

# 山岳や谷あいの地上風速に及ぼす地形の影響\*

萩野谷成徳\*\*・近藤純正\*\*・森洋介\*\*\*

## 要旨

上空の一般風と複雑地形上の風との関係を調べ、つぎの結果を得た。(1) 上空一般風の観測資料がない場合、標高1,500 m以上の山頂風速を利用すれば、誤差 $2\sim 3\text{ ms}^{-1}$ で上空一般風が推定できる。(2) 逆に、高層観測所データから山頂風速を推定する場合の誤差は、高層観測所からの水平距離が100 km以内であれば、 $2\text{ ms}^{-1}$ 以下で、山の標高や地形特徴にはよらない。(3) 山岳や谷あいなど複雑地形上の地上風速と上空一般風速との比は地表面粗度のほか、粗度よりも大きなスケールの地形特徴を表す地形突起度による。

## 1. はじめに

山岳や谷あい地形上の地上風速と上空一般風速との関係を知ることは、つぎの3つの目的がある。(1) 複雑な地形から成る地表面と大気とのエネルギー交換を評価する場合、広域の地上風速の水平分布を上空一般風速から知らねばならない。これは気象学上重要な意義をもっている。(2) 自然災害発生の可能性がある特異気象時に、上空一般風が現在の高層観測所における観測時間間隔(6時間)よりも短い時間間隔で入手できれば防災に役立つ。現に、1983年4月27日に発生した東北地方大規模林野火災のとき、平地の地上は当日午前中は強い接地逆転層のために微風であったが、海拔500m程度の山頂では強い上空一般風を反映してかなり前から強風が吹き始めていた。山頂の風速から上空一般風速が推定できれば防災に役立つ(近藤・桑形, 1984)。(3) また逆に山岳地の風速が高層天気図等から推定できれば一般の登山家や山地作業従事者の安全につながる。

しかしながら、現在までのところ、風と地形との定量的な関係がよく分かっていない。工学の分野では最大風速の予測という観点から、地形因子として半径30 km程

度以内の陸度または海岸度、起伏度、開放度、走行を用い、それらと最大風速との関係が全国の気象官署のデータから求められている(斎藤ほか, 1959; 塩谷, 1979)。

地上風速には、これら広域の地形因子が影響することは言うまでもないが、直接的には観測所周辺の1 km程度以内の空気力学的な地表面粗度が重要な影響をもつ。具体的には粗度の小さな水田地などにおける地上風速は粗度の大きな都市や地方村落での風速より約2倍も大きい(近藤・山沢, 1983)。さらに山間部などにおける地上風速の実測によれば、観測地点周辺の数 km 範囲の地形特徴も重要である。

そこで本研究では、上空風と複雑地形上の地上風との定量的関係を地形をパラメータ化して調べた。

## 2. 解析方法

解析に使用したデータは(1)日本気象協会による「夏山の気象観測表」、(2)気象庁山岳観測所資料、(3)アメダス資料、(4)特別観測資料である。詳細は森ほか(1984)に記載されている。一部は安田・森(1984)やYamamoto・Kondo (1964)の資料も利用した。

第1表は今回解析した地上観測点の位置、地形特徴、地形突起度(説明は後述)などの一覧である。表にはこれら観測点の風速と上空一般風速を比較するために利用した高層観測所名とそこまでの水平距離、使用する気圧面高度のほか使用した風速資料の観測期間及びデータ日数も示してある。以下、各項目を説明する。

\* Effect of topography on the surface wind-speed over the mountainous regions.

\*\* Shigenori Haginoya, Junsei Kondo, 東北大学理学部地球物理学教室。

\*\*\* Yosuke Mori, 宮城教育大学。  
—1984年4月19日受領—  
—1984年6月16日受理—

第1表 地上観測地点一覧表. \* 剣山は例外として 1,500m 以上の山である (詳細本文参照),

地点名	北緯	東経	標高 (m)	地形の特徴	風速計 地上高度 (m)	地形突起度	
						R=1 km	R=5 km
						P (m)	P (m)
富士山	35°21.0'	138°44.0'	3,772	山脈中の単純尾	9.2	296	
北岳山荘	35°39.8'	138°14.2'	2,890	根または山頂,	4.0	187	
白馬岳	36°45.0'	137°45.1'	2,830	標高	4.0	239	
蔵王	38°07.0'	140°26.0'	1,740	1,500m 以上	4.0	128	
吾妻小富士山頂	37°43.0'	140°15.9'	1,700		2.0	148	
剣山*	33°55.0'	134°05.9'	1,944	孤立峰, 標高	7.9	249	
伊吹山	35°25.0'	136°25.0'	1,376	1,500m 以下	11.2	286	
御在所岳	35°01.0'	136°25.0'	1,200		4.0	179	
筑波山	36°13.0'	140°06.0'	869		15.8	252	
中ア駒ヶ岳	36°46.5'	137°48.9'	2,623	中腹または複雑	4.0	-26	
白山室堂	36°08.9'	136°45.9'	2,450	鞍部状尾根, 標	4.0	42	
志賀東館山	36°43.6'	138°31.9'	1,985	高	4.0	149	301
吾妻浄土平	37°43.2'	140°15.6'	1,580	1,500m 以上	10.5	4	190
八幡平	39°57.0'	140°55.0'	1,451	同上,	4.0	91	330
鷲倉	37°40.0'	140°15.8'	1,210	標高	6.5	25	40
阿蘇山	32°52.0'	131°04.8'	1,143	1,500m 以下	11.0	7	
久住	33°03.0'	131°14.0'	900		4.0	-17	
新川	38°18.1'	140°38.2'	267	谷あい平地	6.5	-22	-59
二本松	37°35.5'	140°27.1'	240		6.5	17	-12
川崎	38°10.7'	140°38.1'	200		6.5	5	-45
川渡	38°44.5'	140°45.8'	170		6.5	-1	-75
湯沢	39°08.2'	140°29.2'	96		6.0	-13	-106
千厩	38°54.7'	141°20.2'	77		6.0	-27	-59
檜原	37°43.4'	140°04.1'	839		7.5	-46	-252
田島	37°11.6'	139°46.5'	570		8.0	-38	-132
檜枝岐	37°01.3'	139°23.3'	930	谷あい	8.0	-156	-469
中村	38°23.4'	139°59.9'	440		8.5	-84	-264
金山(福島県)	37°27.0'	139°31.7'	324		6.5	-60	-206
青麻神社**	38°19.9'	140°56.3'	40		3.6	-23	
御門石	40°28.4'	140°53.8'	400	湖中央	3.0	0	-64
青撫	40°30.0'	140°54.7'	400	湖畔	3.0	-60	-150

## 地形特徴:

地図を見て各山の地形を3つの範ちゅうに分類した。山脈中の「単純尾根または山頂」は観測点が尾根上かその尾根の集まった周囲より高い山頂にあるものを指す。「孤立峰」はその周囲が全て見おろせる山の観測点であ

る。「中腹または複雑鞍部状尾根」は観測点の位置が山の中腹や尾根の鞍部にあるものを指す。「谷あい」と「谷あい平地」の区別は10km程度の水平スケールで見ると両方とも山で囲まれているが、観測点のまわりが比較的平らな場合を「谷あい平地」そうでない場合を「谷

\*\* 青麻神社のPは R=250m で計算した。

高層観測点	気圧面高度 (mb)	水平距離 L (km)	観測期間 (年, 月)	データ日数	プロット記号	
館野	700, 600	148	1964. 7~9	92	}	
館野	700	176	1980. 8, 1981. 8	62		
輪島	700	103	1980. 8, 1981. 8	49		
仙台	850, 800	44	1981. 8	29		
仙台	850, 800	82	1982. 7~9, 1983. 7~10	99		
潮岬	800	163	1980. 8, 1981. 8	62	}	
潮岬	850	227	1980. 8, 1981. 8	62		
潮岬	900, 850	184	1980. 8, 1981. 8	62		
館野	900	19	1975. 7~9	92		
輪島	800, 700	105	1980. 8, 1981. 8	62	}	
輪島	800, 700	138	1980. 8, 1981. 8	62		
輪島	800	161	1980. 8, 1981. 8	42		
仙台	850, 800	81	1983. 7~9	55		
秋田	850	74	1980. 7, 8	62	}	
仙台	900	87	1982. 1~9	174		
福岡	900	102	1980. 8, 1981. 8	62		
福岡	900	99	1980. 8, 1981. 8	62		
仙台	900	23	1982. 1~9	134	}	
仙台	900	85	1982. 1~9	132		
仙台	900	25	1982. 1~9	131		
仙台	900	54	1982. 1~9	132		
秋田	900	72	1982. 1~9	167		
仙台	900	81	1982. 1~9	131		
仙台	900	84	1982. 1~9	132		
仙台	900	154	1982. 1~9	131		
仙台	900	191	1982. 1~9	132		
仙台	900	80	1982. 1~9	131		
仙台	900	150	1982. 1~9	131		
仙台	900	9	1983. 6~11	148		
秋田	900		1982. 6~11	365		}
秋田	900		1962. 12~1963. 11	365		

あい」としてある。具体的には、地形突起度Pと水平スケールの半径Rの比  $(P/R) > -0.05$  のときを「谷あい平地」、 $(P/R) \leq -0.05$  を「谷あい」とした。

地形突起度 (Peakedness, P)

地形特徴とあわせて地形の起伏の度合を表す量であ

る。地上観測点の標高と、その地点を中心として半径Rの円内の平均標高との差をPで表す。Pが正の時は地上観測点が平均標高より高い地点である。地形突起度は、従来平坦地で用いられている地表面の空気力学的粗度をきめる地表面「粗度」よりも大きいスケールの地表

面の「起伏」を表す新たなパラメータである。地上風速を観測する地上高度が、多くの場合 10 m 前後であることを考慮に入れて、今回は水平スケールとして  $R=1\text{ km}$  を用いた（一部分  $R=5\text{ km}$  も計算した）。

#### 高層観測点：

上空一般風（以下上空風と呼ぶ）は高層観測所における 3 時、9 時、15 時、21 時の風速の平均値を日平均風速として用いた。また第 1 表中に示す気圧面高度は解析に用いた上空風の高度である。例えば「700, 600」とあるのは 700 mb と 600 mb それぞれの日平均風速の単純平均をその高度の「山」の上空風速とする意味である。「谷あい」及び「谷あい平地」上の上空風は一律に 900 mb 面の風を用いた。

#### 地上の日平均風速：

1 時から 24 時までの平均風速である。AMeDAS 観測所の日平均風速 ( $\bar{U}_A$ ) は毎正時前 10 分間の平均風速データを 24 個平均した値である。 $\bar{U}_A$  と 1 日の風程から算出した日平均風速 ( $\bar{U}$ ) との関係は

$$\bar{U}_A = a\bar{U}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (a\bar{U}_i - \bar{U}_A)^2$$

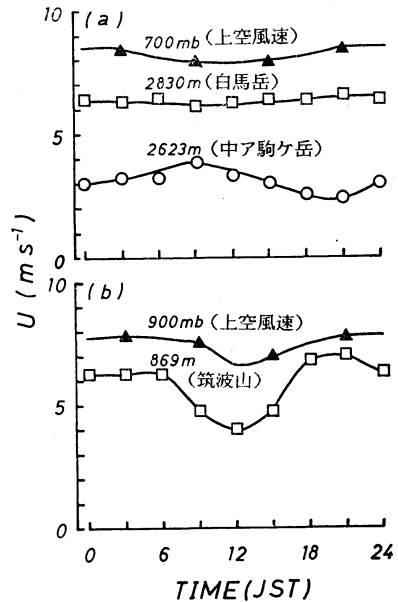
但し、 $a$  は原点を通る直線で各データと直線との距離の二乗和が最小になるようにして求めた値であり、 $\sigma$  はデータのバラツキの標準偏差である。

$a$  と  $\sigma$  を例として仙台について求めてみると  $a=1.01$ ,  $\sigma=0.10\text{ ms}^{-1}$ 、同様に新潟については  $a=1.00$ ,  $\sigma=0.10\text{ ms}^{-1}$  である。但しデータは 1980 年 1 月より 12 月までの 1 年分を使用した。したがって、 $\bar{U}_A$  は十分な精度で日平均風速を代表する。なお、第 4 章以降は全て日平均風速を使い解析を行った。

### 3. 山岳における風速の日変化

第 1 図は山岳地上風速とその標高とほぼ等しい気圧面の上空風速の日変化の比較である。黒三角印は上空風速を示し、白四角印は風速日変化が上空風速日変化とよくあっている山の例、白丸印は上空風との対応が悪い所の例である。

(a) 図は標高 1,500 m 以上の高い山の例である。標高 2,830 m の白馬岳山頂の風速は上空風より少し弱い日変化は境界層の日変化の影響を受けない上空風、即ち自由大気の風の変化に非常によく似ている。これと同じ特徴の山は富士山（標高 3,772 m）と北岳山荘（標高 2,890 m）である。一方、標高 2,623 m の中央アルプス



第 1 図 風速日変化例。(a) は境界層の日変化の影響を受けない高度 1,500 m 以上、(b) は境界層の日変化の影響を受ける高度 1,500 m 以下の例。詳細は本文参照。

駒ヶ岳の風速は上空風速よりかなり弱くなると共に日変化が上空風と異なっている。これは、この山の風が地形による局所的な影響を受けていることを示している。白山室堂（標高 2,450 m）、志賀東館山（標高 1,985 m）も同様の特徴をもつ。

(b) 図は標高 1,500 m 以下の山の代表例で、筑波山（標高 869 m）である。この山頂とほぼ等しい高度（900 mb 高度）の上空風速は境界層の日変化の影響を強く受け、日中弱く、夜間強い。筑波山と同様の日変化を示す山は多くの本にも引用されている伊吹山（標高 1,316 m）、御在所岳（標高 1,200 m）、そして標高が 1,500 m 以上であるが剣山（標高 1,944 m）がある（福井, 1938; 森, 1982; 森ほか, 1984）。

高度 1,500 m 以下での上空風が日中弱く夜間強くなるのは、その高さが大気安定度の日変化が及ぶ高さだからである。大気は日中、日射により不安定になって混合が盛んになり上空の運動量の大きい風が下層に入り込んで上空は相対的に風が弱まる。夜間は逆に地上付近に安定層が形成されて上空の運動量が下層に輸送されず、上空が日中に比べて強風になる。平坦地上で境界層の日変化の及ぶ高度限界が 1,500 m 程度であることはす

第2表 地上風速の特徴.  $u_l$ : 局地風速,  $U_{fcr}$ : 遮へい限界風速. 地上風速と上空風速との比  $b (=u/U_f)$ , 地上風速と上空風速との平均的関係を表す直線からのデータのばらつき  $\sigma_d$  及び地上風速と上空風速との相関係数  $r$  は  $U_f \geq U_{fcr}$  のデータから求めた. 地上風 (山の風) から上空風速の推定の可否も示されている. \*\*\* 青樫の  $b$  は御門石の1/2とした (Yamamoto・Kondo, 1964, その他の原資料による).

地点名	風速の特徴	風速日変化の特徴	上空風との関係					風速推定の可否 (○), 否 (×)
			$u_l$ (ms <sup>-1</sup> )	$U_{fcr}$ (ms <sup>-1</sup> )	$b = \frac{u}{U_f}$	$\sigma_d$ (ms <sup>-1</sup> )	$r$	
富士山 北岳山荘 白馬岳 蔵王 吾妻小富士山頂	自由大気中の自然風を代表	日変化なし	0	0	1.14	1.91	0.930	○
			0	0	0.85	2.42	0.681	○
			0	0	0.65	1.59	0.782	○
			0	0	0.70	1.34	0.867	○
			0	0	0.79	1.19	0.909	○
剣山 伊吹山 御在所岳 筑波山	境界層日変化の影響を受けた自然風を代表	日中弱風	0	0	0.69	3.12	0.269	×
			0	0	0.71	2.41	0.467	○
			0	0	0.61	3.06	0.302	×
			0	0	0.69	1.96	0.661	×
中ア駒ヶ岳 白山室堂 志賀東館山 吾妻浄土平	局所地形の影響を受けた自由大気中の風	日中強風	1.2	3.0	0.40	1.39	0.719	○
			2.5	4.0	0.62	1.89	0.681	○
			2.8	6.0	0.46	1.60	0.581	○
			0	0	0.54	1.24	0.875	○
八幡平 鷲倉山 阿蘇山 久住	局所地形の影響を受けた境界層内の風	朝・夕に弱風, 半日周期もある	0.9	3.0	0.29	1.23	0.406	×
			1.5	3.5	0.44	1.45	0.573	×
			3.0	5.0	0.60	1.34	0.564	×
			3.3	9.0	0.37	1.84	0.178	×
新二本 川松崎 川渡 湯沢 千厩 檜原 田島	風速日変化大局地性が強い	日中特に強く, 夜間は弱い	1.1	6.0	0.19	0.92	0.483	
			1.4	8.0	0.17	0.59	0.409	
			0.5	3.0	0.17	0.96	0.575	
			1.1	7.0	0.16	0.60	0.553	
			2.0	10.0	0.20	0.89	0.292	
			0.5	6.0	0.08	0.38	0.494	
			0.7	6.0	0.11	0.57	0.401	
0.7	8.0	0.07	0.42	0.259				
檜枝岐 中村 金山(福島県) 青麻神社	同上	同上	1.3	8.0	0.16	0.82	0.149	
			0.5	6.0	0.09	0.50	0.359	
			0.4	9.0	0.05	0.31	0.265	
			0.7	9.0	0.08	0.28	0.605	
御門石			3.2	7.0	0.45	1.97	0.453	
青樫***					0.23			

でに前報で示した(森ほか, 1984).

他の山も含めて日変化のパターン分類をした結果が第2表に示されている。山岳の風速日変化パターンは4つに分けられ、(1) 山岳が1,500 m 以上の自由大気の高도에あって、その高度の自由大気の風を代表するもの、(2) 自由大気中の高度にあるが局所地形の影響を受けるもの、(3) 平坦地面上の境界層の日変化の及ぶ高度(1,500 m 以下)にあって、その高度の上空風を代表するもの、(4) 境界層の日変化の及ぶ高度にあり局所地形の影響を受けるものである。

一般的に言えることは、上空風と地上風の時間変化のパターンがよく似ているのは観測地点の地上風速と上空風速との比が1に近い地点であり、1よりはるかに小さい地点は時間変化の対応が悪い山岳である。

4. 地上の日平均風速と上空風との関係

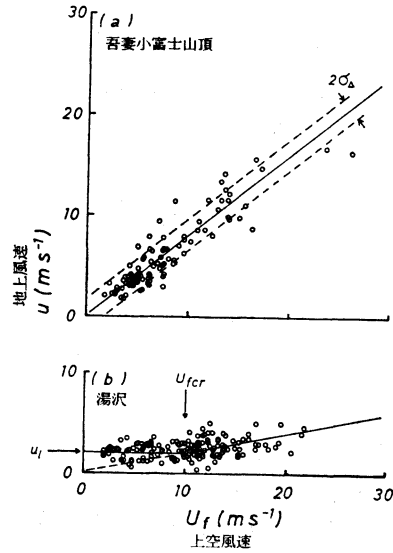
日平均風速について地上風速と上空風速との対応関係を解析した結果、地上風は次の2つのグループに分けられる。1つは第2図(a)のようにどんな風速でも観測地点の風と上空風とがほぼ比例関係にあるもので、このグループに属するのは前項で示した、地上風速が上空風速に近い観測点である。すなわち、(a) 図に示した吾妻小富士山頂のほか、「山脈中の単純尾根」または「山頂」および「孤立峰」である。

もう1つのグループは、第2図(b)に示すように、上空風速  $U_f$  がある風速  $U_{fcr}$  以下では、地上風速  $u$  は上空風速と殆ど無関係な風速  $u_i$  であるが、 $U_f > U_{fcr}$  では  $u$  は  $U_f$  にほぼ比例する。ここで  $u_i$  を「局地風」、 $U_{fcr}$  を「遮へい限界風速」と呼ぶ。このグループに属するのは(b) 図に示した湯沢のほか、「谷あい」及び「谷あい平地」と風速日変化が地形の影響を受ける「中腹」または「複雑鞍部状尾根」に属す観測点の全てである。

第2図(a) 中の実線は原点を通り個々のデータと実線との距離  $\Delta_i$  の二乗和  $\sum \Delta_i^2$  が最小になるようにして求めた直線である。その傾きは地上風速と上空風速の比  $b(=u/U_f)$  を表す。また破線は実線からの距離が  $\sigma_\Delta$  のところを示している。ここで

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2}$$

で定義され、データが直線からどれくらいばらついているかを表す量である。第2図(b) の場合は風速比  $b$  及びデータのばらつき  $\sigma_\Delta$  は、 $U_f \geq U_{fcr}$  のデータから求



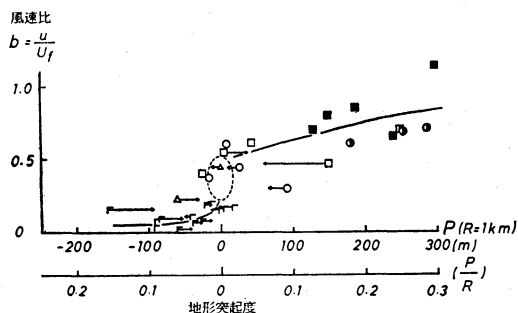
第2図 日平均風速でみた地上風と上空風の関係。(a) 吾妻小富士山頂の風速  $u$  と仙台の上空風速  $U_f$  との関係、(b) 湯沢の風速  $u$  と秋田の上空風速  $U_f$  との関係。

めた。第2表には  $u_i$ ,  $U_{fcr}$ ,  $b$ ,  $\sigma_\Delta$  が載っている。

5. 風速比と地形突起度

風に及ぼす地形の影響を定量的に調べるために、地形突起度  $P$  を使う。第3図は風速比  $b$  と地形突起度  $P$  との関係である。プロットの記号は地形特徴で分類し、第1表に示してある。 $P=0$  の周辺に楕円形で囲んだ部分は平地でとり得る範囲を示し、地表面粗度として  $z_0=1$  cm (楕円の上端に対応) から  $z_0=100$  cm (楕円の下端に対応) を想定した場合である。ただし風速計地上高度は6.5 m とする(近藤・山沢, 1983, 参照)。今回、 $P$  を求めるときに水平距離  $R$  として1 km を使用したが、参考のために一部の観測点については  $R=5$  km も求めた(図中の矢印先端が  $R=5$  km の場合である。この場合は  $(P/R)$  の目盛りを参照)。山岳の頂では  $R$  を大きくすると  $P$  は減少、谷あいでは増加の傾向がある。

十和田湖中央にあり、水面すれすれに頭を出した御門石は  $R=1$  km では  $P=0$  であるが、現地での3 m 高度で測った平均風速から推定した  $z=6.5$  m の風速を使った風速比  $b$  の値は地形影響のない水面(粗度  $z_0 \approx 3 \times 10^{-2}$  cm)に対する  $b$  の値よりも小さい。したがって御門石では  $R=1$  km よりも大きな範囲の地形の影響が及んでいることになる。本来  $R$  は空気力学的には、観測点か



第3図 風速比 ( $b = u/U_f$ ) と地形突起度 ( $P$ ) との関係。  $P$  の目盛りは  $R=1 \text{ km}$  の場合。 図中の矢印先端は  $R=5 \text{ km}$  とした時の値。 地形特徴と標高により第1表の最後の列に示す記号で分類してある。

ら見たときの見通しの効く範囲とすべきであるが、本研究は予備的研究段階であるため、暫定的に  $R=1 \text{ km}$  と  $R=5 \text{ km}$  の2つを使用した。

第3図によれば、 $b$  は  $P > 0$  では  $P$  の増加に伴って増加し、 $P < 0$  では  $|P|$  の増加に伴い、急激に減少する傾向が見られる。 図中の実線はデータに沿って引いた実験曲線で、複雑地形上の風速比  $b$  は  $P$  で近似的にパラメータ化できることが分かる。

なお、図中のデータがばらついているのは  $P$  を求めるスケール  $R$  の選び方のほかに、そのスケールよりも小さいスケールで決まる粗度  $z_0$  や風速計の地上高度、さらに取付場所 (建物等の影響を含む) によるものと思われる。 これらの要素を考慮するには付近の地表を詳細に検討しなくてはならないため今回は深く立ち入らない。

### 6. 遮へい限界風速と地形突起度

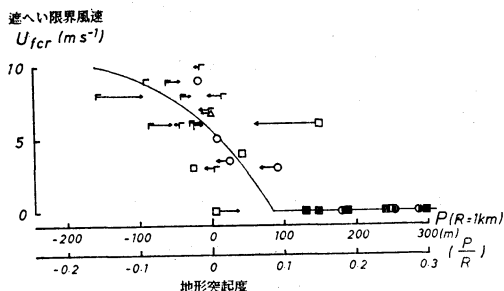
第4図は遮へい限界風速  $U_{fcr}$  と地形突起度  $P$  との関係である。 図によれば、 $P/R (R=1 \text{ km}) \geq 0.08$  において  $U_{fcr} = 0$  の関係がある。 しかし  $P/R$  がそれよりも小さくなればなるほど、 $U_{fcr}$  は増加の傾向がある。

風速に関する物理量とそれを支配する要素との関係は、

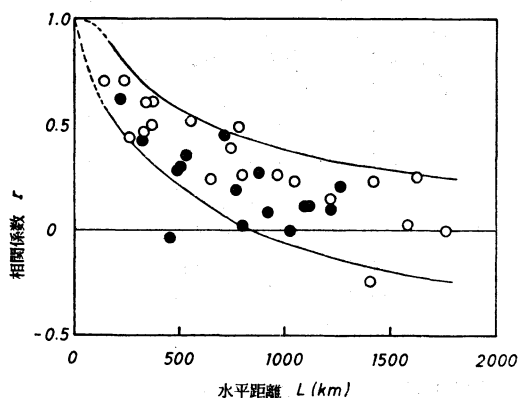
$u_i$ : 地形と熱の非一様性による。

$U_{fcr}$ : 局所地形 (粗度に効くよりも大きい地形の凹凸、地形突起度も含む) による。

$b = u/U_f$ : 粗度、風速計の地上高度 (山小屋の影響も含む)、地形突起度による。



第4図 遮へい限界風速 ( $U_{fcr}$ ) と地形突起度 ( $P$ ) との関係。  $P$  の目盛り及びプロットの記号は第3図と同じ。



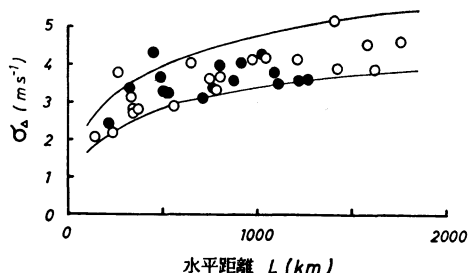
第5図 850 mb 気圧面高度の風速同士の相関係数 ( $r$ ) と高層観測所間の水平距離 ( $L$ ) との関係。 ○印は2地点間の平均緯度が37度以北、●印は37度以南。

### 7. 上空風速と地上風速間の相関係数

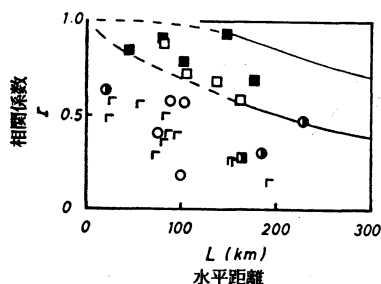
山岳や谷あい地形における地上風速と上空風速との相関関係を調べる前に、互いに離れた高層観測所同士で観測した上空風の相関係数  $r$  と観測所間の水平距離  $L$  との関係調べておく。 第5図は気圧面高度 850 mb の風速同士の相関係数  $r$  と  $L$  との関係である。 ただし相関係数は

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (U_{f1i} - \bar{U}_{f1}) (U_{f2i} - \bar{U}_{f2})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (U_{f1i} - \bar{U}_{f1})^2 \cdot \sum_{i=1}^N (U_{f2i} - \bar{U}_{f2})^2}}$$

$U_{fi}$  は日々 850 mb 気圧面日平均風速、 $\bar{U}_f$  はその平均値、添字 1, 2 はそれぞれ観測所 1 と観測所 2 の値を意味する。



第6図 850 mb 気圧面高度の風速差のばらつき ( $\sigma_{\Delta}$ ) と高層観測所間の水平距離 ( $L$ ) との関係. プロットの記号は第5図と同じ.



第7図 上空風速と地上風速の相関係数 ( $r$ ) と観測所間の水平距離 ( $L$ ) との関係. プロットの記号は第3図と同じ.

相関係数は2地点間の距離によって

$$L < 400 \text{ km で } r \geq 0.5$$

$$L > 1,000 \text{ km で } r \leq 0.1 \sim 0.2.$$

なお、プロットの記号は2地点の平均緯度で分類してあるが、平均緯度が北緯  $37^\circ$  以北の観測点 (○印) の方が  $37^\circ$  以南の観測点 (●印) に比べて相関がよい。上記の分類以外にも日本海側同士、太平洋側同士、それ以外の組み合わせや、2地点間の平均経度でも分類したが顕著な差異は見られなかった。図中の2本の線は相関係数の上限と下限である。この関係はあとの第7図で山の風と上空風の相関のよし悪しの判定に使用する。

第6図は2高層観測所における850 mb 気圧面高度の風速から4章の式で定義される  $\sigma_{\Delta}$  と観測所間の水平距離  $L$  との関係である。この場合の  $\sigma_{\Delta}$  は上空風同士のデータから計算してあるため、2地点間の風速差のばらつきを表す。第5図でも調べたように、 $L < 400 \text{ km}$  の範囲では相関が高いのでデータのばらつきも小さい。 $L > 1000 \text{ km}$  ではもはや相関はほとんどないので、 $\sigma_{\Delta} (\approx 4 \text{ ms}^{-1})$  は1,000 km 程度のじょう乱の強さを表すと考えてよい。実線はデータの存在する概略範囲を示し、こ

の関係もあとの第8図で使用する。

つぎに、山岳や谷あいの観測所の地上風速と、最寄りの高層観測所で観測した上空風速との相関関係を調べる。第7図は上空風速と地上風速の相関係数と観測点間の水平距離との関係である。2本の線は第5図で求めた高層観測所同士で観測した上空風の相関係数の上限、下限である。相関係数がこの下限の線より上にある山岳は、地上風速からその標高と同レベルの上空一般風の推定ができる。これらの山岳は剣山を例外とすれば、標高1,500 m 以上の山すべてである。標高の低い山で  $r$  が小さいのは境界層内の日変化の影響を受けているためであろう。

上空風速と山岳の地上風速の相関係数  $r$  と地形突起度  $P/R$  との関係を調べてみると (図省略)、相関係数は地形突起度にはよらない。他方、谷あい ( $P/R < 0$ ) では  $|P/R|$  が大きくなると  $r$  は急激に小さくなる。これは、谷あいでは局所地形の影響が強く (第3図参照)、上空風とほとんど無関係な局地風が吹くからである。

### 8. 風速推定誤差

第7図で述べたように、標高1,500 m 以上の山の資料はその近傍の一般風 (上空風,  $U_f$ ) の推定に利用できる (剣山は例外)。他方高層観測所のデータから山岳の風速  $u$  も推定できる。推定式はそれぞれ

$$U_f = \frac{u}{b} \pm \sigma_{U_f}$$

$$u = bU_f \pm \sigma_u$$

但し、 $\sigma_{U_f}$  と  $\sigma_u$  はそれぞれ上空風速推定誤差、地上風速推定誤差である。 $\sigma_{U_f}$ 、 $\sigma_u$  は第2図 (a) においてそれぞれ  $U_f$  軸、 $u$  軸に平行に引いた直線が実線と破線とに交わる長さに等しいので

$$\sigma_{U_f} = \frac{1}{\sin \theta} \sigma_{\Delta}$$

$$\sigma_u = \frac{1}{\cos \theta} \sigma_{\Delta}$$

$$\text{但し、} \theta = \tan^{-1} \left( \frac{u}{U_f} \right) = \tan^{-1} b$$

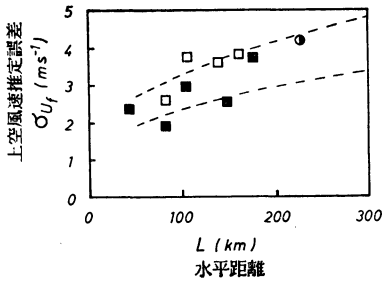
これを書き直すと

$$\sigma_{U_f} = (1 + b^{-2})^{1/2} \sigma_{\Delta}$$

$$\sigma_u = (1 + b^2)^{1/2} \sigma_{\Delta}$$

上式の風速比  $b (= u/U_f)$  とデータのばらつき  $\sigma_{\Delta}$  は第2表に掲げた。第8図は推定誤差  $\sigma_{U_f}$  と水平距離 (山岳観測地点と上空風観測の高層観測所との間の水平距





第8図 山岳観測所の地上風速から上空風速を推定したときの推定誤差 ( $\sigma_{Uf}$ ) と観測点間の水平距離 ( $L$ ) との関係。プロットの記号は第3図と同じ。2本の破線は高層観測所同士から求めた推定誤差の上限と下限を示す。なお、この図のプロットは第2表右端欄に「可」と判定した山岳のみである。

離) との関係である。山岳観測所から半径 100 km 以内の地域の一般風速を推定したときの誤差は  $2\sim 3\text{ ms}^{-1}$  程度である。2本の破線は第6図の高層観測所同士で求めた上空風のデータのばらつき  $\sigma_d$  から計算した誤差  $\sqrt{2}\sigma_d$  の上限・下限である。 $\sqrt{2}$  の係数がかかるのは、高層観測所同士の風速比はほぼ1であるからである。

次に、推定誤差  $\sigma_u$  と水平距離との関係を調べてみると(図省略)、100 km 以内の地点では  $2\text{ ms}^{-1}$  程度、200 km 以内の地点では  $3\sim 4\text{ ms}^{-1}$  程度である。この推定誤差は山の標高、地形特徴にはよらない。

9. まとめ

地形の風に及ぼす影響を調べ、つぎの結果を得た。

(1) 地上風速は従来から使われている地表面粗度  $z_0$  の外に粗度に効くスケールより大きな地形の起伏を表すパラメータ、地形突起度  $P$  によって記述できる。

この  $P(R=1\text{ km})$  と実際の地形との関係は概略、

- 100m <  $P$  : 山頂
- 0m <  $P$  < 100m : 山の中腹、尾根
- $P=0$  : 平坦地
- 50m <  $P$  < 0 : 谷あい平地
- 200m <  $P$  < -50m : 谷あい
- $P < -200\text{m}$  : 深い谷、深い盆地

である。

(2) 複雑な谷あい地形では上空風が遮へいされ、地形に特徴的な局地風が存在する。局地風がおこる上空の限界風速  $U_{fer}$  も地形突起度  $P$  と関係がある。

(3) 山岳地帯の風の特徴は高度によって2つに分けられる。1つは境界層の日変化の影響を受けない高度の山の風、他方はその影響を受ける高度の山の風である。本研究では1,500 m の高度をもって境界層の日変化の及ぶ上限とした。上記2つの高度範囲内の山でも局所地形の影響の有無により更にそれぞれ2つに分類される。

(4) 上空風と相関のよい山は標高1,500 m 以上の山である。それらの山の風速から推定した半径 100 km 以内の一般風速の誤差は  $2\sim 3\text{ ms}^{-1}$  である。

(5) 一方、高層観測所で観測した風速から山の風速を推定する誤差は半径 100 km 以内では  $2\text{ ms}^{-1}$ 、200 km 以内では  $3\sim 4\text{ ms}^{-1}$  である。この推定誤差は山の地形特徴、標高にはよらない。

おわりに、今後の研究では、例えば同じ地形突起度  $P$  の値をもつ場合でも、周囲が完全にふさがれた盆地と谷地形あるいは斜面のふもとでは風の通り易さが異なるので、 $P$  のほかにもパラメータを導入する必要がある。

謝 辞

山の風の資料入手に際しては、日本気象協会東北本部の方々にご協力をいただき、また特別観測資料の一部は東北大学理学部 安田延寿助教授から借用したので謝意を表します。この研究は文部省科学研究費によるものである。

文 献

近藤純正・桑形恒男, 1984: 東北地方多地点一斉大規模山林火災を誘発した1983年4月27日の異常乾燥強風(3), 天気, 31, 127-136.  
 ———・山沢弘実, 1983: 局地風速と現実複雑地表面の粗度, 天気, 30, 553-561.  
 斎藤鍊一・井上恵一・檀上得爾, 1959: 暴風の図式相関解析, 日本の強風研究IV, 気象庁研究時報, 11, 775-780.  
 塩谷正雄, 1979: 強風の性質, 開発社, 193 pp.  
 福井英一郎, 1938: 気候学, 古今書院, 566 pp.  
 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, 29, 223-230.  
 ———・萩野谷成徳・近藤純正, 1984: 山間部の風に及ぼす局所地形の影響, 自然災害特別研究成果, No. B-58-1, 98-107.  
 安田延寿・森 洋介, 1984: 宮城県的林野火災と局地風, 自然災害特別研究成果, No. B-58-1, 51-65.  
 Yamamoto, G. and J. Kondo, 1964: Evaporation from Lake Towada, J. Met. Soc. Japan, 42, 85-96.