

## 區域波譜模式在颱風預報上之應用

洪景舜<sup>1</sup>、汪建良<sup>2</sup>、呂芳川<sup>2</sup>  
海軍氣象中心<sup>1</sup>、國防大學中正理工學院<sup>2</sup>

### 摘 要

因應中華民國海軍氣象中心日常作業之數值天氣預報模式需求，我們探討在這三重巢狀二倍內嵌之區域波譜模式(RSM)對有無作颱風初始化渦旋植入及多重之颱風初始化渦旋植入的敏感度測試，以了解這最高解析度為 30 公里之模式在颱風預報上之應用。我們模擬了三個於 2000 年和 2001 年侵台之颱風個案，並利用區域波譜模式之可變水平解析度內嵌特性作了直接內嵌與多重內嵌之比較，以分析模式在颱風預報上之特性。

研究結果指出因應全球模式中之颱風強度太弱及颱風位置不精確，在區域波譜模式上作颱風渦旋初始化植入有助於颱風強度與路徑之預報；模式對於單一植入與多重植入實驗在路徑上表現並不敏感，但多重植入實驗有較強之颱風強度與降雨，且一般在高解析之模組中和直接內嵌至高解析模組之實驗，模擬之颱風強度與路徑表現較好。

與雷達回波圖比對，模式能合理模擬出颱風之不對稱結構及其關聯之降雨的分佈，在個案中模擬顯示出颱風之主要雨帶。在模式模擬碧利絲與象神颱風這二個軌跡正確之個案中，我們可以得到合理的陸地上降雨分佈。

關鍵詞：區域波譜模式

(2002 年 11 月 5 日收稿；2002 年 11 月 11 日定稿)

### 一、前言

颱風是自然界最具破壞力的天氣系統之一，也是影響台灣最重要的災變天氣。例如民國九十年的桃芝颱風，由於其所夾帶的豪雨成災，在中部山區帶來嚴重土石流，為近三十年來在台灣地區造成最多人員傷亡之颱風(造成兩百多人傷亡)。

颱風系統包含旋轉渦旋、水汽潛熱釋放、大氣與海洋交互作用等物理過程，且涉及許多不同時間尺度、空間尺度的流體動力學與熱力學。這樣一個高能量的系統，主要的天氣現象包含強風與豪雨：強風伴隨著大量動能，豪雨則帶著大量水汽凝結的潛熱釋放。颱風大量降水累積的潛熱釋放能量是十分驚人的，通常可以比颱風環流具有之總動能大一、二個數量級(十至百倍)。由能量的觀點來看，颱風為一開放系統，其降水區內之大量潛熱釋放主要是由颱風外部低對流層之水汽流入來維持，這時氣塊之高位能由對流

層上層之外流釋放，Riehl(1979)亦指出，颱風潛熱釋放能量中只有近百分之三之能量轉為動能。

自 1960 年代早期開始以軸對稱數值模式模擬出颱風之發展(例如 Kasahara)，而自 1970 年代之後，更詳實的數值模式被發展及運用於颱風模擬及預報。這些模式分為兩大類，一類為使用積雲參數化，水平網格解析度為 20-100km 之模式；另一類則直接計算雲物理過程，水平網格解析度較高(<20km)之模式。前者的相關研究指出，颱風發展模擬對積雲參數化之處理有相當大的敏感度；而後者的相關研究指出，更詳實而直接的計算雲物理過程，可以模擬出合理的颱風結構。例如 Willoughby et al. 運用非靜力包含雲物理計算之軸對稱模式，已能有效地模擬颱風的內部眼牆結構。

然而，由於颱風之路徑及強度不僅受到其內部動力及熱力過程，及雲與降水形成與

分佈的影響，更受到颱風與其大尺度環境交互作用的影響，故三度空間之模式是同時模擬颱風之路徑及強度所不可或缺的工具。例如 Holland and Merrill 加入環境場與颱風之交互作用，以模擬出颱風之軌跡路徑；Ross and Kurihara 使用了 GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風模式模擬了 1985 年之 Gloria 颱風對環境場之影響；1997 年，Liu et al. 指出颱風是一個多重尺度交互影響之劇烈系統，並利用了具有雙向交互回饋三重可移動巢狀模式成功的模擬 1992 年之 Andrew 颱風，其研究結果顯示，使用一高解析度、有詳細之模式物理和適切之初始渦旋與整合相當之大環境場，可以有效地模擬在熱帶環境場中之颱風路徑、強度及核心結構。近年 (2001)，Lau et al. 應用交互回饋巢狀模式，以 18km 之解析度模擬出颱風軌跡及合理的颱風內雲水之分布。

### 二、研究動機

中華民國海軍於民國 82 年 7 月 1 日至 87 年 6 月 30 日委由中正理工學院應用物理學系發展「大氣預報模式」，以由 Juang and Kanamitsu 建立之美國國家環境預報中心有限區域波譜模式 (簡稱 NCEP/JK94) 為主要架構，建構一個三重靜力之巢狀區域波譜模式，並於民國 86 年間加入了颱風渦旋初始化植入架構為軌跡預報模式，而成功地預報了 1997 年 8 月之溫妮颱風軌跡。

巢狀區域波譜模式 (NVJK94) 目前為中華民國海軍氣象中心日常作業之數值天氣預報模式，是以中央氣象局全球模式預報場為基本場。自 2001 年後，中央氣象局已於其全球模式上加入了颱風渦旋之植入。因應此一變化，是否需於區域波譜模式之初始場中，植入颱風渦旋，有必要加以研究及討論。

巢狀區域波譜模式 (最高解析度為 30km) 已可有效模擬東亞天氣預報，我們希望進一步的研究，在這日常作業模式中，進行颱風預報的能力，包含颱風之路徑與強度，以及颱風結構及其相關降雨分佈。

### 三、模式介紹

所使用的數值模式為目前中華民國海軍氣象中心作業之數值天氣預報模式，民國 82

年 7 月至 87 年 6 月間由中正理工學院應用物理學系引進，以由 Juang and Kanamitsu 建立之美國國家環境預報中心有限區域波譜模式 (簡稱 NCEP/JK94) 為主要架構，建構之三重靜力之巢狀區域波譜模式 (簡稱 NVJK94)。有限區域模式中常運用動力或統計上之降尺度 (Downscaling) 的觀念以節省電腦計算時間、爭取預報時效。巢狀區域波譜模式 (NVJK94) 即使用此一觀念建構之三重靜力巢狀區域波譜模式，其模組空間區域示意圖如圖 3.1，三重靜力巢狀區域分別稱為 RSMA、RSMB、RSMC。RSMA 之區域由 65°E 至 160°E、5°S 至 60°N；RSMB 之區域由 100°E 至 145°E、0°N 至 45°N；RSMC 之區域由 110°E 至 130°E、10°N 至 30°N。水平解析度分別為 120、60、30 公里，而模式積分時間間距為 240、120、60 秒。台灣地形解析為在 RSMB 及 RSMC 模組中最大高度分別為 700 及 1400 公尺。初步的個案測試模式對於影響台灣與東亞地區在綜觀天氣之預報上，此一巢狀區域波譜模式已能有效地掌握。

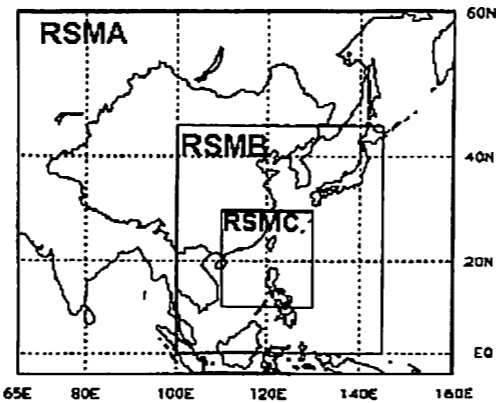


圖 3.1 三重巢狀模組空間區域示意圖

日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency) 之有限區域波譜模式 (Segami et al.)，使用區域場與側邊界場皆作波譜轉換；法國氣象機構 (Meteo France) 使用了較預報區更大區域之範圍作全值 (Full Field) 波譜轉換 (Juang et al.)。Juang and Kanamitsu 改進 Hoyer 的方法建立美國國家環境預報中心的有限區域波譜模式 (JK94)。Hoyer 把氣象變數值分成基值與擾動量兩部分，基值是全球波譜模式的預報值，而擾動量則是有限區域模式所能解析的大氣變數值與基值的差值。 $A_g$  為全球波譜模式的預報值， $A_r$  擾動量是有限區域模式所能

解析的大氣變數值  $A_r$  與基值  $A_g$  的差值：

$$A_r = A_t - A_g$$

此差值在側邊界處為零，處理了區域中側邊界的困難，波譜模式之側邊界條件和差分法相當為隨時間變化的大尺度運動訊息，可稱為濾波擾動法之波譜模式 (Perturbation Filtering Model)。傳統的有限區域模式把全球模式的訊息只傳入區域模式的邊界區，擾動法之區域波譜模式則將全球模式場作為全區基本場 (圖 3.2)。在側邊界上，無需必要使用差分法區域模式之強側邊界外力 (Boundary Forcing)，其側邊界誤差較小，應用了非常小之邊界緩和係數而保留了較大之預報區域範圍，如圖 3.3。

Juang et al. 進一步發展改良 JK94 為可多重巢狀內嵌之非靜力區域波譜模式 (JHK97)，邊界的處理以及模式物理也作些改進。於 2000 年 Juang et al. 進一步發展修正 JHK97，使用了內部垂直坐標為修正版之非靜力波譜模式，區域波譜模式之內的內嵌 (Domain Nesting)，非差分法模式之側邊界值內嵌而為波譜空間波譜之內嵌 (Spectral Nesting)，可以內嵌至十至二十倍，增加了波譜空間中之高頻波之能量部分，如圖 3.4。

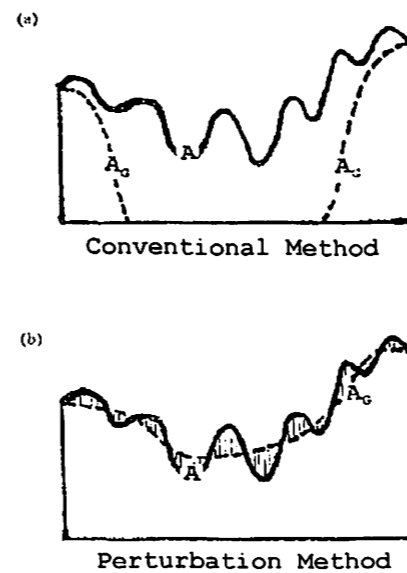


圖 3.2 傳統與區域波譜模式之基本場，圖 a 為傳統有限區域模式，圖 b 為擾動法區域波譜模式 (Juang)

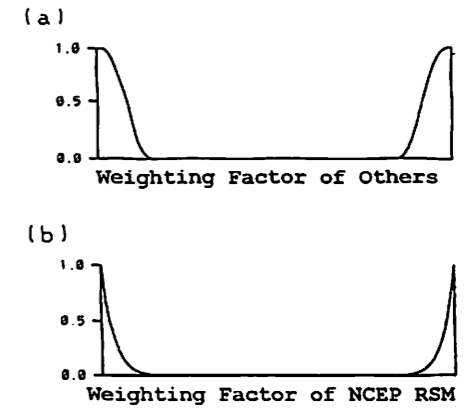


圖 3.3 傳統與區域波譜模式之邊界緩和係數，圖 a 為傳統有限區域模式，圖 b 為擾動法區域波譜模式 (Juang)

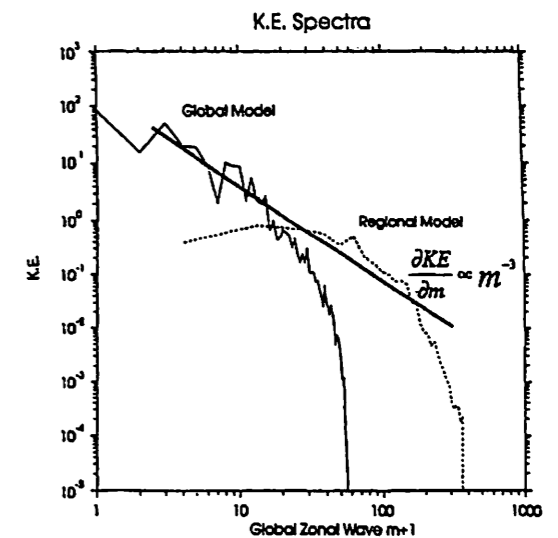


圖 3.4 全球模式與區域波譜模式之波譜能量分佈 (Juang)

巢狀區域波譜模式 (NVJK94) 的物理過程包括：輻射物理過程，為 GFDL 發展的輻射參數化，包含隨日夜變化的長短波輻射、輻射與雲的交互作用、並考慮大氣中  $CO_2$ 、 $O_3$  及水汽對輻射的作用等；地表層和邊界層的物理過程，使用 Monin Obukhov 理論公式計算動量、水汽及可感熱通量和地表溫度分布等、重力波平滑、非局部性的垂直擴散、Kuo-積雲參數化、淺雲參數化、大尺度 (格點) 降水等物理參數化過程及水文過程。雲微物理過程則包含雲水和冰、雨和雪及水汽之三變數雲微物理法及有過冷態之混態 (Mixed Phase Clouds) 之五變數雲微物理法 (請參考 Hong et al.)。模式預報過程中，除輻射物理每小時計算一次，其餘的物理參數化過程均是每個時間間距 (Time Step) 執行一次。

### 四、颱風渦旋之初始化及颱風模擬

#### 4.1 颱風渦旋之初始化方法

作颱風渦旋之初始化植入以確保初始場具有正確之颱風結構與強度。Kurihara et al. 在1993年對GFDL之颱風模式作了初始化研究指出，若不作颱風渦旋初始化植入，則在模式預報初期由於粗解析度基本場中，較弱之渦旋之緩慢調整時間太長，預報颱風強度是不可能的，且在一個案中由於在渦旋調整(Adjustment)期間，在渦旋北方產生之低層強輻合對流使得預報路徑產生偏移。Kurihara et al. 並於1995年，對初始化之渦旋更進一步作了移除由基本場中之較弱之渦旋，在植入具與颱風模式相同物理特性之渦旋，並保留了在基本場之渦旋較外圍之環境風場，以保留對颱風移動方向具影響之不對稱風場結構，改善了預報路徑。

初始化颱風渦旋結構為一 Rankin vortex，其基本概念為考慮颱風伴隨眼牆附近之最大風速外有強之向內流，因角動量之維持，取：

$$r \cdot V_r = \text{constant} \quad (4.1)$$

其中  $r$  為距離颱風中心之半徑， $V_r$  為切向風速。而其最大風速半徑內之切向流速則視為與一等角速度，旋轉之固體相同，即取：

$$V_r = r \cdot \omega \quad (4.2)$$

若其颱風渦旋最大風半徑為  $R_{max} = 20\text{km}$ ，最大風速為  $V_{max} = 40\text{m/s}$  則  $\omega = 0.002 \text{ rad/s}$ ，依 (4.1) 式，在  $r > R_{max}$  時， $r \cdot V_r = 800000$ ，如圖 4.1。

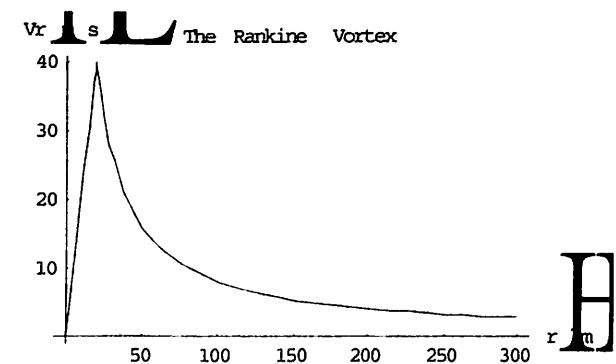


圖 4.1 Rankin Vortex 之切向風速圖，其最大風速 40 (m/s)，最大風半徑為 20 km

Depperman 在 1976 年使用了 Modified Rankin Vortex：

$$V_r \cdot r^x = D \quad (4.3)$$

其中參數  $x < 1$ ， $x$  和  $D$ ，須由觀測資料決定。Kurihara 應用了 Holland 提出之颱風氣壓與切向風結構：

$$r^b \ln((pn - pc)/(P - pc)) = A \quad (4.4)$$

其中， $P$  為颱風在半徑  $r$  之氣壓值， $pn$  為颱風最外圍氣壓， $pc$  為颱風中心氣壓， $b$ 、 $A$  由實際觀測來決定，將其代入梯度風公式，得：

$$V_r = \left[ \frac{ab(pn - pc) \exp(-a/r^b)}{(\rho r^b) + r^2 f^2 / 4} - rf/2 \right]^{1/2} \quad (4.5)$$

將上式微分求其極值，可得最大風半徑

$$R_{max} = a^{1/b}$$

$$V_{max} = (b/\rho e)^{1/2} (pn - pc)^{1/2}$$

其中  $\rho$  為空氣密度， $a$ 、 $b$  參數可由此求出。若取颱風中心氣壓  $pc = 935 \text{ hPa}$ ，外圍氣壓  $pn = 1005 \text{ hPa}$ ，參數  $b = 2$ ，颱風渦旋最大風半徑為  $R_{max} = 20 \text{ km}$ ，則最大風速為  $V_{max} = 60 \text{ m/s}$ ，如圖 4.2。

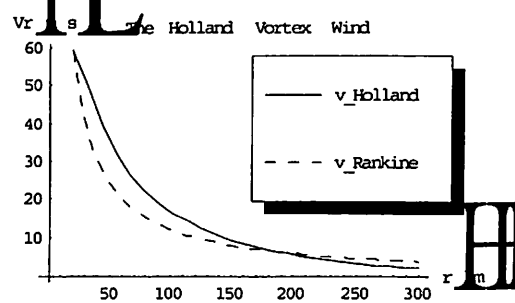


圖 4.2 Holland 之切向風速(實線)與 Rankine Vortex 之切向風速(虛線)

巢狀區域波譜模式(NVJK94)在發展當時，中央氣象局之全球模式並未作初始化渦旋之植入，故巢狀模組作渦旋初始化植入，以確保初始場之颱風渦旋強度及結構位置正確。本實驗直接使用 Juang 在 NVJK94 模式中所建構之颱風植入渦旋方法。颱風風場主要是依照 Mathur 所提出方法，先由一個理想化之颱風氣壓方程設定地面氣壓分佈，再利用梯度風平衡假設求出 1000 hPa 風速，最後

再以一組數學函數求出一近似實地觀測之颱風風場。輸入之參數包含颱風中心氣壓、颱風外圍氣壓、外圍氣壓半徑、所在經緯度等，其結構顯示出北半球颱風逆時針旋入與高層順時針旋出，如圖 4.3 為初始渦旋之經向風分量(垂直座標為 Sigma 層)。除了以此求出一理想之對稱颱風渦旋，還另外根據颱風移行方向及速度為參數，建構一不對稱(Asymmetric)渦旋。颱風之不對稱風場與其駛流方向息息相關，不對稱風場主要是由颱風移行而造成，以相對速度觀點，對一以速度  $C$  移行之渦旋，渦旋具相對中心之切向風速  $V_{rel}$  為對稱，則在地面觀測之風速  $V$  為：

$$V_{rel} = V - C$$

在渦旋右象限之  $V_{rel}$  與  $C$  為同向，則右象限之地面風  $V = V_{rel} + C$  較強，反之在左象限之地面風  $V = V_{rel} - C$  較弱。圖 4.4 為初始渦旋之風速(垂直座標為 Sigma 層)，圖 4.5 為初始渦旋之不對稱風場。

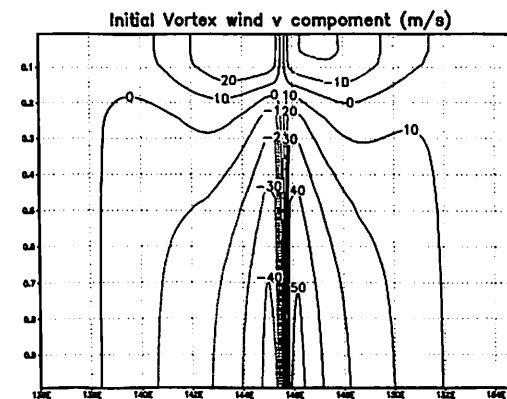


圖 4.3 初始渦旋之風場經向風分量，單位為 m/s，正值代表南風，負值代表北風(垂直座標為 Sigma 層)

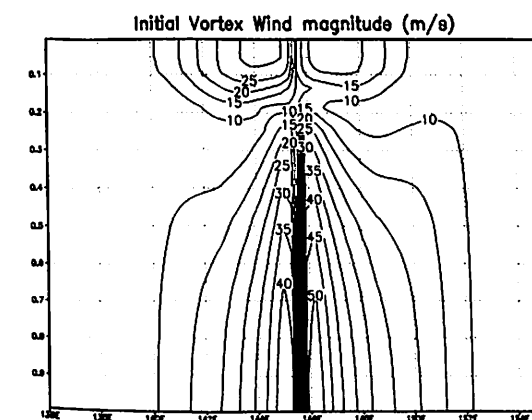


圖 4.4 初始渦旋之風速，單位為 m/s (垂直座標為 Sigma 層)

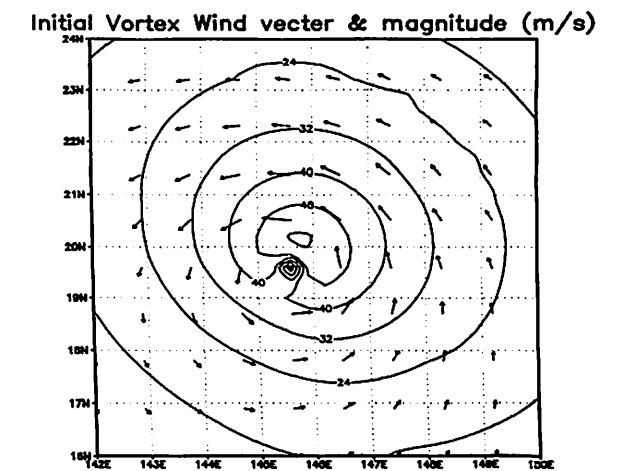


圖 4.5 初始渦旋之不對稱風場，單位為 m/s

#### 4.2 颱風模擬

1997 年，Bender 應用了具有詳盡模式物理之 GFDL 颱風模式，探討流場、風切及科氏力對颱風內部不對稱結構之影響，並與實際觀測颱風相互對應。

Bender 指出，因科氏力隨緯度改變之 Beta 效應會使得在颱風內部後方產生較強之輻合上升區域，以對一段時間作平均(Quasi-Static)之上升運動區域即為眼牆之較厚之區並與其強降水區相關。在加入平均流場時，較強之輻合上升區域向前移至下游方向(Down-Stream)之左象限。於流場有風切時，強輻合上升區域移至風切之方向。Bender 並指出此研究結果顯示出與氣旋移行之相對風場是一造成熱帶氣旋中平均輻合上升區域之重要因素，猶如其平均之降雨分佈。

1997 年，Liu et al. 指出颱風是一個多重尺度交互影響之劇烈系統，並利用了具有雙向交互回饋三重可移動巢狀模式成功的模擬 1992 年之 Andrew 颱風，圖 4.6 為 Liu et al. 所模擬之颱風內部眼牆，雲水之分佈圖。

1999 年 Frank and Ritchie 對大環境場與颱風內結構關係作模擬，以了解颱風內部結構與降雨分佈情形。Frank and Ritchie 應用了移除潛熱釋放之熱力作用之模擬(即所謂乾的模擬)，探討環境風場及邊界層動力方面對颱風之內不對稱結構影響以及加入積雲參數化及雲微物理法之潛熱釋放(即所謂濕的模擬)在熱力方面之正回饋影響，其模擬之初始渦旋如圖 4.7。並指出，邊界層效應是造成眼外

圍低層產生局部對流帶之原因，加入熱力效應後可產生正回饋似雨帶之結構(如圖4.8)。在乾的模擬中環境駛流造成渦旋順流移行並在其下游方向(Down-Stream)右側出現較大

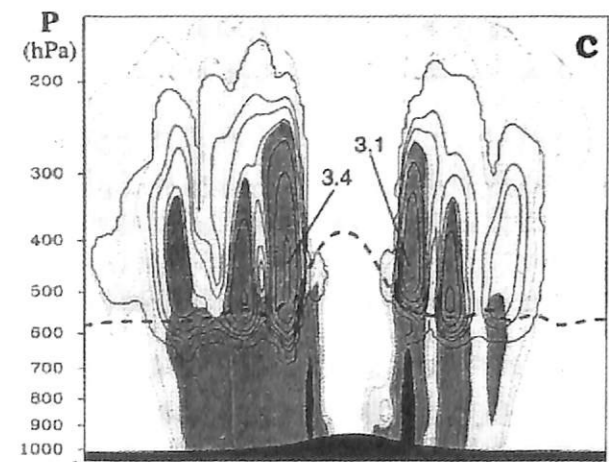
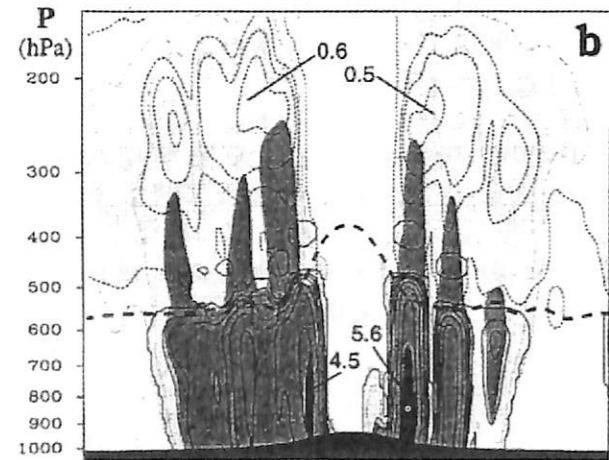
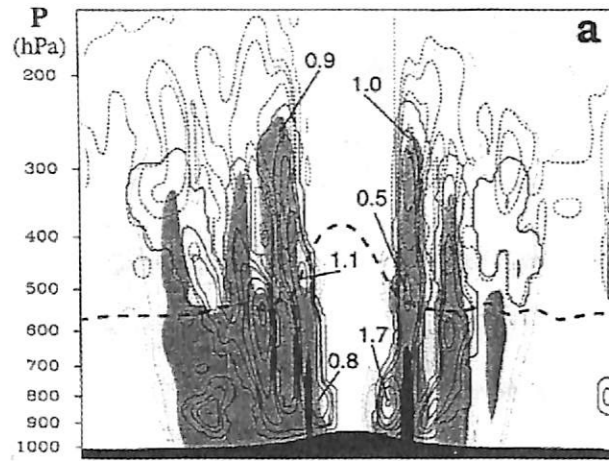


圖 4.6 Liu et al. [8] 模擬之颱風內部情形。a 為雲水與冰之分佈，實線為雲水、虛線為冰。b 實線為雨、虛線為雪。c 為軟雹。粗虛線為零度溫度線。圖中陰影區表示以模式模擬之雷達降水回波強度。

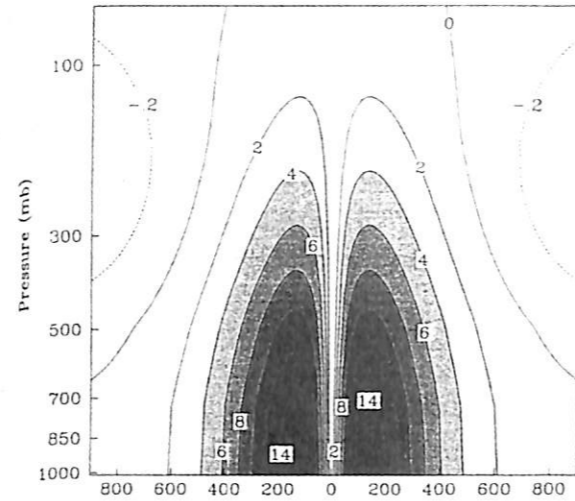


圖 4.7 Frank and Ritchie 之初始颱風渦旋

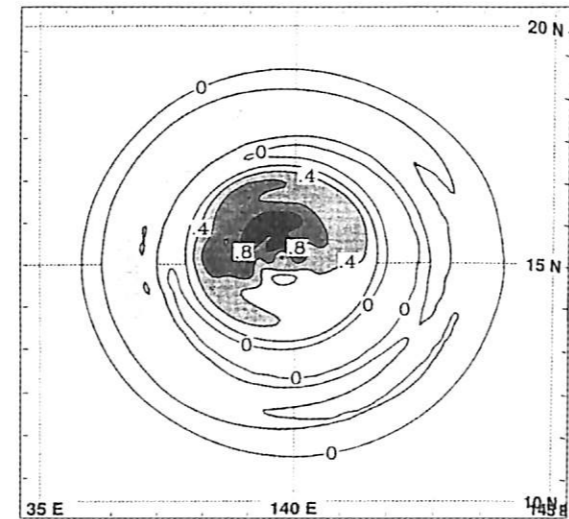


圖 4.8 Frank and Ritchie 使用乾模式模擬 24 小時後在 950hPa 之垂直速度(m/s)

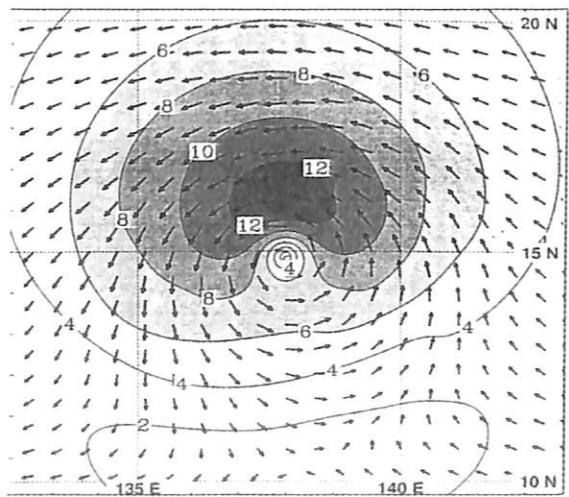


圖 4.9 Frank and Ritchie [32] 模擬 24 小時後在 950hPa 之水平風速(m/s)

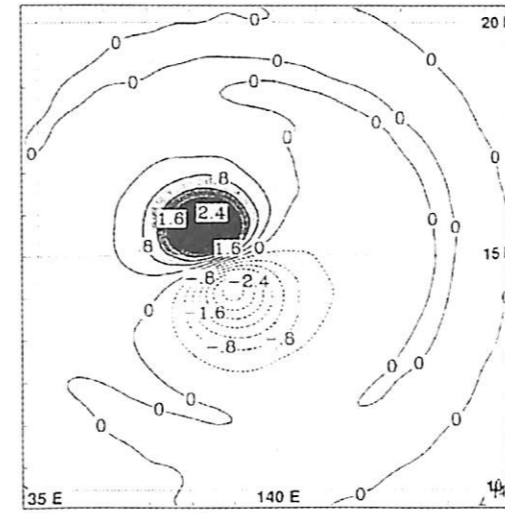


圖 4.10 Frank and Ritchie 乾模式模擬 24 小時後在 500hPa 之垂直速度(m/s)

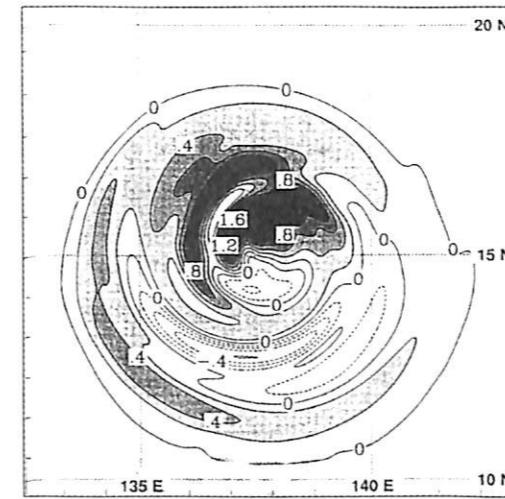


圖 4.11 Frank and Ritchie 乾模式模擬 24 小時後在 950hPa 之垂直速度(m/s)

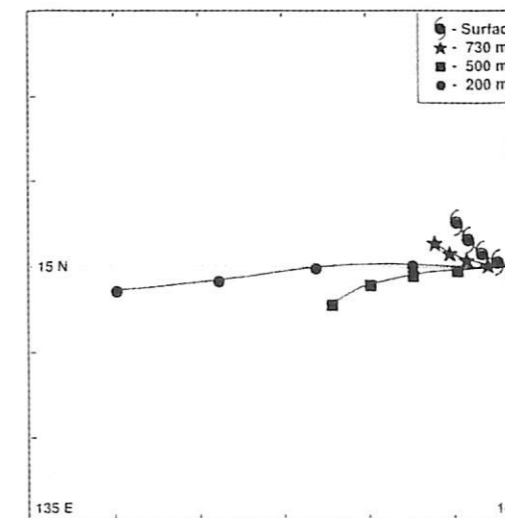


圖 4.12 Frank and Ritchie [32] 模擬高低層渦旋中心之分流

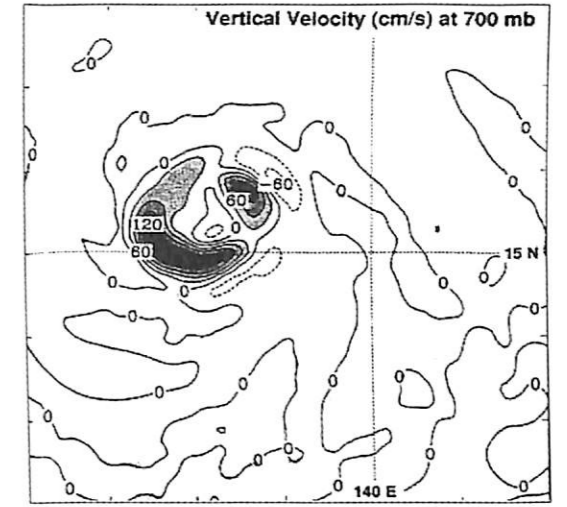


圖 4.13 Frank and Ritchie 模擬在有向西之風切時 48 小時後在 700 hPa 之垂直速度(cm/s)

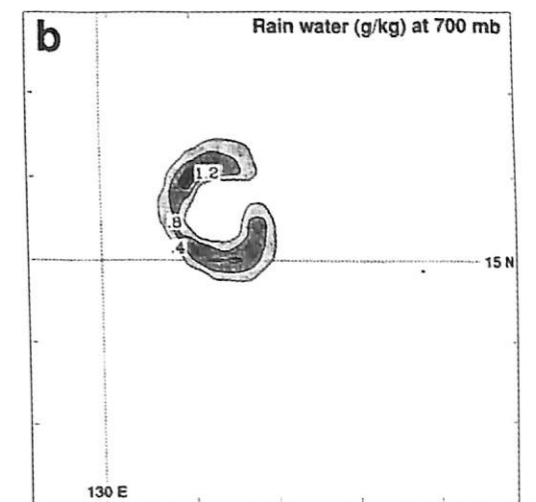
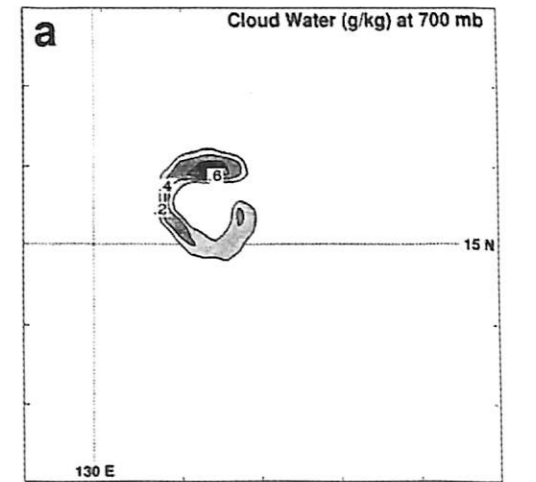


圖 4.14 Frank and Ritchie 模擬在有向西之風切時 48 小時後在 700 hPa 之(a) 雲水(g/kg)及(b)雨水(g/kg)分佈

風速(如圖 4.9)、並於右前方出現較強之上升區域,於左後方出現較強之下降區域(如圖 4.10)。在受風切之影響下,亦於下游方向右前方出現較強之上升區域,於左後方出現較強之下降區域(如圖 4.11),且若無水汽潛熱效應之輻合上升加強作用,渦旋減弱而呈現高低層中心分流渦旋狀(如圖 4.12)。在加入潛熱釋放之熱力作用之模擬中,因水汽之平流效應與潛熱釋放之熱力作用,較強之上升區域移至左前方出現(如圖 4.13),而水汽也有不同之分佈(如圖 4.14)。在有平流效應與風切時,低層輻合區有向方移之情形。1983年 Shapiro 亦指出移速較快之颱風在其前方有較強之上升區域,再加入潛熱釋放之熱力作用之模擬中,較強之上升區域因水汽之平流效應與潛熱釋放之熱力作用,較強之上升區域移至右方與左後象限。

2001年, Lau et al.應用交互回饋巢狀模式,以18公里之解析度模擬出颱風軌跡及合理的颱風結構與內部雲水之分佈,如圖 4.15。我們將在下一章討論巢狀區域波譜模式(NVJK94)解析度為30公里對於颱風路徑、強度及其結構與降水分佈之模擬。

表 5.1 實驗設計

編號	實驗名稱	模組	颱風渦旋之初始化植入			初始場颱風中心氣壓值		
			A	B	C	碧利絲	象神	桃芝
	OBS					935	960	954
1	BTAB	B	✓	✓	✓	939	962	955
2	BNAB	B			✓	995	996	985
3	CTA	C	✓			949	971	973
4	CTAB	C	✓	✓		939	962	955
5	CTABC	C	✓	✓	✓	936	960	955
6	CTAC	C	✓		✓	936	960	955
7	CTBC	C		✓	✓	936	960	955
8	CTB	C		✓		939	962	955
9	CTC	C			✓	936	961	955
10	GBT	B		✓		939	962	955
11	GCT	C			✓	936	961	955

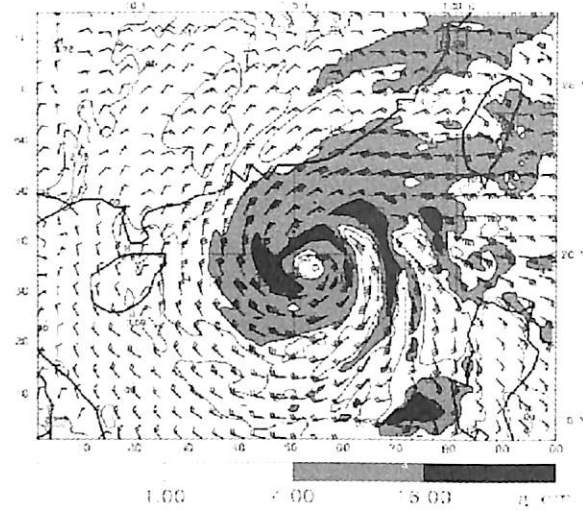


圖 4.15 Lau et al.所模擬出颱風內雲水之分佈 ICW (Integrated Cloud Water Species), 單位為 g/kg

### 五、實驗設計與結果

#### 5.1 實驗設計

為探討颱風渦旋初始化對不同巢狀模組架構之影響,分別於不同模組中測試有無做颱風初始化植入之敏感度。在巢狀模組架構下,依序在各模組中作有無初始化之實驗,可得如表 4.1 所列之各實驗。在執行由 RSMA 內嵌至 RSMB 模組中,分別做有無颱風之初始化植入,計有兩組實驗(編號 1 及 2);而再內嵌至 RSMC 模組則有七組實驗(編號 3 至 9)。直接由全球模式基本場內嵌至 RSMB 及 RSMC 模組之實驗各一組(編號 10 及 11)。各實驗名稱請參考表 5.1。

因應中央氣象局在 2001 年後在全球模式上作了颱風植入上之改變,我們模擬了 2000 年基本場未作颱風植入八月之碧利絲(Bilis),十月之象神(Xangsane)以及 2001 年基本場有作颱風植入之七月之桃芝(Toraji)颱風,對於每一颱風接近陸地前 18 至 36 小時分別做了如表 5.1 所示之各組實驗。由於模式之初始場為其上游模組作提高解析度之內差而來,若未作颱風渦旋初始化之植入,其初始場之中心氣壓值與上游模組相同。

#### 5.2 個案描述

2000 年之碧利絲颱風,八月十八日西太平洋關島西南方形成熱帶低壓。八月十九日 0600 UTC 時形成颱風命名為碧利絲,並持續

緩慢向西北方移行。碧利絲於二十一日 1800 UTC 時達到最強,約於二十二日 1400 UTC 時登陸於台灣東南方。綜觀天氣系統中如圖 5.1,在南海一輕度颱風凱米(Kaemi)持續向西並於越南登陸後消失。高壓系統由凱米颱風處連至太平洋高壓,高壓駛流緩慢使碧利絲颱風西北移動而向台灣而來,其路徑如圖 5.2。碧利絲登陸於台東,於花蓮玉里在 20 小時內測得了 949mm 之雨量如圖 5.3。

2000 年之象神颱風,10 月 29 日 1200 UTC 時在菲律賓西方海面原向西緩移於滯留後轉向北前進,受伴隨地面之高空駛流場影響圖 5.4、圖 5.5 速度逐漸加快向著台灣行進,於台灣東部略過,未登陸,路徑如圖 5.6,局部地區有強降雨,引發了土石流。

2001 年之桃芝颱風在菲律賓群島東方生成後向北北西方向即向台灣前進(如圖 5.7),到達花蓮東南近海之前路徑緩慢穩定,後西偏並於在花蓮東南方秀姑巒溪口登陸。由衛星雲圖分析,發現颱風中心眼向南偏移後而又恢復北北西方向行進,最後在新竹地區出海(如圖 5.8),對花蓮及南投地區造成嚴重災情。七月二十九日向臺灣接近時,新竹、台中地區副低壓開始形成,形成後副低壓中心由台中向新竹移動,而颱風中心登陸通過中央山脈後逐漸向副低壓中心移動,最後在新竹地區出海(圖 5.8),在此段期間颱風與其副低壓間具有相當程度之交互影響如圖 5.9。

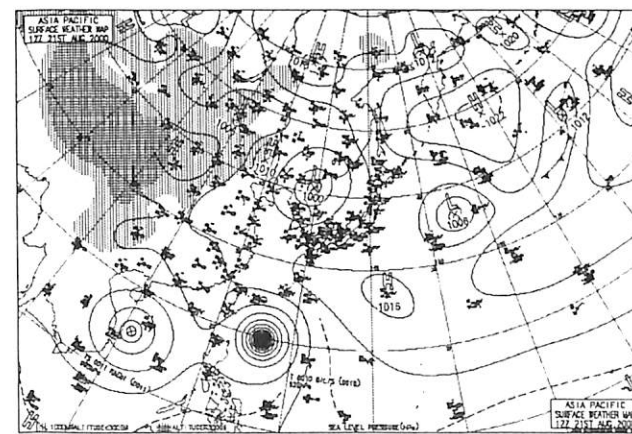


圖 5.1 2000 年 8 月 21 日 1200UTC 碧利絲颱風之日本氣象廳綜觀天氣圖

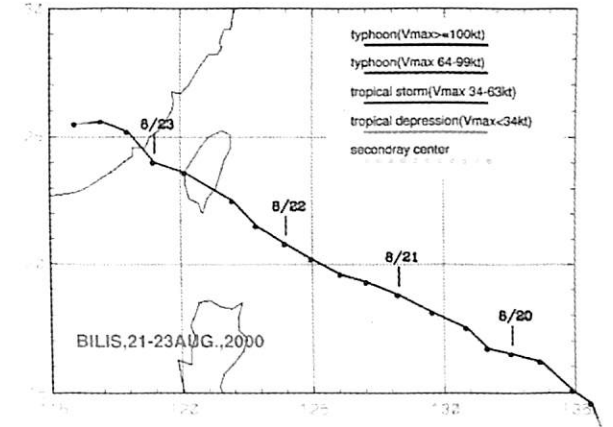


圖 5.2 2000 年碧利絲颱風之路徑圖, 所示時間為每日 0000UTC 時, 摘自中央氣象局颱風資料庫

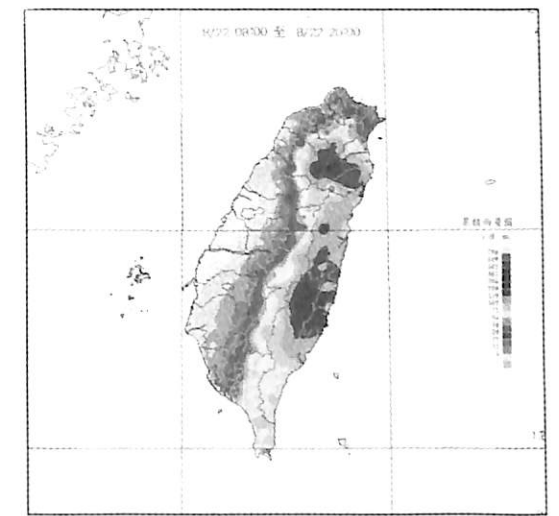


圖 5.3 碧利絲颱風 8 月 22 日 08 地方時至 8 月 23 日 20 地方時累積雨量圖, 摘自中央氣象局颱風資料庫

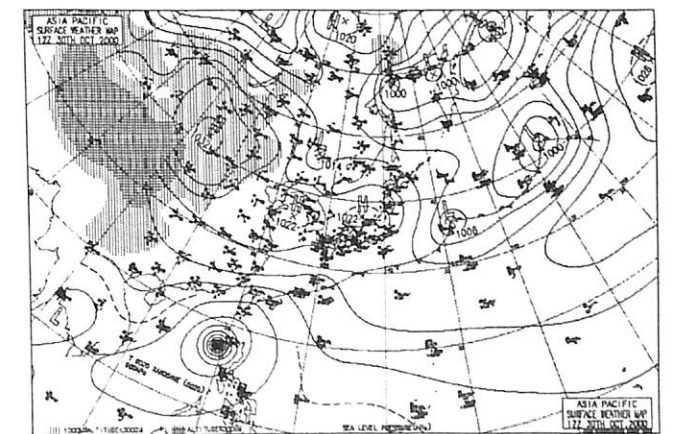


圖 5.4 2000 年 10 月 30 日 12 UTC 象神颱風之日本氣象廳綜觀天氣圖

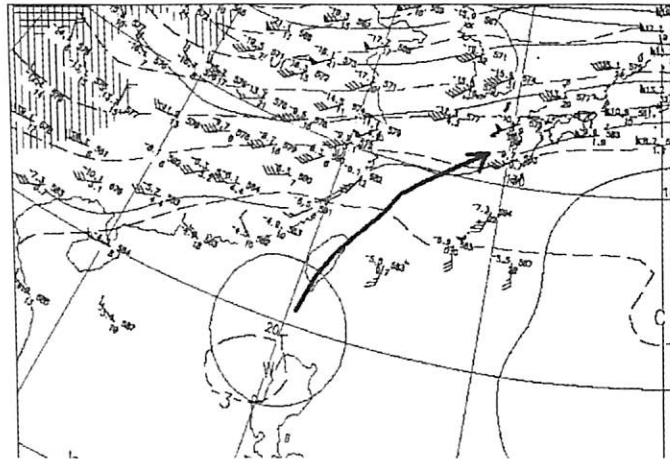


圖 5.5 2000 年 10 月 30 日 1200 UTC 象神颱風之日本氣象廳 500hPa 高空天氣圖，箭頭所標示方向為駛流方向

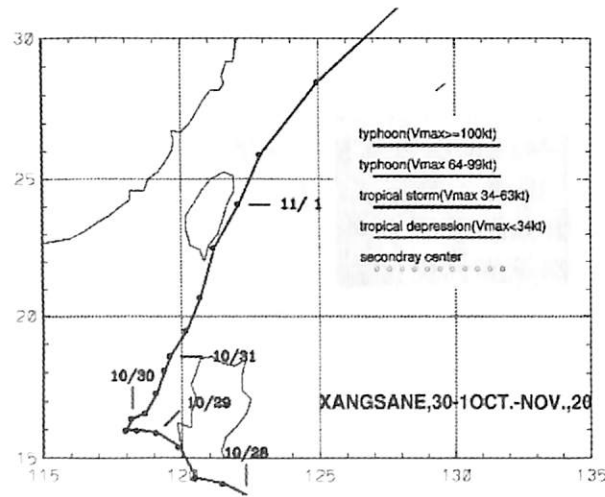


圖 5.6 2000 年象神颱風之路徑圖，所示時間為每日 0000UTC 時，摘自中央氣象局颱風資料庫

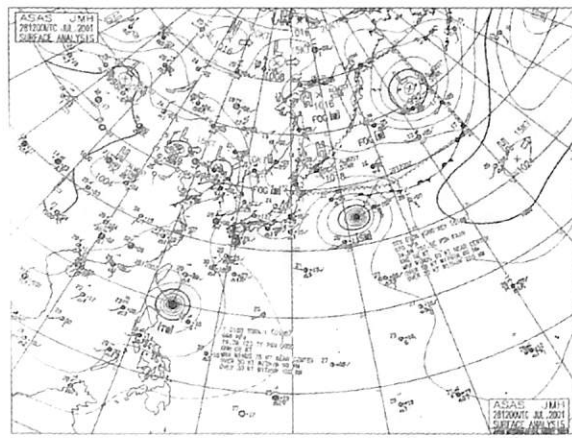


圖 5.7 2001 年 7 月 21 日 1200 UTC 桃芝颱風之日本氣象廳綜觀天氣圖

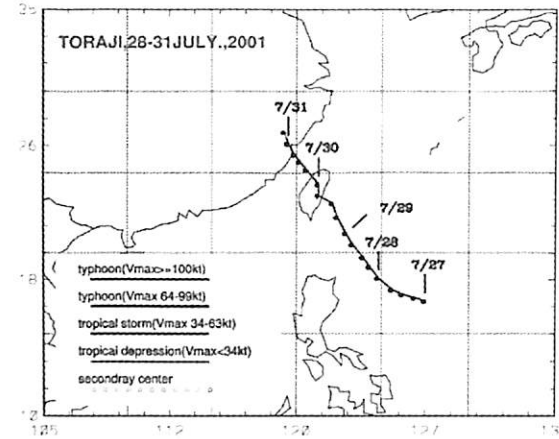


圖 5.8 2001 年桃芝颱風路徑圖，摘自中央氣象局颱風資料庫

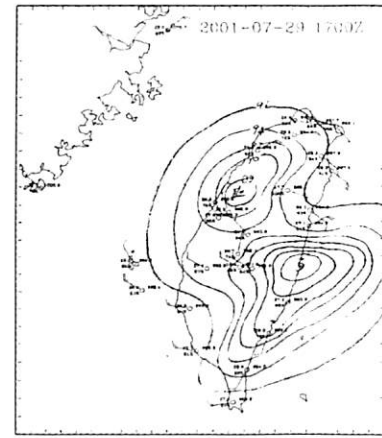


圖 5.9 2001 年 7 月 29 日 1700 UTC 桃芝颱風海平面氣壓圖

BNAB BTAB Tracks InIHMDY=1220728 2001

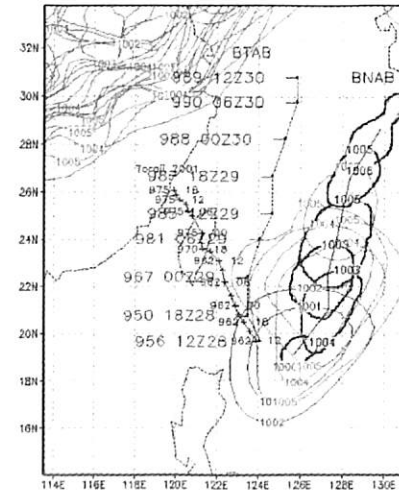


圖 5.10 為桃芝颱風之實際觀測路徑與RSMB模組有植入之BTAB實驗與未植入之BNAB實驗路徑圖

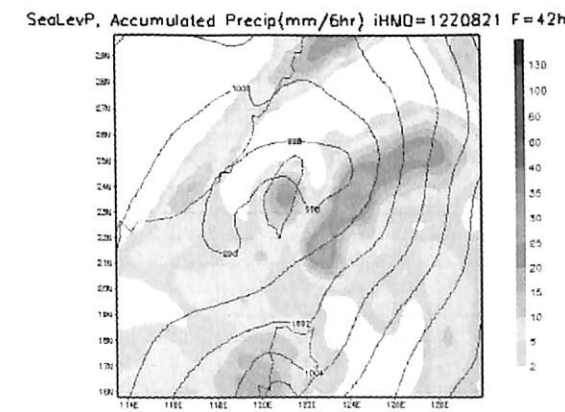
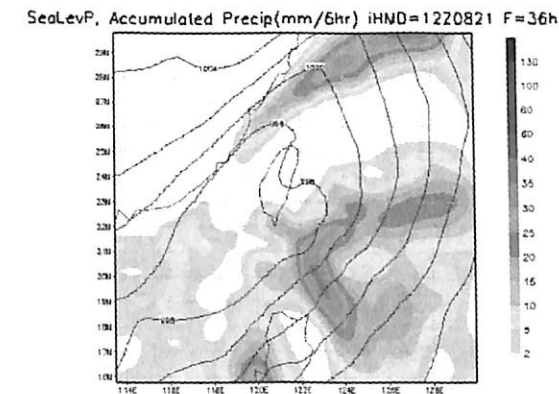
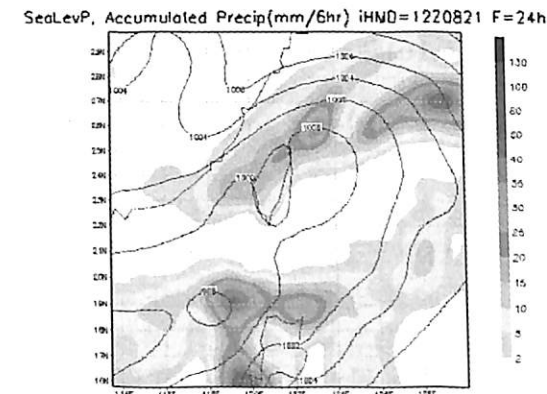
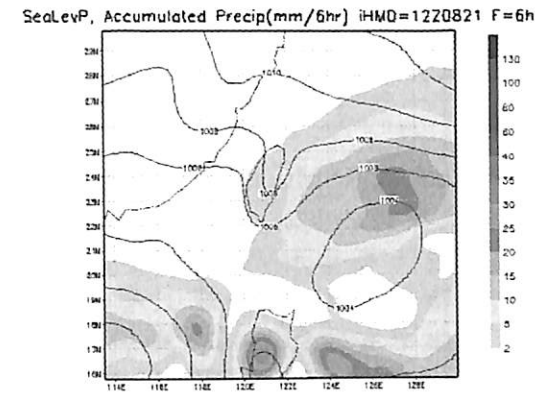


圖 5.11 碧利絲颱風 RSMB 模組未植入之 BNAB 實驗之海平面氣壓等值線與六小時之累積降雨量(如右側色階所示，單位為 mm)，模擬時間各為第 6、24、36、42 小時

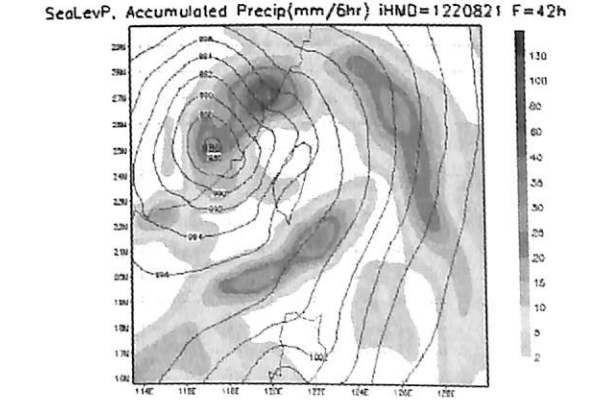
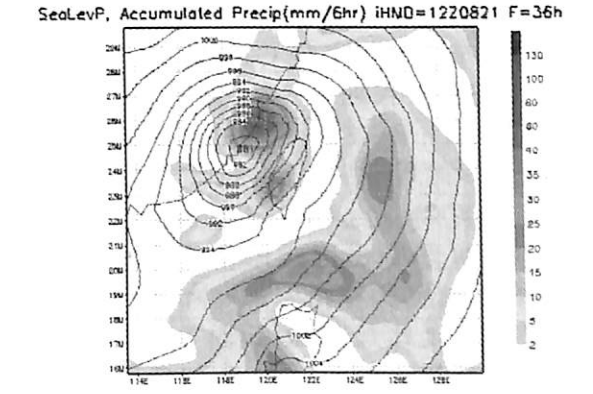
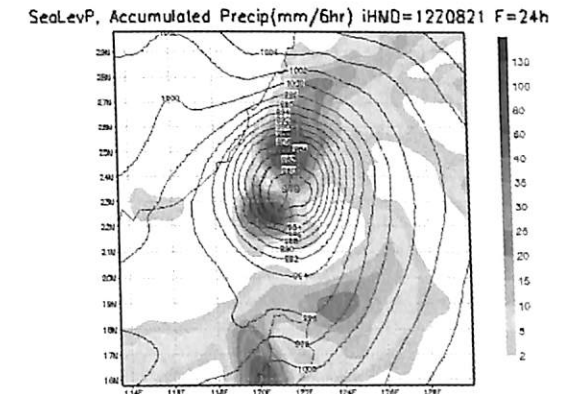
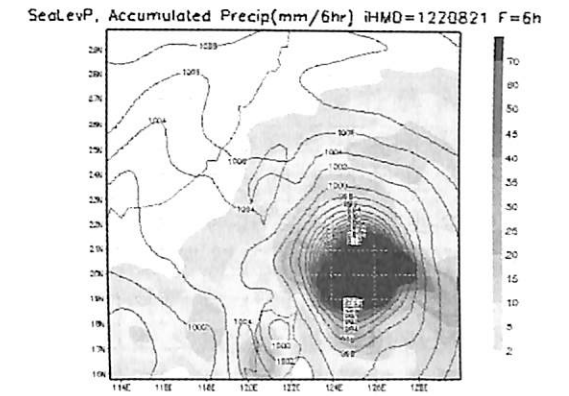


圖 5.12 碧利絲颱風 RSMB 模組有植入之 BTAB 實驗海平面氣壓等值線與六小時之累積降雨量(如右側色階所示，單位為 mm)，模擬時間各為第 6、24、36、42 小時

5.3 颱風初始化植入探討

比較有無作颱風渦旋植入之實驗，以 RSMB 模組為例，在無作植入之實驗路徑偏向北相當多，且強度太弱。風雨分佈在低壓之外圍，中心並無較強之風雨。如圖 5.10 為桃芝颱風之 BTAB 實驗之颱風渦旋植入與 BNAB 實驗之未植入路徑比較，我們發現因全球模式分析場解析度過粗，颱風之強度太弱且初始中心位置偏離實際位置約二個經度，造成了預報路徑之不準確。預報初期，未植入之 BNAB 實驗颱風即向東北方向移行並非如實際方向為西北。圖 5.11 為碧利絲颱風未植入之 BNAB 實驗之六小時累積降雨，顯示降雨區分佈於中心外圍。圖 5.12 為碧利絲颱風有植入之 BTAB 實驗在各預報時間之海平面氣壓場及六小時累積降雨，與圖 5.11 比較，顯示在植入颱風之後，可得較合理之降雨分佈預報。

5.4 巢狀模組颱風初始化植入之探討

我們以 RSMC 模組實驗來探討颱風之初始化解析度比較，實驗 CTA 為颱風之初始化植入於 RSMA 模組之 120 公里之解析度中，但於 RSMB、RSMC 模組中則無作颱風之初始化植入，即在 RSMC 模組之 CTA 實驗中，初始場颱風渦旋之解析度為由 RSMA 模組 120 公里解析度之初始化渦旋作內差而來，與 RSMA 模組具有相同之中心氣壓。我們發現各實驗組之路徑相似(如圖 5.13)，圖中以最低海平面氣壓為颱風之中心之定位。圖中顯示實驗 CTA 之颱風路徑較 CTAB 與 CTABC 偏北，實驗 CTAB 與實驗 CTABC 近乎有相同之路徑，皆較實際路徑偏南，可能是由於大環境場過度模擬碧利絲與凱米颱風之雙颱風藤原效應，輕度颱風凱米之實際路徑為持續西進登陸後消失而非模式之模擬滯留後向北偏移。比較 CTAB 與 CTABC 模組實驗，我們發現颱風渦旋初始化植入於在 RSMB 模組之路徑與在 RSMC 模組中有近乎相同之路徑。我們認為，在此一個案中，颱風渦旋初始化之解析度於 RSMB 模組，或是以 RSMB 模組中之 60 公里之水平解析之颱風初始渦旋即有良好之軌跡預報表現。比較桃芝颱風之 CTA、CTAB 與 CTABC 實驗(如圖 5.14)，我們發現在這路徑模擬之個案中，CTAB 較 CTA 較偏向實際路徑，CTABC 又較 CTAB

更偏向實際路徑。實驗顯示多重植入(CTABC)實驗之颱風強度較強，在路徑上較接近實際路徑。

我們以有在 RSMC 模組中有作颱風之植入之實驗來探討於上游基本場中有無作初始化植入比較，在碧利絲颱風之模擬(如圖 5.15)，實驗 CTAC 是於最上層之基本場 RSMA 模組中有作初始場之颱風植入，於 RSMB 模組中則無，但於 RSMC 模組中又植入颱風。實驗結果顯示，在各組路徑相近(如圖 5.15 與 5.16)顯示在此個案中，模式對多重植入較不敏感。探討桃芝颱風之上游模組有無植入之影響，由圖 5.17 之 CTBC、CTABC 實驗之路徑，我們發現在上游模組之植入有較佳之路徑表現。分析其原因顯示，在上游模組(RSMA)中之颱風路徑，有作颱風初始渦旋之植入時較接近實際路徑；下游模組以其上游模組作為基本場，因此下游模組會受上游模組之影響，因此也較接近實際路徑。

比較不同解析度模組之影響，BTAB 實驗為巢狀模組於 RSMA、RSMB 皆作初始化植入實驗，GBT 實驗為全球模式分析場直接內嵌至 RSMB 模組實驗，GCT 實驗為全球模式分析場直接內嵌至三十公里之 RSMC 模組實驗。圖 5.18 為碧利絲颱風以 8 月 21 日 0000 UTC 為初始場之路徑圖。由圖 4.18 而言，對不同解析度之實驗有不同之路徑表現，BTAB 有路徑偏差情況出現，可能是由於上游較粗解析度之 RSMA 模組導致路徑偏差而影響其下游模組(RSMB、RSMC)之路徑。實驗 GBT 之解析度為 60km，亦有路徑偏差情況出現。與比較桃芝颱風圖 5.19 而言，GTC 實驗之解析度較高有較好之路徑表現。

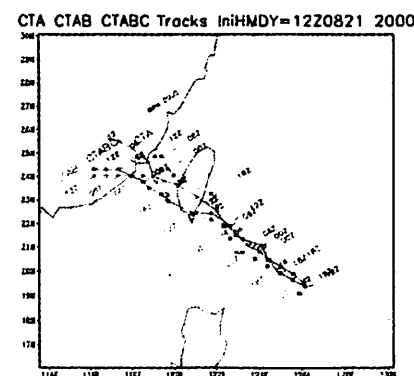


圖 5.13 碧利絲颱風之實際路徑與 CTA, CTAB, CTABC 實驗模擬之路徑比較圖

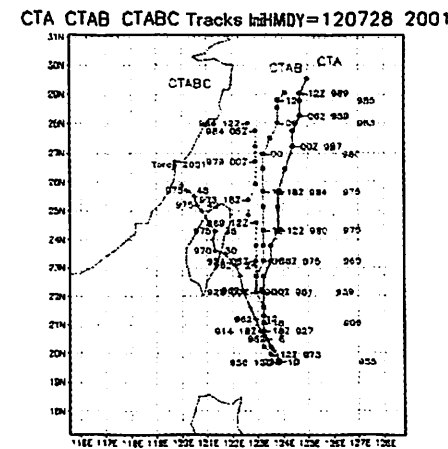


圖 5.14 桃芝颱風之實際路徑與CTA, CTAB, CTABC 實驗模擬之路徑比較圖

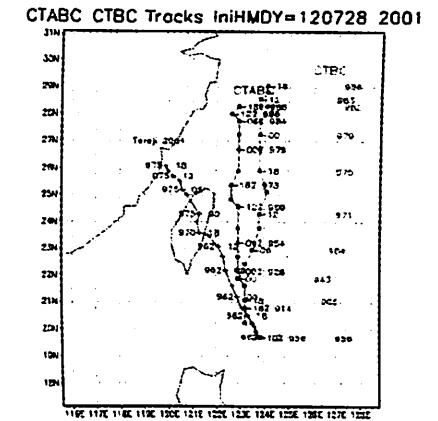


圖 5.17 桃芝颱風實際路徑與 CTABC, CTBC 實驗之路徑比較圖

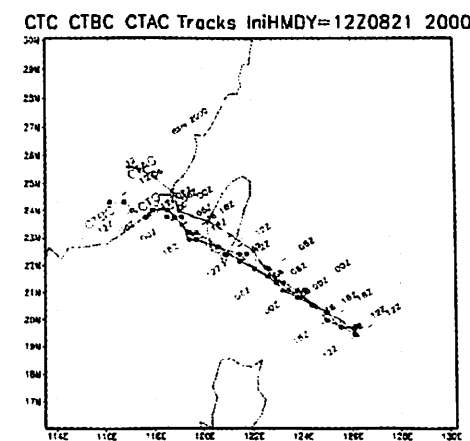


圖 5.15 碧利絲颱風實際路徑與 CTAC, CTBC, CTC 實驗模擬之路徑比較圖

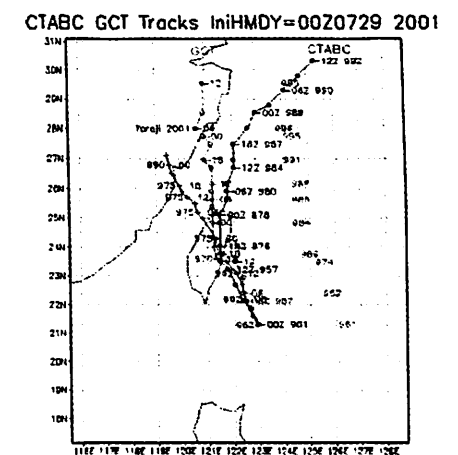


圖 5.18 碧利絲颱風實際路徑與 GCT、GBT、BTAB 實驗之路徑比較圖，所示為以最低海平面氣壓為中心位置之路徑

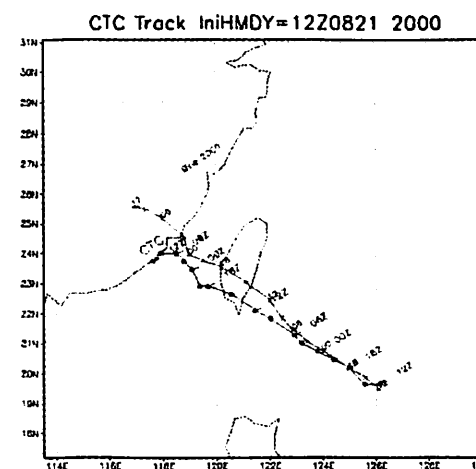


圖 5.16 碧利絲颱風 CTC 實驗之路徑比較圖，所示為以最低海平面氣壓為中心位置之路徑

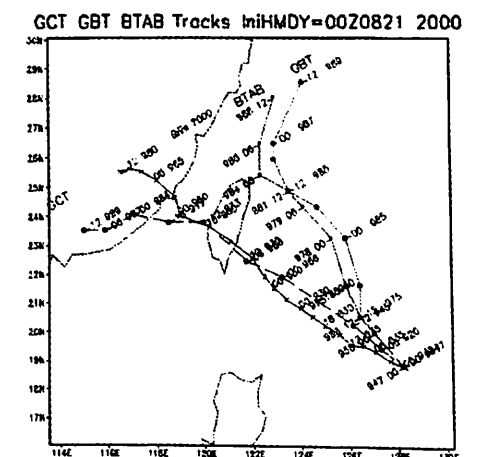


圖 5.19 桃芝颱風 GCT、CTABC 實驗之路徑比較圖，所示為以最低海平面氣壓為中心位置之路徑

5.5 颱風結構探討

探討模式模擬颱風內部結構與降雨分佈關係，圖 5.20 為模式預報桃芝颱風之垂直上升速度圖，初始場時間為 07 月 29 日 0000 UTC，預報時間各為 9、15、18、21 小時後，由圖 5.20 所見上升輻合區皆保持在南方象限，模式所模擬之颱風在均勻之駛流環境場中移行具有維持穩定之結構，上升輻合區皆保持在南方象限。在圖 5.21 為桃芝颱風雲水 (Integrated Cloud Water Species) 之分佈圖，單位為每平方公尺分之公斤(kg/m<sup>2</sup>)，由圖中可見較強之雲水分佈區緊鄰上升速度區之下游處，是由於雲水之氣旋式平流效應所致，由於 RSMC 模組之解析度為 30 公里，無法模擬出眼牆之環狀上升區域結構，且由雲微物理法產生之雲水亦偏少。由於波譜轉換之 Gibbs 現象，圖中可見雲水之雜點分佈，但模式能表現出颱風不對稱之結構與不對稱雲水之分佈。圖 5.22 為桃芝颱風之雷達回波圖。我們可以發現，在颱風中心南區象限，有最強之回波圖，由圖 5.20 模擬之上升區域與圖 5.21 模擬之雲水分佈區域來看，顯示強對流區皆位於南方象限。與雷達回波圖比較，模式之模擬是合理的。比較圖 5.21 之模擬第十五小時之雲水分佈圖與圖 5.22 之 1600UTC 之雷達回波圖來看，在桃芝颱風即將登陸臺灣時，雷達回波上顯示強回波環繞於颱風中心四週，模式模擬之雲水分佈有類似之情形出現。

我們以路徑模擬結果較好之碧利絲颱風探討降雨之模擬，圖 5.23 中顯示高空 850 百帕之上升速度分佈情形，圖 5.24 中顯示高空 500 百帕之上升速度分佈情形，圖 5.25 中顯示模擬之 9、12、15、18 小時之三小時累積降雨分佈情形。實驗結果顯示，在緩慢西進之碧利絲颱風於在西南象限有最大之垂直上升區，降雨之分佈亦如是。圖 5.26 為模式預報陸地上累積降雨量(mm)圖，時間為 8 月 22 日 08 地方時至 22 日 20 地方時之 12 小時累積雨量，圖 5.27 為模式預報陸地上累積降雨量(mm)圖，時間為 8 月 22 日 20 地方時至 23 日 08 地方時之 12 小時累積雨量。圖 5.28 為中央氣象局 8 月 22 日 08 地方時至 22 日 20 地方時觀測累積降雨圖，為 12 小時之累積雨量，圖 5.29 為中央氣象局 8 月 22 日

20 地方時至 23 日 08 地方時觀測累積降雨量圖，12 小時累積雨量。比較圖 5.26 與圖 5.28，圖 5.27 與圖 5.29 模擬之降雨與觀測記錄分佈相似具有定性上之預報能力，由碧利絲颱風降雨之分佈與桃芝颱風雷達回波來看，模式可表現出不對稱之颱風結構。

5.6 象神颱風降雨探討

Frank and Ritchie 對大環境場與颱風內結構關係作模擬，在有加入平流效應與風切，颱風低層輻合區有向前方移之情形。1983 年 Shapiro 亦指出移速較快之颱風在其前方有較強之輻合上升區域。我們發現，受鋒面在高層 500hPa 有強之北向駛流導引影響而移行快速之象神颱風(圖 5.2，圖 5.4)，由圖 5.31 之象神颱風 31 日 2100 UTC 之雷達回波圖顯示，颱風中心位於花蓮外海，雷達回波圖及衛星雲圖顯示颱風前方部位有較強之回波區域伴隨著於右前方出現主要雨帶，即移速較快之颱風類型。圖 5.30 為模式模擬之象神颱風路徑圖，圖 5.32 為 CTC 實驗模擬之象神颱風之上升速度圖，我們可以發現，颱風移行方向前方部位有較強之輻合上升區域。圖 5.33 為象神颱風 2000 年 10 月 31 日 1800 UTC 之雷達回波圖。圖 5.34 為象神颱風 2000 年 11 月 1 日 0000 UTC 之雷達回波圖。圖 5.35、圖 5.36 各為模式模擬之 10 月 31 日 1800 UTC 與 11 月 1 日 0000 UTC 之象神颱風之海平面氣壓與垂直上升速度圖，顯示模式模擬之伴隨著於右前方出現主要雨帶。觀察模式模擬象神颱風之登陸情形、在登陸時颱風受地形影響，低層環流輻合上升區域較不明顯，但於颱風即將出海時(圖 5.36)，於前方輻合上升區域又重新整合，並於台灣北端產生強降雨(圖 5.37 為 CTABC 實驗之三小時累積降雨、圖 5.38 為 CTC 實驗之三小時累積降雨)。圖 5.39 為 CTC 實驗模擬之 3 小時之累積降雨，可見東部為地形抬升所產生之降雨。圖 5.40 為 CTABC 實驗模擬之 12 小時之陸地上累積降雨，圖 5.41 為 CTC 實驗模式模擬之 12 小時之陸地上累積降雨，二者相似，比較圖 5.42 為中央氣象局之 12 小時之累積降雨，模式可模擬出台灣東部及台灣北部之二處強降雨區，具有定性之預報能力。

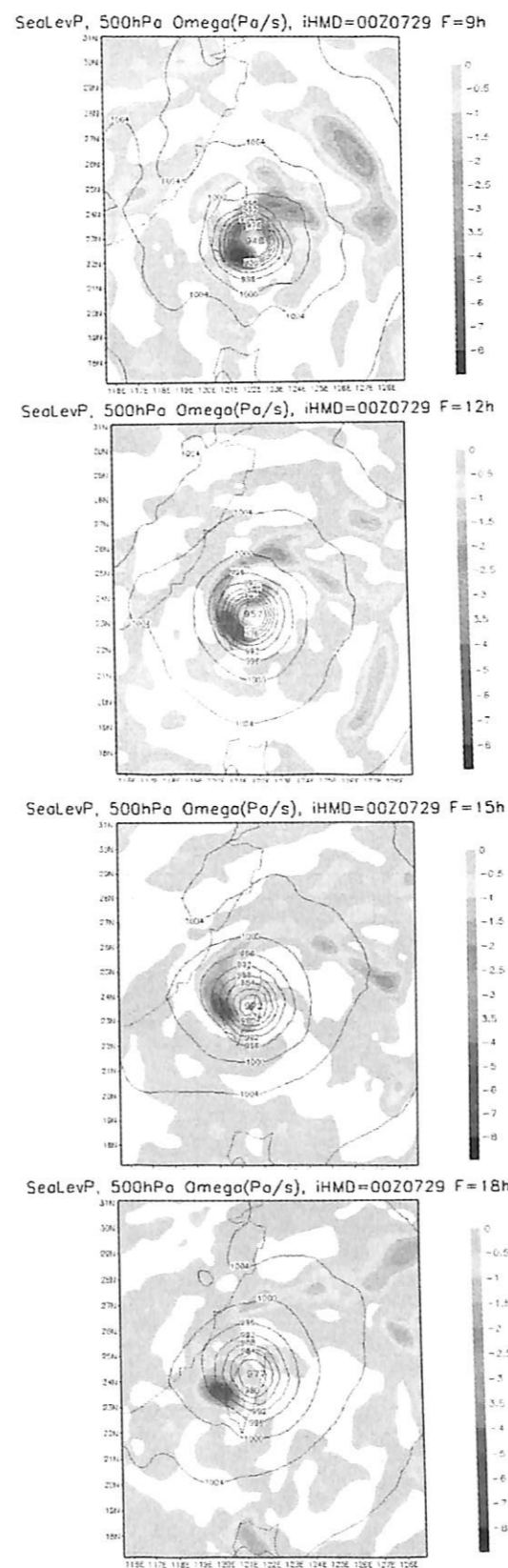


圖 5.20 桃芝颱風之海平面氣壓(hPa)等值線與 500hPa 面之垂直上升速度(Pa/s)，初始場時間為 07 月 29 日 0000 UTC，預報時間各為 9、12、15、18 小時

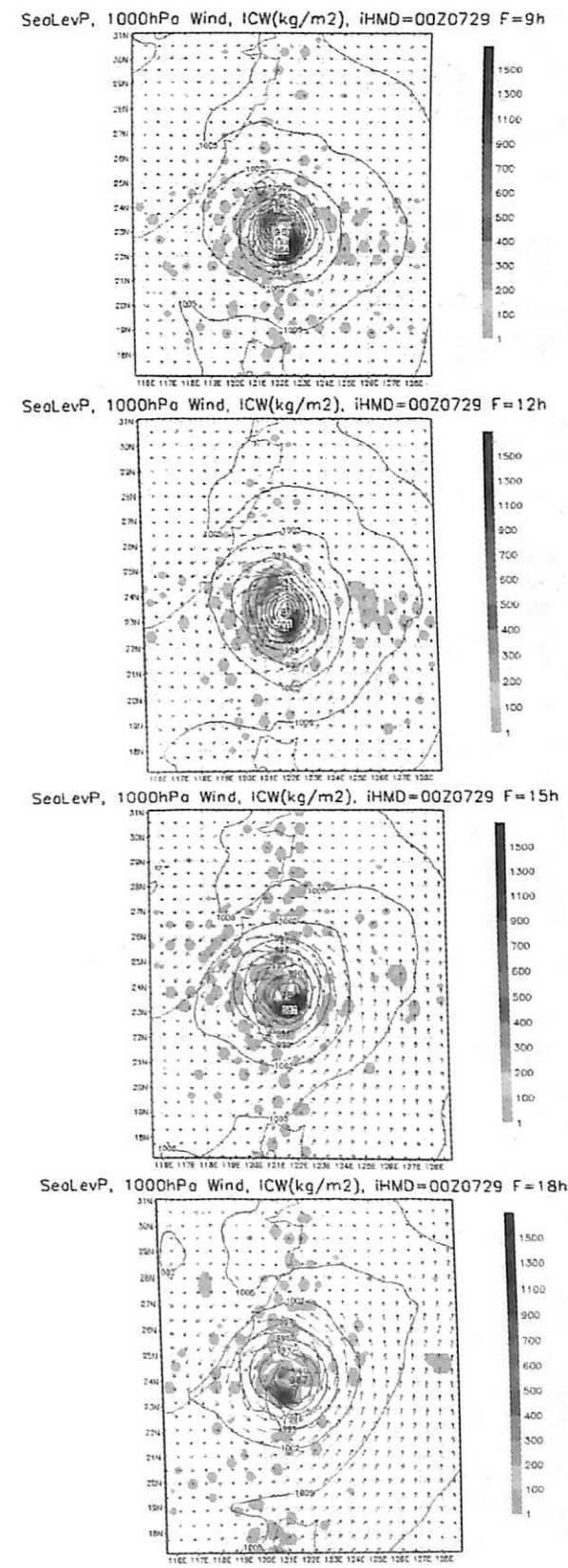


圖 5.21 桃芝颱風之海平面氣壓(hPa)等值線、1000hPa 等壓面風場與雲水分佈圖(kg/m<sup>2</sup>)，初始場時間為 07 月 29 日 0000 UTC，預報時間各為 9、12、15、18 小時



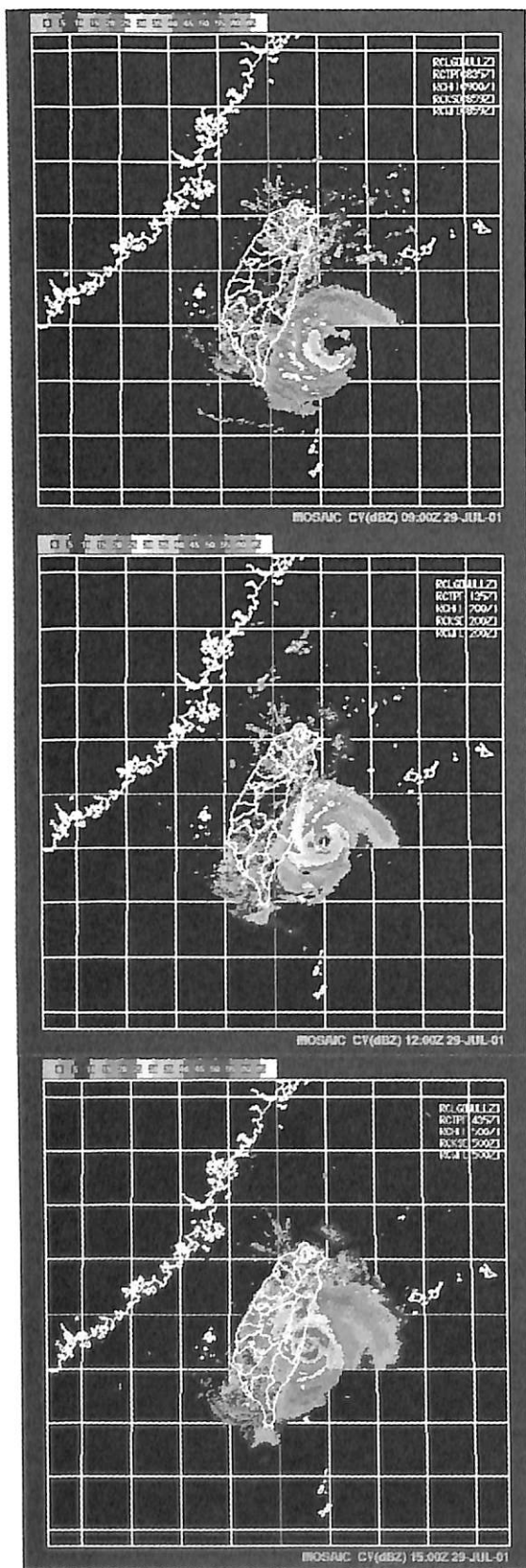


圖 5.22 桃芝颱風之雷達回波圖，時間各為 07 月 29 日 0900、1200、1500 UTC 時，摘自中央氣象局颱風資料庫

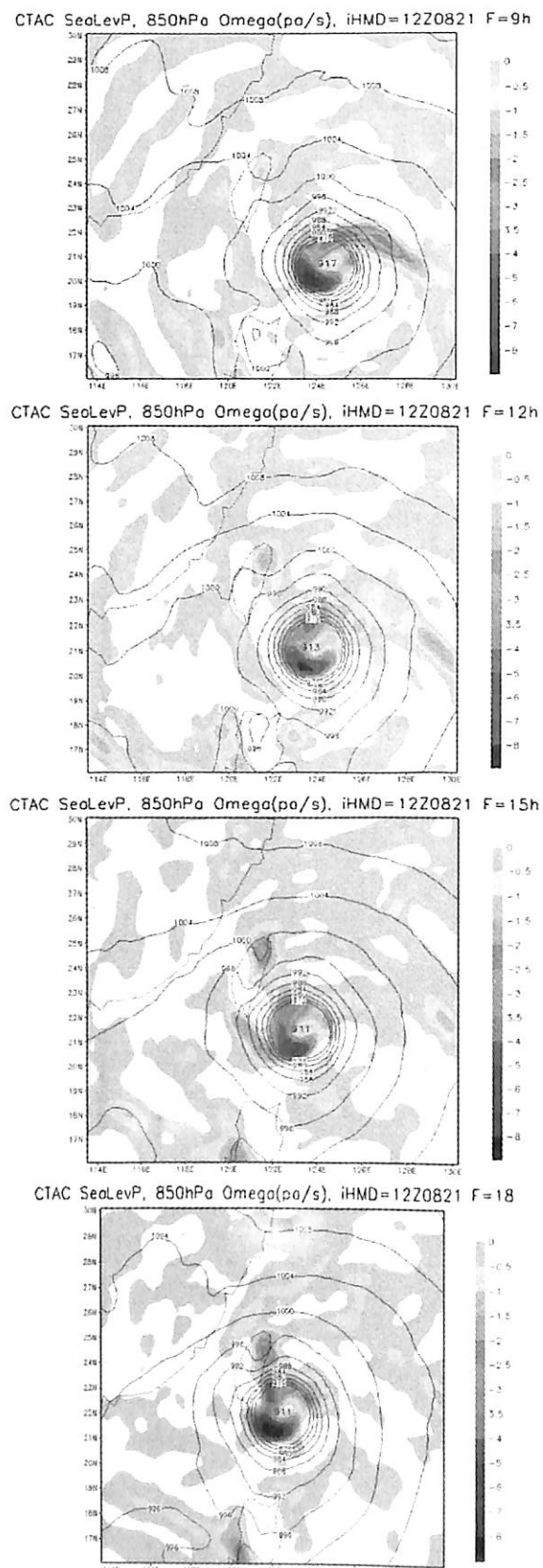


圖 5.23 碧利絲颱風之海平面氣壓 (hPa) 與 850hPa 之垂直上升速度圖 (Pa/s)，初始場時間為 08 月 21 日 1200 UTC，預報時間各為 9、12、15、18 小時

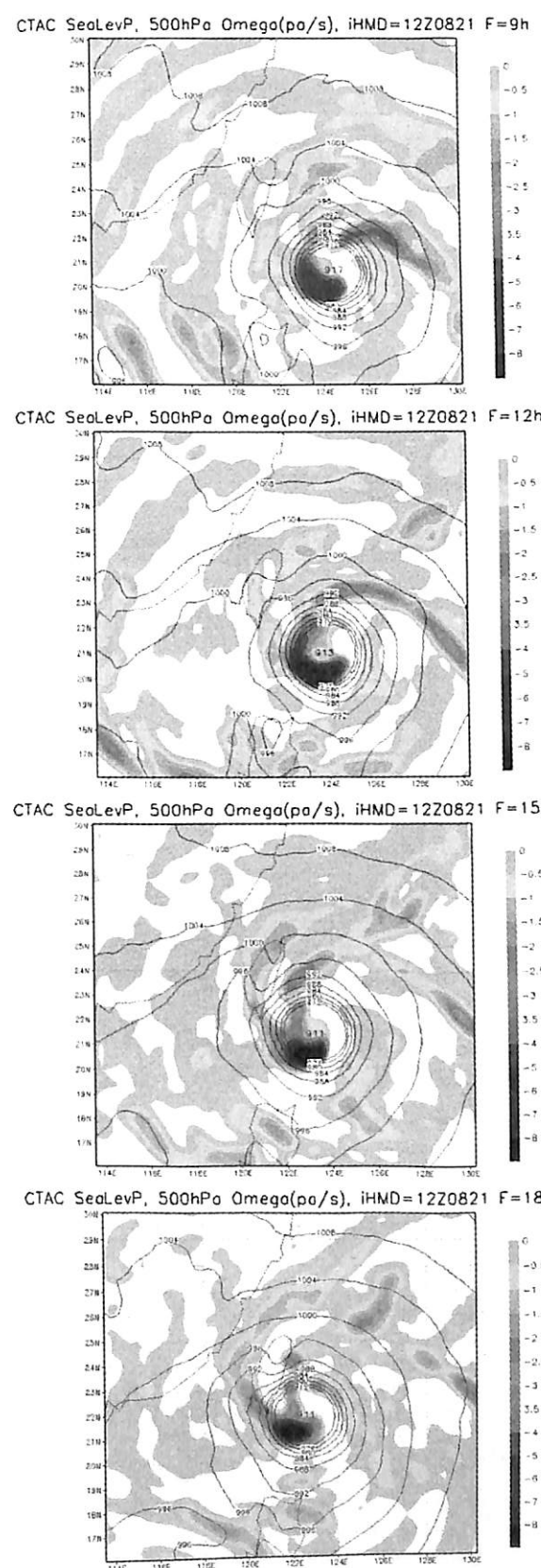


圖 5.24 碧利絲颱風之海平面氣壓 (hPa) 與 500hPa 面之垂直上升速度圖 (Pa/s)，初始場時間為 08 月 21 日 1200 UTC，預報時間各為 9、12、15、18 小時

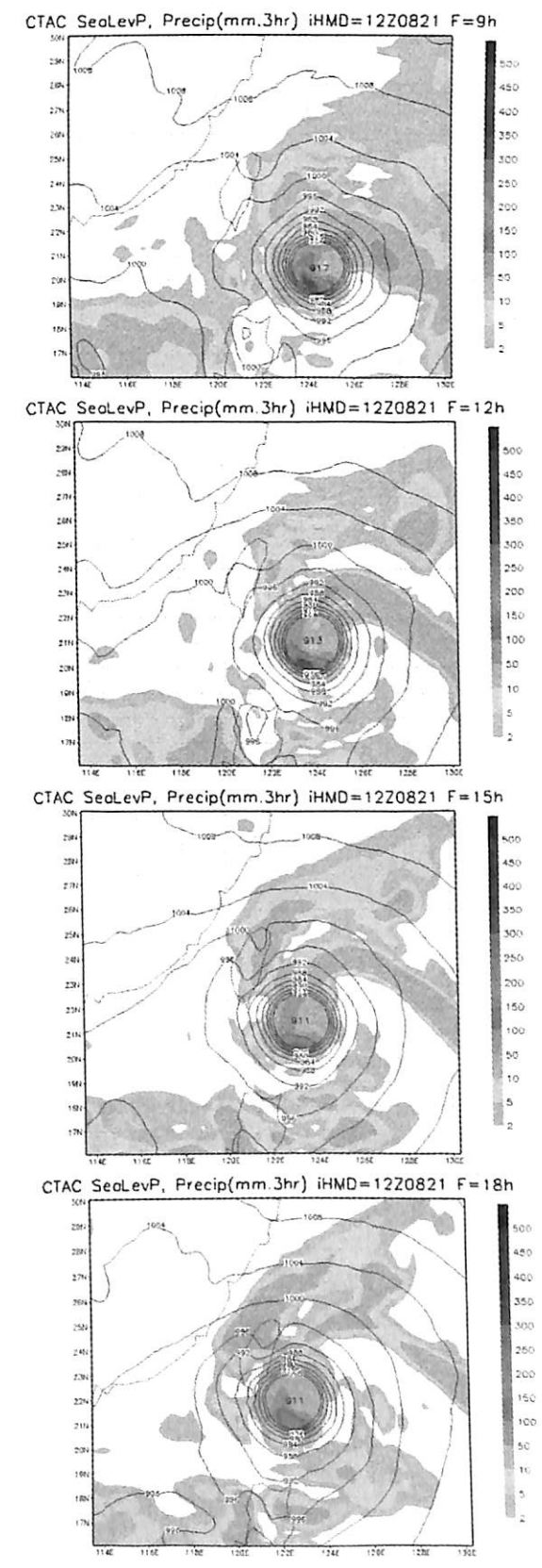


圖 5.25 碧利絲颱風之海平面氣壓 (hPa) 與三小時累積降雨分佈圖 (mm)，初始場時間為 08 月 21 日 1200 UTC，預報時間各為 9、12、15、18 小時

Land accumulated precip(mm) 12hr HDM=00222 ~12222 08 2000

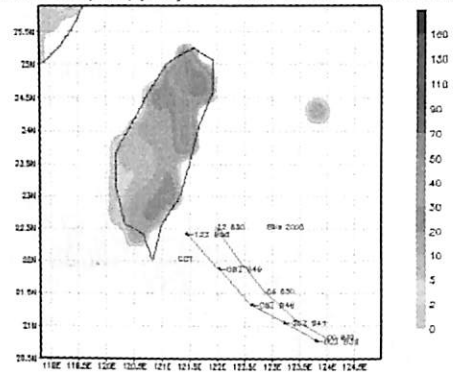


圖 5.26 模式預報陸地上累積降雨量(mm)圖，時間為8月22日08地方時至22日20地方時之12小時累積雨量，颱風實際路徑為上方路徑，下方為模式模擬之路徑

Land accumulated precip(mm) 12hr HDM=12222 ~00223 08 2000

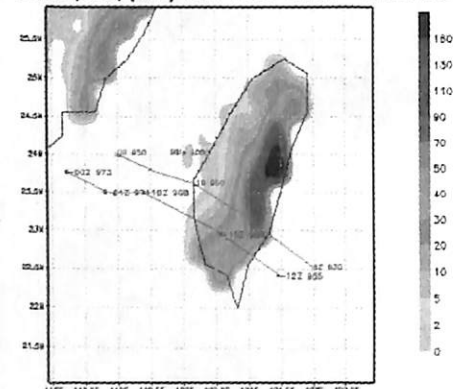


圖 5.27 模式預報陸地上累積降雨量(mm)圖，時間為8月22日20地方時至23日08地方時之12小時累積雨量，颱風實際路徑為上方路徑，下方為模式模擬之路徑

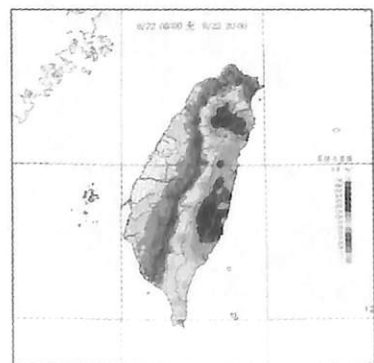


圖 5.28 中央氣象局累積降雨量(mm)圖，時間為8月22日08時至22日20時之12小時累積雨量



圖 5.29 中央氣象局累積降雨量(mm)圖，時間為8月22日20時至23日08時之12小時累積雨量

CTA CTAB CTABC tracks iHMDY=0021031 2000

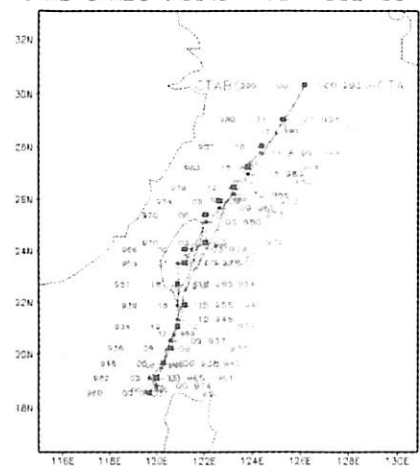


圖 5.30 象神颱風 CTABC、CTAB、CTA 實驗之路徑圖，以最低海平面氣壓為颱風中心之位置路徑

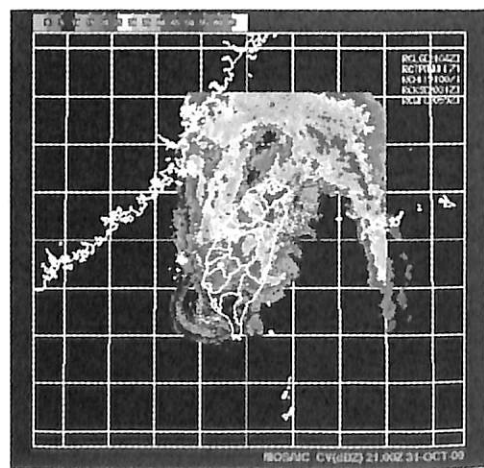
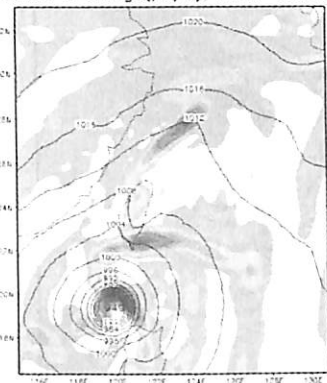
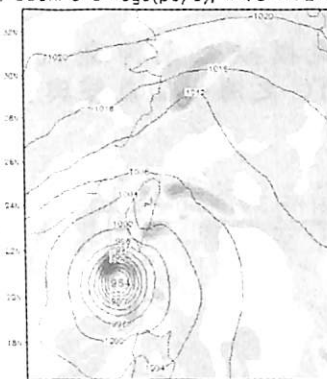


圖 5.31 象神颱風2000年10月31日2100UTC之雷達回波圖，摘自中央氣象局颱風資料庫

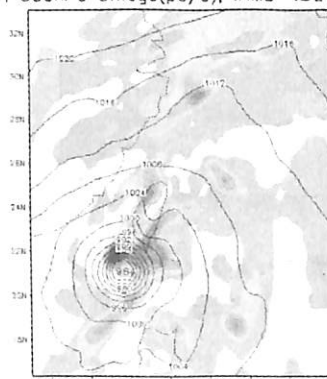
SeaLevP, 500hPa Omega(pa/s), iHMD=12Z1030 F=12h



SeaLevP, 500hPa Omega(pa/s), iHMD=12Z1030 F=18h



SeaLevP, 500hPa Omega(pa/s), iHMD=12Z1030 F=21h



SeaLevP, 500hPa Omega(pa/s), iHMD=12Z1030 F=30h

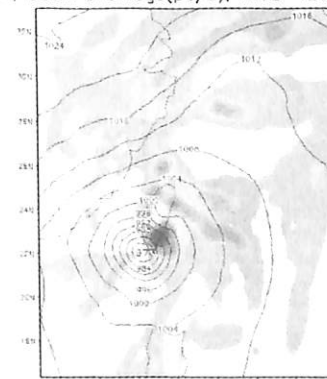


圖 5.32 模式模擬之象神颱風之海平面氣壓及垂直上升速度圖。初始場為10月30日1200 UTC，模擬時間各為12、18、21、30時

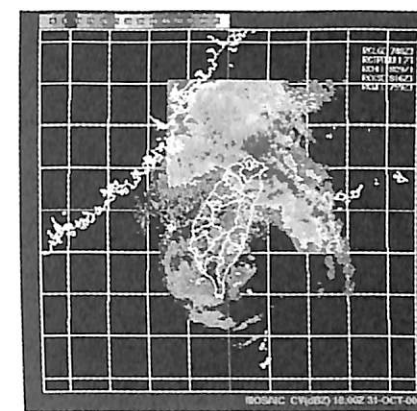


圖 5.33 象神颱風2000年10月31日1800 UTC之雷達回波圖

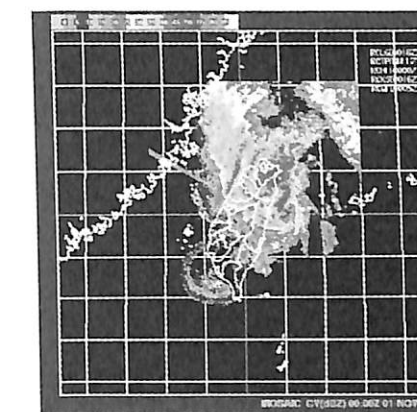


圖 5.34 象神颱風2000年11月01日0000 UTC之雷達回波圖

CTC SeaLevP, 500hPa Omega(pa/s) iHMD=001031 F=18h

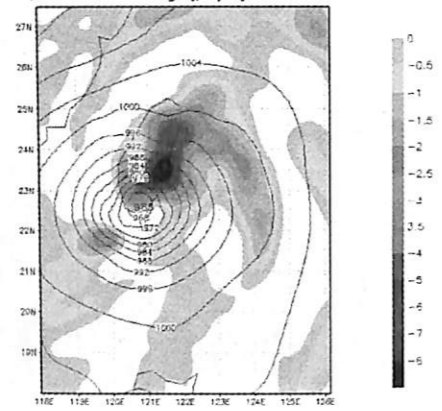


圖 5.35 模式模擬之象神颱風 10 月 31 日 1800 UTC 之海平面氣壓與垂直上升速度圖

CTC Precip(mm.3hr) iHMD=0021031 F=24h

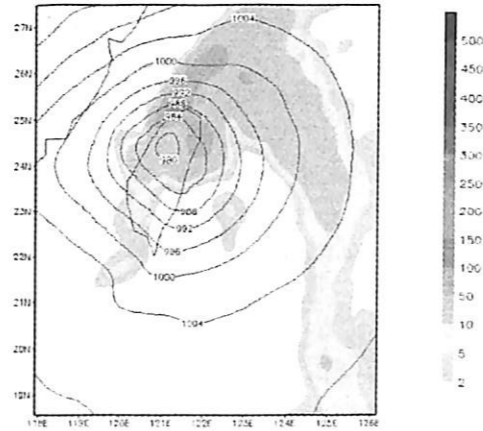


圖 5.36 模式模擬之象神颱風 11 月 1 日 0000 UTC 之海平面氣壓與垂直上升速度圖

SeaLevP, 850hPa Omega(pa/s), iHMD=0021031 F=24h

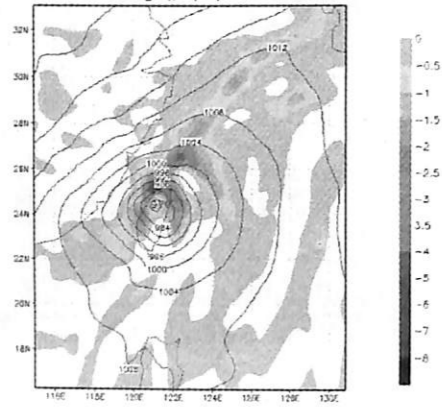


圖 5.37 CTABC 實驗模擬之象神颱風之 11 月 1 日 0000 UTC 之海平面氣壓與三小時累積雨量圖

CTC Precip(mm.3hr) iHMD=0021031 F=12h

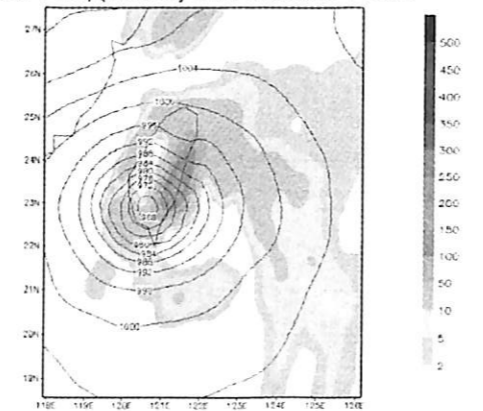


圖 5.38 CTC 實驗模擬之象神颱風之 11 月 1 日 0000 UTC 之海平面氣壓與三小時累積雨量圖

ctabc Precip(mm.3hr) iHMD=001031 F=24h

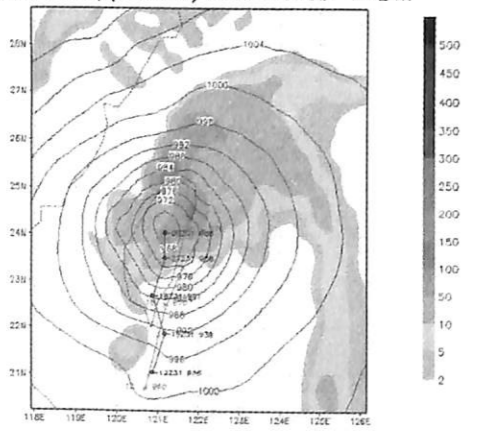


圖 5.39 模式模擬之象神颱風 10 月 31 日 1200 UTC 之海平面氣壓與三小時累積雨量(mm)

CTABC Land Precip(mm.12hr) HDM=1223110-0020111 F=12-24h

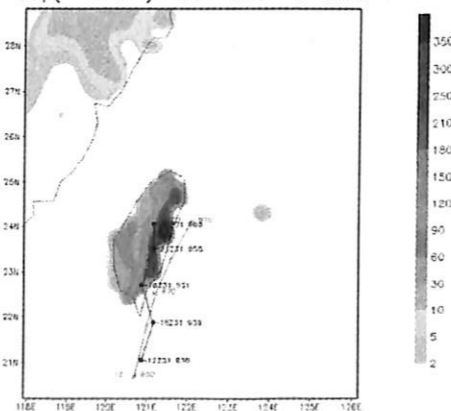


圖 5.40 CTABC 實驗模擬之象神颱風之 10 月 31 日 1200 UTC 至 11 月 1 日 0000 UTC 之十二小時陸地上累積雨量 (mm)，颱風實際路徑為右方路徑，左方為模擬之路徑

CTC Land Precip(mm.12hr) HDM=123110-000111 F=12-24h

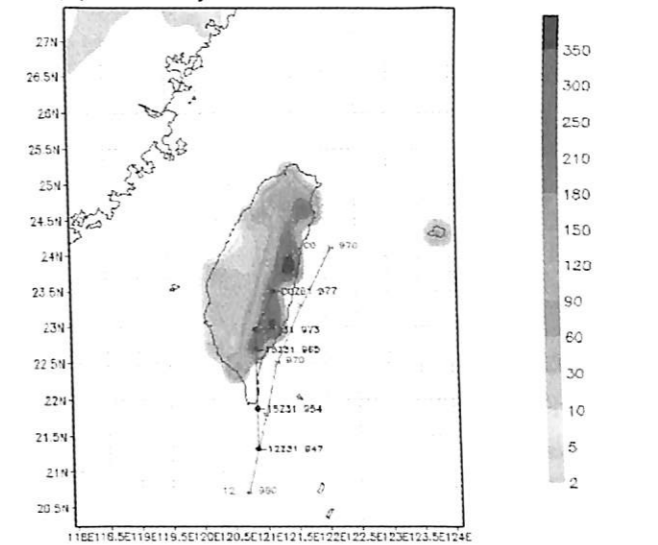


圖 5.41 模式 CTC 實驗模擬之象神颱風之 10 月 31 日 1200 UTC 至 11 月 1 日 0000 UTC 之十二小時陸地上累積雨量(mm)，實際路徑為右方路徑，左方為模擬之路徑

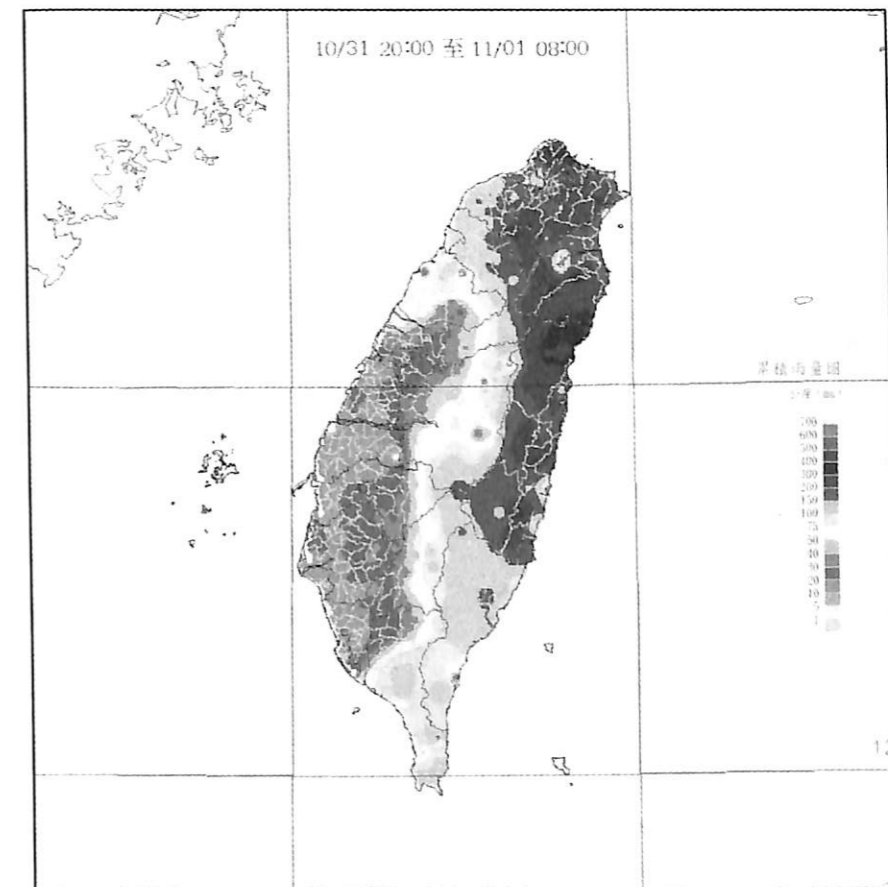


圖 5.42 中央氣象局之 10 月 31 日 1200 UTC 至 11 月 1 日 0000 UTC 之十二小時陸地上累積雨量圖

## 六、結論

### 6.1 結論

本研究以海軍氣象中心日常作業之解析度最高為三十公里之三重巢狀二倍水平解析度內嵌之區域波譜模式分析其在颱風預報之作業能量，對2000年之碧利絲、象神及2001年之桃芝颱風作個案模擬，探討有無作颱風渦旋初始化及多重颱風渦旋初始化與因應模式之可變內嵌水平解析度作直接內嵌與多重內嵌之實驗比較，探討模擬之颱風路徑、強度、及其結構與降雨的分佈之預報能力。

本研究之結果顯示，由於全球模式之解析度較粗使得颱風強度太弱及颱風位置較不精確，有必要在區域波譜模式上作颱風渦旋初始化植入。如在2001年之桃芝颱風個案中，雖然於全球模式中已有作颱風渦旋初始化之植入，但在區域波譜模式中未作颱風植入之實驗中，由全球模式中內嵌而來之初始場中之颱風強度太弱及位置有偏差，在預報初期即有向東北偏移情形，無法顯示颱風正確移行之西北方向與颱風中心強烈之風雨分佈。在有颱風植入之實驗，路徑與降雨表現較好，風雨集中在颱風中心，可避免模式上游全球模式中之颱風強度過弱及位置較不精確所導至之路徑偏差。

對於各模組中皆作颱風渦旋初始化之多重植入之實驗，結果顯示模式對於多重巢狀植入在路徑上並不敏感，在碧利絲與象神之二個案中，多重植入與單一植入近乎有相同之路徑。由於模式解析度之關係，模式所模擬之颱風強度皆較實際為弱，但多重植入有較強之颱風強度表現，在桃芝颱風之模擬中，在這模擬強度較弱及路徑模擬較差之個案，多重植入實驗之颱風強度較強，可能因有較強之強度而在路徑上較偏向實際路徑。

在巢狀內嵌與直接內嵌之實驗中，桃芝颱風與碧利絲個案顯示出，可能由於巢狀內嵌之上游模組之解析度較粗(RSMA 模組解析度為120km)出現路徑北偏之情形，產生以上游模組為基本場之下游模組路徑偏移情形，直接內嵌 GCT 實驗之解析度較高呈現較好之路徑表現，因此，我們認為較高解析度

之模組是必須的。

我們亦針對模式所模擬之颱風內部結構作探討。Bender 指出與氣旋移行之相對風場是一造成熱帶氣旋中平均輻合上升區域之重要因素，猶如其平均之降雨分佈，並與實際觀測颱風相互對應。本研究顯示模式模擬之颱風能表現出颱風之不對稱之垂直上升運動及其垂直上升運動關聯之降雨量的分佈。在碧利絲個案中，模式模擬顯示出其較強之垂直上升運動集中於南方象限，降雨量的分佈亦如是，比較模擬碧利絲登陸時之陸地上累積雨量與觀測值比較，模式可以模擬出合理之降雨分佈的預報能力。在模擬桃芝颱風之結構中，模式可以模擬出與雷達回波相當之南側有較強之上升區域與較強之雲水分佈。因由於解析度不足，模式所顯示出之雲水過少，無法顯示具颱風眼牆結構之上升區與眼牆之雲水分佈。

象神颱風之模擬中，在這受伴隨鋒面於高層有強之北向駛流導引影響而快速移行之颱風，模式能模擬出與象神颱風之前方具有強輻合上升區域之非對稱結構及伴隨颱風中心右前方出現之主要雨帶，與雷達回波圖顯示之強降雨區位於颱風之北側與右前方之主要雨帶位置相當。顯示這日常作業之30公里水平解析度模式，具有相當程度之颱風內部結構及相關聯之降雨分部模擬能量。在模擬颱風路徑較正確之象神颱風與碧利絲颱風等兩個個案中，比較颱風登陸時之地面降水，與觀測值比較，模式皆可以具有合理之陸地上降雨分佈的模擬。

### 6.2 未來展望

Liu et al.指出“我們可以有效模擬在熱帶環境場中之颱風路徑、強度及核心結構，使用一高解析度、有詳細之模式物理和適切之初始渦旋與整合相當之大環境場。”區域波譜模式對東亞地區的天氣系統掌握有不錯的表現，目前執行成效良好，在綜觀天氣之預報大環境場，大致而言均能有效地掌握，並能有效表現颱風之非對稱結構於30公里之水平解析度中。

因此，我們可以朝向具更高解析度及更詳細之模式物理如具有過冷態之混態(Mixed

Phase)五變數雲微物理法，正確之初始場和更精確之颱風初始渦旋如加入颱風即時觀測資料作渦旋初始之四維資料同化，作颱風之快速豪(大)雨預報，以增進防災效能。

## 七、參考文獻

郭鴻基，吳俊傑，李清勝，“天搖地動-颱風研究的挑戰”科學發展月刊，第29卷，第12期，859-866，2001。

王金慶、陳曉華、呂芳川、郭淑冷、于宜強、莊漢明、蘇良石、何台華，“巢狀區域波譜模式在東亞地區的應用”第六屆國防科技研討會論文集，677-683，1997。

呂芳川、王金慶、郭淑冷、何台華、陳曉華、于宜強、莊漢明，“區域波譜模式在颱風軌跡預報上的應用”航空氣象分析與預報研討會，61-67，1998。

陳得松、黃康寧、葉天降、彭順台，“中央氣象局颱風路徑預報模式之預報檢討及近況”天氣分析與預報研討會，103-110，2001。

蔡晉東，“巢狀波譜模式在東亞地區天氣預報上的應用”碩士論文，國防大學中正理工學院應用物理研究所，2001。

王金慶、呂芳川、陳曉華、何台華、郭淑冷、于宜強、莊漢明、蘇良石，“區域波譜預報模式對冷高壓南下現象之探討”中央氣象局天氣分析與預報研討會論文集，第1冊，231-263，1998。

蔡晉東、呂芳川、王金慶、莊漢明，“巢狀波譜模式在梅雨鋒面預報的個案研究”第一屆全國大氣科學研究生學術研討會，18，2000。

蔡晉東、呂芳川、王金慶、張凱軍、莊漢明，“SCSMEX 梅雨鋒面(IOP 2個案)降水之研究”八十九年國軍氣象學術研討會，61-66，2000。

劉廣英、徐天佑，“副低壓對颱風之影響”第十屆國防科技研討會，3-8，2001。

Hastenrath, S., Climate Dynamics of the Tropics, Kluwer Academic Publishers,

Madison, p. 226, 1990.

Riehl, H., Climate and Weather in the Tropics, Academic Press, London, New York, p. 611, 1979.

Kasahara, A., “A Numerical Experiment on the Development of Tropical Cyclone,” *J. Meteor.*, Vol. 18, p. 259-282, 1961.

Willoughby, H. E., Jin, H. L., Lord, S. J., Piotrowicz, J. M., “Hurricane Structure And Evolution as Simulated by an Axisymmetric, Non-hydrostatic Numerical Model,” *J. Atmos. Sci.*, Vol. 41, p. 1169-1186, 1984.

Holland, G. J., Merrill, R. T., “On the Dynamics of Tropical Cyclone Structure Changes,” *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, Vol. 110, p. 723-745, 1984.

Ross, R. J., Kurihara, Y., “A Numerical Study on Influences of Hurricane Gloria (1985) on the Environment,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 123, p. 332-346, 1995.

Liu, Y., Zhang, D. L., Yau, M. K., “A Multiscale Numerical Study of Hurricane Andrew (1992). Part I: Explicit Simulation and Verification,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 125, p. 3073-3093, 1997.

Lau, K. H., Zhang, Z. F., Lam, H. Y., “Numerical Simulation of the Typhoon Leo 1999 in the South China Sea,” *International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia*, Taipei, Taiwan, p. 275-280, 2001.

Juang, H. M. H., Kanamitsu, M., “The NMC Nested Regional Spectral Model,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 122, p. 3-26, 1994.

Jurraud, M., Campana, K. A., “Higher Order Finite-Differencing Experiments with a Semi-Implicit Model at the National Meteorological Center,” *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 107, No. 4, p. 363-376, 1979.

Girard, C., Cubaschet, U., “Comparison of

- Medium Range Forecasts Made with Models Using Spectral and Finite Difference Techniques in the Horizontal," ECMRF Technical Report, No. 23, p.96, 1981.
- Kanamitsu, M., "RSM Short Course GSM/RSM Basics, Second International RSM Conference," Mhpcc, Maui, Hi, p. 40, 2000.
- Segami, A., Kurihara, A. K., Nakamura, H., Ueno, M., Takano, I., Tatsumi, Y., "Operational Mesoscale Weather Prediction with Japan Spectral Model," J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 67, p. 907-923, 1989.
- Juang, H. M. H., Hong, S. Y., Kanamitsu, M., "The NMC Regional Spectral Model: An Update," Bull. Amer. Meteor. Soc., Vol. 78, p. 2125-2143, 1997.
- Hoyer, J. M., "The ECMWF Spectral Limited Area Model. Proceedings of 1987 ECMWF," Workshop on Techniques for Horizontal Discretization in Numerical Weather Prediction Models, p.343-359, 1987.
- Juang, H. M. H., "The NCEP Mesoscale Spectral Model: A Revised Version of the Non-hydrostatic Regional Spectral Model," Mon. Wea. Rev., Vol 128, p. 2329-2362, 2000.
- Hong, S. Y., Juang, H. M. H., Zhao, Q., "Implementation of Prognostic Cloud Scheme for a Regional Spectral Model," Mon. Wea. Rev., Vol. 126, p. 2621-2639, 1998.
- Kurihara, Y., Bender, M. A., Ross, R. J., "An Initialization Scheme of Hurricane Models by Vortex Specification," Mon. Wea. Rev., Vol. 121, p. 2030-2045, 1993.
- Kurihara, Y., Bender, M. A., Tuleya, R. E., Ross, R. J., "Improvements in the GFDL Hurricane Prediction System," Mon. Wea. Rev., Vol. 123, p. 2791-2801, 1995.
- Holland, G. J., "An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes," Mon. Wea. Rev., Vol. 108, p. 1212-1218, 1980.
- Mathur, M. B., "The National Meteorological Center's Quasi-Lagrangian Model for hurricane Prediction," Mon. Wea. Rev., Vol. 119, p. 1419-1447, 1991.
- Bender, M. A., "The Effect of Relative Flow on the Asymmetric Structure in the Interior of Hurricanes," Mon. Wea. Rev., Vol. 54, p. 703-724, 1997.
- Frank, W. M., Ritchie, E. A., "Effects of Environmental Flow upon Tropical Cyclone Structure," Mon. Wea. Rev., Vol. 127, p. 2044-2061, 1999.
- Shaopro, L. J., "Asymmetric Boundary Layer Flow Under a Translating Hurricane," J. Atmos. Sci., Vol. 40, p. 1984-1998, 1983.
- Lin, Y. L., Ensley, D. B., Chiao, S., Hill, C. M., "Orographic Influence on Rainfall and Track Associated with the Passage of Tropical Cyclones," International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia, Taipei, Taiwan, p. 258-263, 2001.
- Liu, C. H., Liu, M. S., "A Study of Typhoon QPF Estimation Using Radar and Satellite Data," International Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia, Taipei, Taiwan, p.184-186, 2001.

## The application of nested regional Spectral Model in typhoon prediction

Ching-chun Huang<sup>1</sup>, Chien-Ling Uang<sup>2</sup> and Fang-chuan Lu<sup>2</sup>  
 Weather Central, Weather Wing, Navy ROC<sup>1</sup>  
 Dept. of Applied Physics, CCIT/NDU, Taiwan, ROC<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Due to the needs of the operational forecast model in Navy Weather Center on duty, we have done some sensitivity tests in the three-nested- domain with 2-fold of horizontal interpolating resolution Regional Spectral Model (RSM) on typhoon's initialization and multiple initialization. Three typhoons affecting Taiwan during 2000 and 2001 have been simulated. And we have also done RSM experiments in direct nesting and multiple nesting strategies according to the model's property of varying nesting resolution applied to typhoon forecast.

The results show that the typhoon's initialization in RSM is necessary for predicting typhoon's intensity and track since the basic state of the model is from global model data in which the typhoon is too weak and may have inaccurate position. The prediction of typhoon's track is not sensitive to nested vortex initialization applied to each nested domain. However, the simulated typhoons have more reasonable intensity and rainfall pattern in experiments with nested vortex initialization. In general, the simulation of typhoons' intensity and track is better in higher resolution domain and also better in direct-nested to higher resolution domain simulation.

The RSM model can simulate reasonable asymmetry structure of typhoon and the associated rainfall pattern. In one case the primary rainband has been simulated. As in two cases while the forecast tracks are reasonably right, we get precipitation forecast on land qualitatively comparable to observations.

Key word : Regional Spectral Model