

芙蘿颱風(1990)的數值模擬研究： 初始資料及初始化方法影響之探討

吳俊傑 黃葳芃

國立台灣大學大氣科學系

(中華民國八十九年五月二十九日收稿；中華民國八十九年十月十一日定稿)

摘 要

本研究以美國國家大氣科學研究中心與賓州大學合作發展的第五代中尺度靜力/非靜力模式 MM5 為模擬工具，採用不同來源的初始資料，包括日本氣象廳 (JMA)、美國國家環境預報中心 (NCEP) 及歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) 的網格分析資料，針對 1990 年的芙蘿颱風 (Flo) 進行數值模擬。由於全球分析資料所解析的颱風範圍過大且強度太弱，在模擬前須透過初始化方法植入渦旋。本研究採用不同初始化方法針對芙蘿颱風進行模擬，包括 GFDL 颱風模式初始化方法 (Kurihara et al., 1995)、Kuo and Wang (1997) 植入方法，前者的優點在於定義較佳的环境場，後者的優點在於由結構簡單的渦旋經預先模擬而產生與模式動力一致的渦旋。本研究亦結合前兩者優點而設計一系列的新方法，針對不同資料、不同初始化方法及不同初始時間進行模擬測試，以瞭解不同初始條件對於模擬結果的影響。

模擬結果顯示不同初始資料及初始化方法所得之模擬路徑有明顯的差異性，其中採用不同初始資料 (JMA 與 ECMWF) 及不同初始化方法，因初始場及模擬時對太平洋副高的趨勢掌握不同，導致對 Flo 颱風路徑的模擬有較大的差異。而使用相同初始資料 (ECMWF) 但採用不同的初始化方法，由於初始時間採用不同的渦旋植入過程，造成颱風中心附近流場改變，模擬的路徑亦有相當程度的差別。大部分的模擬結果顯示，因事先已濾除分析場中不正確之颱風訊息，故以結合渦旋與經濾除颱風分量的環境場之模擬結果較佳。又所植入渦旋必須經由預先模擬過程而產生，否則開始模擬時會因渦旋結構與模式動力不一致而需一段調整期，導致模擬路徑不佳。至於強度模擬方面，雖然模擬實驗可以掌握高層冷心低壓接近芙蘿颱風的過程，並與 Wu and Cheng (1999) 的分析結果相似，但是各模擬實驗皆無法反映芙蘿颱風迅速增強的情況，此結果正凸顯出現階段模式掌握颱風強度演變所面臨的難題。

總之，模擬路徑對於不同初始資料及初始化方法有相當程度的敏感性，因此模擬時需採用適當的初始化方法，才能得到合理的初始場。本研究所發展的初始化方法應可提供做為日後進行颱風模擬研究的參考。

關鍵字：芙蘿颱風、MM5 數值模式、初始資料、初始化方法

一、前言

颱風為自然界最具破壞力的天氣系統之一，動輒造成人類生命財產重大損失，因此對於颱風的研究及預報改進一直受到多國的高度重視。而台灣地區正好位於西北太平洋颱風路徑的要衝，為颱風轉向與否的分捩點，使得台灣地區對颱風的風雨與路徑預報更為困難，為台灣地區所面臨之獨特問題。由於颱風絕大部分於海洋上形成及發展，因此面臨到資料嚴重不足的問題，如西北太平洋的觀測點稀少，台灣以東數千公里以上的太平洋地區，幾乎無任何觀測點，乃至於傳統觀測資料極度缺乏。因此觀測資料的限制，一直是颱風問題研究的一大障礙。

在觀測資料的空間及時間解析度受限的情況之下，模式模擬於焉產生。早期 1960 年代發展的軸對稱颱風模式(Kasahara, 1961; Ooyama, 1969; Sundqvist, 1970)有助於我們對颱風基本結構特徵的掌握，亦可利用簡單的模擬測試增進對颱風基礎問題的瞭解。到後期完整的三維模式開始逐漸發展(Anthes, 1972; Jones, 1977; Kurihara and Bender, 1982; Tripoli, 1992)，模式中之物理參數化方法日趨完備，加上計算資源的支持，如今我們可以全球分析資料進行高解析度的颱風個案模擬。這些改進有助於我們對颱風內部結構的瞭解，亦可較完整地探討颱風與環境之間的交互作用，成為現在颱風研究的重要方向之一。

現階段用來進行颱風研究的數值模式仍然有限，目前美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction; NCEP)預報颱風的作業模式 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics

Laboratory) 颱風模式為較著名的例子(Kurihara et al., 1995)。另外近年來由 PSU/NCAR 所發展的第五代中尺度模式 MM5(Fifth-generation Penn. State/NCAR Mesoscale Model)也漸成為廣泛應用的例子之一。喬等(1996)針對 1990 年的黛特(Dot)颱風進行 MM5 數值模擬，雖然模擬前未經初始化過程處理，但是研究結果顯示對於直行侵台的黛特颱風，模擬時採用不同的積雲參數化方法對於其路徑的模擬皆有不錯的掌握。李與林(1999)同樣在未經初始化處理的情況下使用 MM5 模擬侵台之歐菲莉(Ofelia)颱風(1990)，雖然模擬結果可得到與觀測大致相似的颱風路徑，但是於初始資料所解析的歐菲莉颱風中心位置與強度已有相當的誤差存在。這些研究結果顯示 MM5 對於颱風運動具有基本的掌握能力，但如欲更進一步探討颱風的內部結構、強度演變及地形的影響，則必須在模擬前採用初始化過程處理，才可得到合理的颱風初始結構。

Liu et al. (1997) 於模擬前加入初始化步驟，針對 Andrew 颶風 (1992)進行模擬則發現，模式成功地掌握其移動路徑及強度迅速增強之變化。至於較細微的颱風結構部分，模式所模擬之可見光雲結構的大小、形態及強度，亦與衛星及雷達資料相符。而由模擬輸出計算所得之雷達回波，亦呈現眼、眼牆深對流、螺旋雨帶的胞狀對流及外緣的淺對流的存在。

Wu and Kuo (1999)配合 Kuo and Wang (1997)之渦旋植入方法，將 MM5 應用至以 Herb (1996)颱風為個案的高解析度(6.67 km)模擬，主要在檢視模式模擬降水的能力，並強調水平解析度與地形解析度對降水預報的影響。結果發現模式模擬

成功地掌握中尺度降水的分布，雖然 24 小時最大降雨量(818 mm)相對於觀測值(約 1700 mm)少了一半左右，但其掌握到台灣降水的兩個降雨極大區(烏嘴山及玉山) 與中央氣象局觀測資料相符。

由此可見，MM5 在未經渦旋植入步驟對颱風運動的模擬即具有基本的掌握能力，若能進一步配合適當的颱風初始化方法，則應可成功地掌握颱風的結構特徵以及其所造成之降雨分布。因此，本研究亦以此模式做為模擬工具，配合不同之初始化方法進行一系列的模擬測試。

颱風模擬在初期即遭遇初始場精確性的問題。因短期預報主受初始場的影響，因此初始場的好壞會直接影響模擬結果的優劣。此問題主要來自於全球分析資料的解析度太低，解析的颱風強度過弱，因此在模擬前須對初始場進行初始化處理。在颱風初始化方法的研究方面，Kurihara et al.(1993 與 1995)曾對 GFDL 颱風模式的初始化方法進行一系列的改進。特別是 Kurihara et al.(1993)的初始化方法在移除全球分析場之渦旋時採用圓形的濾除範圍，可能將颱風附近環境中其他的重要特徵一起移除，造成模擬結果與實際運動狀況的誤差。為改進這項缺點，Kurihara et al.(1995)發展出經過修正的多邊形濾除範圍及重建渦旋內非颱風分量場的方法，並選取於東北方有一重要的小尺度環流的 Florence 颶風(1988)為新舊方法比較測試的個案，模擬結果驗證了改進後的初始化方法對於路徑預報有正面的影響。此外，在初始資料的研究方面，Wu et al. (2000a)以 GFDL 颱風模式分別利用 NOGAPS (Navy Operational Global Atmospheric Prediction System) 及 AVN (NCEP's Aviation)兩種不同之初始化資料，針對 1996 年西

北太平洋地區 24 個颱風 177 個模擬進行統計誤差計算，結果發現除部分地區表現出之一致的誤差結果外，大部分地區因使用不同初始資料會造成不同之位置誤差分佈。因此我們發現在模擬時採用不同之初始資料對模擬結果確實會有相當程度的影響。

此外，由 Wu et al. (2000b)之研究結果顯示，中央氣象局(Central Weather Bureau; CWB)使用颱風路徑預報系統(Typhoon Track Forecast System; TFS)96 年版本與 97 年版本針對 Zane 颱風(1996)所得之模擬結果比較，發現經由颱風路徑預報系統以及初始化方法的改進，可以造成對 Zane 颱風轉向與否有不同之模擬結果，影響甚巨。

基於颱風模擬結果對於不同初始資料及初始化方法有相當程度的敏感性，本研究採用不同來源之初始資料及發展各種不同之初始化方法進行模擬測試，希望能夠釐清此部分對模擬結果造成的影響，並研發出一套合理的初始化方法做為未來颱風模擬研究的參考。

本文第二節為芙蘿(Flo)颱風的研究回顧；第三節為 MM5 模式簡介及實驗設計；第四節為模擬結果；第五節為結果討論；第六節則為結語及展望。

二、芙蘿(Flo)颱風的研究回顧

Flo 颱風生成於關島東南方，於 1990 年 9 月 15 日 0600 UTC 形成為颱風後，開始迅速增強。至 9 月 16 日 1200 UTC 轉變為超級颱風，並於 9 月 17 日 0600 UTC 觀測到最大強度，此時最大風速為 145 kts，海平面最低氣壓為 891 hPa。其移動

路徑主要是沿著太平洋副高的西緣移動，前期往西北方移動，於 9 月 16 日 0600 UTC 之後急遽轉向，轉往東北方向移動。Flo 在達到最大強度後逐漸接近中緯度槽線，導致移動速度加快，於 9 月 19 日登陸日本本州島，最後於 9 月 20 日變性為溫帶氣旋。

Wu and Cheng (1999) 利用 ECMWF/TOGA (European Center for Medium-Range Weather Forecasts / Tropical Ocean Global Atmosphere, 以下簡稱 EC) 分析資料研究 Flo 颱風的增強機制，發現當其增強時，Flo 之上的外流層低位渦區域亦隨之增大，且此外流層型態深受高對流層環境系統之影響。經由外流層 E-P flux (Eliassen-Palm flux) 及 EFC (eddy flux convergence of angular momentum) 之計算結果顯示，在增強初期 Flo 以東之冷心低壓 (cold core low) 造成渦流通量產生軸對稱平均氣旋式角動量，使外流噴流 (outflow jet) 增強，此可激發氣旋內颱風內部之次環流，即低層往內輻合，於眼牆附近上升，在高層往外之環流，進而使颱風強度增加。

由 Wu and Cheng (1999) 的分析結果可發現，包括增強的外流、增加的 EFC、低垂直風切(在風速增加率最大時，垂直風切約 3 m/s) 及暖洋面溫度(約 27.5 - 27.8°C)，皆為 Flo 颱風迅速增強的有利因素。為進一步檢視高對流層系統對 Flo 颱風強度改變的影響，Wu and Cheng (1999) 利用片段位渦反求(piecewise PV inversion) (Wu and Emanuel, 1995 a and b) 方法進行量化之探討。但無法證明高層位渦異常對低層造成的擾動動能會導致 Flo 強度演變，因此尚不能利用簡單之位渦疊加概念 (superposition of PV) (Molinari et al., 1995) 來解釋

高層環境位渦異常對 Flo 增強的直接影響。

此外，Flo 颱風為 1998 年 WMO (World Meteorological Organization) COMPARE (Comparison Of Mesoscale Prediction And Research Experiment) 計畫的測試個案之一。藉由此研究我們獲得日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency; JMA) 及美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction; NCEP) 的網格分析資料，且其已經由 GFDL 颱風模式初始化方法處理，為本研究測試時之不同初始場之一，希望能因此獲得較完整之模擬測試結果。綜合上述，本研究主要在探討不同初始資料及初始化過程對模擬結果的影響，未來則希望能夠與 Wu and Cheng (1999) 之分析結果比對，並利用模式高解析度模擬的特色進行颱風結構的詳細分析，以及經由控制實驗瞭解影響颱風強度演變的主要物理機制。

三、模式簡介及實驗設計

(一) MM5 模式簡介

MM5 模式為美國國家大氣科學研究中心與賓州州立大學合作發展的第五代中尺度靜力/非靜力模式 (Grell et al., 1993)，為一原始方程模式，其垂直座標為 σ 座標，並具有多重巢狀網格功能，且對於不同之大氣物理過程提供許多不同的選擇，包括降水的物理過程、地表能量收支、地表邊界層的處理及大氣輻射過程。

本模擬採用第 2.6 版之 MM5 模式，各設定如下：(1) 非靜力假設，(2) 三層巢狀網格：解析度各為 60、20、6.67 km，(3) 雙向交互作用 (two-way interaction)，(4) 模式物理參數：雲微物理參

數化：simple ice (Dudhia, 1989)；積雲參數化：KF (Kain and Fritsch, 1993)；邊界層參數化：Blackadar (Blackadar, 1979) (第一、二層) 與 MRF (Hong and Pan, 1996) (第三層)；輻射參數化：simple cooling。

(二) 實驗設計

本研究採用不同來源之初始資料，包括 JMA、NCEP 及 EC 的網格分析資料，但由於全球分析資料所解析的颱風範圍過大且強度太弱，因此需使用初始化方法於初始場植入渦旋。

本研究採用六種初始化方法，分別為 GFDL 颱風模式初始化方法 (Kurihara et al., 1995)、KW 植入方法 (Kuo and Wang, 1997) 與本研究設計的四種方法 (簡稱 WH)。各方法的簡介如下：

- (1) GFDL 颱風模式初始化方法：基本概念為利用 GFDL 軸對稱颱風模式預先模擬出一類似結構的颱風，並積分渦度方程產生不對稱部分，再將兩者置於已濾除颱風分量的環境場，以求得新的初始場。此法之優點在於藉由風場中颱風分量與非颱風分量的分離，對於颱風所處之環境場有較佳的定義。
- (2) KW 植入方法：於正式模擬前 12 小時，預先植入一 Rankine vortex，積分 12 小時後，將已發展之渦旋置於關島颱風警報中心所發布之颱風位置並併入此時的分析場，再開始正式的模擬。此法的優點在於可產生與模式動力一致的渦旋，並可保留渦旋於模擬期間發展的不對稱結構。
- (3) WH_1 初始化方法：於正式模擬前 12 小時，先利用 Kurihara et al. (1995) 求環境場的方法，將分析場濾除颱風分量，得到環境場。再將一

Rankine vortex 加入環境場，積分 12 小時後，將渦旋置於關島颱風警報中心所發布之颱風位置並併入此時的分析場，最後再開始正式的模擬。

- (4) WH_2 初始化方法：在正式模擬前 12 小時，於分析資料植入一 Rankine vortex，積分 12 小時後，將渦旋置於觀測中心並併入此時的環境場 (Kurihara et al., 1995)，再開始正式的模擬。此方法與 KW 植入方法的差別在於開始正式模擬時多經一步驟之處理，即使用 Kurihara et al. (1995) 方法濾除分析場中關於颱風分量的不正確訊息。而與 WH_1 方法之差別則在於濾除颱風分量的時間是在正式開始模擬的時間，而不是預先模擬開始的時間。
- (5) WH_3 初始化方法：無預先模擬 12 小時，直接於開始模擬時間利用 Kurihara et al. (1995) 方法求出環境場，再於環境風場上植入一 Rankine vortex，由此風場求出對應的高度場與溫度場，之後即開始進行模擬。此方法與其他方法之差別在於未經 12 小時的預先模擬過程。
- (6) WH_4 初始化方法：於正式模擬前 12 小時，處理方式與 WH_2 方法相同，即於分析資料植入一 Rankine vortex。積分 12 小時後，WH_2 與 WH_4 方法的差別主要在於渦旋與環境場結合的方法：WH_2 是在模擬正式開始時將環境場在渦旋二分之一半徑範圍內的各三維變數 (例如：高度場、風場、溫度場及溼度場) 以模擬之渦旋部份取代；渦旋二分之一半徑外至半徑內則是取渦旋部份與環境部份的組合。渦旋部分所佔之比例是隨半徑增加而減

少，環境部分之比例則隨半徑減少而增加。至於 WH_4 方法則是利用 Kurihara et al. (1995) 決定颱風分量的方法，將模擬之颱風風場由模擬結果獨立出來，再疊加至環境場之風場，以求得新的初始風場。其相對應的高度場及溫度場則是利用非線性平衡方程及靜力平衡關係再分別求出。

WH_1 至 WH_4 方法之實驗精神在於結合 KW 方法渦旋產生的便利性，以及 Kurihara 方法定義較佳的环境場。而其個別差異則是在於測試濾除過程時間前後之差別、預先模擬之必要性以及不同之渦旋與環境場結合方法（各方法之異同見表一）。此外，為測試對強度的模擬情形，我們除了在美羅颱風生成後（9 月 14 日）開始模擬，亦在其迅速增強期（9 月 15 日及 9 月 16 日）開始模擬，以檢視其強度模擬情形。八組實驗設計如表二所示。

模擬時海溫是採用美國氣象中心(NMC，已

更名為 NCEP)之週海溫資料，側邊界條件則是採用 EC 資料，包括實驗 J 與實驗 N 亦然。因為我們只獲得 1990 年 9 月 14 日 00 UTC 的 JMA 及 NCEP 兩筆資料，因此之後的時間是選用不同來源之 EC 資料作為邊界條件，以完成模擬。此部分的影響將在第四節進行模擬範圍擴大的敏感度測試，以探討邊界條件對模擬結果的影響。

四、模擬結果

前述各實驗的模擬結果將分為路徑與強度兩個部分探討，並將檢視擴大邊界範圍的模擬結果。

(一) 路徑

由模擬之路徑結果來看，各實驗的差異頗大，分別探討如下：

由圖 1a 實驗 J 與實驗 N 的模擬路徑可見(初始時間為 1990 年 9 月 14 日 00 UTC)，一開始之

表一 六種初始化方法之異同。

	GFDL 初始化方法	KW 渦旋植入方法	WH_1 初始化方法	WH_2 初始化方法	WH_3 初始化方法	WH_4 初始化方法
有無預先模擬 12 小時	無	有	有	有	無	有
渦旋產生方法	Kurihara et al. (1993)	Kuo and Wang (1997)	Kuo and Wang (1997)	Kuo and Wang (1997)	Kuo and Wang (1997)	Kuo and Wang (1997)
渦旋與環境場結合方法	Kurihara et al. (1993)	Kuo and Wang (1997)	Kuo and Wang (1997)	Kuo and Wang (1997)	Kuo and Wang (1997)	本研究設計之方法
有無經過 Kurihara et al. (1995) 求取環境場處理方法	有 (正式模擬初始時間)	無	有 (正式模擬初始時間前 12 小時)	有 (正式模擬初始時間)	有 (正式模擬初始時間)	有 (正式模擬初始時間)

表二 八組實驗之初始資料、初始化方法、模擬初始時間及模擬積分時間簡介。

	實驗 J	實驗 N	實驗 EK_14 實驗 EK_15 實驗 EK_16	實驗 EW1_14 實驗 EW1_15
初始資料	JMA 分析資料	NCEP 分析資料	EC 分析資料	EC 分析資料
初始化方法	GFDL 初始化方法	GFDL 初始化方法	KW 渦旋植入方法	WH_1 初始化方法
模擬初始時間	1990 年 9 月 14 日 00 UTC	1990 年 9 月 14 日 00 UTC	1990 年 9 月 14 日 00 UTC / 1990 年 9 月 15 日 00 UTC / 1990 年 9 月 16 日 00 UTC	1990 年 9 月 14 日 00 UTC / 1990 年 9 月 15 日 00 UTC
模擬時間(小時)	72	60	96 / 84 / 60	102 / 84
	實驗 EW2_14 實驗 EW2_15 實驗 EW2_16	實驗 EW3_14 實驗 EW3_15 實驗 EW3_16	實驗 EW4_14 實驗 EW4_15 實驗 EW4_16	實驗 E
初始資料	EC 分析資料	EC 分析資料	EC 分析資料	EC 分析資料
初始化方法	WH_2 初始化方法	WH_3 初始化方法	WH_4 初始化方法	未經初始化
模擬初始時間	1990 年 9 月 14 日 00 UTC / 1990 年 9 月 15 日 00 UTC / 1990 年 9 月 16 日 00 UTC	1990 年 9 月 14 日 00 UTC / 1990 年 9 月 15 日 00 UTC / 1990 年 9 月 16 日 00 UTC	1990 年 9 月 14 日 00 UTC / 1990 年 9 月 15 日 00 UTC / 1990 年 9 月 16 日 00 UTC	1990 年 9 月 14 日 00 UTC
模擬時間(小時)	96 / 84 / 60	78 / 72 / 60	90 / 84 / 60	108

模擬路徑相較於關島的颱風路徑資料(JTWC)，兩者即有北移過快及偏東的趨勢，尤其是實驗 N 的北移過快情形較為嚴重。整體來看，兩個實驗除有北移過快及偏東的趨勢，轉向時間亦過早，且 24 及 48 小時的誤差各達 369、520 及 379、644 公里(表三 a)，與觀測位置相差頗大。

至於實驗 EK_14、實驗 EW1_14 與實驗 EW2_14 的模擬(圖 1b)，為採用相同的初始資料(EC) 但不同的初始化方法，初始時間皆為 1990 年 9 月 14 日 00 UTC 的模擬。其中，實驗 EK_14 的結果仍有北移過快及偏東的情形，但偏離程度較有改善。24 及 48 小時的誤差分別為 302 及 352 公里(表三 a)；實驗 EW1_14 的模擬結果則略有增進，於模擬 12 小時後，路徑較 EK_14 之結果西偏，一直到模擬結束皆有此趨勢，24 及 48 小時的誤差分別為 199 及 363 公里(表三 a)；實驗 EW2_14，路徑模擬經由初始化過程的再改進，結果從開始模擬後即較之前各實驗偏西移，更加接近觀測結果。24 及 48 小時的誤差分別為 140 及 249 公里(表三 a)，相較於最佳路徑雖仍略有北移過快及偏東情形，但已改進許多，為所有以 9 月 14 日 00UTC 為初始時間並有進行初始化處理的模擬實驗中最佳的路徑模擬。

實驗 EW3_14 與實驗 EW4_14 的模擬(圖 1b)，於模擬期間相較於最佳路徑亦有整體偏東的情形，且開始模擬的 12 小時皆北移過快。不過，EW4_14 的模擬在 18 小時後有明顯往西偏的情況，較接近最佳路徑，以致此時誤差減少。而 EW3_14 則無此西偏趨勢，於整個模擬期間位置皆偏東，且相較於其他所有以 EC 資料為初始資料的實驗，其整個模擬期間有非常明顯北移過快的情形。兩組實驗 24 及 48 小時的誤差分別為 377、432 及 308、208 公里(表三 a)。

實驗 EK_15、實驗 EW1_15、實驗 EW2_15、實驗 EW3_15 與 EW4_15 初始時間為 1990 年 9 月 15 日 00 UTC 的路徑模擬結果(圖 1c)，整體的誤差皆減少許多，且並無如 1990 年 9 月 14 日 00 UTC 之實驗一樣有往東北偏的系統性誤差。其中雖然 EK_15 的路徑仍有此情形，但 EW1_15 與 EW2_15 的實驗結果則已有改善，且於轉向前的模擬路徑與最佳路徑頗為相似。實驗 EW3_15 則與 EW3_14 的結果相類似，有偏東且明顯北移過快的情形，與其他實驗差別較多。而 EW4_15 在轉向前的表現不錯，但轉向後路徑則偏東且北移過快，模擬後期誤差較大。五組實驗的 24 及 48 小時誤差分別為 90、62 公里；54、61 公里；33、98 公里；119、253 公里及 14、53 公里(表三 b)，對於何種初始化過程較佳並無明顯的結論。在所有以 1990 年 9 月 15 日 00UTC 為初始時間的模擬結果之共同現象就是在颱風轉向後，受北方槽線的牽引過大，因此模擬的北移速度相較於 JTWC 的最佳路徑都過快。實驗 EW4_15 在模擬 48 小時前的路徑皆頗佳，但於轉向後也反應出同樣的問題，因此至模擬 72 小時誤差明顯增加(表三 b)。

實驗 EK_16、實驗 EW2_16、實驗 EW3_16 與 EW4_16 初始時間為 1990 年 9 月 16 日 00 UTC 的路徑模擬結果(圖 1d)，其中 EK_16、實驗 EW2_16 與實驗 EW3_16 整體路徑在東西向的表現與最佳路徑相當類似，但皆有往北移速過快的情形，特別是轉向後的模擬。而 EW4_16 的模擬於一開始即過於偏西，至 24 小時轉向後才逐漸接近最佳路徑，因此出現模擬前 24 小時誤差偏大，之後誤差反而減小的狀況。四組實驗的 24 及 48 小時誤差分別為 79、151 公里；115、242 公里；75、151 及 166、43 公里(表三 c)。

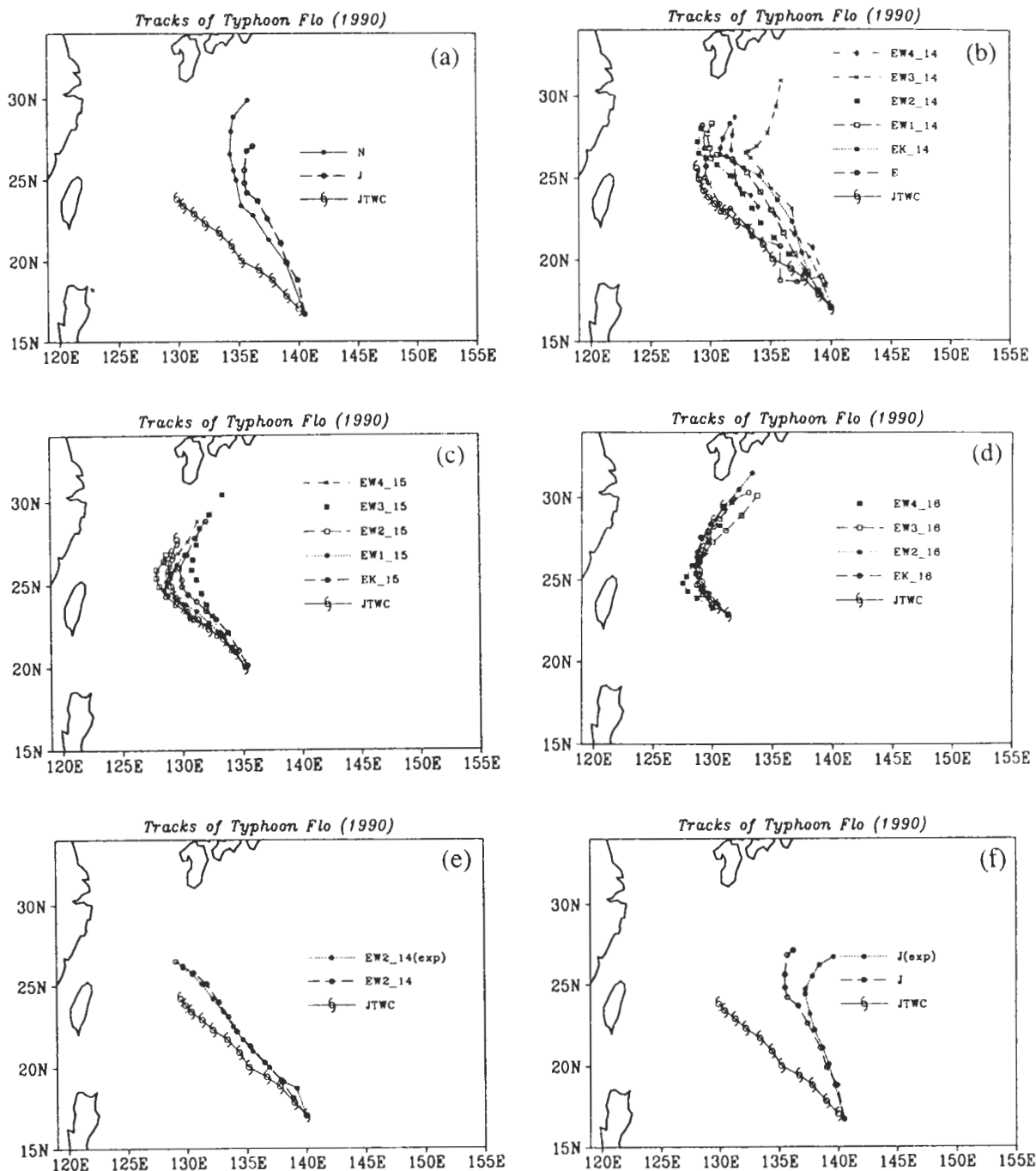


圖 1 模擬路徑與最佳路徑(JTWC)比較圖：(a)實驗 N 與實驗 J 之模擬結果；(b)實驗 E、實驗 EK_14、實驗 EW1_14、實驗 EW2_14、實驗 EW3_14 與實驗 EW4_14 之模擬結果；(c)實驗 EK_15、實驗 EW1_15、實驗 EW2_15、實驗 EW3_15 與實驗 EW4_15 之模擬結果；(d)實驗 EK_16、實驗 EW2_16、實驗 EW3_16 與實驗 EW4_16 之模擬結果；(e)實驗 EW2_14 與擴大邊界範圍(EW2_14(exp))之模擬結果；(f)實驗 J 與擴大邊界範圍(J(exp))之模擬結果。

表三 各模擬實驗每 12 小時與最佳路徑相較之誤差比較表 (單位: 公里): (a)1990 年 9 月 14 日 00 UTC 為初始時間的各組模擬結果; (b) 1990 年 9 月 15 日 00 UTC 為初始時間的各組模擬結果; (c) 1990 年 9 月 16 日 00 UTC 為初始時間的各組模擬結果

(a)

forecasting time	實驗N	實驗J	實驗E	實驗EK 14
0 hr (9/14/00)	64	64	223	0
12 hr (9/14/12)	280	172	209	48
24 hr (9/15/00)	379	369	240	302
36 hr (9/15/12)	445	366	235	389
48 hr (9/16/00)	644	520	78	352
60 hr (9/16/12)	897	725	138	307
72 hr (9/17/00)		997	212	340
forecasting time	實驗EW1 14	實驗EW2 14	實驗EW3 14	實驗EW4 14
0 hr (9/14/00)	0	0	0	0
12 hr (9/14/12)	47	46	154	222
24 hr (9/15/00)	199	140	377	308
36 hr (9/15/12)	283	150	416	239
48 hr (9/16/00)	363	249	432	208
60 hr (9/16/12)	270	262	530	317
72 hr (9/17/00)	316	259	798	411

(b)

forecasting time	實驗EK 15	實驗EW1 15	實驗EW2 15
0 hr (9/15/00)	0	0	0
12 hr (9/15/12)	56	20	52
24 hr (9/16/00)	90	54	33
36 hr (9/16/12)	91	57	46
48 hr (9/17/00)	62	61	98
60 hr (9/17/12)	160	70	111
72 hr (9/18/00)	262	112	131
forecasting time	實驗EW3 15	實驗EW4 15	
0 hr (9/15/00)	0	0	
12 hr (9/15/12)	61	40	
24 hr (9/16/00)	119	14	
36 hr (9/16/12)	208	55	
48 hr (9/17/00)	253	53	
60 hr (9/17/12)	346	99	
72 hr (9/18/00)	481	204	

(c)

forecasting time	實驗EK_16	實驗EW2_16	實驗EW3_16	實驗EW4_16
0 hr (9/16/00)	0	0	0	0
12 hr (9/16/12)	79	50	79	119
24 hr (9/17/00)	79	115	75	166
36 hr (9/17/12)	145	137	67	81
48 hr (9/18/00)	151	242	151	43
60 hr (9/18/12)	220	331	281	72

unit : km

以模擬路徑的整體表現來看，初始時間為 1990 年 9 月 14 日 00 UTC 的各模擬實驗皆較以 1990 年 9 月 15 日 00 UTC 及 1990 年 9 月 16 日 00 UTC 為初始時間的誤差大許多，其中以採用 WH_1 及 WH_2 初始化方法的模擬表現較好。至於以 1990 年 9 月 15 日 00 UTC 及 1990 年 9 月 16 日 00 UTC 為初始時間的模擬則無明顯何種初始化方法較佳的結論。不過，將所有 EK 與 EW2 之實驗結果相比較，我們可發現，除 1990 年 9 月 16 日 00 UTC 模擬後期之外，使用 WH_2 方法濾除全球分析場中之不正確颱風訊息，對模擬結果具有正面的影響。而採用 WH_3 初始化方法的模擬因無預先模擬 12 小時，在 1990 年 9 月 15 日 00 UTC 及 1990 年 9 月 16 日 00 UTC 為初始時間的模擬，相較於其他實驗呈現出明顯模擬路徑不佳的情形。此外，於實驗 E 的結果可發現，未經初始化的颱風位置於初始時間相較於最佳路徑位置即有 223 公里的誤差，開始模擬的 24 小時之內颱風中心有不規則跳動情形，移動方向變化過大。且此時對於強度之模擬與 CWB 之記錄相差甚大（圖 2g），颱風環流並不符合真實情況，因此我們認為初始化處理仍為颱風模擬必須採行的步驟。

（二）強度

在強度的表現方面，所有實驗結果對於強度模擬的掌握能力皆相當有限，無法模擬出 Flo 隨著時間逐漸增強的趨勢。如分別檢視各實驗的模擬結果，則可發現：實驗 J 與實驗 N（圖 2a）除模擬前 6 小時強度較有增強（此增強之原因可能為模擬初期的調整），之後海平面最低氣壓的變動很小，並未如觀測所示，有迅速增強的狀況。於模擬 24 小時，兩者與 CWB 的海平面中心氣壓相差 7 mb 及 17 mb；於模擬 48 小時，即相差 21 mb 及

31 mb。實驗 EK 於各初始模擬時間（1990 年 9 月 14 日 00 UTC、1990 年 9 月 15 日 00 UTC 及 1990 年 9 月 16 日 00 UTC）的模擬結果顯示（圖 2b），模擬的強度同樣無法反映出 Flo 的迅速增強，只略為上下波動，無明顯變化趨勢。模擬至 1990 年 9 月 17 日 00 UTC 三組實驗與 CWB 的海平面中心氣壓相差 35 mb、23 mb 及 13 mb；繼續模擬至 1990 年 9 月 18 日 00 UTC，則相差 67 mb、54 mb 及 46 mb。

至於實驗 EW1 中（圖 2c），EW1_14 在開始模擬的 6 小時強度略有增加，之後即持續減弱，至 1990 年 9 月 18 日 06 UTC 強度已減弱至 1004 mb。而 EW1_15 的減弱則發生在模擬 36 小時之後，且減弱的幅度較小。而實驗 EW2 的模擬則亦有類似情形（圖 2d）。

配合前一節的路徑模擬結果來看，實驗 EW3 強度模擬與路徑模擬的表現皆較差，強度變化的範圍偏大，且無一定趨勢（圖 2e）。而實驗 EW4 的強度模擬結果中（圖 2f），EW4_14 與 EW4_15 的強度變化很小，EW4_16 在開始模擬的 6 小時有略為增強，之後則持續減弱。EW4 的三組實驗模擬至 1990 年 9 月 18 日 00 UTC 與 CWB 的海平面中心氣壓相差 59 mb、53 mb 及 45 mb。兩組實驗相較於實際颱風強度仍無法反應 Flo 颱風迅速增強狀況。

至於實驗 E 的模擬因未經初始化處理，初始為 1005 mb 的低壓，模擬期間強度並未增加，且有緩慢減弱的現象（圖 2g）。模擬至 1990 年 9 月 17 日 18 UTC 與 CWB 的海平面中心氣壓相差 80 mb。

以模擬強度的整體表現來看，所有的模擬實驗皆無法反映出 Flo 颱風增強的狀況，部分模擬甚

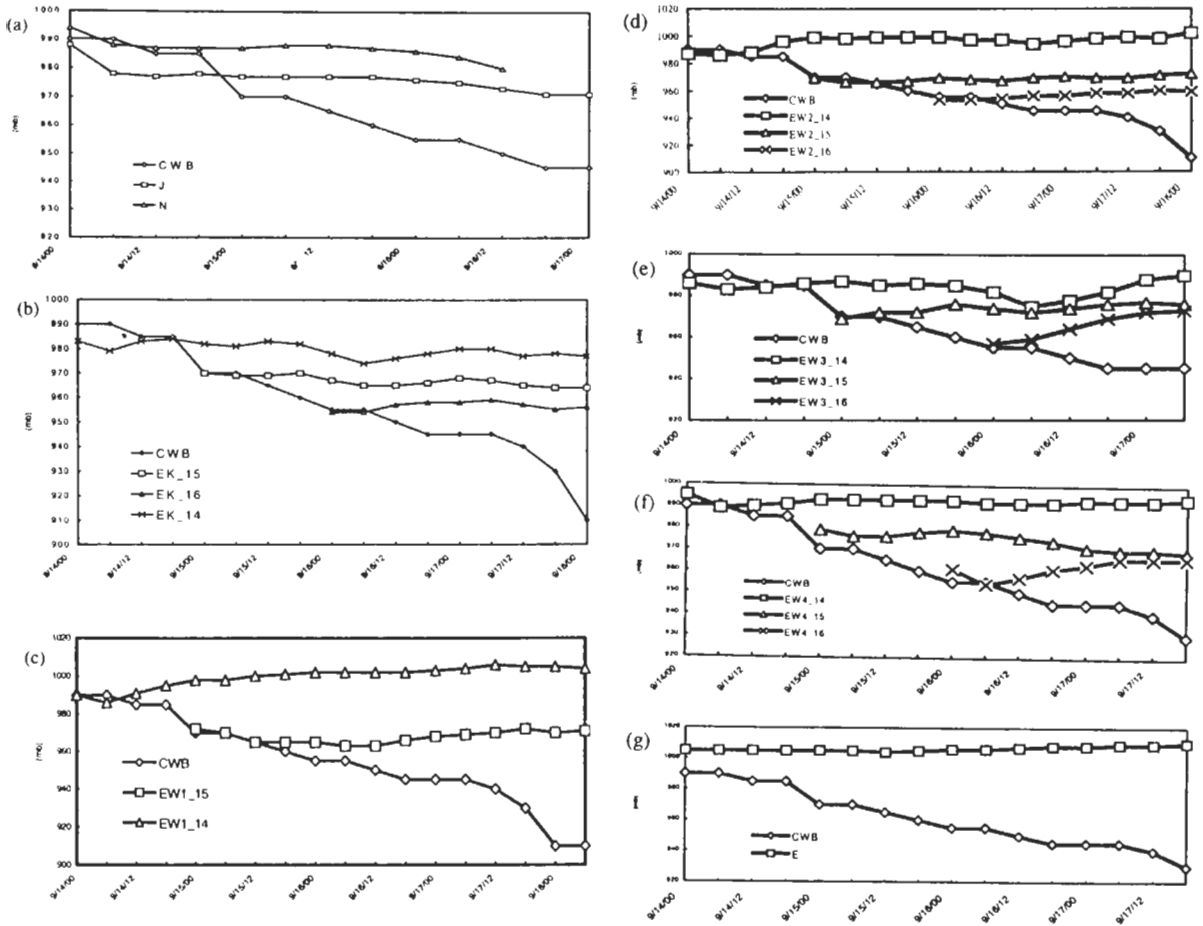


圖 2 模擬強度與中央氣象局估計強度比較圖: (a) 實驗 N 與實驗 J 之模擬結果; (b) 實驗 EK_14、實驗 EK_15 與實驗 EK_16 的模擬結果; (c) 實驗 EW1_14 與實驗 EW1_15 的模擬結果; (d) 實驗 EW2_14、實驗 EW2_15 與實驗 EW2_16 的模擬結果; (e) 實驗 EW3_14、實驗 EW3_15 與實驗 EW3_16 的模擬結果; (f) 實驗 EW4_14、實驗 EW4_15 與實驗 EW4_16 的模擬結果; (g) 實驗 E 的模擬結果。

至有強度減弱的情形發生，造成對強度模擬結果不佳的原因，於第五節將有較深入的討論。

(三) 擴大邊界範圍模擬測試

(1) 實驗 EW2_14 擴大邊界範圍模擬測試

為瞭解東側邊界的選擇是否會因為太靠近 Flo 颱風，且模擬範圍所涵蓋之太平洋副高的範圍太小，無法完整模擬太平洋副高的移動趨勢，而

造成對於颱風移動的影響，因此我們將東側邊界由 152°E 往東擴展至 172.5°E，以探討邊界範圍的選擇對模擬結果的影響。此實驗是選取實驗 EW2 的初始資料，其餘的實驗設定皆與實驗 EW2 相同。

模擬路徑結果顯示 (圖 1e)，模擬 12 小時後原實驗 EW2_14 與擴大邊界實驗相較於最佳路徑的誤差分別為 46、45 公里，兩者幾無差別。模擬

至 24 小時，可見邊界條件已有些許影響，兩模擬的誤差各為 140、111 公里，以擴大範圍實驗之模擬誤差較小。模擬至 36、48 及 60 小時，擴大範圍實驗的模擬誤差皆較原實驗的誤差小。因此可推論邊界條件在積分一段時間後就會逐漸影響範圍內部之模擬結果。且可能因範圍較大的模擬受邊界的影響小，故誤差較小。不過整體來看，因模擬範圍大小選擇而造成之誤差並不顯著。

(2) 實驗 J 擴大邊界範圍模擬測試

實驗 J 及實驗 N 的模擬是分別採用 JMA 及 NCEP 資料為初始條件，而同樣以 EC 資料為側邊界條件。為瞭解此邊界之影響，故同樣將實驗 J 的東邊界由 152°E 往東擴大至 172.5°E ，以探討邊界選擇對模擬結果的影響。

結果顯示(圖 1f)，在模擬 18 小時前路徑的模擬結果與最佳路徑皆相當類似，差異甚小。模擬至 24 小時，擴大邊界的模擬實驗北移較慢，兩實驗路徑的差別開始顯著。至 36 小時實驗 J 及擴大範圍之實驗誤差各為 366 及 491 公里；至 48 小時誤差各為 520 及 720 公里。由此可見，採用與初始條件不一致之邊界條件，邊界條件在積分一段時間後就會影響至範圍內部的模擬結果，因此於實驗 J 與實驗 N 中，採用與初始條件不一致的邊界條件可能為此兩組實驗誤差偏大的主要原因。

五、結果討論

(一) 路徑模擬結果討論

由前述之模擬路徑結果可發現，實驗 J 與實驗 N 的模擬結果相較於其他以 EC 資料為初始條件的模擬結果，有明顯北移過快且偏東的情形，至模擬結束並未表現出 Flo 颱風沿著太平洋副高

西緣往西北方移動再轉向的情況。因此在本節將著眼於實驗 J 對太平洋副高西進趨勢的探討，希望能釐清造成此實驗誤差過大的原因。

至於同樣使用 EC 資料為初始條件，卻採用各個不同初始化方法處理的模擬結果，雖然移動的趨勢相似，但仍有相當程度的差異性存在。在此我們選取 EK_14 與 EW2_14 的模擬為探討之個案，希望求出合理的駛流，以探討造成移動路徑差別的原因。

(1) 實驗 J 與實驗 EW2_14 之 500 mb 高度場分析

實驗 J 對 Flo 颱風的模擬路徑與其他以 EC 資料為初始資料的模擬實驗相較，呈現北移過快的情形，並未表現出沿著太平洋副高西緣移動且明顯轉向的情況。因此選擇模擬期間 500 mb 5920 gpm 等高線的分佈以探討太平洋副高西進的趨勢及其與 Flo 移動之關係。

實驗 EK、EW1、EW2、EW3 及 EW4，皆為使用 EC 為初始資料的模擬實驗，在進行初始化處理時，只改變颱風中心附近數百公里颱風範圍內之各變數，而颱風範圍之外的各變數則維持不變。因此在初始時間各實驗中太平洋副高的位置皆相同，且於模擬期間對副高西進趨勢的模擬亦非常相似(圖未示)。在此選取 EW2_14 的模擬結果為代表，與實驗 J 的模擬結果進行比對。

結果顯示，由 500 mb 5920 gpm 等高線的分佈可發現於模擬初始時間(1990 年 9 月 14 日 00 UTC)(圖 3a 及 b) 實驗 J 與實驗 EW2_14 對於副高位置的解析已有相當大的差異存在。實驗 J 中之 5920 gpm 等高線的分佈範圍在 141°E 以東，而實驗 EW2_14 的 5920 gpm 等高線則位於 130°E 以東，副高之位置較為偏西。

模擬至 24 小時(圖 3c 及 d)，實驗 J 之 5920

Typhoon Flo (1990) JMA+Kuri.
2nd (a)

Time = 90091400 + 0.0000 Typhoon Flo (1990) EC+Wu 2
at pressure = 500 mb sm-l (b)

Time = 90091400 + 0.0000
at pressure = 500 mb sm-l

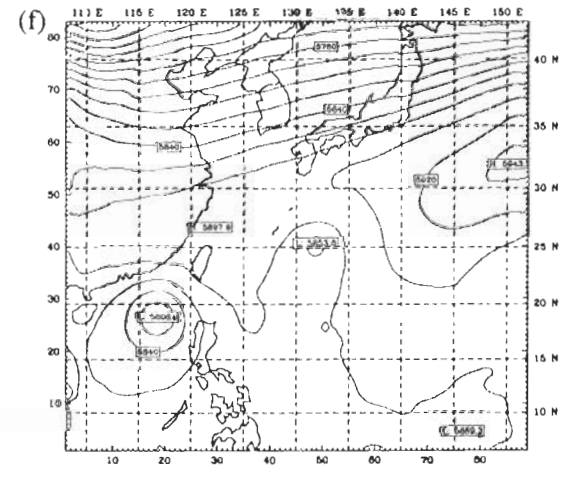
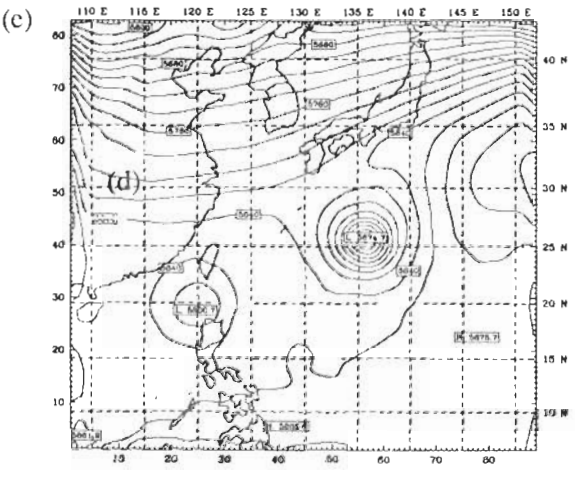
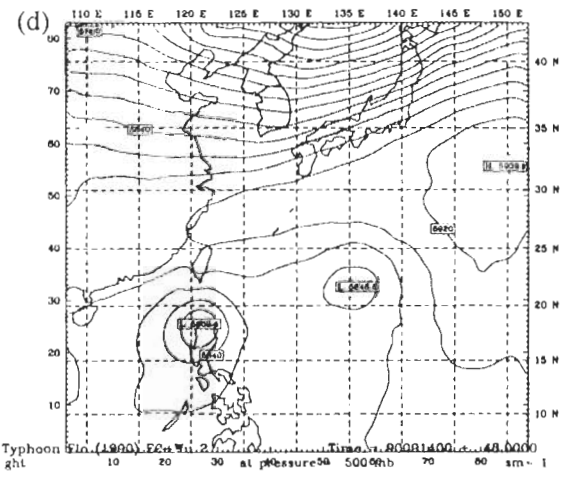
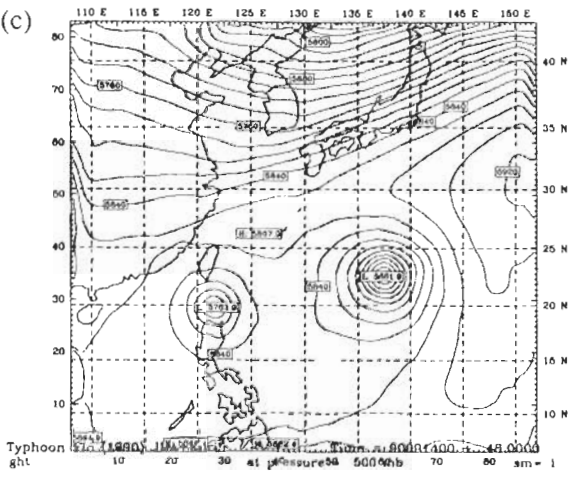
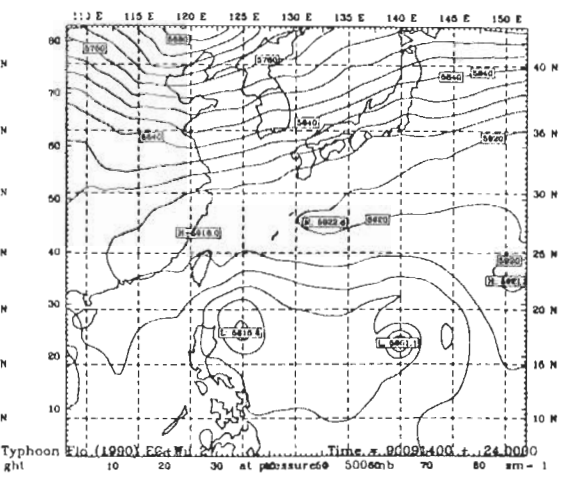
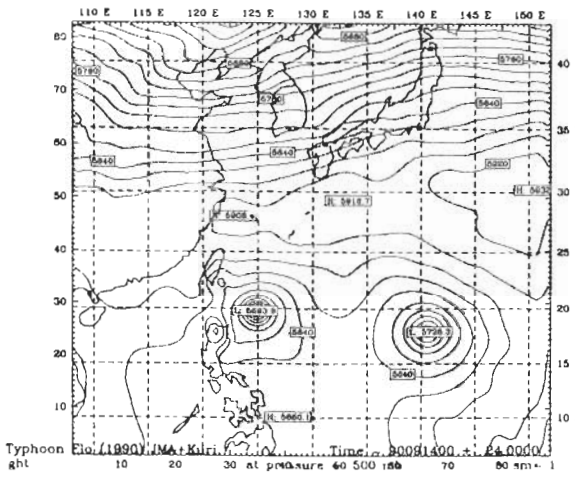


圖3 實驗J與實驗EW2_14 500 mb 高度場比較圖。(a)、(c)、(e)分別為實驗J於初始時間、24小時與48小時之模擬結果；(b)、(d)、(f)分別為實驗EW2_14於初始時間、24小時與48小時之模擬結果。

gpm 等高線位於 148°E 以東，至於實驗 EW2_14 之 5920 gpm 等高線則位於 142°E 以東，相較於 12 小時前略有西進。模擬至 48 小時 (圖 3e 及 f)，實驗 J 之 5920 gpm 等高線逐漸東退至 150°E 以東，而實驗 EW2_14 之 5920 gpm 等高線仍變動不大，位於 141°E 以東。

由以上 500 mb 5920 gpm 等高線的比對結果可見，因為不同初始場中解析到不同的太平洋副高位置，導致模擬期間實驗 J 中之副高較實驗 EW2_14 呈東退情形。因此較偏東之副高於實驗 J 中造成模擬初期 Flo 西移的分量較小，故影響其移動。

但在此隱含一問題：雖然實驗 J 與實驗 EW2_14 在初始時間所解析 Flo 颱風的海平面氣壓各為 988 mb 及 987 mb，兩者大小相當。但開始模擬之後，實驗 J 之 Flo 略有增強，實驗 EW2_14 之 Flo 則持續減弱，因此模擬至 48 小時，兩實驗中 Flo 的海平面氣壓各為 976 mb 及 999 mb，相差 23 mb。因此我們懷疑是否因實驗 J 中 Flo 的強度較強，造成迫使太平洋副高東退的情況。為探討此一可能，我們設計以下一組實驗進行驗證。

(2) 實驗 J 濾除颱風之環境場模擬測試

為探討是否因實驗 J 所模擬之 Flo 颱風較實驗 EW2_14 所模擬之 Flo 颱風強度強，迫使太平洋副高東退，因此我們使用 Kurihara et al. (1995) 初始化過程中求取環境場的方法將 Flo 颱風的颱風分量濾除再進行模擬，以檢視假若 Flo 並未存在時環境系統的模擬情形。但是因為濾除方法之限制，初始場在濾除後於颱風位置仍有一海平面氣壓為 1005 mb 低壓，不過此低壓之強度很弱，對太平洋副高的影響已相當有限，因此可與之前的模擬結果比對。

將原實驗 J 與濾除 Flo 後模擬結果比較 (圖未示)，可發現模擬至 12 小時，雖然經濾除後渦旋之強度已相當弱，但是兩實驗對於 500 mb 5920 gpm 等高線的模擬仍十分相似，皆位於 147°E 以東。模擬至 24 小時 5920 等高線之分佈仍類似，皆位於 149°E 以東。模擬至 48 小時 5920 gpm 線之分佈略有差異，分別位於 150°E 以東及 147°E 以東，但差別很小。

因此可發現，颱風本身強度大小對太平洋副高西進之趨勢並無明顯影響。由此可推論，由於 JMA 分析資料以及 EC 資料於初始場(1990 年 9 月 14 日 00 UTC)對於太平洋副高的位置解析有所差異，因此模擬時實驗 J 及實驗 EW2_14 對太平洋副高的西進趨勢有不同掌握，造成 Flo 颱風往西移動之分量不同，而呈現出實驗 J 與實驗 EW2_14 路徑模擬結果之差異。

(3) 實驗 EK_14 與實驗 EW2_14 之駛流分析

由圖 1b 路徑模擬結果可見，同樣以 EC 資料為初始資料而採用不同初始化方法，模擬路徑亦有頗大的差別。在此我們選取 EK_14 與 EW2_14 之模擬結果進行駛流分析，以找出造成模擬路徑差別的確切原因。

首先，我們以 Kurihara et al (1995) 求環境場的方法，利用颱風範圍的決定將颱風分量濾除，以此代表颱風所處之環境風場。再將所求出各垂直層的風場做 850-500 mb 的深層平均 (deep-layer mean)，以代表颱風的駛流。如此所得之結果，因 EK_14 與 EW2_14 的駛流分佈定性上來看特徵相類似，在此僅以 EW2_14 的結果代表 (圖 4a)。由圖中可見，颱風中心處為東南風之分量分佈，與實際 EK_14 與 EW2_14 的移動路徑相符，此分量之來源主要由於 Flo 颱風位於太平洋副高之外緣所致。

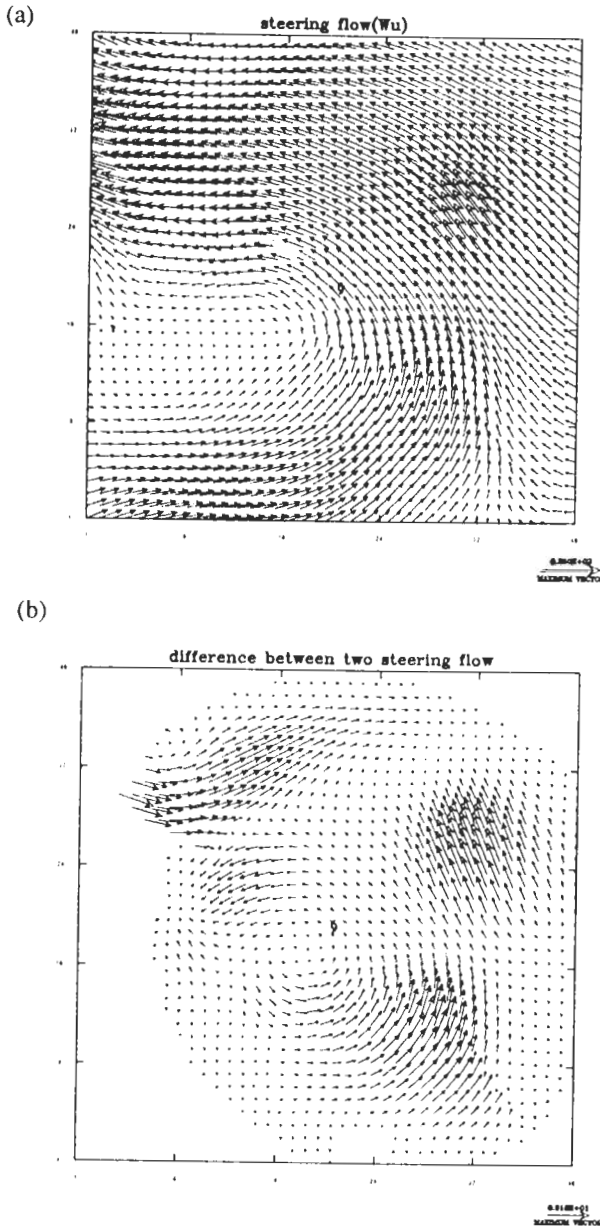


圖 4 (a)實驗 EW2_14 在初始時間以 Kurihara et al. (1995)求環境場方法再計算 850-500 mb 深層平均所求得駛流；(b)實驗 EW2_14 與實驗 EK_14 駛流相減之情形。

為在定量上更進一步探討兩組實驗的差別，我們將 EW2_14 與 EK_14 的駛流場相減，結果發現(圖 4b)，在颱風中心處 EW2_14 的駛流較

EK_14 有偏西北的分量，雖然此量值很小，卻造成實驗 EW2_14 的初期模擬路徑較實驗 EK_14 有偏西北的移動，與實際模擬結果相符。因此我們推論，在實驗 EW2_14 中透過濾除分析場中之颱風分量再由最佳內差法(Gardin, 1963 ; Kurihara et al., 1995)重建環境風場時，因周圍太平洋副高之分佈故對於颱風中心及附近風場會有較偏西北的流場分佈，使得實驗 EW2_14 的初期路徑模擬較偏西北，更加接近最佳路徑的位置。

(二) 高層 355K 的位渦與風場分析

由前述強度模擬結果可發現，模擬結果皆無法反映出 Flo 颱風迅速增強之狀況。根據 Wu and Cheng(1999)的資料分析結果顯示，Flo 東方冷心低壓的移近為造成 Flo 迅速增強的因子之一。因此我們將模擬結果與 Wu and Cheng(1999)的資料分析結果進行比對，在此將檢視高層 355K 的位渦與風場分佈，以瞭解是否因對 Flo 東方之冷心低壓掌握不佳而導致對強度模擬之掌握能力有限。

在此由所有模擬中挑選出路徑較接近最佳路徑且強度持續維持的例子進行分析，所選出的個案為實驗 EW2_15。整體來說，本實驗對於高層(355K)系統位置的演變皆相當近似 Wu and Cheng (1990)的分析結果。模擬的最初的 12 小時，Flo 中心附近高層的低位渦值區域有隨著時間略為增大的狀況(圖未示)，與 Wu and Cheng (1999)的分析結果類似，但增大的範圍不如後者明顯，此時模擬的 Flo 強度只略為增加，而不似 Wu and Cheng (1999)的分析結果中之持續增強。

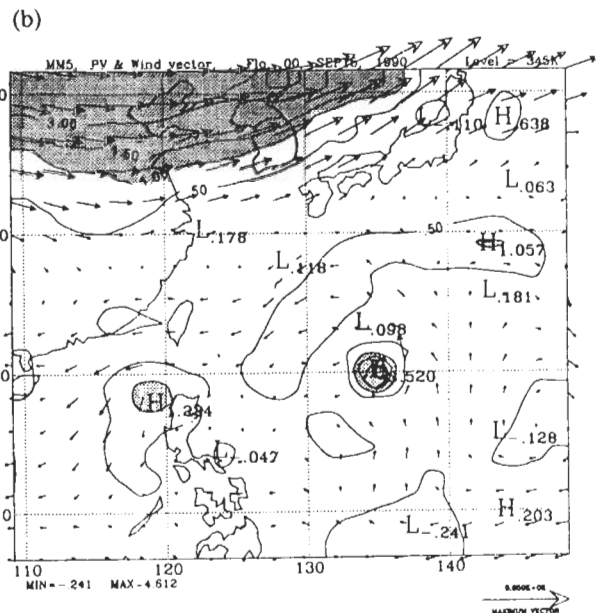
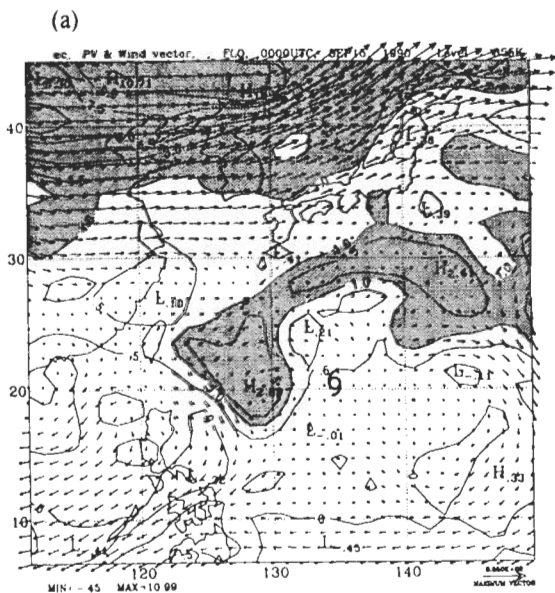
從位渦分佈情形來看，1990 年 9 月 15 日 00 UTC (圖 5b)初始場中 Flo 東方之冷心低壓往西延伸之高位渦帶移至 Flo 的北方及西方，之後 1990 年 9 月 16 日 00 UTC (模擬 24 小時)(圖 5d)，因 Flo 的西北移造成環繞之高位渦帶被破壞，於 Flo 以西

形成一孤立的小塊高位渦值區域。前述的演變情形皆與 Wu and Cheng (1999)的分析結果相類似(圖 5a 及 c)，不同的部份則為對 1990 年 9 月 16 日 00 UTC(模擬 24 小時)(圖 5d)之後出現的小塊高位渦值區域的位置模擬，在模擬 24 小時(圖 5d)與模擬 48 小時(圖 5f)的模擬結果相較於 Wu and Cheng (1999)的分析結果(圖 5c 及 e)皆有偏東的情況。另外，比較明顯的差異為 1990 年 9 月 16 日 12 UTC(模擬 36 小時)(圖未示) Flo 東方約 27° N、139° E 處出現的長形高位渦區，至模擬後期持續存在，此部份在 Wu and Cheng (1999)的分析結果中並未發現。

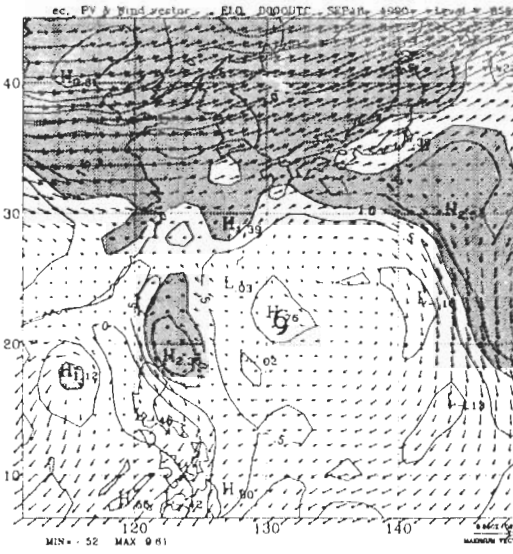
關於外流的分佈情形，Wu and Cheng (1999)於 1990 年 9 月 15 日 12 UTC 的分析發現由 Flo 往北及往西之外流在模擬結果中並不明顯(圖未示)，只可略見往北的外流。至於 1990 年 9 月 16 日 00 UTC (模擬 24 小時)(圖 5d)，由模擬結果可

見中心往北的外流增強，呈反氣旋式之分佈，則與分析結果(圖 5c)相似。模擬至 1990 年 9 月 17 日 00 UTC (模擬 48 小時)(圖 5f)，Flo 逐漸接近西北方之高層槽與東方之冷心低壓，兩者提供了 Flo 外流之管道，使中心往北的外流呈反氣旋式之分佈。最後至 1990 年 9 月 18 日 00 UTC (模擬 72 小時)(圖 5h)，因 Flo 接近高層槽，槽底及槽前為西南流的分佈，Flo 的外流呈現與之結合的情況，此與 Wu and Cheng (1999)的分析結果相似。

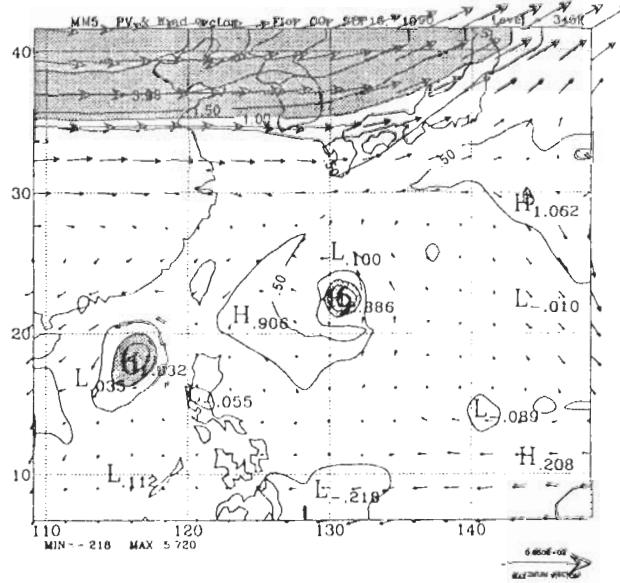
由上述結果顯示，雖然實驗 EW2_15 可以掌握到東方冷心低壓與西北方高層槽的位置與 Flo 外流的分佈狀況，但模擬之颱風強度亦未增強。因此表示，造成颱風未增強的原因並非是定性上對高層 355 K 環境系統的掌握情況不佳，而是有其他因子導致對颱風強度模擬與實際觀測相差甚多。



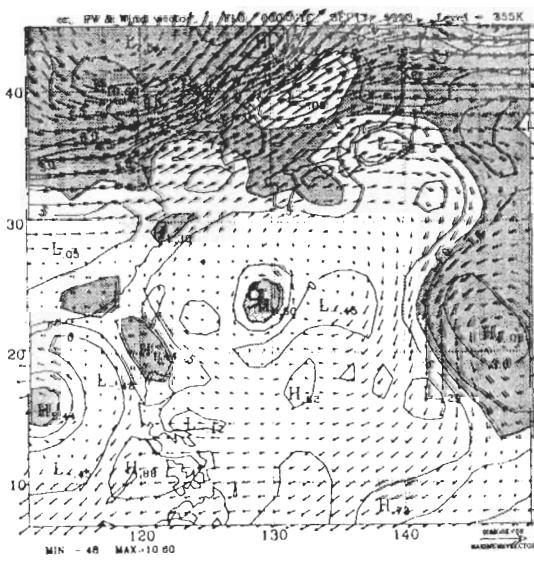
(c)



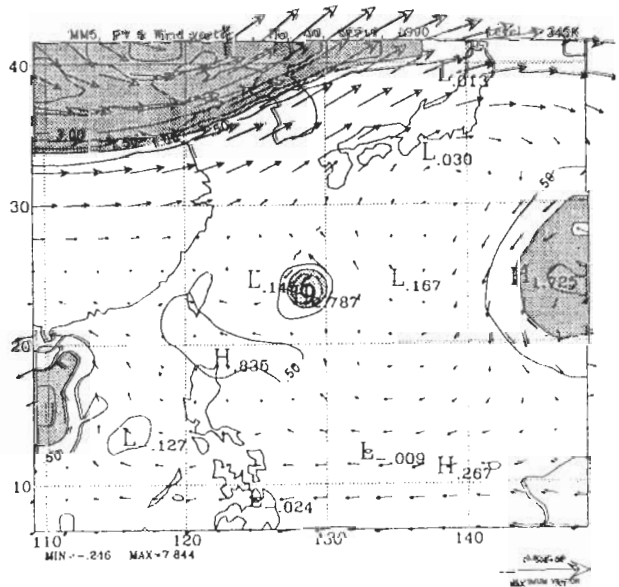
(d)



(e)



(f)



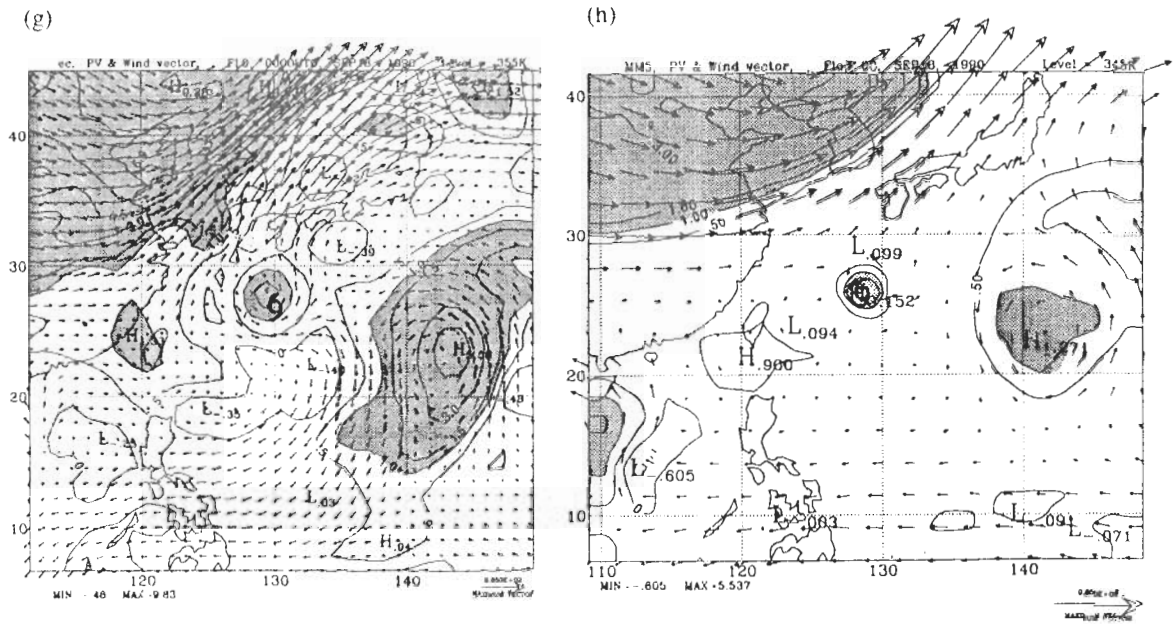


圖 5 (a)·(c)·(e)·(g)為 EC/ADVANCED 分析之 355K 等位溫面的位渦等值線(單位:PVU)及風場向量(單位: ms^{-1})分佈,陰影區域為位渦大於 1 PVU 的區域。時間分別為 1990 年 9 月 15 日 00UTC; 1990 年 9 月 16 日 00UTC; 1990 年 9 月 17 日 00UTC; 1990 年 9 月 18 日 00UTC。(摘自 Wu and Cheng (1999))。 (b)·(d)·(f)·(h)為實驗 EW2_15 模擬之分佈。時間同上,分別為(b)初始時間; (d)模擬 24 小時; (f)模擬 48 小時; 及(h)模擬 72 小時。

六、結語及展望

本研究以美國國家大氣科學研究中心與賓州大學合作發展的第五代中尺度靜力/非靜力模式(MMS)為模擬工具,針對強度迅速增強的芙蘿颱風進行模擬。模擬時採用不同來源的初始資料,包括 JMA、NCEP 及 ECMWF 的網格分析資料,並採用不同初始化方法,包括:GFDL 颱風模式初始化方法、Kuo and Wang (1997) 渦旋植入方法。前者的優點在於定義較佳的環境場,後者的優點在於由結構簡單的渦旋經預先模擬而產生與模式動力一致的初始渦旋。本研究結合前兩者優點而設計一系列新方法,針對不同資料、不同

初始化方法及不同初始時間進行模擬測試,以瞭解這些不確定因素對模擬結果的影響。

模擬結果在路徑方面,採用不同初始資料及初始化方法所得之模擬結果有明顯的差異性存在,其中不同初始資料(JMA 與 ECMWF)及不同初始化方法因對太平洋副高初始位置解析的差異,導致模擬時對太平洋副高的趨勢掌握不同,所以在實驗 J 中 Flo 颱風的模擬路徑與其他實驗相較有明顯的差別存在。對使用相同初始資料(ECMWF)而採用不同的初始化方法,由於颱風中心附近流場造成改變,模擬的路徑結果亦有相當程度的差異性存在。

至於強度模擬方面，雖然在部分模擬實驗可以掌握高層冷心低壓接近 Flo 颱風的過程，並與 Wu and Cheng (1999)的分析結果相似，但是各模擬實驗皆無法反映 Flo 颱風迅速增強的情況。這說明即使模式已能掌握綜觀尺度天氣系統與颱風的交互作用，但對颱風強度模擬仍有很大困難。因此造成模擬結果不佳的可能原因，包括初始資料是否掌握正確訊息、模式物理是否可反映颱風強度演變的過程，以及是否因使用過於單純的大氣模式模擬而低估海洋的影響，皆是未來值得繼續探討的問題。

對於使用不同初始化方法造成模擬結果差異的影響，KW 植入方法與 WH_2 初始化方法的差別在於 WH_2 方法預先使用 Kurihara et al.(1995)方法濾除分析場中之不正確颱風訊息，以得到更為合理的初始場。在以 1990 年 9 月 14 日 00 UTC 為初始時間的模擬，WH_2 初始化方法所得之模擬結果誤差皆較其他實驗為小。而於 1990 年 9 月 15 日 00 UTC 為初始時間的模擬，大部分的時間 WH_2 方法的表現都較 KW 方法為佳，但相較於其他方法則無明顯何種方法表現較佳的結論。整體來看，於大部分的模擬 WH_2 方法的模擬較 KW 方法有所增進，因此可推論結合預先模擬之渦旋與經濾除颱風分量的環境場可能對於初始場有些許程度的改進。至於 WH_3 方法則是採用與 WH_2 方法相同之物理概念，但未經預先模擬過程，於植入處理後即開始正式模擬，此實驗的目的則是測試預先模擬是否為一必要過程。由 WH_3 方法大部分的模擬結果顯示，在未經預先模擬的實驗中於剛開始正式模擬後颱風即有明顯北移過快的情況，且到模擬後期仍持續維持此趨勢。因此我們認為植入之渦旋必須經由預先模擬過程而產生，否則開始模擬後會因渦旋結構與模式動力不

一致而需一段調整期，導致路徑模擬結果不佳。此外，WH_4 初始化方法是採用 Kurihara et al. (1995) 所定義之颱風範圍，在預先模擬 12 小時後，以此方法將颱風風場之分量分離出，疊加至此時的環境風場，經非線性平衡方程與靜力平衡方程求出對應的高度場與溫度場，再開始正式模擬。由模擬結果顯示，路徑並無明顯增進，原因可能是因為預先模擬後之高度場與溫度場是經重新計算求得，正式模擬開始時又會因渦旋結構與模式動力不一致而需一段調整期，因此遭遇到與 WH_3 方法相同之問題。至於強度模擬部分，採用不同初始化方法對強度模擬的影響較小，在所有模擬實驗中對強度的模擬皆只有小幅度的變動，並無明顯如實際觀測有迅速增強狀況。

此外，經由擴大邊界之模擬測試可發現，在同樣使用 EC 資料為初始條件及邊界條件的狀況下，模擬範圍大小的選取對路徑模擬結果的影響程度甚小。但是在使用 JMA 資料為初始條件而以 EC 資料為邊界條件的狀況下，原實驗與擴大範圍的路徑模擬結果有明顯的差異。由此可見，側邊界條件對模擬結果的影響是不可忽略的。因此實驗 J 與實驗 N 的模擬結果不佳，可能是因為初始及邊界條件不一致所導致。在如此的情況下，如能將邊界條件之處理改採以隨時間變化的趨勢替代固定的邊界值，則應可降低由於邊界不一致對模擬結果所造成的影響。

綜上所述，本研究主要在檢視初始條件及初始化方法對模擬結果的影響，Wu et al. (2000b)則更進一步針對 Zane 颱風(1996)利用位渦分析方法定量地探討初始化過程中各步驟的影響。研究結果亦顯示模擬結果對初始化方法具有相當程度的敏感性，所以模擬時需採用適當的初始化方法，才能得到合理的初始場。但是初始化過程尚牽涉

到許多人工化的設定，包括植入渦旋的強度、大小與位置，都有可能影響模擬結果，值得更進一步探討。最近 Zou and Xiao (2000) 採用四維資料同化技術進行颱風渦旋植入是一項新的突破，將觀測資料納入以改進初始場，也是我們目前的研究重點之一(Wu et al., 2000)。除此之外，海洋因素的影響亦為導致颱風增強之重要因子，本研究模擬時海溫資料是選取 NMC 的週海溫，對於海洋資訊的掌握可能太過粗略，無法反映出實際狀況。對於模擬時海洋因素影響的探討，如 Bosart et al. (2000) 使用美國海軍研究室 COAMPS (Coupled Ocean / Atmosphere Mesoscale Prediction System) 大氣模式與 GFDL 的 MOM2 (Modular Ocean Model Version 2) 海洋模式所結合之大氣-海洋耦合模式，成功地模擬 Opal 颶風(1995) 因移進墨西哥灣之暖渦流 (warm core eddy) 而造成的迅速增強。因此模擬時考慮海洋的回饋作用，應是未來重要的研究方向之一，也將有助於更進一步瞭解海洋對颱風發展的影響(Bender and Ginis, 2000)。

致 謝

本文作者特別感謝郭英華博士、郭鴻基教授、黃清勇教授、葉天降博士及兩位審查者之寶貴建議，對於本論文之改進有很大助益。

參考文獻

- 李清勝與林慧娟，1999：侵台歐菲莉颱風(1990)之數值模擬。大氣科學，27，235-256。
- 喬森，黃清勇與郭英華，1996：黛特 Dot 颱風的 MM5 數值模擬。大氣科學，24，123-144。
- Anthes, R. A., 1972: Development of asymmetries in a three-dimensional numerical model of the tropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **100**, 461-476.
- Bender, M. A., and Ginis, I., 2000: Real-case simulations of hurricane-ocean interaction using a high-resolution coupled model: Effects on hurricane intensity. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 917-946.
- Blackadar, A. K., 1979: High resolution models of the planetary boundary layer. *Advances in Environmental Science and Engineering*, Vol. I, No. 1, J. Pfafflin and E. Ziegler, Eds., Gordon and Breach, 50-85.
- Bosart, L. F., C. S. Velden, W. E. Bracken, T. Molinary, and P. G. Black, 2000: Environmental influences on the rapid intensification of Hurricane Opal (1995) over the Gulf of Mexico. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 322-352.
- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077-3107.
- Gardin, L. S., 1963: Objective Analysis of Meteorological Fields. *Gidrometeorologicheskoe Izdatel' stvo.*, (Leningrad; Israel Program for Scientific Translations) Jerusalem, 242 pp.
- Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 764-787.
- Hong, S. -Y., and H. -L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
- Jones, R. W., 1977: A nested grid for a three-dimensional model of tropical cyclone. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1528-1533.
- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., *Amer. Meteor. Soc.*, 246 pp.
- Kasahara A., 1961: A numerical experiment on the development of tropical cyclone. *J. Meteor.*, **18**, 259-282.

- Kuo, Y. H., and W. Wang, 1997: Rainfall prediction of Typhoon Herb with a mesoscale model. Proc., Workshop on Typhoon Research in the Taiwan Area. Boulder, Co., National Science Council, 35-45.
- Kurihara, Y., and M. A. Bender, 1982: Structure and analysis of the eye of a numerically simulated tropical cyclone. *J. M. S. J.*, **60**, 381-395.
- , ——, and R. J. Ross, 1993: An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2030-2045.
- , ——, R. E. Tuleya, and R. J. Ross, 1995: Improvements in the GFDL hurricane prediction system. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 2791-2801.
- Liu, Y., D.-L. Zhang, and M. K. Yau, 1997: A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part I: Explicit simulation and verification. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3073-3093.
- Molinari, J., S. Skubis, and D. Vollaro, 1995: External influences on hurricane intensity. Part III: Potential vorticity structure. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 3593-3606.
- Ooyama, K. V., 1969: Numerical simulation of the life cycle of tropical cyclones. *J. Atmos. Sci.*, **26**, 3-40.
- Sunqvist, H., 1970: Numerical simulation of the development of tropical cyclones with ten-level model. Part I. *Tellus*, **22**, 359-390.
- Tripoli, G. J., 1992: An explicit three-dimensional nonhydrostatic numerical simulation of a tropical cyclone. *Meteor. Atmos. Phys.*, **49**, 229-254.
- Wu, C.-C., and K. A. Emanuel, 1995a: Potential vorticity diagnostics of hurricane movement. Part I: A case study of Hurricane Bob (1991). *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 69-92.
- , and ——, 1995b: Potential vorticity diagnostics of hurricane movement. Part II: Tropical storm Ana (1991) and Hurricane Andrew (1992). *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 93-109.
- , and H.-J. Cheng, 1999: An observational study of environmental influences on the intensity change of Typhoons Flo (1990) and Gene (1990). *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 3003-3031.
- , and Y.-H. Kuo, 1999: Typhoon affecting Taiwan - Current understanding and future challenges. *Bulletin of Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 67-80.
- , M. A. Bender, and Y. Kurihara, 2000a: Typhoon forecast with the GFDL hurricane model: Forecast skill and comparison of predictions using AVN and NOGAPS global analysis. *Journal of Meteor. Soc. of Japan*. (in press)
- , T.-S. Huang, K.-N. Huang, and T.-C. Yeh, 2000b: PV diagnostics of the impact of model initialization on the performance of a typhoon prediction system. Preprints, 24th Conf. on Hurr. and Tropical. Meteor., Amer. Meteor. Soc., Boston, MA.
- , K.-H. Chou, W.-P. Huang, and Y.-H. Kuo, 2000c: Typhoon Simulation Using the MM5 4DVAR System. Preprints, COSPAR Colloquium Space Weather Study Using Multi-point Techniques and COSMIC International Workshop. Committee on Space Research. Taipei, Taiwan, 69.
- Zou X., and Q. Xiao, 2000: Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 836-860.

Numerical Simulation of Typhoon Flo (1990) Using a Non-hydrostatic Mesoscale Model: The Impact of Initial Data and Initialization Schemes

Chun-Chieh Wu Wei-Peng Huang

Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

(Manuscript received 29 May 2000 ; in final form 11 October 2000)

ABSTRACT

In this study, Typhoon Flo (1990) was simulated using the Penn State-NCAR nonhydrostatic, two-way interactive, triply nested grid mesoscale model (MM5). The initial conditions for the experiments were analyzed from three operational centers, including JMA, NCEP, and ECMWF. To improve the representation of Flo, different initialization schemes were adopted, including the initialization scheme of GFDL hurricane model, KW bogus scheme (Kuo and Wang 1997), and four new schemes designed in the study. In this paper, we performed numerical simulations to investigate the impact of initial data and initialization schemes.

Results from the comparison of the model experiments indicated that using different initial conditions and initialization schemes led to different simulated track performance. The deviation in the experiments of using JMA and ECMWF analysis data as initial condition was due to the different simulated tendency of Pacific sub-high, and that of using the same initial condition (ECMWF) but different initialization schemes was resulted from the initially modified flow at the center of the typhoon by different initialization schemes. Most experiments indicated that simulated track performance was improved by merging the vortex with the environment flow that has removed unrealistic typhoon circulation resolved by the global analysis data. Moreover, the bogus vortex has to be generated from pre-run process to ensure dynamical consistency in the vortex structure, as well as the compatibility of the vortex to the resolution and physics of the model. Although the cold core low in the vicinity of Flo could be reproduced which is consistent with Wu and Cheng (1999), the model failed to capture the intensity evolution of Flo. The result suggested that the simulation of tropical cyclone intensity remains a highly challenging task.

Key words: Typhoon Flo, MM5, Initial data, Initialization scheme