

種々の風速計の比較について

光 田 寧

COMPARATIVE OBSERVATION OF ANEMOMETERS

By Yasushi MITSUTA

Synopsis

The performance of the anemometer used in general weather observation is checked by comparative observations. The error caused by friction becomes large when wind speed is less than 1.2 m/sec for the propeller anemometer. The overestimation of mean wind speed of cup or propeller anemometer in turbulent wind is larger than estimated from Schrenk parameter in moderate or strong wind cases. The propeller anemometer measurement is suffered by another kind of error in strong and turbulent wind when the wind vane swings so widely.

1. は し が き

現在気象観測に用いられている風速計の種類は非常に多く、標準となるべきものさえ確立されていないのが実状である。普通、風速計は乱れを極端に小さくした風洞の中で比較検定を行った上で使用しているが、風速に変動のある自然風の中においては、風速計の動特性の差異のために同じ条件で観測しても異種の風速計の間ではっきりと問題になる程度の差異の生じることがあり、観測上問題となることが多い。このような差異は変動成分の測定あるいは最大値の測定などの際に当然のことながら大きな問題となり、今日までに多くの研究者によって研究されている。また、理論的にも指摘されているとおり平均風速の測定にもこの差は当然生じるが、今日までにこの方はあまり実験された例はない。そこで現在、一般気象観測に用いられている風速計についてこの問題を実測によって調べて見たのが本研究である。なお本研究では微風測定時に問題になる起動特性の問題についても同時に実験を行った。

2. 風速計の問題点

現在、一般気象観測に用いられている風速計のほとんどは回転型のもので、感部の形によって風杯式のものとプロペラ式のものがある。いずれにしても、機械的な回転部分があるためにその軸の摩擦あるいは慣性性能率の大きさが当然ながらその性能を支配する。

風が吹き始めた時、風によって生じる軸の回転トルクが静止摩擦によるトルクよりも大きくなるまでは風速計は回転を始めない。一般気象観測用としては 2.0 m/sec までに起動すれば良いことになっているが、大体よく手入れされた風速計は 1 m/sec 程度が起動風速である。そして、起動すれば動回転摩擦は比較的小さいから、風速が起動風速以下になっても回転を続ける。自然の風は変動が多いから、平均風速が 1 m/sec 以下というような場合には風速計は動いたり止ったりした結果として平均の回転数がそのような値になったということになる。このような状態で実際にはどのような誤差が生じているのかについては未だ調べられた例はない。

回転部分の慣性のために風速計は風速の変動に対してはどうしても遅れを示す。そのため、変動する風の変動巾はどうしても小さく観測されることになる。著者の研究¹⁾によれば一般観測用の風速計によって観測される最大瞬間風速は普通の地表上 10 m の高さぐらいで観測した場合、Table 1 に示すような短い時間の

Table 1 Equivalent averaging time of the peak gust as observed by various anemometers. (after Mitsuta¹⁾).

Anemometer	Mean wind speed		
	20	30	40 m/sec
3-cup	0.7 sec	0.4 sec	0.3 sec
Propeller	0.6	0.4	3.4

Table 2 Minimum observable period of wind speed fluctuation. (after Miyata²⁾)

Anemometer	Mean wind speed	90% response			Full response		
		10 m/sec	20	40	10 m/sec	20	40
3-cup		10 sec	4.8	2.5	19 sec	9.5	4.8
4-cup		13	6.4	3.2	23	12	5.8
Propeller		4.5	2.2	1.1	7.9	4.0	2.0

平均の風速の最大値に相当するものであることが示されている。また、正弦的に変動する風速変動成分をその振巾の90%まで、あるいは完全に追従するのは **Table 2** に示すような周期よりも長い変動に対してのみであるという結果が宮田²⁾ によって計算されている。

ここで回転型風速計の変動風速への追従には他の測器には見られないような問題点を含んでいる。それは風速計の風速変動に対する追従の様子が、風速の増大して行く時と減少して行く時でその追従の速度が異なる、すなわち時定数が異なるということである。風速が増加して行く時には時定数は小さく、減少して行く時には大きい。このような性質のため風速計の示す風速は真の風速変動の波形からは歪んだものとなり、さらに変動風の平均風速は真の平均風速よりも大きくなってしまふ。このことは Schrenk³⁾ によって始めてとりあげられ佐貫⁴⁾ などによっても研究されているが、実際の観測によって調べられた例はない。

今1つの問題点は風速計の方向性の問題である。風杯式風速計においては回転軸が鉛直に保持されており、風向変化に問題はないが、風が水平軸から傾角を持っている時に **Fig. 1** はに示すような特性を示し、か

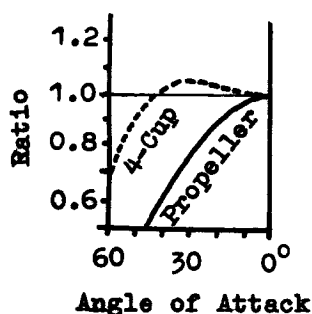


Fig. 1 Relative wind speed for wind coming from various angle of attack from the anemometer axis (mean wind speed: 10 m/sec).

ならずしも水平成分を指示しない。一方、プロペラ式の風速計においては風向計の先端にプロペラが取り付けられているために軸に斜めに風が吹いた時には問題になる。その特性は Fig. 1 に示すとうりである。この2つの種類の風速計の方向特性の差は風の傾角がある時にはその指示に差を生ぜしめることになる。なお、この特性は後に述べるようにまた別な面で問題となる。

これらの問題のうちで平均風速測定における弱風時と強風時の比較観測の結果について次章以下に述べる。

3. 弱風の測定

一般気象観測用風速計の弱風時の指示がどのような性質を示すか調べるために、プロペラ式風速計（光進電気工業製 Koshinvane）と微風時においても十分な精度で測定が可能で標準風速計として用いても良いと思われる超音波微風計（海上電機製）との比較観測を福井県高浜町の海岸の地上 10 m の場所で行った。観測は1969年夏の約1ヶ月半にわたって行われ、毎時正時前10分間の平均風速のうち風速 3 m/sec 以下の場合について2種の風速計の示す風速計の対比を示したものが Fig. 2 である。図からも明らかなとおり風速の小さい時には超音波風速計によれば風が吹いているにもかかわらず、プロペラ式風速計では風速が零であるとの結果が得られていることの多いのが解る。そして 1 m/sec 程度以下ではプロペラ式風速計の方が超音波風速計による基準の風速より弱い値を示すことが多い。これは前に述べたような理由によるものと思われる。両者の差を明らかにするために累積頻度図を作って見たものが Fig. 3 である。これによれば、両者の測定値が一致するのはほぼ風速 1.2 m/sec 以上においてである。

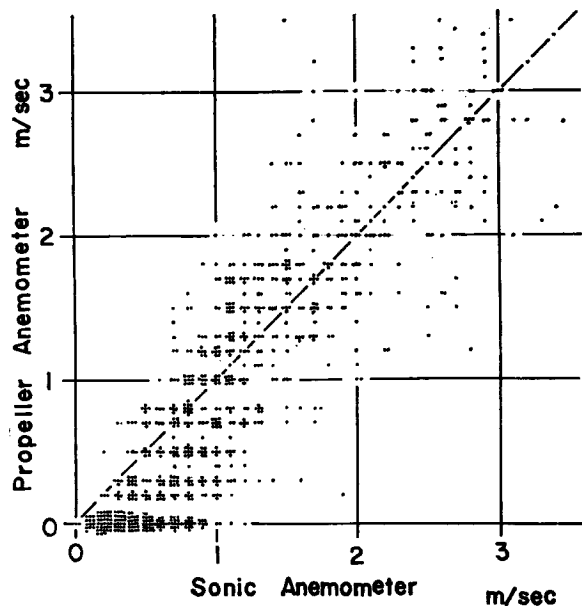


Fig. 2 Scatter of simultaneous mean wind speeds by the propeller and sonic anemometer.

これらの結果からも明らかなように、従来から用いられている風速計を用いた観測では、風の弱い場合にはかなり誤差の多い測定値しか得られていなかったことになる。たとえば、風速の階級別発現頻度分布図を作って比較して見ると Fig. 4 のようになり、両者の形には大きな差がある。すなわち、下に示したプロペラ式風速計による頻度分布では弱風の範囲ではわりあい平坦で、静穏のところで山をなしている。一方

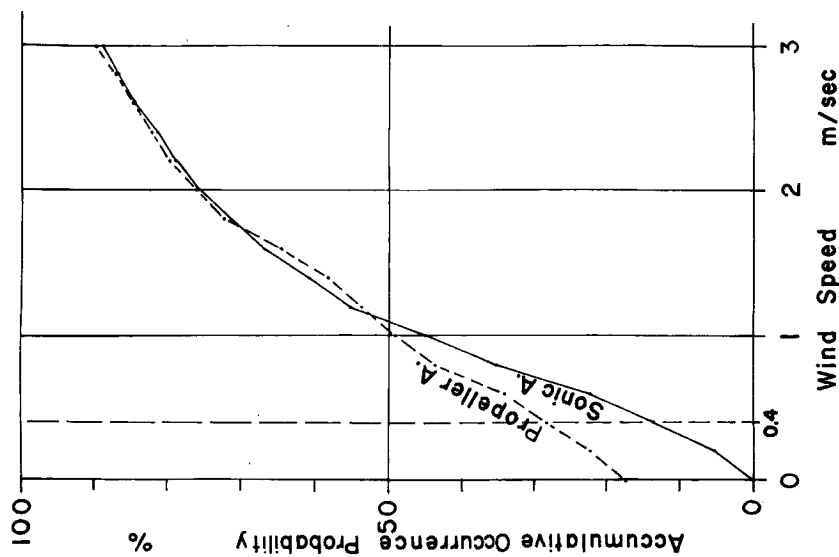


Fig. 3 Accumulative occurrence probabilities of mean wind speed as observed by the propeller and sonic anemometer.

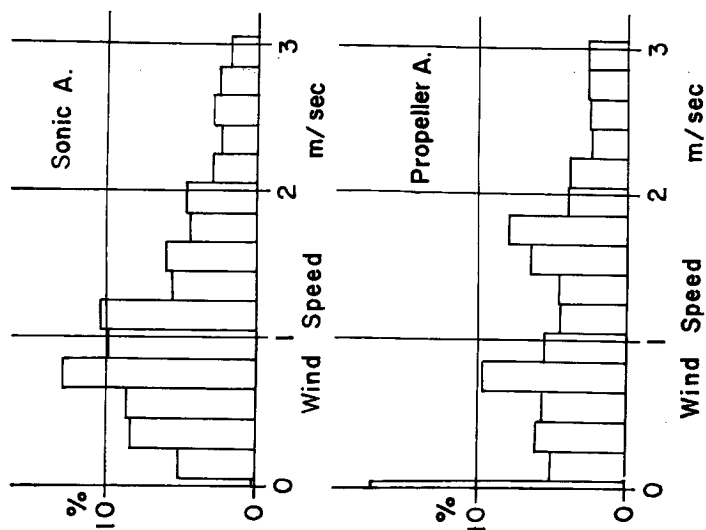


Fig. 4 Distribution of mean wind speeds as observed by the propeller and sonic anemometer.

上に示した超音波風速計によるものでは、風速 0.7 m/sec 前後のところに山を持つ非対称な山形の分布を示し、風速の小さいところでも発現頻度が小さくなっている。このような分布の形が自然の風の性質であると考えられる。

4. 強風の観測

和歌山県串本町にある防災研究所潮岬風力実験所の測風塔（高さ 10 m）においてプロペラ式風速計および

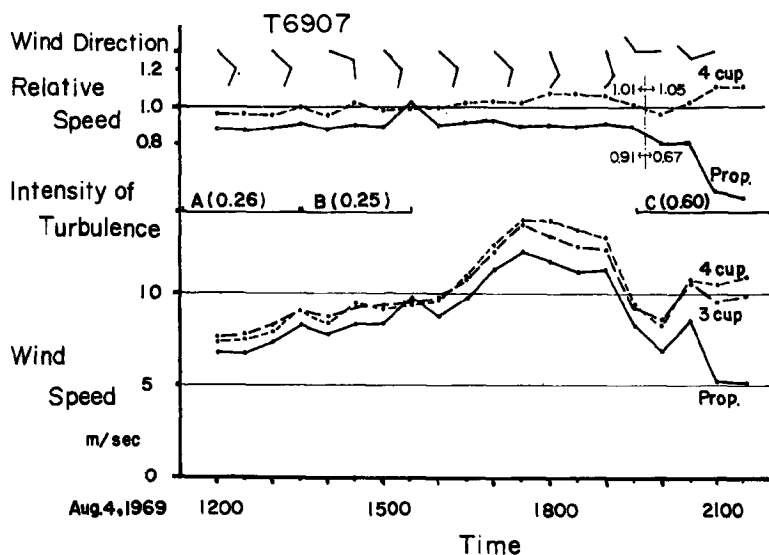


Fig. 5 Time changes of mean wind speed at Shionomisaki in the case of Typhoon 6907.

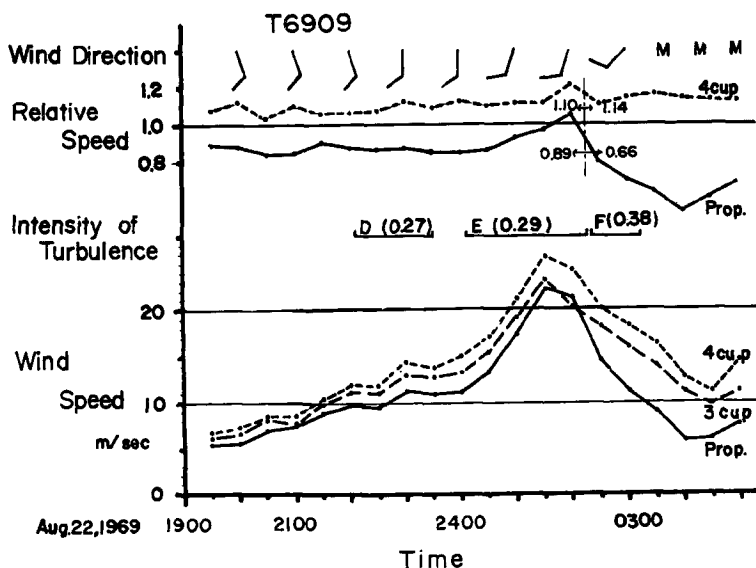


Fig. 6 Time changes of mean wind speed at Shionomisaki in the case of Typhoon 6909.

3杯と4杯の風速計を並べて設置し観測を行って来たが、本年(1969年)夏に台風の接近に伴う強風を2回観測することが出来た。その際の各風速計の同時の30分間平均風速の時間変化を図示したものが Figs 5, 6 である。前者は8月4日の台風7号の接近による強風、後者は8月22日の台風9号の接近による強風の場合である。

現在、平均風速の測定結果は3杯風速計による測定値が気象庁によって発表されているので、比較を容易にするため今回の観測結果についても3杯風速計の風速を基準にした相対的な値を上段に示してある。いずれの場合にも台風が通過して風向が西に廻った場合に状態は少し異っているが、それ以前の場合には比はほぼ一定で、4杯は10%近く大きく、プロペラ式では約10%小さい風速を示している。これらの場合の乱れの強さはほぼ $\frac{1}{4}$ で普通の状態であることを示している。3者は検定後普通に維持しており、このような平均風速の差は検定の誤差とは考えられない。すなわち風の乱れのためこのような差が生じたものと考えられ、佐貫⁴⁾などによって指摘された差異とその傾向においては一致している。しかし、量的に見ると、その差は予測されたものより過大である。もっとも、Schrenk の考えは単一の正弦的な変動に対してのみしか適用出来ず、自然の風の様に連続スペクトルに近い変動様式を持つ場合についてこの平均風速の過大評価について推算することは出来ないが、佐貫の与えた定数に従って矢島⁵⁾が、平均風速 10 m/sec, 変動振幅 5 m/sec, 周期 4 sec の変動風の場合この平均風速の比は4杯式では1%増し、プロペラ式では4%減という結果を得ている。このように計算値と実測に差が見られることは、自然の風のような乱れを持つ場合の回転型風速計の廻り過ぎについては従来の考えとは異った考え方を適用せねばならないことを示しているようである。いづれにしても乱れのある風の場合平均風速の測定結果にはこの程度の差を考えておかねばならない。

これら台風が通過して後の西風の場合には様相はさらに多少異なっている様である。すなわち4杯と3杯式の風速計の差はあまり変わっていないのに、プロペラ式による平均風速は相対的に非常に小さくなり、中段に示したプロペラ式風速計による乱れの強さもそれ以前の2倍あるいはそれ以上になっている。このことはプロペラ式風速計の測定に何か問題のあることを想像させる。台風9号の場合の前半の部分と後半の問題ありと見られる部分のプロペラ式風速計の早廻し記録を複写したものが Figs. 7, 8 である。図からも明らかな様に Fig. 8 の場合には風向変動が非常にはげしいのが特色として見られる。そして、風速の変動も非

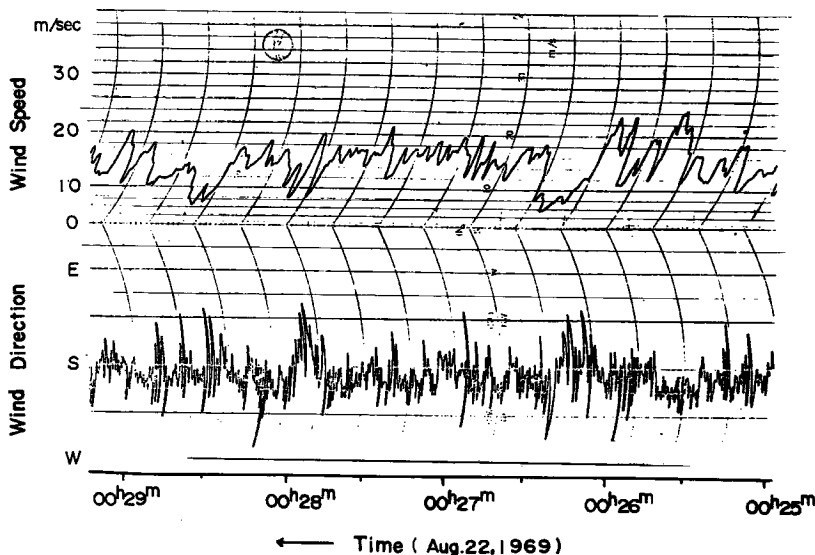


Fig. 7 Anemograph.

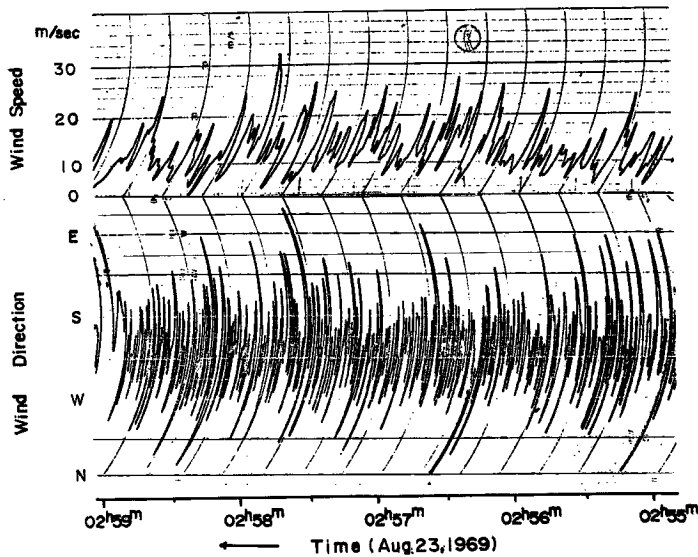


Fig. 8 Anemograph.

常にはげしくなっているが、よく見ると風速の極小は風向計が左右に大きく振れたところで生じていることが見られる。一般に風向計はその制動特性が悪く風向計の振動はその自由振動周期で振動し、その振巾は真の風向変動よりもずっと大きくなることが知られている⁶⁾。今ここで見られることは風速の増大と共に風速計の応答特性が良くなり、風向計が over-shoot した時に風速計の方向特性から分速度すなわち真の風速よりも小さな値を測定してしまうことになっているのではないかということを考えさせる。そうすれば風速変動の記録は真の風速変動と風向計の振れ過ぎによる風速の過少評価を加えたものになり、風向計の自由振動周期に対応した見掛け上の風速変動が重なって来ることになる。このような状態のプロペラ式風速計による風速変動のパワースペクトルを作った結果が Fig. 9 である。D の方は Fig. 5 の中段に D とした乱れの強さが 0.27 の期間であり、F の方は後半である。それらのスペクトルには明らかな差異が見られる。すなわち

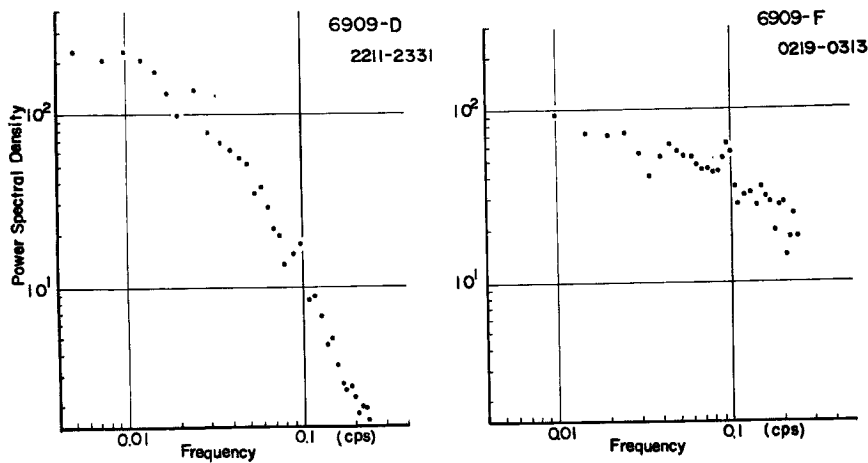


Fig. 9 Power spectra of wind fluctuations.

Dの方のスペクトルは普通に見られるスペクトルの形を示しているが、Fの場合には高周波側のスペクトル密度の減少が小さい。実際に風速変動がこのような形になっていたということも考えられるが、それよりは先きに述べたような風向計の振動の影響によるものであると考える方が合理的なようである。この場合、風向計の自由振動周期は1sec程度であるのでこの解析の範囲よりも高周波側にはづれているが、その影響がこの範囲までおよんでいると考えられる。もっともこのよう結論には多少の疑問も残されるので今後他の方法によって確認をする必要がある。

5. 結 語

一般気象観測用の風速計を弱風時および強風時において試験して見た結果、風速1.2 m/sec以下ではその測定値には誤差が大きくなり、真の風速より小さめの値を示すこと、風が強い場合にはその平均風速の過大評価が予想以上に大きいこととプロペラ式風速計の場合風向変動が大きいとその平均風速の測定結果には問題のあることなどが確認された。

おわりに、この観測に協力して頂いた潮岬風力実験所および関西電力原子力部の関係者に感謝したい。

参 考 文 献

- 1) Mitsuta, Y.: Studies on Peak Gust. Special Contributions of the Geophysical Institute, Kyoto Univ., No. 2, 1963, pp. 147~157.
- 2) 宮田賢二：暴風時における短周期風速変動の測定，京都大学大学院理学研究科修士論文，昭39.
- 3) Schrenk, O.: Über die Trägheitsfehler des Schalenkreuz-Anemometers bei schwankender Windstärke. Zeit. Tech. Phys., Vol. 10, 1929, p. 57.
- 4) Sanuki, M.: Experiments on the Start and Stop of Windmill- and Cup-Anemometer with Particular Reference to Their Over-Estimation Factors. Pap. Meteor. Geophys., Vol. 3, 1952, p. 41.
- 5) 矢島幸雄：風向・風速計，気象研究ノート，第14巻，第2号，1963，pp. 144~159.
- 6) 佐貫亦男：地上気象器械，共立全書，共立出版社，昭28，pp. 15~27.