

## 農業利用における小規模風エネルギーの

## メッシュデータによる評価方法の研究\*

## 第3報 各観測地点の風エネルギー特性

橋 口 渉 子\*\*

## 要 旨

第1報で、AMeDASの88観測地点について、各季節の各時間帯ごとに、風速2m/s以上の風が生ずる頻度を基礎データとし、全地点に共通する一般的性質をみた。この基礎データはそれぞれの季節、時間帯において、8時間のうち風エネルギー供給が可能な時間数を表す。本報では各観測地点のもつ特性として、地点ごとの平均供給時間および季節、昼夜変動の大きさを、それぞれ算出した。更に、クラスター手法により、強、中および弱風群に各地点を類別、季節、時間帯による変動の各パターンについても地点類別を行い、季節変動のパターンと風の強弱との関係などを述べた。これらの地点特性に加え、各地点の主たる風向を把握し、若干の集約と考察を試みた。

## 1. はじめに

第1報(1983)で、88のAMeDAS観測地点を用い、内陸、海岸の立地別に、地点における季節、時間帯に風速2m/s以上の風が生ずる頻度 $y_{ijk}$ を、風エネルギー供給特性を把握するための基礎データとした。

$y_{ijk}$ のうち、全地点に共通する部分、すなわち

$$y_{ijk} = q_{jk} + p_{ijk} \quad (1)$$

における $q_{jk}$ の性質については、すでに第1報でふれた。 $p_{ijk}$ は $i$ 地点特有の部分であり、地点特性の把握はこの値が基本となる。本報では、 $p_{ijk}$ の平均値、変動の大きさとそのパターンなど、各地点の特性について述べる。

## 2. 各地点の平均供給時間と季節、昼夜変動

$i$ 地点における $p_{ijk}$ の平均値は

$$p_{ijk} = l_i + u_{ij} + v_{ik} + w_{ijk} \quad (2)$$

における $l_i$ である。実際に地点において風エネルギー

供給が可能である平均時間は

$$\bar{y}_{i..} = \mu + l_i, \quad (3)$$

同じく季節別にみた平均時間は

$$\bar{y}_{ij.} = \mu + s_j + l_i + u_{ij} \quad (4)$$

により、それぞれ表し得る。いずれも8時間あたりの平均時間であり、第1報で述べたように、風速2m/s以上の風があればエネルギー供給が可能、との前提による。以後、式(3)、(4)が表す値を、( $i$ 地点の)平均供給時間、季節別平均供給時間と呼ぶ。昼夜別平均供給時間についても、式(4)に準ずる。

$i$ 地点特有の季節変動とは、 $u_{ij}$ の $j$ による変動の大きさおよびそのパターンをさす。昼夜変動についても、 $v_{ik}$ の値により同様に考える。

以下に地点特性を把握するための具体的な手法と結果の概略を述べ、のちに一括して地点ごとの特性値を呈示する。

## 2.1. 強・中・弱風群へのクラスタリング

各地点の平均供給時間の算出については述べるまでもない。ここでは平均供給時間の程度によって地点を類別することを考える。境界値を決めれば、 $l_i$ の値から容易に類別できるが、恣意的に境界値を設定することをさけ、 $l_i + u_{ij}$ を対象に、クラスター手法を用いる。

\* Estimation of small scale wind energy for agriculture by using mesh data.

3. Wind energy traits of the points.

\*\* Shoko Hashiguchi, 農林水産省畜産試験場.

—1984年2月24日受領—

—1984年6月4日受理—

表1第  $\mu+s_j$  およびクラスター手法による  $l_i+u_{ij}$  の群別平均値.

内 容		地点数	平 均 値					プロトタイプ	
			1 月	4 月	7 月	10 月	平均		
内 陸	$\mu+s_j$	49	2.7	3.8	2.7	2.6	(3.0)	コ オ フ	
	$l_i+u_{ij}$	強風群	13	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	ウ エ ダ
		中風群	22	0.0	0.1	0.1	-0.0	0.1	コ オ フ
		弱風群	14	-1.4	-1.5	-1.4	-1.4	-1.4	イ カ ワ
海 岸	$\mu+s_j$	39	5.0	5.0	4.1	4.4	(4.6)	ヨ シ ワ ラ	
	$l_i+u_{ij}$	強風群	12	1.4	1.4	1.5	1.7	1.5	アイカワ
		中風群	19	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	ヨシワラ
		弱風群	8	-1.6	-1.6	-1.4	-1.5	-1.5	ハモチ

注)  $i$  地点,  $j$  季節の平均供給時間,  $\bar{y}_{ij} = \mu + s_j + l_i + u_{ij}$  なる構造モデルを前提とする.  
 注) 内陸, 海岸別に3群分類を前提として  $l_i + u_{ij}$  の値を対象にクラスター手法を適用した.

クラスタリングを行う上で, 多くの判定基準が提起されている. 対象とする値の“大きさ”で類別しようとするとき, ユークリッド距離が妥当な基準といえよう. したがって, 各群の重心からその群に所属する各地点までのユークリッド距離の和  $D$  の最小化をはかる非階層手法を用いる. この手法は, 群の数を事前に与えるものであるから, 3群への分類を意図した.

類別結果の群内平均値の大きさの順に, 各群をそれぞれ, 強・中および弱風群とよぶ. それらの各群に類別された地点数と各平均値を第1表に示した. 各群における  $l_i + u_{ij}$  の平均値に, 全地点に共通する値 ( $\mu + s_j$ ) を加算すれば, 式(4)の季節別平均供給時間についての各群の平均値が得られる. 第1表から, たとえば内陸の4月においては強風群の供給時間平均は5.2時間, 弱風群の平均が2.3時間である. 両立地各月とも, 強風と中風群, 中風と弱風群との差はほぼ1.5時間であるから, 強風群の地点は弱風群の地点に比べ, 8時間中平均3時間程度多く, 風エネルギーを利用できることになる. また, 若干の季節的差異はあるが, 内陸の強風, 中風群は海岸の中風, 弱風群にそれぞれ匹敵することが分かる.

のちに示す第2表は, 第1表の各群ごとに地点特性を示す.

2.2. 各地点における季節, 昼夜変動の大きさ  
 それぞれ12要素から成るベクトル  $p_i, l_i$  を

$$p_i = \begin{pmatrix} \vdots \\ p_{ijk} \\ \vdots \end{pmatrix}, \quad l_i = \begin{pmatrix} l_i \\ \vdots \\ l_i \end{pmatrix} \quad (5)$$

とすると

$$(p_i - l_i)'(p_i - l_i) = 3u_i'u_i + 4v_i'v_i + w_i'w_i \quad (6)$$

と書ける. 式(6)は2元配置データの平方和の分割を表し, 右辺の各項はそれぞれ要素数4, 3および12をもつベクトル

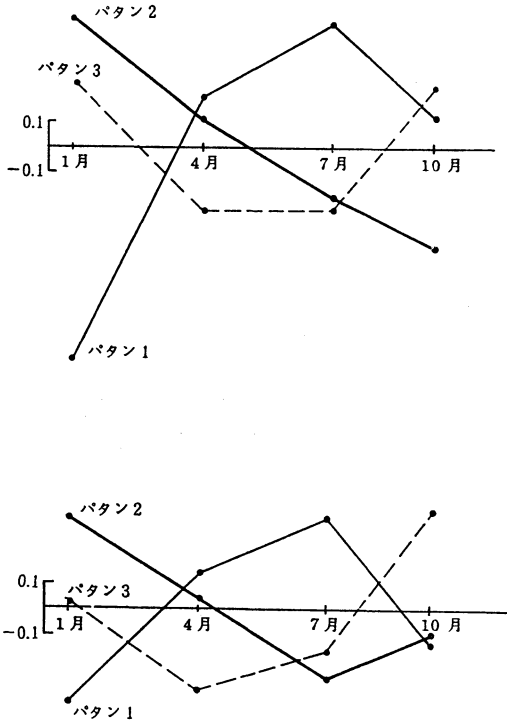
$$u_i = \begin{pmatrix} u_{i1} \\ \vdots \\ u_{i4} \end{pmatrix}, \quad v_i = \begin{pmatrix} v_{i1} \\ v_{i2} \\ v_{i3} \end{pmatrix}, \quad w_i = \begin{pmatrix} \vdots \\ w_{ijk} \\ \vdots \end{pmatrix}$$

の各内積に対応する, そして右辺第1, 2項は  $i$  地点における月間, 時間帯間の各平方和で, 自由度3, 2をもつ. これらの値を, 季節, 昼夜変動の大きさとしてのちに示す. 右辺第3項の  $w_i'w_i$  は季節と昼夜の交互作用であるが, 海岸, 内陸ともに地点数  $L$  に対し

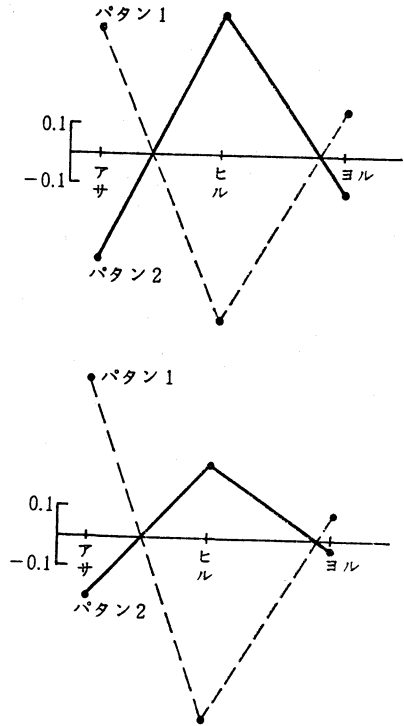
$$\sum_{i=1}^L w_i'w_i = 0.9L$$

の大きさ(第1報)であり, 地点別にみてもさして大きな値をもつものはないので, 無視し得ると考え, 呈示しない.

風の強弱と変動の大きさ, パタンとの関係をのちに述べるので, ここでは次の点にふれるにとどめる. 全地点のうち季節変動の最大値をもつのは海岸のオオガタで7.82, 最小はナガワとニイツでいずれも0.12である. 昼夜変動ではツナンの12.37が最大, サクの0.03が最小でいずれも内陸である. このことから分かるように, 昼夜変動の方が, 地点間の差異が著しい. 単純な平均値で見ると, 内陸では昼夜変動の方が季節変動より大きく, 海



第1図 季節変動の各パターン（上図は海岸，下図で内陸を示す.）.



第2図 昼夜変動の二つのパターン（上図は海岸，下図で内陸を示す.）.

岸ではふたつの変動の大きさが、ともに内陸の昼夜変動とほぼ同じである。

2.3. 季節、昼夜変動のパタン

$u_{ij}$  の値を対象に、2.2. 節と同じクラスター手法を用いて、内陸、海岸別にそれぞれ数種類のパタンの抽出をめざし、2～5群の各分類結果を得たが、以下で3群に分類した結果を述べる。

各地点の類別結果から、 $u_{ij}$  の群内平均値を第1図に示す。内陸、海岸ともにほぼ同じパターンが認められる。すなわちパターン1では最低が1月、最高が7月、10月は4月とほぼ同程度（海岸）かまたは1月と4月の中間（内陸）で、全体としておおむね凸形となる。パターン3は全体として凹形で、最低は4月で最高は10月（内陸）または4月と7月が低値で1月と10月が高値（海岸）をとる。そしてパターン2は最高の1月から7月まで下降をつづけ、10月は更に下降（海岸）するかまたはやや上向く（内陸）。一般に海岸の方が各パターンでの値の動きが激しく、特にパターン1での1月の  $u_{ij}$  値が低い。海岸の季節変動の大きさが平均的にみて内陸のそれより大きいのは、主としてパターン1のためと思われる。

$v_{ik}$  の値を対象に、同様の手法で各地点を2群に類別した結果の群内平均値を第2図に示す。パターン1はV字形で、アサが最高、ヒルに最低値をとり、内陸の方が変動が大きい。パターン2は逆V字をなし、アサが最低でヒルに最高値をとり、海岸で変動が大きい。最大の昼夜変動をもつツナは、第2表に示すようにパターン1である。

なお、本節のように変動のパタンにより分類しようとするとき、 $i$  地点と  $i'$  地点間の相関係数の大きさを基準とする手法が、目的に適合すると思われたので、この手法（階層手法になる）も適用し、デンドログラムを得た。本報で非階層手法の結果を採ったのは、四季を通じての増減だけでなく各値の大きさをも加味しての知見（たとえば海岸のパタン1で1月の  $u_{ij}$  値が特に低いため変動が大きい）を得たいと考えたためである。

2.4. 各地点の特性

全88地点について、これまでに述べた各特性を第2表に一括して示す。内陸、海岸別、強・中・弱風群別に地点を配列した。それぞれ、平均供給時間  $\bar{y}_i$ 、季節、昼夜変動の大きさとして式(6)右辺の第1、2項の



第3表 弱風および強風地点における風速別風向比率の例。

2, 3 m/s		4, 5 m/s		6 m/s以上		2 m/s以上	
風向	比率	風向	比率	風向	比率	風向	比率
5	0.2151	11	0.5556	1	0.0	5	0.2099
4	0.1570	5	0.1111	2	0.0	4	0.1547
10	0.1279	10	0.1111	3	0.0	10	0.1271
11	0.0814	4	0.1111	4	0.0	11	0.1050
2	0.0640	14	0.1111	5	0.0	2	0.0608
12	0.0523	6	0.0	6	0.0	12	0.0497
3	0.0465	7	0.0	7	0.0	3	0.0442
9	0.0407	8	0.0	8	0.0	9	0.0387
1	0.0407	9	0.0	9	0.0	1	0.0387
6	0.0349	3	0.0	10	0.0	6	0.0331
8	0.0349	1	0.0	11	0.0	8	0.0331
16	0.0291	12	0.0	12	0.0	16	0.0276
15	0.0233	13	0.0	13	0.0	15	0.0221
13	0.0233	2	0.0	14	0.0	13	0.0221
7	0.0174	15	0.0	15	0.0	7	0.0166
14	0.0116	16	0.0	16	0.0	14	0.0166
16	0.1925	9	0.3518	9	0.4805	9	0.2083
13	0.1552	16	0.2280	8	0.3506	16	0.1892
8	0.1316	8	0.2150	7	0.0649	8	0.1792
7	0.0963	1	0.0619	10	0.0519	13	0.0918
1	0.0923	10	0.0489	12	0.0260	7	0.0761
9	0.0806	7	0.0456	1	0.0130	1	0.0750
15	0.0707	15	0.0130	16	0.0130	15	0.0448
14	0.0688	13	0.0098	3	0.0	14	0.0403
10	0.0295	2	0.0098	4	0.0	10	0.0381
2	0.0236	12	0.0098	5	0.0	2	0.0168
6	0.0216	11	0.0033	11	0.0	12	0.0134
12	0.0138	14	0.0033	6	0.0	6	0.0123
5	0.0079	5	0.0	13	0.0	11	0.0045
11	0.0059	6	0.0	14	0.0	5	0.0045
3	0.0059	3	0.0	15	0.0	3	0.0034
4	0.0039	4	0.0	2	0.0	4	0.0022

注1) 上はノザワオンセン, 下はイイジマでいずれも1月である。  
2) 風向の1はNNE, ……., 16はNを示す。

第1図を裏づけるものである。

③ 強風群では季節変動のバタン3が多く、海岸で特にこの傾向が強い。全般に、バタン3では標高の高くない地点が多いので、海度の多少に関連するとも考えられる。

④ 昼夜変動は、海岸強風群でバタン1の地点が多い。これらのうちには、アサとヨルの風が強いために強風地点に類別されるものもある。たとえばフタツカメではヒルの供給時間は海岸地点全体の平均と殆ど同じ程度であるが、ヒルとヨルの供給時間が多いために平均値 $\bar{h}_i$ が大きく、強風地点となっている。

### 3. 風向に関する若干の考察

本間(1979)によれば、垂直軸風車は風向に影響されないし、水平軸風車の場合は方向制御機能をもつことが多い。したがって本研究での予測対象は、風速に関する特性だけを考える。しかし、周知のようにAMeDASのデータは、毎時の風速とともに16の各方向で風向が記

録されているので、以下で風向に関する若干の考察を行い、風と地形との関わりをみる上での一助とする。

#### 3.1. 風速の強弱と風向の多様性

各地点ごとに、季節別に風速2, 3m/s, 4, 5m/sおよび6m/s以上について、16の各風向の比率を求めた。第3表のように、比率の大きい順に配置すると、風が強いほど風向が限定されていることが分かる。この傾向はいずれの地点でも認められるが、弱風地点では特に、比率ゼロの風向が多い。第3表のノザワオンセン、イイジマはいずれも内陸地点であるが、それぞれ2.1.節の分類における弱風、強風群に属する。

#### 3.2. 各地点の主たる風向

ある地点で、他の方向に比べ仮にN方向からの風の流通がもっとも容易であるとき、Nの風の頻度とともに、NNE, NNW方向の風の頻度も高いと考えられる。したがって、もっとも風向比率の高い順に3方向をとり、それらの平均をその地点の主たる風向と考えるとする。この場合、風向比率の高い3方向のうちに、NとともにS

がふくまれていれば、平均は実態とかけ離れた方向を示すことになる。一般に、海岸では日中には海から陸に向かう風が吹き、夜間は陸から海に風が吹く(吉野, 1961)のであり、山谷風も昼夜で風の方向が逆になっている(根山, 1974)。したがって互いに逆の2方向からの風が、いずれも高い風向比率をもつ場合について、配慮しておく必要がある。

以上のことから、ある地点において風がもっとも頻繁に流通する方向を以下のように求める。地点ごとに風速 2, 3 m/s および 2 m/s 以上の風について、季節別に求めるものとする。

① 各風向の比率を求め、もっとも高い比率をもつ3方向を、比率順に  $D_1, D_2$  および  $D_3$  とし、これらに対応する比率を  $r_1, r_2$  および  $r_3$  とする。

② NNE を 1, 時計まわりに順次 2, 3, ... と番号を付すと N は 16 となる。地点を原点になぞらえて、16 の風向をそれぞれ原点を起点とする長さ 1 のベクトル  $x_k, k=1, \dots, 16$ , で表す。たとえば NNE は、原点を起点とすると SSW 方向へのベクトルであり、原点を通る水平軸から  $-5\pi/8$  の角度をもつので、 $k=1, \dots, 16$  に対し

$$x_k = \begin{pmatrix} x_{k1} \\ x_{k2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_k \\ \sin \theta_k \end{pmatrix}, \theta_k = -\left(\frac{\pi}{2} + \frac{1}{8} k\right) \quad (7)$$

と書ける。

③  $D_j, j=1, 2, 3$ , の各方向にそれぞれ対応する各  $x_k$  を、 $x_{(j)}$  と書く。原則として

$$y = r_1 x_{(1)} + r_2 x_{(2)} + r_3 x_{(3)} \quad (8)$$

により、平均ベクトルを算出する。

④  $y$  の算出にあたり、 $D_j$  に対し

$$|D_j - D_{j'}| = 7, 8 \text{ または } 9, j \neq j'$$

のとき、ベクトル  $x_{(j')}$  は  $D_j'$  を  $180^\circ$  回転させた方向に対応させる。このときの式 (8) による  $y$  を  $y_j$  と書く。たとえば  $D_j$  がそれぞれ 1, 8, 16 のとき

$$y_1 = r_1 x_1 + r_2 x_{16} + r_3 x_{16}$$

$$y_2 = r_1 x_8 + r_2 x_8 + r_3 x_8$$

..... を得る。

⑤ ベクトル  $y_j$  の長さ  $\|y_j\|$  を計算し、もっとも長いベクトルを  $y$  とする。同じ長さのベクトルがあるとき、 $j$  の数の小さい  $y_j$  をえらぶ。そして 16 方向のうち、 $y$  にもっとも近い方向を、最頻風向と仮称し、その地点、季節のもつ主たる風向とする。

なおベクトル  $x_k$  の長さは 1 であるから、式 (8) より

$$\|y\|^2 \leq (r_1 + r_2 + r_3)^2$$

第 4 表 風速 2 m/s 以上および 2, 3 m/s の風の各最頻風向別地点数の差。

最頻風向	内 陸			海 岸		
	強風	中風	弱風	強風	中風	弱風
NNE	-1	0	-1	-5	-3	0
NE	0	0	-1	-6	-7	-2
NEE	-1	0	1	-2	2	1
E	-2	-1	-2	3	-1	-1
SEE	0	0	0	-1	-7	1
SE	-2	1	2	-1	-3	0
SSE	-1	0	-1	-2	1	0
S	-1	2	0	0	2	2
SSW	1	3	1	1	-1	0
SW	2	1	-1	1	2	0
SWW	-1	-2	1	3	6	0
W	-2	-1	1	2	5	1
NWW	7	-1	-1	0	2	0
NW	1	0	1	4	2	0
NNW	0	-3	0	2	-1	-1
N	0	1	0	1	1	-1

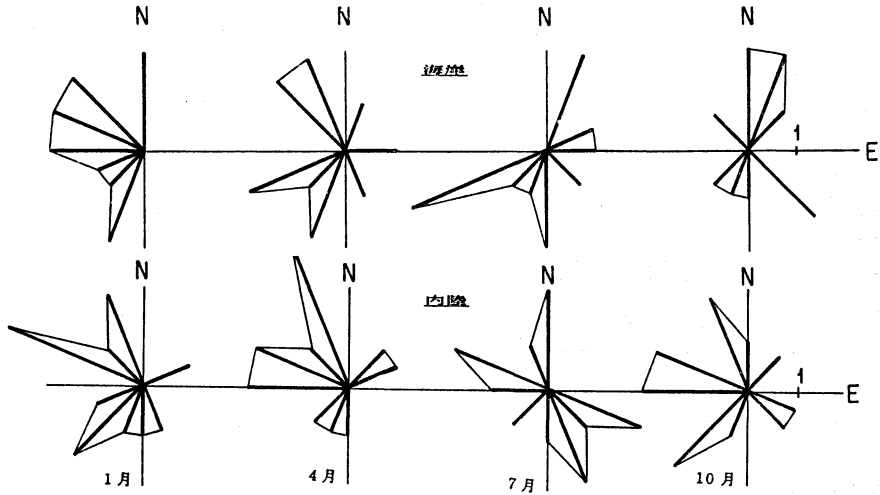
注) たとえば内陸強風群で、風速 2 m/s 以上の最頻風向が NNE である地点数は、風速 2, 3 m/s の最頻風向が NNE である地点数よりも 1 地点少ない。

を得る。すなわち  $y$  の長さは 3 個の  $D_j$  の各比率  $r_j$  の和をこえない。実際、 $y$  は  $r_j$  の和より (多くても) 2, 3% 減程度の長さが多く得られる。そして  $r_j$  の和は、50%前後の場合が多いが、地点によっては 80% に及ぶものもある。

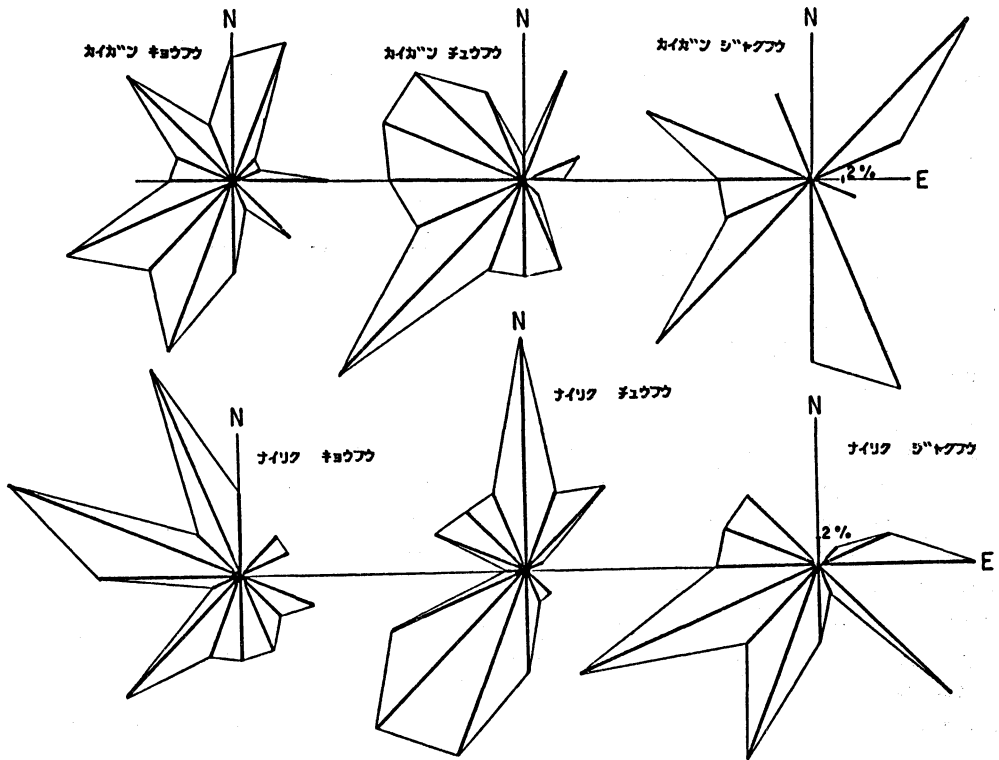
地点ごとの最頻風向の呈示は省略するが、若干の集約結果を以下に述べる。

### 3.3. 最頻風向と風の強弱

海岸、内陸の各強風群について、風速 2 m/s 以上の風向をもとに、同じ最頻風向をもつ地点数を月別に第 3 図に示した。海岸強風群は東西成分についての四季の変化が明確であり、東成分をもつ地点は 1 月には認められないが 4 月以降は次第に増え、10 月には東風成分をもつ地点の方が多くなる。内陸強風群では 4 月に東西成分では西風、南北成分では北風をもつものがやや多いが、7 月には東風および南風成分をもつ地点が増える。しかし全体として、海岸の場合に比べ季節のちがいはあまり明確でない。



第3図 海岸および内陸強風群における各季節の最頻風向(風速 2 m/s 以上)別地点数。



第4図 海岸、内陸の強・中および弱風群における最頻風向(風速 2 m/s 以上)別地点比率。

第4図は、海岸および内陸について、強・中・弱風群ごとに各風向がもつ地点数を季節をこみにして集計、比率で示した。海岸弱風群を除き、いずれも西風成分の地点が多い。内陸の強風群ではやや北風成分に傾くが、弱風群では逆に南風成分をもつ地点が多くなる。

次に、風速 2 m/s 以上および風速 2, 3 m/s について、最頻風向別地点数の差を記したのが第4表である。表中の正値は、風速 2 m/s 以上の地点数の方が多いことを表す。海岸強風群では西風成分をもつ風向では殆ど正値をとるので、風速 4 m/s 以上の風はとりわけ西寄りのものが多く、かつこの風を加えることによって最頻風向をも西寄りに変え得るほど高い比率で吹くことが分かる。海岸中風群もこれと類似の傾向を示すが、他の群の傾向ははっきりしない。

本報で最頻風向を求めたのは、風速 2 m/s 以上の風のうちの大半が吹く方向、を求めておくことが、周辺地形のデータを観察する際に役立つと考えたためである。実際、最頻風向に沿って地形データを観察することが、説

明変数を作成する過程で、しばしば必要となった。また第2報で、内陸立地点においては16方向のいずれから風が同等の可能性で侵入すると考えたが、最頻風向の集約結果から、必ずしもそうでないことが分かった。したがって、類似性行列の作出について再検討が必要であろう。

次稿以降で、予測のための説明変数、予測手法について述べる。

## 文 献

- 橋口渉子, 1983: 農業利用における小規模風エネルギーのメッシュデータによる評価方法の研究 第1報, 第2報, 天気, 30, 367-384.  
 本間琢也編, 1979: 風力エネルギー読本, オーム社, 東京, 68.  
 根山芳晴, 1974: 海陸風と山谷風との相互作用について, 天気, 21, 587-589.  
 吉野正敏, 1961: 小気候, 地人書館, 141.

## 日本気象学会誌 気象集誌

### 第II輯 第62巻 第3号 1984年6月

- 林 祥介・松野太郎: 球面上におけるロスビー波束の振幅  
 和方吉信・瓜生道也: 準共鳴ロスビー波について, 第I部 外部波  
 幸野淳一: 非定常大振幅プラネタリー波による成層圏オゾン輸送  
 村上多喜雄・中沢哲夫・J. He: 1979年北半球夏の40日~50日周期振動 第I部 位相の伝播  
 村上多喜雄・中沢哲夫・J. He: 1979年北半球夏の40日~50日周期振動 第II部: 熱と水蒸気の収支  
 秋山孝子: 梅雨前線上の中間規模雲 cluster 第I部 発達過程と微細構造  
 秋山孝子: 梅雨前線上の中間規模雲 cluster 第II部 熱・運動場と熱収支  
 穂積邦彦・孫野長治: 冬の季節風時の日本海上の収束雲帯の構造  
 藤部文昭・浅井富雄: 夏の相模湾沿岸における海陸風の構造  
 黒田登志雄: 氷結晶の気相成長の律速過程 第I部 理論的考察  
 黒田登志雄・権田武彦: 氷結晶の気相成長の律速過程 第II部 理論と実験の比較による表面カイネティック過程の研究  
 高村民雄・田中正之・中島映至: エアロゾルによる散乱光から推定される複素屈折率及び粒径分布の湿度依存性