

複雑地形上の気流の解析

(筑波山周辺気流の統計的解析)*

北林 興二・吉門 洋・近藤 裕昭・横山 長之**

要旨

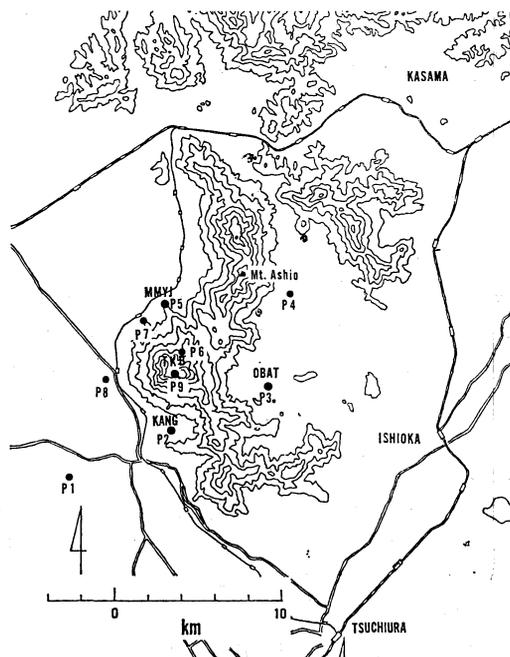
地表風と地形との関係を明らかにする目的で、茨城県の筑波山周辺の8地点で超音波風速計を用いた冬季観測を1ヶ月間行った。この結果を統計的に解析し、風配図、風のベクトル相関係数、平均風速などを日中、夜間、全日の別に計算した。この結果、地表風速は接地逆転層の発達する夜間に小さくなり、風向変動は逆に大きくなること、その傾向は山の風下側で著しいことが明らかになった。このため風のベクトル相関は夜間にはきわめて小さな値となり、特に間に地形の凹凸が入るとその傾向が顕著となる。また、夜間には山頂(海拔875 m)と地表風の相関はきわめて小さくなること、また、山頂付近の高所では日中より夜間の風速の方が大きいことなども明らかになった。

1. まえがき

複雑地形上の気流が地形の影響をどのように、また、どの程度に受けるかを明らかにするため、筑波山を対象として野外観測と風洞実験を行ってきた(北林興二他1986a, 1987)。そのうち、冬期夜間の強い安定層時の気流の力学的な面については、観測とその風洞シミュレーション結果を報告した。(北林興二他(1986b))。

ここでは、筑波山の周囲20 km程度の範囲内の地上風が地形の影響をどの程度受けているかを、統計的な面から解析してみた。地形による風への影響としては、例えば、山の風下側での強風の抑止効果などがある。これは、古来から天然の良港と言われるところがほとんどリアス式海岸にあり、また、港が山に囲まれた地形となっていることから容易に知られる。

この他、安定成層時のおろし風はどの程度出現するか? 地形による気流の屈曲はどの程度発生するかなど、種々の興味深い問題がある。これはむしろ気候学的な面から、あるいは地形の及ぼす風環境的な面からも興味深い。例えば、地形と気象の関係については吉野(1978)に多く記述されている。



第1図 筑波山周辺の地形と測定点(P1~P8)

P9はAMeDAS局、等高線は100m間隔

* Topographical influence on surface wind deduced from field data analysis.

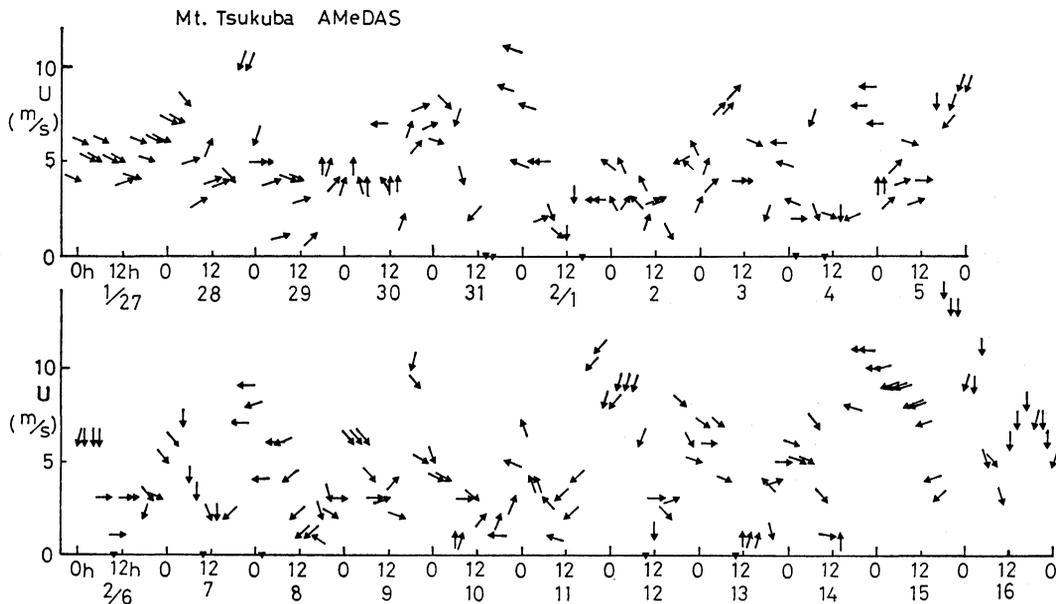
(Statistical analysis of wind data around Mt. Tsukuba)

** Koji Kitabayashi・Hiroshi Yoshikado・Hiroaki Kondo・Osayuki Yokoyama, 公害資源研究所.

—1988年6月27日受領—

—1988年10月19日受理—

今回の観測は冬期の約1ヶ月間を対象としたものであり、その間、あまり強い季節風が発生しなかったこともあり、十分なデータとは言えないが、一応、冬期の平均的な風は得られたものと考えられる。暖候期の不安定大気状態に関してはここで得られた日中の風の状態とは異



第2図 筑波山頂 AMeDAS 局での2時間毎の風ベクトルの時間変化 (1986年1月27日より2月16日まで). 下向きの矢印は北風を表わす. 10 m/s 以上の強風の出現は少ないことがわかる.

なることも考えられ別途観測を行う必要がある。

2. 観測地域と期間

観測場所は筑波山を中心とする東西、南北約 10 km の範囲であり、第1図に示すように8カ所の測定地点を選び超音波風速計を設置した。測定高度は P5, 7 を除き地上約 7 m のポール上である。P5, P7 は両方とも3階建ての校舎の屋上であり、特に P5 は平地から高さ約 30 m の丘の上の校舎の屋上である。また、P6 は筑波山の北側海拔約 550 m の地点にあるユースホステルの駐車場であり、かなり急な斜面上に設置したポール上の観測結果である。その他の観測地点はすべて筑波山周辺の平地上であり、海拔高度は 20~30 m 程度である。この解析では、これらの他、筑波山頂の AMeDAS データも同時に解析した。

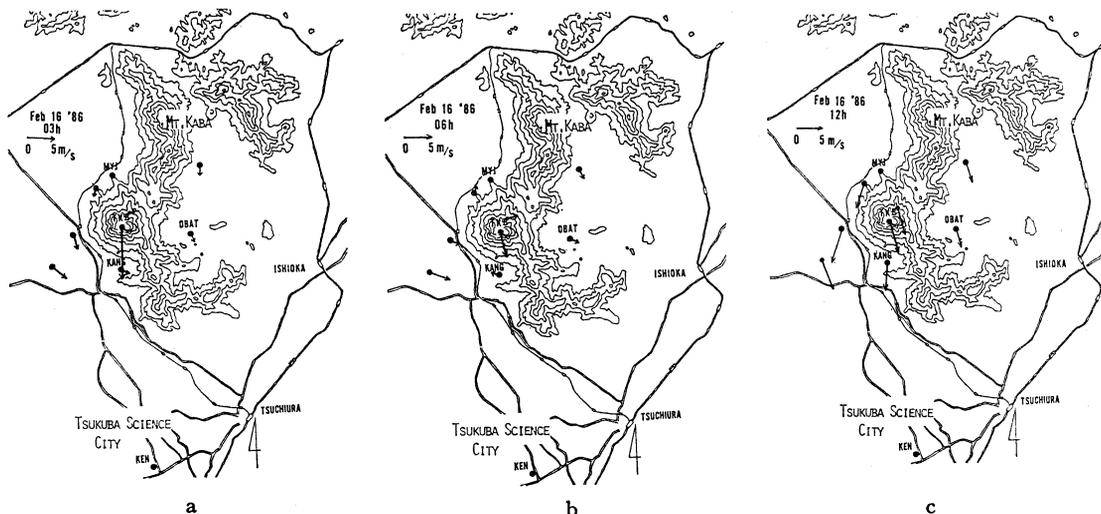
現地観測は昭和61年1月20日から2月17日までの約1カ月間連続的に行った。しかしながら記録計や風速計の故障などにより、全測定地点でのデータが有効であった期間は全体の1/2程度であり、解析に使用したデータは2/3程度である。風向風速は打点記録計に記録し、目視により、30分間平均値として読み取った。

この期間の風の状況の目安として、筑波山頂における

AMeDAS 局の風向風速変化を第2図に示しておく。図で明らかなように筑波山頂でもこの期間の最大風速は 11 m/s であり、10 m/s 以上の風速は全期間で32時間しか出現していない。従って、この期間中は例年に比較して強い季節風の出現が少なかったと思われる。

3. 風向風速の場所及び時間による変化

風の統計的な解析を実施するに先立って、風ベクトルが地域的にどんな変化を示すか？ また、時間的にどのように変化するかを調べてみた。第3図は季節風が比較的発達した2月16日03時、06時、12時の風ベクトルの分布を地図上にプロットしたものである。図で明らかなように、筑波山頂の風ベクトルは北寄りで 10 m/s 前後で安定していたにも係わらず03時、06時の安定成層発達時の地上風ベクトルは場所により極めて大きな変化を示す。特に、P2, P3の両地点は山に近いために変化が顕著であり、P2地点では06時の風向が P3 と完全に逆になっている。しかしながら、大気が中立から不安定になった日中には地上風速は全体に大きく、筑波山頂とほとんど等しい風速となっている。また、風向も地形の影響を若干は受けるものの、夜間の安定層時のような極端な変化は現われないことがわかる。次に風向風速の時間的



第3図 風ベクトルの場所による相違 (1986年2月16日)

- (a) 03時, 逆転層は形成されているものと思われるが, 場所による相違はまだ顕著ではない。
- (b) 06時, 場所による相違はきわめて顕著である. P2, P7 地点での風向が他と大きく異なる。
- (c) 12時, 日中であるため風向, 風速とも場所による相違がほとんどみられない。

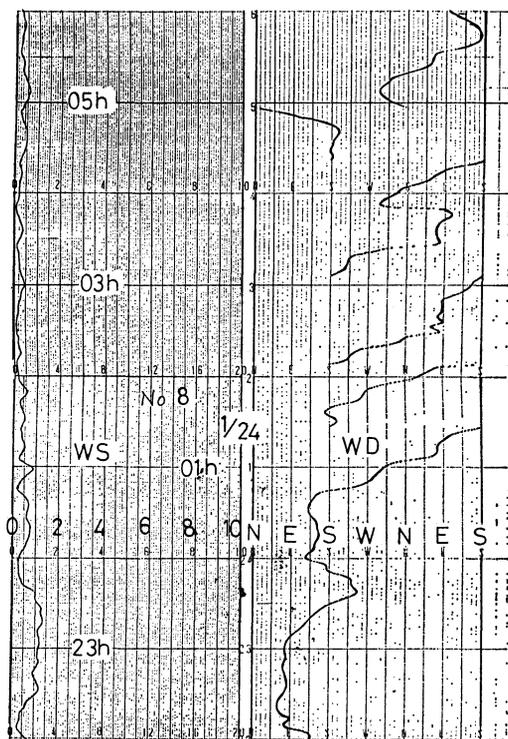
な変化について述べる。第4図は筑波山頂の西側約2 kmの平地上の観測点であるP8における風ベクトルの時間記録のうち強い安定層の出現したと思われる日の深夜から早朝にかけての例である。1月24日0時頃から翌朝7時頃にかけて風速が弱まり, 約1時間周期で風向が大きく変化した。風向はN-E-S-W-Nと時計回りに回っており, ほとんど等角速度で変化したことがわかる。この日は弱い冬型の気圧配置であり, 筑波山頂の風向は西寄り, 風速は4~5 m/sであった。この時, ほとんどすべての測定地点で風向の大きな時間変動がみられた。特に筑波山の東側のP3, P4では同様な風向変動の出現が夜間に頻繁に観測されており, 風上側の地形による影響が強いことが明らかになった。これについては観測データの統計解析の項で再度述べる。

4. 気象データの統計解析

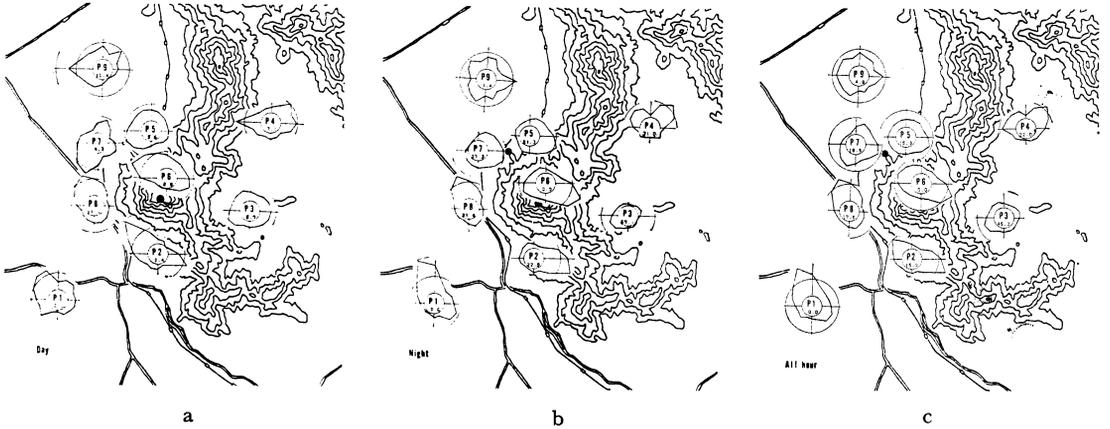
チャートから読み取られた1時間毎の風向風速データを用いて, 各地点毎の風配図, 平均風速, 風ベクトル相関を日中(09h~17h), 夜間(18h~08h), および全日の別に計算した。なお, 解析の期間はほとんどの測定地点で有効なデータが得られた1月29日から2月11日の14日間とした。

4.1 風配図

第5図は, 日中, 夜間, 全日の風向頻度分布を地図上



第4図 深夜の逆転層条件下で風向がきわめて大きく変化した例(P8地点)。風向は時計回りに回転している。



第5図 風配図の場所による変化, 中心円中の数字は静穏 (0.4 m/s 未満の割合)
 (a) 日中 (09時~17時), (b) 夜間 (18時~08時), (c) 全日

にオーバーラップさせたものである。

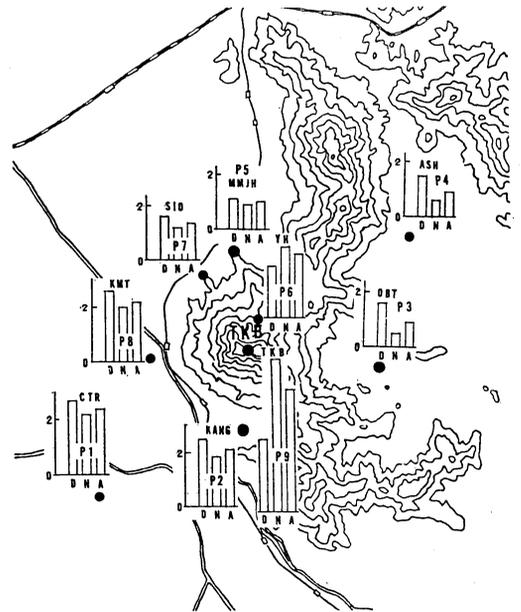
図中の中心円は0%を, また第2円は10%の頻度を表わす。また, 中心円中の数字は静穏 (風速 0.4 m/s 未満) の出現頻度を表わす。

静穏の出現頻度は筑波山の東側の P3, P4, で極めて高く, 全期間を通じて, それぞれ22%, 45%となっている。特に夜間については, それぞれ, 31%と67%となっており, 平地上の P1 や山頂近くの P6 (両方とも0%) と比較するとその差は大きい。これらの測定地点でも日中の静穏出現頻度は10%以下であり, 静穏が主に夜間に発生することが知られよう。

風配図は, 地点毎にかなり異なる形状を示す。特徴的な地点としては P2, P4, P6, などがあげられる。P2 は筑波山の南側で, 南側を 200 m 程度の尾根でさえぎられているためか, 等高線に平行な軸をもつ扁平な形状となっている。軸は北西から南東方向に向いており, 日中は北西風の, また夜間は南東風の頻度が若干高くなっている。これは日中は斜面上昇流を, また夜間は斜面下降流の影響を受けるためと考えられる。

P4 地点は夜間にきわめて特異な風配図を示す。つまり, 北西と北東の2風向が卓越している。北西風については足尾山からの斜面下降風とも解釈できるが北東風については明確な原因は考えられない。この地点は高低差 20 m 程度の丘の上に位置しており, より小規模の地形風が影響しているとも考えられる。

P6 は海拔約 550 m の高所の測定地点であるが, 小さな谷の中に位置しているため谷筋に平行な北西と南東の成分が卓越している。また, この地点についても日中に



第6図 地図上にプロットした, 日中 (D), 夜間 (N), 全日 (A) 別の平均風速

は斜面を上昇する成分が, 夜間には逆向きの成分が多く出現している。

4.2 平均風速の変化

第6図は日中 (D), 夜間 (N), 全日 (A) の別の平均風速を棒グラフで表わし, 地図上に示したものである。風速の最も小さい測定点は全日についてみると, P3 および P4 である。一方, 風速で最も高い地点は当

第1表 1月29日から2月11日の14日間の風向風速から求めた風ベクトルの地点間相関係数

(a) 風のベクトル相関表 (日中) 14日間

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9
P 1	1.0	0.870	0.698	0.687	0.737	0.673	(0.569)	0.871	0.638
P 2		1.0	0.694	0.623	0.745	0.713	(0.706)	0.812	0.596
P 3			1.0	0.763	0.679	0.572	(0.613)	0.659	0.605
P 4				1.0	0.695	0.674	(0.648)	0.622	0.683
P 5					1.0	0.698	(0.736)	0.695	0.617
P 6						1.0	(0.560)	0.669	0.712
P 7							1.0	(0.767)	(0.596)
P 8								1.0	0.640
P 9									1.0

(b) 風のベクトル相関表 (夜間) 14日間

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9
P 1	1.0	0.620	0.298	0.290	0.586	0.351	(0.525)	0.780	0.406
P 2		1.0	0.311	0.255	0.614	0.639	(0.524)	0.490	0.490
P 3			1.0	0.450	0.062	0.314	(0.133)	0.297	0.409
P 4				1.0	0.077	0.095	(-0.04)	0.303	0.253
P 5					1.0	0.689	(0.755)	0.563	0.536
P 6						1.0	(0.623)	0.343	0.780
P 7							1.0	(0.585)	(0.408)
P 8								1.0	0.445
P 9									1.0

(c) 風のベクトル相関表 (全日)

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9
P 1	1.0	0.755	0.609	0.558	0.663	0.466	(0.591)	0.830	0.476
P 2		1.0	0.593	0.500	0.680	0.666	(0.610)	0.668	0.525
P 3			1.0	0.712	0.560	0.481	(0.538)	0.566	0.522
P 4				1.0	0.503	0.400	(0.436)	0.523	0.459
P 5					1.0	0.692	(0.746)	0.631	0.562
P 6						1.0	(0.601)	0.469	0.766
P 7							1.0	(0.684)	(0.471)
P 8								1.0	0.516
P 9									1.0

(a) 日中 (09時~17時), (b) 夜間 (18時~08時), (c) 全日. なお, 表中の () 内の相関はデータ数が他の地点の50%に満たない場合を示す.

P1: 第二センター P2: 神郡 P3: 小幡 P4: 芦穂 P5: 桃山 P6: ユースホステル
 P7: 紫尾 P8: 国松 P9: 筑波山頂

然のことであるが筑波山頂となっている。夜間の接地逆転層より低い測定点では日中より夜間の風速が低く、特に筑波山の東側でその差が大きい。一方、接地逆転層より上部の測定点である P6 と筑波山頂では日中より夜間の風速が高くなっており興味深い。これは萩野谷ら(1984)により既に報告されている。夜間には山頂が境界層より高くなり上空の風の領域に入るためであろう。筑波山頂では他の測定地点に比較して2倍以上の風速となっている。

4.3 風ベクトルの相互相関

各測定地点の風が相互にどの程度類似しているか？また、それが地形によりどの程度影響されているかを数量化するため、時間毎の風のベクトル相関を求めた。表1に時間毎の相関係数を示す。なお、()の数字はデータ数が他の1/2程度と少なかった局を示す。日中はどの測定点毎の相関も0.5以上であり、相互に相関の強いことがわかる。

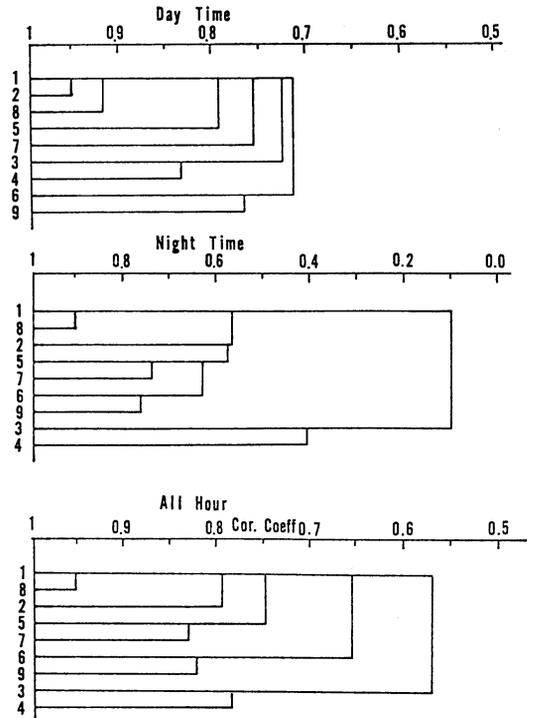
一方、夜間になると風配図の変化から推定されるように相関がきわめて低くなり、0.1以下の地点も多い。特にP3とP4は他地点との相関がきわめて小さくなる。P3についてみると、最も相関が高いのは同様に山頂の東側に位置したP4地点であり、ついで山頂のP9地点である。

また、高所の測定局であるP6とP9は他の地点との相関が必ずしも高くないのが興味深い。これは地表風と上空風の関係が強くないことを示しており、3、で述べたように夜間には地表風が波動などによりきわめて大きく変動するためであろう。この測定点の中で地表風を代表していると思われる地点は筑波山の影響が小さいと推定されるP1であるが、この地点と筑波山の東側のP3、P4地点との相関は低く、全日でも0.5~0.6程度である。また上空風を代表するP9との相関が0.5以下とさらに小さいことは大変興味深い。

4.4 風のクラスター分析

筑波山のまわりの9カ所の測定地点がどのように区分できるかを知るため、相関係数を用いてクラスター分析を行った。分析の手法には最短距離法、最長距離法、重心法などがあるが、ここでは分類感度の高くなる最長距離法を用いた。

第7図に日中、夜間、全日の別に求めた樹状図を示す。これらの図から測定地点は(P1, P2, P8), (P3, P4), (P5, P7), (P6, P9)の4つのグループに分類できることがわかる。第1のグループは筑波山頂として



第7図 時間帯別の相関係数を用いてクラスター分析から求めた、測定地点の樹状図

波山の西側の測定地点を、また第2のグループは東側にて意味づけられる。第3のグループは筑波山の北側の平坦地上の測定点である。また、第4のグループは接地逆転層より上部に位置した測定点である。

以上のように9カ所の測定地点は山体との位置関係や測定高度の相違により明確に分類できた。

5. まとめ

地形により地表風がどの程度影響されるかを明らかにするため、冬期の1カ月間、筑波山周辺の8地点で風向風速の連続観測を行った。そのデータを統計的に処理し、平均風速、風配図、風ベクトルの相互相関係数を求め、さらに、相関係数を用いたクラスター分析を行った。その結果を要約すると以下のとおりである。

1. 風ベクトルへの地形影響は夜間に最も強く現われる。
2. 風ベクトルの相関係数は全日では0.5~0.8であるが夜間については0~0.8前後と低い値となり、特に山の風上側と風下側の地点間の相関がきわめて低くなる。

また接点逆転層より高い測定地点と地上地点との相関は全体に低く特に夜間は低い値となる。

3. 時間帯別の平均風速についてみると、地上の測定点については夜間は日中より小さな値となる。しかし、山頂など接地逆転層の影響を受けない高所では萩野谷ら(1984)が示したと同様、夜間の方が高い風速値を示した。

4. 相関係数を用いたクラスター分析の結果、筑波山との位置関係で測定点のグループ分けができた。つまり山体の南西、北西、東、および高所のグループに分類された。

長期観測に際し、測定場所を快く貸してくださった、真壁町立桃山中学校、紫尾小学校、八郷町立小幡小学校、芦穂小学校の校長先生方、さらに、筑波山ユースホステ

ル管理事務所長の各位に謝意を表わします。

文 献

北林興二, 吉門 洋, 近藤裕昭, 横山長之, 1986 a: 複雑地形上の気流の観測(6), 日本気象学会秋季大会予稿集, 98.
 _____, 1987: 複雑地形上の気流の観測(7), 日本気象学会秋季大会予稿集, 93.
 _____, 1986 b: 複雑地形上の安定成層気流の観測と風洞実験, 公害, 21, 53-63.
 萩野谷成徳, 近藤純正, 森 洋介, 1984: 山岳や谷あいの地上風速に及ぼす地形の影響, 天気, 31, 497-505.
 吉野正敏, 1978: 気候学, 大明堂.

日本気象学会平成元年度春季大会参加申込みおよび参加費等の送金について

日本気象学会春季大会事務局

平成元年5月24~26日に気象庁本庁において開催される日本気象学会春季大会への参加申込みおよび参加費、懇親会費の納入は、会場受付における混雑を防止するため、原則として郵便振替による事前申込み(送金)とすることにしましたので、趣旨ご理解の上、下記によりお申し込みくださるよう会員各位のご協力をお願いします。

記

申込方法 必ず2月号に挿入してある払込用紙を使用し、必要事項を記入(裏面の通信欄もお忘れなく)の上、最寄りの郵便局窓口にお払い込んで下さい。(払込料金は不要)。

払込期限 平成元年5月8日(以後の払い込みは行き違いの原因になるのでご遠慮願います)。
 受領証 郵便窓口で発行する「郵便振替払込金受領証(払込票の写し)」を大会当日受付に提示していただくので、大切に保存し、当日必ず持参して下さい。

大会参加費	会 員	1,000円
	学生会員	500円
	一 般	1,500円
	懇親会費	4,000円

(シンポジウムのテーマは「オゾン層の科学—現状と課題」です)

(P. 82 からつづく)

る前までは、皆無といっても良いような状況でした。それが、今日あるようになって来たのです。今や、発展期にあると言えると思います。

老舗、英米に対して、新興著しい、仏(大陸諸国)、という図式が浮かびます。1988年3月20~25日に開かれた Bologna の欧州地球科学連合(EGU)の総会に対し

て、欧州の大陸諸国の気象学者は熱意を持って、一つの契機としようとしているのに対し、ECMWF で会った英国の連中は、「ひどいスケジュールだ、運営がなっていない、等々」文句を言っていましたから。

ともあれ、P. Morel を帝王に、Sadourny を重鎮にいたって、躍進し始めた新興フランスは、典型的な中央集権国家であり、又もともと欧州の覇権を自負している国柄を考えると、今後の展開は興味のあるところだ。