

3.2 風向・風速

Wind direction/Wind speed (Wind velocity)

概要

空気が移動する方向を風向、一定時間に移動する距離を風速と呼ぶ。スカラー量ではなく風向とセットにしたベクトル量として測定される必要がある。地上付近の風は水平成分に比べ鉛直成分が小さいため、一般的な測定の場合には水平な大気の流れとして扱う。

測器の種類

1) 風向計

風向計は風見鶏の原理を用いた矢羽根（ベーン）式が一般的である。また、近年は2軸あるいは3軸を配した超音波式風速計によって風向を測定する場合もある。

2) 風速計

風速計には、測定原理により様々なタイプのものがあるが、以下に代表的な風速計を示す。

風杯式風速計

風杯式風速計は1850年にロビンソンが考案し、垂直軸に半球殻又は円錐殻の風杯と呼ばれる羽によって測定する風速計であり、ロンビンソン風速計とよばれていた。初めは4個の風杯をもち、風による力を大きくするために回転半径を大きくしてあった。しかし、風速計としての特性が悪く、現在では3杯となり、特性をよくするために腕の長さを短くし、小型軽量型が使用されるようになった。風杯式風速計は風がどの方向から吹いてきても回転できる利点があり、平均風速測定に広く用いられている。風杯の回転軸が動き始める始動風速は小さいほどよいが、風杯の慣性によるまわりすぎには注意する必要がある。

風車型風速計

風杯式風速計と異なり、水平軸に取り付けたプロペラ型の羽によって測定する風速計であり、水平軸と同じ向きの風速を計ることができる。風上を常に向くように風向計と一体型となっているものがほとんどである。

超音波式風速計

超音波（高周波音波）を利用した、超音波風速計は風速変動をはかるのに用いる。これは互いに向かい合った2個の発信部からパルス音波を発射するが、音波は風の方向に流されるときはその逆の時よりも早くなるので二つの受信部に到着する時間に差ができる。この到着時間差は風速に比例するので、電氣的に時間差をはかって風速を測定することができる。このタイプの風速計は風杯式風速計や

風車型風速計のように受風部の慣性の影響を受けることがないため、短い時間スケールでの風速の変動を観察することに適している（詳細は2.1「超音波風速温度計」参照）。また、風速の分解能が高い（ 0.01ms^{-1} 程度）のものが比較的安価に入手できるようになってきている。

熱線式風速計

電熱線を環境中に露出させて通電し、その発熱と風による冷却とが平衡したときの温度から風速を求めるものである。低風速での感度に優れているが、雨や雪などが熱線に当たる条件下では使用できず、また、長時間の連続測定に耐えられないことから、主に屋内の風洞実験用などに用いられている。

測定方法

概ね高度 50m 程度以下の接地境界層内では、水平方向の風速は対数分布し、鉛直方向の各種輸送量が高さ方向に近似的に一定である。接地境界層の下のカノピー層では物質やエネルギーが直接に交換されており、風速分布は複雑である。したがって、その地点での代表的な風速はカノピー層より上で測定される必要がある。

測候所などで定常的に観測する場合は、周辺に建物や木などの障害物のない平らな開けた場所を選び測定する。測定高さは、世界気象機関では測定高は地上高 10m と定めている。日本の AMeDAS では、地上高 6m で測定されている。

研究目的でタワー上において測定するときには、タワーそのものの影響を避けるため、アームなどを用いて、できるだけタワーから離して設置することが望ましい。また、主風方向に突き出すことによってタワーの影響を最小限にすることができる（Photo 3.2-1）。タワーに計測ボックスなどを設置する場合は、その影響を軽減するために、風速計の設置高度から上下に高度差を設けることが好ましい。

樹冠上に4ないし5高度程度に風速計を設置し、風速の鉛直プロファイルを観測することによって、摩擦速度等を計算することができる。その場合、樹冠上の風速はおおむね対数分布するので、鉛直下方にいくにしたがって密に風速計を設置し、高さ方向に対数分布させる方がよい。

可動部のある風杯型や風車型の風速計は、長期に使用する場合、掃除・注油を行い、回転をなめらかに保つ工夫が必要である。また、定期的な機構部品の交換や校正を必要とする。積雪寒冷地では、着雪や着氷に注意が必要である。

風向計設置の際は、地図上の北と磁北はずれているので注意する。

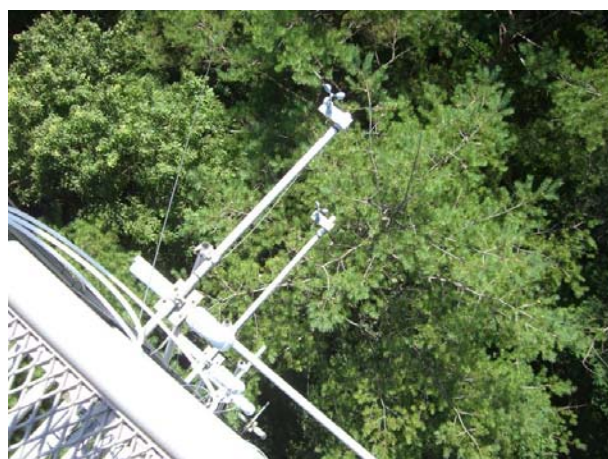


Photo 3.2-1 風速計の設置例。（富士吉田森林気象試験地）

 Tips!

地図上の北（真北）と磁北の差を磁気偏角 D [°] という。偏角は場所によって異なり、時間によっても変化する。2000 年 1 月 1 日 0 時の値（2000. 0 年値 $D_{2000.0}$ ）は以下の式で近似することができる（国立天文台，2005）。

$$D_{2000.0} = 7^{\circ}37.142' + 21.622' \Delta\phi - 7.672' \Delta\gamma + 0.442' \Delta\phi^2 - 0.320 \Delta\phi \Delta\gamma + 0.675 \Delta\gamma^2$$

$$\Delta\phi = \phi - 37^{\circ} \text{ N}, \quad \Delta\gamma = \gamma - 138^{\circ} \text{ E}$$

ここで、 ϕ は緯度 [°]， γ は経度 [°] である。

Tips 3.2-1

風速・風向データの記録

センサからの出力は、風速に関してはパルスカウントを出力するものと電圧を出力するものがあり、風向に関しては抵抗値によって出力するポテンショメータのことが多い。超音波式風速計では X 軸、Y 軸それぞれの風速を電圧出力したり、風向をデジタル出力したりできるものが多い。

校正

風速計の検定は、時々行う必要がある。特に、可動部のある三杯風速計などは、観測の前後に行うことが望ましい。可動部分のない超音波式風速計では、ほとんどメンテナンスを必要としない。ただし、アナログ出力できるタイプの超音波風速計から出力される電圧信号は若干のオフセット（風速 0ms^{-1} のとき出力が $20\sim 30\text{mV}$ 程度）を持っている場合が多く、このオフセット量は個体により異なるので、設置の際にはゼロ点出力のチェックを行い、取得された電圧出力値に対してゼロ点出力の補正を行うべきである。

風洞がある場合、圧力差を利用して風速を測定するピトー管等を用いて測定した風速を真風速として、検定を行うことができる（Photo 3.2-2, Fig. 3.2-1）。校正する風速計のそばに、流れを妨げないようにピトー管を設置し、風洞内の風速を変化させ十数点で比較・校正を行う。ピトー管の動圧（全圧と静圧の圧力差）は差圧計で測定しておき、空気密度（気温によって変動するので気温も測定しておく）とベルヌーイの定理を用いて風速を計算する。



Photo 3.2-2 風洞での超音波式風速計検定の様子。

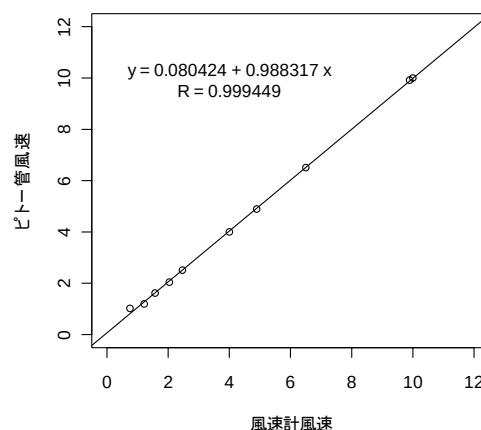


Fig. 3.2-1 ピトー管の動圧から計算された風速（真風速）と検定された風速計の風速との関係。

💡 Tips!

ピトー管による風速 u [ms^{-1}] を求める式（ベルヌーイの定理）

$$dP = 1/2 \rho u^2$$

ここで、 dP はピトー管の風に直面した穴に作用する圧力（全圧）と風に平行は穴に作用する圧力（静圧）との差 [Pa]、 ρ は空気の密度 [kgm^{-3}] である。

Tips 3.2-2

💡 Tips!

（財）日本品質保証機構計量標準総合センターでは環境条件に左右されない地下トンネルを建設し、微風速計を取り付けた走行台車を走らせて微風速国家標準を作成している。

Tips 3.2-3

データ処理

1) 風向

風向とは風が吹いてくる方向のことであり、吹いてくる方位を N, NNE などと表すほか、北を基準に時計回りに 0~360°, または全周囲を 16 または 36 に分割して、16 方位、36 方位であらわす (Fig. 3.2-2)。

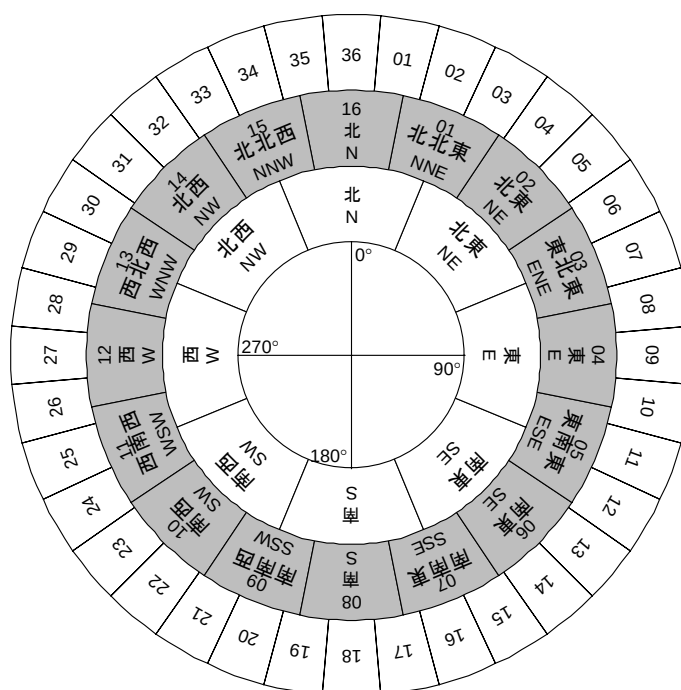


Fig. 3.2-2 風向の表示法。

代表的な風向を表す指標としては、ベクトル平均を用いることが望ましいが、この場合、風向と同時に取得された風速のデータが必要である。ある時間内のスカラ平均や、最多風向を平均風向とする場合もある。無風の場合は、静穏 (calm) として、「—」や「00」で表す。

2) 風速

風速には瞬間風速や平均風速がある。特に断りがなければ、風速は、ある一定時間内の測定値の平均を指す。瞬間風速は、何秒以下が瞬間値であるという定義がなく、風速計の応答性と記録方法によって変わってくる。