

氣象衛星觀測分析台灣地區雷暴發展與天氣系統對其觸發作用之個案探討

梁 瑞 禎 沈 哇

空軍氣象中心

摘 要

民國七十二年九月廿七、廿八日期間巧逢佛瑞特颱風侵襲日本，日本氣象廳特別將氣象衛星觀測時間由三小時改為每小時觀測乙次，提供了許許多多珍貴的衛星雲圖資料，更令人興奮的却是在這段增加觀測期間內正好捕捉到一個激烈雷暴的發展經過。筆者鑑於此等機會之難逢，特以此一個案細加分析探討，期能提供一可行之雷暴預警守視方法。

在綜觀分析之後發現：該一風暴之發展乃由多重因子綜合作用下激發的風暴。若能有充分的衛星與雷達觀測資料，透過重疊分析已足可提供有效守視雷暴發展的憑藉。同時也可讓我們有機會在雷暴來臨之前發佈預警報告，從而降低雷暴對我們日常生活上所造成的傷害。

分析結果顯示：該雷暴的發展所受激發因子甚多，而本省東方近海之輻合帶動態及 850 MB 層上暖濕空氣塊的移動狀況頗值得吾人注意。

一、前 言

雷暴到今日仍是氣象學中研究主題之一。它的突發性和破壞力常給人們帶來許多的傷害。至於它的發展、物理結構以及它是如何維持它的強度等等，仍是太多的問題困擾着氣象學者們。另外一方面，在雷暴的研究工作中最令研究人員頭疼的問題便是觀測資料的不足。模擬實驗和實際上的演變到底仍有着一段相當的差距。過去幾年中，國際氣象學者們甚至不惜

投下鉅資來設立一個密集的觀測網，專門爲了搜集雷暴的直接觀測資料；如民國七十二年（1983）在美國所執行的場站聯合天氣研究計劃（JAWS；Joint Airport Weather Studies Project）等都是爲了同一個目的，俾能在充分的各種資料中做更進一步詳盡的分析。相信在將來隨着觀測技術的進步及氣象人員的決心，必能克服一切困難而獲得令人肯定的答案。

去年（民國七十二年）九月廿七日在台灣南端近海及東部外海上由於不穩定條件的合適

，吾人可以看到一個雷暴正在發展。數小時之後該雷暴發展成熟，數個雷雨胞雲排列成行呈現出鰐線的型態（如圖1所示）。所幸該鰐線形成時已在洋上，對本省之災害並不大。同時在該一雷暴發展的整個過程當中，正值佛瑞特颱風侵襲日本期間，日本氣象廳特別把氣象衛星的觀測時間縮短到每小時觀測一次，使我們有幸獲得許多珍貴的衛星雲圖資料。由於此種機會並不多，隨興起了筆者寫本文之動機，欲借重此等雲圖資料之助來分析此一風暴及其受天氣系統的激發作用等。

氣象衛星觀測在作業上有其獨到之功效，它提供了系統在當時實際的變化情況；它又能提供我們一些中尺度嚴重天氣系統的特徵，而這些特徵在傳統的天氣圖上是容易發現到的；同時從雲系的變化上，我們易於注意到天氣系統演變是否造就了劇烈雷暴發展有利的環境，以及雷暴發展的情況等。若再能配合上其他的觀測資料做一綜合分析，則雲圖的幫助可使氣象人員所發佈的嚴重天氣警報精確率更為提升。

早在民國五十八年（1969）Oliver等學者們便提出吾人可從衛星雲圖中指認出雷暴的特徵並加以追蹤。Frankhauser在民國六十年（1971）指出：在低層（850MB）分界暖濕海洋性空氣與較乾燥大陸性空氣的輻合軸上極易形成對流性的不穩定。當環境條件變得有利時，雷雨胞雲便會在此不穩定帶上成群地發展，

至雷雨胞群發展成熟時鰐線即形成。一般而言劇烈天氣多半發生在鰐線帶內對流運動垂直發展較深厚的區域內（Purdum, 1971）。在紅外線衛星雲圖上它的特徵是成一條尾端部分逐

漸變得尖細的雲帶，多由對流性雲塊所組成。而其逐漸變尖的尾端通常都位於整個雲帶的西南方，Modigan（1967）指出此乃因為鰐線上一代的雷雨胞雲多在老一代雷雨胞雲的西南方生成，新生的雷雨胞雲勢力不及老一代的雷雨雲成熟，在雲圖顯像上面積自來得較小而造成其特殊的形狀。NESS（1971）說明了鰐線發展在雲圖上所顯示的整個過程。通常在雲圖上吾人首先可看到的是個別獨立的積雲、塔狀積雲沿着不穩定線上生長。兩小時之後逐個的積狀雲漸漸發展成熟，雲系相連形成一條較細的雲條。緊接着積狀雲轉為雷雨胞雲同時面積也在擴張中，鰐線型態的雲帶於此時成形；而這一劇烈的雷暴則開始肆虐於地面。Zipser（1977）在他的專文中指出：在鰐線系統內滾軸狀雲（roll cloud）及強烈的上升氣流均位於鰐線前，垂直向發展深厚的積雨雲及較強之雨勢多集中在鰐線後30公里之範圍內。其後30~100公里內雖也有降水之現象但不及30公里內之降水強度，且雲系的組合多已轉為較厚之卷雲。所以吾人在雲圖上視鰐線的前緣雲塊亮而且邊緣界線分明，其後之卷雲亮度不及前緣強且雲塊的邊緣也不顯明。而於本次個案探討中之雷暴，其發展與顯像正如以上所述之演變。現僅先就天氣系統的演變上加以說明。

二、天氣系統之概述

由地面天氣圖分析中顯示（附圖2）：在27日當天佛瑞特颱風正位於東海，且已受到鋒面雲系的誘導使它的行進方向逐漸轉向東北方遠離本省向日本前進。這個時候吾人仍可看出佛瑞特颱風的輻合主軸之一仍停留在本省東方

洋上，為該一地區提供了有利雷暴成長的環境。另從27日00Z至28日12Z之間地面圖中顯示在南海地區內始終有小型熱帶低壓在成長，暖濕的海洋性空氣隨着這些熱低壓的環流導引下得以源源湧至巴士海峽地區以及本省東部外海一帶，更有助於雷雨胞雲的成長。

在850MB高空圖（附圖3）分析中，可以發現有一塊暖濕空氣自香港東沙島間海域向東移動（圖3中劃斜線之區域），該空氣塊於接近本省後消失踪影，意謂着在該層有一不穩定之擾動隨着氣流向東移動，當它進入了雷暴發展區域內後激發了雷暴的發展，擾動亦併入雷暴內未再向東繼續移動，於是乎在850MB高空圖上看起來它是乎減弱而至消失，實則它已併入雷暴中，隨着雷暴同進退。同時吾人可就連續追蹤分析中發現：該一不穩定之空氣塊到達本省附近的時間正好在27日18Z至28日00Z之間，亦正是雷雨胞雲威力轉旺之際，對雷雨之激發它有莫大的功效。此亦可由東港探空K值與T值分析曲線圖中看出（附圖4），在圖中K值與T值曲線呈現不穩定尖端性突起的時刻正是在27日12Z到28日00Z區間內。可見得該一暖濕空氣塊的移入對本省南部及東南部近海上的不穩定度有催化作用（Miller, 1967）。

700MB高空圖（附圖5）上，吾人可分析出太平洋高壓勢力於此一區間內正在西伸，迫使太平洋高壓前緣的輻合帶向西移動至本省附近。該一輻合帶到達本省東岸外海時又巧在27日12Z至28日00Z之間，更形加劇了雷暴的發展。

附圖6為500MB之高空圖。圖上也顯示出太平洋高壓有西伸之現象，亦由太平洋上向本

省一帶西伸；以及南來氣流隨着熱帶低壓得由非島、南海一帶向此伸展至本省地區。大大地增加該地區的不穩定度。

從以上天氣圖分析顯示在9月27日到28日之間雷暴實為一有組織性發展的雷雨胞群。他們是由許多大範圍系統演變綜合影響下觸發的。正如Zipser（1977）所說：大範圍之系統對雷暴的發展環境有莫大的貢獻，而這些觸發因子則在雷暴發展成熟之後便逐漸遠離或消失。另外吾人從恒春、台東、蘭嶼等測站連線之天氣一覽圖（附圖7）中亦可看出該一雷暴為一雷雨胞群而非一單純的氣團雷雨。自27日10Z以後，該一地區內就一直呈現出不穩定的天氣型態如雷雨、雷聲，陣雨等天氣不斷地出現在此一地區內，顯示該雷雨胞群具有移動性。他們並不駐留在某一測站上肆虐，因之雷雨、雷聲等現象出現時間短暫，唯出現的頻率較高，且會在不同地方出現此等現象。

三、衛星雲圖之分析

自九月廿六日21Z雲圖觀之（見附圖8），當時佛瑞特颱風正位居東海，它的雲系範圍廣泛仍可影響到本省地區天氣。同一時刻佛瑞特颱風和間熱帶輻合區（ITCZ）的對流雲系間仍就像藕斷絲連般地連在一起；並於18~26°N, 125~128°E之輻合帶範圍內有着相當旺盛的對流雲在活動。27日16Z時起在本省台東外海及巴士海峽內初見對流雲在發展，且有增強為雷雨雲之勢。於此刻吾人就前所述及輻合帶對流雲系之動態追蹤上不難發現它有向本省移動的跡象。同日19Z時，原先在18~26°N, 125~128°E之輻合帶雲系已顯着地向西移

3. 雲圖上值得吾人守視的雷暴特徵有以下幾點：

- (1) 積狀雲或對流性積雲多個排成一列時，表示已有一不穩定的輻合帶提供了積雨雲發展的環境。
- (2) 成列之積雨雲雲塊亮度繼續增強，雲塊逐漸擴張而形成鬚線組織，這時雲系呈現帶狀而尾端逐漸變得尖細型。此為雷暴發展成熟的徵兆。
- (3) 在鬚線組織前緣出現一彩弧形細雲條時（可見光雲圖上較為顯著）。該雲條是為下沉氣流爆發之象徵，凡在該雲條移動路徑上之各測站均應嚴防陣風風變，強風及亂流等嚴重天氣。
- (4) 在衛星與雷達觀測重疊分析後，若發現雷達的強回波中心位居鬚線型雲帶的前緣，根據 Zipser 之說法：鬚線雲帶中嚴重降水及下衝風多集中在鬚線前緣及其後 30 公里之範圍內，可知該鬚線型態之雷暴已發展成熟，凡雲帶前緣各測站及其已涵蓋下之各場站亦應嚴防劇烈天氣之發生。

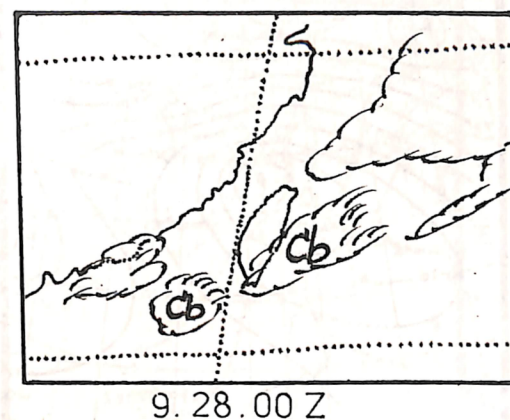
以上為綜合分析後所獲得之結果，雖然在實際作業上仍有缺乏充分資料的困難，可是從有限資料分析中仍有機會抓到雷暴發展的特徵，故對雷暴守視作業上仍不失為一有價值之憑藉。

參考資料

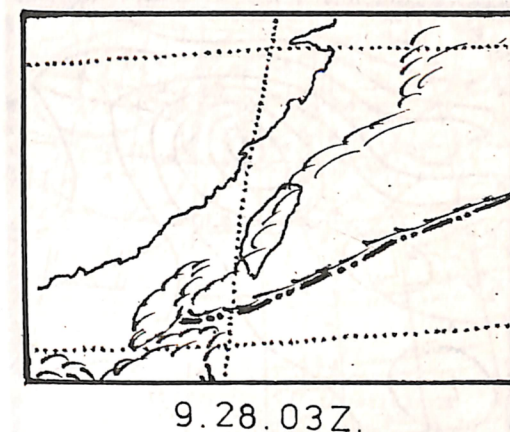
- 1 洪理強、朱曙光、張修武 1982：利用衛星資料對西南氣流及其雲系特徵分析。中範圍天氣系統研討會論文集編，中央氣象局，489~

504°

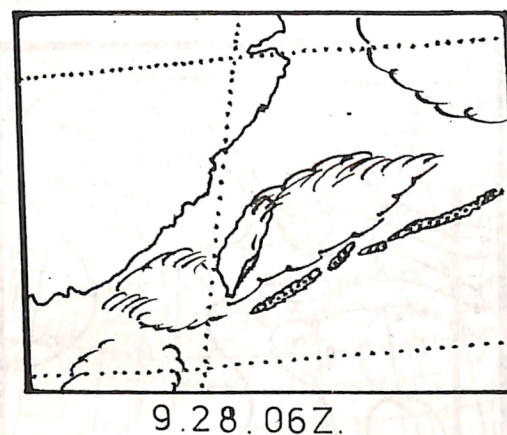
- 2 徐寶箴、劉子敬、曾振發 1976：衛星雲圖照對台灣及鄰近地區氣象系統之分析與預報之應用。氣象學報，22，4，23~31。
- 3 Fankhauser, J.C. 1971: Thunderstorm-Environment interactions from aircraft and radar observations. Mon. wea Rev. 99, P. 172-192
- 4 Fujita, T.T. 1981: Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. J. of Atmos Sci. 38, P1511 ~ 1534.
- 5 McCann, D.W. 1979: On Overshooting-collapsing thunderstorm tops. 11th Conf on Severe Local Storms, AMS, P427-432.
- 6 Miller, R.C. 1967: Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the military weather warning center. Air weather service technical report #200.
- 7 Purdom, J.F.W. 1979: The development and evolution of deep convection. 11th Conf on Severe Local storms. AMS P143 ~ 150
- 8 1971: Satellite imagery and severe wether warnings 7th Conf. on Severe Local storms. AMS P120~127.
- 9 Newton, C.W. 1966: Circulations in large sheared cumulonimbus. Tellus, 18, P. 699 ~ 713.
- 10 Newton, C.W. and H.R. Newton 1959: Dynamical interactions between large convective clouds and environment with vertical shear. J. of Met. 16, P483-496
- 11 Zipser, E.J. 1977: Mesoscale and convective-scale downdrafts as distinct Components of squall-line structure. Mon. Wea. Rev. 105, P1568 ~ 1589.



9.28.00Z

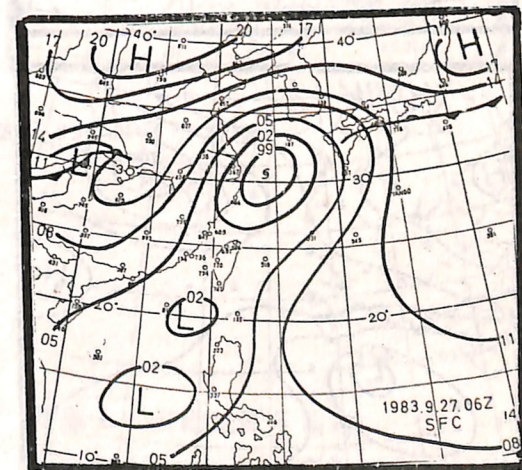
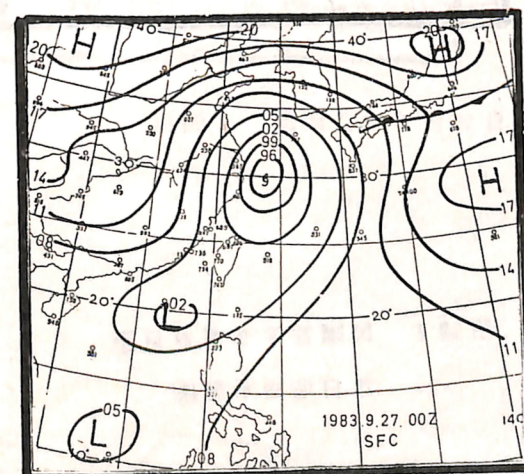


9.28.03Z

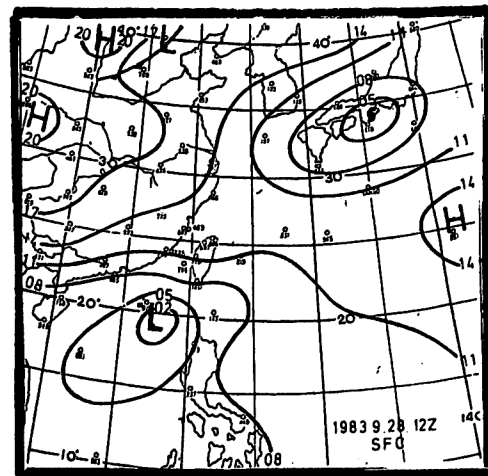
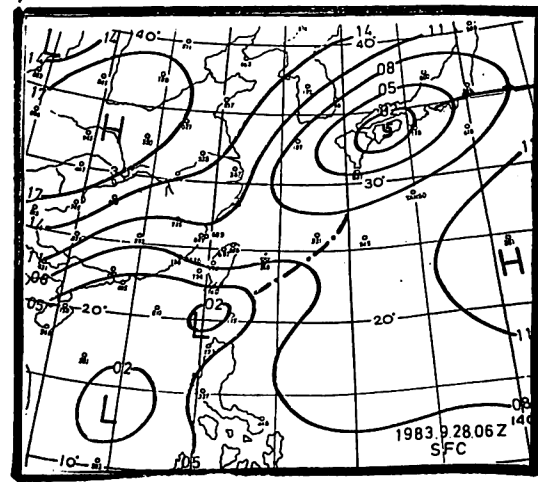
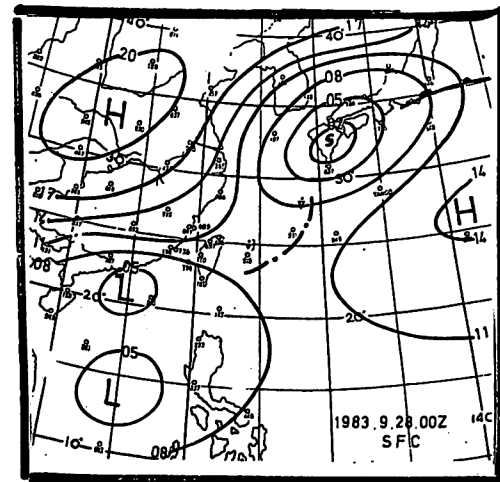
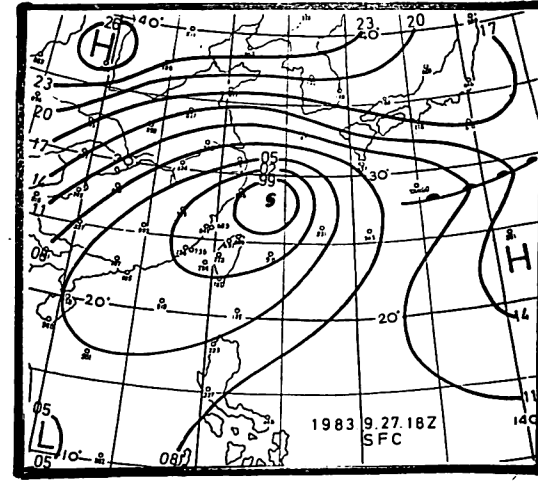
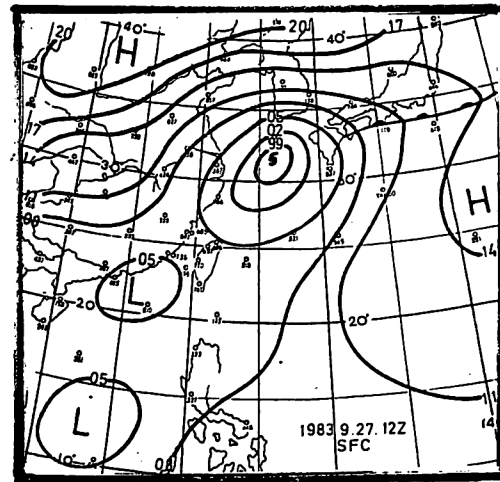


9.28.06Z

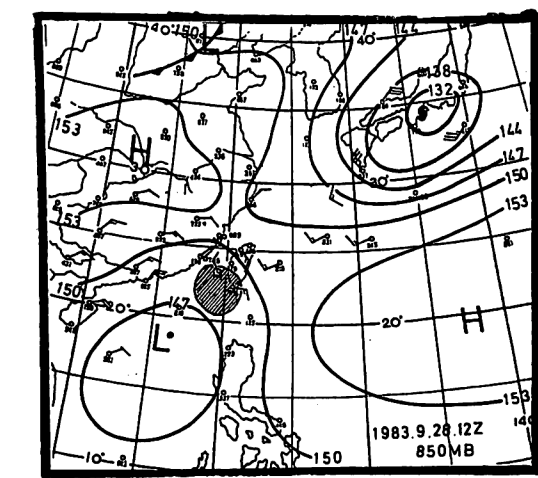
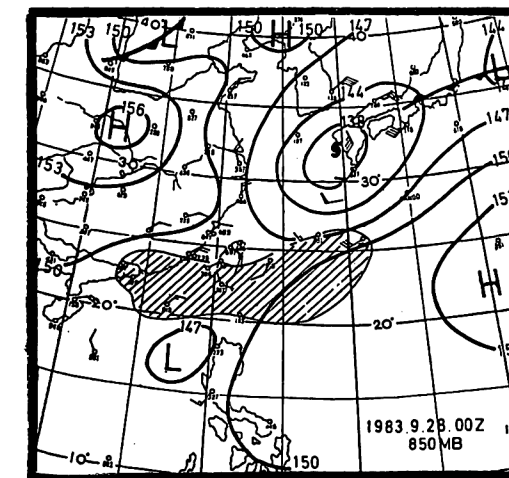
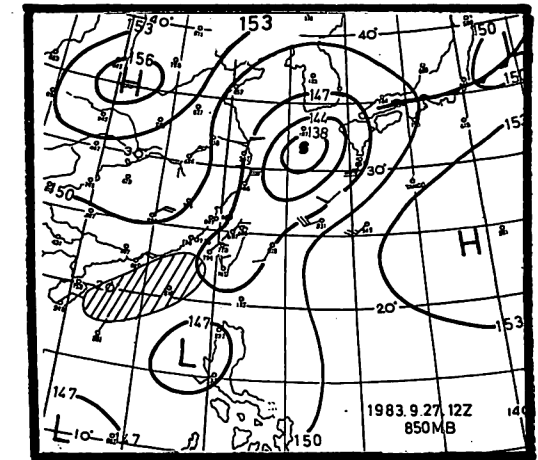
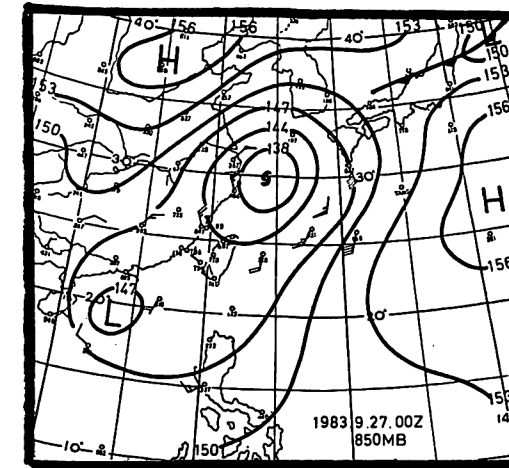
附圖 1 民國 72 年 9 月 27 ~ 28 日雷暴發展示意圖



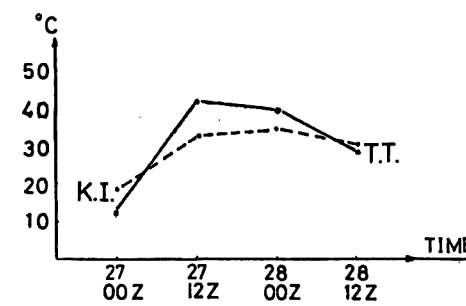
附圖 2 民國 72 年 9 月 27 日至 28 日地面示意圖



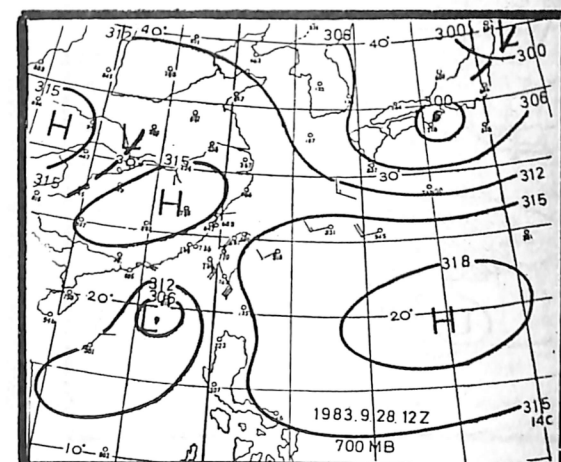
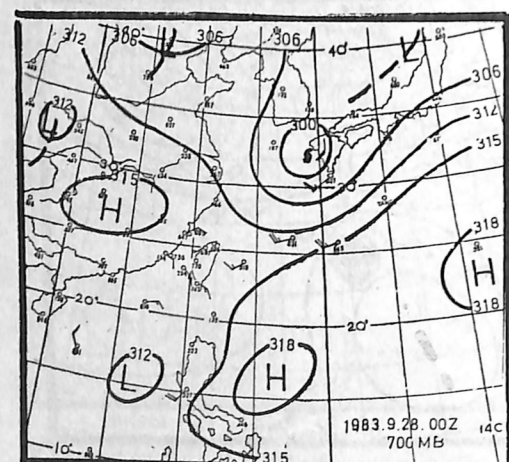
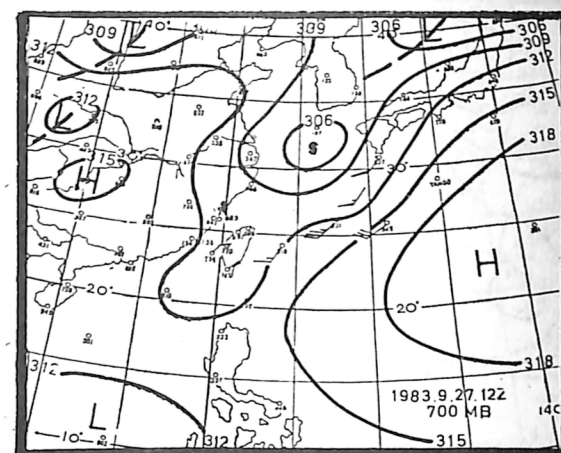
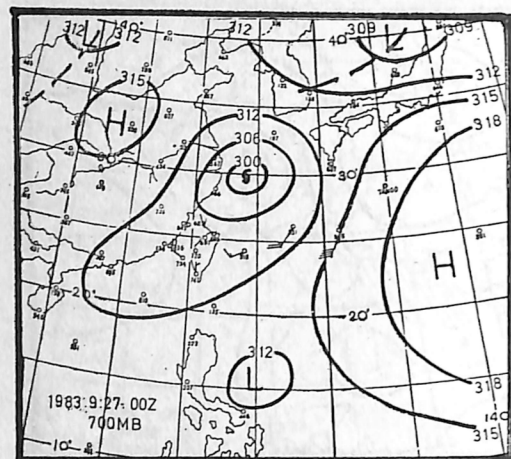
附圖 2 民國 72 年 9 月 27 日至
28 日地面示意圖



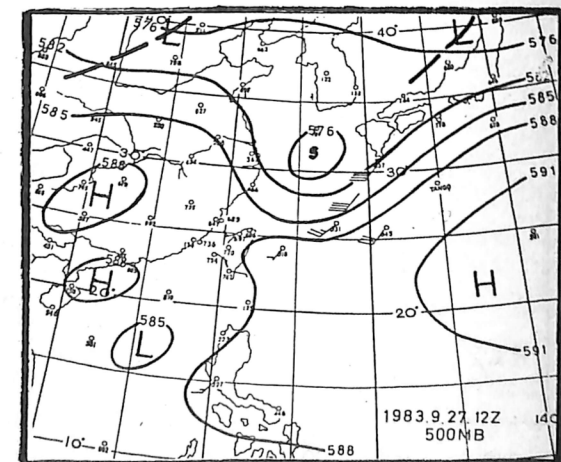
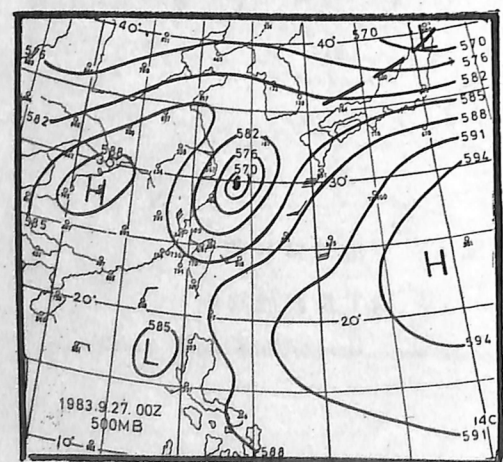
附圖 3 民國 72 年 9 月 27 日至 28 日 850 MB 示意圖



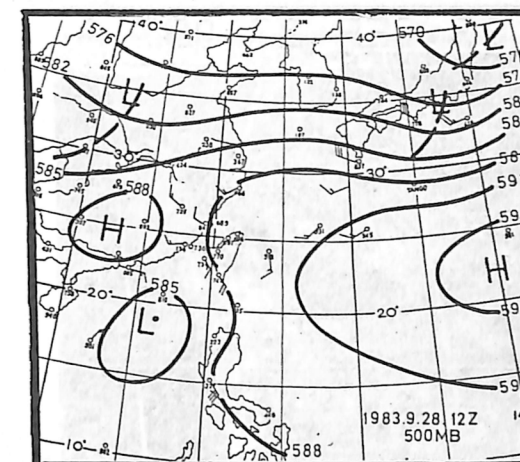
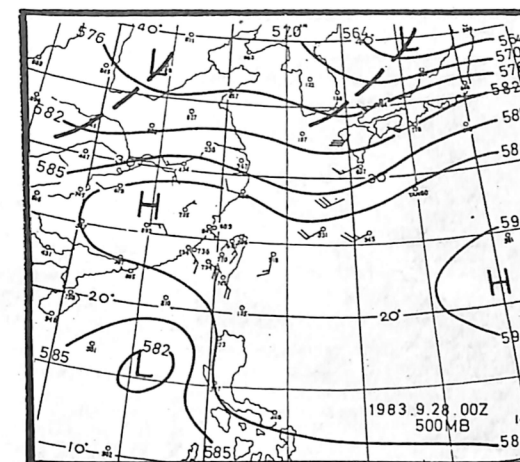
附圖 4 東港地區 K 指數
與 T 指數曲線圖



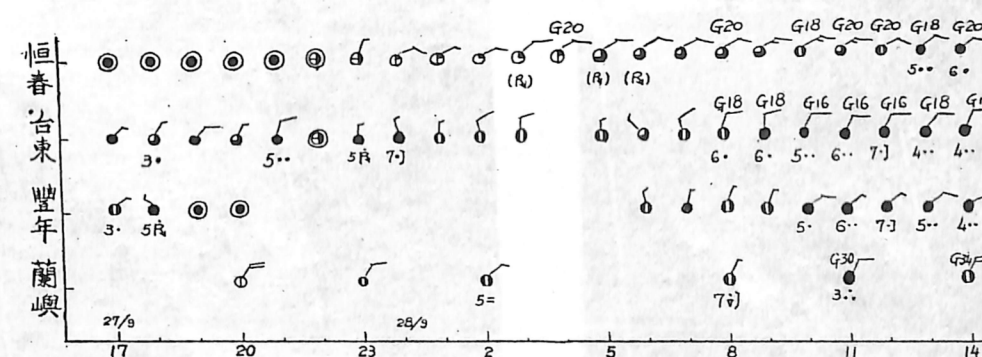
附圖 5 民國 72 年 9 月 27 日至 28 日 700 MB 示意圖



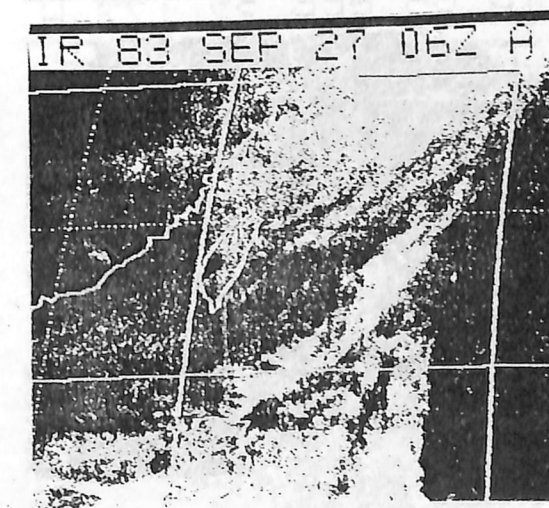
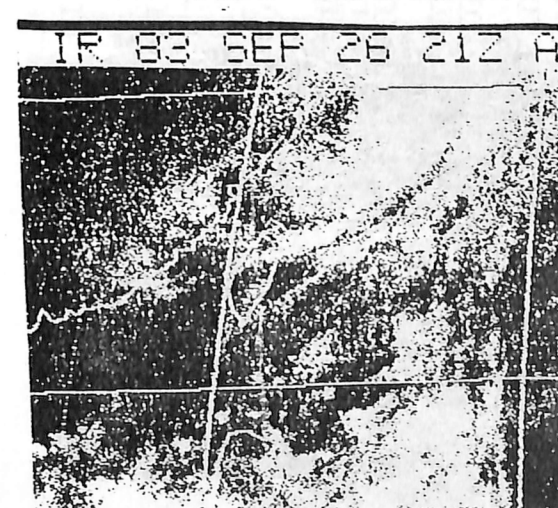
附圖 6 民國 72 年 9 月 27 日至 28 日 500 MB 示意圖



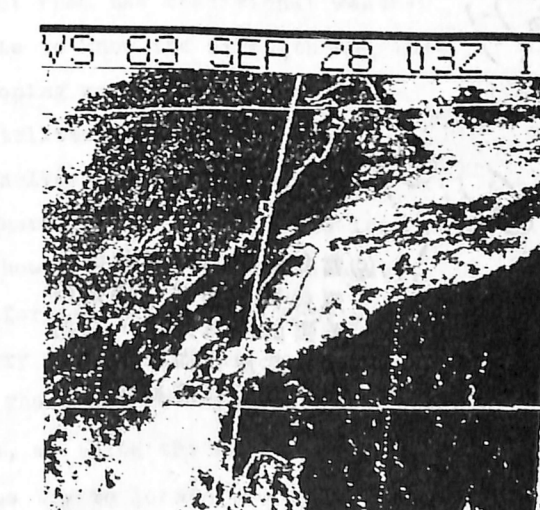
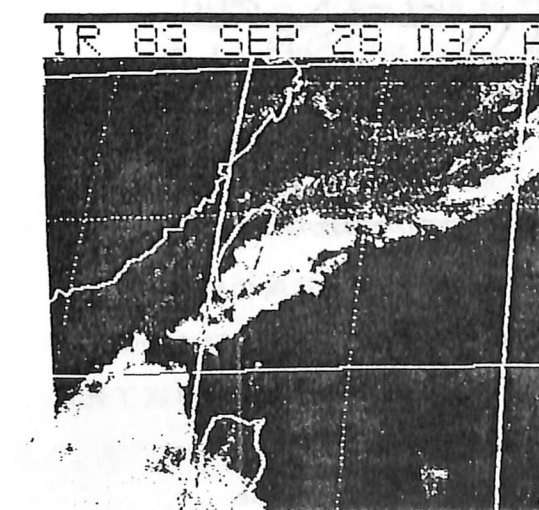
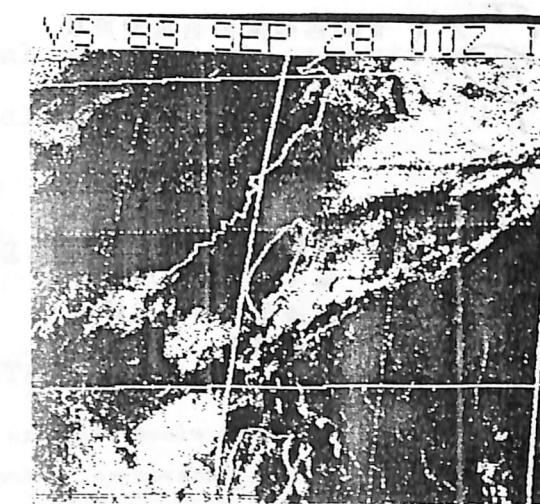
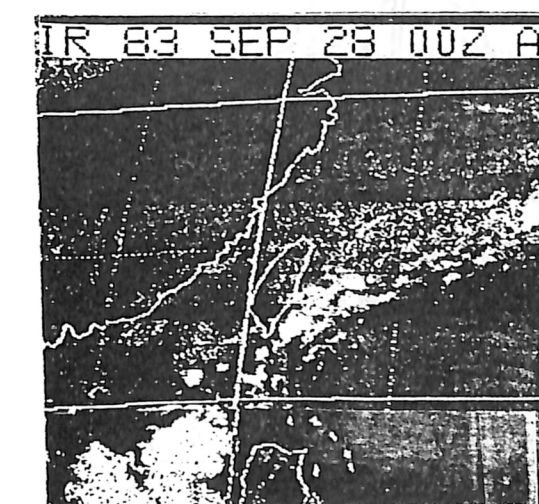
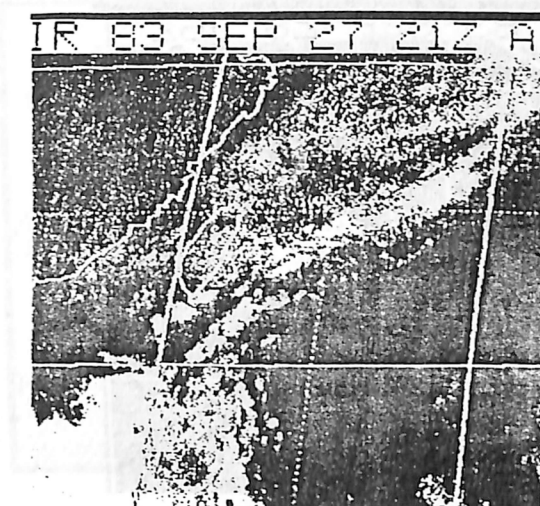
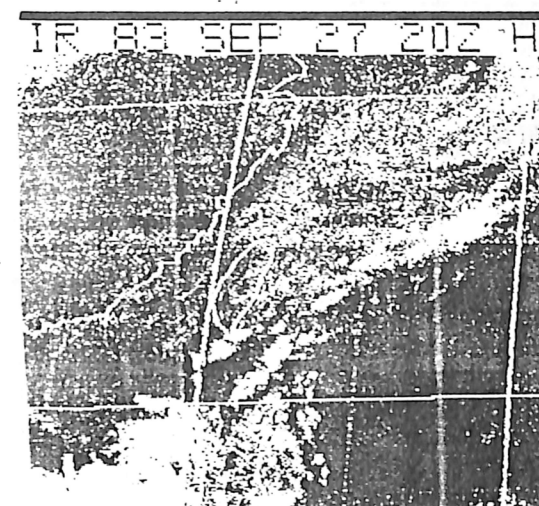
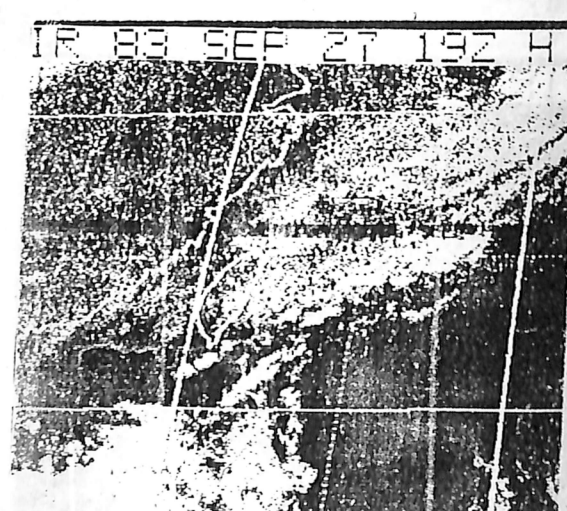
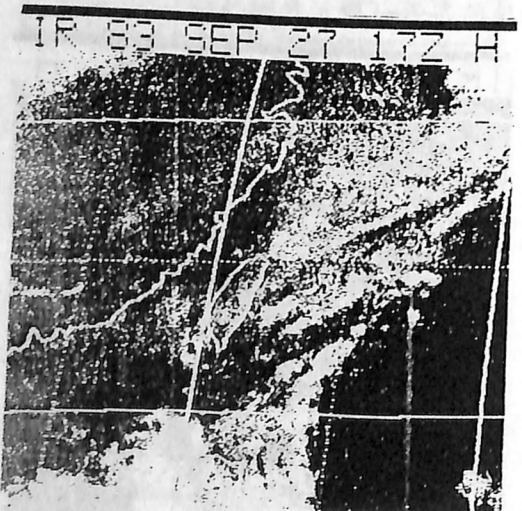
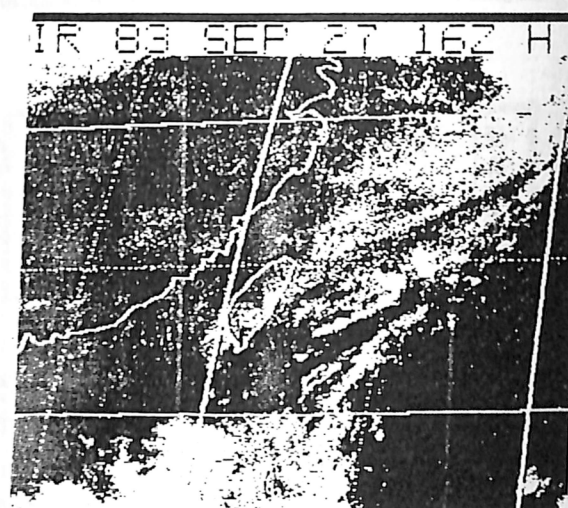
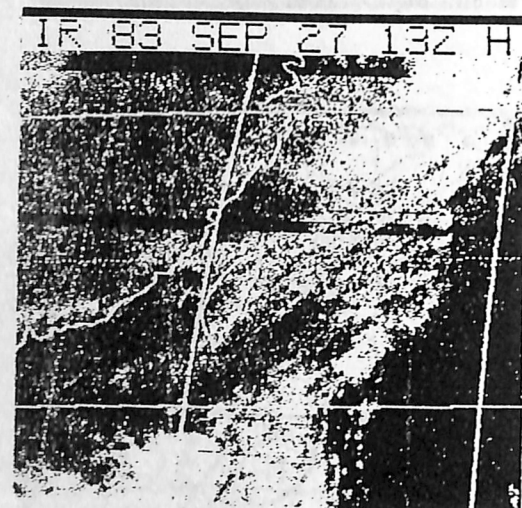
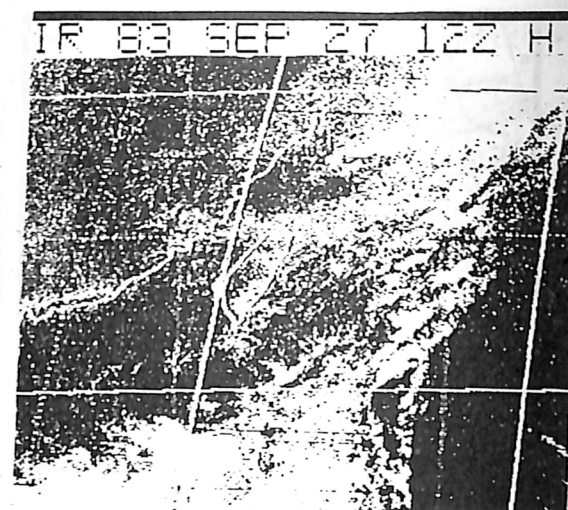
附圖 6 民國 72 年 9 月 27 日至 28 日 500 MB 示意圖



附圖 7 恒春、台東、豐年、蘭嶼地面報告一覽示意圖

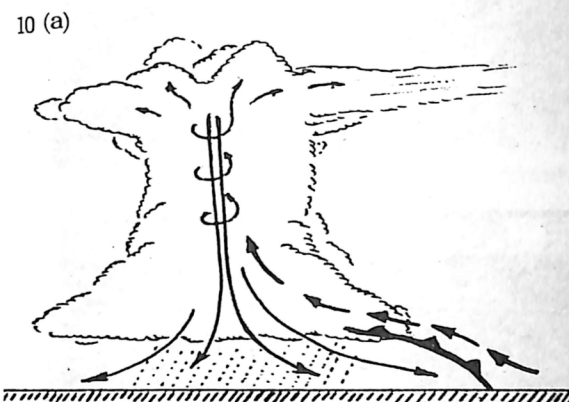


附圖 8 民國 72 年 9 月 27 日 06Z ~ 28 日 06Z 雲圖



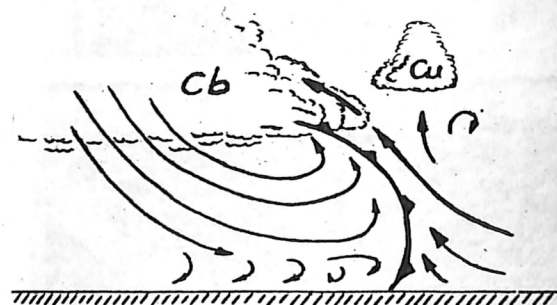


附圖 8 民國 72 年 9 月 27 日
06Z ~ 28 日 06Z 雲圖



急劇的下沉氣流在近地層造成風切形成陣風變線（陣風鋒面）

10 (b)



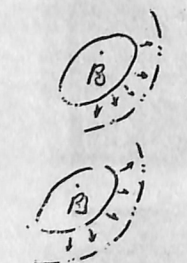
由於急劇的下沉氣流及風切影響下，在陣風鋒面前的空氣被迫抬升並形成擾動。該局部性的擾動在陣風鋒面處便形成了低層的積雲。



9 (a) 每個雷雨胞雲發展成熟之後，下沉氣流均會下達地面，並在下衝風的前緣產陣風鋒面。



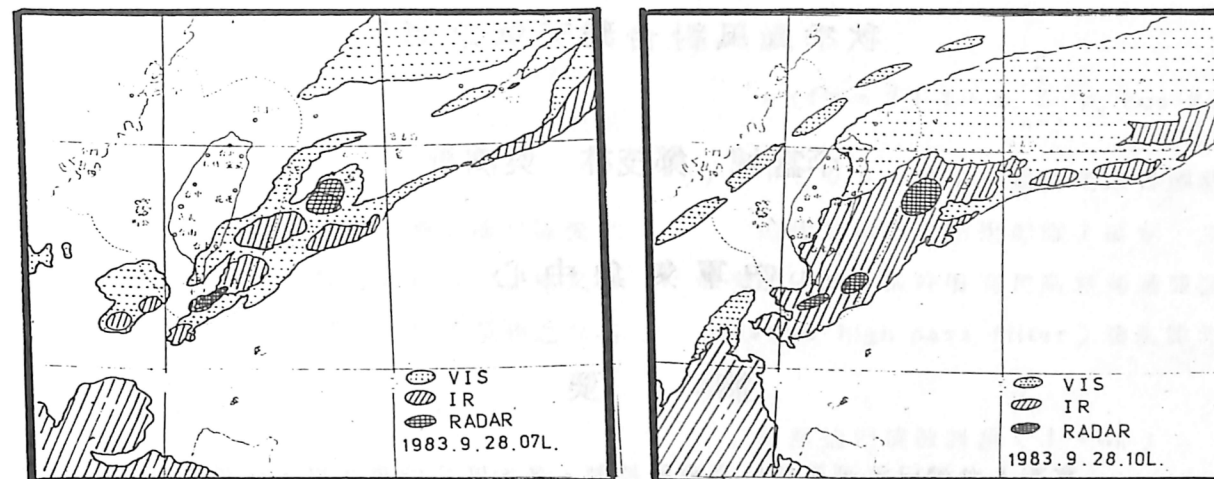
(b) 當雷雨胞群成一線排列時，每個雷雨胞都會各自產生一個陣風鋒面，向外擴張



(c) 當每個雷雨胞產生的陣風鋒面遇到另一個雷雨胞雲的陣風鋒面，它們會彼此連合而在雲圖上顯出彩弧狀的細雲條。

附圖 9

雷雨胞群促發陣風鋒面示意圖



附圖 11 可見光、紅外線雲圖與雷達觀測回波重疊分析示意圖

A Case Study on Severe Local Storm Developments with The Aid of Satellite Imagery

Jui-Cheng Liang , Hsi Shen

ABSTRACT

We understand that the synoptic scale systems provide the basic developing environment for severe local storms. Which we are able to find out from the traditional weather charts. But we are not able to know the strength and the exact location of the developing severe local storm. However, with the aid of satellite imagery and radar observations we can easily solve this kind of problem. There are quite different characteristics of severe local storm in different stages shown on the satellite imagery. In this case study, we are fortunately to have hourly satellite observation imagery through out the life cycle of a severe local storm. Those characteristics are discussed in this study. Furthermore, we think the superposition method is very handy when we try to locate the exact severe weather threatening area. It is also discussed in this study.

動到達本省東部外海上，正好遇上在台東外海及巴士海峽內發展中的雷雨胞雲，二者雲系逐漸合併為一條主要的雲系。這一現象正和 700 MB、500MB 高空圖上所示太平洋高壓脊西伸現象相吻合。21 Z 時該帶狀雲系中的雷雨胞雲已發展至成熟階段，雲系逐漸顯出飢線之初始型態，稍後並略呈彎月狀向東移行。28 日 03 至 06Z 時間內雲系擴張，飢線發展成熟於東部外海上，所以台東、蘭嶼及恒春一帶普遍地在下雨。

在 28 日 06Z 可見光雲圖中我們可以發現一條細長略呈彩弧狀的雲條，該雲條位於雷雨胞雲的前緣，稍後即以較快之速度離開雷雨胞雲母體雲系向東移動。該一雲條有兩個特徵：其一它的形狀細窄易顯像於可見光雲圖，而不易顯像於紅外線之雲圖中；其二它的移動速度常較生成母體雷雨胞雲母體來得快，且可持續數小時之久，直至下沉氣流衰竭時方告消散。由其特徵上去推測以及現今氣象學者們在雷達觀測上的瞭解，我們可以確信該一雲條實為雷雨胞群中各個雷雨胞的下沉氣流所促成（如附圖 9 所示）。在初期各個雷雨胞雲只是獨立發展並未連成一體，當各個雷雨胞分別達到成熟期時，他們的下沉氣流轉旺下衝至地面層，於是乎在強勁下沉氣流的前緣易形成陣風風變線（Gust Shear line），亦有人稱之為陣風鋒面（Gust Front）。隨着時間的發展，陣風鋒面受下沉氣流之推動逐漸遠離母體向前移動，終至彼此相連而成一彩弧狀的鋒面帶。由附圖 10 中所示：在下沉氣流的前緣會造成局部性的上升氣流，這是因為迅疾的下沉氣流迫使其前緣空氣抬升之故，空氣在被迫做上升運動中易形

成積雲的發展，但由於下沉氣流的風速強勁，使得下沉氣流的前緣以較快的速度向前移動，抑制了在前緣處所生積雲向上繼續發展的機遇，所以該種積雲的雲頂高度並不高，多半是偏低層的積雲，且常呈滾軸狀型態，隨着所伴生的下沉氣流前緣向前移動。此一現象當下沉氣流越強勁時也就越明朗化。由此之故當雷雨胞雲成群地排成一行時，其陣風鋒面彼此相接之下自然會形成一條彩弧狀的細雲條。此種雲條上之積雲初期常隱藏在高層卷雲之下，不易觀測到，可是一旦它移出母體時吾人即可觀察到它的形踪。又由於它的組成多為低層之積雲，所以在紅外線雲圖上顯像較為暗淡，於可見光雲圖上則較為明亮。同時它的移動速度取決於母體雲胞內下衝氣流的強度，在一般的情況下該氣流中的風速均大於週遭空氣之風速，所以它能以較快之速度先母體雲系而移動。通常該雲條的持續出現時間仍有限，因為下沉氣流越遠離它的源地威力也就越弱；當它的勢力衰竭時該雲條的上升氣流亦跟之減弱，隨使得該一雲條因之而消散。在天氣現象上該一雲條可帶來瞬間強勁的風變、溫度下降、雲幕降低等現象；緊跟着便是陣雨甚至雷陣雨之天氣。這些天氣現象當中吾人較需注意它的瞬間風變，因為強勁的下沉氣流及其所伴之亂流常易造成吾人措手不及的災害，尤其是對飛安方面而言為害猶其大。現今觀測證據顯示此陣風鋒面的快速移動常是強烈下衝風的徵候（Fujita, 1981），在嚴重天氣守視上當為一個很好的指示徵候。很可惜能像本次個案擁有如此充分的衛星觀測雲圖機會並不多，三小時一次的觀測很容易錯過許多雷暴發展的跡象，所以在觀測上的困

難仍有待克服。

四、雷達觀測輔助分析

由雷達觀測資料方面顯示在 9 月 27 日上午鵝鑾鼻近海一帶的雲頂高尚在一萬呎，到了下午升高到了二萬五千呎，傍晚起便聞雷聲。9 月 28 日上午在台東外海雲頂高的發展自一萬呎升高至二萬五千呎，同日下午該雲系勢力顯著增強，飢線型態已十分明朗化，可惜的是它的位置略偏東，所以在雷達觀測上並未獲得許多珍貴的資料。吾人若將雷達觀測之回波資料與同一時間的雲圖做一重疊分析之後以可看出些徵候。由附圖 11 中所示：9 月 27 日 23 Z 時雲系在可見光雲圖中觀之已排列成一帶狀；但以紅外線雲圖觀之則雲系仍較分散，而雷達觀測之強回波中心則與紅外線雲塊位置大致相合，顯示在此時雷雨該處的垂直對流旺盛，有雷雨胞雲在旺盛發展。28 日 02Z 時可見光雲系已顯着擴張成寬廣的雲帶，紅外線雲圖上亦連成一帶狀，再由雷達上強回波分佈型態觀之，則顯示在該雲帶內是由多個垂直發展成熟的雷雨胞雲排成一行而成形。此種雲系型態最有利於嚴重天氣的產生，而嚴重天氣多發生在該飢線雲帶前緣後 30 公里之範圍內（Zipser 1977），此一現象與雷達強回波位置偏向雲帶前緣之現象相符合，故在守視上重疊分析似可提供吾人嚴重天氣所在位置及未來侵襲情況之有效參考資料。但龍捲風及冰雹等天氣現象則不在 30 公里以內範圍所限。好在他們都有其獨特的雷達回波形象如鈎狀回波（Hook Echo）等，此等現象最早由 Stout 與 Huff (1953) 觀測到，對吾人預報作業上仍屬有線索可追蹤。因此筆者相

信雷達與衛星的觀測資料若能加以重疊分析，當能提供許多對守視作業上有參考價值之線索。

五、結 論

自綜合分析結果觀之，本次個案中的雷暴實為一個有組織化的雷雨胞群。該雷暴在發展過程當中，曾受到許多的因子激發它而促成，像颱風環流所帶來的輻合帶，率先提供了早期的對流雲發展溫床，而南海熱帶低壓、太平洋高壓脊西伸推迫着輻合帶向本島移動，以及 850 MB 高層上暖濕空氣塊移進本省區域內等，均增強了本省東部外海及巴士海峽一帶的不穩定度，隨使得雷雨胞雲得以一展威風，並且成群地出現於該區域內，從而建立了飢線組織。同時我們亦可從可見光雲圖上指認出陣風鋒面雲系，先行於飢線之前，且移速亦較快於飢線的移動速度。凡此種種現象均屬強烈雷暴之特徵，而其為害的程度亦較為強烈，吾人對此等雷暴的掌握若仍以傳統天氣圖分析方法為之則常會有措手不及和事起突然之感。如何能獲得更多有助之觀測資料一直是我氣象人員嚐試突破的重點。於本次所選個案當中，就幸能獲得許多有助之衛星觀測雲圖資料，透過綜合分析之後獲致以下之結果：

- 1 衛星雲圖觀測可幫助守視即將影響本島天氣系統在上游地區系統演變狀況，彌補了吾人觀測站短缺之痛。
- 2 雲圖資料可幫助我們追溯上游之對流雲系的發展與動態，有提早警示雷暴在發展的功能，提供吾人在發佈嚴重天氣警報時可信之憑藉。