

シンガポール共和国石炭火力発電所
及び一貫製鉄所設立に係る環境への影響
調査報告書
(粒子状物質)

1985年11月

国際協力事業団

鉱計工

85-137

シンガポール共和国石炭火力発電所
及び一貫製鉄所設立に係る環境への影響
調査報告書
(粒子状物質)

JICA LIBRARY



1030617[3]

1985年11月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '86. 5. 29	119
登録No. 12711	64.3
	MPI

序 文

日本国政府は、シンガポール共和国政府の要請に基づき、同国における石炭火力発電所及び一貫製鉄所の設立に係る環境影響調査を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は昭和55年から水質調査、大気調査を行い、その結果をそれぞれの報告書にとりまとめ「シ」国に提出した。さらに「シ」国の要請により粉じん調査を実施することとなり、昭和58年から同59年まで、4回に亘り稲垣喜八氏を団長とする調査団を派遣し、同国の関係機関との協議、観測地点における測定データの収集、発生源資料の収集等を行った。帰国後これらのデータ、資料の解析、化学分析、数値計算等を行い粉じんの汚染予測を行った。

本報告書はこれらの結果をとりまとめたものであり、シンガポール共和国において将来の環境アセスメント調査並びに公害防止対策に対し指針となれば幸いである。

終りに、調査に対し多大の御協力をいただいた（シンガポール共和国政府、在シンガポール共和国日本大使館、外務省及び通商産業省）の関係各位に対し、衷心より感謝の意を表するものである。

昭和60年11月

国 際 協 力 事 業 団

総 裁 有 田 圭 輔

目 次

要 約 及 び 結 論

< I > 調査の概要	1
< II > 現地調査結果の要約	7
1. 短期現地調査	9
2. 長期現地調査	18
< III > 粒子状物質環境濃度シミュレーション結果の要約	29
1. 石炭火力発電所及び一貫製鉄所のばいじん排出量	29
2. シミュレーション結果	30
3. 現状における粒子状物質発生源類型別寄与率	36

第Ⅰ編 序 論	I - 1
第1章 調査の経緯と目的	I - 1
1.1 調査の経緯	I - 1
1.2 調査の目的	I - 1
第2章 調査の実施概要	I - 3
2.1 調査対象地域	I - 4
2.2 調査期間	I - 6
2.3 調査項目と調査方法の概要	I - 6
2.3.1 現地調査	I - 6
2.3.2 現地調査データの解析	I - 8
2.3.3 発生源データの将来想定	I - 9
2.3.4 粒子状物質予測シミュレーション	I - 9
2.4 調査の組織	I - 10
2.5 調査経過	I - 11
第Ⅱ編 粒子状物質に関する基礎知識	Ⅱ - 1
第1章 粒子状物質の基礎特性	Ⅱ - 1
1.1 粒子状物質の定義と分類	Ⅱ - 1
1.2 粒子状物質の物理的特性	Ⅱ - 4
1.2.1 粒 径	Ⅱ - 5
1.2.2 粒子の密度	Ⅱ - 5
1.2.3 粒子の形状	Ⅱ - 5
1.2.4 大気中での粒径分布	Ⅱ - 5
1.3 粒子状物質の化学的組成	Ⅱ - 6
第2章 粒子状物質の生成と除去機構	Ⅱ - 9
2.1 地球規模での粒子状物質発生量	Ⅱ - 9
2.2 粒子状物質の生成機構	Ⅱ - 10
2.2.1 一次粒子 - 自然発生源	Ⅱ - 10
2.2.2 一次粒子 - 人為発生源	Ⅱ - 11
2.2.3 二次粒子	Ⅱ - 13
2.3 粒子状物質の除去機構	Ⅱ - 15
2.3.1 凝集による除去	Ⅱ - 16

2.3.2	沈降及び地表面への沈着による除去	II - 16
2.3.3	降水による粒子状物質の除去	II - 19
2.3.4	海上での粒子状物質の消滅	II - 21
2.4	粒子状物質の滞留時間	II - 21
第3章	粒子状物質の測定法と環境基準	II - 22
3.1	粒子状物質の測定法	II - 22
3.1.1	測定法の分類	II - 22
3.1.2	測定法の動向	II - 26
3.2	粒子状物質の環境基準	II - 28
第4章	粒子状物質の発生源寄与率推定法	II - 33
4.1	発生源モデルと粒子状物質への応用の問題点	II - 33
4.2	リセプターモデル	II - 34
4.2.1	顕微鏡による形態観察法	II - 35
4.2.2	物理的解析法	II - 35
4.2.3	化学的解析法	II - 35
文 献		II - 38
第Ⅲ編	現 地 調 査	III - 1
第1章	測定点の設置	III - 1
1.1	測定点設置位置	III - 1
1.2	測定点における測定項目	III - 3
1.3	測定点の概要	III - 4
1.3.1	MP1 Jurong Town Hall	III - 4
1.3.2	MP2 National University of Singapore	III - 8
1.3.3	MP3 Bukit Merah Flatted Factory	III - 11
1.3.4	MP4 Boon Lay Apartment	III - 13
1.3.5	MP5 Jurong Hill Top	III - 15
1.3.6	MP6 Nanyang Technological Institute	III - 17
1.3.7	MP7 Bukit Panjang Police Post	III - 20
1.3.8	MP8 Lim Chu Kang Marine Police Post	III - 23
1.3.9	MP9 Kranji Sewage Treatment Plant	III - 25
1.3.10	MP10 Seletar Reservoir Water Pumping Station	III - 27

1.3.11	MP11	Chong Pang Police Post	Ⅲ - 29
1.3.12	MP12	National Institute of Commerce	Ⅲ - 31
1.3.13	MP13	Macrichie Reservoir Water Pumping Station	Ⅲ - 33
1.3.14	MP14	Kallang Flatted Factory	Ⅲ - 35
1.3.15	MP15	East Coast Swimming Lagoon	Ⅲ - 37
1.3.16	MP16	Ang Mo Kio Flatted Factory	Ⅲ - 40
1.3.17	MP17	Paya Lebar Police Station	Ⅲ - 42
1.3.18	MP18	Changi Community Center	Ⅲ - 44
1.3.19	MP19	Bedok Flatted Factory	Ⅲ - 46
1.3.20	MP20	Singapore Offshore Petroleum Services	Ⅲ - 48
第2章		測定機器の取り扱い等に関する教育・訓練	Ⅲ - 51
2.1		短期現地調査に係る教育・訓練	Ⅲ - 51
2.2		長期現地調査に係る教育・訓練	Ⅲ - 54
第3章		短期現地調査	Ⅲ - 56
3.1		野外実測調査の概要	Ⅲ - 56
3.2		ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPMの測定	Ⅲ - 68
3.2.1		使用機器とその操作法	Ⅲ - 68
3.2.2		TPM, SPM濃度の計算	Ⅲ - 79
3.2.3		TPM, SPM測定結果	Ⅲ - 88
3.3		アンダーセンサンプラーによるTPMの粒径分布測定	Ⅲ - 93
3.3.1		使用機器とその操作法	Ⅲ - 93
3.3.2		TPM粒径別濃度の計算	Ⅲ - 102
3.3.3		粒径分布測定結果	Ⅲ - 109
第4章		長期現地調査	Ⅲ - 114
4.1		β 線粉じん計によるSPMの測定	Ⅲ - 115
4.1.1		β 線粉じん計	Ⅲ - 115
4.1.2		測定結果	Ⅲ - 123
4.2		SO ₂ , 風向風速, 日射量, 放射収支量, 気温の測定	Ⅲ - 125
4.2.1		使用機器	Ⅲ - 125
4.2.2		保守点検	Ⅲ - 129
4.2.3		測定結果	Ⅲ - 133
第5章		粒子状物質中の化学成分の分析	Ⅲ - 144
5.1		放射化分析による金属元素等の分析	Ⅲ - 145

5.1.1	測定原理	Ⅲ - 145
5.1.2	分析方法	Ⅲ - 146
5.1.3	大気標準試料の分析	Ⅲ - 152
5.1.4	定量限界及びフィルターブランク	Ⅲ - 153
5.1.5	金属元素等の計算方法	Ⅲ - 154
5.1.6	ガンマ線スペクトル	Ⅲ - 156
5.1.7	測定結果	Ⅲ - 158
5.2	ケイ光X線分析による金属元素等の分析	Ⅲ - 161
5.2.1	測定原理	Ⅲ - 161
5.2.2	分析方法	Ⅲ - 161
5.2.3	定量限界	Ⅲ - 166
5.2.4	金属元素等の濃度の計算方法	Ⅲ - 166
5.2.5	ケイ光X線スペクトル	Ⅲ - 167
5.2.6	測定結果	Ⅲ - 167
5.3	イオンクロマト分析による陰イオンの分析	Ⅲ - 168
5.3.1	測定原理	Ⅲ - 168
5.3.2	分析方法	Ⅲ - 168
5.3.3	定量限界及びろ紙のブランク値	Ⅲ - 170
5.3.4	陰イオン濃度の計算方法	Ⅲ - 171
5.3.5	イオンクロマトグラム	Ⅲ - 172
5.3.6	測定結果	Ⅲ - 172
5.4	示差熱分析法による全炭素，不揮発性炭素の分析	Ⅲ - 173
5.4.1	測定原理	Ⅲ - 173
5.4.2	分析方法	Ⅲ - 174
5.4.3	定量限界及びろ紙のブランク値	Ⅲ - 176
5.4.4	炭素濃度の計算方法	Ⅲ - 176
5.4.5	測定結果	Ⅲ - 177
5.5	放射化分析，ケイ光X線分析，イオンクロマト分析，示差熱分析による 土壌中の金属元素，陰イオン，炭素の分析	Ⅲ - 179
第Ⅳ編 発生源		Ⅳ - 1
第1章 粒子状物質排出量の推定		Ⅳ - 1
1.1 石炭火力発電所		Ⅳ - 1

1.1.1 Pulau Seraya発電所	IV-1
1.1.2 Pulau Tekong発電所	IV-1
1.2 一貫製鉄所	IV-2
1.2.1 Grate Kiln	IV-2
1.2.2 Reheating Furnace	IV-2
1.2.3 Electric Arc Furnace	IV-2
第2章 ばいじんの粒径分布	IV-4
2.1 発電所ボイラー（石炭ボイラー）	IV-5
2.2 グレイトキルン	IV-6
2.3 加熱炉	IV-6
2.4 電気炉	IV-7
2.5 粒径別ばいじん排出量	IV-7
第V編 データ解析	V-1
第1章 長期現地調査データの解析	V-1
1.1 気象データの解析	V-1
1.1.1 期・時間帯区分	V-1
1.1.2 平均風速	V-2
1.1.3 風速ランク別出現頻度	V-6
1.1.4 風配図	V-8
1.1.5 各測定点間の風向風速ベクトル相関係数	V-16
1.1.6 ベクトル相関係数に基づくクラスター分析	V-17
1.1.7 ベクトル相関係数に基づく主成分分析	V-18
1.1.8 大気安定度	V-22
1.1.9 気温の鉛直分布	V-24
1.2 SO ₂ 濃度の解析	V-26
1.2.1 SO ₂ 濃度の月別変化	V-26
1.2.2 SO ₂ 濃度の時刻別変化	V-26
1.2.3 SO ₂ 濃度の累積頻度分布	V-29
1.2.4 SO ₂ 濃度の風向別風速ランク別平均濃度	V-33
1.3 β線粉じん計によるSPM濃度の解析	V-36
1.3.1 β線粉じん計によるSPM濃度の月別変化	V-36
1.3.2 β線粉じん計によるSPM濃度の時刻化変化	V-36

1.3.3	β 線粉じん計によるSPM濃度の週日週末変化	V-38
1.3.4	β 線粉じん計によるSPM濃度の累積頻度分布	V-39
1.3.5	β 線粉じん計によるSPM濃度の風向別風速ランク別平均濃度	V-41
1.3.6	β 線粉じん計によるSPM濃度の風速ランク別 大気安定度別平均濃度	V-43
1.3.7	β 線粉じん計によるSPM濃度の地点間の相関	V-45
1.3.8	β 線粉じん計によるSPM濃度の高濃度解析	V-49
1.3.9	β 線粉じん計によるSPM濃度とSO ₂ 濃度との相関	V-53
第2章	短期現地調査データの解析	V-57
2.1	ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM濃度の解析	V-57
2.1.1	ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM濃度の 期別平均濃度	V-57
2.1.2	ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM濃度の日変動	V-60
2.1.3	ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM濃度の期別にみた 地点間の相関	V-65
2.1.4	ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM濃度の相関	V-82
2.1.5	ハイボリウムサンプラーと β 線粉じん計による測定値の比較	V-88
2.2	アンダーセンサンプラーによるTPM濃度の解析	V-94
2.2.1	アンダーセンサンプラーによるTPMの粒径別濃度	V-94
2.2.2	アンダーセンサンプラーによるTPMの粒径分布	V-96
2.2.3	アンダーセンサンプラー測定値とハイボリウムサンプラー, β 線粉じん計測定値との比較	V-101
2.3	β 線粉じん計によるSPM濃度の解析	V-104
2.3.1	短期現地調査期間中の β 線粉じん計によるSPM濃度の 風向別平均濃度	V-104
2.3.2	短期現地調査期間中の β 線粉じん計によるSPM濃度の 風速ランク別平均濃度	V-111
2.3.3	短期現地調査期間中の β 線粉じん計によるSPM濃度の 大気安定度別平均濃度	V-113
第3章	粒子状物質中の化学成分の解析	V-115
3.1	化学成分の平均濃度	V-115
3.2	化学成分の地域分布	V-117
3.3	化学成分間の関係	V-127

3.4	化学成分の変動	V-141
3.5	化学成分の地点間比較	V-145
第Ⅵ編 シミュレーション		Ⅵ-1
第1章	補間法による現状のTPM,SPMメッシュ濃度の推定	Ⅵ-1
1.1	補間法	Ⅵ-5
1.1.1	距離の関数による加重平均法	Ⅵ-5
1.1.2	2次元スプライン補間法	Ⅵ-5
1.2	TPM,SPM現状メッシュ濃度の推定結果	Ⅵ-6
第2章	大気拡散モデルを利用した新設工場による TPM,SPM濃度の予測	Ⅵ-9
2.1	新設工場の煙源諸元	Ⅵ-9
2.2	予測モデル	Ⅵ-11
2.2.1	気象モデル	Ⅵ-11
2.2.2	発生源モデル	Ⅵ-14
2.2.3	拡散モデル	Ⅵ-16
2.2.4	年平均値の計算	Ⅵ-22
2.3	新設工場によるTPM,SPM濃度の予測結果	Ⅵ-23
第3章	将来における全重合TPM,SPM濃度	Ⅵ-27
第Ⅶ編 リセプターモデルによる粒子状物質の発生源推定と発生源類型別 寄与率の推定		Ⅶ-1
第1章	主成分分析による粒子状物質の発生源同定	Ⅶ-1
1.1	主成分分析の方法	Ⅶ-2
1.2	解析結果	Ⅶ-2
1.2.1	方法Ⅰによる解析結果	Ⅶ-2
1.2.2	方法Ⅱによる解析結果	Ⅶ-25
第2章	化学質量平衡法 (Chemical mass balance method ; CMB法) による 粒子状物質の発生源類型別寄与率の推定	Ⅶ-50
2.1	CMB法	Ⅶ-50
2.1.1	基本式	Ⅶ-50
2.1.2	指標元素連立方程式モデル	Ⅶ-51
2.1.3	最小二乗法モデル	Ⅶ-51

2.1.4	重みつき最小二乗法モデル	VII - 52
2.2	CMB法の検討	VII - 53
2.2.1	発生源種と指標元素	VII - 54
2.2.2	発生源マトリックス	VII - 54
2.2.3	重み付き最小二乗法における化学成分値の重み	VII - 56
2.3	検討結果	VII - 57
2.4	各測定点における粒子状物質の発生源類型別寄与率の推定	VII - 61

ANNEX

ANNEX I	SCORPE OF WORK FOR THE STUDY OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF COAL FIRING POWER STATIONS AND INTEGRATED STEEL MILL, DECEMBER 1980.	A - 1
ANNEX II	MINUTES OF MEETINGS FOR THE STUDY OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF COAL FIRING POWER STATIONS AND INTEGRATED STEEL MILL, DECEMBER 1980.	A - 11
ANNEX III	MINUTES OF MEETING ON THE STUDY OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF COAL FIRING POWER STATIONS AND INTEGRATED STEEL MILL IN THE REPUBLIC OF SINGAPORE, AGREED AND CONFIRMED ON 6TH JUNE, 1983 IN SINGAPORE.	A - 22
ANNEX IV	MINUTES OF MEETING ON THE STUDY OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF COAL FIRING POWER STATIONS AND INTEGRATED STEEL MILL IN THE REPUBLIC OF SINGAPORE, AGREED AND CONFIRMED ON 27TH SEPTEMBER, 1984 IN SINGAPORE.	A - 29

要 約 及 び 結 論

要約及び結論

〈1〉 調査の概要

シンガポール共和国政府は、同国が策定中の新工業地区に立地を予定している石炭火力発電所及び一貫製鉄所の環境に与える影響調査に関する技術協力を日本政府に要請した。

右要請にもとづき、国際協力事業団より1980年12月、事前調査団が派遣され、シンガポール側との間で調査項目、調査内容、調査スケジュール等について合意が得られた。

日本側調査団は、1981年2月から同年12月にわたり水質関係の現地調査及び化学的酸素要求量並びに温排水についてのシミュレーションを実施し、1982年2月、水質関係の調査結果を取りまとめた。また、大気関係については、硫黄酸化物(SO_2)に係る現地調査を1981年7月15日から1982年7月14日までの1年間自動連続測定器により行い、1983年7月、硫黄酸化物に係るシミュレーション結果を取りまとめた。

このような状況のもとで、シンガポール政府は、本件環境影響調査をより包括的なものにするため、粒子状物質 (Particulate Matter) に係る環境影響調査の実施についても、1982年日本政府に追加要請し、1983年6月、両国政府において合意に至った。当Scope of Workに基づき、粒子状物質に係る現地調査及びシミュレーションを1983年12月より1985年7月にわたって実施した。

現地調査は、当該地区に数多くの粒子状物質測定器を設置し、集中的に粒子状物質を測定する短期現地調査(1983年12月、1984年3月、同年6月から7月及び9月の計4回)と、粒子状物質の環境濃度を長期的に把握するため、自動連続測定器による長期現地調査(1983年12月7日から1984年12月6日までの通年測定)を実施した。この他、長期現地調査では、粒子状物質と SO_2 並びに気象との関係を調べるため、自動連続測定器を用いた SO_2 、風向風速、日射量、放射収支量、気温の通年測定も行った。この間、調査団は、測定機器の保守管理方法の教育・訓練を行った。また、粒子状物質中の化学成分を調べるために、短期現地調査における浮遊粉じん中の金属元素、陰イオン、炭素の分析を日本国内において行った。

得られた測定データは、日本において逐次読み取り整理を行い、1984年6月から1985年7月にかけて、測定データの解析並びに両国政府において合意に至った石炭火力発電所及び一貫製鉄所の粒子状物質排出量をインプットデータとし、大気拡散モデル(重力沈降を考慮した大気拡散モデル)による粒子状物質の将来予測を行った。また、最近リセプターモデルによる粒子状物質の発生源類型別寄与率推定法が報告されているので、本調査においても、現地調査で得られた粒子状物質の化学成分の分析結果を用いて、現状における粒子状物質の発生源類型別の寄与率の推定も追加試みた。

本報告書は、これらの結果を総合的に取りまとめたものである。図〈I〉-1に調査全体のフローを、また、表〈I〉-1に現地調査の実施概要を、表〈I〉-2に現地調査の実施スケジュー

ールを示す。

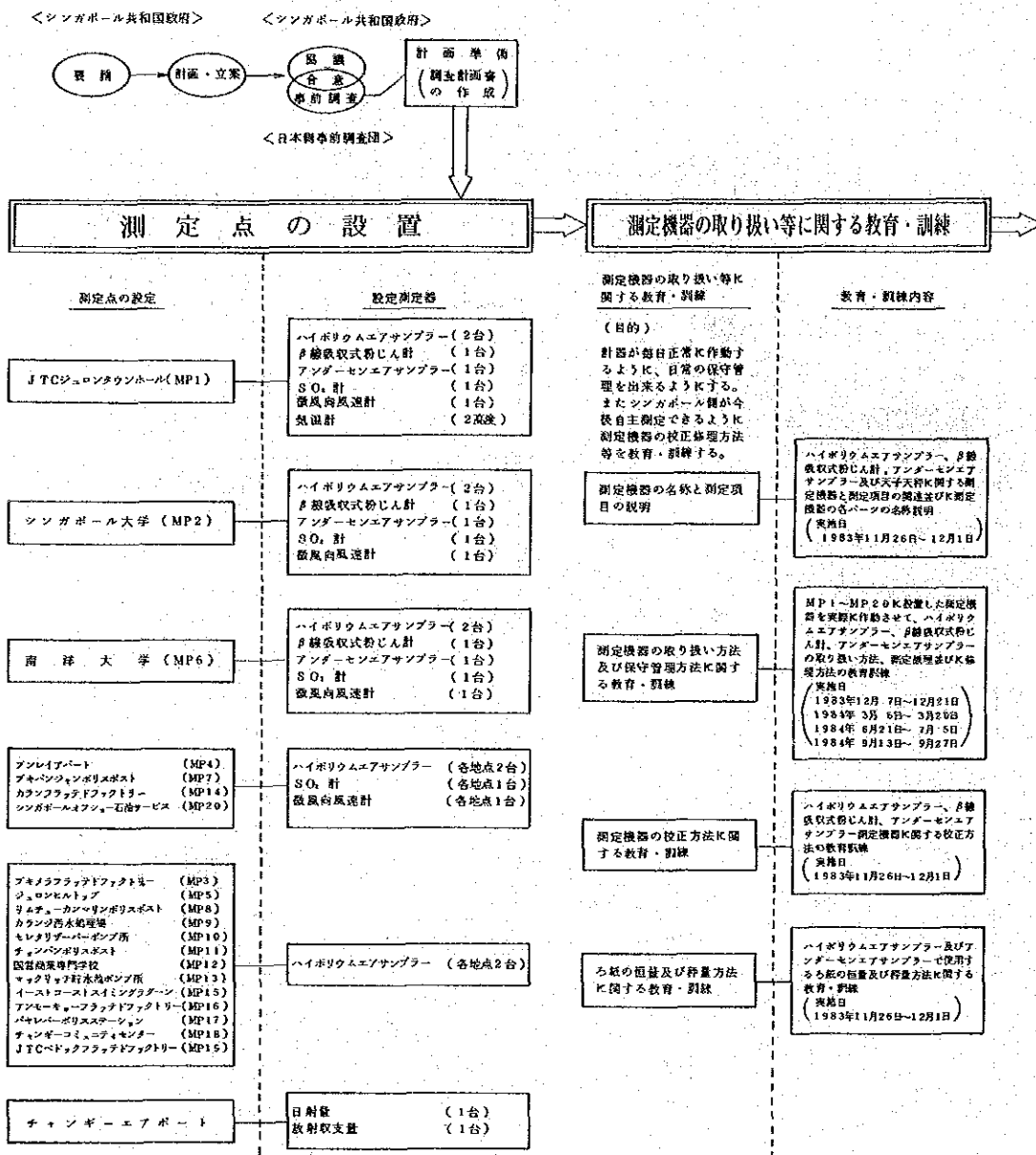


図 (I) - 1 環境影響調査全体フロー

表 (I) - 1 現地調査実施概要

調査項目	調査地点	観測高度	調査期間	調査方法	測定機器の取り扱い等に関する教育・訓練
短期調査	1. 浮遊粉じん (TPM) 及び浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度調査		1983年12月7日 ～1984年12月21日 1984年3月6日 ～1984年3月20日 1984年5月21日 ～1984年7月5日 1984年9月13日 ～1984年9月27日	ハイボリウムエアナンプラワーを調査地点に設置し、日平均値を測定。 〔各調査期間の最初12日間は、石英フィルターを用いてTPM及びSPMの測定。残り2日間はポリプロピレンフィルターを用いてTPMのみの測定。〕	各バートの名称説明。 取り扱い方法、校正方法、測定原理並びに修理方法の教育訓練。
	2. 浮遊粉じん (TPM) の粒径分布調査		1983年12月9日 ～1983年12月21日 1984年3月6日、8日及び10日 ～1984年3月20日 1984年5月21日 ～1984年7月4日 1984年9月13日及び14日 ～1984年9月25日	インダーセンエアナンプラワーを調査地点に設置し、12日間の平均粒径分布を測定。	各バートの名称説明。 取り扱い方法、校正方法、測定原理並びに修理方法の教育訓練。
	3. 浮遊粉じん (TPM) の化学分析		1983年12月14～15日 1984年3月14～15日 1984年6月26～27日 1984年9月20～21日 気候及びイオン分析所用浮遊粉じんの採取 1983年12月19～20日 1984年3月19～20日 1984年7月3～4日 1984年9月25～26日	ハイボリウムエアナンプラワーで捕集したTPM資料を調査後、日本に持ち帰り浮遊粉じん中の化学成分を分析。 化学分析は、炭素、金属及びイオンについて行い、炭素分析は石炭フィルター、金属及びイオン分析はポリプロピレンフィルターで実施。	
	4. 浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度調査		1983年12月7日 ～1984年12月6日	β減速吸式粉じん計を調査地点に設置し、1時間値を連続測定。	各バートの名称説明。 取り扱い方法、校正方法、測定原理並びに修理方法の教育訓練。
	5. SO ₂ 環境濃度調査		1983年12月7日 ～1984年12月6日	溶媒等電率式SO ₂ 計によるSO ₂ 1時間値濃度の連続測定。	校正用等価液による校正及び測定器の保守点検。
	6. 地上風向風速調査		1983年12月7日 ～1984年12月6日	風車型自動風向風速計による風向風速の10分間移動平均値の連続測定。	測定器の校正及び保守点検。
	7. 日射・放射線量調査		1983年12月7日 ～1984年12月6日	日射計、示差式放射線量計による日射、放射線量値の1時間値の連続測定。	測定器の校正及び保守点検。
	8. 気温の測定		1983年12月7日 ～1984年12月6日	白金抵抗温度計による気温の瞬間値の連続測定。	測定器の校正及び保守点検。
通年測定	Jurong 地域				
	JTC ロンタワンホール (MP1)	地上 2.0 m			
	シンガポール大学 (MP2)	地上 2.7 m			
	シンレリアート (MP4)	地上 3.6 m			
	ウロンヒルトップ (MP5)	地上 1.5 m			
	南洋大学 (MP6)	地上 1 m			
	中央地域				
	ブキフラグダフアクトリー (MP3)	地上 2.7 m			
	国際商業学校 (MP12)	地上 1.8 m			
	マククリッヂ貯水池ポンプ所 (MP13)	地上 1 m			
	カラウラダフアクトリー (MP14)	地上 1.8 m			
	アンモーターフラグダフアクトリー (MP16)	地上 1.8 m			
	パヤレーンポリスセンター (MP17)	地上 1 m			
	北地域				
	ブキランジョンポリスセンター (MP7)	地上 1 m			
	リムチュンカンマリンポリスセンター (MP8)	地上 1 m			
	カンクンポリスセンター (MP9)	地上 1 m			
	セレンダナポリスセンター (MP10)	地上 1 m			
	チャムパンポリスセンター (MP11)	地上 3 m			
	Changi 地域				
	イーストコーストスミシング (MP15)	地上 3 m			
	チャンキーコミューニティーセンター (MP18)	地上 6 m			
	JTC ベットラフラグダフアクトリー (MP19)	地上 1.8 m			
	シンガポールポリスセンター (MP20)	地上 1 m			
	Jurong 地域				
	JTC ロンタワンホール (MP1)	地上 2.2 m			
	シンガポール大学 (MP2)	地上 2.4 m			
	南洋大学 (MP6)	地上 2 m			
	Jurong 地域				
	JTC ロンタワンホール (MP1)	地上 2.0 m			
	シンガポール大学 (MP2)	地上 2.4 m			
	シンレリアート (MP4)	地上 3.8 m			
	南洋大学 (MP6)	地上 2 m			
	中央地域				
	カラウラダフアクトリー (MP14)	地上 2.0 m			
	北地域				
	ブキランジョンポリスセンター (MP7)	地上 2 m			
	Changi 地域				
	シンガポールポリスセンター (MP20)	地上 2 m			
	Jurong 地域				
	JTC ロンタワンホール (MP1)	地上 3.0 m			
	シンガポール大学 (MP2)	地上 3.0 m			
	シンレリアート (MP4)	地上 4.4 m			
	南洋大学 (MP6)	地上 1.0 m			
	中央地域				
	カラウラダフアクトリー (MP14)	地上 2.8 m			
	北地域				
	ブキランジョンポリスセンター (MP7)	地上 1.0 m			
	Changi 地域				
	シンガポールポリスセンター (MP20)	地上 1.0 m			
	Changi 地域				
	チャンキーコミューニティーセンター (MP18)	地上 1.5 m			
	Jurong 地域				
	JTC ロンタワンホール (MP1)	地上 1.5 m			

表〈I〉-2 現地調査実施スケジュール

一：測定期間

△：ろ紙の恒量及び秤量

◎：測定機器の取り扱いに関する教育・訓練

×：測定機器の組立、設置及び撤収

□：測定機器の校正及び調整

○：測定機器の点検及びろ紙の交換

■：移動日

●：粉じん濃度の計算

	1983年 11月 12月		1984年 2月 3月		5月 6月		7月 8月		9月 10月		12月																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	

〈Ⅱ〉 現地調査結果の要約

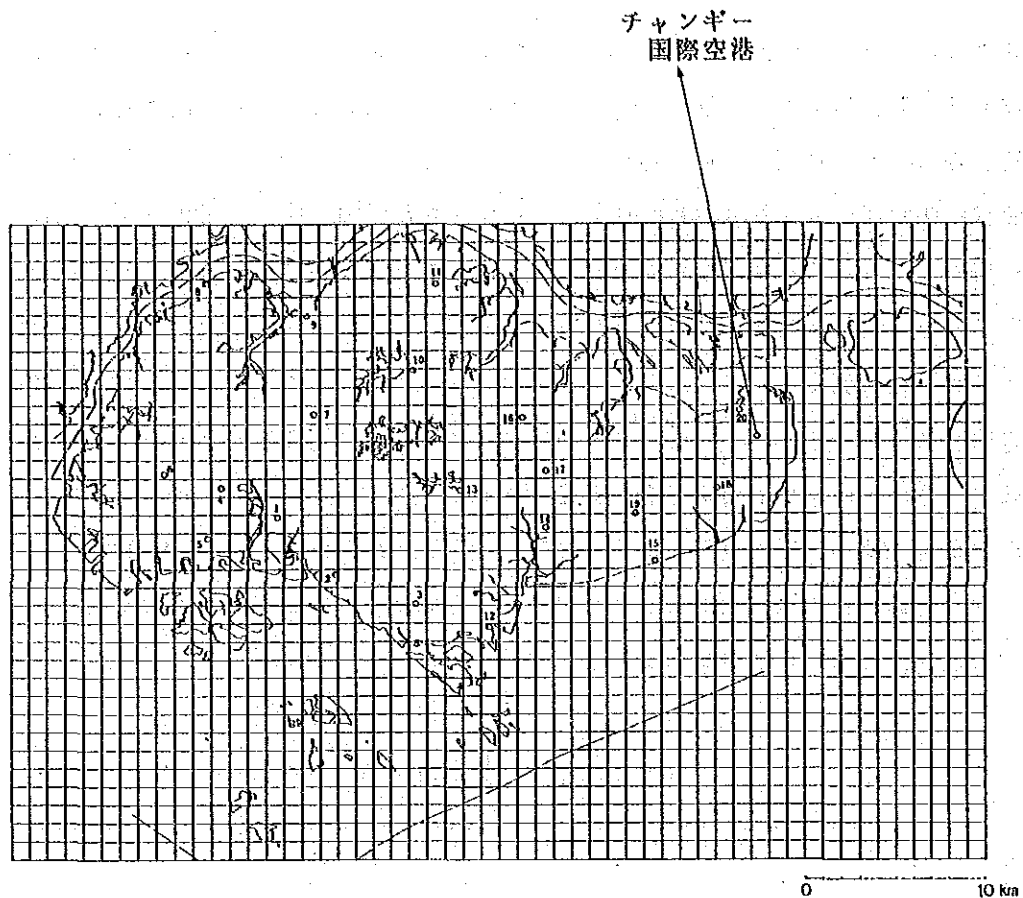
現地調査は、粒子状物質を数多くの地点で集中的に測定し、当該地域の粒子状物質の濃度分布を把握する短期現地調査と、粒子状物質の濃度変化を長期的に調べる長期現地調査を実施した。

短期現地調査は、1983年12月、1984年3月、同年6月から7月にかけて及び9月の計4回、粒子状物質の測定をそれぞれ各14日間行った。測定項目は、図〈Ⅱ〉-1に示す当該地区20地点(MP1～MP20)におけるハイボリウムサンプラーによる全浮遊粉じん(Total Particulate Matter; TPM)、浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter; SPM、粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質)の日平均値の測定と、MP1, 2, 6におけるアンダーセンサンプラーによるTPMの粒径分布測定(12日間平均値)である。その他、TPMの1日分の試料(20地点×4期)については、化学成分(33元素、3陰イオン、元素状炭素、有機炭素)の分析を日本において行った。

長期現地調査は、1983年12月7日から1984年12月6日にかけて、自動連続測定器によりSPM、 SO_2 、風向風速、日射量、放射収支量、気温の1時間値の測定を年間を通じて行った。表〈Ⅱ〉-1に各測定点における測定項目を示す。

表〈Ⅱ〉-1 測定地点別測定項目

測定点	測定項目	測定期間	測定方法
MP1～MP20	TPM	第1次～第4次現地調査 各14日間	ハイボリウムサンプラーによる 日平均値
	SPM	第1次～第4次現地調査 各12日間	サイクロン付ハイボリウムサンプ ラーによる日平均値
	金属元素, 陰イオン, 炭素	第1次～第4次現地調査 各1日分	放射化分析, ケイ光X線分析 (金属元素), イオンクロマト分析 (陰イオン), 示差熱分析(炭素)
MP1, 2, 6	TPMの粒径分布	第1次～第4次現地調査 各12日間	アンダーセンサンプラーによる12 日間平均値
	SPM	1983年12月7日～ 1984年12月6日	β 線粉じん計による1時間値
MP1, 2, 4, 6, 7, 14, 20	SO_2	1983年12月7日～ 1984年12月6日	溶液導電率法による1時間値
	風向風速	1983年12月7日～ 1984年12月6日	微風向風速計による10分間移動平 均値
MP1	気温	1983年12月7日～ 1984年12月6日	白金抵抗温度計による気温(2高 度)の瞬間値
チャンギー 国際空港	日射量 放射収支量	1983年12月7日～ 1984年12月6日	日射計, 放射収支計による1時間 平均値



- MP 1 Jurong Town Hall
- MP 2 National University of Singapore
- MP 3 Bukit Merah Flatted Factory Block 1
- MP 4 Boon Lay Apartment Block 200
- MP 5 Jurong Hill Top Restaurant
- MP 6 Nanyang Technological Institute
- MP 7 Bukit Panjang Police Post
- MP 8 Lim Chu Kang Marine Police Post
- MP 9 Kranji Sewage Treatment Plant
- MP10 Seletar Reservoir Water Pumping Station
- MP11 Chong Pang Police Post
- MP12 National Institute of Commerce
- MP13 Macritchie Reservoir Water Pumping Station
- MP14 Kallang Flatted Factory Block 3
- MP15 East Coast Swimming Lagoon
- MP16 Ang Mo Kio Flatted Factory Block 5001
- MP17 Paya Lebar Police Station
- MP18 Changi Community Center, 16 Km Changi Road
- MP19 JTC Bedok Flatted Factory
- MP20 Singapore Offshore Petroleum Services

図(Ⅱ) - 1 短期現地調査におけるTPM, SPM測定地点

1. 短期現地調査

(1) ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM 濃度

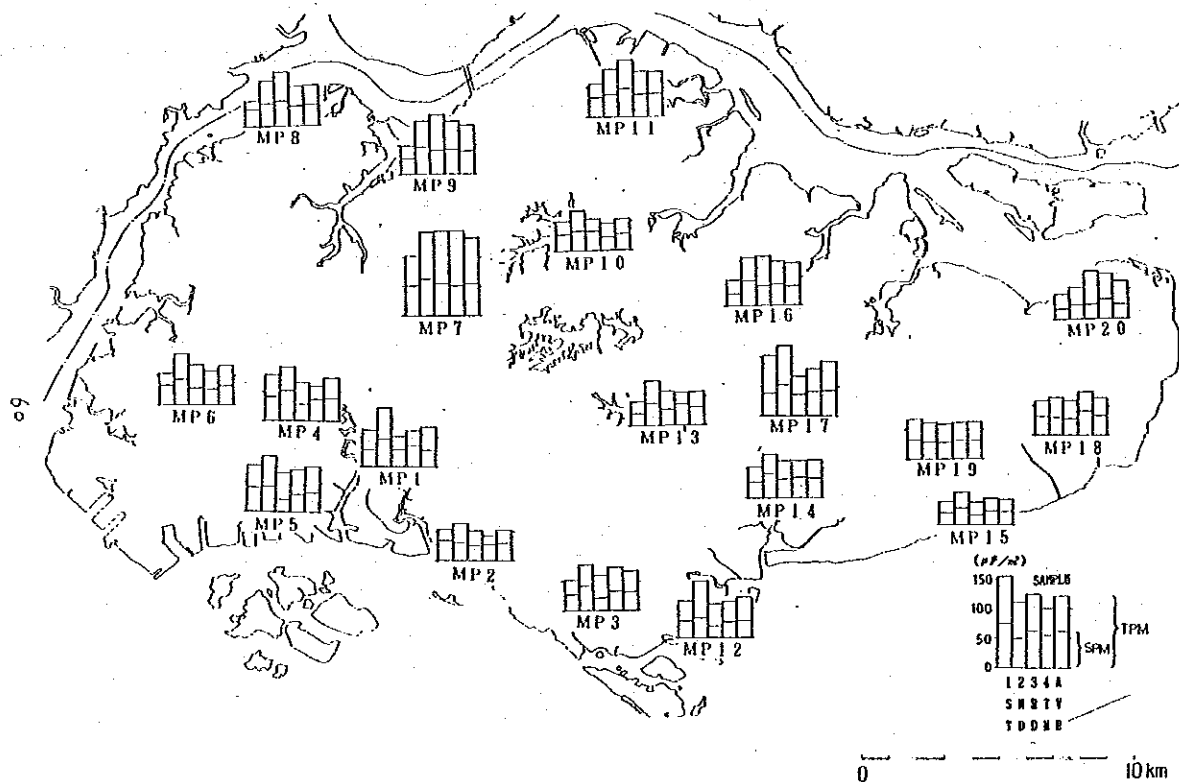
表〈Ⅱ〉-2, 図〈Ⅱ〉-2は, ハイボリウムサンプラーにより測定されたTPM, SPM の日平均値を各現地調査別に期別平均濃度として表したものである。この結果をみると, MP7; Bukit Panjang Police Post, MP17; Paya Lebar Police Station が他の地点に比べて各現地調査とも高濃度を示している。これは, これらの地点が交通量の多い道路近傍に位置しているため, 自動車排ガスとか, 道路ダストのまいあげの影響を受けていることが示唆される。MP7とMP17を除くと各測定点間での濃度の差はあまり大きくない。

次に各現地調査別に濃度を比較すると, 当該地区の南部と南西部に位置する測定点(MP1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 13, 14)では第2次現地調査が高濃度を呈している。短期現地調査期間中の風系は, 図〈Ⅱ〉-3に示すとおり, 第1次はNNE系, 第2次はNEとSWが半々, 第3次はSE系であり, 第4次は全方位から風が吹いており, 定まった風系を示していない。風系とTPM, SPM濃度との関係を調べると, 必ずしもJurong工場地帯から風が吹いてくるときにTPM, SPMの濃度が高くなるとは限らない。第2次現地調査における当該地区の南部と南西部に位置する測定点の濃度が高いのは, 粒子状物質の発生源が, 人為的なものの他に, 土壌とか海塩粒子, さらには, ガス状物質が粒子状物質に変化した2次粒子など自然発生源によるものがかなりあり, しかもその排出が広く分布しているので, 工場によるものよりもむしろこれら自然発生源の寄与が大きいことが示唆される。なお, SPMとTPMの比は, 測定地点, 測定日により異なり, おおよそ30~70%の範囲内で変動している。これは, 粒子状物質の粒径分布が発生源により異なっていることから, 寄与する発生源が, 測定地点あるいは測定日によりちがうことを意味している。

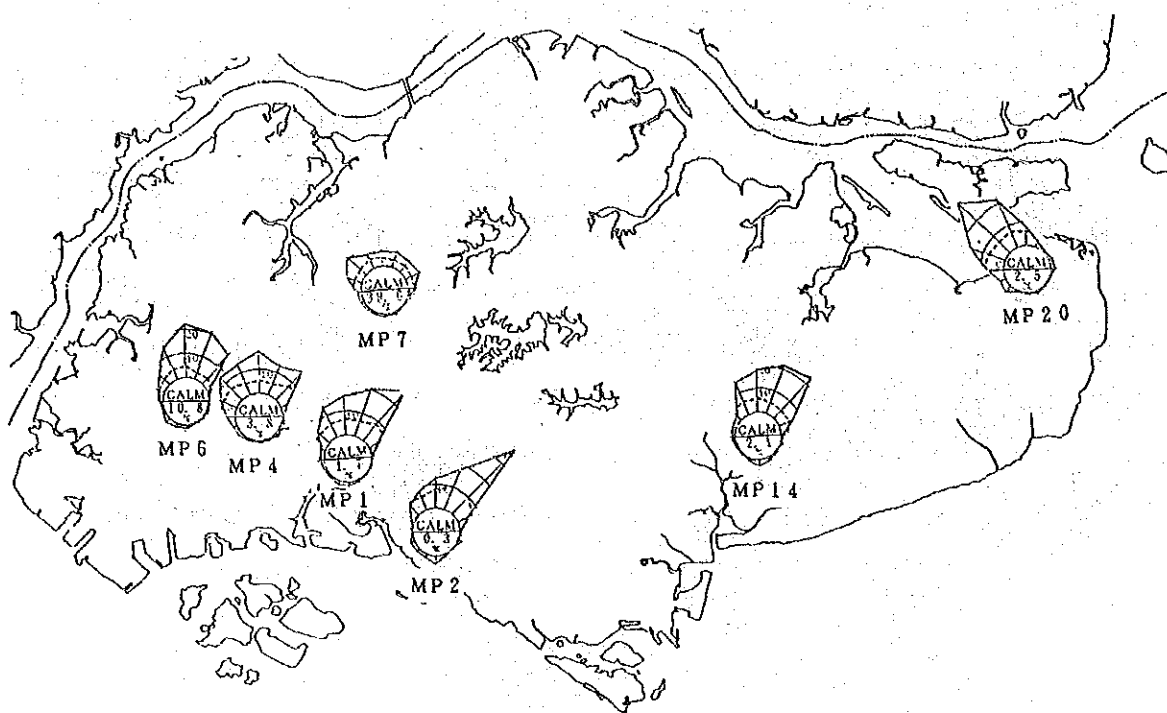
表(Ⅱ) - 2 ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM の期別平均濃度

測 定 点	TPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					SPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	第一次調査	第二次調査	第三次調査	第四次調査	平均	第一次調査	第二次調査	第三次調査	第四次調査	平均
MP 1	60.3	99.3	51.9	62.9	68.6	28.5	47.0	25.4	34.6	33.9
MP 2	54.9	64.4	51.0	42.4	53.2	34.9	31.3	25.8	26.1	29.5
MP 3	52.7	79.8	60.6	73.8	66.7	28.0	42.6	21.7	33.0	31.3
MP 4	79.7	91.5	65.0	60.5	74.2	40.4	52.1	29.6	36.0	39.5
MP 5	78.5	95.4	67.0	72.0	78.2	41.8	43.2	21.7	31.1	34.5
MP 6	54.1	86.9	67.7	57.0	66.4	33.2	44.8	28.9	27.0	33.5
MP 7	102.2	144.2	145.8	146.2	134.6	51.1	63.6	55.4	51.8	55.5
MP 8	43.0	77.0	91.8	67.1	69.7	29.3	39.0	42.8	34.6	36.4
MP 9	49.0	90.8	101.9	91.3	83.3	26.8	47.5	42.1	43.0	39.9
MP10	50.5	65.3	54.2	45.9	54.0	28.0	33.1	28.4	22.6	28.0
MP11	55.1	81.2	97.1	78.1	77.9	33.3	39.6	49.0	39.4	40.3
MP12	61.7	96.8	56.6	60.9	69.0	27.3	34.6	20.5	27.0	27.4
MP13	40.2	75.5	58.6	55.7	57.5	21.1	39.9	27.9	31.9	30.2
MP14	52.9	74.4	63.0	62.9	63.3	25.6	41.7	31.1	34.7	33.3
MP15	39.8	56.1	37.8	44.9	44.7	20.1	28.9	16.2	23.6	22.2
MP16	44.5	83.1	85.4	76.3	72.3	20.5	43.0	34.7	37.9	34.0
MP17	103.2	120.1	67.2	81.7	93.1	39.5	53.6	36.7	41.3	42.8
MP18	56.7	63.9	59.4	73.8	63.5	31.1	30.1	27.3	41.0	32.4
MP19	67.8	61.7	59.0	61.7	62.6	32.5	29.9	29.5	31.1	30.8
MP20	41.5	54.1	81.9	76.1	63.4	17.0	24.0	24.3	32.5	24.5

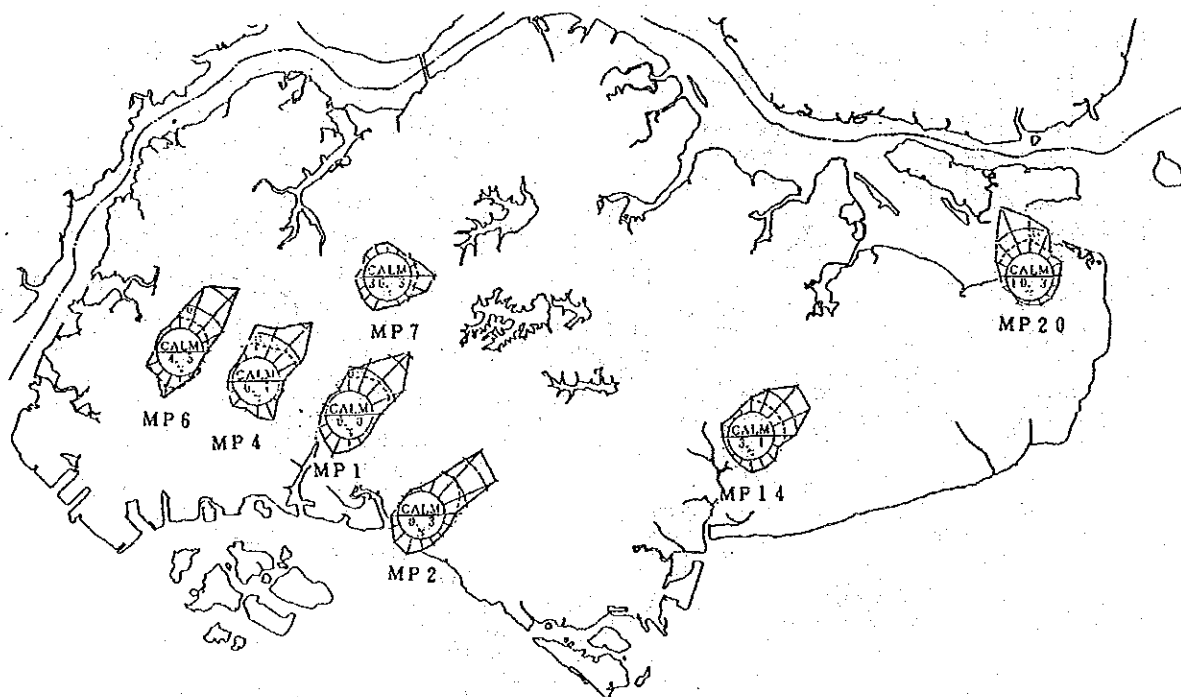
注) 各調査の濃度は12日間の平均値である。



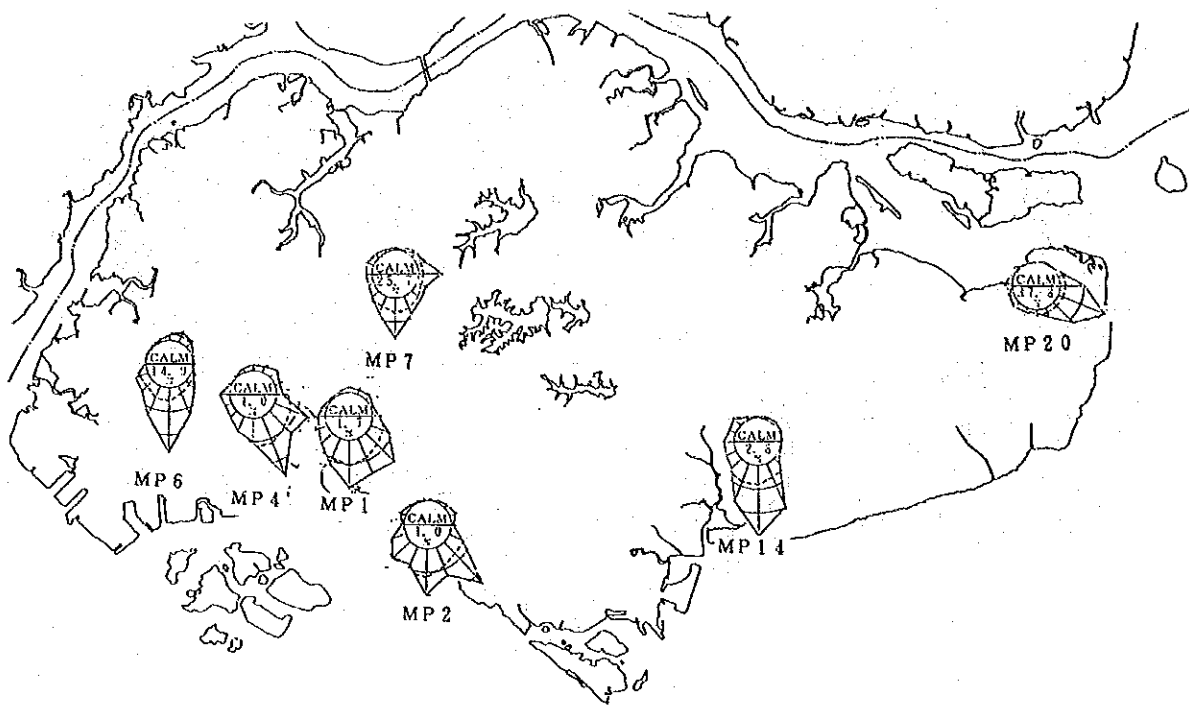
図(Ⅱ) - 2 ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM の期別平均濃度



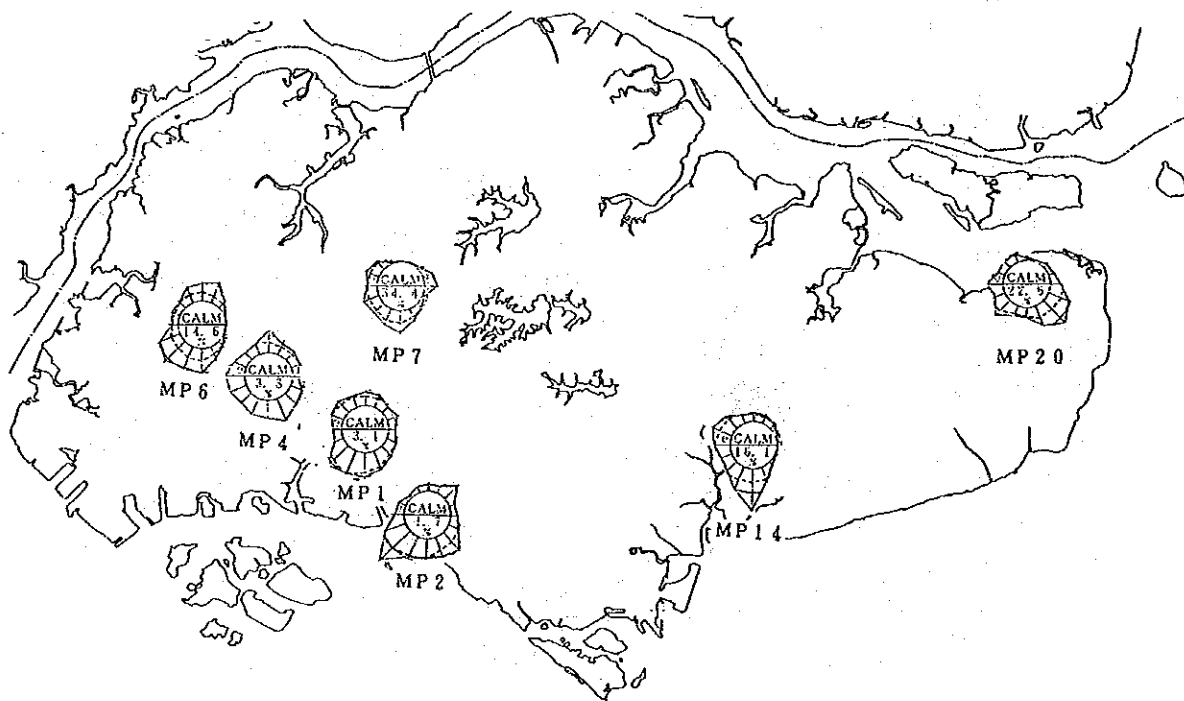
図(Ⅱ) - 3 (1) 短期現地調査期間中の風配図(第1次現地調査)



図(Ⅱ) - 3 (2) 短期現地調査期間中の風配図(第2次現地調査)



図〈Ⅱ〉- 3 (3) 短期現地調査期間中の風配図 (第3次現地調査)



図〈Ⅱ〉- 3 (4) 短期現地調査期間中の風配図 (第4次現地調査)

(2) アンダーセンサンプラーによるTPM の粒径分布

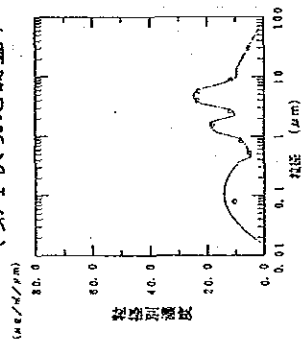
表〈Ⅱ〉- 3, 図〈Ⅱ〉- 4 は, MP1, 2, 6 において測定された粒子状物質の粒径別濃度である(12日間平均値)。これらの結果をみると, 大まかにみて, 粒径 $2.1\mu\text{m}$ 未満(fine particles)が6割, 粒径 $2.1\sim 11\mu\text{m}$ (Coarse particles)が3割, 粒径 $11\mu\text{m}$ 以上が1割を占めており, その粒径分布は, ほとんどが $0.4\mu\text{m}$ 付近と $4\mu\text{m}$ 付近にピークを持ち, $1\mu\text{m}$ 付近に谷をもつ二山型を呈しており, 日本を初め諸外国での測定結果と同様な傾向を示している。一般に $2\mu\text{m}$ 以上のCoarse particlesは自然発生源(土壌の舞い上がり, 海塩粒子, 火山灰, 植物の種子など)と人為発生源(機械的工工程から発生する粉じん, 自動車走行に伴う土砂の舞い上がり, 燃焼施設)に起因し, $2\mu\text{m}$ 未満のfine particlesは, 人為発生源(燃焼施設, 自動車などの内燃機関等)と大気中でガス状物質から化学反応で生成される二次粒子(硫酸塩, 硝酸塩等)からなると言われている。このことから, 各測定点に寄与している粒子状物質は, かなり自然発生源によるものも多いことが考えられる。

表〈Ⅱ〉- 3 アンダーセンサンプラーによるTPM の粒径別濃度

(単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

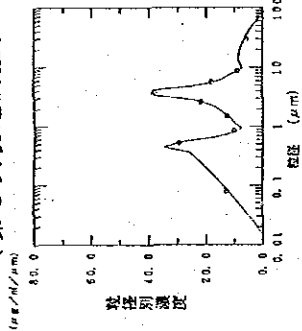
粒 径			第1次現地調査			第2次現地調査			第3次現地調査			第4次現地調査		
分 類	ステーション	粒径範囲(μm)	MP 1	MP 2	MP 6	MP 1	MP 2	MP 6	MP 1	MP 2	MP 6	MP 1	MP 2	MP 6
coarse	0	11 -	4.63	1.90	2.29	4.94	2.68	4.35	3.31	1.79	4.66	3.78	2.12	3.61
	1	7.0 - 11	2.34	1.12	1.14	1.72	1.55	1.88	2.09	1.30	2.27	1.58	0.79	1.39
	2	4.7 - 7.0	4.01	1.82	2.70	3.09	2.73	3.34	3.75	2.67	4.20	3.01	2.28	2.54
	3	3.3 - 4.7	3.60	2.84	4.54	5.82	2.35	6.22	3.53	4.81	6.72	5.09	2.07	4.36
	4	2.1 - 3.3	2.34	2.16	2.59	4.33	3.92	4.25	5.11	3.59	4.90	3.80	3.56	3.35
fine	5	1.1 - 2.1	5.08	2.33	2.78	3.50	2.84	4.88	3.25	2.52	3.71	3.85	2.65	3.42
	6	0.65 - 1.1	1.75	2.94	2.66	2.25	1.29	2.78	1.08	1.18	2.04	2.84	1.37	2.26
	7	0.43 - 0.65	0.93	3.16	4.00	5.34	1.86	7.36	2.27	3.51	5.50	4.37	1.26	5.32
	8	0.43	15.29	11.09	10.46	18.39	20.39	17.54	15.91	10.95	13.74	16.99	15.70	12.83
合 計			40.0	29.4	33.2	49.4	39.6	52.6	40.3	32.3	47.8	45.3	31.8	39.1

(第1次現地調査)



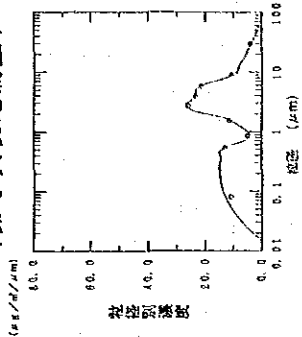
MP1
J. T. C. HALL

(第2次現地調査)



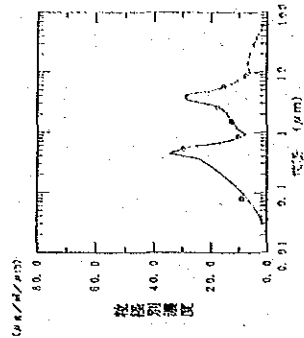
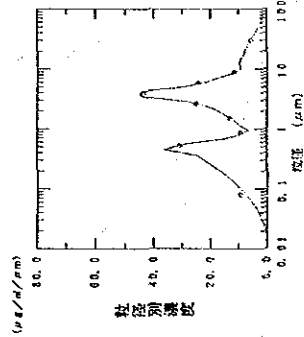
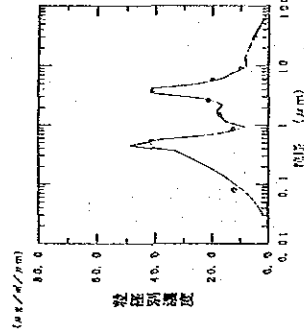
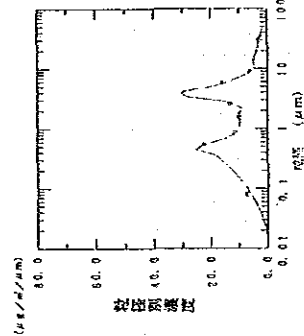
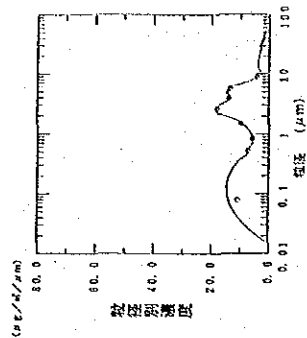
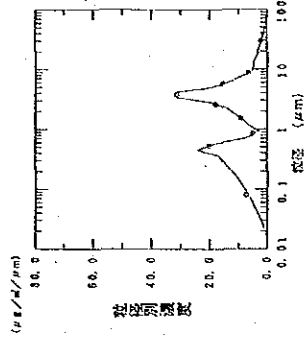
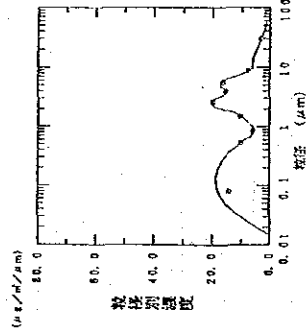
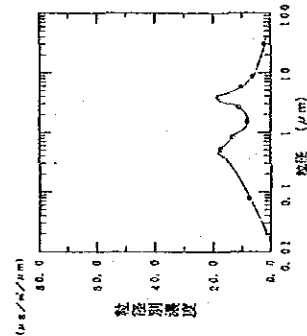
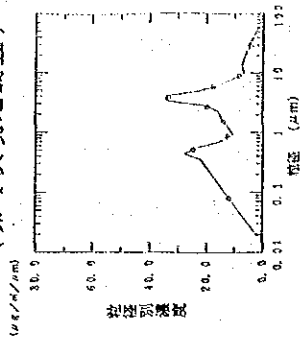
MP2
N. U. S.

(第3次現地調査)



MP6
NANYANG T. I.

(第4次現地調査)



図(Ⅱ)-4 アンダーセンサンブラーによるTPMの粒径分布

(3) 粒子状物質中の化学成分

表〈Ⅱ〉- 4 は、各短期現地調査期間中にハイボリウムサンプラーにより捕集された1日分のTPM 試料を、放射化分析、ケイ光X線分析、イオンクロマト分析、示差熱分析により分析した33元素、3陰イオン、元素状炭素、有機炭素の分析結果である。この結果をみると、粒子状物質中の化学成分濃度の大きさの順序は、C, Si, Cl, SO₄²⁻, Cl⁻, Al …の順となっており、土壌、海塩粒子、二次粒子関連物質の濃度が比較的高くなっている。

表〈Ⅱ〉- 5 は第1次～第4次現地調査時の化学成分濃度を平均して、測定地点別にまとめたものである。これより粒子状物質の主要発生源の指標元素と考えられる化学成分の地域分布の特徴は次のとおりである。

① Sc, Al, Ti

土壌関連物質のSc, Al, Ti濃度は、都市域よりもシンガポール北部から北東部で濃度が高く、その他の地点は、ほぼ同じような濃度レベルとなっている。なお、MP7は、異常に高い値を示しているが、これは、自動車走行に伴う道路ダストの影響と考えられる。

② Na, Cl, Cl⁻

海塩粒子に起因するNaとCl, Cl⁻は、海岸に近い測定点で高濃度を示し、MP10やMP13などの内陸部では比較的低濃度である。

③ SO₄²⁻, NO₃⁻

二次粒子に起因するSO₄²⁻, NO₃⁻濃度は、比較的地域全体が同程度の濃度であり、特にNO₃⁻がその傾向が強い。SO₂→SO₄²⁻やNO→NO₃⁻の反応速度があまり大きなものではないので、遠くに位置する発生源から排出されたSO₂やNOが拡散反応し、シンガポール全体が同レベル濃度になっていることが考えられる。

④ Pb, Br

Pb, Brの高濃度地点は、MP7, MP13, MP17であり、これらの地点はいずれも道路に近いところに位置しており、ガソリン自動車の排ガスの影響を受けているものと思われる。

⑤ 有機炭素

有機炭素の濃度が高いのは、MP7, MP9, MP11, MP17であり、これらの地点はディーゼル車の排ガスの影響を受けているものと考えられる。

⑥ Ca

Caは、道路ダストやセメント硬化物に起因するものであり、MP5, MP7が比較的高濃度となっている。

⑦ V

石油燃焼に起因するV濃度が高い測定点は、MP1, MP4, MP5であり、その他の地点ではほぼ同レベルの濃度となっているが、東部に位置する測定点の濃度は低い。

⑧ Zn, K

廃棄物焼却に起因するZn, Kの地域分布は、顕著な特徴を示していない。

⑨ Mn

Mnの高濃度地点は、MP5である。これは、この地点の南側に位置する製鋼所の影響と考えられる。

表(Ⅱ) - 4 粒子状物質中の化学成分の平均濃度 (MP1~20の平均値)

分 析 法		成 分	単 位	第1次現地調査		第2次現地調査		第3次現地調査		第4次現地調査		全シーズン平均	
				算術平均	幾何平均	算術平均	幾何平均	算術平均	幾何平均	算術平均	幾何平均	算術平均	幾何平均
元 素 分 析	放射化学分析	Ag	n g / m ³	0.064*	0.063*	0.406*	0.185*	0.143*	0.058*	0.105*	0.071*	0.179*	0.087*
		As		1665.000	1290.242	2705.000	2113.726	1578.540	841.269	2619.500	1646.097	2142.260	1394.048
		As		6.716	3.318	7.639	4.661	4.263	1.198	6.390	1.362	6.252	2.241
		Ba		15.790*	5.248*	17.200*	7.264*	41.005*	5.197*	27.140*	8.793*	25.284*	6.460*
		Br		85.600	65.144	107.500	93.439	102.050	68.936	99.400	83.389	98.637	76.911
		Ca		1157.000	869.544	2470.500	1871.759	1656.000	844.169	2603.000	1272.344	1971.625	1149.857
		Cd		6.350*	4.327*	5.350*	3.691*	5.050*	3.716*	5.750*	4.295*	5.625*	3.996*
		Ce		1.505	1.069	2.392	2.036	1.607	1.253	1.862	1.368	1.842	1.390
		Cl		4740.000	4643.021	1956.500	1868.831	2995.000	2886.449	3990.000	3828.132	3420.375	3129.179
		Co		0.244	0.130	0.505	0.292	0.315	0.190	1.136	0.283	0.550	0.212
		Cr		4.132	2.382	7.043	5.400	6.159	3.769	7.553	4.155	6.222	3.767
		Cs		0.090*	0.037*	0.097*	0.038*	0.078*	0.029*	0.096*	0.033*	0.090*	0.034*
		Cu		53.750	30.158	109.250	89.671	48.900	29.865	46.150	26.662	64.513	38.307
		Fe		637.500	514.703	1408.000	1087.710	1027.750	639.193	1997.000	749.846	1042.563	719.728
		Hf		0.087	0.038	0.158	0.084	0.083	0.047	0.140	0.054	0.117	0.053
		K		273.500*	130.053*	871.000*	359.946*	475.500	254.822	578.000*	283.667*	549.500*	241.185*
		La		0.325*	0.137*	1.005	0.522	0.568*	0.242*	0.688*	0.247*	0.646*	0.256*
		Lu		0.008*	0.003*	0.011*	0.006*	0.003*	0.002*	0.009*	0.004*	0.008*	0.003*
		Mn		11.805	10.295	34.170	23.730	25.560	13.225	17.705	10.475	22.310	13.564
		Na		1155.000	737.237	1278.500	1104.422	1538.000	1410.670	1999.000	1911.196	1492.625	1217.218
		Ni		9.080*	4.456*	8.890*	5.225*	4.235*	2.007*	9.420*	3.356*	7.906*	3.539*
		Sb		1.803	0.720	3.704	2.151	1.602	0.987	4.291	1.218	2.850	1.168
		Sc		0.182	0.134	0.347	0.264	0.201	0.134	0.318	0.202	0.262	0.176
		Se		0.992	0.525	1.680	1.111	0.436	0.222	1.119	0.951	1.057	0.593
		Sm		0.108	0.067	0.161	0.120	0.088	0.049	0.091	0.041	0.112	0.063
		Th		0.411	0.310	0.612	0.497	0.356	0.259	0.588	0.357	0.492	0.345
		Ti		83.600	42.298	134.500	100.510	97.050	47.248	87.900	33.547	109.763	50.950
		V		20.319	11.018	29.450	27.306	14.405	10.694	12.820	8.519	19.248	12.867
		W		0.589*	0.262*	2.478	1.981	1.307*	0.375*	0.976*	0.279*	1.337*	0.415*
		Zn		57.350	46.025	136.850	98.901	94.625	50.753	78.750	57.032	91.894	60.248
炭 素 分 析	X線分析	Cd	n g / m ³	2.455	1.428	3.180	1.785	3.215	1.685	4.430	2.959	3.320	1.888
		Pb		190.350	89.664	297.250	265.000	244.800	164.766	199.600	101.857	233.000	141.313
		S		1101.500	1019.757	1746.500	1509.244	1253.000	1123.554	1690.000	1465.435	1447.750	1261.694
		Si		7045.000	5186.411	9240.000	7652.980	9762.500	7072.121	13755.000	10224.695	9950.625	7319.381
	イオンクロマト分析	Cl ⁻	n g / m ³	3310.000	3246.189	1313.000	1236.319	1858.000	1740.169	2825.500	2669.715	2326.625	2077.974
		NO ₃ ⁻		530.000	508.918	1649.000	1581.170	666.050	641.654	1457.000	1426.940	1075.512	926.474
		SO ₄ ²⁻		2570.000	2329.472	4515.000	4267.527	1965.000	1812.632	3200.000	2907.022	3062.500	2690.283
	TPM	TPM	μ g / m ³	48.545	44.033	73.210	67.812	54.410	49.930	90.255	82.711	66.605	59.259
	示差熱分析	元素炭素	μ g / m ³	12.345	11.440	18.840	17.323	10.615	8.961	16.095	15.605	14.474	12.903
		有機炭素		4.020	3.656	4.480	3.800	3.585	2.782	5.325	4.795	4.352	3.690
		全炭素		16.365	15.130	23.320	21.274	14.200	11.915	21.420	20.528	18.826	16.751
TPM	TPM	73.570	70.278	88.745	84.091	70.770	65.735	75.740	72.570	77.206	72.867		

注1) 検出限界以下のデータは、1/10の値を用いて平均化した。
注2) データ数のうち50%以上が検出限界以下ならば、*をつけた。

表(Ⅱ) - 5 化学成分の平均濃度(第1次~第4次現地調査の平均値)

放射化分析(ng/m ³)																									元素分析(%)										TPM (μg/m ³)
Ag	Au	As	Ba	Br	Ca	Cd	Ce	Cu	Cr	Cs	Co	Cd	V	W	Zn	Cd	Si	Cd	NO ₂ -	NO ₃ -	SO ₄ -	La	Lu	Mn											
MP1	0.05	1353.	9.35	13.	71.	4.	1.81	0.039	8.57	0.039	0.35	8.57	27.90	1.6	74.	2.3	7800.	2725.	1183.	3100.	55.6	0.51	0.007	18.2											
MP2	0.04	830.	1.08	1.	56.	3.	0.82	0.022	1.55	0.022	0.26	1.55	18.15	0.4	31.	3.0	3925.	2450.	915.	2200.	32.6	0.35	0.001	6.9											
MP3	0.16	1093.	1.46	2.	74.	13.	1.21	0.074	2.84	0.074	0.29	2.84	41.25	2.1	105.	5.3	6375.	2400.	838.	2150.	55.3	0.26	0.007	9.0											
MP4	0.43	1780.	12.77	21.	79.	10.	1.85	0.124	8.35	0.124	0.45	8.35	101.25	2.2	222.	6.1	9425.	2550.	1130.	4275.	76.6	0.29	0.007	30.0											
MP5	0.17	1500.	7.45	13.	71.	4.	1.63	0.057	7.70	0.057	0.55	7.70	18.75	1.0	103.	3.3	8525.	3275.	1345.	5025.	79.9	0.07	0.005	55.1											
MP6	0.06	2123.	12.95	45.	33.	4.	1.85	0.037	9.02	0.037	0.51	9.02	43.25	1.2	123.	3.3	10835.	2295.	1313.	3550.	60.0	0.57	0.010	23.6											
MP7	0.14	9025.	15.00	22.	268.	5.	4.60	0.360	13.80	0.360	0.96	13.80	27.00	1.4	116.	5.8	16950.	2000.	1220.	3275.	75.5	1.14	0.024	50.0											
MP8	0.25	3193.	11.10	41.	56.	4.	2.16	0.151	7.32	0.151	0.35	7.32	14.85	0.1	50.	2.1	4725.	1975.	723.	2125.	91.8	1.42	0.010	25.2											
MP9	0.06	3393.	15.72	17.	96.	11.	2.48	0.246	8.25	0.246	0.23	8.25	11.75	0.2	89.	3.9	13625.	1748.	1095.	2650.	81.6	0.92	0.009	22.8											
MP10	0.06	1273.	3.45	14.	61.	3.	1.14	0.091	4.05	0.091	0.05	4.05	11.05	0.2	70.	3.4	9100.	2900.	1223.	3500.	55.3	0.32	0.005	11.6											
MP11	0.06	3500.	4.88	2.	111.	4.	3.45	0.137	4.05	0.137	0.30	4.05	15.47	0.2	88.	3.5	9100.	1505.	828.	2500.	65.4	0.88	0.012	19.5											
MP12	0.42	1573.	4.92	19.	94.	4.	1.68	0.032	6.52	0.032	0.41	6.52	12.10	0.5	45.	3.1	6175.	2385.	932.	2200.	50.4	0.56	0.014	24.5											
MP13	0.19	1013.	2.12	6.	88.	4.	0.78	0.036	3.05	0.036	0.10	3.05	11.27	0.2	88.	2.8	3713.	3325.	1148.	2150.	30.4	0.07	0.005	5.2											
MP14	0.68	1248.	3.60	14.	88.	4.	1.51	0.011	3.05	0.011	0.37	3.05	15.47	0.2	88.	2.8	10600.	1870.	913.	2575.	78.5	0.80	0.004	13.1											
MP15	0.26	843.	3.56	6.	38.	12.	0.97	0.019	2.53	0.019	0.29	2.53	16.25	0.1	188.	3.2	4341.	2525.	1233.	2750.	66.9	0.32	0.005	11.6											
MP16	0.29	2193.	4.92	3.	93.	4.	1.95	0.028	7.95	0.028	0.50	7.95	15.47	0.2	88.	2.8	1010.	1975.	1233.	2500.	65.4	0.72	0.012	15.1											
MP17	0.06	2200.	4.60	2.	220.	14.	1.80	0.071	5.32	0.071	0.19	5.32	16.25	0.1	188.	3.2	943.	475.	388.	1750.	58.1	0.06	0.001	5.8											
MP18	0.05	928.	0.51	15.	78.	3.	0.80	0.029	4.3	0.029	0.43	4.3	3675.	0.4	183.	3.2	385.	1493.	478.	1750.	58.1	1.14	0.002	53.4											
MP19	0.06	1455.	3.98	15.	86.	3.	1.78	0.046	7.80	0.046	0.43	7.80	12.27	3.0	44.	2.1	493.	2675.	990.	3475.	58.1	1.14	0.002	53.4											
MP20	0.06	2325.	1.59	236.	73.	3.	2.57	0.127	10.67	0.127	4.27	10.67	12.27	3.0	44.	2.1	903.	550.	1230.	2925.	70.1	1.16	0.007	23.0											

X線分析(ng/m ³)															元素分析(%)										TPM (μg/m ³)
Na	Ni	Sb	Sc	Se	Sm	Th	Ti	V	W	Zn	Cd	Pb	S	Si	Cd	NO ₂ -	NO ₃ -	SO ₄ -	La	Lu	Mn				
MP1	1615.	14.2	1.35	0.205	0.116	0.322	71.	27.90	1.6	74.	2.3	157.	1350.	7800.	2725.	1183.	3100.	55.6	0.51	0.007	18.2				
MP2	1625.	8.6	0.31	0.099	0.041	0.154	24.	18.15	0.4	31.	3.0	159.	1108.	3925.	2450.	915.	2200.	32.6	0.35	0.001	6.9				
MP3	1630.	6.6	0.62	0.133	0.057	0.217	26	41.25	2.1	105.	5.3	151.	1078.	6375.	2400.	838.	2150.	55.3	0.26	0.007	9.0				
MP4	2000.	9.5	1.70	0.217	0.089	0.515	123.	101.25	2.2	222.	6.1	163.	2025.	9425.	2550.	1130.	4275.	76.6	0.29	0.007	30.0				
MP5	2325.	18.0	2.47	0.250	0.144	0.342	107.	18.75	1.0	103.	3.3	108.	3075.	8525.	3275.	1345.	5025.	79.9	0.07	0.005	55.1				
MP6	1258.	4.5	2.41	0.195	0.129	0.372	77.	43.25	1.2	123.	3.3	108.	1835.	10425.	2225.	1313.	3550.	60.0	0.57	0.010	23.6				
MP7	1135.	6.5	5.15	1.558	0.300	1.487	393.	27.00	1.4	150.	5.1	585.	2300.	35250.	2525.	1170.	3750.	153.2	1.14	0.024	50.0				
MP8	1575.	6.3	2.74	0.351	0.172	0.825	160.	22.50	1.5	116.	5.8	159.	1650.	16950.	2000.	1220.	3275.	75.5	1.14	0.024	50.0				
MP9	1643.	11.0	2.29	0.351	0.103	0.255	101.	17.82	0.1	50.	2.1	101.	1818.	4725.	1050.	723.	2125.	91.8	1.14	0.024	50.0				
MP10	1313.	6.8	4.97	0.145	0.055	0.325	61.	14.85	0.1	50.	2.1	101.	1818.	4725.	1050.	723.	2125.	91.8	1.14	0.024	50.0				
MP11	668.	1.4	3.81	0.327	0.101	1.425	97.	14.13	0.7	89.	3.9	293.	1053.	13625.	1748.	1095.	2650.	81.6	0.92	0.009	22.8				
MP12	1673.	7.5	3.63	0.232	0.120	0.417	98.	11.75	0.2	144.	3.5	340.	1525.	9100.	2900.	1223.	3500.	55.3	0.32	0.005	11.6				
MP13	773.	4.1	2.45	0.115	0.053	0.235	50.	24.45	0.2	88.	3.4	524.	1073.	4500.	1505.	828.	2500.	65.4	0.88	0.012	19.5				
MP14	1455.	6.9	2.95	0.132	0.072	0.285	60.	11.05	0.2	70.	3.1	79.	975.	6175.	2385.	932.	2200.	50.4	0.56	0.014	24.5				
MP15	2348.	2.2	1.35	0.111	0.065	0.185	29.	12.10	0.5	45.	3.1	79.	983.	3713.	3325.	1148.	2150.	30.4	0.07	0.005	55.1				
MP16	1198.	1.4	11.83	0.237	0.133	0.457	183.	15.47	0.2	88.	2.8	545.	1148.	9775.	2525.	1233.	2800.	66.9	0.72	0.012	15.1				
MP17	1028.	1.7	3.35	0.248	0.117	0.607	112.	11.27	0.2	88.	2.8	545.	1148.	9775.	2525.	1233.	2800.	66.9	0.72	0.012	15.1				
MP18	1333.	6.6	0.51	0.180	0.053	0.217	50.	16.25	0.1	188.	3.2	209.	688.	7375.	2675.	990.	1750.	58.1	1.14	0.002	53.4				
MP19	1675.	21.8	2.21	0.180	0.151	0.337	68.	12.27	0.2	88.	2.8	545.	1148.	9775.	2525.	1233.	2800.	66.9	0.72	0.012	15.1				
MP20	1588.	22.2	0.89	0.260	0.150	0.450	129.	12.27	3.0	44.	2.1	172.	1593.	12900.	2325.	990.	1750.	58.1	1.14	0.002	53.4				

2. 長期現地調査

各測定点における測定項目毎の有効測定時間（校正時，機器のトラブル等の欠測を除いた有効測定時間）は，表〈Ⅱ〉－6に示すとおりであり，いずれも日本の有効測定局（年間測定時間が6000時間に達した測定局）の基準を大幅に上まわっている。

表〈Ⅱ〉－6 (1) 浮遊粒子状物質 (SPM) 有効測定時間

測定点	有効測定時間 (hr)	測定率 (%)
MP 1	7642	87.0
MP 2	8166	93.0
MP 6	7618	86.7

1983年12月7日～1984年12月6日＝8784時間

表〈Ⅱ〉－6 (2) SO₂ 有効測定時間

測定点	有効測定時間 (hr)	測定率 (%)
MP 1	8011	91.2
MP 2	7645	87.0
MP 4	8229	93.7
MP 6	7515	85.6
MP 7	8302	94.5
MP14	8011	91.2
MP20	8445	96.1

表〈Ⅱ〉－6 (3) 風向風速有効測定時間

測定点	有効測定時間 (hr)		測定率 (%)	
	風 向	風 速	風 向	風 速
MP 1	8376	8164	95.4	92.9
MP 2	8195	8080	93.3	92.0
MP 4	8400	8327	95.6	94.8
MP 6	8006	8006	91.1	91.1
MP 7	8447	8316	96.2	94.7
MP14	8180	8128	93.1	92.5
MP20	7759	8197	88.3	93.3

表〈Ⅱ〉－6 (4) 気温有効測定時間

測定点	有効測定時間 (hr)		測定率 (%)	
	地上1.5m	地上30m	地上1.5m	地上30m
MP 1	8121	7994	92.5	91.0

表(Ⅱ) - 6 (5) 日射量・放射収支量有効測定時間

測定地点名	有効測定時間(hr)		測定率(%)	
	日射量	放射収支量	日射量	放射収支量
Changi Air Port	8737	8431	99.5	96.0

(1) β 線粉じん計によるSPM濃度

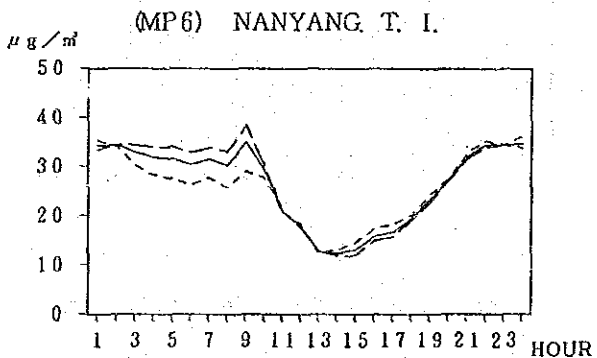
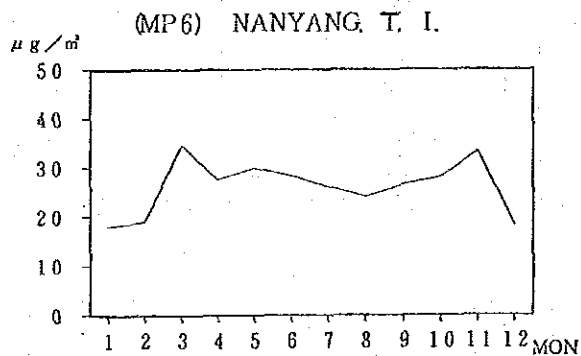
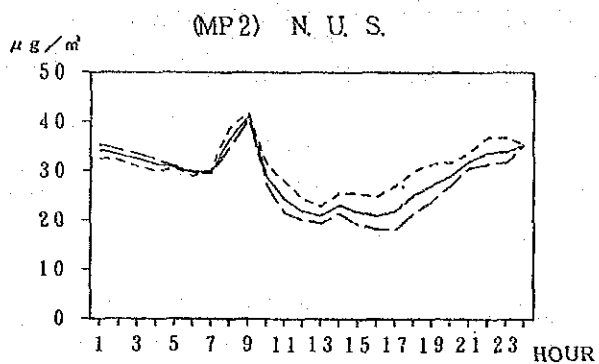
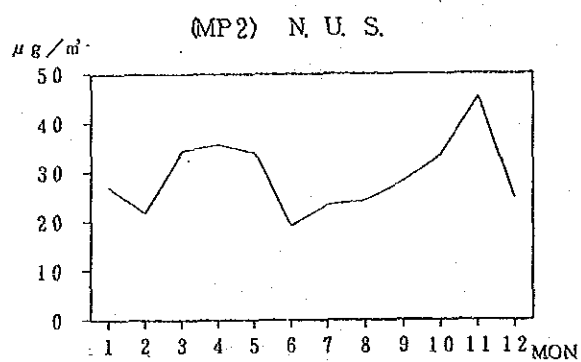
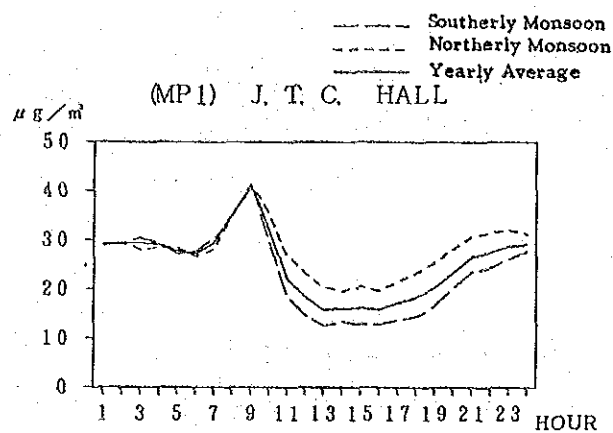
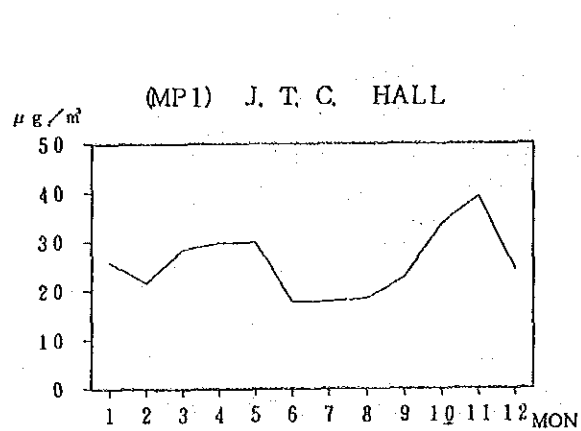
表(Ⅱ) - 7は、各測定点におけるSPMの期別、昼夜別平均濃度を示したものである。これをみるといずれの測定点も、夜間の方が昼間に比べて濃度が高くなっている。これは後で記述するが、 SO_2 は昼間に濃度が高くなるという結果と逆の結果になっている。このことは測定点に寄与する発生源がSPMと SO_2 では異なっていることが示唆される。

表(Ⅱ) - 7 β 線粉じん計によるSPMの期別、昼夜別平均濃度(単位: $\mu g / m^3$)

測定点名	S系 months (4~10月)			N系 months (11~3月)			年 間		
	昼	夜	通 日	昼	夜	通 日	昼	夜	通 日
(1) J. T. C. HALL	20.0	26.3	23.4	26.1	29.0	27.7	22.6	27.4	25.2
(2) N. U. S.	23.8	31.2	27.8	29.1	32.5	30.9	26.0	31.8	29.1
(6) NANYANG. T. I.	20.7	32.4	27.1	19.8	30.8	25.8	20.4	31.8	26.6

昼: 7:00~17:59, 夜: 18:00~6:59

次に各測定点別にSPMの月別変化及び時刻別変化をみると図(Ⅱ) - 5に示すとおりであり、いずれの測定点も3~5月及び10月~11月にSPM濃度が高くなっており、 SO_2 とよく似た月別変化を示している。また日変化パターンは、いずれの測定点もよく似ており、9時にピークを持っている。なお、季節による日変化パターンの差異は、いずれの測定点もみられない。



月別平均値

時刻別平均値

図(Ⅱ) - 5 β線粉じん計による SPM濃度の月別、時刻別平均値

(2) SO₂ 濃度

表〈Ⅱ〉- 8 は、各測定点におけるSO₂ 濃度の期別、昼夜別平均値を示したものである。これをみると、昼の濃度は夜間よりもかなり高い濃度となっている。また、SO₂ の年平均濃度は、Jurong地域周辺が高くChangi周辺地域で低くなっている。これらの結果は、先に実施したSO₂ 環境影響調査時（1981年7月15日～1982年7月14日）と同様な傾向を示している。

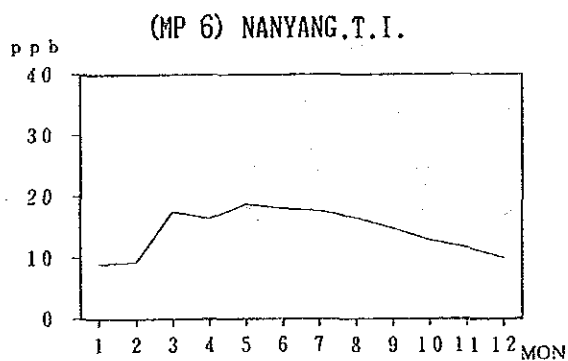
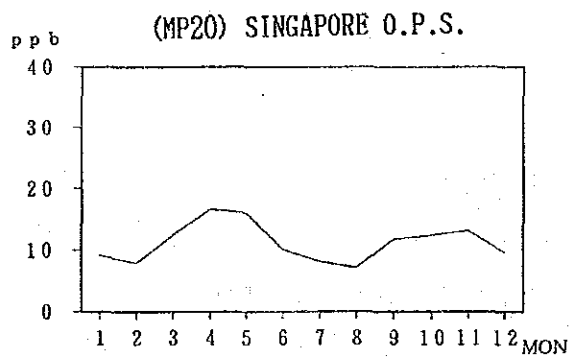
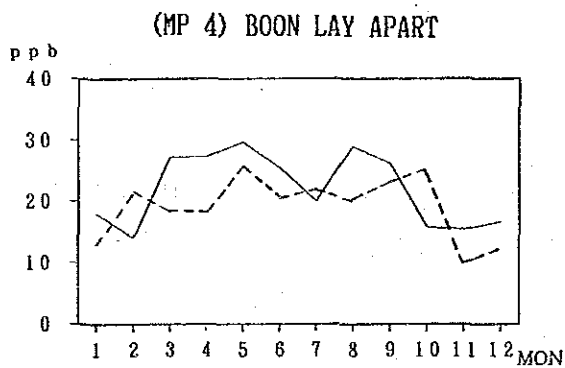
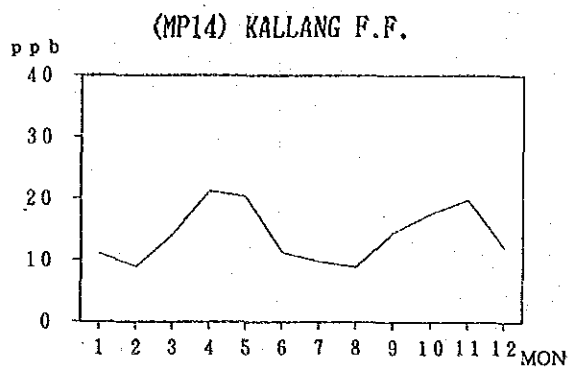
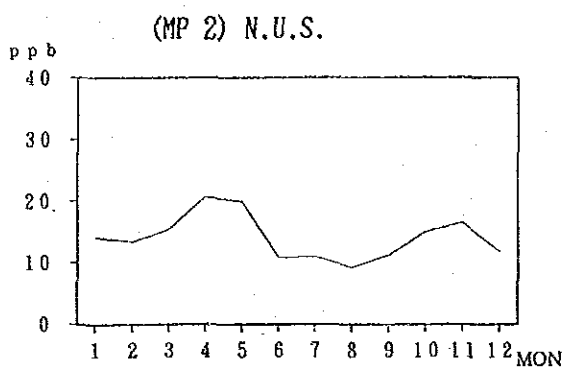
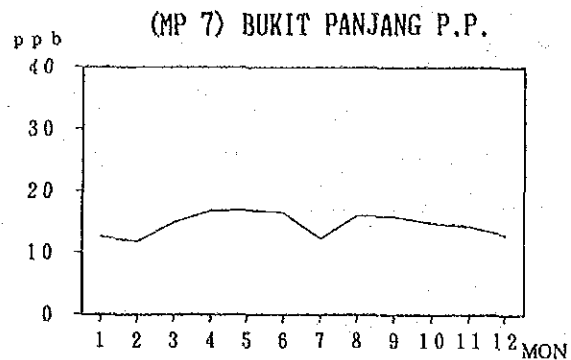
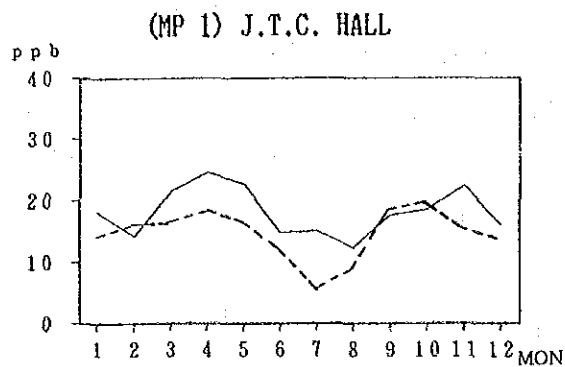
表〈Ⅱ〉- 8 各測定点におけるSO₂ 濃度の期別、昼夜別平均値

（単位；PPb）

測 定 点 名	S系モンスーン(4～10月)			N系モンスーン(11～3月)			年 間		
	昼	夜	通 日	昼	夜	通 日	昼	夜	通 日
(1) J. T. C. HALL	20.6	16.0	18.1	21.3	16.0	18.4	20.9	16.0	18.2
(2) H. U. S.	15.4	12.2	13.7	17.2	12.0	14.4	16.2	12.1	14.0
(4) BOON LAY APARTMENT	35.0	16.0	24.7	22.3	15.4	18.5	30.1	15.7	22.3
(6) NANYANG, T. I.	21.1	12.7	16.5	15.1	9.2	11.9	18.9	11.4	14.8
(7) Bukit Panjang P. P.	21.6	10.5	15.6	18.7	8.6	13.2	20.4	9.7	14.6
04 KALLANG, P. P.	16.7	12.9	14.6	15.9	11.0	13.2	16.4	12.1	14.0
08 Singapore offshore P. S.	14.7	9.3	11.7	13.0	8.5	10.5	14.0	9.0	11.3

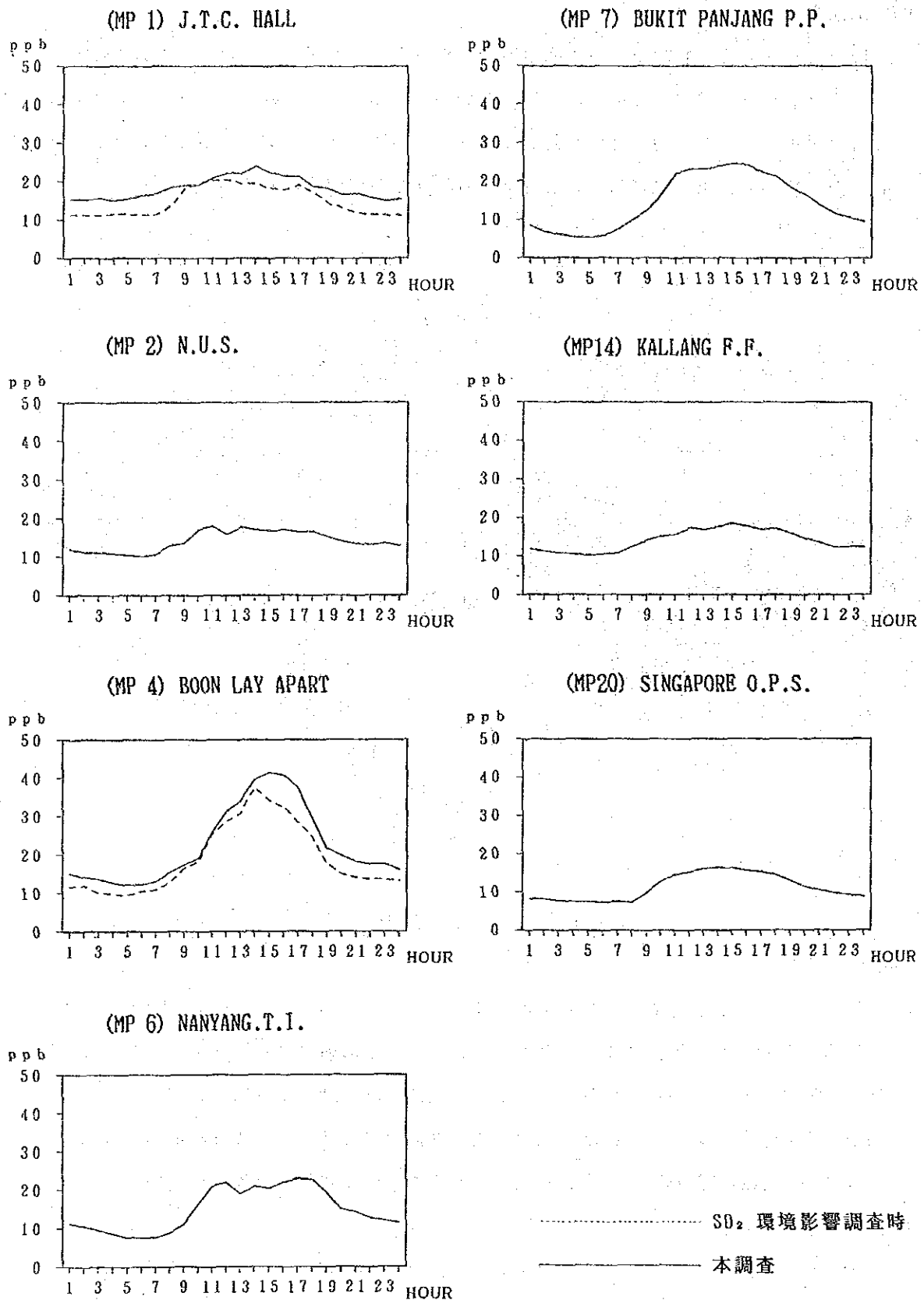
各測定点のSO₂ 濃度の月別変化は、図〈Ⅱ〉- 6に示すとおりであり、MP1, MP2, MP14, MP20では、3月～5月と9月～11月の2期間にピークがある二山型のパターンがみられる。また、MP4, MP6, MP7では3月から10月にかけて濃度が高く、11月から2月ごろは濃度が低い。この現象は、Jurong工場地帯と測定点の位置関係によるものと思われる。なお、SO₂ 環境影響調査時と同一の場所で測定したMP1, MP4のSO₂ 濃度の月別変化は、年度による差はみられない。

図〈Ⅱ〉- 7は、各測定点の時刻別変化を示したものである。これらの結果をみると、各測定点とも昼間の濃度が高くなっており、特にSO₂ の主要発生源の北側に位置するMP4, MP6, MP7では、その傾向が顕著に現れている。なお、MP1, MP4の年度による日変化パターンの差はない。



..... S0₂ 環境影響調査時
 ——— 本調査

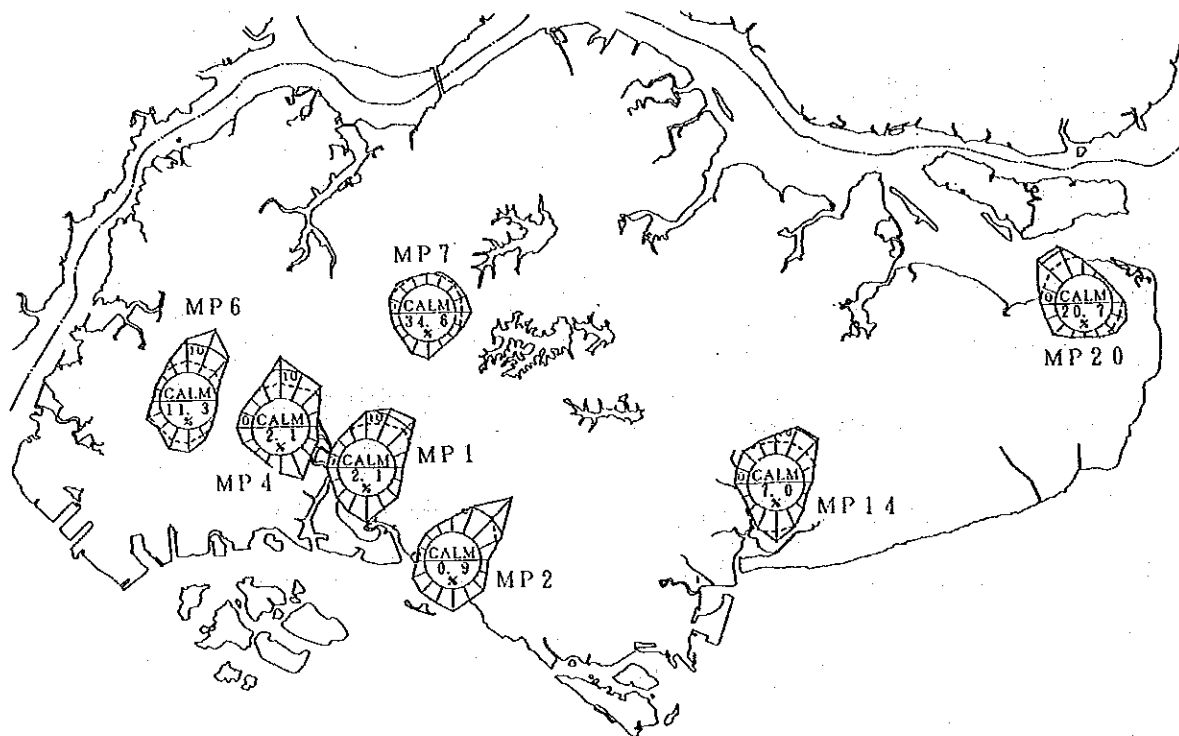
図〈Ⅱ〉- 6 SO₂ 濃度の月別変化



図〈Ⅱ〉- 7 SO_2 濃度の時刻別変化

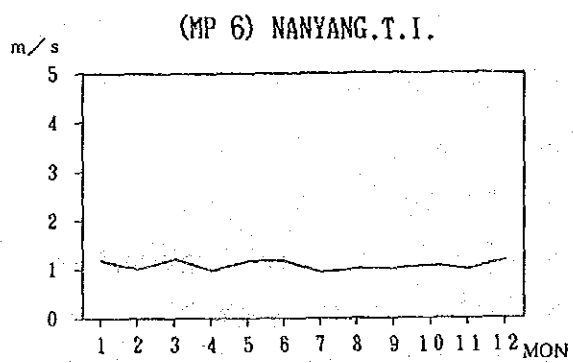
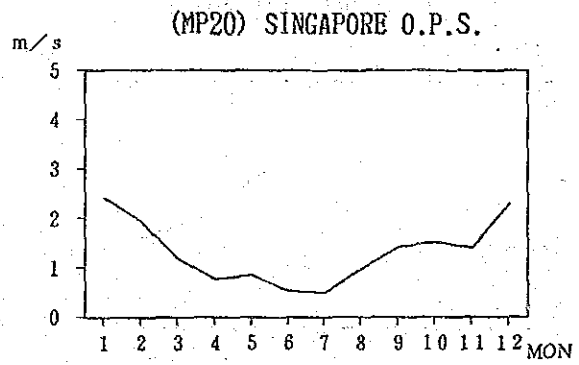
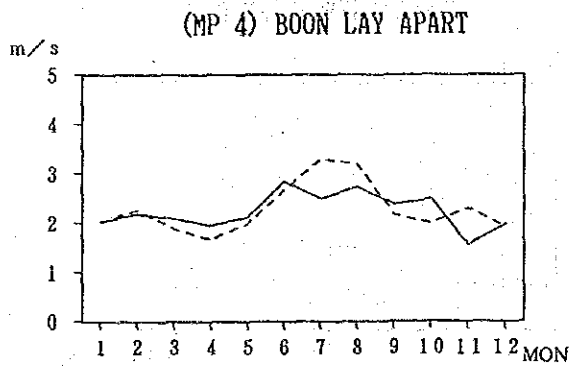
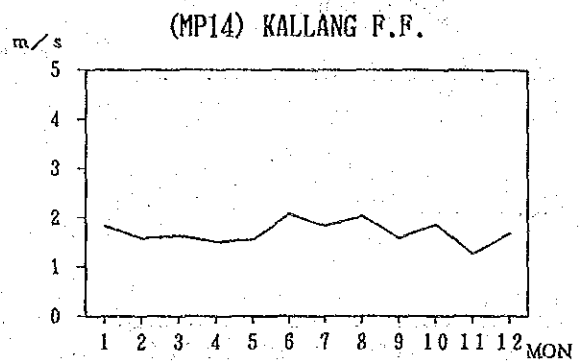
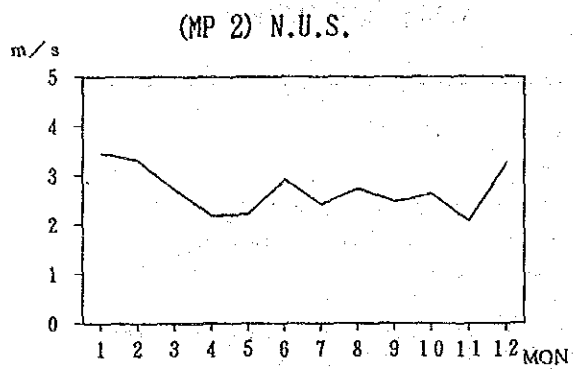
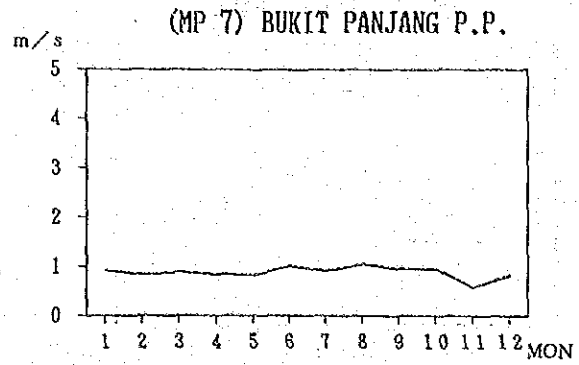
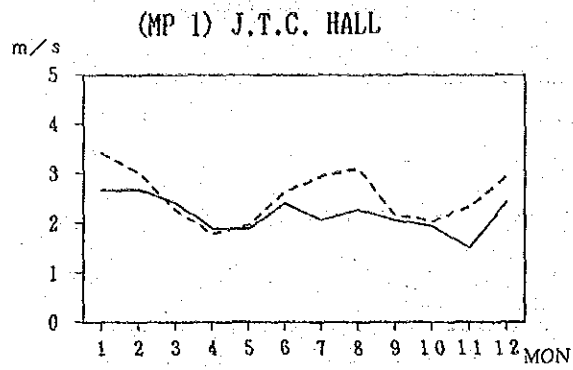
(3) 風向風速

図〈Ⅱ〉-8は、各測定点の年間の風向出現頻度を風配図として表したものである。これを見ると、シンガポールの風系は、SW系とNE系であり、それぞれS系モンスーン（4月～10月）、N系モンスーン（11月～3月）に対応している。なお、MP1、MP4における風配特性は、先に実施したSO₂環境影響調査時と、ほぼ同様な傾向を示している。



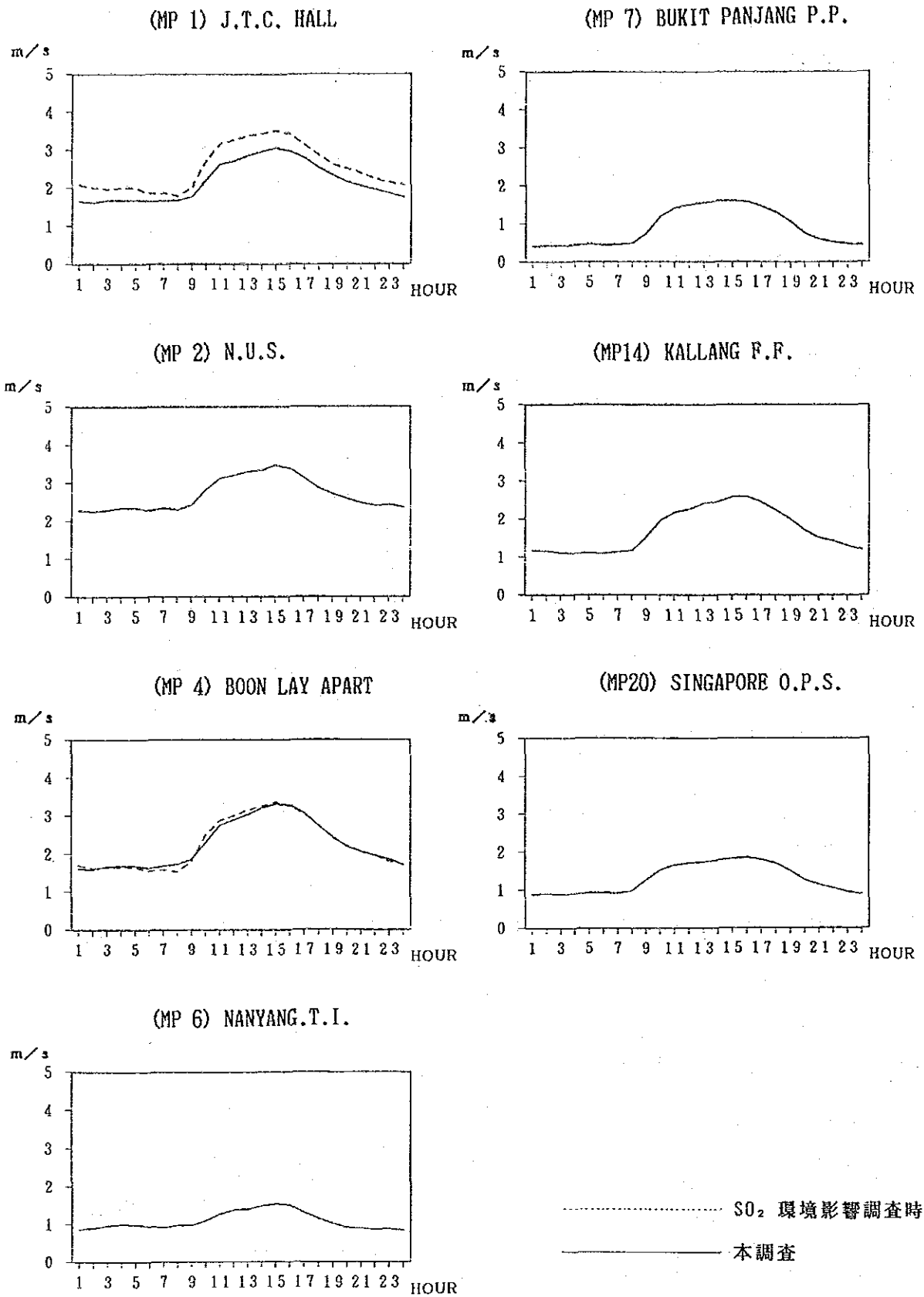
図〈Ⅱ〉-8 風配特性

図〈Ⅱ〉-9は、各測定点の月別平均風速を示したものであり、MP1、MP2、MP20では12月から2月にかけて風速が強く、3月から11月までは風速が弱い傾向を示している。しかし、他の測定点では、風速の月別変化は小さい。また、時刻別の平均風速（図〈Ⅱ〉-10）をみると、日中は風速が強く、夜間は弱い傾向が各測定点に共通してみられる。なお、MP1、MP4における風速の月別変化と時刻別変化をみると、年度による差異は小さい。



..... SO₂ 環境影響調査時
 ——— 本調査

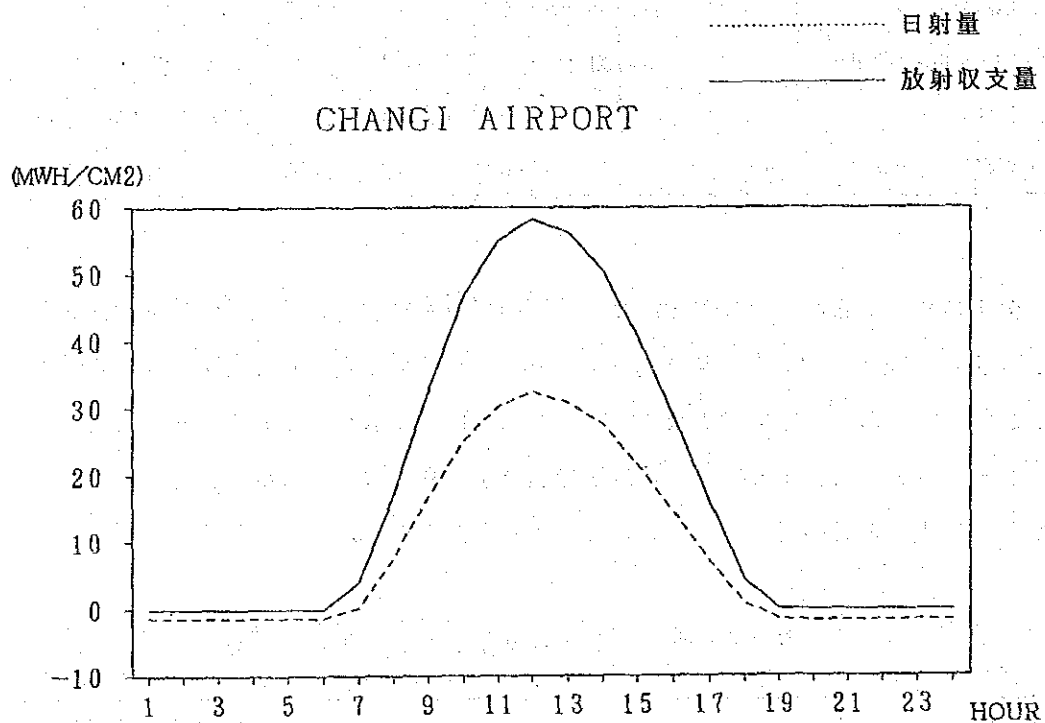
図 (Ⅱ) - 9 風速の月別変化



図(Ⅱ) - 10 風速の時刻別変化

(4) 日射量, 放射収支量, 気温

煙突等の風下での濃度を計算するためには、煙の拡がり方を定量的に把握することが必要である。このために、煙の拡がり方と密接な関係のある大気安定度を求めるため、毎時の日射量, 放射収支量を測定した(大気安定度は、風速, 日射量, 放射収支量により区分される)。図(Ⅱ)-11は、日射量, 放射収支量の時刻別平均値を示したものである。日射量, 放射収支量は、昼間が大きく大気が不安定側になり、夜間は、日射量はゼロ, 放射収支量は負の値を示しており、地面からの放射すなわち地面が冷やされ、大気が安定側になっていることがわかる。



図(Ⅱ)-11 日射量, 放射収支量の時刻別変化

表(Ⅱ)-9は、大気安定度の出現頻度をみたものである。表中のCA~CDは、無風時(0~0.3 m/s)における大気安定度であり、AからDになるほど大気が安定であることを示している。また、A~Fは有風時の大気安定度であり、これもAからFになるにしたがって、大気が安定になることを示している。SO₂環境影響調査時と同位置で風速を測定しているMP1, MP4の大気安定度出現頻度は、SO₂環境影響調査時の大気安定度出現頻度とほぼ同様な結果となっており、年度による差はみられない。

表〈Ⅱ〉- 9 大気安定度出現頻度

(単位 %)

測 定 点 名	無 風 時				有 風 時					
	CA	CB	CC	CD	A	B	C	D	E	F
(MP 1) J. T. C. HALL	0.14	0.35	1.54	0.01	0.40	19.29	13.14	23.02	40.06	2.05
(MP 2) N. U. S.	0.06	0.13	0.73	0.01	0.33	17.10	14.23	30.97	34.46	1.98
(MP 4) BOON LAY APART	0.11	0.25	1.66	0.01	0.70	18.07	13.29	23.97	39.60	2.34
(MP 6) NANYANG T. I.	0.54	0.99	9.46	0.26	2.53	23.38	5.69	15.56	39.18	2.41
(MP 7) BULIT PANJANG P. P.	0.31	1.13	31.47	1.37	1.33	24.19	4.84	13.38	20.56	1.42
(MP14) KALLANG P. P.	0.13	0.28	6.52	0.11	0.63	22.37	10.30	17.57	39.66	2.43
(MP20) SINGAPORE O. P. S.	0.64	1.22	17.97	0.65	3.02	20.50	7.33	15.48	31.04	2.15

気温の鉛直分布は、大気安定度に大いに関係があり、煙の拡散幅と密接に関連している。
 表〈Ⅱ〉- 10は、MP1の高度 1.5m及び30mにおいて測定した気温データを用いて、有風時
 及び無風時における放射収支量ランク別の気温差 ($T_{30m} - T_{1.5m}$)を示したものである。
 これをみると、大気が安定になるほど気温差が大きくなる一般的傾向を示しており、温位傾
 度と大気安定度との対応がよくとれていることがわかる。

表〈Ⅱ〉- 10 放射収支量ランク別平均気温差

放 射 収 支 量 ラ ン ク (cal/cm ² ・hr)	大気安定度	有風時 (U ≥ 0.5m/s)			無風時 (U ≤ 0.4m/s)		
		時間数 (hr)	気温差 (℃)	標準偏差 (℃)	時間数 (hr)	気温差 (℃)	標準偏差 (℃)
-3.0 以下	安 定 ↑ ↓ 不 安 定	198	0.98	0.59	3	1.87	0.19
-2.9 以上7.9 以下		4832	0.50	0.53	107	0.85	0.60
8.0 以上		2168	0.09	0.57	48	0.37	1.01

〈Ⅲ〉 粒子状物質環境濃度シミュレーション結果の要約

大気汚染物質の発生源と環境濃度との関連は、二酸化硫黄（ SO_2 ）や二酸化窒素（ NO_2 ）のようなガス状物質に関しては、まず、現状における SO_2 や NO_x の全発生源を把握し、大気拡散モデルを利用して現状の濃度を再現し、これと実測値との整合性の検討を行い、整合性が確認された後は、ここで用いた拡散モデル、拡散パラメーター等が妥当なものであるとして、立地計画を含めた将来年次における全煙源を対象とした拡散計算を行い、発生源別寄与率の推定を行い評価している。

しかし、粒子状物質に関しては、① その発生源が、工場等の煙突から排出されるばい煙の他に、土壌、海塩粒子等自然発生源に由来するもの、大気中でガス状物質から化学的に変換した二次粒子、さらに、人為的発生源としての粉じん（物理的破砕で生じるもの）、フューム（金属の加熱溶融によるもの）、自動車排ガス、道路ダスト等多岐多様にわたっており、すべての発生源を対象とした粒子状物質排出量の把握は困難であること。② 二次粒子の生成、粒子の除去機構等解明すべき問題が残っていること。③ 重力沈降を考慮した拡散モデルの開発が必要であること等のため、世界的にシミュレーション手法が確立されていない。

そこで本調査においては、現地調査で得られた各測定点の実測値（この値は、現状における全発生源が寄与している環境濃度である）が、将来においても変わらないものとして、この実測値に石炭火力発電所及び一貫製鉄所から排出される粒子状物質の拡散濃度を加えることによって、将来における粒子状物質の環境濃度とみなすこととした。また測定点以外のメッシュ点の粒子状物質濃度は、測定点における濃度（20地点）を利用して、補間法により推定を行い、これに大気拡散式により計算される新設工場による粒子状物質濃度を重合し、全メッシュ点（全シンガポール）の将来における粒子状物質濃度を予測した。なお、粒子状物質はガス状物質と異なり、重力と空気抵抗のつり合った状態で重力落下するので、本調査においては、重力落下を考慮した拡散モデルを開発し、粒子状物質の拡散濃度を計算した。

なお、最近リセプターモデルによる粒子状物質の発生源類型別寄与率推定法がMillerを初めてする研究者により提案されているので、本調査においても現地調査で得られた粒子状物質の化学成分の分析結果を用いて、現状における測定点の粒子状物質の発生源類型別寄与率の推定も追加試みた。

1. 石炭火力発電所及び一貫製鉄所のばいじん排出量

表〈Ⅲ〉-1は、石炭火力発電所及び一貫製鉄所の環境影響調査の実施に当り、これら工場から排出されるばいじん排出量をシンガポール政府と日本政府の合意のもとに設定した煙源諸元である。なお、粒子状物質はその粒径により拡散状態が異なるので、粒径別排出量も設定した。

表〈Ⅲ〉 - 1 石炭火力発電所及び一貫製鉄所の煙源諸元

事業所名、施設名		事業所 番号	煙突 番号	実 煙突高 (m)	口 径 (m)	排ガス 速度 (m/s)	排ガス 温度 (℃)	通常総排 ガス量 (Nm ³ /h)	燃焼施設	ばいじん濃度 (g/Nm ³ -drygas)	通常HCl 排出量 (kg/h)	粒 径 別 排 出 量 (kg/h)			
												2 μm 未 満	2～10	10～20	20 μm 以 上
SERAYA POWER STATION		63	2	183	7.62	25	150	2,650,000	電気集じん機	0.05	130	44.6	71.0	13.0	1.4
TEKONG POWER STATION		64	1	183	7.36	25	150	2,470,000	電気集じん機	0.05	120	41.2	65.5	12.0	1.3
TEKONG INTEGRATED STEEL MILL	Grate Kila	65	1	170	8.97	30	100	5,000,000	電気集じん機	0.18	990	440.1	288.9	93.6	27.4
	Reheating Furnace	65	2	70	1.45	30	500	63,000	な し	0.1	8	4.4	1.3	0.2	0.1
	Electric Arc Furnace	65	3	120	6.0	25	120	1,800,000	バグフィルター	0.18	324	140.0	170.1	13.6	0.3

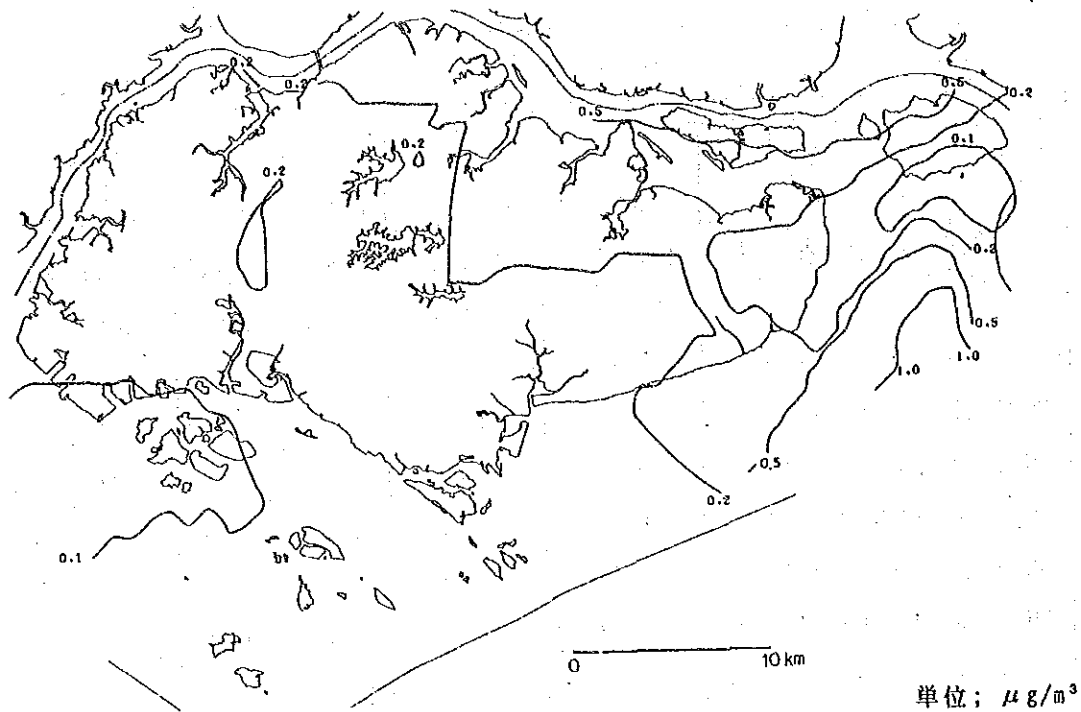
2. シミュレーション結果

表〈Ⅲ〉 - 2 は、大気拡散モデルを使用して計算した石炭火力発電所及び一貫製鉄所によるTPM, SPM の寄与濃度（年平均値）である。寄与濃度が最も大きい測定点は、TPM, SPM ともシンガポール北部に位置するWP11; Chong Pang P. P. であり、TPM は0.40 μg/m³, SPMは0.30 μg/m³である。しかしいずれにしても、寄与濃度は非常に小さい。また、図〈Ⅲ〉 - 1 は、新設工場の寄与濃度を等濃度線図として表したものである。TPM 最高濃度は、1.27 μg/m³, SPM 最高濃度は1.04 μg/m³であり、いずれもTekong島の南約10kmの海上に現れている。この濃度も非常に小さい濃度である。

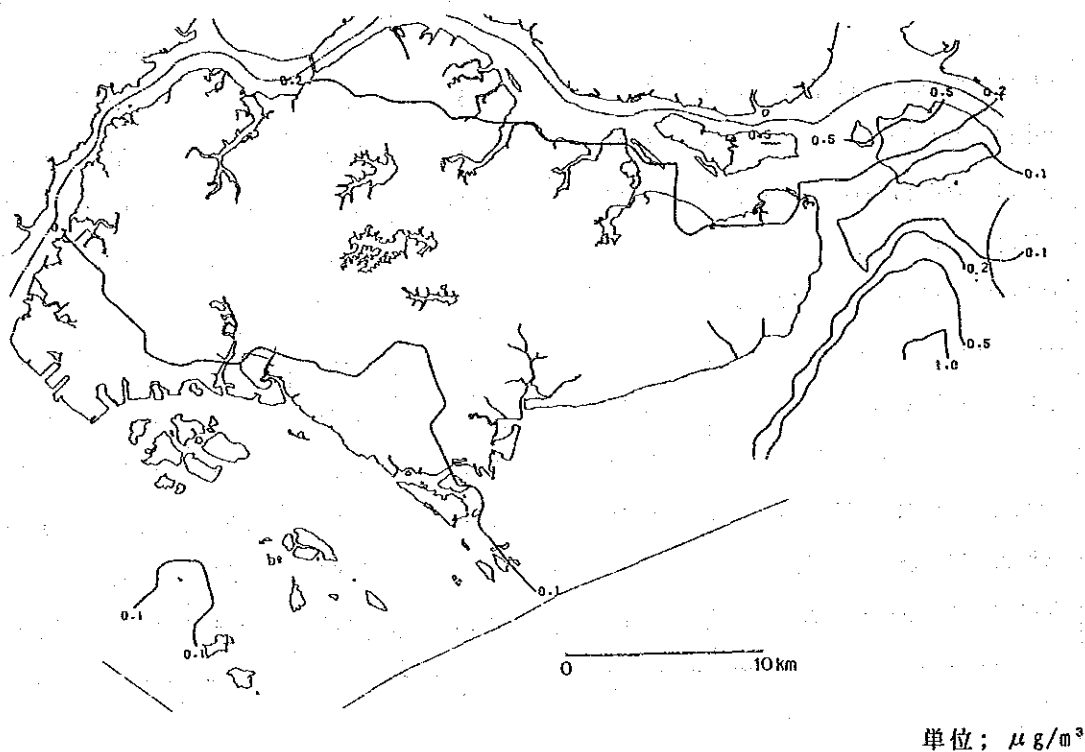
表(Ⅲ) - 2 測定点における石炭火力発電所及び一貫製鉄所の寄与濃度

(単位 $\mu\text{g} / \text{m}^3$)

測定点名	TPM (全粒径)	SPM ($10 \mu\text{m}$ 未満)	粒径別濃度			
			$2 \mu\text{m}$ 未満	$2 \sim 10 \mu\text{m}$	$10 \sim 20 \mu\text{m}$	$20 \mu\text{m}$ 以上
(MP1) J. T. C. HALL	0.14	0.10	0.05	0.05	0.02	0.02
(MP2) N. U. S.	0.12	0.08	0.04	0.04	0.02	0.02
(MP3) BUKIT MERAH F. P.	0.14	0.10	0.05	0.05	0.02	0.03
(MP4) BOON LAY APART	0.19	0.15	0.07	0.08	0.02	0.02
(MP5) JURONG HILL TOP	0.13	0.09	0.04	0.05	0.02	0.02
(MP6) NANYANG T. I.	0.16	0.12	0.06	0.07	0.02	0.02
(MP7) BUKIT PANJANG P. P.	0.18	0.14	0.07	0.07	0.02	0.02
(MP8) LIM CHU KANG M. P. P.	0.17	0.13	0.06	0.07	0.02	0.02
(MP9) KRANJI SEWAGE T. P.	0.19	0.15	0.07	0.08	0.02	0.02
(MP10) SELETAR R. W. P. S.	0.20	0.15	0.07	0.08	0.02	0.03
(MP11) CHONG PANG P. P.	0.40	0.30	0.15	0.15	0.04	0.06
(MP12) NATIONAL I. C.	0.15	0.11	0.05	0.05	0.02	0.03
(MP13) MACRITCHIE R. W. P. S.	0.15	0.11	0.05	0.05	0.02	0.03
(MP14) KALLANG F. P.	0.17	0.11	0.06	0.06	0.02	0.04
(MP15) EAST COAST S. LAGOON	0.22	0.13	0.07	0.07	0.02	0.06
(MP16) ANG MO KIO F. P.	0.23	0.16	0.08	0.08	0.02	0.04
(MP17) PAYA LEBBAR P. S.	0.18	0.12	0.06	0.06	0.02	0.04
(MP18) CHANGI C. CENTER	0.19	0.13	0.07	0.07	0.02	0.04
(MP19) JTC BEDOK F. F.	0.19	0.13	0.06	0.06	0.02	0.05
(MP20) SINGAPORE O. P. S.	0.26	0.21	0.11	0.10	0.02	0.03



図〈Ⅲ〉 - 1 (a) 石炭火力発電所及び一貫製鉄所のTPM 寄与濃度



図〈Ⅲ〉 - 1 (b) 石炭火力発電所及び一貫製鉄所の SPM寄与濃度

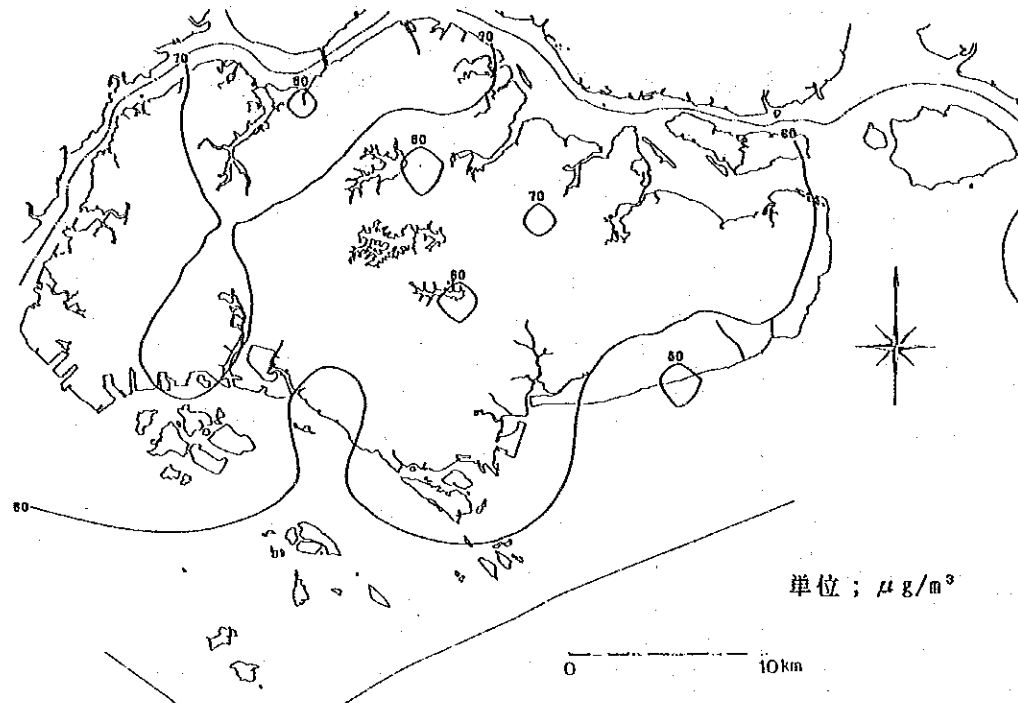
表〈Ⅲ〉- 3 は、現状における実測濃度が将来においても変わらないものとして、これに大気拡散モデルを利用して計算した石炭火力発電所及び一貫製鉄所の寄与濃度を合計した将来における測定点別のTPM, SPM 予測濃度である。この結果をみると、TPM, SPM とともに、新設工場の寄与率は全発生源の1%にも満たない。

表〈Ⅲ〉- 3 測定点におけるTPM, SPM 予測濃度

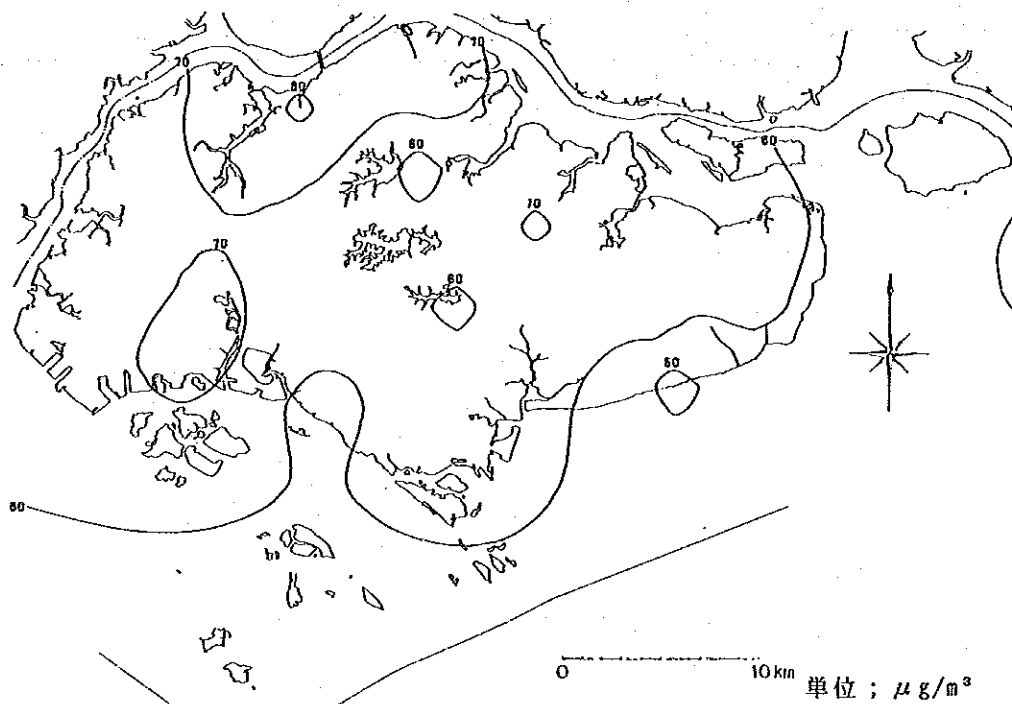
(単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

測定点名	T P M			S P M		
	T 1 ハイブリッドセンサー による 実測濃度	T 2 新設工場 による 寄与濃度	T1+T2 将来予測 濃度	S 1 ハイブリッドセンサー による 実測濃度	S 2 新設工場 による 寄与濃度	S1+S2 将来予測 濃度
(NP1) J. T. C. KALL	68.6	0.14	68.7	33.9	0.10	34.0
(NP2) N. U. S.	53.2	0.12	53.3	29.5	0.08	29.6
(NP3) BUKIT MERAN F. F.	66.7	0.14	66.8	31.3	0.10	31.4
(NP4) BOON LAY APART	74.2	0.19	74.4	39.5	0.15	39.7
(NP5) JURONG HILL TOP	78.2	0.13	78.3	34.5	0.09	34.6
(NP6) NANYANG T. I.	66.4	0.16	66.6	33.5	0.12	33.6
(NP7) BUKIT PANJANG P. P.	134.6	0.18	134.8	55.5	0.14	55.6
(NP8) LIM CHU KANG M. P. P.	69.7	0.17	69.9	36.4	0.13	36.5
(NP9) KRANJI SEWAGE T. P.	83.3	0.19	83.5	39.9	0.15	40.1
(NP10) SELATAR R. M. P. S.	54.0	0.20	54.2	28.0	0.15	28.2
(NP11) CHONG PANG P. P.	77.9	0.40	78.3	40.3	0.30	40.6
(NP12) NATIONAL I. C.	69.0	0.15	69.2	27.4	0.11	27.5
(NP13) MACRITCHIE R. M. P. S.	57.5	0.15	57.7	30.2	0.11	30.3
(NP14) KALLANG P. P.	63.3	0.17	63.5	33.3	0.11	33.4
(NP15) EAST COAST S. LAGOON	44.7	0.22	44.9	22.2	0.13	22.3
(NP16) ANG MO KIO F. F.	72.3	0.23	72.5	34.0	0.16	34.2
(NP17) PAYA LEBAR P. S.	93.1	0.18	93.3	42.8	0.12	42.9
(NP18) CHANGI C. CENTER	63.5	0.19	63.7	32.4	0.13	32.5
(NP19) JTC BEDOK F. P.	62.6	0.19	62.8	30.8	0.13	30.9
(NP20) SINGAPORE O. P. S.	63.4	0.26	63.7	24.5	0.21	24.7

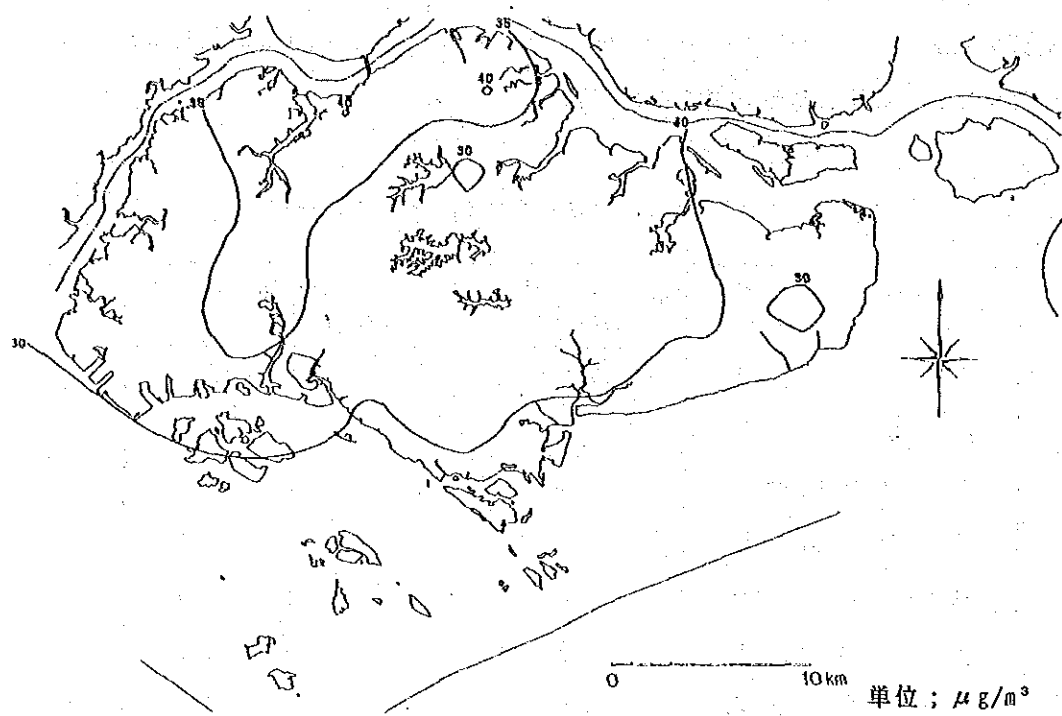
図(Ⅲ) - 2 は、補間法により推定した現状のメッシュ濃度(図(Ⅲ) - 3)と拡散計算により計算されたメッシュ濃度を重合したTPM, SPM のメッシュ別将来濃度を等濃度線図として表したものである。新設工場の寄与濃度が非常に小さいため、将来濃度は現状と変わらない結果となっている。



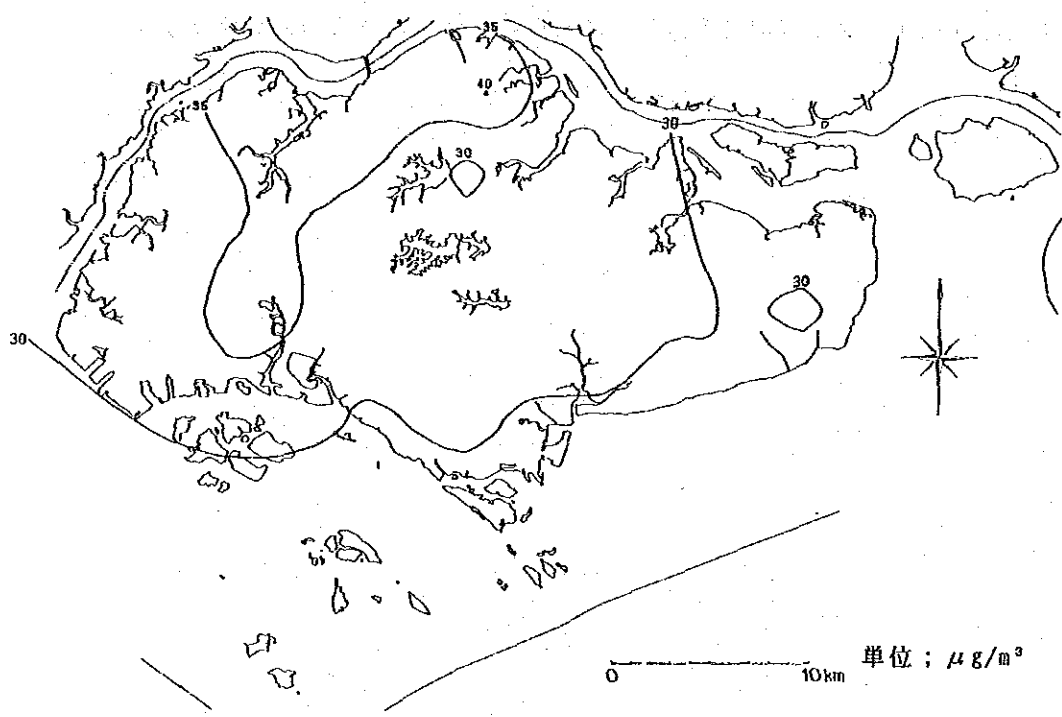
図(Ⅲ) - 2 (a) TPM 将来予測濃度



図(Ⅲ) - 3 (a) TPM 現状濃度



図(Ⅲ) - 2 (2) SPM将来予測濃度



図(Ⅲ) - 3 (2) SPM現状濃度

3. 現状における粒子状物質発生源類型別寄与率

表<Ⅲ>-4は、化学成分の全地点全シーズンの平均値を用いて、リセプターモデルの一種である化学質量平衡法（Chemical element balance ; CEB or chemical mass balance ; CMB）により推定した現状における粒子状物質発生源類型別寄与率である。

表<Ⅲ>-4 現状における発生源類型別寄与率

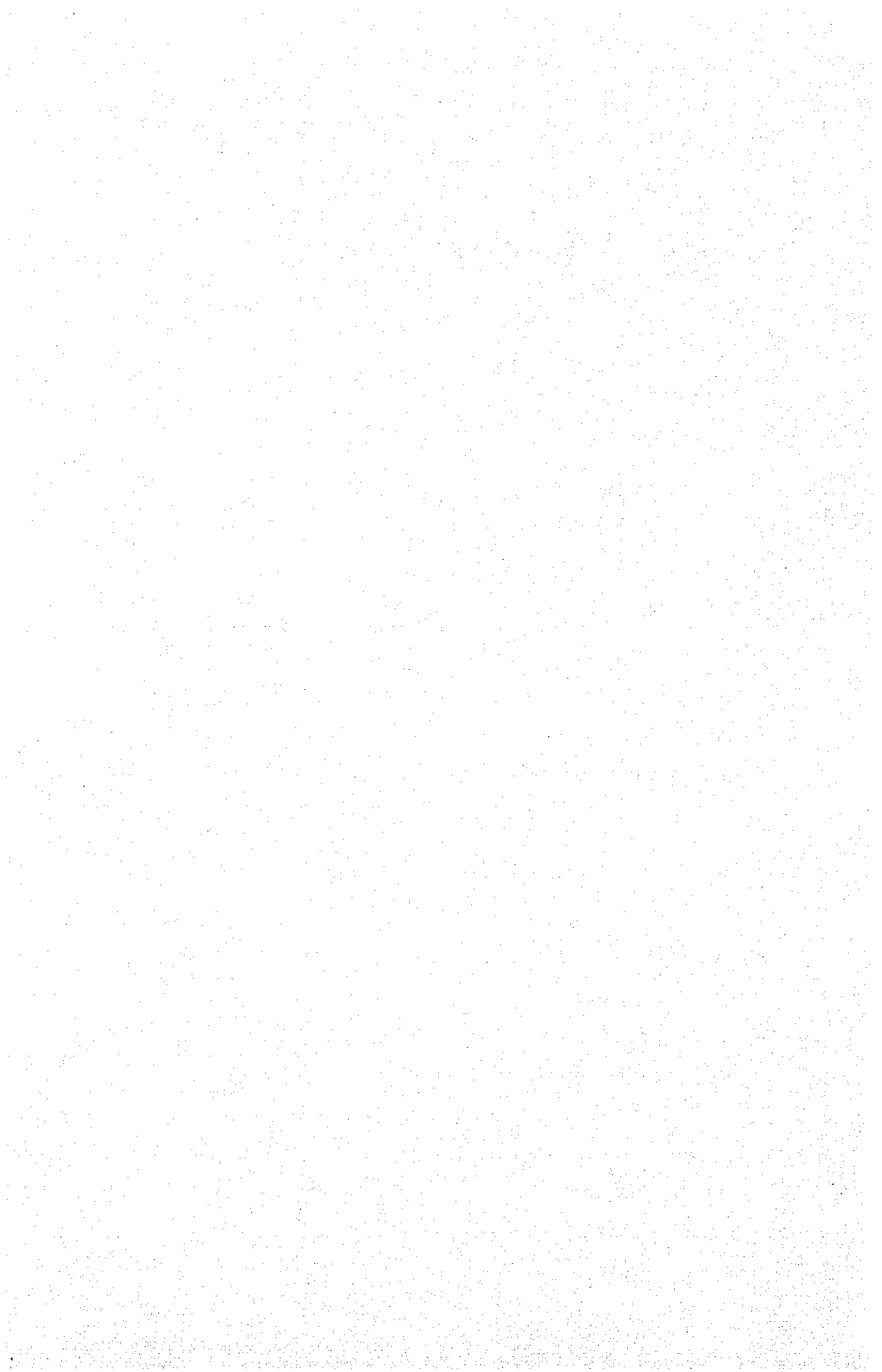
発 生 源 種	計 算 値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	実 測 値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	寄 与 率 (%)
土 壌	17.5	—	26.2
海 塩 粒 子	4.3	—	6.4
ガソリン自動車	1.3	—	2.0
石 油 燃 焼	1.8	—	2.7
鉄 鋼	1.0	—	1.5
廃 棄 物 焼 却	0.6	—	0.8
セメント硬化物	4.0	—	6.0
計	30.5	66.6	45.8

この結果をみると、粒子状物質の寄与は、土壌、海塩粒子等自然発生源によるものが多く、人為的に発生する粒子状物質の寄与は小さい。この結果は、日本での推定結果とほぼ一致している。なお、ここにあげた発生源類型別の寄与率の合計は45%であるが、残りの55%は、ディーゼル自動車、二次粒子、その他（例えば焼畑農業）と考えられるが、これらの区別はできない。

第 I 編

序

論



第 I 編 序 論

第 1 章 調査の経緯と目的

1.1 調査の経緯

1979年8月シンガポールで開催された対シンガポール技術協力年次協議の際、同協議に出席したシンガポール側 Jurong Town Corporation (以下 J T C) より、同国が開発する石炭火力発電所及び一貫製鉄所立地に係る環境への影響調査につき技術協力方提案があり、さらに同国政府より日本政府に要請があった。日本政府はこの要請に基づき調査の実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、通商産業省立地公害局公害防止指導課 菊島一郎課長補佐 を団長とする7名の調査団を編成し、1980年12月8日から同月20日まで13日間にわたって現地において事前調査を実施した。事前調査団はシンガポール側カウンターパートである J T C と協議し、合意した下記事項について Scope of Work 及び Minutes of Meetings を取り交わした。

- ① 環境影響調査全体のスケジュール
- ② 現地調査の内容（実施期間、調査項目、調査地点等）
- ③ 汚染予測の内容（実施期間、予測項目等）
- ④ シンガポール側の協力（現地調査協力、汚染予測に必要な資料収集等）

当事業団は、この Scope of Work 及び Minutes of Meetings に従い、1981年2月より同年12月にわたって水質関係の現地調査及び化学的酸素要求量 (C O D) 、温排水についてのシミュレーションを実施し、引きつづき1981年6月より1982年3月にわたって大気関係の現地調査及び二酸化硫黄 (S O₂) に係るシミュレーションを実施した。

このような状況のもとで、シンガポール政府は本件環境影響調査をより包括的なものにするため、粒子状物質 (Particulate Matter) に係る環境影響調査の実施についても日本政府に1982年に追加要請し、1983年6月両国政府において合意に至った。

当 Scope of Work に基づき、粒子状物質に係る現地調査及びシミュレーションを1983年12月より1985年7月にわたって実施した。

1.2 調査の目的

シンガポール政府が計画している石炭火力発電所及び一貫製鉄所の立地に係る環境影響調査として、当該地域の粒子状物質濃度並びに気象に関する現地調査を行い、これら測定データの解析結果並びに別に合意に至った当該施設の発生源データに基づき、粒子状物質に係る拡散シミュレーションを行い、石炭火力発電所及び一貫製鉄所立地後（1990年次）における環境予測

を行うとともに、現地調査で得られた粒子状物質の化学成分の分析結果を用いて、リセプターモデルにより、現状における粒子状物質の発生源類型別の寄与率を推定する。また、同国関係者に粒子状物質に関する測定機器の取り扱い等に関する教育、訓練を行う。

第2章 調査の実施概要

大気汚染物質の発生源と環境濃度との関連は、二酸化硫黄 (SO_2) や二酸化窒素 (NO_2) に関しては、まず現状における当該地域の全発生源を把握し、これらをインプットデータとして大気拡散モデルを利用して環境濃度を計算し、その計算値と現地調査で得られた実測値との整合性を検討する。整合性が確認された後は、ここで用いた拡散モデル、拡散パラメータ等が妥当なものであると判断して、立地計画を含めた将来年次における全煙源を対象とした計算を行い、煙源別（発生源別）寄与率の推定を行い評価している。しかし、粒子状物質に関しては、その発生源が土壌、海塩粒子等自然発生源に由来するもの、工場、自動車等人為的に発生するもの、さらに、大気中でガス状物質から化学的に変換した二次粒子など多岐にわたっており、大気拡散モデルを利用した発生源別寄与率の推定は、粒子状物質排出量把握の不正確さのため、非常に困難である。

そこで、本調査においては、現地調査で得られた実測値（この値は現状における自然発生源、人為発生源による粒子状物質及び二次粒子を含む環境濃度である）が、将来においても変わらないものとして、この実測値に、大気拡散モデルを利用して計算される石炭火力発電所及び一貫製鉄所による粒子状物質の環境濃度を加えることによって、将来における粒子状物質の環境濃度とみなすこととした。

そのため、本調査においては、粒子状物質測定点をできるだけ数多く設置し（当該地区20地点）、測定点以外のメッシュ点の粒子状物質の濃度を、測定点における濃度を利用して補間法により推定を行い、これに大気拡散モデルにより計算される新設工場による粒子状物質濃度を重合し、全メッシュ点（全シンガポール）における将来の粒子状物質濃度を予測した。

また、最近リセプターモデルによる発生源類型別寄与率推定法が報告されているので、本調査においても、現地調査で得られた粒子状物質の化学成分の分析結果を用いて、現状における測定点における粒子状物質の発生源類型別の寄与率の推定も追加試みた。

なお、現地調査は1983年12月、1984年3月、同年6月から7月及び9月の計4回、各14日間、集中的に粒子状物質を測定する短期現地調査と、1983年12月から1984年12月にかけて1年間粒子状物質を測定する長期現地調査を実施した。また、測定機器の保守管理については、日常のチェックはシンガポール政府が、機器の校正等については日本側が行うこととしたが、機器の取り扱い方法、保管管理方法は、各短期調査中、JTC職員が調査団と同行することにより習得した。

2.1 調査対象地域

本調査における環境影響対象地域は、シンガポール本島全島及び一部周辺諸島を含むものと
し、表 I - 2 - 1, 図 I - 2 - 1, に示すとおりシンガポール本島の略々全土をカバーする20
の測定点を設置した。

表 I - 2 - 1 測定点設置地点名

No	地 点 名
1	Jurong Town Hall
2	National University of Singapore
3	Bukit Merah Flatted Factory Block 1
4	Boon Lay Apartment Block 200
5	Jurong Hill Top Restaurant
6	Nanyang Technological Institute
7	Bukit Panjang Police Post
8	Lim Chu Kang Marine Police Post
9	Kranji Sewage Treatment Plant
10	Seletar Reservoir Water Pumping Station
11	Chong Pang Police Post
12	National Institute of Commerce
13	Macritchie Reservoir Water Pumping Station
14	Kallang Flatted Factory Block 3
15	East Coast Swimming Lagoon
16	Ang Mo Kio Flatted Factory Block 5001
17	Paya Lebar Police Station
18	Changi Community Center, 16 Km Changi Road
19	JTC Bedok Flatted Factory
20	Singapore Offshore Petroleum Services

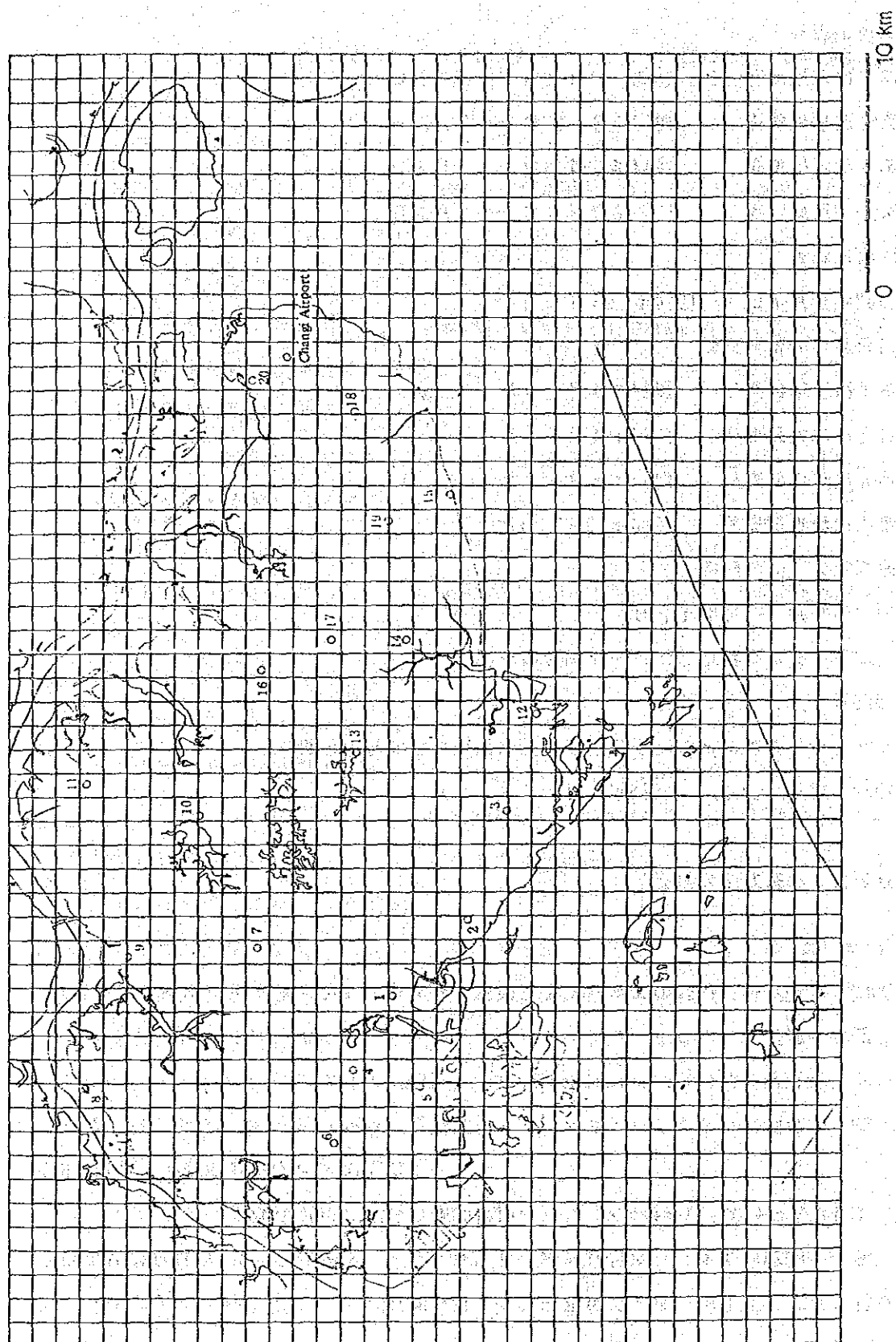


图 I - 2 - 1 环境影嚮对象地域並びに測定点設置地点

2.2 調査期間

(1) 短期現地調査

第1次現地調査	1983年11月23日 ~ 12月25日
第2次現地調査	1984年2月27日 ~ 3月25日
第3次現地調査	1984年6月11日 ~ 7月8日
第4次現地調査	1984年9月3日 ~ 9月30日

(2) 長期現地調査

1983年12月7日 ~ 1984年12月6日

(3) 金属元素等の化学分析

第1次現地調査分	1984年4月, 5月
第2次現地調査分	1984年4月, 5月
第3次現地調査分	1984年8月, 9月
第4次現地調査分	1984年10月, 11月

(4) 現地測定データの解析

1984年6月 ~ 1985年2月

(5) 大気拡散モデルを利用した粒子状物質の予測

1985年3月, 5月, 6月

(6) リセプターモデルによる粒子状物質の発生源類型別寄与率の推定

1984年10月, 12月, 1985年5月, 6月, 7月

2.3 調査項目と調査方法の概要

2.3.1 現地調査

現状における粒子状物質の環境濃度を把握するために、下記に示す現地調査を実施した。

(1) 短期現地調査

① 浮遊粉じん (Total Particulate Matter : TPM) の測定

MP1 ~ MP20にハイボリウムサンプラーを設置し、TPMの日平均値の測定を行った。

(第1次~第4次現地調査, 各14日間)

② 浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter ; SPM) の測定

MP1 ~ MP20にサイクロン付ハイボリウムサンプラーを設置し、SPMの日平均値の測定を行った。(第1次~第4次現地調査, 各12日間)

③ 浮遊粉じんの粒径分布測定

MP1, 2, 6にアンダーセンサンプラーを設置し、TPMの粒径分布測定を行った。

(12日間平均値)

(2) 長期現地調査

① 浮遊粒子状物質の測定

MP 1, 2, 6 に β 線吸収式粉じん計を設置し、毎時のSPMの環境濃度を自動連続通年測定した。

② 二酸化硫黄 (SO_2) の測定

MP 1, 2, 4, 6, 7, 14, 20 に溶液導電率式 SO_2 計を設置し、毎時の SO_2 環境濃度を自動連続通年測定した。

③ 地上風向風速測定

MP 1, 2, 4, 6, 7, 14, 20 に風車型自動連続風向風速計を設置し、風向風速の10分間移動平均値を1年間通年観測した。

④ 日射量、放射収支量の測定

チャンギー国際空港内にネオ日射計及び示差放射収支計を設置し、日射量、放射収支量の1時間平均値を通年測定した。

⑤ 気温の測定

MP 1 の地上1.5 m 及び30.0 m に白金抵抗温度計を設置し、気温の瞬間値の測定を1年間行った。

(3) 金属元素等の化学分析

① 浮遊粉じん中の金属元素、陰イオンの分析

第1次～第4次短期現地調査のTPM測定ろ紙1日分(20地点×4シーズン分)を日本に持ち帰り、放射化分析法(neutron activation analysis), ケイ光X線分析法(X-ray fluorescence analysis), イオンクロマト分析法(ion chromatography)により、33元素、3種の陰イオンを分析した。

② 浮遊粉じん中の全炭素、不揮発性炭素の分析

第1次～第4次短期現地調査のTPM測定ろ紙1日分(金属成分分析用サンプルとは試料採集日が異なる。20地点×4シーズン分)を日本に持ち帰り、示差熱分析法(differential thermal analysis)により全炭素(Total Carbon), 不揮発性炭素(non volatile carbon)の分析を行った。

③ 土壌中の化学成分の分析

シンガポールにおける代表的な土壌3種(JTCソイルラボラトリーから提供を受ける)の元素、陰イオン、全炭素、不揮発性炭素を放射化分析法、ケイ光X線分析法、イオンクロマト分析法、示差熱分析法により分析した。

2.3.2 現地調査データの解析

現地調査で得られたデータを用い下記の解析を行った。

(1) 長期現地調査の解析

① 気象データの解析

- ・期・時間帯区分
- ・平均風速
- ・風速ランク別出現頻度
- ・風配図
- ・各測定点間の風向風速ベクトル相関係数
- ・ベクトル相関係数に基づくクラスター分析
- ・ベクトル相関係数に基づく主成分分析
- ・大気安定度
- ・気温

② SO₂ 濃度の解析

- ・SO₂ 濃度の月別変化
- ・SO₂ 濃度の時刻別変化
- ・SO₂ 濃度の累積頻度分布
- ・SO₂ 濃度の風向別風速ランク別平均濃度

③ β 線粉じん計によるSPM濃度の解析

- ・SPM濃度の月別変化
- ・SPM濃度の時刻別変化
- ・SPM濃度の週日・週末変化
- ・SPM濃度の累積頻度分布
- ・SPM濃度の風向別風速ランク別平均濃度
- ・SPM濃度の風速ランク別大気安定度別平均濃度
- ・SPM濃度の地点間の相関
- ・SPM濃度の高濃度解析
- ・SPM濃度とSO₂ 濃度との相関

(2) 短期現地調査データの解析

① ハイボリウムサンプラーによるTPM、SPM濃度の解析

- ・TPM、SPM濃度の期別平均濃度
- ・TPM、SPM濃度の日変動
- ・TPM、SPM濃度の期別にみた地点間の相関
- ・TPM、SPM濃度の相関

- ・ハイボリウムサンプラー測定値と β 線粉じん計測定値の比較
- ② アンダーセンサンプラーによるTPM 濃度の解析
 - ・TPM の粒径別濃度
 - ・TPM の粒径分布
 - ・アンダーセンサンプラー測定値とハイボリウムサンプラー、 β 線粉じん計測定値との比較
- ③ β 線粉じん計によるSPM 濃度の解析
 - ・短期現地調査期間中のSPM 濃度の風向別平均濃度
 - ・短期現地調査期間中のSPM 濃度の風速ランク別平均濃度
 - ・短期現地調査期間中のSPM 濃度の気象安定度別平均濃度
- (3) 粒子状物質中の化学成分の解析
 - ① 化学成分の平均濃度
 - ② 化学成分の地域分布
 - ③ 化学成分間の関係
 - ④ 化学成分の変動
 - ⑤ 化学成分の地点間の比較

2.3.3 発生源データの将来想定

JTC を通じて入手したシンガポール共和国の開発計画に関する資料をもとに、石炭火力発電所及び一貫製鉄所の施設別（発電ボイラー、グレイトキルン、加熱炉、電気炉）粒子状物質排出量を、JTC と協議し決定した。また、粒子状物質は粒径により拡散状態が異なるので、粒子状物質の粒径分布を日本の数多くの測定例を参考にして、施設別に設定した。

2.3.4 粒子状物質予測シミュレーション

ガス状物質（例えば SO_2 ）に適用されている大気拡散モデルを利用して粒子状物質の予測を行うことは、粒子状物質の発生源の多様性、二次粒子の生成、除去機構のモデル化等世界的に未解決の部分が数多くあり、全発生源を対象とした大気拡散モデルによる予測は困難である。そこで本調査では、現地調査で得られた実測濃度（この値は、現状における自然発生源、人為発生源、二次粒子等全発生源が寄与している濃度である）が、将来においても変わらないものとして、この実測値に、大気拡散モデルを利用して計算した石炭火力発電所及び一貫製鉄所の粒子状物質寄与濃度を加え、将来における粒子状物質の濃度を予測した。なお、粒子状物質の大気拡散モデルは、重力沈降を考慮した拡散モデルを採用した。

また、上記方法による粒子状物質の予測シミュレーションでは、発生源別の寄与率が不明であるので、粒子状物質がもつ多くの情報（実測した元素濃度）を基に、その発生源を推定

する方法、すなわち、最近開発されたりセプターモデルを利用して、現状における発生源類型別（土壌、海塩粒子、鉄鋼、廃棄物焼却、石油燃焼、ガソリン自動車、セメント硬化物、その他）の寄与率を推定した。

2.4 調査の組織

現地調査における調査団員名を表 I - 2 - 2 に示す。

表 I - 2 - 2 現 地 調 査 団 員 名

	氏 名	担 当	派 遣 期 間
第 一 次 調 査 団	稲垣 喜八	総括団長	1983年11月23日 ~ 12月25日
	桜井 康三	観測測定	1983年11月23日 ~ 12月25日
	中橋 薫	観測測定	1983年11月23日 ~ 12月25日
	小林 恵三	観測測定	1983年11月23日 ~ 12月25日
	戸田 博章	観測測定	1983年11月23日 ~ 12月25日
	藤村 満	観測測定	1983年11月23日 ~ 12月25日
	小林 啓	観測測定	1983年11月23日 ~ 12月25日
第 二 次 調 査 団	稲垣 喜八	総括団長	1984年2月27日 ~ 3月25日
	清水 和夫	観測測定	1984年2月27日 ~ 3月25日
	神宮 直人	観測測定	1984年2月27日 ~ 3月25日
	岡本 真一	観測測定	1984年2月27日 ~ 3月25日
	野口 哲男	観測測定	1984年2月27日 ~ 3月25日
	小野 節夫	観測測定	1984年2月27日 ~ 3月25日
	小林 哲	観測測定	1984年2月27日 ~ 3月25日
第 三 次 調 査 団	稲垣 喜八	総括団長	1984年6月11日 ~ 7月8日
	中橋 薫	観測測定	1984年6月11日 ~ 7月8日
	小野 憲仁	観測測定	1984年6月11日 ~ 7月8日
	森本 司	観測測定	1984年6月11日 ~ 7月8日
	小林 啓	観測測定	1984年6月11日 ~ 7月8日
	大木 肇	観測測定	1984年6月11日 ~ 7月8日
	松崎 直樹	観測測定	1984年6月11日 ~ 7月8日
第 四 次 調 査 団	稲垣 喜八	総括団長	1984年9月3日 ~ 9月30日
	山田 剛	総括及び煙源設定説明	1984年9月23日 ~ 9月29日
	小林 恵三	観測測定	1984年9月3日 ~ 9月30日
	日名地 孝	観測測定	1984年9月3日 ~ 9月30日
	戸田 博章	観測測定	1984年9月3日 ~ 9月30日
	野口 哲男	観測測定	1984年9月3日 ~ 9月30日
	小林 啓	観測測定	1984年9月3日 ~ 9月30日
	三坂 真一	観測測定	1984年9月3日 ~ 9月30日

2.5 調査経過

本調査の調査経過は次のとおりである。

(1) 短期現地調査

- ・第1次現地調査 1983年11月23日 ~ 12月25日
- ・第2次現地調査 1984年2月27日 ~ 3月25日
- ・第3次現地調査 1984年6月11日 ~ 7月8日
- ・第4次現地調査 1984年9月3日 ~ 9月30日

(2) 長期現地調査

- ・通年測定 1983年12月7日 ~ 1984年12月6日

(3) 測定機器の取り扱い等に関する教育・訓練

- ・測定機器の校正等室内作業 1983年11月25日~1983年12月6日
- ・ろ紙の交換等屋外作業 1985年12月7日~12月21日
1984年3月6日~3月20日
1984年6月21日~7月5日
1984年9月13日~9月27日

(4) 浮遊粉じんの化学分析

- ・金属元素, 陰イオン, 炭素の分析 1984年4月, 5月, 8月, 9月, 10月, 11月

(5) 測定データの整理

- ・長期測定データの読み取り整理 1984年6月~12月

(6) 短期現地調査データの解析

- ・TPM, SPM等の解析 1984年6月, 7月, 8月, 11月, 12月
1985年1月, 2月

(7) 長期現地調査データの解析

- ・SPM, SO₂, 気象等の解析 1985年1月, 2月

(8) 発生源データの設定

- ・発生源データの設定及び解析 1984年8月, 1985年3月

(9) シミュレーション

- ・大気拡散モデルによる予測 1985年3月, 5月, 6月
- ・リセプターモデルによる寄与率の推定 1984年10月, 12月
1985年5月, 6月, 7月

なお, 短期現地調査時の調査経過を表 I - 2 - 3 (1)~(4)に示す。

表 I - 2 - 3 (1) 第 1 次 現 地 調 査 経 過 一 覧

年 月 日	曜 日	作 業 概 要
1983年11月23日	水	成田発11:00 SQ005便にて調査団7名シンガポールへ出発。 20:00チャンギー国際空港に到着, 大使館片山商務官, 溝渕 JICA所長の出迎えを受けた。
24日	木	午前中大使館訪問, 調査の概要を説明した。 午後, J T Cにおいて総裁出席の上調査の概要を説明。続いて J T C 担当者 (Tan Suan Yong, Hee Ah Mui) と作業日程について打合せを行う。
25日	金	到着機器 (ハイボリウムサンプラー42台, アンダーセンサンプラー2台, 流量校正器2台, β 線粉じん計3台, ろ紙等消耗品一式) の開梱, 組立作業を行う。また β 線粉じん計の作動を確認。
26日	土	ハイボリウムサンプラーの校正, 天秤の感度調整, SO_2 計と β 線粉じん計の組立作業と並行して, Key Station の設置場所変更に伴う地点選定を実施 (MP2 → MP6)。
27日	日	休日。
28日	月	ハイボリウムサンプラーの校正, アンダーセンサンプラー流量校正, SO_2 計と β 線粉じん計の組み合わせ作業, SO_2 計の保守点検, 気象計器の作動確認を行った。
29日	火	ハイボリウムサンプラーの校正, アンダーセンサンプラー流量校正, SO_2 計と β 線粉じん計の組み合わせ作業, SO_2 計の保守点検, ハイボリ用ろ紙のナンバリングを実施。
30日	水	デシケーター清掃後, ろ紙恒量開始。 MP6に $SO_2 + \beta$ 線粉じん計を設置連続運転に入る。また風向風速計, ハイボリウムサンプラー設置。 MP1にハイボリウムサンプラー設置, また, MP1の SO_2 計のサンプリングチューブを新品に交換。
12月1日	木	アンダーセンサンプラーのプレート洗浄後, 組み立てを行いアンダーセンサンプラー用ろ紙の秤量を行う。 ハイボリウムサンプラーを11測定点に設置。

表 I - 2 - 3 (1) 第 1 次現地調査経過一覧 (つづき)

年 月 日	曜日	作 業 概 要
1983年12月2日	金	天秤の校正、ハイボリウムサンプラーろ紙の秤量を実施。ハイボリウムサンプラーを7測定点に設置。 MP4, MP6の風向風速計のキャリブレーションを実施。 MP1, MP4, MP6のSO₂計の等価液校正。
3日	土	ハイボリウムサンプラー用ろ紙の秤量。 巡回用野帳の準備。 MP2において、SO₂計のサンプリング配管交換、液路チューブ交換、等価液校正。また、風向風速計のキャリブレーションを実施。
4日	日	休日。
5日	月	ハイボリウムサンプラー用ろ紙の秤量。 MP1に温度計設置(2高度)。 アンダーセンサンプラーにろ紙をセット(3台分)。 MP4のSO₂計にアンモニアスクラバー取り付け。 MP6にてVTR。 MP7のSO₂計の保守点検、等価液校正、風向風速計のキャリブレーション。
6日	火	ハイボリウムサンプラー用ろ紙秤量。 MP1にて温度計の校正。 MP14, MP20のSO₂計保守点検、等価液校正、風向風速計のキャリブレーション。MP2の点検。
7日～20日	水 火	粒子状物質(ハイボリウムサンプラー、アンダーセンサンプラー、β線粉じん計による)、SO₂、風向風速、気温等の測定を行った。なお、12月7日～18日までの12日間は、ハイボリウムサンプラー用ろ紙は、石英フィルターを残りの2日間はポリフロンフィルターを使用した。
21日	水	午前中全測定点のろ紙等を回収し測定を終了した。午後は各測定点の機器(ハイボリウムサンプラー、アンダーセンサンプラー)の回収を行った。また、捕集後試料ろ紙の秤量を引き続き実施した。

表 I - 2 - 3 (1) 第 1 次 現 地 調 査 経 過 一 覧 (つづき)

年 月 日	曜 日	作 業 概 要
22日	木	測定機器の洗浄，整理。 SO ₂ 計，β線粉じん計の調整，保守について教育，訓練。 捕集後試料ろ紙の秤量。 測定済粉じん秤量結果の計算及び資料整理。
23日	金	アンダーセンサンプラー用ろ紙秤量。 測定済粉じん秤量結果の計算及び資料整理。 測定機器の整理。 以上の作業を終了した後，JTC 役職員と最終打合せ。
24日	土	休日。
25日	日	SQ008 便にて帰国。

表 I - 2 - 3 (2) 第 2 次 現 地 調 査 経 過 一 覧

年 月 日	曜 日	作 業 概 要
1984年 2 月 27日	月	成田発12:00 JAL719 便にて調査団 7 名シンガポールへ出発 18:30チャンギー国際空港に到着。
28日	火	午前中 JTC と打合せ。その後機材の確認を行う。午後大使館及び JICA シンガポール事務所を訪問。
29日	水	MP1，MP6 の SO ₂ 計，粉じん計，風向風速計の点検。 アンダーセン用ろ紙秤量，ハイボリウム用ろ紙120枚恒量，ろ紙のナンバリングを行う。 ハイボリウムサンプラーの校正。
3 月 1 日	木	MP1，2，6 の SO ₂ 計，粉じん計，風向風速計の点検及び SO ₂ 計の等価液校正を行う。 ハイボリウム用ろ紙の秤量及び恒量を行う。 アンダーセンの流量計及びハイボリの校正を行う。
2 日	金	20地点にハイボリを設置。 MP14，20，7 の SO ₂ 計，風向風速計の点検及び SO ₂ 計の等価液校正を行う。 ハイボリウム用ろ紙の秤量及び恒量を行う。

表 I - 2 - 3 (2) 第 2 次 現 地 調 査 経 過 一 覧 (つ づ き)

年 月 日	曜 日	作 業 概 要
3 日	土	SO ₂ 計, 風向風速計の点検及びSO ₂ 計の等価液校正 (MP4) ハイポリウムろ紙の秤量及び恒量。 MP2のハイポリウムサンプラーの校正。
4 日	日	休日。
5 日	月	SO ₂ 計, 粉じん計, 風向風速計の最終点検。 アンダーセンサンプラーの設置 (MP1, 2, 6)。 ハイポリ用ろ紙の秤量及び恒量。
6 日～19日	火 曜 月	粒子状物質 (ハイポリウムサンプラー, アンダーセンサンプ ラー, β 線粉じん計による), SO ₂ , 風向風速, 気温等の測定 を行った。なお, 3月6日～3月17日までの12日間は, ハイ ポリウムサンプラー用ろ紙は石英フィルターを, 残りの2日 間はポリフロンフィルターを使用した。 なお, 調査期間中, 次に示す機器のトラブルが発生したが, すみやかに修理を行い, 欠測が短くてすむように対処した。 3月7日: アンダーセンサンプラーにオーバーヒート発生。 3月8日: MP7風向風速計指示値が異常を示す。3月9日 にゼネレーターを持参し修理完了。しかし, 風 向の指示が異常, ケーブルの断線であることが 分かる。3月10日にケーブルを取り変え修理完了。 3月10日: アンダーセンサンプラーにトラブル発生, ただ ちにトランスの配線を変え対処。
20日	火	全測定点のろ紙を回収し測定を終了した。合わせて測定機器 (ハイポリウムサンプラー, アンダーセンサンプラー) の撤 収を行った。また捕集後試料ろ紙の秤量を引き続き実施した。
21日	水	測定機器の洗浄, 整理。 アンダーセンろ紙の秤量。 粉じん濃度の計算及び資料整理。
22日	木	粉じん濃度の計算及び資料整理。
23日	金	粉じん濃度の計算及び資料整理。 JTCと最終打合せ, 大使館及びJICA訪問。

表 I - 2 - 3 (2) 第 2 次現地調査経過一覧 (つづき)

年 月 日	曜日	作 業 概 要
24日	土	休日。
25日	日	SQ008 便にて帰国。

表 I - 2 - 3 (3) 第 3 次現地調査経過一覧

年 月 日	曜日	作 業 概 要
1984年6月11日	月	成田発12:00 JAL719便にて調査団7名シンガポールへ出発、17:30チャンギー国際空港に到着、JTC職員の出迎えを受ける。
12日	火	午前中にJTCにおいて総合打合せ、午後、大使館、JICAシンガポール事務所を訪問、第3次調査の概要を説明。
13日	水	3班に分かれて準備作業を行う。第1班はハイボリのサイクロン洗浄、ハイボリの校正を行う。第2班はろ紙の秤量準備(ラベルの取り付け)、天秤の調整、アンダーセンろ紙の秤量を行う。また、3班はMP2にて β 線粉じん計、 SO_2 計の3ヵ月定期点検、風向風速計の調整を行う。
14日	木	ハイボリの洗浄、ハイボリ流量校正曲線作成、ハイボリろ紙秤量、アンダーセン流量校正を行う。また、MP6にて β 線粉じん計、 SO_2 計の3ヵ月定期点検、風向風速計の調整を行う。
15日	金	ハイボリの流量校正(MP2)、ハイボリろ紙秤量、アンダーセンプレートの組み立てを行う。また、MP4、MP7において SO_2 計、風向風速計の校正を行う。
16日	土	MP1の SO_2 計、 β 線粉じん計のオーバーホール、気温計、風向風速計の校正を行う。また、ハイボリろ紙の秤量を行う。
17日	日	休日。
18日	月	MP13, 16, 10, 20, 18, 15, 12にハイボリ設置。 MP1, 2, 6にアンダーセン設置、MP14, 20において SO_2 計、風向風速計のオーバーホール、校正。ハイボリ用ろ紙の秤量を実施。

表 1 - 2 - 3 (3) 第 3 次 現 地 調 査 経 過 一 覧 (つ づ き)

年 月 日	曜 日	作 業 概 要
19日	火	MP 2 , 3 , 6 , 14, 17にハイポリ設置, MP 2 , 6 の β 線粉じん計の校正, MP 2 , 4 , 6 の SO_2 計, 風向風速計の校正を行う。また, ハイポリ用ろ紙の秤量を行う。
20日	水	実測調査前の最終点検を 4 グループに分かれ MP 1 ~ 20 をチェック。
21日 7月4日	木 水	粒子状物質 (ハイポリウムサンプラー, アンダーセンサンプラー, β 線粉じん計), SO_2, 風向風速, 気温等の測定を行った。なお, 6月21日~7月2日までの12日間は, ハイポリウム用ろ紙は, 石英フィルターを, 残りの2日間は, ポリフロンフィルターを使用した。 調査期間中, 次に示す機器のトラブルが発生したが, すみやかに修理を行い, 欠測が短くてすむように対処。 6月28日: MP14, ハイポリコネクター接触不良あり, 修理。 6月30日: MP 4 SO_2 計指示不安定, 修理, 同時に安定化電源修理。
5日	木	全測定点のろ紙を回収し, 測定を終了, 合わせて測定器 (ハイポリウムサンプラー, アンダーセンサンプラー) の撤収を行う。また, 粉じん捕集後のろ紙の秤量を行う。
6日	金	大使館及び J I C A 訪問, 業務報告を行う。
7日	土	粉じん濃度の計算, 資料整理。
8日	日	11:15 シンガポール発 SQ008便にて帰国。

表 I - 2 - 3 (4) 第 4 次 現 地 調 査 経 過 一 覧

年 月 日	曜日	作 業 概 要
1984年 9 月 3 日	月	成田発12:00 JAL719便にて調査団7名シンガポールへ出発。 18:40チャンギー国際空港に到着, J T C 職員の出迎えを受ける。
4 日	火	J I C A, 日本大使館表敬訪問, 午後 J T C において第4次調査打合せを行う。打合せには, J T C の G M も出席。
5 日	水	3 班に分かれて準備作業を行う。第1班は, ハイポリ用ろ紙のナンバリング, 天秤の調整。第2班は, ハイポリ, アンダーセンサンプラーの校正。第3班は, MP 1, 6 の S O ₂ 計, β 線粉じん計の保守点検, MP 4 の S O ₂ 計の点検を行う。
6 日	木	休日。(National Holiday HARI RAYA HAJI)
7 日	金	MP 2 のハイポリ校正, アンダーセン流量校正曲線の作成を行う。また J T C において天秤の感度調整, ハイポリ用ろ紙の秤量準備を行う。MP 2 の S O ₂ 計, β 線粉じん計の保守点検, MP 14, 20 の S O ₂ 計の保守点検を行う。
8 日	土	アンダーセンサンプラーの洗浄, アンダーセン用ポリエレンシート の秤量を行う。また MP 7 の S O ₂ 計の保守点検を行う。MP 20 の風向風速計の風速指示値が異常であるので修理を行う。
9 日	日	休日。
10 日	月	MP 1 の S O ₂ 計, β 線粉じん計, 風向風速計のキャリブレーションを行う。この時 S O ₂ 計の接点が悪いので補修する。 MP 14 の S O ₂ 計, 風向風速計のキャリブレーション。ハイポリ用ろ紙の秤量を行う。MP 1 ~ 20 にハイポリウムサンプラーを設置。
11 日	火	MP 2, 6 の β 線粉じん計の校正, MP 2, 4, 6, 7, 20 の S O ₂ 計, 風向風速計の校正を行う。また各測定点のハイポリの清掃を行う。ハイポリ用ろ紙の秤量を引き続き行う。なお MP 20 の風向指示が異常であるのでパーツを交換する。アンダーセンサンプラーを MP 1, 2, 6 に設置。
12 日	水	MP 1 の気温計のセンサー洗浄と校正を行う。実測調査前の最終点検を MP 1 ~ 20 について行う。ハイポリ用ろ紙の秤量を行う。

表 I - 2 - 3 (4) 第 4 次 現 地 調 査 経 過 一 覧 (つづき)

年 月 日	曜 日	作 業 概 要
13日 } 26日	木 } 水	粒子状物質 (ハイポリウムサンプラー、アンダーセンサンプラー、β線粉じん計)、SO_2、風向風速、気温等の測定を行った。 なお、9月13日～24日までの12日間は、ハイポリウム用ろ紙は、石英フィルターを、残り2日間は、ポリフロンフィルターを使用した。9月23日には調査団員1名新たにシンガポール到着。 調査期間中、次に示す機器のトラブルが発生したが、すみやかに修理を行い、欠測が無いようにした。 9月13日：第2回巡回時MP2のアンダーセン加熱のためストップ。JTCに持ち帰り修理を行うが、13日中には修理不可能、翌日修理を行う。 9月14日：13日に引き続きアンダーセンの修理を行う。ポンプ内オリフィスの目づまりが原因とわかる。修理して、ただちにMP2に設置連続運転にはいる。
27日	木	全測定点のろ紙を回収し測定を終了。測定終了後、ハイポリウムサンプラー、アンダーセンサンプラーの撤収を行う。また、粉じん捕集後のろ紙の秤量を行う。なお、JTCにおいて粉じん排出量に関する覚書を調印。
28日	金	JTCにおいて最終打合せを行った後、JICAに調査の終了を報告、前日に引き続きろ紙の秤量を行うとともに、粉じん濃度の計算を行う。なお、JTCとは、自主測定につき打合せ、助言を行った。
29日	土	休日。団員1名 (山田 剛) 帰国。
30日	日	10:25 シンガポール発 JAL714 便にて帰国。

第 II 編

粒子状物質に関する基礎知識

第Ⅱ編 粒子状物質に関する基礎知識

大気中の粒子状物質の粒径、化学組成、性状などは、その生成由来によって様々な様相を呈している。その発生源も、土壌、海塩粒子等自然発生源に由来するものと、工場、自動車等人工的に発生するもの、さらに、大気中でガス状物質から化学的に変換した二次粒子など広範囲にわたっている。

大気汚染物質の発生源と環境濃度との関連は、ガス状物質については通常、発生源での排出量が大気中で保存されることをベースとした大気拡散モデルを利用して環境濃度を推定し評価されている。粒子状物質についても大気拡散モデルの利用は可能であるが、上述のように、発生源の多様性、二次粒子の生成、粒子の除去機構等解明すべき問題が残っている。

そこでここでは、粒子状物質の環境影響調査を進めてゆく上で必要な基礎的知識として、粒子状物質の基礎特性、粒子状物質の生成と除去機構、粒子状物質の測定法と環境基準、粒子状物質の発生源寄与率推定法について概略説明する。

第1章 粒子状物質の基礎特性

1.1 粒子状物質の定義と分類

粒子状物質 (Particulate Matter) (エアロゾル; Aerosol ともいう) は、その形態や性質に応じて種々な通俗的な呼称があり、発生過程やその性状に着目した一般的な分類としては次のようなものがある。

① 粉じん (dust)

固形物がその化学的組成が変わらないまま、形、大きさが変わって粒状になり空気中に分散したもので、粉碎、研磨、穿孔、爆破など、主として物理的破砕過程で生じる。したがって、球形、針状、薄片状など、形、大きさともに不均一で、大きさは $1\mu\text{m}$ 以上のものが多い。

② フューム (fume)

固体が蒸発しこれが凝縮して粒子となったもので、金属の加熱溶融、溶接、溶断、スパークなどの場合に生じる。このような粒子の生成過程では、一般に物理作用に化学的作用が加わり、空気中では多くの場合酸化物となっており、球状か結晶状である。粒径は極めて小さく $1\mu\text{m}$ 以下のものが多い。

③ 煙 (smoke)

物の燃焼の場合に生じるいわゆる“けむり”に相当するもので、一般に有機物の不完全燃焼物、灰分、水分などを含む有色性の粒子である。一つ一つの粒子は球形に近いが、これらが凝集してフロック状をなすものが多い。

④ ミスト (mist)

一般には微小な液体粒子を総称している。液体が蒸発凝縮したもの、液面の破碎や噴霧などにより分散したものがすべてに含まれ、形状は球形であるが、粒径は生成過程の差異によってかなり幅がある。

なお、日本では粒子状物質のうち、大気中に浮遊している粒子を全浮遊粉じん (Total Suspended Particulates) といい、このうち粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子を浮遊粒子状物質 (Suspended Particulate Matter) と呼んでいる。SPM は沈降速度が小さく大気中に比較的長期間滞留すること、また気道や肺胞に沈着して呼吸器に影響を及ぼすことから環境基準が設定されている。また、粒径が大きくて重力や雨によって地上に降下するものを降下ばいじん (dust fall) と呼ぶ。

この他、気象学の分野では、大気中の粒子の大きさに着目した分類として、エアロゾル粒子 (Aitken particle ; $0.001 \sim 0.1\mu\text{m}$)、大粒子 (Large particle ; $0.1 \sim 1\mu\text{m}$)、巨大粒子 (Giant particle ; $1 \sim 100\mu\text{m}$) の呼称がある。また、地表付近の大気の視程、色などから、次のような粒子に関する用語が使われている。

① 霧 (fog)

ごく小さな水滴が大気中に浮かんでいる現象で、水平視程が 1km 未満のものをいう。

② もや (mist)

霧と同様であるが、水平視程が 1km 以上のものをいう。

③ 煙霧 (haze)

ごく小さな乾いた粒子が大気中に浮かんでいる現象で、黒っぽい背景では青紫色がかり、明るい背景では黄褐色にみえる。同様な現象であっても汚染源が明らかな場合は煙とし、そうでないときを煙霧とすることがある。

一方、発生源からみた粒子状物質の分類は図Ⅱ-1-1に示すとおりであり、粒子状物質は地球上に本来存在する自然発生源 (Natural Sources) と人類活動に起因する人為発生源 (man made sources or Anthropogenic Sources) の二群に分かれる。また、大気中の粒子状物質は、その発生機構によって一次粒子 (Primary Particle) と二次粒子 (Secondary Particle) に分けることができる。一次粒子は発生源から直接粒子として大気中に放出されるものの総称である。自然源からの一次粒子は、海面からの飛沫が大気中で乾き固体粒子となった海塩粒子 (Sea salt Particle)、地表面から風によって飛散した土壌粒子 (Soil Particle)、火山噴火に伴う火山塵

(Volcanic ash), 森林火災, 焼畑農業によって生じた無機性または有機性粒子などがある。人為源からの一次粒子には, 工場, 発電所, 製鉄所などからの煤塵, 粉じんなどがある。二次粒子は SO_2 , H_2S などの硫黄化合物, NO_x や NH_3 などの窒素化合物, あるいはテルペンなど植物性の炭化水素のように発生源からは気体状物質として大気中に放出されたものが, 大気中で光化学反応と諸々の後続化学反応を経て粒子状物質に転化したものの総称である。二次粒子は粒径が $0.1\mu\text{m}$ 以下のエアロゾル粒子の領域に多い。物質構成については必ずしも十分なデータはないが, その生成過程から硫酸塩, 硝酸塩, 炭化水素化合物が主要なものと推定されている。

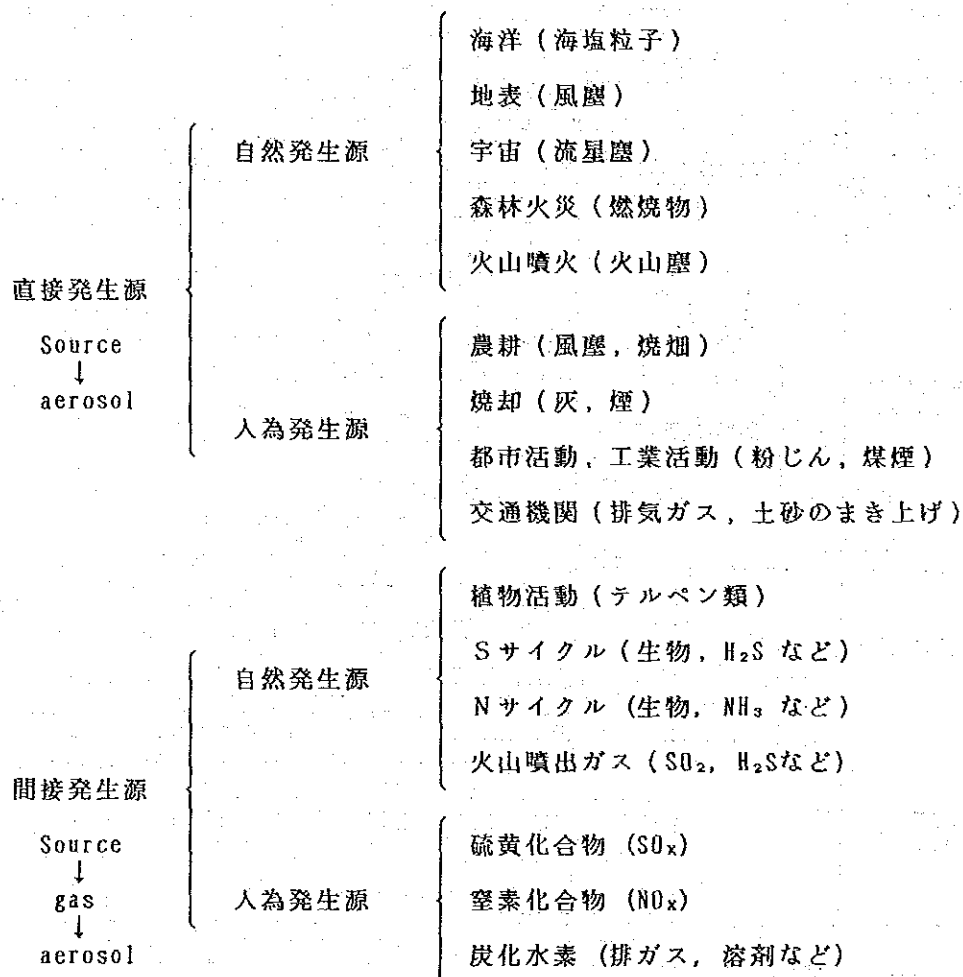
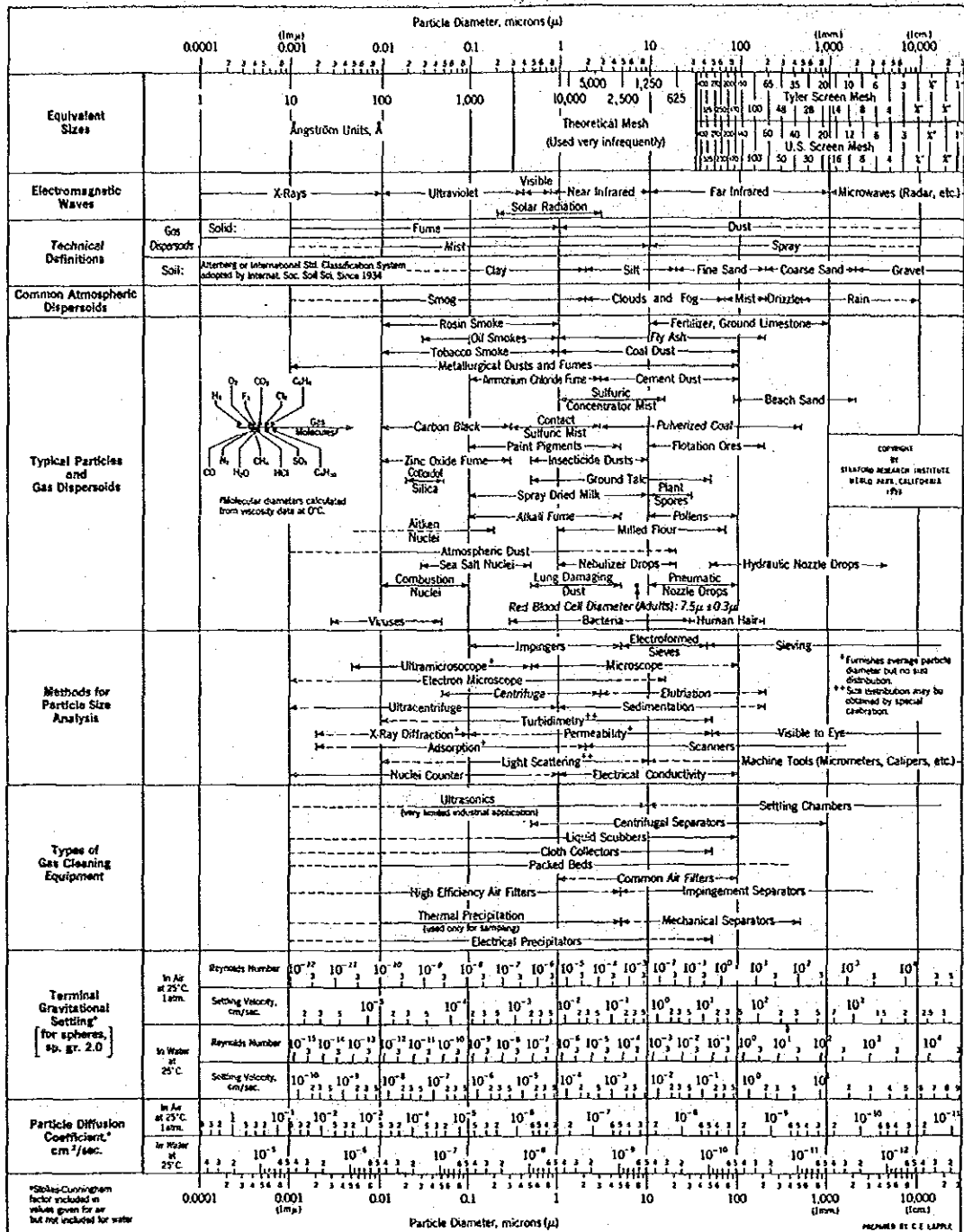


図 II - 1 - 1 発生源からみた粒子状物質の分類

1.2 粒子状物質の物理的特性

大気中の粒子状物質は、発生源や発生後の履歴の異なる多くの粒子からなっているが、粒子の粒径、形状、比重、化学組成など物理的、化学的諸特性が、人間の健康、視程及び天候などを左右する。図Ⅱ-1-2にLapple¹⁾による粒子状物質の物理的諸特性等の分類を示す。



図Ⅱ-1-2 粒子状物質の物理的諸特性

1.2.1 粒 径

粒子状物質は図Ⅱ-1-2でも明らかのように、粒径 $0.002\mu\text{m}$ ($20\text{\AA}$) 程度の分子集合体 (oligomer) から $500\mu\text{m}$ 程度の砂のようなものまできわめて幅広い粒径分布を持っている。これは粒径で 10^5 、また質量で 10^{15} の相違に相当している。なお、 $0.1\mu\text{m}$ 前後の大きさの粒子状物質は、分散媒である気体分子の平均自由行程 (mean free path) や可視光線の波長とほぼ同等であり、 $0.1\mu\text{m}$ 程度を境界としてそれ以下の粒子とそれ以上の粒子とでは、その動力学的取扱いや物理現象にかなりの差異がある。

1.2.2 粒子の密度

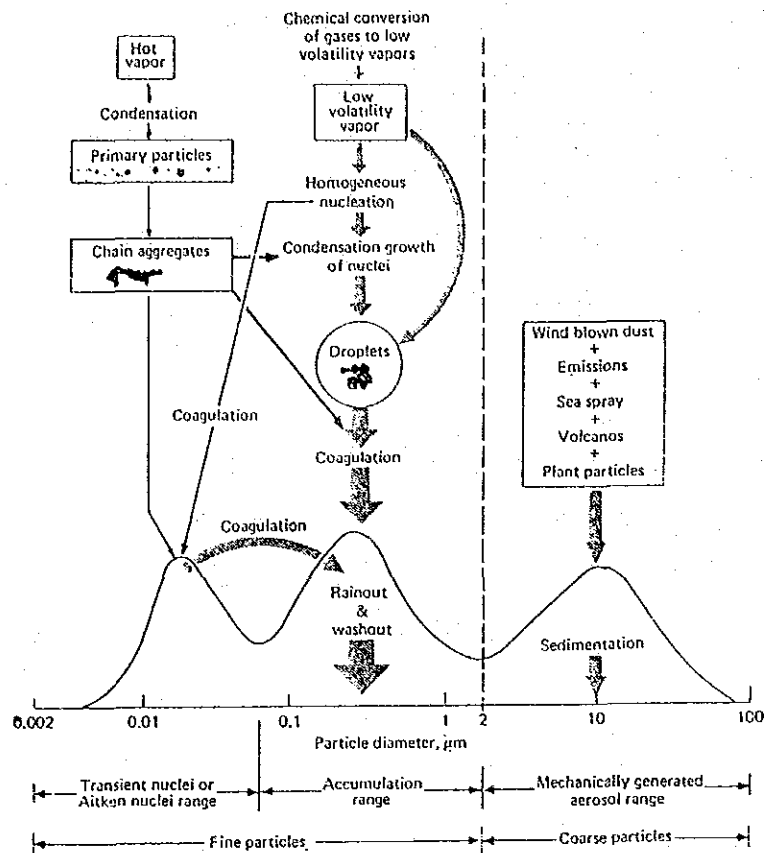
粒子状物質のみかけの比重は、凝集粒子の場合はもちろん、単粒子であっても、発生源物質のそれとはかなり異なった値をとることがあり、比重は一般に $0.1\sim 10\text{g/cm}^3$ の範囲内にある。なお、大気中の粒子状物質は、1個の粒子の中でも化学組成は単一のものではなく、また生成過程での粒子どうしの凝集や、水分、ガス状物質の吸着などの結果、複雑な比重分布をしている。

1.2.3 粒子の形状

大気中の粒子状物質は様々な起源の粒子を含んでいるので、全体を一括できるような形状の特徴を持たず、多種多様な粒子 (球形、鎖状、破状、ブドウ状 (cluster) に凝集したものなど) が、きわめて不規則に存在するのが普通である。

1.2.4 大気中での粒径分布

環境大気中での粒子状物質の粒径は、前述のように生成要因等によって大きく異なり、きわめて広い粒径分布曲線を形成している。図Ⅱ-1-3は大気中の粒子状物質の粒径分布を、粒子の生成及び除去過程、粒子の主発生源とともに、Whitbyら²⁾が模式的に示したものである。これによれば表面積基準の粒径分布は3つのモードに分けられている。 $2\mu\text{m}$ 以上の粗大粒子 (Coarse particles) は自然発生一次粒子 (土壌の舞い上がり、海塩粒子、火山灰、植物の種子など) 及び人為発生一次粒子 (機械的行程からの粉じん、自動車走行にともなう土砂の舞い上がり、固定燃焼施設等) に起因し、 $2\mu\text{m}$ 以下の微小粒子 (Fine particles) は人為的発生一次粒子 (固定燃焼施設、自動車など内燃機関等) と大気中でガス状物質からの化学的反応で生成される二次粒子 (硫酸塩、硝酸塩等) からなると言われている。



図Ⅱ-1-3 大気中の粒子状物質の粒径分布

1.3 粒子状物質の化学的組成

大気中の粒子状物質の化学組成は一様でないが、粒子状物質を $2\mu\text{m}$ で分割し化学組成をみると、図Ⅱ-1-4に示すように、微小粒子側ではC, Pb, V, Br, SO_4^{--} , NO_3 など燃焼に起因する元素や、大気中でガスから粒子化した SO_4 , NO_3 ミスト等よりなり、粗大粒子側では砂じん、海塩、火山灰など自然、半自然起源の粒子に起因するSi, Ti, Al, Fe, Na, Cl等の元素が多い。

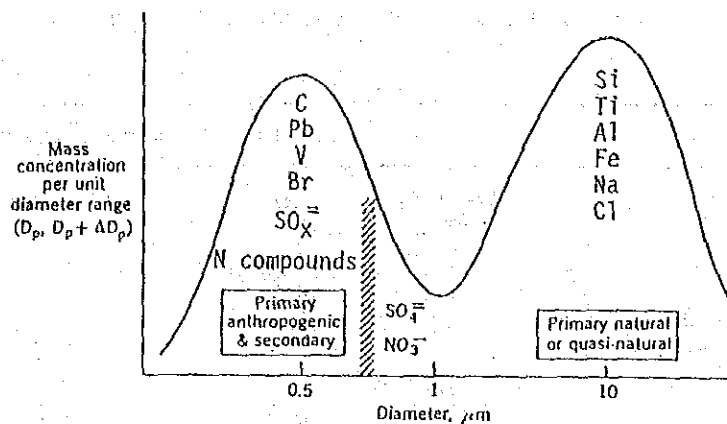


図 II - 1 - 4 浮遊粉じんの粒径分布と化学組成

表 II - 1 - 1 は、日米における粒子状物質中の硫酸塩、硝酸塩、有機物の測定結果とその全質量に占める割合について、坂本³⁾がまとめたものである。また、表 II - 1 - 2 は1978年11月11日から12月21日まで米国のデンバーで発生したスモッグの期間中に捕集した113 個の浮遊粉じん試料（4 時間サンプリング）を、Countessらが測定した結果を示したものである¹⁶⁾。これらの結果から、都市域の大気では、粒径 $2 \mu\text{m}$ 以下の粒子状物質の大部分が硫酸塩、硝酸塩、有機炭素 (Organic carbon)、元素炭素粒子 (Elemental carbon) で占められていることが分かる。

表 II - 1 - 1 粒子状物質の化学組成 (坂本1982)

Site	Date	Size	SPM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO_4^{2-} (%)	NO_3^- (%)	Organics (%)	Authors	Ref.
Pasadena (California)	9/20/72 12:00-14:00		79	4	5	43	Nidy et al. (1975)	4), 5)
Pomona (California)	9/20/72 12:00-14:00		178	13	26	24		
Pasadena (California)	7/25/73 9:30-17:30		220	14	9	35	Grosjean & Friedlander (1975)	6)
Pasadena (California)	9/22/72 7:30-12:35	below $1 \mu\text{m}$	157	11	1	15	Schuetzle et al. (1975)	7)
West Covina (California)	7/23-24/73 21:21-21:21	below $3.5 \mu\text{m}$	144	30	1	25	Cronn et al. (1977)	8)
Denver (Michigan)	11/11-12/11/78	below $2.5 \mu\text{m}$	40	10	15	22	Countess et al. (1980)	9), 10)
		$2.5-30 \mu\text{m}$	51	2	2	7		
Denver (Michigan)	11/11-12/11/78	below $2.5 \mu\text{m}$	36-55	8-19	6-14	18-35	Heisler et al. (1980)	11), 12)
Urawa (Saitama)	8/7-8/78		133	7	1	17	Sakamoto et al. (1980)	13)
Urawa (Saitama)	5/27-6/17/80	below $2.0 \mu\text{m}$	42	19	3	17	Sakamoto et al. (1980)	14)
		above $2.0 \mu\text{m}$	66	5	6	4		
Great Smoky Mountains (Tennessee)	9/21-26/78	below $2.4 \mu\text{m}$	24	48	ND	14	Stevens et al. (1980)	15)

表 II - 1 - 2 デンバーにおける浮遊粉じんの化学組成 (Countessら, 1980)

Component	Fine aerosol fraction		Coarse aerosol fraction	
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(%)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(%)
Observed mass	39.53	100	50.91	100
(NH_4) ₂ SO ₄	5.39	13.6	1.22	2.4
NH ₄ NO ₃	7.90	20.0	1.53	3.0
Apparent organic C	8.54	21.6	3.69	7.3
Apparent elemental C	6.04	15.3	1.71	3.4
Non-SO ₄ -S	0.98	2.5	0.34	0.7
Pb salts	2.57	6.5	1.01	2.0
Trace elements ^a	0.19	0.5	0.15	0.3
H ₂ O	1.91	4.8	2.46	4.8
Σ^b	33.52	84.8	12.11	23.9
Soil (28.5%Si)	2.86	7.2	32.37	63.6
Σ^c	36.38	92.0	44.48	87.5
Soil (20%Si)	4.07	10.3	46.13	90.6
Σ^d	37.59	95.1	58.24	114.5

^aIncludes oxides of V, Zn, Ba, and excess fine Al.

^bSum of above eight components.

^cSum of b plus soil (28.5% Si).

^dSum of b plus soil (20% Si).

第2章 粒子状物質の生成と除去機構

2.1 地球規模での粒子状物質発生量

表Ⅱ-2-1は、Billsaesser¹⁷⁾が地球上での粒子状物質発生量(粒径 $r < 5 \mu m$)を自然源と人為源にわけて、それぞれの発生源別に推定したものである。これでは自然発生源の粒子が全粒子の69%を占めており、また二次粒子は、地球規模では全粒子の45%を占めている。土壌粒子の人為的発生は、世界の乾燥地帯で過剰な農耕と放牧によって進行している砂漠化に伴って大気中に放出されるものであり、森林火災の人為的発生は焼畑農業によるものである。地球上での粒子状物質の発生量の推定はあくまで一つの目安であって決して正確なものではないが、これらの発生源からの発生量は世界の人口増加とともに増加する可能性が大きく、世界的規模での気候への影響が懸念されている。

表Ⅱ-2-1 地球規模での粒子状物質発生量

		粒径 $< 5 \mu m$ の発生量 (10^6 ton yr^{-1})	
		自然発生	人為的発生
一次粒子			
海塩粒子		500	
土壌粒子		100	150*
森林火災		5	60*
火山		25	—
工場・発電所・焼却場など		—	30
小合計	870 (100%)	630 (72%)	240 (28%)
二次粒子			
硫黄化合物		335	200
窒素化合物		60	35
炭化水素化合物		75	15
小合計	720 (100%)	470 (65%)	250 (35%)
合 計	1590 (100%)	1100 (69%)	490 (31%)

* 間接的に人間活動に伴うもの

2.2 粒子状物質の生成機構

2.2.1 一次粒子 — 自然発生源

(1) 海塩粒子

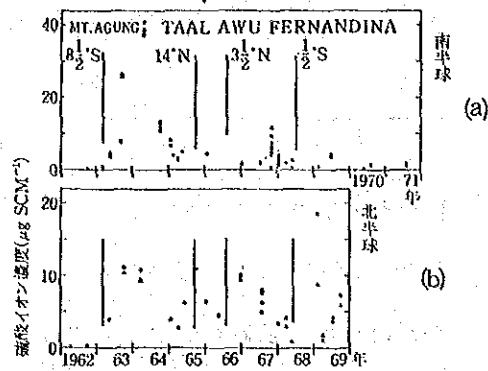
海塩粒子の大部分は海面に生じた泡の破裂によるものである。その発生機構は二つあり、その一つは白波の部分で海水中に多量の泡が生じ、やがて浮かび上がって海面で破裂するが、その時ジェット（水柱）が立ち上がり、いくつかのJet dropに分裂する。直径 $100\sim 1000\mu\text{m}$ の気泡はその径の $1/10$ 程度の $10\sim 100\mu\text{m}$ のJet dropを生じると言われている。もう一つの生成機構は直径 $300\mu\text{m}$ 以上の気泡のfilm capが壊れて生ずるもので、例えば1個の直径 $2000\mu\text{m}$ 、Capの厚さ $2\mu\text{m}$ の気泡から粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の100個程度のfilm dropを生ずると言われている。なお、波頭から飛び散るしぶきによる粒子は大きすぎ直ちに再び海面に落下してしまうので、大気中の粒子状物質としては重要視されない。これらの海塩粒子は風速が増すと増加し、沿岸から風によって陸域深く輸送される。

(2) 土壌粒子

大気中の土壌粒子は風化した岩石、砂の吹付けなどにより微細化した岩及び乾燥した地表面に対する風の巻き上げによって生じる。Bagnoldの実験¹⁸⁾によると、半径 $40\mu\text{m}$ の粒子がもっとも風に動かされやすく、それより大きい粒子は重い故に、またこれより小さい粒子はファンデルワールス・ロンドンの吸着力により動かされ難くなるという。このことはJungeとJanicke¹⁹⁾が大西洋上でサハラ砂漠から飛来した砂塵を調べることにより確認している。これによると、サハラ砂漠から来た粒子状物質は、そのほとんどが粒径 $1\sim 20\mu\text{m}$ の範囲にありBagnoldの結果と一致していると報告している。エアロゾル化した土壌粒子は、中国北部の黄土地帯で発生した黄砂が日本でも観測されるように、相当の遠距離を輸送される。

(3) 火山による粒子

火山噴火により噴出するのは、火山灰などの固体状物質と H_2O 、 SO_2 、 H_2S などのガス状物質である。火山灰などは噴火直後に多く観測されるが、一般に落下速度が大きく、長期間影響が及ぶのはガス状物質からの二次粒子であると言われている。図II-2-1(a)はCastlemanら²⁰⁾による南半球の高度 18.3km から 19.8km と高度 15.2km における硫酸イオン(SO_4^{--})濃度の経年変化を示したものであり、図中には観測期間に噴火した火山名と緯度が書き込まれている。図(b)は同じ時期の北半球での硫酸イオン濃度の経年変化である。これより成層圏エアロゾル層の硫酸イオン濃度の増減が火山噴火と密接な関係にあることが分かる。



図Ⅱ-2-1 成層圏における硫酸イオン濃度の経年変化

(4) 森林火災

農業のため熱帯地帯の森林が大規模に焼却され、発生する CO_2 及び未燃炭素が極めて大きく、非常に注目されるようになっている。森林燃焼により発生する粒子の分析結果では、50%がベンゼン核等を含む有機物質、40%が炭素、10%が鉱物質を含むと言われている。これらの物質は、ガス→粒子変換の触媒として二次粒子の生成を助長し、太陽光線の吸収、反射等によって地球の気温変化に影響を与えていると言われている²¹⁾。

(5) その他

自然界の陸域・海域の生物により、硫黄、有機物質及びその他の粒子状物質が多量に発生する。生物的な過程で放出された硫黄は酸化されて SO_2 となり、最終的には硫酸塩となる。その他 H_2S 、硫化メチルも放出される。 H_2S は、嫌気性のバクテリアにより発生し、硫化メチルは土壌、藻、木の葉から発生する。揮発性の有機物質は植物によるテルペン類が多くを占めている。また、粒子状物質が直接、植物から放出されることも放射性物質を利用した実験で確認されている²¹⁾。

2.2.2 一次粒子 — 人為発生源

(1) 固定発生源

固定発生源からは、表Ⅱ-2-2に示すように、物の燃焼に伴うばいじん、物の粉碎等で生ずる粉じん、金属の加熱溶融の際に生ずるフュームなど多種多様の粒子状物質を生ずる。

ばいじんは物の不完全燃焼により発生するが、その排出濃度、粒径分布、化学成分等は、使用燃料、燃焼状態、被加熱物質、負荷状態及び集じん設備の性能等によって大幅に異なる。

粉じんは主として物の物理的破砕過程で生ずるが、その発生源としては堆積場、建設作業現場等である。堆積にとまなう飛散としては、堆積物質の受入時、堆積時、払出時の3つの飛散原因が考えられる。飛散に影響する因子は堆積物質の粒径分布、表面積及び保有水分量であり、外部要因としては風速である。

表Ⅱ-2-2 固定発生源から生ずる粒子状物質

発 生 源 装 置	種 類
ボ イ ラ ー	ばいじん, フライアッシュ
セメントキルン	クリンカーダスト, ばいじん
鉱石焙焼炉	金属酸化物, 鉱石粉, フライアッシュ, ばいじん, ヒューム
溶 鉱 炉	鉱石粉, コークス粉, 鉱滓ダスト, ばいじん
フェロアロイ炉	SiO ₂ ダスト, ばいじん
製 鋼 平 炉	酸化鉄, ばいじん
窯 業 炉	フライアッシュ, ばいじん
転 炉	ばいじん
セメント焼成炉	ばいじん
キ ュ ー ボ ラ	ばいじん
コ ー ク ス 炉	粉じん
金 属 ケ イ 素 炉	SiO ₂ ダスト
カーボンブラック炉	ダスト
廃棄物焼却炉	ばいじん, フライアッシュ
石 炭 乾 留 炉	タールミスト
硫 酸 プ ラ ント	硫酸ミスト
亜 鉛 め っ き	酸化亜鉛, 粉じん, アンモンヒューム
鉱石粉碎, ふるい 粉体処理運搬設備	ダスト, 粉じん
道路舗装材処理炉	ばいじん, SiO ₂ ダスト, タールミスト

(2) 自 動 車

自動車の走行にともなう粒子状物質の発生は

- ① 排気ガス中の粒子状物質
- ② タイヤの摩耗, 舗道の摩耗によるもの
- ③ 走行にともなう道路上の物質の巻き上げ飛散

がある。