

《研究ノート》

奈良市街域と森林地帯での CO₂濃度測定タワーで観測した風向風速の特徴解析

海老名 桜子

(奈良女子大学・大学院人間文化研究科)

村松 加奈子

(奈良女子大学・共生科学研究センター)

醍醐 元正

(同志社大学経済学部)

1 はじめに

温室効果ガスは、人間活動などによって大気中に放出される。その濃度増加は、将来の気候を温暖化させ、これによって人間の活動だけでなく、生態系をはじめとする地球環境に多大な影響を及ぼす恐れのあることが懸念されている。この温暖化を予測するためには、温室効果ガスの動向を理解する必要がある。

温室効果ガスの1つであるCO₂は、他の温室効果ガスと同様に、人間活動によって大気中に放出され、植生による光合成によって吸収される。このような植生の環境緩和能力を評価していくために、現在、衛星データを用いて植生のCO₂固定量を推定する研究が行なわれている。

奈良女子大学共生科学研究センターでは、1999年から奈良県東吉野村で、2002年から奈良女子大学屋上で、2005年から生駒山で現在もCO₂濃度測定を行なっている。各測定場所では、CO₂濃度だけでなく風向風速、光量子、気温、湿度、日射量の測定も同時に行なっている。

そこで、本研究では実際に大気中のCO₂濃度の動向を調べていくために、東吉野、奈良市は2004年、生駒山は2006年の風向風速のデータを用いて、各測定場所の風向風速の特徴をつかむことを目的とした。

2 CO₂濃度測定タワーにおける風向風速の観測

2.1 測定場所

CO₂濃度測定タワーの場所は、東吉野村、生駒山、奈良市の3カ所である。以下に、これらの測定場所について詳細を述べる。

2.1.1 測定場所：東吉野村について

東吉野村での測定は、奈良県東吉野村大字小川字小の山頂にある気象観測塔（以下、タワー）で行なっている。（図1（a））にその外観を示す。山頂の標高は685.5 m、測定場所の緯度経度は北緯34°24′1″、東経は135°59′3″である。タワーの高さは17 mで、CO₂濃度の測定場所の高さは地上19 mである。周囲にはコナラ、マツなどの雑木林がある。また、東吉野村は林業が盛んな地域であり、周辺の山にはスギ、ヒノキの植林がある。

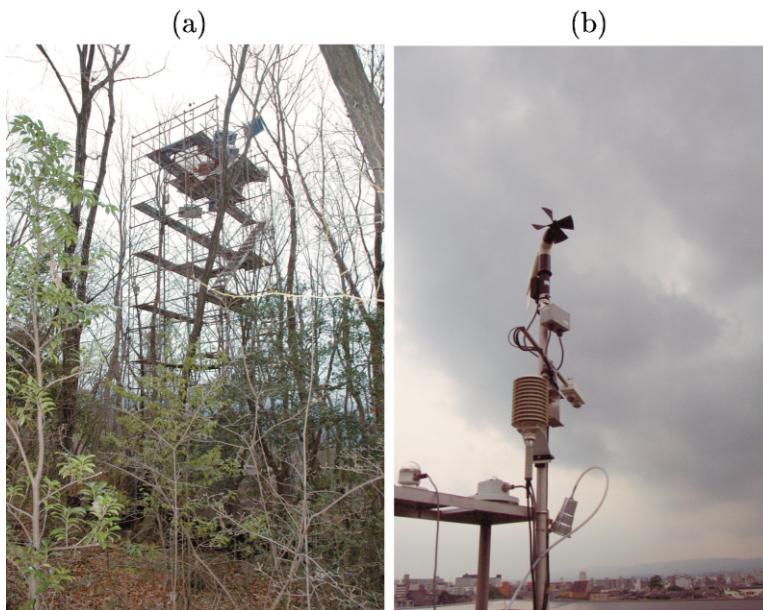


図1 測定場所

(a) 森林内に建てられたタワー (b) 奈良女子大学新E棟屋上の様子

2.1.2 測定場所：生駒山について

生駒山での測定は、奈良県生駒市にある生駒山の山頂で行なっている。山頂の標高は587 m、測定場所の緯度経度は北緯34°41′11″、東経135°40′34″である。CO₂濃度の測定場所の高さは地上48.7 m、測定場所周囲は広葉樹林地帯である。生駒山は近畿圏内でも人間活動の盛んな大阪府と奈良県の県境にある。

2.1.3 測定場所：奈良市について

奈良市での測定は、奈良県奈良市北魚屋西町にある奈良女子大学新 E 棟屋上（図 1 (b)）で行なっている。標高は 120 m、測定場所の緯度経度は北緯 34° 41′ 6″，東経 135° 49′ 4″ である。CO₂ 濃度の測定場所の高さは地上 15 m である。奈良市は、奈良県内で最も人口密度が高い地域である。

2.2 測定項目

測定項目は各測定場所で異なるが、主に、CO₂ 濃度、気温、光量子、風向、風速、湿度を測定している。以下に、各測定場所での詳細な測定項目を年毎に示す。

2.2.1 東吉野村での測定項目

タワーで測定されているデータは 1 分間隔（ID 100）のものと 10 分間隔（ID 110）のものがある。測定されたデータは、電話回線を通じて、1 日に数回大学へ送信されるようになっている。今回の解析には ID 100 のデータを使用した。データの並びを以下に示す。

○2002 年 9 月 13 日（244 日）から

ID (100), 年, 月日, 時分, 風速, 風向, CO₂ [mV], CO₂ 温度, 光量子 [mV], 光量子 [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$], 気温 [°C] (上), 気温 [°C] (真中), 湿度 (上), 湿度 (真中), 気温 [°C] (下)

○2003 年 2 月 14 日（45 日）から

ID (100), 年, 月日, 時分, 風速, 風向, CO₂ [mV], CO₂ 温度, 光量子 [mV], 光量子 [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$], 気温 (上) [°C], 気温 (真中) [°C], 湿度 (上), 湿度 (真中), 気温 (下) [°C], バッテリー電圧

○2003 年 4 月 9 日（99 日）から

ID (100), 年, 月日, 時分, 風速, 風向, CO₂ [mV], CO₂ 温度, 光量子 [mV], 光量子 [$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$], 気温 (上) [°C], 気温 (真中) [°C], 気温 (下) [°C], 湿度 (上), 湿度 (真中), バッテリー電圧

2.2.2 生駒山での測定項目

生駒山で測定されているデータは 1 分間隔である。東吉野村と同様に、測定されたデータは、電話回線を通じて、1 日に数回大学へ送信されるようになっている。データの並びを以下に示す。

○2005 年 8 月 1 日（213 日）から

年, 月日, 時分, 風速, 風向, CO₂ [V], CO₂ 温度, 日射, 気温 [°C], 湿度 [%]

2.2.3 奈良市での測定項目

奈良市で測定されているデータは 1 分間隔である。測定されたデータの回収は直接データコレクタからフロッピーディスクに保存する。データの並びを以下に示す。

○2002年10月31日(304日)から
年, 月, 日, 時分, CO_2 [mV], 気温 [°C]

○2002年11月22日(326日)から
年, 月, 日, 時分, CO_2 [mV], CO_2 湿度 [mV], CO_2 温度, 気温 [°C]

○2003年2月12日(43日)から
年, 月, 日, 時分, CO_2 [mV], CO_2 湿度 [mV], CO_2 温度, 光量子 [mV], 風向, 風速, 気温 [°C]

○2003年2月14日(45日)から
年, 月, 日, 時分, CO_2 [mV], CO_2 湿度 [mV], CO_2 温度, 光量子 [mV], 風向, 風速, 気温 [°C], 湿度, 日射量

ここで, CO_2 湿度 [mV], CO_2 温度とは, CO_2 分析計で測定している湿度と温度のことである。

2.3 各測定場所で使用している測定機器

本研究で扱った風向風速は, クリマテック社製の超音波風向風速計 PGWS-100-3型を用いて測定を行なっている。前述の緯度経度は GARMIN 社製の GPS IIIplus 型を用いて測定した。その他の測定項目である CO_2 濃度は LI-COR 社製の CO_2 分析計 (LI-6251型, LI-6252型, 光量子は LI-COR 社製の LI-190 SA 型, 湿度は Vaisala 社製の HMP 45 A 型を用いて測定を行なっている。

3 測定データの解析

3.1 解析を行なったデータの期間

今回の解析では, 東吉野村, 奈良市では2004年, 生駒山では2006年の1月1日0時01分から2004年12月31日24時00分までの測定データを使用した。測定できていない時間のデータを欠測として, 欠測率を計算した。東吉野では0%, 奈良市では5.8%, 生駒山では10.6%であった。奈良市は2004年5月, 生駒山では2006年1月のデータに欠測がある。

3.2 1分毎の風向風速の測定結果

解析を行なった風向風速の測定結果の様子を以下に示す。図2(a)(b)(c)は, 東吉野村, 奈良市, 生駒山で1分毎に測定された風向の測定結果をグラフにしたものである。横軸は, 各年の1月1日から12月31日までの365日を表し, 縦軸は1分毎の風向 [degree]を表す。図3(a)(b)(c)は, 東吉野村, 奈良市, 生駒山で1分毎に測定された風速の測定結果をグラフにしたものである。横軸は, 各年の1月1日から12月31日までの365日を表し, 縦

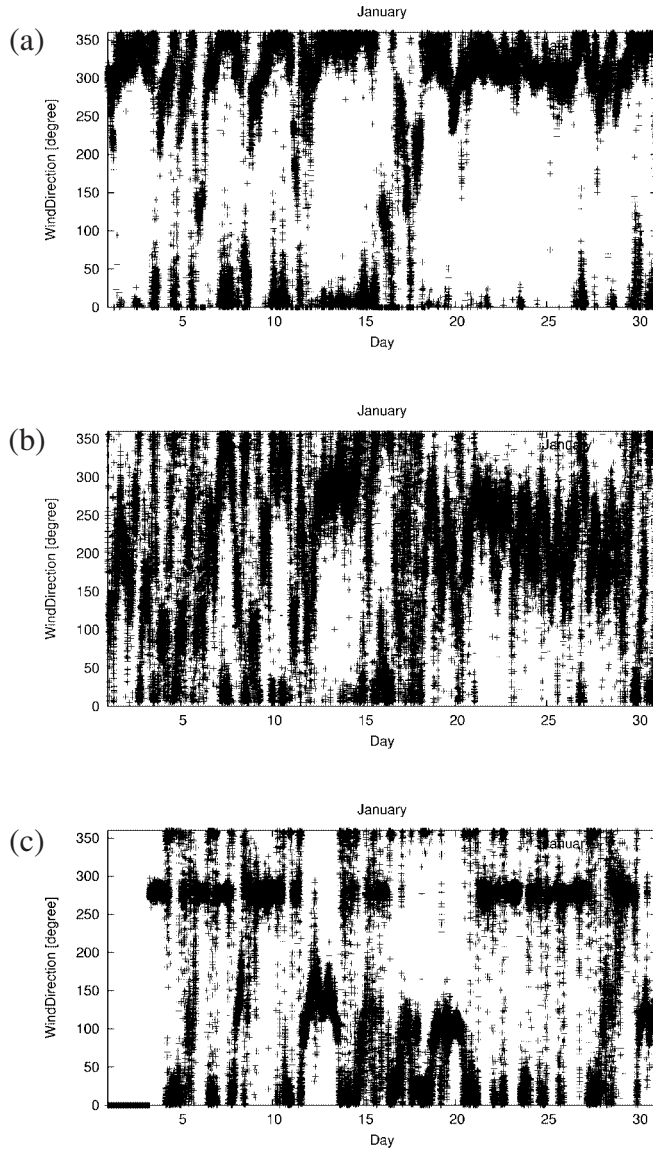


図2 1分間隔の風向の変動
 (a) 東吉野 2004年1月 (b) 奈良市 2004年1月 (c) 生駒山 2006年1月

軸は1分毎の風速 $[m/s]$ を表す。図2と図3を見ていくと、各測定場所による特徴や季節毎による特徴が見られることがわかった。そこで、各月ごとに風向風速の頻度分布を作成し、どのような風向や風速の風が頻繁に吹いているか解析した結果を次に述べる。

3.3 風向と風速の季節変動

風向、風速の各測定場所による特徴や季節毎による特徴を見ていくために、月毎に風向風速の頻度分布を作成し、どのような風が頻繁に吹いているかを調べた。

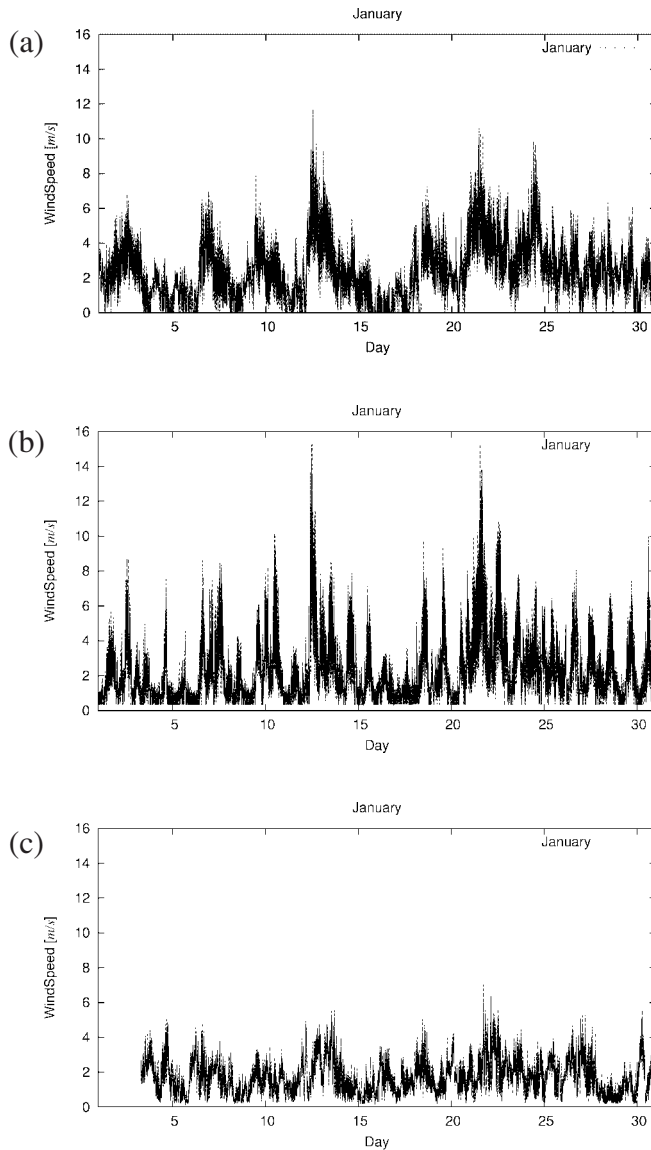


図3 1分間隔の風速の変動
 (a) 東吉野 2004年1月 (b) 奈良市 2004年1月 (c) 生駒山 2006年1月

風向の測定は 0° から 360° で行なわれているため、各風向を表1のように定義して頻度を計算した。また、風速の測定は、0から60[m/s]で行なわれているため、気象庁風力階級表を参考にして測定した風速を階級に分けて頻度を計算した。表2に風力階級表を示す。この風力階級表の風速は、地表の状態や木などの状態から、地上10mの高さにおける風速を推定したものである。今回の解析で用いた風速を測定している高さとは異なるが、風速の頻度をみるための参考として用いた。計算した頻度を欠測を除いたデータ数で割り、月毎に割合をだした。その結果を次に述べる。

表 1 各風向の度数

度	風向
0° ~ 11.24°	北
11.25° ~ 33.74°	北北東
33.75° ~ 56.24°	北東
56.25° ~ 78.74°	東北東
78.75° ~ 101.24°	東
101.25° ~ 123.74°	東南東
123.75° ~ 146.24°	南東
146.25° ~ 168.74°	南南東
168.75° ~ 191.24°	南
191.25° ~ 213.74°	南南西
213.75° ~ 236.24°	南西
236.25° ~ 258.74°	西南西
258.75° ~ 281.24°	西
281.25° ~ 303.74°	西北西
303.75° ~ 326.24°	北西
326.25° ~ 348.74°	北北西
348.75° ~ 360°	北

表 2 風力階級表

風力階級	相当風速
0	0.3 m/s 未満
1	0.3 m/s 以上 1.6 m/s 未満
2	1.6 m/s 以上 3.4 m/s 未満
3	3.4 m/s 以上 5.5 m/s 未満
4	5.5 m/s 以上 8.0 m/s 未満
5	8.0 m/s 以上 10.8 m/s 未満
6	10.8 m/s 以上 13.9 m/s 未満
7	13.9 m/s 以上 17.2 m/s 未満

3. 3. 1 風向の季節変動

初めに1月から12月までの風向の頻度分布について解析した結果について述べる。図4は東吉野、図5は奈良市、図6は生駒山の風向の割合を3カ月ごとにグラフにしたものである。

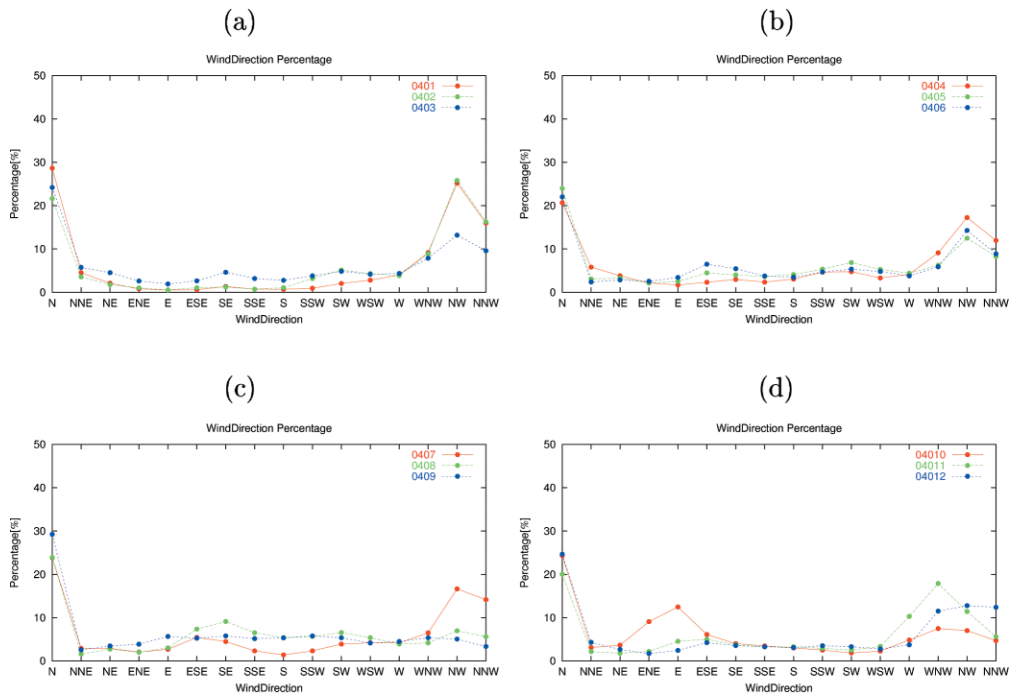


図 4 東吉野における風向の割合：(a) 2004年1月から3月 (b) 2004年4月から6月 (c) 2004年7月から9月 (d) 2004年10月から12月

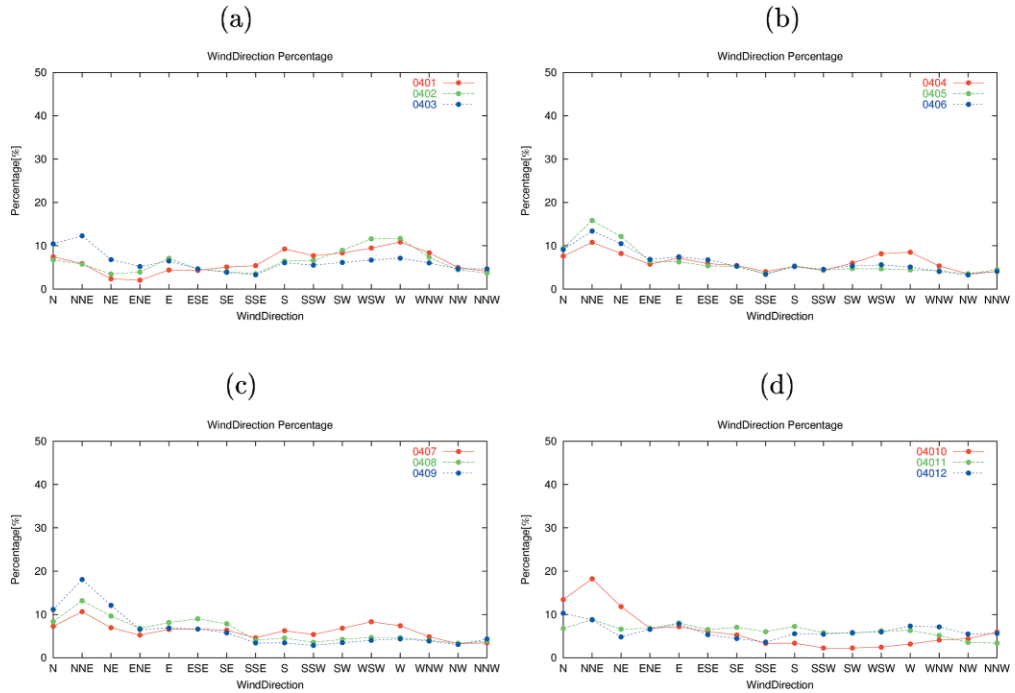


図5 奈良市における風向の割合：(a) 2004年1月から3月 (b) 2004年4月から6月 (c) 2004年7月から9月 (d) 2004年10月から12月

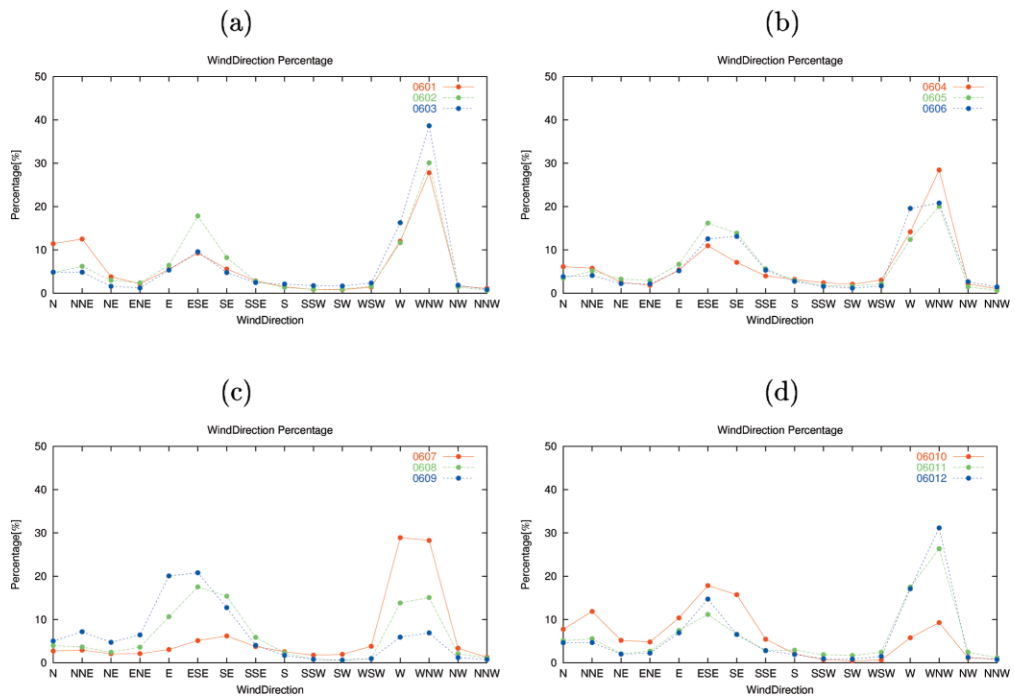


図6 生駒山における風向の割合：(a) 2006年1月から3月 (b) 2006年4月から6月 (c) 2006年7月から9月 (d) 2006年10月から12月

横軸が風向，縦軸が欠測を除いたデータ数に対する割合である。

図4の東吉野を見ていくと，1年を通してほぼ北，北西の風の頻度が高く，図4(d)の10，11，12月には西北西の風に動いている。また，10月には，東の風の頻度が高くなる様子がわかる。図5の奈良市を見ていくと，西，北北東の風の頻度が高くなるようであるが，他の観測場所に比べて風向のばらつきが目立つ。図6の生駒山を見ていくと，1年を通して東南東，西北西の風の頻度が高いことがわかる。図6(a)を見ると，1月には北風，図6(c)を見ると，7月には西，西北西の風が他の風向に比べて頻度が高くなることもわかる。また，図6(c)(d)を見ると，8，9，10月では西北西の風の頻度が小さくなり，東南東の風の頻度が高くなっている。

3.3.2 風力の季節変動

次に1月から12月までの風力の頻度分布について解析した結果について述べる。図7は東吉野，図8は奈良市，図9は生駒山の風力の割合を，風向と同様に3カ月ごとにグラフにしたものである。横軸が風力，縦軸が欠測を除いたデータ数に対する割合である。

東吉野は，図7(a)(b)の1月から4月までは風力2(1.6 m/s以上3.4 m/s未満)の風の頻度が高く，図7(b)(c)(d)の5月から12月には，風力1(0.3 m/s以上1.6 m/s未満)の風の頻度が高くがなっている様子がわかる。図8の奈良市を見ていくと，ほぼ1年を通して風力1の風の頻度が高くなることがわかる。生駒山は図9(a)(b)(d)をみると，1月から5月と

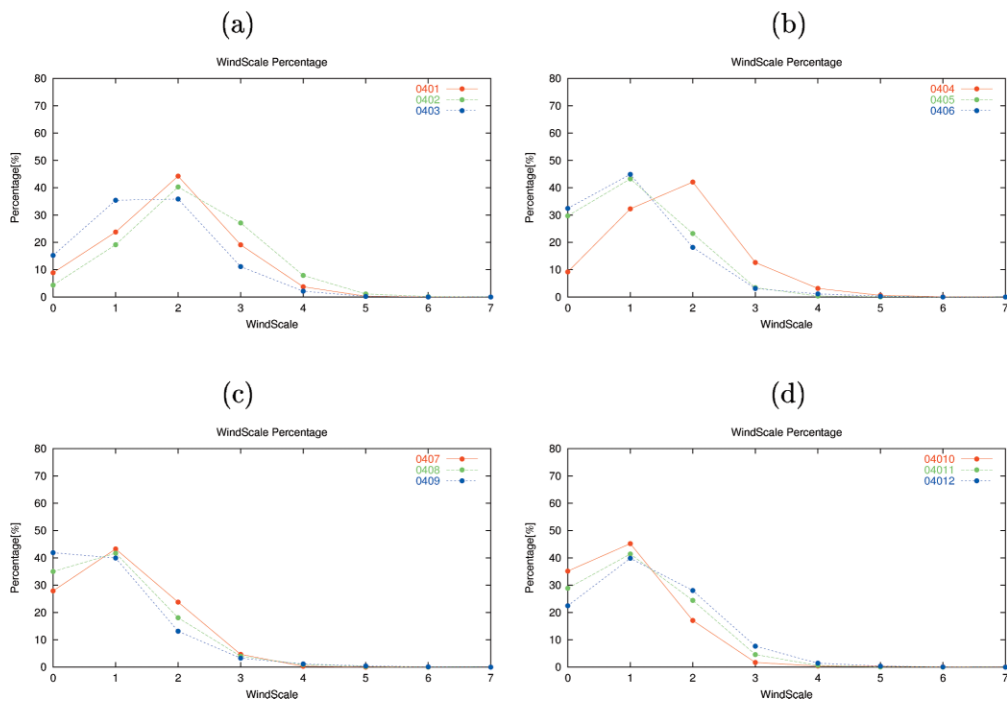


図7 東吉野における風力の割合：(a) 2004年1月から3月 (b) 2004年4月から6月 (c) 2004年7月から9月 (d) 2004年10月から12月

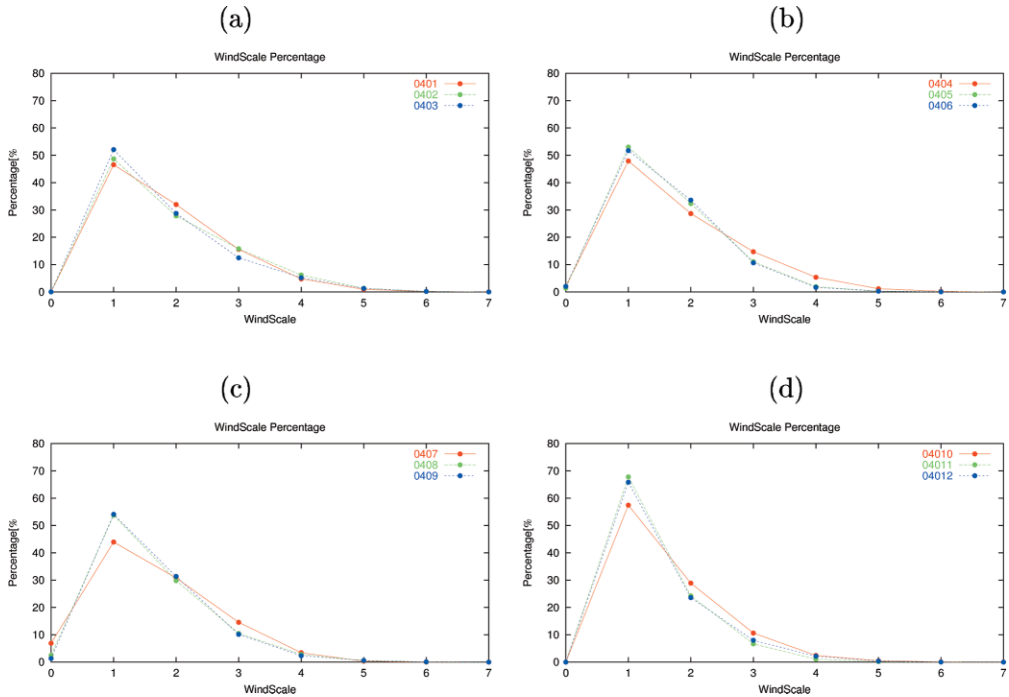


図8 奈良市における風力の割合：(a) 2004年1月から3月 (b) 2004年4月から6月 (c) 2004年7月から9月 (d) 2004年10月から12月

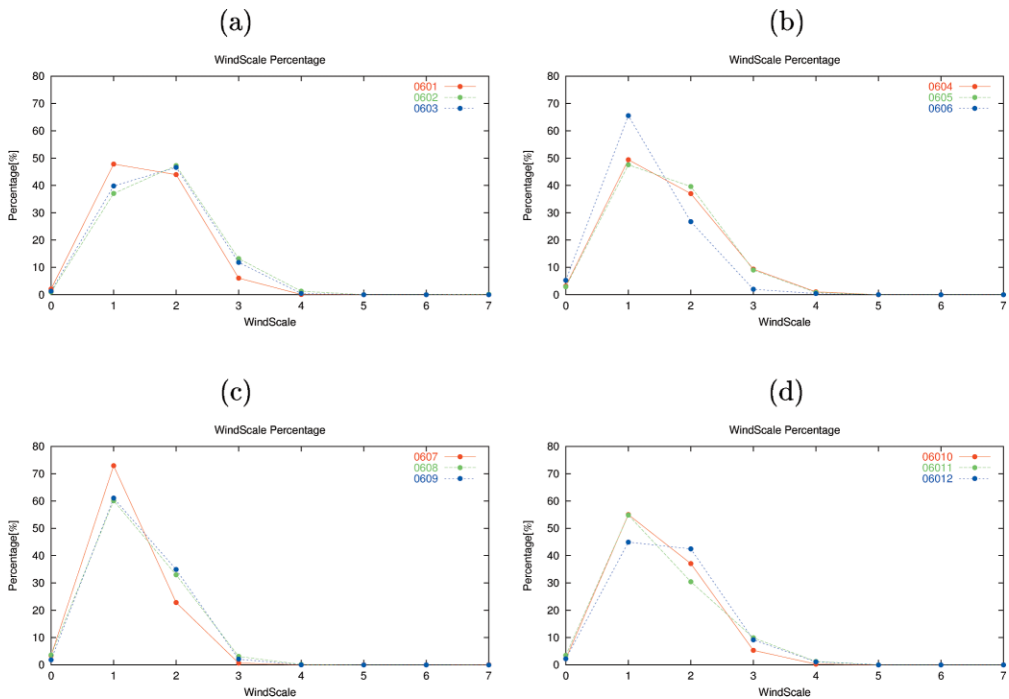


図9 生駒山における風力の割合：(a) 2004年1月から3月 (b) 2004年4月から6月 (c) 2004年7月から9月 (d) 2004年10月から12月

12月に風力1と2がほぼ同じくらいの頻度になり、図9(c)(d)の8月から11月には風力1の風がの頻度が高くなるようである。

さらに、どの風向の風がどれくらいの風力によるのかも調べるために、風力ごとの風向分布について解析を行なった。その結果を次に述べる。

3.4 風力毎の風向とその季節変動

風向、風力の頻度分布により、観測場所ごとの風の様子を知ることができた。さらに、風力と風向の関係やその季節変動を知るために、風力ごとの風向分布を調べた。そして、特徴がよく現れ、季節毎の変化が見易いように、解析する風力を1から4までにしぼり、解析する月を1月、4月、8月、11月に定めた。図10、図11、図12に東吉野、奈良市、生駒山の風力が1から4までの1月、4月、8月、11月の風向の様子を表す。各図の(a)が風力1(b)が風力2(c)が風力3(d)が風力4の時の風向である。横軸は風向、縦軸は欠測を除いた全測定データに対する風向の割合を表し、赤色が1月、緑色が4月、青色が8月、ピンク色が11月を表す。

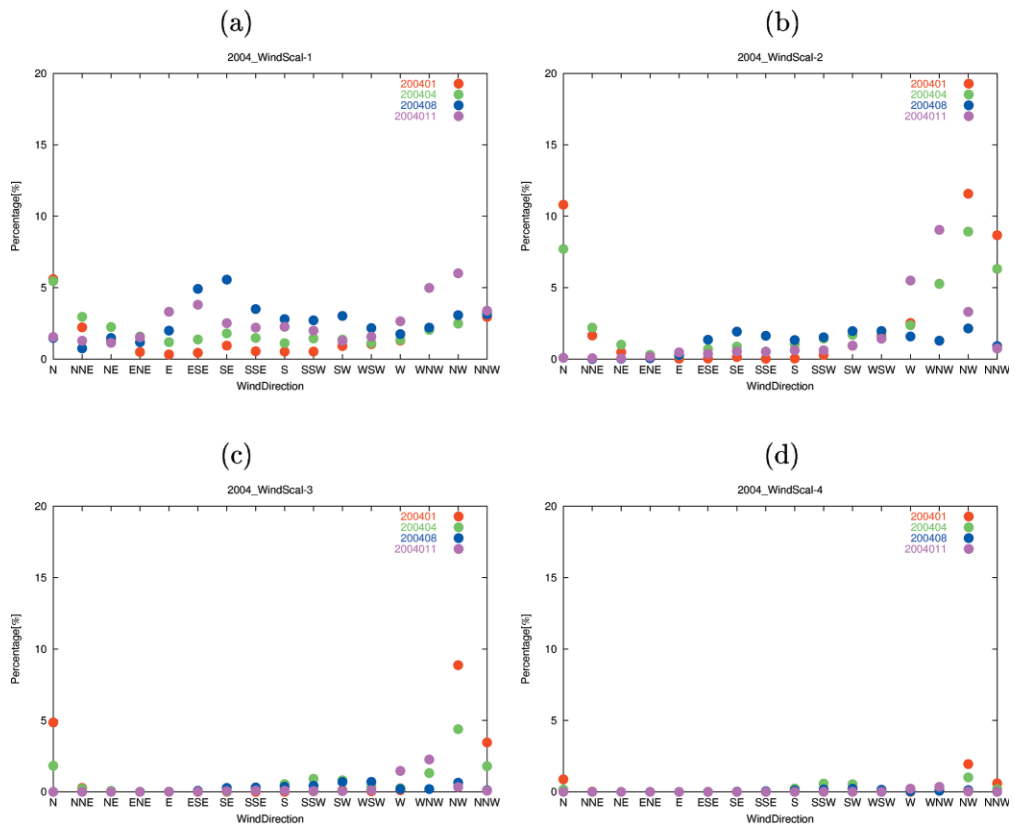


図10 東吉野(2004年1月、4月、8月、11月)：(a)風力1の風向 (b)風力2の風向 (c)風力3の風向 (d)風力4の風向

図 10 (b) をみていくと、図 4 (a) (b) で頻度が高かった北西の風はほぼ風力 2 の風が占めており、図 4 (a) (b) (c) (d) で頻度が高かった北風はどの風力であっても頻度は高いが、特に風力 2 の風が占めていることがわかる。図 10 (a) (b) (c) (d) を月毎に見ていくと、風力あがるごとに 8 月は頻度は低くなり、1 月、4 月、11 月は高くなっている。特に図 10 (d) の風力 4 の風は 1 月、4 月に頻度が高くなり、それは北西に集中することがわかる。

図 11 (a) と図 5 (a) (b) (c) (d) を比べていくと、北から東よりの風は風力 1 の風がほとんどであることがわかる。また、図 11 (b) (c) と図 5 (a) (b) (c) (d) を比べると、1 年を通して特に頻度が高い北北東の風は、風力 2 の風が、西風は風力 3 の風が占めているようである。図 11 (a) (b) (c) (d) を月毎に見ていくと奈良市は、風力ごとの風向においても季節による違いがあまりないことがわかる。

図 12 (a) (b) と図 6 (a) (b) (c) (d) を比べていくと、西北西の風は、8 月は特に風力 1 の風で、1 月、4 月、11 月は風力 1 と 2 の風がほとんどであることがわかる。図 6 (a) でわかるように、1 月に多くなる北北西の風は、図 12 (a) (b) を見ると、風力 1 と 2 が占め、東南東の風は、図 12 (a) (b) と図 6 (a) (c) を比べると、1 月と 8 月は風力 1 と 2、図 12 (b)

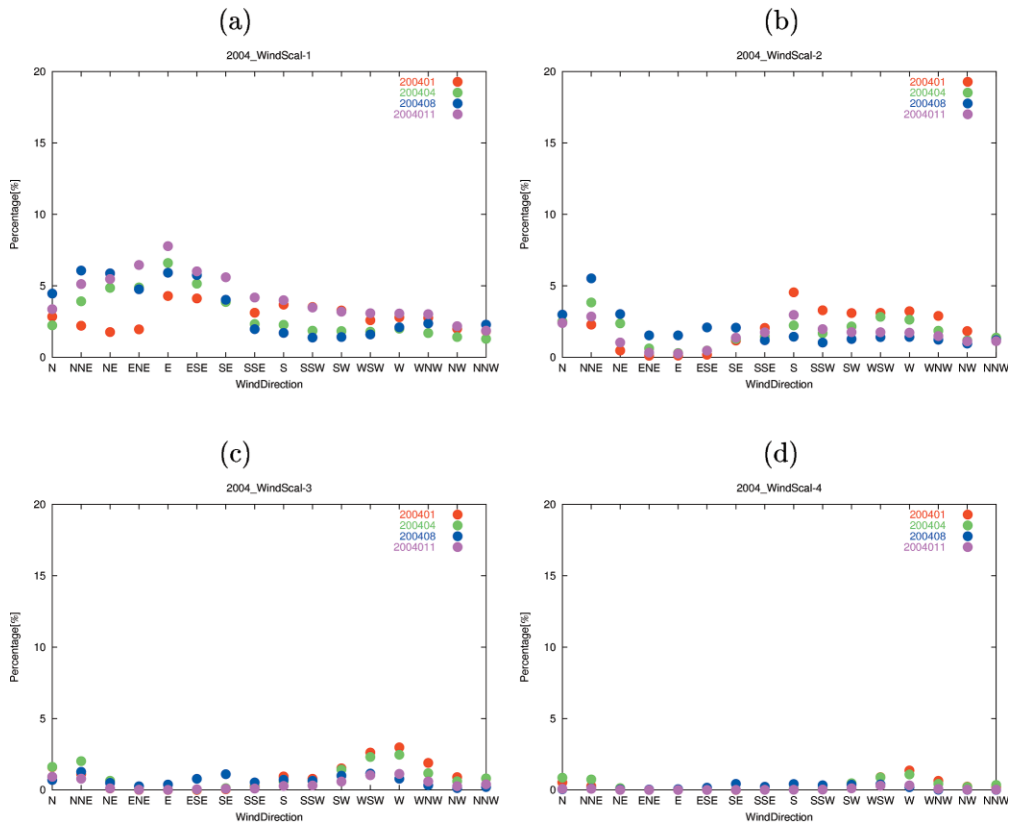


図 11 奈良市 (2004 年 1 月、4 月、8 月、11 月) : (a) 風力 1 の風向 (b) 風力 2 の風向 (c) 風力 3 の風向 (d) 風力 4 の風向

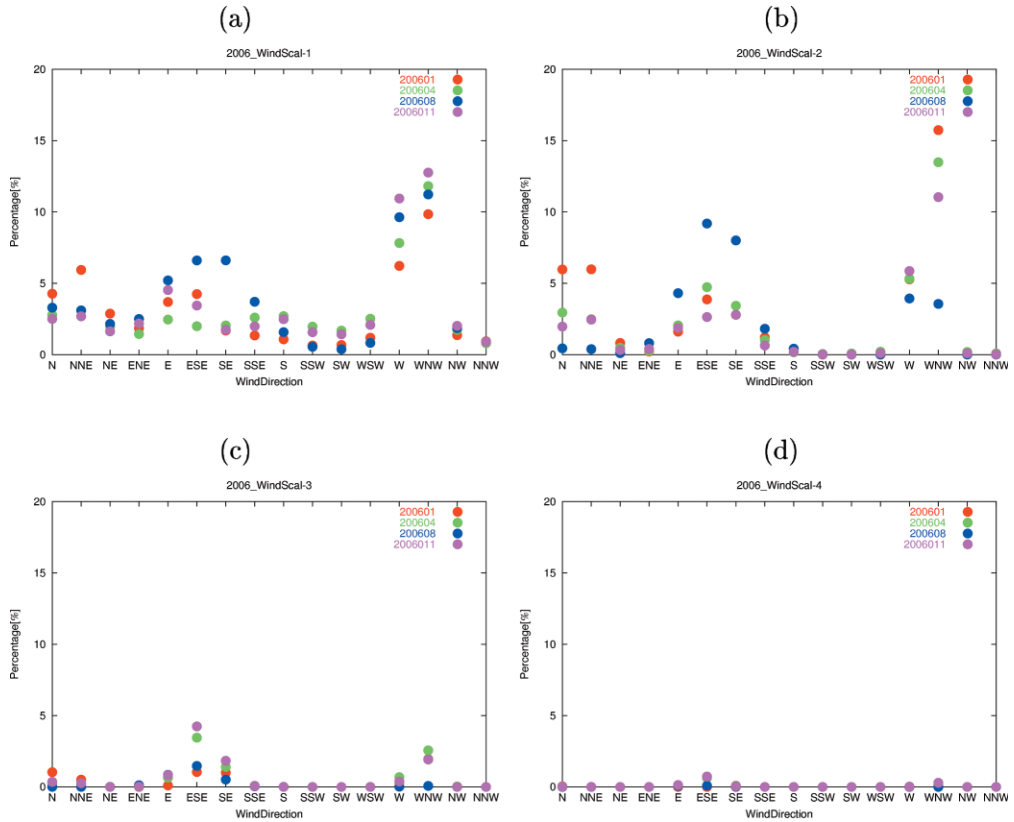


図 12 生駒山 (2006 年 1 月, 4 月, 8 月, 11 月) : (a) 風力 1 の風向 (b) 風力 2 の風向 (c) 風力 3 の風向 (d) 風力 4 の風向

(c) と図 6 (b) を比べると, 4 月は風力 2 と 3, 図 12 (c) と図 6 (d) を比べると, 11 月は風力 3 の風によるものとわかる。

4 まとめと今後の課題

今回の研究では, 東吉野, 奈良市, 生駒山の地上観測データを用いて, 風向風速の解析を行ない, 各観測場所の風の様子を調べた。東吉野では 0.3 m/s 以上 3.4 m/s 未満の北風や北西風が吹き, 奈良市では他の 2 つの観測場所に比べ風向がばらつき, 0.3 m/s 以上 1.6 m/s 未満の風がよく吹くことがわかった。生駒山では, 特に 0.3 m/s 以上 3.4 m/s 未満の西北西の風が吹いており, 0.3 m/s 以上 5.5 m/s 未満の東南東の風が吹くことがわかった。

今後は, 1 日の風向風速の変化をおさえ, CO_2 濃度の風による移流や混合を見ていきたい。

謝辞

本研究で使用了地上観測データは, 奈良女子大学共生科学研究センターより提供されたものである。

また、本研究は文部科学省フロンティア推進事業（平成11年～平成20年度）により行なわれた。ここに感謝の意を表したい。

参考文献

- [1] 森 麻美. 「大気中の二酸化炭素の変動要因に関する研究」. 奈良女子大学人間文化研究科生物科学専攻・2003年度修士論文, 2004.
- [2] 西岡秀三. / 原沢英夫. 「地球温暖化と日本ー自然・人への影響予測ー」. 1997.
- [3] 浦 昭二・原田賢一. 「C 入門」. 2002.
- [4] 近藤純正. 「地表面に近い大気の科学ー理解と応用」. 2000.