

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1034

December 2002

風力エネルギー活用観点から見た沿岸域洋上風の特徴

永井 紀彦

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要旨	3
1. はじめに	4
2. ナウファスによる風観測記録の収集	4
3. 観測値に基づく全国沿岸域の風力ポテンシャル	5
4. 関西空港における陸上風と洋上風の比較	8
5. 全国沿岸の観測点における風の変動係数	12
6. おわりに	13
参考文献	16

Observed Offshore Wind Characteristics from a View of Energy Utilization

Toshihiko NAGAI*

Synopsis

Observed nationwide coastal and offshore wind data, acquired by using the Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS (NOWPHAS), were statistically analyzed from a view of wind energy utilization. Based on the observed wind data at 35 stations, characteristics of the wind speed distribution and annual, seasonal and monthly total wind energy is estimate. Among the 35 stations, 24 stations locate on nearshore land and 11 locate on sea-surface tower or on small island.

Characteristics of on-land winds and on-sea-surface winds were compared by using the data set obtained at the Kansai-International-Airport construction site. On-sea-surface wind speed was more stable than on-land winds from the view point of the ratio between the standard deviation and the average value. Nationwide wind data also showed the similar ratio to the the Kansai-International-Airport data set.

Key words : Offshore Wind, Wind Energy, Wind Statistics, NOWPHAS

* Head, Marine Information Division, Marine Environment and Engineering Department
3-1-1 NAGASE, YOKOSUKA, 239-0826, JAPAN
Tel +81-468-44-5048 Fax +81-468-42-5246 E-mail nagai@pari.go.jp

風力エネルギー活用の観点から見た沿岸域洋上風の特徴

永井紀彦*

要 旨

沿岸域での風力発電立地を検討するための基礎資料とすることを目的として、全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）によって収集された風況観測データをとりまめ、風力エネルギー密度、発電電力量を試算した。この結果、洋上における観測点と陸上における観測点における顕著な風力ポテンシャルの相違が判明した。

洋上風と陸上風の相違を関西空港における観測結果を用いて詳細に検討した結果、洋上風は陸上風に比べて平均風速が大きいことが示されるとともに、時間的および空間的変動が小さいことが、風の主軸方向の標準偏差および主軸直角方向の標準偏差を平均風速で除した変動係数の値として定量的に示された。

ナウファスによって収集された全国沿岸における風観測データを、こうした変動係数という観点から整理すると、陸上観測地点および洋上観測地点の変動係数は、それぞれ関西空港におけるC局（10m）およびMT局における観測結果と似た値となり、洋上風と陸上風の明確な区分がなされた。

すなわち、洋上風は陸上風に比べて風力発電に適した時間的空間的な変動の少ない安定した特性を有していることが、観測データに基づいて定量的に明らかに示された。

キーワード：洋上風，風力エネルギー，出現統計，ナウファス，全国港湾海洋波浪情報網

* 海洋・水工部海象情報研究室長
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3丁目1番1号
電話：0468-44-5048 Fax：0468-42-5246 E-mail:nagai@pari.go.jp

集地点の位置を、日本地図上に示したものである。各観測地点における詳しい観測条件は、文献 12) に示されているが、表-1 にその概要を示す。ただし、関西空港MT局における風観測データは、ナウファスとは別枠で、関西空港(株) からご提供いただいたものである。

表-1 各観測点における観測条件

地点名	機種	標高(m)	地上高(m)	緯度	経度	備考
留萌	超音波	5.13	13.35	43° 56' 17"	141° 37' 48"	陸上
瀬嶺	超音波	-	15.00	42° 27' 06"	139° 51' 02"	陸上
秋田	風車型	13.50	10.00	39° 45' 00"	140° 02' 59"	陸上
酒田	風車型	0.00	19.20	39° 00' 31"	139° 46' 43"	海上
新潟沖	風車型	0.00	17.60	38° 00' 18"	139° 06' 55"	海上
伏木富山	風車型	10.90	10.00	36° 46' 27"	137° 06' 39"	陸上
輪島	風車型	60.00	10.00	39° 24' 19"	136° 53' 53"	陸上
藍島	超音波	22.00	10.00	33° 59' 55"	130° 48' 38"	陸上
玄界灘	超音波	95.00	24.60	33° 54' 38"	130° 27' 30"	海上
伊王島	超音波	-	8.00	32° 42' "	129° 51' "	陸上
名瀬	超音波	-	13.17	28° 22' 54"	129° 29' 44"	陸上
那覇	超音波	-	14.50	26° 14' 32"	127° 41' 15"	陸上
紋別	超音波	19.00	15.00	44° 21' 09"	143° 21' 46"	陸上
十勝	超音波	63.50	10.50	42° 18' 06"	143° 19' 10"	陸上
むつ小川原	風車型	3.50	12.00	40° 55' 33"	141° 23' 13"	陸上
八戸	風車型	4.38	12.00	40° 33' 31"	141° 01' 07"	陸上
久慈	超音波	15.00	15.00	40° 13' "	141° 24' "	陸上
釜石	超音波	-	20.00	39° 16' 07"	141° 53' 05"	陸上
石巻	超音波	14.50	11.00	38° 24' 40"	141° 15' 48"	陸上
仙台新港	風車型	15.00	12.00	38° 16' 00"	141° 01' 31"	陸上
常陸那珂	超音波	-	29.50	36° 23' 29"	140° 36' 47"	陸上
鹿島	超音波	-	10.00	35° 55' 59"	140° 41' 23"	陸上
第二海堡	風車型	21.30	7.00	35° 18' 43"	139° 44' 28"	海上
アシカ島	超音波	-	13.50	35° 12' 44"	139° 44' 10"	海上
MT局	超音波	0.00	18.00	34° 25' 54"	135° 11' 52"	海上
神戸	風車型	0.00	14.00	34° 38' 51"	135° 16' 36"	海上
小松島	風車型	0.00	15.40	34° 02' 24"	134° 38' 37"	海上
室津	風車型	-	16.90	33° 18' 10"	134° 08' 47"	陸上
高知	風車型	-	10.00	33° 31' 12"	133° 35' 46"	陸上
上川口	風車型	-	10.00	33° 02' 22"	133° 03' 26"	陸上
新田	風車型	0.00	9.00	33° 48' 02"	131° 04' 37"	海上
宮崎	超音波	0.00	35.50	31° 49' 13"	131° 34' 55"	海上
中城	超音波	-	10.70	26° 20' "	127° 50' "	陸上
平良	超音波	-	14.00	24° 48' 29"	124° 16' 39"	陸上
石垣	超音波	-	16.00	24° 20' "	124° 09' "	陸上

検討対象期間中の、各風観測点における観測データの測得状況を付図-1 に示す。ナウファスにおける風観測データの収集は、通常は、2時間毎に、毎偶数正時前の10分間にわたって、5s間隔で120データのサンプリングがなされており、このデータをもとに平均風速と風向が算定されている。(風向の計算法要確認!) 地点あたり、年間4380観測(365日/年×12回/日)のデータの中で異常と判断されたデータの出現状況を示すため、付図-1は、各地点各年毎に作成されている。縦軸に0時から22時までの1日12回の観測時を示し、横軸には1月1日から12月31日までの365日間(うるう年であれば366日間)を並べ、異常データと判定されデータが活用できない欠測の場合の観測を黒抜きで表示している。ただし、関西空港新旧MT局やC局に関するデータに関しては、毎時観測(毎正時前の10分間にわたって0.5s間隔で1200データのサンプリング)や連続観測(0.5s間隔の切れ目のないデータのサンプリング、ただし新MT局に限る)が行われているので、これについては、縦軸を2倍の24観測に拡張して、同様にデータの測得状況を表示している。

付表-1は、これらの観測結果から算定された月平均

風速を検討対象としたすべての期間について示したものである。ただし、月間のデータの測得率(正常と判定される観測数を月間の全観測数で除した割合)が50%以下となった月については、平均値算定の信頼性が低い者と考え、平均値の表示を行わなかった。また、通年平均値については、その年のすべての月平均値が算出された場合に限って、表示することとした。

3. 観測値に基づく全国沿岸域の風力ポテンシャル

(1) 風力エネルギー密度および発電量の算定

観測された風速データをもとに風力エネルギーのポテンシャルを算定する方法に関して、以下にその概要を説明する^{13), 14), 15)}。

風速の鉛直分布として、1/7乗則を仮定し、観測された風速を、洋上風力発電システムの建設にあたって想定されている地上高60mと、地上高10mへの換算を行った。単位面積当たりの風力エネルギーを風力エネルギー密度とよぶ。ここで、平均エネルギー密度は式(1)にて算定した²⁾。

$$P_0 = (1/2n) \Sigma (\rho V^3) \quad (1)$$

ここに、各文字・記号は下記を意味している。

P_0 : 平均風力エネルギー密度 (W/m^2)

ρ : 空気の密度 (15℃, 1気圧で $1.225kg/m^3$)

V : 風速 (m/s)

n : 対象期間のデータ数

Σ : 対象期間のデータの総和

風力発電の発電電力量は、風力発電機の出力曲線(パワーカーブ)と設置地点のタワー高における風速出現分布を用いて、式(2)により求められる。

$$W_0 = \Sigma (W_i \times f_i \times 8760 \text{ 時間/年}) \quad (2)$$

ここに、各文字・記号は下記を意味している。

W_0 : 年間発電電力量(kWh)

W_i : 風速階級*i*の発電出力(kWh)

f_i : 風速階級*i*の出現率

パワーカーブとしては、現在の最大規模である下記の風車を想定し、図-2に示すものを仮定した。想定され

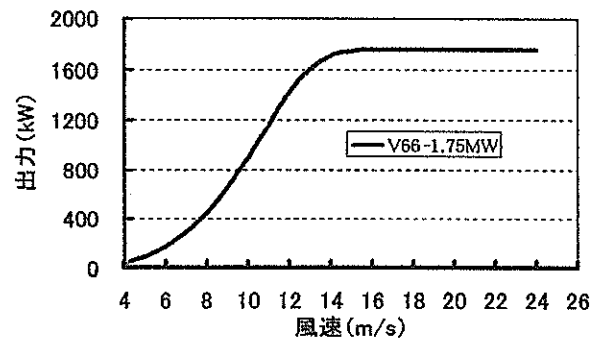


図-2 パワーカーブの仮定

表-2 各観測点の想定年間発電量

地点名	地上高(m)	平均風速(m/s)	換算平均風速(m/s)		エネルギー密度(W/m ²)			想定発電量(MWh)					エネルギー取得率	備考
			10m	60m	観測高	10m	60m	冬季	春季	夏季	秋季	通年		
留萌	13.40	6.06	5.81	7.50	266	235	506	1,717	1,109	689	1,370	4,888	0.32	陸上
瀬棚	15.00	5.25	4.96	6.40	187	157	339	1,386	811	453	773	3,424	0.34	陸上
秋田	10.00	6.36	6.36	8.21	407	407	877	1,926	1,386	654	1,241	5,210	0.20	陸上
酒田	19.20	7.42	6.76	8.73	521	394	849	2,280	1,492	836	1,481	6,094	0.24	海上
新潟沖	17.60	5.92	5.46	7.05	368	289	622	1,678	977	554	874	4,131	0.22	海上
伏木富山	10.00	5.21	5.21	6.72	161	161	348	1,066	1,026	554	856	3,533	0.34	陸上
輪島	10.00	3.92	3.92	5.06	115	115	248	1,112	390	110	464	1,996	0.27	陸上
藍島	10.00	3.31	3.31	4.27	95	95	205	648	322	210	234	1,415	0.23	陸上
玄界灘	24.60	6.28	5.52	7.13	275	187	402	1,051	1,060	977	977	4,062	0.34	海上
伊王島	8.00	4.36	4.51	5.82	162	178	383	1,120	767	346	625	2,858	0.25	陸上
名瀬	13.20	4.76	4.58	5.91	197	175	378	1,284	751	485	748	3,273	0.29	陸上
那覇	14.50	4.95	4.69	6.06	158	135	291	900	515	530	723	2,703	0.31	陸上
紋別	15.00	3.79	3.58	4.62	84	71	153	427	464	201	465	1,567	0.34	陸上
十勝	10.50	2.38	2.37	3.06	21	20	44	107	142	41	114	404	0.31	陸上
むつ小川原	12.00	4.71	4.59	5.93	136	125	270	842	823	527	665	2,858	0.35	陸上
八戸	12.00	4.21	4.10	5.30	102	94	203	625	750	375	432	2,177	0.36	陸上
久慈	15.00	3.99	3.76	4.86	99	84	180	642	668	192	424	1,841	0.34	陸上
釜石	20.00	3.70	3.35	4.33	82	61	131	249	402	235	327	1,217	0.31	陸上
石巻	11.00	3.61	3.56	4.60	69	66	142	433	416	246	349	1,437	0.34	陸上
仙台新港	12.00	4.47	4.35	5.62	113	105	226	825	723	360	523	2,445	0.36	陸上
常陸那珂	29.50	4.20	3.60	4.65	93	59	126	297	406	259	380	1,342	0.35	陸上
鹿島	10.00	3.95	3.95	5.11	69	69	148	341	525	337	431	1,620	0.37	陸上
第二海堡	7.00	5.75	6.05	7.82	276	322	693	1,359	1,313	1,097	1,366	5,133	0.25	海上
アシカ島	13.50	6.57	6.30	8.13	349	307	661	1,137	1,467	1,501	1,323	5,442	0.27	海上
MT局	18.00	5.06	4.65	6.01	187	145	313	1,047	670	640	711	3,074	0.33	海上
神戸	14.00	4.87	4.64	5.99	143	124	267	818	651	629	725	2,824	0.35	海上
小松島	15.40	5.66	5.32	6.88	245	204	439	1,296	1,069	827	900	4,094	0.31	海上
室津	16.90	2.06	1.91	2.47	20	16	35	114	131	47	45	311	0.30	陸上
高知	10.00	2.17	2.17	2.81	16	16	34	63	98	74	77	307	0.30	陸上
上川口	10.00	2.27	2.27	2.93	17	17	37	92	124	49	68	331	0.30	陸上
苅田	9.00	5.27	5.35	6.91	200	209	450	1,239	961	939	997	4,136	0.31	海上
宮崎	36.80	6.70	5.56	7.18	374	214	461	1,395	1,049	819	1,040	4,298	0.31	海上
中城湾	10.70	3.78	3.74	4.84	79	77	166	351	354	529	382	1,616	0.32	陸上
平良	14.00	4.18	3.98	5.15	118	102	221	525	280	329	492	1,634	0.25	陸上
石垣	16.00	3.78	3.54	4.57	71	58	124	261	175	415	253	1,120	0.30	陸上

ある。陸上観測点で神戸洋上観測点よりも大きい値を示すのは、留萌・瀬棚・秋田・伊王島・むつ小川原だけであり、洋上と陸上の相違は歴然としている。

ここで算定された推定年間発電量を、灯台周辺の風観測結果からワイプ分布を仮定して推定した長井らの既往の算定結果と比較すると^{10)、17)}、沿岸域陸上に位置する秋田などの観測地点では概ね近い値となっているものの、酒田・宮崎などの洋上観測点では、観測データから直接算定した本資料の方が、推定年間発電量が大きな値となっている。荒川ら¹⁸⁾は東京灯標における風観測データをもとに東京湾における洋上風力発電の有望性を述べているが、表-2においても東京湾内の洋上観測点であるアシカ島や第二海堡における算定結果は、他の観測点と比較しても高い値を示しており、やはり東京湾における洋上風力発電の有望性を示すものとなっている。

他方、表中のエネルギー取得率 α は、すべての地点で20%台あるいは30%台の低い値に留まっている。これは、現在の風力発電機は、危険防止のために、定格風速(今回想定は16m/s)以上になると出力をほぼ一定に調整し、カットオフ風速(今回想定は25m/s)以上になると発電を中止することに起因する。風力エネルギー

は風速の3乗に比例するため、強風時における風力エネルギーは非常に大きいですが、その大半は有効に活用しにくいものであることが理解される。

ここで年間発電電力量に売電単価と耐用年数をかけると、耐用年数における売電金額が求まる。例えば、売電金額を9.0円/kWh、耐用年数を20年と想定すると、東京湾のアシカ島においては1台当たり20年間で

$$5,442 \times 1,000 \times 9.0 \times 20 = 979,560,000 \text{ 円}$$

の売電収入があると想定される。また、同様に大阪湾の関西空港MT局では3,074MWhなので、553,320,000円となる。

風速発電プラントの建設費用は、立地条件によって異なるので一概に採算性を述べることは難しいが、こうした収入試算は今後の具体的なプロジェクトの企画に当たってめやすとなるものである。

(3) 年毎の変動量の評価

表-3は、代表的観測点における年変動を示したものである。検討対象期間は、表-2と同じ1996年から2000年までの5年間であり、各年毎の風観測データから求まる通年の、60m換算の総風力エネルギー E (kWh)の平均値と標準偏差を表の左側に示している。

また、表の右側には、図-2で仮定したパワーカーブを考慮した想定発電量を、季別および通年の値として示している。

風力エネルギーは、風速の3乗によって決まるため、強風の出現状況に応じて年間の総エネルギー量の変動は大きいことが表から理解できる。すなわち最も年毎の差が大きい表中の陸上観測点である中城湾では、1996年の総風力エネルギーは6144MWhであったのに対して1999年には3596MWhであり、その比は約1.7である。パワーカーブを想定した発電量としても、陸上観測点における年毎の差は、ほぼ同様である。例えば1996年と1999年の中城湾については、年間想定発電量は、それぞれ、1961MWhと1110MWhであり、その比は、やはり、1.7を越えている。

これに対して、洋上では、例えば新潟沖の2000年と1998年(1996年は8月の欠測が多かったのを)と比較すると、それぞれの総風力エネルギーは、21818MWhと14505MWhであり、その比は約1.3である。しかし、年間想定発電量は、4404MWhと3768MWhであり、その比は1.17となっている。他の洋上観測点における年毎の想定発電量の差は、新潟沖よりも小さいことを考え合わせると、一般的に、洋上における風力発電量は、年間単位で見ると、ほぼ、安定していると考えられる。

これらは、パワーカーブの特性によって、極端に風が

強い場合の風力エネルギーは発電総量に影響を与えないことに加えて、洋上では陸上に比べて無風状態が少ないため、発電に寄与する常時の風によるエネルギーが、年毎に異なる台風などの異常暴風雨によらず、安定的に得られるためであると考えられる。

4. 関西空港における陸上風と洋上風の比較

(1) 検討対象とした観測データ

関西空港(株)では、長年にわたって大阪湾泉州地区の風観測を実施しており、貴重な沿岸域および洋上の風観測データの蓄積をはかっている。ここでは、これらのデータの中から、表-4に示すデータのご提供をいただき、陸上風と洋上風の比較を行った。

陸上風と洋上風との比較の例としては、近隣の気象官署と港湾工事事務所における観測結果とを比較した検討が秋田、酒田、宮崎の各港湾を対象として行われているが、ここでは陸上の観測風速より洋上の観測風速の方が大きな値となることが示されている¹⁹⁾。地形に伴う風況の相違を数値シミュレーションによって明らかにする研究の事例もあるが、洋上における観測データが十分ではないため、現時点では陸上の局所地形に伴う風況変化を再現する実績はある蓄積されているものの、洋上風の再現には至っていない^{20), 21)}。

他方、関西空港における洋上観測風の観測結果は、大阪湾沿岸の気象海象特性の把握に用いられているが²²⁾、陸上観測風と洋上観測風との比較検討は、十分とは言えない。また、特定の強風期間に注目した関西空港における洋上観測風の報告例^{23), 24)}はあるが、年間を通じた統計値としての陸上風と洋上風の比較は、風力エネルギーという観点からは行われていなかった。

検討対象とした比較データは、空港の第1期工事の最大であった1991年の1年間における、南海電鉄樽井駅の近くに設置されたC局と呼ばれる陸上観測局における観測結果と、空港島の西約500mの洋上に位置する旧MT局と呼ばれる洋上の観測施設におけるデータである。1年間にわたる毎正時前10分間について、超音波式風向風速計を用いて0.5s間隔のサンプリングで観測された風データを用いた。

表-4 検討対象とした陸上・海上の風観測記録

地点名	設置高(m)	機種	対象年	サンプリング
C局低層	10(陸上)	超音波	1991	0.5/s/10min/毎時
C局高層	100(陸上)	超音波	1991	0.5/s/10min/毎時
旧MT局	15(海上)	超音波	1991	0.5/s/10min/毎時
新MT局	17(海上)	超音波	1991	0.5/s/10min/毎時
			2000	5/s/連続

表-3 代表的観測点における年変動

陸海	地点名	年	60m換算エネルギー(MWh)	平均標準偏差	想定発電量(MWh)					平均標準偏差
					冬季	春季	夏季	秋季	通年	
陸	瀬棚	1996	9,710	10,148	1,384	767	507	769	3,433	3,424
		1997	8,691		1,223	814	436	654	3,130	
		1998	11,389		1,532	691	556	865	3,644	
		1999	10,909		1,549	704	421	774	3,438	
		2000	10,040		1,246	1,083	344	800	3,478	
陸	伊王島	1996	12,677	11,485	1,080	859	371	628	2,938	2,858
		1997	12,318		1,149	684	384	826	3,044	
		1998	9,141		1,023	579	334	526	2,446	
		1999	12,468		1,303	839	333	573	3,073	
		2000	10,819		1,039	874	304	571	2,787	
上	むつ小川原	1996	7,852	8,104	843	866	577	633	2,921	2,858
		1997	8,332		953	899	614	557	3,022	
		1998	8,651		873	783	607	725	2,989	
		1999	7,882		730	719	497	697	2,643	
		2000	7,782		811	849	341	710	2,713	
上	中城湾	1996	6,144	4,969	368	440	578	576	1,961	1,616
		1997	5,664		310	333	667	377	1,685	
		1998	3,986		394	341	362	361	1,459	
		1999	3,596		312	276	323	200	1,110	
		2000	5,455		372	380	720	397	1,863	
海	酒田	1997	-	25,455	-	-	-	-	-	6,094
		1998	23,826		2,157	1,259	1,122	1,580	6,118	
		1999	25,055		2,393	1,414	746	1,388	5,941	
		2000	27,482		2,289	1,805	639	1,476	6,222	
		1996	22,418		1,614	1,018	1,177	872	4,694	
海	新潟沖	1997	16,693	18,731	1,572	873	494	893	3,808	4,146
		1998	14,505		1,541	730	580	884	3,768	
		1999	18,222		1,854	909	435	839	4,054	
		2000	21,818		1,797	1,350	353	884	4,404	
		1997	-		-	-	-	-	-	
1998	10,280	665	819	1,131	981	3,628				
1999	13,427	1,341	1,165	974	907	4,398				
2000	12,348	1,144	1,115	817	1,039	4,128				
1996	18,312	1,296	968	808	1,192	4,272				
上	第二海堡	1997	20,739	20,805	1,414	1,322	1,162	1,348	5,245	5,134
		1998	24,216		1,461	1,528	1,024	1,472	5,469	
		1999	19,510		1,163	1,379	1,338	1,305	5,184	
		2000	21,249		1,474	1,360	1,145	1,512	5,499	
		1997	13,876		1,377	976	775	869	4,003	
上	小松島	1998	11,658	13,112	1,223	1,062	637	867	3,791	4,089
		1999	14,655		1,264	1,207	1,120	961	4,551	
		2000	12,258		1,328	1,031	777	-	4,012	

なお、第二期工事の着工に伴い、その後、旧MT局は新MT局に移設され現在に至っている。表-1および図-2で示したMT局は新MT局であることに、ご注意願いたい。また、洋上風の時間変動特性の把握にあたっては、新MT局における観測開始によって、はじめて切れ目のない連続観測が風観測にも適用されるようになったため、新MT局における5s間隔のサンプリングに変換した2000年1年間の連続観測記録を用いることとした。

(2) 風速の出現分布と風力エネルギーの比較

図-4は、洋上(平均海面上15m)の旧MT局における検討対象期間中の風速の出現分布を、C10(C局の地盤上10mの高さにおける風速観測結果)およびC100(C局の地盤上100mの高さにおける風速観測結果)と比較したものである。ここに、冬期とは1・2・12月を、春期とは3・4・5月を、夏期とは6・7・8月を、秋期とは9・10・11月を、それぞれ意味しており、風速2m/s間隔で出現頻度を%として表示している。洋上の旧MT局における出現分布は、C10よりも右側に(すなわち風速が大きい)ずれており、C100のものときわめて近い分布となっていることがわかる。洋上海面上15mにおける風速は、沿岸部陸上の地盤高100mの風速にほぼ等価であるということは、風力発電における洋上風の優位性を示唆しているものである。

こうした風速の出現頻度分布から、風力エネルギーの算定を、前述の式(1)から式(4)を用いて行った。季節別の発電ポテンシャルの算定に当たっては、冬季は90日(2160時間)、春期は92日(2208時間)、夏季は92日(2208時間)、秋期は91日(2184時間)であ

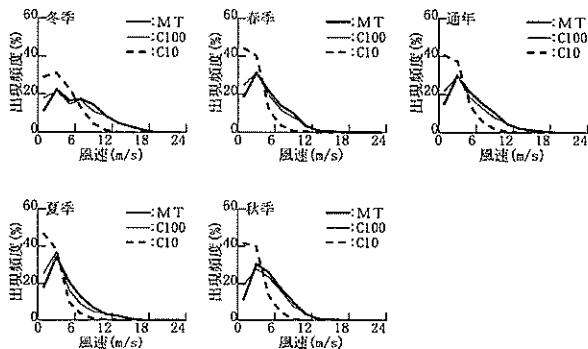


図-4 陸上風と洋上風の風速分布の比較

表-5 陸上風と洋上風の風力エネルギー

地点	総エネルギー(MWh)			年間発電量(MWh)			エネルギー取得率		
	C10	C100	MT	C10	C100	MT	C10	C100	MT
通年	1,160	6,035	6,009	383	1,963	2,112	0.33	0.33	0.35
冬季	532	2,537	2,544	199	830	871	0.37	0.33	0.34
春季	192	1,072	1,064	55	363	390	0.29	0.34	0.37
夏季	193	1,139	1,185	58	376	414	0.30	0.33	0.35
秋季	242	1,284	1,191	71	393	429	0.29	0.31	0.36

るので、式(2)および(3)の8760時間の部分を置き換える。

表-5に、C10の風、C100の風および旧MT局の風の出現頻度分布を前提とした、発電ポテンシャルと発電推定量を示す。ここに、算定に用いた風車機種は、表-1を求めたものと同じであり、図-1のパワーカーブを仮定している。

ただし、表中の数値は、観測高度における実測風に基づくものであり、実際に風車が設置される高度への補正を行ったものではないことには、注意を要する。

表中には、パワーカーブを仮定した発電総量と年間発電電力ポテンシャル W_e との比として定義されるエネルギー取得率を、あわせて示している。C100と旧MT局を比較すると、年間発電電力ポテンシャルはC100の方が若干大きいものの、発電総量では旧MT局の方が逆にわずかに大きく、旧MT局のエネルギー取得率の方が若干大きい値となっていることがわかる。

(3) 変動係数による洋上風・陸上風の時空間的変動特性の比較

洋上風と陸上風との風力発電への適用性の比較のために、両者の短期的時間変動特性の相違を検討する。

図-5は、各観測点における1991年1年間の、10分間平均風速と風の主軸方向成分の風速変動の標準偏差との関係をプロットしたものである。左側の図は0.5s間隔のサンプリングで求めた標準偏差を、右側の図は5s間隔のサンプリングで求めた標準偏差を、それぞれ示している。いずれの図においても、プロットは広い範囲に分布しているが、原点を通る回帰直線を図中に示している。この回帰直線の傾きが、それぞれの観測点における風速の代表的な変動係数と考えることができる。

主軸方向の風速変動は、比較的短時間内における風速の時間的変動の大きさを示すパラメータである。短時間の風速変動は、風車の疲労につながる外力となるため、風力エネルギーの活用の観点からは、小さいほど望ましいものである。

変動係数の値(図中の傾きAの値)は、いずれの観測点においても左右の図でほとんど同じ値となっている。このことは、5s間隔のサンプリングで変動係数を検討しても、0.5s間隔のサンプリングにおける検討結果とほぼ等しいことを意味している。すなわち、10分間中の風速の変動にはさまざまな周波数が含まれるものの、5s以下の周期に対応する高周波数成分の風速変動は、より長周期の変動に比べて極めて小さいと考えられる。C10、C100および旧MT局における変動係数の代表値は、それぞれ、0.26、0.11、0.10であった。C10とC100の比較から、変動係数は鉛直上方に行くほど小さくなり風速は安定するようである。旧MT局の観測点は平均海面

上 15 m と低いにもかかわらず、C 100 よりも変動係数が小さいことは、洋上風は陸上風にくらべてはるかに風速が安定していることを明確に示している。

図-6 は、図-5 と同様に、各観測点における 1991 年 1 年間の、10 分間平均風速と風の主軸方向直角成分の風速変動の標準偏差との関係をプロットしたものである。左側の図は 0.5s 間隔のサンプリングで求めた標準偏差を、右側の図は 5 s 間隔のサンプリングで求めた標準偏差を、それぞれ示している。

主軸直角方向の風速変動は、空気の連続性を考慮すれば、空間的な風況の変動の大きさを示すパラメータとして考えることができる。すなわち、風が理想的な整流であれば、主軸直角方向の風速は常にゼロとなる。しかしながら、現実には主軸直角方向にも風速が存在し、軸の取り方の定義から考えて平均値としてはゼロになるものの、その風況は常に変動している。この変動は、主軸直角方向における風速の不均一故に生ずるものと考えられるので、空間的な風の変動の大きさを示すものと考えることが可能である。

代表的な変動係数 A は、ここでもまた、左右の図ではほとんど一致しており、周期 5 s 以下の短周期変動成分の影響は、変動係数算定上はきわめて小さいことがわかる。C 10、C 100 および旧 MT 局のそれぞれの代表的な変動係数の値は、0.22、0.10、0.09 であった。風の主方向直角方向の風速変動、すなわち空間的な風の場の乱れに関しても、洋上の平均海面上 15 m の観測点では、陸上の地盤上 100 m の観測点よりも、さらに小さい値を示し、洋上風は陸上風に比べて極めて空間的な安定性もよいことが示されている。

以上述べたように、洋上の風は、たとえ標高が平均海面上 15 m の低い観測点であっても、陸上の地盤高 100 m の観測点と同等あるいはそれ以上の、強い平均風速となり、かつ主軸方向および主軸直角方向への変動が小さいことが、実測データから示された。

(4) 風の時間変動のスペクトル解析

図-7 は、2000 年の 1 年間における新 MT 局（平均海面上 17 m）で観測された 5 s 間隔の風速記録を、年間を通じてスペクトル解析したものである。

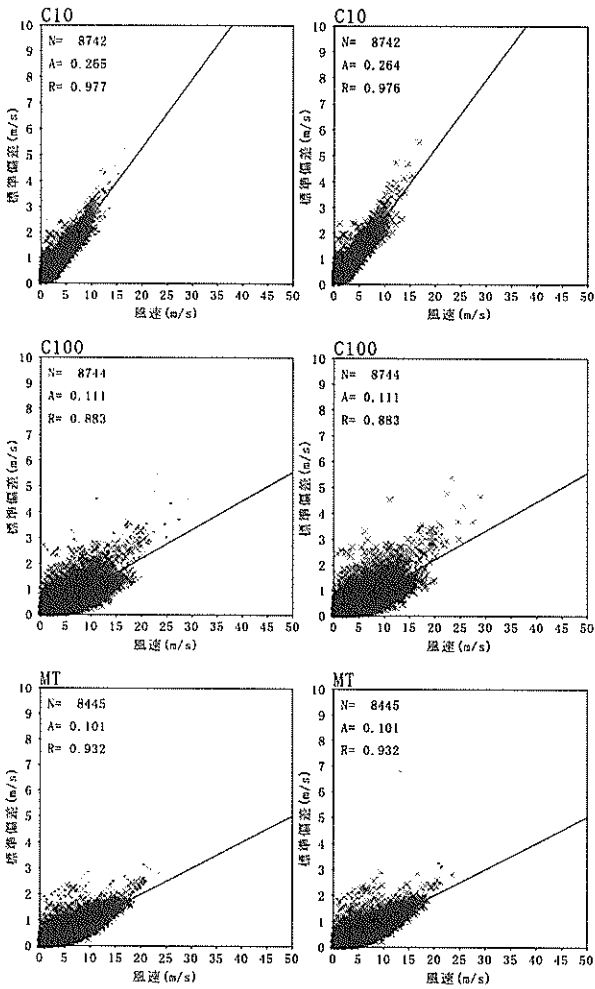


図-5 風の主軸方向成分の風速変動の標準偏差

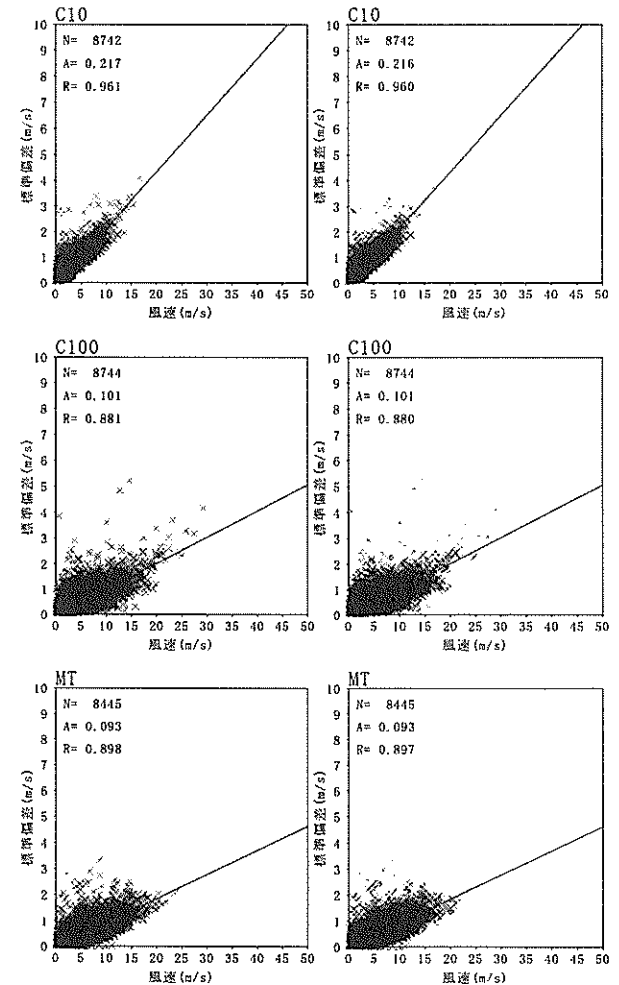


図-6 風の主軸直角方向成分の風速変動の標準偏差

こうして得られた周波数スペクトル密度 $S(f)$ を縦軸横軸とも対数軸上で示すとともに、支配的な周波数帯を得るために地震学などで用いられている概念である、 $S(f)$ に f を乗じた応答スペクトル $f S(f)$ を、併せて示している。

風速の変動は、幅広いさまざまな周波数成分から構成されているが、応答スペクトル $f S(f)$ の形状から、明らかに 1.2×10^{-5} Hz (周期 1 日程度) の変動周期に対応する非常に鋭敏なピークを確認することができる。

応答スペクトル $f S(f)$ の値を、オーダ毎に見ると、最も変動エネルギーが大きい周波数帯は、 10^{-6} Hz から 10^{-7} Hz の範囲、すなわち、1 日から 10 日程度の周期帯であることがわかる。

すなわち、年間を通じた風速の変動周期としてもっとも支配的な周期は、1 日のピークの他に、数日から 10 日程度の周期がもっとも重要であることがわかる。

周期帯毎の変動成分の大きさを表記するために、波浪におけるスペクトル情報の表示法に用いられる周期帯換算有義波高 H_m が、次式で定義されること⁷⁾ に倣って、周期帯毎の風速変動有義振幅を求めた結果が表-7 である。

$$H_m = 4 \left(\int S(f) df \right)^{1/2} \quad (5)$$

ここに、式 (5) の積分範囲は、定義される周期帯の範囲である。

表-6 の値は、風速と同じ次元 (単位) をもち、ここでは、(m/s) で表記されている。また、表では、スペクトルの計算条件を以下のように 7 通りに変化させており、得られた値の変動についても検討されている。い

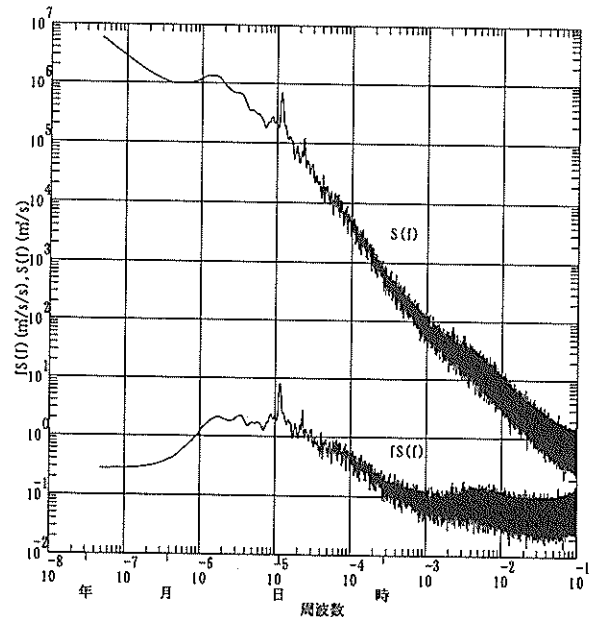


図-7 スペクトル解析による風の時間変動

表-6 周期帯毎の変動エネルギーの比較

周波数範囲 (log(f))		-8~-7	-7~-6	-6~-5	-5~-4	-4~-3	-3~-2	-2~-1	-1~0
1年間 1hデータ	平均値	0.6216	0.8682	2.2658	1.7546	0.4891			
	サンプル数	1	1	1	1	1			
1月間 1hデータ	平均値		0.7213	2.2012	1.7497	0.4885			
	サンプル数		12	12	12	12			
	標準偏差		0.0837	0.1497	0.0437	0.0183			
	変動比		0.1160	0.0680	0.0250	0.0374			
1年間 5sデータ	平均値	0.5682	0.7370	1.9719	1.4745	0.6047	0.3794	0.3245	
	サンプル数	1	1	1	1	1	1	1	1
8ヶ月 前半・後半 5sデータ	平均値	0.5789	0.8502	2.1981	1.7449	0.6935	0.4125	0.3545	
	サンプル数	2	2	2	2	2	2	2	2
	標準偏差	0.0584	0.0209	0.0823	0.0043	0.0248	0.0013	0.0003	
	変動比	0.1009	0.0246	0.0374	0.0025	0.0357	0.0032	0.0009	
日単位 5sデータ	平均値				2.4084	0.8407	0.4211	0.3368	
	サンプル数				366	366	366	366	
	標準偏差				0.0493	0.0174	0.0102	0.0091	
時間単位 5sデータ	平均値					0.5377	0.4265	0.3202	
	サンプル数					8645	8645	8645	
	標準偏差					0.0043	0.0027	0.0023	
10分 0.5sデータ	平均値						0.3761	0.2630	0.1780
	サンプル数						7919	7919	7919
	標準偏差						0.0029	0.0021	0.0015
	変動比						0.0077	0.0078	0.0083

ずれも計算はFFT法を用いた。演算データ数を2ⁿにあわせるため、実際のデータの後部にゼロ値を所定個数与え、実際のデータ数以上となる最小のnの値を設定した。(2000年はうるう年なので366日間であった。)

- ① 通年の毎時値 (8784 データ, n = 14)
- ② 月毎の毎時値 (744 データ, n = 10)
(各月合計12ケースのサンプル有り)
- ③ 年間の5s間隔値 (6324480 データ, n = 23)
(図-7に対応した計算結果である)
- ④ 年頭および年末からの約8か月の5s間隔値
(4194304 データ, n = 22)
- ⑤ 1日毎の5s間隔値 (17280 データ, n = 15)
(合計366ケースのサンプル有り)
- ⑥ 1時間毎の5s間隔値 (720 データ, n = 10)
(欠測を除き合計8645ケースのサンプル有り)
- ⑦ 10分間毎の0.5s間隔値 (1200 データ, n = 11)
(欠測を除き合計7918ケースのサンプル有り)

②④⑤⑥⑦では、複数のサンプルがあったため、表中には平均値を記すとともに、その変動を標準偏差および変動比(標準偏差を平均値で除した値として定義)を、併せて記した。

サンプリングの範囲に応じて若干の変動はあるものの、オーダ毎の周期帯毎の風速変動有義振幅は、概ね下記のように見積もることができる。

- 10⁻⁸から10⁻⁷ Hz: 0.3 から 0.4 m/s
- 10⁻⁷から10⁻⁶ Hz: 0.6 から 0.8 m/s
- 10⁻⁶から10⁻⁵ Hz: 3.0 から 6.0 m/s
- 10⁻⁵から10⁻⁴ Hz: 2.0 から 7.0 m/s
- 10⁻⁴から10⁻³ Hz: 0.2 から 0.9 m/s
- 10⁻³から10⁻² Hz: 0.1 から 0.3 m/s

10⁻²から10⁻¹ Hz: 0.1 から 0.2 m/s

10⁻¹から 1 Hz: 0.05 m/s 程度

すなわち、風の時間変動における最も支配的な周期帯は、数時間から10数日程度の範囲であることがわかる。通常は10分間(600s)の1観測中の風速の変動は、こうした長時間の気象変動に伴う変動に比べれば小さいことがわかる。また、こうした1観測の中で周期10s以下の変動は相対的にも小さくなっており、このことが、図-5や図-6におけるサンプリング間隔が5sの場合と0.5sの場合とで、変動係数にほとんど差が生じないことに対応しているものと考えられる。

5. 全国沿岸の洋上風観測点における風の変動係数

(1) 各観測点の風の変動

表-7は、全国の風観測点における風速の変動係数を示したものであり、2000年間1年間のデータを対象としたものである。2時間毎に収集される5s間隔のデータに対して、付図-2に、平均風速と主軸方向および主軸直角方向の標準偏差の関係を、図-5や図-6にならべて示している。

検討対象地点は、基本的には、表-1および表-2と同じであるが、瀬棚、八戸、久慈、藍島および石垣の各観測点では、瞬間風速の表示がなく平均風速だけが記録されるシステムとなっているため、表-7では検討対象外としている。

関西空港旧MT局では、図-5および図-6に示すように、通年の軸変動係数は0.10、軸直角変動係数は0.09であったが、この値は全国の他のナウファス洋上観測点でも、ほぼ同様の値となっていることは注目に値する。

表-7 全国の風観測点における風速の変動係数

港名	海陸	平均風速 (m/s)					主軸方向変動比 (A)					主軸直角方向変動比 (B)					(B)/(A)					
		通年	冬季	春季	夏季	秋季	通年	冬季	春季	夏季	秋季	通年	冬季	春季	夏季	秋季	通年	冬季	春季	夏季	秋季	
留萌	陸上	5.97	5.23	5.90	4.47	7.00	0.20	0.18	0.19	0.17	0.22	0.17	0.16	0.17	0.15	0.18	0.85	0.89	0.89	0.88	0.82	
秋田	陸上	6.62	8.08	7.25	4.23	7.04	0.16	0.15	0.16	0.18	0.16	0.14	0.14	0.13	0.14	0.88	0.93	0.88	0.72	0.88		
酒田	海上	7.72	5.90	8.29	5.02	8.13	0.11	0.13	0.10	0.08	0.11	0.10	0.12	0.09	0.07	0.11	0.91	0.92	0.90	0.88	1.00	
新潟沖	海上	6.42	8.84	6.91	4.01	6.52	0.13	0.13	0.12	0.11	0.13	0.11	0.13	0.10	0.08	0.12	0.85	1.00	0.83	0.73	0.92	
伏木富山	陸上	5.23	5.64	5.61	4.45	5.29	0.11	0.12	0.10	0.09	0.11	0.12	0.14	0.11	0.10	0.13	1.09	1.17	1.10	1.11	1.18	
輪島	陸上	3.85	5.99	3.71	2.43	3.91	0.19	0.17	0.22	0.27	0.20	0.20	0.17	0.20	0.27	0.22	1.05	1.00	0.91	1.00	1.10	
五ヶ瀬	海上	6.34	6.96	6.47	5.76	6.33	0.18	0.19	0.17	0.16	0.19	0.16	0.18	0.16	0.14	0.16	0.89	0.95	0.94	0.88	0.84	
伊予灘	陸上	4.35	5.66	4.83	3.27	4.12	0.20	0.20	0.16	0.24	0.24	0.15	0.17	0.13	0.17	0.16	0.75	0.85	0.81	0.71	0.67	
名瀬	陸上	5.10	6.82	5.02	4.45	4.77	0.18	0.17	0.18	0.22	0.18	0.17	0.14	0.16	0.22	0.21	0.84	0.84	0.84	0.85	0.84	
那覇	陸上	4.71	5.26	4.39	4.78	4.62	0.25	0.25	0.25	0.26	0.25	0.21	0.21	0.21	0.22	0.21	0.84	0.84	0.84	0.85	0.84	
紋別	陸上	6.92	7.99	8.69	6.04	5.72	0.26	0.24	0.27	0.29	0.23	0.22	0.20	0.23	0.26	0.19	0.85	0.83	0.85	0.90	0.83	
十勝	陸上	2.46	2.53	2.63	1.95	2.53	0.32	0.27	0.33	0.34	0.33	0.27	0.22	0.29	0.28	0.28	0.84	0.81	0.88	0.82	0.85	
むつ小川原	陸上	4.66	4.79	5.14	3.88	4.80	0.23	0.23	0.23	0.23	0.18	0.24	0.21	0.19	0.22	0.18	0.23	0.91	0.83	0.96	1.00	0.96
釜石	陸上	3.54	3.07	4.08	3.13	3.67	0.25	0.35	0.25	0.19	0.24	0.24	0.34	0.24	0.21	0.23	0.96	0.97	0.96	1.11	0.96	
石巻	陸上	4.01	4.43	4.47	3.25	4.03	0.17	0.17	0.17	0.17	0.15	0.17	0.12	0.13	0.12	0.10	0.12	0.71	0.76	0.71	0.67	0.71
仙台新港	陸上	3.69	4.26	4.13	2.74	3.75	0.21	0.20	0.21	0.25	0.21	0.19	0.19	0.19	0.22	0.19	0.90	0.95	0.90	0.88	0.90	
常陸那珂	陸上	4.64	4.41	5.09	4.94	4.88	0.15	0.17	0.17	0.16	0.13	0.14	0.16	0.14	0.13	0.12	0.93	0.94	0.82	0.81	0.92	
鹿島	陸上	3.93	3.89	4.18	3.60	4.00	0.22	0.23	0.22	0.22	0.22	0.18	0.20	0.17	0.17	0.18	0.82	0.87	0.77	0.77	0.82	
第二海堡	海上	5.21	6.15	6.22	5.71	6.58	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.12	0.10	0.09	0.11	1.00	1.09	0.91	0.90	1.10	
アンガ島	海上	6.64	5.75	6.89	7.33	6.38	0.10	0.14	0.09	0.07	0.11	0.08	0.13	0.08	0.05	0.10	0.80	0.83	0.89	0.71	0.91	
MT局	海上	5.24	6.18	4.88	4.76	5.40	0.10	0.11	0.09	0.09	0.10	0.09	0.11	0.08	0.07	0.11	0.90	1.00	0.89	0.78	1.10	
神戸	海上	5.24	5.63	5.06	4.77	5.47	0.10	0.11	0.09	0.08	0.10	0.09	0.11	0.09	0.07	0.10	0.90	1.00	1.00	0.88	1.00	
小松島	海上	5.74	6.73	5.85	4.92	5.72	0.09	0.10	0.09	0.07	0.08	0.08	0.10	0.07	0.06	0.07	0.89	1.00	0.78	0.86	0.88	
遠州	陸上	2.53	2.81	2.80	2.37	2.31	0.35	0.38	0.33	0.33	0.38	0.26	0.27	0.24	0.25	0.30	0.74	0.71	0.73	0.76	0.79	
高知	陸上	2.37	2.51	2.48	2.35	2.20	0.28	0.33	0.29	0.25	0.28	0.24	0.26	0.24	0.21	0.24	0.86	0.79	0.83	0.84	0.86	
上川口	海上	2.58	2.76	2.81	2.23	2.58	0.31	0.33	0.31	0.30	0.30	0.24	0.26	0.25	0.22	0.22	0.77	0.79	0.81	0.73	0.73	
和田	海上	5.35	6.18	5.27	4.96	5.29	0.09	0.10	0.10	0.08	0.10	0.09	0.10	0.09	0.07	0.10	1.00	1.00	0.90	0.88	1.00	
宮崎	海上	6.59	7.58	6.42	5.50	7.34	0.12	0.10	0.11	0.13	0.13	0.10	0.09	0.08	0.10	0.11	0.83	0.90	0.73	0.77	0.85	
中城	陸上	4.09	4.04	3.90	4.75	3.75	0.26	0.27	0.25	0.23	0.28	0.20	0.21	0.21	0.18	0.22	0.77	0.78	0.84	0.78	0.79	
平良	陸上	4.15	4.75	3.62	3.84	4.51	0.26	0.26	0.27	0.25	0.27	0.20	0.20	0.19	0.18	0.22	0.77	0.77	0.70	0.72	0.81	

最も通年の軸変動係数および軸直角変動係数の大きい玄界灘では、両者の値がそれぞれ 0.19 および 0.16 であったが、他の観測点では、軸変動係数は 0.09 から 0.13 の間の値に、軸直角変動係数は 0.08 から 0.11 の間の値にそれぞれなっており、旧MT局の値とほぼ等しい。玄界灘観測点は、海上観測塔や岩礁などに比べて比較的面積の広い宗像大島上に位置しているため、完全な洋上観測風とはいうことができず、陸上風との中間的な風となっている可能性が高いと思われる。

これに対して、沿岸域陸上における観測点における変動係数は、通年の主軸方向としては 0.15 (常陸那珂) から 0.36 (室津) の間に、通年の主軸直角方向としては 0.12 (石巻) から 0.27 (十勝および室津) の間に、それぞれ収まっており、関西空港C局の 10 m 高度で得られた、通年の主軸方向としての 0.26、および通年の主軸直角方向としての 0.22 と、同程度の値となっている。

すなわち、関西空港において確認された、陸上風に対する洋上風の時間的・空間的な安定性は、全国の沿岸洋上においても、ほぼ同程度の変動係数の値として、定量的に確認されたと結論づけられる。

(2) 風の変動パターンの分類

図-8は、表-7の結果を図示したものであり、縦軸に各地点毎の季別あるいは通年の平均風速を示し、横軸左側に風主軸直角方向の変動比(標準偏差と平均風速の比:表-7で示す付表-2の右側の図の傾きに相当する値)を、横軸右側に風主軸直角方向の変動比(標準偏差と平均風速の比:表-7で示す付表-2の左側の図の傾きに相当する値)を、それぞれ示している。図が煩雑になるのを避けるため、それぞれのプロットに関する対応観測点の表示はなされていないが、凡例によって、海域区分は行っている。なお、東京湾・大阪湾・周防灘は、この図では太平洋側として取り扱っている。白いプロットは陸上の風観測点を示し、黒いプロットは洋上の風観測点を示している。

図から、黒プロット群と白プロット群との間に、極めて顕著な相違を読みとることができる。すなわち、洋上における風は、その平均風速が大きい(エネルギーが大きい)ばかりでなく、変動係数も小さい。これに対して、陸上風は、洋上風に比べて平均風速が低く、かつ変動係数が大きくなっている。すなわち、洋上風の方が陸上風に比べて風力エネルギーの安定的な抽出に適していることがわかる。

海域毎の洋上風の特性の相違は、季節変動として現れている。すなわち、日本海側では冬に風が強く、夏に弱い季節変動があるため、冬季には日本海側のプロットが図の上側に、下記には太平洋側のプロットが図の上側に位置している。なお、日本海側と太平洋側の洋上観測点

の左右の横軸の値は、概して日本海側の方が大きくなっている。すなわち、太平洋側の方が日本海側に比べて、より洋上風の変動が小さくなっている。この原因は、まだよくわかってはいないが、波浪の発生・発達に関しては統計的に日本海側の方が太平洋側よりも変動の時間スケールが短いこと¹⁹⁾と、関連のある事実だと思われる。すなわち、日本海側の方が、空間的・時間的な風場の変化が大きいため、その相違が風速の変動係数として現れているのかもしれない。ただし、本資料では、ひとまとめに洋上観測点・陸上観測点として分類しているが、海岸線からの距離や、風の方向と海岸線の方向との関係などによって、風の出現特性は洋上から陸上にかけて連続的に変化するものと推定されるので、今後のより精緻かつ高密度な沿岸域における3次元的な風の出現特性の把握が、今後望まれる。

図-9は、代表的な観測点毎に、図-8と同じ縦軸横軸上で、季節変動を示したものである。洋上風観測点の季節変動は、日本海側および東シナ海側の酒田および玄界灘では、V字型の変動を示し、冬季は平均風速・変動比ともに大きく、夏季は両者が小さくなっている。この変動は、特に酒田で顕著であるが、玄界灘では変動幅は酒田に比べれば小さくなっている。これに対して、太平洋側の東京湾口に位置するアシカ島では、逆V字型の出現特性となっている。すなわち、夏季には平均風速が大きく変動比が小さい反面、冬季には平均風速が小さく変動比が大きい。西日本の太平洋側の大阪湾・周防灘および太平洋に面する神戸・苅田・宮崎では、年間の季節変動があまり大きくないのが特徴となっている。

これらの洋上観測点に比べて、陸上観測点では、その季節変動のパターンは複雑であり区分が困難である。陸上風は洋上風に比べて横軸の変動比が大きく、複雑な陸上地形の影響を受けているためであると想像される。

6. おわりに

本稿では、洋上沿岸域での風力発電立地を検討するための基礎資料とすることを目的として、全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)の風況観測データを取りまとめ、その上で風力エネルギー密度、発電電力量を試算した。この結果、洋上における観測点と陸上における観測点における顕著な風力ポテンシャルの相違が判明した。洋上風と陸上風の相違を関西空港における観測結果を用いて詳細に検討した結果、洋上風は陸上風に比べて平均風速が大きいことが示されるとともに、時間的および空間的変動が小さいことが、風の主軸方向の標準偏差および主軸直角方向の標準偏差を平均風速で除した変動係数の値として定量的に示された。全国沿岸洋上のナウファスの他

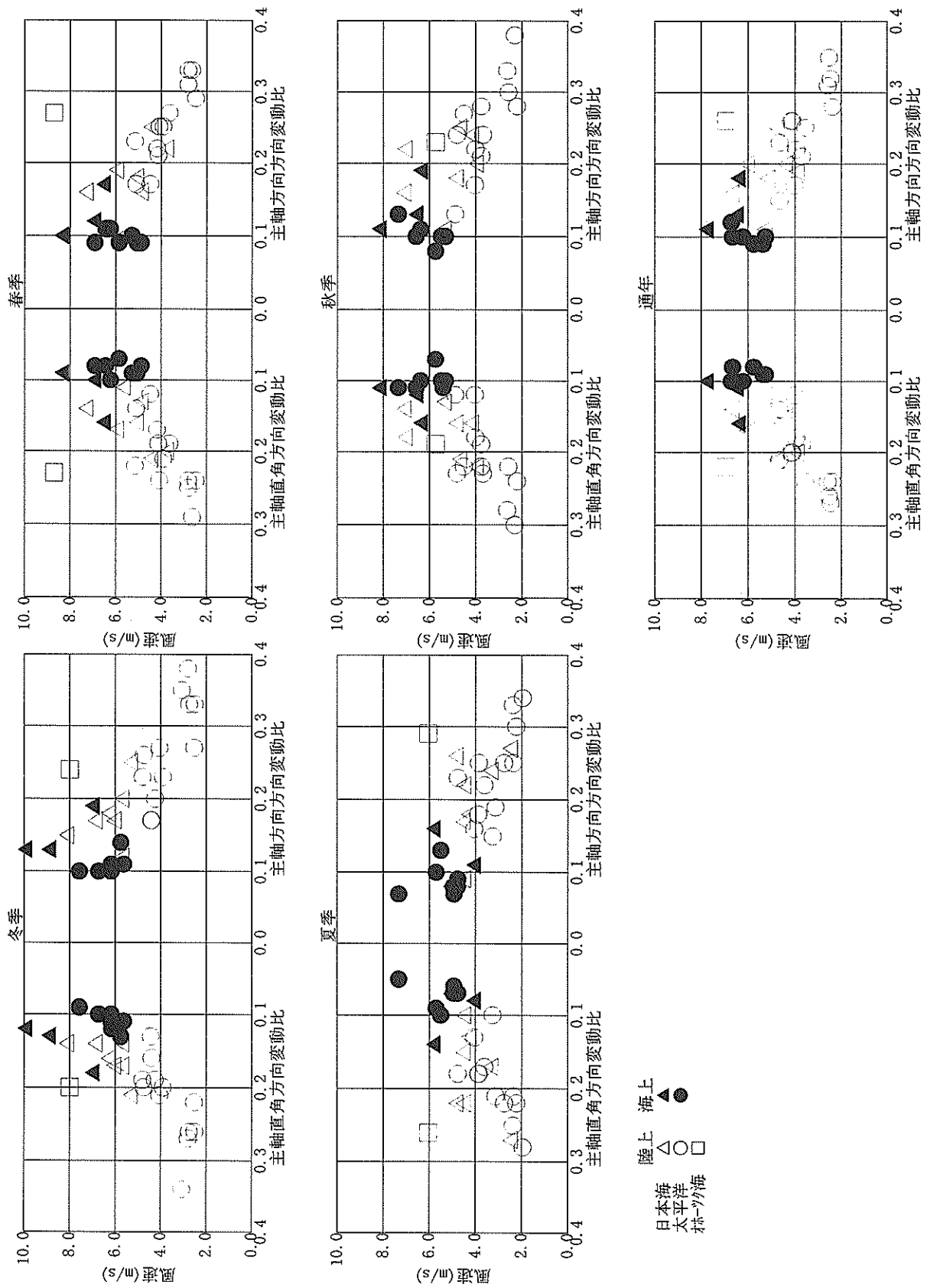


図-8 ナウファアス各観測点における平均風速と変動比の分布

の観測点においても、主軸方向および主軸直角方向の代表的変動係数は、関西空港沖合同程度値であり、洋上観測点と陸上観測点との間に顕著な相違があることが、あわせて確認された。

すなわち、本稿では、洋上風は陸上風に比べて風力発電に適した特性を有していることを、観測データに基づいて定量的に明らかにすることができた。

本資料で示した標準偏差を平均値で除した風速変動係数は、風観測データのとりまとめにあたって、一般的に採用されているパラメータであり、汎用的に風の変動特性を示すものと考えられる。風速の短時間変動は、風力発電にあたっては、発電量の短時間変動と発電効率の低下を招くばかりではなく、風車への疲労外力として風車の耐用年数を短くする悪影響を持つものである。ただし、こうした変動係数は、現段階では、風力発電装置の導入にあたっての立地検討調査には、まだ活かされてはいないのが現状である。変動係数と発電効率や風車の疲労との関係は、風車毎に異なったものとなるため、汎用的な解析が困難であるためである。風速の変動係数を、どのような形で風力発電施設の設計やアセスメントに活かすかは、今後の課題として残される研究テーマとなるものであろう⁷⁾。

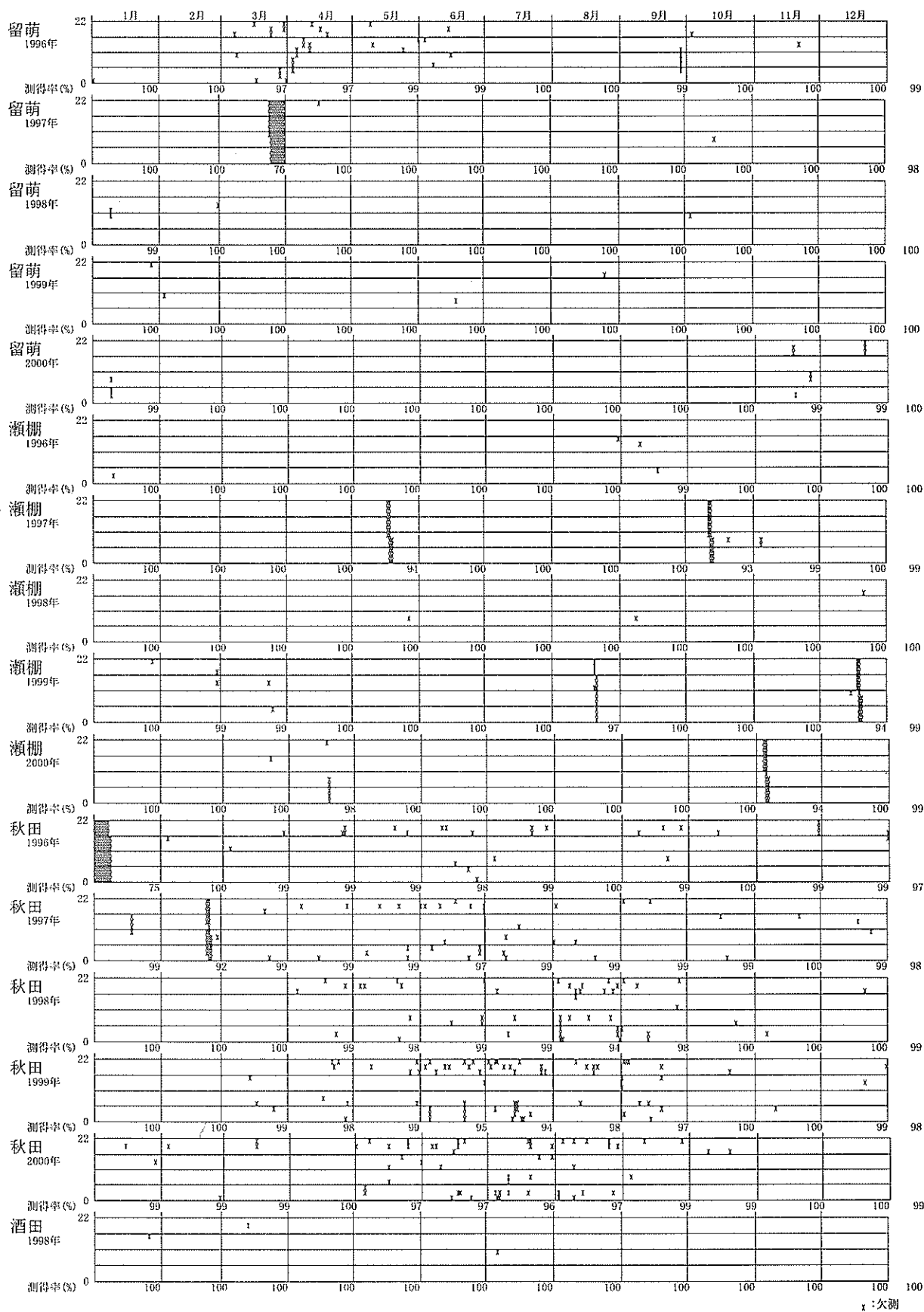
謝辞：国土交通省港湾局および関係各機関の相互協力の関係者、ならびに各観測地点において日々観測に携わっておられる観測担当者の御尽力に対して、心より敬意を表す。また、風エネルギーの算定に関して、独立行政法人港湾空港技術研究所の高橋重雄海洋・水工部長からご教示をいただき、関西国際空港(株)建設事務所より貴重なデータ提供をいただいた。ここに謝意を表す。

(2002年8月29日受付)

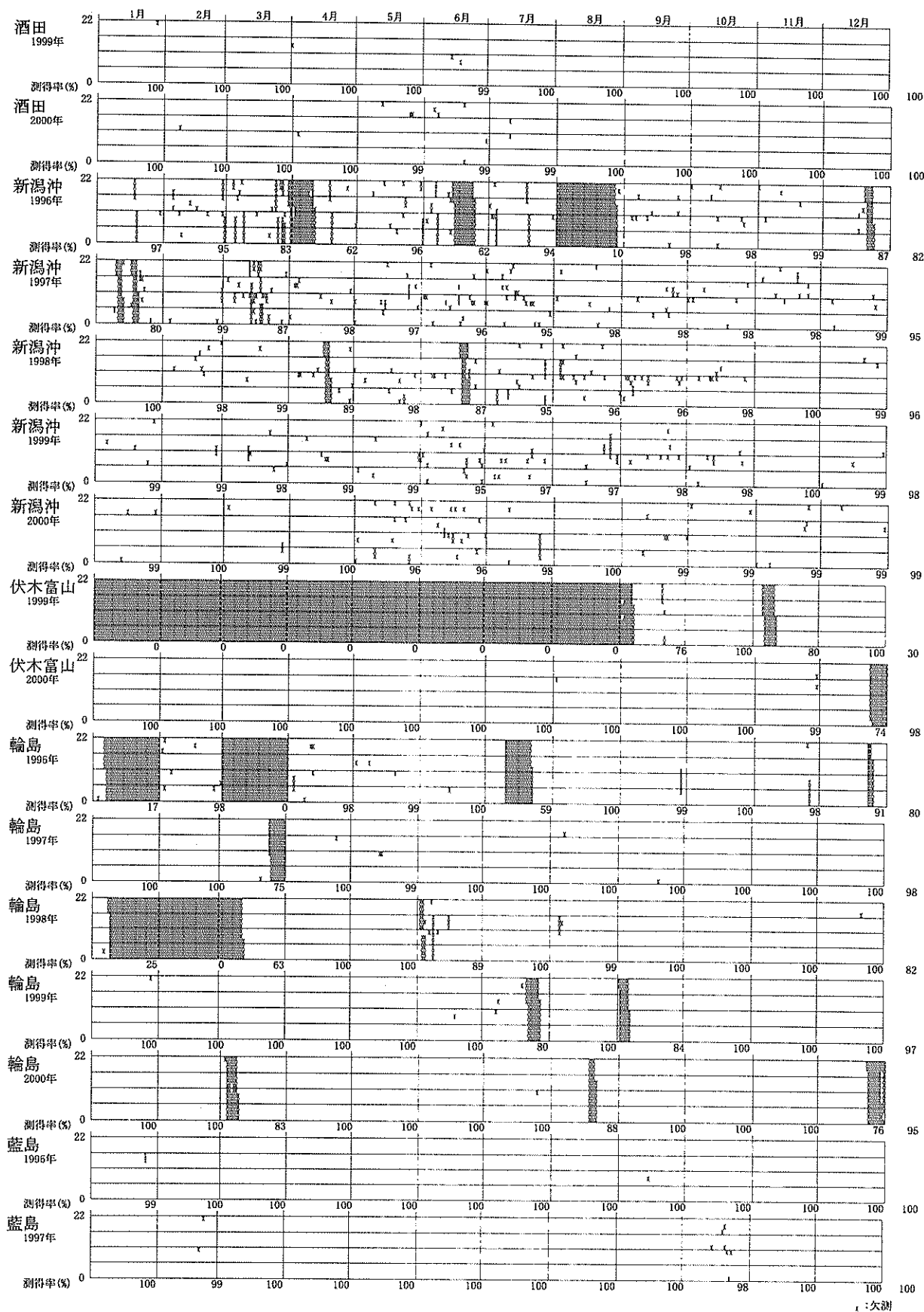
参考文献

- 1) (財) 沿岸開発技術研究センター：洋上風力発電基礎工法の技術（設計・施工）マニュアル，216p.，2002.
- 2) 新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）：風力発電導入ガイドブック，122p.，1998.
- 3) R.J.Barthelmie, M.S.Courtney, J.Hojstrup, and S.E. Larsen, Meteorological aspects of offshore wind energy: Observation from the Vindeby win farm, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.62, pp.191-211, 1996.
- 4) 長谷川豊：風力エネルギー利用のためのオフショア風況観測，風力エネルギー No.24, Vol. 4. (通巻 56)，日本風力エネルギー協会，pp.38-43, 2000.
- 5) 薄井徹：NEDO の風力発電フィールドテスト事業における風況精査の実施状況，風力エネルギー No.25, Vol. 4. (通巻 60)，日本風力エネルギー協会，pp.59-62, 2001.
- 6) 牛山泉：風力エネルギー利用の課題，「シンポジウム：風力発電タービンの最適立地探査法」急峻な地形に対応する風況予測システムの開発，(財) 日本気象協会・東京大学生産技術研究所共同主催，pp.1-6, 2002.
- 7) 白井健・加藤秀樹・中尾徹：検証用実測，「シンポジウム：風力発電タービンの最適立地探査法」急峻な地形に対応する風況予測システムの開発，(財) 日本気象協会・東京大学生産技術研究所共同主催，pp.71-78, 2002.
- 8) 永井紀彦：日本沿岸の洋上風力ポテンシャルとその変動特性，第2回風力エネルギー利用総合セミナーテキスト，足利工業大学総合研究センター，pp.11-16, 2002.
- 9) 合田良実監修・海象観測データの解析・活用等に関する研究会編：波を測る（沿岸波浪観測の手引き），(財) 沿岸開発技術研究センター刊行図書，212p.，2001.
- 10) 永井紀彦：ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）による我国沿岸の波浪特性の解明，港湾技研資料No.863, 113p.，1997.
- 11) 永井紀彦・渡邊 弘・川口浩二：長期観測結果に基づく我国沿岸の波パワーの出現特性の検討，港湾技研資料No.895, 26P.，1998.
- 12) 菅原一晃・佐藤一敏・永井紀彦・川口浩二：全国港湾海洋海象観測施設台帳（ナウファス施設台帳Ⅲ），港湾技研資料，No.941, 49p.（付録339p.），1999.
- 13) 永井紀彦・菅原一晃・佐藤和敏・川口浩二：我が国沿岸の風観測結果に基づく風力エネルギーの試算，港湾技研資料 No.999, 59P.，2001.
- 14) 永井紀彦・勝海務・岡島伸行・隅田耕二・久高将信：NOWPHAS データより推定した洋上沿岸域での風力発電の可能性，土木学会海洋開発論文集 第17巻，pp.19-24, 2001.
- 15) 永井紀彦：ナウファスによる我国沿岸域の洋上風力の推定，第23回風力エネルギー利用シンポジウム，財団法人日本科学技術振興財団内日本風力エネルギー協会，pp.49-53, 2001.
- 16) 長井浩・牛山泉：日本沿岸のオフショア風力発電の可能性，太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集，pp.219-222, 2000.

- 17) 長井浩・牛山泉・長倉のり子・前田金作：秋田湾における風力発電の可能性，風力エネルギー No.25, Vol. 2. (通巻 58), 日本風力エネルギー協会, pp.70-75, 2001.
- 18) 荒川忠一・飯田誠：東京湾風力エネルギー賦存量の推算，風力エネルギー No.25, Vol. 4. (通巻 60), 日本風力エネルギー協会, pp.67-72, 2001.
- 19) 永井紀彦・橋本典明・横井博志・鈴木善光・魚崎耕平：観測データに基づく沿岸域および海上の風出現特性の検討，第 27 回土木学会関東支部技術研究発表会講演集, pp.374-375, 2000.
- 20) 今村博：風況予測モデルの現状と展開，風力エネルギー No.25, Vol. 4. (通巻 60), 日本風力エネルギー協会, pp.54-58, 2001.
- 21) 石原孟・山口敦・藤野陽三：複雑地形における風況の測定と予測，風力エネルギー No.26, Vol. 1. (通巻 61), 日本風力エネルギー協会, pp.63-66, 2002.
- 22) (財)日本気象協会：港湾気象海象要覧大阪湾，港湾気象海象シリーズ②, 223p., 1983.
- 23) 清宮理：海上風の性質とそれによるく(矩)形浮体の動揺解析，港湾技術研究所報告第 19 巻第 2 号, pp.115-167, 1980.
- 24) 清宮理・西澤英雄・上田茂：海上風の実測記録，港湾技研資料 No. 496, 72P., 1984.

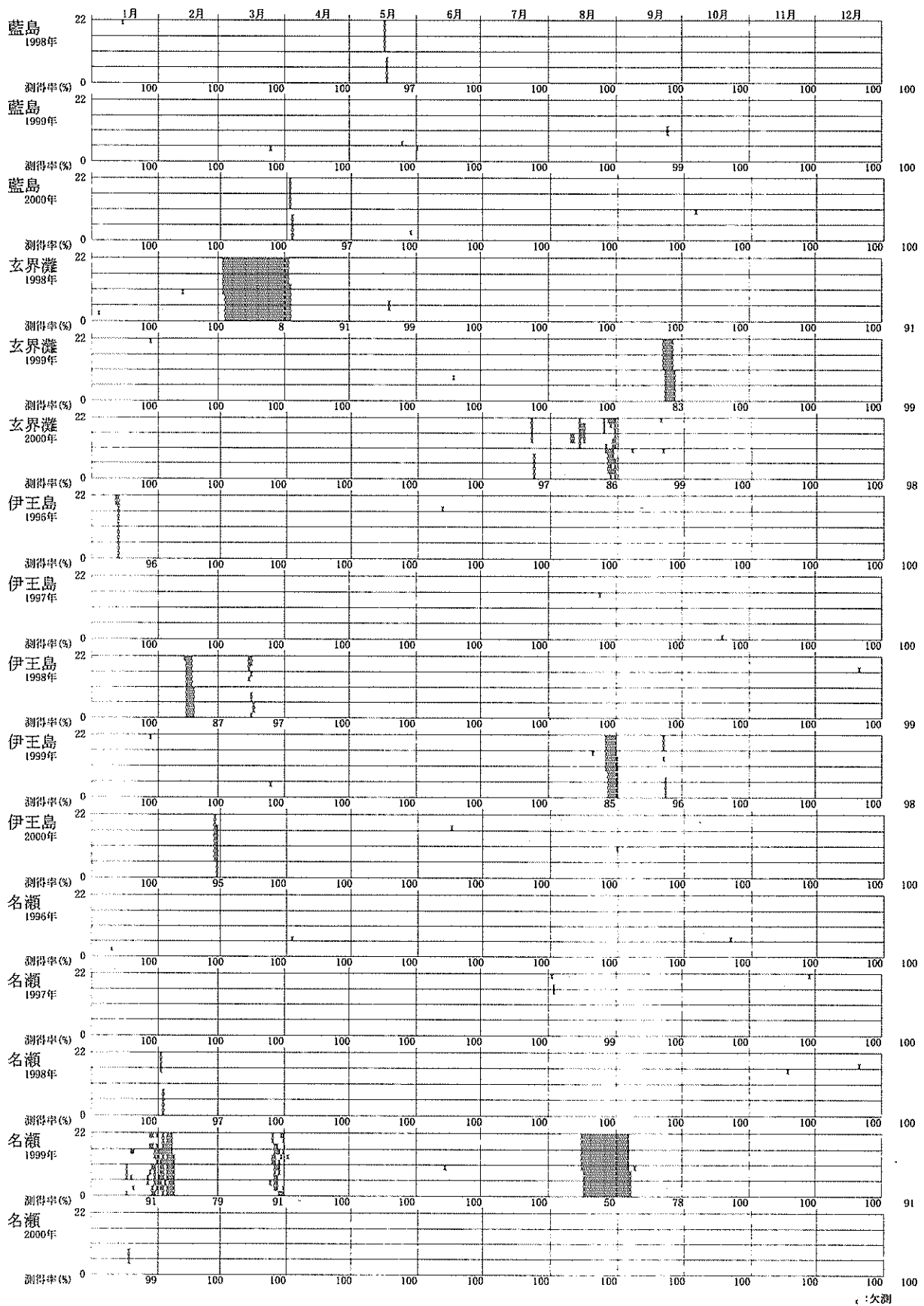


付図-1 観測風データの測得状況 (1/10)

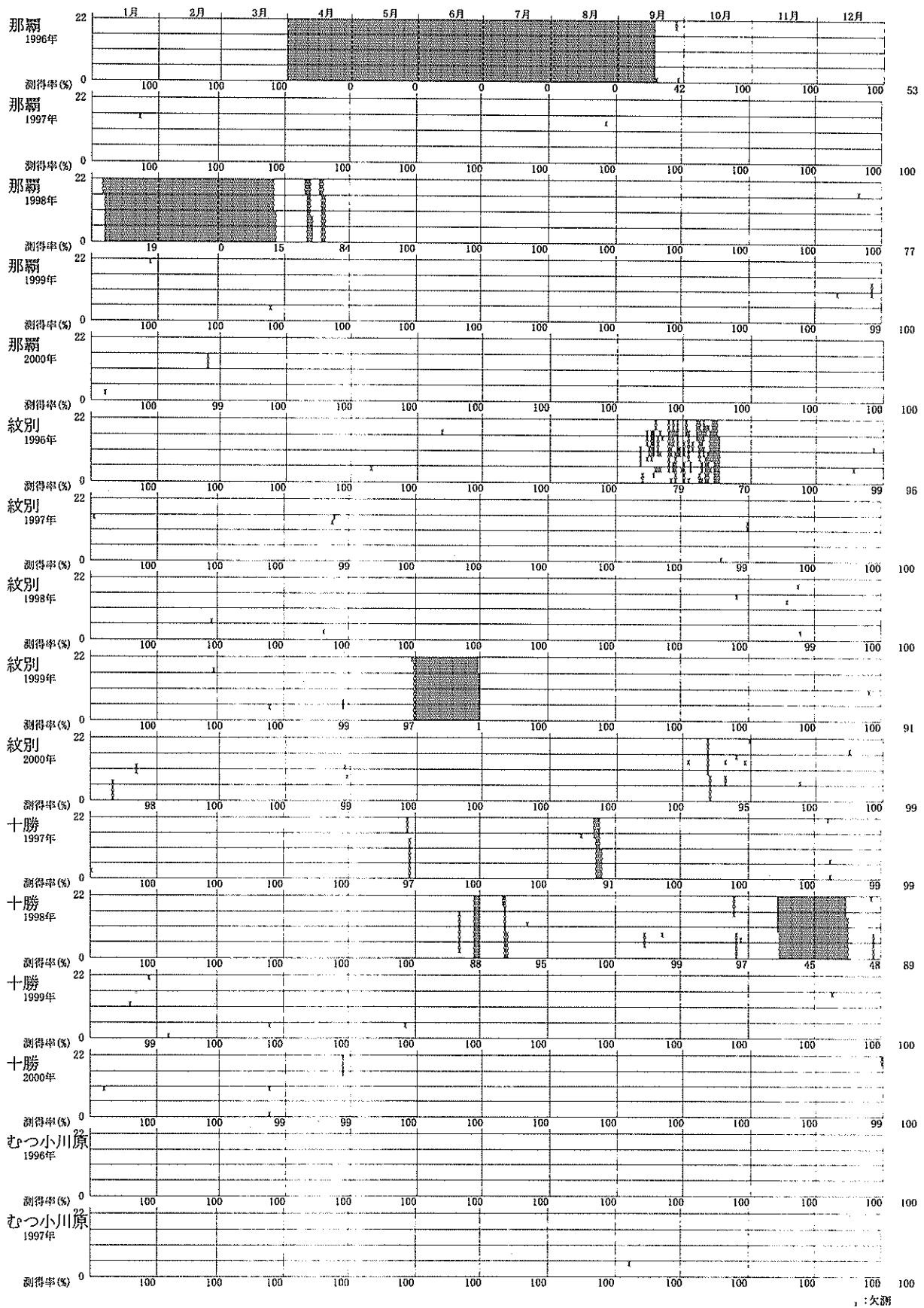


：次測

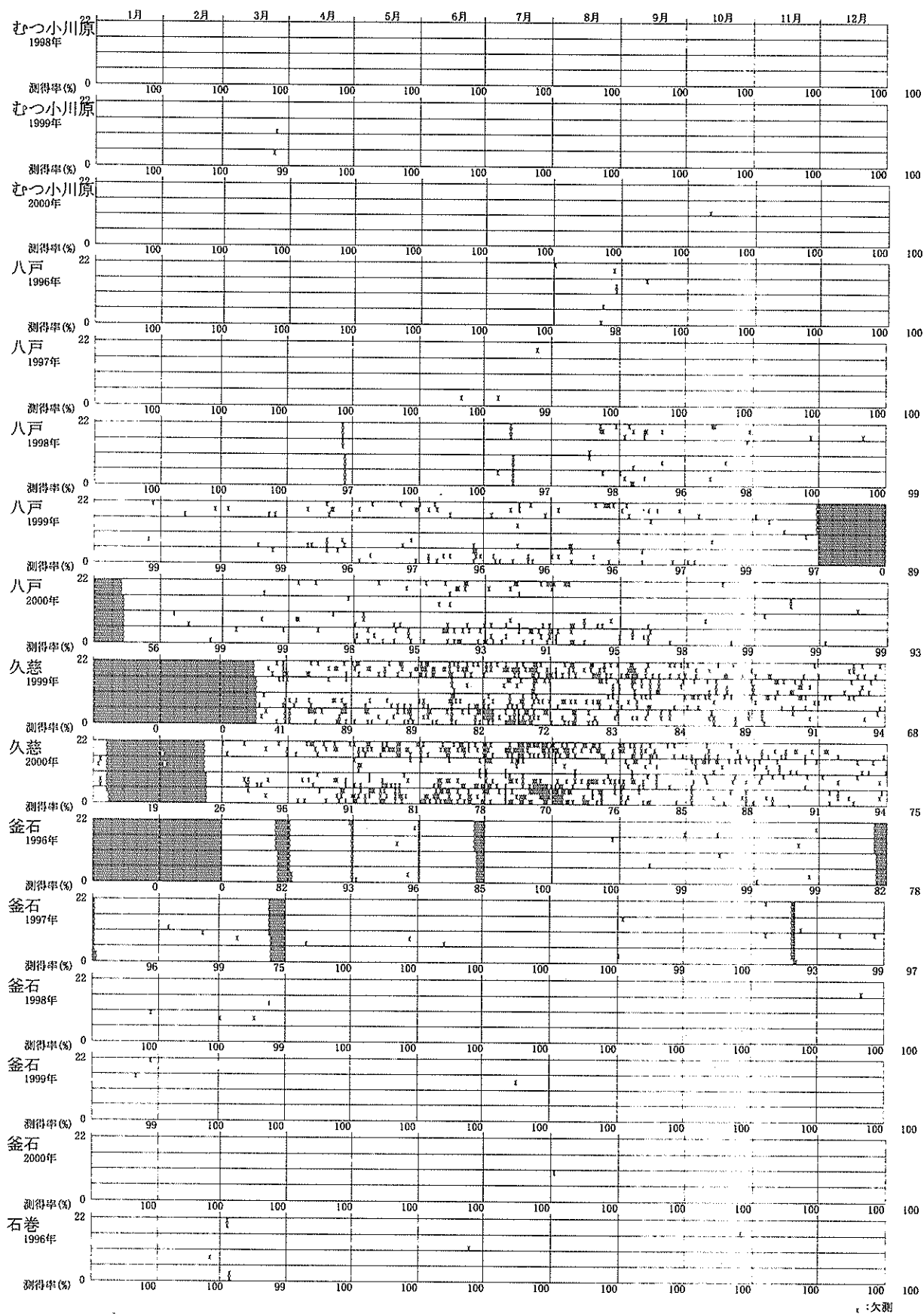
付図-1 観測風データの測得状況 (2 / 10)



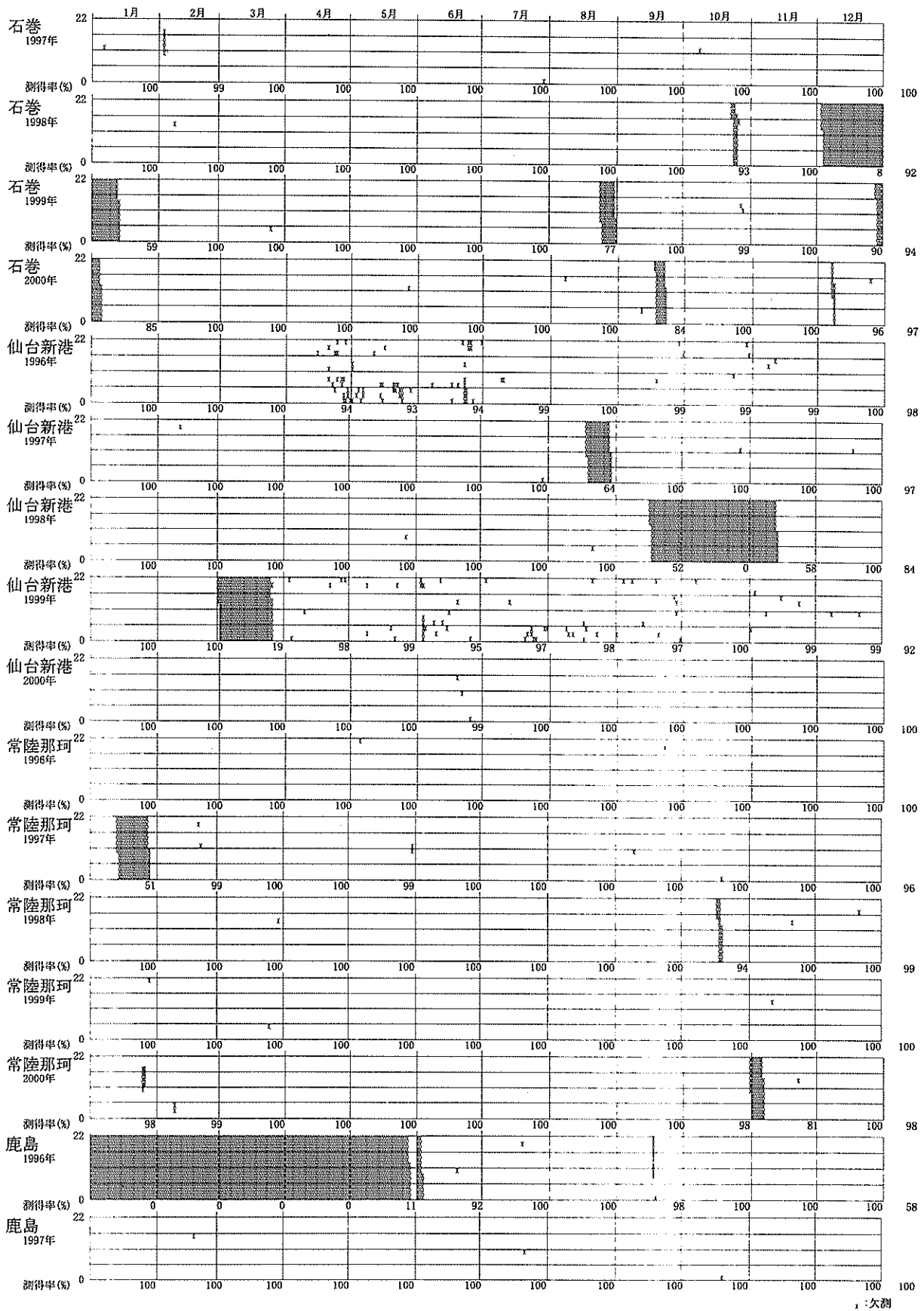
付図-1 観測風データの測得状況 (3/10)



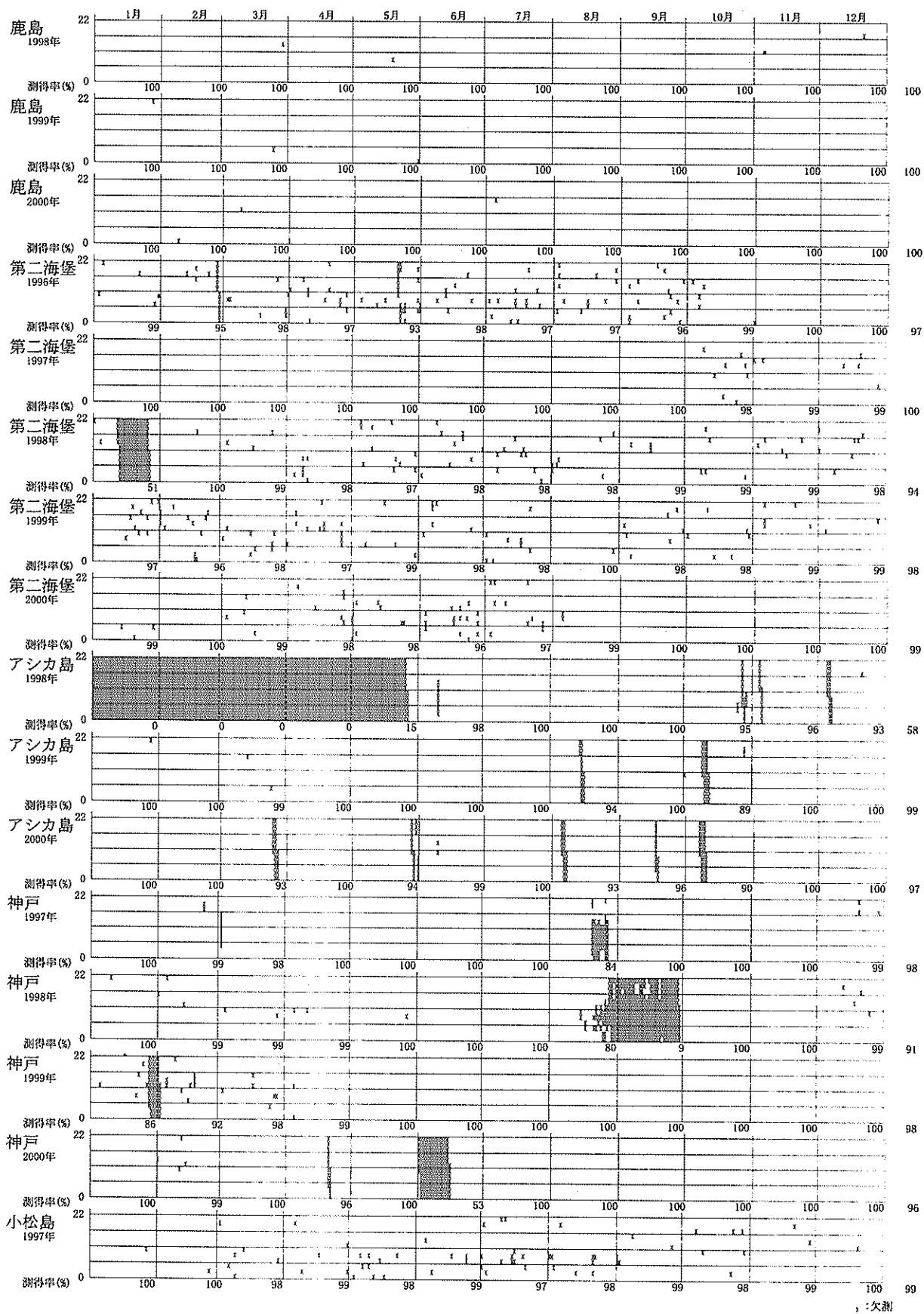
付図-1 観測風データの測得状況 (4/10)



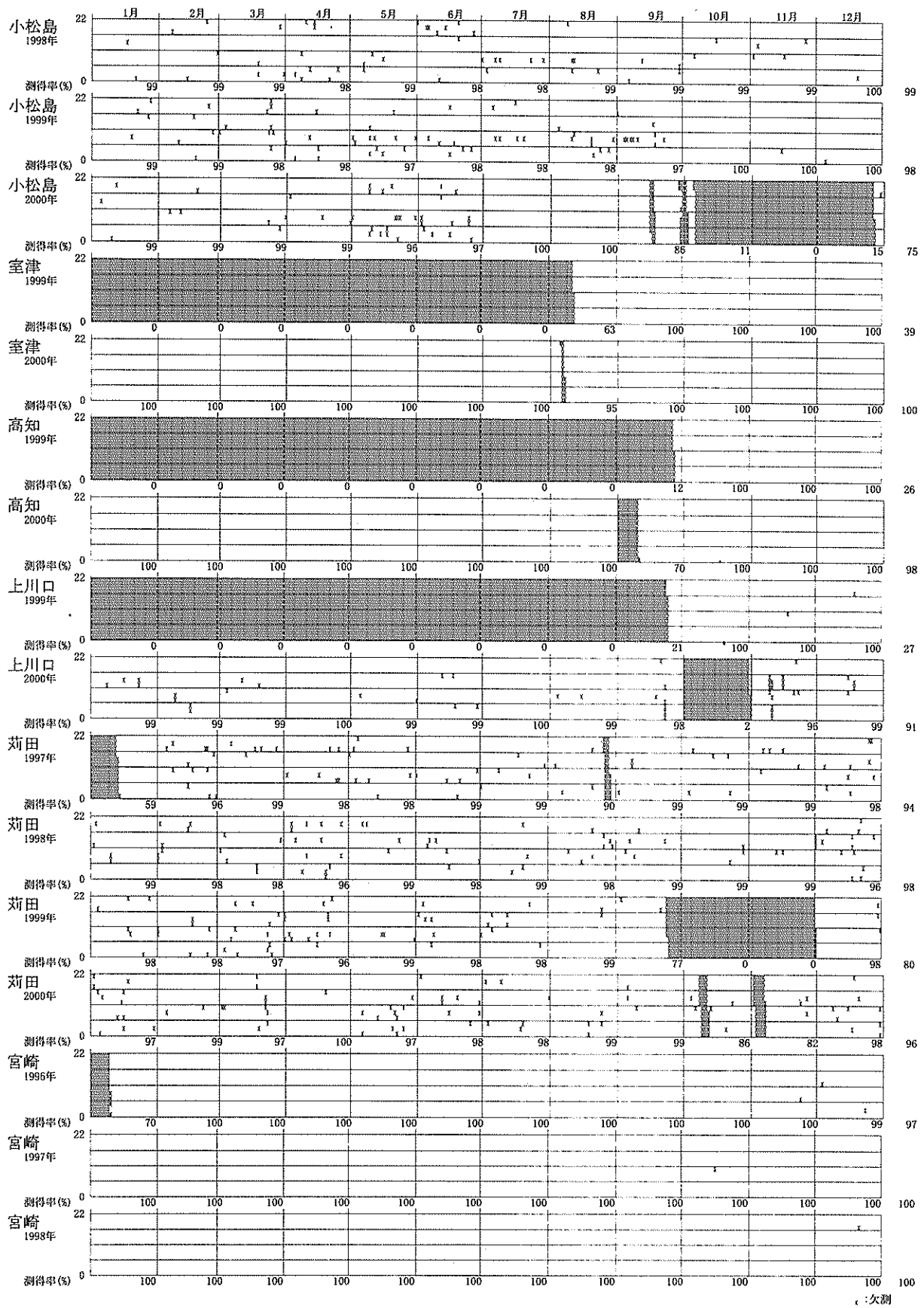
付図-1 観測風データの測得状況 (5 / 10)



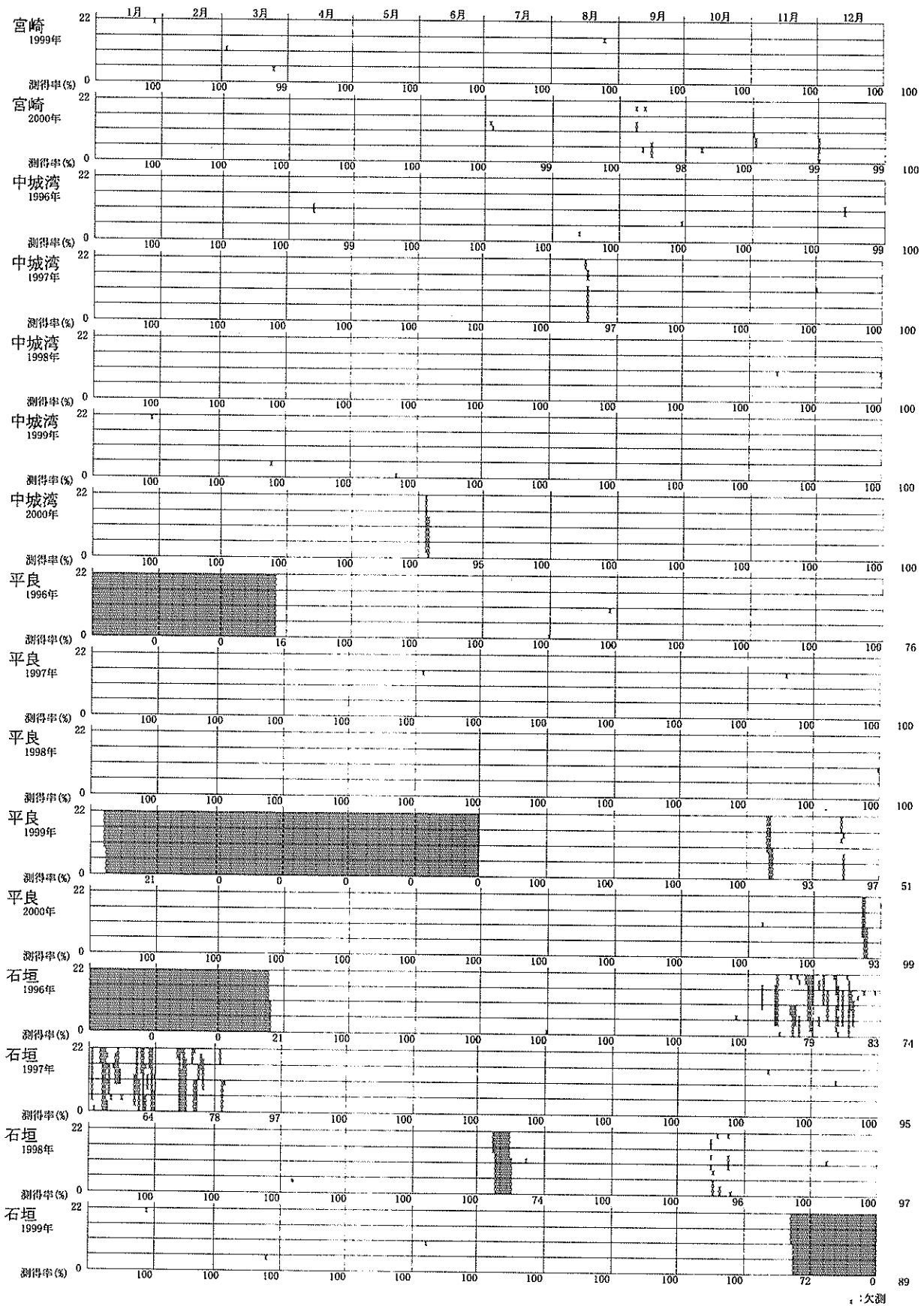
付図-1 観測風データの測得状況 (6 / 10)



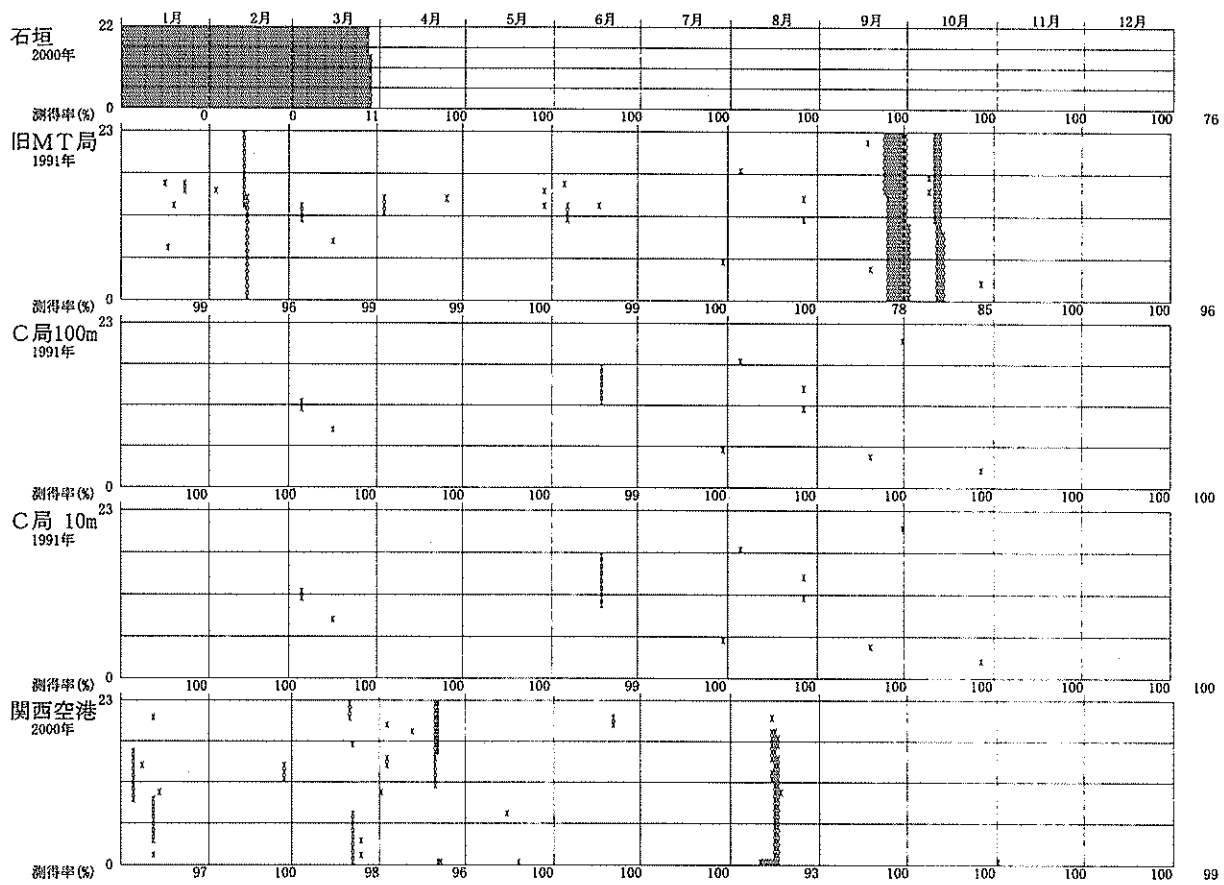
付図-1 観測風データの測得状況 (7/10)



付図-1 観測風データの測得状況 (8/10)



付図-1 観測風データの測得状況 (9 / 10)



付図-1 観測風データの測得状況 (10/10)

付表-1 検討対象期間中の各観測点における月平均風速(1/4)

観測点	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	通年
留萌	1996	8.72	6.36	6.38	5.52	4.79	4.43	3.85	4.92	5.12	6.65	8.41	7.54	6.06
	1997	6.73	6.54	7.20	5.21	4.78	4.33	4.31	5.66	5.17	6.76	6.16	7.63	5.85
	1998	8.09	7.12	6.22	5.58	5.57	4.75	4.35	4.54	5.46	6.21	7.96	8.03	6.15
	1999	7.60	7.27	6.34	5.74	5.43	4.69	4.48	5.01	5.89	7.22	7.34	7.89	6.24
	2000	6.99	5.56	7.09	5.85	4.87	4.19	4.19	4.81	5.16	7.13	7.52	8.47	5.99
	平均	7.62	6.56	6.62	5.58	5.09	4.48	4.23	4.99	5.36	6.80	7.48	7.91	6.06
瀬棚	1996	7.63	6.25	5.83	4.82	4.71	4.90	3.78	4.54	2.75	4.64	6.61	6.31	5.23
	1997	6.03	5.81	6.16	4.52	4.77	4.31	3.73	4.19	4.24	5.12	5.06	6.60	5.05
	1998	7.08	6.39	5.78	4.51	4.17	5.38	4.11	4.10	4.07	4.96	6.77	7.59	5.40
	1999	7.22	7.10	5.77	4.93	4.14	4.10	4.30	3.96	4.40	5.03	5.68	6.98	5.28
	2000	5.93	5.61	6.86	6.00	4.65	4.06	3.73	3.95	4.39	5.29	5.97	7.15	5.30
	平均	6.78	6.23	6.08	4.95	4.49	4.55	3.93	4.15	3.97	5.01	6.02	6.92	5.25
秋田	1996	10.62	8.32	8.16	6.81	5.84	4.72	4.12	4.99	5.01	6.52	8.31	7.50	6.64
	1997	8.84	8.62	7.53	5.68	5.41	4.29	4.56	5.27	5.11	6.45	6.88	7.53	6.33
	1998	8.34	7.33	7.19	4.71	5.26	5.86	4.29	3.96	4.62	5.69	7.92	8.69	6.17
	1999	9.35	9.07	7.13	6.00	5.22	4.23	3.65	3.98	4.56	5.99	6.59	8.93	6.24
	2000	7.63	8.46	9.25	7.52	4.64	3.66	4.01	4.04	5.35	5.71	6.78	9.72	6.42
	平均	8.87	8.36	7.85	6.15	5.24	4.56	4.13	4.45	4.93	6.07	7.29	8.47	6.36
酒田	1998	9.50	8.25	8.52	5.32	5.75	7.75	5.69	4.98	5.97	7.36	9.33	10.00	7.36
	1999	10.49	10.06	7.80	7.41	6.06	5.10	4.54	5.70	6.37	7.11	7.97	9.87	7.36
	2000	9.63	10.26	10.28	8.46	5.57	4.32	4.87	4.94	7.44	6.49	8.03	10.30	7.55
	平均	9.87	9.53	8.87	7.06	5.79	5.73	5.03	5.21	6.59	6.99	8.44	10.06	7.42
新潟沖	1996	9.05	8.18	7.22	5.43	4.61	4.53	8.30	3.15	4.37	4.93	6.76	6.82	6.42
	1997	9.99	7.91	6.23	4.97	4.53	4.00	4.28	3.92	4.79	5.67	5.87	6.26	5.63
	1998	8.17	6.08	6.36	3.98	4.20	4.91	4.20	4.18	3.93	5.31	7.10	7.85	5.56
	1999	8.90	8.39	6.02	5.51	4.85	3.72	3.72	4.42	4.79	5.22	6.25	8.63	5.87
	2000	8.15	9.58	8.36	7.21	4.32	3.28	4.12	3.65	5.36	4.48	6.65	8.80	6.17
	平均	8.80	8.05	6.84	5.46	4.51	4.04	4.91	4.02	4.65	5.12	6.53	7.69	5.92
伏木富山	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	4.89	4.90	5.36	6.18	-
	2000	5.68	5.65	5.79	5.88	4.98	3.79	4.72	4.34	4.98	4.66	5.89	5.71	5.16
	平均	5.68	5.65	5.79	5.88	4.98	3.79	4.72	4.34	4.94	4.78	5.66	5.98	5.16
輪島	1996	6.92	6.08	-	4.08	3.08	2.64	3.06	3.12	3.74	3.80	5.17	5.02	-
	1997	6.45	5.78	4.80	3.83	3.48	2.97	2.89	3.01	4.04	3.87	4.37	4.50	4.14
	1998	5.58	-	4.04	3.11	2.89	2.83	2.52	2.77	2.93	3.50	4.37	5.29	-
	1999	6.51	5.69	4.73	3.71	3.00	2.70	2.21	2.51	3.07	3.56	4.20	5.80	4.01
	2000	5.13	6.70	4.92	3.48	2.78	2.43	2.39	2.48	3.47	3.22	4.59	5.36	3.87
	平均	6.04	6.07	4.66	3.64	3.05	2.71	2.59	2.78	3.46	3.59	4.54	5.19	4.01
藍島	1996	3.67	3.49	3.40	2.59	2.13	1.84	2.20	1.98	1.78	1.91	2.86	3.57	2.62
	1997	4.31	3.21	2.68	3.23	4.05	3.32	3.63	3.22	3.16	4.82	4.01	5.02	3.73
	1998	5.96	4.82	4.66	3.21	3.55	3.26	3.76	3.03	2.72	3.12	4.09	4.38	3.88
	1999	7.43	7.22	3.88	3.95	3.84	3.26	3.11	3.36	2.90	2.08	2.61	3.44	3.91
	2000	3.06	3.66	3.19	2.87	2.08	1.68	2.06	1.82	2.06	1.90	2.09	2.60	2.42
	平均	4.89	4.47	3.56	3.17	3.13	2.67	2.95	2.68	2.52	2.76	3.13	3.80	3.31
玄界灘	1998	4.91	4.31	5.08	5.66	5.86	6.57	6.63	6.48	6.36	5.76	6.46	6.45	5.96
	1999	7.17	7.06	7.10	6.87	6.00	5.41	6.62	6.27	6.03	5.53	6.38	7.42	6.50
	2000	6.91	7.20	6.86	6.94	5.67	5.65	6.23	5.22	6.73	6.13	6.38	6.19	6.35
	平均	6.33	6.20	6.91	6.51	5.84	5.87	6.50	6.03	6.39	5.81	6.41	6.69	6.28
伊王島	1996	5.91	5.85	5.87	4.78	3.54	4.04	3.28	3.12	3.49	3.74	5.27	5.11	4.49
	1997	6.72	5.27	4.89	3.90	3.69	2.89	4.17	3.37	4.87	4.56	4.47	5.26	4.50
	1998	6.08	5.66	5.09	3.31	3.45	3.74	3.24	3.30	3.27	3.60	4.34	4.51	4.11
	1999	5.95	6.47	5.08	5.32	3.55	3.32	2.99	3.28	3.35	3.58	4.98	5.40	4.44
	2000	5.11	6.39	6.15	4.99	3.21	3.05	3.32	3.05	3.81	3.71	4.27	4.46	4.28
	平均	5.95	5.93	5.42	4.46	3.49	3.41	3.40	3.22	3.76	3.84	4.67	4.95	4.36

付表-1 検討対象期間中の各観測点における月平均風速(2/4)

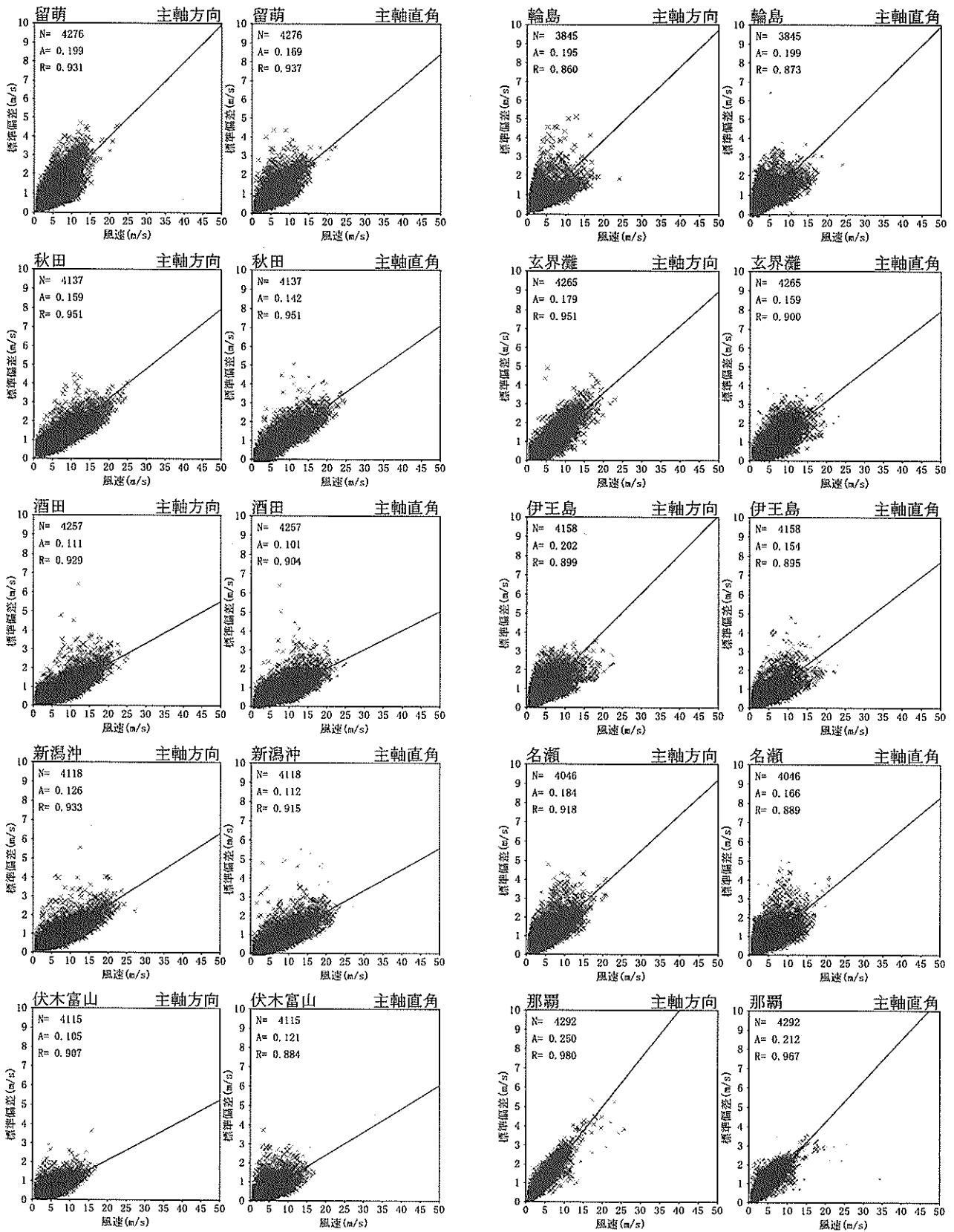
観測点	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	通年
名瀬	1996	5.97	6.84	5.50	5.87	4.10	3.54	3.48	4.01	4.38	4.33	5.26	5.24	4.87
	1997	6.42	5.90	5.06	4.16	4.19	4.18	3.88	5.43	5.46	4.34	5.26	5.51	4.98
	1998	6.42	5.28	4.58	4.17	3.22	4.08	2.87	2.44	4.70	4.17	4.57	5.29	4.30
	1999	6.35	6.24	4.60	5.14	3.67	3.82	3.86	4.94	4.25	3.91	5.34	5.64	4.77
	2000	6.38	7.06	6.11	4.89	3.44	3.09	4.70	5.03	4.37	3.10	5.35	5.38	4.90
	平均	6.31	6.28	5.18	4.85	3.72	3.74	3.76	4.30	4.65	3.97	5.16	5.41	4.76
那覇	1996	5.89	6.65	5.43	-	-	-	-	-	9.23	5.32	6.75	5.64	-
	1997	6.31	5.82	5.00	4.46	4.71	4.87	4.12	6.38	5.62	5.60	5.99	5.86	5.39
	1998	5.26	-	3.37	4.18	3.66	4.79	4.36	3.29	4.45	4.40	4.51	4.28	-
	1999	5.07	5.22	4.44	4.82	4.26	4.56	4.42	4.39	4.30	3.95	4.73	5.33	4.62
	2000	5.44	5.06	4.96	4.35	4.03	4.20	5.00	5.33	4.88	3.87	4.99	4.82	4.74
	平均	5.66	5.69	4.90	4.46	4.16	4.61	4.47	4.85	5.23	4.63	5.39	5.18	4.92
紋別	1996	4.59	3.49	4.00	3.45	3.63	2.82	2.49	2.65	3.99	3.63	3.82	3.98	3.54
	1997	5.05	4.01	4.16	3.90	4.50	4.04	3.29	3.91	4.32	3.81	3.60	3.67	4.02
	1998	3.82	3.10	3.98	3.82	3.36	3.12	2.69	2.86	3.57	3.79	4.39	3.69	3.51
	1999	4.00	3.24	4.11	3.14	3.79	6.17	3.70	3.32	4.39	4.93	4.52	4.20	3.95
	2000	4.83	3.12	4.60	4.94	3.67	3.22	3.11	3.17	4.55	4.30	3.96	3.95	3.95
	平均	4.46	3.39	4.17	3.85	3.79	3.30	3.05	3.18	4.17	4.12	4.06	3.90	3.79
十勝	1997	2.71	2.77	3.14	2.61	2.29	1.68	1.85	1.68	1.83	2.58	2.68	2.52	2.37
	1998	2.70	2.30	2.78	2.79	2.31	2.13	1.61	2.00	2.28	2.53	3.02	2.56	2.39
	1999	2.61	2.97	2.60	2.25	2.66	2.14	2.05	1.80	2.47	2.68	2.66	2.58	2.45
	2000	2.55	2.25	2.77	2.78	2.05	1.77	1.75	1.73	2.16	2.57	2.59	2.93	2.33
	平均	2.64	2.57	2.82	2.61	2.33	1.92	1.82	1.81	2.19	2.59	2.69	2.66	2.38
	むつ小川原	1996	6.28	4.52	5.23	4.92	5.18	4.37	4.21	4.59	4.06	4.22	5.02	4.50
1997		5.84	5.30	5.53	4.69	5.27	4.79	3.55	4.75	4.28	3.93	4.73	5.03	4.81
1998		5.14	5.56	5.40	4.82	4.33	5.58	4.01	3.81	4.58	4.99	4.45	5.03	4.80
1999		4.68	5.23	4.78	4.82	4.56	4.16	4.13	4.16	4.74	5.01	4.23	4.63	4.59
2000		4.66	4.74	5.49	5.53	4.32	3.80	3.63	3.79	5.38	3.98	4.69	5.21	4.60
平均		5.32	5.06	5.29	4.96	4.73	4.54	3.90	4.22	4.61	4.43	4.62	4.88	4.71
八戸	1996	5.33	4.48	5.02	5.02	4.24	3.82	3.66	3.91	3.58	4.07	4.36	4.13	4.30
	1997	5.17	5.08	5.26	4.72	4.59	3.37	3.41	4.10	3.36	3.94	4.23	4.39	4.30
	1998	4.48	4.53	5.19	4.55	4.13	4.60	3.53	3.12	3.66	4.16	4.06	4.29	4.19
	1999	4.18	4.82	4.23	4.35	4.43	3.81	3.03	3.61	3.67	4.01	3.82	-	-
	2000	4.44	4.78	5.60	5.34	3.56	3.33	3.26	3.16	4.13	3.76	4.51	4.83	4.23
	平均	4.75	4.74	5.06	4.80	4.19	3.79	3.38	3.58	3.68	3.99	4.20	4.41	4.26
久慈	1999	-	-	4.32	4.22	4.11	3.61	2.87	3.04	3.82	4.20	3.91	4.61	-
	2000	3.25	4.24	5.59	5.24	3.71	3.12	2.78	2.89	3.90	3.86	4.16	4.94	4.08
	平均	3.25	4.24	5.21	4.73	3.92	3.37	2.82	2.97	3.86	4.03	4.03	4.78	4.08
釜石	1996	-	-	4.26	3.70	3.20	4.26	2.86	3.10	3.35	3.83	3.20	4.26	-
	1997	3.66	3.29	4.13	3.63	3.97	2.89	3.46	3.33	3.27	4.26	4.33	3.41	3.63
	1998	3.68	3.19	4.09	3.68	4.15	3.58	3.45	3.01	4.05	4.30	4.22	3.89	3.78
	1999	3.76	3.93	3.99	4.19	4.50	3.55	3.15	4.21	4.08	3.90	3.72	4.33	3.94
	2000	3.33	3.13	4.18	4.51	3.75	3.11	3.11	2.86	3.69	3.56	3.65	3.69	3.55
	平均	3.61	3.38	4.13	3.95	3.92	3.45	3.21	3.30	3.69	3.97	3.82	3.90	3.72
石巻	1996	3.19	3.04	2.90	2.35	3.14	2.75	2.90	3.06	2.86	2.96	3.29	3.07	2.96
	1997	3.37	3.06	3.04	2.56	2.80	2.86	2.99	3.21	3.09	3.59	4.26	3.94	3.23
	1998	4.30	4.29	4.51	3.79	4.19	3.89	3.75	3.33	4.12	4.03	3.95	4.60	4.02
	1999	4.16	5.23	4.76	4.25	4.00	3.46	3.47	4.25	3.39	3.94	3.40	4.27	4.03
	2000	4.16	4.55	5.03	4.74	3.15	3.04	3.15	3.03	4.09	3.84	4.08	3.93	3.89
	平均	3.80	4.03	4.05	3.54	3.46	3.20	3.25	3.34	3.49	3.67	3.80	3.81	3.61
仙台新港	1996	5.51	5.59	5.74	4.15	2.94	3.33	3.19	4.02	4.32	3.83	4.04	5.36	4.35
	1997	5.91	6.16	6.34	5.49	5.21	4.63	4.37	4.84	4.80	5.22	5.52	5.07	5.31
	1998	5.71	5.28	5.66	4.36	4.75	4.83	4.48	4.31	4.83	-	5.11	5.53	-
	1999	5.33	5.98	5.23	4.04	4.10	3.16	3.08	3.87	3.68	4.39	4.03	4.31	4.20
	2000	4.24	4.18	4.75	4.47	2.78	2.63	2.50	2.69	3.51	3.28	4.07	3.83	3.57
	平均	5.34	5.43	5.60	4.51	3.97	3.73	3.53	3.88	4.17	4.18	4.51	4.82	4.35

付表-1 検討対象期間中の各観測点における月平均風速(3/4)

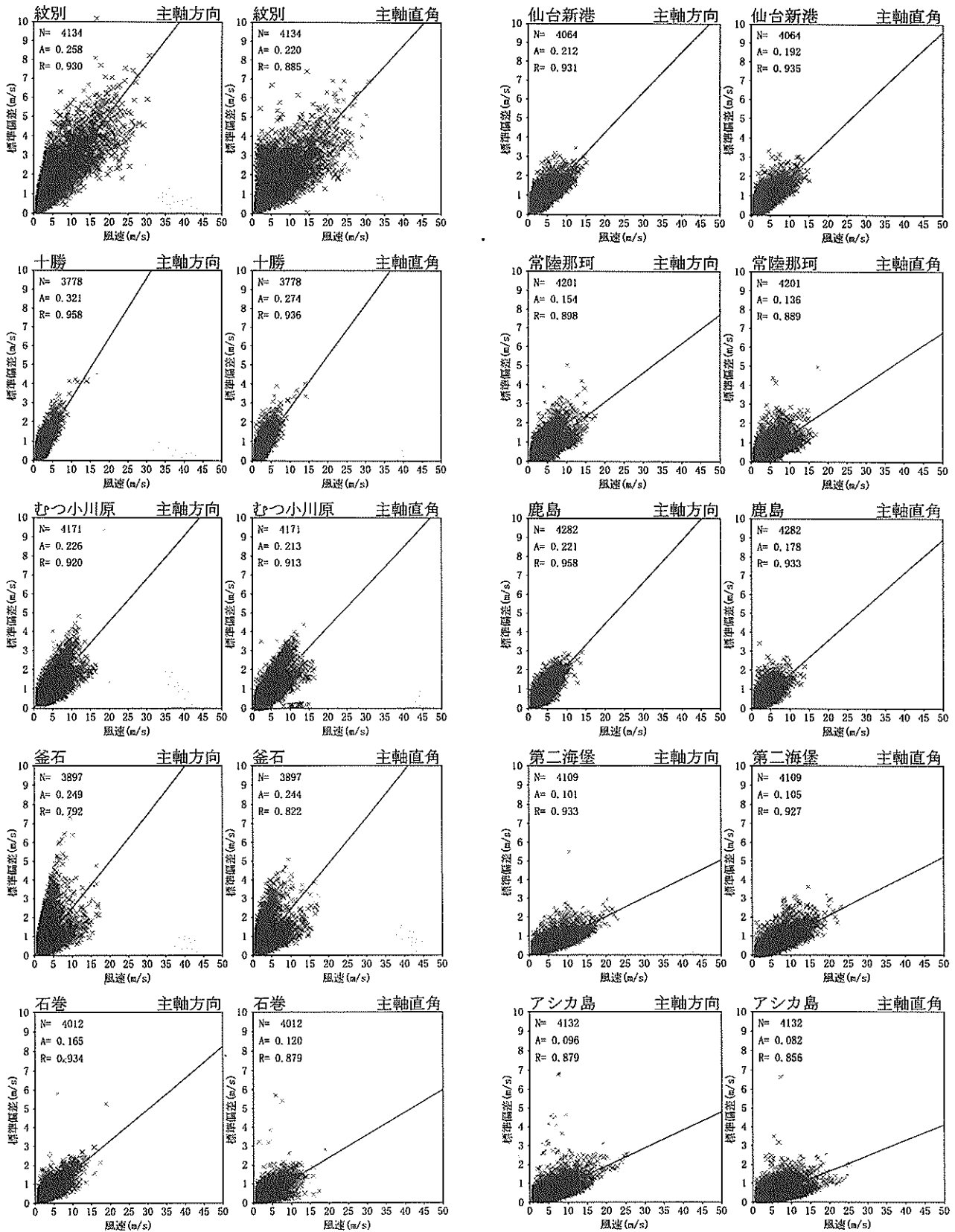
観測点	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	通年
常陸那珂	1996	3.18	3.50	3.44	3.91	3.67	3.14	3.43	4.13	4.12	3.79	3.81	3.23	3.61
	1997	3.18	4.66	5.36	4.92	4.09	3.95	3.22	3.86	5.13	4.37	4.33	4.45	4.33
	1998	5.01	4.77	4.81	4.08	3.84	3.81	3.77	3.18	4.28	4.10	4.08	4.44	4.18
	1999	4.55	4.47	4.65	4.58	3.90	3.63	4.14	3.67	4.04	4.41	4.63	4.63	4.27
	2000	4.57	4.31	5.12	5.81	4.34	3.80	4.22	3.82	4.92	5.00	5.17	4.53	4.62
	平均	4.20	4.33	4.67	4.66	3.97	3.67	3.76	3.73	4.50	4.33	4.37	4.26	4.20
鹿島	1996	-	-	-	-	2.89	3.25	3.60	3.71	4.30	3.81	3.96	3.50	-
	1997	3.84	3.95	4.87	4.24	4.07	4.14	3.47	3.62	4.67	3.82	3.86	3.47	4.00
	1998	4.22	4.39	4.54	4.17	3.88	3.76	3.61	3.47	4.36	4.05	3.61	3.54	3.96
	1999	3.57	3.74	4.67	4.59	3.87	3.92	4.56	3.91	4.17	4.45	3.70	3.49	4.06
	2000	3.98	3.88	4.25	4.61	3.72	3.46	3.80	3.45	3.91	4.07	4.36	3.69	3.93
	平均	3.90	3.99	4.58	4.40	3.86	3.71	3.81	3.63	4.28	4.04	3.90	3.54	3.99
第二海堡	1996	6.14	5.51	5.83	4.54	4.24	4.06	4.82	4.69	5.00	5.66	6.48	5.60	5.22
	1997	6.30	6.15	6.70	5.22	5.69	5.74	5.31	5.38	6.76	4.77	6.28	5.95	5.85
	1998	6.17	6.99	7.47	6.23	5.85	5.57	4.76	4.58	6.56	6.34	5.79	5.81	6.00
	1999	5.38	5.50	6.42	6.45	5.10	5.44	6.61	5.14	5.45	6.16	5.66	5.56	5.74
	2000	6.18	5.83	6.30	6.07	5.17	5.67	5.72	4.70	5.34	6.28	7.42	6.76	5.96
	平均	6.02	6.00	6.55	5.70	5.22	5.30	5.45	4.90	5.83	5.85	6.33	5.94	5.75
アシカ島	1998	-	-	-	-	5.15	6.36	5.38	5.60	7.24	7.10	6.68	6.35	-
	1999	5.91	6.03	7.38	7.05	6.44	7.24	8.28	7.15	7.06	6.62	5.94	5.91	6.75
	2000	5.97	5.33	7.03	6.83	6.31	7.14	7.84	6.53	5.82	6.12	6.71	6.50	6.52
	平均	5.94	5.67	7.21	6.94	6.29	6.92	7.17	6.41	6.72	6.62	6.44	6.25	6.64
神戸	1997	5.77	4.72	4.66	4.26	4.34	4.44	5.34	4.92	5.43	4.85	5.22	4.94	4.91
	1998	5.83	5.44	4.98	4.40	5.33	5.43	4.51	3.20	3.58	4.83	5.09	4.60	4.89
	1999	5.42	4.94	4.93	5.10	4.58	4.69	4.44	4.49	4.85	4.84	4.84	5.15	4.85
	2000	4.87	5.61	5.01	4.68	4.16	4.04	4.57	4.27	4.93	5.16	5.02	5.20	4.82
	平均	5.48	5.19	4.89	4.61	4.60	4.73	4.71	4.24	5.02	4.92	5.04	4.97	4.87
小松島	1997	7.05	6.95	5.97	4.90	5.38	5.30	4.66	5.12	5.38	4.74	5.91	6.45	5.65
	1998	6.67	6.34	6.54	5.28	5.19	4.98	4.73	3.92	5.18	5.39	5.56	5.97	5.48
	1999	6.73	6.32	6.37	6.46	5.23	5.14	6.50	5.84	5.02	5.78	6.12	5.97	5.96
	2000	6.62	6.69	6.39	5.33	4.95	4.24	4.81	5.21	5.55	5.49	-	5.47	-
	平均	6.77	6.58	6.32	5.49	5.19	4.92	5.18	5.02	5.28	5.31	5.86	6.10	5.69
室津	1999	-	-	-	-	-	-	-	2.25	1.96	1.65	2.06	2.42	-
	2000	2.08	2.58	3.00	2.16	1.65	1.65	2.06	1.72	1.66	1.77	2.23	2.24	2.07
	平均	2.08	2.58	3.00	2.16	1.65	1.65	2.06	1.93	1.81	1.71	2.15	2.33	2.07
高知	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	1.93	2.32	2.36	2.24	-
	2000	2.44	2.42	2.60	2.42	1.99	1.57	2.25	2.08	2.47	1.77	2.02	1.76	2.14
	平均	2.44	2.42	2.60	2.42	1.99	1.57	2.25	2.08	2.39	2.05	2.19	2.00	2.14
上川口	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	2.07	2.29	2.48	2.54	-
	2000	2.39	2.66	2.86	2.70	2.03	1.59	2.14	2.03	2.01	1.27	1.72	2.35	2.23
	平均	2.39	2.66	2.86	2.70	2.03	1.59	2.14	2.03	2.02	2.27	2.11	2.45	2.23
苅田	1997	6.84	5.74	5.31	4.45	4.82	4.62	5.33	5.22	5.67	5.50	5.06	5.29	5.27
	1998	6.32	5.48	5.34	3.82	5.06	5.15	5.19	4.42	5.15	5.04	4.88	5.02	5.08
	1999	6.38	6.20	5.52	5.27	5.02	5.37	5.43	6.08	5.26	-	-	5.90	-
	2000	5.66	6.50	5.57	5.24	4.12	3.99	5.02	5.36	5.39	4.91	5.17	5.00	5.16
	平均	6.24	5.99	5.43	4.70	4.76	4.79	5.24	5.27	5.37	5.16	5.03	5.31	5.17
宮崎	1996	7.93	7.67	8.09	6.99	5.46	5.84	5.96	6.03	7.19	6.87	7.67	7.28	6.88
	1997	8.91	7.88	6.93	6.99	6.32	6.11	7.18	6.28	6.72	6.42	6.27	7.46	6.95
	1998	8.61	7.93	7.08	4.92	5.21	5.42	5.19	4.87	6.55	6.86	6.37	6.58	6.29
	1999	8.08	7.77	7.92	7.19	5.60	5.58	6.59	7.15	5.39	5.91	6.89	6.91	6.75
	2000	7.09	7.93	7.34	7.00	4.57	4.93	5.85	5.44	7.56	7.09	7.57	7.08	6.61
	平均	8.14	7.83	7.47	6.62	5.43	5.58	6.16	5.95	6.68	6.63	6.95	7.06	6.70

付表-1 検討対象期間中の各観測点における月平均風速(4/4)

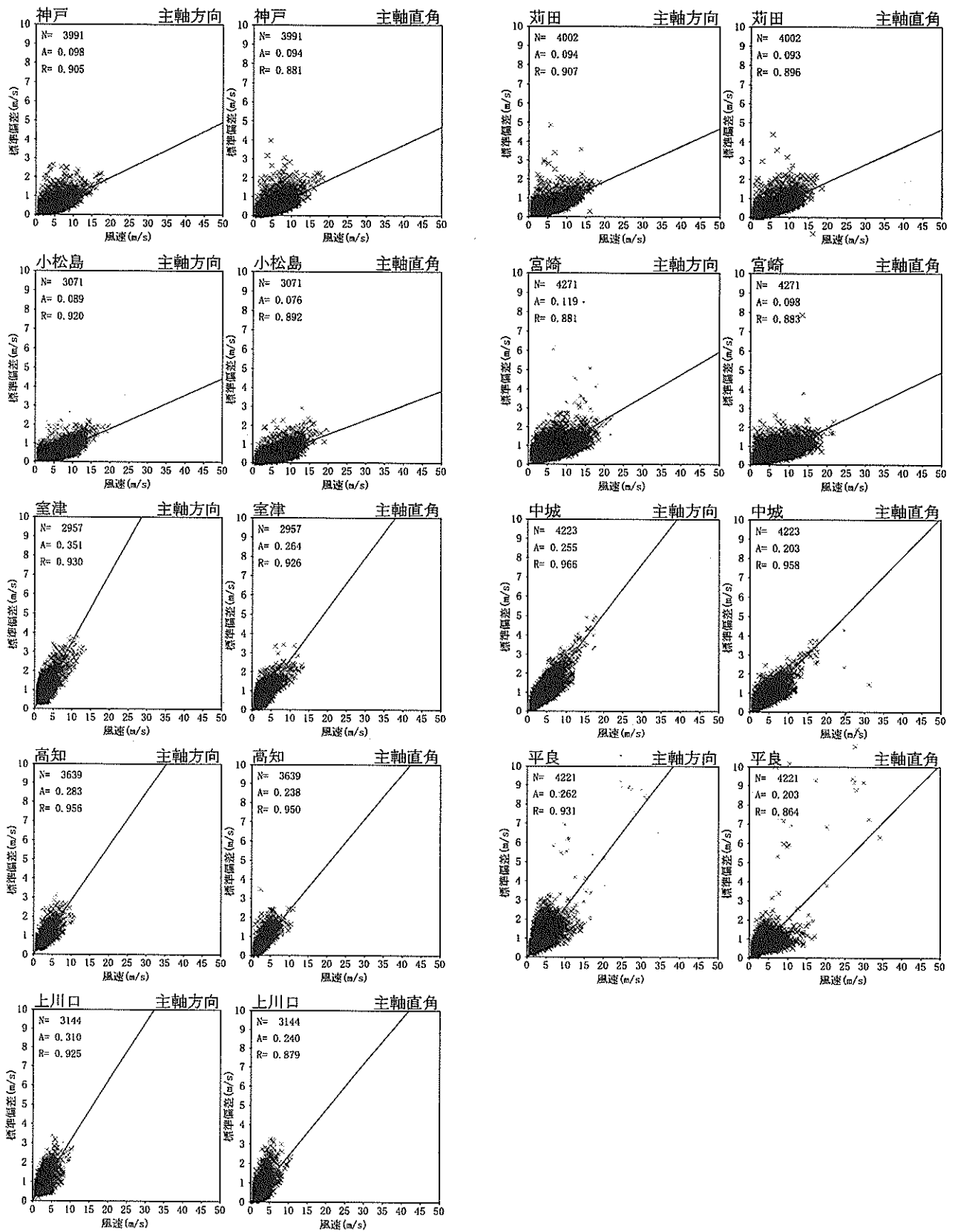
観測点	年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	通年
中城湾	1996	3.81	4.02	3.82	4.50	3.88	4.28	4.74	4.30	5.13	3.80	4.55	3.47	4.19
	1997	3.68	3.69	3.67	3.78	3.94	4.38	4.29	5.70	3.94	3.54	3.98	3.57	4.01
	1998	4.41	3.63	3.76	3.80	3.56	4.58	4.12	2.86	3.94	3.95	3.29	3.12	3.75
	1999	3.83	2.08	2.87	2.53	3.26	3.27	3.84	1.87	3.52	1.83	1.63	3.89	2.88
	2000	4.04	4.09	4.37	3.50	3.65	3.97	5.13	5.09	4.13	3.32	3.88	3.70	4.08
	平均	3.96	3.51	3.70	3.62	3.66	4.10	4.42	3.95	4.13	3.29	3.47	3.55	3.78
平良	1996	-	-	3.39	4.41	4.01	3.91	4.07	3.76	5.47	4.17	5.22	4.07	-
	1997	4.40	4.24	3.57	3.50	3.80	3.74	3.56	5.52	4.14	4.08	4.26	4.20	4.08
	1998	4.86	4.02	3.73	3.45	3.16	4.23	3.93	2.95	3.93	4.01	4.96	5.15	4.03
	1999	3.65	-	-	-	-	-	3.66	3.62	4.42	3.72	4.82	5.53	-
	2000	4.73	5.01	3.99	3.76	3.40	3.58	3.97	4.12	5.43	3.98	4.87	4.62	4.28
	平均	4.60	4.43	3.74	3.78	3.59	3.86	3.84	3.99	4.68	3.99	4.83	4.71	4.13
石垣	1996	-	-	3.84	3.90	3.82	5.06	4.83	3.79	3.95	3.98	4.59	3.96	-
	1997	4.20	4.59	3.48	3.10	3.73	3.77	3.64	5.33	3.65	3.20	3.93	3.58	3.82
	1998	4.14	3.24	3.22	3.77	3.07	4.88	4.19	3.12	3.22	4.11	3.94	3.91	3.73
	1999	3.54	3.61	3.51	3.33	3.28	4.55	3.78	4.29	3.19	3.19	3.63	-	-
	2000	-	-	2.52	3.12	3.08	4.02	4.00	4.20	3.29	3.32	3.78	3.60	-
	平均	3.93	3.75	3.40	3.45	3.40	4.46	4.08	4.14	3.46	3.56	3.97	3.75	3.77
旧MT局	1991	6.86	6.92	4.72	4.79	4.22	4.07	5.04	4.49	5.03	4.86	5.03	5.22	5.09
C局100m	1991	6.61	6.55	4.65	4.33	3.80	3.51	4.72	3.98	4.65	4.77	4.55	4.78	4.73
C局10m	1991	4.07	4.06	2.61	2.51	2.41	2.16	2.78	2.43	2.65	2.63	2.70	2.93	2.82
MT局	2000	5.41	6.70	5.37	4.62	3.98	4.00	4.89	4.77	4.87	4.76	5.32	6.04	5.06



付図-2 ナウファス各観測点における平均風速と変動比 (1 / 3)



付図-2 ナウファス各観測点における平均風速と変動比 (2 / 3)



付図-2 ナウファス各観測点における平均風速と変動比 (3 / 3)

港湾空港技術研究所資料 No.1034

2002.12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所

横須賀市長瀬3丁目1番1号

TEL. 0468(44)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 有限会社 黎明社

Copyright © (2002) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。