

社会開発調査部

社会開発調査部報告書

JICA LIBRARY



1096913(7)

23501

コロンビア共和国

ボゴタ市大気汚染対策計画調査

最終報告書

要約

平成4年2月

国際協力事業団

国際協力事業団

23501

序 文

日本国政府は、コロンビア共和国政府の要請に基づき、同国のボゴタ市大気汚染対策計画にかかる開発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いたしました。

当事業団は、平成2年8月から平成3年12月までの間、5回にわたり、(株)数理計画の杉田善和氏を団長とし、同社及び(株)パシフィックコンサルタンツ インターナショナルから構成される調査団を現地に派遣しました。

調査団は、コロンビア政府関係者と協議を行うとともに、計画対象地域における現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものです。

最後に、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成4年2月

国際協力事業団

総裁 柳谷謙介

目

次

1. はじめに	1
1. 1 調査の背景と目的	1
1. 2 調査の概要	1
1. 3 調査の組織	7
2. 地域の概況	9
2. 1 地形と気候	9
2. 2 社会・経済	9
2. 3 土地利用	9
2. 4 交通・運輸	9
2. 5 エネルギー	10
2. 6 法律と組織	10
3. 大気環境の現況	11
3. 1 気象	11
3. 2 大気質濃度	16
4. 発生源の現況	23
4. 1 工場、事業場	23
4. 2 自動車	27
4. 3 飛行機	30
4. 4 民生	31
4. 5 発生源のまとめ	31
5. 拡散シミュレーションモデル	32
5. 1 拡散シミュレーションモデルの概要	32
5. 2 拡散シミュレーションモデルの再現性	34
6. 大気汚染構造	35
6. 1 大気汚染の特徴	35
6. 2 拡散シミュレーションによる発生源別の寄与と濃度の地域分布	36
6. 3 CMB法によるSPMの発生源別寄与率	37
7. 将来濃度予測と必要削減量	39
7. 1 将来発生源の予測	39
7. 2 将来濃度の予測	39
7. 3 環境目標値	41
7. 4 必要削減率	42

8. 発生源対策	43
8. 1 工場・事業場	43
8. 1. 1 対策の現状と必要性	43
8. 1. 2 対策の内容	44
8. 2 自動車対策	49
8. 2. 1 対策の現況と必要性	49
8. 2. 2 対策の内容	50
8. 3 発生源対策の効果	56
9. 対策ガイドラインの提案	60
9. 1 目標	60
9. 1. 1 基本的な考え方	60
9. 1. 2 計画の目標	60
9. 1. 3 汚染物質の削減目標	61
9. 2 実施計画	62
9. 2. 1 対策の概要	62
9. 2. 2 対策費用	66
9. 2. 3 計画の推進	66
9. 3 まとめ	67

1. はじめに

1. 1 調査の背景と目的

(1) 調査の背景

コロンビア国の首都であるサンタフェ デ ボゴタ市 (D. C) では、年々増加する自動車と工場から排出される大気汚染物質によって大気汚染が進んでいる。また同市が2600mの高さの高原盆地にあることによる気象要因の影響を受けて、大気汚染が強められている。そのため市厚生局は、1984年より大気汚染物質濃度を半自動測定装置を用いて測定を行い、大気汚染対策を実施してきた。しかしこれまでの所、大気汚染対策を行うために必要かつ十分な基礎的データ及び調査体制を確立するに至っていない。

このため同国はサンタフェ デ ボゴタ市における大気汚染及びその発生源の実態の把握、発生源対策、モニタリングステーションの充実、環境情報システムからなる大気汚染管理計画を策定することとし、1988年2月に我国へ大気汚染対策についての技術協力を要請した。

これを受けて1989年1月に派遣された事前調査団がコロンビア国と協議して調査の範囲を決め、次に本格調査が1990年7月から1992年2月まで実施された。本レポートはその内容をとりまとめたものである。

(2) 調査の目的

本調査の目的はサンタフェ デ ボゴタ市における大気汚染の状況、気象の状況、大気汚染発生源の状況、社会的条件、対策等について調査・解析を行い、大気汚染対策のためのガイドラインを作成、提示することである。また同時に、この調査を通じて調査団よりコロンビア側のカウンターパートへ、各種の調査、解析の手法及び発生源対策技術について技術移転を行うことである。

1. 2 調査の概要

(1) 調査の範囲

調査の対象地域は図1.2.1に示すように、市街地を含む南北約40km、東西約25kmの区域内の市の厚生局の管轄区域とする。

本調査はサンタフェ デ ボゴタ市及び日本国内で実施される。調査の概要は図1.2.2に示すように基礎調査と解析調査より構成されており、その詳細は以下の通りである。

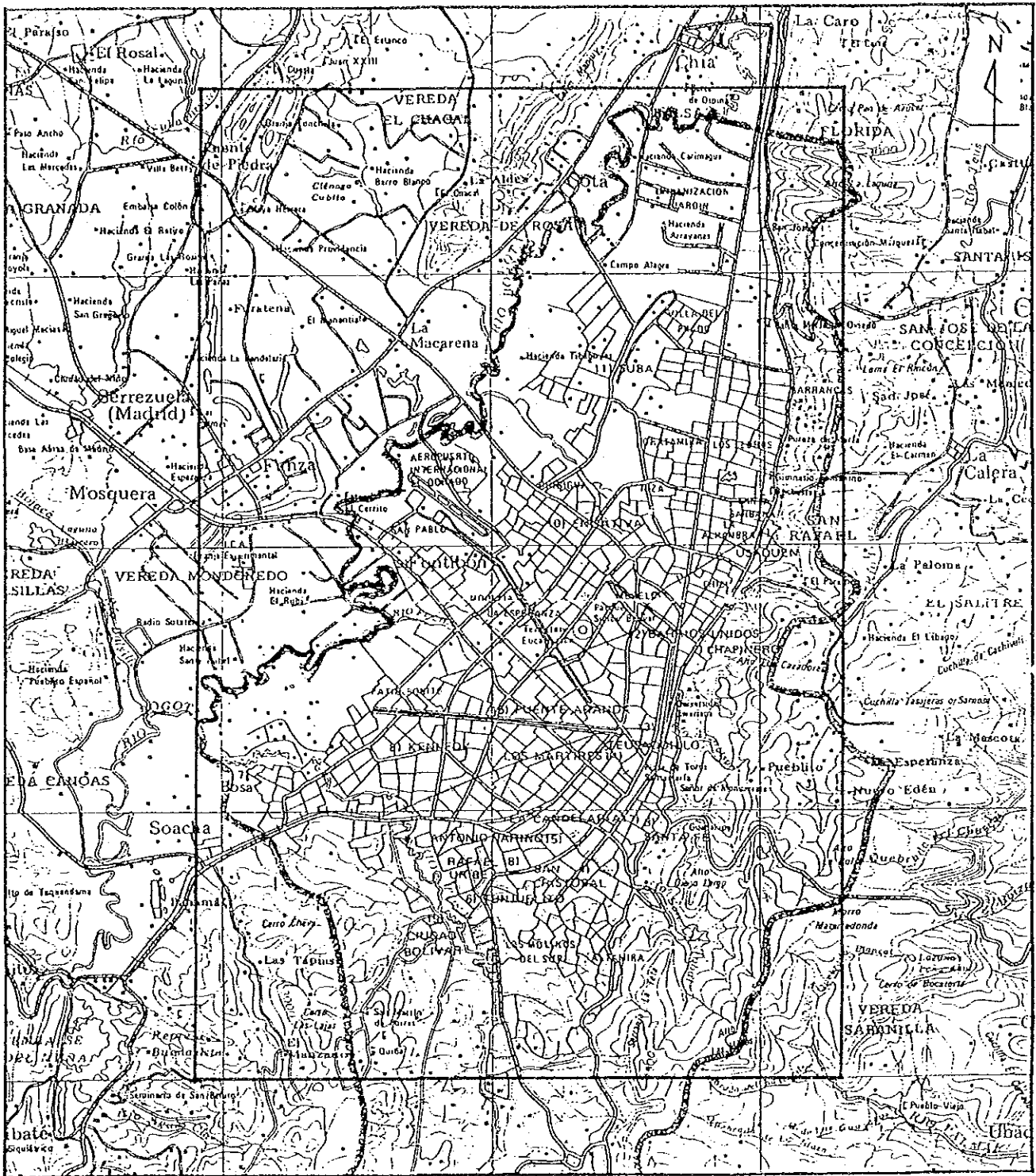


图 1.2.1 調査範囲 ()

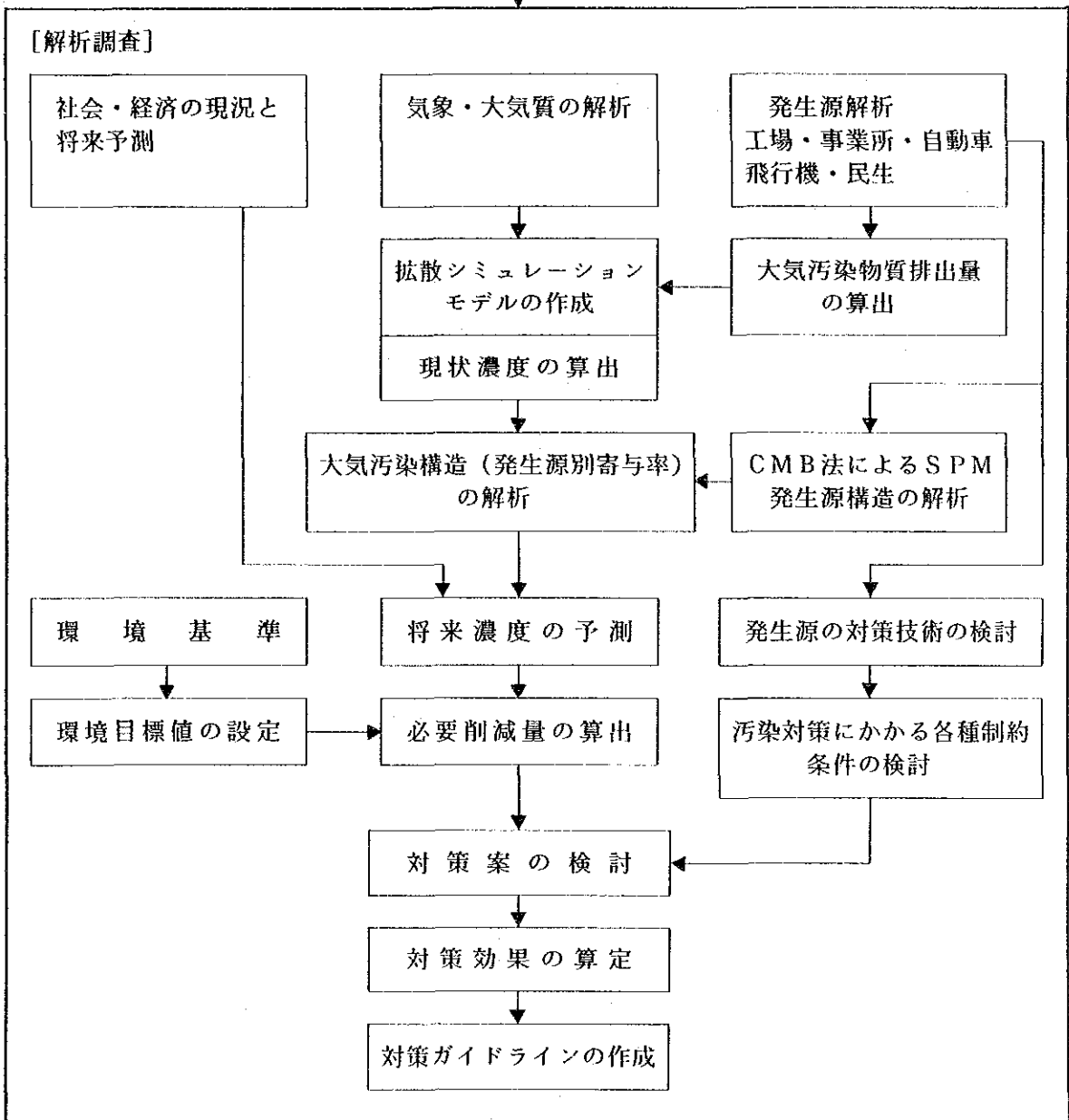
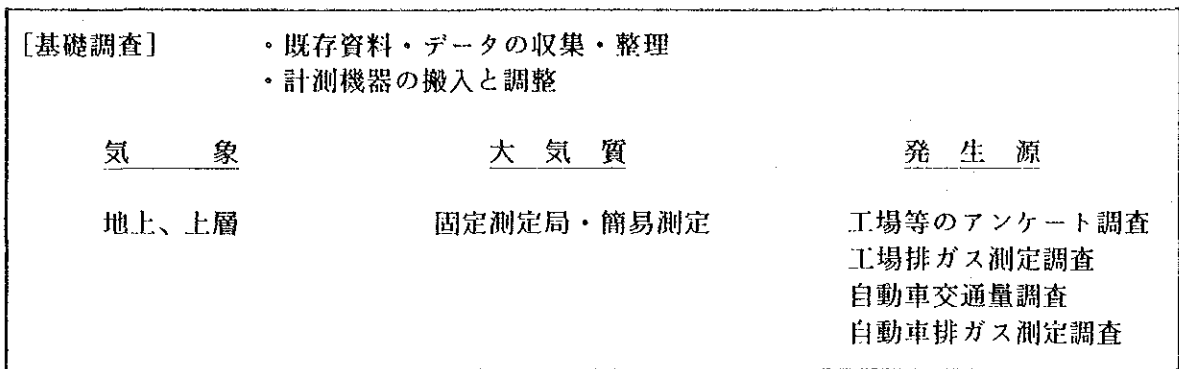


図 1.2.2 調査の概要

1) 基礎調査

a) 既存資料とデータの収集

- ・気象、気候、大気質
- ・社会経済、法律、規則、基準、その他
- ・発生源対策
- ・自動車、飛行機、工場、事業場、民生

b) 測定機材の搬入と調整

- ・固定測定局（5局）
- ・上層気象観測器
- ・工場排出ガス濃度測定車、自動車排出ガス濃度測定車

c) 現地調査

- ・気象
地上気象の測定、上層気象の観測
- ・大気質
5局の固定測定局による大気質濃度の測定
(SO₂、NO、NO₂、SPM、CO、NMHC、THC、O₃)
粉じんの粒径分布の測定と分析、重金属濃度の分析
簡易測定法によるSO₂、NO₂、NO_x、COの測定
- ・発生源
アンケート調査による工場調査、工場排出ガス測定
自動車交通量と走行速度の調査、自動車排出ガスの測定
燃料中の硫黄分の分析
土壌中の重金属の分析

2) 解析調査

a) 社会的、経済的条件の解析

- ・社会、経済、土地利用、交通、運輸、エネルギー、法律、規制、基準、管理、組織

b) 気象データの解析

- ・地上気象、上層気象

c) 大気質濃度の解析

- ・固定測定局
- ・簡易測定

d) 発生源解析

工場、事業場、自動車、飛行機、民生

- e) 大気拡散シミュレーションモデルの作成と大気汚染構造の解析
 - ・大気拡散シミュレーションモデル (SO_2 、 NO_x 、 NO_2 、 CO) の作成
 - ・発生源別寄与率の算出
 - ・CMB法によるSPM (Suspended Particulate Matter) の発生源別寄与率

- f) 将来における濃度の予測と必要削減量
 - ・将来発生源からの大気汚染物質排出量の予測
 - ・将来濃度の予測
 - ・環境目標値の設定
 - ・大気汚染物質の必要削減量

- g) 発生源対策とその効果
 - ・工場排出ガス対策
 - ・自動車排出ガス対策
 - ・対策の効果予測

- h) 大気汚染対策ガイドラインの作成
 - ・目標
 - ・実施計画
 - ・まとめ

(2) 調査工程

調査期間は1990年7月から1992年2月である。調査の工程を図1.2.3に示す。

(3) 技術移転

調査団はボゴタ市カウンターパートに対し、気象、大気質、発生源、測定に関する基礎知識、測定方法、機材のメンテナンス手法について技術移転を行った。

また、測定したデータの解析手法についても解析結果を用いて説明することにより技術移転を行った。技術移転の内容を以下に示す。

- ・気象観測
 - 地上気象
 - 上層気象
- ・大気質濃度の測定と分析
 - 固定測定局における連続測定
 - (SO_2 、 NO 、 NO_2 、 NO_x 、SPM、 CO 、NMHC、THC、 O_3)
 - 広域と道路周辺での簡易測定法による測定と分析
 - (SO_2 、 NO 、 NO_2 、 CO)
 - アンダーセン・ハイボリューム・エアサンプラーによる粉じん粒径分布の測定と分析

調査項目	年												1992								
	1990						1991						1	2							
月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
既存資料の収集																					
測定機器の導入と調整																					
気象																					
地上気象																					
上層気象																					
大気濃度																					
連続測定(固定局)																					
重金属濃度の測定																					
粉じんの粒径分布の測定																					
簡易測定																					
工場アケート調査																					
工場排出ガス測定																					
自動車交通量測定																					
航空写真による交通量算出																					
自動車排出ガス測定																					
社会・経済についての解析																					
気象・大気濃度の解析																					
大気汚染物質発生源の解析																					
大気拡散シミュレーションモデルの作成、																					
大気汚染構造の解析																					
将来濃度の予測と必要削減量の解析																					
大気汚染発生源対策の検討、																					
対策の効果予測																					
ガイドラインの作成																					
報告書の作成																					
報告書の提出																					

図 1.2.3 調査の工程

ローボリューム・エアサンプラーによる測定、原子吸光分析計による重金属分析

- ・発生源の測定
 - 工場のアンケート調査と排出ガスの測定
 - 自動車排出ガスの測定
 - 自動車交通量と走行速度の調査
- ・解析調査
 - 気象、大気質、大気汚染発生源のデータ解析
 - 大気拡散シミュレーションモデルの作成
 - 大気汚染対策の技術
 - ガイドラインの検討

1. 3 調査の組織

(1) ボゴタ側の組織

調査に際してサンタフェ デ ボゴタ市は、厚生局環境保護課の課長のEdgar Camilo Luengas Pinzon氏を長とするカウンターパートチームを組織した。

表1.3.1 コロンビア側調査体制

項 目	担 当 分 野	名 前 (所 属)
総括	全体	ING. EDGAR CAMILO LUENGAS PINZON ボゴタ市厚生局環境保護課長
社会、経済	社会、経済の現状と都市計画	TEC. JAIME MERCHAN PULIDO(同課)
気象測定	地上気象と上層気象の測定	TEC. JOSE ARDILA MORENO(同課) TEC. JAIME MERCHAN PULIDO
大気質濃度測定	モニタリングステーションでの測定と簡易測定	ING. CESAR A. GARCIA UBAQUE(同課) TEC. MIGUEL ANTONIO CARO(同課) TEC. JAIRO TELLEZ BALLEEN(同課)
大気質濃度分析	試料の化学分析	ING. MAURICIO DIAZ ZAPATA(同課) ING. EDGAR BELTRAN(同課)
固定発生源	固定発生源調査と解析	TEC. HERNAN G. PATINO GARZON(同課) TEC. DIEGO RAYO ANTURY(同課) TEC. RICARDO CEBALLOS QUINTERO(同課)
移動発生源	移動発生源調査と解析	ING. RAFAEL OSPINA LOPEZ(同課) TEC. ANGELA GOMEZ FORERO(同課) TEC. ERNESTO HERRAN PRIETO(同課) TEC. JAIME MERCHAN PULIDO
大気拡散シミュレーション	シミュレーションモデルの作成	ING. RAFAEL OSPINA LOPEZ
発生源対策	固定及び移動発生源対策	ING. RAFAEL OSPINA LOPEZ TEC. HERNAN G. PATINO GARZON
ガイドライン	大気汚染対策計画の作成	ING. EDGAR CAMILO LUENGAS PINZON

(2) 日本側組織

日本側組織は国際協力事業団が組織した調査団と作業監理委員会より構成される。それぞれのメンバーは表1.3.2、表1.3.3にそれぞれ示す。

表1.3.2 作業監理委員会

名 前	担 当	現 職	備 考
奥村 知一	委員長、総括	環境庁企画調整局保健企画課長	1990.7~
数野 賢治	発生源測定	横浜市環境保全局大気課技術史員	1990.7~
井上 元	大気汚染解析	国立環境研究所大気圏環境部 大気動態研究室長	1990.7~
水野 理	固定発生源対策	環境庁大気保全局大気規制課 総量規制係長	1990.7~1991.8
下平 隆	同上(後任)	環境庁大気保全局自動車公害課長	1991.9~
宇仁管 伸介	移動発生源対策	環境庁大気保全局自動車公害課長補佐	1990.7~1991.7
山崎 元資	同上(後任)	同上	1991.8~

表1.3.3 調査団

	名 前	担 当 分 野
1	杉田 善和	総括
2	荒木 信夫	解析(気象・環境大気)
3	宮川 亮	解析(発生源)
4	菊地 晴夫	モデル開発・シミュレーション
5	漆畑 喜八郎	汚染対策実施計画
6	平澤 信三	環境対策(固定発生源)
7	野口 雅章	環境対策(移動発生源)
8	野崎 裕	社会・経済
9	藤川 政徳	測定(気象)
10	岡山 洋一郎	測定(環境大気)
11	渡辺 和男	測定(固定発生源)
12	栗原 努	測定(移動発生源)
13	森田 展正	機器管理

2. 地域の概況

2.1 地形と気候

ボゴタ市街地は約2,600mの高さの高原盆地の南東に位置しており、その東側にはさらに500m高い3,000m級の山脈が連なっている。

気候は、高さが2,600mの高原盆地にあるため、赤道付近の低い緯度に位置しているにもかかわらず、年平均気温が14℃と低く、熱帯山岳気候の中の冷涼気候に属している。また気温の季節変化は小さく雨季が年に二回あり、年平均風が1.9m/sと風速が弱いことが特徴である。

2.2 社会・経済

1985年のボゴタ特別区（面積1,587km²）の人口は4,236千人で、コロンビア国の14.1%を占めている。また、ボゴタ地区（面積311km²）の人口は3,950千人で、最近の4ヶ年で4.7%の増加がみられ、その増加の大部分は南部と北部地域となっており、中央部ではむしろ減少しており、いわゆるドーナツ現象が見られる。

ボゴタ市の産業構造をGDPで見ると第三次産業が71%を占め、商業、運輸、通信の分野が発展している。第二次産業は29%となっている。部分別では製造業は22%程度である。製造業の中では食品、化学・ゴム、繊維、機械、運輸用機器の割合が大きい。また実質成長率は約5%となっている。

2.3 土地利用

ボゴタ地区の北部と南部に住宅用地が分布し、中央部が首都圏の業務施設用地、市の西方に農業用地がある。また工業用地は中央部に近い西部及び南部にある。中央部の市街化率は高く、都市化は郊外の農業用地に拡大している。

2.4 交通・運輸

市の主な道路は東の山脈と平行する道路及びそれに直交する道路と、3本の環状線から構成されており、その中でもAvenida Caracas道路は最も重要な道路である。

市内の一般市民の交通手段の大部分は自動車によるものである。その中で大量交通輸送機関であるバス(Bus)、ブセタ(Buseta)の割合は75%を占めている。なお、他の大量輸送手段はトロリーバス以外にない。

1991年のボゴタ特別区の自動車の登録車両台数は約350千台であり、乗用車が63%、小型トラックが14%、ジープが11%、バス5%となっている。また人口当りの台数は6.8台/100人であり、登録台数の伸び率は最近の5ヶ年で年平均7.9%の高い値となっており、人口の伸び率を上回っている。

公共交通に用いられているバス、ブセタの車両数は約1万4千台であり、市と39の民間会社に

より運行されている。路線数は450あり、その内268路線が都心を通っている。旅客数は一日2.5百万人で、その年増加率は約3%である。

走行している自動車の年式は20年以上が23%、10年から20年が70%と古い車両が大きな割合を占めている。なおボゴタ市の西部にエルドラド空港があり、国際線及び国内線の営業を行っており、その発着回数は約170回/日で、その内の大型旅客ジェット機は約90回/日である。

2.5 エネルギー

工業用エネルギーとしての主な燃料は、石炭、原油である。一般家庭のエネルギー消費は調理、給湯が大部分となっている。

2.6 組織と法律

大気汚染の防止を担当する国家機関は厚生省であり、下部機関である国家保健機構 (Sistema Nacional de Salud) の地域保健サービス (Servicio Seccional de Salud) が各州で実務を行っている。また、サンタフェ デ ボゴタ市では厚生局 (Secretaria Distrital de Salud) が担当している。

大気汚染に関する法律は1979年の衛生法 (法令第9号) に基づいて布告された1982年の政令第2号と83年の第2206号がある。前者には大気質 (SP、SO₂、NO₂、CO、O₃) についての環境基準と、工場の排ガスの排出基準とそれに係る諸規制が定められている。

これらの基準の達成状況を調べるために、市の環境保護課が1984年より大気質濃度を13地点で測定している。また工場の排出ガス中のばいじん濃度の測定を行っている。

3. 大気環境の現況

ボゴタ地域において気象と大気質について1990年秋から1991年夏まで測定した結果によるとその概要は以下のとおりである。

3.1 気象

(1) 地上気象

地上気象について、図3.1.1に示す5地点において風向、風速を測定した結果によると平均風速が1.9m/s～2.5m/sと弱く、特に地域の東側の市街地で弱い傾向が見られる。また風速の時刻変化をみると夜の20時から朝方の8時まで非常に弱く、午前から徐々に強くなり14時をピークにまた弱くなる。また月変化については、全地域において2月、8月に強く、3月に弱くなる傾向がみられた。市内の風配は、市の中央部は風向別に大きな変化がないが、南部にあるEl TunalとSan Juan de Dios地点は、南からの風が卓越している。

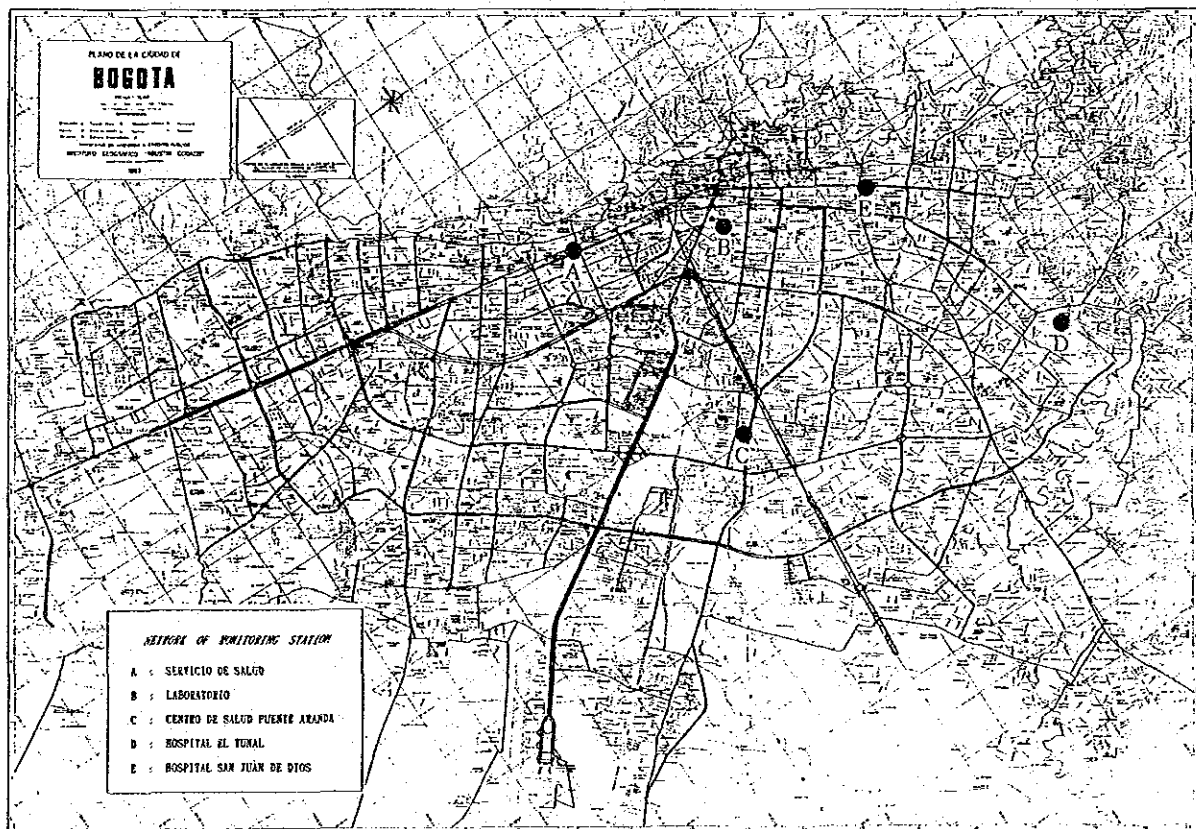


図3.1.1 測定局位置図

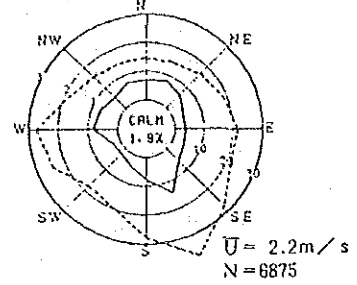
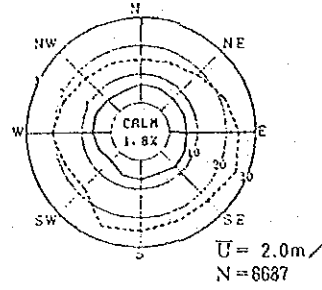
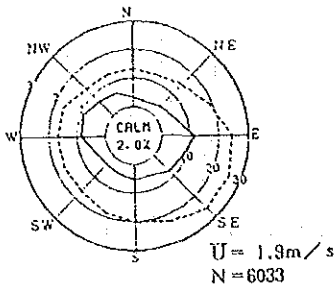
図3.1.2 風配図

— Ratio of Wind Direction (%)
 - - - Average of Wind Speed (m/s)

A: Servicio de Salud

B: Laboratorio

C: Puente Aranda



D: El Tunal

E: San Juan de Dios

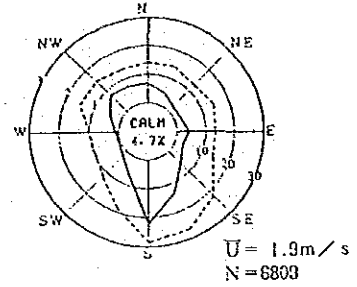
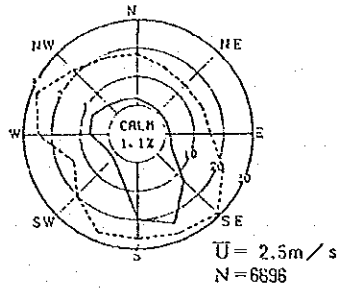


図3.1.3 風速の時刻変化

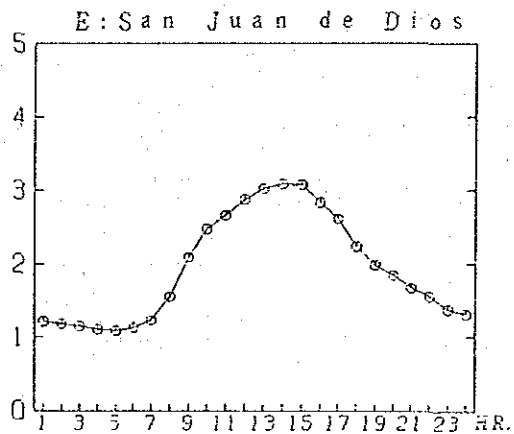
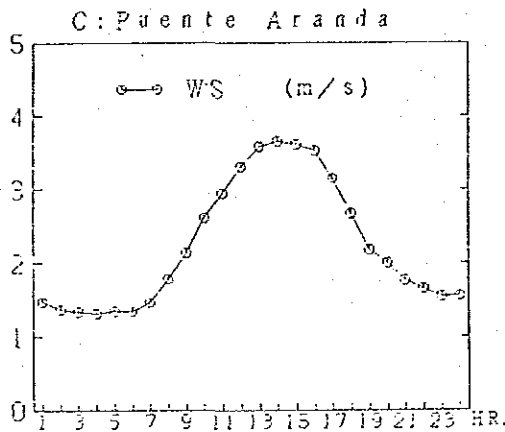
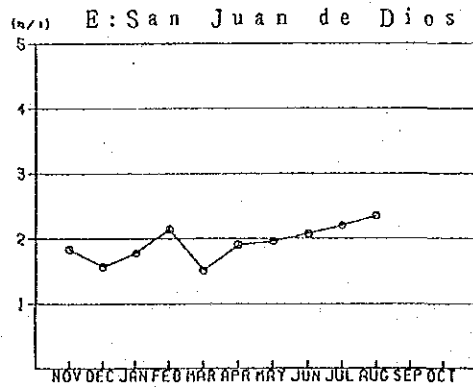
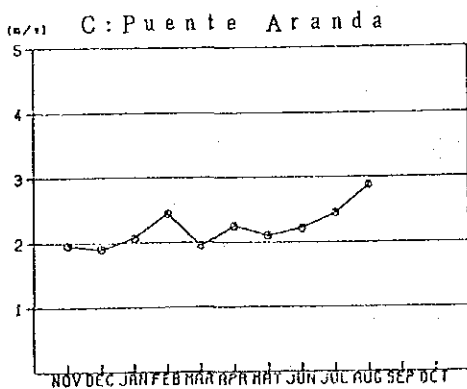


図3.1.4 風速の月変化



(2) 上層気象

上層気象観測は、シモンポリール病院に於いて計4回（一週間/回）実施した結果によると、測定期間中の風速の鉛直分布は、地上から高さ150m~300mまで風速が強くなり、それより上は変化しない傾向が見られる。なお、上空500mの平均風速は3.5m/sであり、地上の2.2m/sと比べてそう強い風速ではない。

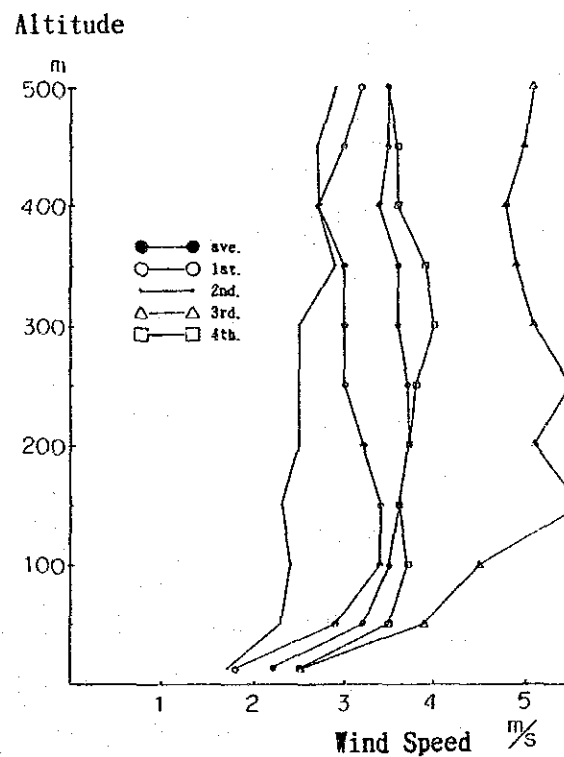


図3.1.5 風速の鉛直分布

at Simon Bolivar

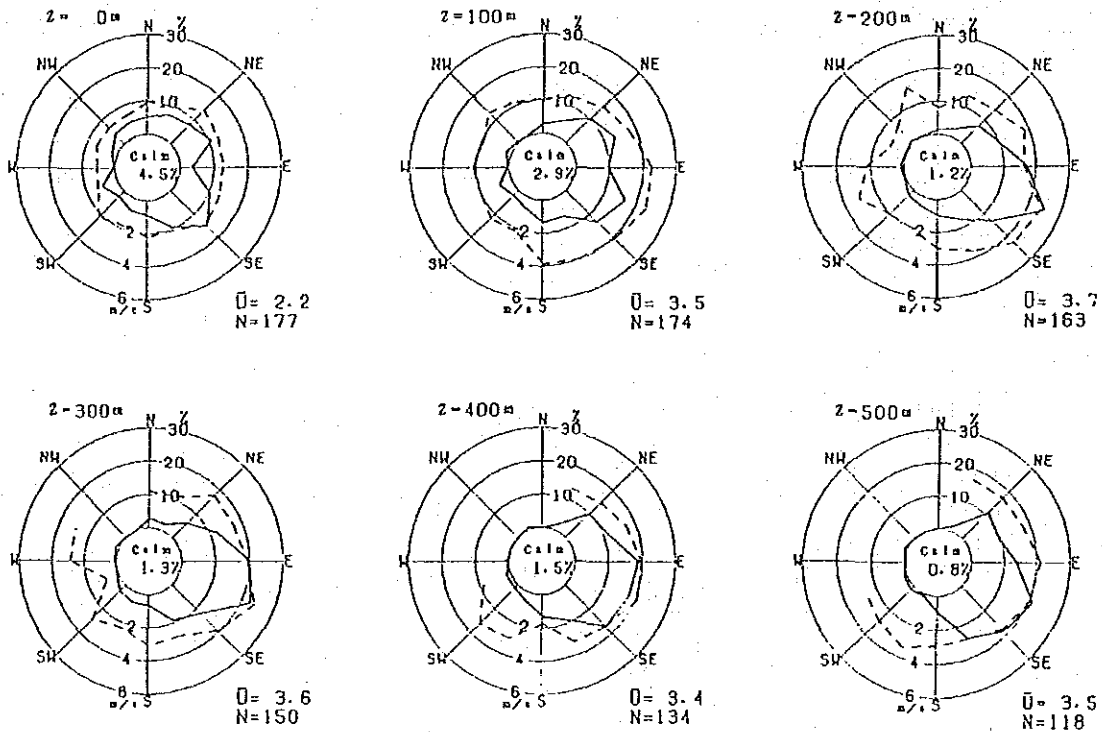


図3.1.6 風向の鉛直分布

上空の風向（図3.1.6）は、地上から高さ500mまで高さによる風向の変化は小さく、東よりの風が卓越するパターンを示している。

図3.1.7は気温の鉛直分布の逆転が発生している例であるが、早朝に約200mまでの高さの接地逆転が出現している。なお、接地逆転出現頻度はこのべ146時間の観測中、約7%に当たる10回であった。また、高さ100mを基準とした上下の上層逆転層の出現頻度もそれぞれ5回、10回と比較的少ない頻度になっている。

Meteorology of U. L.

Observed Point : Simon Bolivar (U. L.) Observed Date : 1990-12-1

↑ : UP
↓ : DOWN

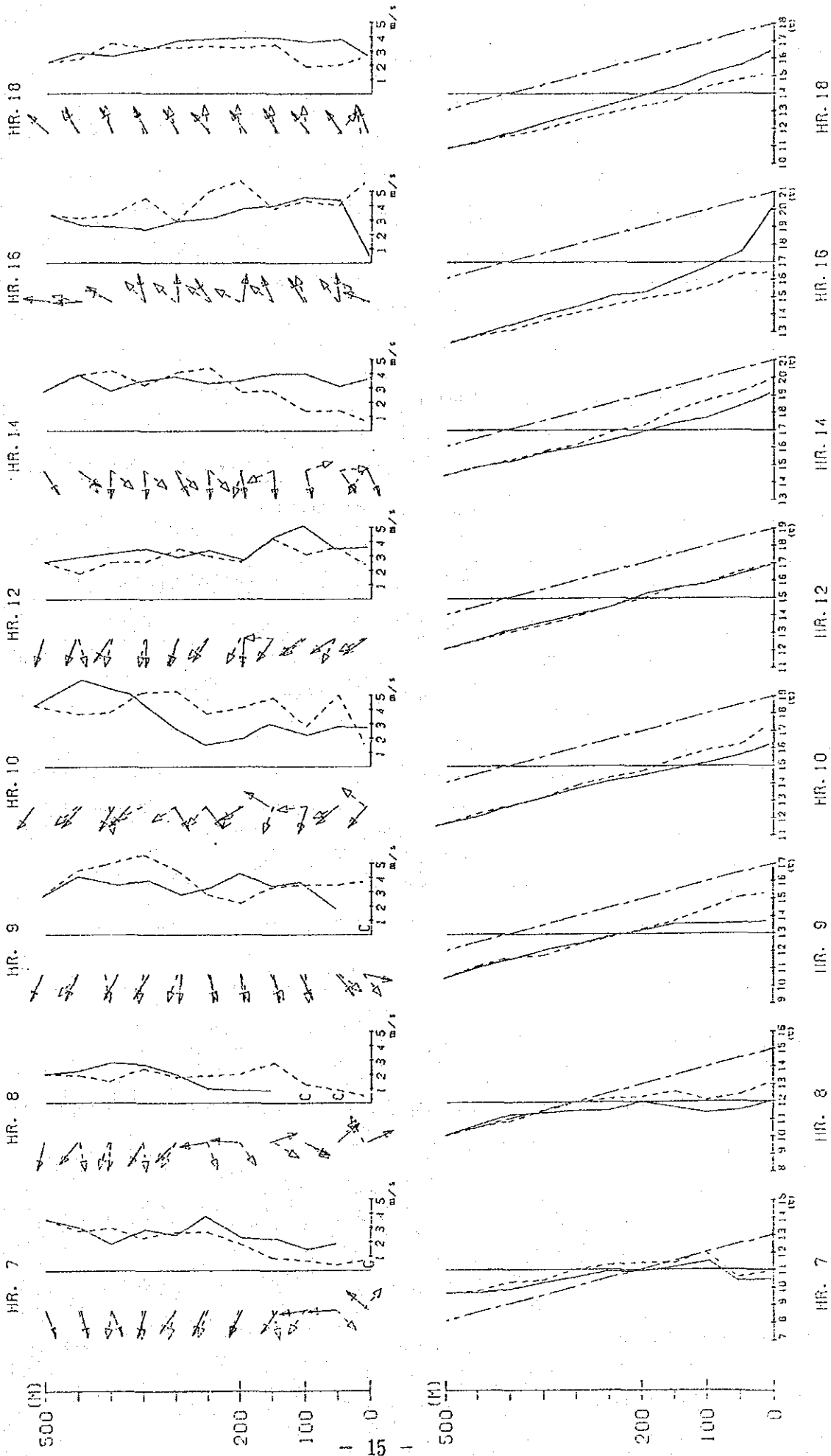


図 3.1.7 接地逆転観測例 (高度別気温、風向、風速)

3.2 大気質濃度

(1) 大気質濃度の現況

5局の測定局（図3.1.1）で1990年11月から1991年8月まで測定したSO₂、NO₂、NO_x、SPM、CO、NMHC、O₃の濃度の集計結果を表3.2.1に示す。

二酸化硫黄物（SO₂）：平均が7.0ppb～25.2ppbとなっている。道路周辺にあるE局が最も濃度が高く、次いでC局の22.9ppbとなっており、やや高い濃度を示している。A、B、D局は比較的低い濃度となっている。

二酸化窒素（NO₂）：平均が16.5ppb～33.3ppbとなっている。E局が最も高く、D局が最も低く、濃度の地域差が大きい。

窒素酸化物（NO_x）：平均が27.1ppb～101.2ppbとなっている。E局の濃度が最も高く、次いでA局の60.4ppbとなっている。B局、D局は低い濃度となっている。

浮遊粒子状物質（SPM）：平均が43.3μg/m³～70.2μg/m³となっている。工場地帯にあるC局の濃度が最も高いが地域差は大きくなく、全体的に40～60μg/m³の比較的高い濃度レベルとなっている。

一酸化炭素（CO）：平均が1.5ppm～8.5ppmとなっている。道路周辺にあるE局とA局の濃度が高く、その他の局は1.5ppm～2.3ppmとなっているが、この濃度は東京の約2倍である。

非メタン炭化水素（NMHC）：平均が1.9ppmC～2.7ppmCとなっている。道路周辺のE局の濃度が2.7ppmCと高く、また工場地域のC局も1.9ppmCと東京の濃度レベルの約4倍の高い濃度となっている。

オゾン（O₃）：一時間値の最大が114ppb（E局）、123ppb（C局）となっている。

(2) 環境基準達成状況

測定した濃度をコロンビア国の環境基準（表3.2.1の中の（ ）に示した値）と比較すると以下に示すようにCOとO₃が不適合となっている。

SO₂：基準値は3時間平均、日平均、年平均で定められているが全て適合している。

NO₂：基準値の年平均値（53.2ppb）に対して最も濃度が高いE局で33.3ppbとなっており、全ての局で適合している。

SPM：測定した濃度（SPM）をそのまま基準値（SP）と比較すると、日平均値、年平均値ともに適合しているが、各局の濃度レベルは低くない。

CO：8時間平均（基準値13.1ppm）の基準についてA局、E局の2局が不適合となっている。他の3局及び1時間値については全て適合している。

O₃：O₃はC局、E局において測定されているが、どちらも不適合となっている。その基準値（86.6ppb）を超えた出現率はそれぞれ0.4%、0.2%となっている。

表 3. 2. 1 大氣濃度測定結果彙括表 (1990. 11~1991. 8)

SO₂

unit: ppb

Measuring Point	Measuring Period(hour)	Annual Average (38.2)	Max Daily Average (152.8)	Max 3-hours Average (573.1)	Max Hourly Value
(A)Servicio de Salud	5513	7.0	20.7	57.3	71
(B)Laboratorio	6248	9.9	29.7	77.7	90
(C)Puente Aranda	6419	22.9	57.9	81.3	89
(D)El Tunal	6008	8.6	20.7	59.0	73
(E)San Juan de Dios	6502	25.2	42.7	95.0	147

note: () is ambient air quality standard value

NO₂, NO_x

unit:ppb

Measuring Point	Measuring Period(hour)	NO ₂		NO _x	
		Annual Average (53.2)	Max Hourly Value	Annual Average	Max Hourly Value
(A)Servicio de Salud	6478	27.2	215	60.4	331
(B)Laboratorio	6212	20.2	144	27.4	212
(C)Puente Aranda	6488	23.2	132	39.2	245
(D)El Tunal	6153	16.5	139	27.1	258
(E)San Juan de Dios	6102	33.3	282	101.2	344

S P M

unit: µg/m³

Measuring Point	Measuring Period(hour)	Annual Average (100)	Max Daily Average (400)	Max Hourly Value
(A)Servicio de Salud	6502	53.1	175.2	387
(B)Laboratorio	5612	43.3	110.8	397
(C)Puente Aranda	5415	70.2	147.4	322
(D)El Tunal	6669	59.1	160.0	567
(E)San Juan de Dios	5845	62.2	172.5	575

CO

unit:ppm

Measuring Point	Measuring Period(hour)	Annual Average	Max 8-hour Average (13.1)	Maximum Hourly Value (43.7)
(A)Servicio de Salud	4973	4.7	17.8 (1.4%)	23.9
(B)Laboratorio	5292	2.3	10.8	16.3
(C)Puente Aranda	5755	2.0	10.2	19.3
(D)El Tunal	5647	1.5	5.0	9.9
(E)San Juan de Dios	6422	8.5	23.6 (13.0%)	29.5

note: () is percentage exceeded standard value

NMHC, THC

unit:ppmC

Measuring Point	Measuring Period(hour)	non-CH ₄		Total HC	
		Annual Average	Maximum 6-9 o'clock Average	Annual Average	Maximum Hourly value
(C)Puente Aranda	4164	1.9	2.6	3.9	15.3
(E)San Juan de Dios	4451	2.7	4.3	4.7	13.3

O₃

unit:ppb

Measuring Point	Measuring Period(hour)	Annual Average	Maximum Hourly Value (86.6)
(C)Puente Aranda	6153	10.7	123 (0.4%)
(E)San Juan de Dios	3716	6.7	114 (0.2%)

note: () is percentage exceeded standard value

(3) 濃度の時間変化

図3.2.1は各大気質濃度の時間変化を示したものである。この結果によると、各大気質とも午前中にピークを持つ時間パターンを示している。特にCOとNO_xのパターンは非常に似ており、その主な原因発生源が同一であることを示している。O₃がピーク濃度の出現時刻は10時となっており、CO、NO_xと比べると約2時間遅れて出現している。また午後になって濃度が低くなる傾向がみられるのは、図3.1.3において示した所の風速が午後に強くなることによるものと推察される。

(4) 濃度の月変化

図3.2.2は濃度の月変化を示したものである。O₃を除く各大気質について、おおむね2月に低く、3月に高くなる傾向がみられる。この傾向は前出した図3.1.4の風速が2月に高く、3月に弱くなっていることと対応する。またO₃は1月から4月の間に高い濃度が出現する傾向がみられる。

(5) 濃度の地域分布

図3.2.3は簡易測定法(PbO₂法)によるSO₂濃度(1ヶ月間)とNO₂プレート法によるNO₂、NO_x濃度(1ヶ月間)を市内50地点で測定し、分析した結果である。

SO₂濃度の地域分布は、およそ市内の中央部から南西地域にかけて濃度が高い傾向がみられ、これはこの地域にある工場の影響とみられる。

NO₂濃度は市の中央地区において高い傾向がみられ、NOは主要道路の周辺で高い傾向がみられる。また、NO₂/NO_xは約0.3と小さく自動車排ガスの影響を受けていることが推察される。

(6) 道路周辺の濃度分布

道路周辺のCO、NO_x濃度を簡易測定法である検知管法で測定した結果、CO、NO_xとも道路端の濃度が高く、その影響は道路から約40m付近の離れた地点まで及んでいることが判明した。

(7) 浮遊粉じん(SP)の粒径分布

図3.2.4は工場地帯に位置するPuente Arandaの測定局で測定したSPの粒径分布である。この結果によると人体に影響が大きいと言われている7 μ m未満の割合は'90年11月を除くと50%~60%となっている。また人工起源が大部分と言われている1.0 μ m以下の割合は約30%となっている。

図3.2.1 大気濃度の時間変化

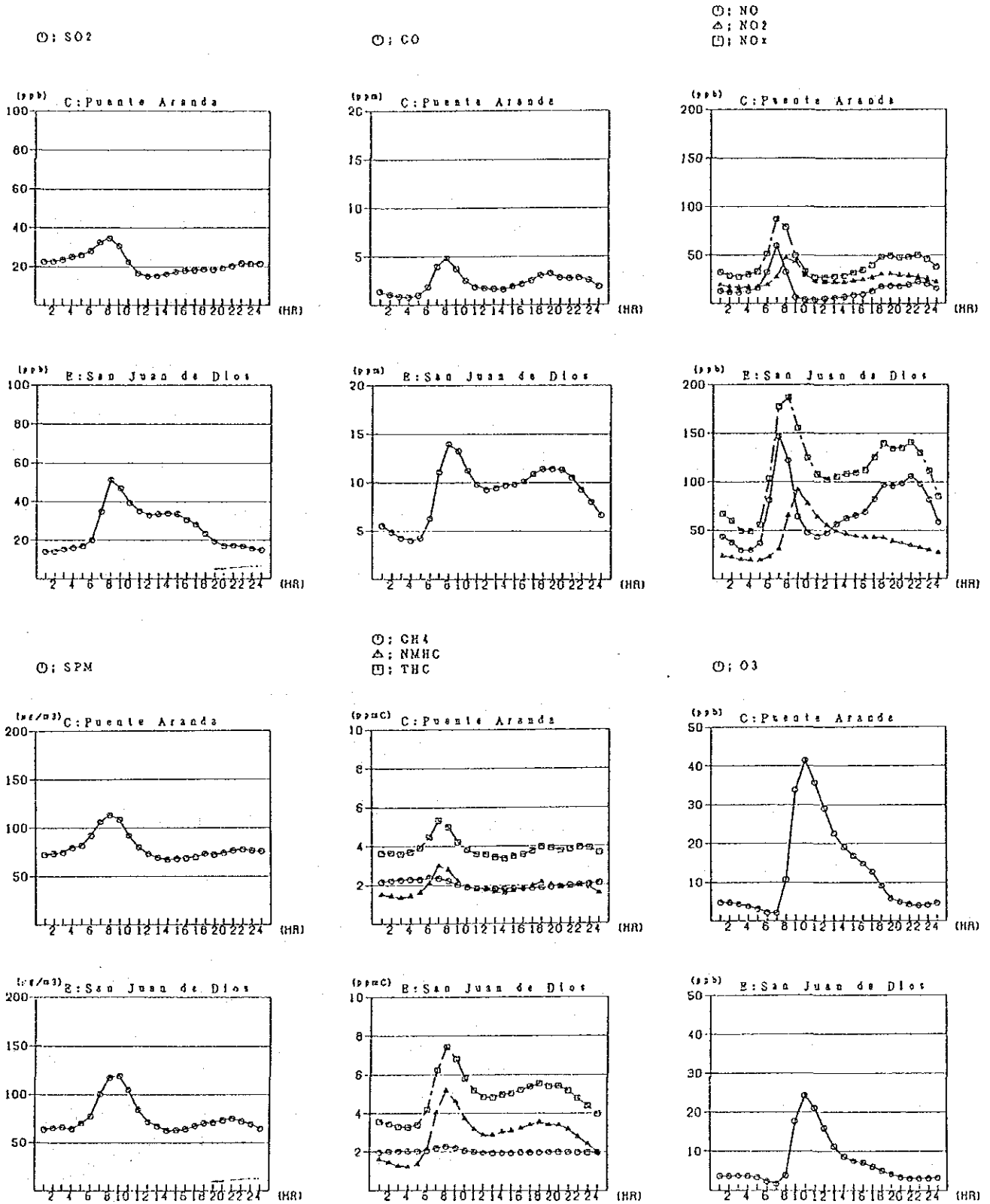
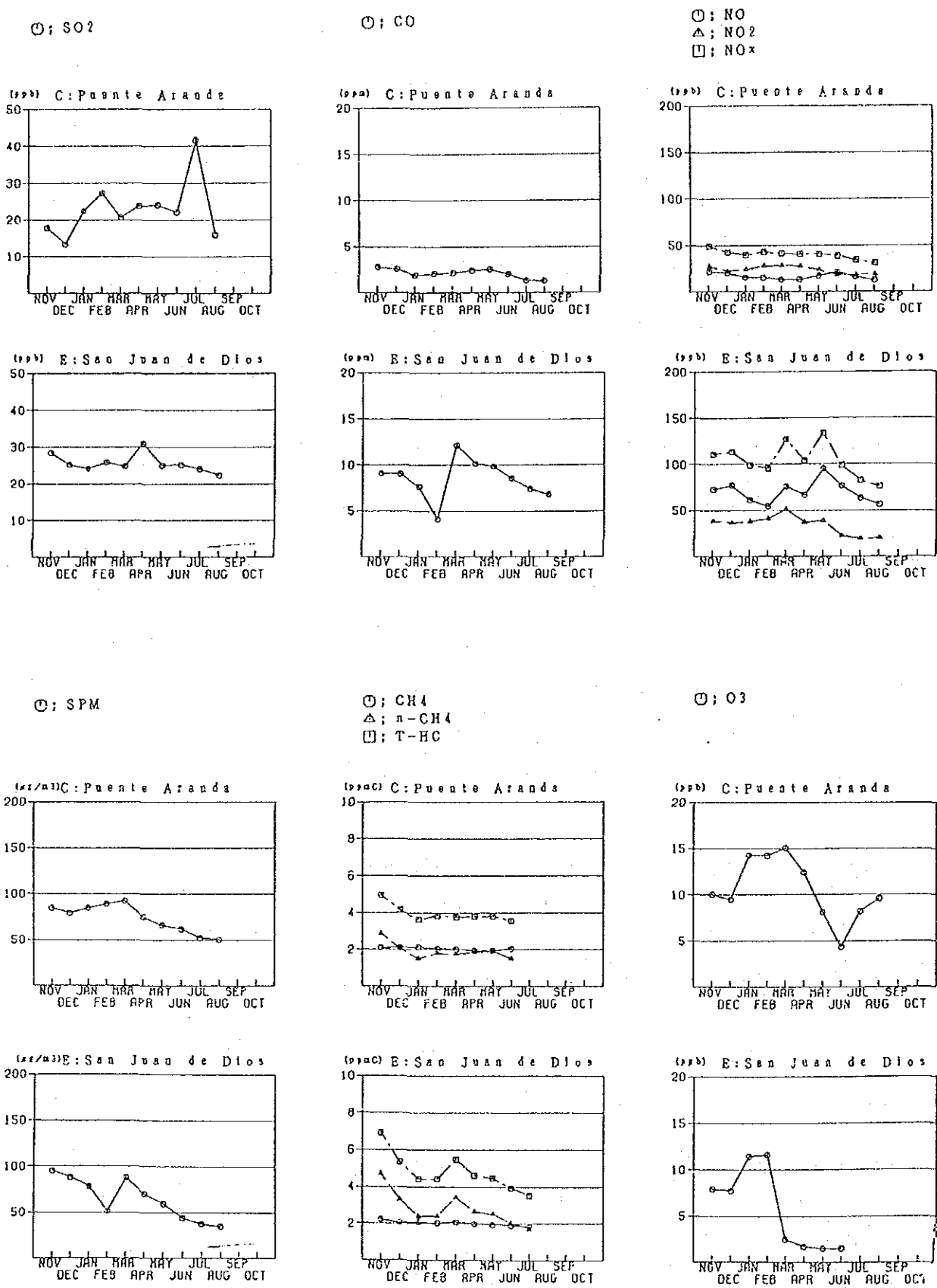


図3.2.2 大気濃度の月変化



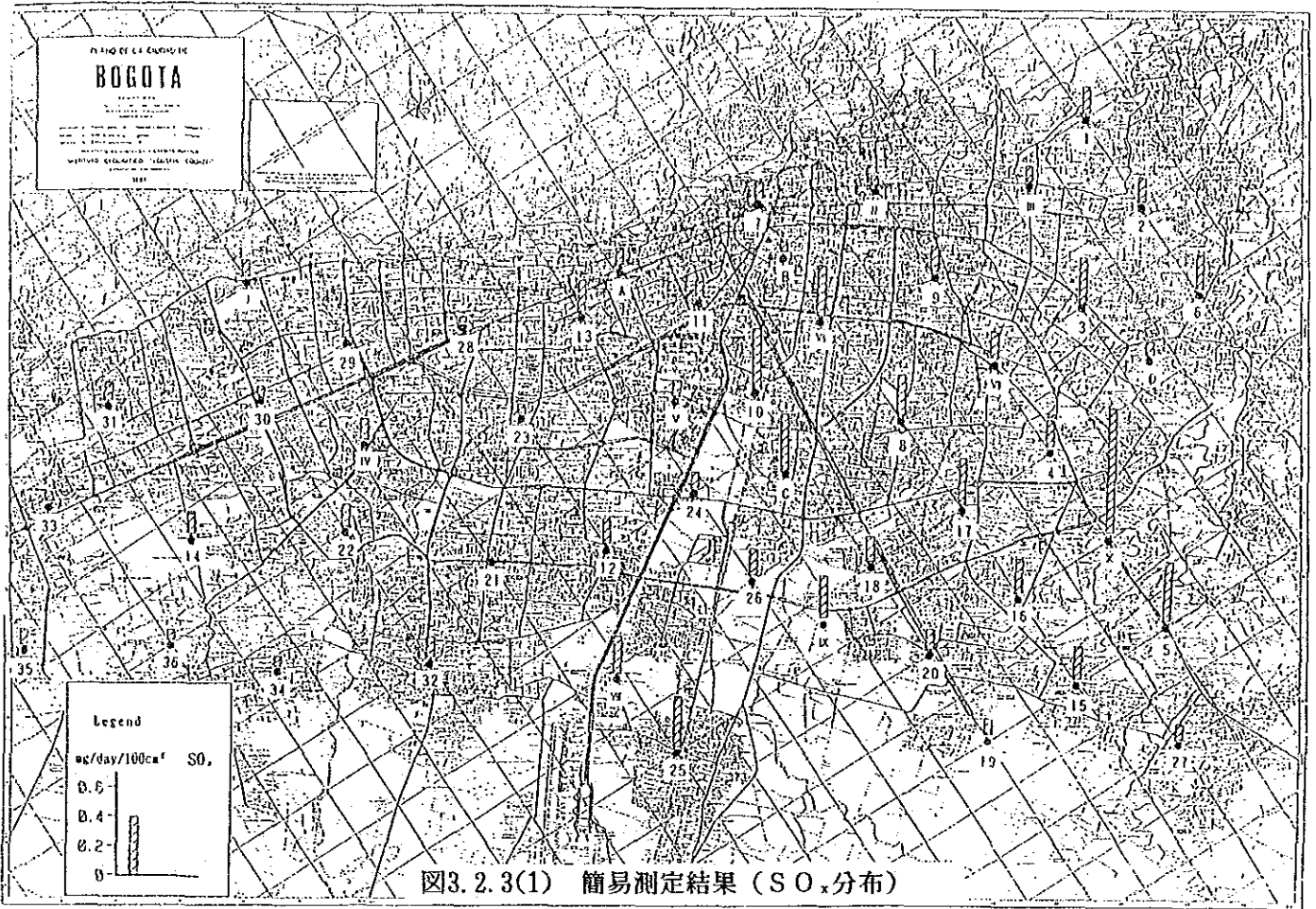


图3. 2. 3(1) 簡易測定結果 (SO₂分布)

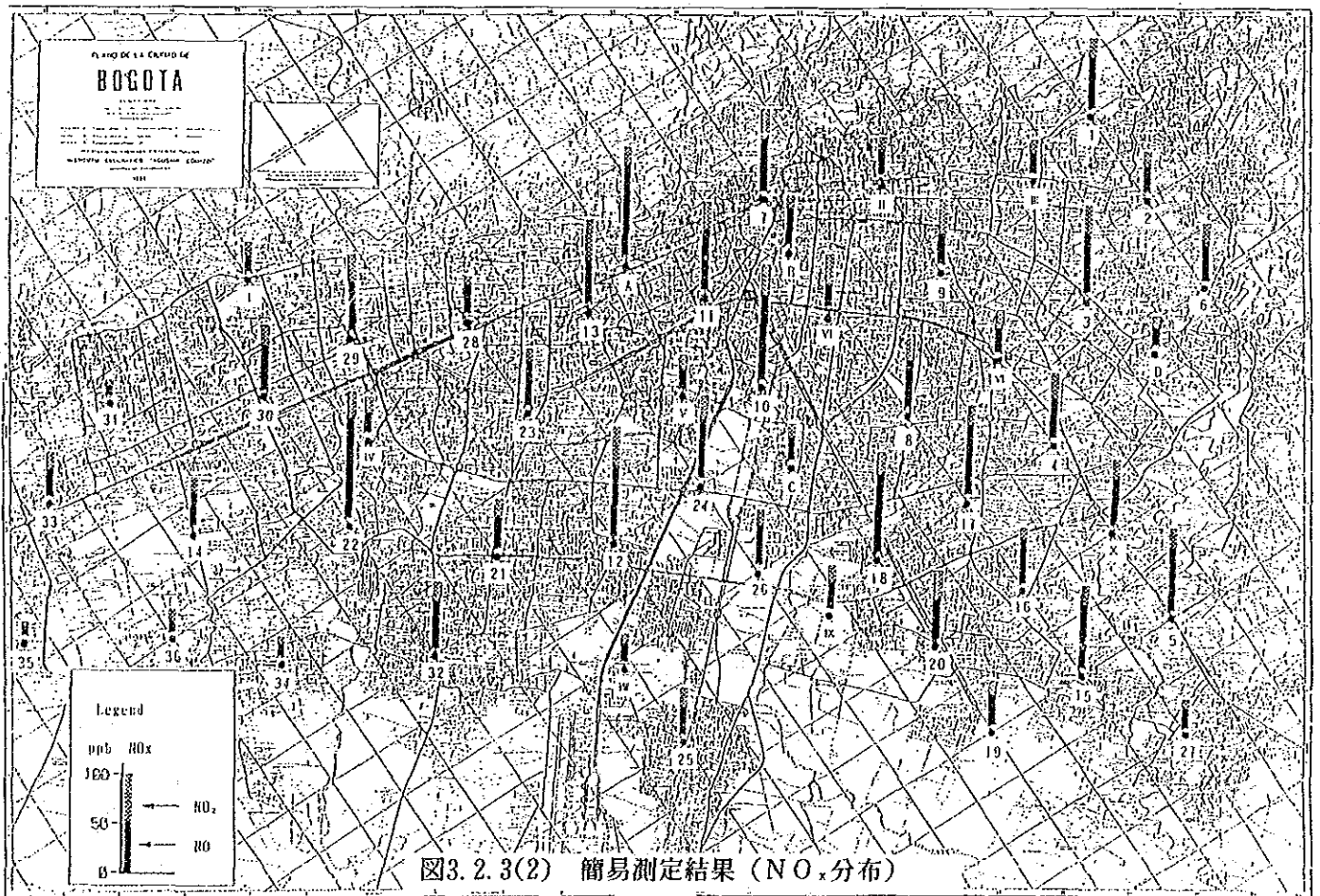


图3. 2. 3(2) 簡易測定結果 (NO_x分布)

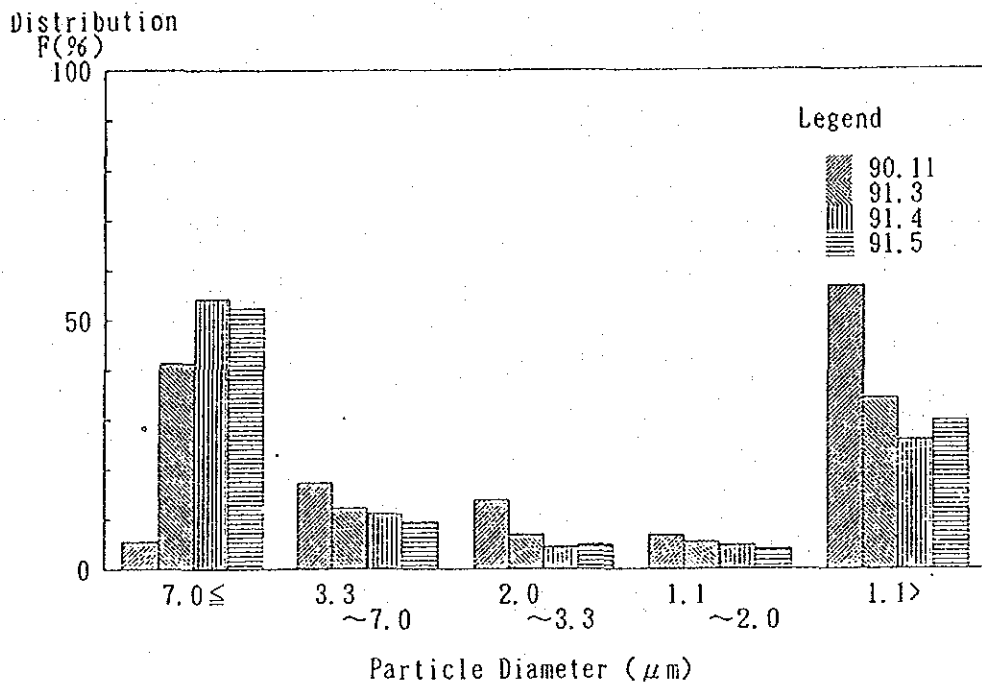


図 3.2.4 浮遊粒子状物質の粒径分布 (プエンテ アランダ局)

4. 発生源の現況

調査の対象とした発生源の種類は工場、事業場の排出ガス、自動車と飛行機の排出ガス、家庭の厨房、給湯である。

4. 1 工場、事業場

市内の154の工場・事業場に対して使用している燃料の種類と使用量、燃焼施設の種類などについてアンケート調査を実施した。また51の工場について煙突の排ガス中の大気汚染物質の濃度の測定と、その燃料の硫黄分等の分析を行い、工場・事業場からの大気汚染物質排出量をSO_x、NO_x、ばいじん (Dust) について算出した。

(1) アンケート調査

アンケート調査の結果によると業種別の工場数は食品・飲料製造業が31.2%と多く、次いで窯業が13.0%となっている。

施設種類別の施設数は、総数381の内、ボイラーが205基 (53.8%)、窯業炉が83基 (21.8%) とこの2種類で全体の75.6%を占めている。

燃料の種類別使用量は、液体燃料では原油が102千kℓ/年と一番多く、その大部分はボイラーで使用されている。次いで軽油が45千kℓ/年となっている。固体燃料では石炭が142千ton/年使用されており、その大部分はボイラーと窯業炉で使用されている。気体燃料はプロパンガスが使用されているが1.8千kℓ/年と少ない。また、木材は2.8千ton/年となっている。

表4.1.1は、煙突の高さ別の本数である。この結果によると11m~20mの低い煙突が75%を占め、31m以上は3% (11本) と少ない。

表4.1.1 煙突の高さ別本数

高さ (m)	本数
~10	37
11~20	275
21~30	43
31~50	8
51~70	3
計	366

なお排ガス処理装置の設置状況は、ばいじんの集じん装置が26基あり、その内約半分の14基がサイクロン集じん機となっていた。ただしその集じん効率は50~60%と低いものであった。

(2) 工場現地測定調査

現地測定調査は51工場について行った。その内訳はボイラーが30施設、レンガ焼成炉が6施設、土管焼成炉が3施設、その他12施設である。その調査結果の概要を表4.1.2に示す。

表4.1.2 工場排出ガス測定結果

NO	施設	燃料	D u s t g/m ³ N	S O _x ppm	N O _x ppm	O ₂ %	温度 ℃
1	ボイラー	原油	0.15~1.8	270~1370	15~681	3~16	112~288
		重油	0.15~0.25	420~460	199~210	5~14	199~200
		石炭	0.02~2.7	5~220	31~510	10~17	28~244
2	レンガ焼成炉	石炭	0.08~0.39	66~180	12~118	18~20	72~230
3	土管焼成炉	石炭	0.02~1.9	11~99	11~27	15~20	28~430
4	乾燥炉	軽油	0.11~0.53	5~11	29~33	19~20	67~75
		石油ガス	0.01~0.02	0	3~4	19~20	74~97
5	焼却炉	軽油	0.07~0.75	0~53	0~30	13~20	91~144
6	加熱炉	軽油	0.01~0.07	20~48	53~61	15~18	188~516

(3) 燃料分析

さらに燃料中の硫黄分（重量比）を分析した結果によると、原油が平均で2.3wt%、軽油が0.4wt%、石炭が0.57~0.74wt%となっている。また重油は2.4wt%となっているが実際にはさらに質の悪い油が混っていることが多く見られた。

(4) 排出係数

工場排出ガスの大気汚染物質の排出係数は、工場排出ガス調査結果と日本などの既存資料により設定した。その結果を表4.1.3に示す。

(5) 排出量

以上のデータを基に年間のばいじん、S O_x、N O_x排出量を算定した結果を表4.1.4に示す。業種別にみると3物質とも食品・飲料製造業・窯業からの排出量が多い。

表4.1.3 大気汚染物質排出係数（工場）

施設種類	燃料	SO _x	Dust	NO _x
ボイラー	原油	45.08 kg/kℓ	9.27 kg/kℓ	5.28 kg/kℓ
	重油	46.56 kg/kℓ		
	燃焼油	46.56 kg/kℓ		
	軽油	6.96 kg/kℓ	0.58 kg/kℓ	2.98 kg/kℓ
	石炭	8.84 kg/ton	12.00 kg/ton	4.78 kg/ton
	木	-	2.26 kg/ton	1.44 kg/ton
ガス炉	プロパンガス	-	0.20 kg/kℓ	1.35 kg/kℓ
鉄鋳溶解炉	コークス	8.84 kg/ton	2.70 kg/ton	1.20 kg/ton
アルミ溶解炉	重油	46.56 kg/kℓ	14.39 kg/kℓ	3.61 kg/kℓ
	灯油	1.92 kg/kℓ	42.79 kg/kℓ	1.58 kg/kℓ
金属熱処理炉	原油	45.08 kg/kℓ	1.20 kg/kℓ	1.00 kg/kℓ
	軽油	6.96 kg/kℓ		
石油精製用加熱炉	プロパンガス	-	36.18 kg/kℓ	1.49 kg/kℓ
煉互・土管焼成炉	石炭	11.47 kg/ton	8.18 kg/ton	8.31 kg/ton
ガラス溶解炉	原油	45.08 kg/kℓ	4.91 kg/kℓ	5.71 kg/kℓ
無機物直接加熱炉	軽油	6.96 kg/kℓ	1.80 kg/kℓ	9.60 kg/kℓ
食品直接加熱炉	原油	45.08 kg/kℓ	1.20 kg/kℓ	1.50 kg/kℓ
	軽油	6.96 kg/kℓ		
	プロパンガス	-		
乾燥炉	軽油	6.96 kg/kℓ	1.80 kg/kℓ	9.60 kg/kℓ
	木	-	2.26 kg/ton	1.44 kg/ton
	プロパンガス	-	0.20 kg/kℓ	1.35 kg/kℓ
ごみ焼却炉	軽油	6.96 kg/kℓ	20.10 kg/kℓ	1.65 kg/kℓ
煮沸炉	軽油	6.96 kg/kℓ	1.80 kg/kℓ	9.60 kg/kℓ
その他の炉	軽油	6.96 kg/kℓ	1.80 kg/kℓ	9.60 kg/kℓ

注1. ボイラー、窯業炉、木材乾燥炉、ごみ焼却炉の排出係数は、工場実測値から算出した。

2. SO_xの排出係数に関し、次の仮定を用いた。即ち、燃料中の硫黄の転換率は液体燃料で100%、固定燃料で75%とする。

表 4. 1. 4 業種別排出量

(単位 : ton/年)

NO.	Code	業 種	D u s t	S O _x	N O _x
1	311	食品製造 (1)	284.7	1400.2	198.8
2	312	食品製造 (2)	25.4	108.9	15.6
3	313	飲料製造	767.8	1854.2	410.4
4	314	タバコ製造	5.2	25.5	3.0
5	321	布製造	144.1	797.7	104.0
6	323	靴以外の皮製品製造	2.1	29.2	3.6
7	324	靴製造	9.3	45.8	5.4
8	331	家具以外の木製品製造	3.1	15.1	12.1
9	332	木製家具製造	27.0	92.9	78.4
10	341	紙製品製造	54.1	173.8	29.1
11	351	工業化学品製造	12.4	59.7	7.7
12	352	その他の化学品製造	8.7	38.7	12.1
13	354	石炭・石油製品製造	20.3	45.0	5.7
14	355	ゴム製品製造	9.8	55.0	10.2
15	356	プラスチック製品製造	0.1	0.0	0.8
16	361	窯 業	676.0	1038.2	686.8
17	362	ガラス製造	4.5	41.1	5.2
18	369	非金属鉱物品製造	0.0	4.3	1.9
19	371	鉄鋼業	10.6	67.8	6.9
20	372	非鉄金属業	14.0	2.2	2.7
21	384	運送機械製造	18.2	105.4	15.1
22	390	その他製造業	69.7	332.6	44.0
23	404	自動車製造	0.5	6.2	2.8
24	501	病 院	18.1	104.1	14.4
25	502	ホテル	10.7	59.1	10.7
26	508	その他事業	1.9	1.0	0.3
合 計			2198.3	6503.7	1687.7

4. 2 自動車

(1) 交通量調査

ボゴタ市内の主要道路を対象にのべ46地点においてカウンターによる交通量の実測調査を行った。調査結果によると市内の幹線の日交通量は非常に多く、その最大はAUTOPISTA NORTEの132,000台/日となっており、その他の幹線もほとんどは30,000台/日以上交通量がみられた。バスの混入率は市の南部と西部では20~30%と北部に比べて高く、さらに中央部では高くCarrera 10では約70%となっていた。トラックの混入率は市内は低いボゴタ市と他都市との連絡幹線道路で高く約15%程度の混入率がみられた。

交通量の時間変化は南北方向の道路で顕著であり、図4.2.1に示したとおり、朝は北から南に向かい、夕刻北へ向かうピーク交通が明らかになっている。

(2) ボゴタ市登録車の割合の調査

市内の主要幹線の4地点において、車のナンバープレートの読み取りにより、ボゴタ市と市外での登録自動車の割合を調査した結果によると、市内の登録の車両は約50%と低い割合であった。

(3) 走行速度調査

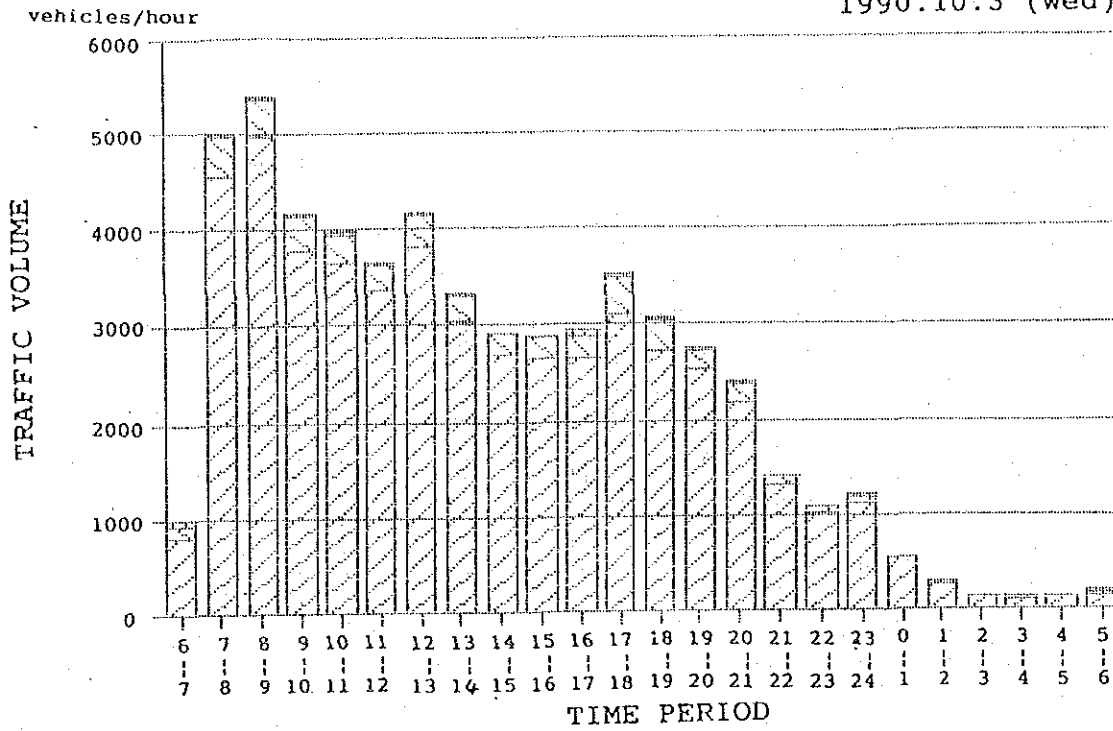
市内の自動車の平均的な走行速度を、実際に車を走行させて調べた結果によると、幹線道路では通常時に20~30km/h、混雑時に15~20km/hであり、特にバスはAve. CARACASとAve. 10を經由するものは、10km/h以下になる例があった。なお、この時のバスの1km当たりの停車回数が5~10回と多いものになっていた。

(4) 自動車排出ガス測定調査

市内の自動車(160台)について、アイドリング時における排気ガス中のCO、NO_x、HC濃度を測定した結果によると、ガソリン乗用車では平均でCOが6.1%、NO_xが55ppm、HCが1505ppmとなっており、最大はそれぞれ11.6%、369ppm、5470ppmであった。特にガソリンエンジンのバス及びトラックのHCの平均濃度が3000ppm前後の高い値となっていた。

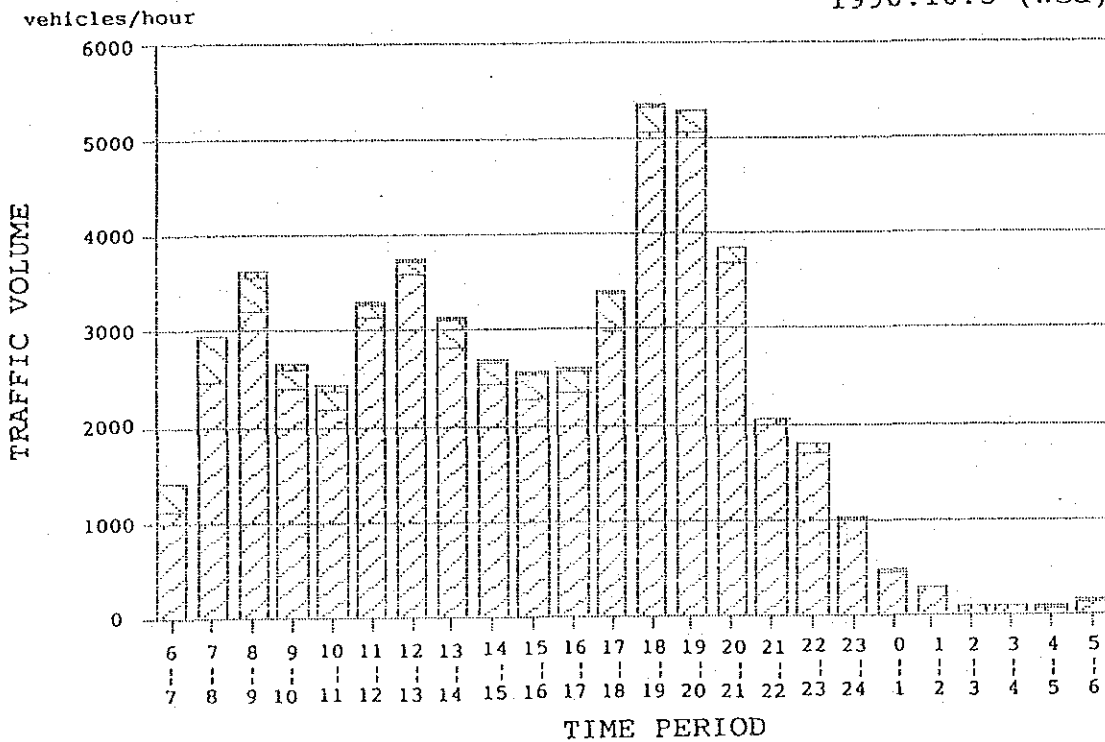
[N-->S]

1990.10.3 (Wed)



[S-->N]

1990.10.3 (Wed)



乗用車

 バス、小型バス

 トラック

図 4. 2. 1 南北道路の典型的時間変化(carrera 30)

(5) 自動車走行量

主要道路については現地測定で得られた交通量を用いて、また細街路については航空写真から読み取った台数及び車速を用いて自動車走行量(台・km)を算出した。その結果を表4.2.1に示す。

この結果によると乗用車の交通量は全体の約83%となっており非常に大きい割合を占めている。また、バスは小型バス(Buseta)を含めて約12%となっている。

表4.2.1 市内の自動車走行量
単位:10⁶台・km/年

車種	走行台・km ():%
乗用車	4,285 (82.5)
バス	641 (12.3)
トラック	265 (5.1)
合計	5,191 (100)

(6) 大気汚染物質の排出係数

各自動車は1km走行したときの大気汚染物質排出量(排出係数と言う)は、ボゴタ地域において直接測定したデータがないため、類似のメキシコ、米国のデータと、日本のデータを参考にして、表4.2.2のように設定した。なお、排出係数は自動車の走行速度によって変化するため、車速を説明変数とした関数によって算出される。

表4.2.2 排出係数

(単位: g/km)

車種	排出物質	平均車速(km/h)								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
乗用車	HC	6.75	4.73	3.74	3.19	2.83	2.58	2.39	2.23	2.06
	CO	71.38	53.97	43.91	38.71	35.25	32.82	30.72	28.28	26.55
	NOx	1.26	1.12	1.06	1.07	1.13	1.21	1.31	1.46	1.49
	SOx	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.10	0.09
バス	HC	17.75	13.38	10.58	8.63	7.22	6.20	5.36	4.69	4.20
	CO	306.29	229.04	182.09	150.25	127.37	109.64	96.72	86.53	78.46
	NOx	4.72	4.39	4.16	4.05	3.99	3.98	3.99	4.06	4.12
	SOx	1.01	0.85	0.77	0.73	0.65	0.67	0.66	0.64	0.63
トラック	HC	18.98	14.83	11.79	9.51	7.79	6.53	5.52	4.70	4.16
	CO	356.20	276.90	219.42	178.32	148.16	124.90	108.43	96.03	86.44
	NOx	7.44	6.91	6.47	6.16	5.92	5.76	5.62	5.61	5.59
	SOx	1.62	1.38	1.25	1.18	1.13	1.09	1.07	1.05	1.03

(7) 大気汚染物質排出量

自動車の走行量と排出係数により算出した大気汚染物質排出量を表4.2.3に示す。この結果によると、各大気汚染物質ともに乗用車が約40~60%、バス類が約30%、貨物車類が10~20%となっており、バス類と貨物車類の割合は走行量に比べて大きい。

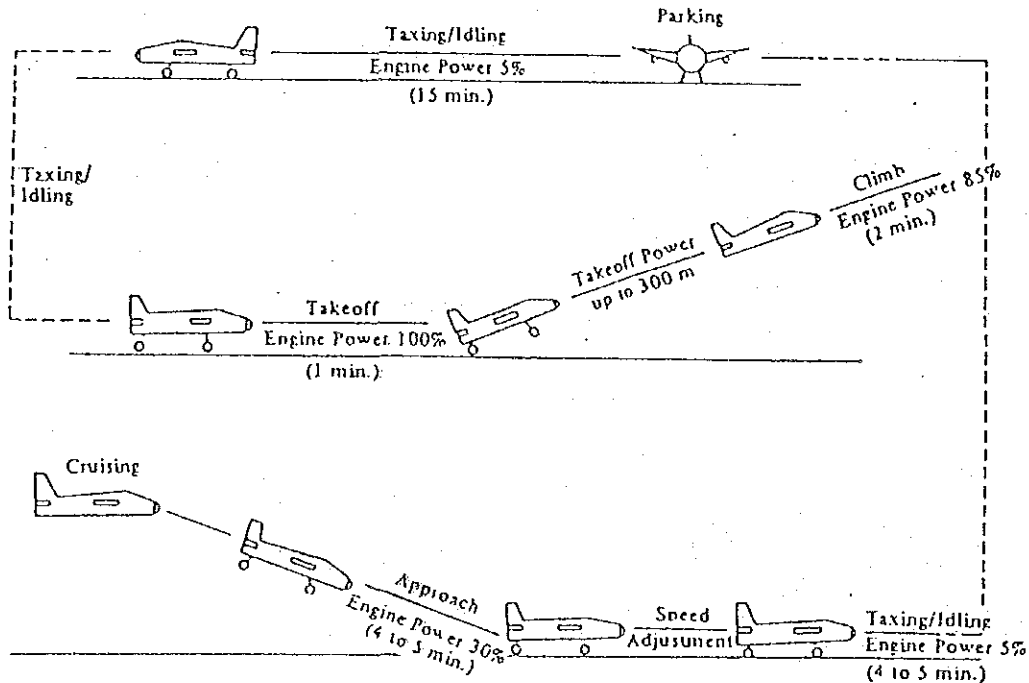
表4.2.3 自動車による汚染物質年間排出量

単位：ton/年(%)

車種	SO _x as SO ₂	NO _x as NO ₂	CO	HC
乗用車	496(39.1)	5,039(54.5)	149,237(51.7)	12,039(60.7)
バス類	475(37.4)	2,644(28.6)	100,545(34.9)	5,781(29.1)
トラック	298(23.5)	1,567(16.9)	38,651(13.4)	2,025(10.2)
合計	1,269(100)	9,250(100)	288,433(100)	19,845(100)

4.3 飛行機

市の西部にあるエルドラド空港は国内便と国際便の大型ジェット機がそれぞれ年間に29,200便、4,484便離着陸している。地上と低空での飛行モードは図4.3.1のようにアイドリング、離陸、上昇、着陸の4つのモードに区分される。飛行機の排出ガスの中の主な大気汚染物質であるNO_xとSO_xについて、モード別の排出係数を用いて算出した結果は、NO_xが114ton/年、SO_xが29ton/年となった。



Note: For DC-8 and B727, engine power for approach is 40%.

図4.3.1 飛行モード区分

4. 4 民生

ボゴタ市部の人口約490万人（1990年）の家庭において使用されるエネルギーの内、化石燃料であるコシノールとプロパンガスからの大気汚染物質の排出量は、SO_xが84ton/年、NO_xが254ton/年、Dustが105ton/年と推計された。

4. 5 発生源のまとめ

発生源毎の大気汚染物質排出量をまとめたものを表4.5.1に示す。SO_xは工場・事業場が全体の82%を占めている。また、NO_xは自動車全体が全体の82%を占めている。飛行機及び民生煙源の排出量は1～2%と小さい割合となっている。

なお、工場・事業場からのSO_x排出量の地域分布を図4.5.1に示す。

表4.5.1 大気汚染物質排出量

単位：ton/年(%)

発 生 源	SO _x	NO _x	Dust	CO	HC
工場・事業場	6,504 (82)	1,688 (15)	2,198 (95)	—	—
自 動 車	1,269 (16)	9,250 (82)	—	288,433	19,845
飛 行 機	29(0.4)	114 (1)	—	—	—
民 生	84 (1)	254 (2)	105 (5)	—	—
計	7,886(100)	11,306(100)	2,303(100)	288,433	19,845

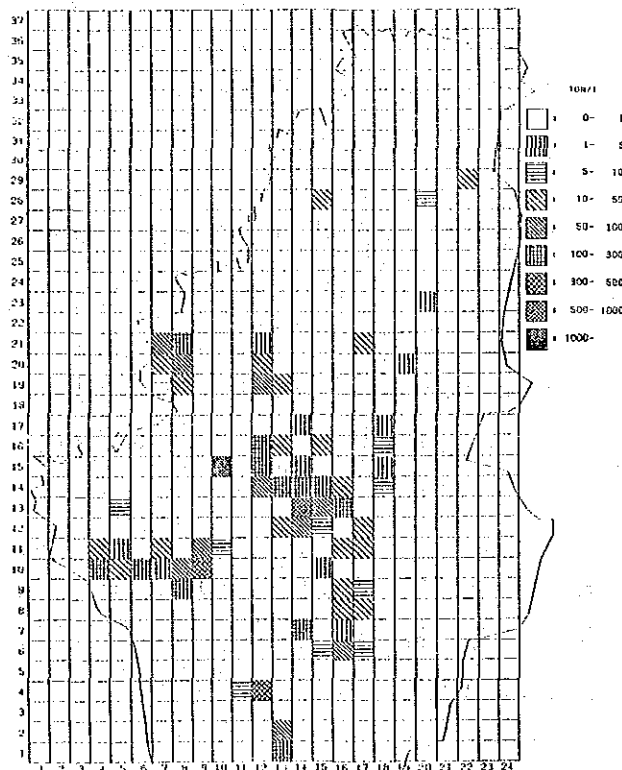


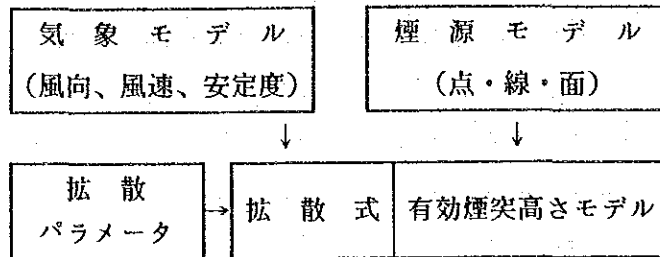
図4.5.1 SO_x排出量と地域分布（工場・事業場）

5. 拡散シミュレーションモデル

拡散シミュレーションモデルは工場の煙突及び自動車排ガスの寄与濃度、寄与率を求めるために作成する。また対象地域全体の濃度（1キロメッシュ）を推計する。

5. 1 拡散シミュレーションモデルの概要

モデルは以下に示すサブ・モデルより構成される。



(1) 対象範囲

① 算出濃度

SO₂、NO_x、NO₂、COの長期間平均値（年平均値）

② 対象発生源

工場、事業場、自動車、飛行機

③ 計算地点

測定局5地点及び市内における1kmメッシュの中央点

(2) 気象モデル

拡散計算に用いる気象データは風向、風速、大気安定度である。これらの気象要素は地域によって異なるため、市域をいくつかに分け、気象の地域ブロック化を行う。本調査では地域を5ブロックに分け、各ブロックの代表気象として、そのブロックに在る測定局のデータを用いた。なお、大気安定度は昼間は風速と日射量、夜間は風速と放射収支量のデータを用いて求めた。また、風速については対象発生源の高さに応じて修正を行った。以下に各気象要素の区分数を示す。

- ・風向階級：16方位と静穏（ ≤ 0.4 m/s）
- ・風速階級：8クラス
- ・大気安定度階級：11クラス

(3) 発生源モデル

工場と事業場の煙突は全て点源として扱った。自動車の走行する道路は主要幹線を線源に、細街路を面源として扱った。飛行機は飛行場の地上は面源に、地上から上空500mまでを点源とした。

(4) 有効煙突高モデル

排出ガスは、温度による浮力と吐出速度によって有効煙高さまで上昇する。本調査ではこの高さを有風時にCONCAWE式、静穏時にBriggs式を用いて算出した。

(5) 拡散式

拡散式は有風時に、一般によく用いられているブルーム式を、静穏時にパフ式を用いた。

(6) 拡散パラメータ

拡散パラメータはブルーム式にPasquill-Gifford線図を、パフ式にはTurner線図を用いた。

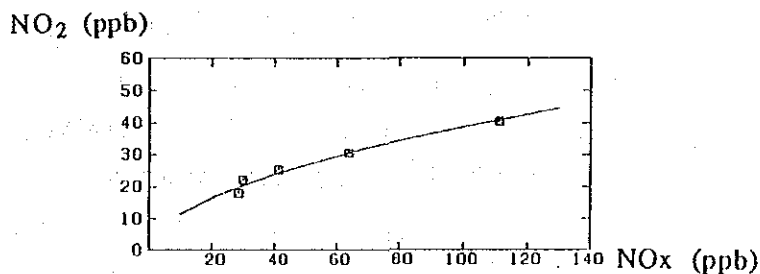
(7) NO₂変換式

拡散計算によって求めたNO_x濃度からNO₂を算出する方法は、以下に示す統計手法を用いた。

$$\text{NO}_2 = 3.41 \cdot \text{NO}_x^{0.527} \quad (\text{unit: ppb})$$

NO₂、NO_x : 長時間平均 (年平均)

係 数 : 5局で測定されたデータを用いて、
対数線型回帰手法によって求めた。



5. 2 拡散シミュレーションモデルの再現性

各大気質についての再現性を相関係数により評価した。その結果、表5.2.1に示したとおり4物質とも約0.8程度の良い相関が得られたが、SO₂とCOは濃度が高い測定局で、計算濃度がやや過小評価になっている。

表5.2.1 実測値とシミュレーションの相関

物質	相関係数 r	回帰式 Y = aX + b	相対誤差分散 S / \bar{Y}	$\bar{Y} - \bar{X}$
SO ₂ (ppb)	0.83	Y = 1.5X - 3.4	0.37	2.4
NO _x (ppb)	0.92	Y = 1.1X - 1.4	0.28	1.8
NO ₂ (ppb)	0.95	Y = 1.0X - 0.7	0.12	-1.0
CO (ppm)	0.95	Y = 1.7X - 0.7	0.45	1.3

Y:実測濃度 X:計算濃度

6. 大気汚染構造

6. 1 大気汚染の特徴

これまでの解析結果からボゴタ市地域の大気汚染の主な特徴をまとめてみると、大気汚染の発生の要因の一つである気象については、

- ・風速が弱いこと、特に朝方8時頃まで弱く、COの7～9時の高濃度の出現の大きな原因になっている。また、一般に上空の風速も比較的弱い。
- ・CO等の大気質濃度が高くなるのは、地上付近での接地逆転層及び等温層の出現する場合が多い。

また、大気汚染物質を排出している各発生源の特徴は、

- ・SO₂については、工場・事業場の燃料の燃焼による排出によるものが大部分であり、その多くは市の南西部に位置している。また煙突の高さが低いものが多い。
- ・NO_x、NO₂については、自動車によるものが大部分であり、道路周辺においてその影響がみられる。
- ・ばいじんについては、工場等の煙突に処理装置がついているものが少なく、高濃度の煙が排出されている。
- ・COについては、ボゴタ地域が気圧の低い高地にあること、また非常に古い車が走行していること、自動車の排出限度が定められてないことなどから、自動車から大量のCOが排出されている。
- ・HCについては、COと同様の理由により自動車から大量のHCが排出されており、その大部分は非メタンHCとみられる。

以上の発生源及び気象の特長によって生じた大気質濃度を測定した結果は、

- ・COについては道路周辺において高い濃度が生じ、環境基準を満足していない。また、道路から離れた地点の濃度も基準値に近い高い値となっている。
- ・O₃については、環境基準に定められた値を超える濃度が年間20時間以上出現している。また、O₃の発生の原因物質である非メタンHCの濃度が非常に高い値となっている。
- ・SPMについては、全測定局で環境基準を満足しているが、その濃度レベルは高く、道路周辺及び工場のある地域でより高い濃度を示している。
- ・SO₂については、全測定局で環境基準を満足しているが、工場地帯及び道路周辺で比較的高い濃度が出現している。
- ・NO₂については、全測定局で環境基準を満足しているが、道路周辺で比較的高い濃度となっている。

さらに発生源の寄与率を定量的に把握するために以下に示す拡散シミュレーションを行った。

6. 2 拡散シミュレーションによる発生源別の寄与と濃度の地域分布

(1) 寄与濃度と寄与率

各測定局及びメッシュ上の最大濃度地点の発生源別寄与濃度及び寄与率は以下に示すとおりである。

SO_2 : 5つの測定局の中では、(C) Puente Aranda局の濃度(20.8ppb)が最も高く、その68%が工場・事業場の寄与となっており、その濃度は14.2ppbである。またメッシュ上の最大濃度地点は西部の工場地域の道路周辺となっており、計算濃度が32.3ppbと環境基準の値に近い濃度になっている。この地点の発生源別寄与率は工場が61%、自動車32%となっている。(図6.2.1参照)

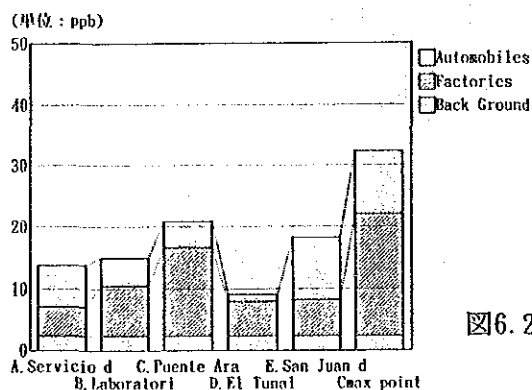


図6.2.1 SO_2 に対する発生源別寄与

NO_x : 窒素酸化物の環境基準は NO_2 で定められているが、発生源から排出された NO が複雑な反応の下に NO_2 に変換することから、本調査では NO_x での寄与率を求めた。

算出結果によると、5局のうち、(E) San Juan de Dios局と(A) Servicio de Salud局及び最大濃度地点の濃度が高く、その発生源別寄与率は自動車によるものが大部分となっている。自動車の寄与濃度は、濃度の低いEl Tunal局を除くと、42.3ppb~104.4ppb、寄与率は89%~97%となっている。なお工場排出ガス中の NO_x 排出量が地域全体に対して15%もあるにもかかわらず、寄与率が低くなる理由は、煙突による上空への拡散効果によるものである。(図6.2.2参照)

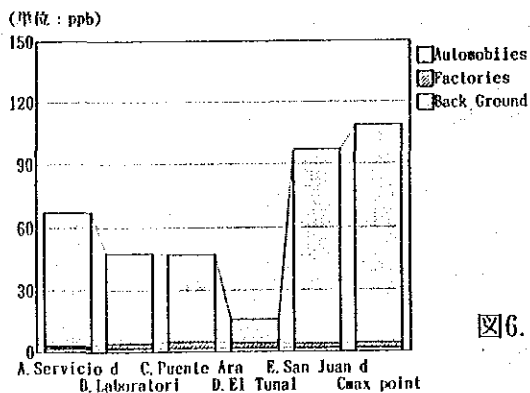


図6.2.2 NO_x に対する発生源別寄与

C O : 市内の工場の燃焼施設の種類をみるとの煙突からのC Oの排出はほとんど無く、自然界によるもの以外は全て自動車によるものであると良い。

算出結果によると、道路周辺にある測定局（A局、E局）及び最大濃度地点における濃度が高く、バックグラウンド値（実測値の平均から計算値の平均を差し引いた値）を加えて、5.2ppm~7.0ppmとなっている。（図6.2.3参照）

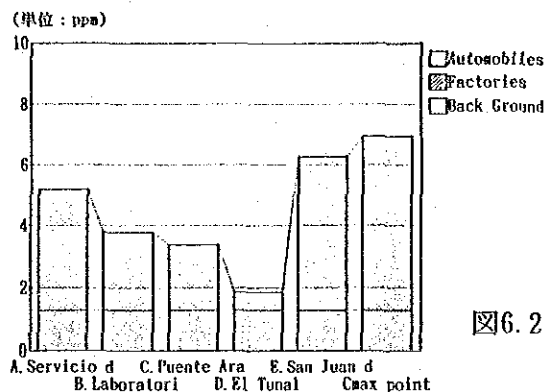


図6.2.3 C Oに対する発生源別寄与

(2) 濃度の地域分布

シミュレーションによるSO₂、NO₂、CO濃度の地域分布（図6.2.4～図6.2.6）をみると

SO₂ : 市の中央部の西から南西の方向にある工場地帯における濃度が高くなっている

NO₂ : 主要道路網が集中している広範囲な地域に25ppb以上の濃度が出現している。

C O : 中央部を南北にとおる幹線にそって高い濃度が出現している。

6.3 CMB法によるSPMの発生源別寄与率

SPM濃度及び発生源別の重金属排出量データをもとに、統計手法であるCMB法（Chemical Mass Balance）を用いて、SPMの各発生源別寄与率を求めた。結果は未知の煙源に起因する部分が約半分を占め、煙源種類ごとの寄与を論ずるには不十分な結果であった。原因としては、発生源側の重金属組成データ及び環境濃度データが十分でないことが考えられるが、今後さらにデータ及び関係資料の蓄積を行い見直すことが必要である。

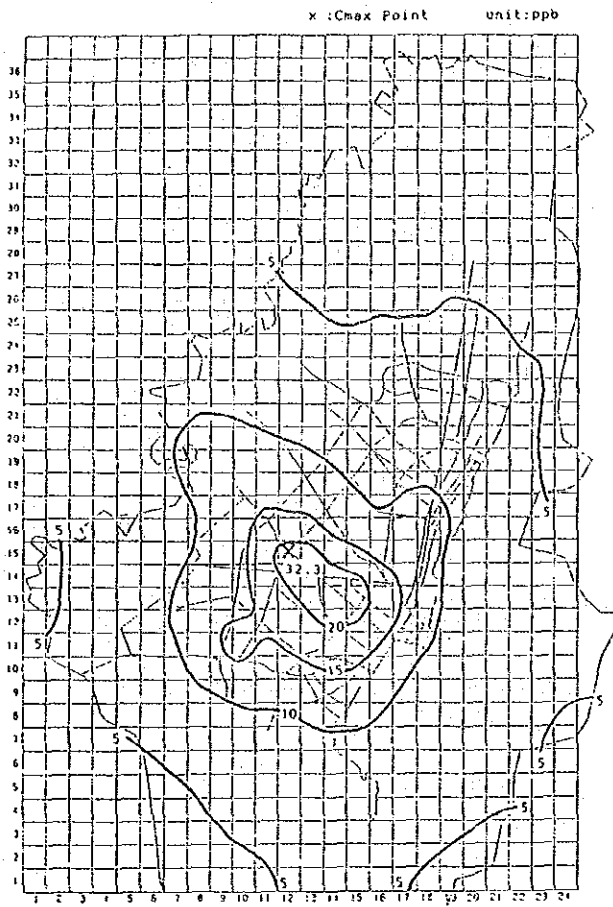


図6.2.4 シュミレーションによるSO₂濃度分布

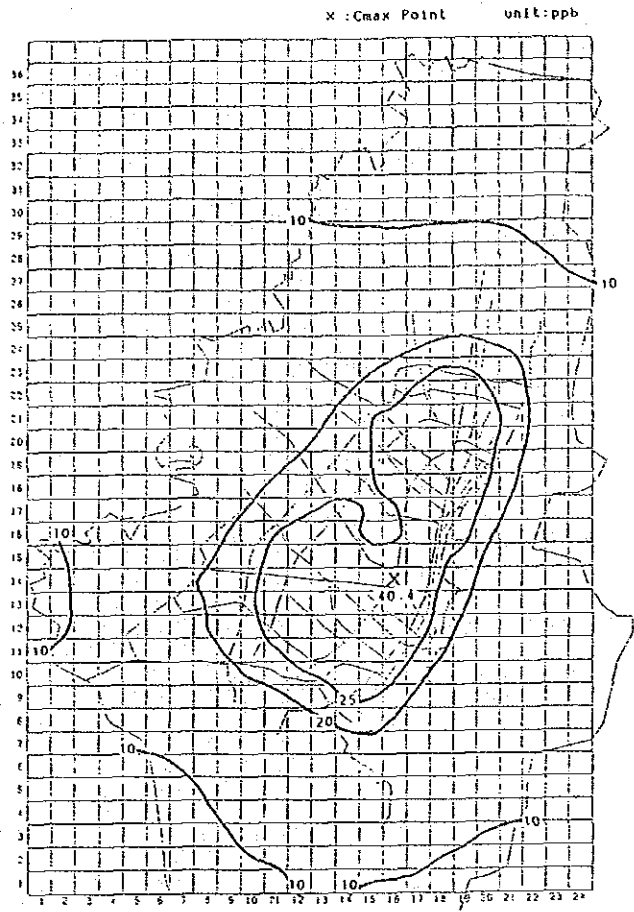


図6.2.5 シュミレーションによるNO₂濃度分布

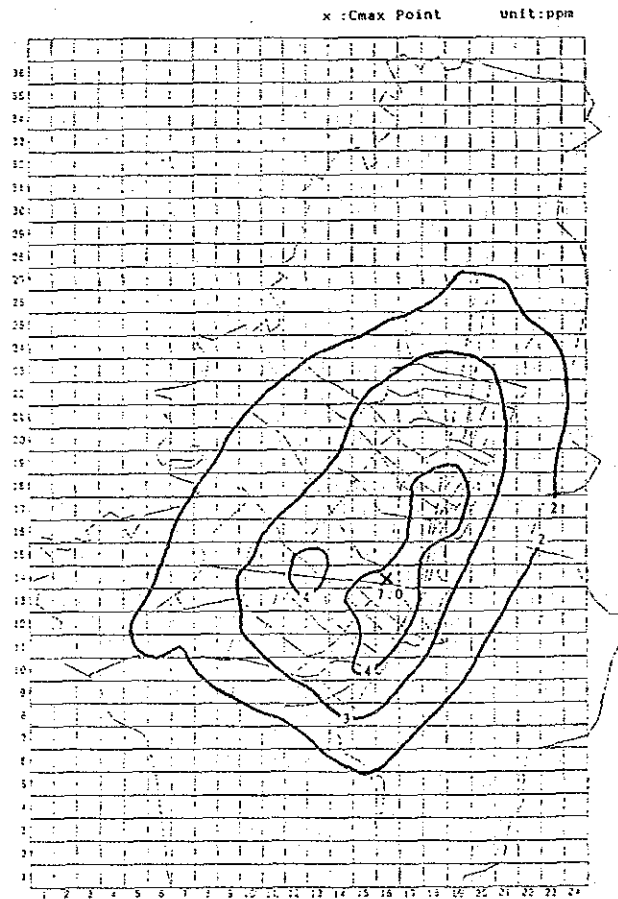


図6.2.6 シュミレーションによるCO濃度分布

7. 将来濃度予測と必要削減量

7. 1 将来発生源の予測

将来における発生源からの大気汚染物質の排出量の推計は以下に方法によって行った。また、将来の年次は10年先の2001年とした。

工場・事業場：ポゴタ市の最近10年の業種別生産額の伸び率（平均4.4%/年）を用いて燃料使用量を予測した。

自動車：乗用車類の交通量の伸び率は、ガソリン消費量の過去の推移から、3.9%/年とした。バス類及び貨物類の伸び率は、人口の伸び（2.8%/年）を用いた。またバスと貨物車はディーゼル化のすすむ最近の傾向を考慮して新車のディーゼル車の比率を約5割として予測した。

なお飛行機については、現時点では将来の拡張計画がないことから、現状のままとした。この結果、2001年における汚染物質の排出総量は表7.1.1のように推計され、現在よりも4割程度汚染物質の増加が見込まれる。

表7.1.1 将来汚染物質排出総量予測値（2001年）

（単位：ton/年）

煙源種別		Dust	SO _x	NO _x	CO	HC
固定	工場	3,155	9,076	2,475	-	-
移動	自動車	-	2,057	13,886	398,375	28,947
	飛行機	-	29	114	-	-
合計		3,155	11,162	16,475	398,375	28,947
1990年対比		+44%	+43%	+49%	+38%	+46%

7. 2 将来濃度の予測

将来推計した発生源を用いて予測した濃度は図7.2.1のように現状濃度の4割から5割程度濃度が高くなっている。

SO₂については最大濃度地点で43.7ppbとなっており、基準を越えている。NO₂については、いずれの測定局、メッシュ地点においても、環境基準を満足しているが、最大濃度地点において50ppbが出現しており、この値は基準（53.2ppb）とほとんど同じ高い濃度レベルとなっている。

COについては、測定局の中の1局を除き全ての測定局で目標値を越えており、ポゴタ市街地の大半の地域において4.0ppmを越える高い濃度となっている。

表7.2.1 将来予測濃度

Stations	Items	SO ₂ (ppb)	NO _x (ppb)	NO ₂ (ppb)	CO (ppm)
A.Servicio de Salud		18.8	98.4	38.3	7.08
B.Laboratorio		19.8	69.3	31.8	5.13
C.Puente Aranda		27.2	70.6	32.1	4.52
D.El Tunal		12.0	22.0	17.4	2.45
E.San Juan de Dios		26.6	142.7	46.6	8.55
Cmax Point		43.7	163.3	50.0	9.58
Mesh Index		(12, 15)	(12, 15)	(12, 15)	(16, 14)

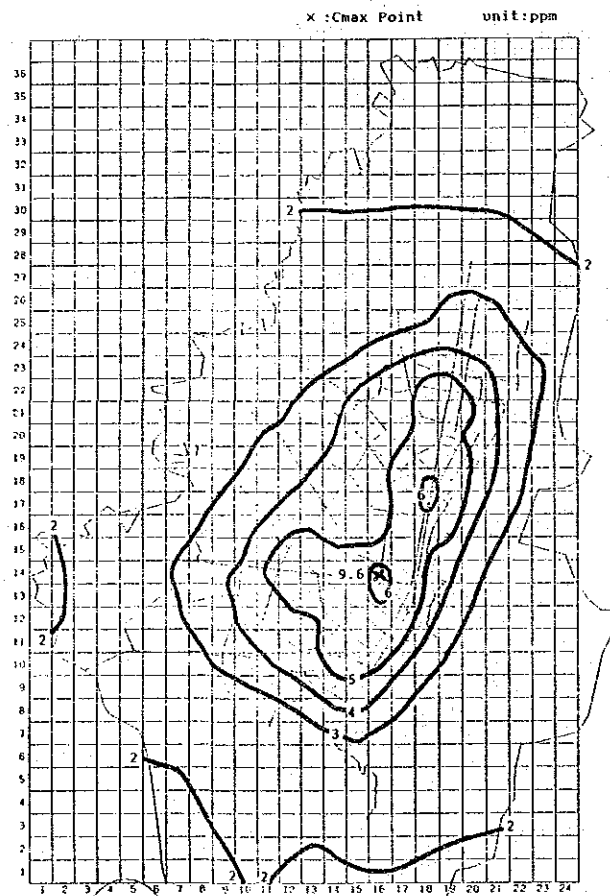


図7.2.1 将来予測濃度 (CO)

7. 3 環境目標値

対策の目標は国の環境基準を達成し維持することであるが、環境基準を達成するための発生源対策が年間のタイムスケールで取り扱うことが多いこと、また対策の効果を予測する時に年平均値を推計する拡散シミュレーションを用いるため、環境目標値は年平均値で設定する。

大気質の環境基準は年平均値の他に日平均値、時間値で決めてある大気汚染物質もあり、この基準値も満たす必要がある。そこで測定データを用いて年平均値と日平均値、年平均値と時間値との関係を求め、日平均値と時間値の基準値に相当する年平均値を推計し、もしその値が年平均値の基準値より低い場合は、この値を目標値として採用する。実際に測定したデータを用いて短時間の基準に相当する年平均値を求めた所、いずれも年平均値より高い値となり、下表のような結果となった。

表 7. 3. 1 年平均相当値の推計結果（・ 採用値）

項目	コロンビア環境基準	年平均相当値
SO ₂	年平均	・ 38.2 ppb
	日平均(次高値)	152.8 ppb
	3時間平均	573.1 ppb
NO ₂	年平均	・ 53.2 ppb
SP	年平均	・ 100 μg/m ³
	日平均(次高値)	400 μg/m ³
CO	8時間平均	13.1 ppm
	1時間平均	43.7 ppm

(注) 環境基準の値は測定器の仕様に合わせて重量単位から体積単位への換算を行っている。

なお、O₃は複雑な光化学反応によって非メタンHCやNO_x等から生じるため、O₃の環境基準を達成させるためにはその原因物質である非メタンHCやNO_xの濃度を低減させる必要がある。O₃の環境基準を達成させるために必要な非メタンHCやNO_xの濃度レベルは、O₃の発生メカニズムが非常に複雑なこと、データの量が未だ不十分であるので、今ただちに結論を得ることは困難であるが、非メタンHC濃度をO₃最大値との関係から当面濃度が高い非メタンHCの濃度を現状濃度の約1/3以下にすることとし、年平均値を 0.5 ppmCを目標として低減させる。

環境目標値のまとめ

項目	環境目標値 (年平均)
SO ₂	38.2 ppb
NO ₂	53.2 ppb
SP	100 μg/m ³
CO	3.6 ppm
NMHC	0.5 ppmC

7. 4 必要削減率

将来2001年の予測濃度と環境目標値を比較すると表7.4.1に示すように、COについては(D) El Tunal局を除く全ての局とボゴタ市街地の大部分の地域において予測値が目標値を越えている。SO₂については測定局の濃度は目標値を下回っているが、最大地点を含む一部の地域で目標値を越えている。

大気汚染物質の削減排出量を算定するための目安として、予測濃度と環境目標値を対比して必要削減率を算出した(表7.1.4)。

表7.4.1 予測値(2001年)と削減率

測定局	大気質	CO (ppm)		NO ₂ (ppb)		SO ₂ (ppb)	
		3.6		53.2		38.2	
	目標値	予測値	削減率(%)	予測値	削減率(%)	予測値	削減率(%)
(A)Servicio de Salud		7.1	49	38.3	—	18.8	—
(B)Laboratorio		5.1	29	31.8	—	19.8	—
(C)Puente Aranda		4.5	20	32.1	—	27.2	—
(D)El Tunal		2.5	—	17.4	—	12.0	—
(E)San Juan de Dios		8.6	58	46.6	—	26.6	—
最大濃度地点		9.6	63	50.0	—	43.7	13%

COの削減率はメッシュ最大濃度地点で63%、測定局の中の道路周辺に位置する(E) San Juan de Dios局で58%、次いで濃度が高い(A) Servicio de Saludで49%の削減が必要である。この結果を見ると、自動車排出ガスの影響を非常に強く受けている道路周辺における削減率が非常に大きいため、当面一般環境での測定局と位置づけられる(A) Servicio de Salud局での削減率49%を目指す。その後、道路周辺での目標値の達成のため削減率を63%とする。

SO₂の削減率はメッシュ最大濃度地点で13%である。また測定局については削減率0%となるが、その濃度レベルは環境目標値に近い高い濃度になっていることから、この濃度を現状濃度レベルに戻すことを最大目標とし、その削減率を26%とする。

NO₂の削減率は、予測値が全測定局と地点で目標値を下回っているので0%になるが、予測された将来濃度は必ずしも低くなく、現状の濃度レベルを維持することが望ましいため、最大目標としての削減率を33%とする。

O₃の原因物質のひとつである非メタンHCの削減率は、現状の濃度の出現状況から7.3に示したように現状濃度の1/3の濃度にする事としたが、将来において自動車交通量が約1.5倍になり、またその他の未把握の発生源も同率で増えると考え、必要削減率は将来排出量の約4/5の80%と非常に厳しいものとなる。

ここで各汚染物質の削減率を整理するとCOが49~63%(道路沿道)、SO₂が13~26%(最大目標)、NO_xが0~33%(最大目標)、非メタンHCが80%となる。

8. 発生源対策

対策の検討の対象とした発生源は工場、事業場、自動車である。

8.1 工場・事業場

8.1.1 対策の現状と必要性

ばい煙発生施設の実態調査によると、施設総数が381基でそのうち液体燃料使用のボイラが177基、石炭燃焼ボイラが27基、レンガ・土管焼成炉が83基あり、この3種類で全体の約76%を占めている。

排出基準は1979年に制定された法律（衛生法）に基づいて決められており、現在ばいじん等についての規制が行われている。しかし、この排出基準はボゴタ市の主なばい煙発生施設であるボイラやレンガ・土管焼成炉に対して適切な基準値が規定されておらず、ほとんどの施設において基準値を越すものがなく、規制の効果が期待できないものとなっている。ボイラは小規模で老朽化しているものが多く、燃焼管理が適切に行われておらず、不完全燃焼による黒煙を放出している。排煙処理装置としては集じん機しかなく、その効率も低く50～60%程度である。その集じん機の設置数はわずかに26基しかなく、ほとんどのばい煙は未処理のまま低煙突から排出されており、周辺の住宅に影響を及ぼしている。

また、燃料中の硫黄分は原油で2.3%、軽油で0.4%、石炭で0.6～0.7%であり、特に原油中の硫黄分が多い。この原油を使用した場合の着地濃度を工場排出ガス測定データを用いて推計してみると、SO₂の1時間濃度値が最大で30～40ppbと計算された。この結果は単独の煙突についての計算結果であり、更に近接して複数の煙突があれば、濃度が重合されて高濃度となり、環境基準の値を超える恐れが大きい。

環境中の大気質濃度の現状は測定結果によるとSO₂、NO_x、SPMとも環境基準に適合しているものの高い濃度レベルにあり、特にSO₂については今後の事業拡大や燃料消費量が伸びることにより2001年には環境目標値を超えることが予測されていることから、排出量の低減が必要である。

NO₂については、将来においても環境目標値を満足すると予測されたが、その予測値は環境目標値に近い高い濃度となっている。その原因の大半は自動車によるものであるが、将来は工場に対するNO_xの排出基準を設けることが望ましい。

SPMについては、現状の濃度は環境目標値を下回っているものの、けして低い濃度ではなく、本調査でその原因の発生源が明確に同定できなかったが、SPM濃度の出現状況から工場・自動車などの人の活動に関連するものと考えられ、将来においてボゴタ地域の都市の規模拡大及び産業の発展とともに高濃度になる恐れがある。そこで工場についても現行の排出基準の見直しを含む制度及び管理の強化が必要である。

8.1.2 対策の内容

環境目標値を達成維持するための発生源対策は、ボゴタ地域の工場の燃焼施設、使用燃料等の状況に基づいて検討した結果、図8.1.1に示した対策を提案する。

発生源対策の骨子は、排出基準の改定、燃焼管理による媒じん発生の低減、燃料の低硫黄化によるSO₂対策を優先して行い、その後に集じん装置の導入やNO_x対策を実施する。

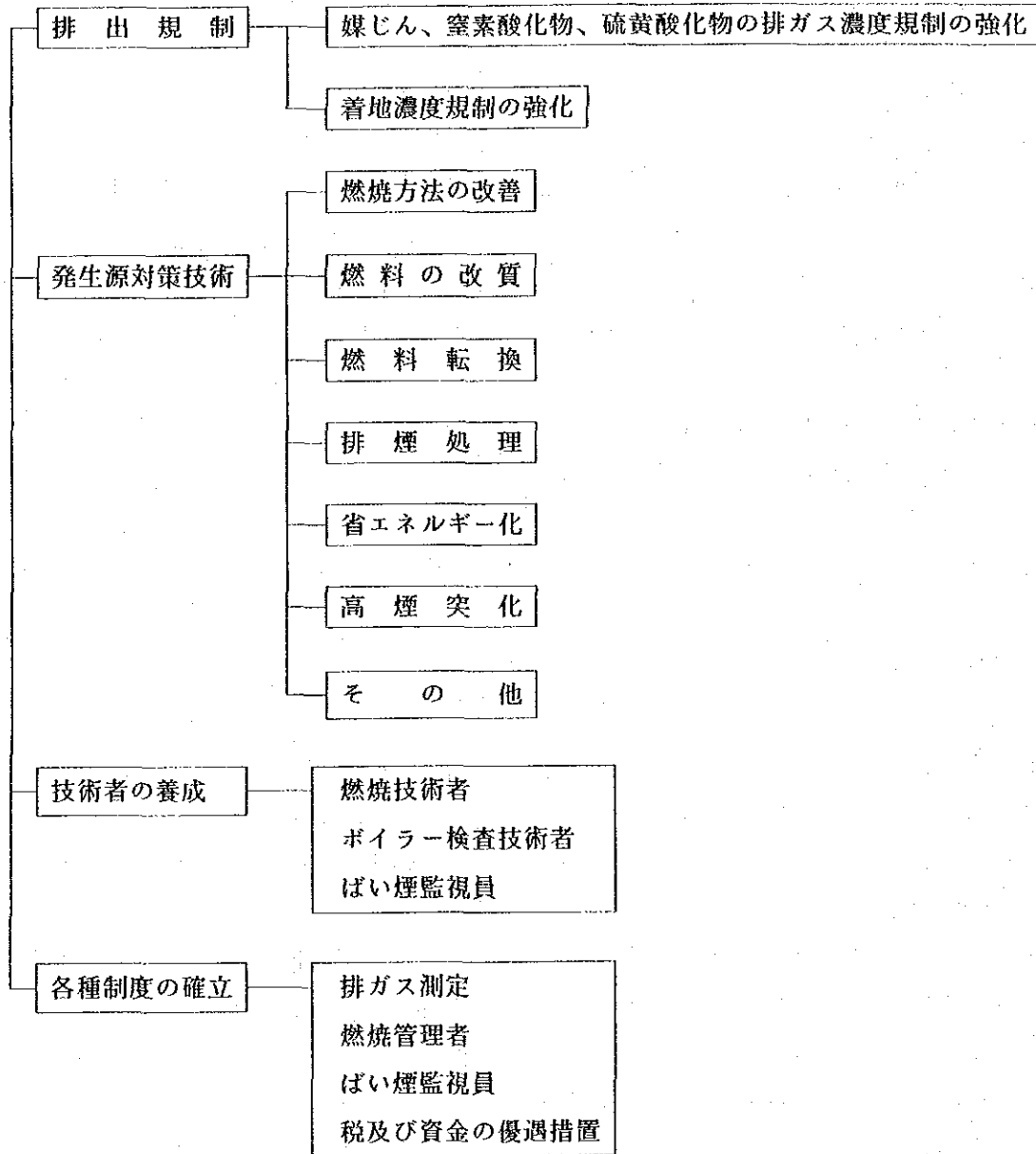


図8.1.1 工場・事業場対策

(1) 排出規制

現行法ではばい煙発生量の多い原油燃焼ボイラーやレンガ焼成炉には排出基準が緩く、将来の排出量増加に対処できないものとなっている。

このようなことから、基準値の設定は短期ではほぼ現状に近い値とし、中・長期では排出量を現行水準に抑えることを目標とする。規制対象は50ℓ/h（原油換算）以上とし、規制対象外の小型ボイラーなどについてはばい煙の発生状況を監視し、燃焼管理技術について指導、助言などを行うものとする。

また、施設が集合し高濃度汚染が生じる恐れのある地域については、特別な排出基準の設定、使用燃料種類の制限、新・増設施設についての新基準値、防止設備の設置義務などを規定する。

1) ばいじんの排出基準

排出量の低減は短期的には10～20%、長期的には約40%を目標とする。また、短時間に多量の黒煙を発生する小規模施設に対してはリンゲルマン濃度表のNO. 2以下に規制する。

排出寄与率の大きいレンガ・土管焼成炉及びアスファルトプラントについては新たに設定する石炭ボイラへの基準値を適用する。

2) 硫黄酸化物の排出基準

規制の対象は原油及び石炭を燃料とする施設とする。排出量の低減目標は短期で7%、中・長期で20%とする。

3) 窒素酸化物の排出基準

ばい煙発生施設（50ℓ/h以上）の全部を規制の対象とする。排出量の低減は短期で現状通りとし、中・長期で原油燃焼ボイラに対しては50%、石炭燃焼ボイラに対しては17%とする。その他の施設もほぼ同様とする。

4) 着地濃度規制にかかる排出基準と着地濃度の関係

工場等の煙突からの排出ガス中の大気汚染物質排出量を規制する排出基準は、排出されたガスが拡散して地表に着地した時の大気汚染物質濃度が、ある値（例えば環境基準値）を超えることがないように定めたものである。

大気汚染物質排出量（排出基準）と着地濃度との関係は、風速、大気安定度などの気象条件と、煙突高さなどの煙源条件によって異なってくるので、代表的な気象条件について個々の煙突の着地濃度を算出し、排出基準を決めるための基礎資料とする。例として、日本の大気汚染防止法の「硫黄酸化物の排出基準－K値規制」がある。

(2) 発生源対策技術

発生源対策は実情にあった経済的で実行可能な方法を採用する必要がある。ポゴタ市におけるばい煙発生施設が小規模で老朽化しているものが多く、燃焼管理が不十分であることなどを勘案すると、以下に示すような対策を実施する必要がある。

1) 燃焼方法の改善

対策の方法：燃焼管理の適正化、適正負荷燃焼、機械焚きへの変更、低NO_xバーナーの導入

燃焼管理用計測器を整備して適正な燃焼管理を実施し、完全燃焼によるばいじんの削減と燃料の節約を図る。計測器一式で約340万peso必要であるが、ガス分析器のみでもある程度の燃焼管理が可能である。

石炭燃焼ではストーカ（約400万peso）を導入し、機械焚き化する。将来においては、NO_x対策は水蒸気の噴射法、低NO_xバーナーを採用する。水蒸気噴射法は経費が安く、容易に実施可能であるが、低NO_xバーナーは燃料消費量150ℓ/hの場合で改修費を含めて1,400万pesoの費用が必要である。

大型ボイラのSO_x、NO_xを低減するため長期的には流動燃焼ボイラを採用することを提案する。流動燃焼ボイラは比較的高価なもので、石炭燃焼ボイラ（蒸発量10t/h）で約2億6千万pesoである。

2) 燃料の改質

対策の方法：燃料の低硫黄化、石炭の粒度・硫黄分調整

原油中の硫黄分を現在の2.3%から1.8%に低減する方法として軽油（ACPM）を混合することを提案する。ただし、これによる油価の上昇は約37%上昇することが予想される。

石炭の場合は石炭調質施設による混炭で硫黄分を0.6~0.7%程度を維持すると同時に完全燃焼を図るため石炭の粒度や揮発分などの組成を調整する。

石炭調質施設は1,500t/月で約4億4千万peso程度の設備費が必要で調質炭の価格は原炭1.7万peso/tの約20%増の約2万pesoになる。

3) 燃料転換

対策の方法：小型ボイラの軽油の燃料転換、窯炉の油、天然ガスへの転換

市街地にある原油や石炭を燃焼している小型ボイラは、軽油等の軽質燃料に転換する。燃料転換に必要な経費は石炭から軽油へ転換する場合約1,060万peso（50ℓ/h）、液体から天然ガスへ転換する場合約1,090万peso（25ℓ/h）必要で、いずれの場合

も燃料費が高くなる。

レンガ・土管焼成炉については当面は調質炭によるストーカ焚きを実施することとし、将来は天然ガスへ転換する。そのための供給施設の増設が必要となる。

4) 排煙処理

排煙の処理は集じん装置による除じんを主とし、集じん装置としてはマルチサイクロンやバグフィルターなどの高効率のものを用いる。

マルチサイクロンは $3,000\text{m}^3/\text{h}$ 処理のものが約380万peso、同容量のバグフィルターが約860万peso程度の設備費が必要である。

5) 省エネルギー

燃焼管理による燃料節約と合わせてボイラなどの炉壁からの放散熱を低減するため断熱材を施工することにより、燃料使用量を低減する。費用は 1m^2 当り1~2.5万peso程度である。

6) 高煙突化

現在、大気汚染物質排出量が比較的多いにもかかわらず、煙突が低いものが多い。また煙突が低いため工場の建物による煙のダウンドラフトなどの現象による高濃度汚染の出現もみられるため、着地濃度規制方式を強化することにより、高煙突化を行う。

7) 工場移転

汚染度の高い地域にある工場は、拡散条件や周辺の状況の良い地域に計画的に移転・分散を図る。

8) 粉じん対策

採石場やアスファルトプラントなどの粉じん発生源に対しては散水、運搬機器の防じん、道路の舗装、集じん装置の使用、敷地及び採石跡地の植樹などによる緑化を実施する。

(3) その他の制度

1) 燃焼技術者の養成

燃焼管理を適正に行う技術者を学識経験者による燃焼技術及び計測技術などについての講習や実技研修によって養成する。

2) ボイラ検査技術者の養成

省エネルギー、ボイラの安全確保などを目的としてボイラの構造、損耗状況などを検査し、適正な使用圧力、使用年数、改修などを判定し、指導・助言ができる技術者を養成する。

3) 煤煙監視員の養成

黒煙を発生する施設についてリングルマン濃度表によって基準との適合を判定し、不適合の施設については低減技術の指導や助言ができる技術者を養成する。

4) 汚染物質の測定制度

煤煙排出者に煤煙量、煤煙濃度、燃料使用量、燃料組成などの測定及びその結果の保存を義務付ける。

5) 燃焼管理者等の制度化

燃焼管理者、ボイラ検査、煤煙監視員などを制度化し、国家資格を与え公正に職務を遂行できるようにする。

6) 汚染防止を促進するための優遇措置

煤煙発生の防止は企業の責任で必要な処置を講ずる必要があるが、経営基盤が弱く必要な処置を講じられない場合は税の軽減、資金の融資、利子補給などを制度化し、汚染防止対策の推進を図る。

8. 2 自動車対策

8. 2. 1 対策の現況と必要性

環境大気質の測定結果によると、自動車に関係が深いCOが道路周辺で環境基準を超えており、また環境基準を超えているもう一つの物質であるO₃の発生原因物質であるnon-CH₄は、環境基準は定められていないが非常に高い濃度となっており、その原因の大部分は自動車である。

自動車に係る排出基準は未だ制定されていないため、自動車に対する対策はブローバイガス対策及び一部の自動車に高度補償装置が整備されている程度で、現在の所ほとんど実施されていないと言ってよい。

またボゴタ地域を走行する自動車の主な特長は、大型自動車にガソリン車が多いこと、非常に古い車が多く、また気圧も低いこともあって不完全燃焼により、多くのCO、HCが排出されていることである。このようなボゴタの事情に対応した対策を検討した結果、図8. 2. 1に示す対策を提案する。

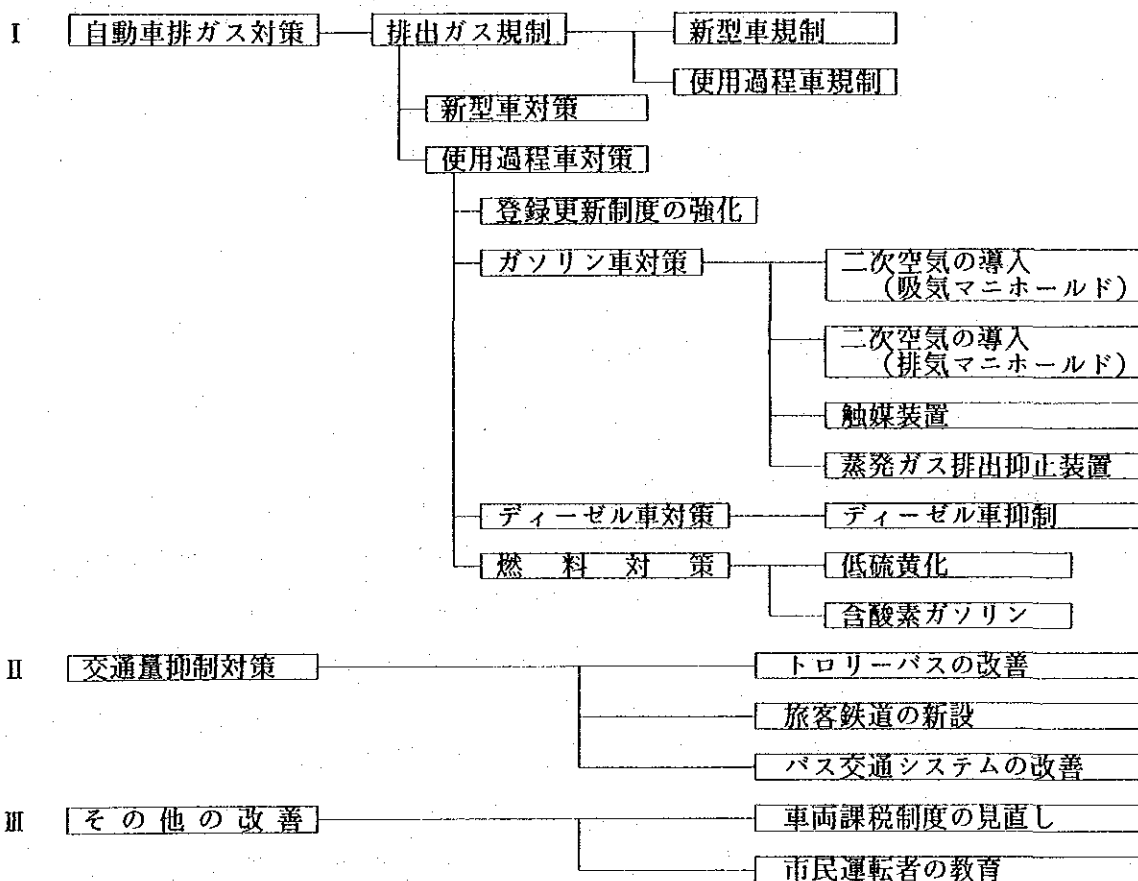


図8. 2. 1 自動車排ガス対策

8.2.2 対策の内容

(1) 排出ガス規制

現在、大気質に係る環境基準が不適合になっているCO及びO₃について早急に自動車排出ガス規制を設ける必要がある。なおO₃については、前述したようにO₃の発生の原因物質であり、現在において高濃度になっているHCの排出の規制を行う。またNO_xについても、将来において交通量が増えることを考慮すると規制が必要になってくる。

規制値は使用過程車、新型車のそれぞれに対し車種別エンジン型式別に設定する必要がある。また設定に当たっては部品供給、組立工程の変更、保守体制の整備などを考慮し、更に交通量の増加も勘案して年式毎に段階的に決めることが必要である。

ボゴタ市は本調査結果も参考にしてガソリン自動車に対するアイドリング時のCOとHCの濃度規制を1992年より実施すると1991年12月に発表した。規制値は使用過程車と新型車に対し、年式別に徐々に厳しくしたものとなっている。

この規制方法は渋滞時に特に効果を発揮するものであるが、さらに通常の走行時も含めた実走行モードを対象とした排出量規制を今後早急に設定する必要がある。この場合、規制の効果を確認するためにシャーシダイナモメーター及びガス分析装置を用いた排出量試験システムが必要であり、また関連する制度（認証制度など）の検討も必要である。

(2) 排出ガス対策技術

自動車の排出ガス中の大気汚染物質を低減させる技術を以下に示す。

1) ガソリン車

①一酸化炭素と炭化水素対策

両者は空気とガソリンの混合状態が悪い時や減速時に排気ガス中に多量に発生する為、一般には共通して次の様な対策が採られている。

- a) キャブレータの性能向上 — 部品精度の向上、電子制御の採用など
- b) キャブレータの代わりに電子制御燃料噴射装置の採用 (EFI)
- c) 空気の前熱
- d) 各シリンダーへのガス分布を良くするよう吸気マニホールドの形状改良
- e) 混合ガスの渦流の活発化
- f) 減速時スロットルバルブの急閉の阻止 (TP, DP)
- g) 減速時空気または混合ガスの吸気マニホールドへの導入
- h) 減速時ガソリンの供給停止

- i) 燃焼室の構造改良
- j) オーバーラップによる未燃焼ガスの漏洩を避ける為、バルブタイミングの適正化
- k) 点火エネルギーの増大化
- l) 点火時期を遅らせて排気ガスの温度を上げ未燃焼ガスの再燃を援助 (SC)
- m) 排気マニホールドの形状を改良して未燃焼ガスの再燃を援助
- n) 排気マニホールドへ二次空気を導入して未燃焼ガスの再燃を援助 (AI, AS)
- o) 未燃焼ガスを分解する為、排気系に酸化触媒の設置 (OC)
- p) ブローバイガスに対しては、クランクケースを強制的に換気して漏洩ガスを吸気システムへもどす装置の設置 (PCV)
- q) タンクの燃料蒸発ガスに対する活性炭吸着などによる排出抑止装置 (EVAP)

②窒素酸化物対策

窒素酸化物は理論空気量比での運転を避け、また燃焼温度を下げれば発生量は減るので次の様な対策が採られている。

- a) 空気燃料混合ガスを理論比より燃料希薄状態に保持 (EFI)
- b) 空気燃料混合ガスを理論比より燃料濃厚状態に保持 (EFI)
- c) 燃焼温度を下げる為、排気ガス循環方式を採用 (EGR)
- d) 燃焼温度を下げる為、バルブタイミングを適正化
- e) 混合ガスの渦流を活発化して火炎伝播速度を早め高温停留時間を短縮
- f) 燃焼室構造を改良して火炎伝播速度を増大化
- g) 窒素酸化物を除去する為、排気系に分解触媒の設置 (TWC)

PCV : Positive Crankcase Ventilation System

TP : Throttle Positioner System

DP : Dash Pot System

SC : Ignition Timing Control System

EGR : Exhaust Gas Recirculation System

AI : Secondary Air Injection System

AS : Secondary Air Suction System

EVAP: Fuel Evaporation Emission Control System

OC : Oxidizing Catalyst System

TWC : Three-Way Catalyst System

EFI : Electronic Fuel Injection System

③新型車対策

米国、日本などの排出ガス規制が既に実施されている国の自動車メーカーは、上記の対策を採用しておりその技術レベルは実用的なものとなっている。従ってコロンビア国において新型車に対する新しい規制が実施されても、一定の準備期間があれば国内のメーカーも規制値をクリアすることができる。

2) ディーゼル車

ディーゼル車に対する汚染対策としては黒煙と窒素酸化物が中心であり、ディーゼル油の低硫黄化が加わる。

黒煙対策としては、吸入システムを改良して空気の十分な確保とシリンダー内の空気旋回流を適正化して燃料との混合を良くしたり、噴射時期や霧化の程度の改善などにより良好な燃焼を行うよう実施されている。しかしそれらの効果はまだ不十分で、更に黒煙捕集器や触媒装置などが実用化への研究段階にある。

窒素酸化物に対しても排気ガス循環や燃料の噴射時期をおくらせるリタード法などの各種対策が採られている。しかし黒煙の増加やエンジン磨耗の増大などの問題があり、その面での対策研究の成果が待たれている。

3) 低公害車

現在、低公害車として種々の車が開発されているが、その主なものとして低公害燃料車ではLPG、メタノールなどがあり、COとHCの発生量は少なくともガソリン車の半分以下となる。また無公害車としてはトロリーバスなどの電気自動車がある。

(3) 使用過程車対策

この対策は自動車工場から出荷後であるため、社会的経済的及び技術的に制約があり、新型車に対する対策に比べて非常に限られてくる。

①登録更新制度の強化

現在、実施されている乗用車の登録制度に以下に示す制度を強化する必要がある。

a. 対象車の登録エリアの拡大

排出ガス規制の対象とする車は、ボゴタ市で登録する車だけでは意味がない。今回の調査によると市内を走行している車の約40%はボゴタ市以外の登録車であったことから、少なくともボゴタ市周辺の行政区、例えばボゴタ市を含むクンデナマルカ州の車を対象とすべきである。

b. 定期点検の整備の義務付け

排出ガス中の大気汚染物質は、エアークリーナの目詰まり、キャブレターの汚れによる空気燃料比の変化、点火時期及びアイドル回転数の狂いなどにより増加する。そのため技術が保障された整備工場で定期的にエンジン系統の整備を義務付けることは、図8.2.2に示すように大幅な大気汚染物質の低減が期待される。

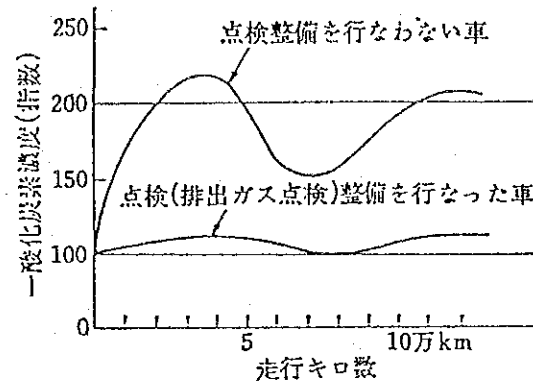


図 8.2.2 自動車点検整備の効果 (公害白書 昭和45年)

c. アイドリング時の濃度測定

アイドル時は排出ガス量は少ないがCO及びHC濃度が高いため、上記の定期点検時にアイドル時のCOとHCの濃度測定を行い、エンジン等の調整・整備が大気汚染の面からみて適切に行われたことを確認する必要がある。

この際の濃度の基準は、規制値として定める必要があり、ポゴタ市では前述したように1992年より実施する。

②排出ガス対策

ポゴタ地域の車の実情からみて、以下の排出ガス対策を実施することを提案する。

a. ガソリン車

- ・吸気マニホールドへの二次空気の導入
スロットルとエンジン間に二次空気バルブを取り付けることによって、アイドル時又は減速時のCO、HCの減少に効果がある。
- ・排気マニホールドへの二次空気の導入
排気バルブ出口において排気温度が600℃以上であれば、エアークリーナよりの二次空気導入装置によりCOとHCを燃焼させ、その排出量を減らすことができる。
- ・触媒装置
自動車排出ガス対策として大幅な改善が必要な場合は、排気管の途中に設置する

触媒装置が有効である。COとHC対策には酸化触媒方式、またNO_xも対策する場合は三元触媒がありその除去率は90%である。当面の対策としてはCOとHCが対象であるので酸化触媒方式を採用することになるが、将来新車に対しては三元触媒の設備が必要になってくる。なお、酸化触媒はCOとHCを燃焼させるための充分なO₂が必要であり、一般に二次空気の導入を行うことになる。また現在ガソリン中の硫黄分が高いため、触媒装置そのものへの悪影響と、触媒により硫酸ミストが排出され新たな大気汚染が発生することから、低硫黄化が必要である。なおガソリン中の鉛の触媒への悪影響からガソリンの無鉛化が必要であるが、コロンビア国では既に無鉛化が1991年に実施された。

- ・HC蒸発防止

現在コロンビアの車のガソリン燃料タンクは開放型であり、当地域の気圧も低いことから蒸気圧が低くした大量にHCが蒸発していることが推察される。防止対策はタンク栓を密封化し、蒸発HCを吸気マニホールドへ活性炭吸着材などを通して導入する方法がある。

- ・使用過程車対策の実施上の制約条件

使用過程車に対する対策は、車が完成品として販売された後に行うため車両工事が実施しづらいこと、ボゴタでは非常に古い車が多いこと、メーカー及びエンジン型式の種類がたいへん多いこと、対策の経費の負担などの多くの問題がある。

b. ディーゼル車

ディーゼル車の対策技術の項で述べた如く、ディーゼル車の排出ガスの問題は窒素酸化物と黒煙（浮遊粉塵）でありその対策技術は次々に改善されてはいるが、まだ決定的な対策が確立されていない。またディーゼル油は硫黄分が多く硫酸酸化物を多く排出する。さらに二酸化硫黄に同伴する三酸化硫黄はエアロゾルと浮遊粒子状物質の増加を来す。そこで現段階ではディーゼル車のボゴタ市街地走行は出来る丈現在以下に抑制することが望ましい。

③燃料対策

- ・低硫黄燃料の供給

幹線道路に面したSan Juan de Dios局のSO₂の測定平均濃度は25ppbであり、この濃度は他の測定局のデータと比べても最も高い濃度となっている。この主な原因はガソリン中の硫黄分が0.06 (wt) %と日本 (0.008%) と比べても非常に高いことである。またこのような硫黄分の高いガソリンを用いた自動車に酸化触媒装置を付けた場合装置自体への悪影響と共に含有硫黄が酸化されてSO₂としてのエアロゾ

ル（硫酸塩）が発生するため、ガソリン中のS分を0.01%程度以下に減少させることが必要である。

- ・含酸素ガソリンの供給

ガソリン中に酸素を含有していれば、COの発生だけではなくHCについても低減できる。含酸素化合物はメタノール、MTBE（メチル第三ブチル、エーテル）、エタノール、ETBE（エチル第三ブチル、エーテル）があり、その含有率は米国で2.7%の規制値の例がある。

（4）交通量抑制対策

自動車対策には個々の自動車からの排ガス中の大気汚染物質を減らす方法の他に、自動車の走行量を減らすことも有効な対策である。

現在、ボゴタでの交通機関は観光用列車を除くと自動車のみである。大量輸送機関はバスとトロリーバスがあるが、トロリーバスは故障が多いこととルートが不適切なことから乗車率が非常に低く、現在休止中である。またバスは約14,000台が運用されており、その台数は都市の規模に比べて多く、また放射状の都市構造及び停留所施設が不備なこともあって、市内主要幹線道路において渋滞発生大きな原因となっている。

このような交通事情に対して大気汚染対策としての交通量抑制対策は乗用車とバスに代わる大量輸送機関を整備することである。

具体的には①現行のトロリーバスシステムの改善による乗車率の増大、②旅客鉄道の新設、③バス停留所の設置などのバス交通システムの改善である。なおこれらの対策は現在、それぞれの関係当局で計画中である。

（5）その他の改善

- ・車両課税制度の見直し

現在の自動車の課税方式は車の評価価格に対して課税する方式となっている。従って車が古くなるほど税額が低くなるシステムとなっている。大気汚染の観点からみると古い車ほど大気汚染物質の排出量は多く、また対策の実施も困難になる。

このような理由から大気汚染物質排出量の多い古い自動車を廃止し対策を実施した新型車への転換を促進するような税体系に変える必要がある。

- ・市民、運転者の教育

市の運輸局が自動車運転について運転手の教育を行っているが、大気汚染についての意識向上のためのカリキュラムを加える必要がある。特に市民の交通手段のほとんどが自動車であることから、自分が大気汚染の被害者であると同時に加害者であることを認識させ、車の整備等の種々の大気汚染対策に協力するように働きかけることが重要である。

8. 3 発生源対策の効果

(1) 対策メニュー

工場と自動車に対して種々の検討した対策の中から、7. 4で検討した必要削減量を確保するための対策を以下のように選定した。

工場対策は表8. 3. 1に示すものとし、施設別の削減率は表8. 3. 2のとおりとする。

また自動車についての対策は表8. 3. 3に示すものとし、1975年以降に登録されたガソリン乗用車類の1台当たりの排出量(CO、HC)を現状の1/10にする。またトロリーシステムの改良、旅客鉄道の運転開始によりバスの交通量を20%減少させる。

表8. 3. 1 工場排ガス対策

施設種類	対策方法	D u s t	S O _x	N O _x
原油 燃焼ボイラ	燃焼方法 ・低空気比 ・燃料節約 ・水蒸気添加	○	—	○
		○	—	○
		—	—	○
	燃料改善 燃料転換	・S分 1.8% ・ACPM	— ○	○ ○
石炭 燃焼ボイラ	燃焼改善 ・低空気比 ・燃料節約 ・水蒸気添加	○	—	—
		○	—	—
		—	—	○
	燃料改質 燃料転換	・S分 0.5% ・原油 ・軽油	— ○ ○	○ — —
排煙処理	・マルチサイクロン	○	—	—
レンガ・ 土管焼成炉	燃焼方法改善 ・ストーカ ・燃料節約	○	—	○
		○	—	○
	燃料改質 燃料転換	・S分 0.57% ・天然ガス	— ○	○ ○
高 煙 突 化		○	○	○

表8. 3. 2 施設別の削減率

単位：%

施設種類	燃料種類	Dust	S O _x	N O _x
ボイラ	軽油	—	—	25
	その他液体燃料	58	22	50
	石炭	42	22	17
レンガ・土管焼成炉	石炭	42	24	22
焼成炉	軽油	—	—	29
その他施設	軽油	—	—	29

注：ボイラとレンガ・土管焼成炉の規制対象は、液体燃料の場合は50ℓ/時間以上、石炭の場合は71.5kg/時間以上の規模の施設である。

表 8. 3. 3 自動車対策

項目	対象車	対象内容	対象汚染物質			
			CO	HC	SO _x	NO
自動車排ガス対策	新型乗用車類 (1995年以降)	酸化触媒装置	○	○	-	-
	使用過程車類 (1975年以降)	酸化触媒装置と排気マニ ホールドへの二次空気の 導入(1995年より開始、 2001年までに実施)	○	○	-	-
		アイドリング時のCOと HCの定期点検整備	○	○	-	-
交通量対策	バス類	トロリーシステムの改良	○	○	○	○
		旅客鉄道の導入	○	○	○	○
交通流れ対策	バス類	バス停対策による平均 車速の向上	○	○	○	○

(2) 対策による大気汚染物質排出量の低減

対策後の大気汚染物質排出量を現状、将来と共にまとめると表 8. 3. 4 に示すとおりである。この結果を 7. 4 に於いて設定した必要削減率と比較すると表 8. 3. 5 のようになり、道路沿道におけるCOとHCを除いては計画した削減率を達成する。

表 8. 3. 4 対策による大気汚染物質排出量

単位: ton/年

項目	発生源	現状	将来 (2001)	対策後(低減率)
SO _x	工場・事業場	6,504	9,076	7,333(19%)
	自動車	1,269	2,057	1,309(36%)
	飛行機	29	29	29(0%)
	計	7,802	11,162	8,671(22%)
NO _x	工場・事業場	1,688	2,475	1,791(28%)
	自動車	9,250	13,886	13,142(5%)
	飛行機	114	114	114(0%)
	計	11,052	16,475	15,047(9%)
CO	自動車	288,433	398,375	193,183(52%)
Dust	工場・事業場	2,198	3,155	1,816(42%)
HC	自動車	19,845	28,947	12,230(58%)

表8.3.5 削減率のまとめ

項目	必要削減率	最大目標	対策案による削減率
SO _x	13%	25%	22%
NO _x	0%	33%	9%
CO	49%	63%	52%
HC	80%(n-CH ₄)	-	58%(T-HC)

(3) 対策後の濃度予測結果

対策による濃度を拡散シミュレーションモデルによって予測した結果は表8.3.6及び図8.3.1～図8.3.4のとおりである。これによると予測濃度は一酸化炭素(CO)の(E) San Juan de Dios局及び最大濃度地点を除いて全ての測定局及びメッシュ地点において環境目標値を下廻っている。即ち、COについては主要幹線の極く沿道で未だ濃度が高く、環境基準を満足しないと予測されており、さらに厳しい対策が必要である。また、濃度予測した際に採用した対策の多くは、その実施において、国、地方自治体、企業、市民のかなりの努力が必要とされる。

表8.3.6 対策後の予測濃度

測定局	項目	SO ₂	NO ₂	CO
	目標値	(ppb)	(ppb)	(ppm)
		38.2	53.2	3.6
(A)Servicio de Salud		13.4	36.7	3.5
(B)Lavoratorio		15.1	30.6	2.6
(C)Puente Aranda		21.7	31.0	2.4
(D)El Tunal		9.8	16.6	1.4
(E)San Juan de Dios		20.1	44.4	4.9
最大濃度地点		34.6	48.5	4.4

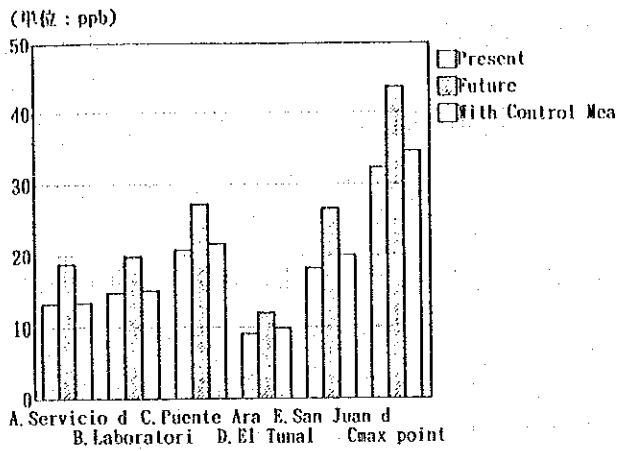


図8.3.1 対策後のSO₂予測濃度

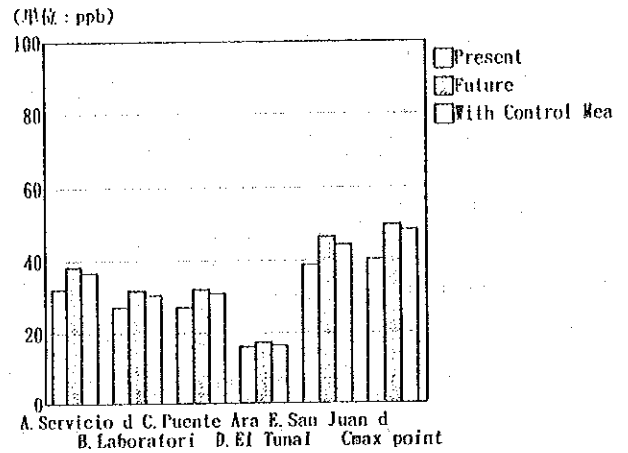


図8.3.2 対策後のNO₂予測濃度

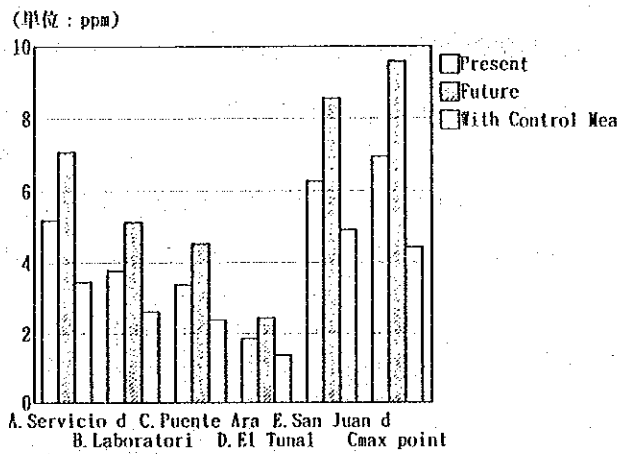


図8.3.3 対策後のCO予測濃度

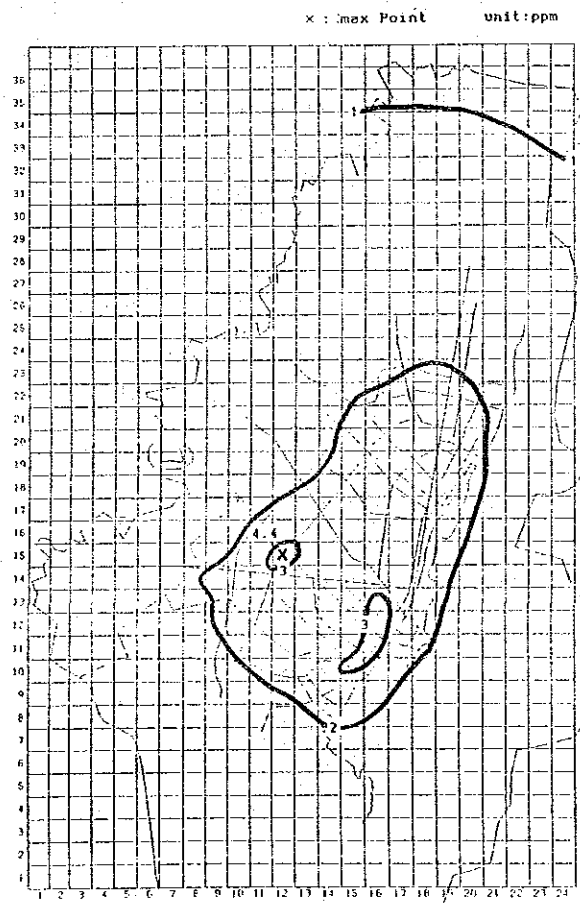


図8.3.4 対策後のCO予測濃度分布

9. 対策ガイドラインの提案

9. 1 目標

9. 1. 1 基本的な考え方

サンタフェデボゴタ市はコロンビア国の首都として政治、経済の中心となっている。ボゴタ特別区の人口は1985年には約420万人であり、現在増加している。さらに経済と産業は発展を続けている。このような人口や産業の発展に伴い、活発な都市活動が営まれて来た結果、大気汚染の現象が顕在化し、市民の健康に影響を及ぼすようになった。例えばボゴタ市での罹病状況に関するサンプル調査によれば、呼吸器疾患が1985年以来常に第1位の罹病率を示している。

この間、政府及び市は大気汚染防止に努めてきた所であるが、この度市と日本の国際協力事業団が共同で調査を行った結果、ボゴタ地域の大気汚染は一酸化炭素（CO）及びオゾン（O₃）が環境基準を満足していないことが明らかになった。また、オゾンの発生の原因物質の一つである非メタン炭化水素の濃度が高い。その他に環境基準に満足しているものの一部の地域で二酸化硫黄（SO₂）、二酸化窒素（NO₂）の高い濃度が見られ、また浮遊粒子状物質（SPM）は広範囲に濃度が高くなっていることが確認された。これらの大気質濃度はボゴタ地域の経済と産業の発展と共にさらに高濃度となることが予測されることから、早急に大気汚染防止計画を策定すると共に、その対策を実施して行く必要がある。

この対策ガイドラインは市民の健康で快適な生活環境を確保するために、大気汚染及び発生源の現状を把握し、防止計画の目標の設定及び達成のための対策とその問題点を明らかにして、大気質を改善するための基礎を提案するものである。なお、対策計画を実施する地域は、ボゴタ市厚生局の管轄区域とする。

9. 1. 2 計画の目標

計画の目標は1979年の衛生法（法令第9号）に基づいて公告された1982年の政令第2号と1983年の第2206号に示されている大気質についての環境基準を達成・維持することとする。

環境基準に示されている基準には、1時間値、日平均値などの短時間値で定められているものがあるので、それを統計的な手法により年平均濃度に換算し、かつボゴタ市の標高を考慮に入れた目標水準を表9. 1. 1のように設定した。なお、O₃については原因物質としての非メタン炭化水素濃度の削減を通じて間接的にO₃の環境基準値を達成することを目標とする。その目標値は、非メタン炭化水素とオゾン濃度の関係より暫定的に設定した。

表9. 1. 1 大気質の目標水準

項目	環境目標値（年平均）
SO ₂	38.2 ppb
NO ₂	53.2 ppb
SP	100 µg/m ³
CO	3.6 ppm
NMHC	0.5 ppmC

9.1.3 汚染物質の削減目標

現在の汚染物質排出量が経済発展に伴って、2001年には40%程度増大することを考慮に入れて削減目標を設定する。個々の汚染物質の削減量は、以下に述べる削減率により算出した。

ダスト：固定発生源からの排出量を短期的に20%、中長期的に40%それぞれ削減する。

窒素酸化物：原油焚きボイラーからの排出量を50%、石炭焚きボイラーからの排出量を17%それぞれ削減する。

硫黄酸化物：固定発生源からの排出量を、短期的に7%、中長期的に20%それぞれ削減する。

一酸化炭素：全般的に約50%削減するが、道路周辺の高濃度地域にあっては60%削減する。

非チタン炭化水素：自動車からの現在の排出量を2/3削減する。

この規制が効果を表したならば、2001年における汚染物質排出量は、表9.1.2に示した量になるものと予測される。

表9.1.2 ボゴタ市の汚染物質排出量推計

単位：千ton/年

汚染物質	現 状	将 来 (2001年)	対 策 後
C O	288	398	193
H C	20	29	12
SO _x	7.8	11.2	8.7
NO _x	11	16	15
Dust	2.2	3.2	1.8