

## 風力発電の導入に向けた筑波山六所平における風況調査

植 田 宏 昭\*・出 森 浩一郎\*\*・小 垣 哲 也\*\*\*

### 1. はじめに

近年、化石燃料の代替エネルギーとして太陽、地熱、中小水力、風力等の自然エネルギーが注目されている。風力エネルギーは、ニューサンシャイン計画の下、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO: New Energy and Industrial Technology Development Organization) を中心として、20年以上にわたり研究及び技術開発などの各種事業が行われている。日本における風力発電導入量は2002年の時点で46.3万 kW に達し (NEDO, 2001)、総合エネルギー調査会では2010年までに300万 kW の導入を目標として掲げている。風力発電技術は平坦なヨーロッパ地域で発達してきたため (松宮, 1994)、国土の約 8 割が複雑地形である日本では、独自の風力エネルギー開発や局所的な風況データが必要とされている。

現在つくば市は新エネルギー導入促進プロジェクトを進めており (つくば市, 2002)、筑波山六所平において NEDO フィールドテスト事業の協力の下、2000年11月に風況観測を開始し、2003年12月までつくば市、独立行政法人産業技術総合研究所、筑波大学の産官学が連携して観測を行った。筑波山は冬季に発生する筑波おろしが有名で (吉野, 1978)、局地風を利用した風力発電への期待が高まっている。本研究では六所平の風況観測データを用いて筑波山での風力資源を調査し、その背景となる気候学的な要因について明らかにする事を目的とする。

### 2. 六所平風況観測概要と解析方法

観測地点である六所平 (標高357 m, 北緯36度11分, 東経140度7分) は、筑波山域の南北に伸びる尾根部分に位置する (第1図 a)。観測サイトの広さは東西22.0 m×南北62.5 m で、地表はコンクリートで覆われている (第1図 b)。観測サイトの東側は幅 6 m の車道に面しており、その他は針葉樹林に囲まれている。観測機器は NRG システム (NRG System 社製) を使用した。センサー部は 1 対の三杯型風速計と矢羽型風向計により構成され、地上高20 m と 30 m の 2 か所に設置した。観測項目は10分ごとの平均風速、平均風向、風速の標準偏差および最大瞬間風速で、解析には2000年11月から2003年12月までの地上高30 m での六所平風況データを使用し、NEDO による風況精査マニュアルに準じて平均風速、最大瞬間風速、風向出現率、乱流強度及び風力エネルギー密度を算出した。乱流強度は風速の標準偏差/平均風速で与えられ、風車の耐久性やエネルギー取得量に影響を及ぼす乱流の評価として用いられる。風力エネルギー密度  $P_0$  [kWh] は単位面積当たりの風力エネルギー量で、空気密度  $\rho$  [kgm<sup>-3</sup>] と風速  $V$  [ms<sup>-1</sup>] を用いて、 $P_0 = 1/2 \rho V^3$  で表される。

風況の精査にあたり、本研究では NEDO の評価基準を用いた。これまで国内では平坦地形が少ないため安定して強い風が得られる好風況地が少なく、風力発電に向いていないという見方があったが、1993年に NEDO による風況マップが作成され、日本における潜在的な設置地域が指摘された。加えて近年の環境問題への関心の高まりや電気事業関連法令の改正による設置基準の簡素化が促進され、民間などによる風力発電の機運が高まってきている。しかしながら、風況精査に関する評価基準が一般に周知されていなかったことを受け、2001年に風況精査マニュアルが作成された。第1表は NEDO 及び JIS による風力発電のための評価基準と六所平での観測結果をまとめたものである。

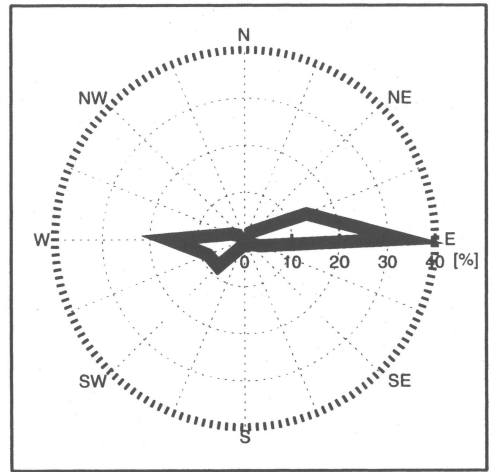
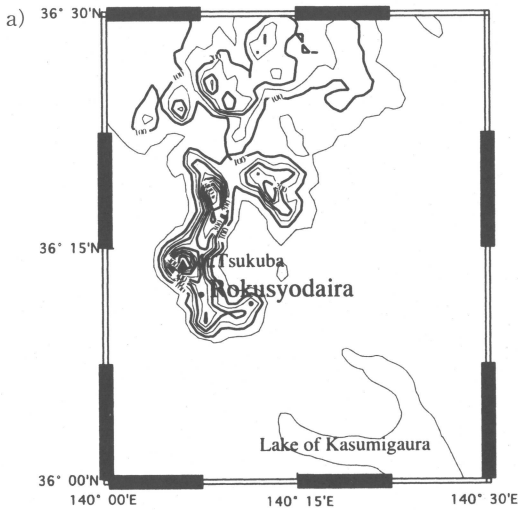
\* 筑波大学 生命環境科学研究科,  
e-mail: hueda@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

\*\* 筑波大学自然学類 (現所属 株式会社両備システムズ)。

\*\*\* 独立行政法人産業技術総合研究所。

—2004年4月14日受領—

—2004年9月28日受理—



第2図 六所平地上高30 mにおける2000年11月から2003年12月までの平均風向出現率。



第1図 筑波山六所平の (a) 概略図, および (b) 観測サイト。黒丸は六所平観測サイトを示す。実線は50 m 間隔の等高線を示す。

なお安全基準は世界標準である国際電気標準会議 (IEC: International Electrotechnical Commission) 61400シリーズを国内法規との整合性を鑑みつつ翻訳され発刊された JIS 規格 (JIS C 1400シリーズ) を参照した。これは主に安全な風車本体の設計の指針を目的としている。

### 3. 観測結果

#### 3.1 年平均

観測期間中の地上高30 mでの平均風速は $5.31 \text{ ms}^{-1}$ , 風力エネルギー密度は $189.4 \text{ Wm}^{-2}$ であった。観測期間中の最大瞬間風速は2002年7月15日14時30分に記録した $40.5 \text{ ms}^{-1}$ であるので, JISの安全基準 (地上高20 mで風速 $60 \text{ ms}^{-1}$ 未満) を満たしている。地上高30 mでの年間の風向出現率を第2図に示す。東西を主軸とする風軸上での出現率は78.36%に達し, こちらも

第1表 NEDO および JIS による基準と六所平での観測結果。

風況に関する評価項目	NEDO 評価基準値	六所平
平均風速	地上高30 m で年平均風速が $6 \text{ ms}^{-1}$ 以上	$5.31 \text{ ms}^{-1}$
風向出現率	風軸上年間風向出率が60%以上	78.36%
乱れ強度	0.3以下	0.18
安全に関する評価項目	JIS 安全基準値	
最大瞬間風速	地上高20 m で $60 \text{ ms}^{-1}$ 未満	$40.5 \text{ ms}^{-1}$

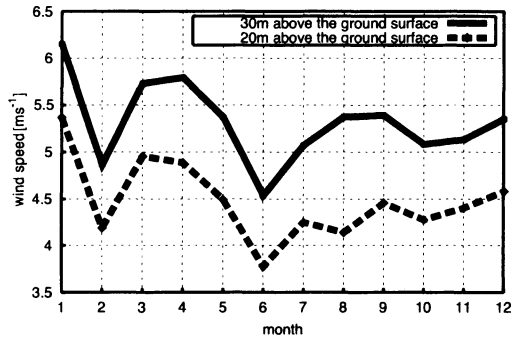
NEDO の評価基準（風軸上で60%以上）を満たしている。観測期間中における平均乱流強度は0.18で、NEDO の評価基準である0.3以下を満たしている。

一般に丘陵地域では乱流強度は0.2~0.25程度とされるが(石崎・光田, 1962), 六所平ではこれを下回った。山岳の尾根部分では縮流効果によって風速が増加し、乱流強度が小さくなる事が知られており (World Meteorological Organization, 1964), 六所平もこの影響を受けていると考えられている(小垣・松宮, 2001)。六所平において定格出力750 kW の検討風車を仮定した場合、期待できるエネルギー取得量は1742.8 MWh/年であり、一般家庭約488世帯の1年間の電力量に相当すると試算される。

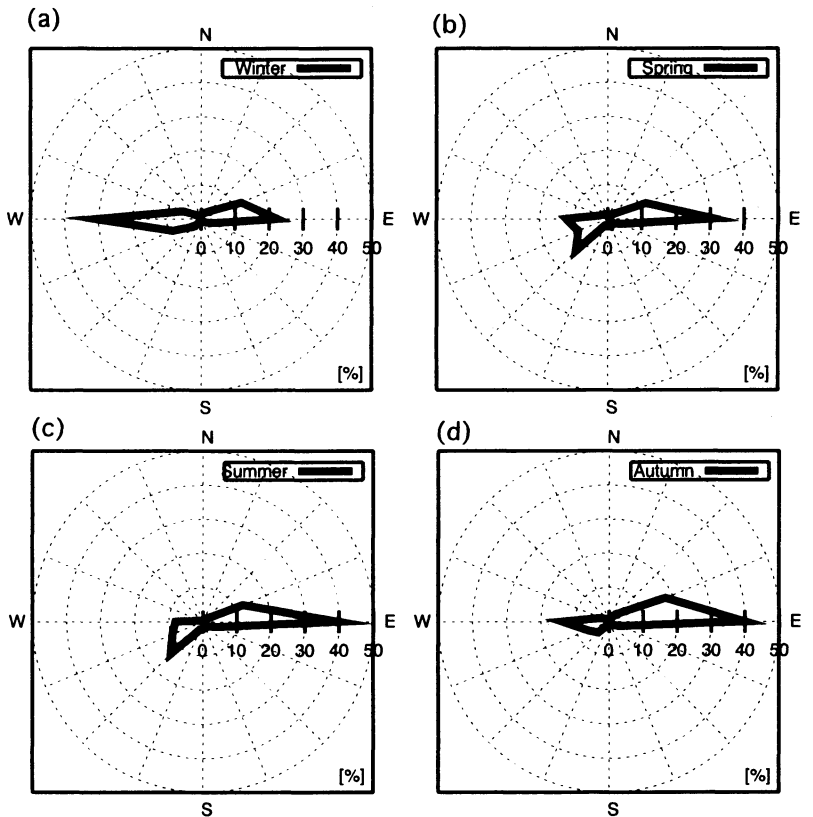
3.2 季節変化

風速の季節変化の様子を第3図に示す。冬季から春季の風速は夏季から秋季に比べて相対的に大きい傾向を示す。1年の中で2月と6月で風速が小さくなるが、その他の月での風速は  $5 \text{ ms}^{-1}$  を超えている。第4図は季節平均(3か月)した風向出現率を示す。冬季(第4図 a)では東風と西風の出現頻度が高く、とりわけ西風が1年の中で最多風向となっている。これは冬季に関東地方で卓越する一般風と矛盾しない(河村, 1966; 河村, 1977; 吉野ほか, 1977)。

春季(第4図 b)になると西風が減少し、東風が卓越する。また南西風の出現頻度も高い。夏季(第4図 c)では東北東と東風が非常に卓越し、その出現率は40%以上になる。秋季(第4図 d)では引き続き東北東と東風の出現割合が高いが、南西風の割合が減少し、西風の出現頻度が増加している。



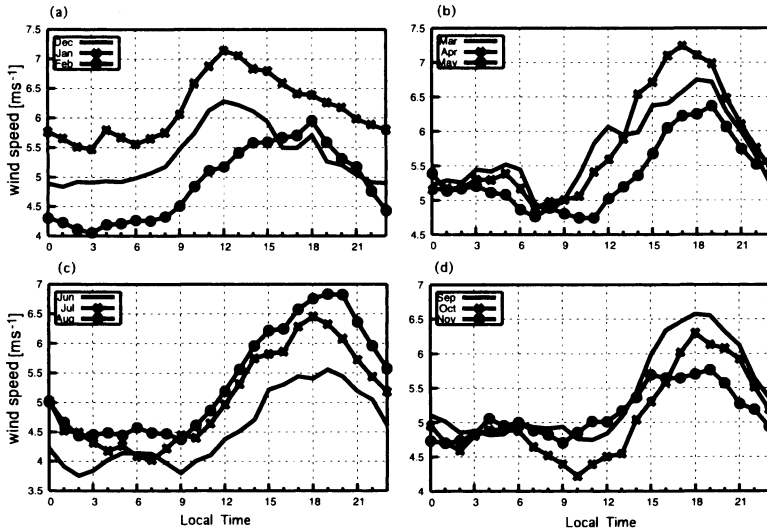
第3図 六所平における2000年11月から2003年12月までの月別平均風速。実線は地上高30 m, 破線は地上高20 mでの風速を示す。



第4図 六所平における地上高30 mでの風向出現率の季節変化(2000年11月から2003年12月)。(a) 冬季: 12月~2月 (b) 春季: 3月~5月, (c) 夏季: 6月~8月, (d) 秋季: 9月~11月。

3.3 日変化

第5図に季節毎の風速の日変化を示す。年間を通して日中に風速が強く、夜間に弱い傾向が見られる。冬



第5図 六所平における地上高30 mでの風速の日変化(2000年11月から2003年12月). (a) 冬季:12月~2月 (b) 春季:3月~5月, (c) 夏季:6月~8月, (d) 秋季:9月~11月.

季(第5図 a)は午前6時頃に風が強くなり始め, 12時頃に極大となり, それ以降の風速は減少している. 春季(第5図 b)では午前7時頃にやや風が弱まり, それ以降の風速は増加傾向に転じ, 17時から18時に極大を迎える. 夏季(第5図 c)の日変化は春季と比べ, 最大風速の出現時刻が1~2時間ほど遅れる傾向を示す. 秋季(第5図 d)も春季や夏季と類似した様相を示すが, 風速が極大を迎える時間は夏季と比較して1~2時間程早くなっている.

一般に大気境界層内では昼間の日射により混合層が発達することによって, 鉛直方向での運動量が混合される. その結果として境界層下層では風が強くなり, 反対に日没後は混合層の衰退とともに風が弱まる事が知られており(竹内, 1997), 六所平での観測結果と一致している.

春季から秋季の関東平野では熱的な原因による局地循環が発達し, 日変化スケールの山谷風や海陸風などの風系が卓越する(藤部・浅井, 1979). 特に大規模海陸風は関東平野広域に出現し, 18時頃にピークを迎えることが知られている(浅井, 1996). これは春季から秋季で風速が極大を迎える時間と一致している. また筑波山周辺には鹿島灘や房総半島から進入する海風と東京湾から進入する海風が確認されており(吉野・甲斐, 1978; 河村, 1981), 春季から秋季に卓越する東北東と東風は鹿島灘や房総半島からの海風に対応してい

る可能性がある. 南西風は東京湾からの海風と一致している. 大規模海陸風は北西モンスーン気流の発達に伴い衰退する. このことは冬季の最大風速の出現時刻が他の季節に比べて相対的に早まることと矛盾しない.

#### 4. まとめ

筑波山六所平において風力発電導入に向けた風況調査を2000年11月から2003年12月の期間に行った. 地上高30 mでの観測期間中の平均風速は $5.31 \text{ ms}^{-1}$ , 風力エネルギー密度は $189.4 \text{ Wm}^{-2}$ , 乱流強度は0.18で

あり, 観測期間内に記録した最大瞬間風速は $40.5 \text{ ms}^{-1}$ であった. これらの結果はいずれも NEDO および JIS の基準を満たしており, 風力発電に適している.

年間を通して卓越風向は東西方向で安定しており, 2月を除く冬季と春季で風が強く, 夏季と秋季は相対的に風が弱まる傾向を示した. 風速の日変化を調べたところ, 冬季では12時頃に風速が極大となり, 春季から秋季では18時頃に風速が最大となっていた.

六所平で定格出力750 kW の風車を仮定した場合, 年間1742 MWh のエネルギー取得が期待でき, 筑波山での風力発電は可能といえる. しかし国定公園に指定されている筑波山での風力発電建設には許可が必要であり, 自然環境への影響を十分に考慮しなければならない. 国定公園内での風力発電建設の規制を緩める制度が浮上し, さらに地域新エネルギー促進事業や新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法などの導入支援制度も進められており, 今後の筑波山での風力発電導入の動向に注目したい.

#### 謝辞

本研究を進めるにあたり, つくば市市民環境部環境課新エネルギー推進室室長小神野一巳氏にご助力を頂きました. また継続的なデータの取得に際し, 筑波大学 climate 研究室所属学生および堀 正岳準研究員の支援に感謝します.

## 参 考 文 献

- 浅井富雄, 1996: ローカル気象学, 東京大学出版会, 10-44.
- 石崎澁雄, 光田 寧, 1962: 強風時における突風の拡がり突風率について, 京都大学防災研究所報告.
- 河村 武, 1966: 中部日本における冬の地上風系, 地理学評論, **39**, 538-554.
- 河村 武, 1977: 全国地上風分布図, 気象庁技術報告, (99), 76pp.
- 河村 武, 1981: 関東平野における風系と気温分布, 筑波の環境研究, (6), 182-189.
- 小垣哲也, 松宮 輝, 2001: 複雑地形における風特性, 第23回風力発電利用シンポジウム, 203-204.
- 新エネルギー産業技術総合開発機構, 2001: 風力発電導入ガイドブック, 123pp.
- 竹内清秀, 1997: 風の気象学, 東京大学出版会, 130pp.
- つくば市, 2002: つくば市における風力発電フィールドテスト事業 (風況精査) 報告書, 44pp.
- 藤部文昭, 浅井富雄, 1979: 関東地方における局地風に関する研究—第一部日変化を伴う風系の構造—, 天気, **26**, 595-604.
- 松宮 輝, 1994: ここまで来た風力発電, 工業調査会, 228pp.
- World Meteorological Organization, 1964: Sites for Wind-Power Installations, Technical Note, **63**, 38 pp.
- 吉野正敏, 高橋浩一郎, 甲斐啓子, 小林 守, 林 陽生, 1977: 関東平野部における冬の晴れた日の気流と気温分布, 筑波の環境研究, (2), 121-128pp.
- 吉野正敏, 1978: 小気候, 地人書館, 298pp.
- 吉野正敏, 甲斐啓子, 1978: 関東平野部における夏の晴れた日の気流と気温分布, 筑波の環境研究, (3), 141-149.

## Evaluation of Potential for Wind Power Generation at Rokushodaira of Mt Tsukuba

Hiroaki UEDA\*, IDEMORI Kouichirou\*\* and KOGAKI Tetsuya\*\*\*

\* (Corresponding author) Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

\*\* (Present affiliation) Ryoubi System Ltd.

\*\*\* National Institute of Advanced Industrial Science Technology.

(Received 14 April 2004 : Accepted 28 September 2004)



### 一 覧 表

第36回 (平成17年度) 三菱財団自然科学研究助成の募集	915
武田シンポジウム2005開催のお知らせ	930
第46回科学技術映像祭参加作品募集	937