

利用衛星、雷達資料作台灣地區 豪雨預報之初步研究

丘台光 林雨我
中央氣象局

摘要

本文針對 1981 年～1984 年 5 月至 6 月在台灣地區的梅雨季期間，產生局部性大雨或豪雨之個案，利用氣象衛星與雷達降水回波資料，並配合地面及高空的降水資料與傳統觀測資料，分析並比較台灣地區豪雨個案所伴隨對流系統的環境特徵及移動特性，試圖建立一套預報模式的雛形，提供做為豪雨預報時的參考資料，尤其希望能在短期預報方面有所助益。

藉著本研究之歸納，就 5 月～6 月份梅雨季而言，最常出現伴隨大雨或豪雨的對流系統大致可分為五種：(1)中尺度對流複合 (MCC) 型(2)中- β (Meso- β) 尺度型(3)颱風直接影響型(4)颱風外圍環流影響型(5)冷心低壓影響型，其中以前兩種發生的頻率最高。由於後三種類型的發生個案較少，因此本文中僅就中尺度對流複合型及中- β 尺度型兩種類別加以詳細分析探討，最後並舉出三個個案加以分析說明。

研究結果顯示 MCC 系統的雲貌形態與降水的分佈大致配合且與系統本身的生命階段有密切關係，另外經色調強化處理的雲圖所顯示之溫度梯度形狀若近圓形對稱則強降水區與之配合，若呈現不規則型態時，強降水區集中在梯度較大的一邊；中尺度複合型系統的移動方向與 850 毫巴及 200 毫巴兩層間的平均氣流方向較為一致，而中- β 尺度型系統則一般主要受到 850 毫巴與 300 毫巴風切氣流的影響而移動；影響本省地區的對流系統其初生的地區似有一定的範圍，同時在衛星雲圖及雷達回波上所見，來自不同地區的對流系統對本省的影響有其地域性的存在；中尺度對流系統的發展條件主要是在低對流層有持續性的強烈暖平流，配合中層短槽的移入，加上高層的輻散所引起的，另外可從衛星雲圖偵測到中尺度強迫機制的激發及加強作用的現象，此點對豪雨發生地點及強度的預報有很大的助益。

一、前言

豪雨近幾年來時常給本省地區帶來很大的災害，如民國 70 年 5 月 28 日的新竹、桃園地區水災，71 年 8 月 11 日的林口水災，72 年 6 月 3 日之南投水災，以及去年 (73 年) 6 月 3 日北部地區水災等。以去年 6 月 3 日北部豪雨為例，該次豪雨帶給台北市與鄰近的台北縣、桃園縣地區極大的災情，根據報導之統計有 32 人死亡，12 人受傷，5 人失蹤，鐵路多處積水且因塌方災害所導致之交通中斷情況尤為嚴重。雖然諸如此類之災害不完全是因豪雨

所直接引起的，但吾人若能即時而準確地加以預報，則可使得災害減輕許多。

在本省地區所發生的大部分豪雨個案由於區域小，時間短 (與綜觀尺度比較)，經常與中尺度系統及現象有關 (張等 1982；曲及劉 1982；丘等，1982；丘及廖 1984；丘及劉 1985)，而 Maddox et al (1978) 更指出暴洪 (Flash flood) 幾乎總是肇因於雷暴 (Thunderstorm) 降水的結果。然而以現有的傳統地面及探空測站之解析度而言，是不足以確認此種中尺度現象，因此必須借重氣象衛星和雷達觀測資料來做進一步的研判。由於氣象

衛星可以偵測到大至綜觀尺度小至積雲尺度的雲貌，並可經由連續雲系變化的分析了解在大氣熱力及動力過程中綜合的結果，另外藉著色調強化或數據化處理之雲圖，更可以確定強對流系統或劇烈天氣發生的強度及其分佈狀況。雷達觀測基本上來說是對於偵測降水之強度及區域性分佈的最有效工具之一，因此不論短期預報 (Short term forecasting) 或是守視警報 (Nowcasting) 前述的二項工具都扮演著非常重要的角色。因此如何利用現有的衛星及雷達觀測資料配合地面及探空資料對台灣地區豪雨預報提供有力的參考資料，乃為本文研究之重點課題。

本文針對台灣地區 1981 年~1984 年，5 月~6 月梅雨季期間局部性產生之大雨* 或豪雨* 系統，利用氣象衛星與雷達降水回波資料，配合地面及高空之傳統資料與降水資料，分析台灣地區的大雨~豪雨的現象所伴隨之對流系統的特性及移動，希望藉此研究對現行豪雨預報提供一套有力的參考資料，尤其能在短期預報方面有所助益。

二、豪雨所伴隨對流系統之特性

在本文中，我們使用 1981~1984 年間 5~6 月的氣象衛星雲圖資料，根據雲系範圍之大小，分析出造成本省地區大雨~豪雨現象的中尺度對流系統，其雲系特徵大致可以分成下列五類：

(一)中尺度對流複合體型。也就是 Maddox (1980)所定義之 Mesoscale Convective Complex (簡稱 MCC)，水平尺度約在 250 公里~2500 公里。(如圖 1a)

(二)中-β 尺度對流系統型。水平尺度基本上較 MCC 為小但却比積雲尺度要大 (25 公里~250 公里)。(如圖 1b)

(三)颱風直接環流影響型。(如圖 1c)

(四)颱風外圍環流影響型：

(1)鋒面共伴子型。(如圖 1d)

(2)外圍螺旋雲雨帶子型。(如圖 1e)

(五)冷心低壓影響型。(如圖 1f)

此五種類型之系統，無論在雲系、降水、移動以及環流型態上均有所差異，但由於前兩種系統在本文所蒐集之資料中佔較大之比例，因此我們在此僅就這兩種型態之系統先行加以分別討論。

(一)中尺度對流複合體型：

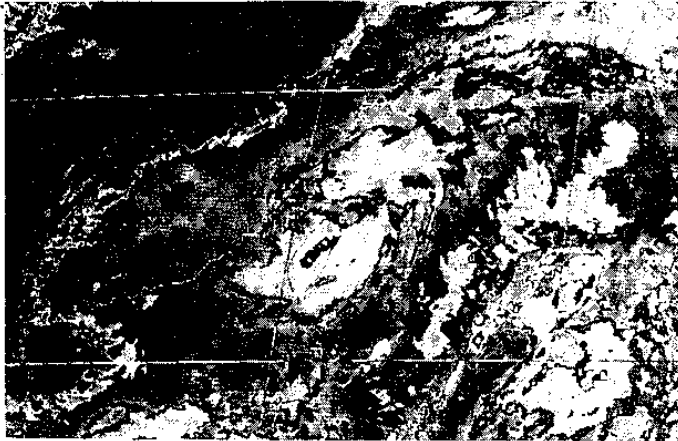
MCC 的雲系範圍實際上超過個別雷雨胞的尺度達兩個數量級以上，不但範圍大而且持續時間亦長。圖 2a 為經由色調強化處理過之 MCC 雲系灰度與所代表溫度區間的對照圖，從該圖中可以看出 MCC 主要是由寬廣的冷雲所覆蓋，此冷雲區不但伴隨大範圍之降水且與劇烈天氣現象有相當良好之配合 (如圖 2b, 2c)。圖 3 則為一組 MCC 系統從生成、發展成熟至衰減階段的變化過程，從圖中可以看出 MCC 系統在生成期範圍較小且呈零散分佈；發展到成熟期，雲頂溫度不但降低且雲系範圍擴大；到了衰減期其雲頂高度降低，溫度增暖，雲系破碎且對流減弱。MCC 系統之降水多寡與雲系各生命階段有密切關係，發展中之雲系可導致大量的降水而衰減中之雲系則僅致小雨或無雨 (紀及陳 1984)，又伴隨 MCC 之降雨中心其移速與方向均與 MCC 雲系中心之移動有關，且兩者之中心十分相近 (紀及陳 1984)。事實上 MCC 系統不但雲系範圍本身會造成降水，且在移動或減弱的變化過程中，若有適當的條件配合亦會使得其週圍產生新的對流系統如民國 70 年 5 月 28 日 OoZ 造成新竹外圍之弧狀排列對流系統。

表一為 1981~1984 年間發生在華南至本省地區附近，15 個 MCC 系統個案資料的一覽表。由表中可知 MCC 系統的生成時間大部分發生在下午至晚上期間，而雲系發展至最大範圍的時間一般都發生在午夜至清晨左右。個案中從生成到發展成熟階段最快為 5 個小時，最慢則需 24 小時，平均而言為 9.5 小時左右，另外 MCC 系統從初生之對流胞系到開始減弱的平均生命期為 14.5 小時，移動速度平均為 17 哩/時。又移動速度 10-15 哩/時之 MCC，其生成到發展成熟時間不超過 10 個小時。在本研究的 15 個個案中有 5 個影響到本省地區，但

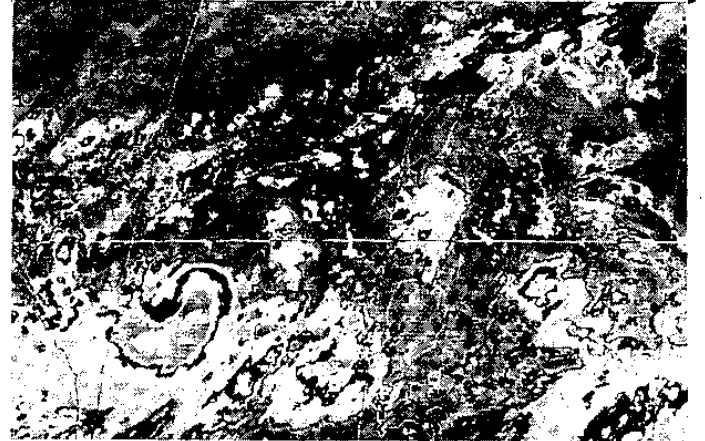
* 大雨、豪雨的定義是根據本局官方規定。



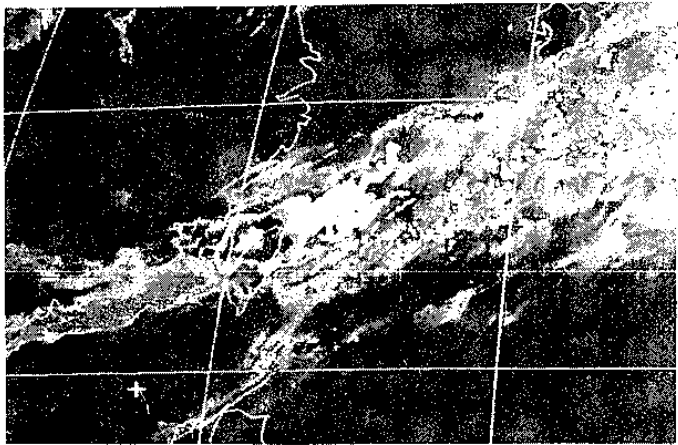
(a)



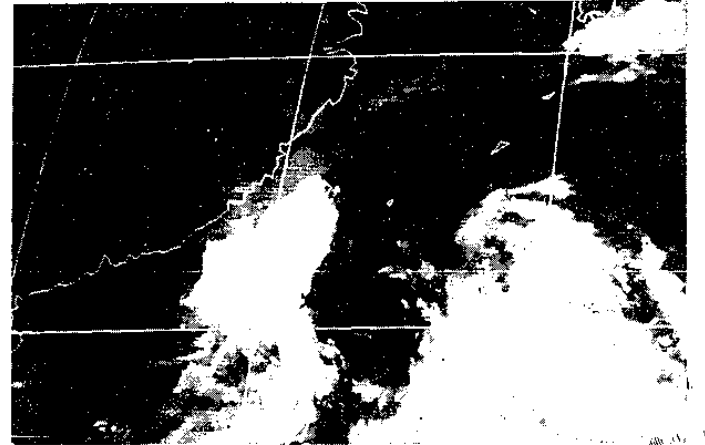
(b)



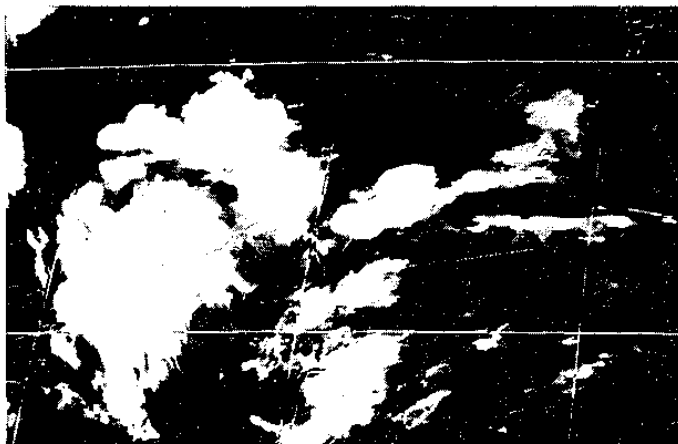
(e)



(c)



(f)



(d)

圖 1. 1981-1984 年 5~6 月大雨或豪雨所伴隨對流系統之雲系特徵。

- (a) 中尺度對流複合型 (1981.5.28.00Z)
- (b) 中- β 尺度對流系統型 (1983.5.31.03Z)
- (c) 颱風環流直接影響型 (1981.6.13.09Z)
- (d) 颱風外圍環流與鋒面共伴子型 (1981.5.9.09Z)
- (e) 颱風外圍螺旋雲雨帶子型 (1981.6.11.06Z)
- (f) 冷心低壓影響型 (1981.6.17.09Z)

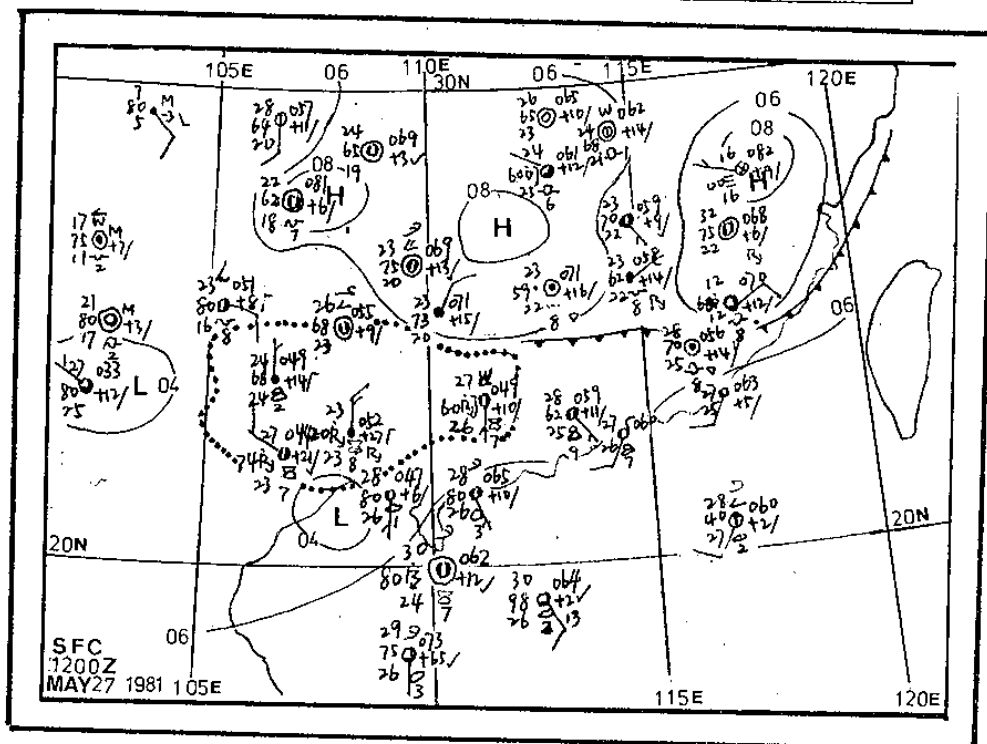
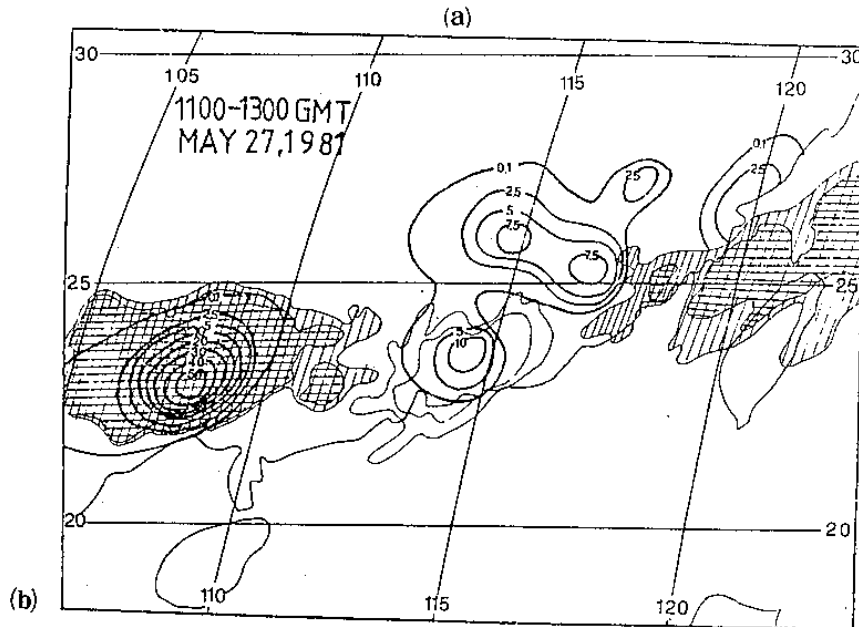
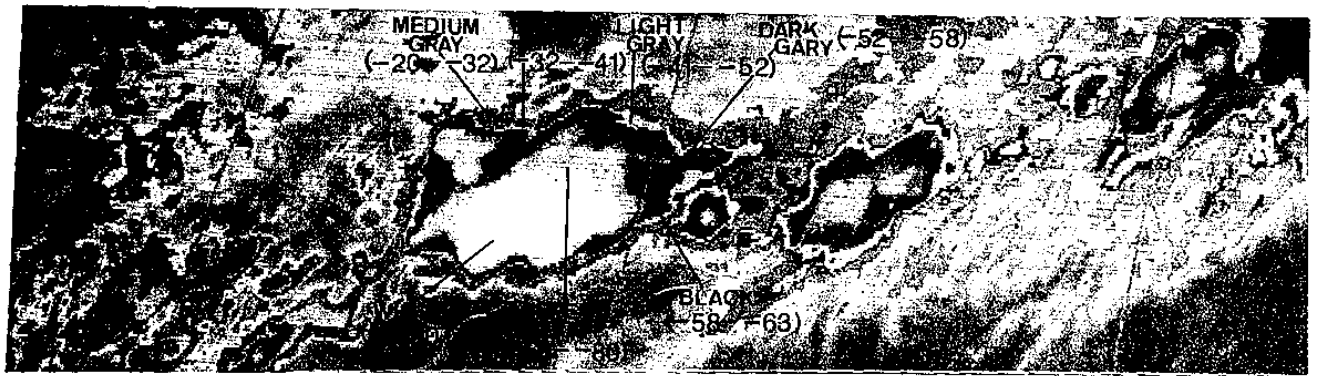


圖 2.(a)中尺度對流複合系統的雲系灰度與溫度分布關係圖，雲圖時間為 1981 年 5 月 27 日 1200Z
 (b) 1981 年 5 月 27 日 1100-1300Z 降水量 (mm) 與 1200Z 雲系範圍
 (⊙ : $\leq -32^{\circ}\text{C}$; ⊕ : $\leq -52^{\circ}\text{C}$) 分布。(採自紀、陳 1984 年)
 (c) 中尺度對流複合系統與降水及雷雨分布相關圖 (採自丘 1984 年) 時間同圖 2a。

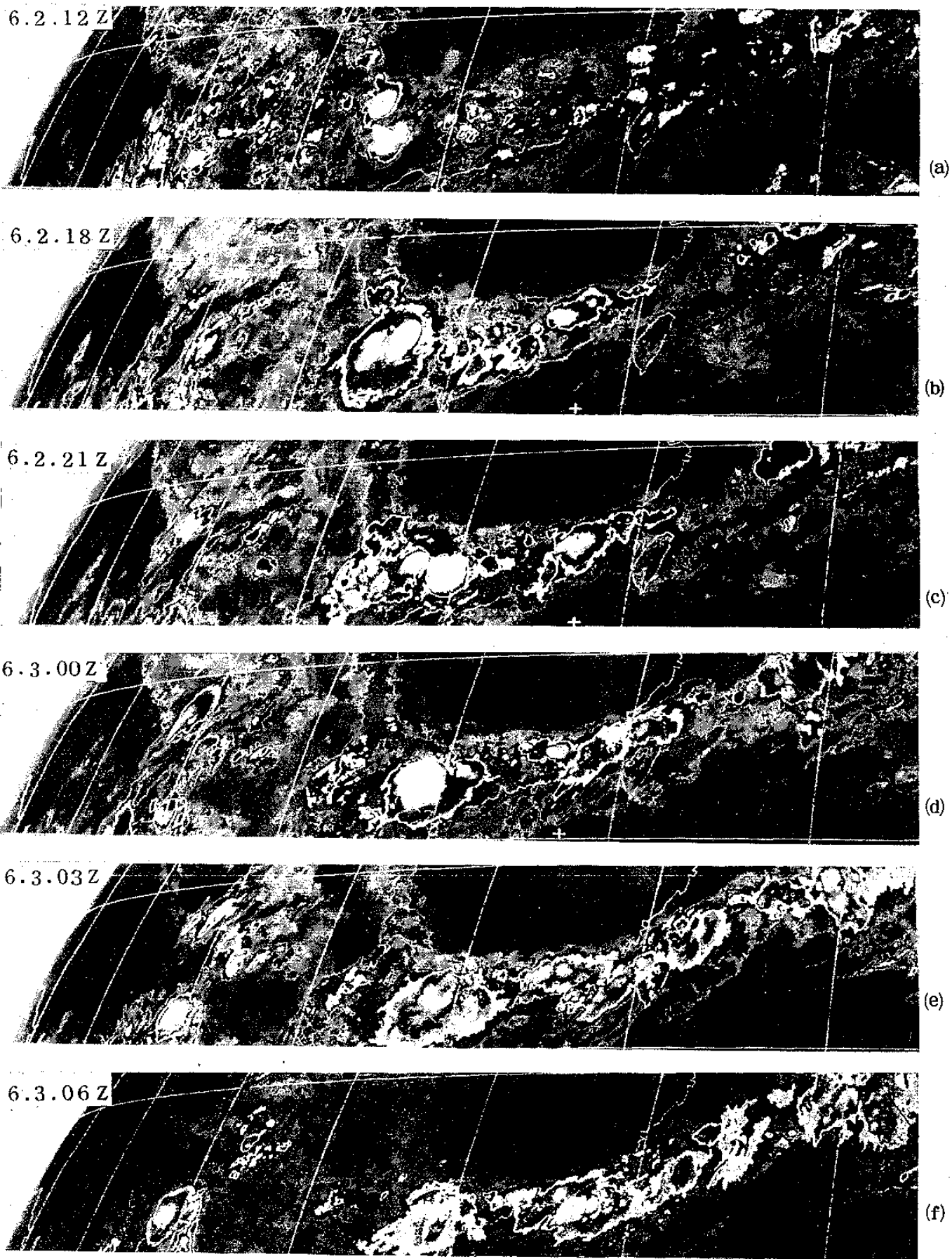


圖 3. 1983 年 6 月 2 日 12Z 至 6 月 3 日 06Z 華南中尺度對流系統生命史之 GMS 衛星色調強化雲圖：
 (a) 6, 2, 12Z (b) 6, 2, 18Z (c) 6, 2, 21Z (d) 6, 3, 00Z (e) 6, 3, 03Z (f) 6, 3, 06Z

表一：華南至本省地區 15 個中尺度對流複合系統 (MCCs) 個案資料

編號	年 代	MCCs 起始時間 (G.M.T)	MCCs 起始地點	MCC最大範圍 發 生 時 間 (G.M.T.)	起始至成熟 時間 (hr)	持續時間 (hr)	移動速度 (KTS)	影 響 區 域	MCCs 分 類
1	1981	5.27.06	廣 西	5.27.16	10	12	10-15	廣 西	鋒面短槽 共伴型
2	1981	5.27.16	廣 西	5.27.21	5	12	25-30	廣西、廣東	鋒面短槽 共伴型
3	1981	5.27.16	廣 西	5.27.21	5	11	10-15	廣西、廣東	鋒面短槽 共伴型
4	1982	5.31.12	貴 州	6.01.00	12	15	15-25	貴州、廣西、廣 東、湖南、江西	中尺度低 壓槽型
5	1982	6.01.00	福建沿海	6.01.06	6	9	10-15	福建至本省	中尺度低 壓槽型
6	1982	6.01.16	福 建	6.02.06	14	15	10-15	福建至本省	西南氣流 湧動型
7	1983	5.12.21	巴士海峽	5.13.03	6	12	10-15	南海至本省南部	西南氣流 湧動型
8	1983	5.20.09	福建沿海	5.20.18	9	16	10-15	福建沿海至 本省南部	鋒面短槽 共伴型
9	1983	5.20.21	福建，廣 東沿海	5.21.06	9	15	10-15	南 海	西南氣流 湧動型
10	1983	5.31.16	貴 州	6.01.16	24	26	20-25	浙江、江西、湖南	中尺度低 壓槽型
11	1983	6.01.12	貴 州	6.01.21	9	15	15-20	貴州、廣西	鋒面短槽 共伴型
12	1983	6.15.12	廣 西	6.16.00	12	15	15-20	廣西、廣東	鋒面短槽 共伴型
13	1983	6.16.12	廣 西	6.16.21	9	15	10-15	廣西、廣東	鋒面短槽 共伴型
14	1983	6.17.16	廣 東	6.17.21	5	11	15-20	廣東、福建至本省	西南氣流 湧動型
15	1984	5.31.09	廣 東	5.31.18	9	18	5-10	廣東、福建	中尺度低 壓槽型

此並不包含受到 MCC 前緣所產生對流降水之影響，並由圖 4 的 13 個 MCC 個案路徑圖中，可知在 110°E 以西產生之 MCC 系統通常不會影響到本省地區，只有在 110°E 以東初生的 MCC 系統才有可能對本省地區構成威脅，且由其路徑看來其移動的方向大部分是以東南東方向為主。

MCC 系統的發展條件主要是在低對流層有持續性的強烈暖平流，配合中層短槽的移入及高層的輻散所引起的。但根據其發生的位置、雲系的形狀以及環流的型態來看，我們又將 MCC 系統大致分為三類：

- (1) 鋒面短槽共伴型。
- (2) 中尺度低壓槽型。
- (3) 西南氣流湧動 (Surge) 型。

以下則分別予以探討：

(1) 鋒面短槽共伴型：

此類型配置示意圖如圖 5，圖中可見北邊有一近似橫槽，西南邊有一短槽 (圖 5a) 或一低壓 (圖 5b) 伴隨，此類型之個案如表一中編號①、②、③、⑧、⑪、⑫、⑬等。此類發生在華南地區的 MCC 系統一般而言主要是受 500 與 200 毫巴平均氣流之影響而往東南或東南東方向移動 (丘 1983)，其雲系特徵如圖 2a, 6a 所示。鋒面短槽共伴型在三類中最易產生 MCC 系統，且一般以午夜後發展範圍最大，清晨後就開始減弱，持續約 14 小時左右。有關此類型中尺度對流系統結構如圖 7、圖 8，已于丘、廖 1984 年文中予以詳細討論，在此不再贅敘。

(2) 中尺度低壓槽型：

圖 9 為此類型示意圖，圖中可見北邊並沒有如同第一類明顯的橫槽，但是却有一個非常明顯的中尺度低壓槽環流型態 (地面及 850 毫巴為一封閉低，700 毫巴可能為一淺槽或一封閉低壓)，此低壓雖常與熱低壓混合而不易察覺，然而其一旦移出後就相當明顯，此類型最後常轉變為綜觀尺度的低壓波動，有關此類型個案如表一中之④、⑤、⑩、⑮等，雲系特徵如圖 3a 所指。中尺度低壓槽型移動方向一般在生成期往東南或東北移，發展成熟時就轉為往東或東南東方向移動。此類型結構如圖 10 所示

，有關的詳細討論，請參見丘 (1984) 文中之敘述。

(3) 西南氣流湧動型

此類型的示意圖如圖 11 所示，可以見到西南氣流的輻合現象，此類型個案則如表一中之⑥、⑦、⑨、⑭雲系特徵如圖 6 (b)，一般易在福建、廣東沿海發生，而主要是往東南或東南東方向移動，持續時間約在 13 小時左右。

以上三類型 MCC 系統在綜觀條件上來說，都非常類似，基本上都須配合潮濕及潛在不穩定的大氣環境，此類系統才會持續發展。

(二) 中 - β 尺度型

除了前述之 MCC 系統移至本省後會造成大雨或豪雨外，另一類就是在尺度上較 MCC 為小但比積雲尺度要大的中尺度對流系統，稱為 Meso- β 。其雲系特徵如圖 1b，從圖中可知此類型雲系之範圍不大，但其溫度梯度却較大而降水分佈則大致與溫度梯度較大的地方相配合。在此類系統中有些個案會伴隨有 Overshooting 的現象，最易發生較大降水。表 2 為中 - β 尺度型對流系統造成強度在大雨以上之 15 個個案資料，由表中可知 15 個個案中有 9 個個案曾經發生局部性的豪雨，其中最顯著的個案如民國 70 年 5 月 28 日桃園、新竹地區的豪雨，民國 72 年 5 月 31 日新竹地區的豪雨以及民國 73 年 6 月 3 日台北地區豪雨。該類型雲系大致說來與 MCC 系統、鋒面、以及低壓雲系有關，若根據中 - β 尺度型系統所伴隨之大範圍環流型態來畫分，大致上可有五種類型：

- (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) 華南波型
- (5) 滯留鋒面型

其中前三種類型為 MCC 間接所產生的系統故與 MCC 系統的分類相同，而每一種類型彼此間均有些不同。另外對中 - β 尺度型的系統而言其運動的情形，基本上則與所伴隨的大尺度綜觀系統有很密切的關係，在表二中所列有些個案屬於移動性而有些則否，大致說來此類型的系統的移動情形，似乎

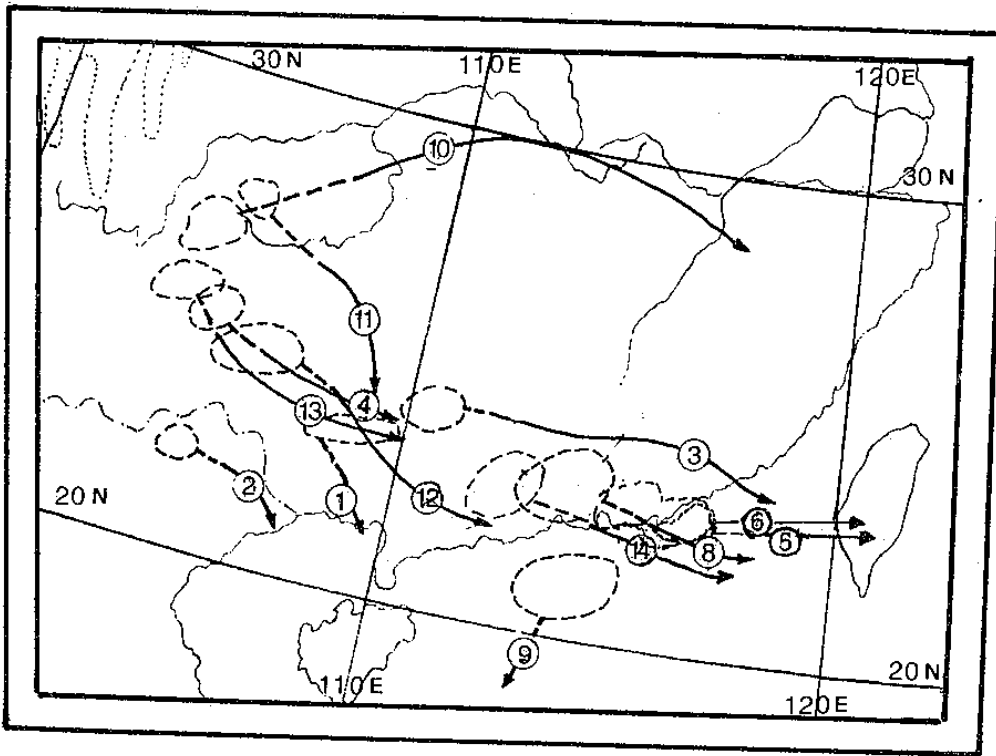
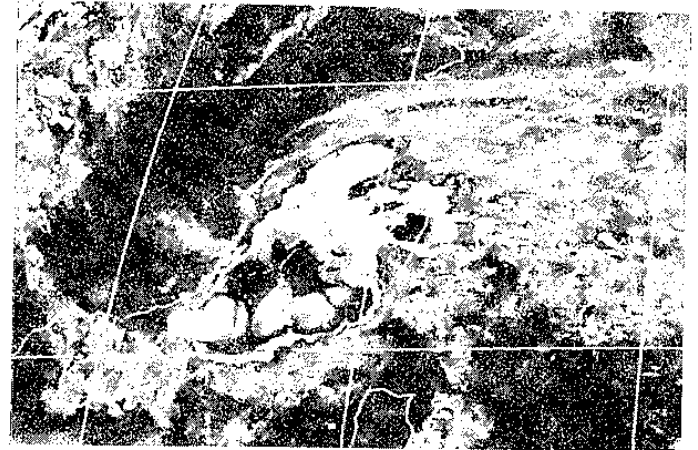
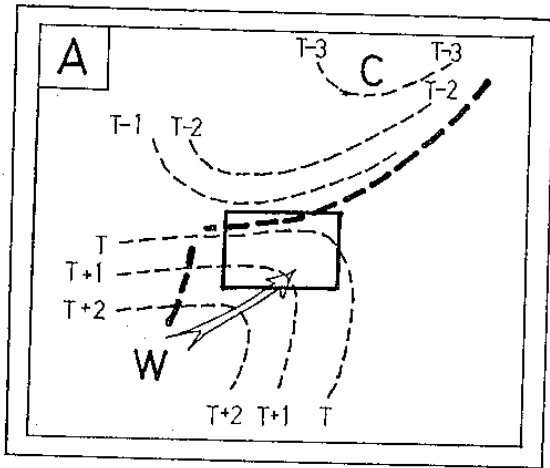
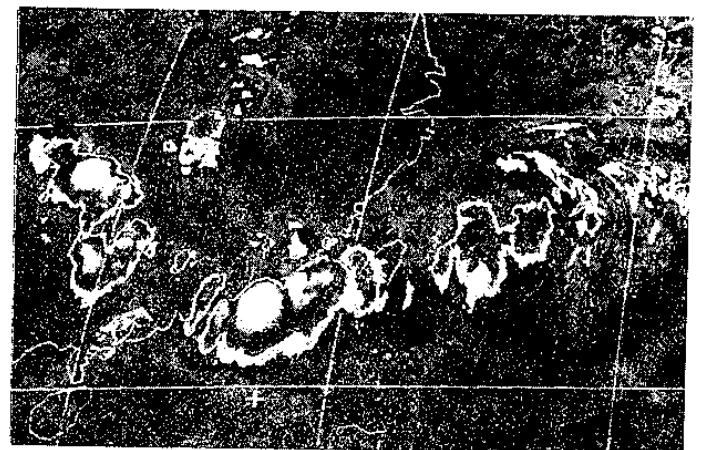
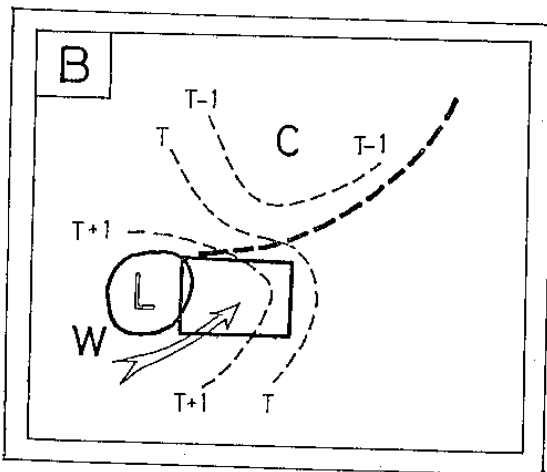


圖 4. 華南至本省附近1981-1984年13個中尺度對流複合系統 (MCC) 的路徑圖。箭頭所指處為雲系的中心位置。虛線表示 MCC 發生初期對流系統之範圍，實線表示達到 MCC 定義標準後的路徑，圖中個案的編號、時間及說明請參見表一。



(a)



(b)

圖 5. 鋒面短槽共伴型產生 MCC 之示意圖，粗斷線表低對層槽線；細虛線表等溫線；W表暖區；C表冷區。(a)表示短槽與鋒面的配置(b)表示低壓與鋒面的配置。

圖 6. 華南至本省地區 MCC 系統之 GMS 衛星色調強化雲圖。(a)鋒面短槽共伴型 (1983, 5, 20, 18Z) (b)西南氣流湧型 (1983, 6, 19, 18Z)

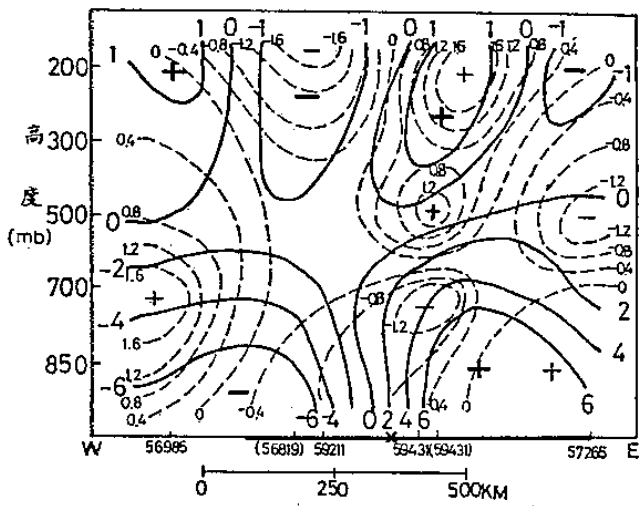


圖 7. 中尺度對流系統經向高壓及溫度垂直剖面合成圖 (個案時間為 1981, 5, 28, 02L, 請參照丘、廖 1984)

— : 高度距平 — — : 溫度距平 - · - : 雲系範圍
 + : 高度正距平 + : 溫度正距平
 - : 高度負距平 - : 溫度負距平

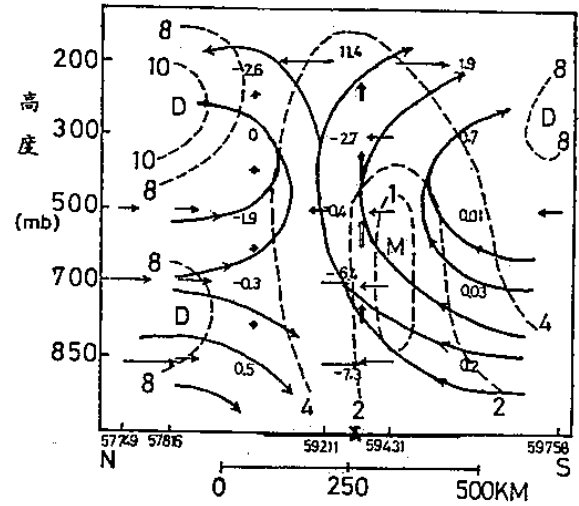


圖 8. 中尺度對流系統緯向垂直剖面氣流圖, 圖中數字大小表輻合 (散) 量 (單位 10^{-4}sec^{-1}), 時間同圖 7。

--- 溫度與露點溫度差線
 — 氣流線
 → 10 KTS :
 ⇨ 10 cm/sec : M : 潮濕區 D : 乾燥區

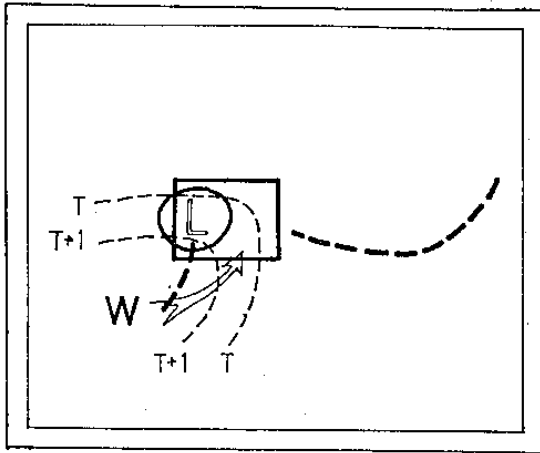


圖 9. 中尺度低壓槽型所產生 MCC 之示意圖, 圖說同圖 5。

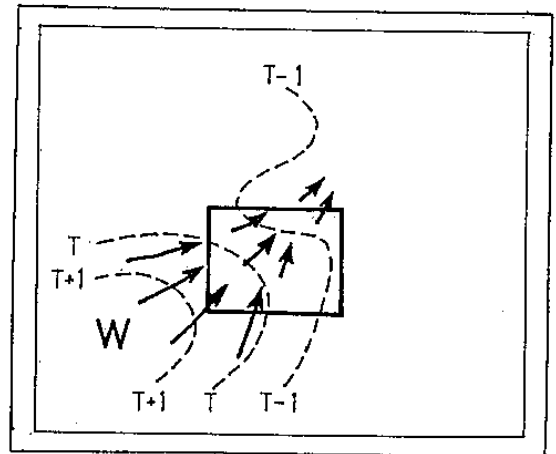


圖 11. 西南流湧動型所產生 MCC 之示意圖, 箭頭大小表風速的大小, 其他圖說同圖 5。

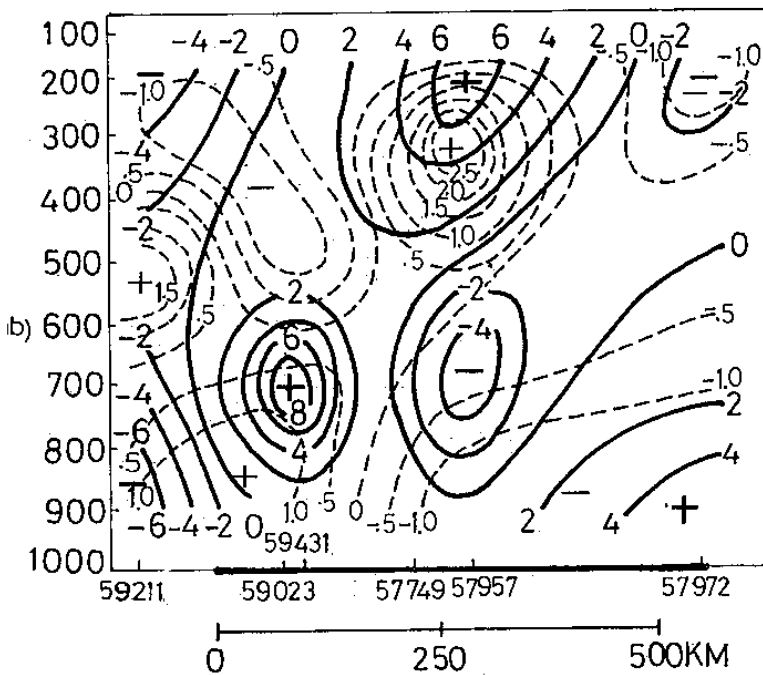


圖 10. 中尺度對流複合系統成熟期之經向高度與溫度距平剖面圖, 圖中 × 表對流系統之中心

表二：中-β 尺度對流系統型導致降水之個案資料

編號	發生時間	特 性	大 範 圍 環 流 型 態	主 要 降 水 區 域
1	1981,5,12	與MCC有關	中尺度低壓型	本省西南部地區
2*	1981,5,28	與MCC及鋒面有關,移動性	中尺度低壓與鋒面短槽共伴型	新竹及本省中部地區
3*	1981,5,30	與MCC有關,移動性	鋒面短槽共伴型	新竹及本省中部地區
4*	1981,5,31	與MCC有關	西南氣流湧動型	本省中部地區
5	1982,5,2	與鋒面有關,移動性	華南波型	本省北、中部地區
6*	1982,5,6	與鋒面有關,移動性	華南波型	本省中部地區
7	1982,6,8	與鋒面有關	華南波型	本省中、南部地區
8*	1983,5,22	與低壓有關	華南波型	本省南部地區
9*	1983,5,31	與中尺度低壓與鋒面有關	鋒面短槽共伴型	本省北、中、南部地區
10	1983,6,1	與鋒面尾端有關	滯留鋒型	本省南部地區
11	1983,6,2	與鋒面尾端有關	滯留鋒型	本省南部地區
12*	1983,6,3	與MCC及鋒面有關	鋒面短槽共伴型	本省中、北部地區
13*	1983,6,4	與鋒面尾端有關	滯留鋒型	大武及本省中部山區
14*	1984,6,3	與鋒面有關	滯留鋒型	本省北部及中部山區
15	1984,6,10	與鋒面及西南氣流有關	華南波型	台北及南部地區

(註)：編號欄中，加註*號者，表示為豪雨的個案

表三：對流系統之雲系移動與風場關係說明

個 案 類 型	雲 系 移 動 與 風 場 之 一 致 性	雲 系 移 動	
1981,5,12	MCC	700mb與200mb平均氣流方向	由本省南方外海移至本省
1981,5,27	MCC(*1)	850mb與200mb平均氣流方向	由華南移至本省北部
1981,5,28	MESO-β	850mb與300mb氣流的風切方向	由本省北部移至本省中部
1982,6,1	MCC	850mb與200mb平均氣流方向	由廣東沿海至本省南部
1982,6,2	MCC	850mb與200mb平均氣流方向	由廣東沿海至本省南部
1983,5,15	MCC	850mb與200mb平均氣流方向	由廣東沿海至本省南部
1983,5,20	MCC	850mb與200mb平均氣流方向	由福建、廣東沿海至本省南部
1983,5,22	MESO-β	850mb與300mb氣流的風切方向	由本省西部至東部
1983,5,23	MESO-β(*2)	500mb氣流方向	由南海至本省南部
1983,5,31	MESO-β	850mb與300mb氣流的風切方向	由福建沿海至本省中部
1983,6,1	MESO-β	850mb與300mb氣流的風切方向	由本省南端至本省南部
1983,6,2	MESO-β(*3)	500mb氣流方向	由本省南端至本省西南部
1983,6,3	MCC	850mb與200mb平均氣流方向	由福建至本省中部

(註)*1：本個案其水平尺度已達MCC的定義標準，惟其灰度則略低於定義之規定，在此仍將其視為MCC類型來考慮。

*2,*3：本二個案的水平尺度屬於較小型之Meso-β系統

應端視大尺度系統的運動而定，也就是說在預報作業上，對於此類系統的預報，應多注意大尺度的運動場，探討在較短的生命期中，受大尺度系統的導引對本省所產生的影響程度。

三、對流系統雲系的移動與風場間之關係

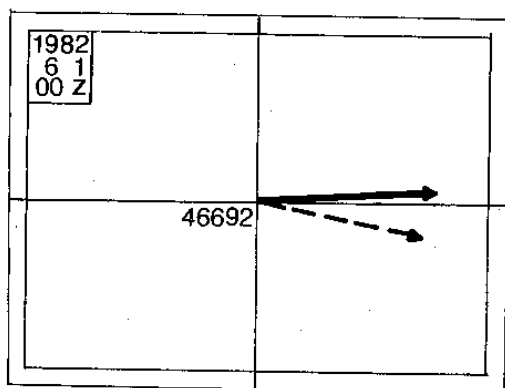
如同準確地預報颱風路徑將可以減輕許多災害一樣，若是吾人能夠提早知道雲系的移動趨勢，必會對於豪雨的預報有很大的助益。最早 Byer 及 Bram 在 1949 年曾述及雷雨的移動主要是受雲層內平均風場的影響，接著 Browning and Ludlanm 1962; Browning and Donaldson 1963; 以及 Browning 1964 更指出劇烈的 Supercell 風暴會緩慢地往平均氣流的右邊移動，Newton and Katz 1958 亦指出風暴往平均氣流右方 25° 左右的方向移動；而 Newton and Frankhouser 1964 更指出風暴的移動與其之大小有關，且其中有很大的差異，另外在最近 Weaver 1979 則指出有一些劇烈風暴會朝著邊界層輻合區移動。綜合上述，我們可以知道對流系統之移動方向與風場間的關係實在是衆說紛紜，莫衷一是，然而我們所真正關心的答案則是此類的風暴在本省附近地區究竟是如何的移動呢？

因此本節中針對在本省附近所產生之對流系統雲系，根據雲系外圍附近的探空站所得之風場來探討雲系移動與其附近風場間之關係，以作為未來短期預報之參考。表三為文中所選個案與風場間的關係資料表，由表中可知在本省附近產生之 MCC 系統或是在華南初生後移至本省附近的 MCC 系統，其雲系的移動方向大體上是與高層 200 毫巴及低層 850 毫巴之平均氣流方向一致；而比 MCC 較小的中 - β 尺度（100 ~ 200 公里）型對流雲系則大部較與 300 毫巴和 850 毫巴氣流之風切方向一致；另外對於較小的中 - β 尺度（幾十公里）型系統而言，它的移動方向則與 500 毫巴氣流方向一致。圖 12 介紹一組 MCC 系統移動與風場的關係圖；圖 13 介紹一組中 - β 型系統移動與風場的關係圖。

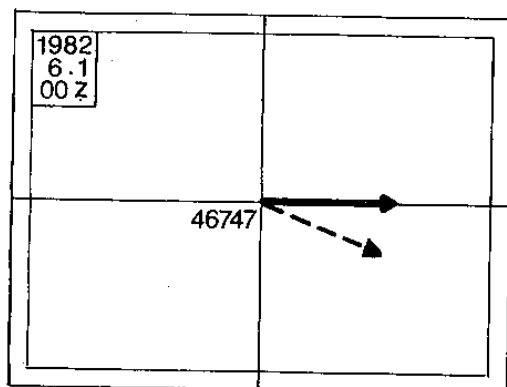
四、豪雨與中尺度強迫機制

由傳統探空觀測網資料的分析，僅可界定出有利於發生豪雨的廣大區域，而實際上對流雲系却常局限於在某一較小範圍內發展，同時劇烈風暴並非會在廣大的有利區域內得以隨意發生，而是具有相當的組織性。可見有組織的對流系統僅在有利於對流發展的一小部分地區內發展，因此吾人應可相當合理地假定中尺度強迫機制在決定劇烈風暴爆發時的時間、地點及組織結構在其過程中所扮演的重要角色。中尺度強迫機制通常缺乏足夠的能量來克服不利的大尺度形勢，但若已存在有利的環境則中尺度強迫機制將決定對流發生的時間及地點。一般的中尺度強迫機制可能有好幾種，其中最常見也最容易被衛星偵測到的有兩種，其一為低層外流邊界（Outflow boundary），這種機制在雲圖上是以弧狀雲線（Arc line）來顯示其存在的證據，另外一種就是鋒面強迫機制。利用衛星雲圖資料來偵測弧狀雲線激發機制，最早是由 Purdom（1973, 1976）提出，說明弧狀雲線若與其他界面（如鋒面、陣風面、海陸鋒面及颱風線等）有相交的情形時，其交界處常可產生劇烈的天氣。Simpson（1980）更認為陣風鋒面有助於雲區的合併，而使得合併後的雲區產生較大的降水。

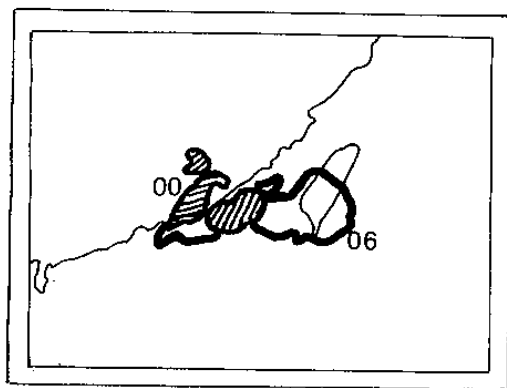
本節乃是探討本省至華南地區，此種激發機制的特性及現象，以作為豪雨即時預報之有力參考資料。圖 14 為每隔半小時日本 GMS 紅外線雲圖資料，從圖上可以看出如 A 所指在本省外海地區有一條弧狀雲線很明顯的移動及發展，此弧狀雲線不但激發出新的對流系統，且在與鋒面的相交處即新竹外海附近產生很強的對流胞，造成了新竹地區在 9 ~ 10 地方時間的一小時內有 88.7 公厘的降水量，另外如圖中 B 所指處亦有此種現象的發生。去年（1984 年）6 月 3 日台北地區發生嚴重的水災，如圖 15 顯示亦有很明顯的弧狀雲線激發現象，此個案可參見丘，劉 1985 年文中所討論的內容。除前段所述外，弧狀雲線亦有加強原來對流系統的現象，如 1983 年 5 月 13 日造成恒春、大武地區豪雨的



(a)

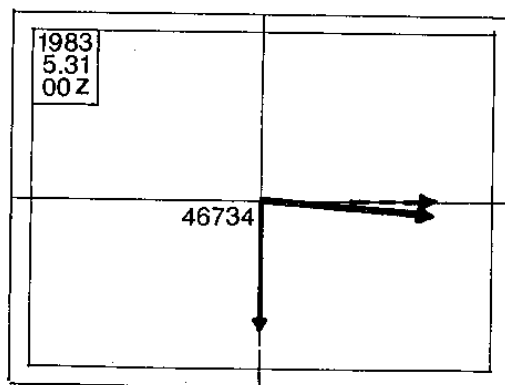


(b)

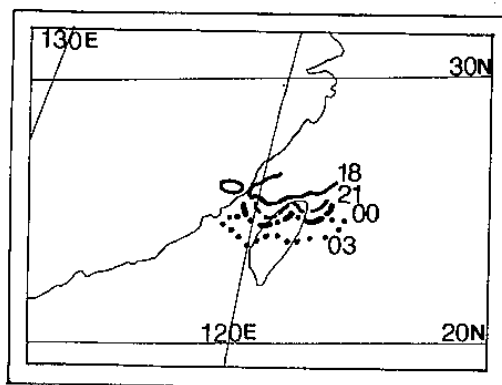


(c)

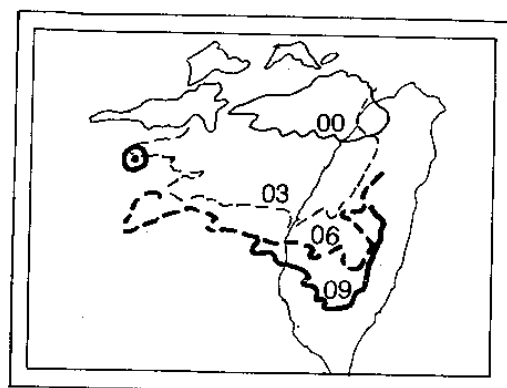
- 圖12. 探空風場與 MCC 系統雲系移動的關係圖 (個案時間: 1982, 6, 1, 00-06)。
- (a) 46692 探空站風場示意圖實線表示 850 mb 與 200mb 平均風場, 虛線表示 500 mb 風場)。
- (b) 46747 探空站風場示意圖 (圖說同(a))
- (c) MCC 雲系追蹤圖 (雲系範圍表示雲頂溫度低於 -63°C)。



(a)



(b)



(c)

- 圖13. 探空風場與 Meso- β 系統雲系移動的關係圖 (個案時間: 1983, 5, 31):
- (a) 46734 探空站風場示意圖 (細實線表示 850 mb 與 300mb 風切, 粗實線表示 850 mb 與 200mb 平均風場, 虛線表示 500mb 風場)。
- (b) 衛星雲圖雲系追蹤, 時間為 1983 年 5 月 30 日 18Z 至 5 月 31 日 03Z。
- (c) 高雄雷達站降水回波追蹤圖, 時間為 1983 年 5 月 31 日 00Z 至 09Z。

R 220Z 81 MAY 27 ZD



(a)

R 230Z 81 MAY 27 BD



(c)

SI 1P 223Z 81 MAY 27 AD



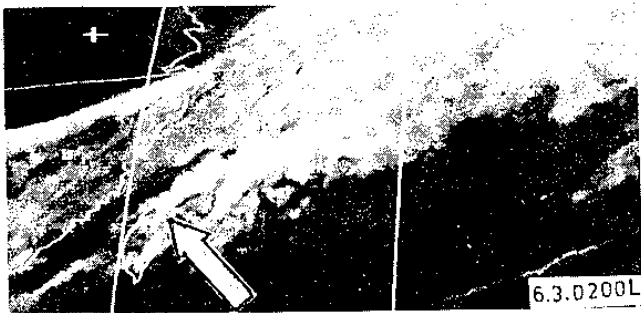
(b)

SI 1P 233Z 81 MAY 28 00Z

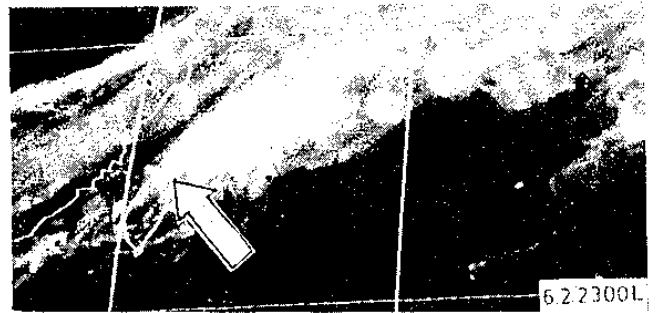


(d)

圖14. 日本GMS - 1 衛星每半小時間隔的連續紅外線雲圖 (時間為1981年5月27日22Z至5月28日00Z) 圖中A, B所指處為對流胞生成處。



(a)



(b)

圖15. Meso- β 對流系統發展的GMS衛星雲圖分析與追蹤 (個案時間為1984年6月2日2300L至6月3日0200L) :

(a)本省西北端有一弧狀雲線產生, 如箭頭所指處。

(b)本省西北端產生尺度較小之對流, 如箭頭所指處。

MCC 系統以及 1983 年 6 月 18 日高雄地區的豪雨個案，均顯示與低層外流邊界的強迫作用有關，此外弧狀雲線亦可激發或加強午後雷雨的現象如 1981 年 6 月 30 日（見圖 16），圖 17 為顯示鋒面激發對流系統之現象。綜合以上所述可知此類弧狀雲線及鋒面的中尺度強迫作用將足以決定系統發生的位置及豪雨之強度，這一點在短期預報上尤其是對強烈降水的預報而言，實在是一項很有力的參考工具。

五、實例說明

本文中並針對以上所做的個案整理與彙總結果，舉出三個最為明顯的中-β 尺度對流系統之豪雨案例（民國 70 年 5 月 28 日新竹、桃園地區，72 年 5 月 31 日新竹地區及 73 年 6 月 3 日台北地區）做為說明。這三個案例在以綜觀尺度的觀點做過部分的重新分析後，基本上都具有以下的幾點共同性質，而這些性質也都與其他個案有極為相似之處：

(一)對風場而言

在接近本省西側與西北側的區域內，其低對流層如 850 毫巴及 700 毫巴上都具有 30 海裡以上的噴氣氣流（如圖 18a，18b，18c），不難發現最大風速軸的位置適巧位在本省中北部的上空，同時低對流層上風場的分佈則顯示有合流（confluence）的情形。另外在圖 19 中，說明在對高對流層如 200 毫巴的風場分析後，顯示在低對流層合流區上空，亦即本省北部及中北部地區上空則存在有明顯的噴射氣流分流（diffluence）現象，這種高低層風場的配置似乎可以提供我們在預報豪雨作業時的一項有利參考因子。

(二)對溫度場而言：

吾人在對溫度場重新考量後，可以在 850 毫巴上分析出在鄰近本省地區附近，具有冷舌出現於暖舌西側的溫度分佈（圖 18a，18b，18c）配合當地的 850 毫巴與 700 毫巴的風場分佈，則顯示在本省附近有所謂的冷暖平流的相遇。在圖 18c 中或許暖舌的型態不甚明顯，但基本上可以發現部分分支冷空氣正好與西南方向來的氣流在同一區域內出現

而形成南來空氣爬升於冷空氣之上的態勢。

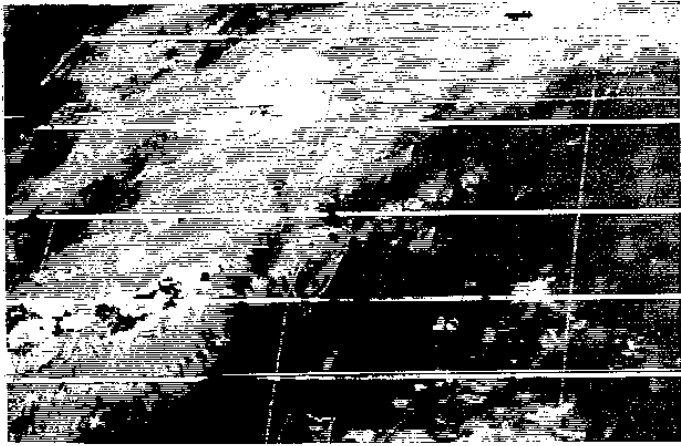
(三)對濕度場而言：

我們在分析低對流層的濕度場時，在 850 毫巴上呈現的分布型態如圖 18a，18b，18c 所顯示的情形，基本上在本省附近地區 $T - T_d < 3^\circ\text{C}$ 的等值線大致位在本省的西側配合低對流層的風場分佈，說明了在低對流層有水汽的傳輸，提供了豪雨系統的水汽來源。在高層水汽的考量方面，由圖 18a，18b，18c 中，我們可以看到 500 毫巴上 $T - T_d < 6^\circ\text{C}$ 的分佈在型態有所不同，但基本上也顯示了上層的潮濕區存在於本省的北部地區，或許對整個豪雨系統的發展更有加強的效果。

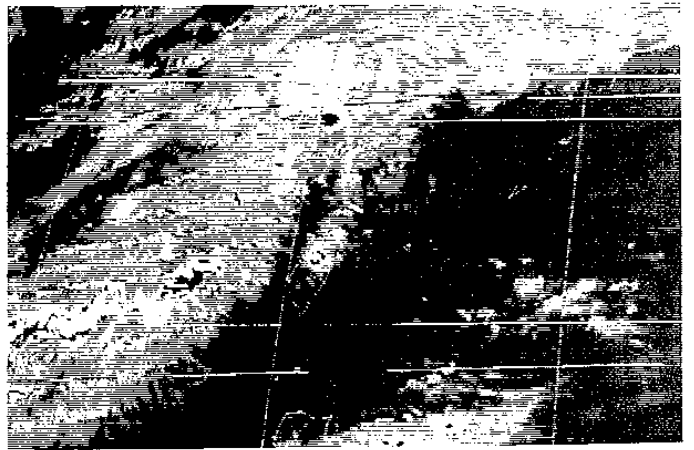
(四)對天氣系統而言：

從綜觀天氣圖的分析中，（圖 20a，20b，20c）吾人發現地面與 850 毫巴上的鋒面皆位在本省北部的海面上，而且基本上呈現近似東西走向的型態，這個現象或可說明鋒面的接近本省北部與豪雨的發生有很大的關聯。另外若再加以仔細的分析，更可以發現所謂的南支短槽（圖 20a，20b，20c 中的細虛線）在所舉出的三個案例裏都存在於本省的西側。此類的短槽主要發生在 850 毫巴（如 73，6，3）或 700 毫巴上（如 70，5，28 及 72，5，31），吾人並可自追蹤這些短槽與北方天氣系統的移動中（圖 21），發現這些短槽與所在層面上的北方橫槽或鋒面於接近本省北部的區域內有產生交互作用的現象，進而造成豪雨系統的發展。我們除了以上以綜觀觀點的分析後，再對這三個案以中尺度的觀點予以更仔細的分析後，由圖 22a，22b，22c 中顯示在個案發生前的一段時間內，確實存在有中尺度的低壓環流，因此正好可以配合綜觀的觀點說明該系統的發展絕非偶然。

站在較短期預報（12 小時內）或即時預報的觀點上，我們對於本文中所舉的三個案例更加強了由雷達觀測所得回波型態上的研究，目的在於協助預報作業單位在發現前述的豪雨綜觀天氣型態後的 12 小時內，加強對於雷達回波的監視與考慮，以提供從事即時預報時的參考，及時的發出預警將災害減至最低。

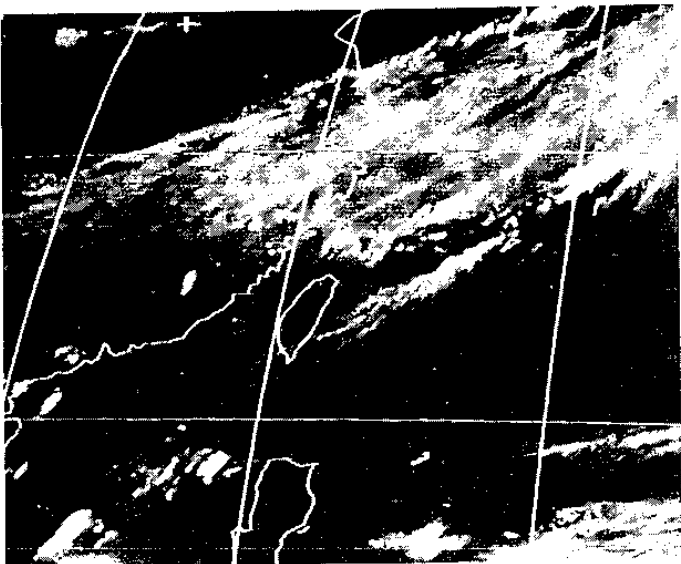


(a)



(b)

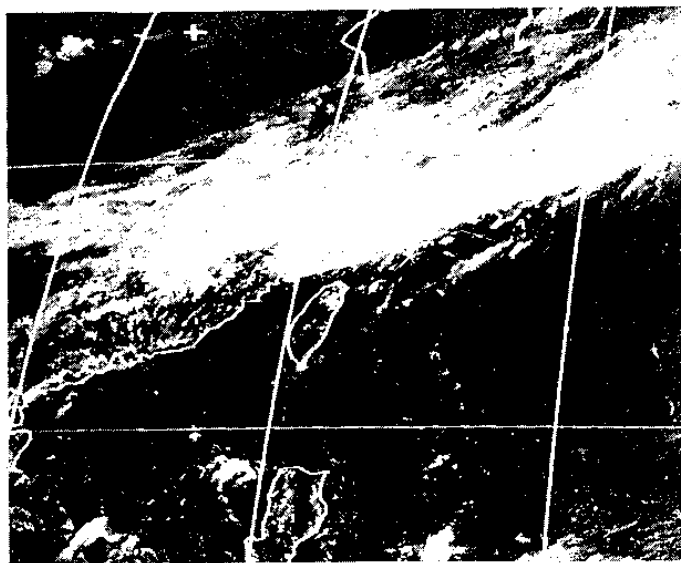
圖 16. (a) 1981 年 6 月 30 日 6Z 色調強化雲圖。
(b) 1981 年 6 月 30 日 09Z 色調強化雲圖。



(a)



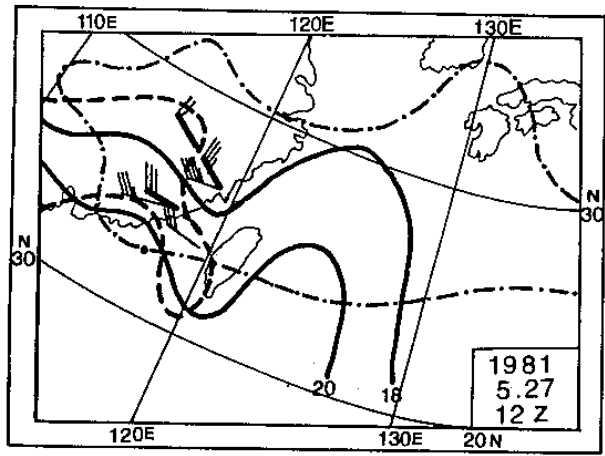
(c)



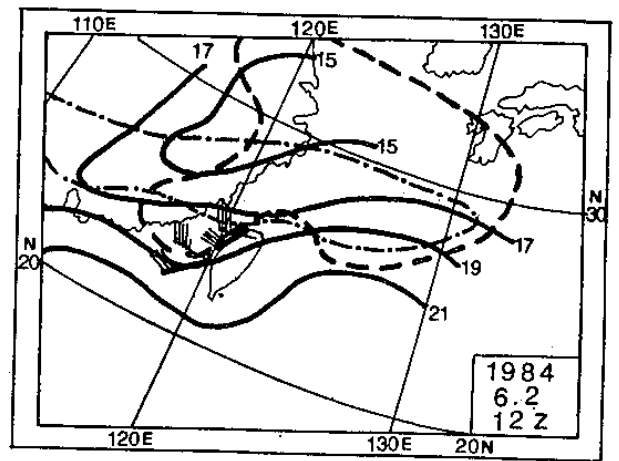
(b)

圖 17. 從氣象衛星雲圖資料偵測鋒面中尺度強迫機制現象之案例：

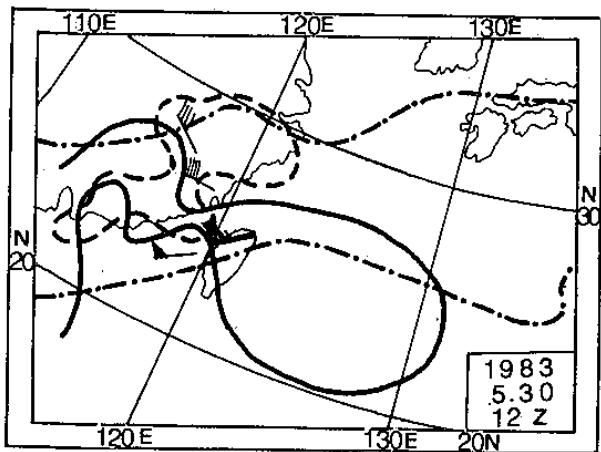
- (a) 1984 年 6 月 10 日 03Z , GMS , IR
- (b) 1984 年 6 月 10 日 03Z , GMS , VIS
- (c) 1984 年 6 月 10 日 07Z , NOAA , VIS



(a)



(c)



(b)

圖18. 豪雨個案發生前12小時，溫度場、濕度場及風場之分佈型態圖：

(a) 1981年5月27日12Z (70, 5, 28新竹、桃園水災)

(b) 1983年5月30日12Z (72, 5, 31新竹地區水災)

(c) 1984年6月2日12Z (73, 6, 3 北部地區水災)

粗實線表 850mb 溫度線

粗虛線表 850mb $T - T_a < 3^\circ\text{C}$ 之等值線

點虛線表 500mb $T - T_a < 6^\circ\text{C}$ 之等值線

粗風桿表 850mb 風場

細風桿表 700mb 風場

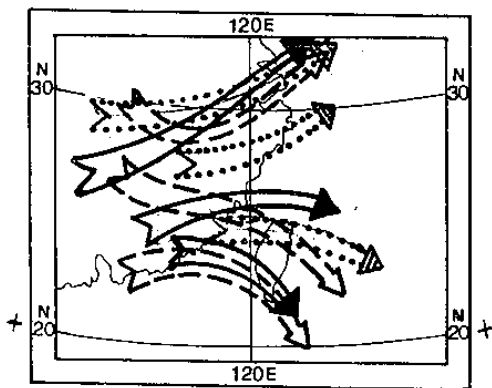


圖19. 豪雨個案發生前12小時，200mb上噴射氣流之分佈型態示意圖。

實箭頭：1981年5月27日12Z

空箭頭：1983年5月30日12Z

線箭頭：1984年6月2日12Z

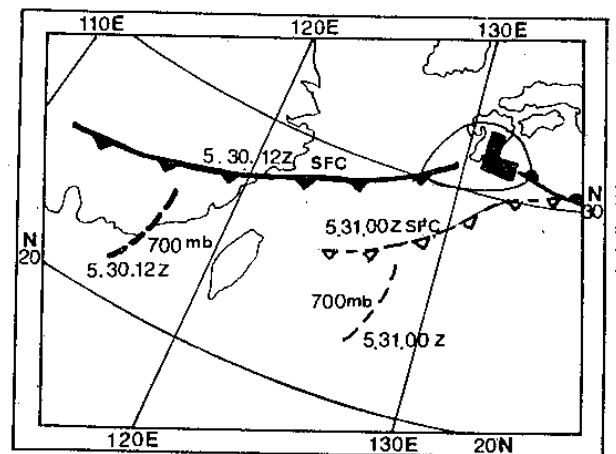
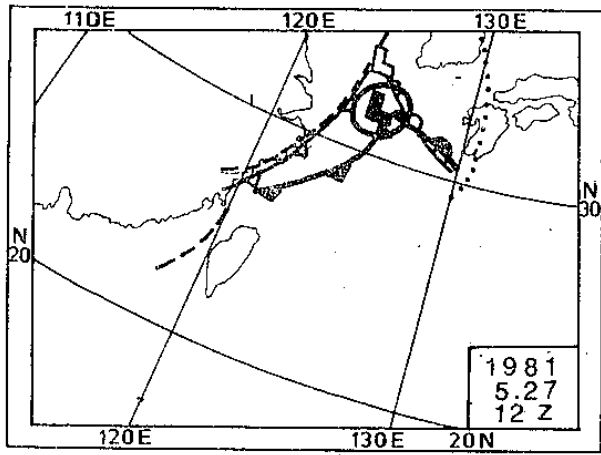
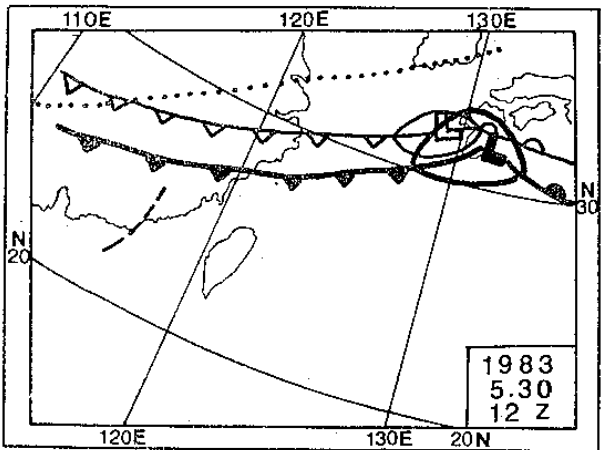


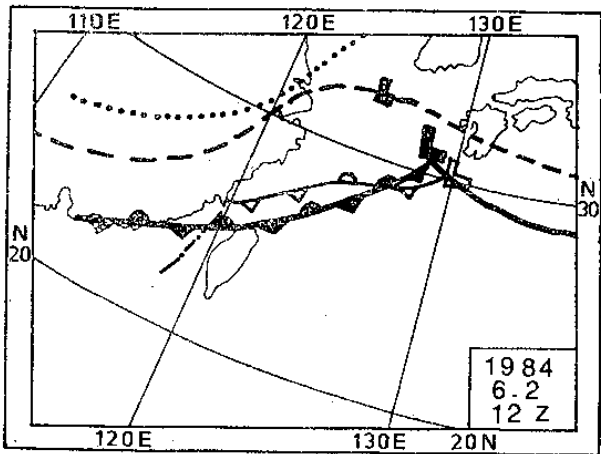
圖21. 72年5月31日豪雨個案之天氣系統分析追蹤圖。



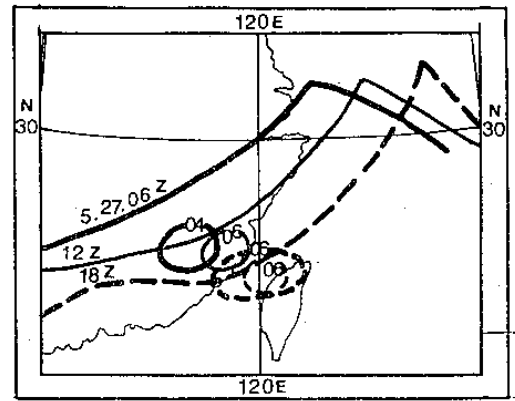
(a)



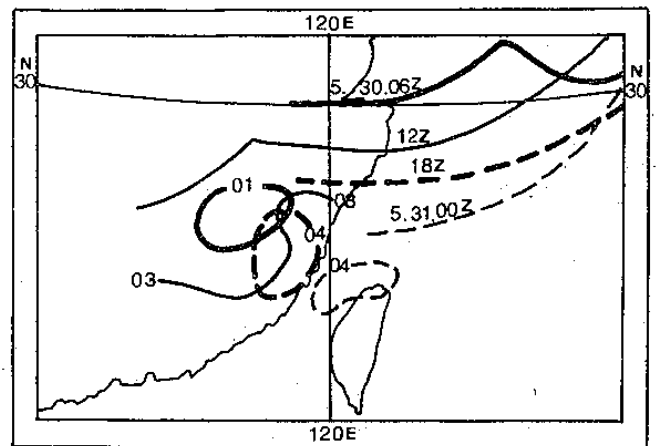
(b)



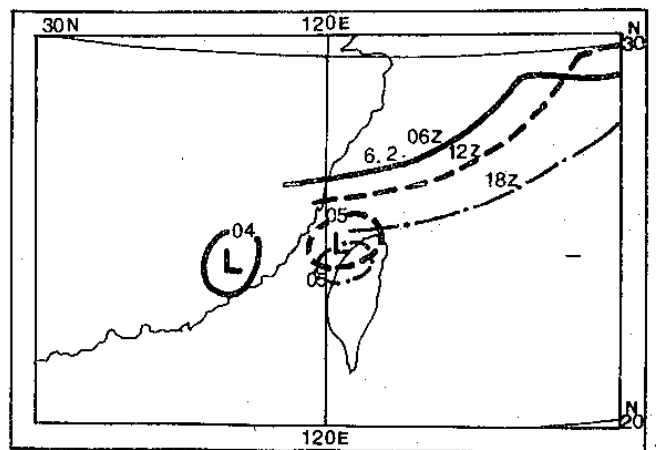
(c)



(a)



(b)



(c)

圖20. 豪雨個案發生前12小時綜觀天氣圖之型態:

(a)本省西邊有700mb短槽

(b)本省西邊有700mb短槽

(c)本省西邊有850mb短槽

粗實線：地面鋒面 點線：500mb槽線

細實線：850mb鋒面 點虛線：850mb槽線

虛線：700mb槽線

圖22. 豪雨個案之中尺度分析追蹤圖:

(a) 1981, 5, 27, 06Z ~ 5, 27, 18Z

(b) 1983, 5, 30, 06Z ~ 5, 31, 00Z

(c) 1984, 6, 2, 06Z ~ 6, 2, 18Z

在70年5月28日個案裏的雷達回波連續圖23可以發現主要的降水回波原先在5月27日17Z是由金門以北的中國大陸沿岸東移出來並於28日00Z左右進入本省陸地，其強度約在30/4左右(高雄雷達觀測報告)造成北部地區(新竹)的劇烈降水(88.7mm/H)，而後在此回波的南邊有新的回波產生並加強，似乎顯示回波有南移的現象，並且只南移至中部地區滯留後便行消失，沒有影響南部地區。配合本省北部地區測站的每小時雨量分佈圖，不難發現最大降雨區的分佈也有南移並滯留的現象。雖然這些回波有的可以看出是由台灣海峽東移進入本省地區，但是吾人從綜觀天氣圖中確曾發現地面鋒面與850毫巴鋒面也有南移但沒有通過本省南部地區的情形，這似乎說明了如此的回波型態與天氣系統間有很好的相關。

從73年6月3日個案的雷達回波連續(圖24)中可以發現幾個共同點，那就是①本個案中之回波也是由金門以北的台海地區向東移至本省北部②其強度也在30/4之譜(33/4)，③造成了北部地區(桃園)87.0mm/H的降水④，回波進入本省地區的移動情形配合最大降雨中心的移動顯示本個案的回波也沒有南下至南部地區。嚴格來說，本個案中之回波主要是直接通過本省北部地區後即行出海與70年5月28日個案回波曾南下至中部地區有所不同，但是若從圖18a與圖18c比較來看，就不難解釋其因。由圖18a中顯示本省附近的850毫巴及700毫巴風場以西風或西北風為主極有可能推動回波向南移，而自圖18c中則顯示本省附近的850mb及700mb有較強之西南噴射氣流似乎阻止了回波的南下，因此即使是同樣的回波發生型態，相同的最初影響區域，尚需考慮附近的風場分佈，才能判定後續的回波移動趨勢。

從72年5月31日個案的高雄雷達回波連續圖(圖25)中再度顯示5月30日18Z出現的回波，主要發生在金門以北地區而後向東移出並擴大加強，其接近本省北部地區的回波部分強度也達到30/4(33/4)的等級造成00Z時新竹地區84.6mm/H的劇烈降水。基本上回波帶漸有加強並南移的現象，同時在

5月31日09Z後回波即在中部山區附近消散，這個情形則與鋒面過境後低對流層中出現偏西北風，推動回波向南移動有關。

六、結 論

本文利用氣象衛星雲圖以及雷達降水回波圖，配合地面及高空的降水資料與傳統觀測資料，針對1981~1984年5~6月的梅雨季期間在本省地區附近所發生的大雨及豪雨個案，加以彙總分析，特別著重於探討產生大雨與豪雨的對流系統特性、移動趨勢及所伴隨之大尺度環流形態，並舉出三個豪雨個案的實例做為說明。由文中所做的分析與探討，可歸納成下述幾點結論：

(一)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劃分成①中尺度對流複合型(簡稱MCC，水平尺度250—2500公里)②中-β(Meso-β)尺度型(水平尺度25—250公里)③颱風直接環流影響型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。

(二)MCC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，衰減中的雲系僅致小雨或無雨。

(三)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層850毫巴與高層200毫巴的平均氣流方向較為一致。

(四)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。

(五)在110°E以西生成之MCC系統不會影響到台灣地區，僅有在110°E以東生成之MCC系統才有可能影響到本省。

(六)在福建、廣東地區產生之MCC系統通常在移

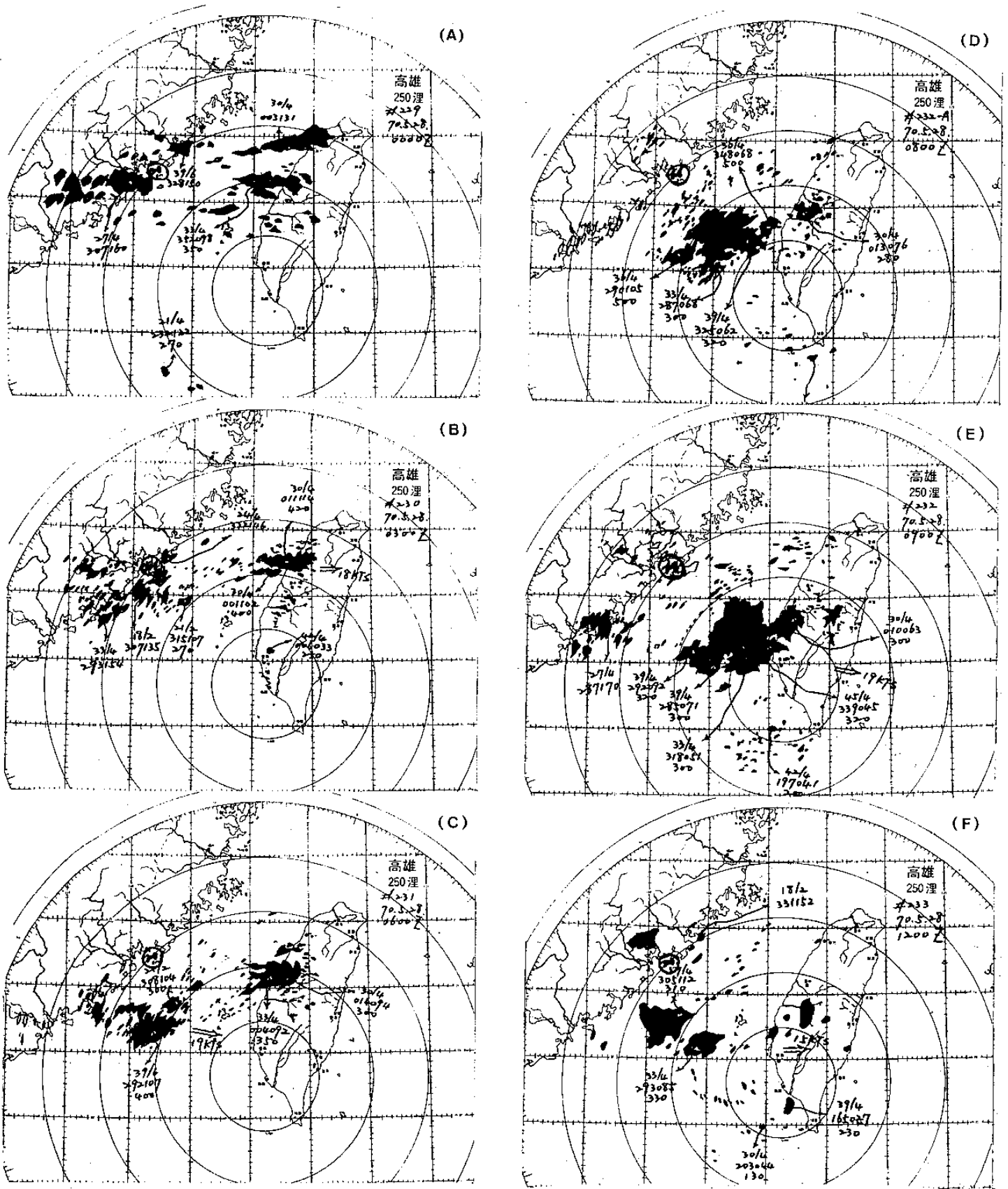


圖23. 1981年5月28日00Z~5月28日12Z高雄雷達站降水回波連續追蹤圖：
 (a) 5, 28, 00 Z (b) 5, 28, 03 Z (c) 5, 28, 06 Z (d) 5, 28, 08 Z (e) 5, 28, 09 Z (f) 5, 28, 12 Z

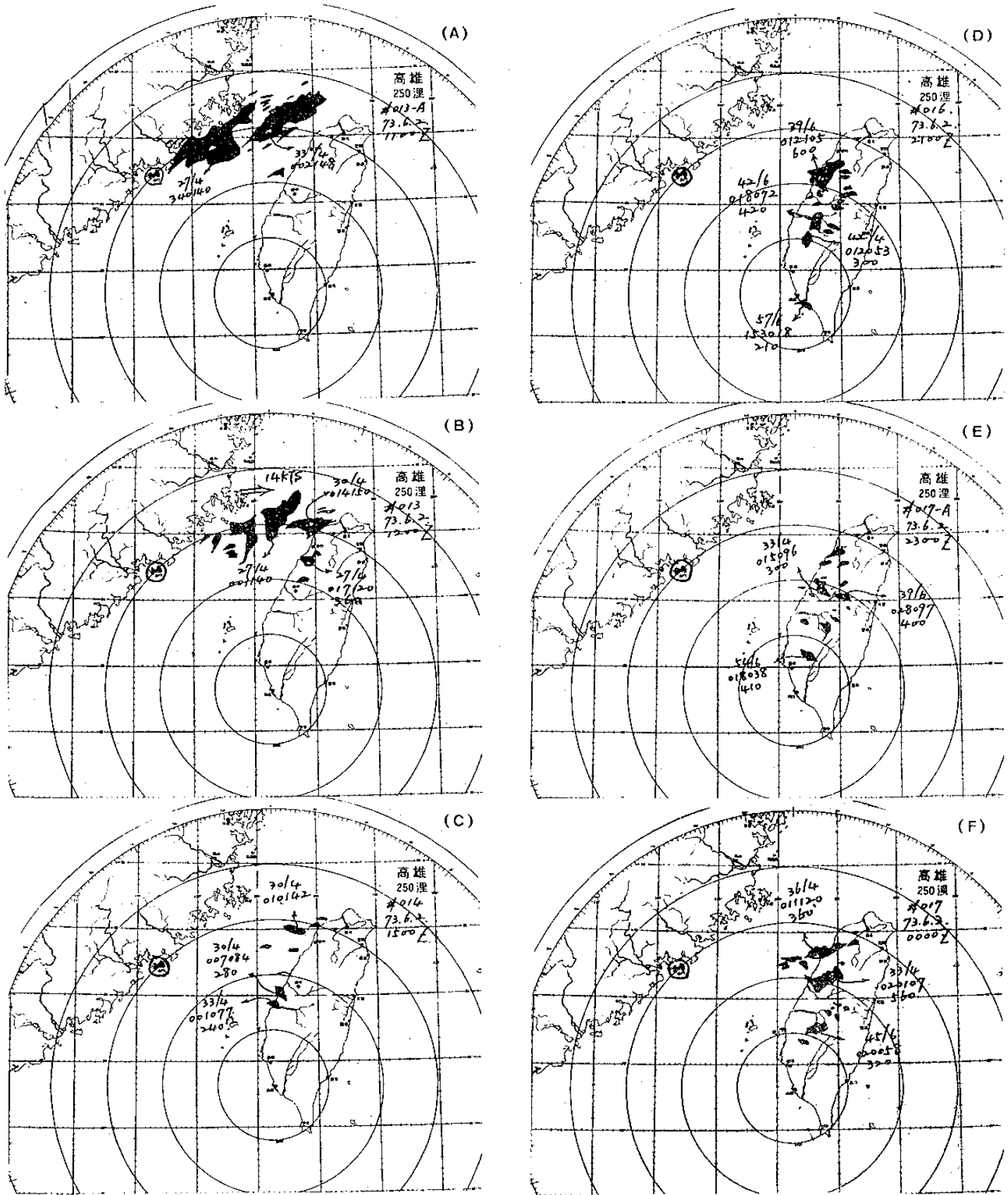


圖24. 1984年6月2日11Z~6月3日00Z高雄雷達站降水回波連續追蹤圖：

(a) 6, 2, 11Z (b) 6, 2, 12Z (c) 6, 2, 15Z (d) 6, 2, 21Z (e) 6, 2, 23Z (f) 6, 3, 00Z

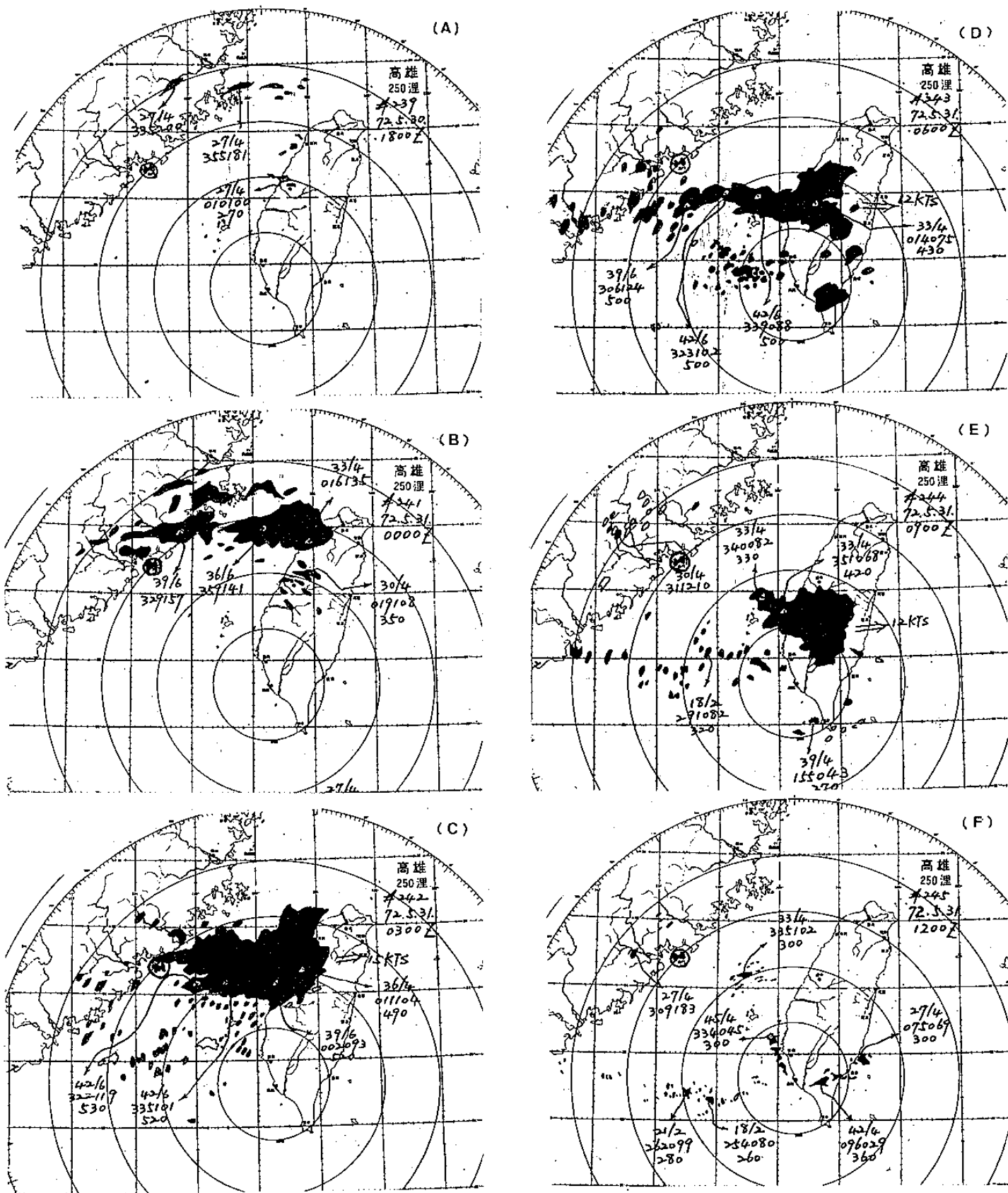


圖25. 1983年5月30日18Z~5月31日12Z高雄雷達站降水回波連續追蹤圖：

(a) 5,30,18Z (b) 5,31,00Z (c) 5,31,03Z (d) 5,31,06Z (e) 5,31,09Z (f) 5,31,12Z

出陸地後向東南東或東移動而影響到本省南部地區。

(七) MCC 系統的生命期平均約在 14.5 小時左右，移動速度平均約為 17 哩/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。

(八) 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，配合中層短槽的移入，加上高層的輻散所引起。

(九) MCC 系統根據其不同的發生位置，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。

(十)中- β 尺度型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。

(十一)中- β 尺度型對流系統一般而言，主要是受 850 毫巴及 300 風切氣流方向的影響而移動，對於較小一點的中- β 尺度型系統其移動方向則主要受 500 毫巴氣流影響。

(十二)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及此對流系統的生命期與雲系溫度梯度之分布，以判別此對流系統是否會發展及產生影響。

(十三) MCC 系統由於生命期較長（與中- β 尺度型系統比較），因此大致上可以根據其發展的階段、移動的方向及其所伴隨的環流形態等重點考慮因素予以分析並加以預報。至於中- β 尺度型系統而言，因較偏重於突發性所造成的現象而較難捉摸，因此建議以目前觀測資料的解析度（空間、時間）在做預報時，除了應考慮大範圍的環境條件外，尚須藉著較綜觀分析更為仔細分析的方法來補其不足之處。

(十四)由三個豪雨個案的實例說明中，可以發現低層噴射氣流，暖平流、短槽以及高層的外流輻散均為造成豪雨發生之有利氣象條件。更自雲系分析中發現弧狀雲線與鋒面相交處可以產生較大的降水。

(十五)在三個豪雨個案中所做的雷達回波分析中，更可以發現在金門以北的大陸沿岸至台灣海峽間的區

域內所產生的回波，一般而言是先移至本省北部地區，有時配合鋒面的移動或是適當的風場可以使回波移至中部地區；而發生在金門以南的大陸沿岸（福建、廣東）至台灣海峽間的回波雖然有時會受環境風場之影響而有部分回波移至北部地區的現象，但主要仍是對南部地區產生較大的影響，這一點與分析衛星雲圖資料所得的結論有極為相似之處。

我們對於豪雨預報的問題基本上有下列幾點建議：

(1)在梅雨季期間除了考慮大範圍的環境條件外，尚須藉著較綜觀尺度分析更為仔細分析的方法來補其不足之處。

(2)在對流系統出現後，在衛星雲圖資料的應用方面，希望除了色調強化的處理外能再加強溫度與灰度相關的數據化處理，如此會對降水區域及強度的判定有很大的幫助。

(3)在對流系統出現在大陸沿海地區時，我們建議在雷達觀測方面希望能加強觀測次數，最好是以 15 分鐘至 30 分鐘之間隔為佳，如此才能便於實際追蹤回波的移動情形。另外應做回波強度與降水量間的校正校驗（calibration）以建立兩者間的良好關係，這對於預報作業來說將有極大的幫助。

雖然本研究中所蒐集之個案資料仍有所不足，然而所得之結論却是經過仔細分析彙總後的結果，因此將以此初步的預報模式雛形繼續的收集資料從事研究，並不斷的加以驗證與修正，企圖建立一套對豪雨短期預報有所助益的預報模式。

致 謝

本文之完成，感謝中大陳景森教授提供寶貴意見，以及科技中心同仁幫忙作表繪圖。此外衛星站及高雄雷達站提供寶貴圖片資料在此一併致謝。

參考文獻

丘台光、洪理強、廖學鎰，1982：民國 70 年 5 月 28 日豪雨之個案研究，中範圍天氣系統研討會論文彙論，233~247。

丘台光，1983：華南及鄰近地區之中尺度對流

系統之研究，碩士論文，中央大學大氣物理研究所，92頁。

丘台光，1984：華南地區中尺度對流複合系統對飛航之影響。航空氣象與飛航安全研討會論文彙編，27-36。

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，第11期，85-100。

丘台光、劉復誠，1985：民國73年6月3日台灣北部地區豪雨之個案研究。大氣科學，第12期，93-102。

曲克恭及劉廣英，1982：台灣地區豪雨及暴雨量分佈之研究。氣象預報與分析，92，30-55。

紀水上、陳泰然 1984：1981年5月27-28日華南及臺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，95-115。

張鳳儀、林沛練、徐天佑及劉廣英，1982：局部暴雨特性之分析研究。中範圍天氣系流研討會論文彙編，317-328。

Maddox, R.A., 1980: Mesoscale convective complexes. *Bul. Amer. meteor. Soc.*, 61, 1374-1387.

Maddox, R.A., C.F. Chappell, and L.R. Hoxit, 1978: Meteorological conditions associated with significant flash floods. *Preprints Conf. on Weather Forecasting and Analysis and Aviation Meteorology*, *Am. meteor. Soc.* 44-51.

Purdon, J.F.W., 1973: Satellite imagery and the mesoscale convective forecast problem. *Preprints 8th Conf. Severe Local Storm*, Denver, Colo., *Amer. Meteor. Soc.*, 244-251.

Purdon, 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.

Simpson, J., 1980: Downdrafts as linkages in dynamic cumulus seeding effects. *J. Appl. meteor.*, 19, 477-487.