

島の風下側に生ずる強風域について  
— 女木島の局地的強風「オトシ」 —

吉田真純<sup>1</sup>・森 征洋<sup>2</sup>・寺尾 徹<sup>3</sup>

**Strong Wind Area at the Leeward Side of an Island**  
**— Local Strong Wind ‘Otoshi’ on the Island of Megi-jima —**

Masumi YOSHIDA, Yukihiro MORI, Toru TERAO

**SUMMARY**

Effects of topography on winds have been investigated for winds over an island. When the winter monsoon occurs and the westerly wind blows over the Seto Inland Sea district, a strong wind occurs not at the windward (west) side of the island of Megi-jima but at the leeward (east) side. The wind lashing the east side is known locally as the ‘Otoshi’.

The Otoshi is a strong southerly wind with a spray of seawater, by using the numerical model, three-dimensional airflow over the island has been investigated. The strong wind area at the leeward side of Megi-jima is reproduced by the numerical calculation.

---

1 日本気象協会  
2 香川大学名誉教授  
3 香川大学教育学部

## 1. はじめに

地表近くの風は地形の影響を大きく受ける。そのため、複雑地形上に構造物を建設する場合の耐風設計や風力発電所建設計画の風況予測に際して、風に与える地形の影響が問題となる（塩谷, 1992）。風の局地性の研究には、現地観測、風洞実験、数値実験がある。現地観測は最も確実な方法であるが、実際に行うには困難が伴う。そのため、実験室で地形の周りの風を調べる風洞実験が用いられてきた。風洞実験は、現地観測では容易に得られない場所の風を推定することができるが、模型作製や実験に労力を必要とする。そのため、近年のコンピュータの発達や計算手法の開発により、風洞実験の代わりに数値流体解析（Computational Fluid Dynamics, CFD）が用いられるようになった（石原, 2002；飯塚, 2009；田村, 2014）。

CFDが風の局地性の研究方法として評価されるためには、実測データとの比較の積み重ねが必要であり、そのための取り組みも行われている（岸田ほか, 2014）。これまでの研究で対象としている現象のスケールはさまざま、例えば榎木ほか（2014）は、水平方向20kmのスケールの山岳の風を扱い、伊藤・林（1998）は、水平方向数kmの台地の風を扱った。

ここでは、瀬戸内海の高松市沖にある女木島の周りの風を対象とする。この島は、高さ約200m、水平方向数kmの細長い形をした比較的小さな島である。この島では、冬季、西よりの季節風が卓越するとき、風上側ではなく、風下側の東浦で「オトシ」と呼ばれるしぶきを伴った南よりの強風が吹く。そのため、沿岸の民家ではオーテと呼ばれる石積みの堅固な防風垣を備えている（吉田・森, 2017）。

このような防風垣が造られるほどの強風が吹く現象について、これまで実測による調査はほとんど行われておらず、発生メカニズムも明らかではない。島の地形の影響で風下側に生ずる強風を解明することは、地形と風との関係を考える上で興味深い事例となる。ここでは、島の風下側に生ずる強風を実測により定量的に明らかにするとともに、数値計算によってこの現象が再現できるか検討した。なお、この研究の一部は調査ノートとして発表した（吉田・森, 2017）。

## 2. 女木島の地形と局地的強風「オトシ」

瀬戸内海における女木島の位置を図1に示す。開けた海域の中央に2つの島が南北に並んでいる。南の島が女木島で、高松港（図1のTP）から沖合約4kmに位置している。女木島は、ほぼ南北方向に延びる細長い形をしており、北端から南端までの距離は約4kmであるのに対し、幅は広いところで約1kmである。島の中央より少し北側に標高187mの円錐形状の鷲ヶ峰（P1）があり、この峰から南西方向に根尾が高さを増しながら、約2km細長く伸びている。南端近くに島の最高点である標高216mのタカト山（P2）がある。島の南半分は稜線に対して対称形をした三角柱状の比較的単純な形をしている。オトシは図1の破線で囲った部分の中の東浦の沿岸部で見られる現象で、オーテと呼ばれる防風垣もこのところに屏風状に連なっている（香川大学地理学研究室, 1957）。

地形の影響により風下側に生ずる強風には、おろし風（downslope wind）や地峡風（gap wind）などの局地風がある（荒川, 2011；日下・西, 2012）。女木島の局地的強風「オトシ」は、温度場

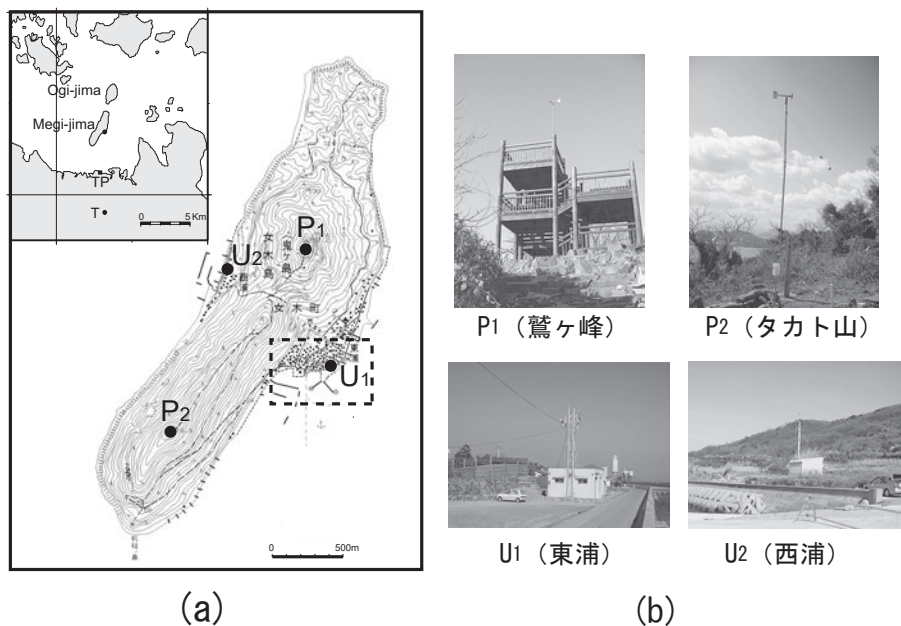


図1 女木島の地形図と観測地点. U<sub>1</sub>: 東浦, U<sub>2</sub>: 西浦, P<sub>1</sub>: 鷺ヶ峰, P<sub>2</sub>: タカト山, TP: 高松港, T: 高松地方気象台.

も関係するおろし風のような局地風よりスケールが小さく、地形による気流の力学的変形によるものと考えられる。

### 3. 現地観測

#### 3.1 観測期間と観測方法

オトシの特徴を調べるために、固定観測点を設け、観測を行った（渡邊・森, 2004; 吉田・森, 2006）。観測を行った期間は2002年, 2003年, 2005年のそれぞれ1月を含む冬季3ヶ月である。

第1回: 2001年12月28日～2002年3月24日

第2回: 2002年12月5日～2003年3月4日

第3回: 2004年12月5日～2005年3月14日

観測は図1に示す4地点(P1, P2, U1, U2)で行うことにした。ただし、利用できる風速計は3台であったため、4地点同時の観測は行うことができなかった。第1回と第2回の観測では風速計を鷺ヶ峰(P1)、東浦(U1)、西浦(U2)に設置し、第3回の観測では西浦の代わりに南端近くにあるタカト山(P2)に設置した。それぞれの観測点で使用した測器、設置高度などは表1に示した。

いずれの地点も10分ごとの10分間平均風向とスカラー平均風速および最大瞬間風速を連続して測定した。その際、風向について、東浦では角度(分解能1度)で測定し、その他の地点では16

表 1 観測地点と風向風速計.

観測地点	記号	標高	風向風速計の 地上高	風向風速計
東浦	U1	1 m	12m	風車型, DYNAVANE, 大田計器製作所
鷺ヶ峰	P1	180m	9 m	風車型, KADEC21-KAZE, コーナシステム
西浦	U2	3 m	10m	風車型, KADEC21-KAZE, コーナシステム
タカト山	P2	216m	5.4m	風車型, KADEC21-KAZE, コーナシステム
移動観測			3.5m	風車型, KDC-S4, コーナシステム

方位（分解能22.5度）で測定した.

3回の冬季に得られた全観測データを用いて東浦（U1）の風の特徴を調べた。まず、女木島に最も近い気象官署である高松地方気象台（図1のT,以下高松と略記）の風と比較した。この地点の海拔高度は9m, 風の観測高度は16.6mである。オトシが吹いているとき、高松と東浦の風を比較した一例は吉田・森（2017）に示した。オトシは西よりの季節風が吹くとき発生するので、高松において風向が16方位の西、風速が風力3以上（3.4m/s以上）の場合について東浦でどのような風が吹いているか、1時間ごとの10分間平均値のデータを用いて統計的に調べてみた。対比できる観測値は502例あった。これらの例について見ると、東浦では、風向が南または南南西となる場合が合わせて75%あり、これらの風向についての風速比は平均すると1.6であった。このことは高松で西風が吹くとき、平均的に東浦ではそれより強い南よりの風が吹くことを示している。

### 3.2 鷺ヶ峰, 東浦, 西浦の風

東浦の風の特徴を調べるため、一般風の影響を大きく受けていると考えられる鷺ヶ峰山頂の風と東浦の風とを比較した。鷺ヶ峰における風向が西よりで、風速が風力4以上（5.5m/s以上）の場合について調べた。風向が16方位のうち北西、西北西、西、西南西の4方位の場合について、東浦における風の分布を図2に示す。風速は鷺ヶ峰の風速に対する比で表してある。

#### 1) 鷺ヶ峰の風向：北西

島の稜線に対して、ほぼ直角方向になる場合で、東浦では風向はほとんど北西で、風速比は1前後となっており、尾根の鞍部を越える気流の向きと一致している。

#### 2) 鷺ヶ峰の風向：西北西

島の稜線に対して直角から反時計回りに1方位ずれた場合で、東浦の風は広い範囲にばらついている。北からあるいは南から回り込む風や、反流となる場合が見られる。風向が南よりになる場合に、風速が大きくなる傾向が見られる。

#### 3) 鷺ヶ峰の風向：西

さらに反時計回りに1方位ずれた場合で、東浦の風向は南西～南の範囲にある場合が多く、南南西になるときに風速比は1を超える場合が見られる。

#### 4) 鷺ヶ峰の風向：西南西

東浦の風は西南西～南で、風速比は1前後かそれより小さい。

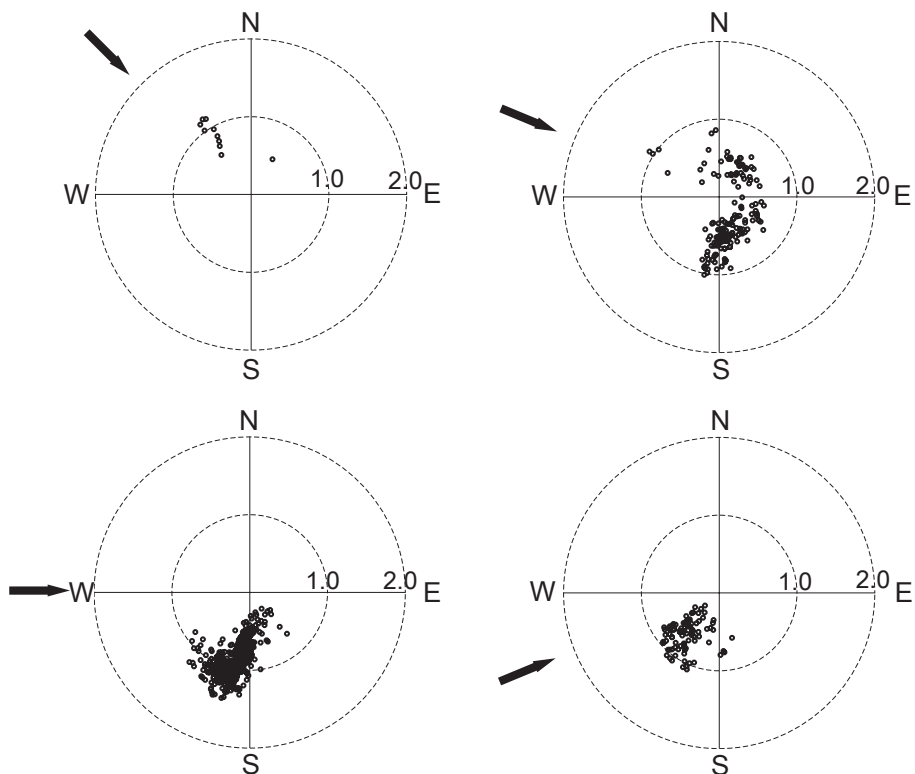


図2 鷺ヶ峰 ( $P_1$ ) の風と東浦 ( $U_1$ ) の風との対応関係. 鷺ヶ峰の風速が風力4以上 (5.5m/s以上), 風向がNW, WNW, W, WSWの場合の東浦の風速比 ( $P_1$ の風速に対する比) と風向. 黒丸から原点に引いた矢印が風ベクトルを示す.

以上のことから、鷺ヶ峰の風向が西よりの場合、西北西を境にして、これより少し反時計まわりに振れ西風になると、東浦で南よりの強い風が吹き、時計回り振れ北西風になると東浦では風向が鷺ヶ峰と同じ北西となる傾向がある。

これまで、オトシという現象に着目して西よりの風の場合について、鷺ヶ峰の風とその他の地点の風との対応関係を調べてきたが、参考までに鷺ヶ峰におけるすべての風向の風に対する各地点の風速比を資料1に示す。ここでは、データ数を増やすため、鷺ヶ峰の風速を風力3以上 (3.4m/s以上) とした。鷺ヶ峰と東浦、西浦との関係については、これら3地点の同時観測データを用い、鷺ヶ峰とタカト山との関係については、この2地点の同時観測データを用いた。

鷺ヶ峰山頂の風と麓の風との関係について、一般風が西よりの場合における鷺ヶ峰と東浦の関係のように、麓の風速が山頂の風速と同等かそれ以上の大きさになる場合があるかどうか、資料1により見てみる。データ数の少ない鷺ヶ峰が南西の場合は除くと、鷺ヶ峰の風向が次の場合に東浦の風速の方が大きくなっている。ここで括弧内は東浦の風向と風速比を示す。

北北東 (北1.06), 東北東 (東北東1.03), 西 (南南西1.01)

同様に、西浦については次のようになっている。

北西（北西1.40）、北（北1.15）

このことは、麓が風上側になる場合にも、地形の影響で麓の風が山頂の風より強くなる場合があることを示している。

先に述べたように、西よりの冬の季節風時に東浦でオトシという現象が発生するので、鷺ヶ峰の風が西の場合を基準にして、東浦、西浦、タカト山の風の平均的な対応関係を見てみる。鷺ヶ峰の風速が風力5以上（8 m/s以上）の場合について、各地点における最多風向とその風向の場合の風速比および突風率の平均値を求めた。第1回と第2回の観測から、鷺ヶ峰－東浦－西浦の同時の組み合わせデータを求めると、停電などによる欠測期間があったため、データは84例となった。また、第3回の観測データから、鷺ヶ峰－タカト山の同時の組み合わせデータを求めると198例あった。これらのデータを総合して平均的な関係を求め、図3に示す。

鷺ヶ峰で西風の場合、東浦では風向が南南西で鷺ヶ峰と同程度の強さの風が吹く。突風率は東浦の方が大きいので、最大瞬間風速は鷺ヶ峰より2割くらい大きくなる。西浦では、西南西の風で、風速は鷺ヶ峰の7割程度となる。この結果、島の風下側にある東浦では風上側にある西浦より、約1.6倍強い風が吹く。

南端近くのタカト山P2では、鷺ヶ峰に比べて、風速が半分程度になっている。この地点は障害物のない開けた尾根上にあるが、西側斜面には数mの高さの灌木が茂っている。そのため、海上を吹送してきた気流が、斜面を昇るとき、灌木によって新たに内部境界層が形成される（塩谷、1992）。この地点の風速計の設置高度は5.4mで、鷺ヶ峰の9mに比べて低くなっている。そのため、この地点の風速計は、この内部境界層の中にあり、鷺ヶ峰に比べて風速が著しく小さく、突風率が大きくなっているものと思われる。

### 3.3 移動観測と目視観測

オトシが吹いているとき、固定観測点以外の風の分布を調べるため、移動観測を行った（吉田・森、2006）。観測は、風車型風向風速計（表1）を長さ3.5mの支柱に取り付け、島の南端の東側海岸より海岸線に沿って観測地点を変えながら徒歩で移動した。2005年2月2日に行った観測では8時50分から始め、約4時間かけて10地点で10分間平均風向風速を測定した。移動観測を行っている間、鷺ヶ峰では、風向は西北西で一定し、風速も急激な変動はなかった。しかしながら、風速は観測を開始した09時ころには12m/sであったものが、ゆるやかに低下し、最後の観測を行った12時40分には約9 m/sとなった。そこで、観測された風速を、それぞれの時刻における鷺ヶ峰（P1）の風速に対する比で表した。これらの結果を図4に示す。また、移動観測を行っている間の東浦（U1）、鷺ヶ峰（P1）、タカト山（P2）における平均風速および最大瞬間風速も示す。

島の南端近くの海岸から東浦までの海岸付近では風向は南よりの風となっている。しかしながら、風向にはばらつきがあり、海岸の走向に沿う南西から南南西となる場合以外に、島の斜面に向かう南南東となる地点もあり、また、尾根上のタカト山の風向とは逆向きに近い風向となる反流も観測されている。このような傾向は、2003年に行った移動観測においても見られた（渡邊・森、2004）。タカト山では、風向は鷺ヶ峰と同じ西北西であったが、風速は山頂にあるにもかか



ならず鷺ヶ峰の半分程度である。これは先に述べたように風速計の設置高度が鷺ヶ峰の半分程度であったことによると考えられる。風速は南端近くから海岸線に沿って東浦に近づくにつれて大きくなっており、東浦では鷺ヶ峰の風速より大きくなっている。

移動観測中、海岸から海面状態の目視観測も行い、波立ちの状態から気象庁風力階級に従って求めた風力も図4に示した(吉田・森, 2006)。南端の東側海域では波頭が立って、一部碎けて

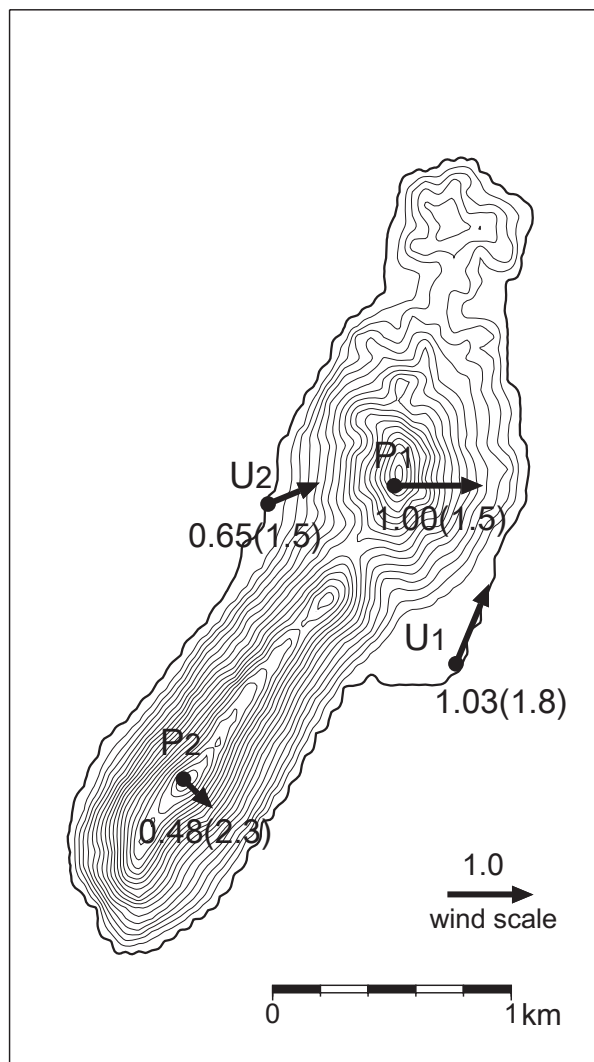


図3 鷺ヶ峰 ( $P_1$ ) が西風の場合の各観測点における最多風向と風速 ( $P_1$  に対する風速比) および突風率 (括弧内の数値)。鷺ヶ峰の風速が風力5以上 (8 m/s以上) の場合についての平均値。国土地理院の数値地図を使用。

いるところから風力4とし、この場所より東浦に近づくと、白波が多くなり、波頭が立っている状態なので、風力5とし、東浦の近くになると、海面が激しく波立っており、泡やしぶきが飛ぶ状態で、風力6とした。南端近くの海域から東浦近くの海域までの海面の様子の変化は2003年に行った目視観測（渡邊・森，2004）の結果とも一致している。

### 3.4 過去に行われた測風気球による女木島周辺の風の観測

瀬戸内海の海上の風について、かつて本州四国連絡橋建設に関連して、風の鉛直profileや島の地形が気流に与える影響の調査が行われた。この調査の一環として、川鍋（1964）は女木島の地形が気流に与える影響を測風気球によって調査した。この調査では、図5aに示す鷲ヶ峰の東側山

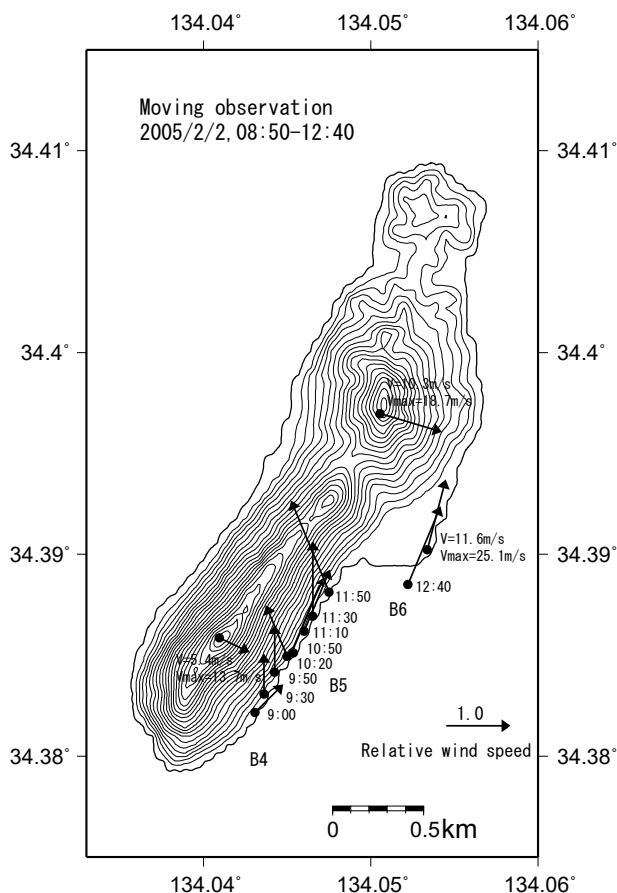


図4 移動観測による各地点の相対風速（鷲ヶ峰P<sub>1</sub>の風速に対する比）の分布 [吉田・森（2006）による図11]。海上のB4～6は、海面の状態から目視で推定した気象庁風力階級（Beaufort scale）の風力を表す。国土地理院の数値地図を使用。



腹の2カ所にセオドライトを設置し、4カ所から気球を放球した。

主風向が北西の場合しか観測結果は得られなかったが、円錐状の地形をした鷲ヶ峰による気流の変形の様子が観測された。山頂から少し北よりの主風向に沿う鉛直断面上（図5b）で見ると、鷲ヶ峰の風下側にあたる空域には無数の渦が存在し、一様な上昇気流や下降気流は見られなかった。また、図5bに示す水平風速の分布には、山体の影響による顕著な弱風域が広がっているのが見られた。一方、この弱風域の下の方麓に近い高度では10m/s以上の北北西の風となっており、地形の風下側で、地形を迂回してくる風による強風域が観測された。

#### 4. 数値シミュレーション

##### 4.1 数値計算

オトシは女木島の地形の力学的影響で発生すると考えられる。そこで、オトシの発生メカニズムを数値シミュレーションにより検討した。数値計算は市販の流体解析ソフトウェアであるCHAM社PHOENICSをパソコン（OS: Windows XP）にインストールして使用した。このプログラムはPatankar（1980）に基づき、熱伝導方程式と粘性流体の運動方程式（Navier-Stokes方程式）を離散化方程式にして解いている。Colioris力は考慮していない。ここでは、高さ200m程度の地形による流れの力学的変形を調べるため、温度場は考慮せず、非圧縮性粘性流体の定常流として、緩和法で計算を行った。乱流はk-εモデルを用いた。地表面については、non-slipとし、地表面粗度は海面と陸面で区別せず、0.1cmとした。上流の風の鉛直プロファイルは、次のべき分布の式に

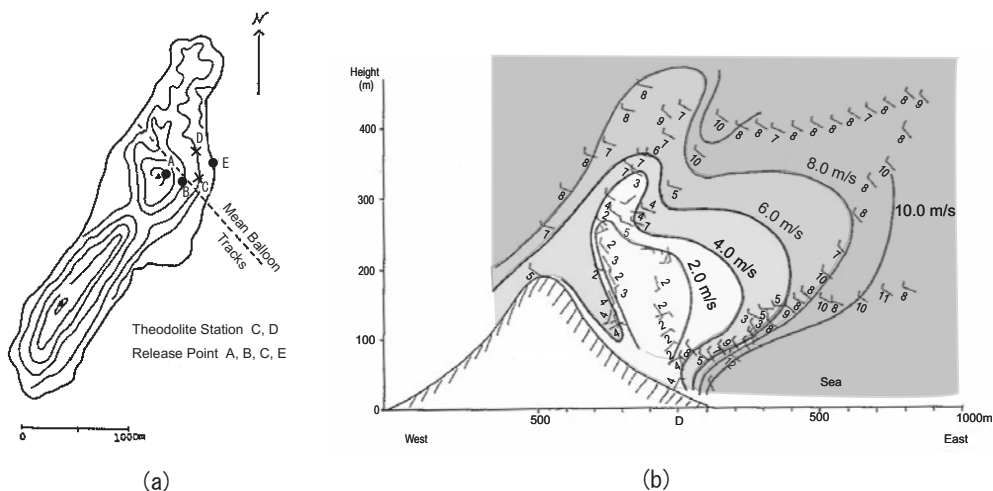


図5 (a) 女木島周辺における気球観測地点. (b) 北西風の場合の鉛直断面における水平風速分布 (13:30-14:10JST, 1962-12-6) [川鍋 (1964) によるFig.24およびFig.27を一部改変]. セオドライトの配置は地図のC, D地点. 放球地点はA, B, C, Dの4箇所.

よった。

$$u = u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^a$$

ここで、 $u$ は高度 $z$ における風速、 $u_1$ は基準高度 $z_1$ における風速である。 $a$ はべき指数で、海上の風の場合の0.1を採用した (Davenport, 1967)。

計算領域は図6に示すように、女木島を囲む東西4km×南北5kmの範囲に設定した。水平方向には50m×50mのメッシュを設定し、高さ方向には高度800mまで、90のセルを設定したが、間隔は高度約200mまでは5mごと、それより高いところでは、高さとともに次第に間隔を広げ、最後は約15mとなるように設定した。地形データは、50mメッシュ標高データ (国土地理院, 1999) を使用した。

#### 4.2 実地形モデル

一般風が西風の場合について、実地形モデルを用い、風速プロファイルの式で、 $z_1 = 10\text{m}$ 、 $u_1 = 10\text{m/s}$ として計算を行った。女木島周辺の地表面から10mの高さの風速分布を図7に示す。実測値のある地点における地上10mの計算された風速は、西浦 (U2) では7.0m/s、鷺ヶ峰 (P1) では

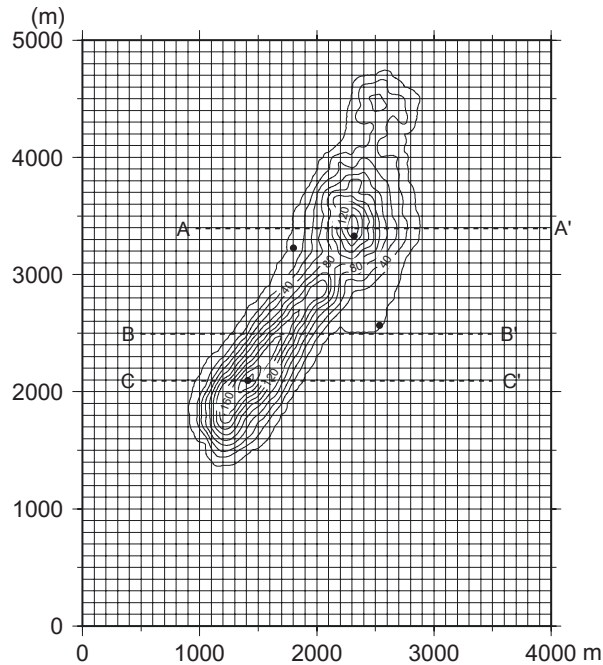


図6 計算領域と実測地点 (黒丸)。この図では格子を100m×100mで描いているが、実際の計算は50m×50mの格子点で行った。国土地理院の数値地図を使用。

10.9m/s, 東浦 (U1) では11.2m/s, タカト山 (P2) では17.1m/sとなった。計算結果の妥当性をチェックするため、観測値と比較してみる。実測地点の風速計の高度は、タカト山以外の地点では10m前後だったので、西浦、鷺ヶ峰、東浦について、鷺ヶ峰の風を基準にして比較した結果を表2に示す。東浦の相対風速は、実測値、計算値とも一致し、風向も南南西で両者とも一致している。西浦では風速は鷺ヶ峰の約0.6倍とほぼ一致している。しかし風向には1方位分の違いが見られる。実測値では東浦の風速は西浦の約1.6倍となっていたが、計算値も実測値と一致している。このように風速は数値計算により、ほぼ再現され、風向については、東浦では一致し、西浦では16方位の1方位分の違いが見られた。

参考までにタカト山についても表2に載せた。この地点は、先に述べたように、風速計設置高

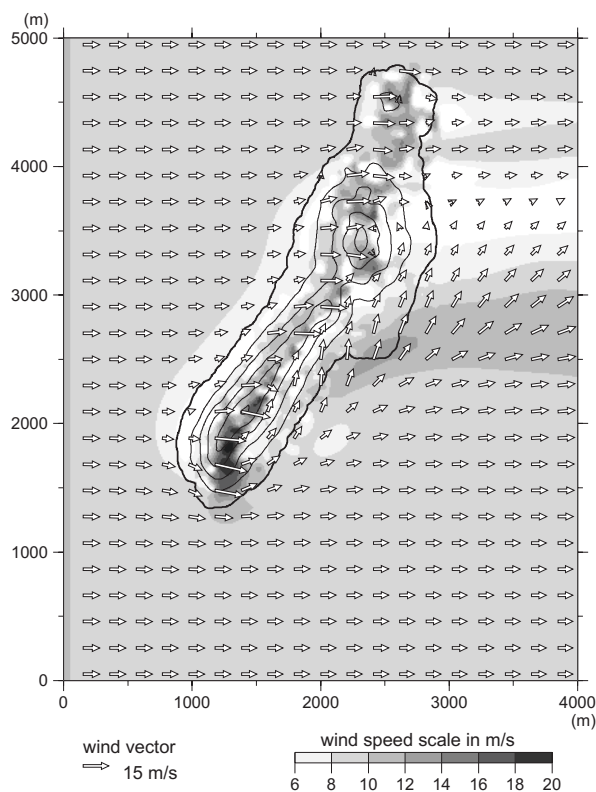


図7 一般風が西風の場合の地上高10mの風速分布。[吉田・森 (2017) による第8図]

表2 実測値と数値計算結果との比較.

地点	西浦 (U2)	鷺ヶ峰 (P1)	東浦 (U1)	タカト山 (P2)
実測値	0.65 WSW	1.00 W	1.03 SSW	0.48 NW
数値計算	0.64 W	1.00 W	1.03 SSW	1.57 WNW

度が他の地点の半分程度で、地表面粗度による影響を大きく受けているためと思われる。そのため、数値計算で見られた風速の大きな増強は見られなかった。

このように数値計算の結果は、観測を行った地点の風をほぼ再現していると考えられるので、広い範囲の風の分布を見てみる。風上側となる西側海岸沿いと風下側となる鷺ヶ峰の東側に弱風域が広がっている。一方、南端付近を越え、または迂回した流れは、北向きに方向を変え、いったん弱まった後次第に強くなり南よりの流れとなって東浦に吹き付けている。この様子は、移動観測や海面の状態の目視観測結果とも一致している。東浦付近には南よりの強風域が形成されており、オトシの状況が再現されている。

数値計算の結果により、気流が半島状の地形を越えるとき、どのように変形されるか見てみる。図6のA-A'、B-B'、C-C'を通る鉛直断面における水平風速と風速の鉛直成分の分布を図8に示す。いずれの断面でも、島の風上の西側斜面上に強い地形性上昇気流域が見られる。一方、島の風下側の様相は、断面の位置によって大きく異なる。

C-C'断面では、東側斜面近くにも上昇気流域がみられ、下降流域は東側斜面から少し離れた海岸線上高度150m付近を中心に広がっている。この領域で水平流は、上空では西よりであるが、斜

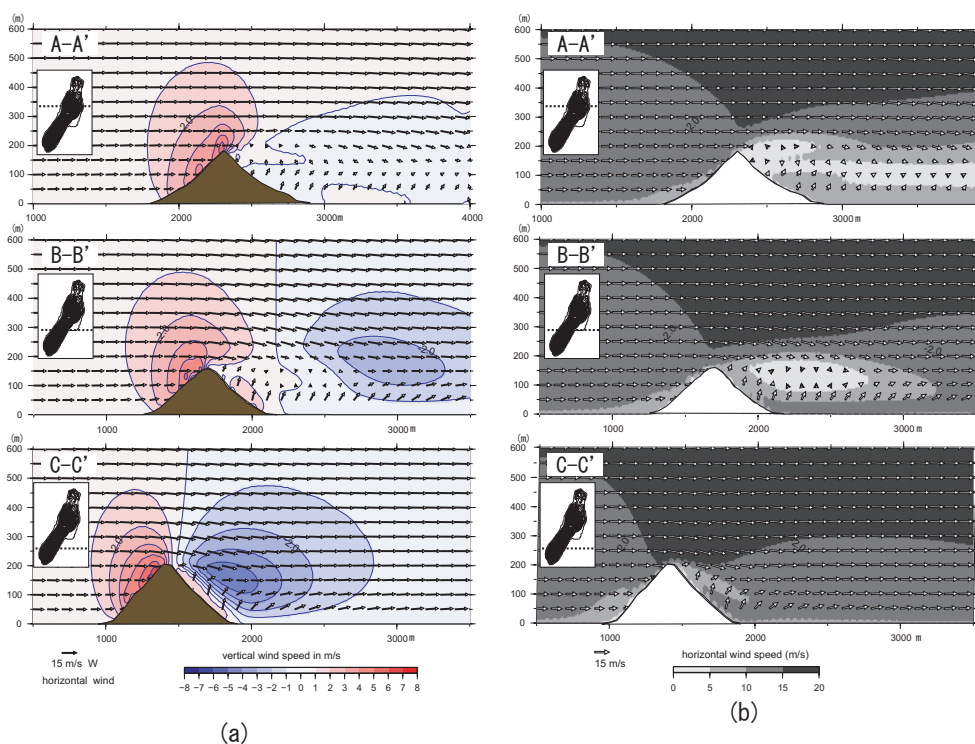


図8 (a) 鉛直断面における風の鉛直成分の大きさの分布。(b) 風の水平成分の大きさの分布。a, bとも矢印は水平風ベクトル。断面A-A'、B-B'、C-C'はそれぞれ鷺ヶ峰山頂、東浦、南端最高峰(タカト山)山頂を通る(図6)。

面や海岸近くでは南よりの風となっている。

B-B'断面でも、東側斜面近くには上昇気流領域がみられる。下降流域は、島からさらに離れたところに生じている。この下降流域と東側斜面との間の100~150m高度付近には、水平風速に5 m/s以下の弱風域が形成されている。この弱風域より下の50m高度の水平流は、麓から東側500m以上にわたって南よりの風となっている。この断面は東浦付近を通っており、オトシは海面近くの現象であることを示している。

鷲ヶ峰を通るA-A'断面では、東側斜面上の山頂高度付近には、西側から続く弱い上昇気流領域が広がっているが、これより下は弱い下降気流領域となっている。山頂付近の風下側では、100m高度から山頂の高度を超える200m付近まで5 m/s以下の弱風域が広がっている。

孤立峰状の鷲ヶ峰の周りの風の分布という観点から、数値計算による鷲ヶ峰を通る断面A-A'の風の分布と川鍋（1964）による実測値とを比較する。実測値は、先に述べたように主風向が北西で、山頂から北東方向に少しずれた鉛直断面上の風の分布を示している。一方、数値計算では、主風向が西で、山頂を通る鉛直断面上での風の分布を表している点が異なる。また、鷲ヶ峰山体の北側と南側の地形は異なるので、厳密な対比は出来ないが、山体の風下側の風の分布という観点で比較してみる。川鍋（1964）の実測値では山頂に近い東側山腹上の断面で、風速の強いところが延びてきている。この点は計算値と異なるが、それより風下側の中層・上層に弱風域が形成され、下層で上空より風の強い領域が形成されていることは共通している。ただし、実測値は主風向が北西であるため、山体を北側から回り込んで来る北よりの風となっている。

図2に示した鷲ヶ峰山頂と東浦の風との比較では、山頂の風速が風力4以上で北西の風の場合、東浦の風も北西となっていた。一方、山頂の風力を3以上として調査すると、資料1に示すように、鷲ヶ峰山頂で北西風の場合、東浦で北北西の風になる場合が多く、そのときには山頂の90%の強さの風が吹いていた。このことは鷲ヶ峰の東側で北よりの強い風が観測された川鍋（1964）の結果と傾向が一致している。

島の周囲の大気の流れを海拔高度80mの高度面において見てみる。この高度における水平風速と鉛直成分の分布を図9に示す。西側斜面上では地形性上昇気流領域が広がっている。一方、東側斜面近くにも上昇気流領域があり、この上昇気流領域は、図8の断面図から、海岸近くまで降りてきていることが分かる。実際の気流では、上昇域は変動していると思われるので、移動観測中に地形斜面に向かうような風が部分的に観測されたことと対応しているように思われる。下降気流の領域は、南端の斜面付近から北に島から離れる方向に拡がり、斜面から離れたところに強い領域が生じている。下降流の領域の分布は、海拔高度200mから40mまでの高度で見られる。

次に、気流が半島状の地形を越えるときの振る舞いを、西風として高度10mから流入する気流の流跡線を図10に示す。南端最高点（P2）の前後を越える気流は、風上側では地形に沿って上昇し、尾根を越えると下降し北向きに向きを変えながら東浦の方向に進み、その後上昇している。これは、島の東側にも上昇気流となる領域が形成されているためである。東浦に向かう海面近くの気流も海岸近くで上昇しており、オトシの吹くとき海岸付近でしぶきが舞い上がる現象と対応している（吉田・森，2017）。

次に地表付近の風と気圧場との関係を見てみる。図11に海拔10m高度における相対的な気圧分

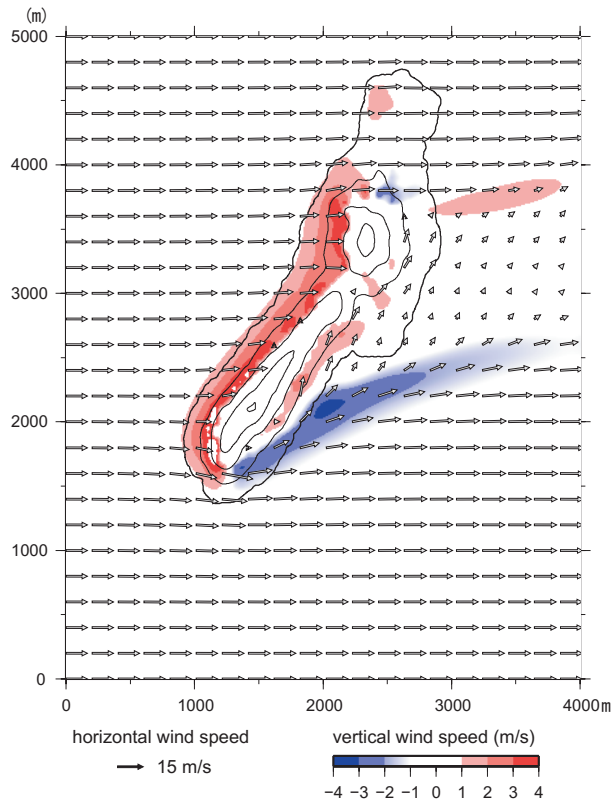


図9 一般風が西風の場合の海拔80m高度における水平風ベクトルと鉛直成分の分布. 上昇流領域は赤色, 下降流領域は青色で示す. 国土地理院の数値地図を使用.

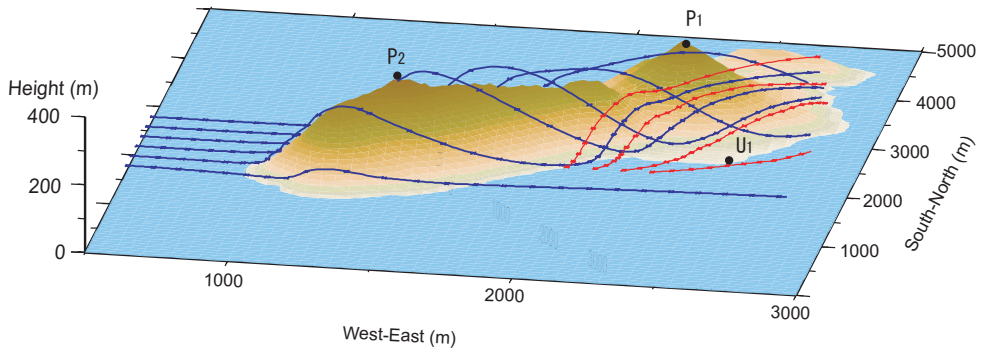


図10 流入高度10mの西風の流跡線(青色)と東浦海岸近くの高度10mを出発点とする流跡線(赤色)[吉田・森(2017)による第9図を一部改変]. 流跡線には10秒ごとの位置にマークを入れた. 国土地理院の数値地図を使用.



布と風速分布を示す。東浦付近に低圧域が形成されている。半島状の地形により変形される気流が力学的に東浦付近に低圧域を生じさせ、この低圧域に向かって南端付近を越え、または迂回する気流が北東よりに進み、加速しながら南よりの風となって東浦に吹き付けていることが分かる。

### 4.3 三角柱状モデル

オトシの発生に地形のどのような要素が関係しているか調べるため、女木島の南半分の地形に近い、断面が三角形で、幅648m、高さ220m、長さ4000mの三角柱状の地形モデルについて考える。

西風の場合について、三角柱状の地形の稜線が南南西–北北東方向になるように置いた場合と、南北方向になるように置いた場合について流れを計算した。実地形モデルと同様、風上高度10mにおいて10m/sの速度を持った気流が流入する場合について求めた。地上高10mにおける風速分布を図12a, bに示す。稜線方向が南南西–北北東方向の場合 (a)、風下側の南端から1 kmほど離れた海上に16m/sを超える強風域が形成されている。一方、流れに対して、稜線が直角になる

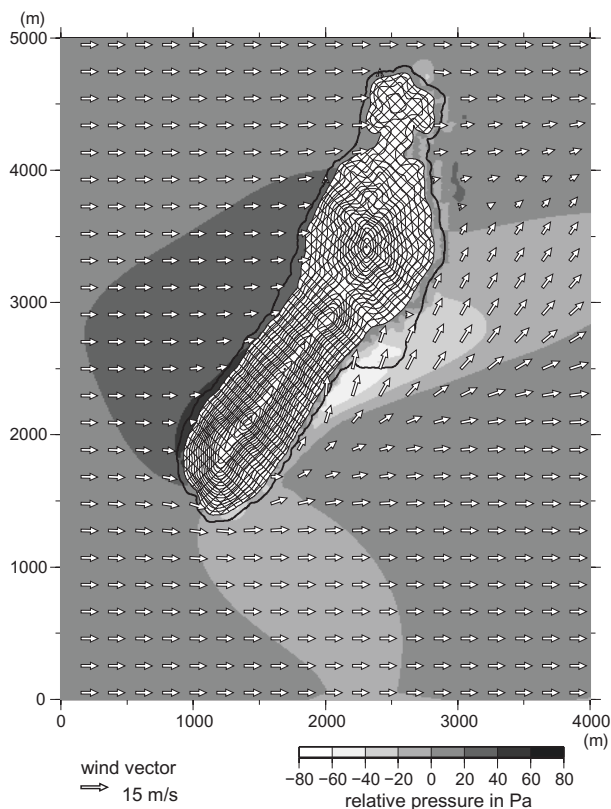


図11 海拔10m高度における相対的な気圧分布と風速分布。

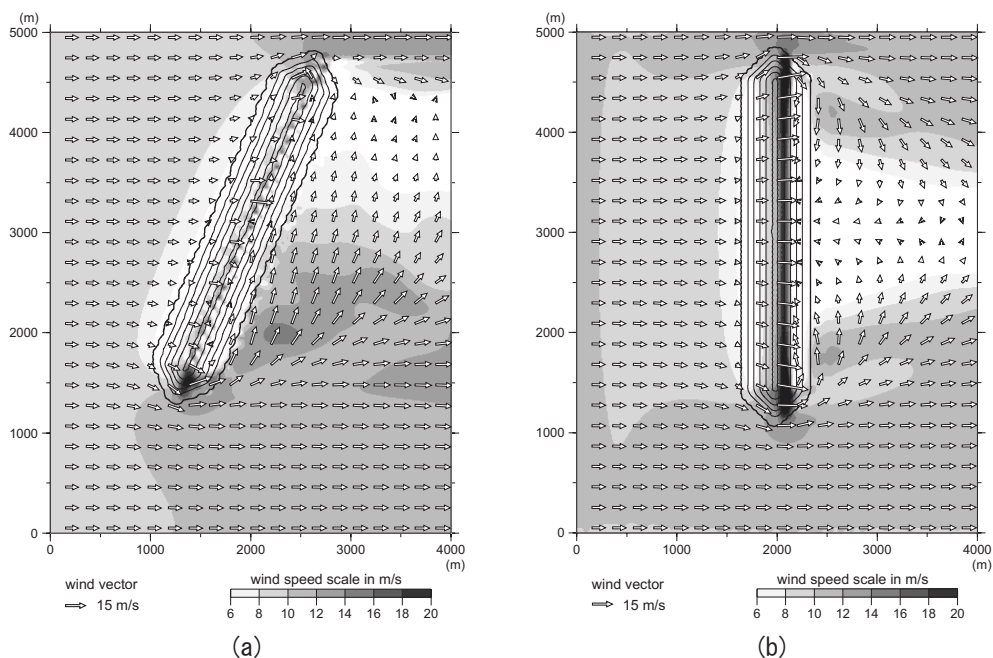


図12 三角柱状地形による地上高10mの風の分布. (a) 風向が稜線に対して直角から22.5度ずれた場合, (b) 風向が稜線に対して直角な場合.

場合 (b), 風下側の南端から0.7km付近に強くなる領域ができるが, (a) の場合よりは南端に近く, 強さは弱い. このように, 稜線が流れに対して, 直角ではなく, 直角から少し傾いている場合の方が, オトシに近い状況が再現されている. このことから, オトシの発生には風向と稜線の方向が関係すると考えられる.

次に, 三角柱状地形の高さの効果について考える. 三角柱状地形を図12 (a) と同じ向きに置き, 横幅は変えず, 高さを2倍した場合と, 半分にした場合についても計算を行った. 高さを2倍にした場合, 風下側強風域はさらに下流に離れたところに生じ, 半分にした場合には強風域は生じなかった. このようにオトシの発生には尾根の高さにも関係している.

以上の数値シミュレーションの結果は, 女木島の東浦でオトシが発生する理由は, 稜線の走向が西よりの季節風に対して直角ではなく, 南西-北東方向に傾いていること, および稜線の高さが関係していることを示している.

## 5. まとめ

冬季, 西よりの季節風が卓越するとき, 女木島の風下側に生ずる局地的強風「オトシ」について, 現地観測と数値シミュレーションにより発生原因を検討した.

現地観測から, 東浦でオトシが発生しているとき, 風上側の西浦や鷲ヶ峰山頂では西よりの風

が吹いている。東浦の風速は風上側の西浦よりも約1.6倍大きく、鷺ヶ峰山頂と比べると同程度か、それより大きくなる場合がある。

西風が卓越するとき、これらの3地点において観測された風と数値計算による結果は、ほぼ一致した。島の風下側に形成される強風域について数値計算でも再現できた。

オトシの発生は女木島の地形が南北方向から少し時計回りにずれた方向に延びていることと関係している。冬の季節風時、西よりの気流が稜線を越えるとき、力学的な変形を受け、下降しながら向きを北向きに変え、北東方向に進み、また、南端付近を迂回する気流も島の地形に沿って、北東方向に進み、南よりの強風となってしぶきを伴って東浦海岸に吹き付ける。これがオトシである。

## 謝 辞

この研究を行うにあたって、この現象の解明に取り組んだ渡邊匡央氏の修士論文を参考にさせていただいた。風の調査にあたって、女木東浦消防屯所に風向風速計を設置することを許可していただいた高松市消防局に感謝します。風向風速計を鷺ヶ峰山頂に設置することを許可していただいた香川県および風向風速計を西浦に設置することを許可していただいた高松市に感謝します。

## 参考文献

- 荒川正一, 2011; 局地風のいろいろ 三訂版, 成山堂書店, 174pp.
- Davenport, A.G., 1967; The dependence of wind loads on meteorological parameters, Wind Effects on Buildings and Structures, Proceedings, Vol.1, University of Toronto Press, 19-81.
- 榎本康太, 小野佳之, 岸田岳士, 佐々木亮治, 田村哲郎, 野津 剛, 丸山勇祐, 2014; CDFによる実在地形周りの流れの計算, 日本風工学会誌, 第39巻, 233-260.
- 飯塚 悟, 2009, 複雑地形上の局地風・物質輸送のLES, 日本風工学会誌, 第34巻, 410-415.
- 石原 孟, 2002; 複雑地形における局所風況の測定と数値予測, 日本風工学会誌, 第91号, 3-8.
- 伊藤芳樹, 林 泰一, 1998; ドップラーソーダで観測された崖後流の台地上の風速分布, 第15回風工学シンポジウム論文集, 55-60.
- 香川大学地理学研究室, 1957; 女木島の地理学的研究, 観光学術読本「鬼が島」, 高松市商工観光課, 31-60.
- 川鍋安次, 1964; 300m層以下の垂直profile, 神戸海洋気象台彙報, 第172巻, 93-118.
- 岸田岳士, 佐々木亮治, 田村哲郎, 2014; 地形の影響を受けた風におけるCDF技術の確立に向けて, 日本風工学会誌, 第39巻, 261-272.
- 国土地理院, 1999; 数値地図50mメッシュ (標高) および数値地図2500 (行政界・海岸線) (CD-ROM).
- 日下博幸, 西 暁史, 2012; 日本の局地風, 日本風工学会誌, 第37巻, 164-171.

Patankar, S.V., 1980 ; “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corp., McGraw-Hill, 197pp.

塩谷正雄, 1992 ; 強風の性質－構造物の耐風設計に関連して－ 三訂新版, 開発社, 201pp.

田村哲郎, 2014 ; 複雑地形問題へのCFDの適用について, 日本風工学会誌, 第39巻, 225-228.

渡邊匡央, 森 征洋, 2004 ; 女木島における局地的強風「オトシ」について－現地観測－, 香川大学教育学部研究報告, 第Ⅱ部, 第54巻, 75-101.

吉田真純, 森 征洋, 2006 ; 女木島における局地的強風「オトシ」について－現地観測(その2)－, 香川大学教育学部研究報告, 第Ⅱ部, 第56巻, 61-74.

吉田真純, 森 征洋, 2017 ; 女木島における局地的強風「オトシ」について, 天気, 第64巻, 13-19.

資料1 鷲ヶ峰 (P<sub>1</sub>) の風向別に求めた鷲ヶ峰の風速に対する各観測点の風速比. 鷲ヶ峰の風速が風力3以上 (3.4m/s以上) の場合についての平均値. 鷲ヶ峰の風向に対する各地点の風向にはばらつきがあるので, 最多風向とその時の風速比および度数を%で示す. 鷲ヶ峰の各風向のデータの度数は括弧内に示す.

鷲ヶ峰P <sub>1</sub>			東浦U <sub>1</sub>			西浦U <sub>2</sub>			鷲ヶ峰P <sub>1</sub>			タカト山IP <sub>2</sub>		
風向 (個数)	最多風向	風速比	度数	最多風向	風速比	度数	風向 (個数)	最多風向	風速比	度数	風向 (個数)	最多風向	風速比	度数
NNE (15)	N	1.06	(60%)	NNE	0.82	(67%)	NNE (53)	N	0.50	(53%)	NNE (53)	N	0.50	(53%)
NE (27)	NNE	0.77	(52%)	NNE	0.56	(33%)	NE (16)	ENE	1.05	(50%)	NE (16)	ENE	1.05	(50%)
ENE (259)	ENE	1.03	(49%)	NE	0.44	(14%)	ENE (53)	ESE	0.81	(64%)	ENE (53)	ESE	0.81	(64%)
E (151)	E	0.83	(45%)	E	0.45	(30%)	E (130)	ESE	0.73	(61%)	E (130)	ESE	0.73	(61%)
ESE (21)	SSE	0.25	(57%)	ESE	0.63	(43%)	ESE (71)	SE	0.70	(70%)	ESE (71)	SE	0.70	(70%)
SE (1)	SSE	1.20	(100%)	E	0.73	(100%)	SE (41)	SSE	0.75	(66%)	SE (41)	SSE	0.75	(66%)
SSE (10)	SSE	0.92	(20%)	SE	0.80	(60%)	SSE (29)	SSE	1.05	(100%)	SSE (29)	SSE	1.05	(100%)
S (no data)							S (no data)				S (no data)			
SSW (5)	SSW	0.53	(40%)	SE	0.67	(60%)	SSW (69)	S	0.84	(49%)	SSW (69)	S	0.84	(49%)
SW (9)	SSW	0.53	(78%)	S	0.45	(99%)	SW (79)	SW	0.64	(44%)	SW (79)	SW	0.64	(44%)
WSW (141)	SW	0.71	(58%)	SW	0.58	(35%)	WSW (250)	WNW	0.45	(34%)	WSW (250)	WNW	0.45	(34%)
W (747)	SSW	1.01	(42%)	WSW	0.68	(66%)	W (830)	NW	0.48	(59%)	W (830)	NW	0.48	(59%)
WNW (684)	S	0.69	(14%)	WNW	0.85	(48%)	WNW (2303)	NNW	0.43	(60%)	WNW (2303)	NNW	0.43	(60%)
NW (154)	NNW	0.90	(34%)	NW	1.40	(64%)	NW (413)	NNW	0.39	(76%)	NW (413)	NNW	0.39	(76%)
NNW (no data)							NNW (13)	NNW	0.35	(85%)	NNW (13)	NNW	0.35	(85%)
N (66)	N	0.76	(85%)	N	1.15	(85%)	N (71)	N	0.35	(71%)	N (71)	N	0.35	(71%)