

## 風力エネルギーの気象学的研究

### A Meteorological Study on the Wind-Generated Power

森本 妙子

Taeko MORIMOTO

#### 1. まえがき

1997年に京都で開催されたCOP3(気候変動枠組条約第3回締約国会議)で、日本は温室効果ガス(CO<sub>2</sub>など)1990年比で6%の排出削減を決めた。電力業界では、2010年度のCO<sub>2</sub>排出原単位(消費電力1kWh当たりのCO<sub>2</sub>排出量)を1990年比で18%削減を目標としている。日本政府は、火力発電を抑えて代わりに原子力発電を中心にしていく方針である。しかし、原子力発電はまだ解決されていない問題が多く残っている。そこで今、自然エネルギーが注目を浴びている。再生可能な自然エネルギーを電力供給の主力にするのが一番理想的ではあるが、その可能性は未知数である。ヨーロッパ諸国の自治体では、電力を100%自然エネルギーで賄う計画があるほどなので、不可能ではないと思われる。

本研究では、自然エネルギーで最も発展の著しい風力発電の現状の把握、及び今後の可能性について調査した。また、日本の風力発電の先駆けにもなった山形県立川町をモデルケースとして、風力発電からみた風況の特性についての解析を行なった。

#### 2. 日本における風力発電

##### 2.1 風力発電の現状と近い将来計画

###### 2.1.1 日本の風力発電導入状況

現在、日本にある風力発電は203基、総出力約8万kW(2000年3月末現在)である。しかし、世界と比較するとまだまだ少なく、1999年末の時点で世界の風力発電導入量(約1400万kW)の

0.5%にも満たない(表1)。日本政府は2010年までに30万kWという目標を掲げているが、2002年までに目標以上の36万kW(運転予定のものを含める)に到達する予定である(文献⑩)。国内の導入量(表2)を見ると、北海道・東北地方が2002年には総出力10万kW以上になる予定である。他の地域では中部地方が倍増している以外では導入量が少ない。これは、発電の元となる風が北海道・東北地方においては良い環境にあるのに対し、他の地域ではそれほど良い風況が見込まれないのも一因であると思われる。これについては、2.2 日本全国の気象管署地点における発電電力量の推測で検証する。一方、北海道・東北地方での激増分は、大型風車(出力1000~1500kW)の普及や大規模風力発電施設の建設増加によるものと考えられる。現在建設予定の風力発電所でも、総出力3万kW級(国内最大級)の発電施設が多く見られる。

###### 2.1.2 日本の発電構成

現在、発電電力量の主力になっているのは火力発電で全体の55%を占めている(図1)。次に原子力発電(35%)、水力発電(10%)と続く。風力発電を含む新エネルギーは、全体の0.15%でしかない。2010年度対策ケースでは、火力発電は10%以上削減され(特に石油火力)、原子力発電とほぼ同じ割合としている。

風力発電による年間発電電力量を下記の式を用いて試算する。1996年時の風力発電導入量(総出力約1万3000kW)では、年間発電電力量は約1700万kWhになり全体の0.01%にも満たない。1999年(総出力約8万kW)では、約1億

表1 主な国々の風力発電導入状況と導入目標

(文献 ②)

出典：1999年導入量 BTM Consult Aps, "International Wind Energy Development" March 2000

導入目標 International Energy Agency, "IEA WIND ENERGY ANNUAL REPORT 1998", April 1999, WIND Direction, Vol. XVII No.4 April 1999

	1999年実 (MW)	割合 (%)	導入目標
日本	68	0.49	2010年までに300MW
アフリカ	2,445	17.55	2010年までに全米で1万MW
中国	262	1.88	2010年までに1000~1100MW
EU	9,737	69.89	2010年までに4万MW、2020年までに10万MW
ドイツ	4,442	31.88	2010年までに風力発電による電力供給を全体の10%にする
デンマーク	1,738	12.47	2030年までに5500MW(洋上風力発電プラント4000MWを含む)
スペイン	1,812	13.01	2030年までに1020~9300MW(地方自治体ごとに目標設定)
オランダ	433	3.11	2020年までに2750MW(洋上風力発電プラント1250MWを含む)
イギリス	362	2.60	2010年までに風力発電による電力供給を全体の6%にする
イタリア	277	1.99	2010年までに300MW
ギリシャ	158	1.13	2005年までに350MW
世界の導入量合計	13,932	100	

表2 日本の地域別導入量 (kW)

出典：NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) (文献 ②)

	実績(2000年3月 以前の設置)	計画(NEDO2000年度まで の事業決定分)	合計
北海道	37,788	108,820	146,608
東北	15,352	118,330	133,682
関東	3,592	0	3,592
北陸	4,130	600	4,730
中部	992	16,500	17,492
近畿	380	6,000	6,380
中国	474	0	474
四国	3,275	0	3,275
九州	10,115	8,840	18,955
沖縄	7,185	1,800	8,985
全国	83,578	260,890	344,468

kWh/年で全体の0.01%, 2010年導入目標である約30万kWでは, 約4億kWh/年で全体の0.04%である。

※風力発電による発電電力量は, 設備利用率と風車の出力から試算した(①の式)。

$$\text{年間設備利用率(\%)} = \frac{\text{年間発電量(kWh/年)}}{\text{出力} \times 8760(\text{時間})} \times 100 \dots\dots\dots \text{①}$$

設備利用率は, 1998年における風力発電運転実績の公表値(「風力エネルギー」, Vol.22 No.1-No.4, Vol.23 No.1 文献①)の年平均値から15%と設定した。以後, この論文での風力発電による発電電力量は, 設備利用率15%で計

算する。

2.1.3 建設・発電コスト

この2, 3年の間で, 風力発電の建設・発電コストは確実に下がっている(表3)。出力600kWの風車1基の建設コストは, 1996~97年では3~3.8億円であったが1999年には1.5~2.3億円と約半分まで下がっている。また, 出力1000kW級の風車が主流になりつつある現在, 大規

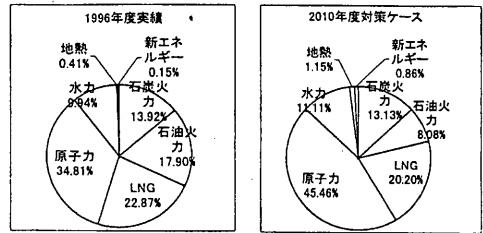


図1 電源別発電構成

出典：電気事業審議会需給部会中間報告 1998年6月 (文献⑬)

表3 風力発電の規模別 建設及び発電コスト

出典：通商産業省調べ (文献⑭)

発電施設の規模	建設コスト(万円/kW)		発電コスト(円/kWh)	
	1996~97年	1999年	1996~97年	1999年
大規模 (複数基の設置で総出力3000kW以上)	—	20~23	—	9~12
中規模 (複数基の設置で総出力3000kW以下)	30~33	22~34	18~19	12~17
単基(1基のみ)	48~63	25~39	26~36	14~23

表4 電源別 発電及び建設コスト

出典：資源エネルギー庁1998年資料 電気事業審議会需給部会中間報告 (平成6年6月23日) (文献⑱)

電源	建設コスト (万円/kW)	発電コスト (円/kWh)	燃料費の占める割合(%)
火力発電	石炭	30	—
	石油	19	—
	LNG	20	—
水力発電	60	—	—
原子力	31	—	—
太陽光発電	—	70~100	—
風力発電	—	16~25	—
地熱発電	—	15~20	—
火力発電	石炭	10	30
	石油	10	60
	LNG	4~6	50
水力発電	—	13	—
原子力	—	9	20

模な風力発電施設での発電コストは10円/kWhを切る勢いである。風力発電と共に実用化の可能性の高い太陽光発電と比較すると、風力発電は太陽光発電の1/4のコストである(表4)。しかし、火力発電と比較すると2倍強の開きがある。

### 2.1.4 電力事業による二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)排出量

表5に電源別CO<sub>2</sub>排出原単位(消費電力1kWh当たりのCO<sub>2</sub>排出量)を示す。発電時にCO<sub>2</sub>を排出するのは、火力発電だけである。仮に、全ての発電電力量を火力発電(LNGを除く)で賄った場合、CO<sub>2</sub>排出量は排出抑制効果の値を上乗せした量になり、実際の2倍以上の排出量になる(図2)。1999年の抑制効果の内訳(図3)では、原子力が50%以上占めている。原子力発電は他の電源に比べCO<sub>2</sub>排出原単位が一番少なく、石炭火力の1~2%程度である。現在はまだ原子力発電に並ぶCO<sub>2</sub>抑制装置がなく、政府は原子力発電中心の方針をとっている。

表5 電源別CO<sub>2</sub>排出原単位(g-CO<sub>2</sub>/kWh)  
 ※原料の採掘から建設・輸送・精製・運用(実際の発電)・保守などの為に消費される全てのエネルギーを対象としてCO<sub>2</sub>排出量を算定。  
 (文献⑮)

出典:電力中央研究所「発電システムのライフサイクル分析(平成7年3月)」他

	建設時	発電時	合計
石炭火力発電	88	902	990
石油火力発電	44	686	730
LNG(天然ガス)	147	503	650
太陽光発電	59	0	59
風力発電	37	0	37
地熱発電	22	0	22
原子力発電	11~22	0	11~22
水力発電	18	0	18

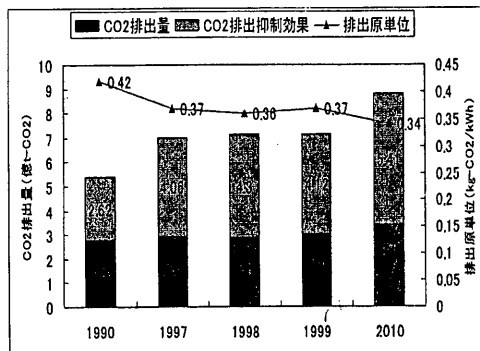


図2 CO<sub>2</sub>排出量(億 t-CO<sub>2</sub>)と排出原単位  
 出典:電気事業連合会 10社計(文献⑫)

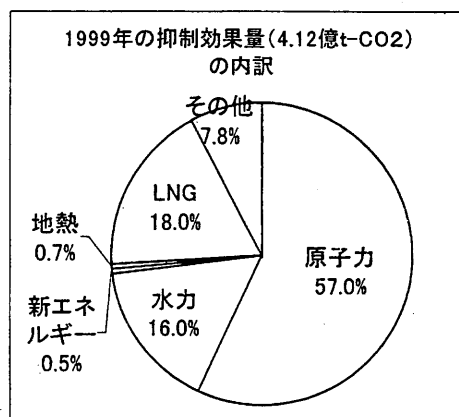


図3 1999年における抑制効果の内訳  
 出典:電気事業連合会 試算(文献⑫)

### 2.1.5 日本における風力エネルギーの賦存量(潜在量)

日本国内における平均風速5m/s以上の地域で、自然公園等以外の農地・森林・海浜全てを対象とする場合、約500万kW(年間発電電力量約66億kWh)の風力発電建設が可能と考えられる。しかし、土地取得・景観などの問題を考慮すると、半分の250万kW(年間発電電力量約33億kWh)に留まると考えられる。

(NEDO 1994年 文献②)

### 2.1.6 洋上風力発電について

ヨーロッパ諸国では、陸上に多数の風力発電施設が既にあるため、海上に風車を設置する洋

上風力発電の開発が進められている。1990年ごろから、スウェーデン・オランダ・デンマークで実証試験として風車が設置された。2000年からは実用目的の洋上風力発電建設がヨーロッパ各国で相次いでいる。

日本では、国土面積の約70%が山岳地域であるため、大型風車の搬送が困難になっている。周りが海であるという島国の特徴を利用できる洋上風力発電の可能性に、期待が持たれている。

洋上風力発電の利点として、次のことが挙げられている。

- ・海上の風速は陸上に比べ強い。
- ・風の乱れや時間変動が少なく安定した風が吹く。
- ・高度による風速の変化が少ない。
- ・大型風車の搬送が、陸上に比べ容易。
- ・騒音問題など住環境への直接的影響が少ないため、大規模発電施設が建設可能。

次に、ヨーロッパでの実証試験によって得られたデータを例に、問題点を挙げる。

- ・建設コストが陸上風力の約2倍。特に海中基礎と海底ケーブルなど系統連携にかかる費用が全体の50%を占める。(陸上風力の7.5倍)
- ・発電コストが陸上風力の1.6倍。

日本では、海岸の沖合1kmと3kmに並列して風車を並べた場合、12万6500台設置可能と言われている。出力2000kWの風車を12万6500台設置すると総出力約2.5億kWになり、年間発電量が約3300億kWhとなる。これは、国内電力消費量の半分近く賅える計算である(1999年度の電力消費量 8170億kWh)。洋上風力発電の設置可能な海域(洋上10mの年平均風速が5m/s以上)として、北海道西岸、東北の日本海側、東北・中部の太平洋側、九州西岸・南岸、南西諸島などが挙げられている。

ヨーロッパ諸国の風力エネルギー賦存量は、約3兆kWhである。これは、ヨーロッパ諸国の沿岸から30km沖合で、水深40mまでの海域の平均風速から計算したものである。ヨーロッパ諸国沿岸は浅瀬が広がっているため比較的風

車を設置しやすい。デンマーク、オランダ、イギリスなどが面している北海は、水深200m以内の浅瀬が600kmに渡り広がっている、穏やかな海である。一方、日本周辺の海域は、沿岸から20~30km離れると水深200m以上と急に深くなる。さらに、夏は台風、冬は季節風の影響により海が荒れるため、海中にある頑強な建造物でもすぐに破壊されてしまう。ヨーロッパとは海の状況が違い過ぎるため、日本にそのまま当てはめることはできない。現在、研究段階により各地で調査を行なっている。(文献③⑩)

### 2.1.7 グリーン電力制度について

風力発電・太陽光発電などの自然エネルギーの普及と促進を目的として、電力会社10社により2000年10月から実施されている。この制度は、賛同する消費者・企業の自由参加によるもので、自主的な環境行動に期待をかけている。

#### ・グリーン電力基金

参加希望の一般消費者から、1口当たり月額500円を電気料金に上乗せして電力会社が集金する。電力会社は、参加者からの寄付金と同額程度を拠出する。これらの寄付金は、公益的な第三者機関が運用し、その地域の風力発電事業者や公共施設の太陽光発電設備への助成にあてられる。また、基金の2割程度は全国運用される。風速の強い東北・北海道に風力発電は集中しており、地域に偏りがでてしまうためである。

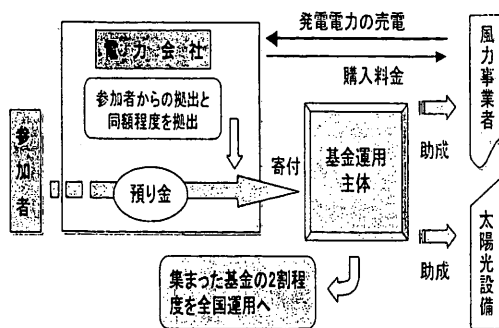


図4 グリーン電力基金のしくみ (文献④)

・グリーン電力証書システム

参加希望する企業・団体から、風力発電受託会社（日本自然エネルギー株式会社）が、風力発電事業の実施委託を受ける。実施委託を受けた日本自然エネルギーは、風力発電事業者を選定し発電を再委託する。事業者は風力発電の運転実績を日本エネルギーに報告、これを受けてその運転実績をグリーン電力証書にして企業に渡す。グリーン電力証書を受け取った企業は、発電事業者の代わりに環境対策活動の実績をして活用できる。

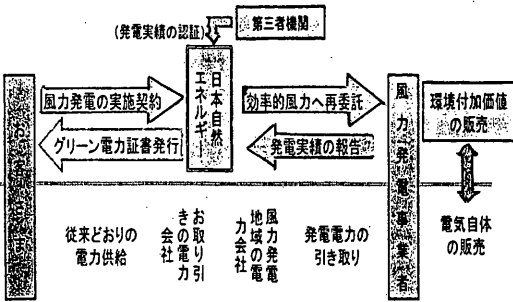


図5 グリーン電力証書システムのしくみ (文献④)

電力会社は現在、長期契約している風力発電事業者から1kWh当たり平均11.55円で購入している(表6)。火力・原子力発電など既存の電源に比べ風力発電は発電コストが高いため、既存の電源との差額を電力会社が負担している。2000年9月現在で、具体的な計画に入っている風力発電の総出力は約25万kWである。仮に、その25万kW全てを現在と同様の長期契約した場合、約40億円を電力会社が負担しなくてはならなくなる。そこでグリーン電力基金は、電力会社の負担分にあてがわれる。

また、電力会社はグリーン電力制度を導入するのに伴い、発電規模が2000kW以上の風力発電からの電力購入について、入札制を導入することに決定した。今までの長期契約に上限を定め、その他は入札制により落札した風力発電事業者のみ電力購入を行なう。落札された事業者は、グリーン電力基金による助成を受けられる。

表6 余剰電力と長期契約の買取価格(円/kWh)  
出典：電力会社資料 2000年1月 (文献②)

	余剰電力		長期契約
	夏(7~9月)	その他の季節	(15~17年)
電力10社	14.15~16.90	12.86~15.35	11.20~11.95
平均	15.88	14.55	11.55

出典：電力会社資料 2000年1月

・グリーン電力基金の参加状況

グリーン電力基金の参加口数は、2001年1月末現在、約1万6000口(電力10社計)である。各電力会社の参加口数は以下の通りである(文献⑩)。なお、北陸・中部・沖縄電力の参加状況は不明である。

北海道電力	164件	217口
東京電力	6679件	7679口
関西電力		272口
中国電力	556件	672口
九州電力	950件	1079口

電力会社によると、全国の一般消費者の0.1% (約6万件) がグリーン電力基金に参加した場合、年間3.5億円の資金が集まる計算で、将来的には1~2%の参加を期待している。

2.2 日本全国の気象管署地点における発電電力量推測

気象管署(全国に展開されている気象台・観測所のことで、気温・湿度・風向・風速等を観測している。今回のデータ数は158地点)地点に出力600kWの風車1基をそれぞれ設置すると仮定し、月別発電電力量と年間発電電力量を求めた。まず、各地点の風速平年値(5~20年間の観測値を統計したもの。地点によって統計年数が異なる。文献⑭)を使用し、レーレ分布(②の式)により各風速の出現率を求めた。出現率は、風速0.5m/sごとに算出した。

$$f(V) = \frac{\pi}{2} \frac{V}{V_2} \exp \left\{ -\frac{\pi}{4} \left[ \frac{V}{V_2} \right]^2 \right\} \quad \text{--- ②}$$

※レーレ分布とは、平均風速から各風速の出現率分布を推定する場合に使用されるもので、風力エネルギー利用の研究や計画に用いられることが多い。

次に、求められた各風速の出現率を基に発電電力量を求めた(③の式)。

$$\text{年間発電電力量(kWh)} = \sum (V_i \times f_i \times 8760(h)) \quad \text{--- ③}$$

$V_i$ : 風速*i*の時の電力出力(kW)  
 $f_i$ : 風速 *i*の出現率

計算で使用した600kWの風車は、風速3m/sから発電を開始し、13m/sで最大出力の600kWになり、20m/s以上になると運転を停止する。

表7 年間発電電力量が200万kWh以上の地点

気象管署点	年間発電電力量(万kW/年)		風力発電施設の有無	風力発電総出力(kW)
	600kW 1基	12000kW (600kW × 20基)		
富士山	606	12,120	x	
伊吹山(滋賀県)	506	10,120	x	
室戸岬(高知県)	465	9,300	○	300
剣山(徳島県)	410	8,200	x	
大島(東京都)	367	7,340	x	
寿都(北海道)	312	6,240	○	230
八丈島(東京都)	293	5,860	○	500
沖永良部島(鹿児島県)	284	5,680	○	300
三宅島(東京都)	246	4,920	○	350
御前崎(静岡県)	237	4,740	○	900
留萌(北海道)	227	4,540	○	5,360
種子島(鹿児島県)	227	4,540	x	
江差(北海道)	209	4,180	○	800

求められた各地点の年間及び月別発電電力量の地理的分布図を、図6から図9に示す。風力発電設置基準の1つとして、年間設備利用率17%以上(NEDO 文献①)というのがある。計算

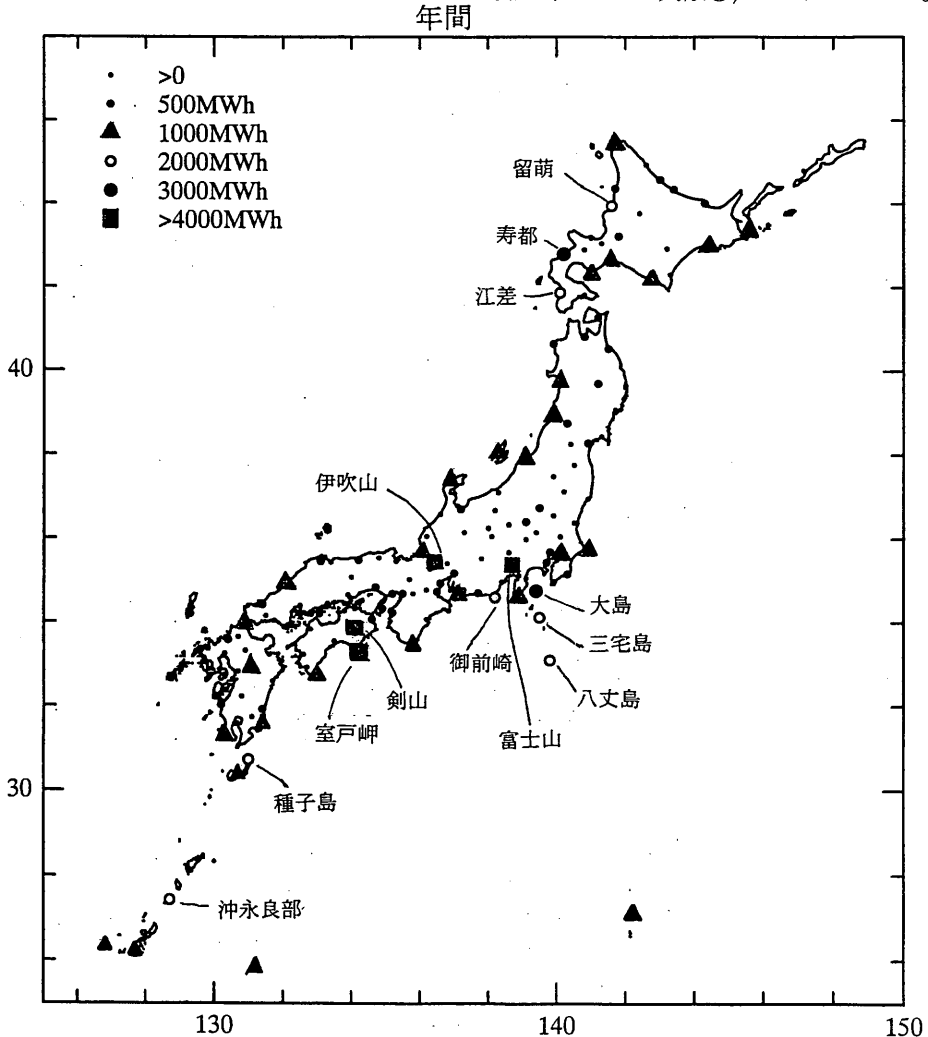


図6 年間発電電力量の分布図

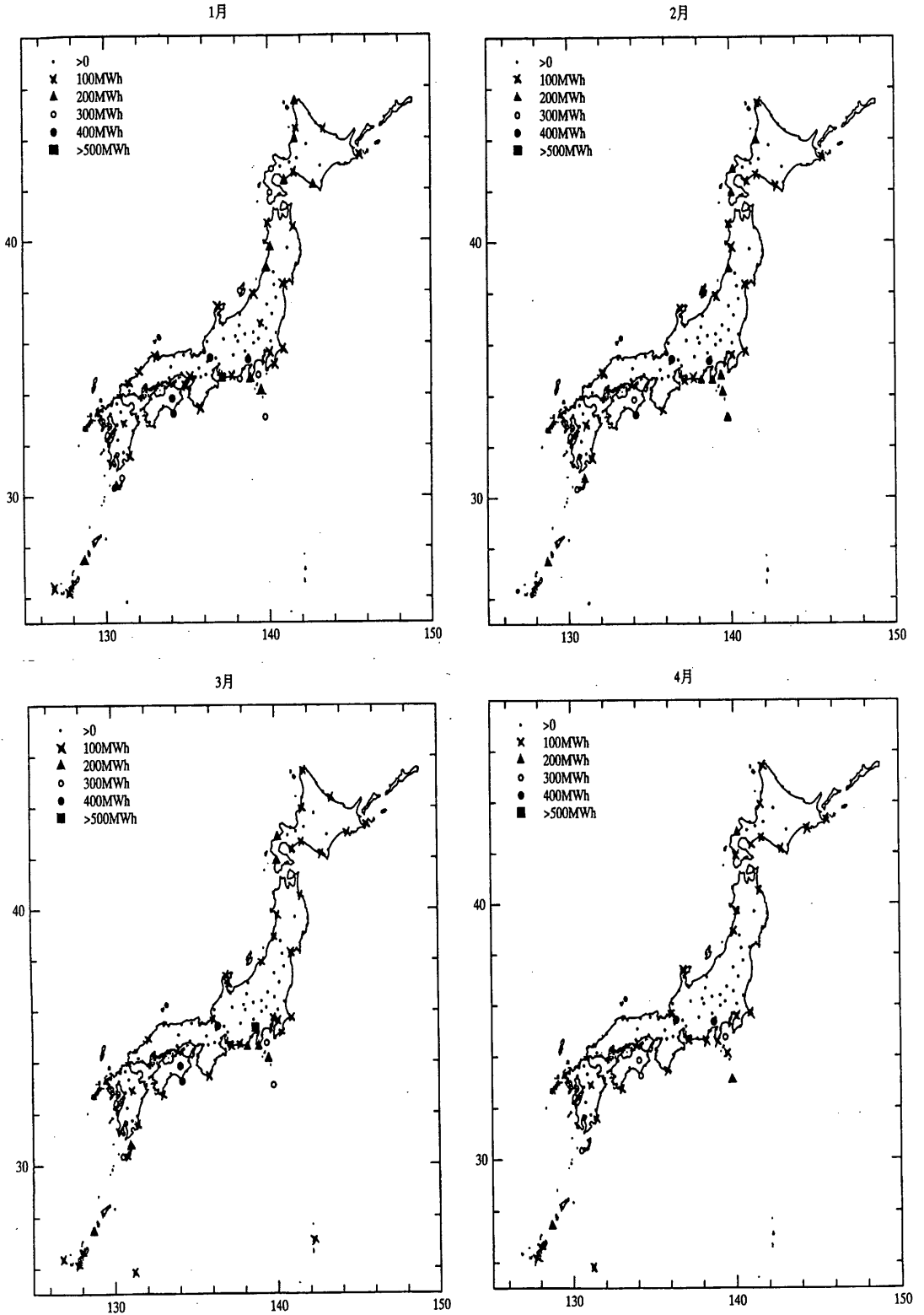


図7 月別発電電力量の分布図(1月～4月)

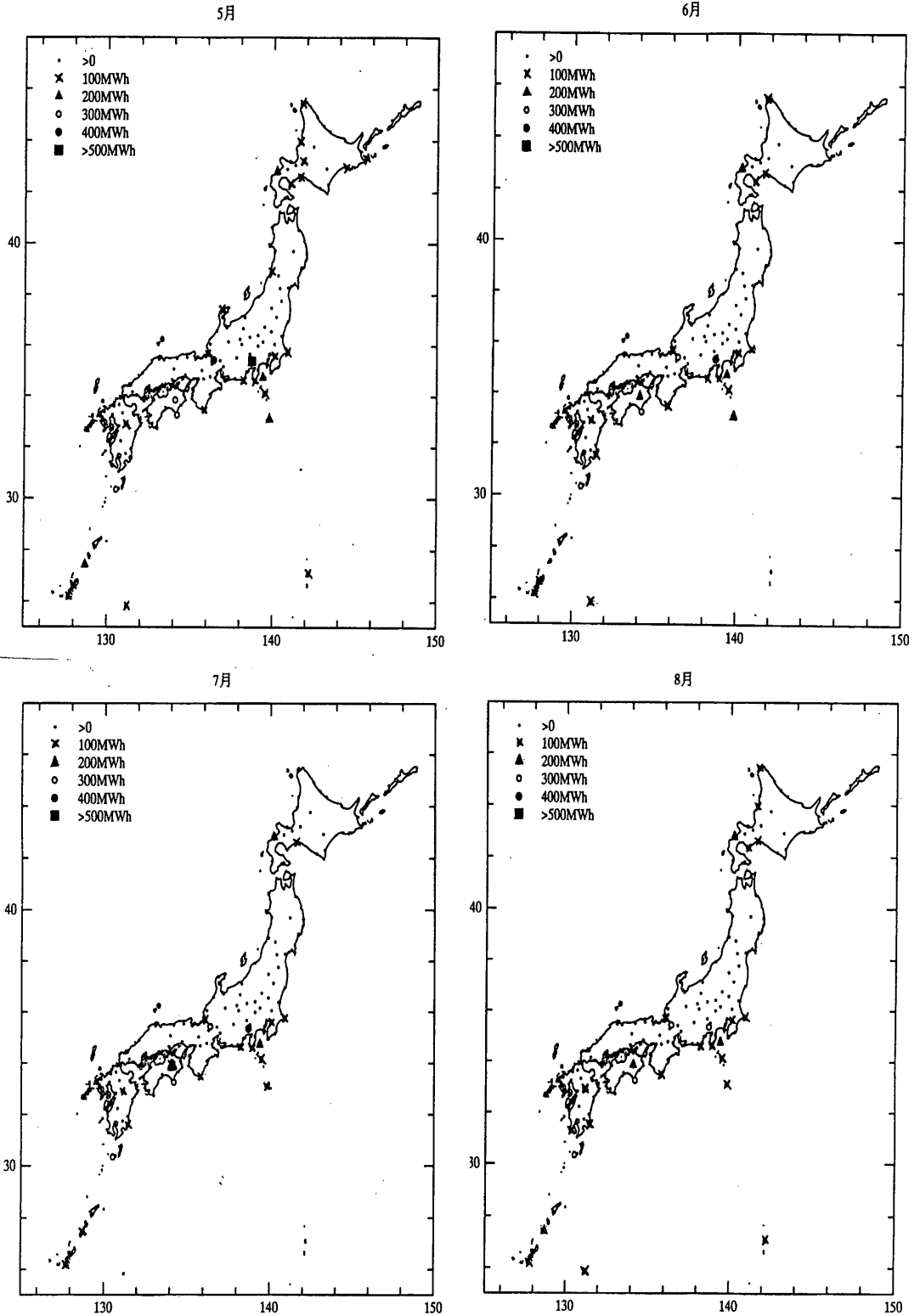


図8 月別発電電力量の分布図(5月～8月)



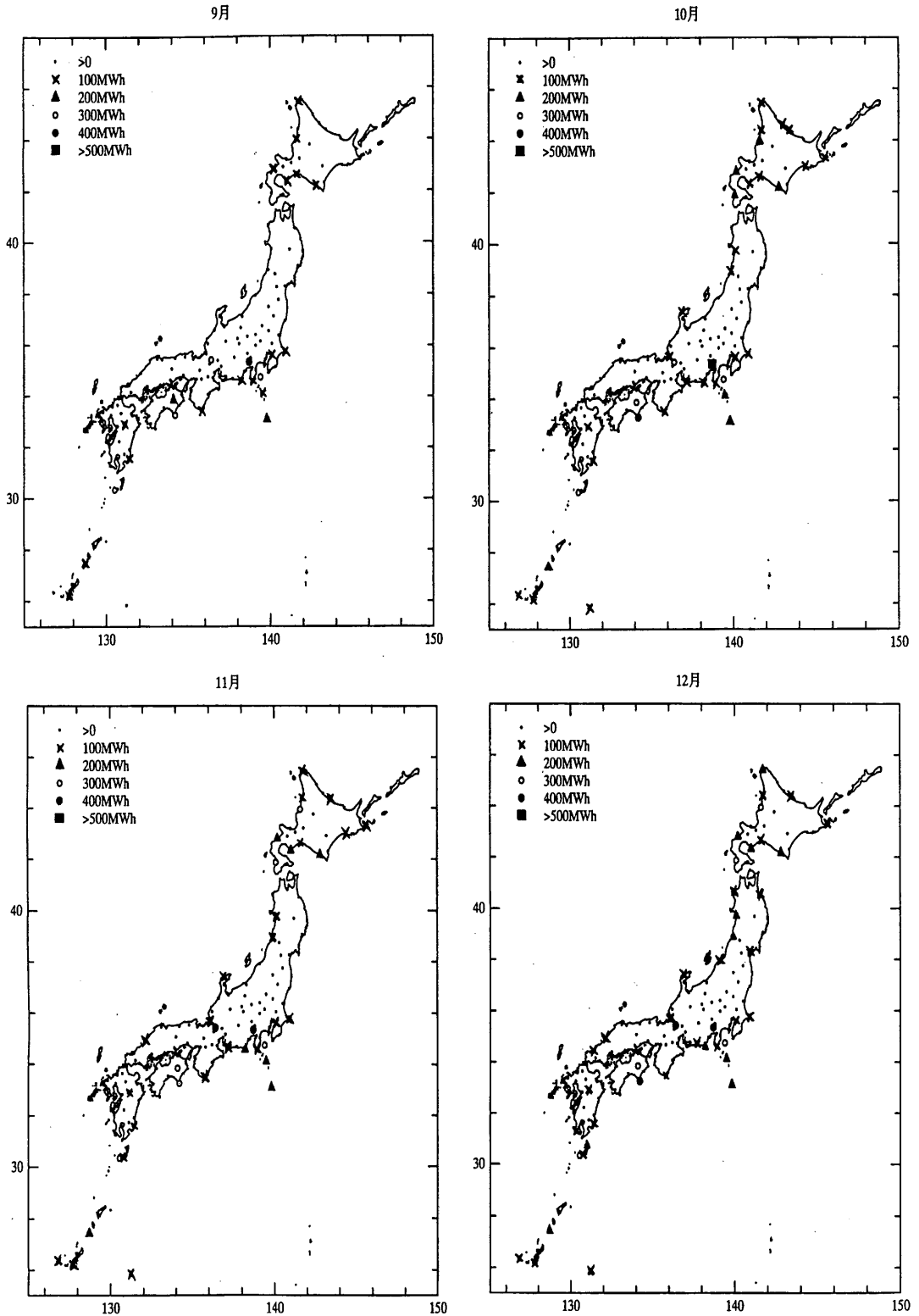


図9 月別発電電力量の分布図(9月～12月)

で使用した600kWの風車で年間設備利用率17%という、年間では約90万kWh、1ヶ月では約8万kWhの発電電力量が得られる計算である。(2.1.2 ①の式を使用) によって、図6の年間発電電力量の分布図では三角以上、図7から図9の月別発電電力量ではバツ印以上で記されている地点が、風力発電設置適地であると考えられる。

年間の分布図では、海風の影響を全面に受ける沿岸部(特に岬)・島などに、発電電力量が多く見られる。内陸部は年間通して発電電力量が少ない。月別の分布図では、4月から9月まで全国的に発電電力量が少なく冬に偏りがある。しかし、北海道の西半分の沿岸部、本州の関東・中部地方の太平洋沿岸では、比較的夏の発電電力量が多い。日本の風力発電の設置場所と比較すると、今回得られた設置適地にはほぼ重なっているのがわかる。

年間発電電力量が100万kWh以上の地点は46地点あり、その中でも200万kWh以上の地点(13地点)を表7に示す。発電電力量が多い地点に、山・岬・島が多く見られる。山の場合は、山頂付近に観測所が設置されており、風速が他の地点より強くなるため発電電力量も大きい。仮に600kwの風車を20基設置した場合(設置に必要な土地面積等の問題はここでは無視する)の年間発電電力量を表7に示す。山以外の地点(10地点)で得られる年間発電電力量を合計すると、約5億7000万kWhで日本における総発電電力量(1999年 約9000億kWh)の0.06%を占める計算である。しかし、土地の利用可能面積や建設時の運搬等、数々の問題があるため、実際に設置されている風力発電の規模は約9000kWで、北海道の留萌以外は小規模である。

山や島を除くと、発電電力量が多い地点は北海道・東北地方の沿岸部に集中している。特に秋から冬にかけて(1・2・10・11・12月)、他の地域に比べ発電電力量が多い。やはり、北海道・東北地方は他の地域に比べ、風況が良いと考えられる。

### 3. 立川の風力発電と風況

#### 3.1 立川の風力発電

立川町は、自治体としては北海道寿都町と共に先んじて風力発電に取り組んだ町である。現在、出力100kWの風車3基、400kWの風車2基、600kWの風車4基、合計9基 総出力3500kWが稼働している。冬は北西の季節風、春から秋にかけて清川だしを利用して発電している。年間総発電量は約660万kWhで、立川町の消費電力(年間電力消費量 2200万kWh)の30%を賅っている。さらに、出力1500kWの風車2基を建設する予定である。2005年までの目標として、立川町全ての電力を風力発電で賅う計画を打ち出している。

最近では、立川町に近い酒田市でも風力発電建設計画が続々と立てられている。

#### 3.2 立川の風況(清川だしと冬の季節風)

立川町は、山形県北西部、庄内平野の東南部に位置し、最上川峡谷が開けて庄内平野に出る、その出口にある。清川だしとは、最上川峡谷から庄内平野へ最上川沿いに吹く南東よりの強風のことである。立川地方の狩川の他、余目周辺が強風域である。梅雨から夏にかけて多く見られ、このとき、オホーツク海または三陸沖に高気圧、日本海に低気圧という東高西低の気圧配置になることが多い。この場合、日本海側の各地にフェーン現象が見られても、清川だしの吹く地域で必ずしもフェーン現象になる訳ではな

表8 狩川の月別平均風速(m/s)

	全方向	ESEのみ	E~SE	東成分 (NNE~S)	W~NW	西成分 (SSW~N)
1月	4.54	4.10	3.23	3.01	6.30	5.62
2月	4.17	3.88	3.04	2.88	5.98	5.59
3月	3.98	4.20	3.63	3.42	5.39	4.94
4月	4.08	5.40	4.54	4.3	4.75	4.45
5月	3.42	3.48	3.01	2.89	4.31	4.57
6月	2.72	4.02	3.16	2.91	3.34	3.24
7月	2.44	3.28	2.83	2.66	2.83	2.62
8月	2.72	3.39	3.05	2.94	3.01	2.91
9月	2.88	4.09	3.40	3.15	3.70	3.49
10月	2.98	3.19	2.67	2.53	5.01	4.61
11月	2.93	3.11	2.59	2.5	5.17	4.59
12月	3.52	3.14	2.67	2.54	5.67	5.21
年間	3.37	3.77	3.15	2.98	4.62	4.32

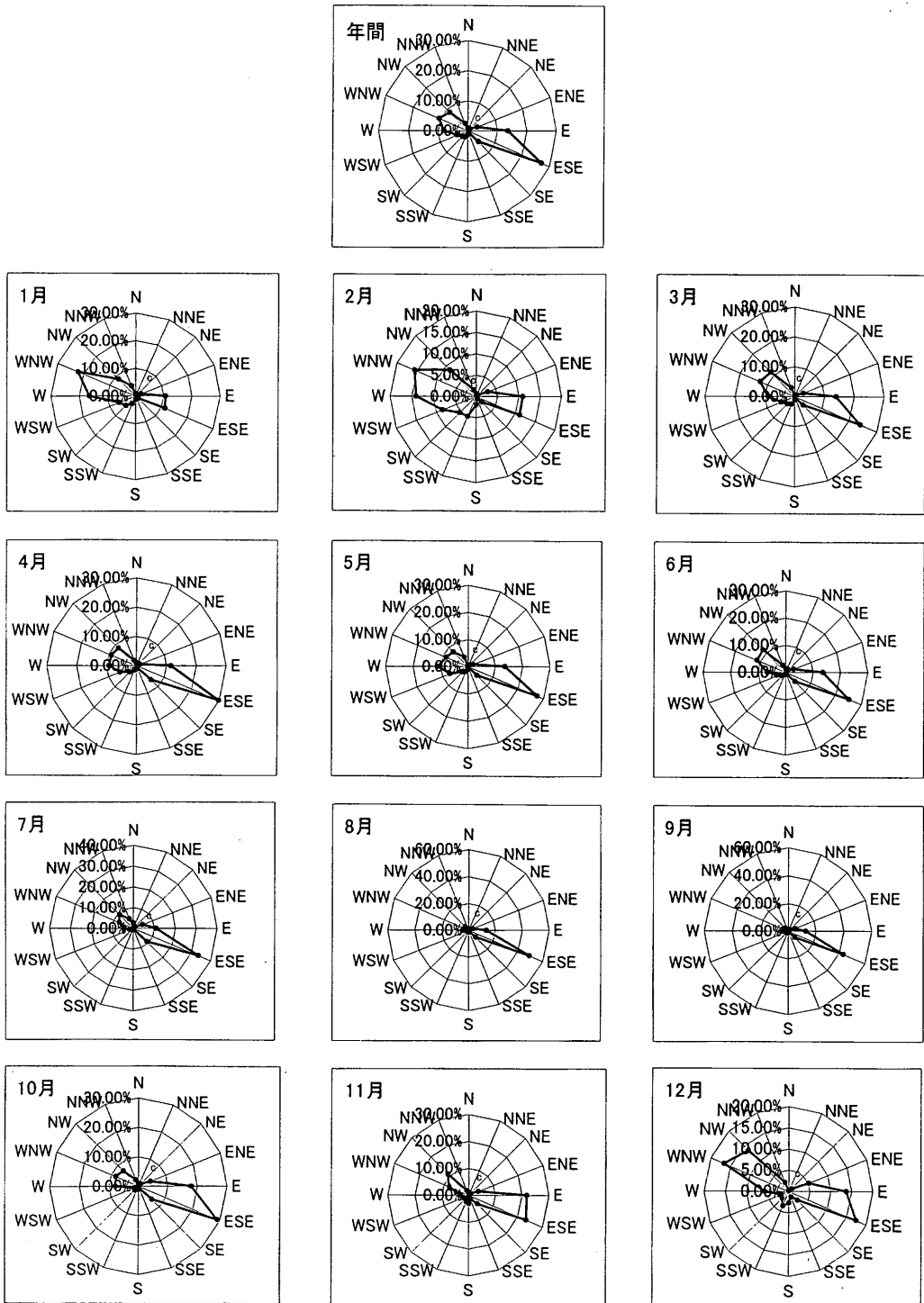


図 10 狩川の年間及び月別風配図

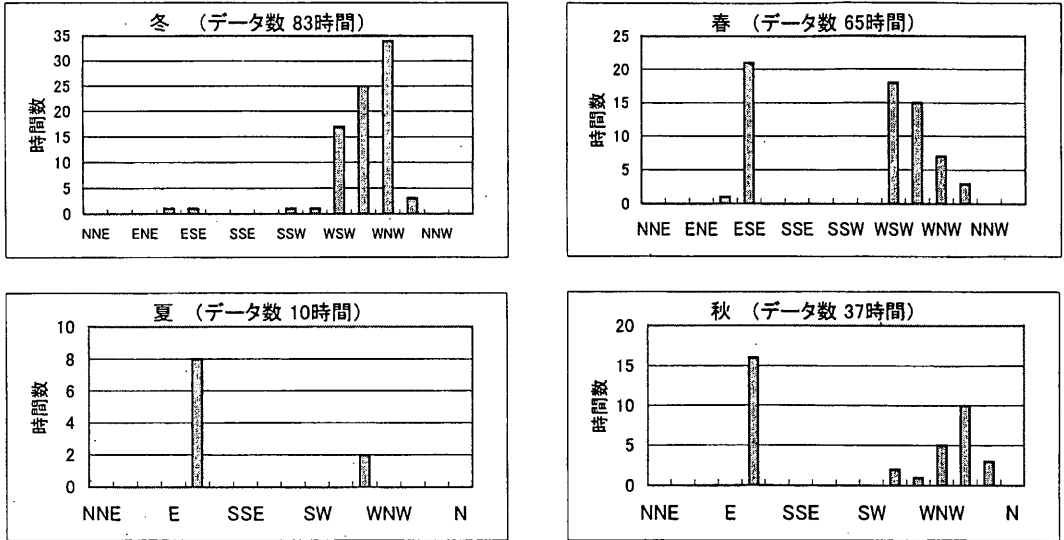


図11 狩川における風速10m/s以上の季節別風向頻度

(冬(1・2・12月) 春(3・4・5月) 夏(6・7・8月) 秋(9・10・11月))

表9 平均風速 (m/s)

	全方向		ESE		E~SE		W~SW	
	狩川	酒田	狩川	酒田	狩川	酒田	狩川	酒田
夏季	2.62	3.39	3.56	4.22	3.02	3.67	3.06	3.25
冬季	4.09	5.87	3.70	3.31	2.98	3.22	5.98	7.37

～11月は東から東南東の風が多く、特に東南東は常に20%以上、7～9月は約30～40%占めている。冬の1・2月は西から西北西が卓越しているが、それでも東南東は5～10%を占めている。それに対し西から北東の風は、1・2・12月以外ではそれぞれ10%以下である。

年平均風速は3.37m/sとそれほど強くないが、冬(1・2・12月)は風速が強いことが分かる(表8)。東成分(北北東～南)と西成分(南南東～北北西)に分けてみると、年間、月別共に西成分の風速が強い。次に西から北西と、東南東を比較する。1～3月と10～12月は西から北西が東南東より2m/s以上風速が強い。4～9月では東南東が西から北西より強いが、風速差は0.5m/sぐらいである。

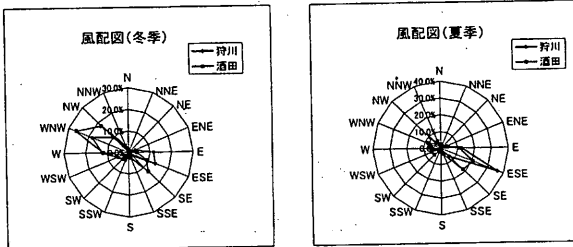


図12 冬季(1・2・12月)と夏季(6・7・8月)の風配図

い。仙台から地峡を通り庄内平野へと流れる風の道があり、東北地方日本海側に起きた冷害の影響が及ぶこともある。

1999年1月1日から12月31日の狩川のアメダスデータ(風向・風速)(文献②③)を使用し、立川の風況について解析する。

立川(狩川)の風は、東から南東、西から北西の2方向に分けられる(図10)。特に東南東が突出し全体の25%以上を占める。月別では、3

風速10m/s以上の風向頻度(図11)では、データ数が冬・春・秋・夏の順に多い。冬は西南西から西北西の3方向がそれぞれ圧倒的に多い。春と秋では、西成分の方がやや多いがバラつくのに対し、東成分ではほぼ東南東のみである。夏は東南東がほとんど占めている。

冬に西から北西の風が卓越し強風になるのは季節風、それ以外の季節で東南東の風が卓越するのは清川だしの影響と考えられる。平均的に

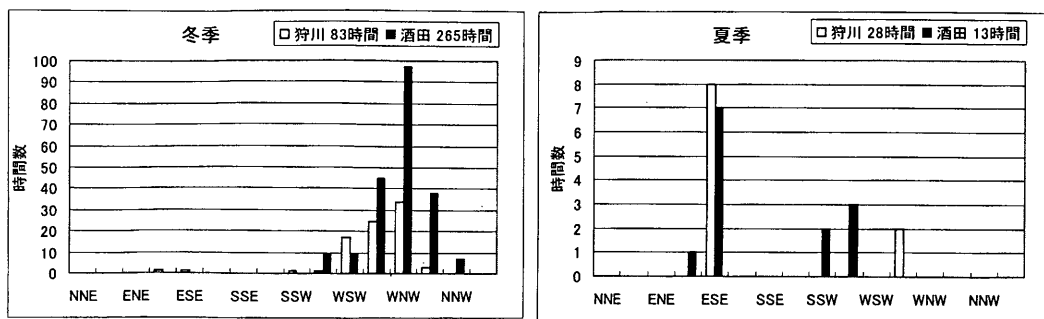


図13 風速10m/s以上の風向頻度(時間数)

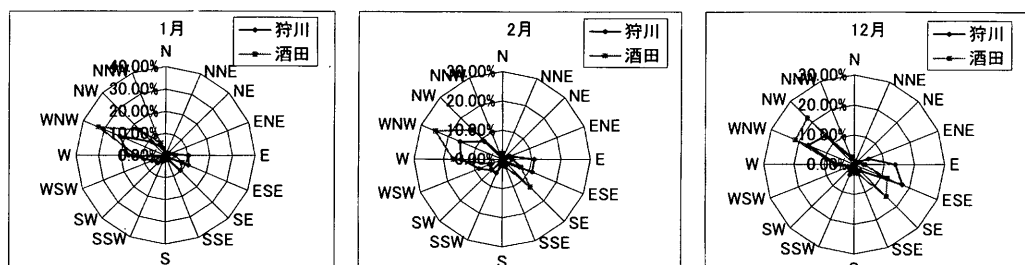


図14 冬季における月別 風配図

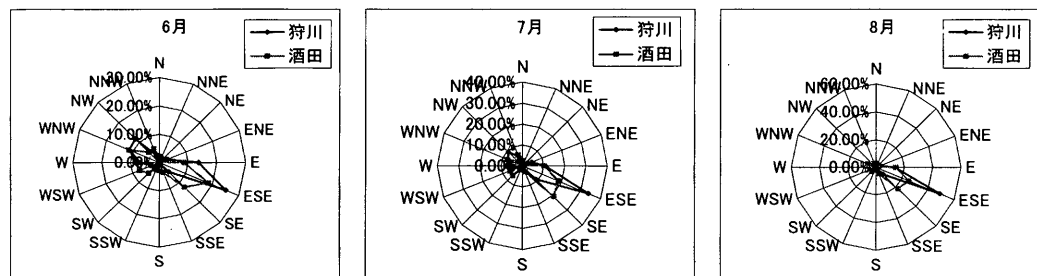


図15 夏季における月別 風配図

表10 狩川と酒田の月別平均風速(m/s)

季節	月	全方向		ESE		E~SE		東成分		W~SW		西成分	
		狩川	酒田	狩川	酒田	狩川	酒田	狩川	酒田	狩川	酒田	狩川	酒田
冬季	1	4.54	6.54	4.10	3.23	3.23	3.29	3.01	3.17	6.30	7.47	5.62	7.23
	2	4.17	5.91	3.88	3.41	3.04	3.23	2.88	3.15	5.98	7.09	5.59	7.05
	12	3.52	5.59	3.14	3.31	2.67	3.16	2.54	3.15	5.67	7.54	5.21	7.24
夏季	6	2.72	3.36	4.02	4.47	3.16	3.74	2.91	3.35	3.34	3.26	3.24	3.5
	7	2.44	3.17	3.28	3.88	2.83	3.39	2.66	3.13	2.83	3.02	2.62	3.34
	8	2.72	3.63	3.39	4.27	3.05	3.84	2.94	3.64	3.01	3.52	2.91	3.73

強風(清川だし)が多く見られた。また、回数は少ないが冬にも東南東の強風が見られるので、清川だしが吹くと考えられる。

### 3.3 立川と酒田の風の比較

酒田は、庄内平野の西部で日本海に面し、最上川の河口に位置する。山形の中でも風が強い地域であるが、清川だしの影響は受けないとされている。立川(狩川)と酒田の冬季(1, 2, 12月)・夏季(6, 7, 8月)を比較する。

冬季, 夏季共に、酒田の方が風速は強く、唯

強く吹き、風速10m/s以上になることも多い冬の季節風に対し、東南東の風は春から秋にかけて非常に頻度が高いが、強風にまでなるのは季節風に比べ少ない。今回は、春と秋に東南東の

一狩川が強くなるのは冬季の東南東の風のみである(表9)。冬季では、2地点とも西から北西の風が卓越するが(図12)、酒田の方が狩川より風速が2 m/s以上強い。夏季は、狩川では東南東の風が卓越しているのに対し、酒田は東南東と南東の2方向が多い。しかし、風速は2地点とも東南東が一番強くなっている。

風速10m/s以上の風向頻度(図13)のデータ数は、冬季では酒田が狩川の3倍以上あり、強風が非常に多く吹いている。夏季ではあまり差はない。冬季は、酒田が圧倒的に西北西が卓越して、東成分は全く吹いていない。狩川も西北西が一番多いが、酒田の半分以下の時間数である。夏季は、狩川も酒田も東南東が卓越し、時間数もほぼ同じである。

月別に見ると、冬季の1月では2地点とも西北西が卓越し、狩川で20%以上、酒田で30%以上を占めている(図14)。また、風速も強い(表10)。夏季では6月に東南東が卓越し(図15)、風速は他の月と比較しやや強い程度である。

冬季に卓越している西北西は季節風、夏季に卓越している東南東は清川だしの影響をそれぞれ受けていると言える。季節風の場合、日本海沿岸に面している酒田は、全面に影響を受けるのに対し、狩川は酒田の約半分しか影響を受けていない。清川だしの場合、狩川も酒田も同様に影響を受けている。しかし、冬に吹く清川だしは、酒田にまで影響は及んでいないと思われる。

#### 4. 立川の風のしくみと風力発電から見た風況

##### 4.1 東北全体の地理的特徴

東北地方は、奥羽山脈が中央南北に大きく延び、太平洋側に北上山地、日本海側に2000m級の烏海山・月山がそびえたっている。この2つの山に挟まれた所に庄内平野は位置する。庄内平野は日本海に向かって開けている三角形の低平地である。

東風(やませ)のとき、東北地方には2つの風の道がある(図16)。1つは、仙台から奥羽山脈

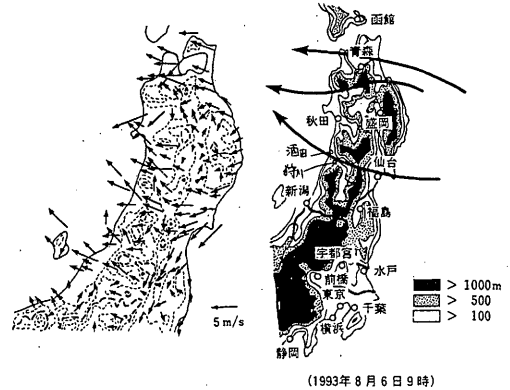


図16 東北地方の風分布 (文献⑥)

の谷間を抜け、最上川峡谷を通り庄内平野に向かう経路。もう1つは、青森県の下半島・津軽半島を通る経路である。庄内平野の東部で最上川峡谷の西端にある狩川と、庄内平野の西部で最上川河口付近である酒田は、この風の道の中に位置している。この付近の地形は、南北に延びる山脈の鞍部で東西に空気が流れやすく、強風が吹きやすくなっている。

##### 4.2 最上川峡谷と突然の開放地

狩川で東風の強風(清川だし)が吹いたり、酒田から約20kmも内陸に入っているのに西風が酒田と同じ程度強く吹くには、最上川峡谷と庄内平野の地形に密接な関係がある。以下、山岸米二郎の「山形県北部の局地強風の発現機構の考察」の一部を引用する。

##### ・東風が強い理由

最上川は、狩川に近い草薙から上流が大きく曲がっていて(図17地点A)、「草薙の西から風が強くなる」という住民の体験(仙台管区气象台 1950年)もあるように、上流から下流まで直線的に空気が通過しないと考えられる。また、最上川峡谷内では強い風が観測されていない(仙台管区气象台 1950年)ことから、峡谷内で風が加速されることは考えにくい。草薙付近は、南北に延びる稜線の鞍部であり、東南東から西に気流が収束しやすい形になっている。清川だしは、最上川付近の鞍部における水平収束と、稜線から西へのおろしの効果によるもの

であると考えられる。

・西風が強い理由

庄内平野は日本海から最上川峡谷に向かって扇状に狭まるため、気流が水平収束し、酒田と同程度の西風が狩川にも吹くと考えられる。また、最上川峡谷の東側（新庄など）で西風の強風が特に多くなく（仙台管区気象台 1950年）、他にも風が強いという報告が無い。これは、西風が峡谷を通過して東に抜ける状況に無いことを示す。草薙の東側で直進できなくても（地点A）、東にある山は400m程度なので風を遮る障害とならず、気流がこれを越えて通過すると考えられる。

4.3 風力発電からみた立川の風況

3.2の解析により、立川は冬に吹く西風の季節風の方が、春から秋にかけて吹く東南東の清川だしより風速が強く、強風になる回数も多いことがわかった。風力発電からみると、やはり清川だしよりも季節風によって主に発電がおこなわれていると考えられる。確かに、過去には最大風速が20m/s近くにもなった清川だしの例もいくつかある（文献⑤）。しかし、風に安定性を求める風力発電としては、コンスタントに強風が吹く季節風を利用するのが、最も発電効率の良い方法である。



図17 清川だしの強風域と周辺の地形図

※Tは鳥海山、Gは月山、A、B、C、Dは最上川峡谷（文中の「草薙」とは、狩川とA地点の間に位置する）  
（文献⑥）

5. まとめ

5.1 風力発電の将来性

ここ数年で急激な伸びをみせている風力発電事業であるが、このままのペースでいくと2010年には100万kW以上になるのではないかとされている。しかし、風力発電施設が増え発電電力量が増加しても、電力会社が購入できなくなる可能性も考えられる。

新たにグリーン電力制度が導入されたが、参加する企業や一般消費者が少ない場合、委託・拠出金が集まらず助成を受けられる発電事業者の数も減少する。また、参加口数が順調に増えていても、風力発電事業の急激な増加に、委託・拠出金の方が追いつかない可能性もある。長期契約も上限を定められ、グリーン電力制度による委託も助成も受けられない事業者が増えてしまうと、大規模な風力発電施設の建設計画は停滞してしまうのではないだろうか。電力会社側では、グリーン電力制度が上手くいかなかった場合の具体的な対策は、現時点ではまだないという。現在、電力会社が期待しているのは、「京都メカニズム」である。これは、1997年に京都で行なわれたCOP3の取り決めで、CO<sub>2</sub>排出削減に寄与する事業に出資すれば削減分を国の目標達成に勘案するというものである。風力発電への出資が京都メカニズムの対象になれば、グリーン電力証書システムに参加する企業が増加するのではないかと考えられている。また、一般消費者にもっと浸透させるため、1口当たりの基金を下げたうえで気軽に寄付できるようにする考えも出ている。

グリーン電力制度は、環境問題をより身近に感じさせるという意味では大変有効であるが、一般市民の積極的な参加にはまだ繋がっていない。ヨーロッパで風力発電が早くに普及した理由として、助成制度など政府が風力発電普及を目指した政策を打ち出したこともあるが、市民が積極的に風力発電を選ぶ行動に出たことが大きい。日本でも、企業や電力会社に対し政府の後押しが依然必要であるが、これからの風力発

電発展には、市民の理解と自発的な行動が重要になると考える。

## 5.2 エネルギー問題解決になるのか

発電時にCO<sub>2</sub>を大量排出する火力発電から、再生可能エネルギーである風力発電にそのまま代替させるのは不可能である。何故ならば、2.1.2 で述べたように現在、風力発電によって発電された電力量は、総発電電力量の0.01%でしかない。

ここで、風力発電による発電電力量が何世帯賄えるのか、1世帯当たりの電力消費量 約3500 kWh/年(東京電力 1999年度)を目安に計算してみる。2000年3月末までの導入量である約8万kWでは、約3万世帯分の電力量が取得できる。これは約9万人分、全人口の0.07%にあたる。2002年の導入予定である約32万kWでは、約12万世帯分、約36万人分(全人口の0.27%)の電力量である。さらに、2.1.5 で述べた日本における賦存量の500万kWの風車が全て設置可能とすると、約190万世帯分、約570万人の電力量になる。これは、人口の約13%にあたる。

このことから、陸上で最大限可能と思われる量の風車を設置したとしても、風力発電のみによって電力を賄えるのは自治体規模なのがわかる。風まかせであるため電力供給が不安定であることやコストが高い等の問題点は、風車の機能向上や大規模発電施設の建設により、少しずつではあるが改善している。そして、現在はまだ研究段階である洋上風力発電が、今後どの程度実現可能になるのかが鍵になるとと思われる。風が吹かないときに最低限の電力がフォローできる電源を確保した上であれば、電力供給量全体で風力発電が占める割合を着実に増やしていくのは可能であると考えられる。

## 謝辞

本研究にあたりご指導頂きましたCRC総合研究所の谷川亮一さん、荒川正一教授に深く感謝致します。

## 参考文献

①NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構):風力発電導入ガイドブック(1998年)

②NEDO:平成11年度調査報告書 新エネルギー技術開発関係データ集作成調査(風力発電)

③NEDO:日本における洋上風力発電の導入可能性調査(平成11年3月)

④日本自然エネルギー株式会社:グリーン電力証書システムについて(説明会資料)平成12年11月

⑤山岸米二郎・加藤 廣:山形県北部の局地強風の発現機構の考察, Journal of Meteorological Research Vol.48, No.1

⑥荒川 正一:局地風のいろいろ 成山堂書店 新聞・雑誌

⑦日経産業新聞 日本経済新聞社

⑧日本経済新聞 日本経済新聞社

⑨日刊工業新聞 日刊工業新聞社

⑩河北新聞 河北新報社

月刊エネルギー 日本工業新聞社

⑪ Vol.33 No.9 2000.9

⑫ Vol.34 No.2 2001.2

## ホームページ

⑬NEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構) <http://www.nedo.go.jp>

⑭資源エネルギー庁 <http://www.enecho.go.jp>

⑮電気事業連合会 <http://www.fepc.or.jp>

⑯東京電力 他電力会社9社 <http://www.tepco.co.jp> 他

⑰TRONC風力発電ネットワーク <http://www.tronc.co.jp>

⑱財団法人エネルギー総合工学研究所 <http://www.iae.or.jp>

⑲原子力図書館 げんしろう <http://www-atm.jst.go.jp>

⑳立川町 <http://www.town.tachikawa.yamagata.jp>

㉑日本風力エネルギー協会 <http://ppd.jsf.or.jp>

㉒新エネルギー財団(NEF) <http://www.nef.or.jp>

その他 風力発電関係のホームページ

## 観測データ

㉓気象業務支援センター2000年1月:速報版「アメダス観測年報1999」(テキストファイル版)

㉔ 気象庁監修:気象庁観測平年値