

# 春季急行冷鋒結構之分析

劉昭民 柴客麟

林銘作

民航局飛航服務總台

交通部航政司氣象科

## 摘 要

台灣地區冬末或春初間偶有急行冷鋒通過，帶來雷雨及強風，甚至降落冰雹，對農業造成不小的損失，深值我氣象人員注意。本文就民國81年4月19日上午通過中南部地區的急行冷鋒，利用雷達資料分析其垂直結構和水平結構。

## 一、前 言

民國81年4月19日上午和22日晚上，由於500hPa高空槽東移，槽後偏北冷氣流南下，使較強冷鋒迅速南下，激發了本區的強對流天氣。強風、雷雨、冰雹等強對流天氣都出現在鋒面附近及鋒前暖區裡。以19日上午的鋒面來說，該鋒面於5時通過中正機場，6時通過台北及新竹，8時通過台中（見圖一），10時通過台南，皆僅帶來陣雨、雷雨和風向的轉變，而沒有強風和冰雹等災害性天氣，但是於10時42分通過高雄地區時，每秒二十二公尺的強風和大小如乒乓球般的冰雹卻摧殘了南台灣的香蕉和各種瓜果、蔬菜，使農民損失新台幣數千萬元，並使高雄地區停電，雷雨使台南、高雄、馬公等機場被迫關閉一小時，也有部分民眾被冰雹擊傷。可見春季的鋒面雷雨也會導致嚴重的災害，造成損失，吾人不可忽視之。

國內氣象界人士曾經進行過春季鋒面雷雨和豪雨之個案分析（王少華，1982；李金萬，1993）以及春季鋒面雷雨鋒前雨帶之結構分析（曾憲瑗、童茂祥、王崑洲，1990），多著重在850hPa低層噴射氣流及暖平流、重濕水汽，700hPa及500hPa高空槽東移，槽後冷氣流南下，中高層有強風軸移入等綜觀天氣形勢分析，以及雷達回波分佈、移動及演化方面之分析，對垂直結構及水平結構則少論及。因此，本文仍選取民國81年4月19日上午通過本省中南部地區造成重大災害的急行冷鋒，利用雷達資料和天氣資料，分析其垂直結構和水平結構，以增進對春季急行冷鋒結構之了解。

## 二、急行冷鋒之垂直結構

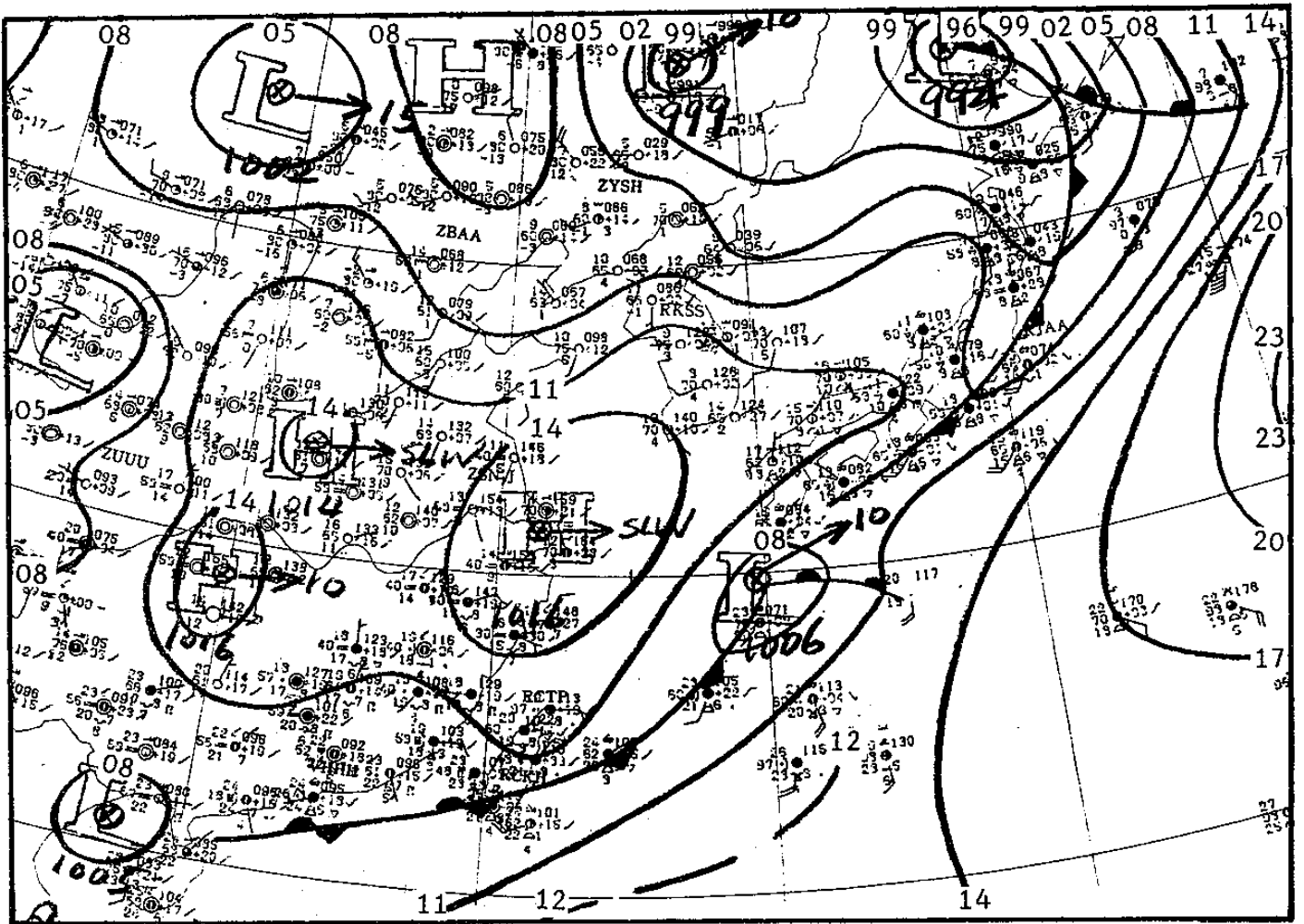
鋒面是冷空氣和暖空氣的交界面。在冷鋒前方低空的暖平流可以造成暖區的潜在不穩定。在鋒面附近往往還伴有中高層噴射氣流或強風軸，存在有很有強的風場垂直切變。由此可見，冷鋒前方存在有利於強對流系統發展的環境條件。此外，鋒面的抬升是鋒面上強盛對流和豪雨的重要觸發機制。

現在氣象人員已採用密度流來解釋急行冷鋒的性質，在流體力學中的密度流（也叫做重力流）是指密度大的流體沿水平方向向密度小的流體流動。密度流的模式如圖二所示，它有一個抬高的「頭」，厚度為H，較冷空氣的厚度h還要高。頭的前方有一個凸出的「鼻」，頭的後部有一個「尾」，尾部是下沉氣流，有很有強的亂流存在。鋒面後部溫度的回升，就是由於密度流區的下沉運動絕熱增溫的結果。在地面冷鋒密度流頭前方的低層暖空氣上升到頭的頂部時，即產生弧形雲。在冷鋒前部由鋒面頭產生的這一條雲線叫做繩索雲（Rope Cloud）（Bennetts D. A. and Hoshins B. J. 1979）。密度流前鋒之移速公式為：

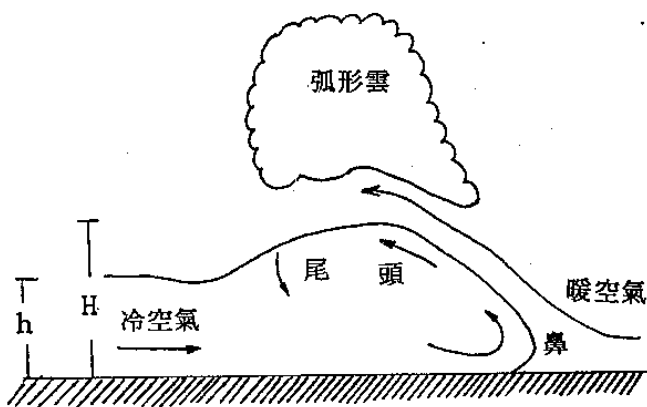
$$c^2 = (K^2 g h \frac{T_1 - T_2}{T_2}) \quad (\text{Bergeron T. 1977})$$

式中T1及T2各為暖氣流和冷氣流之虛溫，g為重力加速度，h為密度流後方冷空氣流之厚度，K<sup>2</sup>為係數，取1.4。如果T1，T2及h已知，就可以算出鋒面之移速。

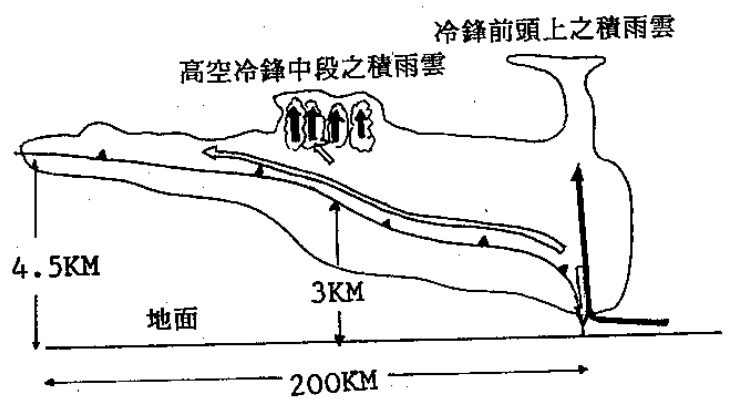
此外吾人也可以由民國81年4月19日上午鋒面分別通過台南和高雄的時間，可以算出該鋒面移動速度



圖一：民國81年4月19日0000UTC地面天氣圖



圖二：密度流模式圖



圖三：伴有雷雨之急行冷鋒垂直剖面圖

為15公尺/秒(即54公里/時),屬於快速移行冷鋒,由衛星雲圖資料,高雄氣象雷達站觀測資料、地面氣象資料以及探空資料分析該冷鋒高度在中部為3公里,在北部為4.5公里;高空冷鋒之水平寬度為100-160公里,從地面到高空整個鋒面之水平寬度約200公里;通過高雄時鋒面頭上空之積雨雲頂高度為15.7公里,因此吾人可以描繪該次伴有雷雨之急行冷鋒之垂直剖面圖如圖三所示,圖三右方為出現在嘉義和台南,並通過高雄之鋒面頭上空之積雨雲,圖三中央之積雨雲出現在台中和清泉崗之間。

吾人由密度流模式圖可以理解地面急行冷鋒密度流頭前方的強烈垂直運動能有效地促使潛在不穩定能量的釋放。對於地面急行冷鋒觸發強對流發展的問題,過去曾經有過不少的爭論。Tepper (1970) 曾經提出鋒前飈線是由地面氣壓波或氣壓跳躍線所引起的,而氣壓跳躍線又是由鋒面加速移動所引起 (Kreitzberg C.W. and Brown H.A. 1970)。

Newton (1973) 則懷疑這種機制的重要性,認為氣壓跳躍線是在逆溫層下方的濕層中傳播,在垂直方向不足以把逆溫層衝破而把氣塊抬升到自由對流高度以上產生飈線對流 (Harrold T.W. 1973)。Fujita則認為Tepper的氣壓跳躍線是飈線所引起的結果 (Fujita, 1981)。Shapiro 等人則指出,鋒面前頭上強烈的上升運動(5公尺/秒)足夠抬升潛在不穩定空氣衝破逆溫層蓋。接此上升速度,10分鐘時間內的空氣可以抬升3公里,即抵達700hPa附近。由此可見,由鋒面頭觸發潛在不穩定能量釋放的時間僅需數分鐘,而不像高空冷鋒區的上升垂直環流(上升速度約40公分/秒)需要數小時,見圖四 (K.A. Browning, 1985)。

由急行冷鋒密度流性質,急行冷鋒之中尺度特徵以及垂直結構,可以了解到地面活躍冷鋒在強對流和大雨(或豪雨)發展上的重要作用。

至於鋒前中低層相當位溫( $^{\circ}\text{K}$ )及相對濕度(%)時空分佈之分析,顯示鋒前低層(1.5公里以下)有暖濕氣流,而中層(600hpa~500hpa)有乾冷氣流,大氣層呈對流性不穩定( $\frac{\partial \theta_e}{\partial z} < 0$ )之情況,中外已有很多人做過(Shapiro, 1983; 曾憲瑗、劉昭民, 1985; 曾憲瑗、童茂祥、王崑洲, 1990),本文不再重複進行此項分析。

### 三、急行冷鋒之水平結構

本文曾經述及,地面急行冷鋒前方可以受密度流的推進而產生每秒數公尺以上的上升速度。受這種強烈的抬升作用,急行冷鋒前緣和冷鋒上方乃產生強烈積雨雲、雷雨、強風、冰雹等強烈對流天氣。在高空冷鋒之中段,強盛的上升氣流所引起的積雨雲可以在

高空冷鋒的中段穿透層狀的冷鋒雲罩(見圖三)。如果高空冷鋒中段之積雲不夠深厚,則積雲頂即無法穿透冷鋒雲層而隱藏其內,只有冷鋒前頭之積雨雲可以向上發展到十幾公里。這種冷鋒前頭之積雨雲和強對流天氣,有人稱之為飈線,以與冷鋒前方之飈線區別,也有人稱為飈線,與鋒前飈線無區別。有時急行冷鋒前緣有線對流,乃冷鋒前緣垂直運動的對流作用所形成的(見圖四)。

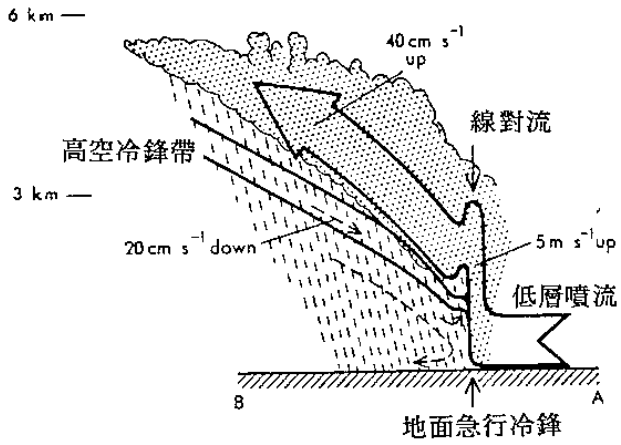
根據雷達觀測,急行冷鋒上之對流雲回波呈飛鏢形(Boomerang) (Hobbs.P.V. and Biswas.K.R. 1979),也有人稱之為指形回波(王少華1982),在地面冷鋒扭彎處附近,對流層低層的空气環流是風的氣旋形旋轉區,當風的切變很強時,可以形成一個中尺度低壓,產生強風、雷雨、冰雹等強對流天氣,與Fujita所提出之中尺度下爆氣流和龍捲風之弓形回波(Fujita.T.T. 1981)相類似(見圖五),只是飛鏢形回波並沒有龍捲風出現,而弓形回波則有龍捲風出現。

民國71年王少華先生曾進行「台灣西南部春季鋒面毫雨及伴隨強風與冰雹之研究」,他指出當時伴隨強風與冰雹之對流雲回波呈「指形」及「鉤指形」回波最大反射達42dB及48dB,回波頂度高達40000呎及50000呎,回波移動方向90度(E)時速30KTS(王少華, 1982)。分析民國81年4月19日上午通過台灣南部地區,並伴隨有雷雨、強風、冰雹等強對流天氣之急行冷鋒回波,可知也有類似情形。民國81年4月19日0000UTC,高雄氣象站所測得之回波,南方的呈飛鏢形(或指形,指向台灣南端)東西長400公里,回波頂高度達15.7公里,回波移動方向90度(E),時速19KTS。北方清泉崗及外海之對流雲(即高空冷鋒上之積雨雲)範圍較小,東西長220公里,南北寬80公里,回波最大反射率僅33dB,回波頂高度10.7公里,遠較冷鋒前頭上空之積雨雲弱(見圖六)。吾人由同日0000UTC GMS-4衛星雲圖上也可以看到從台灣東部海面向西延伸到汕頭外海,長達800公里,南北寬150公里之中尺度對流系統(MCS)清泉崗及外海之較小對流性回波範圍及強度較弱(見圖七)。又由同一時間之雲圖分析圖, MCS雲頂溫度-71 $^{\circ}\text{C}$ ,清泉崗附近之雲頂溫度-45 $^{\circ}\text{C}$ ,可見雲頂高度分別大約為50000呎及35000呎(見圖八)。

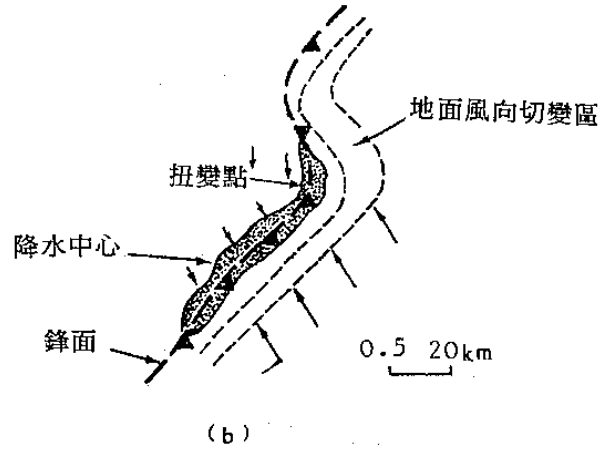
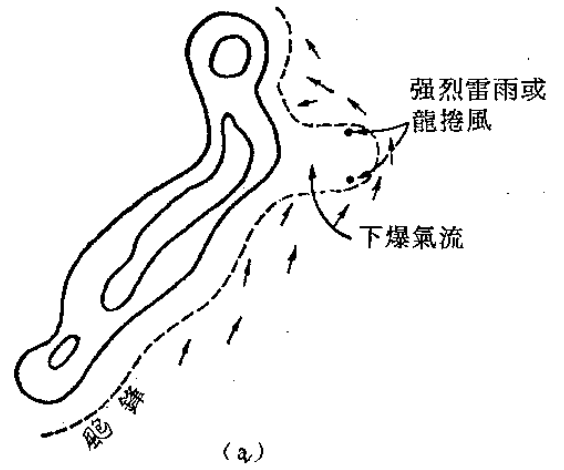
### 四、結 論

針對1982年4月19日發生在中南部地區伴有雷雨、強風、冰雹等強對流天氣之急行冷鋒,使用各種氣象資料分析其垂直結構和水平結構,可歸納出以下幾點結論:

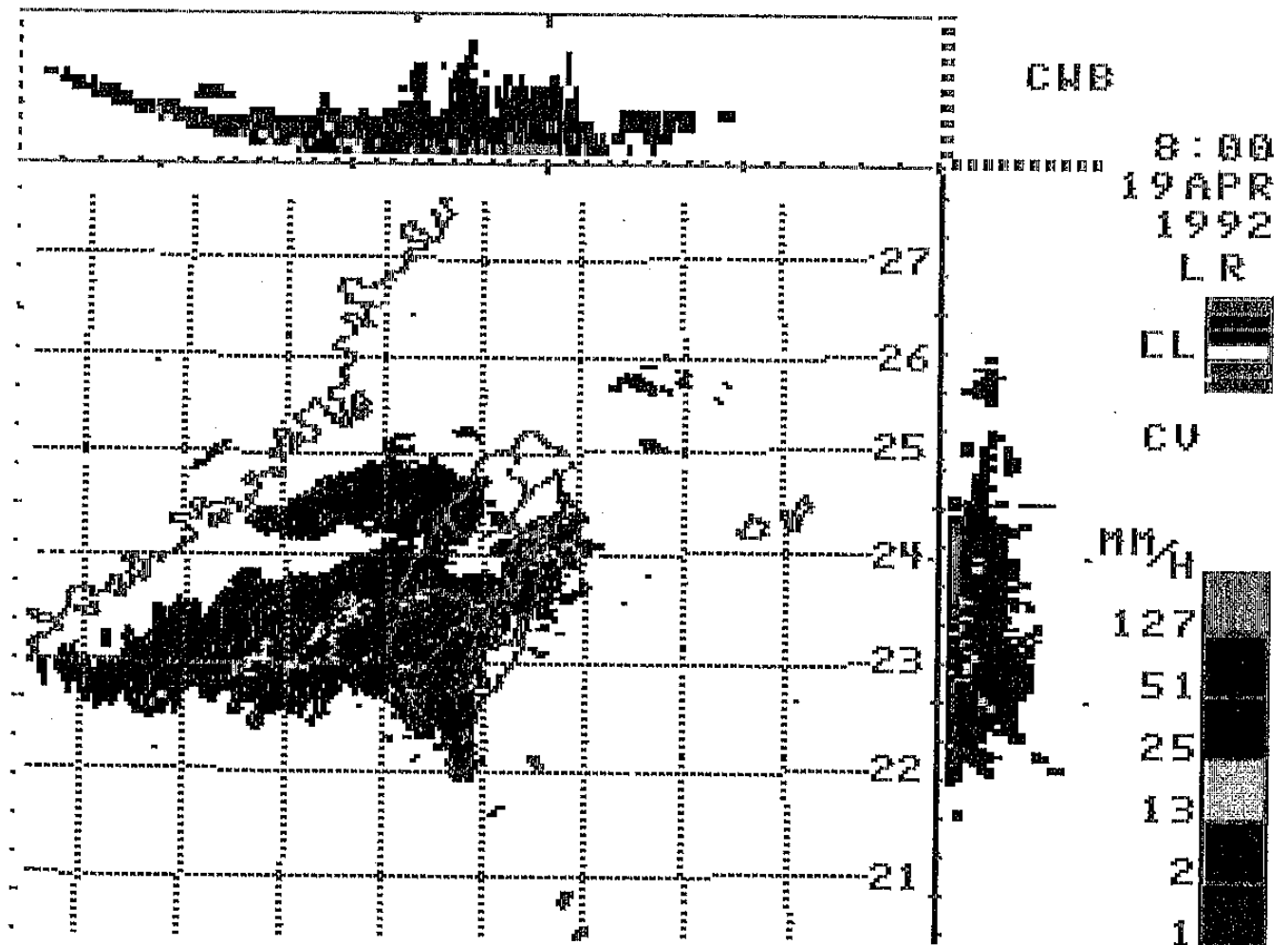
1. 急行冷鋒可用密度流來解釋其觸發鋒面上強對流及豪雨之重要觸發機制。但觸發過程尚有許多不同的見解。



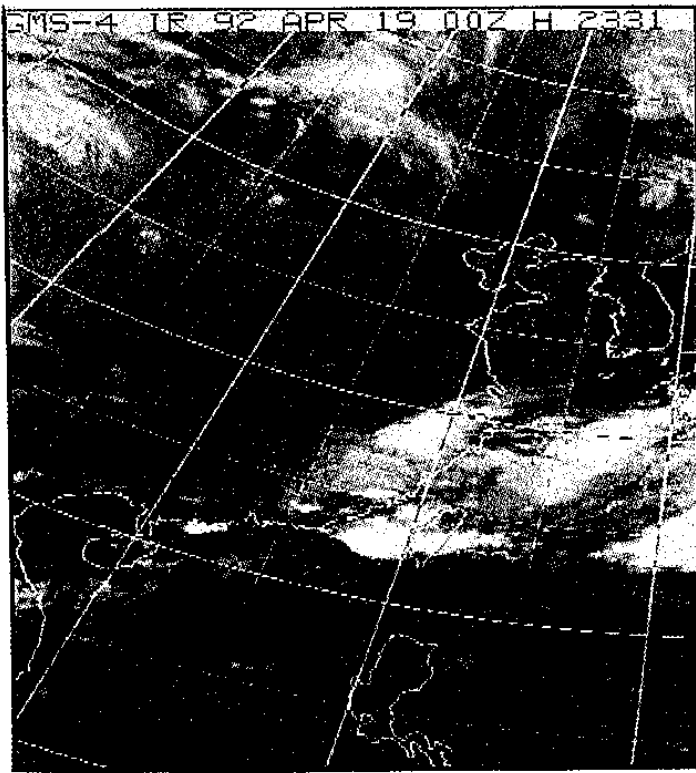
圖四：有線對流之急行冷鋒剖面圖



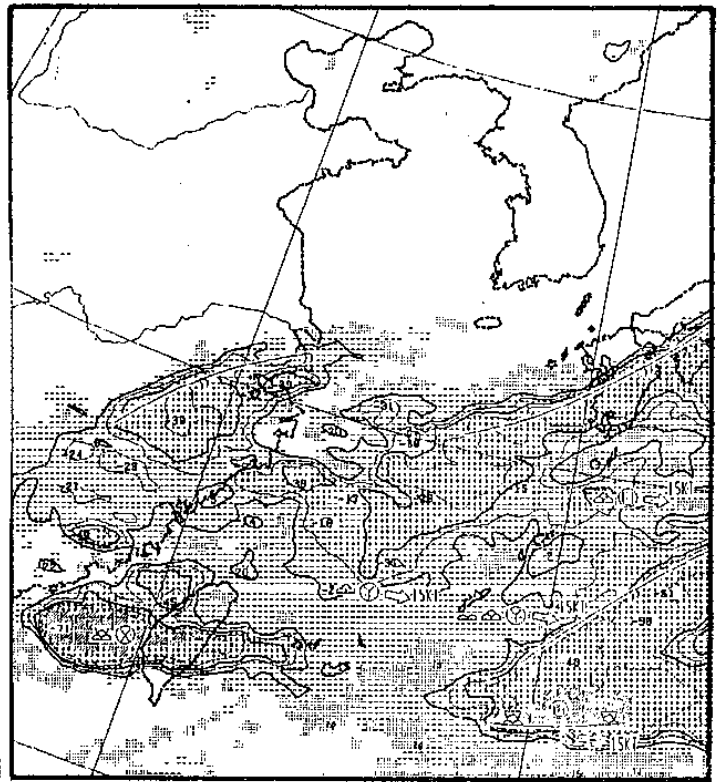
圖五：鉤形雷達回波（上）與急行冷鋒區中低壓雷達回波（下）比較圖



圖六：民國81年4月19日0000UTC高雄氣象雷達站所觀測之回波圖



圖七：民國81年4月19日0000UTC  
GMS-4衛星雲圖



圖八：民國81年4月19日0000UTC  
GMS-4衛星雲圖分析圖

2. 使用雷達觀測資料和各種氣象資料，可以得知民國81年4月19日上午通過台灣中南部之急行冷鋒，其移動速度為15公尺/秒（54公里/時），冷鋒上高度在中部為3公里，在北部為4.5公里，冷鋒之水平寬度約200公里，冷鋒前部積雨雲之高度為15.7公里，高空冷鋒中段（清泉崗）之積雨雲高度為10.7公里。
3. 高雄氣象雷達站及GMS-4衛星雲圖資料顯示該急行冷鋒所伴隨之中尺度對流系統東西長約800公里。雷達所觀測到之指狀回波，在衛星雲圖上無法看到。

## 致 謝

承蒙中央氣象局高雄氣象雷達站站長王少華先生賜供雷達觀測資料，僅致最大之謝意。

## 參考文獻

1. 王少華，1982：台灣西南部春季鋒面暴雨及伴隨強風與冰雹之研究——民國70年3月19日~20日之例，1982年5月6~8日天氣系統研討會論文集編，P257~271。
2. 李金萬、曾憲瑗、周鴻祺，1993：1992年4月22日強烈線個案之都卜勒氣象雷達資料分析，八十二年天氣分析與預報研討會論文。

3. 曾憲瑗、劉昭民、張泉湧等，1985：中正國際機場鋒面雷雨時之強風預報研究，民航局專題研究，P.P72。
4. 曾憲瑗、童茂祥、王崑洲，1990：春季鋒前雨帶之結構分析，1990年5月10~11日氣象雷達與飛航安全研討會論文集編P.399-406。
5. Bennetts, D.A. and Hoskins, B.J. 1979 : Conditional symmetric instability a possible explanation for frontal rainbands. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Vol.105, p.945-962。
6. Browning, K.A. and Pardoe, C.W. 1973 : Structure of low-level jet streams ahead of mid-latitude cold front. QJR Meteorol Soc, Vol.99, p.619-638。
7. Browning, K. A. 1985: Conceptual models of Precipitation systems. The Meteorological Magazine. No.1359, Vol.114, p.721-727。
8. Browning, K.A. 1985: Mesoscale Rainbands in Mid-latitude Frontal Systems, The Meteorological Magazine, Vol.114, p.293-319。
9. Fujita, T. T. 1981: Tornadoes and Downburst in the context of Generalized Planetary Scales, J. Atmos. Sci, Vol.30, p. 1511-1534。

10. Harrold, T. W. 1973: Mechanism influencing in the distribution of precipitation within baroclinic disturbances. QJR Meteorol Soc, Vol.99, p.232-251 °
11. Herzeth, P.H. and Hobbs, P.V. 1978: Generating cells and precipitation growth in mesoscale rainbands. Conference on cloud physics and atmospheric electricity Issaquah, Wash., 31 July 4 August 1978. Am. Meteorol Soc. Boston, Mass °
12. Hobbs, P .V. and Biswas, K. R. 1979: The cellular structure of narrow cold-frontal rainbands. QJR Meteorol Soc. Vol.105 , p.723-727 °
13. Houze, R. A., Jr. and Hobbs, P.V., 1982: Organization and structure of precipitation cloud system. Advanced in Geophysics, Vol. 24, p. 225-315, New York, Academic Press °
14. Houze, R.A., Jr., Hobbs, P.V., Biswas, K .R. and Davis, W. M. 1976 : Mesoscale rainbands in extratropical cyclones, Monthly Weather Review, Vol.104, p.868-878 °
15. Kreitzberg, C. W. and Brown, H. A. 1970: Mesoscale weather systems within an occlusion. Journal Applied Meteorology. No .3, Vol.9, p.417-432 °

# The Analysis of the Structure of Active Front in Spring

Chao-Ming Liu

Ko-Lin Chai

Ming-Tso Lin

Taipei Meteorological Center  
Air Navigation and Weather Service  
CCAA

Ministry of Transportation  
and Communication

## ABSTRACT

It is worthy of regarding for us to understand that the active front accompanies with thunderstorm and strong wind, even hail, which endangers the agricultural products, while the active front passes Taiwan. Authors have analysed preliminarily the structure of vertical and horizontal active front by using radar information and weather data on 19 April 1992 in this paper.

