

南台灣午後對流特性之分析研究

陳家琦 謝章生 曾以真

中央氣象局台灣南區氣象中心

摘要

本研究利用雷達圖篩選出 2003 年及 2004 年共 74 個夏季午後對流個案，分析午後對流降水特性及其與環境場的關係，以期望對南台灣天氣預報上有所幫助。

研究發現午後對流最強處多在 100~200 公尺的斜坡上，並以嘉義斜坡及屏東凹槽處的對流最為明顯，其降水約由 14 時開始，約持續 6 小時。山頂附近的降水較弱，但發生時間卻比斜坡處約提早了半小時，而平地的降水強度最弱，持續時間最短，約 2 小時。另外嘉義斜坡所發展之對流胞週時間移動較為緩慢且不明顯，故此區域的累積雨量；屏東凹槽所發展之對流胞週時間移動較為快速，大多向北移動。

在弱綜觀的環境場中南台灣發生午後對流的頻率比附近有不穩定系統來的稍多，前者對流較弱且持續時間較短，幾乎集中在 100~200 公尺高度，且往濱海地區移動的情形較不明顯。並以太平洋副高籠罩下之東南風及東風型態最多，此時 500hpa 處台灣大多在 5880 線的範圍內，由合成圖可知太平洋副高脊線分別位在台灣東北方及北方海面上，而午後對流都發生於綜觀風場之背風面，其中東風個案所產生的降水回波範圍較廣，東南風個案所產生的降水較集中於嘉義及其以北地區。

關鍵字：午後對流

一、前言

1.1 研究動機

南台灣在夏季之主要天氣系統除了偶有颱風、低壓系統的接近或西南氣流外，大部分時間便是在太平洋副高籠罩之下。根據陳(2003)研究發展專題結果可知，南台灣於夏季的主要降水為低壓系統、西南氣流及午後對流。

自從 2001 年台灣南區氣象中心成立，開始進行南台灣精緻預報後，發現午後對流的發生頻率高、降水多，其發生地點、強度及與對應的大尺度環境場間的關係十分複雜多變，在預報上頗具困難度，因此進行南台灣午後對流特性的分析，以幫助此一天氣現象的了解，已是不容克緩的。

本研究將對 2003~2004 年，近兩年來的午後對流在雷達回波、降雨分布及綜觀環境場及局部環流間的特性作簡要分類，期望未來能藉由這些分類的資料特性，提升夏季時的降雨機率預報能力。

1.2 文獻回顧

長久以來總認為山區最容易發生午後對流，但對流是發生在山頂或山坡呢？由蘇等(1990)以雷達回波分析 1984 年 8 月 12 日嘉義至台南之午後對流系統，發現其生命期約 5~6 小時，系統發生於斜坡地區，之後則向西(海岸)移行。Johnson and Bresch(1991)研究 TAMEX 期間的三個弱綜觀午後對流個案中，發現降水主要發生於 100~500 公尺的斜坡上。張(1997)分析 1994~1996 年間夏季午後對流，也指出其日累積雨量

極值明顯位於 100~500 公尺斜坡地區。由以上研究可知，午後對流的發生位置是在山坡上而非山頂。

午後對流的降雨強度及持續時間又是如何呢？由張(1997)分析，得知降水時間約在 1400~1800LST，雨區範圍為 50~2000 公尺，其最大降水強度有雙鋒現象，主極值約在 1600~1700LST 發生於 200~500 公尺的斜坡，次極值則發生於 1500~1600LST 的 1000 公尺斜坡上。

午後對流發生的位置和綜觀環境場間是否有相對應的關係存在呢？林與郭(1996)研究 1994 年南台灣夏季午後對流，指出 1994 年由於太平洋副高壓偏北，台灣地區普遍盛行微弱東風，午後對流大都發生在微弱東或東南風的背風面，因此午後對流偏南。張(1997)指出當綜觀風場為東風時，降水主要集中在中央山脈西側的斜坡地帶，雨區無法遍及西部沿海地區，降水極值區位於中央山脈的西側凹槽；當綜觀風場為東南風時，降水主要集中在西北部及中部地區，整個降水區域明顯比東風個案偏北，且雨區可達沿海地區，降水極值區位在中央山脈的西側凹槽附近及西北部斜坡地帶。張(1999)則選取 1991~1997 年台灣中南部地區暖季弱綜觀下 17 個午後對流個案，將之區分為嘉義至玉井地形斜坡發展型、嘉義至南投地形斜坡發展型、屏東至南投地形斜坡發展型、高屏沿海發展型及冷心低壓誘發型五類，其與太平洋高壓脊線的走向和中低層盛行風向有關。

二、研究方法及資料來源

由以上的文獻資料已經可以了解午後對流的大致雛型。這些文獻選取個案的方法，除了蘇等(1990)以個案的雷達回波分析外，張(1997)是利用雨量資料、張(1999)則利用衛星資料中明顯的對流胞來選取個案。由於觀測技術的進步，我們知道利用雷達來觀測對流胞是最有佳的工具，由於中央氣象局在2002年已完成台灣地區雷達網連的建置，因此本研究將以2003年7~9月及2004年7~8月，共154天中每半小時雷達網連之回波來選取午後對流個案。

選取標準為不論台灣周邊有何天氣系統，只要嘉義以南的地區不是由颱風螺旋雨帶、西南氣流或其他天氣系統自海上移入所帶來之降水回波，而是由陸地自發性長起，不論其強度是強或弱皆被選為個案，但是若主要回波的位置是發生在嘉義以北地區則不選取。

本研究之資料來源採用氣象局各地面站資料、衛星雲圖、天氣圖、雷達網連之回波圖及NCEP 2.5° X 2.5°分析場資料。

地面站資料以嘉義以南地區為主，其內之局屬測站、自動雨量站、自動氣象站共117個，其中嘉義地區有24個站、台南地區計有28個站、高雄地區計有32個站、屏東地區計有33個站。

三、結果與討論

經雷達圖篩選後，找出之午後對流個案除20030701、20030709、20030710、20030711、20030819、20030823、20030826、20030827、20030828、20030829、20030831、20030906、20030907、20040717、20040721、20040729、20040730、20040801、20040802、20040804、20040805這21天為高層冷心低壓所誘發者外，其餘如表一所示，共有53個個案。易言之，在夏季154天中，有74天是有午後對流的，約占了50%，其中因高層冷心低壓所誘發者的約占30%。

由眾多雷達圖中，發現午後對流發生幾乎都是由山區斜坡長起，其中以嘉義及屏東凹槽處為最常發生，因此本研究對這些回波作簡單的分類，進而標示其主要回波位置或特徵，其結果如表一所示。

此節會先分析午後對流降水特性，分降水位置與時空分布兩類，最後則分析午後對流與環境場及局部環流的關係。

3.1 午後對流降水特性

3.1.1 降水位置

利用表一可統計出午後對流較常發生的位置是在嘉義、台南、高雄、屏東這四區斜坡上，共有18個個案(18天)，另外嘉義、屏東的斜坡也是最容易發生午後對流的地方；午後對流中發生的較弱回波也是不可忽視，雖然其強度較弱，但其所占天數高達10天，且部分個案涵蓋範圍很大，在預報上影響頗大。

雖然由雷達資料可以判斷午後對流位置，但直接影響人們的還是降到地面的雨，由於雨量資料可以確切了解下雨地方，因此找出這全部74個午後對流(含高層冷心低壓)個案的單站雨量資料，並依其於午後(12~24時)之累積雨量排名。由於對流胞中心為回波值最強處，對應至地面一般亦為降水最多之處，因此某測站累積雨量愈高，應可代表對流胞的位置。圖一所示為單站午後累積雨量之前30%所發生地點，可知對流胞主要發生的位置大約都在四區山脈的斜坡上，此結果與雷達圖所統計之個案情形一致，因此可以將這35個站當作午後對流發生的指標站。而這35個測站的平均高度為373公尺，其中累積雨量的前10%大多發生在圖一中區域A中的嘉義縣中埔、內埔(高度約100公尺)，一直延伸到台南縣關仔嶺、大凍山一帶，此處高度約300~1200公尺，坡度十分陡峭；另一區為圖一區域B屏東縣的麟洛、新圍其高度在50公尺左右之平地上及高雄縣月眉、大津一帶(高度約100~200公尺)，由圖一的地形圖可容易地看出，區域B的東、西、北三個方向都是山脈所在，其中西側(近沿海處)的山並不高，只有南邊是平原區，形如凹槽。

對應2004年8月31日15時雷達圖(如圖二)發現其I、II兩個區域正與圖一A、B這兩個區域位置相似，正是對流胞發展的地區。當然這只是單一個案的情形，未來希望能利用七股雷達資料，將午後對流個案作回波合成，找出最大回波值的位置，利用此位置與雨量最大值位置作比對，確定彼此的一致性或偏差程度。

從以上個案可知對流胞發生的位置大多在100~300公尺高度上，試想這真的是午後對流的特性嗎？

因此，利用2003~2004年夏季共五個月中所有日期的單站雨量資料，依上法計算單站午後(12~24時)之累積雨量，排序前30%，結果如圖三所示，可發現較多降水的位置明顯的移往山區，其平均高度高達979公尺，且較集中於高雄以北山區，屏東凹槽處幾無明顯降水現象，注意前10%的測站發現大部分測站的高度高達1200公尺以上。

由以上討論可知，對流胞發生的位置約在100~300公尺高度的斜坡上，而非山頂處，這確實是一明顯的特性。其中又以嘉義縣中埔、內埔到台南縣關仔嶺、大凍山一帶的斜坡，及屏東縣凹槽處的麟洛、新圍至高雄縣月眉、大津一帶，這兩處為對流胞較明顯區域。為簡化書寫，文後將前者簡稱為「嘉義斜坡」，後者簡稱為「屏東凹槽」。

3.1.2 時空分布

這裡降水的時空分布，代表降水的強度及持續時間。

降水強度之求取乃是將某一高度範圍的所有測站於個案日之時雨量總合除以該高度範圍的所有測站數目，亦即得到的降水強度代表在此高度範圍內，

平均每一測站的時雨量。本文共選10個高度層，由低到高分別為0~20m、20~50m、50~100m、100~200m、200~350m、350~500m、500~1000m、1000~1500m、1500~2000m、及2000m以上，其所對應之站數則分別為12、28、25、10、8、4、10、11、4及5。

若以平均後強度值超過0.5毫米者視為有降水現象，其結果如圖四所示，可知降水強度隨各高度層的變化是十分明顯的。其強度極值大於2.5mm/hr.sta，發生於高度層4(即100~200公尺)，時間為16~17時之間；次極值約2mm/hr.sta，發生在高度層6(即350~500公尺)，時間為17時附近。此結果雖與Johnson and Bresch(1991)及張(1997)所提夏季午後對流之日累積雨量極值明顯位於100~500公尺斜坡地區一致，不過這兩篇文獻中並未特別強調極值是發生在100~200公尺的高度上。

高度100~200公尺為降水強度極大值處，此處約為對流胞主要的發展位置，其降水時間約由14時開始，16~17時達最強，之後漸漸減弱，約到20時停止，其持續時間最長。而最早發生降水者則為高度層9(即高度1500~2000公尺)，約由13:30即開始，此處高山的降水強度比起山坡弱了許多。而濱海處的平地(高度層1)的降水時間最短，約為16~18時，其強度也是所有高度層中最弱的。

由此以上可知，午後對流最強處多在100~200公尺的斜坡上，由14時開始發展，約持續6小時。山頂附近的降水雖然較弱，但發生時間卻比斜坡處約提早了半小時，若對照2004年7月10日14:00~16:30間每半小時的雷達圖(未圖示)也可發現在斜坡對流胞發展旺盛之前，在山頂附近已有許多微弱且範圍小的回波生成，其間的相關性十分值得探討。而平地的降水強度最弱，持續時間最短，約2小時。

圖五為14~17時之間各站時雨量占所有站之前10%者，代表各時間主要降水位置的逐時分布圖，由圖可知14時對流主要由嘉義斜坡、屏東凹槽及高雄山區發展起來。嘉義斜坡的對流隨時間緩慢地移動到台南斜坡或幾乎不移動，此特性對應至圖一，嘉義斜坡處的累積雨量占所有站前10%的測站遠比屏東凹槽處多得多。屏東凹槽的對流則較快速地往北移動或由較其北處長起的趨勢。此圖雖然是經統計後的結果，但卻可與2004年7月10日的雷達圖(未圖示)相互對應，由此個案可知14時山頂附近已有回波生成，且屏東凹槽處的回波值十分明顯，已達50dbZ，並隨時間往北移動；嘉義斜坡的回波約在15時生成，並無明顯移動，但範圍則有往南、往北增加的趨勢。

由以上討論可知，嘉義斜坡所發展之對流胞隨時間移動較為緩慢且不明顯，故此區域的累積雨量值大；屏東凹槽所發展之對流胞隨時間移動較為快速，通常是向北移動。

3.2 午後對流與綜觀環境場、局部環流的關係

本研究中南台灣夏季約有一半的天數有午後對流發生，這自然與夏季的天氣型態有關，至於是什麼樣的關係則是此部分的重點。

由之前選取個案的過程可知台灣附近若有高層冷心低壓、颱風、低壓或槽線等天氣系統所造成的不穩定因素時，就容易發生午後對流，此情形約占了本文所選74個個案的45%，其他的弱綜觀環境場約占了55%。圖六為這兩類天氣型態的兩強時序圖，可發現在雨強最強的地方都在高度層4(即100~200公尺)，弱綜觀環境場的雨強比附近有天氣系統者來的稍強，其值超過3mm/hr.sta。但當台灣附近有天氣系統時，所引發的午後對流在其他高度上的強度比弱綜觀環境場強，且持續時間也比較久，特別是在高度層1(即0~20公尺)，可發現後者幾無降水現象。這表示在弱綜觀環境時，午後對流較弱且持續時間較短，幾乎集中在100~200公尺高度，因無其他動力因素，故往濱海地區移動的情形較不明顯。

由於南台灣附近有不穩定的天氣系統時，天氣系統的位置、強度...等變化複雜，且個案間有個自不同的特性，所以在此不加以討論，僅討論弱綜觀環境的情形。

南台灣附近的弱綜觀環境場中，其風場變化也是十分複雜，共歸類出7種環境風場，其中以東南風有10個個案數、東風有9個個案數為最多，其次為西風的5個個案，西南風的個案數反而不多。因此以下就東南風及東風之弱綜觀環境場做簡單的分析。

在東南風個案中(表二)，發現主要回波位置多偏在嘉義斜坡上，其次是屏東凹槽處，幾在綜觀風場的背風面。此結果與張(1997)指出當綜觀風場為東南風時，降水主要集中在西北部及中部地區，降水區域明顯比東風個案偏北之結果一致。

由表二知500hpa有6個個案位於5880線內，因此將這6天的00Z做850pha風場及500hpa高度場合成，如圖七所示，太平洋副高的強度及梯度大，其脊線約在台灣東北方海面上，500hpa之5910線位置約在北緯25~30度、東經125~144度之間，範圍頗廣，脊線的西側有南偏的趨勢，5880線已涵蓋大陸邊緣，台灣位於脊線的西南象限內。

而東風個案中(表三)，發現主要回波位置多偏在四區斜坡上，範圍較廣。此結果亦與張(1997)指出當綜觀風場為東風時，降水主要集中在中央山脈西側的斜坡地帶之結果相符。

由表三知500hpa有7個個案位於5880線內，故亦將這7天之00Z做合成，結果如圖八所示，太平洋副高的強度及梯度比東南風個案稍弱、位置較偏西，其脊線呈東西走向，約在台灣北方海面上，500hpa之5910線範圍較小，位置約在北緯28度、東經123~126度之間，5880線已西深至東經110度，台灣位於脊線的南邊。

由圖七、八所得結果與林與郭(1996)，指出1994年由於太平洋副高壓偏北，台灣地區普遍盛行微弱東

風，午後對流大都發生在微弱東或東南風的背風面的情形一致。

由以上可知，南台灣在弱綜觀的環境場中發生午後對流的頻率比附近有不穩定系統來的稍多，前者對流較弱且持續時間較短，幾乎集中在100~200公尺高度，且往濱海地區移動的情形較不明顯。弱綜觀的環境風場變化十分複雜，其中以太平洋副高籠罩下之東南風及東風型態最多，此時500hpa處台灣大多在5880線的範圍內，其中東風個案所產生的降水回波範圍較廣，多在四區的斜坡上，東南風個案所產生的降水則較集中於嘉義及其以北地區。這表示午後對流大都發生於綜觀風場之背風面，這可能與Reisner and Smolarkiewicz(1994)利用線性理論及數值模式所模擬的結果顯示，當考慮地表加熱時，即使在弗祿數(Froude number)小於0.5的狀況下，只要地表加熱達某一程度，氣流仍可過山，及林與郭(1996)所提「低層大氣的微弱東風因地表加熱得以越過中央山脈...」之熱力因素而造成背風面的午後對流有關。

再由以上的弱綜觀環境場中的東南風、東風個案取其南台灣的局屬測站及自動氣象站作逐時風場的合成(未圖示)，恆春半島無論晝夜皆以東風為主，但濱海地區除了高雄氣象站因距海邊較近，在9時就已發生海風外，其餘測站約在10時才有明顯的向岸流，並持續到18時。藉由圖一已知降水最強處為嘉義斜坡及屏東凹槽近平原處，故分別切北緯23.5度及22.7度，以了解其地形剖面分布，結果如圖九所示，其中的紅色虛線代表最強降水的高度，這高度約是山脈與平原交界處，此處的上坡風尚不明顯，因此午後對流發生在100~200公尺斜坡上的特性，應該與上坡風的建立無關，但與海風帶來溫暖、潮濕的空氣則可能有很大的關聯，此推測與林與郭(1996)利用模式所得結果認為「微弱的東風因地表加熱得以越過中央山脈與西側的上坡風輻合，此輻合帶為激發山區斜坡對流的機制」有所出入。

因此午後對流的發生與弱綜觀環境場、熱力因素所導致的氣流過山及因海陸比熱差異所引起的海風間的關聯性，是未來十分值得探討的主題。

四、結論

本研究選取2003年7~9月及2004年7~8月之夏季午後對流進行研究，利用雷達圖共篩選出74個個案，約占夏季天數50%。

本文先分析午後對流降水特性，分降水位置與時空分布兩類，最後則分析午後對流與環境場的關係。

在午後對流降水特性之「降水位置」討論中，由雨量資料及雷達圖可知，對流胞發生的位置約在100~300公尺高度的斜坡上，而非山頂處，其中又以嘉義斜坡及屏東凹槽為對流較明顯發展的兩個區域。

之後於午後對流降水特性之「時空分布」，更進一步得知午後對流最強處多在100~200公尺的斜坡上，由14時開始發展，約持續6小時。山頂附近的降水雖然較弱，但發生時間卻比斜坡處約提早了半小時，而平地的降水強度最弱，持續時間最短，約2小時。另外嘉義斜坡所發展之對流胞隨時間移動較為緩慢且不明顯，故此區域的累積雨量值大；屏東凹槽所發展之對流胞隨時間移動較為快速，通常是向北移動。

在環境場的分析中，得知南台灣在弱綜觀的環境場中發生午後對流的頻率比附近有不穩定系統來的稍多，前者對流較弱且持續時間較短，幾乎集中在100~200公尺高度，且往濱海地區移動的情形較不明顯。弱綜觀的環境風場變化十分複雜，其中以太平洋副高籠罩下之東南風及東風型態最多，此時500hpa處台灣大多在5880線的範圍內，由合成圖可知太平洋副高脊線分別位在台灣東北方及北方海面上，而午後對流都發生於綜觀風場之背風面，其中東風個案所產生的降水回波範圍較廣，東南風個案所產生的降水較集中於嘉義及其以北地區。

再由東南風、東風個案的局部環流發現，海風所帶來溫暖、潮濕的空氣對於午後對流的發生，應有正貢獻，但由於對流的發生約在平原與山脈的交界處，故上坡風的影響應該不強。未來若要以模式探討午後對流的發生，那麼弱綜觀環境場、熱力因素所導致的氣流過山及因海陸比熱差異所引起的海風間的關聯性，是十分值得深入探討的重點。

五、參考文獻

- 林熹閔、郭鴻基，1997：1994年南台灣夏季午後對流之研究，*大氣科學*，24，4，249-280。
- 陳家琦，2003：台灣南部地區春夏季大雨雷達回波特徵之探討，中央氣象局研究發展專題。
- 張凱軍，1998：臺灣中南部暖季午後對流系統之環境條件研究，國立臺灣大學博士論文。
- 張惠玲，1996：台灣地區午後對流降水之研究，國立中央大學碩士論文。
- 楊始桂，1999：台灣地區午後對流降水特性之分析，國立中央大學碩士論文。
- 蘇義雄、陳正利及鍾開章，1990：台灣南部氣團雷雨。氣象雷達與飛航安全研討會論文集編，交通部民航局，159-167。
- Johnson, R. H. and J. F. Bresch, 1991: Diagnosed characteristics of precipitation systems over Taiwan during the May-June 1987 TAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2540-2557.
- Reisner, J., and P. K. Smolarkiewicz, 1994: Thermally forced low Froude number flow past three-dimensional obstacles. *J. Atmos. Sci.*, 51, 117-133.

表一 由雷達圖篩選之午後對流個案(不含高層冷心低壓個案)。

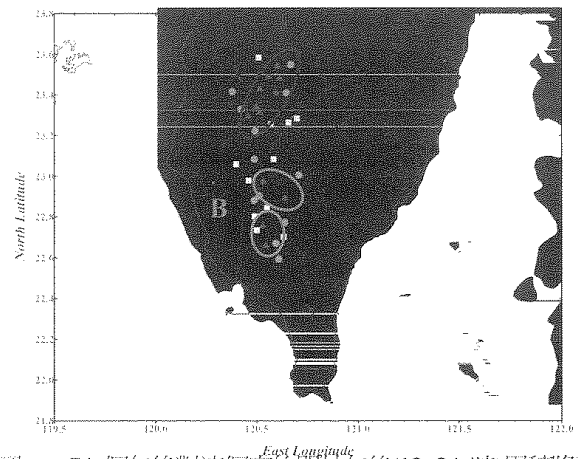
日期	主要回波位置或特徵
20030708、20030725、20030726、20030806、20030814、20030815、20030816、20030817、20030905、20030920、20030924、20040710、20040723、20040724、20040728、20040819、20040821、20040831	四區斜坡
20030807、20030918、20030925、20030927、20030928、20040815、20040822	屏東斜坡
20030719、20030720、20030811、20030824、20030825、20040715、20040807	嘉義斜坡
20030727、20030802、20030830、20030913、20030915、20040722、20040830	嘉義及屏東斜坡
20030707、20030721、20030729、20030730、20030801、20030808、20030809、20030810、20030908、20030916	弱回波
20030919、20030926、20040720、20040725	特徵不明顯

表二 東南風個案之主要回波位置或特徵及南台灣位500hpa之5880線內(IN)、外(OUT)或邊緣地區(SIDE)。

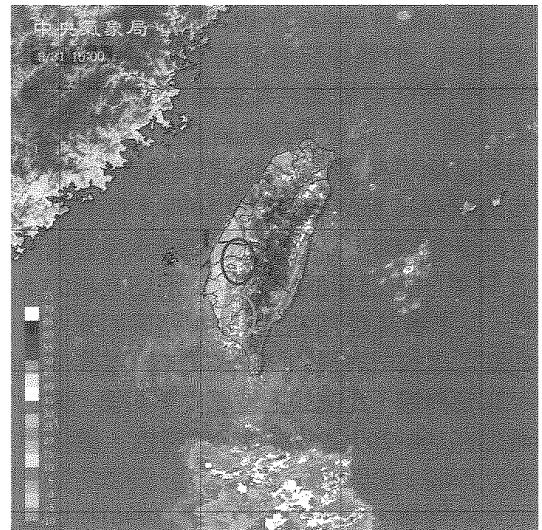
日期	主要回波位置或特徵	500hpa之5880線
20030719	嘉義斜坡	OUT
20030720	嘉義斜坡	IN
20030721	弱回波	IN
20030830	嘉義及屏東斜坡	IN
20030913	嘉義及屏東斜坡	IN
20030915	嘉義及屏東斜坡	IN
20040715	嘉義斜坡	SIDE
20040720	特徵不明顯	IN
20040725	特徵不明顯	OUT
20040821	四區斜坡	SIDE

表三 同表二，但為東風個案。

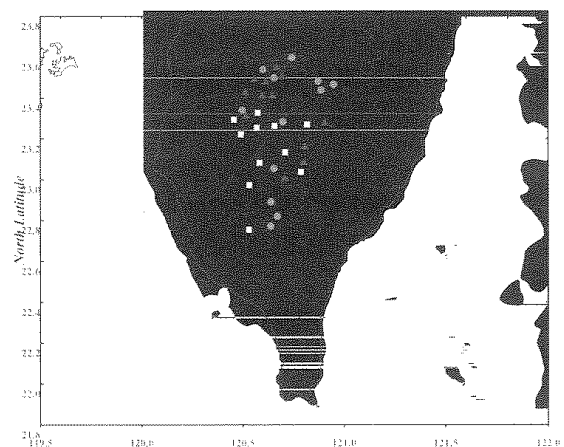
日期	主要回波位置或特徵	500hpa之5880線
20030708	四區斜坡	IN
20030802	嘉義及屏東斜坡	OUT
20030817	四區斜坡	IN
20030905	四區斜坡	IN
20030916	弱回波	IN
20030926	特徵不明顯	IN
20040722	嘉義及屏東斜坡	IN
20040723	四區斜坡	IN
20040807	嘉義斜坡	SIDE



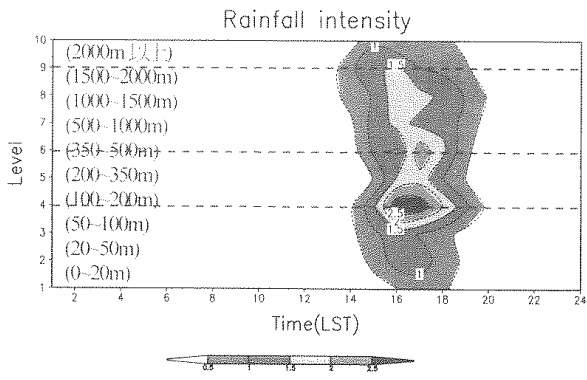
圖一 74個午後對流個案的單站午後(12~24時)累積降雨量在所有測站數(117個)之前10%為▲, 10~20%為●, 20~30%為○。



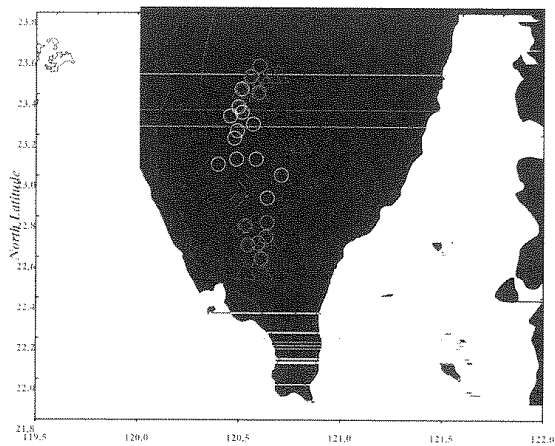
圖二 2004年8月31日15時雷達回波圖。



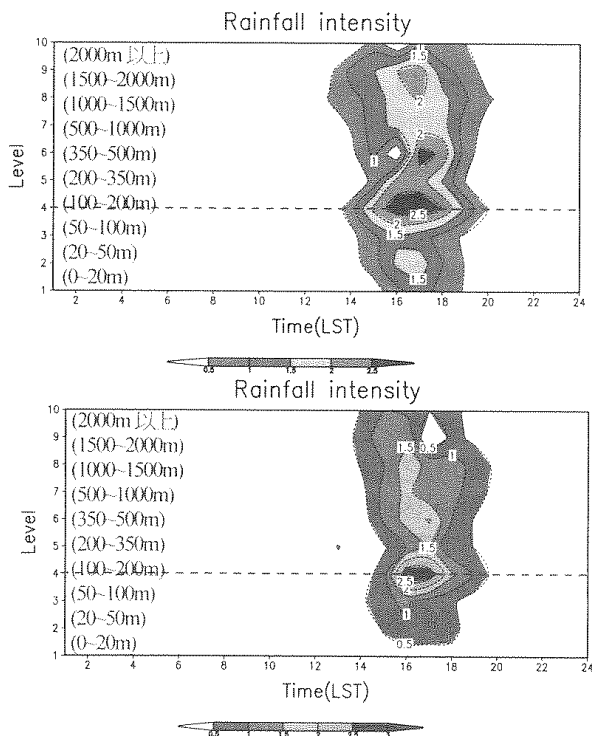
圖三 2003年7~9月及2004年7~8月所有日期的單站午後(12~24時)累積降雨量在所有站數(117個)之前10%為▲, 10~20%為●, 20~30%為○。



圖四 74 個午後對流個案隨各高度層(level)之平均降水強度時序圖。

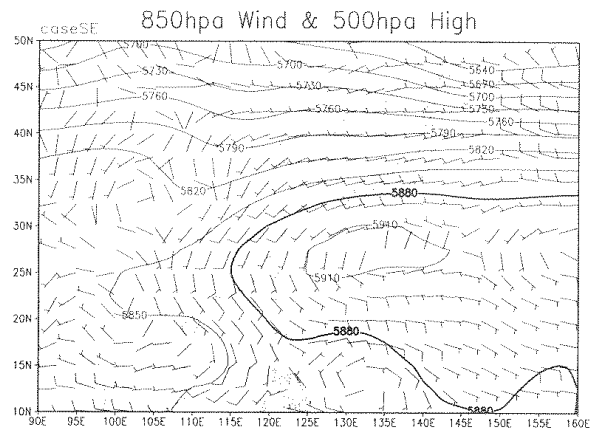


圖五 74 個午後對流個案中14~17時之間各站時雨量占所有站之前10%者，代表各時間主要降水位置的時序分布圖。14時之符號為●，15時之符號為○，16時之符號為△，17時之符號為□。

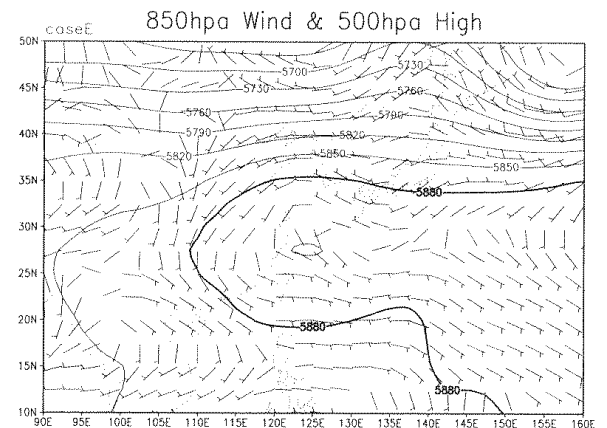


圖六 各高度層(level)之平均降水強度時序圖，(a)為台灣附

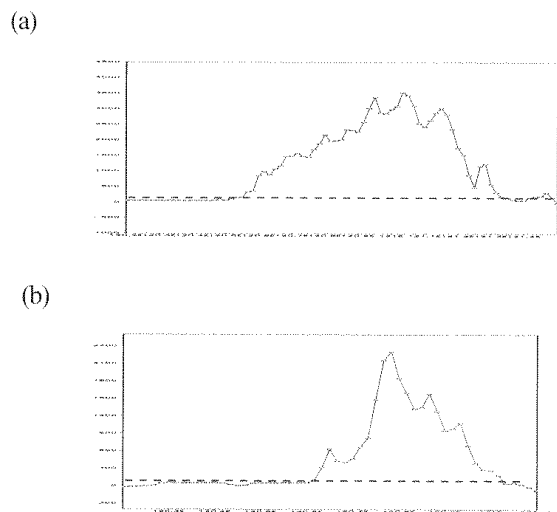
近有不穩定天氣系統，(b)為台灣附近是麥絲觀天氣型態。



圖七 6 個東南風個案於 00Z 之 850hpa 風場及 500hpa 高度場合成圖。



圖八 同圖七，但為 7 個東風個案之合成圖。



圖九 (a)嘉義斜坡北緯 23.5 度及(b)屏東凹槽處(北緯 22.7 度)之地形東西向垂直剖面圖，縱軸為高度，單位公尺。紅色虛線約為 100 公尺高度。