

# 梅雨季中尺度對流系統移動特徵與伴隨環境條件之研究

李正雄  
中央氣象局  
基隆氣象站

紀水上  
中央氣象局  
氣象衛星中心

## 摘 要

本文利用中央氣象局存於電腦磁帶的地面及高空觀測資料，每3小時間距之GMS紅外線色調強化雲圖，分析TAMEX之IOP#1、IOP#2期間發生於華南及台灣鄰近地區之四個中尺度對流系統之個案，以探討其演化、移動特徵及所伴隨之環境條件。

梅雨季發生於華南及台灣鄰近地區四個MCSs之移動型式可分為前進型、後退型及混合型(先緩慢前進後轉緩慢後退，或先緩慢後退再快速前進)。其移動型式與1000~500hpa厚度和 $\theta_e$ 分佈型式、不穩定爆發區以及地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)有關，當它移至厚度分流區則MCSs向上游移動，移至微弱厚度梯度區則緩慢移動，移至中度厚度梯度區則加速向前移動，唯上述移動過程中均沿著 $\theta_e$ 梯度軸線或中度 $\theta_e$ 梯度移動。因此大尺度環境在MCSs移動過程中扮演重要角色。

MCSs之移動型式除與上述環境條件有關外，尚與雲系間有無合併現象，最冷雲在MCSs的相關位置，對流尺度所引發外流邊界之交互作用，MCSs西方小對流雲是否存在及孟加拉灣/中南半島存在之所謂"熱帶關連"均有密切關係。此外，孟加拉灣/中南半島區對流雲強弱與華南鄰近地區MCSs之強度亦有相關。

## 一、前 言

氣候資料顯示，台灣地區豪雨的出現頻率除颱風外，主要發生在梅雨季(王等，1985；陳，1985)。台灣地區每逢梅雨顯著時，常有局部性豪雨發生，導致嚴重水災，造成人民生命財產損失，對國家經建成果影響至鉅，此乃梅雨被列為災變天氣之主要理由。而造成梅雨期豪雨的因素，皆由梅雨鋒面雲帶內之中尺度對流系統(Meso-scale Convective System；簡稱MCS)而來(例如：Chen，1977；陳與蔡，1987；劉，1982；丘等，1982；丘與慶，1984；紀與陳，1986；丘與劉，1985)。顯然，要增加豪雨的預報能力，以減少所帶來之損失，必須對所伴隨的中尺度對流系統增加了解。

下過多少雨？可持續多久？及該降雨系統將移至何處？等一連串的問題為提高豪(大)雨預報能力所應了解的。欲解答這些問題，就必須探討MCSs的演化及其移動過程。衛星影像可用來偵測系統的移動、成長、系統的合併(mergers)、外流邊界(outflow boundaries)和其它與MCSs移動與發展有關的動力特徵。Jiang and Scofield (1987)根據GOES (Geostationary Operational Environ-

mental Satellite) 影像將MCSs的移動型式分為：前進的(向東移動)，後退的(向上游發展/移動)和再生型(24小時內有兩個以上的MCSs經過同一地區)；後退和緩慢移動以及再生型的MCSs可導致暴洪，而快速前進者大都伴隨如龍捲風的劇烈天氣，因此，MCSs移動特性之研究是相當重要的。MCSs之移動型式與厚度(thickness)、垂直風切(Vertical wind Shear)、不穩定爆發區(instability burst)、相當位溫( $\theta_e$ )型式和濕度場有密切關係(Scofield, et al., 1990)。Herritt and Fritsch (1984)研究MCSs系統內MBEs(meso-scale beta elements)之移動，指出MBEs之移動似與850~300hpa厚度線一致，Scofield and Jiang (1987)利用紅外線觀測追蹤MCSs最冷雲頂之演化和移動，發現此種最冷頂之移動和MBEs之移動一致。他們發現850~300hpa及地面~700hpa厚度線分別為預測MBEs移向及移速之最好指標。此外，濕度指數和 $\theta_e$ 型式、低層噴流等因素，除在MCSs形成扮演主要角色外，亦為控制MCSs移動形式之重要機制。

6.7 $\mu$ m水汽頻道影像顯示，水汽柱(Water

Vapor Plume) 從間熱帶輻合區(ITCZ)向東北東伸展至美國地區, MCSs 將沿著水汽柱或鄰近地區發展和移動。台灣梅雨期間, 在孟加拉灣及中南半島一帶亦經常有組織良好的對流雲系產生, 雖然日本GMS衛星目前尚無水汽頻道(需至1994年底或1995年初), 但此熱帶水汽柱常可由紅外線雲圖予以描述。紅外線雲圖亦可分析出孟加拉灣或中南半島之對流從源區呈柱狀向東北東伸展至華南和台灣地區, 並與梅雨鋒面連接, 它可將對流源區之水汽透過暖輸送帶傳送至華南及台灣地區。從美國地區的經驗, 熱帶水汽柱經常伴隨深厚的水汽及不穩定氣團, 此兩者正為雷暴(特別伴有豪雨)發展的要害, 此一水汽柱與  $\theta_e$  脊軸一致(Scofield and Robinson, 1990), 我們稱此脊軸具有"潛在的"雷暴發展的潛能脊軸。本文主要在研究1987年5月13~17日TAMEX期間IOP#1、IOP#2發生於華南及鄰近地區四個中尺度對流個案之演化、移動過程與所伴隨環境條件, 採用中央氣象局所儲存的高空及地面觀測資料, 經由Barnes(1973)客觀分析後, 再計算輻散度、相當位溫、穩定指數、濕度場及1000~500hpa厚度; 利用衛星中心所蒐集每3小時間距經MB色調強化處理之紅外線衛星雲圖, 了解MCSs演化與移動過程, 希望藉由以上資料分析研究結果, 能增進對中尺度對流系統之演化、移動過程及所伴隨環境條件之了解, 藉以提昇中尺度對流系統之認識及增進豪(大)雨之預報能力。

## 二、資料與分析過程

本研究主要目的在分析1987年5月13~17日TAMEX之IOP#1、IOP#2期間, 發生於華南及其鄰近地區四個MCSs的演化、移動特徵及所伴隨環境條件, 所用的資料包括: 中央氣象局存於電腦磁帶的地面及高空觀測資料, 每3小時間距之GMS紅外線色調強化雲圖, 在分析過程中, 利用中央氣象局現有之程式將該局所存之傳統觀測資料進行解碼及偵錯後, 並獲取較大範圍內( $10^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$ ,  $90^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{E}$ ) 所有探空站資料, 再將此等資料利用Barnes(1973)客觀分析法內插至1經度 $\times$ 1緯度網格點上。Barnes曾以指數形式的權重函數來分析網格點的修正值, 其優點在於僅修正一次, 可以節省很多計算時間, 並不必使用濾波器, 即可濾除雜波。為了避免邊界資料不足分析品質不佳, 內插時以大區域處理, 但只輸出內部小區域( $18^{\circ} \sim 42^{\circ} \text{N}$ ,  $100^{\circ} \sim 130^{\circ} \text{E}$ ), 經客觀分析後之網格資料包括風場、高度場及溫度場等資料, 再進一步利用此等資料, 計算輻散度、相當位溫、濕度場、穩定指數及1000~500hpa厚度。

在衛星資料方面, 以每3小時間距之紅外線色調強化雲圖, 選取生命期較長( $\geq 6\text{h}$ ), 水平尺度 $> 20$ 公里, 雲頂溫度 $\leq -58^{\circ}\text{C}$ (MB色調雲圖之黑色色調)的幾何中心, 根據此中心位置隨時間之變化以便了解MCSs移動情形。此外, 並探討最冷雲中心在移動過程中之演化及在系統之相關位置。然而本文所使用之衛星雲圖間隔為3小時, 不易區分再生型, 僅將MCSs之移動分為向下游移動/發展之前進型、向上游發展/移動之後退型與前進轉後退或後退轉前進之混合型。圖1為MB色調強化曲線及經該曲線強化處理之雲圖。

## 三、結果與討論

### 個案一: 向下游發展/移動(13日0300~1200UTC)

#### 1. 雲系特徵

圖2為13日0300~1200UTC之每三小時紅外線色調強化雲圖。13日0300UTC(圖2a)顯示, 對流雲在中國大陸東南部及台灣北部海面鄰近地區發展另在 $27^{\circ} \text{N}/118^{\circ} \text{E}$ 附近形成之對流系統, 後來發展為較有組織的中尺度對流系統, 為本文探討第一個個案, 為便於說明將上述於0300UTC在 $27^{\circ} \text{N}/118^{\circ} \text{E}$ 附近形成之對流雲稱為MCS-0(參見圖2a)MCS-0形成後, 向東南移動並加強, 於0600UTC時分裂為二, 分別稱為MCS-A及MCS-B(圖2b), 此兩對流雲之最冷雲部份(雲頂溫度 $\sim -80.5^{\circ}\text{C}$ )位於系統南側部位, 兩系統隨著地面鋒面向東南移亦向東南移動。於0900UTC(圖2c)合併而擴大範圍並達到達成熟期, 此時最冷雲部份仍位於南側, 在其西南方已存之小對流胞有增強之趨勢, 且在孟加拉灣及中南半島一帶附近之對流雲亦較有組織(參閱圖2a~c)。之後, MCS-A及MCS-B向東南移動並開始減弱。1200UTC(圖2d), MCS-A之最冷雲之雲頂已顯著降低, MCS-B者亦然。

#### 2. 中尺度對流系統之移動特徵

MCS-0於13日0300UTC在 $27^{\circ} \text{N}/118^{\circ} \text{E}$ 附近形成, 並於0600UTC分裂為兩個有組織的中尺度對流系統(MCS-A及MCS-B), 該兩個MCSs均向東南移動, 但於0900UTC合併而加強並擴大範圍且達成熟期。之後, 兩系統繼續向下游移動, 於1200UTC時明顯地減弱, 出海後更迅速減弱消散。從MCS-0形成, 分裂至減弱/消散期間, 其移動路徑分析顯示, MCS-A及MCS-B平行1000~500hpa等厚度線, 沿著 $\theta_e$ 脊軸往下游移動。此外, 在MCSs前緣有700hpa之強風輸送暖濕氣流至鋒區, 增加該區之

不穩定度，致使 MCS-A及MCS-B沿著梅雨鋒向下游移動(如圖3)。

以下為伴隨本個案之衛星雲圖和地面與高空觀測之特徵：

(A) 衛星雲圖特徵：

- a. 有一地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)；
- b. 系統往下游(東或東南)移動；
- c. 雲系合併；
- d. 最冷雲頂(雲頂溫度 $\sim -80.5^{\circ}\text{C}$ )位於MCSs南側。

(B) 地面與高空觀測特徵：

- a. 850hpa  $\theta_e$ 脊軸出現；
- b. 1000~500hpa等厚度線呈東北東—西南西走向；
- c. MCSs沿著(平行於)1000~500hpa等厚度線移動；
- d. 700hpa強風從MCSs西南西/西北西吹至MCSs前緣匯合；

以上分析顯示，厚度型式、 $\theta_e$ 分布型式、不穩定度爆發區以及地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)等大尺度環境在MCSs移動過程中扮演非常重要的角色。

個案二：向上游(向後)發展/移動(13日1200UTC~14日0000UTC)

### 1. 雲系特徵

13日1200UTC(參見圖4a)在孟加拉灣/中南半島一帶附近之對流雲加強，且可看出一些深厚的對流雲，源區之水汽透過此深對流呈柱狀向東北東輸送至華南地區，並與梅雨鋒面連接。此雲柱(或稱水汽柱)與 $\theta_e$ 脊軸一致(參閱Scofield and Robinson, 1990)，由於它位於孟加拉灣/中南半島，因此稱之為“孟加拉灣/中南半島關連”(Bay of Bengal/Indo-China Connection)(參閱Chi and Scofield, 1991)。在本個案中，因有上述之關連，從孟加拉灣/中南半島呈柱狀向東北東輸送暖濕之高 $\theta_e$ 空氣至華南鋒區，導致在MCS-A、MCS-B西南方之較小尺度對流雲形成並發展。為便於說明，將上述於1200UTC(見圖4a)在 $23^{\circ}\text{N} \sim 24^{\circ}\text{N}/110^{\circ}\text{E} \sim 116^{\circ}\text{E}$ 附近形成並發展之三個對流雲系稱為MCS-C、MCS-D及MCS-E，為本文探討之第二個個案。此時，三個對流雲系之最冷雲部份皆位於系統之西側部位，MCS-C迅速往東南移動並減弱，而在MCS-D及MCS-E之間有一些小對流胞產生，此小對流胞可能為MCS-D及MCS-E所引發之外流邊界交互作用而成，且因此等對流尺度交互作用導致MCS-D向上游發展，並與MCS-E合併而擴大

其範圍(參見圖4b)。上述孟加拉灣/中南半島之對流加強並繼續提供較高 $\theta_e$ 空氣，除維持MCS-D和MCS-E之發展外，並增加此兩MCSs上游之不穩定度，致使此兩MCSs向上游發展，於1800UTC(圖4c)在 $23^{\circ}\text{N}/112^{\circ}\text{E}$ 附近合併成一較有組織且達成熟期階段的對流雲系，稱為MCS-F，該系統之最冷雲部份位於系統之西側部位，此時孟加拉灣/中南半島附近之深厚對流雲系已較前時間者不活躍，至2100UTC(圖4d)，孟加拉灣/中南半島附近之深厚對流也逐漸減弱，MCS-F也開始緩慢減弱。14日0000UTC(圖4e)時，MCS-F已消散且幾無法分辨，孟加拉灣/中南半島之深對流也不明顯。由以上衛星雲圖分析顯示，孟加拉灣/中南半島存在之所謂「熱帶關連」的強度，似與MCSs之演化有密切的正相關。

### 2. 中尺度對流系統之移動特徵

13日1200UTC，MCS-C、MCS-D及MCS-E於 $23 \sim 24^{\circ}\text{N}/110 \sim 116^{\circ}\text{E}$ 形成，此時三個對流系統之最冷雲皆位於系統西側，MCS-D與MCS-E中間有一些小對流產生，之後MCS-D與MCS-E及此等小對流胞產生交互作用，而導致MCS-D緩慢往上游移動並與MCS-E合併，由於此等向後發展及雲帶內之meso- $\beta$ 尺度雲束的合併，於1800UTC形成一個較有組織的對流系統，稱MCS-F，此時最冷雲部份位於系統西側，由MCSs之移動路徑分析，MCS-D位

於1000~500hpa厚度分流區，沿著高 $\theta_e$ 脊軸及地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)向上游移動。綜合上述，可繪成合成圖(如圖5)。

伴隨該個案衛星雲圖和地面與高空觀測之特徵如下：

(A) 衛星雲圖特徵：

- a. 有一稱為熱帶關連(Tropical connection)的“孟加拉灣/中南半島關連”存在；此種相連作用從孟加拉灣/中南半島向東北東輸送高 $\theta_e$ 空氣；
- b. 綜觀尺度邊界(梅雨鋒面)；
- c. 最冷雲位於MCSs之西側；
- d. 對流尺度交互作用和雲簇的合併，致使MCSs加強及向上游發展。

(B) 地面和高空觀測特徵：

- a. 有 $\theta_e$ 脊軸出現；
- b. 1000~500hpa厚度線呈現分流現象；

由以上分析顯示，雲系間的合併，外流邊界之交互作用， $\theta_e$ 脊軸及1000~500hpa厚度分流，為導致MCSs向上游發展之主要機制，而孟加拉灣/中南半島之關連在MCSs之形成發展與移動亦扮

演重要角色。

### 個案三：5月15日1200UTC~5月17日0000UTC

本個案MCSs之形成與移動型式非常複雜，包括向下游移動/發展(15日1200UTC~16日0000UTC)，之後轉向上游移動/發展(16日0000UTC~17日0000UTC)，所伴隨之雲系特徵及環境條件敘述如下：

#### 1. 雲系特徵

圖6為15日1200UTC至17日0000UTC之每三小時紅外線色調強化雲圖。15日1200UTC(圖6a)顯示，對流雲在中國大陸東南沿海附近地區呈散布狀發展，另有一對流雲在 $25^{\circ}\text{N}/105^{\circ}\text{E}$ 之廣西、貴州交界附近形成，後來發展為較有組織的中尺度對流系統，為本文探討個案之一。為便於說明，將此在 $25^{\circ}\text{N}/105^{\circ}\text{E}$ 附近形成之對流雲稱為MCS-A。MCS-A形成後緩慢向東南移動並加強，至1800UTC(圖6c)，MCS-A最冷雲部份(雲頂溫度 $\sim -80.5^{\circ}$ )皆位於系統西側部位(參閱圖6b及c)。此似為該MCS在上述期間移動緩慢原因之一。之後，MCS-A繼續向東南移並加強，但在其上游之雲貌已有變化(參閱圖6d)，即由勻滑的弧形，轉變為向西凸出之楔狀，最冷雲範圍擴大，並幾佔滿了整個雲系，唯最大之雲頂溫度梯度仍位於系統之西緣(上游)，顯示最強對流(不穩定度)在上游發生。MCS-A之雲砧繼續向東擴展，但對流部份幾呈滯留。至16日0000UTC(圖6e)，MCS-A在兩廣交界並繼續維持其強度，最冷雲之所在位置較偏系統西側部位，且在其西方又有小對流雲產生，MCS-A移動緩慢且有向上游發展移動之趨勢。

0600UTC(圖6f)MCS-A之母雲系雖南移至廣東與海南島之間加強，但最冷雲部份位於系統西側部位，且在其西方仍有小對流雲繼續產生，MCS-A已有明顯向西北西發展，其西緣(上游)已伸展至廣西、越南交界一帶，雲系形狀由原先的準圓形發展為線狀雲帶，且強度稍增強，在雲帶之西方仍有小對流雲形成，顯示在上游仍有相當的不穩定度。1200UTC(圖6h)，MCS-A仍繼續向西北西(上游)緩慢移動，且雲帶內之meso- $\beta$ 雲胞發生合併，導致MCS範圍擴大，但分裂為二，稱為MCS-A1及MCS-A2。MCS-A1在雲南、廣西交界，MCS-A2移至海南島西北方之廣東、越南邊界。MCS-A1最冷雲部份佔滿了整個系統，而MCS-A2若，則位於系統西側部位，另在此兩MCSs之間有一些小對流雲產生。此小對流雲可能為MCS-A1與MCS-A2發生尺度交互作用所激發而成，顯示此區

域潛在有相當的不穩定度，將致使MCS-A1向南移，MCS-A2向西移。於1500UTC(圖6i)合併擴大並加強而達成熟期。之後，MCS-A緩慢向南移，於1800UTC(圖6j)移至 $20^{\circ}\text{N}/107^{\circ}\text{E}$ 附近，而緩慢減弱，於17日0000UTC，MCS-A移至東京灣，其結構幾無法辨認(參閱圖6k)。

由以上分析顯示，冷對流雲之所在位置，雲系間之合併及雲系間之對流尺度交互作用，在MCS之形成及移動過程中，扮演相對重要的角色。

#### 2. 中尺度對流系統之移動特徵

類型I：向下游緩慢移動：5月15日1200UTC~16日0000UTC

MCS-A於15日1200UTC在 $25^{\circ}\text{N}/105^{\circ}\text{E}$ 附近形成後，向東南緩慢移動。在1500~1800UTC期間，MCS-A之最冷雲部份皆位於系統西側部位，此似導致MCS緩慢移動因素之一。2100UTC時，在MCS-A西緣之雲貌由勻滑的弧形變為向西凸出之楔狀，最冷雲範圍擴大，唯最大雲頂溫度梯度位於系統西緣，顯示在該MCS上游有不穩定度發生。16日0000UTC最冷雲之所在位置較偏系統西側部位，且在其西方有小對流產生，致使MCS-A移動緩慢，且有向上游移動之趨勢。從MCS-A形成至其西方出現小對流雲，其移動路徑分析顯示，MCS-A沿著 $\theta_e$ 脊軸和地面線觀尺度邊界(梅雨鋒)(圖7)向下游緩慢移動。

以下為伴隨本個案向下游移動衛星雲圖和地面與高空觀測之特徵：

##### (A) 衛星雲圖特徵：

- 有一線觀尺度邊界(梅雨鋒面)；
- 系統往下游(東南)緩慢移動；
- 最冷雲部份(雲頂溫度 $\sim -80.5^{\circ}\text{C}$ )位於MCS西側。

##### (B) 地面與高空觀測特徵：

- 850hpa  $\theta_e$ 脊軸出現；
- 高層(300hpa)噴流位於MCS之北方。

由以上分析顯示， $\theta_e$ 分布型式、地面線觀尺度邊界等大尺度環境及最冷雲之相關位置，在MCS移動過程中，扮演非常重要角色。

類型II：向上游緩慢移動：5月16日0000UTC~17日0000UTC

MCS-A於16日0000UTC之後，在其西方不斷地出現小對流雲，且最冷雲位於系統之更西側部位，使向南緩慢移動之MCS-A轉回向上游發展。由

MCS之移動路徑分析顯示，MCS-A位於 1000~500 hpa厚度分流區及地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)而向上游移動。綜合上述，可繪成合成圖(如圖8)。伴隨向上游移動衛星雲圖和地面與高空觀測之特徵如下：

(A) 衛星雲圖特徵：

- a. 有一綜觀尺度邊界(梅雨鋒面)；
- b. 最冷雲部份(雲頂溫度~-80.5°C)位於MCSs
- c. 西方有小對流雲產生，並輸流與MCSs合併，導致MCSs向上游移動。

(B) 地面與高空觀測特徵：

- a. 有  $\theta_e$  脊軸出現；
- b. 1000~500hpa等厚度線呈現分流現象；

由以上分析顯示，對流雲系西方小對流胞輸流與MCSs合併， $\theta_e$ 脊軸及1000~500hpa厚度分流等，為導致MCS向上游發展之主要機制。

個案四：5月15日2100UTC~16日2100UTC

本個案MCSs之形成與移動型式非常複雜，先向上游移動/發展(15日2100UTC~16日0600UTC)，之後轉向下游移動/發展(16日0600~2100UTC)其所伴隨之雲系特徵及環境條件敘述如下：

1. 雲系特徵

15日2100UTC(見圖9a)，約在23°N/114°E又有一對流雲系產生，後來發展為較有組織的中尺度對流系統，為本文探討個案之一，亦為TAMEX-IOP#2所觀測之個案。為便於說明，將此於2100UTC在23°N/114°E附近形成之對流雲系稱MCS-B。在此MCS與上面所述之MCS-A之間，有些散佈狀之小尺度對流胞產生，此等對流胞可能為MCS-B及MCS-A所引發之外流邊界交互作用而成，而導致MCS-B向上游發展。16日0000UTC(圖9b)，MCS-B向西南移動至廣州附近並加強。0600UTC(圖9c)，MCS-B稍向西南移且向上游發展，其強度明顯增強，此可能與在其西南方對流雲系減弱所引發之外流邊界而增加MCS-B內流所致。之後，MCS-B轉向東南移動(參閱圖9d)。出海後範圍擴大，但其最冷雲之部份較前述時間稍移至雲系之下游部位。1200UTC(圖9e)MCS-B沿著大陸東南沿岸，迅速向東北東移至台灣海峽南部與汕頭附近，強度上有明顯增強且達成熟期階段，其最冷雲已移至雲系之中間稍前部位。1500UTC(圖9f)，MCS-B迅速往東北移至台灣西南部海面，部份雲系已觸及台灣陸地，最冷雲雲頂溫度也顯著降低，顯見系統已減弱。1800UTC(圖9g)，MCS-B再向東北迅速移至台灣北部至北部海面，並迅速減弱

，於2100UTC(圖9h)出海後，減弱後消散。由以上分析顯示，MCS引發外流邊界之交互作用與MCS之形成與加強有關，而MCS之冷對流雲中心在母雲系之相對位置則與其移動型式有關。

2. 中尺度對流系統之移動特徵

類型 I：向上游發展/移動：5月15日2100UTC~16日0300UTC

MCS-B於15日2100UTC在23°N/114°E中國大陸東南部沿海附近形成，與在其西之MCS-A引發之外流邊界產生交互作用，導致MCS-B向上游移動。由MCS之移動路徑分析顯示，MCS位於1000~500hpa之微弱厚度分流區，沿著高 $\theta_e$ 脊軸及地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)向上游移動，綜合上述，可繪成合成圖(如圖10)。此外，850hpa之西南強風輸送暖濕氣流至MCS-B上游鋒區，致使不穩定在MCS-B上游鋒區爆發。

以下為伴隨本個案向上游移動之衛星雲圖和地面與高空觀測之特徵：

(A) 衛星雲圖特徵：

- a. 有一地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)；
- b. 對流尺度交互作用和雲簇的合併致使MCSs加強及向上游發展；

(B) 地面與高空觀測特徵：

- a. 850hpa  $\theta_e$  脊軸出現；
- b. 850hpa 西南強風輸送暖濕空氣 MCS 上游之鋒區。
- c. 1000~500hpa等厚度線呈現分流現象；

由以上分析顯示，厚度型式、 $\theta_e$ 分佈型式不穩度爆發區、以及地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)等大尺度環境在MCS移動過程中，扮演非常重要角色。

類型 II：向下游發展/移動：5月16日0600~2100UTC

MCS-B於16日0600UTC之後，轉向東南移動，於0900UTC移至香港、汕頭一帶，出海後範圍擴大，但強度上有稍許減弱，至1200UTC時再度增強並達成熟期。之後，沿著向東北移動，移經台灣北部至2100UTC出海後減弱消散。由MCS-B移動路徑分析顯示，MCS-B平行1000~500hpa之中度厚度梯度及 $\theta_e$ 梯度區，和地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)向下游移動，其合成圖(如圖11)。

以下為伴隨本個案向下游移動之衛星雲圖和

地面與高空觀測之特徵：

(A) 衛星雲圖特徵：

- a. 有一地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)；
- b. MCS之冷雲區由在母雲系之上游漸轉向下游；
- c. 系統先向東南再迅速向東北移動；

(B) 地面與高空觀測特徵：

- a. 850hpa有 $\theta_e$ 脊軸出現；
- b. 1000~500hpa等厚度線呈東北~西南走向；
- c. MCSs沿著(平行於)1000~500hpa中度厚度梯度移動；
- d. 850~700hpa西南強風輸送暖濕空氣至MCS下游之鋒區。

由以上分析顯示，梅雨期間發生於華南及其鄰近地區之MCSs，其形成與加強過程和移動特徵相當複雜，包括前進(快速/緩慢)、向上游發展、向下游發展及向上游發展後轉向下游、和向下游發展再向上游之混合型，顯見MCSs之移動型式與厚度分佈型式有密切關係。

此似可由熱力風/垂直風切加以說明。一般而言，等厚度線(等溫度線)應和熱力風平行，而熱力風實質上它是陳述垂直方面的風切的關係；當厚度梯度愈大，代表垂直方面風切愈大，熱力風也愈大，致使MCSs快速向下游移動，當厚度梯度漸小，代表垂直方面風切漸小，熱力風漸小，致使MCSs緩慢移動，若移至厚度分流區，代表垂直方面風切愈小，熱力風愈小，致使向上游緩慢移動。此外，對流尺度之交互作用在導致上述特徵扮演十分重要的角色。

## 五、總結與建議

本文利用中央氣象局存於電腦磁帶的地面及高空觀測資料，每3小時間距之GHS紅外線色調強化雲圖，分析1987年5月13~17日TAMEX之IOP#1、#IOP2期間，發生於華南及其鄰近地區四個MCSs的演化、移動特徵及所伴隨環境條件，綜合本研究各部份之討論，初步結果如下：

1. 深對流在孟加拉灣/中南半島發展，透過所謂“熱帶關連”由該區呈柱狀地向東北東輸送較高 $\theta_e$ 空氣至下游，此種現象稱為“孟加拉灣/中南半島關連”，因此，此種關連在梅雨季MCSs的形成與加強扮演重要角色。
2. MCSs引發的外流邊界交互作用可激發MCSs之形

成，雲帶或雲系間合併致使MCSs西進(向上游發展)；因此，對流尺度之交互作用在MCSs演化和移動特徵扮演重要的角色。MCSs移動與1000~500hpa厚度分佈型式有關，當它移至厚度分流區則向上游移動，至微弱厚度梯度區則緩慢移動，移至中度厚度梯度區則加速向前移動。

3. 梅雨期間，發生於華南及台灣鄰近地區之MCSs，其形成與加強過程和移動特徵相當複雜，包括前進型、後退型及混合型(先緩慢前進後轉緩慢後退，或先緩慢後退再快速前進)，對流尺度之交互作用在導致上述特徵扮演十分重要的角色，各移動型式所伴隨之環境條件如下：

- ① 前進型(個案一)：MCS快速向下游(通常向東南)移動，較冷雲頂位於MCS之南側，在MCS前緣(下游)有700hpa強風攜帶暖濕空氣，以維持該區不穩定度，具有平行1000~500hpa厚度線、地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)及沿著 $\theta_e$ 脊軸往下游移動。
- ② 後退型(個案二)：較冷雲頂位在MCSs西側部位，MCSs西側有較小對流胞沿著外流邊界輪流與MCSs合併，而導致MCSs向上游移動/發展，有位於1000~500hpa厚度分流區及沿著 $\theta_e$ 脊軸和地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)往上游移動。
- ③ 混合型：

(A) 先緩慢前進，後轉緩慢後退(個案三)：較冷雲位於MCSs西側，並沿著 $\theta_e$ 脊軸和地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)緩慢往下游移動，之後西方有小對流雲產生，且移至厚度分流區再沿著 $\theta_e$ 脊軸和地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)往上游緩慢移動。

(B) 先緩慢後退，後轉快速前進(個案四)：對流尺度交互作用，西方又有小對流雲產生，MCS前緣有西南強風，增加其不穩定度，並移至厚度分流區及沿著 $\theta_e$ 脊軸和地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)往上游移動，之後，再平行1000~500hpa等厚度線及沿著 $\theta_e$ 脊軸和地面綜觀尺度邊界(梅雨鋒)迅速向下游移動。

本文分析1987年5月13~17日發生於華南地區之MCSs個案，即發現不同移動/發展型式，伴隨不同的衛星雲圖特徵，若增加個案並做合成研究，必可求出各種移動特徵所伴隨之環境條件，對MCSs之形成、加強與移動過程可增加了解，並提高此種系統導致(大)雨之預報能力。此外，本文未加入地形效應及日夜變化，此等效應在MCSs之形成亦扮演相對重要的角色，因此地形導致之局部環流在MCSs演化過程中之貢獻，亦為日後努力的方向之一。

。由於氣象局即時預報系統的建立，可提供有利的分析工具，以增加MCSs所在之環境條件的了解，將有助於即時／極短時預報之能力。

#### 參考文獻

- 王時鼎、鄭俠、徐晉淮與丘台光，1985：五、六月間台灣地區暴雨之環境條件。天氣分析與預報研討會論文集編，中央氣象局，55~72。
- 丘台光、廖學錕與洪理強，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集編，中央氣象局，233~247。
- 丘台光、廖學錕，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、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，12，93~102。
- 紀水上，1989：TAMEX 期間華南及台灣鄰近地區中尺度對流系統演化及環境條件之研究。國科會NSC78-0202-M052-09。
- 紀水上與陳泰然，1986：中尺度對流系統發展與消散之環境條件，1981年5月27日-28日個案分析，第四屆全國大氣科學學術研討會論文集，120-137。
- 陳泰然，1985：劇烈區域性豪雨觀測與分析實驗計劃之可行性研究，國科會防災科技研究報告73~42號，32頁。
- 陳泰然與蔡清彥，1978：台灣地區地梅雨個案之中幅度系統、觀測誤差與平衡 $\omega$ 值之分析。台大大氣科學系研究報告 Mei-Yu-C02，44頁。
- 劉廣英，1982：民國70年5月28日豪雨與中範圍天氣系統之關係。氣象預報與分析，91，1~10。
- Barnes, S.L., 1973: Mesoscale objective map analysis using weighted time series observations. NOAA Tech. Meso. ERL NSSL-62, 60pp.
- Chen, G. T. J., 1977: An analysis of moisture structure and rainfall for a Mei-Yu regime in Taiwan. Proc. Ntal. Sci. Coun., 1, 11, 1-21.
- Chi, S.S. and R.A. Scofield, 1991: Study on the meso-scale convective systems (MCSs) propagation characteristics over subtropical China during Taiwan Mei-Yu season. Int'l Conf. on Mesoscale Meteor. and TAMEX, December, 3-6, 1991,

Taipei, Taiwan, R.O.C. 32-41.

- Jiang, S. and R.A. Scofield, 1987: Satellite observed meso-scale convective systems (MCSs) propagation characteristics and a 3-12 hours heavy precipitation forecast index. NOAA/NESDIS Technical Memorandum, NESDIS 20, U.S. Department of Commerce, Washington DC, 43pp.
- Merritt, J.H. and J.M. Fritsch, 1984: On the movement of the heavy precipitation areas of mid-latitude meso-scale convective complexes. Preprints, 10th Conf. on Wea. Fore. and Anal., Clear-water Beach, Fl., Amer. Meteor. Soc., 529-536.
- Scofield R.A., J. Robinson, and N.L. Lyles, 1990: Satellite estimates and forecasts of heavy rainfall from meso-scale convective systems (MCSs). Conference on operational precipitation estimation and prediction. 7-8, 1990., Anaheim, Calif Amer. Meteor. Soc., 5-12.
- Xie, J., and R.A. Scofield, 1989: Satellite-derived rainfall estimates and propagation characteristics associated with mesoscale convective systems (MCSs). NOAA/NESDIS Tech. Memo. NESDIS 25, Washington, DC, 49pp.

A Study on the Mesoscale Convective Systems Propagation Characteristics And Their Association with Environmental Conditions during Mei-Yu Seasons

Jenn-Hsyong Lee Shui-Shang Chi

Central Weather Bureau  
Keelung Station Satellite Center

#### ABSTRACT

The paper uses surface and upper observations archived in computer tape by Center Weather Bureau, the GMS enhanced infrared satellite pictures at 3-h interval, to explore the evolution and propagation characteristics and the environmental conditions associated with four mesoscale convective systems (MCSs) which occurred over the subtropical China and Taiwan adjacent area in the period of TAMEX IOP#1 and IOP#2. The moving types of MCSs are divided into forward propagation, backward propagation and the mixture (first forward slowly and then backward slowly or first backward slowly and then forward fast), occurred over subtropical China and Taiwan adjacent area during Mei-Yu seasons. The types are related to the distribution of thickness (1000~500hPa) and theta-e, the instability burst area and synoptic scale boundary (Mei-Yu front). MCS will propagate upwind as it moves over the diffluent area of thickness, it will move slowly as it is over the weak gradient area. The MCSs will move down-wind fast as it moves over the area of moderate gradient of thickness. The movement processes mentioned above are all moving along the axis of theta-e or moderate gradient of them. Therefore, the large scale environment plays an important role in the MCSs propagation. The moving types of MCSs above are related to the environmental conditions. They are also closely related to: the cloud mergers, the position of cold top over the MCSs, the interaction outflow boundary produced by convective clouds, smaller convective clouds being present or absent over the western edge of MCS and the so-called "Bay of Bengal/Indo-China connection." The intensity of convective cloud over the area of Bay of Bengal/Indo-China is also related to the MCSs occurred over the subtropical China.

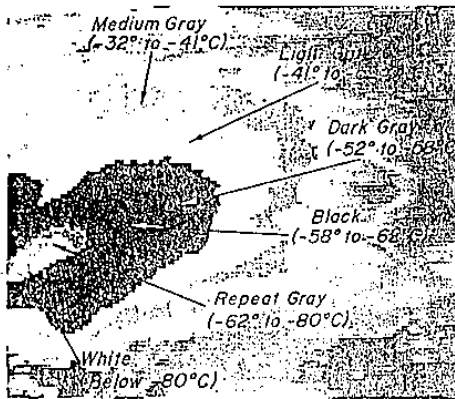
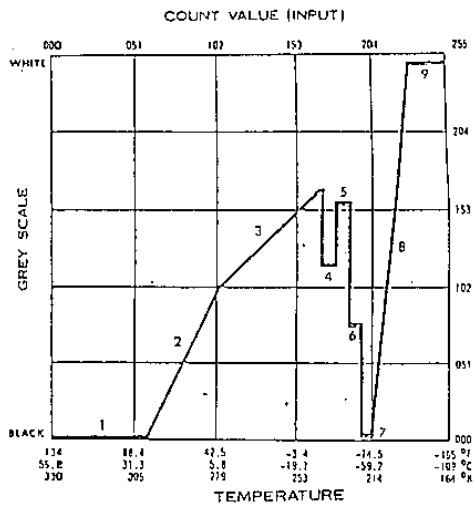


圖 1. MB色調強化曲線及經該曲線強化處理之雲圖。

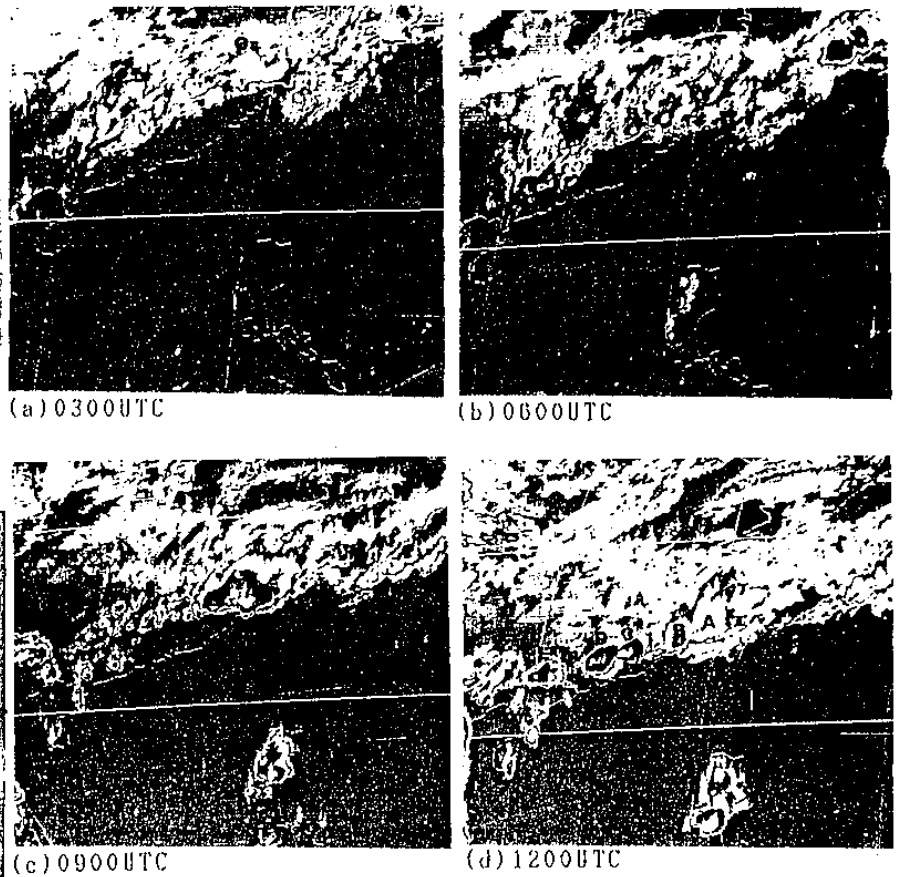
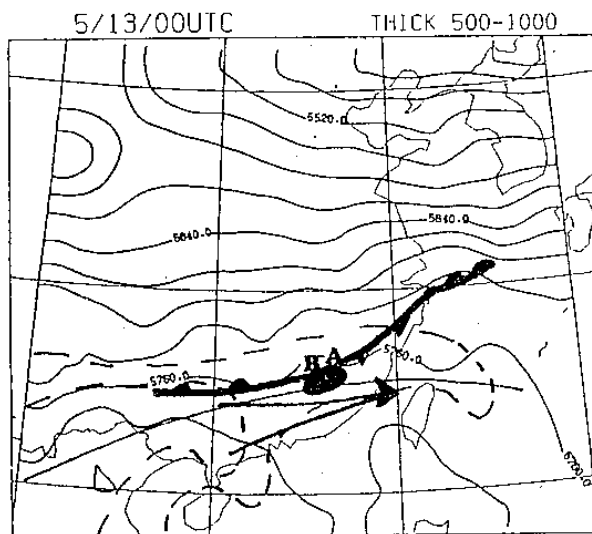


圖 2. 1987年 5月 13日 0300UTC~1200UTC之每三小時間距紅外線色調強化雲圖, (a)0300UTC (b)0600UTC (c)0900UTC (d)1200UTC。



- 850hpa 等相當位溫線
- 1000~500hpa 等厚度線
- 700hpa 最大風速
- 地面鋒面
- $\theta_e$  脊軸

圖 3. 1987年 5月 13日 0000UTC (MCS-A及 MCS-B形成前 6小時) 之綜觀型式, 陰影區表示中尺度對流系統。



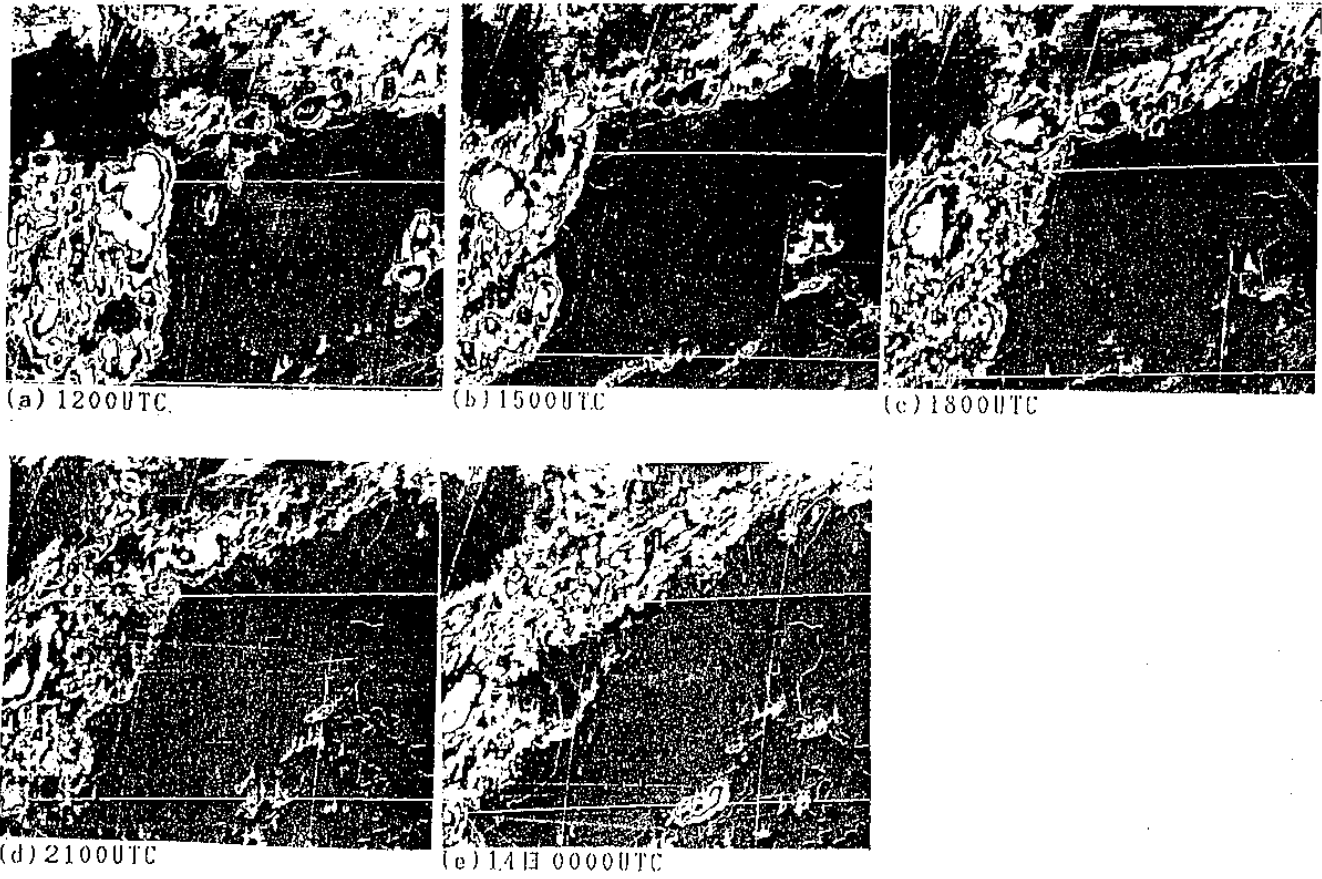


圖 4. 1987年 5月 13日 1200UTC~ 14日 0000UTC之每三小時間距紅外線色調強化雲圖, (a)1200UTC (b)1500UTC (c)1800UTC (d)2100UTC (e)14日 0000UTC。

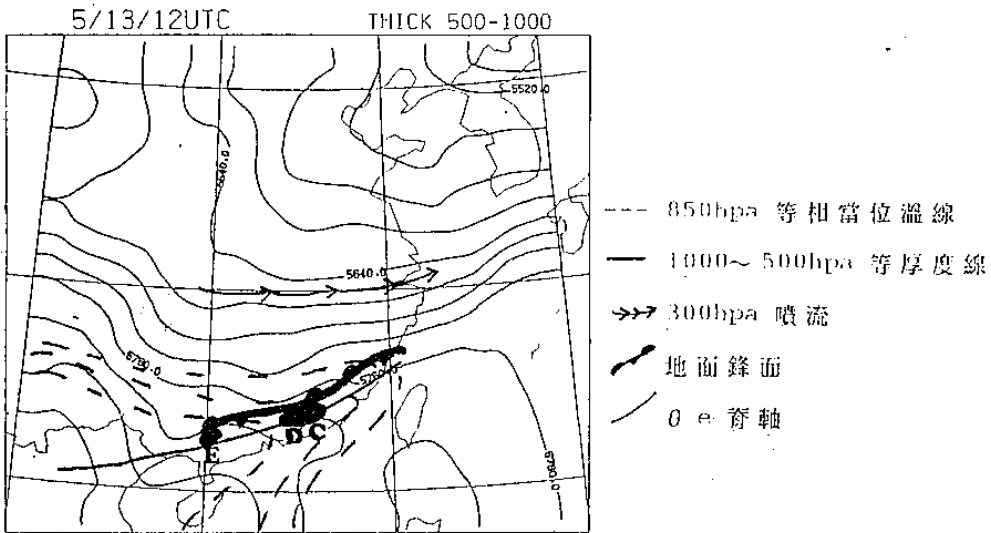


圖 5. 1987年 5月 13日 1200UTC (MCS-C、MCS-D及 MCS-F形成時) 之線觀型式, 陰影區表示中尺度對流系統。

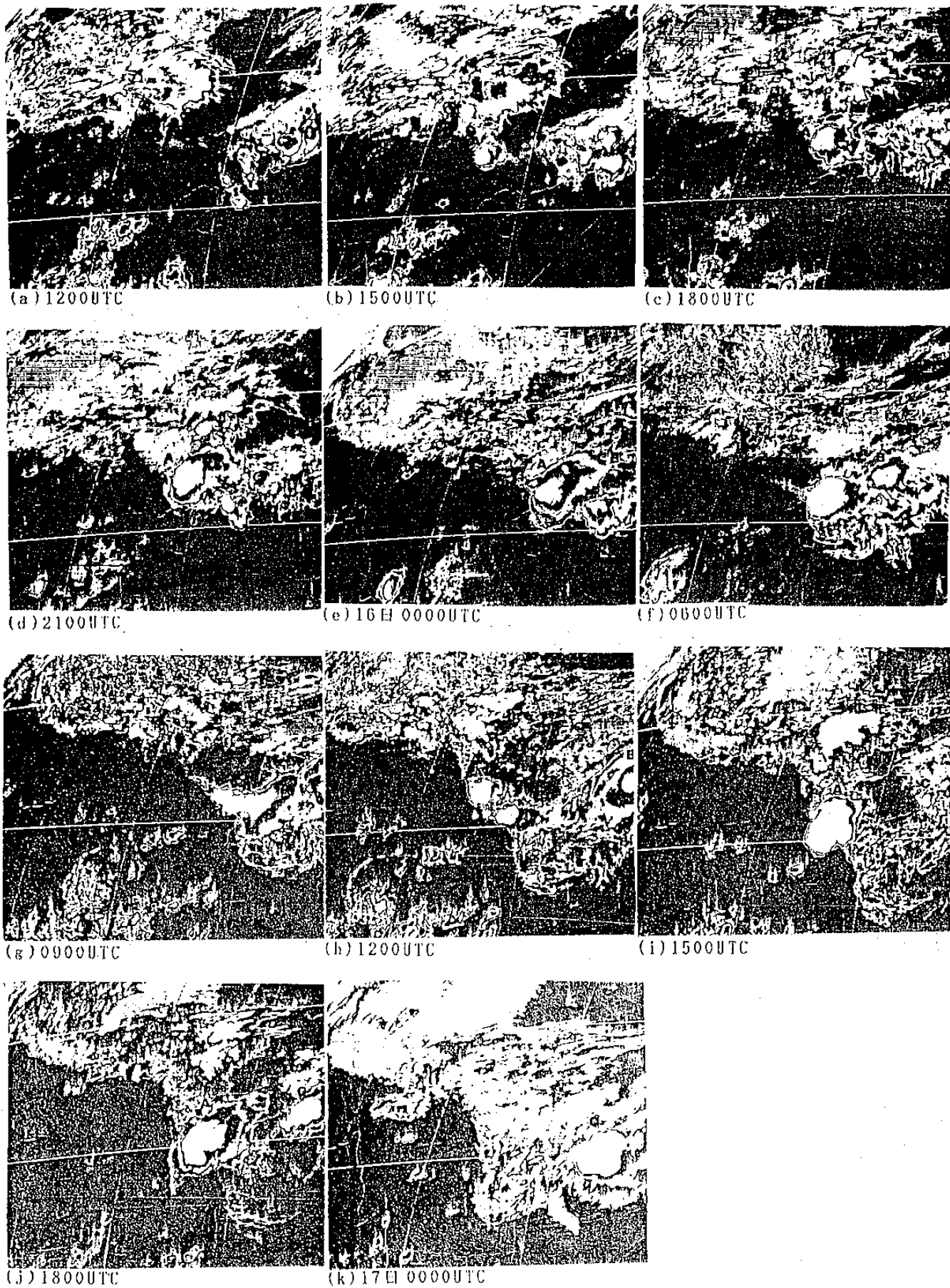


圖 6. 1987年 5月 15日 1200UTC~ 17日 0000UTC每三小時間距  
 紅外線色調強化雲圖, (a)1200UTC (b)1500UTC  
 (c)1800UTC (d)2100UTC (e)16日 0000UTC (f)0600UTC  
 (g)0900UTC (h)1200UTC (i)1500UTC (j)1800UTC  
 (k)17日 0000UTC。

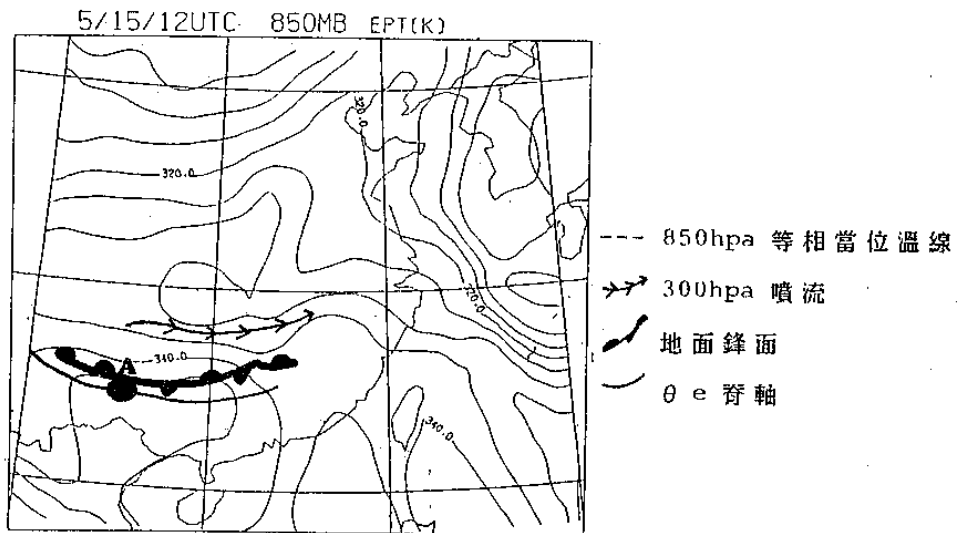


圖 7. 1987年 5月 15日 1200UTC (MCS-A 形成時) 之綜觀型式。

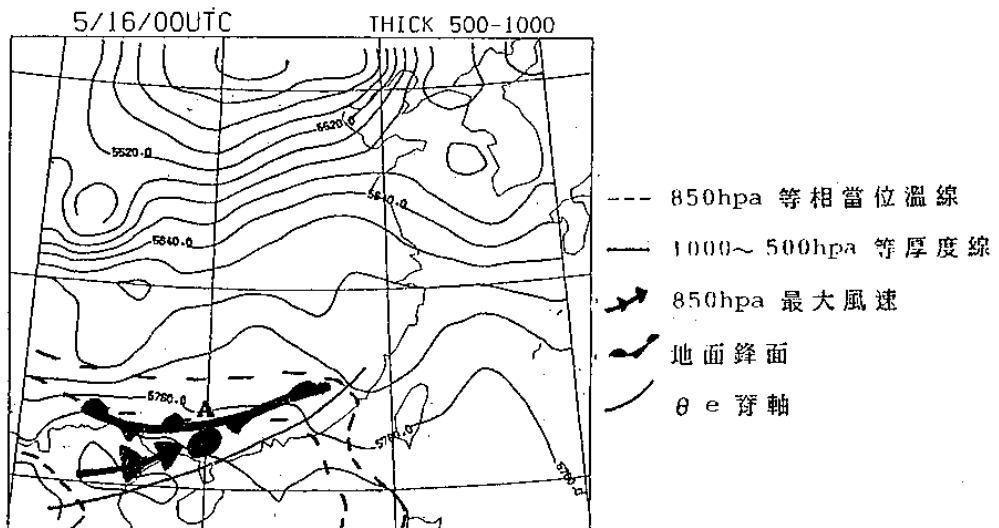
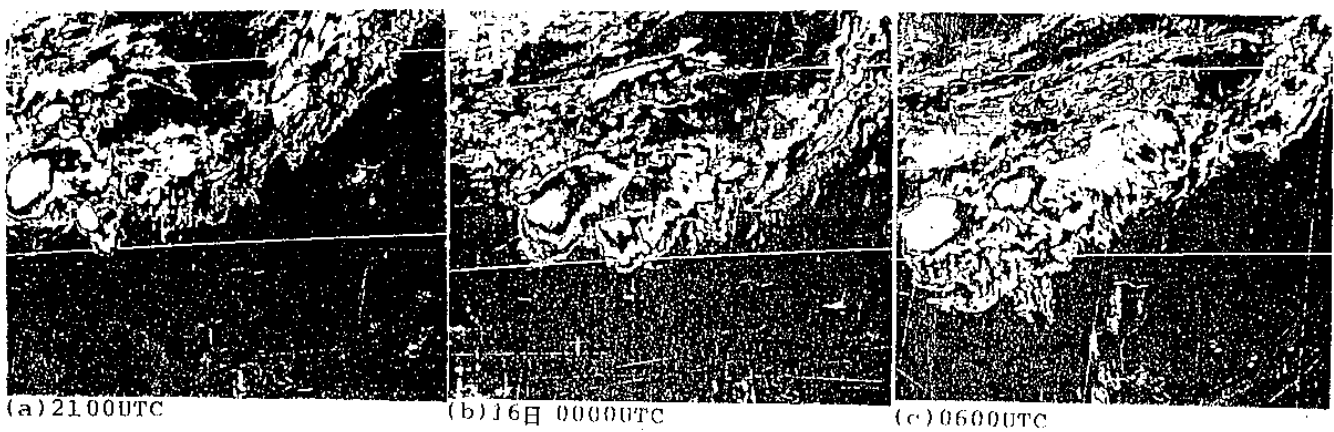


圖 8. 1987年 5月 16日 0000UTC (MCS-A 形成後 12小時) 之綜觀型式。



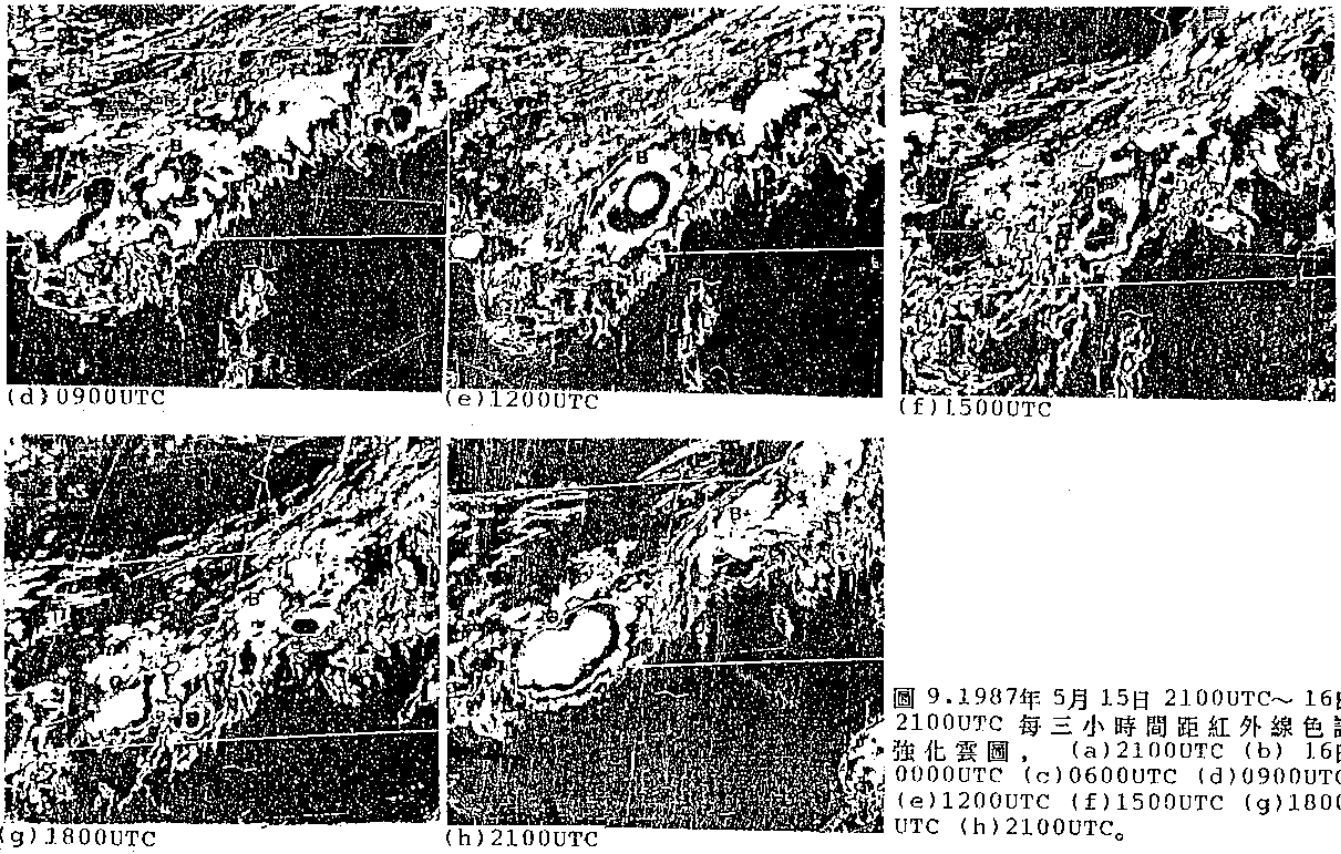
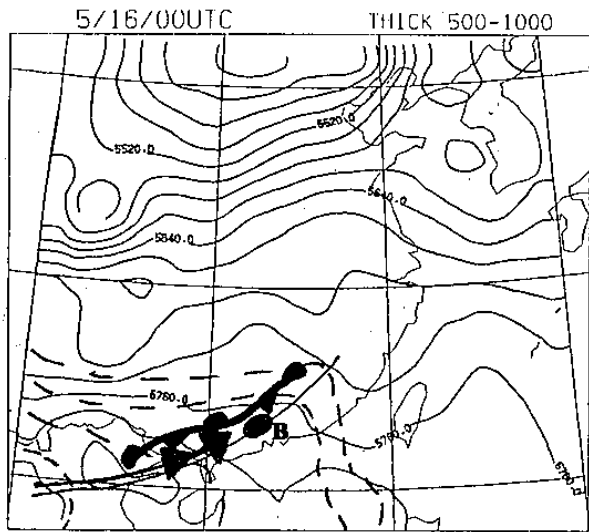
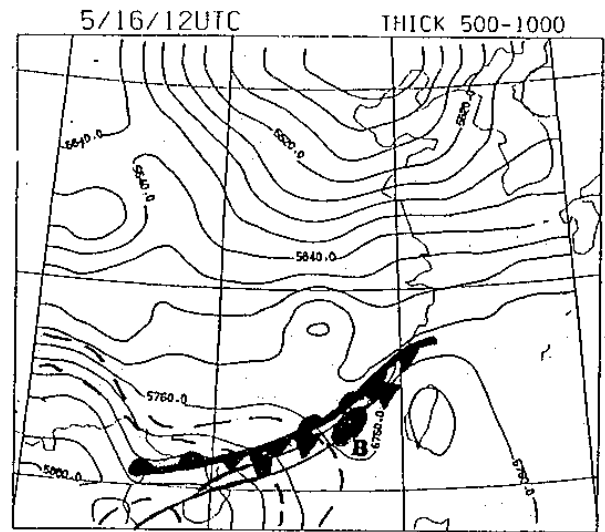


圖 9. 1987年 5月 15日 2100UTC ~ 16日 2100UTC 每三小時間距紅外線色調強化雲圖, (a) 2100UTC (b) 16日 0000UTC (c) 0600UTC (d) 0900UTC (e) 1200UTC (f) 1500UTC (g) 1800 UTC (h) 2100UTC。



- 850hpa 等相當位溫線
- 1000~500hpa 等厚度線
- ↗ 850hpa 最大風速
- 地面鋒面
- $\theta_e$  脊軸



- 850hpa 等相當位溫線
- 1000~500hpa 等厚度線
- ↗ 850~700hpa 最大風速
- 地面鋒面
- $\theta_e$  脊軸

圖 10. 1987年 5月 16日 0000UTC (MCS-B 形成後 3小時) 圖 11. 1987年 5月 16日 1200UTC (MCS-B 達成熟期時) 之綜觀型式。