

日本南方洋上における台風の確率モデルの作成

光田 寧・藤井 健

ON A STOCHASTIC MODEL OF TYPHOONS OVER THE SOUTHERN SEA OF THE JAPANESE ISLANDS

By *Yasushi MITSUTA* and *Takeshi FUJII*

Synopsis

Based on the statistics of 255 severe and moderate typhoons passing through the domain surrounded by the latitudes of 23°N and 43°N and the longitudes 123°E and 147°E from 1951 to 83, central pressure depth, Δp , and velocity of movement of the model typhoon were synthesized.

In this domain, most of typhoons recurve from northwestward to northeastward. Although the recurving is one of the difficult problems in simulation of a typhoon path, this model could simulate properly the representative paths of typhoons including recurving. The synthesized translation also agreed approximately with those of the experienced typhoons, but the values of Δp were synthesized somewhat deeper. This will be reexamined in the succeeding research.

1. 序

以前、われわれの研究グループは、顕著台風について、日本本土に上陸した後の気象官署における毎時の海面気圧の観測値を用いて台風の気圧場の数値解析を行い、台風の確率モデルを作成した¹⁾²⁾。さらに、これを用いて台風の経路と気圧場のシミュレーションを行い、単純な方法で傾度風から地表風を推算し、風速の再現期待値を求めた³⁾⁴⁾⁵⁾。しかしながら、このモデルは台風の中心が本土上を通過している時間帯のみを対象としたものであり、利用範囲は限られている。沿岸地域の高波や南西諸島などの島々の強風の予測などの防災計画の立案にも利用できるような確率モデルに発展させるためには、本土周辺海上まで広げて、台風の統計的性質を調べる必要がある。本土西部およびその周辺海上において、確率モデルによる台風の経路の再現については、Hashino and Kuwata⁶⁾が雨量と高潮のシミュレーションを目的として試みている。しかし、経路の再現の対象とした領域は29°N以北と狭く、波浪計算などの目的に利用するためには十分ではない。われわれは、シミュレーションの領域の南限を23°Nまで拡大し、東西方向も123°Eから147°Eまでの2000 kmあまりの領域を対象として台風の確率モデルを作成し、経路と中心気圧のシミュレーションを試みた。ここで対象とした海域では、多くの台風の進行方向が北西から北東へ転向していて、このような転向点付近を含んでいる台風の経路のシミュレーションは容易ではなく、これまでほとんど試みられていない。しかし、本研究においては、進行速度を東西成分と南北成分に分けて、それぞれの成分について、前6時間の値の関数として表すことによって、転向点を含んだ典型的な経路をかなりよく再現することができた。ただし、中心

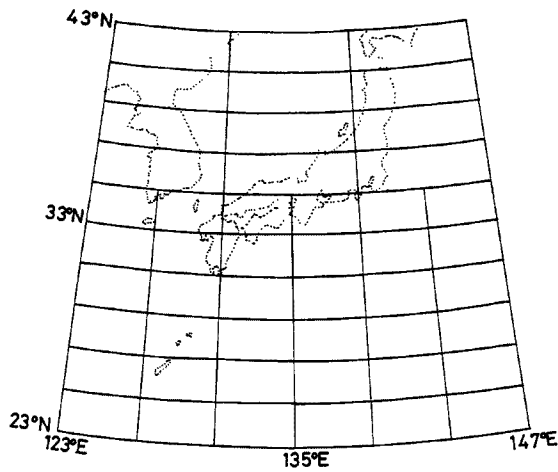


Fig. 1. Domain for simulation and division into boxes

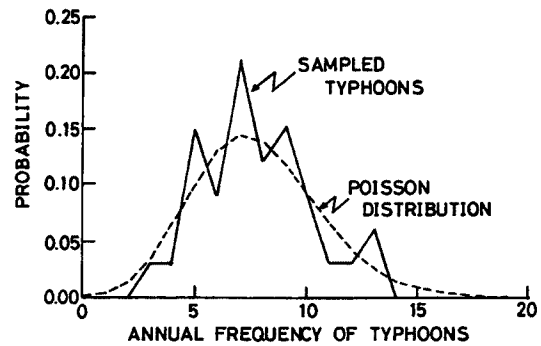


Fig. 2. Distribution of annual occurrence frequency of sampled typhoons. A broken line indicates the approximation by a Poisson distribution.

気圧については、今後検討すべき点が残された。

2. モデル作成の対象領域と資料とした台風

台風の高率モデル作成の対象領域は、本土南方洋上を主とした23°Nと43°Nの緯線および123°Eと147°Eの経線で囲まれた領域 (Fig. 1) とする。1951～83年の33年間に、この領域内において最低中心気圧が980 mb以下に達した255個の台風をモデル作成のための資料とした。

Table 1. Classification of a generated typhoon in accordance with its initial position.

| Group | Initial position of a typhoon center | Number of typhoons | Probability |
|-------|---|--------------------|-------------|
| 1 | Translated into the region on 23°N between 123°E and 127°E | 29 | 0.114 |
| 2 | Translated into the region on 23°N between 127°E and 131°E | 41 | 0.161 |
| 3 | Translated into the region on 23°N between 131°E and 135°E | 32 | 0.125 |
| 4 | Translated into the region on 23°N between 135°E and 139°E | 28 | 0.110 |
| 5 | Translated into the region on 23°N between 139°E and 143°E | 17 | 0.067 |
| 6 | Translated into the region on 23°N between 143°E and 147°E | 28 | 0.110 |
| 7 | Translated into the region on the longitude of 123°E | 2 | 0.008 |
| 8 | Translated into the region on the longitude of 147°E | 19 | 0.075 |
| 9 | Deepened below 980 mb in the region between 123°E and 127°E | 6 | 0.024 |
| 10 | Deepened below 980 mb in the region between 127°E and 131°E | 9 | 0.035 |
| 11 | Deepened below 980 mb in the region between 131°E and 135°E | 11 | 0.043 |
| 12 | Deepened below 980 mb in the region between 135°E and 139°E | 6 | 0.024 |
| 13 | Deepened below 980 mb in the region between 139°E and 143°E | 14 | 0.055 |
| 14 | Deepened below 980 mb in the region between 143°E and 147°E | 13 | 0.051 |

われわれの以前の研究¹⁾²⁾においては、Schloemer⁷⁾の気圧分布式を用いて、気象官署の毎時の海面気圧の観測値の客観解析を行い、中心の位置、中心気圧の低下量、最大風速半径を求め、本土上陸後の台風の高率モデルを作成した。しかし、本研究で対象とした日本南方洋上では、観測点がほとんどなく、本土上通過時のように海面気圧の観測値を用いて詳細な気圧場の解析を行い、中心の位置や中心気圧などを求めることができるのは、南西諸島付近に限られる。そこで、台風の中心の位置（緯度・経度）と中心気圧について、気象庁が解析し、気象要覧に公表してある6時間ごと（3、9、15および21時）の値を用いることにした。高率モデルの作成のために統計の対象とした期間は、本土に上陸した台風の高率モデル作成の場合と同じく、中心気圧が980 mbに達した時刻から、985 mb以上に衰弱するまでの時刻とした。また、中心気圧は、周辺気圧を1015 mbとして、中心気圧低下量 Δp に換算した。しかし、周辺気圧の値については、今後再検討することにする。

なお、この領域内で最も発達した台風は5822号と6222号で、いずれも最低中心気圧は890 mbであった。このように、資料とした台風の中には、この領域内で中心気圧が900 mb以下にまで発達するものが含まれている。

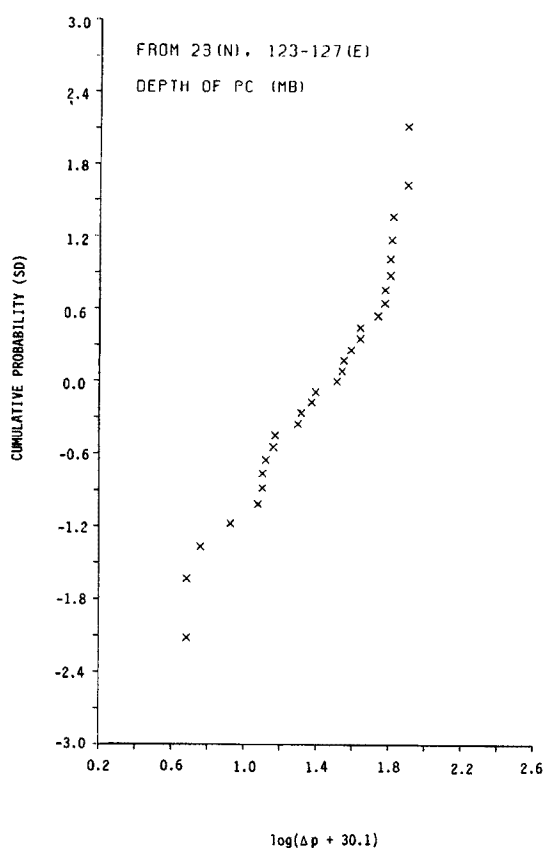


Fig. 3. (a) Probability distribution of central pressure depth, Δp , at the initial time for Group 1, which is represented as a log-normal distribution.

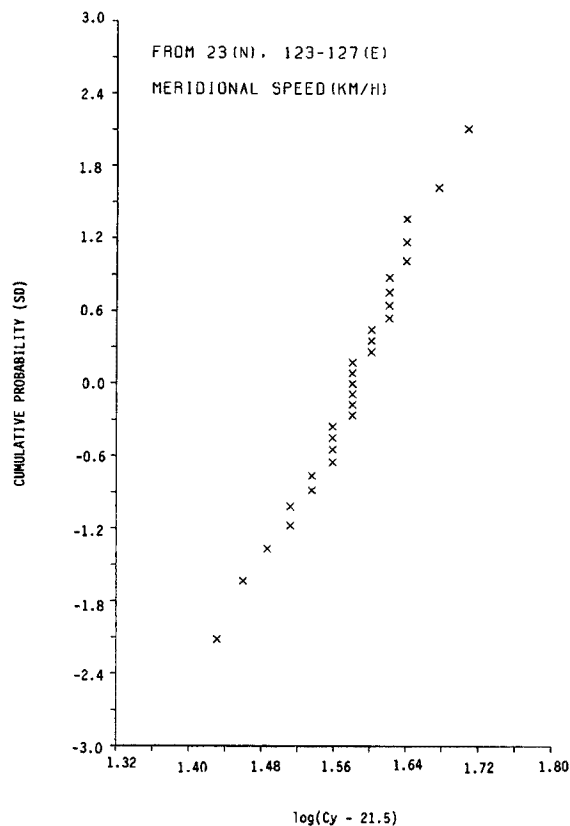


Fig. 3. (b) Same as Fig. 3 (a), except for the meridional component, C_y , of translation velocity.

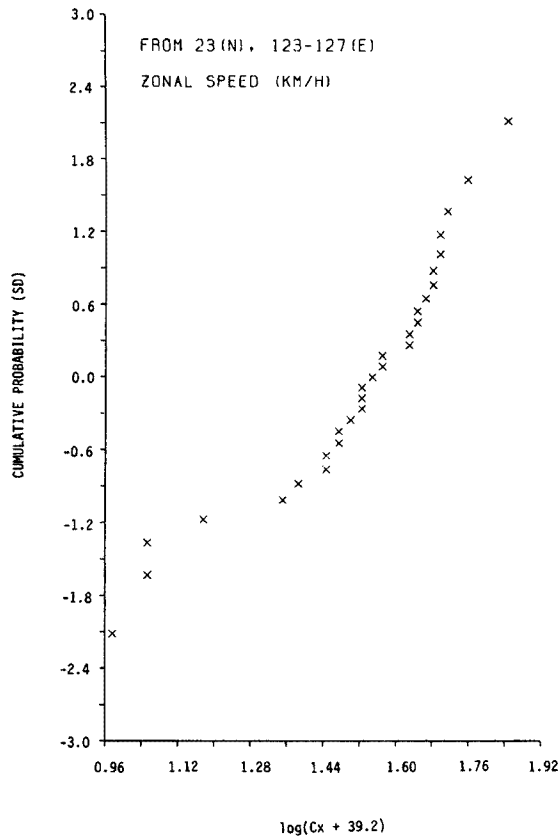


Fig. 3. (c) Same as Fig. 3 (a), except for the zonal component, C_x , of translation velocity.

を正)の分布の例については、Fig. 3 (a)~(c)に示す。なお、これらの分布は、対数正規分布に最も近い分布となるように、原点の位置を移動させてあり、そのときの回帰式をTable 2(a)~(d)に示す。台風の中心の境界線通過時における Δp と進行速度の値は、それぞれの時間変化が一定であるとして、内挿により求めた。また、領域内で中心気圧が980 mb以下に下がったグループ9~14の Δp の値は35 mbと一律の値をとることにする。

なお、グループ7は資料とした台風が2個と少ないが、このうち1個は進入時の Δp の値が67.5 mbと比較的に強く、このグループを無視することはできない。従って、 ϕ 、 Δp 、 C_y および C_x については、信頼性に問題が残るが、2個の資料から確率分布を作成した。

3.3 Δp と進行速度の時間変化の統計

Δp の時間変化率 $d\Delta p/\Delta p dt$ および C_y と C_x の分布は東西方向よりも南北方向の変化の方が顕著であるので、Fig. 1に示したように、対象領域を緯度幅2度、経度幅4度の東西方向に長いボックスに分け、ボックスごとにこれらの要素の統計値を求めた。なお、35°N以北では、資料数が少なくなるので、東西方向に隣り合っているボックスを2個ずつまとめて、ボックスの経度幅を8度とした。

まず、 $d\Delta p/\Delta p dt$ の値について、時間的持続性を調べるために、その位置に達する前6時間、 $-\Delta t$ における値とその後の6時間 $+\Delta t$ における値の間の相関係数をボックスごとに求めた。この値はほとんどのボック

3. 台風の諸要素の確率分布

前記の資料を用いて台風の諸要素の確率分布について調べ、台風の経路と中心気圧のシミュレーションに利用できるような確率モデルを作成した。

3.1 台風年間通過数

確率モデル作成の資料とした台風の年間個数の生起確率をFig. 2に示す。年間個数の平均値は7.7個、標準偏差は2.4個である。これを平均値7.7個のPoisson分布で近似して破線で示してある。

3.2 台風の位置、中心気圧低下量、進行速度の初期値

資料とした255個の台風について、統計対象領域の外から進入した位置あるいは領域内で中心気圧が980 mb以上に発達した位置に従って、Table 1に示したように下のグループに分類し、中心の位置(緯度 ϕ 、経度 λ)、中心気圧低下量 Δp 、進行速度の東西成分 C_x と南北成分 C_y の初期値の確率分布について調べた。なお、グループ9~14については資料とした台風数が少ないので、台風のグループ別発現確率と λ の分布以外はグループ9~11および12~14と3グループずつまとめて統計をとった。いずれのグループにおいても、これらの要素の間では、相関があまりよくなく、そこで、たがいに独立であるとして、確率分布の形について調べた。その結果、 ϕ は指数分布、 λ は一様分布、 Δp 、 C_x と C_y は対数正規分布してほぼ表すことができることがわかった。このうち、 Δp 、 C_x (東向きを正)と C_y (北向きを

Table 2 (a). Regression equations of a stochastic distribution of latitude, $\phi(^{\circ}\text{N})$, at an initial position. W indicates the cumulative probability taking the values between 0.01 and 0.99

| Group | Regression equation |
|-------|---------------------------------|
| 7 | $\phi = 10^{0.03W+1.37}$ |
| 8 | $\phi = 10^{1.24W-0.25} + 24.0$ |
| 9-11 | $\phi = 10^{0.36W+0.76} + 17.0$ |
| 12-14 | $\phi = 10^{1.32W-0.12} + 22.5$ |

Table 2 (b). Regression equations of stochastic distributions of central pressure, Δp (mb), at the initial positions. x indicates the upper limit of the probability integration, and it takes the values between -2.33 and 2.33 , which correspond to the cumulative probabilities of 0.01 and 0.99, respectively.

| Group | Regression equation |
|-------|--|
| 1 | $\Delta p = 10^{0.36x+1.41} - 30.1$ |
| 2 | $\Delta p = -10^{-0.15x+1.81} + 140.2$ |
| 3 | $\Delta p = 10^{0.29x+1.48} - 27.3$ |
| 4 | $\Delta p = 10^{0.16x+1.80} - 3.9$ |
| 5 | $\Delta p = 10^{0.24x+1.55} - 24.7$ |
| 6 | $\Delta p = 10^{0.17x+1.73} - 9.4$ |
| 7 | $\Delta p = 10^{0.19x+1.70}$ |
| 8 | $\Delta p = 10^{0.20x+1.28} - 28.3$ |
| 9-11 | $\Delta p = 35.0$ |
| 12-14 | $\Delta p = 35.0$ |

Table 2 (c). Same as Table 2 (b), except for the meridional components of translating velocity, C_y ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)

| Group | Regression equation |
|-------|-----------------------------------|
| 1 | $C_y = 10^{0.06x+1.58} + 21.5$ |
| 2 | $C_y = -10^{-0.06x+1.71} + 65.7$ |
| 3 | $C_y = 10^{0.24x+1.19} - 1.6$ |
| 4 | $C_y = 10^{0.10x+1.58} + 18.9$ |
| 5 | $C_y = 10^{0.38x+0.86} + 12.2$ |
| 6 | $C_y = 10^{0.16x+1.39} - 5.1$ |
| 7 | $C_y = 10^{0.07x+1.22}$ |
| 8 | $C_y = 10^{0.17x+1.28} - 10.4$ |
| 9-11 | $C_y = 10^{0.03x+2.28} - 149.4$ |
| 12-14 | $C_y = -10^{-0.03x+2.38} + 255.4$ |

Table 2 (d). Same as Table 2 (b), except for the zonal components of translating velocity, C_x ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)

| Group | Regression equation |
|-------|------------------------------------|
| 1 | $C_x = 10^{0.21x+1.52} - 39.2$ |
| 2 | $C_x = 10^{0.10x+1.82} - 73.0$ |
| 3 | $C_x = 10^{0.22x+1.56} - 36.7$ |
| 4 | $C_x = -10^{-0.01x-3.02} + 1034.8$ |
| 5 | $C_x = 10^{0.26x+1.39} - 31.8$ |
| 6 | $C_x = 10^{0.12x+1.80} - 63.7$ |
| 7 | $C_x = 10^{0.33x+1.09}$ |
| 8 | $C_x = -10^{-0.10x+1.60} + 24.9$ |
| 9-11 | $C_x = -10^{-0.06x+1.97} + 89.0$ |
| 12-14 | $C_x = 10^{0.18x+1.63} - 45.2$ |

スにおいて0.2~0.3程度であった。これは、本土南方洋上では、 Δp が最大となる場所が台風によって異なっていること、 Δp の変化が単調ではないこと、気象庁による中心気圧の推定がほとんどの場合において5 mb 間隔で行われていることなどによるものと思われる。そこで、 $d\Delta p/\Delta p dt$ の値は、時間的持続性を無視して、前6時間の値とは独立であると仮定した。そして、この確率分布の形について調べ、正規分布で表すことにした。例として、 $25^{\circ}\text{N}\sim 27^{\circ}\text{N}$ の緯度帯の6つのボックスにおける分布を Fig. 6 に示す。この分布を回帰式、

$$d\Delta p/\Delta p dt = a_p x + b_p \tag{1}$$

で表した場合の係数 a_p , b_p の値を Table 3 に示す。なお、 x は確率積分の上限の値で、 $x = 0$ のとき平均値、 $x = \pm 1$ のときに平均値 \pm 標準偏差の値をとる。

一方、 C_y 及び C_x については、それぞれの前6時間の値 C_y^- および C_x^- と後6時間における値 C_y^+ 及び C_x^+

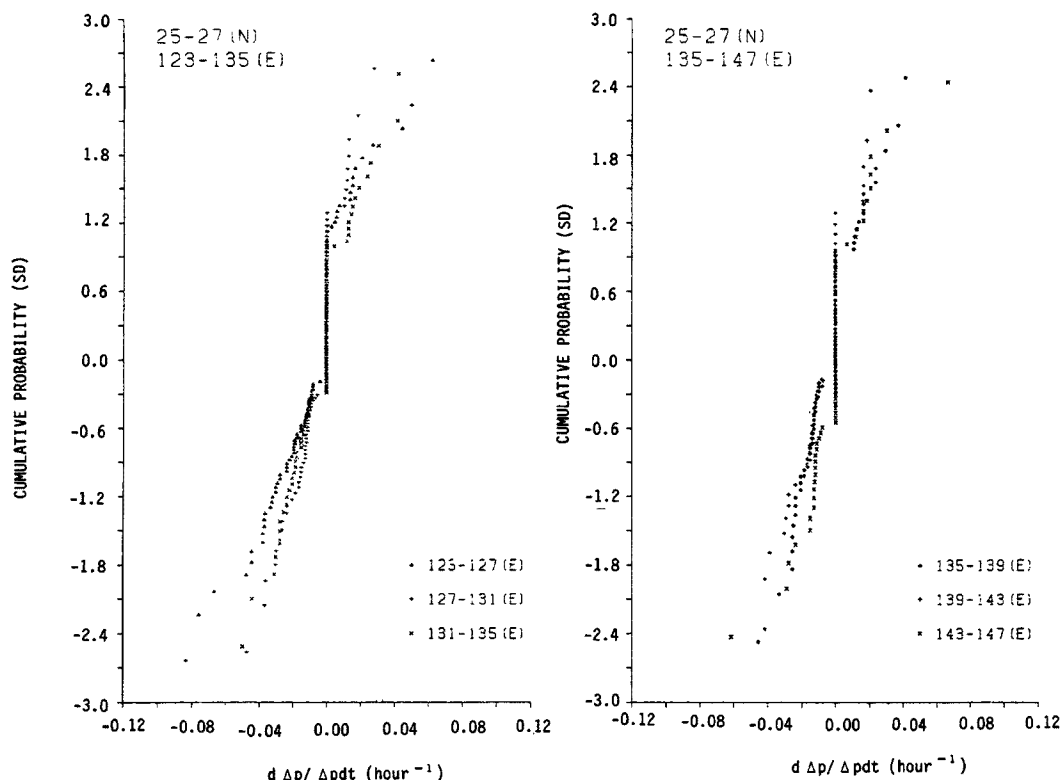


Fig. 4. Probability distributions of $d\Delta p/\Delta p dt$ (hour^{-1}) for the six boxes in the zone of 25 ~27°N, which is represented as a normal distribution.

との間の相関係数を求めると、Table 4 (a)~(b) に示すように、相関がかなりよい。これらの関係をより詳細に表すために散布図の例を Fig. 5 (a)~(b) に示す。そこで、 C_y^+ 及び C_x^+ を、それぞれ、 C_y^- 及び C_x^- の1次式

$$C_y^+ = a_y C_y^- + b_y \tag{2}$$

$$C_x^+ = a_x C_x^- + b_x \tag{3}$$

として表すことにし、これらの式の係数 a_y , b_y , a_x 及び b_x は最小二乗法で求めた。その値を Table 5 (a)~(b)

Table 3. Coefficients ($\times 10^{-2}$), a_p and b_p , of a regression equation of $d\Delta p/\Delta p dt$ approximated with a normal distribution. The values for the boxes north of 35°N are excluded from the table.

| Latitude | Longitude | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 123~127°E | | 127~131°E | | 131~135°E | | 135~139°E | | 139~143°E | | 143~147°E | |
| | a_p | b_p | a_p | b_p | a_p | b_p | a_p | b_p | a_p | b_p | a_p | b_p |
| 23~25°N | 1.91 | -0.15 | 1.60 | 0.23 | 1.32 | -0.27 | 1.63 | 0.04 | 1.95 | -0.16 | 1.76 | -0.02 |
| 25~27°N | 1.89 | -0.79 | 1.13 | -0.54 | 1.55 | -0.42 | 1.50 | -0.43 | 1.33 | -0.69 | 1.38 | -0.11 |
| 27~29°N | 1.68 | -0.46 | 1.05 | -0.37 | 1.51 | -0.36 | 1.34 | -0.69 | 0.98 | -0.62 | 1.22 | -0.38 |
| 29~31°N | 1.09 | -0.73 | 1.21 | -0.44 | 0.85 | -0.33 | 1.64 | -0.81 | 1.33 | -0.78 | 1.66 | -0.76 |
| 31~33°N | 1.22 | -1.28 | 2.48 | -2.58 | 2.06 | -1.88 | 1.10 | -0.75 | 1.99 | -1.27 | 1.30 | -0.87 |
| 33~35°N | 1.70 | -1.68 | 1.68 | -2.29 | 1.93 | -3.18 | 2.56 | -3.14 | 1.64 | -0.53 | 1.58 | -0.97 |

Table 4 (a). Correlation coefficients between C_y^- and C_y^+

| | 123-127°E | 127-131°E | 131-135°E | 135-139°E | 139-143°E | 143-147°E |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 23-25°N | 0.77 | 0.86 | 0.85 | 0.82 | 0.64 | 0.83 |
| 25-27°N | 0.77 | 0.66 | 0.85 | 0.87 | 0.90 | 0.88 |
| 27-29°N | 0.85 | 0.84 | 0.80 | 0.86 | 0.77 | 0.88 |
| 29-31°N | 0.81 | 0.72 | 0.89 | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| 31-33°N | 0.81 | 0.81 | 0.83 | 0.85 | 0.82 | 0.92 |
| 33-35°N | 0.78 | 0.76 | 0.86 | 0.83 | 0.83 | 0.78 |
| 35-37°N | 0.61 | | 0.70 | | 0.80 | |
| 37-39°N | 0.32 | | 0.61 | | 0.86 | |
| 39-41°N | 0.63 | | 0.58 | | 0.79 | |
| 41-43°N | 0.96 | | 0.76 | | 0.63 | |

Table 4 (b). Correlation coefficients between C_x^- and C_x^+

| | 123-127°E | 127-131°E | 131-135°E | 135-139°E | 139-143°E | 143-147°E |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 23-25°N | 0.90 | 0.92 | 0.90 | 0.91 | 0.93 | 0.92 |
| 25-27°N | 0.89 | 0.94 | 0.92 | 0.91 | 0.97 | 0.85 |
| 27-29°N | 0.76 | 0.92 | 0.94 | 0.93 | 0.95 | 0.90 |
| 29-31°N | 0.84 | 0.85 | 0.95 | 0.97 | 0.96 | 0.95 |
| 31-33°N | 0.88 | 0.86 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.92 |
| 33-35°N | 0.86 | 0.76 | 0.89 | 0.87 | 0.91 | 0.95 |
| 35-37°N | 0.85 | | 0.92 | | 0.85 | |
| 37-39°N | 0.92 | | 0.94 | | 0.67 | |
| 39-41°N | 0.99 | | 0.78 | | 0.96 | |
| 41-43°N | 0.99 | | 0.52 | | 0.83 | |

に示す。

4. Δp と経路の確率的再現の手順

前節で述べた本土南方洋上における台風の年間個数、 Δp および進行速度の統計を用いて、これらの諸要素を次の STEP に従って確率的に再現させ、 Δp と経路のシミュレーションを行った。なお、その Flow Chart を Fig. 6 に示す。

STEP 1. 対象領域内における年間台風数の再現

領域内における最低中心気圧が 980 mb 以下の台風の年間個数 n の頻度分布は平均値 7.7 個の Poisson 分布に従うものとする。乱数を発生させ、その値により n の値を決定する。

STEP 2. 台風の初期値の再現のためのグループ分け

乱数を発生させ、Table 1 で示した各グループの再現確率に基づいて、台風の初期値の再現のためのグループを決定する。

STEP 3. 台風の初期値の発現 (時刻 $t=0$)

中心の緯度 ϕ 、経度 λ 、 Δp 、 C_y 及び C_x の初期値を乱数により確率的に再現させる。

なお、次の場合には乱数を再発生させる。

- (1) 再現した値が累積相対度数の 99% を超えるか、1% より小さいとき
- (2) $\Delta p < 35$ mb のとき

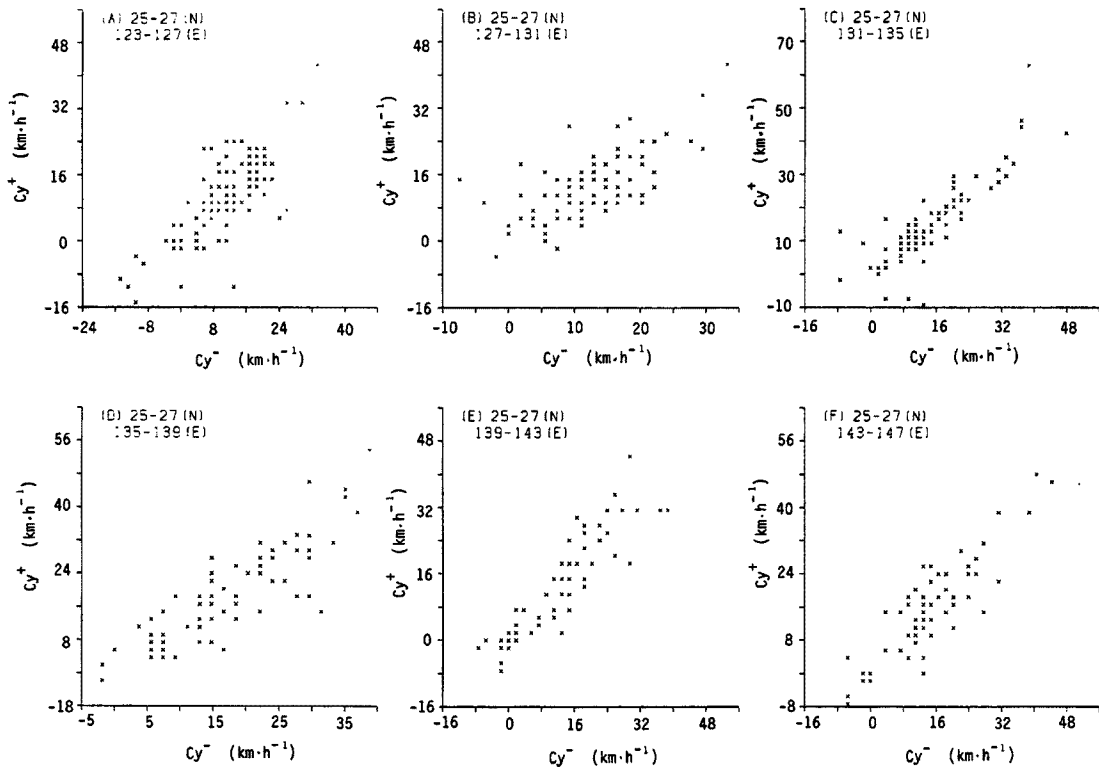


Fig. 5. (a) Relation between Cy^- and Cy^+ for the six boxes in the zone of 25~27°N.

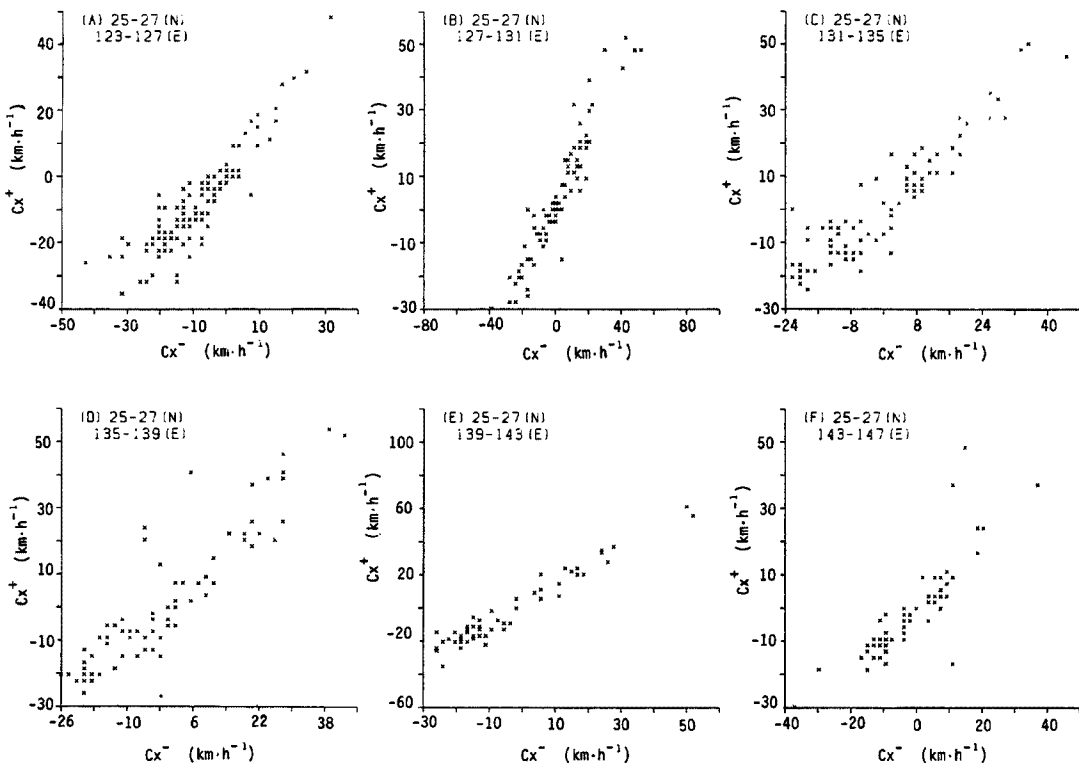


Fig. 5. (b) Same as Fig. 5 (a), except for relation between Cx^- and Cx^+ .

Table 5 (a). Coefficients, a_y and b_y , of a regression equation of the meridional component, C_y , of translation velocity approximated with a normal distribution. The values for the boxes north of 35°N are excluded from the table.

| Latitude | Longitude | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 123~127°E | | 127~131°E | | 131~135°E | | 135~139°E | | 139~143°E | | 143~147°E | |
| | a_y | b_y | a_y | b_y | a_y | b_y | a_y | b_y | a_y | b_y | a_y | b_y |
| 23~25°N | 0.79 | 2.85 | 0.92 | 1.31 | 0.95 | 1.04 | 0.88 | 2.97 | 0.66 | 6.15 | 0.98 | 2.02 |
| 25~27°N | 0.83 | 1.89 | 0.70 | 4.41 | 0.98 | 0.98 | 1.00 | 1.60 | 0.99 | 0.95 | 0.95 | 1.54 |
| 27~29°N | 0.88 | 1.61 | 1.00 | 0.68 | 0.94 | 1.70 | 0.91 | 2.02 | 0.99 | 1.27 | 0.97 | 0.85 |
| 29~31°N | 0.99 | 1.23 | 0.77 | 3.55 | 1.04 | 1.44 | 0.99 | 0.89 | 0.99 | 1.05 | 0.99 | -0.19 |
| 31~33°N | 1.02 | 1.31 | 0.95 | 2.94 | 1.03 | 3.85 | 0.99 | 0.60 | 0.97 | 1.75 | 1.07 | 0.30 |
| 33~35°N | 0.81 | 5.95 | 1.11 | 1.92 | 1.29 | -3.31 | 1.04 | 2.68 | 1.01 | 2.12 | 1.02 | -0.83 |

Table 5 (b). Coefficients, a_x and b_x , of a regression equation of the zonal component, C_x , of translation velocity approximated with a normal distribution. The values for the boxes north of 35°N are excluded from the table.

| Latitude | Longitude | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 123~127°E | | 127~131°E | | 131~135°E | | 135~139°E | | 139~143°E | | 143~147°E | |
| | a_x | b_x | a_x | b_x | a_x | b_x | a_x | b_x | a_x | b_x | a_x | b_x |
| 23~25°N | 0.97 | 1.64 | 0.98 | 1.43 | 0.99 | 1.00 | 1.01 | 1.81 | 1.02 | 2.27 | 0.97 | 1.67 |
| 25~27°N | 1.02 | 1.19 | 1.03 | 1.94 | 1.04 | 1.46 | 1.12 | 2.59 | 1.12 | 2.74 | 0.97 | 0.47 |
| 27~29°N | 0.77 | 0.81 | 1.00 | 1.79 | 1.13 | 2.08 | 1.07 | 3.03 | 1.09 | 2.87 | 1.02 | 0.61 |
| 29~31°N | 0.96 | 1.15 | 0.97 | 3.03 | 1.10 | 2.78 | 1.13 | 2.00 | 1.08 | 5.08 | 1.11 | 2.51 |
| 31~33°N | 1.01 | 3.69 | 1.20 | 2.76 | 0.96 | 2.14 | 1.11 | 4.62 | 1.02 | 4.57 | 1.10 | 4.02 |
| 33~35°N | 1.37 | 6.27 | 0.88 | 13.44 | 1.13 | 2.62 | 1.10 | 4.02 | 0.99 | 4.51 | 1.07 | 3.95 |

- (3) グループ7~14で, $\phi < 23^\circ\text{N}$ のとき
- (4) グループ1~6で, $C_y < 0$ のとき
- (5) グループ7で, $C_x < 0$ のとき
- (6) グループ8で, $C_x > 0$ のとき

さらに, $d\Delta p/\Delta p dt$ の値については, 再現した台風が位置しているボックスについての確率分布に基づいて, 乱数により確率的に再現させる。

STEP 4. 時刻 $t=i\Delta t$ ($i=1, 2, 3, \dots$) における $\Delta p, \phi, \lambda$ の値の決定

$t=(i-1)\Delta t$ における $\Delta p, \phi, \lambda$ の値および, これらの値の変化量である $d\Delta p/\Delta p dt, C_y, C_x$ の値から, 時刻 $i\Delta t$ における $\Delta p, \phi, \lambda$ の値を決定する。なお時間間隔 Δt は6時間とする。

STEP 5. $t=i\Delta t$ から $t=(i+1)\Delta t$ までの Δt 間の $d\Delta t/\Delta p dt, C_y, C_x$ の値の再現

(1) $d\Delta p/\Delta p dt$ —— $t=i\Delta t$ において, 中心が位置しているボックスの $d\Delta t/\Delta p dt$ の確率分布(正規分布)により乱数を用いて発現させる。ただし, 累積相対度数が99%を超えているか, 1%未満の場合には乱数を再発生させる。

(2) C_y^+ —— $t=i\Delta t$ において, 中心が位置しているボックスにおける C_y^- と C_y^+ の間の関係式(2)を用いて C_y^- の値から求める。

(3) C_x^+ —— $t=i\Delta t$ において, 中心が位置しているボックスにおける C_x^- と C_x^+ の間の関係式(3)を用いて C_x^- の値から求める。

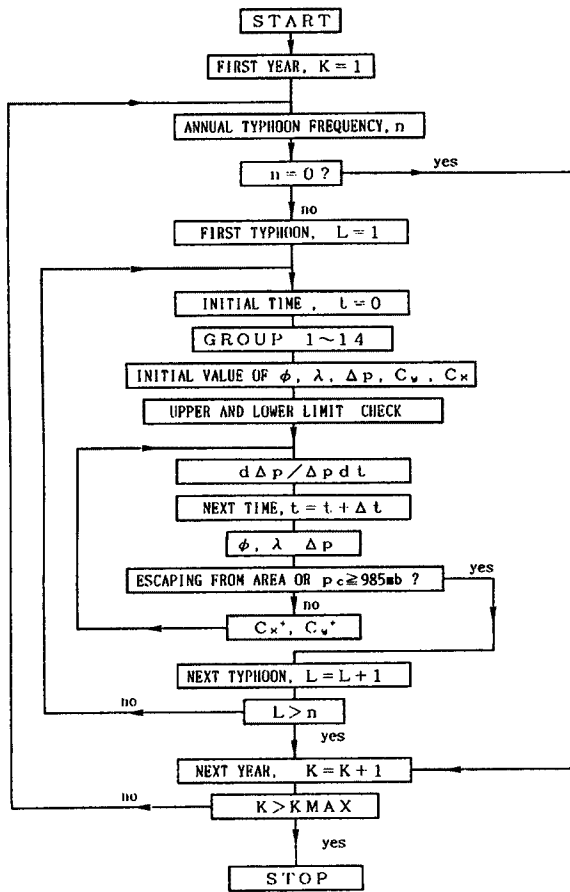


Fig. 6. Flow chart for numerical simulation of Δp and a typhoon path.

5.2 ボックスごとの値の検討

資料とした台風とシミュレートした台風の Δp の平均値と標準偏差について、ボックスごとの値を **Table 7** に示す。27°N 以南では、平均値は全般的にほぼ一致している。一方、27°N 以北での Δp の平均値は、シミュレートした台風の方が 5~10 mb 大きくなっているボックスが多い。前に述べたように、初期値ではほぼ一致しているので、 $d\Delta p/\Delta p dt$ の値をその前の時間帯の値と独立に、また Δp とも独立に再現したが、この点に原因があるのではないかと考えられる。今後、これらの点について検討することにする。また、標準偏差については、シミュレートした台風の方が大きく、これは北のボックスほど顕著になっている傾向がある。これは、資料とした台風の中心気圧がほとんどの場合に 5 mb 間隔で決定され、資料のうち半数近くの $d\Delta p/\Delta p dt$ の値が 0 であり、これらの値は平均値付近にあり、そのために標準偏差が小さくなったのではないかと考えられる。

次に、進行速度については、現実の台風は蛇行やループのように複雑な運動をし、現実の台風の C_y と C_x の値は、回帰式による値からばらつきがあるために正負の値がお互いに打ち消し合って、これらの平均値を求めるとシミュレートした台風の値よりも小さくなる傾向がある。そこで、 C_y と C_x を合成した進行速度そのものの値について、資料とした台風の値と比較してみた。ボックスごとの平均値と標準偏差を **Table 8** に示す。平均値については、35°N 以南において、資料とした台風の値とほぼ一致している。しかし、標準偏差

STEP 6. 次の (a) ~ (b) のいずれであるかを判定し、STEP 1, 2 あるいは 4 のいずれかに戻る。

(a) 対象領域外へ出るか、中心気圧が 985 mb 以上に衰弱した場合には、この台風のシミュレーションを終了させる。もし、その年にシミュレートする他の台風が残っていれば STEP 2 に戻り次の台風のシミュレーションを行い、そうでなければ、STEP 1 に戻り、次の年に移る。

(b) その他の場合には、STEP 4 に戻り、次の時間に移る。

5. モデルの検討

今までに述べた確率統計モデルにより、現実の台風をどの程度に再現することができるかを検討するために、モデル作成のために資料とした33年間の現実の台風の諸要素とこのモデルによる1000年間のシミュレーションにより再現された台風について、平均値と標準偏差を比較してみた。

5.1 初期値の検討

中心の位置、中心気圧、進行速度について、初期値発生時のグループ別に、資料とした台風とシミュレートした台風の平均値と標準偏差を **Table 6** に示す。

資料数が少ないグループ 2 を除いて、 Δp 及び進行速度ともに、平均値及び標準偏差はほぼ一致している。したがって、平均値と標準偏差の点では、現実の台風の諸要素がほぼ再現できたと考えられる。

Table 6. Comparison of mean values and standard deviations (S.D.) of initial values of simulated typhoons with sampled typhoons. n denotes annual occurrence frequency of typhoons.

| Group | n | ϕ (°N) | | λ (°E) | | Δp (mb) | | C_y (km·h ⁻¹) | | C_x (km·h ⁻¹) | |
|--------------|------|----------------|------|-------------------|-------|--------------------|------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------|
| | | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. |
| 1 Sample | 0.88 | 23.0 | — | 125.1 | 1.0 | 65.2 | 23.7 | 16.8 | 5.2 | -2.9 | 14.3 |
| | | Simulation | 23.0 | — | 125.0 | 1.2 | 65.0 | 27.7 | 16.6 | 4.9 | -2.8 |
| 2 Sample | 1.24 | 23.0 | — | 128.9 | 1.2 | 73.0 | 20.9 | 14.5 | 7.0 | -4.8 | 15.3 |
| | | Simulation | 23.0 | — | 129.0 | 1.1 | 76.1 | 17.7 | 15.2 | 6.7 | -4.7 |
| 3 Sample | 0.97 | 23.0 | — | 132.8 | 1.1 | 64.6 | 24.0 | 19.6 | 9.5 | 4.2 | 17.6 |
| | | Simulation | 23.0 | — | 133.1 | 1.2 | 63.8 | 22.8 | 19.0 | 9.1 | 4.0 |
| 4 Sample | 0.85 | 23.0 | — | 136.5 | 1.0 | 70.9 | 23.1 | 19.9 | 9.1 | -3.8 | 14.8 |
| | | Simulation | 23.0 | — | 137.0 | 1.1 | 69.2 | 21.8 | 19.8 | 8.5 | -3.3 |
| 5 Sample | 0.52 | 23.0 | — | 140.8 | 1.2 | 65.7 | 20.1 | 21.9 | 6.5 | -2.8 | 17.2 |
| | | Simulation | 23.0 | — | 141.1 | 1.1 | 67.5 | 22.1 | 22.5 | 9.0 | -4.2 |
| 6 Sample | 0.85 | 23.0 | — | 144.8 | 1.1 | 67.4 | 21.7 | 21.2 | 8.5 | 1.1 | 17.7 |
| | | Simulation | 23.0 | — | 144.9 | 1.1 | 67.7 | 20.8 | 20.8 | 8.9 | 0.7 |
| 7 Sample | 0.06 | 24.2 | 0.4 | 123.0 | — | 52.2 | 15.3 | 16.6 | 1.8 | 23.9 | 6.5 |
| | | Simulation | 24.2 | 0.4 | 123.0 | — | 64.0 | 22.1 | 16.5 | 2.2 | 14.6 |
| 8 Sample | 0.58 | 27.3 | 2.5 | 147.0 | — | 49.3 | 9.4 | 9.9 | 7.9 | -15.4 | 9.3 |
| | | Simulation | 26.3 | 1.5 | 147.0 | — | 48.9 | 8.9 | 9.8 | 7.6 | -15.2 |
| 9~11 Sample | 0.79 | 26.0 | 2.2 | 129.5 | 3.2 | 35.4 | 1.5 | 9.4 | 10.0 | -4.3 | 14.4 |
| | | Simulation | 26.1 | 2.0 | 129.7 | 3.3 | 35.0 | — | 9.7 | 9.5 | -4.4 |
| 12~14 Sample | 1.00 | 27.3 | 3.8 | 141.7 | 3.3 | 35.5 | 1.6 | 17.0 | 13.6 | 1.6 | 18.6 |
| | | Simulation | 25.4 | 3.1 | 141.7 | 3.1 | 35.0 | — | 16.7 | 12.8 | 1.0 |

の方は、資料とした台風の値よりも小さい。これは、前6時間の関数のみで表し、回帰直線からのばらつきを考慮に入れていないことによるものと考えられる。

6. シミュレーションの結果

前記の確率モデルによるシミュレーションにより再現した台風の経路と中心気圧の例を Fig. 7 に示す。23°N より進入した台風のうち、進行方向が北西であったものは、次第に向きが北北西から北に変わっていき、やがて転向し、北北東、北東へと変わっていき、いわゆる放物線状の経路を描いている。このような経路の再現は容易ではなく、これまでほとんど試みられていない。また、23°N 線上より北東に向かって進入してきた台風はほとんど向きが変わっていない。このように、台風の経路の典型的なものがほぼ再現されているようである。

一方、 Δp の値については、前述のように、資料とした現実の台風の値よりも平均値は大きくなる傾向があり、今後この点について検討する必要があるが、各ボックスの中央において半径 20 km 以内を通過した台風について、 Δp の年最大値の再現期間50年の期待値を求めると Fig. 8 のようになる。この図においては、隣り合ったボックスの間での差が大きく、また、異なった乱数列を用いたシミュレーションによるものとの差も

大きい。これは、シミュレーションの期間が短過ぎることによるものであり、ある特定の場所のすぐ近く通過する台風の諸要素の再現期待値を問題にする場合には、本土上でのシミュレーション³⁾の場合と同じく、こ

Table 7. Comparison of mean values and standard deviations (S.D.) of Δp (mb) for boxes between sampled and simulated typhoons. The values for the boxes north of 35°N are excluded from the table.

| Latitude | Longitude | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|------|
| | 123~127°E | | 127~131°E | | 131~135°E | | 135~139°E | | 139~143°E | | 143~147°E | | |
| | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | |
| 23~25°N | Sample | 64.7 | 22.9 | 69.0 | 20.1 | 67.5 | 23.7 | 66.5 | 23.7 | 66.5 | 21.1 | 65.7 | 22.7 |
| | Simulation | 65.7 | 27.2 | 73.2 | 23.0 | 62.0 | 23.9 | 66.3 | 24.1 | 60.4 | 23.8 | 61.4 | 23.3 |
| 25~27°N | Sample | 62.0 | 20.6 | 59.5 | 17.5 | 63.7 | 18.8 | 58.8 | 18.0 | 55.6 | 15.9 | 55.3 | 17.2 |
| | Simulation | 64.4 | 25.6 | 56.6 | 26.6 | 61.9 | 26.2 | 61.8 | 25.2 | 56.9 | 24.2 | 54.1 | 21.0 |
| 27~29°N | Sample | 52.0 | 17.2 | 58.1 | 16.7 | 56.1 | 14.7 | 52.9 | 17.0 | 52.7 | 14.7 | 49.4 | 14.2 |
| | Simulation | 58.5 | 23.3 | 59.1 | 23.6 | 60.4 | 25.3 | 58.7 | 25.0 | 54.4 | 23.5 | 53.0 | 20.8 |
| 29~31°N | Sample | 50.5 | 14.0 | 61.0 | 17.6 | 51.9 | 13.4 | 47.7 | 15.8 | 49.1 | 12.8 | 44.7 | 10.7 |
| | Simulation | 56.1 | 21.8 | 56.0 | 22.3 | 58.5 | 24.0 | 57.5 | 24.3 | 52.3 | 21.1 | 52.1 | 19.9 |
| 31~33°N | Sample | 45.6 | 11.5 | 53.2 | 14.8 | 50.4 | 13.6 | 49.0 | 11.8 | 45.2 | 11.4 | 49.1 | 12.1 |
| | Simulation | 53.4 | 19.8 | 53.0 | 19.5 | 56.8 | 22.1 | 56.2 | 23.2 | 53.7 | 21.9 | 51.9 | 19.6 |
| 33~35°N | Sample | 38.8 | 6.0 | 44.6 | 10.4 | 44.6 | 12.0 | 46.7 | 11.9 | 41.8 | 8.8 | 44.8 | 9.4 |
| | Simulation | 49.6 | 17.0 | 48.1 | 17.4 | 51.4 | 18.5 | 52.5 | 18.9 | 52.7 | 21.8 | 52.4 | 19.4 |

Table 8. Comparison of mean values and standard deviations (S.D.) of translation speed ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) for between sampled and simulated typhoons. The values for the boxes north of 35°N are excluded from the table.

| Latitude | Longitude | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|------|
| | 123~127°E | | 127~131°E | | 131~135°E | | 135~139°E | | 139~143°E | | 143~147°E | | |
| | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | Mean | S.D. | |
| 23~25°N | Sample | 17.6 | 8.4 | 18.0 | 9.1 | 20.2 | 10.2 | 20.6 | 11.9 | 22.1 | 10.8 | 23.3 | 10.5 |
| | Simulation | 19.6 | 6.9 | 18.7 | 7.8 | 21.9 | 10.1 | 24.3 | 9.8 | 25.2 | 10.0 | 24.2 | 10.4 |
| 25~27°N | Sample | 19.3 | 8.5 | 20.6 | 11.9 | 21.9 | 12.8 | 25.9 | 13.5 | 25.2 | 12.8 | 20.5 | 10.8 |
| | Simulation | 17.3 | 5.5 | 19.2 | 6.2 | 22.6 | 9.0 | 28.0 | 9.6 | 28.0 | 12.0 | 22.7 | 11.1 |
| 27~29°N | Sample | 15.4 | 7.1 | 18.6 | 12.0 | 22.7 | 14.3 | 25.8 | 16.0 | 28.4 | 17.7 | 22.0 | 15.3 |
| | Simulation | 15.4 | 4.0 | 19.9 | 5.8 | 25.7 | 8.6 | 29.2 | 9.3 | 29.8 | 12.9 | 24.9 | 13.0 |
| 29~31°N | Sample | 17.5 | 9.3 | 19.7 | 11.3 | 28.7 | 16.3 | 32.3 | 21.2 | 35.1 | 21.4 | 28.7 | 19.0 |
| | Simulation | 17.4 | 4.3 | 20.0 | 4.7 | 28.5 | 6.9 | 32.1 | 9.2 | 30.9 | 13.9 | 29.3 | 17.2 |
| 31~33°N | Sample | 22.2 | 10.8 | 27.0 | 13.5 | 32.2 | 15.8 | 31.5 | 18.4 | 36.5 | 21.2 | 37.1 | 26.5 |
| | Simulation | 22.0 | 3.4 | 26.0 | 5.5 | 32.2 | 5.4 | 35.2 | 9.4 | 35.1 | 12.6 | 37.5 | 16.5 |
| 33~35°N | Sample | 30.8 | 13.3 | 41.1 | 18.8 | 41.3 | 17.5 | 46.4 | 23.4 | 32.8 | 22.0 | 45.2 | 28.2 |
| | Simulation | 30.8 | 5.2 | 37.3 | 5.5 | 38.7 | 6.4 | 39.8 | 8.5 | 40.5 | 10.4 | 42.0 | 13.7 |

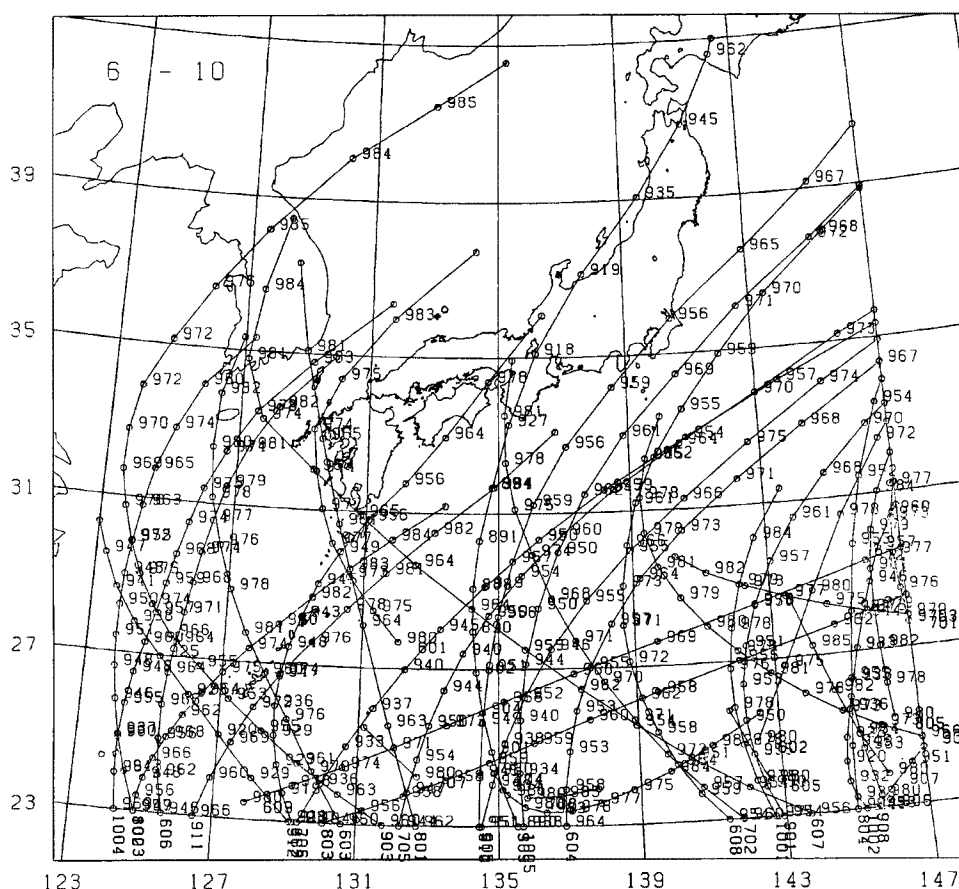


Fig. 7. An example of typhoon paths simulated for five years. “6-10” in the upper left hand corner indicates the period of simulation years. ○ indicates a center position at the 6-hour interval, and bold and fine figures denote a typhoon number and central pressure, respectively.

の期間を1000年くらいまで延ばす必要がある。

7. 結語

日本南洋洋上における台風に伴う強風の予測は本土及び南西諸島における種々の防災計画の立案の上で非常に重要な課題である。今回の確率モデルにより再現した台風の経路については、転向点を含んだ典型的な経路を比較的によく再現した。しかし、 Δp の値については、初期値は現実の台風の値をほぼ再現したが、その後において、現実の台風との差が大きくなっていったようである。今後、この点について検討し、現実の台風の Δp の変化がほぼ再現できるようにモデルの改良するとともに、以前にわれわれが試みた本土上陸後の気圧場の解析に基づく方法と結合させて、その利用価値を高める必要がある。さらに、南西諸島における観測資料を用いて、中心気圧から風速分布を求める方法を開発し、南方洋上における年最大風速の再現期待値の分布について調べ、広い適用範囲をもつモデルとして完成させる。

また、本研究と並行して進めている複雑な地形上における地表風の推算法についての研究⁹⁾を完成させ、本研究のモデルによるシミュレーションのプログラムと結合させて、同時に、本土の任意の場所において地表風を予測できるように発展させる予定である。

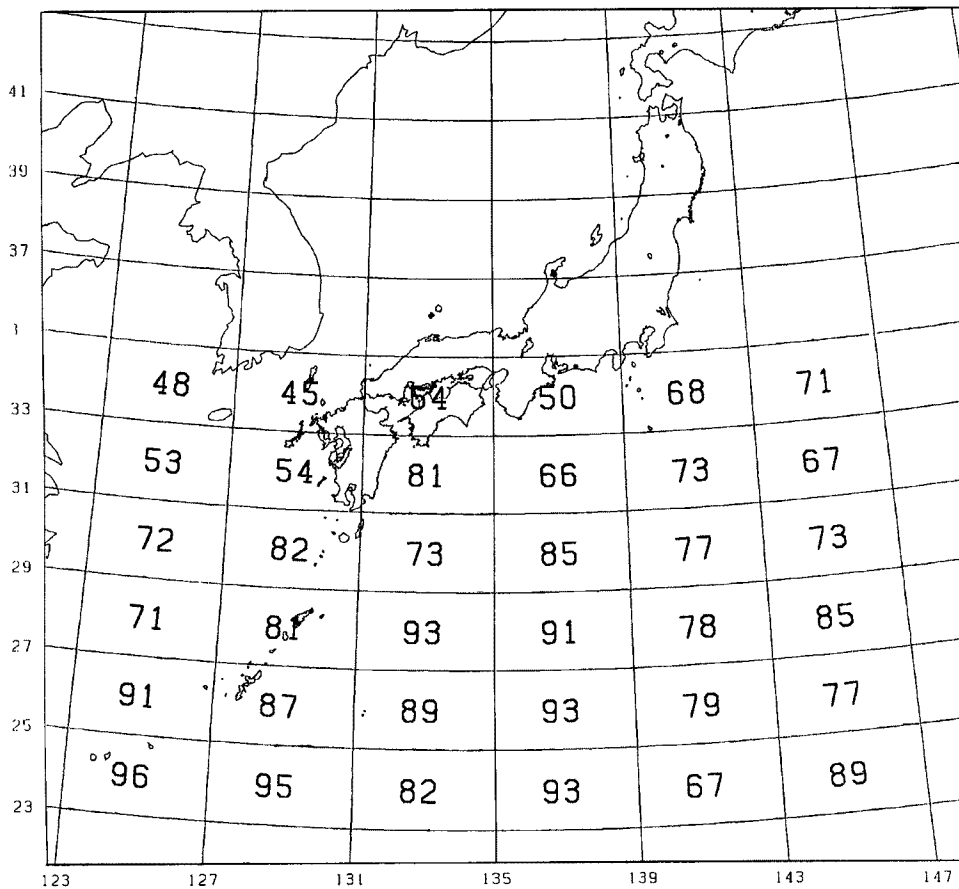


Fig. 8. The annual maximum values of Δp expected once during 50 years for typhoons passing through shorter than 20 km in distance from the center of a box.

参 考 文 献

- 1) 藤井 健・塚本 修・光田 寧：日本本土に襲撃する台風の統計的性質について，京都大学防災研究所年報，第28号 B-1，1985，pp. 463-473.
- 2) Mitsuta, Y. and T. Fujii : Analysis of typhoon pressure patterns over Japanese Islands (II), Natural Disaster Science, Vol. 8, No. 2, pp. 19-28.
- 3) 藤井 健・光田 寧：台風の確率モデルの作成とそれによる強風のシミュレーション。京都大学防災研究所年報，第29号 B-1，1986，pp. 229-239.
- 4) Mitsuta, Y. and T. Fujii : Synthesis of typhoon wind patterns by numerical simulation. Natural Disaster Science, Vol. 8, No. 2, pp. 49-61.
- 5) Mitsuta, Y. and T. Fujii : Analysis and synthesis of typhoon wind pattern over Japan. Bull. Disas. Prev. Res. Ins., Kyoto Univ., Vol. 37, 1987, pp. 169-185.
- 6) Hashino, M. and Y. Kuwata : Evaluation of concurrent characteristics of rainfall and storm surge by a stochastic typhoon model. Natural Disaster Science, Vol. 9, No. 1, 1987, pp. 79-97.
- 7) Schloemer, R. W. : Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okeechobee, Florida. Hydrometeorological Report, No. 31, 1954, 49pp.
- 8) 藤井 健・光田 寧：台風域内の強風と地形との間の統計的關係について一考察，京都大学防災研究所年報，第30号 B-1，1987，pp. 279-285.