

オキシダントの高濃度汚染予測に関する研究(第二報)

パイボールデータの推移について

山本 務* 三好 健治 中林 正一

はじめに

オキシダント(以下 O_x)の高濃度出現の当日予測を実施するために必要なデータを得るため、午前9時頃パイボールによる上空気象観測を行っているが、必ずしも同時にパイボールを飛揚できるものではないので、予測の信頼性を確認するため、今回はパイボールの飛揚時刻を多少ずらせデータの推移を調査したところ若干の知見が得られたので報告する。

調査方法

1. 調査期間

昭和53年8月~9月中の11日間

2. 調査地点

香川県坂出保健所

3. 使用機器

玉屋製測風経緯儀: 1台

パイボール: 自重20g(ヘリウムガス使用)

4. 観測方法

あらかじめ2個のパイボールを40秒間で100m上昇するように調整しておき、午前8時50分頃に最初のパイボールPを飛揚、1,500mまで観測後、直ちに次のパイボールQを飛揚観測する。

調査結果および考察

(本文に用いた記号は別表のとおりである)

11日間のパイボールの観測結果は表1に示した。

これに基づいて、パイボールP、Qの日別比較と高度別比較を中心とした検討を行った。

1. 日別比較

日別比較は表2に示した。

1) 風速の鉛直プロファイル

P、Qの観測結果の風速の鉛直プロファイルを、山本らの報告¹⁾に基づいて図1に示した5つの型に分類した。この結果、表2に示すようにI型が2日、II型が1日、III型が0日、IV型が1日、V型が7日となり、同一日でのP、Qはすべて同じ型に一致することがわかった。

2) 平均風速とその差

P、Qの平均風速とその差は図2に示した。

この図からわかるように、一般に平均風速が小さくなれば \bar{P} 、 \bar{Q} の差は大きくなるが、最大でも0.4m/sであり、その差が小さいことから午前9時頃に観測したパイボールの高度100m~1,500mまでの平均風速は差異のないことが確認された。

3) 平均風速と風向のずれ

P、Qの平均風速と風向のずれは図3、図4に示した。図3によれば、平均風速が3m/s以下であれば高度1,500mまでのうち半数以上の高度で異風向となっており、図4では平均風速が大きくなるに従って方位のずれは急速に減少し、3m/s以上になるとあまり変化していないことがわかった。すなわち、風速が強ければ風向のみだれは小さく、逆に弱ければみだれが大きくなり、風が局地的な影響を受けやすいことを表している。本県の場合、一般場の風が弱ければ午前8時から9時頃にかけて夜半から吹いていた陸風が弱まり海風が侵入し始める頃²⁾であることも大きな要因であろう。一例として昭和53年8月26日におけるP、Qの航跡図を図5に示しておく(この日の O_x 最高濃度は0.093ppmであった)。

以上から、平均風速が弱い場合、最多風向を O_x の予測に使用することは無理があると思われる。

なお、この風向については後述の高度別比較の項で改めて検討する。



香川県の地図

* 香川県公害課

2. 高度別比較

高度別比較は表 3 に示した。

今回のパイボール観測は一点観測法であるので、パイボールの浮力を正確に調整しても気圧、気温、水平・垂直方向の風等により、必ずしも 100m/40s の上昇率は期待できない。従って、各パイボール間の高度のずれを緩和するため移動平均的な方法を用いて検討した(ただし、

別表 パイボールに使用した記号

| | |
|-----------|--|
| P | 先に飛揚観測したパイボール |
| \bar{P} | P の高度 100m ~ 1,500m までの平均風速 |
| Ph | P の高度 h × 100m (h = 1 ~ 15) における風向, 又は, 風速のデータ |
| Q | 10分後に飛揚観測したパイボール |
| \bar{Q} | Q の高度 100m ~ 1,500m までの平均風速 |
| qh | Q の高度 h × 100m (h = 1 ~ 15) における風向, 又は, 風速のデータ |
| 風向 | 16方位とする |

注) 風速については、0.4m/s 以下であれば一般にカームとして処理されるが、今回はすべて実風速として処理した。

最初から ph, qh を補正するのではなく、補正しないままで計算し、得られた結果について補正した)。すなわち、風速については次のように表される。この補正を仮に 3 項移動平均風速と呼ぶ。

$$V_{mh} = \frac{V_{h-1} + V_h + V_{h+1}}{3}$$

$$V_h = \frac{1}{11} \sum_{n=1}^{11} |p_{hn} - q_{hn}|$$

V_{mh} : 高度 h × 100m (h = 1 ~ 15) における風速の差の平均の 3 項移動平均風速

V_h : 高度 h × 100m (h = 1 ~ 15) における風速の差の平均

ただし、高度 100m と 1,500m についての V_{mh} は、それぞれ

$$\frac{V_1 + V_2}{2}, \quad \frac{V_{14} + V_{15}}{2} \quad \text{で表す。}$$

風速の他に、風向(方位)、標準偏差についても同様に処理した。

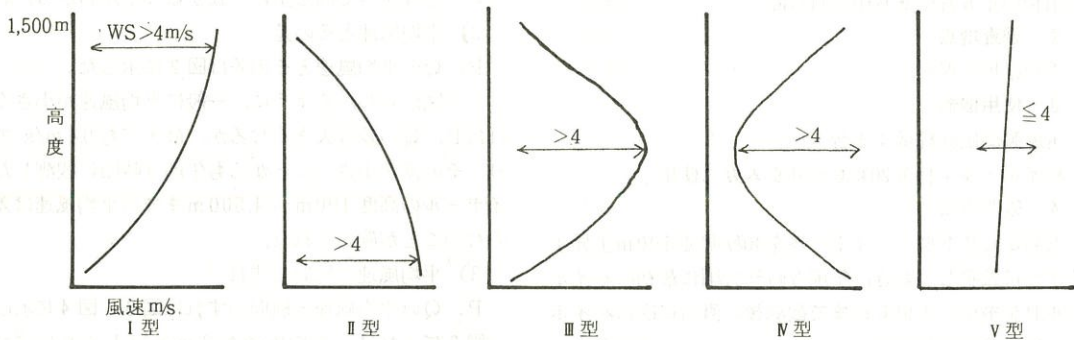


図 1. パターン分類

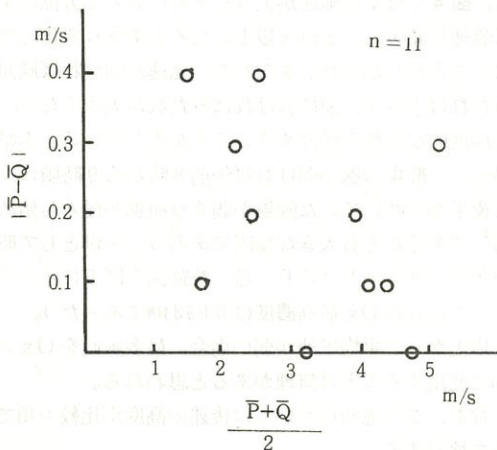


図 2. P, Q の平均風速とその差

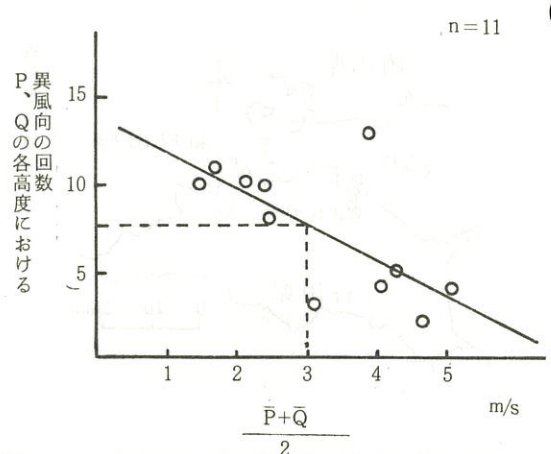


図 3. P, Q の平均風速と異風向の回数

1) 風速

各高度毎の風速の差, 又はそのばらつきについては図6に示した。

これによれば, 3項移動平均風速については下層では約0.8m/s, 上層では約0.5m/sとなり, 3項移動標準偏差についても同様な傾向であった。従って, 高度1,000m以上のデータの差異については問題がなく, 高度900m以下のデータについてはその差が0.6~0.8m/s, 標

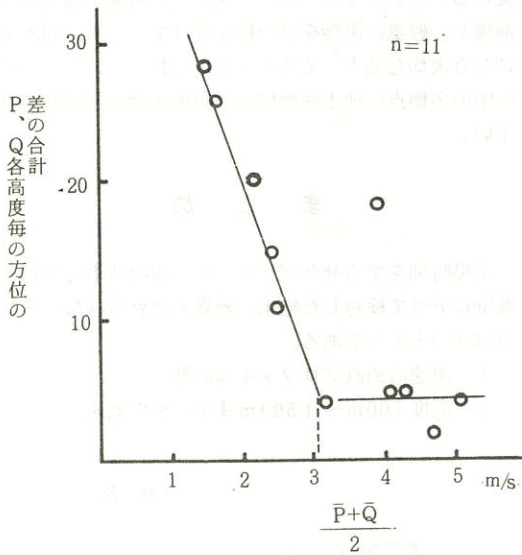


図4. P, Qの平均風速と方位の差の合計

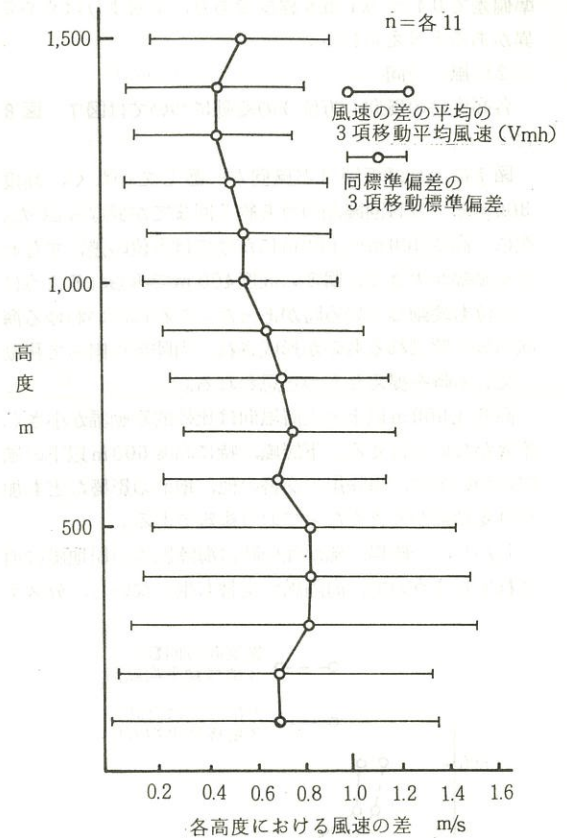


図6. 風速の高度別比較

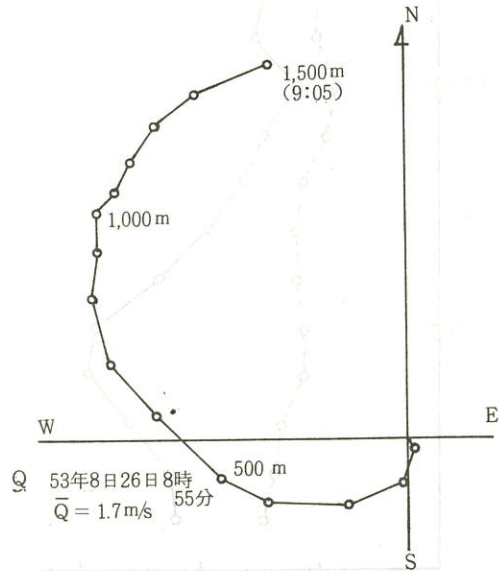
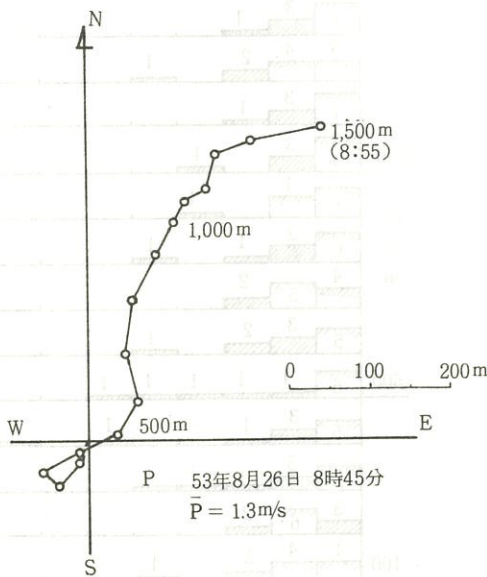


図5. 同一日におけるパイボールの航跡図

準偏差で 0.4 ~ 0.7 m/s 程度であり、上層よりはやや差異があると考えられる。

2) 風 向

各高度毎の風向(方位)の変動については図7, 図8に示した。

図7によれば下層ほど風向が一致していなく、高度300mまでは11回観測のうち約7回までが異なっていた。次に、高度300m~600mにかけては方位の差、すなわち変動幅が大きく、図8の高度400mでみられるように7方位も変動している時があった。これは、いわゆる海風前線と呼ばれるものが形成され、内陸部へ向って移動している時を捉えたものと思われる。

高度1,000m以上の上層風向は比較的変動幅が小さく、差異がないと言える。下層風、特に高度600m以下の風向については、海陸風の交替の他、地形の影響なども加わり変動幅が大きくなっており複雑である。

しかし、一般場の風が強い時は海陸風等の局地風は消されてしまうので、海陸風の交替も生じないし、分スケ

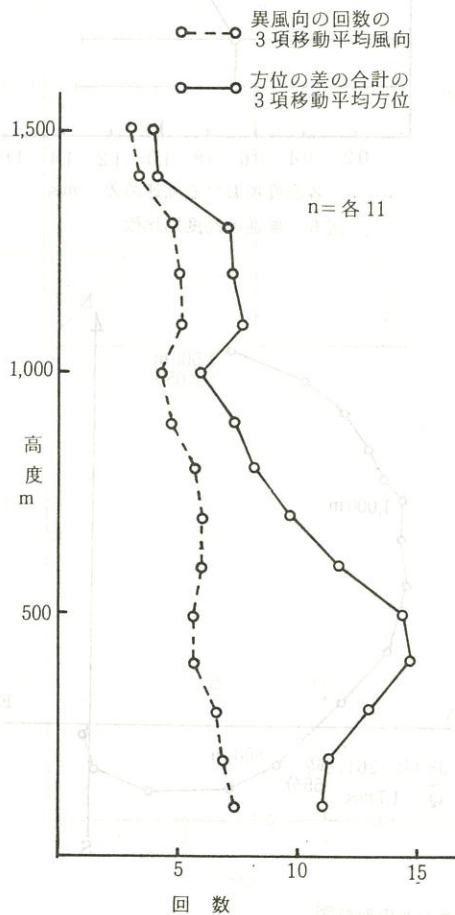


図7. 風向の高度別比較

ールでの各高度における風向風速の変動も少なく、高度1,500mまでの全層にわたって卓越風が観測されるような日の最多風向は差異はない。

今回の調査においても、11日中4日間が海陸風の交替が無い日であった(表2参照)。

本県の場合、気圧傾度が弱く、⁴⁾ 午前中が晴れていれば夏期には必ずといってよいほど海陸風の交替がみられ、午前9時すぎまでにはほとんどの地上観測局でその変化を捉えることができる。ただ、交替後の海風の侵入角度は、海風が一般風の影響をどの程度受けているかの判断基準になり大切な要素⁵⁾であるので、これについては午前10時頃の多地点の地上観測局の風向風速計から判断すればよい。

ま と め

飛揚時刻をずらせたパイボールの観測結果を日別と高度別に分けて検討した結果、差異の認められなかった項目は次のとおりである。

1. 風速の鉛直プロファイルの型
2. 高度100m~1,500mまでの平均風速

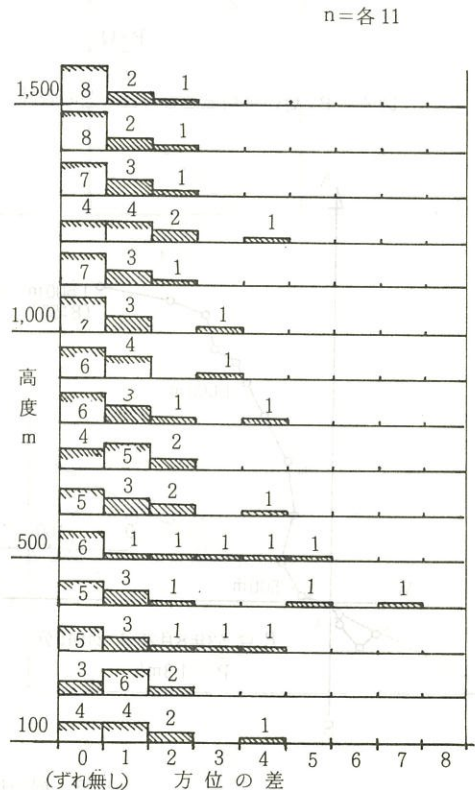


図8. P, Q各高度における方位の差の出現頻度

3. 海陸風の交替がみられず、平均風速が3 m/s以上の時の最多風向

4. 3項移動平均による各高度の風速

5. 高度1,000 m以上の風向

以上の結果から、データ数は少なかったが飛揚時刻を多少前後させても1~5の項目のデータを用いることにより、Ox予測に問題のないことが確認された。

なお、これらの項目がOx高濃度を示す時間帯にかけてどう変化していくかは大変興味深いところであるので、次回はパイボール結果の時間スケールでの変化について報告する予定である。

謝 辞

本調査を行うにあたり、パイボール観測に協力いただいた坂出保健所検査室の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山本務・他：オキシダントの高濃度汚染予測に関する研究(第1報)，香川公研報，3，P 57，1978.
- 2) 森征洋：香川・徳島における海陸風の統計的性質について，日本気象学会関西支部例会講演要旨集，13，P 14，1979.
- 3) 太田久雄・他：風の鉛直観測に用いられるパイロットバルーンの一点観測法と2点観測法の比較調査，千葉公研報，8，P 65，1977.
- 4) (財)日本気象協会，大気汚染気象予報指針，P 2-27，1976.
- 5) 佐橋謙：岡山周辺の海陸風について，天気，25，P 357，1978.

表 1. P, Q のパイボール観測結果

単位: m/s

| 年月日 | 53. 8. 22 | | | | 53. 8. 25 | | | | 53. 8. 26 | | | | 53. 8. 28 | | | |
|-------|-----------|-----|--------|-----|-----------|-----|--------|-----|-----------|-----|--------|-----|-----------|-----|--------|-----|
| 時分 | P 8:45 | | Q 8:55 | | P 8:50 | | Q 9:00 | | P 8:45 | | Q 8:55 | | P 8:45 | | Q 8:55 | |
| 高度m | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS |
| 100 | W | 5.5 | WNW | 3.3 | ENE | 1.7 | ENE | 1.8 | NNE | 0.6 | NNW | 0.5 | SSE | 0.9 | ENE | 1.6 |
| 200 | " | 3.5 | WSW | 1.5 | " | 2.6 | E | 2.5 | NE | 0.9 | NNE | 1.3 | SE | 0.4 | E | 0.8 |
| 300 | WSW | 2.8 | " | 2.8 | " | 3.1 | " | 2.5 | SSE | 0.3 | ENE | 2.0 | " | 0.4 | SSW | 0.4 |
| 400 | " | 4.5 | " | 2.0 | " | 4.2 | ESE | 2.1 | WSW | 1.0 | E | 2.6 | SSE | 1.2 | W | 0.4 |
| 500 | " | 4.7 | " | 4.0 | E | 3.9 | E | 1.8 | " | 1.3 | SE | 2.2 | SE | 1.7 | SW | 0.8 |
| 600 | " | 3.9 | " | 3.8 | " | 3.6 | " | 2.1 | SW | 1.3 | " | 2.4 | " | 1.6 | SSE | 2.4 |
| 700 | " | 3.8 | W | 4.3 | " | 3.2 | " | 3.8 | SSE | 1.8 | " | 2.5 | ESE | 1.6 | " | 3.0 |
| 800 | W | 3.9 | " | 5.3 | " | 4.6 | ESE | 3.9 | SSW | 1.8 | SSE | 2.2 | E | 1.6 | ESE | 2.5 |
| 900 | " | 5.4 | " | 6.3 | " | 4.1 | " | 4.5 | " | 1.8 | SSW | 1.5 | " | 1.6 | E | 2.0 |
| 1,000 | " | 7.0 | " | 6.5 | ESE | 3.3 | " | 3.9 | " | 1.0 | S | 1.5 | " | 1.8 | " | 1.6 |
| 1,100 | " | 7.1 | " | 6.8 | SE | 2.3 | SE | 2.8 | " | 0.7 | SSW | 1.0 | ESE | 2.1 | " | 1.2 |
| 1,200 | " | 7.1 | " | 6.8 | " | 1.1 | ESE | 1.3 | SW | 0.7 | " | 1.0 | SE | 2.1 | " | 1.6 |
| 1,300 | " | 6.4 | " | 6.8 | ESE | 0.8 | " | 0.8 | SSW | 1.2 | " | 1.4 | " | 2.1 | ESE | 2.1 |
| 1,400 | WNW | 6.3 | " | 6.8 | NNE | 0.5 | ENE | 0.8 | WSW | 1.6 | WSW | 2.0 | " | 2.6 | SE | 2.3 |
| 1,500 | " | 6.3 | WNW | 6.0 | " | 1.5 | " | 0.4 | W | 2.8 | " | 2.9 | " | 2.5 | " | 2.5 |

| 年月日 | 53. 9. 7 | | | | 53. 9. 8 | | | | 53. 9. 9 | | | | 53. 9. 12 | | | |
|-------|----------|-----|--------|-----|----------|-----|--------|-----|----------|-----|--------|-----|-----------|-----|--------|-----|
| 時分 | P 8:55 | | Q 9:05 | | P 8:55 | | Q 9:05 | | P 8:55 | | Q 9:05 | | P 9:00 | | Q 9:10 | |
| 高度m | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS |
| 100 | E | 2.9 | ENE | 2.2 | E | 3.2 | ENE | 2.2 | E | 2.0 | E | 2.7 | NE | 3.2 | ENE | 2.1 |
| 200 | " | 4.1 | NE | 2.3 | " | 2.4 | " | 2.3 | " | 2.1 | " | 1.0 | " | 3.3 | NE | 2.6 |
| 300 | " | 4.4 | ENE | 3.0 | " | 2.0 | E | 2.6 | SE | 1.3 | " | 2.7 | " | 4.1 | " | 3.1 |
| 400 | " | 4.5 | " | 3.6 | ESE | 2.1 | SE | 1.5 | SSE | 1.8 | SSE | 1.0 | " | 4.1 | " | 3.1 |
| 500 | ESE | 3.7 | NE | 3.7 | SE | 1.6 | S | 1.4 | S | 3.0 | S | 2.0 | " | 3.0 | ENE | 4.0 |
| 600 | " | 3.4 | ENE | 4.0 | " | 2.0 | " | 1.2 | " | 3.5 | " | 3.3 | ENE | 3.5 | E | 4.4 |
| 700 | " | 3.0 | " | 3.8 | SSE | 1.7 | SSE | 0.9 | " | 3.1 | " | 3.5 | " | 3.1 | " | 4.3 |
| 800 | E | 3.5 | " | 5.2 | " | 1.1 | WSW | 1.6 | " | 2.1 | " | 3.1 | E | 3.6 | " | 4.5 |
| 900 | " | 4.3 | " | 6.2 | SW | 1.9 | WNW | 1.2 | SW | 3.3 | SW | 2.8 | " | 4.8 | " | 5.0 |
| 1,000 | ENE | 5.0 | NE | 5.4 | WSW | 2.1 | NW | 1.5 | WSW | 4.5 | WSW | 3.6 | " | 4.9 | " | 5.9 |
| 1,100 | NE | 4.6 | ENE | 3.4 | WNW | 1.8 | WNW | 2.2 | W | 5.3 | " | 5.0 | ENE | 5.5 | ENE | 5.4 |
| 1,200 | " | 4.2 | " | 3.7 | NW | 2.1 | W | 2.9 | " | 4.6 | " | 4.9 | " | 4.7 | " | 5.7 |
| 1,300 | " | 4.2 | " | 3.9 | WNW | 2.6 | " | 3.6 | WSW | 3.8 | " | 4.3 | " | 5.1 | " | 5.0 |
| 1,400 | " | 4.1 | NE | 3.2 | W | 3.4 | " | 3.0 | " | 3.6 | " | 4.0 | " | 5.4 | " | 4.8 |
| 1,500 | ENE | 4.3 | ENE | 4.2 | " | 4.1 | " | 2.5 | " | 3.6 | " | 4.3 | " | 4.5 | NE | 5.2 |

| 年月日 | 53. 9. 18 | | | | 53. 9. 19 | | | | 53. 9. 25 | | | |
|-------|-----------|-----|--------|-----|-----------|-----|--------|-----|-----------|-----|--------|-----|
| 時分 | P 9:00 | | Q 9:10 | | P 8:55 | | Q 9:05 | | P 9:00 | | Q 9:10 | |
| 高度m | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS | WD | WS |
| 100 | ESE | 6.3 | ESE | 6.3 | NNW | 1.4 | WNW | 1.2 | NE | 1.3 | NE | 2.4 |
| 200 | E | 6.3 | E | 6.1 | WNW | 1.6 | W | 2.1 | ENE | 2.7 | " | 2.8 |
| 300 | " | 5.2 | " | 4.5 | WSW | 1.9 | WSW | 1.7 | E | 2.7 | ENE | 2.8 |
| 400 | ESE | 4.1 | ESE | 3.7 | SSW | 2.0 | SW | 1.7 | " | 2.8 | E | 3.2 |
| 500 | " | 3.2 | " | 2.9 | SW | 2.8 | " | 2.2 | ESE | 3.4 | ESE | 3.5 |
| 600 | E | 3.2 | E | 2.7 | SSW | 3.9 | SSW | 4.0 | E | 4.4 | " | 3.3 |
| 700 | " | 2.0 | ESE | 2.7 | " | 5.9 | " | 5.1 | " | 4.2 | " | 4.0 |
| 800 | ESE | 1.1 | " | 1.4 | " | 6.2 | " | 5.9 | ESE | 3.6 | " | 1.9 |
| 900 | S | 2.1 | SSW | 2.3 | " | 6.6 | " | 6.4 | " | 1.8 | E | 2.1 |
| 1,000 | WSW | 4.0 | WSW | 3.5 | SW | 6.7 | SW | 6.9 | NE | 1.3 | ENE | 1.7 |
| 1,100 | " | 4.6 | " | 5.3 | " | 5.7 | " | 7.2 | NNE | 1.1 | " | 1.0 |
| 1,200 | W | 6.6 | W | 6.9 | " | 4.1 | " | 5.7 | W | 0.5 | S | 0.8 |
| 1,300 | " | 7.6 | " | 7.5 | " | 3.4 | " | 4.4 | WSW | 1.9 | SSW | 1.9 |
| 1,400 | " | 7.6 | " | 7.4 | " | 3.5 | " | 3.9 | W | 2.3 | WSW | 1.6 |
| 1,500 | WSW | 6.6 | WSW | 6.8 | WSW | 4.8 | " | 3.6 | WNW | 3.1 | WNW | 2.2 |

表 2. 日 別 比 較

| 観 測 月 日 | | 8/22 | 8/25 | 8/26 | 8/28 | 9/7 | 9/8 | 9/9 | 9/12 | 9/18 | 9/19 | 9/25 | 図番号 | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Pの平均風速 P m/s | Qの平均風速 Q m/s | 5.2 | 4.9 | 2.7 | 2.3 | 1.3 | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 4.0 | 3.8 | 2.3 | 2.0 | 3.2 | 3.2 | 4.2 | 4.3 | 4.7 | 4.7 | 4.0 | 4.1 | 2.5 | 2.3 | |
| P, Qの平均風速 m/s | | $\frac{P+Q}{2}$ | | 5.1 | 2.5 | 1.5 | 1.7 | 3.9 | 2.2 | 3.2 | 4.3 | 4.7 | 4.1 | 2.4 | | | | | | | | | | |
| P, Qの差 m/s | | P-Q | | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0.2 | 図 2 | | | | | | | | | |
| パターン分類 | | 型 | | I | I | II | II | V | V | V | V | V | V | V | V | V | V | IV | IV | I | I | V | V | 図 1 |
| P, Qの各高度における異風向の回数 (注-1) | | | | 4 | 8 | 10 | 11 | 13 | 10 | 3 | 5 | 2 | 4 | 10 | 図 3 | | | | | | | | | |
| P, Qの各高度毎の方位の差の合計 (注-2) | | | | 4 | 11 | 28 | 26 | 18 | 20 | 4 | 5 | 2 | 5 | 15 | 図 4 | | | | | | | | | |
| 海陸風交替の有無(注-3) | | | | 無 | 無 | 有 | 有 | 有 | 有 | 有 | 有 | 無 | 無 | 有 | 有 | | | | | | | | | |

注-1) 各高度におけるph, qhの方位が一致していれば0, 異なっていれば1とし, その計である。従って, 最高でも15回(1,500m)までである。

注-2) 各高度におけるph, qhの方位の差の合計である。従って, 各高度における方位の差が大きいくほど(風向を16方位に分けているので, 各高度での差は最大で8となる), 合計は大きくなる。

注-3) 午前9時頃までに陸風から海風への交替の有無を, 地上の風向風速計から判断する。

表 3. 高 度 別 比 較

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
|-------|-------------------------------|---------------|------------------------|---------------|----------------------------|---------------------------|------------|------------|
| 高度 m | P, Q各高度毎の風速の差の平均 m/s Vh | ①の標準偏差 m/s | ①の平均風速 Vmh (注-1) | ②の標準偏差 m/s | P, Q各高度における異風向の回数 (注-2) | P, Q各高度毎の方位の差の合計 (注-3) | ⑤の3項移動平均風向 | ⑥の3項移動平均方位 |
| 1,500 | 0.6 | 0.53 | 0.55 | 0.37 | 3 | 4 | 3.0 | 4.0 |
| 1,400 | 0.5 | 0.20 | 0.45 | 0.37 | 3 | 4 | 3.3 | 4.3 |
| 1,300 | 0.3 | 0.37 | 0.45 | 0.33 | 4 | 5 | 4.7 | 7.0 |
| 1,200 | 0.6 | 0.43 | 0.50 | 0.42 | 7 | 12 | 5.0 | 7.3 |
| 1,100 | 0.6 | 0.46 | 0.56 | 0.38 | 4 | 5 | 5.0 | 7.7 |
| 1,000 | 0.5 | 0.25 | 0.56 | 0.40 | 4 | 6 | 4.3 | 6.0 |
| 900 | 0.6 | 0.50 | 0.66 | 0.42 | 5 | 7 | 4.7 | 7.3 |
| 800 | 0.9 | 0.52 | 0.73 | 0.45 | 5 | 9 | 5.7 | 8.3 |
| 700 | 0.7 | 0.34 | 0.77 | 0.44 | 7 | 9 | 6.0 | 9.7 |
| 600 | 0.7 | 0.45 | 0.70 | 0.46 | 6 | 11 | 6.0 | 11.7 |
| 500 | 0.7 | 0.59 | 0.83 | 0.63 | 5 | 15 | 5.7 | 14.3 |
| 400 | 1.1 | 0.84 | 0.83 | 0.68 | 6 | 17 | 5.7 | 14.7 |
| 300 | 0.7 | 0.60 | 0.83 | 0.72 | 6 | 12 | 6.7 | 13.0 |
| 200 | 0.7 | 0.71 | 0.70 | 0.65 | 8 | 10 | 7.0 | 11.3 |
| 100 | 0.7 | 0.64 | 0.70 | 0.68 | 7 | 12 | 7.5 | 11.0 |
| 図番号 | 図 6 | | | | 図 7 (破線部) | | 図 7 (実線部) | |

注-1) 3項移動平均風速等については本文を参照。

注-2) 各高度におけるph, qhの方位が一致していれば0, 異なっていれば1とし, その各日毎の計である。従って, 各高度別の比較であるので, その計は最大でも11回(11日)までである。

注-3) 各高度におけるph, qhの方位の差の合計である。従って, 同一高度における各日のph, qhの方位の差が大であるほど値は大きくなる。