

〔教育実践報告〕

京都産業大学付近の上空における風の特性 パイバル観測学生実習の方法と成果

藤 井 健
馬 場 賢 治

(平成 21 年 9 月 24 日提出
平成 21 年 12 月 16 日修正
平成 22 年 1 月 8 日再修正)

要 旨

京都産業大学は京都盆地の北端に位置しており、周辺の地形は起伏に富んでいる。ここで、著者は地学関係の授業の一部としてパイバル観測の学生実習を行った。1994年から2009年までの16年間に4,000 m以上の高度(地上高)まで気球を追跡することができたのは20ケースであり、これについて再解析を行って、その結果をまとめた。まず、風向のベクトル平均値については、地上から海拔高度(以下「高度」と略す)700 mまでは南西であり、これは京都市市街地から吹き上がってくる谷風の影響が考えられる。それより上空では、風向は時計回りに変化していき、高度2,500 m以上では西北西で、変化が小さい。次に、風速のスカラー平均値については、高度2,000 mを超えると、急に風速が増大しているため、これは地表面の起伏の影響が小さくなっていくことを意味している。この結果を気象庁高層気象観測所3地点(輪島、米子および潮岬)のレーウィンゾンデ観測と比較してみると、米子と潮岬では、風速が急激に増大する高度が1,500 mであり、京都産業大学周辺では地表面の起伏の強い影響が500 mも高くまで及んでいる。最後に、パイバル観測の風と気象庁3観測所の風との間でベクトル相関係数を求めた。その結果、高度2,500 mから高くなるにつれて、相関が高くなっていくが、これは地表面の起伏の影響が小さくなっていくことを意味している。これはパイバル観測による風向や風速の高度分布の特徴ともほぼ一致している。この解析の結果から、実習を行った春秋の移動性高気圧に覆われた穏やかな日において、京都産業大学周辺における地表面の起伏の影響は海拔高度2,500 mあたりまで顕著であるということが明らかになった。

なお、この実習は、上空風について準備、観測、解析の一連の作業を通して実際の大気を状態を正確に知るといふ地学では、数少ない学生実習の一つである。この実習を通して気象への関心が深まり、その方面へ進路を求めた学生も少なくない。

キーワード：地学教育、上空風、パイバル観測、レーウィンゾンデ観測、ベクトル相関係数

1. はじめに

自然科学の学習の方法には、自然界の状態やそこで発現している現象を観察・測定し、それらに基づいて自然界の成り立ちを理解することが重要である。しかし、地球や宇宙における事物や現象を対象とする科目「地学」においては、それを直接に観察したり、測定したりする機会

は非常に少ない。また、「地学」が対象とする現象を実験的に再現することも難しい。これは、実験室内の比較的簡単な装置で、同じ条件のもと、繰り返し再現できる「物理学」や「化学」とは、大きく異なっている点である。

ここで紹介する上空風の観測は、パイバル (pibal, pilot balloon の略, パイボールあるいは測風気球ともいう) を放って、測風経緯儀 (以下「経緯儀」と略す) で追跡することにより、上空の風の方向と速さを測定するものであり、これは「地学」において自然現象を直接に測定する数少ない実習の一つである。

著者の一人である藤井は、1994年のころより、「地学実験」や「気象情報の解析」のテーマの一つとして、パイバル観測を実施してきた。これを2008年より馬場が引き継いだ。学生たちが測定したデータのうち、比較的の高い高度まで追跡できた20ケースについて再解析を行い、京都産業大学付近上空の風の特徴を明らかにすることにした。

京都産業大学は、京都盆地の北端にあり、ここでは地表面起伏が激しい(写真1参照)。したがって、下層の風は、地形の影響を大きく受けているが、高度とともに地形の影響は減少していく。そこで、パイバル観測により測定された上空風について、気象庁高層気象観測所の輪島、米子、潮岬においてレーウィンゾンデにより観測された上空風と比較し、地表面の影響が及ぶ高度の差異を調べることにした。



写真1 京都産業大学より西方を望む(2007年2月5日撮影)

2. 観測方法

パイバル（以下「気球」と称す）を放って、経緯儀により追跡し、一定の時間間隔で高度角と方位角を測定する。その方法は、次のとおりである。

- (1) 気球（Totec 社製，20 g）に，ヘリウムガスを充填し，分銅を使って，浮力が 135 g (132–136 g) になるように調整する（写真 2 参照）。この浮力をもった気球を大気中に放つと，毎分 200 m の割合で上昇する。この上昇速度は，上昇流がほとんどない状態では，高度約 4 km まで近似的に成立するとされている。
- (2) 観測場所（京都産業大学 2 号館屋上）へ気球，経緯儀（デジタル測風経緯儀 TD-3），三脚を持っていく。屋上を傷つけないために，三脚の脚を置く場所（3 か所）にゴム板を置く。三脚の 6 本のねじ（脚の中央と台との接続箇所）をゆるめる。三脚の脚を半分くらい延ばし，6 本のねじを締める。
- (3) 三脚を据え付け，それに経緯儀本体を取り付ける。気泡が中央にくるように 3 本の水準ネジを回して調整し，経緯儀を水平にする。
- (4) 経緯儀の持ち運び用の取手を取り外し，方位磁針を取り付ける。



写真 2 ヘリウムガスの充填（2003 年 5 月 22 日撮影）

- (5) 経緯儀の方位磁針を北に合わせる．電源スイッチを ON にし，方位角をリセットし，0 にする．これを横の窓から覗いて確認する．上段の数値が方位角，下段の数値が高度角である．いずれも度の単位で小数第 2 位まで表示されている．
- (6) 当初，高度角の表示は 0 になっている．そこで，望遠鏡を水平方向より下方に向けておいてから，上方に向けていく．すると，水平面を通過するとき高度角はリセットされ，水平方向を基準とした高度角が表示される．
- (7) 望遠鏡の倍率を 4 倍にしておく．
- (8) 観測データの収集のため，データコレクターを使用する場合には，この装置の電源を ON にする．順番に，， のボタンを押し， を選び， を押す．そして，カンソク No. を入力する．
- (9) ヘリウムガスを充填した気球 1 個を放つ用意をする．秒読みを開始し，気球を放つ（写真 3 参照）．同時に 15 秒おき（高度差 50 m 間隔に相当）に方位角と高度角を測定する．データコレクターを使用した場合，方位角と高度角は 1 度の 1/20 の位までプリントされる．
- (10) 初めは，主望遠鏡上の照星照門で気球を追求し，望遠鏡（倍率 4 倍）の視野に入ったら，望遠鏡で追跡する．この時，気球は望遠鏡ファインダー中央の円内に入るようにする．観測風景を写真 4 に示す．
- (11) 気球が小さくなって見えにくくなってきたら，望遠鏡の倍率を 4 倍から 18 倍に拡大し，引き続き追跡する．
- (12) 気球が雲に入ったり，山に隠れたりして完全に見えなくなったら，あるいは見失ったら，測定を終了する．



写真 3 放球開始（2005 年 4 月 14 日撮影）

3. 解析方法

観測により得られたデータ（高度角と方位角）から、次の式を用いて風速と風向を計算し、グラフを作成する．実習を始めた当初の1994年ころは関数電卓で計算を行っていたが、やがて、情報処理教室のパソコンを使用するようになった．パソコンによりデータ処理を行う方法は次のようであり、その状況を写真5に示す．



写真4 気球の追跡（2002年5月23日撮影）



写真5 パソコンによるデータ処理（2002年12月12日撮影）

- (1) 観測データ（方位角 A_i と高度角 θ_i ）を Excel[®]（Excel は Microsoft 社の登録商標）のワークシートに入力していく．次の式で，気球の高度（地上高） z_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) ごとに水平距離 s_i を計算して，鉛直面内の飛跡図を作成する．測定時間間隔が Δt ，気球の上昇速度が w のとき， i 回目測定時の z_i と s_i は，次の式で与えられる．

$$\begin{aligned} z_i &= \left(\frac{w}{\Delta t}\right)i \\ s_i &= z_i / \tan \theta_i \end{aligned} \quad (1)$$

本観測の場合は， $\Delta t = 15 \text{ s}$ ， $w = 200 \text{ m/min} = 3.3 \text{ m/s}$ である．

- (2) 水平面上における位置ベクトルの x 成分 x_i ， y 成分 y_i を計算し，水平面上に投影した飛跡図を作成する．

$$\begin{aligned} x_i &= s_i \sin(A_i + \delta) \\ y_i &= s_i \cos(A_i + \delta) \end{aligned} \quad (2)$$

この式で， δ は地磁気の水平分力の偏角（真北から時計回りに正）であり，磁針の N の方向が真北を向いていないための補正である．本観測では， δ の値を -6.8° （京都産業大学付近）とした．

- (3) 高度 z_i と z_{i+1} の間の平均風速 v_i を次の式で算出する．

$$v_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} / \Delta t \quad (3)$$

- (4) 高度 z_i と z_{i+1} の間の平均風向 α_i を次の式で計算する．

$$\begin{aligned} \tan \beta_i &= \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \\ \beta_i &= \tan^{-1} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\alpha_i = 270^\circ - \beta_i \quad (5)$$

4. 解析結果の図示例

パイバル観測の一例として，2000年5月18日観測の解析結果を紹介する．この事例では，高度 10,000 m 付近まで気球を追跡することができた．これは，快晴であったことと下層で風が弱かったことに加えて，夕刻であり，視力よい学生が西日に照らされて輝いている気球の微小な点を追跡できたためである．通常は，5,000 m まで追跡できれば成功であり，また浮力一定の仮定が成り立つのもこの高度あたりまでである．

この観測で作成した図は，次のとおりである．

- (1) 鉛直面内における飛跡（図 1 参照）

観測により得られた高度角 θ_i 、高度 z_i から、式 (1) によって水平距離 s_i を計算する。 s_i を x 軸に、 z_i を y 軸に取って結び、鉛直面内の飛跡のグラフができる。

(2) 水平面内における飛跡 (図 2 参照)

観測により得られた方位角 A_i と式 (1) により計算した s_i から、式 (2) によって気球の位置の x

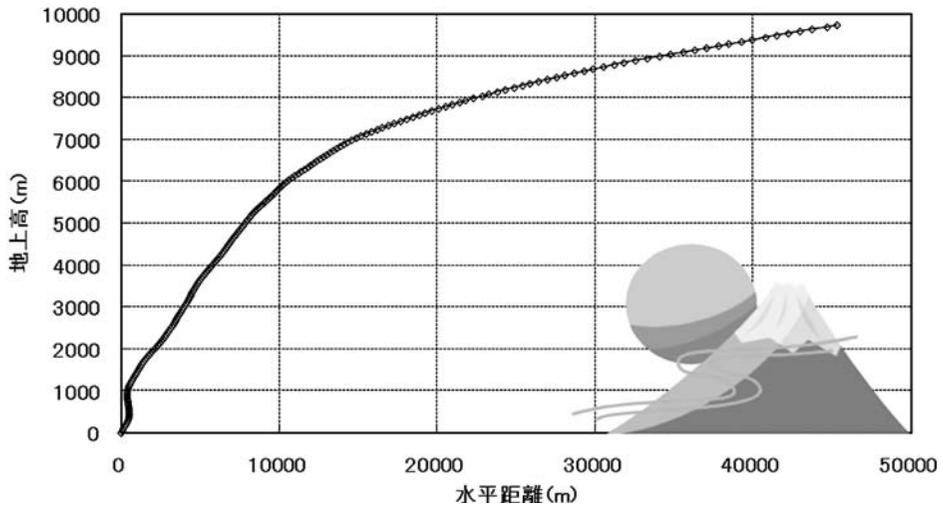
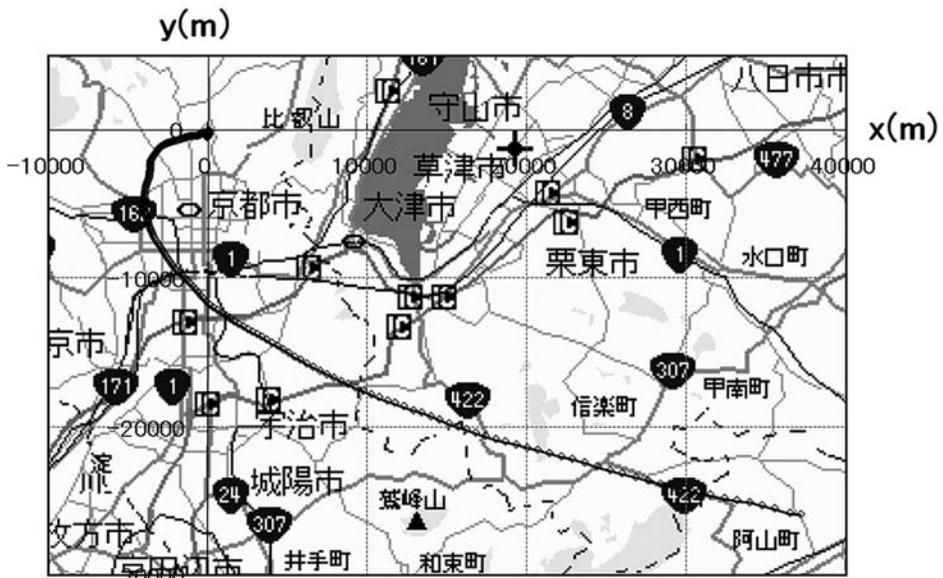


図 1 鉛直面内の飛跡 (2000 年 5 月 18 日)



地図は MapFanWeb 40 万分の 1 より

図 2 水平面内の飛跡 (2000 年 5 月 18 日), 背景の地図はホームページ goo の地図を加工

座標（東西方向）と y 座標（南北方向）を計算する． x_i を x 軸に， y_i を y 軸に取って結ぶと，水平面に投影した気球の飛跡のグラフができる．

(3) 風速の高度分布（図 3 参照）

式 (3) により，水平面内の移動距離から風速を計算すると，風速の高度分布のグラフができ

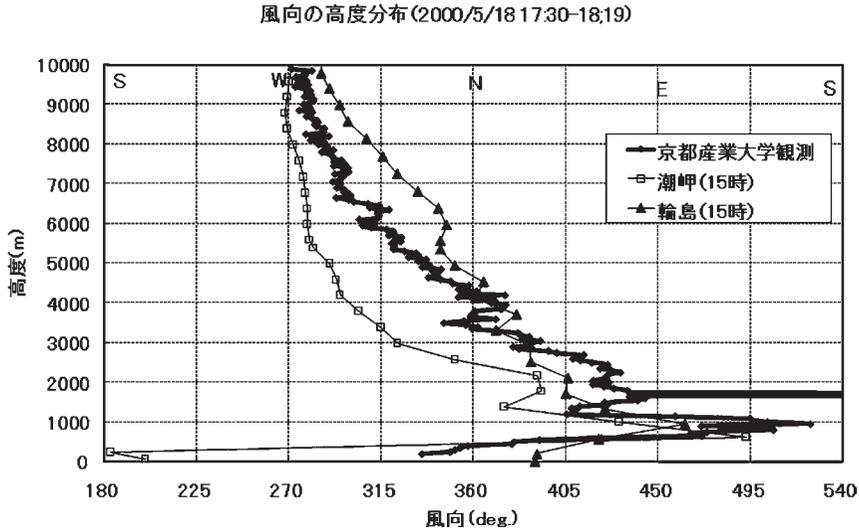


図 3 風向の高度分布（2000年5月18日），潮岬と輪島の高層観測資料は CD-ROM「気象庁月報 2000年5月」による．

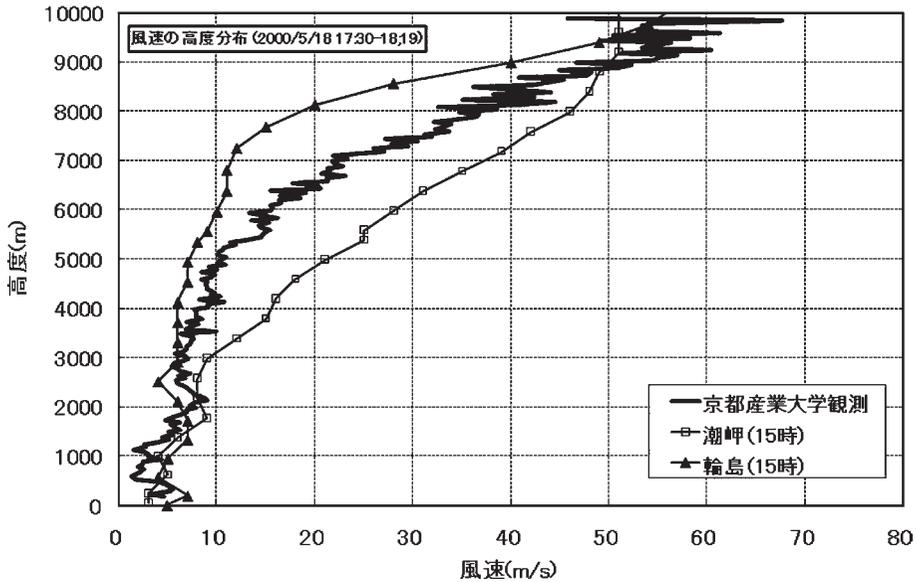


図 4 風速の高度分布（2000年5月18日），潮岬と輪島の高層観測資料は CD-ROM「気象庁月報 2000年5月」による．

る。グラフでは、放球場所の海拔高度（170 m とする）の補正を行う。

(4) 風向の高度分布（図 4 参照）

式 (4) により、水平面内の移動方向から風向を計算すると、風向の高度分布のグラフができる。グラフでは、放球場所の海拔高度の補正を行う。

5. 京都産業大学において観測した上空風の高度変化

解析の対象としたのは、4,000 m 以上の高度（地上高）まで追跡できた 20 ケースで、その期日等を表 1 に示す。追跡できた高度の最大は、前節で紹介した 2000 年 5 月 18 日の例で 9,750 m であり、最小は 2007 年 4 月 6 日の 4,050 m である。この高度 4,050 m を本研究において解析の対象とする上限高度とした。地上からこの解析上限高度までの気球の飛跡図（水平面に投影した図）を図 5(a) ~ (b) に示す。放球後しばらくは、地上付近の変動の大きい風に流されて、複雑な動きをしている。しかし、やがてほぼ決まった方向に動いて行く。この方向は、20 例のうち、Cases 4, 5, 9, 20 の 4 例は北西 ~ 南の方向であるが、他の 17 例は東南東から東北東の方向である。このように、東の方向に向かって流れていく場合が多いのは、春秋の上空では偏西風が卓越していることと関係が深いと考えられる。また、Case 6 と 10 は、途中で向きを大きく変え

表 1 解析の対象としたパイバル観測の事例，カッコ内の放球時刻は推定時刻。なお，科目名で，「1・2」，「A」あるいは「B」は省略してある。

No.	観測年月日	科目名	放球時刻	観測最高高度（地上高，m）
1	1996/10/16	地学実験	16:42	4,900
2	1997/10/22	地学実験	(16:30)	6,750
3	1999/5/20	アドバンスドゼミ 気象情報の解析	18:03	5,050
4	1999/10/18	地学実験	16:28	4,450
5	2000/5/18	アドバンスドゼミ 気象情報の解析	17:30	9,750
6	2001/10/15	地学実験	16:44	6,200
7	2002/4/22	地学実験	15:36	5,850
8	2002/5/23	アドバンスドゼミ 気象情報の解析	17:30	5,400
9	2002/6/6	アドバンスドゼミ 気象情報の解析	17:40	4,350
10	2003/5/22	アドバンスドゼミ 気象情報の解析	15:39	4,200
11	2004/4/12	地学実験	16:55	4,600
12	2004/4/15	アドバンスドゼミ 気象情報の解析	18:03	5,050
13	2005/4/14	アドバンスドゼミ 気象情報の解析	(17:30)	5,550
14	2006/4/7	地学実験	(15:00)	4,250
15	2006/10/30	気象物理学特別研究	15:31	5,000
16	2007/4/6	地学実験	15:23	4,050
17	2007/5/14	気象情報の解析	17:27	4,800
18	2008/5/23	地学実験	14:51	6,050
19	2008/11/27	気象情報の解析	14:01	4,800
20	2009/4/10	地学実験	15:05	5,900

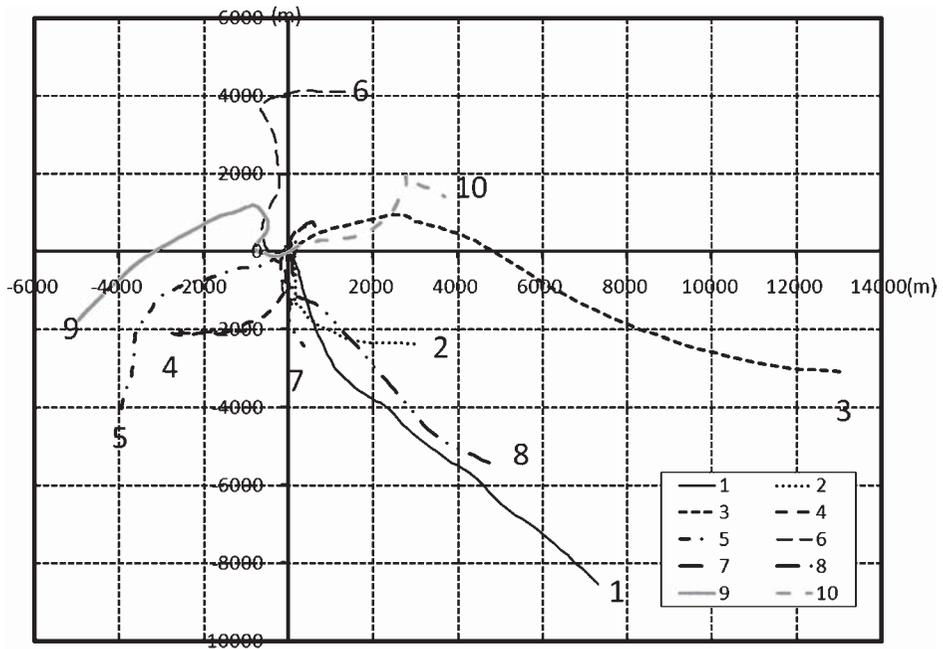


図5 (a) パイバル観測による地上から高度4,050 mまでの気球の飛跡 (表1のNo. 1~10)

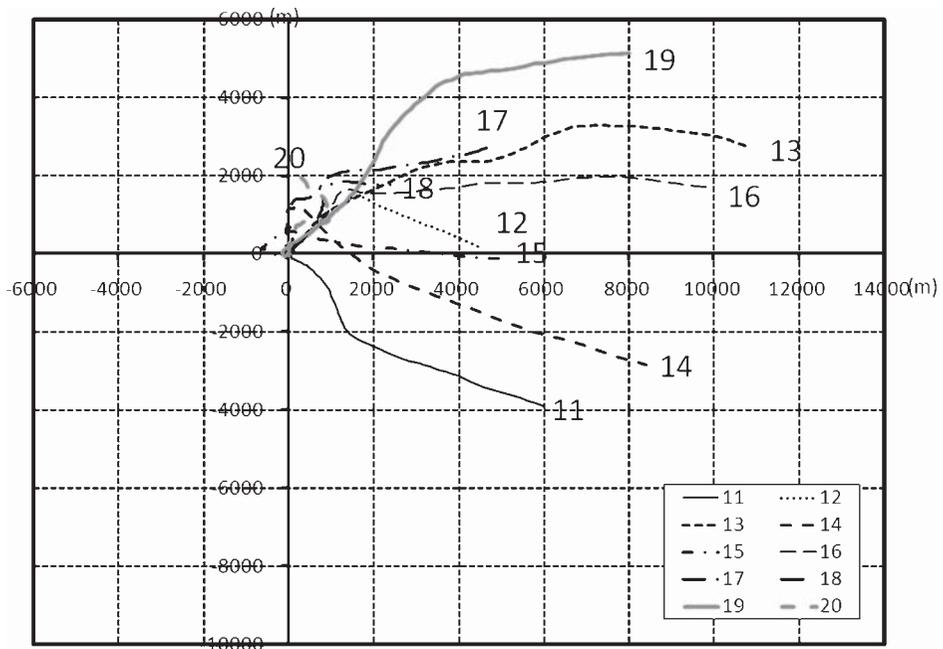


図5 (b) パイバル観測による地上から高度4,050 mまでの気球の飛跡 (表1のNo. 11~20)

ており、この高度は、Case 6 が 2,650 m, Case 10 が 2,750 m である。これについては、次節で考察する。

前述のように、京都産業大学の周辺では地表面の起伏が激しく、この影響を受けて気球は上昇する。観測を実施した昼間においては、京都市市街地から吹き上がってくる谷風が卓越しており（藤井，1991）、この影響を受けることもある。しかし、気球が上昇していくにつれて、次第に上空の一般風に流されながら上昇していくようになる。そこで、気象庁のレーウィンゾンデ観測で観測される風と比較することにより、地表面の起伏や局地循環の影響が及ぶ範囲を調べてみることにした。図 6 に示した気象庁のレーウィンゾンデ観測所のうち、比較的近い輪島、米子、潮岬の 3 地点を選んだ。これらの地点は日本海や太平洋に面しており、京都産業大学よりも地形の影響が小さい場所にある。これらの地点におけるレーウィンゾンデの観測値は Wyoming University のホームページから引用した。ただし、1999 年 10 月 18 日の観測データは掲載されていないので、CD-ROM「高層気象観測年報 1999 年」収録のデータを用いた。レーウィンゾンデの観測は、通常、日本時間の 09 時と 21 時に実施される。このうち、観測時刻（14～18 時）に近いのは 21 時であるが、森（1982）が調べた山岳気象官署における風速の日変化によると海拔高度 3,000 m あたりの風でも昼間と夜間では異なっているので、昼間の 09 時の観測値と比較することにした。



図 6 気象庁高層気象観測所の位置（気象庁ホームページより引用）

レーウィンゾンデによる風の観測値をパイバル観測による風の観測値と比較するためには、高度を一致させなければならない。そこで、レーウィンゾンデによる風の観測値を線形補間によりパイバル観測の高度の値に換算した。次に、各高度において、20 ケースの風向と風速の平均値を求め、その高度分布を図7と図8に示す。

風向については、20 ケースについて高度別に風のベクトル平均を求め、図示した。京都産業大学では、地上から海拔高度（以下、「高度」と略す）700 m あたりまでは、南西の風であり、それより上空では、次第に西南西に変わり、高度 2,500 m では西になっている。さらに上空では、時計回りに変化し、高度 2,700 m より上空では西北西で、変化が小さい。下層での南西の風は、京都市の市街地から吹き上がってくる谷風が卓越していること（藤井，1991）と関係が深いと考えられる。次に、前述の気象庁3観測所と比較すると、輪島と米子のプロファイルとよく似ているが、潮岬とは高度 2,000 m 以下ではかなり異なっている。しかし、高度 3,000 m 以上では、差は 20 度以内に収まっている。

一方、風速については、ベクトル平均では、風向が異なると相殺され、風速は小さくなるので、単純にスカラー平均を求めた。これによると、京都産業大学の事例では、地上から高度 2,000 m あたりまでは高度に伴う風速の変化の割合は小さい。しかし、その上では、風速が急激に増加していき、高度 4,200 m では 9 m/s に達している。これは、高度 2,500 m より上空では、地表面の起伏の影響が小さくなることを意味している。気象庁の3観測所と比較すると、米子と潮岬でも、高度 1,500 m あたりまでは風速増加の割合は小さいが、その上では、急激に増加していく。一方、輪島では、地上から、風速は増加していく。

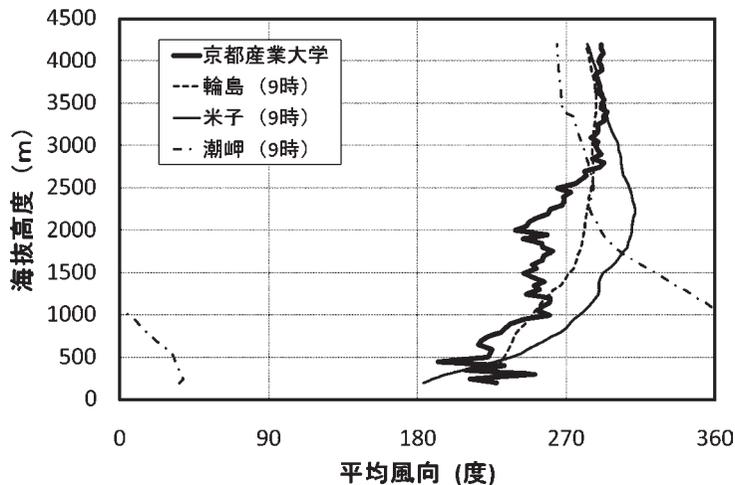


図7 風向のベクトル平均値の高度分布。風向は、通例のように、北を0度とし、時計回りに測った角度で表してある。

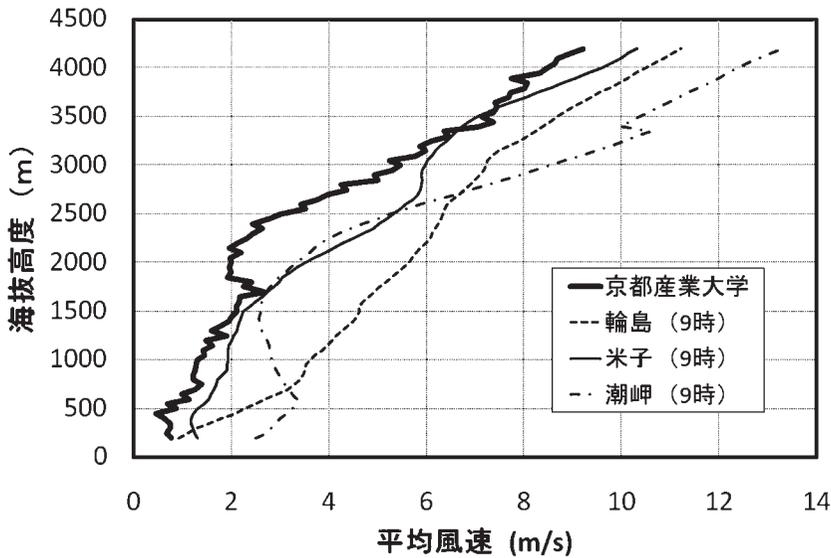


図8 風速のスカラ平均値の高度分布

6. ベクトル相関係数

風のようなベクトル量の間の相関を求めるためにベクトル相関係数を使用することにした。ベクトル相関係数の求め方には何通りがあるが、そのうち、Court の式 (Lambert, 1966) を採用した。この式によると、ある高度におけるパイバル観測の風速の東西成分を u 、南北成分を v 、レーウィンゾンデ観測の風速の東西成分を x 、南北成分を y としたとき、これらの間のベクトル相関係数 R_{WZ} は次のように表わされる。

$$R_{WZ}^2 = \frac{S_u^2(r_{ux}^2 + r_{uy}^2 - 2r_{ux}r_{uy}r_{xy}) + S_v^2(r_{vx}^2 + r_{vy}^2 - 2r_{vx}r_{vy}r_{xy})}{(S_u^2 + S_v^2)(1 - r_{xy}^2)} \quad (6)$$

この式で、 S_u, S_v は、それぞれ、 u と v の標準偏差、 $r_{ux}, r_{uy}, r_{vx}, r_{vy}, r_{xy}$ は、それぞれ、 u と x, u と y, v と x, v と y, x と y の間の相関係数である。

パイバル観測と気象庁レーウィンゾンデ観測の間のベクトル相関係数を求め、その高度変化は図9に示す。

これによると、高度 800 m 付近で相関係数の差が最も大きく、地表面の起伏の影響が地点により異なっている。この高度における京都産業大学付近上空の風は、米子上空の風と関係が強く (相関係数 0.77)、潮岬上空の風とは関係が弱い (相関係数 0.35)。高度が高くなっていくと、米子および輪島との相関は弱くなっていき、高度 2,150 m あたりでは、相関係数が 3 地点とも 0.4 程度となり、京都産業大学上空の風は、どの地点とも関係が弱い。これは、海岸付近にある気象庁 3 地点のこの高度では、地形の影響が弱くなっているが、内陸にある京都産業大学上空

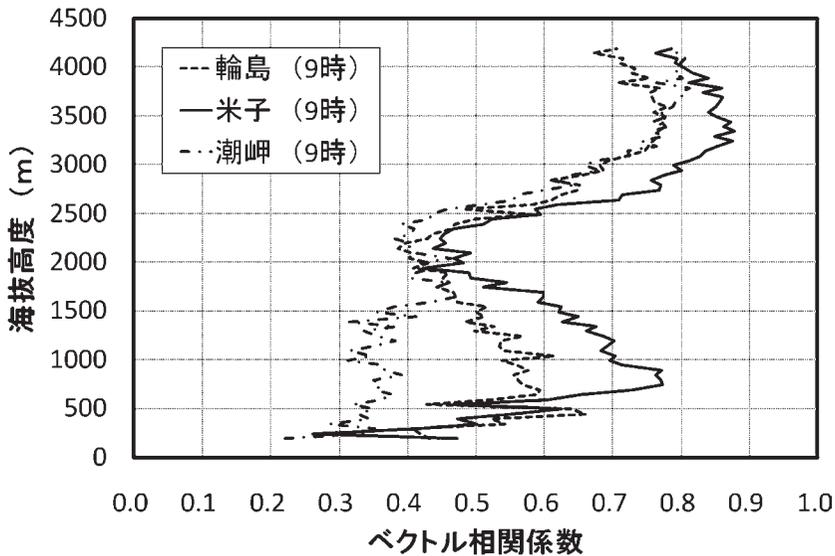


図9 ベクトル相関係数の高度分布

では、まだ地形の影響が強いことを意味しているのかもしれない。高度 2,500 m から高くなるにつれて、相関が高くなっていく。これは、京都産業大学における地表面の影響が小さくなっていき、気象庁 3 地点の同高度における風との関係が強くなっていくことを意味している。また、これはパイバル観測による風向や風速の高度分布の特徴ともほぼ一致している。風向分布と風速分布の結果から、京都産業大学周辺における地表面の起伏の影響は高度 2,500 m あたりまで顕著であると結論づけられる。これが明瞭に現われたのは、Cases 6 と 10 であり、この高度付近で気球が唐突に向きを変えた。

7. 考察

京都産業大学において観測した上空風が、輪島、米子、潮岬の同じ高度における風に比べて少し弱い点については、次のように考えられる。森 (1982) が山岳にある気象庁観測所の伊吹山と剣山における風の日変化を調べた結果によると、昼間は、夜間よりも 2 m/s 程度風が弱くなっている。また、15 時の風を 9 時の風と比べると、伊吹山ではほとんど変わらないが、剣山では 1.5 m/s 程度弱い。したがって、風速の差は風速の日変化によるものと考えられる。

次に、他の観測結果と比較してみた。まず、気象庁高層気象台 (つくば市) の 5 月と 10 月における平年値 (30 年間平均) を図 10 に示す。これによると、高度 1,500 m あたりまでは、地表面の影響が残っているが、それより上空では、高度とともに風速は増している。この気象台は、関東平野中央部の平地にあり、標高 877 m の筑波山までも 20 km あまり離れている。

また、藤井ほか (2008) は、2004 ~ 2006 年に九州を通過した 4 個の台風について、気象庁ウイ

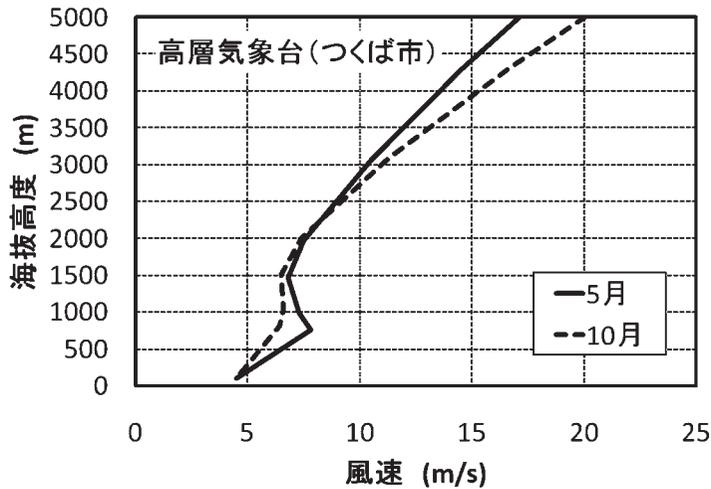


図 10 気象庁高層気象台(つくば市)のレーウィンゾンデによる 21 時の風速の高度分布。同気象台ホームページで公表されている平年値(1971~2000 年の 30 年間の平均)を使って作成した。

ンドプロファイラの風のデータを使って、風速の高度分布について解析を行った。これによると、高度 3,000m (地上高) あたりまで地形の影響が現われていた。台風の場合、強い対流が起こり、上下の混合も盛んなので、地形の影響は、本報告におけるパイバル観測よりも高くまで達していると考えられる。

これらの資料から判断すると、京都産業大学付近では、海拔 2,500m あたりまで地形の影響が及んでいるのは妥当な結果であるといえる。

現在は、気象庁のウィンドプロファイラ観測により、上空の風が得られる。これは、10 分間隔でデータが入手できるので、観測時刻の風との比較が可能である。また、観測所も多く、近くでは、和歌山県美浜や高松がある。ウィンドプロファイラにより上空風との比較は、時間差の影響が取り除かれ、より厳密な結果が得られるであろう。

なお、この実習は、おもに、「地学実験」と「気象情報の解析」の授業中に行ったが、屋上での観測は厳しい真夏や真冬は避けたので、観測時期は、4~6 月と 10~11 月に限られた。また、曇天や雨天の日は、観測が無理であり、風の強い日も気球を逃したり、山に隠れたりして、高度 2,000m あたりまで追跡するのがやっとである。したがって、観測は、主として、春秋の移動性高気圧の圏内における穏やかな日に実施した。本報告における上空風の特徴は、このような日のものである。

8. おわりに

ここで紹介したパイバル観測は、授業の中の一つのテーマとして行ったが、気球にヘリウム

ガスを充填することから始めて、観測機器のセッティング、観測、そしてパソコンによる解析までの一連の作業は、気象学学習の基本である。しかし、学生実験で、実際に大気中で発現している現象を観測することから始めることができるのは限られている。ほとんどのテーマでは、気象庁などにより観測されたデータを解析することである。したがって、このパイバル観測を通して、学生たちは、気象学の学習方法や研究方法の基本を味わったことと思われる。また、解析の結果、上空では 20~50 m/s という台風なみの風が吹いていることを実際に確認したものと思われる。

授業の一つのテーマとして実施したパイバル観測のデータには、自然現象を解明しようとする学生の努力も含まれている。このまま消えていくのは惜しいので、解析をやり直し、その結果をまとめて、京都産業大学周辺付近の起伏に富んだ地形が上空の風に対して、いかなる高度あたりまで影響するのかを調べてみた。

かつては、著者の一人の藤井が作成したパイバル観測のテキストは、他大学におけるパイバル観測に使用されたこともある。本報告が学生実習としてのパイバル観測に参考資料となれば幸いである。

なお、京都産業大学におけるパイバル観測は、15 年間ほど続けてきた。この実習における一連の作業を通して、観測分野の研究方法の一端を体験することができ、気象に関する探究心を深めたことは間違いない。その一つの現われとして、「アドバンスドゼミ - 気象情報の解析」でパイバル観測を体験した学生のうち 6 名は気象予報士国家試験に合格している。また、気象を研究するために大学院へ進学し、現在、大学で特定研究員として研究に勤しんだり、気象台で予報作業に励んだりしている者もいる。さらに、気象関係の企業に就職したものもいる。

最後に、少しでも高いところの風を観測するために、辛抱強く気球の追跡を続けた学生たちに感謝したい。また、貴重な助言をいただいた 2 名の査読者の方に対しても感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 藤井 健, 1991: 京都産業大学における卓越風向について。京都産業大学論集, 第 20 号第 3 号, 自然科学系列 I 第 20 号, pp. 167-183.
- 藤井 健・田中基裕・土屋香奈, 2008: 台風域内における風速分布の非対称性について 傾度風と気象庁ウィンドプロファイラによる上空風の比較, 日本風工学会論文集, Vol. 33, No. 2, 37-44.
- Goo, 地図, <http://www.goo.ne.jp/>
- 気象庁高層気象台, <http://www.kousou-jma.go.jp/>
- Lamberth, R. L., 1966: On the use of Court's techniques for computing vector correlation coefficients. J. Appl. Meteor., Vol. 5, 736-737.
- 森 征洋, 1982: 日本における風の日変化の気候学的特性について, 天気, 第 29 巻, pp. 223-230.
- University of Wyoming, Atmospheric soundings, <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

A Property of the Upper Wind over the Surroundings of
Kyoto Sangyo University
—A Method of Practice Teaching of the Pibal Observation and
its Educational Effects—

Takeshi FUJII

Kenji BABA

Abstract

Kyoto Sangyo University (KSU) is located at the north edge of the Kyoto Basin and is surrounded by hilly terrain. In this university, the authors observed the upper wind by tracing balloons with the theodolite as a practice teaching for the students. In the years 1994 to 2009, 20 cases that could be traced the balloon over 4,000 m in height above the site were re-analyzed. The directions of vector mean wind at a height were west-northwest at higher altitudes than the 2,500 m height above the sea level, and the speeds of scalar mean wind increased rapidly with height above the 2000 m height. Based on the vertical distribution of the vector correlation coefficients, the vertical wind distribution by the pibal observation coincided considerably well with the upper winds by rawinsonde observations at Wajima, Yonago, and Shionomisaki weather stations of Japan Meteorological Agency. As a result, it is considered that an effect to upper wind by terrain in surroundings of KSU reaches 2,500 m height.

The pibal observation may have contributed to developing of the interest to meteorology for the students, and some of them have gone to way to the meteorological researchers.

Keywords: earth science education, upper wind, pibal observation, rawinsonde observation, vector correlation coefficient