

尾 根 の 風

—— 縦走する人のために ——

大 亀 衛・樋 口 隆 弘

岡山理科大学理学部応用物理学科

(1993年 9月30日 受理)

摘 要

複素速度ポテンシャルの理論とベルヌーイの定理を用いて、尾根周辺の風速と流線と気圧を表わす式がつけられた。そして、その数値解が求められた。

予想を越えた風の状況が現われている。尾根の風の状況は尾根の形によって異なるから、他の山での経験をそのまま縦走対策に利用することはできない。また、尾根の風の状況は山裾の風の状況とその観測点の位置によって異なるから、その観測点の位置を考えないで天気予報による風の状況のみで縦走対策を立てることは危険である。更に、強い風や大きな風速の変化が現われるから、これらへの注意が必要である。

1. はじめに

山での遭難が跡を絶たない。ときとして、経験の多い登山家がそれに巻き込まれる。恐らく予想を越えた複雑な風の状況が現われるのであろう。そこで、尾根山頂の風の状況について調べた。

2. 基礎式と数値解

a) 基礎式

山裾の水平面と尾根山頂の水平面と斜面からできている二次元的な台形の尾根を考える(図1)。 L は尾根山頂面の横幅, H_0 は山裾の水平面から尾根山頂面までの高さ, H_{k0} は海面から山裾の水平面までの高さ, π/N_1 と π/N_3 はかどの角度である。次に、座標系 $O-XY$ の原点 O から距離 L_{10} はなれたところで高さ H_{10} の点の風速を Q_{10} とする。更に、この点を通る流線上の任意点 (X, Y) の風圧と風速をそれぞれ p と q で表わす。縮まない完全流体の二次元的な渦無し流れに扱いを限定してかどをまわる流れに対応する複素速度ポテンシャルを用いると、この場合の流速 q と流線を素わす式が求められる¹⁾。圧力 p を表わす式はベルヌーイの定理から求められる¹⁾。このとき、重力の加速度の大きさは国際標準重力式²⁾から求められ、空気の密度は 1.293 kg/m^3 ³⁾ とし、ベルヌーイの定理に現われる定数 $1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ は海面上で無風点での気圧を1気圧として定められた。

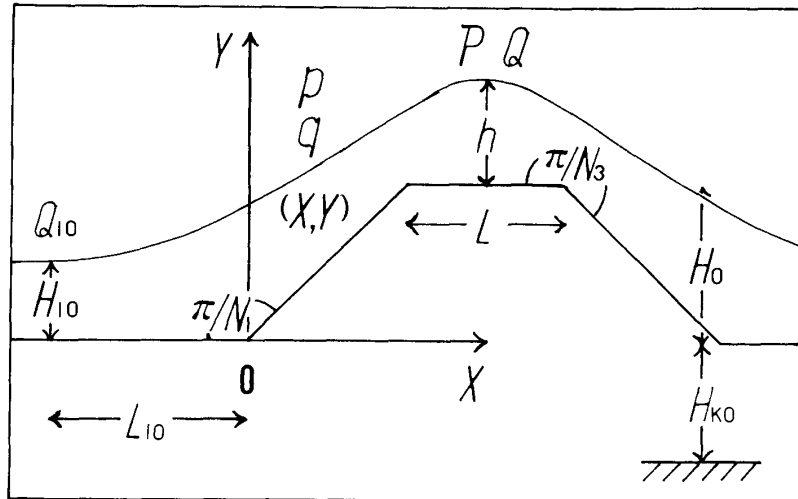


図1 使用された主な記号

b) 数値解

計算は

$$\left\{ \begin{array}{l} 2.000 \text{ m} \leq L \leq 2.000 \times 10^3 \text{ m}, \\ 2.000 \times 10^2 \text{ m} \leq H_0 \leq 1.500 \times 10^3 \text{ m}, \\ 11/10 \leq N_1 \leq 19/10, \\ N_3 = 4/5, \\ 2.000 \times 10^2 \text{ m} \leq L_{10} \leq 4.000 \times 10^3 \text{ m}, \\ 2.500 \times 10 \text{ m} \leq H_{10} \leq 1.000 \times 10^3 \text{ m}, \\ 1.000 \text{ m} \leq h \leq 1.000 \times 10^2 \text{ m}, \\ 2.000 \text{ m/s} \leq Q_{10} \leq 1.500 \times 10 \text{ m/s} \end{array} \right.$$

の範囲で行なわれた。また、

$$\left\{ \begin{array}{l} H_{k0} = 5.000 \times 10^2 \text{ m}, \\ \varphi = 35\pi/180 \end{array} \right.$$

が使用された。

図2～図4は数値計算して得られた解の一部である。

3. 考 察

a) 結果の妥当性と限界

ここでの結果は流体の運動を表わす式則ちオイラーの運動方程式（ベルヌーイの定理）と連続の式（流れの関数）と状態方程式（空気の密度一定）を用いて得られたものである。従って、縮まない完全流体の二次元的な渦無し流れであれば、得られた結果は実現するものである。

b) 尾根山頂中央部上方の風の状況を定めるパラメタ

尾根山頂の中央で山頂面より高さ h のところの気圧 P と風速 Q は基礎式等からわかるように

$$\begin{cases} P = P(L, H_0, N_1, N_3, L_{10}, h [H_{10}], Q_{10}, H_{K0}, \varphi), \\ Q = Q(L, H_0, N_1, N_3, L_{10}, h [H_{10}], Q_{10}) \end{cases}$$

である (細かく言えば, これらは空気の密度やベルヌーイの式の定数の決め方にも関係す

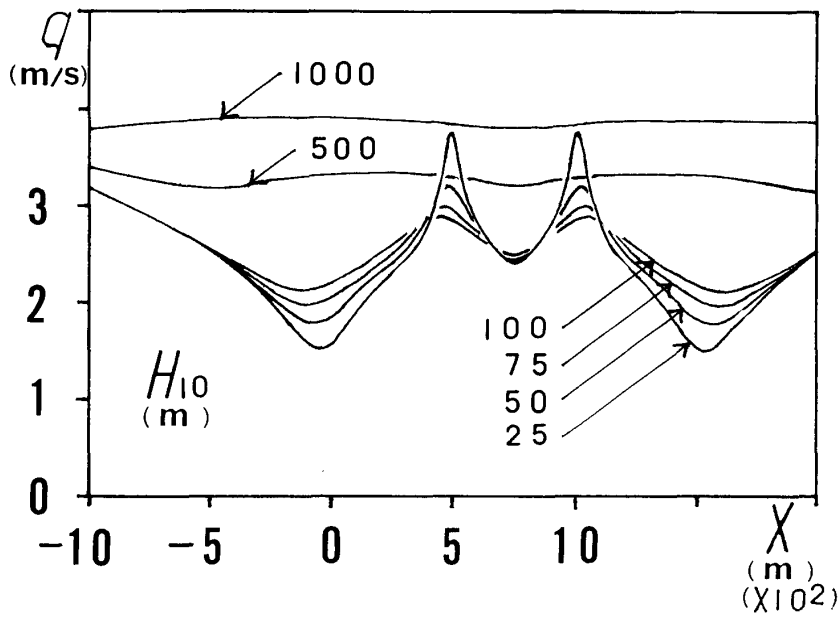


図2 尾根のまわりの風速 ($L = 5.000 \times 10^2 \text{m}$, $H_0 = 5.000 \times 10^2 \text{m}$, $N_1 = 4/3$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4.000 \times 10^3 \text{m}$, $Q_{10} = 5.000 \text{m/s}$)

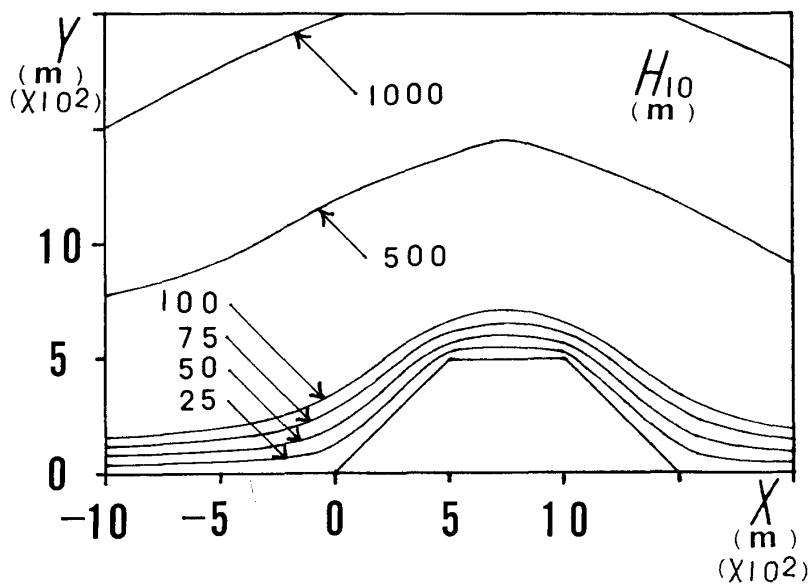


図3 尾根のまわりの流線 ($L = 5.000 \times 10^2 \text{m}$, $H_0 = 5.000 \times 10^2 \text{m}$, $N_1 = 4/3$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4.000 \times 10^3 \text{m}$, $Q_{10} = 5.000 \text{m/s}$)

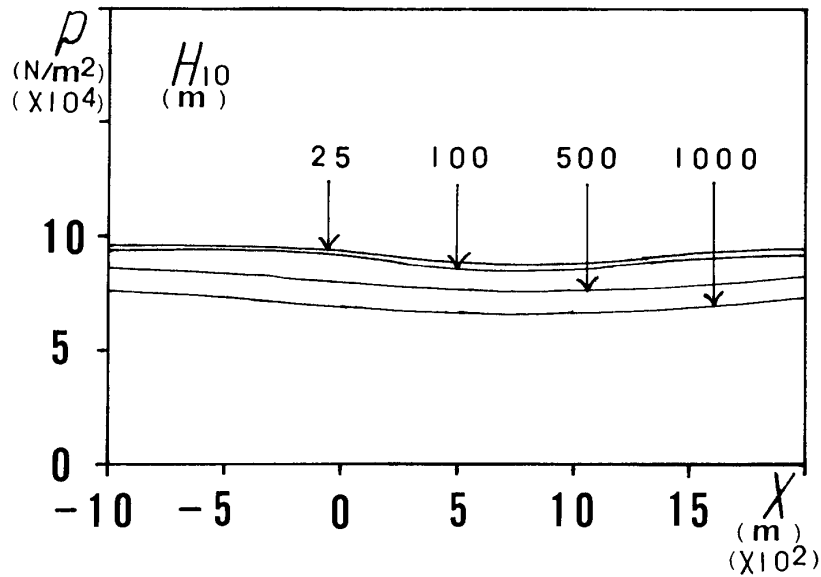


図4 尾根のまわりの風圧 ($L = 5.000 \times 10^2 \text{m}$, $H_0 = 5.000 \times 10^2 \text{m}$, $N_1 = 4/3$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4.000 \times 10^3 \text{m}$, $Q_{10} = 5.000 \text{m/s}$, $H_{k0} = 5.000 \times 10^2 \text{m}$, $\varphi = 35\pi/180$)

る。)。従って、尾根山頂中央部上方の風の状況は計算の始めの値則ち気象測候所までの距離 L_{10} やそこでの風の状況 H_{10} と Q_{10} によって異なり、またそれは山の形則ち L や H_0 や N_1 や N_3 によっても異なっている。なお、風速 Q のみを問題にすると、山裾の平面の海拔 H_{k0} や緯度 φ を考慮する必要はない。

このように、尾根山頂の風の状況は複雑であり、他の山での経験をそのまま用いることは危険である。

c) 尾根山頂中央部上方の風速

尾根山頂の中央部分で山頂面より高さ h のところの風速 Q は気象測候所での風速 Q_{10} に比例している (図5～図9)。

$$Q = f(L, H_0, N_1, N_3, L_{10}, h[H_{10}]) Q_{10}.$$

そして、この Q は尾根山頂面の横幅 L や気象測候所までの距離 L_{10} (風速 Q_{10} 等の他のパラメタは同じ値。) や山頂面からの高さ h が小さいほど大きく (図5, 図8, 図9), またこの Q は山裾の水平面から尾根山頂面までの高さ H_0 が大きいほど大きい (図6)。かどの角度 π/N_1 に関しては少々複雑である。この N_1 が小さいほど尾根山頂中央部上方の風速 Q が常に大きいとは言えない。この風速 Q は山裾の水平面から尾根山頂面までの高さ H_0 と気象測候所までの距離 L_{10} 特にこの L_{10} の影響を強く受けている (図7, 図10～図12)。

これらの図からもわかるように予想を越えた強風の現われることがあるから、尾根を縦走する人々は注意を要する。

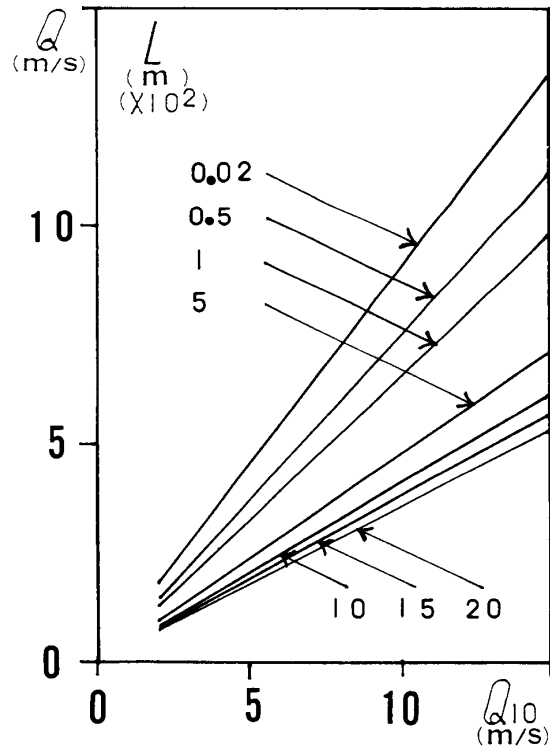


図5 尾根山頂中央部上方の風速I ($H_0 = 5.000 \times 10^2\text{m}$, $N_1 = 4/3$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4.000 \times 10^3\text{m}$, $h = 1.000 \times 10\text{m}$)

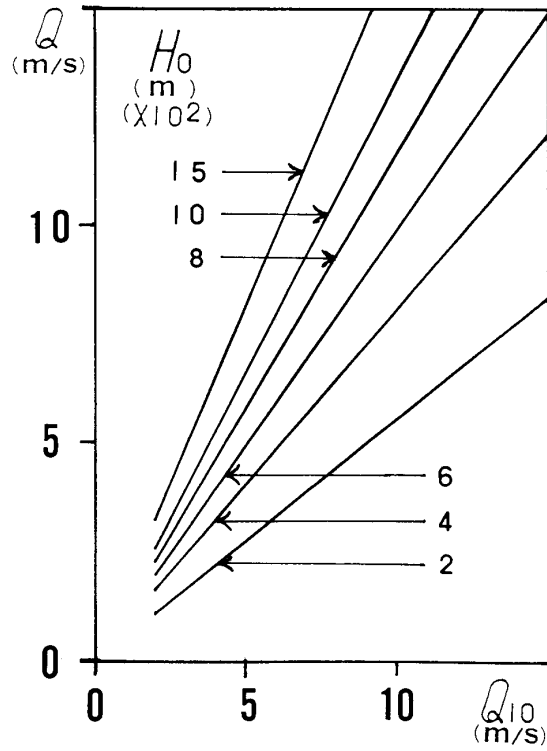


図6 尾根山頂中央部上方の風速II ($L = 2.000\text{m}$, $N_1 = 4/3$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4.000 \times 10^3\text{m}$, $h = 1.000 \times 10\text{m}$)

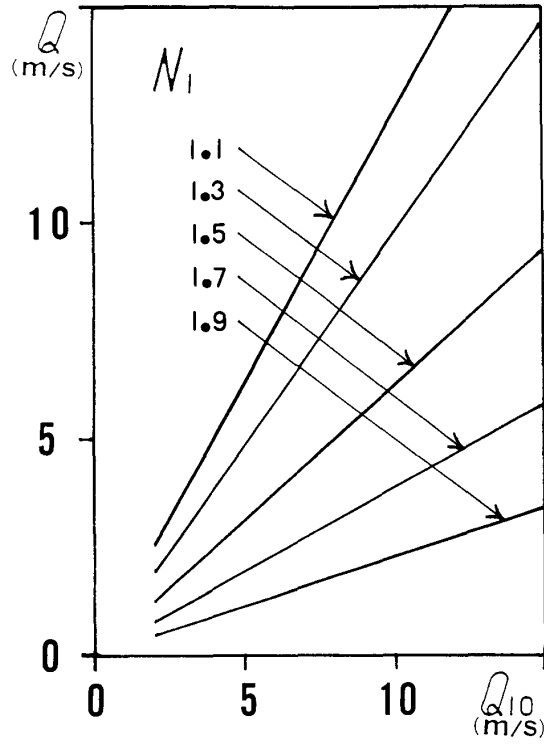


図7 尾根山頂中央部上方の風速Ⅲ ($L = 2.000\text{m}$, $H_0 = 5.000 \times 10^2\text{m}$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4.000 \times 10^3\text{m}$, $h = 1.000 \times 10\text{m}$)

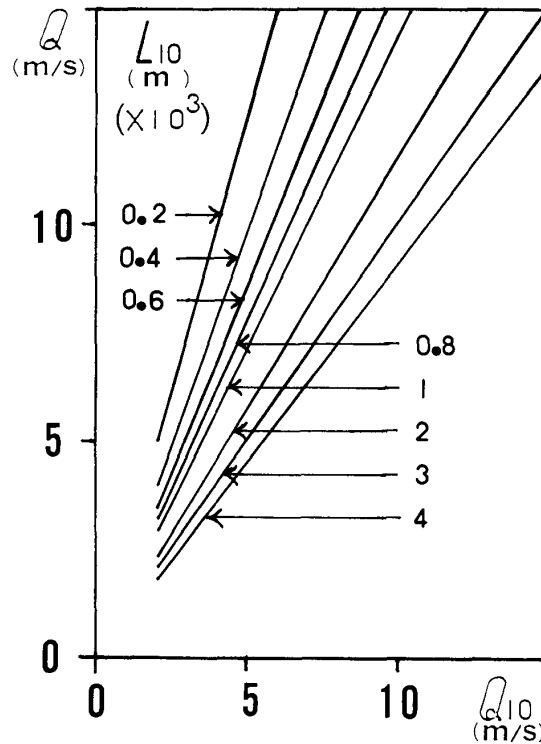


図8 尾根山頂中央部上方の風速Ⅳ ($L = 2.000\text{m}$, $H_0 = 5.000 \times 10^2\text{m}$, $N_1 = 4/3$, $N_3 = 4/5$, $h = 1.000 \times 10\text{m}$)

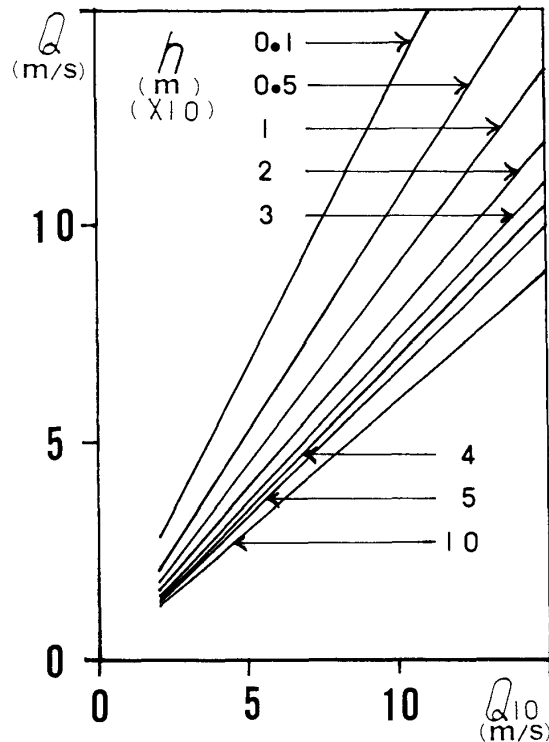


図9 尾根山頂中央部上方の風速 V ($L = 2,000\text{m}$, $H_0 = 5,000 \times 10^2$ m, $N_1 = 4/3$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4,000 \times 10^3\text{m}$)

d) 尾根山頂中央部上方の風速変化

尾根山頂の中央部分で山頂面より高さ h のところの風速の変化率 Q/Q_{10} は場合によって大きな値となる (図5～図9, 図11)。一般に, この風速の変化率 Q/Q_{10} は尾根の横幅 L や気象測候所までの距離 L_{10} (風速 Q_{10} 等の他のパラメタは同じ値。) や尾根山頂の中央で山頂面よりの高さ h の小さいところほど大きい (図5, 図8, 図9)。また, この Q/Q_{10} は山裾の水平面から尾根山頂面までの高さ H_0 の大きいところほど大きい (図6)。かどの角度 π/N_1 の分母 N_1 に関しては少々複雑である。風速の変化率 Q/Q_{10} は山裾の水平面から尾根山頂面までの高さ H_0 と気象測候所までの距離 L_{10} 特にこの L_{10} の影響を大きく受けている (図7, 図10～図12)。

これらの図からもわかるように大きな風速変動の現われることがあるから, 尾根を縦走する人々は注意を要する。

e) 天気予報と縦走対策

尾根の斜面の傾きに関する尾根山頂中央部上方の風速 Q の様子は気象測候所までの距離 L_{10} (風速 Q_{10} 等の他のパラメタは同じ値。) によって大きく異なっている (図7, 図10, 図11)。気象庁の天気予報による尾根縦走の対策と山裾の気象状況によるその対策とは, 報道される風速が同じであっても, 別のものでなければならない。

尾根を縦走する人々は予報された風速のみで尾根山頂の風の状況を予想してはならない。

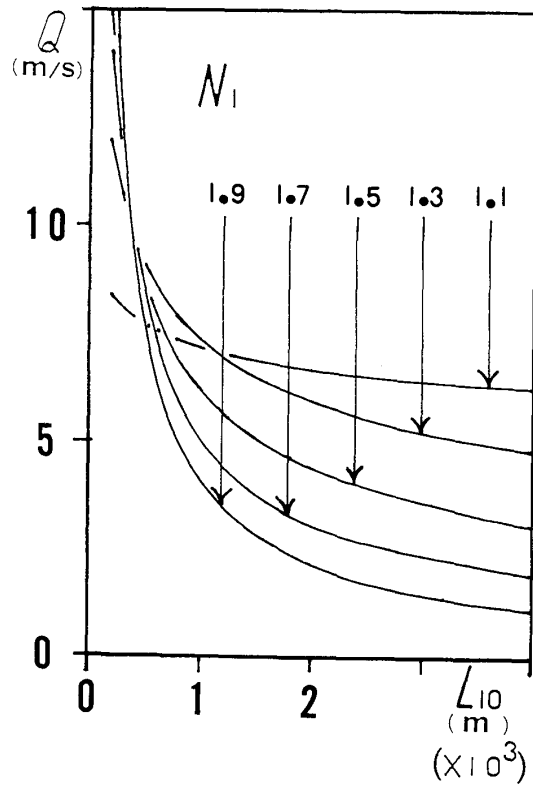


図10 尾根山頂中央部上方の風速VI ($L = 2.000 \text{ m}$, $H_0 = 5.000 \times 10^2 \text{ m}$, $N_3 = 4/5$, $h = 1.000 \times 10 \text{ m}$, $Q_{10} = 5.000 \text{ m/s}$)

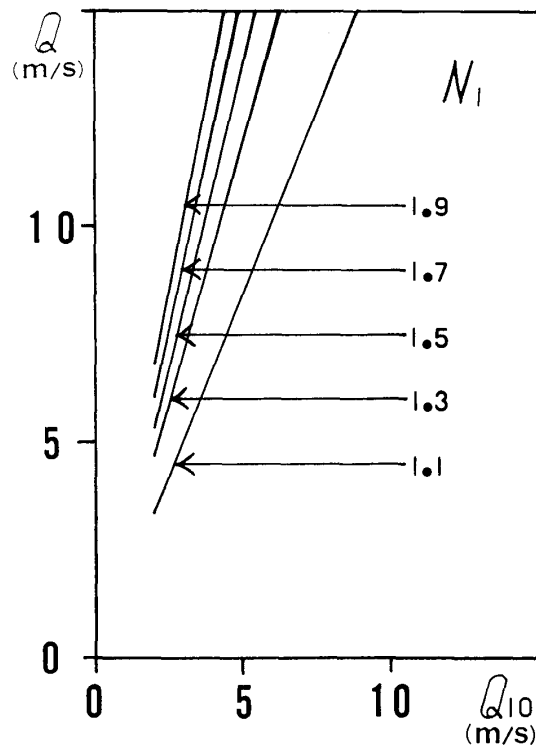


図11 尾根山頂中央部上方の風速VII ($L = 2.000 \text{ m}$, $H_0 = 5.000 \times 10^2 \text{ m}$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 2.000 \times 10^2 \text{ m}$, $h = 1.000 \times 10 \text{ m}$)

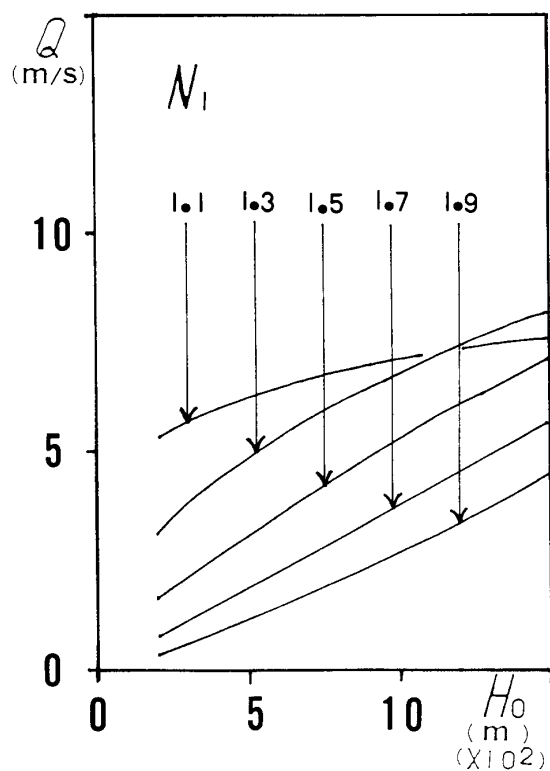


図12 尾根山頂中央部上方の風速 Q ($L = 2.000\text{m}$, $N_3 = 4/5$, $L_{10} = 4.000 \times 10^3\text{m}$, $h = 1.000 \times 10\text{m}$, $Q_{10} = 5.000\text{m/s}$)

4. むすび

次に、尾根の斜面を滑行するハングライダーや尾根の上空を通過する飛行機の受ける風の状況等を調べてみたい。

参考文献

- 1) 大亀 衛・三宅幸治・村上耕一：第14回風力エネルギー利用シンポジウム，(1992)，*p.* 103
- 2) 東京天文台編纂：理科年表（丸善 KK，東京，1967）第40冊，地学部，*p.* 130
- 3) 日本化学会編：化学便覧基礎編II（丸善 KK，東京，1966）初版，*p.* 431

Wind around a Mountain Ridge

Mamoru OHKAME and Takahiro HIGUCHI

Department of Applied Physics

Okayama University of Science

1-1 Ridaicho, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1993)

The equations governing the wind speed, the streamline, and the atmospheric pressure around the mountain ridge are formed according to Bernoulli's theorem and the theorem of complex velocity potential. And, the solutions are obtained by means of numerical calculation.

The unexpected meteorologies appear around the mountain ridge.