

## 第7章 風向風速の鉛直分布測定

注)

高度約2kmまでの大気の大気層中では地面粗度と大気流体の粘性抵抗のために風速が下層ほど小さくなる。このため風速の鉛直こう配が生じ、風の乱れが発生する。また、地面が日射で熱せられているときには対流が生じ風の乱れを起こす。この対流が達する高度が混合層高さに等しくなる大気境界層中では風向・風速、温度などが鉛直方向に大きく変化し、一般に風の乱れが上空の自由大気中より大きい。汚染質の拡散はほとんどの場合、この大気境界層中で行なわれるので、風向・風速の鉛直分布測定は大気汚染予測を実施するに当り、重要なこととなる。

したがって本調査においても、観測期間が2日間と短かいが、当刻地区の2ヶ所において風向・風速の鉛直分布測定を実施した。観測は、MP2及びMP6の2地点において、パイロットバルーンとセオドライトを用い、地上から高度2000mまで、層厚100mごとの平均風向風速を、1981年の6月23、24日の8時～17時の毎正時に行った。

### 7-1 上空風の測定法

上空風の正確な測定には塔などを利用して、一般の風向風速計を高所に設置したり、係留気球に特殊な風向風速計を搭載して行なう方法がある。しかし塔を利用した上空風の測定高度は200～300m以下であり、係留気球の場合でも500m以下が限度である。さらに上空風の測定のためには、パイロットバルーンによる方法、高層気象観測で使われるレーウィソソンドを利用する方法、ソニックローダによる方法、飛行機による方法などがある。

### 7-2 本調査における風向風速の鉛直分布測定

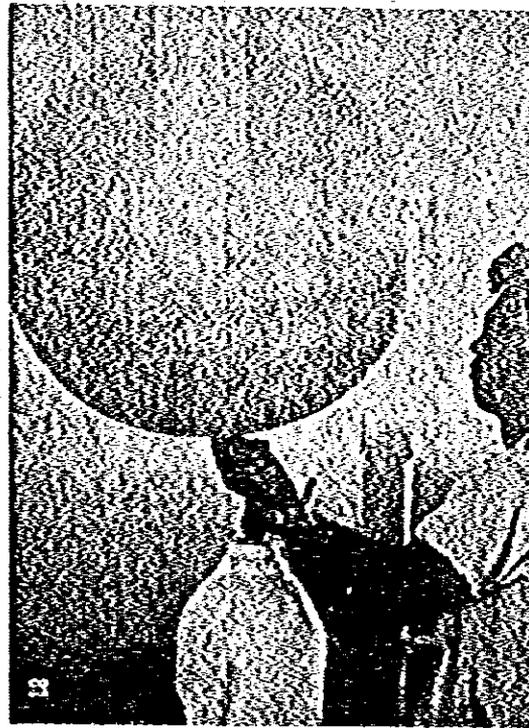
本調査における上空風の測定は、その測定目的、測定のしやすさ等を考慮して、パイロットバルーンによる方法を採用した。これは、上昇速度がほぼ一定の気球を放球し、これを測風用のセオドライトで追跡し、上昇高度と流された距離の関係から上空の風向風速を求める方法である。

注) 大気境界層と呼ばれ、その最下層部の数十mは接地気層、残りの上側の部分は外部境界層と呼ばれている。また、日射のあるときにできる対流によってかく作される最下層部を混合層と呼び、混合層高度は大気境界層の高度に等しくなる場合がある。

### 7-3 測定方法

#### 7-3-1 ガスの充填

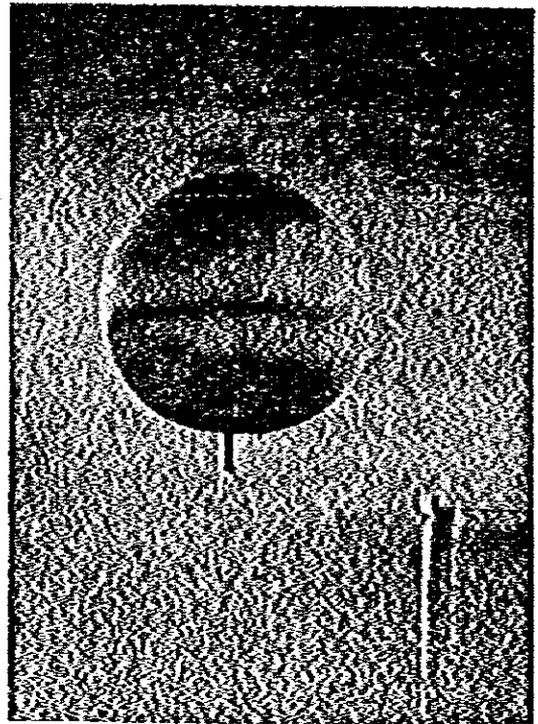
重さ55.7gの浮力鐘をとりつけた自重20gのゴム気球にヘリウムを充填し(写真Ⅰ-7-1)、浮力鐘のコックを閉めてから、ポンペとの連結ゴム管を離し、釣合いの状態に注意しながら静かに浮力鐘のコックを開閉して余分のヘリウムを放出し(写真Ⅰ-7-2)、丁度釣合うようにする(写真Ⅰ-7-3)。釣合いが保たれたなら、ガスを逃がさないようにして浮力鐘をはずし、気球の口管を引きのばして口管自体を結ぶ。これでこの気球は55.7gの浮力があり、上昇速度は地上~2kmの間で約100m/40secになる。



写真Ⅰ-7-1 ヘリウムの充填



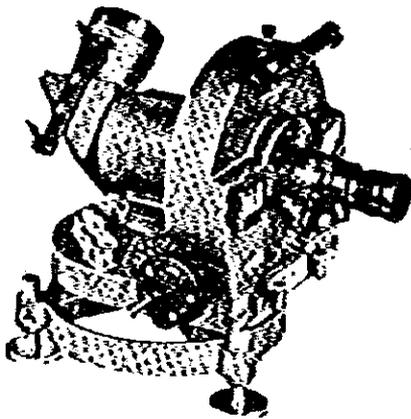
写真Ⅰ-7-2 浮力の調整



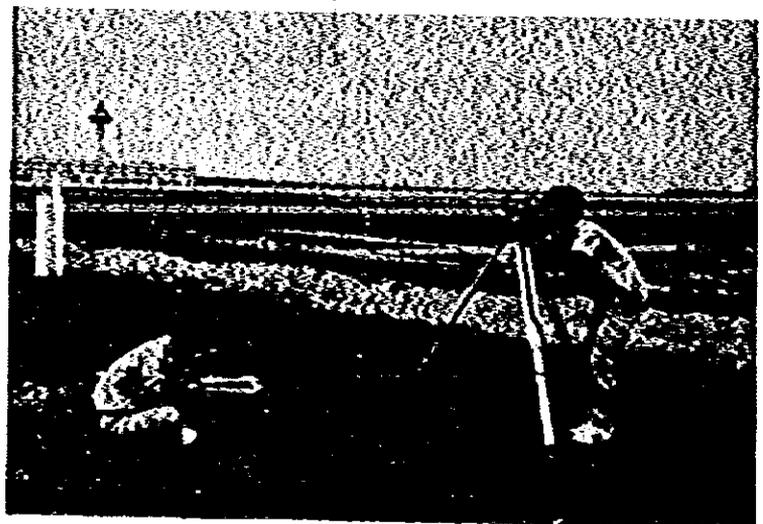
写真Ⅰ-7-3 基準浮力(静止状態)

#### 7-3-2 セオドライトによる気球の追跡

写真Ⅰ-7-4に示すセオドライト本体を三脚架上に取り付け、水準器により水平に保つ。磁針の固定ネジをゆるめ磁針により磁北を定めた後、望遠鏡を真北に向け、方位目盛を日盛裏側のステープをまわして目盛をゼロに合わせる。気球を飛揚させて気球位置を望遠鏡により追跡し、40秒毎に高度角、方位角を日盛読取窓から読み取り(写真Ⅰ-7-5)、表Ⅰ-7-1に示す様式に高度角、方位角を記入する。なお、用いたセオドライトの仕様を表Ⅰ-7-2に示す。



写真Ⅰ-7-4 セオドライト



写真Ⅰ-7-5 セオドライトによる気球の追跡

表 1-7-1 パイロットバルーン観測飛揚気球方位角、高度角記入例

PILOT BALLOON SURVEY RECORD

Site: \_\_\_\_\_

No.	Min. & sec.	Elevation angle	Azimuth angle	Height	Horizontal distance (m)	X coordinate	Y coordinate	Wind direction (°)	Wind velocity (m/s)	Survey No.	
1	0:40				100					Date	- - 81
2	1:20				200					Time	:
3	2:00				300					Name of surveyor	
4	2:40				400					Ground wind velocity	(m/s)
5	3:20				500					Cloud amount & form	
6	4:00				600					Weather	
7	4:40				700					Balloon weight	20 gr.
8	5:20				800					Buoyancy	55.7gr.
9	6:00				900					Ascending capacity	150 m/min.
10	6:40				1,000					Reason of survey suspension:	
11	7:20				1,100						
12	8:00				1,200						
13	8:40				1,300						
14	9:20				1,400						
15	10:00				1,500						
16	10:40				1,600						
17	11:20				1,700						
18	12:00				1,800						
19	12:40				1,900						
20	13:20				2,000						

Reasons of survey suspension

Sun	Disturbed by direct sun beam	Ent.	Entered into cloud
B.B	Balloon burst	Obst	Obstacled by cloud
A.G	Accident of ground instruments	O.S	Out of sight
D.G	Disturbed by ground obstacles	A.R	Another reason

表 1-7-2 セオドライト仕様

基本望遠鏡並に照準望遠鏡

	基本望遠鏡	照準望遠鏡	公差
対物レンズ有効径	45%	135%	±5%
倍率	18.5×	4×	±5%
分解能	3.5'以下	1.2'以下	
視界	2.5'	10.5'	±5%
像	倒立	倒立	
ヘア大輪の視直径	3.2'	2'	±10%
ヘア小輪の視直径	1.2'	5.8'	±10%

方位分度盤並に高度分度盤目盛

	方位目盛盤	高度目盛盤
目盛盤の直径	140%	140%
目盛最小分画	30分(又は密位)	30分(又は5密位)
目盛最小読度	30分( " )	30分( " )

7-4 気球の上昇速度

自由気球の上昇速度は、大気の状態及び高度によってある程度の変化はするが、気球の重量、浮力によりほぼ決定される。多くの実験資料から、これらの関数として上昇速度をあらわす実験式が得られている。

大気中を上昇する気球の受ける抵抗力は、式(1-7-1)で表わされる。

$$R = (\pi \rho r^2 V^2) \left( \frac{\nu}{rV} \right)^a \left( \frac{K}{\rho V^2} \right)^{1-a} \dots\dots\dots \text{式(1-7-1)}$$

$\rho$ .....空気の密度

$r$ .....気球の半径

$\nu$ ..... $\mu / \rho$

$\mu$ .....空気の静的粘性係数

$K$ ..... $\rho \frac{dp}{d\rho}$  で空気の弾性率

$V$ ……気球の動く速さ

$k$ ……空気の抵抗を受ける気球表面の状態によって定まる定数

$n, m$ ……実験的に定められる定数

割風気球にガスを充填した時のガスの密度を $\sigma$ とし、気球の自重及びそれに付けた系などを加えた重さを $W$ 、 $L$ を浮揚力、 $Q$ を浮力とし、これらをグラム単位にて示し、割風気球を球体とすれば、式(1-7-2)の浮力の式が得られる。

$$Q = \frac{4}{3} \pi (\rho - \sigma) g r^3 \quad \text{式(1-7-2)}$$

$g$ ……重力の加速度

今、気球の浮揚力とそれの受ける空気の抵抗力とが常に平衡を保ちつつ上昇すれば、式(1-7-3)の関係が成立する。

$$R = (Q - W) g = L \quad \text{式(1-7-3)}$$

従って、式(1-7-1)、式(1-7-2)及び式(1-7-3)から気球の上昇速度を求めれば、式(1-7-4)になる。

$$V = K_0 (1 - aTs + b\Delta P_s - CZ) \left[ \frac{L}{(L+W) \frac{2-n}{3}} \right]^{\frac{1}{2m-n}} \quad \text{式(1-7-4)}$$

$$K_0 = \left( \left( \frac{4}{3} \right)^{2-n} \frac{\pi^{-(n+1)}}{(gC^{-1})^3 \left( \frac{g}{g-R\sigma} \right)^{3(m-1)} \mu_0^{-3n}} \right. \\ \left. \times \rho_0^{-(3m-2n-2)} \left( 1 - \frac{\sigma_0}{\rho_0} \right)^{2-n} P_0^{3(m-1)} \right)^{\frac{1}{3(2m-n)}}$$

$$a = \frac{2(n+1) - 3(m - \alpha n T_0)}{3T_0(2m-n)}$$

$$b = \frac{2n-1}{3P_0(2m-n)}$$

$$c = \frac{g(2n-1)}{3RT_0(2m-n)} - a\delta$$

なお、以上の記号で \$L\$ は地上からの高さ、\$R\$ は気体定数、\$\delta\$ は気温減率を示し、\$t\$ は摂氏による気温、\$\Delta P = P - P\_0\$ であり、\$P\$ は気圧を示す。また、\$P\_0 = 760 \text{ mmHg}\$、\$T\_0 = 273\$ である。なお \$s\$ を付けたものは地上の値を意味し、\$o\$ を付けたものは気圧 \$760 \text{ mmHg}\$、気温 \$0^\circ\text{C}\$ の場合の値である。

実験及び観測の資料とを用いて、石野雄吉氏が式(1-7-4)の定数値を定めたところによると、

$$K_0 = 46.02, n=1, m=1.591$$

$$a=0.0011, b=0.0002, c=0.000012 \text{ となる。}$$

ここに計算はすべて \$m, g, \text{mm}, ^\circ\text{C}\$ の単位で求めてある。従って、式(1-7-4)の実験公式としては、式(1-7-5)が得られる。

$$V = 46.02(1 - 0.0011ts + 0.00002\Delta ps - 0.000012Z)$$

$$\times \left[ \frac{L}{(L+W)^{1/3}} \right] \frac{1}{2182} \dots\dots\dots \text{式(1-7-5)}$$

刺風気球の上昇速度 \$V\$ は気温や気圧及び高度によって異なるが、それらによって起こる誤差は小さい。従って浮揚力は気圧 \$760 \text{ mmHg}\$、気温 \$0^\circ\text{C}\$ のときの式(1-7-6)を用いて計算すると、簡単に求まる。

$$V = 46.02 \left[ \frac{L}{Q^{1/3}} \right] \frac{1}{2182} \dots\dots\dots \text{式(1-7-6)}$$

ここに \$L\$ は浮揚力を \$g\$ で表わしたもの。\$Q\$ は \$L+W\$ であり、\$W\$ は気球の自重で、やはりグラムで示す。

普通の単経緯儀観測法においては式(1-7-6)の値を用いても大差がないため、本調査においても式(1-7-6)を用いた。即ち本調査においては、\$20 \text{ g}\$ の気球を用い、上昇速度を \$100 \text{ m}/40 \text{ 秒}\$ に設定したため式(1-7-6)より、気球に \$55.79\$ の浮力を与え、飛揚させ調査を行った。

7-5 風向風速計算法

層厚 100m ごとの平均風向風速は、測定した高度角、方位角から次のように計算する。

パイロットバルーンが放球点 O から放球後 100m/40秒の速さで上昇し、i 秒後に A<sub>i</sub> 点にあるとする。この場合放球点 O から測定した方位角、高度角をそれぞれ AZ<sub>i</sub>、EL<sub>i</sub> とする、今、パイロットバルーンの上昇速度は 100m/40秒であるから、高度 H<sub>i</sub> (A<sub>i</sub>-B<sub>i</sub>) は式 (1-7-7) で求まる。

$$H_i = i \times \frac{100}{40} \text{ (m)} \quad \text{式 (1-7-7)}$$

一方、水平距離 LL<sub>i</sub> (O-B<sub>i</sub>) は高度角 EL<sub>i</sub> より式 (1-7-8) を用いて求まる。

$$LL_i = H_i \cdot \text{Co}EL_i \text{ (m)} \quad \text{式 (1-7-8)}$$

A<sub>i</sub> 点を地上に投影したときの座標 (X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>) は水平距離 LL<sub>i</sub> と方位角 AZ<sub>i</sub> から式 (1-7-9) より求まる。

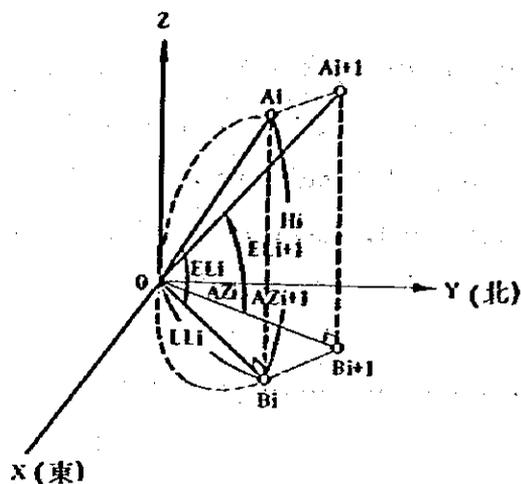
$$\left. \begin{aligned} X_i &= LL_i \sin AZ_i \\ Y_i &= LL_i \cos AZ_i \end{aligned} \right\} \quad \text{式 (1-7-9)}$$

i から i+1 秒後の平均風速 V<sub>i</sub> はピタゴラスの定理により、式 (1-7-10) で求まる。

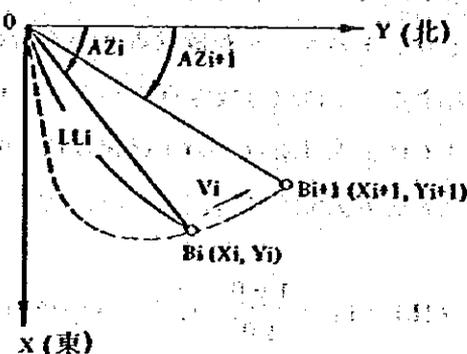
$$V_i = \frac{\sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2}}{40} \text{ (m/s)} \quad \text{式 (1-7-10)}$$

トランジット観測では北を 0° とし、時計回りに方位角度を測定する。風向 WD<sub>i</sub> は式 (1-7-11) により求まる。

$$WD_i = \tan^{-1} \left( \frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i} \right) \quad \text{式 (1-7-11)}$$



パイロット・バルーンの軌跡  
(立体図)



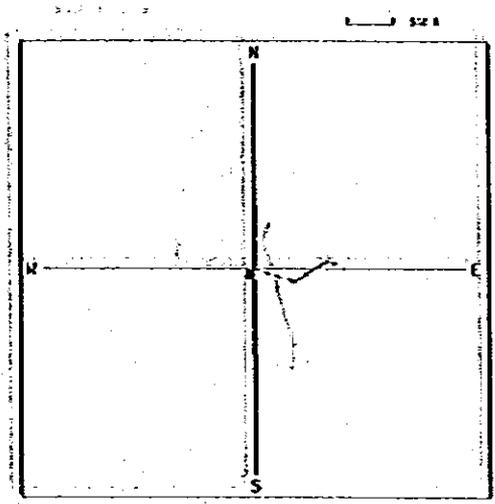
パイロット・バルーンの軌跡を  
地上に投影した図(平面図)

### 7-6 測定結果

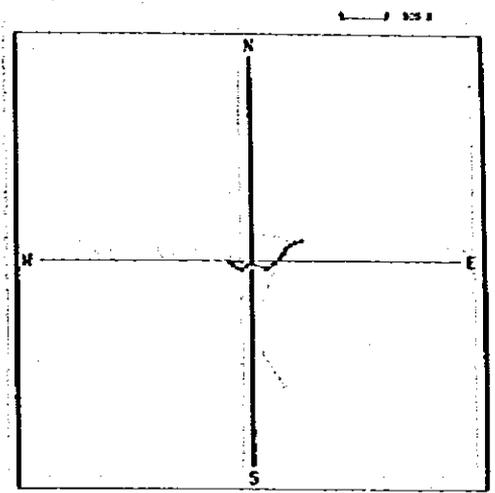
MP 2 及び MP 6 の 2 地点において、パイロットバルーンとセオドライトを用い、地上から高度 2,000m まで、層厚 100m ごとの平均風向風速を、1981 年の 6 月 23, 24 日の 8 時 ~ 17 時の毎正時に行った。その結果は次のとおりである。

毎時の気球の水平流跡線図を図 7-1(1)~(7) に示す。この図は、層厚 100m ごとの平均風向風速をプロットしたものであり、図中の上方を N、下方を S にとってあり、図中の点と点との方向がその層厚の風向を示している。また、風速は同じように点と点の間の距離が風速となっている。図から明らかのように、地上と上空では異った風が吹いていることがわかる。

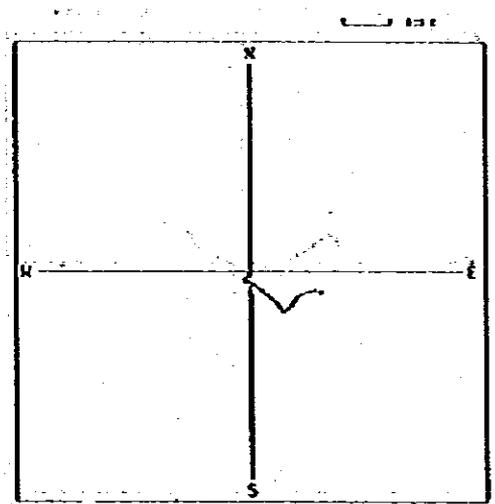
次に縦軸に高度、横軸に時間を取り、風向風速をプロットした図(イソプロット図)を図 7-2(1)~(4) に示す。この図は、図 7-1(1)~(7) と同様、図中上方を N、下方を S にとり、風向はイ印(この場合風向は S)であらわしている。また風速はイ印の下の数字が風速となる。なお、線で囲まれた部分は、その中の高度あるいは時間内は同じ傾向の風が吹いていることを示している。この図から明らかのように、風速は高度が増してもほとんど変化していないことがわかる。しかし、この傾向は測定期間が 2 日間であるので、シンガポールにおける一般的な風速の鉛直分布を示しているとは考えられない。そこで拡散計算の実施に当っては上層内の推定を EPA が CDM マニュアルに用いた値を流用し推定した。



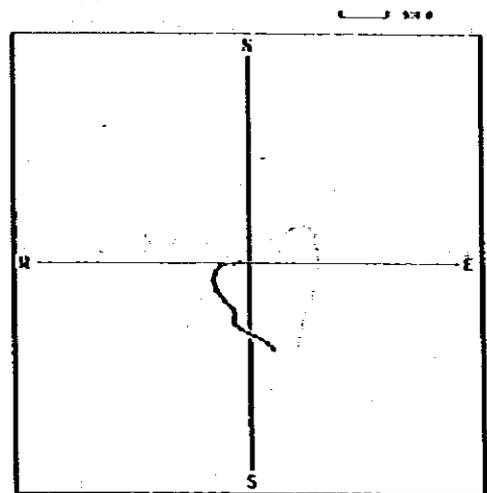
23 6 1981 8:00 CHANGI AIRPORT



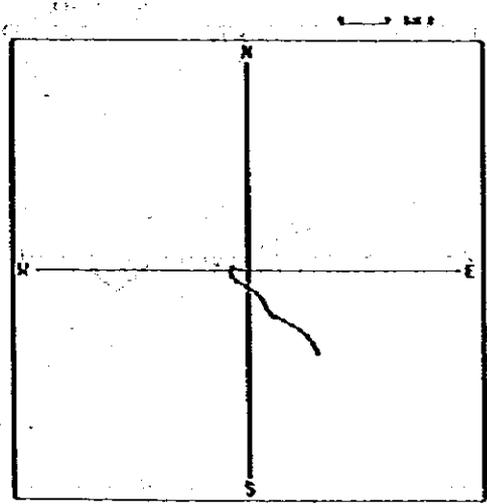
23 6 1981 9:00 CHANGI AIRPORT



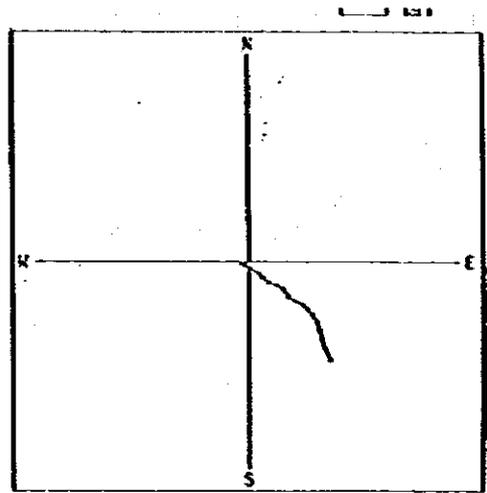
23 6 1981 10:00 CHANGI AIRPORT



23 6 1981 11:00 CHANGI AIRPORT

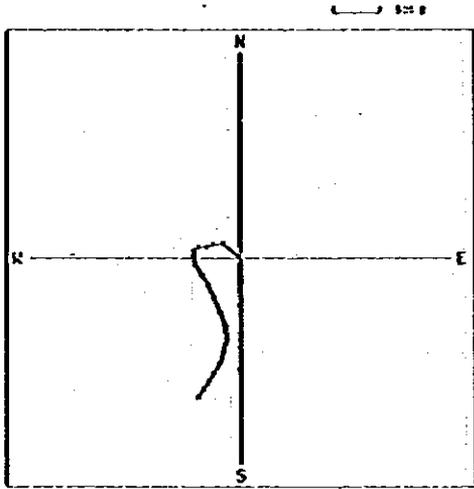


23 6 1981 12:00 CHANGI AIRPORT

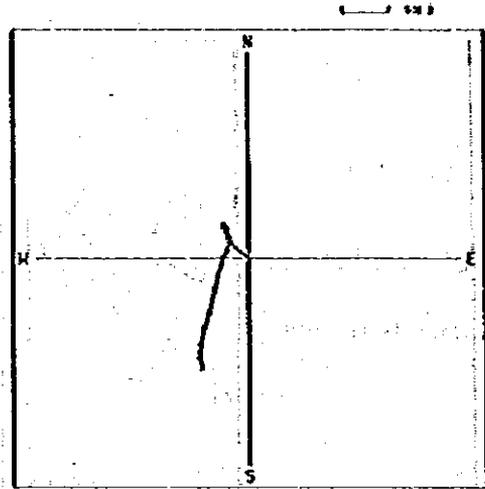


23 6 1981 13:00 CHANGI AIRPORT

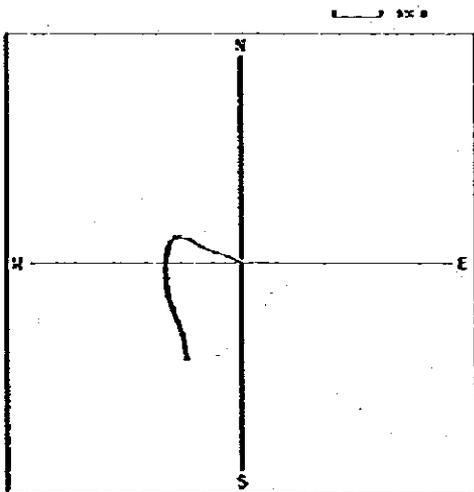
図 7-1(1) パイロットバルーンによる水平流跡線図



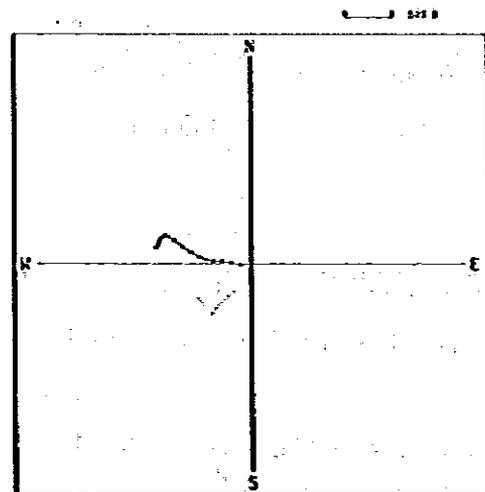
23 6 1981 14:00 CHANGI AIRPORT



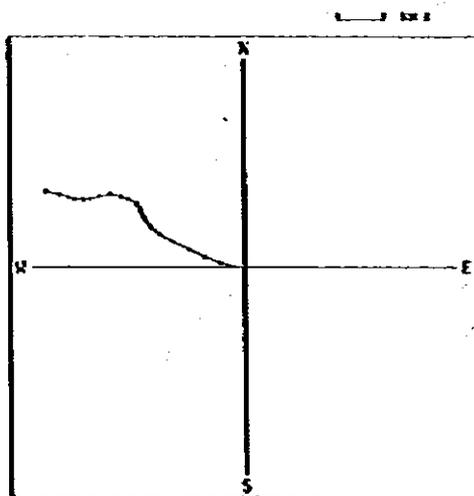
23 6 1981 15:00 CHANGI AIRPORT



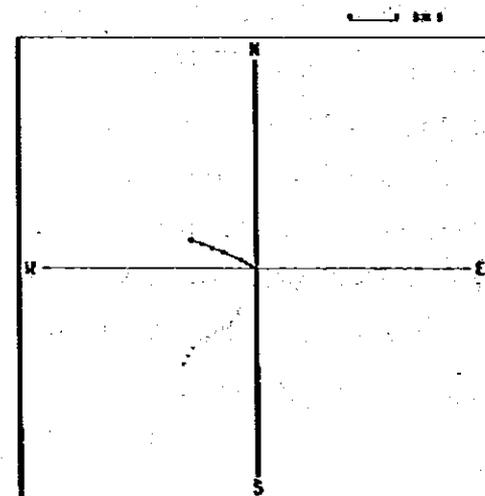
23 6 1981 16:00 CHANGI AIRPORT



23 6 1981 17:00 CHANGI AIRPORT

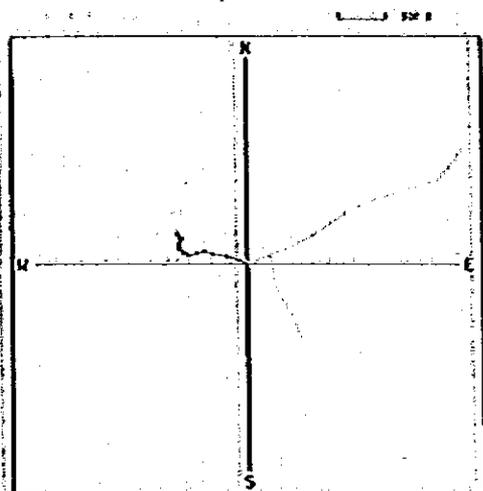


24 6 1981 8:00 CHANGI AIRPORT

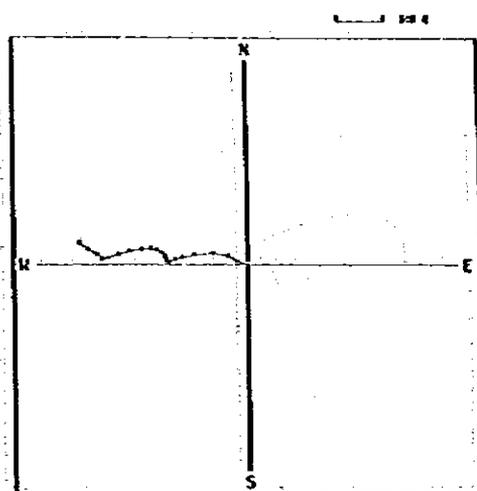


24 6 1981 9:00 CHANGI AIRPORT

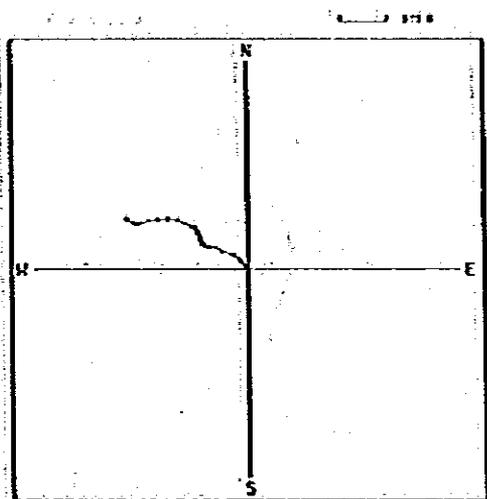
図 7-1(2) パイロットバルーンによる水平流跡線図



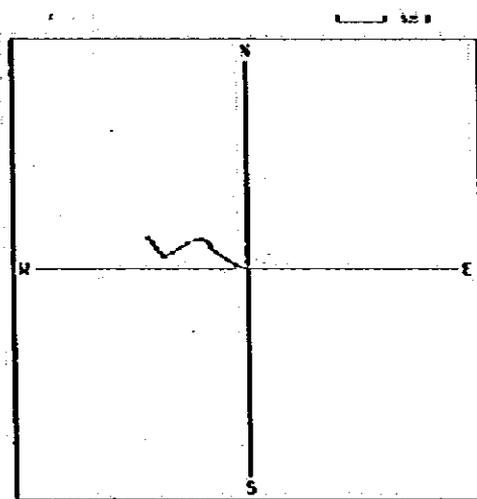
24 6 1981 10:00 CHANGI AIRPORT



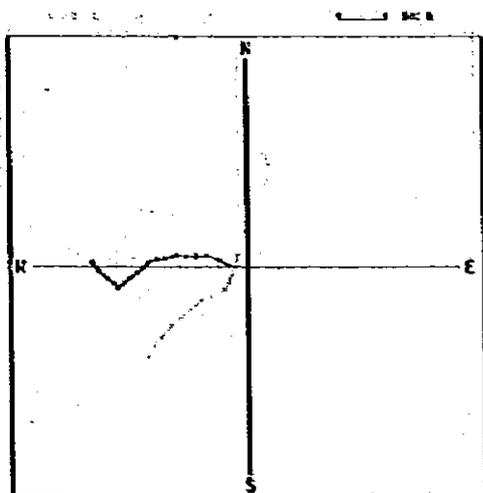
24 6 1981 11:00 CHANGI AIRPORT



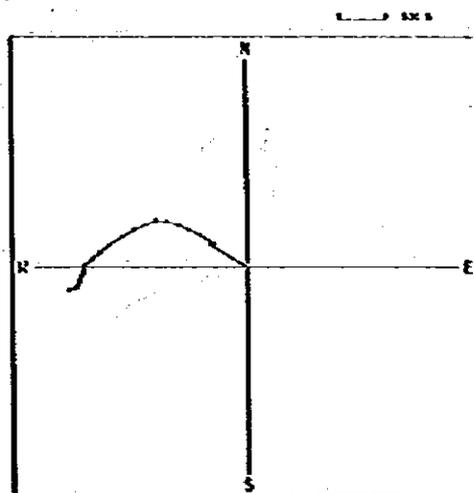
24 6 1981 12:00 CHANGI AIRPORT



24 6 1981 13:00 CHANGI AIRPORT

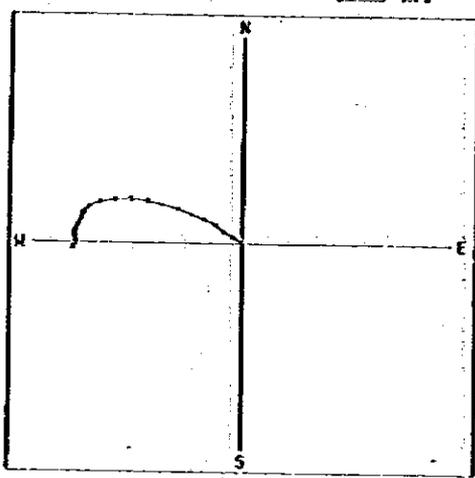


24 6 1981 14:00 CHANGI AIRPORT

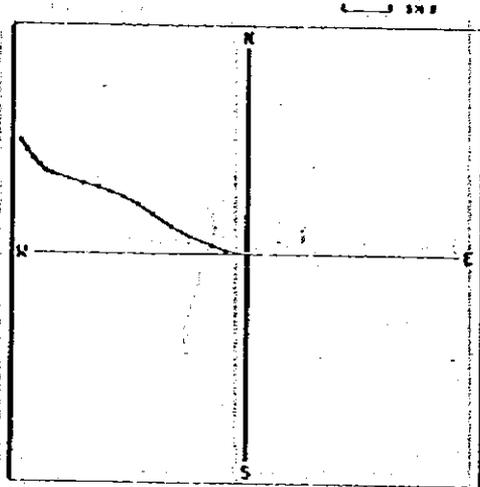


24 6 1981 15:00 CHANGI AIRPORT

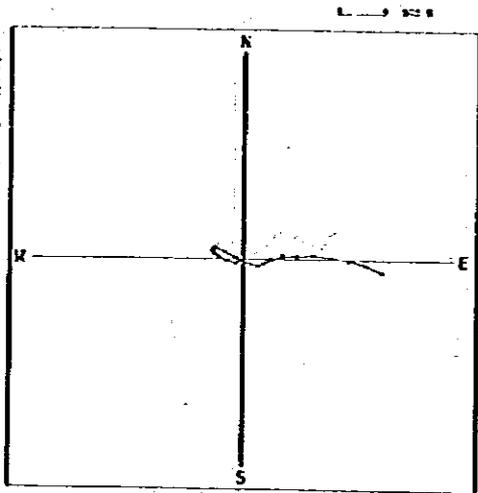
図 1-7-1(3) パイロットバルーンによる水平流跡線図



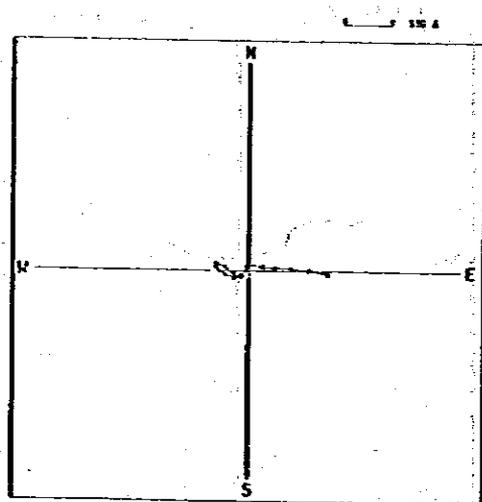
24 6 1981 16:00 CHANGI AIRPORT



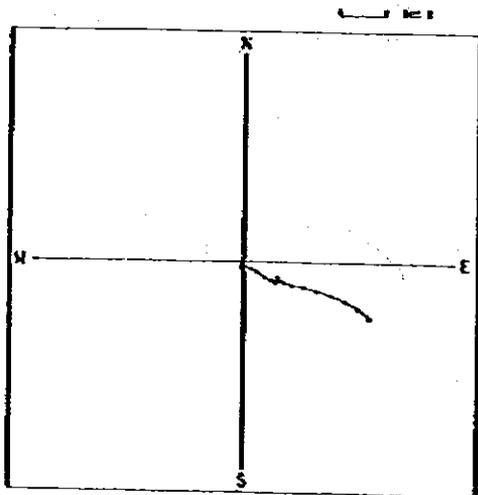
24 6 1981 17:00 CHANGI AIRPORT



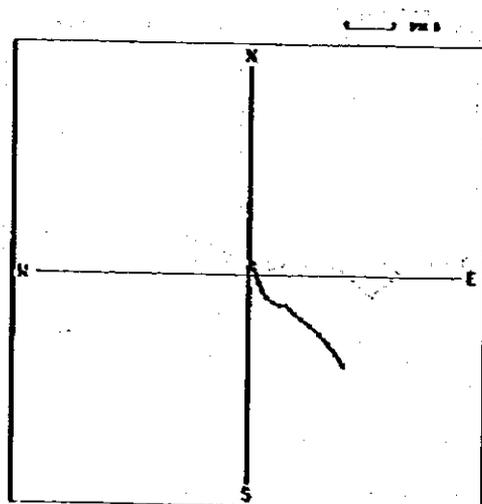
23 6 1981 8:00 J.T.C.



23 6 1981 9:00 J.T.C.

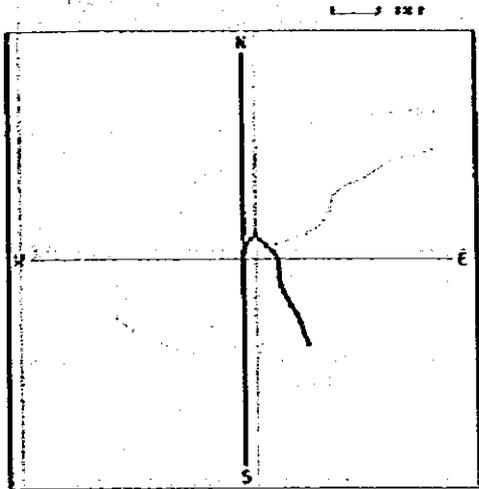


23 6 1981 10:00 J.T.C.

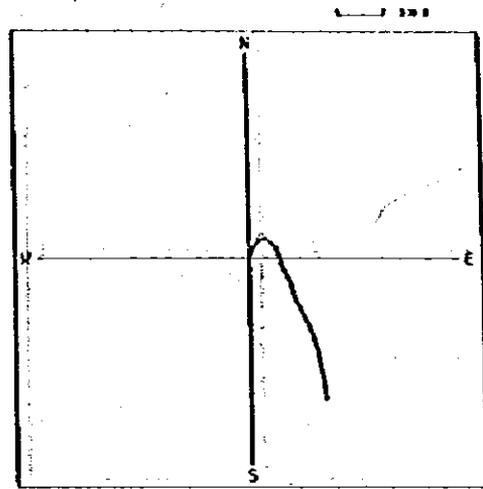


23 6 1981 11:00 J.T.C.

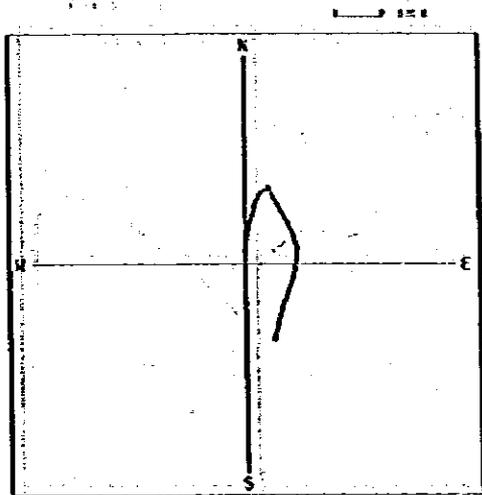
図 1-7-1(i) パイロットバルーンによる水平流跡線図



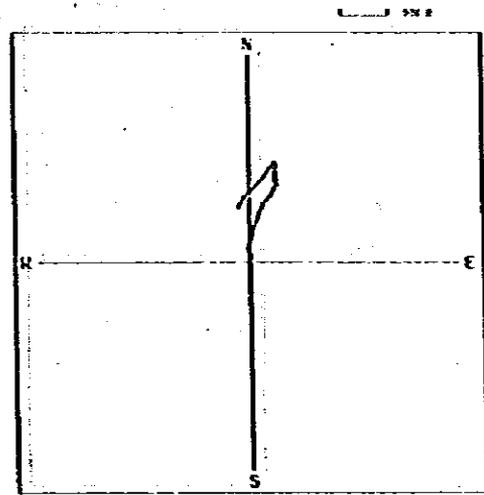
23 6 1981 12:00 J.T.C.



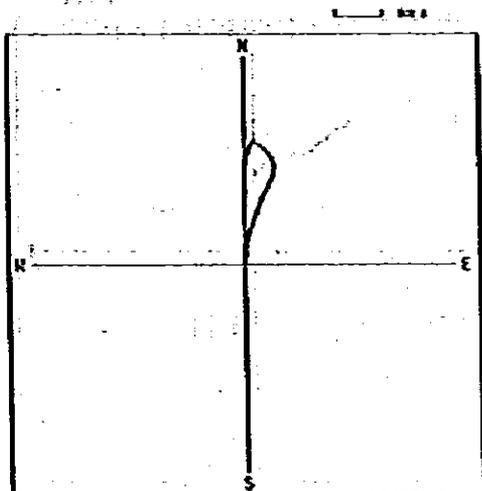
23 6 1981 13:09 J.T.C.



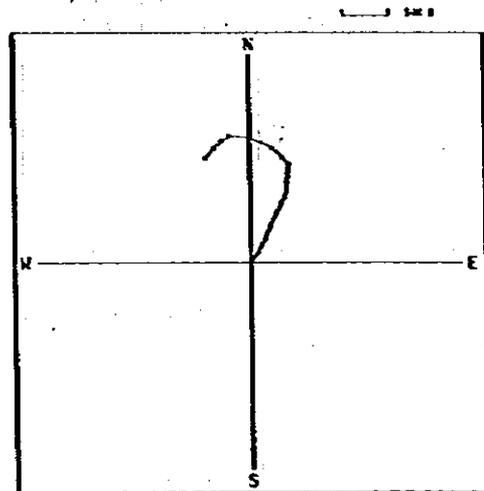
23 6 1981 14:00 J.T.C.



23 6 1981 15:09 J.T.C.

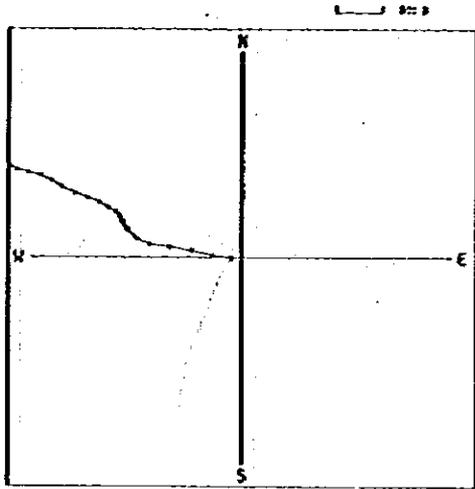


23 6 1981 16:00 J.T.C.

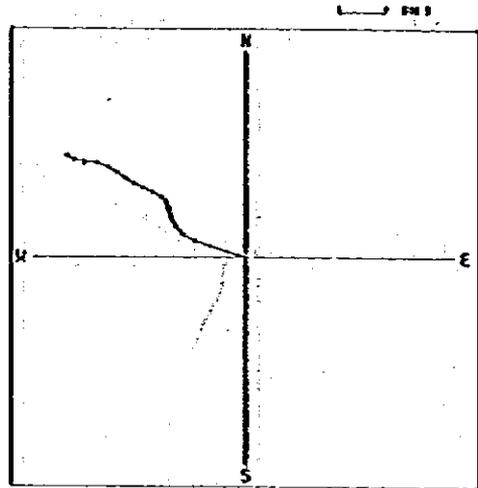


23 6 1981 17:09 J.T.C.

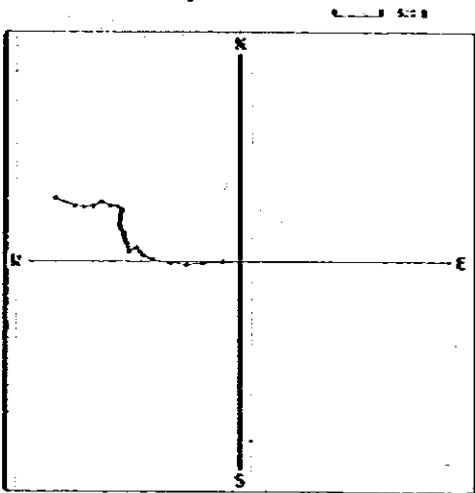
図 1-7-1(5) パイロットバルーンによる水平流路線図



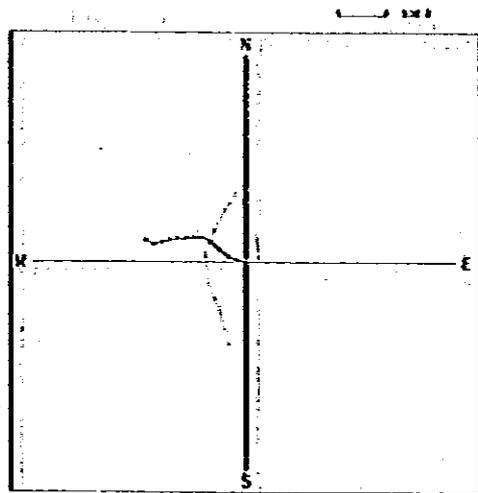
24 6 1981 0:00 J.T.C.



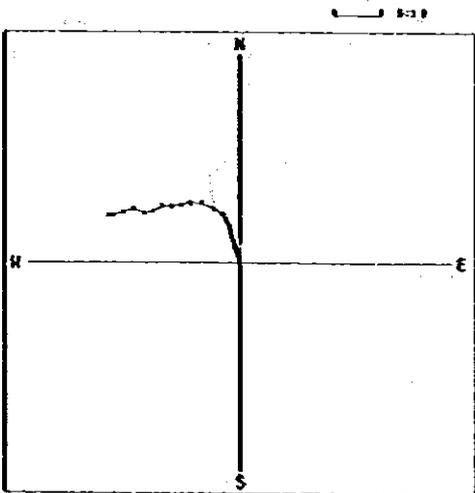
24 6 1981 9:00 J.T.C.



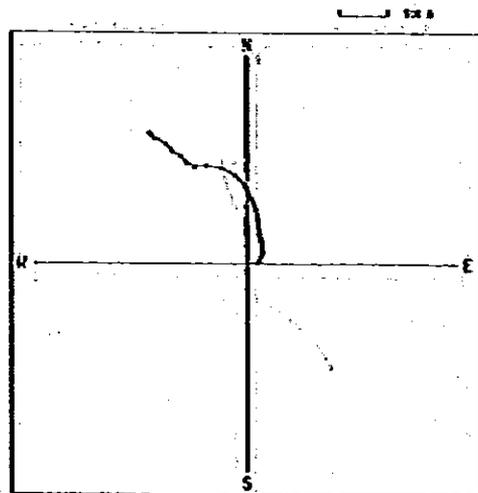
24 6 1981 10:00 J.T.C.



24 6 1981 11:00 J.T.C.

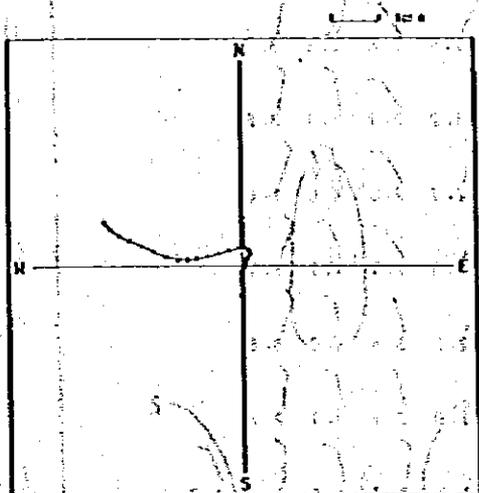


24 6 1981 12:00 J.T.C.

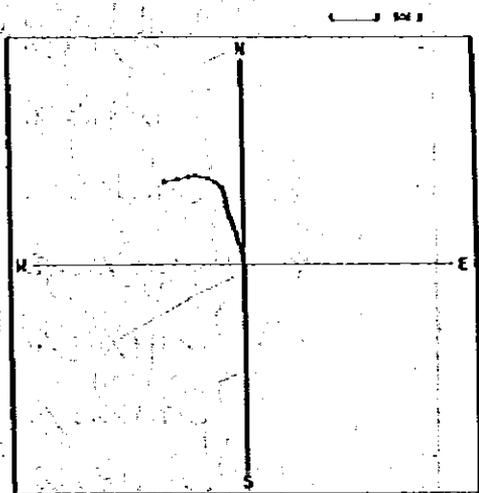


24 6 1981 13:00 J.T.C.

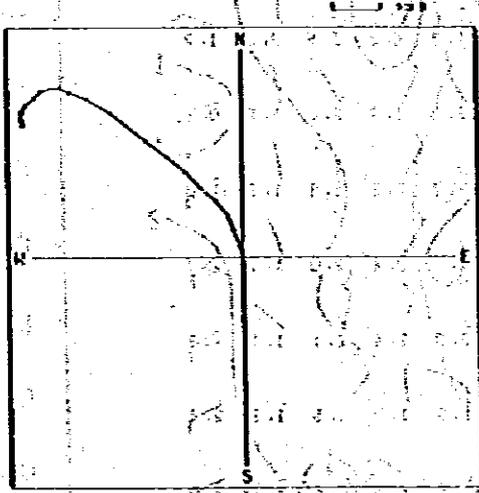
図 1-7-1(6) パイロットバルーンによる水平流跡線図



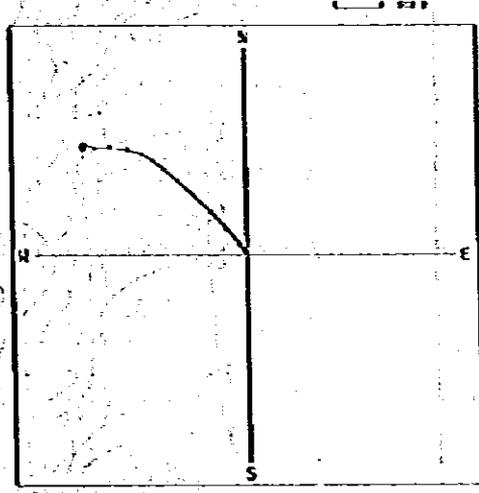
24 6 1981 14:00 J.T.C.



24 6 1981 15:00 J.T.C.

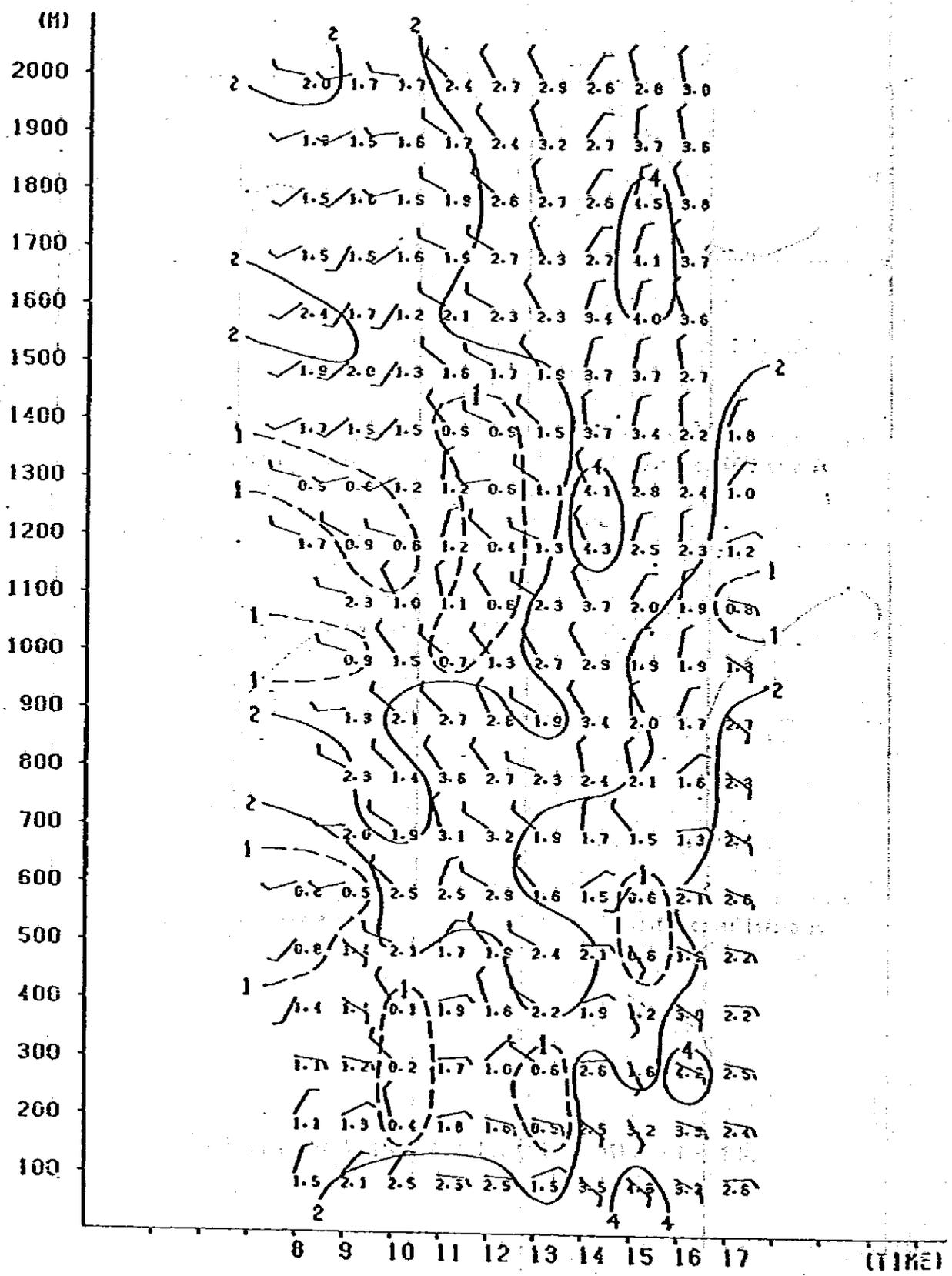


24 6 1981 16:00 J.T.C.



24 6 1981 17:00 J.T.C.

図 1-7-1(7) パイロットバルーンによる水平流跡線図



23. 6. 1981 CHANGI AIRPORT

図1-7-2(1) パイロットバルーンによるイソプレット図

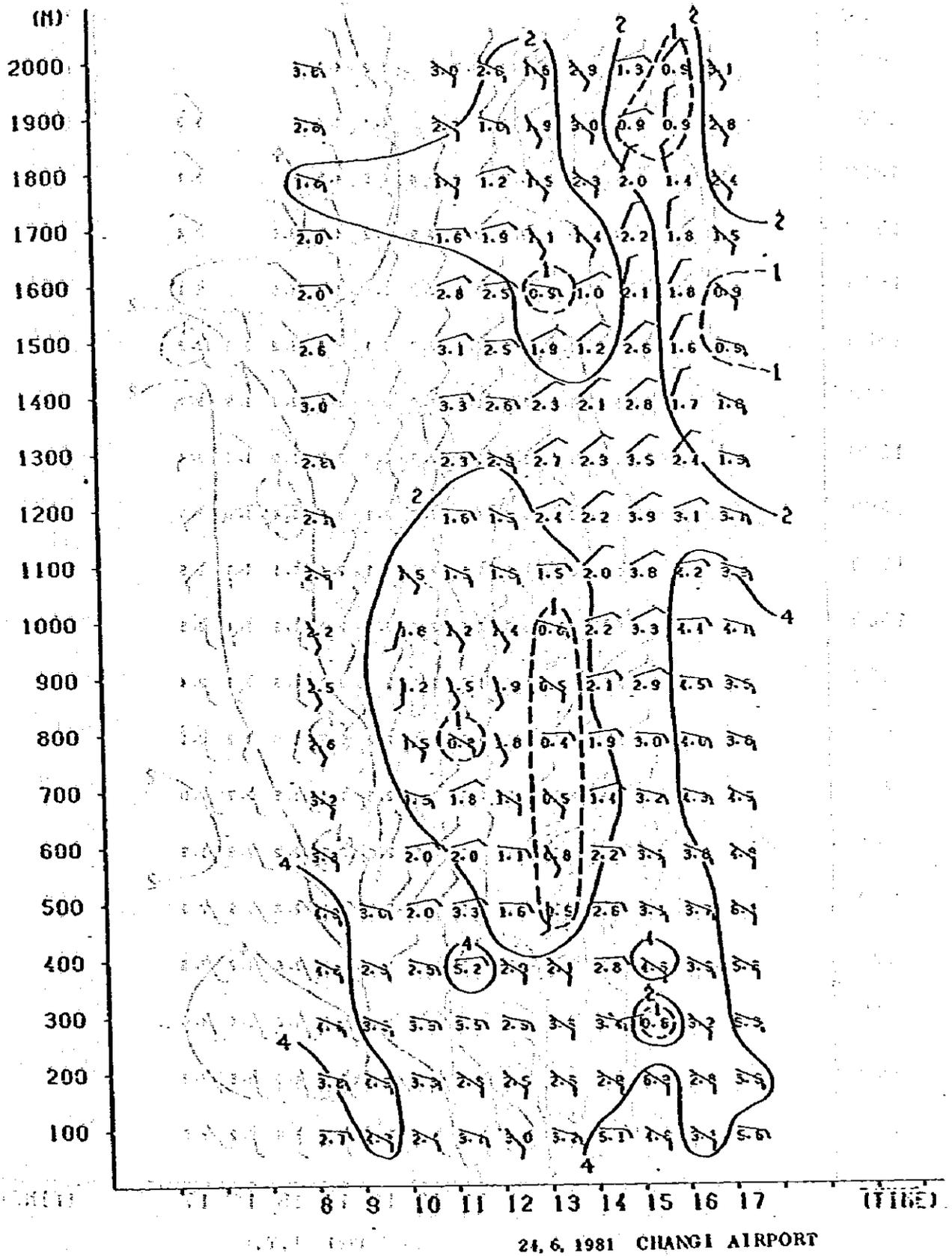
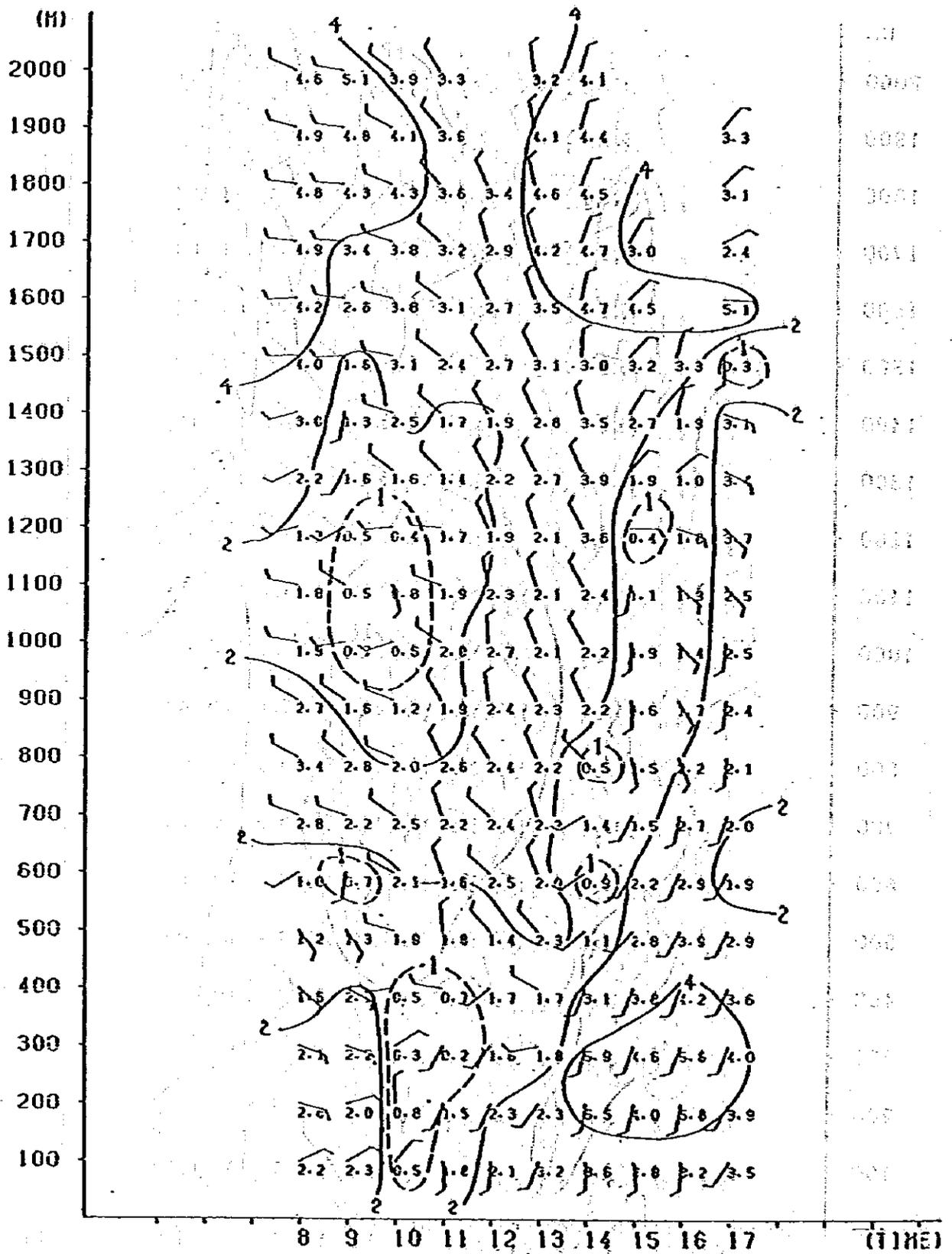
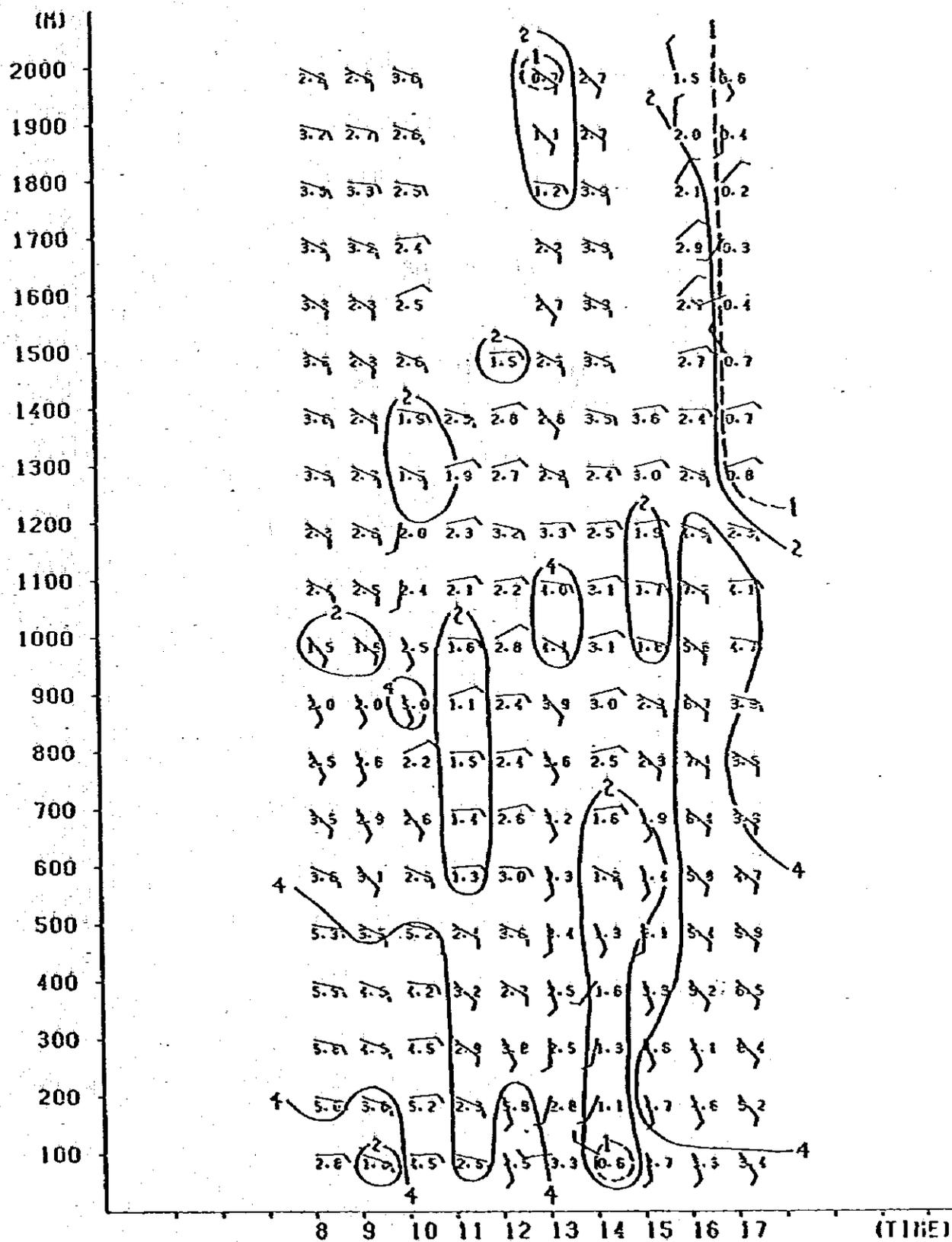


図1 コケ-2(2) パイロットバルーンによるイソプレット図



23. 6. 1981 J.T.C.

図 7-2(3) パイロットバルーンによるイソプレット図



24. 6. 1981 J.T.C.

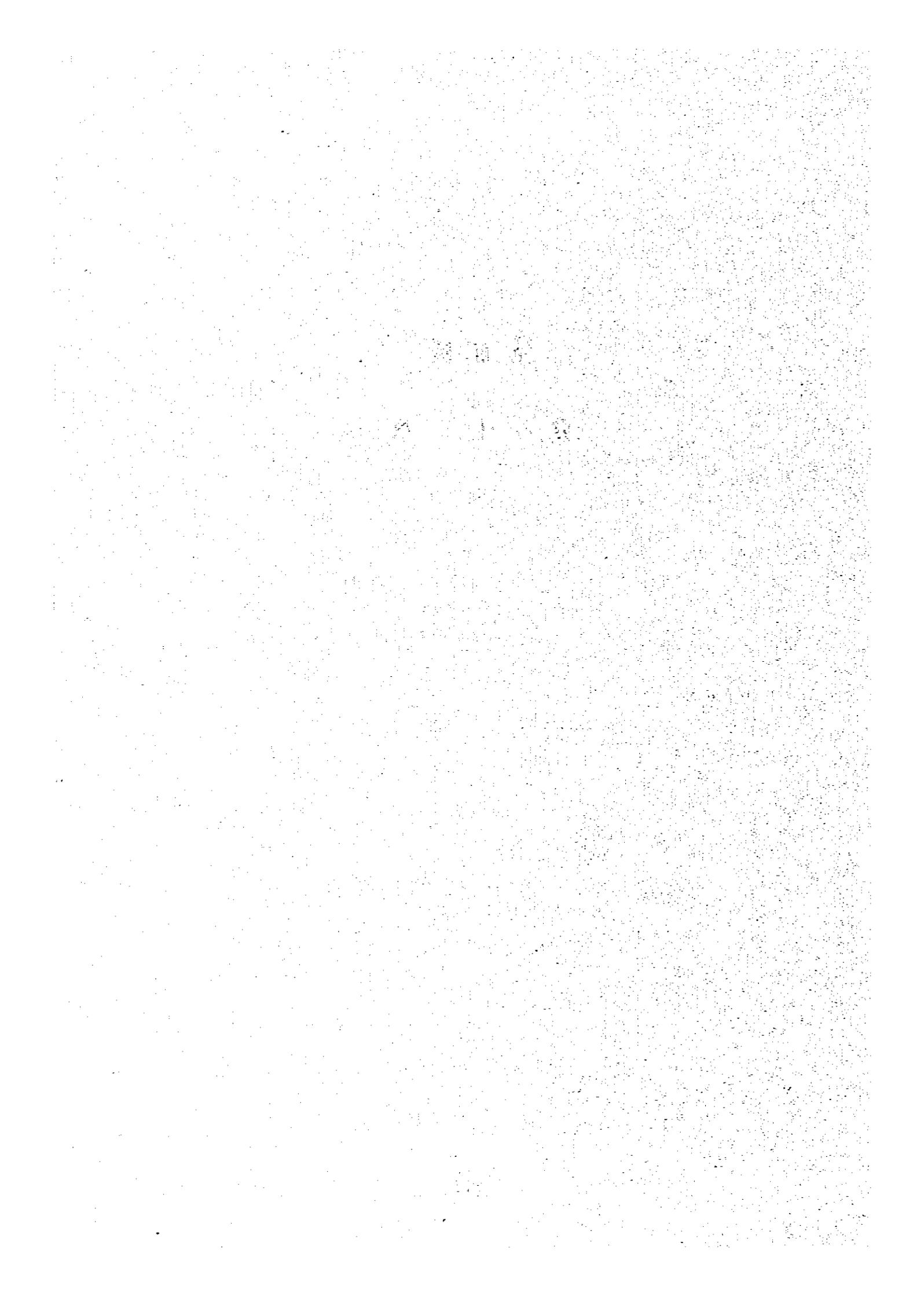
図1-7-2(4) パイロットバルーンによるイソプレット図

Handwritten text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is extremely faint and illegible due to the quality of the scan.

0000  
0001  
0002  
0003  
0004  
0005  
0006  
0007  
0008  
0009  
0010  
0011  
0012  
0013  
0014  
0015  
0016  
0017  
0018  
0019  
0020  
0021  
0022  
0023  
0024  
0025  
0026  
0027  
0028  
0029  
0030  
0031  
0032  
0033  
0034  
0035  
0036  
0037  
0038  
0039  
0040  
0041  
0042  
0043  
0044  
0045  
0046  
0047  
0048  
0049  
0050  
0051  
0052  
0053  
0054  
0055  
0056  
0057  
0058  
0059  
0060  
0061  
0062  
0063  
0064  
0065  
0066  
0067  
0068  
0069  
0070  
0071  
0072  
0073  
0074  
0075  
0076  
0077  
0078  
0079  
0080  
0081  
0082  
0083  
0084  
0085  
0086  
0087  
0088  
0089  
0090  
0091  
0092  
0093  
0094  
0095  
0096  
0097  
0098  
0099  
0100

第 Ⅲ 編

発 生 源



## （第III編 発 生 源

環境影響評価の実施に当って、調査対象地域の汚染質排出量を正確に把握することは、汚染質の環境濃度を知ることと同様、重要なことである。そのため、本調査においては当該地域の固定発生源、船舶発生源を対象とし、これら発生源から排出される現状（1981年次）、及び将来（1990年次）のSO<sub>2</sub>量を推定した。

### 第1章 煙源データの収集

SO<sub>2</sub>環境濃度予測に当っては、単に立地計画に係る発生源が環境に与える影響を予測するだけでなく、立地計画以外の既設の工場等を含めたシンガポール全体の煙源を対象とした予測を行う必要がある。そのためには、まず現状の汚染の確認、すなわち、現状における全煙源を対象とした拡散シミュレーションを実施し、その計算値と第II編に記載したSO<sub>2</sub>環境濃度実測値の整合性を確認する必要がある。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SO<sub>2</sub>環境濃度予測を行う。したがって、現状及び将来年次の発生源を正確に把握することは、環境影響評価実施に当って重要な項目の一つとなる。

#### 1-1 固定発生源

現状における固定発生源については、日本側で作成した調査票をもとにJTCがシンガポールに立地している企業等の煙源データを収集した。ここで集める煙源データは、現状の汚染濃度を再現するためのインプットになるものであるから、シミュレーション対象煙源について、次に示す項目について、できるだけ多くのデータを収集するものとし、表1-1-1(1)~(4)に示す煙源調査票を作成した。

##### （施設）

施設名  
施設稼働状況  
稼働  
予備缶  
休止缶  
交互運転

##### （煙突）

付帯施設  
煙突位置  
煙突形状  
煙突排出口径  
煙突高さ  
排ガス量（定格，最大）

**(施設)**

稼働停止

稼働稼働

大気中にガスを放出しない施設

稼働時間帯

稼働時間

原燃料種類

原燃料使用量(定格, 最大, 実績別)

原燃料単位

原燃料S分

処理施設(排煙脱硫, 排煙脱硝, 効率等)

SOx 濃度(実績)

**(煙突)**

排ガス温度

排ガス速度

SOx 濃度(実績)

調査票はJTCが表Ⅰ-1-2に示す61社に送付し、詳細な煙源データを収集した。業種別工場数、煙突数、施設数は表Ⅰ-1-3に示すとおりであり、175施設、131本の煙突の煙源データが収集された。





表 I - 1 - 1 (3) 煙源調査票

ANNEX 1: CLASSIFICATION OF FACILITIES

Boller  
Boiler (for utility)  
Boiler (for air-conditioning)  
Gas Producer  
Gas Heating Furnace  
Roasting Furnace  
Roasting Furnace (for refining of copper, lead, zinc)  
Sintering Furnace  
Sintering Furnace (for refining of copper, lead zinc)  
Calcining Furnace  
Calciner (for manufacturing phosphorus, phosphoric acid, & phosphoric fertilizer)  
Calciner (for manufacturing sodium tripolyphosphate)  
Pellet Baking furnace  
Blast Furnace  
Blast Furnace (for refining of copper, lead, zinc)  
Converter  
Converter (for refining of copper, lead, zinc)  
Open Heart Furnace  
Metal Smelting Furnace  
Melting Furnace (for refining of copper, lead, zinc)  
Smelter (for manufacturing phosphorus, phosphoric acid, and phosphoric fertilizer)  
Smelter (for manufacturing lead pigment)  
Metal Rolling Furnace  
Metal Heat Treatment Furnace  
Metal Forging Furnace  
Petroleum Heating Furnace  
Catalyst Regenerator  
Sulfur Recovering Furnace  
Kiln  
Cement Kiln  
Brick Kiln  
Lime Kiln  
Alumina Kiln  
Pottery Kiln  
Glass Melting Furnace

表 I - 1 - 1 (4) 煙源調査票

**ANNEX 2: CLASSIFICATION OF FUELS AND RAW MATERIALS**

**FUEL**

Heavy Fuel Oil	Converter Gas
Crude Oil	Off Gas
Naphtha	Town Gas
Light Oil	Rich Gas
Kerosene	Petroleum Refinery Gas
Black Liquor	Electricity
Coal	Waste Oil
Coke	Digestion Gas
LPG	Hydrogen
LNG	Methanol
Cracking Gas of Naphtha	Wood
Coke Oven Gas	Acrylic Acid Waste
Blast Furnace Gas	Acrylic Acid Off Gas

**RAW MATERIAL**

Iron Ore

Recovered Sulfur

Petroleum for Refining

Salt Cake (Sodium Sulfate)

Sulfur for manufacturing Sulfuric Acid

Reactor

Reactor (for manufacturing phosphorus, phosphoric acid and phosphoric fertilizer)

Reactor (for manufacturing sodium tripolyphosphate)

Reactor (for manufacturing lead pigment)

Direct Heating Furnace

Aggregate Dryer

Raw Cement Material Dryer

Raw Brick Material Dryer

Casting Mold Dryer

Detergent Dryer

Dryer

Dryer (for refining of copper, lead, zinc)

Dryer (for manufacturing sodium tripolyphosphate)

Dryer (for manufacturing lead pigment)

Active Carbon Manufacturing Furnace

Electrolytic Refining Furnace of Aluminium

Concentrator (for manufacturing phosphorus, phosphoric acid and phosphoric fertilizer)

Reverberatory Furnace (for manufacturing lead pigment)

Coke Oven

表 1-2 煙源調查對象工場 (現狀)

Names of factory and enterprise
DRAGON POLY-FOAM INDS (S) PTE LTD
DUNLOP SINGAPORE SDN BHD
BERLI TUCKER (S) COSMETICS (PTE) LTD
METAL PRINTERS (S) PTE LTD
HITACHI KOKI (S) PTE LTD
WESTERN RUBBER (PTE) LTD
TECK CHIANG METAL MFR PTE LTD
REPCO MANUFACTURING PTE LTD
CERAMIC WORKS (PTE) LTD
UIC CHEMICALS PTE LTD
UIC MARCHON (PTE) LTD
INTERNATIONAL STEEL ROPES (PTE) LTD
MALAYSIA STEEL PIPE MANUFACTURING CO (PTE) LTD
CALTIX (ASIA) LTD
TROPICAL TIMBER INDS LTD
ANGLO AMERICAN CORPN SDN BHD
SIGMA METAL CO LTD
TOHO RUBBER PROCESSING CO PTE LTD
SINGAPORE FOLEX CORPN PTE LTD
EVERGREEN TIMBER PRODUCTS CO (PTE) LTD
BEECHAM (MANUFACTURING) SINGAPORE PTE LTD
YEOW SAN (POLYFOAM) PTE LTD
RUME INDUSTRIES (S) LTD
THE CHEMICAL CORPORATION OF SINGAPORE PTE LTD
SERVALL CASTINGS PTE LTD
BROADWAY ENTERPRISES (PTE) LTD
SINGAPORE NAGAI PTE LTD
PLASPAC (PTE) LTD
HERCULES RUBBER & CHEMICAL INDS (PTE) LTD
B & O INDS PTE LTD
GREENLAND TIMER INDS PTE LTD
CROWN ALLIANCE PTE LTD
SINGAPORE CLAY PRODUCTS (PTE) LTD
METALS & ORES PTE LTD
FIRST ROLLING MILLS (S) PTE LTD
SINGAPORE ADHESIVES & CHEMICALS PTE LTD
NATIONAL IRON & STEEL MILLS LTD
BP SINGAPORE
SINGAPORE GLASS MANUFACTURER PTE LTD
SINGAPORE WOOD INDUSTRIES PTE LTD
SUNLIGHT TIMBER PRODUCTS CO (PTE) LTD
SOUTHERN WOOD PRODUCTS (PTE) LTD
INTERNATIONAL WOOD PRODUCTS LTD
JURONG PLYWOOD CO (PTE) LTD
SME DARBY OLEO CHEMICALS LTD
ASIAN PLYWOOD CO PTE LTD
STARLIGHT TIMBER PRODUCTS CO LTD
MITSUBISHI BELTING SINGAPORE PTE LTD
MAXIM DYEING & FINISHING FTY PTE LTD
HORIZON PAPER INDUSTRIES PTE LTD
MANUFACTURE ELEMENT PREFABRICATE PTE LTD
BONGKONG DYEING AND WEAVING (S) LTD
MOHL OIL SINGAPORE PTE LTD
SINGAPORE REFINING CO PTE LTD
SHELL COMPANIES IN SINGAPORE
ESSO SINGAPORE PRIVATE LIMITED
SENOKO POWER STATION
PASIR PANJANG POWER STATION
JURONG POWER STATION
SUGAR INDUSTRY OF SINGAPORE LTD
RDC BRICKWORKS TILE WORKS

表 1-1-3 業種別企業数, 煙突数, 施設数 (現状)

業 種	企業数	煙突数	施設数
Electric Power Ind	3	6	17
Petroleum	4	47	68
Petrochemical	1	1	2
Chemicals	8	13	15
Pharmaceuticals	3	3	4
Rubber	4	4	5
Non-Metallic	3	4	4
Food	1	1	2
Textiles	3	4	7
Miscellaneous	3	7	8
Machine Tools	1	1	2
Iron & Steel	1	5	5
Fabricated Metal	6	14	14
Consumer/Industrial Electrical Ind	1	6	7
Others	19	15	15
TOTAL	61	131	175

将来年次における固定発生源の煙源データは、調査票による方法をとらず、石炭火力発電所並びに一貫製鉄所については、JTCを通じて入手したシンガポール共和国の開発計画に係る資料をもとにJTCと協議して煙源の諸元を決定し、既設の煙源については、BDBを通じて入手した1990年次までの産業別生産金額の伸び率(表1-1-4)を現状の煙源データ(SO<sub>2</sub>排出量等)に乘じ次章に述べる方法で推定し、煙源の諸元を決定した。なお、既設の発電所等についても、表1-1-5に示す新增設の開発計画があるため、これらの煙源についてもJTCと協議し、煙源の諸元を決定した。

注) 煙源の諸元は負付欄に示す。

表III-1-4 産業別生産金額の伸び率(1981年～1990年)

業 種	延 び 率
Electric Power Ind.	—
Petroleum	1.55
Petrochemical	9.20
Chemicals	3.40
Pharmaceuticals	3.95
Rubber	1.54
Non-Metallic	1.66
Food	2.49
Textiles	1.53
Miscellaneous	1.96
Machine Tools	4.27
Iron & Steel	2.49
Fabricated Metal	2.49
Consumer/Industrial Electrical Ind.	3.40

EDB 資料による

表III-1-5 新規施設の概要

	稼働開始予定	構 造
Semoko Power Station Phase III	1983年 6月	250MW×1基, 燃料(石油)
	1983年12月	’ ’ ’
Seraya Power Station	1987年	250MW×2基, 燃料(石油)
	1988年	250MW×1基, ’
	1990年	250MW×3基, 燃料(石油)
Tekong Power Station	1990年	350MW×2基, 燃料(石油)
Tekong Integrated Steel Mill	1990年	Grate kiln
	1990年	Reheating Furnace
Sumitomo Petrochemical	1983年	ボイラ×2基, 燃料(石油)

## 1-2 船 船

船舶によるSO<sub>2</sub>の発生量は、その船舶の稼働状態（碇泊中、荷役中、入出港時、航行中）と船種及びトン数により左右される。したがって、船舶発生源のデータ収集はこれらのことを考慮し、船種別、トン階級別、入出航、航行別、給船数を把握することが必要である。本調査においてはJTCを通じて、Port of Singapore Authority（以下PSA）より、シンガポール港に出入する1980年度及び1981年上半期の船種別入出港隻数（表Ⅰ-1-6）並びにトン階級別入出港隻数（表Ⅰ-1-7）の統計データを入手した。なお、将来における給船数のデータは入手することは出来ないので、次章に記述する方法により給船数を推定した。

表 1-1-6 船種別入出港隻数 (P S A 資料による)

TYPE OF VESSELS ENTERED

All Vessels (in Number)

Type of vessel		1980			1981		
		Annual	2nd Qtr	Jan/Jun	1st Qtr	2nd Qtr	Jan/Jun
All types	Number	24,877	6,164	12,425	6,193	6,577	12,770
	'000 NRT	155,167	37,367	75,352	38,337	44,268	82,605
Coastor & Freighter	Number	13,407	3,355	6,807	3,220	3,440	6,660
	'000 NRT	41,592	10,401	21,056	9,858	10,628	20,486
Semi-Container & Container	Number	1,880	458	917	535	566	1,101
	'000 NRT	19,166	4,648	9,287	5,221	5,536	10,757
Tanker	Number	5,192	1,294	2,552	1,309	1,379	2,688
	'000 NRT	79,737	18,903	37,573	19,844	24,408	44,252
Bulk Carrier	Number	1,000	266	525	209	273	482
	'000 NRT	11,334	2,690	5,774	2,328	2,764	5,092
Others	Number	3,398	791	1,624	920	919	1,839
	'000 NRT	3,338	725	1,662	1,086	932	2,018

TYPE OF VESSELS CLEARED

All Vessels (in Number)

Type of vessel		1980			1981		
		Annual	2nd Qtr	Jan/Jun	1st Qtr	2nd Qtr	Jan/Jun
All types	Number	24,820	6,191	12,392	6,136	6,547	12,683
	'000 NRT	155,369	37,886	75,305	37,305	43,671	80,976
Coastor & Freighter	Number	13,393	3,368	6,804	3,200	3,409	6,609
	'000 NRT	41,497	10,421	21,027	9,893	10,499	20,392
Semi-Container & Container	Number	1,883	455	915	533	573	1,106
	'000 NRT	19,206	4,537	9,197	5,195	5,580	10,775
Tanker	Number	5,167	1,304	2,536	1,283	1,374	2,657
	'000 NRT	80,189	19,476	37,770	19,059	23,734	42,793
Bulk Carrier	Number	991	266	513	205	274	479
	'000 NRT	11,187	2,729	5,675	2,098	2,990	5,088
Others	Number	3,386	798	1,624	915	917	1,323
	'000 NRT	5,290	723	1,654	1,060	868	1,928

表Ⅰ-1-7 トン階級別入出港隻数(PSA資料による)

VESSELS ENTERED BY CAPACITY OF VESSEL (IN NRT)

Capacity of vessel (in NRT)	All Vessels (in Number)					
	1980			1981		
	Annual	2nd Qtr	Jan/Jun	1st Qtr	2nd Qtr	Jan/Jun
All Capacity	24,877	6,164	12,425	6,193	6,577	12,770
Under 1,000	8,806	2,158	4,353	2,237	2,287	4,524
1,000 - 1,999	2,568	654	1,320	650	689	1,339
2,000 - 3,999	2,385	843	1,703	846	938	1,784
4,000 - 5,999	3,440	890	1,775	772	823	1,595
6,000 - 7,999	2,386	578	1,201	586	624	1,210
8,000 - 9,999	941	235	463	237	283	520
10,000 - 14,999	1,387	329	671	376	383	759
15,000 - 19,999	373	92	177	109	119	228
20,000 - 29,999	471	119	248	114	122	236
30,000 - 39,999	555	139	260	145	138	283
40,000 and above	565	127	254	121	171	292

VESSELS CLEARED BY CAPACITY OF VESSEL (IN NRT)

Capacity of vessel (in NRT)	All Vessels (in Number)					
	1980			1981		
	Annual	2nd Qtr	Jan/Jun	1st Qtr	2nd Qtr	Jan/Jun
All Capacity	24,820	6,191	12,392	6,136	6,547	12,683
Under 1,000	8,793	2,169	4,344	2,189	2,293	4,482
1,000 - 1,999	2,550	647	1,307	655	673	1,328
2,000 - 3,999	3,378	849	1,711	855	935	1,790
4,000 - 5,999	3,444	898	1,780	767	808	1,575
6,000 - 7,999	2,379	580	1,189	582	624	1,206
8,000 - 9,999	932	237	461	243	281	524
10,000 - 14,999	1,386	334	668	367	394	761
15,000 - 19,999	360	88	173	107	120	227
20,000 - 29,999	465	121	242	116	118	234
30,000 - 39,999	552	137	260	144	136	280
40,000 and above	572	131	257	111	165	276

## 第2章 SO<sub>2</sub>排出量の推定

前章で収集した工場等のばい煙発生施設の諸元及び船舶の船種別入港隻数のデータを基に、以下のようにSO<sub>2</sub>排出量を推定した。

### 2-1 固定発生源

#### 2-1-1 排出量の推定方法

##### (i) 現状(1981年次)

燃料中に含まれる硫黄は燃焼の過程で酸化され、そのほとんどがSO<sub>2</sub>として排出される。従って、施設から排出されるSO<sub>2</sub>排出量は、その施設で使用された燃料使用量と燃料中の硫黄分とから次の式により計算される。

$$Q_s = W \times \frac{S}{100} \times \frac{64}{32} \quad (\text{硫黄分の単位が〔重量\%〕の場合})$$

$$= W \div \text{比重} \times \frac{S}{100} \times \frac{64}{224} \quad (\text{硫黄分の単位が〔体積\%〕の場合})$$

ここで  $Q_s$  : 年間SO<sub>2</sub>排出量〔kg/年〕

$W$  : 年間燃料使用量〔kg/年〕

(=通常燃料使用量〔kg/hr〕×年間稼働時間数〔hr/年〕)

$S$  : 燃料中の硫黄分〔\%〕

(64:SO<sub>2</sub>の分子量, 32:Sの分子量, 224:標準状態における気体1molの体積〔L/mol〕)

本調査では、各施設のSO<sub>2</sub>排出量を上式により推定した。

但し、Sulfur Plant Incinerator, Sulphuric Acid Plant 及びKiln等の施設では、燃焼により生じたSO<sub>2</sub>が製造工程で反応により製品内に吸収されるため、上式によりSO<sub>2</sub>排出量を推定することはできない。これらの施設についてはその施設で測定されているSO<sub>2</sub>濃度及び排出ガス量から以下の計算式によりSO<sub>2</sub>排出量を推定するのが一般的である。

$$Q_s = Q \times C_s \times 10^{-6} \times \frac{64}{224}$$

ここで  $Q_s$  : 年間  $SO_2$  排出量 (kg / 年)

$Q$  : 年間排出ガス量 (Nm<sup>3</sup> / 年)

(= 測定排出ガス量 (Nm<sup>3</sup> / hr) × 年間稼働時間数 (hr / 年))

$C_s$  : 測定  $SO_2$  濃度 (ppm)

しかしながら、本調査で収集したこれらの施設の測定  $SO_2$  濃度はいずれも 0 であったのでその施設からの排出量はないものとして扱った。

排出ガス量については原則として、調査票に排出ガス量が記入されている場合は記入値を採用し、記入のないものについては燃料使用量と理論排出ガス量等により算出した計算値を採用した。ただし、調査票記入値の採用にあたっては、そのデータの信頼性が問題となってくるので、記入値と燃料使用量等より算出した計算値の比較を行ない、信頼性に乏しいと考えられるものについては計算値を採用した。記入値と計算値の比較の状況を表 1-2-1(1)~(2)に示す。

表III-2-1(i) 排出ガス量の記入値と計算値の比較

工場・事業所名	煙突 No.	施設種類	排出ガス量 (N <sub>2</sub> 当り)		比 率 記/計	記入値を 採用し たもの	備 考
			記入値	計算値			
10. UIC CHEMICALS	1	ボイラー	165	254	183	○	理論ガス量とちがいすぎる。 一般的にドライヤーでは理論ガス量 より大きくなりうるため。
	2	ドライヤー	26663	6307	423		
11. UIC MARCHON	1	硫黄プラント	1141	—	—	○	理論ガス量算出が困難である。
	2	ボイラー	442	530	0.83	○	
24. THE CHEMICAL CO.	2	酸プラント	2800	—	—	○	理論ガス量算出が困難であ る。
32. CROWN ALLIANCE	1	溶解炉	513	1972	0.28		理論ガス量とちがいすぎる。
34. METALS & ORES	1	金属加熱炉	22	186	0.12		・ ・ ・ ・ ・
	2	ボイラー	17	954	0.02		
	3	ドライヤー	4	371	0.01		
	4	金属加熱炉	334	3339	0.10		
	6	ボイラー	10	318	0.03		
39. SINGAPORE GLASS	1	ガラス溶解炉	6834	37313	0.18		・
50. HORIZON DAPER IND	1	ボイラー	7903	18596	0.42		・
53. MOBIL OIL	1	石油加熱炉	28336	35173	0.81	○	理論ガス量算出が困難である ・
	2	・	17801	20979	0.85	○	
	3	・	10313	11999	0.86	○	
	4	・	4392	5176	0.85	○	
	5	・	16027	18940	0.85	○	
	6	・	2574	3456	0.74	○	
	7	・	2362	3132	0.75	○	
	9	・	202556	236979	0.85	○	
	10	・	72306	95407	0.76	○	
	11	電力用ボイラー	44053	49476	0.89	○	
	12	硫黄プラント	2177	1890	1.15	○	
	13	フレアスタック	330	—	—	○	
	14	・	330	—	—	○	
	15	石油加熱炉	88750	122734	0.72	○	
	16	電力用ボイラー 硫黄プラント	24177	26070	0.93	○	
	55. SHELL	1	石油加熱炉	106560	134657	0.79	
2		・	124920	157847	0.79	○	
3		・	2160	2693	0.80	○	
4		・	11520	14588	0.79	○	
5		・	195840	248142	0.79	○	
6		・	94680	119991	0.79	○	
7		・	191520	242681	0.79	○	
8		・	69840	88499	0.79	○	

表III-2-1(2) 排出ガス量の記入値と計算値の比較

工場・事業所名	煙突No	施設種類	排出ガス量 (N <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> ) 比率			記入値を採用したもの	備 考
			記入値	計算値	記/計		
56. ESSO	1	石油加熱炉	93297	128424	0.73	○	
	2	・	5892	5740	1.03	○	
	3	・	3936	2916	1.35	○	
	4	・	16065	15085	1.06	○	
	5	・	91719	102261	0.90	○	
	6	・	1766	1342	1.32	○	
	7	・	83092	72769	1.14	○	
	8	電力用ボイラー	7244	4322	1.68	○	
	9	・	98508	94618	1.04	○	
57. SENOKO POWER STATION	1	電力用ボイラー	919368	943683	0.97	○	
	2	・	1859478	1867629	1.00	○	
58. PASIR PANJANG POWER STATION	1	電力用ボイラー	404295	336829	1.20	○	
	2	・	404295	336829	1.20	○	
59. JURONG POWER STATION	1	電力用ボイラー	661017	822616	0.80	○	
	2	・	846102	1066463	0.79	○	
61. SUGAR INDUSTRY	1	ボイラー	23400	59360	0.39		理論ガス量とちがすぎる。
62. RDC BRICKWORKS	1	ボイラー	3731	8745	0.43		・ キルンは一般的に理論ガス量より大きくなりうるの ・ ・
	2	キルン	25973	18253	1.42	○	
	3	・	25973	18253	1.42	○	
	4	・	38959	17808	2.19	○	

なお、排出ガス量計算値は以下に示す方法により求めた。

$$Gh = W \times K \times \frac{21}{21 - O_2} \quad (\text{理論排ガス係数の単位が } [Nm^3/kg] \text{ の場合})$$

$$= W \div \text{比重} \times K \times \frac{21}{21 - O_2} \quad (\text{理論排ガス係数の単位が } [Nm^3/L] \text{ 又は } [Nm^3/Nm^3] \text{ の場合})$$

ここで Gh : 排出ガス量計算値  $[Nm^3/hr]$

W : 通常燃料使用量  $[kg/hr]$

K : 理論排ガス係数  $[Nm^3/kg]$  or  $[Nm^3/L]$  or  $[Nm^3/Nm^3]$

$O_2$  : 残存酸素濃度 (%)

この計算式の説明は以下のとおりである。

理論排ガス係数は燃料1単位が理論空気量(燃料の完全燃焼に必要な最小の空気量)で完全燃焼したと仮定した場合の燃焼ガス量であり、これは、燃料の元素組成中の可燃元素である炭素、水素および硫黄などの燃焼反応から計算される。

表Ⅱ-2-2は、これらの可燃元素の燃焼反応の方程式と燃焼ガス量等を示したものである。ただし、空気中の酸素は21%(VOL%)とし、残余は窒素とみなしている。

表Ⅲ-2-2 燃料中の可燃元素の燃焼表

可燃元素		燃焼反応の方程式 分子量に基づく重量 kg 分子量に基づく体積 $Nm^3$	可燃元素 1 kg に対する								
名称	記号		燃焼生成物		消費酸素		残存窒素		燃焼ガス		
			名称	記号	量	記号	量	記号	量	記号	量
炭素	C	$C + O_2 = CO_2$ 12t, 32t, 44t 224, 224 $Nm^3$	炭酸ガス	CO <sub>2</sub>	3667t	O <sub>2</sub>	2667t	N <sub>2</sub>	8.78t	CO <sub>2</sub>	1245t
					1867 $Nm^3$		1867 $Nm^3$		7.02 $Nm^3$		N <sub>2</sub>
		$C + \frac{1}{2} O_2 = CO$ 12t, 16t, 28t $\frac{1}{2} \times 224, 224 Nm^3$	一酸化炭素	CO	2333t	O <sub>2</sub>	1333t	N <sub>2</sub>	4.39t	CO	672t
					1867 $Nm^3$		9933 $Nm^3$		3.51 $Nm^3$		N <sub>2</sub>
水素	H	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 = H_2O$ 2t, 16t, 18t $\frac{1}{2} \times 224, 224 Nm^3$	水蒸気	H <sub>2</sub> O	9t	O <sub>2</sub>	8t	N <sub>2</sub>	2634t	H <sub>2</sub> O	3534t
					112 $Nm^3$		5.6 $Nm^3$		2107 $Nm^3$		N <sub>2</sub>
硫黄	S	$S + O_2 = SO_2$ 32t, 32t, 64t 224, 224 $Nm^3$	亜硫酸ガス	SO <sub>2</sub>	2t	O <sub>2</sub>	1t	N <sub>2</sub>	329t	SO <sub>2</sub>	529t
					07 $Nm^3$		0.7 $Nm^3$		263 $Nm^3$		N <sub>2</sub>

各燃料の理論排ガス係数は、各燃料の元素組成から表Ⅱ-2-2のようにして求めることができる。本調査では、各燃料の平均的元素組成から上記のような方法により計算された表Ⅱ-2-3の理論排ガス係数を使用した。なお、この値は水蒸気を含んだ湿り排ガス量である。

表Ⅱ-2-3 燃料種類別理論排ガス係数(湿りベース)

燃料種別	理論排ガス係数	単位
Heavy Oil	10.6	Nm <sup>3</sup> /L
Diesel Oil	10.0	"
Heavy naphtha	8.8	"
Reduced Crude	10.6	"
Crude Oil	10.2	"
Tail Gas	13.9	Nm <sup>3</sup> /Nm <sup>3</sup>
Gas	14.4	Nm <sup>3</sup> /kg
Others(wood)	4.2	"

実際の燃焼においては、理論空気量のみで完全燃焼させることは困難であるので、理論空気量より多量の空気を供給しており、従って実際の排ガス量を求める場合はこの過剰空気による補正を行う必要があり

$\frac{21}{21-O_2}$  がその補正係数である。

O<sub>2</sub> は排ガス中の酸素濃度であり、本調査では施設種類別に日本国内において標準的に採用されている表Ⅱ-2-4に示す値を使用した。

表Ⅱ-2-4 施設種類別残存酸素

施設種別	残存酸素 (%)	施設種別	残存酸素 (%)
Petroleum Heating Furnace	7.0	metal Heating Furnace	9.0
Boiler(Power Generation)	5.0	Repeating Furnace	9.0
Boiler	7.0	Kiln	16.0
Sulfur Plant Incinerator	13.0	Dryer	15.0
Flare Stack	6.0	Burner	13.0
Gas Producer	6.0	Glass melting Furnace	13.0
Oil Combustion Furnace	6.0	Smelter	14.0
Thermal Fluid Heater	15.0	Zn.Smelter	18.0
Sodium Silicate Furnace	6.0		
Sulphuric Acid Plant	10.0		

(2) 将来

将来(1990年次)におけるSO<sub>x</sub>排出量は、現状において対象とした発生源と将来(1990年次)までに計画されている新規発生源より推定した。

既設の発生源(現状において対象とした発生源)からのSO<sub>x</sub>排出量は、EDBを通して入手した1990年次までの産業別生産額の伸び率を現状の燃料使用量に乗じて、将来の燃料使用量を推定し、その燃料使用量をもとに現状と同じ方法で推定した。この場合、燃料中の硫黄分について規制があると考え、Senoko Power Station 以外で稼働開始が1985年以降の施設で硫黄分が2%を超える燃料を使用するものがあるが、これらの硫黄分はすべて2%として推定した。

EDBを通して入手した1981年次から1990年次までの産業別生産額の伸び率を表Ⅱ-2-5に示す。ただし、石油精製業及び発電所については既存施設の伸びはないものとした。

表Ⅱ-2-5 産業別生産額の伸び率

業 種	伸び率	備 考
Electric Power Ind	—	1.0とした。
Petroleum	1.55	1.0とした。
Petrochemical	9.20	1982~1990の伸び率
Chemicals	3.40	
Pharmaceuticals	3.95	
Rubber	1.54	
Non-metallic	1.66	
Food	2.49	
Textiles	1.53	
miscellaneous	1.96	
Machine Tools	4.27	
Iron & Steel	2.49	
Fabricated Metal	2.49	
Consumer/Industrial Electrical Ind	3.40	

将来年次までに計画されている新規発生源を表Ⅱ-2-6に示す。

この新規発生源からのSOx排出量については将来計画値の調査データを基に現状と同じ方法で推定した。

表Ⅱ-2-6 新規施設の概要

	稼働開始予定	概 要
Senoko Power Station Phase Ⅱ	1983年6月	250MW × 1基, 燃料(石油)
	1983年12月	" "
Seraya Power Station	1987年	250MW × 2基, 燃料(石油)
	1988年	250MW × 1基, "
	1990年	250MW × 3基, 燃料(石炭)
Tekong Power Station	1990年	350MW × 2基, 燃料(石炭)
Tekong Integrated Steel Mill	1990年	Grate Kiln
	1990年	Reheating Furnace
住 化	1983年	ボイラ × 2基, 燃料(石油)

### 2-1-2 排出量の推定結果

固定発生源のSOx排出量の推定結果は、現状(1981年次)で、226,362 ton/年となり、将来(1990年次)は現状に比べて約2.1倍の480,019 ton/年となる。

工場・事業場別SOx排出量を表Ⅱ-2-7に、産業別SOx排出量を表Ⅱ-2-8に、施設種類別SOx排出量を表Ⅱ-2-9にそれぞれ示す。

表Ⅱ-2-8の産業別排出量をみると、現状では発電所と石油製精業で98%をしめ、将来では発電所と石油製精業と製鉄所で97.6%をしめている。この中でも発電所は現状77.1%、将来68.2%と全排出量の半分以上をしめていることがわかる。表Ⅱ-2-7の施設種類別排出量でも同様のことがいえる。すなわち現状では発電所で使用されている電力用ボイラーと石油製精業で多く使用されている石油加熱炉で97.9%をしめ、将来では電力用ボイラー、石油加熱炉と製鉄所等で使用されるキルンで96.4%をしめている。

図Ⅱ-2-1(1)~(2)にメッシュ別SOx排出量ランク図を示す。これを見るとソングボール

共和国の南西側、Jurong 地域に工場等が集中していることがあきらかである。

表 1-2-7 (i) 工場・事業所別 SO<sub>x</sub> 排出量

No.	現状 (1981年次) SO <sub>x</sub> 排出量 (T <sub>am</sub> /年)	従来 (1990年次) SO <sub>x</sub> 排出量 (T <sub>am</sub> /年)	工場・事業所名
1	25.9	238.5	DRAGON POLY-FOAM INDS (S) PTE LTD
2	34.0	52.5	DUNLOP SINGAPORE SDN BHD
3	10.1	29.5	BERLI JUCKER (S) COSMETICS (PTE) LTD
4	0.0	0.0	METAL PRINTERS (S) PTE LTD
5	0.0	0.0	HITACHI KOKI (S) PTE LTD
6	2.4	3.7	WESTERN RUBBER (PTE) LTD
7	4.2	10.5	TECK CHIANG METAL MFR PTE LTD
8	0.9	1.8	REPCO MANUFACTURING PTE LTD
9	0.0	0.0	CERAMIC WORKS (PTE) LTD
10	10.0	33.9	UIC CHEMICALS PTE LTD
11	9.1	31.0	UIC MARCHON (PTE) LTD
12	0.9	2.4	INTERNATIONAL STEEL ROPES (PTE) LTD
13	21.7	54.0	MALAYSIA STEEL PIPE MANUFACTURING CO (PTE) LTD
14	1.3	4.6	CALTEX (ASIA) LTD
15	0.0	0.0	TROPICAL TIMBER INDS LTD
16	0.0	0.0	ANGLO AMERICAN CORPN SDN BHD
17	5.6	39.0	SIGMA METAL CO LTD
18	61.1	94.3	TOHO RUBBER PROCESSING CO PTE LTD
19	0.0	0.0	SINGAPORE FOLEX CORPN PTE LTD
20	0.0	0.0	EVERGREEN TIMBER PRODUCTS CO (PTE) LTD
21	2.8	10.9	BEECHAM (MANUFACTURING) SINGAPORE PTE LTD
22	24.3	171.3	YEOW SAN (POLYFOAM) PTE LTD
23	56.1	139.8	HUME INDUSTRIES (S) LTD
24	85.2	289.8	THE CHEMICAL CORPORATION OF SINGAPORE PTE LTD
25	0.0	0.0	SERVALL CASTINGS PTE LTD
26	137.8	312.6	BROADWAY ENTERPRISES (PTE) LTD
27	0.0	0.0	SINGAPORE NAGAI PTE LTD
28	0.3	0.5	PLASPAC (PTF) LTD
29	4.6	7.0	HERCULES RUBBER & CHEMICAL INDS (PTE) LTD
30	0.0	0.0	B & O INDS PTE LTD
31	0.0	0.0	GREENLAND TIMER INDS PTE LTD
32	21.1	34.9	CROWN ALLIANCE PTE LTD

表 1-2-7(2) 工場・事業所別 SO<sub>x</sub> 排出量

No.	現状 (1981年次) SO <sub>x</sub> 排出量 (T <sub>am</sub> /年)	過去 (1990年次) SO <sub>x</sub> 排出量 (T <sub>am</sub> /年)	工場・事業所名
33	215.9	386.6	SINGAPORE CLAY PRODUCTS (PTE) LTD
34	40.7	218.8	METALS & ORES PTE LTD
35	12.4	48.0	FIRST ROLLING MILLS (S) PTE LTD
36	11.3	38.4	SINGAPORE ADHESIVES & CHEMICALS PTE LTD
37	1,529.4	3,838.6	NATIONAL IRON & STEEL MILLS LTD
38	1.8	6.1	BP SINGAPORE
39	401.8	666.1	SINGAPORE GLASS MANUFACTURER PTE LTD
40	0.0	0.0	SINGAPORE WOOD INDUSTRIES PTE LTD
41	0.0	0.0	SUNLIGHT TIMBER PRODUCTS CO (PTE) LTD
42	0.0	0.0	SOUTHERN WOOD PRODUCTS (PTE) LTD
43	0.0	0.0	INTERNATIONAL WOOD PRODUCTS LTD
44	0.0	0.0	JURONG PLYWOOD CO (PTE) LTD
45	179.5	610.9	SIME DARBY OLEO CHEMICALS LTD
46	0.0	0.0	ASIAN PLYWOOD CO PTE LTD
47	0.0	0.0	STARLIGHT TIMBER PRODUCTS CO LTD
48	18.9	80.8	MITSUBOSHI BELTING SINGAPORE PTE LTD
49	39.4	60.3	MAXIM DYEING & FINISHING FTY PTE LTD
50	343.7	671.9	HORIZON PAPER INDUSTRIES PTE LTD
51	0.0	0.0	MANUFACTURE ELEMENT PREFABRICATE PTE LTD
52	114.9	175.9	HONGKONG DYEING AND WEAVING (S) LTD
53	5,623.0	5,529.6	MOBIL OIL SINGAPORE PTE LTD
54	8,131.3	8,131.3	SINGAPORE REFINING CO PTE LTD
55	20,974.0	20,974.0	SHELL COMPANIES IN SINGAPORE
56	12,508.3	12,508.3	ESSO SINGAPORE PRIVATE LIMITED
57	89,229.5	13,114.9	SENOKO POWER STATION
58	21,518.1	21,518.1	PASIR PANJANG POWER STATION
59	63,761.9	63,761.9	JURONG POWER STATION
61	1,029.1	2,563.5	SUGAR INDUSTRY OF SINGAPORE LTD
62	158.2	309.3	RDC BRICKWORKS TILE WORKS
63	-	78,907.2	SERAYA POWER STATION
64	-	32,000.0	TEKONG POWER STATION
65	-	90,102.9	TEKONG INTEGRATED STEEL MILL
66	-	4,204.8	SUMITOMO PETROCHEMICAL
計	226,362.5	480,018.5	

表Ⅲ-2-8 産業別 SOx 排出量

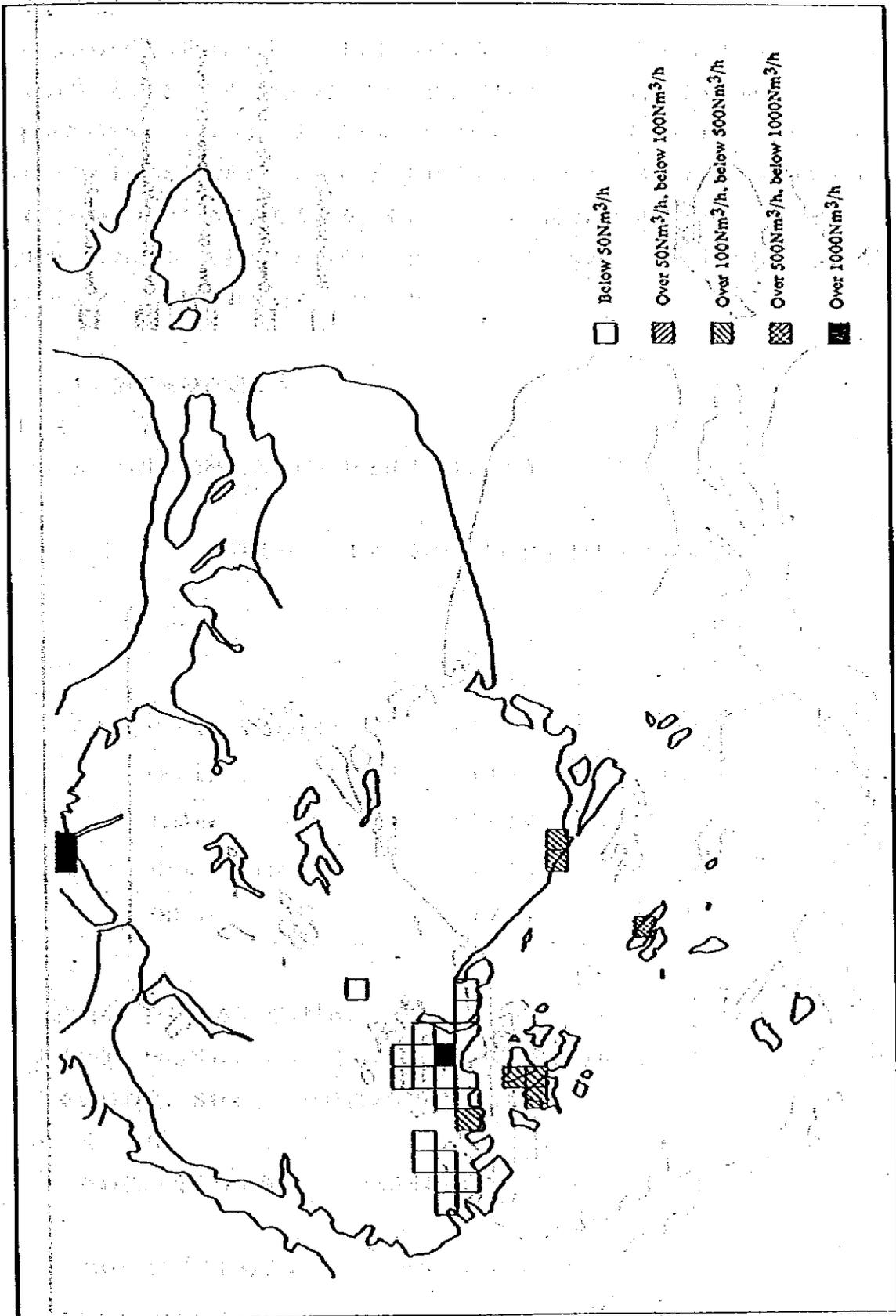
業種	現 状 (1981年次)					将 来 (1990年次)					
	工場数	炉数	施設数	SOx排出量(t/年)	構成比(%)	工場数	炉数	施設数	SOx排出量(t/年)	構成比(%)	新規分SOx排出量
Electric Power Ind.	3	6	17	174509.5	77.1	5	10	27	327330.1	68.2	152820.6
Petroleum	4	47	68	47236.6	20.9	4	47	68	47143.1	9.8	
Petrochemical	1	1	2	25.9	0.01	2	2	4	4443.3	0.9	4204.8
Chemical	8	13	15	436.0	0.2	8	13	15	1327.3	0.3	
Pharmaceuticals	3	3	4	37.2	0.02	3	3	4	211.7	0.04	
Rubber	4	4	5	102.1	0.05	4	4	5	157.5	0.03	
Non-Metallic	3	4	4	638.8	0.3	3	4	4	1087.6	0.2	
Food	1	1	2	1029.1	0.5	1	1	2	2563.5	0.5	
Textiles	3	6	7	154.6	0.1	3	4	7	236.7	0.04	
Miscellaneous	3	7	8	502.8	0.2	3	7	8	983.0	0.2	
Machine Tools	1	1	2	18.9	0.01	1	1	2	80.8	0.02	
Iron & Steel	1	5	5	1529.4	0.7	2	7	7	93941.5	19.6	90102.9
Fabricated Metal	6	14	14	100.9	0.04	6	14	14	293.7	0.06	
Consumer/Industrial Electrical Ind.	1	6	7	40.7	0.02	1	6	7	218.8	0.05	
Others	19	15	15	0.0	0.00	19	15	15	0.0	0.00	
TOTAL	61	131	175	226362.4	100.0	70	138	189	480018.5	100.0	247128.2

注) 将来SOx排出量は新規分SOx排出量を念んでいる。

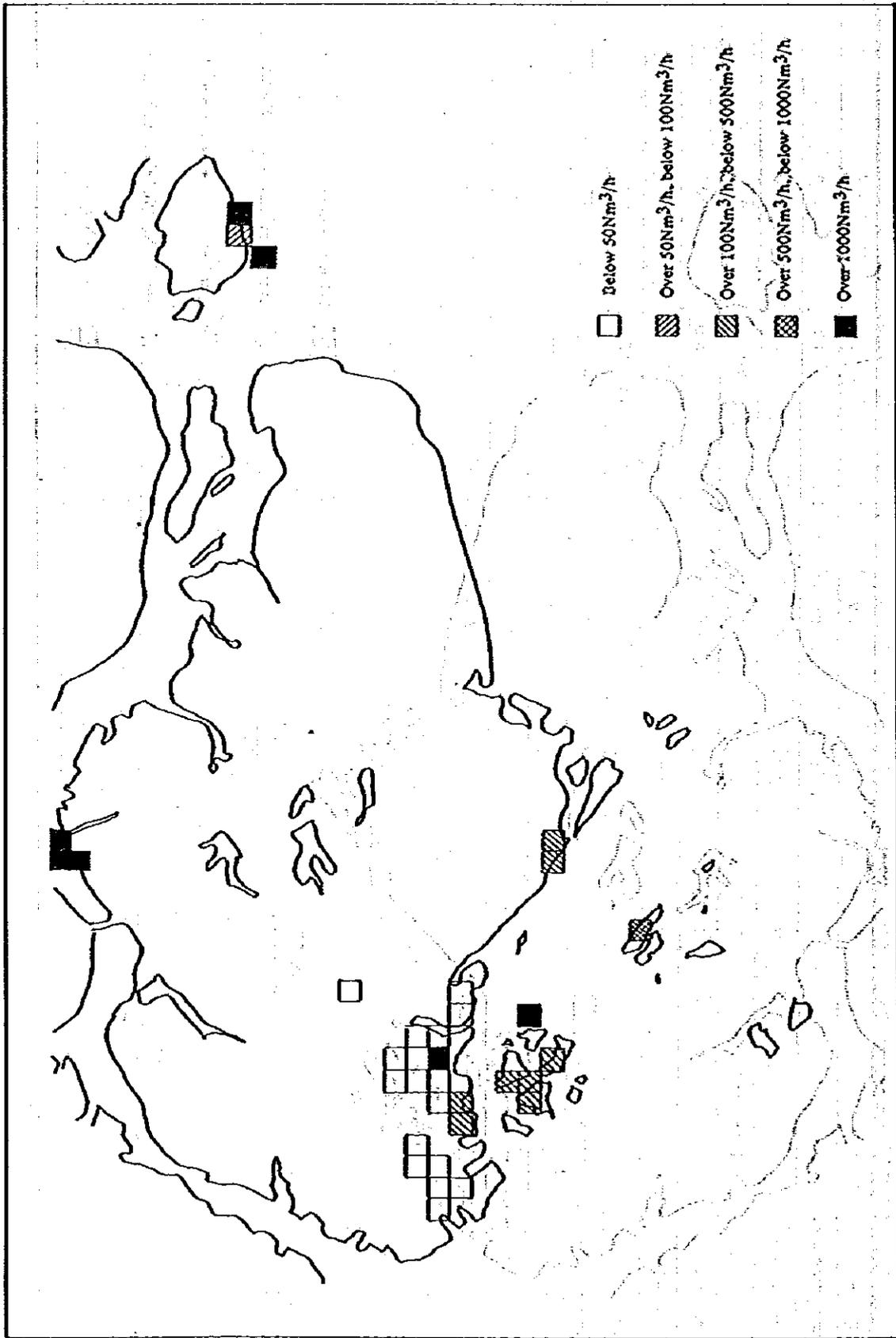
表Ⅲ-2-9 施設種類別 SOx 排出量

施設種別	現 状 (1981年次)		将 来 (1990年次)	
	施設数	SOx排出量 (t/y) と構成比 (%)	施設数	SOx排出量 (t/y) と構成比 (%)
Petroleum Heating Furnace	52	40464.4 17.9	52	40326.0 8.4
Boiler(Power Generation)	25	181110.9 80.0	35	333979.4 69.6
Boiler	52	2265.6 1.0	54	9858.9 2.1
Sulfur Plant Incinerator	3	1.9 0.00	3	2.1 0.00
Flare Stack	2	2.3 0.00	2	2.3 0.00
Gas Producer	2	166 0.01	2	166 0.00
Oil Combustion Furnace	4	151.3 0.1	4	151.3 0.03
Thermal Fluid Heater	1	1.8 0.00	1	6.1 0.00
Sodium Silicate Furnace	1	85.2 0.04	1	289.8 0.06
Sulphuric Acid Plant	1	0.0 0.00	1	0.0 0.0
Metal Heating Furnace	9	62.0 0.03	9	279.3 0.06
Reheating Furnace	3	1365.4 0.6	4	5904.0 1.2
Kiln	9	382.7 0.2	10	8840.2 1.8
Dryer	4	10.4 0.00	4	35.0 0.00
Burner	1	1.8 0.01	1	6.7 0.01
Glass-Melting Furnace	1	601.8 0.2	1	66.7 0.1
Smelter	3	21.3 0.01	3	35.3 0.00
Zn Smelter	1	0.5 0.00	1	1.3 0.00
Others	1	0.0 0.00	1	0.0 0.00
TOTAL	175	226362.4 100.0	189	480018.5 100.0
				247128.2

(注) 将来SOx排出量は新規分SOx排出量を含んでいる。



図IV-2-1(1) メキシコ・別年平均SOx排出量ランキング図(固定発生源: 1981年次)



図Ⅱ-2-1(2) メッシュ別年平均SOx 排出量ランク図(固定発生源: 1990年次)

## 2-2 船舶発生源

船舶からの排出量は、船種別・トン階級別隻数を基本として碇泊中、入出港時において推定するのが一般的であるが、船種別・トン階級別隻数のデータが入手できなかったため、船種別隻数と船種別総トン数のデータにより船種別の平均トン数（1隻当り）を計算してその船種全体に適用した。また入出港に要する時間数は碇泊時間数にくらべ、きわめて少ないため、排出量も碇泊中よりきわめて少なくなる。そこで今回の調査では入出港時の排出量は無視することとした。なお、ここで採用した排出係数等については日本の通商産業省の産業公害総合事前調査マニュアルに記載されている値を用いた。

### 2-2-1 排出量の推定方法

#### (1) 現状

現状における船種別入出港隻数と総トン数を表Ⅱ-2-10に示す。

表Ⅱ-2-10 船種別入出港隻数と総トン数

船種	入港・出港 隻数	総トン数 (10 <sup>3</sup> トン)	一隻当りの 平均トン数 (トン/隻)
Coaster & Freighter	26,458	81,884	3,095
Container	4,138	41,438	10,014
Junker	10,616	171,628	16,167
Bulk Carrier	1,914	21,252	11,103
Others	7,207	7,257	1,007

碇泊中に稼働する燃焼機関は、補機と補助ボイラーであり、一隻の船が一回の入港で排出するSOx 排出量は、補機と補助ボイラーの和で求められる。ある船舶が一回の碇泊で使用する燃料の量、SOx 排出量は次の式により推定した。

#### ① 補機

$$\text{燃料使用量 (kg / 隻)} = 0.165 \times \text{定格出力 (ps)} \times \text{負荷率} \times \text{碇泊時間数 (H)}$$

$$\text{SOx 排出量 (kg / 隻)} = \text{燃料使用量 (kg / 隻)} \times \text{硫黄分 (\%)} \times \frac{1}{100} \times \frac{64}{32}$$

$$\text{排出ガス量 [Nm}^3\text{/隻]} = 5.46 \times \text{定格出力 (ps)} \times \text{負荷率} \times \text{碇泊時間数 (H)}$$

② 補助ボイラー

$$\text{燃料使用量 [kg/隻]} = \text{定格燃料使用料 [kg/隻・日]} \times \text{負荷率} \times \text{碇泊時間数 (H)}$$

$$\text{SOx 排出量 [kg/隻]} = \text{燃料使用量 [kg/隻]} \times \text{硫黄分 [\%]} \times \frac{1}{100} \times \frac{64}{32}$$

$$\text{排出ガス量 [Nm}^3\text{/隻]} = \text{燃料使用量 [kg/隻]} \times \text{理論排ガス量 [Nm}^3\text{/kg]}$$

ここで、定格出力 (ps) は、その船舶にどう載されている補機の定格出力であるが、船種別に表Ⅱ-2-11の式で求めた。

補助ボイラーの定格燃料使用量についても、船種別に表Ⅱ-2-11の式で求めた。

碇泊時間数は一隻の船が一回の入港で碇泊する時間数であり表Ⅱ-2-12の値を適用した。硫黄分についても表Ⅱ-2-12の値を適用した。

負荷率は、補機または補助ボイラーの碇泊中の平均的負荷率である。補機の負荷率は、荷役以外の用途で使用される場合の負荷率 0.39、荷役時の負荷率 0.63、碇泊時間中の荷役時間の割合を 0.23 と定めた。すなわち荷役を行なわない船舶の平均的負荷率は 0.39、荷役を行なう船舶の平均的負荷率は、

$$0.39 + (0.63 - 0.39) \times 0.23 = 0.445 \text{ とした。}$$

また補助ボイラーについては、平均的負荷率を 0.5 とした。

理論排ガス量については、重油の理論排ガス量 11.7 (Nm<sup>3</sup>/kg) を適用した。

表III-2-11 船種別の補機定格出力と補助ボイラー定格燃料使用量

船種	補機ダイゼル機関の 定格出力 (ps) 及び基数	補助ボイラーの 定格燃料使用量 (kg/時)
Coaster & Freighter	7.7 x 0.4 x 2	0.10 x 0.79
Container	2.2 x 0.6 x 2	"
Tanker	10 x 0.37 x 2	0.69 x 0.76
Bulk Carrier	7.7 x 0.4 x 2	0.10 x 0.79
Others	1.5 x 0.69 x 3	—

注) xは船舶の総トン数である。

表III-2-12 船舶の諸係数表

船種	入港+出港 隻数	総トン数 (10 <sup>3</sup> トン)	一隻当りの 平均トン数 (トン/隻)	主機定格 出力 (ps)	補機定格 出力 (ps/基)	補助ボイラー 定格燃料 消費量 (kg/時)	機関負荷率 (發泊中)		發 時間数 (日)	燃料S分		突煙突 高 (m)	排ガス 温度 (℃)
							補機	補助 ボイラー		主 機	補 機		
Coaster & Freighter	26458	81,884	3,095	3,529	192	57	0.445	0.5	47	1.0	1.6	20	300
Container	4,128	41,438	10,014	14,433	553	145	0.39	0.5	34	1.0	1.6	20	300
Tanker	10,616	171,628	16,167	10,598	361	1,090	0.445	0.5	30	1.0	1.6	20	300
Bulk Carrier	1,914	21,252	11,103	8,096	320	157	0.445	0.5	34	1.0	1.6	20	300
Others	7,207	7,257	1,007	2,456	117	—	0.39	0.5	3	1.0	1.6	20	300

(2) 将来

船舶の将来隻数のデータを入手することは出来ないので、以下に示す方法で将来排出量を推定した。

タンカーについては現状と同一とした。タンカー以外の船については、EDBを通じて入手したシンガポール共和国の全産業の伸び率(1990/1981) 2.605倍で伸びるものとする。ただし、この伸び率は新規立地の工場が含まれていないので、新規立地工場に係るものとして、燃料使用量からタンカーあるいは、貨物船の必要隻数を推定しその分は上乘せした。

必要隻数の推定方法は次式により推定した。

$$\text{必要隻数} = \frac{\text{燃料使用量 (ton)}}{\text{一隻あたりの積載量 (ton)} \times \text{積載率}}$$

上式で一隻あたりの積載量は平均総トン数の2倍とし、船舶の平均総トン数は現状と同じとした。また、積載率はタンカーで0.85、貨物船で0.65とした。

将来における船種別隻数を表Ⅱ-2-13に示す。

表Ⅱ-2-13 将来における船種別隻数

船種	将来における	
	入港 + 出港 隻数	うち新規工場にかかる 入港 + 出港 隻数
Coaster & Freighter	69,055	0
Container	10,800	0
Junker	10,791	175
Bulk Carrier	5,918	923
Others	18,810	0

注) 新規工場分は将来における隻数に含まれている。

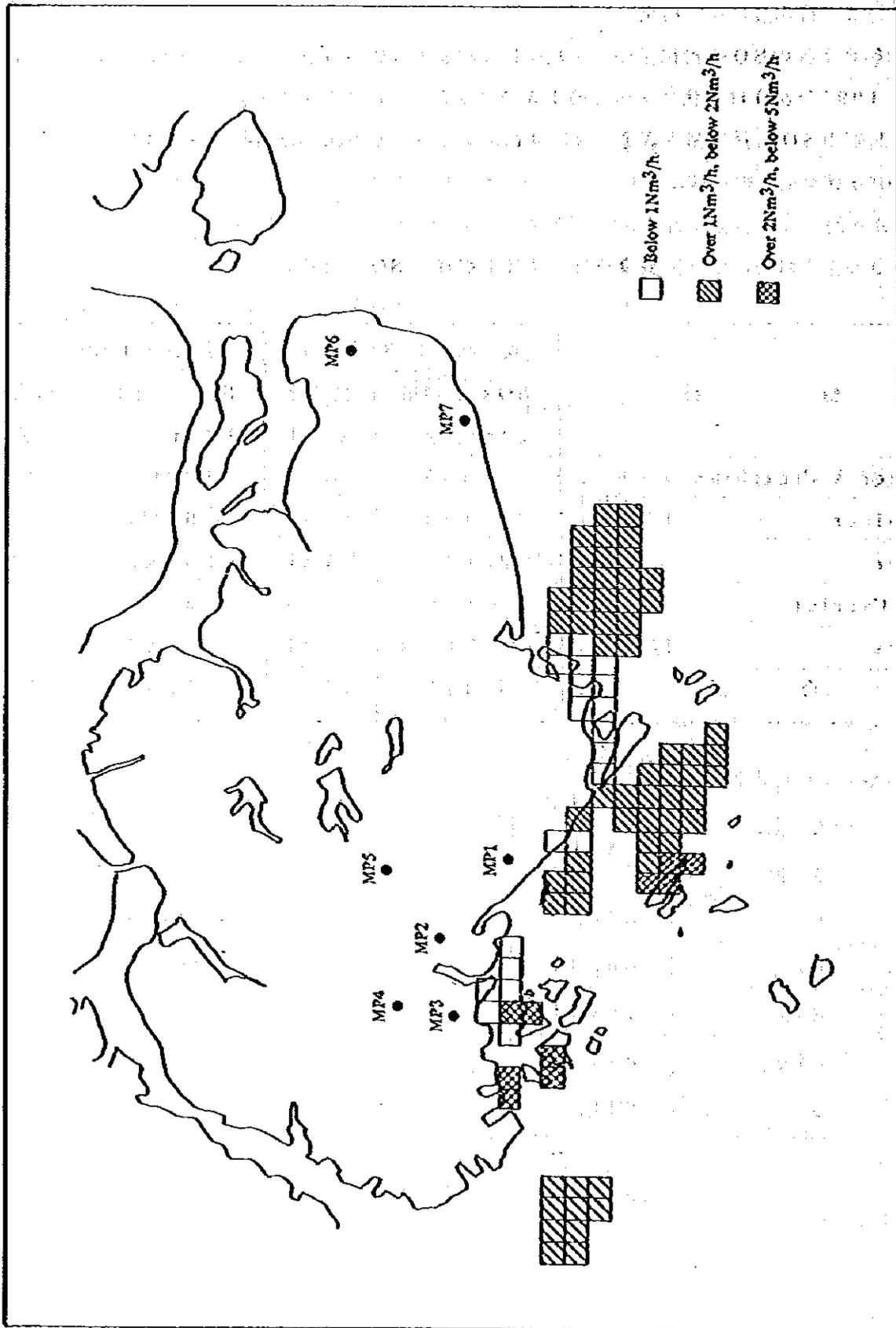
2-2-2 排出量の推定結果

船舶発生源のSOx 排出量の推定結果は、現状(1981年次)で3917 ton/年となり、将来(1990年次)は現状に比べて約1.5倍の5705 ton/年となる。

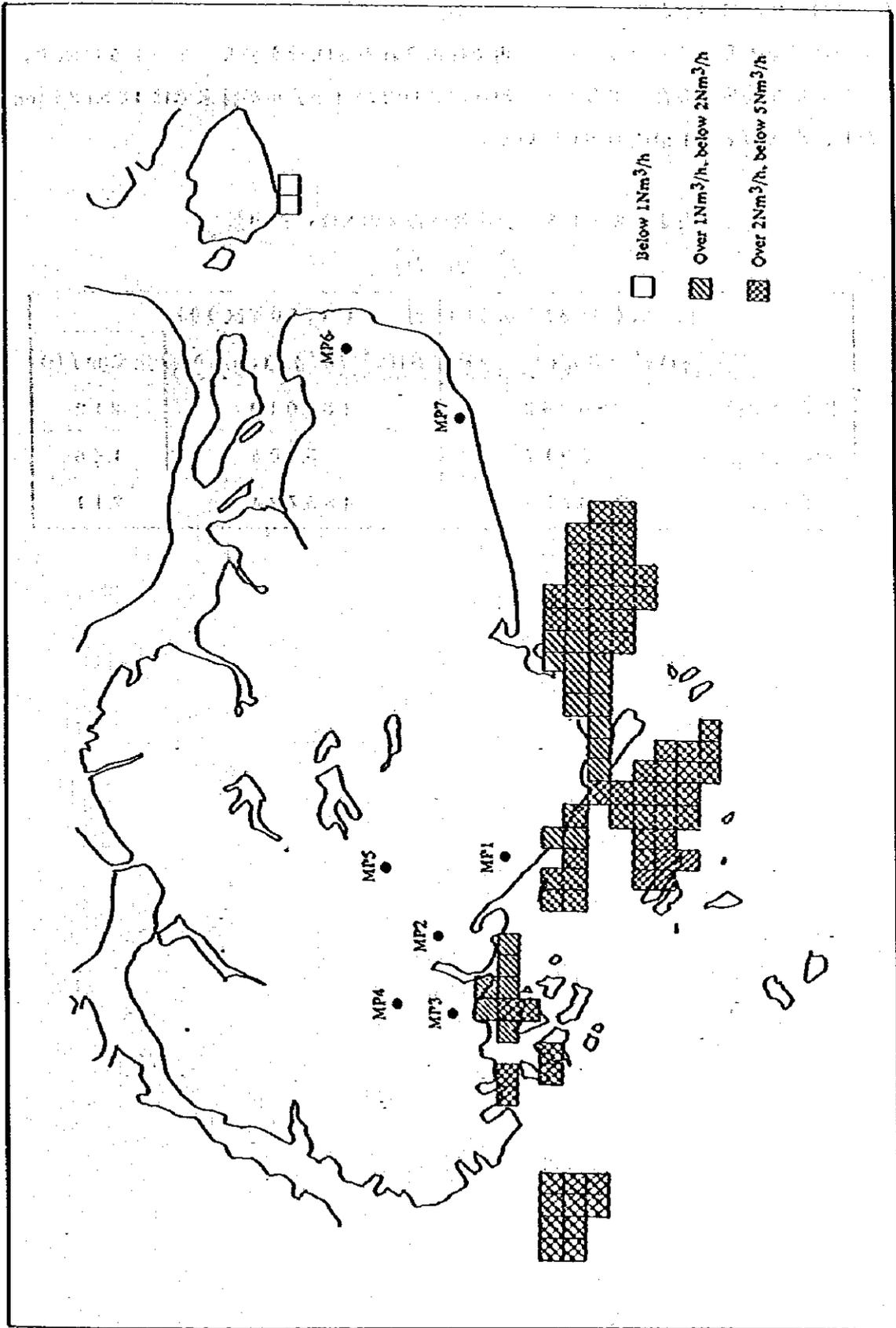
船種別のSOx 排出量を表1-2-4に、メッシュ別SO<sub>2</sub>排出量ランク図を図1-2-2(1)~(2)に示す。

表1-2-14 船種別SOx 排出量

船 種	現 状 (1981年次)		将 来 (1990年次)	
	SOx 排出量 〔ton/年〕	構成比 〔%〕	SOx 排出量 〔ton/年〕	構成比 〔%〕
Coaster & Freighter	7435	19.0	1936.8	33.9
Container	2133	5.4	555.6	9.7
Tanker	2861.5	73.1	2908.7	51.0
Bulk Carrier	97.0	2.5	299.5	5.2
Others	1.8	0.1	4.7	0.1
合 計	3917.1	100.0	5705.3	100.0



図Ⅱ-2-2(1) メッシュ別年平均SO<sub>2</sub>排出量マップ(船舶：1981年次)



図Ⅱ-2-2(2) メッソレム別年平均SOx排出量クランク図(船舶:1990年次)

### 2-3 SO<sub>2</sub> 排出量のまとめ

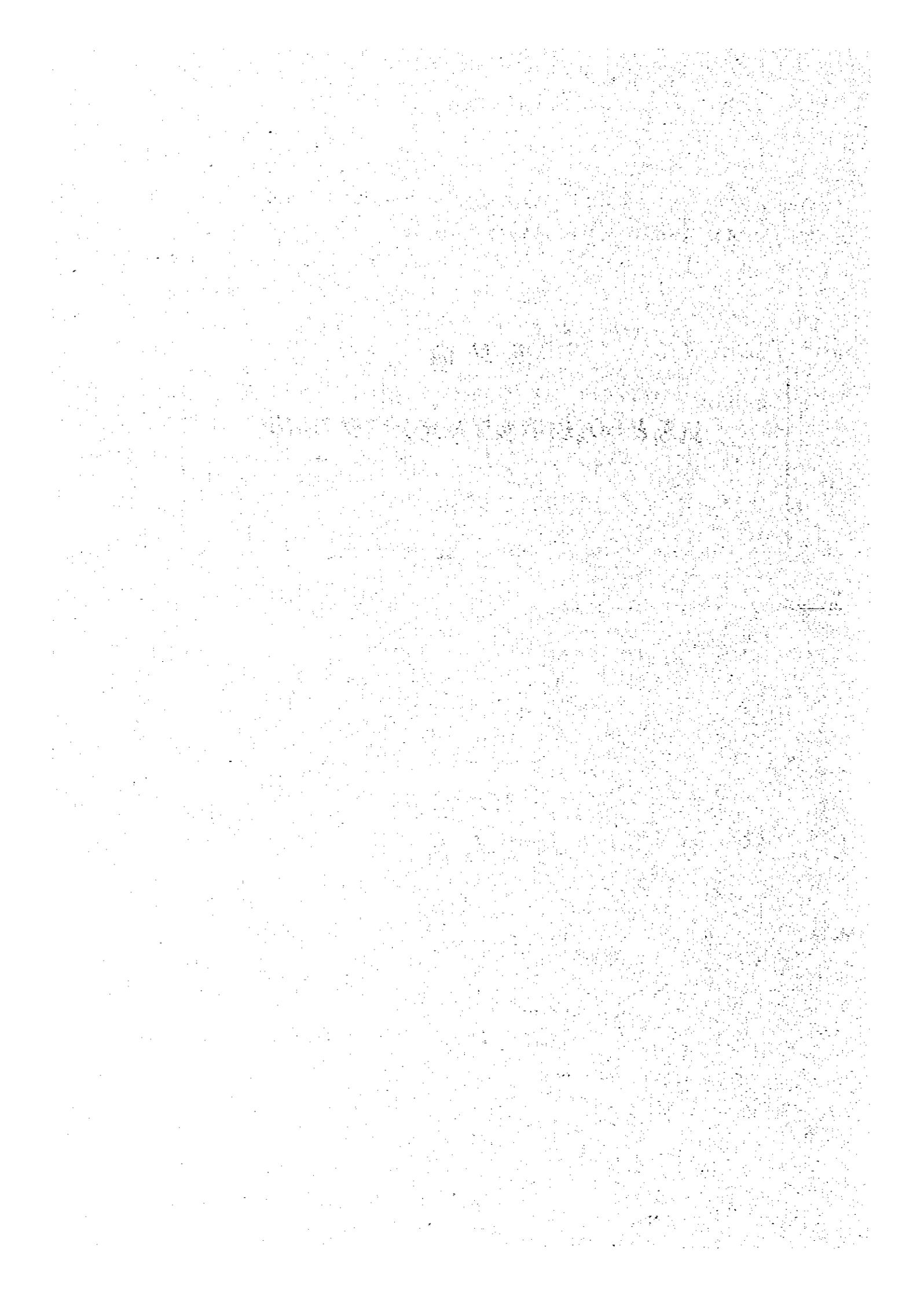
以上の結果をまとめてシンガポール国内で排出されるSO<sub>2</sub>量を表Ⅱ-2-15に示す。固定発生源と船舶発生源の合計でみると、現状の230,279 ton/年が将来では485,724 ton/年となり、現状の2.11倍に増加している。

表Ⅱ-2-15 現状及び将来のSO<sub>x</sub> 排出量

	現状(1981年次)(a)	将来(1990年次)(b)	比率(b)/(a)
	SO <sub>x</sub> 排出量 (ton/y)	SO <sub>x</sub> 排出量 (ton/y)	
固定発生源	226,362	480,019	2.12
船舶発生源	3,917	5,705	1.46
合計	230,279	485,724	2.11

## 第Ⅳ編

### 気象とSO<sub>2</sub>環境濃度測定データの解析



## 第Ⅳ編 気象とSO<sub>2</sub>環境濃度の測定データの解析

環境影響評価の実施に当たっては、まず、対象地域の気象条件、及び現状の汚染物質の環境濃度レベルを把握する必要がある、そのため第Ⅲ編で述べたように風向風速等の気象観測と、SO<sub>2</sub>の環境濃度測定を1年間にわたって行った。

ここでは、この現地調査により得られた気象及びSO<sub>2</sub>環境濃度の測定データを統計的に解析することにより、対象地域における気象状況、現状のSO<sub>2</sub>濃度レベル及びSO<sub>2</sub>濃度と気象の関係等を調べた。また、これらの解析結果は第Ⅴ編第1章に述べるSO<sub>2</sub>予測シミュレーションに役立てられる。

### 第1章 気象測定データの解析

工場等から排出された汚染物質は風によって流され、また拡散される。このように、風向風速、風の乱れ等の気象条件は、汚染物質の排出量と共に環境濃度に大きな影響を与えている。従って、対象地域における気象データを解析することは、単に気象の状況を把握する上からだけでなく、将来におけるSO<sub>2</sub>濃度を予測する上からも必要不可欠なことである。そこで本調査では、現地調査で得られた風向、風速、日射量、放射収支量及び気温の測定データを用いて以下のような解析を行った。

#### 1-1 季・時間帯区分

本調査における予測シミュレーションは、年平均値をベースとして行なうが、発生源活動や気象条件の変動要因を無視してシミュレーション作業を行なうことは適切ではない。

しかし、このような変動要因を考慮するとしても利用する拡散モデルの精度や、入手できる発生源データ、気象データ等の情報量等からみても、毎時間の濃度変化を正確に再現することは困難であり、あくまでも一定期間の平均濃度の再現にとどまらざるをえない。このために、発生源活動、気象条件、環境濃度の季節変動や日変化についての統計値等を解析し(図Ⅳ-1-1、図Ⅳ-1-2)、この結果を用いてシミュレーションの対象とする季区分、時間帯区分を表Ⅳ-1-1のように設定した。

表 N-1-1 季・時間帯区分

期 時間帯	S系モンスーン 4月～10月	N系モンスーン 11月～3月
昼	7:00～17:59	7:00～17:59
夜	18:00～6:59	18:00～6:59

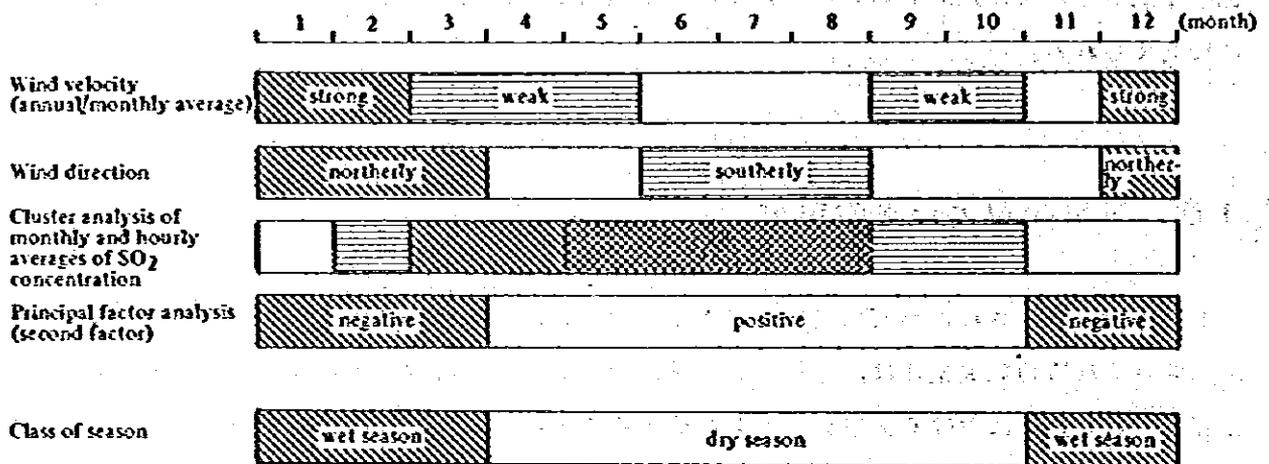


図 N-1-1 季節変動の解析結果概要

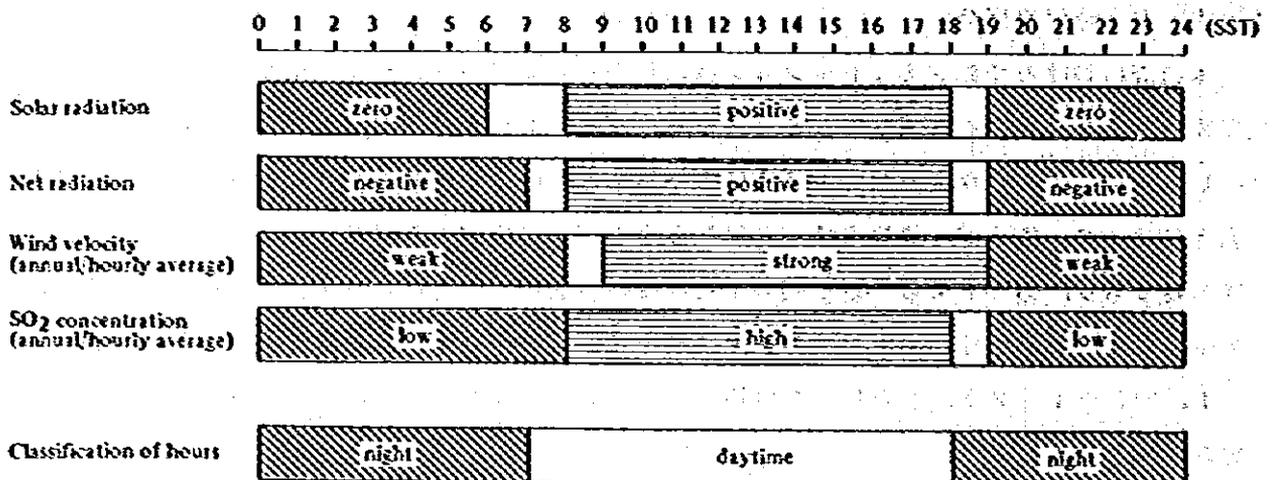


図 N-1-2 日変化の解析結果概要

## 1-2 平均風速

各測定局における平均風速を調べることにより、対象地域の風の強さを知ることができ、また、各測定局の特徴も把握することができる。

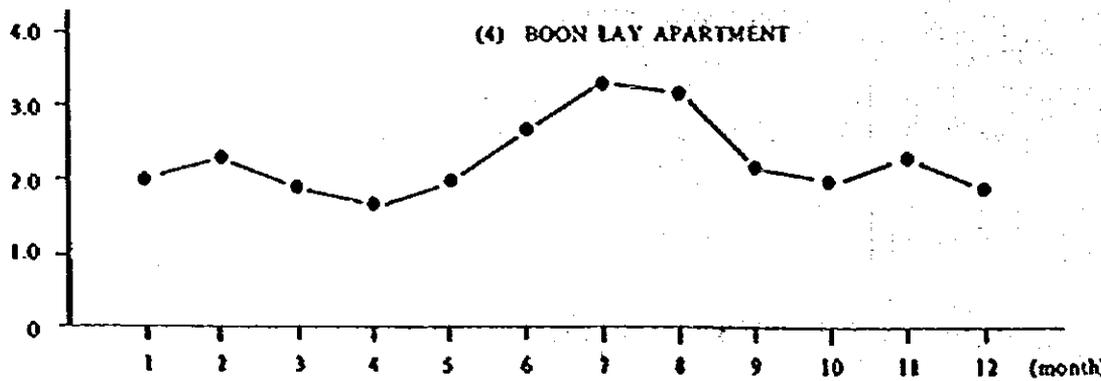
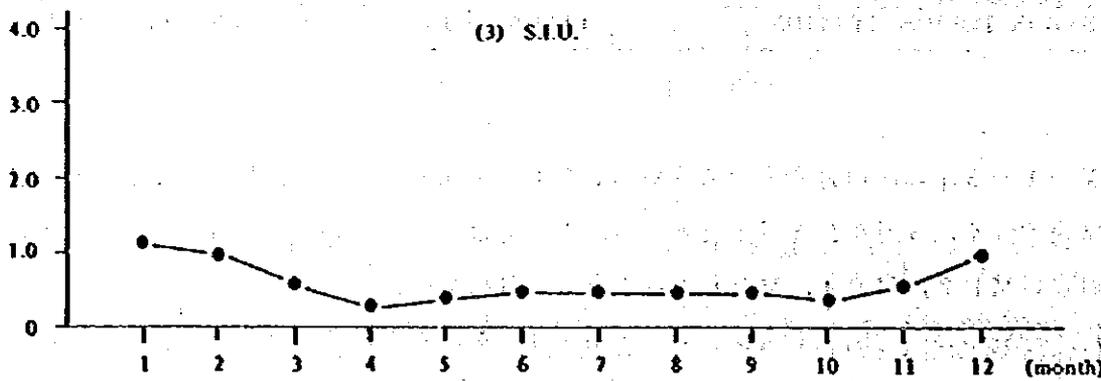
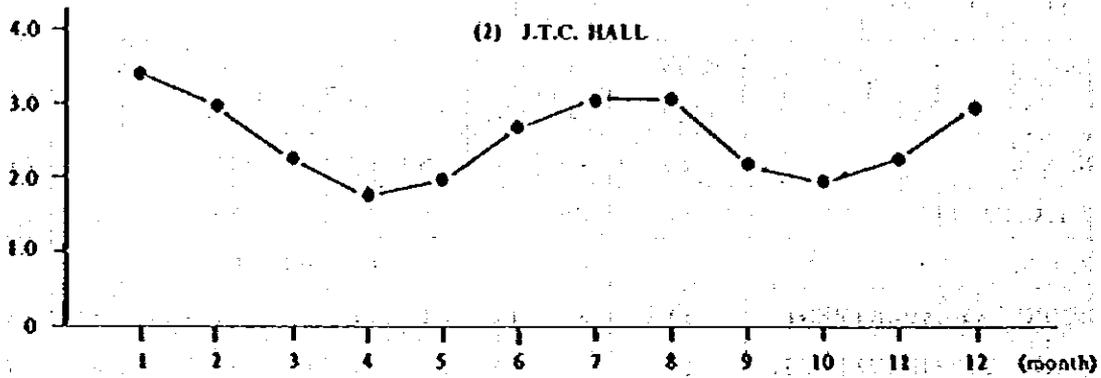
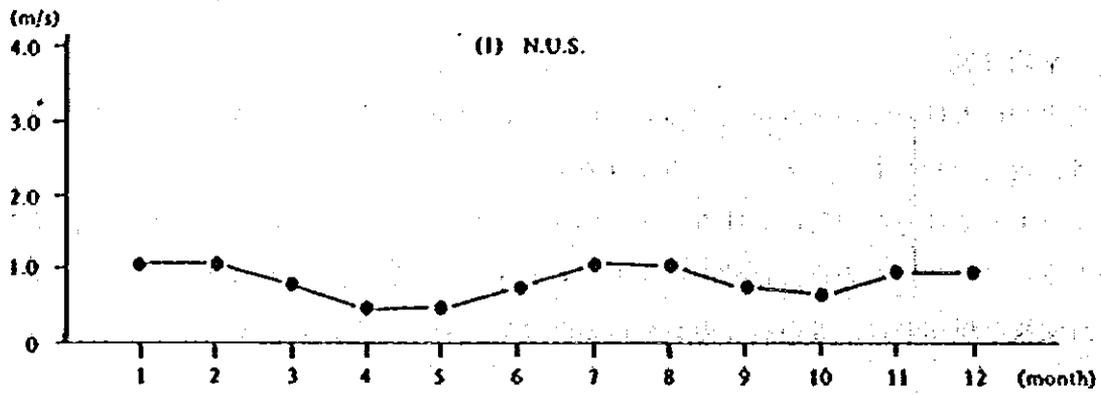
表N-1-2は各測定局における季・時間帯別の平均風速を示したものであるが、第Ⅱ編現地調査で述べた測定局の概要と設置状況と合わせて見ると、平均風速は各測定局の風向風速の測定高度及び周囲の建物等の影響の有無にも関係していることがわかる。

表N-1-2 各測定局の季・時間帯別平均風速

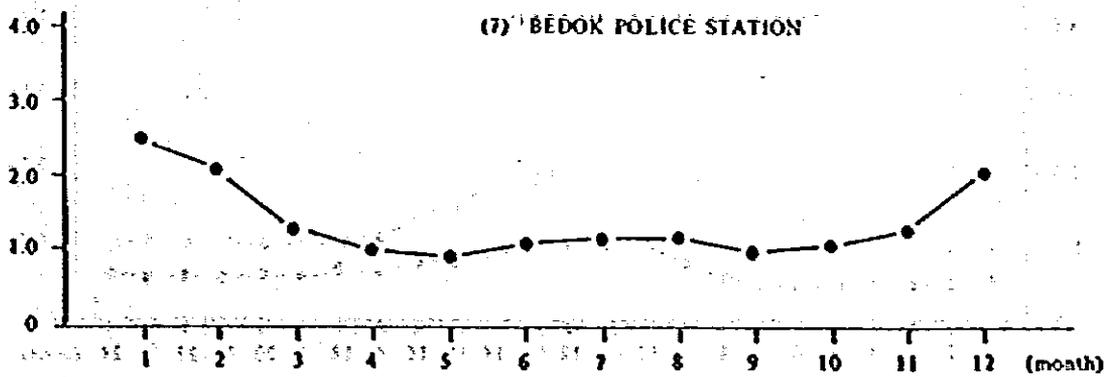
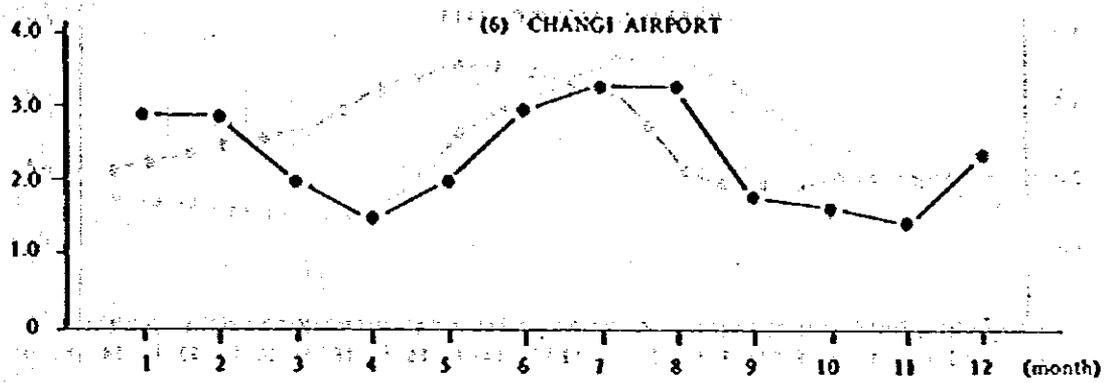
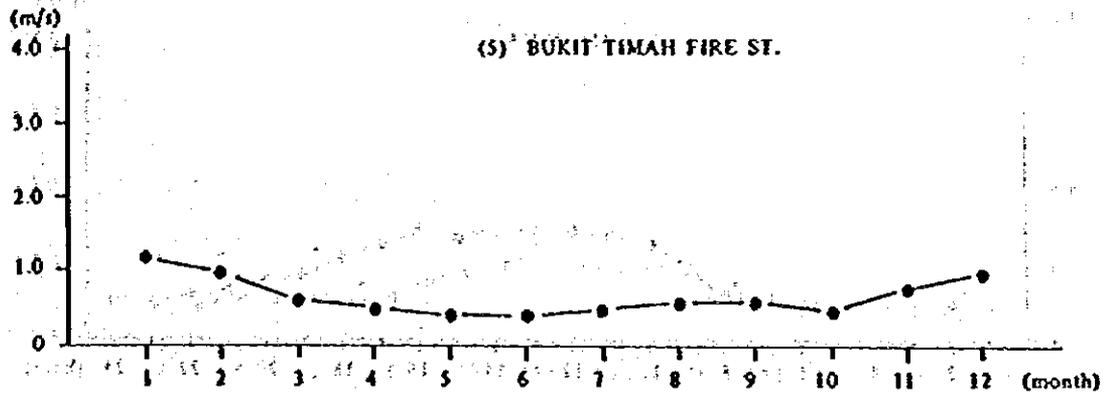
局名	風向風速 測定高度	(m/s)								
		S系モンスーン			N系モンスーン			年間		
		昼	夜	通日	昼	夜	通日	昼	夜	通日
(1) N. U. S.	10 (m)	1.2	0.5	0.8	1.3	0.7	1.0	1.3	0.6	0.9
(2) J. T. C. HALL	29	2.9	1.9	2.4	3.2	2.5	2.8	3.0	2.2	2.5
(3) S. I. U.	10	0.6	0.4	0.5	1.1	0.7	0.9	0.8	0.5	0.7
(4) BOON LAY APARTMENT	51	3.1	1.9	2.4	2.5	1.7	2.1	2.8	1.8	2.3
(5) BUKIT TIMAH FIRE ST.	10	0.7	0.3	0.5	1.1	0.7	0.9	0.9	0.5	0.7
(6) CHANGI AIRPORT	6	3.0	1.8	2.4	3.0	1.8	2.3	3.0	1.8	2.3
(7) BEDOK POLICE STATION	13	1.4	0.8	1.1	2.3	1.5	1.9	1.7	1.1	1.4

図N-1-3 (1)~(2)は月別平均風速を示したものであるが、各測定局とも12月から2月までは風速が強く、3月から5月までと9月、10月は風速が弱い傾向がみられる。なお、平均風速が強いMP2、MP4、MP6では7月、8月にも風速が強くなっている。

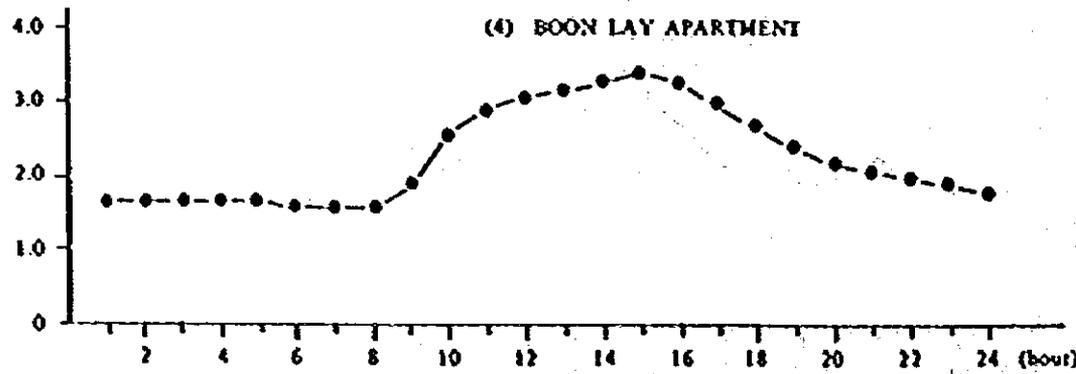
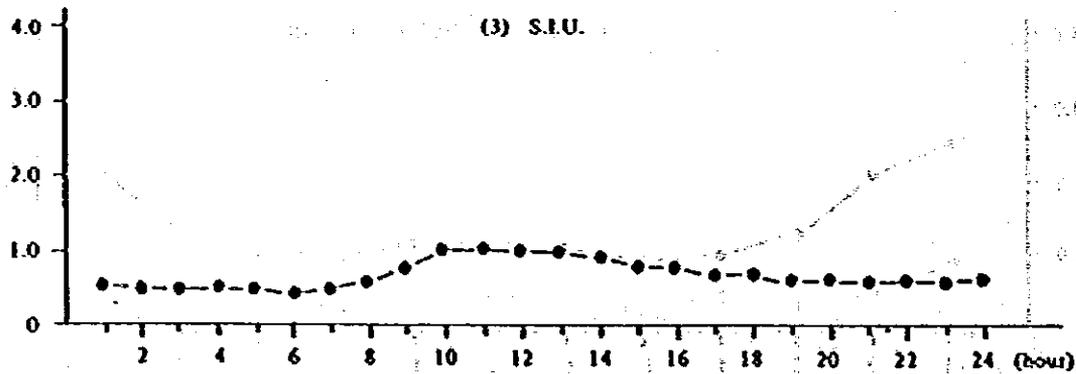
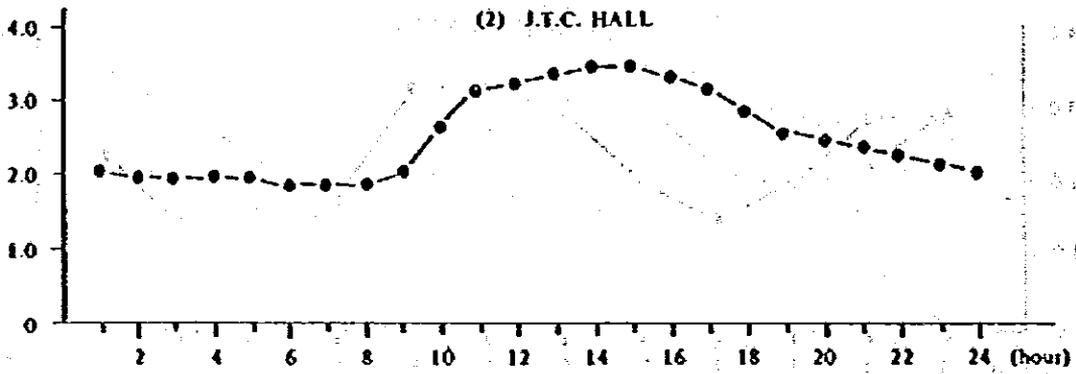
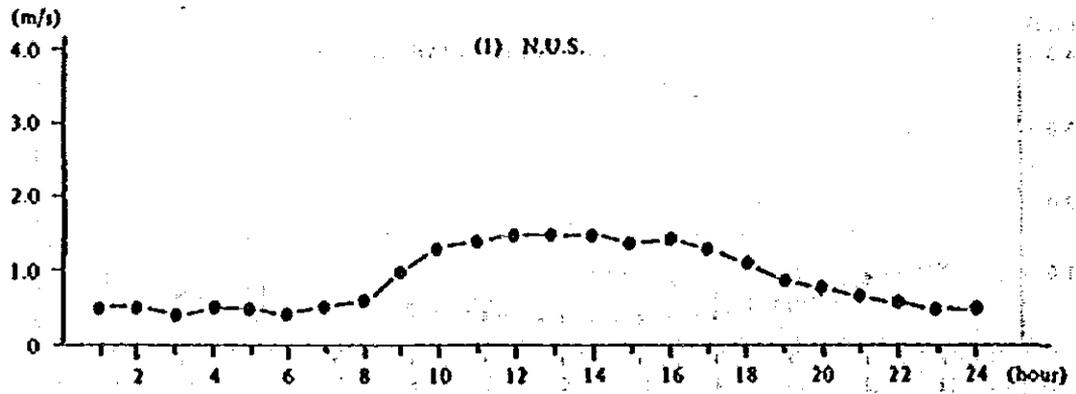
また、時刻別の平均風速(図N-1-4 (1)~(2))をみると、日中は風速が強く、夜間は弱いという顕著な傾向を示している。



図N-1-3(1) 各測定局の月別平均風速



図N-1-3(2) 各測定局の月別平均風速



図N-1-4 (i) 各測定局の時刻別平均風速

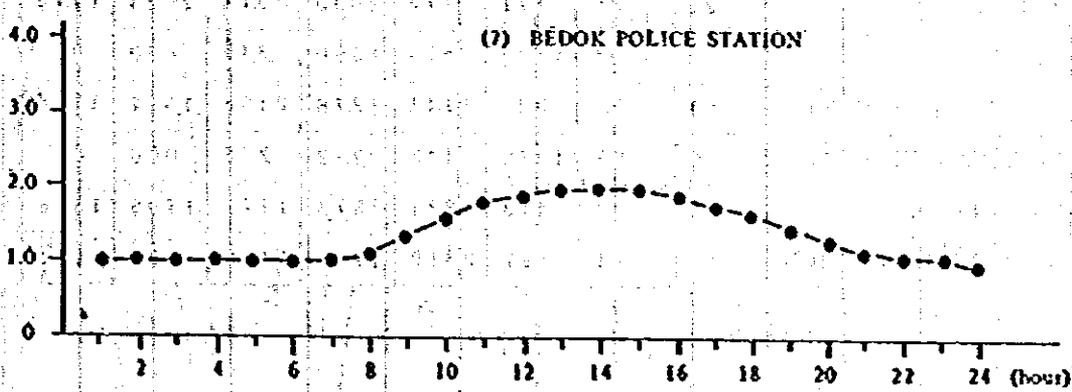
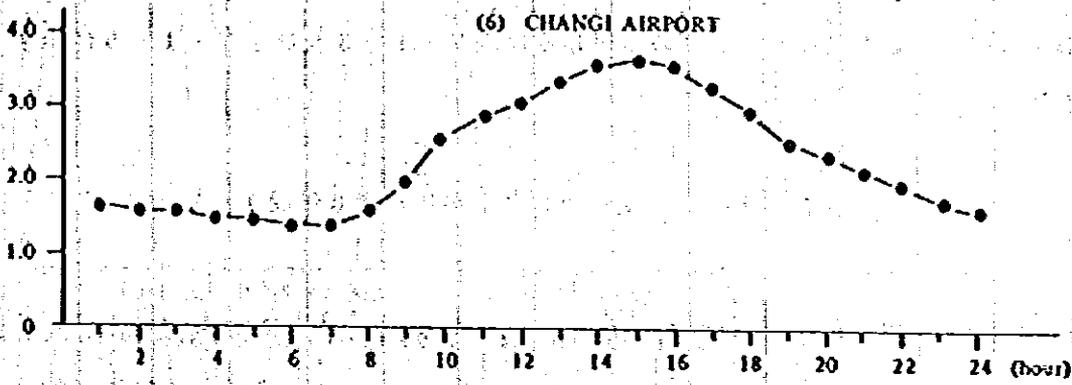
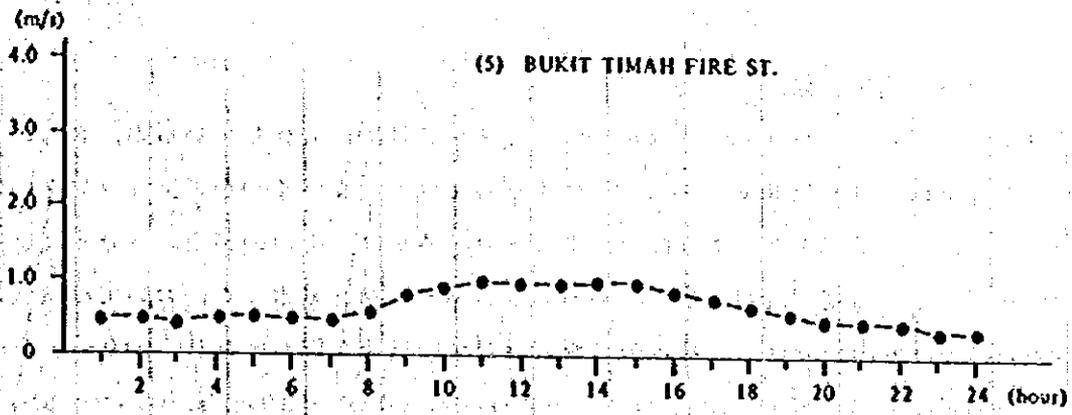


図 N-1-4 (2) 各測定局の時刻別平均風速

### 1-3 風速ランク別出現頻度

風速はアナログ量であり0m/s～10m/s程度まで連続的に変化しているが、SO<sub>2</sub>の予測シミュレーションにおける気象のモデル化にあたっては風速をいくつかの風速ランクに区分して扱うことになる。風速をどのようなランクに区分するかは、風速の出現頻度分布及び拡散計算式の風速に関する感度<sup>x1</sup>を勘案して決める必要がある。シンガポールにおいては微風の出現頻度が多いので、本調査では、これらの点を考慮して微風速を細く区分し、①0～0.4m/s、②0.5～0.9m/s、③1.0～1.9m/s、④2.0～2.9m/s、⑤3.0～3.9m/s、⑥4.0～5.9m/s、⑦6.0m/s以上の7つのランクに区分した。

このように区分した風速ランク別の出現頻度は表N-1-3及び図N-1-5に示すとおりである。

表N-1-3 風速ランク別出現頻度(年間)

局名	測定高度(m)	平均風速(m/s)	風速ランク出現頻度(%)						
			0~0.4	0.5~0.9	1.0~1.9	2.0~2.9	3.0~3.9	4.0~5.9	6.0~
(1) N. U. S.	10	0.9	3384	2419	3391	748	057	001	00
(2) J. T. C. HALL	29	2.6	171	773	2933	2517	2024	1475	107
(3) S. I. U.	10	0.7	1120	3815	1690	345	030	00	00
(4) BOON LAY APARTMENT	51	2.3	325	1144	3278	2408	1597	1168	08
(5) BUKIT TIMAH FIRE ST.	10	0.7	1082	3442	2212	258	006	00	00
(6) CHANGI AIRPORT	6	2.3	413	1834	2573	1777	1706	1586	111
(7) BEDOK POLICE STATION	13	1.4	897	2819	1130	1476	534	144	00

これをみると、MP1、MP3、MP5においては0～0.4m/sの出現頻度が他の測定局と比較して極端に多く、前節でも述べたように測定高度が低く周囲の建物等の影響を受けているものと考えられる。この3局を除いた4局についてみると1.0～1.9m/sの出現頻度が最も多く26%～41%を占めている。

x1 プルーム式では感度は風速の逆数に比例する。

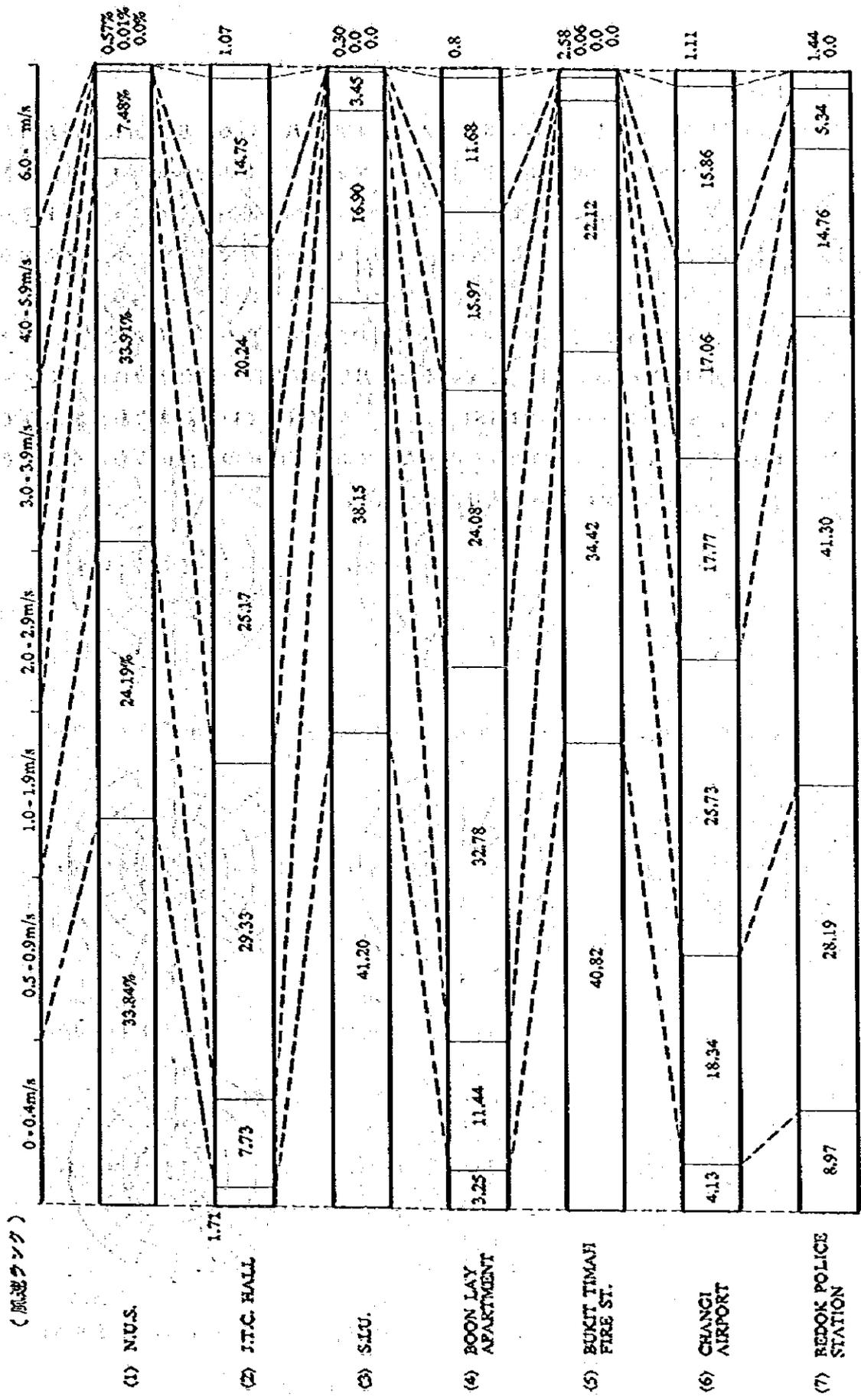


図 V-1-5 風速ランク別出現頻度

#### 1-4 風配図

風向の出現頻度を表現する方法として風配図が多く利用されている。現地調査で得られた風向の測定データを用い各風向の出現頻度を風配図として表現したものを図N-1-6, 図N-1-7に示す。図N-1-6 (i)~(j)は各測定局の月別の風配図である。これによると1,2月から3月まではNNW~NEの風向が卓越している。一方, 6月~8月ではSSE~Sの風向が卓越しており際立った特徴を見せている。その他の月は特に卓越した風向はみられない。

図N-1-7 (i)~(j)は, 各測定局の季別・時間帯別の風配図であるが, S系モンスーンとN系モンスーンの区分が各 Monsoonに対応しているため月別の風配図で見たようにN系モンスーンではNNW~NE, S系モンスーンではSSE~Sの風向が卓越している。また昼夜別にみると, 昼では夜に比較して南寄の風の頻度が多くなっており海陸風の出現がみられるようである。この傾向はS系モンスーンにおいてより顕著である。

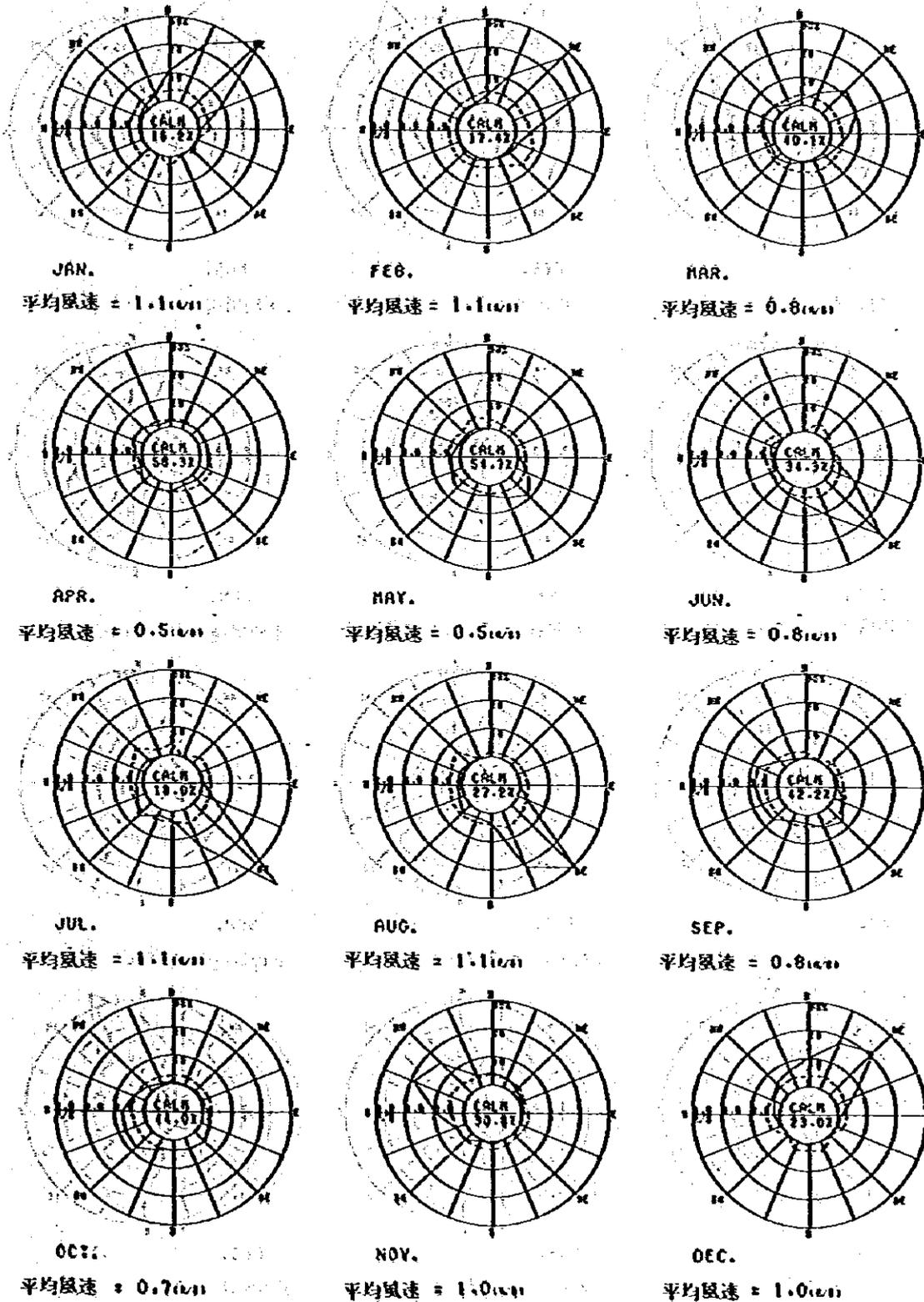


図 N-1-6 (1) 各測定の月別風配図

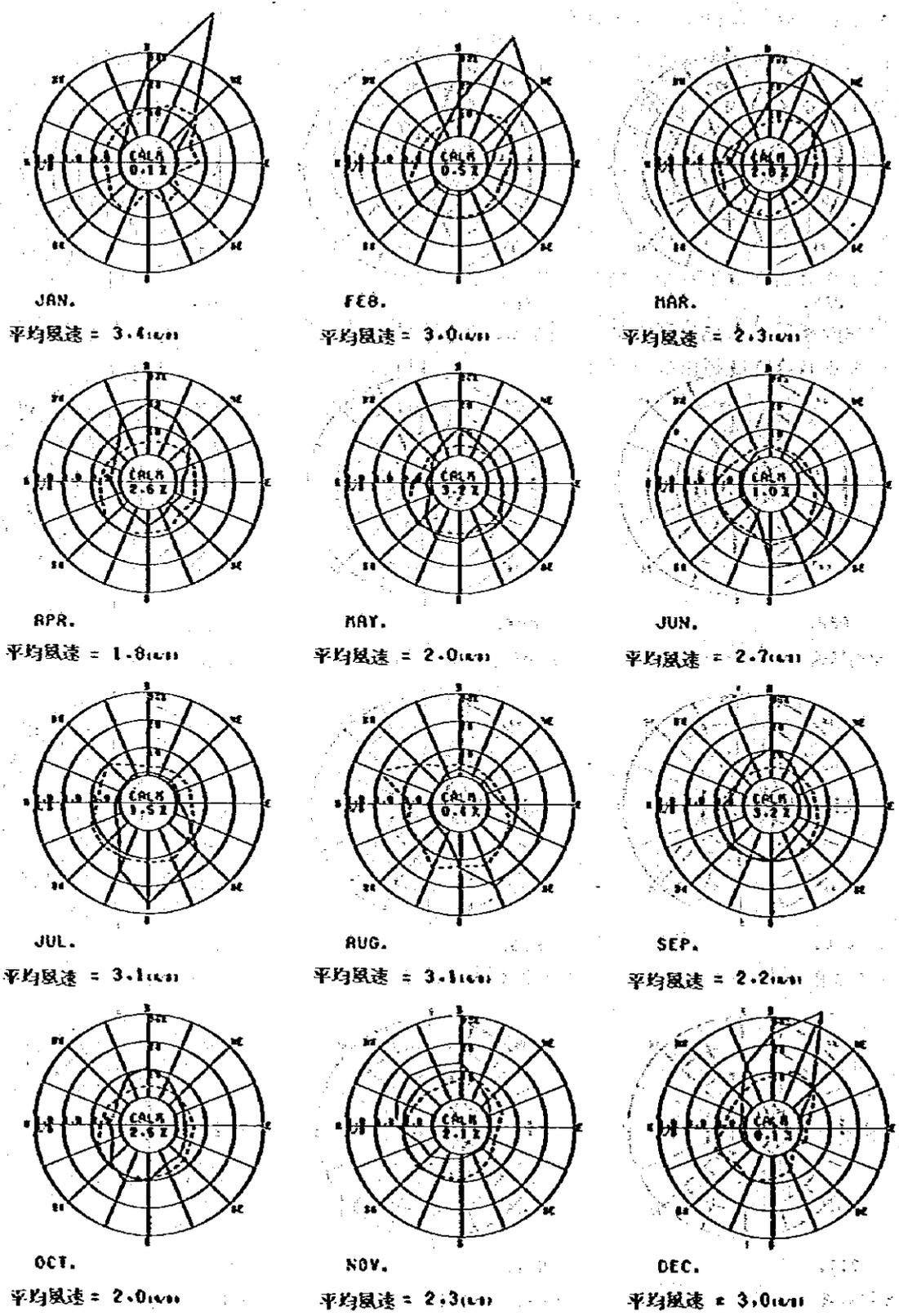


図 N - 1 - 6 (2) 各測定局の月別風配図

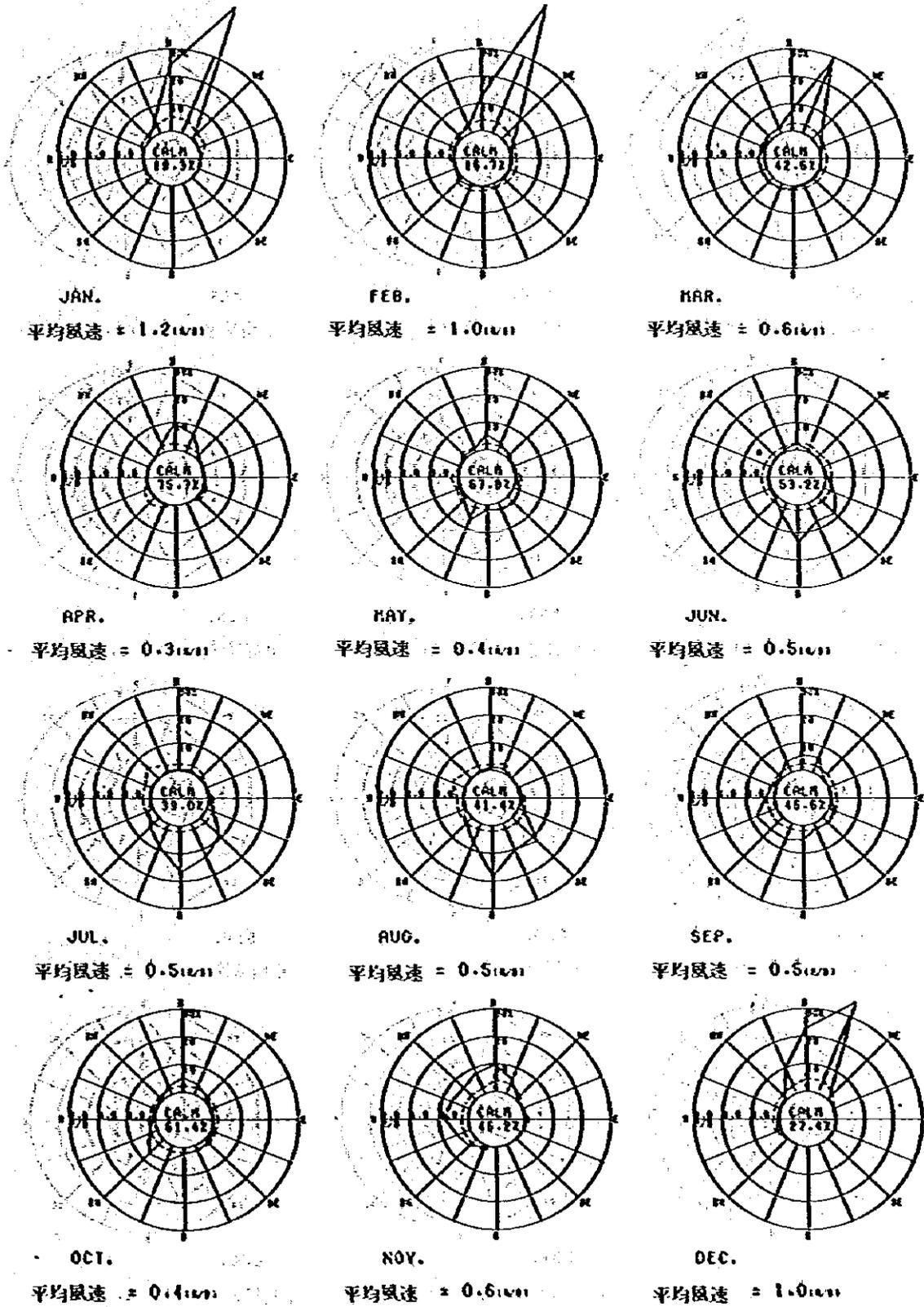
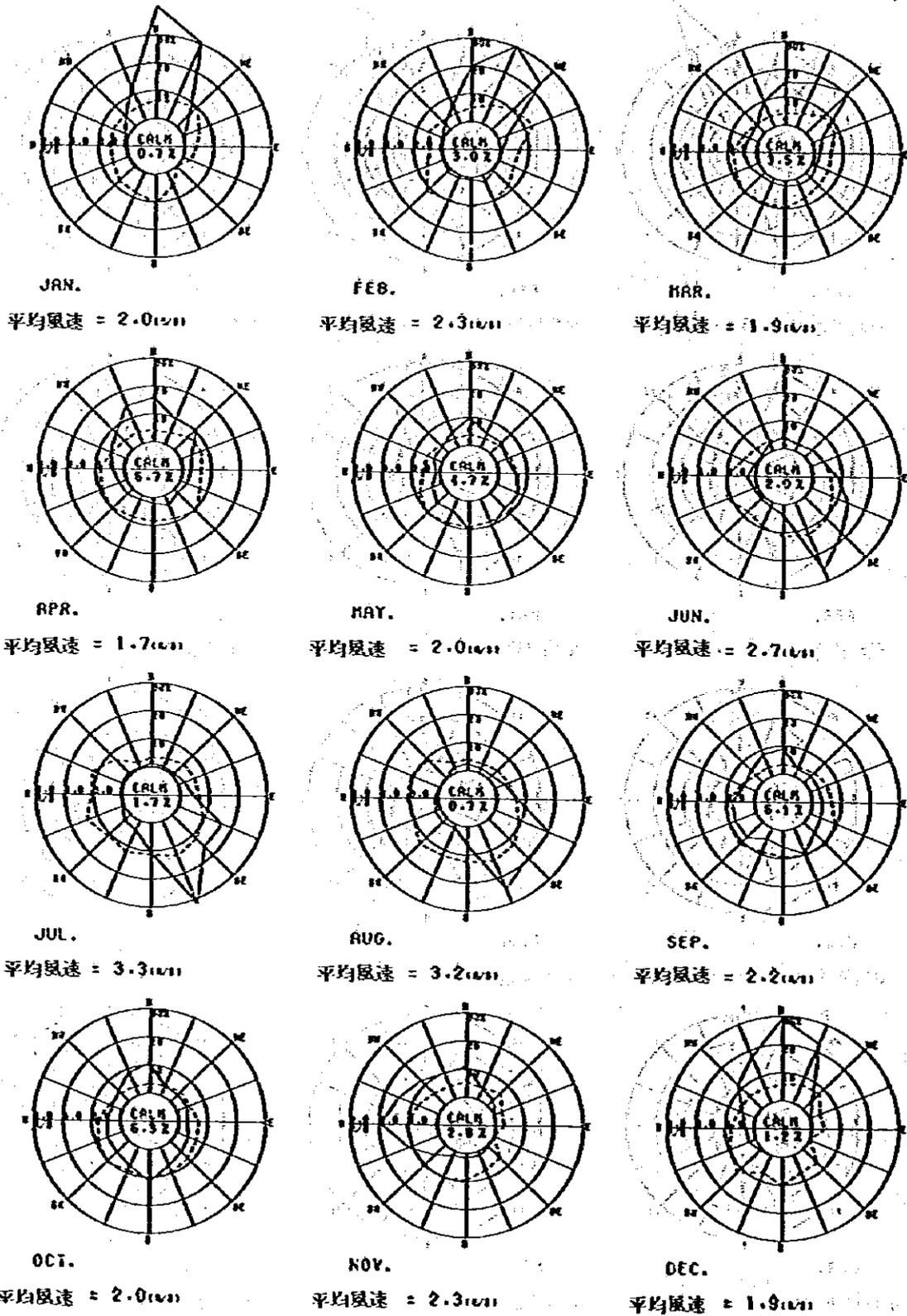


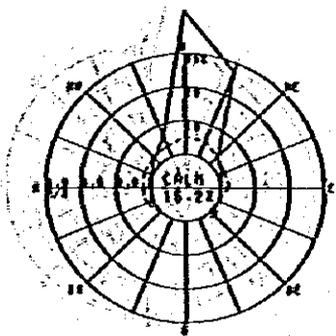
図 N-1-6 (3) 各測定局の月別風配図

4 BOON LAY APARTMENT

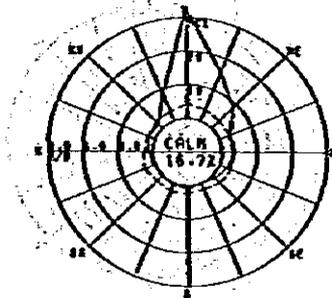


図N-1-6(1) 各測定局の月別風配図

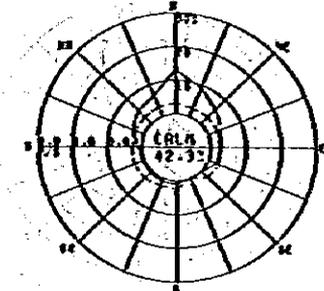
5. BUKIT TINAH FIRE ST.



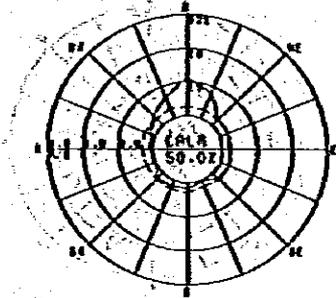
JAN.  
平均風速 = 1.2 (m/s)



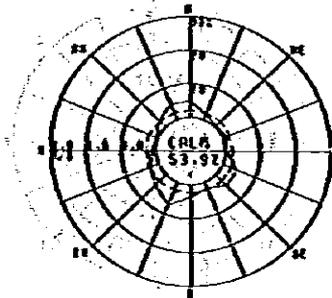
FEB.  
平均風速 = 1.0 (m/s)



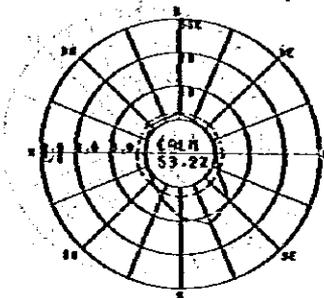
MAR.  
平均風速 = 0.6 (m/s)



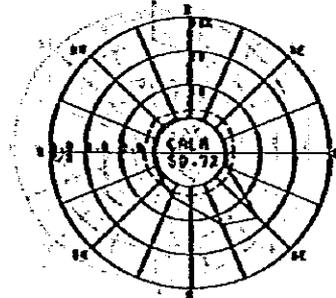
APR.  
平均風速 = 0.5 (m/s)



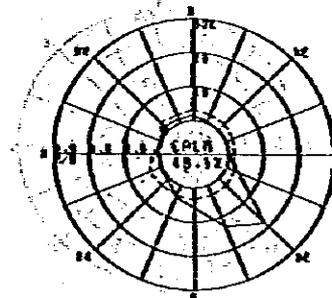
MAY.  
平均風速 = 0.4 (m/s)



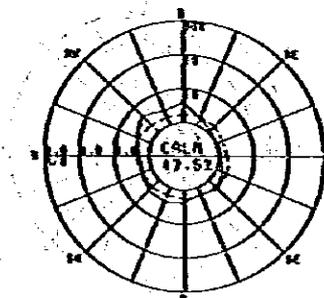
JUN.  
平均風速 = 0.4 (m/s)



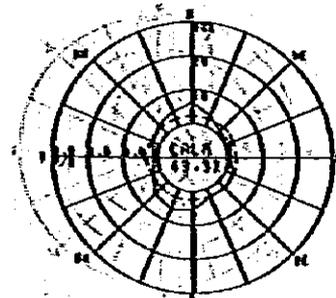
JUL.  
平均風速 = 0.5 (m/s)



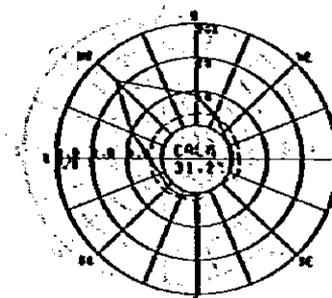
AUG.  
平均風速 = 0.6 (m/s)



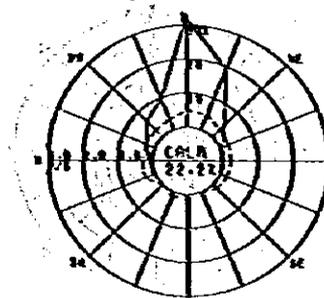
SEP.  
平均風速 = 0.6 (m/s)



OCT.  
平均風速 = 0.5 (m/s)



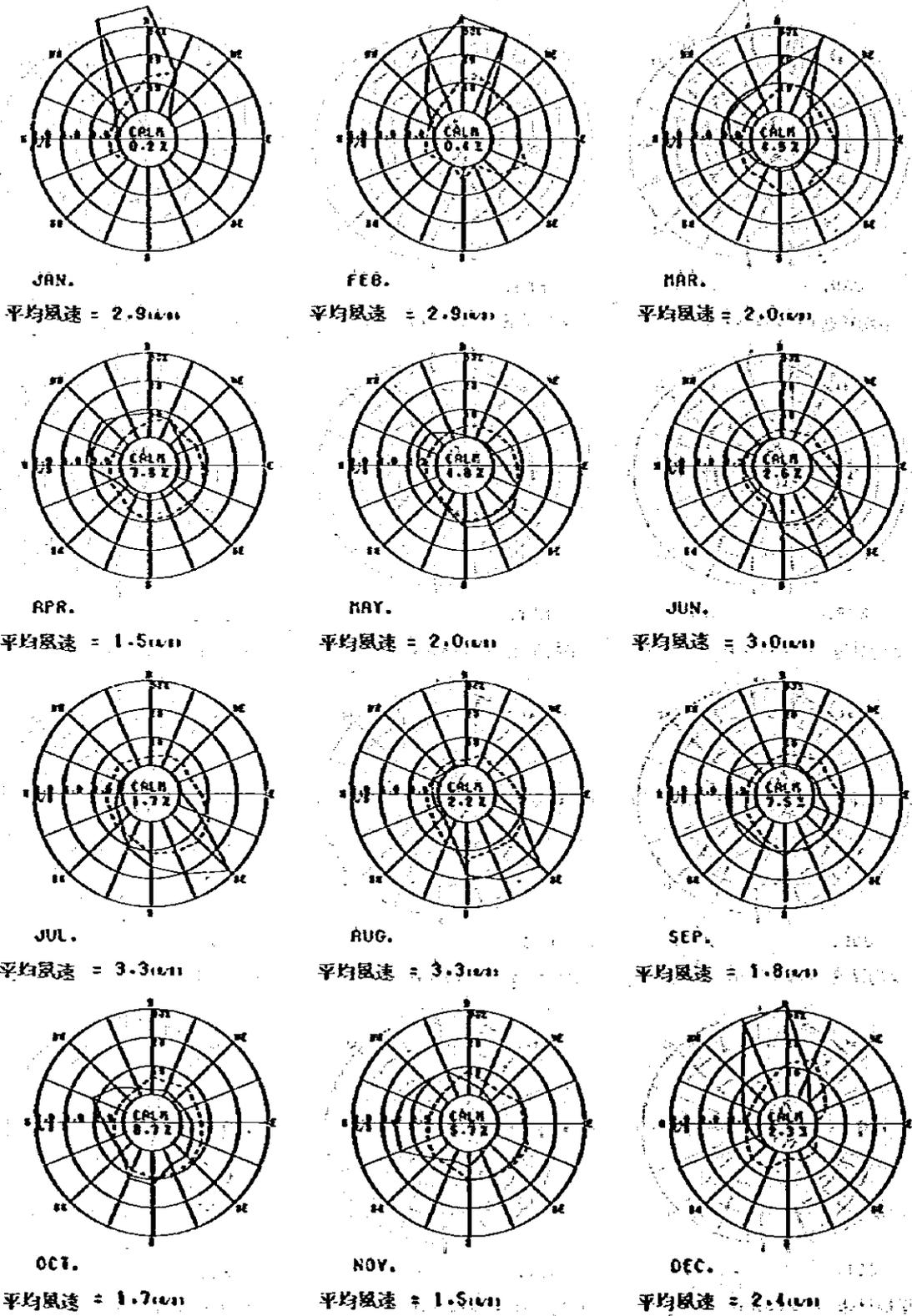
NOV.  
平均風速 = 0.8 (m/s)



DEC.  
平均風速 = 1.0 (m/s)

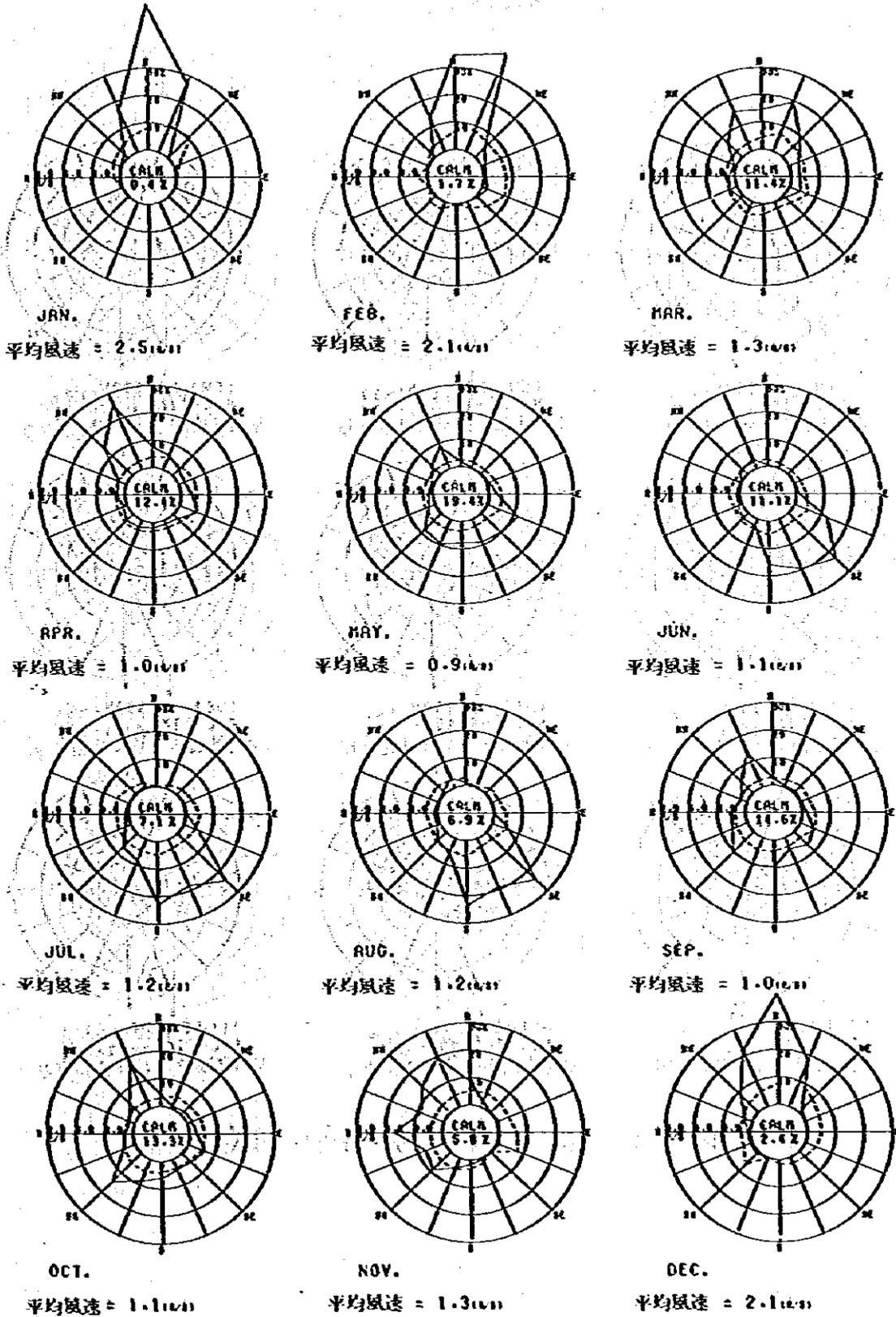
図 N-1-6 (5) 各測定局の月別風配図

6 CHANGI AIRPORT



図N-1-6(6) 各測定局の月別風配図

7 BEDOK POLICE STATION



図N-1-6(7) 各測定局の月別風配図

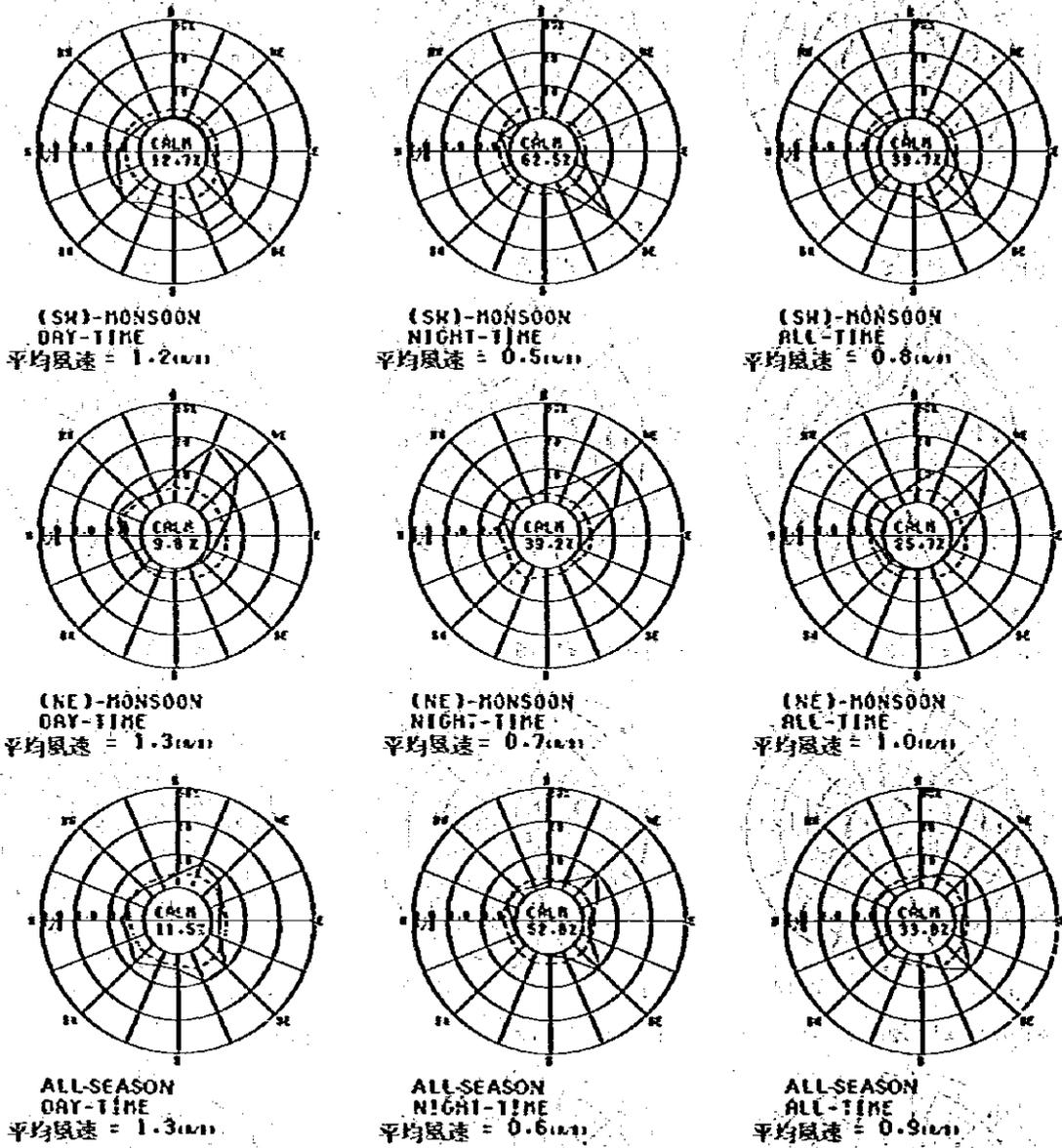


図 N-1-7 (i) 各観測局の季・時間帯別風配図

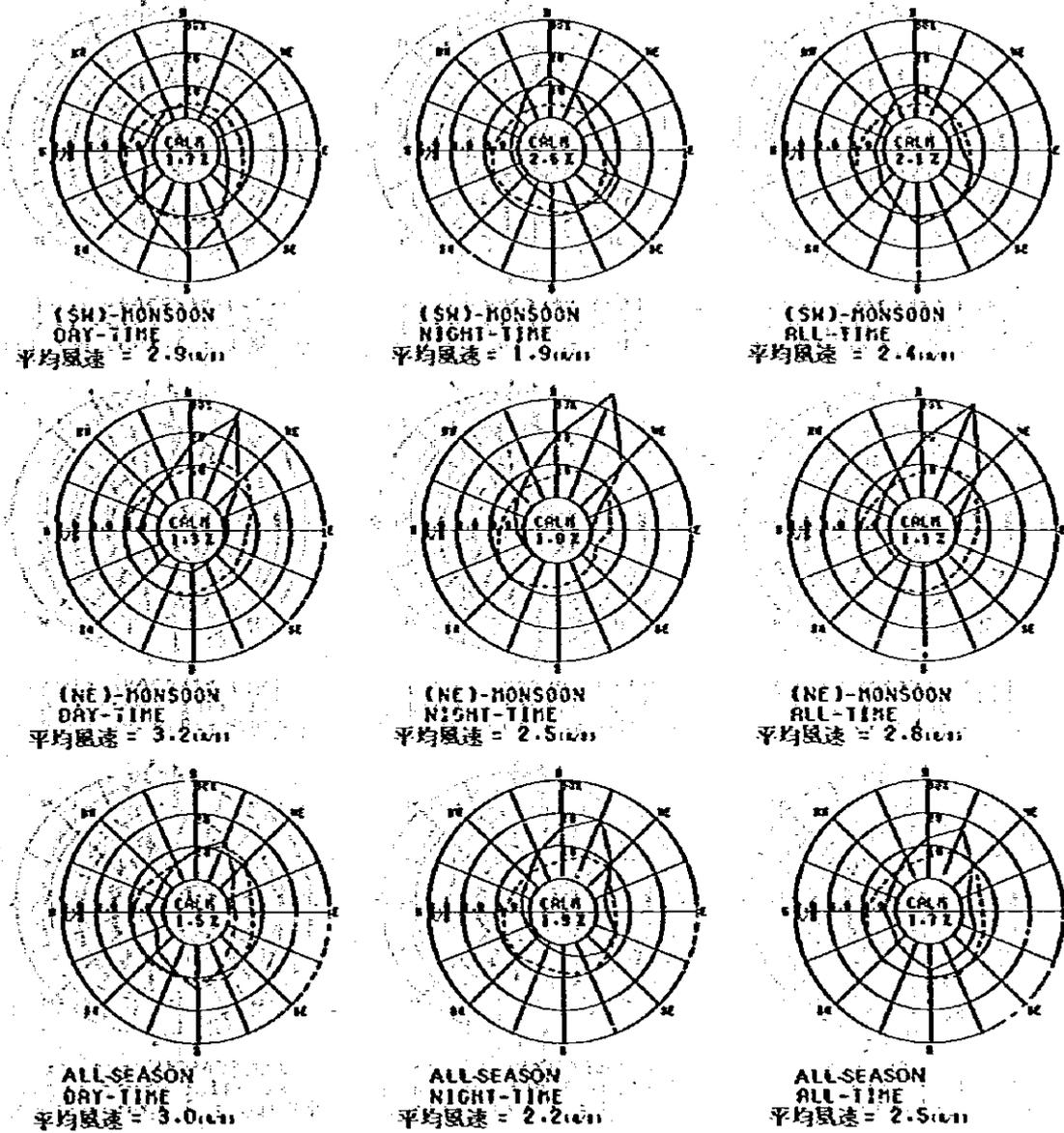


図 N-1-7 (2) 各測定局の季・時間帯別風配図

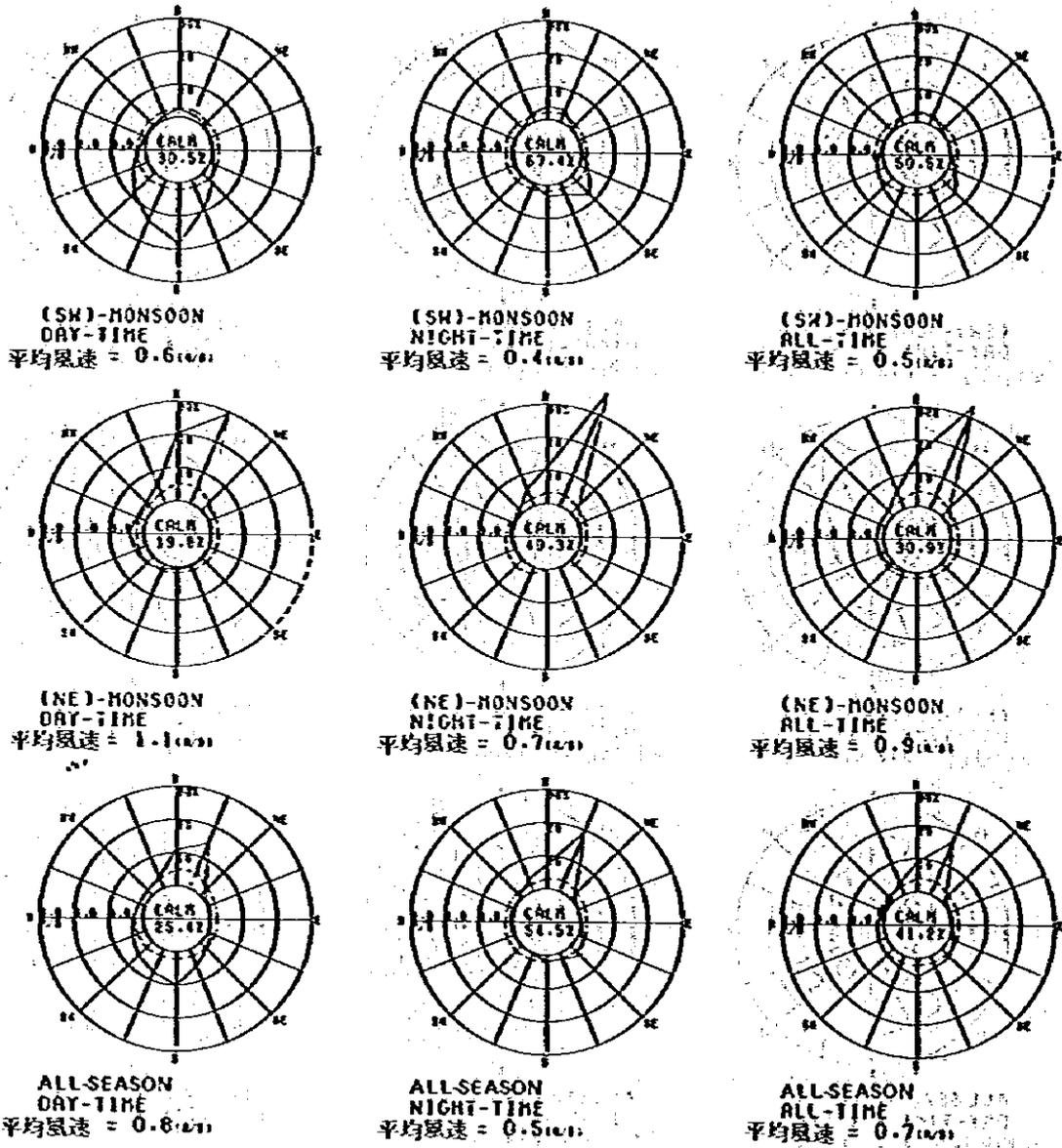


図 N-1-7 (3) 各測定局の季・時間帯別風配図

4 BOON LAY APARTMENT

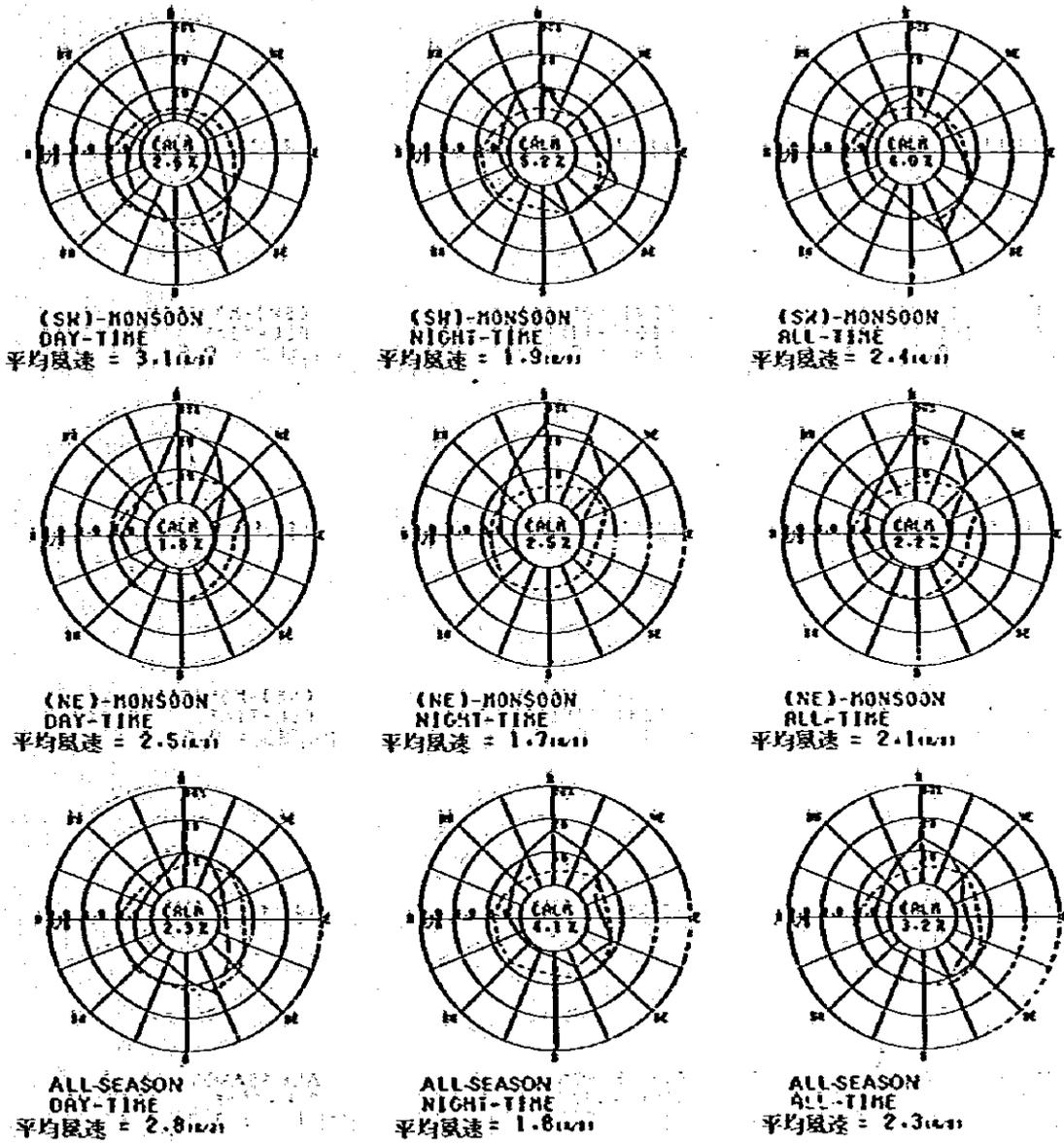


図 N-1-7 (1) 各測定局の季・時間帯別風配図

5. BUKIT TIMAH FIRE ST.

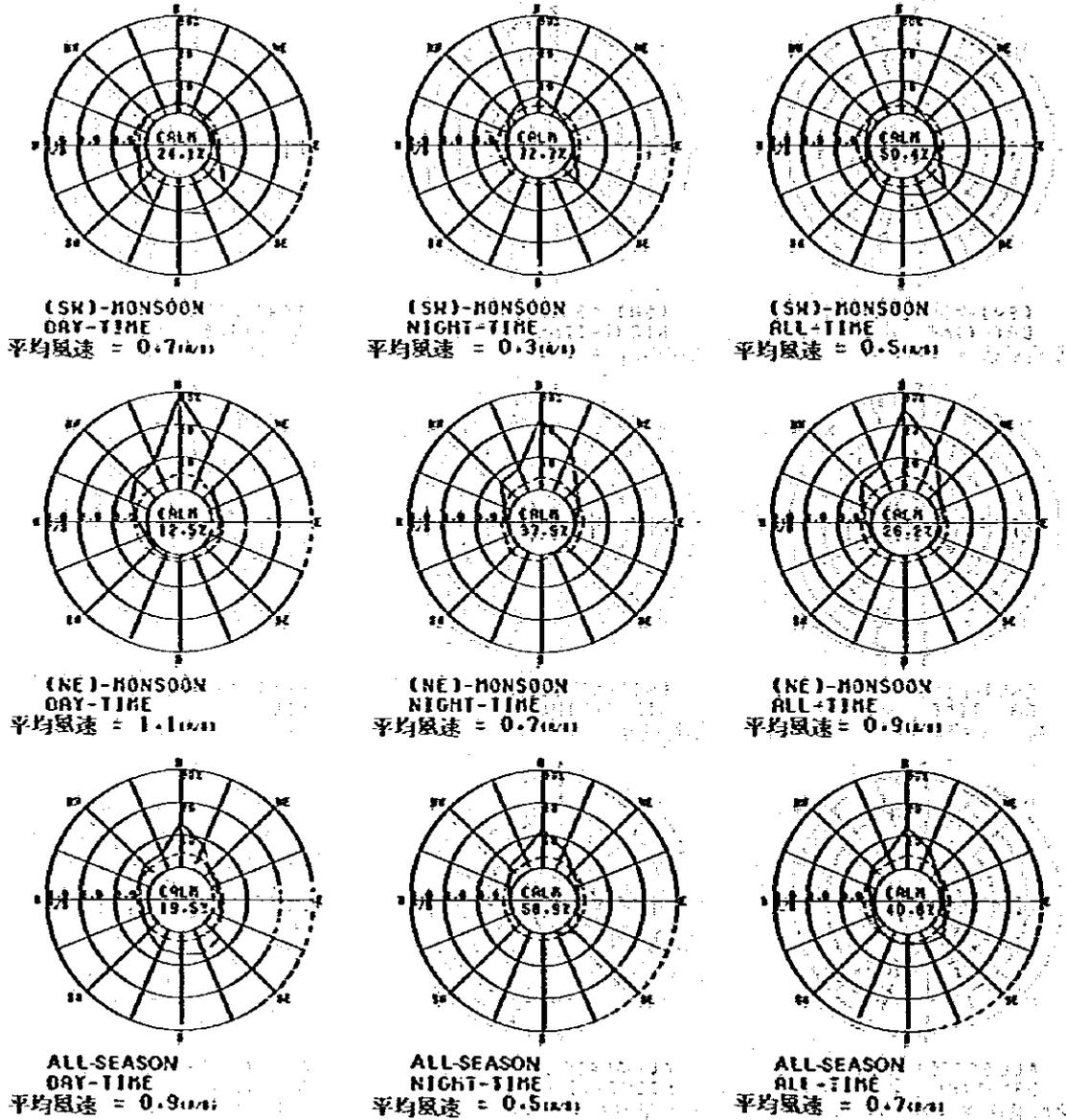


図 N - 1 - 7 (5) 各測定局の季・時間帯別風配図

6 CHANGI AIRPORT

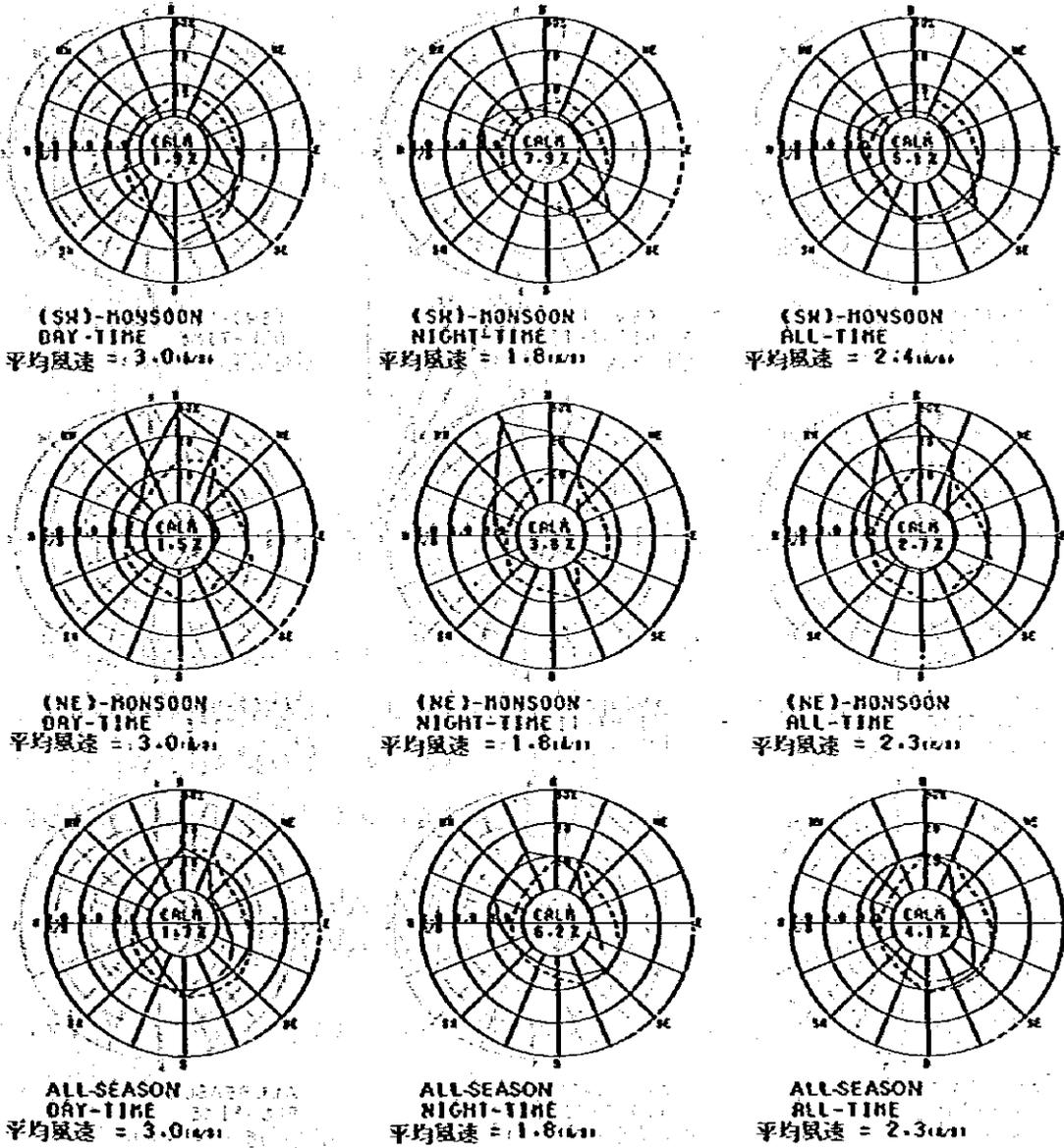


図 N-1-7 (6) 各測定局の季・時間帯別風配図

7 BEDOK POLICE STATION

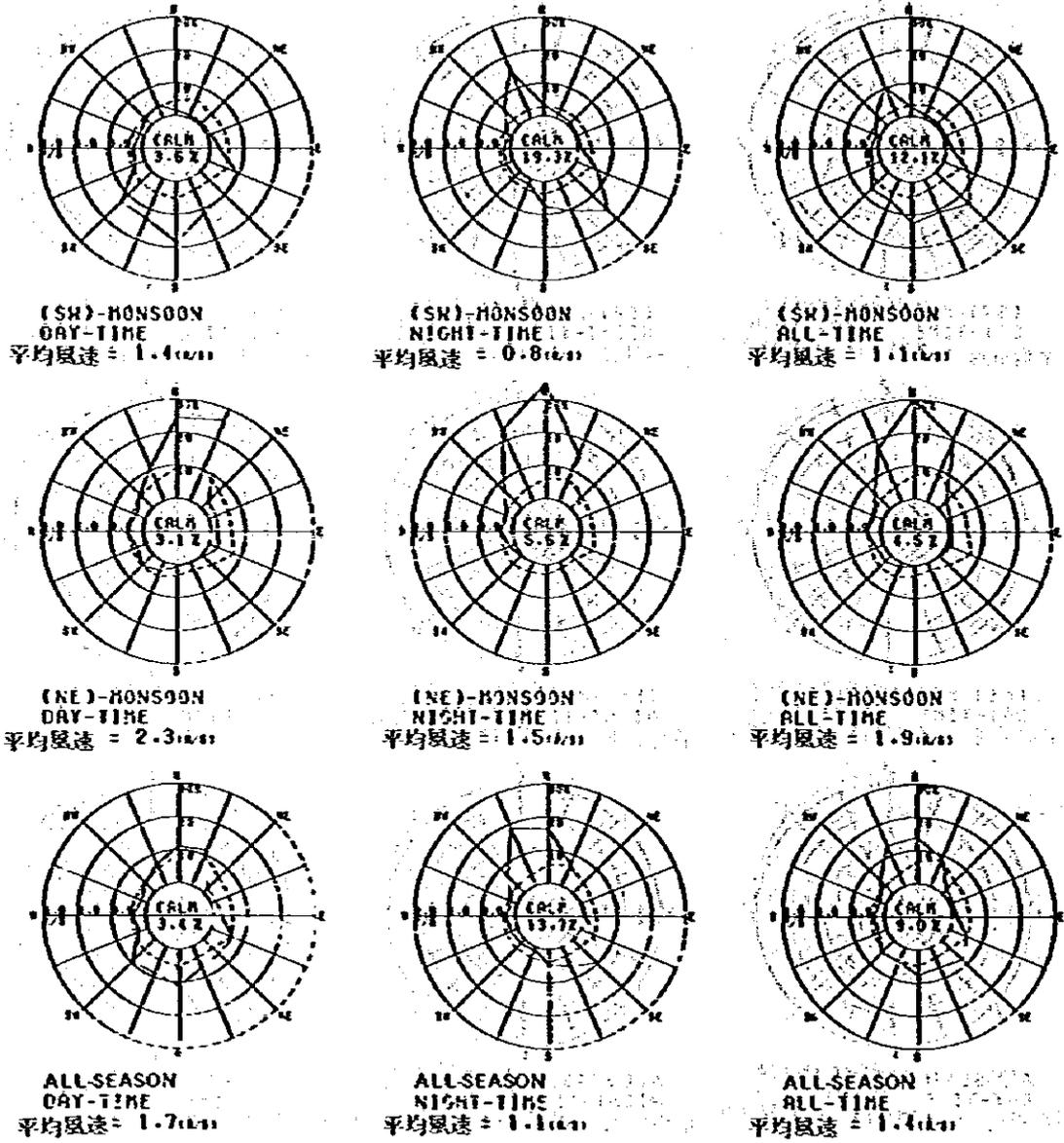


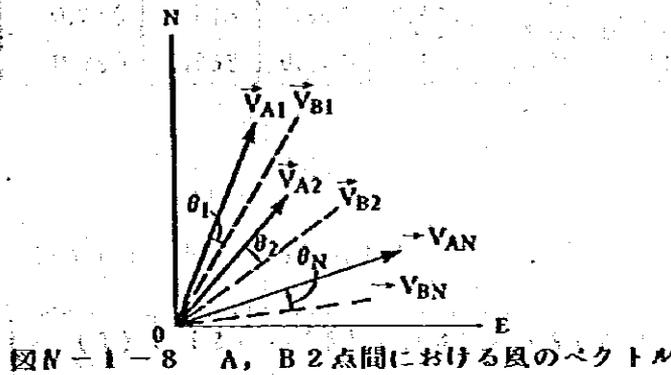
図 N-1-7 (7) 各刻定局の季・時間帯別風配図

1-5. 風の地域分布

当該地区のように東西60km, 南北40kmと広く, かつジュロンとチャンギーが直線距離で約40kmとはなれているため気象条件が一様でないと考えられる。そこで, 各測定局における毎時の風向風速の測定データを基に, 各測定局間の風の類似度を調べた。

1-5-1 各測定局間の風向風速ベクトル相関係数

測定局間の風向風速の類似度の指標として, 次のような方法により計算される風ベクトルの近似的相関係数が多く利用されている。



今, A測定局での風のベクトル観測値  $\vec{V}_{A1}, \vec{V}_{A2}, \dots, \vec{V}_{AN}$  とB地点で同時に観測された風ベクトル  $\vec{V}_{B1}, \vec{V}_{B2}, \dots, \vec{V}_{BN}$  から各時刻  $i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) における  $\vec{V}_{Ai}$  と  $\vec{V}_{Bi}$  のなす角 (両測定局の風向の違い)  $\theta_i$  を求める (図N-1-8参照)。これからA, B測定局間の風の相関係数は近似的に次式により与えられる。

$$r(A, B) \doteq \frac{\sum_i \vec{V}_{Ai} \cdot \vec{V}_{Bi} \cos \theta_i}{\sum_i \vec{V}_{Ai} \cdot \vec{V}_{Bi}} \dots\dots\dots (N-1-1)$$

ここで,  $\vec{V}_{Ai}, \vec{V}_{Bi}$  は各々A, B測定局における時刻  $i$  での風ベクトルの大きさ (風速) である。

このような方法により求めた各測定局間の風の相関係数を表N-1-4に示す。また、表N-1-5はこの相関係数を求めるために使用した風向風速の有効件数である。なお、この有効件数は、二測定局間で同時に風向風速の測定があり、かつ風速が0.5 m/s以上の時間数を表わしている。

この結果を見ると、島の西側に位置するMP1からMP5までの測定局間で相関が高く、東側に位置するMP6、MP7の測定局間で相関が高い。

これらの特性を持った複数の局をいくつかの群に分類する方法としては種々の方法が考えられるが、本調査では、統計的手法により各測定局間の風向風速のベクトル相関係数に基づくクラスター分析法と主成分分析法を使用した。

表N-1-4 風向・風速ベクトル相関係数表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1)	1.000	0.896	0.883	0.857	0.851	0.716	0.790
(2)	0.896	1.000	0.955	0.940	0.871	0.796	0.858
(3)	0.883	0.955	1.000	0.932	0.909	0.847	0.901
(4)	0.857	0.940	0.932	1.000	0.840	0.809	0.841
(5)	0.851	0.871	0.909	0.840	1.000	0.765	0.828
(6)	0.716	0.796	0.847	0.809	0.765	1.000	0.924
(7)	0.790	0.858	0.901	0.841	0.828	0.924	1.000

表N-1-5 風向・風速ベクトル相関有効件数表

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
(1)	5669.	5306.	3584.	5561.	4026.	5414.	5331.
(2)	5306.	8174.	4064.	7849.	4710.	7625.	7235.
(3)	3584.	4064.	4311.	4267.	3252.	4119.	4054.
(4)	5561.	7849.	4267.	8348.	4840.	7830.	7439.
(5)	4026.	4710.	3252.	4840.	4936.	4685.	4633.
(6)	5414.	7625.	4119.	7830.	4685.	8191.	7319.
(7)	5331.	7235.	4054.	7439.	4633.	7319.	7723.

- (1) N.U.S.
- (2) J.T.C. HALL
- (3) S.I.U.
- (4) BOON LAY APARTMENT
- (5) BUKIT TIMAH FIRE ST.
- (6) CHANGI AIRPORT
- (7) BEDOK POLICE STATION

1-5-2 ベクトル相関係数に基づくクラスター分析

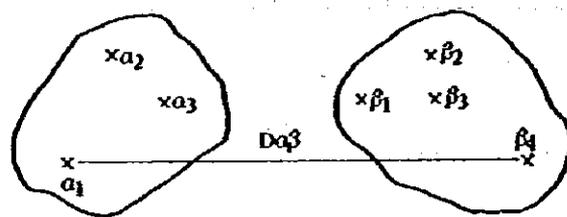
クラスター分析とは、ある特性を持った複数の個体をいくつかの群(クラスター)に分類する手法であり、生物学や博物学の分野における標本の分類に多く利用されている。クラスター分析のアルゴリズムとしては多くのものがあるが、本調査では類似度の尺度として先に求めた測定局間の風の相関係数を用いて最長距離法(Maximum Algorithm, Furthest Neighbor Method)により測定局を分類した。

このアルゴリズムの概要は以下のとおりである。

- ① 個体(この場合測定局)の相互間の親近性を表わす距離として、  

$$d_{ij} = (1 - r_{ij})$$
 を定義する。ここで  $r_{ij}$  は測定局  $i$  と  $j$  の風の相関係数である。
- ② このように定義された個体間の初期距離を用いてクラスターの結合が開始され、最も接近している二つの個体が互いに結合されてクラスターが形成される。
- ③ 新しく形成されたクラスターと他の個体又はクラスターの距離が更新され、この更新された距離が最も近いクラスター又は個体が結合され新たなクラスターが形成される。この手順を順次繰返して最終的には一つのクラスターになるまで繰返される。

新しく形成されたクラスターとの距離の更新のアルゴリズムは種々あるが、本調査では図 N-1-9 に示されるように各クラスターに含まれる個体間の距離( $d_{ij}$ )のうち最も遠い距離を採用する最長距離法を用いた。この最長距離法は、結合されたクラスターが他のクラスターから遠ざかることになるので分類という点からすると感度の高い方法とされている。



クラスター  $\alpha(C\alpha)$

クラスター  $\beta(C\beta)$

$$D_{\alpha\beta} = \max (d_{ij} : i \in C\alpha, j \in C\beta)$$

$D_{\alpha\beta}$ : クラスター  $\alpha$  とクラスター  $\beta$  の距離

図 N-1-9 クラスター間の距離(最長距離法)

この方法により分類した結果を図 N-1-10 に示す。これによると、相関係数が 0.8 で切ると、MP 1~MP 5 と MP 6, MP 7 の二つのクラスターに分類されており、シンガポール共和国の西側と東側で異なった風系を示していることがわかる。

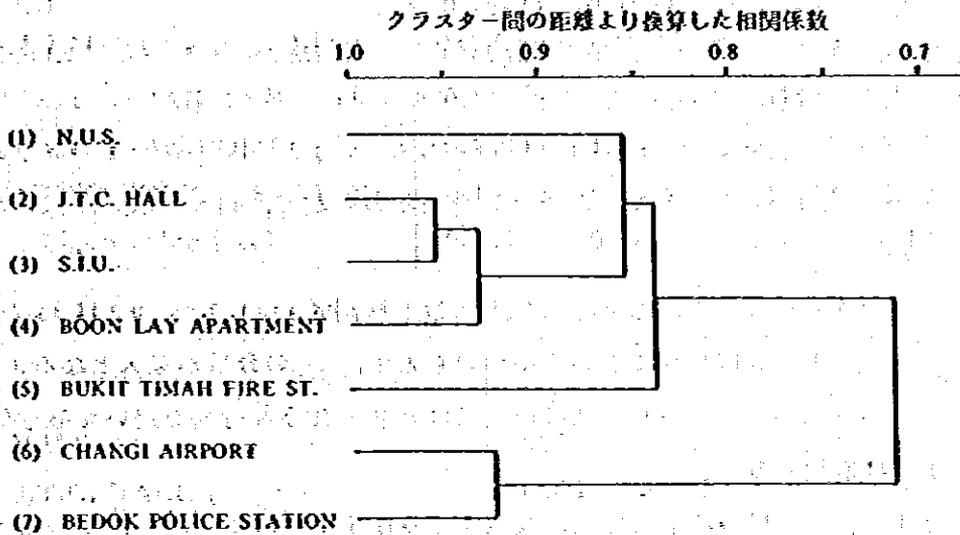


図 N-1-10 測定局間の樹状図

### 1-5-3 ベクトル相関係数に基づく主成分分析

主成分分析法とは、多くの特性値  $x_1, x_2, \dots, x_p$  のもつ情報を、互いに独立（相関がゼロ）な総合特性値 — これを主成分という — に要約する方法である。この総合特性値ともとの特性値の関係等を解析することにより、特性値又はサンプルの分類に役立てることができる。

主成分分析法では、この総合特性値  $Z_k$ （主成分という）は複数の特性値  $x_i$  の重みつき平均として以下のように表わされる。

$$z_1 = l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \dots + l_{1p}x_p = \sum_{i=1}^p l_{1i}x_i$$

$$z_2 = l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \dots + l_{2p}x_p = \sum_{i=1}^p l_{2i}x_i$$

$$z_k = l_{k1}x_1 + l_{k2}x_2 + \dots + l_{kp}x_p = \sum_{i=1}^p l_{ki}x_i$$

$$z_m = l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \dots + l_{mp}x_p = \sum_{i=1}^p l_{mi}x_i$$

..... ( N-1-2 )

ここで

$$l_{k1}^2 + l_{k2}^2 + \dots + l_{kp}^2 = \sum_{i=1}^p l_{ki}^2 = 1 \quad (k=1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (N-1-3)$$

係数  $l_{ki}$  は以下の条件を満足するように定められる。

条件 ① 第1主成分  $z_1$  (における  $x_i$ ) の係数  $\{l_{1i}\}$  ( $i=1, 2, \dots, p$ ) は  $(N-1-3)$  式の条件のもとで  $z_1$  の分散が最大になるように定める。

② 第2主成分  $z_2$  の係数  $\{l_{2i}\}$  ( $i=1, 2, \dots, p$ ) は、 $(N-1-3)$  式を満足し、かつ  $z_2$  が  $z_1$  と無相関になるという条件のもとで、 $z_2$  の分散が最大になるように定める。

③ 以下同様にして、第  $k$  主成分の係数  $\{l_{ki}\}$  ( $i=1, 2, \dots, p$ ) は  $z_k$  が  $z_1, z_2, \dots, z_{k-1}$  と無相関になるという条件のもとで、 $z_k$  の分散が最大となるよう定める。

主成分  $z_k$  はもとの特性値間の相関係数行列又は分散・共分散行列を用いて数学的に計算されるがこの手順は割愛する。

本調査では、各測定局の風を特性値(変数)とみなすことにより、先に求めた各測定局間の風のベクトル相関行列を用いて主成分分析を行った。その結果を表  $N-1-6$  及び表  $N-1-7$  に示す。

表  $N-1-6$  は固有ベクトル(係数  $l_{ki}$ ) と固有値を示したものである。固有値  $\lambda_k$  は主成分  $z_k$  の分散を表わしており、総分散(この場合  $p=7$  であるので7となる)に対する割合を寄与率と呼ぶ。第1主成分  $z_1$  の寄与率は  $\lambda_1/7=6.151/7=0.88$  となり、もとの特性値の持っていた情報量の88%が第1主成分  $z_k$  に要約されていることになる。

第2主成分  $z_2$  の寄与率は  $0.381/7=0.05$  となる。第1主成分と第2主成分を合計した寄与率を第2主成分までの累積寄与率と呼び、この場合0.93となり、第2主成分までもとの情報量の93%を要約していることになる。

因子負荷量  $r(z_k, x_i)$  は主成分  $z_k$  ともとの特性値  $x_i$  の相関係数を表わしており、 $r(z_k, x_i) = \sqrt{\lambda_k} l_{ki}$  の関係がある。図  $N-1-11$  は、各測定局の風の第1主成分と第2主成分に対する因子負荷量をプロットしたものである。第1主成分の因子負荷量は各測定局によらず、0.89~0.98の高い値を示しており、第1主成分は全体(7測定局)の風の場のようなものを表わしているように考えられる。一方、第2主成分の因子負荷量は、MP1~MP5で正、MP6、MP7で負の値をとっており、第2主成分は全体の風からの偏りのようなものを表わしているものと考えられる。これより、各測定局はMP1~MP5とMP6、MP7の二つのグループに分類できる。

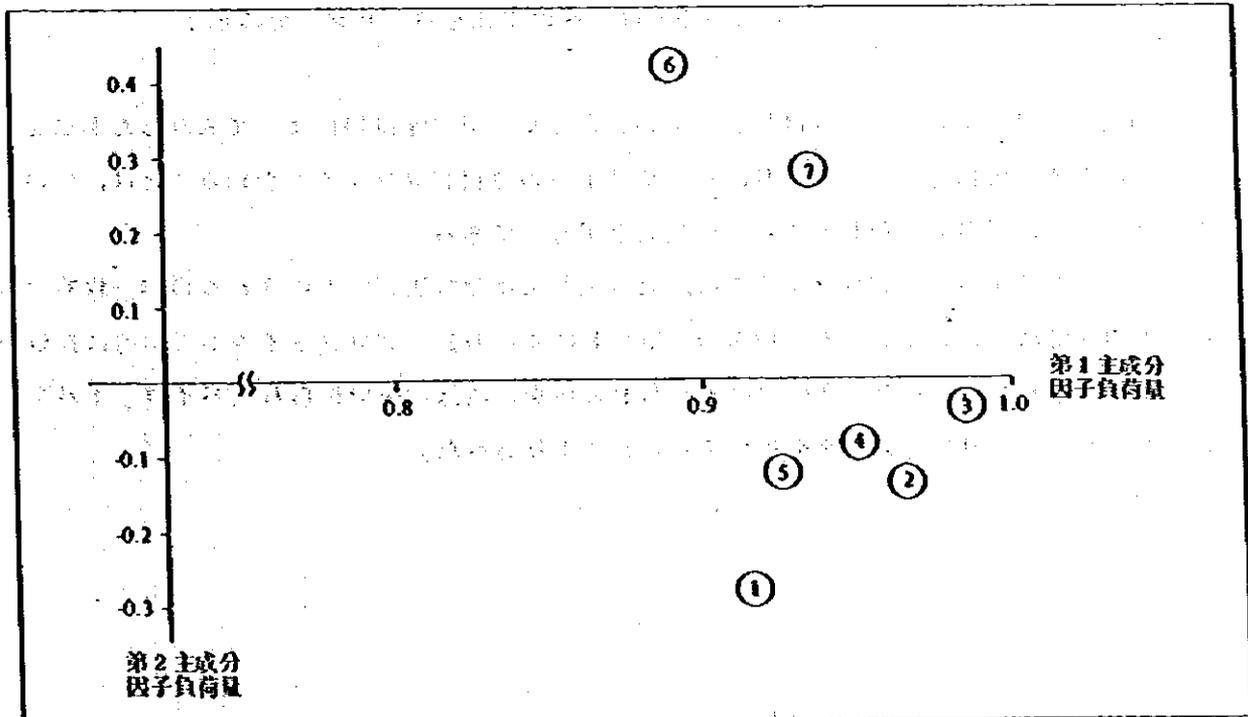
この主成分分析による結果はクラスター分析による結果と一致している。

表N-1-6 固有ベクトルと固有値

主成分	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
(1) N.U.S.	0.14857	-0.74192	0.11381	2.14434
(2) J.T.C. HALL	0.15671	-0.36463	-0.73734	-0.37820
(3) S.I.U.	0.15941	-0.10827	-0.06866	-0.57795
(4) BOON LAY APARTMENT	0.15427	-0.22775	-1.29710	-0.94691
(5) BUKIT TIMAH FIRE ST.	0.15031	-0.34519	1.83157	-1.04569
(6) CHANGE AIRPORT	0.14493	1.10303	-0.05241	0.38824
(7) BEDOK POLICE STATION	0.15212	0.73486	0.27594	0.52469
Eigen value ( $\lambda_k$ )	6.151	0.381	0.176	0.133

表N-1-7 因子負荷量

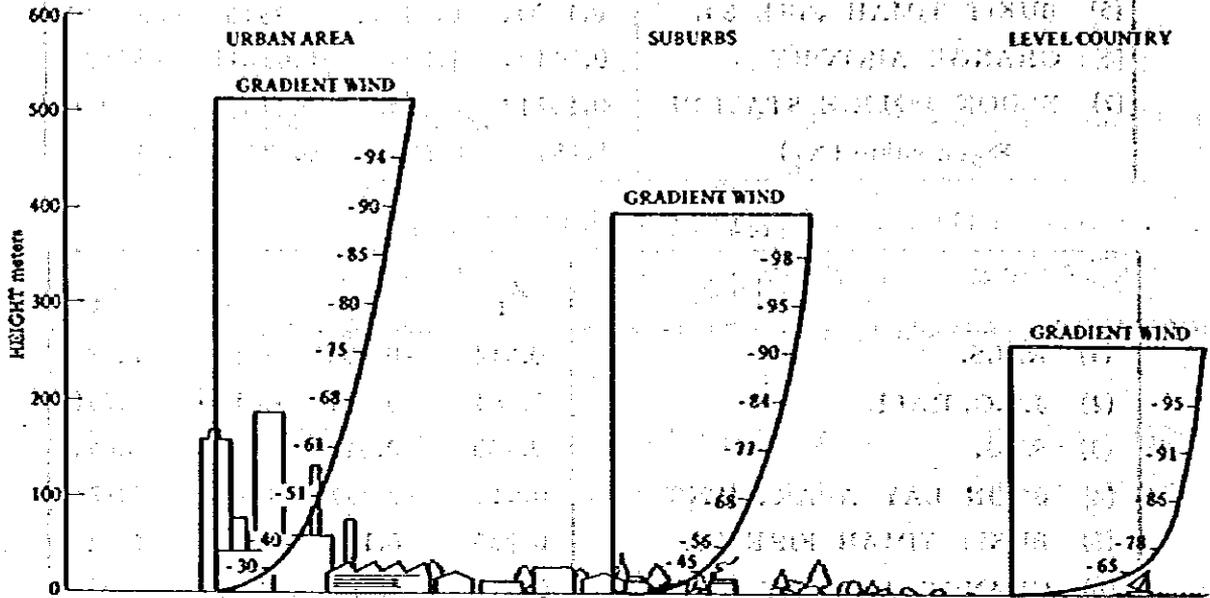
主成分	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
(1) N.U.S.	0.914	-0.283	0.020	0.286
(2) J.T.C. HALL	0.964	-0.139	-0.130	-0.050
(3) S.I.U.	0.980	-0.041	-0.012	-0.077
(4) BOON LAY APARTMENT	0.949	-0.087	-0.228	-0.126
(5) BUKIT TIMAH FIRE ST.	0.925	-0.132	0.323	-0.140
(6) CHANGE AIRPORT	0.891	0.421	-0.009	0.052
(7) BEDOK POLICE STATION	0.936	0.280	0.049	0.070



図N-1-11 各測定局の第1主成分と第2主成分の因子負荷量の関係

1-6 パイロットバルーンによる上空の風

図N-1-12にみられるように、大気境界層では、風は地面粗度と大気流体の粘性抵抗のため下層ほど風速は小さくなっている。



図N-1-12 地面粗度の異なる場合の風速の鉛直方向の変化  
(図中の値は風速の変化をパーセントで標示)

この風速の鉛直プロファイルは地面粗度の大きさや大気安定度等によって異なった形状をもつことになる。大気汚染予測に当り、対象地域上空の鉛直プロファイルを知ることは、煙の移流・拡散がこの層内で行われることから重大な関心事である。

このような風速の鉛直プロファイルは、対数法則又は指数法則で表現されるのが一般的である。本調査では、シンガポール共和国の上空における風の鉛直プロファイルが近似的に指数法則で表現できるものとした場合における指数Pの値を、現地調査で得られたパイロットバルーンによる風向風速の測定データを解析することにより調べた。

使用したデータは100m, 200m及び300mの高度における各時刻の風速の測定データであり、Pの値は(N-1-4)式より最小二乗法により求めた。

$$U = U_s (Z/Z_s)^P \quad \dots\dots\dots (N-1-4)$$

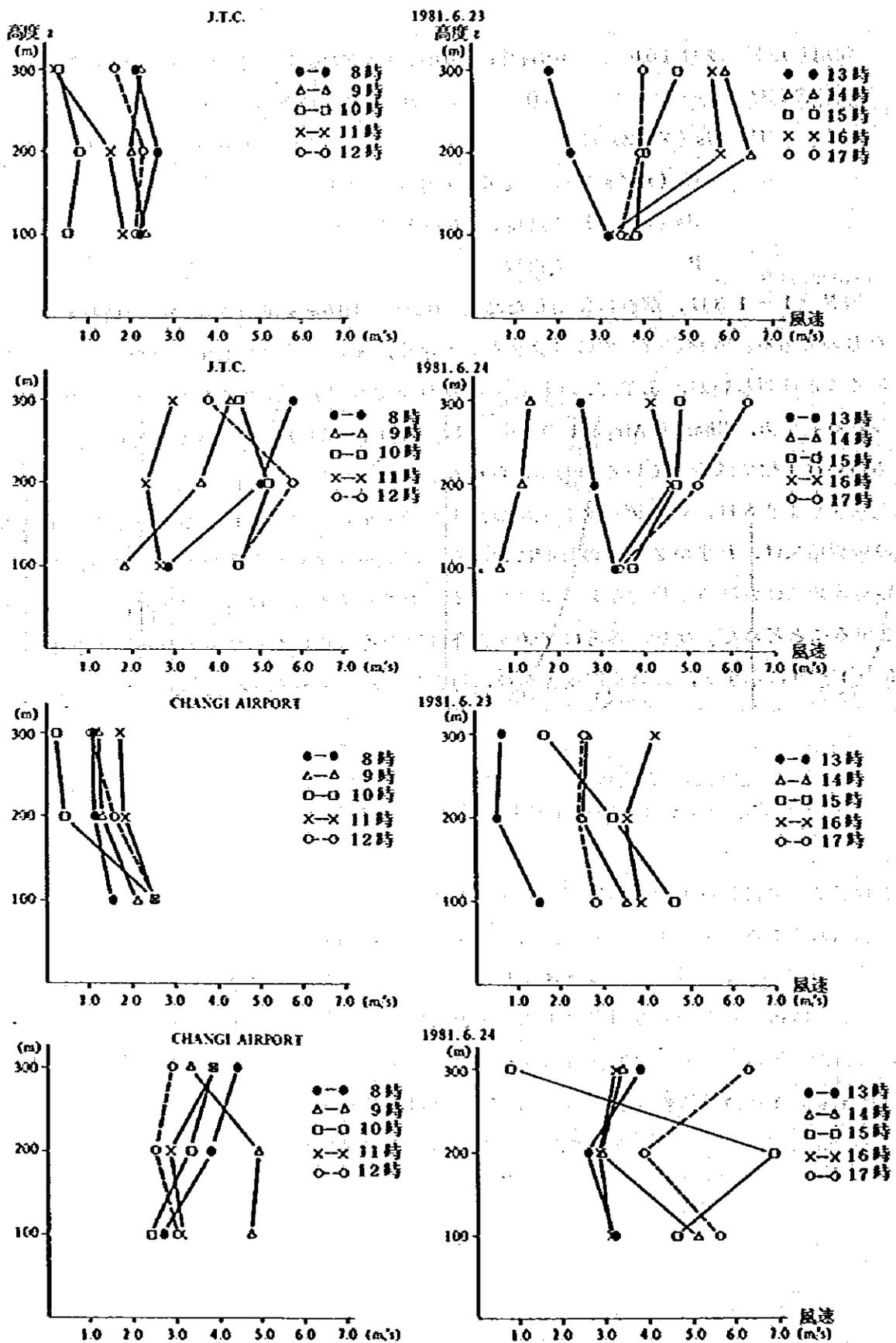
U (m/s) : 高度Z (m)での風速

U<sub>s</sub> (m/s) : 高度Z<sub>s</sub> (m)での風速

P : 指数

図N-1-13は、解析に使用した高度100m~300mまでの風速の測定結果をプロットしたものである。各測定時刻でのバラツキが大きく、またデータ数も少ないため一般的傾向を定めることは難しいが、J.T.C.の上空では概ね高度が増すにつれて風速も大きくなる傾向がみられる。一方、Changi Airportの上空では、100m~300mにおいて風速は一定しているか、あるいは上空で減少している傾向がみられる。

表N-1-8は、このデータを使用し、上記の方法により求めた指数(P)の値である。この解析結果は、わずか2日間の昼間における測定データより得られたものであり、この結果から対象地域における平均的な鉛直プロファイルを推察することは困難であり、一つの参考資料とするにとどめた。なお、参考にアメリカ合衆国の各地点において調べた指数(P)の値を表N-1-9に示すが、大気安定度A~Gに対応し概ね0.1~0.5程度の値となっている。



図N-1-13 高度100mから300mの風速

表N-1-8 パイロットバルーンの高さより求めたベキ係数(P)

CHANGI AIRPORT

時	1981.6.23		1981.6.24	
	P (Z=100-200)	P (Z=100-300)	P (Z=100-200)	P (Z=100-300)
8	-0.367	-0.242	0.502	0.463
9	-0.681	-0.493	0.062	-0.282
10	-2.574	-2.494	0.434	0.405
11	-0.435	-0.367	-0.147	0.172
12	-0.623	-0.855	-0.255	-0.043
13	-1.657	-0.919	-0.295	0.105
14	-0.514	-0.313	-0.835	-0.419
15	-0.548	-0.931	0.574	-1.320
16	-0.142	0.064	-0.146	-0.001
17	-0.246	-0.145	-0.522	0.038
平均	-0.779	-0.670	-0.063	-0.088

J.T.C.

時	1981.6.23		1981.6.24	
	P (Z=100-200)	P (Z=100-300)	P (Z=100-200)	P (Z=100-300)
8	0.249	-0.020	0.820	0.668
9	-0.219	-0.078	0.988	0.810
10	0.803	-0.240	0.212	0.021
11	-0.306	-1.708	-0.154	0.084
12	0.152	-0.199	0.360	-0.101
13	-0.476	-0.529	-0.249	-0.253
14	0.864	0.498	0.957	0.090
15	0.060	0.181	0.331	0.248
16	0.859	0.542	0.471	0.231
17	0.140	0.126	0.603	0.575
平均	0.213	-0.143	0.434	0.307

表 N-1-9 各地で年平均ペースで得られた安定度階級と P の関係 (Touma)

安定度階級	ミズーリ <sup>a</sup> (Missouri) 1973-74	ミズーリ <sup>a</sup> (Missouri) 1974-75	カンザス <sup>a</sup> (Kansas) 1973-74	カンザス <sup>a</sup> (Kansas) 1974-75	アイオワ <sup>a</sup> (Iowa) 1973-74	テキサス <sup>a</sup> (Texas) 1973-74	テキサス <sup>a</sup> (Texas) 1975-76	ミズーリ <sup>b</sup> (Missouri) 1973-74
A	0.103	0.099	0.124	0.091	0.104	0.120	0.109	0.111
B	0.079	0.092	0.145	0.103	0.101	0.123	0.085	0.119
C	0.082	0.080	0.152	0.122	0.114	0.128	0.078	0.104
D	0.115	0.144 <sup>c</sup>	0.199	0.172	0.188	0.174	0.116	0.136
E	0.271	0.273	0.341	0.282	0.313	0.330	0.261	0.272
F	0.423	0.385	0.480	0.412	0.466	0.562	0.425	0.424
G	0.504	0.417	0.506	0.452	0.444	0.624	0.516	0.447
Terrain	Rolling	Rolling	Rolling	Rolling	Rolling	Rolling	Hilly	Rolling

- a 地上10mから60mまでのATKに基づいた安定度階級
- b 地上10mから90mまでのATKに基づいた安定度階級
- c  $1/7 = 0.143$

1-7 日射量及び放射収支量

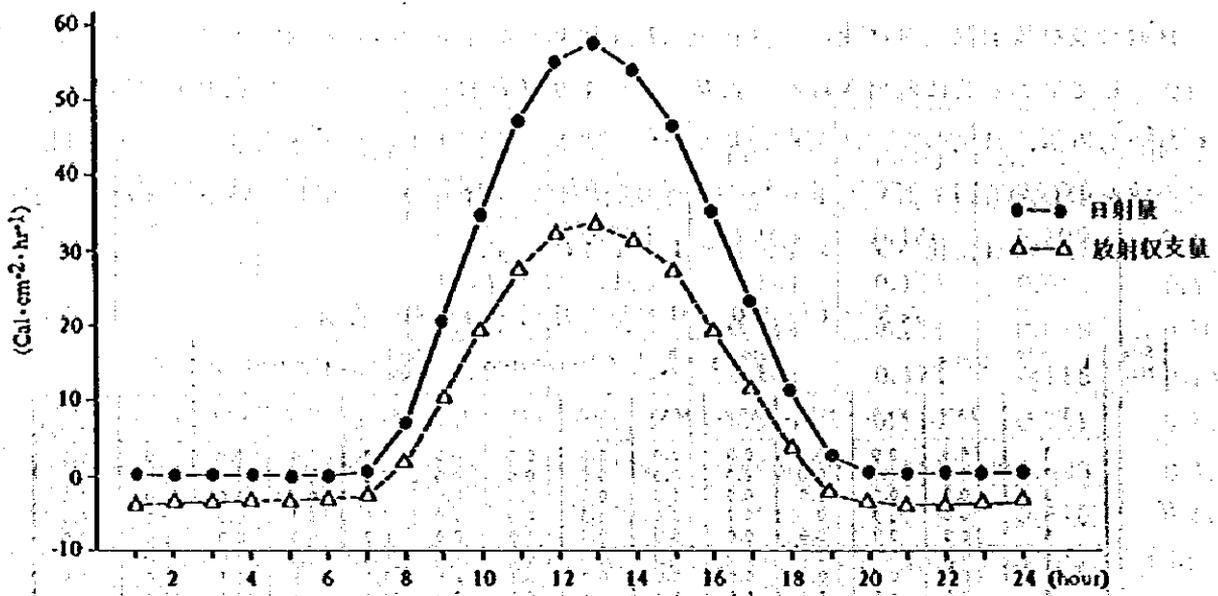
日射量及び放射収支量は後に述べる予測シミュレーションで必要となる大気安定度の分類の指標として風速と共に利用される。表N-1-10は日射量の月別・時刻別の平均値を示したものであるが、月別の変化は余り大きくない。表N-1-11は放射収支量の月別・時刻別の平均値を示したものであるが19時~7時の間においては負の値を示している。また、日射量と放射収支量の日変化パターンを図N-1-14に示す。

表N-1-10 日射量の月別・時刻別平均値

Site No.	1	Site name	N.U.S.	Rem No.	Rem name	Solar radiation												Yardstick	KCAL/CM2/H
						JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.		
	Time																		
	1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	2		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	4		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	6		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	7		0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.3	1.5	1.3	1.6	0.6				
	8		2.0	2.1	5.2	5.5	3.8	3.4	5.1	9.9	11.4	15.1	10.1	11.7	7.1				
	9		13.7	16.1	19.5	20.1	17.5	15.4	17.2	25.1	23.4	29.2	22.2	27.0	20.5				
	10		28.6	36.0	33.7	35.5	29.1	30.8	30.3	39.0	36.1	45.9	37.0	37.1	34.8				
	11		41.8	52.6	46.5	46.5	40.8	41.8	45.2	51.4	47.0	53.9	45.0	50.5	47.2				
	12		52.3	61.3	53.4	51.1	47.6	50.4	55.5	68.8	55.4	62.2	53.2	47.6	55.0				
	13		53.7	65.8	54.6	50.7	53.0	58.9	60.9	72.4	61.4	59.7	50.5	47.1	57.5				
	14		52.5	62.5	54.2	46.6	54.5	61.9	59.3	61.8	54.4	52.7	48.3	37.9	54.0				
	15		46.7	55.0	45.1	36.2	45.6	55.8	49.8	54.6	46.9	41.4	42.2	33.1	45.4				
	16		34.8	42.4	33.9	25.9	34.0	45.7	41.0	44.7	33.8	30.1	32.8	23.3	35.2				
	17		22.5	33.3	23.5	18.9	23.5	30.4	27.5	29.9	18.7	17.2	19.8	15.2	23.4				
	18		12.3	18.4	13.1	9.1	12.8	17.6	13.4	12.2	6.4	7.1	7.0	6.5	11.4				
	19		3.2	5.4	3.2	2.0	3.4	5.5	3.1	1.0	0.2	0.1	0.1	0.0	2.3				
	20		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
	21		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
	22		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
	23		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
	24		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
	Daily average		15.2	18.7	16.0	14.5	15.1	17.4	17.0	19.7	16.5	17.0	15.6	14.2	16.4				

表N-1-11 放射収支量の月別・時刻別平均値

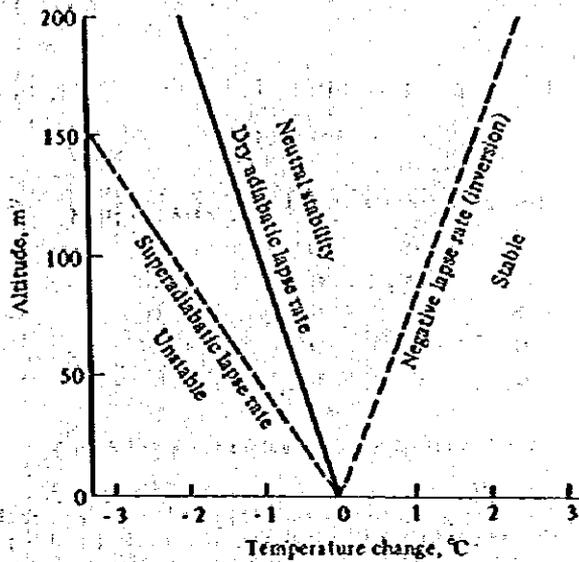
Site No.	1	Site name	N.U.S.	Rem No.	Rem name	Net radiation flux												Yardstick	KCAL/CM2/H
						JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY.	JUN.	JUL.	AUG.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.		
	Time																		
	1		-4.6	-4.8	-3.6	-3.1	-3.2	-3.8	-4.0	-4.6	-3.6	-3.3	-3.2	-3.3	-3.8				
	2		-4.5	-4.8	-3.6	-3.1	-3.2	-3.7	-3.9	-4.3	-3.4	-3.1	-3.2	-3.4	-3.7				
	3		-4.4	-4.8	-3.5	-3.0	-3.0	-3.6	-3.9	-4.0	-3.3	-3.1	-3.2	-3.3	-3.6				
	4		-4.4	-4.7	-3.4	-2.7	-2.8	-3.3	-3.8	-3.7	-3.0	-2.7	-3.1	-3.2	-3.4				
	5		-4.2	-4.5	-3.2	-2.5	-2.8	-3.0	-3.8	-3.5	-2.7	-2.6	-2.9	-3.3	-3.3				
	6		-4.1	-4.4	-3.1	-2.3	-2.7	-2.9	-3.5	-3.4	-2.6	-2.6	-2.9	-3.4	-3.2				
	7		-4.1	-4.1	-3.0	-2.1	-2.6	-2.8	-3.2	-2.3	-1.2	-1.3	-1.8	-2.1	-2.5				
	8		-2.3	-2.4	0.3	1.7	0.2	-0.2	0.4	3.4	5.0	7.0	6.5	4.6	1.9				
	9		5.1	6.6	9.1	10.2	8.4	7.2	8.5	12.9	13.5	15.7	12.8	14.6	10.4				
	10		15.0	19.8	18.7	19.9	16.1	17.0	17.2	21.7	22.2	26.4	22.2	20.6	19.7				
	11		23.5	30.7	27.4	27.1	24.2	24.0	26.7	30.0	28.4	32.0	29.3	29.2	27.7				
	12		30.0	35.9	31.6	30.0	28.7	29.5	32.7	33.9	32.9	35.8	32.5	29.7	32.5				
	13		31.4	39.0	32.4	29.7	32.0	34.8	35.8	42.1	35.9	35.3	30.4	27.8	33.8				
	14		30.7	37.2	32.4	27.3	33.1	36.6	34.7	35.5	31.7	30.0	27.7	22.2	31.6				
	15		27.1	32.5	27.1	20.7	28.2	31.2	29.1	30.4	26.7	23.9	22.9	18.3	26.7				
	16		19.4	24.8	19.0	14.2	19.4	26.5	23.5	23.5	18.2	16.0	16.7	12.2	19.4				
	17		11.9	18.7	12.7	9.4	12.6	17.1	14.7	14.2	8.5	8.1	8.8	6.2	11.9				
	18		5.2	9.0	5.6	3.4	5.2	6.8	4.5	2.7	0.3	0.3	0.9	0.2	3.7				
	19		-1.0	0.1	-1.0	-1.5	-1.4	-0.6	-1.9	-4.1	-3.8	-3.6	-3.5	-3.1	-2.1				
	20		-3.7	-4.1	-3.3	-3.2	-3.7	-4.0	-4.2	-5.0	-3.9	-3.7	-3.6	-3.4	-3.8				
	21		-4.3	-4.6	-3.8	-3.3	-3.6	-4.2	-4.2	-4.9	-4.0	-3.9	-3.6	-3.5	-4.0				
	22		-4.4	-4.8	-3.8	-3.4	-3.6	-4.1	-4.2	-4.8	-3.9	-3.7	-3.3	-3.5	-4.0				
	23		-4.4	-5.0	-3.8	-3.3	-3.5	-4.0	-4.0	-4.8	-3.9	-3.7	-3.3	-3.5	-3.9				
	24		-4.4	-5.0	-3.7	-3.1	-3.5	-4.0	-4.0	-4.8	-3.7	-3.6	-3.1	-3.4	-3.8				
	Daily average		6.0	8.1	7.1	6.5	6.9	8.0	7.5	8.4	7.5	7.3	7.0	5.9	7.2				



図N-1-14 日射量、放射収支量の時刻別変化

### 1-8 大気安定度

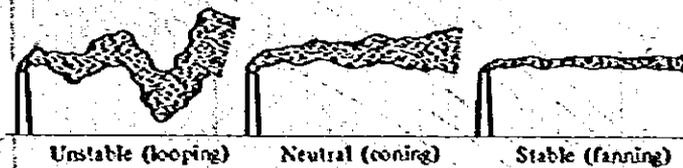
大気安定度は大気の安定性を示す指標であり、鉛直温度分布との関係は図N-1-15に示すとおりである。



図N-1-15 大気安定度と温度こう配

不安定状態では、乾燥断熱減率 ( $0.98^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ) よりも上層で気温が低くなっており、上層と下層の空気の密度差によって対流が生じ大気の乱れは大きくなる。一方、安定状態では上層ほど温度は高くなっており、乱れは抑制される形となる。

この各大気安定度に対応する煙の拡散状況の特徴は図N-1-16に示されるとおりであり、大気安定度は煙の拡散幅を与える指標ともなっている。



図N-1-16 典型的な煙の形と対応する大気安定度 (Church 1949 and Slade 1968).

このような大気安定度を分類する方法として、気温の鉛直分布の測定データによる方法や風の乱れの測定データによる方法もあるが、長期間に亘ってこれらの測定データを得ることは困難であることから、地上における風速と日射量及び雲量から簡易的に大気安定度を分類するPasquillによる安定度分類が多く利用されている。その分類方法は表N-1-12に示すとおりである。

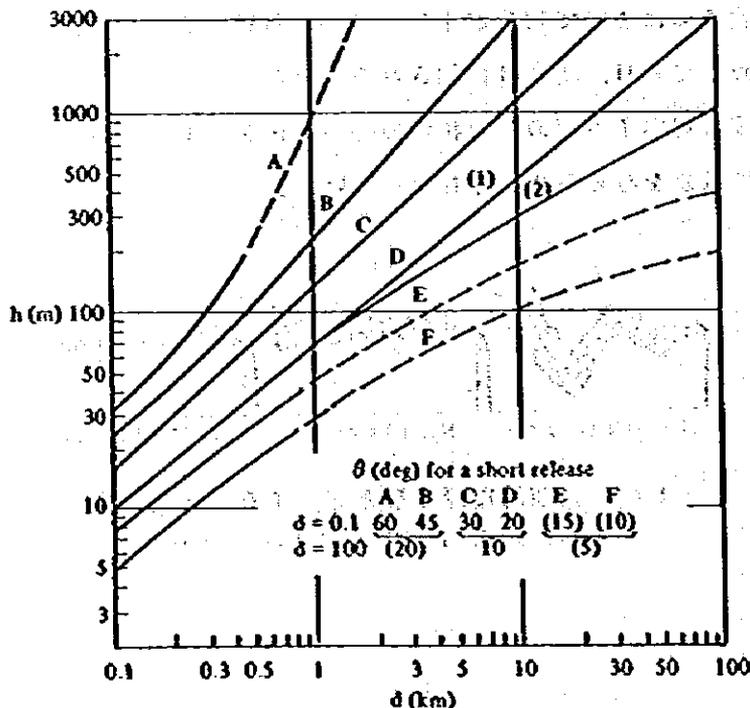
表N-1-12 Pasquillによる大気安定度分類方法

Surface wind speed (m/sec)	Key to stability categories				
	Insolation			Night	
	Strong	Moderate	Slight	Thinly overcast or $\geq 4/8$ low cloud	$\leq 3/8$ cloud
< 2	A	A-B	B		-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

(for A-B take average of values for A and B etc.)

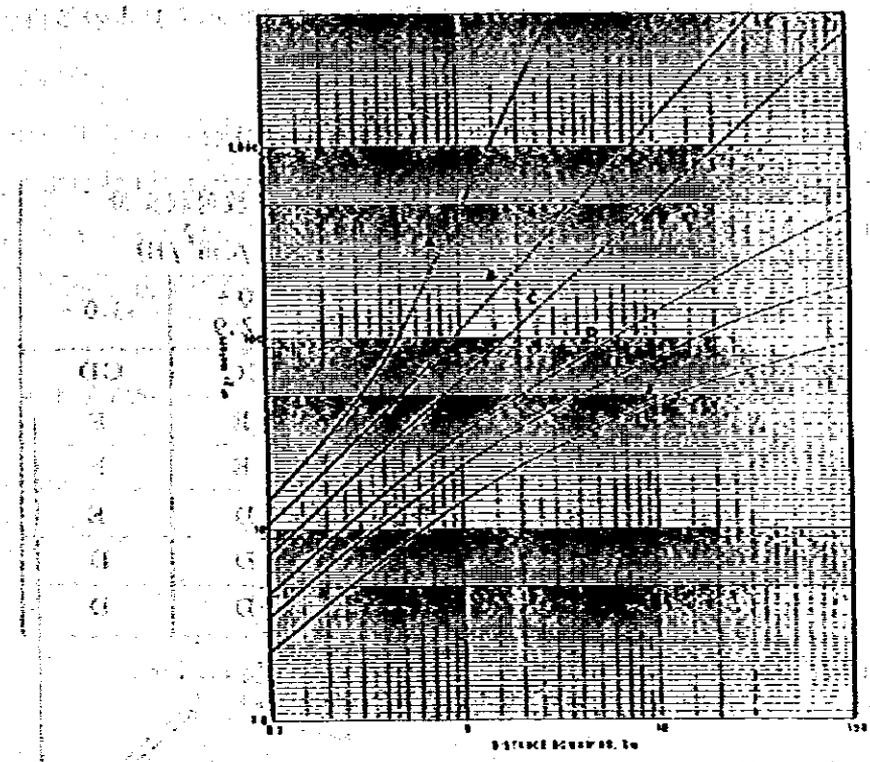
Strong insolation corresponds to sunny midday in midsummer in England, slight insolation to similar conditions in midwinter. Night refers to the period from 1 hr before sunset to 1 hr after dawn. The neutral category D should also be used, regardless of wind speed, for overcast conditions during day or night, and for any sky conditions during the hour preceding or following night as defined above. The D (1) curve should be followed to the top of the dry-adiabatic layer; thereafter, in sub-adiabatic condition, D (2) or a curve parallel to D (2) should be followed. (Pasquill 1961, from the Meteorological Magazine, February 1961, H.M.S.O. Crown Copyright Reserved)

また、各大気安定度に対応する煙の拡散係数は図N-1-17に示すように設定されている。

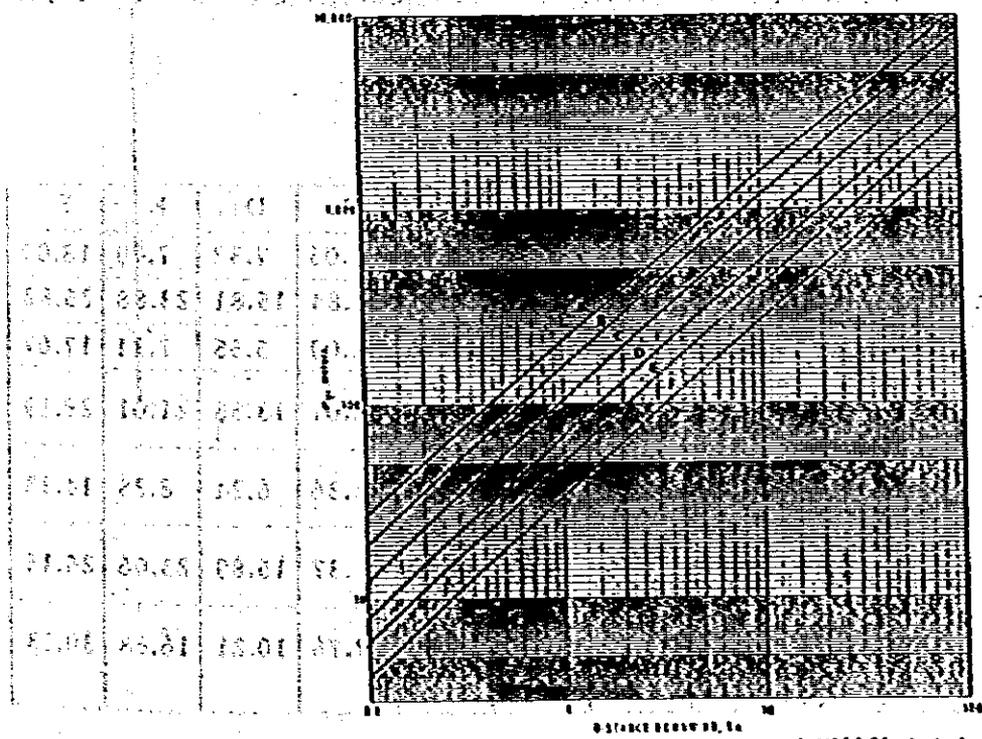


図N-1-17 パスキルによる開けた場所における煙の鉛直方向拡がり ( $h \approx 2.15 \sigma_z$ ) 並びに水平方向拡がり ( $\theta \approx 4.3 \sigma_y / X$ )

この図N-1-17は後にGiffordによって煙の広がりの標準偏差(拡散幅)として整理されており、一般的には図N-1-18(1)~(2)に示すTurnerのワークブックに記載されているものが多く利用されている。



図N-1-18(1) 発生源からの風下距離の関数としての鉛直拡散パラメータ(Pasquill-Gifford)



図N-1-18(2) 発生源からの風下距離の関数としての水平拡散パラメータ(Pasquill-Gifford)

Pasquill の安定度分類 (表 N-1-12) では、夜間においては雲量を指標としているが、毎時の雲量の測定には、人手の点から困難性があること及び精度上の問題点があることから、雲量に換えて放射収支量を利用する方法が考えられている。本調査では、Pasquill の安定度分類を基本とし、雲量の換りに放射収支量を利用する表 N-1-13 に示す日本の通商産業省による大気安定度分類を使用した。

表 N-1-13 通商産業省による大気安定度分類

地上風速 (m/s)	日 射 量 (cal/cm <sup>2</sup> /H)				放射収支量 (cal/cm <sup>2</sup> /H)	
	-50.0	49.9 - 25.0	24.9 - 13.0	12.9 - 0	0 - -2.9	-3.0 -
0.0 - 0.4	CA	CB	CC	CC	CC	CD
0.5 - 0.9	A	B	B	D	E	F
1.0 - 2.9	B	B	C	D	E	F
3.0 - 4.9	B	C	C	D	D	E
5.0 - 7.9	C	D	D	D	D	D
8.0 -	D	D	D	D	D	D

産業公害総合事前調査における SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> に係る環境濃度予測手法マニュアル  
( (社) 産業公害防止協会, 1982 ) より。

この大気安定度分類により求めた各測定局における大気安定度出現頻度を表 N-1-14 に示す。

表 N-1-14 大気安定度出現頻度

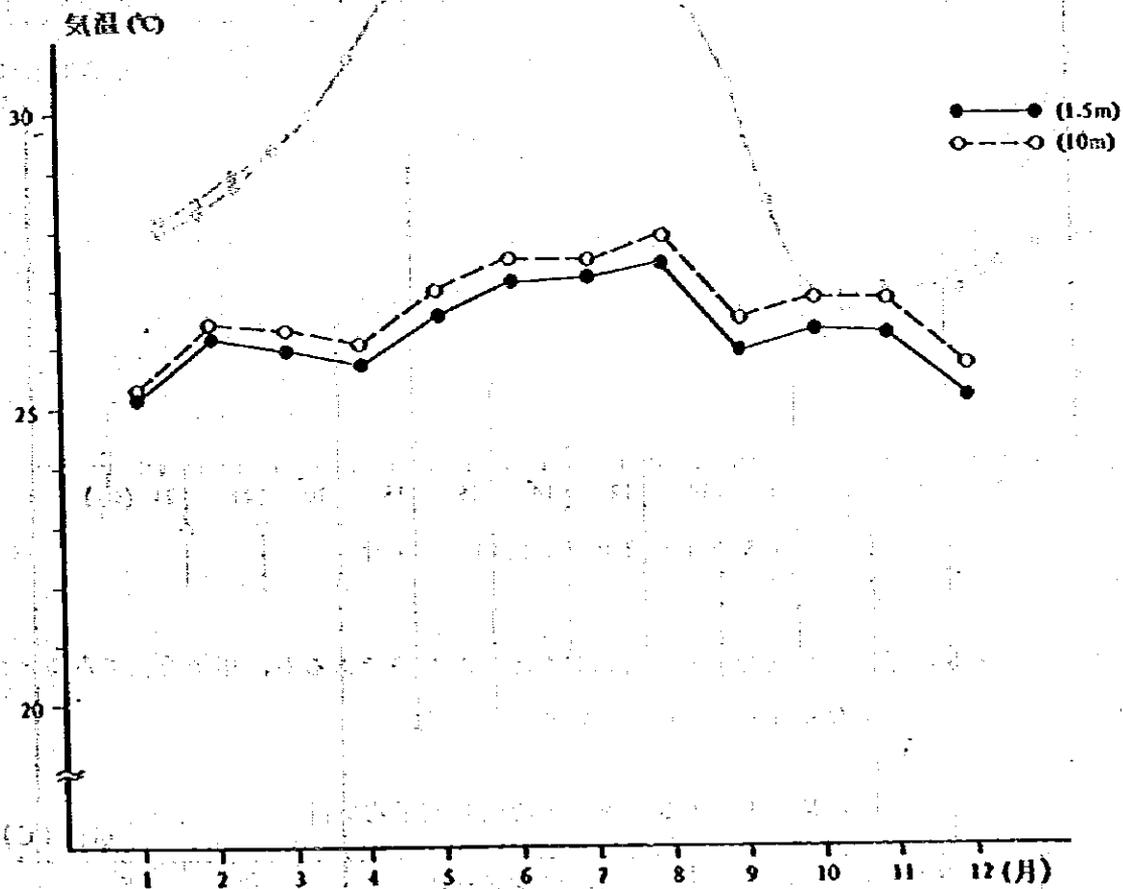
局 名	CA	CB	CC	CD	A	B	C	D	E	F
(1) N.U.S	0.25	0.64	15.61	17.57	3.74	24.94	4.05	7.32	7.79	18.09
(2) J.T.C HALL	0.02	0.20	1.03	0.45	0.82	17.13	14.84	15.81	23.88	25.82
(3) S.I.U	0.99	2.76	18.88	18.46	15.10	11.16	2.09	5.55	7.34	17.67
(4) BOON LAY APARTMENT	0.02	0.17	1.79	1.30	0.98	18.25	14.01	13.58	21.01	28.89
(5) BUKIT TIMAH FIRE ST.	0.97	1.74	17.09	21.12	11.56	16.26	2.36	6.24	8.28	14.38
(6) CHANGI AIRPORT	0.01	0.10	2.28	1.77	0.87	16.50	14.37	15.89	23.06	25.15
(7) BEDOK POLICE STATION	0.06	0.24	3.91	4.77	2.55	23.69	7.76	10.21	16.68	30.13

## 1.2.9 気温

先に述べたように、気温の鉛直分布は大気安定度に関係し、煙の拡散状況と密接に関連している。本調査では先に求めた大気安定度を補足する意味から、MP1の高度1.5 m、10 m、40 mの点において測定された気温データを用いて地表付近の気温の鉛直分布を解析することとしていた。

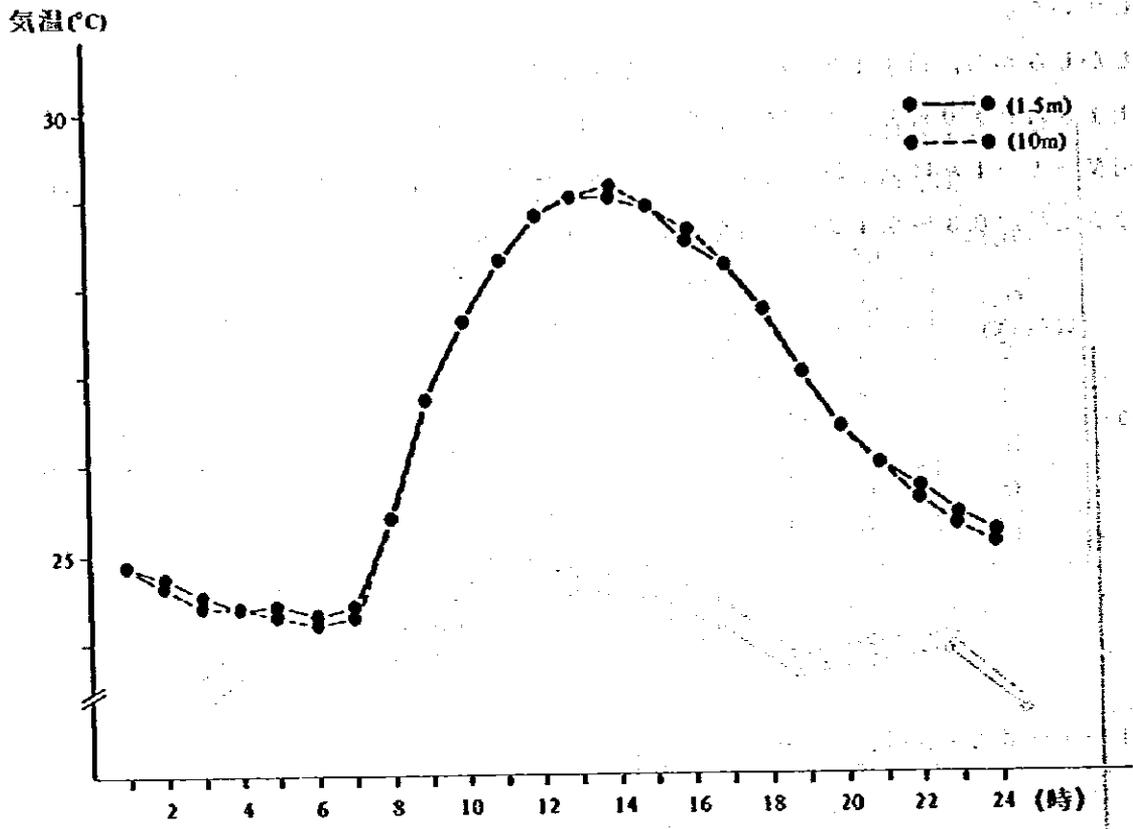
しかしながら、地上40 mの点における測定データが入手できなかったことから、ここでは地上1.5 mと10 mの点における測定データについて解析した。

図N-1-19は気温の月別変化を示したものであるが、各月とも1.5 mより10 mの点における気温が0.3～0.4℃程度高くなっている。



図N-1-19 気温の月別変化

図N-1-20は気温の時刻別変化を表わしたものである。日中においては1.5mと10m地点の気温の差はみられないが、夜間においては、1.5mより10m地点の気温が0.5~0.6℃程度高くなっている。これは、夜間における地面からの放射によるものと考えられる。



図N-1-20 気温の時刻変化

表N-1-15は季節・時間帯別の平均気温を示したものであるが、年平均値で見ると地上10mの気温が1.5mより0.3℃高くなっている。

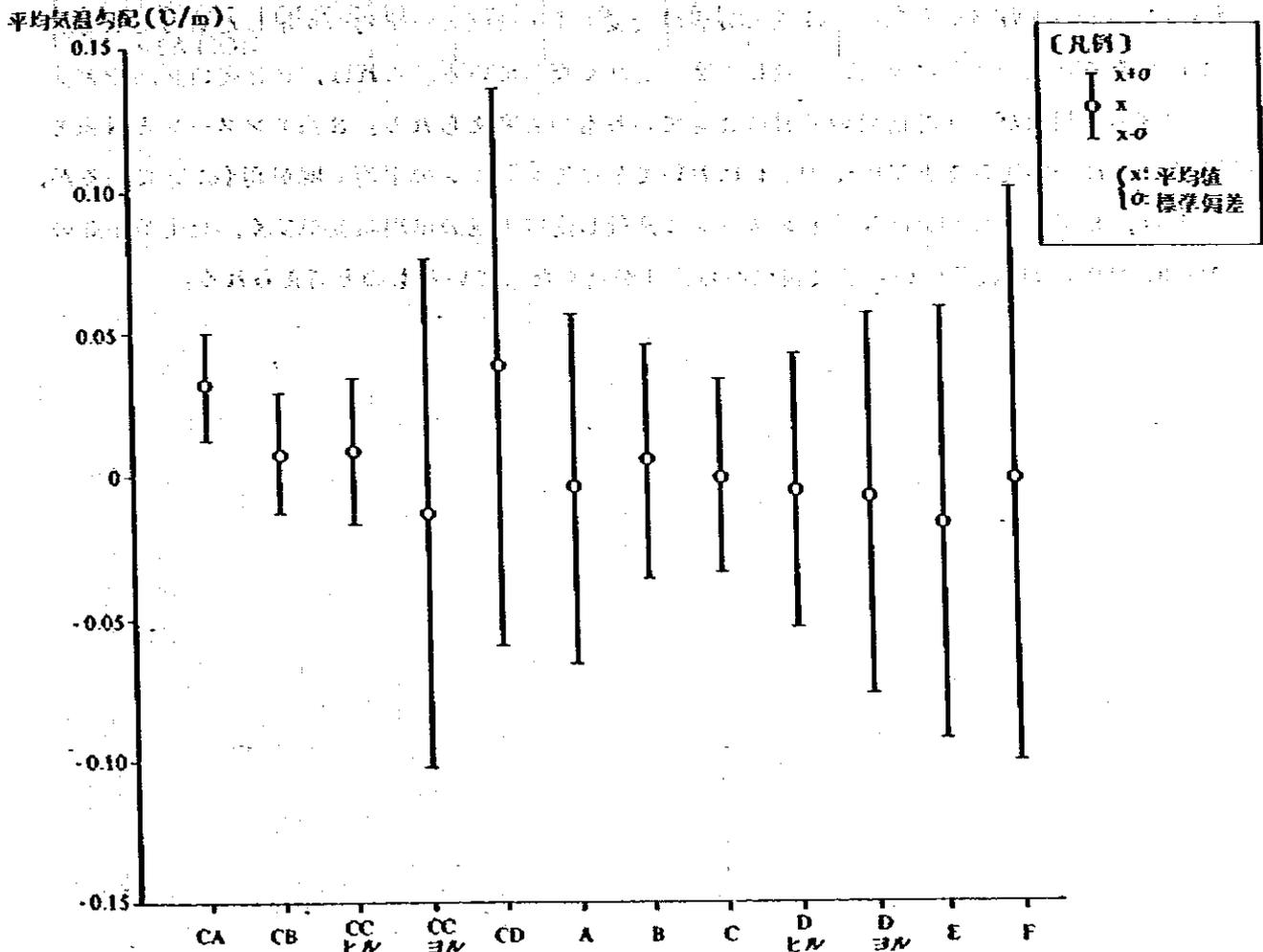
表N-1-15 季節・時間帯別平均気温 単位(℃)

測定点	S系モンスーン			N系モンスーン			年間		
	昼	夜	通日	昼	夜	通日	昼	夜	通日
地上1.5m	28.3	25.5	26.8	27.5	24.7	26.0	28.0	25.2	26.5
地上10m	28.4	25.6	26.9	27.5	24.4	25.8	28.0	25.1	26.4

表N-1-16は、有風時 ( $U \geq 0.5 \text{ m/s}$ ) 及び無風時 ( $U \leq 0.4 \text{ m/s}$ ) における放射収支量ランク別の気温差 ( $T_{1.5\text{m}} - T_{1.0\text{m}}$ ) を示したものである。また、図N-1-21は大気安定度別の気温差 ( $T_{1.5\text{m}} - T_{1.0\text{m}}$ ) を示したものである。これをみると大気安定度が安定になるほど気温差が大きくなっており、湿位傾度と大気安定度の対応が良くとれていることがわかる。

表N-1-16 放射収支量ランク別の地上1.0mと1.5mの平均気温差

放射収支量ランク	有風時 ( $U \geq 0.5 \text{ m/s}$ )			無風時 ( $U \leq 0.4 \text{ m/s}$ )		
	時間数	平均気温差 (°C)	標準偏差 (°C)	時間数	平均気温差 (°C)	標準偏差 (°C)
3.0以下	2850	0.68	0.39	37	0.85	0.28
2.9以上7.9以下	2585	0.45	0.36	67	0.47	0.33
8.0以上	2682	-0.01	0.32	35	0.20	0.19



図N-1-21 大気安定度別の地上1.0mと1.5mの平均気温差