

鳥取砂丘における自然エネルギー評価

—風力および太陽エネルギー—

若 良二*, 田川公太郎*, 趙 解春**

Evaluation of Natural Energy at Tottori Sand Dune

— Wind and Solar Energies —

WAKA Ryoji *, TAGAWA Kotaro *, ZHAO JieChun **

キーワード：風力エネルギー，太陽エネルギー，鳥取砂丘

Key Words : Wind Energy, Solar Energy, Tottori Sand Dune

1. はじめに

エネルギーは国民生活や経済活動を支える基盤であり，その供給は石油，石炭などの化石燃料に依存している。現在，人口の増加および生活の向上から，エネルギー消費量は増加の一途をたどっており，それに伴う化石燃料の燃焼によって炭酸ガスや窒素酸化物などが大気中に多量に排出され，地球温暖化や酸性雨の地球規模の環境問題が顕在化している。また，発展途上国やアジア地域における石油需要の増加，石油供給における中東依存度の上昇などが危惧されており，将来におけるエネルギー安定供給の確保が強く求められている。

このような資源・エネルギー問題を解決する一方策として，環境へ与える負荷が小さく，無尽蔵で，再生可能な自然エネルギーの利用が積極的に推進されている。このうち，風力および太陽エネルギーを利用した風力発電および太陽光発電は，エネルギー密度が希薄であること，気象条件による影響を受けること，経済性についての課題があることなどの問題はあものの，各発電技術は実用化レベルに達しており，世界の広範囲においてエネルギー賦存量の調査が実施されている。

一方，風力および太陽エネルギーは地域固有のエネルギーであり，地域活性化および街づくりの観点から，地域住民が容易に取り組むことができるエネルギー分野である。したがって，風力および太陽エネルギー利用技術を地域に導入することは，地域における普及啓発や学校における環境教育を促進し，エネルギー問題に対する地域住民の意識を高めるという意義も有している。

これまでの研究では，風力エネルギーに着目し，1998年および1999年に実施した鳥取砂丘における風況精査の結果から，鳥取砂丘における風力発電の可能性について検討した^①。

本研究では，風力および太陽エネルギーに着目し，鳥取砂丘における風況精査（継続）および日射測定を行い，その結果から風力および太陽エネルギー密度に関する評価を行った。

*鳥取大学教育地域科学部 地域設計学講座

**鳥取大学大学院教育学研究科 教科教育専攻

2. 調査目的

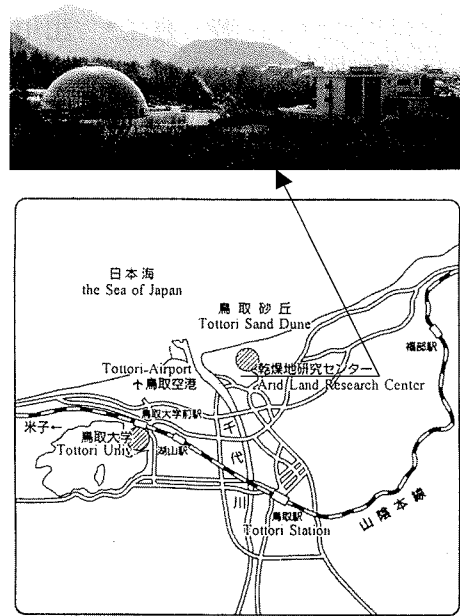
本調査では、「鳥取大学乾燥地研究センター」の敷地内において、風速・風向および全天日射量・日照時間を観測し、鳥取砂丘における風況特性および日射特性を明らかにする。さらに、風力および太陽エネルギー密度を算定し、両者のエネルギー密度の相関関係を究明することを目的とする。

3. 観測方法

図1に観測地点の概略的な位置を示す。観測は鳥取大学乾燥地研究センター（鳥取市浜坂1390番地；北緯35度30分，東経134度15分）の敷地内で行った。観測期間は、1999年10月1日から2000年9月30日までとした。

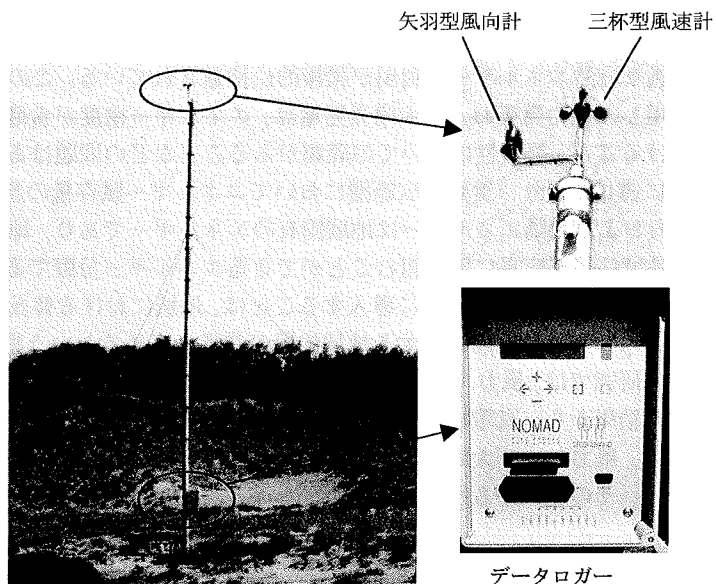
図2に風況観測機器（Second Wind社製：NOMADシステム）を示す。本観測機器は、海岸から内陸側へ約280mの位置にある標高30mの砂丘地に設置されている。測定部である三杯型風速計および矢羽根型風向計は、垂直に設置された観測ポール（地上高さ10m）の先端に取り付けられている。観測では、風速および風向を測定し、1分間平均

図1. 観測地点の概略的な位置



（鳥取大学乾燥地研究センターパンフレットより引用）

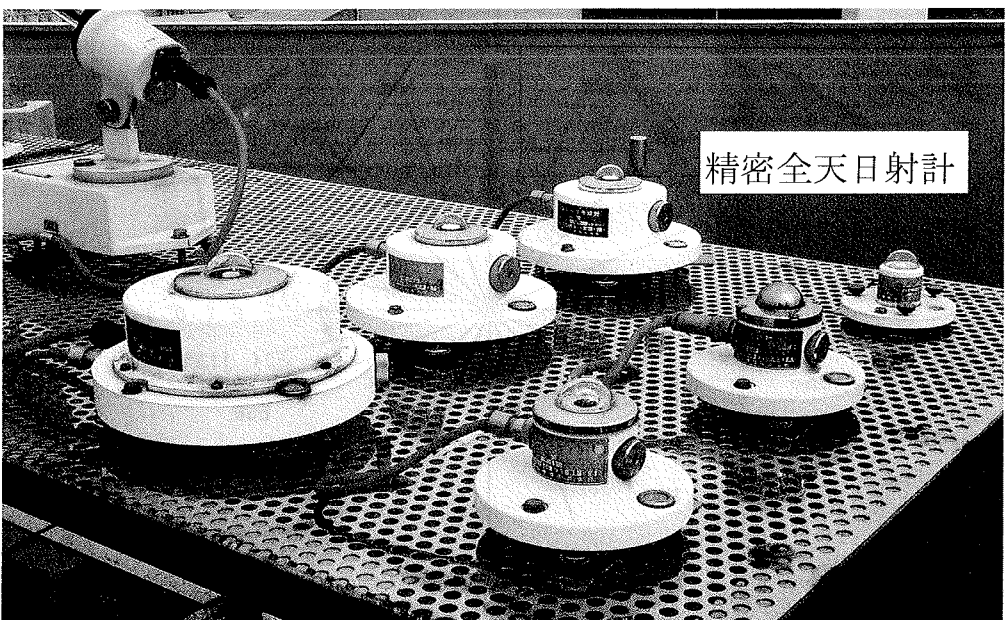
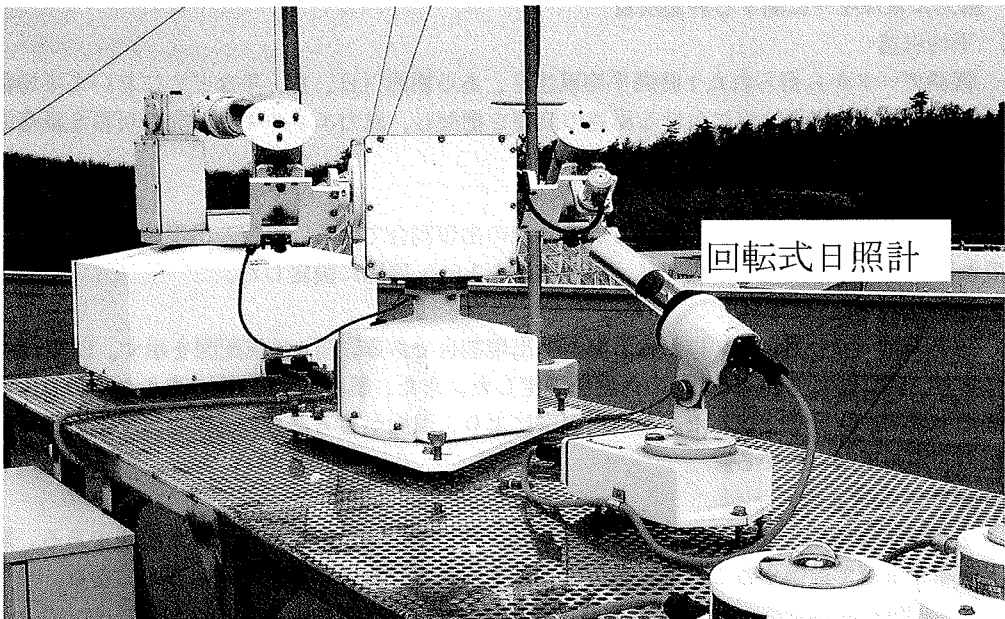
図2. 風況観測機器



値をデータロガーに自動記録した。

図3に太陽エネルギー観測機器を示す。本観測機器は、乾燥地研究センターの屋上に設置されている。観測では、精密全天日射計（英弘精機製 MS-801）で全天日射量を測定し、1分間積算値をデータロガーに自動記録した。また、回転式日照計（英弘精機製 MS-091）で日照時間を測定し、データロガーに自動記録した。

図 3. 太陽エネルギー観測機器



4. 評価項目

風力および太陽エネルギーに関して、測定データから得られる評価項目の中で、本論文で報告する項目を以下に挙げる。

4.1 風力エネルギーに関する評価項目

(1) 平均風速

観測データから得られた1時間平均風速を、ある期間(日, 月, 年など)において平均化した風速である。観測地点における風速の概要を把握し、風力エネルギー開発の可否を概略的に検討することができる。

(2) 風速出現率

ある期間(日, 月, 年)における風速階級の出現割合である。風速の出現特性を明らかにするために重要である。本観測では、風速階級を1 m/s 間隔に設定した。

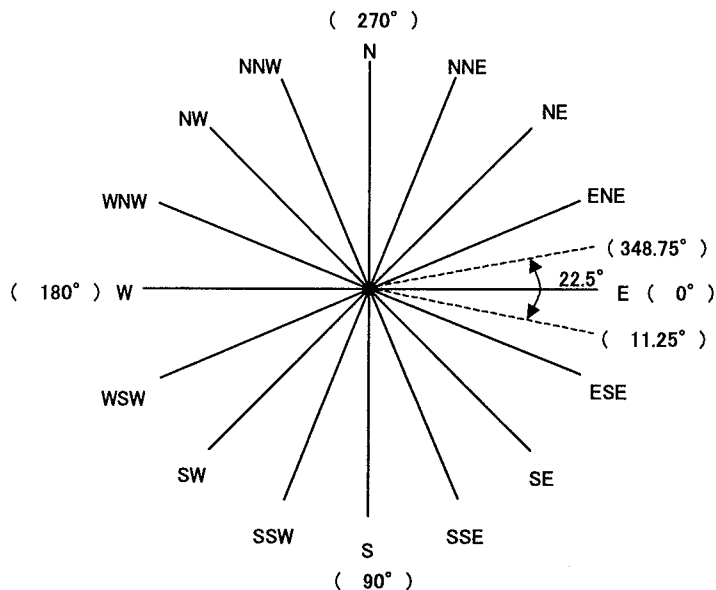
(3) 風向出現率

ある期間(日, 月, 年)における風向の出現割合である。図4に風配図を示す。E(東)を 0° にとり、時計回り方向に 360° の角度を設定した。また、風向は16方位で表されており、各風向の出現率を百分率で表した。風向出現率により、風向がもっとも頻繁に出現する方位、すなわち、卓越風向がわかる。

(4) 風向別平均風速

各風向の1時間平均風速を、ある期間(日, 月, 年)において平均化した風速である。風向出現率と併せて評価することで、風力エネルギー利用における主風向が明らかになる。

図4. 風配図(風向16方位の区分要領)



4.2 太陽エネルギーに関する評価項目

(1) 全天日射量

地表面に到達する日射には、太陽から地表面へ直接到達する直達日射と大気により散乱されて全天空から到達する散乱日射がある。これらを合わせた日射量が全天日射量であり、単位時間、単位地表面積あたりに到達する日射のエネルギー量 $[J / (m^2 \cdot s)] (= [W / m^2])$ で表される。また、全天日射量のある期間(日、月、年)にわたって積分した積算日射量 $[MJ / m^2]$ は、気候を表す指標として重要である。

(1) 日照時間

太陽の直射光が地表面を照射した時間である。WMO (World Meteorological Organization, 世界気象機関) では、直達日射量が $120 W / m^2$ 以上の日射量がある場合に、「日照がある」と定義している。

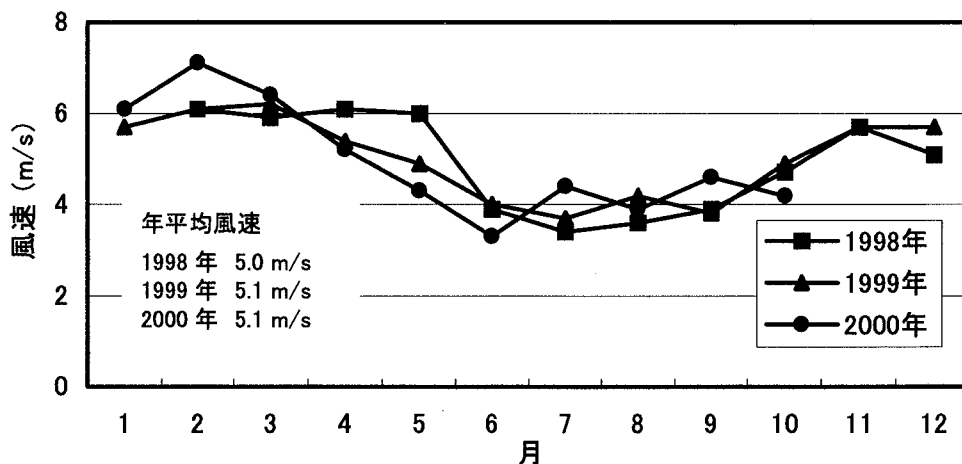
5. 観測結果

5.1 風力エネルギー

5.1.1 平均風速

図5に月平均風速の季節変化を示す。また、1998年および1999年における観測結果^①も併せて示す。月平均風速は冬期に大きく(2月に7.1 m/s)、夏期に小さく(6月に3.3 m/s)になっており、日本特有の傾向が見られる。過去2年間の観測結果と比較しても、季節変化および年平均風速はほぼ同じである。また、地上高さ10mにおける年平均風速が5.0 m/s以上の場合、風力発電が有望視されている^②ことから、冬期を中心とした11月から4月にかけて、風力発電が期待できる。

図5. 月平均風速の季節変化



5.1.2 風向出現率

図6および図7に月別および年間の風向出現率を示す。図6において、SSW(南南西)あるいはS(南)からの風が年間を通して出現しており、鳥取砂丘では南寄りの風が安定していることがわかる。また、冬期を中心とした10月から5月において、SSW(南南西)の風向出現率が他の風向より

も著しく大きくなっている。図7において、年間の卓越風向はSSW（南南西）であり、次にS（南）である。このように卓越風向が年間を通して安定していることは、風力発電の導入を検討する際に重要な指針となる。

図 6. 月別の風向出現率

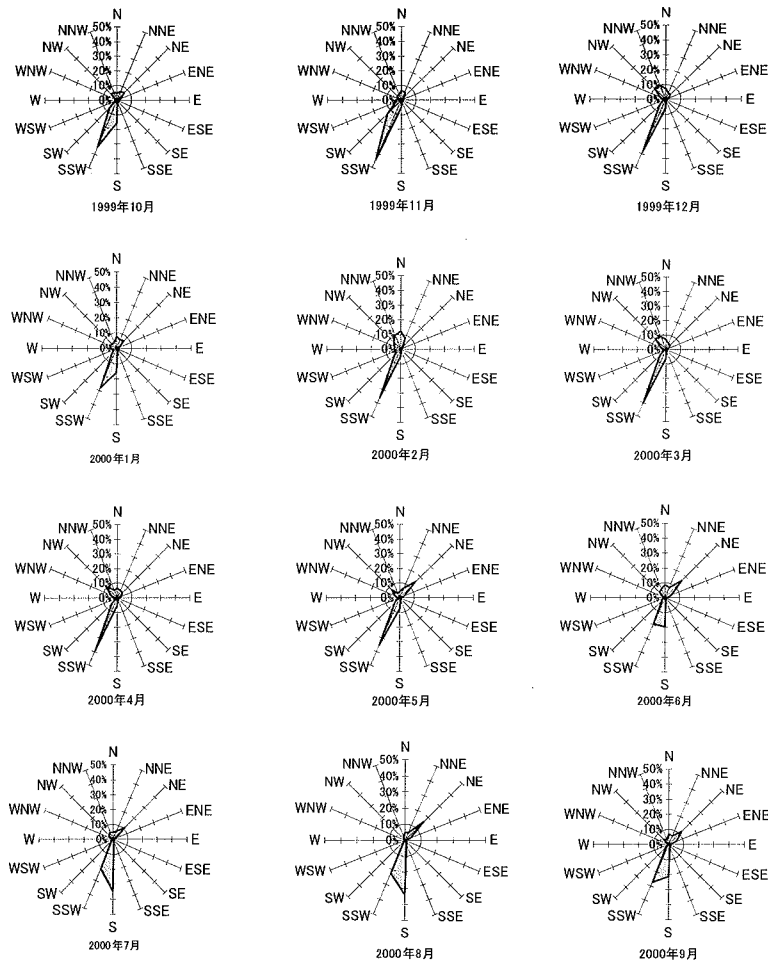
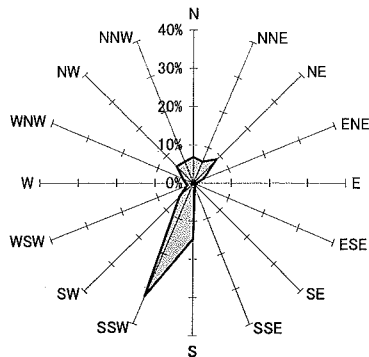


図 7. 年間風向出現率

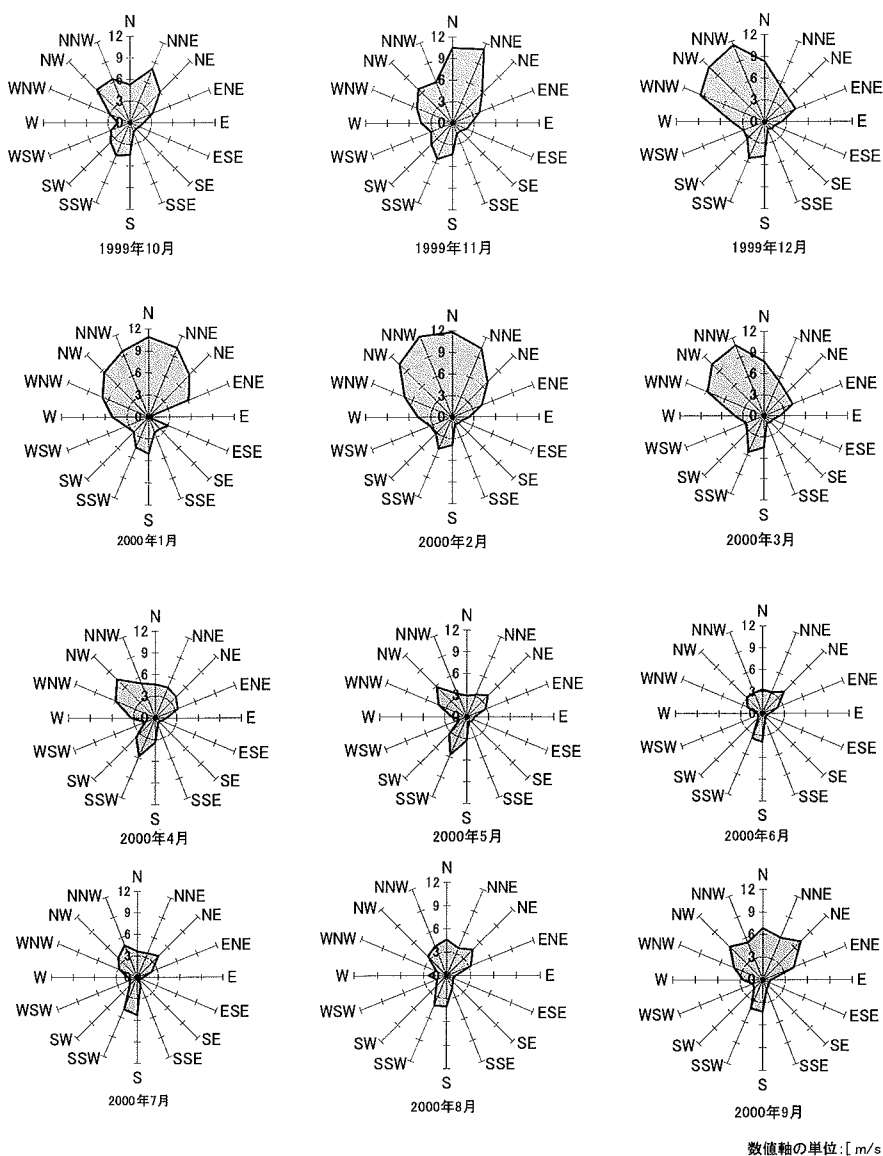


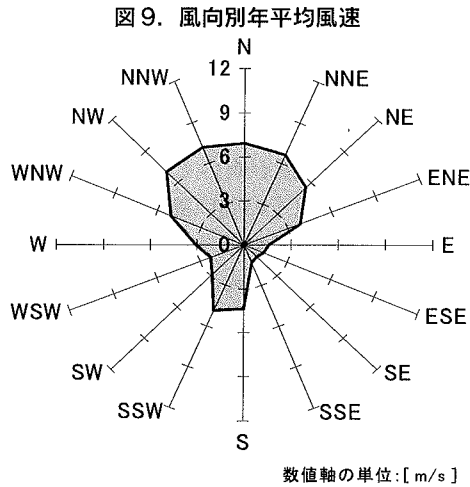
5.1.3 風向別平均風速

風向別月平均および年平均風速を図8および図9に示す。図8において、冬期を中心とした10月から4月において、N(北)を中心としたWNW(西北西)からNE(北東)にかけての月平均風速が著しく大きくなっている。図9において、5.1.2で示した風向出現率を併せて考慮すると、南寄りの風は卓越風向であるものの、5 m/s弱の風が吹いていること、北寄りの風は年間を通して出現率が低い、風力発電に利用可能な6 m/s以上の強い風が吹いていることがわかる。

以上のことから、鳥取砂丘における風力エネルギーを利用する場合、卓越風向かつ年間を通して安定している南寄りの風および出現率は低いものの冬期における北寄りの風を有効に利用することが重要である。

図8. 風向別月平均風速





5.2 太陽エネルギー

5.2.1 全天日射量

図10に日積算日射量の月平均値を示す。夏期(7月)における日射量は、冬期(1月)の場合の約4.0倍である。また、6月は梅雨の時期であり、夏期の他の月よりも日射量は減少している。これらのことから、日本の気候条件に対応して、日射量の季節間格差が大きいことがわかる。また、鳥取砂丘における日射量の年平均値 13.2 MJ/m^2 は、日本各地における日射量の平年値^③(1971年から2000年までの平均値) $11.0 \sim 15.0 \text{ MJ/m}^2$ の範囲内にあることから、鳥取砂丘における日射は比較的に良好であるといえる。

図10. 日積算日射量の月平均値

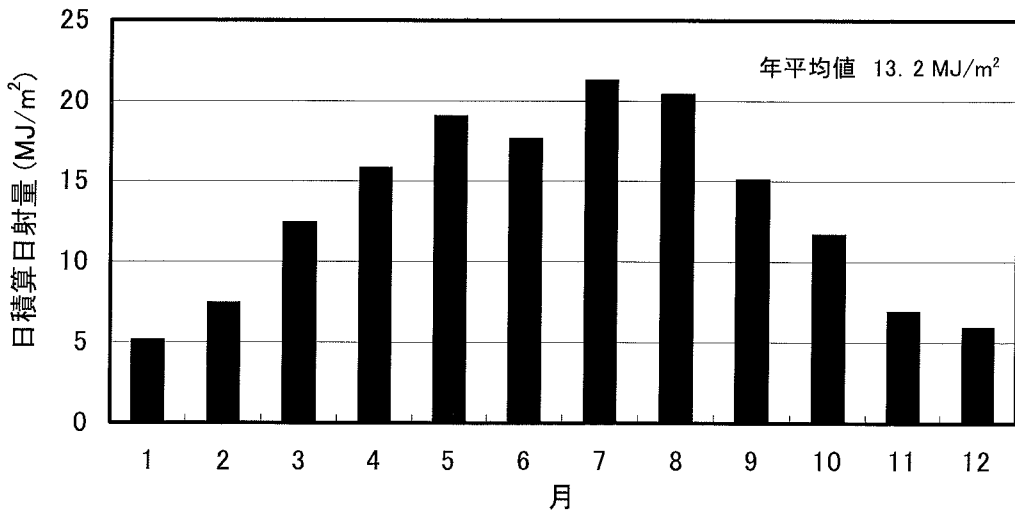
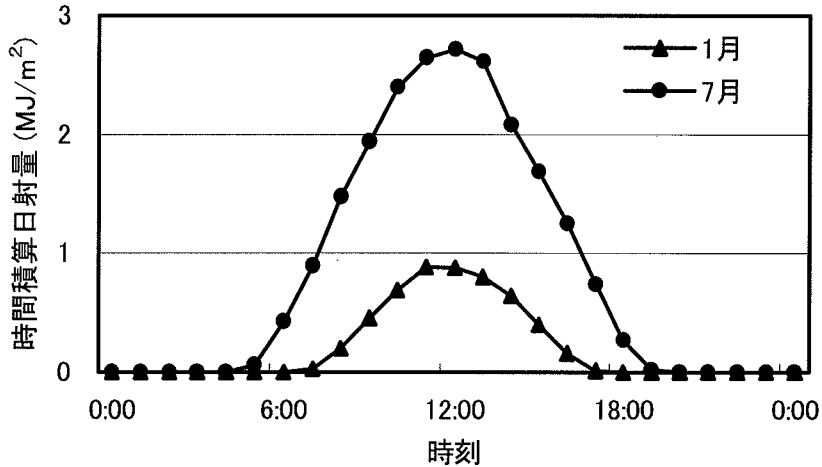


図11に1月および7月における時間積算日射量の月平均値を示す。いずれの月においても、日射量は12:00付近で最大となっており、7月における日射量の最大値は、1月の場合の約3.1倍である。

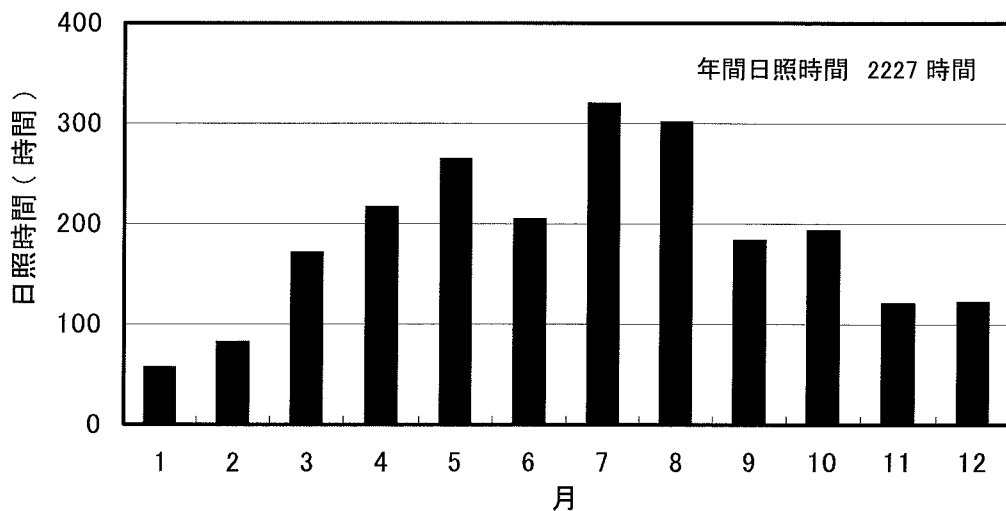
図11. 1月および7月における時間積算日射量



5.2.2 日照時間

図12に月別の日照時間を示す。日射量の場合と同様に、日照時間の季節間格差も顕著であり、夏期(7月)における日照時間は、冬期(1月)の場合の約5.7倍である。本観測で得られた年間日照時間2227時間は、日本各地における日照時間の平年値^④(1971年から2000年までの平均値)1500~2000時間を大きく上回っており、太陽エネルギーを利用する上で望ましい結果である。しかしながら、観測期間が1年間と短いことを考えれば、本観測で得られた年間日照時間は、年々変動している年間日照時間の最大側であるという評価にとどめておくことが妥当であろう。したがって、年間日照時間の経年変化を把握するためにも、日照時間の観測を継続することが必要である。

図12. 月別の日照時間



6. 風力および太陽エネルギー密度

風力および太陽エネルギーを定量的に評価するために、それぞれのエネルギー密度を算出する。風力エネルギー密度は、空気密度および風速を用いて、次式で表される。

$$(\text{風力エネルギー密度}) = (1/2) \times (\text{空気密度}) \times (\text{風速の3乗})$$

風力エネルギー密度が風速の3乗に比例することは、風力発電の導入を検討する際において、風速が大きい場所を選定する所以である。

一方、太陽エネルギー密度は、積算日射量を積算時間で除することにより算出される。

図13に風向別風力エネルギー密度を示す。北寄りの風による風力エネルギー密度は、南寄りの風の場合よりも約3倍大きい。これは、北寄りの風の風速が南寄りの風の風速よりも大きく、その風速の3乗にエネルギー密度が比例することから、顕著な差となって表れたものである。米国のDOE (Department of Energy; エネルギー省) では、地上高10 mにおける風力エネルギー密度が150W/m²を上回る場合、風力発電における事業化レベルの開発が可能であると評価している。したがって、150W/m²を上回る風力エネルギー密度を有する方位は、N (北) を中心としてNW(北西)からNNE(北北東)にかけての範囲であり、これらの方位の風を有効に利用することで鳥取砂丘における風力発電の事業化は十分に期待できる。

図13. 風向別風力エネルギー密度

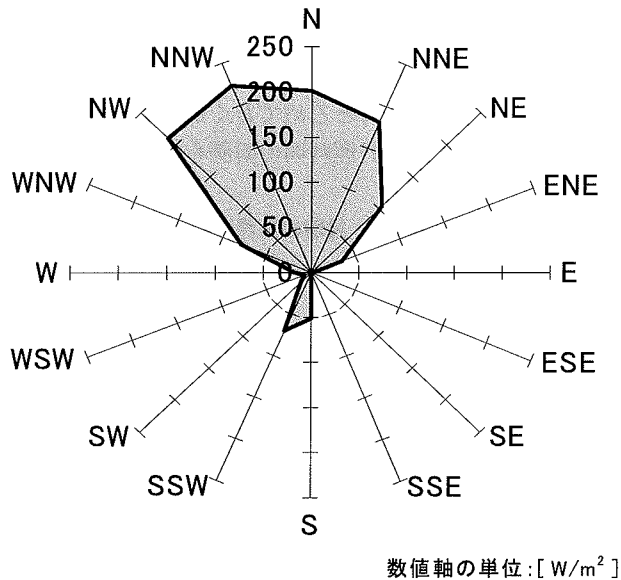
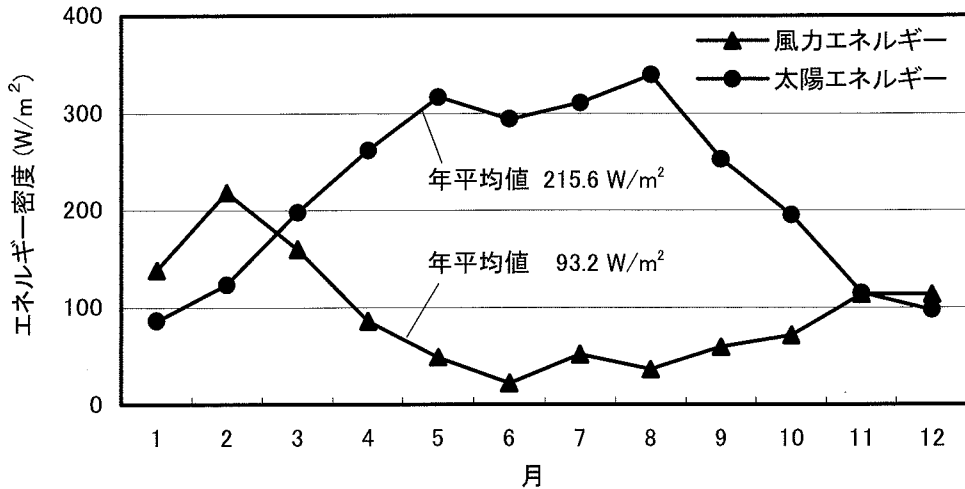


図14に風力および太陽エネルギー密度の月別変化を示す。それぞれのエネルギー密度は、月平均風速および月積算日射量を用いて算出した。風力エネルギー密度は、風速が強くなる冬期の方が夏期よりも大きくなるのに対し、太陽エネルギー密度は、日射量および日照時間が大きくなる夏期の

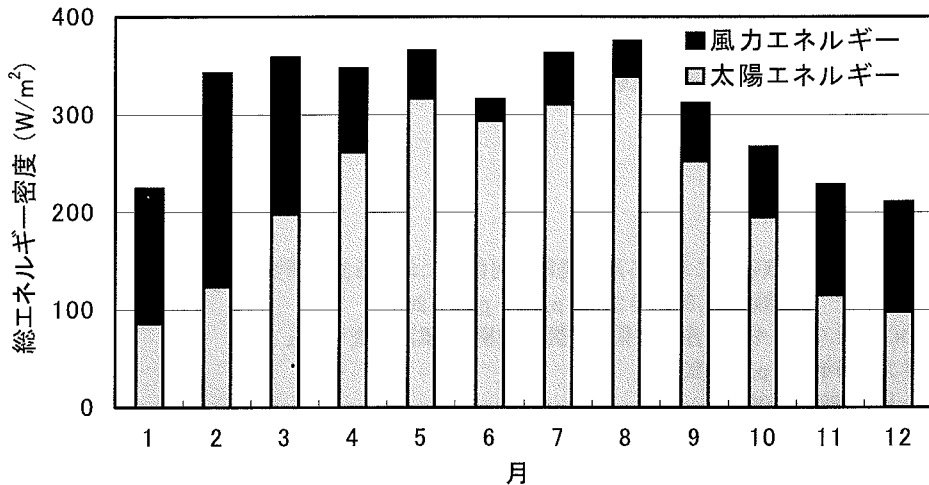
方が冬期よりも増加している。このことから、いずれのエネルギー密度にも季節間格差が存在することがわかる。また、両者のエネルギー密度を比較すると、冬期を除いて太陽エネルギー密度の方が風力エネルギー密度を上回っており、太陽エネルギー密度の年平均値は風力エネルギー密度の場合の約2.3倍である。

図14. 風力および太陽エネルギー密度の月別変化



鳥取砂丘において、風力および太陽エネルギーを効率よく利用するためには、両者のエネルギー密度の季節間格差を解消することが重要である。そこで、風力エネルギーと太陽エネルギーを複合利用する場合を想定する。図15に複合利用における総エネルギー密度の月別変化を示す。総エネルギー密度は、風力および太陽エネルギー密度の和である。総エネルギー密度は、2月から10月にかけてほぼ安定しており、風力および太陽エネルギーを単独利用した場合に生じる季節間格差が緩和されている。このことから、風力および太陽エネルギーを複合利用したハイブリッドシステムの構築が有効であることがわかる。

図15. 総エネルギー密度の月別変化 (風力および太陽エネルギー)



7. まとめ

本研究では、自然エネルギー利用の観点から、最も普及が期待される風力および太陽エネルギーに着目し、鳥取砂丘における風速・風向および全天日射量・日照時間の観測を行った。その観測結果に基づき、鳥取砂丘における風況特性、日射特性、ならびに風力および太陽エネルギー密度に関して、以下の結論を得た。

- (1) 地上高さ10mにおける風の年平均風速は5.1m/sであり、風力発電の導入が有望視される風速の条件を満たしていることを確認した。卓越風向はSSW(南南西)の方位であり、SSW(南南西)およびS(南)の風が年間を通して安定していることがわかった。また、風向出現率は低いものの、冬期におけるN(北)を中心としたNE(北西)からNW(北東)の年平均風速が、他の風向の場合よりも大きいことがわかった。
- (2) 夏期における日積算日射量および日照時間は、冬期の場合に比べて、4.0倍および5.1倍と大きいことがわかった。また、日射量の年平均値は日本各地の平年値の範囲内であり、年間日照時間は日本各地の平年値を大きく上回っていた。これらのことは太陽エネルギーを利用する上で望ましい結果であるが、観測期間が1年間と短いので、日射量および日照時間の観測を継続することが必要である。
- (3) 冬期に出現する北寄りの風によって得られる風力エネルギー密度は、他の風向の風によって得られるエネルギー密度よりも顕著に大きくなっており、風力エネルギー密度は冬期の方が夏期よりも増加していることが明らかになった。
- (4) 太陽エネルギー密度は、夏期の方が冬期よりも増加していることがわかった。また、冬期を除いて風力エネルギー密度を上回っており、太陽エネルギー密度の年平均値は風力エネルギー密度の場合よりも約2.3倍大きいことがわかった。
- (5) 風力および太陽エネルギーを複合利用した場合、各エネルギーを単独利用した場合に比較して、エネルギー密度の季節間格差が緩和されたことから、風力および太陽エネルギーを複合したハイブリッドシステムの有用性を示した。

以上の結果を踏まえて、風力および太陽エネルギーを複合利用したハイブリッドシステムの実用化を図るためには、風況および日射観測データの蓄積、総エネルギー取得量の算定、システムの最適化、経済性の評価などに、実証試験によるシステムの性能評価を加えた総合的な検討が重要な課題となるであろう。

8. 参考文献

- (1) 若 良二ら; “鳥取砂丘における風力発電の可能性における調査研究”, 鳥取大学教育地域科学部紀要 地域研究, 第1巻2号, p.65 - p.82 (2000)
- (2) NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構); 風況精査マニュアル
- (3) 丸善; 理科年表, p.261 (2000)
- (4) 同 上, p.205 (2000)