

# 初春華南中尺度對流複合系統之個案研究

國立臺灣大學 大氣科學系 陳泰然  
 中央氣象局 衛星接收站 紀水上  
 空軍氣象聯隊 氣象中心 謝維權

## 摘 要

本文選取 1981 年 3 月 13~15 日發生於華南之三個中尺度對流複合體 (MCC) 個案，利用傳統地面與探空資料以及 GMS-1 紅外線雲圖，以研究初春華南地區中尺度對流系統之特徵、結構、移動與其激發機制以及消長過程。結果顯示中高對流層之速度輻散為引發、組織及維持 MCC 之大尺度強迫機制，使在不利對流發展之穩定低對流層上之 MCC 強度不致快速減弱，而以 500~300 mb 平均氣流速度東移。當中高對流層輻散場減弱或消失時，MCC 在穩定大氣層內消散。

## 一、前 言

衛星照片顯示，在美國中部暖季月份 (3~9 月) 發生有組織之中尺度對流雲系 (250~2500 公里) 之頻率很高。Maddox (1980 b) 把這些對流系統稱為中尺度對流複合體 (mesoscale convective complex; MCC)，並定義如下：

- (1) 大小：A IR 溫度  $\leq -32^{\circ}\text{C}$  之連續雲區，必須  $\geq 100,000 \text{ km}^2$ 。  
 B 內部冷雲  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  區域必須  $\geq 50,000 \text{ km}^2$ 。
- (2) 開始：開始滿足 A B 條件時。
- (3) 延時：滿足 A B 條件之時間  $\geq 6$  小時。
- (4) 最大範圍： $\leq -32^{\circ}\text{C}$  雲區範圍達最大。
- (5) 形狀：最大範圍之短軸與長軸比  $\geq 0.7$ 。
- (6) 結束：A B 條件不再滿足。

MCC 之大小超過個別雷雨 2 個數量級以上，雖然具有組織性且並非次綜觀尺度系統，但其發展與變化並不能由現行數值預報模式直接預報出來。此主要乃因 MCC 為對流強迫且有組織之系統，其物理尚不清楚，而很少被包含於數值預報之對流參

數化裡。MCC 可發生在大尺度環境具有微弱氣壓及風速之情況下，而仍然導致大範圍區域廣泛的雷陣雨。它們與輿線系統不論在地面上、衛星圖片或雷達資料上均顯出為不同類型之對流系統。MCC 之圓形雲蓋 (cloud shield) 可能表示其主要為對流強迫之中尺度環流，此與鋒前劇烈輿線之由大尺度現象 (例如強烈中對流層短波槽或地面鋒前近地層輻合) 所控制之線性結構有所不同。MCC 最顯著之特徵為其伴隨之中對流層輻合及中高對流層之平均中尺度上升區，此與熱帶區域 meso  $\alpha$  尺度雲團 (cloud cluster) 有所不同，後者為較零散之 meso  $\beta$  尺度對流雲系組成，各雲系邊緣有補償下沉氣流。Maddox (1980 b) 分析 1978 年 3~9 月美國中部之 MCC，發現其平均生命期  $\sim 16.5$  小時，當發展之後約按 700~500 mb 平均氣流移行。大部份 MCC 在午夜之後才發展至最大範圍，而後持續至早晨時間。因此，MCC 很可能為導致美國中部夜間雷雨與降水最大頻率之主要系統 (Wallace, 1975)，亦可能為導致美國中部及東部夜間暴洪頻率最高之現象 (Maddox et al., 1979)。MCC 對大氣環境之影響最顯著的

是在高對流層產生顯著冷卻及中尺度高壓擾動，而在中尺度高壓擾動伴隨有強反旋式外流 (Maddox, 1980a; Wetzel et al., 1982)。Maddox et al. (1981) 利用 Drexel-NCAR 中尺度原始方程模式研究 MCC 對環境之影響，結果支持診斷分析結果，即伴隨大雷雨複合體之中尺度對流強迫環流能顯著改變高對流層之環境條件，使生中尺度高壓及反旋式外流。1977 年 7 月 19~20 日夜間 Johnstown, Pennsylvania 之豪雨導致 76 人喪生，Bosart and Sanders (1981) 分析此個案，發現豪雨乃由一生命期達 96 小時之 MCC 導致。

自 1981 年 1 月底中央氣象局衛星接收站正式作業之後，每 3 小時的 GMS-1 雲圖提供了辨認中尺度大氣現象的有用資料，使中尺度分析研究工作稍具可行性。1981 年 3 月 13~15 日於華南地區發生有組織的中尺度對流系統，本文目的即在利用 GMS-1 雲圖與傳統觀測資料來研究這些中尺度對流系統之形成、發展與消散過程及其結構特徵。

## 二、資料與分析

本文目的在分析雲貴高原以東， $30^{\circ}\text{N}$  以南之華南地區 1981 年 3 月 13~15 日間三個中尺度對流系統之特徵、結構及生命史各階段之物理機制，故所用資料包括兩類，一為傳統地面及探空觀測資料，另一為日本同步氣象衛星 (GMS-1) 之雲圖資料。前者分析範圍在  $15^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$  與  $100^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$  之間，探空資料以中央氣象局預報中心及空軍氣象中心所填繪之作業圖為主，同一測站若有電碼來源不同而資料有異者，經主觀判斷採取較合理者 (即比較周圍測站及靜力平衡條件)，若同一測站資料有異而無法取捨，則從缺，如此可得相當完整的綜觀尺度分析，其結果將於下節討論。為配合人造衛星雲圖之中尺度對流觀測，華南地區之地面天氣圖則參考中央氣象局每 6 小時之乙種圖，分析鋒面、氣壓場、等變壓場及雷陣雨區。圖 1 所示為華南地區大氣穩定度分析所採用的探空站分佈。

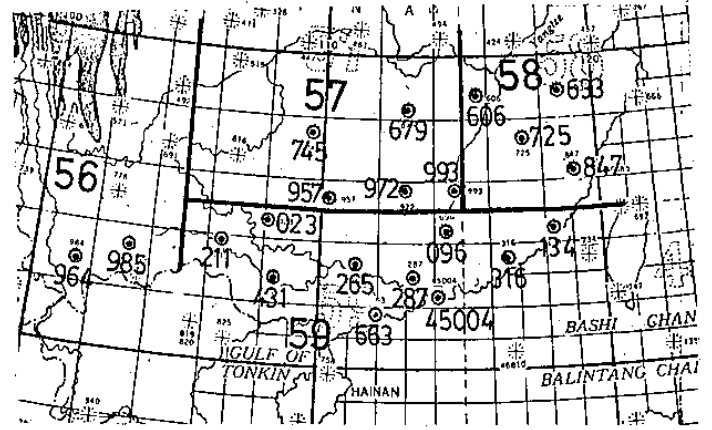


圖 1：華南地區用於分析  $\theta$  分佈之探空站。

GMS-1 有可見光及紅外線兩個頻道，其波長分別為  $0.55\sim 0.75\mu$  及  $10.5\sim 12.5\mu$ ，其解像度在衛星所在位置 ( $0^{\circ}; 140^{\circ}\text{E}$ ) 直下點 (subpoint) 分別為 1.25 公里及 4.0 公里。本文目的在研究中尺度對流系統，欲從衛星觀測確定對流強度、範圍、中心等，故以紅外線圖片為主，其觀測時間分別在 00, 03, 06, 09, 12, 16, 18, 21 GMT。欲求得上述中尺度對流雲參數，採用兩種分析方法，一為雲圖影像已存錄於磁帶者，以電算機進行影像色調強化 (enhancement)，以求出雲頂溫度。另一為雲圖影像未錄於磁帶者，則利用紅外線雲圖以 MacBath TR 527 型濃度計 (densitometer) 求其相對亮度再求雲頂溫度。

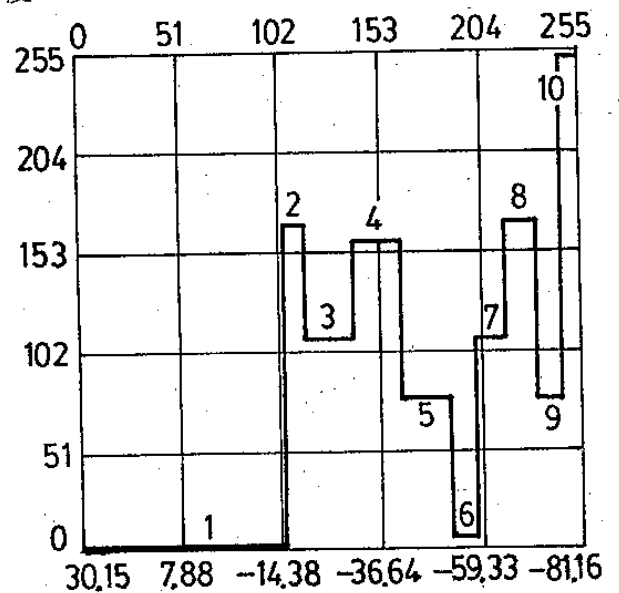


圖 2：影像色調強化曲線之十級溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) 範圍區分 (MCC 曲線)。

圖 2 所示為所採用之影像色調強化曲線之十級溫度範圍。橫軸為雲頂溫度，縱軸為影像之灰度值 (grey shade counts)。兩者各分為 256 等級，前者溫度由左而右其值為  $31.3^{\circ}\text{C}$  至  $-81.2^{\circ}\text{C}$ ，後者由下而上灰度等級由黑漸漸變白，即灰度值越大則越白，相當於越低之溫度 (黑體輻射)。此十級溫度之間隔及其色調強化之灰暗度 (grey scale) 如表一所示。圖 3 為 1981 年 3 月 14 日

表一：色調強化曲線之十級溫度間隔與灰暗度 (參見圖 2)

溫度切割等級	溫度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	灰暗度
1	+ 31.3 ~ -15.7	黑
2	- 16.1 ~ -20.5	輕灰
3	- 20.9 ~ -31.8	中灰
4	- 32.2 ~ -41.0	輕灰
5	- 41.4 ~ -52.4	暗灰
6	- 52.8 ~ -58.0	黑
7	- 58.5 ~ -62.4	中灰
8	- 62.8 ~ -71.6	輕灰
9	- 72.0 ~ -78.1	暗灰
10	- 78.5 ~ -81.2	白

0000 與 0300 GMT 中尺度對流系統 A 之色調強化雲圖，如此可確定雲頂溫度 (或高度) 及某溫度間距之對流雲範圍。由圖 3a 可見，由雲系之外圍向雲內共顯示 6 級，分別為黑色 ( $+ 31.3^{\circ}\text{C} \sim - 15.7^{\circ}\text{C}$ )、輕灰色 ( $- 16.1^{\circ}\text{C} \sim - 20.5^{\circ}\text{C}$ )、中灰色 ( $- 20.9^{\circ}\text{C} \sim - 31.8^{\circ}\text{C}$ )、輕灰色 ( $- 32.2^{\circ}\text{C} \sim - 41.0^{\circ}\text{C}$ )、暗灰色 ( $- 41.4^{\circ}\text{C} \sim - 52.4^{\circ}\text{C}$ ) 及黑色 ( $- 52.8^{\circ}\text{C} \sim - 58.0^{\circ}\text{C}$ )。同時由該圖可發現在雲系中間有兩黑色色區，此即為中尺度對流系統之兩個中心，若黑色區域範圍較大則取其幾何中心 (如圖 3b)。

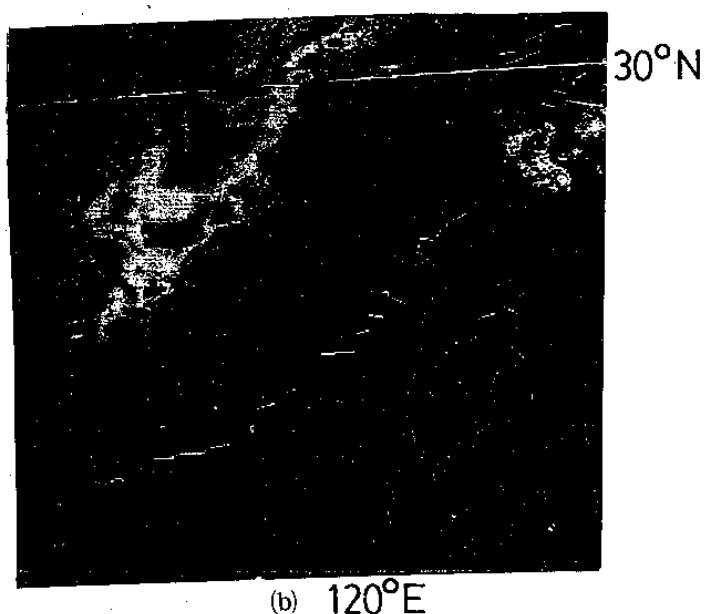
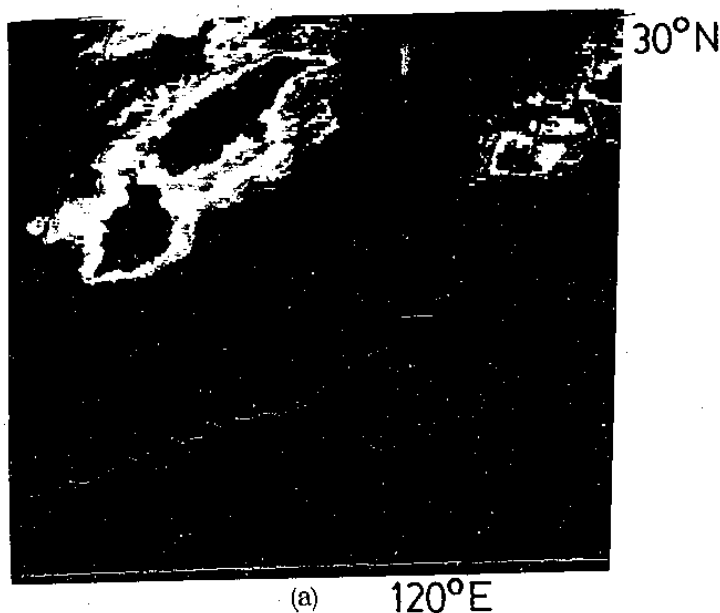


圖 3：1981 年 3 月 14 日 (a) 0000 GMT 與 (b) 0300 GMT 之紅外線衛星雲圖色調強化。

利用濃度計求取紅外線雲圖之雲頂溫度時，首先測定出雲系之最強穿透率，此即為對流雲系中心所在。再由濃度計測出衛星雲圖影像底片之影像亮度等級 (grey-scale image brightness level)，之後以表二之亮度等級與溫度對照表求取雲頂溫度。

表二：GMS-1 影像亮度等級與溫度對照表 (摘自 1980, JMA "The GMS user's guide")。

亮度等級	溫度 (°K)	亮度等級	溫度 (°K)
0	-301.55	32	247.43 - 245.68
1	301.55 - 299.81	33	245.68 - 243.93
2	299.81 - 298.06	34	243.93 - 242.19
3	298.06 - 296.32	35	242.19 - 240.44
4	296.32 - 294.57	36	240.44 - 238.70
5	294.57 - 292.82	37	238.70 - 236.95
6	292.82 - 291.08	38	236.95 - 235.20
7	291.08 - 289.33	39	235.20 - 233.46
8	289.33 - 287.59	40	233.46 - 231.71
9	287.59 - 285.84	41	231.71 - 229.97
10	285.84 - 284.09	42	229.97 - 228.22
11	284.09 - 282.35	43	228.22 - 226.47
12	282.35 - 280.60	44	226.47 - 224.73
13	280.60 - 278.86	45	224.73 - 222.98
14	278.86 - 277.11	46	222.98 - 221.24
15	277.11 - 275.36	47	221.24 - 219.49
16	275.36 - 273.62	48	219.49 - 217.74
17	273.62 - 271.87	49	217.74 - 216.00
18	271.87 - 270.13	50	216.00 - 214.25
19	270.13 - 268.38	51	214.25 - 212.51
20	268.38 - 266.63	52	212.51 - 210.76
21	266.63 - 264.89	53	210.76 - 209.01
22	264.89 - 263.14	54	209.01 - 207.27
23	263.14 - 261.40	55	207.27 - 205.52
24	261.40 - 259.65	56	205.52 - 203.78
25	259.65 - 257.90	57	203.78 - 202.03
26	257.90 - 256.16	58	202.03 - 200.28
27	256.16 - 254.41	59	200.28 - 198.54
28	254.41 - 252.67	60	198.54 - 196.79
29	252.67 - 250.92	61	196.79 - 195.05
30	250.92 - 249.17	62	195.05 - 193.30
31	249.17 - 247.43	63	193.30

### 三、綜觀分析

#### (一) 地面

圖 4 為 1981 年 3 月 13 日 2100 GMT - 15 日 0300 GMT 每 6 小時之地面鋒面位置、等壓線、等變壓線及雷陣雨區 (主要為雷雨, 小部份陣雨) 分佈。一個重要的現象為中尺度雷陣雨區域發生

於冷鋒後之低層冷空氣內。13 日 2100 GMT (圖 4 a) 雷陣雨區與最大等升壓區一致, 此顯示雷雨下沖流 (downdraft) 冷空氣在低層形成中尺度高壓使氣壓上升。雷陣雨區東方之最大負變壓中心為 6 小時之後之雷陣雨區 (圖 4 b), 顯示中高對流層之質量輻散可能為引發雷雨之機制。14 日 0300 GMT 之後之雷雨區亦均與最大升壓區一致

，顯然，中尺度雷雨區域下沖流形成之中尺度高壓已改變了綜觀尺度高壓形態，使雷雨區與高壓脊一致。14日 1500 GMT 之後華南沿海冷鋒後廣大雷

雨區所產生的局部大量氣壓上升，導致強非地轉等變壓風而使冷鋒快速南移及消失（圖 4 f）。13日 1800 GMT - 14日 0900 GMT 顯著之中尺度雷

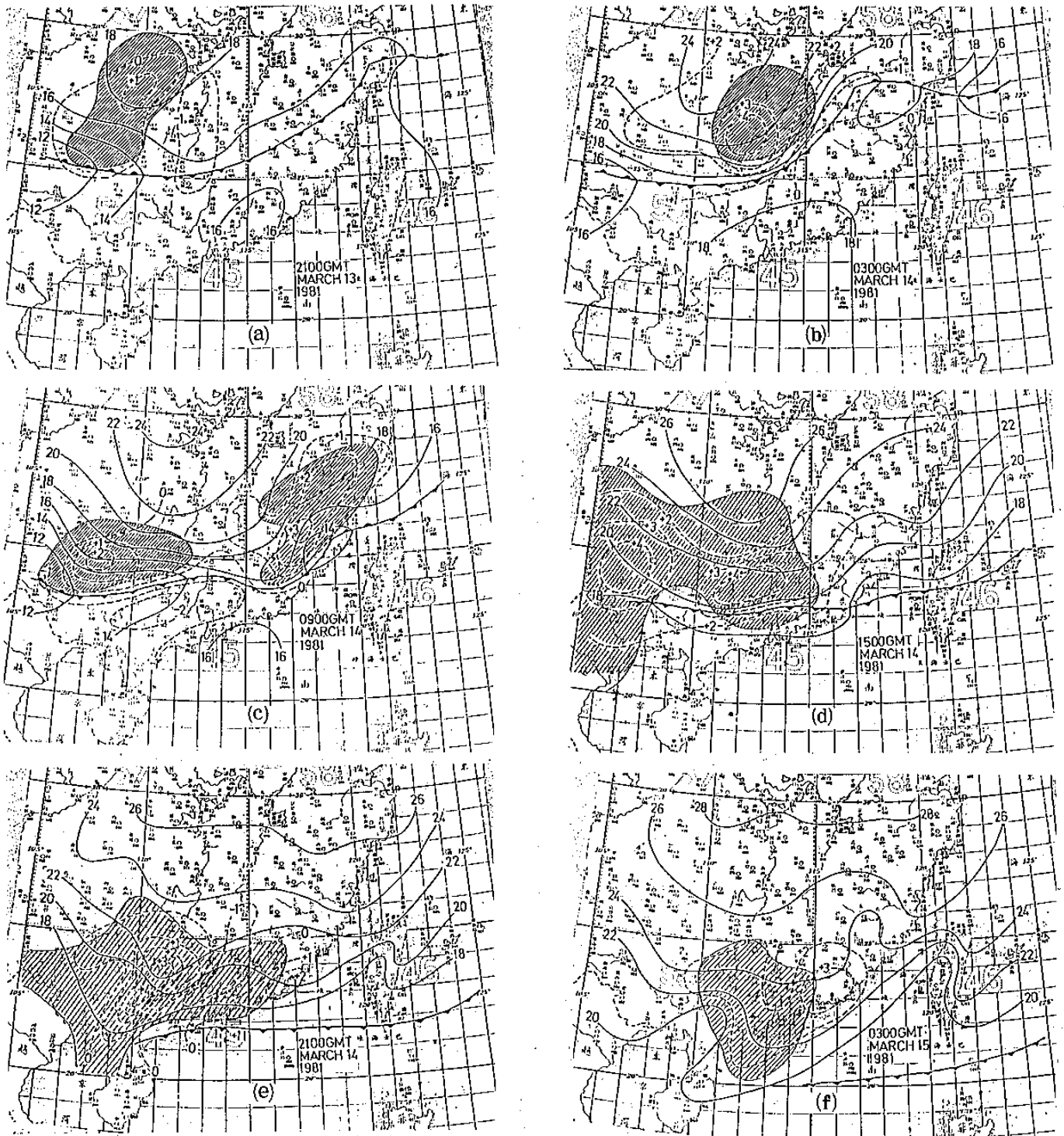


圖 4：1981年3月(a) 13日 2100 GMT，14日(b) 0300 GMT，(c) 0900 GMT，(d) 1500 GMT，(e) 2100 GMT，(f) 15日 0300 GMT 之地面天氣圖及雷雨區（斜線區）與等變壓線（mb；虛線）。

兩區具有時間及空間上之連續性，由雲貴高原以東向東移至福建沿海如圖 5 所示。

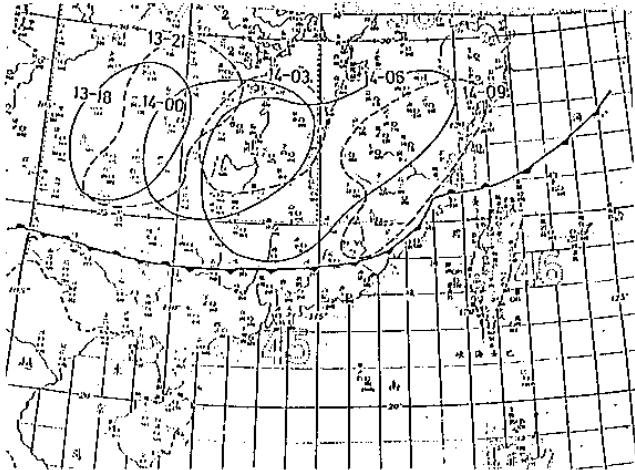
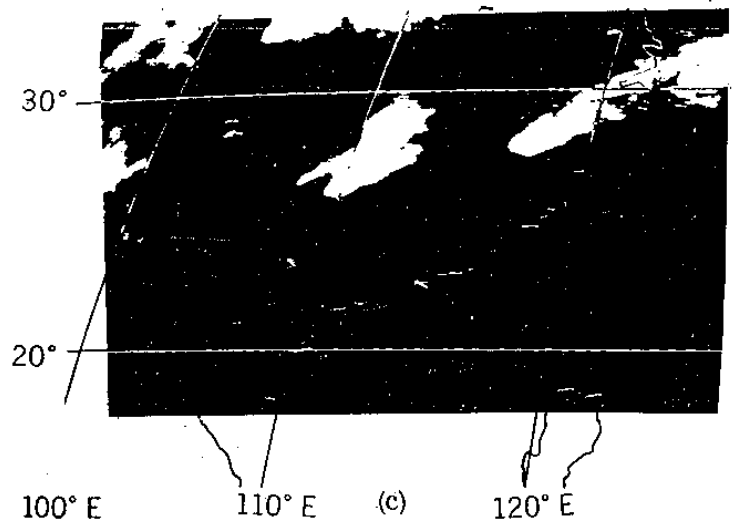
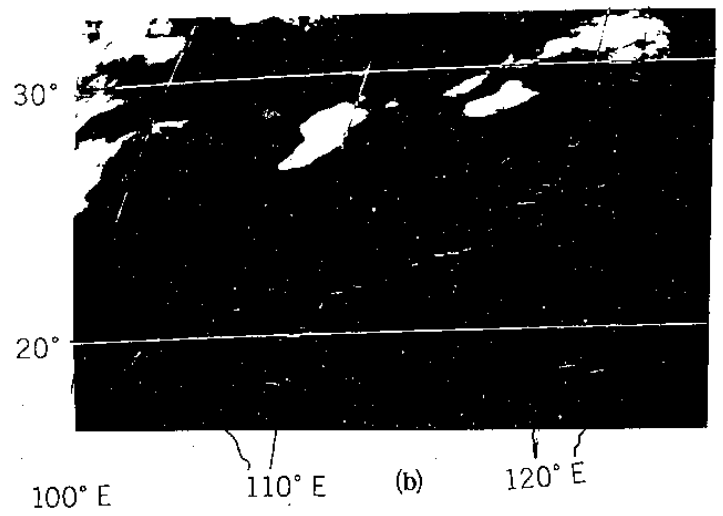
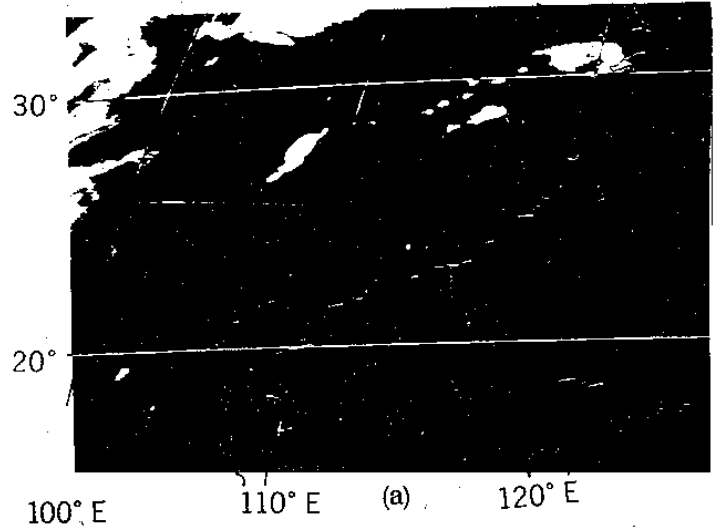


圖 5：1981 年 3 月 13 日 1800 GMT - 14 日 0900 GMT 地面觀測之雷雨區及 14 日 0900 GMT 之鋒面。

#### (二) 雲圖

圖 6 為 3 月 13 日 1600 GMT - 14 日 1200 GMT 之 GMS - 1 紅外線雲圖，可分辨出三個中尺度對流雲團 ( cloud cluster )。(一) 13 日 1600 GMT 在貴州形成之積雨雲團向東移行，至東海消散時 ( 14 日 16 GMT ) 歷經 24 小時。此雲團經色調強化分析其溫度低於  $-32^{\circ}\text{C}$  之範圍，至 13 日 1800 GMT 時已增大至約為  $2^{\circ} \times 3^{\circ}$  經緯度 (  $\sim 10^5 \text{ km}^2$  )，到達 Maddox MCC 之大小條件 A，13 日 2100 GMT 發展為  $3.5^{\circ} \times 4.5^{\circ}$  經緯度 (  $\sim 1.7 \times 10^5 \text{ km}^2$  )，14 日 0000 GMT 已移至湖南並擴展至  $4^{\circ} \times 4.5^{\circ}$  經緯度 (  $\sim 2 \times 10^5 \text{ km}^2$  )，之後則範圍縮小東移減弱，至 14 日 0900 GMT ( 圖 6g ) 移至福建沿海再度加強，入東海後減弱。此系統滿足 Maddox MCC 大小之條件 A 之時間  $\geq 6$  小時，且其短軸與長軸比  $\geq 0.7$ 。因為本個案乃在初春發生，強烈對流範圍較春末至夏季者為小，故 Maddox 之大小條件 B 在此尚不考慮 ( B 為  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  區域  $\geq 5 \times 10^4 \text{ km}^2$  )，如此這個系統即稱為 MCC 系統 A。(二) 14 日 0000 GMT 在雲南已產生積雨雲，之後漸形組織、發展、範圍擴大並向東移，至 14 日 0900 GMT 已在貴州及鄰近發展至  $3.5^{\circ} \times 4^{\circ}$  經緯度大小 (



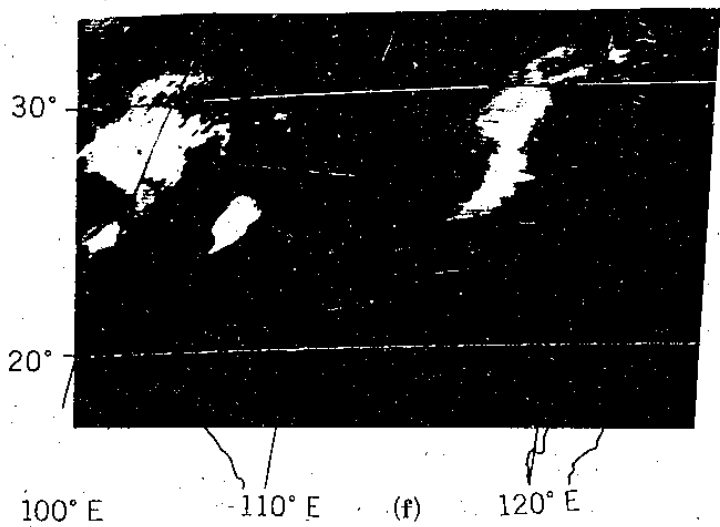
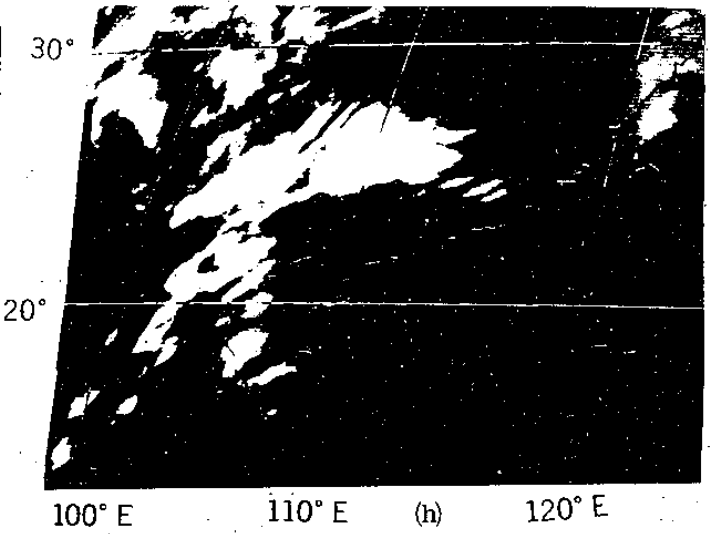
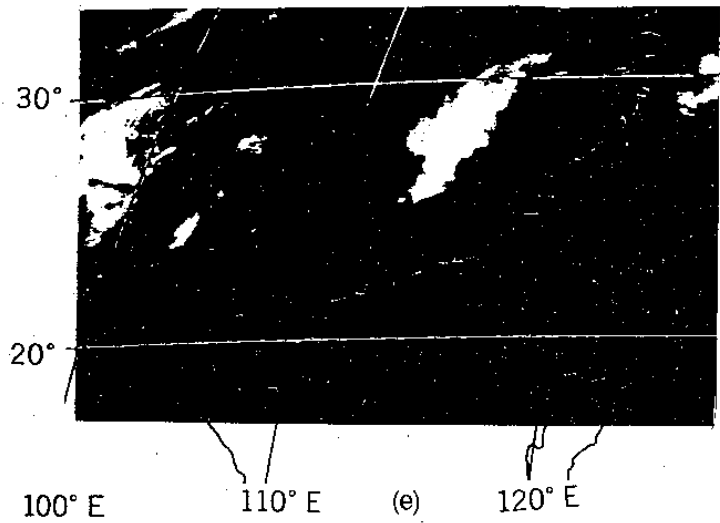
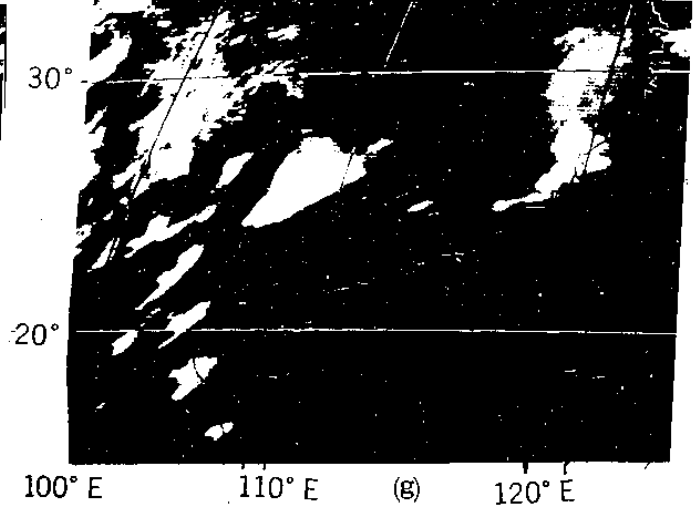
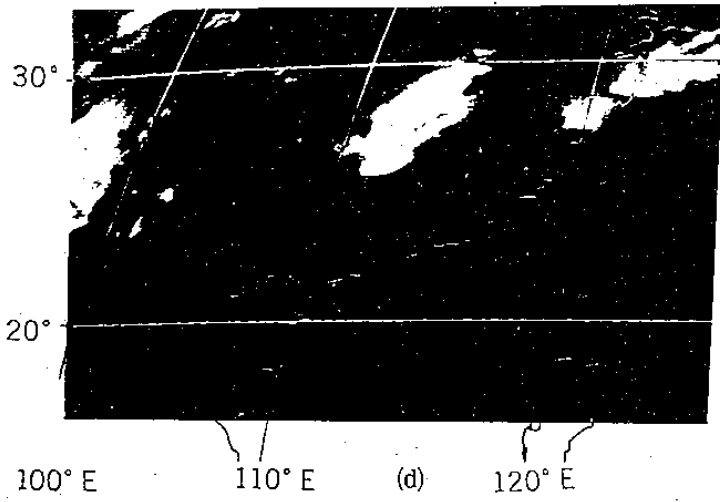
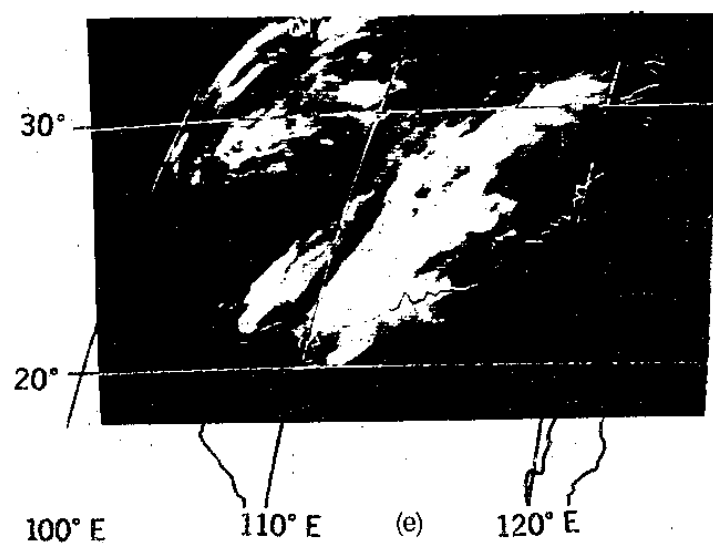
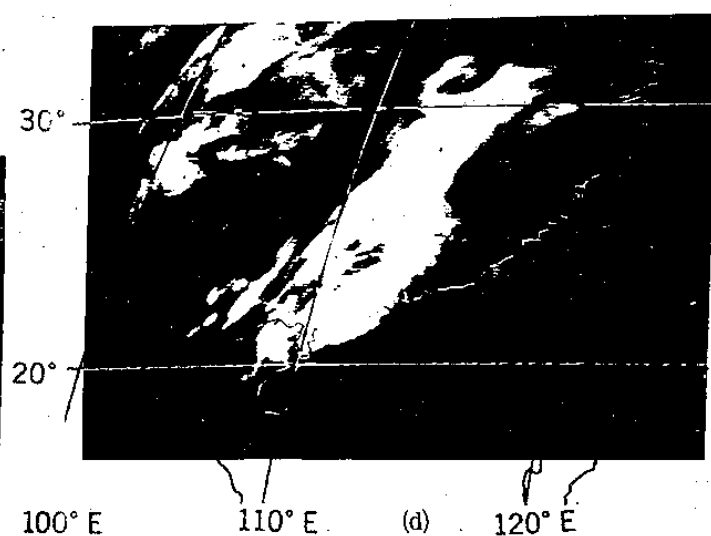
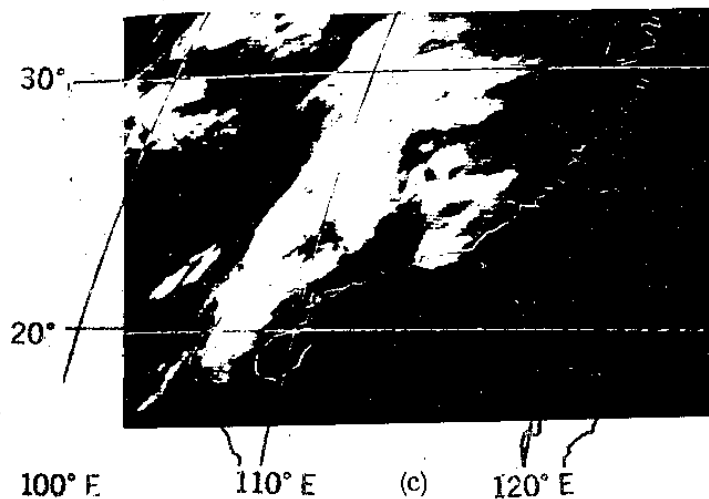
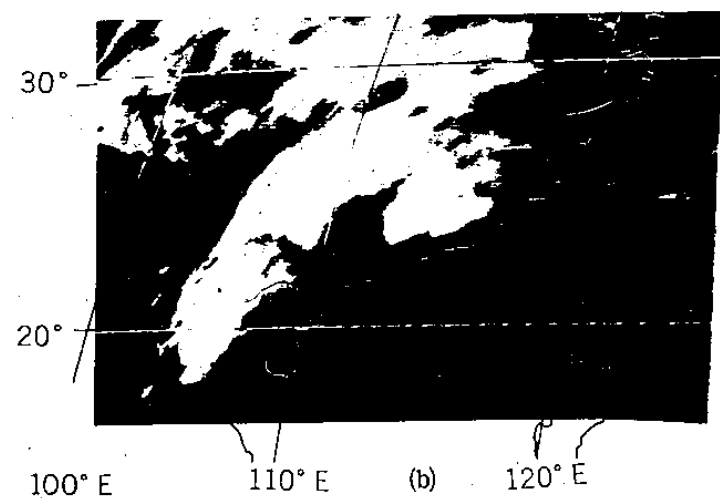
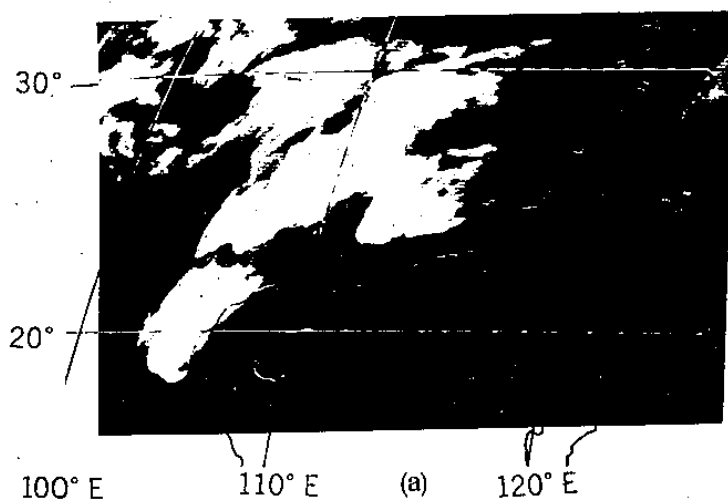


圖 6：GMS-1 紅外線雲圖。1981年3月13日  
(a) 1600 GMT, (b) 1800 GMT, (c) 2100  
GMT, 14日(d) 0000 GMT, (e) 0300  
GMT, (f) 0600 GMT, (g) 0900 GMT,  
(h) 1200 GMT。

$1.7 \times 10^5 \text{ km}^2$ ) 之 MCC (圖 6 g), 1200  
GMT 再向東移至湖南、貴州省境, 範圍增大至  
 $4^\circ \times 6^\circ$  經緯度 ( $3 \times 10^5 \text{ km}^2$ ), 1600 GMT  
(圖 7 a) 移至湖南其範圍為  $4^\circ \times 4^\circ$  經緯度 ( $2$   
 $\times 10^5 \text{ km}^2$ ), 1800 GMT 再向東移範圍與前一  
時間相近, 2100 GMT (圖 7 c) 移至廣東、福建  
沿海之後範圍零散對流強度亦大大減弱, 15日

0000 GMT 入台灣海峽之後消散。此系統自14日 0900 GMT 至 1800 GMT 期間具有MCC 之條件，稱為MCC系統B。自14日 0900 GMT (1600 LST) 於雲貴高原至中南半島一帶產生之午後雷雨胞呈零散分佈(圖6g)，3小時之後(1200 GMT) 已組織成中尺度對流系統，特別是在雲貴區內之系統已具MCC規模(圖6h)。1600 GMT 中南半島之對流系統亦已組織成MCC之規模(圖7a)。此兩MCC系統於向東移動時漸漸合併成一北北東~南南西走向之較大之中尺度對流系統，東移時並減弱強度至福建沿海台灣海峽時已經消散(圖7g、7h)。此系統於14日1200 GMT 至15日0000 GMT 期間具有MCC 條件稱為MCC系統C。





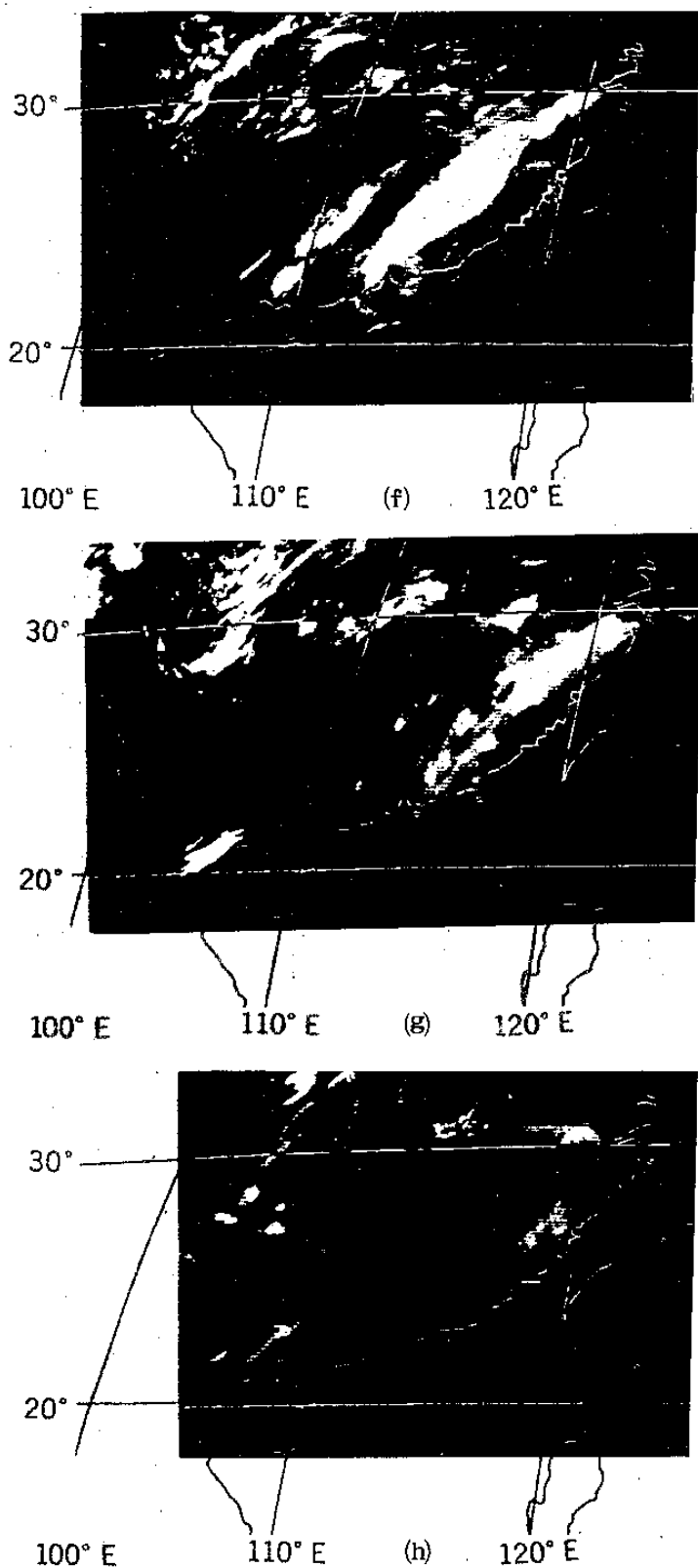
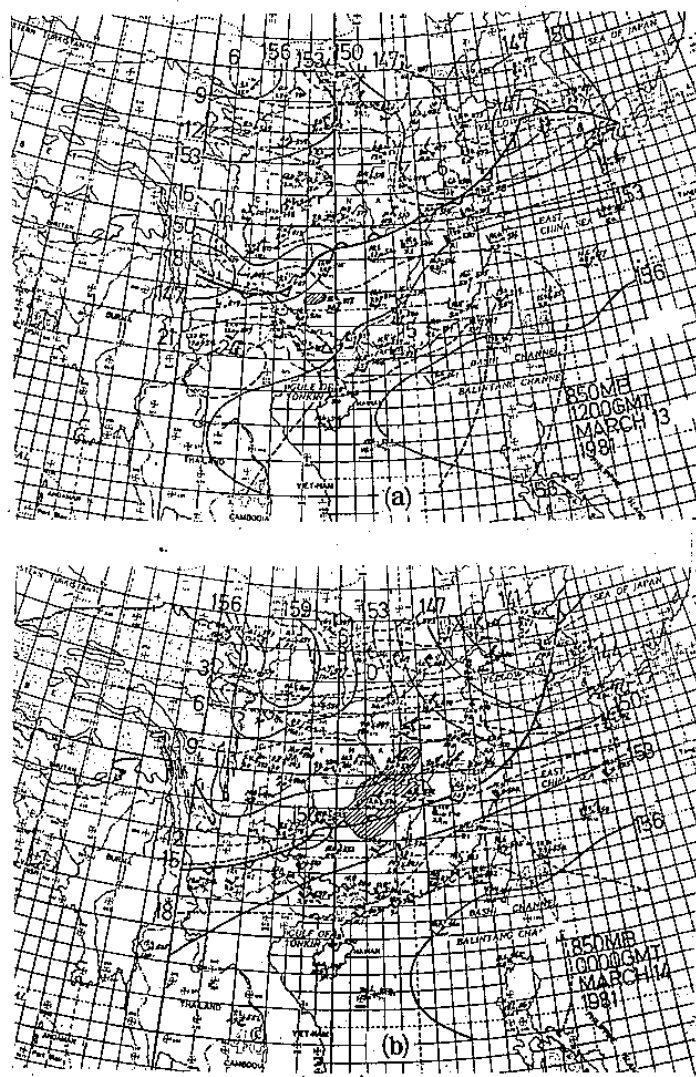


圖 7：GMS-1 紅外線雲圖。1981 年 3 月 14 日 (a) 1600 GMT，(b) 1800 GMT，(c) 2100 GMT，15 日 (d) 0000 GMT，(e) 0300 GMT，(f) 0600 GMT，(g) 0900 GMT，(h) 1200 GMT。

(b) 850 mb

圖 8 為 850 mb 之等高線及等溫線分佈。圖內斜線部份為當時 MCC (或 Cb) 範圍。3 月 13 日 1200 GMT 鋒面由黃海之低壓中心向西南伸展至雲貴高原，之後鋒面向東南移動於 14 日 1200 GMT ~ 15 日 0000 GMT 間進入南海。MCC 系統 A 於 13 日 1200 GMT 時僅為在貴州之較大雷雨胞 (圖 8a)，發展於鋒面前西南氣流之暖空氣內，此積雨雲團向東移並組織成 MCC 系統 A，於 14 日 0000 GMT 位於鋒後 (圖 8b)，之後在鋒後向東移動減弱消失。14 日 1200 GMT 位於湖南、貴州之 MCC 系統 B 與雲貴高原之 MCC 系統 C 位於鋒後，中南半島之積雨雲團則在鋒前組織 (圖 6h、8c)，15 日 0000 GMT 之 MCC 系統 C 則大部份在鋒後 (圖 7d，8d)。



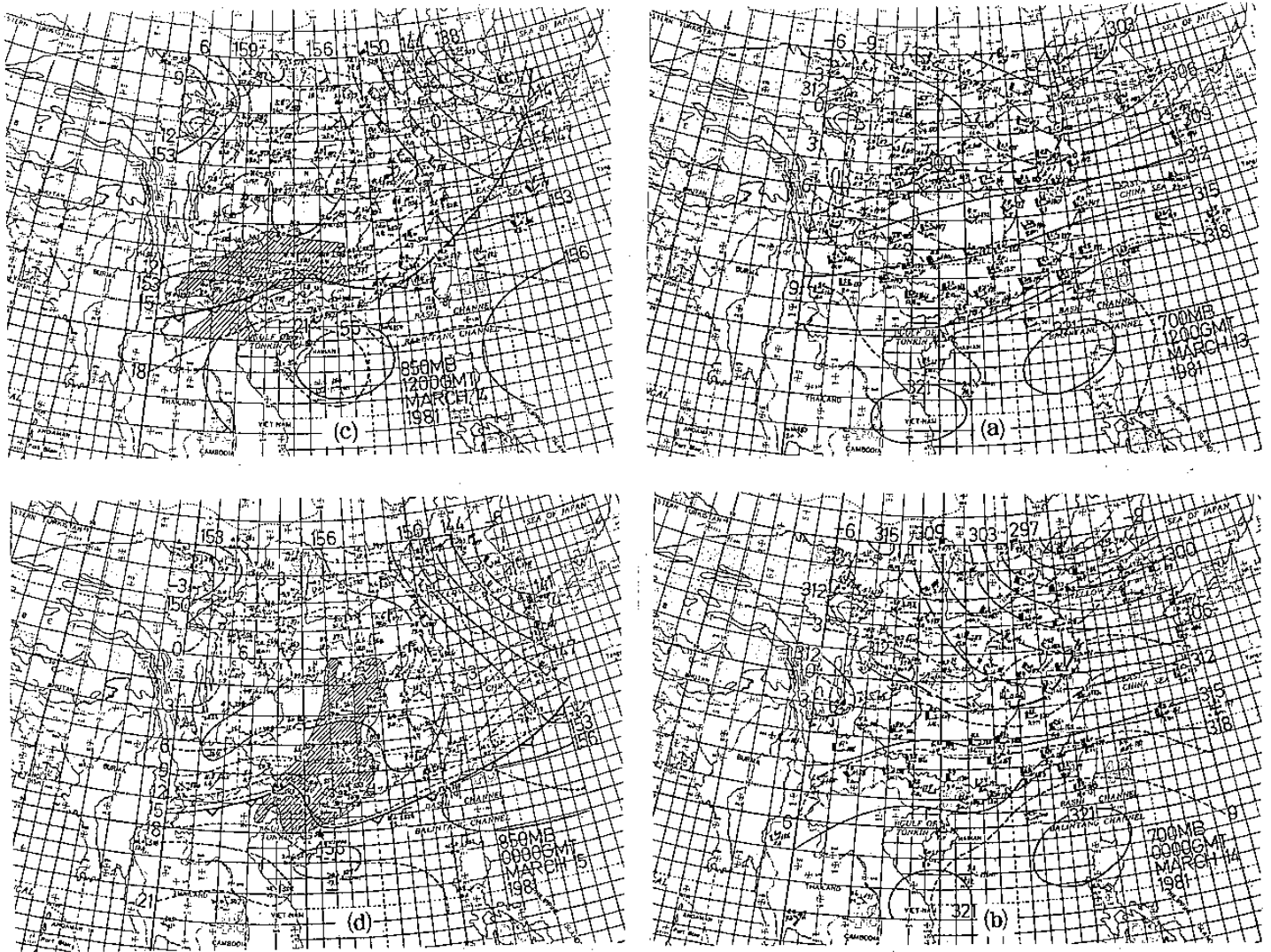
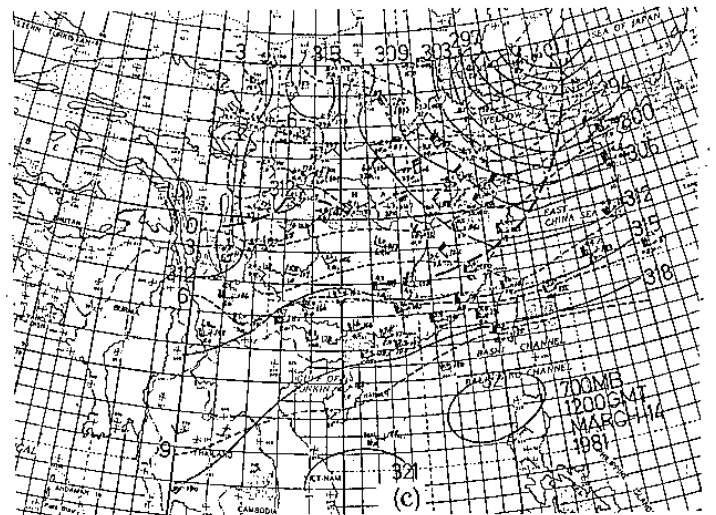


圖 8：1981年3月(a)13日1200 GMT，  
(b)14日0000 GMT，(c)14日1200  
GMT，(d)15日0000 GMT之  
850 mb等高線及等溫線(°C)。

#### (四) 700 mb

圖 9 為 700 mb 之等高線及等溫線分佈。3月13日1200 GMT 華中有一明顯橫槽，使  $30^{\circ}\text{N}$  以南  $100^{\circ}\text{E}$  以東之華南地區盛行西南西風，14日0000 GMT 橫槽南移於湖南、江西部份移至  $30^{\circ}\text{N}$  以南，槽南仍盛行西~西南西風，之後華東槽仍很清楚，但  $115^{\circ}\text{E}$  以西已難辨認，雖  $25^{\circ}\text{N}$  以南之西~西南西風仍然強盛，但  $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$  之間風向變化較大風速亦弱(圖9c、d)。



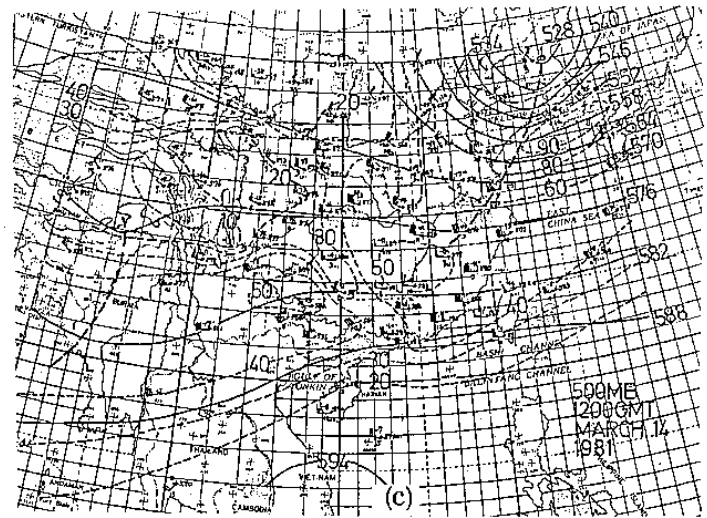
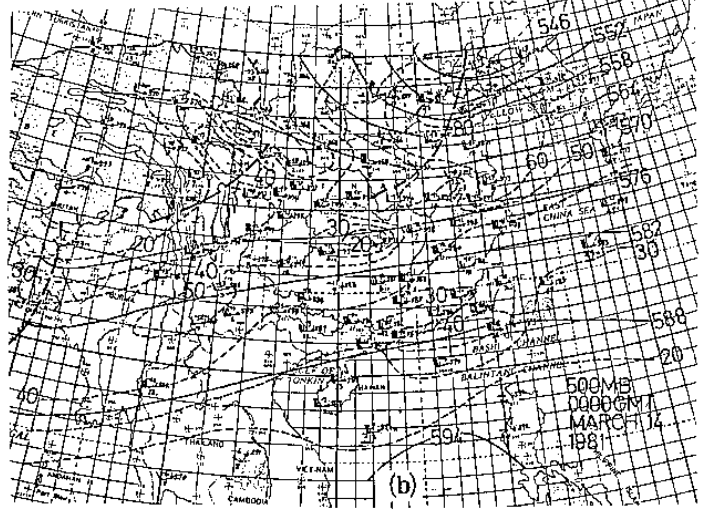
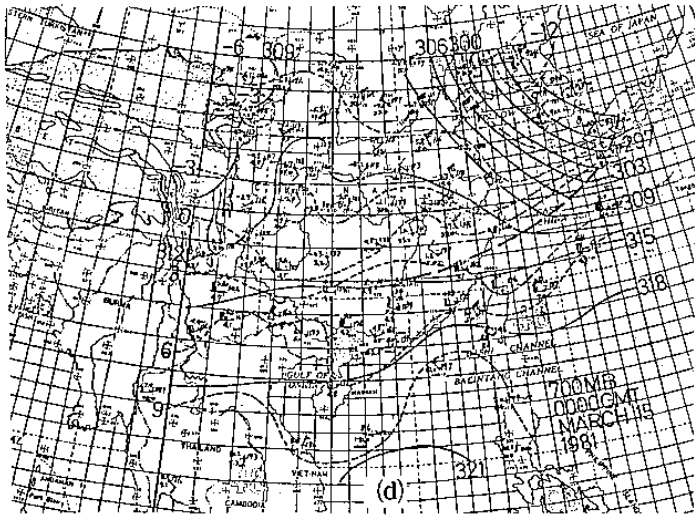


圖 9：1981年3月(a)13日1200 GMT，(b)14日0000 GMT，(c)14日1200 GMT，(d)15日0000 GMT之700 mb等高線及等溫線(°C)。

(五) 500 mb

圖 10 為 500 mb 之等高線與等風速線分佈。

3月13日1200 GMT (圖 10 a) 華南地區盛行西風，風速分佈特徵為最大值與最小值各有兩區。雲貴地區與江西、湖南 $\geq 40$  kt 風速最大區以及貴州、四川 $\leq 20$  kt 與兩廣沿海 $\leq 30$  kt 之風速最小區域。14日0000 GMT (圖 10 b) 在湖南出現 $\leq 20$  kt 風速最小區，似為12小時前貴州、四川最小區之東移。廣東至台灣一帶為 $\geq 40$  kt 之最大區。14日1200 GMT (圖 10 c)  $\geq 50$  kt 之最大風速區分別位於貴州、廣西與湖南、江西，兩者之間為由青康藏高原最小風速區之東南延伸 $\leq 30$  kt。15日0000 GMT (圖 10 d) 最大風速發生於廣西北部 $\geq 60$  kt，風速向下游迅速減小。廣東沿海有 $\geq 40$  kt 之次大區。

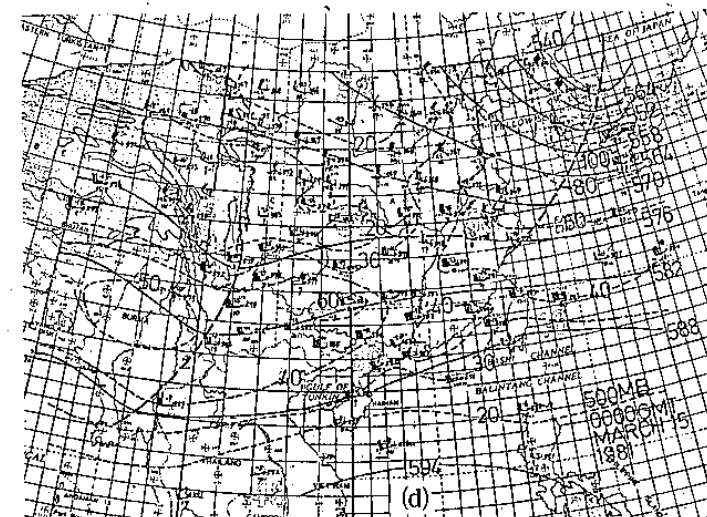
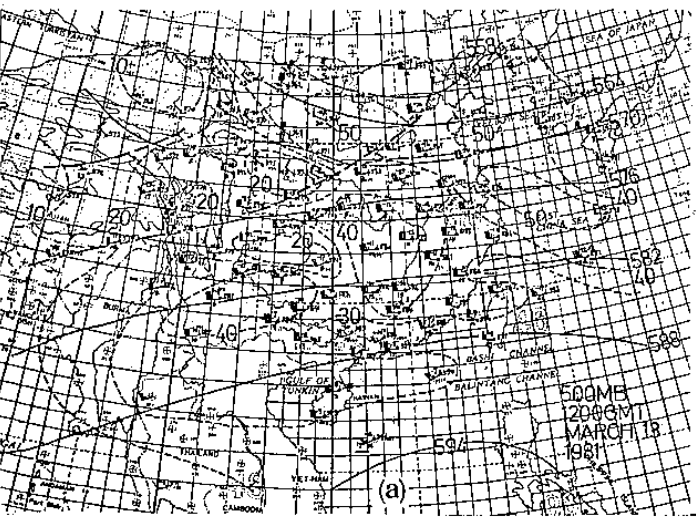


圖 10：1981年3月(a)13日1200 GMT，(b)14日0000 GMT，(c)14日1200 GMT，(d)15日0000 GMT之500 mb等高線及等風速線(kt)。



(a)

## (六) 300 mb

圖 11 為 300 mb 之等高線與等風速線分佈。3 月 13 日 1200 GMT (圖 11 a)  $\geq 80$  kt 之最大風速帶出現在廣東沿海至台灣，主軸向西伸展至中南半島。 $\leq 40$  kt 之最小風速區發生於雲南，最小風速主軸幾沿  $25^\circ\text{N}$  向東伸展橫貫整個華南地區，貴州、湖南省界區域風速向下游增加快速。14 日 0000 GMT (圖 11 b)  $\leq 40$  kt 之最小風速區域出現在貴州、湖南省界區域，似為 12 小時前位於雲南最小風速區向下游平流而來。 $\geq 80$  kt 之最大風速帶仍位於廣東沿海。14 日 1200 GMT (圖 11 c) 廣東沿海之最大風速區稍向西北移動， $\geq 80$  kt 之最大風速區位於廣東、廣西、湖南。15 日 0000 GMT (圖 11 d) 廣東沿海之最大風速區再向西北退。湖南出現  $\leq 60$  kt 之最小風速區，風速向下游增加迅速。

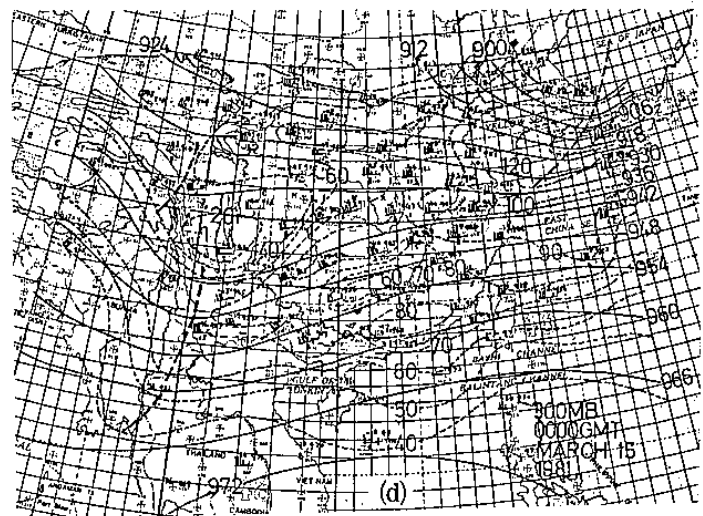
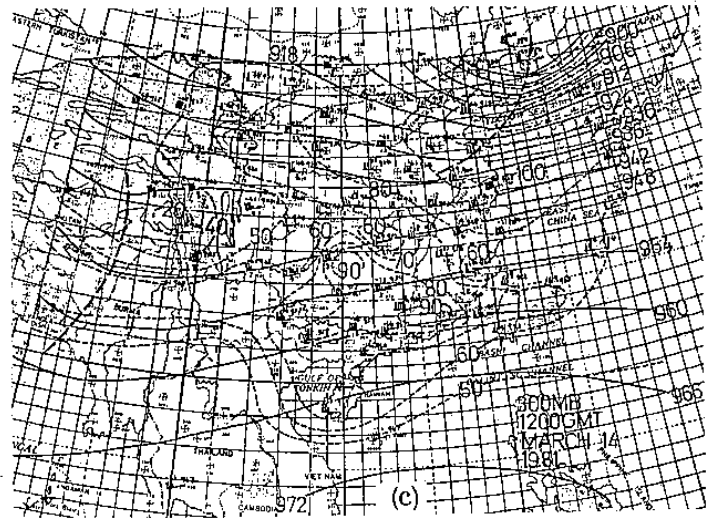
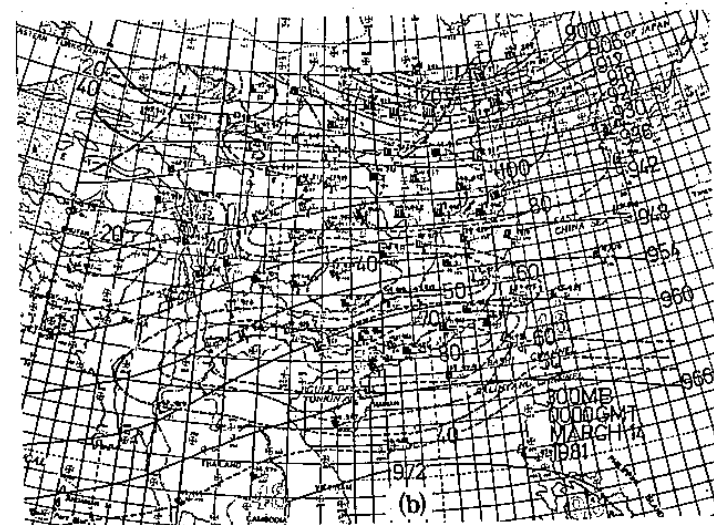
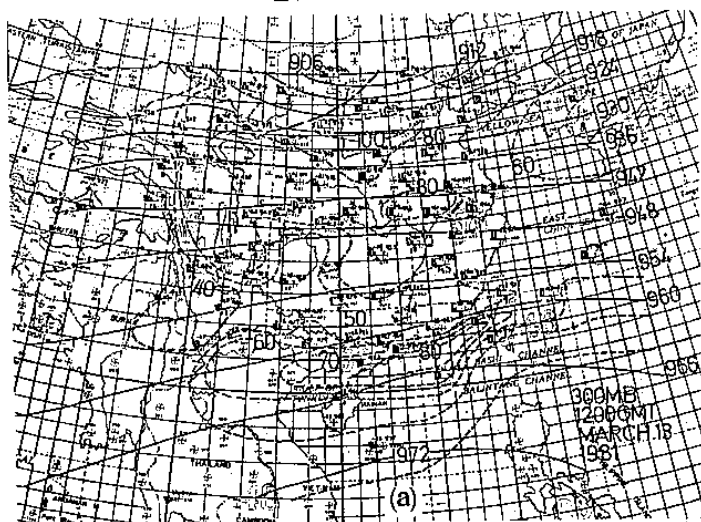


圖 11：1981 年 3 月 (a) 13 日 1200 GMT，(b) 14 日 0000 GMT，(c) 14 日 1200 GMT，(d) 15 日 0000 GMT 之 300 mb 等高線及等風速線 (kt)。

#### 四、中尺度對流複合體 (MCC) 特徵

##### (一) MCC 系統 A

圖 6 a 至 7 a 所示之系統 A 於 3 月 13 日 1600 GMT 在貴州形成之後向東移，於 14 日 1600 GMT 至東海減弱消散，生命期約 24 小時，滿足 MCC 條件時間約 6 小時。此系統之最強對流中心有二 (例如，圖 3 a)，表三為不同時間此兩中心之位置、雲頂溫度 (利用濃度計求得) 及高度。中心雲頂高度一般在 10~12 公里，於 13 日 1800 GMT 達最高，之後對流強度減弱雲頂降低於 14 日 0600

表三：1981年3月13日~14日MCC系統A內兩對流中心之位置、雲頂溫度及高度。

	日期	13	13	13	14	14	14	14	14
	時間(GMT)	16	18	21	00	03	06	09	12
北方中心	位置	28.3°N 107.5°E	28.4°N 108.5°E	27.7°N 110.5°E	28.0°N 112.5°E	27.3°N 115.0°E	27.3°N 116.6°E	26.8°N 118.8°E	26.8°N 121.4°E
	溫度(°C)	-68	-73	-63	-56	-54	-56	-63	-51
	高度(km)	12.8	13.5	12.0	10.9	10.6	10.9	12.0	10.2
南方中心	位置	27.1°N 107.0°E	27.3°N 108.5°E	26.8°N 110.5°E	26.7°N 112.0°E	26.4°N 114.0°E	25.9°N 116.0°E	25.7°N 118.0°E	25.2°N 120.9°E
	溫度(°C)	-57	-64	-61	-58	-51	-53	-56	-43
	高度(km)	11.1	12.2	11.7	11.2	10.2	10.5	10.9	8.9

GMT再度加強，並於0900 GMT達次高峯。由圖6a至7a紅外線雲圖之亮度分佈可見，此MCC系統之組織性及強度約與表三所示中心強度一致，系統於13日1800 GMT發展為MCC之規模並達到最強，之後稍微減弱但仍很有組織，14日0300 GMT之後整個系統更加減弱，強烈對流局限於較小區域，0900 GMT移至福建沿海對流再度加強，之後入東海減弱終至消失。假設0900 GMT之後MCC系統仍能維持強度，3小時之後台灣北部地區將有很大機會發生豪雨。圖12為南北兩個對流中心之軌跡，顯見系統向東南東移行，其速度如表四所示，平均約 $65 \text{ km h}^{-1}$ 。

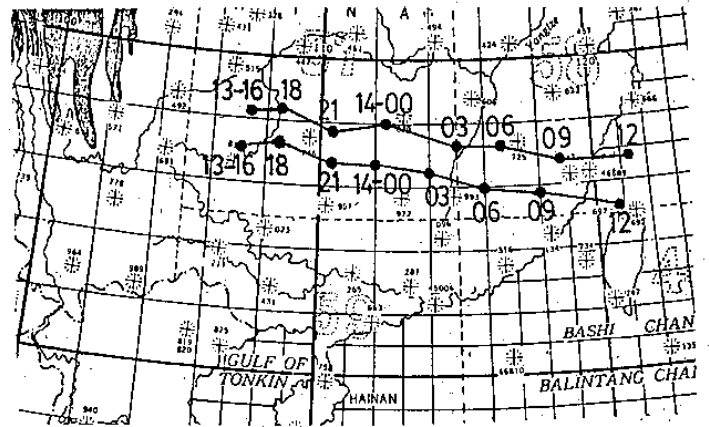


圖12：1981年3月13日~14日MCC系統A內兩對流中心軌跡(參見表三)。

表四：1981年3月13日~14日MCC系統A內兩中心各時間之移速( $\text{km h}^{-1}$ )。

日期 時間(GMT)	13 16-18	13 18-21	14 21-00	14 00-03	14 03-06	14 06-09	14 09-12	最大	最小	平均
北方中心	43.7	58.3	66.7	75.0	58.3	66.7	104.3	104.3	43.7	67.6
南方中心	62.5	50.0	58.3	66.7	62.5	58.3	100.1	100.1	50.0	65.5

## (二) MCC系統B

圖6d至7d所示之系統B於3月14日0000 GMT在雲南發生，之後強度增加範圍擴大並東移，至15日0000 GMT移入台灣海峽消散為止，生命期約24小時，滿足MCC條件時間約9小時。此系統亦可分辨出兩個最強對流中心。表五為不同時間此兩中心之位置、雲頂溫度及高度。中心最大強度於14日0900 GMT達最大值，高度達13~15公里，之後減弱，於15日0000 GMT雲頂高度僅在8~9公里。由圖6d至7d紅外線雲圖之亮度分佈可見，此MCC系統之組織性及強度約與表五所示之中心強度一致，系統於14日0900 GMT發展至MCC規模並達到最強，之後稍微減弱，但仍很有組織，於14日2100 GMT移至廣東沿海時強度減弱組織零散，並於15日0000 GMT進入台灣海峽時消散。此系統若不於進入廣東沿海之

後減弱，亦有在台灣中北部地區造成另一次豪雨之可能性。圖13為南北兩對流中心之軌跡，顯見系統於110°E以西向東北東移行，於110°E以東則向東南東移行，其速度如表六所示，平均約60 km h<sup>-1</sup>。

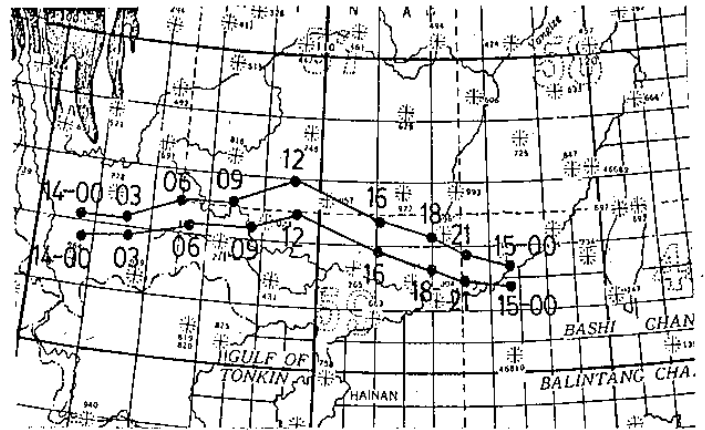


圖13：1981年3月14日~15日MCC系統B內兩對流中心軌跡（參見表五）。

表五：1981年3月14日~15日MCC系統B內兩對流中心之位置、雲頂溫度及高度。

	日期 時間(GMT)	14 00	14 03	14 06	14 09	14 12	14 16	14 18	14 21	15 00
北方中心	位置	24.2°N 101.5°E	24.3°N 103.1°E	25.0°N 105.0°E	25.1°N 106.8°E	25.9°N 109.1°E	24.7°N 112.1°E	24.3°N 114.0°E	23.8°N 115.2°E	23.4°N 116.7°E
	溫度(°C)	-26	-45	-66	-70	-63	-65	-59	-52	-40
	高度(km)	6.3	9.2	12.5	13.1	12.0	12.3	11.4	10.3	8.5
南方中心	位置	23.5°N 101.6°E	23.7°N 103.2°E	24.3°N 105.4°E	24.4°N 107.6°E	24.9°N 109.3°E	23.8°N 112.1°E	23.2°N 114.2°E	23.0°N 115.2°E	22.7°N 116.7°E
	溫度(°C)	-34	-45	-58	-81	-65	-80	-67	-53	-40
	高度(km)	7.5	9.2	11.2	14.8	12.3	14.6	12.6	10.5	8.5

表六：1981年3月14日~15日MCC系統B內兩中心各時間之移速(km h<sup>-1</sup>)。

日期 時間(GMT)	14 00-03	03-06	06-09	09-12	12-16	16-18	18-21	15 21-00	最大	最小	平均
北方中心	41.7	66.7	58.4	79.2	68.8	37.5	58.4	83.4	83.4	37.5	61.8
南方中心	41.7	75.1	58.4	58.4	68.8	50.0	37.5	79.2	79.2	37.5	58.6



(二) MCC系統 C

圖 6g 至 7h 所示系統 C 於 3 月 14 日 0900 GMT 在雲貴高原至中南半島一帶產生零散之大型午後雷雨胞，之後組織成 MCC 向東移行，至 15 日 1200 GMT 於福建沿海及台灣海峽消散為止，生命期約 27 小時，滿足 MCC 條件時間約為 12 小時。此系統可分辨出三個最強對流中心。表七為不同時間此三個中心之位置、雲頂溫度及高度。中心最大強度約在 14 日 1200~1600 GMT 之間發生，雲頂高約 13~14 公里，之後一般趨勢為強度減弱（雖有小幅之變化）。由圖 6g 至 7h 紅外線雲圖之亮度分佈可見，此 MCC 系統之組織性及強度亦約與表七所示之中心強度一致，系統約在 14 日 1200~1600 GMT 發展至 MCC 規模並達到最強，圖 7a~7d 並可明顯區分出兩個 MCC 系統，唯兩者移行相當一致，且後來合併為一系統，故以一

個 MCC 系統 C 來處理。此系統於 15 日 0600 GMT 移至兩湖盆地、鄱陽盆地之後，組織漸形零散強度漸弱，於 1200 GMT 移至福建沿海、台灣海峽時消散。此系統若於進入鄱陽盆地東移之後，仍能保持強度，可能為台灣全島地區帶來一次普遍性豪雨。圖 14 為三個最強對流中心軌跡，顯見系統幾向東移行，其速度如表八所示，平均約  $55 \text{ km h}^{-1}$ 。

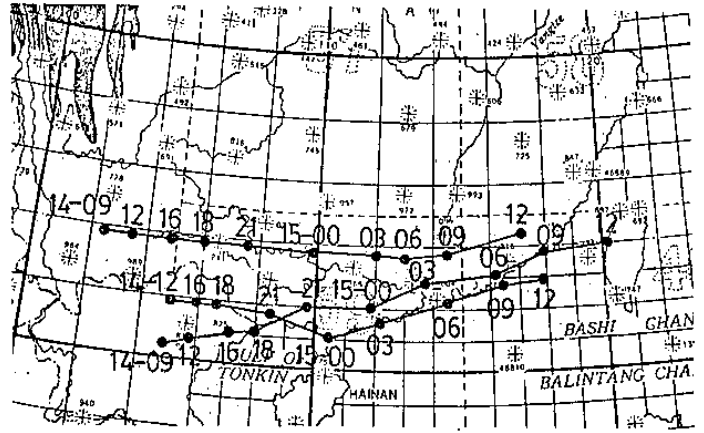


圖 14：1981 年 3 月 14 日~15 日 MCC 系統 C 內三對流中心軌跡（參見表七）。

表七：1981 年 3 月 14 日~15 日 MCC 系統 C 內三對流中心之位置、雲頂溫度及高度。

	日期 時間(GMT)	14 09	14 12	14 16	14 18	14 21	15 00	15 03	15 06	15 09	15 12
雲系 1	位置	23.8°N 102.5°E	23.8°N 103.5°E	23.8°N 104.9°E	23.8°N 106.0°E	23.8°N 107.6°E	23.7°N 109.9°E	23.7°N 112.0°E	23.6°N 113.0°E	23.8°N 114.5°E	24.4°N 117.1°E
	溫度(°C)	-52.8	-71.0	-76.0	-65.0	-62.4	-48.3	-58.9	-53.7	-51.1	-48.4
	高度(km)	10.4	13.2	14.0	12.3	11.9	9.7	11.4	10.6	10.2	9.7
雲系 2	位置		21.8°N 105.0°E	21.8°N 105.9°E	21.8°N 106.6°E	21.6°N 108.5°E	21.1°N 110.5°E	21.6°N 112.1°E	22.2°N 114.5°E	22.7°N 116.4°E	22.9°N 117.9°E
	溫度(°C)		-78.1	-58.1	-60.1	-62.4	-61.5	-51.1	-50.2	-48.4	-47.0
	高度(km)		14.3	11.2	11.6	11.9	11.8	10.2	10.0	9.7	9.5
雲系 3	位置	20.4°N 104.9°E	20.7°N 105.7°E	21.0°N 107.1°E	21.1°N 108.0°E	22.0°N 109.7°E	22.0°N 111.9°E	22.8°N 113.6°E	23.1°N 116.2°E	23.8°N 117.9°E	24.0°N 120.3°E
	溫度(°C)	-65.9	-72.9	-51.9	-41.5	-58.9	-64.2	-48.4	-47.6	-48.4	-46.7
	高度(km)	12.4	13.5	10.3	8.7	11.4	12.2	9.7	9.6	9.7	9.5

表八：1981 年 3 月 14 日~15 日 MCC 系統 C 內三中心各時間之移速 ( $\text{km h}^{-1}$ )。

日期 時間(GMT)	14 09-12	14 12-16	14 16-18	14 18-21	15 21-00	15 00-03	15 03-06	15 06-09	15 09-12	15 12-16	最大	最小	平均
雲系 1	33.4	25.0	50.0	50.0	66.7	75.0	41.7	58.4	91.8	93.7	93.7	25.0	58.6
雲系 2	28.9	18.7	25.0	58.4	58.4	58.4	100.1	66.7	58.4	58.4	100.1	18.7	55.8
雲系 3	25.0	41.7	31.2	66.7	66.7	75.0	91.8	108.4	45.9	56.2	108.4	25.0	60.8

## 五、討 論

MCC系統A於3月13日1600 GMT 在貴州形成爲較有組織之雲團後向東移行，1800 GMT 移至貴州、湖南交界區時發展至最大強度，地面雷雨區約與MCC範圍一致（圖5，6b），此中尺度系統所伴隨之雷雨區於之後各時間亦均與衛星雲圖所觀測之MCC範圍一致。由圖4可見MCC發生於地面冷鋒以北之冷空氣之上，並在冷空氣之上向東移行。此系統發生時則處於850 mb 鋒面以南之暖空氣內（圖8a），於14日0000 GMT 時移至鋒面以北。13日1200 GMT 57745 探空站（圖1）資料顯示850~700 mb 層有潛在不穩度，57957 站潛在不穩度更厚，由地面伸展至700 mb。此時該區850 mb 有強烈暖平流（有利上升運動）並有鋒面擾動輻合，700 mb 亦有暖平流（圖9a），500 mb 及300 mb（圖10a、11a）則有（速度）輻散。如此，中高對流層之（速度）輻散與低對流層之輻合及暖平流強迫之上升運動，產生對流以釋放潛在不穩度。14日0000 GMT MCC移至850 mb 鋒後之冷平流區，亦位於700 mb 之冷平流區，故低對流層環境不利MCC發展，此時強度已在減弱之中。MCC此時仍處在500 mb 與300 mb 輻散場中（圖10b，11b）。此質量輻散亦反應於地面氣壓傾向（圖4a），因此，由中高對流層之輻散場提供之上升運動使MCC不致因低對流層之不利環境影響而迅速消散，故仍能維持相當強度。之後，因低對流層之不利條件而繼續減弱，但於14日0900 GMT 在福建沿海再度組織加強，此可能因此時MCC移入地面鋒面擾動低壓區（圖4c），低壓輻合使減弱中之MCC獲得額外之低層強迫上升運動而再度加強。由圖4顯見伴隨MCC之雷雨區產生之下沖流，使地面氣壓升高而產生中尺度高壓脊。圖15爲14日0000 GMT 系統A區域之各測站平均合成相當位溫與該區12小時前之平均合成相當位溫之垂直分佈。顯見，MCC發生前後地面至850 mb 皆呈潛在穩定狀態，僅日夜變化使0000 GMT之 $\theta_e$ 小於1200

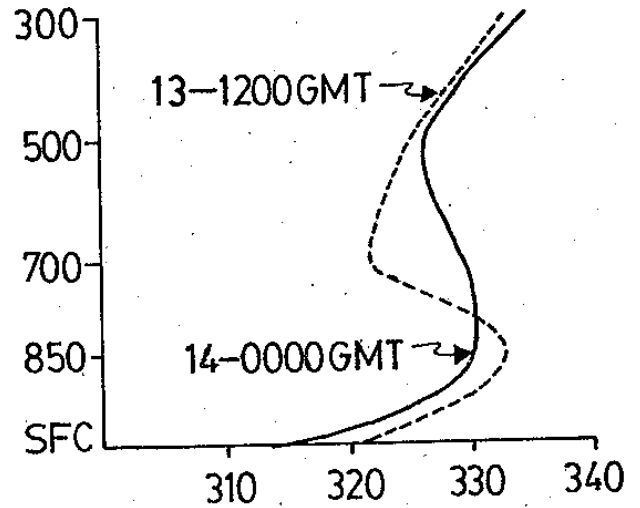


圖15：1981年3月13日1200 GMT（虛線）與14日0000 GMT（實線）MCC系統A區域內測站（ $25^{\circ}\text{N}$ 以北）58606，57679，57972，57957，57745之平均 $\theta_e$ （ $^{\circ}\text{K}$ ）。測站位置參見圖1。

GMT者而已，但13日1200 GMT該區850~700 mb之潛在不穩定度已透過MCC之發展而變得較穩定，700~300 mb  $\theta_e$ 之增加顯係由對流增溫增溼而來。若13日1200 GMT 850 mb之氣塊飽和上升則此對流雲頂可達300 mb，此約爲所觀測之對流中心高度（表三），圖16爲福建沿海（ $117^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ； $24^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ）各測站14日0000 GMT~15日0000 GMT之平均合成相當位溫垂直分佈。14日0000 GMT至1200 GMT

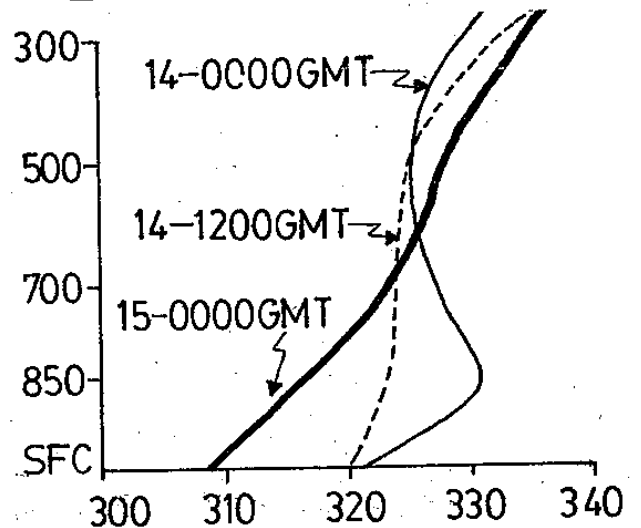


圖16：1981年3月14日0000 GMT（細實線），14日1200 GMT（虛線）與15日（福建沿海地區（ $117^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ； $24^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ ）測站58633，58725，58847，59134之平均 $\theta_e$ （ $^{\circ}\text{K}$ ）。



之 850 mb  $\theta$ 。減小乃因鋒面過境之後溫度降低及溼度變小(圖 8 b、c)而來,因 850 mb 鋒面過境使 850~500 mb 原潛在不安定層變得穩定,故 MCC 系統 A 移經該區時,除於地面低壓中心附近在 0900 GMT 有再加強現象之外,其他部份均因無有利條件而減弱快速。

由上所述, MCC 系統 A 發生區有較深厚之潛在不安定層(地面~700 mb),但東移所經過之環境潛在不安定層局限於 850~700 mb,而地面~850 mb 十分穩定,故其強度漸漸減弱,唯在中高對流層 MCC 之上及其下游為速度輻散區,有利 MCC 之發展及東移,故強度並未減弱太快,只是在福建沿海因 850 mb 之冷鋒過境使  $\theta$  大量減小,致使 850~700 mb 原有潛在不安定度已於 MCC 移至前變成穩定,而使 MCC 失去發展之有利條件。唯 14 日 0900 GMT 之地面低壓輻合顯然使 MCC 再度加強,唯時間短促即消失,因大氣相當穩定使然。MCC 系統 A 於貴州發展,主要為中高對流層速度輻散配合 850 mb 鋒面擾動輻合以及 850~700 mb 顯著暖平流之強迫上升運動。因此,上下層之偶合提供必要之大尺度強迫作用於潛在不安定區產生中尺度對流系統。系統 A 之平均移行速度~65 km h<sup>-1</sup>(~40 kt)約與 500~300 mb 平均氣流一致,此駛流層顯然較 Maddox (1980 b) 之美國中部 MCC 之駛流層 700~500 mb 為高。

MCC 系統 B 於 3 月 14 日 0000 GMT 在雲南地面及 850 mb 鋒面區產生 Cb 之後(圖 4 b、6 d、8 b),繼續發展組織至 0900 GMT 移至貴州及鄰近地區時已發展至 MCC 條件並達最大強度,此時系統在地面冷鋒以北之冷空氣內(圖 4 c),MCC 之下雷雨區下沖流導致之氣壓升高形成一中尺度高壓脊。1200 GMT 再東移,最大對流中心強度稍減但仍很有組織,此時系統在地面及 850 mb 鋒面以北之冷空氣內(圖 4 c、d; 8 c)該區有顯著冷平流,低對流層為潛在穩定不利對流發展,唯系統南緣靠近地面與 850 mb 鋒面輻合區可提供有利系統發展之上升運動。比較 14 日 0000~

1200 GMT 之 500 mb、300 mb(圖 9 b、c; 11 b、c)及 MCC(圖 6 d~h),顯見 MCC 發生於中高對流層速度輻散區,且 MCC 以東之中高對流層輻散將導致其東移。1200 GMT 500 mb 與 300 mb MCC 之下游區速度輻散已較零散減弱,故之後 MCC 在低對流層冷空氣內東移(圖 4 d、e; 8 c、d)且在缺乏中高對流層有利強迫上升作用(圖 10 c、d; 11 c、d)之下快速減弱消失。MCC 系統 B 之平均移速約 60 km h<sup>-1</sup>(~37 kt),約與 500~300 mb 平均風速一致。由圖 16 顯見當 MCC 系統 B 移入福建沿海區域前(14 日 1200 GMT)該區大氣已呈潛在穩定狀態,且高層強迫上升運動機制已失,故移入之後急速消散(圖 7 c、d)。

MCC 系統 C 於 3 月 14 日 0900 GMT 在雲貴高原至中南半島一帶產生零散之大型午後雷雨胞,1200 GMT 已組織成 MCC 且對流中心已達最大強度。圖 11 c 表示 1200 GMT MCC 系統發展區域為 300 mb 速度輻散區,雖然系統北部份在 850 mb 以下低對流層冷空氣內之潛在穩定區(圖 17)

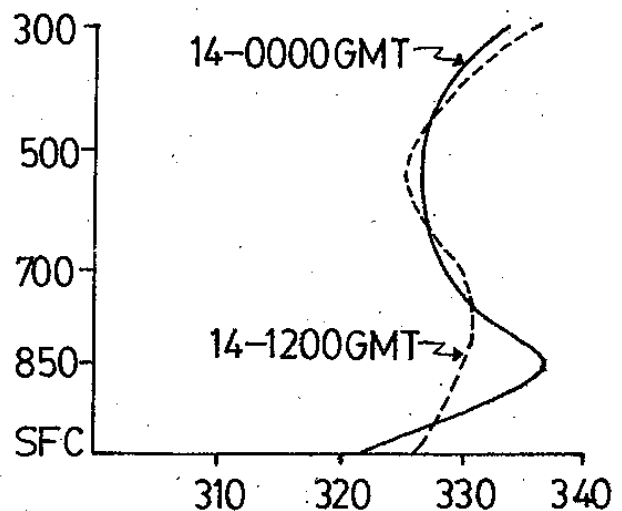


圖 17: 1981 年 3 月 14 日 0000 GMT (實線)與 14 日 1200 GMT (虛線)在 25°N 以南未受 MCC 系統 A 影響而在 B、C 系統影響之測站 59211, 59023, 56985, 56964, 59431, 59096, 59134 之平均  $\theta$ 。(°K)。

，但 850~500 mb 之潛在不穩定層則有利對流發展，850 mb 飽和空氣在 300 mb 輻散場引發之大尺度上升運動下，可對流上升至 300 mb 以上之高度，表七所示 1200 GMT 最強對流雲頂達 13~14 公里。15 日 0000 GMT MCC 系統 C 已移至地面及 850 mb 冷空氣內，該區低對流層盛行冷平流（圖 4 e, f ; 8 d）。地面 MCC 下之雷雨區下沖流導致之氣壓升高在廣東沿海產生強烈中尺度高壓脊，迫使鋒面迅速南移入海消散。15 日 0000 GMT MCC 系統南北橫跨 $\sim 12^\circ$  緯度，其上之 500 mb 及 300 mb 速度輻散場較無組織（圖 10 d, 11 d），故系統東移減弱迅速。圖 16 所示福建沿海地區 15 日 0000 GMT 地面至 300 mb 已非常穩定，故 MCC 於 1200 GMT 移入時即消散。此系統移速約  $55 \text{ km h}^{-1}$  ( $\sim 35 \text{ kt}$ ) 與 500 mb 平均氣流相近。

上述三個 MCC 系統之軌跡如圖 12~14 所示，顯見中心所在位置以系統 A 最北，系統 C 最南而系統 B 介乎其間，其東移平均速度以 A 最快  $65 \text{ km h}^{-1}$ ，B 次之  $60 \text{ km h}^{-1}$ ，C 最小  $55 \text{ km h}^{-1}$ ，其駛流層分別為 500~300 mb，500~300 mb 及 500 mb。生命期分別為 24 時、24 時及 27 時，而達 MCC 條件之期間分別為 6 時、9 時及 12 時。由此三個 MCC 系統之特徵及運動性質指出，華南初春之 MCC 在較高緯度區域發展移行時，其移速較快，生命期較短，雲頂高度較低；反之，在較低緯度區域發展移行時，移速較慢，生命期較長，雲頂高度較高。

## 六、總 結

初春華南地區有組織之中尺度雷雨區為一氣候特徵（謝信良，1981），唯其發展及移行並不能由傳統觀測資料獲得完整之物理概念，但在每 3 小時一次之同步氣象衛星觀測之下，對於導致雷雨之中尺度對流系統之組織、結構與消長則較能完整正確地加以描述。本文目的即在利用中央氣象局衛星接收站正式作業（1981 年 1 月）之後首次觀測到的華南初春中尺度對流系統，研究其生成、發展、

移行及消散過程。所選個案為 1981 年 3 月 13 日~15 日間發生於雲貴地區之三個 MCC 系統，在組織後東移，最後在福建沿海一帶消散，若這些系統不消散，則有很大機會在台灣地區導致豪雨，因此，對於 MCC 之研究除具學術意義之外亦有很高之應用價值。結果可歸納為以下數點：

1. MCC 系統 A：地面至 700 mb 之潛在不穩定氣層，在 850 mb 與 700 mb 暖平流，以及 850 mb 鋒面擾動輻合，配合上 500 mb 與 300 mb 之速度輻散場所導致之大尺度動力舉升作用，激發貴州之 Cb 雲團發展。之後雲團組織發展成 MCC 系統在低對流層穩定冷空氣之上運行。中高對流層輻散場為維持 MCC 系統東移且不至於立刻消散之主要機制。

2. MCC 系統 B、C 均在中高層風速輻散區及低對流層鋒面輻合區所提供之大尺度舉升作用激發發展而來，之後向東移行於低對流層穩定冷空氣之上，亦由中高對流層風速輻散來維持。

3. 此三個中尺度對流系統移至福建沿海時，均因大氣環境穩定且缺乏高層動力強迫上升運動而急速消散。

4. MCC 系統 A 於 3 月 14 日 0900 GMT 在福建沿海有短暫的局部性加強，主要可能因其移入地面低壓中心環流內而獲得低層有利之舉升作用。

5. 由  $\theta_e$  分析，顯示 850 mb 鋒面過境可使原潛在不穩定層（850~700 mb）變成穩定，不利 MCC 之發展。

6. 系統 A 軌跡較北，移速較快（ $65 \text{ km h}^{-1}$ ），達 MCC 強度之生命期最短（6 小時），最大對流中心雲頂較低，而移行由 500~300 mb 平均流控制。系統 C 軌跡較南，移速較慢（ $55 \text{ km h}^{-1}$ ），達 MCC 強度之生命期最長（12 小時），最大對流中心之雲頂較高，而移行由 500 mb 氣流控制。系統 B 軌跡介乎其中，移速為  $60 \text{ km h}^{-1}$ ，生命期 9 小時，移行由 500~300 mb 平均氣流控制。

## 致 謝

作者們感謝中央氣象局謝信良先生提供部份資料，以及台大大氣科學系顏敏慧先生在繪圖、校稿及編排上之幫忙。

## 參考文獻

- 謝信良, 1981 : 中幅度降水天氣系統之分析研究。中央氣象局, 98 頁。
- Bosart, L.F., and F. Sanders, 1981 : The Johnstown flood of July 1977 : A long-lived convective system. J. Atmos. Sci., 38, 1616-1642.
- Maddox, R.A., 1980 a : An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. Mon. Wea. Rev., 108, 1108-1121.
- , 1980 b : Mesoscale convective complexes. Bull. Amer. Meteor. Soc., 61, 1374-1387.
- , C.F. Chappell, and L.R. Hoxit, 1979 : Synoptic and meso- $\alpha$  scale aspects of flash flood events. Bull. Amer. Meteor. Soc., 60, 115-123.
- , D.J. Perkey, and J.M. Fritsch, 1981 : Evolution of upper tropospheric features during the development of a mesoscale convective complex. J. Atmos. Sci., 38, 1664-1674.
- Wallace, J.M., 1975 : Diurnal variations in precipitation and thunderstorm frequency over the conterminous United States. Mon. Wea. Rev., 103, 406-419.
- Wetzel, P.J., W.R. Cotton, and R.L. McAnelly, 1982 : A long-lived mesoscale convective complex. Part II : Morphology of the mature complex. (submitted to Mon. Wea. Rev.)

## A Case Study of Southern China MCC during Early Spring

**George Tai-Jen Chen**

**Department of Atmospheric Sciences**

**National Taiwan University**

**Shui-Shang Chi**

**Central Weather Bureau**

**Wei-Chyuan Shieh**

**Chinese Air Force Weather Central**

Three cases of mesoscale convective complexes (MCC) over Southern China occurred during the early spring (March 13-15) of 1981 are chosen to study the structure and movement as well as the physical processes for initiating and maintaining the intensity of MCC. Results show that the speed divergence in the mid-and upper-troposphere is responsible for initiating and maintaining the MCC under the unfavorable stable lower troposphere environment. As the upper level divergence weakens the MCC's disappear in the stable troposphere. The MCC's seem to be steered by the 500~300 mb mean flow.