

# 風速のスカラ平均とベクトル平均について\*

小林 博和\*\* 千秋 鋭夫\*\*\*

## 要旨

風速の平均値の定義の仕方には、スカラ平均とベクトル平均の二つが考えられる。前者は、一般に後者より大きく、微風時にその差は無視できない。そこで、超音波風速計による実測を行なって、両者の間の関係式を検討してみた。

## 1. はしがき

近年、超音波風速計が実用化されて、微風時の風速成分の測定が可能となり、水平風速の平均値のとり方による違いが問題となってきている。従来、一般に取り扱われてきた平均風速とは、風向に関係しない絶対値の平均をさす。この平均はスカラ平均と呼ばれている。超音波風速計による風速成分の測定からは、スカラ平均のほか、各成分の平均値の絶対値を求めることができる。この方法によって得られる平均値は、ベクトル平均と呼ばれる。

大気が常に乱流状態にあることから、風速の変動値の絶対値を平均するスカラ平均は、原則的に、ベクトル平均より大きくなる。両者の間の関係式は、F. N. Frenquill (1952) により得られている。そこで、実測を行なって、両平均値の違いを検討した。

## 2. 両平均値の関係

両平均値の関係式は、大気の乱れに、統計的な仮定を置いて、導くことができる。

風速の互いに直角な二つの成分を  $u, v$  としたとき、スカラ平均  $w_1$  と、ベクトル平均  $w_2$  は、それぞれ、次のように定義される。

$$\begin{aligned} w_1 &= \sqrt{u^2 + v^2} \\ w_2 &= \sqrt{\frac{u^2}{2} + \frac{v^2}{2}} \end{aligned} \quad (1)$$

$u, v$  は、平均値にその変動値  $u', v'$  を加えたものとする。  $f(x, y) = \sqrt{x^2 + y^2}$  とおき、  $f(u, v)$  を  $\bar{u}, \bar{v}$  の

まわりに Taylor 展開すれば、次式となる。

$$\begin{aligned} f(u, v) &= f(\bar{u}, \bar{v}) + \frac{\partial f}{\partial \bar{u}} u' + \frac{\partial f}{\partial \bar{v}} v' \\ &+ \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{u}^2} u'^2 + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{u} \partial \bar{v}} u' v' + \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{v}^2} v'^2 \right) + R_N \quad (2) \\ \bar{f}(u, v) &= w_1 \text{ であり,} \\ w_1 &\doteq f(\bar{u}, \bar{v}) + u' \frac{\partial f}{\partial \bar{u}} + v' \frac{\partial f}{\partial \bar{v}} + u' v' \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{u} \partial \bar{v}} \\ &+ \frac{u'^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{u}^2} + \frac{v'^2}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial \bar{v}^2} + \bar{R}_N \end{aligned} \quad (3)$$

となる。次に、 $u', v'$  の確率密度関数が定常的で、正規分布をなす、と仮定すると、

$$\begin{aligned} u' &= 0 \\ \overline{u'^2} &= \sigma_u^2 \\ \overline{u' v'} &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

となる。同様なことが  $v'$  についても言える。

また、 $\overline{u'^3} = 0, \overline{v'^3} = 0$  であり、 $\bar{R}_N$  が 0 に近いとすれば、

$$w_1 \doteq w_2 + \frac{\sigma_u^2}{2} \left( \frac{1}{w_2} - \frac{\bar{u}^2}{w_2^3} \right) + \frac{\sigma_v^2}{2} \left( \frac{1}{w_2} - \frac{\bar{v}^2}{w_2^3} \right) \quad (5)$$

となる。ここで、 $\bar{u}$  を風の主風向にとり、 $\bar{v} = 0$  とすれば、近似的に、

$$w_1 = w_2 + \frac{\sigma_v^2}{2 w_2} \quad (6)$$

が得られる。(6) 式から、スカラ平均は、ベクトル平均に、風の乱れに関係した項が加わったものであり、ベクトル平均より大きいことがわかる。

## 3. 観測方法

前節における仮定と結果を検討するため、超音波風速計を用いて、スカラ平均とベクトル平均とを比較し

\* On the scalar and vector mean wind speed.

\*\* H. Kobayashi, 電力中央研究所.

\*\*\* T. Senshu 電力中央研究所.

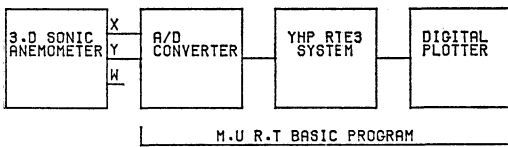
—1977年1月17日受領—

—1977年11月7日受理—

た。測定は、東京都下、狛江市にある、電力中央研究所構内で行なった。風速計は、高さ15mの建物の屋上の2mポール上に設置した。観測と解析は第1図にあるように、ミニコンピュータ・システムによった。これにより、データは実時間で収集し解析することができる。また、結果はデジタルプロッターで、直ちに作図される。この方法には、いくつかの利点がある。気象観測値の解析にしばしば用いられる、データレコーダ等のアナログ機器を省略して、それらに起因する、ドリフトやゲインの誤差等をなくすことのできる事、また、結果を直ちに評価することによって、観測や解析方法に修正を加えることができる事、等である。

第1表 1977年4月17日の測定例。

Time	Mean (m/s)	Variance (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	Skewness	Kurtosis
11:22—11:33	1.42	0.44	-0.35	2.89
13:32—13:42	0.84	0.23	-0.15	2.60
14:00—14:10	0.66	0.17	0.11	3.09



第1図 観測と解析のブロック図。

観測は、平均風速が1m/s内外の微風時を選び、日中、夕刻等、大気の安定度が異なる時間にそれぞれ行なった。

超音波風速計の出力は、 $\Delta t$ の時間間隔で、 $u, v$ 成分をそれぞれ、100個サンプリングした。 $\Delta t \times 100(\text{sec})$ を sampling duration として、十数回の連続的な測定を行なって、これを一組の観測とした。sampling duration は、一般に風の平均時間として使われている、10分とした。

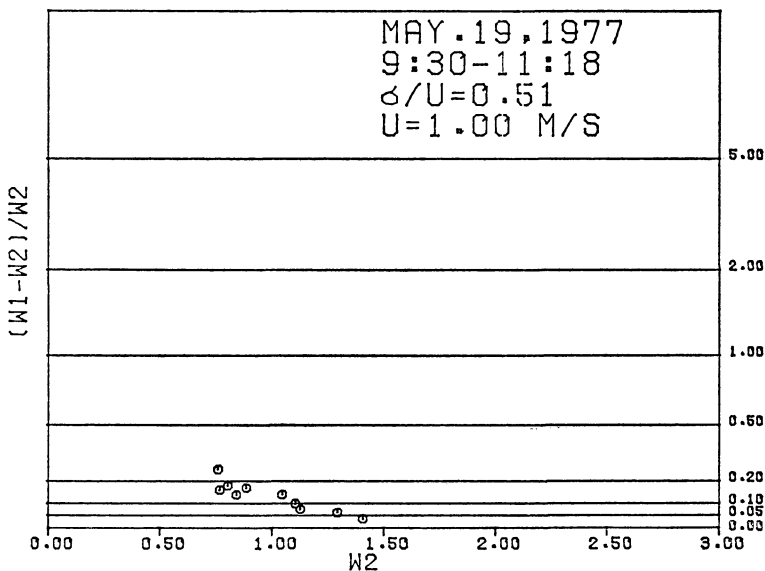
4. 結果

前節の方法により得られた、スカラ平均とベクトル平均について、両者の差に注目して検討した。第2図は、両平均値の差のベクトル平均に対する割合を表わしたものである。

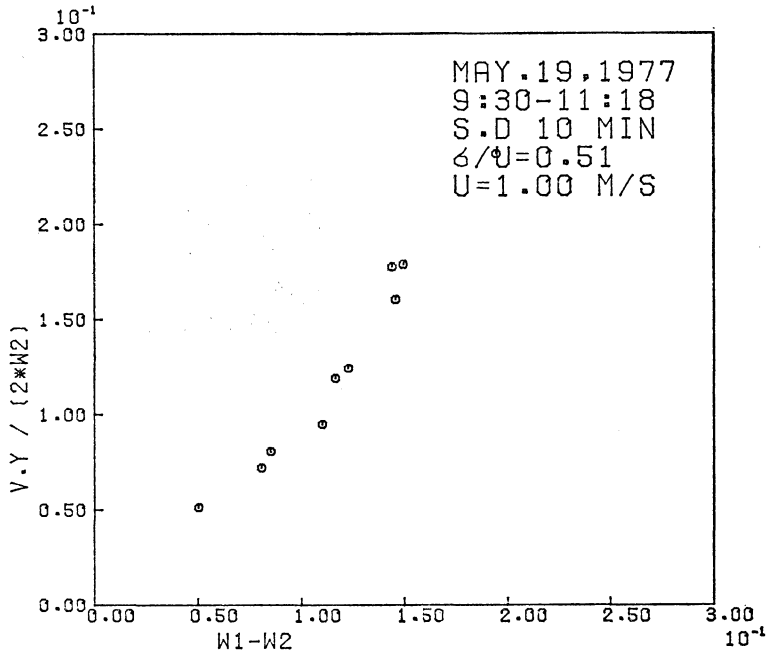
風速が1m/s程度に低くなると、両者の差は無視できない大きさとなる。両者の差は、ある平均時間を用いて得られる、大気の乱れの大きさに関係している。第2図では、10分間の平均時間で、ベクトル平均が1m/sのとき、両者の相対誤差は、約10%である。

次に、風速が正規分布をしているかどうかを調べた。第1表は、超音波風速計の一つの成分の出力から得られた結果である。風速成分の Skewness, Kurtosis はそれぞれ、0, 3に近く、正規分布をすとみなしてよいであろう。

第3図は、(6)式が実際の現象を、どの程度よく表わしているかを見たものである。両平均値の差と、平均風



第2図 ベクトル平均 (m/s) に対する、両平均値の差の割合。



第3図 スカラー平均値とベクトル平均値の差  $w_1-w_2$ (m/s) と、主風向に直角な成分の分散をベクトル平均で割ったもの  $\sigma_v^2/2w_2$ (m/s) との比較.

向に直角な成分の分散を、ベクトル平均で割ったものは、よく一致しており、(6) 式の妥当性が確かめられた。

以上の結果から、野外等で平均風速を求めようとする時、特に微風時には、その平均方法に留意する必要があることがわかる。また、ロビンソン風速計等からは、スカラー平均が求められていることに注意するべきである。

文 献

Frenkiel, F.N. 1951: Frequency distributions of velocities in turbulent flow, J. Met., 8, 316-320.  
 光田寧, 花房龍男, 1973: 平均風速および風向の評価方法について, 京都大学防災研究所年報, 16, B, 319-326.

日本学術会議第73回総会報告

日本学術会議第10期の最後に当たる第73回総会は、快晴に恵まれ、10月26日～28日の3日間開催された。冒頭、会長から事務局職員の異動が報告され、次いで、オブザーバーとして出席された琉球大学杉浦正保健学部長、沖縄国際大学宮城辰男教授の紹介があった。

〔諸報告〕 ついで日程に入り、前総会以降の会長経過

報告、運営審議会付置小委員会報告、各部の経過報告、各委員報告およびこれらに関連する若干の審議がなされた。このうち、中華人民共和国の国際測地学・地球物理学連合 (IUGG) の構成国加入と台湾の持っていた代表権の取り消しに関連して、かなりの質疑応答がなされた以外は、滞りなく報告を了承した。