

MM5 模式之降水預報

簡芳菁

中央氣象局

摘要

本研究利用 PSU-NCAR¹ 中尺度數值模式 MM5 進行台灣地區降水預報之模擬與分析。除了研究客觀分析步驟在模式中的重要性之外，也探討 MM5 運用於台灣地區降水預報之能力，並進而評估其成為作業性模式的可行性。使用水平解析度為 45 及 15 公里，研究顯示客觀分析步驟在模擬的鋒面速度及降水預報準確度上有很大的幫助。同時，經由長達半年的測試及研究改進，MM5 模式運用於台灣地區已漸趨穩定與成熟，所獲經驗可供日後作業上之參考。

一、簡介

MM5 模式（全名為 The fifth generation PSU/NCAR Mesoscale Model）早期在西元七十年代，主要是由 Dr. Anthes 以及一群賓州州立大學（Pennsylvania State University）的研究生發展出來的。當時，在 Anthes and Warner（1978）這篇文章中，對這個模式最早的雛型有了一個介紹。後來，其中一部份人到美國國家大氣中心（National Center for Atmospheric Research, NCAR）工作，也把這個模式帶到 NCAR 繼續發展（Anthes et al., 1987）。截至目前為止，經由不斷的研究更新，模式已經發展到了第五代（Grell et al., 1994）。預計未來幾年內，第六代的模式（MM6）將可問世，屆時新的模式不但可以增進計算的速度，也將包含更多、更新的物理過程。MM5 模式之所以能夠不斷的進步與發展，主要是它的使用者群遍及全世界各地，透過每年一次的研討會，每一個人都會提供建議，甚或回饋自己改進模式的心得。近年來，經由愈來愈多利用 MM5 所作的研究顯示，這個模式已漸趨成熟，不但可以用做研

究的一項工具，也有愈來愈多的人用它來做每日作業性的預報，例如韓國、中國大陸、香港、以色列、及義大利等。

本局科技中心是於民國八十六年四月開始研究建置 MM5 在現有的電腦系統中，並於五月底開始做每日一次的模擬測試。初始時間選在 1200UTC。當時正值國科會研究計劃「梅雨期豪雨實驗計劃」的先期觀測測試期間，此模式的建置當時雖然未臻完善，仍然參與計劃的執行，並嘗試提供數個個案的預報。

從九月份之後，模式已增加了許多重要的模組，並且漸趨穩定，於是改成每天作兩次的模擬（0000UTC，1200UTC）。並把預報的結果放在一個網際網路的網頁上供大眾讀取，其網址是：<http://rdc.cwb.gov.tw/mm5>。這個報告主要是對 MM5 在本局半年多的測試做一個簡單的回顧，並探討以下的問題：

（1）加入客觀分析的重要性為何？

（2）初始資料中的濕度場（RH）對降水預報有何影響？

¹ Pennsylvania State University – National Center for Atmospheric Research.

二、基本架構 (configuration)

現行測試期間的 MM5，由於可用的電腦資源有限，其架構 (configuration) 設定主要以時間為考量。例如，目前的網格設定，包含兩個網域 (domains)，水平解析度分別為 45 km 及 15 km，網格點數為 81 x 71 與 91 x 91 (參考圖 1)。以上網格涵蓋的範圍並不大，主要是受限於電腦速度。將來可再增加一個水平解析度 5 km 的網域。垂直方向為 sigma 座標，共有 27 層，將來若要提高水平解析度，垂直層數也必須增加才行。預報的長度也是受限於電腦資源，目前僅做 36 小時的預報。初始資料的來源是以本局全球模式的分析場當作初始猜值 (first guess)，再輸入觀測資料 (包括傳統與非傳統資料)，重新做客觀分析。邊界條件 (boundary condition) 則使用全球模式的預報場。一般而言，影響中尺度模式表現的一項重要因素是初始資料及邊界條件的準確性；因此，在執行模式前的資料處理對模式的模擬有決定性的影響。本文將介紹客觀分析對模擬的重要性以及濕氣場對降水模擬的重要性。

三、初始資料的重要性

在李等 (1998) 的研究中，他們發現使用 ECMWF 的分析資料所獲得的初始場及邊界場來做一個鋒面個案的模擬，可得不錯的結果，包括鋒面的位置及風場的分佈皆很接近觀測。但是，當使用本局全球模式的分析場來做同樣的模擬時，結果卻不甚理想，主要是預報的鋒面速度明顯比實際觀測資料慢了許多 (圖 2a)。以上的模擬均未在 MM5 模式的前置作業中 (preprocessors) 加入客觀分析。為了研究以上差別的來源，吾人把客觀分析的步驟加入後，再重新做一次模擬。結果發現，12 小時預報的鋒面位置與觀測非常接近 (圖 2b)。顯見在前置作業中加入客觀分析可以幫助預報準確的鋒面速度。

對天氣系統的移動預報的正確與否，也無疑地影響到其他各種預報，例如降水量的預報。在

一個針對梅雨期間的個案所做的測試中，顯示有加客觀分析的模擬降水，比較接近觀測 (圖略)。

另一個影響降水預報的主要因素是初始時間水氣的分析，現行全球模式的初始分析場對水汽的處理比較特殊，初始場的水汽沒有做客觀分析，僅以前 12 小時的預報場取代，如此，水汽一有偏差，便容易在降水預報上產生分佈型態或降水量的錯誤。例如初始時間為民國八十六年十二月十九日 1200UTC 的 MM5 預報顯示台灣南部及海面上有大雨的生成，但是觀測卻沒有這樣的雨區，顯見模式預報有誤。經不斷地追蹤，發現是東沙島的探空資料在這個時間出問題，高層的溫度露點差全部報告為零，導致在初始場中此區附近海面上出現一個接近飽和的假溼區，進而造成模式的誤報 (圖略)。

四、降水預報的個案研究

民國八十六年五、六月，在「梅雨期豪雨觀測實驗」期間，MM5 模式曾經參與計劃執行的預報作業。當時在五月份，共有三個密集觀測期 (IOP) 不過這幾個 IOP 的降雨量並不很大，也沒有形成災害。六月份共有四個 IOP，前三個 IOP 皆有豪雨的發生，而且分別在台灣西部及南部地區造成災害。其形成原因主要為滯留鋒面配合旺盛西南氣流引起的中尺度對流系統 (MCS)，最後一個 IOP 則在花蓮造成水患，豪雨的形成原因主要為午後組織性的對流。IOP4、IOP5、及 IOP6 為本文有興趣的個案，以下的討論將以他們為主。

IOP4 的個案發生在六月四日前後，圖 3a 顯示從六月四日 0000UTC 到六月五日 0000UTC，24 小時的累積降雨量在台灣西半部從北到南有很多地方超過 200 公厘，南部甚至達到 396 公厘。MM5 模式 15 km 的網域 (domain) 所模擬的 24 小時累積降雨量在台灣南部有最大值，約為 80 公厘，台灣北部僅在山區有較大的雨量，約為 50 公厘 (圖 3b)。最大的降水量 (> 200 mm) 發生在福建沿海地區。由 700 hpa 的 RH 場 (圖略) 可見

主要的滯留鋒面位於台灣北部的海面上，台灣西南海面上有強盛的西南氣流引進豐富的水汽，在台灣南部造成較大的降水。

至於 IOP5 則大約發生於六月十日前後，由圖 4a 可見，從六月十日 0000UTC 到六月十一日 0000UTC 之間 24 小時台灣地區的累積雨量在中部為最大，達到 375 公厘，北部有許多測站的降水也超過 100 公厘，東部地區則沒有降水。MM5 模擬的 24 小時降水（圖 4b）對整個降水的分佈（西部有雨，東部無雨）有很好的預報，只是仍然低估西部地區的降水量，最大值約為 65 mm，發生在西南沿岸。中部山區的最大降水模擬及北部的雲量降水則沒有預報出來。主要模擬的降水區域在台灣北部海面，和衛星雲圖比較，相當一致（圖略）。

和以上兩個 IOP 比較，IOP6 是降水比較緩和的一個個案，不過仍然在苗栗山區形成災害。從六月十五日 0000UTC 到六月十六日 0000UTC 的 24 小時累積降水（圖 5a）顯見降水區域在苗栗山區，最大值超過 100 mm，台灣南部則幾乎無降水。模式的降水預報也顯現出台灣山區有較大降水的型態（圖 5b），台灣北部山區的最大值約為 90 mm，中南部山區的最大雨量則似有比觀測稍強且偏東的型式。台灣南部的微量到零降水，模式似乎也預報正確。綜觀而言，主要的降水區域發生在台灣海峽上，衛星雲圖上在同一地區也有較厚的雲層出現，多少可以作為簡單的驗證。由各種資料顯示，此區為滯留鋒面的所在，低層有強盛的輻合，伴隨上升運動並形成較大的降水。

五、結論

由以上幾個梅雨期個案的降水模擬，我們可以發現 MM5 模式對台灣地區降水的分佈型態有不錯的預報，主要是模式準確模擬了綜觀尺度的天氣系統，因此，經由大尺度天氣系統（如鋒面）和地形交互作用而產生的局部地區降水，模式便可以預報正確的降水分佈型態。至於降水量的預報，15 公里水平解析度的網格並不足以和稠密

的自動雨量站相比較，因此，透過積雲參數化的處理後所得的降水量很顯然不足。在 Kuo and Wang (1997)中，他們利用 MM5 模擬賀伯颱風登陸期間在台灣地區造成的降水，在三個巢狀網格中（60 km, 20 km, and 6.7 km），以 6.7 km 的網格預報的降水與觀測最為接近（參見圖 6），而 20 km 與 60km 的網格則明顯低估了降水量，而且降雨的最大值也因地形解析的誤差而向西偏移。因此，前文 15 km 的網格對降水量預報的偏差應是網格解析度不足之故，將來若提高模式的解析度，在 5 km 解析度的網格內，應可較準確地做定量降水預報。

另外一個值得探討的問題是初始及邊界資料的來源。現行由本局全球模式提供初始時間分析場及預報場再加上 MM5 模式系統的客觀分析的作法，雖然比沒有做客觀分析的結果好，但是仍然有一些缺點。首先，就降水預報而言，水汽場的準確與否對模擬影響很大。現行全球模式的初始分析場對水汽的處理沒有做水汽的客觀分析，僅以前 12 小時的預報場取代，如此，水汽一有偏差，便容易在降水預報上產生分佈型態或降水量的錯誤。因此，若要達到定量降水的預報，研究如何改進濕氣場的分析應為當務之急。

最後，我們要再次強調，資料同化（FDDA）在數值模擬的重要性，一個再好的中尺度模式，若是沒有良好的上游資料（初始及邊界條件）配合，是不可能獲得準確的預報的；因為台灣周圍地區主要為海洋，洋面上觀測非常缺乏，資料的來源應儘速把衛星反演的資料納入，也應研究如何運用雷達觀測資料。在未來幾年內，更應發展伴隨模式（adjoint model）的技術，把傳統及非傳統的觀測資料完全納入作業中。以上的技術有賴我們儘速投入人力，否則區域模式預報的能力將無法充份發揮。

參考文獻

李尙武，郭英華，簡芳菁，1998：Testing of MM5

system for application of a cold air outbreak event。天氣分析與預報研討會氣象論文彙編(87)。

Anthes, R. A., and T. T. Warner, 1978: Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other meso-meteorological studies. *Mon. Wea. Rev.*, **106**,1045-1078.

Anthes, R. A., E.-Y. Hsie, and Y.-H. Kuo, 1987: Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model version 4 (MM4).

NCAR/TN-282+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 66pp.

Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR/TN-398+STR, NCAR Technical note.

Kuo and Wang, 1997: Rainfall prediction of Typhoon Herb with a mesoscale model. *Preprints of Workshop on typhoon research in the Taiwan area*. Boulder. 35-45.

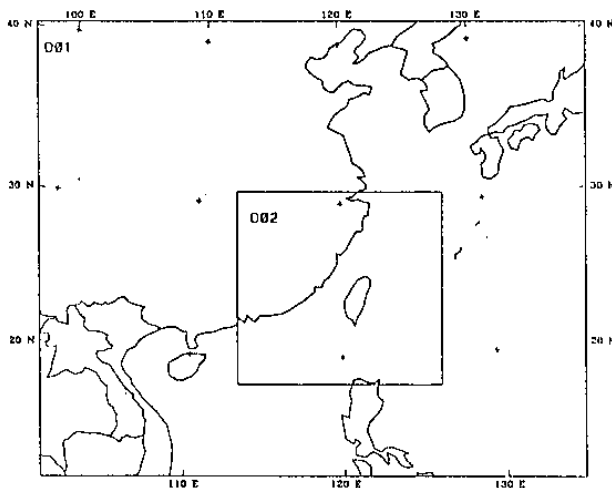


圖 1：現行本局 real-time MM5 模式的網格設定，共包括二個網域 (domain)，分別為 45 km 及 15 km 的水平解析度。

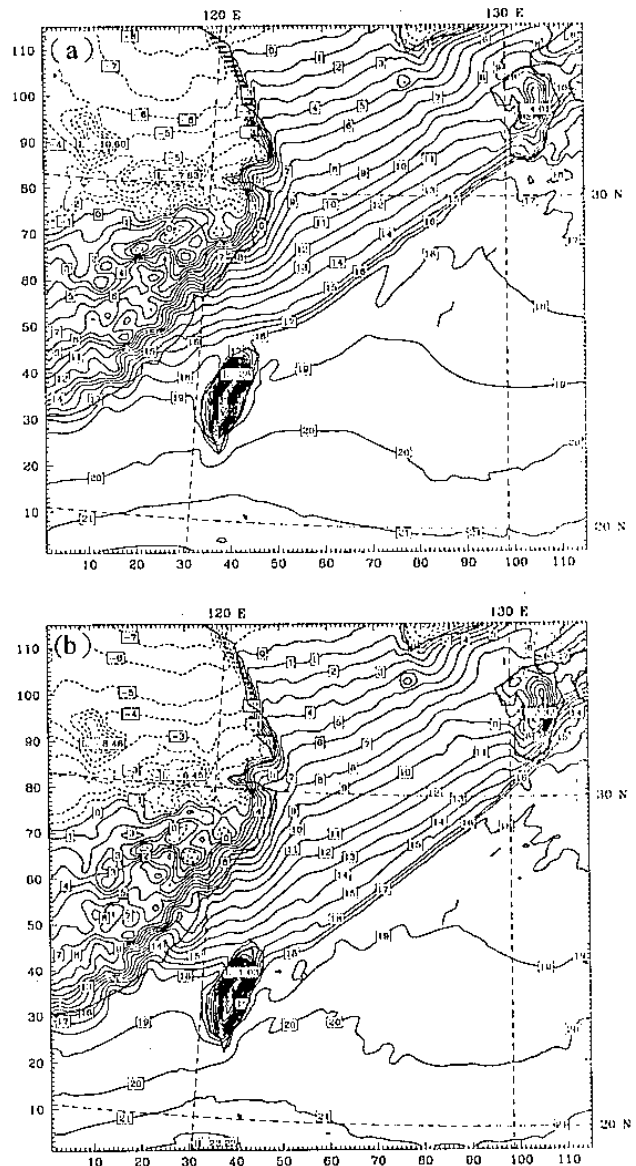


圖 2：12h 地面溫度預報場：(a) 利用 CWB 全球模式的資料作為初始場，對 1996 年 1 月 8 日的冷鋒進行 MM5 模擬的結果(摘自李等，1998)。(b) 加入客觀分析後所作的模擬。

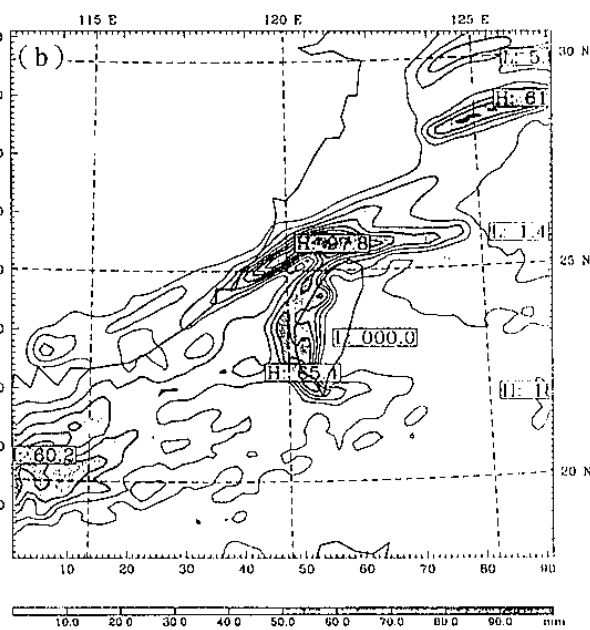
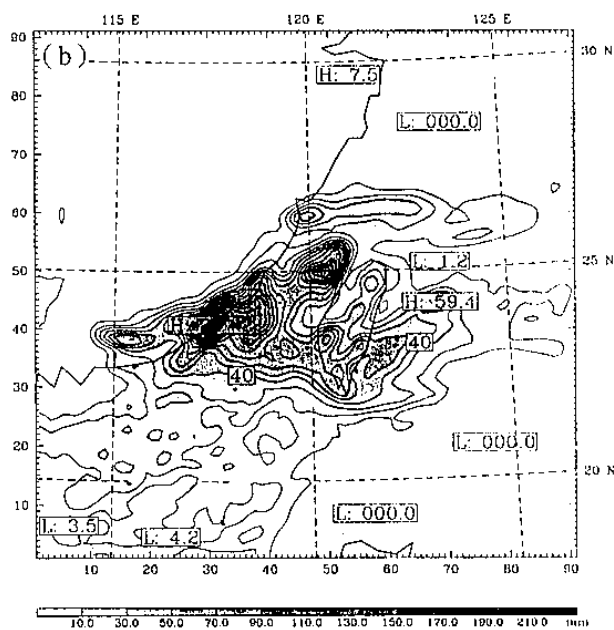
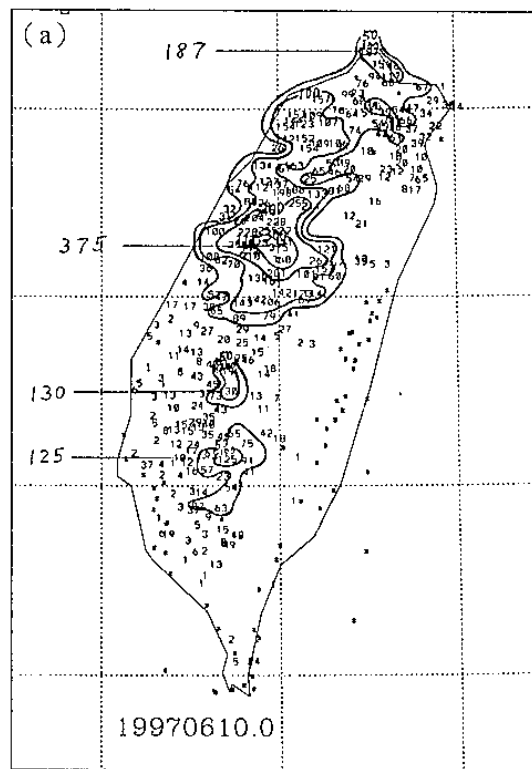
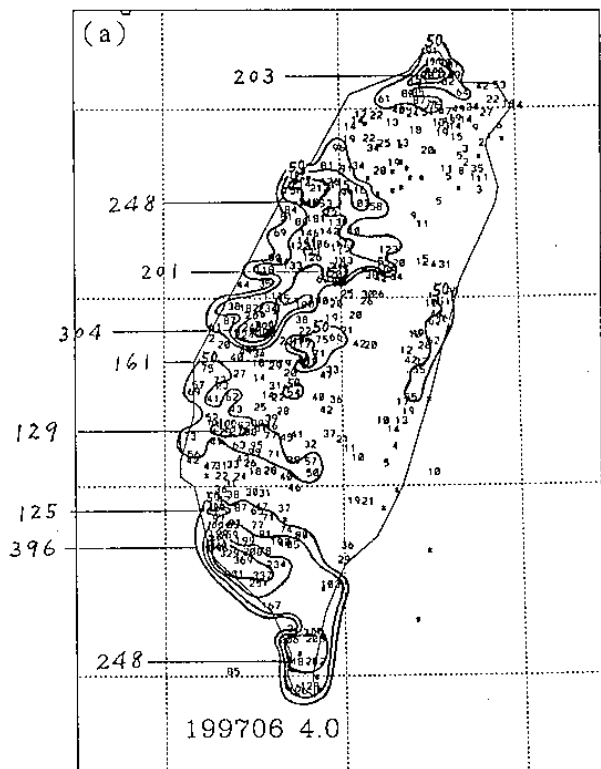


圖 3：(a) 台灣地區 24 小時累積雨量（六月四日 0000UTC 至六月五日 0000UTC），單位公厘，* 表示零降水，等值線為 50, 100, 200 及 300mm。(b) MM5 模式之降水量(h12-h36)，等值線間距為 10 mm。

圖 4：同圖 3，但累積雨量從六月十日 0000UTC 至六月十一日 0000UTC。

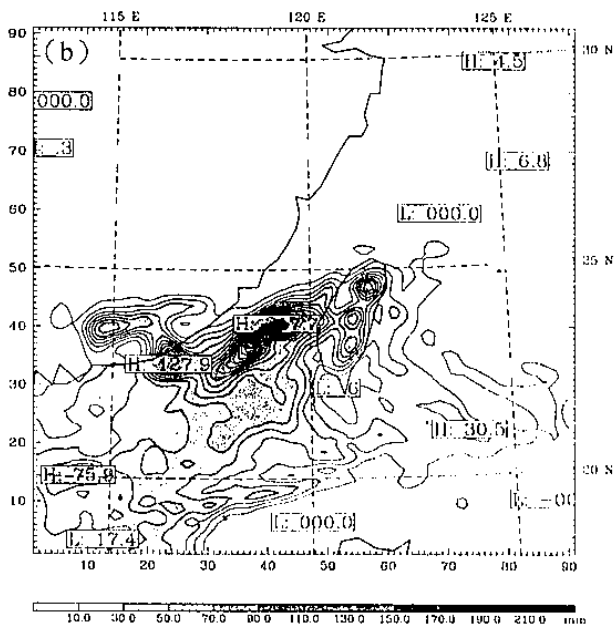
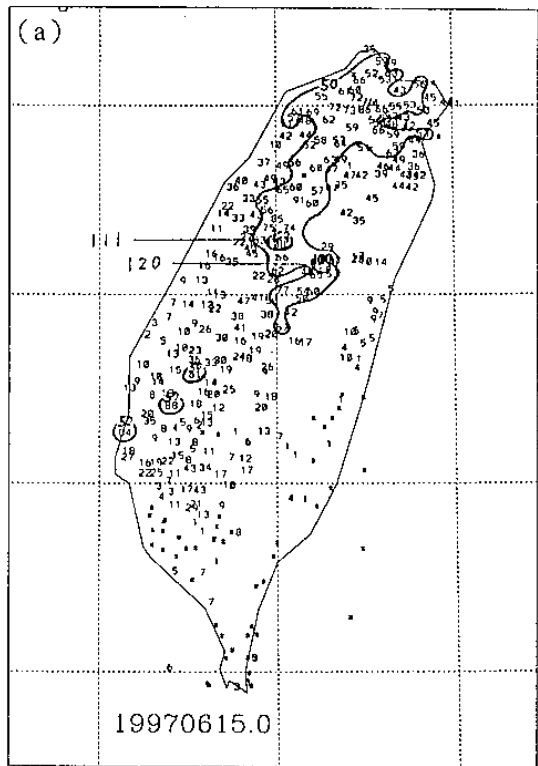


圖 5：同圖 3，但累積雨量從六月十五日 0000UTC 至六月十六日 0000UTC。

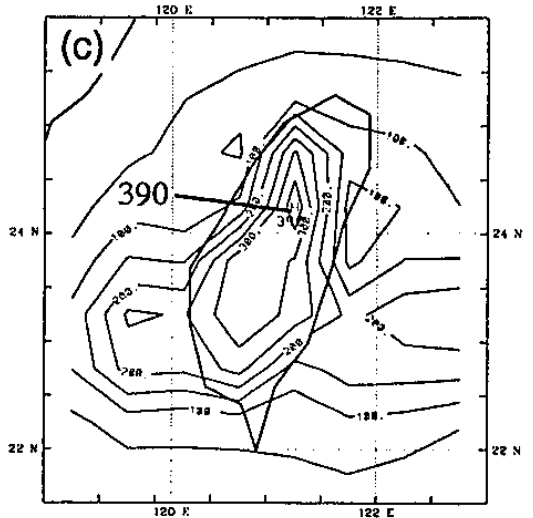
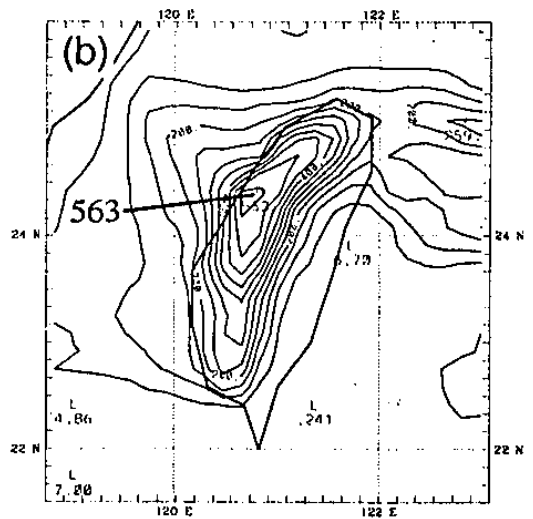
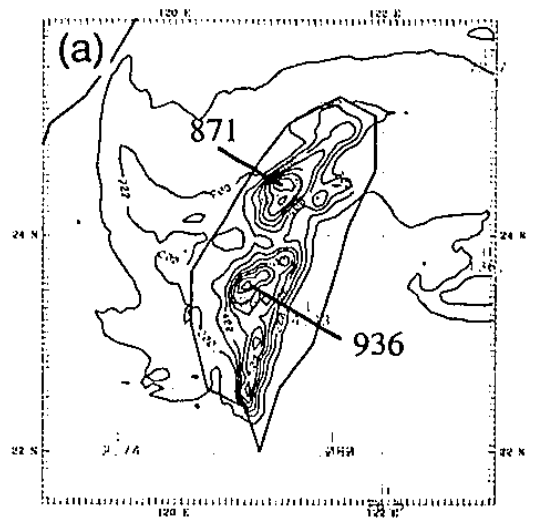


圖 6：24 小時模擬降水（單位：mm）。時間從 1996 年 7 月 31 日 0000UTC 到 8 月 1 日 0000 UTC，水平解析度為 (a) 6.7km，(b) 20km，(c) 60 km（摘自 Kuo and Wang，1997）。