

京都タワーで観測した風の記録について

光 田 寧

SOME RESULTS OF WIND OBSERVATIONS ON THE KYOTO TOWER

by Yasushi MITSUTA

Synopsis

The Kyoto Tower which is about 131m in height stands in the urban area of Kyoto City. Wind observations have been made at the height of 120m near the top and 48m on the roof of the building. The results of the observations from the beginning of January 1965 to the end of October 1965 are analysed and reported in this paper. The results show that the air current over urban area is quite turbulent up to 120m.

1. 緒 言

京都タワーは京都市の中心部にある8階建のビルの上に作られた電波塔で、ビルの地上高は約31m、塔の最頂部の地上高は約131mある。この塔の頂上近くと基部の2ヶ所に気象観測設備が作られ1964年末より観測を開始した。地上100m以上の高さでの常時観測は日本においてもすでに他に数ヶ所で行われているが、それらは全て海岸に近い位置におけるものばかりで、海陸風の影響のおよばない内陸の盆地の中における観測はここが最初である。このような点から気象学的にもあるいは工学的な見地からも興味ある観測結果が得られるものと期待される。本報はここで行われた1965年1月から10月までの10ヶ月の観測の結果をまとめ解析したものである。

2. 観 測 方 法

設置されている測器は気象庁型の風車式風向風速計とサーミスター型の温度計2組で、地上高48および120mの高度に感部を取付け、塔内の1室に記録装置をまとめて置いている。その位置はFig. 1に示してあるとおりで、120mの高度のものは角柱状のFMアンテナ塔部の頂部から1.5mの高さに取付けてある。48mのものは塔から約20m離れた塔屋の上に約5mの柱を立てその上に取付けられている。サーミスター温度計は普通の百葉箱ではなく著者が設計し原子力気象調査会が敦賀において用いたものと同じ円錐型スクリーンの中に納められている。

記録装置はいずれも普通に用いられる形式のもので、風向風速計は紙送り速度15mm/hrで瞬間値の記録しか出来ない。また温度計は紙送り速度25mm/hrのもので5秒毎に2高度を切換えて打点記録する。なおこの温度計は観測期間中に落雷のため故障が生じ、修理前後の検定値に多少疑問点があるので今回の解析にはその記録を利用しなかった。

このビルの周囲は京都駅前ビル街で、周囲にもこれに近いビルが並んでいる。



Fig. 1 General view of the Kyoto.
(by the courtesy of the Kyoto Press)

3. 記録解析の方法

上にも述べたとおり観測に用いている風向風速計では瞬間値の記録しか得られず、しかも記録紙速度が遅いので、これから得られる情報は自ずから限定される。しかし現実にはこの種の測器が今日国内で広く用いられているので、この機会にその解析の方法について考察を行って見ることに意義がある。

風速についてこの測器で直接読取れるものはある時間の間の最大瞬間風速 ($V_{\max}$) と最小瞬間風速 ($V_{\min}$) である。普通に平均風速を定義している10分間ぐらいの間では風の状態は定常であり風速の頻度分布は平均値のまわりに正規分布をなしているものと考えても大過はない。したがって10分間平均風速 (V_{mean}) をその10分間の間に測定された最大値 ($V_{\max}$) と最小値 ($V_{\min}$) の平均値として近似することが出来る。すなわち

$$V_{\text{mean}} = \frac{1}{2} (V_{\max} + V_{\min}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

である。

一般にこのような回転型風速計の動特性は風速によって異なるので最大瞬間風速測定値の風速評価時間は風速によって異なっているが、先きに著者が行った研究の結果¹⁾によればこの型の風車型風速計の示す最大瞬間風速の風速評価時間の相当値は平均風速 20m/sec で約 0.7sec, 30m/sec で約 0.4sec である。

風の乱れの様子を指示するのに乱れの強さを用いることが多いが、この乱れの強さがこれらの記録から推定出来れば便利である。先きに行なったような風の乱れの性質についての仮定を用いれば風速変動の巾を用いてこれを推定することが出来る、ただし風速計の動特性が風速によって異なるということに対する考慮をしなければならない。すなわち風速変動の相対的な巾, G を次のように定義する²⁾と

$$G = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

G の値は風速の平均値のまわりでの分布によって決定され、風速の正規化された標準偏差, (σ_v/V_{mean}) すなわち乱れの強さ I に比例する。

$$G = KI \quad \dots\dots\dots (3)$$

そして、この比例係数, K は Durst³⁾ の考えに従えば正規分布の超加確率が風速評価時間 (S) と風速観測時間 (D) との比に等しくなるような正規変数の値に等しい。

ところで風車の風速変動に対する応答は第1近似として次のような形で示すことが出来⁴⁾る。

$$\dot{\omega} = \frac{K_3}{I_n} V_0 \omega = \frac{K_3}{I_n} V \quad \dots\dots\dots (4)$$

これは普通に用いられる線型一階の応答曲線と同じで時定数は $I_n \omega_0 / K_3 V_0$ となる。ここで K_3 は風車の定数, I_n は慣性能率, V_0 , V および ω_0 , ω は定常状態に達した時と変動時の風速および回転数を示している。この時定数は風速に反比例しているが、その比例係数 ($I_n \omega_0 / K_3$) はこの測器の風速があまり大きくない範囲では6mであることが風洞実験の結果¹⁾によって知られている。

風速変動が sinusoidal なものであるときの周波数応答特性⁴⁾と風速の評価時間を変えた時の power transmission curve⁵⁾を80% transmission の点で一致させるように調整すると、この風速計の風速評価時間の相当値が知られる。このようにして得られた値は時定数の4倍すなわち $24/V_0$ sec となる。すなわち、この測器で定常で sinusoidal な変動を測定した時の風速評価時間は $24/V_0$ sec に相当すると言える。もっともこの値は power transmission の critical point の取り方で多少異なったものとなるが80~50%程度の範囲ではそれほど大きくは変わらない。この評価時間は先きの最大瞬間風速に対するもの¹⁾とは少し異っているが、これは前者の場合に過渡応答を考えた点が異っている。この評価時間と10分間という風速平均時間を用いて先の比例係数, K を先きの Durst の方法で算出したものが Fig. 2 に示されている。なお、この図には風速評価時間も同時に記入してある。

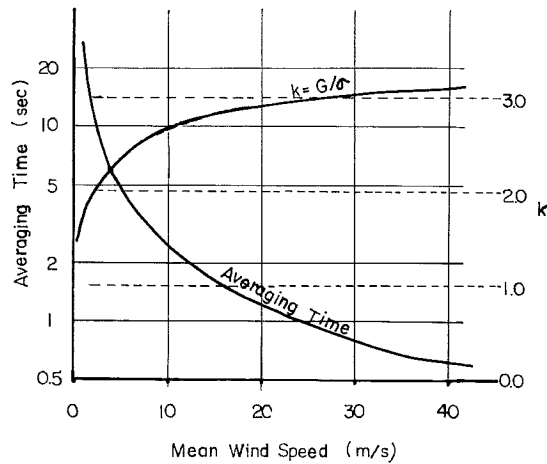


Fig. 2 Averaging time and K of the anemometer.

4. 最大瞬間風速

1965年1月から10月末日までの間に観測された最強の風は9月10日の台風23号の接近によって生じている。この時の記録の写しは Fig. 3 a) および b) に示すとおりである。この時の最大瞬間風速は 120m で

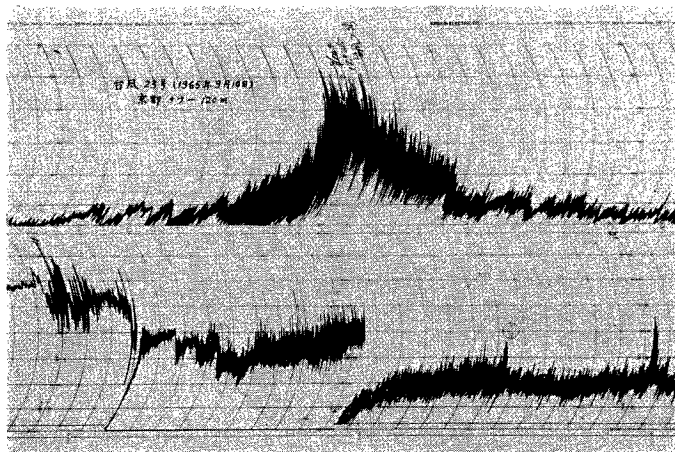


Fig. 3 a) Wind recrd at 120m on Sept. 10, when typhoon 6523 was passing over the Japanese Islands.

52m/sec, 48m で 37m/sec であった。48mでの記録の風向が10時30分以前に大きく変動しているのはこの間に風向は東で、風速計で塔本体の影になる状態になったために生じたものであり、構造物の風下での乱れの増大を示している。このような現象は風向がこの向きになった時にはいつも多少なりとも見られ、48m高度での資料の利用を制限するものである。120m 高度では障害物がないからこのようなことは見られないが、全体として乱れの強さがかなり大きくほぼ 0.2 ぐらいの値になっていることは注意しなければならない。これは市街地で粗度が大きいことが原因している。

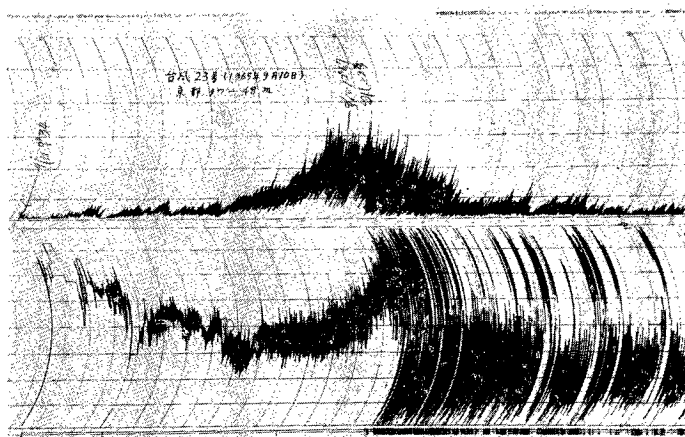


Fig. 3 b) Wind record at 48m on Sept. 10.

各月毎の最大瞬間風速の値を示したものが Fig. 4 であるが、これによれば 120m の高度ではほとんどの月に 30m/sec 程度の強風が生じている。また 48m の高度での値は 120m の値の $\frac{3}{4}$ 程度の値を示し、両者の差はかなり大きい。参考のためにこの図には京都地方気象台 (Kyoto D.M.O.) における観測結果が示してあるが、その値は 48m 高度での値とあまり変らない。このことはビルの屋上での風が気象台の測風塔で測定したものと大差ないことを示しており興味がある。

また、1・2月を冬、3・4・5月を春、6・7・8月を夏、9・10月を秋として季節別の日最大瞬間風速の頻度分布を示したものが Fig. 5 a) b) である。120m の高さでは 20m/sec 以上の風の吹く日は春に最も多く、ほぼ20%もあるが、夏と秋には10%以下になっている。

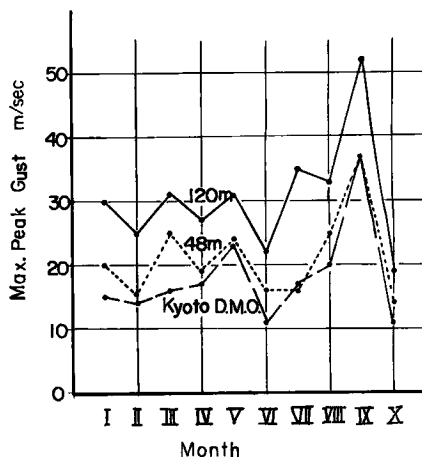


Fig. 4 Monthly extreme of peak gust.

5. 平均風速の日変化

毎日の記録から偶数時毎の正時前10分間の平均風速を先きに行なったような方法によって求め、その平均的な日変化を季節毎に示したものが Fig. 6 である。図からも明らかなように各高度での風の日変化は各季節を通じて同じ形の変化をしてる。48m 高度では季節にかかわらず風が8時過ぎから増大を始め 14乃至16時に極大を示す。日変化の振巾は約 3 m/sec で、この高度では平均風速まで季節による差は少ない。120m の高度でもやはり風は8時過ぎから強くなり、14乃至16時に極大を示す。風速変動の振巾はほぼ 3.5m/sec で 48m よりもむしろ大きくなっている。平均風速は冬、春は夏秋に比べて 1.5m/sec ほど大きい。

2つの高度の変化を比較して見ると、変化の位相にはほとんど差が認められず しかも振巾はむしろ120mの方で大きくなっている。この事実は今日までに発表されている風の日変化の高さによる変り方とは全く逆の傾向を示している。すなわち、他の平らな地面の上で観測された結果によると風の日変化の振巾は地上近くで最も大きく、高さと共に減少し位相も遅れて行き、高さ 100m ぐらいのところでは一度風の日変化は見

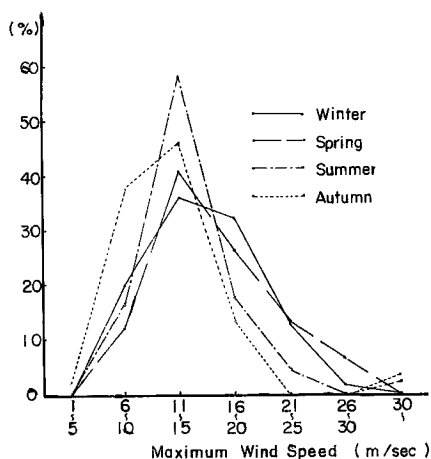


Fig. 5 a) Frequency distribution of daily peak gust at 120m.

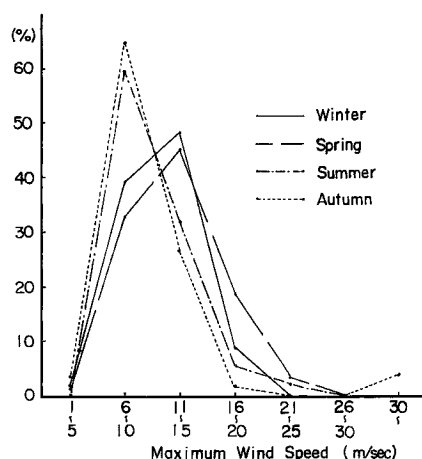


Fig. 5 b) Frequency distribution of daily peak gust at 48m.

かけ上なくなり、それ以上の高度では位相が逆転し、昼間に極小が生じるようになって振巾が再び高さと共に増大して、極大値を示し、再び減少して 1000m ぐらいの高さまで及ぶということが知られている⁶⁾。このような差は地表の粗度の差によるものではないかと思われるが、さらに詳しく調べて見る必要がある問題である。

6. 乱れの強さ

Table. 1 は先きに述べたような方法によって 120m の高度における乱れの強さを計算し、風速階級別に季節、時刻毎に平均した値を示したものである。この表から見ると一般に風が弱い時に大きく、風が強くなると小さくなる。一日の変化を見るとやはり夜間には小さく、昼間には大きくなっている。特に冬と春の未明には特にその値が小さくなっているがこれは安定気層の存在を示すものであろう。風が強くなると時刻による差が小さくなることも当然考えられるとおりである。

7. 風向発現頻度

2 時間毎に読取った風向によって高さ 120m での風向発現頻度を wind rose によって示したものが Fig. 7 である。wind rose は季節別時間別に作られており、円内の数字は静風の頻度をパーセントで示したもので、右下の数字は平均風速を m/sec で示したものである。この図からも明らかなように季節により時刻によ

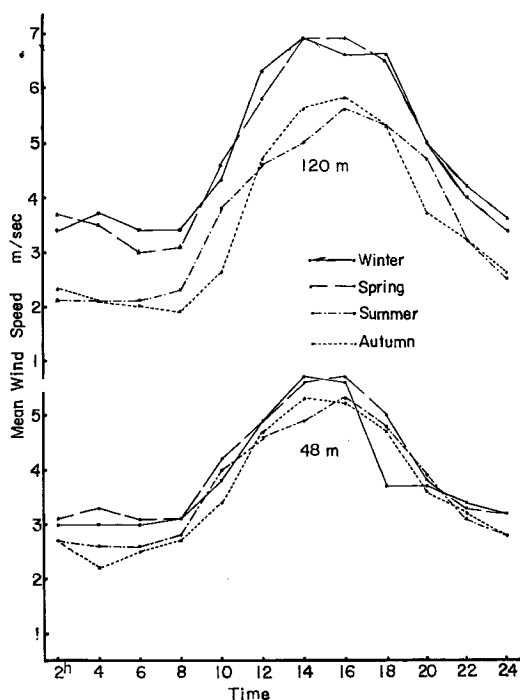


Fig. 6 Daily variation of wind speed.

Table. 1 Intensity of turbulence at 120m.

Wind Speed Range		1	2	3
Mean Wind Speed		2m/s	6m/s	13m/s
Averaging Time		10sec	4sec	2sec
Season	Time			
Winter	2, 4, 6h	0.14	0.18	0.10
	8, 10, 12h	0.22	0.23	0.18
	14, 16, 18h	0.23	0.22	0.15
	20, 22, 24h	0.22	0.18	0.11
Spring	2, 4, 6h	0.11	0.18	0.13
	8, 10, 12h	0.30	0.27	0.20
	14, 16, 18h	0.30	0.26	0.17
	20, 22, 24h	0.31	0.18	0.17
Summer	2, 4, 6h	0.41	0.21	0.18
	8, 10, 12h	0.49	0.33	0.20
	14, 16, 18h	0.49	0.29	0.14
	20, 22, 24h	0.44	0.20	0.09
Autumn	2, 4, 6h	0.44	0.14	0.16
	8, 10, 12h	0.50	0.27	0.19
	14, 16, 18h	0.49	0.23	0.16
	20, 22, 24h	0.41	0.13	0.12

て風向の発現頻度はかなり異っている。概して見れば冬季には西乃至北風が多く夏には南風が多くなっている。時刻別に見ると夜間には北風が多く昼間には相対的に南風が多くなっている。この場所での風向の日変化には海陸風の影響のないことは明らかであるが、盆地であることあるいは大都市の中にあることによる特別な循環の存在も考えられ、平地で観測された従来値とは異っているであろう。また夏と秋の未明に静穏の頻度が高いことも注意せねばならない。

8. 特異な記録

Fig. 8, 9 は各々、7月23日と8月13日の120mでの記録の写しであるが、非常に急激な風速の増大が見られ、ほぼ30分もたたない間におさまっている。いずれも最大瞬間風速は30m/secを越えており、災害の発生の可能性さえ含んでいる。これらの時刻の気象条件を調べて見るといずれも強力な雷雨セルに伴って発生しているらしいことがうかがわれる。注意して風速の変化と風向変化との関係についても調べて見ると風は回転する風系をなしていることが解かる。わずかの期間に二度このような例が見られ、他にもはっきりし

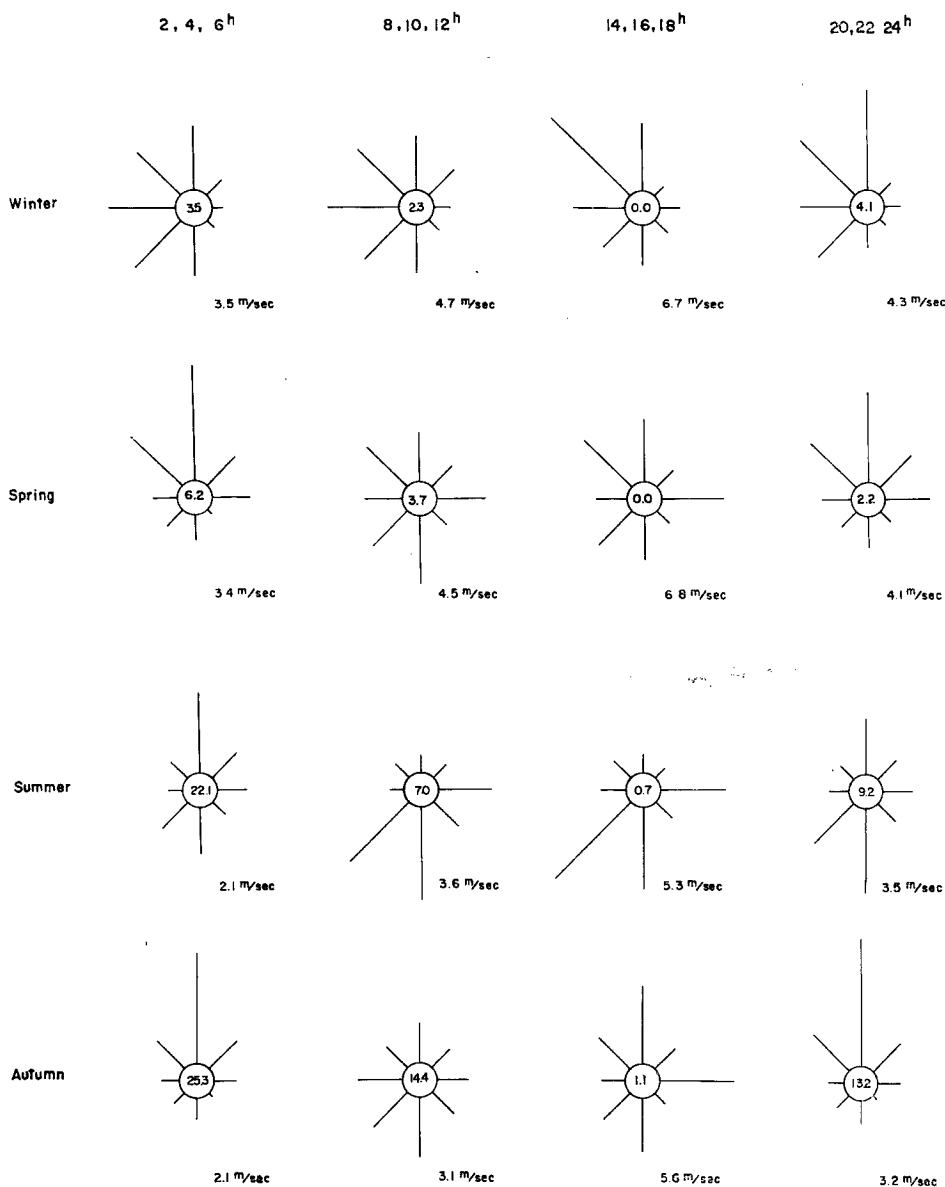


Fig. 7 Wind roses at 120m. The figures in the circles are occurrences of calm condition in % and the ones at the bottom are mean wind speeds.

ない例もいくつか見られるところから、このようないわゆる竜巻まで発達するまでには至らない風の回転系は予想外に数多く自然界に存在するのではないかと考えられる。このような変化の研究から小規模擾乱の研究に進んで行くことの可能性が見出されたと言える。

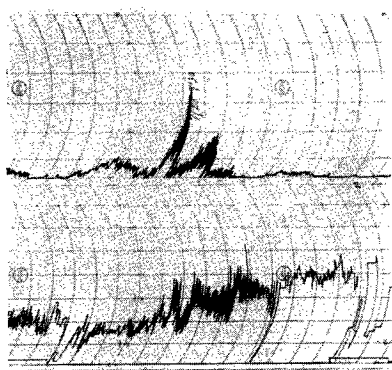


Fig. 8 Wind record at 120m on July 23.

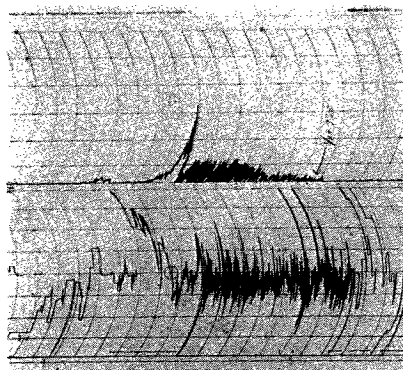


Fig. 9 Wind record at 120m on Aug. 13.

9. 結 語

ほぼ1年間の観測の結果が得られたが、盆地の中の都市に立つこの塔の上での風は他海岸あるいは何も無い平坦な場所で測定された風とはかなり異っていることが見られる。地表の粗度が非常に大きいことにもよるであろうが、120mの高さでも乱れは大きく、平均風速の日変化の位相は48mでも120mでもほとんど変りない、そしてその振巾はむしろ120mの方が大きくなっている。平均風速の季節変化は48mではほとんど見られず、120mでは冬と春は夏秋に比して1.5m/secほど大きい。風向は特に卓越風向というものは見られないが、夜は北風が多く、昼間は南風が多い。夏と秋には未明に静穏の発現頻度が120mの高さにおいても大きいことは注意される。この期間を通じて時間は非常に短い強い風が吹くことのあるのが認められた。

おわりに、この観測を行う機会を作って頂いた棚橋教授はじめ京都タワー関係者の御好意に感謝すると共に、測器の維持、記録の読取等に協力してもらった羽野淳介、茨木芳子両氏始め多くの方々に感謝の意を示したい。

参 考 文 献

- 1) Mitsuta, Y. : Studies on peak gust. Special Contributions of the Geophysical Institute. Kyoto Univ., No. 2, 1963.
- 2) Taylor, G. I. : Turbulence. Quart. Journ. Roy. Meteo. Soc., Vol. 53, p. 201, 1927.
- 3) Durst, C. S. : Wind speed over short periods of time. Meteo. Mag., Vol. 89, p. 181, 1960.
- 4) MacCready, P. B., Jr. & Jex, H. R. : Response characteristics and application techniques of some meteorological sensors. MRI 63 pa-86, 1963.
- 5) Pasquill, F. : Atmospheric diffusion. p. 11, 1961.
- 6) U.S.A.F. : Handbook of Geophysics. p. 5-5, 1960.