社会開発協力部報告書

No. 8

中華人民共和国

上海市大気汚染対策調査

最終報告書
概要

1988年2月

国際協力事業団

開 二
[redacted]
88-037(2/3)

JICA LIBRARY
1041939[8]

中華人民共和国

上海市大気汚染対策調査

最終報告書

概要

1988年2月

国際協力事業団

国際協力事業団
受入月日 '88. 4. 4
登録No. 17374
105
61.8
SDS

序　　文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、上海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。

国際協力事業団は大阪市環境保健局次長　朝田悦次氏を委員長とする作業監理委員会を設置するとともに、株式会社数理計画　山川邦雄氏を団長とし、同社および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より構成される調査団を選任し、1986年 1月から1988年 2月まで本格調査を行った

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、上海市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、全ての作業を終了し、ここに最終報告書提出の運びとなった。

本報告書が上海市の大気汚染対策計画に寄与すると共に、日中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。

終りに、今回の調査実施にあたり多大の御協力をいただいた中華人民共和国政府関係機関、在中華人民共和国日本国大使館、在上海日本国総領事館、外務省、環境庁および大阪市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 2月

国 際 協 力 事 業 団
総　裁　　柳 谷　謙 介

目　　次

（ページ）

序　文
第1章　序　論 …… 1
1.1　調査の背景 …… 1
1.2　調査の概要 …… 2

第2章　調査地域の社会的状況 …… 9
2.1　地理・気候 …… 9
2.2　人口・世帯数等 …… 10
2.3　土地利用 …… 10
2.4　産　業 …… 13
2.5　ENERGY需給 …… 14

第3章　大気汚染の現況 …… 16
3.1　大気汚染物質の発生量 …… 16
3.2　気象・大気質 …… 19
3.3　SO_2 の現況SIMULATION …… 28
3.4　現況の大気汚染構造 …… 33

第4章　大気汚染防止対策の現況 …… 35
4.1　大気汚染管理に係る機構と制度 …… 35
4.2　発生源対策の現状 …… 40
4.3　監視測定体制 …… 42

第5章　大気汚染物質発生量の将来推定 …… 44
5.1　将来の燃料消費量とその地域分布 …… 44
5.2　硫黄酸化物排出量の将来推計 …… 46

第6章　大気汚染物質削減方法の技術的・経済的検討 …… 49
6.1　概　論 …… 49
6.2　燃料転換 …… 50
6.3　燃料の改質 …… 50
6.4　燃料節減 …… 51
6.5　燃焼方式 …… 53
6.6　排煙処理 …… 54
6.7　高煙突化 …… 57
6.8　工場移転 …… 57
6.9　まとめ …… 58

第7章　大気汚染物質の削減計画 …… 59
7.1　環境目標 …… 59
7.2　将来予測 SIMULATION …… 60
7.3　目標削減量 …… 64
7.4　削減対策案 …… 67
7.5　CASE STUDY 地区の削減対策案の検討 …… 76

8章　大気汚染管理の検討 …… 82
8.1　大気汚染対策の基本的進め方 …… 82
8.2　環境保護機構とその運営 …… 83
8.3　排出基準 …… 83
8.4　大気汚染に係る監視体制 …… 86
8.5　諸制度 …… 87

第9章　MASTER PLAN の実施に関する提案 …… 89

第1章　序　　論

1.1　調査の背景

上海市は中華人民共和国中央政府の直轄市で、対外経済開放地区であり、中国経済の中枢をになう商工業都市である。全市域は市区（12区）と郊県（10県）より成るが、商工業活動は市区部に特に集中しており、近年は石炭燃料の消費増大に伴う大気汚染問題も憂慮すべき状況になってきている。更に西暦2000年に向けての一層の経済発展を考慮すると長期的、総合的な大気汚染対策を計画することが必要とされている。

上海市は1974年に大阪市と友好都市提携を結んで以来、各分野での交流を進めているが、環境分野でも1985年に相互に調査団を派遣して汚染と対策の実状を視察するなど交流を深めてきた。

この様な背景のもと、上海市は大気汚染の改善に成果をあげてきた日本国及び大阪市等の地方自治体の技術と経験を生かした大気汚染対策MASTER PLAN の策定のため、中華人民共和国国家科学技術委員会を通じて、日本国政府に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の開発調査として実施することを決定し、1985年10月に朝田悦次大阪市環境保健局次長を団長とする事前調査団を上海市に派遣した。これにより、国際協力事業団と上海市科学技術委員会の間で本格調査の実施細則が合意され、1986年１月より本格調査が開始されたものである。

1.2 調査の概要

1.2.1 調査の目的と範囲

本調査は、上海市における西暦2000年を目標とする大気汚染対策 MASTER PLANを策定することを目的としている。この目的に添って以下の調査、検討を行った。

(1) 現状の大気汚染状況を把握するための大気質と気象の資料収集及び現地測定とこれらの DATA の解析

(2) 現状の大気汚染物質発生源と発生量に関する質問票及び既存資料による調査とこれらの DATA の解析

(3) 気象、発生源、拡散の数値 MODEL化による大気汚染 SIMULATION MODEL の作成とこれによる現況汚染機構の解析

(4) 西暦2000年の社会・経済状況に基づく燃料消費量とその分布の予測及びこれに対応する将来発生源 MODELの作成

(5) 発生源対策の現状調査と各種の汚染物質削減方法の技術的経済的検討

(6) 硫黄酸化物濃度の将来予測 SIMULATION と環境目標値の達成に必要な排出削減量の算出

(7) 必要削減量に対する削減対策案の選定及び費用と濃度低減効果による評価（MASTER PLAN 区域及び CASE STUDY 地区）

(8) 削減対策の実施計画

(9) 大気汚染管理に係る検討

(10) 上述の検討結果の総括と MASTER PLANの実施のための提案

調査は日中の共同作業で行い、その過程で日本側は以下のとおり日本における経験と技術を中国側に伝達した。

(1) 大気質、気象の測定機器による測定・維持管理方法の現地指導

(2) 日本における国・地方自治体の大気汚染行政の講習（研修員）

(3) 大気汚染の測定、解析、SIMULATION、発生源対策に関する各種の技術講習（研修員）

(4) 大気汚染解析 SYSTEM の導入に関する現地における技術指導と一部 PROGRAM の移転

1.2.2 調査の対象地域

上海市は図 1-2-1に示すとおり市区部と郊県部より成るが、MASTER PLAN の対象地域は図 1-2-2に示す市区部（12区）とし、必要に応じて市区周辺の発生源も調査対象とすることとした。

1.2.3 調査の手順と実施工程

調査手順の概略は、図1-2-3 のFLOW CHARTに示すとおりである。また、調査の実施工程は、図1-2-4 にBAR CHART で示すとおりである。

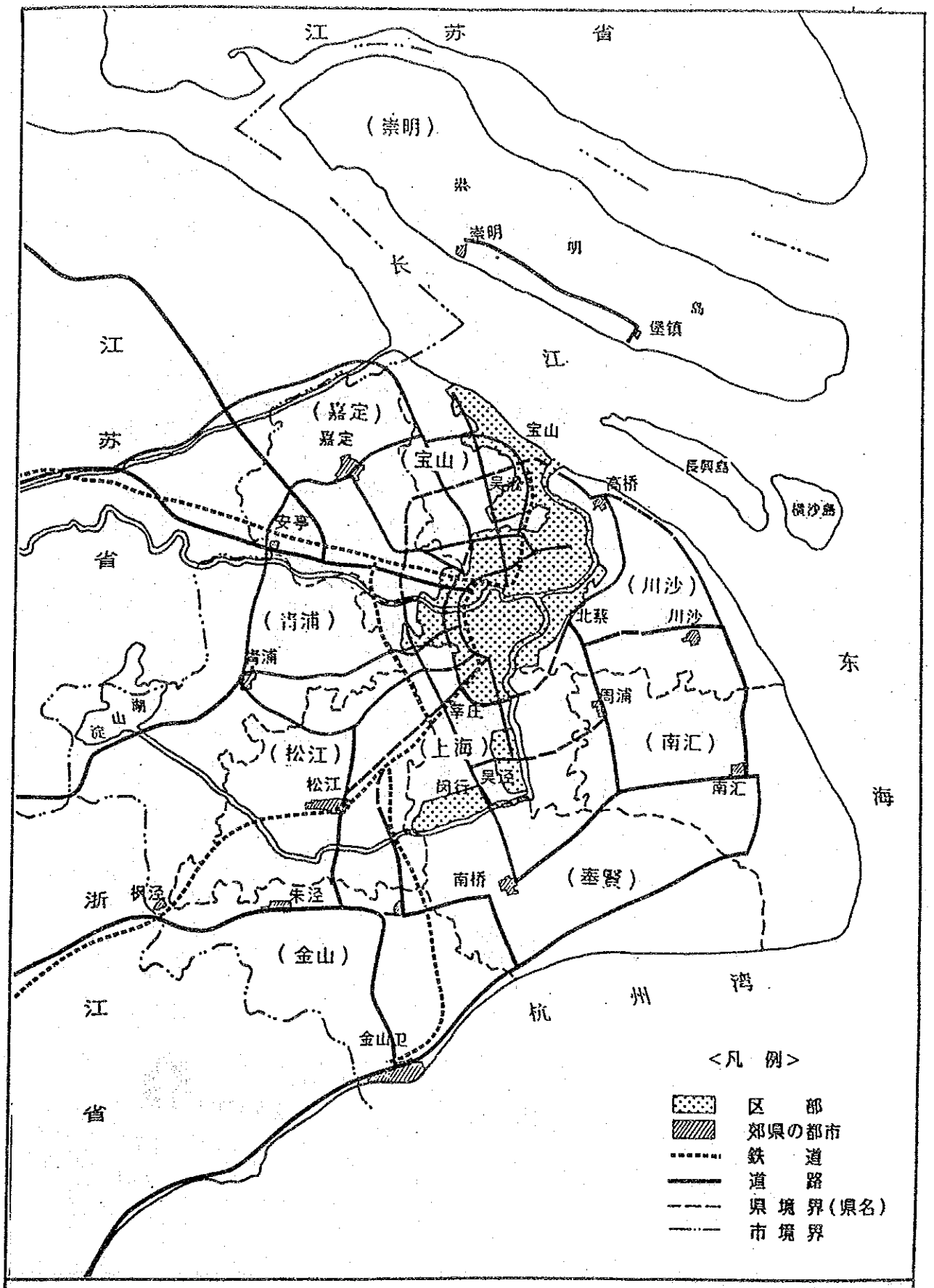

江
苏
省
（崇明）
崇
明
崇明
長
堡镇
島
江
江
苏
（嘉定）
嘉定
（宝山）
宝山
吳淞
高桥
長興島
横沙島
安亭
省
（川沙）
（青浦）
北蔡
川沙
青浦
东
淀山湖
闵浦
辛庄
（松江）
（上海）
（南汇）
松江
闵行
吳淞
南汇
海
南桥
（奉賢）
浙
枫泾
朱泾
（金山）
江
杭
州
湾
金山卫
省
<凡 例>
区 部
郊県の都市
鉄 道
道 路
県境界（県名）
市境界

図1-2-1　上海市略図

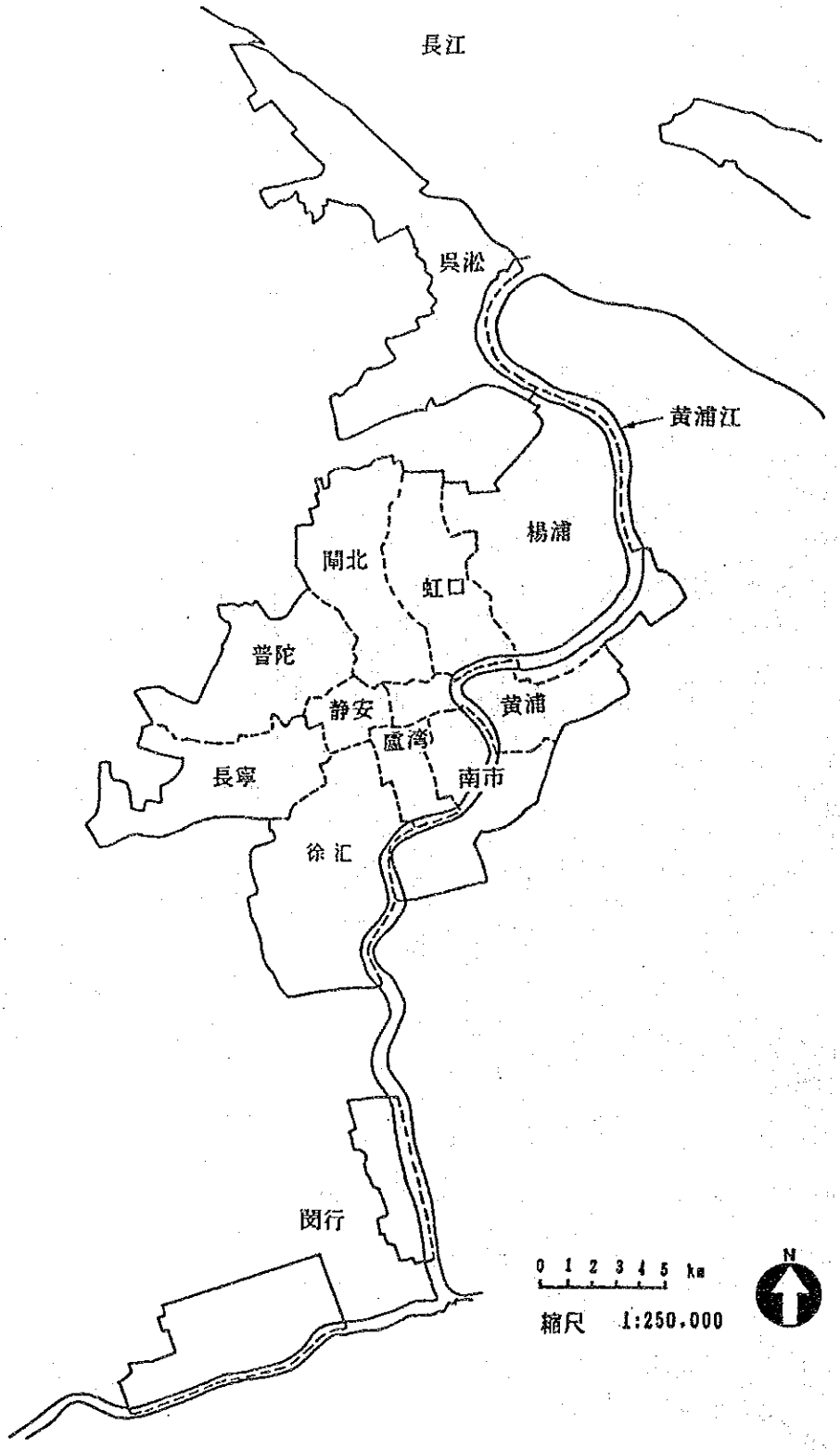


図1-2-2　上海市の12区

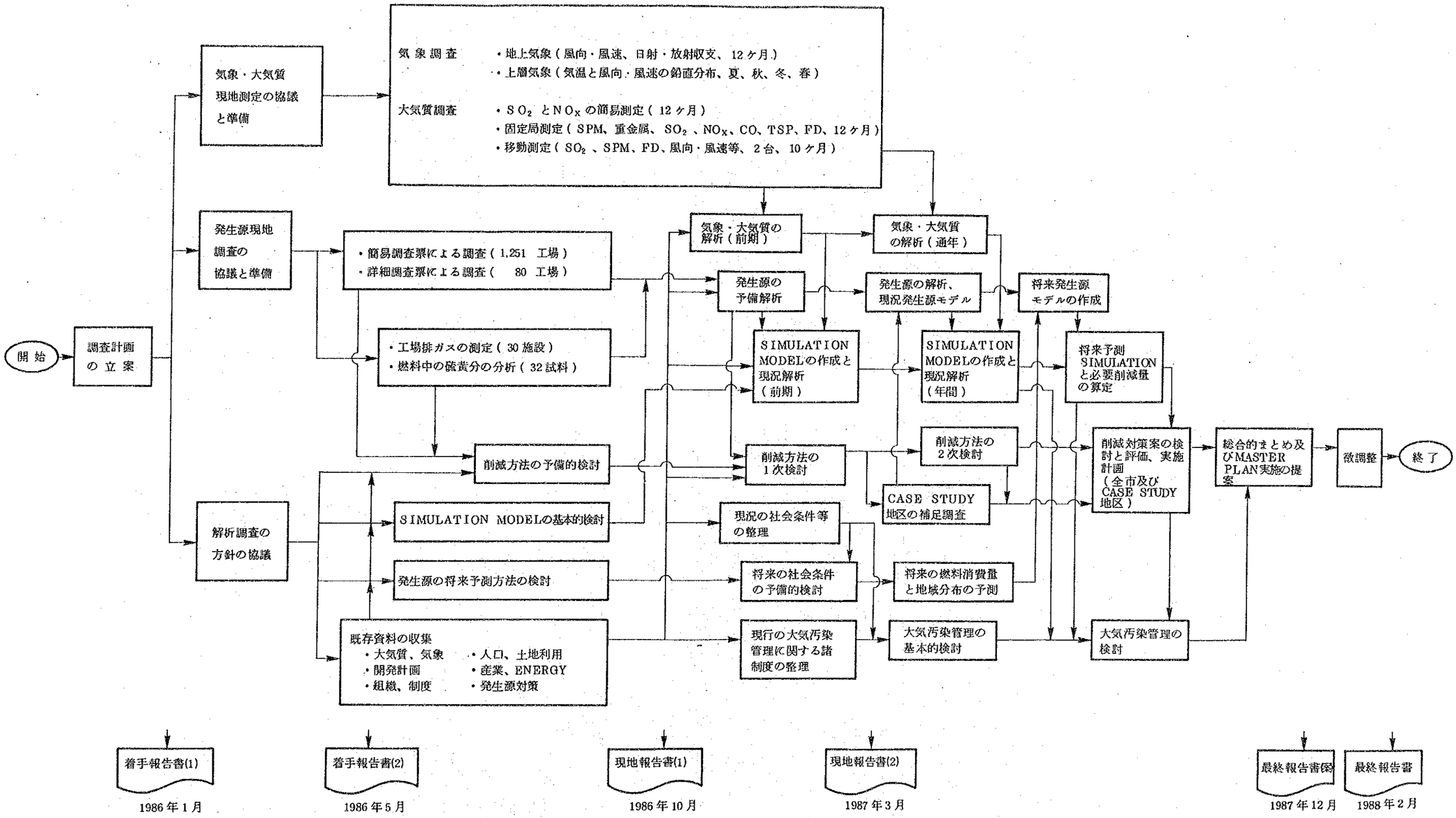


図1-2-3　調査作業のＦＬＯＷ　ＣＨＡＲＴ

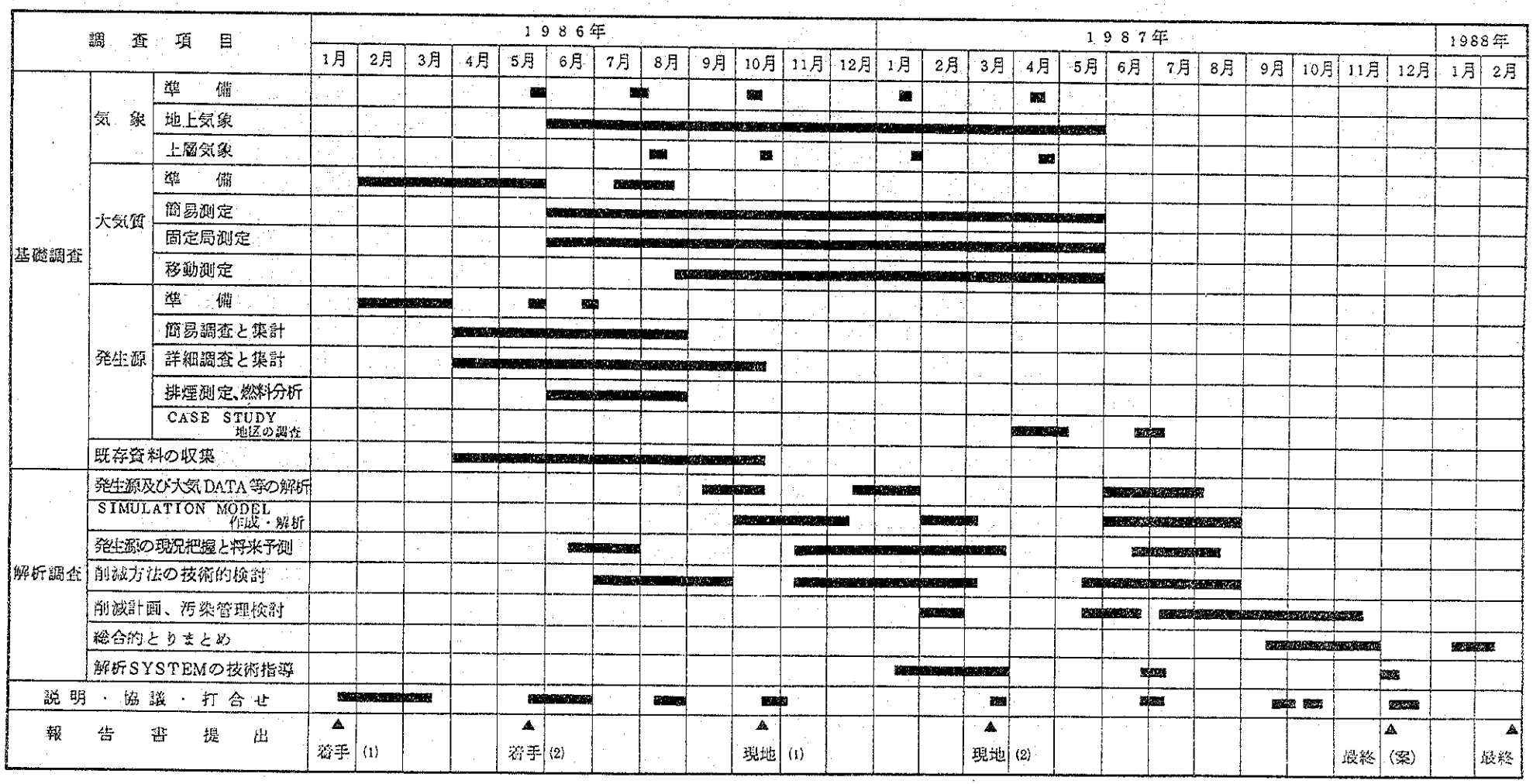

調査項目
1986年
1987年
1988年
1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 1月 2月 3月 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 1月 2月
基礎調査
気象
準備
地上気象
上層気象
大気質
準備
簡易測定
固定局測定
移動測定
発生源
準備
簡易調査と集計
詳細調査と集計
排煙測定、燃料分析
CASE STUDY 地区の調査
既存資料の収集
解析調査
発生源及び大気DATA等の解析
SIMULATION MODEL 作成・解析
発生源の現況把握と将来予測
削減方法の技術的検討
削減計画、汚染管理検討
総合的とりまとめ
解析SYSTEMの技術指導
説明・協議・打合せ
報告書提出
着手 (1)
着手 (2)
現地 (1)
現地 (2)
最終
(案)
最終

図1-2-4　調査工程

1.2.4 調査体制

(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成る。作業監理委員及び本格調査団員の氏名と担当は、それぞれ表1-2-1 及び表1-2-2 に示すとおりである。

表1-2-1 作業監理委員会

氏名	担当	現職
朝田悦次	委員長（総括）	大阪市環境保健局次長
尾田晃一	委員（排出規制）	大阪市環境保健局環境部保健主幹
増田喬史	委員（解析）	大阪市環境保健局環境部規制第一課大気係長
永長久徳	委員（測定）	大阪市環境汚染監視センター検査係長
竹本和彦	委員（汚染対策）	環境庁大気保全局大気規制課課長補佐
平山隆馬	委員（計画・管理）	国際協力事業団社会開発協力部参事

表1-2-2 調査団

氏名	担当
山川邦雄	総括／ENERGY対策
内田顕	副総括／大気保全計画
中野道雄	大気保全計画／組織・制度
杉田善和	SIMULATION MODEL作成
成瀬秀樹	発生源解析
椎橋正幸	大気汚染解析
加来秀典	SIMULATION解析
漆畑喜八郎	社会経済解析
藤森英水	都市開発計画
岡田育士	監視体制
今上一成	発生源調査／削減技術
岡山洋一郎	測定／環境大気
藤川政徳	測定／環境大気
鎌田忠彦	測定／気象
川中則彦	測定／発生源
井上幾雄	測定／分析

(2) 中国側調査体制

中国側は上海市環境保護局が調査の実施を担当し、上海市科学技術委員会がその調整に当った。調査実施の主な参加者とその担当は表1-2-3 に示すとおりである。

表1-2-3　中国側調査体制

氏　名	担　当	現　職
王　樹　道	総　括	上海市環境保護局副局長
黄　樹　彫	総括補佐	上海市環境保護局汚染管理処副処長
呉　銀　山	基礎調査総括	上海市環境保護局環境監測中心主任
江　研　因	解析調査総括	上海市環境保護科学研究所副所長
徐　家　驊	解析調査総括補佐	上海市城建学院環境工程系教授
鈕　福　民	基礎調査総括補佐／気象調査	上海市気象局工程師
許　景　文	顧　問	上海市環境保護科学研究所
李　剣　白	解析調査	上海市環境保護局綜合計画処処長
張　則　陸	解析調査	上海市環境保護局科学技術処副処長
支　克　正	発生源調査	上海市環境監測中心総工程師
田　儀　芳	大気質・発生源調査	上海市環境監測中心大気室主任
陳　静　森	解析調査	上海市環境保護科学研究所
呉　林　娣	解析調査	上海市環境保護科学研究所
鄧　華　龍	解析調査	上海市環境保護科学研究所
曲　紹　清	解析調査	上海市環境保護科学研究所
方　翠　珍	解析調査	上海市環境保護科学研究所
朱　　苹	解析調査	上海市環境保護科学研究所
王　民　良	解析調査	上海市環境保護科学研究所
林　汉　剛	解析調査	上海市環境保護科学研究所
銭　　華	解析調査	上海市環境保護科学研究所
陳　鐘　豪	大気質調査	上海市環境監測中心
沈　光　毅	発生源調査	上海市環境監測中心
張　元　茂	大気質調査	上海市環境監測中心
鞭　清　根	大気質調査	上海市環境監測中心
汪　関　鑫	大気質調査	上海市環境監測中心　静安区站
魏　　迅	発生源調査	上海市環境監測中心
鄔　璃　年	大気質調査	上海市環境監測中心
呉　暁　乗	基礎調査	上海市気象局工程師
周　彬　彬	解析調査	上海市城建学院環境工程系
林　希　堅	解析調査	上海市城建学院環境工程系
曹　徳　興	秘　書	上海市環境保護局科学技術処外事科

第２章　調査地域の社会的状況

2.1　地理・気候

2.1.1　地　　理

上海市は概ね北緯31度14分、東経 121度29分に位置し、北に長江（楊子江）、東に東海（東中国海）、南に杭州湾に面し、西側は江蘇省と浙江省に接している。

大部分が長江三角洲の沖積平原にあり、西南部の一部に丘陵がある外は平坦な地形であり、平均高度は海抜約4mである。

全市の陸地面積は 6,219k㎡であり、図 1-2-1に示したとおりに市区と郊県より成る。郊県は崇明島を含む10県より成り、市区は図 1-2-2に示したとおり12区より成る。市区のうち、最北部の呉淞区と南の飛び区である閔行区を除く10区は、中心都市(SHANGHAI CITY PROPER)と呼ばれている。

2.1.2　気候

上海地域は亜熱帯海洋季節風気候に属し、四季の変化は明瞭であり、MONSOON の影響で温暖で湿潤な気候である。

月別気温と降水量を、表2-1-1 及び図2-1-1 に示す。

表2-1-1　　月別気温と降水量

項　　目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
年平均気温（℃）	3.5	4.6	8.3	14.0	18.8	23.3	27.8	27.7	23.6	18.0	12.3	6.2	15.7
最高気温（℃）	19.8	23.6	27.6	33.3	35.5	36.9	38.3	38.9	37.3	31.3	28.5	23.3	38.9
最低気温（℃）	-10.1	-7.9	-5.4	-0.4	6.9	12.3	16.3	18.8	10.8	1.7	-4.2	-8.5	-10.1
平均降水量（㎜）	44.0	62.6	78.1	106.7	122.9	158.9	134.2	126.0	150.5	50.1	48.0	40.9	1124

出典：上海気象局（1951－1980）版本

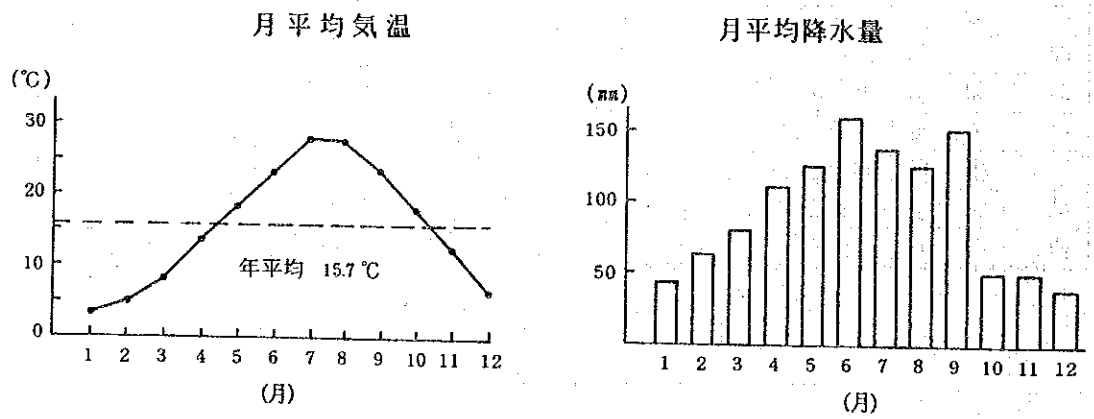


図2-1-1　　月平均気温と降水量

2.2 人口・世帯数等

上海全市と市区、郊県別の過去 6年間の人口と世帯数の推移を表2-2-1 に示す。全市人口は概ね年率 1%程度で漸増しており、郊県に比べて市区の増加率が高い。1984年には、市区・郊県の境界変更による市区面積の拡大により、市区人口が大巾に増加し、郊県人口が減少している。図2-2-1 に1985年の行政区別人口密度を示す。

表2-2-1　全市、市区、郊県の人口、世帯数等の推移

年	全市			市区			郊県		
	人口 (万人)	対前年増加率 (%)	世帯数 (万戸)	人口 (万人)	対前年増加率 (%)	世帯数 (万戸)	人口 (万人)	対前年増加率 (%)	世帯数 (万戸)
1980	1,146.52	1.3	303.87	601.29	1.7	157.96	545.23	0.8	145.91
1981	1,162.84	1.4	314.56	613.39	2.0	162.68	549.45	0.8	151.88
1982	1,180.51	1.5	321.71	626.84	2.2	167.54	553.67	0.8	154.17
1983	1,194.01	1.1	330.60	639.07	2.0	173.03	554.94	0.2	157.57
1984	1,204.78	0.9	340.78	688.13	7.7	189.72	516.65	−6.7	151.06
1985	1,216.69	1.0	351.72	698.30	1.5	197.39	578.39	0.3	154.33

2.3 土地利用

上海市の都市構造は図1-2-1 に示したとおり中心都市とそれをとりまく衛星都市や小都市からなり、これらの間には農業地帯が広がっている。

道路は、中心都市をとりまく環状道路と、中心都市と衛星都市を結ぶ放射状道路とが道路網の骨格を形成している。また、安亭、松江、金山衛などの衛星都市と中心都市とは、鉄道により結ばれている。

1985年の上海市の緑地面積は 2339ha 、公園数は52ヶ所で、市区における人口 1人あたりの公共緑地面積は 0.71 ㎡／人となっている。

中心都市は黄浦江の下流に位置し、図2-3-1 に示すとおり比較的人口密度の高い住居地区を主とする市街地が黄浦江の西側に広がっている。工業用地は、黄浦江沿いの地区に港湾及び流通施設などとともにつながり、また、市街地の周縁部をとりまいてのびる中山西路、中山北路などの道路沿いにも工業用地の分布がみられる。また、中心部の四川路、南京路、淮海路などの沿道には商業地区が分布し、住居地区の周縁部には文化施設が立地している。

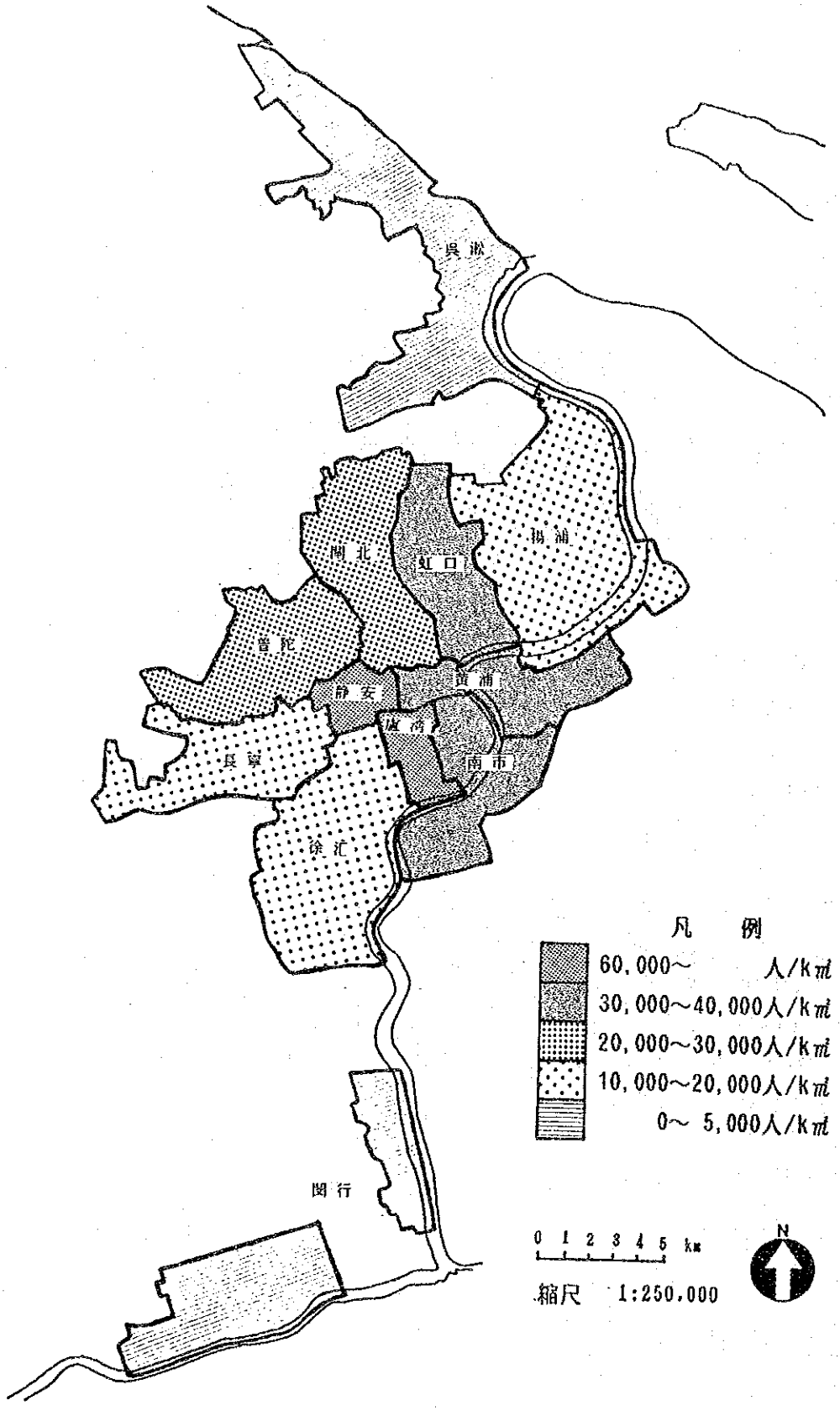


図 2-2-1　上海市の行政区別人口密度（1985年）

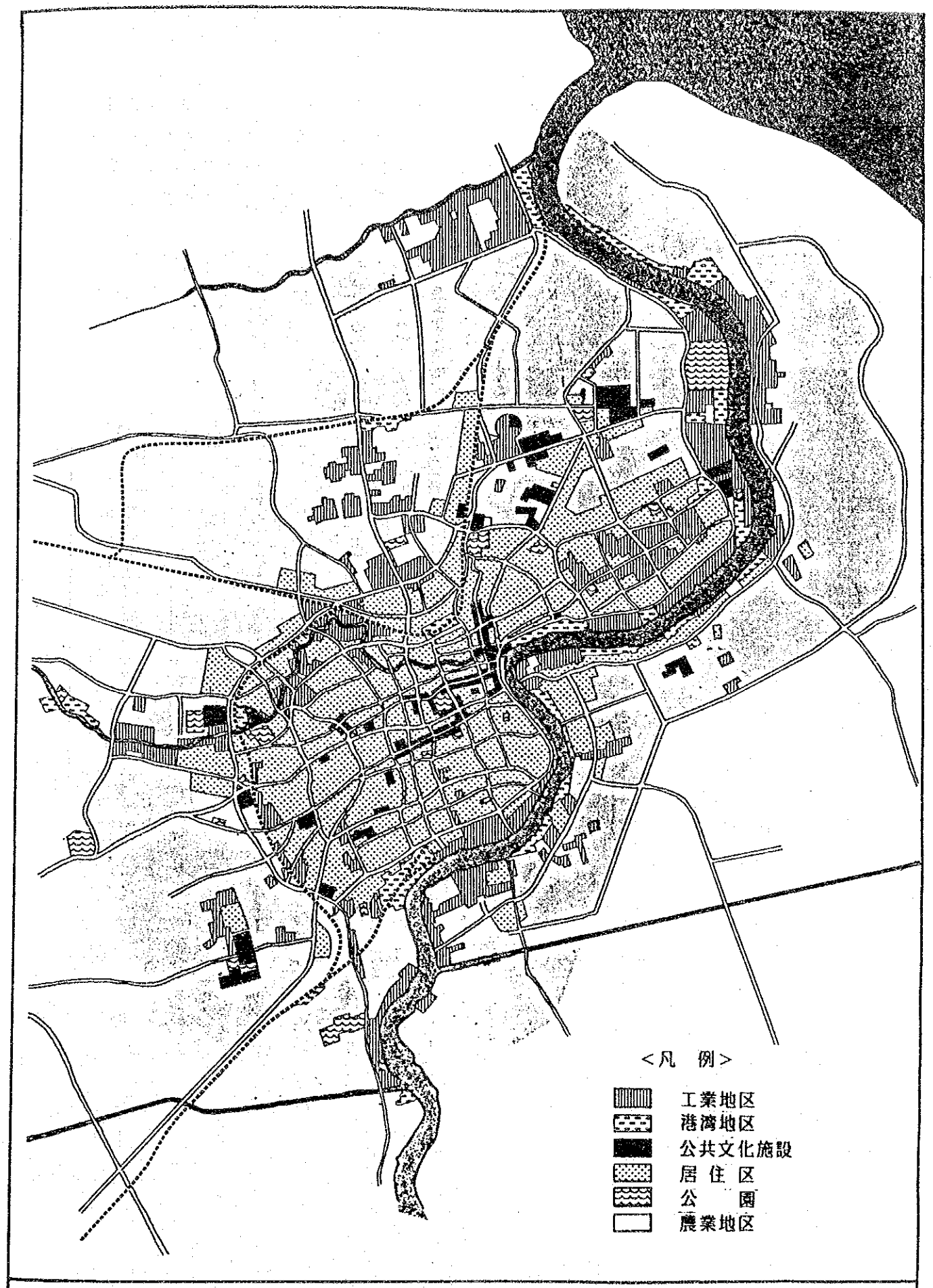


図2-3-1　上海市（中心都市）土地利用現況図

2.4 産　業

上海市の産業構造を社会総生産額でみると、表2-4-1 のとおり1985年の総計1055.83億元のうち78.6%にあたる 829.67 億元を工業総生産額が占めており、工業が大きな比重を占めている。しかし、経年的にみると工業の占める比率は年々、減少傾向にあり、農業、建設業、運輸・通信業及び商業・販売業の占める比率が徐々に増加しつつある。

工業の内、1985年の生産額の多い部門は機械工業、紡織工業、化学工業、冶金工業などの順であり、過去数年間は機械工業、化学工業の伸びが目立った。特に機械工業の内の電子工業は1985年／1980年比で79%増という高い伸びを示した。

表2-4-1　社会総生産額（当年価格）

単位：上段／億元、下段／%

区　分	1980年	1981年	1982年	1983年	1984年	1985年
工　業	587.29 (84.0)	606.40 (83.1)	619.79 (82.7)	645.01 (82.2)	706.50 (80.6)	829.67 (78.6)
農　業	30.20 (4.3)	34.05 (4.7)	38.61 (5.2)	41.20 (5.2)	49.60 (5.7)	64.50 (6.1)
建設業	20.13 (2.9)	24.04 (3.3)	26.06 (3.5)	27.57 (3.5)	34.94 (4.0)	47.52 (4.5)
運輸・通信業	20.60 (3.0)	22.00 (3.0)	24.14 (3.2)	25.91 (3.3)	31.13 (3.5)	39.06 (3.7)
商業・販売業	40.62 (5.8)	42.75 (5.9)	40.80 (5.4)	45.42 (5.8)	54.21 (6.2)	75.08 (7.1)
計	698.84 (100.0)	729.24 (100.0)	749.40 (100.0)	785.11 (100.0)	876.38 (100.0)	1,055.83 (100.0)

出典：上海市統計年鑑1986

一方、上海市の国民総生産は、1980年の 312億元に対し、1985年には 467億元と5年間で約 1.5倍の伸びを示した。この部門内訳は1980年で第1次産業 3.2%、第2次75.7%、第3次21.1%であったが、1985年にはそれぞれ 4.2%、69.8%、26.0%となり、第3次産業の比率が増加しているのに対して、第2次産業のそれが減少傾向にある。

なお、上海市における工場数は1985年で10,656で、これらのうち市区には5644、郊県に 4923 、在外省市に89の工場が立地している。また、軽工業と重工業の区分でみると、軽工業は 6250 、重工業は 4406 となっている。

2.5 ENERGY 需給

2.5.1 上海市における燃料供給の状況

(1) 燃料供給機関と取扱い燃料

上海市への各種燃料の供給機関と取扱い燃料及び供給対象は、表2-5-1 に示すとおりで、主な発電所、船舶及び鉄道用の各種燃料は、国の各担当部から供給されている。

また、上海市燃料公司では石炭と石油を主として工場に供給し、上海市煤気公司は都市GAS と液化石油GAS を家庭と民生用に供給している。

なお、自動車のGASOLINE、軽油及び民生施設への燃料油は、上海市石油公司が供給している。

表 2-5-1 燃料供給機関と取扱い燃料

機関	取扱い燃料	供給対象
国の各担当部	各種	発電所、船舶、鉄道
上海市燃料公司	石炭	工場、崇明発電所 COKE・都市 GAS工場 民生施設、家庭（煉炭）
	石油（原油、重油）	工場
上海市煤気公司	都市GAS 、液化石油GAS	家庭、民生施設
上海市石油公司	GASOLINE、軽油	自動車
	燃料油	民生施設

(2) 石炭・石油の消費量

1985年の上海市における石炭及び石油の消費量は表2-5-2 のとおりである。燃料の主力である石炭の全消費量は、約 1,850万t で、内訳をみると冶金を含む工業生産用の石炭が 895万t で約48%を占め、続いて市内の 7ヶ所にある発電所が 678万t で37%が発電用に供給されている。

表2-5-2 1985年上海市燃料消費量（石炭・石油）

区分		石炭（万t）	石油（万t）	備考
上海市燃料公司	工業生産用	802.1*		*崇明発電所26.9万 t を含む
	民用市場用	274.4		
	計	1,076.5	111.9	
上海電力公司		489.0	89.7	発電所 5 ヶ所
宝山製鉄発電所		161.8	0.4	
高化公司熱電所		—	34.0	
上海石化熱電所		—	66.6	
宝山製鉄所		79.8	—	
その他の冶金工業		39.9	34.3	
合計		1,847.0	336.9	

上海市燃料公司の1980年から1985年までの石炭の供給量の推移は表2-5-3 のとおりである。1985年の供給量は1081万t で、1980年の 982万t にくらべ 9.2%の増加となっている。工場生産用と民用市場用の割合は、各年とも工場生産用が約75%を占め民用市場用が25%となっている。

表2-5-3　上海市燃料公司の石炭供給量の経年変化

単位：万 t

区　　分	1980 年	1981 年	1982 年	1983 年	1984 年	1985 年
工業生産用	741.3	743	755	764	781	807
民用市場用	241.1	247	253	263	276	274
合　　計	982.4	990	1,008	1,027	1,057	1,081

2.5.2　電力・GAS

上海市におけるその他のENERGY供給の状況として、電力供給量と家庭用GASの普及率の経年変化をみると、表2-5-4 及び表2-5-5 のとおりである。

電力供給量については1980年から1985年の 5年間に全体で28%の増加となっている。1985年の供給量は約 180億KWH で、その内訳は工業用 141億KWH で79%を占め、農村用22億KWH(12%) と市部生活用16億KWH(9 %) の占める比率は低い。しかし、1980年からの伸び率をみると、工業用が21%増加しているのに対して農村用が約78%増、市部生活用が約48%増と大きな伸び率を示している。

家庭用GAS は、市内の 3か所のGAS PLANT において製造され供給されている。都市GAS と液化GAS をあわせた市区での普及率は1985年で約51%となっており、年々、増加傾向にある。

表2-5-4　上海市における電力供給量の経年変化

単位：億ＫＷＨ

区　　分	1980 年	1981 年	1982 年	1983 年	1984 年	1985 年
工業用電力	116.43	117.59	120.56	124.16	130.33	141.25
農村用電力	12.50	13.92	15.29	16.96	18.67	22.21
市部生活用電力	10.86	11.51	12.16	12.90	13.97	16.09
合　　計	139.95	143.18	148.18	154.19	163.19	179.74

表2-5-5　上海市の市区における家庭用GAS の供給状況

区　　分	1980 年	1981 年	1982 年	1983 年	1984 年	1985 年
都市GAS (万戸)	66.33	69.42	72.51	75.73	80.28	86.47
液化GAS (万戸)	4.56	5.65	8.63	9.45	11.90	13.78
普及率(%)	44.9	46.1	48.4	49.2	51.5	50.8

第３章　大気汚染の現況

3.1　大気汚染物質の発生量

3.1.1　各種発生源の概況

(1)　調査方法

表 3-1-1に示す書面調査等により上海市における現状（1985年）の各種発生源の汚染物質排出量（ＳＯx 、煤塵）を把握した。

表 3-1-1　調査対象発生源

種類	調査対象	調査方法	対象地域	備考
工場等	大規模80工場	詳細調査票	12区内，金山	石炭使用量１万t/年以上
	その他約1300工場	簡易調査票	１２区内	蒸気発生量１t/時以上
民生	HOTEL，事業所，浴場，飲食店等	統計調査	１２区内	
家庭	一般家庭	統計調査	１２区内	

なお、郊県の発生源及び自動車、船舶等の移動発生源は影響が軽微であると考えられるため調査の対象から除外した。

(2)　調査結果の概要

各種発生源の燃料使用量及び汚染物質（ＳＯx 、煤塵）排出量は、表 3-1-2に示すとおりである。調査結果によれば、12区の燃料使用量は既存資料による全市の石炭消費量1847万t/年の約60%、石油では全市337 万t/年の70%を占め、区部への集中率が高いことが判る。また、区部の中の発生源では工場等からのものが燃料使用量、大気汚染物質排出量共に全体の90%以上を占めている。

表 3-1-2　各種発生源の燃料使用量・大気汚染物質排出量

項目／種類	燃料使用量		大気汚染物質排出量	
	石炭（万t/年）	油（万t/年）	ＳＯx（千t/年）	煤塵（千t/年）
工場等	１００１	２４７	２３２	１３６
民生	２５	0	5	—
家庭	（煉炭）７９	0	6	—
計	１１０５	２４７	２４３	１３６

注）原料としての石炭，油は含まない。

3.1.2 発生量の地域分布

表 3-1-3に前記の各発生源について行政区毎に集計した大気汚染物質排出量を示す。

楊浦、閔行、呉淞の３区では、市区合計に対する排出量割合がそれぞれ20%を越し、これら３区だけで全体の70%を占める。

表 3-1-3　行政区別大気汚染物質排出量

行政区名	ＳＯｘ（t/年）			煤塵　(t/年)
	工場等	民生・家庭	計（%）	工場等（%）
黄　浦	2,158	1,398	3,556(1.5)	1,033(0.8)
南　市	7,580	1,759	9,339(3.9)	4,950(3.6)
盧　湾	3,888	651	4,539(1.9)	1,742(1.3)
徐　汇	9,586	915	10,501(4.4)	9,028(6.7)
長　寧	9,020	1,152	10,172(4.3)	3,395(2.5)
静　安	4,622	881	5,503(2.3)	1,000(0.7)
普　陀	6,677	591	7,268(3.1)	3,324(2.5)
閘　北	4,202	651	4,853(2.0)	1,489(1.1)
虹　口	3,612	1,587	5,199(2.2)	1,492(1.1)
楊　浦	65,212	723	65,935(27.7)	27,615(20.4)
閔　行	62,140	375	62,515(26.3)	49,093(36.2)
呉　淞	48,210	512	48,722(20.5)	31,461(23.2)
合計	226,907	11,195	238,102(100.0)	135,622(100.0)

図 3-1-1に階級化した全煙源のMESH別ＳＯｘ排出量を示す。図中では、黄浦江沿いと静安区、長寧区、徐汇区に排出量の大きなMESHが見られる。

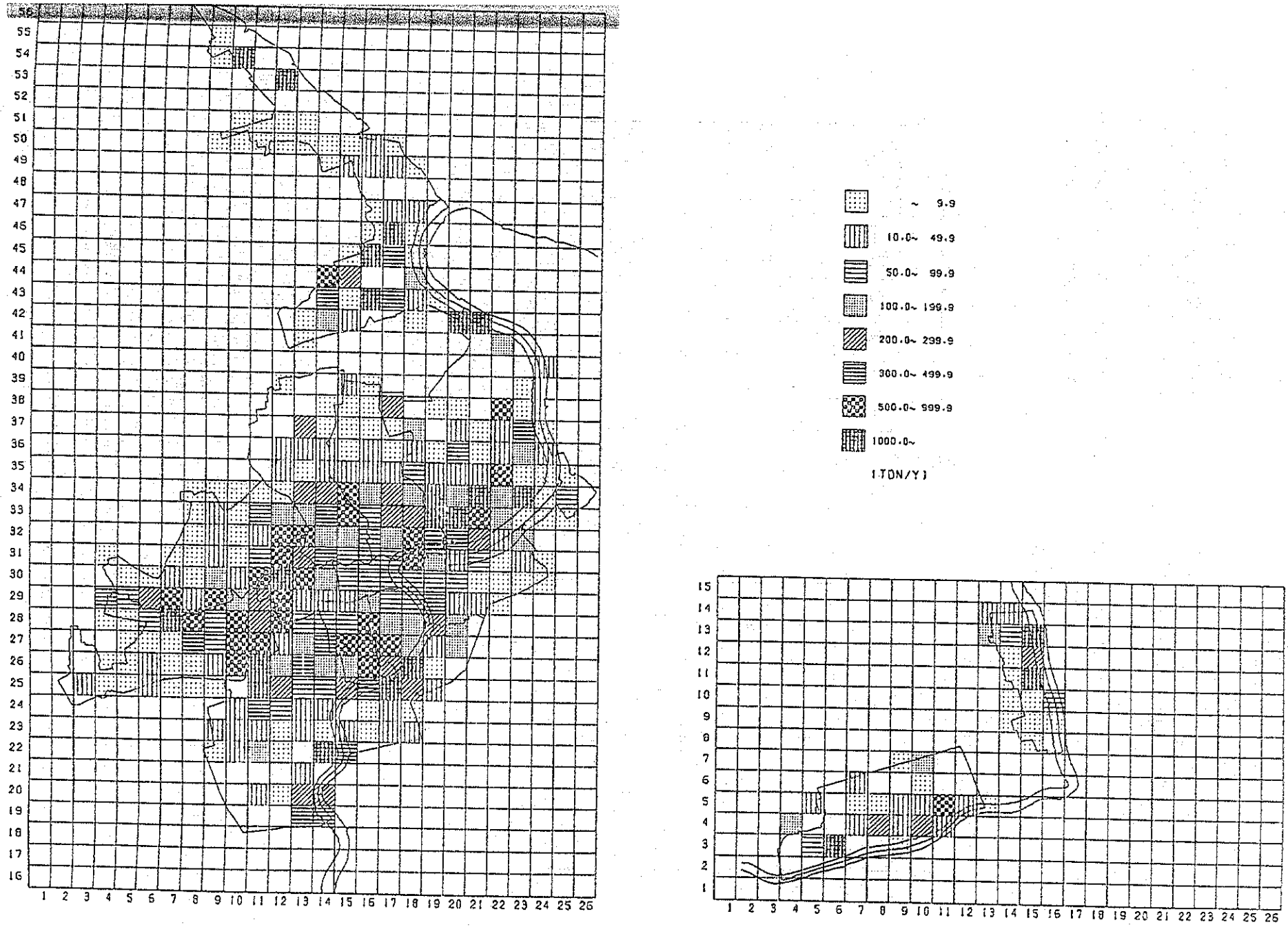


図 3-1-1 硫黄酸化物排出量階級図（全煙源） ― 現状 ―

3.2　気象・大気質

本節では、1986年6月から1987年5月までの1年間に調査した気象及び大気質のDATAに基づき、気象及び大気質濃度の出現状況、環境基準の達成状況、濃度と気象との関係について記述する。図 3-2-1に解析の対象とするDATAを得た7監測局の位置を示す。

また、表 3-2-1に7監測局の通年の常時観測項目を、表 3-2-2に上層気象観測の項目、期間等を示す。この外、移動測定車によるＳＰＭと降下煤塵、簡易測定によるＳＯx とＮO_2 についても記述する。

表 3-2-1　解析対象常時観測項目

監測局	観測項目							
	SO_2	SMP	NOx	CO	W D	W S	日射量	放射収支量
白玉路	○	○	○	○	○	○		
四漂	○	○	○	○	○	○		
羊毛衫十五厂	○	○	○	○				
武夷路	○	○	○	○				
海南路	○	○	○	○	○	○		
龍華					○	○		
少年宮							○	○

（注）各監測局において毎月、粒径別粉じん及び金属成分を測定。

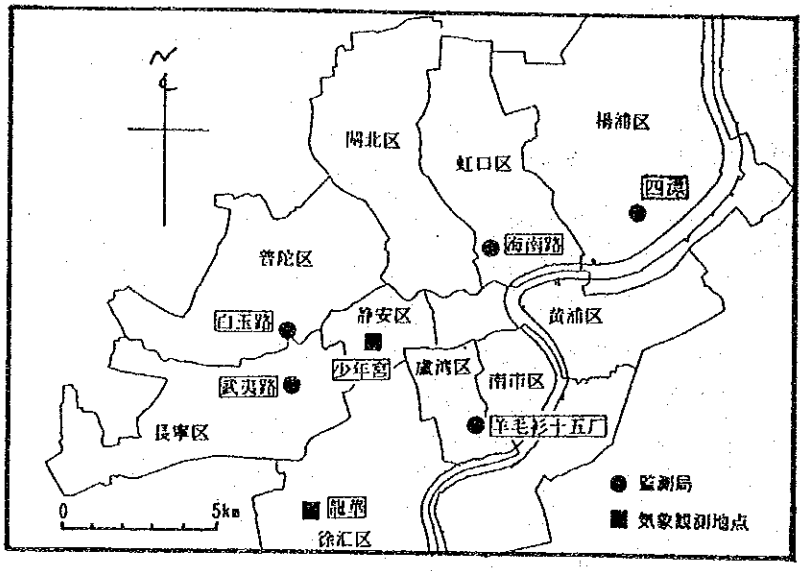


図 3-2-1　監測局位置図

表 3-2-2　解析対象上層気象観測DATA

観　測　項　目	観　測　期　間	観測地点
高度別気温，風向，風速 （高度：1,500mまで）	夏：1986年8月6日～8月11日	少年宮
	秋：1986年10月15日～10月18日 10月29日～10月31日	龍　華
	冬：1987年1月20日～1月21日 1月24日～1月27日	龍　華
	春：1987年5月17日～5月23日	龍　華

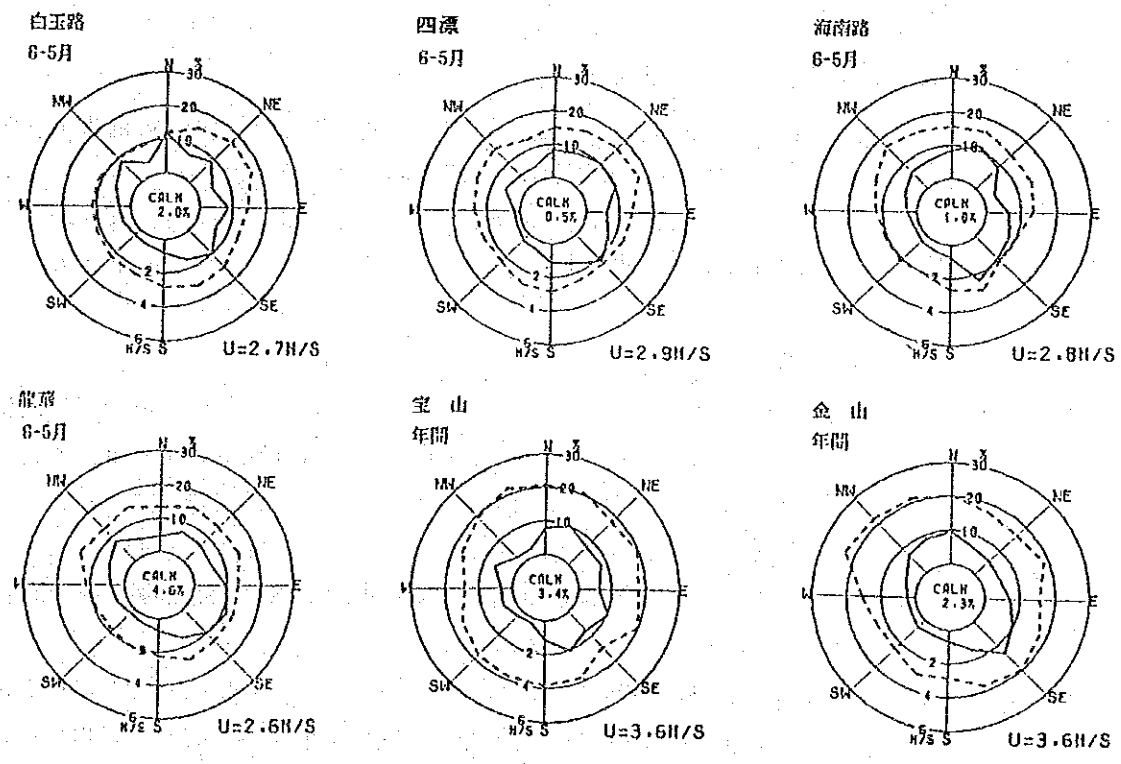
3.2.1　気　象

(1)　地上気象

1)　風　配

図 3-2-2に各監測局の年間風配図を示す。上海の地形が平坦であることから各地点でよく似た風配を示しており、その年間の主風向は概ね南東となっている。

金山は沿岸に位置していることもあり比較的強い風速を示す南東風を主風向としており、上海市内の風配とも良く似ている。宝山の風配は揚子江の影響も受けてやや東寄りの風配となっている。



——　；風配　……　；風速

図 3-2-2　年間風配図（平均風速）

市街地の各監測局の年間平均風速は、2.6 m/s（龍華）～2.9 m/s（四漂）であり、沿岸地域の宝山、金山は共に3.6 m/sとやや強くなっている。

2) 大気安定度

図 3-2-3に市区内4局における年間の大気安定度別出現頻度を示す。各監測局の風速に大きな差がないため、出現分布上での監測局間の差は殆どみられない。

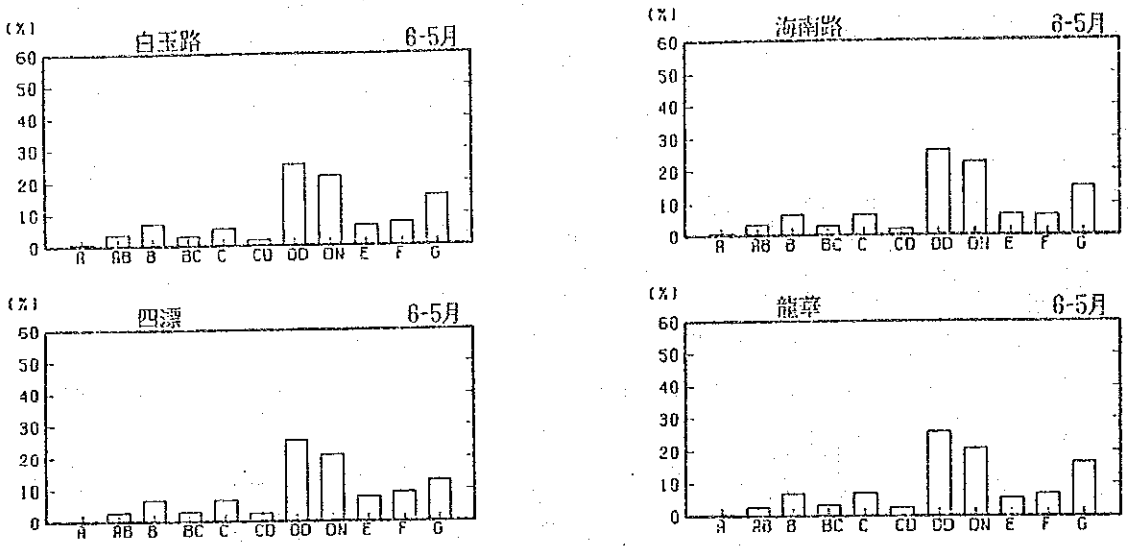


図 3-2-3 大気安定度別出現頻度（年間）（1986年6月～1987年5月）

(2) 上層気象

1) 風配の鉛直分布

全期間についての高度別風配によると、地上での南東風の主風向が高度を増すにつれて時計回りに変化傾向があった。地上から100 mまでは大きな変化はないが、上空200 mから300 mにかけて1方位時計回りに変化し、500 mを越えた当たりから西寄りの成分の風向の頻度がやや多くなる傾向がみられた。

2) 風速の鉛直分布

4期を平均すると、地上から上空300 mないし500 mまでは高度が増すに従い風速は大きくなり、全平均で7.6 m/s（高度500 m）であった。更に上空に行くと風速は徐々に小さくなり、高度1000mで6.7 m/sであった。季別にみると、夏（8月）、春（5月）に高度300 mまで、秋（10月）、冬（1月）は高度500 mまでの間に風速の急激な変化がみられた。

3) 上空風と地上風との類似度

上空風の観測DATAと、同時期の地上風のDATAを用いて、風VECTORについて、上空と地上の風の類似度を解析した結果によると、どの地上監測局も地上50mでは類似度は高いが、上空に行くほど地上及び他高度の風との類似度は低かった。

4) 気温の鉛直分布

午前は地上から数百mの間で、夏期を除く3季節に接地逆転の傾向がみられたほか、その上空も等温に近い気温減率であり、大気が安定した状況が多いと推察される。

午後は春を除いたいずれの季節も乾燥断熱減率に近い気温減率であり、大気が不安定な傾向が強いとみられる。

夜間はどの季節も等温ないしは等温に近い気温減率であり安定な状態が多いとみられる。

3.2.2 大気質

(1) 常時監測局

表 3-2-3に大気質の常時監測局5局におけるSO_2、SPM、NOx及びCOの測定濃度の年間集計結果を示す。

表 3-2-3 固定局濃度測定結果

項目	測定局	年平均値	1時間最大値	SAMPLE数	日平均最大値	日平均有効日数
SO_2 μg/m³	白玉路	94.9	1,151	6,777	296.3	245
	四漂	89.4	1,070	6,789	381.6	243
	羊毛衫十五厂	170.0	1,030	6,537	550.8	238
	武夷路	189.5	1,266	6,761	469.1	253
	海南路	95.3	910	6,041	382.0	208
SPM μg/m³	白玉路	136.7	859	7,672	358.7	320
	四漂	137.9	1,549	8,131	412.0	337
	羊毛衫十五厂	174.3	4,998	7,604	493.9	311
	武夷路	176.0	1,108	8,012	425.4	331
	海南路	132.1	1,324	7,471	343.8	306
NOx μg/m³	白玉路	50.6	1,498	6,821	333.6	256
	四漂	89.4	616	6,649	345.9	239
	羊毛衫十五厂	75.5	603	7,107	175.5	268
	武夷路	87.6	769	6,721	214.2	249
	海南路	48.5	455	6,504	151.2	222
CO mg/m³	白玉路	2.1	13.6	7,064	5.6	264
	四漂	3.8	15.0	6,792	9.9	262
	羊毛衫十五厂	4.1	10.0	5,408	9.3	205
	武夷路	1.7	11.9	6,692	7.3	245
	海南路	3.5	9.9	7,086	8.4	266

1) 硫黄酸化物（SO_2）

各監測局の年平均濃度は89.4μg/m³（四漂）から189.5 μg/m³（武夷路）の範囲となっており、特に羊毛衫十五厂監測局の170.0 μg/m³と武夷路監測局の189.5 μg/m³は3級の環境基準（100 μg/m³）を超える高い濃度を示している。また他の3監測局は上位2局と比べるとやや低い濃度を示しているものの、2級の環境基準（60μg/m³）を超える濃度となっている。1時間最大濃度は910 μg/m³（海南路）から1,266 μg/m³（武夷路）、日平均最大濃度は296.3 μg/m³（白玉路）から550.8 μg/m³（羊毛衫十五厂）の範囲にあり、いずれも3級の環境基準を超える高い濃度となっている。

2) 浮游粒子状物質（ＳＰＭ）

各監測局の年平均濃度は、132.1 μg/㎥ ～176.0 μg/㎥ 、１時間最大濃度は859 μg/㎥ ～4,998 μg/㎥ 、日平均最大濃度は343.8 μg/㎥ ～493.9 μg/㎥ の範囲となっており、年平均では硫黄酸化物と同様に羊毛衫十五厂、武夷路監測局の濃度が比較的高い。

3) 窒素酸化物（ＮＯx ）

各監測局の年平均濃度は48.5μg/㎥ ～89.4μg/㎥ 、１時間最大濃度は455 μg/㎥ ～1,498 μg/㎥ 、日平均最大濃度は151.2 μg/㎥ ～345.9 μg/㎥ の範囲になっており、年平均で四漂、羊毛衫十五厂、武夷路監測局の濃度が比較的高くなっている。

4) 一酸化炭素

各監測局の年平均濃度は、1.7 mg/ ㎥ ～9.9 mg/ ㎥ 、１時間最大濃度は9.9 mg～15.0mg/ ㎥ 、日平均最大濃度は5.6 mg～ 9.9mg/ ㎥ の範囲となっており、年平均では羊毛衫十五厂、四漂、海南路監測局の濃度が比較的高くなっている。

(2) 移動測定車による浮遊粒子状物質濃度及び降下煤塵量

市内20地点におけるLow-Volume Air Sampler（各地点毎に２日間を４回）による浮遊粒子状物質濃度（ＳＰＭ）は、全地点平均が0.176 mg/ ㎥ 、各地点では0.079 mg/ ㎥ ～0.267 mg/ ㎥ の範囲にあり、常時監測局でのＳＰＭ濃度とほぼ同じLEVEL を示した。Dust Jarによる降下煤塵量は、全地点平均が19.7ton/km^2 / 月、各地点では3.97ton/km^2 / 月～41.41ton/km^2 / 月と濃度に大きな幅があるが、南市水厂地点が最も高く、上海動物園が最も低かった。

(3) 簡易測定

1) ＰｂＯ$_2$ 法による硫黄酸化物濃度（ＳＯx ）

ＰｂＯ$_2$ 法により106 地点で毎月測定されたＳＯ$_2$ 濃度を基に、年間平均濃度を算出した結果によると、市街地全域では2 mg/day/100cm^{2}以上の高濃度出現地域は、楊浦区南部（四漂監測局の南西方向）、虹口区南西部、静安区北部、普陀区南部（白玉路地点及びその西方向）、長寧区南東部（武夷路の南方向）、盧湾区中央部であった。

2) ＴＥＡ　Ｂadge法による窒素酸化物（ＮＯ$_2$ ）

ＴＥＡ　Ｂadge法によって50地点で毎月測定されたＮＯ$_2$ 濃度を基に、年間平均濃度を算出した結果によると、0.005 ～0.042ppmの範囲であった。その地域分布は上海市街地内でみると一部の特出した高濃度地点はあるものの、全体的には濃度差が小さく、また、硫黄酸化物濃度の地域分布に類似していた。

(4) 環境基準との対比

表 3-2-4に測定期間におけるSO_2の環境基準の達成状況を示す。

1級及び2級の環境基準値との比較では、年平均値、日平均値、一次測定値ともに全ての監測局において未達成である。3級では年平均値について白玉路、四漂、海南路においてのみ達成している。

環境基準の超過率を局別にみると、全ての級について武夷路監測局が最も高く、次いで羊毛衫十五厂監測局となっているが、他の3監測局の超過率はこれらの上位2監測局に比べてかなり低い。

級毎に環境基準超過率をみると、1級の年平均値については基準値0.02mg/㎥に対して0.0949mg/㎥～0.1895mg/㎥と5倍から10倍弱となっており、日平均値、一次測定値もそれぞれ77.6%～99.6%、16.7%～54.5%と高い超過率を示している。2級では、年平均値の基準値0.06mg/㎥に対して測定値は1.5倍から3倍程度であり、日平均値，一次測定値もそれぞれ16.5%～62.2%，0.2%～2.4%と、1級に比べるとかなり低い超過率となっている。3級については、年平均値は基準値0.10mg/㎥に対して、測定値は0.9倍～1.9倍であり、日平均値、一次測定値はそれぞれ0.8%～21.6%、0.1%～0.5%となっている。

表 3-2-4 SO_2の測定値と環境基準との対比（超過率）

超過率(%)：超過回数／全SAMPLE数

		白玉路	四漂	羊毛衫十五厂	武夷路	海南路	基準値mg/m³
1級	年平均値	×	×	×	×	×	0.02 A
	日平均値	78.2% 205/262	75.1% 199/265	98.8% 250/253	99.6% 258/259	77.6% 184/237	0.05
	一次測定値	16.7 2311/13815	14.5 2014/13893	47.7 6328/13279	54.5 7459/13687	17.4 2160/12428	0.15 B
2級	年平均値	×	×	×	×	×	0.06
	日平均値	17.6 46/262	12.8 34/265	53.8 136/253	62.2 161/259	16.5 39/237	0.15
	一次測定値	0.2 34/13815	0.7 100/13893	2.4 314/13279	2.4 325/13687	0.5 60/12428	0.50 B
3級	年平均値	○	○	×	×	○	0.10 A
	日平均値	0.8 2/262	2.3 6/265	13.4 34/253	21.6 56/259	3.0 7/237	0.25
	一次測定値	0.1 8/13815	0.2 23/13893	0.3 41/13279	0.5 62/13687	0.2 19/12428	0.70 B
実測年平均値 (mg/m³)		0.0949	0.0894	0.170	0.1895	0.0953	

A：年平均値，B：30分値とした。，○：超過率 0%，×：超過率100%

なお浮遊粒子状物質、窒素酸化物、一酸化炭素の日平均値の環境基準達成状況は、次のとおりである。

浮遊粒子状物質は、全監測局で3級（0.5 mg/㎥）を達成しているが、2級（0.30mg/㎥）、1級（0.15mg/㎥）は未達成、窒素酸化物は全監測局について3級（0.15mg/㎥）が未達成、一酸化炭素は3級（6 mg/㎥）を白玉路監測局（5.6 mg/㎥）のみが達成し、他の監測局は未達成である。

3.2.3 気象と大気質の関係

(1) 風向別平均濃度

図 3-2-4に年間の風向別平均濃度を示す。

1) 硫黄酸化物（SO_2）

白玉路監測局では。風向特性は顕著ではないが、東北東で小さなPEAKがみられる。四漂監測局では、南西から西の風向で濃度が非常に高くなる傾向がみられる。

羊毛衫十五厂監測局では、西及び北の風向で濃度が高い。またCALMでも濃度が高い。武夷路監測局では、北東から東、南東にかけて濃度が高い傾向がみられる。また、CALMで濃度が高い。海南路監測局では、東南東及び南から西南西にかけて濃度が高い傾向がみられる。

2) 浮遊粒子状物質（SPM）

羊毛衫十五厂監測局以外の局は、硫黄酸化物の風向PATTERN と似ている。羊毛衫十五厂では南系の風向で濃度が高い。

3) 窒素酸化物（NOx）

全監測局とも、硫黄酸化物の風向PATTERN に類似しているが、硫黄酸化物ほど風向による濃度変化は顕著ではない。

4) 一酸化炭素（CO）

全監測局とも、風向による若干の濃度変化はあるものの、他の物質と比べると風向変化は殆どない。

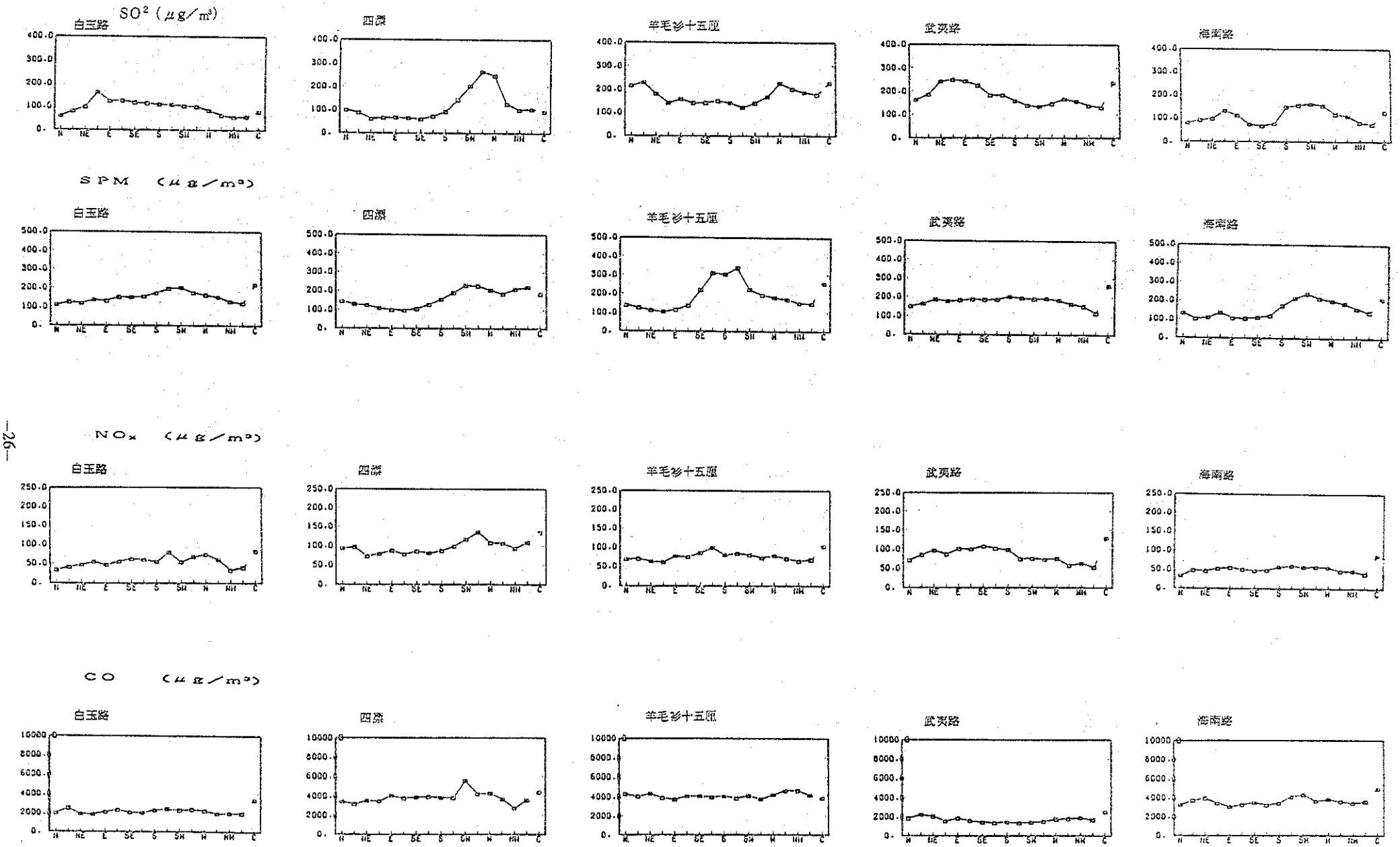


図３－２－４　風向別平均濃度　年間 1986年6月～1987年5月

(2)　風速階級別平均濃度

図 3-2-5にSO_2の風速階級別平均濃度を示す。各監測局の風速による濃度変化は、概ね風速が強くなると濃度が低くなる傾向がみられるが、白玉路監測局のように風速特性が殆どない例もみられる。SPM、NOx、COについても類似の傾向であった。

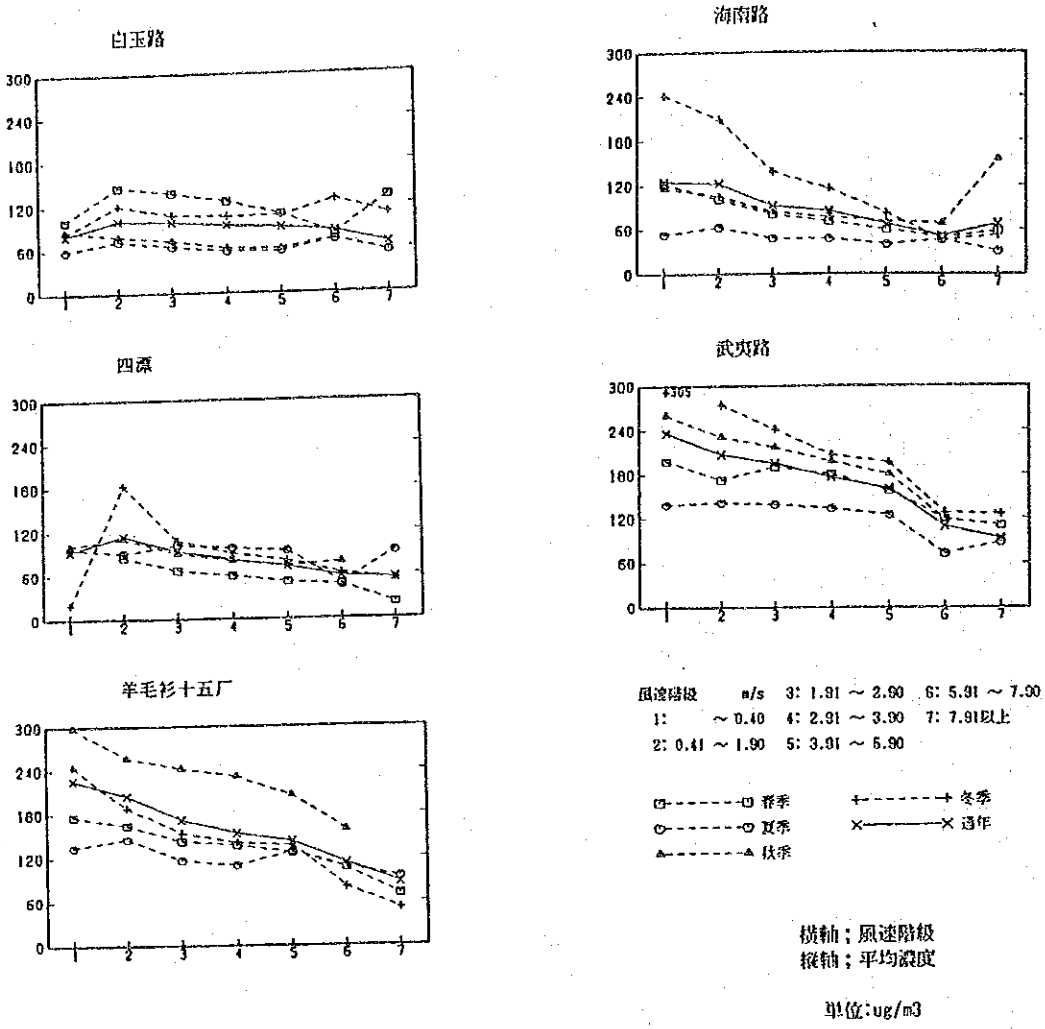


図 3-2-5　SO_2の風速階級別平均濃度

3.3 SO_2 の現況SIMULATION

3.3.1 SIMULATION MODEL

大気汚染予測SIMULATION MODELとして、空間的には広域現象を、時間的には長期平均値を対象としたPLUME-PUFF MODELを適用する。

SIMULATION MODELは、以下に示す条件設定、発生源MODEL 、気象MODEL 、拡散MODEL 等により構成される。

(1) 条件設定

① 対象範囲

対象汚染物質……二酸化硫黄（SO_2）

対象発生源……ばい煙発生施設（工場等・民生）、一般家庭

対象測定地点……大気質の常時監測局（5局）

評価対象濃度……SIMULATIONよる濃度の再現性の評価は年間平均濃度や期別時間帯別平均濃度について行う

計算対象範囲……上海市区部を中心とする地域

② 期区分・時間帯区分

期別区分は気温を考慮し、時間帯区分はSO_2 濃度や発生源稼動PATTERN 及び日の出、日の入り時刻を考慮して、4期、3時間帯（12区分）とした。

(2) 発生源MODEL

表 3-3-1に示すように、発生源の規模と分布状態により点源、面源に整理してMODEL 化した。

表 3-3-1 発生源の形態分類

発生源種類	煙源形態	備　　考
工　場	点源	主要工場（詳細調査）,Case ・Study 地区工場及び簡易調査中の中規模工場の煙突
	面源	上記以外の小規模工場（簡易調査）の煙突
民　生	面源	事業所の施設
家　庭	面源	市街地内の一般住居

(3) 気象MODEL

風向、風速、及び大気安定度の気象DATAを、拡散場（風向・風速や拡散状況の違いにより水平方向や鉛直方向に分割された区域）毎に気象出現比率（風向、風速、大気安定度の3重cross ）の型に整理する。

① 拡散場区分

表 3-3-2に拡散場の鉛直方向区分及び適用する発生源種類を示す。

表 3-3-2 鉛直方向拡散場

拡散場	対象発生源	気象地域の設定
地上拡散場 及び 下層拡散場	民生、家庭 実高：30m未満	◦地上及び下層拡散場は、観測風の地点間類似度解析結果と地形特徴等により気象区域を設定し、その地域の風を代表する測定局を選定する。 ◦上空（中層，上層）気象区域は、地上の気象区域と同様に取り扱う。
中層拡散場	実高：30m以上80m未満	
上層拡散場	実高：80m以上	

② 風向・風速

i）地上・下層拡散場

市内の監測局の風は互いに類似度が非常に高く、全域を１つの気象地域と考えることも可能であるが、各監測局の距離や黄浦江の影響も考慮して図 3-3-1に示すような６地点を代表局とする気象区域を設定した。

ii）中・上層拡散場

風向は地上・下層拡散場と同じとし、風速は地上風から上層風速を推計するためのべき乗法法則により推計した。

③ 大気安定度

大気安定度は、各気象区域の地上の風速と少年宮の日射量、放射収支量（地上1.5 m）を用いてPasquill安定度階級に分類した。

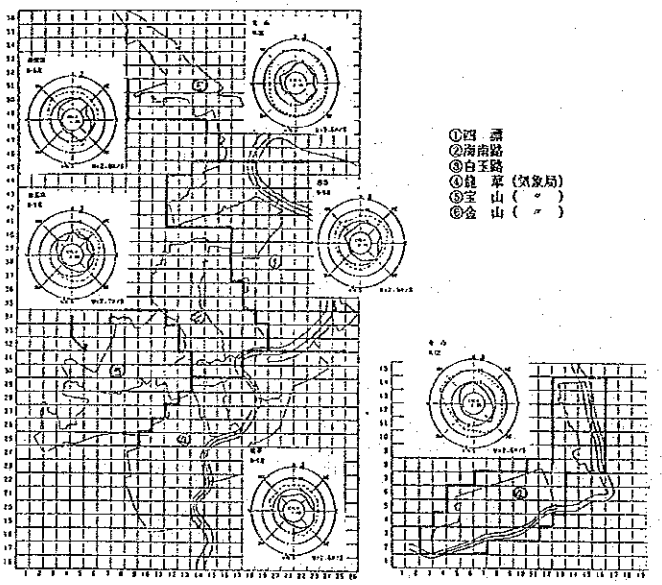


図 3-3-1 上海市気象Block の設定

④ 気象区分

気象DATA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。

i）風　　向……16方位及び無風（U≦0.4 m/s）

ii）風　　速……7区分

iii）大気安定度……Pasquill安定度階級を基に7区分に整理した。

(4) 拡散式MODEL

有効煙突高式及び拡散式は発生源のMODEL 化の種類、気象条件によってそれぞれ以下の式を適用した。

① 有効煙突高式

表 3-3-3 有効煙突高式の適用

発生源MODEL　　気象条件		有　風　時	無　風　時
点源	大規模煙突（2×10⁶Cal/s 以上）	Moses&Carson式	Briggs式 dθ/dz（℃/m） 0.003（昼） 0.010（夜）
	中小規模煙突（2×10⁶Cal/s 未満）	CONCAWE 式	
面源（簡易調査分）		CONCAWE 式	Briggs式（条件は同上）
面源（民生，家庭）		10m	10m

② 拡散式

表 3-3-4 拡散式の適用

発生源MODEL　気象条件	有　風	無　風
点　源	PLUME 2π／16 式	簡易PUFF式
面　源	面源 PLUME 2π/16 式	面源簡易PUFF式

③ 拡散幅等

拡散式の中で使用されている拡散幅（拡散PARAMETER ）は、有風時はPasquill-Gifford線図、無風時はTurner線図より得られる拡散係数を用いた。　なお、有風時の拡散幅の適用時には、初期拡散幅を考慮した。

3.3.2 現況のSIMULATION

(1) MODEL の再現性

図 3-3-2にSO_2 の実測と計算の年平均値濃度の散布図を示す。また、表 3-3-5にMODEL の整合性の評価結果を示す。測定局5局の実測値と計算値の相関係数は、0.949 で、回帰線の傾き1.009 、変動係数0.137 という良好な結果が得られた。また、期別時間帯別についても概ね良好な結果が得られた。

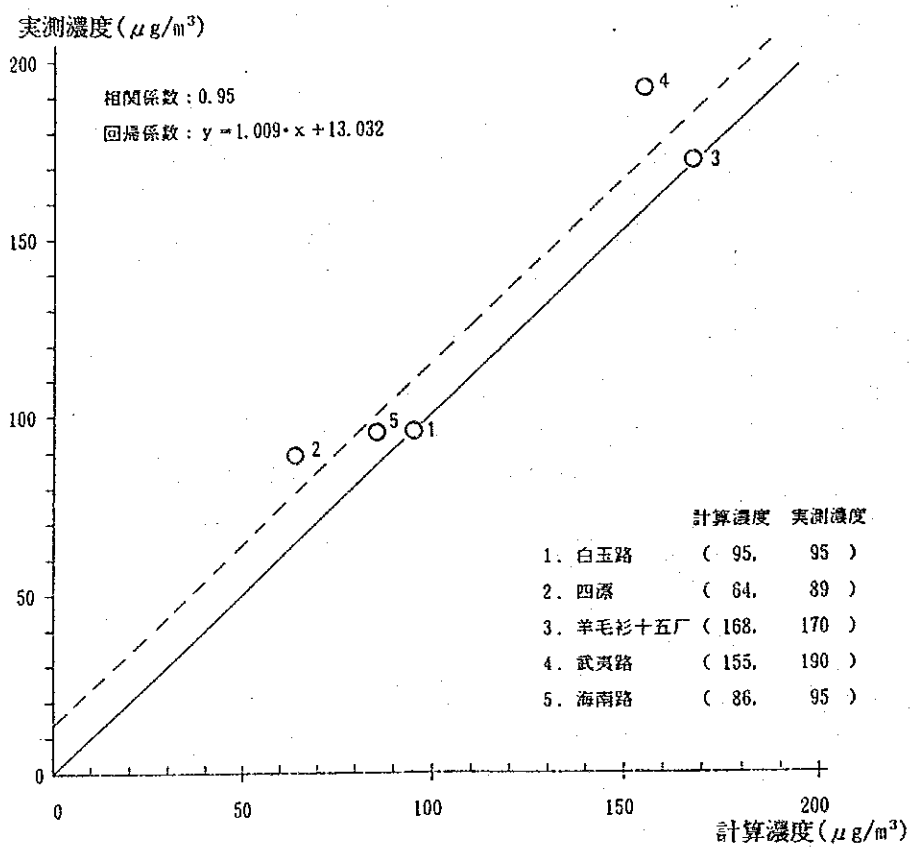


図 3-3-2 実測値と計算値の関係〔SO_2〕 年間全日

表 3-3-5 SO_2 モデルの整合性（年間）

項目	関 係 式	評価局数	相関係数	変動係数	Ａｏ	評価
係数	Y＝1.009 X＋13.0	5	0.949	0.137	14.1	A

注）Ｙは実測濃度，Ｘは計算濃度。 単位は、μg/m³。
Ａｏは、BACKGROUND濃度で（Ａｏ＝ 実測値平均－計算値平均）

(2) 濃度分布

図 3-3-3に拡散MODEL により対象地域全MESHのSO_2年平均濃度を計算した結果を示す。この結果によると、150 μg/㎥ を超える地域は、最大濃度の160 μg/㎥ が出現している静安区西部と盧湾区中央部及び長寧区東部である。地域全体では、上述の3地域を中心とする高濃度地域から周辺に行くほど濃度がなだらかに低下し、上海市街地周辺がおよそ60μg/㎥ となるような分布をしているが、虹口区南東部、呉淞区南部では局地的にそれぞれ127 μg/㎥ 、104 μg/㎥ のSUB-PEAK濃度がみられる。また宝山工業地域の年平均濃度は30μg/㎥ から40μg/㎥ と比較的低くなっている。

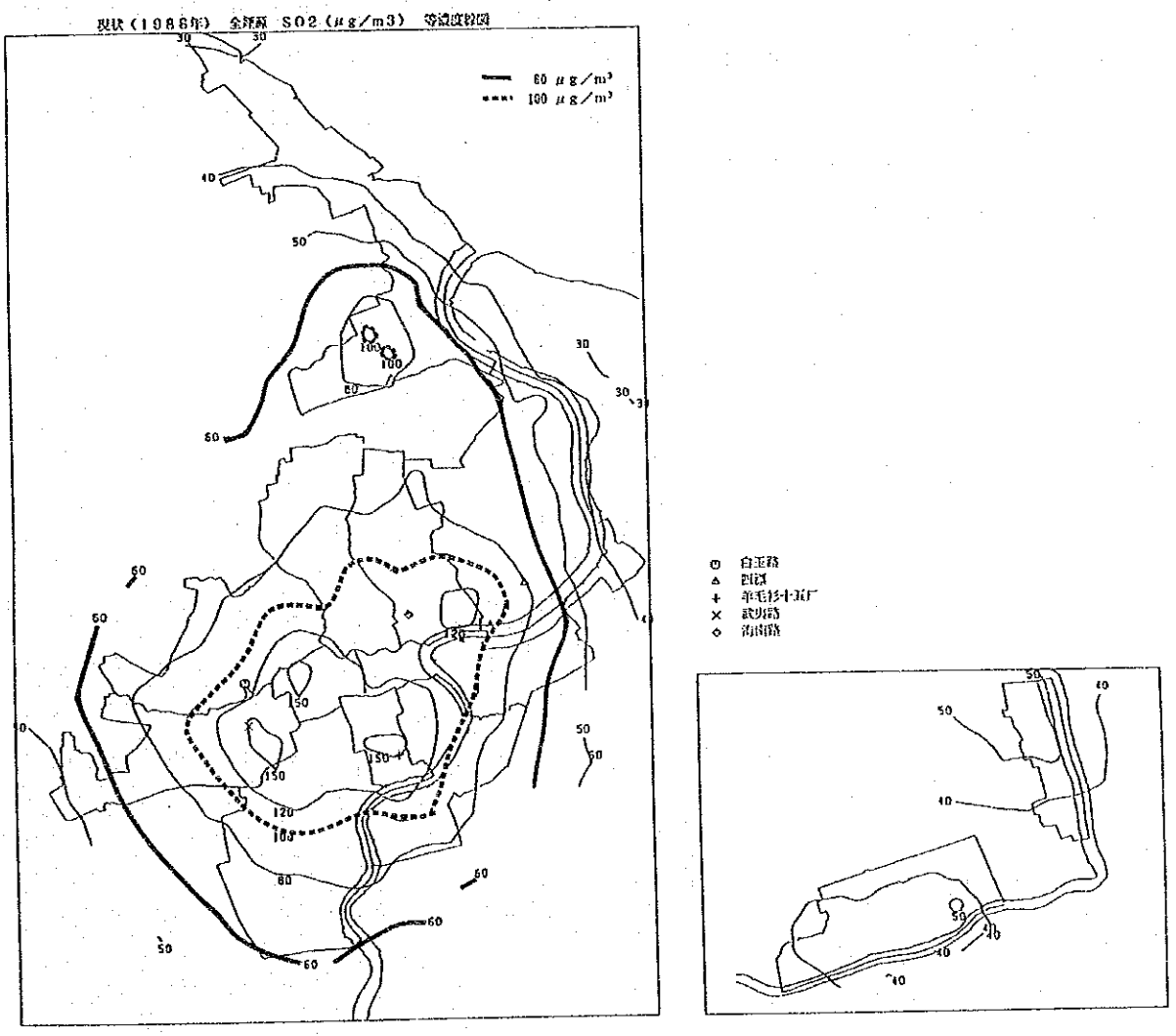


図 3-3-3 現状SO_2年平均濃度地域分布　　単位：μg/㎥

3.4 現況の大気汚染構造

上海市の硫黄酸化物に係る大気汚染は、地域の工場、民生、家庭から排出される硫黄酸化物（詳細調査工場18.8万t/年、簡易調査工場4.5 万t/年、民生5 千t/年、家庭6 千t/年）により、監測局において年平均濃度189.5 μg/㎥ ～94.9μg/㎥ が出現している。また、拡散SIMULATIONによる年平均濃度では、3級の環境基準値（100 μg/㎥ ）を超える地域が市区中央部を、2級基準値（60μg/㎥ ）を超える地域が市区のほぼ全域を占めている。

図 3-4-1と表 3-4-1に示す硫黄酸化物の発生源種類別寄与濃度と寄与率をみると、その寄与の大部分を占めているのは各監測局とも詳細調査工場（20.5%～34.2%）と簡易調査点源工場（26.5%～36.1%）であり、次いで簡易調査面源工場（7.4 %～15.3%）となっている。

このような結果から上海市では詳細調査工場のような硫黄酸化物排出量の大きい大規模工場の寄与も高いが、簡易調査点源工場のように比較的低い煙突の寄与率が高いことが注目される。また燃料使用量が少ない民生と家庭の寄与率は、濃度の最も低い四漂監測局では7.6 %であるが、その他の監測局では14.3%～18.3%と無視できない割合を示している。

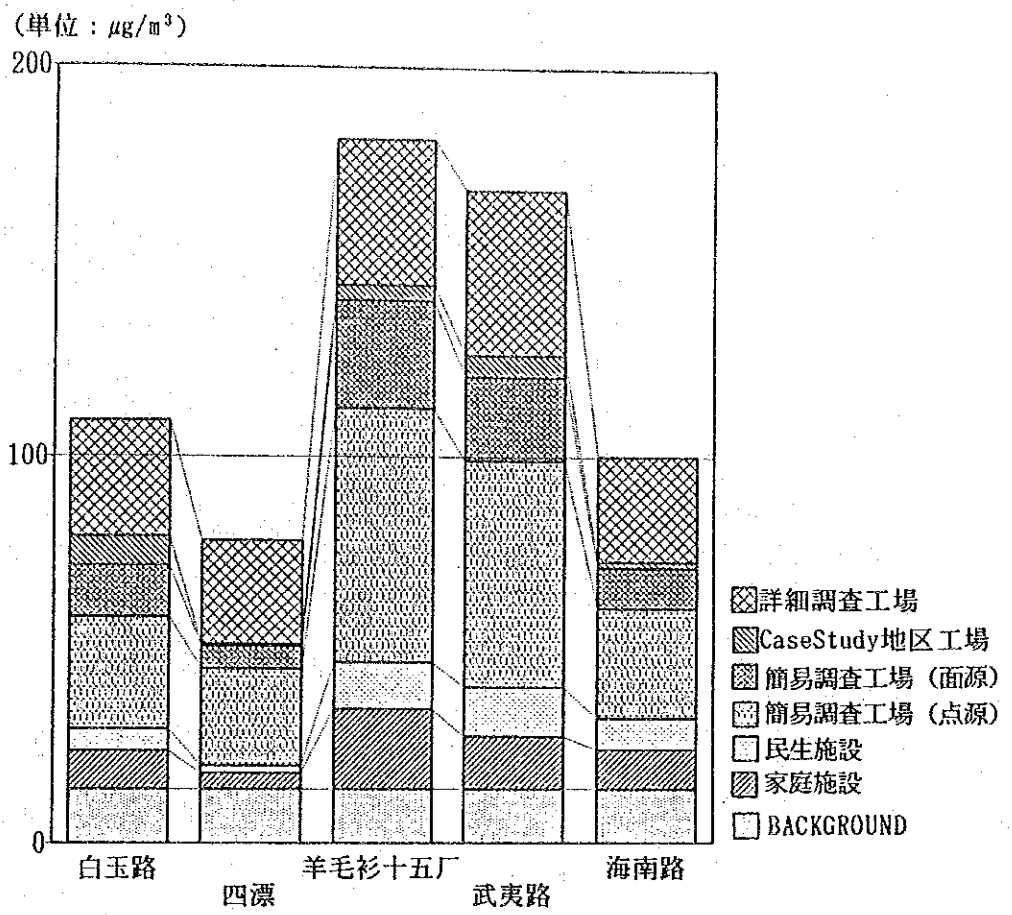


図 3-4-1　SO_2 発生源種類別寄与濃度（年平均、現状）

表 3-4-1　SO_2 発生源種類別寄与濃度・寄与率（年平均、現状）

単位：μg/m³，(%)

測定局 / 発生源	白玉路	四漂	羊毛衫十五厂	武夷路	海南路
詳細調査工場	29.9(27.3)	26.8(34.2)	37.3(20.5)	42.4(25.1)	27.4(27.3)
CaseStudy地区工場	7.6 (6.9)	0.6 (0.8)	4.0 (2.2)	5.6 (3.3)	1.5 (1.5)
簡易調査工場（面源）	13.3(12.1)	5.8 (7.4)	27.8(15.3)	21.6(12.8)	10.5(10.5)
簡易調査工場（点源）	29.0(26.5)	25.2(32.1)	65.7(36.1)	58.7(34.8)	28.5(28.4)
民生施設	5.7 (5.2)	1.9 (2.4)	12.2 (6.7)	13.0 (7.7)	8.1 (8.1)
家庭施設	10.0 (9.1)	4.1 (5.2)	20.8(11.4)	13.6 (8.1)	10.2(10.2)
BACKGROUND	14.0(12.8)	14.0(17.9)	14.0 (7.7)	14.0 (8.3)	14.0(14.0)
計	109.5 (100)	78.4 (100)	181.8 (100)	168.9 (100)	100.2 (100)

第4章　大気汚染防止対策の現況

4.1　大気汚染管理に係る機構と制度

4.1.1　法体系

中国における環境保護法体系の基本法は「中華人民共和国環境保護法（試行）」である。これは憲法第11条の「国は環境を保全し、天然資源を保護し、汚染およびその他の公害を防除する。」との規定をその立法根拠としており、1979年 9月より試行されている。この基本法に基き、大気保全の為の単行法である大気汚染防治法が1988年 6月より施行される予定である。

4.1.2　環境保護機構

環境保護法（試行）の規定に基づいて設置された中国の国家の環境保護行政機構は図4-1-1 に示すとおりである。

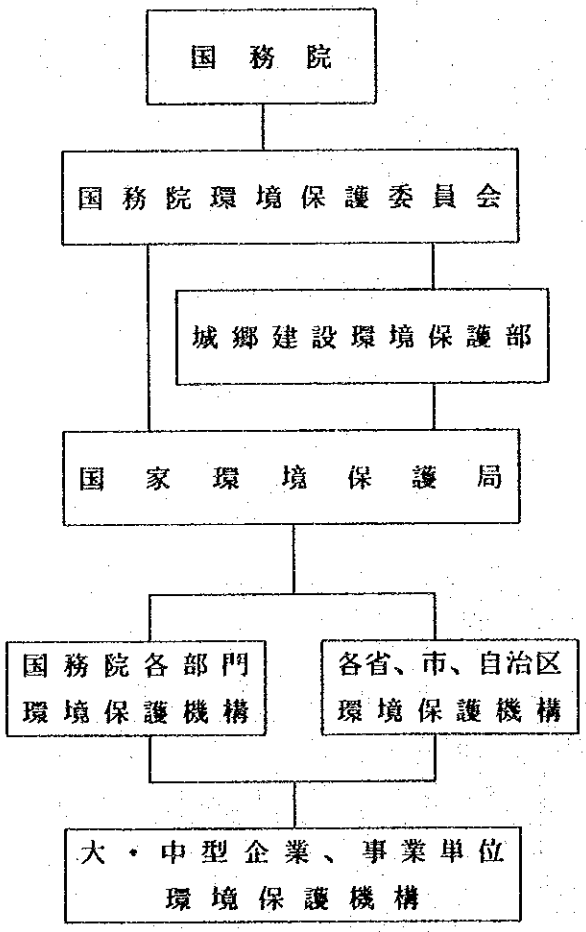


図4-1-1　中国の環境保護機構

上海人民政府の環境保護機構は図4-1-2 に示すとおりである。

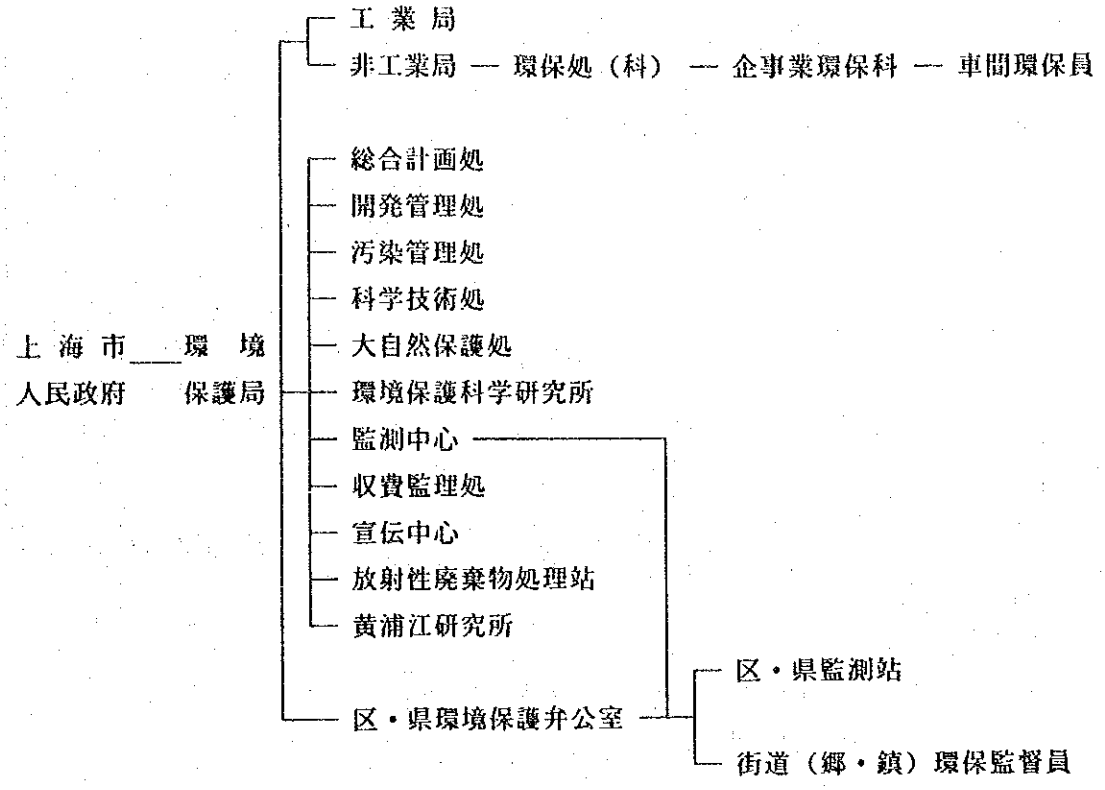


図4-1-2　上海市の環境保護機構

環境保護局は、都市計画局および土地局とともに都市計画環境委員会の下部機構になっており、総務部門のほかに、内局5と事業単位5とから成っている。環境保護局は、工業局等とは横断的関係に、国家および区・県とは縦断的関係にある。

4.1.3　大気質の環境基準

全国的に適用するための大気質の国家基準は、環境保護法の規定を根拠として、1982年4月に制定されている。対象汚染物質は6項目、基準値は1級、2級、3級の3段階で定められており、1類区、2類区、3類区に適用されることになっている。

各級、各類区は表4-1-1 に示すように定義されており、各級毎に定められている基準値は表4-1-2 に示すとおりである。

表4-1-1　大気質基準の級分類と適用地区分類（GB 3095-82）

基準の級分類		基準の適用地区分類	
級	定　　義	類　区	定　　義
1級基準	自然生態系あるいは人々の健康保護のため、長期間接触した状況下で、誰にとっても何らの害も発生しない程度の大気質	1類区	国家の定めた自然保護区、風致・遊覧地区、名勝、古跡あるいは保養地などの地区
2級基準	人々の健康と都市、郷村の動植物の保護のため、長期間・短期間の接触状況下において、被害の発生しない程度の大気質	2類区	都市計画によって、住宅地区、商業・交通・住宅混合地区、文化地区と定められた地区および名勝、古跡あるいは大農村などの地区
3級基準	人々の保護のため、急性・慢性の中毒が発生せず、都市における一般的動植物（特に敏感なものを除く）の正常な成長を妨げない程度の大気質	3類区	大気の汚染度が比較的高い都市と小都市、工業地区あるいは都市交通の中枢、幹線に面する地区

（注）2類区域内にある工場、企業については2級基準を適用し、3類区域内にある境界の明瞭でない住宅区域については3級基準を適用する。

表4-1-2　大気質の国家基準値（GB 3095-82）

汚染物質名	濃度制限値(mg/m³)			
	値をとる時間（注）	1級基準	2級基準	3級基準
総浮遊粒子状物質	日平均	0.15	0.30	0.50
	任何1次	0.30	1.00	1.50
浮遊粉塵	日平均	0.05	0.15	0.25
	任何1次	0.15	0.50	0.70
二酸化硫黄	年日平均	0.02	0.06	0.10
	日平均	0.05	0.15	0.25
	任何1次	0.15	0.50	0.70
窒素酸化物	日平均	0.05	0.10	0.15
	任何1次	0.10	0.15	0.30
一酸化炭素	日平均	4.00	4.00	6.00
	任何1次	10.00	10.00	20.00
光化学 Oxidant	1時間平均	0.12	0.16	0.20

（注）日平均：いかなる日でも1日の平均濃度が制限値を超えてはならない。
任何1次：いかなる1回の測定濃度も制限値を超えてはならない。ただし、1回の採取時間は、汚染物質によって異なるので関連規定を参照のこと。
年日平均：いかなる年でも日平均の1年平均濃度が制限値を超えてはならない。

4.1.4 排出基準

(1) 工業廃 GAS

工業廃 GASの排出については1973年に定められた国家の基準があるが、上海市においては1974年以来、国家基準よりも厳しい排出基準を適用している。但し、煤塵と一酸化炭素および発電所の二酸化硫黄については、国家の基準値を適用している。汚染物質の種類や発生源により、排出量又は排出濃度で定められている。排出量で定められている物質の基準は表4-1-3 に示すとおりであり、発電、冶金、化学工業以外の工業の二酸化硫黄については、化学工業に対する基準値を適用している。

表4-1-3 上海市有害物質排出基準

単位：kg／時

有害物質名		煙突（または排出口）の高さ (m)											
		10	20	30	40	45	50	60	70	80	100	120	150
二酸化硫黄	冶金工業			20	36		56	80					
	化学工業	1.5	6	14	25		38	55	75	100			
	発電所			82		170		310		650	1,200	1,700	2,400
煤塵	発電所（煤粉）			82		170		310		650	1,200	1,700	2,400
二硫化炭素		0.3	0.8	1.4	2.5		3.7	5.2	6.9	8.8			
硫化水素		0.07	0.2	0.4	0.6		0.9	1.3	1.7	2.2			
F化合物（F換算）		0.06	0.3	0.6	1.0		1.5	2.2	3.0	3.9			
窒素酸化物（NO_6 換算）		0.5	1.8	4.1	7.5		11.5	16.5	22.5	30.0			
塩素		0.3	1.2	2.8	5.0		7.7	11.0	15.0	20.0			
塩化水素		0.2	0.6	1.4	2.5		3.8	5.5	7.5	10.0			
一酸化炭素				160				620			1,700		

(注) 表中の排出基準量は、上海地区の気象PARAMETER のもと、単一汚染源から中立状態の大気中に連続的に排出されるとの条件に基き設定した。一酸化炭素、および発電所の二酸化硫黄と煤塵、は国家の「工業"三廃"排出試行基準」に則っている。

発電所以外に使用される BOILER の煤塵、煙の黒色度、煙突高に対しては国家の BOILER 排煙基準(GB 3841-83)を適用している。この基準では表4-1-4 に示すように三つの地区類型毎に煤塵濃度とRingelman 黒色度が定められている。また、 BOILER の出力に対する煙突の高さも表4-1-5 のとおり規定されている。

表 4-1-4　BOILER の排煙基準（GB 3841-83）

区域類別	適用地区	基準値	
		最大許容煤塵濃度（mg/㎥）	最大許容 Ringelman 黒色度（級）
1	自然保護区、風景遊覧区、療養地、名勝古蹟区、重要建築物の周囲	200	1
2	都市区、郊外区、工業区、県以上の都市	400	1
3	その他の地区	600	2

（注）1.非居住区の燃料鉱区で使用されるBOILERは、3,000 kcal/kg 以下の燃料を使用する場合は、煤塵濃度は最大2,000mg/㎥ まで許容される。
2.この基準に規定されていない他の排煙装置に対しても、これを参考として規制することができる。
3.この基準の「適用地区」とその範囲は県以上の人民政府によって指定する。

表4-1-5　BOILER 煙突の高さ（GB 3841-83）

BOILER の総定格出力（ton/時）	<1	1～<2	2～<6	6～<10	10～<20	20～<35
煙突の最低高さ（m）	20	25	30	35	40	45

（注）煙突の高さは半径200mの範囲内にある最も高い建物よりも3m以上高くしなければならない。

4.1.5　排出費と罰金制度

上海市においては、環境保護法及び国務院の規定に基き、1980年の試行規則を経て、1984年に「上海市汚染物質排出費及び罰金の管理規則」を制定し、1984年 6月から施行している。この規則は上海市内で排出される汚染物質が、規定排出基準を超えた場合に対し、以下の事項等についてその細目を規定している。

① 廃GAS 中の汚染物質の量が、排出基準を超えた場合に徴収する排出費用（物質別・施設別、但し、当面は煤塵についてのみ費用を徴収）

② 罰則（対象行為、対象者、金額等）

③ 徴収した排出費用、罰金等の運用方法

4.2 発生源対策の現状

上海市の大気汚染防止に係る発生源対策は、これまで主として黒煙の防止を目的としたもので、BOILER、炉、かまど、工業炉等の初歩的な改造と、BOILERの燃焼効率の改善及び集塵装置の設置が主要な対策として実施されてきた。1985年末までの上記改造率は平均95.7%に達し、引続き実施中である。

これらの改善の結果、表 4-2-2に示すように石炭の使用量の増加にもかかわらず、降下煤塵及び浮遊粉塵は減少している。

表 4-2-1 上海市の煤塵等の改善実績

	1981年	1984年	増減率
石炭使用量（万t/年）	1,459.3	1,801.9	23.4%増
降下煤塵量（t/ km²/ 月）	32.8	24.0	26.8%減
浮遊粉塵濃度（mg/ m³）	0.31	0.16	48.3%減

しかし、実際には黒煙を発生している所もあり、降下煤塵及び浮遊粉塵も依然として多く、改善の必要がある。特にＳＯx の削減対策は今後の重要な課題となっている。

発生源対策として、初歩的改造は黒煙の発生が少い下向燃焼への変更、手動から機械燃焼への変更、 BOILER の燃焼効率の改善、燃料の節約（省ENERGY）、集塵装置の設置のほか、都市GAS 化、集中供熱、工場移転などが実施されている。

一方、1984年に国務院より公布された「石炭煤煙型汚染防止技術に関する政策規定」は、発生源対策の重要な指針となるもので、 7.5計画において実施すべき次の４項目を規定している。

① 石炭の加工、分配、利用技術
② 都市集中供熱技術
③ 都市GAS 化技術
④ 燃焼設備、排GAS 浄化技術

上海市において既に実施中の技術もあるが、排煙脱硫などは将来の技術とされている。

表 4-2-2に上海市で実施中の発生源対策を整理して示す。

表 4-2-2　上海市で実施又は計画中の発生源対策

発生源対策の種類	削減方法	削減物質	備考
燃料の節減対策	省 ENERGY（熱管理等）	SOx、煤塵	業種変更を含む
燃料の改善と改質対策	低硫黄炭の供給	SOx	選炭の強化等
	煉炭の利用	SOx、煤塵	家庭、民生用
	都市GAS 化	同上	液化石油GAS を含む
	その他燃料への転換	同上	重油、COKE、都市GAS、電力への転換
燃焼、熱供給対策	燃焼方式	同上	燃焼方式、効率の改善
	集中供熱	同上	熱電厂よりの蒸気供給
排煙対策	高煙突化	同上	削減は濃度低下による
	排GAS 処理	煤塵（SOx）	排煙脱硫は計画中
発生源の分散	工場移転等	SOx、煤塵	遠隔地への移転新規発生源の抑制

4.3 監視測定体制

上海市の大気汚染防止に係る、発生源、大気質及び気象の監視測定について、現在実施中の監視測定業務及び体制は次のとおりである。

4.3.1 発生源の監視測定

発生源における有害物質の排出基準は、現在14種類の物質について規定されており、排出基準を超えた場合は排出費用が徴収されるが、現在実施中のものはBOILER、工業用炉、炉、かま、かまどの煤塵のみである。したがって、実際に測定されているものは煤塵でその測定法は RINGELMAN法と重量法による。

4.3.2 大気質の監視測定

大気質の監視測定は、表4-3-1 に示すように環境基準の定められている6物質のうちの4物質と降下煤塵（ＦＤ）について通年測定が行なわれている。常時観測局は5局あり、ＦＤはこのほか市区内約 100ヶ所で測定されている。

表 4-3-1 大気質常時監視の測定項目と測定方法

測定項目	測定方法	試料採取時間	備考
ＴＳＰ	H.V.Air Sampler	5日間／月	
SO_2	紫外線蛍光法	30分毎	測定値は計算機通理室へ無線伝送
ＮＯx	化学発光法	〃	
ＣＯ	非分散赤外線法	〃	
ＦＤ	Dust Jar	30日間／月	

（注）常時監測局名
No.1 －白玉路（監測中心）、No.2 －四漂、No.3 －羊毛衫十五厂、
No.4 －武夷路、No.5 －海南路

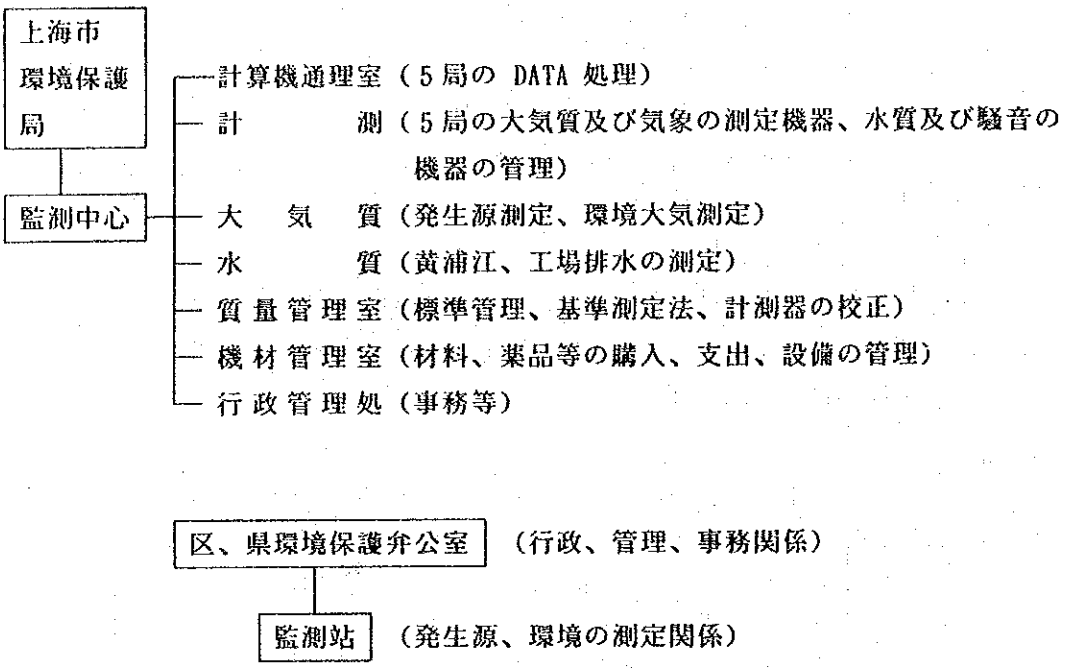
SO_2 、ＮＯx 、ＣＯは無線で監測中心の計算機通理室へ伝送され、その他は毎月報告されて集計処理されている。

大気の常時監測5局のうち、四漂、羊毛衫十五厂、海南路の3局では、風向、風速、温湿度の測定も行い、測定値は30分間ごとに計算機通理室へ無線で伝送している。

この外、上海市気象局における気象観測は、市内の龍華で総合的に実施しているほか、郊県部でも風向・風速等を測定している。

4.3.3 観測測定の組織

発生源の監視測定は環境保護局とこれに所属する監測中心が区と県を指導して行っている。大気質の監視測定は監測中心が主体となっている。これらの組織の概要を以下に示す。



第５章　大気汚染物質発生量の将来推定

5.1　将来の燃料消費量とその地域分布

2000年に向けての大気汚染対策 MASTER PLANの立案のためには、まず大気汚染対策が現状のまま推移した場合の2000年における汚染物質発生量の地域的分布を推定する必要がある。その基礎となるのは2000年における燃料消費量の地域的分布である。

2000年における石炭の消費は、特に発電と冶金工業の発展、それに GAS工業を含む他の工業生産の拡大に伴ない、1980年時点の約３倍に増大すると予測されている。これに対して石油の供給は現状よりもむしろ減少する見通しである。全市において、2000年に消費される石炭と石油はそれぞれ5200万ｔ、250 万ｔと予測されてており、その大規模消費源別、用途別配分は表5-1-1-に示すとおりである。

MASTER PLAN の対象範囲における、燃料消費量の地域的分布は以下の方法で推定した。

(1)　発電所、GAS ／COKE工場及び大飯店については個々のものについてその位置も計画されているのでこれに従う。

(2)　地方部門（上海燃料公司供給）のうち、2000年における市区の一般工業用燃料消費量（石炭728.5 万ｔ、石油約15万ｔ）及び冶金工業の消費量（78.24 万ｔ、39.7万ｔ）の地域的分配は以下の方法で行った。

1)　電力、冶金以外の一般工業は12業種に大別し、発生源調査結果に基づいて1985年の12工業業種別燃料消費量を求める。

2)　2000年迄の各業種の燃料消費量の増加率は第６次５ヶ年計画期間（1981年～1985年）の各業種の生産額伸び率と等比と仮定し、これに弾性値（0.5)も考慮して2000年の12業種別消費量を求める。

3)　市区における冶金工業及び 2）で12業種に分類された一般工業の燃料消費量の地域的分布は発生源調査で得られている現在の業種別消費量の地域的分布と等比率と仮定して地域配分する。

表5-1-1　2000年の個別・用途別燃料消費量

単位：万t

区分			1985年		2000年		備考
			石炭	石油	石炭	石油	
(1)発電所（崇明発電所を除く）	既設	楊樹浦（上海電力公司）	109.8	13.13	107.37	2.39	
		閘北（上海電力公司）	46.1	54.10	260.12	10.86	
		呉淀（上海電力公司）	154.73	0.66	270.0	1.96	
		閔行（上海電力公司）	177.72	7.53	171.3	7.67	
		南市（上海電力公司）	0.66	14.27	26.80	1.35	
		宝山（自備）	161.78	0.35	204.8	0.53	
		高化公司（自備）	—	34.01	67.99	1.81	
		上海石化（自備）	—	66.64	—	66.64	
	新設	石洞口（上海電力公司）	—	—	683.64	32.58	
		外高橋（上海電力公司）	—	—	455.76	21.72	
		上海石化第二（自備）	—	—	52.22	2.49	
	(1)計		650.79	190.69	2,300	150	
(2)宝山鋼鉄厂（発電以外）			79.8*	—	920	—	* 1985年9月15日に操業開始
(3)上海市燃料公司供給	崇明発電所		26.87	3.74	200	5.79	
	GAS/COKE工業	楊樹浦煤気厂	19.5	10.8	45.5	5.2	既設
		呉淞煤気厂	15.1	18.2	67.0	7.7	既設
		上海焦化厂	212.5	0.5	212.5	0.5	既設
		石洞口煤気厂	—	—	115.5	13.3	新設
		浦東煤気厂	—	—	77.0	8.8	新設
		小計	247.1	29.5	517.5	35.5	
	冶金工業	市区	39.9	34.29	78.24	39.7	
		郊県	—	—	1.76	0.3	
		小計	39.9	34.29	80	40	
	一般工業	市区	428.2	44.41	728.5	14.71	
		郊県	60.0		448	—	
		小計	488.2		1,176.5	14.71	
	民用市場用		274.4		6.0	4.0	2000年は大飯店のみ
	(3)計		1,076.5	111.94	1,980	100	
合計			1,807.1	302.63	5,200	250	

5.2 硫黄酸化物排出量の将来推計

5.2.1算出方法

硫黄酸化物（ＳＯｘ）の排出量は、将来の燃料使用量及び現状の発生源DATAを基にして図 5-2-1に示す手順により算出した。

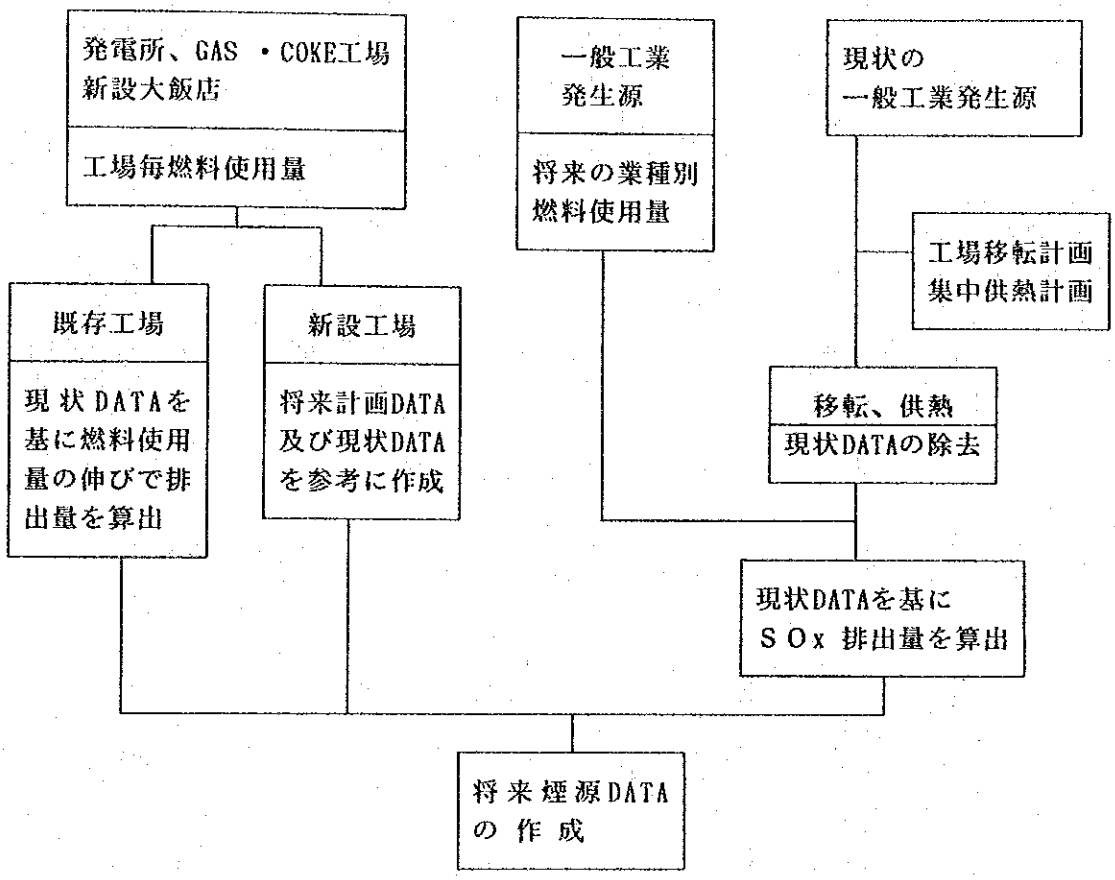


図 5-2-1 将来のＳＯｘ 排出量算出方法

将来発生源DATAの作成時に用いた条件、仮定は以下の通りである。

1) 工場毎燃料使用量が著しく大きくなるものについては、現状と同じ施設が増設されると仮定。
2) 新規増設のもので煙突高、口径以外について計画値がないものは、類似の既存施設を採用。
3) 施設計画値のない一般工業等は現状設備のまま、燃料使用量が増加する。
4) 詳細調査発生源及び簡易調査点源に含まれる飯店は現状と同じとする。
5) 面源の非製造業は将来GAS 化、電化されるものとする。
6) 民生炉及び家庭用炉は将来GAS 化、電化されるものとする。
なお、民生炉の将来発生源は新設大飯店のみとする。

7) 将来のＳＯx 排出量は煙突毎に次式によって算出する。

$$Qf = \frac{Wf}{Wc} Qc$$

Ｑf ＝将来のＳＯx 排出量（t/年）

Ｑc ＝現状のＳＯx 排出量（t/年）

Ｗf ＝将来の燃料使用量（t/年）

Ｗc ＝現状の燃料使用量（t/年）

排出GAS 量も同様である。

8) 崇明発電所及び上海石化の第 2自家発電所は発生源DATAから除外する。

9) 郊県に移転するものは、上海市区部への影響はないものとする。

5.2.2 将来のＳＯx 排出量

表 5-2-1に行政区毎のＳＯx 排出量を示す。また、図 5-2-2に階級化したMESH別排出量を示す。

表 5-2-1 行政区別ＳＯx 排出量（現状と将来）

行政区	将来（2000年）		現　状	将来／現状
	(t/年)	%	(t/年)	
黄浦区	4,897	0.9	3,556	1.4
南市区	14,883	2.6	9,339	1.6
盧湾区	2,408	0.4	4,539	0.5
徐汇区	23,208	4.1	10,501	2.2
長寧区	22,013	3.9	10,172	2.2
静安区	7,089	1.2	5,503	1.3
普陀区	14,450	2.5	7,268	2.0
閘北区	10,874	1.9	4,853	2.2
虹口区	7,773	1.4	5,199	1.5
楊浦区	93,898	16.6	65,935	1.4
閔行区	85,341	15.1	62,515	1.4
呉淞区	185,488	32.7	48,722	3.8
金山県	5,331	0.9	5,331	1.0
川沙県	89,368	15.8	－	－
総　計	567,021	100	243,433	2.3

排出量の構成比では、楊浦区、閔行区、呉淞区及び川沙県がそれぞれ15%を超え、これら合計で80%を占める。

呉淞区の現状に対する伸びが大きいのは電力およびGAS ・COKE工場の新増設のためであり、盧湾区の排出量の減少は集中供熱が計画されているためである。

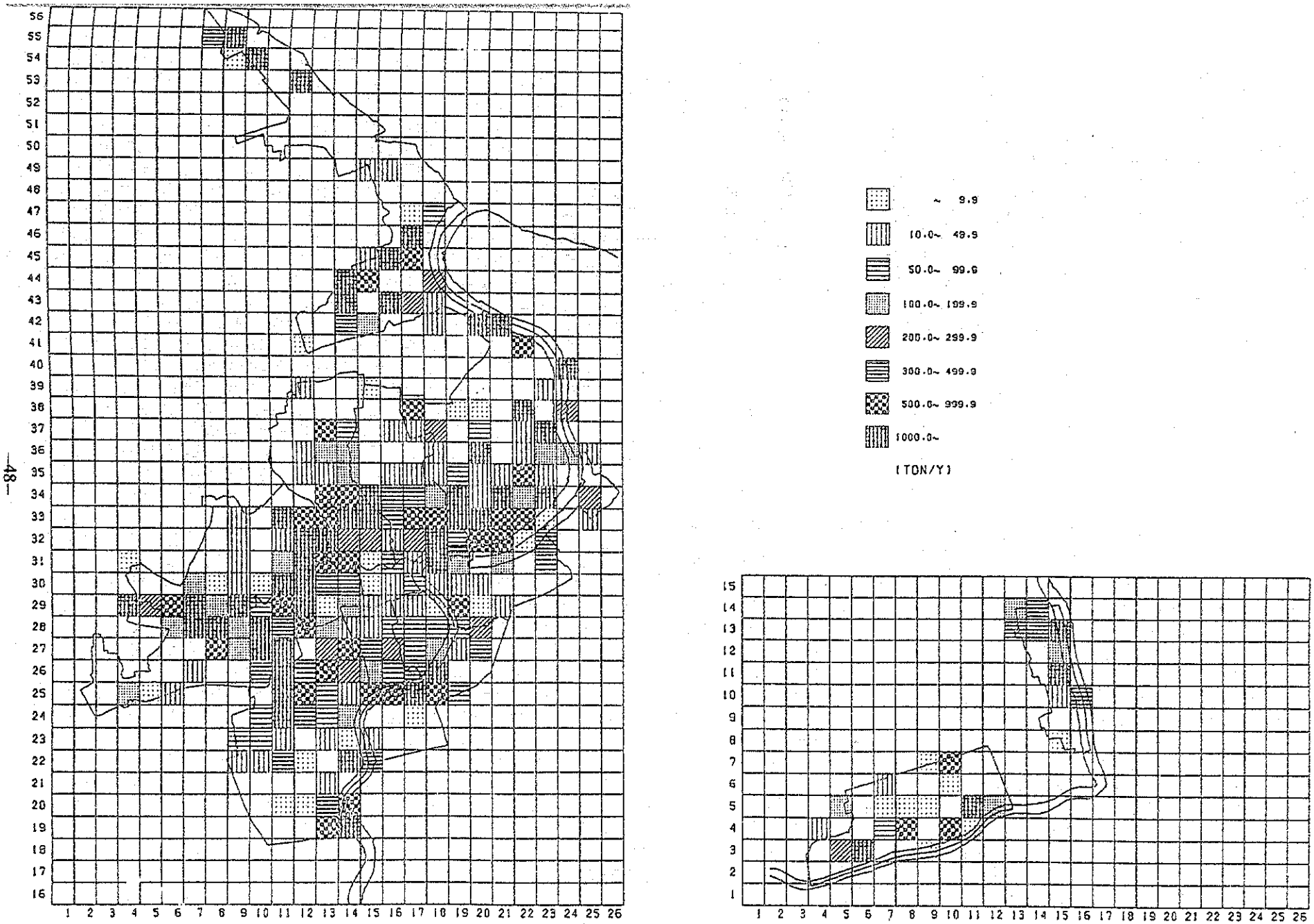


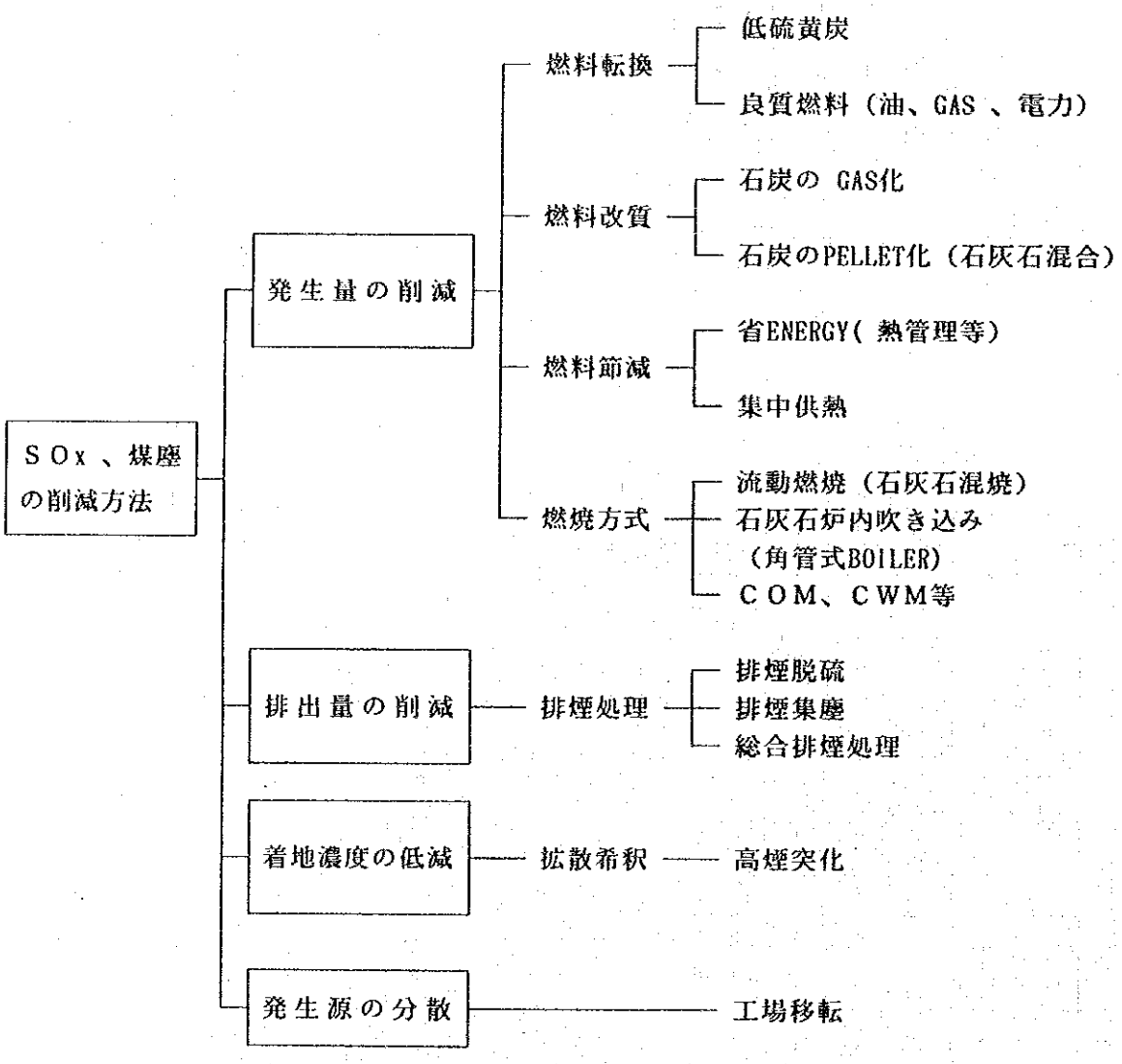
図 5-2-2 硫黄酸化物排出量階級図（全発生源） －将来－

第６章　大気汚染物質削減方法の技術的・経済的検討

6.1　概論

汚染物質の削減技術は、排出基準の裏付けとなるもので各種の方法があるが、方法により削減効率と経費は異る。技術的には最も効率の良い削減方法を採用することが望ましいが、社会的経済的制約もあり、実施可能な削減方法を選定しなければならない。

現在、上海市ではＳＯx の汚染防止対策が最も緊急な課題となっているが、ここではＳＯx と煤塵の削減方法について、技術及び経済の両面から検討する。図6-1-1に石炭燃焼を対象としたＳＯx と煤塵の削減方法をまとめて示す。



（注）集中供熱は拡散希釈効果もある

図 6-1-1　ＳＯx と煤塵の削減方法（石炭燃焼を対象とする）

6.2 燃料転換

6.2.1 低硫黄炭

S分の少ない石炭を用いることにより、SOx の発生量を削減することができる。上海市では、S分平均 1.2%程度の石炭が優先的に供給されているが、今後も引続き確保することが重要である。

選炭技術により石炭のS分を20～40%低下させ得るという報告もあり、同時に灰分も低下させるため、今後の選炭技術の向上が期待される。

6.2.2 良質燃料

石炭以外の重油、COKE、GAS 、電力は、SOx 及び煤塵の発生量が大幅に削減されるため、これらの燃料へ転換することは極めて有効である。しかし、価格が高くなるので工業用として早期に実現させることは困難である。

表 6-2-1に各種燃料とENERGYの価格を示す。

表 6-2-1 各種燃料の価格（1986）

種　類	発熱量	標準価格	備　考
石　炭	4,998kcal/kg	84 元/t	平均価格
重　油	10,003kcal/kg	198 元/t 497 元/t	配給価格 非配給価格
COKE	6,769kcal/kg	143 元/t	非配給価格
都市GAS	3,850kcal/㎥	0.1 元/㎥ 0.25元/㎥	民　用 工業用
蒸　気	720kcal/kg	15.8元/t	21.9元/ 10^6kcal
LPG	11,998kcal/kg	0.83元/kg	工業用
電　力	860kcal/kWh	0.2 元/kWh 0.1元/kWh	民　用 工業用

6.3 燃料の改質

6.3.1 石炭のGAS 化

現在、都市GAS は民用に広く利用されており、工業用は一部に限られている。 都市GAS は良質の燃料でSOx 及び煤塵の発生量は石炭に比べて5%以下である。上海市では現在旧3工場に加え、浦東煤気厂を建設中で、石洞口にも新設の予定である。

2000年には、GAS の生産量は現在の約2倍の約1000万㎥／日に達する予定で、市区内の家庭は液化石油GAS を含めてほぼ 100%都市GAS 化される。

GAS 化工場の建設費は220 ～ 260元／㎥／日（配管費は含まず）といわれている。

6.3.2 石炭のPELLET化

石炭に石灰を混合してPELLET化すると50～75%の脱硫効果があるという米国、日本等の報告があり、中国でも現在、中国科学院生態環境研究中心で試験中である。

燃焼温度により脱硫率が変化するため、 900℃以下の条件で使用するのがよく、小型BOILER等に適する。

PELLETの製造には、石炭及び石灰石の粉砕、混合、成型等の設備が必要とされるが、既設の煉炭製造設備の利用が可能と考えられる。7.5 計画でもPELLET化の計画があり、その成果が期待される。

PELLET製造設備の建設費は、現在の煉炭製造設備から推定して、年産10万 t の規模で約200 万元程度となろう。また、PELLETの価格は 115元／ton 程度と推定される。

6.4 燃料節減

6.4.1 省ENERGY（熱管理等）

省ENERGYによる燃料の節約は、その分だけＳＯx 、煤塵の発生量の削減をもたらす。省ENERGYには表 6-4-1に示すような各種の方法があり、燃料、電力等の節減効果も異なる。

表 6-4-1 省ENERGYの各種方法

省ENERGYの方法（熱管理等）	燃料削減率（%）	適用施設
節炭器	～6	BOILER
空気予熱器	～8	BOILER
DRAIN 回収器	～30	BOILER
低酸素燃焼	～40	BOILER、工業用炉
（空気比改善）		
送風機制御	（電気節約）	BOILER
排熱回収	～30	工業用炉
放熱低減	～30	工業用炉、BOILER
燃焼装置改善	～10	工業用炉、BOILER

（注） 1） 燃料削減率は参考値を示す

2） 各種方法を組み合わせる方法も多い

省ENERGYの実施には各種の機器、計器類を必要とするため経費を伴うが、概ね2年間で原価償却ができるよう計画することが多い。BOILERでは節炭器、空気予熱器は必要機器とされており、DRAIN 回収も積極的に行うことが望ましい。低酸素燃焼（空気比改善）は、BOILER及び工業用炉に利用され、NOx の削減にも有効で省ENERGYの効果も大きい。送風機制御は燃焼用空気の流量制御に用いる。

排熱回収は主に工業用炉に用いられ、各種の装置がある。放熱低減には各種の断熱材を用いる。燃焼装置の改善は燃焼効率の向上に効果がある。

上海市の工業用BOILERと工業用炉に対する省ENERGY対策は、上述のように部分的には行われているが、まだ改善の余地があり、現在までの年平均約3％の燃料節約の実績を維持することが望ましい。

省ENERGYの経費は、石炭1 t の節約に対して約 500元を要すると云われている（1985年）。

6.4.2 集中供熱

集中供熱には、次の3種類の方法がある。

① 熱電厂より各工場へ蒸気又は高温高圧水を供給する方法（熱電併供）

② 大型の工業用 BOILER より各工場へ蒸気を供給する方法（集中供熱）

③ 既設の余裕のある BOILER から数工場へ蒸気を供給する方法（連片供熱）

現在、上海では①の方法による蒸気の供給が実施されており、燃料の節約は約20%とされている。なお、煙突も集約されるため拡散効果も期待できる利点がある。①の方法による蒸気供給は、最大4㎞の範囲である。高温高圧水を供給する場合は最大30K㎞まで可能といわれており、現在中心地区西部の地域への適用が検討されている。集中供熱は供熱源の BOILER と配管が必要で、 1.8～12.5万kWの熱電厂の場合、発電所の建設費（C）は、次式で与えられる。

$$C = 179.326 \times Q^{-0.42}$$

ここに、C：建設費（元／kW）、Q：発電容量（kW）

この他、土地取得費、移転費等として8～41%を加える必要がある。一方、配管経費は供熱面積1㎞^{2} 当り平均約 200万元を要する。

②の方法では新設 BOILER 1 t／時当り約19万元である（付属設備を含む）。

集中供熱は既に実績もあり、今後推進すべき対策と考えられるが、既設のBOILERに対しては、種々困難な問題もあり、法による強力な推進体制が必要である。

6.5 燃焼方式

現在、上海市における石炭燃焼には、機械的な微粉炭燃焼、STOKER燃焼、往復動燃焼があり、手動燃焼には下向き燃焼（明火反焼）がある。

国の標準により空気比は 1.8とされているが、実施している施設はごく一部に限られ、酸素計などの計器による燃焼管理が望まれる。

6.5.1 流動燃焼

流動燃焼は石炭と石灰石を混合して下から空気を送り浮上させて燃焼するもので、炉内で脱硫する効果がある。Ｃａ／Ｓの MOLE 比を３～５とすれば90%の脱硫率が得られる。石灰石は微細なほど効率がよく、ＮＯｘ の発生も少ない。なお、温度は 800～900 ℃が望ましい。中国では重点技術として現在、北京煤化学研究所、浙江大学等で研究中である。

流動燃焼 BOILER の建設費は、日本の例では１ｔ／時当り2,000 万円程度とされている。なお、石炭、石灰石装入装置、集塵装置を含めた建設費として、10～20t/時BOILERで約8.8 億円、60t/時BOILERで約31億円という例がある。

6.5.2 石灰石炉内吹き込み（角管式BOILER）

石灰石粉末を炉内に吹込み脱硫を行う方法である。米国で試験中であり、欧州では実用化されている。日本でも20年程前に試験されたが脱硫率が50%以下と低いため中止された。しかし、最も簡単で安価な方法であり40～50%程度の脱硫率が求められる場合は利用価値がある。中国でも輸入しており、角管式BOILER（Cornered Tube Boiler）と呼んでいる。価格は通常のBOILERと差がない。石灰石の価格は20元/tonで、使用量は石炭の約５%程度である。

6.5.3 ＣＯＭ、ＣＷＭ等

ＣＯＭ（Coal Oil Mixture）は石炭と重油の混合燃焼、ＣＷＭ（Coal Water Mixture ）は石炭と水の混合燃焼である。

ＣＯＭは粒径75μm 以下が75%の石炭を用い、重油と石油系高分子の添加剤（0.1 ～0.2 %W）と混合したもので、重量割合で重油48%、石炭50%、水分２%（日本の例）からなる。

ＣＷＭは石炭約75%、水約25%の混合物に約0.3 %の界面活性剤を添加たもので開発研究が進められている。

ＣＯＭは既に発電、製鉄、セメント工業等に実用化されており、中国でも浙江大学で試験中である。ＣＯＭの価格は重油の約80%と評価されている。しかし、ＳＯｘ 、煤塵の削減率が低いため、通常は排煙脱硫及び集塵を行っている。ＣＯＭは製造、貯蔵等の設備を必要とするので建設費は非常に高価となるが、PIPE輸送ができるので取扱いが容易となる利点がある。

6.6 排煙処理

6.6.1 排煙脱硫

排煙脱硫は、表 6-6-1に示すようにＳＯx の処理対策として各国で最も広く利用されており、今後更に増加する傾向にある。排煙脱硫には各種の方法があるが、現在石灰石を吸収剤とする湿式石灰石法が世界の主流を占め、将来もこの方法が中心をなすものと考えられる。

表 6-6-1 排GAS 処理設備概数（1987）

	日 本	米 国	西 独	その他合 計	備 考
排煙脱硫	1,600	300	30	30	
排煙脱硝	250	10	10	10	ANMONIA 触媒法

(1) 石灰石法

図 6-6-1に湿式石灰石法の代表的型式を示す。

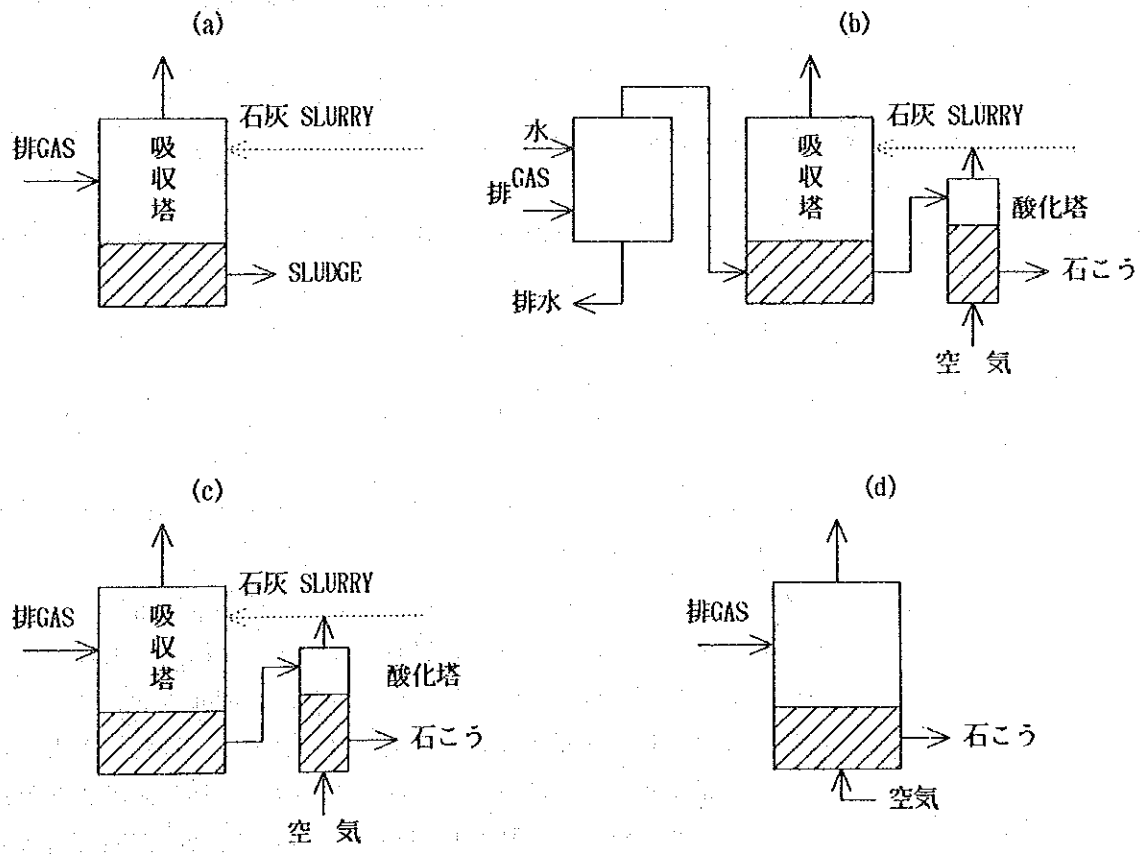


図 6-6-1 湿式石灰石法の代表的型式

(a) の方法は吸収後廃棄する簡単な方式で、米国で利用されている。

(b) ～(d) は石こうを副成品として回収する方式である。(b) は日本で広く利用されているが、最近はより安価な(c) 又は(d) の方式が実用化されており、建設費は(b) の２万円／kW（発電用）に比べて50～60%程度である。今後は(d) の方式が世界の主流となるものと考えられる。

次に、最近半乾式法としてSPRAYING DRYER方式があり、吸収塔内に石灰SLURRYを噴霧してSO_2 の70～90%程度を除去し、反応熱と排GAS の熱で乾いた粉末状の生成物を集塵装置で捕集する方法である。この方法は上記の(b) より安価で、排水処理を要しないが、90%以上の脱硫率は困難である。

(2) その他の方法

石灰石法以外に、①SODA吸収廃棄、②亜硫酸 SODA 回収、③MAGNESIUM 吸収廃棄、④硫安回収などの方法があり、苛性 SODA 、水酸化MAGNESIUM 、ANMONIA などの吸収剤を用いる。

上記各方法のうち、①は小型に適し日本で約1,000 基ある。しかし、苛性 SODA が高価なためより安価な③の方法に代りつつある。②及び④は回収物が過剰となり減少した。

乾式の活性炭法は、活性炭が高価なため普及していない。最近石炭を原料とする安価な活性 COKE が作られ、吸着後硫酸を回収する方法が注目されている。なお、硫酸を回収するWELLMAN-LORD法、MAGNESIUM 吸収法などもあるが高価である。

(3) 排煙脱硫装置の経費

石炭燃焼の排煙脱硫の経費（設備費、運転費）は、各方法により大幅に異なる。

1) 石灰石こう法では、建設費及び運転費について日本では次式が与えられている（1980年価格）。

$$C = 2.0\ Q^{0.8} \sim 1.2\ Q^{0.8}$$

$$R = 0.28\text{円}/Nm^3$$

ここに、C：建設費（億円）、Q：処理GAS 量（Nm^3 ／時）、
R：運転費（円／Nm^3 ）

ただし、この価格は脱硫率90%以上で、図 6-6-1の(b) に該当するが、(d) の場合はこれの約50%である。

2) 半乾式の石灰 SPRAY法では次の事例がある（1986年価格）。

処理GAS 量20万Nm^3 ／時　建設費：10億円、運転費：0.16円／Nm^3
処理GAS 量40万Nm^3 ／時　建設費：50億円、運転費：　同　　上

3) 水酸化MAGNESIUM 法の建設費には次の事例がある（1986年価格）。

処理GAS 量１万Nm^3 ／時：　7,400万円（EP：2,800 万円を含む）
　　２万Nm^3 ／時：12,000万円（EP：3,500 万円を含む）

4) 中国での湿式石灰石法の建設費は発電所建設費の15%以内と言われている。

6.6.2 排煙集塵

排煙集塵は集塵装置により排GAS 中の煤塵を捕集し除去する方法である。表6-6-2に各種の集塵装置の性能比較を示す。

表 6-6-2 各種集塵装置の実用的性能の比較

分類名	形式	取扱われる粒径[μ]	圧力損失[mmAq]	集塵率[%]	設備費	運転費
重力集塵装置	沈降室	1.000～20	10～15	40～60	小程度	小程度
慣性力 〃	LOUVER 型	100～20	30～80	50～70	〃	〃
遠心力 〃	CYCLONE 型	100～5	100～200	70～95	中程度	中程度
洗浄 〃	VENTURI SCUBBER	100～0.1	400～850	80～95	〃	大程度
ろ過 〃	BAG FILTER	20～0.1	100～200	90～99	〃	中程度以上
電気 〃		20～0.05	10～20	80～99.9	大程度	小～中程度

上海市の各種の発生源で使用されている集塵装置も表 6-6-2に示した各種があるが、集塵装置の約50%が集塵率が低く、将来高性能の装置に更新する必要があるとされている。

集塵装置の運転費に最も大きく影響する消費電力Pは次式で与えられる。

$$P = 0.273 \times 10^{-5} Q.\ \Delta p$$

ここに、P：消費電力(kW/時)、Q：処理GAS 量（Nm^3 ／時）、Δp：圧力損失（mmH_2O）

6.6.3 総合排煙処理

総合排煙処理は、排煙脱硫・脱硝及び集塵を組み合わせたもので、最も進んだ排煙の総合的処理 SYSTEM である。日本ではこのような総合排煙処理方式を用いた発電用・産業用BOILER、工業用炉が多い。

6.7 高煙突化

高煙突化は、汚染物質の排出量を削減するものではなく排GAS の拡散希釈により、着地濃度の低下を目的としたものである。

煙突による汚染物質の拡散効果は、煙突の高さ、排GAS の排出速度、温度、圧力等により異なり、また気象条件（風向き、風速、大気安定度等）、地形条件等の影響をうけるため、正確には拡散計算によらねばならない。

上海市でも実施例は多いが、小規模の発生源施設では煙突の低いものが多く、国の標準高さに適合するものが少ないので改善の必要がある。

煙突の建設費はさほど高いものではなく、上海市では概ね次式で与えられる。

1) 煉瓦構造（18～80m）

$$C = 1.0177 \times H^{2.562} + 1.0911 \times H^{2.562} \times \phi^{-0.112}$$

2) CONCRETE構造（80～210 m）

$$C = 0.697 \times H^{2.3441} + 1.0062 \times H^{2.3441} \times \phi^{0.9031}$$

ここに、C：建設費（元）、H：煙突高さ（m）、ϕ：煙突上部口径（m）

3) 屋上鋼製煙突（21m、上部口径1.8 m):1.86万元　WIRE ROPE 無し

4) 　同　上　（29m、上部口径1.8 m):2.69万元　WIRE ROPE 有り

ただし、Cは基礎の杭打費を含まない価格である。

6.8 工場移転

移転による濃度の低減効果は大きいが、高経費以外にも多くの困難を伴うので慎重な検討が必要である。

工場移転には以下の経費を必要とする。

① 建物建設費

300 ～500 元／㎡（300 元／㎡は平屋建、500 元／㎡は高層建物）

② 移転費

60元／㎡：建物面積当り（施設、電気、水道の移転、据付を含む）

③ 土地取得費

46.5元／㎡：一般地区

④ 住宅取りこわしと建設費

130 元／㎡

6.9 まとめ

以上ＳＯx と煤塵の削減方法について技術、経済の両面から一般論を述べたが、表 6-9-1に各削減方法の削減効果をまとめて示す。

表 6-9-1　各汚染物質削減方法の削減率又は削減効果

分類	削減方法	削減率又は削減効果		備考
		SOx	煤塵	
燃料転換	低硫黄炭	S分の低下による	—	低硫黄炭はS分１%以下とする
	良質燃料 石炭→重油 石炭→COKE 石炭→GAS 、電力	 90% 約50% 100%	 90% 約70～80% 100%	重　油：S分0.25% COKE　：S分0.6 %
燃料改質	石炭の GAS化（都市GAS ）	95%以上	95%以上	
	石炭の Pellet 化（石灰混入）	50～75%	—	
燃料節減	省 Energy（熱管理等）	数～40%	数～40%	各方法の削減率は表 6-4-1を参照のこと
	集中供熱	100%（熱利用工場）	100%（熱利用工場）	供熱源の燃料削減率は約20%
燃焼方式	流動燃焼（石灰混焼）	50～90%	(90%以上)*	*集塵装置付
	石灰石炉内吹込み（角管式 BOILER ）	50%以下	(90%以上)*	*集塵装置付
	COM、CWM等	(90%以上)*	(90%以上)*	*排煙脱硫、 *集塵装置付
排煙処理	排煙脱硫	90%以上	(90%以上)*	*集塵装置付
	排煙集塵	—	50～99%	集塵装置の種類により異なる
	総合排煙処理	90%以上	90%以上	排煙脱硫、集塵（脱硝）装置付
その他	高煙突化	濃度低下	濃度低下	濃度の低下率は数値化困難
	工場移転	100%	100%	遠隔地への移転

（注）ＳOx 、集塵の削減率（%）は、現在の石炭（平均S分1.2 %）を基準として求めた値である。

実際には個々の発生源の種類、規模、排GAS 条件を考慮して選定すべきであり、また、各削減方法を組み合わせることにより、削減効果を更に高めることができる。

経費についてはDATAの不足もあり十分とはいえない。従って、その実施に際しては実状に即した計画設計を行って経費を算出する必要がある。

第７章　大気汚染物質の削減計画

7.1　環境目標

(1)　環境基準

大気汚染物質の環境中の濃度については、人の健康や生活環境を保護する目的で国家の環境基準が定められている。二酸化硫黄に係る項目に関しては表7-1-1 に示すとおりである。

表7-1-1　SO_2 の環境基準（mg／㎥）

級	一次測定値	日平均値	年日平均値	適用地区
1級	0.15	0.05	0.02	自然保護区、風致遊覧地区 名勝、古跡、保養地
2級	0.50	0.15	0.06	住宅地区 商業・交通・住宅混合地区 文化地区
3級	0.70	0.25	0.10	汚染度の高い都市 工業地区

(2)　環境目標

SO_2 の削減計画を策定するに当り、目標とする環境中の濃度を設定する必要がある。削減計画の手法として用いる拡散SIMULATIONは、濃度の年平均値を対象とするのが便宜性が高いので、評価基準とする環境目標濃度は表 7-1-1の環境基準値のうちの年日平均値とする。

上海市においては、可能な限り２級の環境基準を適用するのが望ましいと考えられるが、本調査では以下の３つの環境目標を検討した。

① 上海市の市区（12区）全域で２級基準（年日平均0.06mg／㎥）を達成する。（以下、「全２級」と呼ぶ。）

② 市区の大部分で２級基準を、一部の工業集中地域では３級基準（年日平均0.10mg／㎥）を達成する。（以下、「2/3 級」と呼ぶ。）

③ 市区全域で３級基準を達成する。（以下、「全３級」と呼ぶ。）

上記３つの目標のうち、2000年に向けてどの目標を採用するかについては、各目標を達成するのに必要なＳＯx の削減量や削減対策とその費用等を検討しつつ、総合的に判断して決定する。

7.2 将来予測 SIMULATION

7.2.1 将来予測計算の概略

図7-2-1 に示すように将来発生源推計結果に基く将来発生源MODEL を拡散計算MODEL に適用して、将来の年平均着地濃度を予測する。

計算対象地域、計算条件等は、以下のとおりである。

計算対象範囲……12区を中心とした約35km×65kmの範囲
ＭＥＳＨ区 分……１km MESH を原則とし、２km MESH を併用
計 算 地 点……測定局（５）、MESH中央点（632）
算 出 濃 度……年平均濃度
対象汚染物質……二酸化硫黄（SO_2）

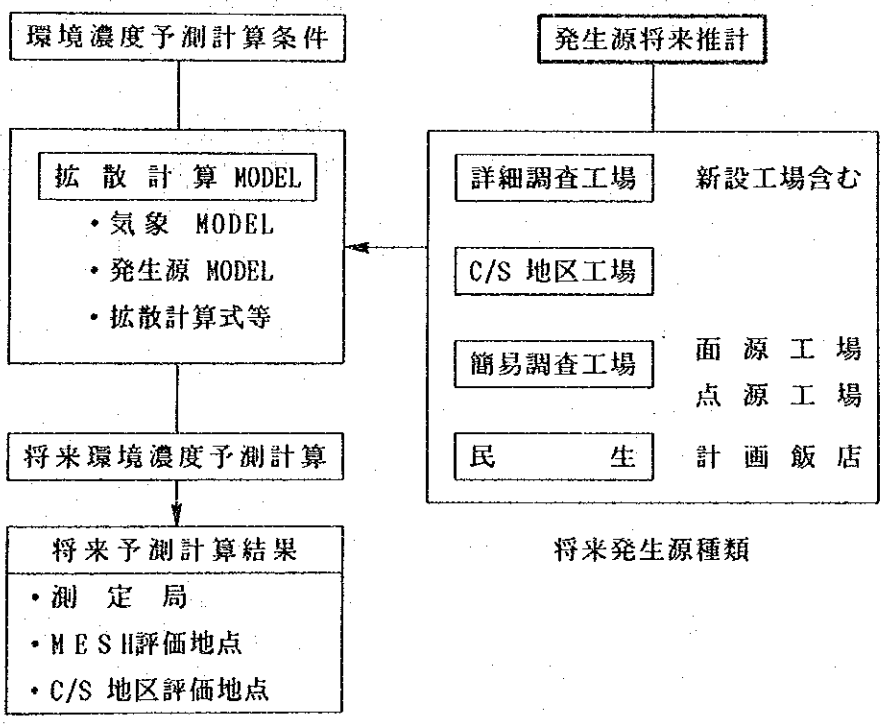


図7-2-1 将来予測 SIMULATION

7.2.2 予測濃度

図7-2-2 に将来(2000 年）の環境濃度予測結果を示す。図によれば楊浦区の中部以北、黄浦江の東岸等の地域で３級基準値（年平均値 100μg/㎥）を満足しているものの市内の中心区のほぼ全域で３級基準値を超過している。

また、呉淞区の北部や南部の閔行区では、一部に２級基準値（60μg/㎥）以下の環境濃度の地域がある。

地域内の最大濃度は、206 μm/㎥ で武夷路の測定局近傍に出現している。この地域は区内でも汚染度の高い地域で、静安区、長寧区、徐汇区、普陀区の各

種工場から影響を強く受けていることが予想される。その他の高濃度地域は虹口区、楊浦区が接する黄浦江沿いと、呉淞区の南部地域に出現している。

図3-3-3 の現況濃度分布と比較すると、現況で 100μg/㎥ 程度を示していた地域の環境濃度が、将来時点で 120～150 μg/㎥ に上昇しているほか 100μg/㎥ の汚染範囲も拡大しており、全体的にみて20μg/㎥ 程度の上昇となっている。

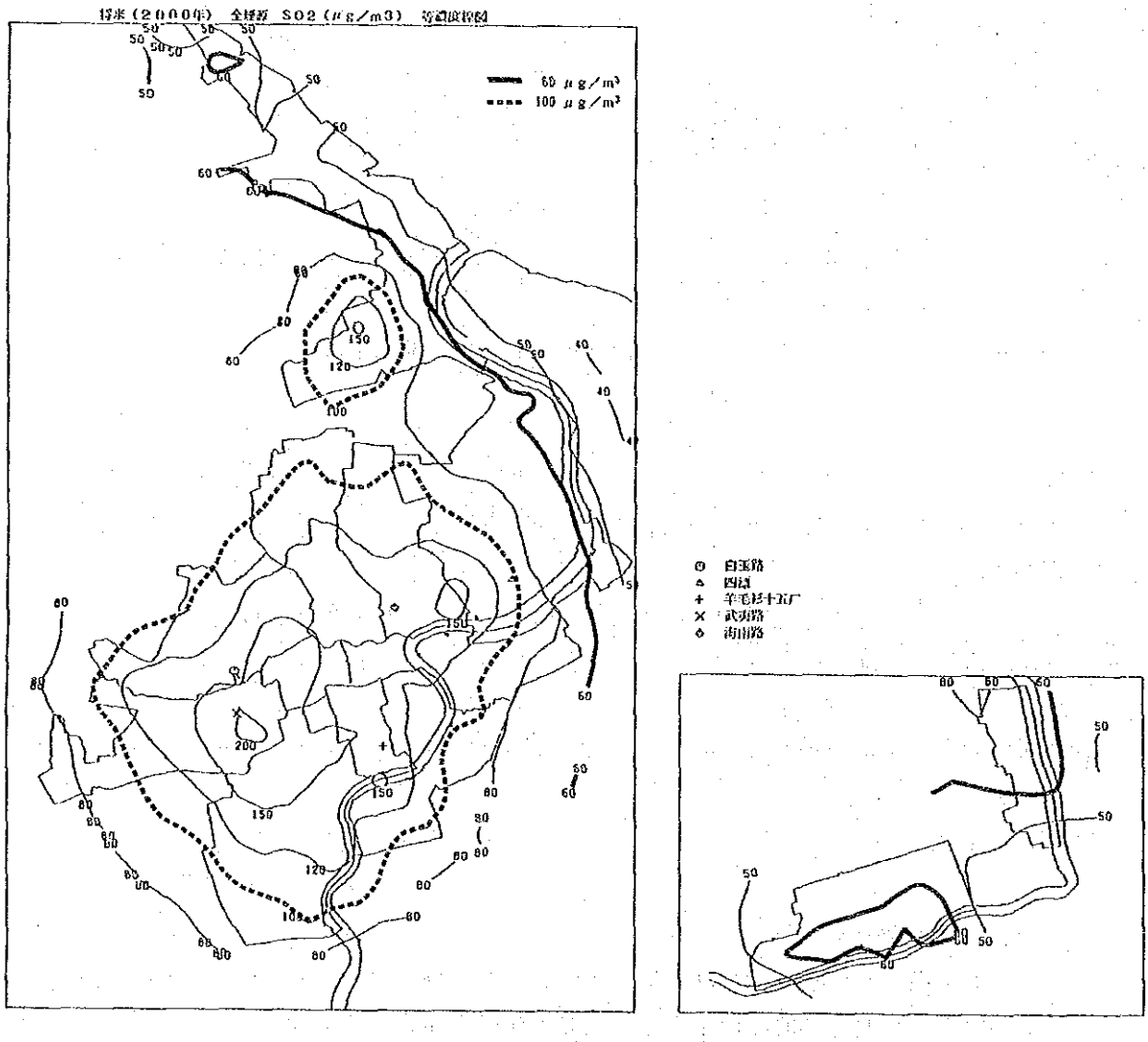


図7-2-2　将来SO_2 年平均濃度分布（単位μg/㎥）

7.2.3 発生源別寄与濃度

図7-2-3 と表7-2-1 に将来の硫黄酸化物に係る発生源種類別寄与濃度を示す。

発生源種類別には詳細調査対象工場である大規模工場と簡易調査工場の中で比較的大きな施設を有する点源工場の影響が大きい。

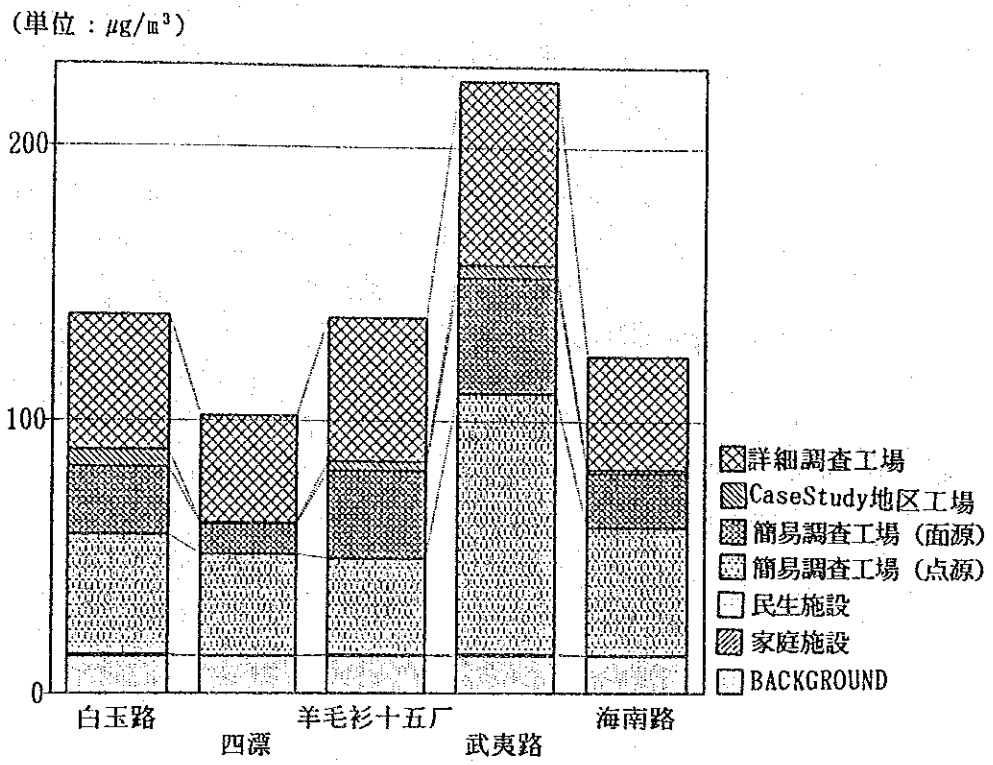


図7-2-3　SO_2 発生源種類別寄与濃度（年平均、将来－削減前）

表7-2-1　SO_2 発生源種類別寄与濃度・寄与率（年平均、将来－削減前）

単位：μg/m³，（%）

測定局 / 発生源	白玉路	四漂	羊毛衫十五厂	武夷路	海南路
詳細調査工場	48.9(35.3)	39.4(38.4)	52.4(38.0)	67.7(30.1)	41.3(33.3)
CaseStudy地区工場	6.5 (4.7)	0.5 (0.5)	3.4 (2.5)	4.8 (2.1)	1.3 (1.0)
簡易調査工場（面源）	24.8(17.9)	11.3(11.0)	32.5(23.6)	42.4(18.8)	20.1(16.2)
簡易調査工場（点源）	43.8(31.6)	37.1(36.2)	35.1(25.5)	95.6(42.5)	47.1(37.9)
民生施設	0.6 (0.4)	0.1 (0.1)	0.5 (0.4)	0.7 (0.3)	0.3 (0.2)
家庭施設	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
BACKGROUND	14.0(10.1)	14.0(13.7)	14.0(10.1)	14.0 (6.2)	14.0(11.3)
計	138.6(100)	102.5(100)	137.8(100)	225.2(100)	124.2(100)

7.2.4 汚染構造の整理

将来の環境濃度予測結果について、その汚染構造に関する項目を整理すると次のようになる。

① 発生源種類別の影響濃度では、詳細調査工場と簡易調査点源工場の寄与割合が高く、両者を併せると60～70%を占めている。更に面源工場を併せると90%以上が地域の環境に影響を与えていることになる。

② 環境影響濃度と排出量との関係では、中小煙突の多い簡易調査点源や面源工場の寄与濃度がそれらの排出量に比べて地上付近で高く、周辺地域の環境汚染に多大な影響を及ぼしていることが判る。

③ 詳細調査工場の中で、電力や冶金等の業種に係る大規模工場の寄与は、工場合計で20～30μg/㎥ 程度の影響を広い範囲に与えており、将来的には、これらの大規模工場に対する抜本的対策が望まれる。

④ 大規模な集中供熱 SYSTEM を導入した場合、地域周辺に与える効果は非常に大きく（周辺地域の濃度低減効果は約30～40%）、環境改善対策として極めて有効であると推察される。

7.3 目標削減量

7.3.1 算出条件

(1) 算出CASEと基本条件

前述の3通りの環境目標の達成に必要なＳＯx の削減量を算出するに当り、詳細な予備的検討を行い、以下の基本条件を設定した。

a. 大規模発生源である発電所の対策として以下の3通りのCASEを設定する。

i) 発電所で排煙脱硫は行わない。（以下、「排脱0発電所」と呼ぶ。）

ii) 1箇所の発電所（閘北）に排煙脱硫を導入する。（以下、「排脱1発電所」と呼ぶ。）

iii) 3箇所の発電所（閘北、石洞口、外高橋）に排煙脱硫を導入する。（以下、「排脱3発電所」と呼ぶ。）

b. 全2級と2/3 級目標の場合、中心地区西部の高濃度地区は通常の削減方法のみでは目標の達成が困難なので、この地区の工場には市区外の新設熱電所から高温高圧水を供給する大規模集中供熱を行う。

c. 以上を基本対策とし、これに含まれない一般の工場等に対して工場毎の必要削減量を算出する。算出方法には日本で実績のある後述の総量規制方式を適用する。

以上の条件により、削減量の算出CASEは合計9CASEとなるが、表 7-3-1に各CASEの算出基本条件を整理して示す。

表 7-3-1 ＳＯx の目標削減量算出CASEと基本条件

環境目標	基本対策と規制条件	対策 CASE名		
		排脱0発電所	排脱1発電所	排脱3発電所
①全2級	発電所排煙脱硫	0発電所	1発電所	3発電所
	市区西部の大規模集中供熱	有り	有り	有り
	一般工場等の総量規制	有り	有り	有り
②2/3 級	発電所排煙脱硫	0発電所	1発電所	3発電所
	市区西部の大規模集中供熱	有り	有り	有り
	一般工場等の総量規制	有り	有り	有り
③全3級	発電所排煙脱硫	0発電所	1発電所	3発電所
	市区西部の大規模集中供熱	無し	無し	無し
	一般工場等の総量規制	有り	有り	有り

(2) 総量規制方式

一般工場等に適用する総量規制方式は、工場毎の総排出量と燃料使用量の関係から以下に示す規制基準式に基づいて各工場の許容排出量を設定するものである。

$Q = aW^b$　ここで、Q：SOx の許容排出量（Kg／時）

W：標準石炭換算燃料使用量（Kg／時）

a,b：削減 PARAMETER（各算出CASE毎に決定）

7.3.2 削減後のSOx 排出量

表 7-3-2に総量規制対象の一般工場等の削減前後の排出量と削減率を、表 7-3-3 にこれに対応する基準式のPARAMETER （a，b）の値を示す。各目標に対し、発電所で排煙脱硫を行わない場合は、行う場合に比べて一般工場等の必要削減量は最大10%～15%増加する。

表 7-3-2 一般工場等のSOx の削減前後の排出量

CASE 名 / 目標	削減前排出量 (kg/ 時)	排脱 0 発電所 削減後排出量 (kg/ 時)	排脱 0 発電所 削減率 (%)	排脱 1 発電所 削減後排出量 (kg/ 時)	排脱 1 発電所 削減率 (%)	排脱 3 発電所 削減後排出量 (kg/ 時)	排脱 3 発電所 削減率 (%)
①全 2 級	12550	3758	70	4387	65	5012	60
②2/3 級	12550	5012	60	5637	55	6263	50
③全 3 級	13745	7571	55	7571	45	8254	40

表 7-3-3 総量規制工場の削減PARAMETER 値

環境目標	工場の規模 (燃料使用量W) (kg/ 時)	a の値（×10³） 排脱 0 発電所	排脱 1 発電所	排脱 3 発電所	b の値
①全 2 級	1,000以上	9.1	10.7	12.3	0.95
	1,000未満	6.4(0.32)	7.6(0.38)	8.7(0.44)	1.00
②2/3 級	1,000以上	12.3	14.0	15.8	0.95
	1,000未満	8.7(0.44)	9.9(0.50)	11.2(0.56)	1.00
③全 3 級	1,000以上	18.2	18.2	20.5	0.95
	1,000未満	12.9(0.65)	12.9(0.65)	14.5(0.73)	1.00

（注）燃料使用量（W）が1,000 kg/ 時未満の工場の（　）内は標準石炭換算時のS分（%）を示す。

表 7-3-4に上記総量規制工場に発電所と大規模集中供熱対象工場を加えた全発生源の削減前後のＳＯx 排出量、削減率、及び拡散計算結果として基準濃度を超過したMESHの数を示す。

表 7-3-4　全発生源の削減前後の排出量

対策CASE名 / 環境目標	削減前排出量 (kg/ 時)	排脱 0 発電所 削減後排出量 (kg/ 時)	削減率 (%)	基準超過 Mesh 数	排脱 1 発電所 削減後排出量 (kg/ 時)	削減率 (%)	基準超過 Mesh 数	排脱 3 発電所 削減後排出量 (kg/ 時)	削減率 (%)	基準超過 Mesh 数
①全２級	59.974	49.785	17	24	45.871	24	37	26.556	56	33
②2/3 級	59.974	51.039	15	92	47.121	21	99	27.807	54	82
③全３級	59.974	53.593	11	14	49.051	18	11	29.793	50	5

(注) 1) 基準超過Mesh数は、全域496 Meshのうち、全２級及び2/3 級目標に対しては２級基準、全３級目標に対しては３級基準の濃度を超過したMesh数である。

2) 全３級目標のCASEでは市区西部の大規模集中供熱は行わない。