

# 梅雨季豪大雨預報技術之發展與整合計畫簡介

紀水上  
中央氣象局

## 摘要

本計畫目的在建立台灣梅雨季豪(大)雨預報和定量降水預報技術,主要研究重點包括:(1)建立高解析度(5×5公里網格)中尺度定量降雨預報模式;(2)建立綜觀、中至對流等不同尺度之豪大雨和定量降雨預報方法(法則);(3)整合不同尺度之預報技術建立中尺度概念模式;(4)結合綜觀、中尺度氣候、中尺度模式、衛星與雷達遙測技術、概念模式等建立中尺度預報系統;(5)透過梅雨季豪雨預報實驗進行各種方法之測試,並將技術轉移至中央氣象局。

本文又以紅外線和水氣頻道衛星雲圖和各層觀測資料,分析1997年梅雨季兩個MCS個案,結果顯示相當位溫脊軸和1000-500 hPa厚度場在MCSs之發展和移動扮演重要角色。結果顯示又發現水氣羽與MCSs之發展有密切關係。

關鍵詞:豪(大)雨預報、定量降水預報、中尺度概念模式、水氣羽

## 一、前言

降雨、豪雨和定量降水等之預報為國際普遍存在的重要預報問題,也是我國目前氣象研究與天氣預報作業所面臨的重要問題。降雨預報是氣象人員面臨最大挑戰的課題之一,而豪(大)雨預報和定量降水預報則遠比降雨預報困難。中尺度對流系統(mesoscale convective systems; MCSs)為導致豪(大)雨的天氣系統。若MCS已存在,它可產生多少雨量?雨要下多久?此降雨系統將移往何處?若MCS未發生,則它何時形成?在何處形成?強度如何?……。要解答這些問題,預報員須對導致豪(大)雨的天氣條件需深入瞭解,尤其此種導致豪(大)雨的天氣系統經常不被傳統觀測站所解析,數值模式在預報此較小尺度過程的不穩定,在在都顯示豪大雨和定量降水預報的困難性。

中尺度對流系統為台灣梅雨季豪(大)雨的製造者。換言之,豪(大)雨預報就是中尺度預報,即為短時預報(short range forecasting)、極短時預報(very short range forecasting)和即時預報(nowcasting)。然而,導致雨量之多寡視該系統在多尺度環境下之組織與結構而定。此多尺度包括全球尺度(如孟加拉灣之水氣輸送)、綜觀尺度環境(如 $\theta_e$ 脊軸,低層噴流等)、中尺度(如地形引發渦旋和外流邊界等)至對流尺度(移動和對流尺度之交互作用等)(Chi and Scofield, 1991)。當此雷暴雲成熟時,引發高對流層的中尺度反氣旋、中對流層渦旋和低層外流邊界(outflow boundary)而影響大氣。此三種中尺度系統

又可導致另一豪(大)雨事件,例如低層外流邊界與其他邊界(例如地面鋒面)發生交互作用可形成甚強的MCS(Purdom, 1979);中對流層渦旋所伴隨的對流雲可導致下游豪(大)雨(紀, 1993; Johnstone, 1982),而中尺度高壓的外流可增強高對流層噴流條之強度,有利於其下游不穩度的釋放(Chi and Chen, 1989)。由此可見,導致台灣梅雨季豪(大)雨的天氣系統係自綜觀尺度、中尺度至對流尺度的多重尺度天氣系統。因此,欲做好豪大雨與定量降水預報,首先必須分別針對各種尺度之觀測資料加以分析與探討,以建立各尺度之預報技術(方法),然後透過技術整合,建立一套較完整的預報技術(方法),並透過預報實驗,完成作業測試和修正,並將技術轉移至作業單位以落實計畫的預期成果。

## 二、計畫之整合構想和目標

前已敘及中尺度對流系統為導致豪大雨之主要天氣系統之一,因此豪大雨預報也是中尺度對流系統的預報。就預報所需的資料而言(圖1),當豪雨事件發生時,現行之觀測資料(如衛星、雷達和地面觀測)幾可完全解析,但隨時間加長其解析能力迅速降低,幸運地我們有數值預報模式產品可資利用,該等資料可解析距豪雨事件12小時至36小時前。中尺度對流系統之預報重點在系統之移動和降水之即時、極短時和短時預報。上述之預報有諸多不同方法,但每個方法的有效度不同(圖2)。0-3小時預報以線性外延為佳,而數值預報模式則在12小時後才具預報能力,即使中尺度模式亦須在9小時後才有預報能力。而3-9

或 3-12 小時之預報方法須由中尺度氣候法補足。

一個降雨系統在一地帶來一兩公厘的小雨量，但也可能在另一地帶來百公厘之豪（大）雨。目前預報員只能依賴外延。雖然外延法在線性是有用的，但也可能是致命的陷阱；因豪雨系統具有快速變化且為非線性的特性，因此預報常會有失誤。同化所有不同的資料型發展為概念模式（conceptual model）藉以協助預報員辨認常製造豪（大）雨系統非線性發展條件，以提高其預報準確度是必要且刻不容緩的。

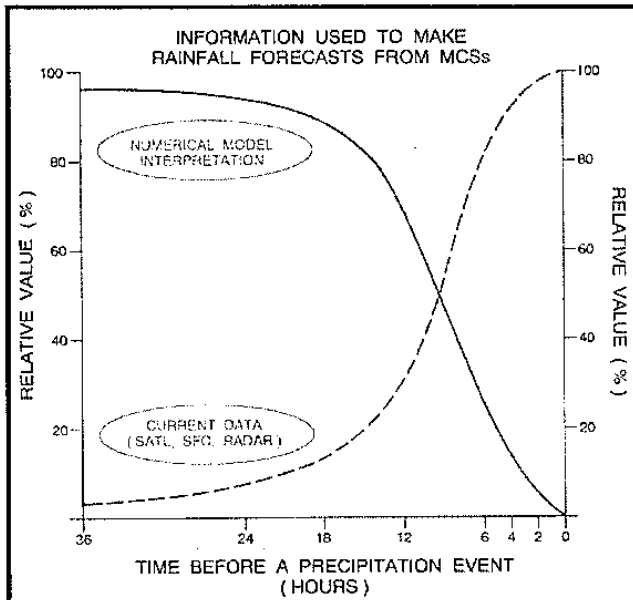


圖 1 用於從中尺度對流系統預報降雨之氣象資料。

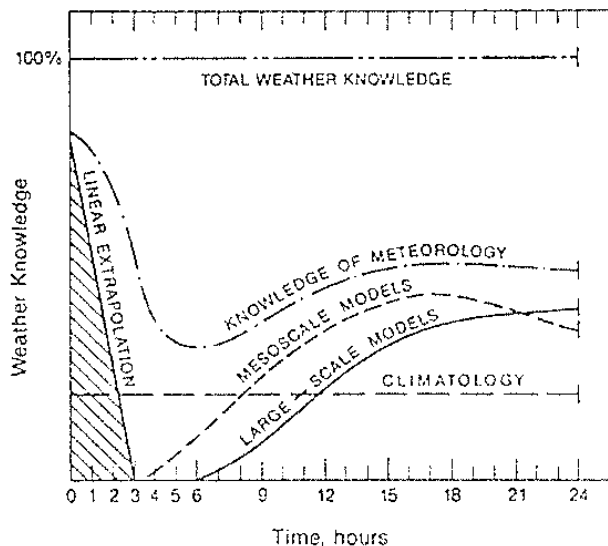


圖 2 不同短時（中尺度）預報方法之有效度（摘自 Doswell, 1986）。

由上分析顯示，欲做好豪雨預報和定量降水預報需包括綜觀尺度、中尺度氣候、中尺度模式、衛星和雷達資料應用技術，以及中尺度概念模式等研究。因此，結合對任務體認和研究興趣相近的學者專家，

共同組成「梅雨季豪（大）雨預報技術之發展與整合研究群」。此研究群成員包括學術單位（台灣大學、中央大學和中國文化大學等）和作業單位（中央氣象局），參與人員依個人專長與整合計畫需求分工如下：

1. 總計畫：紀水上、周仲島、劉廣英
2. 綜觀強迫組：陳來發、劉復誠
3. 中尺度氣候組：陳泰然
4. 衛星和雷達資料應用組：丘台光、周仲島
5. 中尺度模式組：柳再明、簡芳菁
6. 局部環流組：林沛練、張隆男
7. 概念模式組：紀水上、丘台光

本計畫目標在建立台灣地區梅雨季豪大雨預報和定量降水預報技術，主要研究重點包括：(1) 建立高解析度（5 × 5 公里網格）中尺度定量降水預報模式；(2) 建立綜觀、中至對流等不同尺度之豪雨和定量降水預報方法（法則）；(3) 整合不同尺度之預報技術建立中尺度概念模式；(4) 結合綜觀、中尺度氣候、中尺度模式、衛星與雷達遙測技術、概念模式等建立中尺度預報系統；(5) 透過梅雨季豪雨預報實驗進行各種方法之測試，並將技術轉移至中央氣象局。

本整合計畫除技術開發外更包括資料庫建立、技術轉移、新技術引進及自動化系統之建立等方面，本整合計畫共有八個子計畫，擬以五年完成。第一及第二年著重綜觀、中尺度、衛星和雷達等資料庫之建立及預報技術之研發，並配合每年梅雨季豪雨預報實驗進行測試及改進所研發的預報方法（法則），第三年則著重自動化豪大雨與定量降水預報系統的建立，以供作業單位使用及參考。第四及第五年配合洪水預報之需求，發展全省各流域降水估計與定量預報技術之建立，以供防洪作業單位使用及參考。

### 三、中尺度預報之概念模式簡介

#### （一）國外

Funk (1991) 整合一些伴隨豪（大）雨的定量降水預報技術，該技術包括類型辨認、濕度的可用度、低層內流和輻合、噴流結構、低層相當位溫、厚度分流（thickness diffluence）、厚度飽和（thickness saturation）、優勢厚度（preferred thickness）以及經驗定則（rules of thumbs）。該技術已被美國國家氣象部門所運用。Funk 強調像 Maddox et al. (1979) 和其他研究者所發展之概念模式在預報過程的重要性。Maddox et al. (1979) 研究 150 個豪（大）雨個案，他將製造豪雨得天氣系統劃分為三類，即：綜觀型

(synoptic events) (圖3)、鋒面型 (frontal events) (圖未示) 和中尺度高壓型 (mesohigh events) (圖未示)。後兩者為中尺度現象，而前者雖為綜觀強迫所驅動，但乃發生在 meso- $\alpha$  尺度。Spayd (1982) 和 Elsner et al.

(1989) 又增加了氣旋環流型 (cyclonic circulation type) (圖4)。Junker (1992) 已將上述的研究成果寫成豪(大)雨預報手冊。類似的工作國內亟待開發。

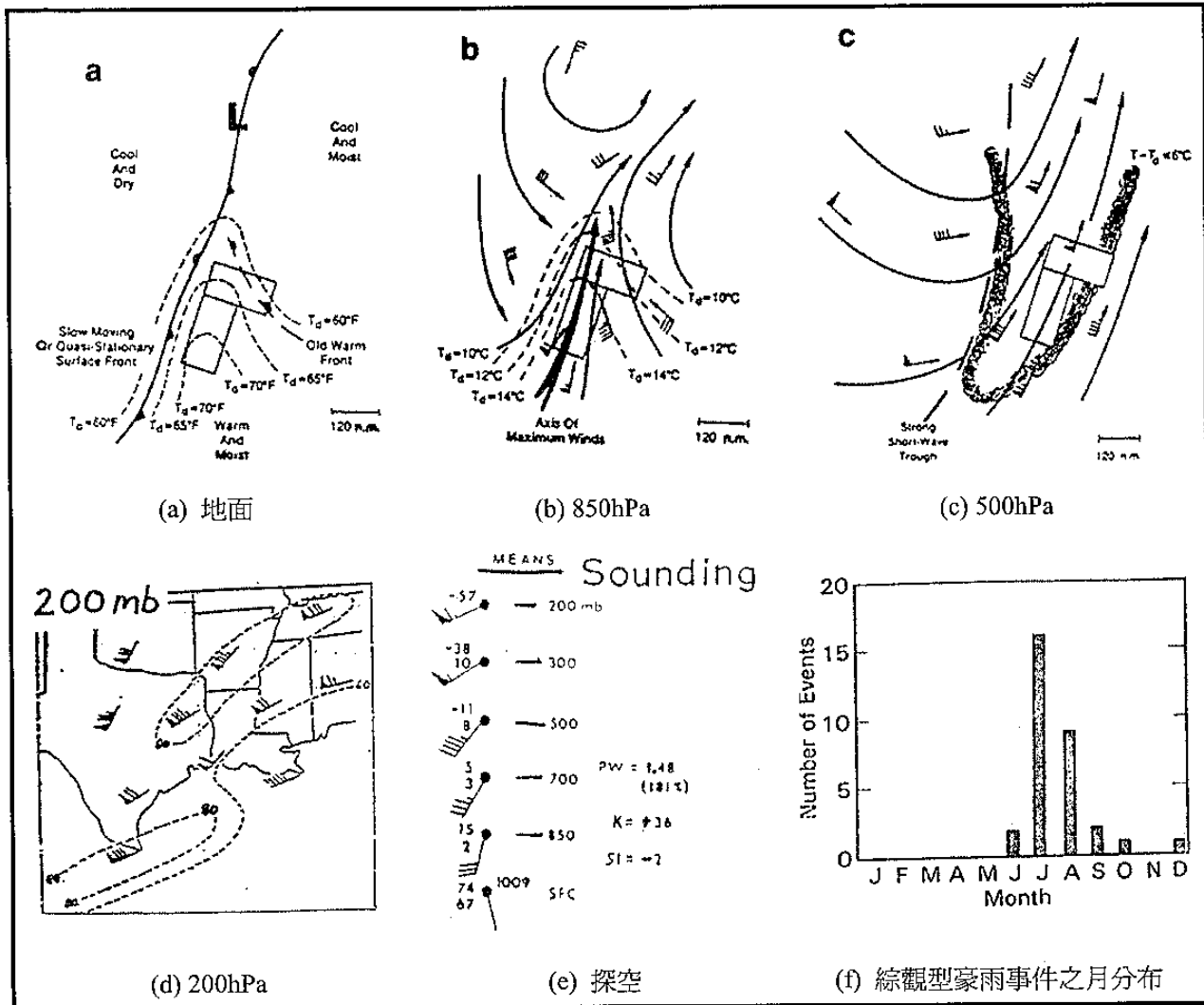


圖3 導致美國地區豪大雨之天氣類型：綜觀型 (方形為最大對流雨發生區) (摘自 Maddox, 1979)。

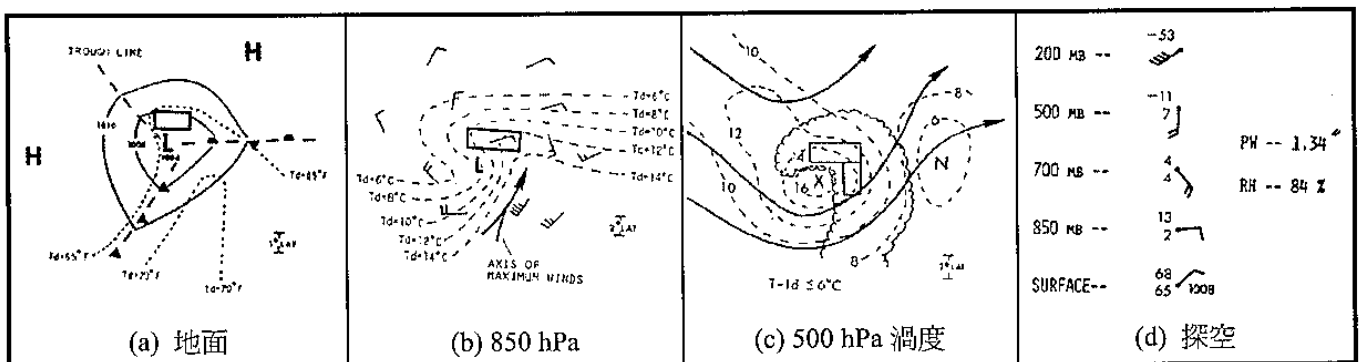


圖4 伴隨暖雲頂對流系統之綜觀尺度環流合成圖。(500hPa：實線為氣流線，虛線為等渦度線，貝狀線包圍區為溫度露點差 $\leq 6^{\circ}\text{C}$ ；探空：可降水量和相對濕度為地面-500hPa之平均；方形為最大對流雨發生區) (摘自 Spayd, 1982)。

衛星影像在豪(大)雨預報最有價值的工具之一，尤其在短時預報。Scofield and Oliver (1977) 是第一一個利用衛星影像估計雨量的氣象學家。之後，Scofield

(1987) 考慮雲系所在環境之對流層頂高度和水氣含量而修正其方法，該法作業化已達十餘年，且被引進國內運用(紀, 1993)。近年來，Jiang and Scofield (1989)

利用GOES衛星影像將MCSs之移動劃分為前進的（向東移動）、後退的（向西／發展）和再生型（regenerative），並利用傳統觀測資料和數值預報產品，發展成概念模式（參見圖5）。

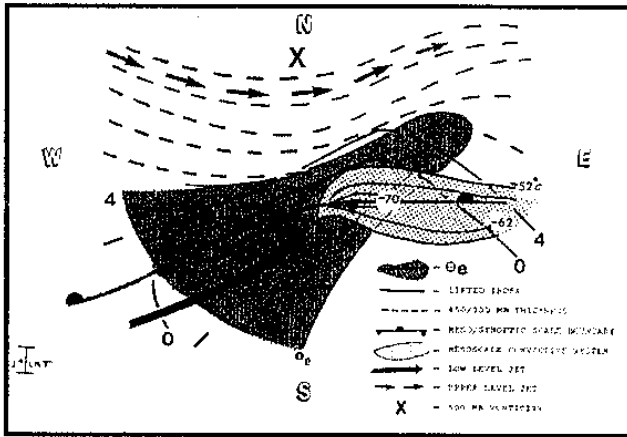


圖 5 MCS 移動之概念模式：後退型（摘自 Jiang and Scofield, 1989）。

MCSs 能改變幾百公里外大氣環境的環流、溫度和溼度場。圖 6 為一成熟 MCC 的垂直結構，反饋過程在此圖以：(1) 冷氣丘引發外流邊界和低層中尺度高壓，(2) 中層渦旋，和 (3) 高層反氣旋外流可在 MCS 西北方引發噴流條 (jet streaks)。在圖 7 的外流邊界概念模式中的卷雲為 MCS 引發的噴流條。MCS 同時可改變 1000-500/850-300hPa 厚度型式。厚度型式的改變和最大不穩定區的位置可使在一相當大緊密的梯度向前移動的 MCS 變成在一微弱梯度分流型的向後移動的 MCS (見圖 8)。

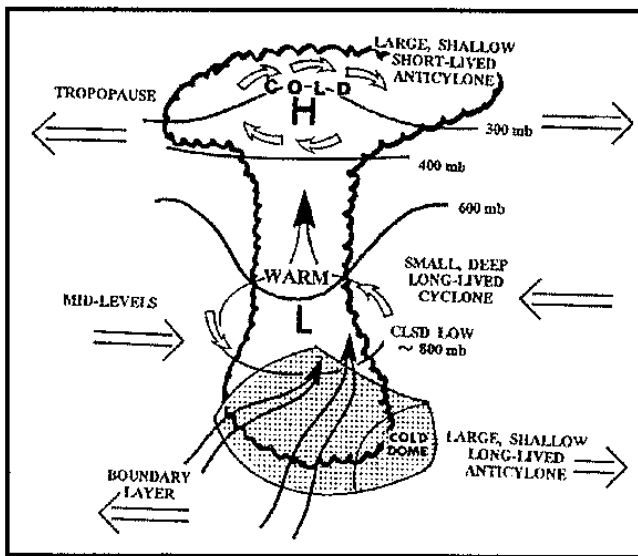


圖 6 成熟 MCC 垂直結構概念模式（摘自 Scofield and Achutuni, 1996）。

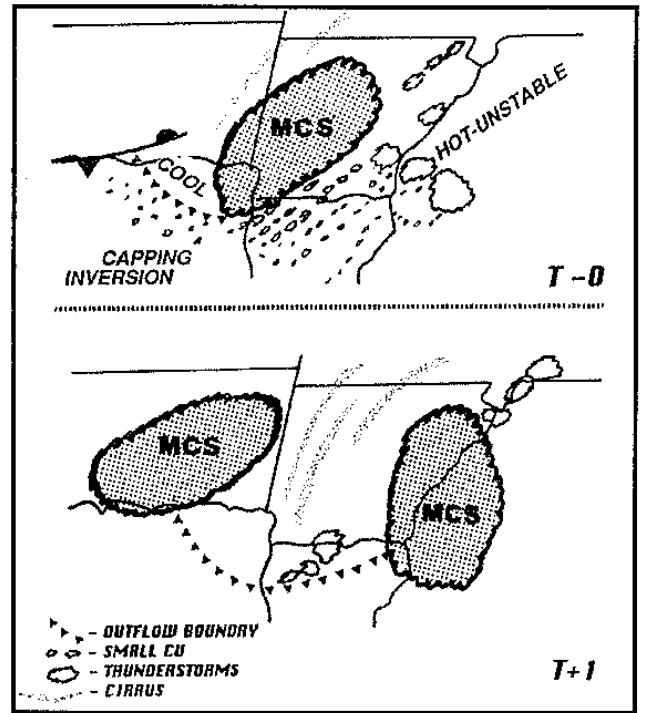


圖 7 外流邊界、對流尺度交互作用和 MCS 形成之概念模式（摘自 Thiao, et.al., 1993）。

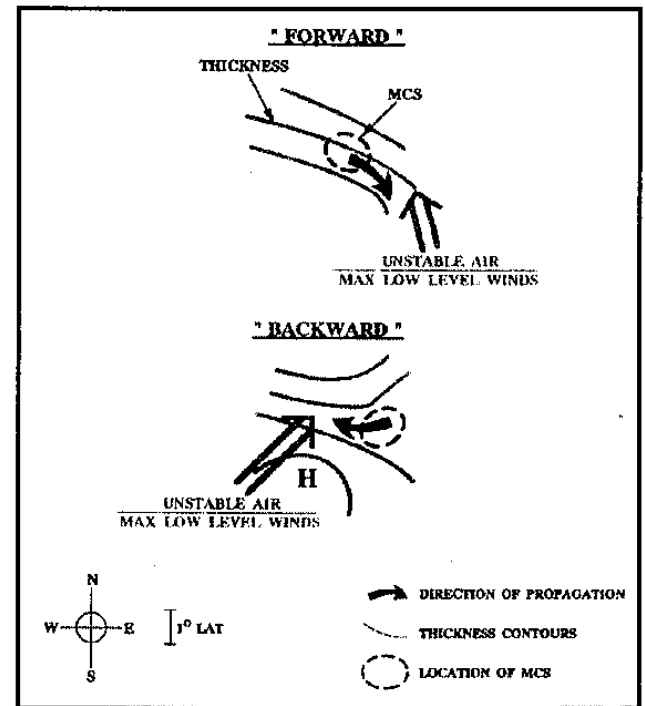


圖 8 厚度型式和不穩定爆發區雨 MCS 移動之關係（摘自 Jiang and Scofield, 1989）。

6.7  $\mu\text{m}$  水氣影像為一在確定導致美國地區豪(大)雨之中尺度對流系統之大尺度特徵非常好的工具 (Scofield and Robinson, 1990; 1992)。Thiao et al. (1993) 利用該影像的特點，分析 1989-1991 年美國夏季 (5-10 月) 的 129 個豪雨 (日雨量  $\geq 125\text{mm}$ ) 個案，目的在確定此等 MCSs 與：(1) 水氣羽 (water vapor

plumes ; WVPs) ; (2) 300hPa 噴流條，和 (3) 低層相當位溫 ( $\theta_e$ ) 脊軸的相關位置，測試 Scofield and Robinson (1990 ; 1992) 所發展熱帶 WVP 和低至中層 (850-700hPa) 相當位溫脊軸與大雨關係之概念模式 (見圖 9)。

在圖 9 中，當  $\theta_e$  脊軸位在水氣羽西部分或在其西方時，MCSs 將在這乾區 (1 區) 發展，這些 MCSs 將導致如龍捲風、冰雹和強風等劇烈天氣；當  $\theta_e$  脊軸位在水氣羽東部分 (恰如模式所繪)，MCSs 將在溼的水氣羽環境內 (3 區) 發展，該區經常為深厚溼區，MCSs 將造成豪大雨和暴洪；當  $\theta_e$  脊軸位在水氣羽重合時，MCSs 將在水氣羽西部分靠近乾空氣/溼羽交界處 (2 區) 發展，此種情況下，劇烈天氣和暴洪將同時發生。

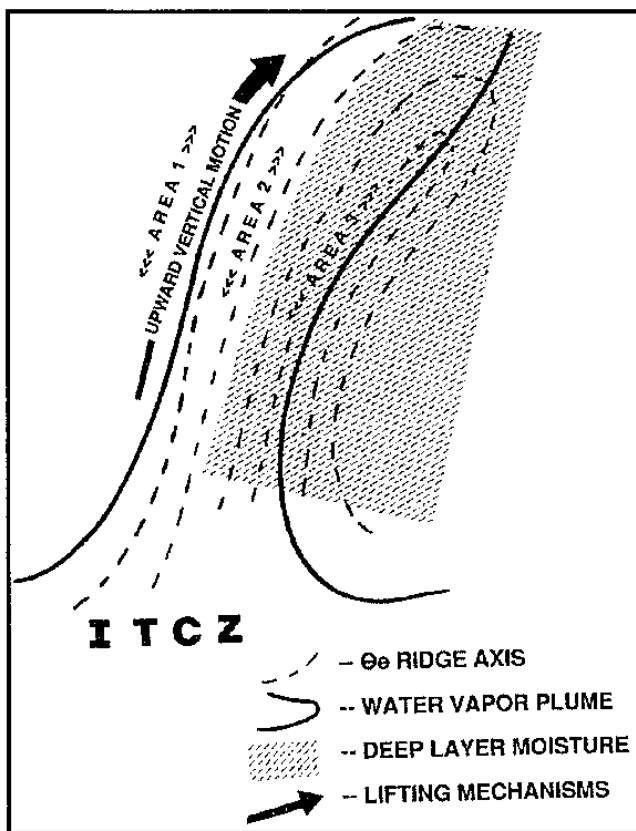


圖 9 熱帶水氣羽與相當位溫 ( $\theta_e$ ) 關係概念模式 (摘自 Thiao, et.al., 1993)。

## (二) 國內

自中央氣象局氣象衛星接收站作業、1987年的「台灣地區中尺度實驗 (TAMEX)、1992 年的 POST-TAMEX 預報實驗和近幾年梅雨季之豪雨觀測與預報實驗以來，有關導致豪雨事件的中尺度對流系統之研究就如雨後春筍。然而在概念模式之琢磨較少。謝 (1996) 分析台灣北部、中部、南部和東部各

區豪雨發生前後之各層天氣圖，建立導致各區豪雨之綜觀天氣概念模式如圖10-11。

Chi and Scofield (1991) 將紀 (1987) 案研1981年5月27-28日之豪雨個案和蒲 (1989) 研究1983年6月1-3日個案之成果，以及TAMEX之IOP-13 (1987年6月24-25日) 之觀測資料，建立梅雨季導致豪 (大) 雨之多尺度概念模式 (圖12)。中央氣象局自1996年4月起即接收  $6.7 \mu m$  之水氣影像，紀 (2000) 也利用該種資料分析1997年5月16-17日豪 (大) 雨個案，並獲致一些成果。此將於下節描述。

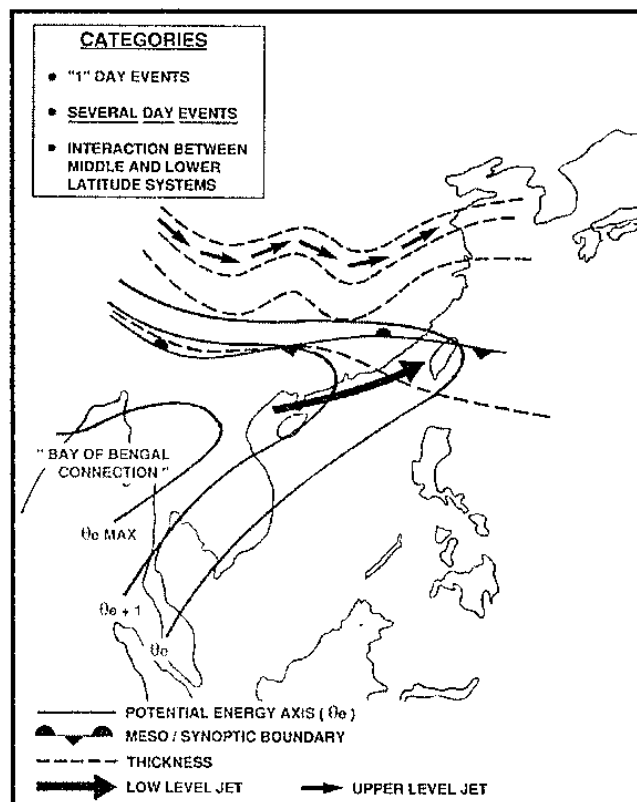


圖12 導致台灣地區豪大雨多尺度對流系統概念模式 (摘自 Chi and Scofield, 1991)。

## 四、個案分析

### 1. 個案 1 : 1997 年 5 月 16-17 日

1997 年 5 月 16-17 日 00 和 12UTC 之紅外線色調強化雲圖、水氣雲圖和疊加 850hPa 風場之相當位溫分布 (圖 13 及 143) 顯示，衛星雲圖與低層相當位溫分布有很好的相關，尤其是水氣雲圖。水氣雲圖顯示，中南半島有最大水氣區，該區與 850hPa 之  $\theta_e$  最大區一致，水氣源自中南半島之最濕區向東至東北東伸展，此種東西走向之濕度邊界稱之為水氣羽 (water vapor plume ; 簡稱 WVP)。該水氣羽與  $\theta_e$  脊軸一致且 MCSs 在羽區發展。Chi and Scofield (1991) 稱此種於

自中南半島之水氣邊界為“Bay of Bengal Connection”。圖 13 和圖 14 又顯示，東西走向之水氣羽伴隨著  $\theta_e$  脊軸南移，對流雲帶也隨著南移，於 16 日 12UTC 進入台灣北部，17 日 00UTC 籠罩台灣全省，影響台灣之 MCSs 在台灣西方之水氣羽最強區形成且沿著羽區東移影響台灣。水氣羽於 17 日日間過境台灣且減弱，台灣地區之對流也隨之減弱，顯然水氣羽在 MCSs 之形成與加強扮演重要的角色。

雖然  $\theta_e$  這種水氣邊界在 MCSs 之演變扮演重要角色，但須由傳統的探空資料獲得，其時間解析度（12 小時）較差，無法闡釋此種時間尺度短和空間尺度小的對流系統。地球同步衛星則可彌補此種缺陷，因它可提供半小時（如美國的 GOES 衛星）或一小時（如

日本的 GMS 衛星）水氣雲圖，因此水氣雲圖在 MCSs 演變之分析與預報可提供甚有價值的資訊。

圖 15 和圖 16 為 1000-500hPa 厚度和其相鄰時間的衛星雲圖。厚度圖顯示，16 日分流區在  $105^\circ\text{E}$  以東之華南區，之後東移至台灣鄰近地區並減弱。最西之 MCSs 群首先位在該明顯的厚度之分流區而向上游（西）發展或向東緩慢移動。在中間之 MCSs 形成時介於 16 日 12 UTC 和 17 日 00 UTC 之間，厚度型式由微弱分流轉為東西走向，該 MCSs 在此微弱分流區和東西走向的厚度梯度南側而緩慢向東南移動。而在台灣地區之 MCSs 在微弱分流區而由向上游發展的情形。顯然厚度型式與 MCSs 之移動有密切關係。

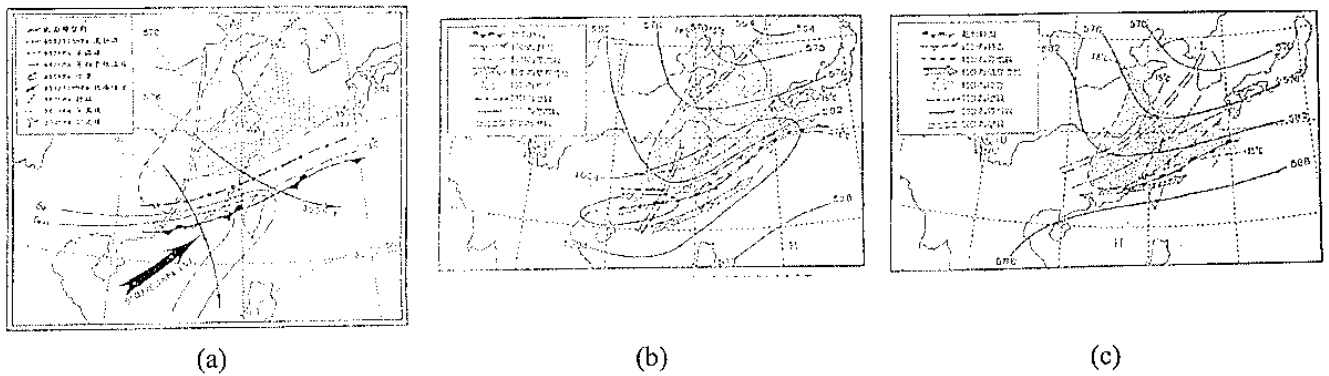


圖 10 導致台灣地區梅雨季豪（大）雨之三種綜觀概念模式（摘自謝，1996）。

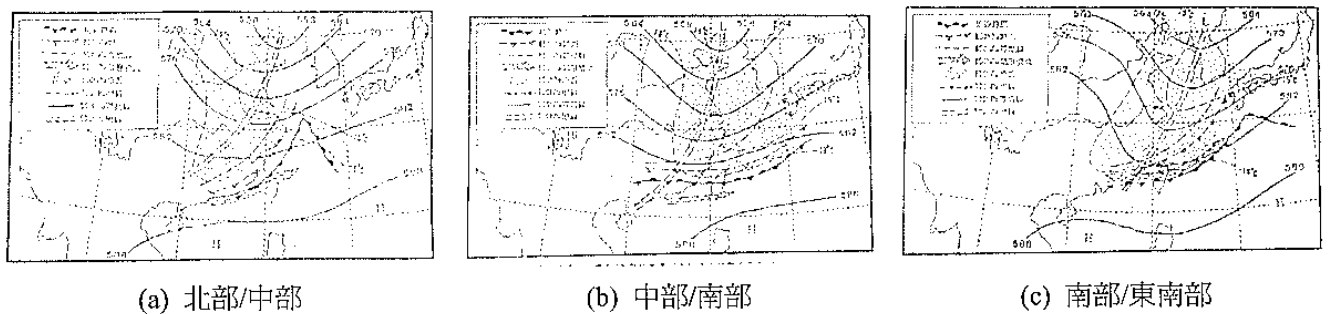


圖 11 導致台灣地區梅雨季豪（大）雨之綜觀概念模式（摘自謝，1996）。

## 2. 個案 2：1997 年 6 月 10-11 日

圖 17 和 18 為 1997 年 6 月 10-11 日之 00 和 12UTC 之水氣雲圖、疊加風場之 850hPa 相當位溫和 1000-500 hPa 之厚度分析。緊鄰上述資料時間之逐時紅外線雲圖亦列於其中。由紅外線雲圖得知，在台灣北部之 MCS 為再生型/向後發展型/緩慢移動型。移動型式之定義參見 Chi and Scofield (1991)。850hPa 之相當位溫和水氣雲圖顯示，高  $\theta_e$  區及其脊軸與水氣源及其水氣羽有很好的相關，同時此兩者與 MCS 之演變和移動有密切關係。

1000-500 hPa 厚度圖顯示，10 日 00UTC，台灣及

附近地區上空之厚度梯度微弱且有明顯的分流，此種型式導致在台灣北部近海的 MCS 向上游發展。12UTC 時，厚度梯度增強，雖尚有分流但較不明顯，此時 MCS 呈滯留或緩慢前移且強度及尺度均較 00UTC 者為小。至 11 日 00UTC，厚度梯度再度增強，分流更不明顯，所伴隨的 MCS 之強度更弱，因其在微弱梯度且稍有分流的型式下，該 MCS 的一動也相當緩慢，但無明顯的向上游發展。至 12UTC，厚度型式轉為合流，此時已無明顯的 MCS 存在。

由上分析，水氣雲圖、相當位溫（850hPa/700hPa）和厚度分析（1000-500hPa）等在豪（大）雨預報扮演

重要角色。

## 五、結語與建議

透過本整合研究之執行，除對影響台灣地區梅雨季各種豪大雨天氣系統有更深入了解，其研究成果除在學術有貢獻外，最重要可提供作業單位（如中央氣象局）一套完整梅雨期豪大雨之小區域（如縣市）及各流域降水估計及 0-3、0-6、0-12 及 0-24 小時定量降雨預報方法（法則），以提高豪大雨預報準確度，並達防災減災之目的，對人民生活作息、交通旅遊、防災減災應用上，均有很大的幫助。另外，對區域水資源規劃、洪水防護方面必有重大助益。由於本整合研究有學界學者及作業單位專家參與，除可有效的利用作業單位既有的資源外，其研究成果可提高學理方面之應用，更有利於研究成果落實到作業單位之預報作業上。

本文所述之概念模式係由中緯度天氣系統南下之強綜觀環境下的豪雨個案發展而成，因此在其他天氣型式失誤的機會就多。由近年來的預報實驗得知，導致梅雨季台灣地區豪（大）雨的天氣系統除由強綜觀環境激發外，尚有中尺度低壓環流型、南方擾動與鋒面共伴型、大尺度跨越型（overrunning）和弱綜觀強迫型。因此發展各類型的概念模式是必要的。

## 致謝

感謝中央氣象局氣象衛星中心吳倩雯技正協助蒐集資料。本研究在國科會 NSC89-2625-Z-052-020 的資助下完成。

## 參考文獻

紀水上，1987：台灣梅雨期華南中尺度對流系統及台灣地區局部性豪雨之個案研究。中國文化大學博士論文，432頁。

紀水上，1993：氣象衛星資料在「1992年5-6月預報實驗」之研究（II）。行政院國家科學委員會防災科技研究報告81-45號，234頁。

紀水上，2000：台灣梅雨豪雨實驗（1997-1998年）密集觀測之天氣類型分析。八十九年天氣分析與預報研討會論文彙編，90-95。

蒲金標，1989：梅雨季華南低層噴流與中尺度對流系統之個案研究。中國文化大學博士論文，201頁。

謝信良，1996：嘉南地區定量降水預報整合計畫—總計畫（二）。行政院國家科學委員會防災研究報告，NSC85-2621-P-052-002，161頁。

Chi, S. S. and R. A. Scofield, 1991: Study on the mesoscale convective systems (MCSs) propagation characteristics over subtropical China during Taiwan Mei-Yu season. Int'l Conf. On Mesoscale Meteor. And TAMEX. 3-6 December 1991, Taipei, Taiwan, 32-41.

Chi, S. S. and G. T. J. Chen, 1989: A study on the MCS case of TAMEX IOP #13. Proceedings of Workshop on TAMEX Preliminary Scientific Results. 22-20 June 1989, Taipei, Taiwan, 14-21.

Doswell, C.A., 1986: Short-range forecasting. Mesoscale Meteorology and Forecasting Ch. 29, 689-719.

Elsner, J. B., W. H. Drag, and J. K. Last, 1989: Synoptic weather pattern associated with the Milwaukee, Wisconsin flash flood of 6 August 1986. Wea. Forecasting, 4, 537-554.

Funk, T.W., 1991: Forecasting technique utilized by the Forecast Branch of the National Meteorological Center during a major convective rainfall event. Wea. and Forecast., 6, 4, 548-564.

Jiang, Shi and R. A. Scofield, 1987: Satellite observed convective system (MCS) propagation characteristics and 3-12 hour heavy precipitation forecast Index. NOAA Technical Memorandum NEDIS 20, 43 pp.

Johnston, E.C., 1982: Mesoscale vorticity centers induced by mesoscale convective complexes. 9<sup>th</sup> Conference Weather Forecasting & Analysis. AMS, Seattle, Wash. 196-200.

Junker, N. W., 1992: Heavy rain forecasting manual. National Weather Service Training Center. 91 pp.

Maddox, R. A., C. F. Chappel, and L. R. Hoxit, 1979: Synoptic and meso- $\alpha$  scale aspects of flash flood events. Bull. Amer. Meteor. Soc., 60, 115-123.

Oliver, V.J. and R.A Scofield, 1979: Estimation of rainfall from satellite imagery. Preprints, Sixth Conference on Weather Forecasting and Analysis AMS, 242-245.

Purdum, J. F. W., 1979: The development and evolution of deep convection. 11<sup>th</sup> Conf. On Severe Local Storms, Kansas City, Amer. Meteor. Soc., 143-250.

Scofield, R. A. 1987: The NESDIS operational convective precipitation estimation technique. Mon. Wea. Rev., 115, 8, 1773-1792.

Scofield, R. A. and J. Robinson, 1990: The "water vapor Imagery/theta-e connection" with heavy convection rainfall. Satellite Application Information Note. 90/7, 7 pp.

Scofield, R. A. and J. Robinson, 1992: The "water vapor plume/potential energy axis connection" with heavy rainfall. Proceedings of Symposium on Weather

Forecasting and the Sixth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography January 5-10, 1992, Atlanta, GA, J 36-43.

Thiao, W., R.A. Scofield, and J. Robinson, 1993: The relationship between water vapor plumes and extreme rainfall events during the summer season. NOAA Technical Report NEDIS 67, 69 pp.

## **A brief introduction to the project of the integrated study on heavy rainfall and quantitative precipitation forecast(QPF) during Mei-Yu period**

**Shui-Shang Chi**

**Central Weather Bureau**

### **Abstract**

The main purpose of the present project is to establish the skills of heavy rainfall forecast (HRF) and quantitative precipitation forecast (QPF) during Taiwan Mei-Yu period. The main tasks are (1) to develop high-resolution QPF model in the domain of 5x5 km; (2) to establish the schemes of different weather scale through synoptic, mesoscale down to storm scale of HRF and QPF; (3) to integrate the schemes of HRF and QPF in different weather scale to establish mesoscale conceptual models; (4) to combine synoptic, mesoscale climatology, mesoscale model forecasting, remote sensing scheme of satellite and radar as well as conceptual model to establish mesoscale forecasting system, and (5) to complete the operation test through the HRF and QPF exercise in Mei-Yu season, and transfer the skills to the operation units, for example, Central Weather Bureau.

Satellite imageries of infrared and water vapor channel and conventional observation in different levels will be used to analyze two cases of 1997 in Taiwan Mei-Yu period. Results show that theta-e ridge axis and thickness of 1000-500 hPa play very important roles on the MCS development and propagation. Result also shows that the water vapor plume closely relates to the MCS development.

**Keywords :** heavy rainfall forecast (HFR), quantitative precipitation forecast (QPF), mesoscale conceptual model, water vapor plume



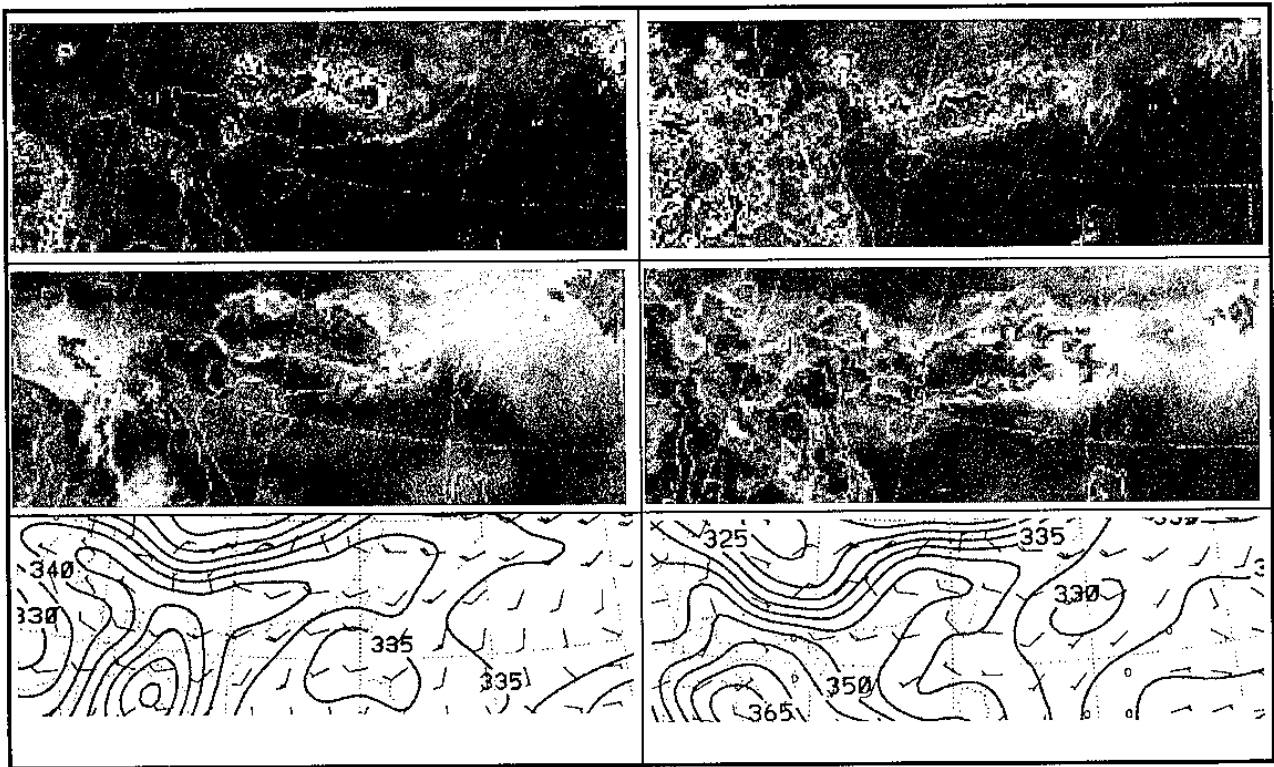


圖 13 1997年5月16日00UTC(左)和12UTC(右)之紅外線雲圖(上),水氣雲圖(中)和疊加850hPa風場之相當位溫分布(下)。

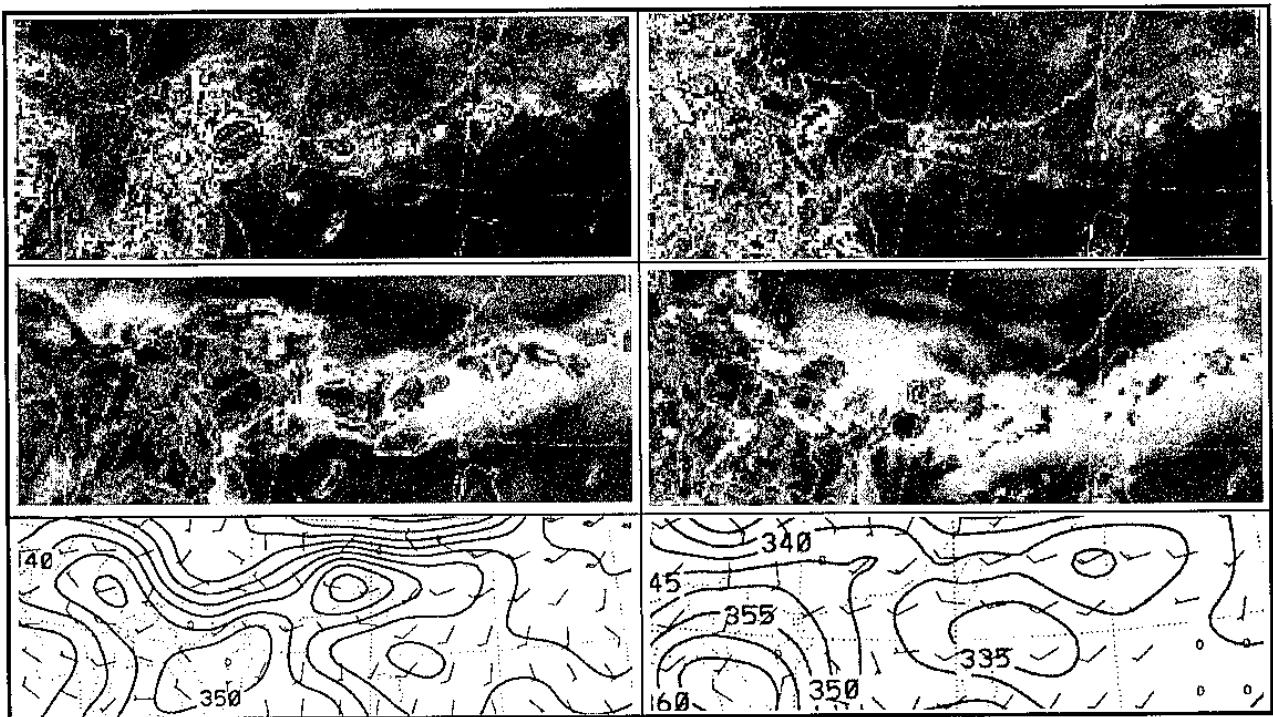


圖 14 同圖 13, 但為 5 月 17 日。

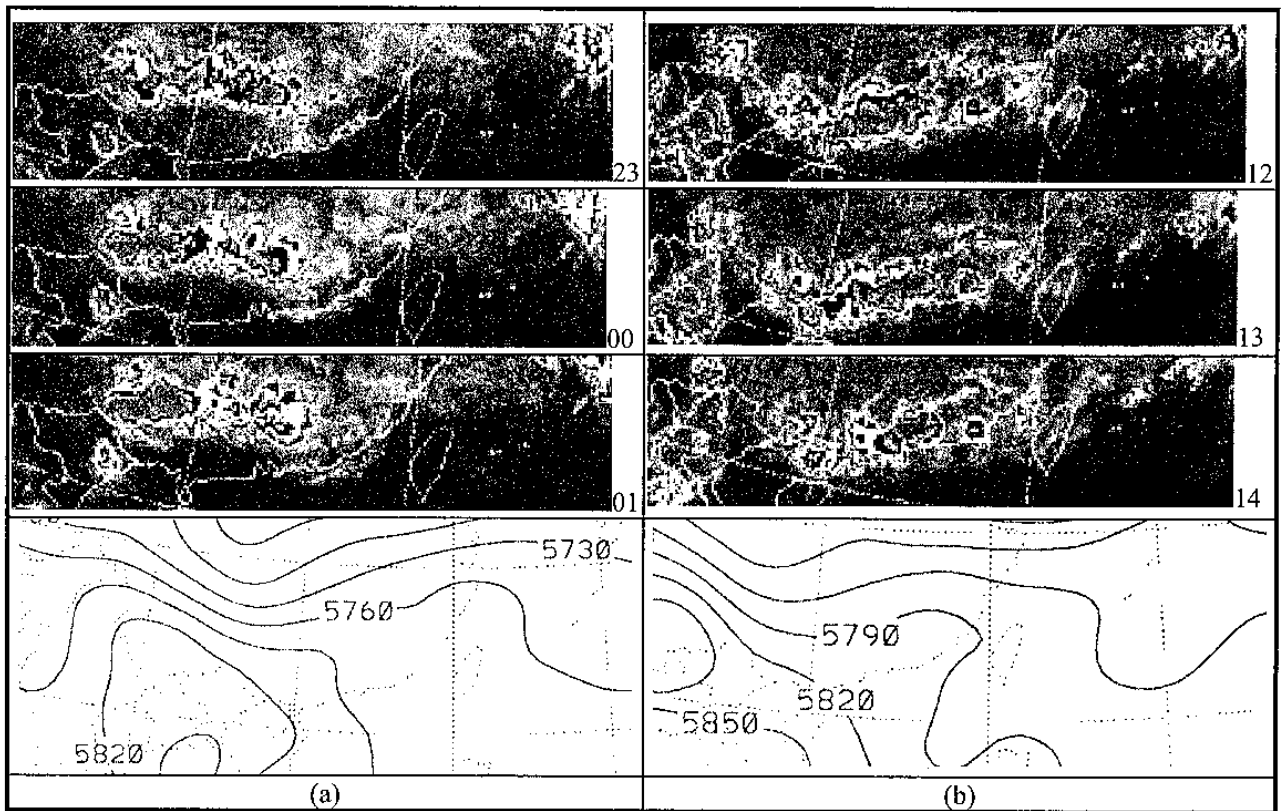


圖 15 1997 年 5 月 16 日 00UTC (左) 和 12UTC (右) 之 1000-500hPa 厚度分析 (下) 和與厚度圖時間相鄰之逐時紅外線色調強化雲圖 (上)。

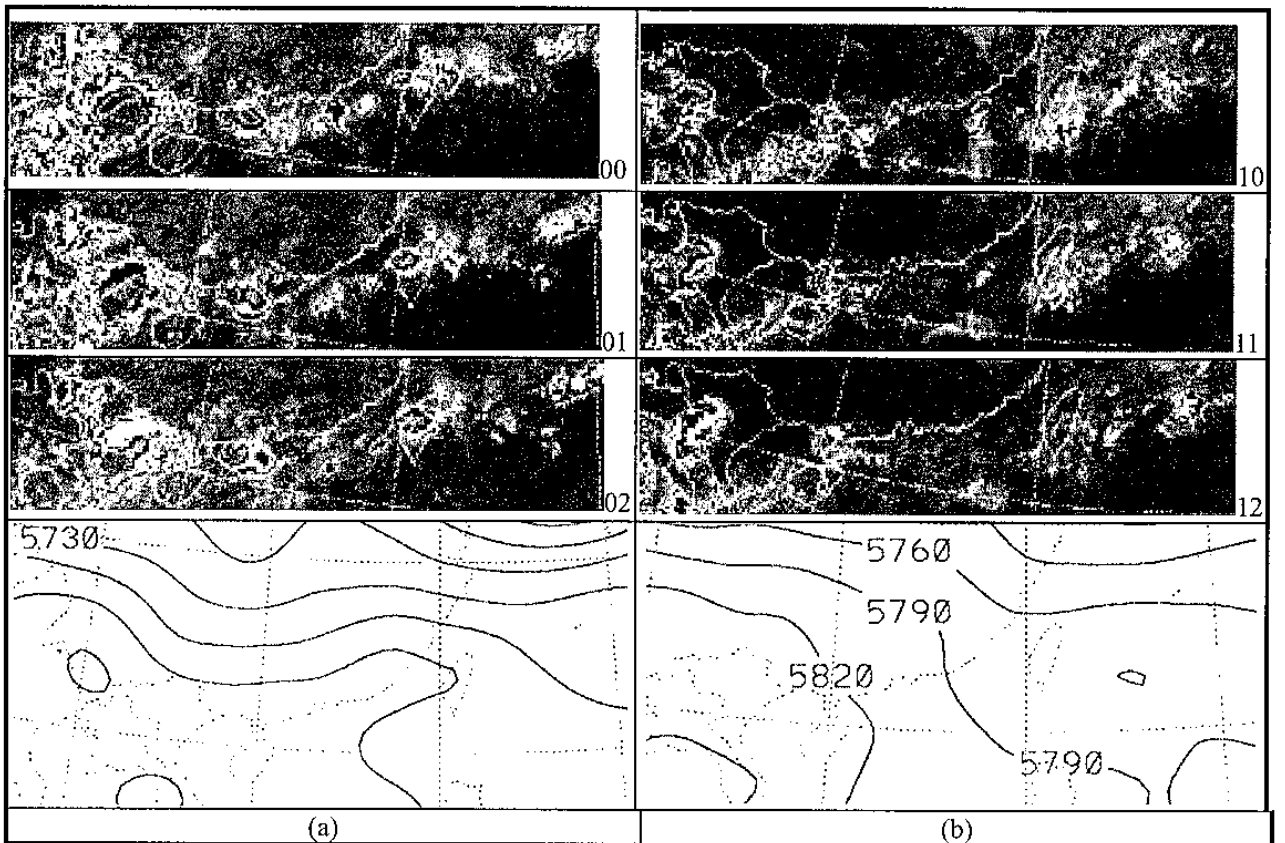
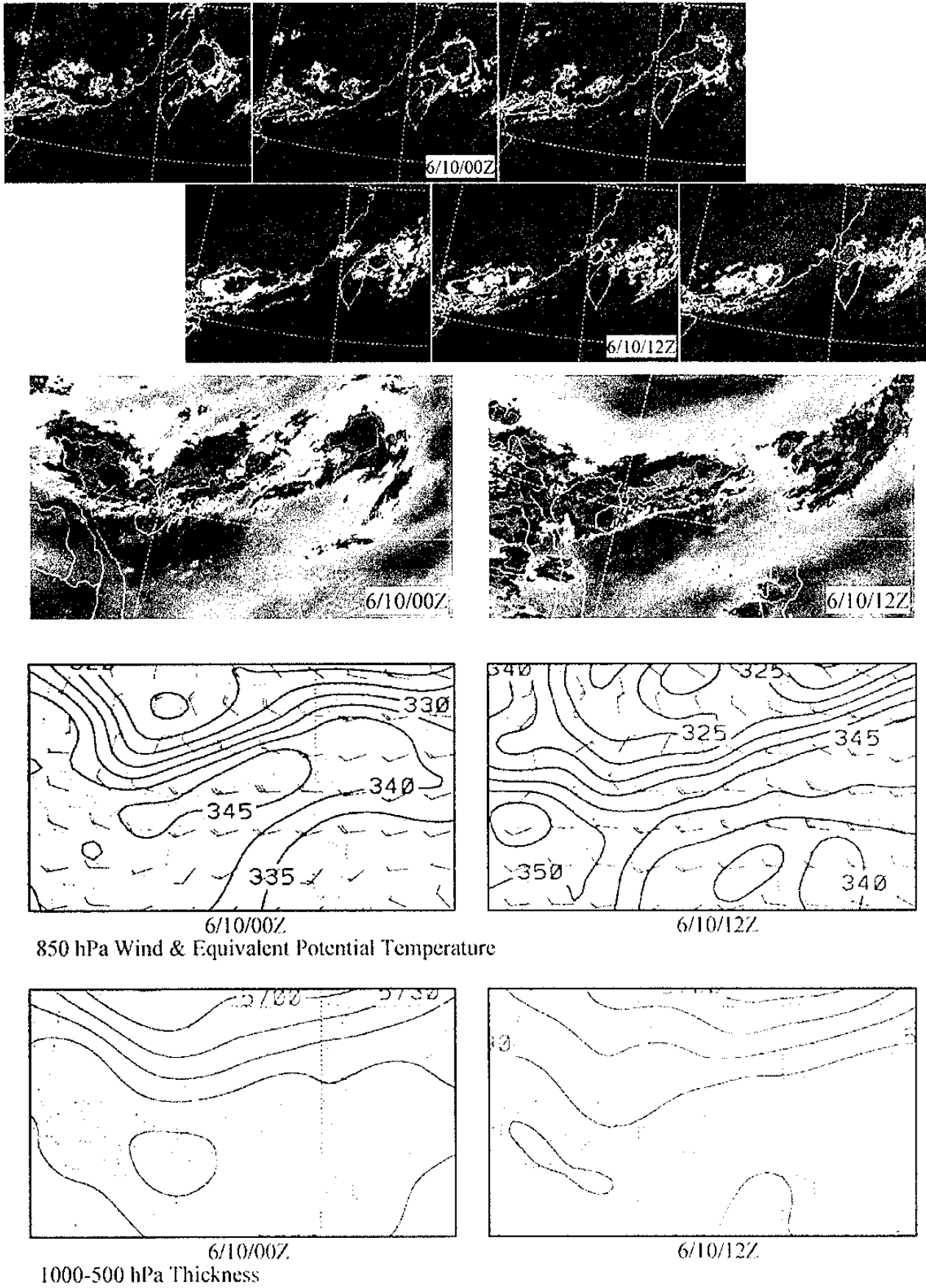


圖 16 同圖 15，但為 5 月 17 日。



850 hPa Wind & Equivalent Potential Temperature

1000-500 hPa Thickness

圖 17 1997 年 6 月 10 日 00 及 12UTC 之 850hPa 之水氣雲圖、相當位溫分布、1000-500hPa 厚度分析，  
 以及其相鄰時間之逐時紅外線色調強化雲圖。

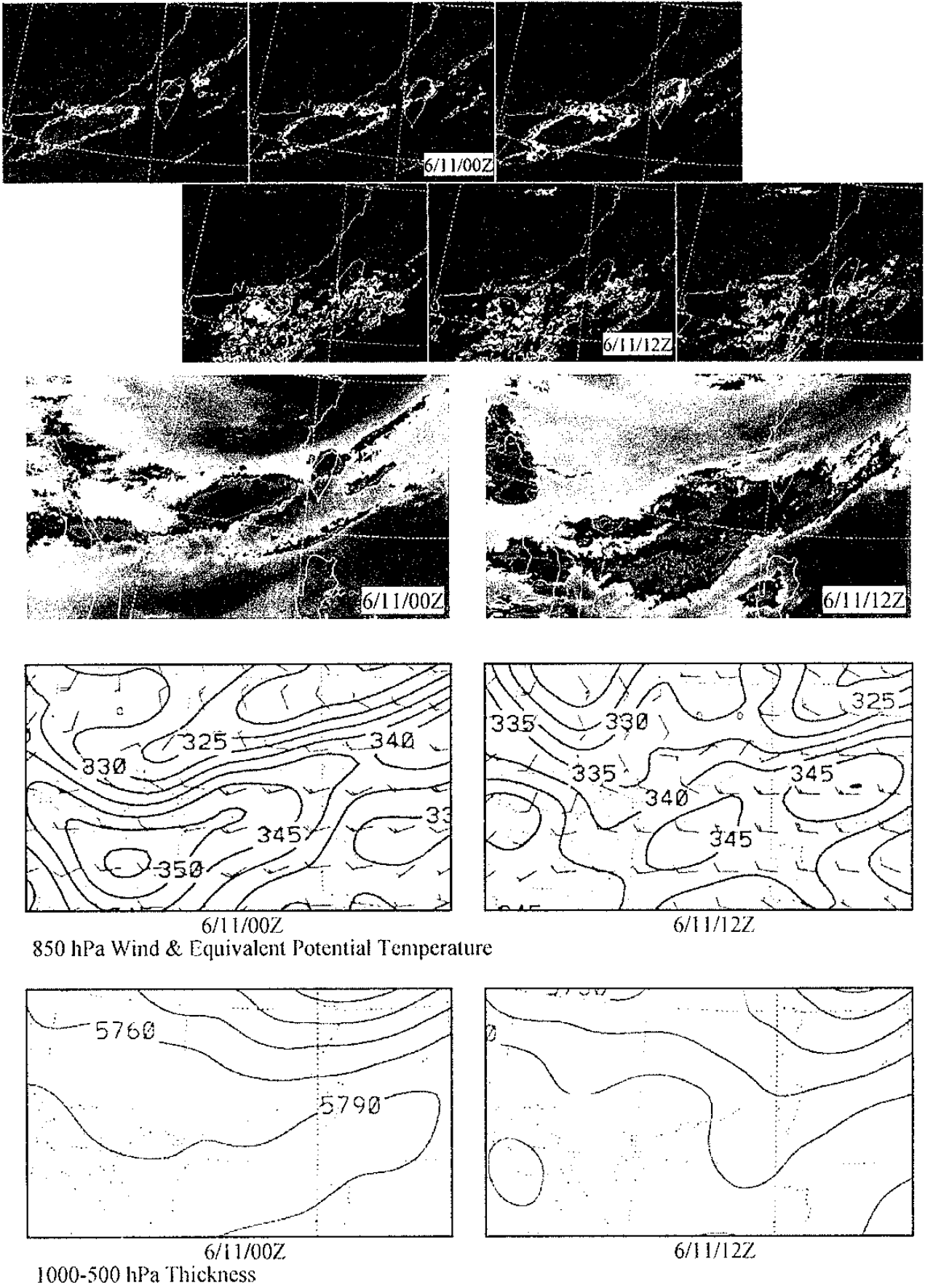


圖 18 同圖 17，但為 1997 年 6 月 11 日