

行政院所屬各機關出國報告
(出國類別：實習)

中美合作—
天氣監測預報系統發展

服務機關：交通部中央氣象局
出國人：職 稱：副研究員
姓 名：鄧仁星
出國地點：美國
出國期間：九十二年四月十日至九月二十四日
報告日期：九十二年十二月二十二日

H8/
CO9204368

公 務 出 國 報 告 提 要

頁數: 28 含附件: 否

報告名稱:

中美合作-天氣監測預報系統發展

主辦機關:

交通部中央氣象局

聯絡人/電話:

趙如倩/23491012

出國人員:

鄧仁星 交通部中央氣象局 氣象科技研究中心 副研究員

出國類別: 實習

出國地區: 美國

出國期間: 民國 92 年 04 月 10 日 -民國 92 年 09 月 24 日

報告日期: 民國 92 年 12 月 22 日

分類號/目: H8/氣象 H8/氣象

關鍵詞: Hot-Start MM5, LAPS, 平衡調節, 極短時預報

內容摘要: 近幾年來，劇烈天氣在台灣地區所導致的氣象災害頻傳。氣象局有鑑於此，與美國海洋暨大氣總署之預報系統實驗室（NOAA/FSL）技術合作，進一步發展劇烈天氣監測與預報系統（LAPS and Taiwan Hot-Start MM5），透過即時掌握劇烈天氣系統之演變，進行即時天氣預報，並提供極短時定量天氣預測，以落實氣象防災、減災的目標。此系統在即時、快速分析台灣地區的雷達、衛星、探空及地面等等量測資料後，立即進行非絕熱初始化及中尺度數值預報，有效改善傳統數值模式存在之模式調整問題（spin-up problem），增進極短時預報的成效。本報告利用2003年6月25日南台灣降雨個案為例子，嘗試修改一些LAPS中之分析方法，企圖解決降水過度預報及雨帶移速問題等等。對於降水過度預報問題，經由修改平衡調節中之平滑處理程序造成的暖偏差，已使過度降水預報的問題大大的改善。而對於雨帶移速問題，利用雷達回波資料區分出降水系統內之對流區及層狀區，並針對不同區域給予不同的垂直速度分布，測試結果證明此方向可有效改善雨帶移動落後的問題。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

摘要

近幾年來，劇烈天氣在台灣地區所導致的氣象災害頻傳。氣象局有鑑於此，與美國海洋暨大氣總署之預報系統實驗室（NOAA/FSL）技術合作，進一步發展劇烈天氣監測與預報系統（LAPS and Taiwan Hot-Start MM5），透過即時掌握劇烈天氣系統之演變，進行即時天氣預報，並提供極短時定量天氣預測，以落實氣象防災、減災的目標。

此系統在即時、快速分析台灣地區的雷達、衛星、探空及地面等等量測資料後，立即進行非絕熱初始化及中尺度數值預報，有效改善傳統數值模式存在之模式調整問題（spin-up problem），增進極短時預報的成效。

本報告利用 2003 年 6 月 25 日南台灣降雨個案為例子，嘗試修改一些 LAPS 中之分析方法，企圖解決降水過度預報及雨帶移速問題等等。對於降水過度預報問題，經由修改平衡調節中之平滑處理程序造成的暖偏差，已使過度降水預報的問題大大的改善。而對於雨帶移速問題，利用雷達回波資料區分出降水系統內之對流區及層狀區，並針對不同區域給予不同的垂直速度分布，測試結果証明此方向可有效改善雨帶移動落後的問題。

關鍵詞：Hot-Start MM5、LAPS、平衡調節、極短時預報

目次

摘要.....	i
目次.....	ii
一、 目的.....	1
二、 過程.....	2
三、 心得.....	4
(一) 非絕熱初始化中質量場與動力場平衡調節：熱力方程的 加入.....	4
(二) 雲區垂直速度之設定修改及 Hot-Start MM5 之測 試.....	8
四、 建議.....	14
附圖.....	15

一、目的

台灣地區位於歐亞大陸及太平洋之交界帶，加上地形複雜，高聳的中央山脈呈南北走向，天氣複雜而多變，梅雨季的豪大雨及夏季颱風等災害性天氣現象，常造成生命財產之重大損失。隨著國家經濟的變遷及開發，使得台灣社會對氣象變化的敏感度提升。近幾年來，劇烈天氣在台灣地區所導致的氣象災害頻傳。氣象局有鑑於此，進一步發展劇烈天氣監測與預報系統，透過即時掌握劇烈天氣系統之演變，進行即時天氣預報，並提供極短時定量天氣預測，以落實氣象防災、減災的目標。

建立劇烈天氣即時預警系統，希望透過即時資料收集、自動化分析與模擬研判，快速將劇烈天氣預警資訊傳送至社會大眾。然而，劇烈天氣多半發生於局部區域，系統的空間及時間都遠小於綜觀天氣。故爭取時效為此預警作業的第一要務。而美國在極短時天氣監測、分析與預報發展上，皆居於領先地位；故職奉派前往美國國家海洋暨大氣總署所屬的預報系統實驗室（NOAA/FSL），合作發展中尺度模式短時預報系統。此系統在即時、快速分析台灣地區的雷達、衛星、探空及地面等等量測資料後，立即進行非絕熱初始化及中尺度數值預報，有效改善傳統數值模式存在之模式調整問題（spin-up problem），增進極短時預報的成效。目標則期望發展台灣地區高效能的天氣預報技術，提升劇烈災變天氣的極短時預報能力。

二、過程

(一) 前往 NOAA/FSL：

職是於台北時間 2003 年 4 月 10 日 18 時 30 分，搭乘長榮航空 BR12 班機，由中正機場飛往美國洛杉磯，再由洛杉磯轉搭美國航空 AA1490 班機，於丹佛時間 10 日 21 時 30 分，抵達科羅拉多州之丹佛機場，FSL 安排孟繁村博士到機場接機，並帶領職前往所在地—Boulder。

(二) 在 FSL 工作概述：職於抵達次日（4 月 11 日），即加入「局地分析與預報系統發展」(Local Analysis and Prediction Branch) 部門工作，且積極與 FSL 同仁溝通及交換意見，以使合作計畫之執行過程順利且迅速，有關本計畫各項目之工作過程，以下即逐月進行說明。

四月：職首先在 John A. McGinley 的安排下與 FSL/LAPS team 的成員一一會面，討論各成員負責部分的現況及未來的發展，並閱讀 LAPS 及 Hot-Start MM5 的相關論文。職並於本月底向 FSL/LAPS team 成員報告職近幾年來的一些有關雷達方面的研究成果。

五月：除繼續與 FSL/LAPS team 的成員一一會面及研讀論文外，並與 John A. McGinley 討論一些論文上的問題，且確定職於 FSL 期間主要參與之研究所在（平衡調整中熱力方程式的加入及雲中垂直速度設定法之改進）。期中並於職所帶去的手提電腦(notebook)上架置相關軟體(Netcdf, NCAR graphic, PGI Fortran 90, LAPS system, MM5)。

六月：研讀平衡調節的程式組，並推導加入熱力方程的平衡變分調節法。以及思考如何將熱力方程加入平衡調節程式組中。並選定 6 月 25 日南台灣降雨系統為測試個案，收集該個案期間相關氣象資料。

- 七月：將六月所得與 John A. McGinley 討論，除將所推導的方程式給 John 外，並告知其如何在程式中加入熱力方程，John 並告知其將自己修改程式。故職轉而研讀雲區垂直速度設定之相關程式組，並思考如何修改其設定法增進降水系統之短期時空定量降水預報。
- 八月：決定利用雷達回波資料將降水系統分為對流與層狀區，且分別給予不同的垂直速度設定。並修改原始垂直速度區厚度之設定方式。利用個案研究方式進行一連串的測試。並於月底將測試之結果在 LAPS 開會期間做第一次專題報告，會中與會之 LAPS 成員建議利用較新版之 LAPS 系統解決過度降水預報的問題。
- 九月：職利用新版再做一連串的測試，並嘗試利用亂數產生器將雲區之垂直速度予以擾亂，減低水平輻合強度及水平風速大小。並做第二次之專題報告。會中得到與會 FSL/LAPS 成員之肯定，John A. McGinley 並指定 Steve Albers 與職進行交接，以便將職所寫及改的程式納入 LAPS 系統進行進一步測試，最終將放入 LAPS 程式組中。職將所有工作成果、LAPS、Hot-Start MM5 等相關系統軟體，進行整理，預備回台灣後建置於中央氣象局。回程於 22 日 19 時 15 分，搭乘美國聯合航空 UA583 班機，由丹佛出發飛抵洛杉磯，然後在當地時間 23 日 00 時 15 分轉搭長榮航空 BR15 班機，於台北時間 24 日 05 時 30 分返抵中正機場，順利達成本年度所交付之任務。

三、心得

近年來，中央氣象局（以下簡稱為本局）所擁有的氣象觀測資料量愈來愈多，種類更加多元化，資料的空間與時間解析度也持續提高；因此，有必要發展一套能即時吸收、融合各類資料的同化系統，幫助天氣預報員在有限的時間內，分析完所有的氣象資料。此外，若將融合同化後之分析結果，作為中尺度模式的初始條件，進行數值天氣預報，將可有效提升短時與劇烈天氣之預報準確度。所以本局秉持此概念，積極與美國 FSL 合作，發展 LAPS (Local Analysis and Prediction System)、非絕熱模式初始化技術 (Diabatic Initialization) 及後續之中尺度 MM5 數值天氣預報 (Hot-Start MM5)。對於此中尺度預報系統的理論與建置流程，在簡國基去年赴美受訓之出國報告中已有詳細之描述，本章中僅就職在美期間實際參與修改及測試之部分進一步說明。

(一) 非絕熱初始化中質量場與動力場平衡調節：熱力方程的加入

平衡調節是將 LAPS 風場分析、地面場分析及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（利用靜力平衡假設換算為重力位高度， Φ ），利用變分法進行調節。此部分是進入模式模擬前的最後一道關卡，目的是使進入模式的資料能滿足一些氣象的物理過程，原來的平衡調節所用的約束方程包含水平動量方程及連續方程，使調節後的動量及質量場滿足動量及質量保守。但缺乏能量保守，如此可能會發生一些非預期的影響，如當背景模式資料中某處有非觀測所見之對流雲時，因潛熱的釋放使得該處增暖，若無足夠的溫度觀測使其調節回來，則此增暖的現象進入模式後仍可激發對流的產生。再者若觀測之對流雲區範圍無其它之溫度觀測及/或背景模式無相對應之加熱現象，則雖有上升速度但無法反應較真實的熱力場擾動。故實有必要將熱力方程加入平衡調節中，以下即是職於美期間針對此問題所推導之計算公式：

包含動量方程、連續方程及熱力方程的平衡調節之泛函可寫為

$$\begin{aligned}
J = & \sum_k \sum_j \sum_i O_v (\hat{u} - u')^2 + O_v (\hat{v} - v')^2 + O_\omega (\hat{\omega} - \omega_c')^2 + O_\Phi (\hat{\Phi} - \Phi')^2 \\
& + \mu (\hat{u}_t)^2 + \mu (\hat{v}_t)^2 + \varepsilon (\hat{\Phi}_{pt})^2 + \lambda (\hat{u}_x + \hat{v}_y + \hat{\omega}_p) \\
& + B_v \hat{u}^2 + B_v \hat{v}^2 + B_\omega \hat{\omega}^2 + B_\Phi \hat{\Phi}^2
\end{aligned} \quad (1)$$

其中， $(\wedge)$ 為調節後之解與背景模式資料之差， $(')$ 為未經調節過程之分析值與背景模式資料之差， ω_c 項為估計或設定之雲區垂直速度， O 及 B 項為觀測及平滑之誤差權重係數，取決於資料來源之特性及平滑之程度， μ 及 ε 分別為動力及熱力權重係數， λ 為拉氏乘數 (Lagrange multiple)，以上即說明動力及熱力方程在此變分調節中屬於弱約束條件，而連續方程則屬於強約束條件。在動力與熱力方程中假設大氣處於準靜中，變分調節中使水平運動場及位溫場之時間變量趨近於零。動力及熱力場之時間變量表為

$$\hat{u}_t = (u_b \hat{u}_x + \hat{u} u_{bx} + v_b \hat{u}_y + \hat{v} u_{by} + \omega_b \hat{u}_p + \hat{\omega} u_{bp}) + \hat{\Phi}_x - f \hat{v} + D(\hat{u}) \quad (2)$$

$$\hat{v}_t = (u_b \hat{v}_x + \hat{u} v_{bx} + v_b \hat{v}_y + \hat{v} v_{by} + \omega_b \hat{v}_p + \hat{\omega} v_{bp}) + \hat{\Phi}_y + f \hat{u} + D(\hat{v}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
\hat{\Phi}_{pt} = & (u_b \hat{\Phi}_{px} + \hat{u} \Phi_{bpx} + v_b \hat{\Phi}_{py} + \hat{v} \Phi_{bpy} + \omega_b \hat{\Phi}_{pp} + \hat{\omega} \Phi_{bpp}) \\
& + \frac{R}{p} \left(\frac{p}{p_{00}} \right)^\kappa \frac{\partial \theta_0}{\partial p} \hat{\omega} + \frac{1-\kappa}{p} (\hat{\omega} \Phi_{bp} + \omega_b \hat{\Phi}_p)
\end{aligned} \quad (4)$$

其中熱源項正比於 $\omega(\partial \theta_0 / \partial p)$ ，在熱力方程中為減少未知變數數目，將位溫場利用靜力假設寫為重力位高度之垂直梯度。

令

$$N_u = (u_b \hat{u}_x + \hat{u} u_{bx} + v_b \hat{u}_y + \hat{v} u_{by} + \omega_b \hat{u}_p + \hat{\omega} u_{bp}) ,$$

$$N_v = (u_b \hat{v}_x + \hat{u} v_{bx} + v_b \hat{v}_y + \hat{v} v_{by} + \omega_b \hat{v}_p + \hat{\omega} v_{bp}) ,$$

$$\begin{aligned}
N_\theta = & (u_b \hat{\Phi}_{px} + \hat{u} \Phi_{bpx} + v_b \hat{\Phi}_{py} + \hat{v} \Phi_{bpy} + \omega_b \hat{\Phi}_{pp} + \hat{\omega} \Phi_{bpp}) + \\
& \alpha_2 (\Phi_{bp} \hat{\omega} + \omega_b \hat{\Phi}_p)
\end{aligned} ,$$

$$\alpha_1 = \frac{R}{p} \left(\frac{p}{p_{00}} \right)^\kappa \frac{\partial \theta_0}{\partial p} , \quad \alpha_2 = \frac{1-\kappa}{p} ,$$

則

$$\hat{u}_t = N_u + \hat{\Phi}_x - f\hat{v} + D(\hat{u}) ,$$

$$\hat{v}_t = N_v + \hat{\Phi}_y + f\hat{u} + D(\hat{v}) ,$$

$$\hat{\Phi}_{pt} = N_\theta + \alpha_1 \hat{\omega} ,$$

對泛函數 (J) 取變異可得

$$\begin{aligned} \delta J = & \sum \sum \sum 2O_v(\hat{u} - u')\delta\hat{u} + 2O_v(\hat{v} - v')\delta\hat{v} + 2O_\omega(\hat{\omega} - \omega')\delta\hat{\omega} + \\ & 2O_\Phi(\hat{\Phi} - \Phi')\delta\hat{\Phi} + 2\mu\hat{u}_t(\delta\hat{\Phi}_x - f\delta\hat{v}) + \\ & 2\mu\hat{v}_t(\delta\hat{\Phi}_y + f\delta\hat{u}) + 2\varepsilon\alpha_1\hat{\Phi}_{pt}\delta\hat{\omega} + \\ & \delta\lambda(\hat{u}_x + \hat{v}_y + \hat{\omega}_p) + \lambda(\delta\hat{u}_x + \delta\hat{v}_y + \delta\hat{\omega}_p) + \\ & 2B_v\hat{u}\delta\hat{u} + 2B_v\hat{v}\delta\hat{v} + 2B_\omega\hat{\omega}\delta\hat{\omega} + 2B_\Phi\hat{\Phi}\delta\hat{\Phi} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} 2\mu\hat{u}_t(\delta\hat{\Phi}_x - f\delta\hat{v}) = & -2\mu f(N_u + \hat{\Phi}_x - f\hat{v})\delta\hat{v} - \\ & 2\mu[(N_u)_x + \hat{\Phi}_{xx} - f\hat{v}_x]\delta\hat{\Phi} , \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2\mu\hat{v}_t(\delta\hat{\Phi}_y + f\delta\hat{u}) = & 2\mu f(N_v + \hat{\Phi}_y + f\hat{u})\delta\hat{u} - \\ & 2\mu[(N_v)_y + \hat{\Phi}_{yy} + f\hat{u}_y + f\hat{u}_y]\delta\hat{\Phi} , \end{aligned}$$

$$2\varepsilon\alpha_1\hat{\Phi}_{pt}\delta\hat{\omega} = 2\varepsilon\alpha_1(N_\theta + \alpha_1\hat{\omega})\delta\hat{\omega} ,$$

$$\lambda(\delta\hat{u}_x + \delta\hat{v}_y + \delta\hat{\omega}_p) = -(\lambda_x\delta\hat{u} + \lambda_y\delta\hat{v} + \lambda_p\delta\hat{\omega}) ,$$

重新整理 (5) 式，且令 $\delta J = 0$ ，則可得下列方程組

$$2O_v(\hat{u} - u') + 2\mu f(N_v + \hat{\Phi}_y + f\hat{u}) - \lambda_x + 2B_v\hat{u} = 0 , \quad (6)$$

$$2O_v(\hat{v} - v') - 2\mu f(N_u + \hat{\Phi}_x - f\hat{v}) - \lambda_y + 2B_v\hat{v} = 0 , \quad (7)$$

$$2O_\omega(\hat{\omega} - \omega') + 2\varepsilon\alpha_1(N_\theta + \alpha_1\hat{\omega}) - \lambda_p + 2B_\omega\hat{\omega} = 0 , \quad (8)$$

$$\begin{aligned} 2O_\Phi(\hat{\Phi} - \Phi') - 2\mu[(N_u)_x + \hat{\Phi}_{xx} - f\hat{v}_x] - 2\mu[(N_v)_y + \hat{\Phi}_{yy} + f\hat{u}_y + f\hat{u}_y] , \\ + 2B_\Phi\hat{\Phi} = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\hat{u}_x + \hat{v}_y + \hat{\omega}_p = 0 , \quad (10)$$

(6)、(7)、(8) 式可改寫為

$$\hat{u} = \left[O_v u' - \mu f (N_v + \hat{\Phi}_y) + \frac{\lambda_x}{2} \right] / A, \quad (11)$$

$$\hat{v} = \left[O_v v' + \mu f (N_u + \hat{\Phi}_x) + \frac{\lambda_y}{2} \right] / A, \quad (12)$$

$$\hat{\omega} = \left[O_\omega \omega' - \varepsilon \alpha_1 N_\theta + \frac{\lambda_p}{2} \right] / B, \quad (13)$$

將 (11)、(12)、(13) 式代入 (9)、(10) 式可得

$$\begin{aligned} \nabla^2 \hat{\Phi} + \frac{2\mu^2 \beta f}{AE} \hat{\Phi}_y + \frac{(O_\Phi + B_\Phi)}{E} \hat{\Phi} &= \frac{O_\Phi}{E} \Phi' - (N_u)_x - (N_v)_y - \\ &\quad \frac{2\mu^2 \beta f}{AE} N_v - \frac{\mu f O_v}{AE} (v'_x - u'_y) + \frac{\mu \beta O_v}{AE} u' + \frac{\mu \beta}{2AE} \lambda_x, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \nabla^2 \lambda + \frac{A}{B} \lambda_{pp} &= -\frac{2O_v}{A} \left(u'_x + v'_y + \frac{AO_\omega}{BO_v} \omega'_p \right) + \\ &\quad 2\mu f [(N_v)_x + (N_u)_y] + 2\varepsilon \alpha_1 (N_\theta)_p, \end{aligned} \quad (15)$$

其中，

$$A = (O_v + \mu f^2 + B_v), \quad B = [O_\omega + \varepsilon \alpha_1^2 + B_\omega],$$

$$E = \frac{\mu(\mu f^2 - A)}{A},$$

此方程組共包含 5 個方程式，5 個未知數 ($\hat{\Phi}$ 、 $\hat{u}$ 、 $\hat{v}$ 、 $\hat{\omega}$ 、 λ)，可藉以進行質量場與動量場之平衡計算。

(二) 雲區垂直速度之設定修改及 Hot-Start MM5 之測試

現行數值天氣預報系統，於剛開始積分數小時期間，普遍均存在模式調整問題，嚴重影響且降低中尺度模式的極短時數值預報能力。究其原因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。根據許多之研究顯示，建立愈接近真實大氣的模式初始場，將是突破極短時數值天氣預報的重要關鍵；目前，本局與美國 FSL 合作之台灣地區中尺度資料整合系統，及其接續之”Hot-Start MM5”系統已將雲水、雲冰及雲內垂直運動等微物理資訊，納入模式初始場，已可有效解決傳統數值預報的調整問題。但由於此系統開發之初主要是以中緯度之美國地區為主，運用在副熱帶之台灣地區仍需做一些測試與調整；另外其分析方法仍存在著一些問題及假設；根據簡國基去年赴美之出國報告及職於美期間對 LAPS 的了解，目前 LAPS 分析及 Hot-Start MM5 雖可有效提供較其中現行作業中之小尺度數值預報系統更佳之短時（0~9 小時）降水預報，但其仍有很多待改進的問題；諸如降水過度預報及雨帶移速問題等等。對於這些問題，職利用今年（2003）6 月 25 日南台灣降雨個案為例子，嘗試修改一些分析方法企圖解決之。

對於降水過度預報問題，經與 FSL/LAPS 成員討論後，認為可能是因為在平衡調節中，程式在處理平滑項時有點問題，造成溫度分析有 2~3°C 之暖偏差，而此部分在今年 8 月份已修改，故職利用新舊兩版本（20-14 及 20-9）測試選取個案在此兩版本間之差別，以確定其是否為降水過度預報之主因。

而對於雨帶移速問題，職認為其雲區（尤其是有雷達回波資料區）之垂直速度設定法，無法有效掌握降雨系統之內部結構，致使即便利用 Hot-Start 方式，仍需 2 小時左右之模式調節，且產生的降水系統之時空位置均會有明顯的誤差，故職嘗試利用雷達回波資料區分出降水系統內之對流區及層狀區，並針對不同區域給予不同的垂直速度分佈，且其垂直速度之極大值利用雷達回波所估計之最大降水終端速度值決定。

首先先回顧選取個案之情況及分析與模式之架構。在 2003 年 6 月 25 日 18Z 之地面天氣圖上(圖 1)，台灣北邊之冷鋒起至 142°E、34°N

(日本東方近海)，向西南西延伸至 $105^{\circ}E$ 、 $28^{\circ}N$ 左右，台灣本島及其附近地區位於鋒前之暖區。由 2003 年 6 月 25 日 20Z (此時亦是個案測試之分析及模式之初始時間) 之台灣地區雷達合成圖中 (圖 2)，台灣西南海面上有一對流系統、台灣東北海面上亦有兩條線狀對流系統，隨著時間的演進，西南方之對流系統逐漸移入台灣西南部，並造成台灣西南地區降下極大值約 80mm 的日降雨量 (圖 3)。LAPS 分析及模式之水平解析度均為 5 公里，網格點數為 199X247。分析時之垂直層數共有 21 層、間隔為 50hPa。而模擬時之垂直層數為 31 層。分析及模擬之背景場與側邊界條件來源為中央氣象局 NFS 模式在 2003 年 6 月 25 日 12Z 之預報，故背景值實際為 NFS 模式之模擬之 8 小時預報場。

首先，我們先比較新舊 (20-14、20-9) 版本對此個案的分析及預報之差異。圖 4 為新舊分析版本切過對流雲區之一垂直剖面圖，圖中可知兩版本最大的差別是在溫度場，舊版本之 $20^{\circ}C$ 等值線高度約在 830hPa 左右的高度，而在新版本則降低至約 850hPa 左右，兩者大約有 $2\sim 3^{\circ}C$ 左右的溫度差異。此差異對於 Hot-Start MM5 模擬會造成多大的差別呢？圖 5 為以新舊版本分析場為初始值之 Hot-Start MM5 模擬在 4 小時之模擬地面回波場及實際雷達觀測回波合成圖 (圖 5.c)，由圖中可知舊版比新版之模擬結果降下更大範圍的雨，且絕大多數多出來的降水區域在實際情況下並沒有發生，由此證明降雨過度預報的問題的確是因舊版本溫度分析之暖偏差所造成。此暖偏差之問題在美國地區並沒有造成如台灣地區之太過度降水預報，其原因可能是因為美國地區之濕度場並不如台灣地區來得大， $2\sim 3^{\circ}C$ 的偏暖分析並不會使大範圍的大氣處於條件不穩定狀態下，但在台灣則不然。由此亦可知，就算在美國地區有良好結果之氣象分析與預報系統，拿來至台灣地區時，仍需很長一條路的測試與改進，方能達到預期的效果。

接下來，我們談談 FSL/LAPS 中之垂直速度設定法之改進。其原來的雲區垂直速度之設定是以雲的所在位置、厚度及所屬雲種為重要依據，若雲種分類屬於層雲族，則雲內垂直運動採用定值 ($0.05m/s$)；若為積雲族，則以拋物線形垂直分布來定義垂直速度，而其極大值與積雲厚度成正比，而與水平網格距成反比。由於雲種的分類是由雲的環境溫度及相當位溫垂直梯度等二要素來判定，但由於對積雲族判別時，將溫度值設為判定高、中、低雲族之主要因素，假

設從低層開始發現有一積雲向上延伸，到溫度低於 -10°C 時會被判別為高積雲，再到溫度低於 -20°C 時被判別為卷積雲，故在同一朵積雲中被判別為三種積雲。而垂直速度之設定會使得上升速度無法貫穿整個雲層。如圖 6 所示，雖然由雲覆蓋值可知主要對流雲區從近 900hPa 高度向上延伸至近 100hPa，但其所得之垂直速度僅達約 500hPa，且其極大值發生在約 750hPa 之低層，此與吾人對於對流雲之垂直速度分布（極大值發生在中高層）有所差異。故職將積雲垂直速度設定法中之雲頂改為真正的雲頂（不管其為層雲或高層雲），並將極值與雲厚度之比值大小減小（以確保垂直速度極大值不會更改太多）。則可發現垂直速度極值區提高至 600hPa 左右之高度，並延伸至較高（約 100hPa）之高度（圖 6c），且此設定法之垂直速度分布較能有效反應紅外線衛星資料所得之雲頂高度之分布。而經由此項改變，對於 hot-start MM5 之模擬結果與未更改之結果幾乎一致（圖未示），顯示此項更改在不影響模擬結果下有較合理的垂直速度垂直結構分析。

對於雨帶移速問題，職利用雷達回波資料區分出降水系統內之對流區及層狀區，並針對不同區域給予不同的垂直速度分布。關於雷達回波資料區分對流與層狀區的分布，主要是利用回波值的大小及其水平的梯度做為判別的因子。而由於 LAPS 在雷達回波三維內外插時之限制及分析時之水平解析度的設定，職利用 LAPS 之回波分析值的垂直極大值當做區分對流與層狀區之輸入資料，並將其內插至解析度近 1 公里。在內插時，職分別利用 dBZ 及 Z 值做內插，其結果並沒有很大的差別。當得到對流區及層狀區分布後，在對流區與層狀區給予不同的垂直速度分布。

首先令對流區之垂直速度極大值與雷達回波所估計之最大降水終端速度值相同，此最主要是使得在模擬初始階段，上升氣流不致於被降雨產生的沖刷效應完全破壞，且較符合對流系統內部的結構。圖 7、8 為更改前後本個案初始分析場，由 850hPa 垂直速度場的分析比較，可知此對流系統個案之對流區主要位於整個系統的東側，故在系統東側之對流區有較大的垂直速度。另外由未更改前之垂直速度場發現有環狀分布現象產生，此乃因在此吾人僅利用一個雷達資料（七股雷達），由於雷達觀測最大仰角的關係，進雷達中心之對流降水區無法觀測到其上層，如此使得分析之積雲厚度不足所致。此又牽涉到另一個問題，在此個案中，因除了雷達資料外缺乏可供分析中層雲之資

料，若無雷達資料時，則此個案僅由紅外線衛星及地面雲報告分析出高低兩層雲，此情形亦會在雷達資料無法觀測到的區域產生。不管是缺乏雷達資料或其他資料判別中層之雲，都可能會誤判對流雲之厚度而造成垂直速度設定有較不一致或較差之結果，導致 Hot Start 模擬的錯誤。

由 850hPa 水平風場圖可知，由於吾人將對流區的垂直速度加大，使得系統附近低層有較強的輻合現象，並導致該區的水平風速較強，此亦是一個蠻大的問題，留待稍後再討論。而垂直速度的垂直剖面可明顯看到對流區與層狀區的分別，在此剖面中垂直速度極大值在更改前後差距達 6 倍以上，此亦是造成低層輻合及水平風速增強的主因。

如此的初始值改變，利用 hot start MM5 對此個案之模擬之改變為何？圖 9 為相對應模擬時間 1 小時、3 小時及 6 小時之雷達觀測圖，圖 10 及 11 分別為改變前後模擬 1 小時、3 小時及 6 小時之模擬回波場圖。2003 年 6 月 26 日 05:00LST 時之雷達合成圖中，在台灣西南之降水系統前緣已進入台灣本島西南部之陸地，並呈現北北西—南南東走向，與該處之台灣沿海走向一致。在其西方可見一南北走向的對流線，其西則存在一較寬廣的降水區。到了 6 月 26 日 07:00LST，前一時間描述的南北走向線狀降雨區移至台灣西南沿海，線狀對流的中心約略位於 $120^{\circ}E$ 經線上。到了 6 月 26 日 10:00LST 時，前一時間所述的線狀對流已移至台灣本島西南陸地，並較前一時間有減弱的現象。而其西方，在洋面有兩團降水區域，其形狀分佈呈一斜 n 字，n 字形之頂端較弱且位於 $120^{\circ}E$ 經線上，n 字形的兩側之尾端較強且範圍較大，兩側之中央則呈無回波區域。

圖 10 為未更改對流區垂直速度時（20-14 之新版本），hot start MM5 對此個案之模擬，在模擬時間 1 小時、3 小時及 6 小時之模擬地面回波場。在模擬時間 1 小時後，台灣西南海面上之對流系統呈現較散亂的情況（與圖 9a 比較），西南沿海的對流降水雖然有模擬出來，但其尚未進入台灣陸地，與真實情況有稍微落後的現象。真實情況下之台灣西南沿岸西面之南北走向線狀對流並沒有模擬出來。而台灣本島之山區附近產生一些凌散的山區對流降水，而此並未於觀測中顯示。到了模擬時間 3 小時後，台灣山區的對流降水已明顯減弱而消散，對照真實情況及前一時間在大陸西南之丘陵地亦有散亂的對流降

水產生，職強烈認為此可能是因為 LAPS 分析是在等氣壓面上處理，對於複雜的地形效應可能無法分析完善，而致使模式在初始 3 小時內在山區會有一些擾動產生，若再配合一些適度的水汽條件，會在山區產生過量之降水系統。在模擬中，台灣西南沿岸的對流降水此時才進入台灣陸地，相對於真實雷達觀測有近兩小時之落後。其西方海面上的主要對流降水區的前緣位在 $120^{\circ}E$ 經線以西約 80 公里處，與實際情況有偏西或落後近 100 公里的誤差。到了模擬時間 6 小時後，模式表現出的對流降水形狀雖然有點像真實的雷達觀測，前述時間的主要對流降水區分成南北兩個團狀區域，但仔細比較下發現，模式產生的這兩團降水區域較實際情況偏東，而經由之前的比較，我們可大膽的斷言此兩團非實際觀測的兩團降水區，反而更有可能是在實際狀況下位於 $120^{\circ}E$ 經線附近之降水區域。

圖 11 為更改對流區垂直速度後，hot start MM5 對此個案之模擬，在模擬時間 1 小時、3 小時及 6 小時之模擬地面回波場。在模擬時間 1 小時後，台灣西南海面上之主要對流降水呈現較前一模擬（未更改對流區垂直速度）結果更為有組織性，且亦較接近真實的雷達觀測。台灣西南沿海的對流降水亦較前一模擬為強且較接近台灣本島，但仍有些微落後真實觀測的現象，此可能是因為在此我們只有七股雷達資料，但因初始時此部分對流降水太接近雷達中心，因為雷達觀測仰角無法抬得太高，使得此部分之對流系統高層無法觀測，而使得此部分的對流垂直速度之垂直延展度及極值均有低估的現象，致使吾人無法得到較正確的模擬。真實情況下位於 $120^{\circ}E$ 經線西側的南北走向對流降水，在此模擬中雖然在該處有模擬出一些降水，但仍無法明顯的模擬出其形狀，此可能亦是前述原因所造成。而台灣山區之對流降水仍如前一模擬有過度預報之問題。到了模擬時間 3 小時後，台灣山區的對流降水亦如前一模擬般減弱消散。台灣西南本島因對流降水系統的移入而有明顯的降水，並較前一模擬接近真實雷達觀測，可知此部分在前一模擬產生的落後現象已有明顯的改善。其西方之主要對流降水區前緣已移至 $120^{\circ}E$ 經線附近，相較於前一模擬及真實雷達觀測可知更改對流區垂直速度明顯改進了兩帶落後的現象。到了模擬時間 6 小時後，主要的對流降水已移入台灣本島中南部，在模式中台灣外海模擬出兩個降水區（分別在澎湖附近及巴士海峽），此在真實觀測中並沒有產生，但在前一模擬中亦有發生。而在真實觀測中發生的 n 字型對流降水區在此模擬中並無發生，此現象可能是因為模式本

身雲物理過程無法有效模擬層狀降水區所致。

在前面我們曾提到更改對流區垂直速度後，在初始分析場中得到過強的低層輻合及風速值，其主要是因為吾人將對流降水區之垂直速度增強所致，由以往對中尺度對流系統的研究可知，雖然對流降水區的平均垂直速度為正，且最大上升速度值遠較該處之降水粒子終端速度之值為強，但實際上對流降水區之垂直速度並非水平均值的，甚或有很多地方為下降速度。故職利用亂數產生器使的有三分之一的對流降水區的垂直速度初始值為零，在進入平衡模組中調節水平風及熱動力場，如此得到的模式初始場中之低層輻合及水平風速可明顯的減弱一些。重要的是，將此初始場進行 hot-start MM5 模擬時其所得結果幾乎與未使用亂流產生器所得之模擬相同。

經由以上對雲區垂直速度設定法的修改及測試，我們得知經由對流及層狀降水區的區分，分別在對流區及層狀區給予不同的垂直速度剖面設定，可有效改進雨帶移速造成之降水落後現象。目前雖然得到的初始低層水平輻合太強，但可在不影響模擬結果下適度的修正此缺失。

四、建議

劇烈天氣的極短時天氣預報，為落實氣象防災、減災的重要工作；就台灣地區地理特性而言，劇烈降水所引發之土石流、山崩及淹水等，正是當前造成人民生命財產損失的主要天然災害。因此，做好定量降水預報，為氣象界所共同面臨的挑戰與任務。職本年度奉派與 NOAA/FSL 合作發展台灣地區中尺度模式短時預報系統 (Hot-Start MM5)，已就去年發現的雨量過度預報及雨帶移速等兩個問題完成初步的改進；然而，極短時天氣預報及定量降水預報的問題極為困難且複雜，惟有不斷研究改進，才能持續提升預報準確度。職就研究之心得有以下幾點淺見提供參考。

1. 分工合作研讀 LAPS 程式，寫成技術報告、並從中探討可改進之方向。
2. 每次分析所使用資料的圖形顯示系統建立。
3. 即時降水預報校驗系統之建立。
4. LAPS 分析後資料之 bias 分析。
5. background model data 之 bias 分析及其對 LAPS 分析結果之影響及改進。
6. hot start 邊界之 background model 之 bias 的校正與影響。
7. LAPS 分析中對降雨系統內部之垂直速度植入方法改進對 hot start 極短時降水預報之影響。
8. LAPS 分析中對降雨系統內部之降水粒子含量之分析方法之改進對 hot start 極短時降水預報之影響。
9. LAPS 之雲分析中對雲內三維雨、雪等分析方法之改進對 LAPS 分析結果之影響及其對 hot start 極短時降水預報之影響。
10. GPS 資料反演之垂直方向水含量總量資料植入 LAPS 分析之影響評估。
11. GOES09 水汽頻道資料植入 LAPS 分析之影響評估。

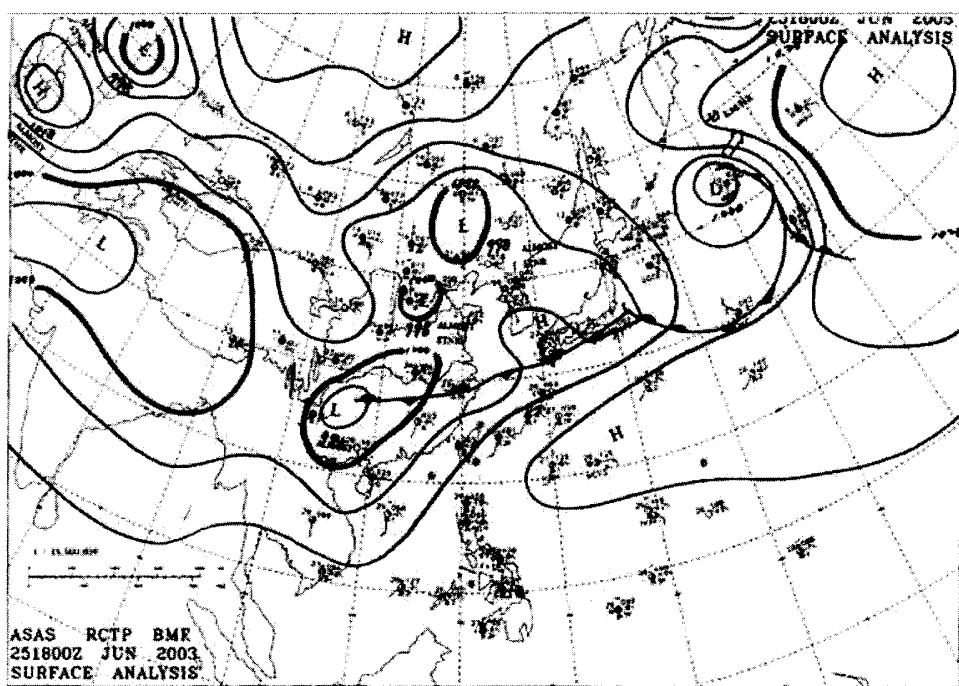


圖 1：2003 年 6 月 25 日 18Z 地面天氣分析圖。

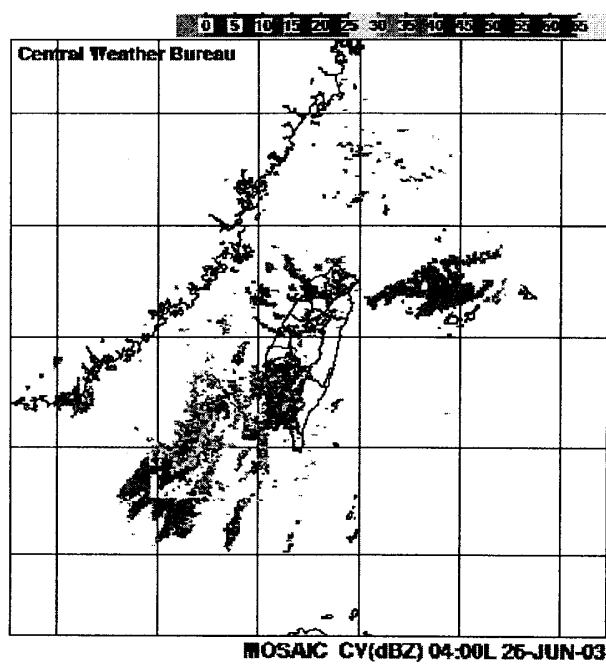


圖 2：2003 年 6 月 25 日 20Z 雷達觀測回波合成圖。

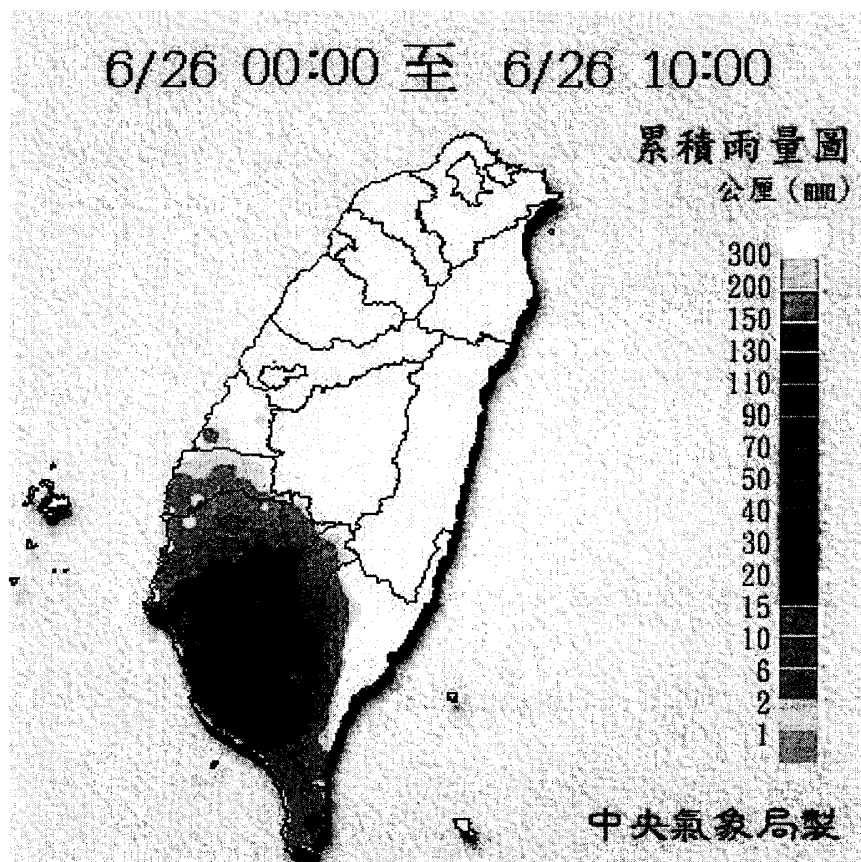


圖 3：2003 年 6 月 26 日 00：00LST~10：00LST 台灣地區累積降雨量圖。

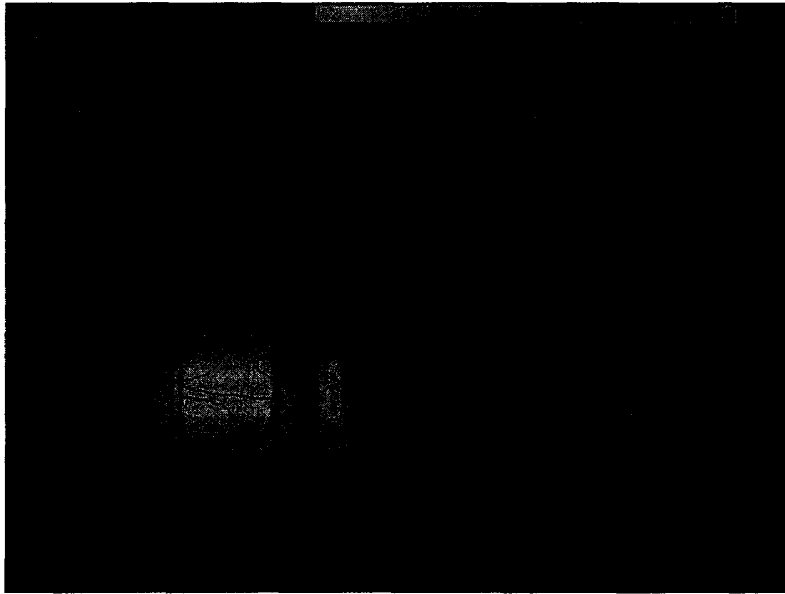


圖 4. a：舊版（20-9）在 $Y=400\text{km}$ 的垂直剖面圖，圖中影像為垂直速度圖（單位為 pa/s ），等值線為溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）及東西方向風速（ m/s ）。

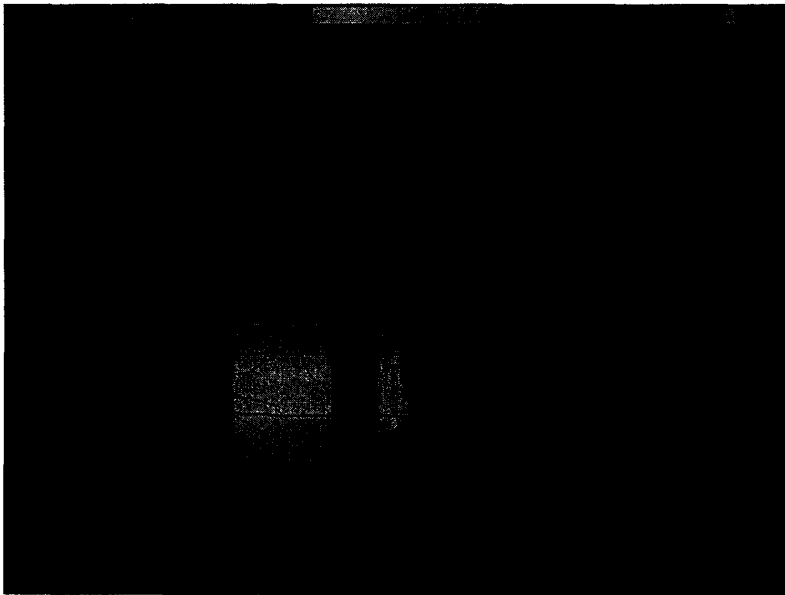


圖 4. b：新版（20-14）在 $Y=400\text{km}$ 的垂直剖面圖，圖中影像為垂直速度圖（單位為 pa/s ），等值線為溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）及東西方向風速（ m/s ）。

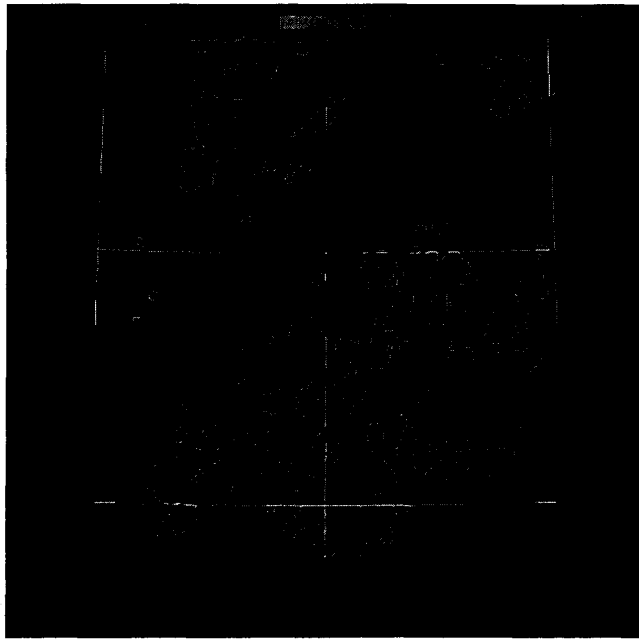


圖 5.a：舊版（20-9）Hot-Start MM5 模擬時間 4 小時之地面
模擬回波場。

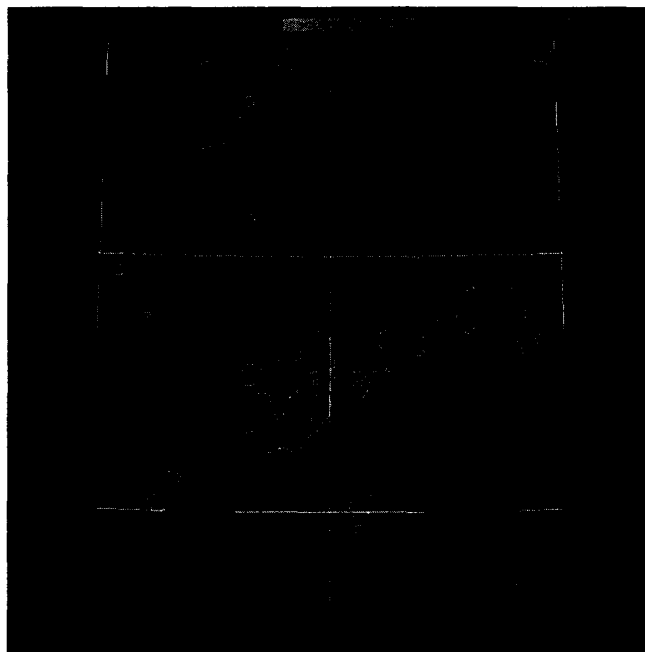


圖 5.b：新版（20-14）Hot-Start MM5 模擬時間 4 小時之地面
模擬回波場。

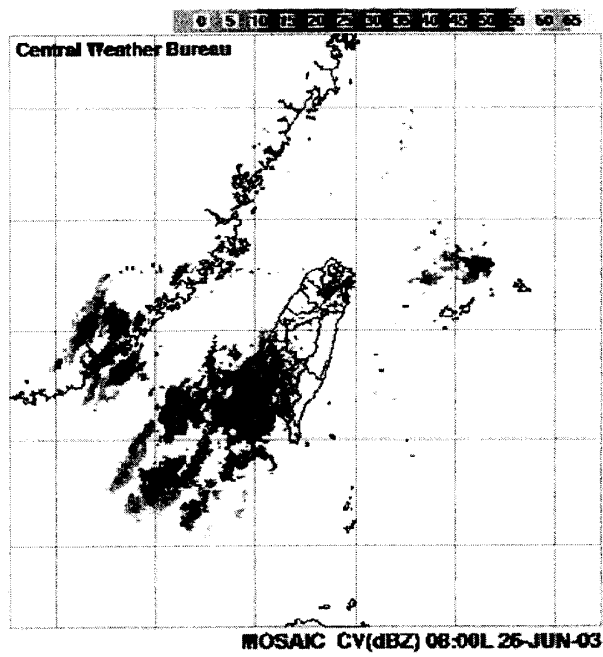


圖 5. c：2003 年 6 月 26 日 08:00LST (0000 UTC) 雷達觀測合成回波圖。

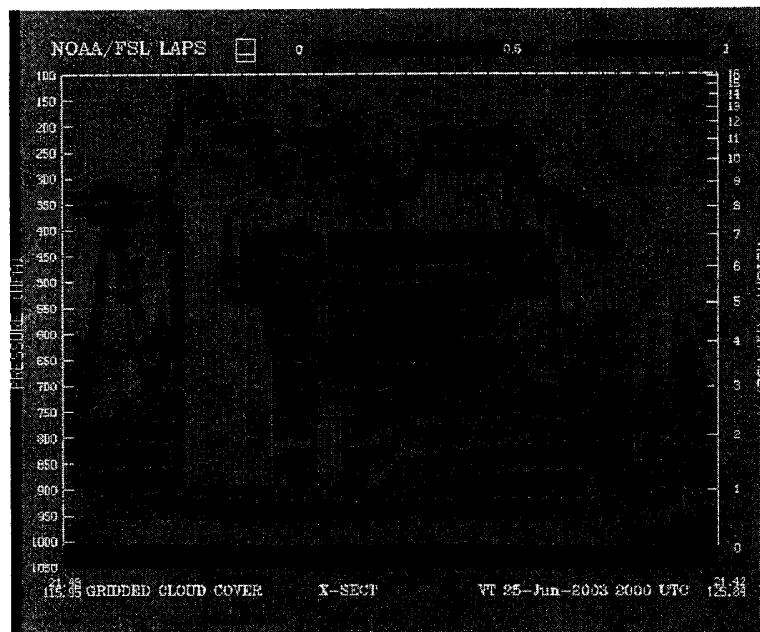


圖 6. a：Y=400km 的垂直剖面圖，圖中影像為雲覆蓋率，水平風向風速以風標表示。

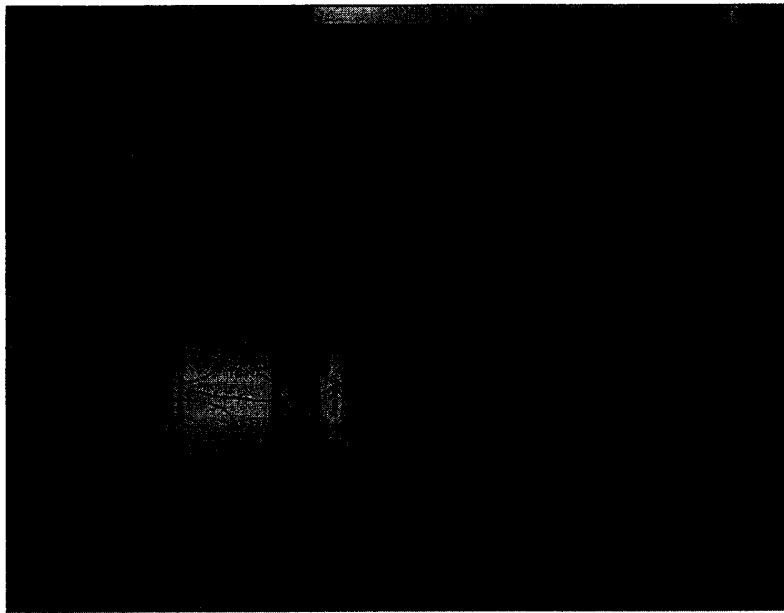


圖 6. b：更改垂直速度設定之積雲雲頂高度前， $Y=400\text{km}$ 的垂直剖面圖，圖中影像為垂直速度圖（單位為 pa/s ），等值線為溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）及東西方向風速（ m/s ）。

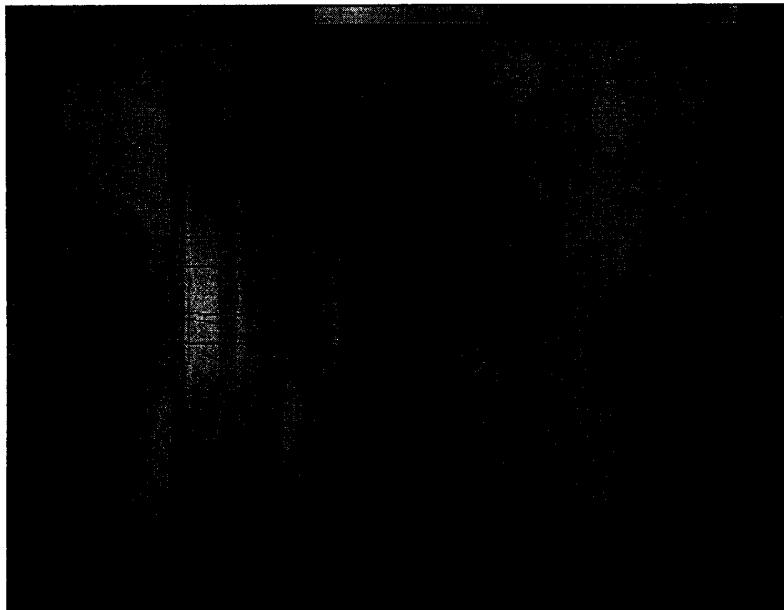


圖 6. c：更改垂直速度設定之積雲雲頂高度後， $Y=400\text{km}$ 的垂直剖面圖，圖中影像為垂直速度圖（單位為 pa/s ），等值線為溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）及東西方向風速（ m/s ）。

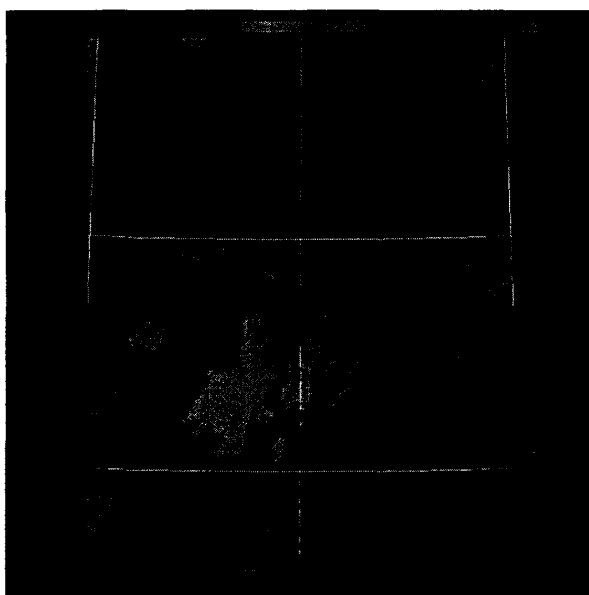


圖 7.a：更改對流區垂直速度設定法前，850hPa 面上垂直速度圖（單位為 pa/s ）。

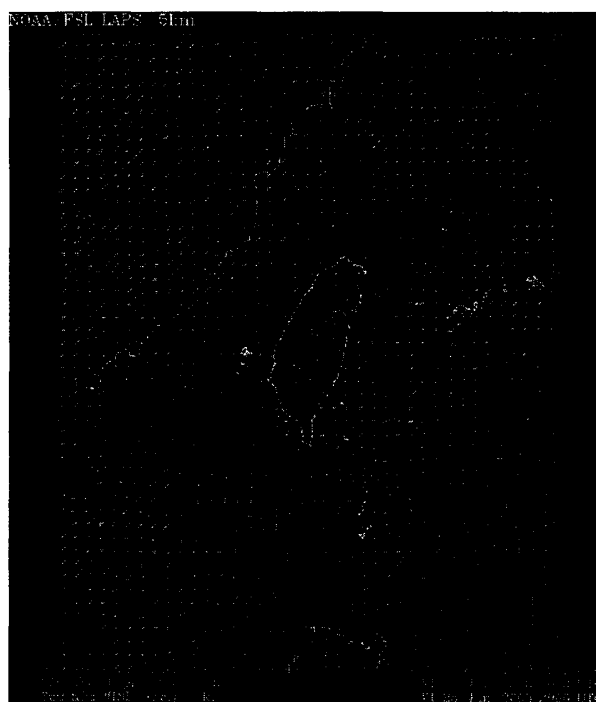


圖 7.b：更改對流區垂直速度設定法前，850hPa 面上水平風場、高度場及溫度場圖。

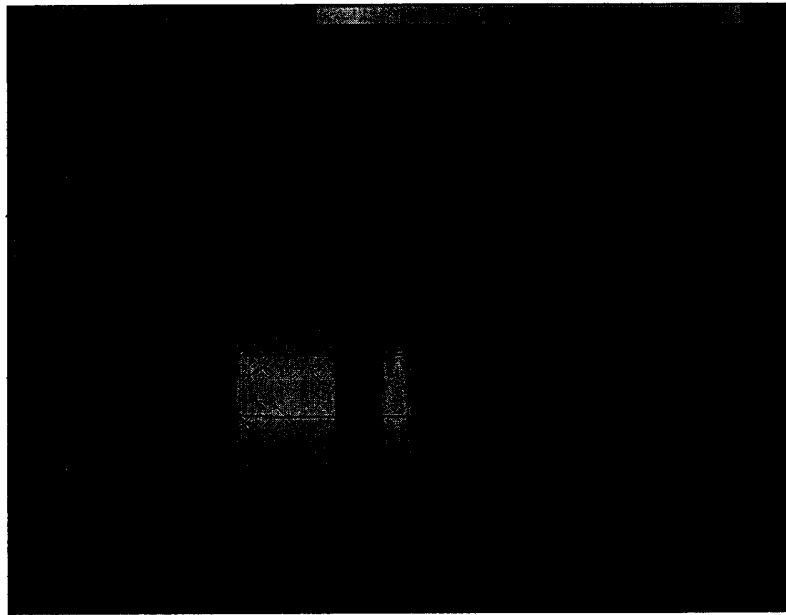


圖 7. c：更改對流區垂直速度設定法前，Y=400km 的垂直剖面圖，圖中影像為垂直速度圖（單位為 pa/s ），等值線為溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）及東西方向風速（ m/s ）。

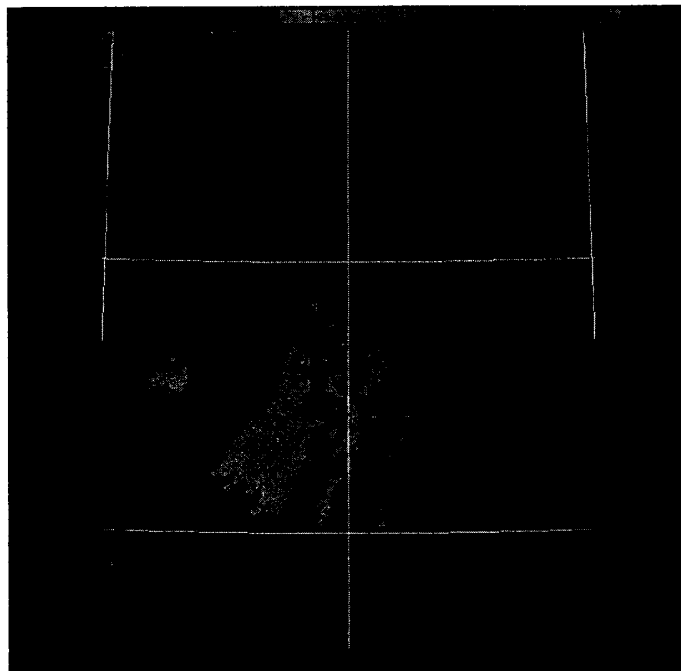


圖 8. a：更改對流區垂直速度設定法後，850hPa 面上垂直速度圖（單位為 pa/s ）。



圖 8. b：更改對流區垂直速度設定法後，850hPa 面上水平風場、高度場及溫度場圖。

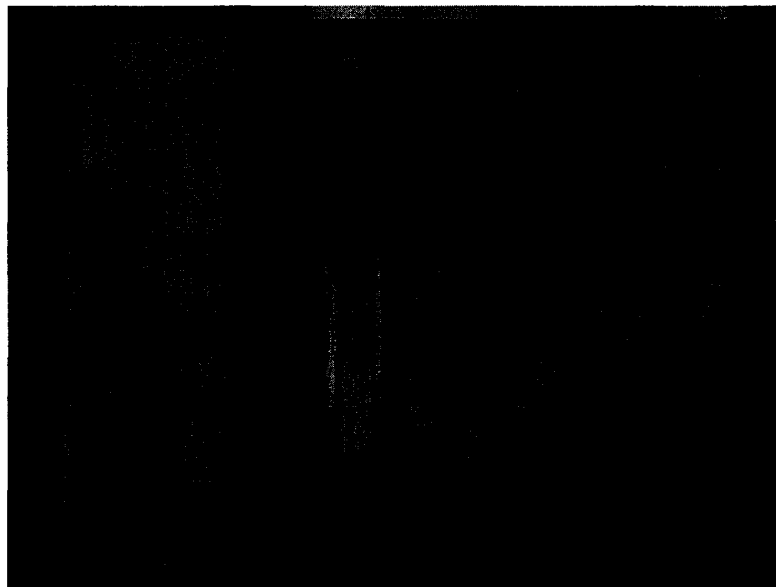


圖 8. c：更改對流區垂直速度設定法後，Y=400km 的垂直剖面圖，圖中影像為垂直速度圖（單位為 pa/s ），等值線為溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）及東西方向風速（ m/s ）。

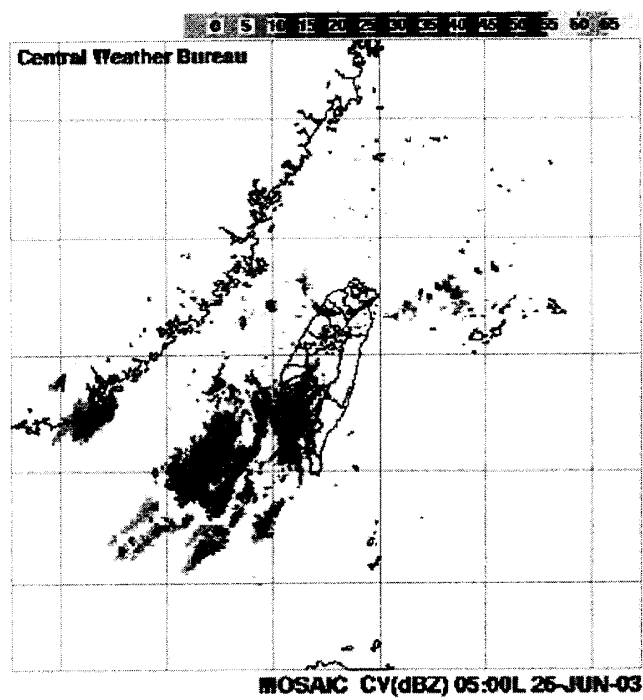


圖 9.a：2003 年 6 月 26 日 05:00LST 雷達觀測合成回波圖。

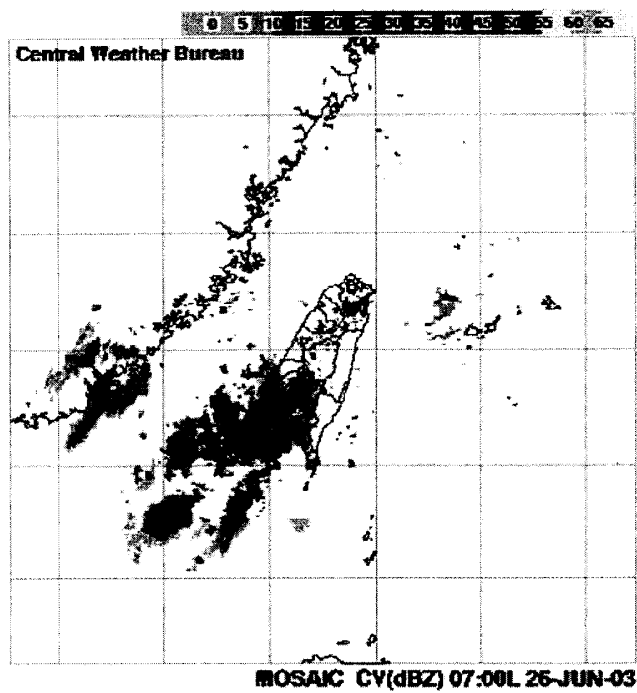


圖 9.b：2003 年 6 月 26 日 07:00LST 雷達觀測合成回波圖。

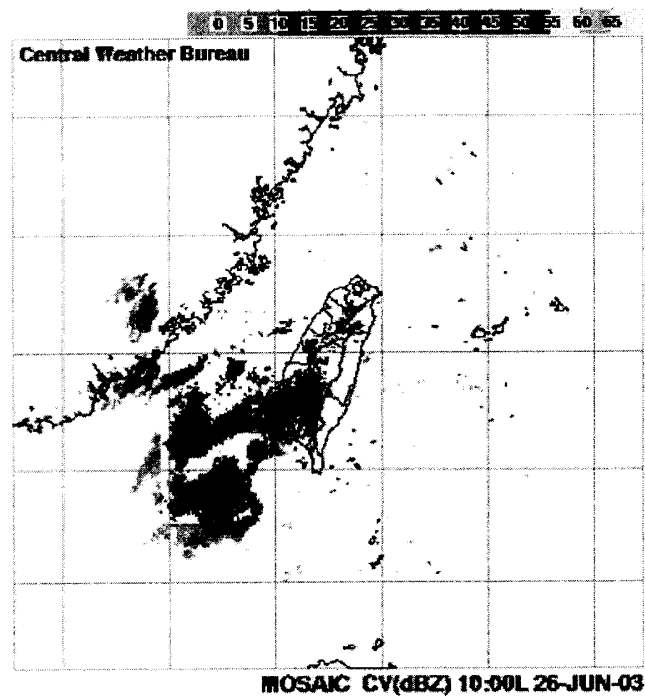


圖 9. c：2003 年 6 月 26 日 10:00LST 雷達觀測合成回波圖。

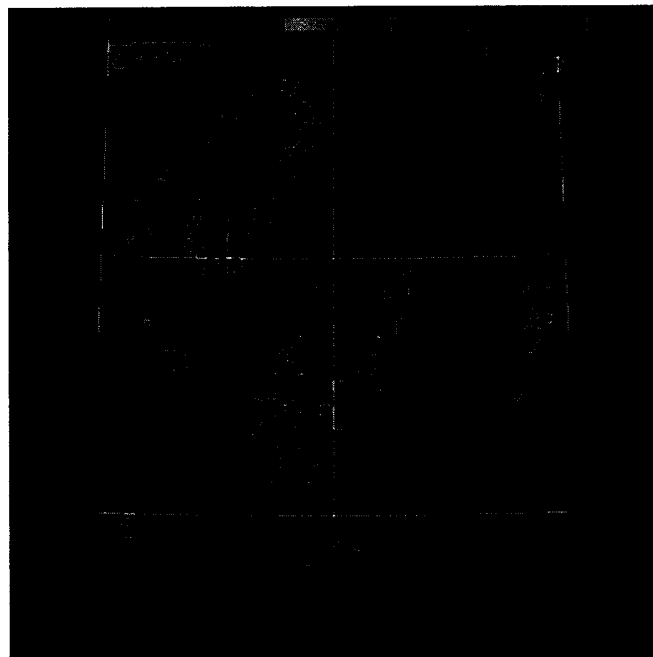


圖 10. a：新版（20-14）模擬時間 1 小時（相當於 05:00 LST）之地面模式回波圖。

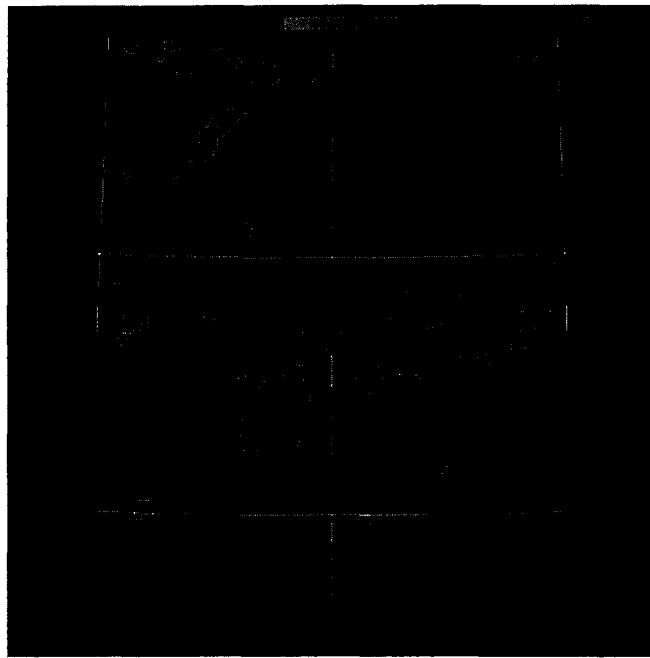


圖 10.b：新版 (20-14) 模擬時間 3 小時 (相當於 07:00 LST)
之地面模式回波圖。

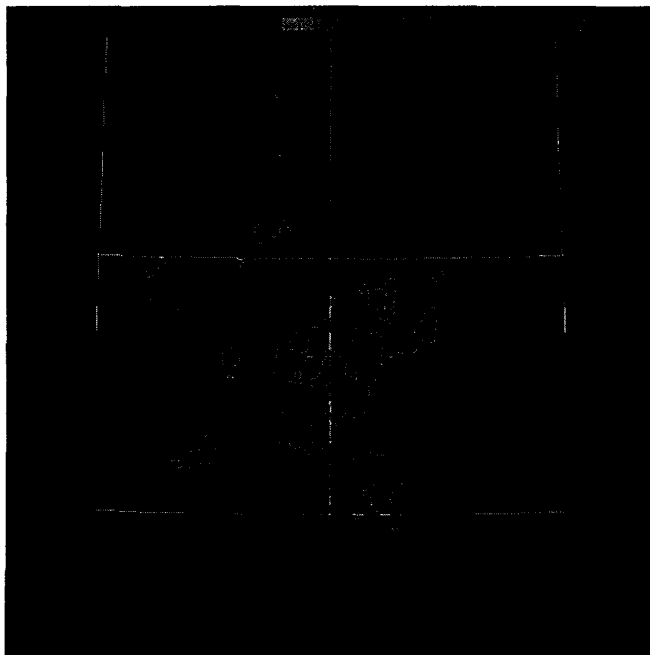


圖 10.c：新版 (20-14) 模擬時間 6 小時 (相當於 10:00 LST)
之地面模式回波圖。

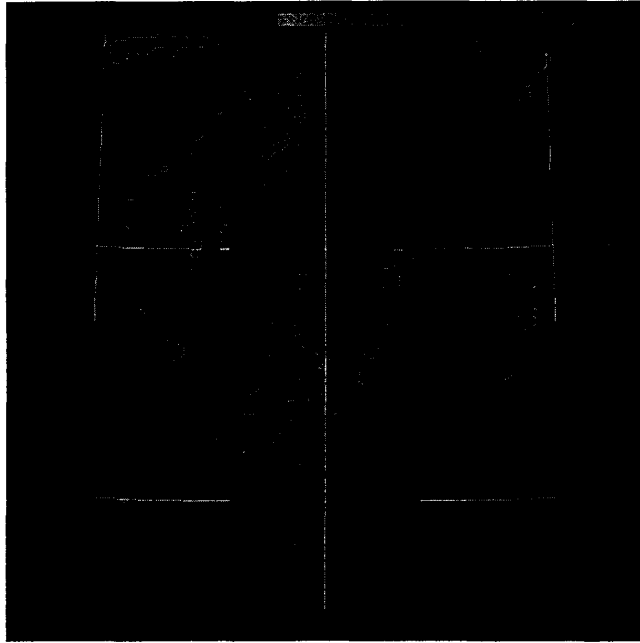


圖 11.a: 改變對流區垂直速度設定法後，模擬時間 1 小時（相當於 05:00 LST）之地面模式回波圖。

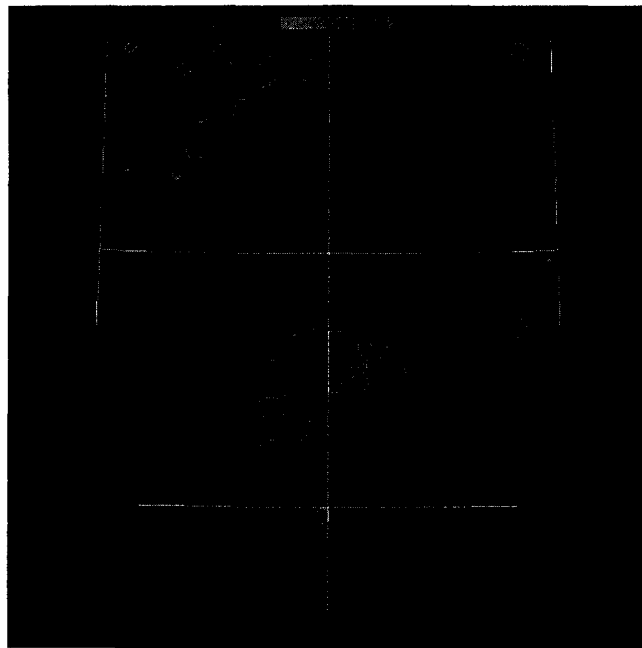


圖 11.b: 改變對流區垂直速度設定法後，模擬時間 3 小時（相當於 07:00 LST）之地面模式回波圖。

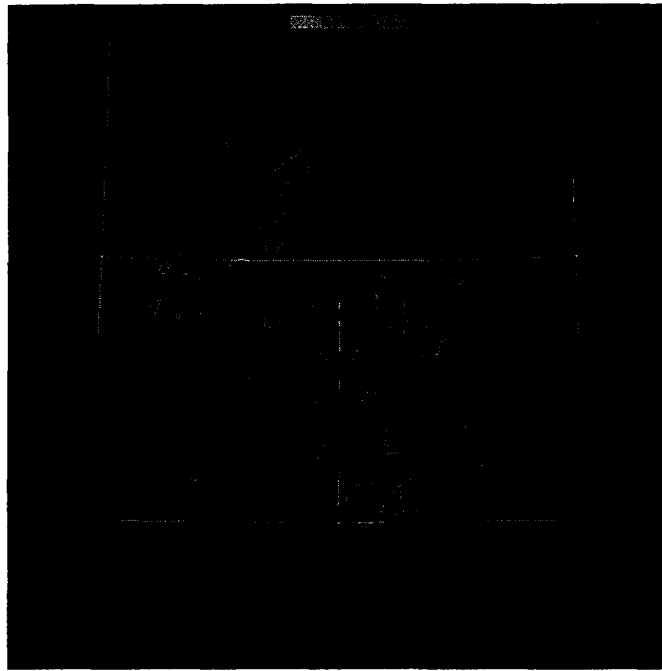


圖 11. c: 改變對流區垂直速度設定法後，模擬時間 6 小時（相當於 10:00 LST）之地面模式回波圖。