $\gamma < \Gamma_d$ のとき大気は安定状態であり、空気の上下混合は行われにくい。 $\gamma > \Gamma_d$ のとき大気は不安定であり、大気中の物質は拡散されやすい。 $\gamma = \Gamma_d$ のときは中立である。

このような大気の気温減率の測定は困難であるので、地上の気象観測項目から大気の安定度の状態を推定する方法がいくつかあり、そのうちパスキルの安定度分類がよく用いられている。パスキルの安定度分類は有風時の拡散計算に用いる拡散パラメータを選択するための安定度指標として利用される。我国では日本式の表-2.1が用いられている。

また、ターナーはパスキル等の資料を利用して拡散幅 σ_y 、 σ_z を時間の関数として表しており、(これは一般にターナー図といわれ、パフ式の拡散幅として用いられている)、その際ターナーは表-2.2のように独自の安定度階級を設定している⁹⁾。安定度分類は(1)非常に不安定、(2)不安定、(3)中立、(5)弱い安定、(6)安定、(7)非常に安定である。

表-2.1 パスキルの安定度（日本式に修正したもの）⁸⁾

地上風速 (m/s)	日 射 量 (cal/cm/h)			本 曇 (8~10) 本曇の夜	夜	
	50<	25~49	<24		上層雲(5~10) 中・下層雲(5~7)	雲 曇
<2	A	A~B	B	D	(G)	(G)
2~3	A~B	B	C	D	E	F
3~4	B	B~C	C	D	D	E
4~6	C	C~D	D	D	D	D
6<	C	D	D	D	D	D

但し、A：強不安定 B：並不安定 C：弱不安定 D：中立 E：弱安定 F：並安定 (G)：強安定

表-2.2 ターナーの安定度階級

放射収支 インデックス 風速 (ノット)	4	3	2	1	0	-1	-2
0.1	1	1	2	3	4	6	7
2.3	1	2	2	3	4	6	7
4.5	1	2	3	4	4	5	6
6	2	2	3	4	4	5	6
7	2	2	3	4	4	4	5
8.9	2	3	3	4	4	4	5
10	3	3	4	4	4	4	5
11	3	3	4	4	4	4	4
>12	3	4	4	4	4	4	4

注) 放射収支インデックスの決め方は文献⁹⁾を参照されたい。

(4) 逆転層

大気安定度の項で述べたように普通は大気の大気温度は上空にいくに従って低くなっているが、これが逆に上空にいく程高くなっている層を逆転層という。下層大気中に逆転層があると汚染物質の拡散が著しく妨げられる。逆転層の成り方は数種類あるが、地上への濃度に最も影響するのは放射逆転である。逆転層の把握は垂直方向の温度分布を調査することによって得られる。

(5) 混合層高度 (Lid)

大気境界層内で地面が日射で熱せられると対流が生じ、その対流によって攪拌される層は混合層高度 (Lid) と呼ばれる。混合層高度の高さは数 100 m から 2 km まで及ぶこともある。

リッドは拡散の上限をきめるものであるから拡散モデル上必要な要素であるが、その形成は種々の要因に支配されていて、地上気象から正確に決定することは難しい場合が多い。大気境界層の構造から見ると、リッドとしては晴天の日中に形成される混合層高度の上端、および上空の逆転層の下端が相当している。リッド高さを推定する方法としては、地上気象観測およびゾンデ等による鉛直温度分布の結果によるもの、あるいは日射量によるものがある。

2-2 気象データの種類

既存の気象資料として最も利用し易いのは、全国の気象官署の地上観測データおよび地域気象観測システム（AMEDAS）データがある。また、都市部を中心に設置されている大気汚染常時観測測定局における風向・風速データも利用できる。これらは地上気象を対象としたものである。煙突などの高煙源からの拡散を扱う場合には、上層気象データも必要であり、これらについては高層気象観測・鉄塔による観測が利用できる。

地上気象観測は、天気予報や気候調査などのために地上付近の気象状況を観測しているものである。地上気象観測には、永年の気象調査を目的とする永年気候観測と応用気候調査を目的とする普通気候観測があるが、一般には後者の普通気候観測結果を用いる。

地域気象観測は気象情報に関しても、より地域的にきめ細かく、そして時々刻々変化する気象現象を正確かつ迅速に提供することを目的としている。AMEDASデータは観測地点も多く、その位置も大気汚染の常観測局のように都市部だけでなく地方部にも配置されているため、このデータが利用出来ることによるメリットは大きい。また、風速の最小単位が 1m/s であるが、拡散計算のデータのように統計値として用いる場合は、問題なく使用できるようである。また、風向・大気安定度についても、統計値として使用する場合は問題なく使用できると考えられる。

大気汚染に関する監視測定体制は、国が運営している国設大気汚染測定局と地方公共団体が管理している地方大気汚染測定局がある。これらの測定データには、風向・風速が含まれている。

高層気象観測とは高層における気圧、気温、湿度、風等の気象要素について行う観測のことであり、ここでいう高層とは高さが30km付近までを対象としている。上層の風向、風速については観測を実施している気象官署が少ないので、必ずしも対象地域近傍のデータを得ることができないのが難点であるが、観測年数が長いので統計値としては貴重である。

煙突等の高煙源からの拡散を扱う場合の気象調査において、ある高度（2～300m）までの風向・風速の測定は欠かせないものである。臨時的に風向・風速・気温を測定するには、パイロットバルーンや係留気球等が使用されている。さらに本格的に行うには、鉄塔を建設して実施するのが有利であるが、既存のテレビ塔などを利用して測定することが多い。

2-3 気象の経年変化

ある地点で1年間の観測により算出した年間風向別度数および平均風速は年毎に変動があるから、これをそのまま気候的な平年値、例えば10年間平均の風向別度数・風速と見なせない場合があるかもしれない。

ここでは関東地域の4地点の気象官署を例にとり、過去10ヶ年の観測結果から年々の変動を調べ、1年間の観測値をそのまま気候的な平年値として使うことがどの程度可能であるかを検討した。観測地点と着目気象要素及び対象期間は表-2.3の通りである。また、主要な気象要素の年間経年値を図-2.1～図-2.6に示す。

表- 2.3 対象地点と着目気象要素

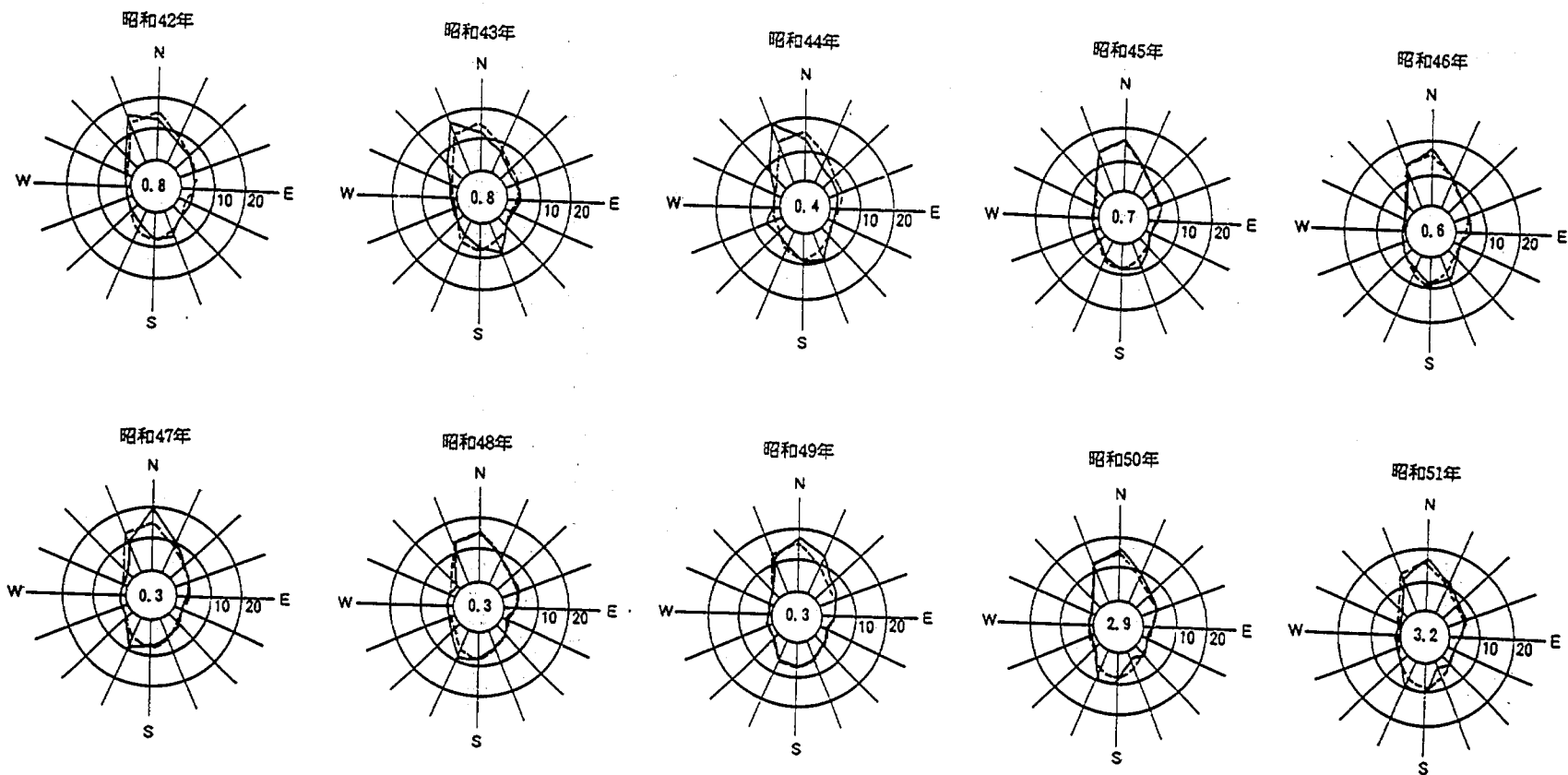
観測地点	標 高	着目気象要素	統計期間
東 京	5.3 m	1. 風 向	昭和42年から 昭和51年まで の10ヶ年
銚 子	27.4 m	2. 風 速	
宇都宮	118.9 m	3. 気温と気温の日較差	
前 橋	112.2 m	4. 雲 量	
		5. 日射量	

これらの結果、いずれの気象要素も年間統計値としてみた場合、10%程度のばらつきを許容するのであれば、1年間の観測で10年程度の気象の平均値とみなして良いと考えられる。近隣に10年程度の観測値がある地点があれば、各気象要素の10年間平均値や標準偏差を参照して、目的地点の10年間平均値や標準偏差を推定することは、ある程度可能であろう。

2-4 気象資料の整理方法

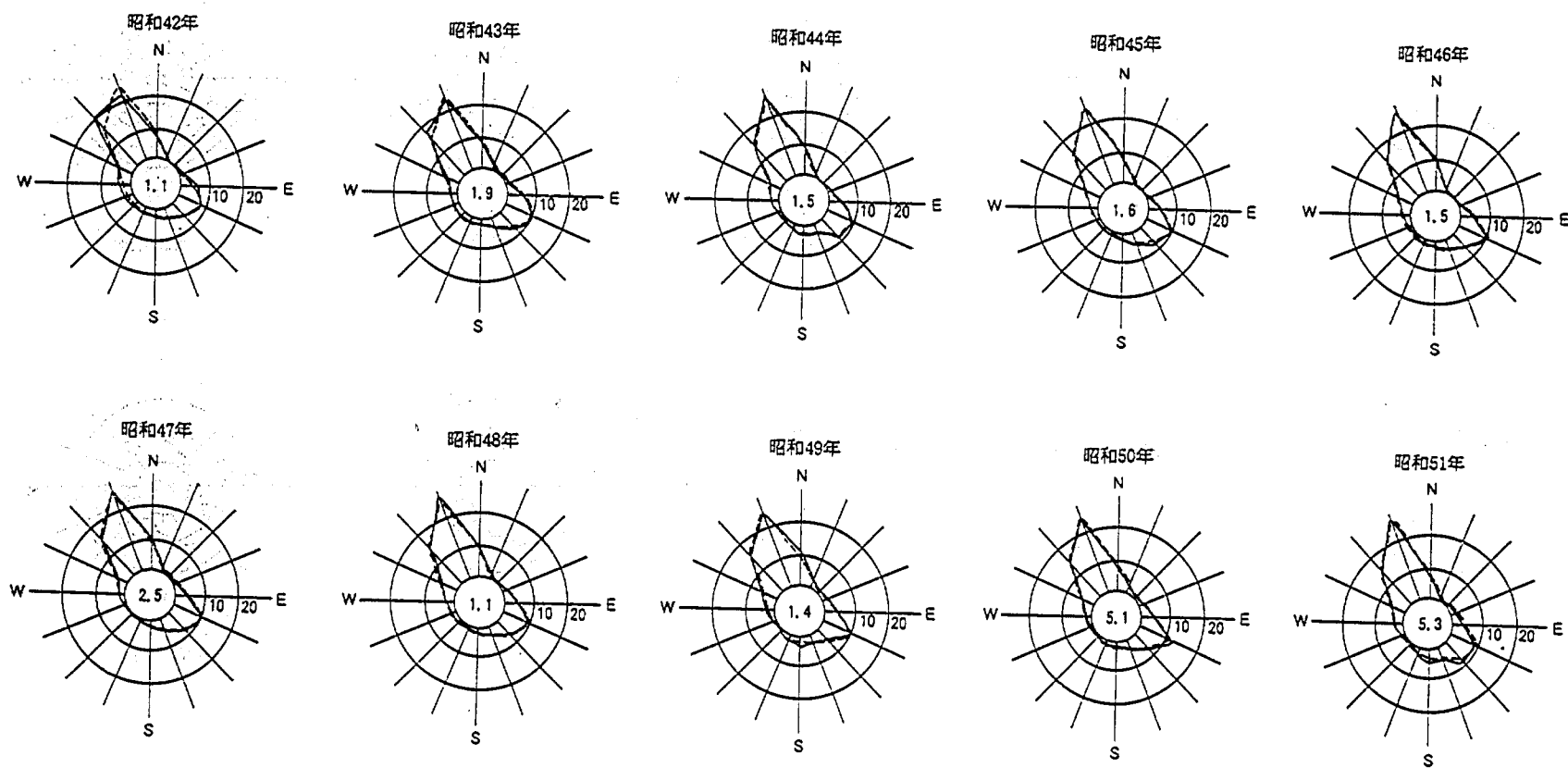
風向は無風時を除き16方向もしくは32方向に分ける。広域モデルとして利用する観点から発生源の把握域内の地上風の風配図を描き、観測局付近の建物の影響を強く受けている観測局は除く。また、局地風としての海陸風、山谷風などの存在にも留意して風系の把握をする必要がある。この分類により期別、季節別、時間帯別及び通年の各出現率を求める。風速については期別、(季節別)、時間帯別の平均風速を求める。

地上風の風向・風速データは、数局の観測値が存在する場合には、その観測局群で囲まれる領域の風は① $1/r^2$ 方式、②三角形群方式により推定できる。また、上層風については、上空における風の測定データがない時に、地上から数100mまでの層では風速のべき乗則が成り立つ事を利用して地上風から上層風を推定できる。



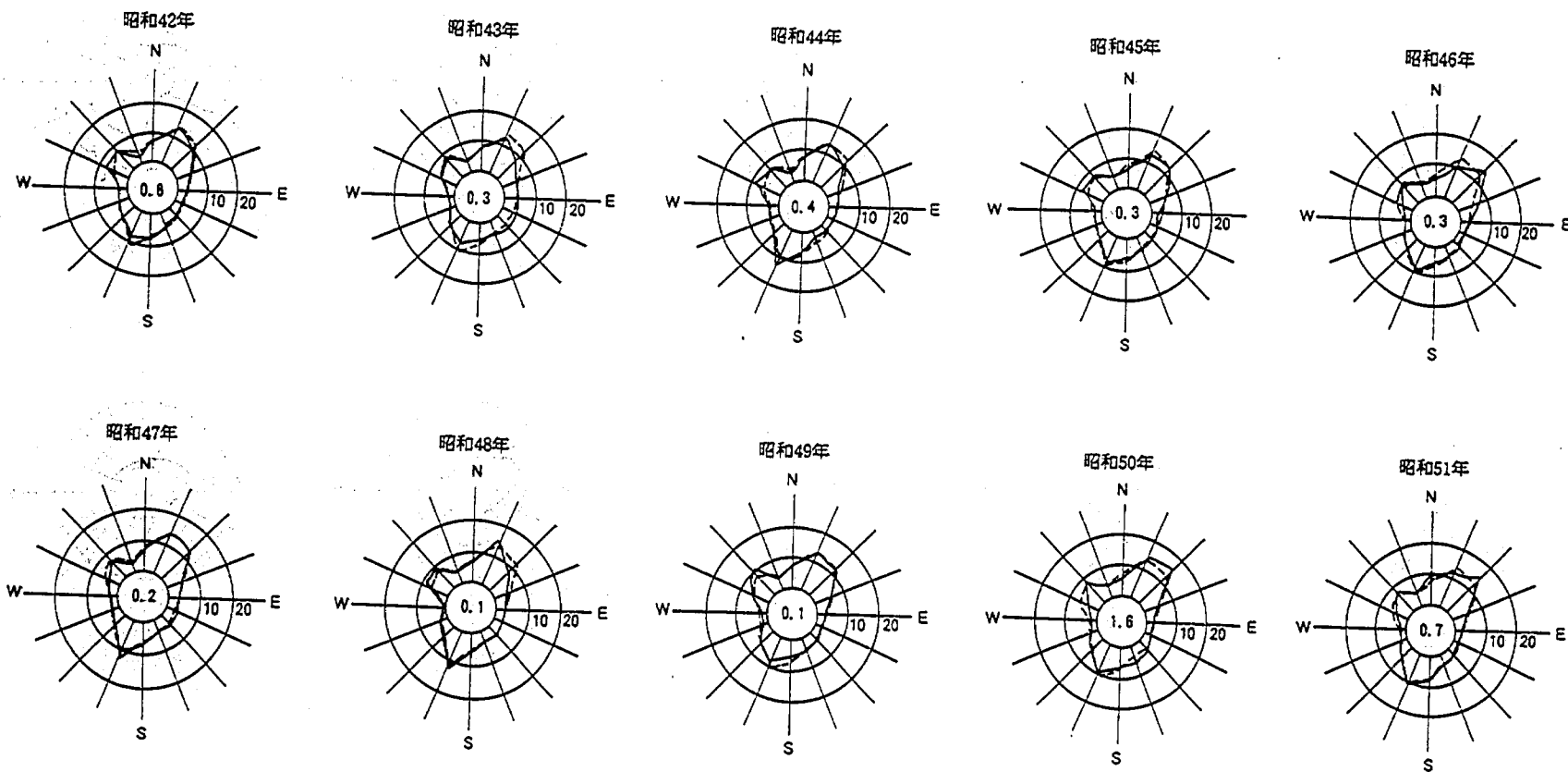
(注) 各風配図の中央円内数字は静穏の出現率である。ただし静穏とは風速 0.2 m/s 以下の場合をいう。

(a) 東京管区気象台 (静穏出現率の10年平均値は 1.0%)



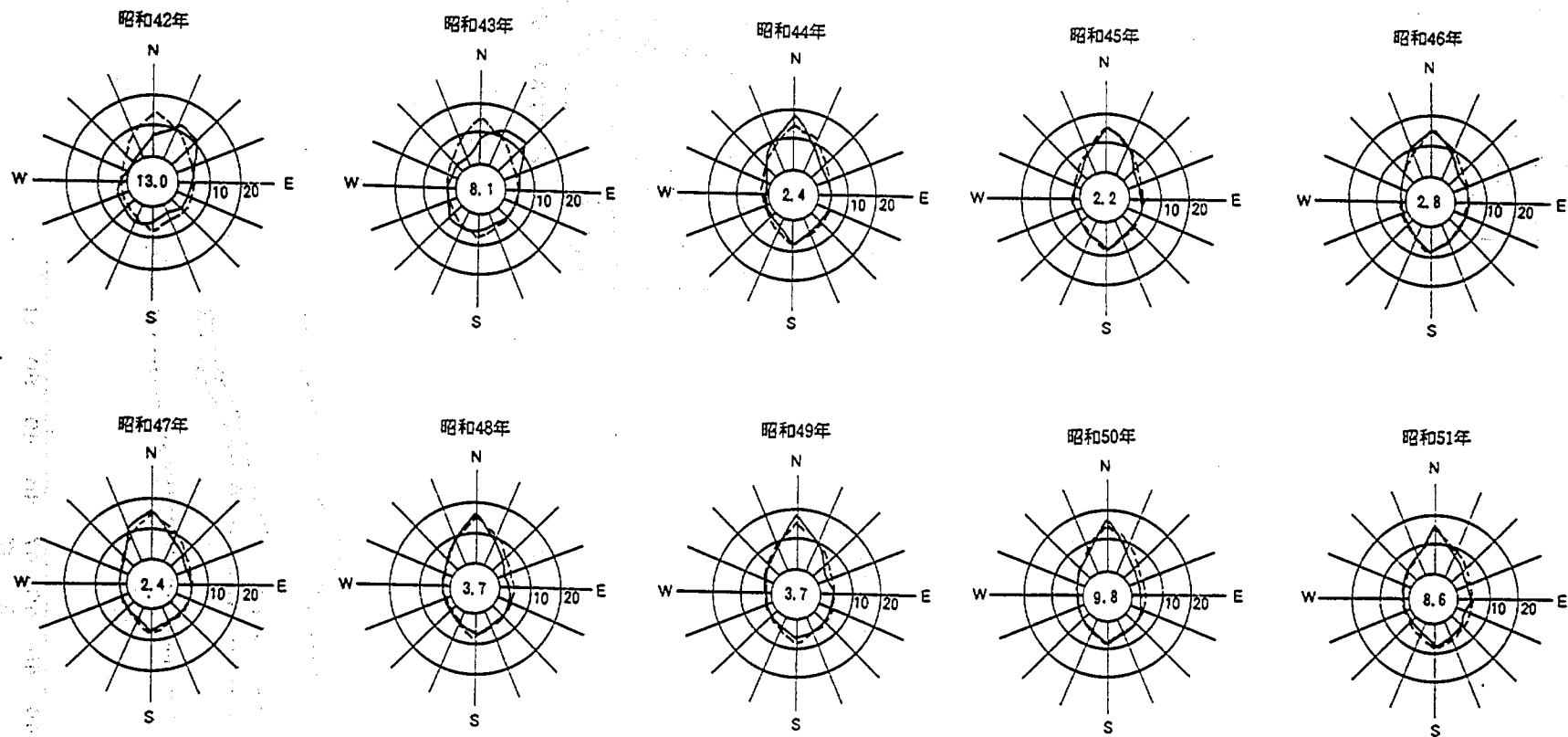
(注) 各風配図の中央円内数字は静穏の出現率である。ただし静穏とは風速 0.2 m/s 以下の場合をいう。

(b) 前橋 (静穏出現率の10年平均値は 2.3%)



(注) 各風配図の中央円内数字は静穏の出現率である。ただし静穏とは風速 0.2m/s 以下の場合をいう。

(c) 銚子 (静穏出現率の10年平均値は 0.5%)



(注) 各風配図の中央円内数字は静穏の出現率である。ただし静穏とは風速 0.2 m/s 以下の場合をいう。

(d) 宇都宮 (静穏出現率の10年平均値は 5.6%)

図-2.1 年間風配図の経年変化 (単位%)

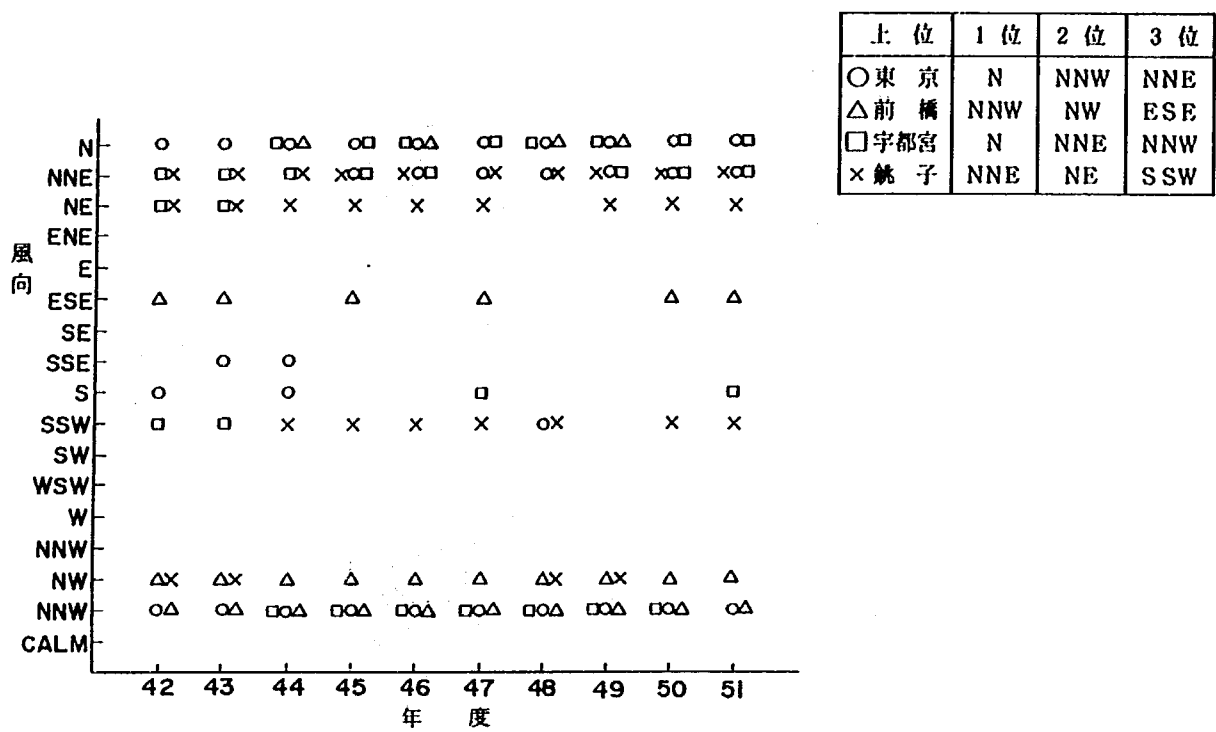


図-2.2 最多風向の経年変化（上位3位）

	平均	標準偏差	変動係数
○ 東京	3.6 m/s	0.35	0.10
△ 前橋	3.1	0.23	0.07
□ 宇都宮	2.1	0.15	0.07
× 銚子	4.8	0.21	0.04

注）変動係数＝平均／標準偏差

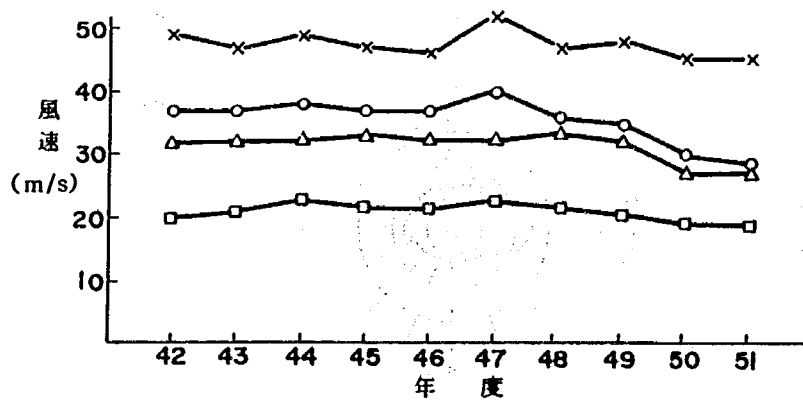


図-2.3 風速の経年変化

	平 均	標準偏差	変動係数
○東 京	6.3	0.21	0.03
△前 橋	5.9	0.17	0.03
□宇都宮	6.0	1.61	0.27
× 銚 子	6.3	0.22	0.03

注) 変動係数=平均/標準偏差

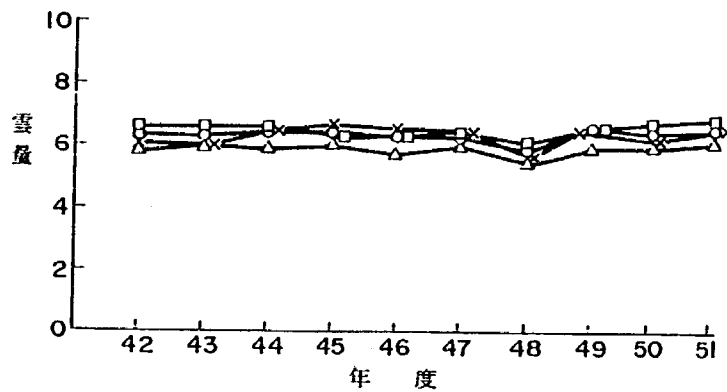
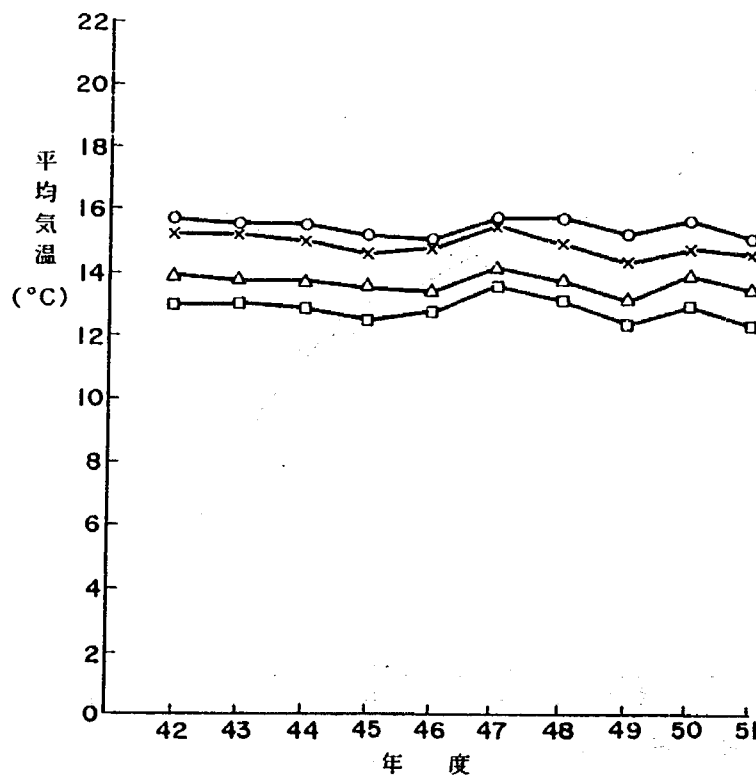


図-2.4 雲 量 の 経 年 変 化



	平 均	標準偏差	変動係数
○東 京	15.4 ℃	0.29	0.02
△前 橋	13.7	0.31	0.02
□宇都宮	12.8	0.38	0.03
× 銚 子	14.9	0.38	0.03

注) 変動係数=平均/標準偏差

図-2.5 平均気温の経年変化

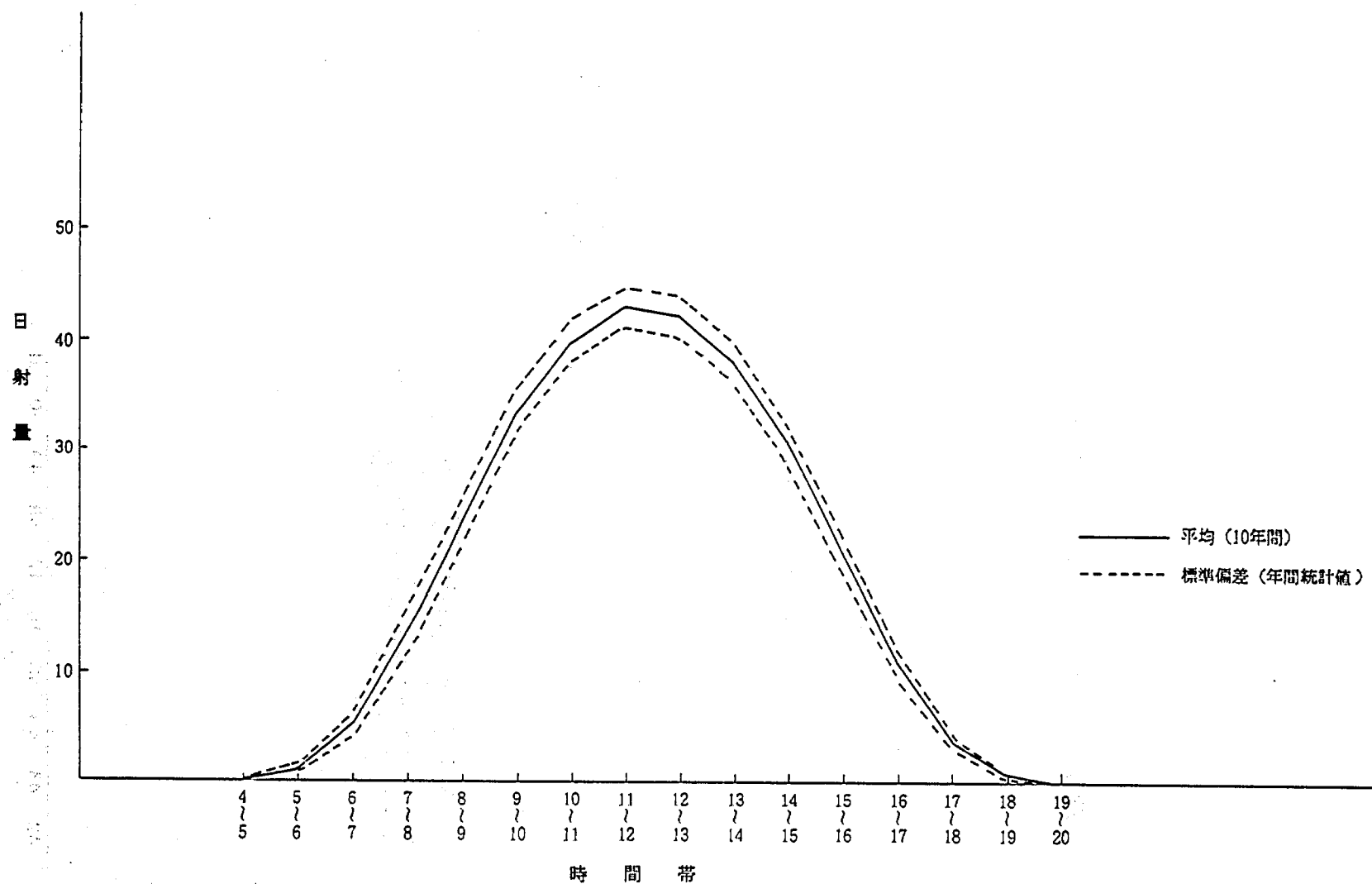


図-2.6 全天日射量の時間変動パターン(館野)

3. 発 生 源

3-1 発生源調査

大気拡散計算に用いる発生源調査は計算精度に直接影響を及ぼす重要な因子である。大気汚染物質は多くの場合、物質を燃焼させる所から発生し、その発生源は大きくわけて固定発生源と移動発生源にわけられる。固定発生源には工場、事業場、家庭などがあり、移動発生源は自動車、船舶、航空機などの交通機関である。

拡散計算上発生源データとして必要な事項は、現状及び予測目標年次における各排出源の排出量と排出位置である。現状データが必要な理由はそれを用いた拡散計算結果を現状の測定環境濃度と比較検証することにより、計算モデル、計算条件が適切であるかどうかを判定するためである。

発生源の把握単位については、大は大きな工場の煙突から、小は自動車1台、家1軒まで広範囲であるが、後者のような小さな発生源までをデータとして整えるのは不可能に近く、計算精度からみて無意味であると考えられる。したがって、固定発生源のうち大きな排出量を有する工場の煙突等は1つの単位で点煙源としてデータ化し、小量しか排出しない事業所や家庭については平均的な面源としてデータ処理するのが一般的である。また、自動車すなわち道路については、大きな幹線道路は線源とし、小さな細街路はある区域内で平均した面源とされる。面源の範囲については一般に人口等の統計量が1kmメッシュで与えられるので、それと等しくするのが便利である。

次節以下では発生源別の発生源データ収集・整理方法について述べる。

3-2 工場・事業場

(1) 発生源直接調査

工場・事業場等からの大気汚染物質排出量は、施設種類、燃原料種類、操業状態（負荷率、燃焼条件等）、防止対策等によって大きく異なる。

これまで自治体、省庁等で行われたばい煙発生施設等の調査には表-3.1のようなものがある。なおばい煙発生施設とは、大気汚染防止法では、ばい煙を発生する施設で、その種類によりある規模以上のものとされている。これらのばい煙発生施設については、通産省に排出量が届け出されている。その他については、別途調査する必要がある。自治体による調査結果は点源と面源にモデル化されており、環境庁による大気汚染物質排出量総合調査結果は、行政管理庁で設定した地域メッシュごとのNO_x排出量を算出し、ファイル化している。しかしながら、これらのデータは一般には公開されていないが、広域拡散を検討するには必ず入手することを要する。

表－3.1 ばい煙発生施設調査の種類

種 類	備 考
1. 個別調査, アンケート調査, ヒアリング	自治体等で行っている調査
2. ばい煙発生施設設置届	届出内容は通産省が管理
3. 大気汚染物質排出量総合調査結果	環境庁大気保全局の調査で昭和52年度以降は3年毎に実施
4. 発生源テレメータシステムデータ	自治体が管理

(2) 統計量による推定

一般に得られる資料をもとに排出量を算出する方法を検討してみる。

C県周辺の16市3郡を対象とした昭和49年度のばい煙発生施設からのNO_x排出量と人口, 世帯数, 人口密度(以上は昭和50年10月1日現在), 製造業の事業所数, 従業表数, 製造品出荷額(以上昭和49年度)等の社会・経済統計量との相関分析を行った(資料は県統計年鑑による)結果を表－3.2に示す。

これによると, NO_x排出量との相関係数の比較的高い統計としては, 発生電力量(0.975), 製造業の製造品出荷額(0.931), 次いで製造業の従業者数(0.545)となっている。しかし, 発生電力量については発電施設のない市郡もあることから他とは性格が異なる。人口, 世帯数についてはメッシュ統計量についても分析したが, NO_x排出量との間にはほとんど相関関係がない。

以下では比較的高い相関係数の高い製造品出荷額を主として用いて, 工場, 事業所による発生源データを求める方法について検討した。

それは製造品出荷額と出荷額当り燃料比から燃料消費量を算出し, NO_x排出係数¹⁰⁾から対象地域のNO_x排出量を, 燃原料別諸係数表¹⁰⁾から排ガス量を求めるものである。さらにメッシュ別のNO_x排出量を求めるにはメッシュ別製造従業者数から求める。また排出源高さは排ガス量ランク別平均煙突高から求める。この流れを図－3.1に示す。

地域NO_x排出量の試算結果と別途調査による排出量比較を図－3.2に示す。これからさらにメッシュ別従業者数を用いてNO_x排出量を求めるのは, 両者の相関からみてあまりよい精度は期待できないと思われる。

表－3.2 NO_x排出量と統計量との相関表

		NO _x 排出量
人	口	0.166
世	帯	0.133
人	口	-0.279
製 造 業	出 荷 額	0.931
	事 業 所 数	0.064
	従 業 者 数	0.545
発 生 電 力 量		0.975

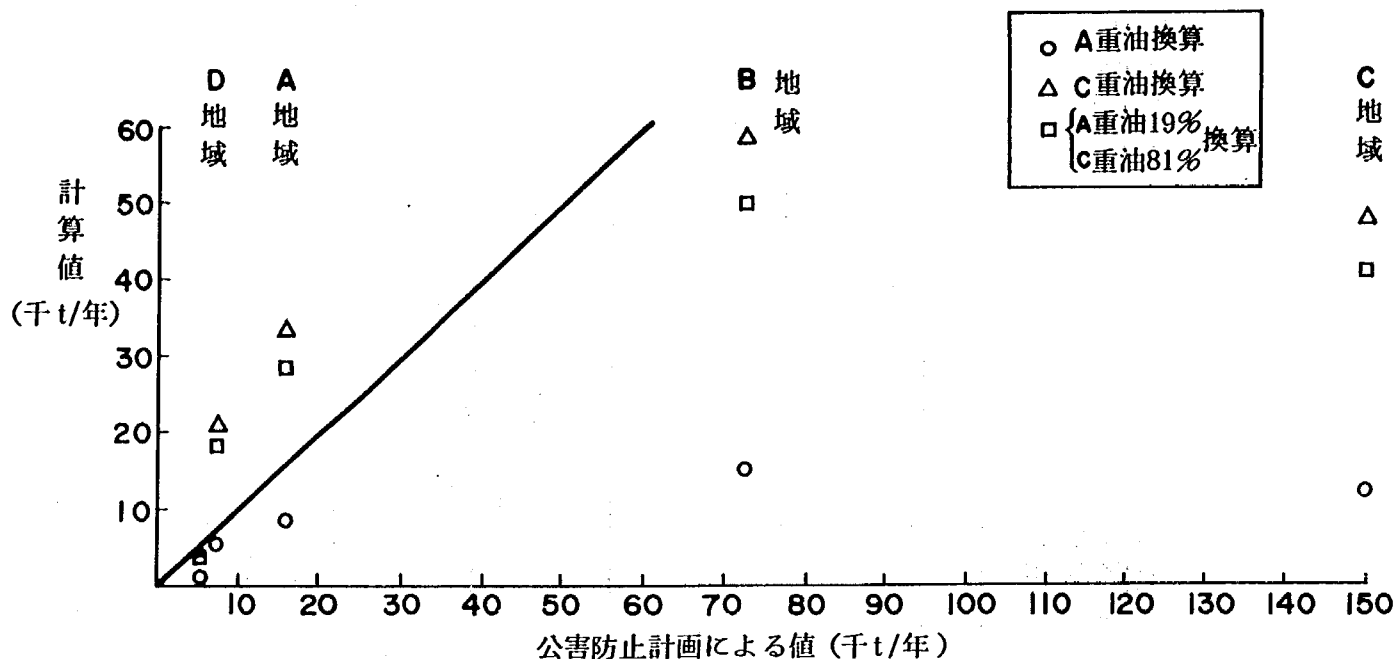


図-3.2 NO_x 排出量の比較

3-3 家 庭

家庭での燃料使用量は、都道府県別民力測定資料集の統計値による県別一世帯当りの光熱費（燃料種別）と経済統計年鑑による燃料単価及び世帯数から算出できる。また、表-3.3に一世帯当りの1ヶ月の燃料使用量の算出例を示すが、これにその地域の世帯数を乗じればその地域の燃料使用量が得られる。

表-3.3 一世帯当り1ヶ月の燃料使用量

年度	1世帯当たり 1カ月間の収入	ガ ス 代	その他（灯油）	料 金		使 用 量	
				ガ ス （基本料 7㎡当り）	その他 （灯油） （18ℓ当り）	ガ ス（㎡）	その他 （灯油） （ℓ）
昭和48年	179,896 円	604 円 (0.34%)	1485 円 (0.83%)	488 円	405 円	8.66	66.00
49	206,622	558 (0.27%)	2252 (1.09%)	525	577	7.44	70.25
50	230,989	1064 (0.46%)	2372 (1.03%)	575	679	12.95	62.88
51	246,469	1760 (0.71%)	2133 (0.87%)	603	763	20.43	50.32
52	261,758	1232 (0.47%)	2811 (1.07%)	690	791	12.50	63.97
53	302,317	1358 (0.45%)	2924 (0.97%)	683	758	13.92	69.44
出 典	民力（朝日新聞社）'75～'80より 静岡県			週刊東洋経済・経済統計 年鑑1980臨時増刊（東洋 経済新聞社）より		前記値より算出	

（注）（ ）内は収入に対する割合

これまでに調査提案された燃料、地域別 NO_x 排出係数を表-3.4に示す。燃料消費量と排出係数により NO_x 排出量が推定される。

表-3.4 NO_x 排出係数

燃料	地域	(環境庁)	横 浜	川 崎
都 市 ガ ス		0.5 ~ 1.6 kg/10 ³ m ³	1.4 kg/10 ³ m ³	1.1 4 kg/10 ³ kcal (コンロ) 0.1 0 " (ストーブ)
L・P・G		1.3 ~ 2.0 kg/t	—	—
灯 油		1.3 ~ 2.0 kg/kl	2.2 kg/kl	2.1 6 kg/kl (対流型) 0.3 9 " (反射型)
出 典		大気汚染に係る環境影響評価 マニュアル (案) 昭和55年 3 月	七大都市自動車総量規制研究会 昭和50年度報告書 昭和51年 3 月	

3—4 自動車

自動車からの大気汚染物質排出量は、道路を対象にして、道路区間別の交通量、速度のデータが得られるような幹線道路を線源とし、その他の細街路を面源とみなして計算するのが合理的であろう。全国道路情勢調査やその他の調査の範囲からみて、一般的に次のような区分が考えられる。

- | | | | |
|------|---|-------------|---------------|
| 幹線道路 | { | (1) 高速自動車国道 | 細街路：幹線道路以外の道路 |
| | | (2) 都市高速道路 | |
| | | (3) 一般国道 | |
| | | (4) 主要地方道 | |
| | | (5) 一般地方道 | |

自動車の排出係数は「環境影響予測に用いる自動車排出ガスの排出係数（案）昭和53年6月，建設省道路局」により設定し，対象年次におけるNO_x排出係数を車種別，走行速度別に求める。

次式は線源の排出量算出式である。

$$Q_{ij} = V_{ij} \times \left(\sum_{k=1}^3 a_{ijk} \times EF_{mk} \right) \times L_{ij} \dots\dots\dots (3.1)$$

Q_{ij} : 発ノード (i), 着ノード (j) のリンクから発生する排ガス量 (cc/日)

$$V_{ij} : \quad \text{〃} \quad \text{の交通量}$$
$$a_{ijk} : \quad \text{車種混入率(比率)} \quad \sum_{k=1}^3 a_{ijk} = 1$$

L_{ij} : " のリンク長 (km)

$E F_{mk}$: 走行モード m における車種 k の排出係数 (g/km)

$\downarrow \times 522.6$

(cc/km)

面源の排出ガス量の算出は、まずゾーン面積を求め、さらにゾーン内々交通量の平均トリップ長を求め走行台キロを求める。(3.2)式によりゾーン内の排出ガス量を計算し、さらに(3.3)式により排出ガス量を面源メッシュに配分する。

$$Q_i = ND_i \times \left(\sum_{k=1}^3 a_{ik} \times EF_{mk} \right) \dots\dots\dots (3.2)$$

Q_i : i ゾーンから発生する排ガス量 (cc/日)

ND_i : i ゾーン内々交通量の走行台キロ (台km/日)

$$q_j = Q_i \cdot f_{ij} \dots\dots\dots (3.3)$$

q_j : 各メッシュ j は配分する排ガス量 (cc/日)

Q_i : i ゾーンから発生する排ガス量 (cc/日)

f_{ij} : ゾーン番号 i に属する面源メッシュ j の重み ($\sum f_j = 1$)

(メッシュ別昼間人口により重みづけする)

3-5 船 舶

船舶からの排出量の把握は港湾統計年報、港湾統計月報に報告される各種別の入港隻数を基礎として、塔載機関の種類、規模、負荷率、その他の必要な原単位を調査・設定して推計される。

4. 拡散モデル

4-1 正規型プルーム・パフモデル

プルーム・パフモデルは、乱流拡散の基礎方程式をある条件のもとで解いて得られるものであり、その条件によって正規型モデルと非正規型モデルに分かれる。

正規型プルームモデルは風が一様、定常に吹いているという条件で解かれるモデルで、定常とは①排出強度は時間によらず一定であり、排出されてから十分な時間が経過している、②風向、風速、排出係数とも時間的に変化しないという仮定であり、一様な拡散場とは①風向、風速とも対象拡散空間で一定である、②拡散係数は場によらないという仮定である。パフモデルは対象空間で拡散係数が一定であるという仮定になっている。

正規型プルーム・パフモデルの基本式は次式のようになる。

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \quad (4.1)$$

$C(x, y, z)$: 座標 (x, y, z) における濃度 (ppm)

x : 風向軸に沿った排出源からの風下距離 (m)

y : x 軸に直角な排出源からの水平距離 (m)

z : x 軸に直角な排出源からの鉛直距離 (m)

Q : 排出源濃度 (cc/sec)

H : 有効排出源高さ (m)

σ_y : y 軸方向拡散幅 (m)

σ_z : z 軸方向拡散幅 (m)

u : 風速 (m/sec)

$$C(x, y, z, T) = \int_0^T \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_{y(t)}^2 \sigma_{z(t)}^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_{z(t)}^2}\right) \left[\exp\left\{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_{z(t)}^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_{z(t)}^2}\right\} \right] dt \quad (4.2)$$

$C(x, y, z, T)$: 排出後 T 時間経過時の点 (x, y, z) での濃度 (ppm)

$\sigma_y(t)$: 排出後 t 時間の水平方向拡散幅 (m)

$\sigma_z(t)$: 排出後 t 時間の鉛直方向の拡散幅 (m)

この2つのモデルのうちプルーム式を有風時に用い、パフ式を弱風時に用いる。

4-2 JEAモデル⁵⁾

非正規型モデルの一つである JEA モデルはロバーツタイプのモデルで自動車排出ガスの拡散式で用いることを目的に開発された。このモデルは風速、拡散係数とも z の関数として解かれたモデルであり、

沿道の地域状況によってパラメータを設定している。JEAモデルは有風時（風速1 m/s程度以上）の直角風モデルと平行風モデル，無風時（風速1 m/s未満）の無風モデルの計3モデルで構成されている。モデルについては文献に詳しく記されているので，ここでは省略する。

4-3 鉛直濃度一様式¹⁾

$$C(x, z) = \frac{Q f(\xi)}{u g(x)}, \quad \begin{cases} f(\xi) = \begin{cases} 1 & (0 \leq \xi < 1) \\ 0 & (1 < \xi) \end{cases} \\ \xi = \frac{z}{g(x)}, g(x) = \sqrt{2} \sigma_z \end{cases} \dots\dots\dots (4.3)$$

$C(x, z)$: 道路端から風下 x mの点の濃度 (cc/m³)

このモデルの適用条件は次の通りである。

- ① 線源に対するモデルであり，沿道は平坦である。
- ② 風速がある程度以上あり，かつ風向は一定で道路にほぼ直角に吹いている。
- ③ 排出源近く，すなわち道路沿道に適用するモデルである。

4-4 同一条件における計算値の比較

JEAモデル，鉛直濃度一様式は，道路沿道に適用されるモデルであり，対象煙源は線源に限られる。ここでは，濃度距離減衰，鉛直濃度分布を各モデルを用いて試算し比較してみた。

鉛直濃度分布を求めるためには JEAモデルでは煙源は地表 ($H=0$) になければならない。この時正規型ブルーム・パフは次のようになる。

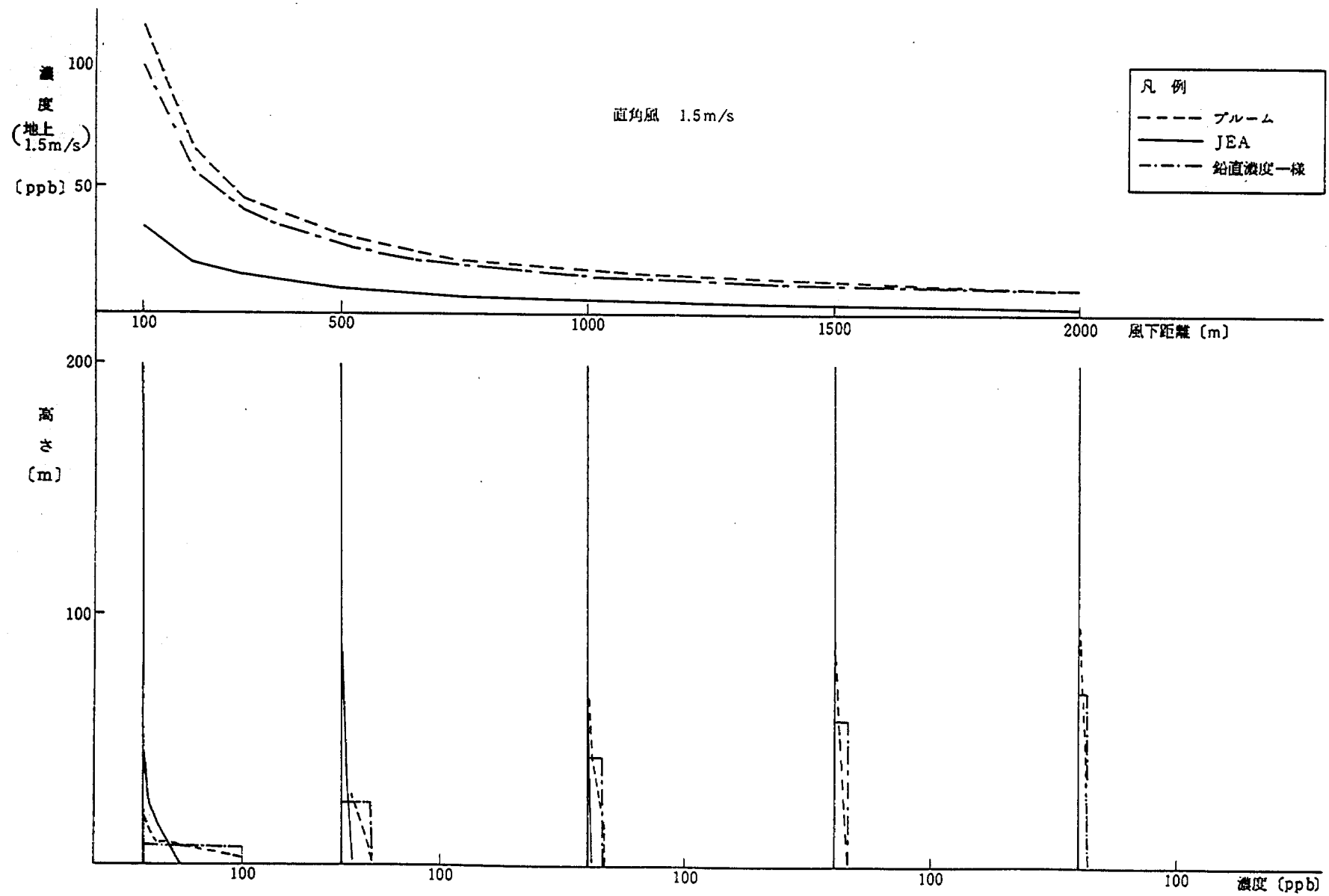
$$\text{ブルーム} \quad C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots (4.4)$$

$$\text{パフ} \quad C(x, y, z, T) = \int_0^T \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_{y(t)} \sigma_{z(t)}} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_{y(t)}^2}\right) \exp\left(-\frac{z^2}{2\sigma_{z(t)}^2}\right) dt \dots\dots (4.5)$$

なお，パフの簡易式は次のようになる。

$$C(x, y, z) = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} r} \frac{1}{x^2 + y^2 + \frac{\sigma_z^2}{r^2} z^2} \dots\dots\dots (4.6)$$

計算は有風時風向別，無風時の各ケースで行ったが，そのうち風速1.5 m/sの直角風で安定度中立の場合の試算結果を図-4.1に示す。図によれば正規型ブルーム式と鉛直濃度一様式の地表 (1.5 m) 濃度は比較的近いが，JEA式によるそれはかなり低い。ただし，少なくとも道路周辺では正規型ブルーム式における拡散幅はパスキル・ギフォート図の安定度中立(D)の拡散幅の3倍程度大きく， $\sigma_z = 1.5 + 0.31 x^{0.83}$ であることが推定されており²⁾，その拡散幅を用いれば JEA式による濃度値とはほぼ同程度になると予想される。



(注) 正規型ブルーム，鉛直濃度一様式の拡散パラメータは pasquill-Gifford 図のD

図-4.1 各拡散モデルの濃度試算結果

4-5 各モデルの適用性

正規型プルーム・パフモデルは風速、拡散係数が拡散対象空間で一定であるという仮定のもとに導びかれているが、現実には地表面の粗度などによって鉛直方向の風速こう配などがあるため、理論的には鉛直方向の濃度分布を表現しえない場合もあると考えられている。しかし、汎用性、計算の容易さ、適合性などにすぐれており、これまでに道路近傍の予測に用いられていて十分な一般性、信頼性を有している。

風速及び鉛直方向の拡散パラメータを高さ z の関数として扱ったモデルに JEA 式、Bosanquet-Pearson 式、坂上式などがある。これらの非正規型モデルは正規型モデルに比べてより厳密な仮定に基づいているといえるが、パラメータの数が多く、計算式が複雑になっている。さらに JEA 式は排出源または予測点の高さのいずれか一方が地表面 ($z = 0$) でなければならないなどの難点がある。鉛直濃度一様式はある高さ以上になると濃度がゼロとなるため、煙源から近い範囲では地上から高い位置の予測ができない。また、このモデルは直角風の時以外は使用できないなど、鉛直濃度一様式の広域拡散への適用には問題がある。

以上の点から総合的に判断して本資料中の広域拡散に用いる計算モデルはどの排出源に対してもプルーム・パフモデルとする。

5. 広域拡散計算プログラムの概要

これまで述べてきた気象、発生源、拡散モデルの検討をもとに、大気汚染の広域的な影響を予測し評価するために、自動車以外に工場、事業場、家庭及び船舶に係る排出源をとり入れた広域拡散計算プログラムを作成した。このプログラムは発生源、気象、環境、拡散、評価の5つのモデルからなる。各モデルの概要は以下のとおりである。

5-1 発生源モデル

工場・事業場・自動車・船舶・家庭からの大気汚染物質（ここでは窒素酸化物）を整理し、拡散モデルの入力条件とするために、各々の発生源のもつ形状・性状等から点源または線源としてモデル化する。

工場・事業場については、アンケート調査等により発生源の実態が収集されているものとし、その調査例として、環境庁・通産省により昭和49年から実施されている「大気汚染物質総合調査」によるものとする。そして、施設別燃料使用状況等から煙突あたりの排出量を期別時間帯別の平均排出量を求め、拡散モデルの入力条件を出力する。

自動車については、走行する自動車からの排出量の把握は、路線毎の交通量に車種別走行速度別の排出係数を乗じて算出する。また、幹線道路については線源とし、細街路・細道路については面源として扱うこととした。

船舶については3-5で示したとおりであり、家庭についてはメッシュ別の燃料使用量を推定し、窒素酸化物排出量を求める。

5-2 気象モデル

風向・風速・日射量、雲量の気象データを用いて次の処理を行う。

- 風向出現頻度表、風向別平均風速表の集計
- 2地点間の風向・風速の同時類似性を表す指標としての風ベクトル相関の集計
- 日射量、雲量及び風速から大気の拡散の大きさを表す指標としての大気安定度階級の推定とその出現頻度の集計

なお、本モデルからのこれら出力表は、直接拡散モデルの入力条件となるわけではなく、拡散モデル利用時の気象に関する参考資料を提供するものである。

5-3 拡散モデル

発生源モデルの出力結果である発生源ファイルと気象モデルの出力結果である気象ファイルを用いて、気象ブロックと代表気象の指定・濃度計算地点の指定等により、煙源単位別、期別時間帯別の濃度を拡散計算式によって求め、磁気テープに出力する。

(1) 有効高さ

面源の有効高さはパラメータとして指定し、また線源の有効高さは発生源モデルで路面高から設定される。工場、事業場の点煙源については表-5.1に示す推計式により算出する。

表-5.1 工場・事業場の発生源の有効煙突高の算出式¹⁾

気象状態	大規模煙突	中小規模煙突
有風時	Moses and Carson 式	CONCAWE 式
弱風時	有風時の式と無風時の式の内挿	有風時の式と無風時の式の内挿
無風時	Briggs 式	Briggs 式

(注) 煙突の規模は排出ガス熱量によって区分する。

(2) 拡散式

正規型ブルーム・パフ式の基本式は式(4.1)、(4.2)であるが広域拡散の適用にあたっては以下のように発生源の態様別に変形して用いる。

① 点源ブルーム(有風時)

一つの風向内で濃度が一樣と考えた(水平方向拡散パラメータ σ_y に無関係な)ブルーム式

$$C(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_p}{\frac{\pi}{8} x \sigma_z u} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots\dots\dots (5.1)$$

座標は煙源直下の地表面を原点とし、風下方向に x 軸をとる。

x : 計算点の x 座標 (m)

Q_p : 点煙源強度 (Nm³/s)

u : 風速 (m/s)

H_e : 有効煙突高 (m)

② 点源パフ式(弱風時)

$$C(R) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_p}{\frac{\pi}{8} r} \cdot \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{r^2} H_e^2} \exp\left(-\frac{u^2 H_e^2}{2r^2} \cdot \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{r^2} H_e^2}\right) \dots\dots\dots (5.2)$$

R : 点煙源と計算点の水平距離 (m)

Q_p : 点煙源強度 (Nm³/s)

u : 風速 (m/s)

H_e : 有効煙突高 (m)

パラメータ α , r は,

$$\begin{cases} \sigma_x = \sigma_y = \alpha t \\ \sigma_z = r \cdot t \end{cases}$$

とおき、経過時間 t を 3600 sec としてターナ図から求めた値である。ただし、 σ_x , σ_y , σ_z は x, y, z 方向の拡散幅である。

③ 面源ブルーム式 (有風時)

面煙源の外側

$$C(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_A}{u} \int_{x-a}^{x+a} \frac{1}{\sigma_z} \frac{2a}{\frac{x}{8}\xi + 2a} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) d\xi \quad \dots\dots\dots (5.3a)$$

面煙源の内部

$$C(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_A}{u} \int_0^a \frac{1}{\sigma_z} \frac{2a}{\frac{x}{8}\xi + 2a} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) d\xi \quad \dots\dots\dots (5.3b)$$

Q_A : 面源強度 ($Nm^3/m^2 \cdot sec$)

④ 面源パフ式 (弱風時)

面源の外側

$$C(R) = \pi a'^2 F(R) \quad \dots\dots\dots (5.4a)$$

$$F(R) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{Q_A}{\frac{\pi}{8} r} \cdot \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{r^2} H_e^2} \exp\left(-\frac{u^2 H_e^2}{2r^2} \cdot \frac{1}{R^2 + \frac{\alpha^2}{r^2} H_e^2}\right)$$

面源の内部

濃度一様として、等面積な円に交換する。

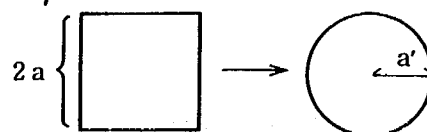


図 5.1 a' の仮定

$$C(0) = \int_0^a 2\pi R \cdot F(R) dR \quad \dots\dots\dots (5.4b)$$

⑤ 線源プレーム式 (有風時)

Z を含むブルーム式

$$C(R, Z) = \frac{Q_L}{\sqrt{2\pi} \frac{\pi}{8} R \sigma_z u} \left\{ \exp\left\{-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \exp\left\{-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

を P_1 から P_2 まで積分する。

ただし、 Q_L は線煙源強度($\text{Nm}^3/\text{s}\cdot\text{m}$)である。

具体的な積分方法は、図-5.2の P_1, P_2 から風の軸に垂直に下した点 P'_1, P'_2 の間を R について積分する。排出強度は、

$$Q_i = \frac{Q_L}{\cos \theta} \text{ と修正する。}$$

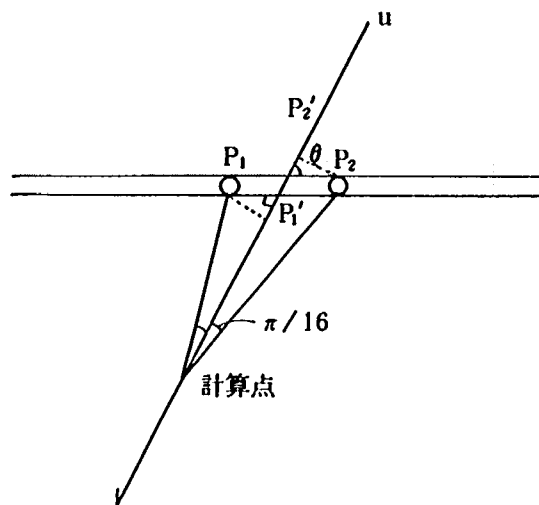


図-5.2 積分範囲

⑥ 線源パフ式 (無風・弱風時)

$$C(R, Z) = \frac{Q_L}{\sqrt{2\pi} \cdot \frac{\pi}{8} r} \left\{ \frac{1}{\eta_1^2} e^{-\frac{u^2}{2r^2 \eta_1^2} (Z+H)^2} + \frac{1}{\eta_2^2} e^{-\frac{u^2}{2r^2 \eta_2^2} (Z-H)^2} \right\} \dots\dots\dots (5.6)$$

$$\eta_1^2 = R^2 + (\alpha^2/r^2)(Z+H)^2$$

$$\eta_2^2 = R^2 + (\alpha^2/r^2)(Z-H)^2$$

この式を P_1 から P_2 まで積分する。

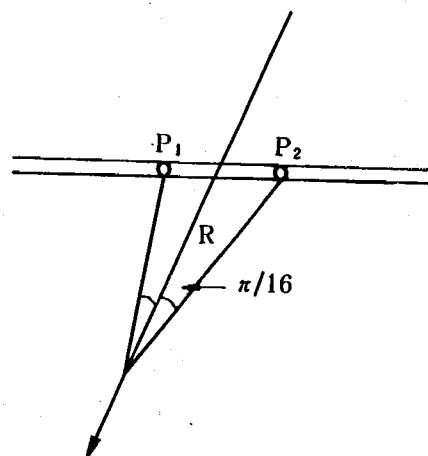


図-5.3 積分範囲

(3) 拡散計算結果の保存

拡散計算はモデル化された発生源を類型化された気象条件ごとに行う。これらの結果は、気象条件(風向、風速)別出現頻度で重み付け平均を求めて、発生源毎に地点別・期別・時間帯別濃度として磁気テープに出力し保存する。

$$\overline{C}_{st,p,s,t} = \sum_{\ell=1}^6 \sum_{k=1}^{17} C_{st,p,s,t}(D_k, V_{\ell}) \cdot f_{st,s,t}(D_k, V_{\ell}) \dots\dots\dots (5.7)$$

ここで、

st: 発生源

p: 濃度計算地点

s: 期 間

t : 時間帯

$\bar{C}_{st,p,s,t}$: 発生源 st による地点 p における期間 s , 時間帯 t の寄与濃度

$C_{st,p,s,t}(D_k, V_\ell)$: 期間 s , 時間帯 t , 風向 D_k , 風速 V_ℓ の時の発生源 st の地点 p への寄与濃度

$f_{st,s,t}(D_k, V_\ell)$: 発生源 st の属する気象ブロックの期間 s , 時間帯 t での風向 D_k , 風速 V_ℓ の出現率

$$\sum_{\ell=1}^6 \sum_{k=1}^{17} f_{st,s,t}(D_k, V_\ell) = 1$$

5-4 プログラムの試算例

本プログラムを用いて図-5.4に示す地域(C県周辺)をケーススタディとし、実際のデータを用いて試算を行った。実測値と計算値の照合結果のうち、年間全日については図-5.5のとおり(対象地域内の一般環境測定局)である。

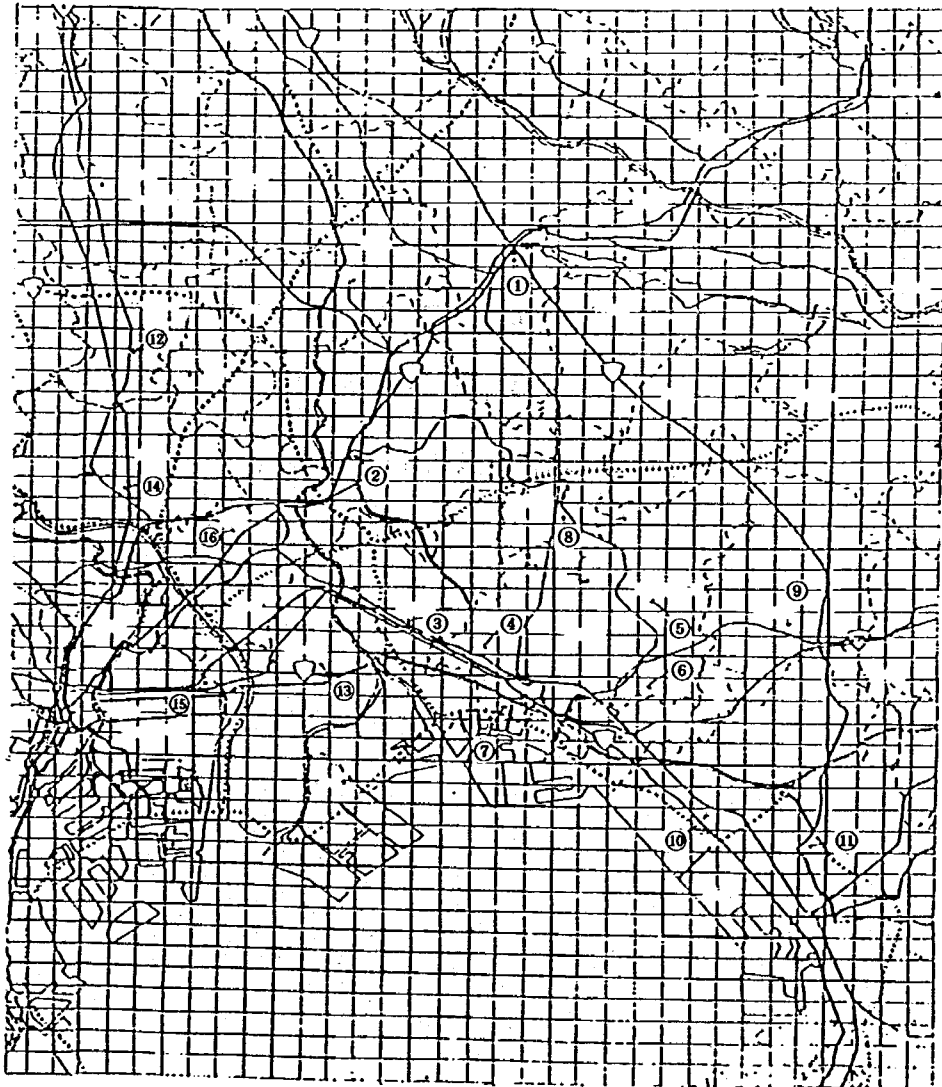


図-5.4 評価地点

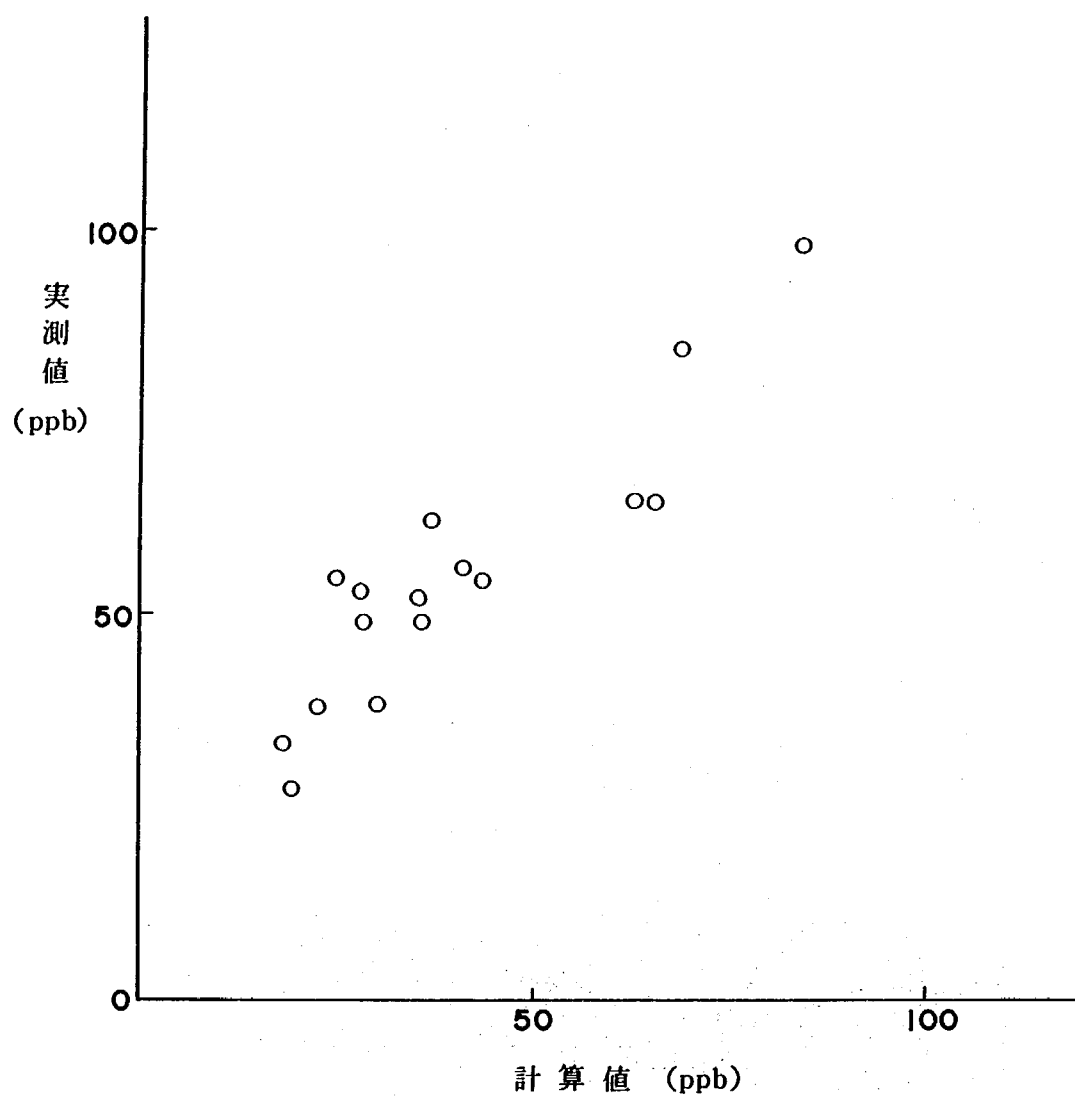


図-5.5 実測値と計算値の照合結果

6. 気象条件の与え方による予測値の変動

広域拡散計算は多くの発生源、気象区域、計算地点を対象とすることが多く、かなり計算時間のかかるものである。長期平均値の場合、時々刻々変化する気象条件を全てシミュレートしようとする大型電算機でも膨大な計算時間を要する。そこで、気象、発生源の要因は通例、期間と時間帯にモデル化して与えることが多い。ここでは気象、モデルの細分化の違いにより年平均値がどの程度変動するかをケーススタディにより試算した。対象地域は5-4と同じである。なお、計算は NO_x の年平均値とし、計算地点は図-6.1に示す100地点の地上1.5mとした。

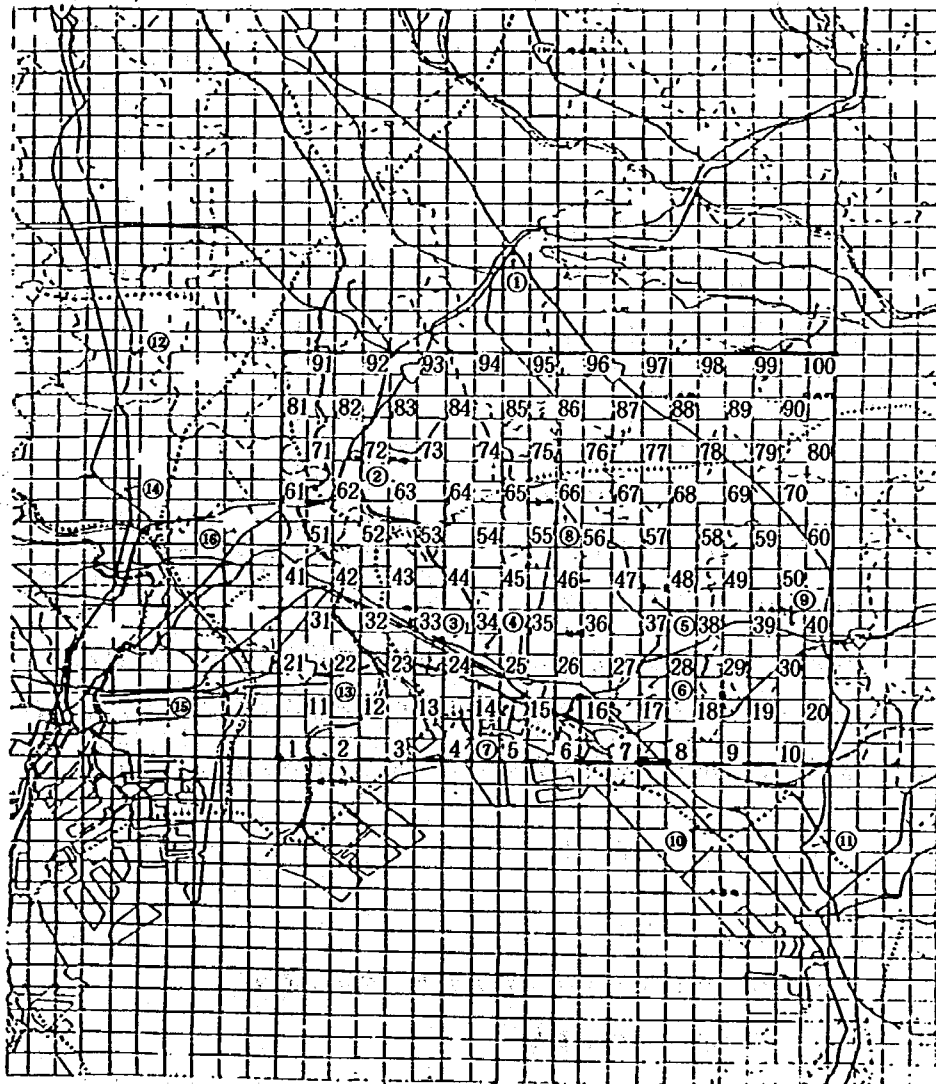


図-6.1 計算エリアと地点番号

6-1 気象条件の区分、平均化

以上のように気象データの区分を設定した上で、各区分方法を組み合わせて表-6.1に示す15ケースで計算を行った。

期間の区分：1年間、4季別の2ケース

時間帯の区分：1日、4時間帯、24時間別の3ケース

風向・風速：出現頻度、最多風向、平均風速の3ケース

代表気象：分割した場合と全域同一とした場合の2ケース

ここで風向・風速の与え方のうち出現頻度とは、風向を17方位（弱風（風速1m/s以下）を含む）、風速を5段階（弱風を含む）に区分し、各期間・時間

の出現頻度を与える場合をいう。また最多風向とは各期間・時間の最多風向（弱風を含む）を与えるもので、平均風速とは風速階級別の出現頻度によらず、平均風速で与える場合をいう。

なお、ここでは気象条件の与え方を検討しているが、期間区分、時間帯区分については発生源データも同じ区分がなされるものである。

表-6.1の15ケースの気象条件の与え方のうち期間、時間帯を最も細かく区分して与えるケースである「ケース1」を基本ケースとし、この基本ケースの100地点の濃度に対して気象条

件の与え方を変えた場合の各100地点の濃度の相対差を整理解析した。表-6.2は基本ケース（ケース1）に対する相対差等についてまとめたものである。同表の相対差は次式により求めたものであり、平均値、標準偏差、最小値、最大値は100地点の相対差をサンプルとした統計量である。

$$\text{相対差} \quad e_i = (c_i - c_i^*) / c_i^* \times 100 \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

e_i : i 地点の相対差 (%)

c_i : " 気象条件の与え方を変えたケースの計算値

c_i^* : " 基本ケースの計算値

図-6.2, 3, 5は各ケースの基本ケースに対する相対差分布（0.05きざみ）を示し、図-6.4は期間・時間帯の区分を一定とし、風向、風速の与え方を変えた場合の相対差の分布を示している。

期間、時間帯区分数を少なくする、あるいは風向・風速の与え方を単純化するにつれて差が大きくなることがわかるが、特に図-6.3, 4の差が非常に大きく、風向の与え方の単純化は許されない。図-6.2ではその差の分布の大きさからみて風向、風速を頻度で与えれば、期間、時間帯の区分数を少なくすることも可能であると考えられる。しかし時間帯区分を1とすると、理由は明らかでないが差の平均が

表-6.1 気象条件の与え方

ケース	期間区分数	時間帯区分数	風 向	風 速
①	4	24	出現頻度	出現頻度
2	1	24		
3	4	4		
4	4	1		
5	1	1		
6	4	24	最多風向	平均風速
7	1	24		
8	4	4		
9	4	1		
10	1	1		
11	4	24	出現頻度	平均風速
12	1	24		
13	4	4		
14	4	1		
15	1	1		

注：○印は比較の基本ケースを示す。

+5%となり、やや大きめの計算値を与えることになる。また風速を平均値で与えた場合(図-6.5)については差の平均がマイナス側に偏るが、比較的、差の範囲は小さいといえる。差の平均がマイナス側になるのは風速を相加平均することによると考えられる。拡散計算モデルの性質上、風速は調和平均の方が望ましいように思われるが、相加平均>調和平均のため平均濃度が小さめになっている。なお、図-6.5中のケース14, 15における差の平均のマイナス側への偏りが、ケース11~13に比べて小さいのは、より基本ケースに近いケース4, 5の差の平均がプラス側にあることによる。なお得られた所見は、今回使用した発生源及び気象データに基づくものであり、地域によっては異なったものとなる可能性をもっている。

表-6.2 気象条件の与え方による相対差等のまとめ

ケース	気象条件の与え方				基本ケースに対する相対差(%)			基本ケースとの関係		
	期 間	時間帯	風 向	風 速	平均値	標準偏差	範 囲	回帰式 $Y = ax + b$ (注)		相関係数
								a	b	
2	1	24	出	出	-0.7	1.4	-3.9 ~ 2.8	0.9978	0.1976	0.9997
3	4	4	現	現	0.1	0.7	-1.6 ~ 2.0	0.9967	0.0694	0.9999
4	4	1	頻	頻	5.5	2.1	1.1 ~ 12.3	0.9393	0.2111	0.9991
5	1	1	度	度	4.8	3.3	-1.4 ~ 14.2	0.9368	0.4152	0.9984
6	4	24	最 多 風 向	平 均 風 速	1.9	12.3	-27.6 ~ 38.4	1.0598	-1.1601	0.9725
7	1	24			-21.3	12.1	-47.8 ~ 19.4	1.0645	3.7698	0.9571
8	4	4			9.6	16.5	-25.4 ~ 59.4	1.0344	-2.1147	0.9621
9	4	1			38.9	31.5	-32.6 ~ 122.5	0.8975	-3.8768	0.8994
10	1	1			-54.0	35.5	-89.8 ~ 80.2	0.6887	16.4185	0.8060
11	4	24	出 現 頻 度	平 均 風 速	-10.2	2.4	-16.3 ~ -1.8	1.1222	-0.1397	0.9981
12	1	24			-10.5	3.0	-19.6 ~ -1.4	1.1301	-0.2166	0.9970
13	4	4			-9.4	2.7	-18.4 ~ -1.4	1.1154	-0.2118	0.9976
14	4	1			-5.5	3.4	-18.3 ~ 2.1	1.0647	-0.0985	0.9965
15	1	1			-6.6	4.1	-20.0 ~ 2.0	1.0731	0.0184	0.9953

注: 回帰式 $Y = ax + b$ で Y : 基本ケース(ケース1) x : 対比ケース(ケース2~15) 単位: ppb サンプル数100

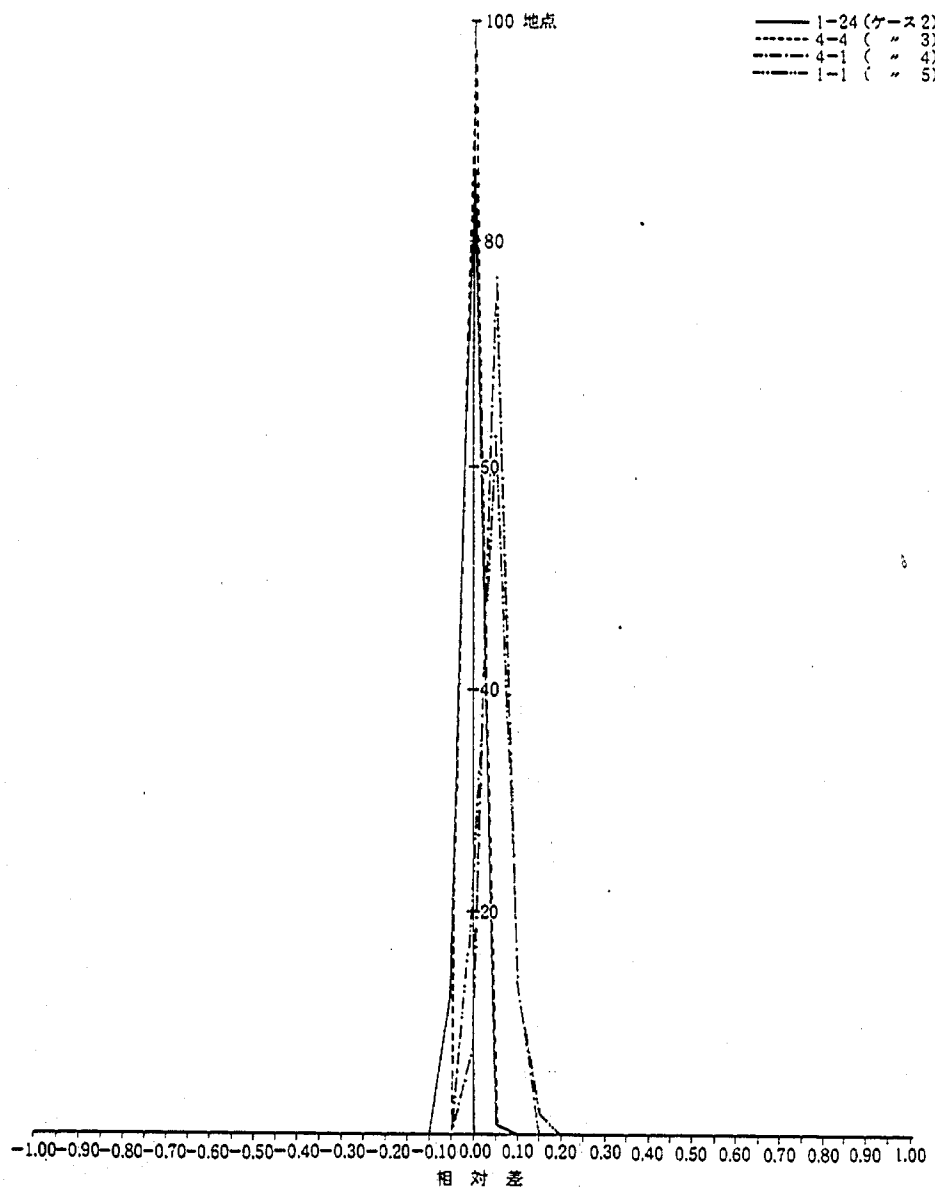


図-6.2 予測値相対差の分布(ケース1基準)

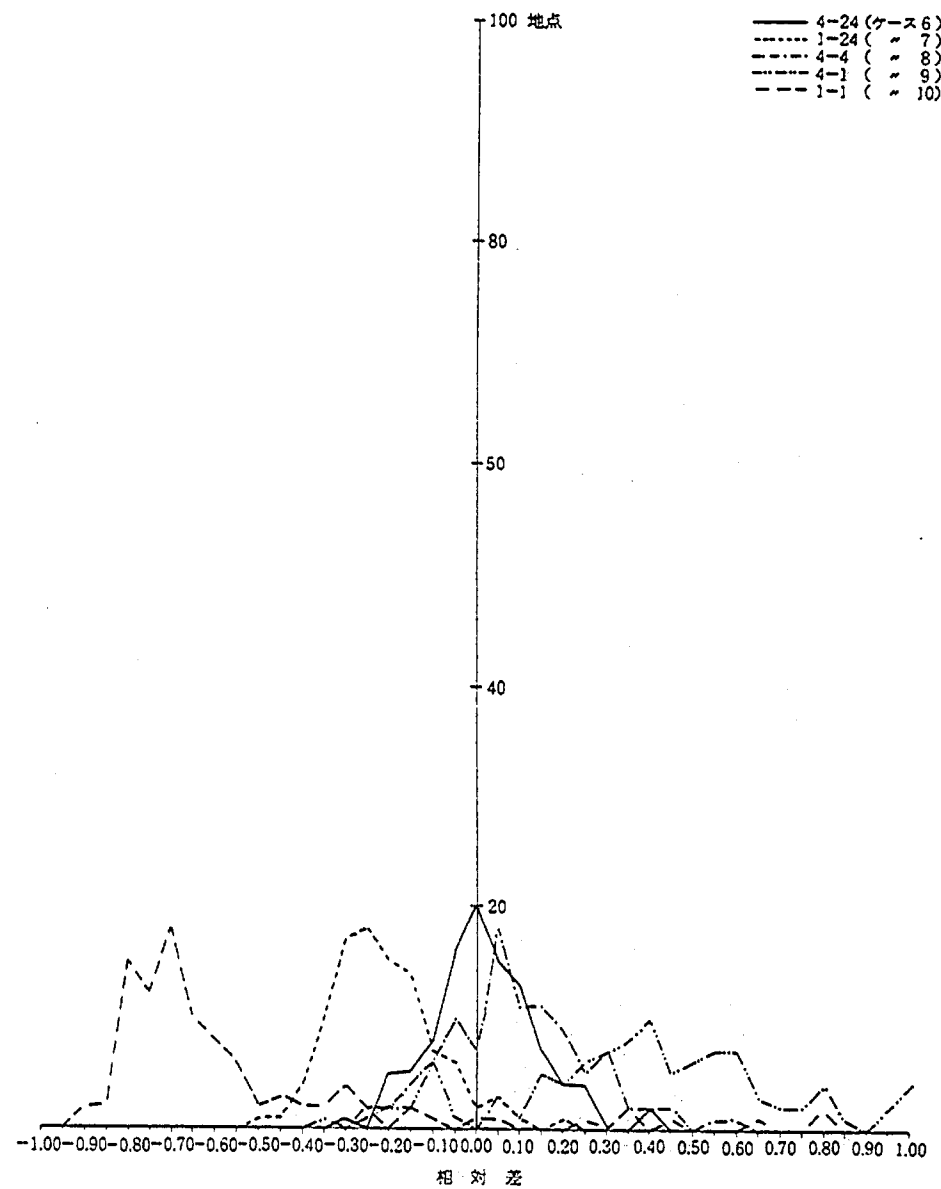


図-6.3 予測値相対差の分布(ケース1基準)

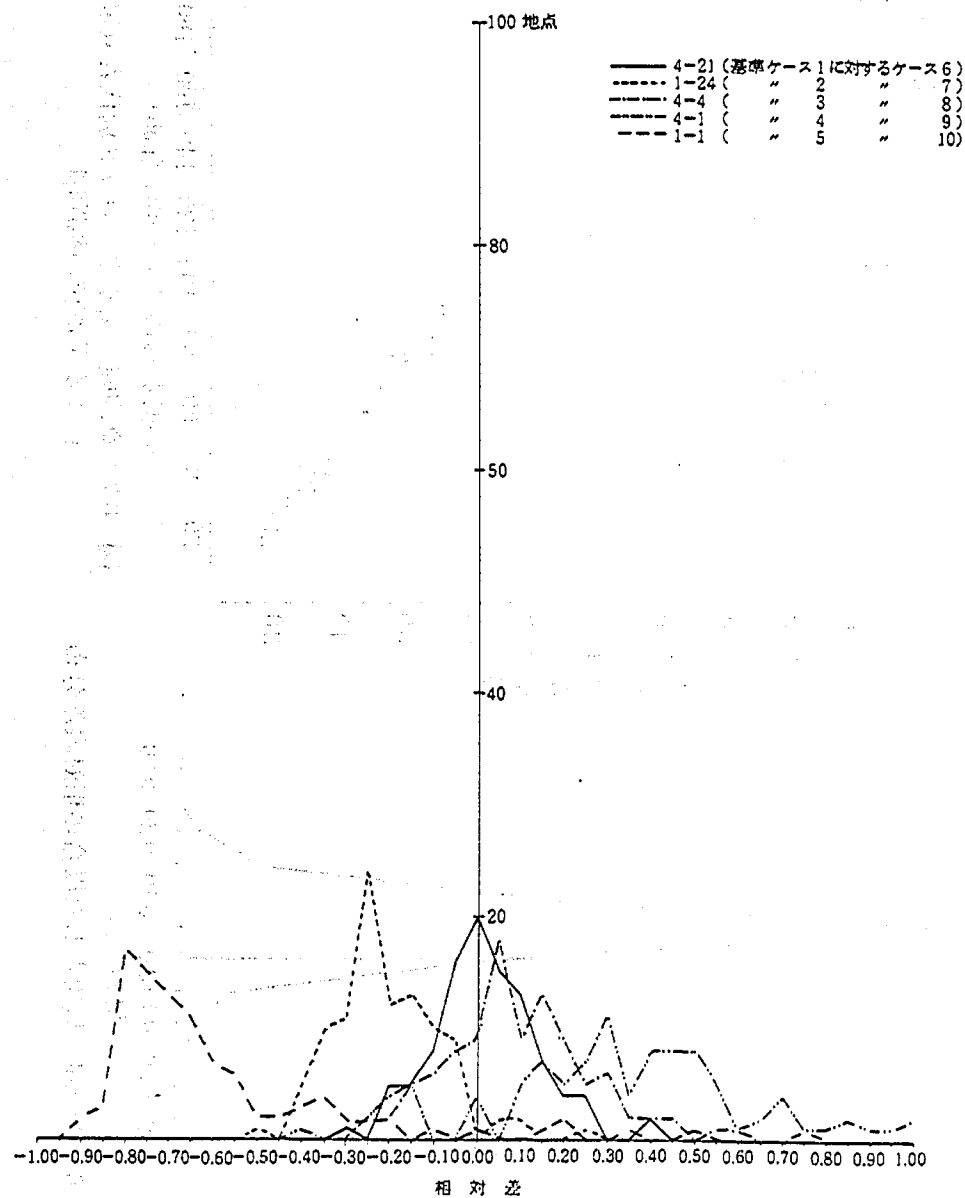


図-6.4 予測値相対差の分布 (ケース 1 ~ 5 基準)

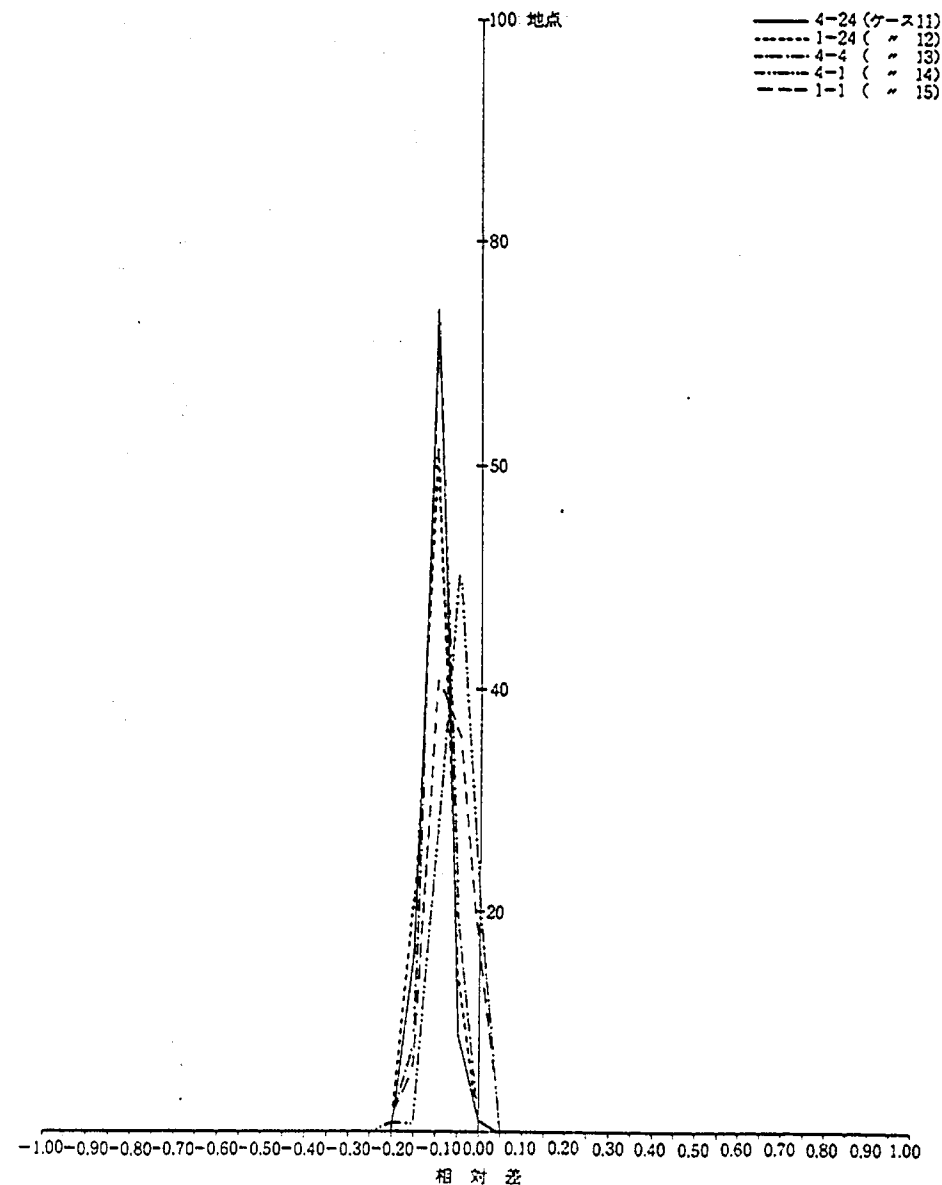


図-6.5 予測値相対差の分布 (ケース 1 基準)

6-2 計算時間の比較

広域拡散計算においては、気象条件等の設定が簡易でしかも予測精度を有していることに加え、実用面では計算に要する所要時間が短いことが望ましい。表-6.3 は拡散計算プログラムによって計算した場合の気象条件の与え方による計算時間を基本ケースを1として示したものである。広域拡散計算においては、6-1の精度と本節の計算時間を考慮して、気象データの区分、平均化を行う必要がある。

表-6.3 気象条件の与え方による計算時間の比較

風 向	風 速	期 間	時間帯	ケース	指 数
出現頻度	出現頻度	4	24	①	1.0
		1	24	2	0.35
		4	4	3	0.25
		4	1	4	0.08
		1	1	5	0.02
最多風向	平均風速	4	24	6	0.35
		1	24	7	0.09
		4	4	8	0.06
		4	1	9	0.02
		1	1	10	0.01
出現頻度	平均風速	4	24	11	0.77
		1	24	12	0.19
		4	4	13	0.12
		4	1	14	0.03
		1	1	15	0.01

6-3 気象ブロックの分割

一般に広域を対象とする拡散計算では地域によって気象条件が異なることを想定して、対象地域を適当にブロック化してそれぞれに気象条件を設定する。ここでは気象条件を地域ブロック別の代表気象で与えるかわりに、全域で同一の気象を与えた場合の試算を行い、比較した。

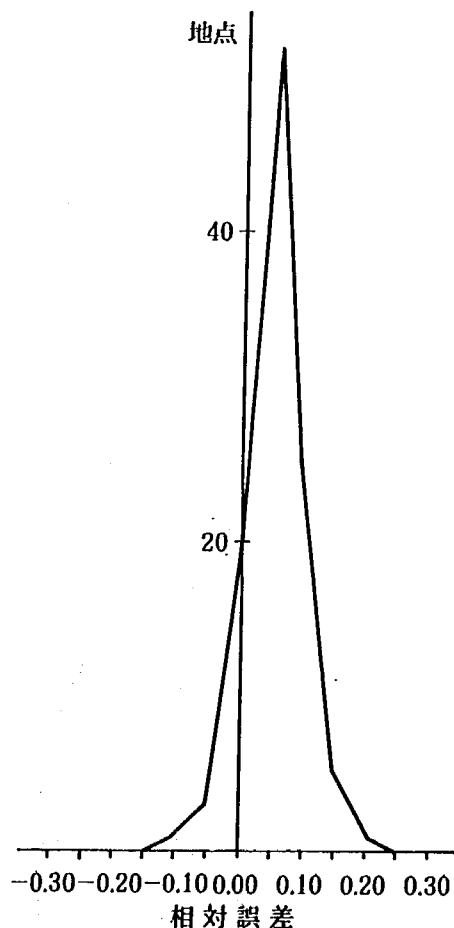


図-6.6 全国同一気象とした場合の相対誤差分布

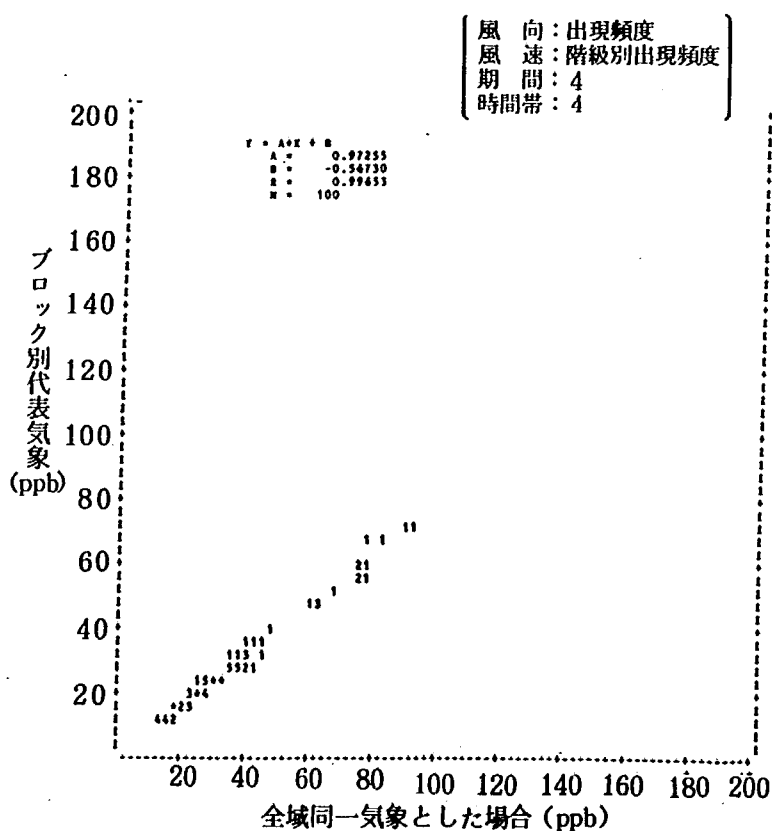


図-6.7 全国同一気象とブロック別代表気象による予測値の相関図

気象条件の与え方は6-1において計算結果の差が比較的小さいと認められるケース3とする。ブロック別代表気象を与える場合に対する全域同一気象とした場合の100地点の相対差の平均を表-6.4に、相対差の分布を図-6.6に、両者の比較を図-6.7に示す。この例では全域同一気象とした場合、全体にやや大きめの値となっている。しかし大きめになるか小さめになるかは、その地域の気象特性、全域を代表する気象データの選び方によると考えられる。

表-6.4 全域同一気象とした場の予測値の相対差

(単位：ppb)

平 均	標準偏差	相対差の範囲
5.6	4.4	-8.7 ~ 18.1

7. 感度分析結果

7-1 検討方法

広域拡散計算モデルの性格傾向を明らかにするために、種々の計算条件の精度、変動が計算結果に与える影響、すなわち入力する各計算条件に対するモデルの感度をケーススタディにより検討した。ケーススタディ地域は前出のC県周辺とし、対象物質、発生源データ、気象データなど全て同じである。

感度は主としてある基準の計算条件における濃度に対して、対象とする項目の入力条件を変えることによる濃度変化、相対濃度差、相対濃度比を適宜用いることにより示している。基準の計算条件は全て元データ通りとするが、大気安定度については簡単のためパスキルのC-Dとした。

感度分析項目は、①排出源モデル、②拡散の影響範囲、③評価地点、④拡散パラメータである。評価地点は、検討項目7-2、7-3については調査対象地域のうち20メッシュ中心で高さ1.5mの地点とした。また、検討項目7-5～7-7については100メッシュ中心の高さ1.5m地点とし、発生源位置をかえて5ケースの計算を行っている。

参考として基準ケースにおける前者の20地点濃度の発生源別寄与を表-7.1に示す。また、地点別に寄与濃度が最大の個別の点源、線源についてその寄与濃度と距離をそれぞれ表-7.2、表-7.3に示した。濃度合計は線源濃度が高い地点で高濃度であり、高濃度地点での線源寄与率は80～90%である。線源濃度が高い地点、例えば5、12、15は幹線道路から近い点である。

表-7.1 20地点の発生源別寄与濃度

(単位: ppb)

地点	工場 (点)	自動車 (線)	工場 (面)	自動車 (面)	船 舶	民 生	合 計
1	6.281	13.418	1.181	4.607	0.195	0.584	26.267
2	7.617	20.577	1.462	1.699	0.250	0.316	31.922
3	4.933	9.954	0.720	1.810	0.125	0.364	17.906
4	6.124	3.098	0.749	2.358	0.091	0.272	12.693
5	3.942	56.715	1.436	3.852	0.135	0.548	66.627
6	3.869	5.194	0.777	1.707	0.128	0.290	11.967
7	4.156	1.904	0.644	1.589	0.117	0.274	8.684
8	5.235	2.207	0.785	0.916	0.076	0.117	9.336
9	3.212	37.380	1.261	3.377	0.088	0.462	45.780
10	4.212	2.079	0.843	1.983	0.092	0.320	9.529
11	2.981	4.198	0.533	1.211	0.090	0.168	9.171
12	3.426	43.225	0.451	0.716	0.076	0.088	47.983
13	2.632	4.487	0.975	2.639	0.062	0.302	11.097
14	2.441	9.430	0.759	2.090	0.063	0.292	15.074
15	2.316	51.391	0.570	1.112	0.069	0.141	55.600
16	2.409	1.228	0.373	0.701	0.063	0.083	4.858
17	2.105	16.680	0.802	1.890	0.046	0.187	21.710
18	2.426	24.089	0.675	1.936	0.047	0.271	29.444
19	1.903	5.239	0.460	1.267	0.052	0.161	9.080
20	1.825	1.276	0.345	0.802	0.052	0.100	4.400

表-7.2 最大寄与点源位置と寄与濃度

地点	煙突高 (m)	距離 (m)	寄与濃度(ppb)
1	26.0	2112.4	0.921
2	10.0	866.1	0.954
3	34.0	7871.6	0.681
4	34.0	4708.9	1.207
5	52.0	1039.4	0.165
6	29.0	5282.4	0.270
7	10.0	6719.6	0.284
8	34.0	691.5	1.031
9	25.0	5766.5	0.111
10	29.0	665.2	1.296
11	34.0	7826.9	0.153
12	34.0	4633.7	0.583
13	9.0	4512.2	0.112
14	200.0	37235.8	0.117
15	200.0	36977.3	0.119
16	34.0	9227.9	0.231
17	50.0	7215.8	0.121
18	50.0	6130.3	0.302
19	200.0	41595.4	0.098
20	34.0	13839.2	0.120

表-7.3 最大寄与線源位置と寄与濃度

地点	距離 (m)	寄与濃度 (ppb)
1	1251.77	5.334
2	737.15	15.182
3	202.25	1.935
4	1041.39	0.661
5	4.29	36.173
6	273.68	0.715
7	906.09	0.245
8	1081.30	0.333
9	109.48	17.228
10	1823.55	0.310
11	100.72	1.363
12	12.12	418.78
13	691.60	0.976
14	37.18	5.443
15	17.25	49.811
16	876.00	0.283
17	16.08	8.687
18	118.61	13.347
19	329.63	2.133
20	1112.14	0.693

7-2 排出源モデル

排出源モデルの簡素化の影響として点源、線源を面源化した場合の濃度変化について検討した。

面源の有効煙突高は面源化される点源のNO_x排出量とその有効煙突高から次式によって算出した。

$$HE_i = \left(\sum_{j=1}^n H_{exj} \times Q_{ij} \right) / \sum_{j=1}^n Q_{ij} \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

HE_i: iのメッシュの面源の有効煙突高

n: iのメッシュにある面源化される点源数

H_{exj}, Q_{ij}: iのメッシュにある面源化される点源の有効煙突高とNO_x排出量

図-7.1に面源化への基準別に全地点での濃度(点源寄与分)変化を示す。全体的に高濃度の地点で濃度が下がり、低濃度の地点で濃度が上がる状態を示し、全地点の濃度が平均化される傾向があることが判る。全点源と全面源との濃度変動は約10%程度である。

図-7.2に線源による場合の濃度(線源寄与分)と線源をすべて面源化した場合の濃度を全地点について示す。

計算地点により濃度の変動に差がある。線源の寄与濃度の低い点では面源化により寄与濃度が増加し、線源の寄与濃度の高い点では逆に寄与濃度が減少する。

線源の面源化により濃度が大幅に減少している4地点は、計算地点と幹線道路との距離が近い点である。

線源の面源化は、メッシュの平均濃度的な意味が強くなる。

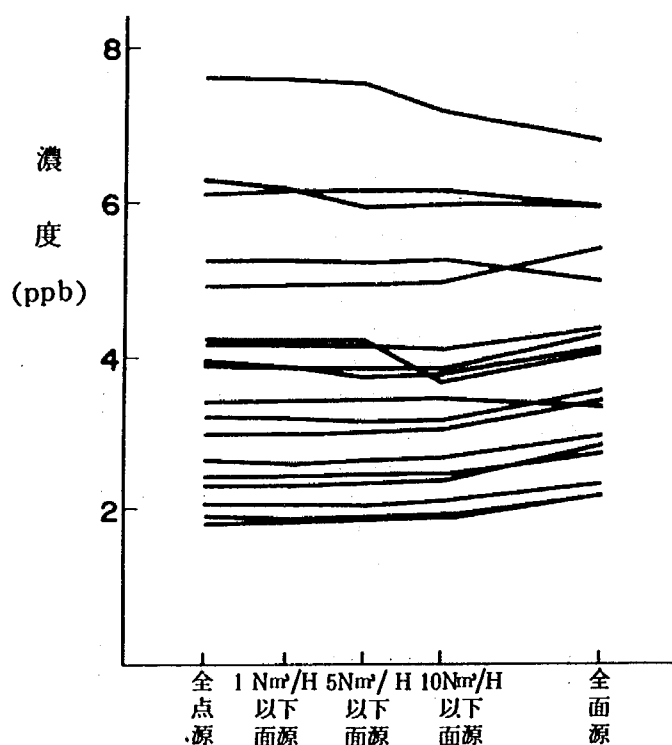


図-7.1 排出源モデルの差

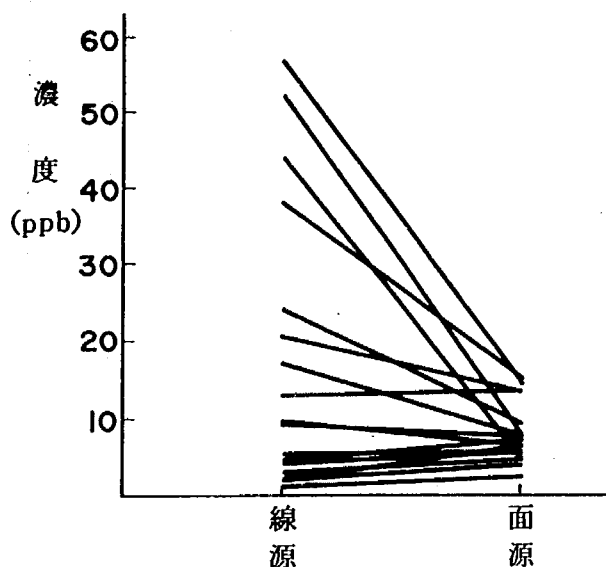


図-7.2 排出源モデルの差

7-3 評価地点

一般的な広域大気汚染予測においてはメッシュを切り、その平均濃度で評価する場合がある。その場合、メッシュの代表濃度としてメッシュ中心点の濃度を計算することもあるが、中心点濃度が平均濃度を表わすかどうかはわからない。ここではメッシュ平均値として①2kmメッシュで代表する、②1kmメッシュ、③500mメッシュの4点平均、④250mメッシュの16点平均、の4通りを考え、④を基準のメッシュ平均値とした時の相対濃度差の分布を発生源別に図-7.3に示す。

点源は、有効煙突高が高いため拡散の影響範囲が広く、評価地点の影響が少ない。面源は排出源がメッシュ内で一様に分布しているので有効煙突高の割に濃度差が少ない。線源は、有効煙突高が低いため、拡散の影響範囲が狭く、排出源が局所的なため、計算点の位置による影響が大きい（横幅目盛が点線源の場合と異なることに注意）。

7-4 拡散の影響範囲

拡散式に従って影響濃度を算出すれば絶対濃度としてはいくら小さくても0でない影響濃度が算出される。予測対象地域に影響を及ぼす発生源は対象地域以外でも含める必要があるが、何100mも離れた発生源まで含むのは合理的でない。ここでは点源、面源、線源の有効煙突高さ別に風下距離による濃度

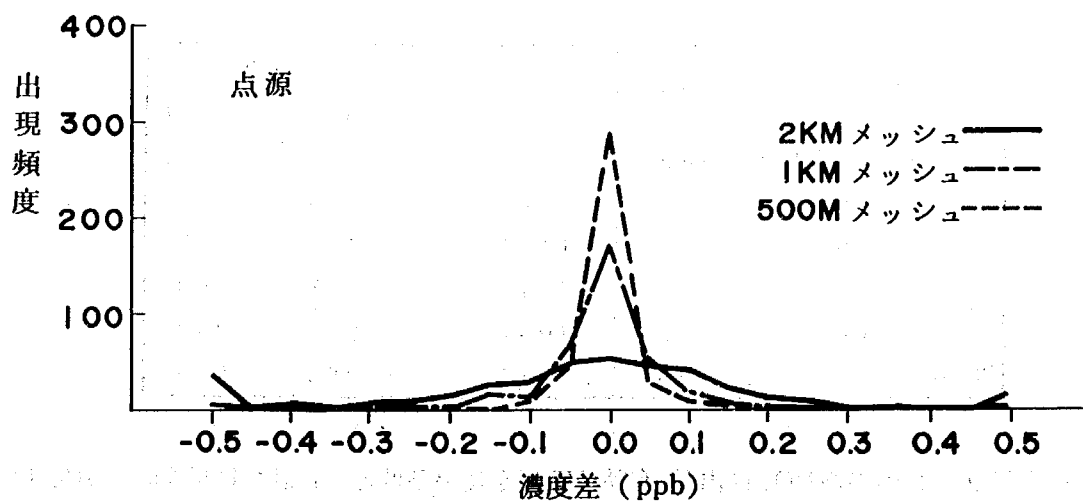
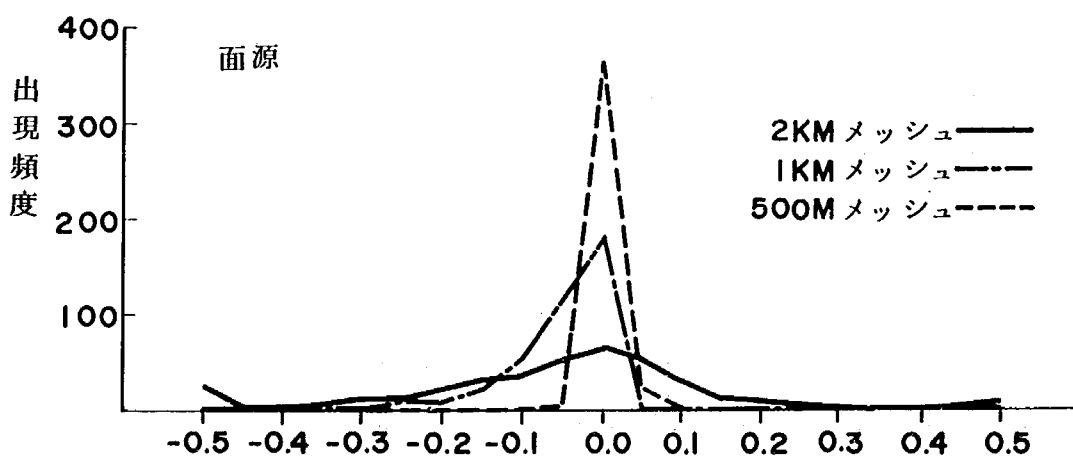
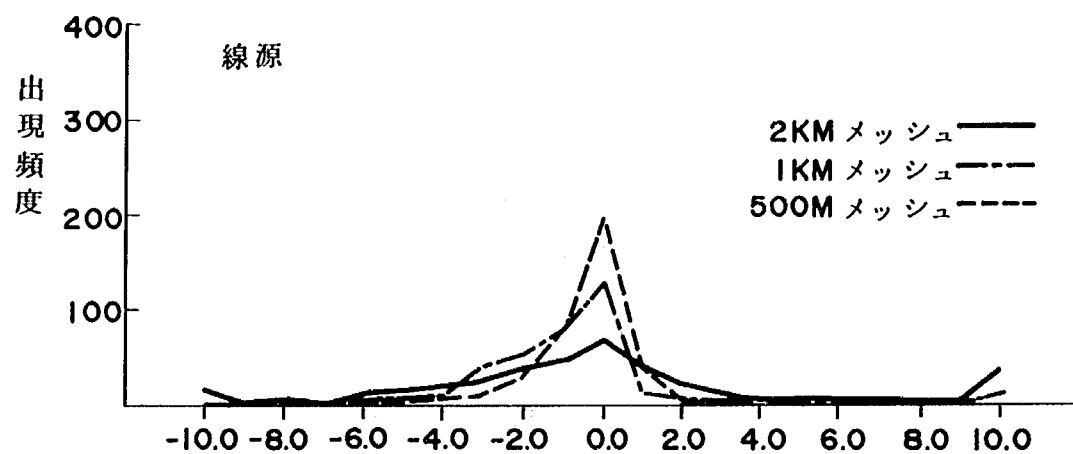


図-7.3 発生源別相対濃度差

減衰を計算した。計算条件は以下のとおりである。

排出量	点源	1.0 Nm ³ /h	1点源
	面源	1.0 Nm ³ /(h・km)	1面源
	線源	0.5 Nm ³ /(h・0.5km)	1線源

有風時（ブルーム式）の風速：4 m/s

線源の場合道路と風とのなす角：0°（平行）、30°、60°、90°（直角）

計算結果を図-7.4～図-7.15に示す。これらの結果によれば、煙源の近く1.0km附近までは有効煙突高によって有風時においては差が出るが、50km附近になると有効高さによる差、点線、面源による差はない。

線源による影響では風下距離500m以内では平行風の場合には有効高さによる差が大きいが、道路とのなす角度が30°、60°、90°では比較的小さい。また、線源の遠方風下50kmでは風と道路のなす角による差はほとんどない。

濃度の絶対値では、風下距離50kmで有風時10⁻³ ppb程度以下であり、1000倍程度の排出量によっても1 ppb程度以下である。また風下の軸上濃度をとっているため、実際の風配による年平均濃度では一般には更に1/10以下に濃度が小さくなるとみてよいであろう。

点源は図-7.4の結果のように高煙突になればなる程、最大着地濃度距離が大きくなる。一般に大煙突は排出量規模が大きくなるためその影響を考慮に入れて、広範囲の高煙突を計算の対象に入れる必要がある。

実際の煙源では、排出規模により有効煙突高の差がある。点源の排出量ランク別の平均有効煙突高（NO_x排出量で加重したもの）を表-7.4に示す。

表-7.4 NO_x排出量ランク別平均有効高（有風時の平均風速4 m）

排出量ランク	煙突本数	平均NO _x 排出量	平均有効煙突高	
			無風時	有風時
～ 1Nm ³ /H	443	0.15 Nm ³ /H	277 m	89 m
1～ 10	189	3.73	368	119
10～ 20	48	14.14	432	129
20～ 50	57	30.48	493	158
50～ 100	9	70.87	627	230
100～	20	232.17	769	270

上表の排出量ランクの平均NO_x排出量、有効煙突高を煙突条件とした計算結果を図-7.16, 17に示す。

図-7.16では大煙源の場合、最大着地濃度地点の風下距離が10kmを超え、風下距離100km地点の濃度は、最大着地濃度の1/10程度であり、大煙突の影響範囲が広い事がわかる。

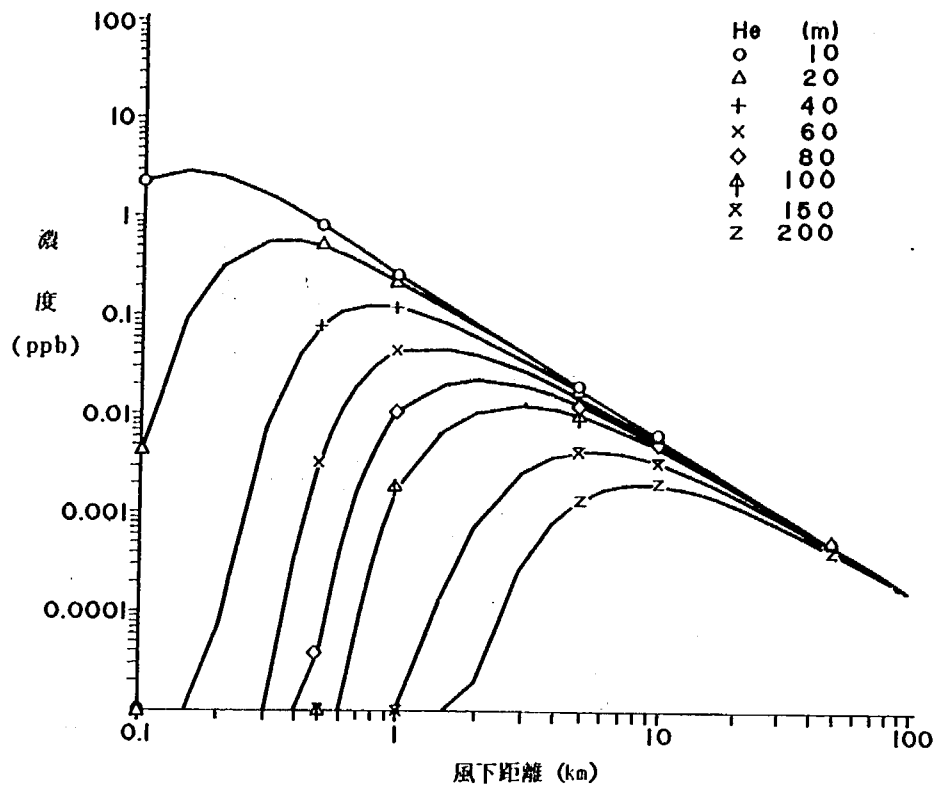


図-7.4 濃度減衰 (点源プルーム式)

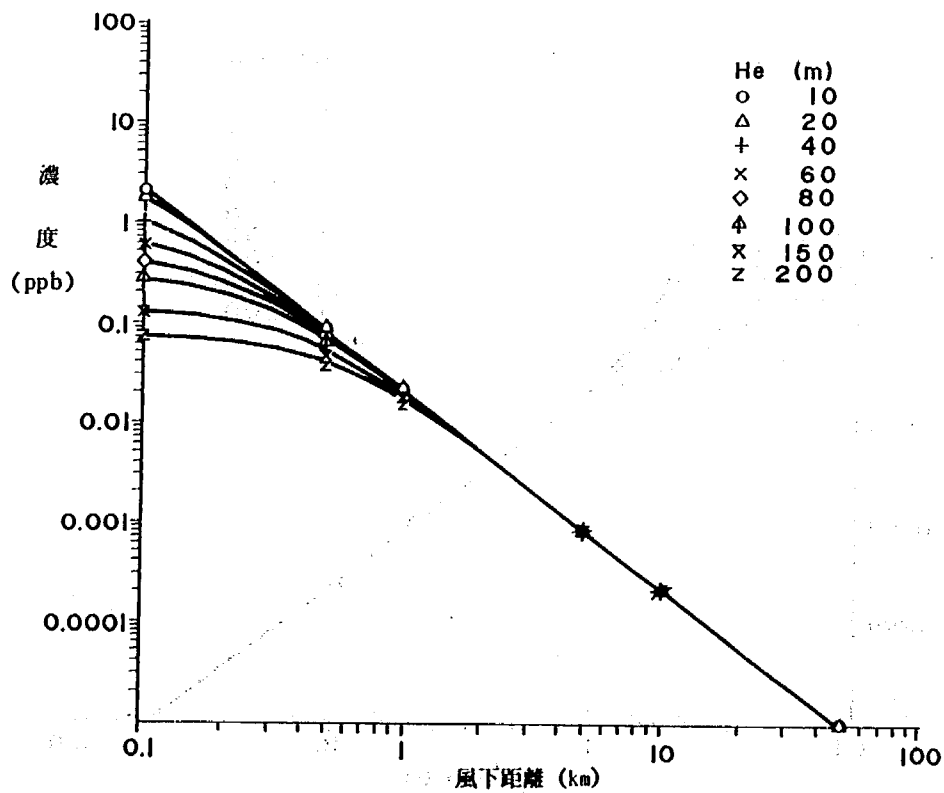


図-7.5 濃度減衰 (点源パシユル式)

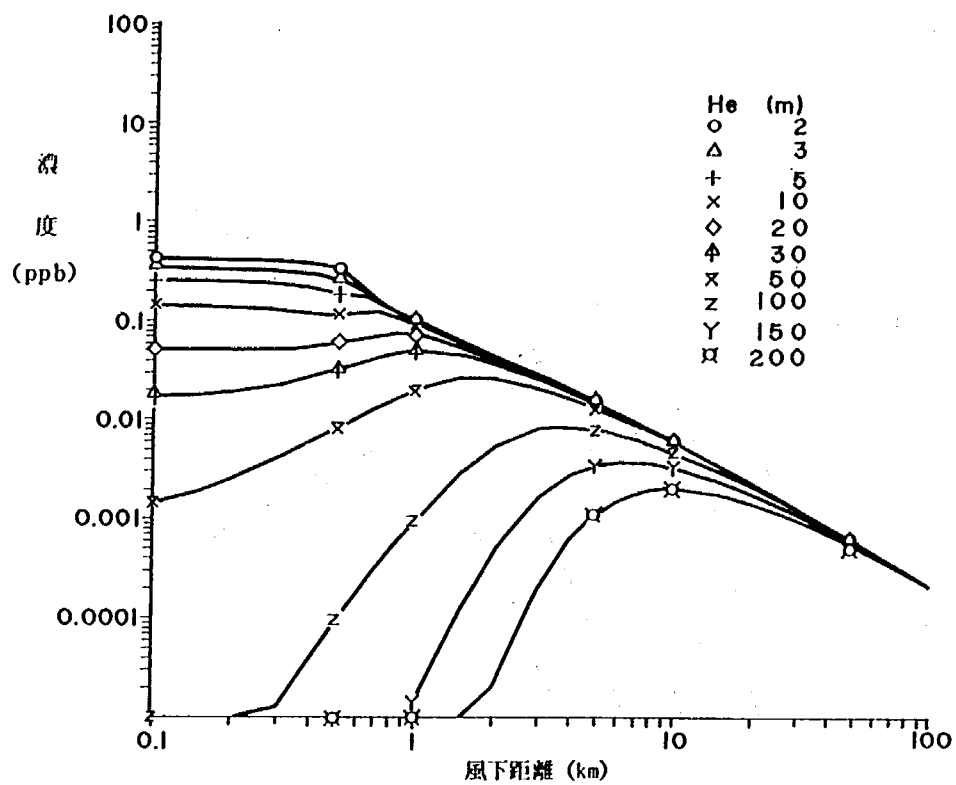


図-7.6 濃度減衰 (面源ブルーム式)

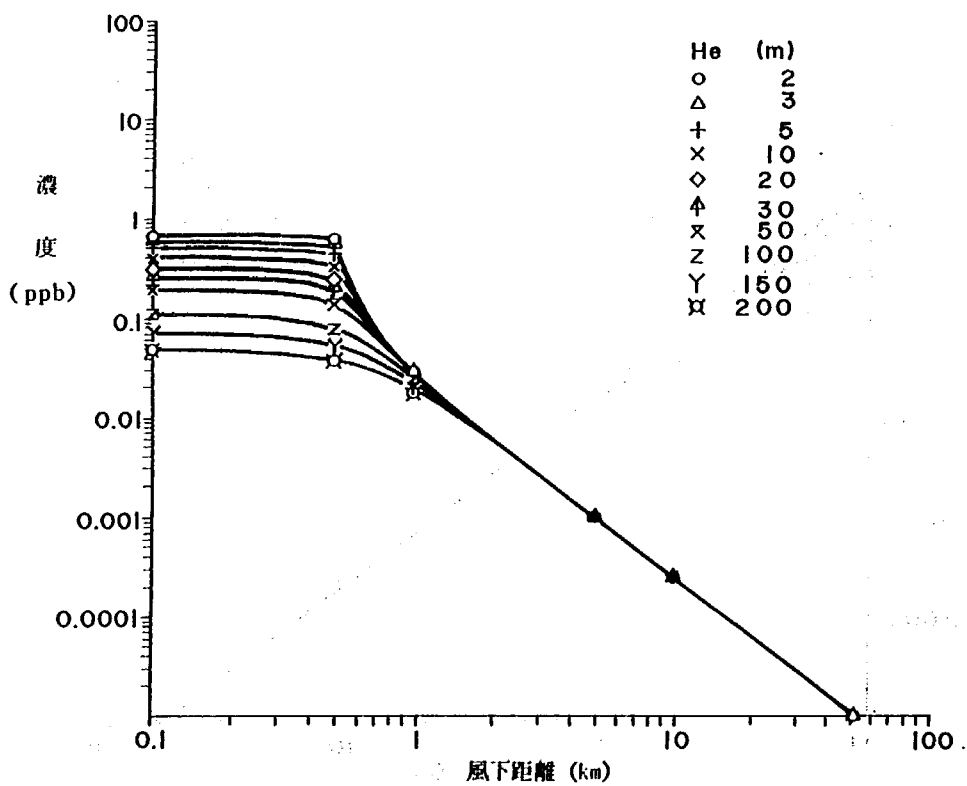


図-7.7 濃度減衰 (面源パフ式)

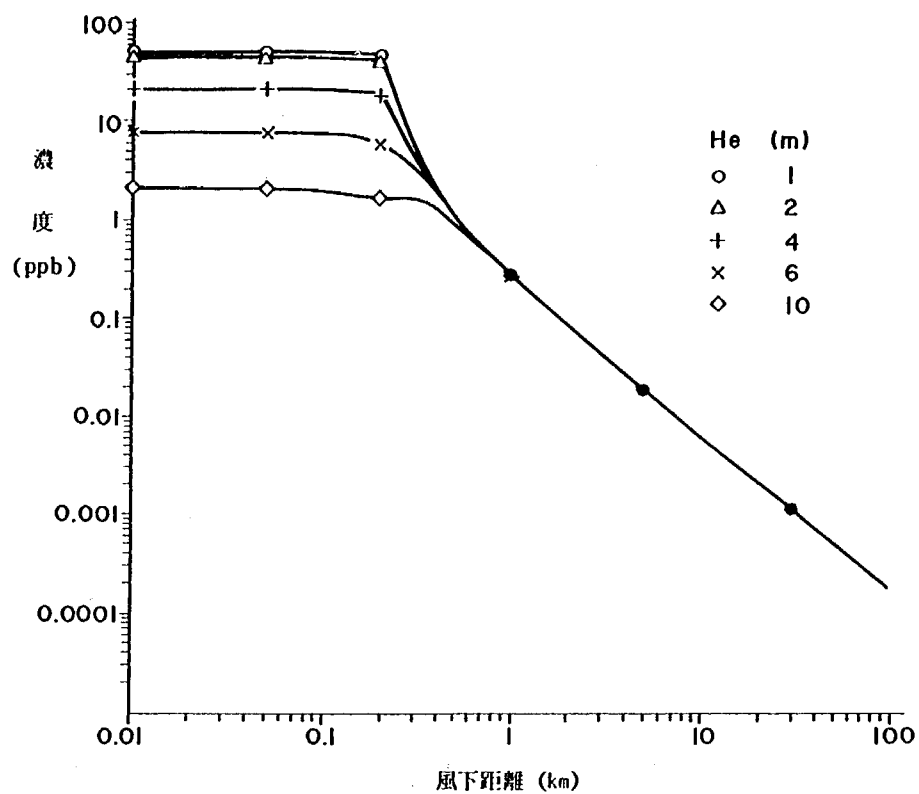


図-7.8 濃度減衰 (線源プルーム式, 角度 0°)

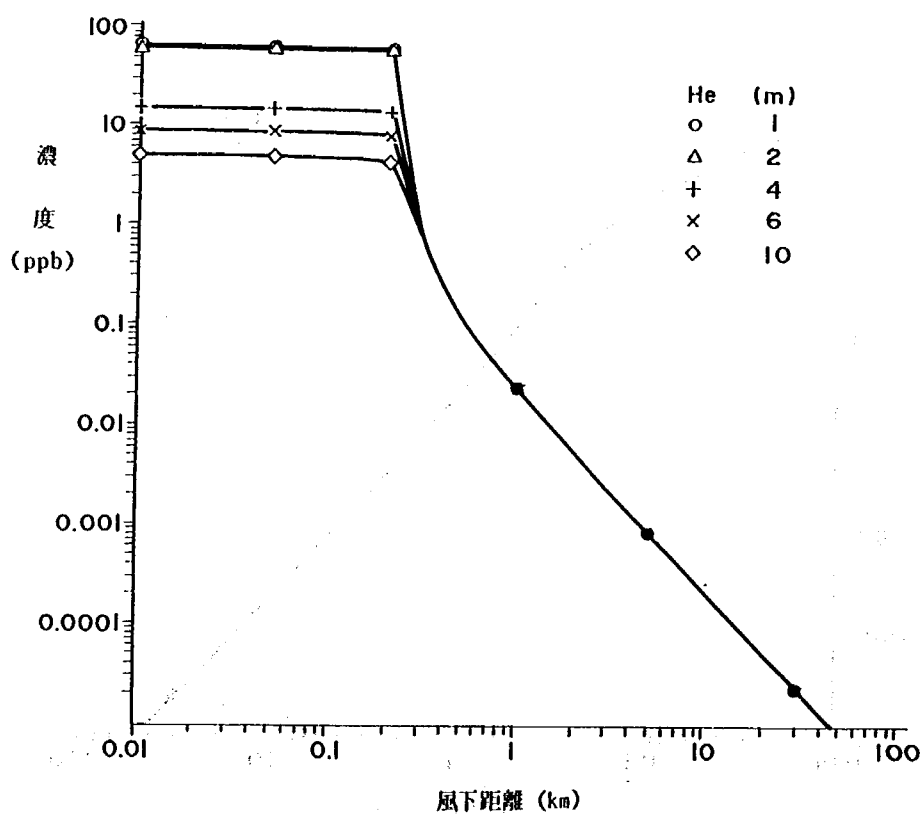


図-7.9 濃度減衰 (線源パフ式, 角度 0°)

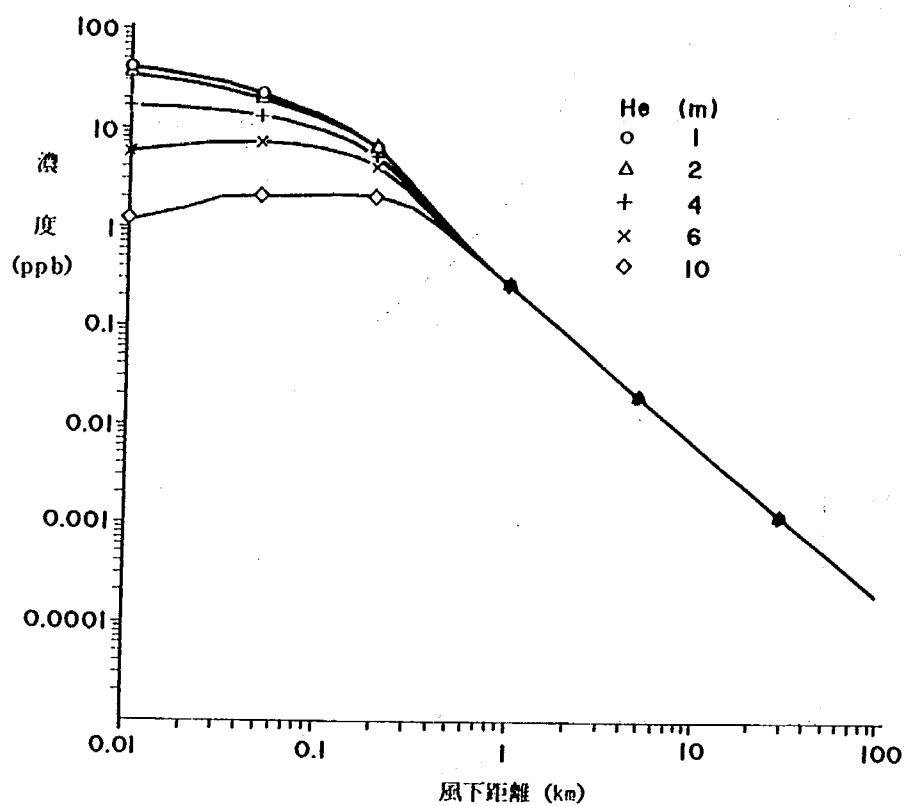


図-7.10 濃度減衰（線源プルーム式，角度30°）

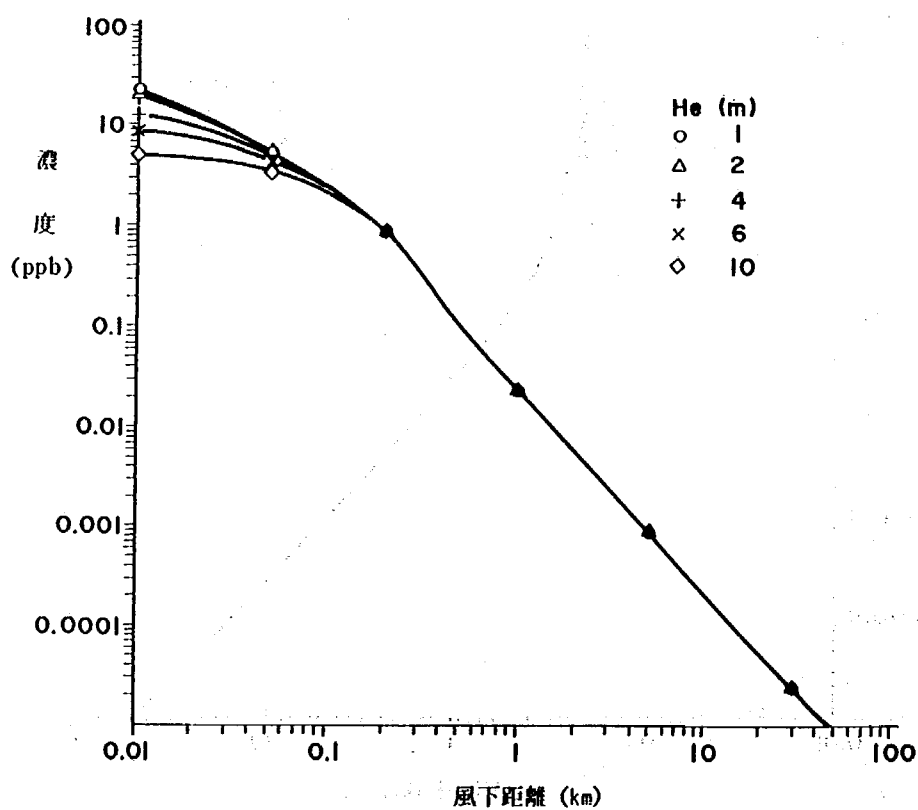


図-7.11 濃度減衰（線源パフ式，角度30°）

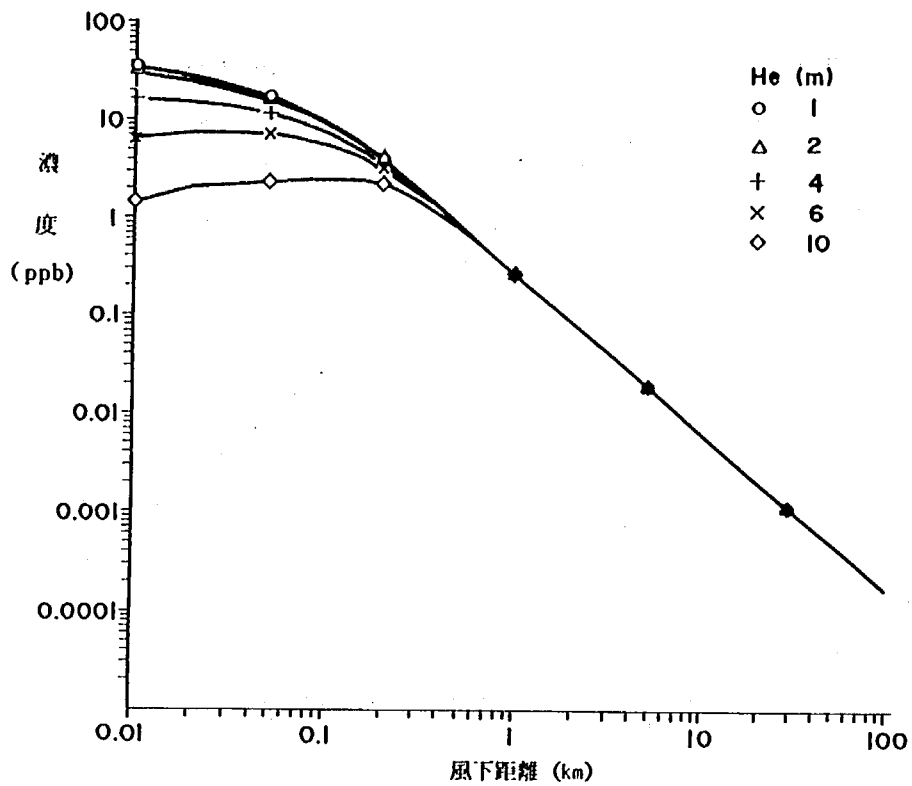


図-7.12 濃度減衰（線源ブルーム式，角度60°）

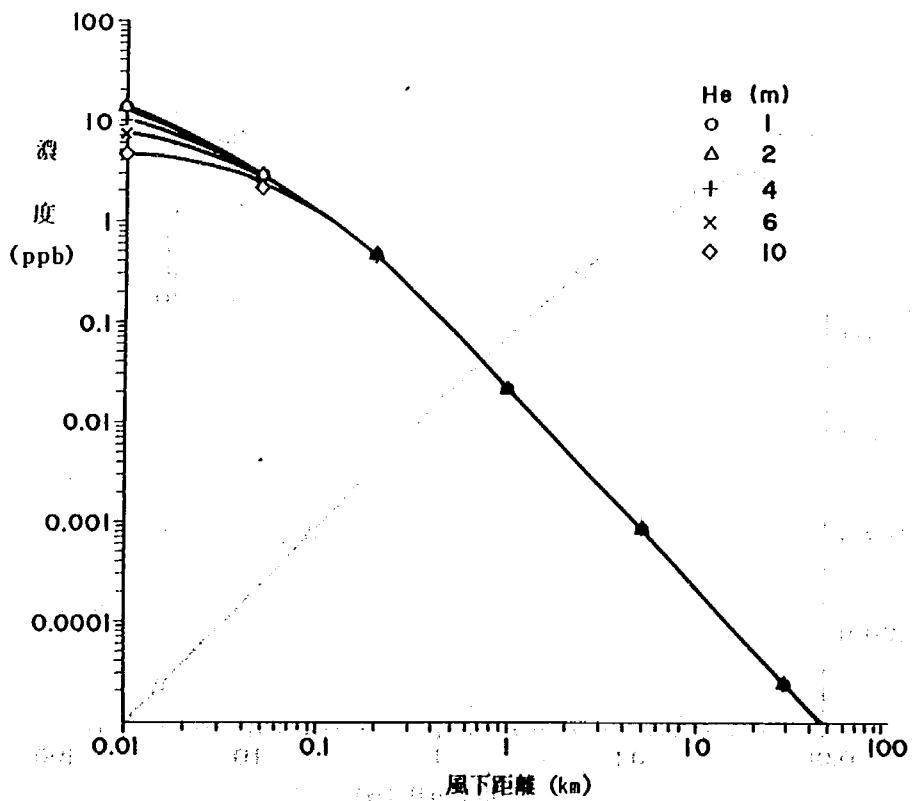


図-7.13 濃度減衰（線源パフ式，角度60°）

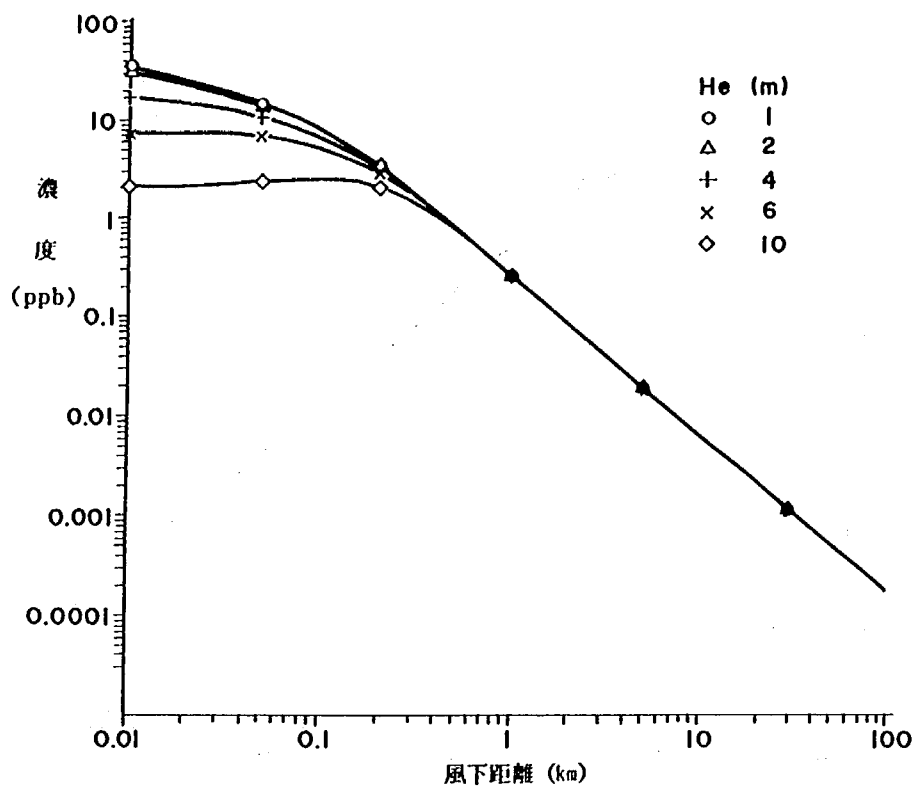


図-7.14 濃度減衰（線源ブルーム式，角度90°）

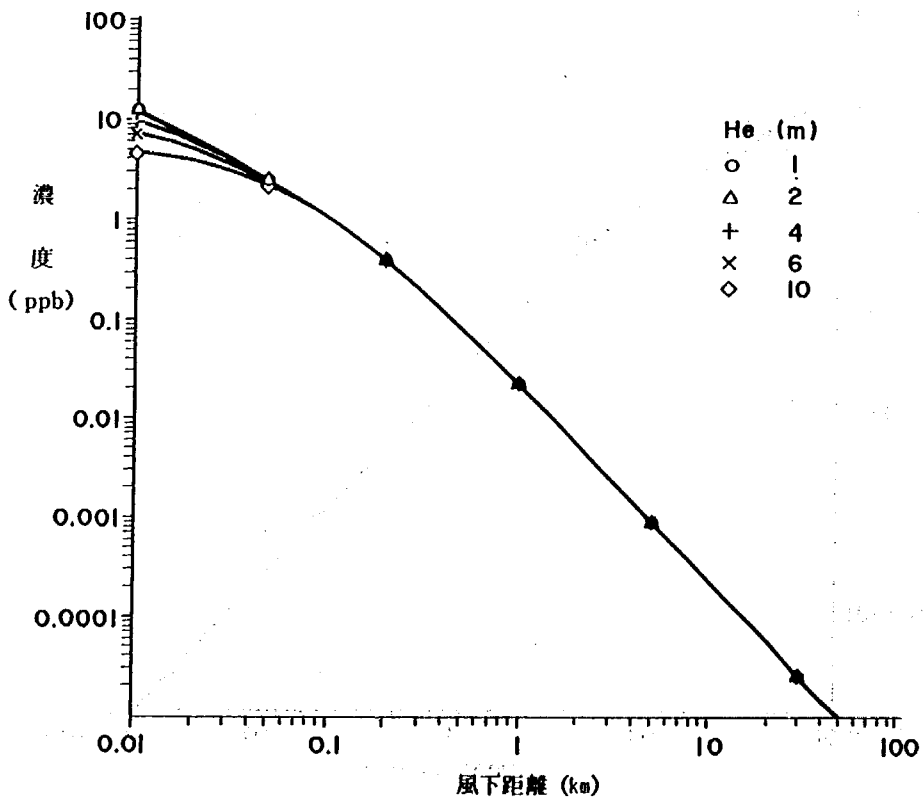


図-7.15 濃度減衰（線源パフ式，角度90°）

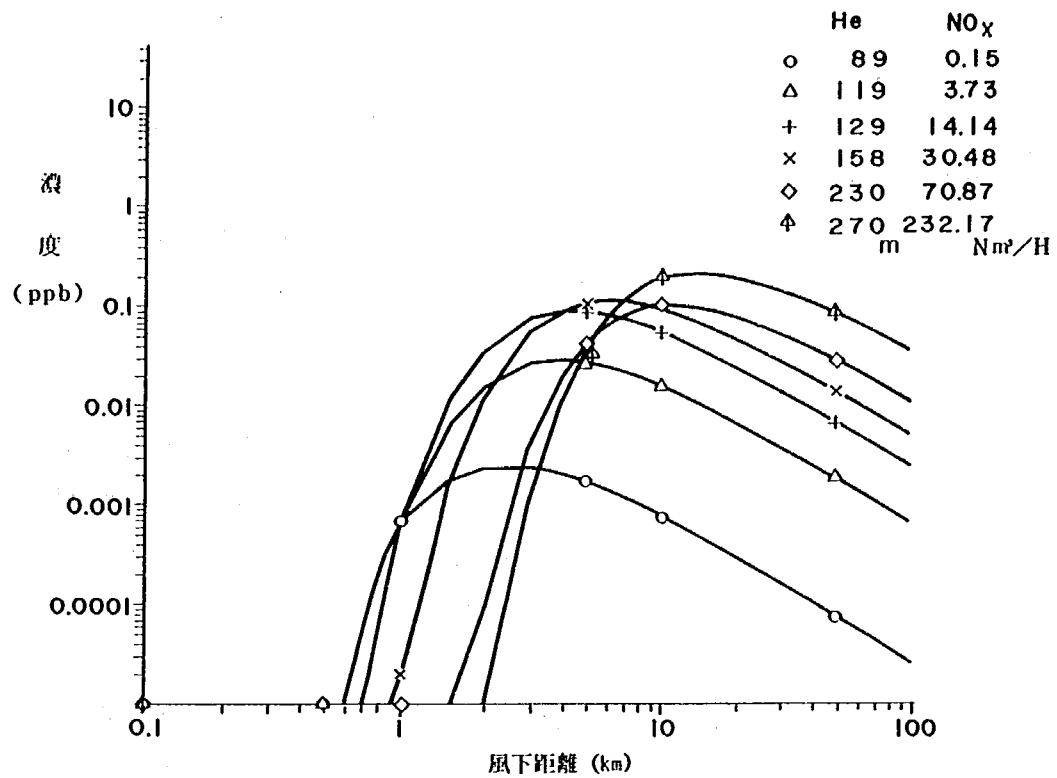


図-7.16 有効煙突高による濃度（ブルーム式）

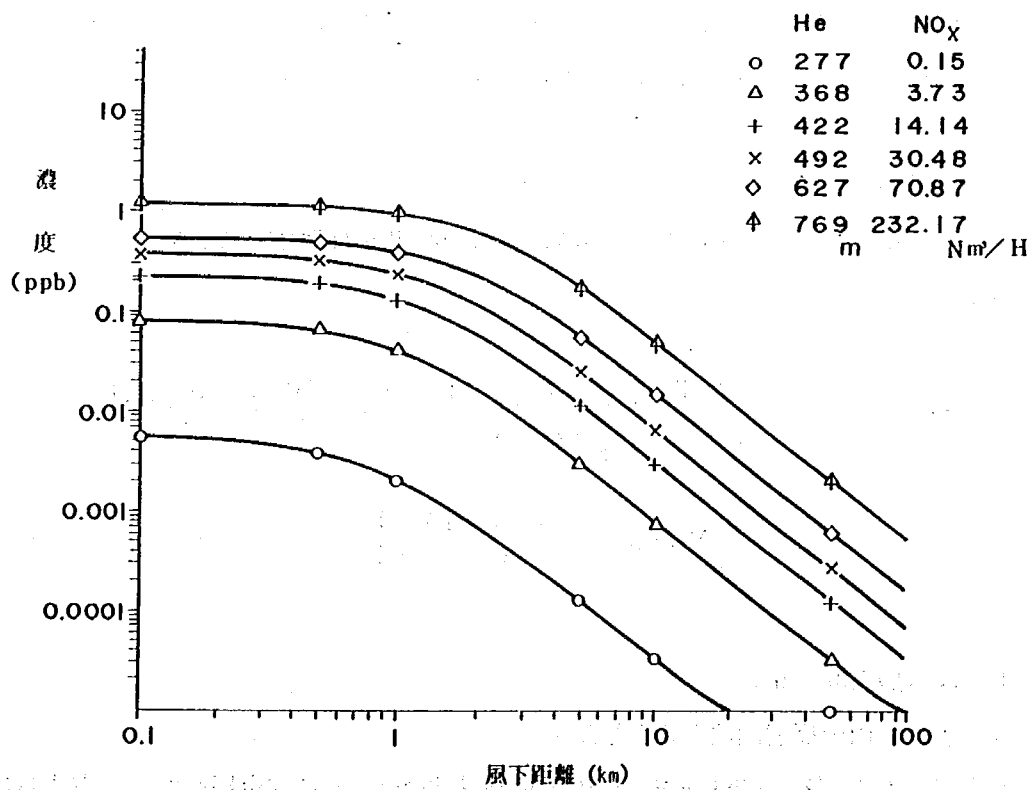


図-7.17 有効煙突高による濃度（パフ式）

7-5 発生源の有効煙突高

発生源の有効煙突高の変化による相対濃度差を図-7.18～図-7.21に示す。図には有効煙突高が基準ケースに対して±20%変化した場合の相対濃度差について最大及び最小地点、全地点平均を示す。

評価点が低い位置にあるため全体的に有効煙突高が高くなるほど濃度が低くなり、有効煙突高が低くなるほど濃度が高くなる傾向を示している。点源の有効煙突高が他の煙源タイプに比べて影響が大きい。線源では地点によっては影響の大きいところもあるが、平均的には有効高を20%変えても濃度には1%程度の影響しかない。面源についても平均値の相対差は2%程度と小さい。

7-6 拡散パラメータ

ここでは拡散パラメータの変化が評価地点濃度に与える影響を試算した。この結果を発生源別に図-7.22～図-7.25に示す。線源、面源では拡散幅を大きくすると濃度が低くなり、逆に拡散幅を小さくすると濃度が高くなる傾向を示しており、これは線源、面源の高さと評価点の高さが近いことによる。線源では計算地点との距離による変動が大きく、離れた地点ほど拡散幅の増減が濃度の相対比に与える影響が大きい結果となっている。点源では拡散幅を大きくすると一部に濃度が低くなる地点がみられるが、全体的には濃度が高くなる。ただし影響の度合は線、面源に比べて小さい。これは点源は有効煙突高が高いため、遠い煙源の影響が大きく、拡散幅が大きくなるほど、近くの煙源の影響が強くなることによる。

7-7 混合層高度による感度

混合層高度を∞から800, 600, 400, 200 mとした場合について濃度への影響を試算した。なお、対象発生源は点源だけとした。混合層高度を考慮するための計算条件は下記のとおりとし、計算式を式(7.2)とする。

- (1) σ_z が混合層高度よりも大きい時、濃度は一様に分布する。
- (2) 有効煙突高が混合層高度よりも高くなる時、混合層高度を有効煙突高とする。
- (3) 煙突の突抜けは想定しない。

$$C(x, y, z, H, L) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{Q}{\frac{\pi}{8} \cdot x \cdot \sigma_z \cdot u} \left[\exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) + \sum_{N=1}^J \exp\left\{-\frac{(2NL-H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} + \sum_{N=1}^J \exp\left\{-\frac{(2NL+H)^2}{2\sigma_z^2}\right\} \right] \dots\dots\dots (7.2)$$

L : 混合層高度 (m)

J : 混合層内の反射回数 (3とした)

計算結果を図-7.26～図-7.28に示す。計算条件からもわかるように混合層高度を考慮すれば混合層の反射により、濃度は大きくなる。混合層高度を低く設定するほど濃度は高くなり、200m付近では特に高くなる。

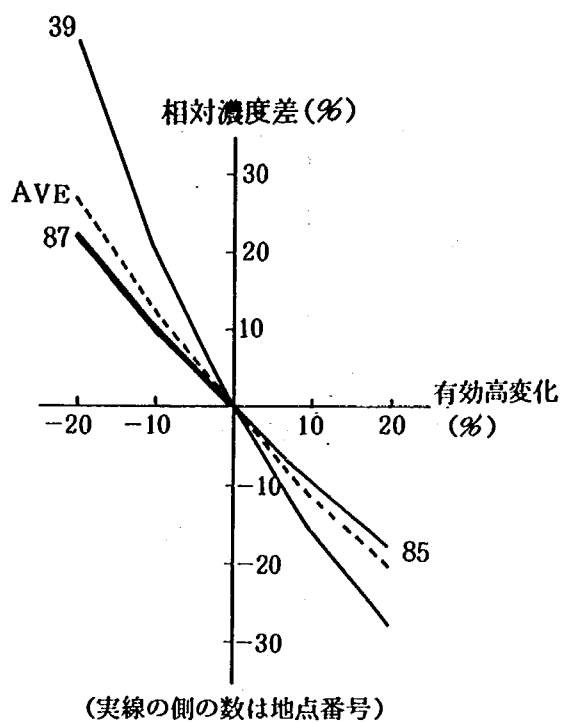


図-7.18 点源の有効高変化による点源濃度差

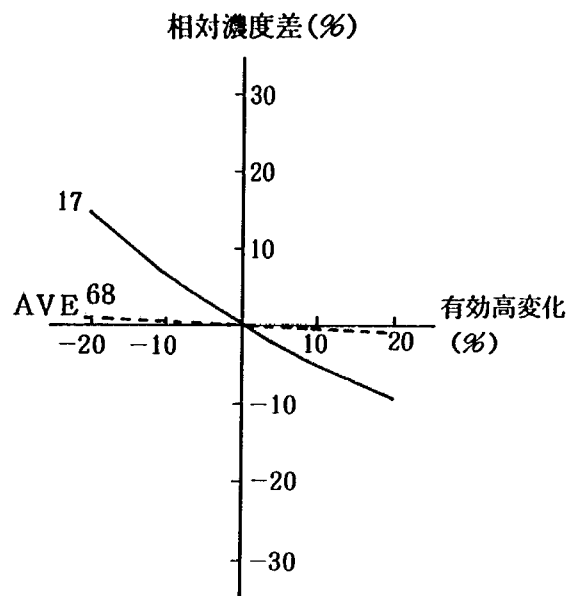


図-7.19 線源の有効高変化による線源濃度差

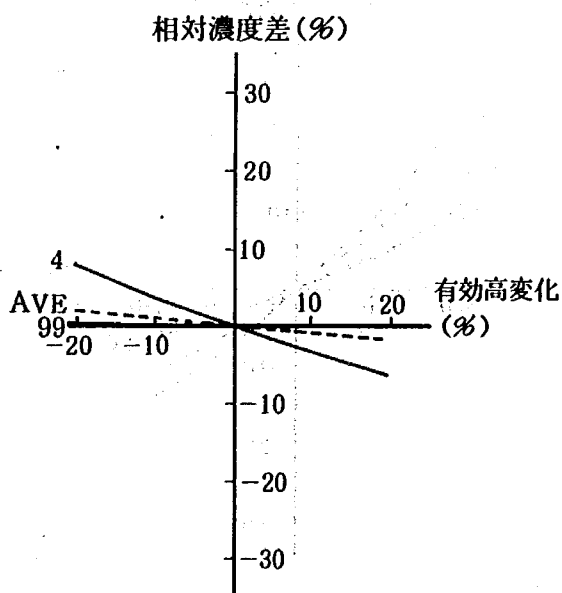


図-7.20 面源の有効高変化による面源濃度差

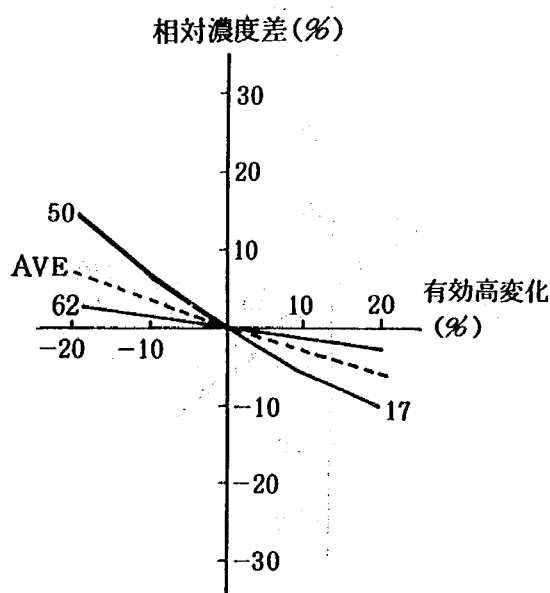


図-7.21 全煙源の有効高変化による濃度合計差

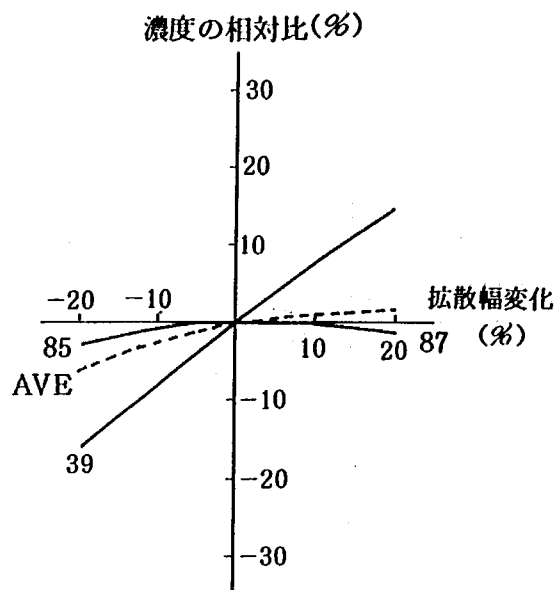


図-7.22 点源の σ_z 変化による点源濃度相対比

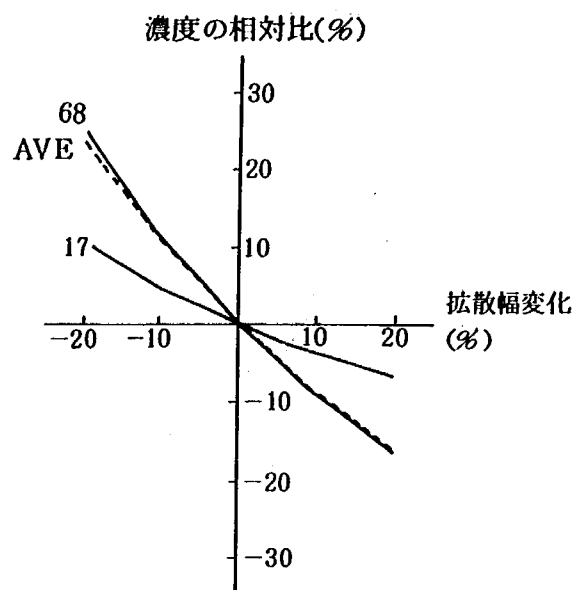


図-7.23 線源の σ_z 変化による線源濃度相対比

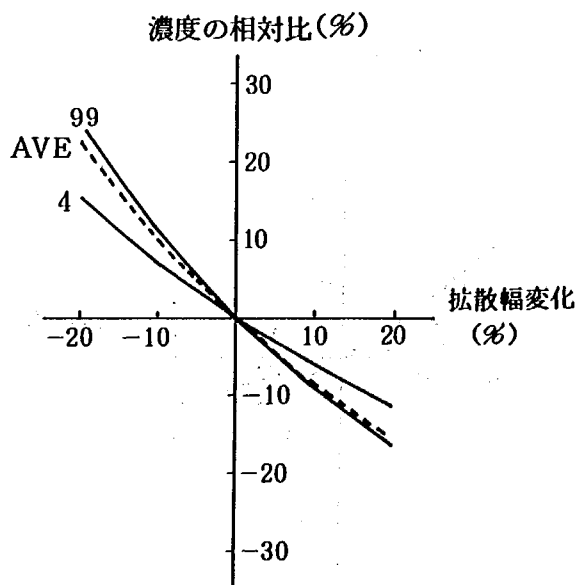


図-7.24 面源の σ_z 変化による面源濃度相対比

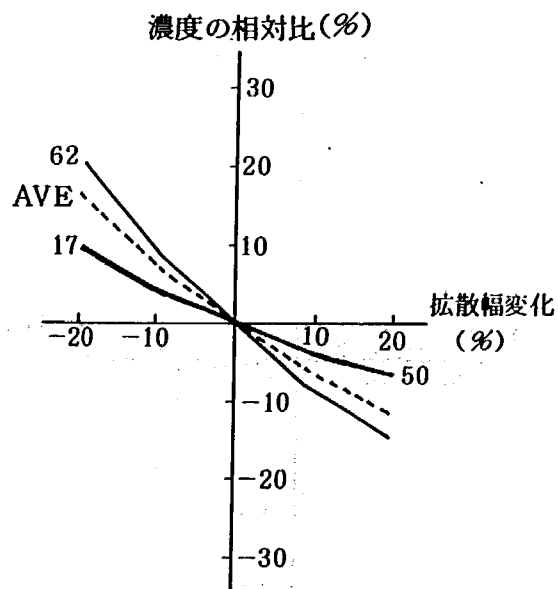


図-7.25 全煙源の σ_z 変化による濃度合計相対比

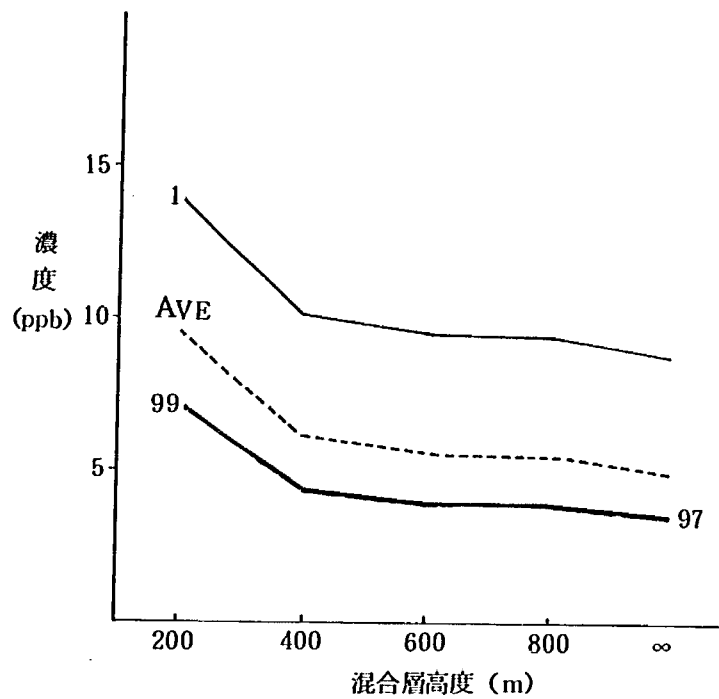


図-7.26 混合層高度による濃度変化

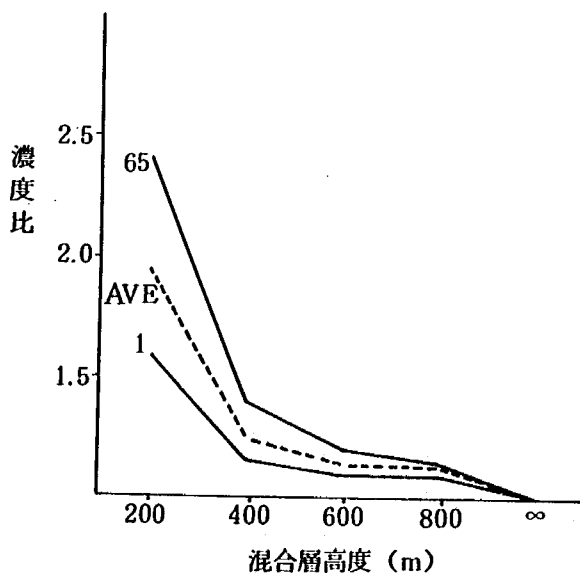


図-7.27 混合層高度による濃度比

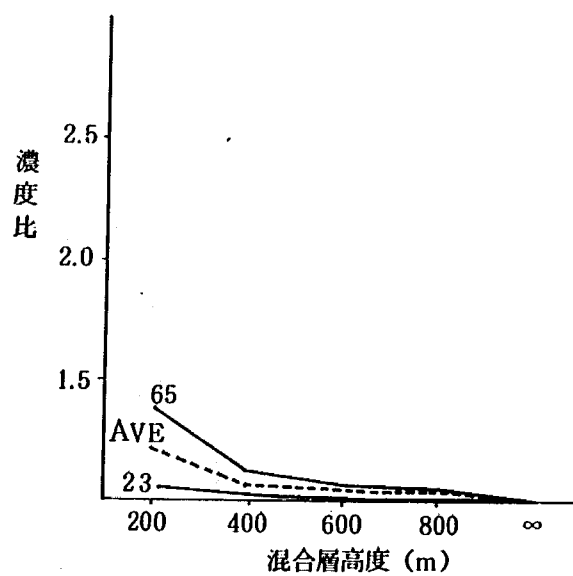


図-7.28 混合層高度による濃度合計比

あ と が き

本報告は自動車からの排出ガスだけでなく工場や事業所、家庭、船舶などからの排出を考慮した広域の大気汚染予測について既存の資料及び広域拡散計算プログラムの作成、試算により、検討を行ったものである。

これにより必要なデータがあれば一応の広域大気汚染の計算は可能と考えられる。しかし固定排出源についての精度の高いデータを得る必要があるほか、計算値と実測値の照合結果が満足のものではない場合の修正プロセスが明確でないなどの点があり、全体の計算精度向上を図ることを目的として調査してゆく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 横山長之・北林興二・足立芳寛：環境アセスメント手法入門，オーム社，昭和50年
- 2) 森 寛昭：自動車排出ガスによる大気汚染の予測手法，土木技術資料19—8，昭和52年
- 3) 岡山県公害対策審議会・同専門委員会：水島地域窒素酸化物汚染対策調査結果報告，昭和52年3月
- 4) 環境庁大気保全局大気規制課編：総量規制マニュアル，昭和50年5月
- 5) " ：窒素酸化物総量規制マニュアル，公害研究対策センター，昭和57年5月
- 6) 環境庁大気保全局，（株）数理計画：南関東大気環境調査報告書，昭和52年3月
- 7) 日本道路公団東京湾横断道路調査室，（財）国土開発技術研究センター：東京湾横断道路大気質影響調査報告書，昭和51～53年
- 8) 原子力気象調査会：東海村の煙突から出る廃棄物の拡散に関する調査
- 9) D. B : Adiffusion model for an urban area, 1959
- 10) 環境庁：昭和51年度大気汚染物質排出量総合調査，1964
- 11) 排気ガス拡散現象協同研究委員会：自動車排気ガスの道路周辺における拡散現象の観測の考察，船般技術研究報告7, 1 1970
- 12) 建設省道路局企画課，土木研究所：沿道地域における大気汚染予測手法に関する研究，第35回建設省技術研究会報告，昭和56年

広域・大気拡散計算とその特性

ISSN 0386-5878

土研資料 第2103号

昭和59年3月(1984)

足立義雄, 石田 稔, 日名子信広

キーワード 大気汚染, 広域拡散

要 旨 広域の大気汚染予測を行う際の資料として活用することを目的として, 気象, 発生源, 拡散モデル, 拡散計算モデルの概要, 拡散計算モデルの性格・傾向の分析などの検討結果をとりまとめたものである。

○

