

颱風路徑客觀預報方法之進一步研究*

陳 毓 雷 鮑 學 禮

Further Study on Prediction of Typhoon Movement by Statistical Method

Yu-lei Chen, Hsiao-li Pao

ABSTRACT

Screening regression technique used in the prediction of typhoon movement has had considerable success in the experiment of NSC-72. The authors were thus prompted to further the study by broadening the developmental data both in sample size and the inclusion of more sophisticated predictors. Moreover, typhoons are classified into 3 categories according to the speed, namely normal, fast and slow ones, each category being analyzed separately to obtain its own forecasting equation set. The resulting equation sets NSC-74 (named after the sponsor) are presented in this paper.

Verification by independent data on NSC-74 shows that the new method is capable to reduce the error for normal and slow typhoons, but the improvement over NSC-72 in absolute value is not significant, due presumably to the increase of dispersion with the increasing amount of original data. Suggestions and prospect about this method are also given as a conclusion of this paper.

一、前 言

自一九五八年 R. G. Miller 首次提出選擇迴歸法可以應用於氣象預報之概念，並經與 Veigas 等在一九六一、一九六二年試驗颱風路徑預報後，迄今十二年間美國以此從事颱風路徑客觀預報之研究廢績不斷。一九六四年之 NHC-64 方法乃以實用觀點首次完成之預報方程組，主其事者為美國國家颶風研究室 (NHRL) 之 B. I. Miller 與 P. P. Chase 兩氏，經兩年之實地試用，效果良好，校驗其準確率較所有其他單項之客觀預報方法為高。乃於一九六七年再加改進而獲修正後之新方程組。NHC-67。校驗結果準確率復有增進。該次改進之重點係對路徑不正常之颶風細加劃分，重新分析，俾獲得適於各該類颶風

之預報方程組。其後，Miller 等二氏又在一九七二年發展成 NHC-72，其目的在於下列三端：原始資料之更新，預報時限延伸至72小時，與其他客觀方法之配合運用，相互修正。

作者考慮西太平洋地區之氣候學特性及實質問題（例如觀測精確度等），於一九七二年採用上述統計方法處理本區之颶風資料而獲得一組預報方程，為太平洋區颶風預報之首次嘗試，緣此項研究之經費由國科會支援方得有成，故定名為 NSC-72。此方法經獨立資料校驗，並承中央氣象局實地試用於民國六一、六二兩年颶風季內之實例後證明效果甚佳。例如中央氣象局對同一實際資料55次颶風以三種不同預報方法試用結果，其24小時誤差分別為：NSC-72 方法 76 哩，香港謝氏客觀方法 82 哩，該局主觀預報 92 哩

* 本文承國科會之補助得以完成。

。可證此方法對獨立資料之穩定性頗高，合於日常預報業務之應用。

然而當初因係初度實驗，且本法在技術上言最大之困擾乃需用電子計算機記憶容量過於龐大，國內尚無適當機種可資配合之問題。雖可設法解決，而機器用時過多，又涉經費問題；是以在資料蒐集、預報因子之種類及數量均受限制，亦不敢隨意作多種方式之迴歸分析。NSC-72 方法既獲初步成功，乃考慮作進一步之試驗；其目的在增加新資料及新預報因子重新分析，並針對上次檢討缺失加以改良，並作多樣性之分析試驗。

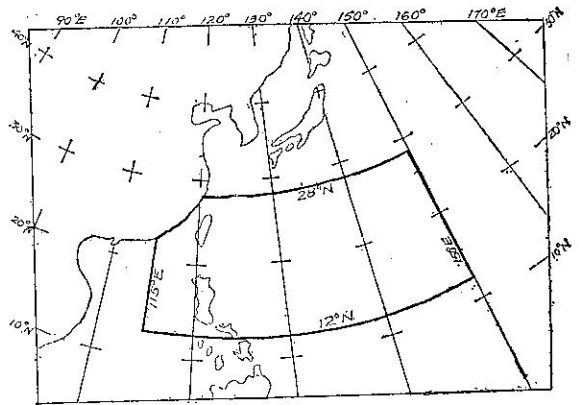
本研究自一九七四年度開始進行，故其結果稱之為 NSC-74。

二、NSC-72 方法概述

NSC-72 方法係根據一九五九至一九七〇年共十二年之颱風資料加以整理後，採用選擇迴歸法所構成之九個預報方程。因此次 NSC-74 方法之基本方法及規定等均與 NSC-72 法相同，故本節先予介紹。至於詳細之敘述，包括選擇迴歸法之統計原理，預

報方程組之實際內容等請參閱刊於民國六十二年國科會研究彙報第六期之「颱風移動路徑及強度之客觀預報」研究報告全文。

十二年內之颱風資料共計 545 次，皆採於 150°E 以西、12°N 以北、28°N 以南、115°E 以東之地域範圍內，如圖一。



圖一 颱風個案原始資料地域範圍

Fig 1 Location of typhoons used as developmental data in this paper.

表一、候選預報因子之意義及數量
Table 1. 169 predictors used in last experiment NSC-72.

第一類			第二類		
符號	定 義	數目	符號	定 義	數目
P ₁	地面氣壓 (mb)	34	Z _{v8}	颱風中心上空 (500mb) 經向導流 (m)	1
H ₁	700mb 高度 (m)	32	Z _{u4}	颱風中心上空 (500mb) 緯向導流 (m)	1
Z ₁	500mb 高度 (m)	36	Z _{u1}	颱風中心北邊 (500mb) 緯向導流 (m)	1
TH ₁	700-500mb 厚度 (m)	21	H _{v6}	颱風中心上游 (700mb) 緯向導流 (m)	1
DP ₁	P之廿四小時變化量 (mb)	3	H _{u4}	颱風中心上空 (700mb) 緯向導流 (m)	1
DH ₁	H之廿四小時變化量 (m)	22	DZ ₈	颱風以西 500mb 平均高度 (m)	1
DZ ₁	Z之廿四小時變化量 (m)	10	DZ ₆	颱風西北 500mb 平均高度 (m)	1
			CDH	颱風上空 700mb 高度變化之梯度 (m)	1
			Y ₋₁₂	過去十二小時颱風中心之南北位移 (n. m.)	1
			X ₋₁₂	過去十二小時颱風中心之東西位移 (n. m.)	1
			ΔP ₋₁₂	過去十二小時颱風中心之強度變化 (mb)	1
		小 計 158		小 計 11	
				合 計 169	

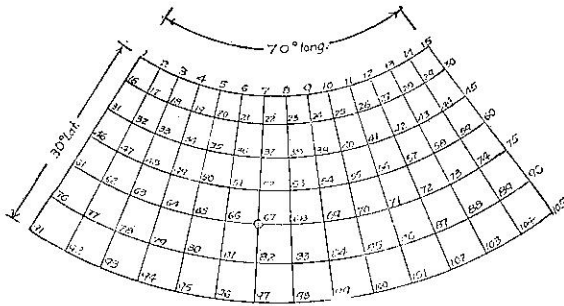
說明：一、i 指網格點序號 (見圖二)

二、第二類各預報因子之計算方法如下 (均用公尺為單位)

- $Z_{v8} = [(Z_{89} + Z_{54} + Z_{60} + Z_{84} + Z_{99}) - (Z_{35} + Z_{50} + Z_{65} + Z_{80} + Z_{95})] / \text{Sin}\phi$
- $Z_{u4} = [(Z_{35} + Z_{36} + Z_{37} + Z_{38} + Z_{39}) - (Z_{50} + Z_{51} + Z_{52} + Z_{53} + Z_{54})] / \text{Sin}(\phi + 7.5^\circ)$
- $Z_{u1} = [(Z_{35} + Z_{36} + Z_{37} + Z_{38} + Z_{39}) - (Z_{80} + Z_{81} + Z_{82} + Z_{83} + Z_{84})] / \text{Sin}\phi$
- $H_{v6} = [(H_{33} + H_{48} + H_{63} + H_{78}) - (H_{21} + H_{36} + H_{51} + H_{66})] / \text{Sin}\phi$
- $H_{u4} = [(H_{35} + H_{36} + H_{37} + H_{38} + H_{39}) - (H_{60} + H_{61} + H_{62} + H_{63} + H_{64})] / \text{Sin}\phi$
- $DZ_8 = \frac{1}{3} (DZ_6 + DZ_{21} + DZ_{36} + DZ_{51} + DZ_{66})$
- $DZ_6 = \frac{1}{4} (DZ_5 + DZ_{20} + DZ_{35} + DZ_{50})$
- $CDH = \frac{1}{4} [(DH_{39} + DH_{54} + DH_{69} + DH_{84}) - DH_{35} + DH_{50} + DH_{65} + DH_{80}]$

預報目標 (predictands) 共計九個，分別為24、36、48小時後之南北、東西位移 (哩為單位) 及強度變化 (中心氣壓、mb 為單位)。

預報因子 (predictors) 經詳細考慮取捨標準後，共採用 169 個，其符號及代表意義如表一。表內第一類預報因子符號右下方之角註 i 為網格點號碼，而網格系統係以預報當時之颱風中心為準而隨時移動者，颱風中心永置於第67點，可參閱圖二。



圖二 網格系統圖 (隨颱風中心移動)

Fig. 2 Grid system centered at point 67 which moves with the typhoon.

迴歸分析時逐步選出與預報目標相關最高之預報因子一個。如以 \hat{Y} 代表預報目標， X_i 代表選出之逐個預報因子，則選至 n 步時構成之複式迴歸方程之一般形式如下：

$$\hat{Y} = \sum_{i=0}^n a_i X_i$$

a_i 為迴歸係數。用計算機程式作迴歸分析時，可指令其計算至十五個預報因子為止或令其個別預報因子之 PCR 已不是 0.01 時停止 (後來實際上有計算至 0.007 之情形)。所謂 PCR 乃 PER CENT REDUCTION 之簡字，或僅稱 PR，乃應變數 (預報目標) 之變異數所能被自變數 (預報因子) 解釋之百分比部份，亦即相關指數之平方。故 PCR 之累計值愈大，表示相關愈高，該方程愈有價值。

NSC-72 方法之結果經檢討認為有關程度之三個預報方程 PCR 太低，不能付諸實用。是以此次實驗中已予摒棄。其餘六個預報方程在獨立資料 60 次之校驗中表現均稱優良，其誤差值且小於美國同性質之 NHC-64，但若與改良後之 NHC-67。相較則有遜色。故作者認為 NSC-72 尚有待繼續改進，中央氣象局校驗結論亦認為對於不正常之颱風言 NSC-72 方法之預報能力未能滿意。因此，進一步研究

之重點希能對路徑詭異、移速緩慢之颱風加以分離而另作迴歸分析之處理。

三、資料之增訂

本年度進行之 NSC-74 方法在基本上與 NSC-72 並無大異，但在原始資料、預報因子、劃分 (stratification) 技術上則有相當變動，茲分述如下。

NSC-74 所採集之原始資料新增 310 次，連前 545 次合計為 855 次個案，其目的有三：1. 愈近期之資料愈準確，故應盡量採用。甚至有美國氣象學者主張凡以統計原理所作之預報方法，其原始資料必須逐年更換，方足保證不致「老化」。2. 原有資料 545 次之隨機性質可能不够。質言之，大部均屬正常路徑，正常生命歷程之颱風個案。3. 為準備作更細劃分後之再分析時有足夠之個案可用，勢非先增加原始個案不可。是以所增 310 次資料中，部份為一九七一、一九七二兩年中全新案例，部份為一九六〇迄一九七〇年間上次未加採入，較特別之颱風個案，以符上述目的。

NSC-74 方法中之初選預報因子亦較原來增加 45 個。其符號、意義、說明等見表二。其中 40 個均屬 Z、p、DZ、DP、PHZ、PH、等之 Laplacian，代表各層上某點之旋率或旋率平流等，因其對熱帶氣旋之發展有關，故曾預期其與加深中，轉向中因而減速之颱風應有較高之相關。然而後來事實證明並非如此，令人有徒勞之感。其可能原因見下文之檢討。

所謂精細之劃分技術，其迴歸分析不止一次。初次之分析可視為初步估計 (first approximation)，所得預報方程稱之為原始方程 (組) (primary equations)。然後根據某項標準將初步估計值細分為若干部份，分別重新施以迴歸分析。所得預報方程分別適用於各不同範圍 (根據某標準所劃分者) 內之颱風實例。由上所述，可知細分技術得依各項不同標準作不同程度之重新劃分，例如可以就北移、西移、東移等劃分，亦可就初步估計所得颱風移速之快、慢劃分。NSC-74 方法未能一一加以試驗，僅就後者試作快速、慢速颱風之重分析，其步驟述要如次。

1. 855 次個案包括有移速快慢不等之各種案例在內。先作一次選擇迴歸法之分析，獲得原始方程組。

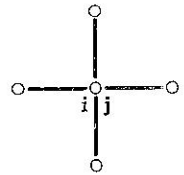
2. 根據原始方程對 855 次案例逐次計算 24 小時後之位移而求得預報之每小時颱風移動速度 (初步估計)。

表二、NSC-74 新增預報因子之符號及代表意義

Table 2. 45 more complicated predictors added into this experiment NSC-74.

符號	定 義	數目	符號	定 義	數目
\overline{DZ}_0	颱風以西十度 500mb 平均高度	1	LZ	500mb 層旋率 (m)	8
\overline{DZ}_7	颱風以北十度 500mb 平均高度 (m)	1	LDZ	500mb 層旋率平流 (m)	8
\overline{DP}_4	颱風以北五度地面平均氣壓 (mb)	1	LDP	1000mb 層旋率平流 (m)	8
\overline{DP}_5	颱風以北十度地面平均氣壓 (mb)	1	LH	700mb 層旋率 (m)	4
\overline{DH}_0	颱風以西十度 700mb 平均高度變化	1	LDH	700mb 層旋率平流 (m)	4
			LPH	1000mb 至 700mb 間厚度旋率 (m)	4
			LPHZ	1000mb 至 500mb 間平均旋率 (m)	4
	小 計	5		小 計	40
				合 計	45

- 說明：1. $\overline{DZ}_0 = \frac{1}{4}(Z_{35} + Z_{50} + Z_{65} + Z_{80})$
 2. $\overline{DZ}_7 = \frac{1}{8}(Z_{34} + Z_{35} + Z_{36} + Z_{37} + Z_{38})$
 3. $\overline{DP}_4 = \frac{1}{8}(P_{50} + P_{51} + P_{52} + P_{53} + P_{54})$
 4. $\overline{DP}_5 = \frac{1}{8}(P_{35} + P_{36} + P_{37} + P_{38} + P_{39})$
 5. $\overline{DH}_0 = \frac{1}{4}(DH_{35} + DH_{50} + DH_{65} + DH_{80})$
 6. $LZ_{ij} = (Z_{i,j} + 1 + Z_{i-1,j} + Z_{i,j-1} + Z_{i+1,j}) - 4Z_{i,j}$



3. 依據七十年西太平洋颱風平均移速每小時十哩為標準，訂定 ≥ 7 哩者為慢速， ≥ 11 哩者為快速；將 855 次原始資料劃分為合於快速者 561 次，慢速者 688 次。

4. 分別重新施以選擇迴歸分析而各得一套預報方程，稱之為快速方程組及慢速方程組。

5. 預報時，首先用原始方程計算颱風位移折合移速 V ，該 V 必合下列三種情形之一：

- (1) $11. > V > 7$ 哩：即以原始方程求得之結果為預報值。
- (2) $V \leq 7$ 哩：再用慢速方程求得之預報值為準。
- (3) $V \geq 11$ 哩：再用快速方程求得之預報值為準。

四、分析結果

表三、表四及表五皆為 24、36 及 48 小時後颱風位移預報之迴歸方程，以南北及東西向量分別表示。故不論原始方程組、快速方程組或慢速方程組各皆包含六個預報方程。

茲以表三、表四及表五分別列出原始、快速及慢速方程組之具體內容。如第二節所述，方程之一般形式為

$$\hat{Y} = \sum_{i=0}^n a_i X_i$$

\hat{Y} 預報目標，即指南北向或東西向位移， X_i 為預報因子， a_i 為迴歸係數。但 X_0 永為 1，實即指 a_0 為截點常數。此外表內並經列入每一預報因子選入時之個別 PCR，以及累計 PCR 值，誤差值等。

若與 NSC-72 方法比較，可發現兩次所選出之預報因子內容大致相同，但其被選先後次序及比重（個別值）則大有出入。NSC-74 方法所有方程中第一個被選出之因子均係 X_{-12} 或 Y_{-12} ，顯然偏重外延法。此在 NSC-72 及美國 NHC-64，-67 諸法中均無此種現象，值得檢討。蓋若非由於非獨立資料過於龐雜，迫使其他具有天氣學意義之因子退居次要之相關地位；則可能係計算機操作過程及方法有不精確之處。此點有待國內電子計算機之記憶、速度增加後重新操作數次即可分曉，俟下節再行檢討說明。

五、校 驗

為瞭解上節所獲預報方程之效果，作者分別以非獨立資料及獨立資料試用之，視其誤差程度之大小如何，誤差向量之分佈如何，是否具有一定之誤差傾向，誤差特大之案例有何特殊背景，方程是否穩定可

附表三 NSC-74 原始方程組之六個預報方程

Table 3. NSC-74 forecasting equation set (consisting of 6 equations) to predict the typhoon movement—primary set.

預報目標	24 小時		36 小時		48 小時		
	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子	
南 北 向 位 移 (運)	475.60889	1	4871.92188	1	4446.09375	1	
	1.02574	Y-12	1.90476	Y-12	1.49953	Y-12	
	-0.53341	Z51	-0.66583	Y51	-0.99710	Z51	
	0.56874	H70	1.10185	H70	1.15238	H70	
	0.16005	Z9	0.27599	Z9	0.38314	Z9	
	-0.27972	X-12	-0.44167	X-12	-0.58484	X-12	
	-0.04592	DH67	-0.07573	DH67	-0.11155	DH67	
	0.47490	DH3-DHO	0.75769	DH3-DHO	1.09178	DH3-DHO	
			-3.11140	P51	-5.23964	P51	
			-0.47563	Z33	-0.85488	Z33	
	累計 PCR 值	54.9	累計 PCR 值	53.5	累計 PCR 值	49.4	
	誤差 (哩)	60.9	誤差 (哩)	94.1	誤差 (哩)	138.6	
東 西 向 位 移 (運)	-6003.27734	1	-10703.23391	1	-13288.11719	1	
	1.24070	X-12	1.61992	X-12	1.95251	X-12	
	0.97909	Z36	1.86149	Z36	0.73953	Z21	
	0.49236	Z41	0.87565	Z41	1.30023	Z41	
	-0.82792	H99	-1.57845	H99	-2.61342	H99	
					1.63749	Z36	
		累計 PCR 值	69.3	累計 PCR 值	66.1	累計 PCR 值	61.0
		誤差 (哩)	80.3	誤差 (哩)	128.3	誤差 (哩)	191.6
		迴歸係數	PCR	迴歸係數	PCR	迴歸係數	PCR

表四 NSC-74 快速方程組之六個預報方程

Table 4. Same as Table 3 except for fast-speed set.

預報目標	24 小時		36 小時		48 小時	
	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子
南	-532.85815	1	2124.35596	1	498.95582	1
	1.02611	Y-12	1.22243	Y-12	1.36013	Y-12
	-0.39982	X-12	-0.46547	X-12	0.03387	Z35
	0.65016	DH3-DHO	0.69032	DH3-DHO	1.26402	Z71
	0.03023	ZV8	0.03908	ZV8	-1.08079	Z33
北	0.45202	DH37	-0.06153	DH67	-1.34469	Z51
	-0.04416	DH67	1.04261	H70	1.27543	H84
	0.10582	Z9	-0.66618	Z51	0.39371	Z9
			0.27382	Z9	-0.46952	X-12
			-0.50494	Z33	-0.10464	DH67
向	累計 PCR 值		累計 PCR 值		累計 PCR 值	
	誤差 (哩)	53.3	誤差 (哩)	52.2	誤差 (哩)	49.2
位	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子
	49.40323	1	-635.19531	1	-17488.25000	1
	1.11325	X-12	1.54486	X-12	1.84450	X-12
	1.41220	DZ7	2.36386	DZ7	3.59062	DZ7
	-10.59631	P99	-17.59239	P99	-3.25769	H99
移	0.40986	Z41	0.78099	Z41	1.14312	Z41
	0.72457	DH54				
(運)	累計 PCR 值		累計 PCR 值		累計 PCR 值	
	誤差 (哩)	61.2	誤差 (哩)	95.0	誤差 (哩)	139.9
東	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子
	49.40323	1	-635.19531	1	-17488.25000	1
	1.11325	X-12	1.54486	X-12	1.84450	X-12
	1.41220	DZ7	2.36386	DZ7	3.59062	DZ7
	-10.59631	P99	-17.59239	P99	-3.25769	H99
西	0.40986	Z41	0.78099	Z41	1.14312	Z41
	0.72457	DH54				
向	累計 PCR 值		累計 PCR 值		累計 PCR 值	
	誤差 (哩)	70.3	誤差 (哩)	67.5	誤差 (哩)	63.3
位	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子
	49.40323	1	-635.19531	1	-17488.25000	1
移	1.11325	X-12	1.54486	X-12	1.84450	X-12
	1.41220	DZ7	2.36386	DZ7	3.59062	DZ7
(運)	-10.59631	P99	-17.59239	P99	-3.25769	H99
	0.40986	Z41	0.78099	Z41	1.14312	Z41
移	0.72457	DH54				
	累計 PCR 值		累計 PCR 值		累計 PCR 值	
(運)	誤差 (哩)	81.7	誤差 (哩)	131.3	誤差 (哩)	196.9

表五 NSC-74 慢速方程組之六個預報方程

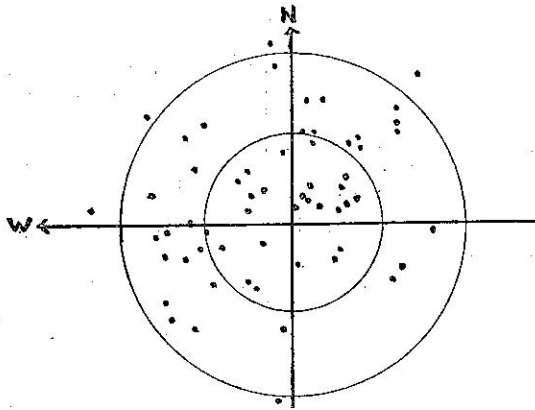
Table 5. Same as Table 3 except for slow-speed set.

預報目標	24 小時		36 小時		48 小時	
	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子	迴歸係數	預報因子
南	-2538.43164	1	-4826.63672	1	7919.46484	1
	1.07478	Y-12	1.33783	Y-12	1.62841	Y-12
	0.47409	H70	0.86587	H70	1.56371	H70
	-0.70974	H51	-0.95884	H51	-0.65792	H51
	0.16169	Z9	0.29299	Z9	0.36274	Z9
北	4.90583	P69	-0.59351	Z52	-1.15166	Z33
	-0.43816	Z52	6.85860	P69	-0.89717	Z52
			-0.99172	DHO	-1.58698	DHO
			-0.82072	X-12	-0.50994	X-12
			-0.07758	DH67	9.42104	DP69
向					-0.10837	DH67
					-3.63855	P30
					0.90613	H33
					累計 PCR 值	
					誤差 (哩)	
位	50.6		50.6		50.6	
	60.3		92.2		92.2	
移						
(哩)						
東	3.77267	1	2570.62109	1	-9535.85547	1
	1.35881	X-12	1.70414	X-12	2.65252	X-12
	0.06107	ZU4	0.05333	ZU4	0.08539	ZU4
	0.63579	DH53	1.09426	Z36	1.56199	Z35
			0.72088	H41	1.09028	Z41
西						
向						
位						
移						
(哩)						

用，與 NSC-72 之比較或美國 NHC 方法有何異同等問題。由於非獨立資料有 855 次之多，僅以原始方程之 24 小時方程試用之。獨立資料則以 NSC-72 方法中所曾用過之 60 次就各種方程、各種預報時限加以試用以資比較。茲將校驗結果分述於下。

(一) 誤差傾向分析：

將颱風實際位置作為坐標軸之原點，預報位置與實際位置之向量差逐次點入坐標圖後，即可窺知路徑預報向量誤差之分配情形。作者經將非獨立資料 855 次及獨立資料 60 次之廿四小時預報向量誤差分別點繪成圖，均未發現偏於一隅之固定偏差 (consistent bias) 現象。復經試繪慢速方程 24、48 小時之向量誤差分佈圖，仍無該項現象。可知 NSC-74 方法並無一定之誤差傾向。本文僅刊出 60 次獨立資料之誤差分佈圖如圖三，以見一般。又自該圖統計得知預報位置



圖三 次獨立資料與實際位置 (24小時) 誤差分佈圖

Fig. 3 Distribution of 24-hr forecasting errors (vector) as a result of verification by 60 independent cases.

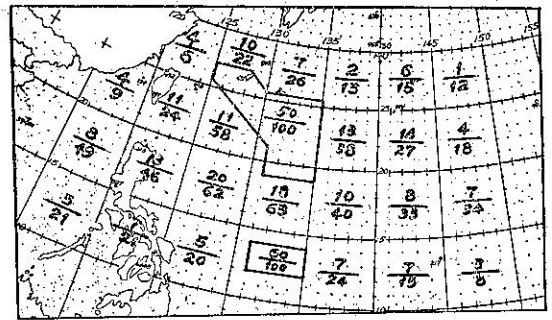
落在 60 哩範圍內者佔 40%，120 哩範圍內者佔 87%。後者與 NSC-72 方法所得結果相同。

作者復就 855 次預報中向量誤差值大於每時 5 哩者 (24 小時預報位置誤差大於兩個緯度) 予以挑出，逐案調查之結果如下。

1. 誤差大於每小時 5 哩者共有 167 次，佔總數 855 次之 20% 弱。

2. 其中緯度低於 15°N 或高於 25°N 者 52 次，轉向者 26 次，路徑詭異者 (停滯、打圈、往南等) 63 次，變渦旋者 7 次，均屬不正常之颱風，共佔 167 次中之 90%。預報員在天氣圖上見到上述各種情況，利用本方法預報時必須特別慎重。

3. 該 167 次颱風之地理分佈如圖四。組線繪出之範圍為容易產生較大誤差之區域。圖中百分比數值為誤差超過每時 5 哩與該區內預報總次數之比。



圖四 向量誤差特大 (> 5 哩/小時) 案例之地理分佈
Fig. 4 Areas with significant forecasting vector errors (≥ 5 n. m./hr)

(二) 獨立資料校驗結果：

獨立資料 60 次在 NSC-72 方法中已預留作為校驗之用，係任意採自 1962-64 三年內之颱風個案，對兩次 (NSC-72 及 NSC-74) 方程製訂時均未參與分析者。經試用於 NSC-74 方法後之誤差結果列如表六。該表內並已將非獨立資料之誤差同時列出，以資比較。此處之誤差係以南北及東西兩分向量上之「平方根平均誤差」(RMSE) 分別計算後再經合成而得，並非逐次向量誤差之算術均數 (MVE)。兩者雖不相同 (後者應較正確)，但在兩個分向量上之誤差均屬常態分配 (bi-variate normal distribution) 之前提下，兩者應屬相等。

由表六可知 NSC-74 方程用於獨立資料除 48 小時外，誤差皆有減少，表示該方程穩定可用。但若與 NSC-72 方法之校驗結果 (同以非獨立資料為準) 比較，却見其反而略有退步。說明此次原始資料增加後因其個案性質分歧，變異量增大，即令其被解釋之部份不變，誤差自亦對應增大若干。

若將獨立資料 60 次分成快速、慢速及中間速度後，各有 23 次、9 次及 28 次，試用於 NSC-74 方法之原始方程與劃分快慢速度後之誤差作一比較，其結果如表七所示。

由表七知劃分後慢速及中速 ($7 < V < 11$ 哩) 方程可有若干進步，尤以慢速之 48 小時預報為顯著。快速方程則反有退步，縱數值不大，顯然不能使用。故作者認為在實際應用時，NSC-74 方法可以將第三節最後步驟 5 修訂簡化如下。

表六 NSC-74 方法各組方程校驗所得誤差

Table 6. RMSE (root mean square errors) for various NSC-74 forecasting equation sets.

校驗所用資料	方程組別		原始(中速)方程 $7 < V_{24} < 11$ 哩			快速方程 $V_{24} \geq 7$ 哩			慢速方程 $V_{24} \leq 11$ 哩		
	預報時限		24小時	36小時	48小時	24小時	36小時	48小時	24小時	36小時	48小時
	獨立資料 (60次內快速23次, 慢速9次, 中速28次)			82	139	216	83	135	196	124	197
非獨立資料 (原始855次, 快速561次慢速688次)			101	159	236	102	162	241	97	152	230
NSC-72 方法			99	154	226						

表七 NSC-74 原始方程與劃分快慢方程之校驗所得誤差比較表

Table 7. A comparison of RMSE's between primary equation set and fast-slow-speed equation sets.

誤差情形	方程組別		中速方程 (68次)			快速方程 (23次)			慢速方程 (9次)		
	預報時限		24小時	36小時	48小時	24小時	36小時	48小時	24小時	36小時	48小時
(1)仍以原始方程計算之誤差			82	139	216	78	134	188	130	202	272
(2)劃分快、慢、中而計算之誤差			82	139	216	83	135	196	124	197	228
(3)進步情形 (3)=(1)-(2)			+ 7*	+ 6*	- 1*	- 5	- 1	- 8	+ 6	+ 5	+44
(4)全部60次以原始方程計算之誤差			89	148	215						

(有*號者係(4)-(3)之進步情形)

預報時首先用原始方程計算颱風位移折合每小時移速 V 後, 若 $V \leq 7$ 則再用慢速方程求預報, 若 $V > 7$ 則逕以原始方程求出之結果為預報。

又由表七之(1)及(2)欄作橫向之比較可得兩點結論如下:

1. 一律以原始方程計算誤差時, 快速颱風之誤差絕對值為最小。易言之, 原始方程已屬最適合於快速颱風者。重新分析並不能更增其 PCR。(若將中速組重新分析可能更佳, 但本次研究中未及作此試探)。

2. 慢速方程雖較原始方程進步, 但其誤差之絕對值則遠大於其他兩類。經分別檢查九次個案, 每次均屬轉向颱風, 其中三次之颱風路徑(民國51年10月之艾瑪及53年8月之凱茜) 停滯打圈, 屬極不正常之颱風, 與本節(-)所作誤差分析符合, 無怪其誤差偏高。亦可說明劃分後之方程雖不能使其接近正常颱風之預報能力, 但確有改進。

六、檢 討 (結語)

(-) NSC-74 方法為 NSC-72 颱風路徑預報客觀方法之進一步試驗。前者經增加原始觀測資料及初選預報因子之數目, 復採用颱風移速快慢之精細劃分, 在理論上應較後者為慢。以獨立資料校驗結果, 發現誤差並無普遍而顯著之減小。檢討其原因有三。

1. 新增原始資料部份, 性質不若原有部份之整齊均勻, 因而增加其差量 (dispersion), 賸餘誤差乃隨變異數同時增加, 依統計原理, 本方法若試用於差量較大之獨立樣本, 必可獲得較 NSC-72 為優之結果。

2. 每小時十哩之平均颱風移速作為快、慢速劃分之標準雖無異議。但在實際作法上採取過大之寬容上下限, 使重疊(中間)部份太多, 致分速後之原始資料次數與未劃分前之總次數無大出入。因而劃分後之

預報方程進步不顯著。(僅慢速48小時方程進步達16%，具顯著統計意義，其餘均不足5%。)但如何決定最佳之劃分標準未能事前肯定，必經多次嘗試、驗證之試作而逐漸接近。惟因選擇迴歸法之計算機操作耗時頗多，目前國內環境並不允許作如此反覆之分析工作。

3. 另外一項屬於計算機運用之技術性問題為記憶容量。此次增加預報因子數目後，計算共軛變異數(co-variance)之次數隨之大增，所需記憶容量均非國內現有機種所能適應。本次研究幸得行政院主計處電子處理資料中心以其 IBM-360 儘量支援。該機具 192K 記憶，雖屬國內較大容量之機種，尚未能應付本法所需之要求。(該中心機器之換裝計劃適定於一九七五年度實施，致未及充份利用其改裝後之快速性能及倍徙容量。)不得已而分割變數(預報目標及因子)為兩段進行，然後將兩段內選出之變數湊合一起再作一次分析。又以同樣原因而未能採取精準之 double precision 計算。後據 Chase 氏函告 IBM 360 不用 double precision 計算可能導致精確度之損失，此為美國歷次試驗中所已證實之事。以上兩項純屬技術上之因素可能使分析結果略受影響。預期於行政院主計處資料中心換裝後當可在其支援下獲得證實及補救。(註：民國六十三年八月行政院電子處理資料中心之 IBM-370 改裝完成並加裝 virtual storage 後，作者已重新以 double precision 及不分割為兩段之方式就原資料重加分析，結果所差極微，僅在迴歸係數之小數點後稍有出入而已)。

(二)由誤差分析知誤差較大之預報案例大多屬不正常颱風，如停滯、打圈、雙渦旋、轉向後之加速進行等。除最後一項並不構成對預報員之困擾外，其他大都移速甚慢。應用慢速方程後雖一般能減少其誤差值，然其絕對誤差值仍嫌過大。若在劃分之技巧細節方面再加推敲，平均誤差定可繼續減少，但基本解除之道恐非統計方法所能為力。美國近一、二年內針對此問題正作兩種努力。

1. 應用多層、細密網格系統之斜壓模式從事數值預報以求熱帶氣旋之強度變化及移動路徑之預報。過

去動力預報之效果平均而言雖然永遠落後於統計及主觀預報，然對詭異行徑之風暴言則可略居上風，較長期之預報更是如此。

2. 與其他客觀預報方法聯合使用，例如類比法之 HURRAN、氣候學法之 CLIPER 等。然後當場作一「診察」性分析，決定該次颱風應以何種預報方法應付最見效果。

以上第 1 項尚待我國數值預報奠定基礎後方有望試驗。第 2 項則可以參酌試用。例如中央研究院即曾以類比法作颱風行徑預報之初步研究。惟不論何種方法，必須能隨時利用計算機操作乃屬前提條件之一。(三)本文實驗之劃分僅限於速度一端。實則劃分之功用既在減少差量以達增進預報準確率之目的，故祇要有足夠之過去資料可供迴歸分析，劃分有種種方式可用。例如地區、季節、距平、風暴強度等。甚至可在預報當時就一業經整理完竣之龐大原始資料集團中抽取與本颱風性質相近之部份作為非獨立資料，當場求得預報方程後得出預報值。不過，誠如鄭邦傑氏在「颱風路徑客觀方法驗證」一文中所言，預報方法之事前準備步驟若過於繁複，則預報製作時效上可能不合要求。此一矛盾非不可解決，要之仍在計算機之方便利用耳。

參 考 文 獻

- (1) 陳毓雷、鮑學禮，民 62 年：「颱風移動路徑及強度之客觀預報」，國科會研究彙報第六期 pp 121-129。
- (2) 鄭邦傑等，民 62 年：「颱風路徑客觀預報法之驗證」，氣象學報十九卷四期，pp 39-50。
- (3) (三)陳毓雷，民 62 年：「颱風預報之進步與困難問題」，氣象學報十九卷四期，pp 58-67。
- (4) B. I. Miller P. P. Chase, 1966: "Prediction of hurricane motion by statistical methods," monthly Wea. Rev. Vol. 94, No. 6
- (5) B. I. Miller, E. C. Hill & P. P. Chase, 1968: "A revised technique for hurricane movement by statistical methods," Monthly Wea. Rev. Vol. 96, No. 8