

日本本土に來襲する台風の統計的性質について

藤井 健・塚本 修・光田 寧

ON THE STATISTICAL CHARACTERISTICS OF SEVERE AND MODERATE TYPHOONS HITTING THE JAPANESE MAIN ISLANDS

By Takeshi FUJII, Osamu TSUKAMOTO and Yasushi MITSUTA

Synopsis

For the forty-nine moderate and severe typhoons, which landed on the Japanese main islands from 1951 to 1984, the Schloemer's type pressure patterns are fitted to the observed sea-level pressures. At the time of landfall, cumulative probabilities of Δp (central pressure depth), r_m (radius of the maximum cyclostrophic wind), speed and direction of forward motion are represented by a normal distribution in the logarithmic scale. And, the distribution of number of landed typhoons per year is fitted by the Poisson's distribution. Further, the distributions of a mean time change rate to a value at the time of landfall is investigated for Δp , r_m and speed of forward motion, and the distribution of a mean time change value of direction of forward motion is investigated. These investigated results will be applied to a simulation of pressure field and track of a typhoon, and the wind speed in a typhoon will be estimated using a relation between the pressure pattern and the wind field.

1. 序

日本本土に來襲する台風の気圧場や経路の統計的性質について調べるために、われわれの研究グループは過去に上陸した顕著台風（上陸時の中心気圧が 980 mb 以下の台風と定義する）について、本土上陸後正時ごとに気圧場の解析を行った。すなわち、中心から半径 200 km 以内に存在している気象官署の海面気圧の観測値に Schloemer の気圧分布式¹⁾

$$p = p_c + \Delta p e^{-r/r_m} \dots \dots \dots (1)$$

を適合させ（この式で p は中心からの距離 r における海面気圧）、台風の中心の位置、中心気圧 p_c 、中心気圧低下量 Δp （周辺気圧－中心気圧）および最大旋衡風速半径 r_m の値を、海面気圧の二乗誤差の和が最小となるように決定した^{2)~4)}。このような方法によって、1951年から1978年までに本土に上陸した38個の顕著台風の気圧場を解析し、移動方向、移動速度および r_m の値の上陸時の頻度分布と Δp の再現期待値についてすでに報告した⁵⁾。本報告はそれ以降に本土に上陸した台風について解析し、再統計を行った結果に関するものである。

また一方では、われわれは、合衆国を襲ったハリケーンについての気圧場と経路の統計結果からハリケーンの気圧場と経路を確率的に再現させ、問題とする場所の地表風を傾度風から推定するという Triggvason の方法⁶⁾を日本本土を襲う台風について適用できるように改良する研究を進めている。すなわち、気圧場の解析結果の統計を利用して台風の気圧場のモデルを確率的に再現させ、そして移動させることによって問題とする場所において台風により発生すると考えられる風を推定するのであるが、そのさいにその場所の地形の効果も考慮に入れて地表風を推算する方法を確立しようとするものである⁷⁾。このときに、台風の気圧場

の確率的再現においては、 Δp の値を以前の調査⁵⁾のような Gumbel の式³⁾による再現期待値よりもむしろ最も適当な確率分布型で累積相対度数を表現するほうが利用上はるかに便利である。また、 r_m の値や移動方向と速度の累積相対度数についても適当な確率分布型で表現すれば、台風的气圧場について確率的に再現させ、上陸させて移動させていくことができるようになる。さらに、上陸後の Δp などの時間的変化を再現すると、大阪のように太平洋岸の海岸線より 100 km 程度も内側へ入った場所においても上陸後に減衰した気圧場の再現が可能となる。したがって、統計の方法をこのような方針に従ったものに変更した。

本報告においては、上陸時の Δp , r_m , 移動速度および方向について確率的再現が可能であるように、地域別に累積相対度数を対数正規分布で表現した。また、地域別年間上陸数について、これも確率的に再現できるように Poisson 分布で適合させた。さらに、 Δp , r_m , 移動速度および方向の上陸後の時間的変化については、以前に簡単な統計を報告した⁵⁾が、これらについても調べ直した。

2. 上陸時の特性

台風の本土への上陸時の Δp , r_m , 移動速度およびその方向の頻度分布については、1951年から1978年までに本土に上陸した38個の顕著台風についての統計をすでに発表してある⁵⁾が、1979年以降1984年までに上陸した台風についての解析結果を追加して、合計49個の顕著台風について本土上陸時の統計的性質を調べることにした。なお、この統計的性質については、以前に発表した再現期待値や頻度分布ではなくて、本土に上陸する台風の確率的再現に容易に利用できるように、対数正規確率分布として表わした。

上陸時の各要素の特性は、以前の調査⁵⁾により明らかのように、上陸地域の間で顕著な差が存在するので、以前と同様に、本土南西部の太平洋沿岸地帯を3地域に分割した。その分割図は Fig. 1 のようであり、A 地域は南西諸島を除いた九州地方沿岸、B 地域は四国および近畿地方とさらに三重県を含む沿岸、そして C 地域は三重県を除いた東海地方と関東地方の沿岸である。なお、海岸線の一部は平滑化し、破線で示してある。上陸時の値については、 Δp と r_m は海岸線を最初に横切る直前と直後の正時の中心の位置のうち海岸

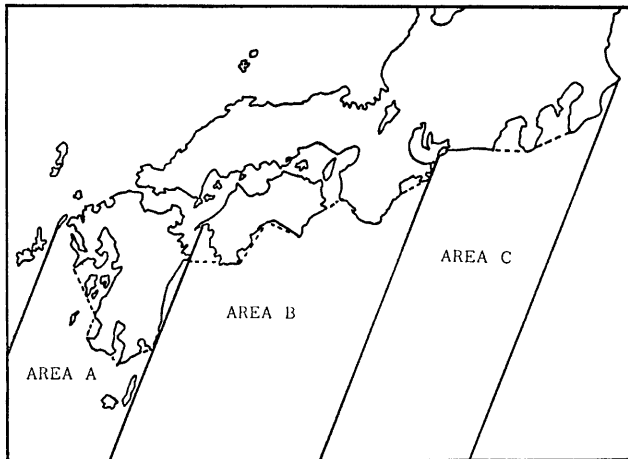


Fig. 1 Division of the western part of the Pacific Coast of Japanese main islands. The solid straight lines indicate the boundary of the area. The broken lines represent smoothed coast lines.

線に近い方の位置の時刻の値とした。また、移動速度とその方向は、それぞれ、最初に海岸線を横切る直前の正時の位置からその直後の正時の位置へ移動する速さと方向とした。上陸時の中心気圧が 980 mb 以下の解析の対象とした49個の台風について、上陸地点で地域別に分けると、A地域は20個、B地域は17個、C地域は12個である。

なお、ここで南西諸島を解析の対象域から除外したのは、南西諸島のように一線上に並んでいる観測点しか存在しない地域については本研究のような気圧分布の最小二乗法による適合が困難であるためである。したがって、南西諸島についてはまた別の方法により解析を行う必要があり、これについては現在検討中である。

2.1 上陸時の Δp

気圧場について解析を行った49個の台風すべてについて、上陸時の Δp の値の累積相対度数 (%) を上陸地点の地域別に対数正規確率紙上で図示すると Figs. 2(a)~(c) のようになる。いずれの地域においても、 Δp の値はほぼ直線状に分布していて、正規対数分布を適合させることが可能である。そこで、最小二乗法

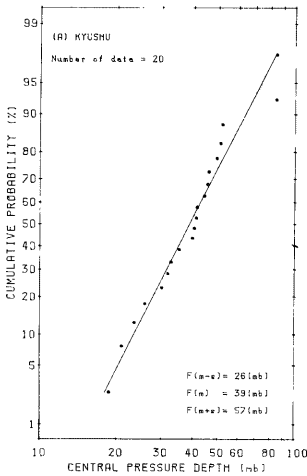


Fig. 2 (a) Cumulative probability of central pressure depth, Δp , in the logarithmic scale in Area A at the time of landfall. A solid straight line indicates a simple linear regression line. $F(m)$ shows the mean value on the regression line. $F(m-s)$ and $F(m+s)$ represent smaller and larger values by a standard deviation from $F(m)$ on the logarithmic scale, respectively.

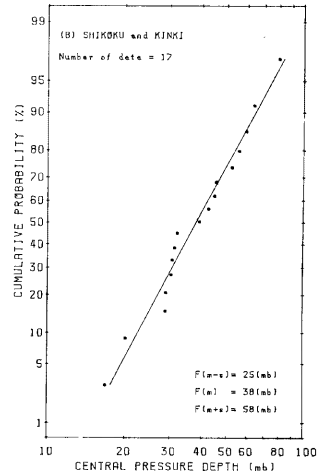


Fig. 2 (b) Same as Fig. 2 (a), except for Area B

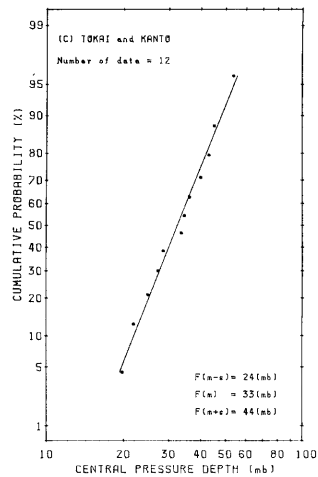


Fig. 2 (c) Same as Fig. 2 (a), except for Area C

で線型1次回帰式を適合させて図示してある。この回帰直線による平均値を $F(m)$ 、平均値より標準偏差だけ小さい値と大きい値をそれぞれ $F(m-s)$ と $F(m+s)$ として図中にその値を示した。なお、 $F(m-s)$ 、 $F(m)$ および $F(m+s)$ は累積相対度数が、それぞれ、16%、50%および84%に相当する値である。これらの図によると、A地域とB地域との間にはほとんど差がなく、回帰直線はほとんど一致する。ただし、このことは両地域内でほぼ同じ頻度で同じ深さの Δp の値をもつ台風が来襲したことが統計的にいえるだけで、場所を固定してみる場合には、海岸線の長さの相違を考慮に入れなければならない。一方、C地域においては、他の2地域よりも $F(m)$ の値が約6mb小さく、累積相対度数がそれより大きくなるにつれて他の2地域との差はさらに広がり、 Δp の値の深い台風の頻度の小さいことを表わしている。

2.2 上陸時の r_m

Schloemerの気圧分布式(1)において台風のスケールの指標を表わすパラメーターである最大旋衡風速半径 r_m の地域別の累積相対度数の対数正規確率紙上における分布と回帰直線はFigs. 3(a)~(c)ようになる。A地域についての値は他の2地域の値に比べてやや小さく、 $F(m)$ の値はB地域に比べて16km、C地域に比べて7km小さいが、地域間の差はあまり顕著ではない。なお、 r_m の値については、 Δp の値との間に従属的な関係が存在するかどうかについて、今後検討する必要がある。

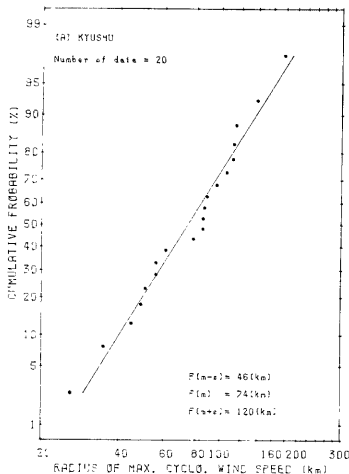


Fig. 3 (a) Same as Fig. 2 (a), except for a radius of the maximum cyclostrophic wind, r_m for Area A

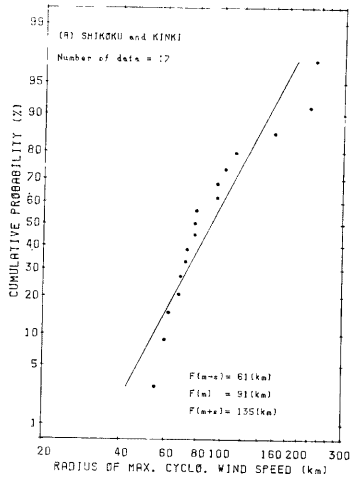


Fig. 3 (b) Same as Fig. 3 (a), except for Area B

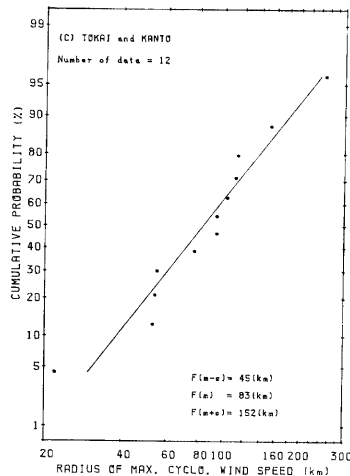


Fig. 3 (c) Same as Fig. 3 (a), except for Area C

2.3 上陸時の移動速度

Schloemer の式(1)で解析した気圧分布の中心の位置の移動速度の上陸時の値について、地域別の累積相対度数の対数正規確率紙上における分布と回帰直線は Figs. 4(a)~(c) のようになる。回帰直線は B 地域と C 地域はほぼ一致するが、A 地域についての回帰直線による推定値は他の 2 地域に比べて著しく小さく、約 1/4 である。これは A 地域の九州地方に上陸する台風の中には転向前や転向中であつた加速していない台風が他の地域より多く含まれていることによるものであろう。

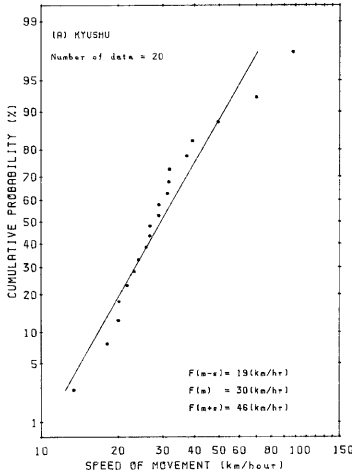


Fig. 4 (a) Same as Fig. 2 (a), except for speed of movement for Area A

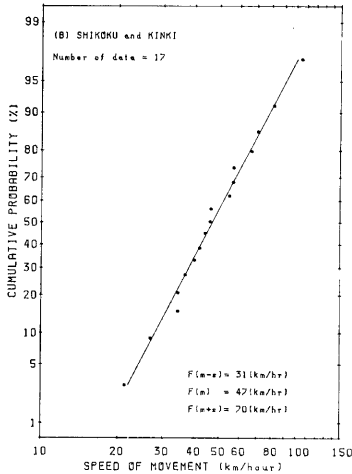


Fig. 4 (b) Same as Fig. 4 (a), except for Area B

2.4 上陸時の移動方向

移動方向は周期的な数値であり、前述の 3 パラメーターとは異なった性質のパラメーターである。しかし、東向きを基準にとり、反時計まわりに測った角で移動方向を表わして、前述の 3 パラメーターと同様に地域別に累積相対度数を対数正規確率紙上にプロットするとほぼ直線状に分布している。それらを Figs. 5(a)~(c) に示す。これらの図によると、A 地域と B 地域の間には顕著な差は存在しない。回帰直線によれば両地域ともに約 3/4 が東向きの成分をもっていて、約 1/4 が西向きの成分をもっている。一方、C 地域においては西向きの成分をもっていた台風が資料としてなかったために、 $F(m+s)$ の値は 76° (N と NNE のほぼ中間) で、他の 2 地域にこの値に比べて $25^\circ \sim 30^\circ$ 小さい。

2.5 年間上陸数

解析の対象とした 49 個の顕著台風の地域別年間上陸

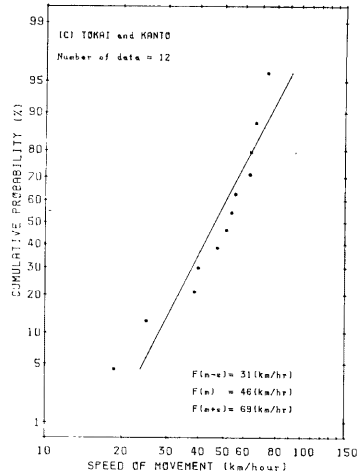


Fig. 4 (c) Same as Fig. 4 (a), except for Area C

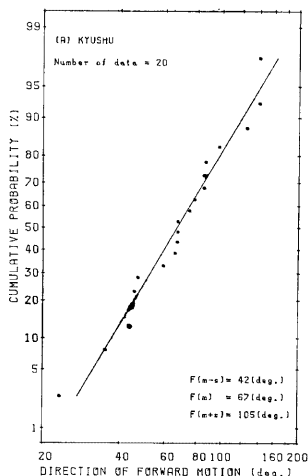


Fig. 5 (a) Same as Fig. 2 (a), except for direction of forward motion for Area A. The angle is measured counterclockwise from the east.

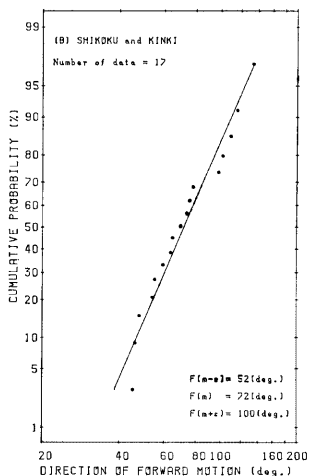


Fig. 5 (b) Same as Fig. 5 (a), except for Area B

数の頻度分布は Fig. 6 のようになる。34年間という短い統計年数に起因するこの分布の形の歪みを滑らかにするために、この分布のように0 および0に近い整数値のみをとる資料の離散的確率分布の表現によく使われる Poisson 分布で適合させてみた。すなわち、年間上陸数が n となる確率 ϕ は、

$$\phi = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} \dots \dots \dots (2)$$

と表わされ、この式で λ は Poisson 分布の平均値であり、分布の形を決定する。 λ の値については、最小二乗法によるのではなくて、Poisson 分布で適合させた場合の34年間の合計上陸数が各地域において実際の上陸数と一致する値として決定した。すなわち、Poisson 分布による34年間の合計上陸数が、A地域において20個、B地域において17個、C地域において12個となるように λ の値を地域ごとに決定した。このときの λ の値は、A地域が0.59、B地域が0.50、C地域が0.35となり、各地域において34年間の年間上陸数の頻度分布に換算して、この図に□印を破線でつないで示してある。この分布を利用すれば、34年間の資料による実際の平均年間上陸数と一致させて、台風の地域別年間上陸数を確率的に再現することが可能である。

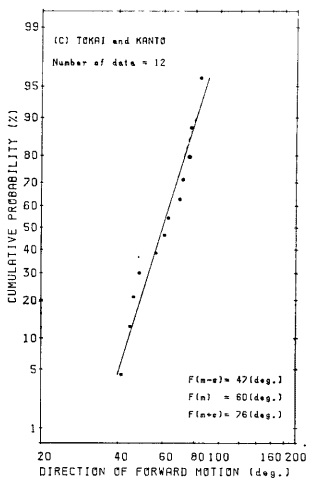


Fig. 5 (c) Same as Fig. 5 (a), except for Area C

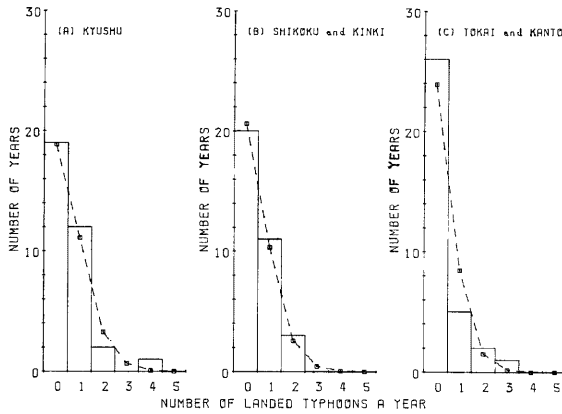


Fig. 6 Distribution of number of landed typhoons per year. Squares connected by broken lines indicate the distribution fitted by the Poisson's distribution.

3. 上陸後の時間的変化の統計

上陸時の統計の対象とした49個の顕著台風のうち、上陸5時間後まで中心の位置が本土上にあり、しかも985 mb以下の中心気圧を維持していた(いずれもSchloemer式による気圧場の解析に基づく)37個の台風を上陸後の時間的変化の統計調査の対象とした。これらの台風を上陸地点により地域別に分類すると、A地域は19個、B地域は13個、C地域は5個である。

上陸後の時間的変化の調査方法は次のようである。 dp , r_m , 移動速度および移動方向について上陸時より5時間後までのSchloemerの式(1)による気圧場の解析結果に基づいて、これらのパラメーターの値の時間的変化が台風ごとに一定であるとして最小二乗法により平均時間変化量を求めた。さらに、 dp , r_m および移動速度については、これらの平均時間変化量の上陸時の値に対する比の値、すなわち、平均時間変化率(%/hour)を求め、それらを頻度分布で表わした。この比の値は上陸時の値が1時間あたりに何%の割合で変化したかということを意味している。一方、移動方向については、平均時間変化量の頻度分布について調べた。これらの頻度分布は、全地域についてと地域別について表わし、その特徴を調べた。また、今後、台風による気圧や風速の時間的変化のシミュレーションを行う場合、これらのパラメーターの時間的変化を考慮に入れる必要があるかどうか、また、地域別に分ける必要があるかどうかについても検討した。

3.1 dp の時間的変化

上陸時の dp の値に対する dp の平均時間変化率は $-18 \sim 22\%/hour$ の範囲に及んでいて、その頻度分布はFig. 7に示すとうりである。全地域についての頻度分布においては、37台風のうち17台風がランク5 \sim 10 $\%/hour$ の範囲内にある。また、 dp が増大した台風は4個のみであり、そのうち3個はA地域に、1個はB地域に上陸している。地域別分布においては、東の地域ほど dp の平均時間変化率はより小さくなる傾向があり、その平均値はA地域が $-3.6\%/hour$ 、B地域が $-6.2\%/hour$ 、そしてC地域が $-11.3\%/hour$ である。また、C地域においては、5台風すべてが $-5\%/hour$ 以下である。このように、上陸後数時間における dp の時間的変化率は無視することができないほど大きいものであり、また、地域間においても顕著な差が存在している。したがって、本土上陸後数時間の台風のシミュレーションにおいてはこれらの特徴を考

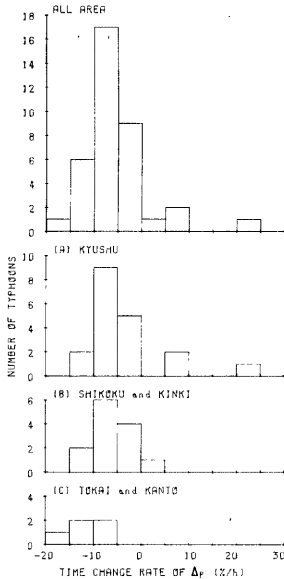


Fig. 7 Distribution of a mean time change rate of central pressure depth, Δp , during five hours after landfall to its value at the time of landfall

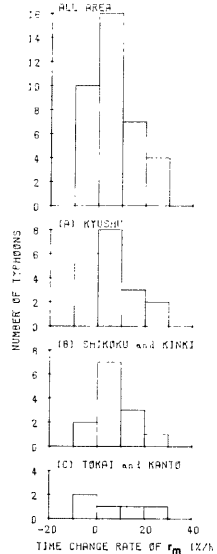


Fig. 8 Same as Fig. 7, except for a radius of the maximum cyclostrophic wind, r_m

慮に入れなければならない。

3.2 r_m の時間的变化

上陸時の r_m の値に対する r_m の値の時間変化率は $-6 \sim +28\%/hour$ の範囲に及んでいて、その頻度分布を Fig. 8 に示す。全地域についての頻度分布においては、37台風のうち26台風が $\pm 10\%/hour$ の範囲内にあり、また、 r_m が減少した台風は10個である。地域別の頻度分布においてはあまり顕著な差は見られない。地域別の平均値はA地域が $6.9\%/hour$ 、B地域が $7.0\%/hour$ 、そしてC地域が $5.7\%/hour$ である。このように、平均的には上陸後に r_m の値は徐々に増加していく傾向が見られるが、上陸後数時間の台風のシミュレーションにおいて r_m の時間的变化率の地域間における差は考慮しなくてよいと思われる。したがって、台風のシミュレーションにおいて、 r_m の時間的变化は全地域一律に $6 \sim 7\%/hour$ ぐらいの増加率と考えればよいと思われる。しかし、場合によっては時間的变化を無視して一定とみなしても大きな誤差は生じないかもしれない。

3.3 移動速度の時間的变化

上陸時の移動速度の値に対する移動速度の平均時間変化率は $-12 \sim +34\%/hour$ の範囲に及んでいて、その頻度分布を Fig. 9 に示す。全地域についての頻度分布においては、37台風のうち26台風が $\pm 10\%/hour$ の範囲内にあり、また、加速した台風は20個、減速した台風は17個である。地域別頻度分布においては、 $10\%/hour$ 以上加速した台風の占める割合は東の地域ほどより大きくなっている。また、移動速度の平均時間変化率の地域別平均値もA地域が $2.8\%/hour$ 、B地域が $5.7\%/hour$ 、そしてC地域が $10.8\%/hour$ であ

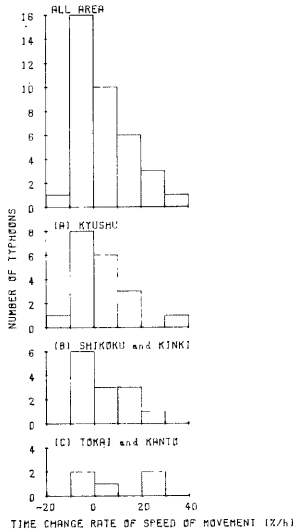


Fig. 9 Same as Fig. 7, except for speed of movement

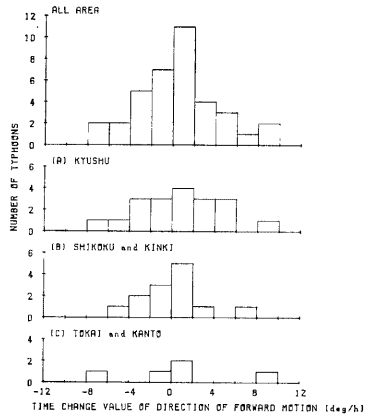


Fig. 10 Distribution of a mean time change value of direction of forward motion during five hours after landfall. The angle is measured counterclockwise.

り、東の地域ほど大きく、地域間の差も顕著である。したがって、上陸後数時間の台風のシミュレーションにおいては、移動速度の時間的変化を考慮に入れるとともに、その値の地域差も考慮に入れる必要があり、東の地域ほど加速が大きいとしなければならない。

3.4 移動方向の時間的変化

移動方向の時間的変化については、 Δp などについて調べたような上陸時の値に対する比をとることは意味がなく、そこで、平均時間変化量 (deg./hour) そのものについて調べた。移動方向の変化を反時計まわりに正として角度を測ると、全地域についての平均値は 0.5 deg./hour であり、頻度分布を Fig. 10 に示す。この図によると、全地域については、約50%にあたる18台風の変化量が ± 2 deg./hour 以内である。また、次第に西向きに向きを変えた台風は16個である。平均時間変化量については、A地域が 0.7 deg./hour、B地域が 0.2 deg./hour、そしてC地域が 0.8 deg./hour であり、地域間の差は顕著ではない。したがって、本土上陸後数時間の台風の経路のシミュレーションにおいては、まず、方向が変化しないでまっすぐに進むこととし、地域差も考慮しなくてよいのではないかと思われる。

4. 結 語

過去34年間に日本本土に上陸した49個の顕著台風について、気象官署の海面気圧の観測値に Schloemer の気圧分布式を適合させて、中心気圧低下量 Δp 、最大旋衡風速半径 r_m 、そして中心の位置の移動から移動速度と方向を求めた。台風の気圧分布と経路を表すこれら4種のパラメーターについて、まず、台風の中心の上陸時における地域別の累積相対度数をほぼ対数正規分布で適合させることができた。また、地域別年間上陸数の頻度分布をほぼ Poisson 分布で表現することができた。したがって、今後、この結果を利用して、地域別に年間上陸数を確率的に再現させ、これらの台風のそれぞれについて、上陸時の Δp 、 r_m 、移動速度と

Table 1 Statistical characteristics of severe and moderate typhoons hitting Japanese main Islands (1951-1984). The number in parenthesis shows a logarithmic value, and S.D. is referred to a value of standard deviation.

Parameter	Distribu- tion	Area	Statistics at the time of landfall			Time change rate after landfall			
			Unit	$F(m-s)$	$F(m)$	$F(m+s)$	Unit	Mean value	S.D. Remarks
Central pressure depth, Δp	Log.- normal	A	mb	26 (1.42)	39 (1.59)	57 (1.76)	%/hr	-3.6	7.8
		B	mb	25 (1.41)	38 (1.58)	58 (1.76)	%/hr	-6.2	4.4
		C	mb	24 (1.38)	33 (1.51)	44 (1.65)	%/hr	-11.3	4.6
Radius of maximum cyclostrophic wind, r_m	Log.- normal	A	km	46 (1.67)	74 (1.87)	120 (2.08)	%/hr	6.9	9.3 Little difference among areas
		B	km	61 (1.79)	91 (1.96)	135 (2.13)	%/hr	7.0	7.8
		C	km	46 (1.66)	83 (1.92)	152 (2.18)	%/hr	5.7	10.1
Speed of movement	Log.- normal	A	km/hr	19 (1.28)	30 (1.47)	46 (1.66)	%/hr	2.8	10.6
		B	km/hr	31 (1.50)	47 (1.67)	70 (1.85)	%/hr	5.7	9.5
		C	km/hr	31 (1.50)	46 (1.67)	69 (1.84)	%/hr	10.8	11.1
Direction of forward motion	Log.- normal	A	deg.	42 (1.63)	67 (1.83)	105 (2.02)	deg./hr	0.7	3.8 Little change rate
		B	deg.	52 (1.71)	72 (1.86)	100 (2.00)	deg./hr	0.2	3.0
		C	deg.	47 (1.67)	60 (1.78)	76 (1.88)	deg./hr	0.8	4.8
Number of landfall per year	Poisson	A		$\lambda=0.59$					
		B		$\lambda=0.50$					
		C		$\lambda=0.35$					

$F(m-s)$: The smaller value by a standard deviation than the mean value

$F(m)$: The mean value in a log-normal distribution

$F(m+s)$: The larger value by a standard deviation than the mean value

方向の値を確率的に再現させることが可能となる。ただし、これら4種のパラメーターの間にはお互に従属的な関係があるかどうかについてはさらに検討する必要がある。

次に、 Δp , r_m , 移動速度と方向の時間的変化の頻度分布について調べた。その結果、 Δp と移動速度の時間的変化については無視することができなく、また地域間の差も顕著であることが判明した。しかし、 r_m と移動方向の時間的変化については、これらの絶対値もそれほど大きくなく、また、地域間の差もほとんどなかった。今後、これら4種のパラメーターの時間的変化が示す確率分布の型についても調査し、最も適当な

型を決定し、上陸時において確率的に発現させた台風について気圧分布と移動方向・速度を時間的に変化させながら進行させていく方法を確立する予定である。なお、本研究において得られた各パラメーターの統計値を **Table 1** に示す。

われわれはこれらの残りの作業を近い将来に完了させ、そして確率的に再現させた台風の進行に伴う各地の気圧変化のシミュレーションを実行し、さらに、気圧分布から推算した風と実測地表風との間の地点ごとの統計的な関係を用いて、各地の地表風の時間的変化についてのシミュレーションを実行し、風速の再現期待値を地点ごとに求める予定である。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助金（自然災害特別研究(2)59025030, 研究代表者 光田寧）によって行った。

参 考 文 献

- 1) Schloemer, R.W.: Analysis and Synthesis of Hurricane Wind Patterns over Lake Okeechobee, Florida. Hydrometeorological Report, No. 31, 1954, 49pp.
- 2) 光田 寧・藤井 健・川平浩二：台風の構造のモデル化について(1), 京都大学防災研究所年報, 第17号B, 1974, pp. 227-234.
- 3) 光田 寧・藤井 健・川平浩二：被害台風の構造のモデル化について(2), 京都大学防災研究所年報, 第18号B, 1975, pp. 227-243.
- 4) 藤井 健：台風域内の気圧場の客観解析法, 京都産業大学論集, 第4巻第1号, 1974, pp. 77-90.
- 5) Mitsuta, Y., T. Fujii and K. Kawahira: Analysis of Typhoon Pressure Patterns over Japanese Islands, Journ. Natural Disaster Science, Vol. 1, No. 1, 1979, pp. 3-19.
- 6) Tryggvason, B.V., D. Suny and A.G. Davenport: Predicting Wind-induced Response in Hurricane Zones, Journ. Struc. Div., ASCE, Vol. 102, No. ST12, 1976, pp. 2333-2350.
- 7) 光田 寧・藤井 健・川平浩二：移動する台風の気圧場から求めた傾度風と実測風との比較——標準計画台風の通過にともなう地表風のシミュレーションの方法の開発の準備——, 京都大学防災研究所年報, 第23号B-1, 1980, pp. 271-279.
- 8) Gumbel, E. J. (河田, 岩井, 加瀬監訳)：極値統計学, 広川書店, 1958, 404pp.