

利用客觀比擬法預報颱風路徑之研究

A Study of Typhoon Track Forecast with Objective Analog Method

胡仲英
C. Y. Hu

陳熙揚
S. Y. Chen

Abstract

An objective method on Typhoon track forecasting is described. This method based on the HURRAN (Hurricane Analog) technique, the criteria of the analog selection are: distance from the existing typhoon, heading, speed and sequential date. Besides, We also examine the acceleration of the Typhoon movement.

Positions of typhoon selected as analogs are adjusted at 12, 24, 36, 48, 60 and 72 hr after the initial time. Forecasting track and probability ellipses are computed by GA SPC-16/45 and plotted by DT-3454 plotter. The test and verification of 1975 typhoon forecasts show that the additional criterion makes a good improvement.

一、簡 介：

颱風的路徑預報是相當困難而又重要的問題，國內氣象學者對此一問題曾作多方面的探討。一般而言，利用數值模式探討颱風路徑預報（胡仲英，1975），常因西太平洋觀測報告太少或探空報告誤差太大，以致嚴重影響預報的精確度，同時簡單的數值模式很難作 72 小時的颱風路徑預報，而複雜的數值模式目前國內尚在研究階段，實際作業尚須一段時間，所以若干學者利用統計的方法（汪羣從，張月珠，1974，陳毓雷、鮑學禮，1976）作 12 至 72 小時颱風路徑預報。本文即討論利用歷史颱風的資料來模擬現在颱風，並預報 12 至 72 小時颱風的位置。首先吾人將歷史颱風的名稱、日期及每六小時位置等一一打成卡片並錄在磁帶內，在預報作業時，將現在颱風的日期、位置、6 及 12 小時前的位置由卡片輸入電子計算機，計算代表颱風特性的位置、速度、加速度、日序等參數，利用客觀比擬選擇程式 (Objective Analog Selection Program)，將歷史颱風特性類似於現在颱風者，一一計算其每六小時修正位置，假設該修正位置的經向、緯向分量均為雙變常態分配 (Bivariate Normal Distribution)，吾人可預報 12

至 72 小時颱風中心位置有 25% 及 50% 機會的或然率橢圓 (Probability Ellipses)，該橢圓的中心即為最佳路徑預報，利用繪圖機可將預報路徑及或然率橢圓繪出，提供颱風路徑預報作業參考。Hope 及 Neumann (1970, 1972) 最先提出此統計方法預報北大西洋熱帶颶風 72 小時路徑，因而定名為颶風模擬法，該法用於實際颶風預報工作效果良好 (Simpson, 1971)。汪羣從、張月珠 (1974) 曾將該方法修正應用到臺灣區 9 月份颶風路徑預報，唯颶風模擬法未考慮颶風加速度因素，以致於對加(減)速度甚大的颶風預報結果欠佳，作者針對此點加以改進，將颶風加速度的方向及大小增列為比擬選擇參數之一，並以 1975 年西太平洋颶風為實例，證實此項改進確會提高颶風中心路徑預報的準確度。

二、模式之建立：

首先輸入預測颱風的日序 (T)，現在位置 (X_K, Y_K)^{*}，過去 6 小時位置 (X_{K-1}, Y_{K-1})、過去 12 小時位置 (X_{K-2}, Y_{K-2})，並立即由下式將預測颱風的速率 (V)、方向 (θ_1)、加速率 (a)、及加速度方向 (θ_2) 求出：

* 實際位置係輸入經度 (λ)，緯度 (ψ)，利用 Mercator 投影可換算成直角座標 (X, Y)。

$$\left. \begin{aligned} V &= [(X_K - X_{K-1})^2 + (Y_K - Y_{K-1})^2]^{1/2} / 6 \\ \theta_2 &= \text{Tan}^{-1} |(Y_K - Y_{K-1}) / (X_K - X_{K-1})| \\ a &= [(X_K - 2X_{K-1} + X_{K-2})^2 + (Y_K - 2Y_{K-1} + Y_{K-2})^2]^{1/2} / 6 \\ \theta_2' &= \text{Tan}^{-1} |(Y_K - 2Y_{K-1} + Y_{K-2}) / (X_K - 2X_{K-1} + X_{K-2})| \end{aligned} \right\} (1)$$

然後在歷史颱風中逐個尋找合乎下列條件之類似颱風：

1. 求出歷史颱風路徑最接近 (X_K, Y_K) 之點，令為 $(X_{K'}, Y_{K'})$ ，而 $(X_{K'}, Y_{K'})$ 與 (X_K, Y_K) 間之距離不得大於 300 海哩。

2. 計算歷史颱風在 $(X_{K'}, Y_{K'})$ 點的方向 θ_1' ，且須滿足：

$$|\theta_1 - \theta_1'| \leq 22.5^\circ \dots\dots\dots (2)$$

3. 計算歷史颱風在 $(X_{K'}, Y_{K'})$ 點的速率 V' ，令 $\Delta V = |V - V'|$ ，須滿足：

$$\left. \begin{aligned} a. \Delta V < 5 (\text{海哩}/\text{時}), \text{當 } V < 10 \\ b. \Delta V < 10, \text{當 } 10 \leq V \leq 20 \\ c. \Delta V < 15, \text{當 } V > 20 \end{aligned} \right\} (3)$$

4. 計算歷史颱風在 $(X_{K'}, Y_{K'})$ 點的加速度方向 θ_2' ，且須滿足：

$$|\theta_2 - \theta_2'| < 90^\circ \dots\dots\dots (4)$$

5. 計算歷史颱風在 $(X_{K'}, Y_{K'})$ 點的加速率 a' ，令 $\Delta a = |a - a'|$ ，須滿足：

$$\left. \begin{aligned} a. \Delta a < 2.5 (\text{海哩}/\text{時}^2) \text{當 } a < 5 \\ b. \Delta a < 5.0, \text{當 } 5 \leq a \leq 10 \\ c. \Delta a < 7.5, \text{當 } a > 10 \end{aligned} \right\} (5)$$

6. 歷史颱風在 $(X_{K'}, Y_{K'})$ 的日序 T' ，須滿足：

$$|T - T'| \leq 30 \dots\dots\dots (6)$$

歷史颱風如不能滿足上述條件，則被濾掉，否則進一步利用現在颱風位移的持續性 (Persistence) 及與歷史個別颱風的相似性 (Similarity) 來作權重修正，俾決定 12 至 72 小時歷史颱風的修正位置。在初始時 ($t=0$) 首先將所選到的類似歷史颱風平移到現在颱風位置，開始時依照現在颱風位移的持續性前進，每 6 小時持續性降低 1/6，而歷史颱風位移的權重則增加 1/6，直到 36 小時後，完全依循歷史颱風運動方向前進。用公式表示則為：

$$\left\{ \begin{aligned} X_K'' &= X_K \\ Y_K'' &= Y_K \end{aligned} \right. \text{當 } \ell = 0 \text{ 時}$$

$$\left\{ \begin{aligned} X_{K+\ell}'' &= X_{K+\ell-1}'' + (X_K - X_{K-1}) \times \frac{36 - 6\ell}{36} + (X_{K+\ell}' - X_{K+\ell-1}') \times \frac{6\ell}{36} \\ Y_{K+\ell}'' &= Y_{K+\ell-1}'' + (Y_K - Y_{K-1}) \times \frac{36 - 6\ell}{36} + (Y_{K+\ell}' - Y_{K+\ell-1}') \times \frac{6\ell}{36} \end{aligned} \right. \text{當 } 0 < \ell < 6 (7)$$

$$\left\{ \begin{aligned} X_{K+\ell}'' &= X_{K+\ell-1}'' + X_{K+\ell}' - X_{K+\ell-1}' \\ Y_{K+\ell}'' &= Y_{K+\ell-1}'' + Y_{K+\ell}' - Y_{K+\ell-1}' \end{aligned} \right. \text{當 } \ell \geq 6 \dots$$

式中， (X'', Y'') 為修正歷史颱風位置， (X, Y) 為現在颱風位置， (X', Y') 為歷史颱風位置。當 $\ell = 1$ ，為自 K 點後 6 小時， $\ell = 2$ ，為自 K 點後 12 小時，依此類推。

依照上述修正公式，可得所有合乎條件的歷史颱風 6 至 72 小時的修正位置，吾人假設歷史颱風的中心位置合乎雙變常態分配，亦即在 X-Y 平面颱風中心位置散佈為一橢圓，該橢圓的長軸動差 (K_a) 及短軸動差 (K_b)，可由下列列式 K 值二根求出。

$$\begin{vmatrix} S_x^2 - K^2 & r_{xy} S_x S_y \\ r_{xy} S_x S_y & S_y^2 - K^2 \end{vmatrix} = 0$$

其中 S_x 為經向標準差， S_y 為緯向標準差， r_{xy} 為經向與緯向的相關係數。或然率為 P 的橢圓長軸 (2a) 及短軸 (2b) 可由下式求出：

$$\begin{aligned} 2a &= K_a \times [\ln(1-P)]^{1/2} \\ 2b &= K_b \times [\ln(1-P)]^{1/2} \quad P = 0.25 \text{ 或 } 0.5 \dots (9) \end{aligned}$$

該橢圓長軸與緯度夾角 ψ 可由下式求出：

$$\psi = \frac{1}{2} + \text{tan}^{-1} \frac{2r_{xy} S_x S_y}{S_x^2 - S_y^2} \dots\dots\dots (10)$$

橢圓的中心，即為預測颱風的中心位置，如滿足上述條件的颱風有 N 個，則預測颱風中心位置為：

$$\begin{aligned} \bar{X}'' &= \Sigma X'' / N \\ \bar{Y}'' &= \Sigma Y'' / N \end{aligned} \dots\dots\dots (11)$$

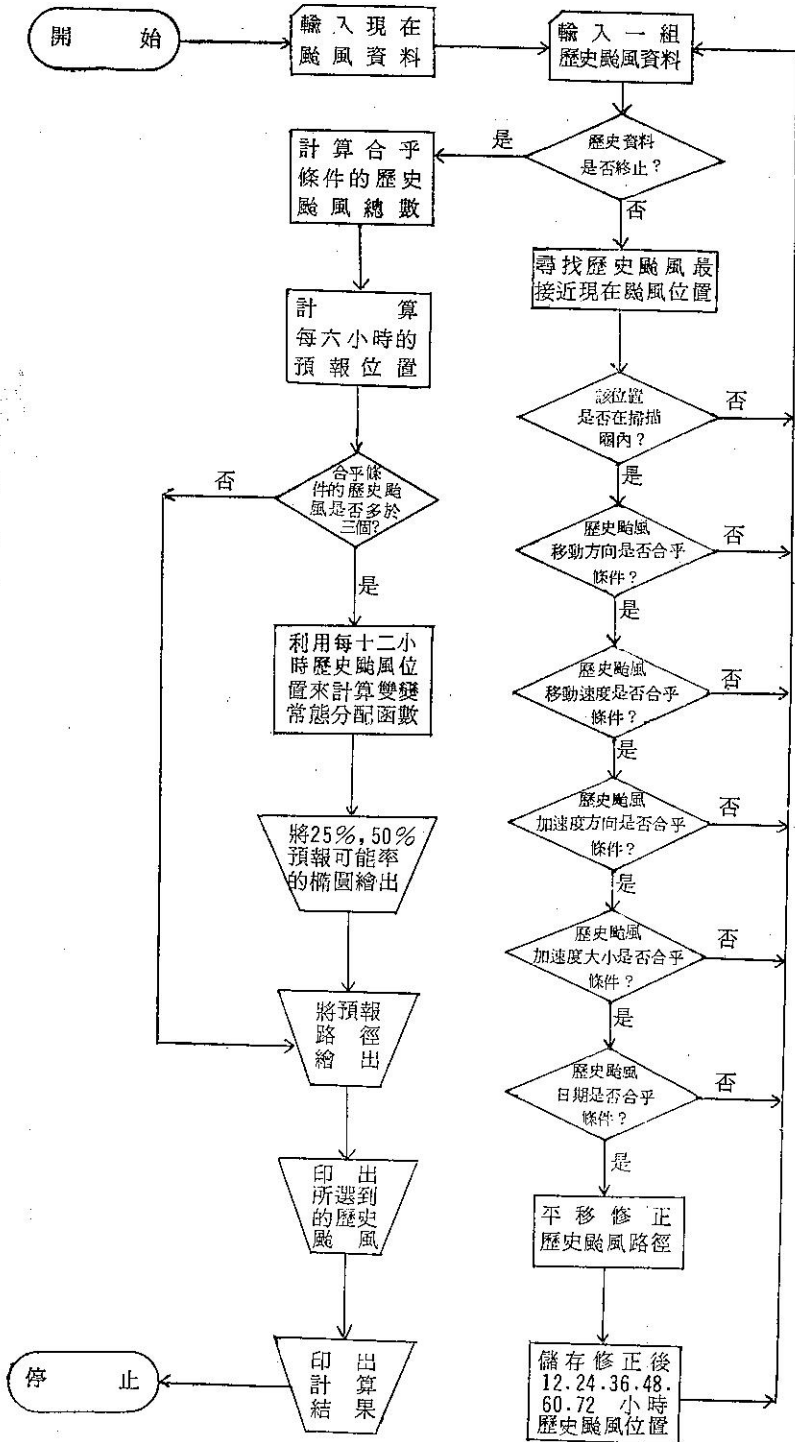
計算流程圖參見圖 1

三、實例試驗：

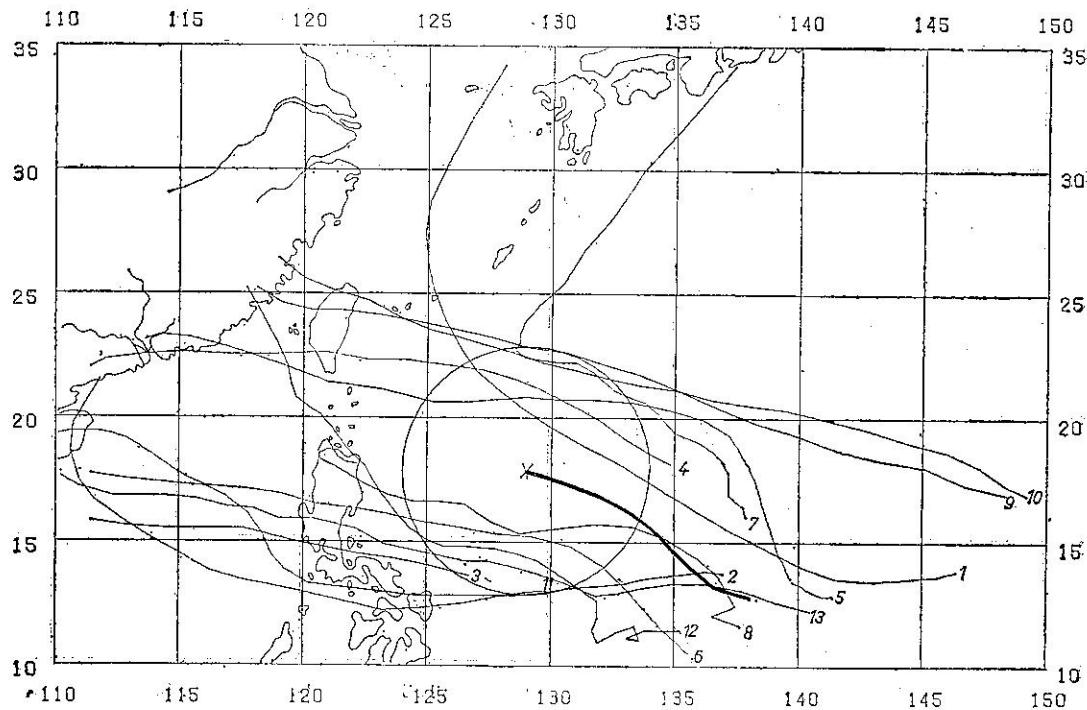
歷史颱風資料，吾人選取美國聯合颱風警告中心 (JTWC) 發行的颱風年報 (Annual Typhoon Report)，自 1959 年至 1974 年所有經過東經 110° 至 140°，北緯 8° 至 36° 間的颱風分析最佳路徑 (Typhoon Best Track)，將每六小時的位置均打成卡片，並錄在磁帶上。

首先，吾人輸入 1975 年 10 月的 ELSIE 颱風作個案討論，10 月 10 日 1800GMT，ELSIE 颱風位於北緯 17.8°，東經 129.0°，其移動速率為每小時 14.6 海哩，方向為 285.9°，加速率為每小時每小時 1.4 海哩，加速度方向為 135.0°，此颱風在減速中。

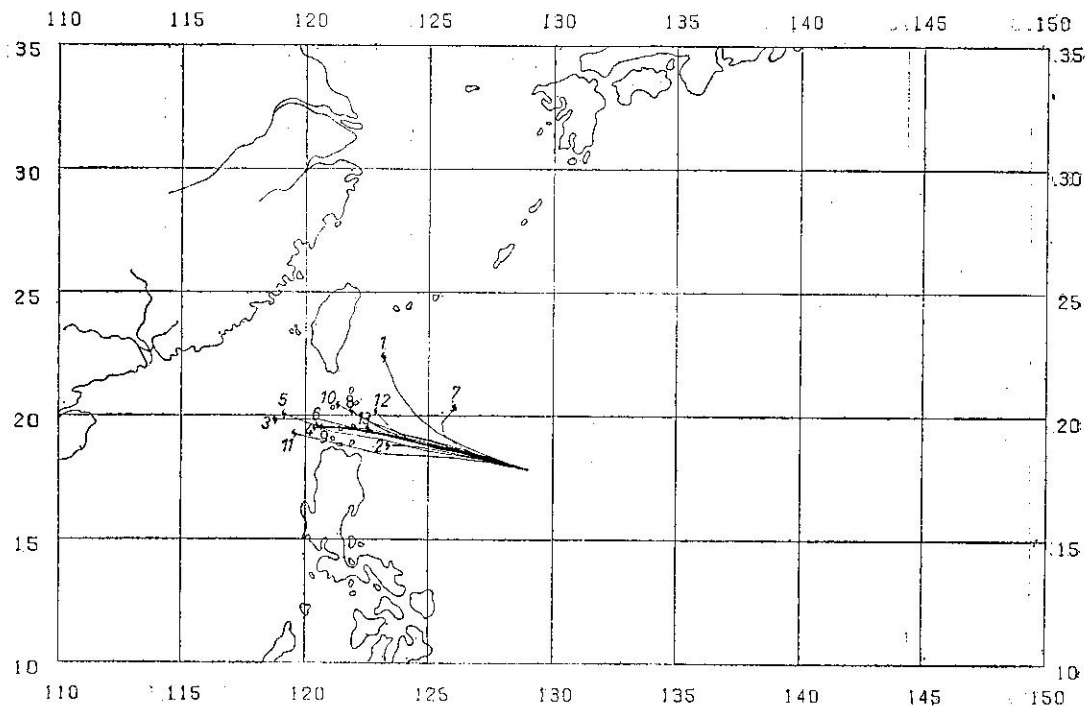
經過上述統計模式比擬選擇，吾人選到 13 個歷史颱風滿足上述 6 個條件，選到的歷史颱風路徑參見圖二，選到歷史颱風的名稱、日期及最接近現在颱風



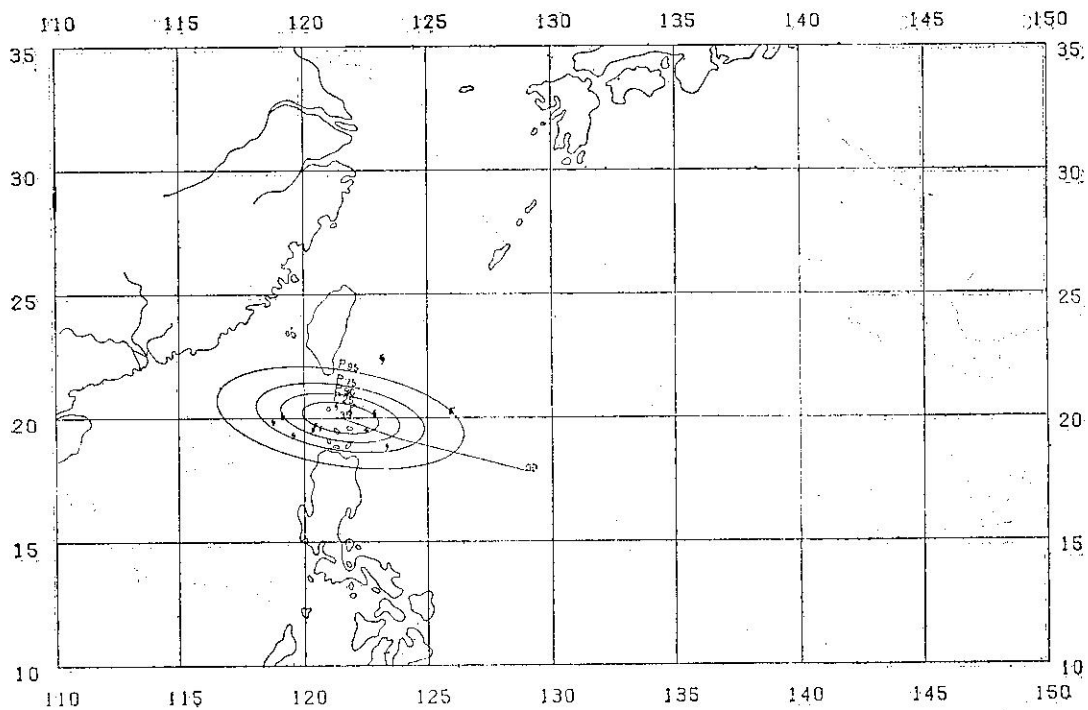
圖一 颱風路徑預報客觀比擬模式流程圖



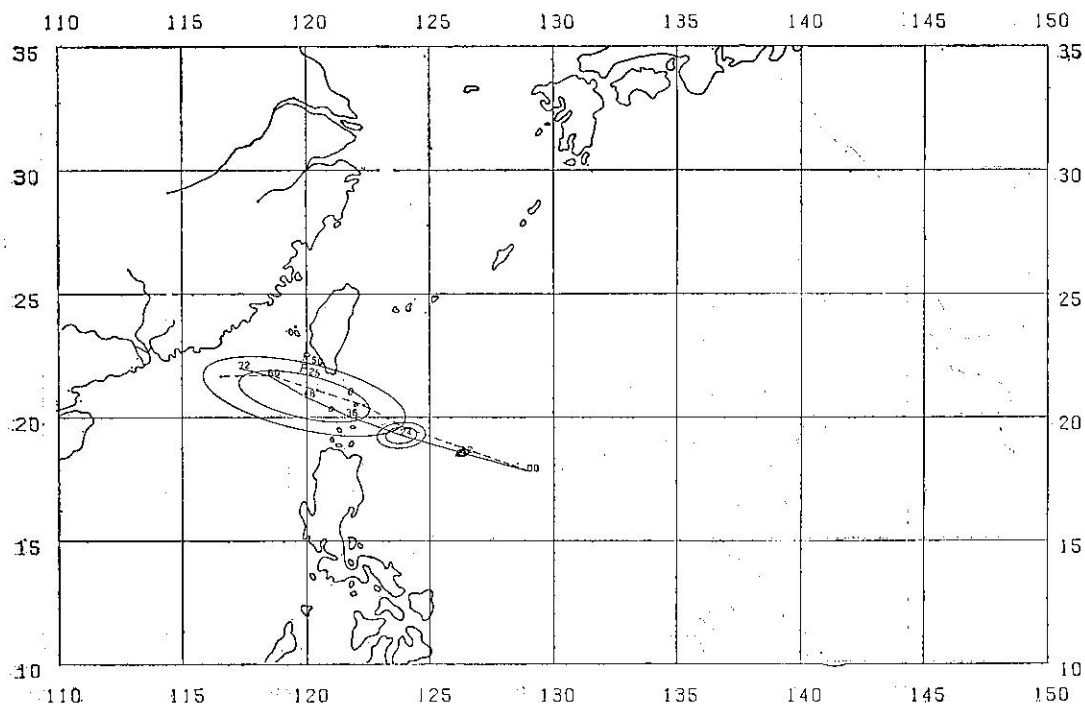
圖二 與 ELSIE 颱風類似的 13 個歷史颱風路徑，粗線為 ELSIE 颱風路徑，X 點為預報初始點



圖三 與 ELSIE 颱風類似的 13 個歷史颱風修正路徑給颱風者為 36 小時的修正位置



圖四 36 小時預報路徑及或然率橢圓颱風為歷史颱風的修正位置



圖五 ELSIE 颱風預報結果，實線為預報路徑，虛線為實際路徑

位置均由報表機印出來，見表一，可翻閱歷史天氣圖作預報參考。經過平移及持續性修正位置的歷史颱風路徑見圖三。圖四為歷史颱風在36小時預報橢圓散佈情形，有 13 個颱風被選到，其中 4 個落在 $P=0.25$

的橢圓內，7 個落在 $P=0.5$ 的橢圓內，11 個落在 $P=0.75$ 的橢圓內，除一個颱風外，所有的颱風均落在 $P=0.95$ 的橢圓內。實際 ELSIE 颱風在 36 小時 (12日 0600GMT) 的位置在 $20.5^{\circ}N, 122.3^{\circ}E$ ，即是落在 $P=0.50$ 的預報橢圓內。

表一 與 ELSIE 颱風類似的 13 個歷史颱風資料

年 月 日	颱風名稱	最接近現在颱風位置	
		緯 度 (北緯)	經 度 (東經)
1959. 9. 14	SARAH	19.7	129.8
1960. 10. 4	KIT	12.9	129.6
1961. 9. 21	RUBY	13.6	126.7
1961. 9. 26	SALLY	20.7	130.4
1962. 10. 1	DINAH	20.8	129.0
1964. 1. 3	CLARA	15.2	129.2
1965. 9. 14	TRIX	22.3	129.5
1966. 10. 30	LORNA	15.8	127.5
1969. 9. 25	ELSIE	22.8	129.0
1971. 9. 21	BESS	22.2	129.6
1972. 11. 4	PAMELA	13.0	129.8
1973. 10. 5	NORA	14.5	128.6
1973. 10. 14	RUTH	14.0	128.3

ELSIE 颱風的預報路徑及其實際路徑參見圖五，經、緯向誤差及向量誤差參見表二。

一個現在颱風自輸入所需資料到計算 72 小時預報路徑，利用中央氣象局 GA SPC 16/45 型電子計算機只需 40 秒鐘，利用 Data Technology 繪圖機繪出預報路徑及或然率橢圓則需 90 秒鐘，合計全部作業只需 2 分多鐘，極具有預報時效。

表二 ELSIE 颱風預報誤差值，單位為海裡

預報時間 (小時)	經 向 誤 差	緯 向 誤 差	向 量 誤 差
12	1.8	18.0	18.0
24	10.8	28.2	30.0
36	48.6	30.6	57.6
48	36.6	13.8	39.0
60	12.0	9.6	15.6
72	25.2	24.0	34.8

表三 1975 年 6 個颱風用客觀模擬模式所選到歷史颱風個數統計表

颱風名稱	預 報 時 間 (小時)											
	12		24		36		48		60		72	
	模 式		模 式		模 式		模 式		模 式		模 式	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
JUNE	11	8	11	8	11	8	11	8	11	8	11	8
PHYLLIS	5	2	4	2	4	2	3	1	2	1	2	1
NINA	8	6	8	6	8	6	8	6	8	9	7	5
LOLA	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1
BETTY	24	11	24	11	22	10	22	10	21	9	14	7
ELSIE	19	13	19	13	19	13	18	12	17	11	15	9

四、模 式 校 驗：

其次吾人選用 1975 年經過所定預報範圍內的六個颱風來作校驗，模式 B 乃為作者考慮颱風加速度運動的統計預報模式，模式 A 為不考慮加速度運動 (Hope and Neumanw, 1970, 1972 汪羣從、張月珠, 1974)，兩模式在歷史颱風比擬選擇中所選到的颱風個數參見表三。

兩個模式所作的平均緯向、經向、向量誤差統計，分別見圖六、圖七、及圖八，由上圖可知就 1975 年預報範圍內的六個颱風而言，考慮颱風加速度運動效應後，12 小時預報平均向量誤差減少 9.4%，24 小時誤差減少 26.7%，36 小時誤差減少 21.6%，72 小時誤差減少 7.2%，由此可見，此項改進確能提高預報精確度。

五、結 論：

本文討論颱風中心路徑的客觀統計預報，除考慮颱風中心距離、速率、方向、日序等參數外，並增加考慮颱風的加速率及加速度方向二重要特性，用比擬法選擇歷史颱風中心路徑類似者，再由現在颱風位移的持續性，及與歷史個別颱風位移的相似性，經權重計算得 12 至 72 小時現在颱風預報位置及颱風中心可能移動的或然率橢圓。

研究 1975 年經過臺灣附近的六個颱風，吾人發現當颱風中心速度變化甚大時，考慮加速度效應會使路徑預報的準確度大為提高，12 小時平均向量誤差減少 9.4%，24 小時向量誤差減少 26.7%，36 小時向量誤差減少 21.6%，72 小時向量誤差減少 7.2%，六個颱風中心 72 小時的預報位置均落在 $P=0.5$ 的橢圓。

此颱風中心路徑的客觀統計預報方法，僅需計算機時間 40 秒鐘，由繪圖機繪出 72 小時預報路徑及颱風中心可能移動的或然率橢圓也僅須 90 秒鐘，計

算迅速正確，可供颱風實際預報作業重要參考。

六、建 議：

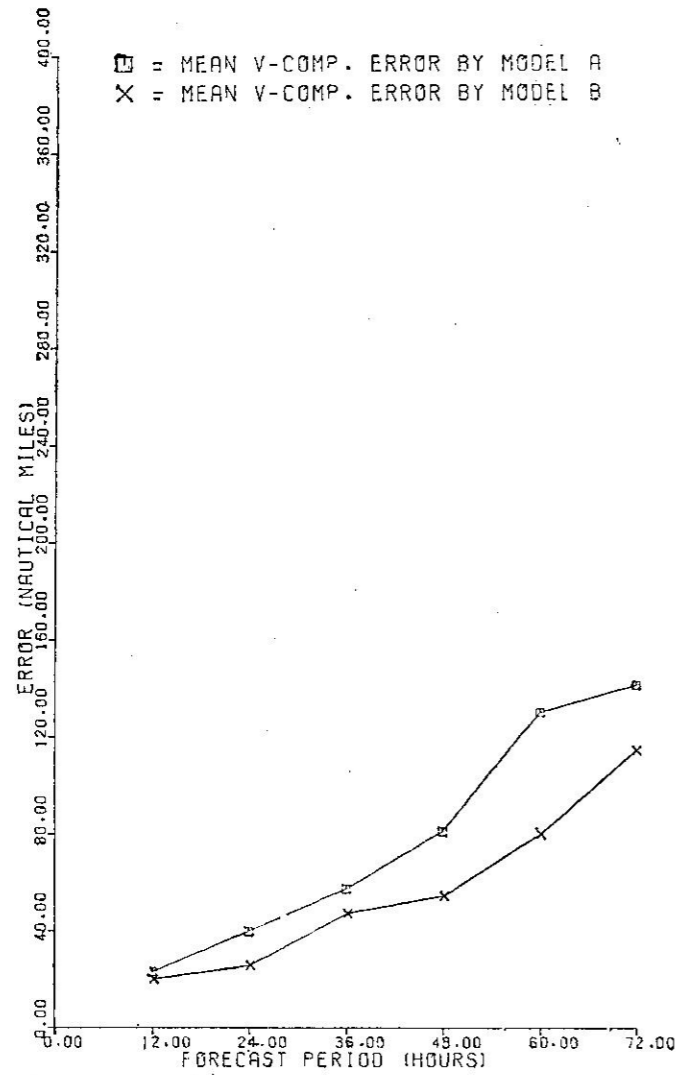
作者目前僅將 16 年的西太平洋颱風最佳路徑輸入磁帶，資料仍嫌不足，如能增加搜集 30 年以上資料，則更可提高此統計預報方法的準確性。再者，如將現在天氣圖配合所選到的歷史颱風天氣圖，進一步研究颱風附近槽、脊線位移，當更有助於颱風中心的路徑預報。

誌 謝

本文蒙中央氣象局吳副局長宗堯，臺灣大學蔡教授清彥鼓勵，中央氣象局研究發展科同仁協助及電子計算機中心支援始克完成，在此致最誠摯的謝意。

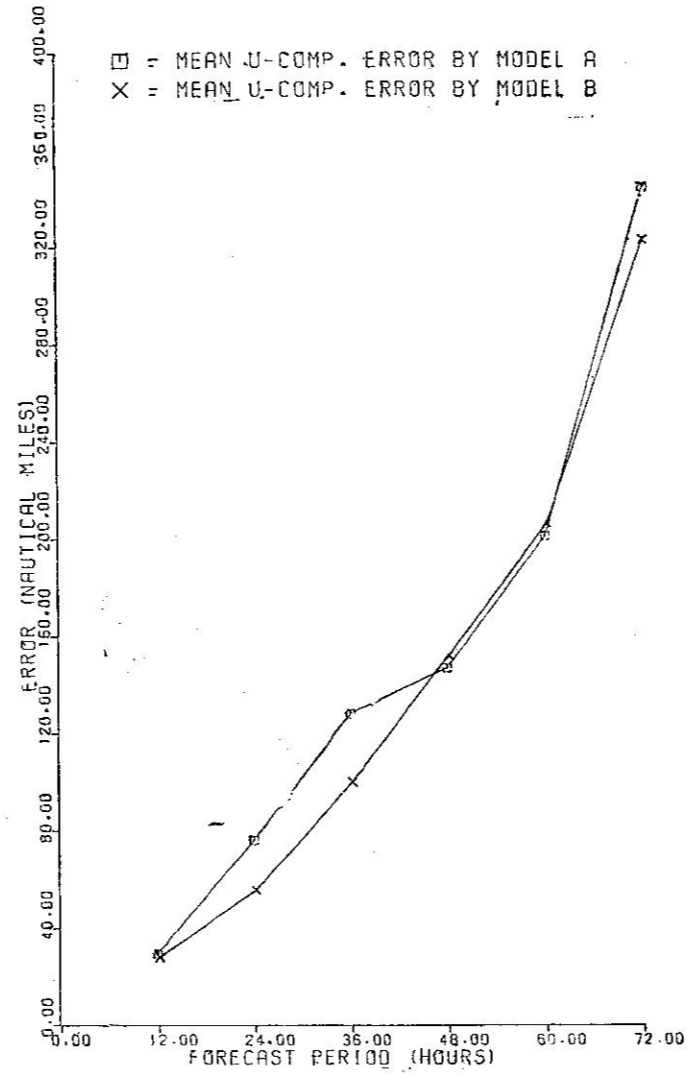
REFERENCE:

1. Hope, J.R. and Neumann, C.J./An Operational Technique for Relating the Movement of Existing Tropical Cyclones to Past Track MWR, Vol. 98, No. 12 Dec. 1970.
2. Performance Analysis of the HURRAN Tropical Cyclone Forecast System MWR, Vol. 100, No. 4, Apr. 1972.
3. Simpson, R.H./The Decision Process in Hurricane Forecasting. NOAA, Tech. Memo. NWS SR-53 1971.
4. Annual Typhoon Report Fleet Weather Central/Joint Typhoon Warning Center U.S.A. 1959-1975.
5. 汪羣從及張月珠，颱風中心之運動。The Proceedings of the National Science Council May, 1975.
6. 陳毓雷及鮑學禮，颱風路徑客觀預報方法之進一步研究氣象學報 21 卷第 3 期 Sep. 1975.
7. 胡仲英，正壓大氣數值模式及其應用，大氣科學第二期，May. 1975.



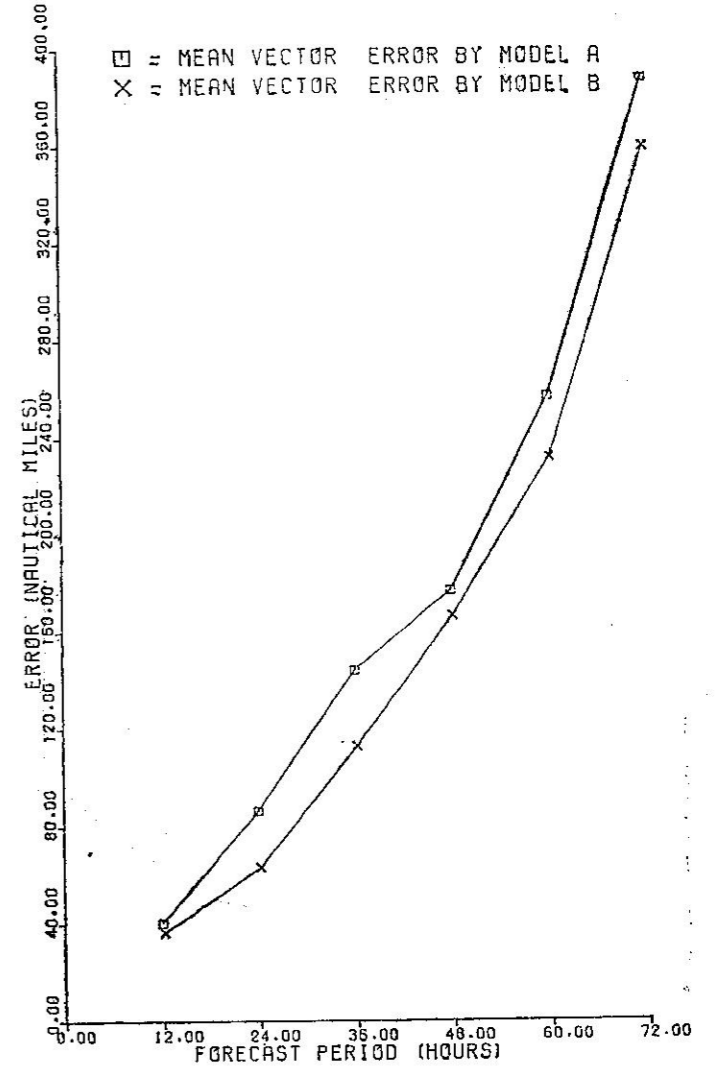
Comparison between Model A and Model B

圖六 模式 A 與模式 B 的緯向誤差比較



Comparison between Model A and Model B

圖七 模式 A 與模式 B 的經向誤差比較



Comparison between Model A and Model B

圖八 模式 A 與模式 B 的平均向量誤差比較