

台風進路の予報システムについて*

気象庁 台風予報法開発ワーキング・グループ**

台風の予報，とくに進路予報は社会に及ぼす影響が重大なため，きわめて高い精度が要求されている．とくに最近は何県の××付近とか，〇〇の南 450 km の海上というように 10～20 km の精度が社会的ニーズであり，さらに正確な予想が要求されている．気象庁における従来のこの予報は，後述するように主観的な方法が大部分であった．社会的ニーズに対応するためにもこの予報の客観化と迅速化が火急の事項となったのは必然のことである．

このような背景から，1976年はじめ標記のワーキング・グループが結成され次項の開発にあたっているが，一応今までの成果と今後の課題について述べる．

- (a) 現行予報法の検討と，客観化および迅速化（電算機処理）を計る．
- (b) レーダーや気象衛星資料を含めて新しい予報法を開発する（移動のほか強度など）．
- (c) 各国における予報法を検討する．
- (d) その他．

このグループへの参加は自由であるが一応気象庁予報部内の次のメンバーで構成されている．すなわち山本常男を coordinator にして，青木孝，原達也，市沢成介，菊池慶喜，桐山一陽，正村敬三，三沢昌邦，野本真一 (associate coordinator)，大河内芳雄，清水正義，鈴木義男 (a b c 順) の12名である．

このグループ結成にあたっては，当時の予報課長と電計室長であった藤範晃雄と伊藤宏の努力に負う所が多く，その後の活動については内田英治（予報課長）と股野宏志（電計室長）のほか予報課と電計室の多くの方々の助言と検討をいただいている．さらに門脇俊一郎（気象大学校）と嶋村克（気象衛星課）には adviser の立場で協力をお願いしている（野本記）．

目 次

- 1. 野本真一 三沢昌邦（気象庁予報課）：“JMATEF 76” の概略…………… 1～ 6
- 2. 青木 孝（気象庁予報課）：PC 法による台風の進路予報…………… 6～ 9
- 3. 市沢成介（気象庁予報課）：空間平均法による台風進路予報…………… 9～12
- 4. 大河内芳雄（気象庁電計室）：力学的予報法……………12～15
- 5. 原 達也（気象庁予報課）：SNT 法による台風予報……………15～17
- 6. 鈴木義男 市沢成介（気象庁予報課）：1976年の台風予報の検証……………17～20

* On the Operational System of Typhoon Forecasting in Japan Meteorological Agency.

** The Development Group of Typhoon Forecast, JMA

1. “JMATF 76” の概略

野本真一* 三沢昌邦**

JMATF 76 (JMA Typhoon Forecasting System 1976 model) とは、気象庁で 1976 年に考案され開発中の台風予報システムの略称である。

このシステムは台風予報の客観化と電算機処理を主体とする operational forecasting システムで、1976 年夏から一部実用化している。このシステムの概要を述べる前に、その背景となる日本における台風進路予報法の歴史的推移およびアメリカ・ハリケーンセンター (NHC) の予報法の現状について述べるが、さらにくわしくは野本・岡村 (1976) を参照されたい。

1. 日本における台風進路予報法の推移とアメリカ・ハリケーンセンター (NHC) の予報法

JMATF 76 が開発されるまでに、日本でもいろいろな予報法が使用されて来た。ここでは現代の総観予報法が確立された 1930 年以降 (昭和年代) について述べる。予報法の発展過程は大ざっぱに言って、天気図解析時代、気象力学的概念導入時代、数値予報時代、統計的・力学的予報法時代と推移している。

(a) 天気図解析時代 (1930 年代から第 2 次大戦終結まで)

この時代は、日本が東南アジアや太平洋各地に気象観測所を設置し、地上観測網が最も充実した時代である。当時の台風予報法は地上天気図解析を主体とし、一部上層天気図解析を使用した総観予報法が全盛をきわめた。その概略については大道寺 (1946) がまとめているが、基礎的な概念は、(a) 台風は太平洋高気圧の周辺をまわって進む (現代流に言えば steering の概念) と、(b) 台風は気圧変化量の最大の地域に向って進む (Cyclogenesis の概念) という 2 つである。

(b) 気象力学的概念導入時代 (1946 年から 1950 年代の終わりまで)

第 2 次大戦の終結とともに米軍による飛行機観測の結果が入手できるようになり、これによって 1 日数回台風の正確な位置がわかるようになった。

この年代の予報法は steering と cyclogenesis の概念が基礎になっており、指向流法、相対発散法、thickness による法のように気象力学を基礎にした予報法が盛んに使用された。ただしこれらはすべて手作業で行なわれたが、1959 年気象庁に大型電算機が導入され数値予報の実用化とともに現業作業においては次第に姿を消した。

(c) 数値予報法時代 (1960 年代)

この年代は世界の先進国では大型電算機の導入によって、数値予報法および統計予報法が急速な進歩・発展をとげた。またレーダーや気象衛星資料の利用法も次第に体系づけられた。現行のバランス・バロトロピック・モデルによる進路予報や、Miller や荒川による地上または高層天気図を使用した統計予報法はこの年代に開発された。

この年代に開発された予報法は台風予報作業指針 (気象庁、1974) にまとめられており、現在でもそのまま使用されているものが多い。

(d) 統計的・力学的予報法時代 (1970 年代)

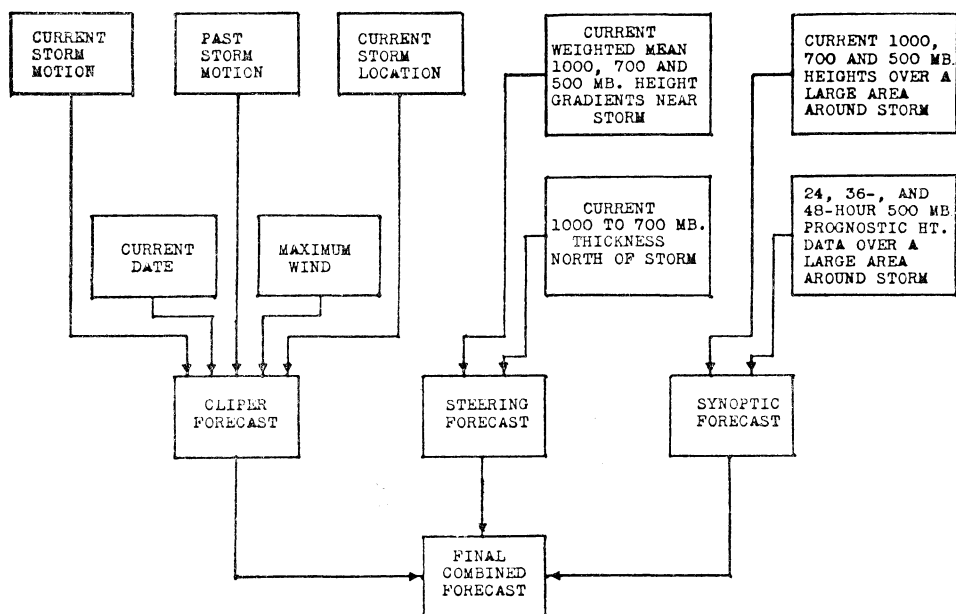
この年代は、バランス・バロトロピック法や空間平均法のように 1960 年代に開発された予報法が引き続き使用されているほか、MOS 法や Perfectprog 法に代表される統計的・力学的予報法が米国や日本で開発され始めた。なお 1970 年代の前半では総観気象学的な天気図解析や補外法を主体として、バランス・バロトロピック法、空間平均法、荒川の統計予報法が併用された。そしてこれらの大部分は手作業で判断は主観的な部分が多かった。

このような推移と客観化・迅速化を求める社会的ニーズの背景から、JMATF 76 の開発が必要なこととなったのはけだし当然のこととも言える。

アメリカ・ハリケーンセンター (NHC) では今までにいろいろな予報法が開発・使用されて来たが、現在は第 1 図で示すような NHC 73 システムと SANBAR と称する数値予報法が使用されている。これらの詳細は原論文または野本・岡村 (1976) を参照いただくとして、NHC 73 システム中の CLIPER はハリケーン運動の持続性と気候要因を予報因子とした統計法 (日本の PC

* S. Nomoto, 気象庁予報課

** M. Mitsuzawa, //



法とほぼ同じ), steering forecast はハリケーン近傍の 24 格子点における 高度の観測値を使用して steering の概念を基礎にした統計法, synoptic forecast はハリケーンを含んだ広域高度場の観測値および予想値を予報因子とした統計法 (日本の荒川法や SNT 法とほぼ同じ) である。SANBAR は日本のバランス・パロトロビック法と同じ方法であるが, ハリケーンの表現を流線で示していることと客観解析に重回帰式 (選別法) を取り入れていることである。

2. JMATHF 76 について

JMATF 76 は第2図で示すように最終的には4ないし5つの独立した予報法を総合したものである。それぞれの予報法はあとで別項目にしてくわしく述べるが、これらの予報法は現時点では最も有効と考えられ、しかも方法論的に予報法の基礎概念が異なるものである。

すなわち、PC 法は台風運動の持続性と気候学的特性だけを基礎にした重回帰式(選別法)による方法、空間平均法は特定の条件下における力学式を基礎にした Steering 法、SNT 法は主に数値予報による500mb 予想高度場を使用した重回帰法(選別法)、バランス・パロトロピック法は純然たる力学的予報法である。なお気象衛星の利用については現在開発の途についたばかりで、当分この予報システムには総合できない。

開発初年度である1976年は第2図の実線部分が完成し

実用に入っているが、2ないし3年のうちには気象衛星利用を除いた予報システムが完成する予定である。なお空間平均法とバランス・パロトロピック法は基礎理論が同じであり、将来両方法を併用するかまたは1つだけにするかは検討しなければならない。各予報法の総合は回帰法または判別法で行なう予定であり、補正法は前時間の予報誤差を単純に加減するか、またはカルマン・フィルター法を使用するか未定である。なおこれらは予報精度の検証と電算機を含めて作業量の検討によって決められる問題である。

1976年の台風の予報結果から得られた総合予報式（選別法による重回帰式）の1例は次のとおりである。

$$\Phi_{12}=0.72677(S\Phi_{12})+0.33564(P\Phi_{12})-0.04256(\bar{Z}\Phi_{12})$$

$$-2.75781 \quad (0.995)$$

$$\lambda_{12}=0.64968(S\lambda_{12})+0.22506(\dot{Z}\lambda_{12})+0.16805(P\lambda_{12})$$

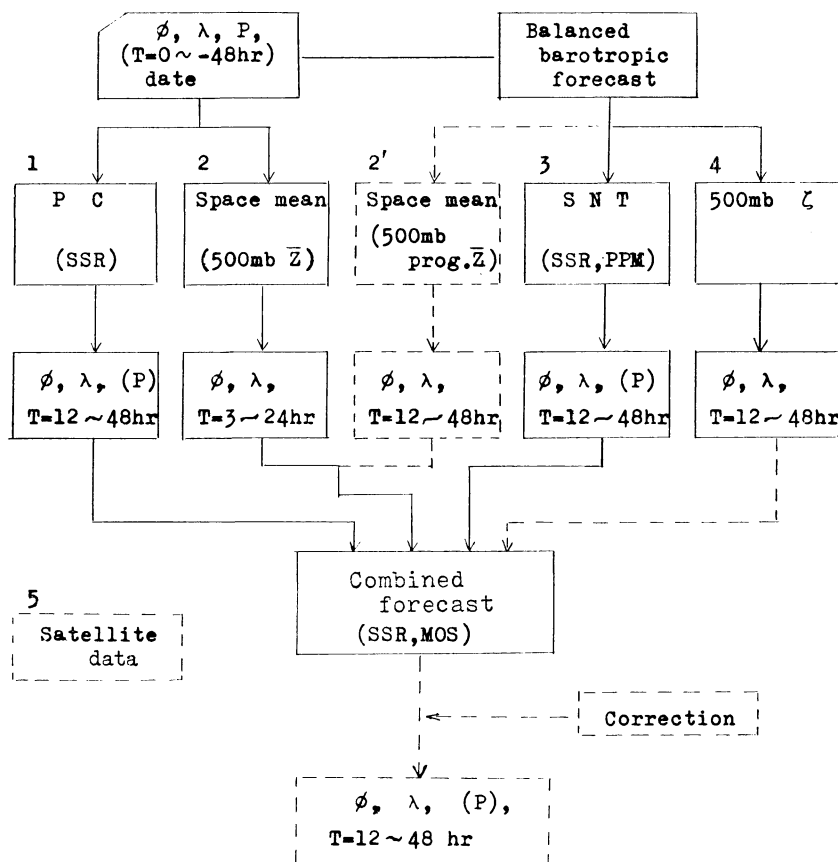
$$-9.59595 \quad (0.986)$$

$$\begin{aligned} \phi_{24} = & 1.01805(P\phi_{24}) - 0.23190(S\phi_{24}) + 0.09428(\bar{Z}\phi_{24}) \\ & + 35.0121 \quad (0.970) \end{aligned}$$

$$\lambda_{24}=0.52075(P\lambda_{24})+0.45908(\bar{Z}\lambda_{24})+0.01931(S\lambda_{24})$$

$$+1.23389 \quad (0.956)$$

ここで ϕ と λ は予想緯度と予想経度, $P\phi$ と $P\lambda$, $\bar{Z}\phi$ と $\bar{Z}\lambda$, $S\phi$ と $S\lambda$ はそれぞれ PC法, 空間平均法, SNT 法から計算される予想緯度と予想経度, 添字の 12 と 24 はそれぞれ 12 時間後および 24 時間後を示す, 単位は



第2図 JMATF 76 の流れ図

ϕ : 緯度, λ : 経度, P : 中心気圧, SSR: 重回帰式 (選別法), MOS: model output statistics, PPM: perfect-prog method.

実線は1976年夏から運用部分, 破線は1978年以降運用予定部分.

緯度は 0.1° , 経度は 100 位を除いて 0.1° である. この総合予報式の独立期間の検証は完全には済んでいないが, 解析資料による重相関係数は各式の末尾にカッコ内で示してある.

3. 計算スキームについて

この予報システムの最終的な構成と形状はまだ不確定の部分が多いが, 1976 年から一部実用している部分のフロー・チャートは第3図のとおりである.

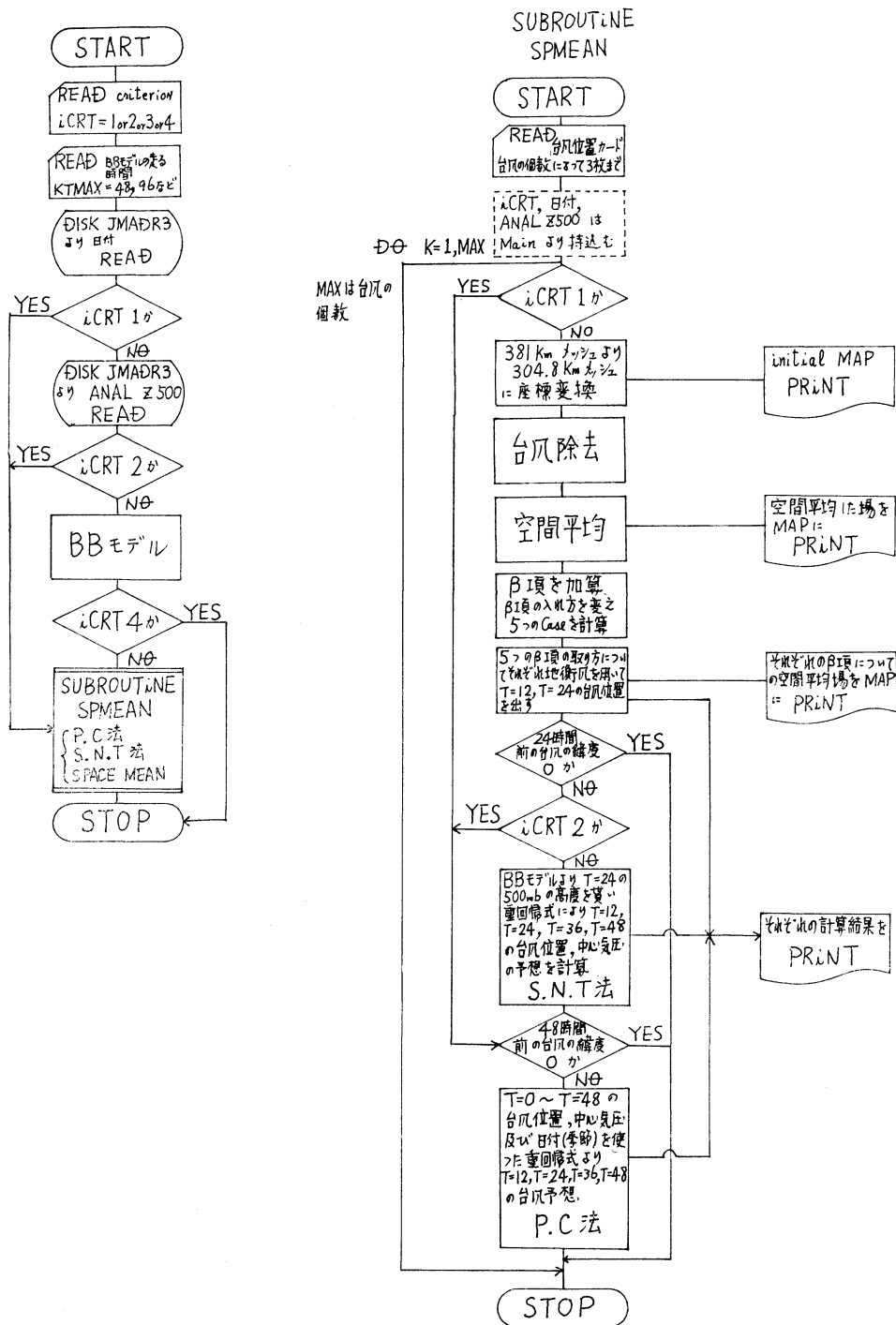
入力する要素は現在から12時間間隔で過去48時間までの台風の緯度, 経度, 中心気圧および年間一連番号にした日付で, フロー・チャートで示すように予報結果の出力は, (1) PC 法のみ, (2) PC 法と空間平均法のみ, (3) PC 法, 空間平均法, SNT 法, バランス・パロトロピック法の全部, (4) バランス・パロトロピック法の

み, の4通りとなっている. また台風の個数は3個まで同時に計算できる.

出力される予報結果は, PC 法と SNT 法による12時間ステップで向こう48時間までの, 空間平均法による3時間ステップで向こう24時間までの予想位置 (予想緯度と予想経度) である. 空間平均法では台風半径の違いにより生じる西進項に差があるため, 台風半径別の5つの空間平均図が出力され, それぞれの地衡風で流した3時間ごとの台風予想位置も出力される. なお PC 法と SNT 法では参考までに中心気圧予想値も計算されている.

4. 台風予報の将来展望

この予報システム開発の当面の目標は第2図で示すシステムの完成である. そしてこれはそれ程時間を必要と



第3図 JMATF 76 システムのうちで、1976年夏から運用している部分のフロー・チャート

しないでできるものと考えられる。

次の目標は中心気圧や最大風速を含めた強度の予報と、予報表示方式（現在は扇形で進路予報を表示している）の開発である。強度の予報は、これに対する理論的・実験的研究結果が基礎になるものであるから現在若干の統計的方法があるとしても、これらの研究の完成をまたなければならない。これに関しては山岬と井沢・門脇（1976）が解説しているような力学的研究や気象衛星利用法の開発が進めばある程度は可能となろう。当面の問題としては既往の調査・研究を整理して、これらを基礎とした統計的予報法を開発するのも1つの方法である。進路予報の扇形表示については純統計学的に取り扱った例もあるので（竹永・野本・鈴木ら, 1974, 1976）、客観化は可能である。

いずれにせよ、それ程遠くない将来において日本でも

アメリカ NHC と同程度の operational system が完成するものと期待している。

文 献

- 大道寺重雄, 1946: 台風の予報, 天気予報指針, 中央気象台, 23-27.
井沢竜夫, 門脇俊一郎, 1976: 熱帯低気圧の発生と台風観測, 気象研究ノート, 129, 65-189.
気象庁予報部, 1974: 予報作業指針その5, 台風予報, 182.
野本真一, 岡村存, 1976: 台風の進路とその予報, 気象研究ノート, 129, 191-236.
竹永, 野本, 鈴木, 小松, 中山, 市沢, 原, 1976: 台風進路予報法の統計学的検討, 研究時報, 28, 5・6 合併号, 209-221.
山岬正紀, 1976: 台風の構造と発達の方学, 気象研究ノート, 129, 1-63.

2. PC 法による台風の進路予報

青 木 孝*

1. はじめに

日本における台風の進路予報（以下では予報法と略記する）において、今から10数年前までは、主観的な類似法と補外法が重要な位置を占めていた。勿論これを否定するものではなく、気候学的性質を基礎にした類似法と、過去の運動の持続性を利用した補外法が、1日以内の短時間予報に有効であるのは、現在でも変わりはない。

持続性を基礎にした予報法としては Miller・Moore (1960) があり、これに類した方法は香港やグアム島で現用されている。日本でも最近まで、主観的補外法が現業作業において第1近似として使用されていた。気候学的性質を基礎にしたものには、アメリカ NHC の HURRAN (Neumann・Hope, 1970, 1972) やアメリカ・カリフォルニアの米海軍の客観的類似法 (Jarrell *et al.*, 1975) があり、さらに HURRAN を改善し、NHC では現在 CLIPER 法 (Neumann, 1972) を使用している。この CLIPER 法は大西洋のハリケーンを予報対象にしたもので、ハリケーンの過去の運動や気候学的要素を仮予報因子とし、選別法により作成した非線形

重回帰式による予報法である。

PC 法 (Aoki・Nomoto, 1976) は北太平洋西部の台風を対象としたもので、CLIPER 法とほぼ同じような方法であるが、基本的な考え方は、従来から日本で行われて来た「台風経路の気候学的性質を考慮した主観的補外法」の客観化を試みたものである。後述するように仮予報因子の選び方が CLIPER 法と異なる。なお PC 法の P は Persistency, C は Climatology の頭文字である。

2. 資料と作成方法

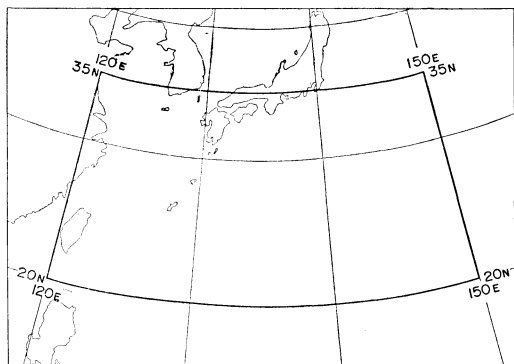
予報対象は第1図で示す範囲内の台風の運動であり、予報式は次の基礎資料を使用して、選別法により作成した重回帰予報式である。

解析期間は1951～1970年の20年間で、00および12 GMT における緯度・経度で示される台風の位置と中心気圧を基礎資料とした。

仮予報因子は次の48個で、これらは台風の現在および過去の状態を示すものばかりで、総観場を表わす要素や数値予報などにより予報される要素は全く含まれていない。

(a) 位置に関する因子 (10個)

* T. Aoki, 気象庁予報課



第1図 PC法の解析領域

現在と12, 24, 36, 48時間前の台風中心の緯度および経度。

(b) 台風の強度に関する因子 (9個)

現在と12, 24, 36, 48時間前の中心気圧と前12, 24, 36, 48時間中心気圧変化量。

(c) 速度に関する因子 (20個)

前12, 24, 36, 48に時間の速度の、方向と大きさ、東西成分と南北成分。および、これらの量の24時間前(前日)における前24時間の速度についての値。

(d) 加速度に関する因子 (8個)

前24および48時間の加速度の方向と大きさ、東西成分と南北成分。

(e) 気候学的な因子 (1個)

1月1日を1とし、年間通し番号で示した日付。

CLIPER 法は、仮予報因子として緯度・経度で示される現在位置、最大風速、日付、速度の東西・南北成分、前12時間速度の東西・南北成分の8個の基本的予報因子のほかに、この8因子の3次項(2乗および3乗したもの)まで計算したものや、それらを掛け合わせたものを仮予報因子に採用している。これらは単に算術操作により得られるもので、物理的にどのような意味があるのか疑問なものが多い。これに対して PC 法は、台風運動の持続性に寄与すると考えられる上記のような仮予報因子を採用している。気候学的因子として日付を採用したのは、台風経路の季節的变化は太平洋高気圧および偏西風帯の季節変化に影響されるという総観気象における経験的事実を基礎にしている。

3. 予報式の作成と若干の考察

上述の資料を用いて、12, 24, 36, 48時間先の緯度と経度を仮予報因子とした重回帰式を選別法で作成した。

この場合の有効項数は、寄与率(重相関係数の2乗)の増加が1%未満となったときの項数とし、そのようにならない時は最大項数は10個とした。

実用上の精度向上のため、予報式は月別に作成したが、月ごとの不連続が起らないように、解析資料は前後15日だけ重複させてある。すなわち7月の予報式の解析資料は6月16日から8月15日の台風を取ってある。資料数は7月が437(台風数77個)、8月が852(台風数115個)、9月が771(台風数115個)である。

得られた予報式のうち24時間予報についてのものを第1表および第2表に示す。これらの表で予報因子の順序は選別法で得られた順序であり、重相関係数はいずれの月も緯度が0.95、経度が0.97である。なお12, 36, 48時間予報式および参考までに作成した中心気圧予報式については記述を省略するが、JMATF 76の中にはすべて組み入れられてある。

第1, 2表を含めてすべての予報式の第1因子は台風の現在の緯度・経度であり、第2因子は前12時間の速度である。このことは単純補外法が台風進路予報に最も有効であることを示すものである。日付が上位因子に選ばれていることは、さきに述べた台風経路の季節的变化の寄与が大きいことを示すものである。さらに加速度や前24ないし48時間速度が選ばれているのは、これらが予報上きわめて有効であるという経験的事実に一致している。1つだけ興味があるのは緯度予報式に現在経度が、経度予報式に現在緯度がきわめて多く選ばれていることである。

4. 独立期間における検証

独立資料(1971~1974年)による検証結果を、予報値と観測値の平均平方差で示したのが第3表である。ほかの予報法との比較は後述されているが、PC法だけについていえば次のようになる。

(a) 短時間(24時間以内)ではきわめて有効と考えられるが、長時間(36時間以上)では短時間に比較して精度が低下する。

(b) どちらかといえば、経度よりも緯度のほうが精度がよい。

5. 予報式の計算方法

第1表および第2表の予報因子の記号は次のとおりである。

Lat: 緯度

Lon: 経度

Prs: 中心気圧

第1表 台風進路の24時間予報式（緯度）に選ばれた予報因子と係数。予報因子の記号は本文参照。

7 月		8 月		9 月	
予報因子	係 数	予報因子	係 数	予報因子	係 数
Lat ₀₀	1.050	Lat ₀₀	1.062	Lat ₀₀	1.106
V _{y-12}	-1.638	V _{y-12}	1.571	V _{y-12}	1.835
V _{x-12}	0.2992	A _{x-24}	0.3895	A _{x-24}	0.5455
Prs ₀₀	-0.01430	Prs ₀₀	-0.01023	Date	0.01734
Date	-0.02052	V _{x-24}	0.07914	V _{y-24~-48}	-0.2134
V _{y-24}	1.617	定 数	9.736	Prs ₀₀	-0.009451
Lon ₀₀	-0.02493			定 数	3.114
A _{y-24}	1.249				
定 数	18.586				

第2表 台風進路の24時間予報式（経度）に選ばれた予報因子と係数。予報因子の記号は本文参照。

7 月		8 月		9 月	
予報因子	係 数	予報因子	係 数	予報因子	係 数
Lon ₀₀	0.9578	Lon ₀₀	0.9596	Lon ₀₀	0.6277
V _{x-12}	1.639	V _{x-12}	1.693	V _{x-12}	2.343
Lat ₀₀	0.2011	Lat ₀₀	0.2374	V _{y-24}	0.3748
V _{y-48}	0.1604	V _{y-48}	0.1870	Lat ₀₀	0.2661
Date	-0.02605	Date	0.02239	Date	0.04380
A _{y-24}	-0.3769	定 数	-10.263	Lon ₋₃₆	0.3221
定 数	1.263			A ₋₄₈	0.2244
				定 数	-16.840

第3表 PC 法による台風進路予報の独立資料による検証（1971～1974 年）。予報値と観測値との平均平方差を度単位で示す。

予報時間 期間	緯 度				経 度				資料 数
	12	24	36	48	12	24	36	48	
7 月	0.7	1.6	2.6	3.6	1.2	2.5	4.3	6.1	90
8 月	0.7	1.5	2.6	3.8	0.8	1.9	3.2	4.7	106
9 月	0.8	2.1	3.7	5.2	1.0	2.4	4.5	6.8	52

V_x: 速度の東西成分
V_y: 速度の南北成分
A_x: 加速度の東西成分
A_y: 加速度の南北成分
|A|: 加速度の大きさ
Date: 日付番号

添字は次のような時間を表わす。

- 00: 現在
- 12: 前12時間
- 24: 前24時間
- 36: 前36時間
- 48: 前48時間
- 24~-48: 24時間前における前24時間

緯度・経度は度単位で表わす。経度については100を引いた値とする。たとえば、135.0度は35.0である。気圧の単位は mb とした。

速度に関する因子は次のように計算する。たとえば、前12時間の速度の東西成分（V_{x-12}）および南北成分（V_{y-12}）は、

$$V_{x-12} = \text{Lon}_{00} - \text{Lon}_{-12}$$

$$V_{y-12} = \text{Lat}_{00} - \text{Lat}_{-12}$$

によって求める。進行方向および進行速度は、風向・風

速とその東西成分・南北成分との関係と同じようにして、 V_{x-12} および V_{y-12} から計算する。

加速度に関する因子、たとえば前24時間の加速度の東西成分 (A_{x-24}) および南北成分 (A_{y-24}) は、

$$A_{x-24} = \text{Lon}_{00} + \text{Lon}_{-24} - 2 \text{Lon}_{-12}$$

$$A_{y-24} = \text{Lat}_{00} + \text{Lat}_{-24} - 2 \text{Lat}_{-12}$$

によって求める。加速度の方向および大きさは、速度の場合と同じようにして計算する。

文 献

- Aoki, T. and S. Nomoto, 1976: A statistical prediction of tropical cyclone position based on persistence and climatology (the PC method), J. Met. Soc. Japan, (to be published).
 Hope, J.R. and C.J. Neumann, 1970: An op-

- erational technique for relating the movement of existing tropical cyclones to past tracks, Mon. Wea. Rev., 98, 925-933.
 Jarrell, J.D., C.J. Mauck and R.J. Renard, 1975: Forecasting tropical cyclone motion over the northeastern Pacific Ocean by analog scheme, Mon. Wea. Rev., 103, 674-684.
 Miller, B.I. and P.L. Moore, 1960: A comparison of hurricane steering levels, Bull. Amer. Met. Soc., 41, 59-63.
 Neumann, C.J., 1972: An alternate to the HURRAN tropical cyclone forecasting system, NOAA Tech. Memo. NWS SR-62, 32.
 —and J.R. Hope, 1972: Performance analysis of the HURRAN tropical cyclone forecasting system, Mon. Wea. Rev., 100, 245-255.

3. 空間平均法による台風進路予報

市 沢 成 介*

1. はじめに

気象庁において台風の進路予報が力学的手法によって行なわれるようになってから久しく、現用しているこの種の手法の主なものとは 500 mb バランス・パロトロビック・モデルによるうず度追跡法と、500 mb 空間平均法の2種類が上げられる。ここでは1976年8月より台風予報の客観化の一環として、空間平均法を今までの手書きによる図式計算を電子計算機に計算させ利用するようになったので簡単な紹介をする。なお2, 3の台風についての計算を行なった結果、今後の改良を要する部分も出てきたのでそれらも含めて報告する。

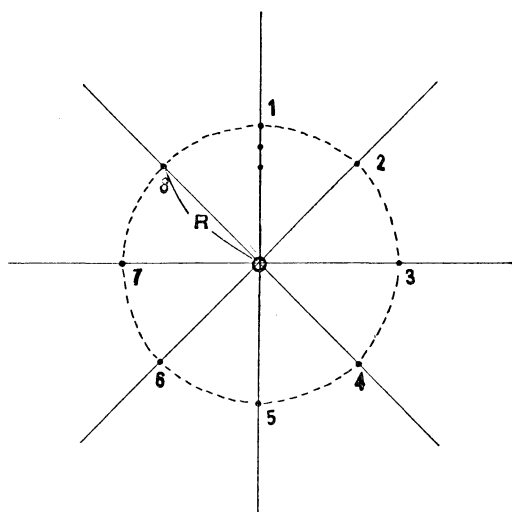
2. 空間平均法による台風予報の背景

空間平均法の基本的考え方は、「台風を移動させる一般場が短時間変化しないと仮定して、形も強さも変えない円形じょう乱は非発散の条件下で一般場によって流される。」という理論に基づく、台風と一般場を分離して予報する Steering 法である。

すなわち、非発散層として、平均的に台風の場を代表できる 500 mb 面を利用して、台風うずを解析図から分離して、空間平均操作により一般場を作る。そして与え

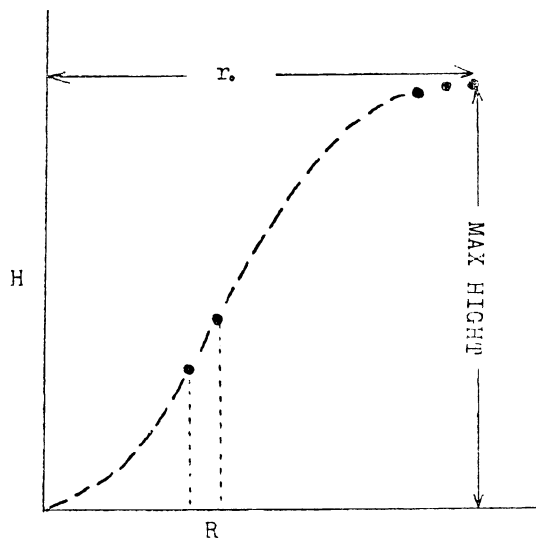
られた一般場に台風うずをのせて移動させる。台風の移動速度は、一般場+地球自転により生ずる β 効果 (西進項) で表わされる。

ここで問題となる点を上げれば、(イ) 進路予報期間

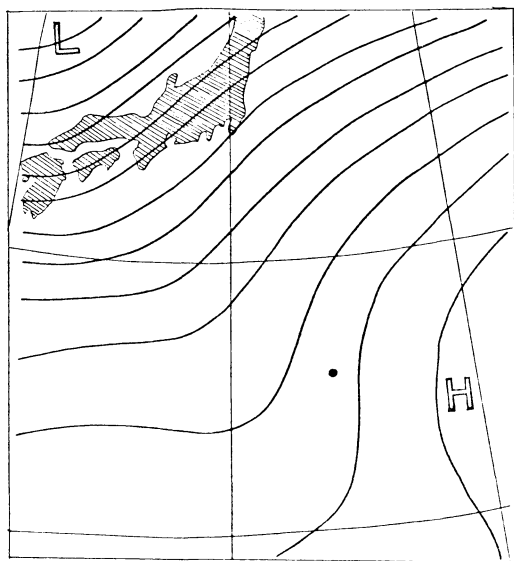


第1図 初期の解析図から台風半径の求め方。8方位の平均高度を求める。最大高度まで R を大きくしていく。

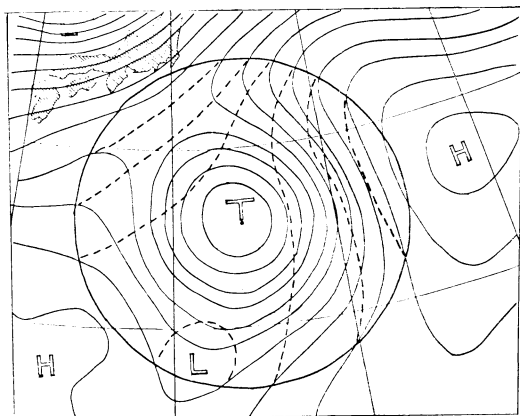
* J. Ichizawa, 気象庁予報課



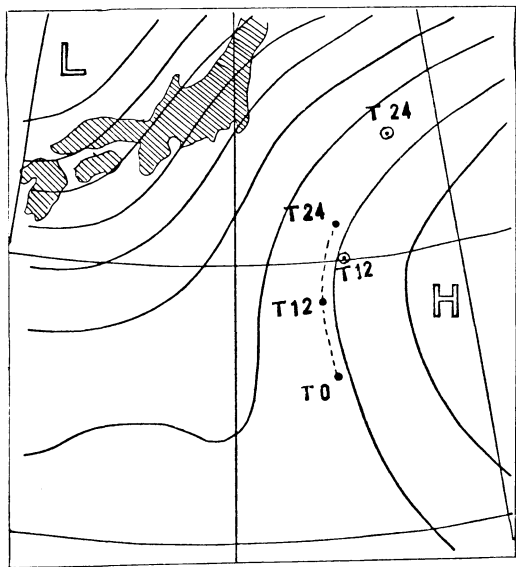
第2図 台風の平均高度分布。最大高度の R を台風半径 r_0 として最大高度からの差を解析図に加えて台風を抜く。



第4図 空間平均図。・印が台風的位置。



第3図 台風近傍の解析図(実線)から台風を抜き出した場(破線)。台風半径(太実線)。



第5図 β 効果を加えた予報図。・印が計算による12時間、24時間予報。◎印が実況の12時間、24時間の台風的位置(第2図からの計算例は1972年10月11日、09時台風7224 MARIEによる)。

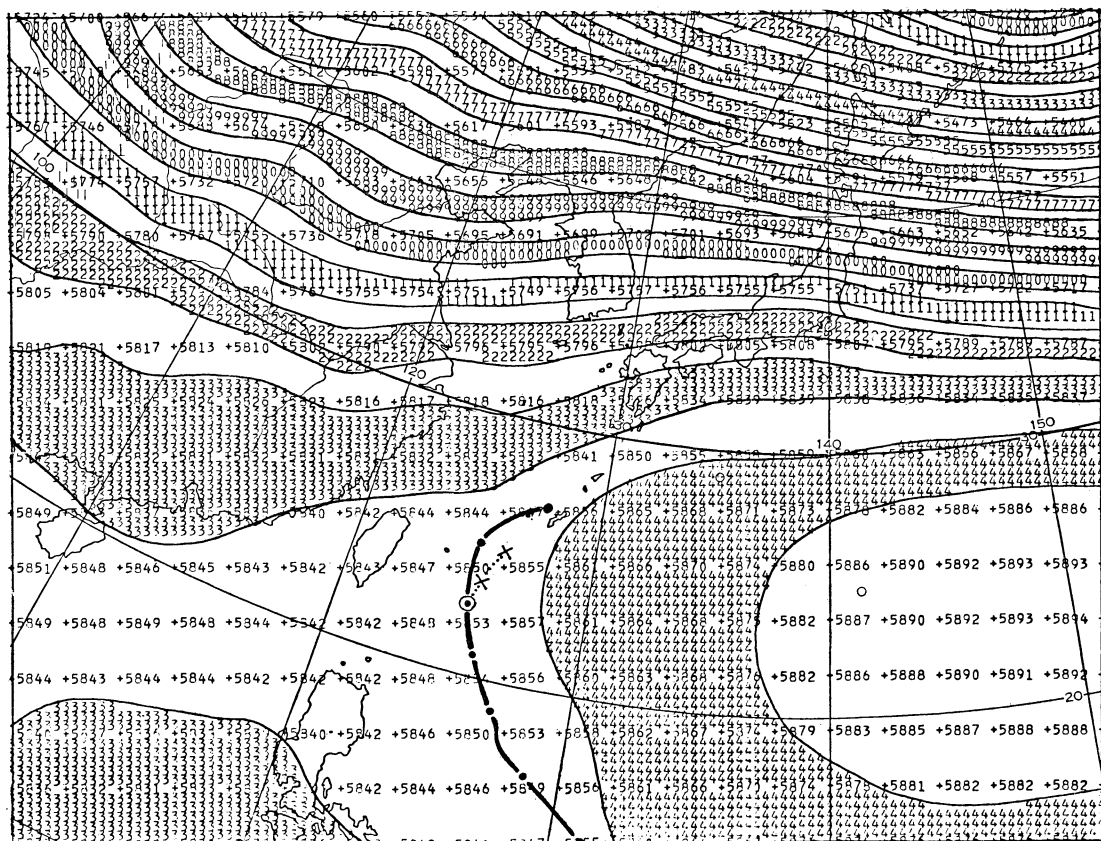
は一般場は短時間変化しないという仮定から短時間に限定される(現業利用に際しては24時間程度)、(ロ)台風の盛衰については予報の対象外となる、(ハ)非発散層として同一面を利用する、などがある。

簡単な紹介にとどめたので、理論的背景については、Nishimoto (1960)、藤範・福長 (1963)、竹永・嶋村

(1973)、中山 (1974)、野本 (1976) などを参照されたい。

3. 作成手順と資料

今回空間平均法の電子計算機利用に際してその手順を、従来気象庁の現業で行なわれていた図式計算法をそのままプログラムした。すなわち、



第6図 1976年10月9日21時 台風7623 LOUISE の出力例。太実線は台風径路。●予報時の台風位置。・は12時間毎。×および…は予報の12時間、24時間および径路。

(a) 500 mb 面高層天気図より台風そのものの大きさとして、台風半径 r_0 を求める。 r_0 は台風中心からの8方位平均高度の最初の最大値の表われた距離とする(第1図・第2図)。

(b) 求めた半径 r_0 の台風を抜き出した一般流の場を求める(第3図)。

(c) 台風半径 r_0 の格子で空間平均する(第4図)。

(d) コリオリ係数の緯度変化に基づく効果(西進項または β 効果)を加える(第5図)。

(e) 求めた等高線の走向と間隔から地衡風で台風の進路と速度を求める(第5図)。である。

計算格子として 304.8 km 間隔を利用しているが、台風中心の高度や平均操作時における任意の点の高度はベッセルの内挿式 $[Z = (Z_i + Z_{i+1})/2 + (D_x - 0.5)(Z_{i+1} - Z_i) + D_x(D_x - 1)(Z_{i+2} - Z_{i+1} - Z_i + Z_{i-1})/4]$ により周囲16点の格子の値から決めている。

次に初期値は 500 mb 面解析図を用いるが、これは、他の数値予報にも利用しているため台風中心の高度は計算不安定を起こさない程度に浅めてある。また台風近傍や太平洋域にはボーガス・データを入れて解析図の質的向上をはかっている。

β 効果の入れ方については現状としては台風半径に対応する大きさの前後2例を合わせて5例を計算して出力している。

最後に台風の速度の計算は、地衡風の式を用いて、左右 200 km の高度差から3時間間隔で行なっている。

4. 問題点と将来展望

台風7617号を始め数個の台風について予報を試みたが個々の予報例について見るといくつかの問題点が上げられる。ここにこれらの点の改良と空間平均法についての将来計画について述べる。

(1) 従来の手書きによる方法では解析者の主観の入る

余地が多く、台風除去や空間平均の際にスムーズ化を行なうが、計算機ではこれらの任意性が無く、台風を除去した一般場に乱れが生じて進路予報に影響を与えた例があった。これは解析誤差として許容される範囲内でもあり、この解消については台風域内のスムーズ化を試みる。

(2) 手書きにくらべて台風半径が大きくなる傾向がある。ここで問題となるのは台風半径を最大高度半径としている点であるが、これはうず度の0線の平均半径と最大高度半径との関係を多数例によって導びくよう努める。

(3) 速度を含め予報の将来計画

現在、地衡風を用いた、予報ポイントを計算しているが、結果として速度を十分に表現できない例が多く、また、 β 効果の扱い方についても今後の課題とするところである。

そこでまず、第1段階として、地衡風を使って前12時間の台風位置を計算して、実経路との方向や速度比を求めて、これを補正量として12時間ステップの予報に修正

を加える。この段階において β 効果の扱いは一本化する。第2段階として予報期間の延長のために予報図を用いた空間平均を行なってみる。ただこれに際しては予報図の精度など問題が多く、予報期間の延長が可能かを試みるものである。

文 献

- 藤範見雄, 福長光男, 1963: 中・小型の台風の進路予報について, 天気, 10, 159-164.
 中山 嵩, 1974: 電子計算機を用いた空間平均, 気象庁予報部, 予報作業指針, その5, 台風予報, 53-57.
 Nishimoto, S., 1960: A Dynamic Theory on the Displacement of a Circular Model Perturbation at the Non-divergent Level and its Application to Forecasting of the Displacement of Typhoon, J. Met. Soc. Japan. 38, No. 6, 305-313.
 野本真一, 1976: 台風進路の予報, 気象研究ノート, 129, 203-236.
 竹永一雄, 嶋村 克, 1973: 台風予報, 気象大学校, 昭和48年5月。

4. 力学的予報法

大河内 芳雄*

1. はじめに

現在、台風予報にはバランス・パロトロピック・モデル(BB)が使われている。BBについては、すでに多くの解説書もあり、特に台風予報に適用した例は伊藤・新田(1962)に詳しく、また藤原・岡村(1974)、野本・岡村(1976)等による解説もあり、詳細はこれらの文献を見ていただくとして、ここでは予報手順と検証結果について述べる。

なお毎日のルーチン・モデルである北半球4層ブリミティブ(NHP)、アジア6層ファイン・メッシュ(FLM)も台風を含めて予報しているので、これらの結果についても参考のため少しふれてみたい。

2. 予報手順

BBは最も簡単な数値予報モデルであるが、“絶対うず度保存”という大気の重要な性質に基づいており、台風

うず度を一般場のうず度と相互作用させながら予報してゆく方式である。

初期値は客観解析の500 mb 高度場を用いる。観測データの少ない洋上などでは、手描き天気図から読みとったボーガス・データを加え、特に台風付近は計算誤差を押えるため、実況よりかなり浅めた場に修正する。計算領域は一般場の大きな流れを考慮して北半球(格子数 51×51 , 格子間隔 $d=381$ km (60° N), ステレオ投影面)にとっている。

高度場 ϕ から流線関数 ψ を求めるには、増田(1970)の方式にしたがってバランス方程式

$$f(f\psi) + f\left[f^2\psi \cdot \nabla\psi - \frac{1}{2}f(\nabla\psi)^2\right] = f^2\phi \quad (1)$$

を緩和法を用いて解く。(1)の elliptic 条件

$$f^2\phi + \frac{f^2}{2} - f\psi \cdot \nabla\psi > 0 \quad (2)$$

をみたすようあらかじめ cutting 操作で高度場を修正し

* Y. Ookochi, 気象庁電計室

ておく。またモデルの制約から北緯 30°以南のコリオリ・パラメータは次のような補正を行なう。

$$f = 2 \Omega \sin \varphi + \frac{30^\circ - \varphi}{30^\circ} \cdot 2 \Omega \sin 15^\circ (\varphi < 30^\circ \text{N})$$

φ : 緯度, Ω : 地球回転の角速度。

流線場 ψ は小さな波を落とすため平滑化してうず度方程式

$$(\nabla^2 - \mu^2) \frac{\partial \psi}{\partial t} = J(\nabla^2 \psi + f, \psi) \quad (3)$$

を用いて時間積分する。ここで $J(\alpha, \beta)$ は, Jacobian operator, μ^2 は超長波の西進を抑えるための発散項をあらわす。

計算結果は12時間毎にうず度と流線場が出され, 予想進路は台風に対応した正うず度の中心を追跡して決められる。一般には, 始めはほぼ円形であった台風うず度は,

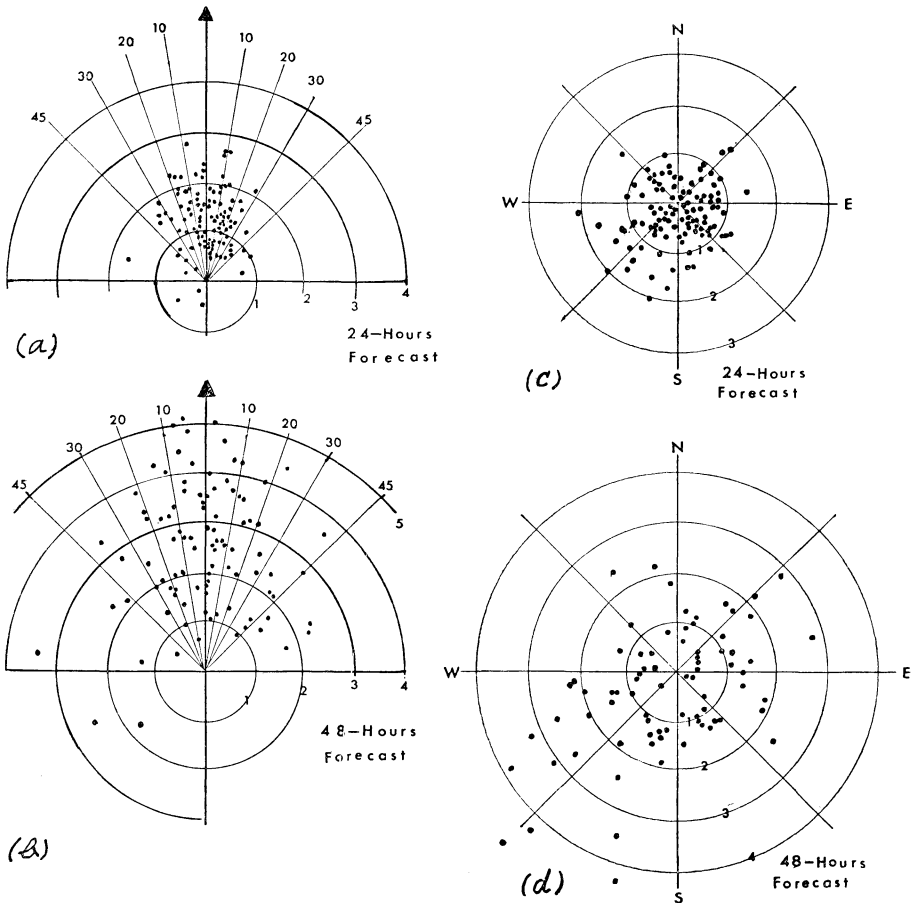
時間と共に変形し, 次第に台風の進行方向に長く伸びた形(ストレッチ現象)となり, 時に中心が不明になることがある。また小台風の場合もうず度中心の追跡が困難なことが多い。このような場合は, 経験的に正うず度域の先端がとられている。また地上台風の位置とうず度中心が最初から違っている場合は, 両者の相対関係が予報中も保たれているとみなして台風経路が決められている。

3. 検証

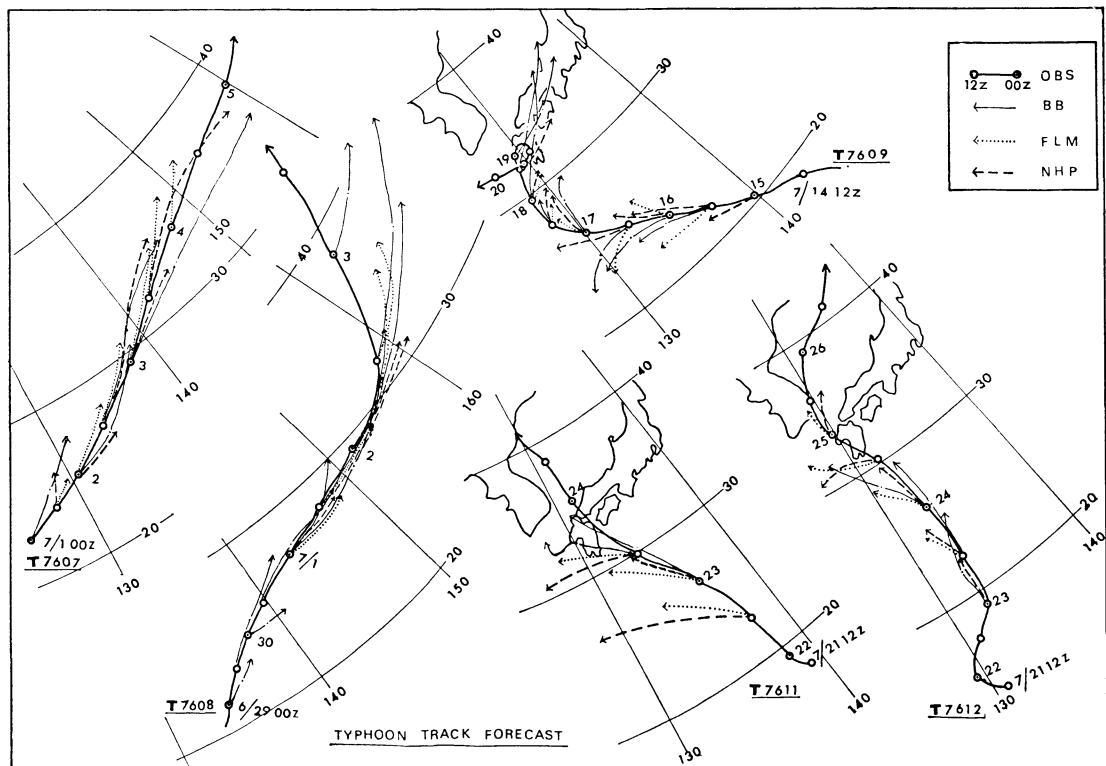
すでに伊藤・新田(1960)に詳しく, 竹永・野本ら(1975)により他の方法と対比した結果等が報告されている。

第1図は1969~1974間に計算された全例(34台風, 約100例)について調べたものである。

(a)・(b)は, 初めの台風中心を原点にとり, 実況



第1図 BB モデル台風予報検証図 (1969~1974)。



第2図 各モデルによる台風予報経路図 (1976年)。

の進行方向を矢印で、予報位置を黒点で示したものである。円は 1 grid 毎に描いてあり、黒点は移動ベクトルを示している。方向誤差は移動の大きなときは、比較的小さいようである。全体として、左右 10° 以内のものが 24, 48 時間でそれぞれ 45%, 35%, 20° 以内が 70%, 50% となっている。左へ 30° 以上ずれるのは主に 25° 以南で北上中の台風が多く、右へ 30° 以上はずれているのは殆んど転向点付近の場合である。

(c), (d) は、24, 48 時間後の実況の中心位置を原点にとり、予報位置を黒点で示したもので、移動誤差をあらわしている。24 時間予報では比較的良好いが、内容的には低緯度および転向点付近で約 30% が進み過ぎ、北上中および転向後では実況の 60~70% 程度の進みである。48 時間予報になるとかなり分散し、進行速度に関してはあまり期待できないようで、むしろ (b) 図に見られるように移動方向に利用価値がありそうである。

第2図は1976年の台風 7, 8, 9, 11, 12 号について得られた、各モデルの結果を示したもので、FLM, NHP の場合も BB と同じ方法で 500 mb のうず度中心を追

跡して求めた経路図である。太線は実況を示し、細線、点線、破線はそれぞれ BB, FLM, NHP の予報経路を示している。BB は 48 時間、FLM は 24 時間、NHP は 00 Z が 24 時間、12 Z が 48 時間先の予報を矢印で示している。

傾向としては、NHP は他のモデルより移動が小さく出ており、FLM は北上中のものが左側にそれる場合が多い。9 号の例で見られるように転向点・ループ性の場合、BB より多層モデルの方が多少良い傾向を示している。

全般的に見て、各モデルの差はあまりないようである。これは FLM, NHP が多層モデルではあるが、台風機構を維持する程の物理過程をモデルに組み込んでおらず、台風も一般の低気圧なみに取扱っているためで、初期値もスムーズ化して浅めたものを用いている。そのため台風の発達・衰弱に関しては殆んど無力であり、移動も BB とあまり差のない結果を示している。

4. 展 望

多層モデルにしても、台風機構をうまく組込んでいな

いと結果は必ずしも良くはならない。台風の物理過程については、かなり解明されており、すでに積雲対流のモデル化によって多くの成功が収められてきている。しかし、実際の台風に適用した例は少なく、今後の研究に待つ所も多い。

なお、ルーチン化に当たっては、計算量の消化と初期値作成の問題がある。

前者については、moving fine mesh (台風の移動に伴って fine mesh area を coarse mesh area の中で移動させる多重格子系) の利用 (Harrison, 1973; Jones, 1975 等) や、タイム・ステップを大きくとれる semi-implicit 法の併用 (Madala・Peacsek, 1975) などが考えられる。まだ問題がないわけではないが、今後の研究に期待したい。

後者に関しては、現在の観測データのみからルーチン的に適切な初期値を得るのは難しく、解析事実や2次元モデルの結果を用いて、台風パターンをモデル化する方法 (米国 NMC の準ルーチン、山岸米二郎氏談) などが試みられている。また、4次元解析の利用 (Anthes, 1974; Hovermale, 1976 等) も研究されており、将来気象衛星データの充実等とあいまって、より実際の台風初期値が得られるようになるであろう。

とにかく、台風の3次元モデルによる予報は、今出発点に立った状態で、今後の研究に待つ所も多いが、ルー

チン化への道も整いつつあるように思われる。

文 献

- Anthes, R.A., 1974: Data Assimilation and Initialization of Hurricane Prediction Models, *J. Atmos. Sci.*, 31, 702-719.
- 藤原滋水, 岡村 存, 1974: 台風進路の数値予報, 予報作業指針その5, 気象庁予報部.
- Hovermale, J.B., 1976: Data Sensitivity Experiments in a Four-dimensional Initialization procedure for a Hurricane Model, NMC, NWS, Comp Spring, Maryland.
- Ito, H. and T. Nitta, 1962: Typhoon Movement in the Balanced Barotropic Forecast over the Northern Hemisphere, *Proceeding of the International Symposium on Numerical Weather Prediction in Tokyo*, 309-327.
- Jones, R.W., 1976: Integration of a Tropical Cyclone Model on a Nested Grid, NOAA Tech. Memo. ERL WMPO-30.
- 増田善信, 1970: 北半球非地衡風バランス・モデル, 数値予報解説資料 (3), 気象庁予報部.
- 野本真一, 岡村 存, 1976: 台風の進路とその予報, 気象研究ノート, 129, 503-548.
- 竹永一雄, 野本真一, 小松 巖, 鈴木義男, 中山 嵩, 市沢成介, 原 達也, 1974: 台風予想法の補正の仕方, 精度の比較および扇形角度の検証, 予報作業指針その5, 気象庁予報部, 134-156.

5. SNT 法による台風予報

原 達 也*

1. はじめに

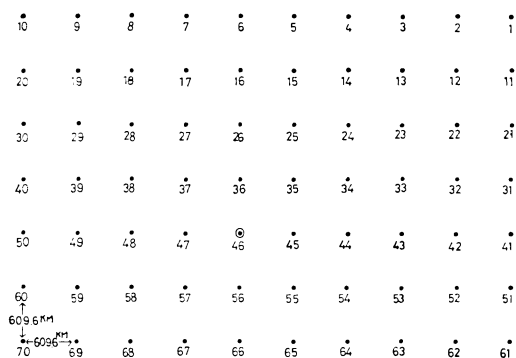
SNT 法とは Statistical Numerical (forecasting) Technique の略で、主に数値予報による 500mb 予想高度場を仮予報因子とし Perfect-Prog. 方式で選別法により作成した重回帰式による予報法である。

台風の進路予報に統計的方法を取り入れたものは世界各地にある。というよりも現時点ではかなりの部分が統計的方法であるといっても過言でない。このうち多変量解析法を適用したのは、Veigas *et al.* (1954) と荒川 (1961, 1964) が最初であろう。その後 Cook (1965),

Miller *et al.* (1966, 1968) などともこれらと全く同じ方法で予報式を作成している。これらの方法は、台風を含んだ一般場、例えば地上気圧分布や上層高度分布の観測値を仮予報因子に採用している。このため短時間の進路予報にはよいとしても、長時間 (36時間~72時間) の予報では一般場の変化の影響が大きくなり精度が低下するのは止むを得ないことである。

1970年代に入って数値予報の結果を統計的に処理して客観的予報法を確立しようとする考え方が米国や日本で現われて来た。いわゆる MOS 法とか Perfect-Prog. 法に代表される方法である。米国では、気温、降水確率、視程などの短時間量的予報では、これらの方法により開

* T. Hara, 気象庁予報課



第1図 SNT法における500 mb高度分布を表現するための正方格子点。台風の中心がNo. 46で、この格子網は台風の移動とともに移動する。

発された予報システムが既に実用に入っており、ハリケーン予報についてもつい最近この方法が導入された (Neumann・Lawrence, 1973, 1975)。即ち、NHC 73を構成する Synoptic Forecast の中では上層の高度観測値のほかは数値予報で得られる予想値が仮予報因子に使用されている。

日本でも Perfect-Prog. 法で SNT 法 (Nomoto *et al.*, 1974, 1976) が開発され実用に入っているが、本文はその概略を述べるものである。さらに詳しくは上記論文を参照されたい。

2. 予報式について

(1) 基礎資料と予報因子

1965～1972年9月 (ただし1966年は除外) の7年間に日本に上陸または接近したすべての台風 (48個) について、00Z の194例の台風の状態で500 mb 予想高度場を基礎資料とした。

仮予報因子は以下に述べる3つの種類から成る。

(a) 現在および過去の台風の状態 (15要因)

現在の状態として、 $\phi_0, \lambda_0, P_0, \Delta\phi_{-12}, \Delta\lambda_{-12}, \Delta P_{-12}, \Delta\phi_{-24}, \Delta\lambda_{-24}, \Delta P_{-24}$ 。過去の状態として、 $\phi_{-12}, \lambda_{-12}, P_{-12}, \phi_{-24}, \lambda_{-24}, P_{-24}$ 。ここで ϕ, λ, P はそれぞれ緯度、経度、中心気圧、 $\Delta\phi, \Delta\lambda, \Delta P$ はそれぞれの変化量 (現在-過去)、添字の0, -12, -24はそれぞれ現在, 12時間前, 24時間前を表わす。

(b) 気候学的な要因 (2要因)

平均転向点からの緯度差 ($\phi_0 - 28^\circ\text{N}$) と、月数で示した季節。

(c) 500 mb 24時間予想高度分布 (70要因)

台風の中心を原点 (格子 No. 46) とし、格子間隔 609.6 km の70格子点の予想高度値を使用した (第1図参照)。なお仮予報因子 $Z_i (i=1, 70)$ の i は第1図の格子点 i における予想高度である。

(2) 予報式の作成

予報対象は12, 24, 36, 48時間後の台風の位置 (緯度・経度) であるが、参考までに中心気圧も対象とした。

予報式は Perfect-Prog. 方式で選別法により作成し、寄与率 (重相関係数の二乗) の増加が0.05%以下になるまで要因を選んだ。なお P_{48} のみは0.05%では項数が多くなりすぎるので0.1%とした。

例として24時間の予報式を示すと、

$$\begin{aligned} \phi_{24} = & 2.238 \times \phi_0 - 1.27 \times \phi_{-12} - 0.245 \times Z_{26} + 0.1278 \\ & \times Z_{16} + 0.0955 \times Z_{44} + 0.0523 \times Z_{13} + 0.1146 \times Z_{56} \\ & - 96.9 \end{aligned} \quad (0.957)$$

$$\begin{aligned} \lambda_{24} = & 2.099 \times \lambda_0 - 1.167 \times \lambda_{-12} - 0.1422 \times Z_{25} + 0.2299 \\ & \times Z_{56} - 0.1028 \times Z_{26} + 35.7 \end{aligned} \quad (0.966)$$

$$\begin{aligned} P_{24} = & 0.6685 \times P_0 + 0.096 \times \phi_0 + 0.4486 \times \Delta P_{-12} \\ & + 0.0655 \times Z_{46} - 0.0189 \times Z_1 + 0.073 \times \Delta\phi_{-24} \\ & + 255.7 \end{aligned} \quad (0.889)$$

ここで ϕ は 0.1° 単位、 λ は 0.1° 単位で100を除く。 P は mb 単位、 Z は 5000 gpm を除いた100, 10, 1位である。また各予報式末尾のカッコ内の数値は解析資料による重相関係数である。

3. 予報精度

すでに述べたように、この予報法は24時間後の500 mb 高度予想分布図を使うことになるが、Perfect-Prog. 法で作成したため予報式の精度は次のようになる。

予報式の精度+予想天気図の精度

従って数値予報の精度の向上とともに台風予報の精度も向上することになるが、予報式本来の精度以上にはならない。なお、JMATF 76 ではバランス・パロトロビック予報による500 mb 予想分布図を使用した。

4. 問題点

(1) 前節で述べたように JMATF 76 では BB モデルによる予想値を用いている。500 mb 予想図としてルーチンに行なわれている北半球プリミティブ・モデルの予想値を用いる方法も考えられるが作業の都合上 BB モデルのものとした。

(2) 予報式は、12, 24, 36, 48時間とそれぞれ独立に作成されているため予報された点を結ぶとジグザグした線となったり、極端な場合にはループを描いたりする事

もあるが、現在のところ止むを得ない。もちろん予想位置がスムーズな曲線で示されることが必ずしも正しいとは限らないが、

(3) 解析資料が北上する台風が大部分であるため、予想位置は実況より北に片寄り易い。したがって西進する台風では精度が低下する。

文 献

荒川秀俊, 1961: 統計的数値予報法による伊勢湾台風の進路および中心気圧の予報, 研究時報, 13, 304-305.

Arakawa, H., 1964: Statistical Method to Forecast the Movement and the Central Pressure of Typhoon in the Western North Pacific, J. Applied. Met., 3, 524-528.

Cook, Chaepye, 1965: Statistical Prediction of Movement and Surface Pressure of Typhoon Centers which might hit Korea and her Neighbourhood, J. of Korean Met. Soc., 1, 23-27.

Miller, B.I., and P.P. Chase, 1966: Prediction of Hurricane Motion by Statistical Methods, Mon. Wea. Rev., 94, 399-406.

——, E. C. Hill and P. P. Hope, 1968: A

Revised Technique for Forecasting Hurricane Movement by Statistical Method, Mon. Wea. Rev., 96, 540-548.

Neumann, C.J. and M.B. Lawrence, 1973: Statistical-Dynamical Prediction of Tropical Cyclone Motion, NOAA Tech. Memo. NWS SR-69, 35 pp.

—— and ——, 1975: An Operational Experiment in the Statistical-Dynamical Prediction of Tropical Cyclone Motion, Mon. Wea. Rev., 103, 665-673.

野本真一, 竹永一雄, 原 達也, 1974: 500 mb 高度予想図による進路予報法, 予報作業指針その5, 気象庁予報部, 70-76.

Nomoto, S., K. Takenaga, M. Shimamura and T. Hara, 1976: A Statistical Prediction for Typhoon Movement Using Numerically Forecasted Data as Predictors, J. Met. Soc. Japan, 54, 99-104.

Veigas K.W., R.G. Miller and G.M. Howe, 1959: Probabilistic Prediction of Hurricane Movement by Synoptic Climatology, Occasional papers in Meteorology, No. 2, Travelero Weather Reserch Center, Hontford, 54 pp.

6. 1976年の台風予報の検証

鈴木 義 男* 市 沢 成 介**

1. はじめに

これまで行なわれた台風の進路予想の検証は、浅野ら(1973)、竹永・野本ら(1974)、竹永・野本・鈴木ら(1976)、市沢(1975)らによってなされ、気象庁から発表される進路予報や各予想法の予報精度が示されている。

ここでは台風進路予報の客観化の1つとして、1976年に新しく開発され実用されている JMATF 76 と、これを構成するそれぞれの予報法の独立資料による精度について述べる。なおバランス・パロトロピック予報については、すでに大河内が述べたのでここでは述べない。また1976年の台風期の終わった時点で作成した重回帰式による最終的な総合予報についても検討を行なった。

2. 検証に用いた資料と検証方法

(1) 検証に用いた資料

1976年8月～11月にかけ比較的日本とその海域に近づいた台風7613, 7615, 7616, 7617, 7622, 7623の6個の台風21例を用いた。このうち9月に現われた7617は、カロリン諸島に発生した弱い熱帯低気圧が北西進し、9月6日マリアナ諸島の25°N付近に達して台風となった。この後、南西諸島近海に接近し北向きに進路をとるまでは秋台風の代表的なコースを通った。しかし九州南西海上に達した頃から1日半も停滞し、その後九州北部を経て偏西風に乗り日本海へ進み、寒冷低気圧に巻きこまれて温帯低気圧になったもので、異常経路を通った台風である。この他、7616は日本のはるか南東方の20°N以南の低緯度を西進、7613は台湾付近から大陸に向かって西進したもの、また7622, 7623は比較的低緯度(25°～23°N)で北東進したケースで、かなり多様な経路のもの

* Y. Suzuki, 気象庁予報課

** J. Ichizawa, //

のを扱った。

(2) 検証方法

JMATF 76 では予想位置は $T=12, 24, 36, 48$ (ただし $\bar{Z}$ 法は $T=12$ と 24 のみ) が計算されているが、ここでは $T=24$ の予報値の PC, SNT, $\bar{Z}$ 法および総合予報 (final combined forecast) の 4 方式につき予想位置のばらつきを示す標準誤差 ($\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$) を求め、また総合予報以外の 3 方式については方向差と速度比を検証した。

方向差は台風の現在位置 ($T=0$) を原点とし、この原点と T 時間後の観測位置を結ぶ実際の進行方向と、原点と予想位置を結ぶ線とのなす角度差 (θ°) を測定した。また、速度比は予想速度/観測速度の百分率で求めた。この方法によると、角度が大きくなれば速度が小さければ当然変位は小さくなり、大きくはずれたというイメージがなくなる。元来は方向差 0° 、速度比 100% を原点として、その点からのベクトル差をもとにして検討する方法が实际的であるが、はずれの大きさを数字で統計するのと補正法作成のためには角度差と速度比を分離して処理する方が便利である。

3. 各予想法の検証結果

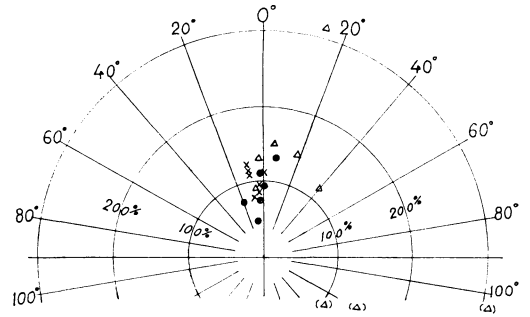
(1) 平均的な予報誤差

1976年の4個の台風7613, 7615, 7616, 7617の19予報例の検証結果は第1表(カッコ内は1974年の値)のとお

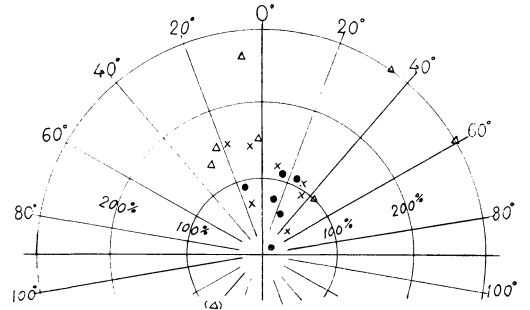
第1表 $T=24$ における各予想法の標準誤差
(単位は度)。

	$\Delta\varphi$ (緯度の標準誤差)	$\Delta\lambda$ (経度の標準誤差)
PC	1.6	2.0
SNT	2.2 (1.7)	2.4 (1.5)
$\bar{Z}$	2.4 (1.6)	2.1 (2.1)
総合予報	1.4	1.4

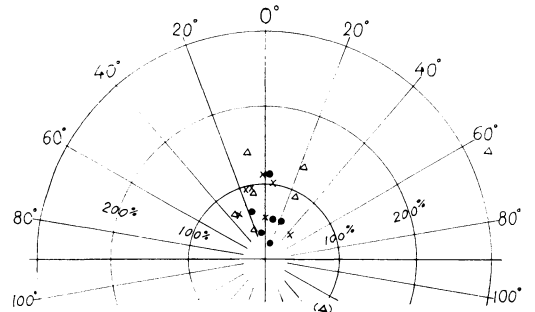
りである。この結果は1973, 1974年の検証例 (Nomoto *et al.*, 1976) よりも精度が低下しているが、その原因は対象とした台風が異常経路や低緯度のものが多かったためと考えられる。ここで総合予報はそれぞれの予報結果を MOS 法による重回帰式によって総合して求めたものである。第1表によれば、各単独の予想式の精度は PC が最もよく、 $\bar{Z}$ と SNT は同程度である。また、これらを総合して求めた総合予報は極めて改善されている。ただし総合予報は解析資料についてのものであるか



(a)



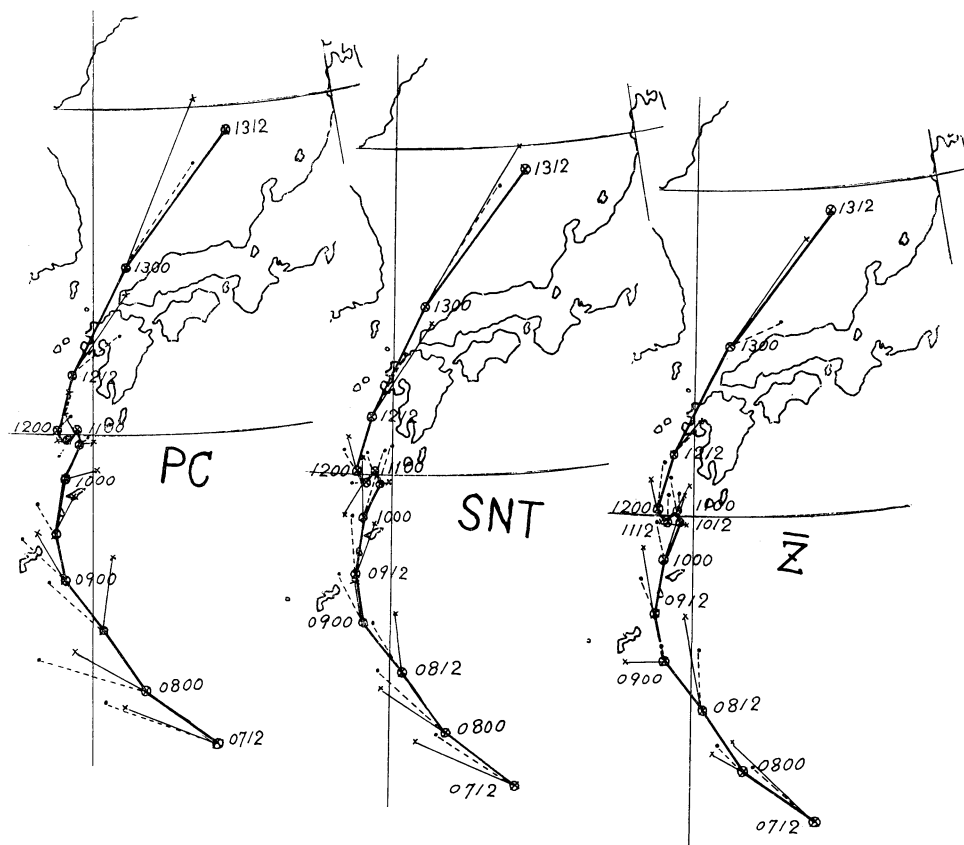
(b)



(c)

第1図 方向差と速度比の分布図。

(注) (a) 図は PC, (b) 図は SNT, (c) 図は $\bar{Z}$ をあらわし、図中 $\times$ は西進する台風、 Δ は転向中 (停滞を含む) の台風、 $\bullet$ は北東進する台風を示す。また、方位角 0° 、速度比 100% の交点が実際の台風中心位置であり、予想位置が 0° 線 (実際の進行方向) より右 (または左) にあれば予想は右 (または左) に偏り、予想点が 100% 以下 (または以上) ならば実際より遅い (または速い) ことを示す。



第2図 3 予想法の12時間毎の予想位置と誤差補正をほどこした予想位置。

(注) 太実線：台風の真の経路

⊗1212：観測した台風の中心位置と日時 (Z時)

点線：補正をほどこさない予想経路

細実線：補正した予想経路

ら、独立資料では若干精度が低下するかも知れない。

(2) 予報誤差の傾向

1976年における上記の4個の台風に7622, 7623を加えた6個についての21例につき、PC, SNT, $\bar{Z}$ の $T=24$ の方向差と速度比の検証結果が第1図である。

定性的ではあるが第1図によると、各予想法別には精度はPCが最もよく、SNTと $\bar{Z}$ はほぼ同じ程度である($\bar{Z}$ の速度は特に遅すぎる傾向がある)。また精度を状態別にみると、転向中(△)はばらつきが大きく、3方法とも方向・速度ともに精度は悪い。西進する台風(×)については、PCがよく(方向は最大10°左偏し右には偏らず平均速度はほぼ120%でやや速すぎる)、SNTが最も悪い。北東進中のもの(●)は、PCが最

もよく(方向差の最大30°, 速度比平均ほぼ90%), 次いでSNTとなり、 $\bar{Z}$ が最も悪い。

また転向時を除くと、方向差は3方式とも左への偏りは最大20°であるが、右への偏りは大きくばらついているのが注目される。次いで転向時の精度の悪い状況を見ると、減速直前から加速する間は特にむづかしい。しかし、PCは停滞をはじめて36時間後の $T=24$ 予想では、方向差(40°), 速度比(120%)の表現はよくなっている。

(3) 前時刻の予想値によって補正した場合の予報誤差
12時間前($T=-12$)の予想値と観測値($T=0$ における位置)の差を、 $T=0$ における予報に加減して求めた12時間後($T=12$)の補正予想値の標準誤差は第2表

第2表 12時間予報についての各予報法による予想値と補正予想値の標準誤差. 単位は度.

$\Delta\phi, \Delta\lambda$ 予想方式	$\Delta\phi$ (緯度の標準誤差)		$\Delta\lambda$ (経度の標準誤差)	
	補正前	補正後	補正前	補正後
PC	0.86	0.63	0.80	0.38
SNT	0.68	0.59	0.59	0.66
$\bar{Z}$	0.95	1.07	0.64	0.68

のとおりである.

第2表は台風7617についての7日00Z~13日12Zの12予報例によって求めたもので, 各単独の予想方式をみると, PCは $\Delta\phi, \Delta\lambda$ とも補正した方がよい. SNTは変化量の北分($\Delta\phi$)については補正した方がよいが, $\bar{Z}$ は $\Delta\phi, \Delta\lambda$ とも補正しない方がよいことを示している. しかし例数が少ないうえ, 台風が異常経路をとっていることなどを考えると, この結果が妥当かは疑わしい. 今後さらに資料を蓄積し検証を試みたい. なお, 24時間予想値についても同様の検証を行なったが, 例数が少なく確かな傾向は得られないので記述は省略する. 第2図に各予想法の12時間毎の予想位置と補正した予想位置を示す.

4. 検証に関する今後の課題

今まで述べた予報精度は, 対象とした台風が異常経路や低緯度を西進したものが多かったため, 比較的悪い結

果が出ているが, もう少し長期間について統計しないと確かなことは結論できない. 予想精度検証の目的は, その予想法の精度の限界や傾向を知ることのほか, 妥当な補正法を確立することである. このため当面の問題として次のことが考えられる.

(1) 最終の総合予想を含めた各予想法について, いろいろな場合の補正値を求め, これを予報システムに組み入れる.

(2) 単に予想値と観測値の差を加減するだけでなく, たとえばカルマンフィルター法のような統計理論に基づいた補正法を確立する.

文 献

浅野, 山崎, 白井, 竜田, 1973: 台風の進路予想の精度, 研究時報, 25, 451-465.
市沢成介, 1975: 台風予報の現状について, 天気, 22, 281-286.
Nomoto, S. et al., 1976: A Statistical Prediction for Typhoon Movement Using Numerically Forecasted Data as Predictors, J. Met. Soc. Japan, 54, 99-104.
竹永他, 1974: 台風予想法の補正の仕方, 精度の比較および扇形角度の検証, 予報作業指針その5, 台風予報, 気象庁予報部, 134-156.
竹永, 野本, 鈴木, 小松, 中山, 市沢, 原, 1976: 台風進路予報法の統計学的検討, 研究時報, 28, 209-221.