

颱風路徑相當正壓模式預報之校驗

蔡清彥 謝信良 陳熙揚

台灣大學大氣科學系 中央氣象局

鄭寶鳳 程家平 盛修慧

中央氣象局

摘 要

本文利用蔡清彥(1977)修正之相當正壓模式,對1985—86年台灣附近之六個颱風移動路徑加以預報,並與中央氣象局目前作業之四種颱風路徑客觀預報法之誤差比較,結果顯示,相當正壓模式24小時以上之預報結果優於其他客觀預報法,尤其在颱風路徑有所偏轉時,得以較早預測出其偏轉趨勢。此外,針對相當正壓模式預測偏慢、偏左的缺點,對未來模式之改進亦作了初步之分析與探討。

一、前 言

每年夏、秋二季來自西太平洋或南海之颱風,固然給台灣地區帶來充沛之降水,但往往同時亦造成重大的災害。近年來中央氣象局為減輕颱風災害,積極研究改進颱風預報作業技術,尤其對颱風路徑預報客觀方法之引進更是不遺餘力,唯以往多偏重於統計氣候方法,迨自民國七十五年起,方將相當正壓颱風路徑預測模式(蔡,1977)納入正式颱風預報作業。

此模式採用渦度方程預報垂直平均流線函數,在物理上考慮了 β 效應、颱風與環流的交互作用,並將其他各種不確定及未包括的物理過程,涵蓋於Helmholtz term,藉著經驗常數H的決定,對太平洋副熱帶高壓系統的位移及颱風運動,做最適當的預報。其基本方程如下:

$$\frac{d}{dt} (\xi + f) = H \frac{\partial \psi}{\partial t}$$

模式預報範圍東西大約為 $70^{\circ} E$ 至 $170^{\circ} E$,南北大約為 $10^{\circ} N$ 至 $65^{\circ} N$,在藍伯特(Lambert)投影圖上網格點(20, 12)所對應的地理位置是($120^{\circ} E$, $30^{\circ} N$),網格間距240 km,網格總數為 39×29 ,台灣大約位於圖中央的下方。在初始場的建立上,由於海洋上觀測資料的缺乏,須加入虛擬颱風的渦度,並求解包桑方程,以得到初始流線函數場的分布;其中流線函數採用1000 mb至100 mb共七個標準層梯形積分後的平均。在數值方法上,為避免計算能量分散(computational dispersion)的現象,採用Quasi-Lagrangian scheme,追蹤空氣移動的軌跡,所有非網格點上的數值,採用四點線性內插法。積分時距為30分鐘,側邊界條件為輻射邊界條件(radiation boundary condition)或稱為上游邊界條件(upstream boundary condition)。

本模式可分別在VAX 750和CDC 180/840

上作業，其完成48小時預報的計算時間，在VAX約600秒，在CDC約300秒。

本研究針對1985及1986年颱風期間，利用本模式所作之六個颱風路徑客觀預報結果進行校驗，並與同期間其他四種氣候統計預報結果作比較，以評估其間之優劣，最後就本模式之缺點之改進作初步探討。

二、校驗方法

本計畫對1985及1986年六個颱風約五十次的路徑預報結果做校驗，颱風名稱及校驗的時間列於表一。採用的校驗標準有二，一是採用警報位置：即颱風警報期間，氣象局預報中心發佈的颱風中心位置。另一採用最佳路徑位置：是颱風過後，根據衛星、雷達及飛機偵察報告等資料重新定出颱風位置。校驗的項目包括向量誤差(Vector Error)、直角誤差(Right Angle Error)、方向誤差(Heading Error)、時間誤差(Timing Error)及速度誤差(Speed Error)，各項誤差的定義分述如下：

(1)向量誤差：預報位置與最佳路徑上當時的颱風位置的球面距離。如圖一中，AM、BN、CP、DQ的球面距離各是預報的12、24、36、48小時的向量誤差。

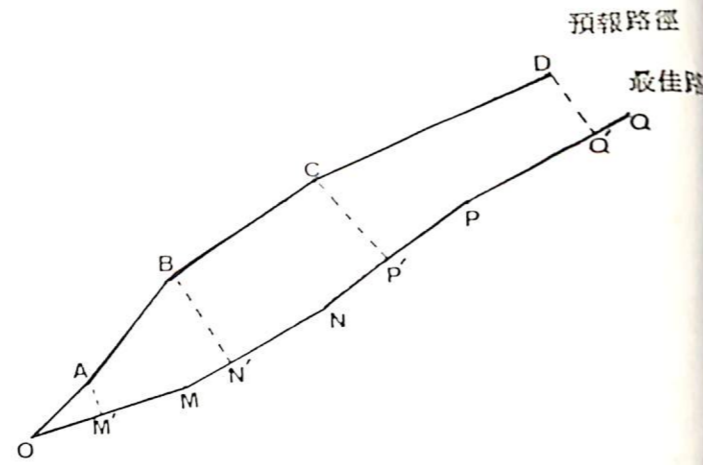
(2)直角誤差：預報位置到最佳路徑上的最短球面距離。如圖一中，AM'、BN'、CP'、DQ'的球面距離，各是預報的12、24、36、48小時的直角誤差。

(3)方向誤差：預報的颱風行進方向與最佳路徑的颱風動向的方向誤差。如圖一中∠AOM、∠BON、∠COP及∠DOQ各是預報的12、24、36、48小時的方向誤差。

(4)時間誤差：最佳路徑上距離預報位置最近的點(圖一中的M'、N'、P'、Q')所對應的時間與預報時間的差。如圖一，內插求得O點到M'點的時間減去O到M所對應的時間(12小時)，得到的差值即表示12小時的預報時間誤差，它可代表模式預報颱風到達最佳路徑上的某一位置時，在時

颱風名稱	校驗所取的時間
尼爾森 NELSON	1985/08/20/00Z - 1985/08/21/12Z
薇拉 VERA	1986/08/19/12Z - 1986/08/26/12Z
韋恩 WAYNE	1986/08/18/12Z - 1985/08/24/12Z
艾倫 ELLEN	1986/10/13/00Z - 1986/10/18/00Z
喬依 JOE	1986/11/19/00Z - 1986/11/23/12Z
開梅 KIM	1986/12/06/00Z - 1986/12/11/00Z

表一 校驗所引用的颱風名稱及時間



圖一 颱風路徑預測誤差示意圖

間上的超前或落後程度。

(5)速度誤差：預報的颱風每小時行進的距離與最佳路徑上颱風每小時行進距離的差值即是。圖一中O點到A點與O點到M點距離的差值除以12小時，即是12小時內的預報速度誤差。

由於方向誤差、時間誤差及速度誤差三者涉及正、負值，為便於討論本文分別作三種平均，其一是個別對正、負值做平均，以表現預報模式的左偏、右偏、超前、落後、偏快、偏慢的誤差程度；其二是對正、負值取絕對值做平均，以表示預報的平均偏差程度；另一是求算術平均，以表現預報模式或方法的絕對屬性。

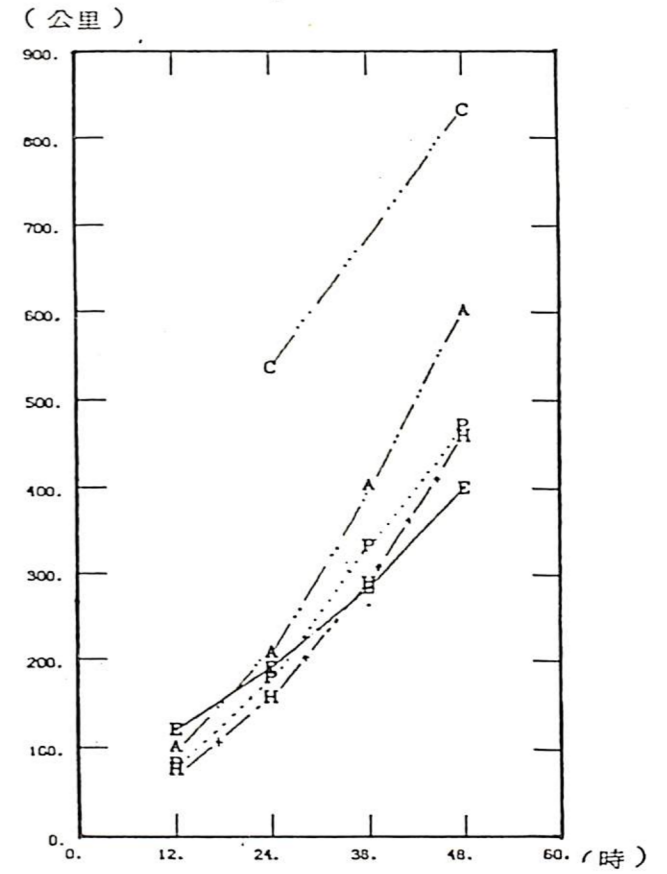
本研究除了對相當正壓模式的預報結果做校驗，並同時校驗氣象局目前使用的另四種颱風路徑客觀預報方法：HURRAN、CLIPER、PC及ANALOG(CWB-81)的預報結果。其中，HURRAN法係應用統計或然率理論，對類似於當前颱風的所有歷史颱風資料作類比推算，以預測未來12小時到72小時，颱風可能到達的位置。CLIPER法是考慮颱風的氣候學性質及持續性來改良HURRAN法，並對太平洋地區的颱風資料作篩選，以寫出迴歸方程式，來預測未來的颱風位置。PC法類似CLIPER法，考慮颱風的氣候性及持續性，惟加重綜觀氣象學的實際經驗。ANALOG(CWB-81)法的基本觀念是以時空範圍為主，就歷史颱風與當前颱風相似的程度，選用類比參數來決定其影響權重，以預測颱風的動向。

三、校驗結果分析

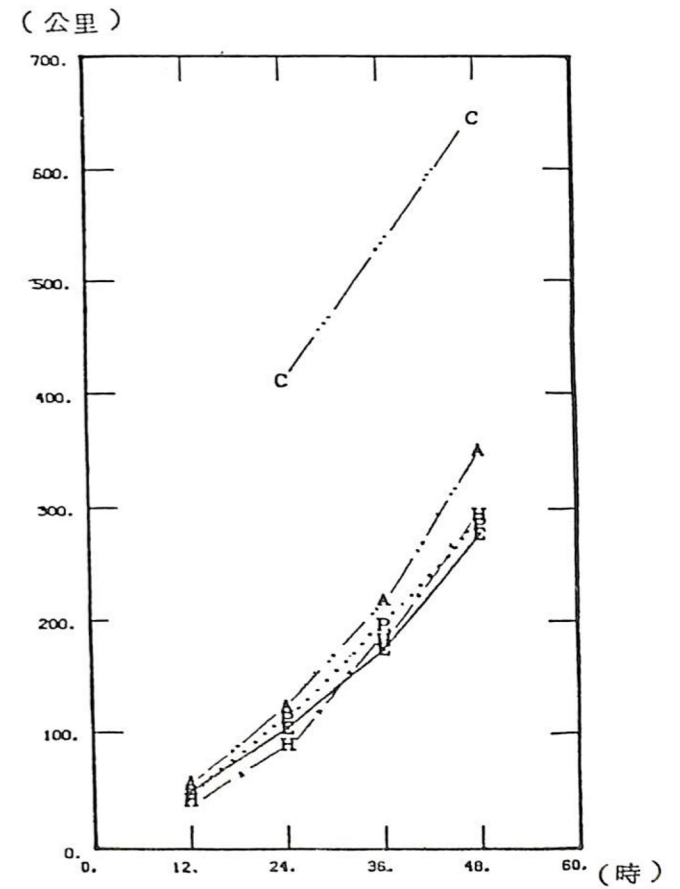
表二是五種預報方法對最佳路徑所做的校驗結果，各種誤差並以圖表示在圖二到圖十二中，除了CLIPER法只做24及48小時的預報外，其他四種方法都有12、24、36、48小時的預報結果。

表二的平均向量誤差中，相當正壓模式12小時的預報誤差是121.1公里，隨後漸增24小時為190.9公里，36小時是284.5公里，48小時為400.4公里。由圖二可看出隨預報時間的增長，相當正壓模式之向量誤差的增加幅度最小，其36小時及48小時的預報誤差值小於其他四種預報方法，而前24小時的預報則以HURRAN法最佳(圖二)。相當正壓模式的平均直角誤差值在12小時是48.7公里，24小時是105.0公里，36小時是175.8公里，48小時是277.5公里(見圖三)。

圖四是預報路徑方向左偏或右偏的平均偏差值，相當正壓模式的差值在12小時的平均預報偏差最大，24小時以後的平均預報偏差漸減。右偏差值在12小時的預報達53.5°，24、36、48小時的預報各為41°，42.3°，41.3°。左偏差值略小，12、24、36及48小時之偏差值分別是40.6°、30.7°、31.2°及28.0°，又因左偏個案多於右偏個案，使得方向誤差的算術平均在前36小時的預報都是負值(圖五)，而其絕對值的平均顯示12小時預報的方



圖二 各種颱風路徑預報法對最佳路徑的向量誤差平均

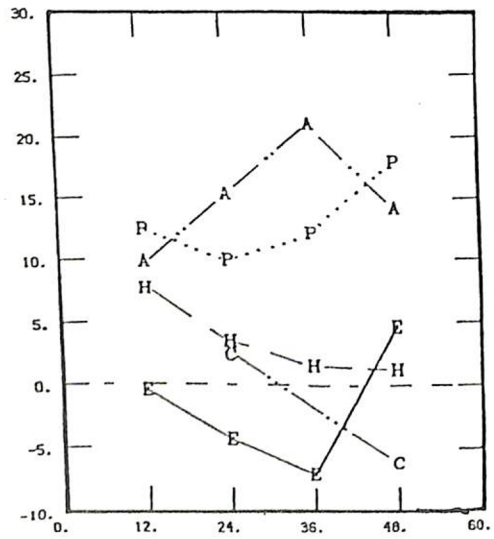


圖三 預報方法對最佳路徑的直角誤差平均

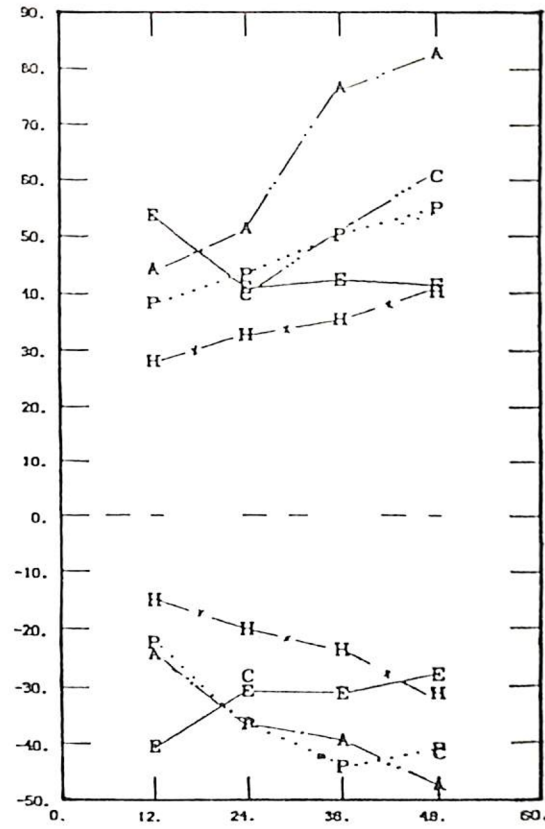
表二 五種不同颱風路徑預報方法對颱風最佳路徑的誤差校驗

Table with 24 columns and 5 main rows (EBM, HURRAN, PC, ANALOG, CLIPER) showing forecast errors for direction, distance, and speed at 12, 24, 36, and 48 hours.

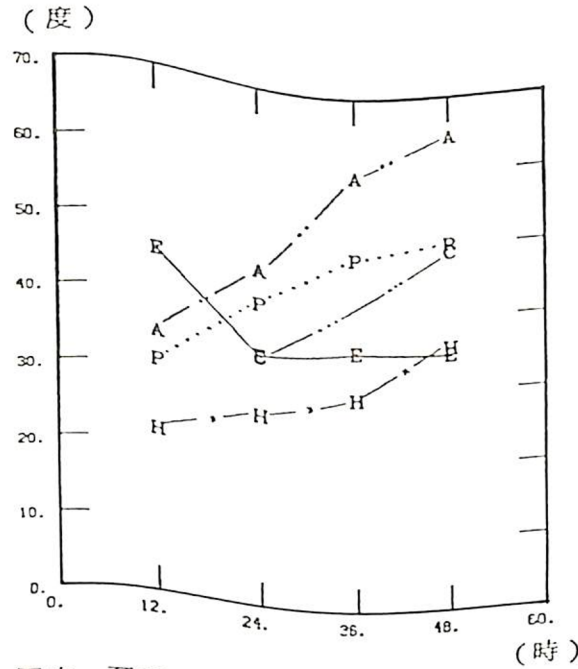
向誤差是 45.4°，24小時以後的預報減低到 35° 以下(圖六)。與其他四種預報方法比較，其12小時的預報方向誤差大於其他方法，24小時的預報遜於 HURRAN 法，與 CLIPER 法相當，而優於其他方法，36小時以後除略差於 HURRAN 法外，均勝過其他預報方法。推究相當正壓模式在前24小時的(度)



圖五 預報方法對最佳路徑的方向誤差算術平均



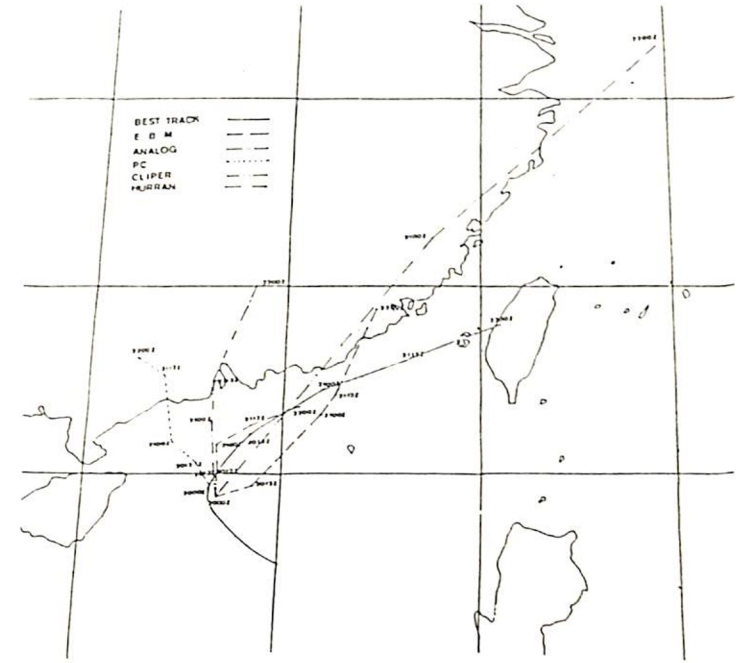
圖六 預報方法對最佳路徑的方向誤差平均(正值表示預報右偏的個案平均偏角，負值表示預報左偏的個案平均偏角)



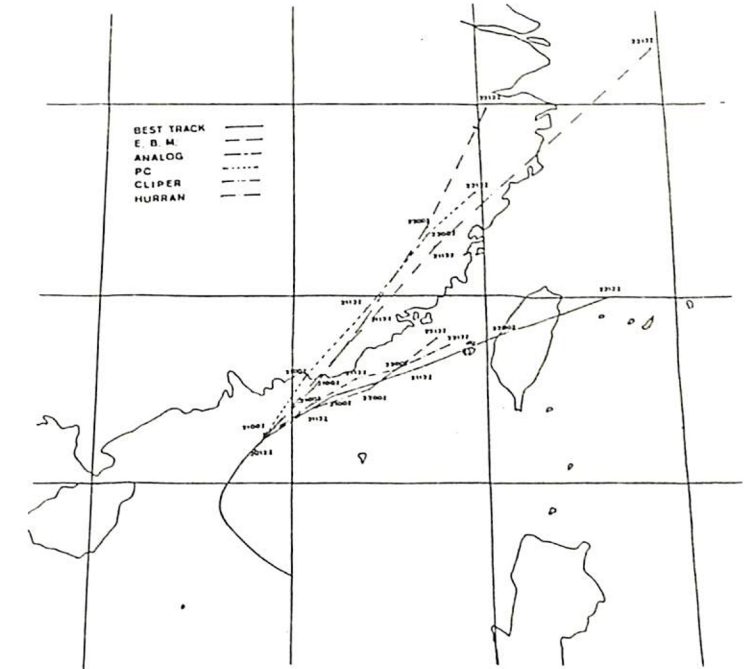
圖六 預報方法對最佳路徑的方向誤差絕對值平均

- E—E：相當正壓模式預報法
H—x—H：HURRAN 法
P.....P：PC法
A—...—A：ANALOG (CWB-81) 法
C—...—C：CLIPER 法

預報方向誤差較 HURRAN 法與 CLIPER 法差的原因，可能是後二者的預報含有較強的持續性，對於行進方向不變的颱風路徑，能有較好的預報。而在颱風轉向的關鍵時刻，相當正壓模式常能適時地作出轉向的預報，以1986年8月份路徑怪異的韋恩颱風個案為例，相當正壓模式與其他客觀預報法所作12至48小時之預測，在1986年8月20日00Z及12Z兩重要時刻所作之路徑預測如圖七(a)及圖七(b)所示，由圖中可以看出在20日00Z以相當正壓模式所作之預測，在12小時(20日12Z)的路徑預報即已預測出韋恩颱風有轉向東北的趨勢，且24小時預測(21日00Z)與實際最佳路徑相當接近，此後36小時及48小時之預測雖稍偏北及較慢，但在五種預報方法中仍以相當正壓模式之颱風路徑預報結果誤差最少。在21日12Z所作之各種客觀路徑預測，比較各種預報方法，相當正壓模式仍維持其近似40°~50°的移動路徑，與最佳路徑頗為一致，



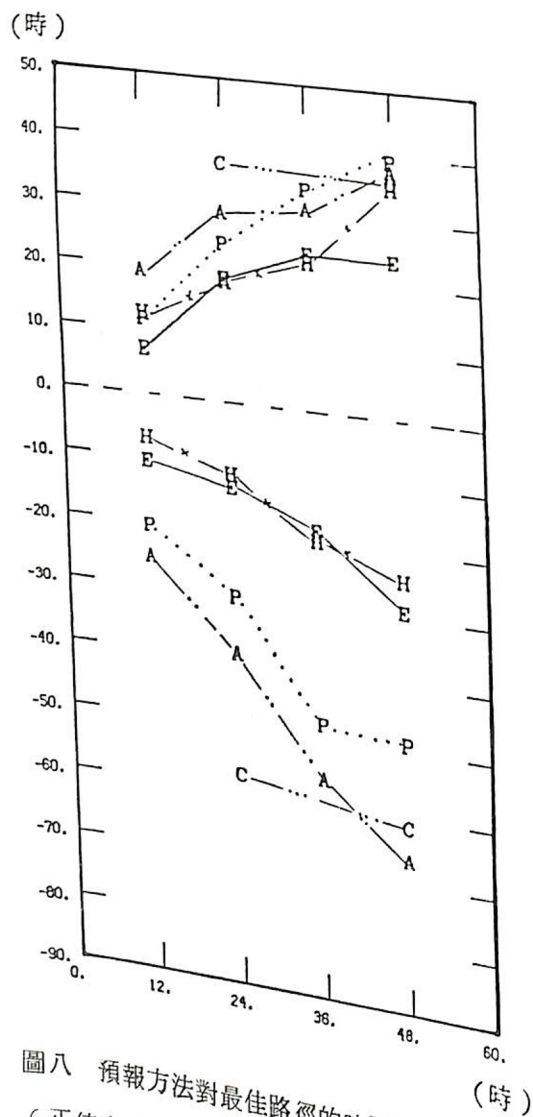
圖七 韋恩颱風的最佳路徑及五種客觀預報路徑 (a) 1986.08.20.00 Z 到 1986.08.22.00 Z



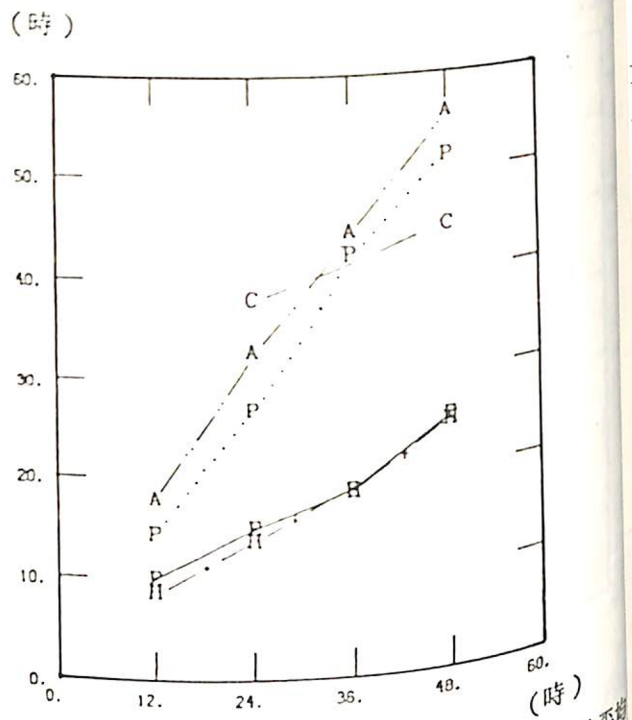
圖七 韋恩颱風的最佳路徑及五種客觀預報路徑 (b) 1986.08.20.12 Z 到 1986.08.22.12 Z

而其他四種客觀預報法(以HURRAN最佳)，雖在此時亦能預報出路徑轉向東北，但預報時效已落後相當正壓12小時。即在颱風路徑轉向之關鍵時刻，相當正壓模式最先反應出此一訊息。

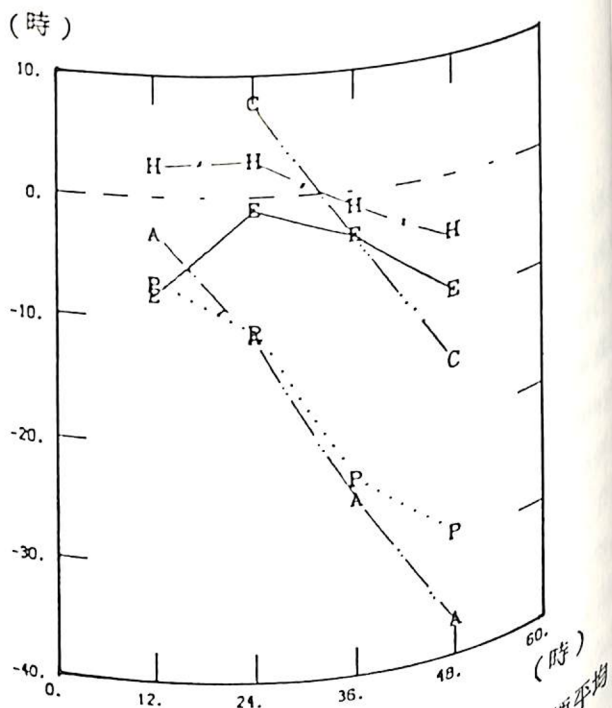
圖八是各方法在預報時間超前與落後的平均誤差，其中相當正壓法與 HURRAN 法誤差最小，而相當正壓法落後的頻率約比超前的頻率大一倍（見表二），尤其在五十次 12 小時的預報中，超前的共六次，落後的却有四十三次，其時間誤差絕對值的平均（見圖九），12 小時的值是 9.9 hr，24 小時為 14.8 hr，36 小時是 18.5 hr，24 小時是 25.3 hr。而由圖十算術平均顯示 12 小時到 48 小時的預報，相當正壓的時間誤差落後幅度均在 10 小時的範圍內。



圖八 預報方法對最佳路徑的時間誤差平均
(正值表示預報超前的個案的平均時間誤差，負值表示預報落後的個案平均時間誤差)

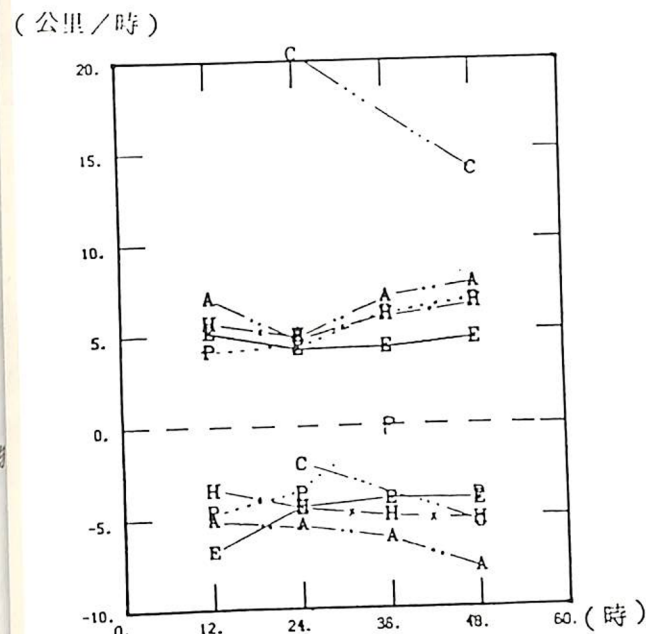


圖九 預報方法對最佳路徑的時間誤差絕對值的平均

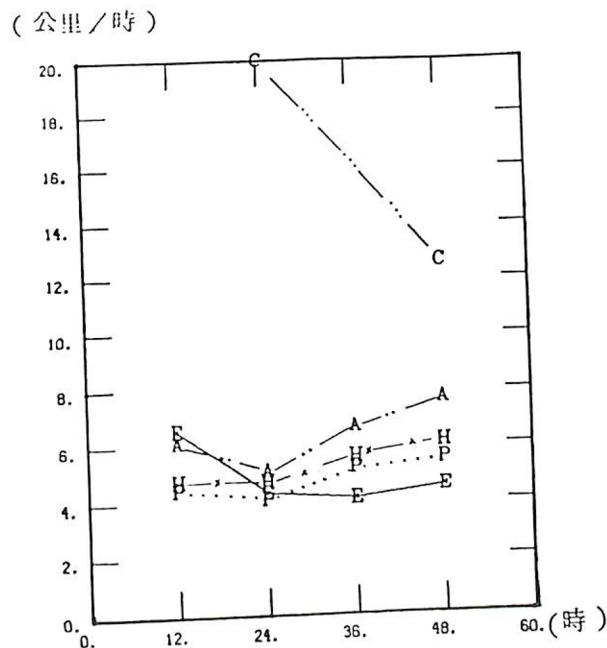


圖十 預報方法對最佳路徑的時間誤差的算術平均
圖十一分別顯示各方法在颱風移動速度偏快與偏慢預報上的誤差平均，相當正壓法在 12 小時的預報有明顯的偏慢誤差（每小時 6.9 公里），偏快誤差及其他時間預報偏慢的誤差均在每小時 5 公里的範圍內，圖十二移動速度絕對值的平均及圖十三

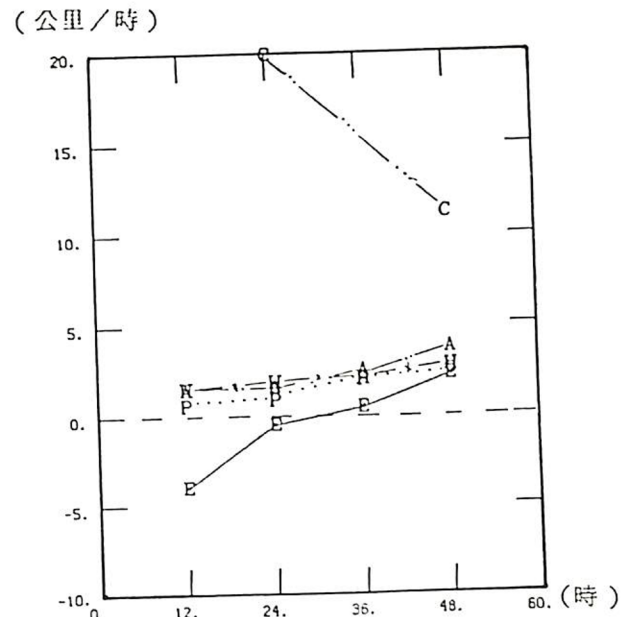
動速度算術平均顯示其 12 小時預報的速度誤差較大，24 小時已與 P C 法相當，36 小時以後則優於其他方法。由表二可看到 12 小時的颱風移速預報偏慢的個案有 38 個，偏快的有 12 個，24 小時偏慢的 25 個比偏快的多 3 個，36 小時以後則預報路徑比實際路徑偏快的頻率多。



圖十一 預報方法對最佳路徑的速度誤差平均（正值表示預報偏快的個案的速度平均誤差，負值表示預報偏慢的個案的速度平均誤差）



圖十二 預報方法對最佳路徑的速度誤差絕對值的平均



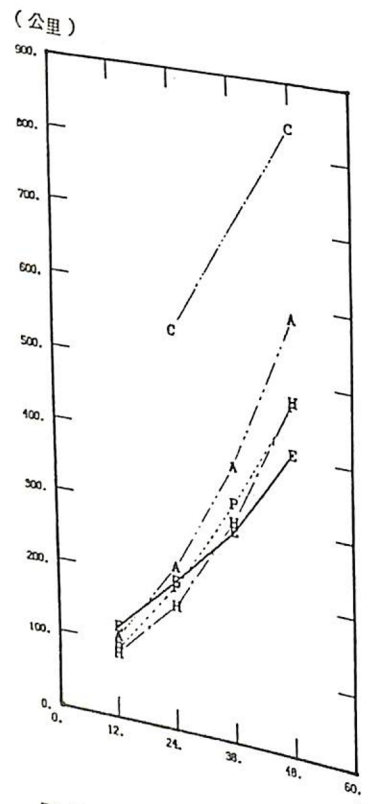
圖十三 預報方法對最佳路徑的速度誤差的算術平均

表三及圖十四到圖二十五是各預報方法對颱風警報路徑所做的各種誤差校驗結果，其中相當正壓法的各項預報誤差的大小及方向左偏、時間落後、速度偏慢的趨勢，皆與對最佳路徑的校驗相近，可見在颱風發展期間所定的警報路徑，雖與最佳路徑有點差距，然而此種初始位置誤差 (initial positioning error) 並不會使相當正壓模式的預報結果產生太大的差異。

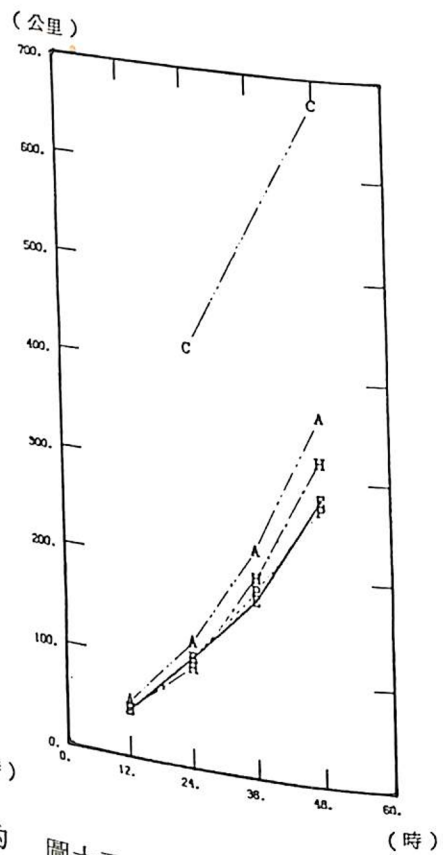
總之，綜合校驗結果顯示相當正壓模式具有一般動力預報模式的特性—初始的預報，由於模式還在物理調整，因此預報結果，可能在短時間（24 小時）內有方向偏左及速度偏慢的現象，且誤差值大於其他統計預報方法，然而在 36 小時之後，即可勝過其他方法，所以，對於做颱風的展期預報，相當正壓模式的颱風路徑預報可提供良好的參考。

表三 五種不同颱風路徑客觀預報方法對颱風警報位置的誤差校驗

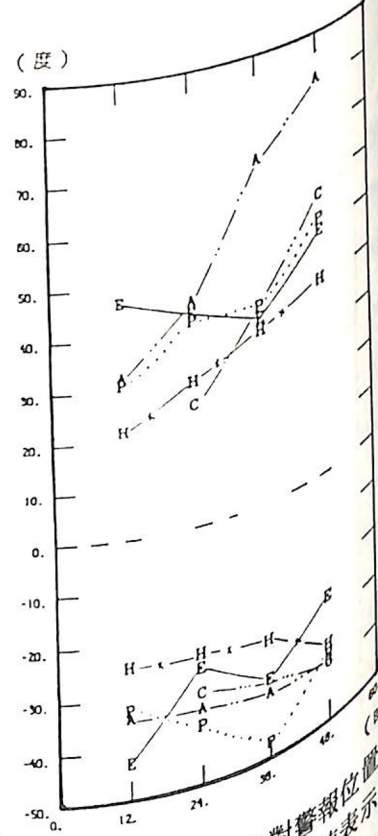
預報方法	預報時間(時)	個案數	向真誤差(公里)		直角誤差(度)		方向誤差(度)		右偏誤差(度)	右偏個案數	不偏個案數	左偏誤差(度)	左偏個案數	時間誤差(時)		時間誤差絕對值(時)		時間誤差絕對值(時)		時間誤差絕對值(時)	時間誤差絕對值(時)			
			正誤差	負誤差	正誤差	負誤差	正誤差	負誤差						正誤差	負誤差	正誤差	負誤差	正誤差	負誤差			正誤差	負誤差	正誤差
EDM	12	45	119.9	46.3	-6.2	43.7	46.9	18	1	-42.7	26	-6.7	9.4	12.2	5	3	-9.8	37	-4.6	4.5	3.5	12	0	-7.5
	24	43	197.3	107.5	-3.2	32.9	42.6	15	0	-27.3	28	-5.0	14.5	17.1	12	2	-14.4	29	-1.7	4.6	3.7	23	0	-5.7
	36	39	282.1	172.6	-4.3	35.2	37.7	6	1	-34.5	22	-6.5	15.5	15.4	12	1	-16.8	25	-1.2	4.2	5.2	15	0	-4.1
	48	36	403.5	260.6	5.5	35.8	49.6	15	0	-25.5	21	-7.0	16.9	19.5	11	3	-21.2	22	1.8	4.5	4.7	24	0	0
HURRAN	12	40	83.3	47.8	.7	21.9	21.6	21	2	-24.5	17	1.2	8.3	11.9	16	2	-6.5	22	1.0	4.9	5.6	21	0	-4.1
	24	39	163.6	98.0	1.4	27.1	29.2	19	0	-24.6	20	1.4	13.1	16.8	15	5	-12.1	19	1.4	4.6	4.7	25	0	-4.4
	36	36	294.8	194.4	-1.4	30.7	35.2	15	0	-27.0	21	0	15.1	18.2	15	4	-16.0	17	1.9	5.6	6.1	22	0	-4.7
	48	33	422.9	318.3	1.1	37.6	39.9	16	0	-34.9	17	-3.6	16.9	24.5	9	5	-17.8	19	2.7	6.1	6.3	23	0	-5.7
PC	12	53	90.6	46.7	4.3	29.4	30.8	29	4	-32.6	20	-4.6	13.6	11.1	21	5	-12.7	27	-1.3	4.7	4.2	28	1	-5.5
	24	50	190.0	102.9	2.8	39.9	41.0	26	0	-38.2	24	-12.2	26.8	22.6	16	3	-26.2	31	1.4	4.6	4.3	29	0	-5.0
	36	46	320.6	181.3	7.8	42.8	40.1	29	0	-46.6	17	-18.2	41.1	32.0	17	2	-41.9	27	1.4	4.8	5.7	25	0	-4.1
	48	41	468.0	270.0	17.1	46.3	52.0	25	0	-36.9	16	-23.6	44.8	33.3	13	2	-42.1	26	1.5	5.3	6.4	22	0	0
ANALOG	12	44	107.0	56.2	3.6	31.7	32.3	24	2	-34.0	18	-6.5	15.2	12.7	15	9	-23.9	20	.6	6.2	6.0	25	0	-6.5
	24	41	217.5	123.4	7.8	40.5	45.1	22	0	-34.8	19	-10.8	29.7	27.7	14	5	-37.7	22	-1.1	5.8	5.7	25	0	-6.0
	36	38	371.5	222.7	13.0	52.4	69.0	18	0	-36.9	20	-18.7	35.6	35.7	9	3	-39.6	26	2.0	6.4	6.6	24	0	-6.0
	48	34	584.5	363.9	14.2	57.0	80.7	15	0	-37.6	19	-22.4	40.8	31.2	10	3	-51.2	21	2.7	7.2	7.7	22	0	-6.4
CLIPER	24	40	542.9	417.6	-6.8	29.0	24.6	18	0	-32.0	22	8.2	37.4	33.8	27	6	-83.5	7	20.4	20.4	20.4	40	0	0
	48	33	838.6	674.3	-4.2	45.4	56.7	12	0	-38.3	21	-2.9	33.8	29.9	17	2	-43.3	14	11.6	13.0	13.5	30	0	-7.8



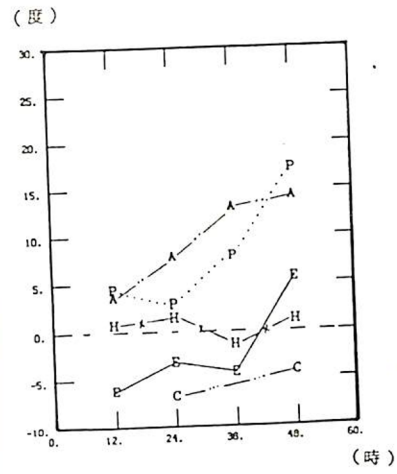
圖十四 預報方法對警報位置的向量誤差平均



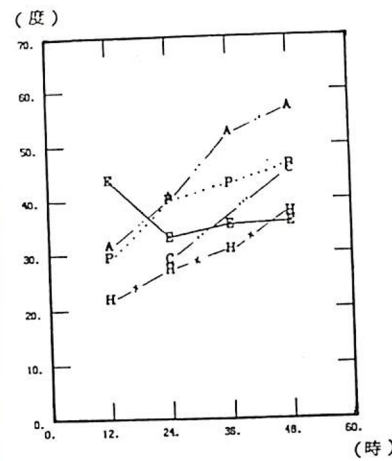
圖十五 預報方法對警報位置的直角誤差平均



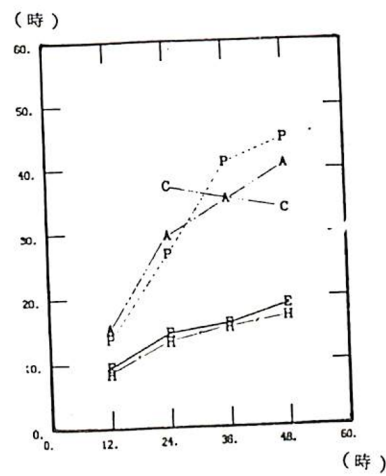
圖十六 預報方法對警報位置的誤差平均(正值表示預報右偏,負值表示預報左偏)



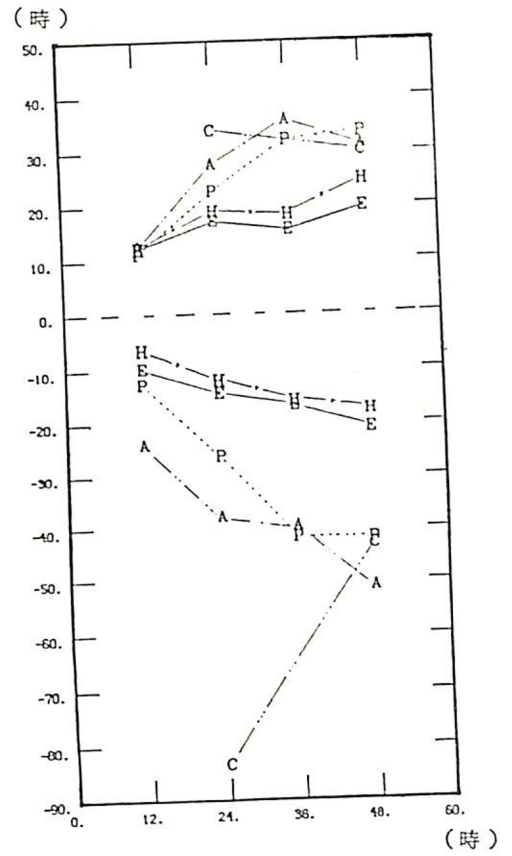
圖十七 預報方法對警報位置的方向誤差算術平均



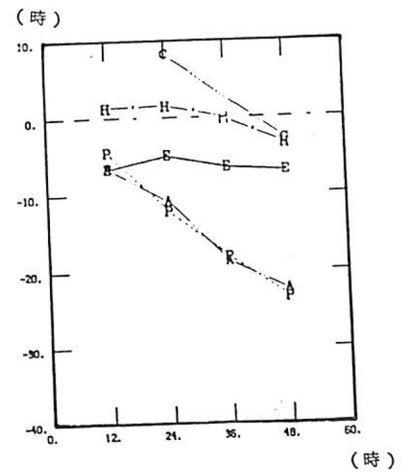
圖十八 預報方法對警報位置的方向誤差絕對值的平均



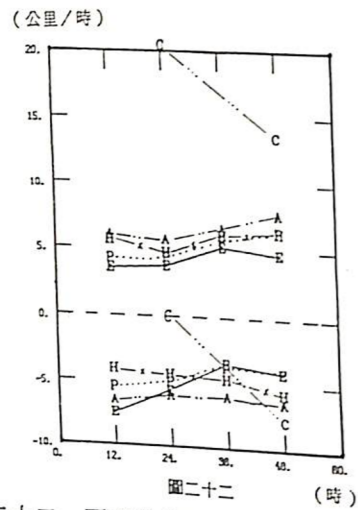
圖二十 預報方法對警報位置的時間誤差絕對值的平均



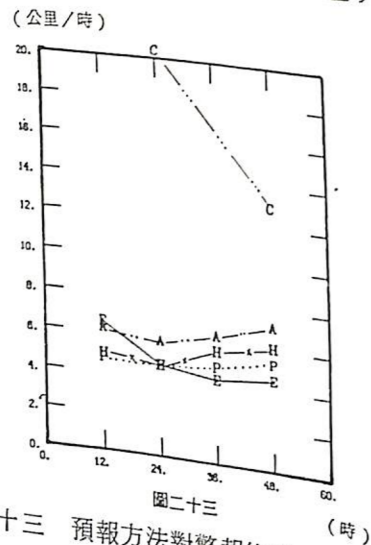
圖十九 預報方法對警報位置的時間誤差平均(正值表示預報超前的個案的平均時間誤差,負值表示預報落後的個案的平均時間誤差)



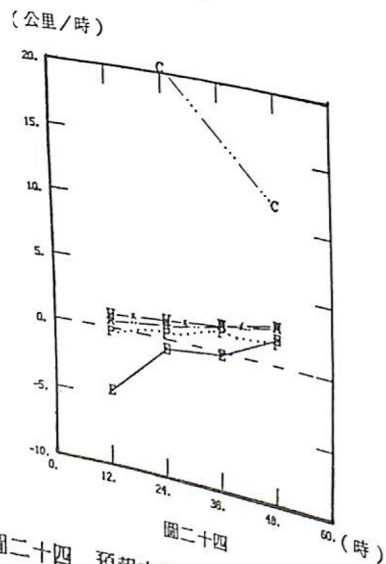
圖二十一 預報方法對警報位置的時間誤差之算術平均



圖二十二 預報方法對警報位置的速度誤差平均 (正值表示預報偏快的個案的速度平均誤差, 負值表示預報偏慢的個案的速度平均誤差)



圖二十三 預報方法對警報位置的速度誤差的絕對值平均



圖二十四 預報方法對警報位置的速度誤差的算術平均值

四、模式改進的探討

雖然由經驗顯示, 動力颱風軌跡預報模式的 24 hr 位置預報皆有相當大的誤差 (Neuman & Pelissier, 1981), 但是若能建立更精確的初始流線場, 則對整個預報誤差的減少都會有所助益, 另外我們並對虛擬颱風的加入及颱風中心的數值定位方法亦做了一些改進。此外, 對於數值方法及模式中所應包含的物理過程, 也在此做了一些觀念性的探討, 現分述如下:

(1) 虛擬颱風渦度場及流線場的建立

颱風渦度場的建立, 我們使用 Sander et al. (1975) 的經驗公式, 由觀測資料推算颱風渦度, 其公式如下:

$$\xi = \frac{0.72 V_{max}}{R} [(\sin \theta)^{1.5} + 1.5 \frac{\theta}{\pi} \alpha] \quad (4-1)$$

$$(\sin \theta)^{0.5} (\cos \theta) \quad (4-2)$$

$$\theta = \pi \left(\frac{R}{R_{max}} \right)^\alpha \quad (4-3)$$

$$V = 0.72 V_{max} (\sin \theta)^{1.5} \quad (4-3)$$

- 其中 ξ : 距颱風中心 R 處之渦度
- R: 颱風中心距某網格點之距離
- R_{max} : 颱風最大影響半徑
- R_{mw} : 颱風中心至最大風速圈的半徑
- V_{max} : 颱風最大風速

根據上三式, 我們只要有最大風速 (V_{max}) 及二個不同半徑之風速 (V_1, R_1 及 V_2, R_2), 聯立 (4-2) 及 (4-3) 式即可求得 θ, α, R_{max} 及 R_{mw} 如下:

$$\theta_i = \sin^{-1} \left(\frac{V_i}{0.72 \cdot V_{max}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (4-4)$$

$$V_i < 0.72 V_{max}, \quad i = 1, 2 \quad (4-5)$$

$$\alpha = \frac{\ln(\theta_1 / \theta_2)}{\ln(R_1 / R_2)} \quad (4-5)$$

$$R_{max} = R \left(\frac{\theta}{\pi} \right)^{-1/\alpha} \quad (4-6)$$

$$R_{mw} = R_{max} \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{1/\alpha} \quad (4-7)$$

將 (4-4), (4-5) 代入 (4-1) 式即可得各網格點之颱風渦度, 在此須注意的是由於正弦函數的極大值為 1, 因此 (4-4) 式中的限制條件在給定 V_1, V_2 時必須要滿足, 同時當 $R > R_{max}$ 時其渦度設為 0, 此外 R_{mw} 可用來檢查計算結果之正確性。

颱風流線場的建立, 是以颱風過去 6 小時的位移速度, 取代客觀分析後颱風範圍內 ($R < R_{max}$) 之分析風速, 並為了保持與環境風場的連續性, 做了一次 9 點移動平均。

(2) 初始流線函數場的建立

一般流線函數場可由高度場解非線性平衡方程而得, 但此處因我們要加入虛擬颱風的渦度場及流線場, 因此我們以風場來求取流線函數場。此處我們所使用的方法類似 Hawkins & Rosenthal (1965), 詳述如下。

根據 Helmholtz 定理, 我們可將風場分為旋轉和輻散二分量, 並定義 ψ 為流線函數 (stream function), χ 為速度位 (velocity potential), 得到下式。

$$V = k \times \nabla \psi + \nabla \chi \quad (4-8)$$

$$\nabla^2 \chi = \nabla \cdot V \quad (4-9)$$

$$\nabla^2 \psi = k \cdot \nabla \times V = \xi_1 + \xi_2 \quad (4-10)$$

其中 ξ_1 為經流修正後環境風場所求得之渦度, ξ_2 為颱風渦度, 將 (4-8) 式分別沿邊界切線方向 (\hat{s}) 和法線方向 (\hat{n}) 取其內積可得:

$$(a) \frac{\partial \psi}{\partial s} = v_n - \frac{\partial \chi}{\partial n}; \quad (b) \frac{\partial \psi}{\partial n} = v_s - \frac{\partial \chi}{\partial s} \quad (4-11)$$

$$(a) \frac{\partial \psi}{\partial n} = -v_s + \frac{\partial \chi}{\partial s}; \quad (b) \frac{\partial \chi}{\partial s} = v_s + \frac{\partial \psi}{\partial n} \quad (4-12)$$

其中切線單位向量 \hat{s} 取反時針方向為正, 而法線單位向量, 則取向外為正。(4-9) 及 (4-10) 式為典型的包桑 (Poisson) 方程可用有序超漸近法 (sequential-over relaxation method) 求解, 在求解時我們需要 ψ 及 χ 的邊界條件, 因此我們採取如下方式求解:

- ① 令邊界之 χ 為零, 解 (4-9) 式求得 χ 在各網格點的分佈。
- ② 用梯形積分法, 在內邊界上求解 (4-11、a) 式, 得到 ψ 在內邊界上的值, 其中 $\frac{\partial \chi}{\partial n}$ 以內邊界為中心, 用中差法求取, v_n 為內邊界上風的向外分量 (南邊為北風, 北邊為南風, 東邊為西風, 西邊為東風, 取正號)。 ψ 之初始值在西南點上, 定為零。
- ③ 解 (4-10) 式, 求取內邊界內各點的 ψ 值。
- ④ 用梯形積分法解 (4-12、a) 式, 求取外邊界上各點的 ψ 值。其中 $\frac{\partial \chi}{\partial s}$ 為內邊界上 χ 值沿內邊界的微分, 以中差法求取, v_n 為內邊界上平行邊界的風, 取反時針向為正。外邊界上四個角的值則以其兩側之平均值求取。
- ⑤ 解 (4-10) 式, 求取外邊界內各點的 ψ 值。
- ⑥ 用梯形積分法解 (4-11、b) 式, 求取外邊界上各點的 χ 值, 其中 v_n 的定義如前述, $\frac{\partial \psi}{\partial s}$ 在內邊界上用中差法求取。
- ⑦ 解 (4-9) 式得到 χ 在各網格點之分佈。
- ⑧ 回到步驟②, 但 ψ 之初始值用已求出者。再經由步驟③到⑤後結束。

在上面的求解步驟中, 我們已經假設了颱風渦度場對近邊界處的風場影響不大, 但同時亦容許了颱風渦度對邊界條件的些許調整。

(3) 颱風中心位置的決定

決定颱風中心位置的最適用參數, 目前尚無定論 (Elsberry, 1979), 然而由於我們使用的是正壓模式, 且在有限網格解析度下 ($D = 240 \text{ km}$), 使用最大正渦度中心, 或最小流線函數中心, 並無太大不同, 因此我們用渦度場配合如下的方法來決定颱風中心:

參考文獻

蔡清彥, 1975: 數值天氣預報在台灣地區的應用。國立台灣大學大氣科學系研究報告 NWP-01 號。

蔡清彥, 1977: 颱風路徑之數值預報實驗。國立台灣大學大氣科學系研究報告 NWP-04 號。

蔡清彥, 1978: 正壓颱風路徑預報之數值方法比較。國立台灣大學大氣科學系研究報告 NWP-08 號。

劉廣英, 1979: 關於颱風運動的幾個小問題。氣象預報與分析, 80。

劉廣英, 1984: 西北太平洋及南海地區雙颱風運動特性之分析與探討。國科會專題研究計畫, NSC-73-0202-M072-02 號。

謝信良, 劉復誠, 王忠山, 1976: 颱風路徑客觀預報方法在台灣及鄰近地區應用之初步研究。氣象學報, 32, 2, 1-25。

Anthes, R.A., 1982: Tropical Cyclones: Their Evolution, structure and Effects. *Meteor. Monogr.*, 41, Amer. Meteor. Soc., 208pp.

Chu, K.K., S.T. Wang, and H.P. Pao, 1977: Surface Wind Fields and Moving Tracks of Typhoons When Encountering the Island of Taiwan. 11th Tech. Conference on Hurricanes and Tropical Meteor. of Amer. Meteor. Soc., Dec. 13-16, 1977.

Elsberry, R.L., 1979: Applications of Tropical Cyclone Models. *M.W.R.*, 60, 750-761.

Haltiner, G.J., and R.T. Williams, 1979: Numerical Prediction and Dynamic Meteorology, 477pp.

Hawkins, H.F., and S.L. Rosenthal, 1965: On the Computation of Stream Functions From the Wind Field. *M.W.R.*, 93, 245-252.

Holland, G.J., 1983: Tropical Cyclone Motion: Environmental Interaction Plus a Beta Effect. *J.A.S.*, 40, 328-342.

Kitade, T., 1979: A Method of Numerical Time Intergration Using A Moving Variable Grid. *J.M.S.J.*, 57, 576-586.

Kuo, H.L., 1969: Motions of Vortices and Circulating Cylinder in Shear Flow with Friction. *J.A.S.*, 26, 390-398.

Mesinger, F. and A. Arakawa, 1976: Numerical Method Used in Atmospheric Models. WMO/ICSU Joint Organizing, GARP Publication Series, No.17, 64pp.

Neuman, C.J., and J.M. Pelissier, 1981: Models for the Prediction of Tropical Cyclone Motion over the Atlantic: An Operational Evaluation. *M.W.R.*, 109, 522-538.

Sanders, F., A.C. Pike, and J.P. Gaertner, 1975: A Barotropic Model for Operational Predictions of Tracks of Tropical Storms. *J.A.M.*, 14, 265-280.

Tsui, T.L., 1984: A Selection Technique For Tropical Cyclone Objective Forecast Aids. 15th Conference on Hurricanes & Tropical Meteorology, January 9-13, 1984, Miami, Fla., Published by the American Meteorological Society, Boston, Mass., 40-44.

阻力 (surface friction drag)、地形效應 (Chu, 1977; 劉, 1979) 及雙風交互作用 (劉, 1984)。

其中輻散度不是正壓高度方程所能考慮，而雙風交互作用我們暫不考慮，剩下的拖曳阻力及地形效應，應可放入模式中，其中地形效應似乎較為單純而拖曳阻力則有賴適當的統計資料為參數化法的基礎，須要進一步的探討。

五、結 論

由以上誤差校驗結果顯示，使用相當正壓模式對於颱風路徑之預測，與中央氣象局現行各種客觀預報法比較，就36小時以上之路徑預測而言，不論在向量誤差或直角誤差，均以相當正壓模式為最小；相當正壓模式預測之方向誤差顯示有左偏傾向，但誤差隨時間減小且優於其他統計氣候法；速度誤差，對12小時至24小時之預報雖較其他四種方法大而偏慢，但24小時以上之預報對颱風動向之掌握遠優於其他各法，而此12小時預報較慢及角度偏差較大之缺點，可由其能優先顯示出轉向趨勢而彌補，使得以掌握正確颱風路徑變化預報先機。

針對相當正壓模式在12至24小時內預報偏慢及偏左之缺點，另嘗試探討對於初始加入的虛擬風場及流線函數場之建立作修正，並改進雙風中心之定位方法，此修正後之模式預報誤差結果，仍有待校驗。此外，相當正壓模式所採用之 Quasi-Lagrangian 數值方法，雖能解決計算能量分散問題，但仍會產生計算消弱問題，而地形效應及拖曳力之物理過程對模式預報之改進具有重大影響，仍有待我們作更進一步之考慮與研究。

致謝

本研究在中央氣象局科技研究計畫 (編號 CW76-01-18) 經費支援下完成。

①以前6小時預報颱風位置為中心，400 km 為半徑找尋具有最大正渦度的網格點。

②以此點為中心，在 x 及 y 方向左右各取一點，並以此三點之渦度值，在 x 及 y 方向各建立一個二次曲線，並各求此二次曲線的極大值位置則可得到此次預報颱風中心的位置。

(4) 數值方法

使用 Quasi-Lagrangian scheme 及四點線性內插雖然可避免計算能量分散的問題，但是却會產生很大的計算消弱 (computational damping or smoothing) 現象 (蔡, 1977; Mesinger & Arakawa, 1976)。推究其原因，主要為網格間距太大的結果，因此在使用 Quasi-Lagrangian scheme 的原則下研擬一套減小網格間距而又不增加太多的計算負擔 (computer Load) 的數值方法實為必須，在此前提下巢狀網路 (nested grid) 系統似乎是唯一選擇。另外值得一提的是，由於此模式使用的是 Quasi-Lagrangian scheme，因此由巢狀網格解析度不同所引起的短波干擾問題可適當地避免 (Kitade, 1979)，因此我們只要致力於解決網格間的交互作用問題即可 (當使用 two way interaction 時)，而使問題變得較為單純。惟實際使用時，我們發現，即使使用巢狀網路，却仍受 CDC 主記憶體的限制而無法付諸實現，因而此點須待將程式寫得更精簡後方能施行。

(5) 模式物理

在控制颱風移動的物理因素中，除第一節所述外，尚包含颱風輻散度 (Holland, 1983; Anthes, 1982)、拖曳阻力 (Kuo, 1969)：包括①颱風垂直動量輸送所造成的阻力，一般稱之為積雲摩擦阻力 (cumulus friction drag)。②由渦旋移動之尾流 (wake) 所產生的擾流 (eddy) 阻力，一般稱之為氣壓拖曳阻力 (pressure drag)。③由地表摩擦所產生之阻力，一般稱之為地表摩擦

AN EVALUATION OF CWB BAROTROPIC TYPHOON TRACK PREDICTION

Ching-Yen Tsay
National Taiwan University

Shinn-Liang Shieh

Shi Yang Chen

Central Weather Bureau

Bao-Fong Charn

Chin Ping Cheng

Shiou Suey Sheng

Central Weather Bureau

ABSTRACT

Using the barotropic typhoon track prediction model by Tsay (1977), this study evaluates the predictions of 6 typhoons in the vicinity of Taiwan in 1985-86. It is shown that the prediction after 24 hours by the model is better than those of the other four objective typhoon track prediction methods used in the Central Weather Bureau (CWB). The model is able to predict the turning of typhoon track earlier than the other methods. In addition, this paper also studies the speed and direction errors of the model.