

對流系統外流邊界激發雷雨之探討

丁文中

傅七寶

潘大綱

空軍氣象中心

摘 要

雷雨現象之影響威脅飛航安全的事實已為許多人所熟悉，雖然激發雷雨發生之條件已廣泛地為氣象人員所熟知，然而如何方能及時正確地掌握住雷雨發生的時間、地域及其影響程度却是作業單位一直努力以期突破的重點。

本文將透過個案討論民國79年7月20日台灣南部雷雨之過程，分析探討對流系統外流在有利條件因素下，成功地激發新生雷雨的事實，藉由高解度可見光衛星資料連續時間之動態圖，作業人員可立即掌握雷雨發生的時間並即時地發佈警告。配合地面、探空等傳統資料之分析及高解度衛星雲圖逐時之觀測，我們發現了主要激發台灣南部雷雨的因素有：一來自巴士海峽成熟對流系統之對流外流與中央山脈之間的交處提供了有利激發雷雨生成之機制，二南部地區低層大氣具有強烈的對流不穩定特徵。三部分個案中之對流外流邊界無論是在GMS-04或NOAA衛星雲圖上均可清楚地被辨認出來。

一、前 言

中尺度對流在近半世紀以來已愈來愈受到氣象界所重視，其原因不僅是由於科學上企圖瞭解中尺度系統本身演化及內部結構的事實，更重要的是中尺度對流系統伴生的災變天氣所衍生之生命和財產上的損失，已造成為都市密集、人口集中、工商業高度開發地區嚴重的威脅。因此正確的預報或守視中尺度對流系統之發展並及時地提出警告，已經成為氣象作業中極重要的一環。

比較所有氣象觀測儀器之功能，同步衛星提供了氣象人員絕佳的守視對流系統之工具，它同時也是唯一可以同時觀測大至綜觀尺度、小至積雲尺度雲演化的儀器，事實上，衛星雲圖中雲的特徵、型狀乃至變化均意味著某些大氣中正在進行的動力及熱力過程，若是將這些資料仔細地與傳統資料、雷達資料合併使用，則有助於對中尺度天氣系統發展中所存在的諸多過程進一步的分析與瞭解（Purdum, 1982），若是將連續時間密集觀測下

的衛星雲圖製作成動態畫面，往往則可對於對流尺度如何交互作用進而激發深對流的過程有所瞭解（Purdum, 1979）。

有鑑於氣象界已意識並認知即時預報（Nowcasting）之重要，本文之目的則在於如何利用作業單位所有之衛星資料、傳統地面觀測、探空分析以及簡易的一些穩定度計算結果，依主觀描述並分析所獲有之資訊以為即時預報之參考（Purdum, 1982）。此外，本文重點將著於對流外流邊界如何成功地激發新生雷雨的過程做一事實的描述，由於對流外流邊界在衛星雲圖中常以弧狀雲綫為其特徵（Purdum, 1973），弧狀雲綫之組成主要是由積雲、碎積雲或（和）積雨雷所組成，弧狀雲綫經由對流尺度交互作用的過程控制了深對流演化與發展，而往往在雷達回波上卻無法明確地看到弧狀雲綫的特徵（Purdum, 1986, 1973）。

Fujita(1963)早在60年代初期即提出了中尺度高壓伴生於雷雨下沉氣流區，Purdum(1976,1979)亦以個案方式討論了當大氣不穩定夠強，弧狀雲綫與他種不連續面(鋒面、乾綫等)相交處，就足以提供激發中尺度深對流系統發生的機制，一般認為此種弧狀雲綫是流體力學上所謂之密度流之前緣，組成為來自雷雨下沖流之較冷且重空氣。此冷空氣若在已存穩定層之下移動，則密度流可能導致一連串重力波，而後這些重力波可以較其內或其下風速更快之速度移動，這些都曾在衛星雲圖中觀測到(陳，1984)。回顧民國79年7月20日台灣南部地區午後雷雨，經由仔細的分析與探討，我們發現當日之雷雨發展過程，實際上即是一個典型的由弧狀雲綫(對流外流邊界)與中央山脈地型交互作用下，再加上有利的大象不穩定條件所激發生成雷雨的個案。

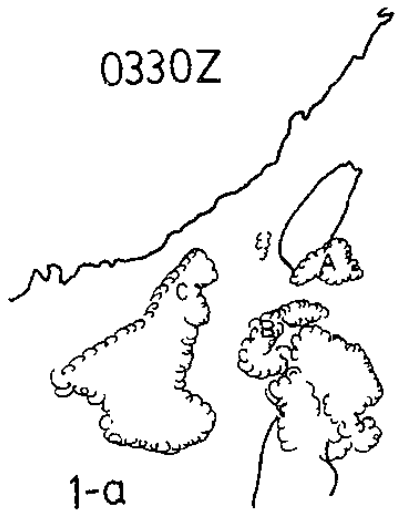
二、資料來源及研究方法

探討民國79年7月20日台灣南部地區午後雷雨，我們使用了空軍氣象中心衛星課所接收之同步衛星逐時高解析度可見光與紅外線雲圖，利用可見光具有較佳解析度之優點以辨認弧狀雲綫之位置與特徵，對於紅外線雲圖則利用影像加強處理技術(MB-CURVE)來判定對流的強度。傳統地面觀測，探空分析和簡易的一些計算用以判定大氣穩定度等。經由妥善地使用上述資料及分析(Purdum,1973,1974)，我們可以架構出一個令人滿意的中尺度分析結果。

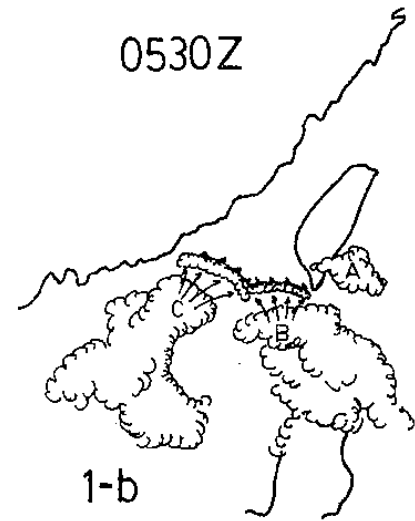
三、個案討論

民國79年7月20日0330Z，GMS-04衛星接收之高解度雲圖顯示(未列出)菲島北方及台灣海峽南方有兩個中尺度對流系統正在發展，台灣東南部亦有一對流雲團，若分析雲區以圖示(圖1-a)表示之，可見上述三對流雲族分別為B、C及A。至0530Z(圖1-b)，原發展中之B、C兩中尺度對流系統已趨成熟並分別在其東北及西

北方生成兩條由積雲所組成之弧狀雲綫，雖然此時兩弧狀雲綫已在海峽南部交錯，然而並未發現有明顯對流活動生成，原對流A已漸削弱且東退，直至0630Z(圖2-a)，A對流仍未見有發展，然而對流B已成熟並增強了對流外流的強度，雲圖分析上明顯地在弧狀雲綫有隴起的現象，對流D此時已在屏東、高雄附近生成，對流C所產生之弧狀雲綫則仍維持其緩慢向東北方向移動之勢。至0730Z(圖2-b)對流D之範圍已明顯地擴張至台南、嘉義附近，此與對流B所產生的弧狀雲綫繼續北推似乎是正相關的，雖然對流B已逐漸地進入生命史中的消弱期，但是根據Purdum(1979)所述，弧狀雲綫或對流系統外流邊界在對流減弱過程中仍然可維持數小時之久，對流C的弧狀雲綫比較0630Z時除位置稍移外，並未有明顯之變化，而此時對流C的強度在紅外線加強圖(EIR, Enhancement IR-MB Curve)中亦指示其處於消弱的階段。到0830Z(圖1-c)，對流B所生之弧狀雲綫亦減緩其向北之勢，B及C對流均繼續削弱，倒是對流D持續發展並沿B對流之弧狀雲綫向北移動，對流A此時已明顯地減弱，直到0930Z(圖1-d)，對流D持續發展且範圍擴大，對流系統南方的邊界幾乎與B對流之弧狀雲綫平行，可見光雲圖(圖3)此時正值太陽光源來自地球西方，因此在嘉義附近由雲高不同所產生之陰影(texture)清晰可見，中央山脈自始至終均未見有組織性的對流生成，弧狀雲綫亦可由此圖看出其所處位置，利用MB曲綫加強處理後之紅外線雲圖(圖4)更說明了二件事實，其一是對流D是一完整有組織的中尺度對流系統，其二則是其主要對流區的排列約略與影響其發生之弧狀雲綫平行。眾所週知，台灣地區的中央山脈在地理上南北縱走，在氣象上更往往扮演了很重要的角色，配合上述分析，我們發現對流D始終並未越過中央山脈發展，而0630Z(圖2-a)最早出現對流D的時間及位置，恰巧在中央山脈、台灣南部嘉南平原南方之地型凹處及弧狀雲綫之間，此現象似乎說明了中央山脈地型與弧狀雲綫之間的交互作用，提供了對流D發展很有利的一個機制。



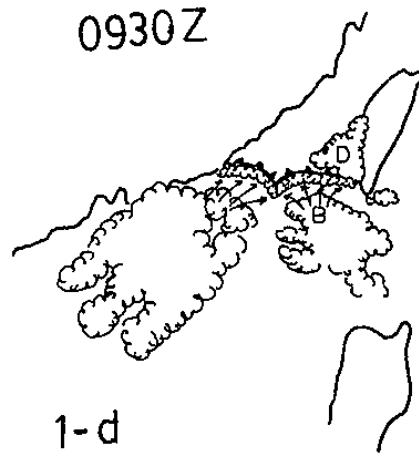
1-a



1-b



1-c

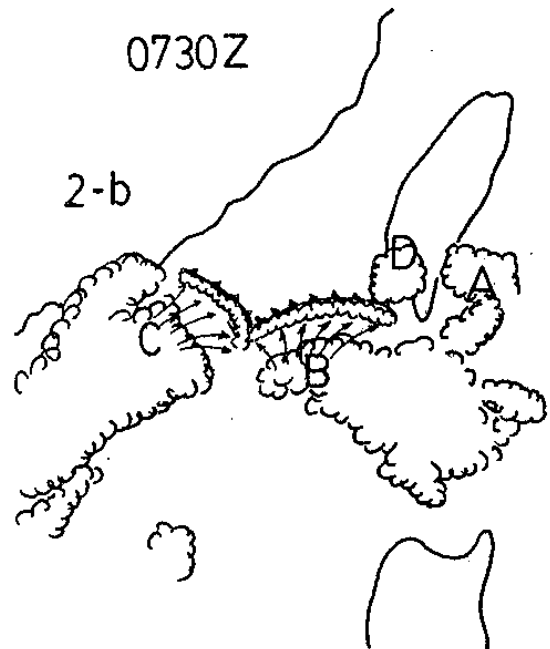


1-d

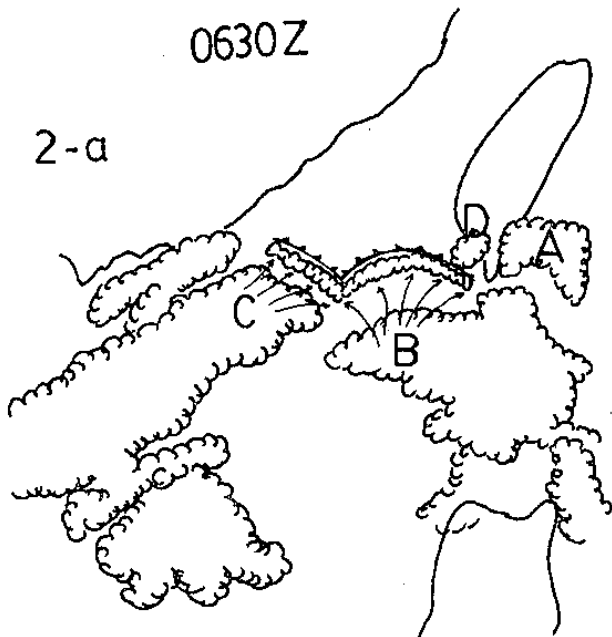
圖一-a 爲 0330 Z 觀測之可見光雲圖之分析；圖一-b 爲 0530 Z，圖一-c 爲 0830 Z；圖一-d 爲 0930 Z。

圖一：民國 79 年 7 月 20 日 GMS-04 可見光雲系分析圖，箭頭爲對流外流，弧狀雲綫前方之鋒面符號代表對流外流邊界，A, B, C, D, 分別代表主要的四個對流系統。

0730Z

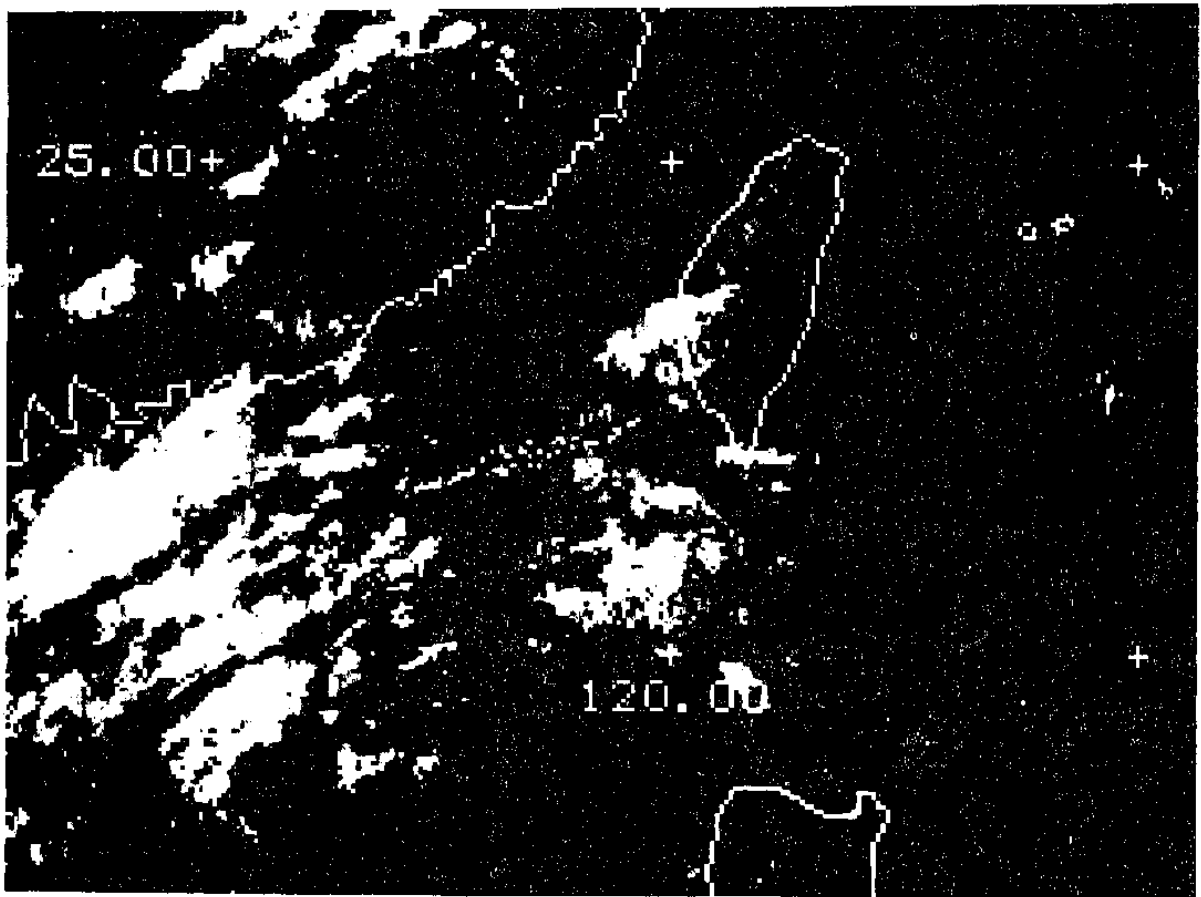


2-b

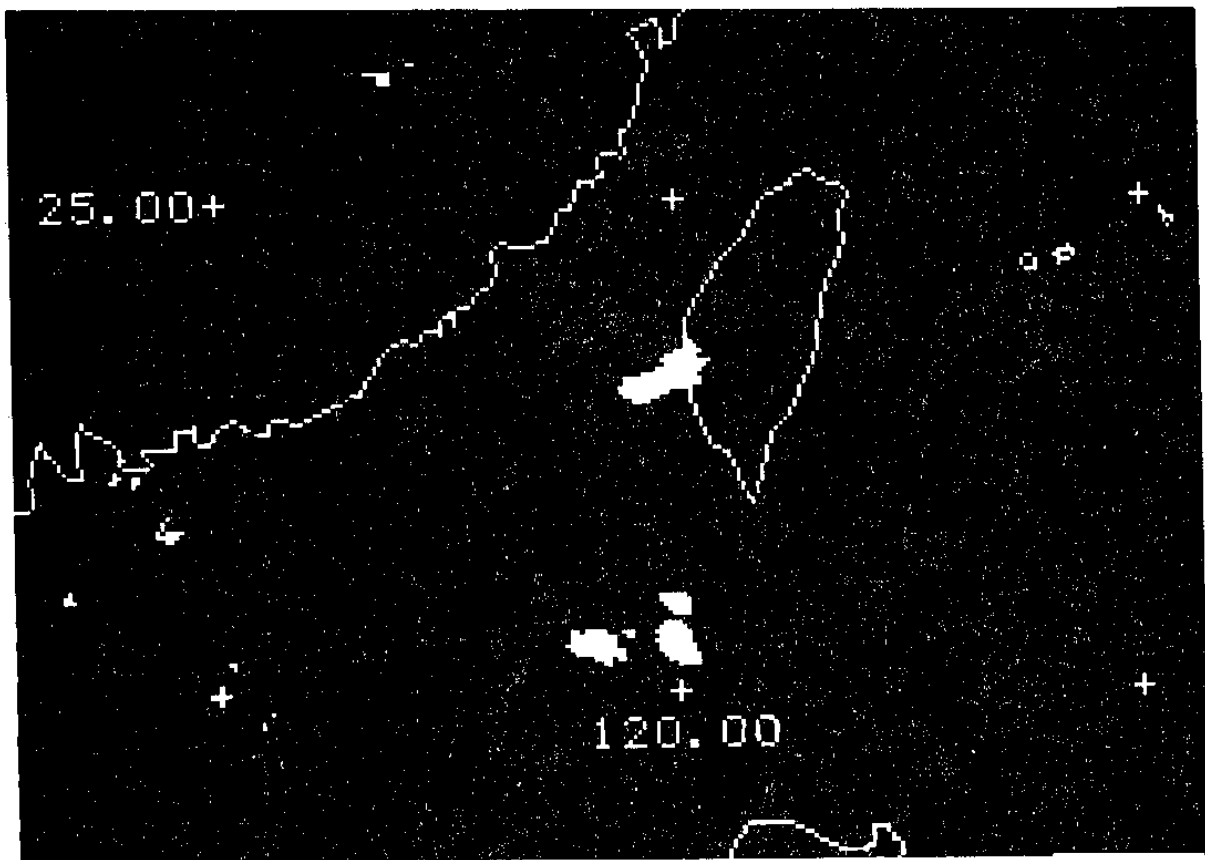


2-a

圖二：如圖一惟圖二-a 爲 0630 Z；圖二-b 爲 0730 Z



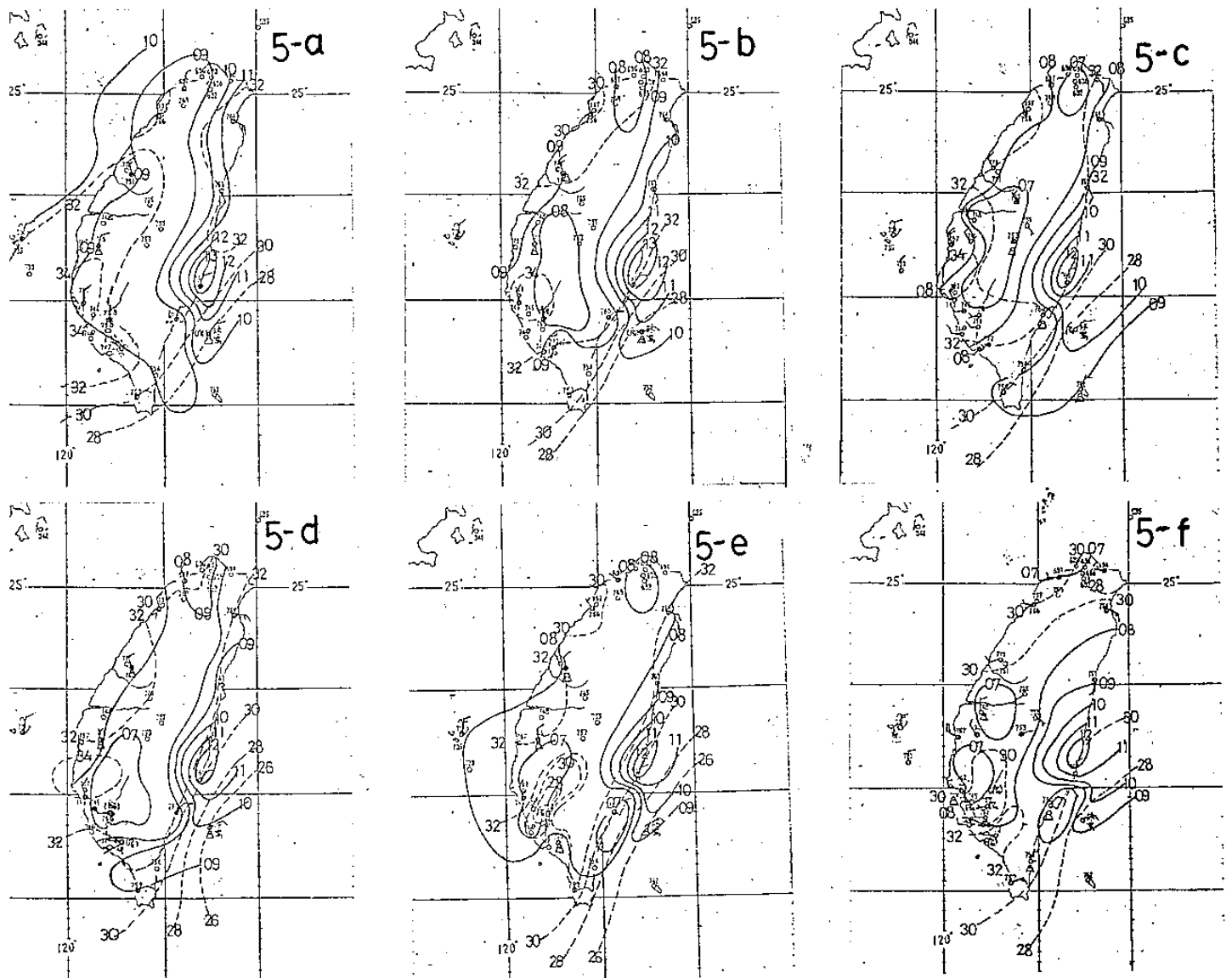
圖三：民國79年7月20日0933 Z，GMS-04可見光雲圖



圖四：民國79年7月20日0933 Z GMS-04加強後之紅外線雲圖，加強曲綫使用MB-Curve。

經由逐時的地面中尺度分析(圖5)，我們發西部地區最早在05Z(圖5-b)已出現了一個低壓，最大增溫區在台南、岡山、屏東一帶，佳冬從04Z(圖5-a)至05Z已有明顯地風向轉變，06Z(圖5-c)西部地區之低壓已稍稍向北，至07Z(圖5-d)時，低壓幾乎已與雲系分析(圖2-b)之對流D位置一致，最大增溫區則較05Z時些微偏北，至08Z時(圖5-e)西部地區的低壓並未明顯的移動，然而明顯地降溫已隨雷雨之發生出現在屏東、高雄及岡山一帶，至09Z(圖5-f)時，兩個完整的低壓已在嘉義以北及其南方與岡山之間，低溫區也伴隨北移，若是比較0930的雲圖(圖3及圖4)，我們發現最

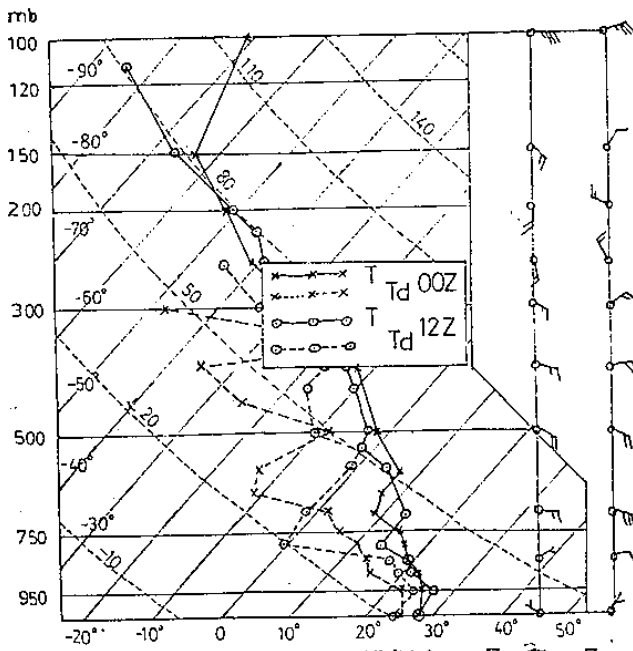
旺盛的對流應屬於較北一方的低壓附近。就地面逐時分析的結果來看，我們發現雖然西部地區在06Z以前出現了完整的低壓，然而當對流D生成時，其約略和07Z的地面低壓位置相同，後續隨著弧狀雲綫之北移，雷雨在局部地區的發展，低壓亦向北且有急驟的地面降溫情況，後續隨著弧狀雲綫的減弱消失，台灣西岸的對流D亦很快地削弱了，此點與Purdom(1986)所指出：旺盛對流之是否得以維持與弧狀雲綫間有很重要的關係，另外他亦同時指出若是當弧狀雲綫移入一處具有大氣對流不穩度特性的區域時，此時亦有利於深對流的發展，接下來我們將來討論當時大氣在垂直結構上是否亦具有如此的特性。



圖五：民國79年7月20日逐時(04Z~09Z；a~f)地面中尺度分析圖，實綫代表氣壓，虛綫代表溫度。

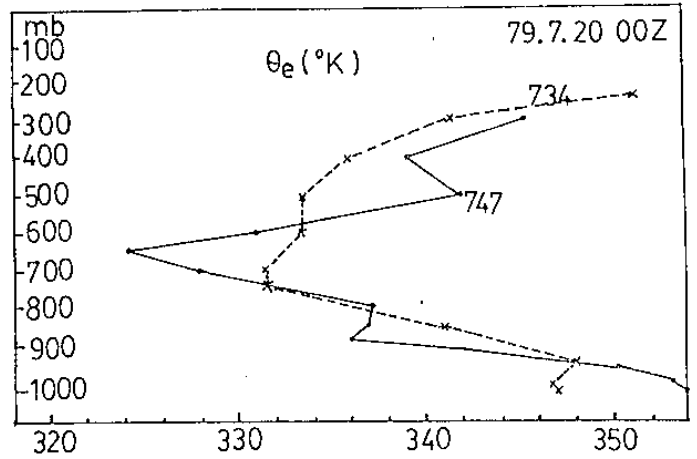
圖 6 為東港探空當日的分析，由風場上看來，00Z 時 500MB 以下幾乎均為東風且風速均小於 20 浬/時，若分析 00Z 的大氣穩定度 (圖 7) 卻明顯地看到台灣南部垂直大氣在 650MB 至 800MB 以及 900MB 至地面均有十分顯著的對流不穩定 ($\partial \theta_e / \partial P > 0$)，台灣中部之大氣與其比較則顯然地不如南部來得不穩定。

綜合上述的討論，我們可歸納出幾個造成民國 79 年 7 月 20 日台灣南部雷雨的重要因子，其一為弧狀雲綫與中央山脈地型間交互作用提供了一個絕佳



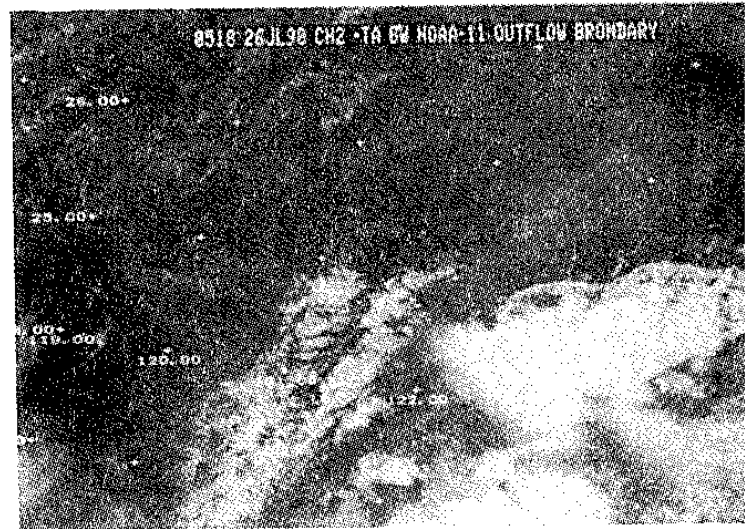
圖六：民國 79 年 7 月 20 日東港探空 00Z 與 12Z 之分析圖。

的中尺度強迫機制，逐時的地面分析亦驗證了部份衛星雲圖上所觀測到的特徵，台灣南部垂直大氣中存著有相當程度的對流不穩度等，這些都是造成此次雷雨的重要關鍵，後續當弧狀雲綫消失，南部地區雷雨即迅速消失等事實均與 Purdom (1986) 所強調的諸項條件一致，然而未必弧狀雲綫 (對流外流邊界) 每每必造成新生雷雨之發展，如圖 8 即為一攝自 NOAA-11 AVHRR 之可見光雲圖，位於台灣東部外海之成熟對流系統在其北方亦產生了一條明顯的弧狀雲綫，然而此一現象因無有利的他項條件配合，並未有新生雷雨之於其前緣發展，此一事實是值得作業人員特別注意的。



圖七：民國 79 年 7 月 20 日東港與馬公 00Z 相當

位溫之垂直分布，不穩定區為 $\partial \theta_e / \partial p > 0$ ，穩定區為 $\partial \theta_e / \partial p < 0$



圖八：民國 79 年 7 月 26 日 0518 NOAA-11

AVHRR 可見光雲圖，台灣東部外海成熟對流系統所衍生之對流外流邊界 (弧狀雲綫)，可清楚地由此圖所辨認。

四、結 論

運用高解度衛星資料，逐時地面分析，探空及大氣穩定度分析等，我們發現民國 79 年 7 月 20 日台灣南部雷雨個案是由一弧狀雲綫 (對流外流邊界) 和中央山脈地型交互作用提供了中尺度的強迫機制，另外再加上南部大氣在低層已具有極高的對流不穩度特徵，因此才激發了新生的雷雨。此一雷雨隨弧狀雲綫之移動而移動，最後再其減弱消失後雷雨

亦迅速削弱。此一個案提供了我們在應用衛星資料及傳統資料於即時預報上極佳的案例 (Purdom, 1982)，透過影像動畫的運用，許多中尺度對流間交互作用的現象將可被觀察乃至分析，這對於一成功的即時預報而言的確是相當重要的，然而文末作者仍需強調，善用各種觀測資料是做好預報的當然之事，此處所述之方法乃在說明，當在某些情況下，運用類似本文方法亦可把握住一些足以決定即時預報成功與否的重要關鍵。

五、致 謝

本文之完成感謝徐天佑先生給予我們莫大的支持，羅欣成先生提供的地面逐時觀測原始資料，楊忠譯先生的協助整理資料，以及衛星課所有工作人員在影像處理上所給予的方便與支持，特此一併致謝。

六、參考文獻

1. 陳泰然，1984：中尺度氣象學，空軍氣象聯隊氣象中心，152頁。
2. Fujita T. 1963:"Analytical Mesometeorology:A Review" Meteorological Monographs, Vol.5, No.27, pp.77-128.
3. Purdom, J.F.W., 1973: Meso-highs and satellite imagery. Mon. Wea. Rev., 101,180-181.
4. Purdom, J.F.W., 1974: Satellite imagery applied to the mesoscale surface analysis and forecast. Preprints, 5th Conference on Weather Forecasting and Analysis (St. Louis, Missouri), pp.63-68. AMS, Boston, Massachusetts.
5. Purdom, J.F.W., 1976: Some uses of high resolution GOES imagery in the mesoscale forecasting of Convection and its behavior. Mon. Wea. Rev., 104,1474-1483.
6. Purdom, J.F.W., 1979: The development and evolution of deep convection. 11th conference on Severe Local Storms October 2-5, 1979 Kansas City, Mo. AMS. 143-150.
7. Purdom, J.F.W., 1982: Subjective interpretation of geostationary satellite data for nowcasting. Nowcasting, K.A. Browning, Ed. Academic Press, 149-166.
8. Purdom, J.F.W., 1986: The use of satellite data. Mesoscale Meteorology and Forecasting, S.R. Peter, Ed. AMS. 118-150.

A Case Study on Convective Outflow Boundary Initiating Thunderstorm

SAM WEN CHUNG TING PAUL FUH PETER DAGANG PAN

WEATHER CENTRAL, WEATHER WING

Abstract

The fact that thunderstorm and its accompanied weather phenomena possess unmeasurable fatal potential to aviation safety has been well known, Although various finds improved our knowledge on this weather phenomena, the operational personals still find himself existing in a massive situation when quantitative forecasts are required.

This study focus on how convective outflow originated from a mature convective system interacts with C.M.R. and then initiate thunderstorm, Through the case study on July 20, 1990, we found That: thunderstorm was initiated under the interaction between convective outflow boundary and C.M.R., The lower atmosphere of southern Taiwan possess a convective unstable characteristic which is favorable for convection to maintain. We also recognizd that the convective outflow boundary, at certain conditions, could be easily identified on either GMS-04 or NOAA satellite imageries. However, not all convective outflow boundary, in our region, initiate Thunderstorm successfully.