

日本における風の日変化の気候学的特性について*

森 征 洋**

要 旨

風速の全年の特別平均値に現れる変動を調和解析し、各地の風の日変化の気候学的特性を調べた。スカラ-風速はほとんどの地点で1日周期成分が卓越し、半日周期成分が比較的大きな値を示す地点は、海岸近くのしかもそのうちで少数の地点に限られていた。1日周期成分の振幅で各地のスカラ-風速の日変化の大きさを表すと、中部地方などの内陸部や湾の奥など、年平均風速の小さな地点で大きな値が見られた。各地の特別ベクトル平均風の日変化成分を楕円で近似し、この楕円の形でもって地点間の比較を行った。楕円の半長軸の長さでベクトル風速の日変化の大きさを表すと、大きい値は海岸近くの地点に見られ、スカラ-風速とは逆の傾向が見られた。

1. はじめに

大気境界層における風の日変化は、鉛直方向の運動量輸送の日変化や海陸風・山谷風などによって生ずる。また、大気潮汐による風の日変化も場所によっては見られる。わが国のように周囲を海で囲まれ、山岳など起伏に富む地形の多い所では、風の日変化はさまざまな原因で生じており、また地形の影響も受けて、その現われ方は場所によって異なった特徴を示す。Terada and Kobayasi (1922) は海岸近くの地点を対象に、特別の風配図から推定した風の日変化の地域的特性について研究を行っている。中原 (1957) は特別の風配図より、日本各地の風の日変化について論じている。吉野 (1966) は風速の日変化パターンの年変化を代表的な数地点について調べている。これらの研究は利用した資料の制約から、日本全域にわたる風の日変化の特性を明らかにするまでには到っていない。

最近、日本各地の地表風の長期にわたる資料を収めた磁気テープが利用できるようになった。そこで、本論文ではこの資料を利用して日本全域にわたる風の日変化の気候学的特性について調査を行った。

2. 資料および解析結果

用いた資料は気象庁統計課の「風の地点別・特別値フ

* On Climatological Aspects of Daily Variation of Surface Wind in Japan.

** Yukihiko Mori, 香川大学教育学部地学教室。

—1981年10月9日受領—

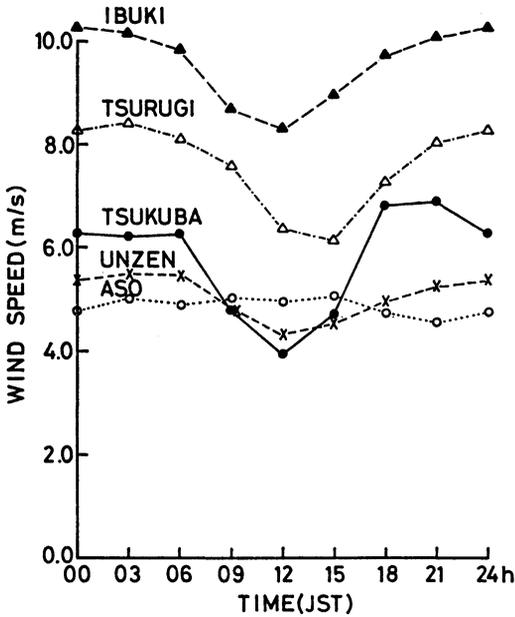
—1982年1月11日受理—

ァイル (磁気テープ)」である。この資料には全国の157の地上気象官署 (含山岳測候所) における、1967年から1977年の11年間の1日8回の風の観測値が収められている。各観測値は03時より3時間毎の正時前10分間の平均値である。風向は16方位で表されている。地点名のリストは森 (1981 a) に示し、風速の平均値等については森 (1981 a, b) に示した。

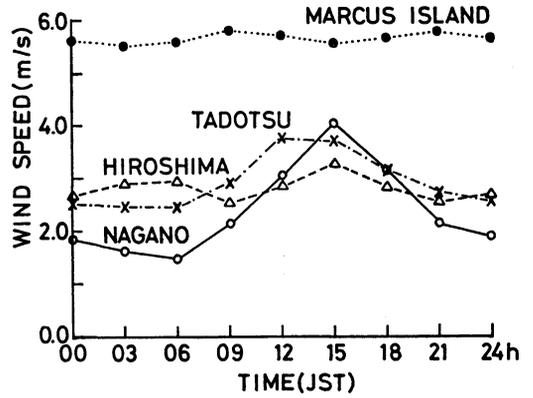
この資料を用いて、時刻別にスカラ-風速および風速の東西成分 (u) 南北成分 (v) の平均値を求めた。日変化成分以外の変動は時刻に関してはランダムな性質を持っていると考えられるので、もし風速の変動に日変化成分が含まれていなければ、長期のデータを用いた特別平均値はどの時刻も同じ値に近づくことが期待される。したがって、特別平均値に時刻による変動があれば、それは風の日変化の平均的な特性を表していると思なすことができる (森, 1982)。ここではこのような特別平均値に現れた日変化について調べた。

2.1. スカラ-風速の日変化

風速は平地では日中に強くなり、夜間に弱くなるタイプの日変化を示し、山岳の頂では逆に日中に弱くなり、夜間に強くなるタイプの日変化を示すことは古くから知られている (福井, 1938)。山岳測候所5地点について、全年のスカラ-風速の特別平均値を第1図に示す。これらの地点および標高は筑波山 (869 m)、伊吹山 (1376 m)、雲仙岳 (849 m)、阿蘇山 (1143 m)、剣山 (1944 m) である。阿蘇山では日変化はほとんど見られないが、他の4地点では日中に風速が弱くなるタイプの日変化がはっきり見られる。阿蘇山が他の4地点と異なって



第1図 山岳におけるスカラー風速の時刻別平均値。

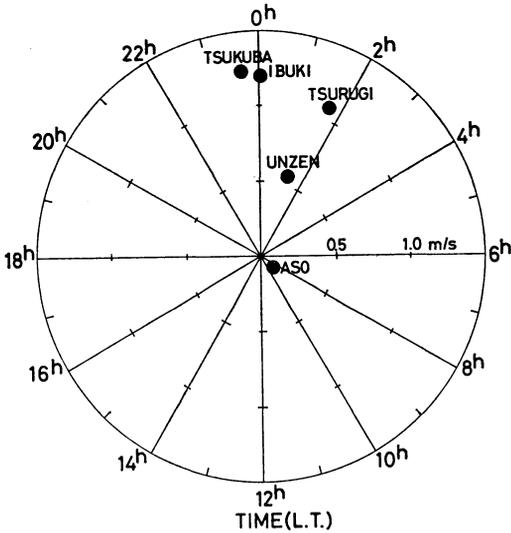


第3図 平地および島におけるスカラー風速の時刻別平均値の例。長野，多度津，広島，南鳥島の場合。

で示した。太陽の南中時刻を12時にそろえるために、時刻は日本標準時 (JST) ではなく、各地点毎の地方時 (LT) で示した。筑波山、伊吹山、剣山の振幅は 1.1~1.2 m/s 程度で、雲仙岳はこれらの半分位となっている。位相は阿蘇山を除くと筑波山が 23 時 34 分で最も早く、剣山が 01 時 41 分で最も遅くなっており、筑波山と剣山とでは 2 時間位の位相のずれが見られる。

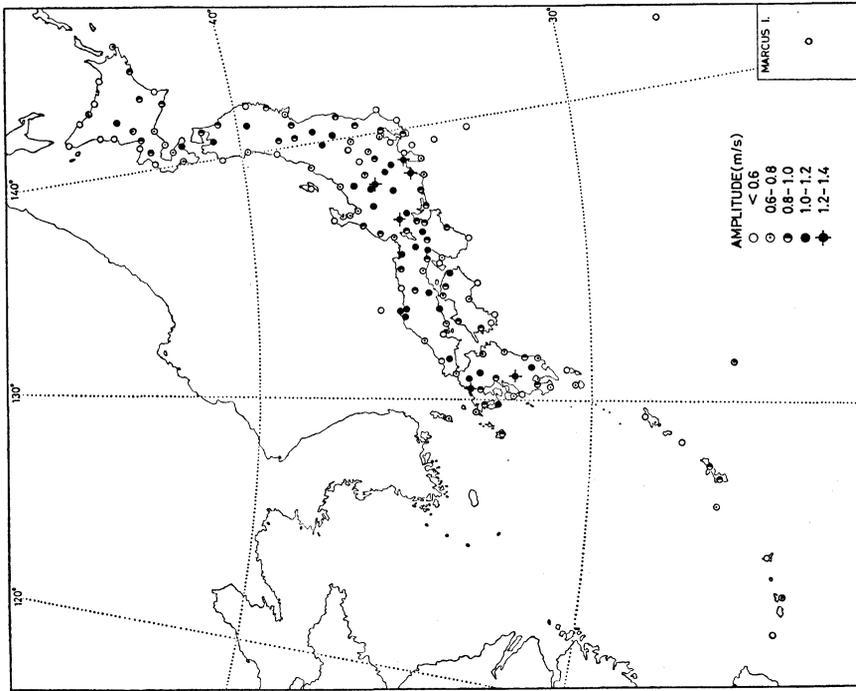
次に、平地および島における風速の時刻別平均値の例として、長野、多度津、広島、南鳥島 (マーカス島) の場合を第 3 図に示す。南鳥島の場合、日変化は非常に小さい。半日周期の変動がわずかに見られるが、これはベクトル平均風の日変化の特性などから、主として大気潮汐によって生じたものであると考えられる (森, 1982)。多度津、長野では日中に 1 つの極大を持つ日変化が見られる。広島では日中と夜間の 2 つの極大が見られる。多度津と広島はともに瀬戸内海沿岸の地点であるが、風速の日変化パターンは同じではない。

そこで全地点について時刻別平均値を調和解析し、1 日周期成分の振幅 A_1 と半日周期成分の振幅 A_2 を求め、両者の大きさを比較した。振幅比 A_2/A_1 は第 4 図に示すとおりである。この比が 60% を超える地点は関東北部の日光と前橋を除けば、すべて海岸近くの地点に限られている。しかしながら、海岸近くの地点すべてで大きくなっているわけではなく、そのうちでも少数である。この比が 100% を超える地点は相川、広島、宿毛、足摺、南鳥島の 5 地点のみである。南鳥島を除くこれらの地点で半日周期の振幅が大きくなったのは、陸風が海風と同じように発達するためと考えられる。

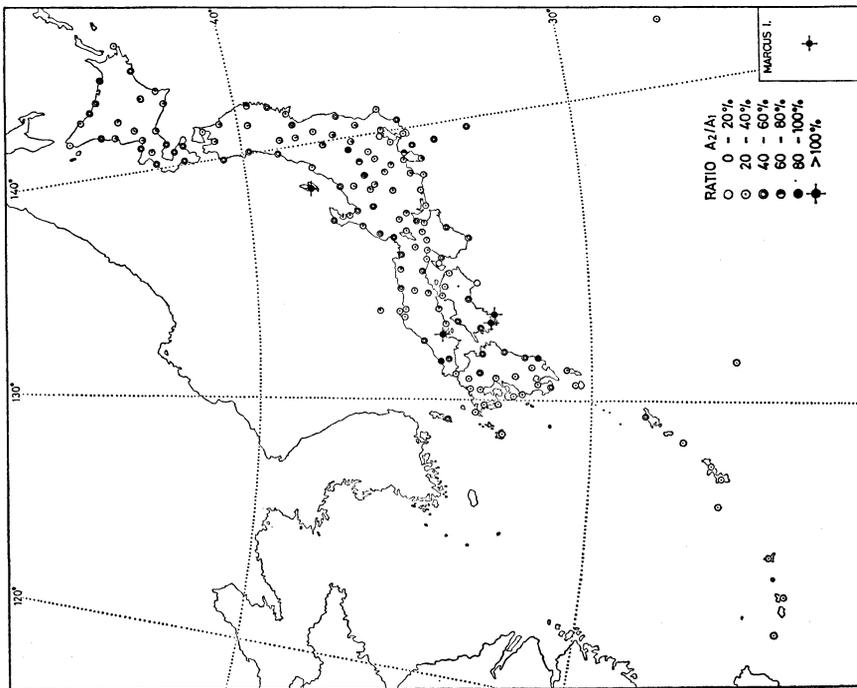


第2図 山岳におけるスカラー風速の1日周期成分の振幅と位相。

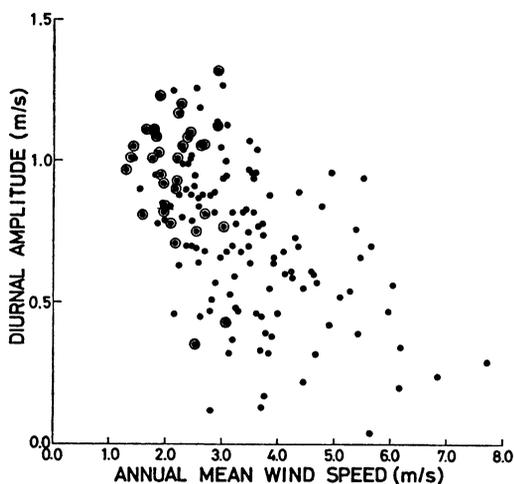
いるのは、この地点がカルデラの中にあり、他の 4 地点のように孤立峰の頂ではないことによると考えられる。これらの地点の風速の日変化を調和解析し、調和成分のうち 1 日周期成分の振幅と位相を第 2 図に示す。振幅は中心からの距離で、位相は調和成分の極大が生ずる時刻



第5図 スカララー風速の1日周期成分の振幅。



第4図 スカララー風速の1日周期成分と半日周期成分の振幅比、図右下は南鳥島 (Marcus Island; 24°N, 154°E) の場合を示す。



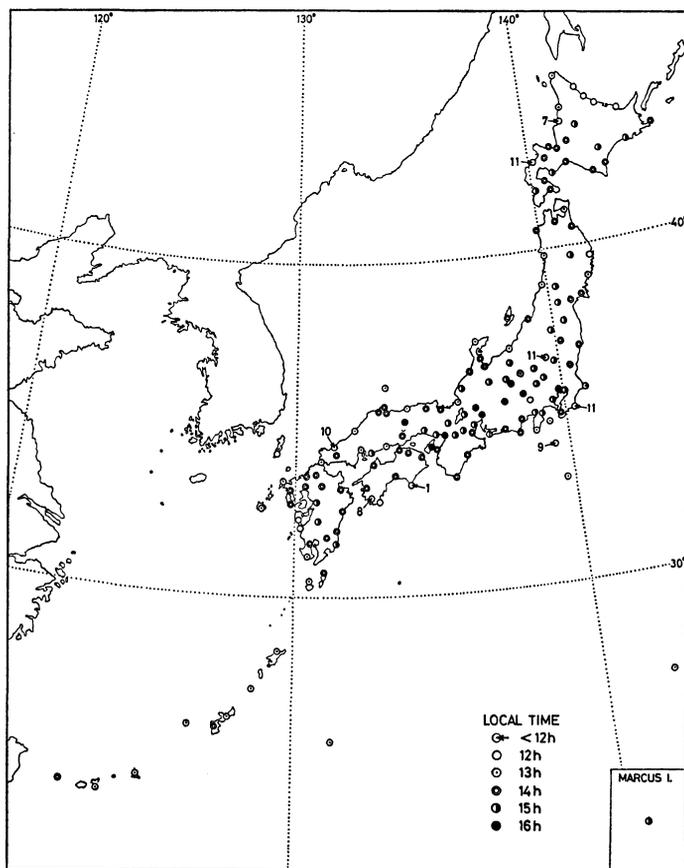
第6図 スカラー風速の1日周期成分の振幅と年平均風速との関係。

- … 海岸線より20 km 以内の地点(沿岸部).
- ⊙ … 海岸線より20 km 以遠の地点(内陸部).

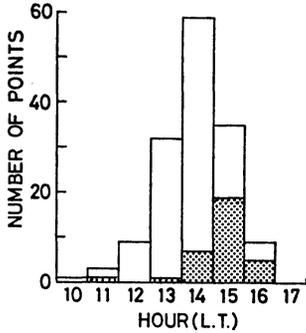
これらの地点以外では1日周期の振幅が半日周期の振幅より卓越しているので、1日周期成分の振幅の大きさを各地点のスカラー風速の日変化の大きさを表すと第5図のようになる。北海道北部の海岸、北海道～北陸の日本海側、九州～関東の太平洋に面した岬などの地点では小さな値を示し、中部地方などの内陸部や湾の奥の地点で大きな値を示している。

1日周期成分の振幅の大きさと年平均風速との関係を第6図に示す。地点を便宜的に海岸線から20 km 以内の地点と以遠の地点とに分けた。年平均風速と振幅との関係にはかなりのばらつきが見られる。しかしながら、全体としては年平均風速の小さい地点で振幅が大きくなる傾向が見られる。内陸部の地点では、平均風速は約3 m/s 以下となっており、振幅が大きくなっている。

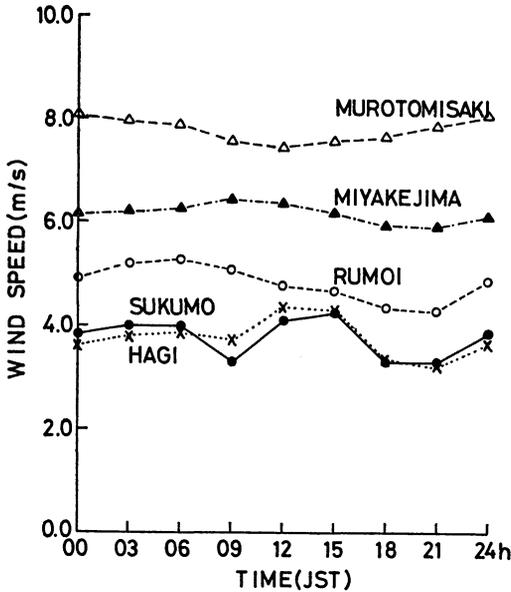
次に、1日周期成分の位相をこの成分の極大が生ずる時刻で表すと第7図のようになる。時刻は各地点の地方時で示したので、経度による差は補正されている。ほとんどの地点で日中の12～16時に極大が生じている。極大



第7図 スカラー風速の1日周期成分の位相。位相は極大の生ずる時刻(地方時)で示す。



第8図 スカラー風速の1日周期成分が極大となる時刻別の地点数. 10時以前(01時, 07時, 08時, 09時にそれぞれ1地点づつ)の4地点は省略した. 白域は沿岸部, 点域は内陸部の地点数を示す.



第9図 留萌, 三宅島, 萩, 宿毛, 室戸岬におけるスカラー風速の時刻別平均値.

が生じる時刻別の地点数は第8図に示した. 第6図の場合と同じ基準で内陸部の地点と沿岸部の地点とに分けて示した. 沿岸部では13~14時に極大になる地点が多く, 15時より遅れて極大になる地点は少ないが, 内陸部では15時に極大になる地点が多い. このように内陸部では沿岸部に比べて極大の生ずる時刻が遅れる傾向が認められる.

12時以前に極大を示す地点は 留萌 (07時), 日光 (11

時), 勝浦 (11時), 三宅島 (09時), 萩 (10時), 宿毛 (08時), 室戸岬 (01時)である. このうち正午より2時間以上も前に極大を示す地点について, 時刻別平均値を第9図に示す. 室戸岬, 三宅島, 留萌では1日周期成分の極大が生ずる時刻は時刻別平均値が最大となる時刻とほぼ一致している. 一方, 宿毛, 萩では時刻別平均値の最大は日中の12~15時に生じており, 1日周期成分の極大が生ずる時刻とは大きくずれている. これは, これらの地点では半日周期成分の振幅が卓越しているためにこのような結果になったものである. 室戸岬では山岳の場合と同じように, 風速が夜間に大きく, 日中に小さくなっている. ただし, この地点の風の観測は海拔185mの岬上からさらに42mの高度の所でなされており, 通常の地表風の観測とは異なった条件のもとでなされていることに注意しなければならない. 留萌では時刻別平均風は日中は海風, 夜間は陸風となっている (図は省略). 約6時にスカラー風速の最大が生ずることは, 日出前の陸風が日中の海風に比べて大きいことを示している.

2.2. ベクトル風速の日変化

u, v 成分の時刻別平均値より, ベクトル風速の日変化を求めた. 風の時刻別平均ベクトルから日平均ベクトルを差し引いて得られる偏差ベクトルの日変化を解析の対象とした. 偏差ベクトルの日変化のタイプはさまざまであるが, これを楕円で近似し, この楕円の形をもって各地点の日変化の特性を比較した.

u, v 成分の日変化の1日周期成分 u_1, v_1 は調和解析によって次のように表される.

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t \\ v_1 &= a_2 \cos \omega t + b_2 \sin \omega t \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで a_1, a_2, b_1, b_2 はフーリエ係数, $\omega = 2\pi/24$ rad/h であり, t は時で表した時間である. 風のベクトルを複素数 $W = u + iv$ で表し, W の1日周期成分を W_1 とおくと, (1) 式から W_1 は次のように書くことができる. (Gonella, 1972; Mooers, 1973; O'Brien, 1974).

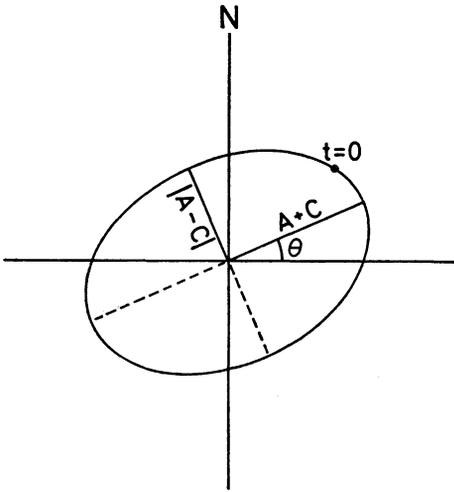
$$W_1 = u_1 + iv_1 = Ae^{i(\omega t + \eta)} + Ce^{i(-\omega t - \zeta)} \quad (2)$$

ただし,

$$A = \frac{1}{2} \left\{ (b_2 + a_1)^2 + (a_2 - b_1)^2 \right\}^{1/2}$$

$$C = \frac{1}{2} \left\{ (b_2 - a_1)^2 + (a_2 + b_1)^2 \right\}^{1/2}$$

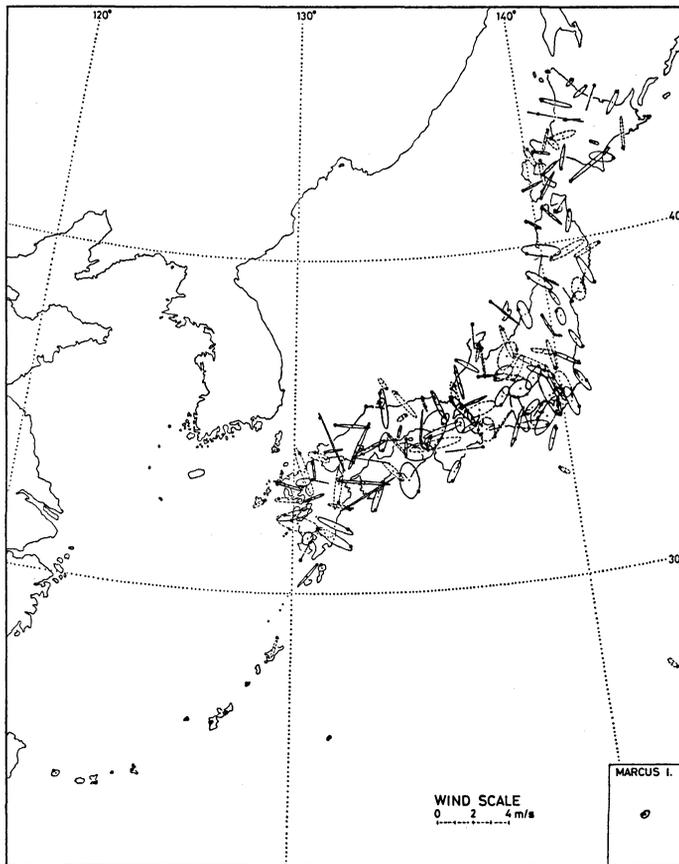
$$\tan \eta = \frac{a_2 - b_1}{a_1 + b_2}, \quad \tan \zeta = \frac{a_2 + b_1}{b_2 - a_1}$$



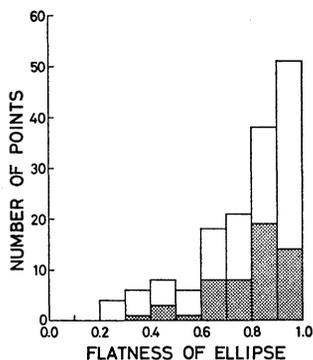
第10図 日楕円のモデル.

である。(1)式は第10図に示すような楕円を表しており、楕円の形や傾きは(2)式から求まる。すなわち、楕円の半長軸は $A+C$ 、半短軸は $|A-C|$ 、長軸の傾き $\theta = \frac{\gamma - \zeta}{2}$ である。

全年の日楕円を、山岳測候所を除く全地点について求めた結果は第11図に示すとおりである。楕円は偏差ベクトルの終点を示し、楕円上の●は00時の位置を示している。時計まわりの日変化は実線、反時計まわりの日変化は点線でそれぞれ示した。時別ベクトル平均風の1日周期の変化は全年のベクトル平均風にこの日楕円を加えた形を示す。各地の全年のベクトル平均風は森(1981a)に示したが、これと日楕円との間には特定の見出せなかった。海岸近くの地点では楕円の長軸は海岸線に対して直角になる傾向が見られ、また、風向は日中は海から陸へ、夜間はその逆となっており、海陸風から予測



第11図 ベクトル平均風の1日周期成分の日楕円.

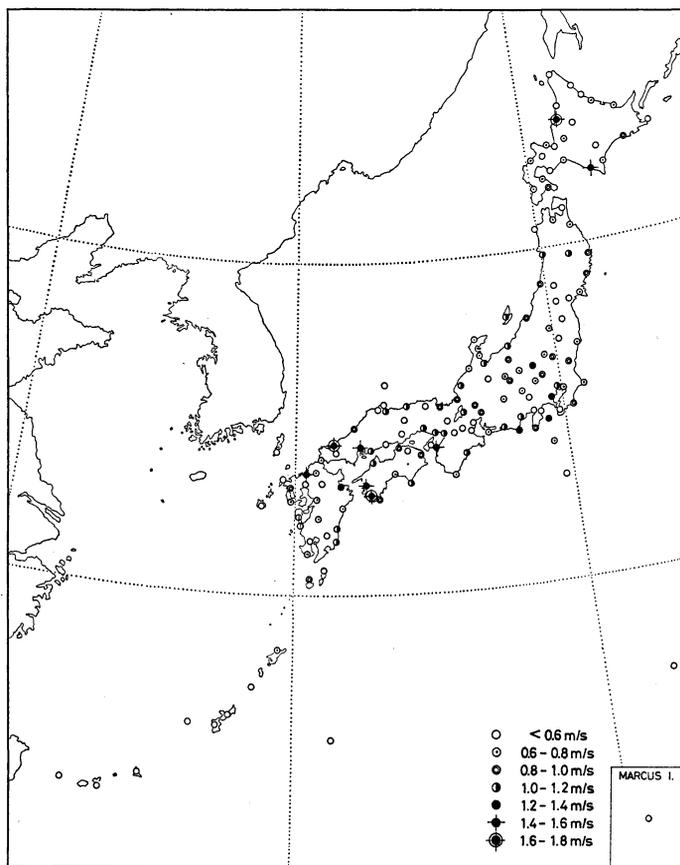


第12図 日楕円の扁平率の分布。白域は時計まわり、点域は反時計まわりの地点数を示す。
 扁平率 = (半長軸 - 半短軸) / 半長軸

される方向とほとんどの地点で一致している。

日楕円の扁平率の分布を回転の方向別に第12図に示す。扁平率が0.6以下の地点、すなわち、短軸が長軸の6割以上の大きさを持つ地点は全地点の16%であって、全体としては扁平な楕円を示す地点が多い。回転の方向は時計まわりの地点が全体の約2/3、反時計まわりの地点が約1/3となっており、時計まわりの地点の方が2倍くらい多い。

日楕円の扁平率の大きい地点が多いので、半長軸の長さでベクトル風速の日変化の大きさを表すと第13図のようになる。大きい値を示す地点は海岸付近の地点に見られ、スカラー風速の場合とは逆の傾向が見られる。特に大きい値が留萌・萩・宿毛で見られる。これらの地点はいずれも河口近くにあり、内陸へと谷が続いているという地形的特徴を持っている。これらの地点のスカラー風



第13図 ベクトル平均風の日楕円の半長軸の大きさ。

速の日変化の1日周期成分は小さかったが、ベクトル風速の日変化がこのように大きくなっているのは、風の日変化が谷に沿う方向に生ずるように制約され、また、山風の影響も加わって、陸風が海風と同じように発達するためと考えられる(第9図)。南西諸島や父島・南鳥島ではベクトル風速の日変化は著しく小さく、半長軸の大きさは名瀬を除いて、いずれも0.6 m/s以下である。また、本土周辺の島においても、大島・屋久島などを除けば、小さい値を示す地点が多い。

3. まとめ

日本各地の風の日変化の気候学的特性を時別平均値に現れる変動から調べた。今回、解析を行った山岳測候所5地点のうち、阿蘇山を除く4地点ではスカラー風速は日中弱く、夜間に強くなるタイプの日変化が見られた。平地では日中に1つの極大を持つタイプの日変化を示す地点と、日中と夜間に2つの極大を示す地点とが見られた。時別平均値を調和解析し、1日周期成分の振幅と半日周期成分の振幅とを全地点について比較したところ、半日周期成分が卓越する所は海岸近くの、しかもそのうちでも少数の地点であった。1日周期成分の振幅で各地点のスカラー風速の日変化の大きさを表すと、中部地方などの内陸部や湾の奥など、年平均風速の小さな地点で大きな値がみられた。1日周期成分の極大の生ずる時刻を各地点の地方時で表した場合、沿岸部では15時以前の地点が多いのに対して、内陸部では15時の地点が多く、内陸部では沿岸部に比べて極大の生ずる時刻が遅れる傾向が見られた。

各地点の時別ベクトル平均風の日変化成分を楕円で近似し、この楕円の形でもって地点間の比較を行った。楕円の半長軸の長さでベクトル風速の日変化の大きさを表すと、大きい値は海岸付近の地点に見られ、スカラー風

速とは逆の傾向が見られた。

謝 辞

この研究を行うにあたって有益な御助言をいただいた京都大学防災研究所 光田 寧 教授に感謝します。「風の日地点別・時別値ファイル(磁気テープ)」を利用していただいた気象庁統計課に感謝します。計算は香川大学計算センターのFACOM 230-45 S を用いて行った。

文 献

- 福井英一郎, 1938: 気候学, 古今書院, p.566.
 Gonella, J., 1972: A rotary-component method for analysing meteorological and oceanographic vector time series, *Deep-Sea Res.*, 19, 833-846.
 Mooers, C.N.K., 1973: A technique for the cross spectrum analysis of polarized components and rotational invariants, *Deep-Sea Res.*, 20, 1129-1141.
 森 征洋, 1981 a: 日本各地の風のパクトル平均値について, 香川大学教育学部研究報告, II, 31, 143-172.
 ———, 1981 b: 日本における風のパクトル平均値について, *天気*, 28, 419-426.
 ———, 1982: 南鳥島における風の日変化について, 香川大学教育学部研究報告, II, 32, 37-48.
 中原孫吉, 1957: 本邦主要都市の風の調査, *気象庁彙報*, 39, No. 4, 1-154.
 O'Brien, J.J., 1974: Rotary wind spectra in a sea breeze regime, *J. Appl. Met.*, 13, 820-825.
 Terada, T. and T. Kobayasi, 1922: On the diurnal variation of winds in different coastal stations of Japan, *Rep. Aeronaut. Research Inst., Tokyo Imp. Univ.*, 1, 35-85.
 吉野正敏, 1966: 日本における風の日変化の気候学的特性の2, 3について, *地理学評論*, 39, 20-30.