

# メキシコ合衆国

## メキシコ市大気汚染対策調査 最終報告書

1988年10月

国際協力事業団

開 二

88-166

メキシコ合衆国  
メキシコ市大気汚染対策調査

最終報告書

1988年10月

国際協力

15  
61.9  
SDS  
RARY



15/6.20

JICA LIBRARY



1071864C1J



メキシコ合衆国

メキシコ市大気汚染対策調査

最終報告書

1988年10月

国際協力事業団

国際協力事業団

18620

## 序 文

日本国政府は、メキシコ合衆国政府の要請に基づき、メキシコ市大気汚染対策調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

事業団は、株式会社 パシフィック コンサルタンツ インターナショナル 内田 顕氏を団長とし、同社および株式会社 数理計画より構成される調査団を選任し、1987年2月から12月までおよび1988年5月から6月まで本格調査を行った。

同調査団は、現地において同国政府関係者と協議を行うとともに、メキシコ市首都圏を対象とする現地調査ならびに解析作業を実施した。現地調査終了後、国内作業を進め、今般、すべての作業を終了し、ここに最終報告書提出の運びとなった。

本報告書が、メキシコ市の大気汚染対策計画に寄与するとともに、日墨両国間の友好親善の促進に役立つならば、これに勝る喜びはない。

おわりに、今回の調査の実施にあたり多大の御協力をいただいたメキシコ合衆国政府機関の関係各位に対し、ここに深甚なる謝意を表するものである。

1988年10月

国際協力事業団

総 裁 柳 谷 謙 介





# 要 約

## 1. 序 論

### 1.1 調査の目的

本調査の目的は、メキシコ市首都圏(AMCM)における大気質、大気汚染物質発生源および気象条件等について調査し、大気汚染の構造を解析することにより、大気汚染対策に資するためのガイドラインを提示するとともに、メキシコ側専門家と共同作業を行い、調査業務を通じて技術の移転を図ることである。

### 1.2 調査の概要

調査内容の概要とその流れを図1に示す。

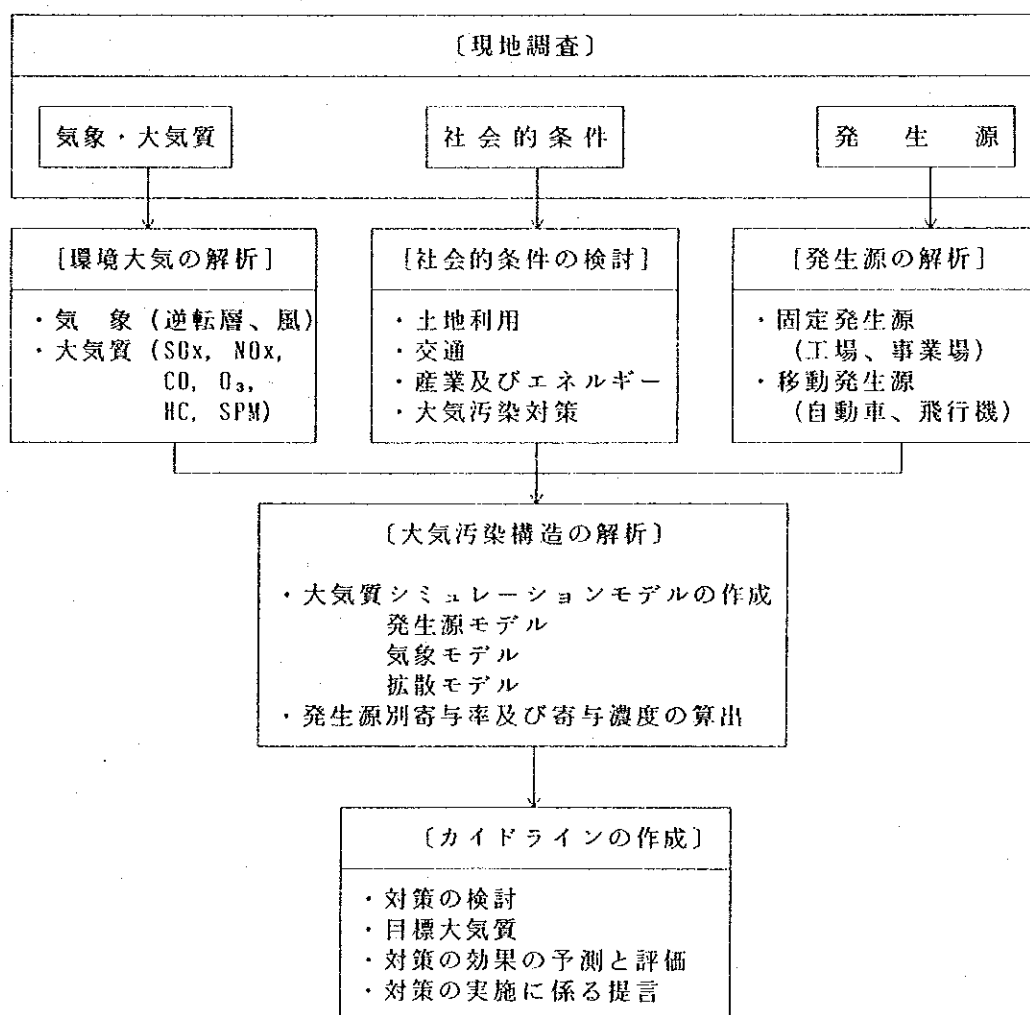


図1 調査の概要と流れ

メキシコ市首都圏の大気汚染に対して有効と考えられる発生源対策のほとんどの部分は、既にメキシコ政府により計画されている。従って、本調査における大気汚染対策のガイドラインの作成にあたっては、これらの発生源対策の効果を予測することと、日本における経験に基づき対策の実施に係る提言を行うことに重点を置いた。

### 1.3 調査対象地域

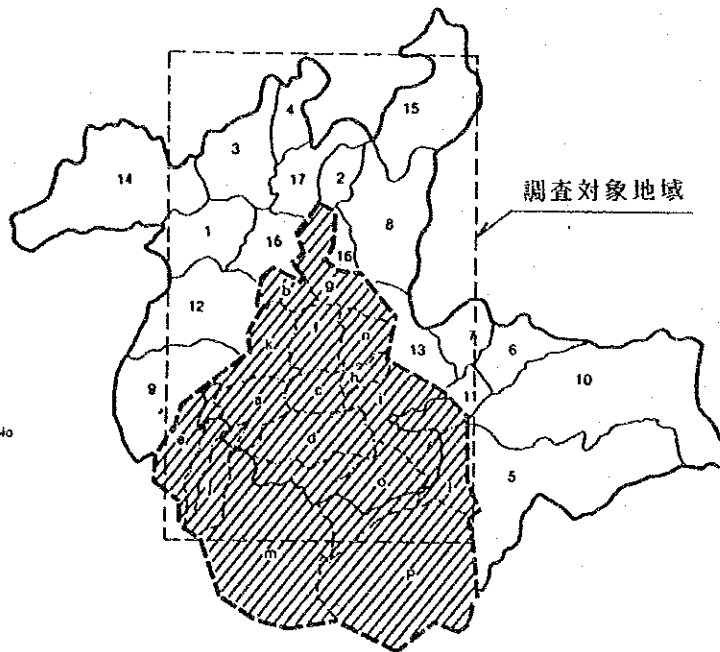
メキシコ市首都圏は、図2に示すとおり16の区からなる首都連邦区(DF)とこれに隣接するメキシコ州の17の市で構成される。本調査における大気汚染の種々の解析は、図2に示す東西40km、南北60kmの範囲を対象とした。

#### DELEGACIONES DEL DISTRITO FEDERAL

- a. Alvaro Obregón
- b. Azcapotzalco
- c. Benito Juárez
- d. Coyoacán
- e. Cuajimalpa
- f. Cuauhtémoc
- g. Gustavo A. Madero
- h. Iztacalco
- i. Iztapalapa
- j. Magdalena Contreras
- k. Miguel Hidalgo
- l. Tianguac
- m. Tlalpan
- n. Venustiano Carranza
- o. Xochimilco
- p. Mípa Alta

#### ESTADO DE MEXICO

- 1. Atlixpén de Zaragoza
- 2. Coacalco
- 3. Cuautitlán
- 4. Cuautitlán de Iromero Rubio
- 5. Chalco
- 6. Chicoteopan
- 7. Chimalhuacán
- 8. Ecatepec
- 9. Huitzilhuca
- 10. Iztapaluca
- 11. Los Reyes La Paz
- 12. Naucalpan
- 13. Nezahualcóyotl
- 14. Nicolás Romero
- 15. Tecamac
- 16. Tlalnepanitla
- 17. Tullitlan



FUENTE: D.D.F. DGRUPE, Gobierno del Estado de México.

図2 調査対象地域

## 2. 地域の概況

メキシコ市首都圏 (AMCM) は標高 2,200m 以上のメキシコ峡谷 (VALLE DE MEXICO) にあり、北側以外はさらに高い山々に囲まれている。年間の平均気温は 15℃ で、月平均では最高が 5 月の 17.4℃、最低が 1 月の 12.1℃ である。年間総降水量は 725mm で、その大部分は 6 月から 9 月にかけての雨期に集中している。地理的には亜熱帯に属するが、内陸の高地にあるため温暖で乾燥した気候である。

AMCM の人口は 1986 年で約 1,800 万人で、このうち首都連邦区 (DF) が約 1,000 万人、メキシコ州 17 市が約 800 万人である。これは 1960 年の 3 倍以上にあたり、近年ではメキシコ州での増加率が高まっている。2000 年に対する予測では、DF が 1,270 万人、メキシコ州 17 市が 1,460 万人の合計 2,730 万人とされている。

AMCM の工業区域を含む都市化区域は、DF の中央部以北とその北につながるメキシコ州の区域にまたがっている。製造工業では化学、鉄鋼、金属、食品、セメント、製紙などが主要な業種である。

AMCM の交通手段としては、市内バスと郊外バスが利用客の約 41% を占めて最も高く、ついでタクシー (約 20%)、地下鉄 (約 18%)、自家用車 (約 18%)、トロリーバスと軽電車 (約 3%) となっている。車両数では全車両約 300 万台のうち、自家用車が 235 万台を占めている。

AMCM 内で消費される燃料のほとんどは、石油系液体燃料と天然ガスである。電力消費量の約 25% は AMCM 内の 2 ヶ所の火力発電所から供給され、残りはメキシコ峡谷外の水力発電所から供給されている。

## 3. 大気汚染の現況

大気汚染の改善対策を合理的に計画し実施してゆくためには、まず現状における大気汚染物質の発生源の状況と環境における濃度およびこの両者の関係に支配的に作用する気象条件を調査し、これらを総合的に解析して大気汚染のメカニズムをできるだけ定量的に把握することが必要である。以下に、その目的で行った調査の内容と、その結果得られたメキシコ市首都圏における大気汚染の現状に関する知見を述べる。

### 3.1 調査の内容

#### (1) 気象及び大気質調査

気象及び大気質の現地調査及び収集した資料の内容とその使用目的は、表1及び表2に示すとおりである。

#### (2) 大気汚染物質発生源調査

大気汚染物質の発生源調査は、自動車、航空機の移動発生源と、固定発生源である工場・事業場を対象に行った。各発生源からの大気汚染物質発生源調査の概要は、表3及び表4に示すとおりである。

#### (3) 大気質シミュレーション

発生源からの寄与がどの程度であるかを推定する大気拡散シミュレーションモデルには種々のモデルがあるが、本調査では日本の「窒素酸化物総量規制マニュアル」（1982年、環境庁編）に準拠し、プルーム・パフ・モデルを採用した。

拡散モデルは発生源モデルにあわせたものにする必要があるが、調査対象地域をメキシコ盆地内の縦60km、横40kmという広域にしたこと、また評価時間を年平均値としたことにより、以下に示すプルーム式(Holland, 1953)を基本とした。

$$C(x, z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \frac{\pi}{8} x \sigma_z U} \left[ \exp\left(-\frac{(z-H_0)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H_0)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

ここで、式中の記号は次のとおりである。

C	: 濃度	[ ppm ]
X	: 濃度を推定する地点の煙源からの風距離	[ m ]
Z	: 濃度を推定する地点の地上高さ	[ m ]
Q	: 煙源の汚染物質排出強度	[ N m <sup>3</sup> /s ]
U	: 風速	[ m / s ]
$\sigma_z$	: 拡散パラメータ	[ m ]
H <sub>0</sub>	: 有効煙突高さ	[ m ]

表1 気象調査の概要

調査区分	観測項目	観測高度	観測地点	観測期間	主要目的
現地実測調査	地上	15m	1 地点 DDFの自動 車排ガス診 断センター No.5	1987年9月 -1988年5月	大気質シミュレーションに おける拡散パラメータの検討
	上層 (係留ゾンデ)	地上から 500mまで 50m毎		1987年9月(5日間) 1987年11月-12月(14日間) 1988年2月(7日間) 1988年5月(7日間)	気温、風向・風速の鉛直分布 の解析、気温逆転の出現傾向 の解析、大気質シミュレーシ ョンにおける鉛直方向の気象 ブロック分け
	上層 (低層ゾンデ)	地上から 1,500mまで 50m毎			
既存の観測 結果の収集	地上		1 地点の 気象局の TACUEBAYA 観測局	1986年1月-12月	SEDUEの測定局 データの補足
	高層	地上から 5,000mまで	1 地点 気象局の AEROPUERTO 観測局	1986年1月-12月	実測調査の補足
	地上		10地点 SEDUEの 大気質測定 局	1986年12月-1987年11月	地域的風向・風速の解析、 大気質シミュレーションに おける気象ブロック分け

表2 大気質調査の概要

調査区分	調査項目	調査地点	期間・頻度	主要目的
固定局における 長期調査	NO, NO <sub>2</sub> , NOx	1地点(市中心部)	1987年9月-1988年8月 連続測定	SEDUEの測定(5ヶ所)の 補足
	TSP(粒径別) 粒径別金属成分	5地点(市内とその周辺)	1987年9月-1988年8月 毎月1回、3日間/月)	TSPの発生源の寄与度の解析
	SO <sub>2</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NOx, CO, SPM, NMHC, O <sub>3</sub> 風向・風速	18地点 (市内と周辺部の 道路沿道と背後地)	1988年12月-1988年9月 測定車 2台 1ヶ月/地点	汚染物質濃度の短期的変動と 自動車の影響度合の解析
移動測定車 による調査	NO <sub>2</sub> , NOx	市内12ヶ所の主要道路交 差点、50点/交差点	1987年10月-1988年6月 2-3ヶ所/月 2-3回/ヶ所 48時間/回	道路近傍でのNOxの濃度分布
簡易測定調査	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO, O <sub>3</sub> , HC	SEDUEの常時測定局 25地点(AMCM内)	1986年12月-1987年11月 連続測定	年間をとおしての地域の大気 質の評価とシミュレーション モデルの作成
既存の継続的測定結果の収集				

表3 移動発生源調査の概要

区 分		既存資料または調査名	主 要 目 的
自動車 交通量	既存資料	DDF交通量調査(1986) メキシコ州交通量調査(1985) DDF騒音(交通量)調査(1984)	主要道路の交通量 車種構成
	現地調査	JICA交通量調査(1987)	時間変動
		航空写真読取調査(1987)	細街路の交通量
車 速	現地調査	実走行試験(1987)	道路特性による車速
排 出 係 数		シャーシー・ダイナモ試験(1987)	乗用車の型式による排出係数
自動車 台 数	既存資料	東京都排ガス調査(1978)	バスの排出係数
		軽貨物ディーゼル車の高地での 排ガス試験(APCA, 1983)	排出係数の高度補正
4デリガシオン別自動車登録データ(1986)		自動車台数及び	
対シカにおける自動車販売データ(1970~1986)		車種構成	
航空機	既存資料	対シカ空港における離着陸数(1986) 窒素酸化物総量規制マニュアル(1982)	航空機の飛行回数 航空機の排出係数

表4 固定発生源調査の概要

区 分	調 査 名	主 要 目 的
大規模煙源	460工場の書面及び聞き取りによる アンケート調査(1987)	排ガス濃度・位置及び高さ
小規模煙源	DF内の4,739事業場の アンケート調査(1988)	デリガシオン別の排ガス濃度
燃料の硫黄含有量	6工場における重油、 軽油の硫黄分測定(1987)	硫黄含有量の既存資料の検証
排ガス測定	主要20工場におけるNOx, SOx, 粉じんの排ガス測定調査(1987)	アンケート調査結果の検証

## 3.2 大気質調査

### (1) 大気質濃度の現況

メキシコ市首都圏における年間を通じた大気質濃度の測定結果を環境基準と比較してみると、以下のとおりである。

NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>及びCOについては、いくつかの測定地点のSO<sub>2</sub>及びCOの測定結果を除いて概ね環境基準を満足している。O<sub>3</sub>については地点により年間の測定日数の最低3%から最高65%の日数が環境基準を超えている。また、HCについては地点により年間の測定時間の最低30%から最高70%程度の時間数が環境基準を超えている。

なお、大気質濃度は、拡散条件である地形条件や気象条件と大気汚染物質の発生源条件から生じる結果であり、測定方法や環境基準値の差異もあり単純に比較することは難しいが、本調査で把握したメキシコ市首都圏における大気質濃度を日本の現状と比較してみると、SO<sub>2</sub>、CO、HC、SPM及びO<sub>3</sub>については日本の大気質濃度と比較してかなり高いレベルにあり、NO及びNO<sub>2</sub>については同程度のレベルにあることが判明した。

### (2) 大気質の時間変化

メキシコ市首都圏における大気質濃度の測定結果によると、大気質濃度の時間変化のパターンは以下のとおりである。

SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO及びHCについては、午前8時～10時頃に第1ピーク、午後8時～10時頃に第2ピークをもつ2山型のパターンを示している。

また、O<sub>3</sub>については、正午から午後3時頃にピークをもつ1山型のパターンを示し、SPMについてはピークの時間帯は午前中であり、午後のピークが不明瞭でわずかに1山型のパターンを示す。

### (3) 大気質の季節変化

メキシコ市首都圏における大気質濃度は、平均濃度で見ると乾期（冬期）に高くなる項目と、雨期（夏期）に高くなる項目に分けられる。

乾期に高くなる項目はSO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO、HC及びSPMであり、雨期に高くなる項目はO<sub>3</sub>である。



### 3.3 気象調査

#### (1) 気象の概況

メキシコ市首都圏における大気汚染に関連する気象の概況は、以下のとおりである。

まず、風速については、全般に風が弱く、メキシコ盆地内の空気を入れ替えるほどの風速になる頻度は極めて少ない。また、盆地内の風は、まわりをとりまく山地と盆地内との間に吹く山風が主で、局地的であり、気圧傾度が低いため季節風のような地衡風はほとんどみられない。

風速を季節別にみた場合、乾期（冬期）に風が弱く、雨期（夏期）の方が強い。また、一日のうちでは、日中と夜間は風が弱く、夕方6時ごろに最も風速が強まる。雨量が少なく、特に乾期には雨洗による効果がほとんど認められない。なお、上空500mまでの風速は地上とほとんど同じ強さである。

#### (2) 逆転層について

逆転層の出現は、一般に大気汚染物質の拡散する空間が小さくなるので、大気汚染物質濃度を高める要因となる。

メキシコ市首都圏における逆転層の出現は、冬期（乾期）に多い。また、その出現高さは、200～500mの頻度が多いようである。

逆転層は夜間から午後10時30分ごろまで継続し、その後は日射の増加とともに消滅するケースが多い。

最高混合層高度(Maximum Mixing Depth)は年間を通じて 2,000m程度で、日本の夏期の値に相当する。

#### (3) 拡散条件について

一般に風が弱いために移流効果はほとんどなく、日射のない時間帯は大気は安定状態にあり、拡散条件は悪い。一方、日中は日射が強く、強不安定となり、上空への拡散条件はよくなる傾向がみられる。

### 3.4 発生源調査

#### (1) 固定発生源

メキシコ市首都圏における工場・事業所等では、燃料として LNGなどの導入が

図られているが、S分3%以上の重油類が大量に消費されている。

これらの固定発生源の煙源は煙突高が低く、逆転層より下層に大気汚染物質が放出されている。

主要工場はメキシコ市の北部地域に位置しているが、人口増加にともない住居地域も北部に拡大し、工場地域と住居地域が隣接した状態になっている。

## (2) 移動発生源特に自動車について

メキシコ市首都圏においては、整備状況が十分といえない自動車はかなり多く存在している。これらの車両は、整備の不良と、メキシコ盆地が標高 2,300mと高地にあることから、不完全燃焼によるCO及びHCの発生が多い。また、ガソリンの品質もやや劣り、S分や有鉛による問題が存在している。

## 3.5 大気汚染物質高濃度発生のメカニズム

メキシコ盆地における大気汚染物質の高濃度は、乾期の12月から2月にかけて生じやすく、その原因として風速が弱く逆転層が出現しやすいこと、降雨が極端に少ないことなどの条件が重なることにあると考えられる。

本調査の上層気象観測の際に逆転層が出現していた1988年2月22日の逆転層の高さと環境濃度との時刻変化を図3に示す。

これによれば、午前8時から10時ごろには地上100~300m付近にはっきりした逆転の状態がみられ、それぞれの大気汚染物質濃度はかなりのレベルに達している。この逆転層は、日射の増加とともに午前11時ごろからくずれはじめ、大気が不安定化するとともに拡散が活発になり、大気質濃度のうちSO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、HC、COなどは減少している。しかし、O<sub>3</sub>はNO、NO<sub>2</sub>、HCなどの反応により12時ごろ最高値を示している。

その後、午後2時から8時ごろは風速が強まり、各大気汚染物質濃度は低くなってくるが、午後7時以降は風速が弱まるとともにNO、CO、HCなど自動車からの影響が強いと考えられる物質は再び上昇している。このようなパターンがいつでも生じているわけではないが、高濃度を示す日の代表的な例と考えられる。

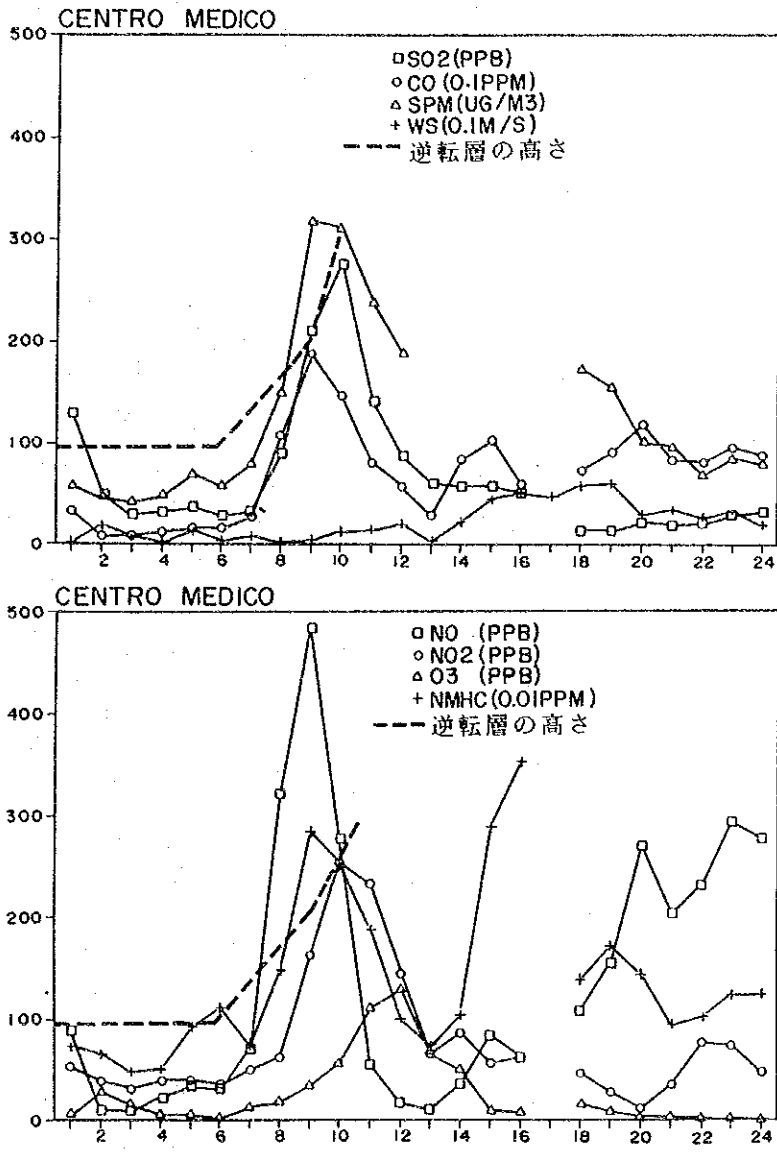


図3 逆転層と大気質濃度の時間変動 (1988年2月22日)

### 3.6 大気質シミュレーションの結果

大気質シミュレーションモデルの再現性を、SO<sub>2</sub>、CO、NO<sub>x</sub>、及びNO<sub>2</sub>の年平均値について計算値と実測値を対比することにより検証した。モデルの再現性は、SO<sub>2</sub>とCOについては概ね満足できるものであった。NO<sub>x</sub>とNO<sub>2</sub>については、測定局が少ないためにモデルの検証が十分に行えず、再現性は高いとは言えなかった。

大気質シミュレーションによるSO<sub>2</sub>とCOの年平均の濃度分布は、図6と図7に示すとおりである。また、SO<sub>2</sub>の各測定局における計算濃度に対する発生源の寄与濃度は、図4に示すとおりである。

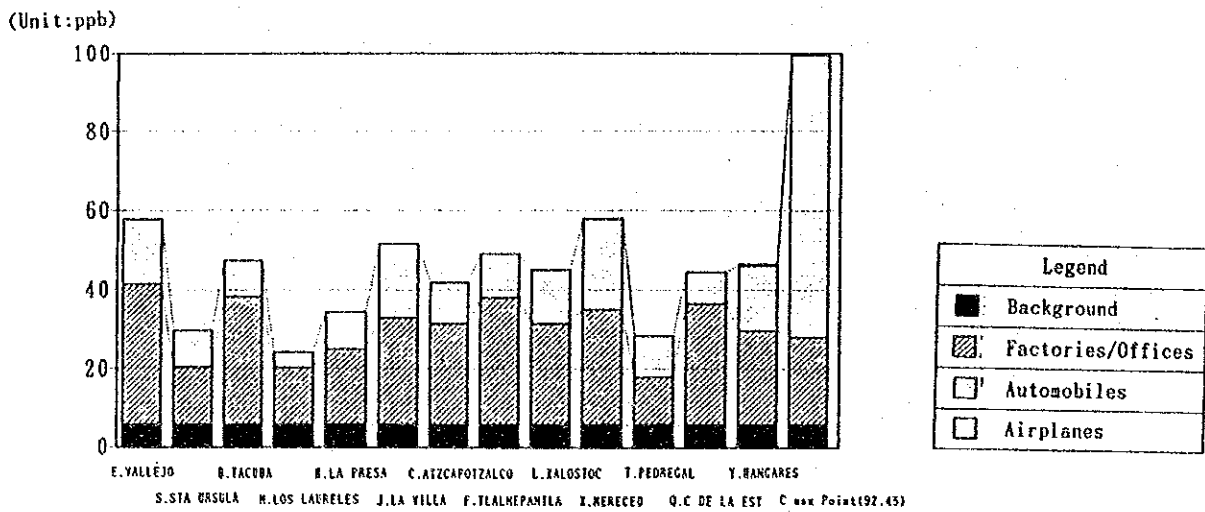


図4 各測定局におけるSO<sub>2</sub>年平均値の寄与濃度

#### 4. 大気汚染防止に係る現行の制度

メキシコ市首都圏 (AMCM) の大気汚染など深刻化をたどる国内の環境問題の解決に向けて、メキシコ政府は1985年に環境行政の総合的調査を目的として大統領を議長とする国家環境委員会 (CONADE) を創設した。CONADEは特にAMCMの大気汚染の改善を目的とする諸対策を討議・決定し、1986年2月に「環境汚染に関する21の対策」が大統領令として公布された。続いて1987年1月にCONADEは大気汚染に係る36項目を含む「環境 100の必要な措置」を発表した。

これらの施策と並行して、環境保護のための基本法も見直され、1988年3月には「生態均衡および環境保護一般法」が旧法に代って施行された。この法律により、AMCMの大気汚染対策についても、都市開発環境省 (SEDEUE) などの国家の関係諸機関、首都連邦区庁 (DDF) およびメキシコ州の責任分担がより明確化された。すなわち、SEDEUE の責任には、固定発生源および移動発生源からの大気汚染物質の排出基準を関係機関と協議して定めるとともに、工場による大気汚染の防止と管理を行い、自動車からの大気汚染物質の排出を減少させるための技術的措置を決定することなどが含まれている。また DDFとメキシコ州の責任には、自動車が排出基準を守るように検査すること、サービスおよび商業施設などの固定発生源による大気汚染の防止と管理を行うことなどが含まれている。

「環境汚染に関する21の対策」および「環境 100の必要な措置」は、大気汚染の発生源対策として可能と考えられるほとんどすべての対策を含んでおり、発表以来、部分的には実施に移されてきた。環境保護一般法の施行に伴い、自動車及び工場などに対する排出基準も急速に整備されつつあり、今後は対策の実施に係る細則の整備と実施体制の強化とともに対策の実行がさらに進むことが期待される。

## 5. 発生源対策の検討とその効果

### 5.1 固定発生源対策

固定発生源対策技術は、理論的にはさまざまな手法が考えられるが、社会的あるいは経済的な制約を考慮して、現実に則した実現可能な大気汚染物質の削減方法を選定しなければならない。メキシコ政府は、近年のメキシコ市首都圏を中心とする大気汚染の進行に対し、国家環境委員会の決定に基づいて、1986年に大統領令「環境汚染に関する21の対策」を公布した。これに続いて、1987年に「環境 100の必要な措置」を公表した。メキシコ政府はこれに従い、表5に示す大気汚染対策を立案した。

表5 「環境100の必要な措置」に基づく大気汚染対策

対象工場	対策
発電所 Valle de Mexico Jorge Luque	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 重油から天然ガスへの転換</li> <li>○ 排ガス処理装置の設置</li> <li>○ 稼働の縮小または閉鎖</li> <li>○ 排ガス監視装置の設置</li> </ul>
石油精製工場 (18 De Marzo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 拡張は行わない</li> <li>○ 低硫黄燃料への転換</li> <li>○ 貯蔵タンクの改造によるHCの排出抑制</li> </ul>
10大工場 (石けん・洗剤2, セメント1, 製紙2, ガラス1, 製鉄1, 化学2, ビール1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 重油から天然ガスへの転換</li> <li>○ 季節的に稼働縮小</li> <li>○ 排ガス監視装置の設置</li> </ul>
その他の工場	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 低硫黄分の燃料使用</li> <li>○ 工場移転</li> </ul>

### 5.2 自動車排出ガス対策

メキシコ政府は、自動車排出ガス対策として、表6及び表7に示すアイドリング規制と自動車排出ガス規制値を定め、実施に移している。特に、表7に示す自動車排ガス規制を実施するためには、三元触媒装置とあわせて無鉛ガソリンの導入を考えなくてはならない。この無鉛ガソリンと触媒導入については次のような問題があるが、これを十分考慮する必要がある。

#### ① ガソリンのオクタン価の低下の問題

- ② バルブリセッションの問題
- ③ ガソリン組成（特に芳香族の増加）の問題
- ④ 無鉛化によるガソリンのコストアップの問題
- ⑤ 無鉛化段階における使用中古車の問題
- ⑥ 触媒装置付設車への有鉛ガソリンの供給阻止の問題
- ⑦ 触媒能力劣下に対するチェック機能とメンテナンスシステムの確立の問題

表6 アイドリング時における排出基準

型式（年）	CO (%vol)		HC (ppm)	
	高地	低地	高地	低地
-1979	6.0	5.5	700	650
1980-1986	4.0	4.0	500	500
1987-	3.0	3.0	400	400

表7 1987年以降の新車に対する排出基準

(単位：g/km)

項目 \ 型式（年）		88	89	90	91	92	93	94
HC	乗用車	2.0		1.8	0.7		0.25	
	GVM up to 6,012lbs			2.0			0.625	
	GVM 6,013~6,614lbs			3.0		2.0		0.625
CO	乗用車	22		18	7.0		2.125	
	GVM up to 6,012lbs			22.0			8.75	
	GVM 6,013~6,614lbs			35		22		875
NOx	乗用車	2.3		2.0	1.4		0.625	
	GVM up to 6,012lbs			2.3			1.438	
	GVM 6,013~6,614lbs			3.5		2.3		1.438

- (注) 1. GVM up to 6,012lbs : NISSAN VAN & COMBIS  
 2. GVM 6,013~6,614lbs : Light Duty Trucks

### 5.3 発生源対策の効果

5.1 および 5.2 に示した固定発生源と移動発生源対策の効果は、1993年と2001年のそれぞれについて、以下に示す条件で推計した。

- (1) 自動車交通量、車種構成及び道路ネットワークは現在と変わらないものとする。
- (2) 古い型式の車が新車に置き換わるのは年5%とする。
- (3) 1993年までの固定発生源対策の実行は、仮に40%程度とする。

1993年と2001年において固定発生源対策が実施された場合の大気汚染物質排出量の変化は、図5に示すとおりである。また、シミュレーションモデルによって推定した  $\text{SO}_2$  及び  $\text{CO}$  の年平均値の濃度分布の変化は、図6及び図7に示すとおりである。

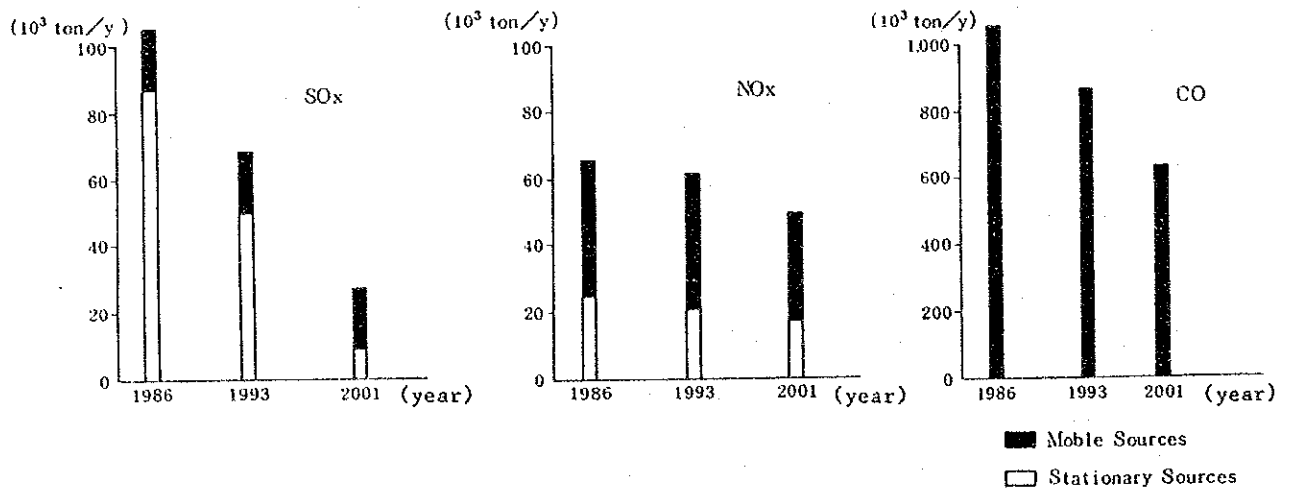


図5 固定発生源対策実行後の大気汚染物質排出量の変化



仮にメキシコ合衆国の環境基準で 0.13ppm以下と規定されたSO<sub>2</sub>の日平均濃度が年間の98%の日数で満足されるとすれば、それに相当する年平均値は54ppb (0.054ppm)となる。同様に、環境基準で 13ppm以下とされているCOの8時間平均値は、年平均値で5.0ppm以下に相当する。

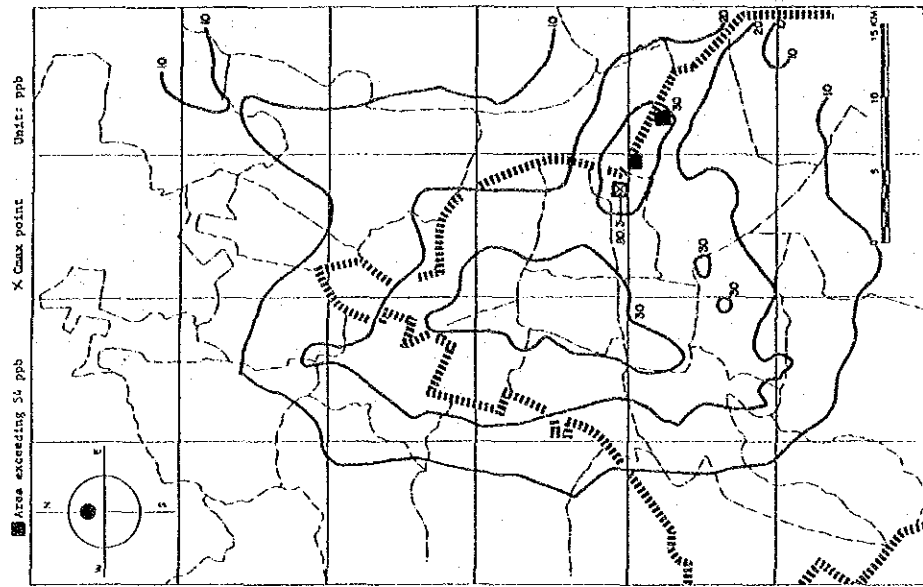
SO<sub>2</sub>については、図6に示すとおり2001年においては年平均値が一部の地域を除いて 54ppb未満となり、環境基準はほぼ満足される。これは、図5に示すように現在のレベルの4分の1にまでSO<sub>x</sub>排出量が減少する発生源対策の効果によるものである。

COについては、2001年においては自動車からの大気汚染物質の排出基準が現在の約60%まで減少することから、大気質濃度は環境基準を満足する。

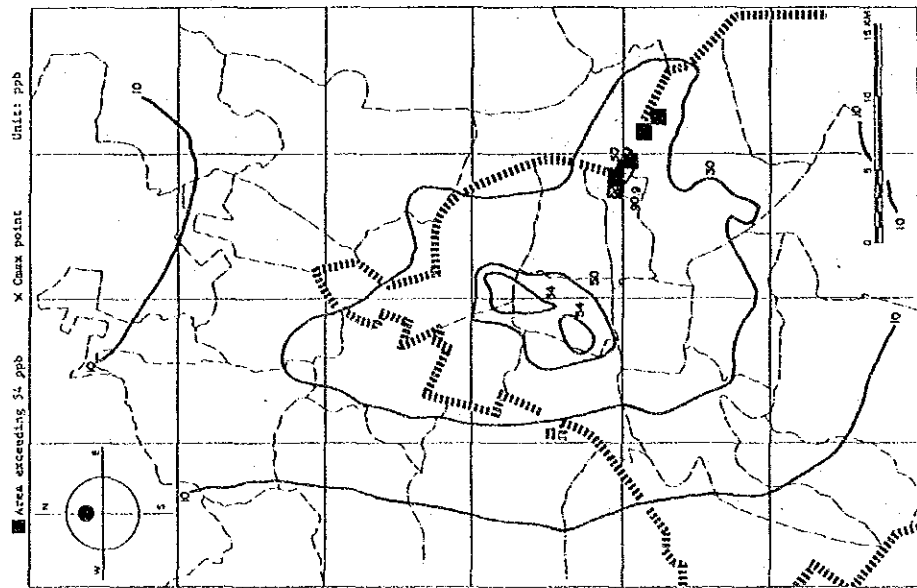
なお、2001年におけるNO<sub>x</sub>の排出量は、現在の約75%になる。NO<sub>x</sub>については、SO<sub>2</sub>及びCOにくらべ減少量が少ないが、これは現在の日本の例にみられるとおり、NO<sub>x</sub>の排出規制の困難さを示している。

以上のとおり、メキシコ政府が現在立案しているすべての対策が実行されるならば、メキシコ市首都圏における大気汚染の状況は大幅な改善が図られるものと考えられる。

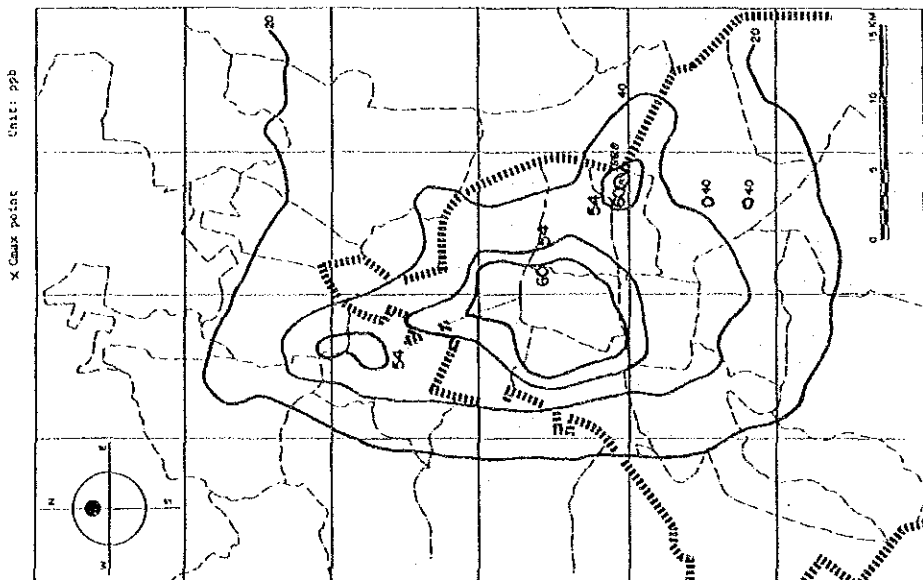
しかし、以上の発生源対策の中には、将来の自動車台数の増加の可能性を考慮していない。また、大気汚染物質濃度は、自動車排ガスの影響により局所的に高くなることが考えられるので、それらの局所的な大気汚染に対する対策が必要である。



2001

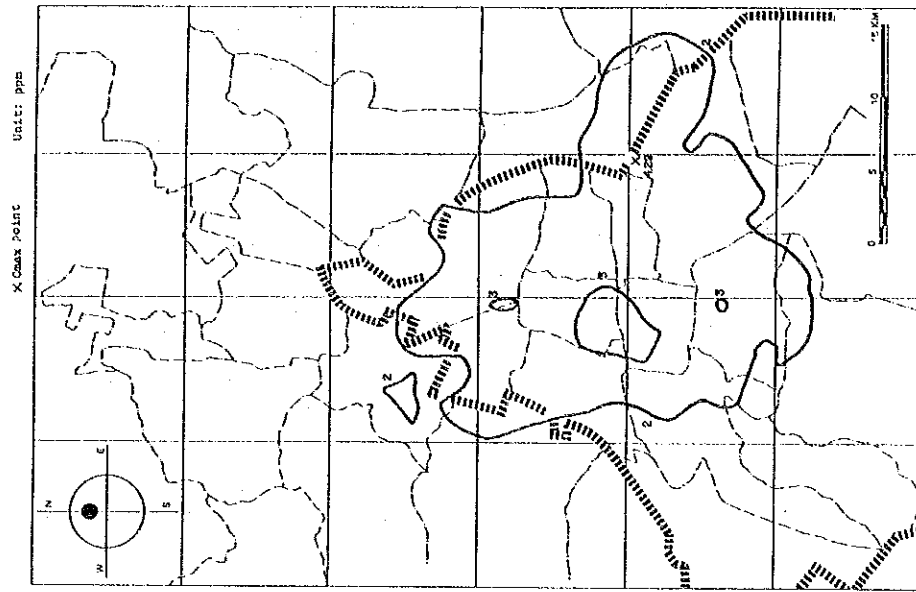


1993

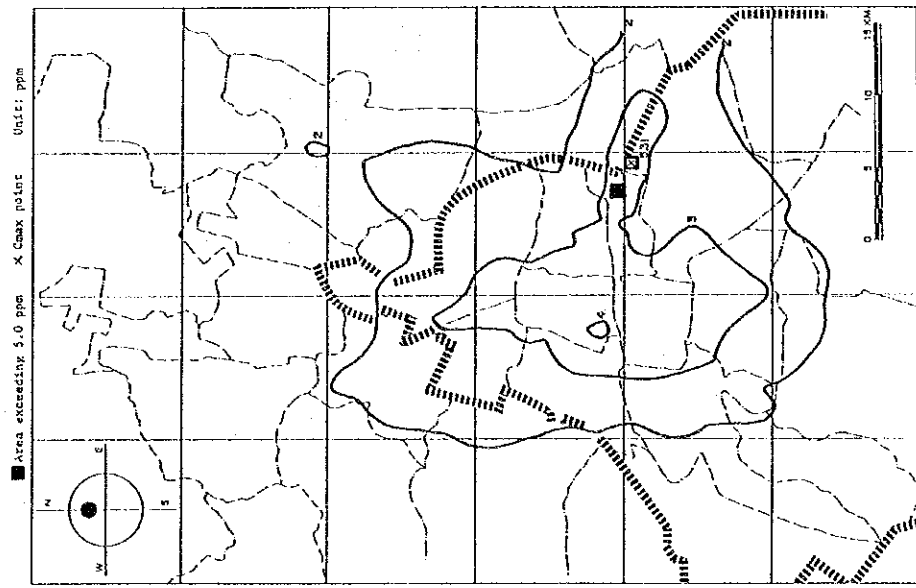


1986

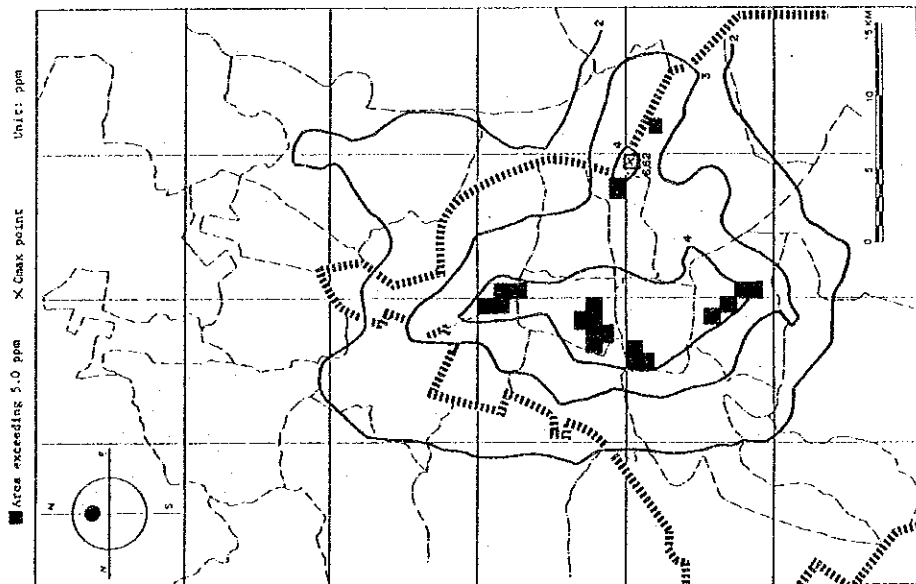
图 6 SO<sub>2</sub> 年平均浓度等浓度线图 (1986年、1993年及2001年)



2001



1993



1986

图7 CO年平均値等濃度線図(1986年、1993年及び2001年)

## 6. 提 言

### 6.1 発生源対策

メキシコ政府が計画している固定発生源対策は、特に SOxの削減に大きな効果がある。また、政府の定めた自動車の排出基準による規制により、CO, NOx およびHCについて最終的効果が現われるまでには長期間を要するものの、年ごとに徐々に改善されるものと考えられる。

オゾンについての詳細な検討は本調査では行っていないが、NOx やHCの排出量の削減に伴いある程度の改善は期待される。

政府が計画している固定発生源および移動発生源対策は、積極的に推進すべきである。また、それらの対策を補足するものとして、以下の対策についても検討する必要があると考える。

- ① 中古車への二次空気供給装置の取付け
- ② ガソリン中の硫黄分の低減
- ③ 個人乗用車に対する平日の使用停止日の指定

### 6.2 規制のための細則の確立

生態均衡および環境保護一般法の施行により、大気汚染対策推進のための法的根拠が確立し、今後は関連する施行細則、諸基準の整備が急務と考えられる。重要な規則や基準は、既にいくつかは公布されているが、責任機関はこれらの作業を精力的に継続する必要がある。その際、関係機関、産業界および一般国民の積極的な協力が望まれる。

### 6.3 固定発生源の監視

大工場からの大気汚染物質の排出に関しては、排出ガスの自動測定器の設置とテレメーターによる集中監視により効果的な監視が可能である。一方、多数の中小発生源の監視は、マンパワーに多くを頼らざるを得ない。これらの発生源施設の監視は、改善のための具体的指導を併せて行う必要がある。また、発生源台帳の作成も必要と考える。

#### 6.4 自動車の検査

メキシコ市首都圏では、自動車の使用年限が比較的長いことから、その間の排ガス防止装置の機能を維持させることが重要である。そのためには、自動車の定期検査制度の確立が不可欠であり、これに関する詳細な調査を行うことを提言する。

#### 6.5 大気質の監視

メキシコ市首都圏の現在の大気質監視網は、測定局の数及び各測定局の機能の両面において強化する必要があると考えられる。現在の監視網を基礎として、より合理的な監視網を完成させるための調査を行うことを提言する。

#### 6.6 組織の強化

メキシコ市の大気汚染を改善するには、SEDEUやDDFなどの責任機関は広範囲にわたり多大の業務を遂行してゆかねばならない。DDF に関して言えば、管理、技術研究開発、自動車検査、固定発生源の監視と指導、大気質測定、法律関連業務および広報などの仕事があり、職員数を増やす必要があると考えられる。このような組織強化を、職員の研修制度の確立と並行して行うこと提言する。



# 目 次

(ページ)

要 約 .....	S-1
第1章 序 論	
1.1 調査の背景 .....	1
1.2 調査の概要 .....	1
1.3 調査体制 .....	7
第2章 調査対象地域の概況	
2.1 地形・地理 .....	10
2.2 気候 .....	11
2.3 人口 .....	11
2.4 産業 .....	12
2.5 土地利用 .....	12
2.6 交通 .....	13
2.7 エネルギー .....	15
第3章 大気汚染の現況	
3.1 気象観測 .....	17
3.2 大気質調査 .....	23
3.3 SEDUE測定局の気象と大気質濃度の解析 .....	32
3.4 大気汚染物質の発生源 .....	40
3.5 大気汚染の現況シミュレーション .....	63
3.6 CMB法によるSPMの発生源別寄与度の推計 .....	78
3.7 メキシコ市首都圏における大気汚染状況のまとめ .....	80
第4章 メキシコにおける大気汚染防止に係る制度	
4.1 法律 .....	85
4.2 行政組織 .....	86
4.3 大気質の環境基準 .....	87
4.4 大気汚染物質の排出基準 .....	87
4.5 監視・測定体制 .....	88
第5章 発生源対策の検討と評価	
5.1 固定発生源対策 .....	90
5.2 自動車排出ガス対策 .....	90
5.3 自動車交通に関する対策 .....	100
5.4 対策後の大気汚染物質排出量 .....	103
5.5 対策後の大気質と評価 .....	113

第6章 対策の実施に係る検討	
6.1 発生源の監視体制	124
6.2 自動車検査制度	124
6.3 大気質の監視体制	125
6.4 環境基準について	126
6.5 組織強化と人材の育成	127
提 言	130



## 第1章 序 論



# 第1章 序 論

## 1.1 調査の背景

メキシコ市は、メキシコ合衆国の首都で、近年の著しい人口の増加により、隣接するメキシコ州の一部を含むメキシコ市首都圏（AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO,（以下「AMCM」と略称。））の人口は約 1,800万人を超える世界有数の大都市に成長し、今後もさらに人口の増加が見込まれている。

しかし、このAMCMにおける約 300万台の自動車と約 3万といわれる工場及び事業所から排出される大気汚染物質と、標高が約 2,200mを超える高地で酸素がやや稀薄であり、さらに周囲を高い山々に囲まれた盆地内にあるという自然条件が絡みあい、近年、深刻な大気汚染の問題が生じている。

このため、メキシコ合衆国政府は、世界銀行の援助を得て、AMCM内の25地点に大気汚染物質濃度自動測定局を設置し、1986年1月より大気汚染のモニタリングを開始した。さらに、同年2月には大統領令により「環境汚染に関する21の対策」を發布するなどの大気汚染対策を進めようとしている。

以上のような背景のもとに、メキシコ合衆国政府は、大気汚染対策の分野に豊富な技術と経験を有し、これまでに多くの成果をあげてきた日本国政府に対し、大気汚染対策のガイドライン策定のための技術協力を要請した。

日本国政府は、本件を国際協力事業団(JICA)の開発調査として実施することを決定し、1986年7月に後藤博俊環境庁大気保全局調査官を団長とする事前調査団をメキシコ市に派遣した。これにより、国際協力事業団とメキシコ首都連邦区都市再整備環境保護局(DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, DIRECCION GENERAL DE REORDENACION URBANA Y PROTECCION ECOLOGICA,（以下「DOF-DGRUPE」と略称。））との間で本格調査の実施細則が合意され、1987年2月より本格調査が開始された。

## 1.2 調査の概要

### 1.2.1 調査の目的

本調査は、メキシコ市における大気質の状況、大気汚染物質発生源の状況及び気象条件等について調査し、大気汚染の構造を解析することにより、メキシコ市

における大気汚染対策に資するための具体的なガイドラインを提供するとともに、日墨共同の調査業務を通じて、メキシコ側の専門家に日本側の大気汚染対策に関する技術移転を行うことを目的とするものである。

### 1.2.2 調査の対象地域

本調査の調査対象地域は、図1.2.1に示すとおりAMCMのうち大気汚染の著しい地域を中心とする東西40km、南北60kmの区域である。

### 1.2.3 調査の範囲

本調査の範囲は、以下のとおりである。

#### (1) データ収集

- ① 気象データ
- ② 環境大気質データ
- ③ 移動発生源データ
- ④ 固定発生源データ
- ⑤ 社会条件データ

#### (2) 基礎調査

- ① 気象調査
- ② 移動発生源調査
- ③ 固定発生源調査
- ④ 環境大気質調査
- ⑤ SPMの発生源に関する調査

#### (3) 大気汚染の解析

- ① 大気質・気象および発生源データの解析
- ② シミュレーション・モデルの構築 (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO)
- ③ シミュレーション・モデルによる発生源別の寄与濃度の解析 (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO)
- ④ Chemical Mass Balance (CMB) 法によるSPMの発生源別の寄与濃度の解析

#### (4) 大気汚染対策のためのガイドラインの作成

- ① 大気汚染物質発生源対策の検討
- ② 対策後の大気質の予測と評価
- ③ 大気汚染対策の実施に係る提言

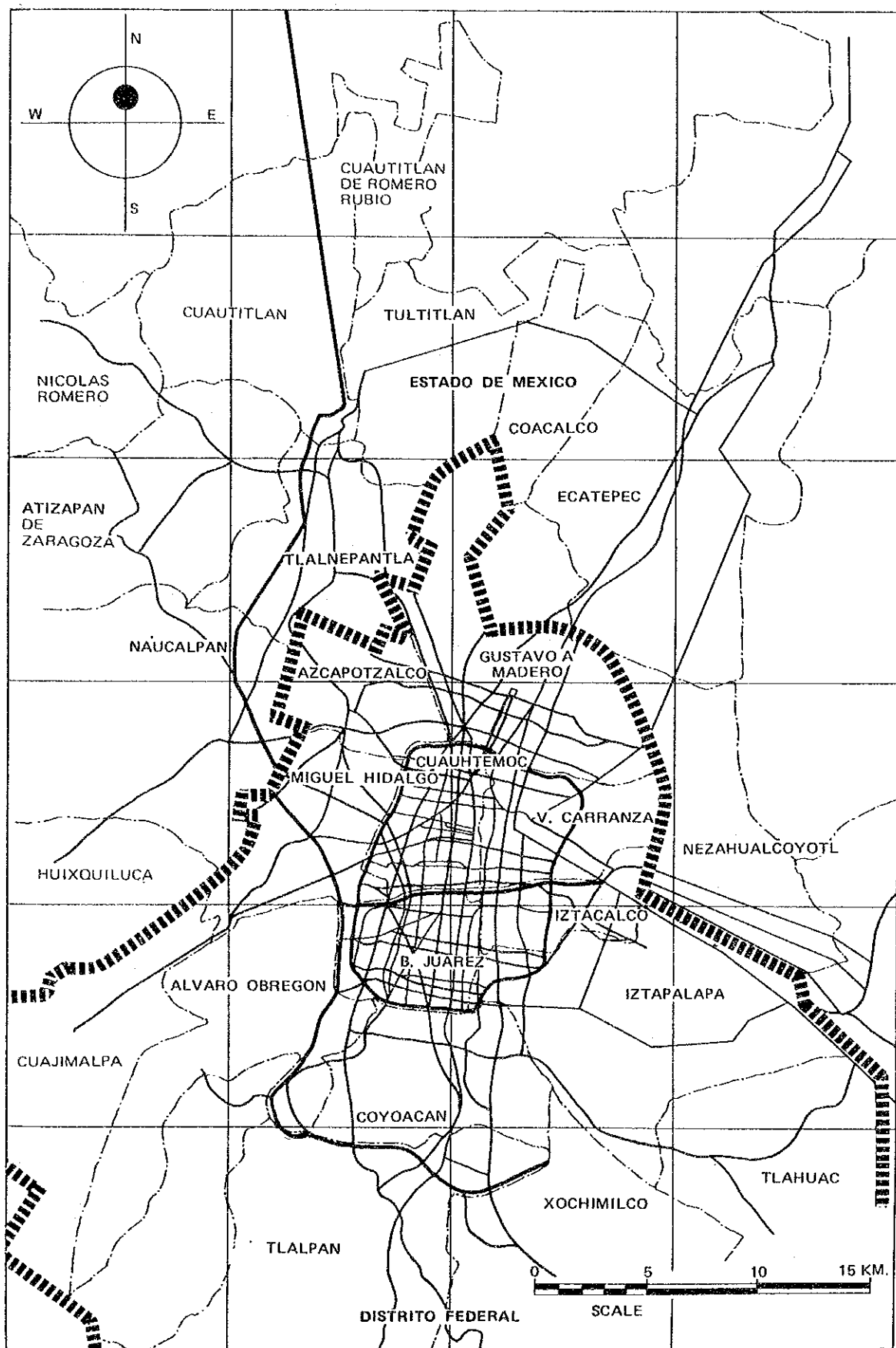


図 1.2.1 調査の対象地域

#### 1.2.4 調査の手順と工程

本調査の作業手順と工程は、それぞれ図1.2.2および図1.2.3に示すとおりである。

#### 1.2.5 技術移転

本調査では、国際協力事業団が供与した機材により、気象、大気質および発生源関連の各種の測定を行った。メキシコ側カウンターパートに対する測定技術の移転のため、あらかじめ測定機器の設置、測定方法、保守管理、測定結果の取得等について説明を行い、その後は実際の測定業務を通じて具体的に技術指導を行った。これらの測定項目は、以下のとおりである。

##### (1) 気象観測

- ① 2成分超音波風向風速計による地上の風向・風速と乱れ
- ② 係留ゾンデによる風向・風速と気温の鉛直分布（地上500mまで）
- ③ 低層ゾンデによる気温の鉛直分布（地上1,500mまで）
- ④ アスマン通風乾湿計による地上の温度と湿度（上層観測時）
- ⑤ アネロイド型気圧計による地上気圧（上層観測時）

##### (2) 大気質測定

- ① 固定局における窒素酸化物の測定 (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)
- ② 移動測定車による大気質調査 (SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SPM, NMHC, O<sub>3</sub>, 風向・風速)
- ③ 粒径別浮遊粉じん濃度及び金属成分分析
  - a. Andersen High Volume Air Samplerによる粉じんの採取
  - b. 原子吸光光度計による金属成分分析 (Al, K, Ca, Na, Mn, V, Pb, Ni, Zn, Fe)
- ④ 窒素酸化物の簡易測定 (NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)

##### (3) 発生源関係測定

- ① 工場排出ガスの測定 (NO<sub>x</sub>, ばいじん, O<sub>2</sub>, 排ガス流量)
- ② 燃料中のS分の分析

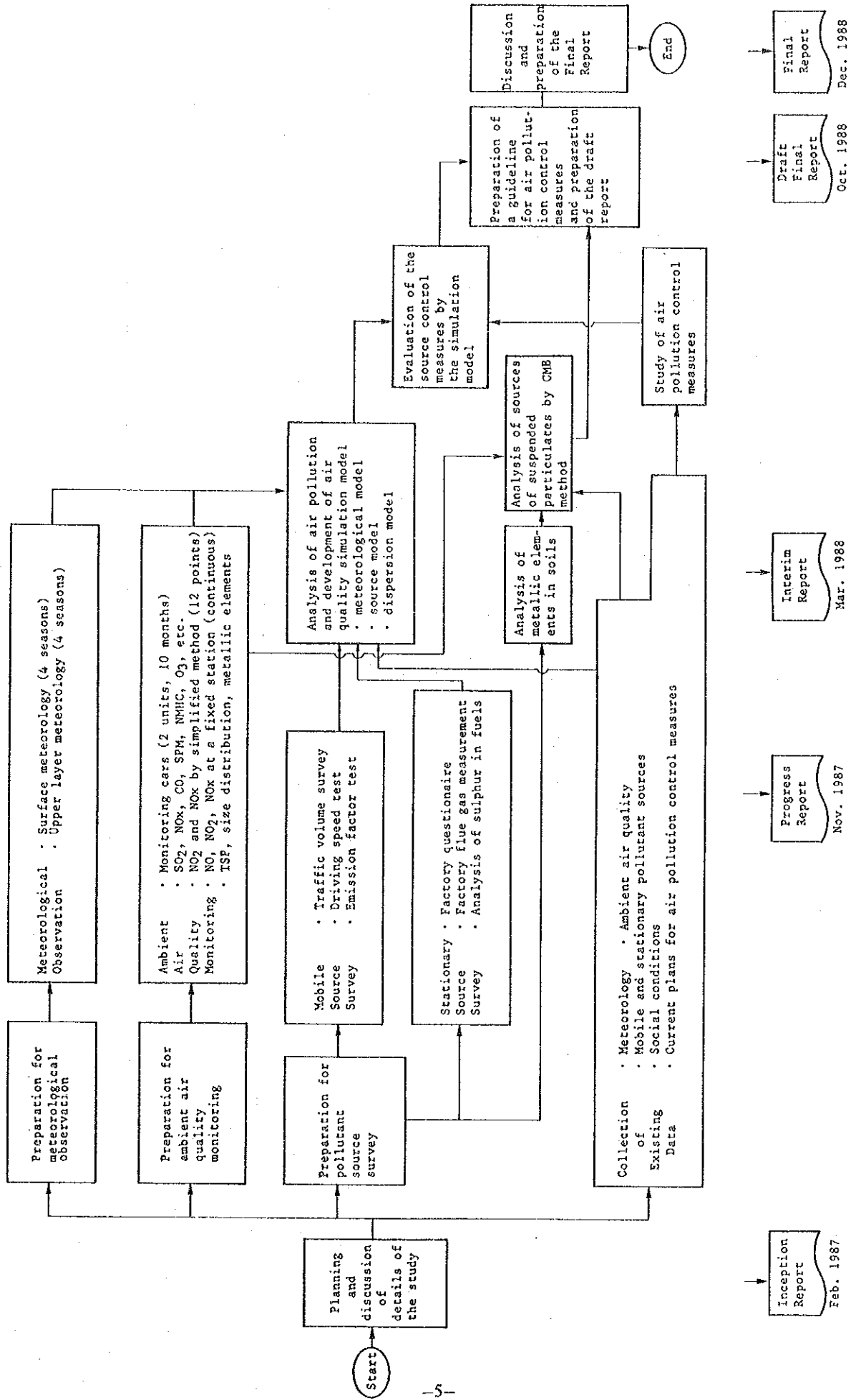


図 1.2.2 調査の手順

Study Item		Year											
		1988											
Month		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Meteo- rology	Surface meteorology												
	Upper level meteorology												
Ambient Air Quality	Simplified measurement												
	Continuous measurement of NOx												
	Measurement by monitoring cars												
	Metallic elements in suspended particulates												
	Factory questionnaire												
Basic Study	Stationary Source												
	Factory flue gas measurement												
Mobile Source	Analysis of sulphur in fuel												
	Traffic volume survey												
	Driving speed test												
	Emission factor test												
	Collection of existing data												
Analytical Study	Simulation model development and analysis												
	Analysis of source of suspended particulates by CMB method												
	Study of air pollutant source control measures												
	Evaluation of source control measures by simulation model												
	Suggestions on implementation of air pollution control measures												
Discussion and consultation	Preparation of reports												
	Discussion and consultation												
Submission of reports	IC/R												
	PR/R												
	IT/R												
	DF/R												
	F/R												

図 1.2.3 調査の工程



### 1.3 調査体制

#### 1.3.1 日本側調査体制

日本側の調査体制は、国際協力事業団による作業監理委員会と本格調査団よりなる。作業監理委員会の構成は、表1.3.1のとおりである。また、本格調査団の構成は、表1.3.2のとおりである。

表 1.3.1 作業監理委員会

氏 名	担 当	現 職	備 考
唐 沢 正 義	総 括 (作業監理)	環境庁大気保全局 企画課調査官	1988年9月6日より
後 藤 博 俊	総 括 (現地作業監理)	労働省安全衛生部 環境改善室長 (環境庁大気保全局併任)	1987年2月12日より 1988年9月5日まで 作業監理総括、 1988年10月9日より 10月21日まで現地作 業監理総括
山 中 芳 夫	汚染対策 (固定発生源)	環境庁大気保全局 大気規制課課長補佐	1988年9月6日より
田 中 正 晴	汚染対策 (固定発生源)	(前) 環境庁大気保全局 大気規制課課長補佐	1987年9月1日より 1988年9月5日まで 作業監理委員会汚染 対策担当
早 瀬 隆 司	汚染対策 (固定発生源)	(元) 環境庁大気保全局 大気規制課課長補佐	1987年2月12日より 8月31日まで作業監理 委員会汚染対策担当
戸 沢 秀 実	汚染対策 (移動発生源)	環境庁大気保全局 自動車公害課課長補佐	1987年2月12日より
中 村 健	解 析	東京都環境科学研究所 大気部主任研究員	1987年2月12日より
早 福 正 孝	測 定	東京都環境科学研究所 大気部主任研究員	1987年2月12日より

表 1.3.2 本格調査団

氏 名	担 当
内 田 顕	総括／団長
村 岡 正 康	発生源解析／副団長
藤 森 英 水	大気保全計画
関 根 宏	固定発生源対策／工場測定
岡 野 博	気象観測／解析
宮 川 亮	自動車排ガス対策
渡 沢 雄 二	都市計画／交通対策
菊 池 晴 夫	シミュレーション／環境大気解析
山 中 健 一	測定／気象
岡 山 洋一郎	測定／大気質
藤 田 育 生	測定／大気質
藤 原 亮 介	社会・経済
紀 本 岳 志	大気質測定機器校正
袖 山 恵 司	大気質測定機器校正

(注) 脇田威次郎氏が1988年6月まで総括／団長を務めた。

### 1.3.2 メキシコ側調査体制

メキシコ側は、DDF-DGRUPE局長Arq. Juan Gil Elizondo以下、表1.3.3の職員が調査を担当した。

また、都市開発環境省 (SEDUE)、DDF 交通局 (CGT)、国立気象局、連邦電力委員会 (CFE)、民間航空局等の政府機関および多数の工場が調査に協力した。

表 1.3.3 メキシコ側調査体制

総括	Arq. Francisco de la Vega Aragon メキシコ首都連邦区都市再整備環境保護局汚染防止規制部長
副総括	Ing. Victor Gutierrez Avedoy 同部 副部長
固定発生源	Ing. Julio Huerta 同部
	Ing. Luz Maria Montes 同部
移動発生源	Ing. Ana Cristina Meza Reinoso 同部
	Ing. Jose Arviso 同部 Rute 100 調査室長
	Ing. Hortencia Megal 同部
	Ing. Victoria Bustos Terrones 同部
気象	Biol. Pablo Gallardo 同部
	Meteol. Pabio Escamilla 同部
大気汚染物質測定(分析)	Ing. Victor Gutierrez Avedoy (兼務) 同部 副部長
	Ing. Juan Manuel Aguilar 同部
社会・経済	Lic. Silvia Martinez Espinosa 同部



## 第2章 調査対象地域の概況



## 第2章 調査対象地域の概況

### 2.1 地形・地理

メキシコ市は、北緯19度24分、西経99度12分に位置し、標高は2,200m以上の高地にある。周囲はさらに高い山々に囲まれており、盆地状の地形となっている。

メキシコ市は、行政区分のうえからは連邦地区(DISTRITO FEDERAL : DF)と呼ばれ、16の区(デリガシオン)から構成されている。

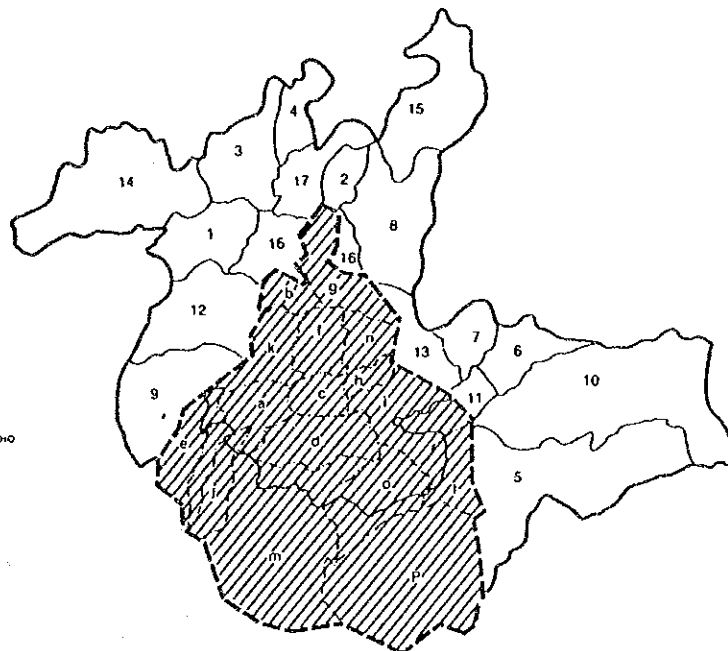
1940年代以降の急激な人口の増加に伴い、現在のメキシコ市の市街地は北部のメキシコ州の区域にまで拡大し、これらの連担した市街地を含むDFのデリガシオン及びメキシコ州の17の市(ムニシピオ)を含めた区域(図2.1.1)は、メキシコ市首都圏(ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO)と呼ばれている。

#### DELEGACIONES DEL DISTRITO FEDERAL

- a Alvaro Obregón
- b Azcapotzalco
- c Benito Juárez
- d Coyoacán
- e Cuajimalpa
- f Cuauhtémoc
- g Gustavo A. Madero
- h Iztacalco
- i Iztapalapa
- j Magdalena Contreras
- k Miguel Hidalgo
- l Tláhuac
- m Tlalpan
- n Venustiano Carranza
- o Xochimilco
- p Milpa Alta

#### ESTADO DE MEXICO

- 1. Alizapán de Zaragoza
- 2. Coscalco
- 3. Cuautlán
- 4. Cuautlán de Romero Rubio
- 5. Chalco
- 6. Chicoloapan
- 7. Chimalhuacán
- 8. Ecatepec
- 9. Huitzilucá
- 10. Iztapalaca
- 11. Los Reyes La Paz
- 12. Naucalpan
- 13. Nezahualcóyotl
- 14. Nicolás Romero
- 15. Tecámac
- 16. Tlalnequiltla
- 17. Tultitlán



FUENTE: D.D.F. DGRUPE, Gobierno del Estado de México.

図 2.1.1 メキシコ市首都圏 (AMCM) の行政区分

## 2.2 気 候

メキシコ市における年間の平均気温は15℃で、月平均気温は最も高い5月が17.4℃、最も低い月が12.1℃で、年間を通じた変動は少ない。年間の総降水量は725mmで、そのほとんどが6月から9月にかけての雨季に集中しており、10月から5月までの乾季、特に12月、1月、2月の3ヶ月の降水量はわずかである。

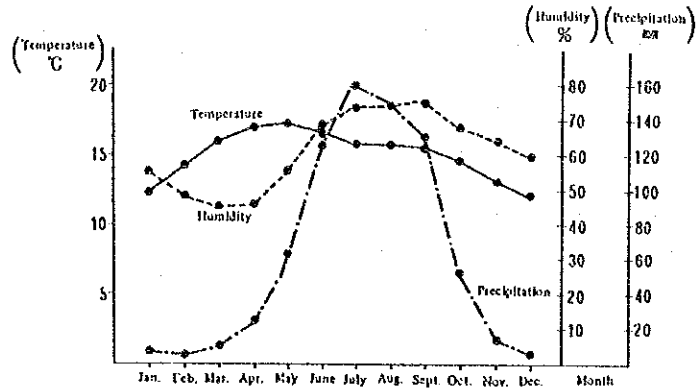


図 2.2.1 メキシコ市の気候 (1921~1960年)

## 2.3 人 口

メキシコ市首都圏 (AMCM) を構成するメキシコ市 (DF) 及びメキシコ州17市の人口の推移は、表 2.3.1 のとおりである。1986年の総人口は、DF 10,087千人、メキシコ州 7,679千人の合計17,766千人である。

AMCMの人口は、1940年代以降、年増加率が5%を越える増加を示しており、1970年代に入り増加率はやや低下したが、依然として4%台の増加率で、現在も人口は増加の一途をたどっている。西暦2000年における人口は、DF 12,700千人、メキシコ州 14,600千人の合計27,300千人と予測されている。

表 2.3.1 AMCMの人口の推移  
(単位：千人)

年	DF	メキシコ州	計 (AMCM)
1950	3,050	---	---
1960	4,871	487	5,358
1970	6,871	1,947	8,818
1980	8,831	5,054	13,885
1986	10,087	7,679	17,766

出典：Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal 1987-1988, DDF-DGRUPE.



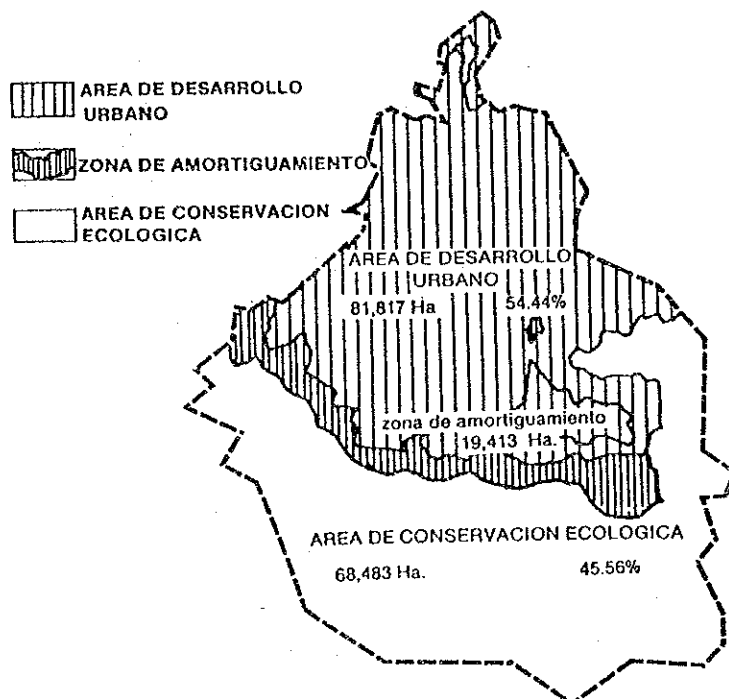
## 2.4 産 業

1970年から1980年にかけて、DFにおける産業別就業者数は大きな変化がみられる。

1980年においては、サービス業及び公共サービス業の就業者数は49.2%で、続いて製造業(12.4%)、鉱業(10.1%)、建設業(9.8%)となっており、特に製造業は1970年には29.8%を占めていたものが、著しい減少をみている。これは、近年のAMCMにおける製造業の立地がほとんどがメキシコ州の区域におけるものであるためと考えられる。間込み調査によれば、化学、鉄鋼、金属、食料品、窯業及び製紙等がAMCMにおける主要な業種となっている。

## 2.5 土地利用

メキシコ市及びその周辺の都市化地域はメキシコ市の北部にあり、市域の約36%を占めている。近年の人口の増加に伴い都市化地域はますます増大しており、DF北部からメキシコ州にかけての区域の都市化が急速に進みつつある。また、この地域には工場の立地も多く、工業用地が集中してみられる。



FUENTE: Plan General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, 1982. Zonificación Primaria 1982.

図 2.5.1 土地利用の現況 (DF)

## 2.6 交 通

AMCMにおける主な交通機関としては、主要道路のほかに、地下鉄、トロリー・バス、軽電車、鉄道及び空港等がある。このうち、自動車交通への依存度は約80%を占め、自家用車のほかにバス・タクシーなどの公共交通機関が多く利用されている。

メキシコ市首都圏(AMCM)における交通機関別台数は表2.6.1のとおりである。

バスについては、かつては民営であったものが1981年に公営化され、Ruta 100と呼ばれるDDFの経営に一元化された。また、市の東西南北に各1ヶ所ずつバスターミナルが建設され、郊外からメキシコ市に入る大型バスについては、これよりも市内へは入れないよう制限されている。

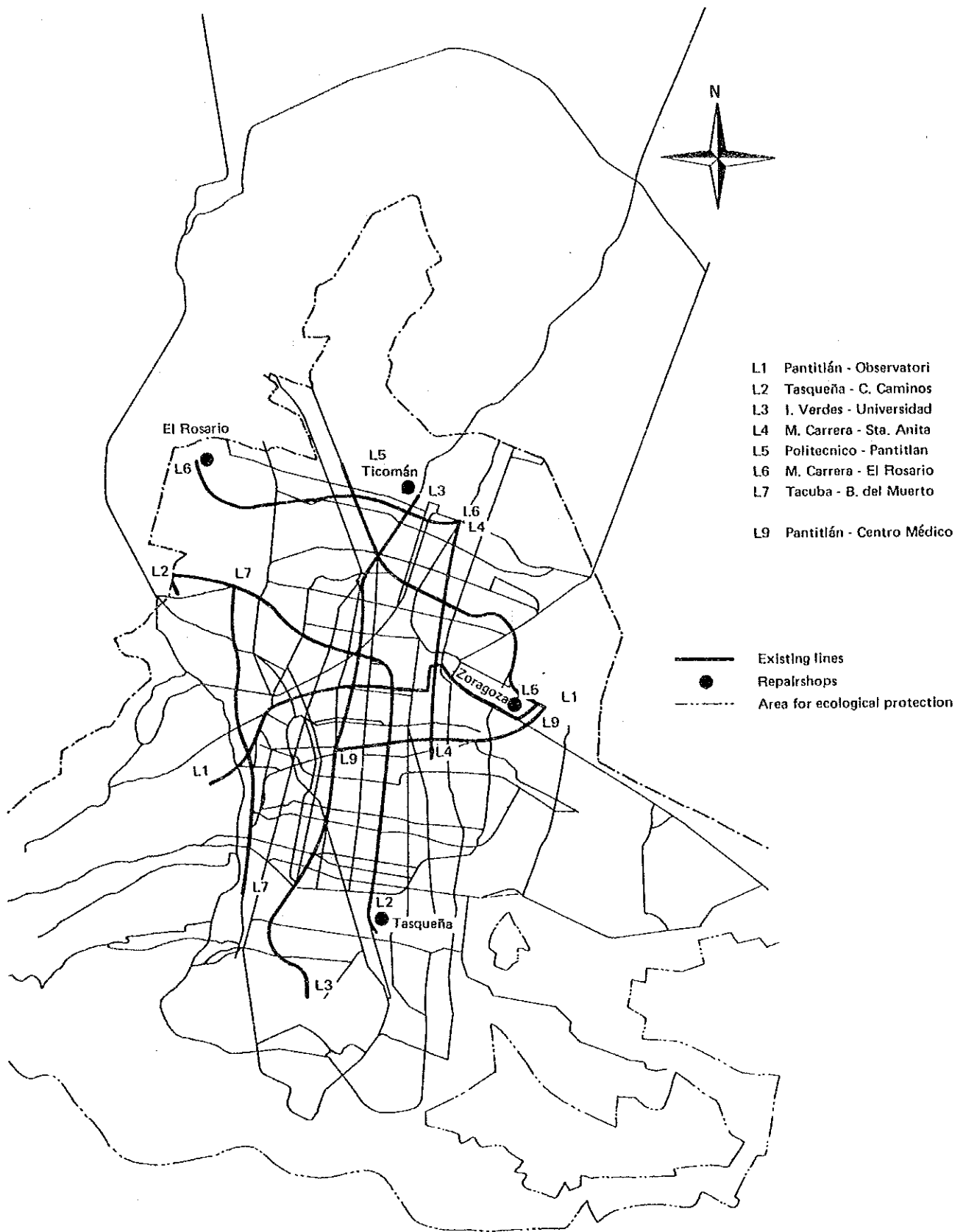
地下鉄については、1968年のメキシコオリンピック以降、建設がすすめられており、現在、図2.6.1に示すとおり8路線が供用されている。しかし、現在の地下鉄はDFの区域内に限られており、メキシコ州に拡大した市街地への地下鉄の延伸は図られていない。

なお、鉄道についてはメキシコ国有鉄道の5路線がメキシコ市に出入りしており、乗客の利用率は、近年、増加しつつある。連邦地区と地方州都を結ぶ鉄道システムの再構築が検討されており、現在のところMEXICO-QUERETARO間の複線化工事が完工している。

表 2.6.1 AMCMの交通機関別台数(1985年)

Transport Means		Number	Ratio (%)
Public Transport	Subway	2,075	
	Urban bus	4,931	
	Suburban bus	6,719	
	Taxies	147,631	
	Trolley bus	310	
	Sub-total	161,666	5.0
Truck and motorcycle		435,000	15.0
Private car		2,350,000	80.0
Total		2,946,666	100.0

Source: PROGRAMA GENERAL DE DESARROLLO URBANO DEL DISTRITO FEDERAL 1987 - 1988, DDF-DGRUPE.



Source: DDF-CGT

図 2.6.1 メキシコ市における地下鉄網

## 2.7 エネルギー

メキシコ市及びその周辺の電力は、メキシコ電力庁 (CFE) の発電所より供給されている。このうち、メキシコ盆地にはVALLE DE MEXICO とING. JORGE LUQUEの2つの中央火力発電所がある。

メキシコ合衆国における石油系燃料の生産・精製及び供給は、メキシコ石油公社 (PEMEX) が一貫して行っている。メキシコ国内で生産される原油は、全国で9ヶ所の製油所で精製されたのち、販売網を通じて全国に供給されている。メキシコ市内にはAZCAPOTZALCOに製油所があり、メキシコ市及びその周辺の石油化学燃料の供給基地となっている。

### 第3章 大気汚染の現況

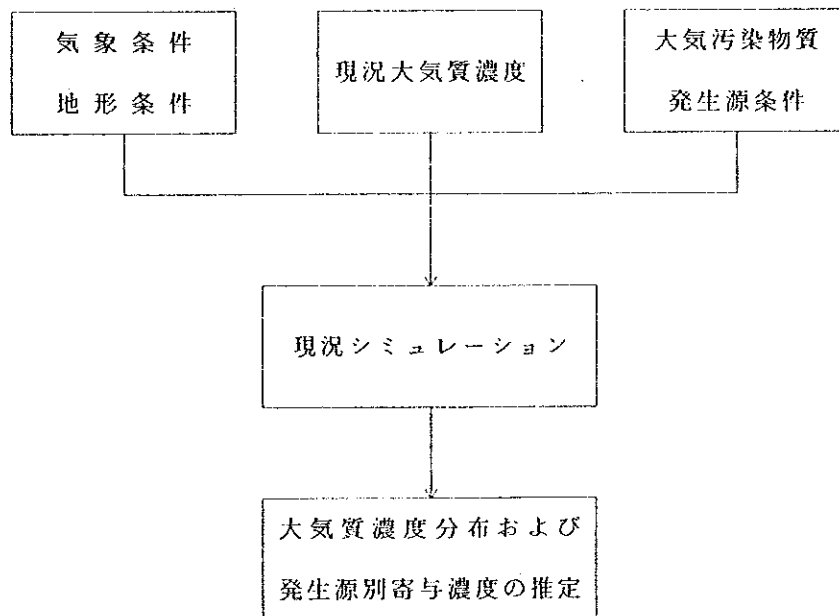


### 第3章 大気汚染の現況

大気汚染の改善を合理的に計画し実施してゆくためには、まず現状における大気汚染物質の発生源の状況と環境中における大気質濃度およびこの両者の関係に支配的に作用する気象条件等を調査し、これらを総合的に解析して大気汚染のメカニズムをできるだけ定量的に把握することが必要である。

本調査では、メキシコ市首都圏における大気汚染のメカニズムをできるだけ定量的に把握するために、以下に示すフローにしたがって大気汚染に係る気象、大気質及び大気汚染物質の発生源についての現況調査を行った。さらに、これらの調査で得られたデータを解析するとともに、大気汚染の現況シミュレーションにより大気汚染物質の濃度分布や発生源別寄与濃度を推定し、メキシコ市首都圏における大気汚染の特性を把握した。

本章では、大気汚染対策の検討の基礎となるこれらのメキシコ市首都圏における大気汚染の現況調査の結果を述べる。



(大気汚染の現況調査のフロー)

### 3.1 気象観測

#### 3.1.1 調査内容

本調査で実施した現地気象観測及び収集した気象資料の概要は、表3.1.1及び図3.1.1に示すとおりである。

表 3.1.1 解析対象気象資料一覧表

区分	項目	気象要素	地点	期間
現地 気象 観測	地上気象	風向風速 乱れ	DDF 自動車 検査センターNo.5 (CENTRO 5)	1987年9月8日～1988年5月27日
	上層気象	風向風速 気温	DDF 自動車 検査センターNo.5 (CENTRO 5)	夏季：1987年9月8日～9月19日 秋季：1987年11月19日～12月3日 冬季：1988年2月17日～2月24日 春季：1988年5月20日～5月27日
既存 資料 収集	地上気象	風向風速	TACUBAYA	1986年1月1日～12月31日
	高層気象	風向風速 気温	AEROPUETRO	1986年1月1日～12月31日

#### 3.1.2 調査結果

##### (1) 地上の風向と風速

CENTRO 5における風向は、昼間は東寄りと北西～北北西、夜間は西南西～北西の出現が多くなっている。北西寄りの風向は昼夜間とも3.9m/s以下の出現が多く、昼間の東寄りの風向は0.5～1.9m/sの出現が多くなっている。4.0m/s以上の風速は年間で9%程度であり、8.0m/s以上はほとんど出現していない。

メキシコ盆地の風は昼夜間で風向が異なり、また風速が弱いことから、一般風の影響が小さく、局地風に支配されていると思われる。昼間の風は日射により山腹斜面が暖まって生じる谷風が主で、東寄りの風向は午前中に、北西寄りの風向は午後に出現する傾向があり、北西寄りの風向は対流効果が加わって東寄りの風向より風速が強くなる。一方、夜間の北西寄りの風向は、山腹斜面の放射冷却によって生じる山風が主で、北西から南東に開く谷筋に沿って吹き降りて来るために出現する風と思われる。

TACUBAYA気象局における1986年の風向風速データによると、出現の多い風向



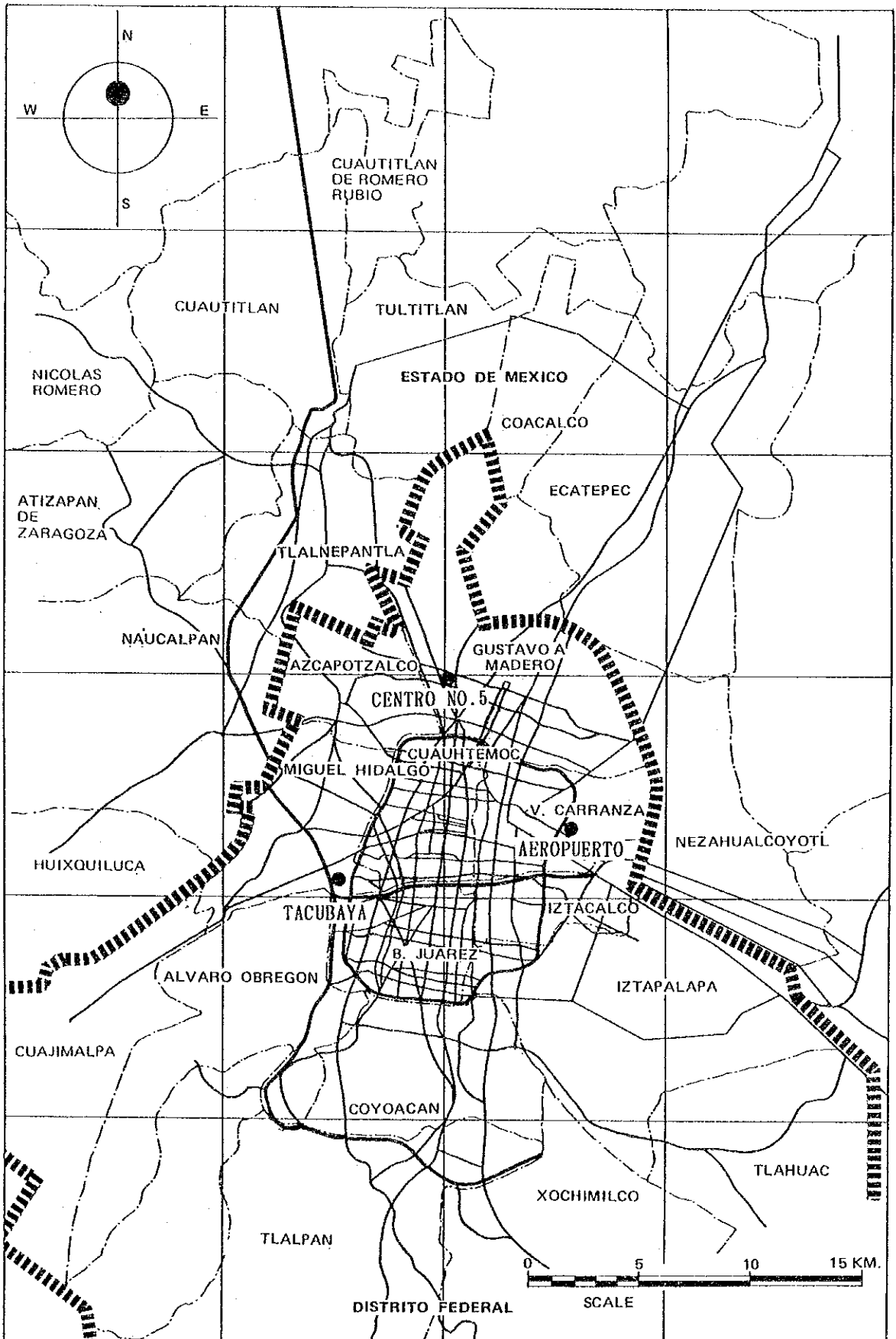


图 3.1.1 气象调查地点位置图

は北西寄りでCENTRO 5と同様な傾向を示している。しかし、東寄りの風向の出現は少なく、全体の風向出現傾向は異なっている。

CENTRO 5における風速は、9、10月が2.1~2.3m/sと強く、11月~1月が1.6~1.7m/sと弱くなっている。一方、TACUBAYAの風速は、8、9月が3.4~3.5m/sと強く、11月~1月が2.1~2.3m/sと弱くなっている。

## (2) 上層気象

### ① 高度別風向出現傾向

CENTRO 5では、地上は東北東~東と南西~北西、高度50~150mは東~南南東と西~北の出現が多くなっているが、高度200m以上では全方位に出現し、顕著な主風向がみられない。

AEROPUERTOにおける1986年の観測結果では、6時は高度200mまでは静穏が41~52%の出現を示し、高度500m及び900mは北~北北東と南南東~南の風向の出現が多くなっている。高度1,400mはそれらと異なり、全風向に同様な出現を見せている。一方、18時は、高度500mまでは北~北東と南東が、高度900m及び1,400mは北~北東の風向の出現が多くなっている。

### ② 高度別平均風速

上層気象観測の季節別、高度別平均風速をみると、日平均的には地上が1.8m/sと最も弱く、その上層50~100mが2.4m/sと最も強くなっている。高度150~300mにかけては高度が高くなるに従って徐々に弱くなり、高度300m、以上では2.0m/sとなっている。この分布は昼夜別にみても同様な傾向を示している。

### ③ 気温鉛直分布の概要

係留ゾンデ観測によると、気温接地逆転層の発生は夏季(9月)が5日のうち1日、秋季(11月)が14日のうち12日、冬季(2月)が7日のうち4日、春季(5月)が7日のうち5日となっている。このように、逆転層の発生は10月から5月の乾期に多く発生し、雨期の発生は少ない。

接地逆転の発生消滅の時間変化は夜間の21~3時にかけて出現する頻度が多く、朝方の9~10時半まで逆転層が存在している。日射量の増加により10~12時の間に地上から500mまでの逆転層はほぼ消滅する傾向にある。こ

の傾向を顕著に示した1988年2月22日の観測例を図3.1.2に示す。

また、低層ゾンデ観測による気温鉛直分布の代表例を、図3.1.3及び図3.1.4に示す。13時30分に実施した低層ゾンデによる33回の気温鉛直分布観測のうち上層逆転層が出現したのは8回であり、そのうちの2回（12月3日と2月21日）は高度1,100～1,700mの範囲に顕著な逆転層となって出現している。他の25回は地上～高度50m付近まで乾燥断熱減率より大きな気温勾配となっており、それより上層1,800m付近までは乾燥断熱減率に近い気温勾配にあって、対流混合がさかんなことを示している。

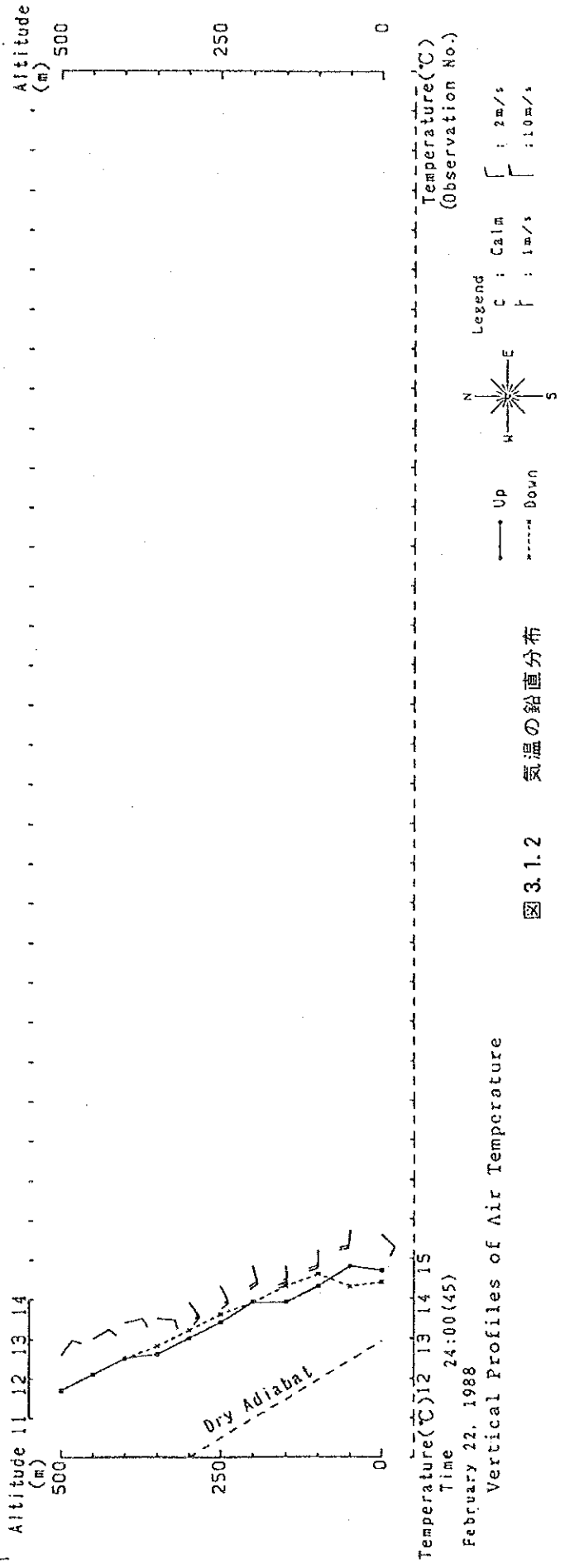
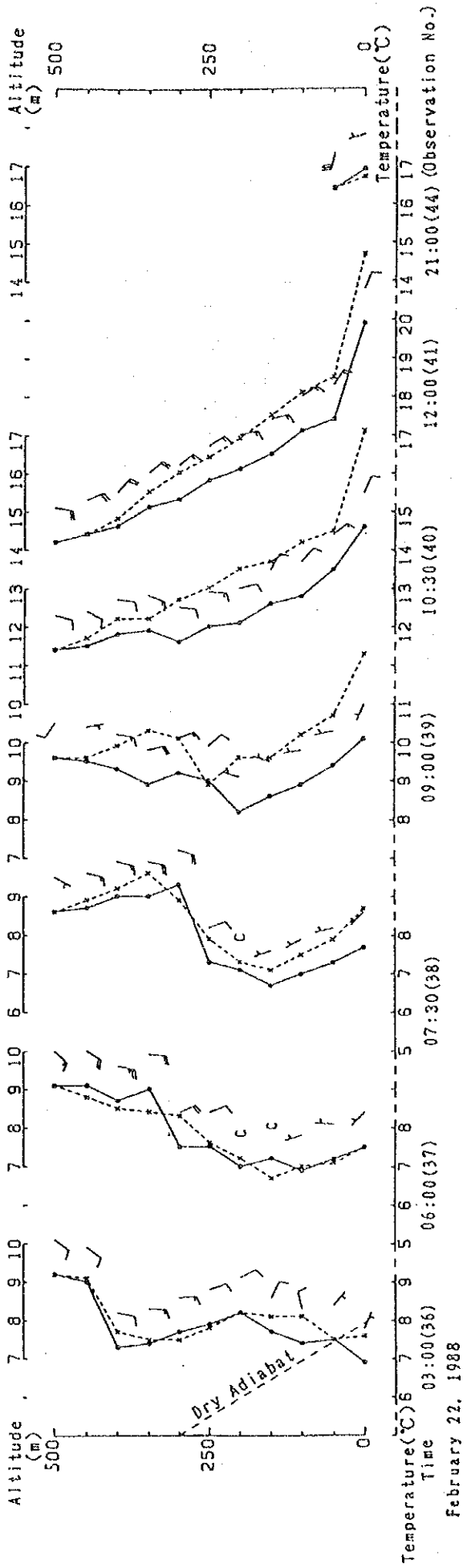


図 3.1.2 気温の鉛直分布

Vertical Profiles of Air Temperature



図 3.1.3 上層逆転層が顕著な日の気温の鉛直分布

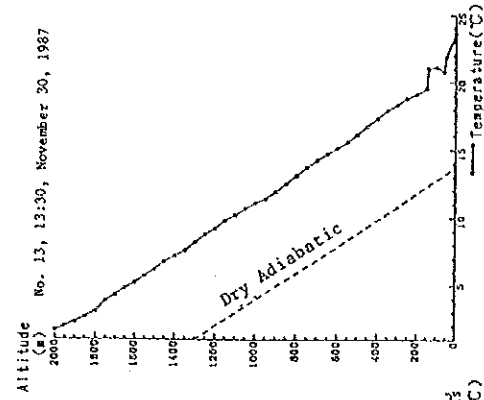
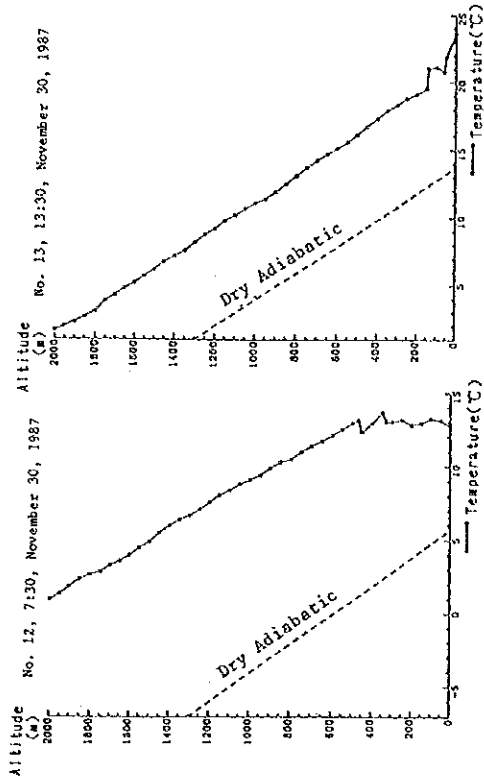
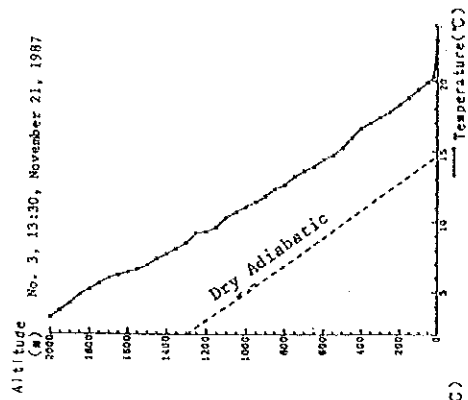
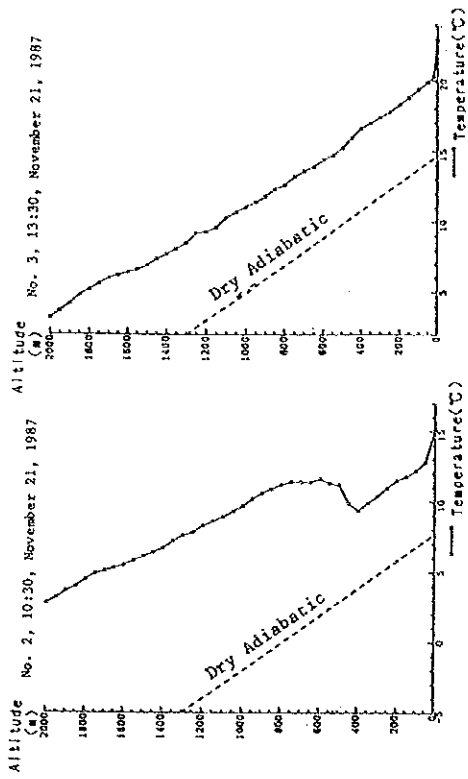


図 3.1.4 朝方と日中における気温の鉛直分布の比較

### 3.2 大気質調査

#### 3.2.1 調査内容

大気質の現地調査の概要は、表3.2.1に示すとおりであり、測定方法は表3.2.2及び表3.2.3のとおりである。

表 3.2.1 環境大気質調査一覧表

調査区分	調査項目	調査対象
固定局における長期調査 (1987年9月～1988年8月)	窒素酸化物 (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	市内1ヶ所(CENTRO MEDICO: DDF オフィス4階)に設置し、連続測定を実施した。
	粉じん濃度及び 金属成分分析	市内及びその周辺5ヶ所に設置し、毎月1回、粒径別の粉じん濃度の測定及び金属成分の分析を行った。
移動測定車による調査 (1987年12月～1988年9月)	二酸化硫黄(SO <sub>2</sub> ) 窒素酸化物 (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ) 一酸化炭素(CO) 浮遊粒子状物質(SPM) 非メタン炭化水素(NMHC) オゾン(O <sub>3</sub> ) 風向・風速(WD, WS)	市内及びその周辺の20地点の道路沿道及び後背地について、移動測定車2台を使用し、毎月2地点ずつ測定を実施した。
簡易測定調査 (1987年10月～1988年6月)	窒素酸化物(NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	市内の主要交差点12ヶ所について、2回ずつ測定を実施した。

#### 3.2.2 調査結果

##### (1) 固定局における窒素酸化物の調査

固定局における窒素酸化物(NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)の測定結果の概要は、表3.2.4のとおりである。

環境基準値が定められている二酸化窒素の測定期間(244日)の全平均値は0.047ppm、1時間値の最大値は0.322ppmとなっており、測定期間中の環境基準値(1時間値0.21ppm)を超えた時間数は15時間(0.3%)となっている。

表 3.2.2 測定方法一覧表

測定項目	測定方法	測定期間
二酸化硫黄 (SO <sub>2</sub> )	自動測定器による連続測定 (紫外線蛍光法)	1887年12月 ) 1988年9月 (10ヶ月間)
窒素酸化物 (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	自動測定器による連続測定 (化学発光法)	
一酸化炭素 (CO)	自動測定器による連続測定 (非分散型赤外線吸収法)	
浮遊粒子状物質 (SPM)	自動測定器による連続測定 (β線吸収法)	
非メタン炭化水素 (NMHC)	自動測定器による連続測定 (直接方式ガスクロマトグラフ法)	
オゾン (O <sub>3</sub> )	自動測定器による連続測定 (紫外線吸収法)	
風向・風速 (WD, WS)	自動測定器による連続測定 (三杯型風向、風速計)	

表 3.2.3 粉じんおよび金属成分測定方法一覧表

測定項目	測定・分析方法	測定期間
粒径別粉じん濃度	アイダーセンハイポリウムエアサン プラーにより採取し、重量法により 分析した。	1887年9月 )
粒径別金属成分 (Fe, Zn, Ni, Pb, V, Mn, Na, Ca, K, Al)	1地点については全粒径区分別に、 他の4地点については2粒径区分別 に原子吸光光度法により金属成分の 分析を行った。	1988年8月 毎月1回 (3日間)

表 3.2.4 集 計 結 果

Item	Effective days (days)	Measuring hours (hours)	Total-period average (ppm)	Maximum 1-hour value (ppm)	Max. daily average (ppm)
Nitrogen monoxide (NO)	244	5878	0.036	0.378	0.096
Nitrogen dioxide (NO <sub>2</sub> )	244	5878	0.047	0.322	0.093
Nitrogen oxides (NO <sub>x</sub> )	244	5878	0.083	0.529	0.190

月別にみると、図 3.2.1 に示すとおり一酸化窒素は冬季に入る12月から急激に濃度が増加し、春季に入り徐々に減少していく傾向を示している。二酸化窒素は、冬季に入る12月から急激に濃度が増加し、春季まで続いている。

時刻別にみると、図 3.2.2 に示すとおり年間を通して一酸化窒素、二酸化窒素とも朝方にピークが出現する1山型になっている。一酸化窒素のピークは午前8時頃、二酸化窒素は午前10時頃に出現し、2時間ほどのずれがある。

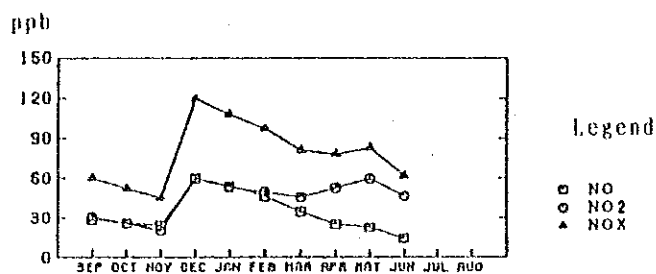


図 3.2.1 NO<sub>x</sub> の月別平均値

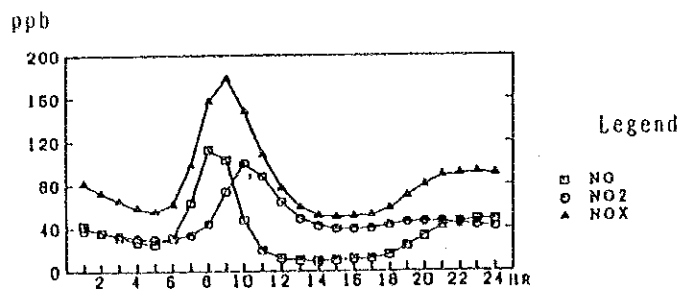


図 3.2.2 測定期間中の時間平均値



(2) 移動測定車による調査

移動測定車による地点別測定結果は、表3.2.5のとおりである。

① 二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>)

測定を行った全地点の平均値は 43ppbであった。また、道路沿道とその後地の測定結果を比較するといずれも43ppbで差がなかった。

地点別平均値をみると、メキシコ市の北東に位置するNo.11のECATEPECが75ppbと最も高く、南に位置するNo.4のCUEMANCOが10ppbと最も低くなっている。

② 窒素酸化物 (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)

測定を行った全地点の平均値は、一酸化窒素が60ppb、二酸化窒素が49ppbであった。地点別平均値をみると、一酸化窒素はメキシコ市の中心部に位置するNo.17のCENTRO MEDICOが122ppbと最も高く、南に位置するNo.4のCUEMANCOが3ppbと最も低くなっている。二酸化窒素はメキシコ市の中心部に位置するNo.5のMETRO CUAUHTEMOCが68ppbと最も高く、南に位置するNo.4のCUEMANCOが19ppbと最も低くなっている。

③ 一酸化炭素 (CO)

測定を行った全地点の平均値は、3.9ppmであった。また、道路沿道とその後地の測定結果を比較すると、背後地が3.4ppm、主要道路沿道が4.3ppmとなっており、道路沿道が0.9ppm高くなっている。

地点別平均値をみると、メキシコ市の中心部に位置するNo.17のCENTRO MEDICOが6.8ppmと最も高く、南に位置するNo.4のCUEMANCOが0.9ppmと最も低くなっている。

④ オゾン (O<sub>3</sub>)

測定を行った全地点の平均値は、38ppbであった。また、道路沿道とその後背地の測定結果を比較すると、背後地が41ppb、道路沿道が34ppbとなっており、背後地が7ppb高くなっている。

地点別平均値をみると、メキシコ市の南に位置するNo.4のCUBMANCOが最も高く、北東に位置するNo.11のECATEPECが最も低くなっている。

⑤ 非メタン炭化水素 (NMHC)

測定を行った全地点の平均値は、1.32ppmCであった。また、道路沿道とその後背地の測定結果を比較すると、背後地が1.12ppmC、道路沿道が1.52ppmCとなっており、道路沿道が0.40ppmC高くなっている。

地点別平均値をみると、メキシコ市の北西に位置するNo.14のAZCAPOTZALCOが2.36ppmCと最も高く、南に位置するNo.4のCUEMANCOが0.21ppmCと最も低くなっている。

⑥ 浮遊粒子状物質 (SPM)

測定を行った全地点の平均値は、93.4 $\mu$ g/m<sup>3</sup>であった。また、道路沿道とその後背地の測定結果を比較すると、背後地が98.4 $\mu$ g/m<sup>3</sup>、道路沿道が88.4 $\mu$ g/m<sup>3</sup>となっており、背後地が10 $\mu$ g/m<sup>3</sup>高くなっている。

地点別平均値をみると、メキシコ市の北東に位置するNo.11のECATEPECが170 $\mu$ g/m<sup>3</sup>と最も高く、南西に位置するNo.18のFUJIYAMA及び南に位置するNo.4のCUEMANCOがともに50 $\mu$ g/m<sup>3</sup>と最も低くなっている。

道路に直接面したところで測定した例と、やや背後地での測定例の各汚染物質の濃度・時刻変化を、図3.2.3に示す。これらを見ると、沿道でも背後地でもほぼ同じような濃度変化パターンを示している。

表 3.2.5 移動測定車による地点別濃度測定結果 (平均値)

Item Point	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	NHHC	CR <sub>4</sub>	TUC	SPM *3
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppmC	ppmC	ppmC	μg/m <sup>3</sup>
5 : METRO CUAUHTEMOC 87.DES.9~87.DES28	56	69	68	137	6.4	34	1.63	2.10	3.73	102
1 : ROSARIO 88.JAN10~88.FEB 1	55	76	39	114	4.3	30	1.54	2.19	3.74	79
7 : ZARAGOZA Y LEON 88.MAR23~88.APR13	25	53	49	102	3.1	33	0.83	2.54	3.37	127
9 : IZTAPALAPA 88.MAR16~88.APR 6	34	--	--	--	4.0	32	1.56	2.12	3.68	78
19 : AGRICOLA ORIENTAL 88.APR29~88.MAY24	--	--	--	--	4.3	35	1.75	2.39	4.14	90
10 : CENTRO No. 2 88.MAY25~88.JUN15	41	26	43	69	3.8	39	1.80	2.05	3.85	55
Road-side Average	43	56	50	106	4.3	34	1.52	2.23	3.75	88.4
Tokyo Japan Annual Average *1	12	84	40	--	2.5	--	--	--	--	58
14 : AZCAPOTZALCO 87.DES.7~87.DES28	67	51	65	116	4.6	40	2.36	2.22	4.58	87
11 : ECATEPEC 88.JAN 6~88.JAN28	75	110	52	162	3.9	28	0.98	2.45	3.43	170
17 : CENTRO MEDICO 88.FEB12~88.MAR 4	41	122	63	185	6.8	34	1.26	2.08	3.34	104
18 : FUJIYAMA 88.FEB11~88.MAR 3	23	--	--	--	1.8	34	1.07	2.04	3.11	50
12 : D. M. NACIONAL 88.APR27~88.MAY21	40	28	48	76	2.7	53	0.86	3.10	3.96	129
4 : CUERVARCO 88.MAY24~88.JUN13	10	3	19	21	0.9	58	0.21	1.98	2.19	50
Off-road Average	43	63	49	112	3.4	41	1.12	2.31	3.43	98.4
Tokyo Japan Annual Average *2	9	34	30	--	0.9	--	--	--	--	55
Total Average	43	60	49	109	3.9	38	1.32	2.22	3.59	93.4

Note #1 Average of the automobile exhaust gas monitoring stations in 23 wards in 1986.

#2 Average of the general ambient air monitoring stations in 23 wards in 1986.

\*3 SPMは10μm以下のものである。

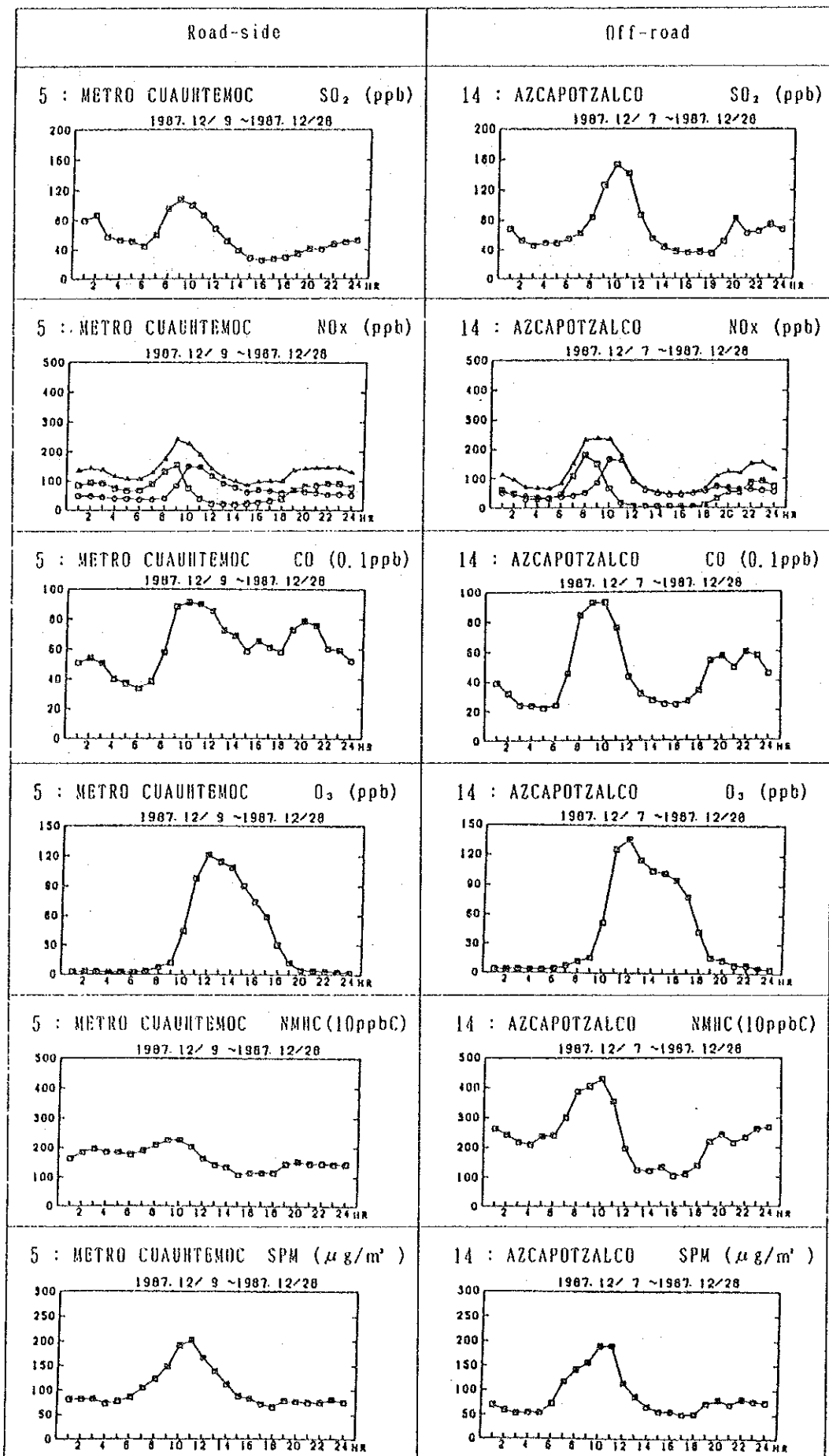


図 3. 2. 3 移動測定車による大気汚染物質の時間変動

### (3) 粒径別浮遊粒子状物質濃度及び金属濃度

粒径別浮遊粒子状物質濃度は、図3.2.4に示すとおり全期間平均で110～314  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、土壌の飛散が観察されたESTRELLA最も高く、OFICINA CENTRAL DE D. D. F及びSAN AGUSTINが同程度で、TACUBA及びPEDREGALでは低い値となっている。

粒径分布は図3.2.5に示すとおり各測定局間で大きな差はないが、OFICINA CENTRAL DE D. D. F、SAN AGUSTIN及びESTRELLAでは7  $\mu\text{m}$ 以上の粒子が他の2地点より多く、粉じん濃度に影響しているものと思われる。

金属成分は図3.2.6に示すとおり各測定局ともFe, Na, Ca, Alの含有量が多く、次いでK, Pbとなっている。このうち、Fe, Na, Ca, Al, Kは主に土壌に起因するものと思われ、Pbは微小粒子中に多く見られることから自動車ガソリン中に含まれるアンチロック剤が主因と思われる。OFICINA CENTRAL DE D. D. FではPbの含有量が他4局の約2倍と多く自動車排ガスの影響が顕著である。

### (4) 簡易測定法による窒素酸化物濃度測定結果

NOの測定値は32～217ppbで平均値は104ppb, NO<sub>2</sub>は17～94ppbで平均値は64ppb, NO<sub>x</sub>は99～303ppbで平均値は168ppbであった。

NO<sub>x</sub>の各交差点の平均値で高い値を示しているのは市の中心部よりやや西にあたるNo.1、No.3、No.7等であり、周辺部のNo.2、No.10、No.11、No.12では114～136ppbと低い値を示している。

( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

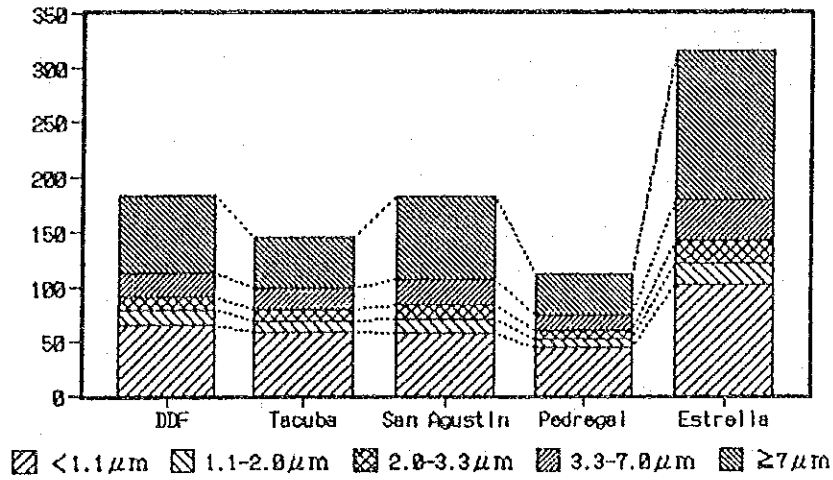


図 3.2.4 粒径別浮遊粒子状物質濃度

(%)

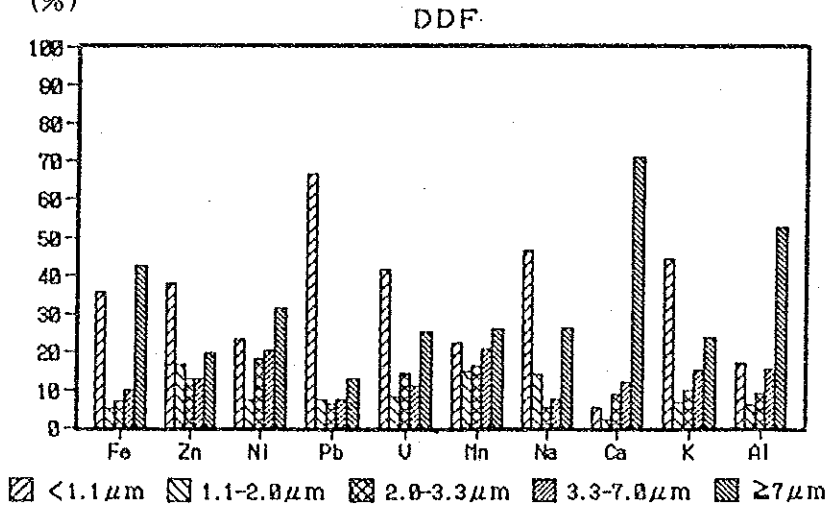


図 3.2.5 金属成分の粒径別分布 (DDF)

(%)

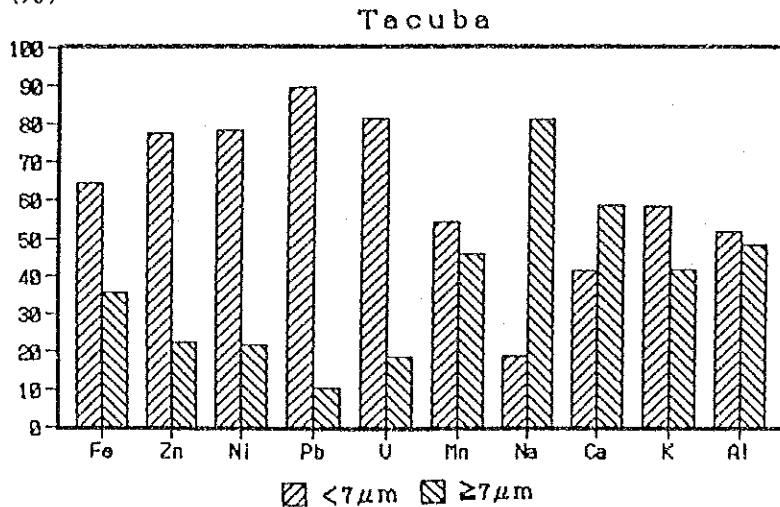


図 3.2.6 金属成分の粒径別分布 (TACUBA)

### 3.3 SEDUE 測定局の気象と大気質濃度の解析

SEDUE (SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA)では、図3.3.1に示す測定局において環境大気質と地上気象の常時測定を行っている。

ここでは、表3.3.1に示す測定局における環境大気質の1986年12月から1987年11月までの1ヵ年を対象とした解析結果を示す。

表 3.3.1 SEDUE 測定地点及び測定項目

測定局	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	O <sub>3</sub>	HC	WD	WS
Z. LAGUNILLA				○				
E. VALLEJO	○							
S. STA. URSULA	○							
B. TACUBA	○					○	○	○
G. ENEP ACATLAN	○						○	○
M. LOS LAURELES	○							
H. LA PRESA	○							
J. LA VILLA	○							
N. SAN AGUSTIN	○				○		○	○
C. AZCAPOTZALCO	○				○			
F. TLALNEPANTLA	○	○	○	○	○		○	○
L. XALOSTOC	○	○	○	○	○		○	○
X. MERCED	○	○	○	○	○	○	○	○
T. PEDREGAL	○	○	○	○	○		○	○
Q. C. DE LA EST.	○	○	○	○	○		○	○
U. PLATEROS				○	○		○	○
Y. HANGARES	○				○	○	○	○
P. UAM IZTAPALAPA				○				
K. ARAGON				○				
O. NEZAHUALCOYOTL				○				
D. I. M. P.				○				
W. BENITO JUAREZ				○				
R. TAXQUENA				○				
V. INSURGENTES				○				
A. CUITLAHUAC				○				

(注) WDは風向、WSは風速を示す。

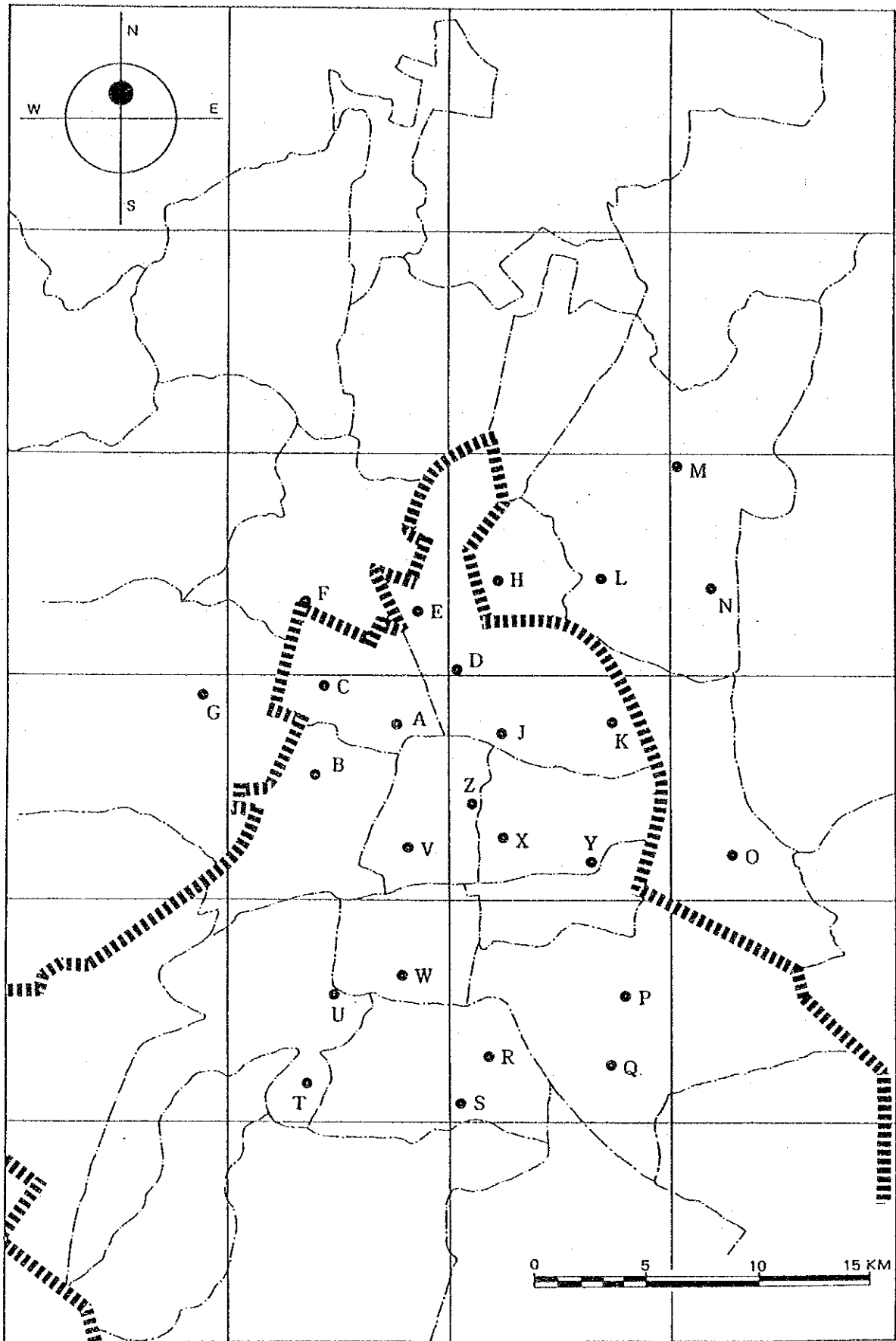


图 3.3.1 SEDUE 测定局位置图



### 3.3.1 地上気象

SEDUE では、表 3.3.1 に示した10ヵ所の大気汚染測定局において、地上の風向、風速の観測を行っている。ここでは、1986年12月から1987年11月までの1年間の測定結果について行った解析結果を示す。

なお、1987年7月は全測定局においてデータが欠落し、また、1987年4～5月の観測時間数が少ないので、解析結果の考察においては注意を要する。

#### (1) 風 向

1986年12月から1987年11月までの1ヵ年の風配図を、図 3.3.2 に示す。これによると、北西部ではNW系、北東部ではNE系、南部ではSW系の風向の出現が多い。中心部では顕著な卓越風向がみられない。

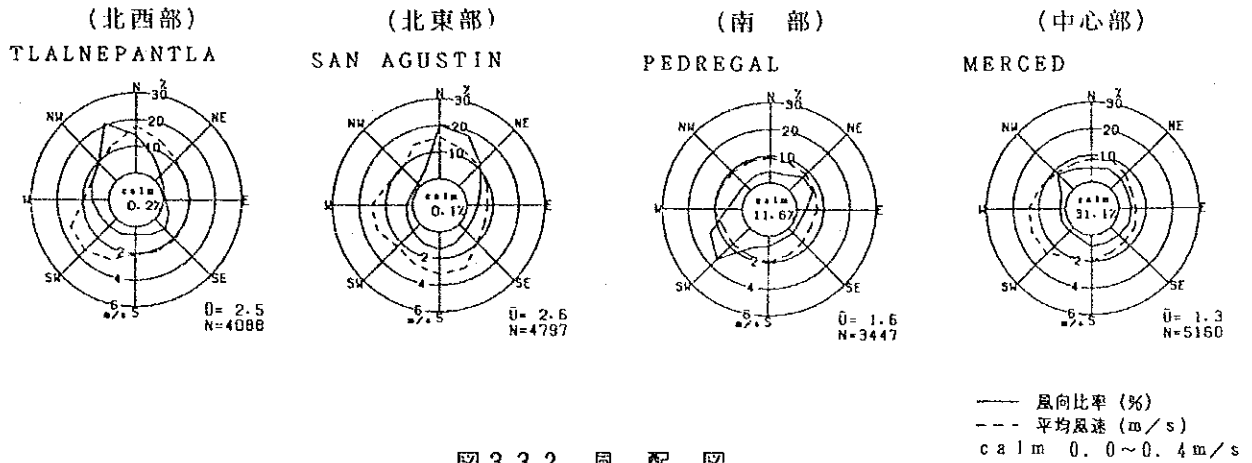


図 3.3.2 風 配 図

#### (2) 風 速

##### ① 年間平均風速

年間平均風速は表 3.3.2 のとおりである。ENEP ACATLANでは3.9m/sと強いほか、北西部、北東部の測定局では 2.0~2.6m/sとなっている。これに対し、南部では1.5 ~ 1.6m/sと比較的弱い。中心部のMERCEDではさらに弱く、1.3m/sとなっている。

表 3.3.2 風速測定結果

Stations	Wind Speed (m/s)	Frequency of Calm (%)	Samples (hours)
TACUBA	2.3	1.3	2,555
ENEP ACATLAN	3.9	0.0	4,625
SAN AGUSTIN	2.6	0.1	4,798
TLALNEPANTLA	2.5	0.2	4,088
XALOSTOC	2.0	1.4	3,591
MERCED	1.3	31.1	5,160
PEDREGAL	1.6	11.6	3,447
C. DE LA EST.	1.5	13.8	5,565
PLATEROS	1.6	10.2	5,742
HANGARES	2.3	0.0	5,021

Definition: Calm  $\leq$  0.4 m/s (wind speed)

② 時刻別平均風速

年間の時刻別平均風速を図 3.3.3 に示す。12時頃から次第に風速が強くなり、18時頃に最大となってその後弱まる傾向を示し、朝 7 時頃は最も風速が弱くなる。

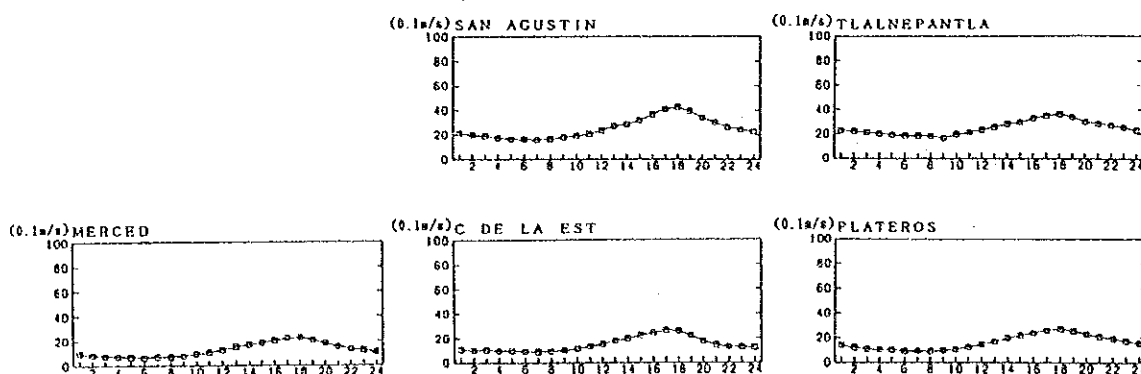


図 3.3.3 年間の時刻別平均風速

### (3) 大気安定度

大気安定度は、Pasquill F. (1961) の分類法を基に、日本で使用されている分類表によって分類した。分類に際して日射量と曇量はAEROPUERTOでの観測結果を使用した。図3.3.4に1986年12月から1987年11月までの1年間の安定度階級別出現頻度を示す。

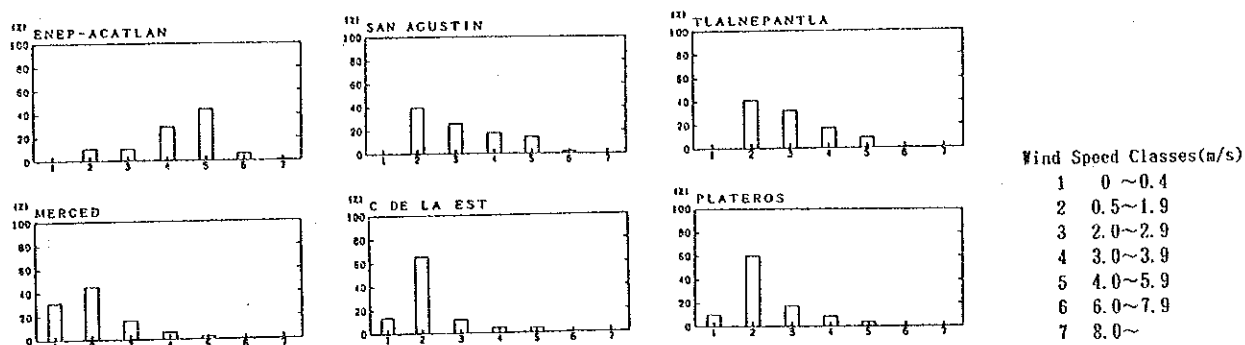


図 3.3.4 安定度階級別出現頻度

### 3.3.2 大気質濃度

#### (1) 年間値測定結果と環境基準適合状況

SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, HCの環境基準は、表3.3.3のとおりである。

表 3.3.3 大気質の環境基準

Air Pollutants	Standards (ppm)
SO <sub>2</sub> (sulfur dioxide)	daily mean 0.13
NO <sub>2</sub> (nitrogen dioxide)	hourly maximum 0.21
CO (carbon monoxide)	8-hour mean 13
O <sub>3</sub> (as photochemical oxidant)	hourly maximum 0.11
HC (hydrocarbon)	hourly maximum 0.24 <sup>1)</sup>

Note: 1) recommendable value.

Source: SEDUE, INFORME SOBRE EL ESTAD DEL MEDIO AMBIENTE EN MEXICO, 1986.

#### ① SO<sub>2</sub>

SO<sub>2</sub>の各測定局の年平均値は、表3.3.4のとおり0.026ppm(LA PRESA, STA. URSULA)~0.072 ppm(VALLEJO)でメキシコ市の北西部で高く南部で低い。

環境基準値(日平均0.13ppm)は、TACUBA, LOS LAURELES, MERCEDでそれぞ

れ1日、VALLEJO で17日超過している。日平均値の最大値は0.047ppm(SANAGUSTIN)~0.243ppm(VALLEJO) である。

表 3.3.4 SO<sub>2</sub>の通年測定結果

Measuring Point	Effective Measurement Days (day)	Measuring Period (hour)	Annual Average (ppm)	No. of Days when the Daily Average Exceeded 0.13 ppm and Percentage		The Value Excluding 2% of the Daily Average (ppm)	Max Daily Average (ppm)
				(day)	(%)		
VALLEJO	195	5,419	0.057	17	8.7	0.178	0.243
STA URSULA	220	5,839	0.026	0	0	0.051	0.072
TACUBA	200	5,395	0.056	1	0.5	0.112	0.137
ENEP-ACATLAN	180	4,916	0.072	0	0	0.103	0.117
LOS LAURELES	184	4,930	0.038	1	0.5	0.100	0.136
LA PRESA	210	5,553	0.026	0	0	0.062	0.073
LA VILLA	228	6,046	0.043	0	0	0.072	0.099
SAN AGUSTIN	57	1,645	0.026	0	0	0.043	0.047
ATZCAPOTZALCO	234	6,149	0.053	0	0	0.098	0.116
TLALNEPANTLA	171	4,516	0.049	0	0	0.098	0.108
XALOSTOC	158	4,269	0.055	0	0	0.109	0.115
MERCED	191	5,267	0.050	1	0.5	0.092	0.144
PEDREGAL	183	4,968	0.041	0	0	0.076	0.088
C DE LA EST	228	6,071	0.033	0	0	0.064	0.074
HANGARES	193	5,419	0.033	0	0	0.062	0.079

② NO<sub>2</sub>

NO<sub>2</sub> の各測定局の年平均値は表 3.3.5 のとおり0.028ppm(XALOSTOC)~0.049ppm(MERCED)で、メキシコ市中心部のMERCEDで高い。

1時間値の最大値は0.213ppm(XALOSTOC)~0.322ppm(TLALNEPANTLA)で、環境基準の0.21ppmを超過した日数はMERCEDで最も多く17日である。

表 3.3.5 NO<sub>2</sub>の通年測定結果

Measuring Point	Effective Measurement Days (day)	Measuring Period (hour)	Annual Average (ppm)	No. of Hours when the Hourly Value Exceeded 0.21 ppm and Percentage		98% Value of the Hourly Value (ppm)	Max. Hourly Value (ppm)
				(hour)	(%)		
TLALNEPANTLA	242	6,161	0.039	16	0.3	0.124	0.322
XALOSTOC	22	617	0.028	1	0.2	0.085	0.213
MERCED	224	5,903	0.049	17	0.3	0.139	0.263
PEDREGAL	218	5,712	0.037	8	0.1	0.109	0.296
C DE LA EST	113	3,031	0.039	4	0.1	0.108	0.307

③ CO

COの各測定局の年平均値は、表3.3.6のとおり1.8ppm(UAM IZTAPALAPA)～6.7ppm(INSURGENTES)で、幹線道路沿いのCUITLAHUAC, INSURGENTES, TAXQUENAで高い。

各測定局の8時間平均値(日本におけるCOの測定値の統計処理法に準じ、0～8時、8～16時、16～24時の各時間帯の平均値とし、1時間値の測定時間数が6時間に満たない時間帯を除いた。)の最大値は4.5ppm(XALOSTOC)～31.6ppm(I. M. P.)で、6局において環境基準の13ppmを超過している。幹線道路沿いのCUITLAHUAC, INSURGENTES, TAXQUENAの各測定局は環境基準を超過した回数が多く、それぞれ50回、13回、6回となっている。

表 3.3.6 COの通年測定結果

Measuring Point	Effective Measurement Days (day)	Measuring Hour (hour)	Annual Average (ppm)	Frequency that the 8-hour Value Exceeded 13 ppm and Its Percentage		98% Value of 8-hour Average (ppm)	Maximum 8-hour Average (ppm)
				(times)	(%)		
LAGUNILLA	214	5,634	3.8	1	0.5	8.6	14.9
TLALNEPANTLA	195	4,992	3.2	0	0	8.3	10.6
XALOSTOC	174	4,632	3.9	0	0	7.8	9.7
MERCED	216	5,738	3.5	0	0	8.0	11.7
PEDREGAL	199	5,298	2.6	0	0	5.4	9.8
C DE LA EST	178	4,662	3.7	0	0	7.2	8.8
PLATEROS	192	5,099	3.2	0	0	7.5	12.5
UAM-IZTAPALAPA	142	3,704	1.8	0	0	4.1	6.4
ARAGON	192	5,242	2.9	1	0.5	7.2	14.8
NEZAHUALCOYOTL	61	2,201	2.7	0	0	5.5	8.3
I M P	219	5,890	3.1	1	0.5	8.2	31.6
BENITO JUAREZ	232	6,149	3.4	0	0	8.4	12.3
TASQUENA	228	5,811	4.6	6	2.6	11.8	20.5
INSURGENTES	183	4,871	6.7	13	7.1	13.6	17.4
CUITLAHUAC	232	5,985	5.4	50	21.6	17.2	22.3

④ 光化学オキシダント (オゾン $O_3$ として)

光化学オキシダントの各測定局の昼間1時間値の最大値は表3.3.7のとおり0.154ppm(SAN AGUSTIN)～0.495ppm(PEDREGAL)で、環境基準の0.11ppmはすべての測定局で超過している。

表 3.3.7 オゾンの通年測定結果

Measuring Point	Daytime Measuring Days (day)	Daytime Measuring Hours (time)	No. of Days and Hours When the Daytime One-hour Value Exceeded 0.11 ppm		Maximum Daytime One-hour Value (ppm)	Annual Average of Daytime Maximum One- hour Values (ppm)
			(day)	(time)		
SAN AGUSTIN	184	2,448	5	6	0.154	0.053
ATZCAPOTZALCO	166	2,136	43	102	0.254	0.083
TLALNEPANTLA	210	2,898	36	107	0.492	0.082
XALOSTOC	242	3,254	14	21	0.161	0.066
MERCED	225	3,061	109	288	0.268	0.114
PEDREGAL	251	3,352	137	504	0.495	0.132
C DE LA EST	258	3,493	97	238	0.224	0.097
PLATEROS	239	3,213	156	503	0.286	0.137

⑤ HC

HCの各測定局の年平均値は表3.3.8のとおり0.23ppmC(HANGARES)～0.34ppmC(MERCED)で、メキシコ市の中心部のMERCEDで高い。1時間値の最大値は1.12ppmC(HANGARES)～4.57ppmC(TACUBA)で、環境基準の0.24ppmCはすべての測定局で超過している。

表 3.3.8 HCの通年測定結果

Measuring Point	Daytime Measuring Days (day)	Daytime Measuring Hours (time)	No. of Days and Hours When the Daytime One-hour Value Exceeded 0.24 ppmC		Maximum Daytime One-hour Value (ppmC)	Annual Average of Daytime Maximum One- hour Values (ppmC)
			(day)	(time)		
TACUBA	259	3,535	220	1,838	4.57	0.52
MERCED	176	2,308	149	1,697	1.74	0.46
HANGARES	273	3,633	199	1,213	1.02	0.32

## (2) 大気質濃度の月変動

各汚染物質大気質濃度の月平均値の変動を図3.3.5に示す。なお、各汚染物質とも1987年4月と5月の測定時間数が極端に少ないので、月平均値の変動を考察するのに注意する必要がある。

### ① SO<sub>2</sub>

各測定局(C. DE LA EST 以外の)とも10～2月の乾季に濃度が高くなる傾向がある。

### ② NO<sub>2</sub>

概ね11～4月に濃度が高く、SO<sub>2</sub>の濃度変動と類似している。

### ③ CO

概ね11～3月に濃度が高く、SO<sub>2</sub>やNO<sub>2</sub>の濃度変動と類似している。

なお、年平均値が高く、また環境基準の超過回数が多い INSURGENTESは、濃度の月変動が少ない。

### ④ O<sub>3</sub>

4～7月に高くなる傾向がみられるが、この時期には測定時間が少なく、濃度の月変動を考察することはできない。

### ⑤ HC

TACUBA, MERCEDでは12～3月に高い。HANGARESではこれとは逆の傾向がある。

## (3) 大気質濃度の時間変動

1986年12月から1987年11月までの1年間の時刻別平均濃度を図3.3.6に示す。

### ① SO<sub>2</sub>

朝の7時頃から濃度が上昇し、9～10時に濃度が最大となる変動を示す。この傾向は、比較的濃度の高い測定局においてみられる。

### ② NO<sub>2</sub>

NO<sub>2</sub>は朝に濃度が上昇し、SO<sub>2</sub>と同じ時間変動を示す。これに対してNO<sub>x</sub>は、朝と夜に濃度が上昇する。NO<sub>x</sub>の朝の濃度上昇はNO<sub>2</sub>より早い時間に生じる。これらの傾向は、濃度の比較的高い測定局においてみられる。

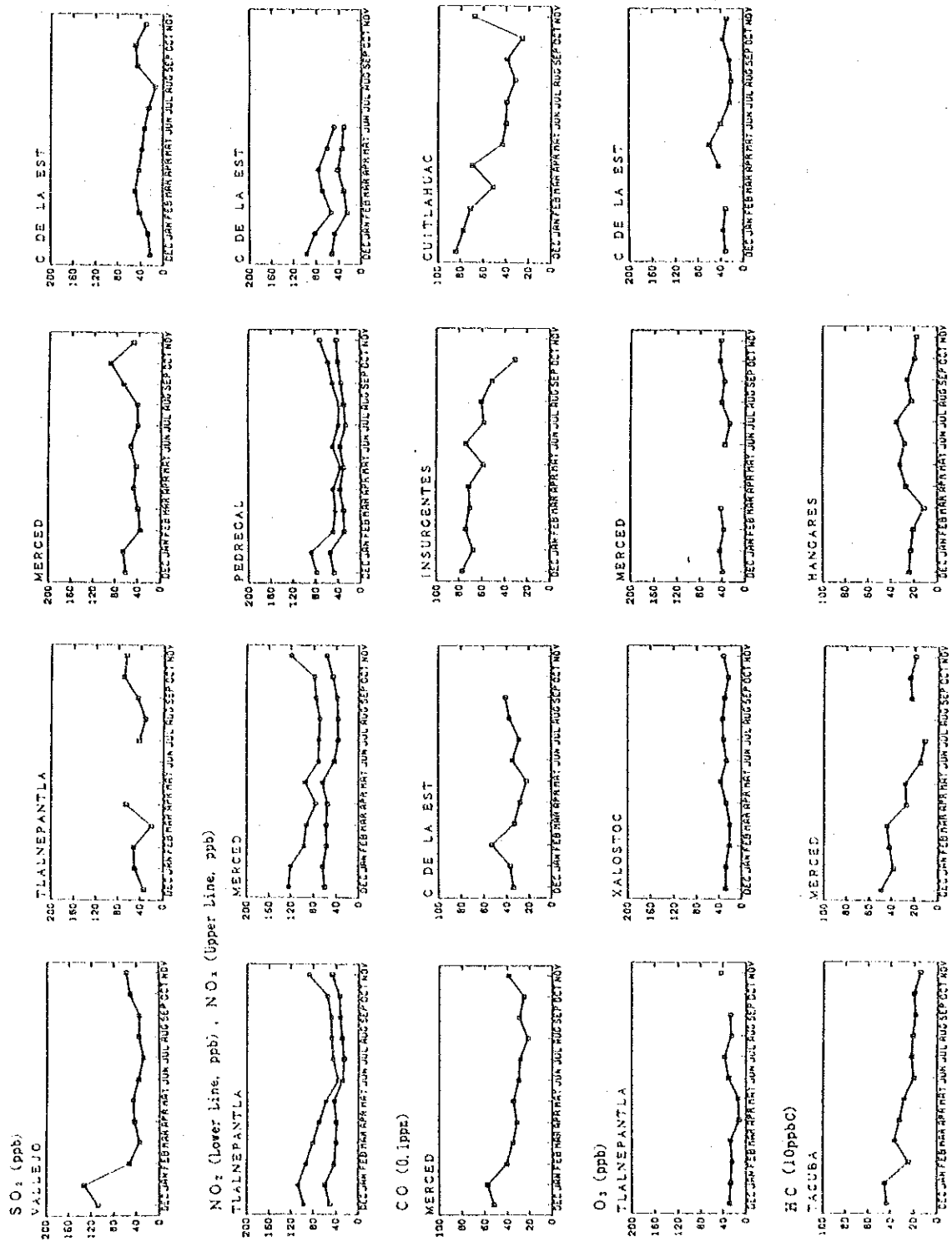


図 3.3.5 大気質濃度の月変動



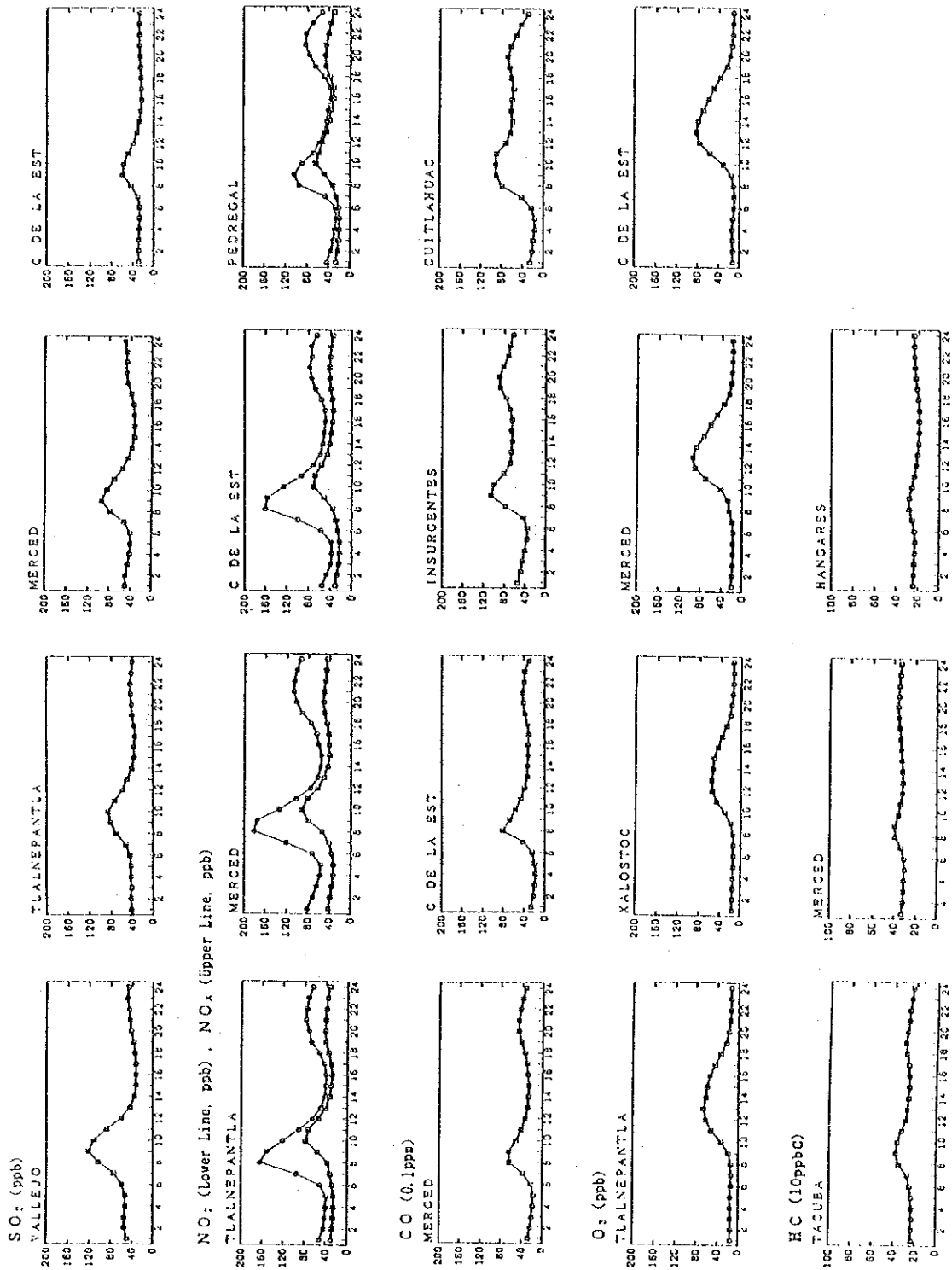


図 3.3.6 大気質の時刻別平均濃度

③ CO

NO<sub>x</sub>と同様に朝と夜に濃度が上昇する。夜の濃度上昇は比較的濃度の高い測定局、例えばCUITLAHUACにおいてみられる。

④ O<sub>3</sub>

朝9時頃から濃度が上昇し、13時頃に最大となり、その後低下する。

⑤ HC

朝7時頃から濃度が上昇し、9～10時頃に濃度が最大となり14時頃には濃度が低下する。

### 3.3.3 大気質と気象の関係

気象観測が行われている大気汚染測定局の風向別および大気安定度別の大気質濃度の状況は、図3.3.7及び図3.3.8に示す。

#### (1) 風向別平均濃度

① SO<sub>2</sub>

年平均値の比較的高い測定局では、TACUBAではNからEの風向、XALOSTOCではWからNの風向、MERCEDではNW系の風向で濃度が高く風向による濃度変動がみられる。

② NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO

NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COの風向別平均濃度はよく類似している。これは、ともに自動車排出ガスの影響が大きいことによるものと考えられる。

③ O<sub>3</sub>

概ねNE系の風向で濃度が高く、SW系の風向で濃度が低い。但し、北東部の測定局ではこれと異なり、例えばXALOSTOCではNW系の風向で高く、SE系の風向では低い。

④ HC

風向による濃度変動は少ない。TACUBAではE系の風向でやや濃度が高いが、風向の観測が12～4月だけであり、参考の範囲に留まる。

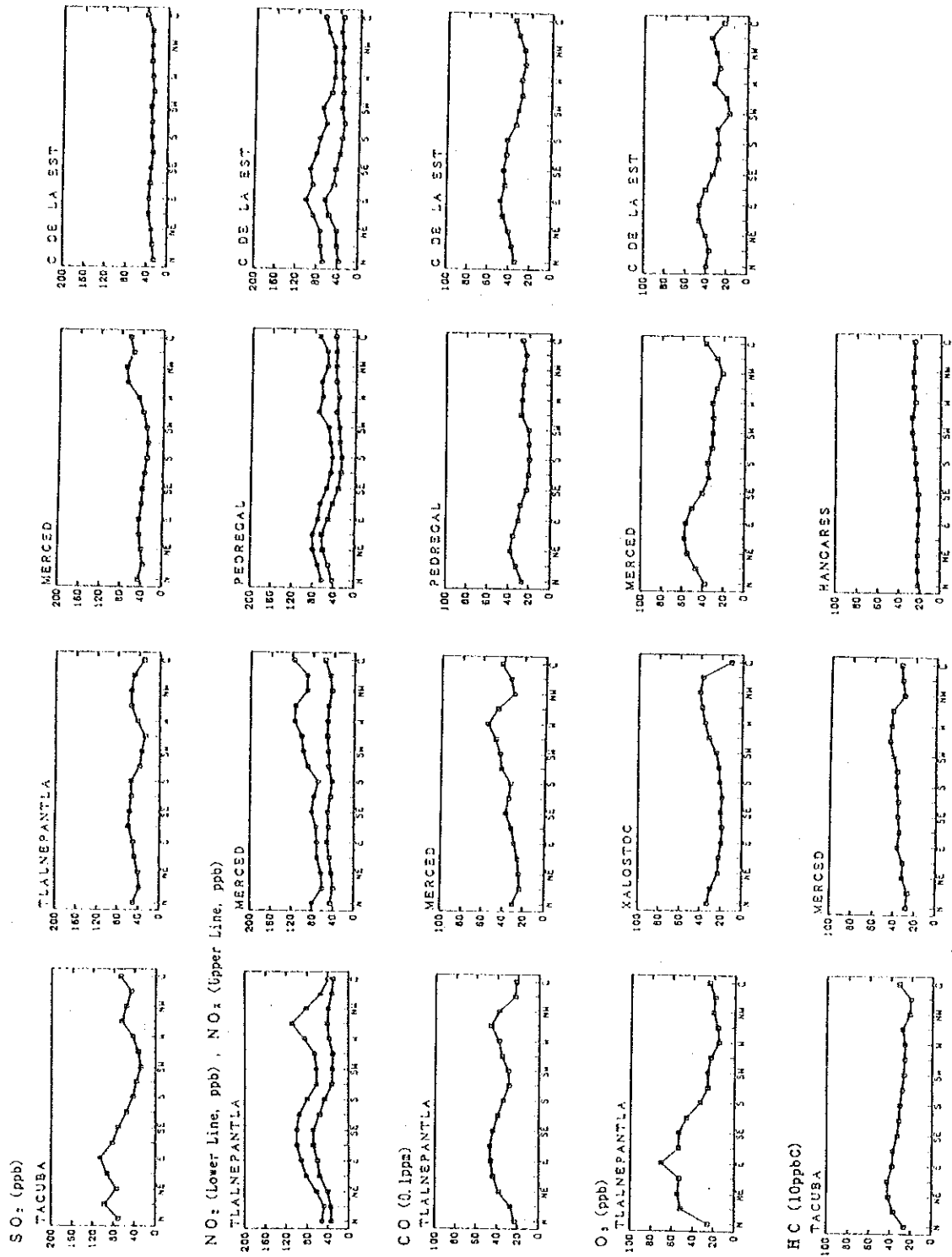


图 3.3.7 風向別平均濃度

(2) 大気安定度別平均濃度

① SO<sub>2</sub>

強不安定・並不安定 (A~B-C) と中立時 (D) に比較的濃度が高い。

② NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>

SO<sub>2</sub>と同じ傾向があり、NO<sub>x</sub>強不安定時 (G) にも高い。

③ CO

NO<sub>x</sub>と同じ傾向にある。

④ O<sub>3</sub>

大気が不安定になるほど濃度が高く、中立、安定になるに従って濃度は低い。

⑤ HC

大気安定度による濃度変動は少ない。

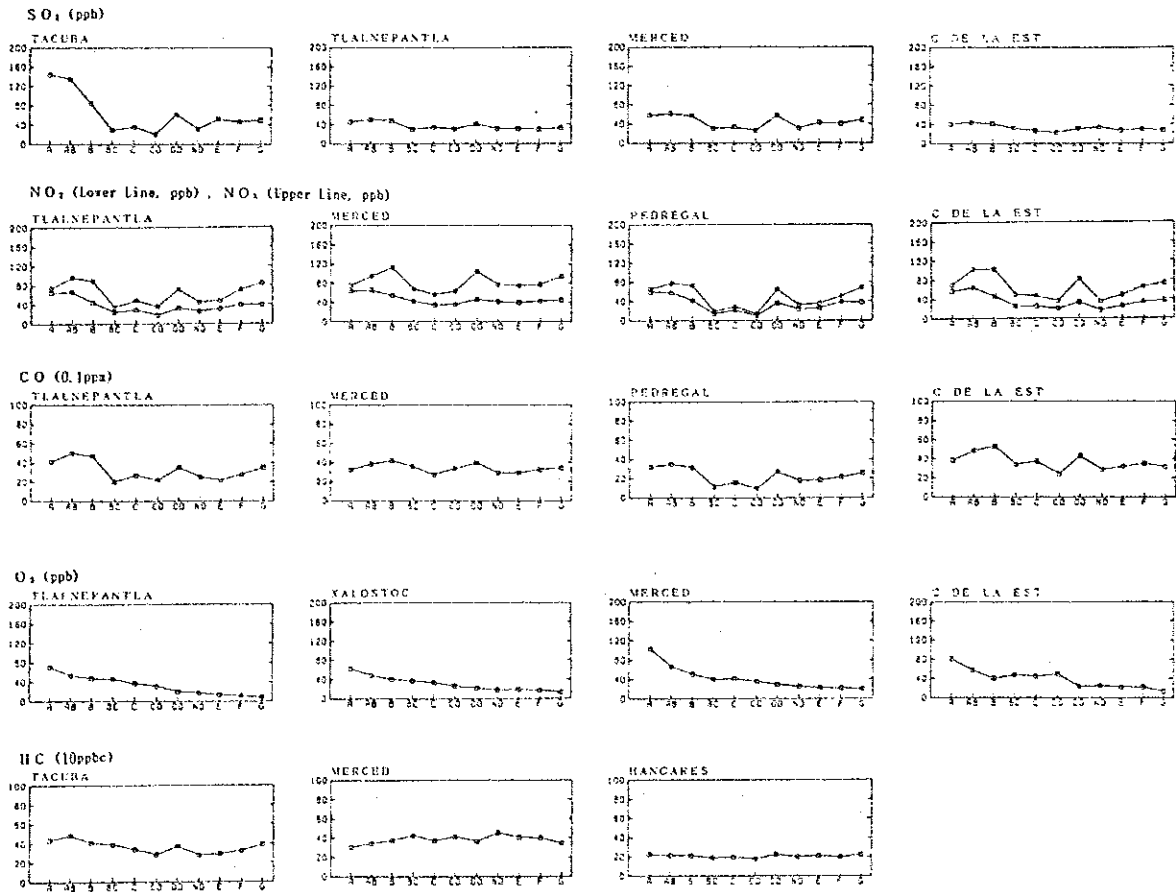


図 3.3.8 大気安定度別平均濃度

### 3.4 大気汚染物質の発生源

#### 3.4.1 移動発生源調査

##### (1) 自動車

##### ① 自動車交通量

本調査の調査対象地域における主要道路網は、図3.4.1に示すとおりである。メキシコ市の区域における幹線道路は、以下のとおり大別される。

- ・外環状 (ANILLO PERIFERICO)、内環状 (CIRCUITO INTERIOR)、ミゲルアレマン通り (VIADUCTO M. ALEMAN)、トラルパン通り (VIADUCTO TLALPAN) などのアクセス制約道路 (VIA DE ACCESO CONTROLADA)
- ・東西方向及び南北方向に直線的にのびる重要道路 (EJE VIALES)
- ・レフォルマ通り (PASEO DE LA REFORMA)、インスルヘンテス通り (INSURGENTES)、サラゴサ通り (CALZ. I. ZARAGOZA) などの主要幹線

また、メキシコ州の区域における幹線道路としては、外環状から続く国道57号、INSURGENTES から続く国道85号、これらを結ぶ国道136号などがある。

本調査では、これらの幹線道路の交通量について、DDF が1986年に実施した交通量調査 (36路線 311地点) と、メキシコ州政府より入手した1985年の交通量調査 (28地点) の結果に基づいて把握した。また、これらの調査を補完する目的で、主な幹線道路の21地点において1987年7月に交通量調査を実施した。

幹線道路以外の細街路の交通量については、1985年から1986年にかけて撮影された既往の航空写真から細街路における走行車両台数を読みとることにより存在台数を把握した。また、幹線道路で1987年7月に実施した交通量調査と同時に、細街路の9地点においても同様の交通量調査を実施した。

##### a. 幹線道路

##### (a) 日交通量

DDF 交通量調査 (1986) によれば、メキシコ市の幹線道路の自動車交通量はアクセス制約道路 (VIA DE ACCESO CONTROLADA) が最も多く、日交通量は 100,000台/日を超えるところが多い。これに対し、直線の重要道路 (EJE VIALES) の交通量は日交通量が 100,000台/日を超える地



点はみられず 100,000台/日以下の範囲にある。また、その他の主要幹線については、インスルヘンテス通り (INSURGETES) が35,000~120,000台/日、レフォルマ通り (PASEO DE LA REFORMA) が20,000~90,000台/日となっており、サラゴサ通り (CALZ I, ZARAGOZA)では 160,000台/日を超える地点もみられる。

メキシコ州の地域については、全般にメキシコ市内の幹線道路の交通量に比べて少ないが、地点により北部工業地帯を走るVIA GUSTAVO BAZや、国道85号の一部区間では、100,000台/日を超えるような地点もみられる。

#### (b) 時間変動

DDF 交通量調査 (1986) の報告書によれば、メキシコ市における自動車交通量の時間変動 (平日) の特性としては、交通量の集中は朝の7~9時の時間帯に著しく、市街地の周辺では比較的早い時間に交通量が集中し、都心部では12~13時がピークとなることが指摘されている。また、夕方の帰宅時間の時間帯にもピークがみられる。

#### (c) 車種構成

JICA交通量調査 (1987) の結果により昼間12時間の幹線道路の交通量の車種構成の変化をみると、ほとんどの地点において乗用車の占める割合が80%を越えており、バス、トラック及びコンビが20%以下となっている。

ただし、サラゴサ通り (CALZ I, ZARAGOZA) については休日及び平日ともに乗用車の構成比が60%を下回りコンビ及びバスの占める割合が30%を越える状況となっており、他の幹線街路と著しい相異を示している。

### b. 細街路

本調査で実施した航空写真による走行自動車存在台数の読み取り結果の概要は、表3.4.1に示すとおりである。

1 km × 1 kmメッシュ別の走行自動車存在台数をデリガンオン別にみると、調査対象とした120メッシュの平均は300台/メッシュである。車種構成

をみると、乗用車が約80%で、バス、コンビ及びトラックが合計で約20%と幹線街路の車種構成比と同様の傾向を示している。

デリガシオン別にみると、メキシコ市の中心であるCUAUHTEMOCが629台/メッシュと最も多く、その南側のBENITO JUARES及びCOYOACANが300台/メッシュ以上でこれに続いている。

車種別にみると、各デリガシオンとも乗用車の占める割合が最も高いが、新興住宅地の多いIZTACALCO、IZTAPACAPA、TLAHUAC及びメキシコ州の区域ではバス及びコンビの占める割合が高い。

表 3.4.1 細街路の自動車台数計測結果

DELEGACIONES	Average Vehicle Density (vehicles/km <sup>2</sup> ) (%)				
	Passenger Cars	Buses	Trucks	Combis	Total
ALVARO OBREGON	164 (82.0)	6 (3.0)	16 (8.0)	14 (7.0)	200 (100.0)
AZCAPOTZALCO	126 (74.6)	9 (5.3)	25 (14.8)	9 (5.3)	169 (100.0)
BENITO JUAREZ	322 (83.6)	5 (1.3)	30 (7.8)	28 (7.3)	385 (100.0)
COYOACAN	307 (83.9)	4 (1.1)	29 (7.9)	26 (7.1)	366 (100.0)
CUAUHTEMOC	509 (80.9)	10 (1.7)	60 (9.5)	50 (7.9)	629 (100.0)
GUSTAVO A. MADERO	109 (79.6)	8 (5.8)	11 (8.0)	9 (6.6)	137 (100.0)
IZTACALCO	62 (71.3)	3 (3.4)	12 (13.8)	10 (11.5)	87 (100.0)
IZTAPALAPA	112 (71.3)	5 (3.2)	26 (16.6)	14 (8.9)	157 (100.0)
MAGDALENA CONTRERAS	154 (80.2)	4 (2.1)	27 (14.1)	7 (3.6)	92 (100.0)
MIGUEL HIDALGO	202 (83.5)	7 (2.9)	18 (7.4)	15 (6.2)	242 (100.0)
TLAHUAC	28 (48.3)	4 (6.9)	13 (22.4)	13 (22.4)	58 (100.0)
TLALPAN	106 (79.7)	4 (3.0)	12 (9.0)	11 (8.3)	133 (100.0)
VENUSTIANO CARRANZA	149 (75.3)	14 (7.1)	20 (10.1)	15 (7.6)	198 (100.0)
XOCHIMILCO	118 (83.1)	4 (2.8)	14 (9.9)	6 (4.2)	142 (100.0)
ESTADO DE MEXICO	114 (65.5)	10 (5.7)	31 (17.9)	19 (10.9)	174 (100.0)
Promedio	241 (80.3)	23 (7.7)	7 (2.3)	29 (9.7)	300 (100.0)



## ② 自動車走行速度

### a. 幹線道路

1987年7月に本調査団が実施した走行速度調査の結果と既存資料に基づき、幹線道路の自動車走行速度は、20km/時程度（20kmまたはそれ以下）、25km/時程度、30km/時程度、45km/時程度、60km/時程度の5種に分類した。

### b. 細街路

細街路の走行速度は、1987年8月～11月にDDFが実施した細街路における走行速度調査の結果をもとに設定した。

## ③ 自動車排出係数

自動車排出係数の設定にあたっては、シャーシー・ダイナモ試験を実施するとともに、メキシコ市における自動車の登録状況、排ガス規制の状況並びにアメリカ合衆国および日本国の既存の排出係数データ等を調査した。

### a. シャーシー・ダイナモ試験

メキシコ市内を走行している自動車の排出ガス特性を把握するために、シャーシー・ダイナモ試験を行った。試験車両28台について、排ガス中の炭化水素、一酸化炭素、窒素酸化物及び燃費を測定した。試験モードはLA-4モード（Mode）のホットスタート（Hot Start）、10モード及び高速モード（60km/時定速モード）の3種類とした。

試験車両の28台の選定については、自動車登録台数データをもとに車種、気筒数、車令を考慮した。また、そのうちの2台についてはアイドリング調整をする前と後で2回試験を行った。

シャーシー・ダイナモ試験の結果は、表3.4.2に示すとおりである。

車種別にみた場合、現在規制が緩いピックアップ型はCO、HCの排出量が多い。また、乗用車において車両についてみると、やはり古い自動車の方が汚染物質を排出する傾向がみられた。

次に本調査結果と日本の実験結果を比較すると、車種によってバラツキはあるものの、CO、HCについてはメキシコの自動車は日本の自動車の10～20倍以上の排出量を示しており、昭和48年以前の未規制車並みである。一

方NOx は日本と同程度の排出量であり、このことから、メキシコの自動車の排出ガスの特徴はメキシコ市が高地にあり、さらに整備不良による不完全燃焼によるものと考えられる。

b. 車種別排出係数の設定

(a) 車種分類

車種分類は乗用車、貨物車、大型バス、小型乗合バス (COMBI)とした。乗用車については排ガス規制を考慮して気筒数と年式によって区分し、区分毎の排出係数を求め、各区分のウェイトづけをして排出係数を算出した。ただし、硫黄酸化物の排出係数は、燃費と燃料中のS分に基づき求めた。なお車種別の使用燃料は、バスはディーゼル、その他の車種はガソリンとし、メキシコの燃料規格よりガソリンは比重0.75、S分0.13%、ディーゼルは比重0.85、S分0.53%とした。

(b) 排出モード区分

排出モード区分は低速モード、高速モードの2区分とし、車速は定速は30km/時、高速は60km/時とした。排出係数は低速はLA-4モードの排出係数、高速は60km/時の排出係数とした。

(c) 道路と排出モード

幹線道路及び細街路の排出モードは、平日及び休日別に高速と低速の2区分に設定した。

(d) 排出係数

以上のような設定条件から算出した車種別、排出モード別の排出係数は表3.4.3のとおりである。

表 3.4.2 シャーシー・ダイナモ試験結果

TESTED VEHICLE	TEST No.	EXHAUST EMISSIONS [gr/km]			FUEL ECONOMY km/ℓ
		HC	CO	NOx	
DATSUN '81	OH	2.36	30.14	0.76	10.72
	TM	2.64	31.58	0.61	10.84
	CS	0.82	11.58	0.54	19.15
VW-SED. '76	OH	3.05	24.08	1.09	11.78
	TM	3.23	30.70	0.88	10.54
	CS	0.66	11.84	0.77	21.01
GREMLIN '82	OH	1.64	16.42	1.20	7.86
	TM	2.69	22.63	1.18	6.69
	CS	0.37	2.47	0.83	12.00
TSURU '86	OH	1.38	21.39	1.20	14.71
	TM	1.46	19.50	1.13	12.73
	CS	0.63	12.74	0.74	21.20
PICK-UP DODGE '79	OH	3.04	29.01	0.73	7.61
	TM	3.23	36.14	1.69	6.28
	CS	0.85	8.21	0.76	12.28
AMERICAN '81	OH	2.25	24.91	0.22	6.35
	TM	2.56	52.73	0.36	5.77
	CS	1.52	48.73	0.21	9.88
* ☆	OH	1.50	21.65	1.15	13.42
	TM	1.76	32.64	1.03	11.95
	CS	0.55	8.29	1.09	21.76
CORDOBA '81	OH	2.44	80.05	0.94	4.69
	TM	3.52	132.55	0.46	3.94
	CS	1.53	53.19	0.24	8.81
PICK-UP DODGE '84	OH	3.37	76.84	0.50	7.07
	TM	2.86	79.63	0.49	5.86
	CS	1.04	48.97	0.36	10.51
GREMLIN '77	OH	4.32	93.75	0.64	7.16
	TM	5.38	118.98	0.38	5.80
	CS	1.94	62.23	0.12	11.98

TESTED VEHICLE	TEST No.	EXHAUST EMISSIONS [gr/km]			FUEL ECONOMY km/ℓ
		HC	CO	NOx	
DATSUN '76	OH	2.61	38.25	0.65	10.74
	TM	2.70	47.03	0.34	10.09
	CS	0.90	22.14	0.27	18.54
TSURU '86	OH	1.37	18.73	1.24	13.88
	TM	1.38	22.51	1.13	13.17
	CS	0.57	9.16	1.07	22.25
VW-CARIBE '85	OH	1.62	19.93	0.98	13.34
	TM	1.85	29.92	0.73	12.02
	CS	0.65	5.86	1.17	24.28
MAGNUM '82	OH	2.10	36.75	1.36	5.56
	TM	3.48	94.99	0.98	4.36
	CS	1.13	20.53	0.87	9.77
VW-COMBI '75	OH	6.48	63.24	1.82	7.08
	TM	9.08	34.51	2.33	7.89
	CS	0.96	20.16	1.09	15.27
FORD TOPAZ '84	OH	1.98	29.42	1.59	10.89
	TM	2.20	33.98	0.80	9.41
	CS	1.17	22.83	0.84	16.41
FORD FAIRMONT '78	OH	3.33	10.45	1.82	8.25
	TM	4.87	11.81	1.46	6.62
	CS	3.19	1.50	1.20	13.51
DATSUN '70	OH	2.09	16.61	1.29	12.80
	TM	2.36	12.02	1.40	13.06
	CS	0.88	8.47	1.06	20.45
FORD THUNDERBIRD '85	OH	4.77	91.94	0.42	6.56
	TM	5.42	78.01	0.75	6.34
	CS	1.45	49.46	0.19	12.41
VW-SED. '83	OH	3.69	21.91	1.14	10.62
	TM	5.06	27.05	1.48	9.58
	CS	0.63	5.40	1.63	18.31

TESTED VEHICLE	TEST No.	EXHAUST EMISSIONS [gr/km]			FUEL ECONOMY km/ℓ
		HC	CO	NOx	
DATSUN '81	OH	1.73	16.83	1.05	11.46
	TM	1.97	18.14	0.88	11.49
	CS	0.54	6.26	0.58	20.14
VW-SED. '87	OH	1.75	16.67	1.35	11.58
	TM	1.88	19.11	0.32	11.55
	CS	0.56	4.18	0.86	22.39
VW-SED. '75	OH	4.47	25.67	1.00	10.41
	TM	6.88	32.34	0.68	9.81
	CS	0.59	5.90	0.59	21.23
CITATION '82	OH	2.04	33.27	0.63	9.18
	TM	2.02	26.82	0.97	8.16
	CS	1.12	21.96	0.45	15.55
PICK-UP DODGE '85	OH	4.71	97.72	0.16	5.36
	TM	6.39	128.80	0.48	4.00
	CS	1.45	48.56	0.45	9.57
CHEVYNOVA '77	OH	2.54	25.62	1.15	7.85
	TM	3.01	40.46	1.45	6.36
	CS	1.37	22.53	0.68	12.56
VW-SED. '78	OH	2.95	33.60	1.21	11.07
	TM	3.49	32.21	1.24	11.13
	CS	0.65	15.67	0.69	20.85
VW-CARIBE '81	OH	1.33	24.75	0.58	10.82
	TM	2.10	41.79	0.55	10.45
	CS	0.72	16.16	1.07	19.83
PICK-UP DODGE '84	OH	12.12	62.49	0.85	6.75
	TM	22.42	57.37	0.97	5.58
	CS	5.93	33.48	0.71	11.51
VW-COMBI '85	OH	2.54	31.11	1.94	7.97
	TM	2.97	20.71	2.73	8.73
	CS	0.68	4.89	2.12	16.55

SYMBOL : OH = LA, 4 HOT. TM = 10 MODE. CS = CONSTANT SPEED \* SAME CAR. ☆ 2<sup>nd</sup> TEST AFTER ENG. TUNE-UP.

表 3.4.3 車種別排出係数

Type of Automobile	Item	Driving Mode		Fuel
		Low-speed	High-speed	
Passenger Car	HC (g/km)	2.63	1.11	Gasoline
	CO (g/km)	33.66	18.75	
	NOx (g/km)	1.05	0.75	
	SO <sub>2</sub> (g/km)	0.21	0.11	
	Fuel Economy (km/l)	9.23	17.27	
Truck	HC (g/km)	7.61	3.41	Gasoline
	CO (g/km)	84.19	40.15	
	NOx (g/km)	1.48	5.87	
	SO <sub>2</sub> (g/km)	0.37	0.22	
	Fuel Economy (km/l)	5.32	8.71	
Bus	HC (g/km)	5.50	4.76	Diesel
	CO (g/km)	7.66	6.77	
	NOx (g/km)	12.37	11.61	
	SO <sub>2</sub> (g/km)	15.27	11.55	
	Fuel Economy (km/l)	0.59	0.78	
Combi	HC (g/km)	5.81	0.82	Gasoline
	CO (g/km)	47.18	12.53	
	NOx (g/km)	1.88	1.61	
	SO <sub>2</sub> (g/km)	0.26	0.12	
	Fuel Economy (km/l)	7.53	15.91	

④ 自動車からの大気汚染物質排出量

①で得られた交通量と④で得られた排出係数を用いて、自動車の総走行距離 (Volume of Driving)及び大気汚染物質排出量を計算した。

a. 車種別総走行距離

車種別総走行距離は、表3.4.4のとおりである。なお、この表で線源は幹線、面源は細街路に対応する。

この表からわかるように、車種別の総走行距離は乗用車 (Passenger Car) が77.8%を占め、以下トラック (Truck)、コンビ (Combi)、バスの順となっている。

表 3.4.4 自動車の総走行距離

(単位: 10<sup>3</sup> 台・km/日)

Automobile Type	Source		Total
	Line	Area	
Passenger Car	32507	28460	60967 (77.8)
Bus	981	1253	2234 (2.9)
Truck	4698	4417	9115 (11.6)
Combi	2696	3311	6007 (7.7)
Total	40882	37441	78323 (100.0)

(注) ( ) :比率

b. 車種別総燃料使用量

1日当たりの車種別の燃料使用量を求めると、表3.4.5のようになる。

表 3.4.5 車種別燃料使用量（1日あたり）  
（単位：kl/日）

Classification	Source		Total	Fuel
	Line	Area		
Passenger Car	2896	3083	5979	Gasoline
Bus	1566	2124	3690	Diesel
Truck	757	830	1587	Gasoline
Combi	304	440	744	Gasoline

c. 車種別汚染物質総排出量

車種別の汚染物質の総排出量は、年間排出量が表3.4.6及び図3.4.2に示すとおりになる。

また車種別の大気汚染物質排出量比率は表3.4.7のとおりであり、COでは乗用車が65%、トラックが25%、SO<sub>2</sub>ではバスが67%、乗用車が24%、NO<sub>x</sub>では乗用車が54%、バスが24%、HCでは乗用車が59%、トラックが24%をそれぞれ占めている。

表 3.4.7 車種別大気汚染物質総排出量比率  
（単位：%）

Classification	Passenger Car	Bus	Truck	Combi	Total
CO	65.4	0.6	25.0	9.0	100
SO <sub>2</sub>	23.8	67.4	6.1	2.7	100
NO <sub>x</sub>	53.5	24.2	12.4	9.9	100
HC	58.5	4.9	23.8	12.8	100

表 3.4.6 車種別大氣汚染物質總排放量 (年間)

(單位: 1000 ton/年)

Classification	Line				Area				Total			
	CO	SO <sub>2</sub>	NOx	HC	CO	SO <sub>2</sub>	NOx	HC	CO	SO <sub>2</sub>	NOx	HC
Passenger Car	336.9	2.1	11.2	24.8	349.8	2.2	10.9	27.3	686.7	4.3	22.1	52.1
Bus	2.6	5.2	4.3	1.9	3.5	7.0	5.7	2.5	6.1	12.2	10.0	4.4
Truck	123.8	0.5	2.7	9.8	139.2	0.6	2.4	11.4	263.0	1.1	5.1	21.2
Combi	37.3	0.2	1.8	4.4	57.0	0.3	2.3	7.0	94.3	0.5	4.1	11.4
Total	500.6	8.0	20.0	40.9	549.5	10.1	21.3	48.2	1050.1	18.1	41.3	89.1

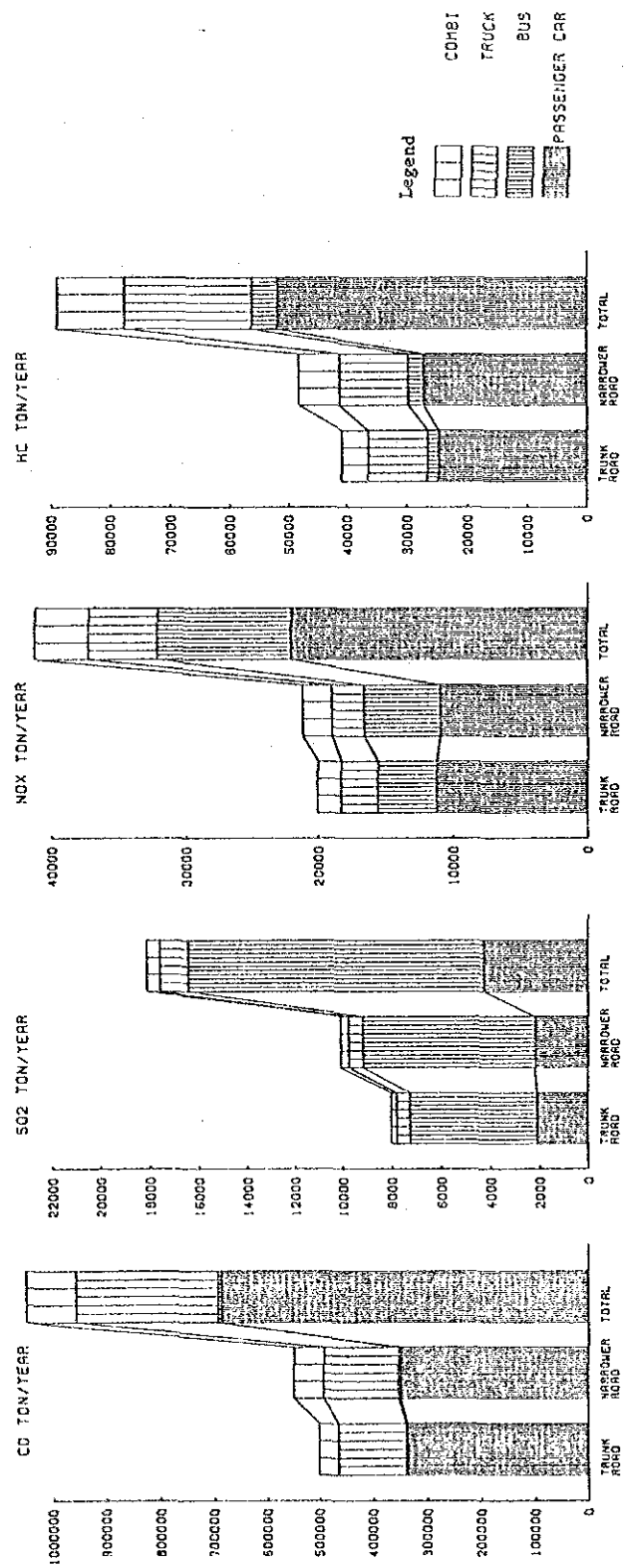


圖 3.4.2 車種別大氣汚染物質總排放量 (年間)

(2) 航空機

メキシコ国際空港の1986年の年間離着陸機数は、ジェット機155,534機、軽飛行機21,414機である。

航空機の発生源は、離着陸機数が多く、汚染物質の排出係数の大きいジェット機を対象とした。航空機発生源の大気汚染物質の対象は $SO_x$ と $NO_x$ とし、機種別、モード別の $NO_x$ の排出係数および燃料消費量は、既存の資料より求めた。

これらの条件に基づいて算出した航空機からの大気汚染物質排出量は、 $SO_x$ が2トン/年、 $NO_x$ が189トン/年である。

### 3.4.2 固定発生源調査

#### (1) 工場排ガスの測定

工場排ガスの測定対象施設は、工場アンケート調査の対象とした工場の中から20施設を選定した。測定は1987年9月～10月に実施した。

測定対象施設は、焼成炉1、溶融炉4、乾燥炉9、金属溶解炉5、ボイラー1の20施設である。溶融炉は、板ガラス製造用が1施設のほかに、3施設ともガラスびん製造用である。乾燥炉は1施設が骨材乾燥用であり、残り8施設の乾燥炉のうち、Tunnel typeが3施設、Spray typeが5施設である。金属溶解炉は、1施設が製鋼用電気炉、4施設が铸造用キューボラである。集じん装置は13施設に設置されている。

排出ばい塵濃度は  $0.003 \sim 1.48 \text{g/Nm}^3$  (平均  $0.37 \text{g/Nm}^3$ )、ばい塵排出量は  $0.0215 \sim 36.9 \text{kg/時}$  (平均  $7.22 \text{kg/時}$ ) で、施設により差が大きい。

$\text{NO}_x$  濃度は  $0 \sim 1,858 \text{ppm}$  (平均  $236 \text{ppm}$ ) で、特にガラス溶融炉が高い。また、 $\text{NO}_x$  排出濃度  $0 \sim 65.7 \text{kg/時}$  (平均  $13.1 \text{kg/時}$ ) である。

使用燃料中のS分含有量と燃料使用量から求められる  $\text{SO}_2$  濃度は平均  $524 \text{ppm}$  で、乾燥炉は平均  $126 \text{ppm}$  と低濃度であるが、その他の施設の平均値は  $850 \text{ppm}$  であった。

#### (2) 工場燃料の分析

工場燃料の成分分析は、工場排ガス測定を行った工場のうち重油及び軽油を使用している6工場についてS分を測定した。分析結果は、表3.4.8のとおりである。

表 3.4.8 工場燃料分析結果

Factory	Sulfer Content (%)	Kind of Fuel
Planta De Asfalt	0.97	diesel
General Motors	1.08	diesel
Conasupo	2.99	heavy oil
Procter & Gamble	3.17	heavy oil
Cementos Anahuac	3.42	heavy oil
Vidriera Oriental	2.87	heavy oil



(3) 排出量調査

① 調査方法

メキシコ市における固定発生源の現状（1986年）の汚染物質排出量の把握は、表3.4.9に示すとおり書面及び聞き取りによるアンケート調査あるいはDDFからの資料入手によって行った。

表 3.4.9 調査対象発生源

種類	調査対象	調査方法	対象地域
工場	460工場	書面及び聞き取りによる	16DELEGACION 及びメキシコ州
小規模事業所	4,739 事業場	DDF からの資料入手	16DELEGACION

② 工場アンケート調査

a. 調査の概要

工場アンケート調査を行った業種別地区別の工場数は、アンケートの対象とした工場数は460、そのうち大気汚染物質を排出する工場数は361である。

b. 燃料使用量

工場による燃料使用量は重油が 1,130.5kl/年、天然ガスが 1,904.6×10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/年である。

c. 排出係数

排出係数は「Compilation of Air Pollutant Emission Factors」(Second Edition: U. S. Environmental Protection Agency) に示されたものを用いた。大気汚染物質排出量はこの排出係数と燃料使用量から、メキシコ側が算出した。

d. 大気汚染物質排出量

工場からの業種別大気汚染物質排出量は表3.4.10に示すとおりであり、全業種からの排出量はSO<sub>x</sub> 79,910.2t/年、NO<sub>x</sub> 23,062t/年、ばいじん 3,026.9t/年である。

③ 小規模事業所

DDF から入手した資料による小規模事業所の事業場数は 4,739で、地区別

表 3.4.1 0 業種別大気汚染物質排出量 (工場)

TYPE OF INDUSTRY	SOx	NOx	Smoke	SOx	NOx	Smoke
	(Nm <sup>3</sup> /h)	(Nm <sup>3</sup> /h)	and Soot (kg/h)	(ton/y)	(ton/y)	and Soot (ton/y)
Electric	2186.2	801.9	100.9	54717.4	14426.3	883.7
Gas	0.0	0.8	0.0	0.1	14.8	0.4
Food	89.7	8.5	6.5	2245.1	153.6	56.9
Spinning	53.5	20.9	7.9	1340.2	376.2	69.2
Paper	148.4	30.6	23.8	3714.8	551.3	208.5
Chemical	114.7	46.8	72.0	2870.2	841.5	630.8
Petroleum	67.7	197.8	18.5	1695.5	3558.0	162.4
Rubber	29.4	21.4	10.3	736.2	385.6	89.9
Leather	2.3	0.1	0.3	57.4	1.4	2.5
Ceramics	453.7	77.8	57.5	11355.7	1400.0	504.0
Steel	6.7	12.1	4.7	166.7	218.5	41.4
Non-iron metals	21.8	26.8	17.5	544.5	481.8	152.9
Metal processing	5.2	2.0	2.3	131.1	35.4	20.3
Machineries	1.4	0.5	1.1	35.0	9.1	9.8
Electric equipment	0.2	0.5	0.1	5.7	8.6	1.0
Precise equipment	0.1	0.0	0.0	1.8	0.8	0.3
Arms	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Others	11.7	33.3	22.0	293.1	599.6	192.8
TOTAL	3192.8	1282.0	345.5	79910.2	23062.6	3026.9

の使用量は、CUAHUTEMOCで最も多い。

燃料使用量は「Compilation of Air Pollutant Emission Factors」  
(Second Edition : U. S. Environmental Protection Agency) から引用し  
た排出係数を用いて、大気汚染物質排出量を算出した。

小規模事業場からの大気汚染物質排出量は、表3.4.11に示すとおりである。

表 3.4.11 大気汚染物質排出量 (小規模事業場)

DELEGACIONES / Item	SOx (Nm <sup>3</sup> /h)	NOx (Nm <sup>3</sup> /h)	Smoke and Soot (kg/h)
AZCAPOTZALCO	7.214	1.798	1.409
GUSTAVO A. MADERO	11.529	4.529	3.549
V. CARRANZA	15.893	4.102	3.215
COYOACAN	9.682	3.038	2.381
IZTAPALAPA	3.642	3.528	2.762
IZTACALCO	6.831	1.284	1.004
TLALPAN	2.613	0.844	0.661
A. OBREGON	8.776	1.863	1.460
M. HIDALGO	34.956	8.446	6.622
CUAHUTEMOC	52.146	15.353	12.040
B. JUAREZ	7.645	5.025	3.943
CUAJIMALPA	0.244	0.159	0.124
TLAHUAC	0.000	0.009	0.006
MILPA ALTA	0.000	0.000	0.000
XOCHIMILCO	0.986	0.520	0.407
M. CONTRERAS	2.478	0.436	0.341
TOTAL	164.634	50.934	39.926
(ton/y)	4120.562	916.269	349.747

### 3.4.3 大気汚染物質排出量のまとめ

#### (1) 発生源大気汚染物質排出量

発生源別の大気汚染物質排出量は、表3.4.12に示すとおりである。

SO<sub>x</sub> の排出量は固定発生源からの排出が多く87,146トン/年で、総排出量は105,282トン/年である。

COの排出量は自動車によるものだけの算出で、1,050,221トン/年である。

NO<sub>x</sub> の排出量は移動発生源からの排出が多く41,432トン/年で、総排出量は65,749トン/年である。

なお、参考として算出した自動車からのHCの排出量は、89,189トン/年である。

表 3.4.12 発生源別大気汚染物質排出量

Classification	Pollutant Sources		SO <sub>x</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	Smoke and Soot
			(Na <sup>3</sup> /h) (ton/y)	(kg/h) (ton/y)	(kg/h) (ton/y)	(kg/h) (ton/y)
Stationary Sources	Factories	Power Plants	2186.2	-	801.9	100.9
			54717.4	-	14426.3	883.7
		18 De Marzo Refinery	191.8	-	214.8	129.7
			4800.9	-	3863.3	1136.4
		10 Major Factories	613.4	-	82.1	69.8
			15353.2	-	1477.7	611.2
		Other Factories	325.8	-	202.0	150.9
			8153.5	-	3633.4	1322.5
		Factories Total	3317.2	-	1300.8	451.3
			83025.0	-	23400.7	3953.8
	Service and Commercial Establishments	164.6	-	50.9	39.9	
		4120.6	-	916.3	349.8	
	Stationary Sources Total	3481.8	-	1351.7	491.2	
		87145.6	-	24617.0	4303.6	
Mobile Sources	Automobiles	Major Roads	320.7	45722	1113.5	-
			8025.3	500652	20031.4	-
		Narrower Roads	402.9	50189	1179.1	-
			10083.7	549569	21210.8	-
		Automobiles Total	723.6	95911	2292.6	-
			18109.0	1050221	41242.2	-
	Airplanes	Climb	0.3	-	3.2	-
		Approach/Landing	8.5	-	57.2	-
		Idling/Taxing	0.8	-	7.3	-
		Take-off	19.3	-	132.2	-
Airplanes Total		1.1	-	10.5	-	
		27.8	-	189.4	-	
	Mobile Sources Total	724.7	95911	2303.1	-	
		18136.8	1050221	41431.6	-	
Total			4206.5	95911	3654.8	491.2
			105282.4	1050221	65748.6	4303.6

(2) 大気汚染物質排出量の地域分布

調査対象地域をNE, NW, C, SE, SWの5地域に区分し、各地域毎の固定発生源と移動発生源の大気汚染物質排出量を図3.4.3に示す。

SO<sub>x</sub> 排出量は固定発生源の占める割合が大きく、NO<sub>x</sub> 排出量は移動発生源の占める割合が大きい。

地域別に見ると、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>とも、NE、NWで固定発生源の排出量が多く、C、SE、SWで移動発生源の排出量が多い。

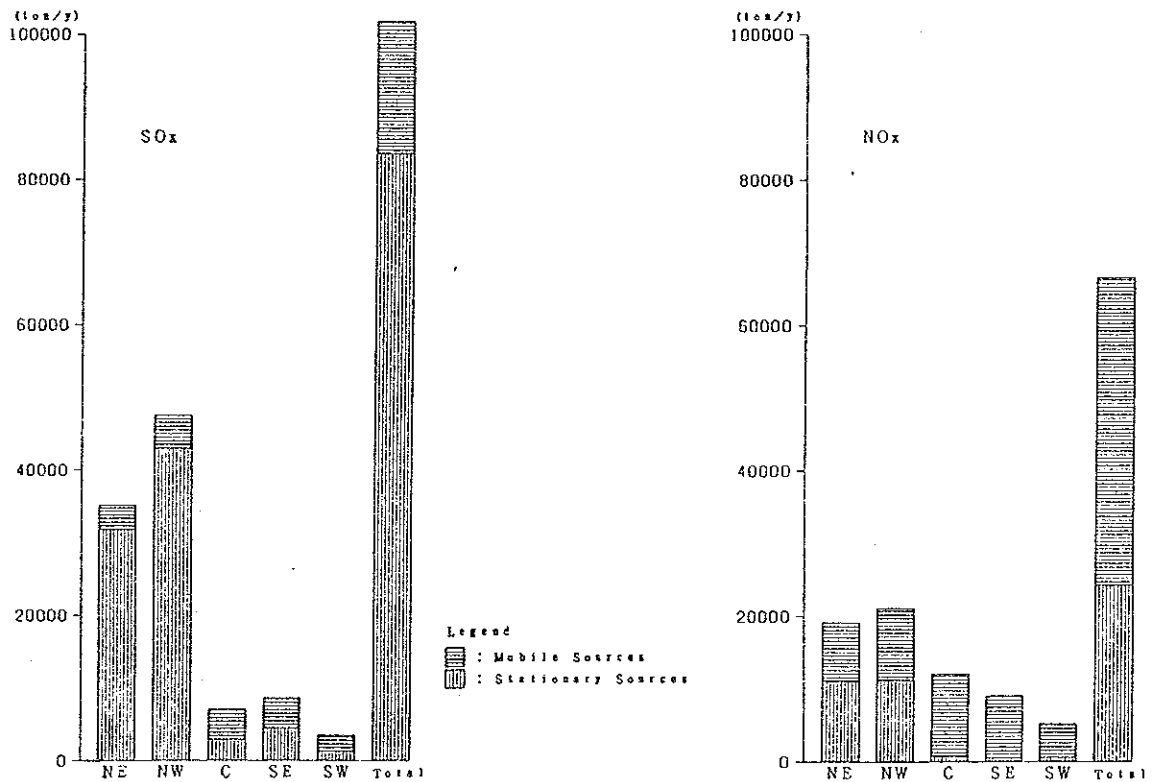


図 3.4.3 地域区別発生源種類別大気汚染物質排出量

### 3.5 大気汚染の現況シミュレーション

大気汚染物質が発生源から排出され拡散、稀釈されるメカニズムは複雑で、しかも時間的・空間的に変化している。従って、これらのメカニズムをすべて定量的にとらえ因果関係を明らかにすることは極めて困難であり、モデル化することが必要となる。このモデル化については物理的法則に従う必要があるが、ある面では不確定性に着目し、巨視的立場から統計的な扱いをしている。

表3.5.1に、現在の大気汚染濃度推定モデルの種類とその特徴を示した。これらのうち、本調査では化学反応等の変質を含まず、時間スケールは長時間平均値を扱い、さらに空間スケールとしてはかなり広い地域汚染を対象とすることから、基本モデルとしてプルーム・モデルを選定した。

表 3.5.1 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。
	原始モデル (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の関連を調べる経験的な方法。いろいろの方式がある。

### 3.5.1 シミュレーションの手順とモデルの概要

#### (1) シミュレーションモデルの作成手順

大気汚染に係る発生源の解析から得られる排出条件や気象及び環境濃度等に基づく気象条件等の拡散場に係る情報をモデル化し、現状の大気汚染状況を再現する拡散シミュレーションモデルを作成する。

#### (2) シミュレーションモデルの構成

シミュレーションモデルは、以下に示す①条件設定、②発生源モデル、③気象モデル、④拡散モデル等により構成される。

移流・拡散を表わす式として最も広く利用されているのは、式3.1の Plume 式である。拡散の状態は、図3.5.1に示すとおりである。

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

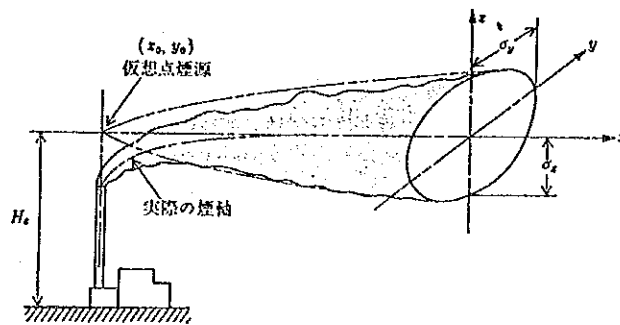


図 3.5.1 点煙源からの拡散

本調査では長期平均値を対象とすることから Holland の提案した式3.2に示す Plume 式を採用した。

$$C(x, z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi} \frac{\pi}{8} x \sigma_z U} \left[ \exp\left(-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

ここで式中の記号は、以下のとおりである。

C	: 濃度	[ ppm ]
x	: 煙源からの風下距離	[ m ]
z	: 濃度を推定する地点の地上高さ	[ m ]
Q	: 煙源の強度	[ m <sup>3</sup> /s ]
U	: 風速	[ m/s ]
σ <sub>z</sub>	: 拡散パラメータ	[ m ]
H <sub>e</sub>	: 有効煙突高さ	[ m ]

これらのうち、Qは3.4において与えられたものであり、U、σ<sub>z</sub>、H<sub>e</sub>は3.1において得られた気象条件から推定するものである。

① 条件設定

a. 対象範囲

- (a) 対象汚染物質 …… 二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)、一酸化炭素(CO)とし、窒素酸化(NO<sub>x</sub>)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)については測定を行っている常時監視局が5局と少ないため参考として扱う。
- (b) 対象発生源 …… 工場、小規模事業所、自動車、航空機。
- (c) 対象測定地点 …… 常時測定局(SEDUE測定局)。
- (d) 評価対象濃度 …… シミュレーションによる濃度の再現性に関する評価は年間平均濃度について行う。
- (e) 計算対象範囲 …… メキシコ市を中心とする概ね東西40km×南北60kmの地域とする。

b. 期区分・時間帯区分の設定

期別・時間帯の区分は、表3.5.2に示すように2期4時間帯(2×4=8区分)で設定する。期区分は雨期と乾期の区分により、時間帯区分は濃度の出現傾向及び自動車交通量の時刻変動傾向を考慮して設定した。



表 3.5.2 期区分・時間帯区分

Period	Rainy	May - September
	Dry	October - April
Time Zone	Morning	7 - 13 hours
	Afternoon	13 - 19 hours
	Evening	19 - 24 hours
	Midnight	0 - 7 hours

② 発生源モデル

「3.4 大気汚染物質の発生源」によって求められた個々の発生源の諸元データから、発生源の種類ごとに表3.5.3に示すような発生源の形態別にモデル化を行った。なお、面源の大きさは1 km × 1 kmとした。

表 3.5.3 発生源別煙源数と煙源形態

Type of Pollutant Sources		Item	Number of Source	Form of Source
Stationary Source	Factories		957	Point Source
	Service and Commercial Establishments		919	Area Source
Mobile Source	Auto-mobiles	Major Roads	649	Line Source
		Narrower Roads	750	Area Source
	Airplanes	Idling/Takeoff	7	Area Source
		Climb Landing/Approach	538	Continuous Point Source*

(注) 離着陸航路上に10m毎に点源を設定した。

③ 気象モデル

a. 拡散場区分の設定

拡散場の鉛直方向区分は、表 3.5.4 のとおりである。

表 3.5.4 鉛直方向拡散場

Category of Dispersion Field	Pollutant Sources
Surface Field	Automobiles
Lower Field	Factories (Stack Height $H_o < 30m$ ) Service and commercial establishments Airplanes (Taxing/Idling, Takeoff)
Middle Field	Factories (Stack height $H_o \geq 30m$ )
Upper Field	Airplanes (Climb, Landing/Approach)

b. 気象ブロックの設定

「3.3 SEDUE 測定局の気象と大気質濃度の解析」における風の類似度の解析結果および実測濃度の再現性を考慮して、対象地域を5つの地域に区分し、各々に代表気象を設定することにより、気象ブロックとした。

c. 中・上層風速の推定

地上の風速からの中・上層の風速を推計は、経験式により行った。

d. 気象区分

気象データは以下のような区分で階級化し、気象出現比率を算出した。

(a) 風向 …………… 16方位及び無風 ( $U \leq 0.4m/s$ )

(b) 風速 …………… 風速は表 3.5.5 に示す8階級に区分した。

表 3.5.5 風速階級区分

Class	1	2	3	4	5	6	7	8
Wind speed classes(m/s)	0.4 or less	0.5 to 1.9	2.0 to 2.9	3.0 to 3.9	4.0 to 5.9	6.0 to 7.9	8.0 to 9.9	10.0 or more
Wind speed used (m/s)	0	Average wind speed of each class						

④ 拡散式モデル

a. 有効煙突高式

点源としてモデル化した工場の有風時の有煙突高式は、排出熱量の大小によって表3.5.6に示すように大規模煙突と中小規模煙突に分けて適用した。その他面源及び線源としてモデル化した煙源については、平均的な排出高さ、煙源周辺の状態を考慮して有効煙突高とした。

表 3.5.6 有効煙突高

Pollutant Source		Form of Source	Windy	Calm
Factories		Point Source	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Large scale stacks (<math>Q_H^* \geq 2 \times 10^6 \text{ Cal/s}</math>) Moses&amp;Carson Equation</li> <li>• Medium to small scale stacks (<math>Q_H^* &lt; 2 \times 10^6 \text{ Cal/s}</math>) CONCAWE Equation</li> </ul>	Briggs' Equation with $d\theta/dz^{**}$ as, Daytime: $0.003^\circ\text{C/m}$ Nighttime: $0.010^\circ\text{C/m}$
Service and Commercial Establishments		Area Source	20 m	30 m
Auto-mobiles	Major Roads	Line Source	Center of City: 5 m	Center of City: 10m
	Narrower Roads	Area Source	Outskirts : 2 m	Outskirts : 3m
Airplanes	Taxing/ Idling, Takeoff	Area Source	10 m	15 m
	Climb, Landing/ Approach	Continuous Point Source	Height of takeoff and landing route	Height of takeoff and landing route

Note \*  $Q_H$  : Heat emission due to efflux of stack gases (cal/s)  
 \*\*  $D\theta/dz$ : Vertical potential temperature gradient in the atmosphere ( $^\circ\text{C/m}$ )

b. 拡散式

有風時は、長期濃度を予測する場合に用いられているブルーム式をY方向の濃度分布が一方位内 ( $2\pi/16$ ) で一様となるように改良した式 (3-2) (Holland, 1953) とした。面源の場合は点源ブルーム式を面源巾1kmについて積分する方法を用いた。

また簡易パフ式は、パフ原式中の風速を無風 ( $U = 0 \text{ m/s}$ ) とし、拡散巾を経過時間に比例すると考えた解析解型の式を適用した。

表 3.5.7 拡散式の適用

Form of Source	Wind Condition	
	Windy	Calm
Point source	Plume equation	Simplified puff equation
Area source	Area-source plume equation	Area-source simplified puff equation
Line source	Line-source plume equation	Line-source simplified puff equation

Note: Plume equation shown above is Holland equation applicable when wind directions are grouped into 16 blocks.

c. 拡散幅等

拡散式の中で使用されている拡散幅（拡散パラメータ）はPasquill-Gifford線図と、Turner線図より求められた拡散係数表を用いた。

⑤ 拡散パラメータの設定

拡散パラメータは、発生源の高さ、期、時間帯によって異なると考えられる。本調査においては、大気安定度の出現状況、計算濃度と実測濃度の再現性を確認した上で、表3.5.8に示すように期・時間帯別に設定した。

表 3.5.8 拡散パラメータ

Category of Dispersion Field	Pollutant Sources
Surface Field	Automobiles
Lower Field	Factories (Stack Height $H_o < 30m$ ) Service and commercial establishments Airplanes (Taxing/Idling, Takeoff)
Middle Field	Factories (Stack height $H_o \geq 30m$ )
Upper Field	Airplanes (Climb, Landing/Approach)

### 3.5.2 シミュレーションモデルの再現性

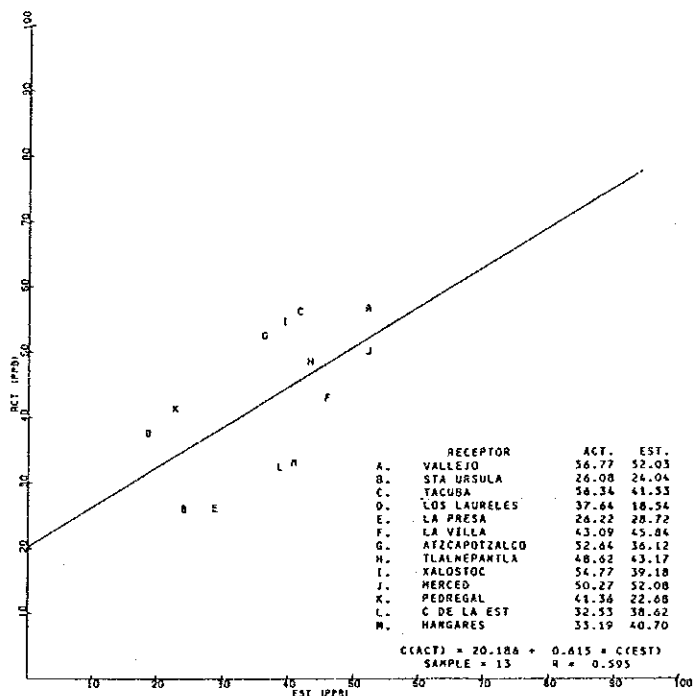
シミュレーションモデルの再現性の確認は、一般に既に測定した環境濃度データを真の値とし、その期間中の気象条件及び発生源条件をもとに計算値を算出し、実測値との比較をすることによって行っている。本調査では、日本の「総量規制マニュアル」に準拠し、SEDUE における実測値を縦軸に、計算平均値を横軸にとり、最少2乗法により回帰直線を求めることにより検証を行った。

その結果を表3.5.9及び図3.5.2～図3.5.4に示す。CO、NO<sub>x</sub> は極めて良好な再現性を示しており、SO<sub>2</sub> の再現性がやや劣るものの、これらの各汚染物質を一挙に再現したモデルとしては比較的良好と判断される。

表 3.5.9 シミュレーションモデルの再現性 (年平均値)

Item	Regression Line	Number of Stations for Evaluation	Correlation Coefficient	Coefficient of Variation	Back-ground	Rank of Evaluation
SO <sub>2</sub>	y=0.615X+20.19 (ppb)	13	0.595	0.239	5.87 (ppb)	B
CO	y=0.808X+1.654 (ppm)	15	0.846	0.195	1.182 (ppm)	A
NO <sub>x</sub>	y=0.547X+45.86 (ppb)	4	0.880	0.211	24.43 (ppb)	B

Note: Y = actual concentration, X = estimated concentration



Note: Measured data at ENEP-ACATLAN were excluded from evaluation because of instability.

図 3.5.2 年間の実測値と推計値の関係 (SO<sub>2</sub>)

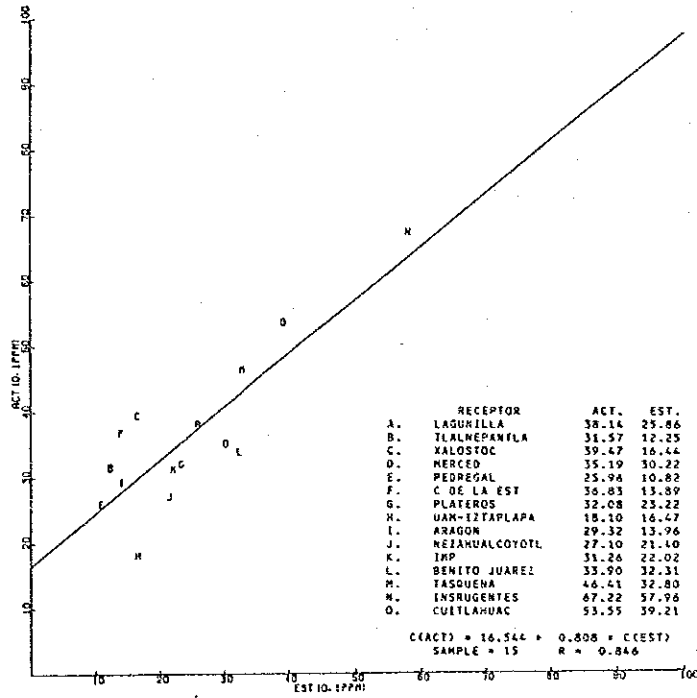


図 3.5.3 年間の実測値と推計値の関係 (CO)

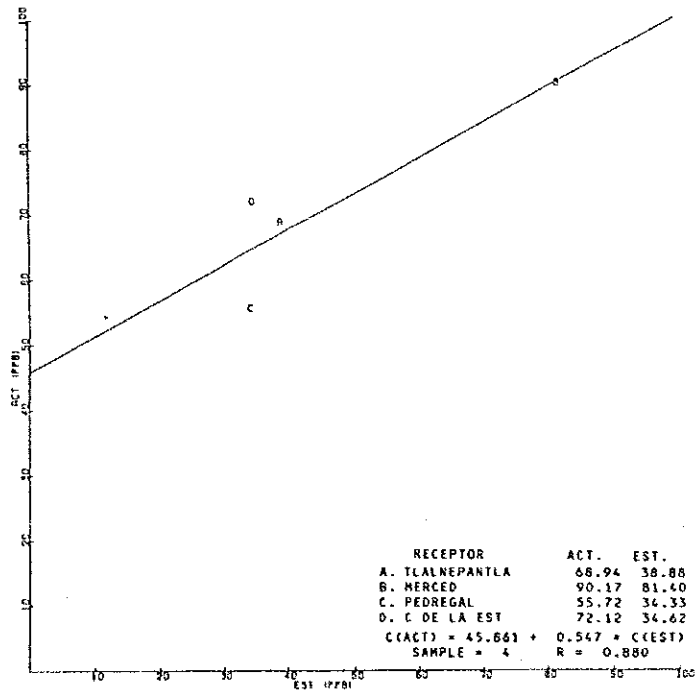


図 3.5.4 年間の実測値と推計値の関係 (NOx)

### 3.5.3 濃度分布

#### (1) SO<sub>2</sub> の濃度分布

シミュレーションモデルによって計算した対象地域における SO<sub>2</sub> の年平均値の分布を図 3.5.5 に示す。

常時測定局による SO<sub>2</sub> の測定は、道路の近傍で直接自動車排気ガスの影響を受けるような地点では行われていないため、Mesh濃度を計算するにあたっては、計算地点が道路近傍に位置する場合は、道路からの距離を 100m 遠ざけて計算を行った。

SO<sub>2</sub> の年平均値は DELEGACION CUAUTHEMOC を中心とする地域と DELEGACION IZTACALCO の東側に 60ppb を超える濃度が分布し、C max は DELEGACION IZTACALCO の東側に出現し、その濃度は 99.8ppb である。

#### (2) CO の濃度分布

シミュレーションモデルによって計算した対象地域における CO の年平均値の分布を図 3.5.6 に示す。

常時測定局による CO の測定は、TASQUENA, INSRUGENTES, CUITLATHUAC の測定局を除いて、道路の近傍で直接自動車排気ガスの影響を受けるような地点では行われていないため、メッシュ濃度を計算するにあたっては、点が道路近傍に位置する場合は、SO<sub>2</sub> の場合と同様に道路からの距離を遠ざけて計算を行った。

CO の年平均値は DELEGACION CUAUTHEMOC と DELEGACION BENITO JUAREZ を中心とした地域と DELEGACION IZTACALCO の東側の地区に 4 ppm を超える濃度が分布し、C max は DELEGACION IZTACALCO の東側の地域に出現し、その濃度は 6.62ppm である。

#### (3) NO<sub>x</sub> の濃度分布

図 3.5.7 に、シミュレーションモデルによって計算した対象地域における NO<sub>x</sub> の年平均値の分布を示す。

X Cmax point

Unit: ppb

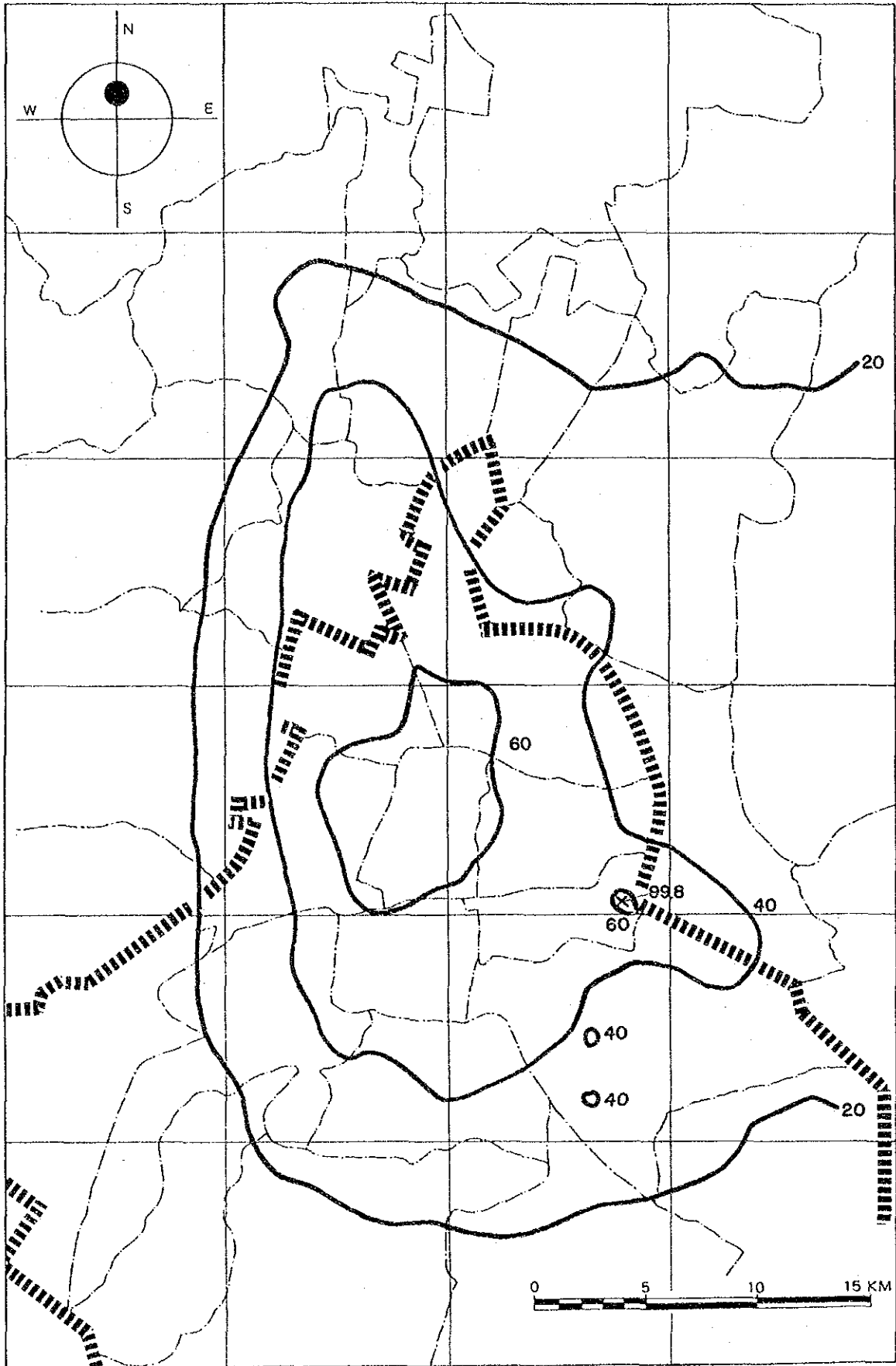


图 3.5.5 SO<sub>2</sub> 等浓度线图 (年平均值)



× Gmax point

Unit: ppm

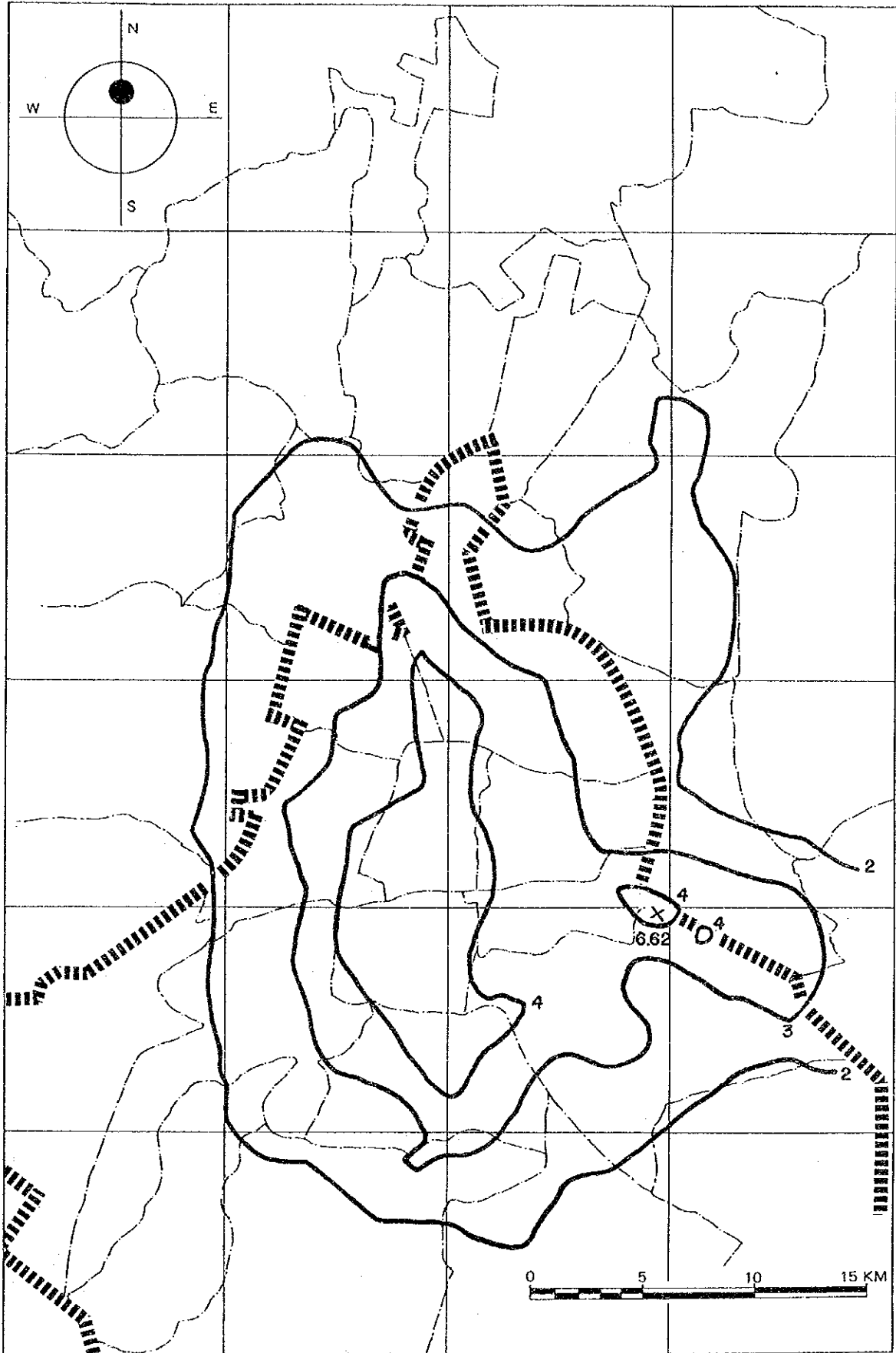


图 3.5.6 CO 等浓度线图 (年平均值)

X Gmax point

Unit: ppb

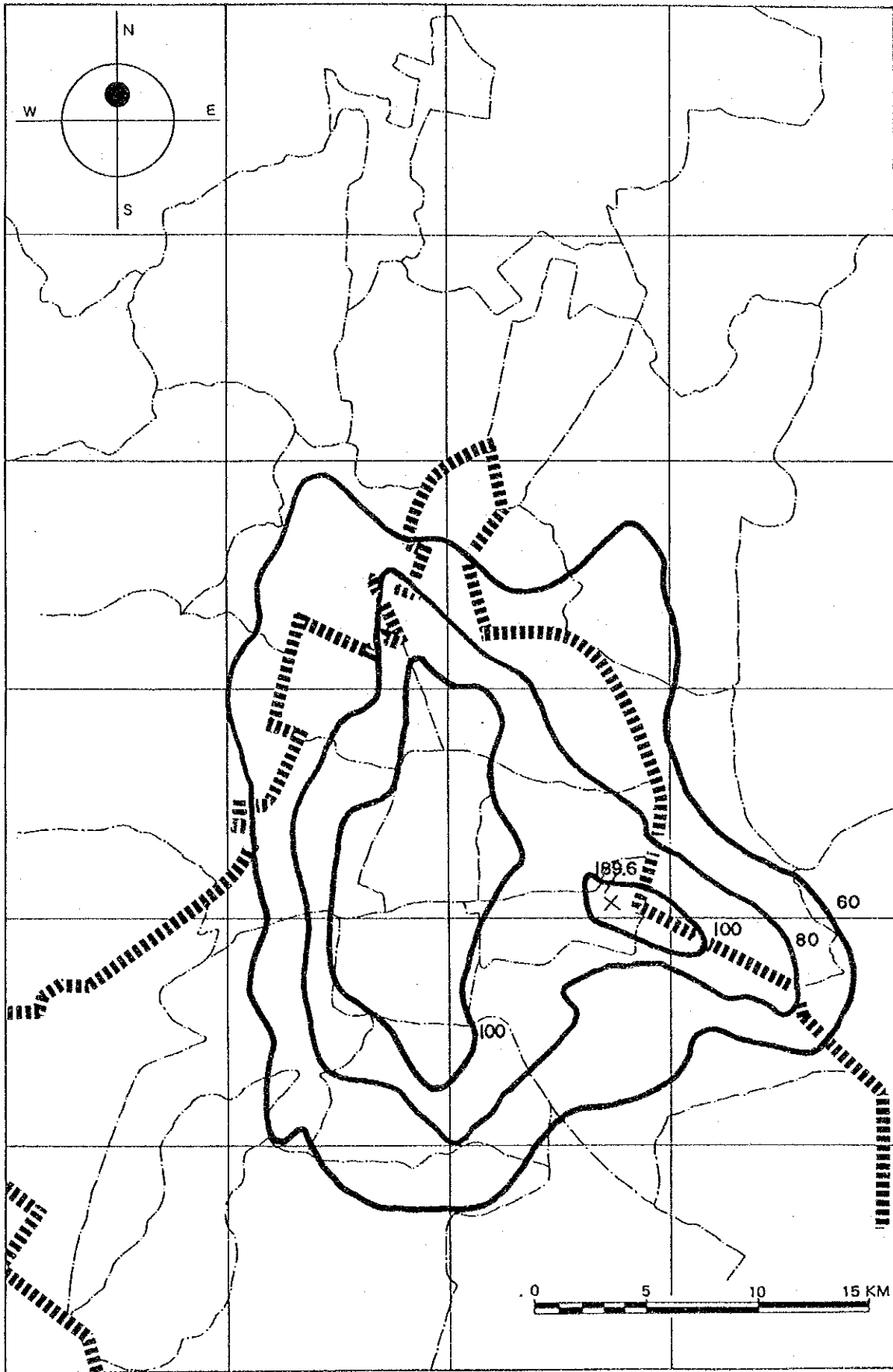


图 3.5.7 NO<sub>x</sub> 等濃度線圖 (年平均値)

### 3.5.4 発生源別寄与濃度

#### (1) SO<sub>2</sub> 発生源別寄与濃度

SO<sub>2</sub> 発生源別寄与濃度は、図3.5.8に示すとおりである。SO<sub>2</sub> の年平均濃度の計算値を測定局及び最高濃度地点についてみると24.41ppb(LOS LAURELES)～99.76ppb(最高濃度地点)の範囲である。

発生源別の寄与率は、工場・事業場は22.1～69.0%の範囲、自動車は17.2～71.8%の範囲、航空機は1.0%未満である。

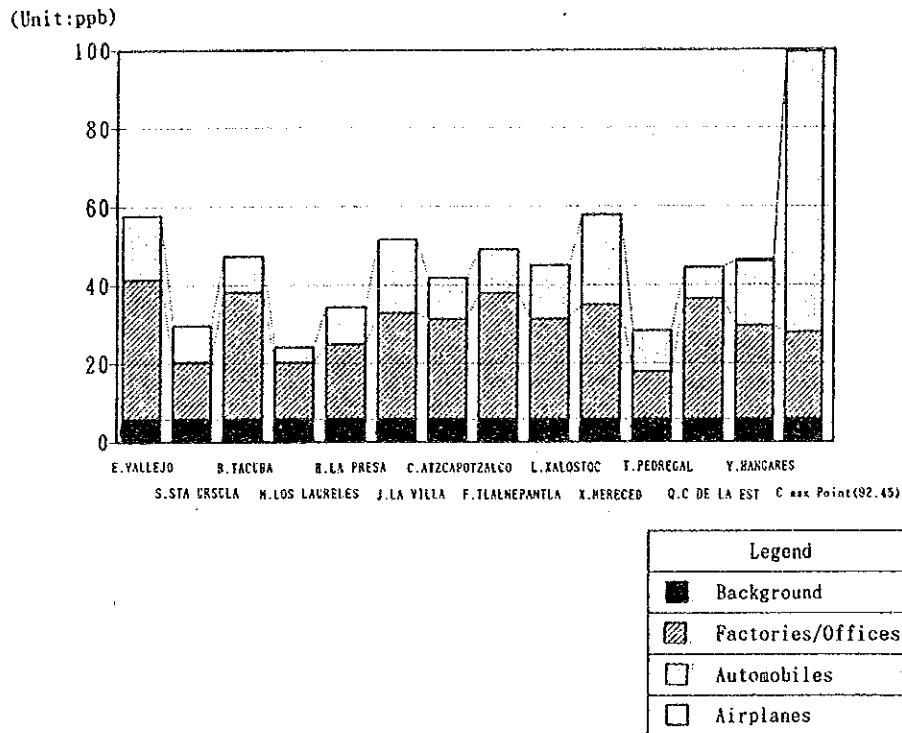


図 3.5.8 SO<sub>2</sub> 発生源別寄与濃度

(2) COの発生源別寄与濃度

COの年平均濃度の計算にあたって対象とした発生源は自動車のみであり、推定した年平均濃度は自動車の寄与濃度にバックグラウンド濃度を加えたものである。

各測定局の年平均濃度は表3.5.10に示すとおりで、2.26(PEDREGAL)～6.98ppm(INSURGENTES)の範囲にある。

表 3.5.10 CO発生源別寄与濃度  
(単位：ppm)

Receptor	Total	Automobiles	Background
Z. LAGUNILLA	3.77	2.59	1.18
F. TLALNEPANTLA	2.40	1.22	
L. XALOSTOC	2.82	1.64	
X. MERCED	4.20	3.02	
T. PEDREGAL	2.26	1.08	
Q. C. DE LA EST.	2.57	1.39	
U. PLATEROS	3.50	2.32	
P. UAM-IZTAPALAPA	2.83	1.65	
K. ARAGON	2.58	1.40	
O. NEZAHUALCOYOTL	3.32	2.14	
D. IMP	3.38	2.20	
W. BENITO JUAREZ	4.41	3.23	
R. TASQUEÑA	4.46	3.28	
V. INSURGENTES	6.98	5.80	
A. CUITLAIHUAC	5.10	3.92	
C <sub>max</sub> Point(94,44)	6.62	5.44	

### 3.6 CMB法によるSPMの発生源別寄与度の推計

大気中のSPM(Suspended Particulate Matter)は、工場、自動車などの人工的な発生源と、土壌などの自然界からの発生源から発生している。

各発生源によるSPMの寄与割合は、拡散シミュレーション手法が現時点では未だ確立されていないため、CMB法(Chemical Mass Balance法)によって推計されることが多く、本調査においてもこの方法を用いた。

この手法に必要なデータは各種発生源から排出される粉じん中の元素割合と、大気中のSPMにおける元素割合であり、本調査では、メキシコ市内において発生源及び大気中における元素割合を調査したものをを用いて計算を行った。

大気中のSPMの元素割合は、各地点において1987年9月～1988年5月まで毎月約4日間ずつ・アンダーセン・ハイボリューム・エアサンプラーによって採取した試料を以下の元素について分析し、その全期間平均値を算出した。

地点：OFICINA CENTRAL DE DDF, TACUBA, SAN AGUSTIN, PEDRTGAL, ESTRELLA

元素：Fe, Zn, Ni, Pb, V, Mn, Na, Ca, K, Al

また、発生源については現地の資料を採取し、各元素について分析し、発生源種類の平均値を算出した。

発生源の種類：土壌(4地点)、焼成炉(セメント1工場)、ガラス熔融炉(ガラスなど4工場)、乾燥炉(アスファルトなど9工場)、金融溶解炉(鉄鋼など5工場)、ボイラー(1工場)

CMB法を用いた推計はいくつかの前提条件の下に最小二乗法を用いて推計するために、必ずしも発生源別寄与が妥当でないケースが生じる。そのため、本調査では元素と発生源種類の組み合わせについて試行錯誤を行なった。

調査対象地域の実態も踏まえ、ほぼ妥当と考えられる結果を表3.6.1に示す。

表 3.6.1 CMB 法による SPM 発生源種類別寄与

(単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ( )内は%)

Station	Ambient TSP Concentration	Source Contribution							
		Soil	Sintering Furnace	Glass Melting Furnace	Drying Oven	Metal Melting Furnace	Boiler	Auto-mobiles	Unknown
O. CENTRAL	183.0 (100.)	28.2 (15.4)	12.7 (6.9)	1.3 (0.7)	12.3 (6.7)	10.0 (5.5)	- (-)	106.7 (58.3)	11.8 (6.4)
TACUBA	146.2 (100.)	10.2 (7.0)	6.1 (4.2)	-2.6 (-1.8)	17.6 (12.0)	9.8 (6.7)	- (-)	87.2 (59.6)	17.9 (12.2)
ESTRELLA	313.9 (100.)	115.6 (36.8)	4.5 (1.4)	- (-)	- (-)	4.1 (1.3)	2.0 (0.6)	96.1 (30.6)	91.6 (29.2)
Average	185.1 (100.)	75.8 (41.0)	4.0 (2.2)	- (-)	11.8 (6.4)	7.3 (3.9)	- (-)	28.9 (15.6)	57.3 (31.0)

Note: "-" indicates a source excluded from analysis

この結果によると、O. CENTRAL, TACUBA地点では自動車によるものが寄与の過半数を占め、次いで土壌または unknown発生源となっている。また、各種燃焼施設を持つ工場の寄与は、各々0.7%~12.0%となっている。

ESTRELLA地点では、土壌による寄与が最も大きく36.8%を占め、次いで自動車の30.6%、unknown発生源29.2%となっている。また、工場の寄与は0.6%~1.4%と非常に小さな値となっている。なお、SUN AGUSTIN, PEDREGAL 地点については、妥当な結果が得られなかった。

この結果を地域的にみると、北部の工業地域に近い市街地では、自動車による寄与が大半を占め、他に土壌と工場の寄与もみられる。工場が比較的少ない南部では、土壌と自動車の寄与が大部分を占めている。

### 3.7 メキシコ市首都圏における大気汚染状況のまとめ

本章では、メキシコ市首都圏における大気汚染の現状を把握するための種々の調査の結果を述べてきたが、ここでそれらのまとめを示す。

先にも述べたとおり、大気質濃度を支配する要因としては図3.7.1に示すように気象条件や地形条件及び発生源条件があり、それぞれは複雑に絡みあっている。以下に、それぞれの要因ごとの特性とその相互関係を述べる。

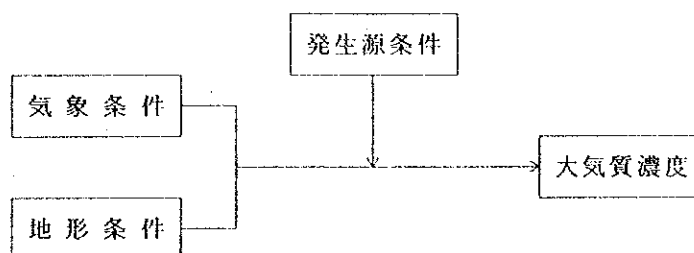


図 3.7.1 大気汚染関連図

#### 3.7.1 大気質濃度について

##### (1) 大気質濃度の現況

メキシコ市首都圏における年間を通じた大気質濃度の測定結果を環境基準と比較してみると、以下のとおりである。

NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>及びCOについては、いくつかの測定地点のSO<sub>2</sub>及びCOの測定結果を除いて概ね環境基準を満足している。O<sub>3</sub>については地点により年間の測定日数の最低3%から最高65%の日数が環境基準を超えている。また、HCについては地点により年間の測定時間の最低30%から最高70%程度の時間数が環境基準を超えている。

なお、大気質濃度は、拡散条件である地形条件や気象条件と大気汚染物質の発生源条件から生じる結果であり、測定方法や環境基準値の差異もあり単純に比較することは難しいが、本調査で把握したメキシコ市首都圏における大気質濃度を日本の現状と比較してみると、SO<sub>2</sub>、CO、HC、SPM及びO<sub>3</sub>については日本の大気質濃度と比較してかなり高いレベルにあり、NO及びNO<sub>2</sub>については同程度のレベルにあることが判明した。

## (2) 大気質の時間変化

メキシコ市首都圏における大気質濃度の測定結果によると、大気質濃度の時間変化のパターンは以下のとおりである。

SO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO及びHCについては、午前8時～10時頃に第1ピーク、午後8時～10時頃に第2ピークをもつ2山型のパターンを示している。

また、O<sub>3</sub>については、正午から午後3時頃にピークをもつ1山型のパターンを示し、SPMについてはピークの時間帯は午前中であり、午後のピークが不明瞭でわずかに1山型のパターンを示す。

## (3) 大気質の季節変化

メキシコ市首都圏における大気質濃度は、平均濃度で見ると乾期（冬期）に高くなる項目と、雨期（夏期）に高くなる項目に分けられる。

乾期に高くなる項目はSO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>2</sub>、CO、HC及びSPMであり、雨期に高くなる項目はO<sub>3</sub>である。

### 3.7.2 気象調査

#### (1) 気象の概況

メキシコ市首都圏における大気汚染に関連する気象の概況は、以下のとおりである。

まず、風速については、全般に風が弱く、メキシコ盆地内の空気を入れ替えるほどの風速になる頻度は極めて少ない。また、盆地内の風は、まわりをとりまく山地と盆地内との間に吹く山風が主で、局地的であり、気圧傾度が低いため季節風のような地衡風はほとんどみられない。

風速を季節別にみた場合、乾期（冬期）に風が弱く、雨期（夏期）の方が強い。また、一日のうちでは、日中と夜間は風が弱く、夕方6時ごろに最も風速が強まる。雨量が少なく、特に乾期には雨洗による効果がほとんど認められない。なお、上空500mまでの風速は地上とほとんど同じ強さである。

#### (2) 逆転層について

逆転層の出現は、一般に大気汚染物質の拡散する空間が小さくなるので大気汚染物質濃度を高める要因となる。



メキシコ市首都圏における逆転層の出現は、冬期（乾期）に多い。また、その出現高さは、200～500mの頻度が多いようである。

逆転層は夜間から午後10時30分ごろまで継続し、その後は日射の増加とともに消滅するケースが多い。

最高混合層高度 (Max Mixing Depth) は年間を通じて 2,000m程度で、日本の夏期の値に相当する。

### (3) 拡散条件について

一般に風が弱いために移流効果はほとんどなく、日射のない時間帯は大気は安定状態にあり、拡散条件は悪い。一方、日中は日射が強く、強不安定となり、上空への拡散条件はよくなる傾向がみられる。

## 3.7.3 発生源調査

### (1) 固定発生源

メキシコ市首都圏における工場・事業所等では、燃料として LNGなどの導入が図られているが、S分3%以上の重油類が大量に消費されている。

これらの固定発生源の煙源は煙突高が低く、逆転層より下層に大気汚染物質が放出されている。

主要工場はメキシコ市の北部地域に位置しているが、人口増加にともない住居地域も北部に拡大し、工場地域と住居地域が隣接した状態になっている。

### (2) 移動発生源特に自動車について

メキシコ市首都圏においては、整備状況が十分といえない自動車はかなり多く存在している。これらの車両は、整備の不良と、メキシコ盆地が標高 2,300mと高地にあることから、不完全燃焼によるCO及びHCの発生が多い。また、ガソリンの品質もやや劣り、S分や有鉛による問題が存在している。

## 3.7.4 大気汚染物質高濃度発生のメカニズム

メキシコ盆地における大気汚染物質の高濃度は、乾期の12月から2月にかけて生じやすく、その原因として風速が弱く逆転層が出現しやすいこと、降雨が極端に少ないことなどの条件が重なることにあると考えられる。

本調査の上層気象観測の際に逆転層が出現していた1988年2月22日の気象要素と環境濃度との時刻変化を図3.7.2に示す。ここでの気象データは気象観測地点であるCentro 5での測定結果であり、環境濃度は本調査で設置した大気汚染測定局(CENTRO MEDICO)における値である。

これによれば、午前8時から10時ごろには地上100~300m付近にはっきりした逆転の状態がみられ、それぞれの大気汚染物質濃度はかなりのレベルに達している。この逆転層は日射の増加とともに午前11時ごろからくずれはじめ、大気が不安定化するとともに拡散が活発になり、大気質濃度のうちSO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, HC, COなどは減少している。しかし、O<sub>3</sub>はNO, NO<sub>2</sub>, HCなどの反応により12時ごろ最高値を示している。

その後、午後2時から8時ごろは風速が強まり、各大気汚染物質濃度は低くなっているが、午後7時以降は風速が弱まるとともにNO, CO, HCなど自動車からの影響が強いと考えられる物質は再び上昇している。このようなパターンがいつでも生じているわけではないが、高濃度を示す日の代表的な例と考えられる。

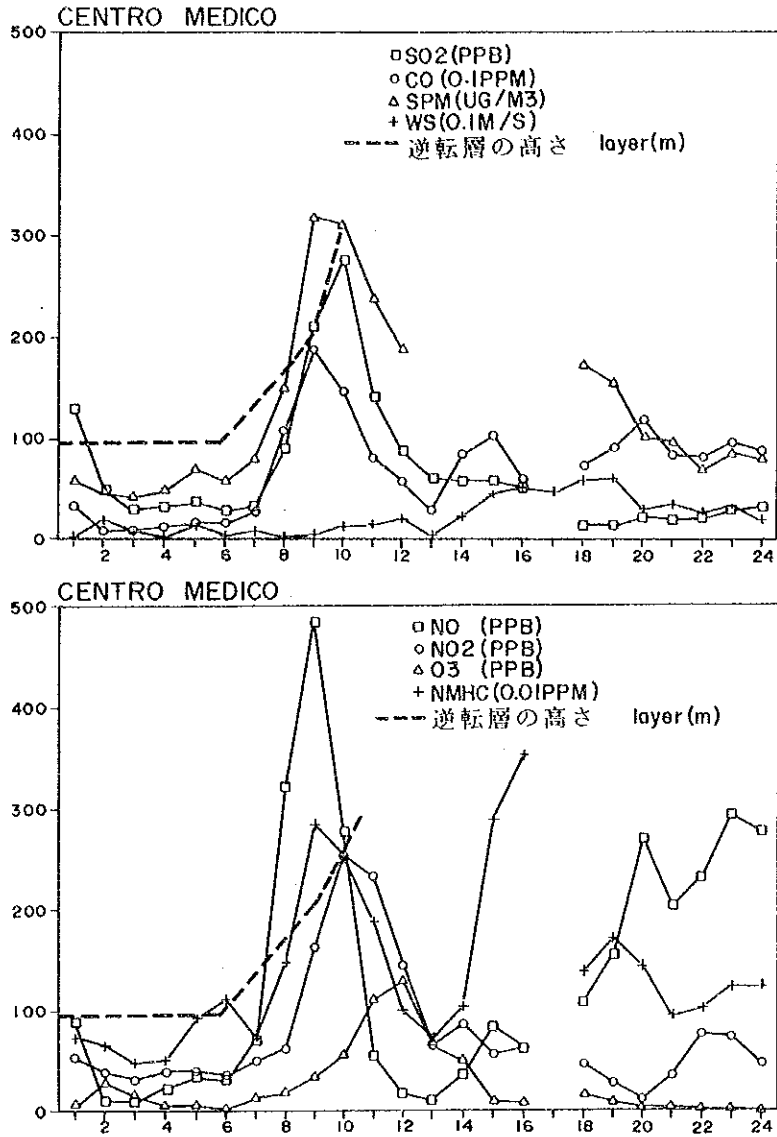


図 3.7.2 逆転層の高さと大気質濃度の時間変動 (1988年2月22日)



## 第4章 メキシコにおける大気汚染防止に係る制度



## 第4章 メキシコにおける大気汚染防止に係る制度

### 4.1 法 律

メキシコ合衆国における環境保護に係る基本法は「生態均衡及び環境保護一般法」(LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE, 以下「LGEEPA」と略称する。)である。LGEEPAは1988年3月より施行され、これに伴い1982年以来施行されてきた「連邦環境法」(LEY GENERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE)は廃止された。LGEEPAの目的は、生態系と環境の保護のための政策の原則を定め、その実施手段を調整することである。その目的遂行のための連邦及び地方政府機関の責任分担も旧法に比べていっそう明確化された。本法の執行責任機関としての都市開発環境省(SEDUE)の権限には以下の事項が含まれている。

- ① 一般的環境政策の策定と実施
- ② 環境技術基準(NORMAS TECNICAS ECOLOGICO)の発布とその順守の監視
- ③ 人の健康に関しては保健省と調整の上、環境の健全化政策を策定・実施する。
- ④ 商務工業振興省(SECOFI)及びエネルギー・鉱業・公営企業省(SEMIP)と調整のうえ、自動車による大気汚染を減少させる技術の応用を決定する。

上述の環境技術基準は、本法を効力あらしめるために不可欠なものであり、大気汚染に関して言えば、発生源の排出基準に相当する。この規定に従ってSEDUEは各種発生源に係る排出基準を関係機関と調整しながら準備中であり、一部は既に公布されている。

特にメキシコ市(DF)における大気汚染対策に関しては、SEDUEとメキシコ首都連邦区(DDF)の主な担当事項が明確化された。

また、メキシコ市首都圏にはメキシコ州の一部も含まれるので、首都圏の大気汚染の改善にはメキシコ州政府の役割も重要である。LGEEPAでは大気汚染に対する州及び市政府の担当事項も定めている。

## 4.2 行政組織

大気汚染対策に関わる諸活動には、国家・地方の多くの政府機関が参加することになる。メキシコ首都圏の大気汚染対策を主眼とした行政機構は、概ね以下のとおりである。

### 4.2.1 国家環境委員会 (CONADE)

国家環境委員会 (COMISION NACIONAL DE ECOLOGIA, CONADE) は環境に関わる政策の省庁間の総合的調整を目的として1985年に創設された。大統領が議長となり関係省庁の代表が委員となっている。メキシコ市首都圏の大気汚染対策については、CONADEで決定された「環境汚染に関する21の対策」が1986年2月に大統領令として公布された。また、1987年1月には「環境100の必要な措置」を発表している。

### 4.2.2 都市開発環境省環境汚染防止管理局

SEDUE では環境汚染防止管理局 (DIRECCION GENERAL DE PREVENCION Y CONTROL DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL, DGPCCA) が大気汚染を含む環境汚染の防止と管理を担当している。DGPCCAの機構を大別すると、技術支援、調査、基準及び監視の3部 (DIRECCION) より成る。大気汚染に関係する仕事もこれら3つの部にまたがっている。

### 4.2.3 DDF 都市再整備環境保護局

DDF では都市再整備環境保護局 (DIRECCION GENERAL DE REORDENACION URBANA Y PROTECCION ECOLOGICA, DGRUPE) の汚染防止管理部が、大気汚染を含む環境汚染問題を担当している。汚染防止管理部を中心とした都市再整備環境保護局では、大気汚染防止管理課が最も直接に大気汚染対策を担当している。



#### 4.3 大気質の環境基準

メキシコにおける大気質の環境基準は表4.3.1のとおりで1982年11月に定められた。

表4.3.1 大気質の環境基準

項 目	平均時間 (時間)	濃 度
浮遊粉じん	24	275 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
二酸化硫黄 SO <sub>2</sub>	24	0.13ppm
一酸化炭素 CO	8	13ppm
二酸化窒素 NO <sub>2</sub>	1	0.21ppm
オゾン O <sub>3</sub>	1	0.11ppm

#### 4.4 大気汚染物質の排出基準

##### 4.4.1 自動車の排出基準

###### (1) 使用過程ガソリン車

使用中のガソリン自動車に対しては、1988年夏からアイドリング時の排出ガスの検査を受けることが義務づけられる。アイドリング時の排出許容限度は、COとHCについて表4.4.1のように定められている。

表4.4.1 ガソリン車のCO及びHCの排出許容限度  
(NTE-CCAT-003/88)

型 式 (年)	CO (% vol)	HC (ppm)
1979 以 前	6.5 (5.5)	700 (650)
1980 - 1986	4.0	500
1987 以 後	3.0	400

(注) : The values in the parenthesis are applied to the regions with altitude less than 1500m above the sea level.

(出典): Diario Oficial, June 6, 1988.

###### (2) ガソリン車の新車

新型のガソリン車の排出基準としては、SEDUE を中心にCO、HC及びNO<sub>x</sub> の年次規制が検討されている。

#### 4.4.2 工場・事業所の排出基準

工場や事業所から排出される大気汚染物質濃度については、施設別、燃料種類別に基準値が整備されつつあり、硫酸製造工場及びセメント工場に適用する排出基準、天然ガス、ディーゼル、重油を燃料として使用する工場及び事業所に適用される排出基準が検討されている。また、工場・事業所にSolid particulatesの排出基準を適用することが検討されている。

#### 4.5 監視・測定体制

##### 4.5.1 発生源の監視・測定

###### (1) 固定発生源の監視

工場からの大気汚染物質の排出の監視は SEDUEが責任を負っている。排出量の大きい特定の工場では協定に基づいて工場側が排出ガス量や汚染物質濃度などを測定し、SEDUEに提出している。一般の工場については、最近まで排出基準が煙の色とばいじんのみについて定められていたもので、主としてリングelman法により行われてきた。

LGEEPAの施行に伴い、大きな発生源については協定により工場側での自動排出装置の設置が増加される見通しである。しかし、新しい排出基準の整備に伴い、一般の工場における監視項目も増加することから、今後の発生源の監視・測定体制の強化は重要な課題と考えられる。

また、ばい煙発生施設を有する商業・サービス等の事業所はDF内に約 8,000あり、DDF やメキシコ州政府においてもこれらの事業所からの排出の監視のための体制を確立することが当面の課題と考えられる。

###### (2) 自動車排ガスの監視

DDF-DGRUPEの大気汚染防止管理課(CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE)では、市内8ヶ所のセンターで自動車排出ガスのCOとHCの測定を行っている。測定は、任意におとずれた車輛についてアイドリング時に行っている。

また、これらのセンターでは1988の8月から3ヶ年をかけて表4.4.1のように定められたアイドリング測定値に適合しているか否か、約200万台の車両について検査を予定している。

#### 4.5.2 大気質の監視・測定

SEDUE においては、表 3.3.1 及び図 3.3.1 に示した地点で、大気汚染物質および風向・風速の自動測定を行っている。1986年1月より自動測定局のデータはオンラインにより収集され、メキシコ盆地の大気監視体制がしかれている。このほか、以前から行われている非自動測定局が25ヶ所あり、SO<sub>2</sub>とTPSの測定を行っている。

