

風力発電機の設置場所と地形

—— ランキンの卵形の山 ——

大野 朋美・西川 嘉範・大亀 衛

岡山理科大学理学部応用物理学科

(1995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、ランキンの卵形の山の周辺の風速と気圧が調べられた。山頂附近に強い風の現われるところがあり、風力発電機の設置場所が数値計算して求められた。

1. はじめに

風力発電機の設置場所を求めるために、観測値から出発した工学的調査^{1),2),3)}と物理学の式から出発した理学的調査^{4),5)}がなされている。ここでは、この理学的な方法によって、新たな一つの局所地形の風況が調べられる。

2. 基礎式と数値解

a) 基礎式

ランキンの卵形の山とその山裾に広がる水平な地平面からできている二次元的な地形を考える(図1)。 H_0 は山裾に広がる水平な地平面からの山の高さ、 $2L$ は山の裾の部分の横幅、 H_{K0} は山裾に広がる水平な地平面の海面からの高さ、 U は山裾に広がる水平な地平面と平行に吹いて来る一様な風の速さである。次に、図1のように座標系 $O-XY$ をとり、一本の流線を考える。この流線上の山から遠くはなれた点 (X_0, Y_0) 上での風速を Q_0 とする。又、この流線上の任意の点 (X, Y) 上での風速を Q とし、気圧を P とする。更に、この流線上での最大風速を Q_M とし、その点の座標を (X_M, Y_M) とする。なお、 h と h_M はそれぞれ点 (X, Y) と点 (X_M, Y_M) の山の面からの高さである。

流れは二次元的で渦なしとし、空気は縮まないとする。この様に限定すると、ここでの流れに対応する複素速度ポテンシャルは

$$\left\{ \begin{array}{l} f(z) = Uz + m \log \left\{ \frac{(z+a)}{(z-a)} \right\} \\ \{z = X + iY \text{ (} i \text{ は虚数単位.)}\} \end{array} \right.$$

であり, m と a は

$$\left\{ \begin{array}{l} m = H_0 U / \text{Tan}^{-1}\{2aH_0/(H_0^2 - a^2)\}, \\ L^2 = a(a + 2m/U) \end{array} \right.$$

から求められる⁶⁾。従って, 風速と流線は上記の式から求められる。

圧力 P はベルヌーイの式から求められる。このとき, 重力の加速度の大きさは国際標準重力式から求められ⁷⁾, ベルヌーイの式の定数は海面上で無風点での気圧を 1 気圧として求められる。

b) 数 値 解

計算の出発点は遠方にとられ ($Q_0 \doteq U$), 計算の範囲は

$$\left\{ \begin{array}{l} 2.000 \text{ m/s} \leq Q_0 \leq 1.000 \times 10 \text{ m/s}, \\ X_0 = -1.000 \times 10^4 \text{ m}, \\ 5.000 \times 10 \text{ m} \leq Y_0 \leq 1.000 \times 10^3 \text{ m}, \\ 5.000 \times 10^2 \text{ m} \leq H_0 \leq 9.000 \times 10^2 \text{ m}, \\ 1.000 \times 10^3 \text{ m} \leq L \leq 1.400 \times 10^3 \text{ m}, \\ H_{k0} = 3.000 \times 10^2 \text{ m}, \\ \psi = 35\pi/180, \\ \rho = 1.293 \text{ kg/m}^3 \text{ }^8) \end{array} \right.$$

である。ここで, ψ は緯度であり, ρ は密度であり, π は円周率である。

図 2 と図 3 と図 4 は得られた解である。

3. 考 察

a) 設置場所

強い風の吹いている山頂附近が風力発電機の設置場所である (図 2)。座標 X_0 での境界層の厚さを h_{0s} とし, 点 (X_0, h_{0s}) を通る流線上での最大風速点の山の面からの高さを h_{Ms} とする (図 5)。風車の半径を a とし, 最大風速点の山からの高さ h_{M1} が $h_{Ms} + a$ となる流線の座標 X_0 での Y 座標 Y_{01} を求める (図 5)。この Y_{01} を用いて, この流線上の最大風速点の X 座標 X_{M1} を求める (図 6)。この附近 (座標 X_{M1} あたり) の境界層の厚さはほぼ一様であるから (図 3), 座標 X_{M1} で山の面からの高は h_{M1} の点が設置される風車の中心の位置である。

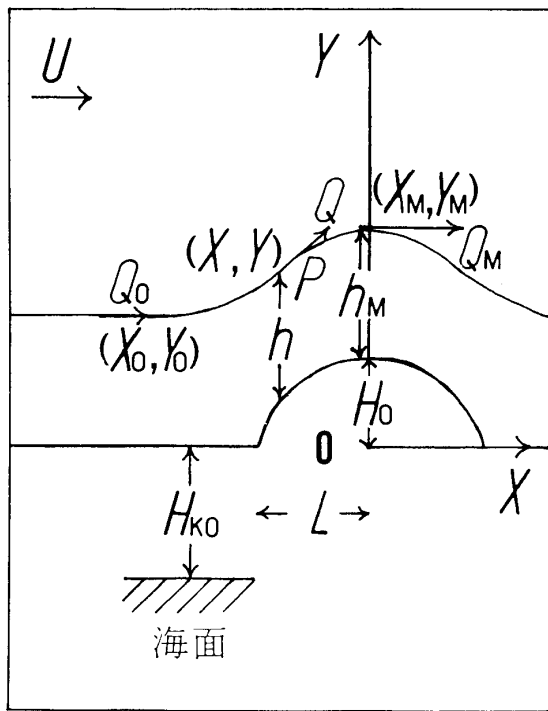


図1 使用したおもな記号

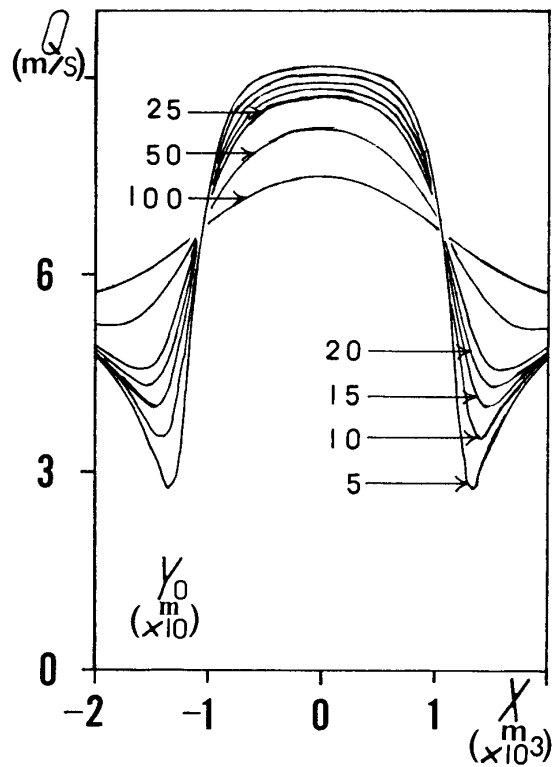


図2 風速 I ($U=6.000\text{ m/s}$, $H_0=7.000 \times 10^2\text{ m}$, $L=1.200 \times 10^3\text{ m}$)

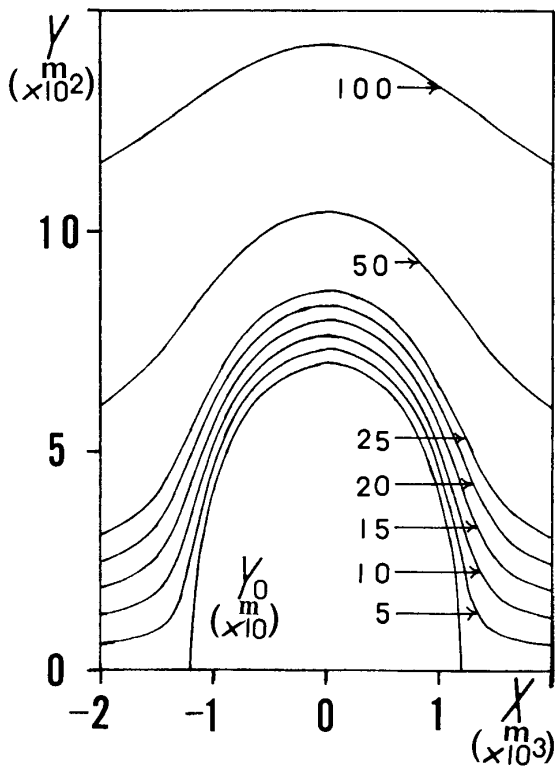


図3 流線 I ($U=6.000\text{ m/s}$, $H_0=7.000 \times 10^2\text{ m}$, $L=1.200 \times 10^3\text{ m}$)

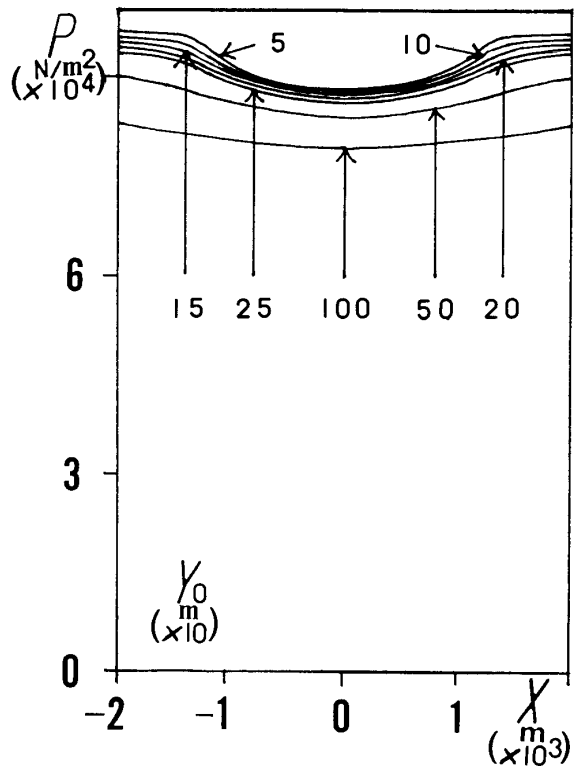


図4 気圧 ($U=6.000\text{ m/s}$, $H_0=7.000 \times 10^2\text{ m}$, $L=1.200 \times 10^3\text{ m}$)

b) 最大風速

風車の中心に向かって来る流線上での最大風速は図7から求められる。この最大風速は山に向かって吹いて来る一様な風の速さ U の約1.5倍である。得られる風のエネルギーは風速の3乗に比例するから、ここに設置された風力発電機から得られるエネルギーは山裾に広がる平地の山から離れた場所に設置されたものの約3.4倍である。又、山の高さ H_0 が大きいほどそして山幅 $2L$ が小さいほど、この風速 Q_M は大きい。

c) 風車の大きさ

山頂附近の広い範囲で、ほぼ一様な風が吹いている(図8)。従って、大型風車の設置が可能である。山の高さ H_0 が小さいほどそして山の裾の部分の横幅 $2L$ が大きいほど、この傾向は強い。

d) 風速の観測所

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、流線の形は変わらない(図9)。そして、山の周辺の風速 Q はこの風速 U に比例している(図10)。従って、観測所は山裾に広がる平地に設置すればよい。又、このことは風速 Q を表わす式の上からもいえる。

e) 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すなわ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($\rho = \text{一定}$)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なし流れであれば、得られた結果は実現する現象である。

又、レイノルズ数の大きい現象であるから、得られた結果は後流の領域と境界層を除いて正しいものである。

更に、図5からもいえるように、山頂周辺における境界層の厚さは山裾におけるそれよりもかなり薄い。従って、山頂周辺で渦の影響を受ける範囲は狭く、ここで得られた結果は山頂周辺の広い範囲で利用できる。

f) その他

一般に、山に向かって吹いて来る風の流れは一様でなく、地形は二次元的でなく、空気の密度は一定でなく、後流の領域や境界層以外でもいくらかの渦が存在している。従って、ここで得られた結果は修正されなければならない、その成立する範囲は限定されている。けれども、山の頂上附近は風力発電機の設置場所として調査対象地であり、ここで得られた結果はこの調査における指針となる。

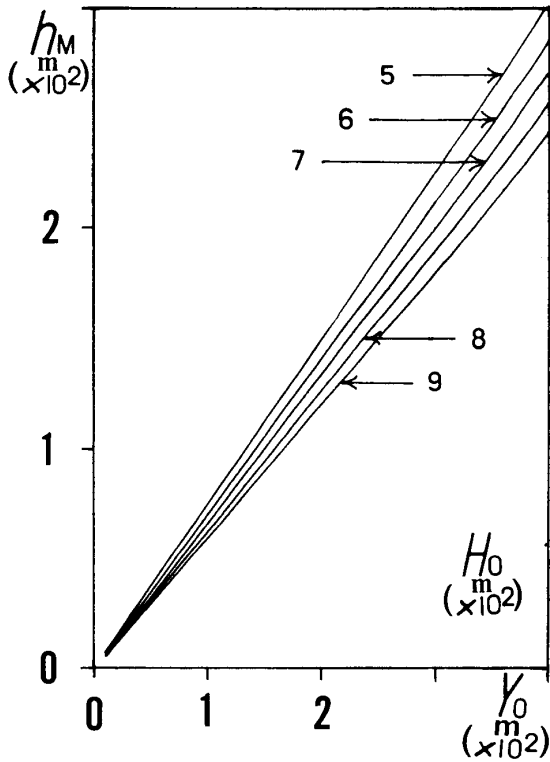


図5 山の面から一つの流線上での最大風速点までの高さ ($U=6.000\text{m/s}$, $L=1.200 \times 10^3\text{m}$)

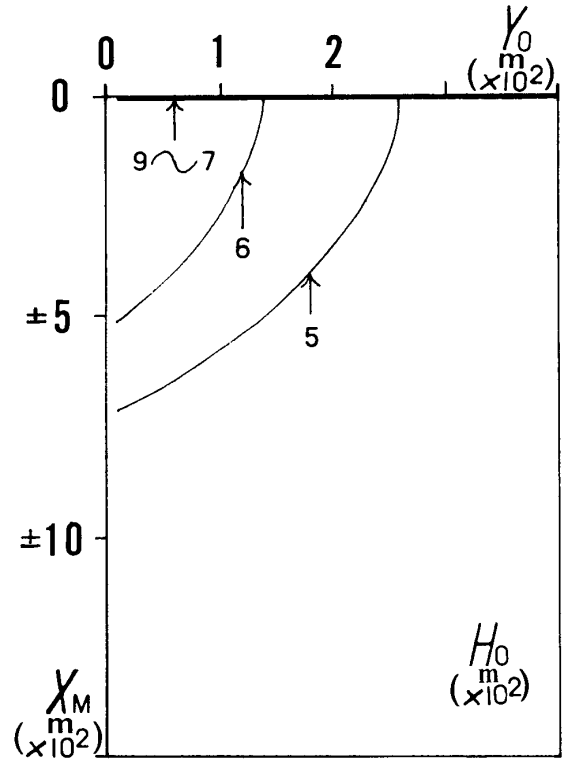


図6 一つの流線上での最大風速点のX座標 ($U=6.000\text{m/s}$, $L=1.200 \times 10^3\text{m}$)

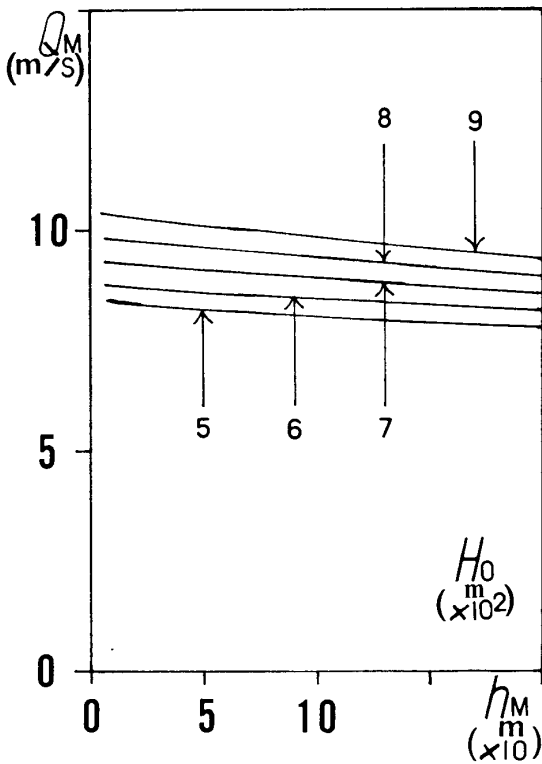


図7 一つの流線上での最大風速 ($U=6.000\text{m/s}$, $L=1.200 \times 10^3\text{m}$)

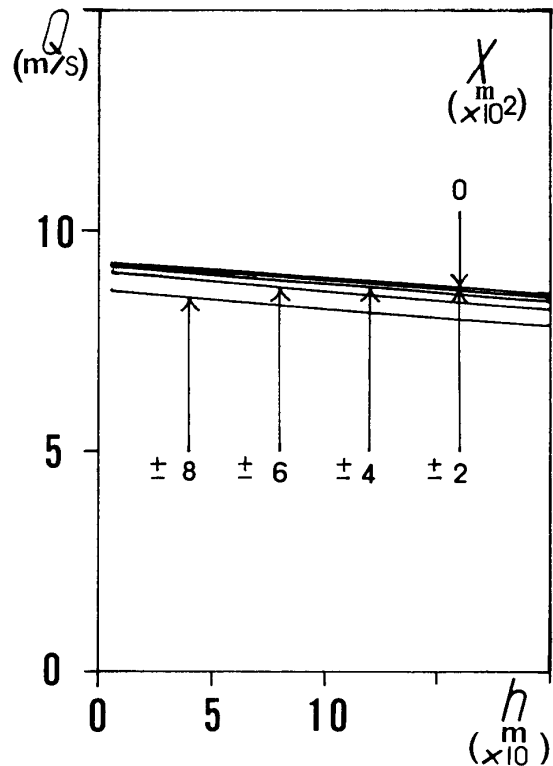


図8 風速II ($U=6.000\text{m/s}$, $H_0=7.000 \times 10^2\text{m}$, $L=1.200 \times 10^3\text{m}$)

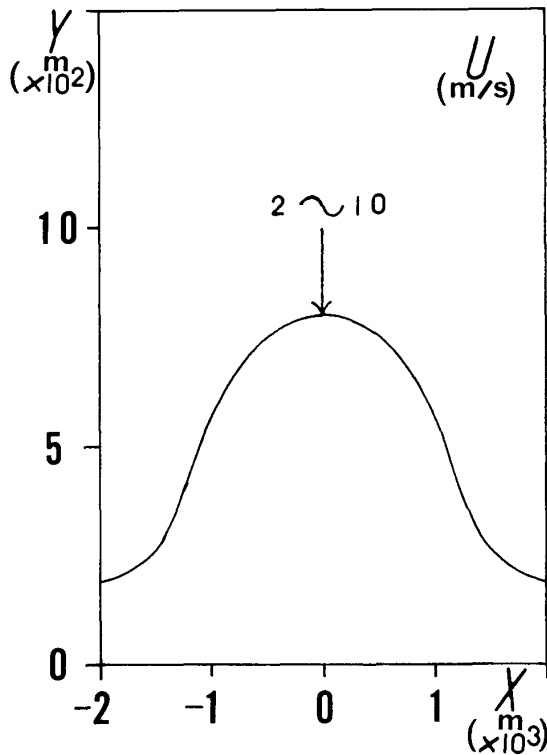


図9 流線II ($Y_0=1.500 \times 10^2 \text{ m}$, $H_0=7.000 \times 10^2 \text{ m}$, $L=1.200 \times 10^3 \text{ m}$)

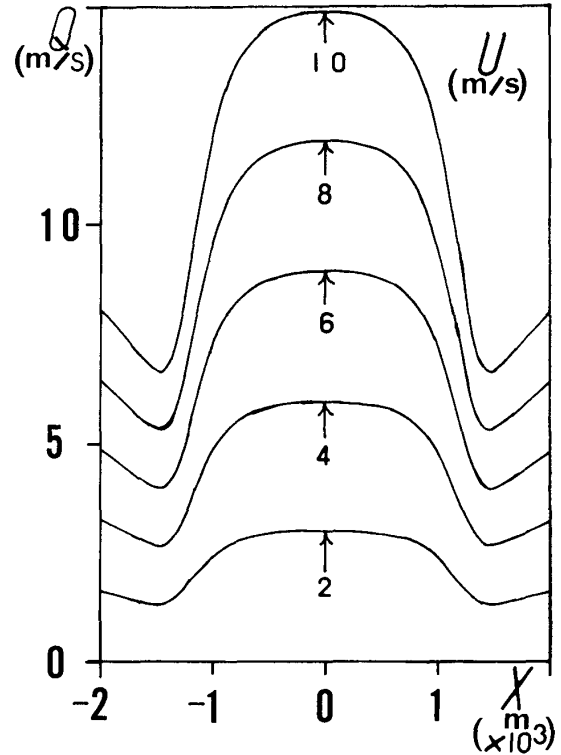


図10 風速III ($Y_0=1.500 \times 10^2 \text{ m}$, $H_0=7.000 \times 10^2 \text{ m}$, $L=1.200 \times 10^3 \text{ m}$)

4. む す び

いろいろな山の形を考え、これらのまわりの風速と流線と気圧を求め、更に風力発電機
の設置場所を捜し求めたい。

参 考 文 献

- 1) 長井 浩：第12回風力エネルギー利用シンポジウム，(1990) p.45.
- 2) 松坂知行：第13回風力エネルギー利用シンポジウム，(1991) p.64.
- 3) 東野政則：第15回風力エネルギー利用シンポジウム，(1993) p.20.
- 4) 大亀 衛・三宅幸治・村上耕一：日本風力エネルギー協会誌，(1993) p.69.
- 5) 大亀 衛・上畑耕二：日本風力エネルギー協会誌，(1994) p.46.
- 6) 今井 功：流体力学と複素解析（日本評論社，東京，1981）p.139.
- 7) 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.
- 8) 日本化学会編：化学便覧基礎編II（丸善KK，東京，1966）初版，p.431.

Setting-Place of a Wind Turbine And Its Natural Features

— Rankin's Ovoid Mountains —

Tomomi OHNO, Yoshinori NISHIKAWA and Mamoru OHKAME

Department of Applied Physics,

Okayama University of Science,

Ridaicho 1-1, Okayama 700, Japan

(Received September 30, 1995)

The velocity of the wind and the atmospheric pressure around the Rankin's ovoid mountain were investigated using complex velocity potential theory and Bernoulli's theorem.

Above the top of the mountain was the area where strong winds blew. In view of this, the most suitable position for the wind turbine was calculated using numerical analysis.