

# 研究概要書

研究題目 : 岡山県吉井川流域における風場環境調査  
—現地観測による地域特有の風力エネルギー賦存量の推定—

申請者 : 細谷 和範

団体名 : 独立行政法人国立高等専門学校機構  
津山工業高等専門学校 電子制御工学科

〒708-8509 岡山県津山市沼 624-1

TEL : 0868-24-8200 (代) , 0868-24-8271(直通)

FAX : 0868-24-8219 (代)

E-mail: hosotani@tsuyama-ct.ac.jp

## 研究の内容

本研究は、岡山県の津山市から瀬戸内海までを結ぶ吉井川流域において、かつて帆がついた高瀬舟がおおよそ 1 週間かけて往復していたことをヒントに、地域に特有な風の有無を現地観測によって明らかにし、風力エネルギーの回収の可能性を検討することを目的とする。本研究では高瀬舟の運航に関する資料などに基づき、安定した風が得られると推測される和気町周辺を調査し、現地観測で得られた風向風速データに基づき風の特徴を調べる。

## 研究概要

本研究は、岡山県の津山市から瀬戸内海までを結ぶ吉井川流域において、かつて帆がついた高瀬舟がおおよそ 1 週間かけて往復していたことをヒントに、地域に特有な風の有無を現地観測によって調べた。本研究では高瀬舟の運航に関する資料に基づき、和気町周辺を観測地点とした。和気町は瀬戸内海から直線距離でおおよそ 20km (河口まで 30km) 離れ、和気町を流れる吉井川は急峻な山に囲まれている。

現地観測では、和気町佐伯体育館の屋上に風向風速計を設置し、2009 年 10 月より観測を開始した。本研究ではこの風速計の他に周辺のアメダス観測データや数 km 下流に位置する新田原井堰の風速データを利用し、当該地域の風の特徴及び風力エネルギーの回収の可能性について検討した。

調査の結果、吉井川沿いの佐伯体育館と新田原井堰では年を通じて昼間に 2m/s~3m/s の風が発生しており、海風が大きく影響していると考えられる。また、吉井川から離れたアメダス観測地点に比べて、静穏の頻度が低いことがわかった。なお、高瀬舟が風力を使って上流に向かうために必要な風速を和船の風速船速比を参考に大雑把に求めたところおおよそ 3m/s の風が必要であると見積もられた。したがって、現地観測結果で得られた風速は高瀬舟の補助動力として十分に機能していたと考えられる。

しかしながら、当該地域の風力エネルギーの賦存量は平均風速が小さい上に昼間のみ風が生じているために小さく、商用電源になるような大きな電力の回収は困難であることがわかった。ただし静穏度が低く、年を通じて安定した風が得られることは電力回収量を見積もりやすく、常夜灯等などの消費電力が少ない機器を利用するためのエネルギーの回収は可能であると思われる。

岡山県吉井川流域における風場環境調査  
 —現地観測による地域特有の風力エネルギー賦存量の推定—

津山工業高等専門学校 電子制御工学科 細谷和範

1. はじめに

近年、再生可能な風力エネルギーの利用が促進されている。国内では、大規模な風力発電機の設置場所は地上高 30m における年間平均風速が 6m/s 以上ある場所が望ましいとされ<sup>[1]</sup>、風が得やすく、突風率（平均風速と最大瞬間風速の比）がなるべく小さい場所に多く設置されている。しかしながら、このような適地は必ずしも多いとは言えず、また大規模な風力発電機の設置には景観問題や騒音問題、電力の送電設備の整備など様々な課題や制約が伴う。近年では、新たな設置場所として、沿岸地域や海上等が検討されるものの、台風等による強風や高潮が発生しやすい日本では内陸も依然として重要な設置場所である。

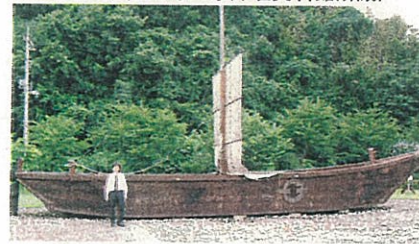
本研究では、岡山県の津山市から瀬戸内海までの 78km を結ぶ吉井川流域において、過去に帆のついた高瀬舟（図 1）が 1 週間かけて往來していたことをヒントに、地域に特有な風場を調べ、地域に特有な風を持つ風力エネルギーの賦存量を調査した。

2. 吉井川と高瀬舟

吉井川（図 2）は急峻な山間地を流れ、瀬戸内海に注ぎ込む一級河川で、幹川流路延長 133km、流域面積 2,110km<sup>2</sup>の規模を有する。津山市から南の中流域での川幅はおよそ 100m である。また岡山市と津山市の区間（78km）の標高差はおよそ 100m で、緩やかな河床勾配を有する。吉井川では、江戸時代から昭和にかけて浅瀬でも航行が可能な平らな船底を有する高瀬舟が多数就航していた（古くは平安時代から活躍していたとの記録がある）<sup>[2]</sup>。吉井川の高瀬舟は長さ約 15m の木造船で 3 名から 4 名の乗組員で上り 3 日、下り 2 日で運行されていた。高瀬舟の積載能力は上り時に約 1 トン、下り時に約 6 トンであり、下り便船では御用



A. 吉井川を帆走して漕上する高瀬舟  
 (岡山県和気町原井堰資料館所蔵)



B. 復元された高瀬舟 (柵原鉱山資料館)

図 1 吉井川で運航された高瀬舟

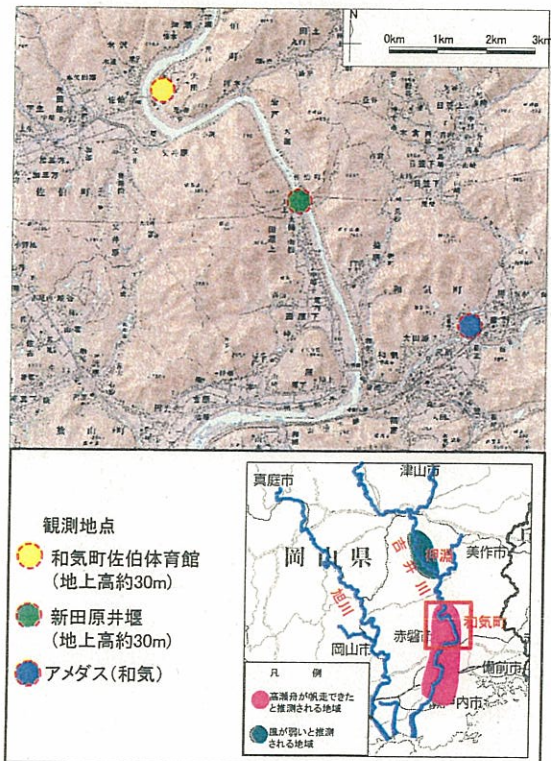


図 2 吉井川流域の地形 (岡山県和気町周辺)

米（年貢）や瓦などの特産品が運搬された<sup>[3]</sup>。また上り便では、山中では入手できない海産物や化粧品などの日用雑貨が運搬されたようである。上り便を 3~4 日で運行させるためにはおおよそ 3km/h (0.8m/s) 程度（人の歩行速度と同じ程度）を維持しなくてはならないが、吉井川の高瀬舟には帆が付いており、風の力を補助動力として利用し、風がない時や風が弱い場所では、主に引き手が船を曳航したと見られる<sup>[2][3]</sup>。

高瀬舟を遡上させるために必要な風速を和船の船速/風速比<sup>[4]</sup>を参考に見積ると、河川の流れ（流量と大雑把に見積った断面積より 0.4m/s と仮定した）に逆らって進むためには、約 3m/s の風速が必要となる。高瀬舟は初夏の農業用水の取水時期を除き、通年で運航されていたことから、ある程度の風が吉井川流域で長時間吹いているものと推測される。もちろん、流域の全域にわたって船の遡上に利用できる風が存在するとは考えにくいので、筆者らは船を陸上から曳航する引き手や家畜が待機する「船番屋」と呼ばれる詰所の設置間隔が広い地域が補助動力として風が利用できたと推測した。この条件に合致する場所として、岡山市の西大寺から和気町にかけての区間を選定した。

### 3 観測地点及び観測方法

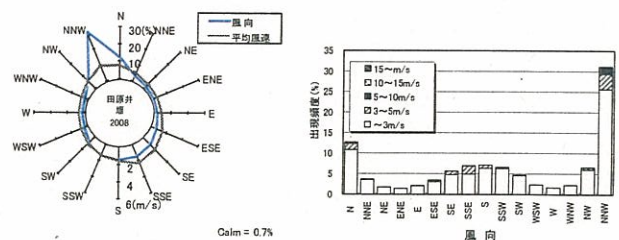
前節の推測に基づき、本研究では図 2 に示す吉井川中流域の和気町周辺を調査地点とした。和気町にはアメダス観測所と新田原井堰管理事務所が所有する風速計があり、これらの地点で観測された 2008 年の風向・風速データを利用した。筆者らはさらに新田原井堰の上流に位置する佐伯体育館屋上に風向風速計を設置し、2009 年 10 月から観測を行った。風速計の設置高さは、新田原井堰と佐伯体育館ともおおよそ 30m で、アメダス観測所の風速計は地上高 6.5m に設置されている。なお、佐伯体育館屋上の風速計は屋根の南西端に設置し、屋根から約 2.5m の高さを有する。新田原井堰は図 2 に示されるように、河川を挟む急勾配の谷地形に位置する。佐伯体育館は河川の蛇行部に位置し、周囲は山に囲まれているが、西側は平地となっている。アメダス観測所は吉井川支流の金剛川の上流側

に位置しており、やや吉井川本流から離れているため、この地点の風況データは参考値として扱った。調査においては最多風向、平均風速及び最大瞬間風速を用いた。ここで、新田原井堰とアメダス観測所の風速の観測間隔は 1 時間であり、佐伯体育館屋上の観測間隔は 10 分間である。これらの風況データから風配及び風向別出現頻度分布を求め、当該地域の年間及び季節毎の風の特徴を調べた。

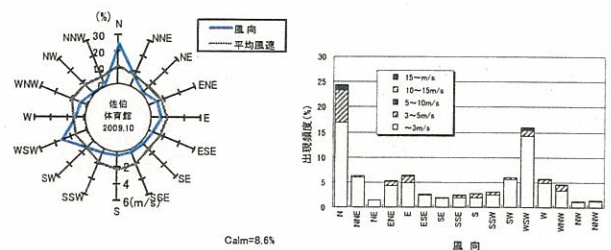
## 4 観測結果及び考察

### 4.1 年間の風況

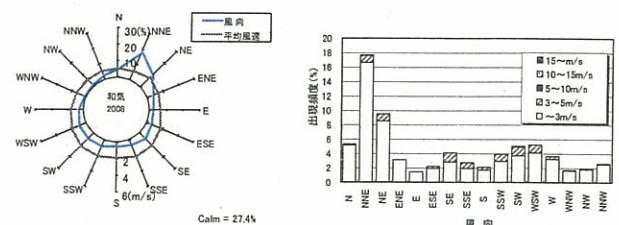
各地点の年間の風配図を図 3 に示す。ここで、佐伯体育館の風配図は 2009 年 10 月~2010 年 7 月までのものである。



A. 新田原井堰



B. 佐伯体育館



C. アメダス（和気）

図 3 年間の風配図及び風速別出現頻度分布  
佐伯体育館は 2009 年 10 月~2010 年 7 月の観測値を用いた。

新田原井堰では、河川軸に沿った北系（NW-NNW-N）及び南系（ESE-SW）が卓越し、それぞれ 59.1%と 40.1%の頻度を占め、平均風速は 1.7m/s（北系）及び 1.5m/s（南系）、3m/s 以上の風の発生頻度は 10%程度であった。また静穏の頻度は少なく、0.7%であった。佐伯体育館では、N と WSW が卓越し、それぞれ 24.2%、16.1%を占め、平均風速は N で 2.3m/s、WSW で 1.3m/s であり、河川下流方向の S では 2.2m/s であった。また 3m/s 以上の風速成分の発生頻度は 17%程度であった。参考データとして、吉井川支流のアメダス観測所を見ると、北系（NNE-NE）と南西系（SSW-W）の頻度が高く、それぞれ 41.8%と 30.2%（SSW-W の合計）を占め、北系の風向成分の平均風速は約 1.3m/s で、南系は約 1.9m/s であり、3m/s 以上の風速成分の発生頻度は 10%程度であった。また静穏の頻度は高く、27.4%を示した。

新田原井堰と佐伯体育館における突風率（平均風速と最大瞬間風速との比）は、図 4 に示されるように両地点ともおよそ 2 であり、内陸の風の特徴を有する。また、河川上流側の北系（WNW~N~E）の成分と南系（ESE~S~W）の成分の分布には大きな違いは見られなかった。

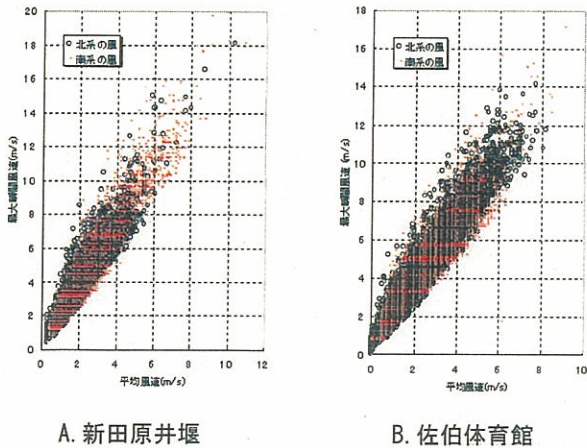


図 4 平均風速と最大瞬間風速との相関

#### 4.2 各季節の風況

新田原井堰と佐伯体育館における各季節の風配図を図 5 に示す。両地点とも、年間の風配図と類似しているが、春季（3 月-5 月）では、年間の風配に比べ、

両地点とも北系の風の頻度がやや低下している。夏季（6 月-8 月）では、年間の風配と類似しているが、新田原井堰では、南系の風の頻度がやや高く、佐伯体育館では、東方向からの風（ENE-E）の頻度が高くなっている。秋季（9 月-11 月）について、新田原井堰では年間の風配と類似した分布を示しているが、佐伯体育館ではデータが十分に得られていないため風配図は割愛した。冬季（12 月-2 月）は新田原井堰で北系の風の頻度が上昇し、佐伯体育館では WSW の風の頻度が高くなっていることがわかる。

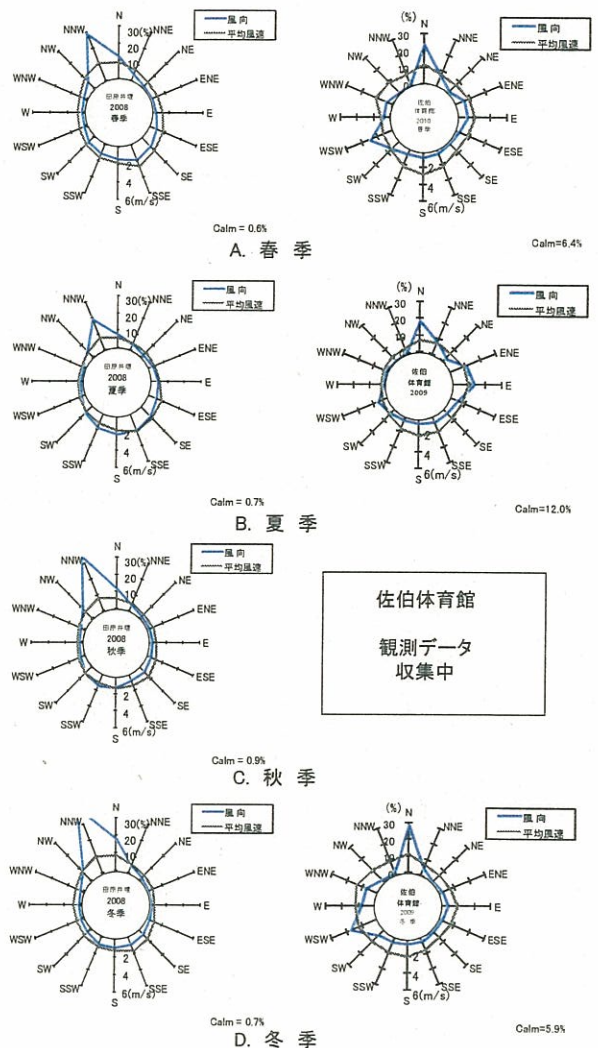


図 5 各季節における風配図

以上をまとめると、風配図は季節間で多少は異なるものの、年間の風配図と大きな違いはない。新田原井堰では河川軸に沿った南北からの風系が卓越し、佐伯

体育館では、西側に開けた平地方向からの WSW と河川上流からの N の風向が卓越した。両地点とも、平均風速は 2m/s 程度かそれ以下であり、冒頭で推測した高瀬舟の補助動力になり得る風力に満たない。そこで次節では時間帯によって発生する山谷風や海陸風の影響を調べた。

#### 4.3 昼間及び夜間の風況

岡山市に隣接する和気町は瀬戸内海から直線距離で 20km (河口からは 30km) ほど離れているが、岡山市の平野部では海陸風の発達が見られ<sup>[5]</sup>、当該地域もこの海陸風の影響を受けている可能性がある。本節では新田原井堰及び佐伯体育館における昼夜の風の変化を調べた。図 6 に、両地点における各時刻の平均風速の変化を示す。この結果、両地点とも 10 時～18 時に風速が大きくなり、夜間は風速が小さくなる傾向を示した。新田原井堰の昼間の風速は年間値ではおよそ 2.5m/s、春季はおよそ 3m/s、夏季はおよそ 2m/s、秋季はおよそ 2m/s、そして冬季はおよそ 2.5m/s であった。一方、佐伯体育館における昼間の風速は、年間値ではおよそ 2.5m/s、春季およそ 3m/s、夏季はおよそ 2m/s、そして冬季はおよそ 3m/s を示した。両地点とも、夏季の風速が小さく、春季や冬季の風速が大きい傾向を示した。これらの昼夜で明瞭に異なる風速変化は海陸風の影響を受けたものと考えられる。

昼間と夜間の風配を図 7 に示す。昼間 (7:00-18:00) の卓越風向きは、北系の風向の頻度が減少しているものの、図中左の年間の風配図と類似し、昼間と夜間とで明瞭に風向が異なるものではないことがわかる。次に両地点の風速の相関関係を調べた。図 8 に 2009 年 10 月～2010 年 7 月における新田原井堰における北系と南系の風速と佐伯体育館の風速との相関図を示す。図を見てわかるように、どの風系とも相関性は強いとは言えず、それぞれ地点で異なった風も吹いていると考えられ、たとえば新田原井堰のある谷地を吹き抜ける風が佐伯体育館まで到達するような単純な流れではないと考えられる。

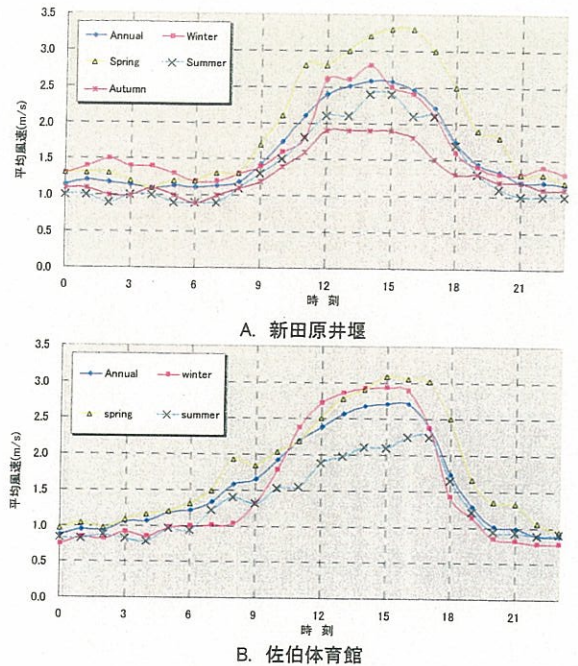


図 6 各時刻の平均風速

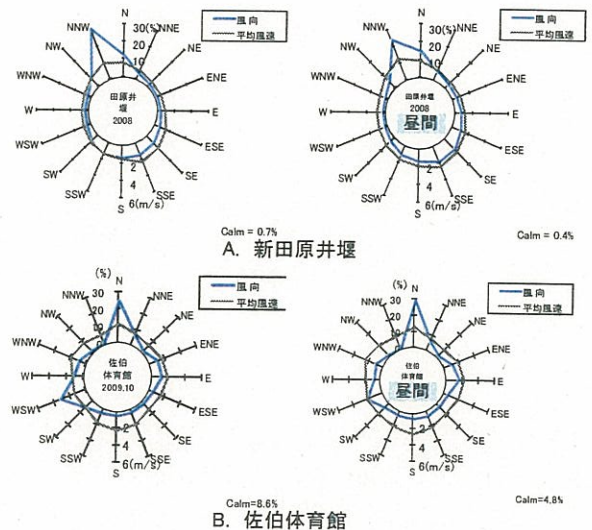


図 7 昼間の風成分による風配図 (左図は年間の風配)

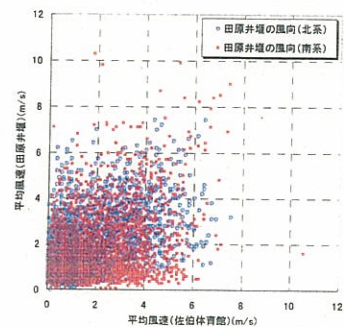


図 8 佐伯体育館と新田原井堰の風速の相関

## 5 風力エネルギーの推定

和気町周辺の風況を調べた結果、昼間には安定した 2m/s～3m/s の平均風速を得ることができる一方、夜間の風速は小さいことがわかった。本節では当該地域における風力エネルギーの利用について検討する。昼間の平均風速を 2.5m/s とした場合、平均風力エネルギー密度  $E$  は次のようになる。

$$\begin{aligned} E(\text{W/m}^2) &= 1.9 \times \frac{1}{2} \rho u^3 \\ &= 1.9 \times 0.5 \times 1.225 \times 2.5^3 \\ &= 18.2(\text{W/m}^2) \end{aligned}$$

ここで、 $\rho$  は空気密度、 $u$  は平均風速である。次に受風面積  $A$  の小型風力発電機を設置した場合の潜在賦存量  $W$  は  $W = \text{風力エネルギー密度 } E \times \text{風車受風面積 } A \times \text{風車設置数 } N \times \text{理論効率 } \eta \times \text{年間運転時間 } T$  と表され、これに小型の風力発電を想定した仮定条件 ( $A=1\text{m}^2$ ,  $N=1$  基,  $T$  を 1 年の三分の一) を代入すると、 $W$  は次のように求められる。

$$\begin{aligned} W(\text{Wh}) &= 18.2 \times 1 \times 1 \times 0.593 \times 8760 / 3 \\ &= 31.5\text{kWh} \end{aligned}$$

以上のとおり、昼間しか風が利用できないことや平均風速が小さいため、カットイン風速が大きい大型の風力発電機は適用できず、商用電源としての利用は困難である。しかしながら年を通じて静穏が少なく、昼間に 2m/s～3m/s の海風が卓越して存在することは得られる電力量を見積もりやすく、年間を通じた利用が可能となる。例えば小型のマイクロ風車を用い、昼間に充電した電力を夜間の常夜灯等に利用する方法が可能と思われる。風車の形式は起動風速が小さく、また風向の変化に対応した垂直型風車（クロスフロー型やサボニウス型など）が適していると思われる。

## 6 まとめ

本研究は風力を補助動力に利用していた高瀬舟をヒントに、過去に利用されたエネルギーに着目し、岡山県吉井川周辺の風の特徴と風力エネルギーの賦存量を調査した。和気町の周辺の風は、海陸風の特徴を示し、山に挟まれた新田原井堰や佐伯体育館では静穏

の割合が低く、高瀬舟が運行していた昼間においておよそ 2.5m/s の平均風速が年を通じて見られた。しかしながら風力エネルギー密度は 18.2(W/m<sup>2</sup>) と小さく、商用電力を得ることは期待できないことがわかった。ただし年を通じて同じ時間帯に風が吹くことは、得られる電力量を見積もりやすく、消費電力が小さい常夜灯等への適用であれば可能と思われる。

## 謝 辞

本研究は、エスペック地球環境研究・技術基金の助成を得て行われた。また、本研究の実施にあたっては中国四国農政局に新田原井堰の風況データを提供頂いた他、岡山県和気町教育委員会、和気町歴史民俗資料館の多大な支援を受けた。ここに紙面を借りて謝意を示す。

## 引用文献

- [1] NEDO 新エネルギー・産業開発機構：風力発電導入ガイドブック (2008), 2008
- [2] 岡山理科大学『岡山学』研究会：吉井川を科学する, 吉備人出版, 140pp, 2001
- [3] 大国家資料保存会, 大国家資料図録, 100pp, 2002
- [4] 野本謙作, 増山豊, 桜井晃, : 復元菱垣廻船「浪華丸」の帆走性能, 関西造船協会誌 (234), 115-124, 2000
- [5] 佐橋 謙, 佐藤 泰憲, 平松 茂, 岡山市付近の海陸風, 岡山大学教育学部研究集録, 57 (1), 61-73, 1981