

相當正壓颱風路徑預報模式之改進研究

蔡清彥

陳得松

中央氣象局

摘要

針對中央氣象局用相當正壓颱風路徑預報模式的系統性誤差，本文嘗試由初始場的處理來改進，共分為兩個步驟，第一步為獲得軸對稱之虛擬颱風，我先對虛擬颱風渦度場的加入做改良，也就是在加入虛擬颱風渦度場後，求流線場時，分兩次來解苞桑方程，即先由模式範圍的渦度場求解流線場，再加颱風影響範圍(11×11)另外再解一次苞桑方程，以求得颱風影響範圍的流線場，經過如此處理初場的預報結果，在向量誤差、直角誤差、方向誤差、速度誤差等方面的表現均較原模式改進很多；第二步我們再對已加入虛擬颱風渦度場的初始場再加進虛擬的 β -gyre渦度場於颱風範圍中，此項渦度場的加入乃為模擬因南北緯度變化而引起的次環流，而如此的模式預報結果，又比在初始場只加入虛擬颱風渦度場的模式表現得更為良好，尤其以颱風移速方面改進最多，就所取的十個個案平均而言，原模式所預報的颱風移速在12小時後慢了14.5公里/小時，而改進虛擬颱風渦度場的加入法後，12小時預報慢了10.8公里/小時；最後再加入虛擬 β -gyre渦度場的預報結果，12小時之後只慢3.8公里/小時，並且在24小時後，預報之颱風移速就非常接近真正移速了；另外在向量誤差方面也明顯改善了預報結果，先後三種模式在12小時之後的預報誤差各為192公里、142公里、80公里。

一、前言

台灣地區位於西北太平洋及南海颱風行徑的要衝，每年因颱風所造成的損失為各類天然災害之首，所以有效提高颱風路徑預報的準確度，以減少因颱風所成的損失，是我們應努力研究的課題。颱風路徑的預報方法，概分為兩大類，即數值預報模式和氣候統計法。就準確性而言，中期的預報(48-72小時)以數值模式預報較佳(Anthes, 1982)，而短期間的預報結果(24-36小時)則以氣候計法表現較好。

近年來中央氣象局積極研究改進颱風預報作業技術，尤其注重路徑預報之改良，從民國75年起，將正

壓颱風路徑處理模式(蔡1978, 1980; Tsay, 1978)納入正式颱風預報作業，此模式作業以來，其系統性誤差與其它統計方法相當且優於CLIPPER，並在24小時之後有較好表現(蔡等, 1988)。此模式因使用一階空間差分，故有計算消弱的現象，此外在模式範圍中僅能涵蓋太平洋高壓的西側，常不正確建立太平洋高壓的位置及強度，故其後蔡和程(1989)乃將模式範圍向右移動10°經度，並改變數值方法為三次的 bi-Bessel 內差法，結果新模式約能改進15%左右的預報誤差。

前面我們曾提到，數值模式預報結果在短時間（24-36小時）不如氣候統計法，這可能是因為颱風中心附近資料取得不易，以致無法建立正確的初始場，而且在預報初期，數值模式內部之動力過程尚未調整至平衡狀態之故：有鑑於此，本文將嘗試由初始場的改進來改進短時間（24-36小時）的預報結果。

二、模式改進

本文主要以蔡和程(1989)修改後之正壓颱風路徑預報模式為架構；並針對初始資料之建立作改進研究，希望能有效減少預報初期的誤差。

原模式的範圍東西大約為80°E至180°E，南北約為15°N至65°N，在藍伯特(Lambert)投影圖上網格點(20, 12)所對應的地理位置為(130°E, 30°N)，網格間距約為240公里，總網格數為39*29個，數值方法則採用3次的bi-Bessel，內差法，以增加精確度並避免計算消弱的現象，積分時距是30分鐘，而邊界條件為

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = -V_n + \frac{\partial x}{\partial n}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = V_s - \frac{\partial x}{\partial s}$$

s：切線單位向量，反時針為正

n：法線單位向量，向外為正

Vs：平行邊界的切線風速

Vn：垂直邊界的流線風速

φ：流線函數

X：速度位

我們對初始場的改進主要分成兩大部分。

(一) 虛擬颱風初始流線場求取方法之改進。

在加入虛擬颱風渦度場求解初始流線場時，我們做了一些改進。由於虛擬颱風渦度場是以對稱的形式加入，故所得颱風流線場也應該是對稱的。但原模式卻在加入虛擬颱風渦度場後對整個模式範圍求解苞桑方程，而因颱風渦度中心大部分位於模式下方由於邊界條件的關係，故所解得之颱風影響範圍(11x11)流線變非對稱形式。所以我們改以在加入虛擬颱風渦度場後，分兩次解苞桑方程以求得軸對稱的初始流線場。我們先由整個模式範圍之大尺度渦度場求解而得大尺度

流線場。再以大尺度流線場為邊界條件，由虛擬颱風渦度場求取颱風影響範圍（颱風中心上、下、左、右各5個網格點之範圍）之流線函數。

(二) 虛擬定β-gyre之加入

對已加入虛擬對稱颱風的初始場再加進虛擬的β-gyre渦度場於颱風範圍中。此項虛擬渦度場的加入主要乃是為了模擬因南北緯度變化而引起的次環流。蔡及程(1989)發現在未加進此項虛擬β-gyre渦度場的模式中，約於預報36-48小時後，才會因內部動力調整而形成此種次環流。換言之，在颱風生成初期，此種次環流應已存在，但因颱風範圍觀測不易，所得資料常無法代表實際風場；故我們乃在初始場再加入虛擬的β-gyre渦度場以求更接近颱風初始場。

關於β-gyre之加入法，我們主要以颱風前6小時移動方向為方向，前6小時移速為中心風速，而波長則採所取10個個案在未加入此項虛擬渦度場之模式中，預報48小時之颱風範圍不對稱部分之平均波長為值。

三、個案討論

我們對蔡和程(1989)的論文中，所選取的1987年十個個案(如下表)以測試。所有風場網格點資料均採中央氣象局作業客觀分析資料。限於篇幅，在此只選擇幾個典型個案加以討論。

表一 本文所採用之十個颱風個案

颱風名稱	時間	強度
賽洛瑪	THELMA 1987/07/11/00Z	中
賽洛瑪	THRLMA 1987/07/12/00Z	中
費南	VERNON 1987/07/20/00Z	中
亞力士	ALEX 1987/07/25/12Z	中
凱瑞	CARY 1987/08/16/00Z	中
凱瑞	CARY 1987/08/17/00Z	中
黛娜	DINAH 1987/08/27/00Z	強
傑魯得	GERALD 1987/09/07/00Z	中
琳恩	LYNN 1987/10/21/00Z	強
琳恩	LYNN 1987/10/23/00Z	中

為了方便討論，我們稱蔡和程(1989)之原模式為A模式，修改虛擬颱風加入法的模式稱B模式，而再加入虛擬 β -gyre的最新模式稱C模式。圖1至圖3為黛娜(DINAH)颱風分別以A、B、C三種模式所作的預報，其中(a)為颱風範圍之初始流線場，(b)為48小時預報圖，其中實線為流線函數，等值線間距為 $3 \times 10^6 \text{ m/s}$ ，虛擬為等渦度線，等值線間距為 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，預報颱風中心位置每6小時以一颱風符號及連線標於圖上。初始時間為8月27日00Z，由圖1a可見，由於颱風中心大部位於模式範圍下方，以A模式之方法解苞桑方程所得之颱風流線場必呈不合理之下密上疏之情形，而不是軸對稱的形式，此不合理之初始流線場必會造成颱風往東移動的額外分量或往西移速不合理減小的現象。

在圖2a中，因修改了虛擬颱風渦度場加入的方法，颱風影響範圍之流線場則是軸對稱的形式，不再是下密上疏之情形。

圖3a為加入虛擬 β -gyre後之流線場，由於 β -gyre渦度場的數量級較颱風渦度場小一級，所以對初始流線場的形式並不致有太大影響，但在積分後仍可產生重大影響，可見颱風初始場的處理對預報結果非常重要。黛娜颱風在24小時後之位置為(21.0°N, 127.4°E)，由圖1b, 2b, 3b可見各模式之預報位置，A模式為(21.6°N, 131.8°E)，B模式為(21.0°N, 129.5°E)，C模式則是(21.2°N, 128.2°E)，模式在南北位置上都報得不錯，但東西方向上則以C模式較佳，其它兩模式都太偏東了；36小時後颱風中心位於(21.6°N, 126.8°E)，A模式預報位置(23.5°N, 131.5°E)，B模式為(21.9°N, 128.6°E)，C模式為(21.9°N, 127.5°E)，A模式預報較實際偏東北，仍以C模式結果最好。

圖4至圖6為琳恩(LYNN)颱風分別以A、B、C三模式所做之預報結果。初始時間為10月23日00Z，由圖4a可見，A模式之颱風初始流線場仍呈現下密上疏之型式。

圖5a(B模式)之流線函數則反而呈現上密下疏的現象。

從圖4b, 5b及6b中知琳恩颱風在24小時後中

心位於(19.4°N, 120.0°E)，A模式預報位置為(21.93°N, 125.7°E)太偏東了，B模式預報也稍偏東(20.65°N, 123.4°E)，C模式仍報得最好為(19.45°N, 121.1°E)；36小時後颱風中心位於(20.0°N, 119.9°E)，A模式為(25.12°N, 125.20°E)太偏東北向，B模式為(22.73°N, 122.4°E)，較A模式改進，但還是稍偏東北向，而C模式為(20.67°N, 119.3°E)，則非常接近颱風真正中心位置了。

四、模式校驗與討論

對於表一中的10個個案，我們分別計算三種模式的各種預報誤差包括向量誤差、直角誤差、方向角誤差和速度誤差等。各種誤差的定義如蔡等(1988)所述。圖7所示為各模式的向量誤差，其中縱軸為距離，單位為公里，橫軸為預報時間，A、B、C分別代表各個模式。由此圖可見48小時以內的預報中，以C模式最佳，B模式次之。C模式在24小時及36小時的預報誤差分別為140公里及258公里；B模式為230公里及302公里，而A模式則達到309公里及405公里。圖8則為各模式的直角誤差，座標軸定義同前。由此圖知，除了B模式在預報36小時後誤差略優於C模式外，還是C模式預報結果最好，A模式較差。圖9所示為各模式的方向角誤差，其中圖9a為絕對值平均，圖9b為代數值平均，橫軸為預報時間，縱軸為角度誤差值，負值表偏左，正值偏右。由圖9a可見A、B、C模式在12小時的預報誤差均頗大，而C模式則明顯減少很多，但A、B模式的誤差遞減得很快，而C模式在24小時後則有緩慢上升的趨勢，但整體而言，仍以C模式表現最佳；圖9b則可見三種模式均較真實路徑偏右，但仍以C模式最好。圖10為各模式的速度誤差，其中圖10a為絕對值平均，而圖10b為代數值平均，圖上橫軸為時間，縱軸為速度誤差，單位為公里/小時，由圖10a可見A、B模式在12小時後的預報誤差頗大，但隨時間則迅速遞減，而仍以C模式最好；再看圖10b中，發現三種模式在預報12小時後都有偏慢現象，但C模式在預報24小時後則非常接近颱風真正移速了。

表二所示為各模式誤差校驗值，在A模式中十個

個案在路徑預報上都偏右，而B、C模式偏右，偏左約各佔半數，在速度方面，A、B模式各有7、8個個案作慢，C模式則有4個個案偏快。

五、結論

颱風路徑數值預報在短時間之誤差常較氣候統計法者為大，這可能是因為颱風中心附近資料取得困難，以致無法建立正確的颱風初始資料場，而數值模式常需要一段時間後，內部動力過程才能調整平衡之故；有鑑於此我們分兩部份來改進正壓模式的初始場：

(一) 虛擬颱風初始流線場求取方法之改進。

(二) 虛擬 β -gyre渦度場的加入。

結果新模式的各項誤差均較原模式改進甚多，可見初始場的正確建立是非常重要的。

誌謝

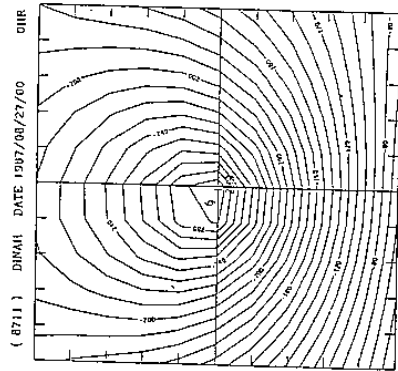
我們感謝審查者之細心閱讀與建議。本文是在國科會研究計劃編號NSC-78-0414-P-002-08B 補助下完成的。

參考文獻

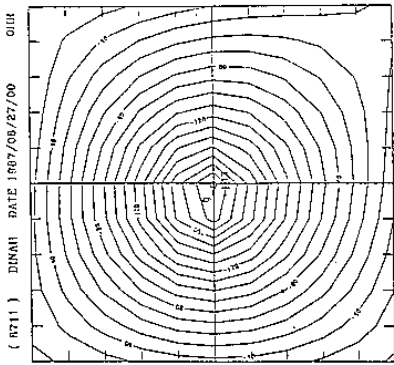
- 蔡清彥，1978：颱風路徑之數值預報。科學發展月刊，6，378-387。
- 蔡清彥，1980：正壓颱風路徑預報之資料客觀分析，大氣科學，7，58-72。
- 蔡清彥、謝信良、陳熙揚、鄭寶鳳、程家平、盛修慧、1988：颱風路徑相當正壓預報方法之校驗。中央氣象局科技中心技術報告彙編，第2-2卷，319-340。
- 蔡清彥，程家平，1989：正壓颱風路徑預報模式之改進研究。大氣科學，17，101-120

- Adem, J., and P. Lezamn, 1960: On the motion of a cyclone embedded in a uniform flow. *Tellus*, 12, 255-258.
- Anthes, and J. A. Hoke, 1975: The effect of horizontal divergence and the latitudinal variation of the Coriolis parameter on the drift of a model hurricane. *Mon. Wea. Rev.*, 103, 757-763.
- Chan, J. C.-L., and R. T. LWilliams, 1987: Analytical and numerical studies of the beta-effect in tropical cyclone motion. Part I: Zero mean flow. *J. Atmos. Sci.*, 44, 1257-1265.
- DeMaria. M., 1983: Experiments with a spectral tropical cyclone model. *Atmos. Sce. Paper No. 371*. Department of Atmospheric Science, Colorado Stats University, Fort collins, co, 224pp.
- , 1985: Tropical cyclone motion in a nondivergent barotropic model. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1199-1201.
- Fiorino, M., 1987: The role of vortex structure in tropical cyclone motion. Ph.D. dissertation., Naval Post-graduate School, Monterey, CA, 93943, 370pp.
- Hawkins, H. F., and S. L. Rosenthal, 1965: On the computation of stream functions from the wind field. *N. W. R.*, 93, 245-252.
- Holland, G. J., 1983: Tropical cyclone motion: Environmental interaction plus a beta effect. *J. Atmos. Sci.*, 40, 328-242.

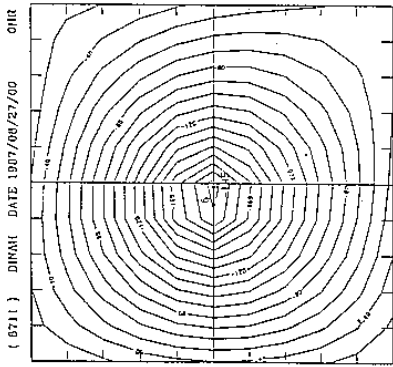
- Lawrence, L. Takacs, 1985: A two-step scheme for the advection equation with minimized dissipation and dispersion errors. *Mon. Wea. Rev.* 113, 1050-1065.
- Neuman, C. J., and J. M. Pelissier, 1981: Models for the prediction of tropical cyclone motion over the Atlantic: An operational evaluation. *M. 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.
- Rossby, C. G., 1948: On the displacement and intensity change of atmospheric vortices. *J. Marine Res.*, 7, 175-187.
- Tsay, C.-Y., 1978: comparison of numerical schemes for barotropic typhoon track forecasting. *Papers Meteor. Res.*, 1, 6-15.



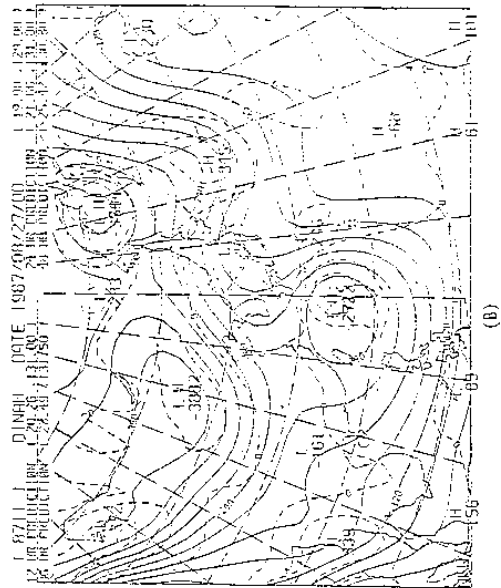
(A)



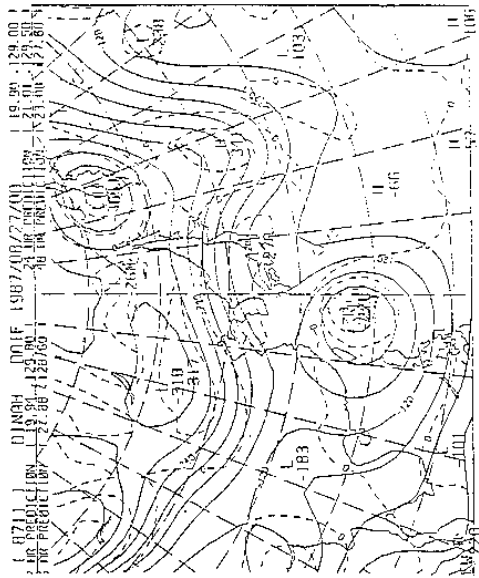
(A)



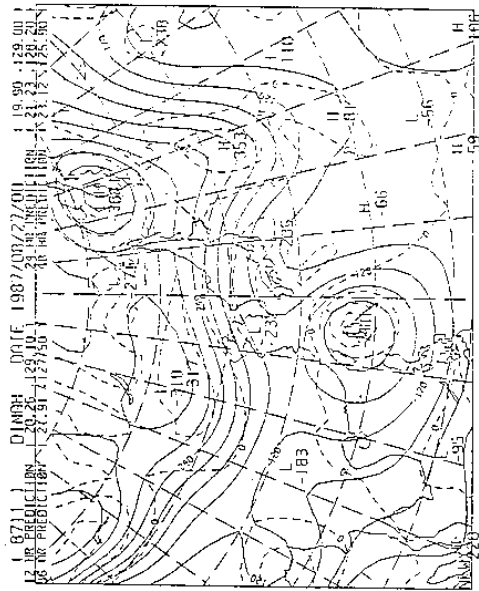
(A)



(B)



(B)

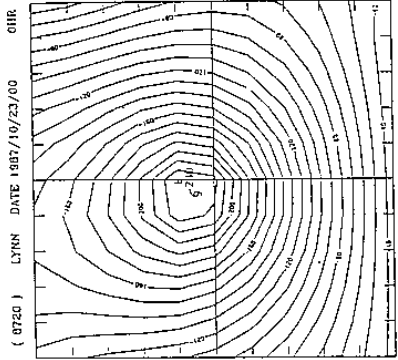


(B)

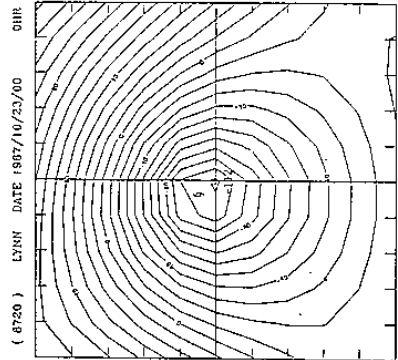
圖 1 臺灣颱風，A 模式初始場及 48 小時預報場和軌跡

圖 2 同圖 1 但為 B 模式

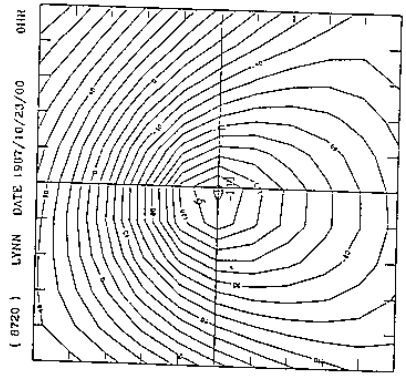
圖 3 同圖 1 但為 C 模式



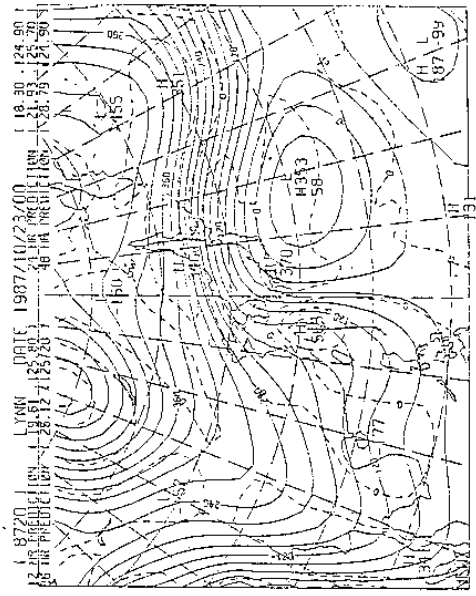
(A)



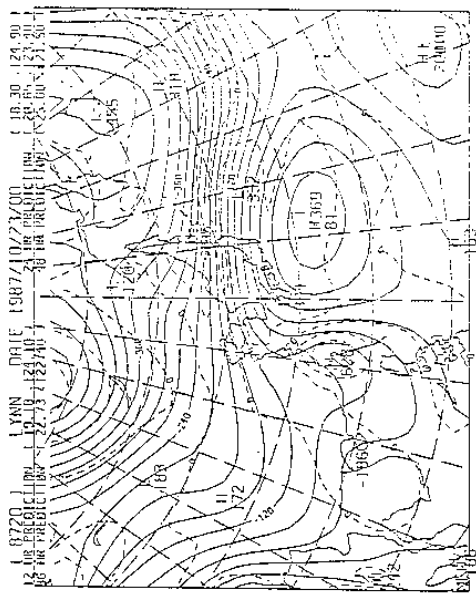
(A)



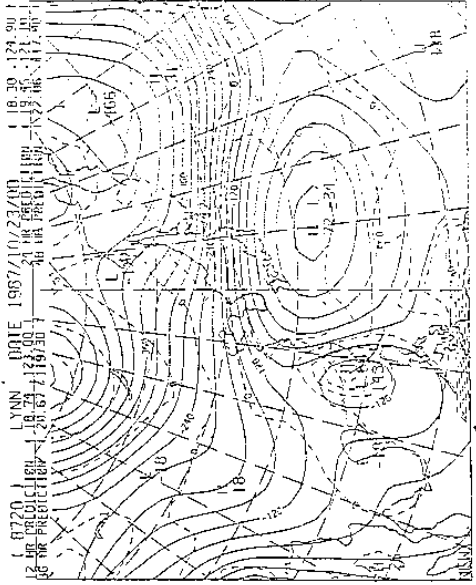
(A)



(B)



(B)



(B)

圖 4 準型颱風・A 模式初始場及 48 小時前報場和軌跡

圖 5 同圖 4 但為 B 模式

圖 6 同圖 4 但為 C 模式

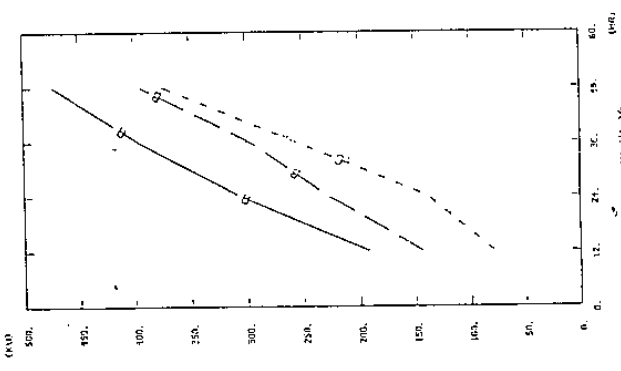


圖7 向位誤差

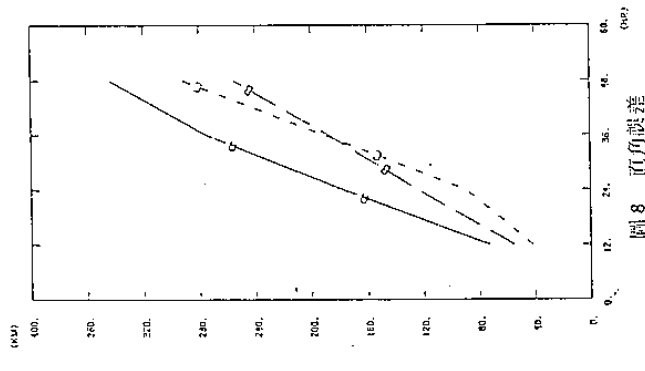
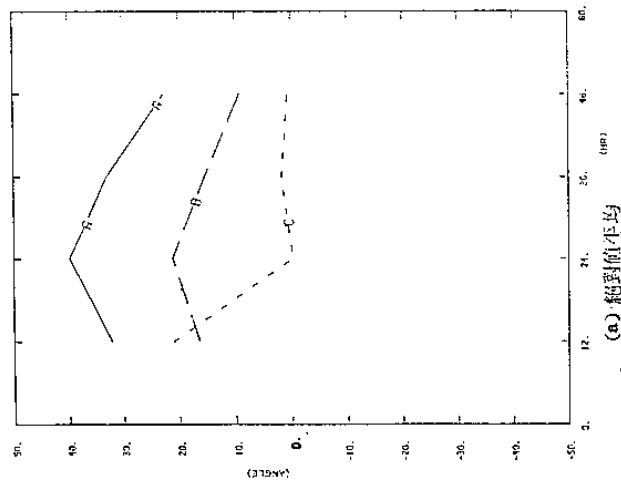
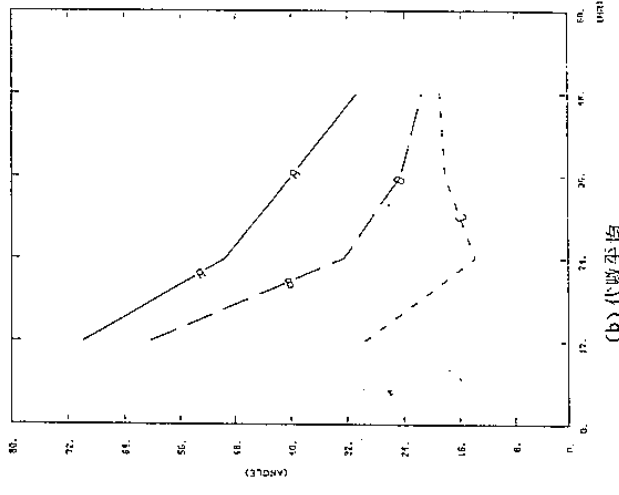


圖8 高度誤差

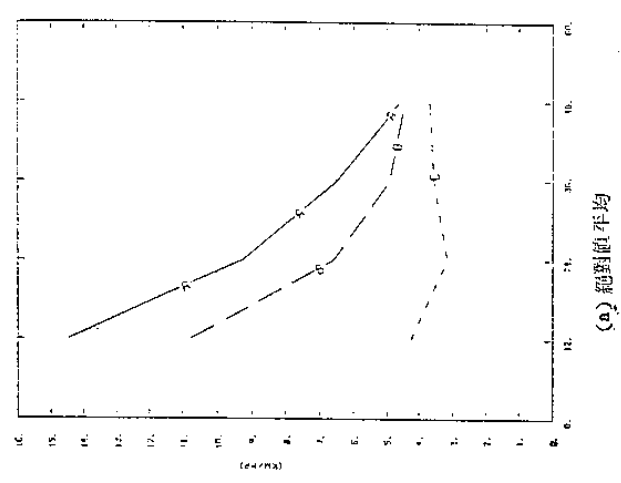


(a) 絕對值平均

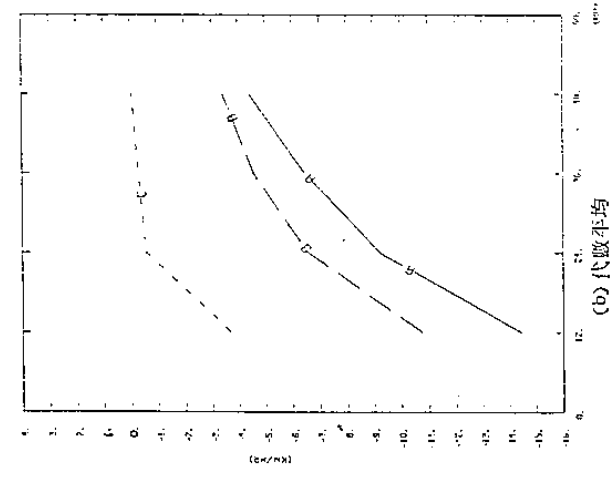


(b) 代數平均

圖9 速度誤差



(a) 絕對值平均



(b) 代數平均

圖10 方向角誤差

表二：各預報模式對最佳路徑的誤差校驗

預報方法	預報時間(時)	向量誤差(公里)	直角誤差(公里)	方向誤差(度)	平均(度) 方向誤差的絕對值	右偏個案數	左偏個案數	速度誤差(公里/時)	速度誤差的絕對值平 均(公里/時)	快速個案數	慢速個案數
A 模式	12	192	72	33	70	10	0	-14.4	14.5	2	8
	24	309	181	41	50	10	0	-9.3	9.2	3	7
	36	405	278	34	41	10	0	-6.3	6.6	3	7
	48	474	351	25	30	10	0	-4.8	4.7	3	7
B 模式	12	143	55	17	61	5	5	-10.8	10.9	2	8
	24	230	128	21	23	7	3	-6.4	6.6	2	8
	36	302	186	16	26	7	3	-4.6	4.8	2	8
	48	390	257	11	22	5	5	-3.7	4.5	3	7
C 模式	12	80	42	22	31	4	6	-3.7	4.2	4	6
	24	140	90	0	14	5	5	-0.5	3.1	4	6
	36	258	191	2	19	5	5	-0.2	3.5	4	6
	48	370	292	1	20	4	6	-0.1	3.7	4	6

A STUDY OF EQUIVALENT BAROTROPIC TYPHOON
TRACK PREDICTION MODEL

Ching-Yen Tsay

Der-Song Chen

Central Weather Bureau

ABSTRACT

In order to reduce systematic errors of the barotropic typhoon track prediction model, this paper made two improvements in initial data treatment. First improvement was to modify the input method of bogus typhoon. The initial bogus typhoon stream function was obtained from vorticity field by solving the poisson equation twicely, first for model domain, then for typhoon influence domain. The prediction errors were reduced significantly after this modification. Second improvement was to add bogus β -gyre initial field in typhoon influence domain. This modification made additional improvement in typhoon track prediction, especially for the predicted typhoon speed in first 12 hours. The speed error at 12hrs for the original model is - 14.5km/hr, after the first improvement is -10.8km/hr, after the second improvement is -3.8km/hr (minmus means the prediction speed is slower than the real typhoon speed).

Key words: Barotropics, β -gyre