

中尺度對流系統極短期(0-12h)預報之研究

陳 景 森

中央大學大氣物理研究所

丘 台 光

氣象局科技中心

盛修慧

氣象局科技中心

摘 要

TAMEX 計畫的終極目標，就是將過去進行基礎研究與應用研究的成果落實到預報作業上，以改進梅雨期豪雨預報能力，減少損失。

本文乃嘗試將國內有關MCS的氣候方面，MCS的綜觀環境、結構，以及MCS有利發展條件與激發機制等方面的研究，有系統的加以分類，整合及測試，試圖發展一套MCS極短期(0-12h)預報流程、方法以及一些預報指引及圖表，以作為未來發展中尺度預報的參考。

一、前言

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。國內外氣象界過去二、三十年來對大氣的研究，主要對象在於導致逐日天氣變化的綜觀尺度系統，但對於空間尺度及時間尺度均小於綜觀尺度系統，且在綜觀尺度系統發展出來的中尺度系統則缺乏了解，致使由這些中尺度系統導致的劇烈天氣現象，諸如豪雨等的預報能力非常有限。

所謂中尺度對流系統(Mesoscale Convective System , 簡稱MCS)，大致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(Watson et al,1988)，根據上述MCS之定義，MCC (Mesoscale Convective Complex)已包括在內，亦較大MCS系統則大致滿足MCC的定義大小。

有關MCS極短期預報方面研究，Dowell(1982)利用主觀方法及仔細在分析現有可用資料，獲得一部分成功個例，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)以及不穩定度爆發因子,決定 MCS未來0-12小時發展及移動位置,其中特別指出往後移動的 MCS與豪雨的產生有很密切的關係,Chen et al. (1986)亦指出MCS的形成與 θ_e 的梯度最大區有很密切關連,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,僅丘(1984)及丘與林(1985)提出MCS形成的天氣類型可分成鋒面短槽共伴型、中尺度低壓槽型以及西南氣流湧動型三類,較大MCS系統,在本省附近MCC雲系的移動方向與低層850mb毫巴與高層200毫巴的平均氣流方向較為一致,而較小MCS主要是受850毫巴及300毫巴風切氣流方向的影響而移動。陳等1990,指出MCS的發展及移動與850mb正 θ_e 平流及暖平流相對極大區有密切關係。

Doswell (1986)指出對於中尺度預報有貢獻之方法,包括線性外延、中尺度氣候、大尺度模式、中尺度模式與氣象知識。線性外延為針對已存在觀測到的現象做即時預報之方法,其外延3h後之貢獻已趨近於零,而中尺度氣候所提供之知識,對任一預報期限均相同,在中尺度預報裡之貢獻相當顯著,特別是3-12h之預報。

本文乃利用國內有關MCS在中尺度氣候,綜觀的環境結構以及激發機制等方面研究,加以整合,試圖發展一套MCS極短期(0-12h)預報方法,流程及圖表,以作為未來中尺度預報作業參考。

二、MCS預報流程及方法

表一為MCS預報流程,由表一可看出MCS極短期預報,首先由衛星雲圖分析,MCS是否在 $115^\circ E$ 以東存在,若沒有則由綜觀尺度分析及診斷是否具有MCS生成、發展的天氣形態或有利環境,可由表中第(3)、(4)步驟進行,若MCS已存在則按照第(1)、(2)、(3)及(4)步驟加以分析及預報。

雲圖分析,其目的是分析MCS發生的位置及過去移動路徑以及強度變化情形與持續時間,此可與過去氣候所統計出的結果加以比較,而初步推斷MCS的移動方向及強度變化趨勢。圖1為MCS發生源地及移動路徑,圖2為MCS陸上海上各階段之頻率日

夜變化,由圖中看出對發生不同位置MCS及海上、陸上日夜變化的特徵,可作為氣候預報法參考,又根據丘等(1986),陳等(1985)指出MCS平均生命期為14.5小時,移動速度平均為17浬/時左右。

探空分析,主要用以初步判斷MCS的移動方向及局部環境,根據丘等(1985)研究MCS的移動指出,較大之MCS(MCC)移動與850毫巴與200毫巴的合成風方向一致,而較小MCS(中- β 尺度)移動則與300毫巴及850毫巴之風切方向平行,故由MCS下游附近探空資料,分析上述合成風或風切的方向,而初步推斷MCS未來幾小時的移動,另外由穩定度,潮溼度以及風徑圖分析亦可獲知局部環境對MCS發展的影響。

合成圖分析,希望經由從綜觀尺度MCS環境類型與實際觀測或預報的天氣類型,加以比較,以判定MCS未來是否會形成及可能形式或發展的區域,圖3為華南MCS綜觀天氣類型,由圖中可知華南至台灣附近MCS綜觀天氣形態大致可分成三類,一為鋒面短槽共伴型,一為中尺度低壓槽型,另一類為西南氣流湧動型。由地面、850毫巴、700毫巴天氣圖中各項因子合成與圖加以比較,以判定MCS形成或發展的區域。

診斷圖分析,主要透過診斷計算分析一些MCS潛勢因子,如 θ_e 相對極大脊線分布、 θ_e 平流及暖平流區,以及配合一些激發因子如鋒面,短槽、外流邊界、LLJ等,以推斷MCS未來0-12h可能形成或發展的區域,圖4及圖5為 θ_e 平流區與暖平流分布區與未來MCS形成或發展之個例。

表2為MCS 0-12小時預報工作表,按照表中所列項目,依據上述各項預報方法,最後綜合研判MCS未來0-12h的移動、演化及MCS可能影響區域。其他有關MCS環流的合成結構(如圖6),梅雨鋒前MCS演化及其觀念模式(如圖7),亦可作為MCS預報的參考資料。

三、MCS的預報指引

為了對華南至本省MCS中尺度氣候特徵有完整的概念以及對於MCS的預報,除了前述流程及方法外,本文更希望建立一些預報指引以提供作MCS預

報參考，特別就針對過去專家與學者所做的結果(如 Chen et al. (1986); Chiou and Chen 1988; Chiou and Kuo 1988; Chiou 1990; 丘等 1986, 1989, 1990, 丘 1989, 陳等 1990)加以整合歸納下列幾點：

1. 5~6月梅雨季期間產生大雨或豪雨強度的降水現象，其伴隨的對流系統大致可分為(1)較大MCS，如中尺度對流複合型(簡稱MCC，水平尺度250~2,500公里)(2)較小MCS，如中- β (Meso- β) 尺度型(水平尺度25~250公里)(3)颱風直接影響型(4)颱風外圍環流影響型，又可細分為與鋒面共伴及外圍螺旋雲雨帶兩種子型(5)冷心低壓影響型，其中以前二類出現的機會較多。
2. MCC系統(或稱較大MCS系統)的生命期平均在14.5小時左右，移動速度平均約為17公裡/時。移速為10~15哩/時之MCC系統一般而言在10小時內就會發展至最大範圍。
3. MCC系統根據其不同的發生位置及大氣類型，雲系形狀以及環流形態，又可分為三類：(1)鋒面短槽共伴型(2)中尺度低壓槽型(3)西南氣流湧動型。
4. MCC系統的發展條件主要是在低對流層有持續的強烈暖平流，配合鋒面或中層短槽的移入，加上高層的輻散所引起。
5. MCC系統一般而言是受上下兩層平均氣流的導引而移動，在本省附近MCC雲系的移動方向與低壓850毫巴與高層200毫巴的平均氣流方向較為一致。
6. 在115°E以西生成之MCS系統不會影響到台灣地區，僅有在115°E以東生成之MCS系統才有可能影響到本省。在福建、廣東地區產生之MCS系統通常在移出陸地後向東南東或東移動而影響到本省南部地區。
7. MCS系統的雲系分佈與降水分佈大致配合，而降水量的多寡則與雲系本身的生命階段有著密切的關係；發展中之雲系可導致大量的降水，衰減中的雲系則僅致小雨或無雨。
8. 利用色調強化處理過後之雲圖加以分析，可以發現不論是MCC系統或中- β 尺度系統其在衛星雲圖中所顯示的溫度梯度若是呈近圓形對稱型態，則強降水區與此配合，若雲系溫度梯度呈現不規則的型態，則強降水區集中在梯度較大的一邊。由雷達回波分析，MCS降水回波分布大致呈東北—西南橢圓狀或塊狀，在一大片層狀回波中間或前緣，經常出現強烈線狀或條狀回波，移速較快，平均約15m/s左右。
9. 中- β 尺度型(或稱較小MCS系統)一般分為移動型及當地產生型，其所伴隨之大範圍環流形態除了前述受MCC影響之類型外，尚有華南波型及滯留鋒型兩類。(較小MCS)
10. 中- β 尺度型對流系統或MCC型較強烈對流區域一般而言，主要是受850毫巴及300毫巴風切氣流方向的影響而移動，對於比較小一點的中- β 尺度型系統其移動方向則主要受500毫巴氣流影響。
11. 低對流層(850mb)相對極大正 θ_e 平流區及暖平流區的合成區域，有利較大MCS系統0-12h發展及移動的趨勢。可經由傳統資料或NWP產品分析獲得該項資訊。
12. 伴隨有豪雨現象的對流系統，除了應考慮在其移動方向的前方大氣是否存在有利於使其繼續發展的條件外，尚須考慮中尺度強迫機制，如鋒面、短槽、外流邊界層的配合及此對流系統的生命期正處於何種階段與雲系溫度梯度之分布，以判別此對流系統是否會發展持續或減弱以及移動方向。
13. MCC系統(較大MCS系統)由於生命期較長(與中- β 尺度型系統比較)，因此可以根據前面所述發展，移動的指引予以分析並加以預報。至於中- β 型尺度系統(較小MCS)，因大部分為突發性所造成的現象較難捉摸，在做預報時，除了考慮大範圍的環境條件因素外，尚須著重較綜觀尺度分析更為仔細的分析方法(如中尺度分析)來補其不足之處。未來即時預報系統的建立，將對MCS的預報有很大助益。
14. MCS結構特徵大致具有下列特徵：
 - (1)MCS在生成期顯示低(高)層輻合(輻散)，正渦度不顯著。上升運動在MCS內發生且最大上升速度在500~300mb之間，而對流不穩度發生在500mb以下。
 - (2)MCS在發展期，低層輻合、高層輻散以及低層渦度與生成期類似，但強度比生成

期要強。與生成期最大不同之處，一為低層正渦度顯著，二為暖心出現在 600 至 200mb 間。

(3) MCS 在成熟期，低層輻合、高層輻散以及中下層正渦度分布的結構與發展期類似，但低壓輻合較弱，高層輻散較強且最大上升速度中心發生位置比發展期要高，其中一些個案在 MCS 北邊或東邊出現下降運動。

(4) MCS 在衰減期，下降氣流在 700mb 以下顯著且輻散在地表附近發生，高層輻散與低層渦度均減弱，這些現象與成熟期有很大的不同。

四、結論

MCS 的預報本身是一個非常複雜的問題，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。本文嘗試應用國內有關 MCS 的氣候方面，綜觀的環境、結構以及有利條件與激發機制等方面的研究加以整合，發展一套 MCS 極短期 (0-12h) 預報方法、流程及一些預報指引及圖表，若再經不斷測試修改，可作為未來中尺度預報作業參考。

參考文獻

Chen, C. S., T. K. Chiou and S. T. Wang, 1986 : An investigation of mesoscale convective systems associated with mei-Yu front in SE China from 26 May 26 to 28, 1985. ,Papers in Meteorological Research, 9, 137-161.

Chiou, T. K. and C. S. Chen, 1988 : The structure of mesoscale convective systems in southern China during the Mei-Yu period. Papers in Meteor. Res., 11, 195-217.

Chiou, T. K. and Y. H. Kuo., 1988 : Analysis and simulation of the subsynoptic-scale environment of a mesoscale convective system over southeastern China. Meteor.

Bul., 34, No. 1-20.

Chiou, T. K., 1990: Forecasting of mesoscale convective system over southern China during the Mei-Yu period. Workshop on TAMEX Scientific Results. Boulder, Colorado, 95-1020.

Doswell, C. A., III 1986 : 'Short-range forecasting'. Pp. 678-719 in Mesoscale Meteorology and Forecasting , Ed. P. S. Ray. American Meteor. Soc.

Juying, X. and R. A. Scofield, 1989 : Satellite-deriver rainfall estimates and propagation characteristics associated with mesoscale convective systems (MCSs). NOAA Technical memorandum NESDIS 25, 49 pp.

McGinley, J. 1986 : 'Nowcasting mesoscale phenomena' Pp 657-688 in Mesoscale meteorology and forecasting Ed. P.S. Roy. American meteorological society.

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 precipitation characteristics of a mesoscale convective system on 20 May 1979. Mon. Wea. Rev., 116, 1555-1567.

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、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、王時鼎、林雨我、陳景森，1986：華南移至台灣附近中尺度對流系統之移動，大氣科學，13，121-132。

丘台光、許皓淳、林宏聖，1990：華南梅雨季中尺度對流系統的預報研究，氣象學報，36卷

，第二期，117-128頁

丘台光、陳景森、郭英華，1989：梅雨季華南中尺度對流系統數值模擬研究一九八一年五月二十七日至二十八日個案，氣象學報，35卷，第3期，185-201。

丘台光，1989：華南地區中尺度對流系統分析與模擬，中大大氣物理研究所博士論文，221頁。

陳泰然，1990：梅雨季豪雨之短期與即時預報：TAMEX之長程目標，中央氣象局天氣分析與預報研討會論文集編，13-25。

陳泰然、紀水上、吳倩雯，1985：梅雨期東亞及西太平洋中尺度對流系統之氣候特徵。大氣科學，第13期，P33-45。

The study of Mesoscale convective system in very short range forecasting

Ching-Sen Chen

Tai-Kuang Chiou

Institute of Atmospheric
Physics National Central University

R & D center
Central Weather Bureau

Shiou-Huey Sheng

R & D center
Central Weather Bureau

Abstract

The ultimate goal for the Taiwan Area Mesoscale Experiment (TAMEX) is to improve the forecast ability to heavy rainfall in Taiwan area during the Mei-Yu season by using both the research and practical results from the past applied to routine operations.

This study tries to classified, integrate and finally test the different forecast schemes or rules for MCSs from relative research on the climatology, synoptic criteria, triggering mechanism and developing conditions. And to establish a set of flow chart for very short range prediction (0-12 hr) of MCSs. It can be as a reference guide for use in forecast to the mesoscale systems.

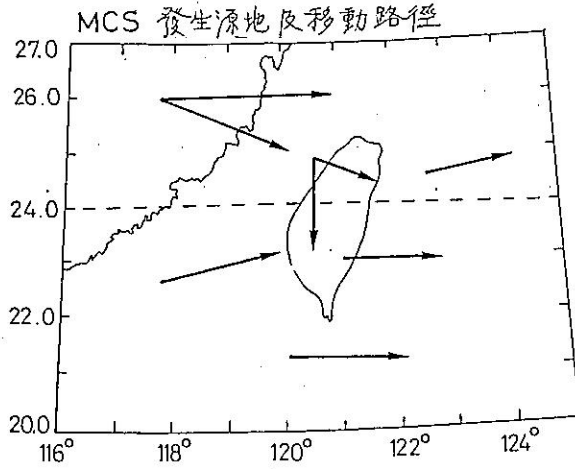


圖1. 台灣附近MCS發生源地及移動路徑

MCS 陸上海上各階段之頻率日夜變化

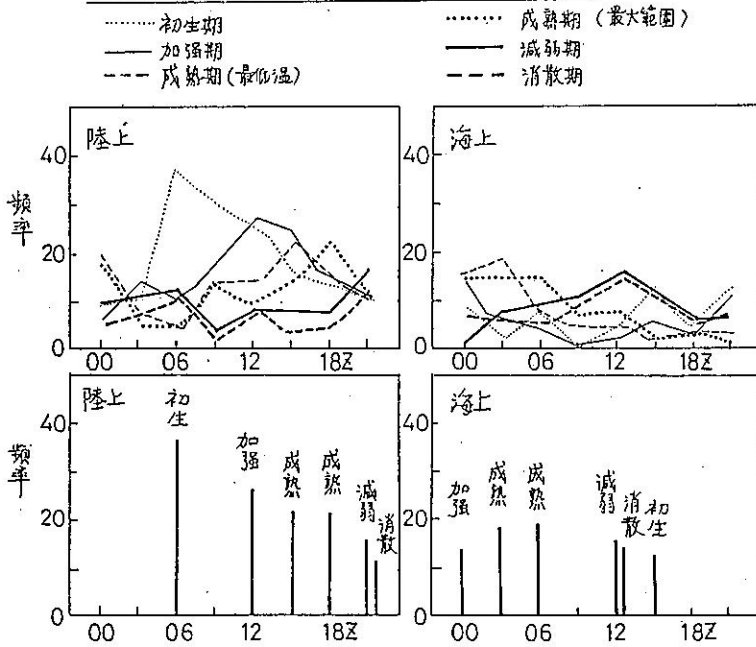
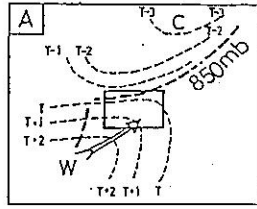


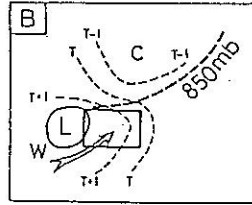
圖2. 華南MCS陸上海上各階級之頻率日夜變化

MCS 綜觀天氣類型 (利用合成圖分析)

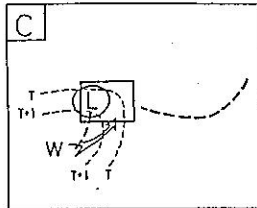
MCS SYNOPTIC PATTERN



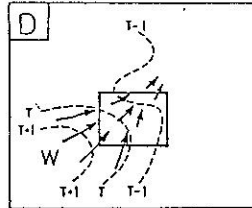
FRONT PATTERN



FRONT PATTERN



MESO-LOW PATTERN



SOUTHWESTLY SURGE

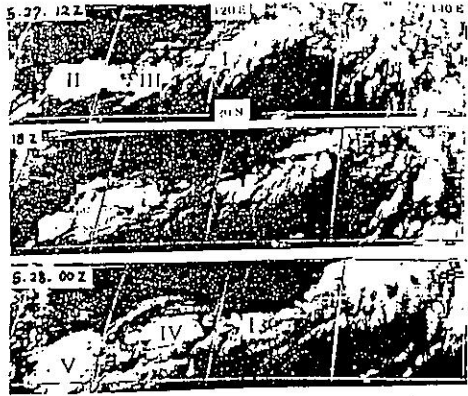
/ trough (700 mb or 500 mb)

↗ LLJ

□ MCS

- A, B 為鋒面短槽共伴型
- C 為中尺度低壓槽型
- D 為西南氣流湧動型

圖3. 華南MCS綜觀天氣類型



衛星紅外線雲圖時間從1981年5月26日
12UTC至28日00UTC

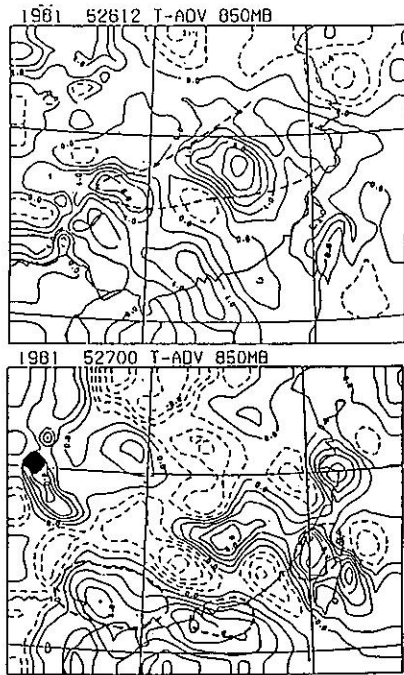
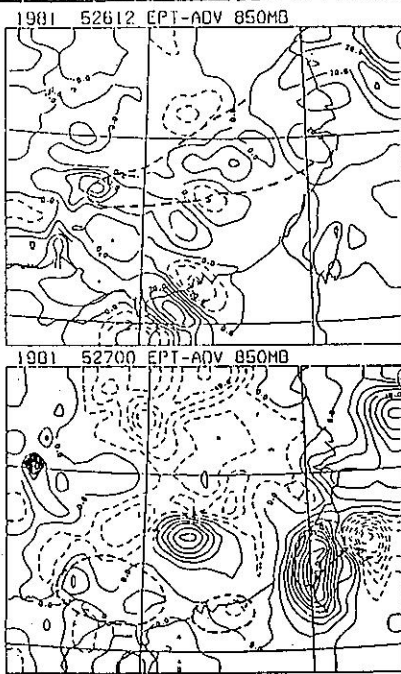


圖4. 1981年5月26日12UTC及27日00UTC 850毫巴相當位溫平流(θ_e , °K/DAY)
及溫度平流分布圖，圖中實線表正相當位溫平流區或暖平流區，粗實線
代表未來12小時強對流雲系分布區

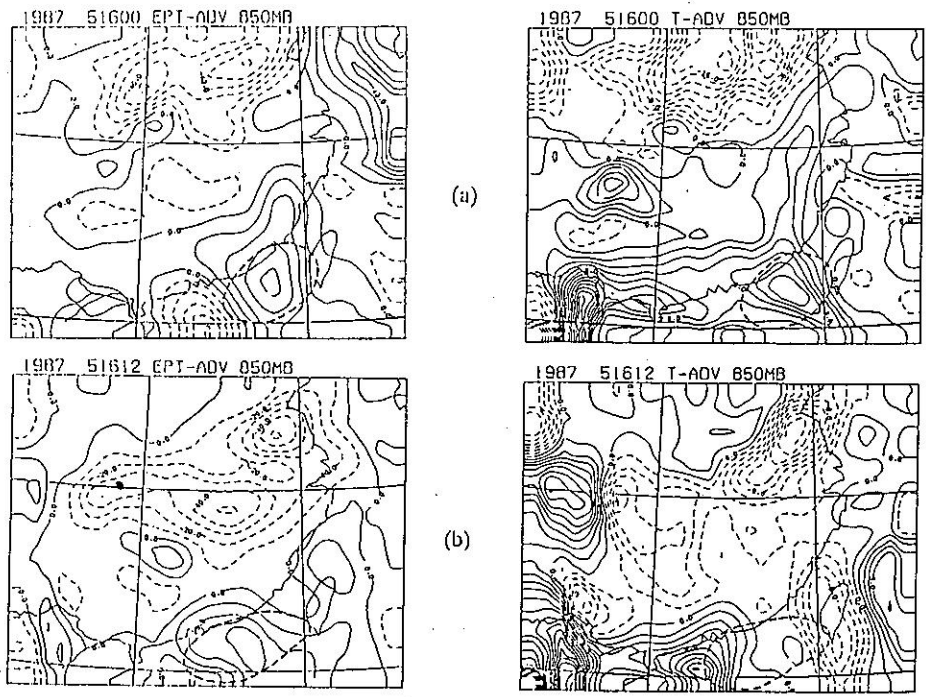
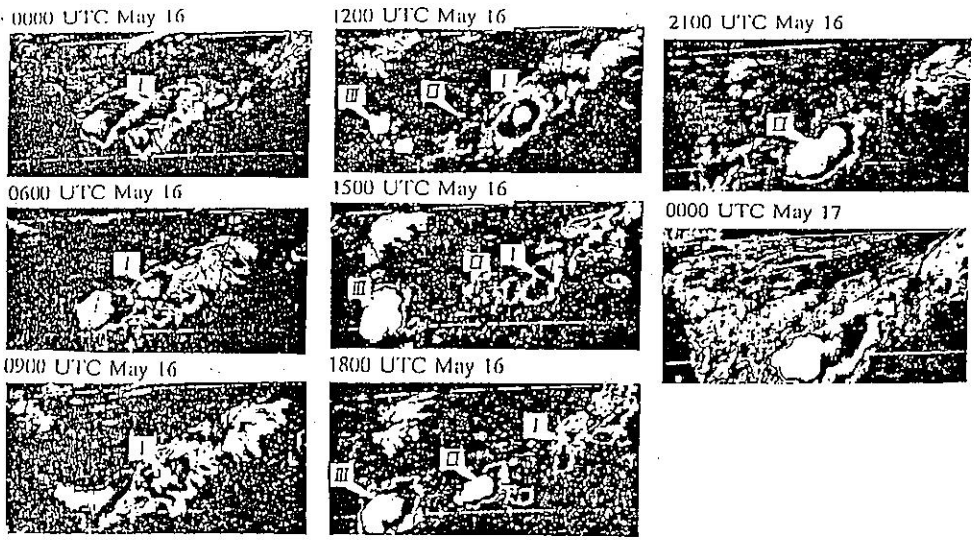


圖5. 與圖4同，但時間為1987年5月16日00UTC及12UTC

MCS Composite Structure

- initial stage
- - - developing stage
- mature stage
- - - decaying stage

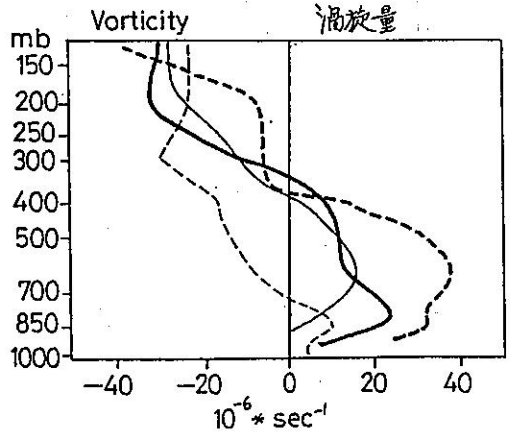
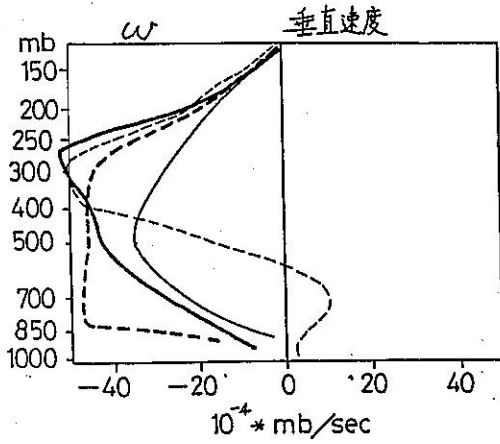
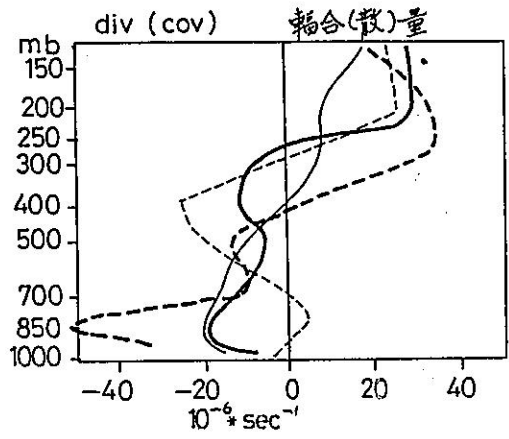


圖6. 華南MCS環境合成結構圖

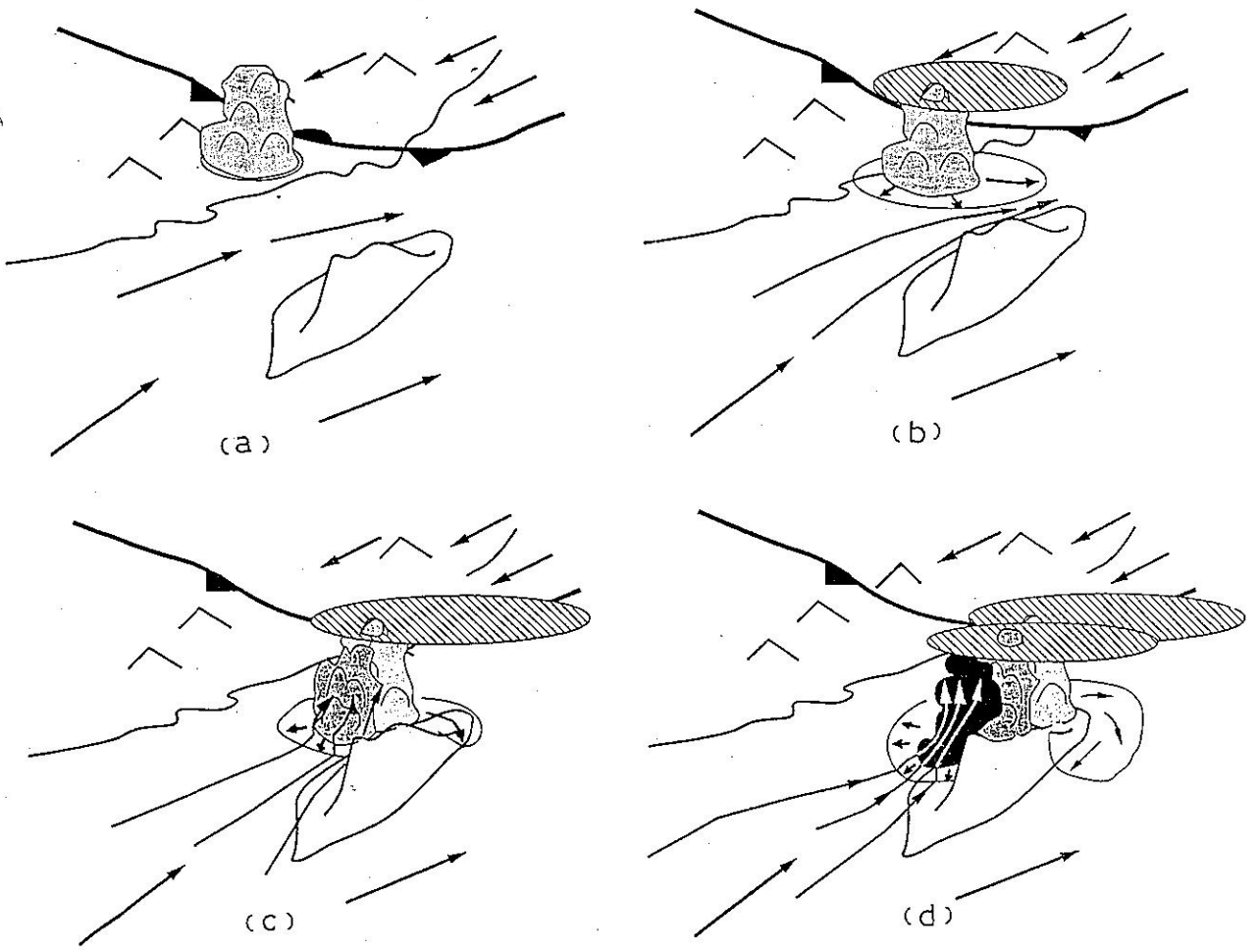


圖7. 梅雨鋒前MCS演化及其觀念模式圖(McGinley, 1991)

表1. MCS預報流程及方法

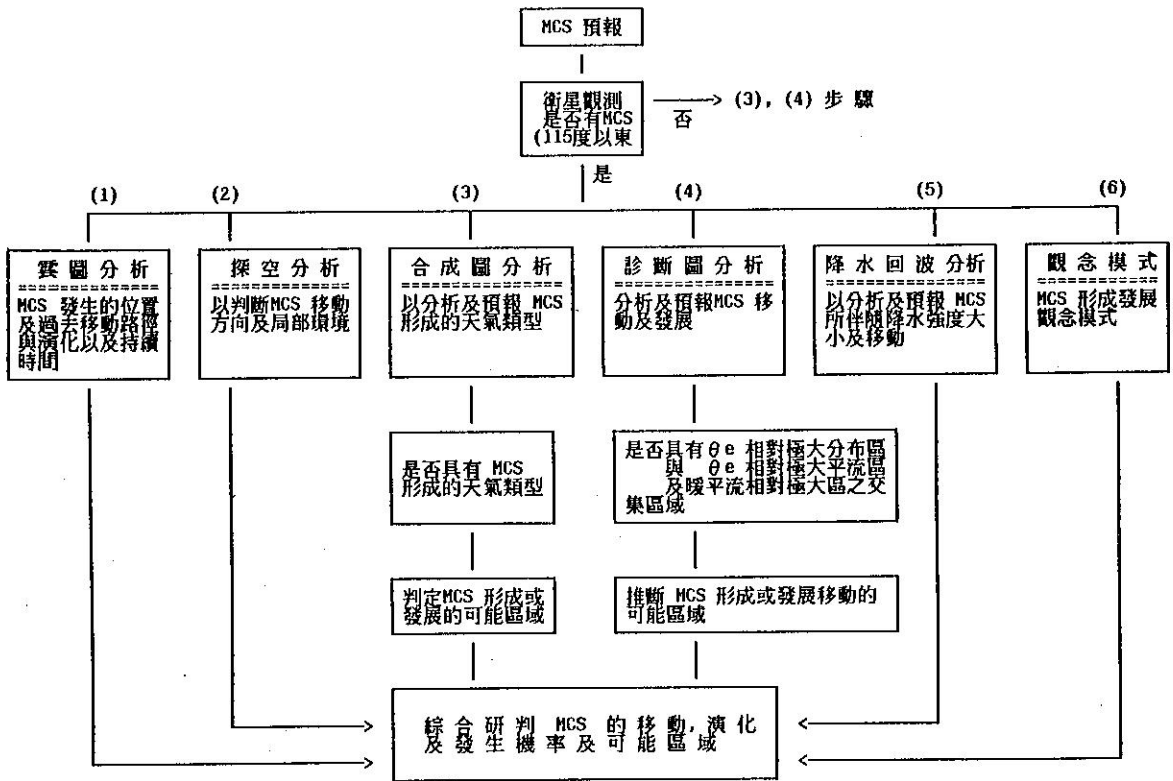


表2. MCS預報工作表

作 業 紙 預 報 員 -----
 --- 年 --- 月 --- 日 --- 時

項 目	說 明 (以圈選或填寫表達)
術 星 觀 測 是 否 有MCS (115度E 以東)	是 , 否 (跳 到 第 三 項)
1. a. MCS 發 生 源 地 的 位 置	華南陸上、華南沿海、西部海面、 西部沿海、臺灣陸上、東部海面、
b. MCS 過 去 移 動 的 方 向	E、SE、NE、S、SW
c. 持 續 時 間	----- 時
d. 強 度 變 化 趨 勢	增 強、不 變、減 弱
2. 臺 灣 本 島 及 其 附 近 探 空 分 析	
a. V 850 + V 200 合 成 方 向 (大MCS)	E、SE、NE、S、SW
b. V 300 - V 850 風 切 方 向 (小MCS)	E、SE、NE、S、SW
c. V 700 - V sfc 風 切 大 小	----- Kts
臺 北 (46692) 探 空 站	a.----- b.----- c.-----Kts
馬 公 (46734) 探 空 站	a.----- b.----- c.-----Kts
東 港 (46747) 探 空 站	a.----- b.----- c.-----Kts
3. 合 成 圖 分 析	
作 a. sfc front 位 置	1. 是 否 具 有 鋒 面 短 槽 共 伴 型 中 尺 度 低 壓 槽 型 西 南 氣 流 湧 動 型 其 他 2. 繪 出 MCS 可 能 形 成 或 發 展 的 區 域 於 附 圖 A
b. 850 mb 風 切 線 位 置、LLJ 以 及 暖 脊 等 溫 線 分 布	
c. 700 mb 低 壓 或 短 槽	
d. 500 mb 短 槽 等 合 成 圖	
4. 診 斷 圖 分 析	
a. 850 mb θ_e 相 對 極 大 分 布 區	繪 出 a、b、c、三 項 交 集 之 區 域 於 附 圖 A
b. 850 mb θ_e 平 流 相 對 極 大 區	
c. 850 mb 暖 平 流 相 對 極 大 區	
5. 綜 合 研 判 MCS 的 移 動、演 化 及 發 生 的 機 率 及 可 能 區 域 並 繪 成 圖 (繪 出 MCS 影 響 區 域 於 附 圖 B 及 說 明 預 報 有 效 期 間 及 MCS 的 動 態 報 告)	說 明 :
6. 實 際 MCS 在 0-12hrs 之 內 的 移 動、演 化 及 MCS 影 響 區 域	說 明 : (並 繪 出 MCS 影 響 的 區 域)