

颱風路徑預報誤差 EOF 分析

黃清勇 羅璋盛

國立中央大學大氣科學系

(中華民國九十五年六月五日收稿；中華民國九十五年九月十日定稿)

摘 要

利用台灣中央氣象局 (CWB) 所提供的全球預報模式 (GFS) 以及美國國家環境預報中心 (NCEP) 的航空模擬預測系統 (AVN), 來進行 WRF 颱風路徑預報。本研究使用台灣 CWB GFS 和美國 NCEP AVN 之分析場和預報場作為 WRF 模式的初始條件和邊界條件, 進行 92 年杜鵑颱風和 93 年敏督利颱風 WRF 模式 0~72 小時颱風路徑之預報。對這兩個颱風個案, WRF 模式對實際颱風路徑的預報能力良好。另一方面, 將 WRF 模式預報輸出, 利用經驗正交函數 (EOF) 分析單一時間點上環境流場垂直分佈之特徵向量, 求得代表性駛流場, 並配合風場的系集採樣深層平均, 除去颱風渦旋求取其不對稱量交互驗證, 探討颱風路徑預報誤差因素。利用 EOF 分析可得知, 東西風及南北風方向駛流風場分量的貢獻量, 此衍生之駛流方向與路徑變化趨勢頗為一致, 亦與風場不對稱量大致吻合, 但後者在敏督利颱風路徑向北轉折前滯留時並未顯示鞍型場之風場。本文 EOF 分析可以客觀地顯示環境流場變化之方向, 可用於輔助對颱風路徑預報誤差之了解。

關鍵詞：颱風、經驗正交函數 (EOF)、深層平均、不對稱量

一、前言

台灣是亞熱帶地區的一個海島，每年從 5 月開始到 10 月都可能受到颱風的侵襲。台灣所有的氣象災害之中，以颱風的影響為最大。西北太平洋是全球熱帶氣旋活動最旺盛的地區，平均每年約有 25.7 個颱風生成 (Neumann, 1993)；台灣位處於西北太平洋之濱、颱風路徑之要衝，平均每年被大約 6 個左右的颱風影響 (謝等, 1998)。

近幾年，數個颱風均對台灣人民的生命財產造成嚴重的損害及威脅，例如 85 年 7 月賀伯 (Herb)、87 年 10 月瑞伯 (Zeb)、89 年 8 月碧利斯 (Bilis)、90 年 7 月桃芝 (Toraji)、90 年 9 月納莉 (Nari)、91 年 9 月辛樂克 (Sinlaku)、92 年 9 月杜鵑 (Dujuan)、93 年 7 月敏督利 (Mindulle) 來看，影響因素最大者莫過於颱風路徑預報之準確度。然而也因為地形作用及常處於大尺度環流轉變區，颱風路徑預報有時難以掌握，因此準確度也無法進一步提昇。

李 (1988) 調查分析台灣位於太平洋西濱，幅員雖然不大，但因為是在颱風移動的主要路徑之上，平均每年約有 6 個左右颱風影響台灣和附近海域，Yeh and Elsberry (1993) 更進一步分析之中更有 2 至 3 個颱風其中心直接侵襲台灣。Willoughby (1995) 認為各颱風雖有其特異而複雜的中尺度結構，但颱風之暴風雨大多集中於中心附近，因此準確的路徑預報成為颱風預報的關鍵。目前中央氣象局作業的全球預報模式 (GFS) 及颱風預報模式 (TFS) 或非靜力預報模式 (NFS) 等颱風路徑預報特性皆有下列問題須改進：低緯北向誤差大、西風區移速太慢、弱小颱風誤差大、迴轉時機太慢、72 小時誤差大。

造成上述預報模式颱風路徑預報誤差之原因相當複雜，除大尺度環境場的掌握不夠精確，中小尺度系統的發展及其與大尺度環流場的相互影響，一直是被注意到的問題。雖然颱風運動與環境場密不可分，其中心路徑受駛流場驅駛，但駛流場本身的定義一直是眾說分云。不同颱風環流所受所謂『駛流』顯有不同，從事後中心最佳路徑與環流變化的分析來判斷，平均流場（移去颱風渦旋環流後）常與颱風移動方向有已些分歧，或偏右或偏左。在所謂 β -平面（科氏參數隨緯度變化），颱風環流不能靜止平衡，會產生一對 β -gyre，其與對稱旋轉氣流作用下，在北半球會導致颱風向西北方向移動，即 β -飄移，其速度可大於 2 m s^{-1} 。因此，颱風中心之運動是一個很複雜的問題，即使是利用最簡單的正壓無輻散渦度方程，迄今仍未完全掌握其動力因素 (Smith et al., 1995)。

對於變數場型態分布及其變異量之分析，氣象上廣泛使用經驗正交函數 (empirical orthogonal function, EOF)、主分量 (principal component, PC)、共同因數分析 (common factor analysis, CFA) 等分析方法 (Richman, 1986) 探討主要與次要的天氣型態 (馬, 1985)。主分量分析對研究氣候型態相當有用，透過較少數的主分量可以解釋天氣資料的協方差結構 (Richman 1986)。蕭 (2002) 利用經驗正交函數分析各類雙颱風的主要天氣形勢，認為經驗正交函數 (EOF) 分析能提供大尺度綜觀環境分析的參考依據。

綜觀上述，探討颱風路徑預報以及分析預報誤差的可能因素乃是重要的研究課題。本文藉由模式不同的初始條件和邊界條件，來探討新一代 WRF 模式對颱風路徑預報的掌握能力。另外考

慮大尺度環境場對颱風運動的影響，將模式的輸出值進一步作大尺度環境駛流的經驗正交函數（EOF）分析，試圖找出與颱風路徑預報誤差的駛流相關訊息。

二、資料來源與分析方法

利用台灣中央氣象局（CWB）所提供的全球預報模式（GFS）以及美國國家環境預報中心（NCEP）的航空模擬預測系統（AVN），來進行多層巢狀高解析度之中尺度颱風路徑預報。本研究使用台灣 CWB GFS 網格解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ 和美國 NCEP AVN 網格解析度為 $1^\circ \times 1^\circ$ 之分析場以及預報場作為 WRF 模式的初始條件和邊界條件（表一）來進行颱風路徑模擬預報。因為考慮到實際的颱風預報無法即時得到分析場的資料，所以本研究所使用的邊界條件是以全球模式預報場為主，來進行真實個案的路徑預報。由圖 1 路徑預報之比較，對杜鵑颱風而言，以 AVN 資料為初始場之預報(D31_AC) 較以 GFS 者(D31_CC) 為佳，但對敏督利颱風，則互有好壞。

颱風最佳路徑資料，是由中央氣象局（CWB）所提供，資料間隔為 6 小時一筆，其中包括颱風中心位置、中心最大風速與最大風速半徑。

將 WRF 模式第一層網格（ 201×201 ）輸出值利用經驗正交函數（EOF）分析單一時間點上大尺度流場垂直分佈之特徵向量，求得代表性駛流場。WRF 網格是採用 Arakawa C-grid，所以必須先將風場 U、V 分量由 C-grid 差分至 cross-point，才能進行風場合成的運算。垂直 Sigma Levels 選取範圍由 1000 hPa~200 hPa（1.000, 0.993, 0.980, 0.966, 0.950, 0.933, 0.913,

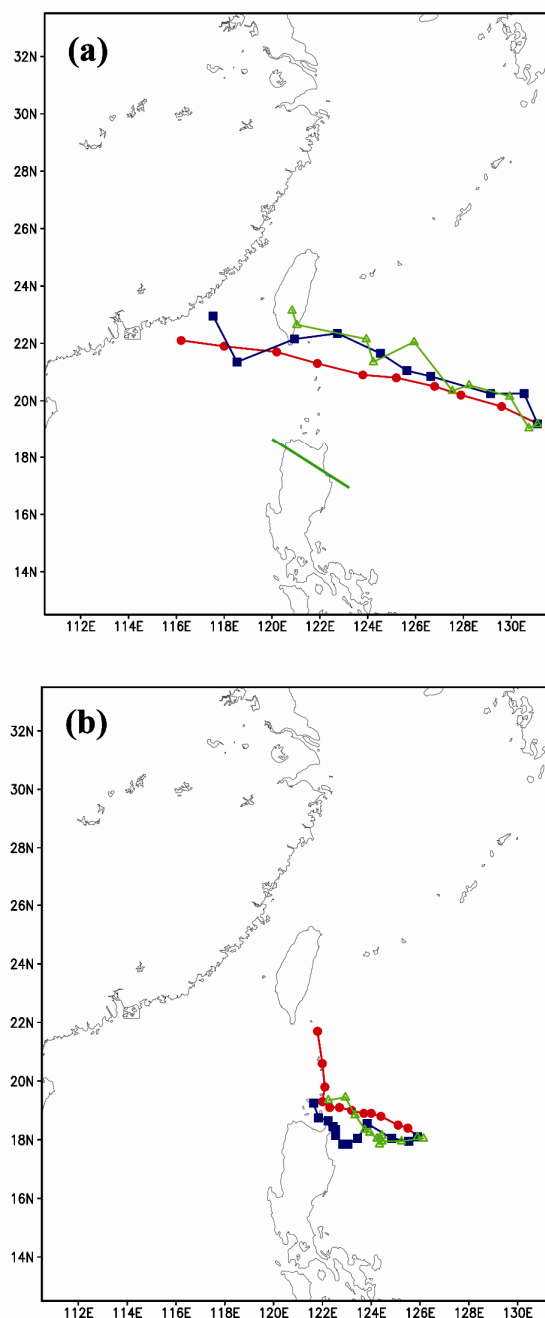


圖 1 (a) 杜鵑颱風 D31 及 (b) 敏督利颱風 M28 不同初始條件的路徑預報結果。紅色線是中央氣象局（CWB）發佈的最佳觀測路徑、藍色線是 NCEP AVN 路徑預報結果、綠色線是 CWB GFS 路徑預報結果。

表一 杜鵑、敏督利兩颱風個案模擬時間以及初始條件和邊界條件資料清單列表。

Dujuan			
個案編號	模擬時間	初始條件	邊界條件
D31_AC	08.31_00~09.03_00	AVN 分析場	CWB 預報場
D31_CC	08.31_00~09.03_00	CWB 分析場	CWB 預報場
Mindulle			
個案編號	模擬時間	初始條件	邊界條件
M28_AC	06.28_00~07.01_00	AVN 分析場	CWB 預報場
M28_CC	06.28_00~07.01_00	CWB 分析場	CWB 預報場

0.892, 0.869, 0.844, 0.816, 0.786, 0.753, 0.718, 0.680, 0.639, 0.596, 0.550, 0.501, 0.451, 0.398, 0.345, 0.290, 0.236, 0.188) 共 25 層, 由於考慮到垂直分層上疏下密的特性, 故乘上一權重比例, 垂直分層隨高度增加氣壓呈現對數遞減, 即先計算出各層所佔厚度 $\Delta z(k)$, 再除上選取各層數所佔總厚度 H , 得到一簡單權重的分佈 $w(k) = \Delta z(k)/H$, 再將要分析的各層變數場 $\varphi(k)$ 乘上該層權重 $w(k)$, 得到權重計算過後的 $\varphi_w(k) = \varphi(k)w(k)$, 再從中選取水平範圍以東經 121° 北緯 23° 為中心 71×71 網格, 接下來進行 U 風場分量以及 V 風場分量 EOF 分析。

所謂 EOF (Empirical Orthogonal Functions) 經驗正交函數, 即利用樣本數之方差變異量求取共同基底函數 (常為空間結構), 這些基底函數可用來展開任一樣本函數, 關於 EOF 詳細說明可見曾忠一 (1997)。經驗正交函數主要原理如下:

物理參數 $\varphi(m)$ 如氣壓場、風場等作 EOF 展開,

$$\varphi(m) = \sum_{k=1}^N C_k(m) u_k$$

$m=1, 2, \dots, M$, 其中 u_k 為第 k 個經驗正交函數, C_k 為第 k 個主分量, N 代表水平格點數, M 代表垂直總樣品數。

本研究將模式各層的氣壓場以及風場 U 、 V 分量先乘上適當權重, 垂直取 25 層 (1000 hPa~200 hPa) 進行 EOF 分析。共同基底函數數目 (即特徵值 λ) 為水平空間點數 N , 每一特徵值 λ_k ($k=1, 2, \dots, N$) 則對應出 u_k 特徵向量, u_k 則為第 k 特徵向量, 代表水平空間結構。當分析變數為風場, 則駛流向量可能可以由第一特徵向量代表。此時路徑預報誤差向量可由與最佳路徑比較得知, 進而分析第一特徵向量所代表程度及誤差。

此外, 研究指出駛流是影響颱風移動極為關鍵的因素, 故配合風場的深層平均 (DLM) 作不對稱量分析, 試圖找到颱風運動駛流場。考慮模式當中颱風的垂直發展強弱程度, 為了有效掌握颱風運動的可能駛流層風場, 本研究設計垂直的風場系集平均共有三組不同的 DLM: 標準 DLM (850 hPa~200hPa) 共 16 層、中層 DLM (850 hPa~350 hPa) 共 14 層和淺層 DLM (850 hPa~500

hPa)共 10 層,再將這三組系集 DLM 作一平均,求得系集的深層平均。並加以除去颱風對稱渦旋求取其不對稱量,不對稱量的計算是以每一圈的平均當作對稱量,完整的風場扣掉對稱量剩下的為不對稱量,而計算的中心以颱風的環流中心為定位,扣除颱風本身的環流影響,也就是考慮颱風的不對稱量與環境風場對於行進方向的變化,進一步與 EOF 分析交互驗證,探討颱風路徑預報誤差因素。

三、經驗正交函數 (EOF) 分析

杜鵑颱風選取分析個案是 D31_AC。圖 2 為 2003 年 8 月 31 日 1200UTC 氣壓場之 EOF 分析,顯示第一特徵向量(佔 98%)及第二特徵向量(佔 1.8%),都有相當颱風結構強烈的訊息。第一特徵向量比例隨預報時間漸減至 94%,而第二特徵向量比例則漸增至 5%。第一特徵向量的

主控性亦反映在風場的 EOF 分析。由表二顯示預報時間的特徵值比例,可清楚得知 U 風場分量第一與第二的特徵值總和有 90%以上,代表這兩個特徵向量就足以解釋原變數場總方差達九成以上,V 風場分量也是相同的情況。值得注意的是,在模擬初始時間 U 風場分量第一個特徵值隨預報時間增加而有遞增的趨勢,反觀 V 風場分量

表二 D31_AC U 風場分量和 V 風場分量特徵值之比例(%)。

時間	U		V	
	EOF1	EOF2	EOF1	EOF2
08.31_00	85.97	10.78	78.29	16.24
08.31_12	83.73	12.07	55.10	33.68
09.01_00	87.41	9.46	67.06	23.82
09.01_12	88.15	7.39	61.94	28.99
09.02_00	90.14	6.78	59.46	31.53

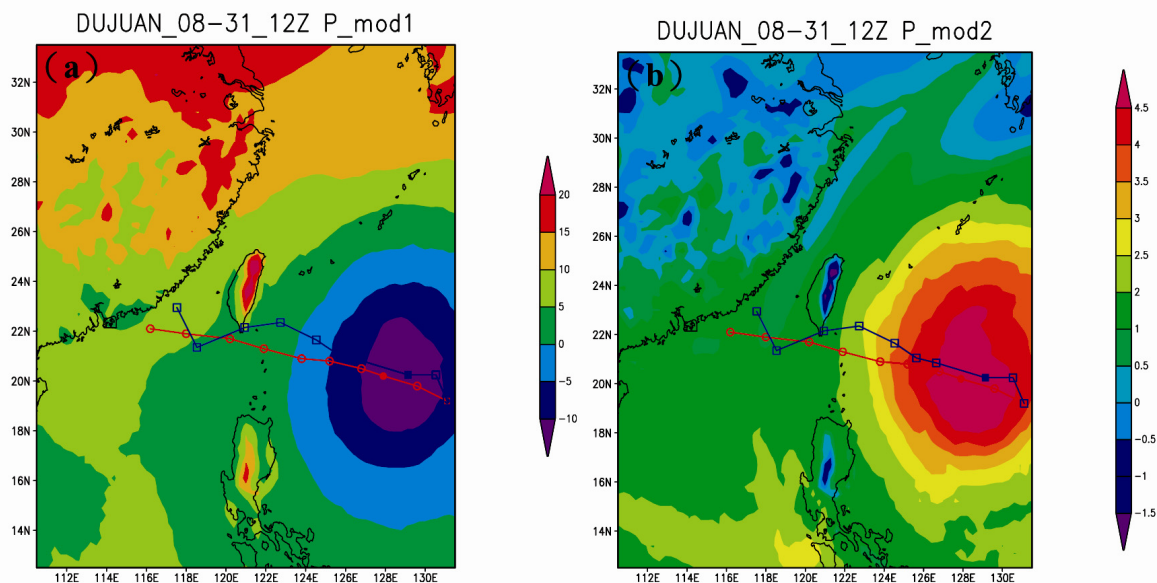


圖 2 2003 年 8 月 31 日 1200UTC 氣壓場水平分佈圖。(a) P_EOF1, (b) P_EOF2。

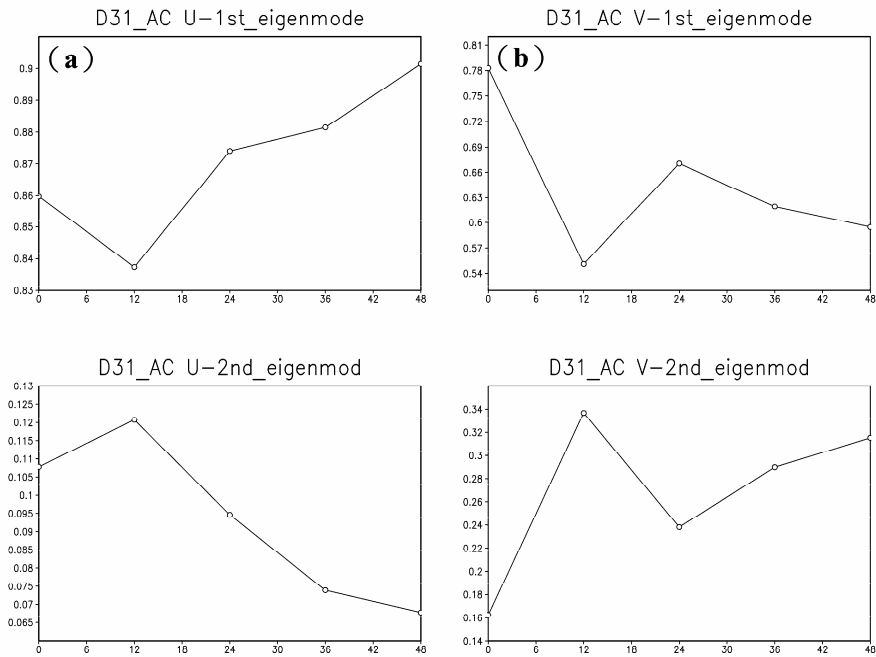


圖 3 杜鵑颱風 D31_AC 特徵值趨勢，橫軸是預報時間，縱軸是特徵值比例。(a) U 風場分量 (b) V 風場分量。

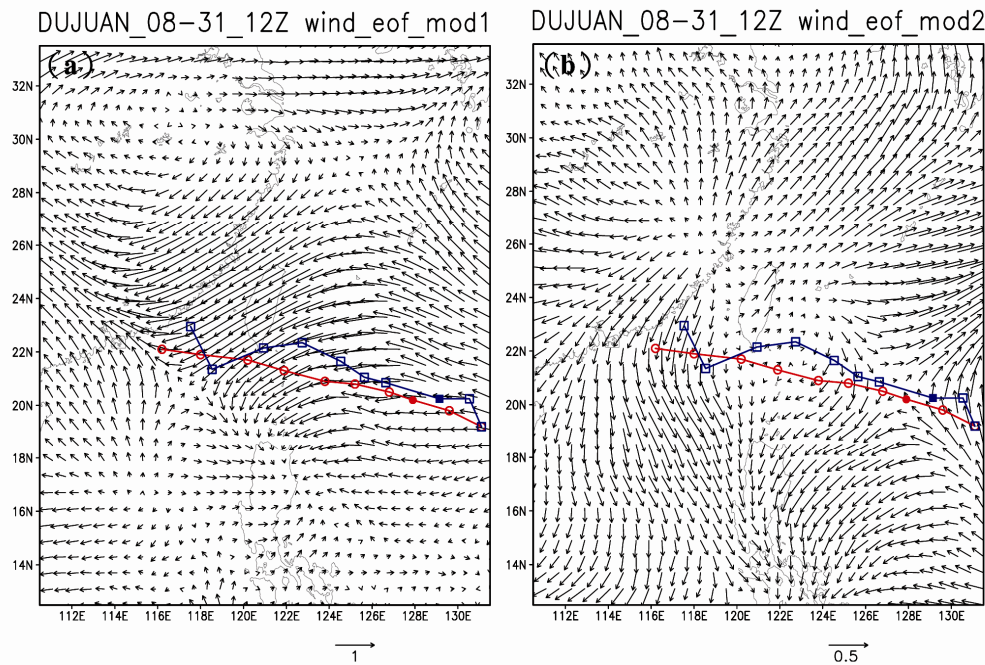


圖 4 2003 年 8 月 31 日 1200UTC 杜鵑颱風模擬之合成風場特徵向量水平分佈圖。(a) wind_EOF1, (b) wind_EOF2。

第一個特徵值，在模擬初期的貢獻較大，隨預報時間增加而有遞減的趨勢（圖 3），告訴了我們駛流場有 U 風向量增加的趨勢，與杜鵑颱風路徑主要東西向移動也符合。

圖 4 為杜鵑颱風 2003 年 8 月 31 日 1200UTC U、V 合成風場的 EOF 分析。紅線圓圈是 CWB 發佈的最佳路徑，藍線方框是 WRF 預報路徑，實心符號代表分析的時間點位置。此第一特徵向量顯示模擬的杜鵑颱風初期有北偏之勢，再逐漸拉回，與最佳路徑之變化特徵吻合。

圖 5 為杜鵑颱風 2003 年 9 月 1 日 0000UTC U、V 合成風場的 EOF 分析。紅線圓圈是 CWB 發佈的最佳路徑，藍線方框是 WRF 預報路徑，實心符號代表分析的時間點位置。此時第一特徵向量與路徑的變化相當一致，第二特徵向量與路徑

變化的關係則尚未清楚。

敏督利颱風選取分析個案是 M28_AC，由圖 6 隨預報時間的特徵值比例，同樣可明顯的發現 U 風場分量第一與第二的特徵值總和也有 90% 以

表三 M28_AC U 風場分量和 V 風場分量特徵值之比例（%）。

時間	U		V	
	EOF1	EOF2	EOF1	EOF2
06.28_00	82.93	14.56	71.30	23.39
06.28_12	72.40	23.68	79.30	17.22
06.29_00	70.56	24.94	79.32	17.95
06.29_12	66.41	28.31	85.44	11.41
06.30_00	71.41	24.34	81.97	15.28
06.30_12	66.97	26.24	81.91	14.73
07.01_00	69.10	22.37	80.04	14.86

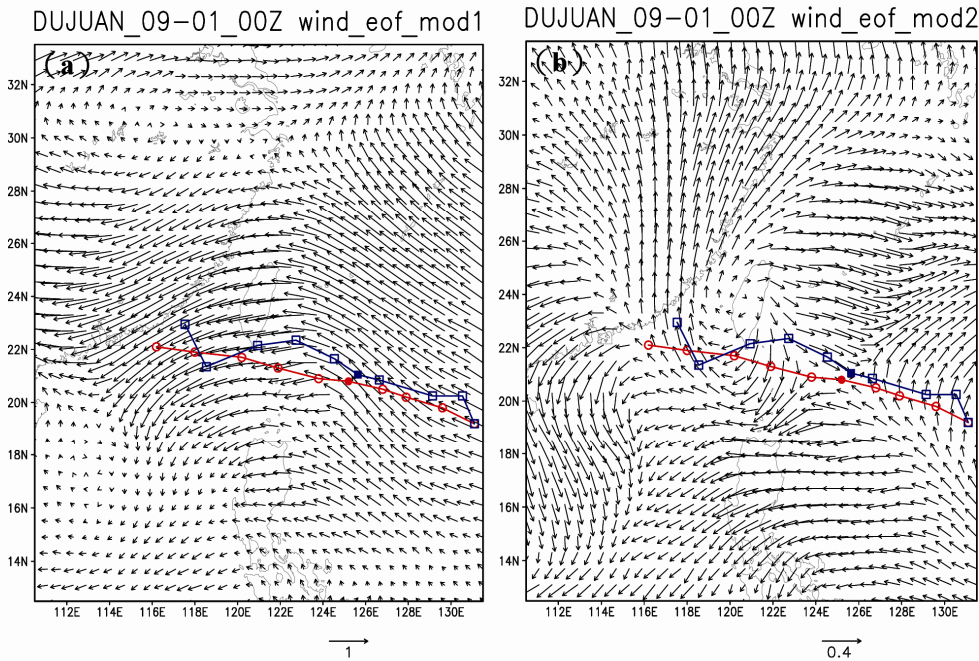


圖 5 2003 年 9 月 1 日 0000UTC 杜鵑颱風模擬之合成風場特徵向量水平分佈圖。(a) wind_EOF1 (b) wind_EOF2。

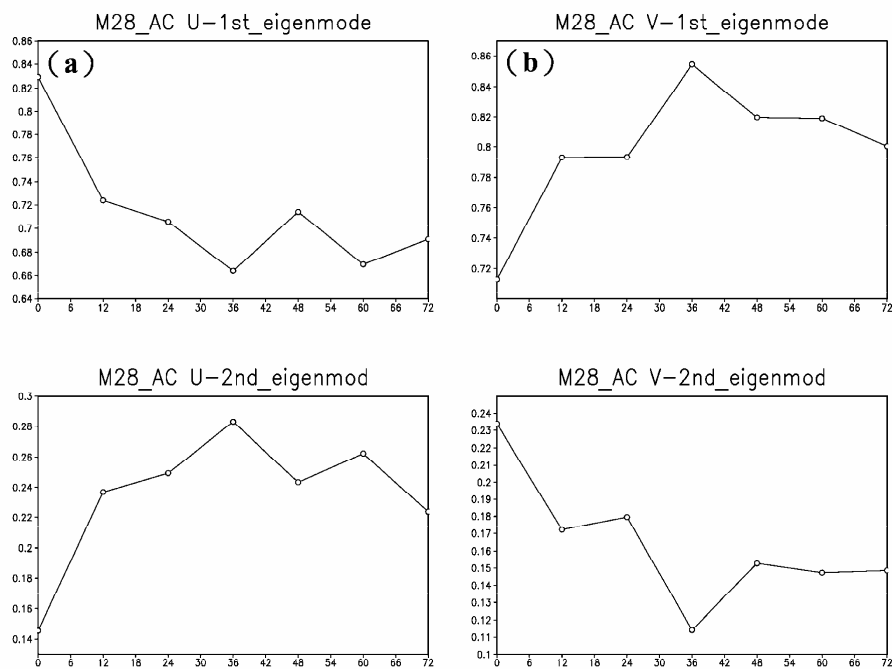


圖 6 敏督利颱風 M28_AC 特徵值趨勢，橫軸是預報時間，縱軸是特徵值比例。(a) U 風場分量 (b) V 風場分量。

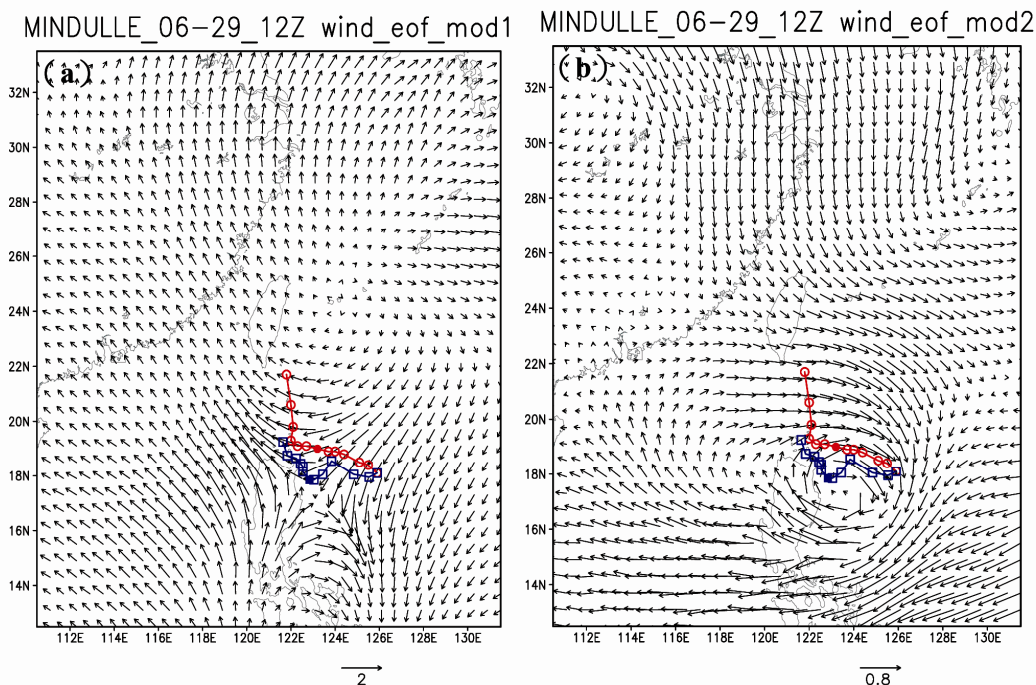


圖 7 2004 年 6 月 29 日 1200UTC 敏督利颱風模擬之合成風場特徵向量水平分佈圖。(a) wind_EOF1 (b) wind_EOF2。

上，代表這兩個特徵向量就足以解釋原變數場總方差達九成以上，V 風場分量也是相同的情況。在模擬初期 U 風場分量第一個特徵值相較於 V 風場分量第一個特徵值較大，與模擬初期颱風主要往西移動有很好的相關性。U 風場分量和 V 風場分量的特徵值趨勢顯示，風場 U 之第一特徵值隨時間逐漸減弱，V 之第一特徵值則隨時間逐漸增加，顯示預報後期是以南北方向風場作用為主，與預報路徑北偏有密切相關。

圖 7 為敏督利颱風 2004 年 6 月 29 日 1200UTC U、V 合成風場的 EOF 分析。紅線圓圈是 CWB 發佈的最佳路徑，藍線方框是 WRF 預報路徑，實心符號代表分析的時間點位置。此時

合成風場第一特徵向量於颱風中心出現鞍型場，此可能與敏督利颱風之滯留後路徑向北轉折有很大關係。

圖 8 為敏督利颱風 2004 年 6 月 30 日 1200UTC U、V 合成風場的 EOF 分析。此時向北轉折的路徑仍與鞍型場之第一特徵向量有關。

四、深層平均不對稱量分析

圖 9 為杜鵑颱風 2003 年月 31 日 1200UTC 系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及系集深層平均的風場不對稱量分析。紅線圓圈是 CWB 發佈的最佳路徑，藍線方框是 WRF 預報路徑，實心符號代表分析的時間點位置。此風場不對稱

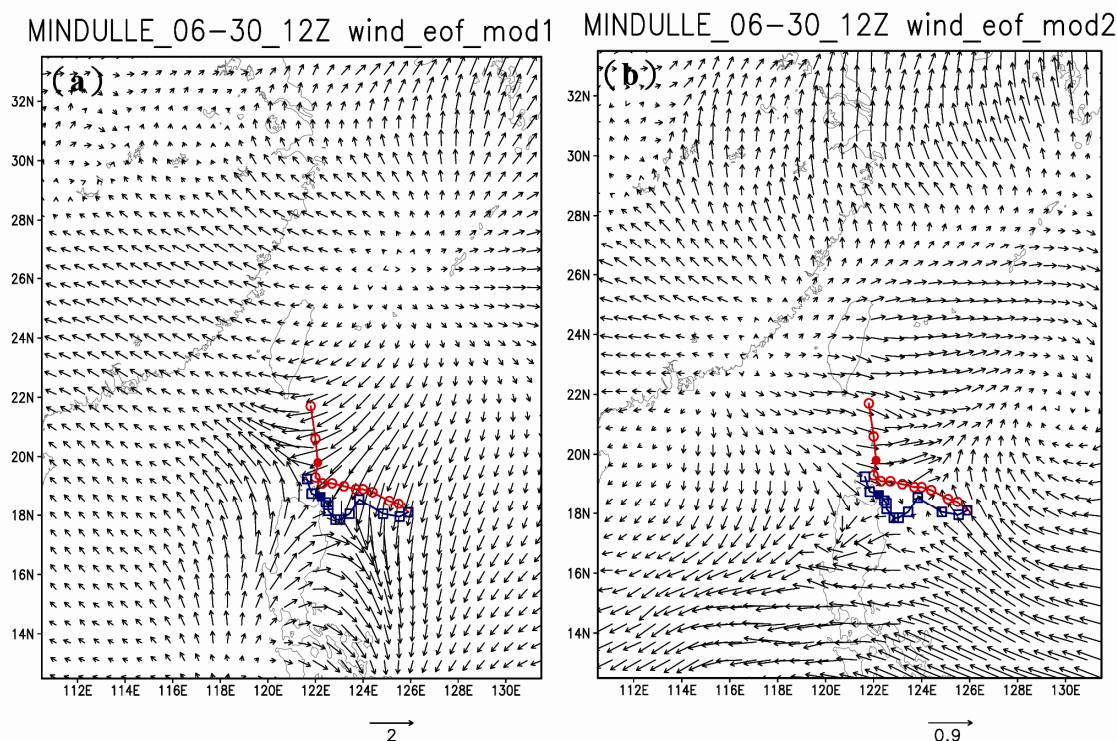


圖 8 2004 年 6 月 30 日 1200UTC 敏督利颱風模擬之合成風場特徵向量水平分佈圖。

(a) wind_EOF1 (b) wind_EOF2。

量在颱風中心有向西北西分量，與模式行進方向相符合。圖 10 為杜鵑颱風 2003 年 9 月 1 日 0000UTC 系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及系集深層平均的風場不對稱量分析。紅線圓圈是 CWB 發佈的最佳路徑，藍線方框是 WRF 預報路徑，實心符號代表分析的時間點位置。此風場不對稱量在颱風中心有向北分量，顯示模擬之路北偏徑與此有很好相關。此風場不對稱量在中心以北與 EOF 第一特徵向量有相當類似的分布，顯示特徵向量展現了最大變異度，有助於颱風路徑預報誤差的了解。

圖 11 為敏督利颱風 2004 年 6 月 29 日 1200UTC 系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及系集深層平均的風場不對稱量分析。紅線圓圈是 CWB 發佈的最佳路徑，藍線方框是 WRF 預報路徑，實心符號代表分析的時間點位置。此時單純系集深層平均 (DLM) 的風場並無法看出颱風路徑走向。但系集深層平均的風場不對稱量分析則顯示於颱風中心有微弱向西之運動。

圖 12 為敏督利颱風 2004 年 6 月 30 日 1200UTC 系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及深層平均的風場不對稱量分析。紅線圓圈是 CWB 發佈的最佳路徑，藍線方框是 WRF 預報路徑，實心符號代表分析的時間點位置。在扣除掉對稱渦旋後，可看出颱風中心有往西北風場分量，與預報路徑趨勢吻合。

敏督利颱風從系集 DLM 風場的不對稱量驗證無法得到相同的鞍型風場，只能獲得單一時間點駛流的作用方向，但也能相同的提供颱風的外延方向。

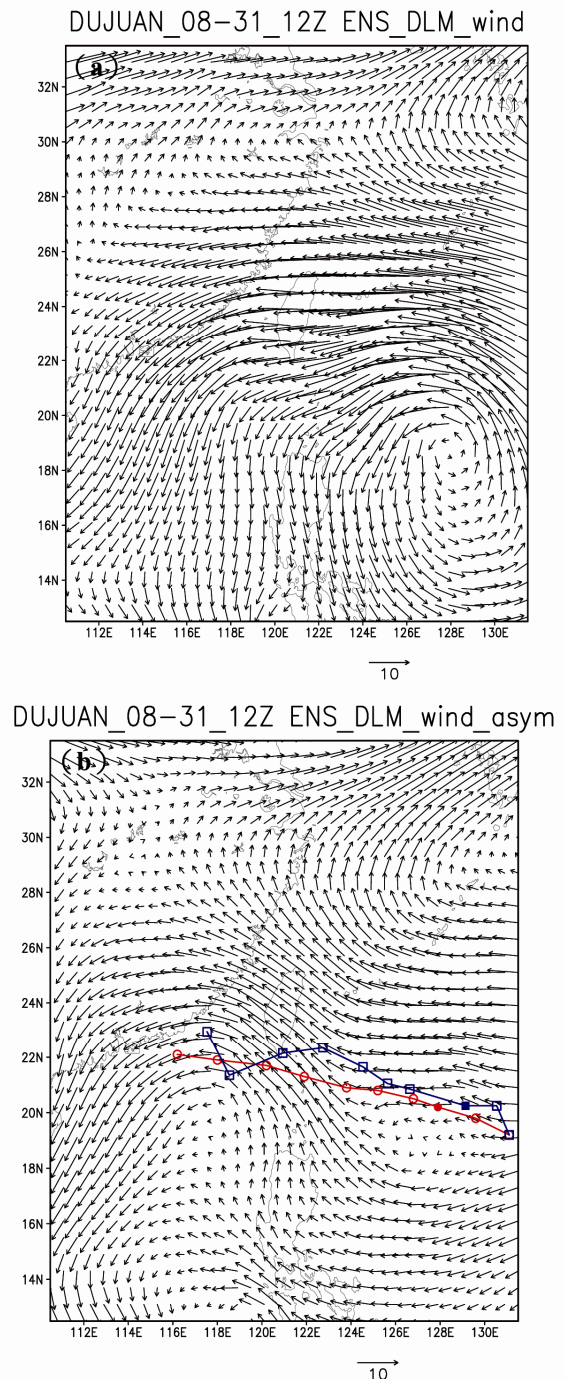


圖 9 2003 年 8 月 21 日 1200UTC 杜鵑颱風系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及系集深層平均的風場不對稱量分析。(a)DLM(b)ASYM_DLM。

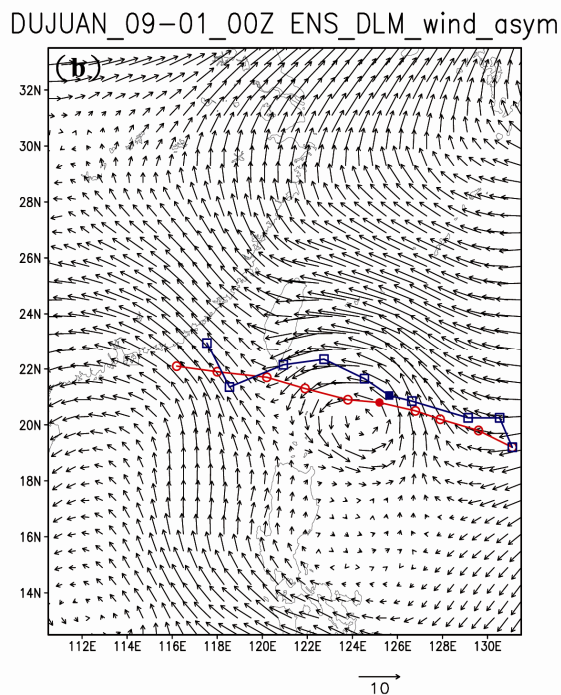
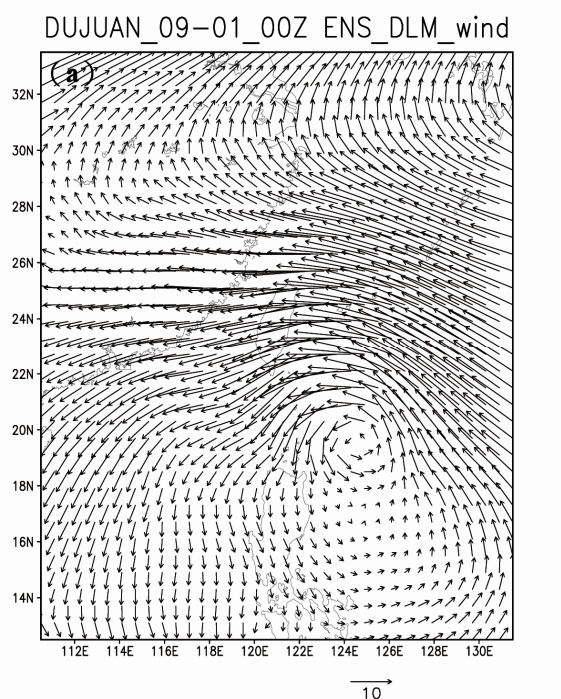


圖 10 2003 年 9 月 1 日 0000UTC 杜鵑颱風系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及系集深層平均的風場不對稱量分析。(a) DLM (b) ASYM_DLM。

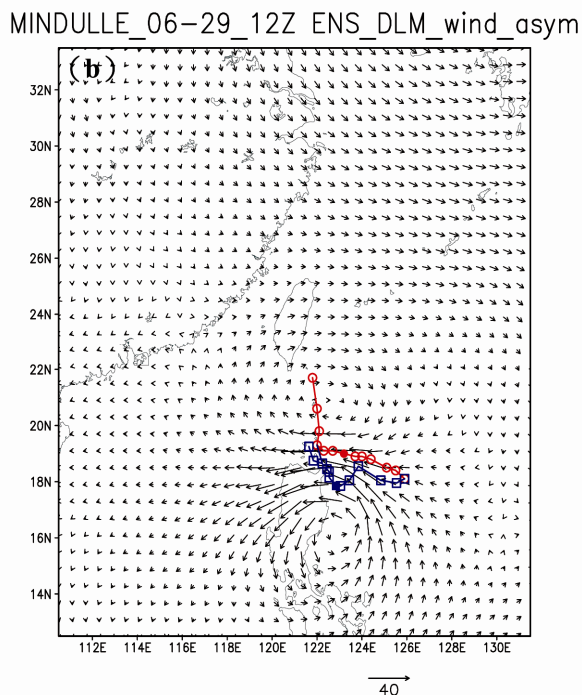
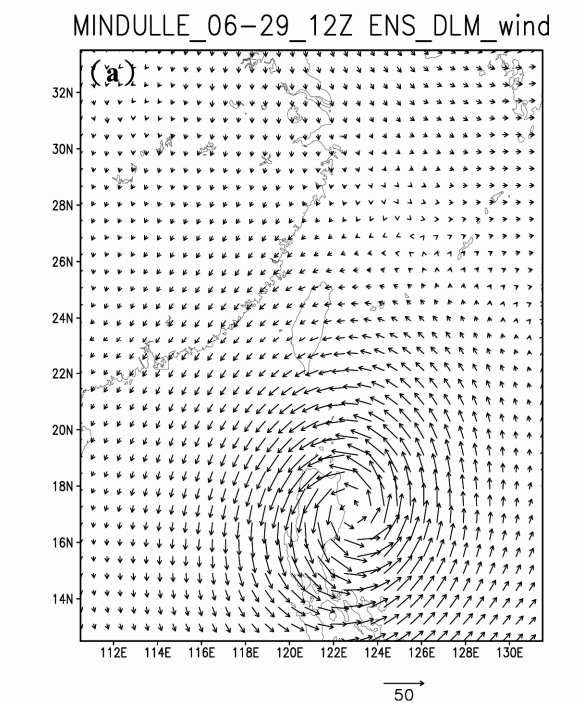


圖 11 2004 年 6 月 29 日 1200UTC 敏督利颱風系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及系集深層平均的風場不對稱量分析。(a) DLM (b) ASYM_DLM。

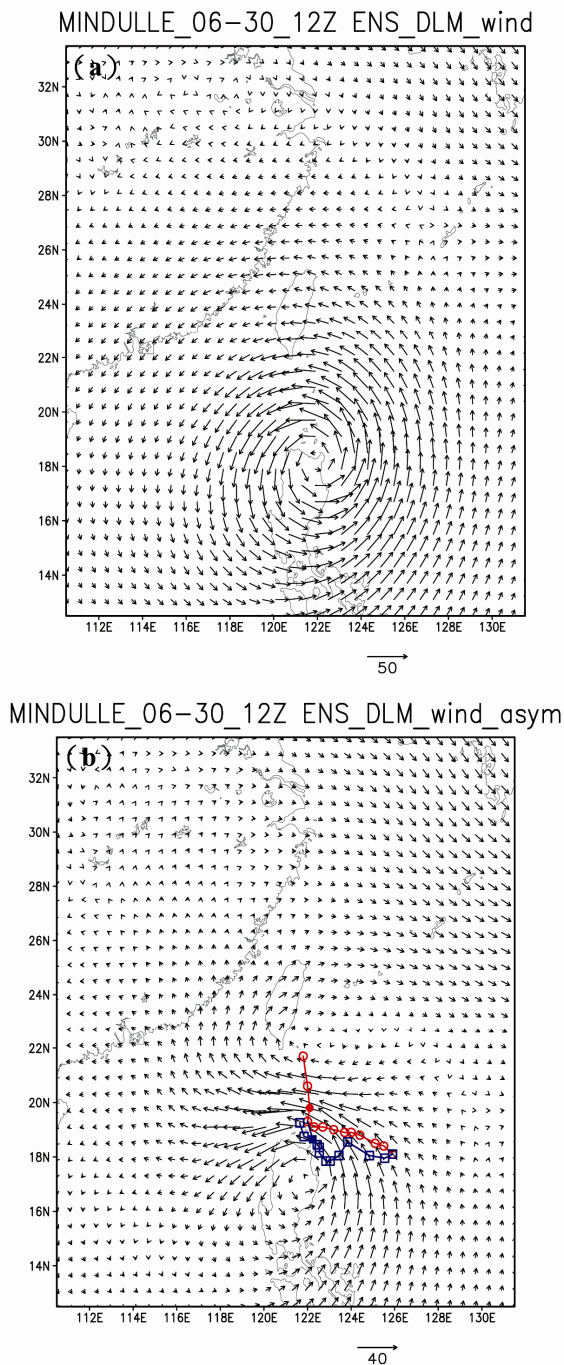


圖 12 2004 年 6 月 30 日 1200UTC 敏督利颱風系集深層平均 (DLM) 的風場水平分佈以及系集深層平均的風場不對稱量分析。(a) DLM (b) ASYM_DLM。

五、總結與討論

本研究以 AVN 為 WRF 的初始場，進行兩個颱風個案（杜鵑颱風及敏督利颱風）的預報。再利用模式預報輸出值，例如：氣壓場、U 方向風場分量和 V 方向風場分量，進一步作 EOF 分析，目的在找出單一時間點的垂直分層特徵向量的水平分佈，得知大尺度的駛流風場。

杜鵑颱風的特徵值趨勢隨預報時間改變，其 U 方向的特徵值會隨著增加，反觀 V 方向的特徵值則有遞減的趨勢，可得知在預報過程中 U 方向風場是大尺度駛流的主要作用項，V 方向風場作用則逐漸減弱。由合成風場的水平分佈圖來看，更可明顯的發現東風的駛流場作用，偶有小範圍南北向的偏移；另外與系集 DLM 風場的不對稱量相驗證也能得到相當一致的方向性。

敏督利颱風的特徵值趨勢隨預報時間改變，其 U 方向的特徵值會隨之減小，V 方向的特徵值有遞增的趨勢，但 U、V 兩分量特徵值並無非常明顯的差異，V 方向分量特徵值後半段似乎作用較強些，以致預報路徑北偏。由合成風場的水平分佈圖發現了鞍型風場，西南風與東北風交會處，正巧是颱風行經路線，當颱風處於鞍型場中央範圍，其行經路線不確定性增加，且移速變的緩慢，難以預測。另一推測敏督利颱風北偏因素，也可能與此鞍型風場有關，是當颱風移入與移出鞍型風場時其交角近乎直角，可發現此時颱風附近大尺度駛流場有一鞍型風場的特徵控制著颱風的運動行徑；另外從系集 DLM 風場的不對稱量驗證卻無法得到相同的鞍型風場，只能獲得單一時間點駛流的作用方向，但也能相同的提供颱風定性的外延方向。

綜觀前述的分析，影響颱風路徑大尺度的駛流作用因素貢獻大，從駛流與路徑變化趨勢的一致，更加證明了駛流在決定颱風移動的關鍵性。利用 EOF 分析可得知 U、V 方向駛流風場的作用比例，明確的得知兩向量隨預報時間改變在空間風場的變化趨勢以及特徵系統的分佈。

本文探討了颱風路徑誤差在模式預報所反映的訊息，了解此偏差是可能被 EOF 分析出來，但特徵向量為常模化的單位向量，只決定了方向，無法給定颱風移速的大小，這方面必須在考慮主分量值，但每個樣品自有其主分量值，如何由眾樣品之主分量決定代表值須進一步研究。另一方面若要應用於路徑上，亦須考慮在預報上颱風移速應反映出所預報期間的平均速度。因此我們未來的想法是針對 WRF 模式預報 0 至 24 小時、24 至 48 小時進行 double-EOF 分析，即對代表垂直之主分量再次進行時間樣本之 EOF 分析，再利用迴歸分析決定所有樣品的最佳或代表性的主分量，得到 24 及 48 小時颱風路徑預報公式。

參考文獻

- 謝信良、王時鼎、鄭明典、葉天降，1998：百年侵台颱風路徑圖集及其應用。中央氣象局，台北。
- 李清勝，1988：台灣地區颱風路徑之預報分析，大氣科學，16，133-139。
- 馬汝安，1985：利用經驗正交函數分析亞洲區域冬季 500 mb 高度場空間分佈之研究。國立台灣大學碩士論文。
- 蕭玲鳳，2002：雙颱風路徑分析及數值模擬。私立中國文化大學地學研究所博士論文。
- 曾忠一，1997：氣象資料同化。渤海堂文化公司印行，594 頁。Goddard, L., S. J. Mason, S. E. Zebiak,
- C. F. Ropelewski, R. Basher, and M. A. Cane, 2000: Current Approaches to Seasonal to Interannual Climate Predictions. IRI Technical Reports 00-01.
- Neumann, C. J., 1993: Global overview. Chapter 1, Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting. WMO, 1.1-1.56
- Richman, M. B., 1986: Review article rotation of principal components. J. Climatol., 6, 293-335.
- Smith, R., X. Li, and B. Wang, 1997: Scaling laws for barotropic vortex beta-drift. Tellus, 49A, 474-485.
- Willoughby, H. E., 1995: Mature structure and evolution. Chapter 2, Global Perspectives on Tropical Cyclones. WMO/TO-No.693, WMO, 21-62。
- Yeh, T.-C. and R. L. Elsberry, 1993: Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part: Upstream track deflections. Mon. Wea. Rev., 121, 3193-3212.

EOF Analysis of Typhoon Track Prediction Errors

Ching-Yuang Huang Jang-Cherng Lou

**Department of Atmospheric Sciences
National Central University**

(Manuscript received 5 June 2006; in final form 10 September 2006)

ABSTRACT

Using GFS forecast by Central Weather Bureau (CWB) of Taiwan and AVN forecast by National Center for Environmental Prediction (NCEP) of USA, we employ the Weather and Research Forecast (WRF) model to predict typhoon tracks. In this study, both analysis and forecast of CWB GFS and the NCEP AVN are used to provide initial and the boundary conditions for 72-h track prediction of Typhoon Dujuan (2003) and Typhoon Mindulle (2004). For the two typhoon cases, WRF predicts the typhoon tracks very well. On the other hand, we utilize empirical orthogonal function (EOF) to analyze the vertical distributions of characteristic vectors for environmental flow at various times, to obtain the principal variances, and we use the deep-layer mean of ensembles to retrieve asymmetry, by removing the typhoon vortex, for mutual verification for typhoon track prediction errors. The EOF analysis reveals that the directions of the principal variances of east-west wind and the south-north wind components are consistent with the tendency of typhoon track changes and also primarily agree with the asymmetry, but the latter (i.e., asymmetry) does not exhibit the saddle pattern of the wind when the stagnating Mindulle is going to turn northward. The EOF analysis of this study can provide objective information about the changing direction of the principal variances of environmental flow, which is helpful for understanding of typhoon track prediction errors.

Key words: Typhoon, EOF, Asymmetry