

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

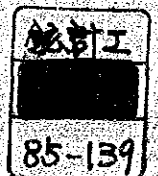
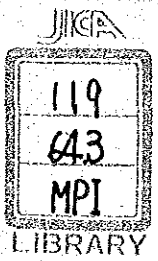
(粒子状物質)

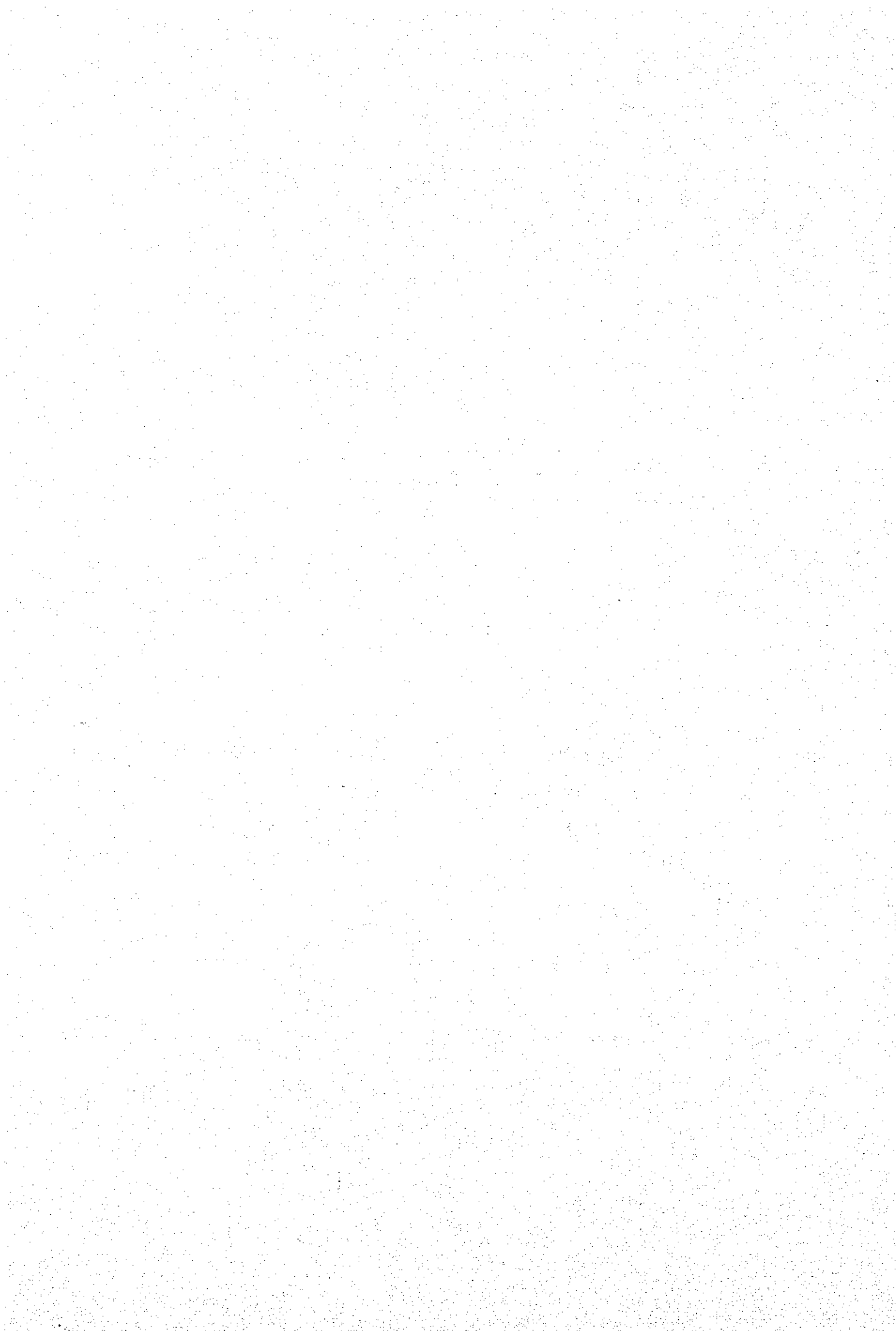
LION FILING FOLDER No.31 A4

(要約)

1985年11月

国際協力事業団





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



1030616[5]

(要約)

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. 12712	643
	MPI

目 次

< I > 調査の経緯	1
< II > 現地調査結果の要約	1
1. 短期現地調査	3
2. 長期現地調査	6
< III > 粒子状物質環境濃度シミュレーション結果の要約	9
1. 石炭火力発電所及び一貫製鉄所のばいじん排出量	10
2. シミュレーション結果	10
3. 現状における粒子状物質発生源類型別寄与率	12

(I) 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JTC) 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JTC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 Meeting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(COD)、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(SO₂)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。

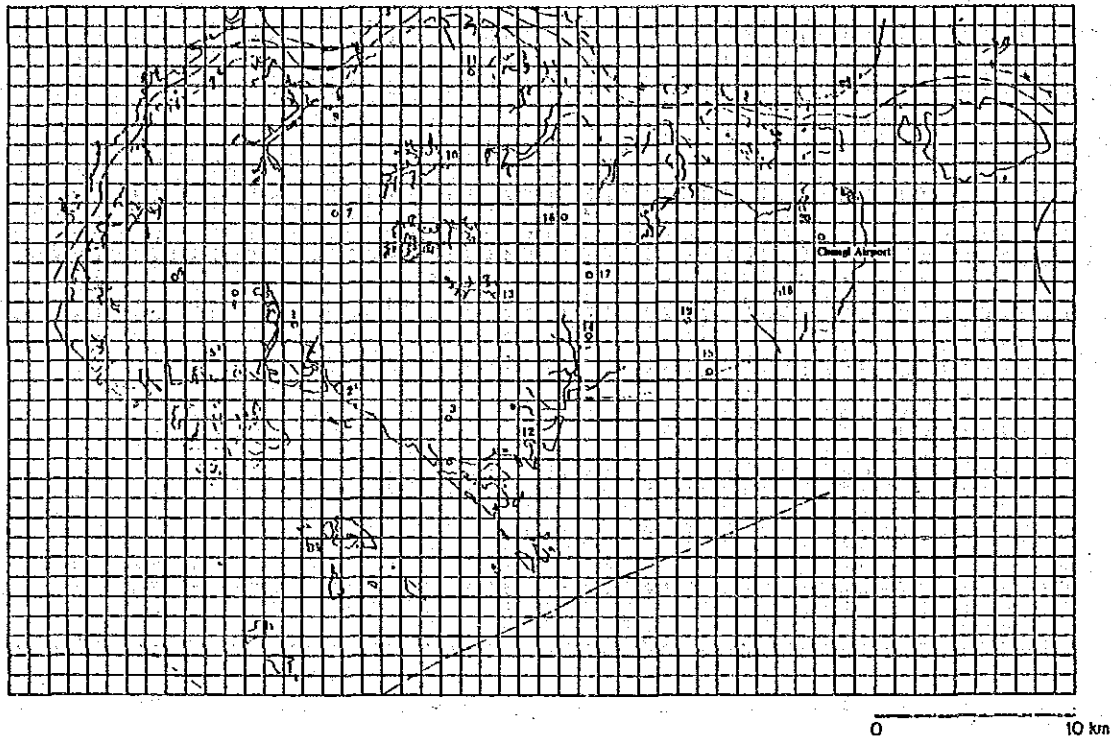
当Scope of Work に基づき、粒子状物質に係る現地調査及びシミュレーションを1983年12月より1985年7月にわたって実施した。

(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)におけるハイポ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 μ 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 \times 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。



- 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
- MP 10 Seletar Reservoir Water Pumping Station
- MP 11 Chong Pang Police Post
- MP 12 National Institute of Commerce
- MP 13 Macritchie Reservoir Water Pumping Station
- MP 14 Kallang Flatted Factory Block 3
- MP 15 East Coast Swimming Lagoon
- MP 16 Ang Mo Kio Flatted Factory Block 5001
- MP 17 Paya Lebar Police Station
- MP 18 Changi Community Center, 16 Km Changi Road
- MP 19 JTC Bedok Flatted Factory
- MP 20 Singapore Offshore Petroleum Services

図〈Ⅱ〉-1 短期現地調査におけるTPM, SPM測定地点

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

1. 短期現地調査

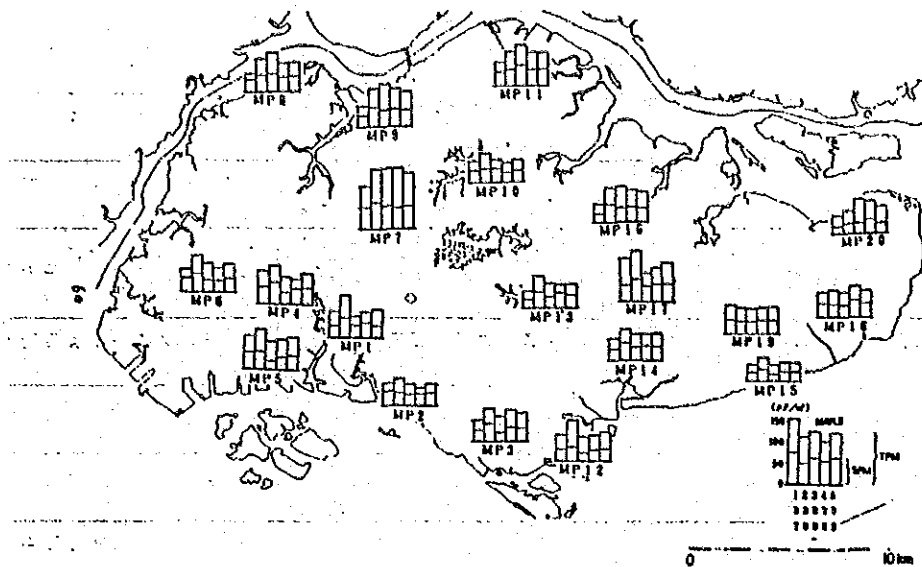
(1) ハイボリウムサンプラーによるTPM, SPM濃度

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。

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 (μg/m ³)					SPM (μg/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
MP1	80.3	99.3	51.9	82.9	68.6	26.5	47.0	25.4	34.6	33.9
MP2	54.9	64.4	51.0	42.4	53.2	34.9	31.3	25.8	26.1	29.5
MP3	52.7	79.8	60.6	73.8	66.7	28.0	42.6	21.7	33.0	31.3
MP4	79.7	91.5	65.0	60.5	74.2	40.4	52.1	29.6	36.0	39.5
MP5	76.5	95.4	67.0	72.0	78.2	41.8	43.2	21.7	31.1	34.5
MP6	54.1	86.9	67.7	57.0	66.4	33.2	44.8	28.9	27.0	33.5
MP7	102.2	144.2	145.8	146.2	134.6	51.1	63.6	55.4	51.8	55.5
MP8	43.0	77.0	91.8	67.1	69.7	29.3	39.0	42.6	34.6	36.4
MP9	49.0	90.8	101.9	91.3	83.3	25.8	47.5	42.1	43.0	39.9
MP10	50.5	65.3	54.2	45.9	54.0	28.0	33.1	29.4	22.8	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	56.8	69.9	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	39.4	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

(2) アンダーセンサンプラーによるTPMの粒径分布

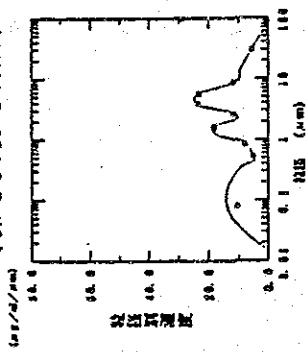
表<II>-3, 図<II>-3は, MP1, 2, 6において測定された粒子状物質の粒径別濃度である(12日間平均値)。これらの結果をみると, 大まかにみて, 粒径 $2.1\mu\text{m}$ 未満(fine particles)が6割, 粒径 $2.1\sim 11\mu\text{m}$ (Coarse particles)が3割, 粒径 $11\mu\text{m}$ 以上が1割を占めており, その粒径分布は, ほとんどが $0.4\mu\text{m}$ 付近と $4\mu\text{m}$ 付近にピークを持ち, $1\mu\text{m}$ 付近に谷をもつ二山型を呈しており, 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: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

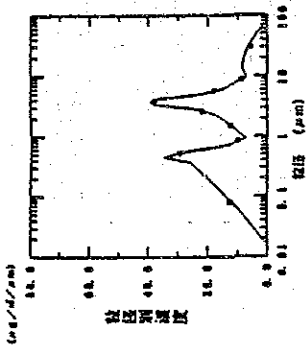
分類	ステージ	粒径範囲(μm)	第1次現地調査			第2次現地調査			第3次現地調査			第4次現地調査		
			MP 1	MP 2	MP 6	MP 1	MP 2	MP 6	MP 1	MP 2	MP 6	MP 1	MP 2	MP 6
coarse	0	11 -	4.63	1.90	2.29	4.94	2.68	4.35	3.31	1.79	4.66	3.78	2.12	3.61
	1	7.0 - 11	2.34	1.12	1.14	1.72	1.55	1.88	2.09	1.30	2.27	1.58	0.79	1.39
	2	4.7 - 7.0	4.01	1.82	2.70	3.09	2.73	3.34	3.75	2.67	4.29	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)

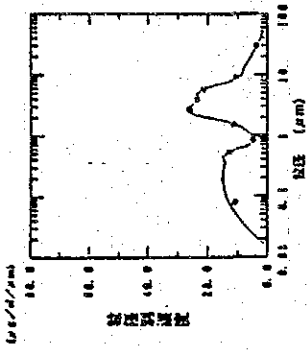


MPI
J. T. C. HALL

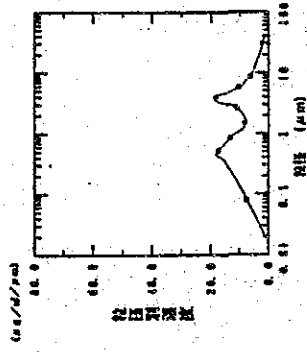
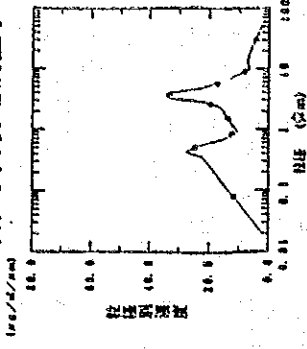
(第2次現地調査)



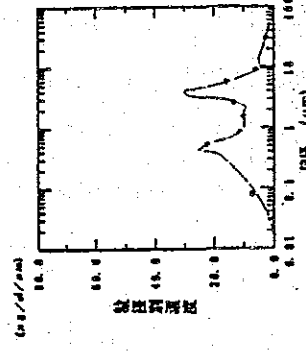
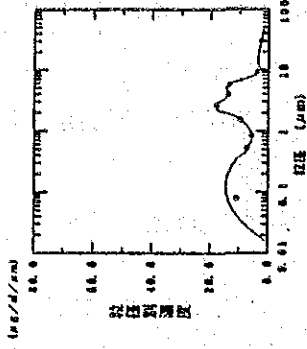
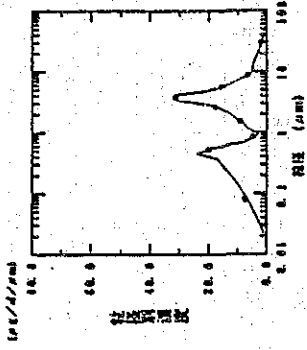
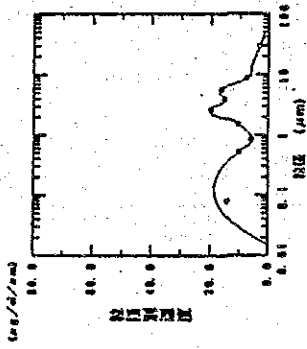
(第3次現地調査)



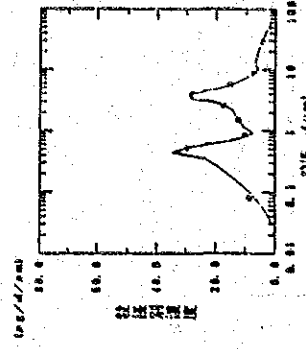
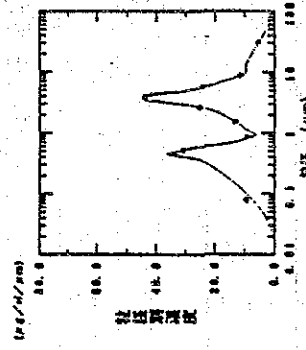
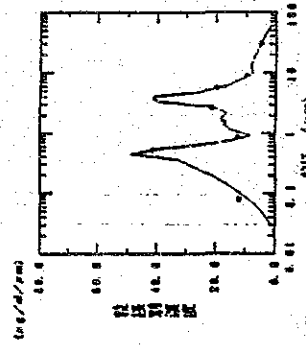
(第4次現地調査)



MP2
N. U. S.



MP6
NANYANG, T. I.



図<II>-3 アンダーセンサーによる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ポ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)-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	A	μg/m ³	0.064	0.063	0.406	0.185	0.143	0.064	0.105	0.071	0.179	0.087
	Al	μg/m ³	1645.000	1290.242	2708.000	2113.726	1572.548	841.269	2619.500	1646.097	2142.260	1394.048
	As	μg/m ³	8.716	3.318	7.939	4.661	4.263	1.198	6.390	1.367	6.292	2.241
	B	μg/m ³	15.790	5.244	17.260	7.264	41.063	5.197	27.140	2.793	25.294	6.460
	Br	μg/m ³	85.600	65.144	107.500	93.439	102.050	64.936	49.400	83.389	98.637	76.911
	C	μg/m ³	1187.000	869.244	2470.500	1871.759	1656.600	844.169	2664.000	1272.344	1971.625	1149.457
	Cd	μg/m ³	4.350	4.327	5.350	3.691	5.050	3.716	5.750	4.295	5.625	3.996
	Co	μg/m ³	1.505	1.069	2.392	2.036	1.697	1.253	1.862	1.364	1.842	1.390
	Cr	μg/m ³	4740.000	4643.021	1956.500	1868.831	2995.000	2886.449	3990.000	3823.132	3420.375	3129.179
	Cu	μg/m ³	0.244	0.130	0.505	0.292	0.316	0.190	0.136	0.190	0.550	0.212
	Fe	μg/m ³	4.122	2.382	7.943	5.000	6.159	3.759	7.553	4.155	6.222	3.757
	F	μg/m ³	0.090	0.037	0.097	0.034	0.078	0.029	0.098	0.033	0.090	0.034
	K	μg/m ³	33.750	30.158	109.250	89.671	48.900	29.865	46.150	26.662	64.513	38.307
	Mn	μg/m ³	637.500	514.703	1408.000	1087.710	1027.750	639.193	1097.000	749.446	1042.563	719.728
	N	μg/m ³	0.087	0.038	0.158	0.084	0.083	0.047	0.140	0.054	0.117	0.053
	Na	μg/m ³	273.500	130.053	871.000	359.948	475.500	234.822	578.000	283.667	549.500	241.185
	P	μg/m ³	0.325	0.137	1.005	0.522	0.568	0.242	0.688	0.247	0.846	0.258
	S	μg/m ³	0.008	0.008	0.011	0.008	0.003	0.002	0.009	0.004	0.004	0.003
	Se	μg/m ³	11.495	10.285	34.170	23.730	25.560	13.225	17.705	10.475	22.310	13.564
	Si	μg/m ³	1155.000	737.237	1278.500	1104.422	1538.000	1410.670	1999.000	1911.196	1492.625	1217.218
Sb	μg/m ³	9.080	4.456	8.890	5.225	4.235	2.007	9.420	3.356	7.906	3.539	
Sc	μg/m ³	1.803	0.720	3.704	2.151	1.602	0.987	4.291	1.218	2.850	1.168	
Sn	μg/m ³	0.182	0.134	0.347	0.264	0.201	0.134	0.318	0.202	0.282	0.176	
Te	μg/m ³	0.992	0.525	1.680	1.111	0.436	0.222	1.119	0.951	1.057	0.593	
Ti	μg/m ³	0.108	0.067	0.161	0.120	0.088	0.049	0.081	0.061	0.112	0.063	
V	μg/m ³	0.411	0.310	0.612	0.497	0.356	0.259	0.588	0.357	0.492	0.345	
Zn	μg/m ³	83.600	42.298	134.500	100.310	97.050	47.248	81.900	33.547	109.763	50.950	
Cl ⁻	μg/m ³	20.319	11.018	29.450	27.309	14.405	10.694	12.820	8.319	19.248	12.867	
NO ₃ ⁻	μg/m ³	0.589	0.262	2.478	1.081	1.301	0.375	0.279	0.137	1.337	0.415	
SO ₄ ²⁻	μg/m ³	57.350	46.025	136.850	98.901	94.925	50.753	70.750	57.032	91.894	69.248	
ケイ元	Cd	μg/m ³	2.455	1.428	3.180	1.785	3.215	1.685	4.430	2.959	3.320	1.884
X線分析	Pb	μg/m ³	190.350	89.664	297.250	265.000	244.800	164.766	199.600	101.857	233.000	141.313
	S	μg/m ³	1191.500	1019.757	1746.500	1509.244	1253.000	1123.534	1690.000	1465.435	1447.750	1261.694
	Si	μg/m ³	7645.000	5186.411	9240.000	7652.980	9782.500	7072.121	13755.000	10224.695	9950.625	7319.381
イオンクロマト分析	Cl ⁻	μg/m ³	3310.000	3246.189	1313.000	1235.319	1858.000	1740.189	2825.500	2669.715	2326.625	2077.974
	NO ₃ ⁻	μg/m ³	530.000	509.912	1649.000	1581.170	665.000	641.654	1457.000	1426.946	1075.512	925.474
TPM	TPM	μg/m ³	2570.000	2329.472	4515.000	4267.527	1965.000	1812.632	3200.000	2907.022	3062.500	2690.283
	TPM	μg/m ³	44.345	44.033	73.210	67.812	54.410	49.930	80.255	42.711	66.605	59.259
	元素状炭素	μg/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	μg/m ³	4.020	3.658	4.480	3.860	3.585	2.782	4.325	4.795	4.352	3.890
TPM	TPM	μg/m ³	16.365	15.130	23.320	21.274	14.200	11.915	21.420	20.524	18.826	16.751
	TPM	μg/m ³	73.570	70.278	88.745	84.091	70.776	65.735	75.740	72.576	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。

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)-5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)-5 (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)-5(a) SO₂有効測定時間

測定点	有効測定時間(hr)	測定率(%)
MP1	8011	91.2
MP2	7645	87.0
MP4	8229	93.7
MP6	7515	85.6
MP7	8302	94.5
MP14	8011	91.2
MP20	8445	96.1

表(Ⅱ)-5(b) 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
MP1	8376	8164	95.4	92.9
MP2	8195	8080	93.3	92.0
MP4	8400	8327	95.6	94.8
MP6	8006	8006	91.1	91.1
MP7	8447	8316	96.2	94.7
MP14	8180	8128	93.1	92.5
MP20	7759	8197	88.3	93.3

表(Ⅱ)-5(c) 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
MP1	8121	7994	92.5	91.0

表(Ⅱ)-5(d) 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)-6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。これを見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、SO₂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SO₂では異なっていることが示唆される。

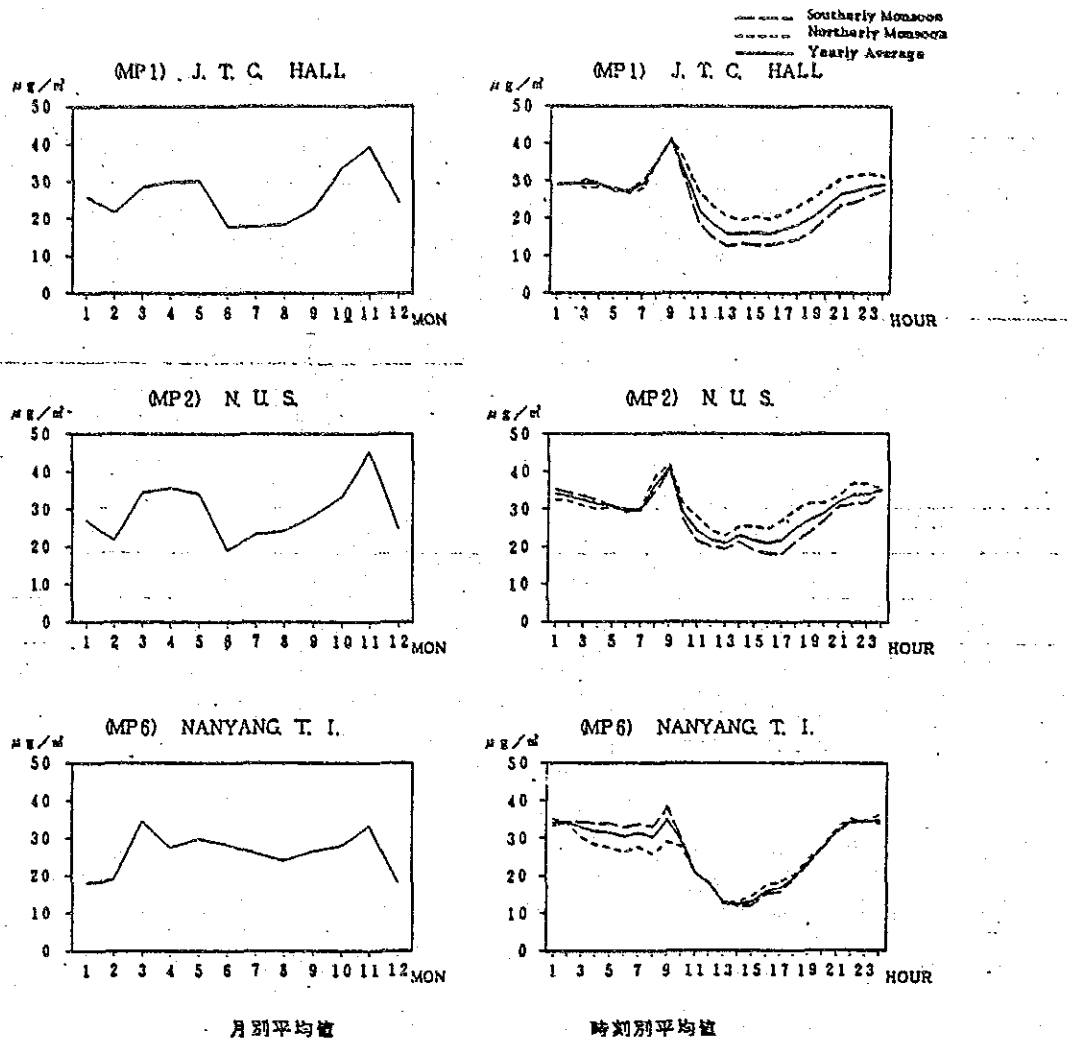
表(Ⅱ)-6 β線粉じん計によるSPMの期別、昼夜別平均濃度

(単位: μg / m³)

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	20.0	26.3	23.4	26.1	29.0	27.7	22.6	27.4	25.2
(2) H. U. S.	23.8	31.2	27.8	29.1	32.5	30.9	26.0	31.8	29.1
(6) HANYANG, 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

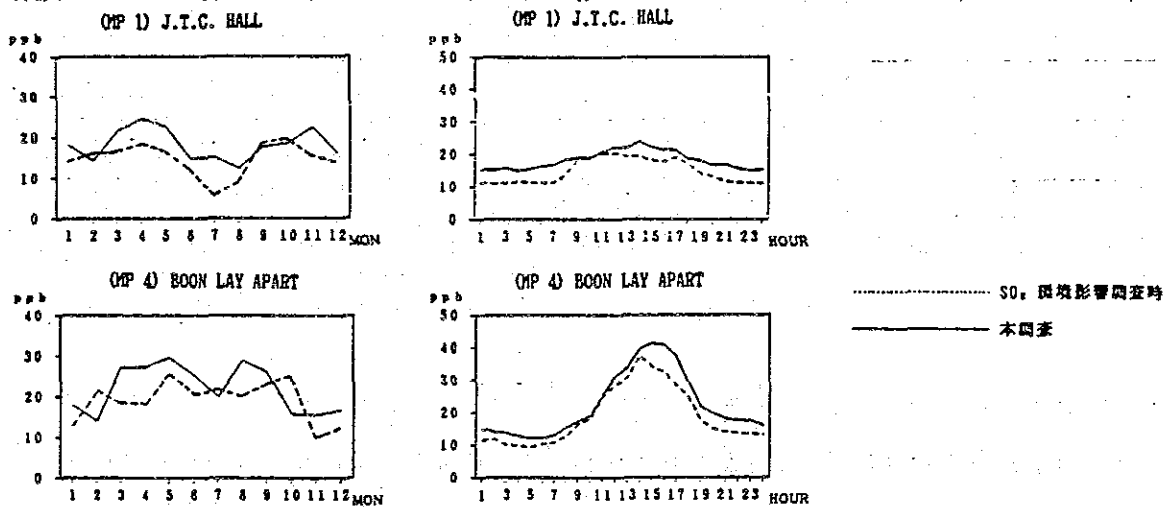
次に各測定点別にSPMの月別変化及び時刻別変化をみると図(Ⅱ)-4に示すとおりであり、いずれの測定点も3~5月及び10月~11月にSPM濃度が高くなっており、SO₂とよく似た月別変化を示している。また日変化パターンは、いずれの測定点もよく似ており、9時にピークを持っている。なお、季節による日変化パターンの差異は、いずれの測定点もみられない。



図<II>-4 β 線粉じん計によるSPM濃度の月別、時刻別平均値

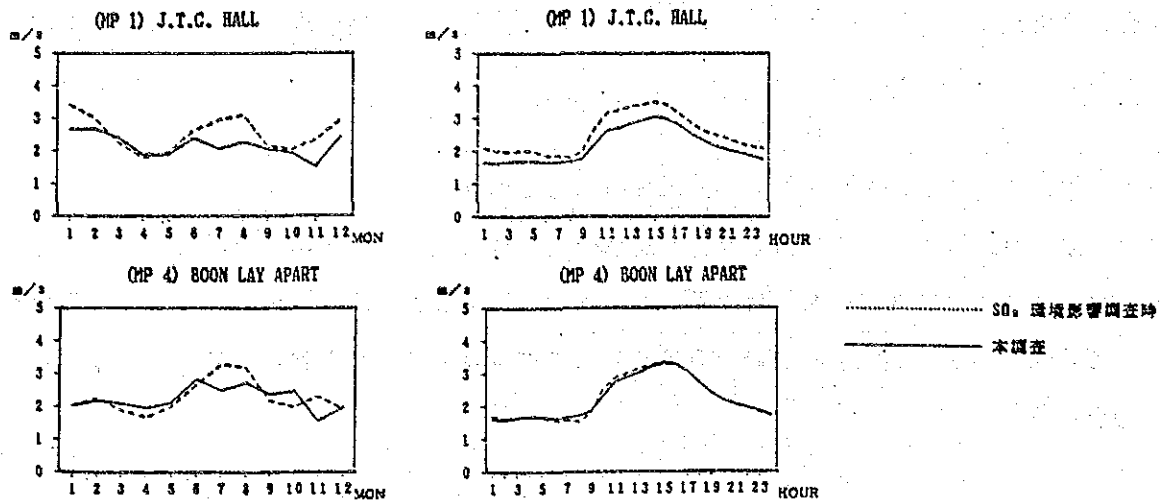
(2) その他 (SO_2 , 風向風速等)

SO_2 , 風向風速等の測定結果は先に実施した SO_2 環境影響調査時(1981年7月15日~1982年7月14日)とほぼ同様な傾向を示している。その一例を図<II>-5~図<II>-8に示す。



図<II>-5 SO_2 濃度の月別変化

図<II>-6 SO_2 濃度の時刻別変化



図<II>-7 風速の月別変化

図<II>-8 風速の時刻別変化

(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_x) 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を初めと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	煙突高さ (m)	口径 (m)	炉ガス 流速 (m/s)	炉ガス 温度 (℃)	通常通り 炉ガス量 (t/h)	処理施設	ばいじん濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ -dry basis)	通常SPCA 排出量 (t/h)	粒径別排出量 (t/h)				
											2 μm 未満	2-10	10-20	20 μm 以上	
SERAYA POWER STATION	63	2	143	7.62	25	150	2,650,000	電気集じん機	0.05	130	44.6	71.0	13.0	1.4	
YESONG POWER STATION	64	1	143	7.36	25	150	2,470,000	電気集じん機	0.05	120	41.2	65.5	12.9	1.3	
YESONG INTEGRATED STEEL MILL	Grate Kilo	65	1	170	8.97	30	100	5,000,000	電気集じん機	0.13	900	440.1	288.9	93.6	77.4
	Reheating Furnace	65	2	70	1.45	30	500	63,000	なし	0.1	6	4.4	1.3	0.2	0.1
	Electric Arc Furnace	65	3	120	6.0	25	120	1,000,000	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MP11; Chong Pang P.P. であり、TPMは $0.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, SPMは $0.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ である。しかしいずれにしても、寄与濃度は非常に小さい。

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ともに、新設工場の寄与率は全発生源の1%にも満たない。

図〈Ⅲ〉-1は、補間法により推定した現状のメッシュ濃度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。

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

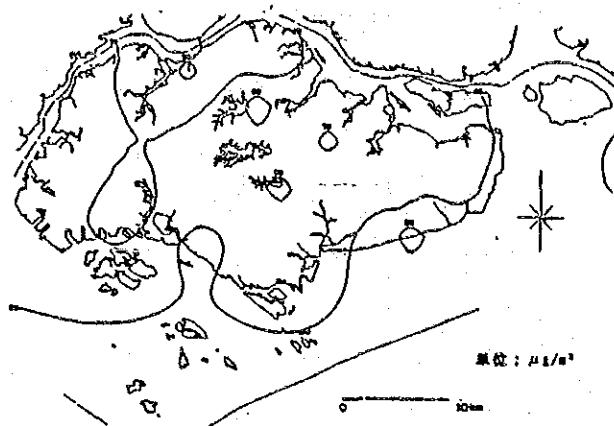
(単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

測定点名	TPM (全粒径)	SPM (10 μm 未満)	粒径別濃度			
			2 μm 未満	2~10 μm	10~20 μm	20 μm 以上
(MP1) J. T. C. HALL	0.14	0.10	0.05	0.05	0.02	0.02
(MP2) M. U. S.	0.12	0.08	0.04	0.04	0.02	0.02
(MP3) BUKIT KERAB P. 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) HANYANG 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) SELBTAR 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 P. 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 P. P.	0.23	0.16	0.08	0.08	0.02	0.04
(MP17) PAYA LEBAR 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 P. P.	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

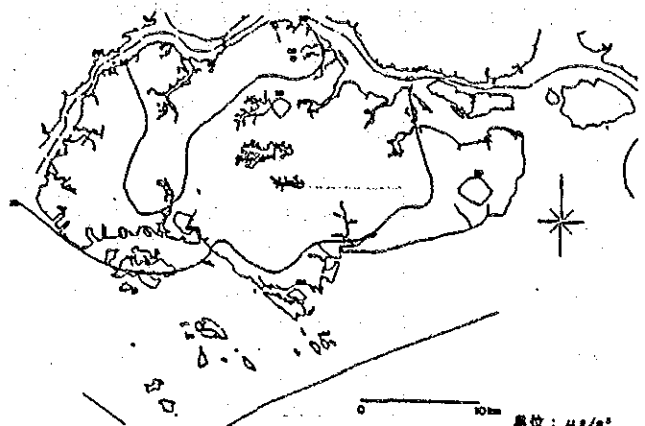
表<Ⅲ>-3 測定点におけるTPM, SPM 予測濃度

(単位 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

測定点名	T P M			S P M		
	T1 M(499)15/15- による 予測濃度	T2 建設工場 による 寄与濃度	T1+T2 将来予測 濃度	S1 M(499)15/15- による 予測濃度	S2 建設工場 による 寄与濃度	S1+S2 将来予測 濃度
(MP1) J. T. C. HALL	66.6	0.14	66.7	33.9	0.10	34.0
(MP2) M. U. S.	53.2	0.12	53.3	29.5	0.08	29.6
(MP3) BUKIT KERAB P. P.	66.7	0.14	66.8	31.3	0.10	31.4
(MP4) BOON LAY APART	74.2	0.19	74.4	39.5	0.15	39.7
(MP5) JURONG HILL TOP	78.2	0.13	78.3	31.5	0.09	31.6
(MP6) HANYANG T. I.	66.4	0.18	66.6	33.5	0.12	33.6
(MP7) BUKIT PANJANG P. P.	134.6	0.18	134.8	55.5	0.14	55.6
(MP8) LIM CHU KANG M. P. P.	69.7	0.17	69.9	38.4	0.13	38.5
(MP9) KRANJI SEWAGE T. P.	83.3	0.19	83.5	39.9	0.15	40.1
(MP10) SELBTAR R. W. P. S.	54.0	0.20	54.2	28.0	0.15	28.2
(MP11) CHONG PANG P. P.	77.9	0.40	78.3	40.3	0.30	40.6
(MP12) NATIONAL I. C.	69.0	0.15	69.2	27.4	0.11	27.5
(MP13) MACRITCHIE R. W. P. S.	57.5	0.15	57.7	30.2	0.11	30.3
(MP14) KALLANG P. P.	63.3	0.17	63.5	33.3	0.11	33.4
(MP15) EAST COAST S. LAGOON	44.7	0.22	44.9	22.2	0.13	22.3
(MP16) ANG MO KIO P. P.	72.3	0.23	72.5	34.0	0.18	34.2
(MP17) PAYA LEBAR P. S.	93.1	0.18	93.3	42.8	0.12	42.9
(MP18) CHANGI C. CENTER	63.5	0.19	63.7	32.4	0.13	32.5
(MP19) JTC BEDOK P. P.	62.6	0.19	62.8	30.8	0.13	30.9
(MP20) SINGAPORE O. P. S.	63.4	0.26	63.7	24.5	0.21	24.7



図<Ⅲ>-1 (a) TSP将来予測濃度



図<Ⅲ>-1 (b) SPM将来予測濃度

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成分平衡法 (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種の寄与率の合計は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。

100

100

100