

10.4 大気汚染予測の実際

上で述べた拡散のシミュレーションモデルは実際の大気環境予測の場でどのように利用されているのか。また、そのときどのようなデータが収集され解析されて利用されているのか。ここでは実際の大気環境濃度の予測モデルの活用例を示す。

10.4.1 長期平均濃度の予測

現在の大気汚染予測モデルで最も精度が高く予測出来る濃度は、年平均濃度や季節平均濃度などの長期平均濃度である。この理由の第一は、乱流拡散現象が基本的に確率的な現象であり、ある地点、ある時刻の濃度は確率的にしか予測できないことによる。しかしながら、年平均値季節平均値のような長期平均値は、1時間平均値を多数集めたものの平均であり、確立論的な不確実性が減少する。その他の誤差要因として、拡散場の誤差や発生源の推定誤差などがある。

以上の理由から現在では、プルームモデルやパフモデルなどの解析解モデルを用いた長期平均濃度予測が一般的であり、硫黄酸化物や窒素酸化物の濃度予測に用いられている。

長期平均濃度の予測には、発生源、気象、および、環境濃度のデータが必要である。我が国における硫黄酸化物や窒素酸化物の総量規制における長期平均値の予測作業は、図 10.4.1 の手順により行われる。

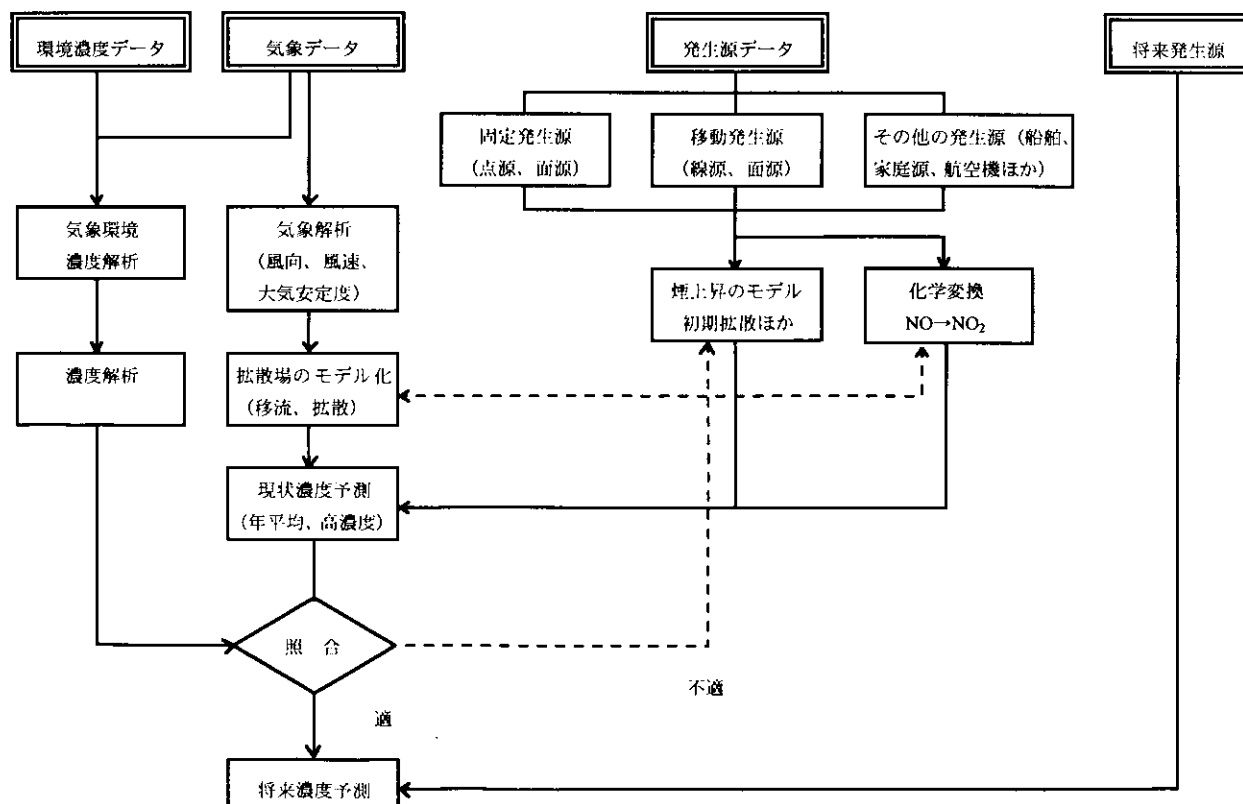


図 10.4.1 長期平均濃度の予測フロー

一年、つまり、365日の毎時の風向風速、日射量データから、16方位毎の風速階級別、大気安定度階級別の気象条件の出現頻度を計算する。

風速階級および大気安定度階級の分類は、表10.4.1に示す日本式大気安定度分類表による。この分類法は英国のPasquillにより提案されたものを改良したものである。Pasquillの方法では日射の強さを雲量で表示していたが、日本式分類では定量的な量である日射量に変更した。この方法は地上風速と日射量または放射収支量で対流や逆転層の強さを評価し、安定度を分類する。安定度AからCが不安定、Dが中立、EとFが安定である。Pasquillはそれぞれの安定度に対して、拡散幅を図10.4.2に示すように線図で与えた。

表10.4.1 日本式大気安定度分類

地上風速 (m/sec)	日 中 日射量 cal/cm ² /hr			本 曇 (8~10) 本曇の夜	夜 間	
	>50	49~25	<24		上 層 雲 (5~10) 中、下層雲 (5~7)	雲 量 (0~4)
<2	A	A~B	B	D	(F)	(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

(注) パスキルの安定度分類表の日射量ランクを日本の気候を考慮した数値で表現したものである。

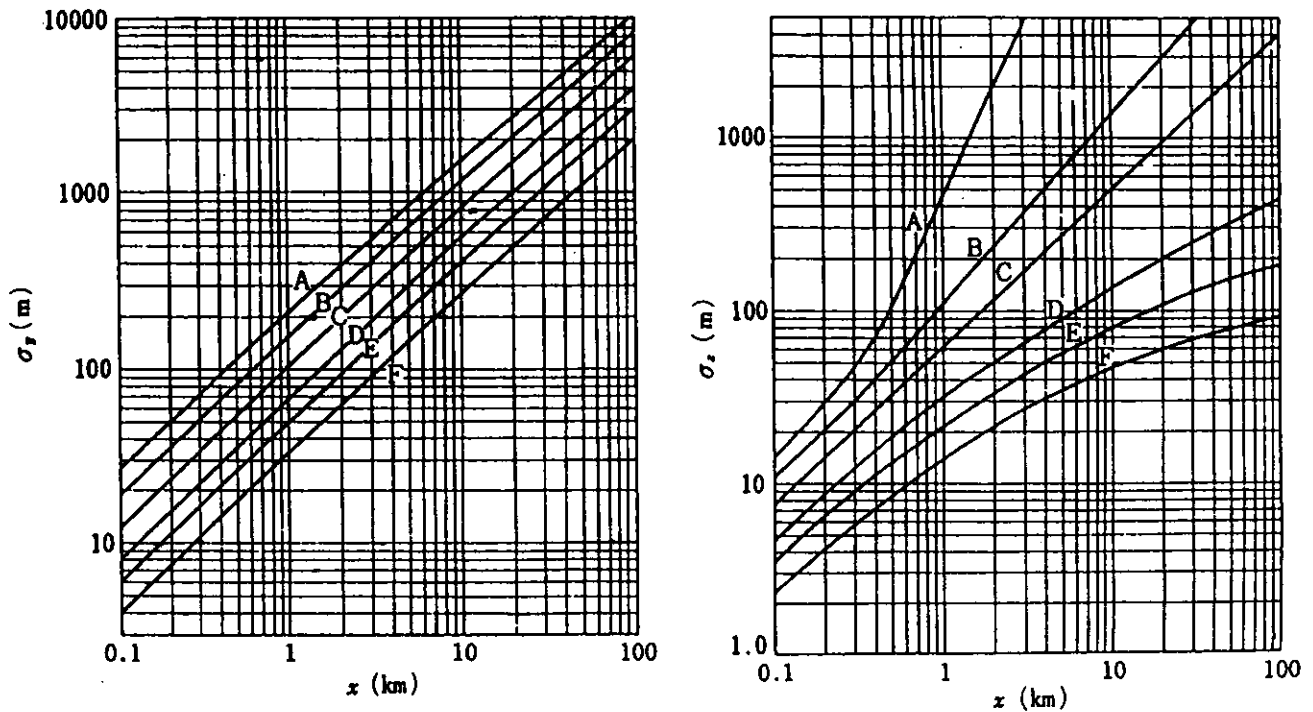


図10.4.2 Pasquillによる大気安定度別拡散幅

年平均濃度は、季節別、時間帯別に推定した汚染物質排出量データを用い、季節別時間帯別に整理された風向・風速・大気安定度出現頻度を用いて計算される。なおこの場合汚染物質排出量の推定には第6章8で紹介した排出係数が用いられる。

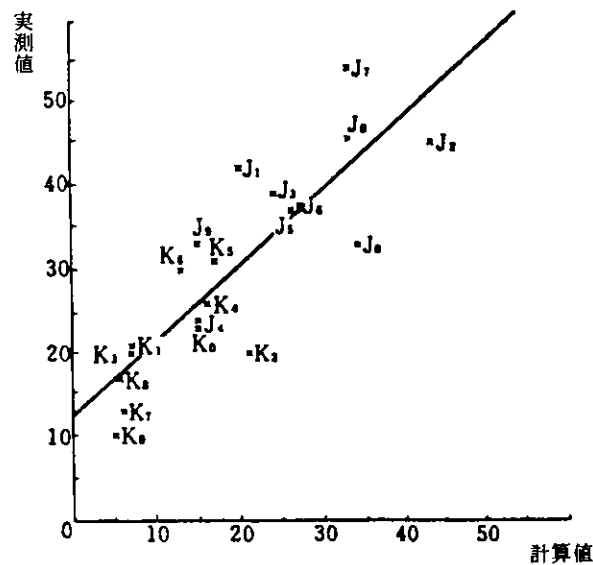


図 10.4.3 プルーム、パフモデルによる SO₂ 年平均値の計算値と実測地の散布図

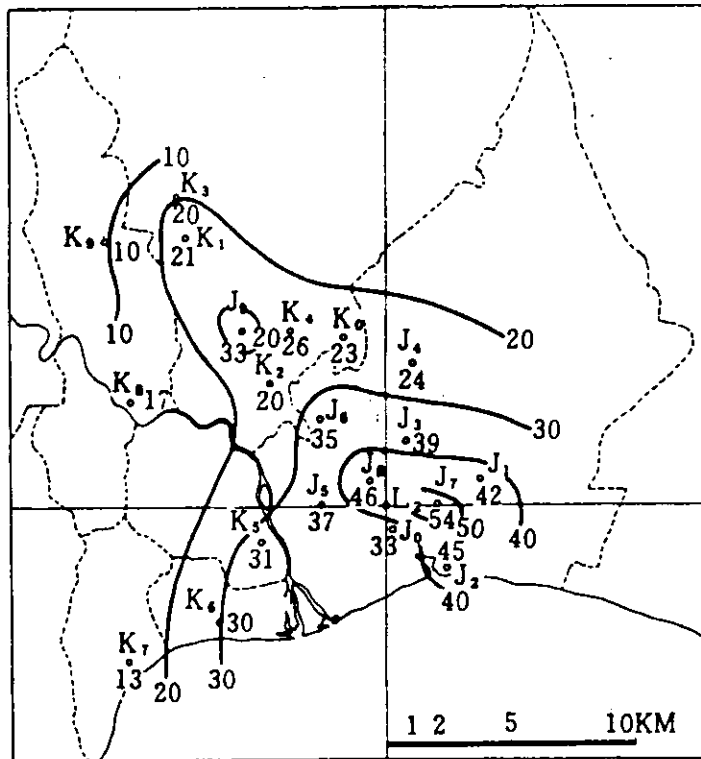
図 10.4.3 は、この方法で計算された環境濃度の実測値（横軸）と計算値（縦軸）の散布図である。点が原点を通り、45度の線上にあれば、計算値と実測値は完全に一致したことになる。しかしながら、一般に、実測濃度には把握できない発生源や、他の地域からの移流汚染があるため、計算値は実測値より低くなる。この差をバックグラウンド濃度と呼んでいる。計算値を x 、実測値を y 、バックグラウンドを b とし、実測値と計算値の関係を (17) 式により近似する。

$$y = ax + b \quad \dots\dots\dots (17)$$

ここで、 a は実測値と計算値の比例係数である。

シミュレーションの斉合性は実測値と計算値の相関係数と係数 a により、評価される。相関係数が 1 に近く、 a が 1 に近い計算が精度の高いシミュレーションとなる。富士地域の季節別平均濃度の拡散計算結果の一例として非暖房期の例を図 10.4.4 に示す。

プルーム、パフモデルによる長期平均濃度の予測に対しては、パーソナルコンピュータプログラムも販売されている。また、風向、風速、日射量などの気象データから、気象条件の統計解析を行うプログラムも販売されている。



年平均濃度 (ppb) 富士地域

図 10.4.4 ブルーム、パフモデルによる長期平均濃度分布

10.4.2 短時間平均濃度の予測

特定の気象条件下の濃度、複雑地形上の拡散予測などには、ブルーム・パフモデルと同時に、2節で述べた数値シミュレーションモデルなどが用いられる。数値シミュレーションモデルは海陸風条件下の拡散計算などによく用いられている。図 10.4.5 に数値シミュレーションモデルによる関東地方の海陸風の計算例を示す。地上近くの風向と風速をベクトルで表示してある。この数値モデルでは、太陽放射による地表面と大気との顕熱輸送、潜熱輸送も取り入れてある。

ブルーム・パフモデルによる短期間濃度の予測では、高さによる風向や風速、さらに、拡散幅の変化なども取り入れることにより、実態にあった拡散予測が可能となる。また、拡散場が時間とともに変化する場合の拡散計算では、移動パフモデルや有限ブルームモデル、ボックスモデルなども用いられる。図 10.4.6 に移動パフモデルと有限ブルームモデルの概念図を示す。

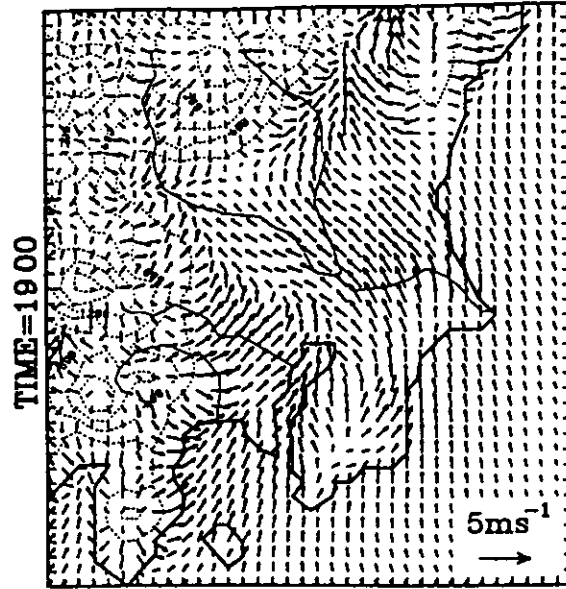


図 10.4.5 数値シミュレーションモデルによる関東地方の海陸風時の地表風の分布

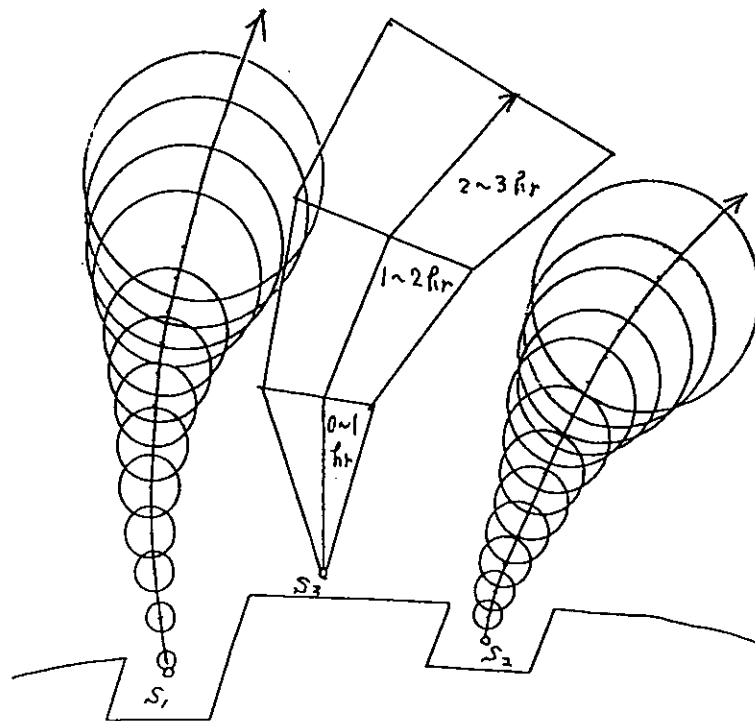


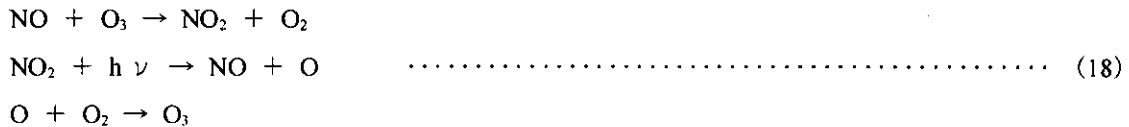
図 10.4.6 移動パフモデルと有限ブルームモデルの概念図

10.4.3 化学反応物質の予測

大気中で化学変化をする物質の環境濃度シミュレーションでは、拡散過程と同時に、化学変化の過程を計算する。化学変化には殆どの場合、光による反応も関与している。化学変化を行う物質として、光化学反応によるオキシダントの生成、一酸化窒素から二酸化窒素への変換、二酸化硫黄から硫酸根や酸性物質の生成、窒素酸化物や炭化水素類から粒子状物質の生成、成層圏におけるオゾンの分解などがある。

光化学オキシダントのシミュレーションでは数10の化学種とその2倍以上の反応式を考慮する。代表的な化学種は非メタン炭化水素類、窒素酸化物などであり、非メタン炭化水素類は、エチレン、エチレンを除く芳香族炭化水素、ホルムアルデヒド、ホルムアルデヒドを除くカルボニル化合物などに分類される。

窒素酸化物の反応 ($\text{NO} \rightarrow \text{NO}_2$) では、 NO と O_3 の反応が最も速い反応である、近距離の拡散など光化学反応を無視できる場合には、 NO , NO_2 , O_3 , O_2 の5物質と紫外線強度を与えればよい。反応式を(18)式に示すが、反応の詳細は第4章2に述べてある。



我が国の窒素酸化物総量規制手法では、この反応系を簡略化した(19)式の方法(指数関数モデル)が用いられる。

$$\frac{\text{NO}_2}{\text{NO}_x} = 1 - \frac{\alpha}{1 + \beta} \{ \exp(-kt) + \beta \} \quad \dots\dots\dots (19)$$

ここで、 α は排出源での NO の割合、 β は反応が平行に達したときの NO の割合に関する数値、また、 k は反応速度である。また、これらの係数の値として

$$\begin{aligned} k &= 0.0062 \text{ UO}_{3\text{B}} \text{ (固定源、船舶)} \\ &= 0.208 \text{ UO}_{3\text{B}} \text{ (自動車、家庭)} \\ \beta &= 0.3 \\ \alpha &= 0.9 \end{aligned}$$

が用いられている。

ここで U は風速、 $\text{O}_{3\text{B}}$ はオゾンの濃度である。

この他の方法として、窒素酸化物の測定濃度からその比率を統計的に処理して作成する(20)式による方法(統計モデル)が用いられる。

$$\text{NO}_2 = a [\text{Nox}] b \quad \dots\dots\dots (20)$$

ここで、係数 a および b は実測値の解析から定める。

実際の環境濃度予測では、個々の固定発生源の寄与率を計算するときには指数関数モデルを、自動車の影響を計算するときには統計モデルを用いる。

10.4.4 風洞実験による予測

地形や地物による拡散への影響、例えば、建物や煙突のウエイクによる拡散への影響、いわゆるダウンウォッシュ、ダウンドラフトなどが発生する拡散のシミュレーションでは、数値モデルと共に風洞実験が用いられる。風洞実験装置の例を図 10.4.7 に示す。風洞装置は送風機、整流部、測定部、循環部からなる。拡散風洞実験は測定部に地形あるいは建物模型を置き、模型煙突から煙の代わりにトレーサガスを流し、これを下流側でサンプリング、分析して行う。大気に相似な乱流境界層は測定部上流に乱流発生器や粗度要素をおいて発生させる。十分に発達した乱流境界層を発生させるためには、最低 2～5メートルの助走距離が必要であり、測定部の長さは 5メートル以上必要である。模型の縮尺は建物の場合は、1/100 から 1/1,000、地形の場合は数百分の 1 から数千分の 1 が一般的である。

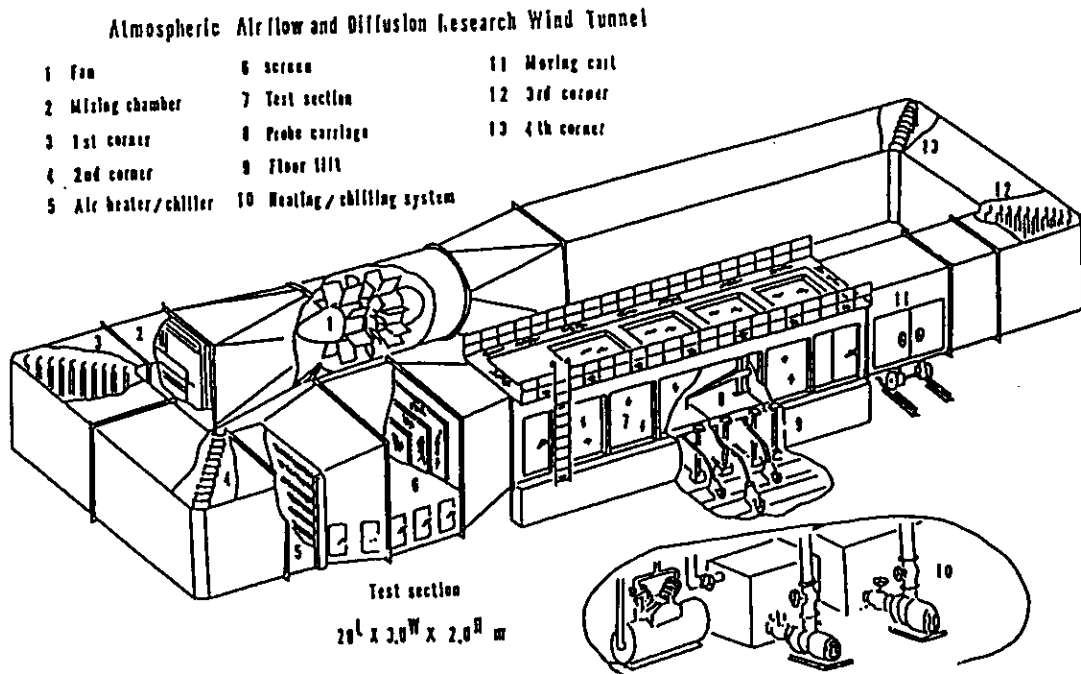


図 10.4.7 拡散風洞実験装置の例

拡散実験のトレーサガスとしては、エチレンやプロパンなどの炭化水素類が多く用いられる。風洞実験時の風速は、実物と同じか少し小さくする。このため拡散風洞に要求される風速範囲は 1～10 m/s 程度である。写真 10.4.1 による煙の拡散写真を示す。

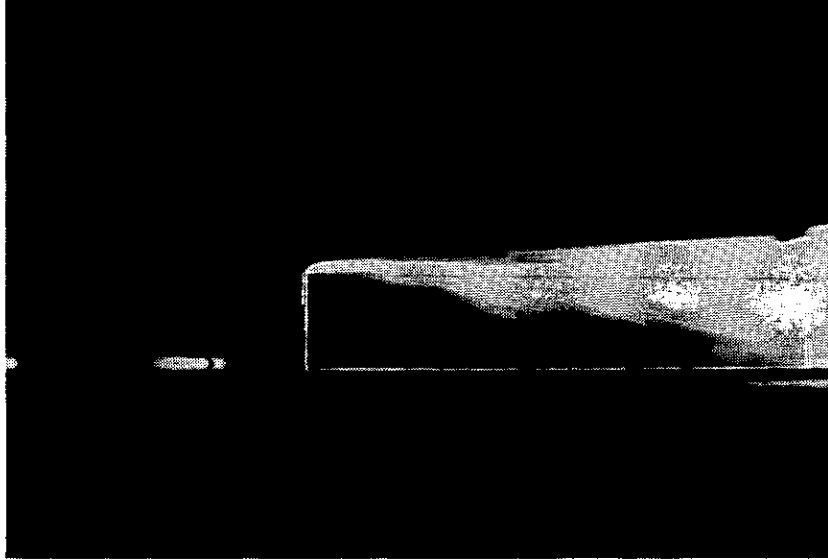


写真 10.4.1 風洞による煙の拡散実験