

華南梅雨季中尺度對流系統的預報研究

丘台光 許皓淳 林宏聖

中央氣象局科技研究中心

摘 要

每年 5~6 月梅雨季期間，造成華南與台灣地區豪雨的主要降水系統，就是中尺度對流系統（簡稱 MCS），因此 MCS 的預報就變得非常重要。本文利用衛星及傳統資料，採用主觀及客觀分析方法，分析 1981~1987 年發生在華南及台灣附近的 MCS，其目的希望找出 MCS 形成的綜觀天氣類型，MCS 的生成、維持的氣象條件及影響 MCS 的發展及移動的因子，經由上述了解建立 MCS 的預報指引。

研究結果指出，MCS 的發展及移動與 850 毫巴正 θ 平流及暖平流相對極大區有密切關係，利用衛星及傳統資料，分析鋒面、噴流條、短槽或中尺度低壓的位置移動，配合低對流層暖平流區、 θ 平流區、正渦度平流區（PVA）等所造成不穩定度的趨勢分析，具有對 MCS 進行 0~12 小時的預報潛勢。

一、前 言

所謂中尺度對流系統（Mesoscale Convective System，簡稱 MCS）依據 Watson et al.（1988）定義是指一群有組織性雷雨胞組合體，水平大約 100 至 1000 公里尺度範圍持續時間 3 小時以上，並且包括層狀及對流性雲系特徵。根據上述 MCS 之定義可知 MCS 的範圍較廣，包含 Maddex（1980）所定義的 MCC（Mesoscale Convective Complex）在內，亦較大 MCSs 的系統則大致滿足 MCC 的定義大小。每年 5~6 月梅雨季期間，造成華南及台灣地區豪雨的最主要的降水系統，就是中尺度對流系統，例如 1981 年 5 月 27~28 日（丘等，1982；紀與陳，1984；Chen and Chi，1985；丘與廖，1984）及 1985 年 5 月 27~28 日豪雨個案（Chen et al.，1986；1987）等。

在東亞地區梅雨季節裏，中尺度對流系統常出現在梅雨鋒附近，對於這種系統有很多人研究，如（Matumoto et al. 1970；Ninomiya and Akiyama，1971，1972，1973；Yoshizumi 1977；Akiyama，1978，1979，1984a，1984b

等）。由這些研究指出在梅雨季，中尺度對流系統經常挾帶豪雨。這現象在台灣地區亦常出現（王等 1985；丘與林，1985；丘與廖，1984；丘與劉，1985；紀與陳，1984；Chen and Chi，1985 等）。

豪雨的預報，是一個非常困難的題目，因為它牽涉到大尺度、中尺度到小尺度以及彼此相互間的關係，而導致豪雨之中尺度對流系統的預報又是區域性豪雨預報最重要的一環。首先可能最早在作業上預報 MCS（MCC），乃經由對流組織發生類型（採用衛星及雷達資料）的辨識（Recognition），如 Zipser（1982）在極短期預報的討論方法，主要應用在即時預報上，而準確對 MCS 中期（6~12h）的預報仍存在非常困難的問題，主要由於資料時間和空間的分布太粗，以及對其中尺度過程了解的缺乏，除非利用主觀方法及仔細再分析現有可用資料（Doswell，1982），對 MCSs 發展的預報或許有一部分成功的個例（Rodgers et al.，1984），要立即改進 MCS 6~12 小時的預報，中尺度研究模式具有很大潛力在數值預報中尺度對流大氣系統上，但從研究中尺度模式研究改進到即時作業上應用，恐怕還須要等幾年。

MCS的預報包括未來的發展、移動以及劇烈程度，如 Scofield (1988) 以及 Juying and Scofield (1989) 提出利用衛星資料配合傳統資料的分析相當位溫 (θ_e)、 θ_e 梯度、厚度線 (850 ~ 300mb) 以及不穩定度爆發 (Instability Burst) 的位置可定性預報MCS未來 0 ~ 12小時發展及移動位置，其中特別指出往後 (Backward) 移動的MCS 與豪雨的產生有很密切的關係，國內方面對MCS 的環境條件以及激發機制有一些學者專家在進行，但對MCS 預報的研究很少，故本文乃利用類似 Scofield (1988) 的方法，針對華南至台灣附近所產生的MCS 加以預報，試圖建立MCS 一些預報指引及步驟，以提升本局對豪雨 (MCS) 的預報能力。

二、資料處理及研究方法

(一)資料處理

為了進行對MCS 的預報研究，乃就蒐集1981 ~ 1987 年 5 ~ 6 月發生在華南及台灣附近之 30 ~ 40 個MCS中，選取四組個案加以分析，資料自原始磁帶經解碼，除錯整理後，就進行客觀分析，將測站資料內差到網格點，本文採用 Barnes(1965, 1973) 客觀分析方法，該方法為逐次修正法之一種，為了彌補海上資料的缺乏，初始場採用 NMC的 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 網格資料內插到 80×80 公里的直角網格點上，分析區域網格點數為 61×46 點，資料經客觀分析內插到 P 面上再加以診斷分析，採用計算方法如下節所述。

(二)研究方法

本文採用類似 Scofield (1988) 分析方法，但經由客觀分析定量分析此 θ_e 類型、 θ_e 梯度，尤其在不穩定隨時間變化的計算 ($-\frac{\partial}{\partial t}(-\frac{\partial \theta_e}{\partial p})$) 上，本文特別著重採用該項大小來預報MCS 未來 (0 ~ 12 小時) 可能發展及移動的位置。

對流不穩定度的產生為強烈對流降水發生最有利條件之一，而相當位溫 (θ_e) 的產生就平流而言，主要是由水平和垂直平流所貢獻如(1)式

$$\frac{\partial \theta_e}{\partial t} AD = - V \nabla \theta_e - \omega \frac{\partial \theta_e}{\partial p} \dots\dots\dots(1)$$

而對流不穩定度的時間變化又如(2)式所示，其中(2)式左邊又可寫成(3)式：

$$\frac{\partial}{\partial t}(-\frac{\partial \theta_e}{\partial p}) = \frac{\partial}{\partial p}(V \nabla \theta_e + \omega \frac{\partial \theta_e}{\partial p}) \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(-\frac{\partial \theta_e}{\partial p}) \sim (-\frac{\partial \theta_e}{\partial p})_{t_0 + \Delta t} - (-\frac{\partial \theta_e}{\partial p})_{t_0} \dots\dots(3)$$

(3)式中 Δt 依據資料間隔時間而定，在此採用一般高空觀測資料，故 Δt 為 12 小時，而(2)式右邊可簡化如下列(4)式。

$$(V \nabla \theta_e + \omega \frac{\partial \theta_e}{\partial p})_{850} - (V \nabla \theta_e + \omega \frac{\partial \theta_e}{\partial p})_{500 \text{ or } 300} \dots\dots\dots(4)$$

一般在中高層 θ_e 平流比其低層要少，可忽略，故整式可簡化如下式：

$$(-\frac{\partial \theta_e}{\partial p})_{t_0 + \Delta t} \approx (-\frac{\partial \theta_e}{\partial p})_{t_0} + (V \nabla \theta_e + \omega \frac{\partial \theta_e}{\partial p})_{850} \dots\dots\dots(5)$$

(A) (B) (C) (D)

由(5)式中可看出(A)項表示來 (12 小時內) 對流不穩定大小，與MCS 未來發展及移動有密切關係。而與右邊三項大小有關，其中(B)項表當時對流不穩定度大小，(C)項表 850 mb θ_e 水平平流，(D)項表 θ_e 垂直平流項大小，此外 850 毫巴暖平流量除了與(C)項有關外，與(D)項垂直速度大小亦有關，其他如正渦度平流量 (PVA) 與垂直速度大小亦有關，又水平平流項一般比垂直平流來得大，故以 θ_e 平流，溫度平流分析為主，配合 PVA 的區域以及鋒面、短槽、LLJ 的位置來推斷那些區域為最不穩定發生的區域，即MCS 最易發展移動的潛在位置。

三、MCS實例分析與預報

(一)民國七十五年五月二十八日個案

從氣象衛星紅外線雲圖分析 (圖一) 5 月 26 日 12 UTC (即 Z) 鋒面雲系不明顯，對流零散且範圍小，18 UTC 雲系對流發展且向西南延伸，此時雲系開始往東移，5 月 27 日 00 UTC 雲系組織成一對流雲帶，06 UTC 雲系繼續往東移動且往南偏，12 UTC 時雲系又重新組織發展成三個MCS 系統 (如圖中 I、II、III 所指)，到了 28 日 00 UTC，MCS - I 緩慢往東南東移，在其西北方有一些

強對流雲系發展，MCS - II 分裂又發展新的兩個 MCS 雲區（如圖中VI、V），本節將應用前述分析方法進行MCS之0~12小時的發展及移動的預報。

圖二(a)、(b)、(c)為民國70年5月26日12UTC的850毫巴 θ_e 平流及溫度平流分布圖，圖中可發現5月26日12UTC在華南長江流域一帶正 θ_e 平流及暖平流的貢獻已顯示一狹長不穩定區發展，配合鋒面的激發使得對流雲系在12小時內組織發展。27日00UTC在臺灣西北邊及廣東、福建沿海附近亦有明顯正 θ_e 平流及暖平流區，顯示這些地區存在不穩定度將隨時間增加，此與雲系未來發展變化（5月27日00UTC至12UTC）移動位置近乎一致（與圖一比較），可見 θ_e 平流及溫度平流具有對MCS發展及移動之預報潛勢。5月27日12UTC θ_e 及溫度平流亦顯示在本省西邊及東邊以及華南福建、廣東南部附近。存在不穩定度的增加的趨勢有利在該區持續或發展一些新的MCS系統，如MCS - I及MCS - V的發展。圖三為5月27日00UTC至12UTC之 θ_e 平流及當時 θ_e 合成的結果與前述水平 θ_e 分布類似，但對5月27日00UTC之MCS - II以及5月27日12UTC中MCS - V的預報要比僅考慮850毫巴 θ_e 平流項大小更與雲系發展範圍一致。

(一)民國七十四年五月二十八日個案

由氣象衛星5月26日12UTC（20LST）至28日00UTC（08LST）一系列照片顯示（如圖四），5月26日12UTC在華南地區對流雲系小且零散，到了18UTC雲系開始組織一長對流雲帶，27日00UTC發展成三大塊對流系統（如圖中I、II、III所指）到了06UTC雲系I、III減弱，12UTC時又再度發展且形成新的MCS如MCS - IV及V，一直到28日00UTC，MCS - I移至本省，MCS - VI產生發展，MCS - V發展後減弱往東南移。本個例與個例(一)發展環境類似，著重在MCS的發展及移動趨勢上預報。

由圖四雲系分析可看出5月27日00UTC在北緯27°呈東西向排列對流雲帶，12小時後往南移且呈東南~西北走向。強對流且發生在後半段（福

建至廣東西北方），此在5月27日00UTC 850mb正 θ_e 分布及暖平流的分布已呈現出來（如圖五），其中在臺灣西邊海上有一相對極大值，但雲系並沒有發展，可能資料有問題或其他不利因素待進一步檢視。從5月27日12UTC至28日00UTC雲帶往南移至北緯24°N左右，此亦與 θ_e 平流與暖平流的相對極大軸線及相對極大區域分布有密切關係，足見鋒面發展型的MCS的發展及移動與850毫巴 θ_e 平流及暖平流的分布有密切關係。

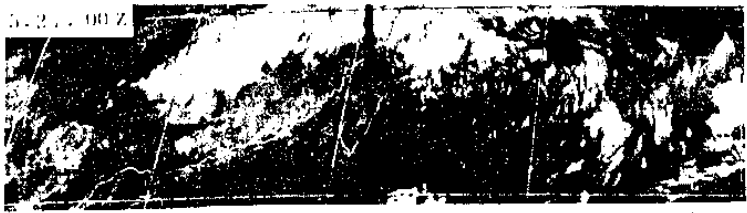
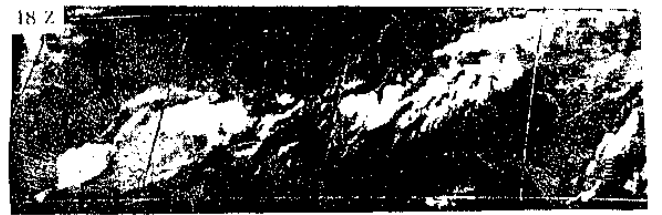
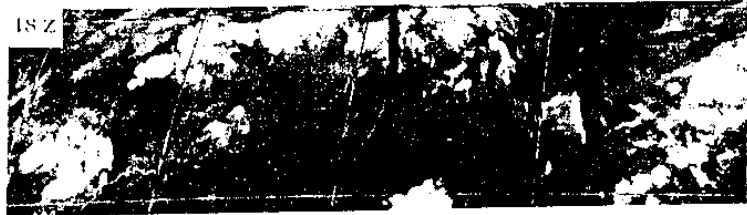
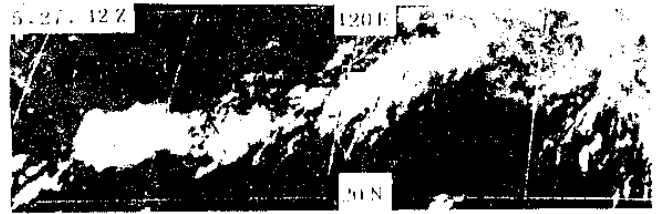
(二)民國七十六年五月十六~十七日個案（IOP-2）

圖六為氣象衛星連續3小時雲系分析追蹤圖，由圖中可發現從5月16日00UTC起至17日00UTC止，在華南至本省附近共出現三組較明顯中尺度對流系統，分別如圖中I、II、III所指，本節乃就MCS - I、II、III的發展及移動來探討其預報問題。

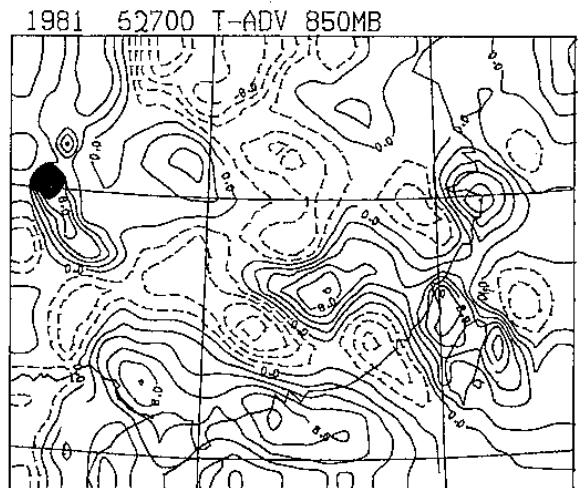
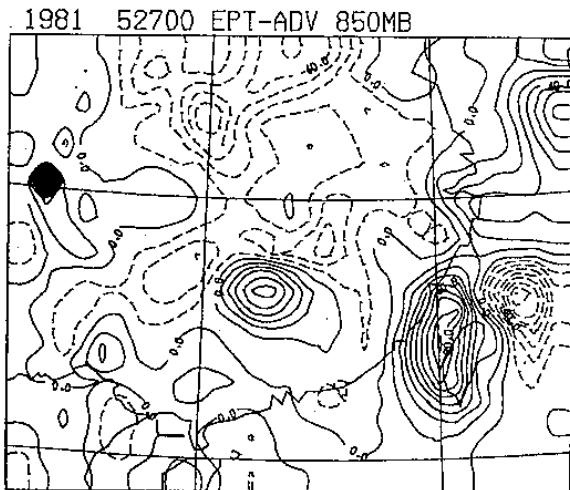
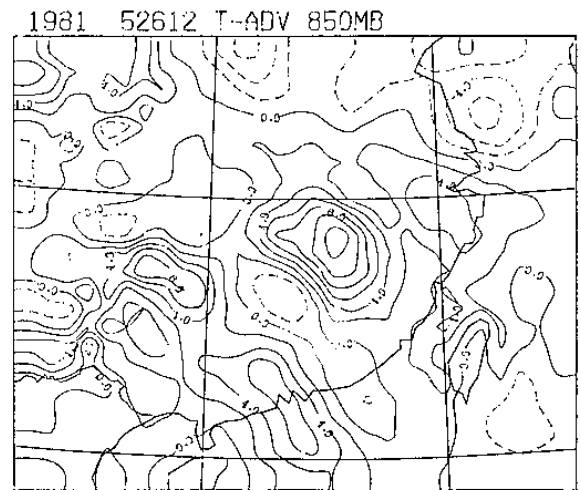
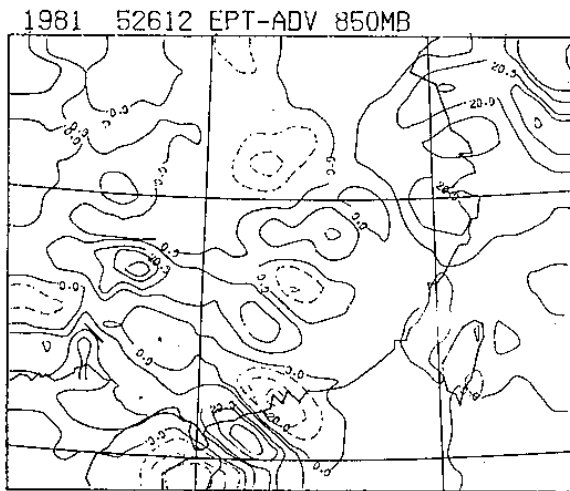
由5月16日00UTC 850毫巴 θ_e 平流及暖平流分布再配合當時500mb短槽及850毫巴LLJ之位置（圖七），可推斷在本省與福建之間存在一相對極大不穩定度增加區域，配合LLJ及短槽的移近，將使得此區域發展，極有利MCS的發展及移動，此結果與雲系分析位置一致，由主觀分析地面及850毫巴面 θ_e 的分布及氣流亦顯示台灣—福建之間具有明顯 θ_e 及溫度平流。又5月16日12UTC，850mb θ_e 及溫度平流顯示，MCS - I的移動前方較為穩定區，相對不穩定區在MCS - I西南方存在，此亦顯示未來（0~12小時），MCS有利在本省西南方南海附近發展及移動，此結查亦與雲系分析一致（MCS - II）。同樣亦用主觀分析驗證在南海附近相對極大區分布的合理性。

(三)民國七十六年六月二十五日個案（IOP-13）

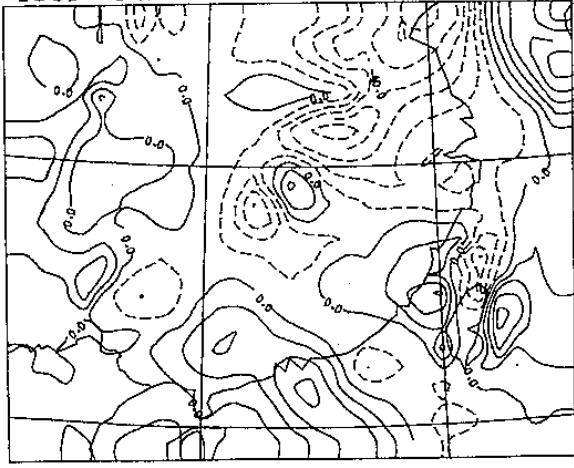
從雲系分析（如圖八），6月24日12UTC在華南北緯26°N左右有一些小對流雲區發展，18UTC至25日00UTC其中有一MCS發展組織往南南東移至本清造成強烈降水，由850mb θ_e 及溫度平流顯示（如圖九）在臺灣至華南有不穩定帶存在，比較強的在本省西北邊附近，配合地面鋒面輻合的激發，極有利MCS的發展，另外300mb在本



圖一：民國 70 年 5 月 26 日 12 UTC (Z) 至 28 日 00 UTC 之氣象衛星紅外線雲圖。



1981 52712 EPT-ADV 850MB

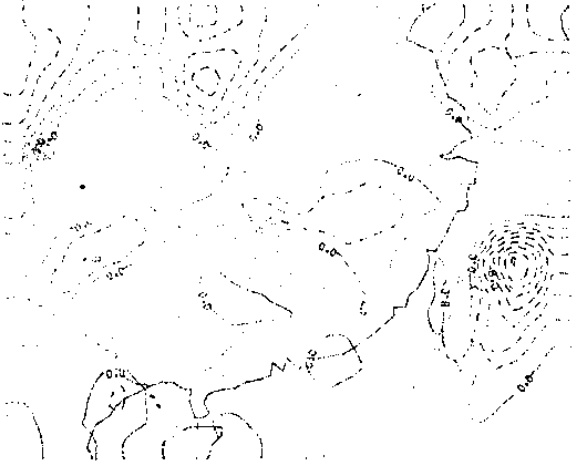


1981 52712 T-ADV 850MB

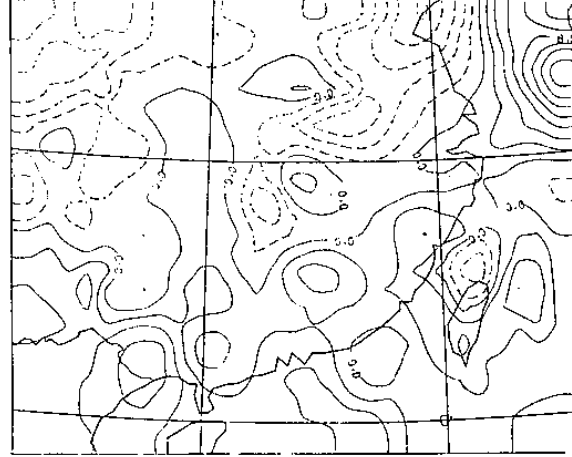


圖二：850毫巴相當位溫 (θ_e , $2^\circ\text{K}/\text{DAY}$) 平流及溫度平流 ($2^\circ\text{C}/\text{DAY}$)，時間為民國70年5月26日12 UTC至28日00 UTC

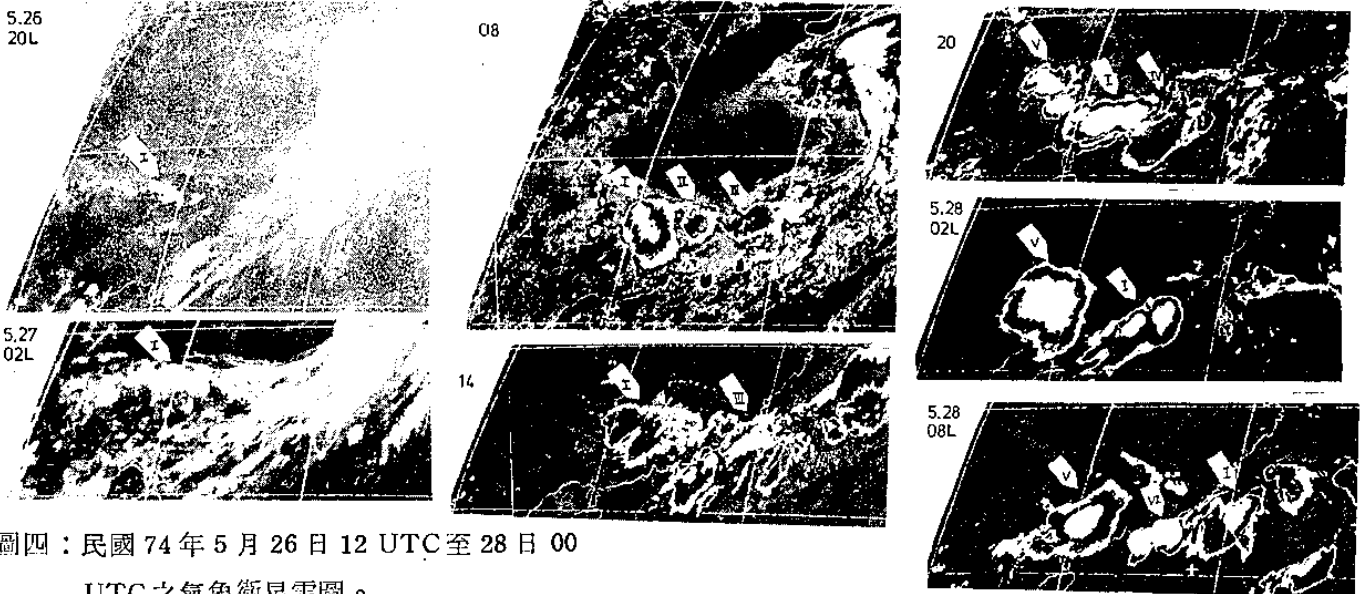
1981 52712 INSTAB-BURST



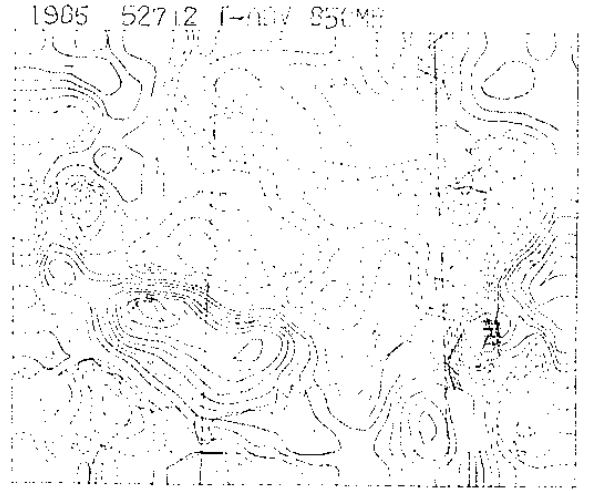
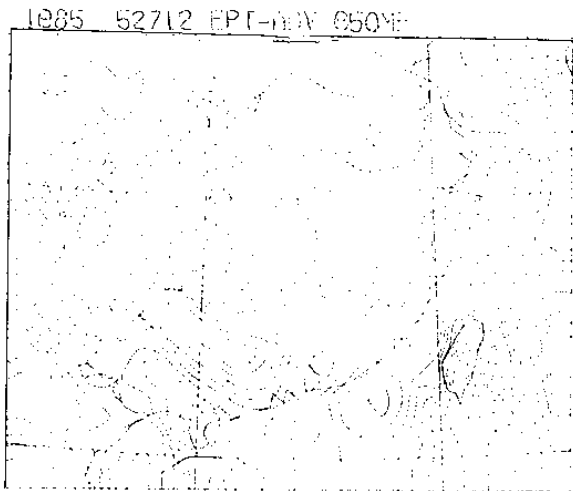
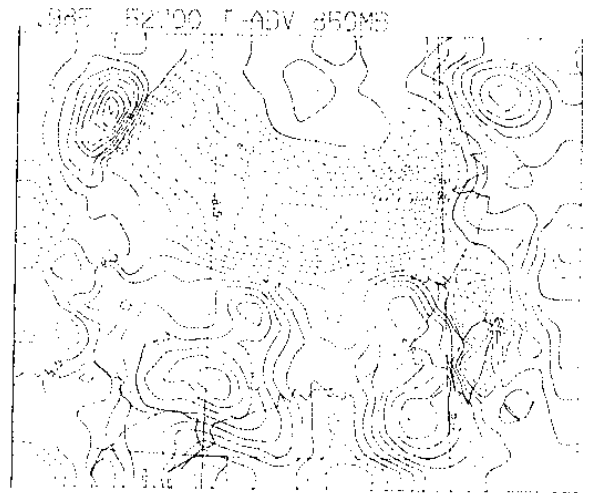
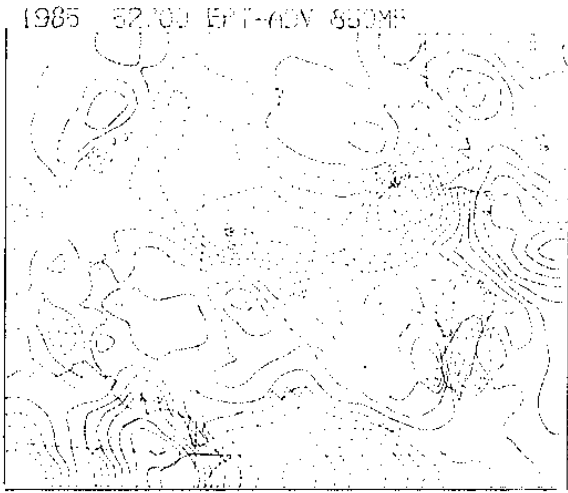
1981 52712 INSTAB-BURST



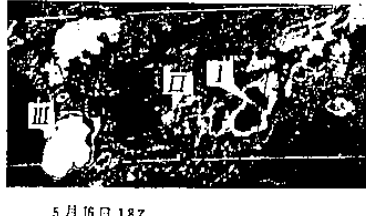
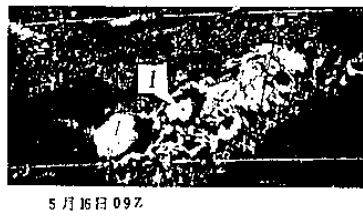
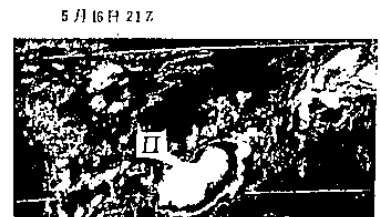
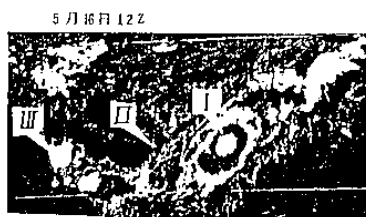
圖三：民國70年5月27日00 UTC至12 UTC之潛在不穩定度 ($\frac{\partial \theta_e}{\partial p}$) 與 θ_e 平流的差異 (850~500 mb) 之和 (單位為 $^\circ\text{K}/\text{DAY}$)。



圖四：民國74年5月26日12 UTC至28日00 UTC之氣象衛星雲圖。



圖五：與圖二同，但時間為民國 74 年 5 月 27 日 00 UTC 至 12 UTC。



圖六：民國 76 年 5 月 16 日 00 UTC 至 17 日 00 UTC 之氣象衛星雲圖。

省附近高空 300mb 冷平流亦非常明顯有利不穩定度的增加，此個案MCS 比前面三個個例所提 MCS 要少，且就發生在本省西北邊附近，而不是由華南移至本省，需再分析更多個案加以驗證。

四、結論與討論

MCS 的預報本身是一個非常複雜的問題，本文採用類似 Scofield (1988) 分析方法，但經由客觀分析 θ_e 類型、 θ_e 梯度，尤其在不穩定度隨時間變化的計算 ($-\frac{\partial}{\partial t} (\frac{\partial \theta_e}{\partial p})$)，分析 θ_e 平流量及暖平流量的大小，預報MCS 未來 (0~12小時) 可能發展及移動的位置，由以上個例分析綜合結果，最重要的結論如下：

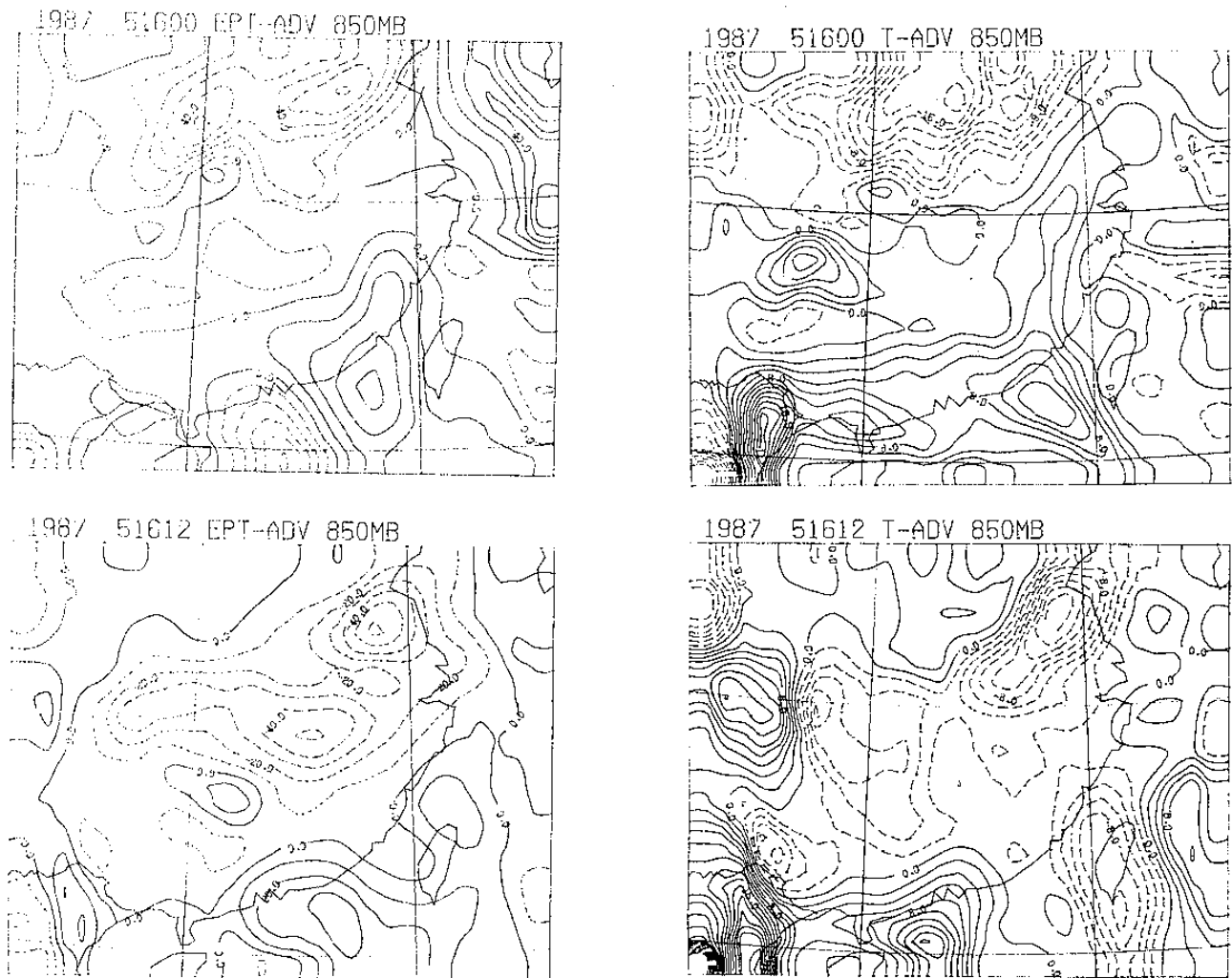
1. 華南移至台灣附近較大MCSs系統，其發展及移動位置與前 12 小時 850 毫巴正 θ_e 平流及暖平

流區分布一致。

2. 較小及在台灣附近形成的MCS 其發展仍與 850mb θ_e 平流及暖平流相對極大區分布有關，但移動與 850mb 及 300mb 的風切線較為配合，因個案少待進一步加以驗證。

3. 利用衛星及傳統資料，分析鋒面、噴流條、短槽或中尺度低壓的位置及移動，配合低對流層暖平流、 θ_e 平流、正渦度平流等所造成不穩定度的趨勢分析，具有對MCS 進行 0~12 小時的預報潛勢。

由於華南至本省附近海洋上缺乏足夠的測站，因此研究時僅利用探空資料來分析是不夠的，但是可用主觀分析加以修正，或採用 NMC $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 網格資料作為初始場。而對於未來作業，則可利用本局全球模式所分析或預報資料作為初始場。

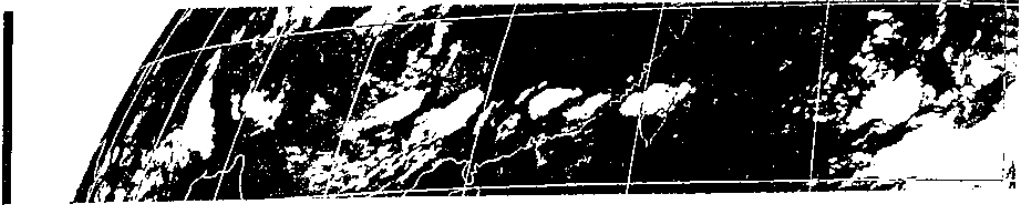


圖七：與圖二同，但時間為民國 76 年 5 月 16 日 00 UTC 至 12 UTC。

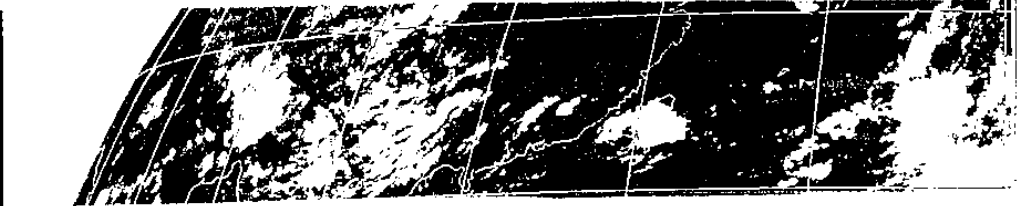
1987/6/24 12UTC



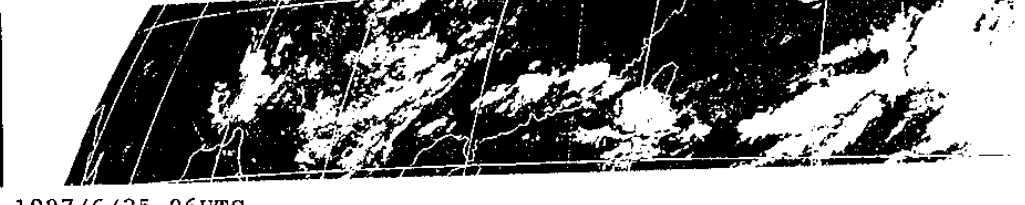
1987/6/24 18UTC



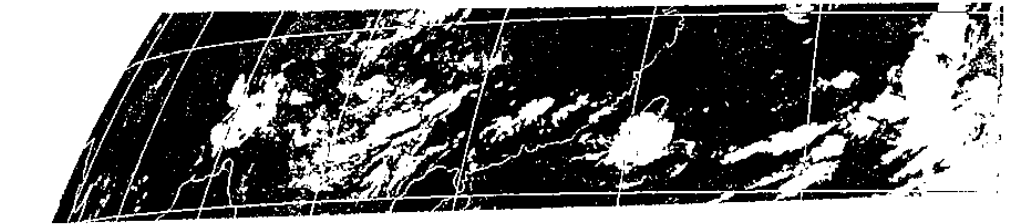
1987/6/25 00UTC



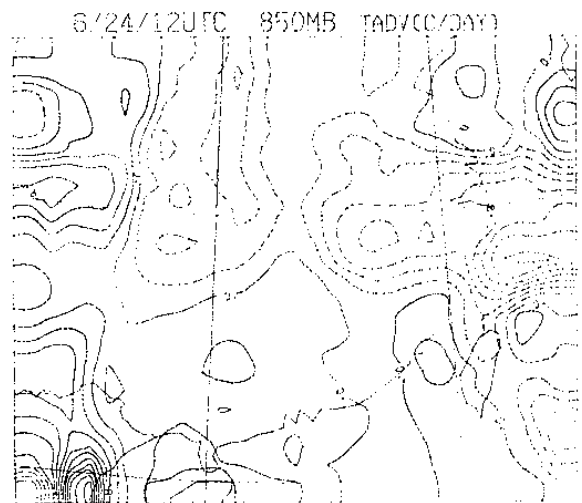
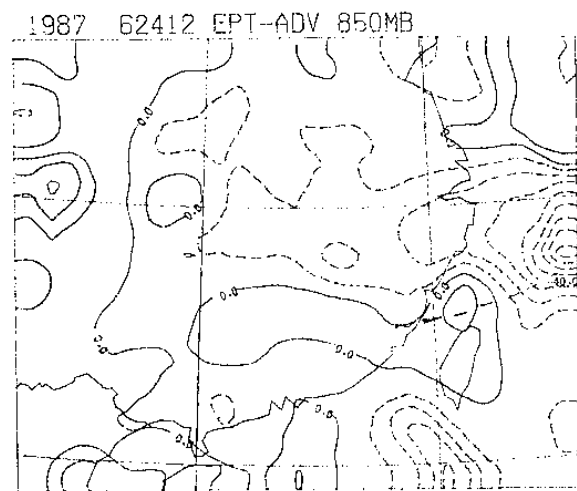
1987/6/25 03UTC



1987/6/25 06UTC



圖八：民國 76 年 6 月 24 日 12 UTC 至 25 日 06 UTC 之氣象衛星紅外線雲圖。



圖九：與圖二同，但時間為民國 76 年 6 月 24 日 12 UTC。

參考文獻

- 丘台光、廖學鎰，1984：華南及鄰近地區中尺度對流系統之研究。大氣科學，11，85～100。
- 丘台光、廖學鎰、洪理強，1982：民國70年5月28日之豪雨個案研究。中範圍天氣系統研討會論文彙編。中央氣象局，233～247。
- 丘台光、林雨我，1985：利用衛星、雷達資料作臺灣地區豪雨預報之初步研究。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，107～129。
- 丘台光、劉復誠，1985a：民國73年6月3日臺灣北部地區豪雨之個案研究。大氣科學，12，93～102。
- 紀水上、陳泰然，1984：1981年5月27～28日華南及台灣地區中尺度對流複合系統之初步分析。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局，95～114。
- Akiyama, T., 1973a : The large-scale aspects of the characteristic features of the baiu front. Paper Meteor. Geophys., 24, 157-188.
- , 1978 : Mesoscale Pulsation of convective rain in medium-scale J. Met Soc. Japan, 267-283.
- , 1979 : Thermal stratification in Baiu frontal medium-scale disturbance with heavy rainfalls. J. Met. Soc. Japan, 57, 587-598.
- , 1984a : A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part I : Evolution process and find structure. J. Met. Soc. Japan, 62 485-504.
- , 1984b : A medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part II : Thermal and kinematic fields and heat budget. J. Met. Soc. Japan, 62, 505-512.
- Chen, G. T. J. and S. S. Chi, 1985 : Case study of disastrous heavy rainfall in Mei-Yu season over northern Taiwan 28 May 1981 case. Proceedings of the Roc-Japan Joint Seminar on Multiple Hazards Mitigation, Taiwan, ROC, 815-839.
- Chen, C. S., T. K. Chiou and S. T. Wang, 1986 : An investigation of mesoscale convective system associated with Mei-Yu front in SE China May 26 to 28. 1985. Papers Meteo. Res., Vol. 9, No. 2, 137-161.
- , T. K. Chiou , S. T. Wang, S. M. Lin and C. K. Wang, 1987 : Heavy rainfall in Ran rainfall Taiwanarea on May 28 and 29, 1985. Bull. of Geoph., 27-28, 177-188.
- Doswell, C. A., 1982 : Thee operationl Meteorlogy of Convective Weather. Vol 1 : Operatioanal mesoanalysis. Noaa Tech. Memo. NWS Nssf-5, National Weather Service, 131 pp.
- Juying, X. and R. A. Scofield, 1989 : Satellite-derived rainfall estimates and propagation Characteristics associated with mesoscale convective systems (MCSs). Noaa Technical memoriandum NESDIS 25, 49 pp.
- Matsumoto, S., S. Yoshizumi and M. Takeuchi, 1970 : On the structure of the "Baiu" front and the associated intermediate-scale disturbance in the lower atmosphere. J. Met. Soc., 1; 25-36.
- , S. K. Ninomiya and S. Yoshizumi, 1971 : Characteristic features of "Baiu" front associated with heavy rainfall. J. Met. Soc. Japan, 49, 267-281.
- , 1972 : Medium-scale enho clusters in the Baiu front asrevealed by multiradar composite echo maps. Part I. J. Met. Soc. Japan, 50 558-569.
- , 1973 : Medium-scale echo clusters in the Baiu front as revealed by multiradar

- composite echo maps. Part II. J. Met. Soc. Japan, 51, 108-118.
- Rodgers, D. M. et, al., 1984 : Experiments in forecasting mesoscale convective weather systems. Preprints 10 th Conference on Weather Forecasting and Analysis, AMS, Boston, 486-491.
- Scofield, R. A., 1988 : Using the VAS Data Utilization Center (VDUC) for the analysis and forecasting of heavy rainfall producing MCSs. Proc. of the 3rd Conf. On Satellite Meteorology and Oceanography, February 1-5, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 215-221.
- Watson, A. I., J. G. Meitin and J.B. Cuning, 1988 : Evolution of the kinematic structure and kinematic structure and precipitation characteristics of a mesoscale convective system on 20 May 1979. Mon. Wea. Rev., 116, 1555-1567.
- Yoshizumi, S., 1977 : On the structure of intermediate-scale disturbance on the Baiu front. J. Met. Soc. Japan, 55, 107-120.
- Zipser, E. J., 1982 : Use of a conceptual model of the life-cycle of mesoscale convective systems to improve Very-Short-range forecasts in Nowcasting. K. Browning, Academic Press, New York, 191-204.

A study of the Mesoscale Convective System Forecasting over southeastern China during the Mei-Yu period

Tai-Kuang Chiou Haw-chwen Hsu Hong-sheng Lin

Atmospheric R&D Center

Central Weather Bureau

ABSTRACT

The heavy rainfall producers during the Mei-Yu season over southern China and Taiwan area are the Mesoscale Convective Systems (MCSs). The forecasting problem of the MCSs are now very important. Using conventional sounding data and satellite images to analyze the equivalent potential temperature (θ_e), θ_e advection and temperature advection for those MCSs from 1981-1987 over southern China and Taiwan area, the subjective and objective method will be conducted. The objects of this paper are try to found out the affecting factor for the development and movement of MCSs and install a few predicting rule of thumb.

The results show that the relative maximum areas of the advection of θ_e and warm advection on 850 mb level are directly related to the development and movement of MCSs. The trace of the local change of the potential instability has a potential ability to predict MCSs in 12h.