

原始方程颱風路徑預報模式初始場之改進

陳得松 彭順台* 張智北* 鄭寶鳳

中央氣象局 美國海軍研究所學院*

摘要

針對中央氣象局所使用原始方程颱風路徑預報模式之系統性誤差，本文嘗試由初始場的處理來改進。共有三種做法；首先對已加入虛擬對稱性氣旋以模擬颱風流場之原始方程模式，再置入虛擬 β -gyre，此種流場之引進，乃為了模擬因南北緯度變化而引起之不對稱二次環流，以減少模式調節之時間，進而改進預報能力。另一種做法則採用DeMaria (1987)之建議，在颱風附近以颱風過去運動之速度，修正大範圍環流場；主要作用有二：1.調整大範圍環流和駛流之關係，2.可修正如有錯誤觀測資料而造成客觀分析不佳之情形。最後我們則將上述兩種做法一併放入颱風模式中。以1990年32個個案對以上三種做法分別做誤差校驗後發現，第一種處理法，由於駛流難以確認導致虛擬 β -gyre之結構尚有待改進，以致預報能力並未如預期得到改良，第二種做法，除了前12小時因速度太慢而使得向量誤差未能減少外，24~48小時之預報誤差均可有效被抑制，最後一種方法，則表現令人滿意，成功地較目前作業用颱風模式之預報誤差減少了30%，目前作業版之模式誤差12、24、36、48小時各為143、241、346、474公里，而第三種做法則為102、160、243、351公里。

一、前言

中央氣象局之原始方程颱風路徑預報模式從1990年正式開始納入作業，此颱風路徑預報模式為一區域模式，而其邊界條件則來自全球預報模式之預報。當有颱風發生於台灣附近，且有可能侵襲時，原始方程颱風模式即須開始作業。首先在颱風之觀測位置，植入一個已與模式有平衡關係之虛擬渦旋結構；另外在時間積分過程中，採用人為加熱技術以維持颱風強度。此模式之初步表現如鄭等(1991)所述。本文之目的在於研究由初始場之處理以改良預報結果之可行性。

由CLIPPER法可知，當我們將颱風過去移動之特性視做一種預報因子時，可得到較佳之短期預報路徑。DeMaria (1987)在他的正壓模式中，建議一種保留颱風運動持續性之設計，颱風中心附近1500公里範圍內之風場，被平滑地混入颱風過去運動之特性。經過如此處理後，對他的模式而言，十二小時之預報誤差改進了30%，其它時間則約改進10%。這樣的設計除了可以保留颱風運動之持續性外，尚可調整大範圍環

流和駛流之關係，亦可修正因錯誤資料而導致客觀分析不佳之情形。另外一種改良模式法，在由F平面上產生之對稱渦旋中加入 β -gyres。在Chen and Gray(1982)之研究中發現，駛流和颱風運動間，有一由 β -drift，引起之輕微向量差。Fiorino and Elsberry(1989)也發現在 β 平面上，無平均氣流之渦旋運動，總伴隨了波數1之不對稱環流，其方向則和渦旋運動方向一致，而在颱風中心附近之風速則與颱風運動速度相近。對於由F平面上產生之渦旋而言，並未包含此種不對稱環流；當把這種渦旋植入一個科氏力隨緯度變化的環境時，常須一段積分時間調整，以產生不對稱次環流而達平衡。在這段調整期間，代表颱風之渦旋將偏離其真實路徑。所以加入虛擬之波數1不對稱環流，將可成功地減少模式初期之調整時間，對於颱風路徑預報應有改進，建置此不對稱環流時，需要知道對正 β -drift的運輸向量，基本上，此向量可由颱風速度之向量減去平均駛流而得。由於在颱風附近觀測資料非常缺乏，故很難由模式初始場來適當地算出駛流之方向及速度。因此初步之試驗，

不對稱二次環流之產生乃以颱風過去運動之方向、速度視為 β -gyre 中心環流之方向、速度。這樣的次環流其傳播向量可能會太大。事實上，相同的方法已在中央氣象局的相當正壓颱風預報模式中被採用，而且有不錯之結果（蔡和陳，1990）。在未來之研究方面，由 Peng and Williams (1990) 之線性正壓模式所產生之 β -gyre（含有較正確之傳播向量），將會被用於原始方程颱風模式。

本文將設計四種實驗以測試上述兩種方法對颱風路徑預報之改進效果。第一種實驗為目前作業之颱風模式，此實驗之目的在於使四種實驗之初始場和邊界條件都一致（由於貯存資料之方法，可能和作業當時之資料有一點點不同）；第二種實驗在已植入虛擬渦旋的原始方程模式中加入虛擬 β -gyre；第三種實驗則用 DeMaria 以颱風過去的移向及速度修正大環流之方法；最後一種實驗同時加入了虛擬 β -gyre 及 DeMaria 之方法。

在第二章將介紹如何造虛擬之 β -gyre 及 DeMaria 之設計，第三章校驗各種實驗之結果，第四章則包含結論及未來研究方向。

二、模式初始場改進方法

本文採用了兩種方法嘗試改進中央氣象局原始方程颱風路徑預報模式之預報結果，以下將簡單介紹其原理：

(一) 虛擬 β -gyre 之加入法

虛擬 β -gyre 之加入，主要為了模擬因南北緯度變化而引起的不對稱二次環流。此種二次環流之形成原因如下：對一颱風渦旋而言，其北邊有相對較大行星渦度，南邊有相對較小行星渦度，當對稱性環流平流行星渦度時，在颱風渦旋西邊將有正渦度次中心，東邊則有負渦度次中心產生，因而產生了一個波數為一的次環流；而又因對稱渦旋和不稱對環流之非線性平流，使得此種二次環流旋轉其方向為氣旋運動之方向，也是 β -drift 運輸向量的方向（Fiorino & Elsbery, 1989、Chen & Williams, 1987）。

根據以上理論，我們初步設計了一種三角函數方程式來簡單地代表不對稱次環流，而其形式屬於波數 1，流線函數方程如下：

$$\psi(I, J) = \sin(\theta) \times \sin\left(\frac{R(I, J)}{R_{max}} \times \pi\right) \times 10^6 \quad (2-1)$$

θ ：渦旋過去六小時之平均運動方向

$R(I, J)$ ：網格點 (I, J) 至颱風中心之距離

R_{max} ：不對稱次環流之半波長

由上述流線函數可求得二次環流中心風速 U ，再以渦旋移速修正，

$$r = U' / U \quad (2-2)$$

U' ：渦旋過去六小時之平均移速

U ：由 (2,1) 求得之二次環流中心風速

可得

$$\psi' = \psi \times r \quad (2-3)$$

經過如此修正後，即可得到中心風向，風速與渦旋過去 6 小時平均移向、移速相近之虛擬不對稱二次環流，如圖 1。

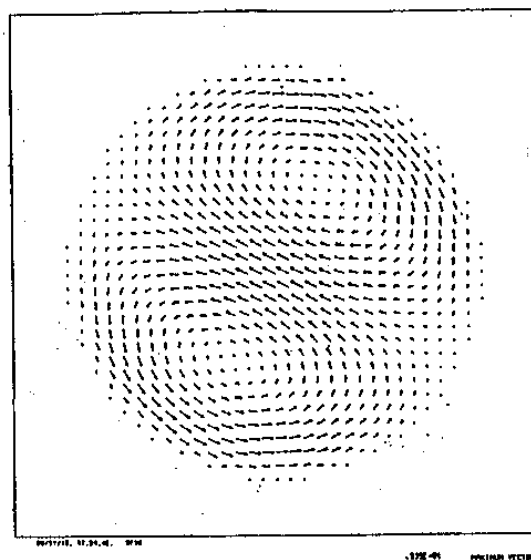


圖 1：虛擬不對稱二次環流之一例

figure 1. An example for asymmetric second order circulation to bogus.

類似的做法已在蔡和陳（1990）的相當正壓颱風路徑預報模式中被採用，並且得到不錯的結果。唯一問題是如此產生的 β -gyre，使用之 β -drift 的運輸向量太大同時其波長也應小心調整，以和對稱環流部份相合。

(二) DeMaria (1987) 的初始流場修正法

颱風路徑預報中之統計模式CLIPER法，將颱風過去運動特性視為一項預報因子，對12小時之路徑預報的準確度，幾乎仍無任何動力模式足以比擬，有鑑於此，DeMaria設計了初始流場修正法，將颱風過去運動特性放入模式中，其方法如下：

$$V_n : (1-w)V_n + wV_s \quad (2-4)$$

$$w : \exp(-(R/R_e)^2) \quad (2-5)$$

V_n : 修正過後之初始流場風

V_n : 颱風流場修正前之風

V_s : 颱風過去運動之移速

R : 距颱風中心之距離

R_e : V_s 影響區域之指數衰減半徑(e-folding radius)

圖 2 是幾種颱風過去移速影響區域之指數衰減半徑的平均誤差圖，可知 R_e 為 1000 公里或 1500 公里時，所得之平均預報誤差最小。

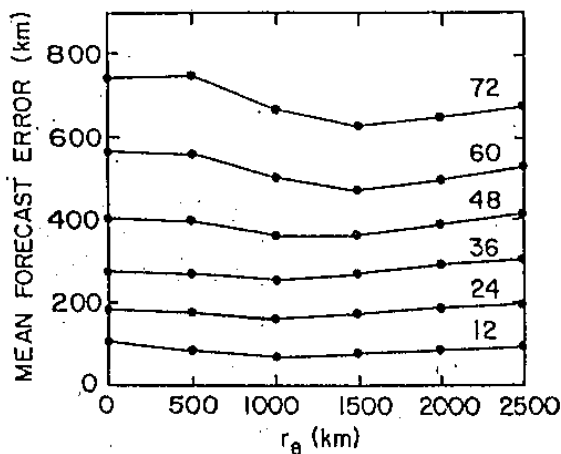


圖 2 : 幾種颱風過去移速影響區域之指數衰減半徑的平均誤差圖

figure 2. The mean forecast error as a function of the e-folding of the area of the initial analyses influenced by the previous storm motion. (DeMaria, 1987)

根據 DeMaria 之初始流場修正法，我們將此一觀念放入原始方程颱風路徑預報模式中，此法除了可以保留颱風過去運動之部分特性外，尚有二種作用：1. 調整大範圍環流和駛流之關係；2. 修正錯誤資料導致客觀分析不佳之情形。

三、模式校驗與討論

針對 1990 年 9 個颱風 32 個個案做校驗如表一，共設計了四種實驗以為比較：

A 模式：作業用之原始方程颱風模式

B 模式：在 A 模式之初始場中加入 β -gyre

C 模式：在 A 模式之初始場中引進 DeMaria 初始場修正法

D 模式：在 A 模式之初始場同時加入 β -gyre 及 DeMaria 初始場修正法

使用表一之 9 個颱風 32 個個案，分別對上述四種模式進行向量誤差，直角誤差，方向誤差，和速度誤差的校驗，各種誤差的定義如 (蔡等, 1988) 所述。

表一 本文所採用之 32 個颱風個案

Table 1 The 32 cases adopted by the report

颱風名稱	時間	颱風名稱	時間
MARIAN	1990/05/16/12	ED	1990/09/15/00
OFELIA	1990/06/20/12	FLO	1990/09/14/00
OFELIA	1990/06/21/00	FLO	1990/09/14/12
OFELIA	1990/06/21/12	FLO	1990/09/15/00
OFELIA	1990/06/22/00	FLO	1990/09/15/12
OFELIA	1990/06/22/12	FLO	1990/09/16/00
OFELIA	1990/06/23/00	GENE	1990/09/25/12
YANCY	1990/08/15/00	GENE	1990/09/26/00
YANCY	1990/08/15/12	GENE	1990/09/26/12
YANCY	1990/08/17/12	GENE	1990/09/27/00
DOT	1990/09/06/00	HATTIE	1990/10/04/00
DOT	1990/09/06/12	HATTIE	1990/10/04/12
DOT	1990/09/07/00	HATTIE	1990/10/05/00
ED	1990/09/13/12	PAGE	1990/11/27/12
ED	1990/09/14/00	PAGE	1990/11/28/00
ED	1990/09/14/12	PAGE	1990/11/28/12

圖 3 所示為各模式之向量誤差，其中縱軸為距離，單位為公里，橫軸為預報時間，A、B、C、D 分別代表各個模式。由圖可見，D 模式在整段預報時間內都是誤差最小的，C 模式在前 12 小時預報遜於 A 模式，其他時間則優於 A 模式，B 模式除了前 12 小時預報與 A 模式相近，12-48 小時預報誤差則都頗大。

圖 4 為直角誤差，座標軸定義同前，由圖可見，C 模式和 D 模式在 0~48 小時中都非常相近，同屬較好之兩者；B 模式仍然稍遜於 A 模式。

圖 5 為各模式之方向誤差，其中圖 5A 為絕對值平

均，圖5B為代數值平均，橫軸為時間，縱軸為角度誤差值，負值表偏左，正值表偏右，由圖5A可見仍以D模式表現最好，而C模式次之；由圖5B則可見除了C模式有稍偏右誤差外，A、B、D三種模式皆為偏左誤差。

圖6為各模式之速度誤差，其中圖6A為絕對值誤差，圖6B為代數值誤差，圖上橫軸為時間、縱軸為速度誤差，單位為公里/小時，由圖6A知，還是以D模式誤差最少，C模式在12小時預報誤差最大，但其後誤差迅速減少，而在48小時與A模式相近；由圖6B得除了B模式較真實颱風移速稍快外，A、C、D同屬偏慢，尤以C模式預報颱風移速偏慢最多。

表二所示為各模式誤差校驗的實際數值。對A模式而言，預報路徑較颱風最佳路徑 (best track) 明顯有偏左偏慢之情形。B模式在初始場中加了虛擬的不對稱二次環流 (β -gyre)，速度變得太快，方向也掌握得不好，如同前文所述，乃因駛流太難確認，以至無法求得真正 β -gyre 的結構之故，這也是我們進一步尚待研究的課題。而在初始場以DeMaria法修正大範圍環流之C模式，方向誤差較A、B模式佳，偏右個案數稍多於偏左個案數，此點不同於A、B模式，但速度方面仍然偏慢。將同時加入兩種效應之D模式而言，預報結果頗令人滿意，12~48小時之向量誤差各為102、160、243、351公里較作業版A模式之143、241、346、474公里大約改進了30%，由此見得，模式初始場之正確分析，對颱風路徑之準確與否，有密切關係。雖然如此，但修改颱風範圍初始流場以改進路徑預報之做法，在某些情形之下，對預報可能幾乎一點改進都沒有；本文中共採用了1990年9個颱風32個個案，對其中五月份之瑪麗安 (Marian) 颱風及11月份之佩姬 (Page) 颱風就是兩個幾乎看不出修改初始場之效果的個案；究其原因，若在初始資料上，本就有些天氣現象未曾掌握得很好，如由中國大陸出海之槽線沒能正確分析於模式中，則本實驗之B、C、D模式之預報表現，皆未能較作業用之A模式更好。若將上述兩個颱風共四個個案排除於本實驗中，對表現最好的D模式而言，其12~48小時向量誤差可降為

91、121、169、254公里；對此情形，我們也將由瑪麗安颱風著手研究。

四、結論及未來研究方向

對台灣而言，颱風一直是為害最烈之天然災害，如何提高颱風路徑預報之準確度是一個非常重要的課題；本文嘗試由原始方程颱風路徑預報模式之初始場著手以減少路徑之預報誤差。主要的做法有三種：

(一) 採用 Carr(1989)、Chan and Williams(1987)、Fiorino and Elsberry(1989)、Peng and Williams(1990)……等的理論，他們認為在 β -平面上的氣旋運動，將因 β 效應而在氣旋中心附近產生一種波數一之不對稱二次環流 (β -gyre)。當我們在原始方程颱風模式中，置入一對稱性渦旋以模擬真正颱風流場時，常需要一段時間調整模式以達動力平衡 (產生 β -gyre)，也因此造成了預報初期誤差相對增大。有鑑於此，我們在已放入虛擬颱風結構之原始方程模式中，再放入虛擬不對稱二次環流以求得更接近真實情形之颱風環流。但由於駛流難以確認，及所採用之不對稱二次環流可能並未與模式有動力平衡之關係，使得這種做法未能有效改進預報誤差。

(二) DeMaria(1987)建議在颱風附近，以颱風過去移速，修正颱風範圍之環流；主要作用有二，即調整大範圍環流和駛流關係，再者修正如有錯誤觀測資料而導致客觀分析不佳之情形。經過如此處理之颱風模式，在路徑預報的方向上得到改進，但速度仍嫌稍慢，就向量誤差而言，12小時預報因速度偏慢而達173公里，但在24~48小時預報，誤差就被有效改善為231、305、412公里了。

(三) 將上述(一)、(二)兩種做法，同時用於原始方程模式中，結果在路徑預報方面，得到了顯著的改進；12、24、36、48小時向量誤差各為102、160、243、351公里，較作業上之颱風模式改善了30%的誤差。但這種處理方法，對一些颱風個案仍未有助益，究其原因，可能由於大範圍之天氣現象，如太平洋高壓勢力之消長或大陸槽線東移出海，在模式初始場中並未確實掌握之故。

在未來研究上，我們將參考 Peng & Williams(1990)之線性正壓模式，以求產生與原始方程颱風路徑模式更容易達到動力平衡之 β -gyre虛擬環流；預期應可改善本文中B模式速度偏快之缺點，進而得到有更好表現之D模式。

另外我們也將嚐試，把在 β -平面上得到之渦旋，求其波數1之結構(β -gyre)，可計算出gyre中心對應風場之向量，此即 β -drift之向量，然後把颱風過去之移向減去此向量，如此所得之向量再用DeMaria之方法加入模式初始場中，上述之做法，應可成功地將 β -gyre及過去颱風運動之特性融合在一起。

表二 各預報模式對最佳路徑的誤差校驗

Table 2 Error check to the best track for model A、B、C、D

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)	方向誤差的絕對值	平均(度)	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	均(公里/時)	快速個案數	慢速個案數
A 模式	12	143	42	-7	30	11	20	-6	7	8	22	8	22
	24	241	88	-6	24	10	21	-2	5	13	16	13	16
	36	346	125	-9	23	11	21	-1	5	18	14	18	14
	48	474	174	-10	25	13	19	-1	5	17	14	17	14
B 模式	12	145	55	-17	24	3	28	3	7	23	9	23	9
	24	266	106	-19	23	4	27	3	7	20	9	20	9
	36	393	142	-20	22	4	28	3	7	21	7	21	7
	48	507	177	-19	22	6	25	2	7	20	12	20	12
C 模式	12	173	23	3	30	20	12	-12	12	0	32	0	32
	24	231	54	3	20	18	13	-7	7	1	30	1	30
	36	305	79	-1	19	16	14	-6	6	1	26	1	26
	48	412	118	3	21	18	13	-5	5	7	22	7	22
D 模式	12	102	29	-9	19	8	24	-4	5	5	25	5	25
	24	160	56	-9	15	10	22	-2	4	11	17	11	17
	36	243	79	-11	16	8	23	-1	4	12	16	12	16
	48	351	113	-12	17	12	20	-1	4	13	18	13	18

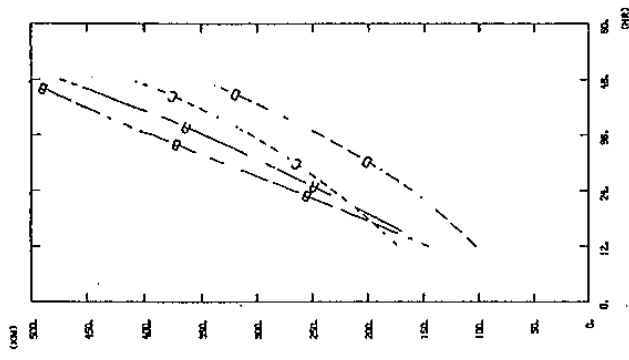


圖3 矩形誤差
figure 3 rectangular vector error

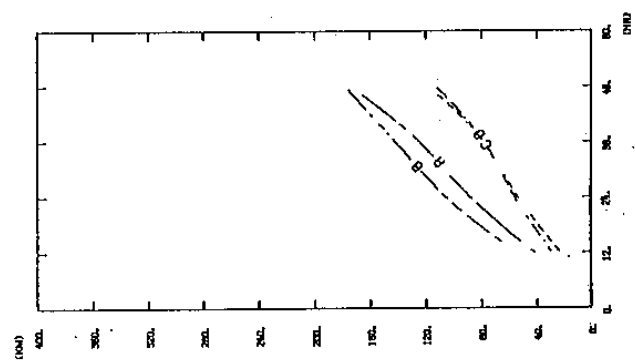


圖4 向量誤差
figure 4 vector error

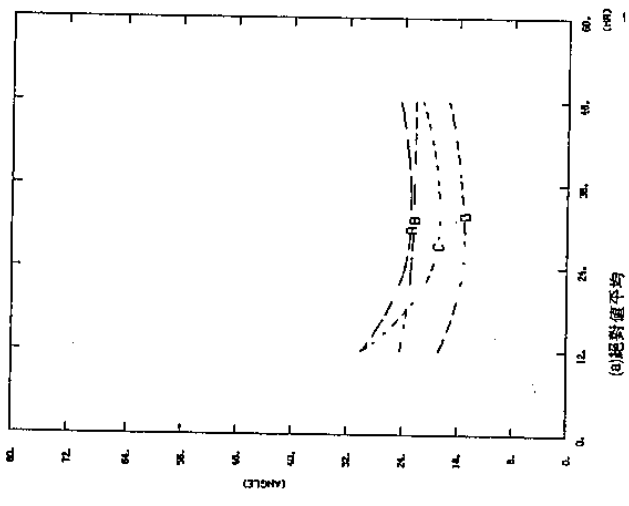


圖5 方向誤差
figure 5 direction error

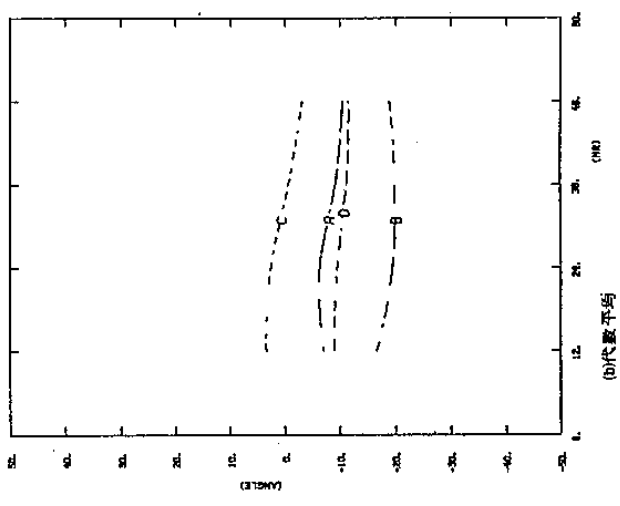


圖6 代數平均
in the mean of algebraic value
圖5 方向誤差
figure 5 direction error

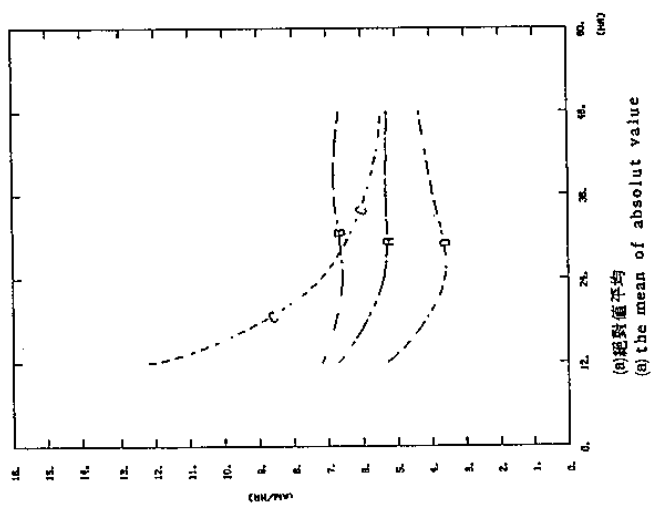


圖7 絕對值平均
in the mean of absolute value

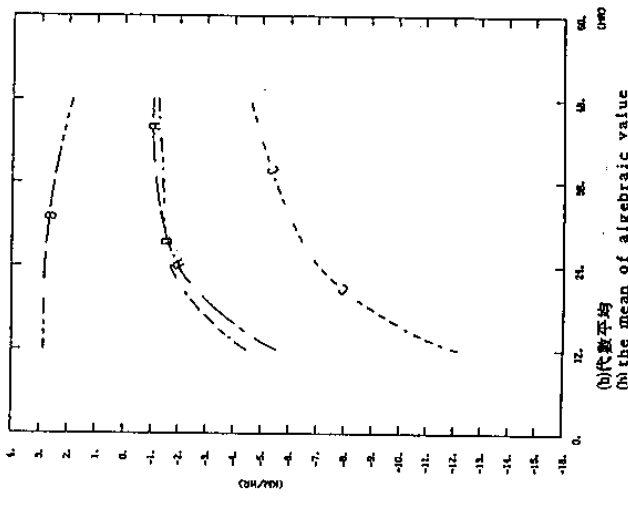


圖8 代數平均
in the mean of algebraic value
圖6 代數平均
in the mean of algebraic value

參考文獻

- 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、陳得松，1990：相當正壓颱風路徑預報模式之改進研究，氣象學報，第36卷第一期
- 鄭寶鳳、彭順台、張智北、陳得松，1991：中央氣象局原始方程颱風路徑預報系統的評估。
- Carr, L. E., 1989: Barotropic Vortex adjustment to asymmetric forcing with application to tropical cyclone motion. Doctoral dissertation, Naval Postgraduate School, Monterey, 143pp.
- Chan, J. C., and R. T. Williams, 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., 1987: Tropical cyclone track prediction with a barotropic spectral model. *Mon. Wea. Rev.* 115, 2346-2357.
- Fiorino M., and R. L. Elsberry, 1989: Some aspects of vortex structure related to tropical cyclone motion. *J. Atmos. Sci.*, 46, 975-990.
- Holland G. J., 1983: Tropical cyclone motion: Environmental interaction plus a beta effect. *J. Atmos. Sci.*, 40, 328-342.
- Peng M. S. and R. T. Williams, 1990: Dynamics of vortex asymmetries and their influence on vortex motion on a β -plane. *J. Atmos. Sci.*, 47, 1987-2003.

STUDY OF INITIAL FIELD TO IMPROVE THE FORECAST ERROR OF TYPHOON FORECAST
SYSTEM

Der-Song Chen, Melinda S. Peng*, C.P. Chang*, Bao-Fong Jeng

Central Weather Bureau

Naval Postgraduate School*

ABSTRACT

In order to reduce systematic errors of the CWB primitive equation typhoon forecast system(TFS). There are three treatments were made in the initial field.

The first, due to the existence of the β -gyre, a purely symmetric vortex included in a numerical typhoon track forecast model needs some time to adjust itself to generate a balanced asymmetric flows by beta-forcing.

During this process, the vortex might be deviated slightly away from its actual position and causes track error due to this effect. Therefore, it is desirable for the model to have a asymmetric gyres structure corresponding to the previous movement of the storm. Base upon the above reason, it is intended for the TFS to include a asymmetric beta-gyres whose structure corresponds to the previous vortex movement. Another pre-processing method is to use the method suggested by DeMaria(1987)to replace the large scale flow by the previous vortex movement for a fairly large area near the initial storm position. The main effect is to adjust the large scale circulation to the steering flow and most important, to correct erroneous large scale flow generated by the objective analysis due to insufficient or bad data. The third treatment is the combination of the two methods which have shown above. We have the forecast error check to the three treatments for 32 typhoon cases.

Due to insufficient observational data around the typhoon, it is very difficult to determine the proper steering flow. So we cannot obtain the correct structure of β -gyre, and the forecast ability have not been improved by the first treatment. For the treatment 2, there are good performance for 24-48 hr track forecast; but at 12 hr forecast, by slower prediction speed, this method haven't worked very well. For the third treatment which combined the two method, it can reduce 30% forecast track error to the operational TFS, and the vector error at 12, 24, 36, 48 hr is 102, 160, 243, 351 km.

