

傾斜地における山谷風の観測

長崎大学工学部 学生会員○本田辰夫 非会員 園田茂朗
正会員 薦田廣章 非会員 赤城 誠

1. はじめに

天気が良く、気圧傾度が小さく一般風が小さいとき、山の斜面において夜間は山頂から吹き降る風(山風)、昼間は麓から上昇する風(谷風)が観察される。このように一日を周期として変化する局地風を山谷風という。昼間は日射によって山の斜面が加熱され、それに接する谷間の空気が同じ高さの平野部の空気により暖められ、軽くなり、上昇するために谷風が生ずる。夜間には逆に、山の斜面および谷間の空気が平野部のそれより冷えて重くなり、山の尾根から谷、さらに平野部へ流れ出す山風が起こる。一般に、野外で観測された平均風速の鉛直プロファイルを片対数目盛りでプロットすると、中立の場合は直線に、日中(不安定)は下に凸の曲線および夜間(安定)は上に凸の曲線となる。これは、広くて平らな草原というような場所でかつ気象状態が定常とみなせる理想的な状況でのみ成り立つ現象である。本報文は、久住高原における山谷風の実測データを用いて、傾斜地における平均風速の鉛直プロファイルについて論じたものである。

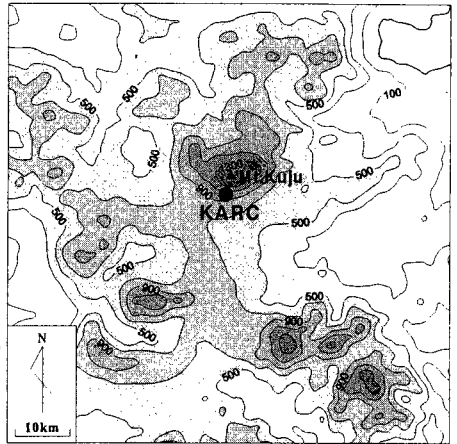


図-1 観測地点周辺地形図

2. 観測地点および観測データ

1997年9月下旬および1998年8月下旬に、久住山山頂約4km南方に位置する九州大学農学部附属久住高原農場(以下KARCと称する)において局地気象に関する集中観測を行った。図-1に観測地点周辺地形図を、図-2にKARC地形概略図を示す。1997年9月21日に、長さ約5mのポールを数cmの牧草が生えている傾斜面に鉛直に設置し、そのポールの4高度に風速計を設置した。設置点は図-2のM点である。97年の観測では地上より0.75, 1.75, 3.15mに、98年の観測では0.88, 1.675, 2.88mに三杯式風速計を配置し、また両年とも地上より5.30mの最上高度にプロベラ型風向・風速計を配置した。観測データは、いずれも10分間平均風速である(最上高度では、瞬間最大風速、平均最大風速および風向も観測している)。最上高度に設けた風向・風速計だけは、集中観測後も撤去せずに現在でも無人連続観測を行っている。また、同時にM点付近において係留気球による鉛直気温の測定を行った。

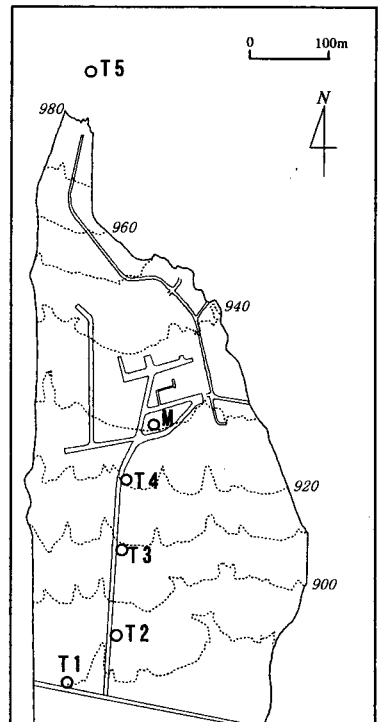


図-2 KARC地形概略図

3. 解析方法

3.1 風速の鉛直プロファイル

地表付近の風速の鉛直分布を近似的に表すものに、対数法則がある。地表面にごく近い部分では、風速分布がほとんどつねに対数分布をしていると仮定することができる。この法則を利用して観測データの解析を行う。対数法則に従えば、風速 u の鉛直プロファイルは次式で示される。

$$u = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z-h}{z_0} \quad \text{ここに、} u=u(z): \text{風速(m/s)} \quad u_*: \text{摩擦速度(m/s)} \quad \kappa: \text{カルマン定数} \quad z: \text{高度(m)}$$

$$h: \text{植生による補正高(m)} \quad z_0: \text{粗度(m)である。}$$

上式で、 κ ＝一定とみなせば未知数は3個となり、3高度の風速を測定すれば未知数を決定することができる。簡素化のために、 $h=0$ とみなせば、2高度の測定で決定される。地表面からの測定高度を $z_1, z_2, \dots$ とし、大気の安定度が中立に近い状態について考え、各風向ごとの風速および粗度について解析を行う。

3.2 温位

大気の安定度を判断するために鉛直気温のデータから温位を求め、温位勾配の解析を行った。解析対象高度は1.5, 5, 9, 20, 40および80mである。温位勾配が正ならば安定、負ならば不安定である。温位勾配は次式で与えられる。

$$\frac{d\theta}{dz} = \frac{dT}{dz} + \Gamma_d, \theta = T + \Gamma_d z, \Gamma_d = \frac{g}{c_p} = \frac{9.80665 \text{ m/s}^2}{1004 \text{ J/(kg K)}} = 0.00976 \text{ K/m}$$

ここに、 θ :温位(K) $d\theta/dz$:温位勾配 T :温度(K)
 z :高度(m) Γ_d :乾燥断熱比率(K/m) g :重力加速度(m/s^2)
 C_p :空気の定圧比熱(J/(kg K))である。

4. 観測結果および考察

観測から得られた風データを用い解析を進めた結果、風速の鉛直プロファイルはごく低高度においてのみ対数法則に従っていることが分かった。表-1に97年、表-2に98年の風向別粗度を示す。粗度の横の数字は2点間の測定高度を示しており、1,2は z_1, z_2 間から求めた粗度である。一般に、大気の安定度が安定または不安定な状態では、高度が高くなるに従い風速の鉛直プロファイルは対数法則からはずれるが、観測値は大気の安定度が中立に近い状態においても最上高度の風速が対数法則からはずれて大きな値をとっており、粗度の値が非常に大きくなった。原因として、傾斜地面の影響を受けているものと考えられる。また、風向別に粗度を求めると、山頂から吹き降りる山風に対して粗度が大きくなり、逆に谷風に対して小さくなる傾向が見られた。特に98年の観測ではこの傾向が顕著であった。また、対数法則に従っている風データから粗度を算出した結果は0.01~0.1m程度であると思われる。観測地点の地表面の状態は草丈数cm~10cm程度の草地であり、この場合の粗度は0.01~0.03m程度が一般的な数値であるから、観測値から求めた粗度は妥当な数値であると思われる。また、温位の鉛直プロファイルは大気の安定度による違いが明瞭に表れており、温位に関しては傾斜地の影響は少ないものと考えられる。

5.まとめ

傾斜地において地表付近の風速プロファイルを測定した場合、対数法則を満たさない場合が多く、正確な粗度を求めるためには風向や観測高度を考慮して解析を行う必要がある。

表-1 1997年観測風向別粗度 (m)

風向	粗度1,2	粗度1,4	粗度2,4	頻度(%)
N	0.008	0.035	1.120	4.8
NNE	0.006	0.024	0.809	2.7
NE	0.003	0.012	0.551	4.1
ENE	0.013	0.032	0.771	13.2
E	0.016	0.041	0.933	8.9
ESE	0.009	0.034	0.969	4.6
SE	0.005	0.019	0.695	3.5
SSE	0.004	0.018	0.765	2.3
S	0.006	0.023	0.762	1.1
SSW	0.004	0.018	0.741	0.7
SW	0.003	0.018	0.799	0.8
WSW	0.006	0.018	0.566	2.9
W	0.010	0.022	0.482	11.6
WNW	0.019	0.035	0.671	13.0
NW	0.041	0.070	1.075	10.6
NNW	0.049	0.134	2.337	15.3
Average	0.013	0.035	0.878	

表-2 1998年観測風向別粗度 (m)

風向	粗度1,2	粗度1,3	粗度1,4	頻度(%)
N	0.120	0.060	0.301	3.0
NNE	0.059	0.035	0.260	2.2
NE	0.063	0.026	0.115	2.0
ENE	0.044	0.021	0.214	4.7
E	0.034	0.017	0.212	3.2
ESE	0.038	0.019	0.244	4.9
SE	0.025	0.007	0.224	3.9
SSE	0.019	0.008	0.152	2.2
S	0.005	0.002	0.095	1.2
SSW	0.007	0.004	0.094	3.7
SW	0.012	0.013	0.103	2.0
WSW	0.031	0.009	0.248	8.3
W	0.036	0.014	0.271	16.6
WNW	0.052	0.029	0.305	11.0
NW	0.076	0.050	0.331	10.1
NNW	0.073	0.035	0.251	20.9
Average	0.050	0.025	0.250	