

風力発電機の設置場所と地形

—先の丸い半無限長の山（三次元）—

向川 静隆・大亀 衛*

岡山理科大学大学院理学研究科応用物理学専攻

*岡山理科大学総合情報学部シミュレーション物理学科

(1999年11月4日 受理)

摘要

山の周辺の風速と流線を表わす式がストークスの流れの関数と速度ポテンシャルから求められ、風の状況がこれらの式を用いて調査された。風力発電機の最適な設置場所は尾根の前方部分にあり、設置された風力発電機の風速の変化による位置の調整は不要である。そして、この位置での風速は山に向かって吹いて来る風の速さの 1.155 倍を越えない。又、この場所は大型風車の設置に適している。さらに、設置場所の風速を求める観測所は山裾に広がる平地でもよい。

1. はじめに

一様な風が山に向かって吹いてきても、山の付近の風速はところによって異っている。そして、この風速の最大となるところが風力発電機の最適な設置場所である。最近になって、この場所が流体の運動を支配する式を用いてさがし求められている^{1), 2), 3), 4), 5), 6)}。ここでも、新たな地形での風の状況がこの理学的方法によって調べられる。

2. 基礎式と数値解

a) 基礎式

先の丸い半無限長の山と山裾に広がる地平面からできている地形を考え、座標系 $O-X Y$ を図1のようにとる。ここで、 b は山の高さである。次に一本の流線を考える。この流線上の任意の点 (X, Y) での風速を Q とし、山から遠く離れた前方の点 (X_0, Y_0) での風速を Q_0 とする。ここで、 U は山に向かって吹いて来る一様な風の速さである。又、風車の中心に向かっている流線上で風速が最大値 Q_{CM} となる点の座標を (X_{CM}, Y_{CM}) とする。

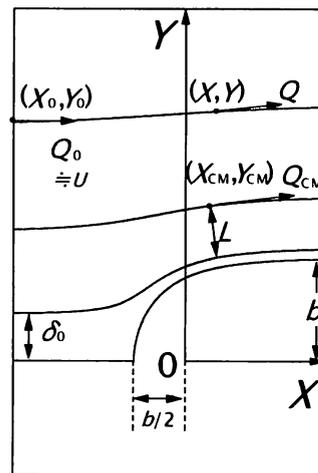


図1 使用した主な記号

Y_{CM})とする。更に、 δ_0 は山から離れた前方での境界層の厚さであり、 L は風車の半径である。

流れを渦なしとして速度ポテンシャルを用い、更に非圧縮流体の軸対称流れとしてストークスの流れの関数を用いると、この場合の風速と流線を表わす式が求められる。

b) 数値解

山より十分はなれた前方から数値計算を始める ($|X_0|$ は大きい、 $Q_0 \cong U$). そして、計算の範囲は

$$\begin{aligned} 2.000 \quad \text{m/s} &\leq U \leq 1.000 \times 10 \quad \text{m/s} , \\ 3.000 \times 10^2 \quad \text{m} &\leq b \leq 1.500 \times 10^3 \quad \text{m} , \\ 1.000 \times 10 \quad \text{m} &\leq \delta_0 \leq 9.000 \times 10 \quad \text{m} , \\ 5.000 \times 10 \quad \text{m} &\leq Y_0 \leq 1.500 \times 10^3 \quad \text{m} , \\ 5.000 \quad \text{m} &\leq L \leq 2.500 \times 10 \quad \text{m} \end{aligned}$$

とする。ここで、 X_0 の値は $-1.000 \times 10^4 \text{m}$ とする (図2)。更に、パラメーター U と b と δ_0 と Y_0 と L のうちいくつかを変化させるとき、他のものの値は

$$\begin{aligned} U &= 6.000 \quad \text{m/s} , \\ b &= 9.000 \times 10^2 \quad \text{m} , \\ \delta_0 &= 5.000 \times 10 \quad \text{m} , \\ Y_0 &= 1.500 \times 10^2 \quad \text{m} , \\ L &= 1.500 \times 10 \quad \text{m} \end{aligned}$$

とする。

図3と図4は求められた数値解である。

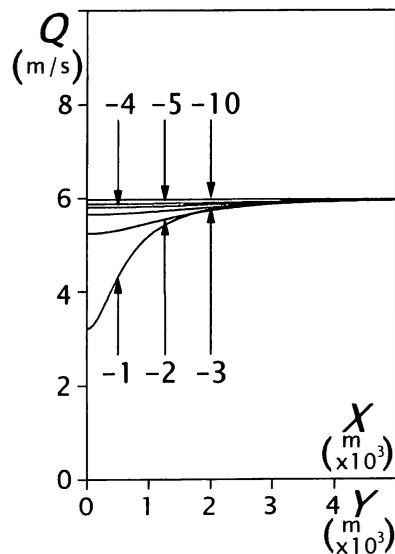


図2 風速 I

($U=6.000 \text{m/s}$, $b=1.500 \times 10^3 \text{m}$)

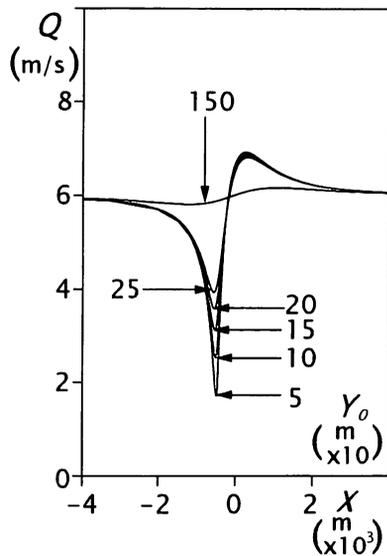


図3 風速II
($L=6.000\text{m/s}$, $b=9.000 \times 10^2\text{m}$)

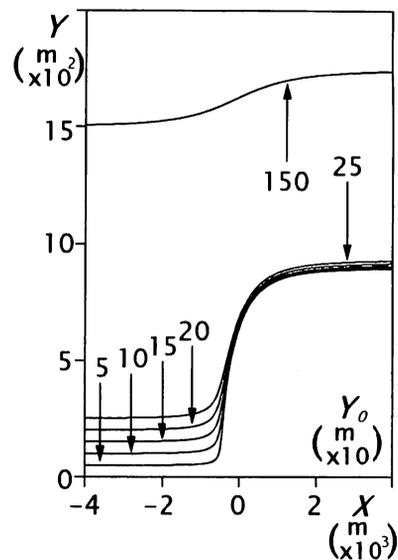


図4 流線I
($L=6.000\text{m/s}$, $b=9.000 \times 10^2\text{m}$)

3. 考察

a) 結果の妥当性とその限界

ここでの結果は流体の運動を支配する式から得られたものである。即ち、ストークスの流れの関数（状態方程式の解である密度一定を使用して、軸対称流れのときに得られる関数。）と速度ポテンシャル（密度一定で渦なし流れのときに、連続の式から得られるラプラスの式の解。）が使用されている。なお、オイラーの式は圧力を求めるときに用いられる^{1), 2), 3), 4), 5)}。

ここでのレイノルズ数は大きい (3.697×10^8 程度) から、得られた結果は境界層等の渦の領域を除いたところで使用できる⁷⁾。山から離れた平野部における境界層の厚さ δ_0 が大きくても、風力発電機を設置するあたりの境界層の厚さは小さい (図4)。従って、風速の大きい地表面近くまで、結果の利用が可能である。いまの場合、密度一定は許されるであろう。けれども、山の形を単純化していることや山に向かって吹いて来る風の流れを一様流としたことは、理学的方法を用いるときに受ける結果の妥当性の限界である。

b) 風力発電機の設置場所

風速の大きいところが尾根の前方部分にあり (図3)、この部分が風力発電機の最適な設置場所である。流れの状態を表わす流線の式が山に向かって吹いて来る一様な風の速さ U に関係していないから、一度設置した風力発電機は山に向かって吹いて来る一様な風の速さ U が変化しても移動させなくてよい。山の高さ b や風車の半径 L や山から遠く離れた平地での境界層の厚さ δ_0 がどのような値のときでも、このことは成立する (図5, 図6, 図7, 図8, 図9, 図10)。

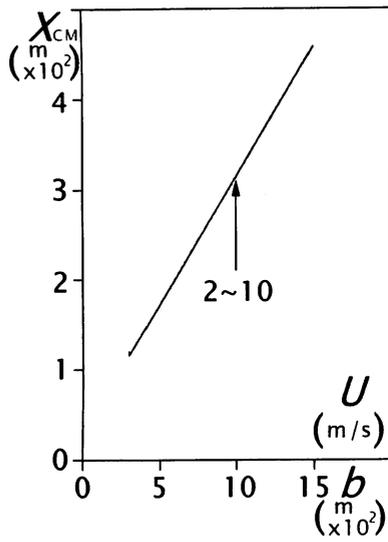


図5 風車の位置 I

($\delta_0=5.000 \times 10\text{m}$, $L=1.500 \times 10\text{m}$)

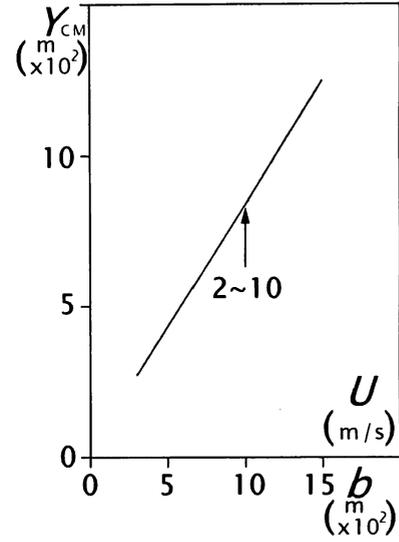


図6 風車の位置 II

($\delta_0=5.000 \times 10\text{m}$, $L=1.500 \times 10\text{m}$)

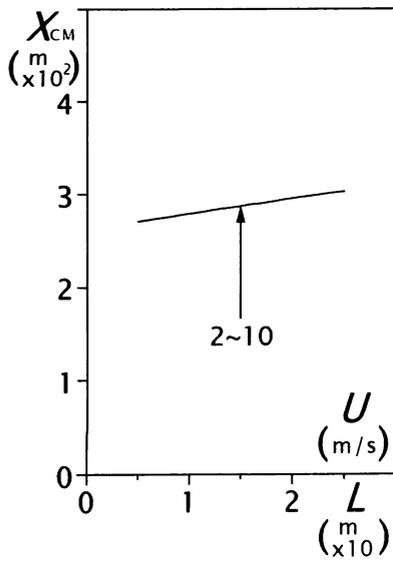


図7 風車の位置 III

($b=9.000 \times 10^2\text{m}$, $\delta_0=5.000 \times 10\text{m}$)

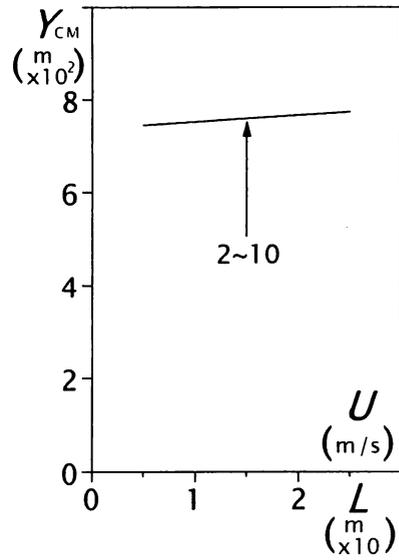


図8 風車の位置 IV

($b=9.000 \times 10^2\text{m}$, $\delta_0=5.000 \times 10\text{m}$)

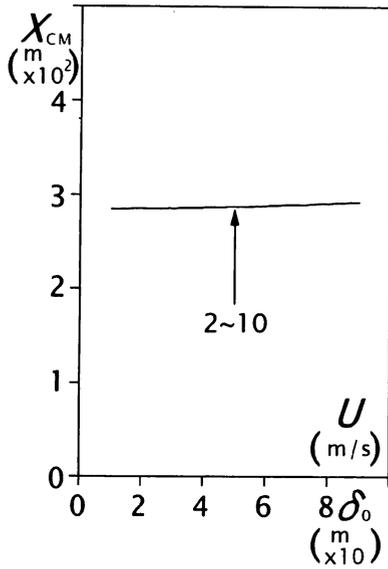


図9 風車の位置V
($b=9.000 \times 10^2 \text{m}$, $L=1.500 \times 10 \text{m}$)

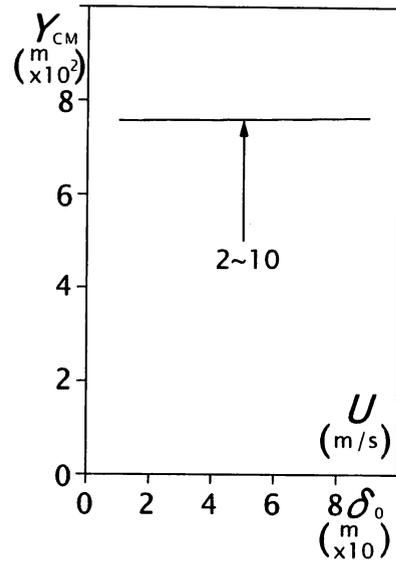


図10 風車の位置VI
($b=9.000 \times 10^2 \text{m}$, $L=1.500 \times 10 \text{m}$)

c) 得られる風のエネルギー

計算の範囲内において、風車の中心部に当たる風の速さ Q_{CM} は山に向かって吹いて来る一様な風の速さ U のほぼ 1.150 倍である。このことは山の高さ b や風車の半径 L や山から遠く離れた平野部の境界層の厚さ δ_0 にはほとんど関係していない (図 11, 図 12, 図 13) (山の高さ b を $1.000 \times 10 \text{m}$ から $5.000 \times 10^3 \text{m}$ まで変化させて、 Q_{CM}/U が求められた。1.155 を越えることはない。) 又、得られる風のエネルギーは風速の 3 乗に比例するから、山から遠く離れた平地に設置した風車から得られるエネルギーのほぼ 1.540 倍の量がこのような山の最適地に設置したものから得られる。

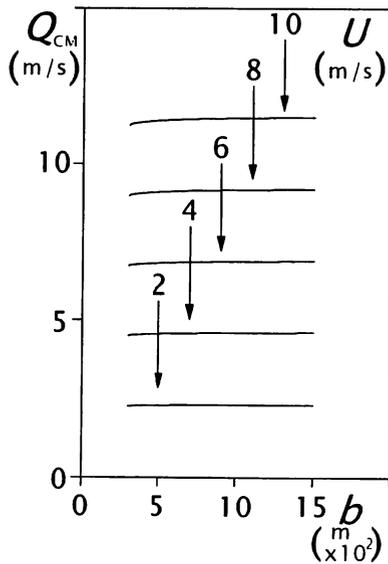


図 11 風車に当たる風の速さ I
($\delta_0=5.000 \times 10 \text{m}$, $L=1.500 \times 10 \text{m}$)

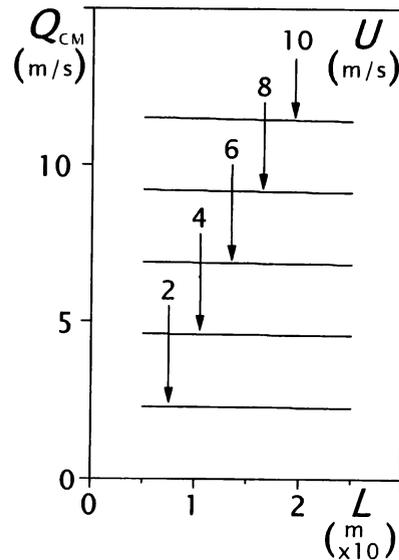


図 12 風車に当たる風の速さ II
($b=9.000 \times 10^2 \text{m}$, $\delta_0=5.000 \times 10 \text{m}$)

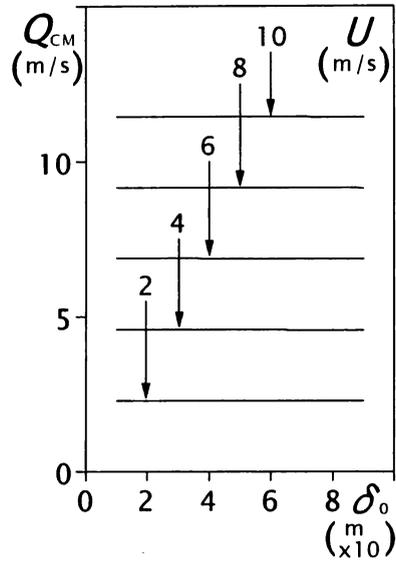


図13 風車に当たる風の速さⅢ
($b=9.000 \times 10^2 \text{m}$, $L=1.500 \times 10 \text{m}$)

d) 風車の大きさ

風車の最適なこの設置場所での上下方向の風速変化は小さい(図14)。従って、大型風車の設置が可能である。更に、エネルギー比 Q_{CM}/U があまり大きくないことを考えると、ここで使用する風車の型は大型である。

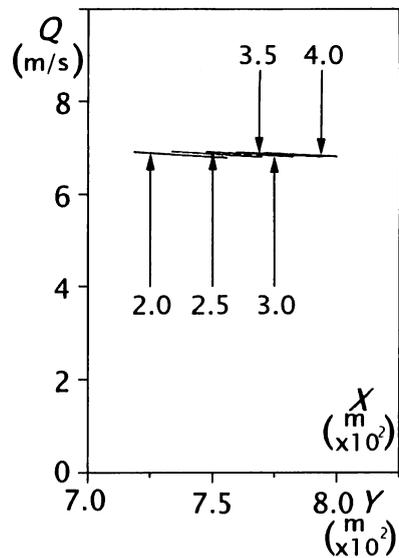


図14 風速Ⅲ
($U=6.000 \text{m/s}$, $b=9.000 \times 10^2 \text{m}$)

e) 風速の観測所

風速 Q は山に向かって吹いて来る一様な風の速さ U に比例している(図15)。そして、流線はこの風速 U に関係していないから(図16)、山の周辺の風の状況は常に幾何学的相似である。これらのことは風速と流線を表わす式からもわかる。従って、風速の観測所は山裾に広がる平地(多くの場合、生活条件がよい。)でもよい。

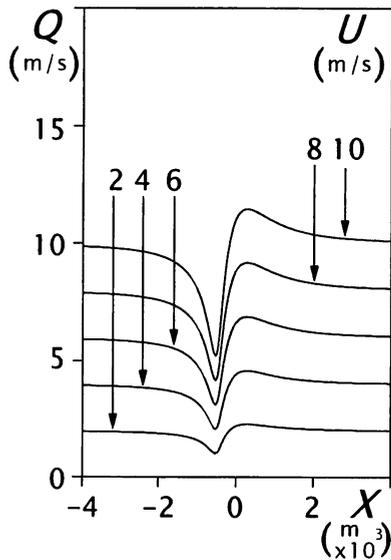


図15 風速IV
($b=9.000 \times 10^2 \text{m}$, $Y_0=1.500 \times 10^2 \text{m}$)

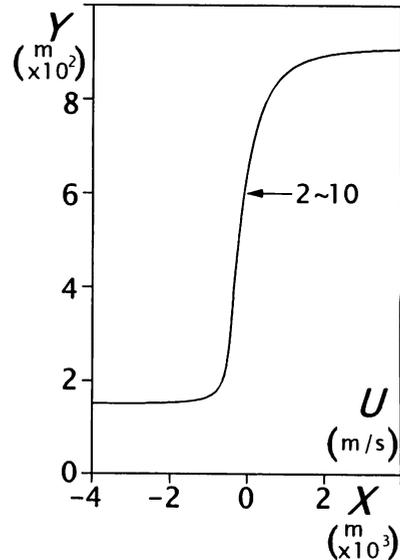


図16 流線II
($b=9.000 \times 10^2 \text{m}$, $Y_0=1.500 \times 10^2 \text{m}$)

f) その他

ここでの結果と二次元的な先の丸い半無限長の山での結果⁴⁾を比較すると、ここで得られる風のエネルギー量は二次元的な山で得られるそれよりも少ない。又、ここでの山の最適なところに設置できる風力発電機の台数は勿論二次元的な山でのそれよりも少ない。従って、先ず二次元的な山に風力発電機を設置し、次にここでの山を利用すればよい。

4. むすび

次に、ランキンの卵型の山（三次元）を考え、この山での風力発電機の設置場所をさがしたい。そして、この結果と二次元的な山でのそれ⁴⁾を比較したい。

参考文献

- 1) 大亀 衛・三宅 幸治・村上 耕一：日本風力エネルギー協会誌，通巻32，Vol.17，No.1，pp. 69-72，1993.
- 2) 大亀 衛・上畑 耕二：日本風力エネルギー協会誌，通巻34，Vol.18，pp. 46-50，1994.
- 3) 大亀 衛・北川 勉：第16回風力エネルギーシンポジウム，pp. 95-98，1994.
- 4) 大亀 衛・岩田 洋・清田 知弘：岡山理科大学紀要，第31号，A，pp. 91-97，1996.
- 5) 大野 朋美・西川 嘉範・大亀 衛：岡山理科大学紀要，第31号，A，pp. 99-105，1996.
- 6) 大亀 衛・馬袋 真紀・秋山 倫範：岡山理科大学紀要，第33号，A，pp. 71-79，1997.
- 7) 今井 功：流体力学（前編）（IKK 裳華房，東京）12版，pp. 2-5，1984.

The Setting-Place of the Wind Turbine and Its Natural Features
— A Mountain with Round One-Sided Slope and Infinite Flat Top
(Three-Dimensions) —

Shizutaka MUKOGAWA and Mamoru OHKAME*

Graduate School of Science,

Okayama University of Science

**Department of Simulation Physics, Faculty of Informatics,*

Okayama University of Science

Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan

(Received November 4, 1999)

From Stokes's stream function and velocity potential, the equations were obtained in which wind speed and stream line around the mountain were shown, and the conditions of wind were investigated from these equations. The most suitable setting-place of the wind turbine was in the front part of the ridge, and adjustment of setting-place of the wind turbine to changes in wind speed was not necessary. The wind speed in this place did not exceed 1.155 times of the wind that blows toward against the mountain. In addition, this place was found to be suitable for setting the large-size wind turbine. Furthermore, the observatory to measure wind speed could be located on the flat ground that spread to the foot of the mountain.