

社会開発調査部報告書

No. 03

日本国際協力事業団

中華人民共和国
国家科学技術委員会

中華人民共和国

柳州市大気汚染総合対策計画調査及び
広域酸性降下物モニタリング調査

最終報告書

JICA LIBRARY



1124520(6)

株式会社 計 画 研 究 所
株式会社 計 画 研 究 所

製本
印刷
発行



1124520(6)

日本国際協力事業団

中華人民共和国
国家科学技術委員会

中華人民共和国

柳州市大気汚染総合対策計画調査及び
広域酸性降下物モニタリング調査

最終報告書

1995年12月

株式会社 数理計画

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

序 文

日本国政府は、中華人民共和国政府の要請に基づき、同国の柳州市大気汚染総合対策計画及び広域酸性降下物モニタリング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5年11月から平成7年11月の間、(株)数理計画の杉田善和氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は、中国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。

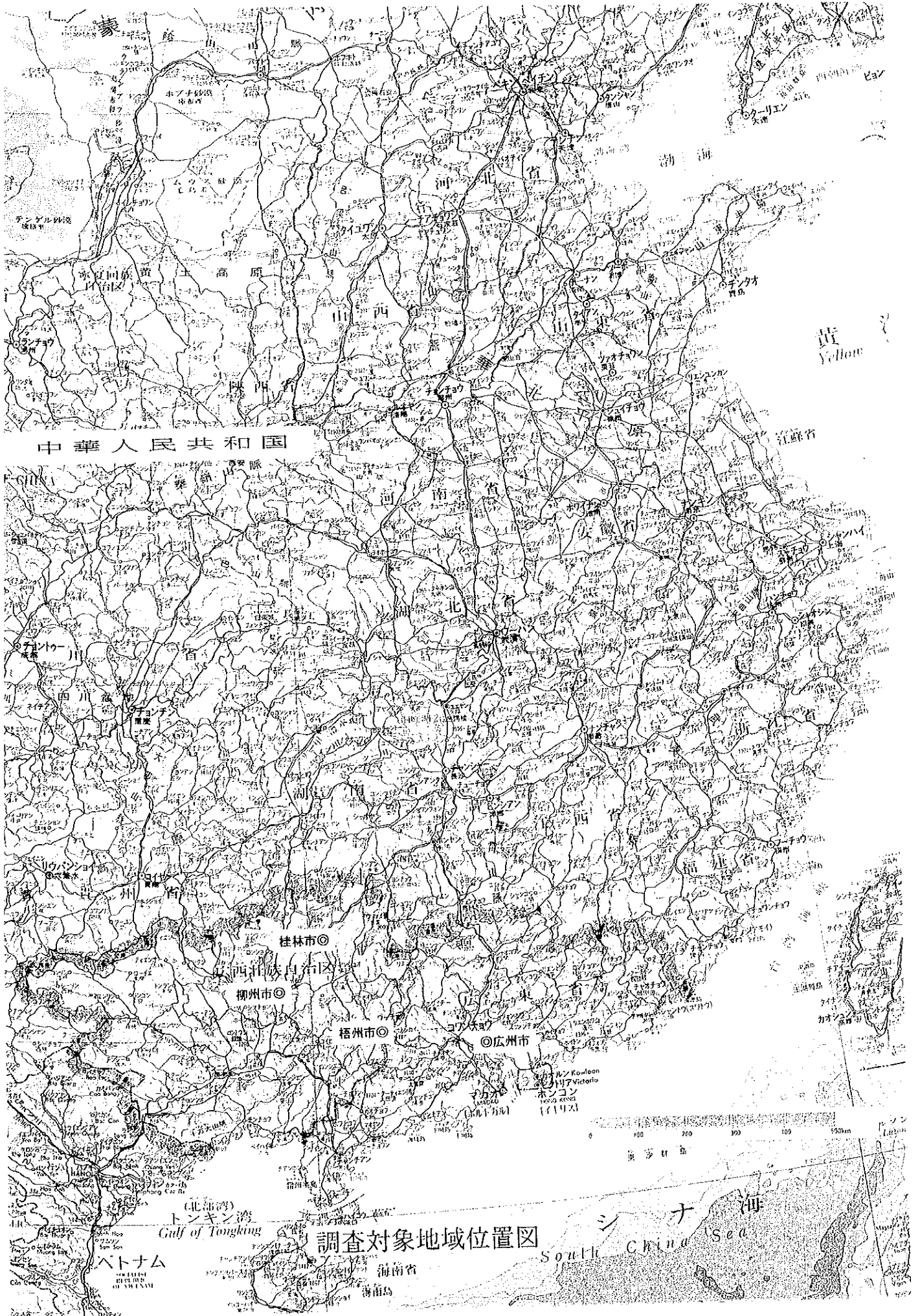
終りに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心より感謝申し上げます。

平成7年12月

国 際 協 力 事 業 団

総 裁

藤 田 公 部



要 約

I 調査の概要

1. 背景と目的

广西壮(チワン)族自治区の柳州市区(人口80万人、面積651Km²)は、中国南部の主要な工業都市で、現在急激な産業発展をしており、今後も高い経済成長が見込まれている。しかしながら他方では、硫黄分の多い低質な石炭が主要燃料であることや内陸盆地気候による汚染物質の拡散に不利な気象条件などが相乗して、非常に深刻な硫黄酸化物汚染を被っているため、大気汚染の防止と改善を目的とした総合的で実施可能な大気汚染対策計画を策定、実施することが急がれている。

また、柳州市を含め近接する桂林市、梧州市、广州市では、硫酸イオンによると思われる降水の酸性化が進行しており、その実態を現地調査を行うことにより把握することが必要である。

このような経緯の下、中国政府は、柳州市の大気汚染状況に関する測定調査と解明、実行可能な大気汚染総合対策計画の立案と実施計画の策定を、更に酸性降下物については、柳州市を含む4市での測定分析による実態把握を、また同時に関連する技術の移転も含めて政府間の技術協力を日本国政府に要請した。

日本国政府は、本件を国際協力事業団(JICA)の開発調査として実施するため、1991年11月と1992年11月にプロジェクト形成調査、1993年4月に事前調査を実施し、その結果、両国において合意した業務範囲のもとに、中国国家科学技術委員会をカウンターパートとする本格調査を1993年11月から1995年10月まで実施した。

本調査の目的は、環境大気および発生源などの現地調査と解析により柳州市の大気汚染構造を明らかにし、2005年を目標とした実施可能で、かつ具体的な大気汚染対策と実施計画をまとめた「柳州市大気汚染総合対策計画」を作成することである。

また、柳州市を含む4市を対象とした「広域酸性降下物モニタリング調査」では、複数地点で同一のサンプリング手法と分析機器によるモニタリング調査を行うことによって、同地域の酸性降下物の実態を把握する。

2. 調査の内容

2.1 調査と対象地域

本調査は、广西壮族自治区の柳州市区を対象とした「柳州市大気汚染総合対策調査」、および同自治区内の柳州市、桂林市、梧州市、及び广东省广州市の4市を対象した「広域酸性降下物モニタリング調査」からなる。

2.2 調査内容

「柳州市大気汚染総合対策計画調査」は、図 2.1に示すような基礎調査、解析調査、対策立案調査から成り、大気汚染防止と改善のための大気汚染総合対策計画を作成提示する。

また「広域酸性降下物モニタリング調査」は、基礎調査、解析調査から成り、調査結果を報告する。

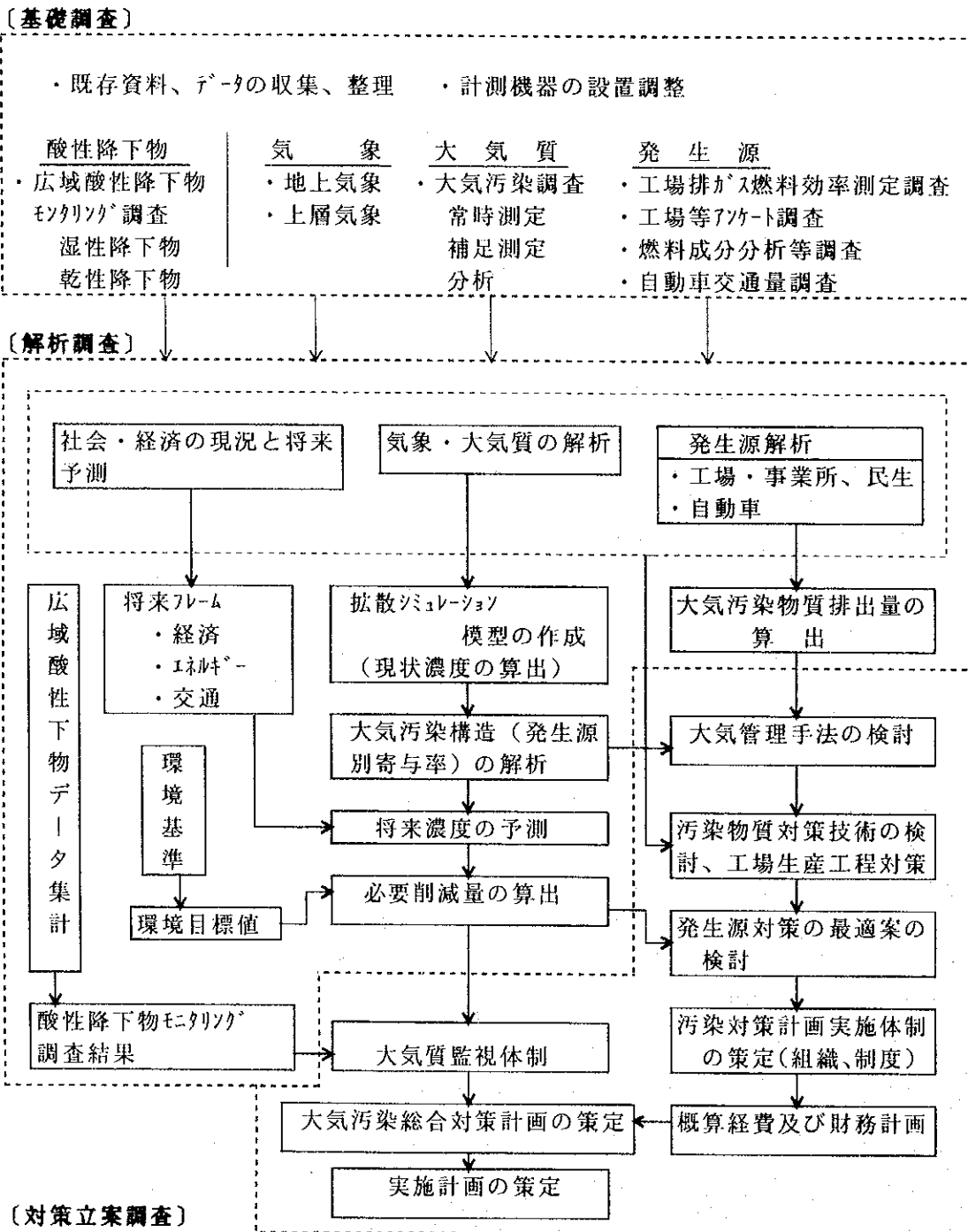


図 2.1 調査の概要

II 柳州市大気汚染総合対策計画調査

1. 地域の概要

1.1 自然環境

柳州市は广西壮族自治区の内陸中央に位置し、その中心である市区の地形は約10キロ四方の平野部からなる内陸盆地であり、区内は約500m川幅の柳江が市街地を分断して U字型に流れており、その下流は東部で再び南方へ流れ下っている。

市平野部は、南西方面を除く周辺が石灰岩からなる岩峰に囲まれており、その高さは100mから 200m程度である。また、平野部は市街地から西方へ数Km展開しており、さらに南西方向へ大きく開けている。

気候区分は亜熱帯気候に属しており、年平均気温は 20.4度と高く、夏は高温多湿、冬は乾燥少雨である。季節風は秋冬は北風、春夏は南風で、いずれも工場が市街地の風上に位置しており、また年平均風速が 1.1m/sから 1.9m/sと弱く、さらに秋から冬に発達することが多い接地逆転と相まって大気汚染を助長する大きな気象要因となっている。

1.2 社会環境

(1) 人口

1993年の柳州市の人口は 165万人（面積 5,287 km²）、また市区は 80万人（面積 651 km²）、年伸び率は 2.5%となっており、特に柳北区の人口伸び率が 3.7%と最も高いものとなっている。

(2) 市街化

柳州市区は U字型に流れる柳江により分断されており、旧市街は柳州駅のある河の南西から発展した。工業地帯は当初、市街地の北および南に立地していたが、川沿いに U字型の懐から発展した新市街地は、郊外に位置していた大規模工場を呑み込んだ為、大気汚染の影響をさらに大きくした。

(3) 経済と産業構造

市の1992年の国内生産総値は 50億元で、广西壮族自治区最大の都市であり 1人当たりの国内生産は 6,490元と北京市と同じ水準となっている。また、柳州市の国内生産総値を産業別にみると、第2次産業が 31億元で自治区の中でも第1位となっている工業都市であり、その発展は国内生産総値が 年率15%と非常に高い伸びを示している。

(4) 交通

市の主な幹線道路は南北及び東西に走る道路と、それらを結ぶ環状道路から構成されている。市区を分断する柳江が長い間、交通障害となっていたが、94年から95年に建設供与された壺西橋、文恵大橋によって大幅な改善が図られた。また、柳州市の他都市との輸送施設は、柳州港、鉄道、幹線道路が主な輸送手段であったが、95年に柳州空港が建設開港し、さらに都市間高速道路の建設など効果的な交通アクセスが整備されつつある。

なお、市内の自動車保有台数が年々増加（小型約20%、大型約6%年間伸び率）し、その結果、市街中心では渋滞が発生しており、交通量に対し道路の交通容量が不足している所が出てきている。

(5) エネルギー

産業用エネルギーは大部分が石炭であり、その出炭地は半分近くが区内炭であり、その他に貴州、山西、河南の石炭が使用されている。年間 196万噸使用しており、主な消費業種は黑色金属冶金及圧延加工業、化学肥料工業、セメント製造業である。また、柳州電廠の増設などの産業発展に伴い、今後の柳州市の石炭使用量は増加すると見込まれる。

民生用エネルギーは練炭、都市ガス、LPGが主な燃料となっているが、ガス化が進んでいる。

(6) 開発計画

柳州市は三つの開発区と二つの単独工業開発区を計画しており、旧機場開発区は商業、住居、無公害工業の複合開発区、河東開発区は大学とハイテク産業を主体とした研究学園都市、および陽和開発区は公害型工場の移転先および物流施設の立地拠点として開発するものである。

2. 大気環境の現況

柳州市区における地上気象と大気質濃度について、1995年8月より1996年7月まで自動測定器により毎時連続測定を行った。また、上層気象について四季別に観測をおこなった。

2.1 気象

(1) 地上気象

風向、風速を市区内の10地点において自動測定した結果、平均風速は広西工學院の1.3m/sから南疆賓館の2.3m/sと全体に弱く、また季節変化をみると夏弱く冬強く、時刻変化は夜弱く午前から徐々に強くなり、午後に強い傾向がみられる。

風向の出現状況（風配）は、市内全体において東西風向頻度がほとんど無く、4月から8月まで南の風が、9月から3月までは北の風が卓越している。

気温および湿度は春から夏にかけ高温多湿の値となっている。

(2) 上層気象

観測は柳州市北雀路において、高度別風向風速を経緯儀と低層ゾンデを用いて四季別計4回実施した結果によると、風速は地上から約500mまでは接地境界層特有の増加傾向がみられた。

高度別気温の測定結果より接地逆転層の出現傾向をみると、季別には秋に出現頻度が高く、時間帯別には晴れた夜間に地上より発達し始め、早朝に逆転層の上端が300mの例がみられた。

2.2 大気質濃度

(1) 大気質濃度の現況

二酸化硫黄（SO₂）：年間平均濃度は0.102mg/m³から0.285mg/m³であり、その濃度レベルは国家大気2級基準濃度（0.06mg/m³）の2倍から4倍の高いものとなっており、特に市区の東西地域に比べて市街中心地および南北部の工

場地帯の測定局の濃度が高くなっている。また、短時間濃度についても日平均値（2%除外値）及び1時間値の最高値は、それぞれ 0.82mg/m³（東門幼稚園）、2.75mg/m³（气象台）と非常に高い濃度の出現がみられた。

浮遊粒子状物質（SPM）：年間平均濃度は 0.112mg/m³から 0.133mg/m³であり、地域全体に渡って高濃度となっている。また、日平均値（2%除外値）の最高値は0.347mg/m³（工人文化宮）、1時間値の最高値は 1 mg/m³程度の非常に高い濃度の出現が全局においてみられた。

窒素酸化物（NO_x）：年間平均濃度は 0.024mg/m³から0.044mg/m³であり、日平均値（2%除外値）及び1時間値の最高値はそれぞれ 0.128mg/m³（東門幼稚園）、0.55mg/m³（環保局）となっている。

一酸化炭素（CO）：年間平均濃度は 1.9mg/m³（環保局）、3.1mg/m³（工人文化宮）であり、1時間値の最高値が12.4mg/m³となっている。

炭化水素（NMHC, THC）：非メタン炭化水素の年平均値（CH₄換算）は 0.46mg/m³、午前中の3時間（6-9時）の3時間平均の最大は 0.9mg/m³となっている。また、全炭化水素の年平均値は 1.9mg/m³である。

光化学オゾン（O₃）：年間平均濃度は 0.02mg/m³から0.042mg/m³で、1時間値の最高値は 0.165mg/m³（第三職業高中）で、基準値を超えているが、その回数は2回と少ない。

表 2.1 監測大気質濃度（年平均値） 単位：mg/m³

監測站	SO ₂	SPM	NO _x	CO	NMHC	O ₃	TSP
①第9中学	0.17						
②气象台	0.22	0.12	0.04				0.35
③環保局	0.21	0.11	0.04	1.9	0.5	0.02	0.21
④科技委	0.20						
⑤東門幼稚園	0.29	0.13	0.03				0.31
⑥工人文化宮	0.21	0.13	0.02	3.1			0.56
⑦南環飯店	0.19						
⑧河西淨水場	0.12						
⑨広西工学院	0.10						
⑩第3職高中	0.22	0.13	0.03			0.04	0.34

(2) 環境基準達成状況

測定した濃度値を中国大気環境質量基準（濃度上限値2級基準）に照らして、その達成状況を見ると、以下の様に二酸化硫黄、浮遊粒子状物質が全局で未達成となっており、また、その他の物質も一部の測定局で未達成となっている。なお、総浮遊粉塵濃度は環保局など5局で測定されているが、すべての局で未達成である。

(3) 濃度の時刻変化

二酸化硫黄濃度は、午前10時11時をピーク時間とする大きな山と20時から21時をサブピーク時間とする2つ山をもつパターンを示している。浮遊粒子状物質濃度の時刻変化は二酸化硫黄ほど顕著でないが、同様の時刻変化をしている。窒素酸化物濃度は時刻変化が小さく、又濃度レベルも低い。

(4) 濃度の月変化

地点間でばらつきがあるが、二酸化硫黄では概ね秋冬に高い傾向がみられる。浮遊粒子状物質も同様の傾向がみられるが変化は小さい。

(5) 濃度の地域分布

二酸化硫黄および浮遊粒子状物質濃度は、地域全体に環境基準を超える高い濃度が出現しているが、二酸化硫黄については市の東西の郊外にある广西工学院、河西浄水場の濃度はやや低い濃度となっている。

(6) 重金属濃度

水銀：測定分析濃度は $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から $13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と自然環境濃度と比べると高い濃度となっているが、WHOのGUIDE LINE (Environmental Health Criteria) に示されている一般環境値 ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) と比べると低い濃度となっている。

重金属：浮遊粉塵そのものの濃度が高いことから重金属全体に濃度が高くなっており、特に Mn, Fe, V, Cu の濃度が高い。

フッ素：測定分析したフッ素（フッ素酸化物：as HF）濃度は $3.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ から $9.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ になっており、自然界の濃度レベルと比べると高い濃度となっているが、世界銀行のGUIDE LINE に示されている大気環境水準（年平均値 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、8時間最大 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ）と比べると低い濃度となっている。

(7) 浮遊粉塵粒径分布

気象台と環保局において測定分析した結果によると、人為起源と言われている $2 \mu\text{m}$ 以下の粒径の総重量は両局とも過半を占めており、特に冬にその割合が大きくなる傾向がみられる。

3. 発生源の現状

3.1 工場事業場

柳州市対象地域の工場事業場の大气汚染物質排出実体および大气拡散計算を行うための煙源情報を入手するために、アンケート（問券）調査、排ガス調査、燃料成分分析などを行った。

(1) 施設数

調査結果によると1994年では、352施設がありその内ボイラー（鍋炉）が183施設と過半を占めている。152の工業炉では焼成炉、乾燥炉の施設数が多く、また大きな施設として高炉、焼結炉、転炉、コークス炉（焦炉）などがある。

(2) 燃料

年間の燃料使用量は一般炭が150万噸、無煙炭9万噸、コークス（焦炭）44万噸、重油3.5万噸、ガス（煤氣）61万噸となっており、一般炭を産地別に見ると区内炭の合山炭が27%、貴州・山西・河南炭が21%、山西炭が19%となっている。

(3) 燃料中の硫黄分等

燃料成分分析の結果、区内炭の硫黄分はかなり高く灰分も多く、またフッ素濃度も比較的の高い含有率となっている。その他では貴州炭の硫黄分が比較的の高い値を示し、液体燃料の重油、軽油は低い値である。

(4) 燃焼灰

燃焼灰の成分分析の結果は、多くの炉で灰中の炭素分が多く燃焼管理が十分に行われていないことから、未燃焼分が多いことが分かった。

(5) 排ガス処理施設

処理施設の設置状況は、除塵装置が全 352施設の内223施設（63%）に設置されており、その主な種類は旋回式（28%）、水膜式（24%）、濾過式（13%）となっている。また、除去処理効率は旋回式から水膜、濾過式になるほど高くなり、その効率はそれぞれ約 70%, 90%, 97%のデータを得ている。

(6) 煙突

調査対象の煙突334本の内、高さ50m以下のものが約 90%と圧倒的に多く 100mを超えるものは4本と少ない。

(7) 排ガス排出基準の達成状況

本調査でのデータを用いて排ガスの排出基準の遵守状況を推察すると、硫黄酸化物は発電、冶金、化学について10煙突が、煤塵については多業種にわたって200余煙突が排出基準を超えている。なお、窒素酸化物については化学工場が対象となっているが、現時点では基準を超えた煙突は無かった。

(8) 大気汚染物質排出係数

硫黄酸化物、煤塵、窒素酸化物の使用燃料当たりの排出量（排出係数）は調査団の排ガス調査、アンケート調査、燃料成分分析結果及び海外の資料を用いて設定した。なお、石炭燃料の場合、硫黄分の 87.5%が大気中に排出され残りは燃焼灰に残留するものとした。さらに、除塵装置による硫黄酸化物の除去効果（10%から15%）を考慮した。

(9) 大気汚染物質排出量

工場事業場からの硫黄酸化物、煤塵、窒素酸化物の年間排出量は表 3.1に示す様にそれぞれ 7万噸、2.8万噸、8千噸であり、その主な業種は、硫黄酸化物では電力・蒸気製造、紡績工業、鉄金属の精錬圧延、煤塵では製紙・紙製品、化学工業、窒素酸化物では建材・非金属鋼製品、電力・蒸気等の生産となっている。

表 3.1 工場事業場大気汚染物質排出量

トン/年			
物質	硫黄酸化物(asSO ₂)	煤塵	窒素酸化物(asNO _x)
排出量	69,205	27,573	7,994

(10) 排出量の地域分布

硫黄酸化物の年間排出量の地域分布は、市区の北部と南部において 1千(トン/年/10メッシュ)以上のメッシュが多く市の中心街を囲んだ形になっている。また、煤塵も同様の傾向がみられる。

3.2 自動車

自動車走行時の排出ガスによる大気汚染物質排出量を、現地交通量調査および既存資料より算定した。

(1) 交通量実態調査

① 交通量

市区内の主要道路を対象に、16地点において路側調査を行った。

調査内容：車種別(6車種)、時刻別(1時間毎、昼間16時間、24時間)、平日休日別

② 走行量と平均車速

交通量調査データ(車種別台数)を基に、道路延長距離を乗じた走行量(単位：台キロ)は、年間約4億台kmとなった。また、大気汚染物質排出係数の利用に必要なデータとして平均走行車速を路側調査と同時に時間帯別に計測した。その結果によると昼間のピーク時間帯で20km/h、オフピークおよび夜間の時間帯で30km/hから35km/hであった。

③ 交通量の時刻変化

市区内の交通量の時刻変化は、一般に朝8時より交通量が増え始め10時、11時を一つの山にして14時、15時に交通量は一旦半減し、その後16時から18時まで増える2山のパターンとなっている。

(2) 排出係数

大気汚染物質排出量の算定の為に必要な排出係数の基礎資料は既存資料によった。排出係数は、車種別・エンジン型式(ガソリン、ディーゼル)別・年式別に設定する例が多いが、中国では排ガス濃度規制があるものの、量について未規制であることなどから、未規制車の既存資料を用いた。なお、燃料中の硫黄分と比重は燃料分析の結果を用いた。

(3) 大気汚染物質排出量

以上の調査結果をもとに車種別に排出量を算定した結果(1994年)は以下の通りである。

表 3.2 自動車車種別大気汚染物質排出量 単位：t/年

物質	乗用車	小型客車	大型客車	小型貨物車	大型貨物車	二輪車	合計
NO _x	134	143	93	79	558	16	1,021
SO _x	1.4	1.6	1.5	1.5	18.5	2.8	27

算出式：排出量(g/km/時間) = 走行台数(台/時間) × 排出係数(g/台km)

3.3 民生発生源

民生発生源は一般家庭と飲食店を対象とし、厨房等における使用燃料による大気汚染物質排出量を算定した。算定のための基礎データは、現地の既存資料および本調査結果を用いた。

表 3.3 民生大気汚染物質排出量 単位：t/年

燃料種類	硫黄酸化物	煤塵	窒素酸化物
一般家庭	5,234	570	384
飲食店	2,477	270	172
合計	7,711	840	556

3.4 排出量のまとめ

発生源種類別の大気汚染物質排出量は、下表となり、いずれの物質も工場事業場の排出量が多いものとなっている。

表 3.4 大気汚染物質排出量 単位：t/年

発生源種類	硫黄酸化物	煤塵	窒素酸化物
工場事業場	69,205(90%)	27,573(97%)	7,994(83%)
民生	7,711(10%)	840(3%)	556(6%)
自動車	27(0.04%)	—	1,021(11%)
合計	76,943	28,413	9,571

4 大気汚染構造

4.1 大気拡散シミュレーション

地域全体における大気汚染物質濃度および各発生源（工場煙突毎、道路毎）からの寄与濃度、寄与率を求める為、大気拡散モデルを用いたシミュレーションを行った。

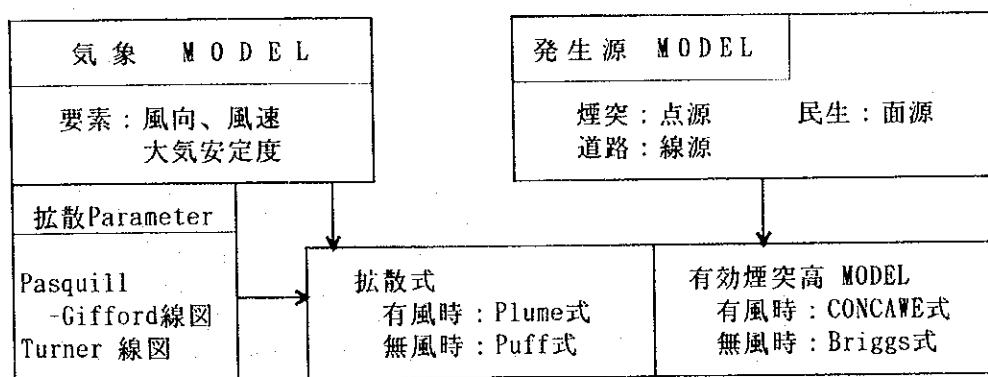


図 4.1 大気拡散シミュレーション・モデル構成

対象物質：二酸化硫黄、粉塵（浮遊粒子状物質）の年平均値

対象発生源：工場事業場の煙突、自動車排ガス、民生（一般家庭、飲食店）

計算対象地点：監測局、市区内の 500mメッシュの中央点

(1) 気象モデル

①気象ブロック

- ・地域区分： 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形などによって異なる為、対象地域を類似した気象ブロック（クラスター分析）毎に、北部、西部、中央部、南西部、南東部の5つのブロックに分け、各ブロック気象を代表する監視局のデータを使用した。
- ・高度区分：対象発生源の排出高さ別に、拡散場を高度別に4つの層（地上、-30m、30m-70m、70m-）に区分し、それぞれの高さの風速を下層の自動測定風速を用いて巾乗法則（ $U=U_s*(Z/Z_s)^p$ ）を用いて推計した。

②気象要素の区分

風向：16方位、静穏、風速：8区分、大気安定度：5区分

③拡散parameter

5区分した大気安定度階級に対応する拡散parameterをPasquill-Gifford線図より季節時間帯別に、かつ高さ別拡散場毎に選定した。

(2) 発生源モデルと拡散式

発生源モデル：点源、線源、面源
拡散式：Plume式、簡易Puff式

(3) 平均値と重合計算の算出

①期別(n)時間帯別(m)平均値(Cnm)

$$C_{nm} = \sum \sum \sum C(D_i, V_j, A_k) \cdot f(D_i, V_j, A_k)$$

$C(D_i, V_j, A_k)$: 風向 D_i 風速 V_j 大気安定度 A_k における1時間濃度

$f(D_i, V_j, A_k)$: 風向 D_i 風速 V_j 大気安定度 A_k の気象出現比率

②年平均値(C)

$$C = \sum C_{nm} \cdot R_{nm} \quad R_{nm}: n期m時間帯の年間に対する時間割合$$

③重合計算(Ca)

$$C_a = \sum C \quad (\text{全煙源重合})$$

(4) SPMに係わる二次生成モデル

SPMの内、SO_x、NO_xから二次生成粒子に変質するものを拡散モデルに組み込んだ。

(5) 拡散モデルの再現性

拡散モデルによる測定濃度の再現性を相関係数と誤差変動係数によって評価したところ、二酸化硫黄と浮遊粒子状物質について概ね良好な評価を得た。

4.2 現状濃度

作成した拡散モデルにより、1994年の長期平均濃度（年間）を算出した。

(1) 監視站

発生源種類の濃度寄与率は、二酸化硫黄では工場煙突の中規模煙突（高さ：30mから70m）が高く、次いで一般家庭となっている。浮遊粒子状物質（SPM）では工場事業所煙突、二次生成粒子、土壌起源粒子が大きな割合となっている。

表 4.1 二酸化硫黄(SO₂)発生源別寄与濃度寄与率

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (%)

監測站	煙突大	煙突中	煙突小	自動車	一般家庭	飲食店	合計
①第9中学	13.1(8)	92.4(53)	16.1(9)	0.2(0)	44.7(26)	7.2(4)	174
②气象台	11.5(7)	101.2(59)	18.1(11)	0.2(0)	30.2(18)	9.2(5)	170
③環保局	10.1(5)	110.5(55)	17.6(9)	0.2(0)	52.2(26)	10.6(5)	201
④科技委	8.7(4)	90.2(44)	18.4(9)	0.3(0)	66.9(33)	19.2(10)	204
⑤東門幼稚園	7.7(3)	97.5(43)	17.0(8)	0.2(0)	80.3(36)	22.3(10)	225
⑥工人文化宮	6.4(3)	81.6(39)	12.5(6)	0.4(0)	63.8(30)	47.2(22)	212
⑦南濱飯店	6.3(5)	58.7(44)	18.1(14)	0.2(0)	29.8(23)	19.3(14)	132
⑧河西淨水場	12.6(10)	69.9(55)	9.3(7)	0.1(0)	23.2(18)	12.3(10)	127
⑨広西工学院	6.3(8)	48.3(61)	9.8(12)	0.2(0)	11.9(15)	3.1(4)	80
⑩第3職高中	5.8(3)	87.5(45)	19.1(10)	0.2(0)	68.6(36)	12.0(6)	193

大: 高さ70m以上 中: 30mから70m 小: 30m未満

表 4.2 浮遊粒子状物質(SPM)発生源別寄与濃度寄与率

単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (%)

監測站	工場事業場	その他(家庭他)	二次生成粒子	土壌粒子	合計
②气象台	44.1(41)	4.3(4)	26.4(25)	32.5(30)	107
③環保局	45.7(41)	6.8(6)	29.8(27)	29.7(26)	112
⑤東門幼稚園	44.3(36)	11.2(9)	31.9(26)	34.6(29)	122
⑥工人文化宮	34.2(30)	12.1(11)	30.3(27)	35.5(32)	112
⑩第3職高中	41.5(37)	8.8(8)	28.4(25)	33.2(30)	112

(2) 地域濃度分布 (MESH)

現状1994年の柳州市区のメッシュ別濃度の推計結果は下図の様に地域全体が高濃度となっている。

現状 1994年 全発生源 SO₂濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

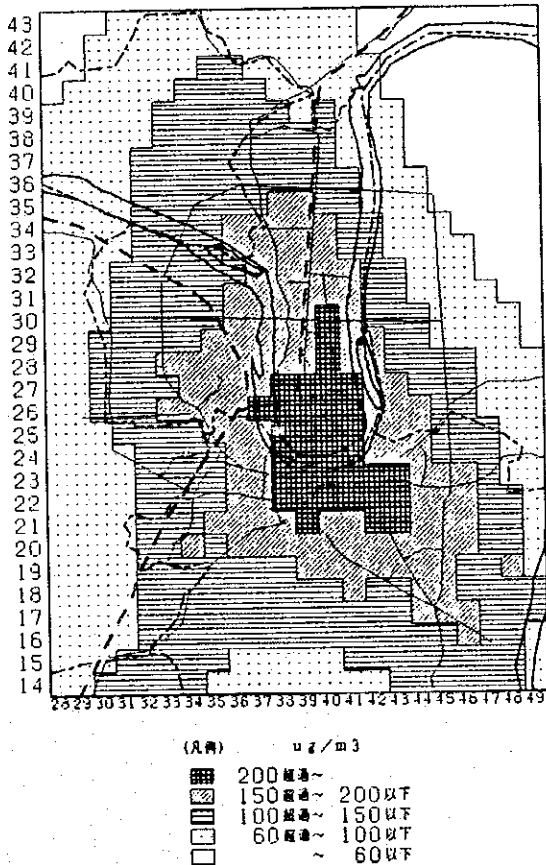


図 4.1 地域濃度分布 (現状SO₂)

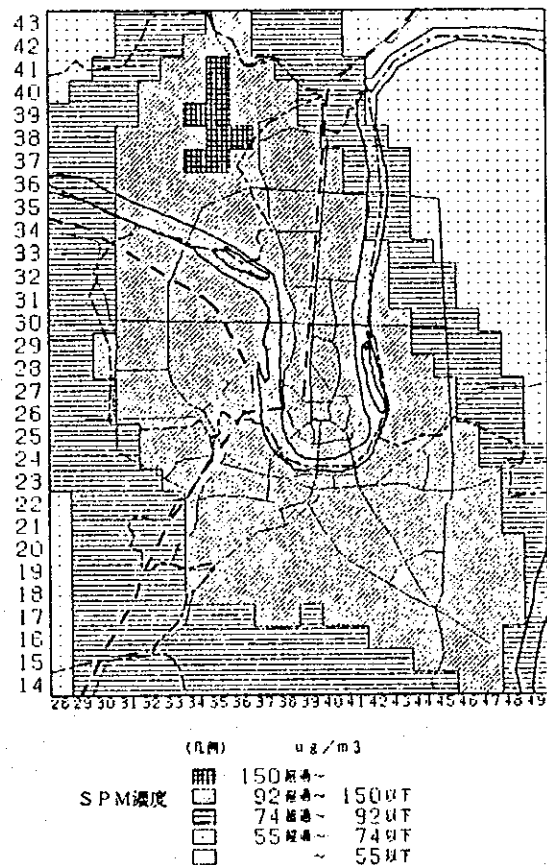


図 4.2 地域濃度分布 (現状SPM)

4.3 大気汚染機構

(1) 大気汚染の特徴

これまでの調査解析結果から柳州市区の主な大気汚染の特徴を纏めてみると、まず大気汚染の発生要因の一つである気象については、

①地形影響

内陸部に位置していること、また市区の周辺が山に囲まれていることもあって風速が弱く、風による汚染物質の希釈効果が阻害されており、また主風向が工場群と市街との位置関係と同じ南北となっており、市街が煙突の風下となる頻度が多い。

②気象特性

市区全域で風速が弱いこと、また盆地において発達し易い接地逆転層の出現が、常時監視および上層気象観測によって確認された。接地逆転層の出現は晴夜、風が弱い日に夜間から早朝にかけて発達し汚染物質の拡散を阻害する。この様な日に二酸化硫黄および浮遊粒子状物質などの濃度が高くなることが多いことが今回の調査でも確認された。

また、各発生源の特徴は、

①硫黄酸化物：工場事業場の硫黄分の高い石炭燃焼により大量に発生しており、一部のものが除塵装置により除去されるものの、脱硫設備がほとんど無いことから、そのまま排出されている。また、現状では一般家庭および飲食店の成型炭利用による排出もみられる。

②煤塵：規模の大きい燃焼施設には除塵装置がついているものの、燃料の大部分が石炭であるため、排出量が多く排出基準を超えていると見られる施設も多い。

③窒素酸化物：工場事業場からの排出量は硫黄酸化物の約10分の1と少なく、また自動車からの排出量も年間千噸と現在のところ、多くない。

④立地条件：高濃度発生の原因として、硫黄酸化物および煤塵の主な発生源である工場事業場の立地地域が市街地に取り込まれた形になっていること、又その立地が南北に位置していること、低い煙突から大量の硫黄酸化物が排出されていることなどが挙げられる。

以上の様な特徴を持つ気象及び発生源によって発生した大気汚染の特徴は、以下の通りである。

①二酸化硫黄濃度：地域全体で非常に高い濃度が出現しており、全ての監視站で環境基準が未達成となっている。また、短時間（1時間値、日平均値）濃度においても基準値の数倍の高い濃度が測定された。

高濃度の出現地域分布は、北の柳北工業区、中央の河北の市街地から躍進路工業区、

河南部の市街地、南の栄軍路、柳石路工業区と、南北に分布している。

- ②浮遊粒子状物質濃度： 硫黄酸化物と同様に短時間値が環境基準の2倍程度の高い濃度となっており、環境基準も全局が未達成となっている。
- ③窒素酸化物濃度： 若干基準濃度を越えた例があるものの、ほぼ環境基準を満足している。また、道路近傍の監視站を含む全監視站のNO₂/NO_x比が約7割と高く、現在のところ自動車排ガスの直接的な影響は少ないと見られる。
- ④一酸化炭素および光化学オゾン濃度： 現在のところ高くないが、将来において自動車等の増加と共に濃度が高くなると見られる。
- ⑤汚染物質間相関関係： 二酸化硫黄と浮遊粒子状物質の濃度は、地域分布も時間変化も類似のパターンを示しており、両者の主な発生源が同じであることを示唆している。

(2) シミュレーションによる発生源種類別寄与率

二酸化硫黄について排出量と計算濃度値を発生源種類別にみると、工場事業場の中規模煙源の寄与が排出量で64%、濃度で53%、また一般家庭は排出量は7%であるが濃度寄与率は19%と高いものとなっている。

表 4.3 発生源別寄与率（硫黄酸化物）

項目	発生源	工場事業場			一般家庭	飲食店	自動車
		大規模	中規模	小規模			
排出量	t/年	14,302	49,245	5,658	5,234	2,477	26
	(%)	19	64	7	7	3	0
濃度寄与率	%	8	53	10	19	10	0.2

5. 将来濃度と削減量

5.1 将来発生源の予測

(1) 予測方法

将来年度（2005年）に於ける未対策時の発生源予測方法は以下の通りである。

- ①工場： 将来生産計画がある工場（行政が認めた）→計画を採用
その他の工場→業種毎に統計値等から燃料使用量伸び率を設定
- ②事業場： 事業場（ホテル、病院）の燃料使用量を人口伸び率により推定
- ③自動車： 輸送統計資料および市計画値より、車種別（6車種）に交通量伸び率を設定
- ④民生： 燃料使用量を市区別の人口伸び率により推計

推計の結果、将来年度の石炭使用量は367t/年となり、現状の約2.0倍となった。ま

た、自動車交通量は 10.8億台kmで、現状の 2.7倍と推計された。

(2) 将来排出量

推計した燃料使用量などを基に、対策をしない場合の大気汚染物質排出量を算定した結果を下表に示す。

表 5.1 将来排出量(将来/現状) 単位：t/年、(比)

発生源	硫酸化物	煤塵	窒素酸化物
①工場事業場	160,476(2.3)	51,073(1.9)	19,918(2.5)
②民生	10,345(1.3)	1,126(1.3)	748(1.3)
③自動車	61(2.3)	-	2,391(2.3)
合計	170,882	52,199	23,057
将来/現状	2.2	1.8	2.4

将来：2005年、現状：1994年

5.2 将来濃度の予測

将来2005年について予測した結果を下表に示す。この結果によると、二酸化硫黄濃度は現状の約1.4倍、浮遊粒子状物質濃度は 1.3倍である。

表 5.2 二酸化硫黄(SO₂)発生源別寄与濃度寄与率 単位：μg/m³, (%)

監視站	工場事業場	一般家庭	飲食店	自動車	合計	将来/現状
①第9中学	184.6(71)	64.3(25)	9.9(4)	0.4(0)	259	1.5
②气象台	193.2(78)	42.2(17)	12.7(5)	0.5(0)	249	1.5
③環境局	203.0(70)	72.8(25)	14.2(5)	0.5(0)	291	1.4
④科技委	180.4(62)	83.4(29)	25.6(9)	0.7(0)	290	1.4
⑤東門幼稚園	185.6(59)	98.1(32)	29.1(9)	0.4(0)	313	1.4
⑥工人文化宮	153.9(51)	81.8(27)	63.3(21)	1.0(1)	300	1.4
⑦南灘飯店	127.9(66)	38.9(20)	26.0(14)	0.5(0)	193	1.5
⑧河西淨水場	136.7(74)	31.2(17)	16.6(9)	0.3(0)	185	1.5
⑨广西工学院	100.5(82)	16.5(14)	4.2(4)	0.4(0)	122	1.5
⑩第3職高中	169.8(61)	90.9(33)	16.1(6)	0.5(0)	277	1.4

大：高さ70m以上 中：30mから70m 小：30m未満

表 5.3 浮遊粒子状物質(SPM)発生源別寄与濃度寄与率 単位：μg/m³, (%)

監視站	工場事業場	その他(家庭他)	二次生成粒子	土壌粒子	合計	将来/現状
②气象台	70.0(48)	6.0(4)	37.8(26)	32.5(22)	146	1.4
③環境局	71.1(46)	9.5(6)	43.2(28)	29.7(20)	154	1.4
⑤東門幼稚園	68.8(42)	13.8(9)	45.3(28)	34.6(21)	163	1.3
⑥工人文化宮	53.3(36)	15.8(11)	43.6(29)	35.5(24)	148	1.3
⑩第3職高中	61.3(42)	11.7(8)	41.4(28)	33.2(22)	148	1.3

5.3 環境目標値

対策の目標は、国の環境基準を達成することであるが、基準は年平均値の他に日平均値、1時間値についても設定されており、これらの基準に全て適合する必要がある。一方、本調査で実施している将来濃度予測は年平均を推計するモデルであり、日平均などの短時間基準と直接比較ができない。この為、日平均基準と等価な年間平均値を求める必要がある。そこで、本調査では、監視站測定データを用いて回帰手法、Larsen手法により下記に示す目標値を算定した。

(1) 対策の現状

発生源に係る現地調査および既存資料調査によると、柳州市区の発生源対策の現状は以下のとおりである。

1) 排出規制

工場の有害物質の排出規制は、大気汚染防止法（1989年）に基づき、工業三廢排出基準（GBJ4-73）によって13有害物質について、業種別煙突高さ別に排出量及び濃度が規制されている。また、ボイラー（鍋炉）についても基準が設けられている。

2) 使用燃料

ボイラーの主要な燃料は硫黄分が約6%で灰分の多い低質石炭を使用しており、排ガス中の硫酸化物の濃度が2,000ppmから5,000ppmの高濃度の排ガスを放出している。また、設備が老朽化し燃焼効率と熱効率が低いものが多い。

3) 燃焼設備と燃焼管理

ボイラーの中には炉の構造の問題のため不完全燃焼を起こしているものも多く、燃焼管理用の計測設備がない燃焼施設も多く見られた。また、蒸気配管の保温が不十分で熱損失の問題もある。

4) 対策施設

アンケート（問巻）調査結果によると、310施設のうち198施設（64%）にサイクロン（旋回式）、水膜式、バグフィルター（濾過式）などの除塵装置が設置されており、特にボイラーは設置率が80%と設置率が高い。除塵効率は旋回式で73%、水膜式で87%、濾過式で98%となっている。なお、脱硫装置は焙焼炉、硫酸製造施設に3装置が設置されているが、その他の施設にはない。

5) 柳州市の対策

柳州市は、中国大防法による国家规定を背景に、燃料転換、燃料改善、排煙脱硫、工場移転、総量規制などの大気汚染防止対策を推進している。

(2) 大気汚染物質の削減対策（ハード対策）

1) 削減方法

硫酸化物と煤塵の排出量削減が急務であることから、柳州市の実状を考慮し主にこの2つの物質の削減対策方法について検討した。

表 6.1 削減方法と発生源対策技術

対 策 方 法	対 策 技 術	対策効果				
		SO _x	煤塵	NO _x		
①燃料改善・転換	・成型炭改良 ・石炭燃料改善	脱硫材混入	◎	○		
		液化、スラリー;COM, CWM	○		○	
	・選炭 ・都市ガスの普及促進 ・良質炭への転換 ・石油系燃料への転換	石炭ガス化	◎	◎	○	
		Jig選炭法、微生物脱硫法	○	◎	○	
		民生燃料のガス燃料転換	◎	◎	○	
		低硫黄炭	◎		○	
		軽油、灯油	◎	◎	○	
②設備対策	a. 燃焼設備	・流動層	○		◎	
			気泡型、循環型、 選炭との組み合わせ	◎	○	○
	b. 製造設備	・設備改善	化学、鉄鋼（省エネ、設備近代化）	○	○	○
		・高効率発電	石炭ガス化複合発電	◎	○	○
③排ガス処理設備	a. 装置設備	・脱硫装置	石灰石石膏法、簡易石灰石法 半乾式、NH ₃ 法 硫化水素法	◎		
		・除塵装置	電気集塵法、マルチサイクロン法（多塵集塵） バグフィルター法（布袋法）、ベンチュリー水霧式		◎	◎
	b. 燃焼設備	・炉内脱硫	循環流動層（石灰石混入）	◎		◎
④燃焼管理	・燃焼管理計器充実	計測データによる管理	○	○	○	
	・燃焼管理基準標準化	空気比、熱発生率、ガス温度	○	○	○	
⑤省エネルギー	・熱管理	燃焼管理、空気余熱、他	○	○	○	
	・集中供熱		◎	◎	◎	
⑥その他	・工場移転		◎	◎	◎	
	・活性炭	脱硫剤・吸収剤製造	◎			
	・石炭灰利用	セメント、煉瓦、軽量骨材				
	・高煙突	Down-Wash、局地汚染防止他	○	○	○	

2) 発生源対策の選定

柳州市発生源の大気環境と対策の実状に即した対策を、下記の方針のもとに各発生源に対し選定した主要対策および発生源別対策は以下のとおりである。

選定の方針

- ①対策を急ぐ大気汚染物質：硫黄酸化物、煤塵
- ②緊急を要し、2000年までに実施可能な対策
- ③2005年までに環境基準の達成可能な対策、及び経済性等を考慮した代替案

主要対策

- ① 都市ガス化促進 : 焦炉（柳州鉄鋼）ガスの脱硫、増熱ガス、LPGの普及
- ② 燃料転換 : 市街地の中小規模ボイラーの石油使用、良質炭の導入
- ③ 排煙脱硫 : 柳州電廠ボイラー排煙の高効率脱硫

- ④ 設備改善 : 沸騰炉の循環流動層型への更新
- ⑤ NO₂ガスの脱硝 : 化肥廠のNO₂放出ガスのアルカリ液による吸収除去
- ⑥ 燃焼管理 : 低空気比燃焼による省エネルギー化
- ⑦ 工場移転 : 市街地内工場（亜鉛廠等）の郊外移転

表 6.2 発生源規模別目標年別対策

	2000年までの対策	2005年までの対策(2000年対策の強化、追加)
主要工場	①沸騰炉などを循環流動層型炉 ②集中供熱 ③焦炉ガス脱硫 ④電力排煙脱硫（高効率排煙脱硫） ⑤除塵設備（ベンチュリ-糠式、電式） ⑥硝酸プラント排ガスの脱硝 ⑦工場移転 ⑧燃焼管理	①良質炭、成型炭の利用 +②焙焼炉に排煙脱硫（石灰液洗浄法） *③電力排煙脱硫（簡易石膏法） ④煤気炉、焼結炉に排煙脱硫（簡易石灰石石膏法） ⑤対策沸騰炉の対象拡大 ⑥転炉に高効率除塵
中小工場	①沸騰炉を循環流動層炉 ②集中供熱 ③工場移転 ④事業場燃料の石油系への転換促進 ⑤除塵設備（ベンチュリ-水膜式）	①成型炭、LPGの使用 #②ガラス溶解炉に排煙脱硫（苛性ソーダ吸収法） #③一部のボイラーに排煙脱硫（同上） #④石灰焼成炉に水噴霧脱硫
民生	①第3期都市ガス供給計画 ②LPG供給基地 ③成型炭(脱硫剤混入)の普及	①都市ガス化促進 ②LPG基地の拡大 ③成型炭(脱硫剤混入)の普及

(注) 2005年代替案 +:一部の炉は中止

*:方法変更

#:2005年先に実施

また、上記対策を確実なものにする為には、エネルギー対策（燃料転換の促進、燃料の改質、発生源対策新技術の開発）、工場立地条件の改善（開発区の整備、工場再配置、土地利用計画の見直し、新産業の開発、インフラの整備）および 6.3に示すような規制・税優遇政策などの条件整備が不可欠である。

3) 対策の効果と目標達成見込み

2000年、2005年基本案と代替案の対策による大気汚染物質排出量、濃度、目標達成見込みは以下のとおりとなった。

① 排出量

表 6.3 硫黄酸化物排出量

単位：千t/年（削減率：％）

	対策	工場事業場	民生	自動車	合計
現状（1994年）		69.2	7.7	0.03	76.9
将来（2000年）	無	128.2	8.8	0.04	137.0
	有	45.8(64)	3.4(62)	0.04	49.3(64)
2005年	無	160.5	10.3	0.06	170.9
	基本案	29.2(82)	0.6(94)	0.06	29.9(83)
	代替案	46.8(71)	1.8(83)	0.06	48.6(72)

表 6.4 煤塵排出量

単位：千t/年（削減率：％）

	対策	工場事業場	民生	自動車	合計
現状（1994年）		27.6	0.8	-	28.4
将来（2000年）	無	35.4	1.0	-	36.3
	有	23.4(34)	0.6(36)	-	24.0(34)
2005年	無	51.1	1.1	-	52.2
	基本案	20.7(60)	0.1(90)	-	20.8(60)
	代替案	21.1(59)	0.3(72)	-	21.4(59)

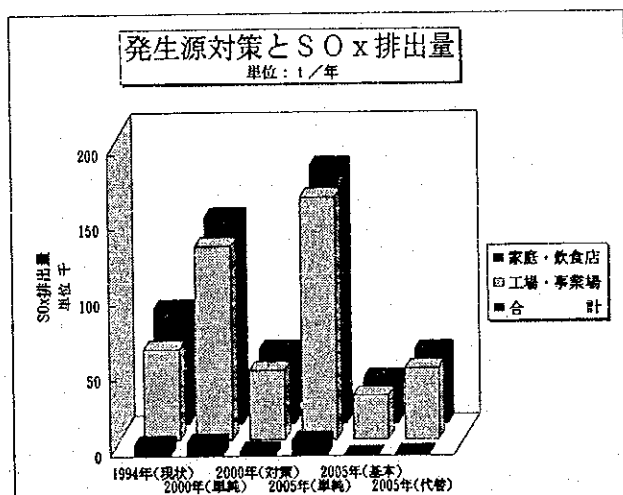


図 6.1 対策によるSOx排出量

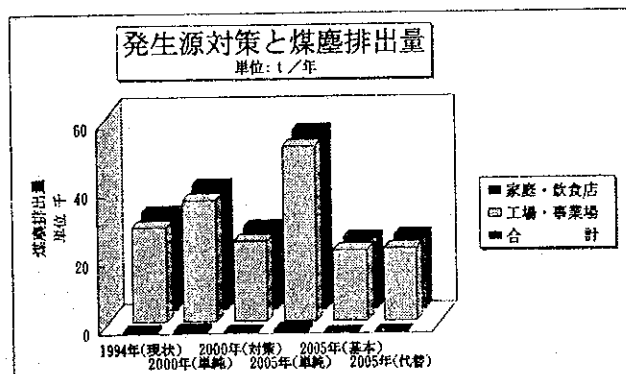


図 6.2 対策による煤塵排出量

② 対策による濃度予測と目標達成の見込み

対策による効果を大気拡散シミュレーションにより濃度を予測した結果は、以下の通りである。

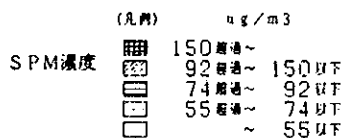
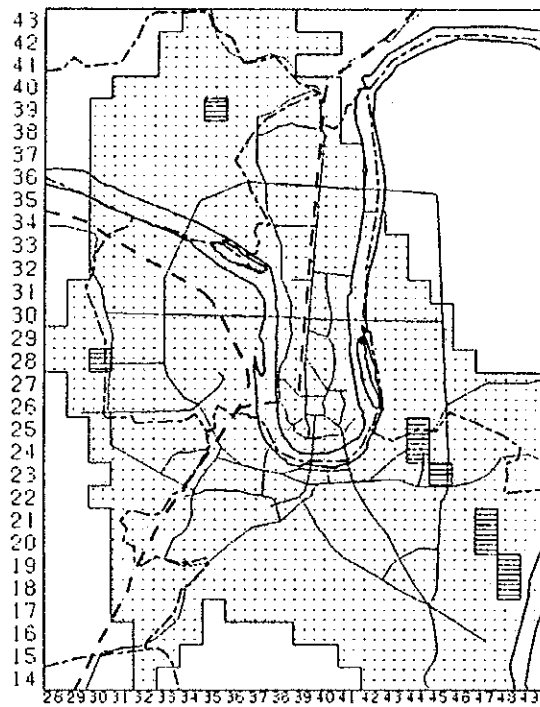
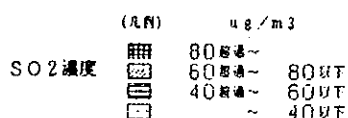
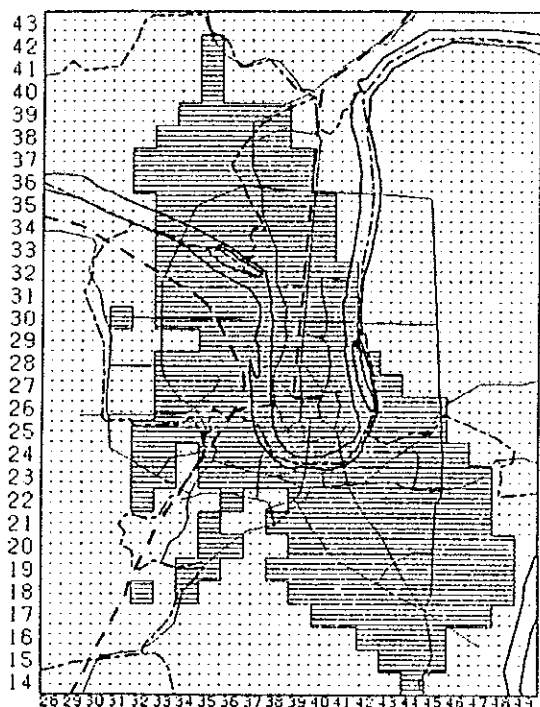


図 6.3 対策後の濃度 (SO₂:2005年, 基線) 図 6.4 対策後の濃度 (SPM:2005年, 基線)

2005年の基本対策案では、浮遊粒子状物質 (SPM) は 3 級基準を達成するに留まっているが、二酸化硫黄 (SO₂) は 2 級基準を達成できる。

表 6.5 二酸化硫黄 (SO₂) 目標達成見込み

		対策	達成見込み
将来	2000年	有	「現状より大幅な改善」達成
	2005年	基本案 代替案	2級基準目標 (60 μg/m ³) 達成 3級達成 (現状より大幅な改善)

表 6.6 浮遊粒子状物質 (SPM) 目標達成見込み

		対策	達成見込み
将来	2000年	有	「現状より改善」達成
	2005年	基本案 代替案	2級基準目標未達成、ただし 3級基準目標 (92 μg/m ³) 達成 3級基準目標 (92 μg/m ³) 達成

6.3 対策実施のための措置

柳州市の大気汚染防止計画を実行するためには、技術面（ハード面）の対策のみではなく、これら技術面の対策を効率よく進めるための制度面の整備ならびに各工場・事業場で対策技術を導入する際の動機付け、刺激策、資金面の支援など大気汚染管理面（ソフト面）での対策が不可欠である。

(1) 規制的手段

柳州市においては、硫黄酸化物に関しては現行の排出基準だけでは大気環境基準が達成されない可能性があるため、総量規制の完全実施、燃料使用基準の強化、公害防止協定などの規制的手段の実施が必要とされる。

(2) 経済的手段

経済的手段を有効に機能させるためには、汚染物質単位量当たりの排污費の強化、また対策設備費用に対する補助および税優遇制度、国・自治区レベルの環境基金のような財源の確保が必要とされる。

(3) 実施組織の強化

本調査で提案している大気汚染監視体制を実現するためには、現在の市環境保護局観測所の強化が不可欠となり、良く訓練された専任技術者の配置が必要となる。

また、一般の環境行政担当者あるいは発生源に配置されている公害防止管理責任者の教育・訓練は、その人数の大きさや地域特有の課題を扱う必要などから自治区、柳州市における機関で実施する必要がある。

養成内容の一例： 燃焼管理、発生源対策、大気汚染監視、大気汚染管理、人材登録

(4) 監視体制の強化

汚染発生源監視、環境大気監視いずれの監視体制においても、重要な目的は、大気汚染物質濃度を高い精度で測定・予測し、総量規制などの規制的手段や排出許可証を基にした経済的手段を有効に適用していくことであり、早急に柳州市における大気汚染監視技術・体制を強化・確立することが必要である。

また、発生源、大気環境情報などを管理するための支援システムの強化も必要である。

(5) 対策資金

対策のための資金については、日本政府の円借款による資金援助計画に加え、柳州市が独自に予算化を計画しており、2000年までに実施する緊急対策のための資金調達が目途が立っている。さらに、2005年の目標に向け追加対策として実施しなくてはならない対策資金については、2000年頃に大気環境基準の達成状況および対策計画の見直しを行い、必要に応じた行政府と工場側の対策資金の予算化が必要となる。

6.4 対策計画のまとめ

以上、検討を行った対策を、実施の緊急性、実施容易性などの観点から以下の様に短期・中期・長期に分けて纏めると、表 7.6に示すようになる。

計画期間

- ① 短期対策（2000年）：緊急に必要で、且つ実施可能な対策
- ② 中期対策（2005年）：2級基準達成を目標とする必要な対策
- ③ 長期対策（2005年以降）：基準を達成維持するための対策

表 6.7 対策内容と実施時期

対策種類	①2000年まで	②2005年まで	③2006年以降
非技術的対策	<ul style="list-style-type: none"> ・総量規制の実施 ・環境影響評価の実施 ・燃焼管理制度の確立 ・補助金、低利融資の適用 ・人材の教育、養成制度の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・優遇税制 ・環境税の創設 ・排污費の適用 ・環境汚染権市場の創設 ・公害防止協定の推進 ・監視体制の確立 ・燃料使用基準の確立 ・処理計画への行政指導 ・公害防止技術の相談 ・観測所の強化 ・研究所の業務拡大 ・工場立地条件の整備 	<ul style="list-style-type: none"> ・監視体制の強化
技術的対策	<ul style="list-style-type: none"> ・低硫黄炭への転換 ・都市ガス化の拡大 ・LPG利用の拡大 ・石油類の利用拡大 ・成型炭の導入 ・脱硫石膏の利用 ・発電所対策 ・鉄鋼工場対策 ・肥料工場対策 ・セメント工場対策 ・繊維工場対策 ・採石場対策 ・工場再配置の促進 	<ul style="list-style-type: none"> ・非鉄工場対策 ・窯業工場対策 ・洗炭法の導入 ・燃焼灰の利用 ・新鉱山の探査・開発 ・天然ガスの開発利用 ・油ガスによる増熱 ・道路の整備 	<ul style="list-style-type: none"> ・新産業の開発 ・鉄道の整備 ・港湾の整備 ・空港の整備 ・無鉛揮発油の利用拡大 ・原油精製量の拡大

おわりに

柳州市の大気汚染は、本調査によると二酸化硫黄、浮遊粒子状物質濃度の長時間濃度（年平均）だけではなく、短時間濃度（日平均値、1時間値）についても環境基準値の数倍の非常な高濃度が出現するなど相当に深刻であり、将来においても適切な対策が採られなければ更に深刻になることは容易に推察され、本調査においても現状の約1.5倍の濃度になると予測された。これに対し検討のうえ提案した対策を着実に実施し、また、その効果を測定網により継続監視して確認することにより、内陸型の重工業都市である本市においても、2000年に大気汚染の大幅な改善が為され、2005年には環境基準を達成することが出来るであろう。

本市では、本調査で提案した対策を市の酸性雨対策計画に取り込むと共に、調査の最終段階において市街地の事業場がらの燃料転換、一部の工場移転など、市の指導の下に具体的な対策を始めており、また第4次円借款および市独自の対策資金の準備も順調に進んでいることから、将来において大気汚染の改善が着実に為されることが見込まれる。

Ⅲ. 広域酸性降下物モニタリング調査

1. 調査概要

1.1 調査地点

広域酸性降下物モニタリング調査は、柳州市、桂林市、梧州市及び广州市の4都市を対象に、それぞれ5地点、5地点、2地点、4地点の延べ16地点で1994年7月より1年間実施した。

1.2 調査項目

調査項目は、湿性・乾性別に自動採取された試料のうち湿性降下物及び乾性降下物の可溶性成分についてはpH、導電率及び8種のイオン成分、また乾性降下物の不溶性成分については総重量を計量した。

1.3 調査方法

1.3.1 採取方法

酸性降下物は、湿性乾性分別式自動採取装置を用いて、降雨センサーの降雨判別により湿性・乾性別に採取した。降雨時は、降水量を測定すると同時に湿性降下物の1日分の試料を1サンプルボトルに入れ、採取装置内蔵の冷蔵庫で保存した。日降水量が30mmを超過した雨水は一週間分を別の貯水タンクに捕集し、同様に冷蔵保存した。これらの湿性試料は週1回の頻度で回収し、各市の環境監測（中心）站においてpH、導電率及びイオン成分を測定・分析した。また、非降雨時は、ダストジャー型採取容器に乾性降下物を採取し、月1回の頻度で回収し、測定・分析した。

1.3.2 分析方法

湿性及び乾性試料の可溶性成分については、試料回収後に分取し一部は濾過してイオンクロマトグラフによるイオン成分分析に、一部はpHや導電率の測定に用いた。また乾性試料の不溶性成分については、乾燥後に総重量を秤量した。なお、降水量の少ないときの湿性試料については、必要試料量の関係から、pH及び導電率のみを分析した。

2. 調査結果

2.1 データのスクリーニング

4都市で採取、分析した酸性降下物モニタリングのデータは、週報及び月報の形で整理された後、本格調査団に送付され、日中双方によるデータの確認が行われた。調査団側では、さらにデータの品質を確保するために「東アジア酸性雨モニタリング会議」の考え方に準拠して、イオンバランスの検討及び導電率の計算値と実測値の比較により、異常値の有無を確認し、データの信頼性を高めることに努めた。

(1) イオンバランスによる検討

全16測定地点における全陰イオン濃度と全陽イオン濃度の相関をみると、一部の測

定地点を除けばイオン間の相関関係は概ね良好であった。

(2) 導電率の計算値と実測値の関係

各測定地点における計算導電率値は、実測イオン濃度を用いて計算式より求めた。その結果、実測導電率と計算導電率の相関関係は、柳州市と广州市の一部の地点でバラツキがやや大きい以外は概ね良好な関係であった。

(3) スクリーニングの結果

「東アジア酸性雨モニタリング」会議において検討中のスクリーニング基準は、「試料中のイオン濃度に関して全陽イオンと全陰イオンの濃度比（C/A比）、及び実測導電率と計算導電率の比が0.8～1.2の範囲を外れるサンプルについては再検討すべきである」との考えが出されている。主要イオンの測定データが揃っているサンプルについて上記の基準を適用した場合、65%のサンプルがスクリーニングされた。この原因は、自動測定器の初期不良、未測定イオンの影響、導電率及びイオン濃度が低いことによる測定誤差、及び冬期の低温分析などによるものと考えられる。

表2.1 湿性降水物測定データの地点別状況(東アジア酸性雨対応基準案)

対象期間：1994年7月～1995年6月

測定地点	試料サンプル						オーパ-フロ-サンプル					
	合計	+	A	B	C	○ (%)	合計	+	A	B	C	○ (%)
合計	1636	418	558	235	150	592(36)	122	21	52	21	13	41(34)

(注) 1. + : イオン成分に欠測がある。
 A : $0.8 \leq \text{陽イオン}/\text{陰イオン} \leq 1.2$ の範囲を超えたサンプル。
 B : $0.8 \leq \text{計算導電率}/\text{実測導電率} \leq 1.2$ の範囲を超えたサンプル。
 C : AかつBであるケース。 ○ : A、B、C以外のサンプル。
 但し、A、B、C、○は、イオン成分が完備しているサンプルを対象とした。

前述の基準はデータを棄却するためのものではなく、データの精度管理及び精度保証のためのものである。本調査では、イオンバランス及び導電率バランスが大きく外れた、明らかに異常なサンプルを除去しつつも、広域酸性降水物モニタリングの主旨を外さない範囲中で有効測定データを確保する採用基準を表2.2のとおりを設定した。これにより異常サンプルの大部分を除去すると共に、有効なサンプルを確保することが期待できる。その結果、平均で65%の有効測定値を確保することができた。

表2.2 酸性降水物に係る測定データの採用基準

項目	採用基準
①イオンバランス基準	$0.5 \leq C/A \leq 2.0$
②導電率バランス基準	$0.5 \leq EC(\text{計算})/EC(\text{実測}) \leq 2.0$

(注) C/Aは、陽イオン/陰イオンの濃度比、
 EC(計算)/EC(実測)は、導電率の計算値/実測値の比を示す。

2.2 湿性降水物

(1) イオン濃度の調査結果

各調査地点のpH、導電率及び各種イオン濃度のサンプル平均値は、スクリーニング後のデータを用いて降水量による重み付平均値として算定した各項目の算定結果は、次

のとおりである。

表2.3 イオン濃度のナノグラム平均値（各市代表地点）

対象期間：1994年7月～1995年6月

測定地点	pH	pH	EC μS/cm	イオン濃度 (μeq/L)							
	最低値	平均値		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
② 第四人民病院	3.7	4.6	37	43.2	18.4	152.6	10.2	3.3	52.8	67.0	16.0
⑦ 龍隱路小学	3.4	4.4	29	20.2	14.8	92.5	10.8	4.7	38.3	27.4	4.6
⑪ 梧州市環境監測站	3.6	4.4	33	38.0	16.0	98.0	15.6	5.3	39.1	42.2	16.1
⑬ 广州市環境監測中心站	4.2	4.8	35	40.1	33.2	156.3	18.1	9.5	93.2	81.9	13.7

- (注) 1. pHはpH値、ECは導電率、Cl⁻は塩素イオン、NO₃⁻は硝酸イオン、SO₄²⁻は硫酸イオン、Na⁺はナトリウムイオン、K⁺はカリウムイオン、NH₄⁺はアンモニウムイオン、Ca²⁺はカルシウムイオン、Mg²⁺はマグネシウムイオンを示す。
2. pH最低値は日平均最低値で、その他はナノグラム平均値である。

① pH

ナノグラム平均値では、最も高い桂林市気象台が5.2で、最も低い柳州市環境監測站が4.2であった。都市間の比較では柳州市が比較的低い。pHの都市別最低値は、桂林市が3.4、柳州市が3.5、梧州市が3.6、广州市が3.7であった。

② 導電率(EC)

高いほうから柳州市環境監測站(63μS/cm)、魚峰区人民政府(56μS/cm)、柳州市河西浄水場(51μS/cm)と番禺市環境監測站(47μS/cm)等であった。

③ 陰イオン

最も濃度の高い陰イオンは全ての地点で硫酸イオン(SO₄²⁻)であるが、柳州市が最も高く次いで广州市、桂林市、梧州市の順である。硝酸イオン(NO₃⁻)は明らかに广州市の測定局が高い。

④ 陽イオン

陽イオンでは、アンモニウムイオン(NH₄⁺)が最も高くなっているが、一部に、カルシウムイオン(Ca²⁺)の方が高い測定局も見受けられる。アンモニウムイオンとカルシウムイオンの高い都市は柳州市と广州市である。ナトリウムイオン(Na⁺)は柳州市と广州市で比較的高い。

これらの結果から見て、陰イオンの主要成分は硫酸イオンであり、そのカウンターイオン陽イオンでは、アンモニウムイオンとカルシウムイオンが主要なものである。

(2) イオン降下量の調査結果

地点別イオン降下量についての4市共通の特徴は、他の成分に比べSO₄²⁻の降下量が圧倒的に多いことである。都市別にみると、广州市ではNO₃⁻も多く陰イオンの降下量が多いにも関わらず、pHがそれほど高くないのはカウンターイオンの降下量が多く、両者がバランスしているためと考えられる。

測定地点中、最大のH⁺降下量を示しているのは、柳州市監測站の86(meq/m²/年)であり、次いで桂林市龍隱路小学の72(meq/m²/年)、梧州市監測站の66(meq/m²/年)等となっている。陰イオンの大部分は硫酸イオンであり、最大降下量は柳州市魚峰区人民

政府の350(meq/m²/年)である。陽イオンはアンモニウムイオンとカルシウムイオンが主であり、その大小は地点によって異なる。

表2.4 イオン降下量の年間値(湿性降下物:各代表地点) 測定期間:1994年7月~1995年6月

測定地点	降水量 (mm)	イオン降下量 (meq/m ² /年)								
		H ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
②第四人民病院	1285.5	35	56	24	197	13	4	68	86	21
⑦龍隱路小学	1998.5	72	40	30	185	22	9	77	55	9
⑪梧州市環境監測站	1647.0	66	63	26	162	26	9	64	69	27
⑬广州市環境監測中心站	1374.5	23	55	46	215	25	13	128	113	19

2.3 乾性降下物

(1) データ・スクリーニング

乾性降下物についても湿性降下物と同様のスクリーニング基準を設けてチェックした。その結果、77%のデータを確保できた。

(2) 乾性降下物の調査結果

乾性降下物については、世界的に見ても、その測定分析方法が議論されているところであり、まだ、確立された方法はない。今回の調査では日本で従来使われてきた代理表面法を採用しているが、さらに前述した停電故障等の状況も考慮してデータを扱う必要がある。乾性降下物の年間合計値は、湿性降下物と同様に硫酸イオン、カルシウムイオンの割合が多いものとなっている。

表2.5 可溶性イオン降下量の年間値(乾性降下物:各代表地点) 測定期間:1994年7月~1995年6月

測定地点	重量 (mg)	可溶性成分降下量 (meq/m ² /年)								
		H ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
②第四人民病院	1530.9	0.021	3	3	116	2	2	8	105	19
⑦龍隱路小学	725.6	0.278	2	3	52	2	2	8	52	5
⑪梧州市環境監測站	573.6	0.138	1	2	70	2	2	5	67	6
⑬广州市環境監測中心站	1495.4	0.006	10	11	82	5	4	4	146	7

3. 技術移転

本調査は、广西壮族自治区の柳州市、桂林市、梧州市及び广东省の广州市を含む2省4市の広域にわたっているため、同一手法による精度の高い採取・分析が当初より求められている。本格調査団では、調査の準備段階から装置の設置、試料の採取及び分析についてカウンターパートに技術移転を行うとともに、調査期間中、合計7回にわたる現地巡回により試料の採取と分析及びそれに係るデータの品質管理について技術移転を行った。

これにより、各市では酸性降下物の採取・分析技術に加えて、データスクリーニングによる精度管理を行うことにより、国際的に評価されるデータを提供できるモニタリング体制が確立されたと考えられる。今後、このモニタリング体制を継続していくことによって、中国における酸性降下物モニタリングネットワークの核になることが期待される。

目 次

I. 調査の概要	
はじめに	I - 1
1. 調査の目的	I - 1
2. 調査の内容	I - 2
2.1 柳州市大気汚染総合対策計画調査	I - 4
2.2 広域酸性降下物モニタリング調査	I - 5
3. 調査体制	I - 6
3.1 日本側	I - 6
3.2 中国側	I - 7
4. 調査実施工程	I - 8
II. 柳州市大気汚染総合対策計画調査	
1. 調査地域の概要	II - 1
1.1 自然環境	II - 1
1.2 社会環境	II - 2
2. 気象	II - 21
2.1 既存資料による現況	II - 21
2.2 地上気象	II - 24
2.3 上層気象	II - 40
3. 大気質濃度	II - 50
3.1 既存資料による現況	II - 50
3.2 大気質濃度	II - 52
3.3 補足調査	II - 76
4. 発生源の現状	II - 81
4.1 工場・事業場	II - 81
4.2 自動車	II - 103
4.3 民生	II - 107
4.4 排出量のまとめ	II - 110
5. 大気汚染構造の解析	II - 112
5.1 長期平均濃度シミュレーション	II - 112
5.2 短時間高濃度シミュレーション	II - 134
5.3 大気汚染の構造	II - 137
6. 将来濃度予測と汚染物質排出量の削減の必要性	II - 142
6.1 予測条件と汚染物質排出量	II - 142
6.2 将来環境濃度予測	II - 148
6.3 環境目標値の設定	II - 156
6.4 削減目標量の推計	II - 160
7. 大気汚染総合対策計画	II - 169
7.1 基本方針	II - 169
7.2 対策の現状	II - 176
7.3 大気汚染物質の削減技術	II - 179
7.4 実施可能な対策案の選定	II - 190
7.5 対策効果	II - 204
7.6 対策費用	II - 213
7.7 追加対策	II - 219
7.8 対策実施のための措置	II - 228
7.9 総合対策計画	II - 238
III. 広域酸性降下物モニタリング調査	
1. 調査概要	III - 1
2. 調査結果	III - 5
2.1 データのスクリーニング	III - 5
2.2 湿性降下物	III - 12
2.3 乾性降下物	III - 16

I. 調査の概要

はじめに

广西壮族自治区の柳州市（人口162万人、面積5,283Km²）は、中国南部の主要な工業都市で、現在急激な産業発展をしており、今後の高い経済成長が見込まれている。しかしながら、他方では硫黄分の多い低質な石炭が主要燃料であることや内陸盆地気候による汚染物質の拡散に不利な気象条件などが相乗して、非常に深刻な硫黄酸化物汚染を被っているため、大気汚染の防止と改善を目的とした実現可能で総合的大気汚染対策計画を策定、実施することが急がれている。

また、柳州市を含め近接する桂林市、梧州市、廣州市では、硫酸イオンによると思われる降水の酸性化が進行しており、その実態について現地調査により把握することが必要である。

このような経緯の下、中国政府は、柳州市の大気汚染状況に関する測定調査と解明、実行可能な総合大気汚染対策計画の立案と実施計画の策定を、更に酸性降下物については、柳州市を含む4市での測定分析による実態把握を、同時に関連する技術の移転も含めて、政府間の技術協力を日本国政府に要請した。

日本国政府は、本件を国際協力事業団（JICA）の開発調査として実施するため、1991年11月と1992年11月にプロジェクト形成調査、1993年4月に事前調査を実施し、その結果、両国において合意した業務範囲のもとに本格調査を実施する運びとなった。

国際協力事業団は1993年11月より第1次現地調査として本格調査団を中国へ派遣し、調査内容、中国便宜供与および資機材の設置調整等の準備について着手報告書を基に説明協議を行った。

第2次現地調査は1994年5月より、中国側カウンターパートと共に大気質濃度・気象調査などの環境大気の測定分析、排ガス測定・交通量調査などの発生源調査、酸性降下物の採取分析などの調査を開始し、また発生源対策および社会組織制度などに関する資料調査を行うことにより大気環境・発生源・社会経済・対策などの現状を把握した。

その後、1995年10月までに夏期に引き続いて秋期・冬期・春期の現地調査を実施し、その結果を基に、将来濃度の予測、必要削減量の算定、発生源対策などの検討を行い、これらを総合対策計画として取り纏めた。本報告書はこれらの調査解析結果を記載したものであり、又、本報告書を補佐する資料編、データ編を作成した。

1. 調査の目的

本調査は、環境大気および発生源などの現地調査と解析により柳州市の大気汚染構造を明らかにし、2005年を目標とした実施可能で、かつ具体的な大気汚染対策と実施計画をまとめた大気汚染総合対策計画を作成することを目的とする。

また、柳州市を含む4市を対象とした広域酸性降下物モニタリング調査では、複数地点で同一のサンプリング手法と分析機器によるモニタリング調査によって、同地域の酸性降下物の実態を把握する。

2. 調査の内容

本調査は、广西壮族自治区の柳州市（図 2.1.1）を対象とした「柳州市大気汚染総合対策調査」および同自治区内の柳州市、桂林市、梧州市、及び广东省广州市の4市（図 2.1.2）を対象とした「広域酸性降下物モニタリング調査」からなる。

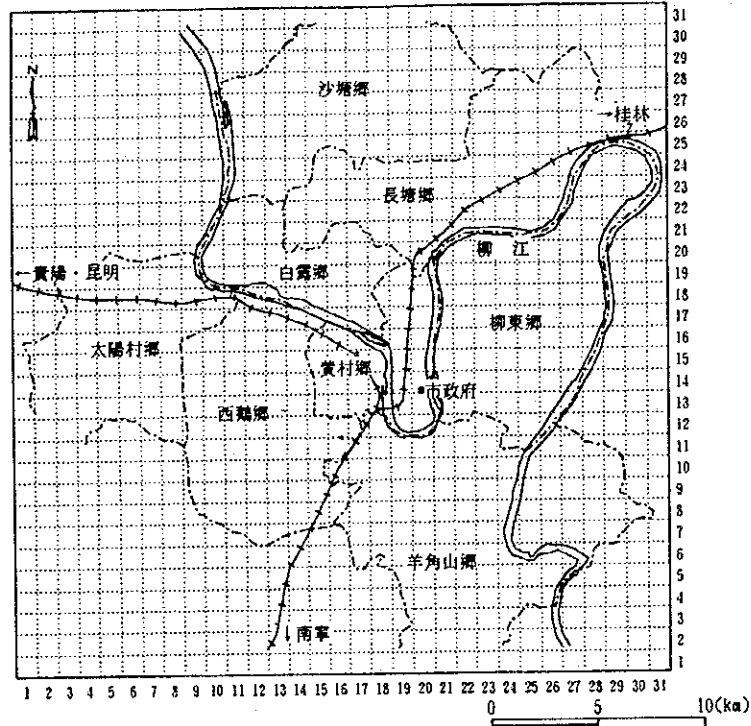


図 2.1.1 柳州市調査対象地域

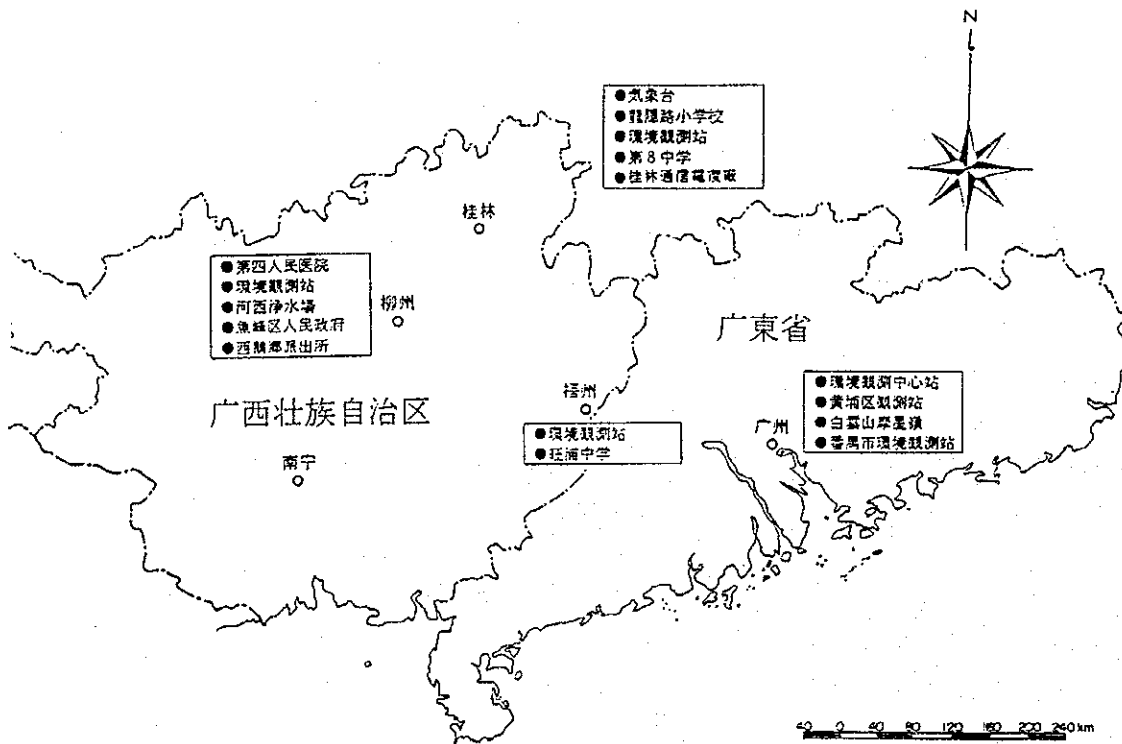


図 2.1.2 広域酸性降下物モニタリング調査対象地域

柳州市大気汚染総合対策計画調査は、図 2.1.3 に示すように基礎調査、解析調査、対策立案調査から成り、大気汚染防止、改善のための大気汚染総合対策計画を作成し提示する。

また広域酸性降下物モニタリング調査は、基礎調査、解析調査から成り、調査結果を報告する。

〔基礎調査〕

- ・ 既存資料、データの収集、整理
- ・ 計測機器の設置調整

酸性降下物	気象	大気質	発生源
・ 広域酸性降下物モニタリング調査	・ 地上気象	・ 大気汚染調査	・ 工場排ガス燃料効率測定調査
・ 湿性降下物	・ 上層気象	・ 常時測定	・ 工場等アンケート調査
・ 乾性降下物		・ 補足測定	・ 燃料成分分析等調査
		・ 分析	・ 自動車交通量調査

〔解析調査〕

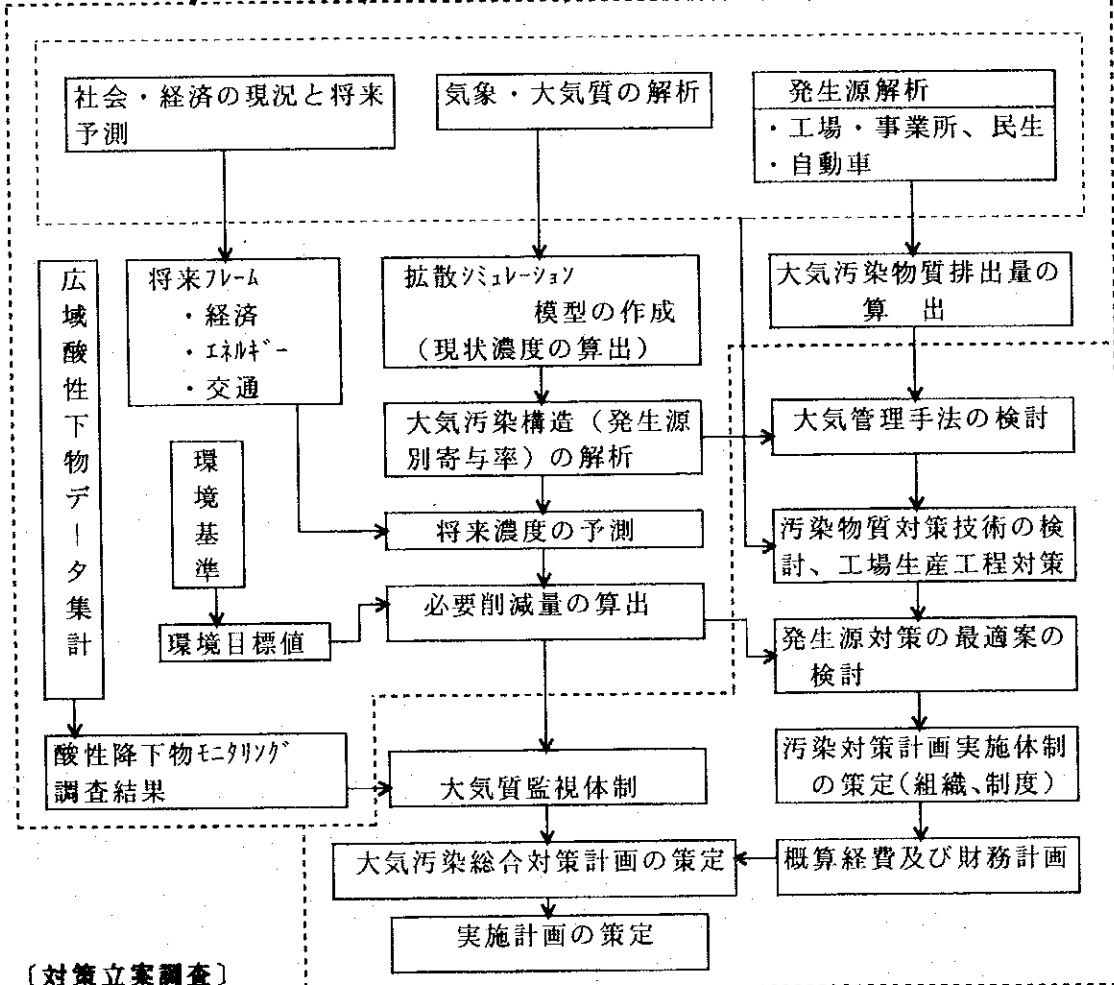


図 2.1.3 調査の概要

2.1 柳州市大気汚染総合対策計画調査

(1) 基礎調査

柳州市において、環境大気調査および大気汚染に係わる発生源調査を行うことにより、地域の大気汚染の実態を把握し、併せて社会経済等情報を収集する。

a. 既存資料の収集・整理

- ・大気汚染に密接に関連する社会, 経済指標
- ・大気質濃度資料
- ・エネルギー需給動向
- ・大気汚染発生源資料
- ・気象資料
- ・大気汚染に関連する組織、制度

b. 調査用資機材の設置・調整の実施、及び維持管理

c. 環境大気、発生源調査

- ・地上気象測定
- ・工場、事業場排出ガス測定等調査
- ・上層気象観測
- ・自動車交通量路側調査
- ・環境大気質測定分析
- ・燃料成分分析

(2) 解析調査

現地調査データおよび既存資料を用いて、環境大気解析、発生源解析、拡散シミュレーション解析を行うことにより柳州市の大気汚染機構を解明すると共に、将来予測した大気質濃度を望ましい濃度レベル（目標値）まで低減させるに必要な削減量を算定する。

- ・既存資料の整理, 分析
- ・拡散シミュレーション模型の作成
- ・社会, 経済の現況把握
- ・大気汚染機構の解析
- ・気象, 大気質の現況解析
- ・将来大気質濃度の予測と必要削減量の算出
- ・発生源の現況と将来推計

(3) 対策立案調査

現況の大気汚染実態、目標値、必要削減負荷量、基本的対策計画、大気質及び発生源監視体制などに関して、中国側との協議の結果に基づき、大気汚染総合対策計画を立案し提出する。

- ・大気汚染物質削減方法の検討
- ・経費の積算の検討
- ・発生源対策方法の選定
- ・実施体制の検討
- ・大気質管理手法の検討
- ・実施計画の検討
- ・監視体制の検討
- ・大気汚染総合対策計画の立案

2.2 広域酸性降下物モニタリング調査

(1) 基礎調査

- a. 既存資料の収集・整理
 - ・酸性降下物に関する調査資料
 - ・測定、分析、Data処理方法に関する資料
- b. 調査用資機材の設置及び稼働状況の確認・保守
- c. モニタリング結果の収集・整理

(2) 解析調査

- ・収集資料の解析
- ・モニタリングに関する問題点のとりまとめ
- ・モニタリング結果の整理・集計

報告書

着手報告書の提出以後、調査の各段階で作成し提出する報告書は以下のとおりである。

- ・現地報告書(1)、現地報告書(2)
- ・中間報告書(1)、中間報告書(2)
- ・最終報告書(案)
基礎調査、解析調査、対策調査の結果を内容とし、最終的に作成した大気汚染総合対策の詳細計画を含む本調査の全ての結果を記述する。
- ・最終報告書
最終報告書(案)を、中国側に提出・説明後、協議結果に基づいて必要な修正を行い中国側へ提出する。

3. 調査体制

3. 1 日本側

日本側の本格調査団は、表3.1.1 に示す 17名の各専門家で構成されている。また、作業監理委員会は、表3.1.2 に示す 3名の委員で構成されている。

表 3.1.1 調査団の名称と担当分野

氏名	担 当
杉田 善和	総 括
野田 典宏	副総括／大気保全計画
藤川 政徳	環境大気測定（環境大気／機器計画）
小笠原康治	環境大気測定（気 象／環境大気）
井上 幾雄	酸性降下物測定／分析
岸野 博	発生源測定（排出ガス）
遠藤 洋一	発生源測定（熱効率）
加来 秀典	環境大気解析／環境目標策定／大気予測支援システム
宮川 亮	発生源解析／負荷量削減効果予測
安楽岡 顕	汚染機構解析／酸性降下物監視計画
松田 尚	社会・経済／産業動向
平沢 信三	大気汚染対策技術
森 章二郎	設備計画（生産工程・設備）
藤谷 義	設備計画（処理設備）
栗原 努	監視体制／組織・制度
李 健	通 訳
前田 浩之	業 務 調 整

表 3.1.2 作業監理委員会

氏名	担 当
関 莊一郎	委員長（総括／大気保全計画／移動発生源対策） 環境庁水質保全局水質管理課課長補佐 前大気保全局大気規制課課長補佐
中村 貢	委員（大気質監視計画） 横浜市環境保全局公害対策部長
宮寺 達雄	委員（固定発生源対策） 資源環境技術総合研究所熱energy利用技術部 燃烧工学研究室長

3. 2 中国側

(1) カウンターパート

中国側のカウンターパートは、表3.2.1 に示すとおり、国家科学技術委員会、中国国際科学中心、柳州市環境保護管理局、及び酸性降下物調査関連3市の各機関や専門家から構成されている。

表 3.2.1 中国側カウンターパート（中方対口専門家名単）

姓名	領域	担当職責
白先宏	総負責	負責全部調査工作
文劍平 梁效成	第二負責人	負責柳州大氣汚染綜合規画調査
韓進幹 王榮輝	社会、經濟、産業 ／開發計画	社会經濟現狀、城市計画
徐大海 陳学明	氣象觀測	上層氣象觀測及地面氣象觀測
王榮輝 鄭雄	環境大氣測定	連続自動測定
丁永福 王榮輝 高祖玉 鄭雄 覃浩浩 畢銘民 蔡華芳 陳東方 李維宇 庄家旺	酸性沈降物調査	樣品採集、測定分析
陳錦鋼 梁定權	發生源調査	工業排氣測定、燃燒効率他
趙德山 王榮輝 徐大海	大氣汚染構成分析	大氣拡散模擬、解析
陶顯亮 陳学明 趙德山	大氣汚染削減対策	固定發生源、移動發生源
魯純 鄭雄 丁永福	分析	化学分析
文劍平 梁效成 張雲生 梁定權	大氣汚染綜合対策	大氣汚染計画、組織制度

(2) 連絡会議

大氣汚染対策をより実行可能なものにするために、下記機関で構成される連絡会議を設立し、本調査の内容について検討を行った。

構成機関：国家科学技術委員会、国家環境保護局、電力工業部、煤炭工業部、
化学工業部、冶金工業部、氣象局、柳州市及び广西壮族自治区の関係機関

4. 調査実施工程

図 4.1.1 に調査全体の実施工程を示す。調査期間は 1993年11月から 1995年12月であり、現地調査および解析作業は予定通りに終了した。本報告書は、その結果を取りまとめたものである。

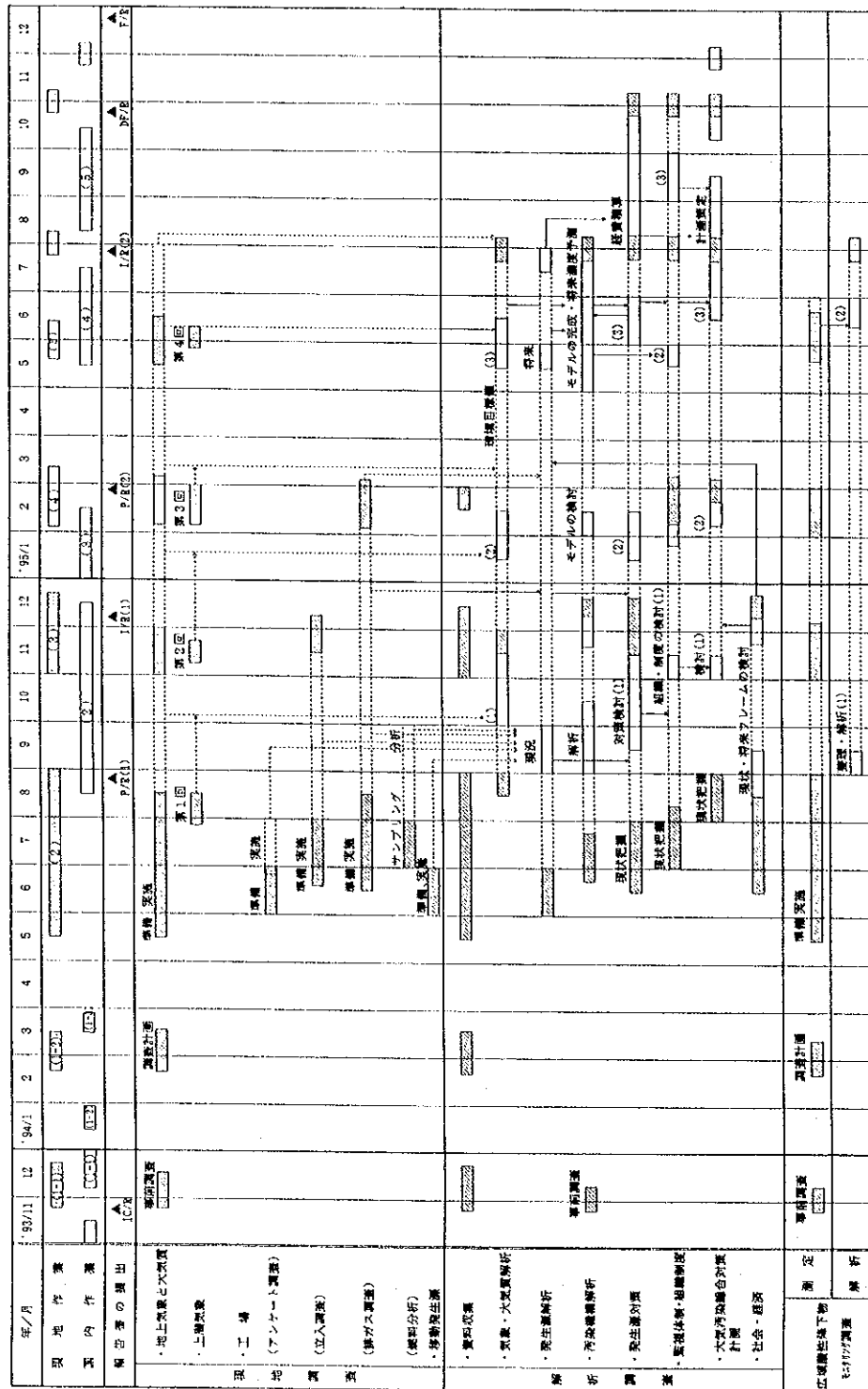


図 4.1.1 調査実施工程

Ⅲ。柳州市大氣污染綜合對策計畫調查



II 柳州市大気汚染総合対策計画調査

1. 調査地域の概要

1.1 自然環境

柳州市は广西壮族自治区の内陸中央に位置し、その中心である市区の地形は図 1.1.1 に示すように約10キロ四方の平野部からなる内陸盆地であり、区内は約 500m川幅の柳江が市街地を分断して U字型に流れており、その下流は東方で再び南方へ流れ下っている。

市平野部は、南西方面を除く周辺が石灰岩からなる岩峰に囲まれており、その高さは100mから 200m程度である。また、平野部は市街地から西方へ数Km展開しており、さらに南西方向へ大きく開けている。なお、市の南部の工場は群在する孤峰の間に立地しており、そのため工場からの排煙拡散がこれらの複雑な地形によって影響されている。

気候区分は亜熱帯気候に属しており、年平均気温は 20.4度と高く、夏は高温多湿、冬は乾燥少雨である。季節風は秋冬は北風、春夏は南風で、いずれも工場が市街地の風上となっており、また年平均風速が 1.1m/sから1.9m/sと弱く、さらに秋から冬に発達し易い接地逆転の出現と相まって大気汚染助長の大きな原因となっている。

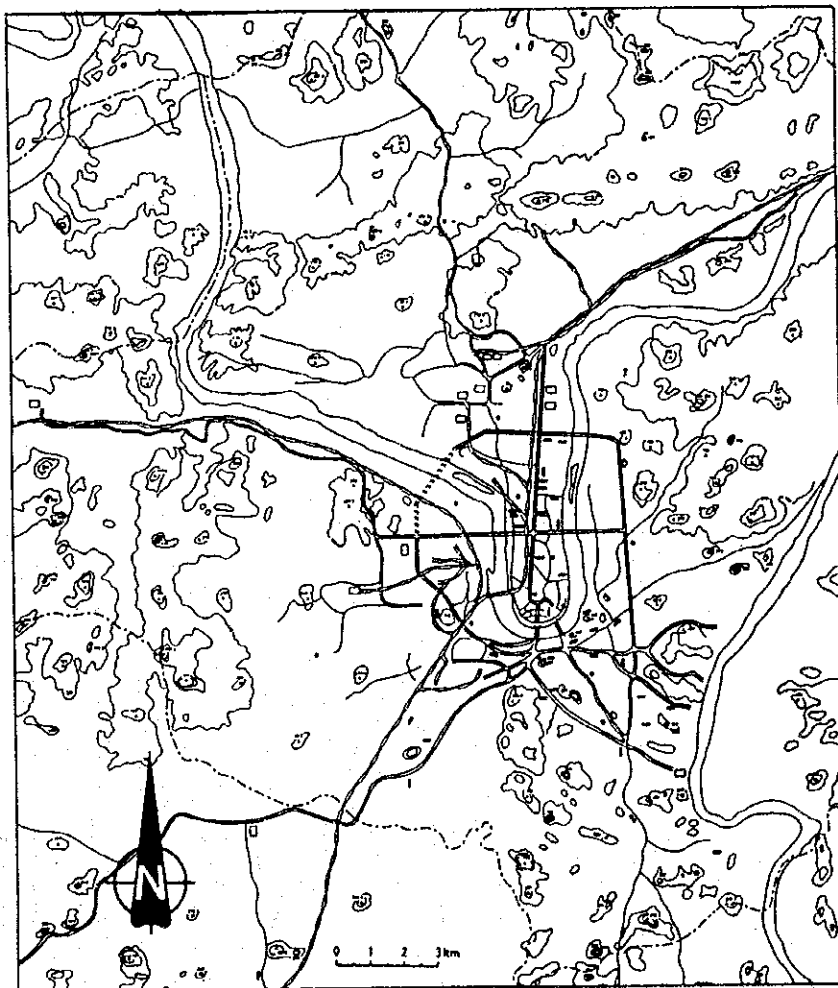


図 1.1.1 柳州市地形