

# CR回路を用いた平均風速測定の実験報告\*

秋山 泰三\*\* 矢島 幸雄\*\*\*

## 要旨

地上気象観測法の定義による10分間平均風速を連続で算出するのは複雑な機構を必要とする。観測の自動化、テレメータ化などに伴ない平均風速を連続測定する要求が多くなった。平均風速を演算するための方法や方式が種々考案されているが、風の感部に発電機を組込んだ風速計の出力信号をCR回路によって短周期をカットし、近似的な平均風速を求める方式がある。

実際の風の変動周期は、各種の周期があるので、10分間平均風速とCR回路を用いて求めた風速とを自然風によって比較した。その結果強風時の比較はできなかったが、CR回路によって求めた値は、風速5～12 m/sの範囲では10分間平均風速と較べて、危険率10%でその差は、±1.0 m/s以内であることがわかった。

## 1. はしがき

近年、気象観測の自動化、テレメータ化にともない、各観測要素の感部からの出力信号の統一が望まれ、そのため変動の多い風向、風速などの観測要素は、出力信号を連続に(10分毎とか、正時だけの平均では、コールシステムとか連続デジタル表示する時不都合を生ずることがある)しかも簡易な方式で平均化する必要が生じて

来た。

平均風速とは、地上気象観測法(1971年版, 77頁)に示されているように、10分間の風程を時間(10分)で割った値である。

今回の実験は、CR回路により短周期の風速変動をカットして平均風速の近似値として求めた値が、定義による平均風速とどの程度違うかを調べた。

平均時間としては、1885年以前は1時間、1886年から1939年の間は、20分間、1940年以後は10分間が用いられている。観測時の間隔にもよるが、シノプチックや気候の観測のためには、経験的に改善され上記のように変り、10分間というのが最終的な値であろう。しかし、観測の目的、利用方法などが変れば適当な平均時間も変わってくる。これについては、例えば、フランスでの野外実験がある。(WMO, CAe M-IV/Dec 7, 1967)

## 2. 10分間平均風速を観測する方式

風の感部からの風程パルスを積算記録し、平均風速を算出する自記電接計数方式が機構的に簡単であり、長い間使用されてきた。このほか、10分間平均風速を測定するのに次のような種々の工夫がなされてきた。

- 1) 自記電接計数器に10分ごとにタイムマークを入れる。
- 2) 風程パルスの記録を10分ごとに零にもどす。(鎌本博夫, 1959)

- 3) 紙テープに風程パルスをパンチし、風程を記憶し、差動歯車を用いて、10分間風程を計算記録する。(塚本喜蔵, 1953)
- 4) 紙テープに風程パルスをパンチし、10分間に紙テープにあげられた穴を通る光を光電管で受けて、10分間平均風速を電気信号で取り出す。(蟻坂康勝, 1953)
- 5) 磁気テープに風程パルスを記憶して、10分間の平均風速を求める。(鎌本博夫, 小関桂三郎, 1957)
- 6) コンデンサーに風程パルスの数によって充電し、充電量によって平均風速をあらわす。(矢亀紀一, 1959)
- 7) 300個のピンを植えこんだ円板を記憶装置とし、風程パルスごとに1個のピンの位置によって記憶し、差動歯車によって10分間平均風速を計算し、連続記録する。(矢島幸雄, 1963)
- 8) これまでに製作された自動気象計(無線ロボット風

\* Report on the Continuous Measurement of Average Wind Speed using a CR Circuit.

\*\* T. Akiyama, 気象庁観測部地震課。

\*\*\* Y. Yajima, 日本工業大学。

—1971年6月29日受理—

—1971年11月9日改稿受理—

向風速計，富士山気象テレメータ，有線式自動気象計)などの平均風速の測定は，時計制御によって，観測時の10分前から風程パルスを計数し，10分間の平均風速とし，正時の値だけを求め連続の10分平均は，演算しない方式のものが多い(下島省吾，西山宏，1959：横山丘，1959)

- 9) 南極昭和基地用に作られた自動気象計につけられた10分間平均風向風速演算装置は，12個の記憶素子(1号機は，50ステップのステッピングスイッチ，2号機は，パルスモータとすべり抵抗器の組合せ)に1分ごとの風速積算値を記憶し，10個の記憶素子の積算合計を10分間平均として取り出し，前10分間の1分毎の移動平均を演算記録する。(守田康太郎ほか，1965；1966)
- 10) 5分毎の移動10分間の平均をするには，記憶素子は3個で済む。1例をあげると，計数記憶にフリップフロップ計数回路を用いダイオードマトリックスによって，5分ごとの10分間平均風速をデジタル表示する風速計も作られている。(B. BHARGAVA and N.P. JAVHRI, 1966)

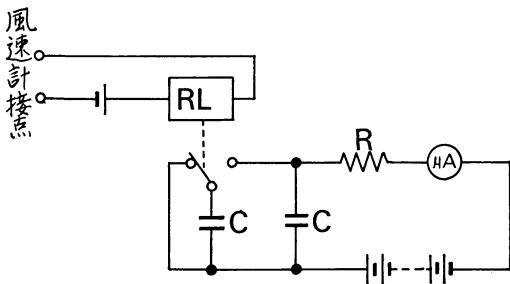
わが国でも検潮ロボット自動気象計に5分ごとの10分平均の演算装置を用いている。このように，連続で10分間の平均風速を測定するには，かなり複雑な装置を必要とする。

3. 平均風速の近似値を求める方式

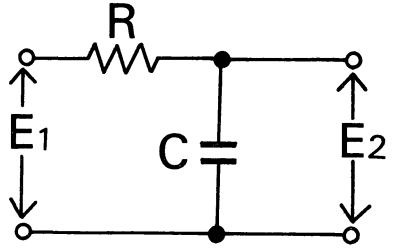
変動風速の振幅をならして平均化することは，古くから考案され，ダインス風速計の吸込口を細くしたり，導管をしぼつたり，アネモンモグラフの振り子の周期を長くすることによってその目的を達せられる。近年行なわれている方法について述べると，

(1) 平滑回路を用いる方式

第1図に示すような回路で，マイクロアンメータの指示により近似的に平均風速を求める方式が提案されてい



第1図 平滑回路を用いた平均風速計回路図 (研究時報，4巻3号，126頁1952より)



第2図

る(河野幸男，1952)

(2) CR回路による方式

気象庁における瞬間風速を測定するための風速計として使用されていたダインス風速計が，風車型発電式風速計に変わり，一般にも発電式風速計が普及した。この風速計の出力は電気信号なので，CR回路(おくれ回路)によって，短周期の変動をカットし，近似的な平均風速を求める方式である。これは，機構的に簡単であり，しかも連続的に計測できるので，各方面で使用されるようになった。

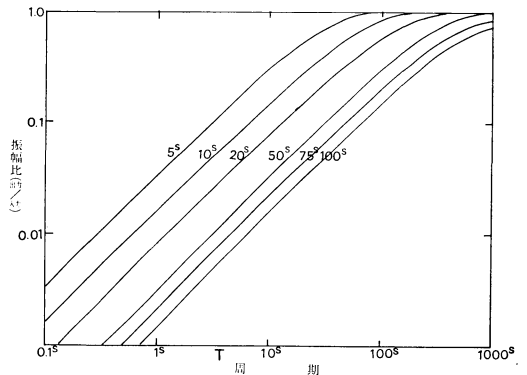
そこで，10分間平均風速と，CR回路によって求めた風速値との比較を行なった。

4. CR回路を用いて求めた風速の意味

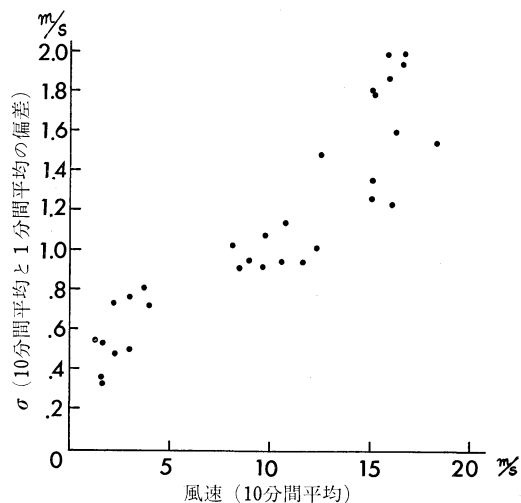
第2図のような回路で， $E_1$ が周期  $T$  (秒) で変化したときの  $E_2$  と  $E_1$  の振幅比の絶対値を考えると， $\frac{2\pi}{T} = \omega$  とすると，

$$\left| \frac{E_2}{E_1} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R^2}} \text{ となる。}$$

そこで，時定数 ( $\tau=CR$ ) 5秒，10秒，50秒，75秒，100秒の回路について，周期1~1000秒について計算すると第3図のようになる。



第3図 CR回路による入力信号と出力信号の周期による減衰比。



第4図 三杯風速計による10分間平均と1分間平均の比較(気象庁測風塔において, 3/27~3/28, 1967)

すなわち, CR回路は, 変動する入力に対して短周期のものをカットし, 長周期のものを通過させるフィルター回路である。

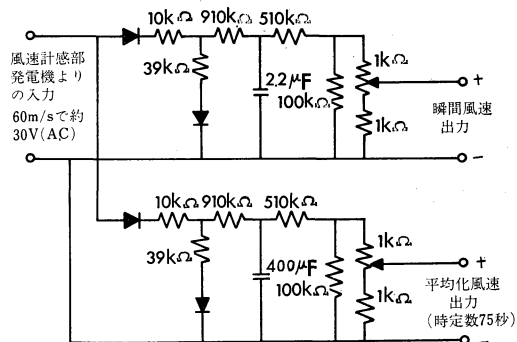
気温の観測でも, 非常に感度のよい温度計を使用すれば, 細かい気温の変動を測ることが出来る。一般に使用している二重管ガラス製温度計では, 約100秒周期の気温変動の振幅は1/2に示され, 200秒周期の変動が減衰されずに指示される。(山本義一, 山本孜:1949)

換言すれば, CR回路を用いた風速計による観測は, 熱容量の大きい温度計で気温を観測するのと同じ意味もっている。

## 5. CR回路の時定数の選択について

自然風は, 各種の変動周期を含んでいて, しかも, 風速の強弱によって卓越周期が異なる。時定数の値としてのどの位の値をとれば, 10分間平均風速に近似するかの決定的な結論は出し難い問題である。

そこでまず, 予備実験として, 三杯風速計の100m風程パルスを積算して, 1分毎に零へもどす記録器を用いて, 1分間平均風速を求め, 10分間平均風速との比較を行なった。この結果を第4図に示す。これによると, 10分平均と1分平均との差は10%~20%程度である。これより, 1分間平均でも, おおよそその風速の平均値としては, 実用できるので, (特別な目的には, 2分平均, 5分平均を観測している) 実際に, 公害関係の計測部門の一部で使用しているCR回路の時定数75秒をもつ風速計の指示と10分間平均風速との自然風による比較を行なっ



第5図 風速計回路図

た。

CR回路の時定数については, 平均風速設定時間の約1/2の時定数を選べばよいとの報告がある。(伊東隆哉, 仲本賢次, 1971)

さらに, 時定数を平均時間の1/3位に選ぶことを推奨している報告もある。(鎌本博夫, 1971)

## 6. CR回路による風速と10分間平均風速との比較

### 6-1 実験場所

東京管区気象台技術課の好意によって, 気象庁本庁舎屋上の測風塔の現用風速計の近くに実験用の感部をとりつけ, 変換器, 記録器を観測室に設置した。

### 6-2 実験期間

昭和42年5月25日~昭和42年11月10日

### 6-3 実験に使用した器械

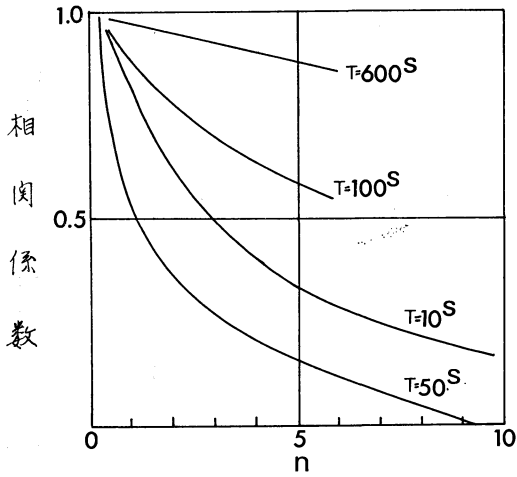
- 1) 感部 風車型風向風速計(小笠原計器製)
- 2) 変換器 CR回路, 風向はサーボシンクロ(小笠原計器製)
- 3) 記録器 自動平衡型入力0~10mV(横河電機製)
- 4) 時定数 75秒(感部変換器, 記録器を結合し, 気象庁風洞で実測した値)

第5図に回路図を示す。この変換器は瞬間風速と平均風速の出力端子を備えていて瞬間値と平均値を並列で取り出すこともできるので, 瞬間値と平均値との比較も行なえる。

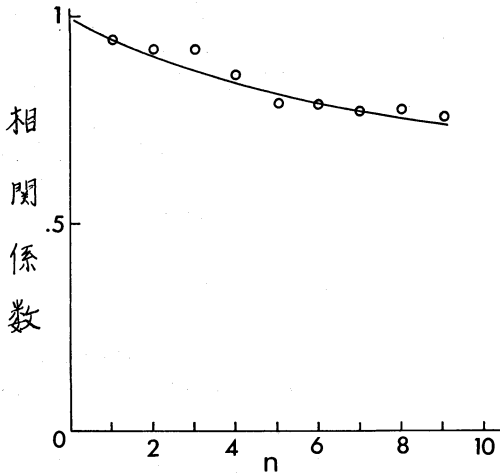
## 7. 実験結果

### 7-1 持続性

10分間平均風速の持続性のよいことは, よく知られている。気象学ハンドブック(1959年版)によれば, 第6図のようである。縦軸は, ある平均時間における平均風速と, その平均時間のn倍すぎた時刻における同じ平均時間による平均風速との相関係数を示す。これと同じようにして, CR回路(時定数75秒)の風車型風速計につい



第6図 平均時間による風速の持続性  
(気象学ハンドブック, 1959, 347頁より)



第7図 時定数75秒のCR回路をもった風車型風速計の平均時間による風速の持続性  
(気象庁測風塔にて7/4, 1967)

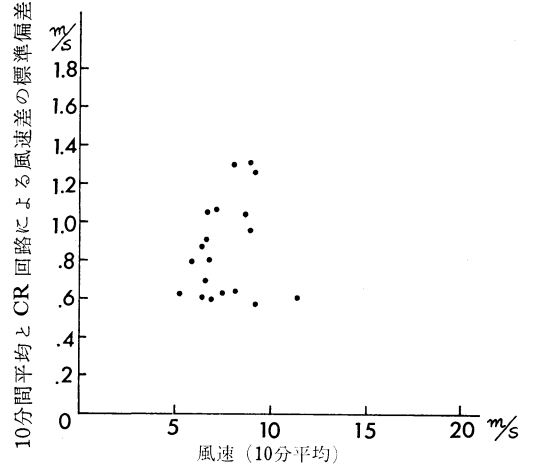
てしらべてみると、第7図のようになる。これによれば、時定数75秒の風速計の持続性は、10分間平均と大体同じ傾向にあることがわかった。

7-2 変動性

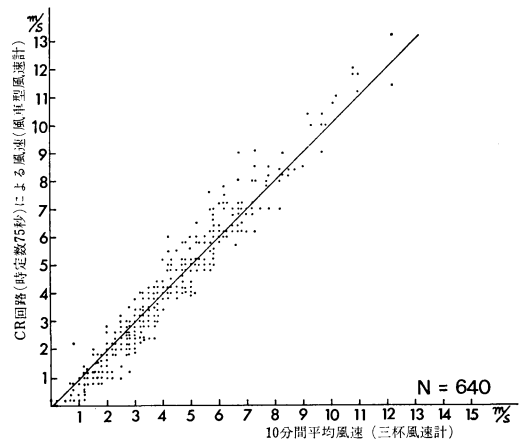
風速変動の頻度の正規分布は、かなり一般的に成立つといわれているが、CR回路を用いた風速計の指示がどの位の変動を示すかをしらべた。

方法としては、記録紙送り速度をやくし、10秒ごとの打点記録値(10分間で60個)を読み取り、10分間平均値とくらべ、標準偏差を求めた。

これを図示すると、第8図のようになる。これによれば、



第8図 10分間平均風速とCR回路(時定数75秒)による風速の10秒ごとの指示値の比較



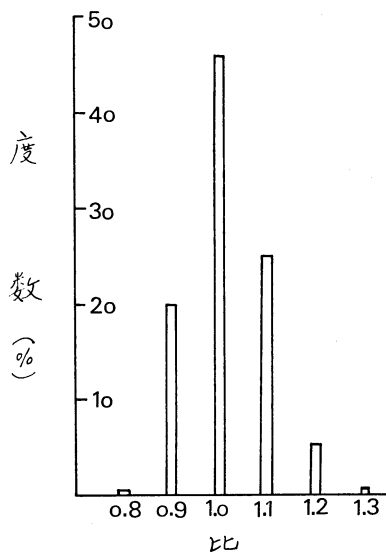
第9図 10分間平均風速とCR回路(時定数75秒)による風速の比較

ば、標準偏差は風速10m/sのとき、1.0m/sである。これは、第4図の10分間平均と1分間平均と比較した時と同じ程度である。

7-3 三杯風速計による10分間平均と風車型風速計CR回路(時定数75秒)による風速値の比較

10分間平均風速値と、CR回路による風速値の比較を図示したのが、第9図である。縦軸にCR回路による風速を、横軸に三杯風速計による10分間平均をプロットした。

これによれば、低風速時に少しばらつきがあり、しかも、CR回路による風速の方で10分間平均にくらべ、低



第10図 比(10分間平均/CR回路(時定数75秒))の度数分布(5m/s以上の度数671回について)  
(気象庁測風塔にて8/10~10/30, 1967)

めに出る傾向であるが、両者の差は、危険率10%で±1.0m/s以内である。

次に、瞬間風速計をダインス風速計から風車型風速計(発電式)に変更した際の両者の比較を行なっている。(気象庁観測部統計課, 1964)これと同様な方法によって比較を試みた。

この方法は、発電式/ダインスの比を求め、比の値ごとの度数分布より、平均値、メジアンおよびモードを計算し、累積度数曲線から5%と95%の点を求める方法である。その結果を第1表に示す。また、第10図に度数分布曲線を示す。ただし、比の値が1.0とは、0.95~1.05(±5%)の範囲にある点を数えたものである。他の場合も同様である。

第10図より、±5%(0.95~1.05)に入るものは50%近くある。±15%以上(1.15をこえるものまたは0.85以下)のものは全体の10%以下である。

第1表 10分間平均と時定数75秒のCR回路による風速の比較

風速階級 m/s	5%点	95%点	メジアン	平均値	モード	統計に 用いた 度数
5.0~9.9	0.84	1.09	0.96	0.96	1.01	627
10.0~16.0	0.81	1.09	0.95	0.98	1.00	44

ただし、この比較は、三杯風速計と風車型風速計の感部の違いも含まれている。

## 8. 観測法の変更, 測器の変更, 高さの変更の影響について

### 8-1 20分間平均から10分間平均風速へ変更した場合の影響

「10分間平均による値の累年平均値」と「20分間平均による累年平均値」の比值は、1.2程度である。(斎藤鍊一, 1956)

### 8-2 ダインス風速計から風車型発電式風速計への変更の影響について

風の弱いときは、両者の差はバラツキが大きい、発電式による値の方がやや大きく、風の強いとき、発電式とダインスの差は5%くらいで、大きい場合でもせいぜい10~20%程度と考えられる。(気象庁観測部統計課, 1964, 中野宗夫, 荒井隆夫)

また、風が弱いとき、最大瞬間風速の値に不均質を生じないが、強風するとき、大きな値が観測されやすくなった。(気象庁観測部統計課, 1967, 菊地原英和)

### 8-3 風速計の高さによる影響

風速の高さをあらわす式として、 $V_h = Ah^{1/7}$ を仮定する。ここで、 $V_h$ は、高さ $h$ mの風速、 $A$ は定数である。この式から15mの風速と5mの高さの風速の比を求めると $\frac{V_{15}}{V_5} = 1.17$ となる。また、20mの高さの風速と10mの高さの風速の比は $\frac{V_{20}}{V_{10}} = 1.10$ となる。

統計上は、10m未満の高さの変更は、接続統計している。(10~20%の不均質は許容している)(気象庁観測部統計課, 1964, 中野宗夫)

気象庁新庁舎の落成にともない、風速計も竹平町の測風塔(31.0m)から新庁舎屋上の測風塔(57.5m)に移された。その時の比較では、日平均風速については、3割増で竹平町の観測値を大手町の値に接続が可能である。日最大風速についても同じ傾向で3割増であるが、風の強い時は比のバラツキが大きいので、累年の極値や順位では、3割以上大きな値があらわれやすくなる。(気象庁観測部統計課, 1965, 菊地原英和)

## 9. むすび

実験期間が短かく、しかもその期間中20m/sを起す強風がなかったので、強風時の比較ができなかったが、まとめとしては、次のことがいえる。

1) 75秒の時定数をもったCR回路を用いた風速計の値は、10分間平均とくらべると、風速5~12m/sでは、危険率10%で両者の差は、±1.0m/s以内である。(こ

れは、観測法、測器、高さを変更した場合の差と同じ程度である)

- 2) 時定数75秒の風速計の指示の持続性は10分間平均風速の持続性に似ている。
  - 3) CR回路は、変動する風速に対し、短周期をカットするフィルター回路である。平均化の意味は、気温などの測定法に含まれているのと同じ意味である。平均化の方式としては、簡易で有効な方法であると思われる。
  - 4) 時定数を適当なものを選べば、さらに10分間平均に近似させることができる。これについては、平均設定時間の1/2または1/3の時定数の選定が提案されている。(伊東隆哉, 仲本賢次, 1971, 鎌本博夫, 1971)
- ただし、10分間平均に近似させるための適当な時定数と、測定の目的に合致した時定数の値とは、測定の方法によっては異なることもあると思われる。

## 10. あとがき

今後の課題として、次のことが云える。

- 1) 強風時の比較
- 2) 同一感部による比較(今回の実験は、三杯風速計の10分間平均と風車型発電式風速計の出力をCR回路により平均化した風速値の比較である。)
- 3) 各種のCR時定数による比較

本実験に当って、種々御協力をいただいた東京管区気象台技術課の皆様および実験器材を提供してくれた小笠原計器株式会社の関係者の皆様に対し謝意を表します。

## 引用文献

- 1) A.G. Davenport 1961: The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds, Quart. J. Roy. meteor. Soc., Vol. 87, 194~211.
- 2) 蟻坂康勝, 1953: 隔測平均風速計の一案, 測候時報, 20, 191-192.
- 3) B. BHARGAVA and N.P. JAVHRI, 1966: A simple system for continuous measurement of average wind speed its digital display. Indian Journal of Meteorology & Geophysic Vol. 17 No. 1, 57-66.
- 4) C.S. Durst, O.B.E., B.A. 1960: Wind speeds over short periods of time. The Meteorological Magazine Vol. 89, No. 1056, 181-186.
- 5) 伊東隆哉, 仲本賢次, 1971: 風速平均化のためのCR回路の時定数について, 測器技術資料, 4604号.

- 6) 河野幸男, 1952: 平滑回路を使った平均風速計, 研究時報, 4, 126-128.
- 7) 気象庁観測部統計課(中野宗夫), 1964: 瞬間風速に関する比較観測(発電式・ダインス)調査結果について, 測候時報, 31, 99-104.
- 8) 気象庁観測部統計課(荒井隆夫), 1964: 瞬間風速に関する比較観測(発電式・ダインス)調査結果について(追報), 測候時報, 31, 224-226.
- 9) 気象庁観測部統計課(菊地原英和), 1965: 東京における露場等の移転および測器の変更(隔測化)が地上気象データの均質性に及ぼす影響について, 測候時報, 32, 166-195.
- 10) 気象庁観測部統計課(菊地原英和), 1967: 日最大瞬間風速と日最大風速比からみた測器変更の影響について, 測候時報, 34, 95-99.
- 11) 気象学ハンドブック編集委員会編, 1959: 気象学ハンドブック, 技報堂, 346-347.
- 12) 気象測器製作所, 1963: 62型有線式自動気象計, 測候時報, 30, 253-263.
- 13) 鎌本博夫, 小関桂三郎, 1957: 10分間平均風速自記装置試作報告, 測器技術資料, 202号.
- 14) 鎌本博夫, 1959: 自記風向風速計(10分平均風速・5分平均風向), 測候時報, 26, 475-478.
- 15) 鎌本博夫, 1971: CR平均風速計の平均時間について, 測器技術資料, 4612号.
- 16) 守田康太郎, 1966: 南極昭和基地に於ける気象観測プログラム測器について, 天気, 13, 135-142.
- 17) 守田康太郎, 河野幸男, 矢島幸雄, 広田巖, 岸秀雄, 秋山泰三, 1966: 10分間平均風向計, 天気, 13, 275-280.
- 18) 守田康太郎, 1965: 南極観測に使用する新しい測器および施設, 測候時報, 32, 317-331.
- 19) 斉藤鍊一, 1956: 観測法の変更が風速値に及ぼした影響, 研究時報, 7, 770-778.
- 20) 下島省吾, 西山宏, 1959: 無線ロボット風向風速計, 測候時報, 26, 142-151.
- 21) 塚本喜藏, 1953: 10分間平均連続自記風速計, 測器技術資料, 846号.
- 22) 矢亀紀一, 1959: トランジスターを利用した10分平均風速計, 測器技術資料, 415号.
- 23) 矢亀紀一, 1969: 10分平均風速記録器, 測器技術資料, 4441号.
- 24) 山本義一, 山本孜, 1949: 寒暖計の遅れと風速の関係, 研究時報, 1, 2-5.
- 25) 矢島幸雄, 1963: 風向風速計, 気象研究ノート, 14巻, 144-159.
- 26) 横山丘, 1959: 無線ロボット測風計, 測候時報, 26, 376-381.