

山越えする渡り鳥の受ける風（アネハ鶴）

白濱 直哉・石井 一夫*・大亀 衛*

岡山理科大学大学院理学研究科修士課程応用物理学専攻

*岡山理科大学理学部応用物理学科

(1996年10月7日 受理)

摘 要

ヒマラヤ山脈周辺の風速が複素速度ポテンシャルの理論を用いて調べられた。そして、アネハ鶴の山越えできる山頂からの高さの範囲が数値計算して求められた。

1. はじめに

複素速度ポテンシャルの理論を用いると、種々の形をした山の周辺の風速が求められる。この方法によって、鳥取県にある大山の周辺の風速が尾根を縦走する人々のために数値解析されており¹⁾、また那岐山頂から吹き下りて来る広戸風の最大風速が調査されている²⁾。最近、ヒマラヤ山脈を越えるアネハ鶴の行動がテレビで放映されたが³⁾、このことが同じ方法によって次に数値解析される。

2. 基礎式と数値解

a) 基礎式

インド側の高原とヒマラヤ山脈とチベット高原が図1のように二次元的な形で近似される。インド側の山裾に原点Oを取り、鉛直方向上向きにY軸を取り、そして水平方向チベット側向きにX軸を取る。次に、点 (L_{10}, H_{10}) の風速を Q_{10} とし、点 (L_{10}, H_{10}) を通る流線上の任意点 (X, Y) の風速を Q とする。また、この流線上での最大風速値を Q_M とし、その点の座標を (X_M, Y_M) とする。そして、山頂から点 (X_M, Y_M) までの高さを H とする。更に、インド側の高原からの山の高さを H_0 とし、チベット高原からの山の高さを H_1 とする。

流れは縮まない二次元的な渦無し流れとする。そして、三つの角のまわりの流れに対応する複素速度ポテンシャルを用いて、それぞれの流れと流線を表わす基礎式が求められる。

b) 数値解

三つの角のまわりの流速と流線が対応する基礎式を用いて求められ、これらは山の二つの斜面の垂直二等分面上で連結される。

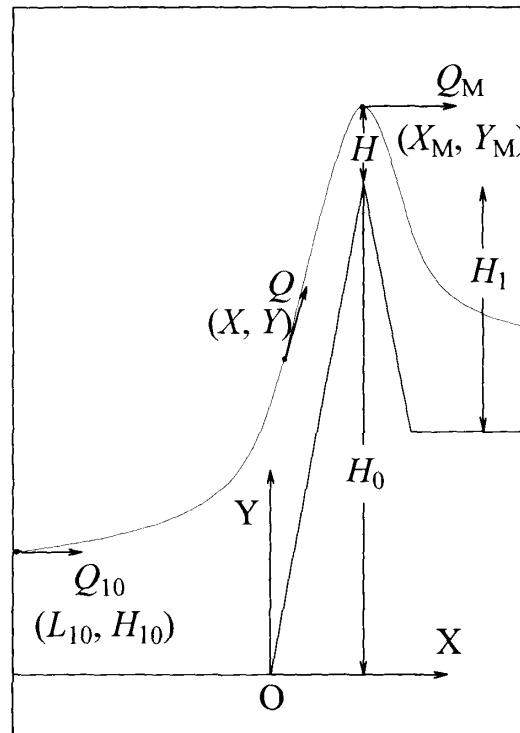


図1 使用した主な記号

計算の範囲は

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{10} \leq -1.500 \times 10^4 \text{m}, \\ 1.000 \times 10^2 \text{m} \leq H_{10} \leq 1.300 \times 10^3 \text{m}, \\ 4.000 \text{m/s} \leq Q_{10} \leq 1.900 \times 10 \text{m/s}, \\ n_1 = 1.259, \\ n_2 = 7.087 \times 10^{-1}, \\ H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m} \\ H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m} \end{array} \right.$$

である。ここで、 π/n_1 はインド側の高原面とヒマラヤ山脈の斜面とのなす角度であり、 π/n_2 はチベット側の高原面とヒマラヤ山脈の他方の斜面とのなす角度である。そして、 π は円周率である。また、山の形はニルギル北峰の断面形を用いている。

図2と図3はこのようにして得られた数値解である。

3. 考 察

a) 結果の妥当性と限界

ここでの結果は完全流体の運動を支配する三つの式則ちオイラーの運動方程式と連続の式と状態方程式のうち連続の式（流れの関数を使用）と状態方程式（密度一定を使用）を用いて得られたものであり、流れは縮まない流体の二次元的な渦無し流れ（完全流体の流

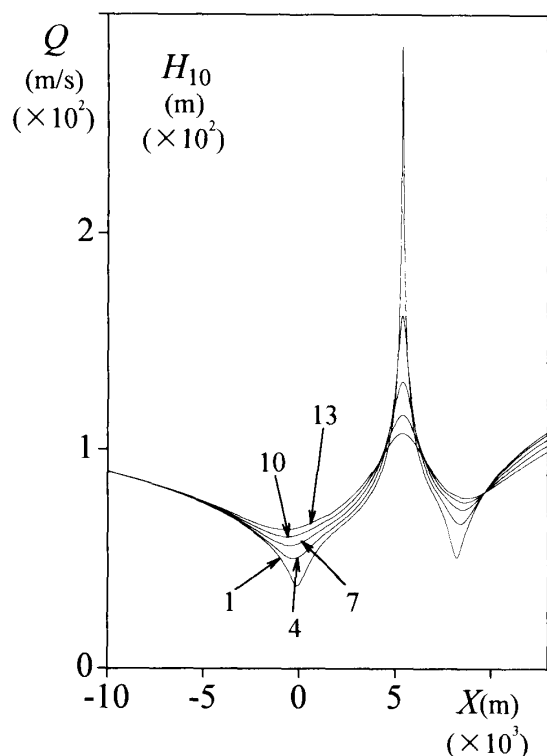


図2 風速 I ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $Q_{10} = 1.000 \times 10 \text{m/s}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

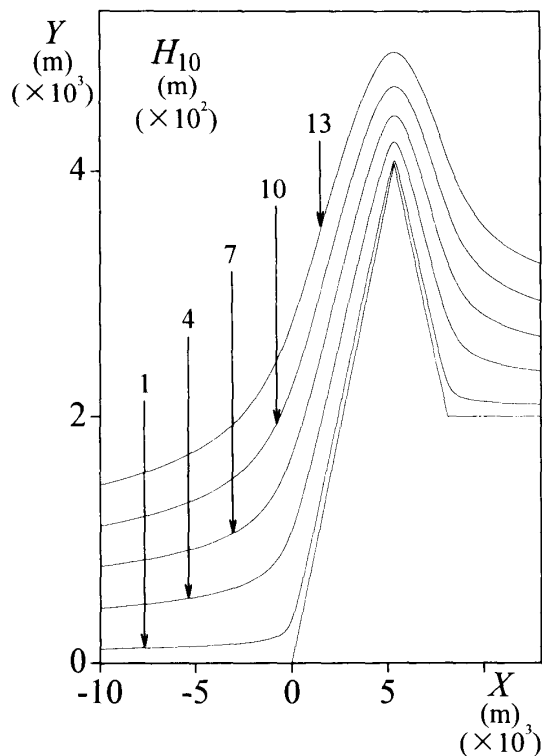


図3 流線 I ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $Q_{10} = 1.000 \times 10 \text{m/s}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

れ)である。従って、得られた結果は完全流体の運動を支配する基礎式の解である。なお、オイラーの運動方程式は気圧を求めるときに使用される。そして、ここでのレイノルズ数は大きな値であるから、得られた結果は後流や境界層の渦の領域を除いて成立している。また、山頂付近の境界層の厚さは山裾におけるそれよりもかなり薄いから(図3)、結果は山頂付近の広い範囲で成立する。ここで、山脈の頂点での計算して得られる風速は無限大となっている。けれども、頂点付近に渦が発生して、実際にこのようなことは起こらない⁴⁾。

b) 観測所

山に向かって吹いて来る風の速さ Q_{10} が変化しても、流線の形は変わらない(図4)。そして、山の周辺の風速 Q はこの風速 Q_{10} に比例している(図5, 図6)。従って、山の周辺の風速を求めるための観測所は山裾に広がっている平地に設置すればよい。このことは風速 Q を表わす式からもわかる。

c) 最大風速点と最大風速値

各流線上で最大風速となる点は山頂上方にあり(図7)、この最大風速の値は山頂に近づくほど大きくなっている(図8)。実際、水平方向に飛行するアネハ鶴の群は山頂上空に近付くと強く羽ばたいている³⁾。

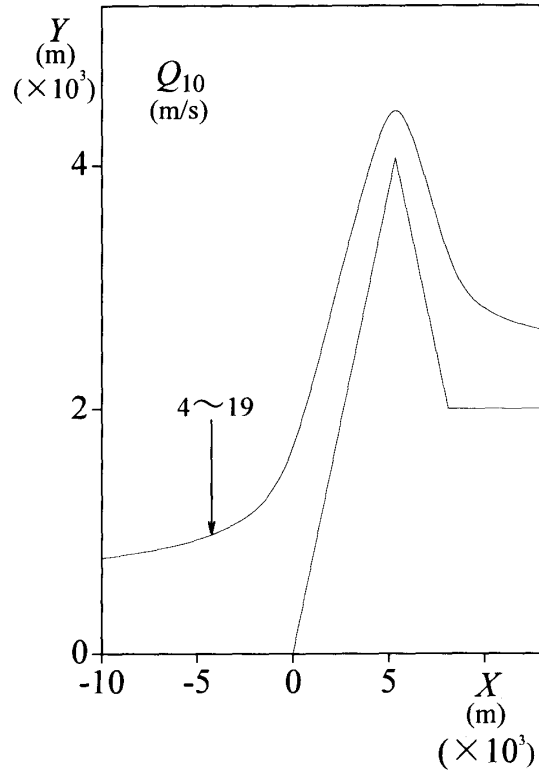


図4 流線II ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $H_{10} = 7.000 \times 10^2 \text{m}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

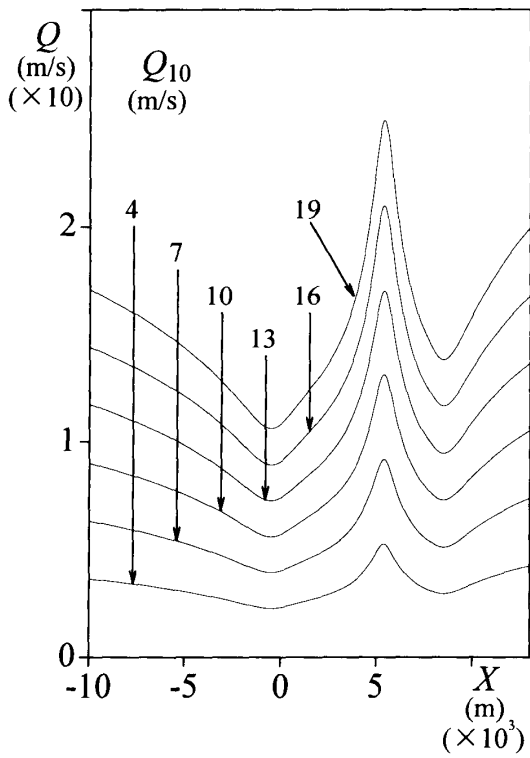


図5 風速II ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $H_{10} = 7.000 \times 10^2 \text{m}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

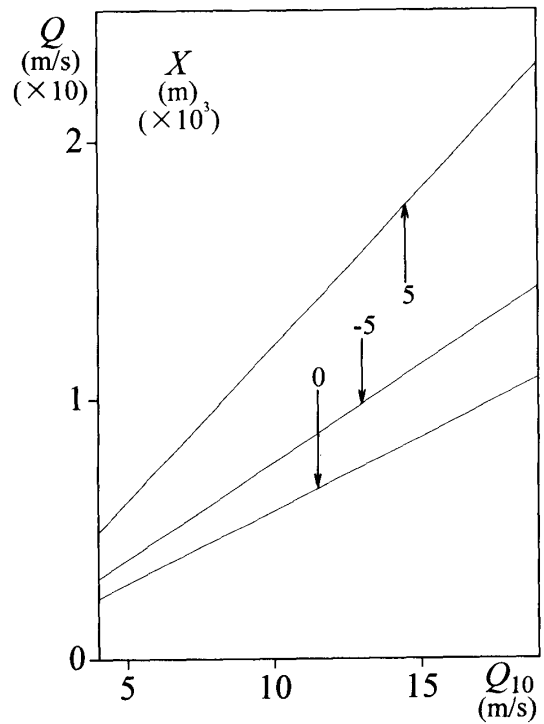


図6 風速III ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $H_{10} = 7.000 \times 10^2 \text{m}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

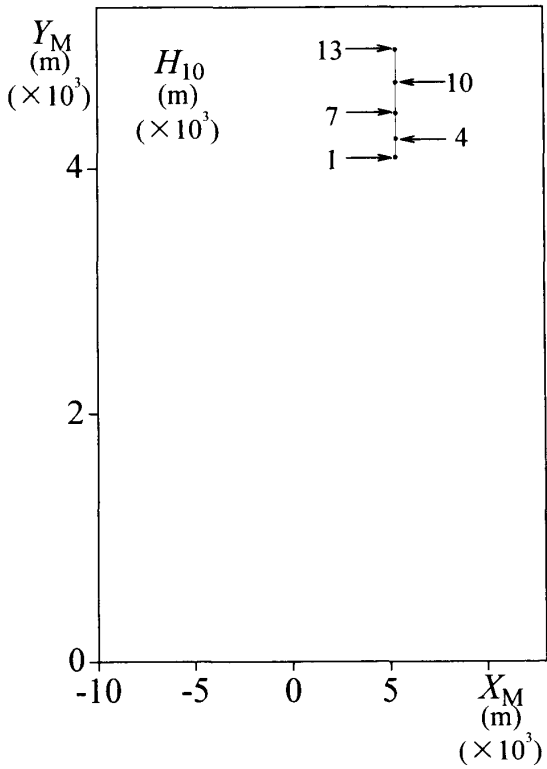


図7 最大風速点 ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $Q_{10} = 1.000 \times 10 \text{m/s}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

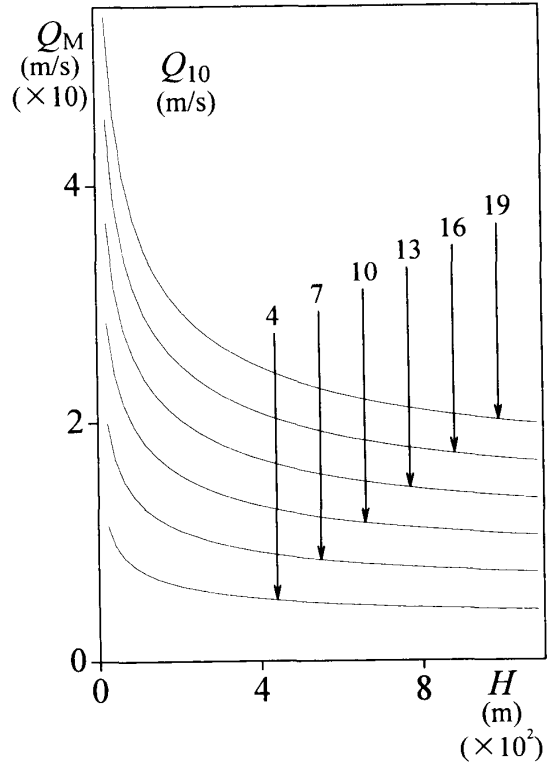


図8 最大風速 ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

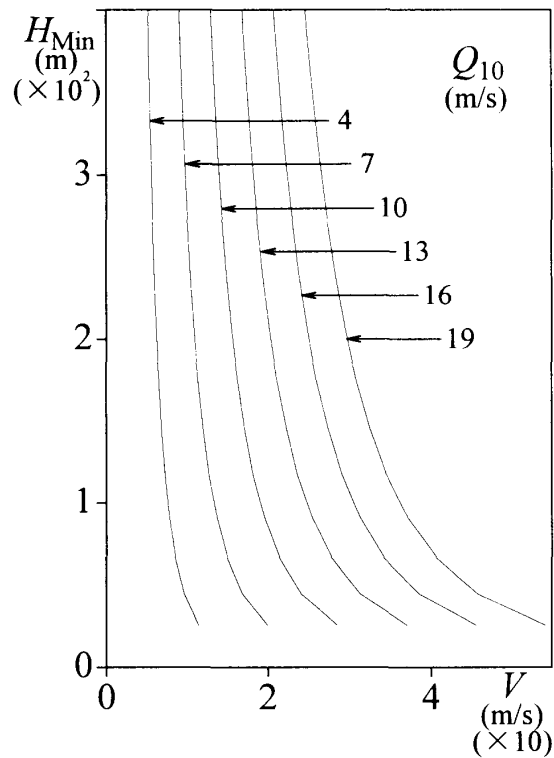


図9 速さ V の鳥が山越えてできる高さ ($L_{10} = -1.500 \times 10^4 \text{m}$, $n_1 = 1.259$, $n_2 = 7.087 \times 10^{-1}$, $H_0 = 4.061 \times 10^3 \text{m}$, $H_1 = 2.061 \times 10^3 \text{m}$)

d) 山越えできる高さ

速さ V のアネハ鶴の群が山越えできる最低の山頂からの高さ H_{Min} は山頂上方に現われる最大風速とアネハ鶴の群の速さが等しくなる高さである。この関係が図 9 に示されている。速さ V のアネハ鶴の群はこの高さ H_{Min} より高いところを飛ばせば山越えできる。実際、山越えできたアネハ鶴の群は高いところを飛んでおり、押しもどされたアネハ鶴の群は低いところを飛んでいる³⁾。

e) その他

高いところを飛ばすアネハ鶴の受けている気象環境は薄い空気と低い気温の苛酷な状況である。これらを克服できるものがアネハ鶴に備わっているであろう。

4. むすび

いろいろな形状の山を越える種々の鳥について、受ける風速や山越えできる最低の高さなどを調査したい。

参考文献

- 1) 大亀 衛・樋口隆弘：岡山理科大学紀要，第29号，A，pp. 107-116，1993.
- 2) 大亀 衛・森脇三幸：岡山理科大学紀要，第30号，A，pp. 75-82，1994.
- 3) NHK テレビ放送，1996年2月12日13時25分（再放送）.
- 4) 今井 功：流体力学（KK 岩波書店，東京，1980）11版，p. 67.

The Wind Which Migratory Birds Receive When Crossing over Mountains (Demoiselle Crane)

Naoya SHIRAHAMA*, Kazuo ISHII, Mamoru OHKAME

** Master Course of Applied Physics,*

Graduate school of Science,

Okayama University of Science

Department of Applied Physics,

Faculty of Science,

Okayama University of Science

Ridai-cho 1-1, Okayama 700, Japan

(Received October 7, 1996)

We examined wind velocity around the Himalayas, using the theory of the complex velocity potential. We then numerically calculated a range of height from the mountaintop where the Demoiselle crane can cross a mountain.