

颱風模擬之初始化研究

吳俊傑 黃葳芃

國立台灣大學大氣科學系

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，針對 1990 年的芙蘿 (Flo) 颱風進行數值模擬。模擬時採用不同來源的初始資料，包括 JMA (Japan Meteorological Agency)、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 及 ECMWF/TOGA (European Center for Medium-Range Weather Forecasts / Tropical Ocean Global Atmosphere) 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，在模擬前須使用初始化方法植入渦旋。在此採用不同初始化方法，包括: GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風模式初始化方法 (Kurihara et al., 1995)、Kuo 植入方法 (Kuo and Wang, 1997)，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。本研究結合前兩者優點而發展新方法，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，於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，其中採用不同初始資料 (JMA 與 ECMWF/TOGA)，因初始場及模擬時對太平洋副高的趨勢掌握不同，故導致對 Flo 颱風路徑的模擬有較大的差異。而使用相同初始資料 (ECMWF/TOGA) 並採用不同的初始化方法，因初始時間採用不同的渦旋植入過程，於颱風中心附近流場造成改變，模擬的路徑亦有相當程度的差別存在。大部分的模擬結果顯示，因事先已濾除分析場中之不正確颱風訊息，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，導致模擬結果不佳。

至於強度模擬方面，雖然模擬實驗可以掌握高層 TUTT (tropical upper tropospheric trough) 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，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。

研究結果顯示，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，故模擬時需採用適當的初始化方法，才能得到合理的初始場。至於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、初始化方法是否適當、解析度的設定是否可解析颱風結構，亦或是模式本身物理過程所導致，都是值得未來更深入討論的問題。

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振點，此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。

由於颱風的形成及發展，絕大部分發生於海洋上，因此嚴重地面臨資料不足的問題。在觀測資料的空間及時間解析度受限的情況下，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過程日趨完備，加上計算資源的支持，如今我們可以真實資料進行高解析度的颱風個案模擬。如此之改進有助於我們對颱風細部結構的瞭解，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。

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，初始場的好壞會直接造成模擬結果的優劣。之前各研究分別採用不同來源初始資料，且使用各種不同初始化方法，但不同初始資料及初始化方法對颱風模擬結果究竟有何種程度的影響，並未被特別探討。因此我們認為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，為值得深入探討的問題，希望能夠釐清此部分對模擬結果造成的影響。

本文第二節為芙蘿 (Flo) 颱風的研究回顧，包括降水的物理過程，地表

；第三節為 MM5 模式簡介及實驗設計；第四節為模擬結果；第五節為結果分析；第六節則為結語及展望。

二、芙蘿 (Flo) 颱風的研究回顧

Flo 颱風原生成於關島東南方，於 1990 年 9 月 15 日 0600 UTC 增強為颱風，之後開始迅速增強。至 9 月 16 日 1200 UTC 轉變為超級颱風，隨後於 9 月 17 日 0600 UTC 觀測到最大強度，此時最大風速為 145 kt，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，轉往東北移動。Flo 在達到最大強度後逐漸接近中緯度槽線，導致之後移速加快，於 9 月 19 日登陸日本本州島，最後於 9 月 20 日轉變為溫帶氣旋。

Wu and Cheng (1999) 利用 ECMWF/TOGA (European Center for Medium-Range Weather Forecasts/Tropical Ocean Global Atmosphere) 分析資料研究 Flo 颱風 (1990) 的增強機制，發現包括增強的外流、增加的 EFC (eddy flux convergence of relative angular momentum)、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 颱風其迅速增強的有利因素，但是對於其中動力上的因果關係仍有待釐清與了解，因此希望藉由模式模擬，增進我們的瞭解。

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能量收支，地表邊界層的處理和大氣輻射過程

。

本模擬設定如下：(1)非靜力假設，(2)三層巢狀網格：解析度各為 60、20、6.67km，(3)雙向交互作用 (two-way interaction)，(4)物理參數化：積雲參數化：KF (Kain and Fritsch, 1993)；邊界層參數化：Blackadar (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 ECMWF/TOGA 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，故使用初始化方法於初始場植入渦旋。

各實驗的簡介如表一，所採用四種初始化方法中，GFDL 颱風模式初始化方法為實驗 J 與實驗 N 所採用的方法，於 GFDL 所完成，本研究並未獨立採用此種方法處理。各初始化方法的簡介如下：

- (1) GFDL 颱風模式初始化方法 (Kurihara et al., 1995)：基本概念為利用 GFDL 軸對稱颱風模式先模擬出一類似結構的颱風，並積分渦度方程使之產生不對稱的部分，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。此法之優點在於利用風場中颱風分量與非颱風分量的分離，對於颱風所位於之環境場有較佳之定義。
- (2) Kuo 植入方法 (Kuo et al., 1997)：於正式模擬前 12 小時，預先植入一 Rankine vortex，模擬 12 小時後，將已發展之渦旋置於觀測中心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 初始化方法：為本文作者所發展之方法，主要概念是於正式模擬前 12 小時，在分析資料植入一 Rankine vortex，模擬 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 Kuo 植入方法的差別在於正式模擬時將分析場經由 Kurihara et al. (1995) 方法濾除分析場中可能包含錯誤訊息之颱風分量。

- (4) WH_np 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) 求環境場的方法，求出環境場，再於環境場上植入一 Rankine vortex，由此風場求出對應的高度場與溫度場，之後即開始模擬。

模擬時海溫是採用 NMC (現今 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。因為我們只獲得時間為 1990 年 9 月 14 日 00 UTC 的兩筆資料，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。

四、模擬結果

(一) 路徑

以模擬路徑的整體表現來看 (圖 1)，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 為初始時間的誤差大許多 (表 2)，其中以採用 Wu 初始化方法的模擬表現較好。至於以 9 月 15 日 00 UTC 為初始時間的模擬大部分時間亦以 WH 初始化方法的模擬表現較好。如果將所有 EK 與 EW 之實驗結果相比較，我們可發現，使用 WH 方法濾除分析場中錯誤颱風訊息，對模擬結果來說會有正面的影響。而採用 WH_np 初始化方法的模擬因無預先模擬 12 小時，在 9 月 15 日 00 UTC 為初始時間的模擬，相較於其他實驗有明顯模擬路徑不佳的情形。此外，於實驗 E 的結果可發現，未經初始化的模擬的路徑表現除前期定位之問題外，之後的表現皆優於其他之模擬，但此時對於強度之模擬與 CWB 之記錄相差甚大 (圖未示)，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，但應仍有再改進的空間。

(二) 強度

所有實驗結果對於強度模擬的掌握能力皆相當有限，由實驗J與實驗N的結果可見（圖未示），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。實驗EK的模擬結果顯示（圖未示），模擬的強度亦無法反映出Flo的迅速增強，只略為上下波動，無明顯變化趨勢。至於實驗EW₁₅的模擬則亦有類似情形，而實驗EW₁₄於模擬12小時後甚至有減弱情形發生（圖2c）。實驗EW_{np}的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（圖未示）。至於實驗E的模擬因未經初始化處理，初始即為1005 mb的低壓，模擬期間強度並未增加，且有緩慢減弱的現象（圖未示）。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，部分模擬甚至有強度減弱的情形發生，對於強度模擬結果不佳的原因，於第五節有較深入的討論。

五、結果分析

(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資料為初始條件但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EK₁₄與EW₁₄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EW₁₄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，有北移過快的情形，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高度線的分佈位置探討太平洋副高西進的趨勢。又因實驗EK、EW、及EW_{np}，皆為使用EC資料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之各場變數，而颱風範圍之外的各場變數則維持不變。因此在初始時間各實驗中太平洋副高的位置皆相同，且開始模擬之後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EW₁₄的模擬結果為代表，與實驗J的模擬結果進行分析比對。

於模擬初始時間（1990年9月14日00 UTC）（圖3ab），由500 mb之5920等高線分佈即可發現實驗J與實驗EW₁₄對於副高位置的解析已有相當大的差異存在。於實驗J中，5920等高線的分佈範圍在141°E以東，而實驗EW₂₁₄的5920等高線則位於130°E以東，副高之位置較為西進。模擬至24小時（圖未示），實驗J之5920等高線位於148°E以東，至於實驗EW₁₄之5920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（圖未示），實驗J之5920等高線逐漸東退至150°E以東，而實驗EW₁₄之5920等高線仍變動不大，位於141°E以東。

由以上模擬結果的比對可見，造成實驗J中Flo颱風北移過快且偏東的情形，是因為不同初始場中解析到不同太平洋副高位置，導致模擬期間實驗J中之副高較實驗EW₁₄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有較小往西移的分量，故影響其移動方向。

(2) 實驗EK₁₄與實驗EW₁₄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EK₁₄與EW₁₄之模擬結果進行分析，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。為在定量上更進一步探討兩組實驗的差別，我們將EW₁₄與EK₁₄的駛流場相減，結果發現（圖4），在颱風中心處EW₁₄的駛流較EK₁₄有偏西北的分量，雖然此量值很小，卻造成實驗EW₁₄的初期路徑模擬結果較實驗EK₁₄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EW₁₄中透過濾除分析場中之颱風分量再由最佳內插法重建濾除範圍內之環境風場，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EW₁₄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，模擬之颱風皆無法反映出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之增強與其東方之TUTT移近有關，此為造成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，在此將探討高層355K的位渦與風場分佈，以瞭解是否因對Flo東方之TUTT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EW₁₅：

整體來說，本實驗對於高層（355K）系統位置的演變皆相當近似EC之資料分析，模擬的最初的12小時，高層Flo中心附近的低位渦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。而從位渦分佈情形來看，1990年9月15日00 UTC（圖未示）初始場中Flo東方之TUTT往西延伸之高位渦帶移至Flo的北方及西方，之後9月16日00 UTC（模擬24小時）（圖5b），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），比較不同的部份則為對9月16日00 UTC（模擬24小時）（圖5b）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5b）與模擬48小時（圖5d）的模擬結果相較於Wu and Cheng (1999) 的分析結果（圖5ac）皆有偏東及偏南的情況。

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），只略可見往北的外流。至於9月16日00 UTC（模擬24小時）（圖5b），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5a）相似。模擬至9月17日00 UTC（模擬48小時）（圖5d），Flo逐漸接近西北方之高層槽與東方之TUTT，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9月18日00 UTC（模擬72小時）（圖未示），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。

六、結語與展望

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，並選擇強度迅速增強的美羅颱風做為我們進行模擬之個案。模擬時採用不同來源的初始資料，包括 JMA、NCEP 及 ECMWF/TOGA 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 (Kurihara et al., 1995)、Kuo 植入方法 (Chen et al.)。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發展一系列新方法，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/TOGA) 因對太平洋副高位置解析的差異，導致模擬時對太平洋副高的趨勢掌握不同，故 Flo 颱風的模擬路徑與其他實驗相較有明顯的差別。而使用相同初始資料 (ECMWF/TOGA) 並採用不同的初始化方法，因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別存在。

至於強度模擬方面，雖然在部分模擬實驗可以掌握高層 TUTT 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。在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，皆為值得未來繼續探討的問題。

對於使用不同初始化方法造成模擬結果差異的影響，Kuo 植入方法與 WH 初始化方法的差別在於 WH 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 初始化方法所得之模擬結果誤差皆較其他實驗為小。而於 9 月 15 日 00 UTC 為初始時間的模擬，大部分時間 WH 方法的表現都較其他方法為佳。整體來看，於大部分的模擬期間 WH 方法的模擬較 Kuo 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_np 方法則是採用與 WH 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，此實驗的目的在於測試預先模擬是否為一必要過程。由 WH_np 方法大部分的模擬結果顯示，在未經預先模擬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調整期，導致模擬結果不佳。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，並無明顯如觀測有迅速增強狀況。

綜上所述，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，故模擬時需採用適當的初始條件及初始化方法，才能得到合理的初始場。但是初始化過程尚牽扯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。至於模擬時可改進的方法，如採用四維資料同化技術，在現階段可使用較簡單的 nudging 方法，利用強迫項將觀測值融入模式之預報值，未來亦可使用三維/四維變分技術將觀測資料納入以改進模擬結果。除此之外，海洋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。因此模擬時納入海洋的部份，應是未來重要的研究方向之一，此有助於我們更

進一步瞭解海洋對颱風發展的影響 (Ginis and Shen, 1999)。

參考文獻

- Anthes, R. A., 1972: Development of asymmetries in a three-dimensional numerical model of the tropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, 100, 461-476.
- Blackadar, A. K., 1979: High resolution models of the planetary boundary layer. *Advances in Environmental Science and Engineering*, Vol. 1, No. 1, J. Pfafflin and E. Ziegler, Eds., Gordon and Breach, 50-85.
- Chen, X. A., S. Low-Nam, and Y.-H. Kuo: On the initialization of typhoon in a mesoscale model. (personal communication)
- Ginis, I., and W. Shen, 1999: Performance evaluation of the GFDL coupled hurricane ocean prediction system in the Atlantic basin. *Proc., 23rd Conf. on Hurr. and Tropical Meteor.* Amer. Meteor. Soc., Boston, MA. 607-610.
- 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.
- 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 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.

	實驗 J	實驗 N	實驗 EK_14 實驗 EK_15
初始資料	JMA 分析資料	NCEP 分析資料	EC 分析資料
初始化方法	Kurihara et al. 1995	Kurihara et al. 1995	郭英華渦旋植入方法
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
模擬時間(小時)	72	60	96 / 84
	實驗 EW_14 實驗 EW_15	實驗 EW_np_14 實驗 EW_np_15	實驗 E
初始資料	EC 分析資料	EC 分析資料	EC 分析資料
初始化方法	WH 初始化方法	WH_np 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14日00 UTC 1990年9月15日00 UTC	1990年9月14日00 UTC
模擬時間(小時)	96 / 84	78 / 72	108

表一 六組實驗之初始資料、初始化方法、模擬初始時間及模擬積分時間簡介。

(a)

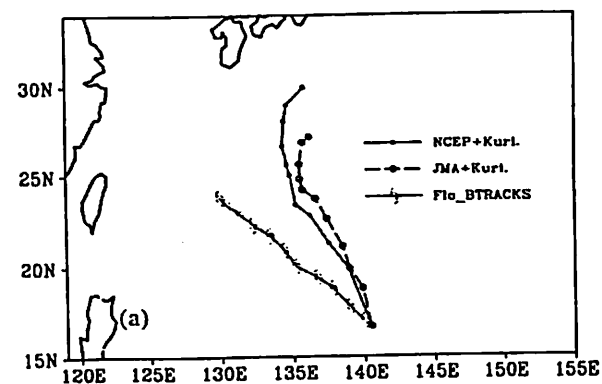
forecasting time	實驗 N	實驗 J	實驗 E	實驗 EK_14	實驗 EW_14	實驗 EW_np_14
0 hr (9/14/00)	64	64	223	0	0	0
12hr (9/14/12)	280	172	209	48	46	154
24hr (9/15/00)	379	369	240	302	140	377
36hr (9/15/12)	445	366	235	389	150	416
48hr (9/16/00)	644	520	78	352	249	432
60hr (9/16/12)	897	725	138	307	262	530
72hr (9/17/00)		997	212	340	259	798

(b)

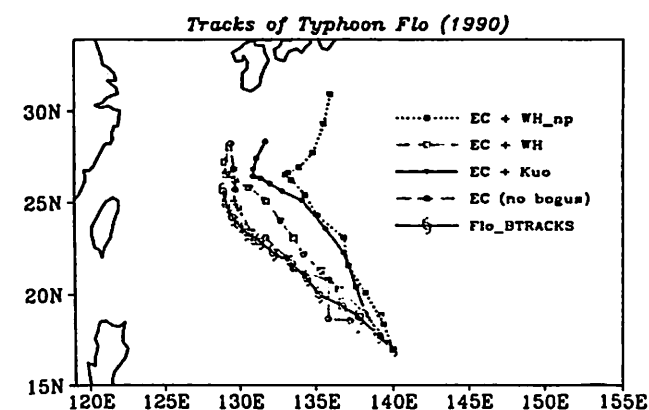
forecasting time	實驗 EK_15	實驗 EW_15	實驗 EW_np_15
0 hr (9/15/00)	0	0	0
12hr (9/15/12)	56	52	61
24hr (9/16/00)	90	33	119
36hr (9/16/12)	91	46	208
48hr (9/17/00)	62	98	253
60hr (9/17/12)	160	111	346
72hr (9/18/00)	262	131	481

表二 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。

(a)



(b)



(c)

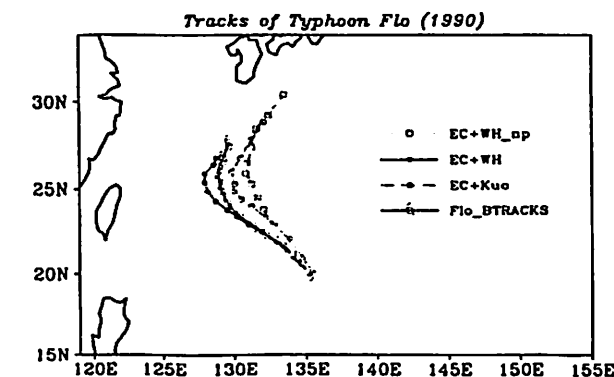


圖1 模擬路徑與最佳路徑比較圖: (a) 實驗 N與實驗 J 之模擬結果; (b) 實驗 E、實驗 EK_14、實驗 EW_14 與實驗 EW_np_1 之模擬結果; (c) 實驗 EK_15、實驗 EW_15 與實驗 EW_np_15 之模擬結果。

Typhoon Flo (1990) minimum central pressure

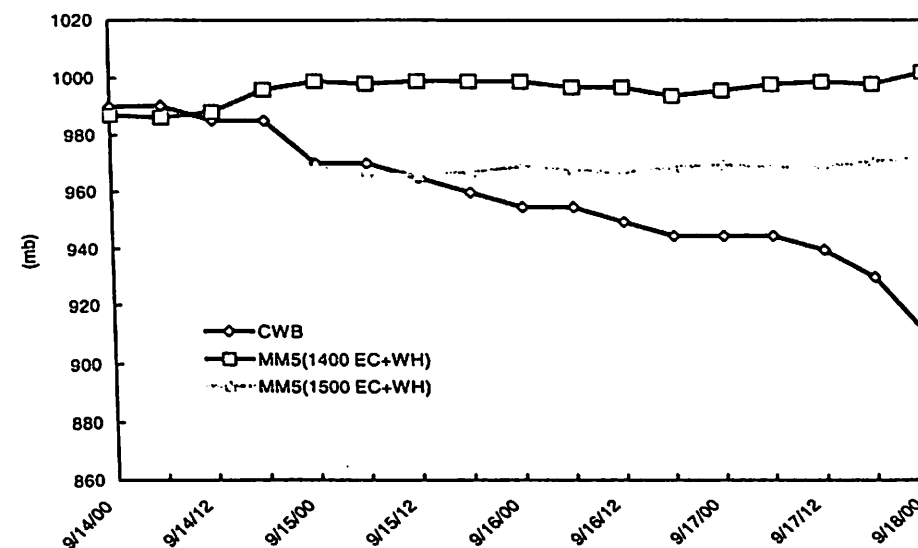


圖2 實驗 EW_14 與實驗 EW_15 的模擬強度與中央氣象局估計強度比較圖。

Typhoon Flo (1990) JMA+Kuri.
ght

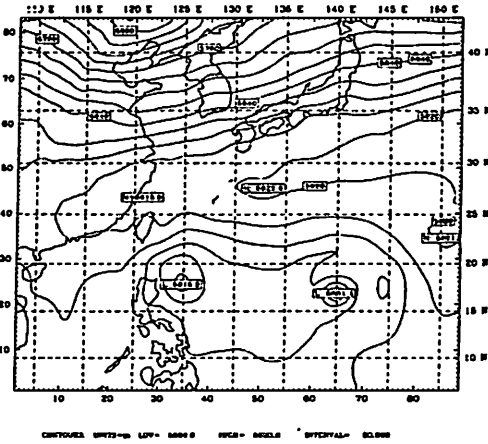
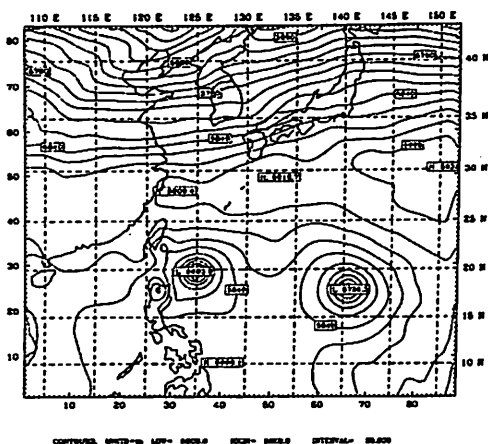
Time = 90091400 + 0.0000
at pressure = 500 mb sm = 1

Typhoon Flo (1990) EC+Wu 2
ght

Time = 90091400 + 0.0000
at pressure = 500 mb sm = 1

(a)

(b)



Typhoon Flo (1990) JMA+Kuri.
ght

Time = 90091400 + 48.0000
at pressure = 500 mb sm = 1

Typhoon Flo (1990) EC+Wu 2
ght

Time = 90091400 + 48.0000
at pressure = 500 mb sm = 1

(c)

(d)

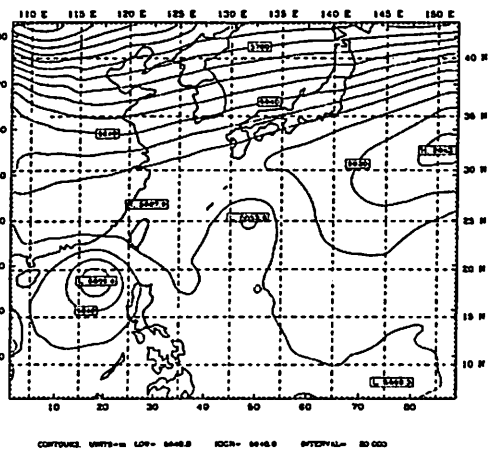
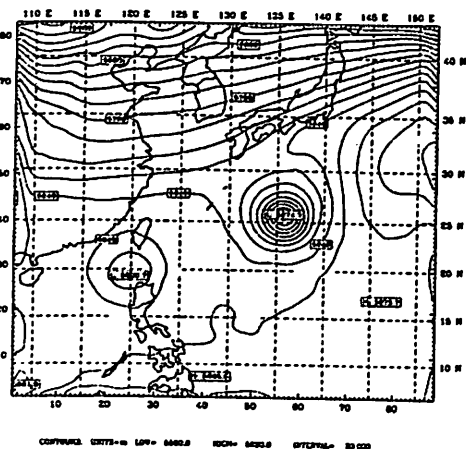


圖3 實驗J與實驗EW_14 500mb 高度場比較圖。(a)、(c)分別為實驗J於初始時間與48小時之模擬結果；(b)、(d)分別為實驗EW_14於初始時間與48小時之模擬結果。

difference between two steering flow

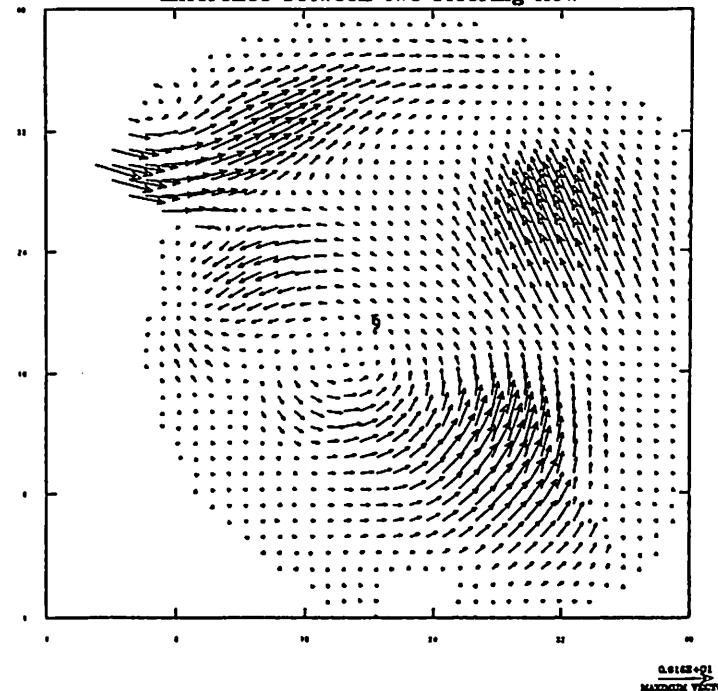


圖4 實驗EK_14與實驗EW2_14在初始時間以Kurihara et al. (1995)求環境場方法計算850 - 300mb 深層平均所求得駛流之差異。

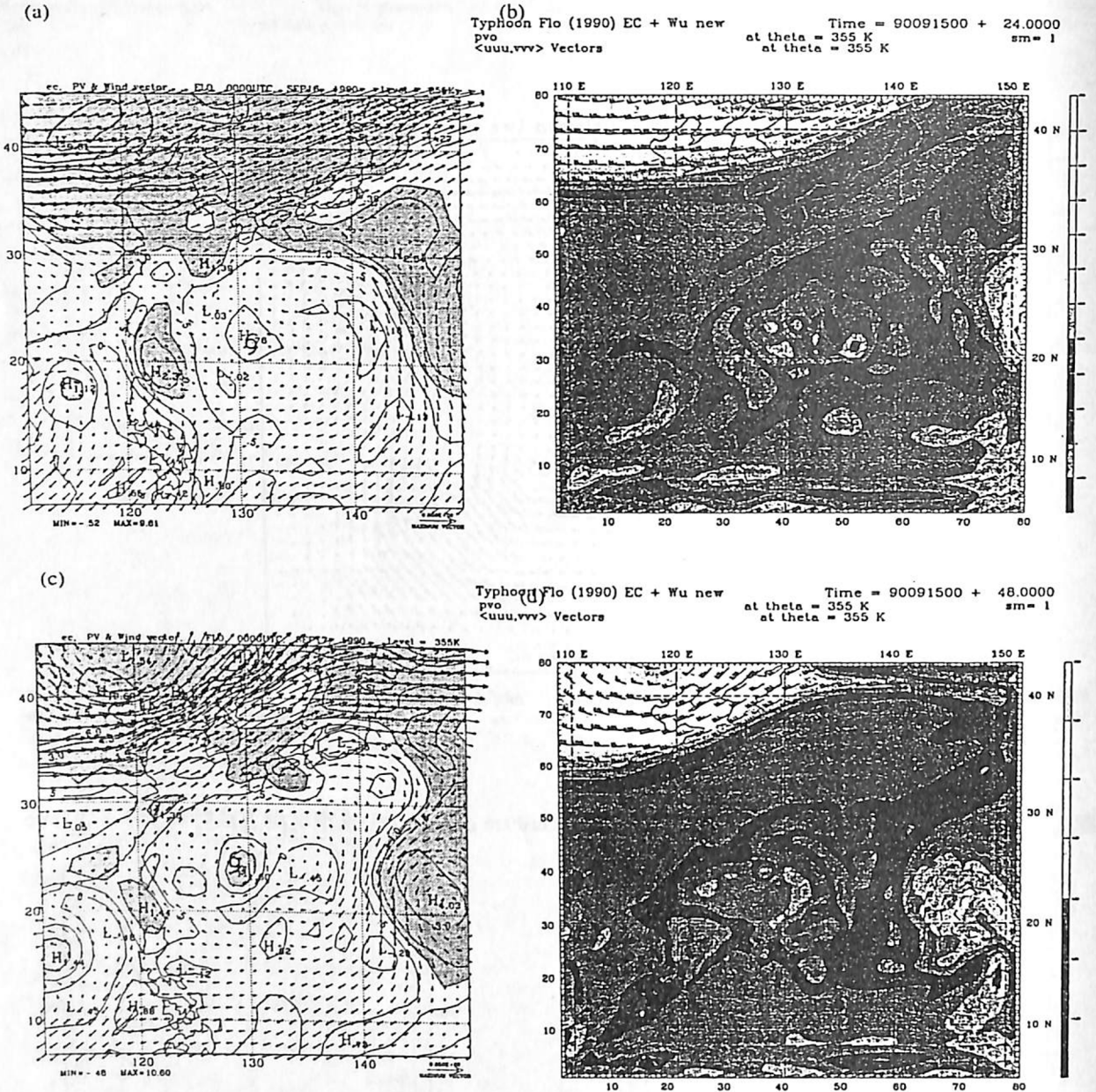


圖5 (a)、(c)為EC/ADVANCED分析之355K等位溫面的位渦等值線(單位:PVU)及風場向量(單位:ms⁻¹)分佈。時間分別為1990年9月16日00UTC;1990年9月17日00UTC。(摘自Wu and Cheng (1999))。(b)、(d)為實驗EW_15模擬之355K等位溫面的位渦等值線(單位:PVU)及風場向量(單位:ms⁻¹)分佈。時間同上,分別模擬24小時;模擬48小時。