

風車型風向風速計に鳥が止まることによる観測への影響について

粕川 貴裕*・阿保 敏広*

The Effect of Bird on Observation of a Wind Vane Anemometer

Takahiro KASUKAWA and Toshihiro ABO

要旨

風車型風向風速計は鳥が止まることにより観測値に影響があることは知られているが、その影響については定性的な議論が多い。そこで本調査は、同一の測風塔に設置されている高層気象台と気象測器検定試験センターの2つの風向風速計の観測データを比較することによって、風向風速計に鳥が止まることの影響を定量的に評価できないか調査した。高層気象台の観測データ単独からでは大きな外れ値としてデータ上に現れることは無く、鳥が止まったことによる影響を判別することはできないため、品質管理によるデータ除外は難しいことが判った。しかし事例を集め両者を統計的に比較することによって、風向風速計に鳥が止まることにより、風速においては前1分間最大瞬間風速・前10分間平均風速ともに平均で0.1~0.2m/s程度低く観測されること、風向においては、風向がどちらかにずれることによる風向の分布に違いが生じるが、平均値においては風向差として表現できないことが分かった。

1. はじめに

風車型風向風速計(以下、風向風速計)による観測に影響がある事象として、吹き上げ・吹き降ろしの風、風向風速計への着雪・着氷、凍結などのほか、鳥類による害(鳥害)が知られている。鳥害の例としては、航空気象観測に用いるオレンジ色の風向風速計がカラスの攻撃を受け破損し調査したところ、赤色系は肉や血の色のためカラス等が興味を持ちやすいとの専門家の意見から、一般気象観測と同様の灰色にしたとの報告がある(東京航空地方気象台:2013)。

屋上や測風塔に風向風速計を設置している気象官署においては、測風塔の手すりの上部にテグスを張って、カラスが手すり等に止まることを阻止することで、風向風速計の周辺へ近づけないよう対策しているのが現状となっている。一方、アメダスのような単一ポール(パンザマス)の上に風向風速計を取り付けている場合には、同様の対策がとられず、鳥害を完全に防ぐことはできていない。

青嶋(2011)は、鳥害のうち、“風向風速計への鳥の乗っかりの影響”を○△×で評価し、持続性は△(短い)、観測への影響度は○(やや大)、観測値からの判別は×(困難)としている。

そこで本調査では、鳥類が風向風速計に止まった際の

観測結果を個別事例の解析と統計的な調査によって、品質管理の可能性の有無、およびその持続性と観測への影響度を定量的に示すことを目的とした。

2. 調査方法と調査期間について

高層気象台の風向風速計を取り付けている測風塔には、気象測器検定試験センター(以下、測器センター)の複数の風向風速計が併設されており、そのひとつに、高層気象台と同じJMA-10型地上気象観測装置(以下、10型)の風向風速計がある。両装置は気象庁が定める運用規則に従った保守管理を行っており、同精度の観測となっていることから、両者の観測記録を比較することによって風向風速計に鳥が止まった場合の影響の有無を評価することが可能と考えた。

高層気象台の風向風速計は地上から20.4mの高さにあり、測器センターの風向風速計は、高層気象台の風向風速計から東側に約6m離れた高さ18.5m(1.9m低い)位置関係にある(図2(A)参照)。

本調査の開始にあたり、2016年5月に測風塔の手すりの周辺に設置していた鳥よけのテグスを撤去し、鳥類の飛来を阻害しない環境としたうえで、測風塔の様子を1分間隔で写真撮影して記録した。調査期間は、2016年6月1日から12月31日とし、写真から風向風速計に鳥の止まりのあった時刻を特定した。

*高層気象台 観測第一課

3. 個々の事例について

3.1 鳥の止まりに関するまとめ

2016年6月から同年12月まで、高層気象台の風向風速計に鳥が止まった日数は71日、時間としてはのべ739分(最小単位1分)であった。止まった鳥の種別としては“オオタカ”と“カラス”であり、その頻度はカラスが大多数(全体の78%)であった。今回の調査期間中の止まりの概要を図1及び表1に示す。カラスが止まる時間帯は、日の出と日の入に近い時間帯に集中している(日の出日の入りの前後30分で88%)。止まっている時間(1回の平均滞在時間)は、カラスは6分程度で、オオタカは20分以上と長かった。また、止まる位置は、カラスは風向風速計の胴体部に止まることが多く、オオタカは風向風速計の胴体部の風向回転軸上に長く止まり、回転を利用して周囲を偵察しているようにさえ見えた。

層気象台の観測値の方が測器センターより風速が強く観測されている時間もあり、これらのことから観測結果の単純比較においては、オオタカの止まりによる影響を分離できないことが確認できた。

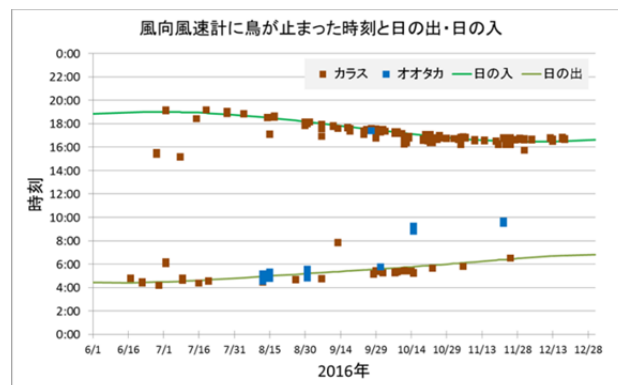


図1 鳥が止まっていた時刻と日の出・日の入の関係

3.2 オオタカによる止まりの事例

オオタカが高層気象台の風向風速計に止まっていた事例のうち、2016年11月22日9時29分～42分の事例について、図2にその画像を、図3、図4に高層気象台と測器センターの10型の1分値データを用いて比較した結果を示す。この時のオオタカは風向回転軸の上部付近に14分間止まっていた。前1分間最大瞬間風速(以後、瞬間風速と呼ぶ)・前10分間平均風速(以後平均風速と呼ぶ)ともにオオタカが止まっている時間のうち、9時35分以降は高層気象台の観測値の方が測器センターより弱く観測されているように見え、風向も1方位(10度)ずれているように見えるが、当該日の全観測データの相関を取ると、明確な外れ値とは言えない。また9時29分から35分までは若干ではあるが高

止まりの姿勢	回転軸の上	胴体部分	尾翼部分
カラス	43 分 (10 回)	390 分 (60 回)	131 分 (48 回)
オオタカ	129 分 (6 回)	36 分 (1 回)	なし
判別不能 10 分 (5 回)			

表1 2016年6月から12月までの止まりの様子

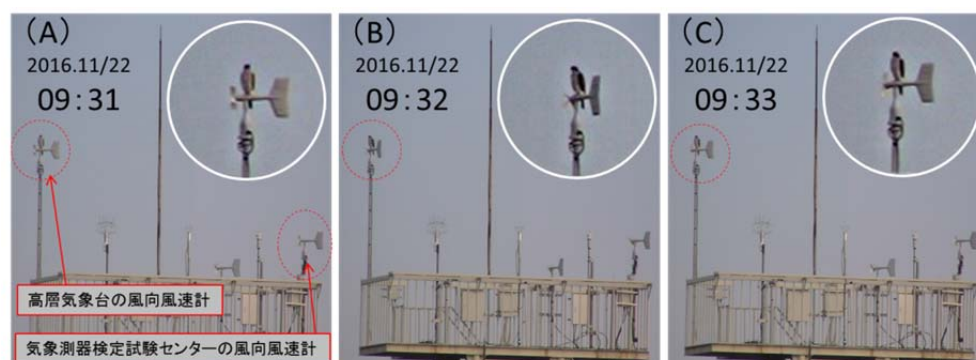


図2 高層気象台の風向風速計に止まっているオオタカ

(A)の左が高層気象台、右が測器センターの風向風速計、中央は避雷針。

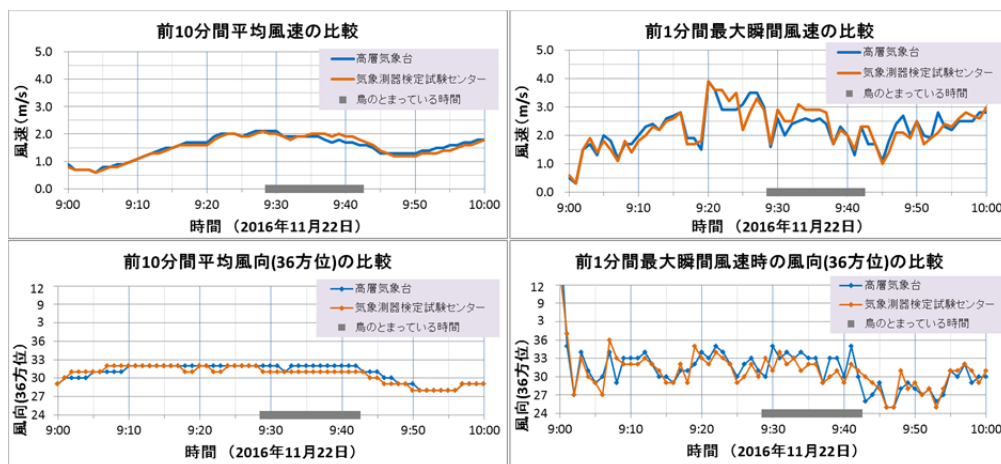


図3 高層気象台と測器センターの風向風速計データの時系列比較(2016年11月22日9時～10時)

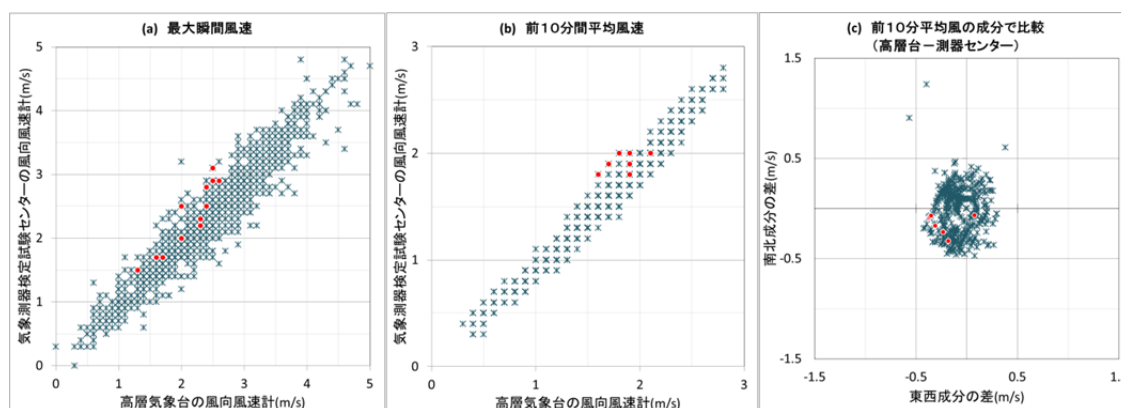


図4 オオタカが風向風速計に止まった2016年11月22日の高層気象台と測器センターの風データ(1分値)比較
1日分のデータのプロット上の●が, "オオタカ" が止まっていた時間(9:29～9:42)のものを示す。

(a)最大瞬間風速, (b)平均風速, (c)東西南北成分による比較



図5 高層気象台の風向風速計に止まっているカラス

3.3 カラスによる止まりの事例

カラスが高層気象台の風向風速計の胴体部分に止まった2016年11月10日16時32分～40分の事例について, 図5にその画像を, 図6に高層気象台と測器センターの10型の1分値データを用いて比較した結果を示す. カラスは高層気象台の風向風速計のほか, 手すりや避雷針に止まってい

ることが確認できるが, 測器センターの風向風速計には止まっていない. 瞬間風速・平均風速ともにカラスの止まりの前後で高層気象台と測器センターの観測値に違いが生じているようには見られず, 明確な外れ値とはいえない.

また, オオタカの事例同様, カラスが風向風速計に止

まった場合、高層気象台の観測値は測器センターと比較して風速の観測値が大きくなるときもあれば小さくなるときもあり、変化の大きさも事例ごとに異なるため、その個々の事例のみでは鳥が止まった際の影響を観測値の比較から判断することができないことが分かった。

4. 止まりに関する統計的調査

個々の事例では風向風速計に鳥が止まった際の観測結果に違いがあるのか判断ができないことから、調査期間中に鳥が止まっていた事例とそうでない事例について統計的に差があるのかを検証する。

4.1 平常時における高層気象台と測器センターの比較

4.1.1 平常時の風速に関する統計的調査

はじめに、鳥の止まりが無い場合に高層気象台と測器

センターの観測結果にどの程度の差があるのかを確認する。平常時の観測の瞬間風速及び平均風速の差について、ヒストグラム及び正規Q-Qプロット(図7, 図8)を作成した。使用した観測データは高層気象台と測器センターの10型の1分値データのうち、2016年6月から同年12月までの上中下旬からそれぞれ1日ずつ無作為に抽出を行い、風速が鳥の止まりの実績(瞬間風速8.1m/s, 平均風速5.9m/s)を超える観測データは除外した。さらに、鳥が太陽高度の高い時間や夜間に止まらないことを考慮し、止まりの実績のある4～10時と15～20時のデータを使用した。時間としてはのべ13762分(最小単位1分)のデータセットとなり、以下、このデータセットを平常時のデータセットと呼ぶ。

瞬間風速差に関する統計量は平均値0.17m/s, 標準偏差0.33, 標本数13762, 歪度0.59, 尖度3.45である。ヒストグラムからは平均値に関して対称である様子が伺えるが、

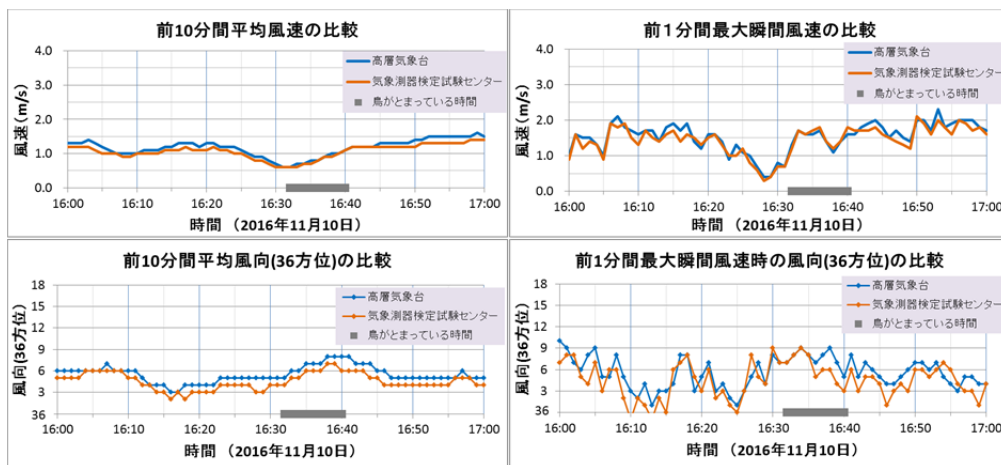


図6 高層気象台と測器センターの風向風速計データの比較(2016年11月10日16時～17時)

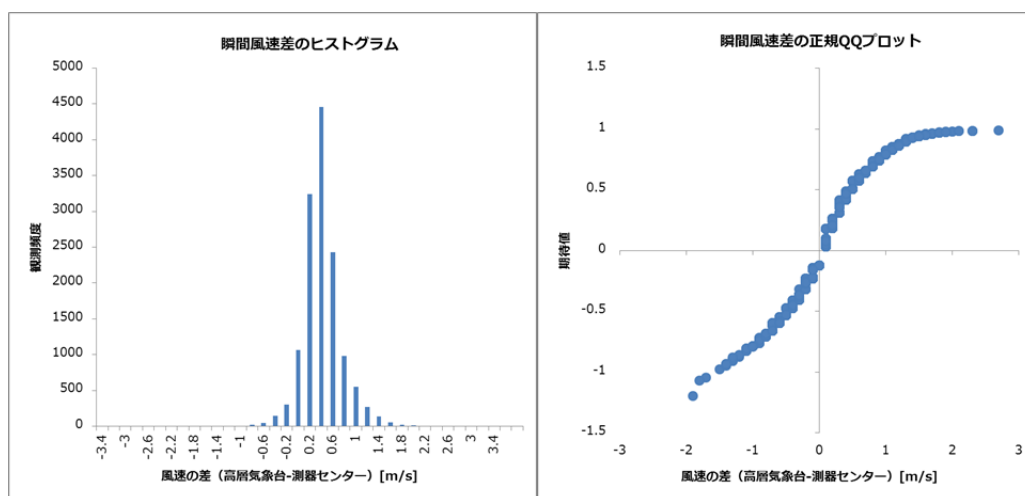


図7 平常の観測時の瞬間風速差のヒストグラムと正規Q-Qプロット
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

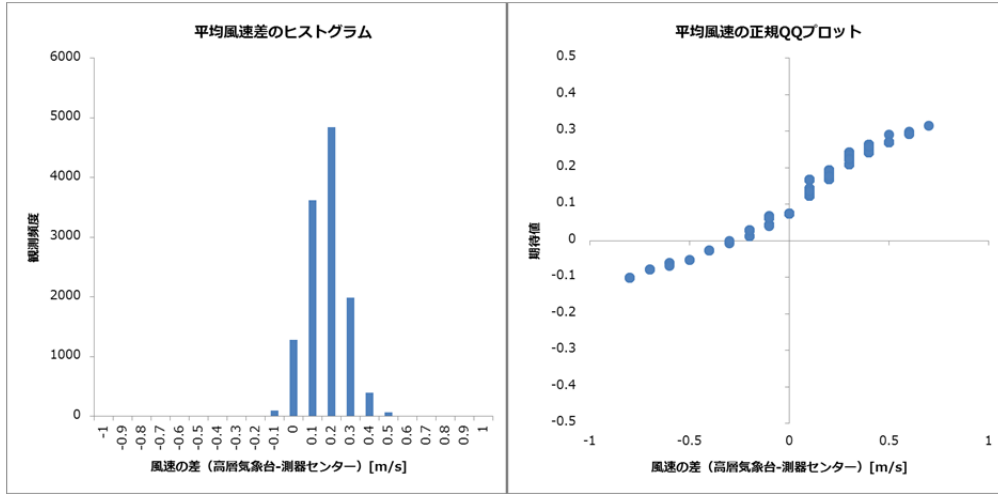


図8 平常の観測時の平均風速差のヒストグラムと正規Q-Qプロット
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

正規Q-Qプロットは直線になっておらず、尖度が3を超えていることから正規分布とは考えにくい。平均風速の差に関する統計量は平均値0.16m/s、標準偏差0.10、標本数13762、歪度-0.26、尖度4.31であり、平均風速差についても正規分布を仮定するのは難しい。瞬間風速差、平均風速差共に歪度0、尖度3に近いことから風速差に関する確率分布はラプラス分布に近いものと考えられる。そこで、図7で示したヒストグラムにラプラス分布の確率密度関数

$$f_L(x) = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}}{\sigma}|x - \mu|\right)$$

と正規分布の確率密度関数

$$f_G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{\sigma^2}\right)$$

を重ね合わせその分布を確認した(図9)。各関数に平均値 $\mu = 0.16$ 、標準偏差 $\sigma = 0.33$ を代入し、高さが合うように定数倍している。正規分布では平均値からの急な減衰に追従しておらず、ラプラス分布の方がより瞬間風速差のヒストグラムに近い形になっている。

平常時の状態で平均0.16m/s測器センターの方が弱く観測されていることになるが、この差は風向計感部の高さの違いによるものと推察し検証する。中立大気での風速分布は、 U を平均風速、 A を摩擦速度とカルマン定数の商、 z を高度、 z_0 を地表面度とした場合に

$$U = A \ln \frac{z}{z_0}$$

と高度によって風速が変化する(近藤：2000)。高層気象台の地表面粗度は萩野谷(2015)によると1995年から10年間の突風率からの推定で0.87とあるので、高層気象台の風速

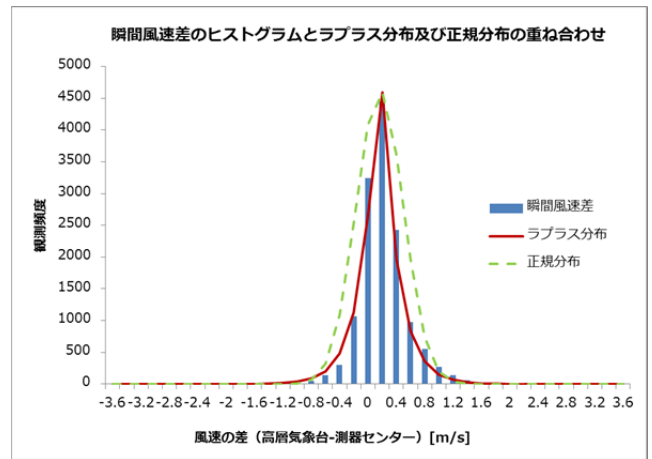


図9 平常の観測時の瞬間風速差のヒストグラムとラプラス分布及び正規分布の重ね合わせ

U_{AO} と測器センターの風速 U_{MIC} は割合にして

$$\frac{U_{AO}}{U_{MIC}} = \frac{\ln 20.4 - \ln 0.87}{\ln 18.5 - \ln 0.87} = 1.03$$

異なることになる。平常時のデータセットの風速の平均は高層気象台の観測で瞬間風速2.79m/s、平均風速1.97m/sであったので、算出した比を当てはめると平均風速差は0.06m/sとなる。風速分布の式は中立大気を仮定していることと、地表面粗度が推定値であることから、そのまま観測値に適用することはできないものの、測器センターとの風速差0.16m/sに比べてやや小さいことから、この風速差は風速計の高さの違いによるものに加え、瞬間風速8.1m/s、平均風速5.9m/s以下の弱い風で比較していることや、風速計の特性の違いによる影響も可能性として考えられる。

4.1.2 平常時の風向に関する統計的調査

風向差についても風速差と同様にヒストグラムを作成した。図10に瞬間風速の風向差に関するヒストグラムを、図11に平均風向差に関するヒストグラムを示す。

瞬間風速の風向差に関する統計量は平均値3.6°, 標準偏差1.86, 歪度-0.14, 尖度12.5, 平均風向差に関する統計量は平均値3.1°, 標準偏差1.08, 歪度3.60, 尖度111であった。

風向の観測値は36方位データ(10°刻み)のため、平均風向差は観測値が均されてほとんどが±10°の範囲に収まっている。風向差は瞬間値・平均値ともに3°程度異なるが、この差が設置方位角の違いによるものか、観測環境の違いによるものかは判断できない。仮に設置方位のずれによるものとしても、両者の比較においては、風速差

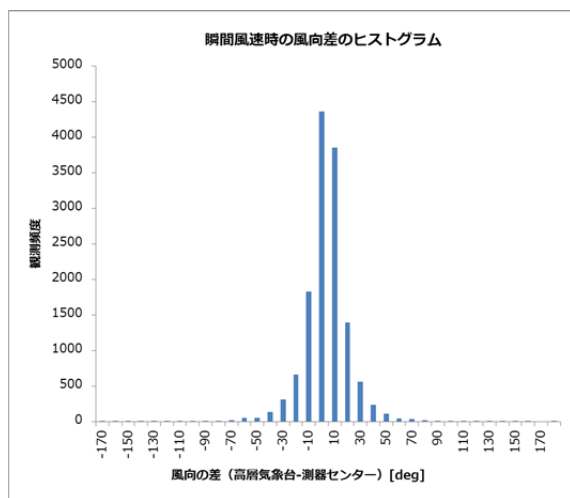


図10 平常時の瞬間風速風向差のヒストグラム
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

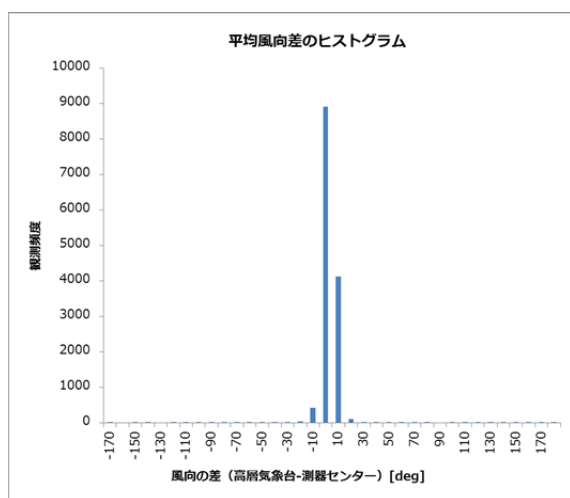


図11 平常時の平均風向差のヒストグラム
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

に影響を与えず、風向差はずれの分がオフセットされることから議論には影響が無い。

4.2 鳥の止まりに関する統計的調査

4.2.1 風速に関する統計的調査

平常時の観測に続いて風向風速計に鳥が止まった場合の瞬間風速差についてのヒストグラムと正規Q-Qプロットを図12に、平均風速差についてのヒストグラムと正規Q-Qプロットを図13に示す。

統計量は瞬間風速・平均風速差共に平均値0.05m/s, 標準偏差0.34, 標本数739, 瞬間風速差の歪度0.18, 尖度1.73, 平均風速差の歪度0.01, 尖度2.74であり、鳥が止まった時間の全データの高層気象台での風速の平均は瞬間風速で2.39m/s, 平均風速で1.79m/sであった。平常時の観測と比べ標準偏差はほぼ変わらないが、風速差の平均値は0に近くなっており、鳥が止まっている方が平常時の観測と比べて風速は小さくなっている。また正規Q-Qプロットは直線に近くなり、尖度も小さいため、通常の観測と差があると考えられる。この差が統計的に有意に異なるかを調査するため、帰無仮説を「平常時の観測と鳥が止まった観測で差が無い」、対立仮説を「平常時の観測と鳥が止まった観測に差がある」と立て検定を行った。通常の観測時の確率分布はラプラス分布に近い分布だったので、検定方法にはKolmogorov-Smirnov検定(以下、KS検定)を選び、その計算にはオープンソースの統計処理言語であるRを用いた。KS検定で計算される統計量 D は有意水準 α と標本数 m, n で計算される値と

$$D > \sqrt{-\frac{1}{2} \ln\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \times \sqrt{\frac{m+n}{mn}}$$

の関係を満たすとき有意に異なる判断でき、この事例においては棄却値 α を0.01と設定すると、 D 値が

$$\sqrt{-\frac{1}{2} \ln\left(\frac{0.01}{2}\right)} \times \sqrt{\frac{13762+739}{13762 \times 739}} = 0.06$$

を超えるとき、2つの分布は有意に異なると言える(田中・垂水: 1999)。ただし m は平常時のデータセットの観測時間数、 n は鳥が止まったのべ時間数である。

D 値の計算を行ったところ、瞬間風速差では $D_{\max} = 0.26$, 平均風速差では $D_{\text{ave}} = 0.37$ となった。よって、帰無仮説「平常時の観測と鳥が止まった観測で差が無い」は棄却され、平常時の観測と鳥が止まった観測には差があると判断できる。KS検定によって有意に異なる判断できるのはその分布に関するものであり、平均値や分散など個別の統計値が有意に異なることまでは言い切れないことに注意が

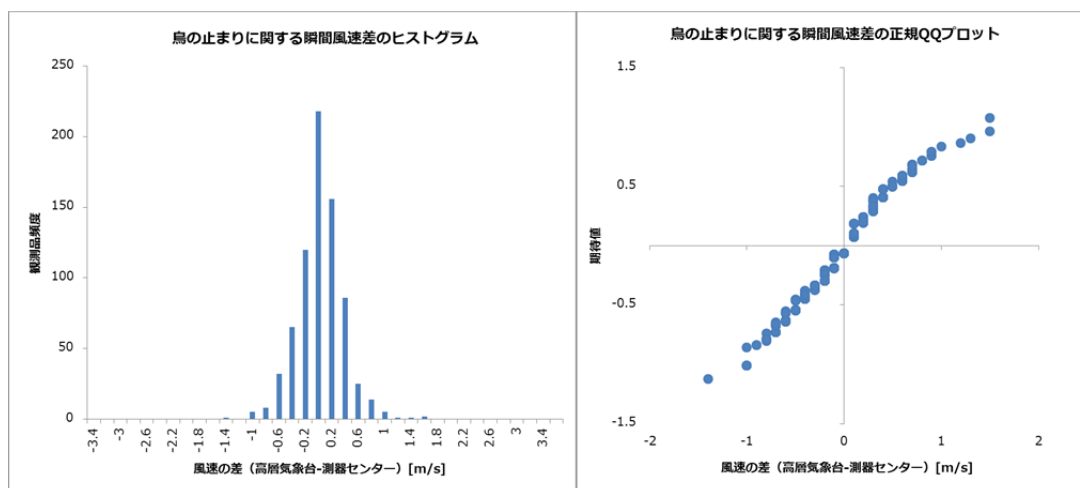


図12 鳥の止まりに関する瞬間風速差のヒストグラムと正規Q-Qプロット
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

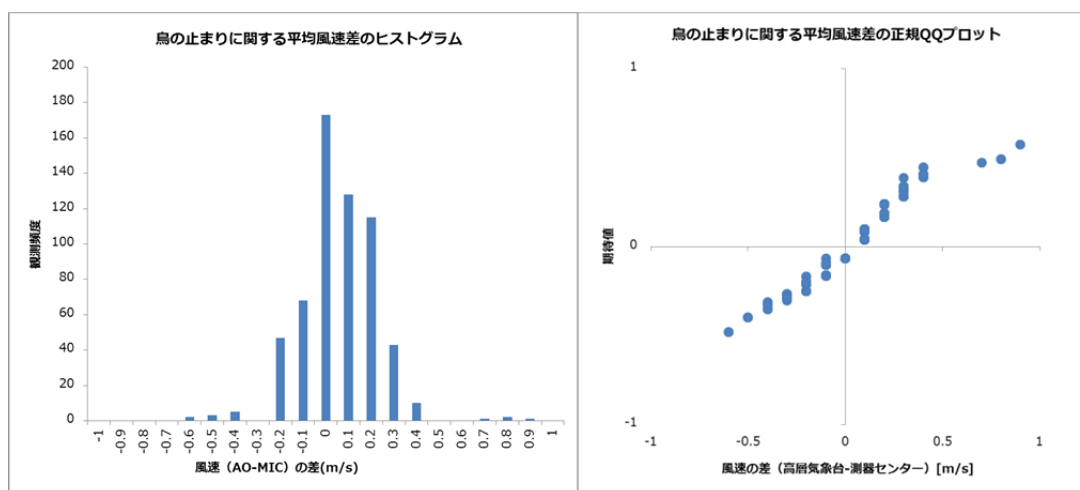


図13 鳥の止まりに関する平均風速差のヒストグラムと正規Q-Qプロット
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

必要であるが、本調査においては、標準偏差は2標本間でほぼ同じこと、ヒストグラムの形はほぼ同形であることから、この有意差は平均値の差の寄与が大きいと考えられる。また、Welchのt検定(以下、単にt検定とする)による平均値の検定を行ったところ、瞬間風速差も平均風速差も、その平均値の違いはt検定においては棄却率0.01で有意に異なる結果であった。風速差の分布は正規分布形をしていないため、t検定自体の検出力は落ちるものの、その結果は参考になる。

4.2.2 風向に関する統計的調査

風速差と同様に風向差についても同様に検定を行った。鳥が止まった場合の瞬間風速の風向差に関するヒストグラムを図14に、平均風向差に関するヒストグラムを図15に示す。統計量は瞬間風速の風向差に関しては平均値3.2°、

標準偏差2.74、歪度0.00、尖度4.68、平均風向差に関して平均値3.9°、標準偏差1.48、歪度1.83、尖度12.4であった。

風速と同様に帰無仮説を「平常時の観測と鳥が止まった観測で差が無い」、対立仮説を「平常時の観測と鳥が止まった観測に差がある」と立てKS検定を行ったところ、棄却値0.01で瞬間風速の風向も平均風向も鳥の止まりの有無によりその分布は有意に異なると判定することができた。

瞬間風速の風向、平均風向ともに平常時と比べると平均値としては大きな差は無いものの、ヒストグラムを平常時(図10、図11)と比べて見るとその違いが明らかである。鳥が止まった場合の方が中央値からの減衰が緩やかになっており、高層気象台と測器センターとの風向差が大きくなる頻度が増えている。これは風向風速計に鳥が止まることによって、胴体バランスが崩れ風向の変化への追

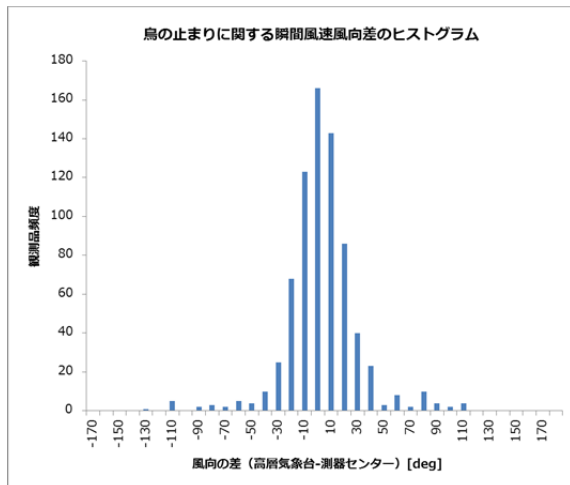


図14 鳥の止まりに関する瞬間風速の風向差のヒストグラム
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

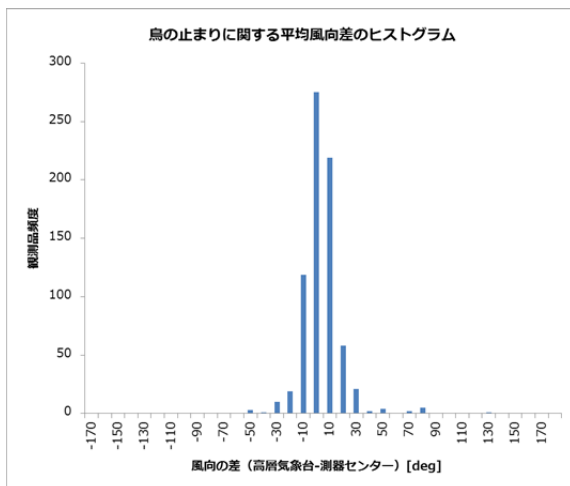


図15 鳥の止まりに関する平均風向差のヒストグラム
高層気象台の観測値から測器センターの観測値を引いている。

従性が悪化したと推定される(小野木：2009)。

風車型風向風速計の観測において観測した風向が真の風向と異なるときの風速への影響については、1975年製造のFF-3R-A型ではあるが徳植・染谷(1977)が方位角及び仰角方向の試験を、青嶋ほか(2010)が10型風向風速計の仰角方向の試験を行っている。徳植・染谷(1977)によると風向が角度 θ 異なると観測される風速は $\cos^2 \theta$ を乗じた風速とよく一致するという実測結果が示されており、方位角方向、仰角方向ともにその変化は相似している。青嶋ほか(2010)によると、風の正対方向と仰角が 10° 異なると風速0.5m/sでは80%、3.0～6.0m/sでは98%程度の捕捉率となり、真値より低く観測される結果が示されている(図16)。鳥の止まりによって、風向差のバラつきが大きくなっていることは、真の風向よりも傾いた状態で観測される頻度が多くなっていることを示しており、これは、4. 2.

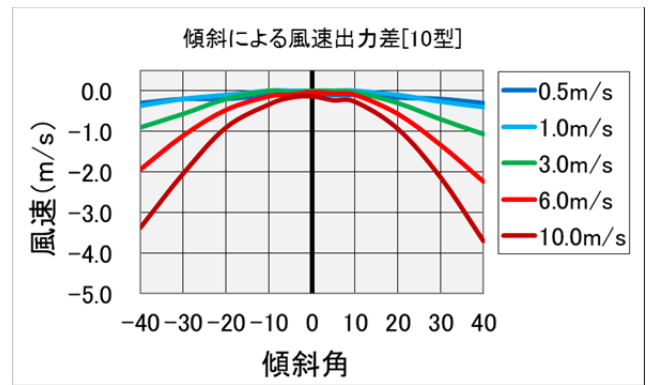


図16 風向風速計の傾斜による風速出力差
青嶋ほか(2010)より引用。傾斜角は仰角を表している。

1において鳥が止まったことにより風速が弱く観測されていることと矛盾しない。

5. まとめ

風向風速計に鳥が止まった場合の観測値への影響は、事例を個々に見るだけでは判断することはできないが、データを統計的に処理することにより瞬間風速・平均風速ともに平均0.1～0.2m/s程度小さく観測されることが分かった。これは鳥の止まりによって風向風速計の平衡が崩れることにより風向風速計が風向に対して正対しないことがその一因と考えられる。一方、風向についても鳥の止まりによって、風向がどちらかにずれることによって、結果として風向の分布に違いが生じることが確認できたが、平均値としての差に現れないことが分かった。

10型に採用されている風向風速計WS-JN6型は、風速10m/s以下で $\pm 2\%$ の精度で観測を行っていることを考えると鳥による影響は小さいとは言えないが、風向風速の観測値から鳥の止まりを判断することはできず、品質管理による除外はできない。しかしながら、強風時には鳥は風向風速計に止まらないことから、極値観測や注警報に使用するデータへの影響はなく、また全観測に対する鳥の止まりの時間の割合は非常に小さいので、統計的な値への影響は小さいといえる。

謝 辞

本調査を行うにあたり、気象測器検定試験センターからガラスが止まっていた事例も含めて地上気象観測データと写真を快く提供していただきました。御礼申し上げます。

引用文献

青嶋忠好・河野紗恵子・川村裕志・酒井武・杉田興正

- (2010):JMA-10 型地上気象観測装置用測器の特性調査.
平成 22 年度観測技術開発推進部会開発報告.
- 青嶋忠好(2011): 気象観測用測器における「鳥よけ」の実
状. 測候時報, **78**, 173 - 177.
- 萩野谷成徳(2015): 突風率から推定した地表面粗度の長期
変化. 天気, **62**, 1, 17 - 24.
- 近藤純正(2000): 地表面に近い大気の科学. 東京大学出版
会, 88 - 95.
- 小野木茂(2009): 地上風の測器. 日本風工学会誌, **34**, 314 -
321.
- 田中豊, 垂水共之(1999): 統計解析ハンドブック ノンパ
ラメトリック法. 共立出版, 40 - 41.
- 徳植弘・染谷清(1977): 風車型風向風速計の特性と観測値
についての考察. 研究時報, **29**, 11 - 22, 17 - 23.
- 東京航空地方気象台(2013): 羽田空港 WEATHER TOPICS,
第 30 号.

