

# 台風接近時に観測点で未来の風速—頻度 スペクトルを予測する基礎的考察\*

荻屋 公明\*\* 古市 正生\*\*\*

## 要 旨

観測点に台風が接近するとき、観測時刻以後の風の吹き方を予測することは農作物の被害、建築現場の災害、都市内の落下物による被害等の地域災害の防災に寄与する所が大である。本論文は、観測時刻以後の風速頻度スペクトルを観測点で得られる測定データのみを用いて予測する方法を提案するものである。まず風速信号の振幅確率密度分布推移計測法を示し、次に台風接近時の観測点の気圧と風速の相関関係を、台風接近時に1時間ごとに10分間測定した風速信号の振幅確率密度分布推移データを基に示す。その上で、台風接近時に観測時刻以後の気圧の予測から平均風速を予測して、その平均風速に対する正規化風速スペクトルを求め、当該台風接近の風の吹き方の性質を用いてこのスペクトルを修正する方法で未来の風速頻度スペクトルを予測する方法を示す。なお、この研究の背景には Schloemer の気圧分布が参照された。

## 1. はしがき

台風接近時に観測点で任意の測定時間を決めて一定時間間隔ごとに測定される風速情報（平均、最大、最頻風速など）は、同時に測定される気圧傾度と強い相関を有する。これは気圧分布と風速分布に一定の関係があるとする高橋モデル（1939）、Schloemer モデル（1954）、原口モデル（1976）、Schloemer モデルを発展させた Holland のユニバーサルモデル（1979）などから明らかである。Schloemer の気圧モデルによると、観測点の気圧は台風の規模、中心気圧、台風を中心と観測点間の距離に支配される。故に台風接近時に観測点で測定される風速はこれらの時間的変化に従い、当該台風接近の風の吹き方の性質を示す。一方、観測点で測定される一定時間中の風速値の頻度分布（これを風速頻度スペクトルと呼ぶ）は一次的にその時間中の平均風速に対する正規分布

で与えられる（これを正規化風速スペクトルと呼ぶ）（畠山, 1969）。

これらの関係を基に、予測した観測時刻以後の気圧から気圧傾度を求め、平均風速を算出して正規化風速スペクトルを与え、これに風の吹き方の性質を与えると観測時刻以後の風速頻度スペクトルを予測することが可能になる。

本論文では、まず風速信号の振幅確率密度分布推移計測法を示し、次に台風接近時に観測点の風速頻度スペクトルを予測する基本的な背景とする気圧傾度と風速との相関および風の吹き方の性質を Schloemer の気圧モデル式と対比させながら示す。そして、台風接近時の平均風速と風速頻度スペクトルの一般的関係（これを平均化風速スペクトルと呼ぶ）を求め、正規化風速スペクトルに定式化する。最後に予測した正規化風速スペクトルを風の吹き方の性質によって修正し、風速頻度スペクトルを最終的に予測する方法を示し、合わせて常微分方程式の数値解法（例えば、森田, 1971）を利用した気圧の未来値を予測する方法を示す。

## 2. 風速信号の振幅確率密度分布推移計測法

一般に、ランダムな連続信号の振幅確率密度分布を測

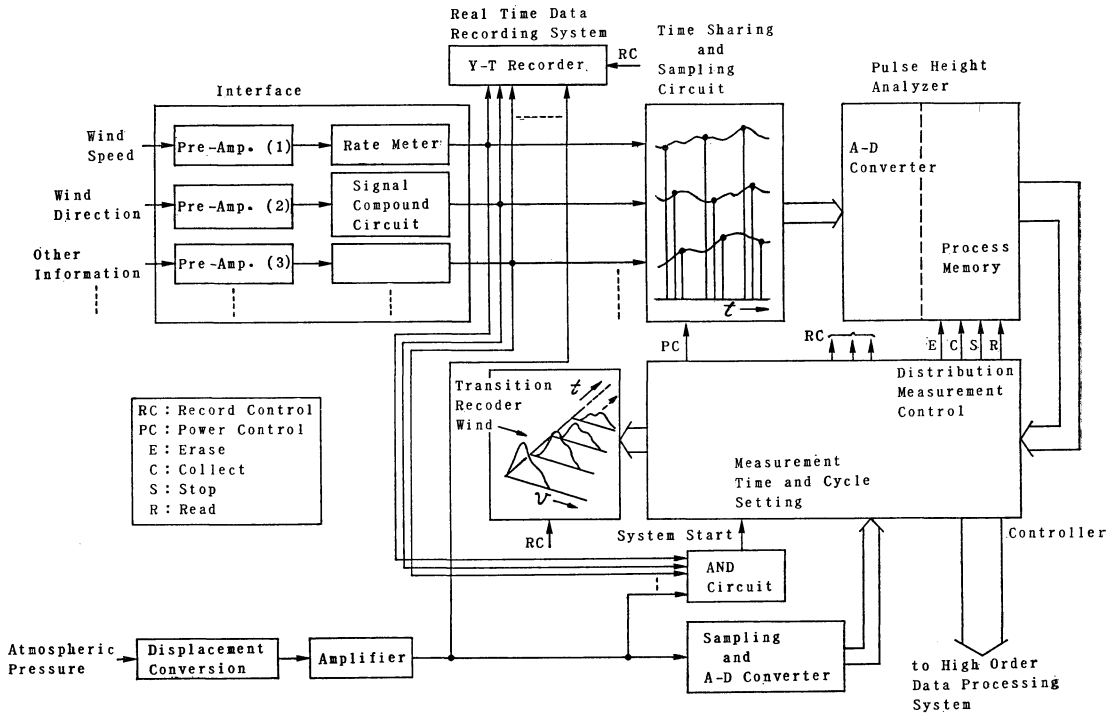
\* Fundamental consideration to predict wind speed—frequency spectrum in future at observation point when typhoon is approaching.

\*\* Komyo Kariya, 立命館大学理工学部.

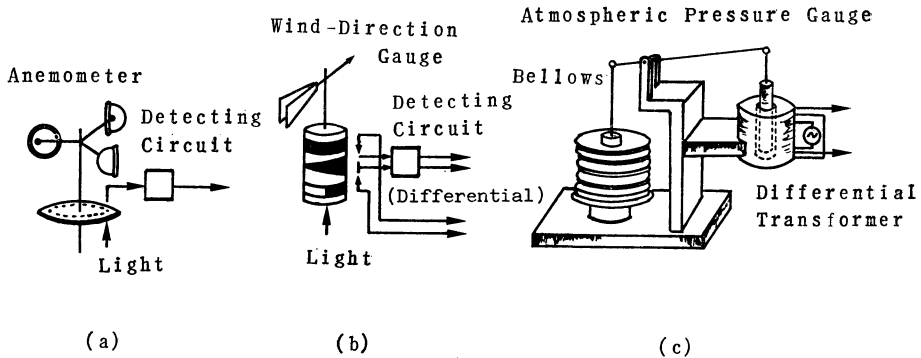
\*\*\* Masao Furuichi, 日本電気株式会社

——1982年3月30日受領——

——1982年8月18日受理——



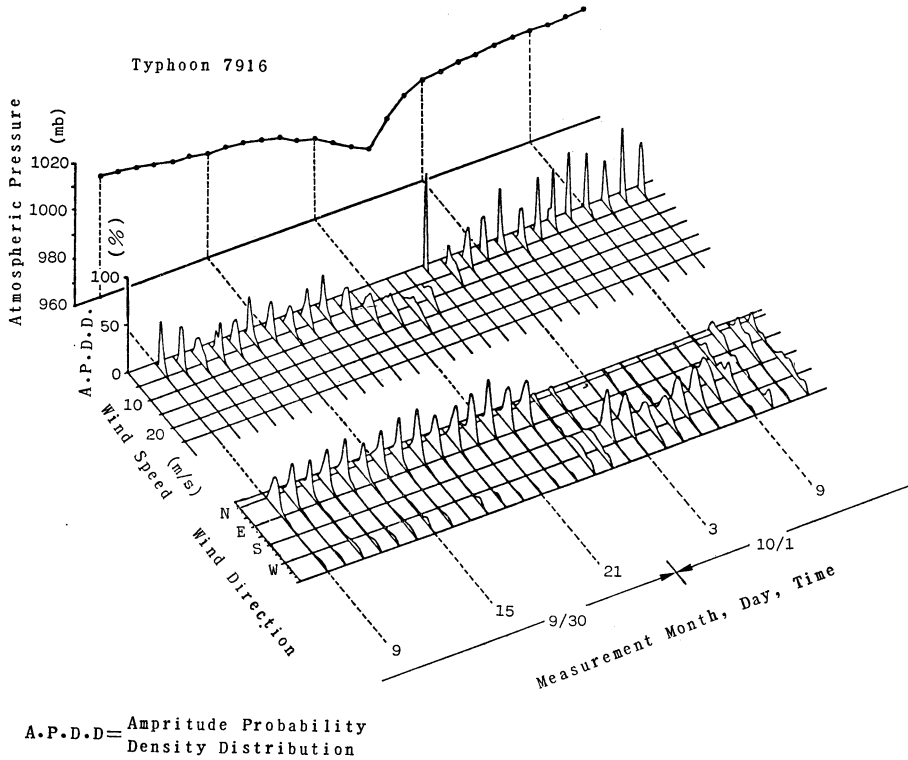
第1図 研究に使用しているシステム.



第2図 研究に使用した風速計, 風向計, 気圧計.

定するには、サンプリングした信号振幅を A-D 変換し、一定時間中の同一デジタル数に対する頻度分布を作成する。このハード的作業にはシグナルプロセッサやマイクロコンピュータが使われるが、精度、動作確度からは放射線計測領域で発達した波高分析器 (Pulse Height Analyzer) (例えば、佃, 1969) を用いるのが好ましい。その理由は Wilkinson 型の優れた精度をもつ A-D 変換

器が内蔵されていることと直接振幅確率密度分布をブラウン管にディスプレイすることができ、かつ Y-T レコーダ、X-Y レコーダ等に記録できる単能的なメモリー構造になっていることがあげられる。著者らは第1図に示すシステムを構成して、1測定時間中(現在は10分)の風速信号の振幅確率密度分布すなわち風速頻度スペクトルを一定間隔ごと(現在は50分)に測定し、スペクト



第3図 風速信号の振幅確率密度分布推移の1例.

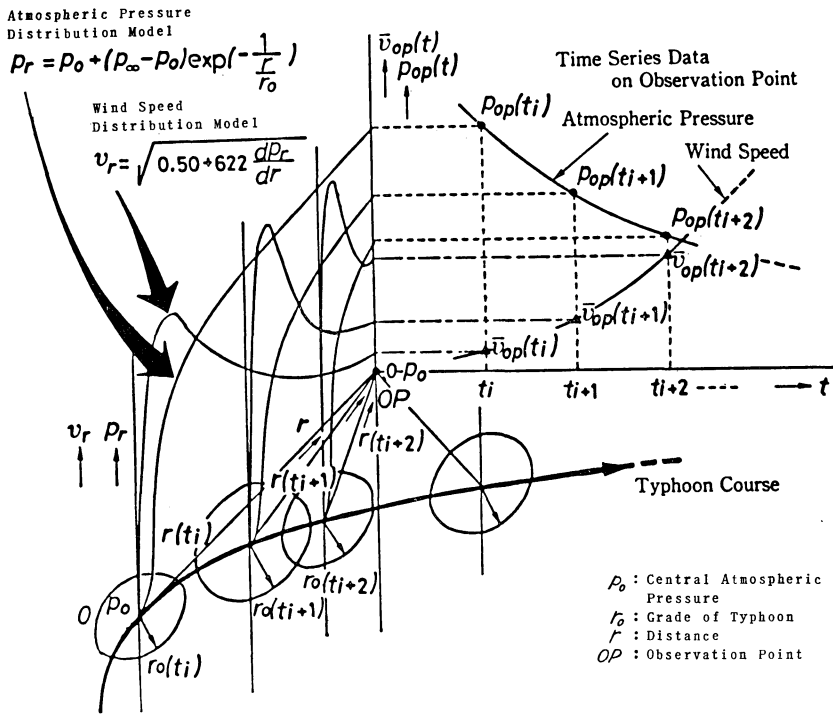
ルの推移状況を観測している。風速以外には気圧の変化と風向頻度スペクトルの推移を観測している。風速信号は第2図(a)のように標準形3杯風速計の回転速度を光電—デジタル検出し、計数率計でD-A変換した電圧信号を、風向信号は同図(b)の方法で光電—アナログ変換した電圧信号を、さらに気圧信号は(c)のように標準自記記録計のペローズの変位を差動変圧器によって電圧に変換した信号を用いている。とくに風速信号は標準形3杯風速計の発電機の出力信号が整流回路の時定数によって直線性を失う(矢島, 秋山, 1968)ので、デジタル検出をおこない、計数率計で標準偏差を一定とする方式を採用し(Kariya, Shimada, 1977), 風向信号は風向頻度スペクトルの推移特性も把握できるように、サンプリングしやすい電圧信号とした(Kariya, Makino, 1978)。

風速信号と風向信号の頻度スペクトルの推移および気圧はコントローラによって自動記録制御されるが、コントローラにはシーケンスコントローラやマイクロコンピュータが有効な役割を果たしている。第3図は自動記録

される風速、風向頻度スペクトルの推移および気圧信号の変化の一例である。

### 3. 台風接近時の観測点における気圧傾度(または気圧時間差)と風速との相関および風の吹き方の性質

台風の風速分布モデルは気圧分布モデルから誘導され、先に示した如く、多くの人達によって研究されている。これらのモデルの適合性が高ければ、台風の中心から距離 $r$ 離れた観測点の気圧 $P_r$ と風速 $v_r$ の瞬時、瞬時の値の間には一定の関係が成立し、また台風の進行に伴う時間と距離の間に直線関係があるならば、観測点の風速は風速分布モデルと同じ形を示すはずである。このことは第4図から明らかである。この図は気圧分布モデルにSchloemerのモデルを、風速分布モデルに著者らがSchloemerの気圧分布モデルから誘導したモデルによって描いた図で、任意の時刻 $t_i$ における観測気圧、平均風速をそれぞれ $P_{op}(t_i)$ 、 $\bar{v}_{op}(t_i)$ で示してある。したがって、より適合性の高い気圧分布モデルと風速分布モデルが構成されることは望ましく、原口モデルや



第4図 台風の気圧分布モデルと風速分布モデル，および観測点の気圧，風速の関係。

Holland のユニバーサルモデルは、従来のモデルを検討した上で多くの擾乱に適合し得るモデルに発展させた成果として注目される。けれども、これらの研究成果を見ても、一般的には気圧分布モデルの適合性は高いが、風速分布モデルの適合性は低い。第5図は著者らが1971年から1979年までに京都で観測した台風のデータおよび気象庁が発表した著名な台風5915（伊勢湾台風）のデータによって Schloemer のモデルを用いて気圧分布と風速分布を求めた結果である。(a)は著者らが観測したデータのうち中心示度が 940, 960, 980 (mb) のものを、(b)は台風5915について中心示度が920, 940, 960(mb) のものを示してある。

この図からも明らかなように、風速分布にはちらばりが目立つ。この原因としては台風の進行に伴う時間と距離の関係が放物線形を描く台風のコースと転向点付近の速度（遅い）と転向後の速度（速い）によって、一意に決まらないことや、観測点で測定される風が地形や建造物の影響を受けることなどが考えられる。したがって、台風接近時に観測点で測定する風速は、単に平均風速ではなく、風速値の頻度分布として把握することが望まし

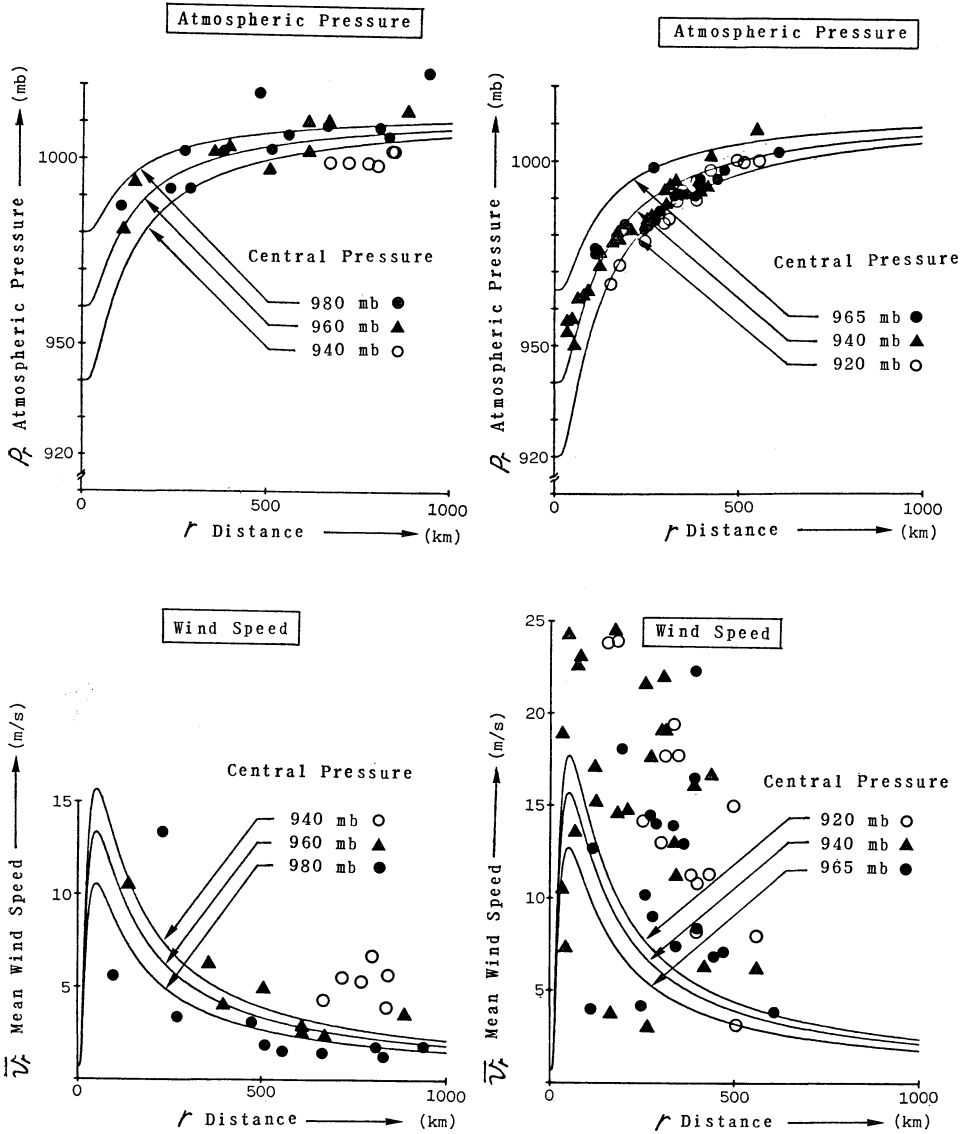
い。そして、さらに頻度分布の推移を観測すれば、大気の運動方程式や風速分布モデルに含まれない諸々の要素をも含んだ台風接近時の観測点における風の吹き方の性質を把握することが可能になる。

気圧分布モデルの適合性が高く、風速分布モデルの適合性が種々の要因に左右されるとすれば、未来の風速を予測する基準には気圧を用いるべきである。いま、何らかの方法で未来の気圧を予測できたとすれば、未来の風速を予測するには、次の二つの方法が考えられる。

その1. 気圧分布モデル式を構成するパラメータ（中心気圧、台風の半径、観測点と台風の中心間の距離などの要素）やそれらの結合パラメータの時間的変化と風速の時間的変化の関係を調べ、この間に一定の関係があれば、これを用いる。

その2. 旋衡風を与える式が教えるように気圧傾度と風速間には強い相関があるので、帰直線（または曲線）を求め、これを利用する。

著者らは、その1. について、気圧分布と風速分布の検討に使った1971年から1979年までに京都で観測した台風の主要なもの、7119, 7123, 7206, 7916, 7920, および



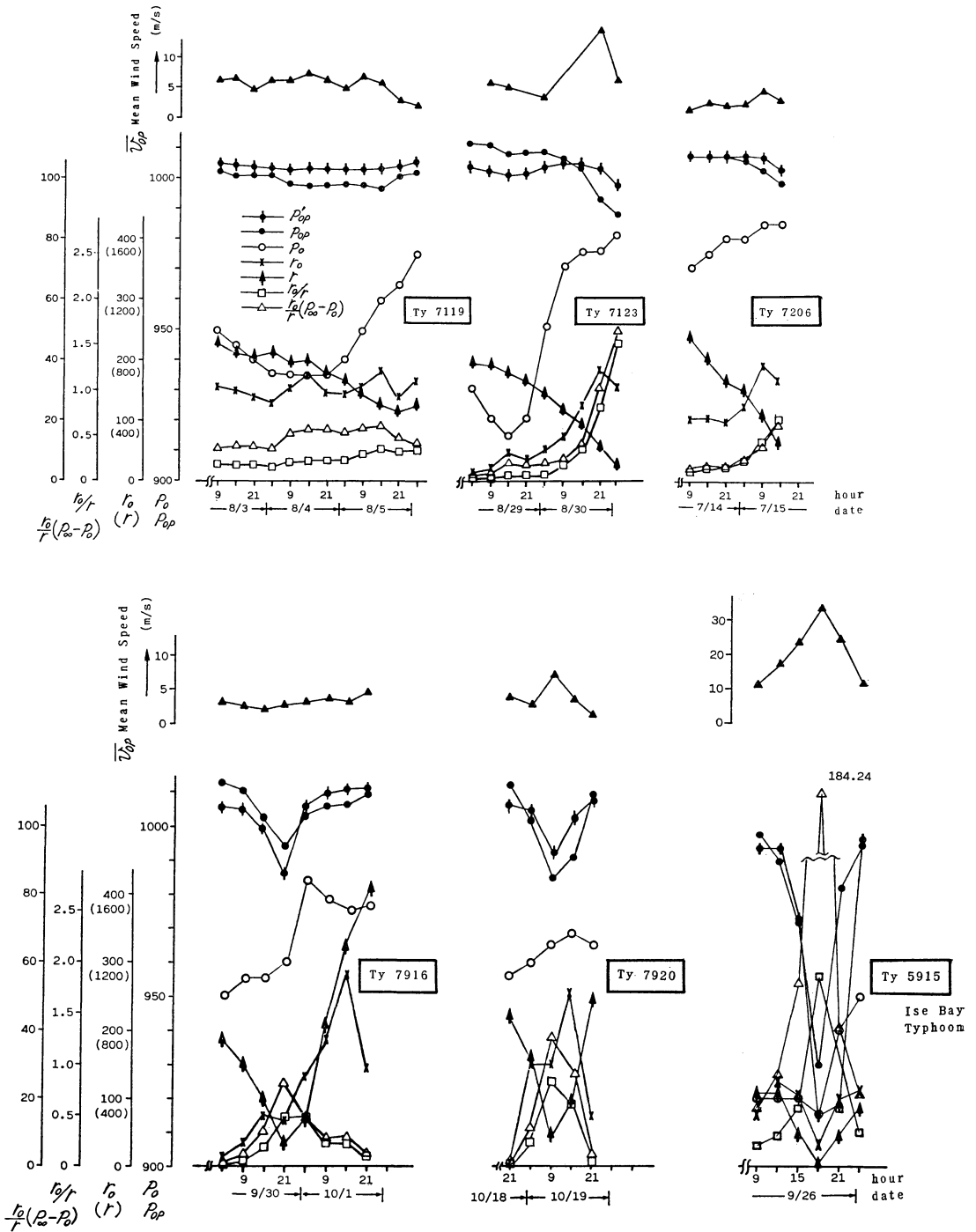
(a) By Observed Typhoons at Kyoto in 1971 to 1979

(b) By Typhoon 5915 (Ise Bay Typhoon)

第5図 Schloemer の気圧分布モデルによって確認した気圧分布と風速分布 (風速は平均風速)。

(a) 1971年から1979年に京都で観測した台風。

(b) 気象庁の発表データによって算出した台風5915 (伊勢湾台風)。



第6図 Schloemer の気圧分布式を構成するパラメータ  $P_o$ ,  $r$ ,  $r_o$  およびその結びつき  $r_o/r$ ,  $(r_o/r)(P_\infty - P_o)$  の時間的变化と気圧  $P_{op}$  および平均風速  $\bar{v}_{op}$  の変化との関係。

台風5915 (伊勢湾台風) の潮岬の観測値 (気象庁の発表データによる) について個別に Schloemer の気圧分布モデル式の近似式

$$P_r = P_0 + (P_\infty - P_0) \exp\left(-\frac{1}{r/r_0}\right) \quad (1)$$

$$\approx P_\infty - \frac{r_0}{r} (P_\infty - P_0)$$

ただし,  $r_0/r < 1$ , すなわち擾乱圏外においてのみ適用可能

$P_r$ : 台風の中心から距離  $r$  の点の気圧

$P_0$ : 台風の中心示度

$P_\infty$ : 擾乱圏外の気圧

$r_0$ : 擾乱の大きさ (台風の規模) で, 台風の中心から距離  $r$  の点の気圧と中心示度の差が台風の深さの  $1/e \approx 0.37$  ( $r=r_0$  としたとき)

を構成するパラメータと風速の時間的変化の関係を調べ, おおむね観測点の平均風速  $\bar{v}_{op}$  との間に係数  $\delta$  で結ばれる

$$\bar{v}_{op} = \delta \frac{r_0}{r} (P_\infty - P_0) \quad (2)$$

の関係のあることを確認した (Kariya and Furuichi, 1981) (第6図参照). この関係を用いると, 未来の気圧を予測し, 式 (1) から  $(r_0/r) (P_\infty - P_0)$  を求め, 観測時刻の  $\delta$  または観測時刻より以前のいくつかの  $\delta$  の平均的な値を乗じて, 平均風速の未来値を予測できるが, この関係は擾乱圏外においてのみ適用可能であることと係数  $\delta$  のばらつきが大きいこと (例えば台風7119では0.20~0.57, 台風7926では0.24~0.47など) から, なお原口モデルや Holland のユニバーサルモデルを用いて検討をおこなう必要があると判断した.

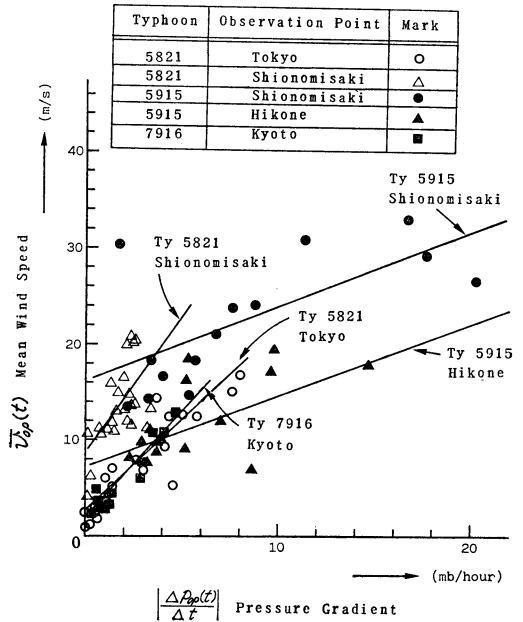
そこで, もっと直接的な方法である, その2.について検討をおこなった結果, 実用的に十分な相関性が観測点の気圧傾度と風速間にある (相関係数が0.6以上) ことが明らかとなったので, 未来の風速頻度スペクトルを予測するために第一次的な未来の平均風速を求める基本とすることにした. 以下に, 実際の観測風速をこの方法で追跡して, 実用性を確認した結果を示す.

いま観測点の気圧を  $P_{op}(t)$  とし, 時刻  $t_i$  における気圧傾度を

$$\frac{dP_{op}(t_i)}{dt_i} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{op}(t_i + \Delta t) - P_{op}(t_i)}{\Delta t} \quad (3)$$

ただし,  $\Delta t$ : 測定間隔

と定義する. しかし実際の計測では式 (3) の  $\Delta t$  を0に近づけることはできないことと, 観測時刻以後の気圧



第7図 台風接近時の観測点の気圧傾度と平均風速との相関性.

を予測して風速を予測する立場から, 実用的な気圧傾度として

$$\frac{\Delta P_{op}(t_i)}{\Delta t_i} = \left| \frac{P_{op}(t_{i+1}) - P_{op}(t_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \right| / 2 \quad (4)$$

ただし,  $t_i$ : 観測時刻

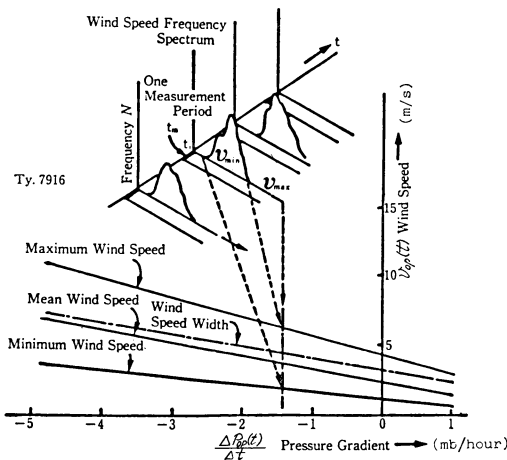
$t_i - t_{i-1}$ : 測定間隔

$t_{i+1} - t_i$ : 予測間隔

を定義する. 第7図は気象庁の公表データおよび著者が観測したデータから二, 三の台風について, 各々, 観測時刻  $t_i$  とその二つ前の観測時刻  $t_{i-2}$  における実測気圧  $P_{op}(t_i)$  と  $P_{op}(t_{i-2})$  を求め, 時刻  $t_{i-1}$  における平均風速  $v_{op}(t_{i-1})$  との相関を求めた結果であり, この図が示すように, 一般的に観測点の気圧傾度と風速には回帰直線

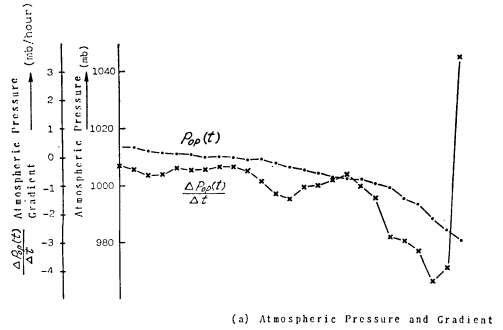
$$v_{op}(t) = \alpha \frac{\Delta P_{op}(t)}{\Delta t} + \beta \quad (5)$$

ただし,  $\Delta P_{op}(t)/\Delta t$  は式 (4) を用いるものとするで定式化できる関係があることがわかる. ここで風速  $v_{op}(t)$  には最大, 最小, 最頻風速いずれも適用可能である (第8図参照). このとき, 各々の台風によって定数  $\alpha, \beta$  が異なるが, これは台風の規模, 台風の観測点に対する位置, 台風のたどるコースなどによるもので,

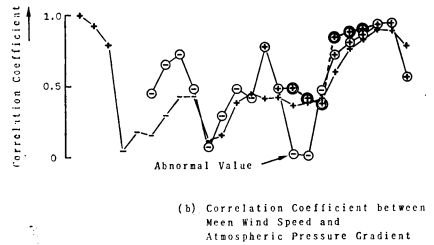


Mean Wind Speed :  $v_{op}(t) = -0.92 \frac{\Delta P_{op}(t)}{\Delta t} + 2.36$ ,  $r_c = -0.67$   
 Maximum Wind Speed :  $v_{op}(t) = -1.40 \frac{\Delta P_{op}(t)}{\Delta t} + 4.19$ ,  $r_c = -0.61$   
 Minimum Wind Speed :  $v_{op}(t) = -0.96 \frac{\Delta P_{op}(t)}{\Delta t} + 2.05$ ,  $r_c = -0.68$   
 Wind Speed Width :  $v_{op}(t) = -0.88 \frac{\Delta P_{op}(t)}{\Delta t} + 3.00$ ,  $r_c = -0.55$

第8図 第7図を補足する気圧傾度と風速との相関性 ( $\Delta P_{op}(t)/\Delta t$  は負値で示してある).



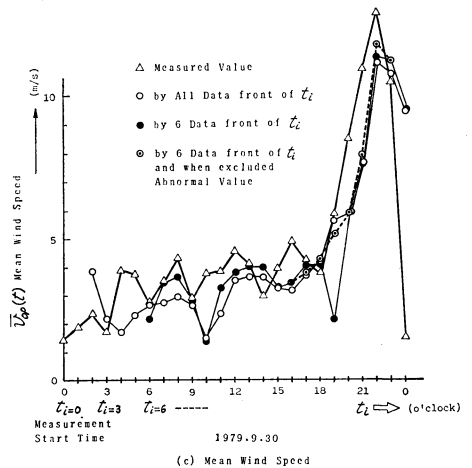
(a) Atmospheric Pressure and Gradient  
 +: Positive  
 -: Negative  
 ⊕: Positive  
 ⊖: Negative  
 ⊙: Positive  
 ⊙: Negative  
 by All Data from of  $t_i$   
 by 6 Data from of  $t_i$   
 by 6 Data from of  $t_i$   
 and when excluded Abnormal Value



(b) Correlation Coefficient between Mean Wind Speed and Atmospheric Pressure Gradient

いわゆる台風接近の性質に起因するものである。

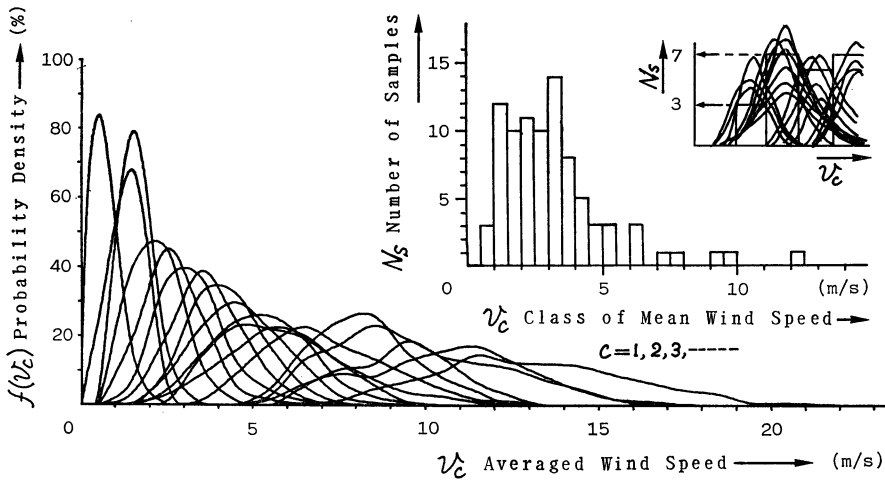
次に、以上の関係を用いて、実際に観測した風速（ここでは平均風速）を追跡して実用性の確認をおこなった結果を示す。いま、ある台風が観測点に接近するときに、時刻  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_i$  に気圧と風速が測定されたデータがあるとする。式(5)が成り立ち、式(4)によって気圧傾度を求めるものとし、測定時刻  $t_0$  より2番目の測定時刻  $t_{i=2}$  までの気圧傾度（実測された気圧から計算した値、 $t_{i=2}$  の気圧は後で予測気圧となる）と  $t_{i=1}$  までの風速（実測された風速）を用いて、回帰直線式(5)を求め、[定数  $\alpha_{i=1}, \beta_{i=1}$  を決定し、風速  $\bar{v}_{op}(t_{i=2})$ （後で第一次的な予測風速となる）を求める]。次に  $t_{i=3}$  までの気圧傾度（ $t_{i=3}$  の気圧は後で予測気圧となる）と  $t_{i=2}$  までの風速を用いて回帰直線式(5)を求め、[定数  $\alpha_{i=2}, \beta_{i=2}$  を決定し、風速  $\bar{v}_{op}(t_{i=3})$ （後で第一次的な予測風速となる）を求める]。以下同様にして測定時刻が1単位進むごとにこの計算を繰り返し、[ $\alpha_{i=3}, \beta_{i=3}$  を決定し、 $\bar{v}_{op}(t_{i=4})$  を求める]、……操作を繰り返してゆく。第9図は台風7916の観測データを基本にして、平均風速  $v_{op}(t)$  を1時間おきに追跡した結果であり(第9図(c)、—○—印)、実測値(—△—印)によく追従している。このとき、予測理論の教えるところに



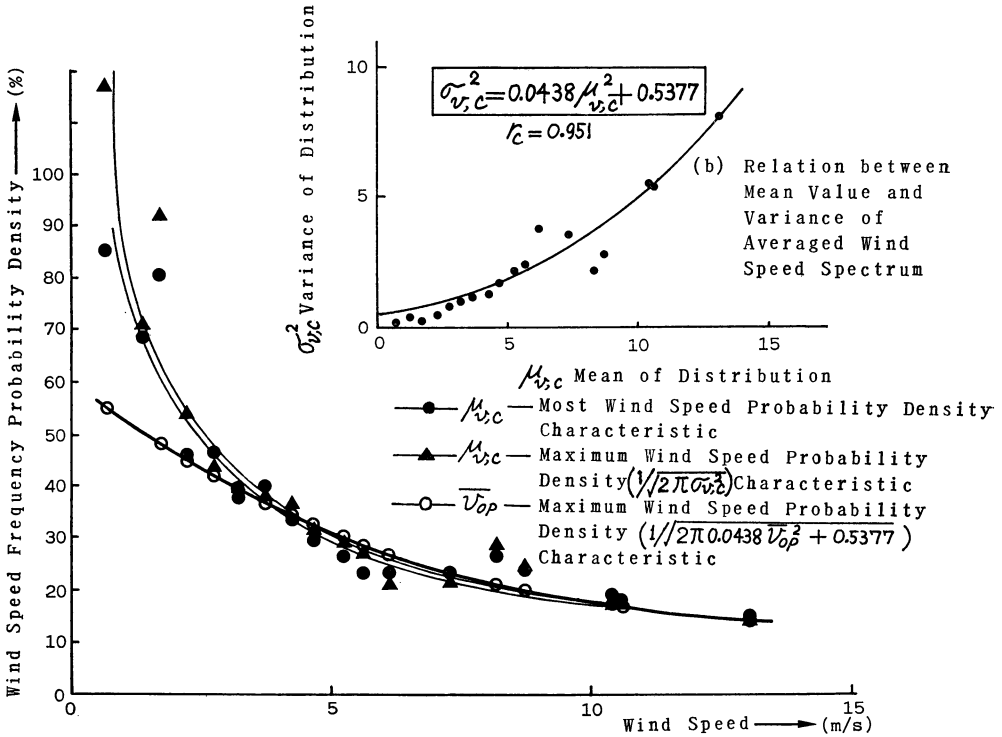
第9図 気圧傾度と風速との相関係数による平均風速の追跡(台風7916による)。

よれば、測定時刻  $t_i$  よりいくつか前のデータで追跡する方が予測精度は向上することが一般に明らかにされているので、気象庁の観測時刻も考慮に入れて6時間前のデータによって追跡した結果(第9図(c)、—●—印)、過去のすべてのデータを使うよりも約3%の予測精度の





(a) Averaged Wind Speed Spectrum



(c) Most and Maximum Wind Speed Probability Density Characteristic of Averaged Wind Speed Spectrum and Maximum Wind Speed Probability Density Characteristic of Generalized Wind Speed Frequency Probability Density Spectrum

第10図 台風接近時の平均風速と平均化風速スペクトル。

向上が確認できた。また相関係数が非常に下がる場合には、それを異常値と見なして、改めて相関係数をその異常値を除いて求めなおし、追跡して見ると第9図(c)の一●一印となり、更に9%の予測精度の向上が確認できた。著者らは、ここに示した以外のいくつかの台風についても、同様の結果を確認しており、この方法は観測時刻以後の風速頻度スペクトルを予測する基本として実用性のある方法と判断した。

4. 台風接近時の平均風速と風速頻度スペクトルの一般的関係

京都で観測した台風の風速頻度スペクトル  $f(v_{op,R})$  を平均風速の級に分け(級範囲: 0.5 m/s, 級中点ごとに集めて、更にその級に入る各分布の級(著者らは波高分析器で風速分布を測定しているので、風速に対応するチャンネルが一つの級になる——1チャンネルは1 m/s)ごとに平均することによって、第10図(a)に示す「台風接近時の平均風速による風速頻度スペクトル形状」の一般的傾向が求まる。このようにして作った風速頻度スペクトルを「平均化風速スペクトル」と呼ぶことにし、各分布の平均値  $\mu_{v,c}$ , 分散  $\sigma^2_{v,c}$  ( $c$  は級を示し,  $c=1, 2, 3, \dots$ ) の関係を調べると、

$$\sigma^2_{v,c} = 0.0438 \mu^2_{v,c} + 0.5377, \quad \text{相関係数 } r_c = 0.951 \quad (6)$$

で帰帰できる2次の関係を有する(第10図(b)参照)。各級  $c$  に対する分布を正規分布

$$f(v_c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2_{v,c}}} \exp\left\{-\frac{(v_c - \mu_{v,c})^2}{2\sigma^2_{v,c}}\right\} \quad (7)$$

と仮定すると、台風接近時の観測点における風速  $v_{op}$  と風速頻度の割合(%値)  $f(v_{op})$  の一般的関係は式(6)を用いて正規分布

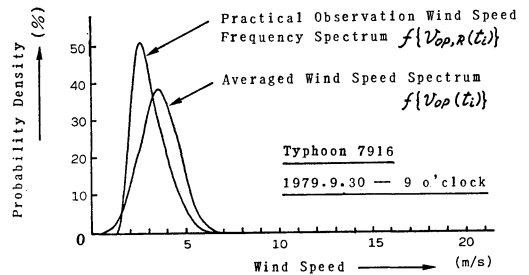
$$f(v_{op}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(0.0438 \bar{v}^2_{op} + 0.5377)}} \exp\left\{-\frac{(v_{op} - \bar{v}_{op})^2}{2(0.0438 \bar{v}^2_{op} + 0.5377)}\right\}, \quad \text{相関係数 } r_c = 0.951 \quad (8)$$

で与えることができる。なお、第10図(c)に平均化風速スペクトルの各平均風速  $\mu_{v,c}$  と各  $c$  に対する分布の最頻風速密度の関係(一●一), 平均化風速分布を正規分布と仮定した場合の各平均風速  $\mu_{v,c}$  に対する風速密度(式(7)の正規分布の最大値) すなわち  $1/\sqrt{2\pi\sigma^2_{v,c}}$  の関係(一▲一), および式(8)の平均風速  $\bar{v}_{op}$  に対する風速密度(式(8)の正規分布の最大値) すなわち  $1/\sqrt{2\pi(0.0438 \bar{v}^2_{op} + 0.5377)}$  の関係(一○一)を示し

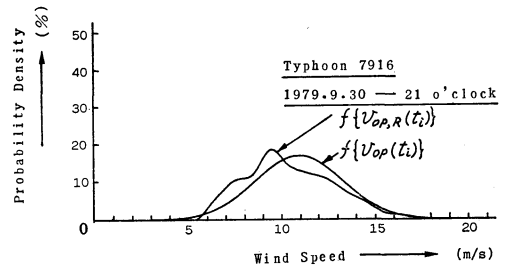
た。図(c)において、風速の小さいところで、式(8)が平均化風速スペクトルの最頻風速密度および正規分布と仮定した場合の平均風速に対する風速密度より下がる理由は、台風接近に伴って二次的に誘発される地形、摩擦、熱伝導度、拡散などに支配される風の乱れが存在すると考えてよいので、式(8)を台風接近時の平均風速と風速分布を与える一般式と認定してよいと判断する。また正規性については、一般に強い風については成り立つとされており、平均化風速スペクトルの最頻風速密度と平均風速に対する風速密度の一致性からも十分裏づけられる。

5. 観測時刻以後の風速頻度スペクトルの予測

観測時刻  $t_i$  以後の時刻  $t_{i+1}$  の気圧  $P_{op}(t_{i+1})$  を予測し、3章に示した方法で平均風速  $\bar{v}_{op}(t_{i+1})$  を予測し、4章の関係をを用いて、式(8)の  $\bar{v}_{op}$  に予測平均風速  $\bar{v}_{op}(t_{i+1})$  を代入して、平均化風速スペクトル  $f(v_{op}(t_{i+1}))$  を求める操作を、観測時刻を進めるごとに繰り返してゆくと、常に観測時刻より先の時刻の平均化風速スペクトルが求まる。当然、実際の風速頻度スペクトルとの違い

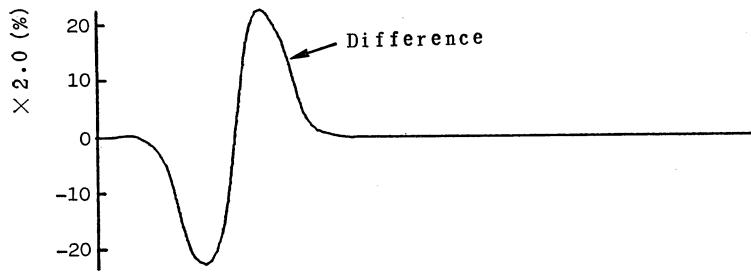
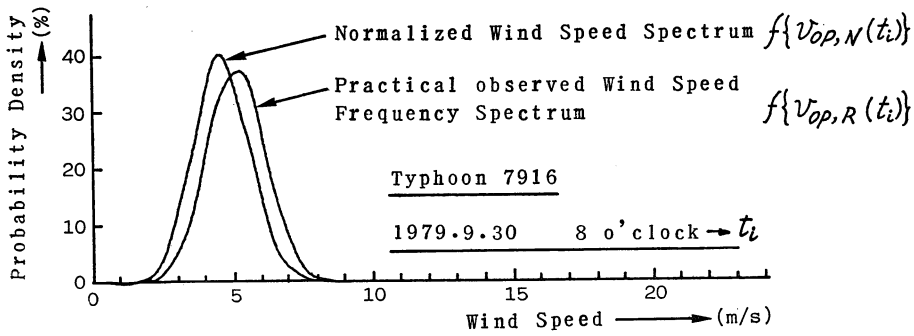


(a) Example at Low Wind Speed

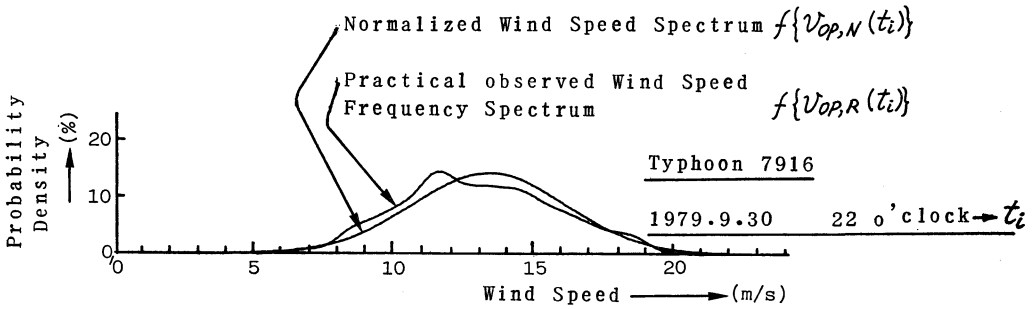


(b) Example at Middle Wind Speed

第11図 実際の風速頻度スペクトルと正規分布と仮定した平均化風速スペクトルとの比較(台風7916の任意の時刻による)。

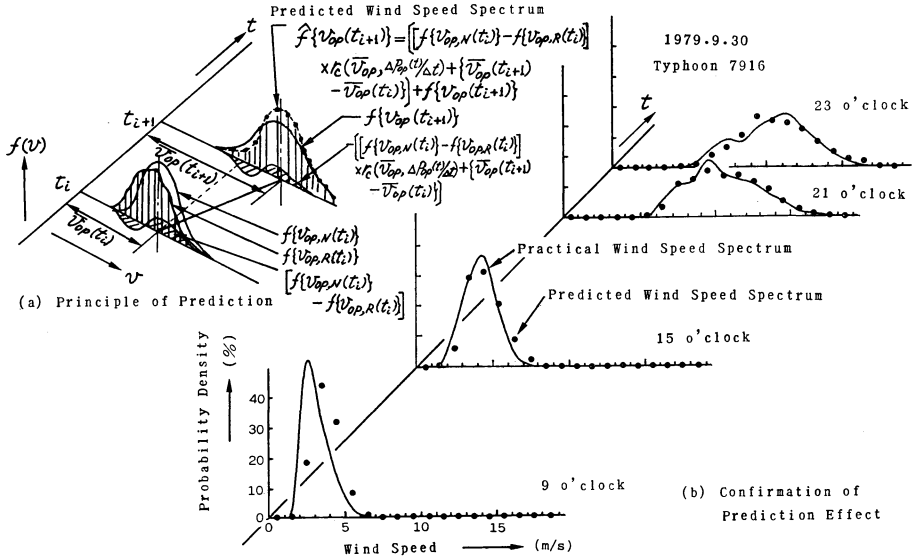


(a) Example at low Wind Speed.



(b) Example at middle Wind Speed

第12図 実際の風速頻度スペクトルと正規化風速スペクトルの差.



第13図 風速スペクトルの予測とその原理および実証。

が生じるので、予測した平均化スペクトルをどのように補正するかが問題となる。

第11図は、著者らが測定した台風7916の任意の時刻における風速頻度スペクトルを抽出して、その時刻における正規分布と仮定した平均化風速スペクトルと実際の風速頻度スペクトルを比較した結果である(1979年9月30日:9時,21時)。この差は、平均化風速スペクトルを求める過程に立脚すれば、個々の台風が観測点に接近してくるときの性質(台風の観測点に対するコースや台風の規模、地形や建造物による風の乱れ方など)を示す要素として把握できる。そこで観測時刻以後の平均化風速スペクトルを、より現実のスペクトルに近づけるためには、この性質は急激には変化しないので、現観測時刻の性質を検出し、先の時刻のスペクトルにその性質を与えればよい。そのためには現観測時刻の平均化風速スペクトル  $f(v_{op}(t_i))$ 、または現観測時刻の実際の風速頻度スペクトル  $f(v_{op,R}(t_i))$  の平均  $\bar{v}_{op,R}(t_i)$  と分散  $\sigma_{v,op,R}^2(t_i)$  によって正規化した風速スペクトル(これを正規化風速スペクトルと呼ぶことにする)  $f(v_{op,N}(t_i))$ (式(7)の  $v_c$  を  $\bar{v}_{op,R}(t_i)$  に、 $\sigma_{v,c}$  を  $\sigma_{v,op,R}(t_i)$  におきかえたスペクトル)と実際の風速頻度スペクトル  $f(v_{op,R}(t_i))$  との差

$$f(v_{op}(t_i)) - f(v_{op,R}(t_i)) \tag{9}$$

または、

$$f(v_{op,N}(t_i)) - f(v_{op,R}(t_i)) \tag{10}$$

を求め、これに観測時刻までの気圧傾度と平均風速との相関係数  $r_c(\bar{v}_{op}, \Delta P_{op}/\Delta t)$  を重みとして掛け、観測時刻以後の予測する平均風速  $\bar{v}_{op}(t_{i+1})$  と観測時刻の平均風速  $\bar{v}_{op,R}(t_i)$  との差だけずらして、予測平均化スペクトル  $\hat{f}\{v_{op}(t_{i+1})\}$  に加える。すると最終的に予測風速スペクトルは、

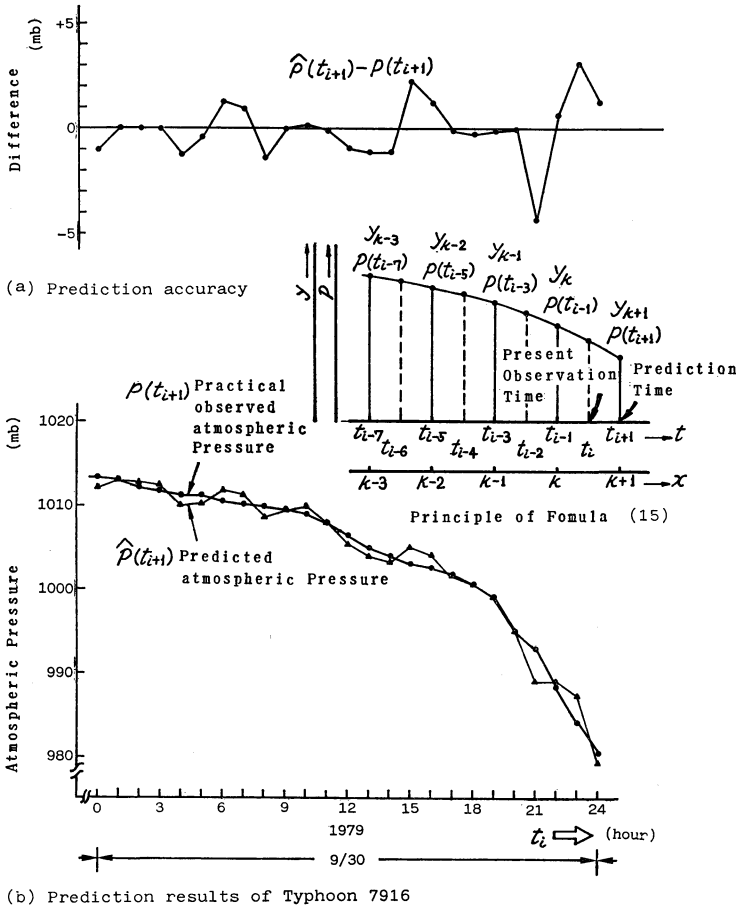
$$\hat{f}\{v_{op}(t_{i+1})\} = \left[ [f(\bar{v}_{op}(t_i)) - f(\bar{v}_{op,R}(t_i))] r_c(\bar{v}_{op}, \frac{\Delta P_{op}}{\Delta t}) + (\bar{v}_{op}(t_{i+1}) - \bar{v}_{op}(t_i)) \right] + f(v_{op}(t_{i+1})) \tag{11}$$

または、

$$\hat{f}\{v_{op}(t_{i+1})\} = \left[ [f(v_{op,N}(t_i)) - f(v_{op,R}(t_i))] r_c(\bar{v}_{op}, \frac{\Delta P_{op}}{\Delta t}) + (\bar{v}_{op}(t_{i+1}) - \bar{v}_{op}(t_i)) \right] + f(v_{op}(t_{i+1})) \tag{12}$$

で求まる。

第12図は第11図に示したスペクトルより1時間前の正規化スペクトルと実際の風速頻度スペクトルの差を求めた結果である。また第13図は式(12)に基づいて、台風7916の実測データにより、 $t_i$ を1979年9月30日の8, 14, 20, 21時に選び、それらの時刻より1時間先の9, 15, 21, 23時の予測風速スペクトル  $\hat{f}\{v_{op}(t_{i+1}=9h)\}$ ,  $\hat{f}\{v_{op}(t_{i+1}=15h)\}$ ……を求め(●印)、その時刻の実際の風速頻度スペクトル  $f(v_{op,R}(t_{i+1}=9h))$ ,  $f(v_{op,R}(t_{i+1}=15h))$ , ……(—実線)と比較した結果であり、十



第14図 台風接近時の観測点の気圧の予測 (予測式による)。

分な予測効果を示している。

### 6. 台風接近時の観測点の気圧の予測

2~5章で観測時刻以後の気圧が予測できることを前提にして、台風接近時の現観測時刻以後の風速頻度スペクトルを予測する基本的方法について検討した。ここでは気圧の予測に常微分方程式の数値解析法に用いる予測式

$$y_{k+1} = y_{k-3} + \frac{4}{3}h(2y'_{k-2} - y'_{k-1} + 2y'_k) \quad (13)$$

ただし、 $y_k$  は  $x-y$  座標における  $x$  の点  $k$  に対する  $y$  の値、 $h$  は  $x$  の点のきざみ幅を用いて気圧が予測できることを示す。それは気圧の変化は急激には変わらないことを前提とし、各観測時刻に対する気圧の微分値が2次のパラボラ形と仮定できるこ

とを条件とすれば、式(13)は予測に十分使える式であるからである。いま式(13)を時刻  $t_i$  における気圧傾度、すなわち微分値に相当する値、を測定データから求めるのに式(4)を用いるとして、1測定間隔の2倍をきざみ幅とすることによって、次のように与える。

$$\hat{P}(t_{i+1}) = P(t_{i-7}) + \frac{4}{3}T(2P'(t_{i-1}) - P'(t_{i-3}) + 2P'(t_{i-5})) \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし, } P'(t_{i-1}) &= \frac{P(t_i) - P(t_{i-2})}{2} \\ P'(t_{i-3}) &= \frac{P(t_{i-2}) - P(t_{i-4})}{2} \\ P'(t_{i-5}) &= \frac{P(t_{i-4}) - P(t_{i-6})}{2} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

$T = 2$  : きざみ幅

この式によって観測時刻  $t_i$  以後の時刻  $t_{i+1}$  の気圧

$P(t_{i+1})$  を、本論文の各検討に使った台風7916の観測気圧をを基に追跡した結果が第14図(b)であり、同図(a)の予測気圧と実際の観測気圧との差  $\hat{P}(t_{i+1}) - P(t_{i+1})$  から、観測気圧の0.5%以内で、十分実用的な予測が可能であることを示している。なお式(14)に修正式を併用して精度を高めること、気圧傾度を直接測定して気圧傾度の予測を実行することも可能であると考えられる。

## 7. おわりに

著者らがランダム変動を示す多くの計測対象の計測方法として実行している振幅確率密度分布推移計測法によって、台風接近時の観測点における現観測時刻以後の風速頻度スペクトルを予測する基本的な方法について検討した。気象予測においては、多くの観測データや過去の現象の解析を基にして、予測がおこなわれるのが一般的であるが、観測点のみにおいて得られる測定データから予測をおこなう方法の確立も、今後の地域災害や農作物に対する被害の防災には重要である。本報で検討した方法を更に発展させ、マイクロコンピュータと優れた解析機器を併用したコンパクトな移動計測システムを構成すれば、とくに地域災害予知に貢献できるものと信じている。紙面の都合上、多くの台風接近時のデータについて確認した結果を示せなかったが、これらについては次の機会に報告する。また、以上の検討を基に、目下ハードシステムの構成をおこなっているが、近く観測点における未来の風速頻度スペクトルが自動記録、追跡できるようになるので、これについても次の機会に報告する。このハードシステムには、風向の頻度スペクトルが有効に使われており、台風の通過、転向などの判断に重要な

役割をはたすことになる。

## 文 献

- Holland, G.J., 1980: An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes, Monthly Weather Rev., 108, Aug., 1212-1218, American Meteorological Soc.
- 畠山久尚, 1969: 気象災害, 共立出版, 163-168.
- 原口勘助, 1976: 多くの擾乱に適合する気圧分布モデル, 天気, 23, 615-623.
- Kariya, K. and Y. Shimada, 1977: Study of System and Method of Detection on Wind Speed, Mem. Res. Insti. of Sci. and Eng., Ritsumeikan Univ., 33, 24-44.
- , and A. Makino, 1978: Study of System and Method of Detection on Wind Direction, Mem. Res. Insti. of Sci. and Eng., Ritsumeikan Univ., 34, 47-64.
- , and M. Furuichi, 1981: A Study of Structure at Typhoon Approach based on Data on Observation Point, Mem. Res. Insti. of Sci. and Eng., Ritsumeikan Univ., 40, 36-56.
- 森田 清, 1971: 情報と予測, 共立出版, 148-153.
- Schloemer, R.W., 1954: Analysis and Synthesis of Hurricane Wind Patterns Over Lake Okeechobee, Florida, Hydromet Rep. No.31, U.S. Weather Bureau.
- 高橋浩一郎, 1939: 台風域内に於ける気圧及風速の分布, 気象集誌, 17, 417-421.
- 佃 正晃, 1969: 放射線計測のエレクトロニクス, 岩波書店, 100-121.
- 矢島幸雄, 秋山泰三, 1968: おくれ回路による風速平均化の意味と平均化風速計実験報告, 気象庁測器技術資料, 第4305号, 1-23.