

# 中央氣象局 LAPS/MM5 系統在短時 (0-12 小時) 定量降雨預報之應用 — 梵高 (Vamco, 2003) 颱風個案研究

簡國基 鄧仁星

中央氣象局

(中華民國九十三年十一月三日收稿；中華民國九十四年三月二十五日定稿)

## 摘 要

本文使用中央氣象局 LAPS (Local Analysis and Prediction System) 非絕熱資料同化系統，即時整合五分山、七股、墾丁、花蓮都卜勒雷達徑向風場與回波資料、GOES-9 衛星資料及其他傳統觀測資料，建立高解析度 (9 公里) 非絕熱平衡初始場，熱啟動 MM5 模式，進行梵高 (Vamco, 2003) 颱風個案之短時定量降水預報研究。

校驗預報結果顯示，LAPS 熱啟動 MM5 (LAPS/MM5) 系統可降低模式驅動 (spin-up) 雲、雨的時間，有效在模式積分初期 (預報 0-6 小時) 掌握梵高颱風雨帶之移動、午後對流胞雲系之發展與消散；其預報準確度明顯優於不含 LAPS 雲分析的冷啟動實驗。進一步比較兩組預報實驗可知，經由 LAPS 雲分析引進都卜勒雷達資料及衛星資料，可在模式初始場中分析出較接近真實的大氣雲系分布，並透過 LAPS 平衡模組，架構三維非絕熱平衡初始場；此非絕熱同化過程，正是本文中熱啟動預報優於冷啟動預報的重要關鍵，換言之，將都卜勒雷達資料及衛星資料同化入模式初始場，對增進短時 (0-12 小時) 定量降水預報有很大助益。

侵台颱風的定量降水預報，是中央氣象局所致力發展的重點課題之一；本研究已初步證實，就增進颱風短時定量降水預報而言，LAPS 熱啟動 MM5 系統深具潛力。因此，未來將持續加強 LAPS/MM5 的分析、同化與預報功能，提升中央氣象局的颱風定量降水預報能力。

關鍵詞：熱啟動、颱風定量降水預報、LAPS/MM5

## 一、前言

颱風在台灣地區所導致之災害，主要導因於其侵台期間所伴隨之豪雨與強風。颱風豪雨常引發局部地區之山崩、溪水暴漲、土石流與淹水，不僅造成嚴重的經濟損失（平均每年超過 100 億元新台幣），亦對人民生命財產構成威脅。就災害防治需求而言，氣象研究之重點在於提高颱風路徑預測準確度，進而提升颱風豪雨及強風之預警能力。因此，颱風侵台期間之定量降雨預報，為台灣地區氣象防災與減災之重要課題。

數值模擬研究結果顯示，侵台颱風所伴隨之降雨分布與台灣地形密切相關 (Wu and Kuo 1999)，然而，模式對颱風眼牆與颱風雨帶之定量降雨預報能力，仍有必要進一步研究與提升 (Wu 2001； Lin et al. 2002)。就短時 (本文定義為 0-12 小時) 數值預報而言，現行數值模式於剛開始積分 12 小時期間，普遍存在著驅動模式雲、雨的問題 (spin-up problem； Heckley 1985； Donner 1988)，嚴重降低中尺度模式之短時定量降水預報能力。Mohanty et al. (1986) 即闡釋，絕大多數天氣預報模式的調整問題，皆是由於模式積分初期，無法正確掌握大氣凝結及潛熱釋放過程。探究其原因主要有二：一為大氣之觀測網，不足以解析大氣濕度及輻合 (散) 場分布；另一則為大部分模式初始化模組，皆使用絕熱初始化過程，導致雲、雨等重要非絕熱資訊，無法引進模式初始場。根據 Tarbell et al. (1981) 估計，大氣中只要出現約 1cm/hr 之降水率，非絕熱作用在  $\omega$  方程中即扮演著重要角色，顯見非絕熱效應在模式初始化過程的重要性。

由於大氣雲、雨等非絕熱資訊，對數值模式積分初期之準確度有很大影響；過去曾有多位學者投入非絕熱初始化研究，試圖降低模式驅動雲、雨的時間。Krishnamurti et al. (1991) 即使用實際觀測降水率，以積雲對流參數化進行倒退計算，藉以反推求取大氣中水氣及潛熱之垂直分布，再將之引進模式初始場進行預報，結果顯示，此法可有效加強模式積分初期的降水率，縮短模式調整時間。Harms et al. (1993) 使用類似於 Krishnamurti et al. (1991) 的方法，先求出初始時間之潛熱垂直分布後，引進垂直正模初始化系統 (Vertical normal-mode initialization) 進行分析，加強模式初始場的非絕熱資訊。此外，除利用降水率反推潛熱分布外，過去亦有多位學者透過觀測資料進行非絕熱分析；如 Puri and Miller (1990) 即使用衛星 OLR (Outgoing Longwave Radiation) 資料推算潛熱垂直分布；Raymond et al. (1995) 利用 SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) 資料計算雲水、雲冰之垂直分布；Ruggiero et al. (1996) 則以觀測降水量、估計之雲頂高度，配合大氣熱力場、運動場推算層狀降水區的潛熱垂直分布。歸納其研究結果顯示，有效整合大氣非絕熱資訊引進模式預報初始場，預期將可提升中尺度模式之短時定量降水預報能力。

近年來，隨著中央氣象局積極推動觀測現代化，台灣地區之氣象觀測資料量愈來愈多，種類更加多元化，資料之空間與時間解析度也持續提高；相當適合發展一套能即時整合雷達、衛星及各類傳統觀測資料之同化系統，幫助天氣預報員在有限的時間內，進行氣象資料整合分析。有鑑於此，過去三年來中央氣象局與美國海洋大氣總署 (National Oceanic and

Atmospheric Administration, NOAA) 所屬預報系統實驗室 (Forecast Systems Laboratory, FSL) 積極合作開發 LAPS 資料同化系統 (Local Analysis and Prediction System; McGinley et al. 1991; Albers et al. 1996; Jian et al. 2003), 並進一步將 LAPS 所產生的非絕熱大氣初始場導入 PSU/NCAR MM5 (Version 3.5; Grell et al. 1994) 進行短時數值預報 (以下簡稱為 LAPS/MM5 系統), 2003 年 LAPS/MM5 系統已在中央氣象局的 PC Cluster (Linux 平台) 建置完成 (Jian et al. 2003), 每日進行 8 次 (00Z、03Z、06Z、09Z、12Z、15Z、18Z 及 21Z) 預報。

根據 Shaw et al. (2001) 研究結果顯示, LAPS/MM5 系統在美國科羅拉多州之短時預報能力優於現行的冷啟動 (Cold Start) 模式預報; Jian et al. (2003) 就 2002 年辛樂克 (Sinlaku) 颱風的研究結果亦顯示, 將五分山都卜勒雷達資料整合進 LAPS/MM5 系統, 對辛樂克颱風侵台期間之定量降水預報有明顯助益; 由此可知, 非絕熱資料同化對提昇短時定量降水預報相當重要。本文除延續 Jian et al. (2003) 研究外, 並將再引進 GOES-9 衛星資料及墾丁、七股與花蓮都卜勒雷達資料, 進行 2003 年梵高 (Vamco) 颱風個案之 0-12 小時定量降水預報研究。第二節簡介使用資料、LAPS 分析方法與 MM5 模式設定; 第三節比較梵高颱風模擬路徑與雲系結構; 第四節利用台灣地區 391 個雨量站 (見圖 1) 觀測資料進行定量降雨預報校驗; 第五節為總結與討論。

## 二、資料與 LAPS/MM5 系統

### (一) 使用資料

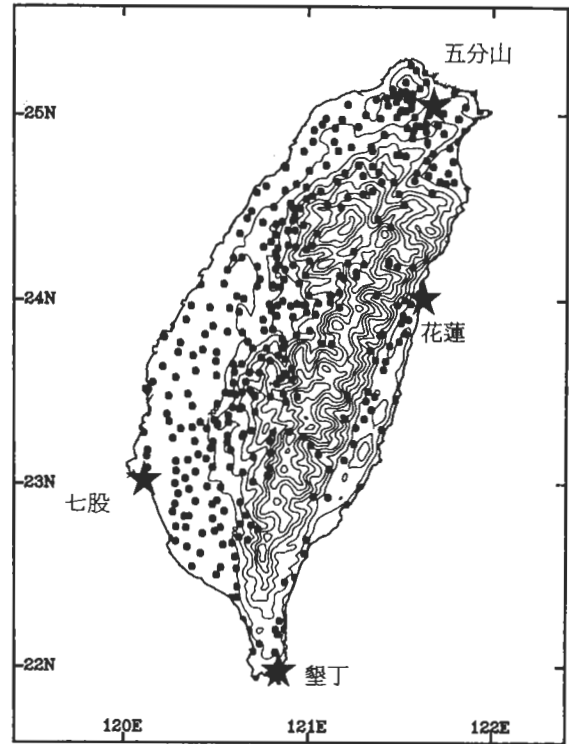


圖 1 台灣地區 391 個雨量站及 4 個都卜勒雷達站位置分布圖; 台灣地形等值線間距為 300 公尺。

LAPS/MM5 系統所使用之分析背景場來自中央氣象局 NFS (Nonhydrostatic Forecast System, 15 公里) 模式資料。由於背景場中之颱風渦旋位置、環流結構可能與利用雷達、衛星等資料分析之結果有所差異; 因此, 系統將先應用類似於 NCAR-AFWA (National Center for Atmospheric Research-Air Force Weather Agency) 方法 (David and Low-Nam 2001) 於 NFS 模式資料中進行颱風渦旋植入, 修正模式背景場的颱風位置與強度, 再進行 LAPS 分析, 目前作業中所引進之各類觀測資料如下:

- 中央氣象局之 NFS (15 公里) 區域預報模式資料, 為 LAPS 之模式背景場。

- 台灣地區密集地面觀測網(surface mesonet)、各機場逐時天氣報告(METAR 資料)、浮標(BUOY)、船舶報告( SHIP )、綜觀觀測(SYNOP)、探空(sounding)及 GPS Dropsonde 等資料(見圖 2)。
- GOES-9 衛星之  $11\ \mu\text{m}$  之紅外線頻道及可見光頻道資料，進行三維雲分析。
- 台灣地區都卜勒雷達觀測網，包括五分山、墾丁、七股及花蓮雷達(圖 1) 觀測之回波場與徑向風場資料；進行 LAPS 風場分析及三維雲分析。
- 使用 ACARS(Aeronautical Radio Incorporated, Communications, Addressing and Retrieval System) 飛機觀測資料，加強風場、溫度場及濕度場之分析。

目前 LAPS 的作業型態是逐時進行資料同化分析，由於各種觀測資料的時間間隔不同，也不一定會在同一時間進行觀測；因此，被同化進 LAPS 的資料必須滿足下列二個檢查條件：(1)該筆資料時間必須介於正點時間前後十分鐘，例如：在時間  $t$ ，滿足此條件的資料時間區間為  $t-10 \sim t+10$  分鐘。(2) 若有同類多筆資料滿足條件 (1) (如都卜勒雷達資料)，則選取最接近正點時間的該筆資料。選定所有符合條件的觀測資料後，LAPS 會在每小時的第 20 分鐘進行資料同化分析，完整的分析程序大約須費時 10 分鐘。

## (二) LAPS 非絕熱資料同化

LAPS/MM5 系統之運作流程如圖 3 所示，在觀測資料引進系統後，LAPS 隨即進行各氣象場之中尺度分析，現行台灣地區分析之水

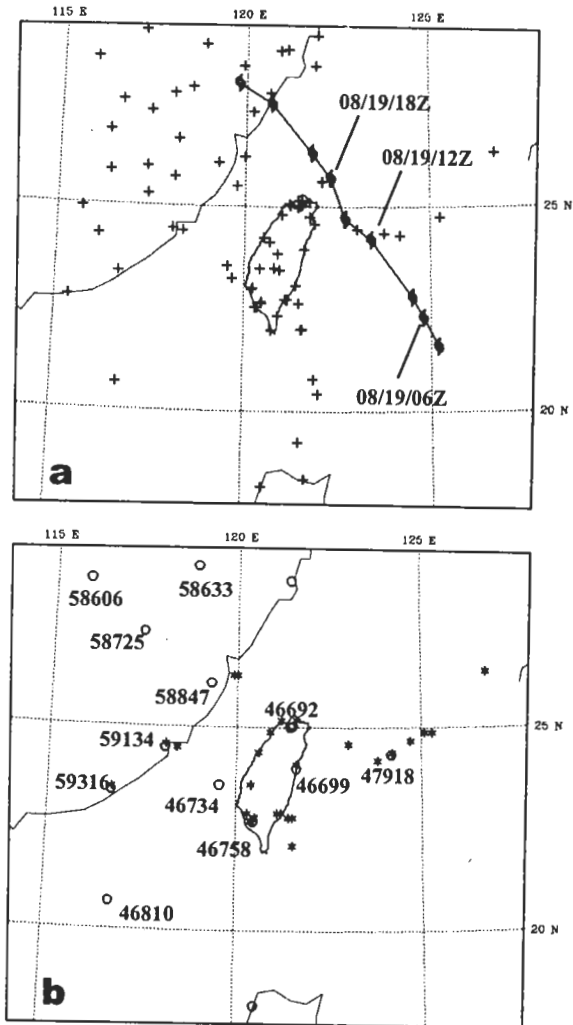


圖 2 (a) LAPS 資料同化區域網格設定 (水平解析度 9 公里)；符號 “+” 代表地面觀測站位置。(b) MMS 預報區域網格設定 (水平解析度 9 公里)；符號 “\*” 代表機場觀測站 (METAR) 位置，符號 “o” 代表探空觀測資料點位置。圖 (a) 中同時繪出梵高 (Vamco, 2003) 颱風之最佳路徑。

平解析度為 9 公里，涵蓋範圍 (圖 2a) 於東西向及南北向分別為 1368 公里  $\times$  1260 公里 (153  $\times$  141 個水平網格點)；垂直由地面向上延伸至 100hPa，解析度為 50hPa，共有 21 層。LAPS 非絕熱資料同化系統是由風場分析、地面場分析、溫度場分析、雲分析、水氣場分析及動力

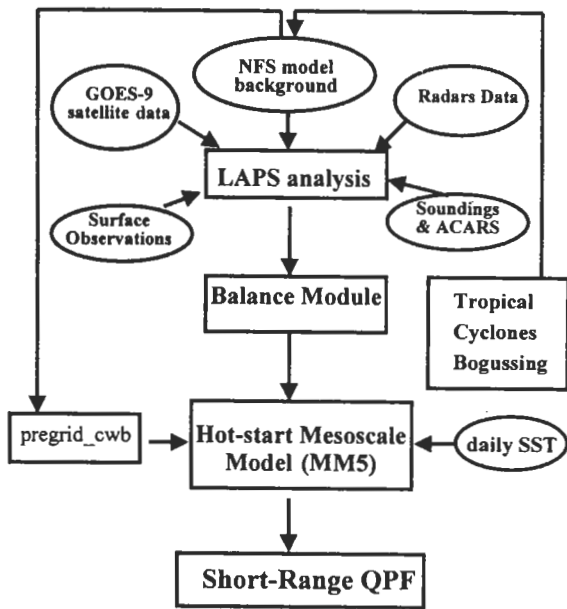


圖 3 中央氣象局短時數值預報系統 (LAPS/MM5) 作業流程示意圖。

平衡模組所組成，以下簡介各模組之分析方法。

#### • 風場分析

LAPS 採用多次迴圈方式進行風場分析，第一迴圈首先讀進地面觀測 [包括：機場天氣報告 (METAR)、浮標 (BUOY)、船舶報告 (SHIP)、氣象站天氣觀測 (SYNOP)]、探空、飛機觀測等風場資料，透過背景高度場 (來自背景模式，NFS Model) 之輔助，將觀測的風向、風速資料置於分析網格點上，可得觀測內插風場；接著將觀測內插風場減去模式背景風場 (來自 NFS 模式，first guess)，稱之為差量場，再來是將差量場以 Barnes (1964) 權重函數進行逐次修正法 (Successive Correction) 客觀分析；權重函數中之影響半徑將於逐次計算中隨著減小，且每次

分析之結果都當作為下一次分析之背景場，如此循環分析，將可逐步顯現出大氣之中、小尺度風場特徵。接著將客觀分析後之差量場，加回模式背景風場，可得初步三維風場。

繼續進入風場第二迴圈分析，此迴圈之主要目的為引進都卜勒雷達三維徑向風資料。首先讀進雷達徑向風場，接著由第一迴圈風場推算出相對於雷達的切向風分量，與徑向風進行合併；然後將合併風場再如同第一迴圈程序分析一次，即可得第二迴圈風場。若有雙或多雷達同時觀測時，則將藉第二迴圈風場，推導出第二個雷達的切向風分量，並與徑向風場結合，再進入第三迴圈分析。如此循環，直到所有雷達都計算完畢，即是最終之三維水平風場。

#### • 地面場分析

LAPS 採用地面觀測站資料、衛星 IR 頻道亮度溫度資訊，並結合模式背景場，進行地面場分析。就觀測而言，地面與近地表的資料量一般皆多於中、高層大氣，且觀測之時間與空間解析度也較密集。換言之，每隔數分鐘，即可能有新資料加入分析系統，因此，資料同化、整合與檢定於地面場分析過程中相當重要。LAPS 使用 Kalman Filter (Kalman and Bucy 1961) 方法，進行地面場之資料處理與檢定；此方法已廣泛應用於太空船訊號之處理與控制，且亦逐漸為氣象界所引用，詳細的理論推導與計算方程式可參閱 McGinley and Smart (2001)。

經過資料整合與檢定之後，讀進背景模式 (NFS) 地面資訊，當作第一猜測場；接著應用類似於風場分析之第一迴圈與逐次修正客觀分析法，進行地面風場、溫度場及氣壓場分析。最

後應用變分分析 (見 McGinley et al. 1991) , 促使風與氣壓滿足運動方程式。

### • 溫度場分析

溫度場分析為 LAPS 雲分析之前的必要程序；完整之 LAPS 溫度場分析，是由模式背景溫度場、溫度觀測資料與 LAPS 地面溫度場，三大部分結合而成。其中，就觀測而言，LAPS 所能整合之溫度資料繁多，例如：探空、地面測站資料、衛星 (如：SSM/T (Special Sensor Microwave/Temperature)、SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager)、TOVS (Television and Infrared Observation Satellite Operational Vertical Sounder))、飛機 (ACARS) 等觀測，現行台灣地區溫度分析所採用的資料，以探空、地面測站與飛機觀測為主。

LAPS 溫度場分析流程，相當類似於風場分析之第一迴圈。首先，讀進所有觀測溫度，並分別置於適當網格點，接著將模式背景溫度場 (來自 NFS 模式，first guess) 內插至分析網格上，且與觀測值相減，可得到差量場；然後採用逐次修正 (Successive Correction) 法進行計算；過程中仍將每次分析結果當作下一次計算之背景場，且逐次縮小影響半徑，凸顯大氣之中、小尺度溫度特徵。在逐次修正法計算結束後，隨即將此差量分析場加回模式背景溫度場，即可得初步的分析結果。

下一步驟為引進 LAPS 地面場分析的溫度資料，進行邊界層溫度結構調整。LAPS 定義地表以上 50 hPa 範圍為邊界層，然後利用初步溫度分析場，經由內插可分別計算邊界層頂、邊界中間層 (地表以上 25 hPa 的位置) 及地表之內插溫度；繼而以 LAPS 地面場分析之溫度，減去內插地表氣溫，可得地表偏差場 (以 bias 表

示)，最後使用下述條件，重新定義、計算邊界層區之溫度值，即完成三維溫度場分析。至於 LAPS 之高度場，則是由溫度場透過靜力平衡關係式，進一步推算所得的產品。

邊界層頂 ( $T_{sfc-50hPa}$ )：使用初步溫度分析場進行內插

邊界中間層 ( $T_{sfc-25hPa}$ )：初步溫度內插結果  
+0.5\*bias

地表氣溫 ( $T_{sfc}$ )：使用地面場之溫度分析結果

### • 雲分析

氣象衛星是目前觀測大氣雲分布之最佳工具，但是，只透過紅外線及可見光雲圖，我們仍不易獲知雲在大氣中立體分布的完整資訊。有鑑於此，LAPS 結合機場天氣報告 (METAR)、飛機、衛星紅外線頻道 (11  $\mu m$ )、可見光頻道及都卜勒雷達觀測資料，配合 LAPS 溫度場與高度場分析結果，進行三維雲分析 (Albers et al. 1996)，步驟簡述如下：

步驟一：將機場天氣報告 (METAR) 及飛機之雲觀測報告，內插至 LAPS 網格點，組成初步分析，提供雲層之垂直與水平大致分布。

步驟二：引進模式背景場的雲液態水、雲冰、混合比等雲分布資訊，並使用一次迴圈之 Barnes (1964) 分析法，結合步驟一的觀測資料，進行逐層水平分析，可得初步三維雲結構；然後藉由 LAPS 之溫度及高度分析場，推導出此初步雲結構的三維亮度溫度分布。

步驟三：利用衛星觀測之雲頂溫度值，調整步驟二所推導的初步雲結構。但由於衛星紅外線頻道，對於低雲的探測較不

靈敏，因此，調整法則為，若步驟二分析場的雲頂高度低於 800 公尺，則使用步驟二結果為雲頂溫度，亦即該區域不進行修正；反之，雲頂高於 800 公尺的區域，即利用衛星觀測之雲頂溫度加以修正；換言之，步驟二中雲頂高於 800 公尺之雲厚度將因而改變，此調整程序完成後的結果，將之稱為「步驟三雲結構」。

步驟四：同樣使用衛星紅外線頻道觀測之雲頂溫度場，並配合 LAPS 之溫度場與高度場分析結果，推算出雲頂高度場，接著再去調整「步驟三雲結構」。此處之調整屬於雲系追加過程，可分為二種情況，一是原本步驟三就已分析出該處有雲，但雲頂低於衛星推算之雲頂高度值，此時，就在步驟三結果上方追加雲系；另一是衛星觀測有雲，但在步驟三中並未分析出來，則以衛星資料為主，在該處追加上雲系，此情況通常發生於高雲族，追加時則假定雲厚度為 1500 公尺。本步驟計算完成後，先稱之為「步驟四雲結構」。

步驟五：引進雷達回波場資料，當雷達觀測到回波時，先以地形雜波場及其他天氣資料(衛星、地面觀測等)，進行假波與雜波濾除，然後，將回波高度高於雲底之部份，加入「步驟四雲結構」，加強雲分析。

步驟六：最後是引進衛星可見光頻道資料，修正雲覆蓋率。步驟一至五之三維雲分析，產品是以雲覆蓋(cloud cover，數

值為 0~1)來表示，概念上則可解釋為「雲系在網格立體箱形內所占的比率」。當 LAPS 引進可見光資料後，先將其投影、內插至分析網格點上，繼而利用 Albers (1992) 之訂正法，進行雲圖亮度修正，並推算出反照率與雲覆蓋率。由於可見光資料的解析度高，且具有較佳之低雲顯示能力，因此，若步驟一至五分析之雲覆蓋值，高於可見光所推導的結果，即以可見光衛星資料進行修正，完成後即可得最終之三維雲分析產品。

LAPS 雲分析產品，是熱啟動 (Hot Start) 中尺度數值模式的重要關鍵，除雲覆蓋 (cloud cover) 以外，尚有許多產品是得自於進一步之推導，如：三維雲種研判、雲區垂直運動場分析、雲水及雲冰分布，其詳細之推演計算過程可參閱 Albers et al. (1996)。圖 4 (Bennett et al. 2000) 即使用 LAPS 進行雲分析之三維雲水與雲冰分布，其中，若 LAPS 的雲種分類屬於層雲族，雲內垂直運動採用定值 (0.05 m/s)；若為積雲族，則以拋物線形垂直分布來定義垂直速度，其極大值與積雲厚度成正比，與水平網格間距成反比；這些大氣雲資訊，是 LAPS 雲分析中重要且獨特的產物。若資料同化流程缺乏 LAPS 雲分析之運作，則模式初始場將無雲水、雲冰及雲區垂直運動資訊；當模式開始積分後，無 LAPS 雲分析的預報場如同冷啟動預報，必須由模式的物理過程逐漸驅動雲雨，降低了數值模式的短時定量降水預報能力；反之，若模式的初始場能有效引進 LAPS 雲分析產品，數值模式即可迅速掌握雲雨分布，對短時定量天氣預報有很大助益。

- 水汽場分析

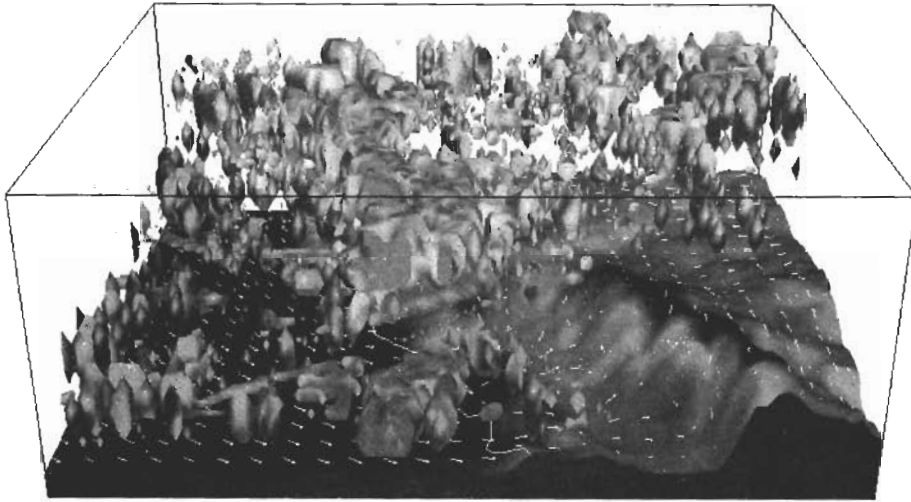


圖 4 LAPS 雲分析之大氣三維雲水與雲冰分布 (摘自 Bennett et al. 2000)。

當風場、地面場、溫度場及雲分析都完成後，即可進行水氣場分析 (Birkenheuer, 2001)，計算分析過程中將需引用地面場、溫度場與雲分析之產品。水氣分析採用的是變分法，說明如下：首先，相似於 LAPS 的其他分析，使用模式背景場之水氣分布，當作第一猜測場(first guess)；接著，以 Barnes (1964) 之客觀分析法，引進探空資料，然後利用 LAPS 地面場之水氣分析結果，調整邊界層水氣結構，所得之初步結果以「BACK」表示。

水氣分析之另一主要資料來源為衛星觀測，因此，美國 FSL 將 GOES-8 衛星的第三頻道( $6.7 \mu\text{m}$ )觀測結果，透過變分法計算程序 (Birkenheuer 2001)，引進 LAPS 之水氣場分析，校驗結果顯示，其對於高對流層 (500 hPa 以上) 的水氣分析有正面助益。除此之外，LAPS 還可引用 GOES 衛星之可降水量導出資料(GVAP, GOES-derived layer precipitable water data)、全球定位系統之水氣資料(GPS data, Global

Positioning System vapor delay data)及 LAPS 之雲分析結果，利用變分法演算調整「BACK」場 (Birkenheuer 2001)，求取三維水氣分析場。就台灣地區而言，目前僅使用「BACK」場及 LAPS 雲分析結果，進行台灣地區水氣場分析。

#### • 動力平衡模組

動力平衡模組是應用 LAPS 進行 MM5 預報前相當重要的程序，主要目的在於促使動量場、質量場與雲分析之垂直運動場三者間保持動力上平衡，降低模式調整時間，並避免模式積分啟動時之不當振盪。計算過程將使用 LAPS 風場、地面場與雲分析所得之三維動量場，與 LAPS 溫度 (高度) 場分析之三維質量場 (換算為重力位高度)，利用變分法進行客觀分析 (Variational Objective Analysis Scheme ; McGinley and Smart 2001)，使其同時滿足運動定律及質量保守。此外，模式非絕熱初始場中所需之雲水、雲冰與雲區垂直運動場，皆來自於 LAPS 雲分析，故三維雲分析是首要且不可



或缺的前置步驟。

### (三) MM5 數值預報

中央氣象局短時數值預報系統，目前使用 MM5 (Version 3.5) 進行中尺度數值預報，模式水平預報範圍 (圖 2b) 與 LAPS 分析範圍相同，水平網格間距為 9 公里 (153 點 × 141 點)，垂直為 30 層沿地形起伏之  $\sigma$  座標層，積分時間步長 27 秒。側邊界使用 relaxation/inflow-outflow 計算法，資料來自 NFS (15 公里) 模式；下邊界海溫部分使用 NCEP 日海溫資料，上邊界應用輻射邊界條件，阻止並減少波動能量反射回模式內部。

模式物理過程方面，LAPS/MM5 系統以預報中尺度天氣系統之演變為主，模式預報過程不採用積雲參數化，直接使用 Schultz 微物理過程 (Schultz1995)；行星邊界層參數化採用 MRF 法，其為改良自 NCEP MRF 模式中之邊界層參數化 (Hong and Pan1996)，適合進行高解析之 PBL 模擬；地面層使用五層土壤模式 (5-layer soil model)，輻射參數化則使用較高效率之 RRTM (Rapid Radiative Transfer Model, Mlawer et al.1997) 方法。

### 三、梵高颱風路徑與雲系結構

梵高颱風於 2003 年 8 月 19 日 0300 UTC 在距離台灣東南方約 500 公里的海面上形成，颱風最佳路徑如圖 2a 所示；梵高颱風生成後，快速朝西北行進，暴風圈於 8 月 19 日晚間 (地

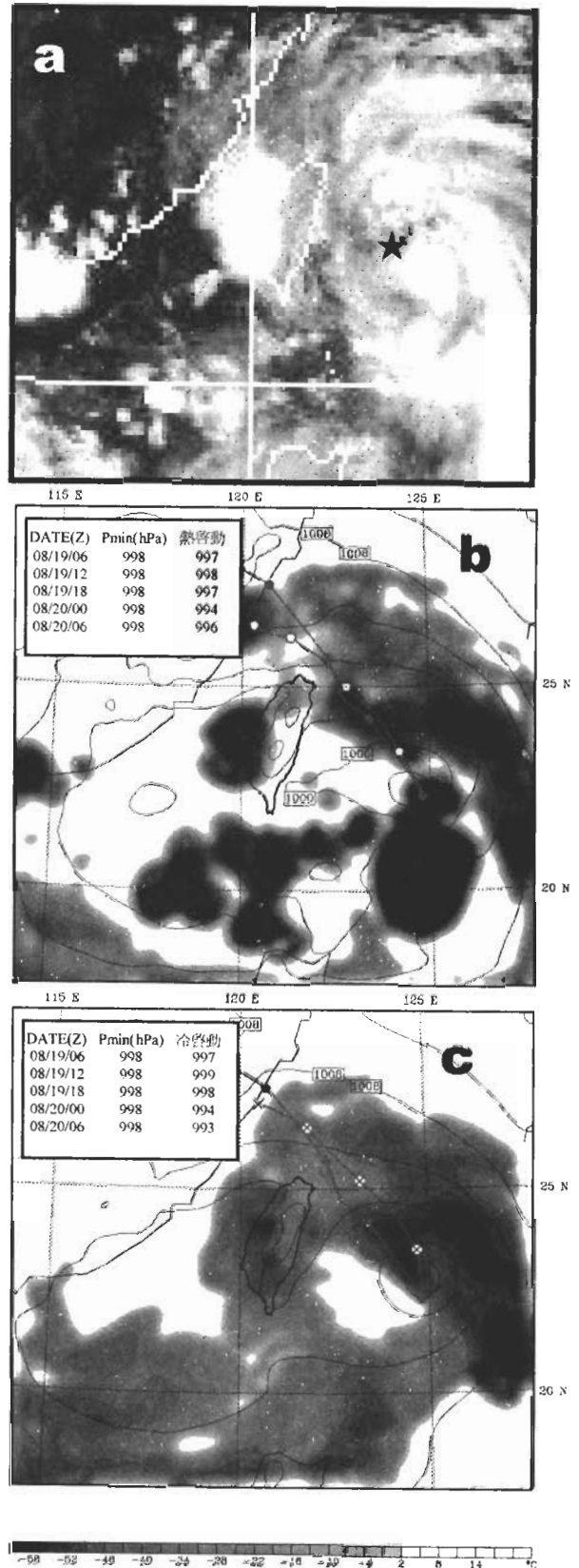


圖 5 (a) 2003 年 8 月 19 日 0900 UTC 之紅外線衛星雲圖，(b) 熱啟動模式之 3 小時 (19 日 0600 UTC + 3 hrs) 雲頂溫度預測場，圖中同時繪出梵高颱風最佳路徑、中心氣壓估計並與模式預報比較，(c) 同 (b) 但為冷啟動預報。

方時) 掠過台灣東北部及北部陸地, 強度則一直維持在輕度颱風下限 (18 m/sec); 颱風中心通過台灣北部海面並於 20 日 0200 UTC 左右登陸大陸福建省, 20 日 0600 UTC 減弱為熱帶性低氣壓, 生命期僅共 27 小時。

本文中將比較兩組預報實驗, 探討 LAPS/MM5 系統在梵高颱風短時預報之成效。兩組實驗預報初始時間皆設定在 8 月 19 日 0600 UTC, 其中, 第一組為標準作業化 LAPS/MM5 流程的預報實驗, 文中稱之為“熱啟動”預報組; 另一組為不含 LAPS 雲分析 (見第二節) 的對照組實驗, 此對照組所使用的觀測資料比第一組少了都卜勒雷達資料、衛星資料及機場雲層報告, 除此之外, 本組其他分析、預報過程皆與第一組相同。由於不含 LAPS 雲分析將無法在模式初始場中引進雲水、雲冰及雲區垂直運動等資訊, 因此文中稱第二組實驗為“冷啟動”預報組。

圖 5 比較梵高颱風路徑、近中心最低氣壓及 3 小時雲頂溫度場的預測結果; 由圖 5b、5c 可見, 兩組實驗都掌握到梵高快速向西北運動的趨勢, 唯熱啟動於 0-12 小時的預測路徑略優於冷啟動。紅外線衛星雲圖 (圖 5a) 顯示, 梵高颱風的主要雲系分布在颱風東半測與南側, 台灣中、南部地區則有旺盛午後對流胞發展; 比較預報結果可知, 熱啟動 (圖 5b) 之雲頂溫度場分布明顯優於冷啟動 (圖 5c), 亦即熱啟動模式可在短時間 (0-3 小時) 預測出較接近實際的雲系分布, 尤其是台灣地區之午後對流胞發展; 此結果表示, LAPS 非絕熱同化分析可有效降低 MM5 模式驅動雲、雨的積分時間。

圖 6 為 8 月 19 日 0900 UTC 在 2 公里等高度之觀測與模式雷達回波場比較, 由墾丁雷達

觀測回波 (圖 6a) 可知, 台灣東南部海面及巴士海峽有大片降水回波, 強度約 20-30 dBz; 五分山雷達所觀測到的回波 (圖 6b) 主要分布在台灣東北部近海及大陸東南沿海, 強度約 30-40 dBz。由熱啟動模式之 3 小時預報場 (圖 6c) 可見, 位在巴士海峽的回波強度預報略為偏強且位置偏南, 大陸東南沿海則預報偏弱, 整體而言, 熱啟動模式展現出相當不錯的預報結果。相對地, 冷啟動模式 (圖 6d) 表現不盡理想, 預報結果與實際有頗大出入, 主要原因為冷啟動模式 0-3 小時仍在驅動雲、雨階段。

然而, 熱啟動預報仍有部分區域表現欠佳, 例如: 3 小時預測之雷達回波場 (圖 6c) 顯示, 熱啟動實驗對台灣東部、東部外海的觀測回波 (見圖 6a、圖 6b) 掌握不佳, 亦即, 熱啟動模式並未正確預報出梵高颱風中心西側的降水分布。初步探討此誤差之成因發現, 就梵高颱風的雲系結構而言 (見圖 5a), 對流性雨帶主要分布在颱風中心的北側、東側與南側; 颱風中心西側大都為低雲區降水, 觀測之雷達回波強度 (見圖 6b) 約 10-20 dBz。LAPS 雲分析中的雲區垂直運動, 僅依據雲的厚度就對流雲類進行分析, 對於低雲或層狀雲系降水, 常出現預報低估情形, 此誤差是導致本研究個案在颱風中心西側降水預報成效不佳的主因之一, 未來我們將進一步研究以尋求改善之道。

0-12 小時熱啟動實驗的預測路徑雖優於冷啟動, 但就 12-24 小時來說, 冷啟動實驗表現較優 (見圖 5), 亦即, 冷啟動對梵高颱風登陸大陸的地點有較佳之掌握。針對此結果, 本文於圖 7 中比較 8 月 20 日 0000 UTC 的 NFS 客觀分析場 (海平面氣壓場與地面風場)、熱啟動 18 小時預測場、冷啟動 18 小時預測場。由 NFS 客觀分析場可知 (圖 7a), 地面低壓槽的位置已移

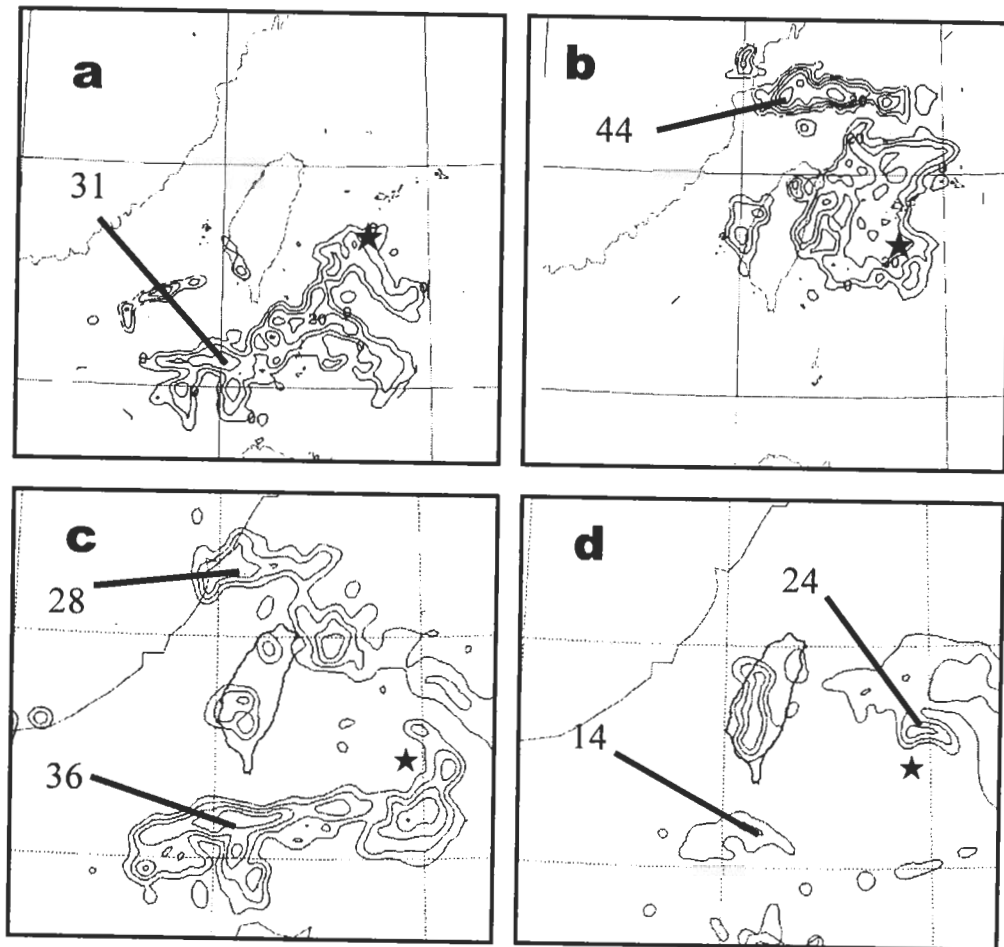


圖 6 2003 年 8 月 19 日 0900 UTC (a) 墾丁都卜勒雷達所觀測，(b) 五分山都卜勒雷達所觀測，(c) 熱啟動模式 3 小時預報，(d) 冷啟動模式 3 小時預報之 2 公里等高面雷達回波強度。圖中以★號分別標出主觀分析及預報的颱風中心位置。

至大陸東南沿海，台灣海峽及巴士海峽盛行南南西風，風速約 10-15 kts；台灣東部海面盛行偏南風，風速約 20 kts。熱啟動實驗預測場（圖 7b）顯示，預測的低壓槽仍位在台灣海峽，可見模式低壓帶向西移動的過程明顯較實際為慢，此預測誤差同時也出現於冷啟動實驗（圖 7c），導致兩者對颱風速率之預測嚴重偏慢。此外，熱啟動預報對巴士海峽之西南風（30-35 kts）、台灣東部海面之偏南風（約 30 kts）皆預測過

強，並擴展至梵高颱風環流附近，此風速預測偏差，極可能是導致熱啟動 12-24 小時颱風路徑預測過於偏南（圖 5b）的主因之一。相對地，冷啟動僅對巴士海峽之西南風（25-30 kts）預測偏強，其對台灣東部海面之風場預測表現優於熱啟動，因此，雖然冷啟動的颱風移速仍預測偏慢，但對颱風登陸大陸地點之掌握較熱啟動為佳。綜合上述，以本研究個案而言，熱啟動實驗在 12-24 小時預報出過強的偏南至西南風

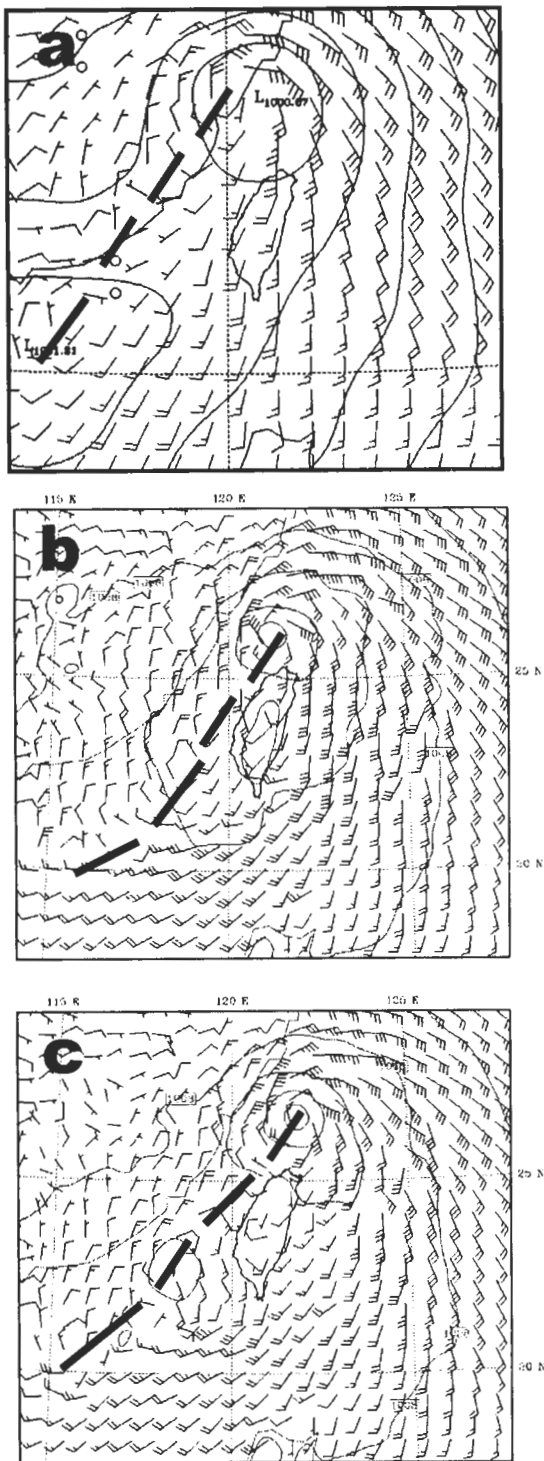


圖 7 2003 年 8 月 20 日 0000 UTC (a) NFS 客觀分析，(b) 熱啟動模式 18 小時預報，(c) 冷啟動模式 18 小時預報之海平面氣壓場與地面風場。

速，降低了梵高颱風路徑 (12-24 小時) 的預測準確度；此結果突顯熱啟動預報實驗，雖可增進 0-12 小時之模式短時預報能力，但對於稍長期 (如：12-24 小時) 的預報結果也有可能產生負面影響，詳細之 LAPS/MM5 系統性誤差仍有待進一步統計研究，作為預報實務作業時之決策參考。

熱啟動與冷啟動實驗在短時預報上之差異如圖 8 (預報 3 小時) 所示，圖 8a (熱啟動) 與圖 8b (冷啟動) 比較模式的最底層 ( $\sigma=0.99$ ) 風場與海平面氣壓場；可見，兩實驗之風場分布在巴士海峽及東沙島海面有顯著的不同，其中熱啟動實驗在巴士海峽附近 (見圖 8a 方框區) 呈現出較強且組織較完整之輻合帶，該輻合帶南側並伴隨較大範圍、較強之低層西南風噴流。冷啟動實驗 (圖 8b 方框區) 雖亦呈現低壓帶結構，但風場輻合效應明顯比熱啟動實驗為弱。此短時預報場差異可配合圖 6 再進一步說明，墾丁雷達觀測資料 (圖 6a) 顯示，巴士海峽存在一東西向的帶狀回波區，熱啟動實驗能在短時間內，預報該回波區伴隨有組織結構完整之動力輻合帶 (圖 8a)，因此可模擬出和實際較為接近的降水回波分布 (圖 6c)，相對地，冷啟動實驗的預報結果 (圖 6d) 則有偏弱趨勢。

兩預報實驗除了在巴士海峽有些許不同外，在台灣的嘉南地區亦有顯著差異。以下即針對台灣附近的預報結果進行比較，前曾提及，在梵高颱風快速向西北靠近台灣期間，台灣中、南部地區有旺盛午後對流胞發展 (見圖 5a)，當時 (8 月 19 日 0900 UTC) 模式之最底層風場與海平面氣壓場預測如圖 8c (熱啟動) 與圖 8d (冷啟動) 所示，圖中並以紅色風標繪出同時間之地面觀測風場。比較結果顯示，熱啟動模

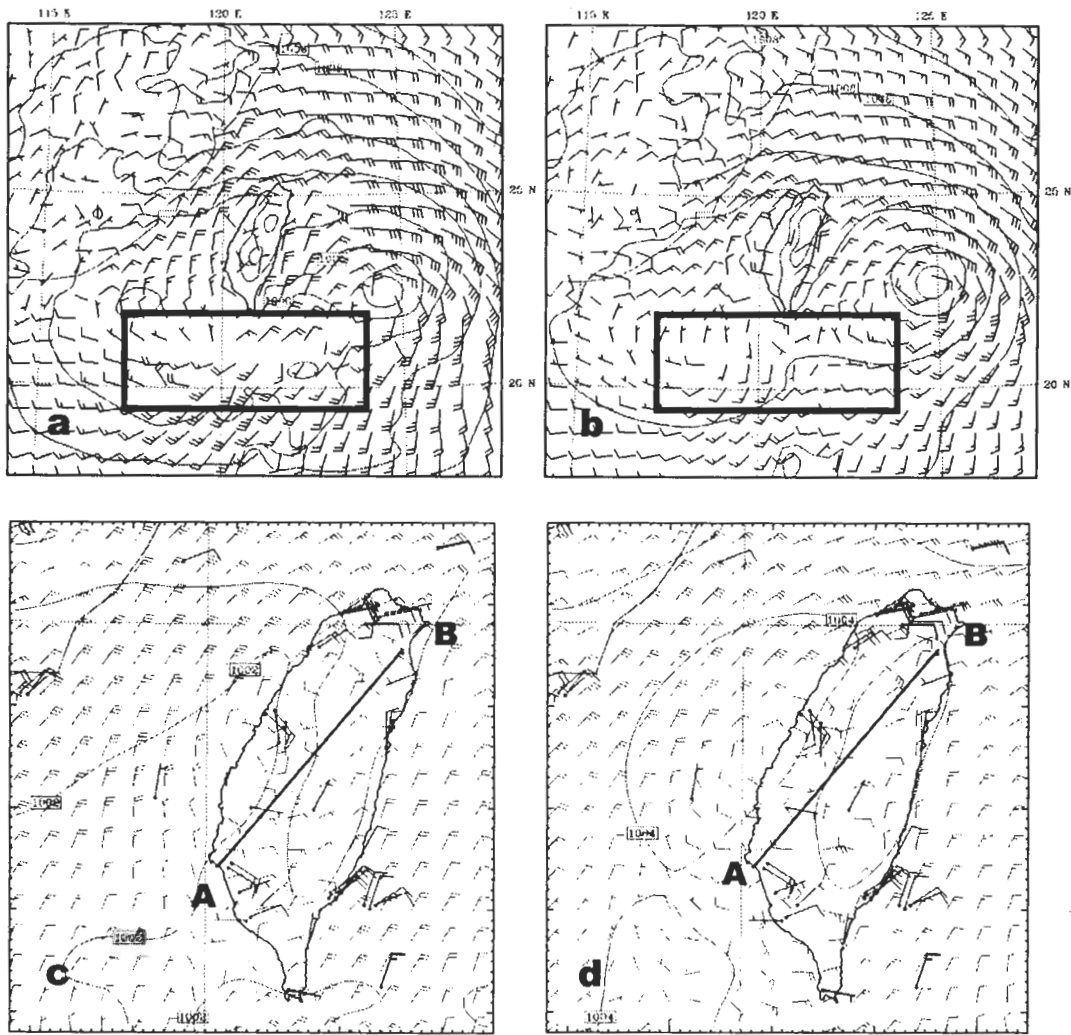


圖 8 (a) 熱啟動模式 3 小時預報、(b) 冷啟動模式 3 小時預報、(c) 針對(a)圖中在台灣附近區域及(d) 針對(b)圖中在台灣附近區域之模式最底層風場與海平面氣壓場。圖中同時以紅色風標繪出 2003 年 8 月 19 日 0900 UTC 之實際地面觀測風場以利與模式預報結果相比較。

式 3 小時預報 (圖 8c) 與實際觀測風場大致吻合, 可見, 就本個案而言, LAPS/MM5 系統能在短時間內迅速模擬出台灣地區之局部環流特徵; 然而, 冷啟動模式預報 (圖 8d) 則產生若干誤差, 例如: 實際觀測顯示, 嘉義至台南地區為偏東至東南東風, 但冷啟動預報結果為偏西至西南西風, 反觀熱啟動模式 (見圖 8c) 則有較佳之預報表現。

兩預報之差異, 可透過垂直剖面分析進一步說明。圖 9 為熱啟動與冷啟動實驗模式初始風場、初始大氣可用位能 (convective available potential energy, J/kg) 之垂直剖面分布 (通過圖 8 中的 AB 線段); 比較兩初始場後可見, 熱啟動模式 (圖 9a) 經 LAPS 雲分析整合雷達、衛星等資訊後, 在嘉南一帶可分析出較強的雲區上升運動與較不穩定的大氣熱力環境, 大氣可用位能的極大值達 1500 J/kg 以上, 此結構在定性上

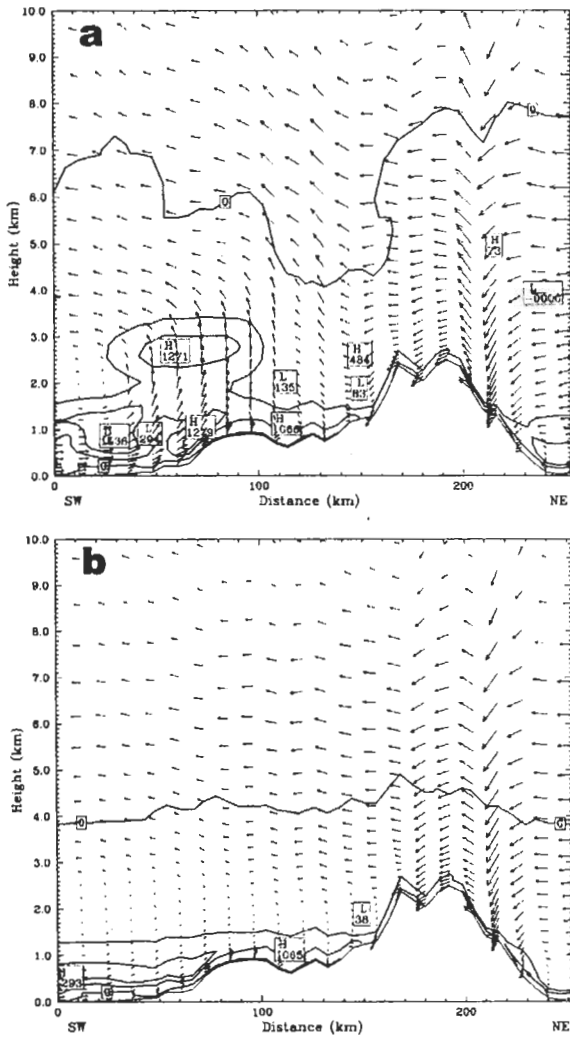


圖 9 (a) 熱啟動模式初始場及(b) 冷啟動模式初始場，通過圖 8 中 AB 線段之風場垂直結構與大氣可用位能 (convective available potential energy；等值線間距為 500 J/kg) 垂直分布。

與衛星雲圖所見 (圖 5a) 之午後對流胞發展一致。冷啟動模式 (圖 9b) 則無法在初始場中分析出明顯的雲區對流風場結構，大氣可用位能大於 1000 J/kg 的區域僅集中在高度 1 公里以下。上述二初始場之差異，對模式短時預報的準確度有很大影響；圖 10 及圖 11 分別為熱啟動與冷啟動模式預報 1-6 小時，通過圖 8 中 AB 線段

之模式雨水混合比 (rain water mixing ratio, g/kg) 及風場的垂直剖面圖。由圖 10 可見，熱啟動模式中的對流胞在預報 2 小時 (圖 10b) 內快速發展至成熟階段，第 3 小時 (圖 10c) 起已進入消散階段，台灣西南部平原之預測風場也轉為吹向台灣海峽的偏東風 (見圖 8c)。相對地，圖 11 冷啟動模式之對流胞發展則較熱啟動模式慢約 3-4 小時，顯示冷啟動預報須花費數小時積分時間來驅動模式雲、雨；當實際大氣中之對流胞發展成熟並開始逐漸消散時 (8 月 19 日 0900 UTC)，冷啟動預報場的對流胞卻尚在初步發展階段 (見圖 11c)，所以，冷啟動模式中台灣西南平原區呈現偏西至西南西風的預報結果 (圖 8d)，此預報誤差顯然來自於冷啟動模式的雲、雨驅動問題。

## 四、定量降水預報校驗

### (一) 校驗方法

本文依據台灣地區 391 個 (見圖 1) 自動雨量站觀測資料，以 Colle et al. (1999) 所採用的方法，校驗模式的降水預報結果。由於雨量站不均勻的分布在台灣各地，故校驗前首先使用 Cressman (1959) 法，將模式網格點的降水預報值內插至雨量站位置，如下：

$$P = \frac{\sum_{n=1,4} W_n P_n}{\sum_{n=1,4} W_n} \quad (1)$$

其中， $P_n$  是包圍雨量站之 4 個網格點預測雨量值， $W_n$  是權重函數，如下式：

$$W_n = \frac{R^2 - D_n^2}{R^2 + D_n^2} \quad (2)$$

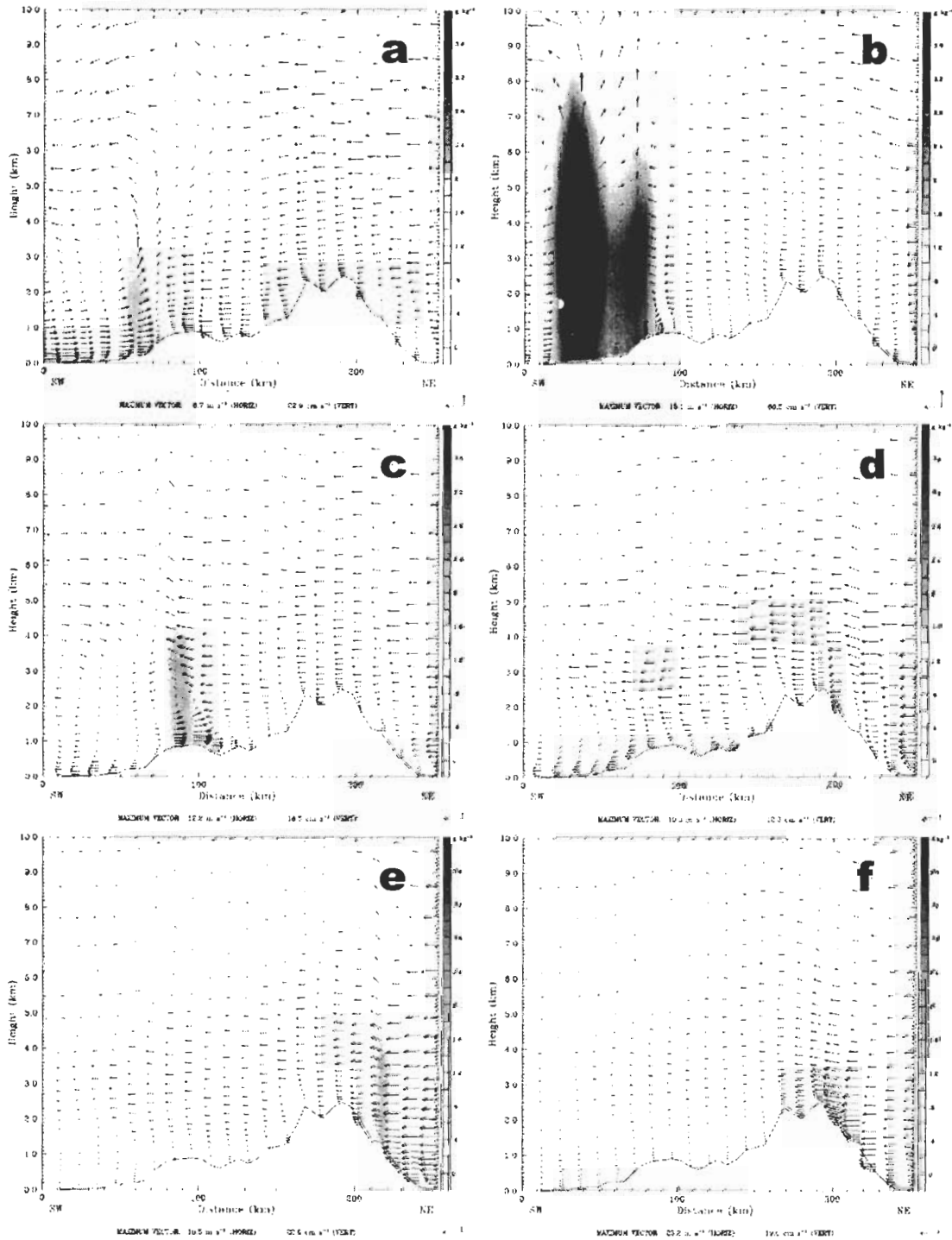


圖 10 熱啟動模式預報 (a) 1 小時 (b) 2 小時 (c) 3 小時 (d) 4 小時 (e) 5 小時 及 (f) 6 小時，通過圖 6a 中 AB 線段之模式雨水混合比 (g/kg) 及垂直環流的垂直剖面。

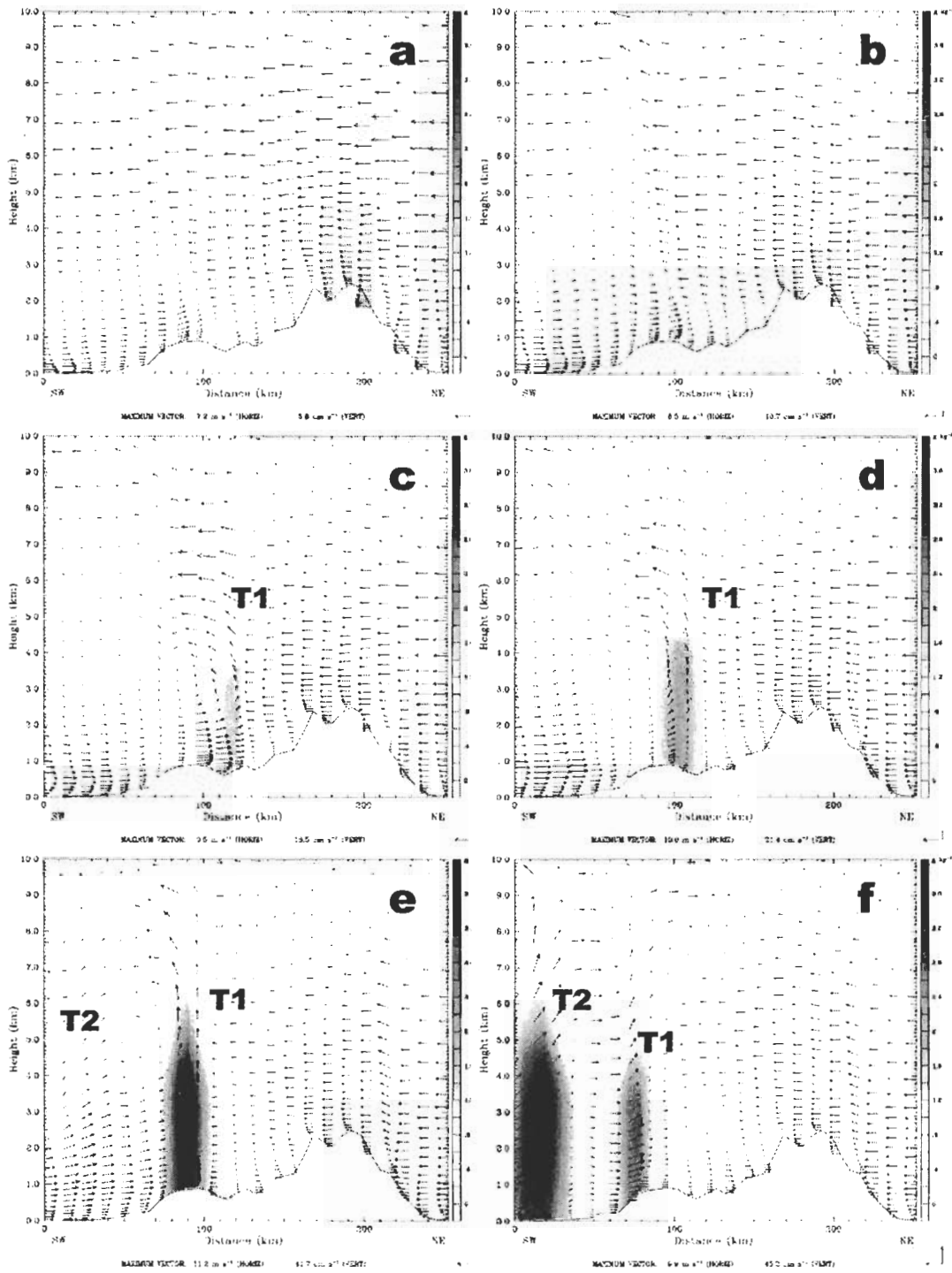


圖 11 冷啟動模式預報 (a) 1 小時 (b) 2 小時 (c) 3 小時 (d) 4 小時 (e) 5 小時及 (f) 6 小時，通過圖 6b 中 AB 線段之模式雨水混合比 (g/kg) 及垂直環流的垂直剖面。



$R$  是模式網格間距 (本研究為 9 公里),  $D$  為雨量站與網格點間的水平距離; (2) 式中當  $D > R$  時,  $W_n$  值設定為 0, 亦即  $W_n$  為一大於或等於 0 的實數 ( $W_n \geq 0$ )。

將模式的預報降水內插至觀測雨量站位置後, 接著以 ETS (equitable threat score; Schaefer 1990) 得分及 Bias 值, 分別就 8 個降水門檻值 (threshold) — 5.0、10.0、15.0、20.0、25.0、30.0、40.0、50.0 毫米, 校驗模式之降水預報能力; ETS 得分與 Bias 值定義如下:

$$ETS = \frac{H - E}{F + O - H - E} \quad (3)$$

$$Bias = \frac{F}{O} \quad (4)$$

其中, 就降水量超過一指定門檻值 (specified threshold) 而言,  $H$  為模式所正確預報之個數,  $F$  是模式預報降水量超過該指定門檻值的個數,  $O$  為觀測降水量超過該指定門檻值的個數,  $E$  則是隨機可正確預報的個數 ( $E=FO/\text{總校驗個數}$ )

就一指定降水門檻值來說, ETS 得分評估模式預測降水分布與實際觀測降水分布之間的相似度, 在預報相當不準確的情況下 ( $O \gg H$ ), (3) 式中的 ETS 將接近 0, 甚至有可能小於 0 ( $H < E$ ), 代表模式預報的技術得分相當低; 反之, ETS 愈高表示預測愈準確, 當預測與實際完全吻合時 ( $F=O=H$ ), ETS 值等於 1, 代表完美預報 (perfect forecast)。Bias 值則用以評估預測降水是否高估 ( $Bias > 1$ ) 或低估 ( $Bias < 1$ )。

## (二) 校驗結果

當梵高颱風向西北移動、接近台灣之際, 台灣地區之 3 小時午後對流降水 (8 月 19 日

0600 UTC – 0900 UTC) 分布如圖 12a 所示。圖中顯示較大累積降水區域集中在台灣中、南部地區, 最大降水中心在高雄附近, 累積雨量達 133 毫米; 圖 12d 及圖 12g 分別為熱啟動與冷啟動模式之 0-3 小時預報降水, 熱啟動模式預報 (圖 12d) 對台灣南部地區的降水強度、發生位置皆有相當不錯的掌握, 台灣中部地區的降水預報則略有低估; 冷啟動模式預報 (圖 12g) 雖亦有午後對流降水發生, 但降雨位置過於偏右, 台灣南部地區的預測降水強度偏弱。

8 月 19 日 0900 UTC 至 1200 UTC 期間, 梵高颱風中心已逐漸進入台灣東北部海面, 台灣地區降水主要發生在迎風面的東北部及北部山區 (圖 12b); 比較相對應時間的預報結果可知, 熱啟動預報 (3-6 小時預報, 圖 12e) 降水雖略為低估, 但預報成效明顯優於冷啟動模式 (圖 12h); 主因是實際大氣中的午後對流胞已快速消散, 但冷啟動模式的雲、雨驅動過程, 延遲了模式對流胞的發展與消散時程, 造成圖 12h 之降水呈現極端高估。此歧異性強烈降水之預報誤差, 以嘉南一帶 (比較圖 12b 與圖 12h) 最為嚴重, 其成因可透過圖 11 進一步說明。圖 11a 及圖 11b 顯示, 環境東北風越過中央山脈後, 與山脈西側的海風環流及上波風產生輻合, 配合模式底層之大氣不穩定熱力環境 (見圖 9b), 使得冷啟動模式在中央山脈的西側斜坡上逐漸發展出午後對流胞 T1 (圖 11c)。再經過約 2 小時 (圖 11e) 預報, 對流胞 T1 已趨於成熟; 此時, 冷啟動模式大氣的海風環流仍相當顯著 (但實際大氣底層風場已轉為陸風, 見圖 8), 另一新生對流胞 T2 在 T1 的西南側形成, 引發劇烈降雨。然而, 冷啟動模式午後對流胞的發展時程, 較實際大氣及熱啟動實驗 (見圖 10) 慢了約 4 小時, 因此導致冷啟動 3-6 小時預報出現錯誤

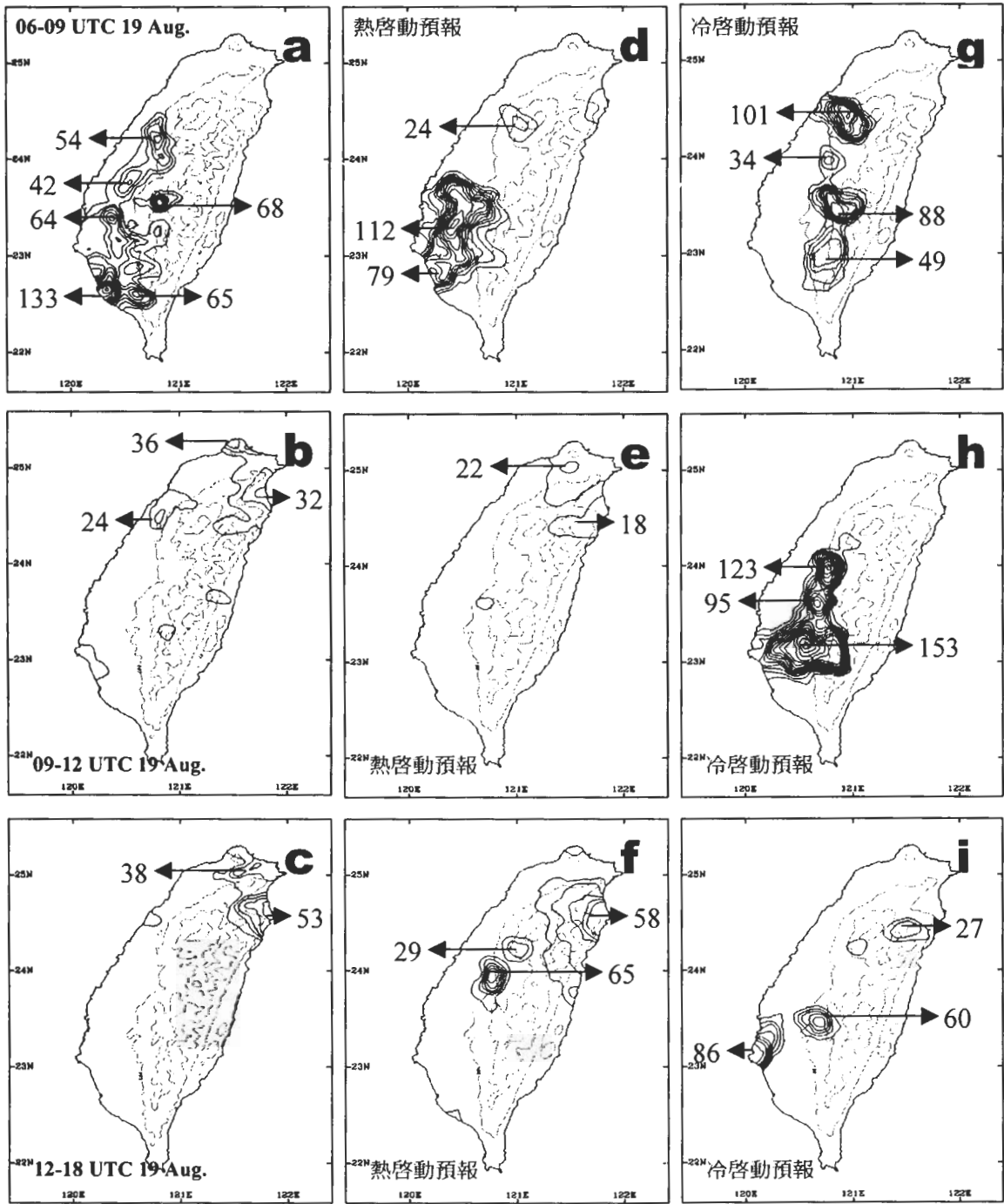


圖 12 2003 年 8 月 19 日 (a) 0600-0900 UTC, (b) 0900-1200 UTC, (c) 1200-1800 UTC 之實際觀測雨量分布。(d)、(e)、(f) 為相對應 (a)、(b)、(c) 時段之熱啟動模式預報結果。(g)、(h)、(i) 則為冷啟動模式預報結果。雨量等值線間距為 10 毫米。

的強烈降水；綜合而言，造成上述誤差的原因至少有二：一為冷啟動模式對流胞 T1 之形成、發展時程過慢，另一為模式中海風環流維持的時間過長。比較熱啟動實驗 (圖 12e) 可發現，LAPS 雲分析確實可提升模式之短時定量降水預報能力。

隨後 6 小時期間 (8 月 19 日 1200 UTC - 1800 UTC)，梵高颱風中心逐漸通過台灣東北部近海，進入台灣北部海面，觀測降水 (圖 12c) 主要還是出現在台灣東北部地區及北部山區；模式降水預報則仍以熱啟動 (圖 12f) 表現優於冷啟動 (圖 12i)，但兩者對台灣西側的雨量預報皆有高估的誤差。

圖 13 為熱啟動與冷啟動預報 0-3 小時、3-6 小時、6-12 小時模式降水之 ETS 得分與 Bias 值。就 0-3 小時預報 (圖 13a) 而言，熱啟動模式的 ETS 得分，在所有校驗門檻值皆高於冷啟動模式；此外，當門檻值低於 15.0 毫米時，熱啟動預報的 ETS 可高於 0.2；但因在 40.0 毫米及 50.0 毫米之降水預報過於高估，導致熱啟動預報的 ETS 逐漸下降至 0.1 以下。冷啟動預報的 Bias 值雖表現不錯，但由於大部分的降水預測位置皆不正確 (見圖 12a, 12d, 12g)，故冷啟動模式的 ETS 得分很低 (F 雖與 O 值相近，但 H 值很小)。3-6 小時預報 (圖 13b) 結果顯示，熱啟動模式的預報雨量值雖低估，但大部分發生降水的位置皆能正確預測 (見圖 12b 及圖 12e)，故在低降水門檻值之 ETS 高於 0.3；相反地，此

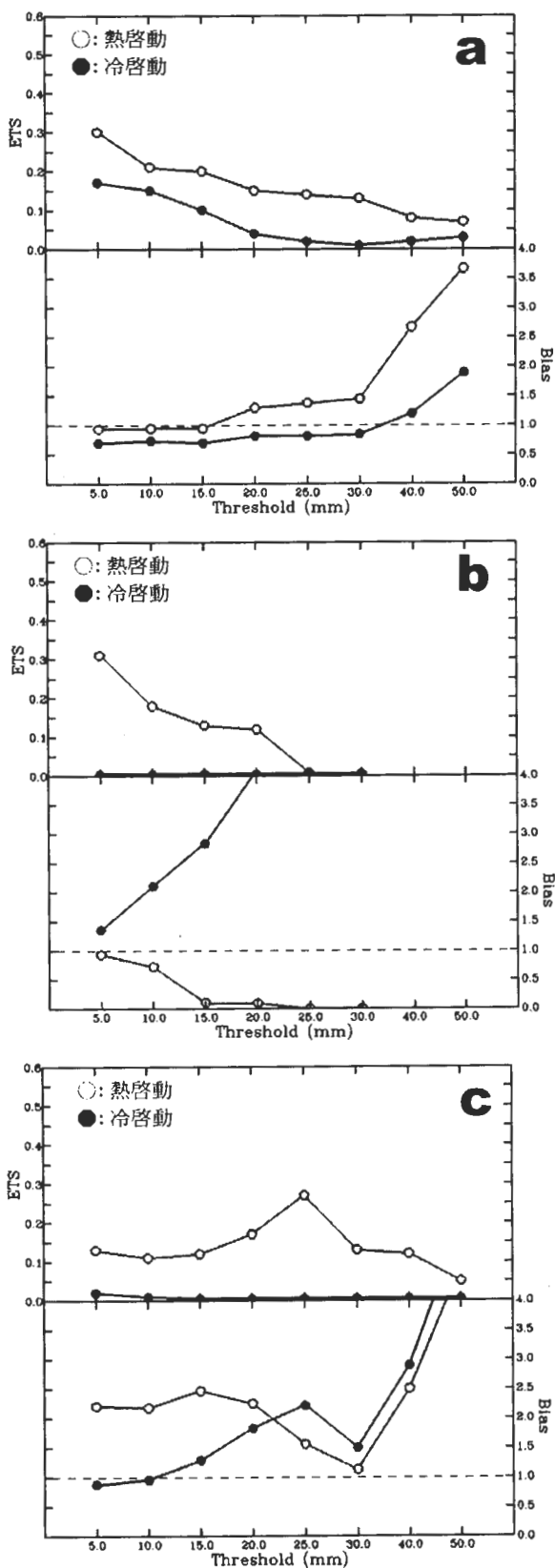


圖 13 2003 年 8 月 19 日 (a) 0600-0900 UTC, (b) 0900-1200 UTC, (c) 1200-1800 UTC 時段內，依不同降水門檻值 (見橫軸，單位為毫米) 所求得之熱啟動模式預報 (空心圓) 與冷啟動模式預報 (實心圓) 的 ETS 及 Bias 曲線圖。

階段冷啟動模式雨量預報嚴重高估(導因於模式中的午後對流胞仍未消散),且大部分降水地區都預測錯誤(見圖 12b 及圖 12h),故 ETS 得分相當低。6-12 小時的預報結果(圖 13c)亦以熱啟動模式表現較好,ETS 得分較高,冷啟動模式對台灣東北部地區及北部山區的降水預報仍屬不佳,大部分的降水位置皆預測錯誤,因此,ETS 得分依然偏低。整體就梵高颱風個案而言,LAPS 熱啟動 MM5 已有效降低模式驅動雲、雨的時間,提升短時定量降水預報的準確度。

### (三) 雷達資料對梵高颱風預報之影響

本文中熱啟動預報與冷啟動預報之間的差異,在於資料同化過程有、無進行 LAPS 雲分析。以同化的觀測資料種類來說,熱啟動預報比冷啟動預報多了都卜勒雷達資料(徑向風場、回波場)、GOES-9 衛星資料及機場地面測站報告。為了瞭解雷達資料之同化對改善預報的貢獻,本研究設計另一“無雷達資料預報(稱之為 NRAD)”的敏感度實驗,探討、比較台灣地區的降水預報成效。

圖 14a 為 NRAD 實驗通過圖 8 中 AB 線段之預報初始場垂直剖面,相對應的熱啟動與冷啟動預報初始場如圖 9 所示。比較圖 14a 與圖 9a 可見,雷達資料之同化,有效提高了台灣西南部山坡地區的可用位能與雲區上升運動;使得熱啟動預報之午後對流胞發展位置與實際大氣較為接近(見圖 12),此結果意味著將都卜勒雷達資料同化進 LAPS,可建立較接近真實的雲區熱力與風場結構,對提升當地短時降水預報準確度有很大助益。

圖 14b 及圖 14c 分別為 NRAD 之 0-3 小時、3-6 小時預報降水,相對應時間之熱啟動

與冷啟動預報結果如圖 12。比較結果顯示,NRAD 實驗對午後對流降雨預報的改善成效不佳,稍有增進的部分僅見於 3-6 小時在台灣東北部地區之颱風雨帶降水(比較圖 14c 與圖 12b),對於台灣西半部的午後對流降水並沒有改善。進一步與熱啟動預報(圖 12d 與圖 12e)結果比較可發現,NRAD 實驗雖使用了衛星資料及機場雲層觀測進行 LAPS 雲分析,但降水預報成效仍遠不及熱啟動預報結果;由此可推論,就增進本研究個案之降水預報準確度而言,都卜勒雷達資料之同化為相當關鍵且重要的因素,其他天氣系統是否有類似結果,則須未來再進一步研究。

## 五、總結與討論

整合雷達、衛星等資料,建立更接近真實的預報初始場,是中尺度模式能否在短時間(積分 0-12 小時)內正確預報颱風結構、雲系分布與降水的關鍵因素之一。因此,中央氣象局與美國海洋大氣總署所屬預報系統實驗室於 2002 年開始合作開發 LAPS 熱啟動 MM5 (LAPS/MM5) 系統;透過高解析度(9 公里)LAPS 非絕熱資料同化模組,即時引進五分山、七股、墾丁、花蓮都卜勒雷達觀測資料、GOES-9 衛星資料及其他傳統觀測資料,快速進行同化分析並建立三維非絕熱平衡初始場,預期將可提升 MM5 模式的短時定量降水預報能力。

LAPS/MM5 系統已於 2003 年初在中央氣象局正式作業化,每日進行 8 次預報(每 3 小時實施 0-24 小時預報);本研究以 2003 年的梵高颱風為例,校驗 LAPS 熱啟動 MM5 模式的預報成效。並以不含 LAPS 雲分析的冷啟動預報為對照組實驗,比較熱啟動與冷啟動模式預報結

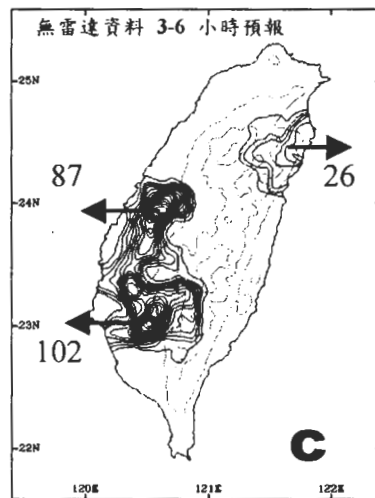
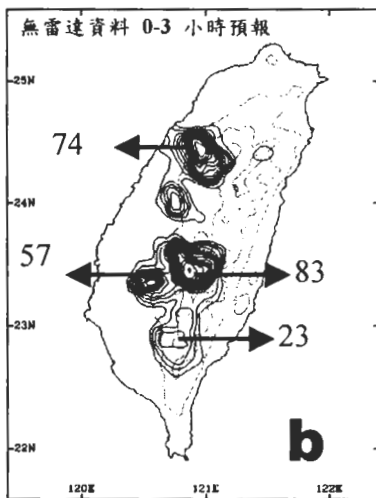
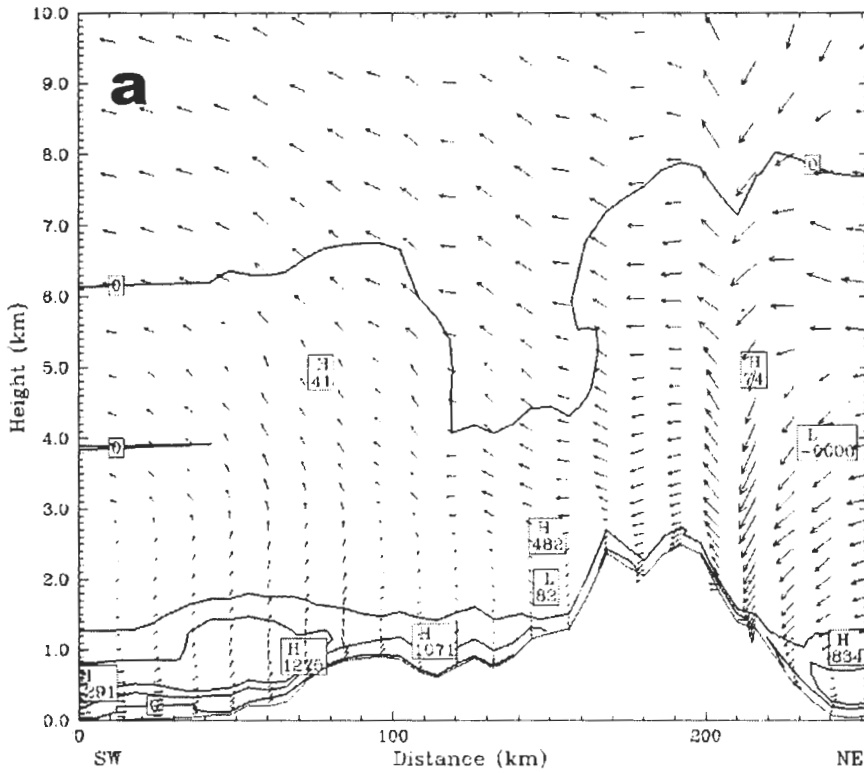


圖 14 無雷達資料預報 (NRAD) (a) 通過圖 6a 中 AB 線段之大氣可用位能 (J/kg) 及垂直環流的垂直剖面 (b) 0-3 小時(對應時間為 8 月 19 日 0600-0900 UTC) 預測雨量分布 (c) 3-6 小時預測雨量分布 (對應時間為 8 月 19 日 0900-1200 UTC)。雨量等值線間距為 5 毫米。

果之差異，探討 LAPS/MM5 系統的優缺點，作為系統研發參考；綜合歸納梵高颱風個案之主要研究結果如下：

- LAPS 非絕熱資料同化系統，可提供接近實際大氣雲系分布之預報初始場；因此，就短時數值預報而言，熱啟動模式對梵高颱風之雨帶移動、午後對流胞之發展與消散，預報準確度明顯優於冷啟動模式。
- 冷啟動模式的雲、雨驅動 (spin-up) 過程，將延遲模式雲、雨的發展與消散；此外，在模式積分 0-12 小時期間，冷啟動模式所預測之雲頂溫度偏暖 (即雲頂高度偏低)、降水回波強度有偏弱趨勢。
- 本文熱啟動與冷啟動預報初始場的主要差別，在於是否引進雷達、衛星及機場雲層報告資料；比較兩實驗預報結果顯示，熱啟動模式對降水之時空分布有較佳的掌握，可見雷達、衛星等遙測資料對增進模式短時定量降水預報有很大助益。
- 模式降水預報校驗結果顯示，熱啟動預報有高估雨量值 ( $Bias > 1$ ) 之趨勢，其他正在進行之颱風研究個案 (如：辛樂克颱風 (2002；Jian et al 2003)、莫拉克颱風 (2003)、米勒颱風 (2003) 等)，亦有預報雨量值高估之誤差；針對此問題，未來將進一步研究、探討其成因並加以改善。
- 與無雷達資料之敏感度預報實驗比較結果發現，雷達資料之同化，可提高本個案在台灣西南部山坡地區的可用位能與雲區上升運動，對改善本研究個案之降水預報，雷達資料扮演相當重要且關鍵的角色。

侵台颱風的定量降水預報，是中央氣象局所致力發展的重點課題之一，由本文初步研究結果可見，應用 LAPS 熱啟動 MM5，將可降低模式驅動雲、雨的時間，提升短時定量降水預報能力。然而，LAPS/MM5 系統仍在持續發展階段，目前尚有許多科學問題亟待突破；例如：由進行之杜鵑 (2003) 颱風個案研究發現，LAPS/MM5 雖提升了颱風雨帶降水、地形舉升降水的預報能力，但對於颱風眼牆附近的中尺度結構則掌握不佳。現階段正針對 LAPS 雲分析方法進行更深入研究，並配合更高解析度 (3 公里) 模式設計來探討颱風眼牆的預報問題；此外，未來將持續透過更多颱風個案，檢視 LAPS/MM5 系統的預報成效，加強中央氣象局之颱風定量降水預報能力。

## 致 謝

感謝兩位審查者提供寶貴建議，對本文之增進有很大助益；劉韶郁小姐協助文書編輯特致謝意。本文是在國科會 NSC93-2625-Z-052-006 資助及中央氣象局支持下完成。

## 參考文獻

- Albers, S., 1992: Photometric correction of GOES visible satellite images. *6<sup>th</sup> Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography*, Atlanta, GA. Amer. Meteor. Soc., 223-225.
- Albers, S., J. McGinley, D. Birkenheuer, and J. Smart, 1996: The Local Analysis and Prediction System (LAPS): Analyses of clouds, precipitation, and temperature. *Wea. Forecasting*, **11**, 273-287.
- Barnes, S. L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. *J. Appl. Meteor.*, **3**, 396-409.
- Bennett, D. A., K. Hutchison, S. C. Albers, and R. D. Bornstein, 2000: Preliminary results from polar-orbiting satellite data assimilation into LAPS with application to mesoscale modeling

- of the San Francisco Bay Area. *Preprints, 10<sup>th</sup> Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography*, Long Beach, CA, Amer. Meteor. Soc., 118-121.
- Birkenheuer, D., 2001 : Utilizing variational methods to incorporate a variety of satellite data in LAPS moisture analysis. *11<sup>th</sup> Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography*, Madison, WI, Amer. Meteor. Soc., 273-276.
- Cressman, G., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- Colle, B. A., K. J. Westrick, and C. F. Mass, 1999: Evaluation of MM5 and Eta-10 precipitation forecasts over the Pacific Northwest during the cool season. *Wea. Forecasting*, **14**, 137-154.
- Davis, C. A., and S. Low-Nam, 2001: The NCAR-AFWA tropical cyclone bogusging scheme. *NCAR Technical Note*, 13pp. Available from <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5v3/tc-report.pdf>.
- Donner, L. J., 1988 : An initialization for cumulus convection in numerical weather prediction models. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 377-385.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Tech. Note, NCAR/TN-398+STR, 122 pp.
- Harms, D. E., R. V. Madala, S. Raman, and K. D. Sashegyi, 1993 : Diabatic initialization tests using the Naval Research Laboratory limited-area numerical weather prediction model. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3184-3190.
- Heckley, W. A., 1985 : Systematic errors of the ECMWF operational forecasting model in tropical regions. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 709-738.
- 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.
- Jian, G. -J., S. -L. Shieh, and J. A. McGinley, 2003: Precipitation simulation associated with Typhoon Sinlaku (2002) in Taiwan area using the LAPS diabatic initialization for MM5. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, **14**, 261-288.
- Kalman, R., and R. Bucy, 1961 : New results in linear filtering and prediction theory. *Trans. ASM, Ser., D, J. Basic Eng.*, **83**, 95-108.
- Krishnamurti, T. N., J. Xue, H. S. Bedi, K. Ingles, and D. Oosterhof, 1991 : Physical initialization for numerical weather prediction over the tropics. *Tellus*, **43AB**, 53-81.
- Lin, Y. -L., D. B. Ensley, S. Chiao, and C. -Y. Huang, 2002: Orographic influences on rainfall and track deflection associated with the passage of a tropical cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2929-2950.
- McGinley, J. A., S. Albers, and P. Stamus, 1991: Validation of a composite convective index as defined by a real-time local analysis system. *Wea. Forecasting*, **6**, 337-356.
- , and J. R. Smart, 2001 : On providing a cloud-balanced initial condition for diabatic initialization. *14<sup>th</sup> Conf. on Numerical Weather Prediction*, Ft. Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., 40-44.
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere : RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, **102(D14)**, 16663-16682.
- Mohanty, U. C., A. Kasahara, and R. Errico, 1986 : The impact of diabatic heating on the initialization of a global forecast model. *J. Meteor. Soc. Japan*, **64**, 805-817.
- Puri, K., and M. J. Miller, 1990 : The use of satellite data in the specification of convective heating for diabatic initialization and moisture adjustment in numerical weather prediction models. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 67-93.
- Raymond, W. H., W. S. Olson, and G. Callen, 1995 : Diabatic forcing and initialization with assimilation of cloud water and rain water in a forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 366-382.
- Ruggiero, F. H., K. D. Sashegyi, R. V. Madala, and S. Raman, 1996 : Diabatic initialization of stratiform precipitation for a mesoscale model. *J. Appl. Meteor.*, **35**, 1111-1128.

- Schaefer, J. T., 1990: The critical success index as indicator of warning skill. *Wea. Forecasting*, **5**, 570-575.
- Schultz, P., 1995: An explicit cloud physics parameterization for operational numerical weather prediction. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3331-3343.
- Shaw, B. L., E. R. Thaler, and E. J. Szoke, 2001: Operational evaluation of the LAPS-MM5 "hot start" local forecast model. *18<sup>th</sup> Conf. on Wea. Anal. and Forecasting*, Ft. Lauderdale, Amer. Meteor. Soc., 160-164.
- Tarbell, T. C., T. T. Warner, and R. A. Anthes, 1981: An example of the initialization of the divergent wind component in a mesoscale model. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 77-95.
- Wu, C. -C., and Y. -H. Kuo, 1999: Typhoons affecting Taiwan: Current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 67-80.
- , 2001: Numerical simulation of Typhoon Gladys (1994) and its interaction with Taiwan terrain using the GFDL hurricane model. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 1533-1549.



# Short-Range Precipitation Forecasts Associated with Tropical Storm Vamco (2003) Using the LAPS/MM5 System

Guo-Ji Jian    Jen-Hsin Teng

Central Weather Bureau

(Manuscript received 03 November 2004 ; in final form 25 March 2005)

## ABSTRACT

A high-resolution (9-km) diabatic data assimilation system — Local Analysis and Prediction System (LAPS) has been developed and used to initialize the real-time fifth-generation Pennsylvania State University — National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model (MM5) at the Central Weather Bureau in Taiwan. During 2003, the more extensive network of four high quality Doppler radars and the access to satellite data from the Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-9) provided an excellent opportunity for advancing the short-range precipitation forecasts near the Taiwan area. The parallel forecasts of Tropical Storm Vamco (2003) are performed, both with and without the inclusion of LAPS cloud analysis scheme. Except for the inclusion of the LAPS cloud field, the model integrations are identical in all other respects.

Forecast results demonstrate that using LAPS to diabatically initialize MM5 leads to an improved prediction of tropical cyclones in terms of storm's cloud pattern and movement of rainbands in the early portion of model prediction. During the first 6-h of the forecast, the heavy rainfall prediction associated with Vamco was improved when the LAPS cloud analysis scheme was included. The assimilation of data from Doppler radars and GOES-9 satellite played an important role in the improvement of storm hydrometeorological features in the model initial condition and thus had a beneficial impact on reducing the model spin-up time. However, further studies are needed to clarify the reasons for the high bias in simulating the rainfall amounts.

This paper represents a major step toward building a short-range mesoscale modeling system that predicts more realistic storm structures and rainfall distribution over the Taiwan area in real time. The overall results suggest that the impact of LAPS/MM5 system can be significant for short-range, high spatial-resolution, rainfall prediction associated with a tropical cyclone, especially for the heavy rainfall occurring during the early hours of the model integration.

**Key words :** QPF, Short-range forecasts, Diabatic data assimilation, LAPS.

