

發展性與非發展性中尺度對流系統 環境條件之比較

林 民 生

中央氣象局應用氣象組

林 熿 閔 王 時 鼎

中央氣象局科技中心

摘 要

本文之目的在比較 1987 年「台灣地區中尺度實驗計畫」(TAMEX) 密集觀測期間，發展性與非發展性中尺度對流系統個案 (IOP 2 和 IOP 1) 環境條件之差異性。經由解碼、偵錯、客觀分析之網格點資料顯示，5 月 13 日 (IOP 1) 之中尺度對流系統 (MCS) 係嵌入於快速移動之鋒面系統，與 5 月 16 日 (IOP 2) 之正常移速鋒面有所不同。檢視運動及熱力參數所顯示之 MCS 環境條件及中尺度環境系統，我們發現 IOP 2 之 MCS 伴隨著明顯之低層噴流、低層氣旋式渦度和輻合、中低層短波槽、高層速度輻散及分流、鋒前暖平流、水汽通量輻合等條件，有助於 MCS 之形成與發展。

一、前 言

台灣地區豪、大雨的出現除颱風期外，主要集中在梅雨季 (陳，1988)；梅雨鋒面經常伴隨有中尺度對流系統 (MCS) 並衍生局部性豪雨。鑑於豪雨導致災害之嚴重性，豪雨系統內部結構及形成豪雨機制認知上之不足，再加上豪雨預報之難於掌握，中外氣象界均有豪雨或中尺度實驗觀測。我國氣象界在國科會支援下，於去 (1987) 年 5 月 1 日— 6 月 30 日進行中美合作之「台灣地區中尺度實驗計畫」(簡稱 TAMEX)。此計畫所搜集到之完整密集觀測資料，將可提供針對 MCS 及中尺度環流系統研究上之所需。

丘與林 (1985)，紀與陳 (1986) 研究認為台灣地區梅雨季之豪雨，除颱風外，均係由梅雨鋒面帶內之 MCS 而來，故產生豪雨之環境條件即為 MCS 之環境條件。紀與陳 (1986) 研究認為 MCS 係在梅雨鋒及鋒前之大尺度上升運動區及水汽通量輻合區內發展。丘與劉 (1985)，曲與任 (1986) 顯示低對流層短波槽可提供動力強迫上升運動以激發 MCS；但 Maddox (1983) 及 Lin (1986) 則認為中對流

層短波槽亦具有類似的功能。曲與任 (1986) 認為台灣地區產生豪雨前大陸東南沿海之冷舌常向台灣一帶南伸，且台灣地區在豪雨前有顯著的暖平流存在，此種環境條件和 Maddox (1983) 研究美國中西部 MCC 產生之背景十分相似。陳等 (1986)，林和林 (1988) 研究認為對流層大氣存在有對流性不穩定度為豪雨發生前之必要條件。此外，Maddox (1983) 和 Lin (1986) 研究合成 MCC 之環境條件，咸認為 LLJ，高層輻散及分流均有助於 MCC 之形成與發展。

本研究將利用 TAMEX 資料管理組整理完竣之資料，利用 3 小時的衛星雲圖追蹤 IOP 1 及 IOP 2 華南及台灣鄰近地區的 MCS 演化過程。經配合客觀分析所獲取之網格資料，計算運動與熱力參數等環境條件及中尺度環流系統，以了解發展性 (IOP 2) 與非發展性 (IOP 1) MCS 發生前後之環境條件及中尺度環流系統之差異性，作為豪、大雨預報之有利參考。

二、資料收集與研究方法

本研究首先搜集 TAMEX 資料管理組所出版之

GMS 同步衛星雲圖，這些雲圖包含可見光及紅外線兩種，大致上約每小時有一張圖片。從這些連續的衛星雲圖可以確認中尺度對流系統 (MCS) 的演化過程及其行徑。

此外，我們從中央氣象局資訊測站所收錄的高空觀測資料 (TEMP)，經轉錄、解碼、偵錯、確實化等手續後，獲取較大範圍內 (10°-46°N, 98°-136°E) 所有探空站之資料。再將此等資料利用 Cressman 客觀分析法 (Ogura and Chen, 1977) 解析至特定網格點上，茲將 Cressman 方法簡述如下：

本文所採用 Cressman (1959) 之逐次修正法，係將不均勻探空站之資料內插到 2 經度乘 2 緯度之網格系統上。探空站之平均間距約 300 公里左右，經此內插手續後仍可保持原有資料之特性。在經過 4 次的逐步修正，第一次猜測值設為 0，四次修正的有效影響半徑分別是 6°, 4°, 3°, 2°。從內插完畢後之資料網格領域內選取一個較小的區域 (14°-40°N, 104° - 130°E)，基本上使小區域的側邊界離原邊界 6 或 4 個經緯度，將可避免側邊界因資料之不足造成的誤差干擾。

垂直速度 (ω) 的計算係參考 Ogura and Chen (1977)，此法利用運動學法積分輻散度求得 ω ，再經 O'Brien (1970) 方法由上往下修正。並考慮地形對地面風場的抬升作用，以下式計算下邊界 (地面) 之垂直速度 ω_0 ，即

$$\omega_0 = -\rho g v_H \cdot \nabla h$$

式中 v_H 表示地面的水平風場， h 表示地面高度，上邊界 (100 mb) 的垂直速度設為 0。

經客觀分析後之網格資料包括有風場、溫度場、高度場、濕度場等資訊，再進一步計算渦度、輻散度等運動參數，相當位溫及穩定指數等熱力參數，同時也評估溫度及濕度之平流及通量。

三、IOP1 和 IOP2 MCSs 之演化過程

根據吳與陳 (1987) 之「台灣地區中尺度實驗計畫」報告指出，在 5 月 13 日 (IOP 1) 00z 時，伴隨梅雨鋒面之四個 MCSs 分別位於東海北部、台灣北部海面至福建沿海、浙江及湖南境內，此四個

MCSs 隨著鋒面向東南移動。至 03z 時，在台灣北部海面至福建沿海之 MCS 稍向東南移動並迅速減弱；位於東海北部之 MCS 續向東移動，雲系前部份增強並呈線狀雲帶，後部則減弱。湖南境內之 MCS 東移減弱，但浙江境內 MCS 稍東移增強。於 06z 時，除在東海以東及福建與江西間之 MCSs 增強外，其餘則減弱消散。至 09z 時，江西福建一帶之 MCS 稍南移並達最大強度，該系統以西之對流雲再度增強，而東海東方海面至日本南方之鋒面雲系增強並向上游發展，伸展至台灣東北方近海。10z 時 (圖 1a) 江西福建之系統繼續南移至福建沿海但強度稍減弱，雲貴一帶漸有系統發展東移。於 12z 時 (圖 1b) 福建沿海之 MCS 更隨鋒面帶南移至台灣海峽北部至福建沿海一帶，而雲貴廣西一帶之系統已和福建沿海之系統聯成一串，此外在台灣東北部之宜蘭、花蓮一帶有一新生之 MCS 產生。自 13z (圖 1c) 至 14z (圖 1d)，於台灣海峽北部之 MCS 繼續南移至台灣北部海面而漸減弱消散，但宜蘭、花蓮一帶之 MCS 向東擴展並增強。15z 時台灣東北方海面之雲帶向東南移動並遠離台灣，兩廣一帶之 MCSs 沿著鋒面東移，最前方之 MCS 移至福建沿海消散，中南半島一帶之 MCSs 增強並與鋒面帶連接。綜上分析，台灣東方近海較有利於 MCS 之形成與加強，但自華南一帶向東或南移至廣東、福建沿海之系統則迅速減弱，乃為 IOP 1 MCS 之主要特色。

5 月 16 日 (IOP 2) 00z 時，梅雨鋒面雲系自台灣海峽向西延伸經廣東至廣西境內，深對流雲區位於廣東、廣西境內及廣東沿海一帶。至 03z 時廣東沿海之 MCS 消散，但廣東境內 MCS 東移減弱，而廣西境內有一新生 MCS 並東移。至 06z 時，鋒面雲帶由浙閩沿海向西南延伸經廣東至廣西之西部。此時廣東地區之 MCS 移入台灣北部近海，唯強度較弱。至 09z 時，伴隨鋒面之對流雲系分別向東、東南及南移動且強度稍增強，浙閩沿海之雲系已移至東海且擴及台灣中北部；唯主中心尚位於東海西部，廣東境內 MCS 已東移增強擴展至廣東沿海，東西境內之 MCS 南移至廣西沿海與中越邊界地區。10z 時 (圖 2a) 自東海南部經台灣中北部至廣東南部海面，主中心分別在福建沿海及廣東沿海一帶。於 12z

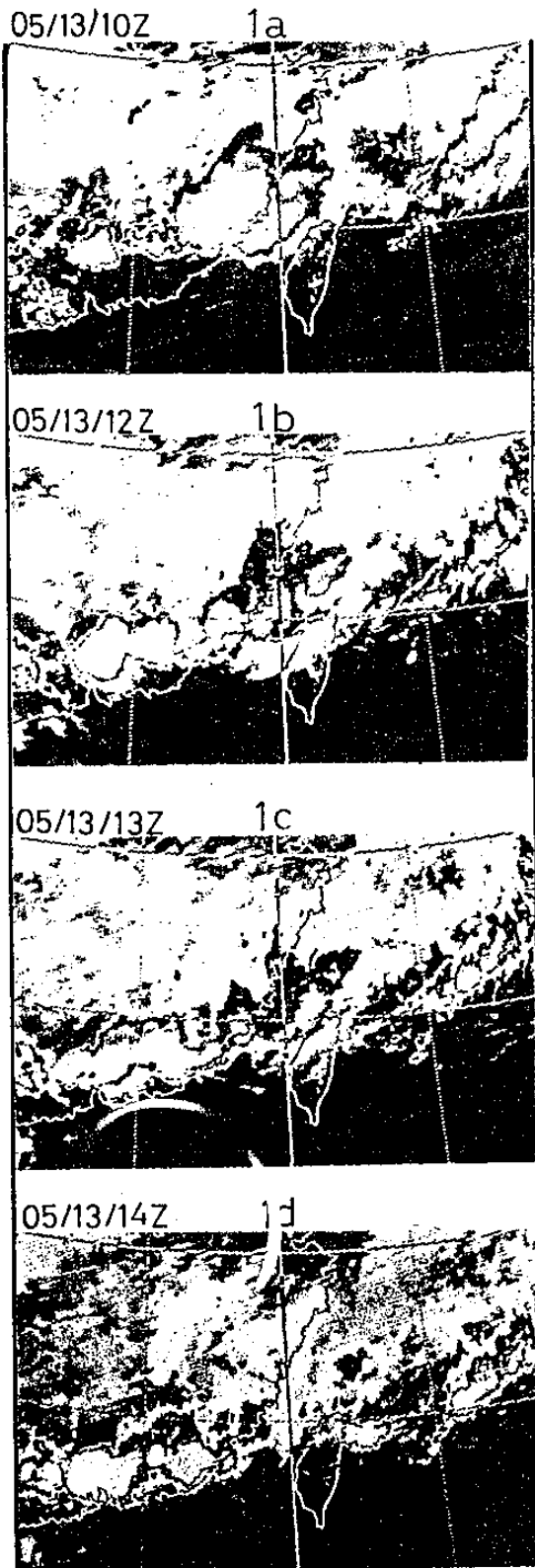


圖1 IOP 1 紅外線衛星雲圖。(1a) 05/13/10z
(1b) 05/13/12z (1c) 05/13/13z (1d) 05/13/14z.

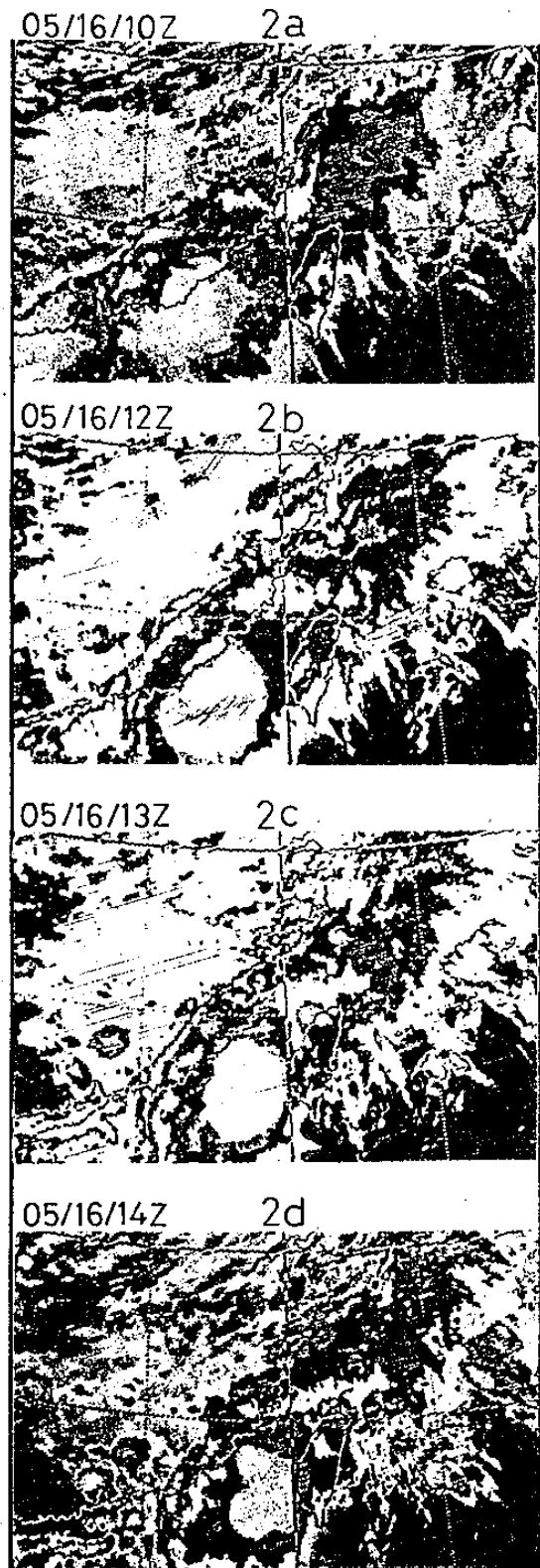


圖2 IOP 2 紅外線衛星雲圖。(2a) 05/16/10z
(2b) 05/16/12z (2c) 05/16/13z (2d) 05/16/14z.

時(圖 2 b)東海區之雲系繼續東移減弱,廣東沿海之 MCS 東移至台灣海峽西部並加強,其外圍雲系已抵台灣西部沿海;位於廣東沿海附近之 MCS 減弱,但在中越邊界附近 MCS 增強且擴展。自 13z(圖 2 c)至 14z(圖 2 d)之間,台灣海峽西南部之 MCS 東移且漸減弱,但主要雲系已侵襲台灣西南部地區。至 15z 時,台灣海峽西部之 MCS 繼續東移,整個雲系之強度及範圍更形減弱,但在此雲系後方另有對流雲發展。此時在海南島附近之 MCS 消散,但中越邊界之 MCS 東南移,增強且擴展。綜上分析,顯示 IOP 2 之 MCS 自華南至廣東、福建沿海,這段生命期內之增長,與 IOP 1 之消散截然不同,值得分析比較其環境條件之差異性。

四、IOP1 和 IOP2 MCSs 環境條件之比較

IOP 1 和 IOP 2 之 MCSs 在華南沿海一帶之生命期,大體上可以 13 日 00z 及 16 日 00z 代表 MCSs 之生長期,並以 13 日 12z 及 16 日 12z 代表 MCSs 之成熟期。本文將著重在此四個時段之綜觀天氣形勢及 MCS 環境條件之分析,藉以詮釋 MCS 消長之有利或不利因素。

(一)地面形勢

5 月 12 日華南地區有低壓形成,隨後並有鋒面出現,13 日低壓向東北東移至 30°N, 123°E (圖 3 a),但由於鋒後有較強高壓存在,迫使梅雨鋒面系統於 13 日晚至 14 日晨通過台灣進入巴士海峽,此鋒面移動較快(沿 120°E 之向南分量約 20kts),當此鋒面過境時台灣地區並無顯著降水。圖 3 a 為 13 日 00z 至 14 日 00z 每隔 6 小時之鋒面運動圖。

5 月 15 日高壓出海後,華中低壓(44°N, 113°E)伴有鋒面系統,華南亦有低壓(28°N, 112°E),至 16 日 00z (圖 3 b)此兩中低緯度系統推進至 39°N, 121°E 及 25°N, 113°E,隨後此兩鋒面系統合併後於 17 日清晨通過台灣北部,並伴有明顯風變及雷雨。此鋒面移經 120°E 之向南分量約 15kts,當鋒面移至台灣中部後移速變緩,並於 18 日清晨抵巴士海峽徘徊。圖 3 b 為 16 日 00z 至 17 日 00z 每隔 6 小時之鋒面運動圖。

(二)高空形勢

5 月 13 日 12z 500 mb 之高空天氣圖(圖 4 a)顯示,主槽已抵達日本海一帶,而在華南一帶屬寬廣之槽線底,廣東至台灣地區為偏西風所籠罩,廣東沿海一帶有一南方槽存在,基本型態屬台灣之東方槽。相對而言,5 月 16 日 12z 500mb (圖 4 b)顯示,在 120°E 附近有一深槽,槽底南伸達 30°N 附近,並且在福建沿海亦有一明顯的南方槽存在。兩廣一帶之西北風和台灣海峽至琉球一帶之西南風構成良好的槽線系統,華北至華南一帶之明顯西方槽為其主要秉性。

(三)低層風場、溫度平流及水汽輻合場分布

13 日 00z 850mb 之風場(圖 5 a)顯示, IOP 1 實施前 MCS 區(兩廣及其沿海一帶)屬偏西風,風速不及 10m/s,鋒前並無低層噴流(LLJ),源自大陸之氣流水汽含量低於 6 g/kg;雖然至 12z 時於台灣東部海面至琉球一帶風速曾增至 10-15 m/s (約在鋒面之前),但是台灣海峽上游之風速迅速減弱至 5m/s 以下。對應於 IOP 2 之 16 日 00z 850 mb 之風場(圖 5 d)顯示,自海南島至台灣一帶之廣大海域(此為 MCS 之形成區)西南風速超過 10m/s 以上,詳細的天氣圖並有超過 15m/s 以上之 LLJ 於沿海一帶產生,並繼續至 12z。LLJ 之支持 MCS 發展與蔡和鄭(1987)之結論相類似。

13 日 00z 850mb 之溫度平流場(圖 5 b)顯示,兩廣一帶 MCS 之成長區屬於冷平流,微弱的暖平流落在東沙島以南;12z 時台灣東方海面(圖省略)則有廣大暖平流支持琉球附近之 MCS 發展。對應於 IOP 2 之 16 日 00z 850mb 溫度平流場(圖 5 e),超過 8°C/day 之暖平流中心位於廣東外海,充分支持 MCS 之迅速發展(Maddox, 1983),此暖平流區一直持續至 12z 以後。

13 日 12z 850mb 之水汽通量輻散場(圖 5 c)顯示,海南島至台灣一帶之 IOP 1 MCS 區屬水汽通量輻散區,輻合區位於台灣之東方海面,此點和過去之研究(Lin, 1986; 陳等, 1986)十分吻合。然而對應的 16 日 12z (圖 5 f)顯示, IOP 2 之 MCS 形成與發展區係水汽通量輻合區,

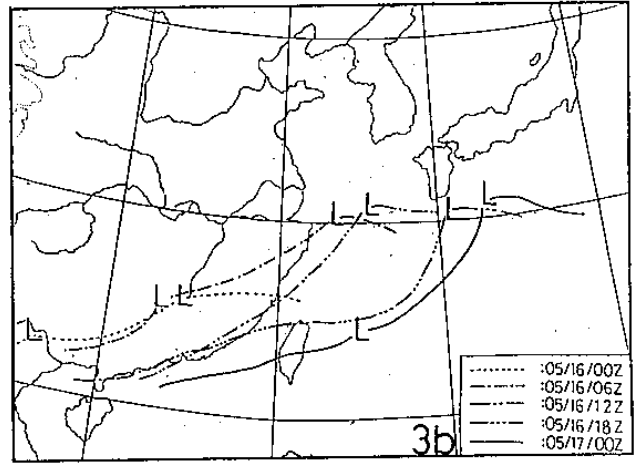
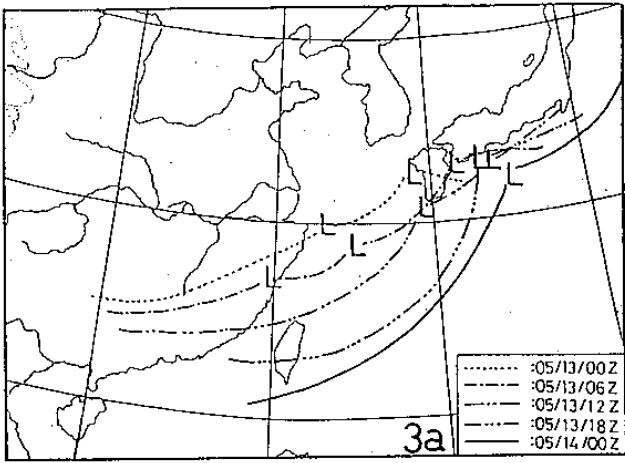


圖3 每隔6小時之鋒面運動圖。(3a) IOP 1 (3b) IOP 2.

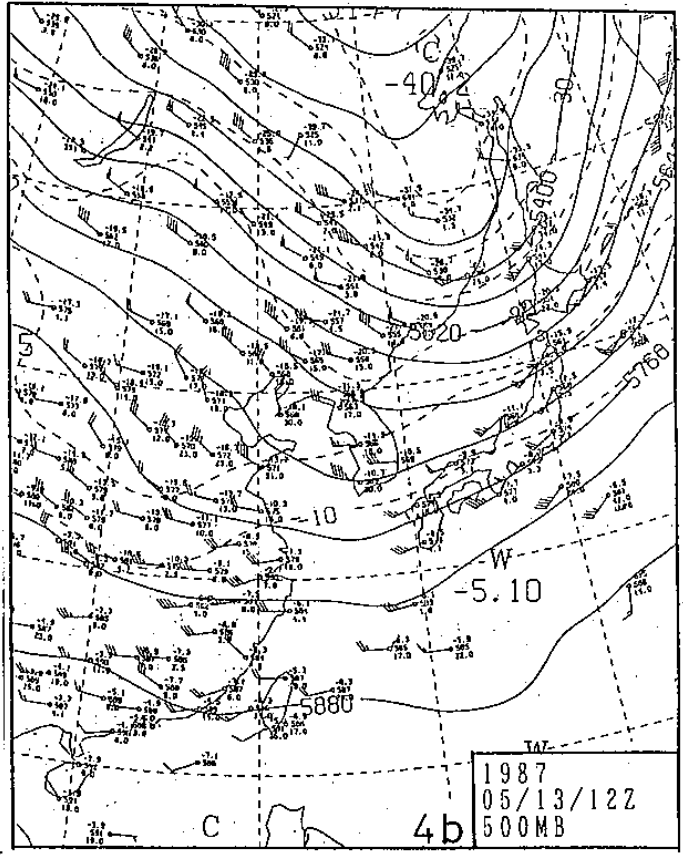
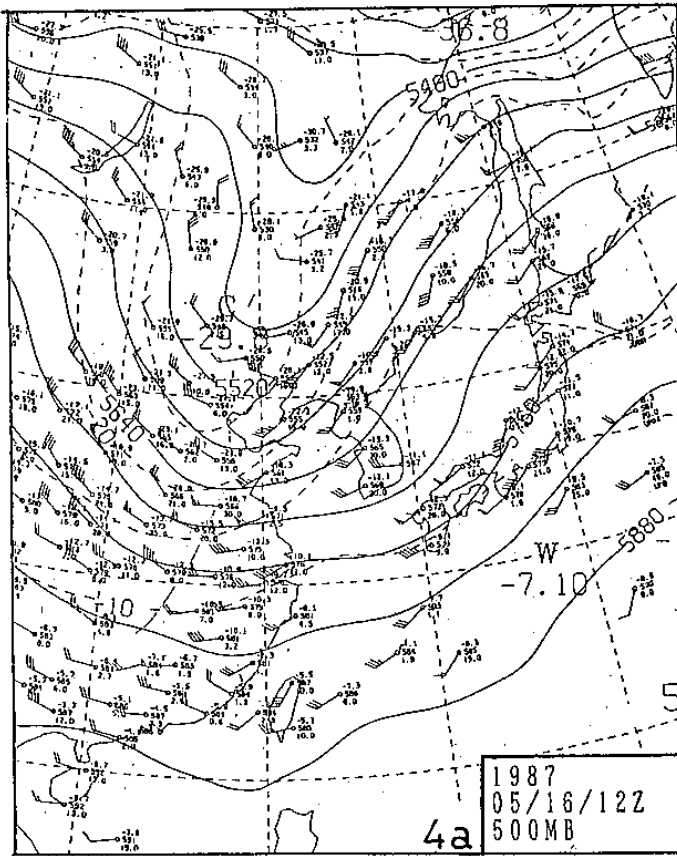


圖4 (4a) 5月13日 12z 500 mb 高空天氣圖。(4b) 5月16日 12z 500 mb 高空天氣圖。

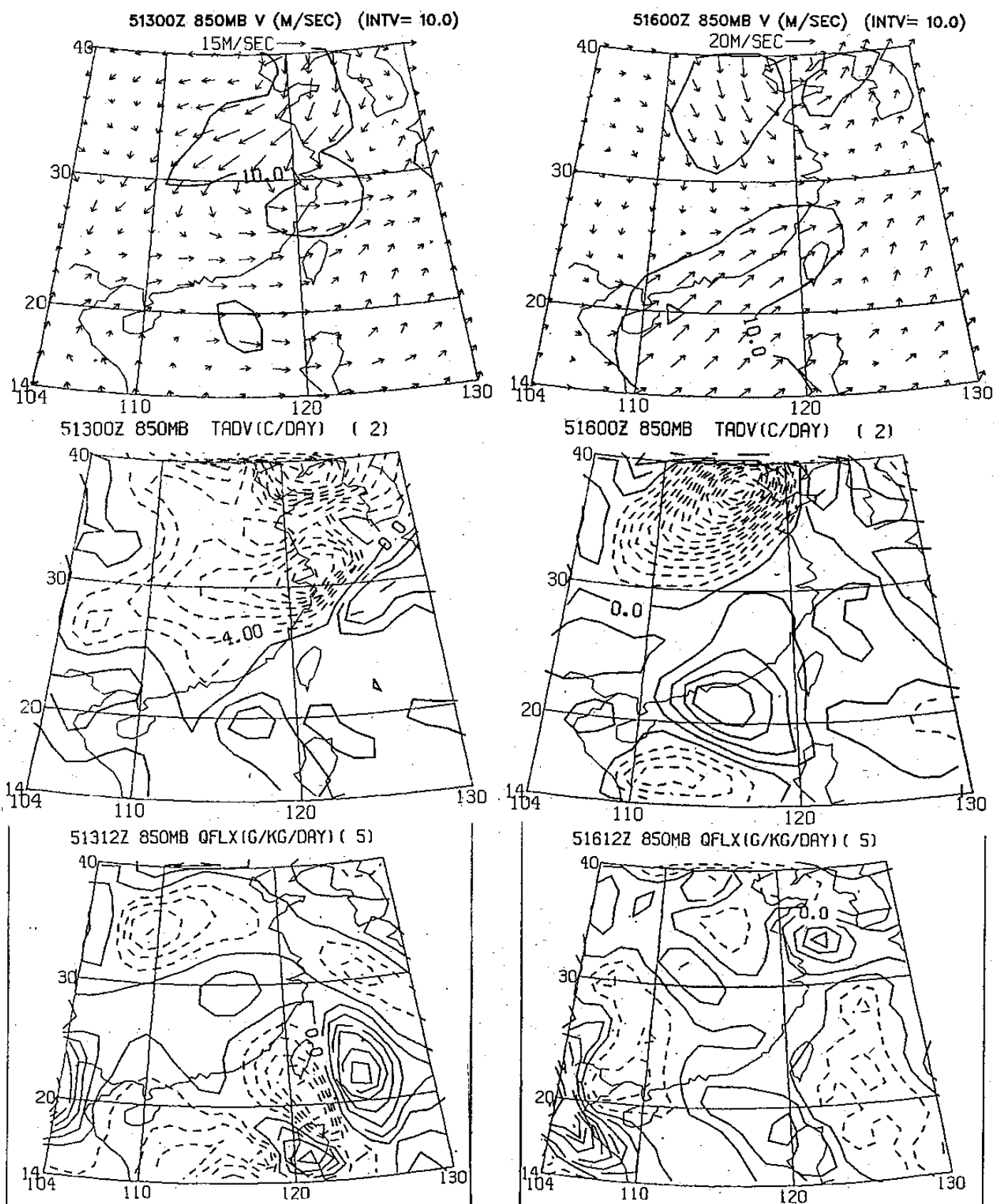


圖 5 (5 a) 5 月 13 日 00z 850 mb 風場圖，等值線間隔 10 m/s，箭矢大小和風速成正比。
 (5 b) 5 月 13 日 00z 850 mb 溫度平流場，實線代表暖平流區，虛線代表冷平流區，等值線間隔為 2°C/day。
 (5 c) 5 月 13 日 12z 850 mb 水汽通量輻散圖，實線代表輻合區，虛線代表輻散區，等值線間隔為 5g/kg/day。
 (5 d) 同 5 a，但為 5 月 16 日。(5 e) 同 5 b，但為 5 月 16 日。(5 f) 同 5 c，但為 5 月 16 日。

此種水汽通量上之差異決定了 MCS 之生命期。

(四)中低層渦度、輻散度及垂直速度場分布

13日 12z 850mb 之渦度場(圖 6 a)顯示, IOP 1 之廣大氣旋式渦度自東海向西南延伸至廣東外海,但主中心位於台灣東方海面。16日 12z 之渦度場(圖 6 d)則顯示, IOP 2 之氣旋式渦度橫互於福建、兩廣一帶,且主中心位於海南島一帶之 MCS 源區。低層氣旋式渦度有利於 MCS 之形成與加強,如同 Lin(1986)之研究所示。

13日 00z 700mb 之輻散度場(圖 6 b)顯示, IOP 1 之 MCS 源區(廣東、南海一帶)為微弱之輻合區(約 $1 \times 10^{-5}/s$),此類似之微弱輻合現象持續至 12z。16日 00z 對應之輻散度場(圖 6 e)則顯示,較為廣大強盛之輻合(約 $2 \times 10^{-5}/s$)位於海南至廣東外海一帶,充分支持 MCS 源源不斷的產生與加強。

分析大尺度垂直速度場之分布發現,13日 00z 500mb 之 IOP 1(圖 6 c)的主要上升運動區在東海($-8 \mu b/s$),廣東附近僅有 $-4 \mu b/s$ 之上升運動值,此種上升運動區和鋒面帶十分配合。16日 00z 之 IOP 2 情況(圖 6 f)顯示,主要之上升運動位於廣東外海,其數值約為 $-8 \mu b/s$,比 IOP 1 之上升運動為強盛且寬廣。強盛之大尺度上升運動與 MCS 之配合和與紀與陳(1986)所得十分類似。

(五)高層渦度、輻散度與風場分布

從13日 12z 200mb 之渦度場(圖 7 a)可見, IOP 1 高層反氣旋式渦度之主中心落後於低層之輻合系統,主中心在東海南部,數值約 $-8 \times 10^{-5}/s$;但是16日 12z IOP 2(圖 7 d)之高層反氣旋式渦度主中心正在台灣上空(約 $-6 \times 10^{-5}/s$)。根據 Lin(1986)研究美國中西部之 MCC 渦度分布, MCC 適合於低層之氣旋式渦度和高層之反氣旋式渦度差異較大區發展,此即 Emanuel (1983) 所謂之 dynamic flywheel effect。

13日 12z 200mb 之輻散場(圖 7 b)顯示, IOP 1 高層輻散區和低層輻合區上下同相位,台灣地區至福建一帶為微弱之輻散;但是 IOP 2 之 16日 12z 輻散場(圖 7 e)則稍強(台灣地區約

$2 \times 10^{-5}/s$),高低層輻散場配置亦屬同相位。從圖 7 c 所顯示 IOP 1 之 13日 12z 200mb 風場分布,台灣地區之風速在 15m/s 以下,且台灣東部海面具有高層分流及不明顯的速度輻散存在。但是圖 7 f 之 IOP 2 台灣附近之風速估計在 30m/s 以上,且台灣東方海面至巴士海峽一帶有高層分流存在, Maddox (1983) 及 Lin (1986) 指出此種高層分流有利於 MCS 之成長。

五、結 論

本文係針對 TAMEX IOP 1(5月13日)及 IOP 2(5月16日)華南及台灣鄰近地區進行衛星雲圖分析及綜觀分析,並計算渦度、輻散度、垂直速度等,以了解 MCS 演化過程中之環境條件。發現 IOP 1 之 MCS 屬於非發展性,而 IOP 2 之 MCS 則為發展性,茲歸納其主要之差異性如下:

- (一)發展性 MCS 係嵌入緩慢移動之梅雨鋒面,低層有溫暖潮濕之西南氣流,並有明顯之中對流層深槽與短波槽及高層速度輻散與分流一致的配合,此為 MCS 形成、組織及持續之有利環境條件。而非發展性 MCS 則為伴隨較快速移動之鋒面系統,低層屬較乾冷之西風,中對流層屬台灣東方主槽型,而高層速度輻散及分流不顯著。
- (二)發展性 MCS 之成長過程與低層噴流(LLJ)有關,且俱有低層明顯的鋒前暖平流及水汽通量輻合。但是非發展性 MCS 個案無 LLJ 相伴隨,且低層屬冷平流和水汽通量輻散。
- (三)低對流層明顯之氣旋式渦度及輻合,加上大尺度的強盛上升運動均有利於 MCS 之形成與發展。非發展性 MCS 之環境其低對流層氣旋式渦度、輻合和大尺度上升運動均較不明顯。

誌 謝

本研究承蒙美國夏威夷大學陳宇能教授提供分析程式及科技中心許皓淳先生在資料處理及偵錯等工作上的協助,得以順利完成,深表感謝。中央氣象局資訊測站及應用氣象組資料處理科提供寶貴資料,使本研究得以順利進行,謹此致謝。

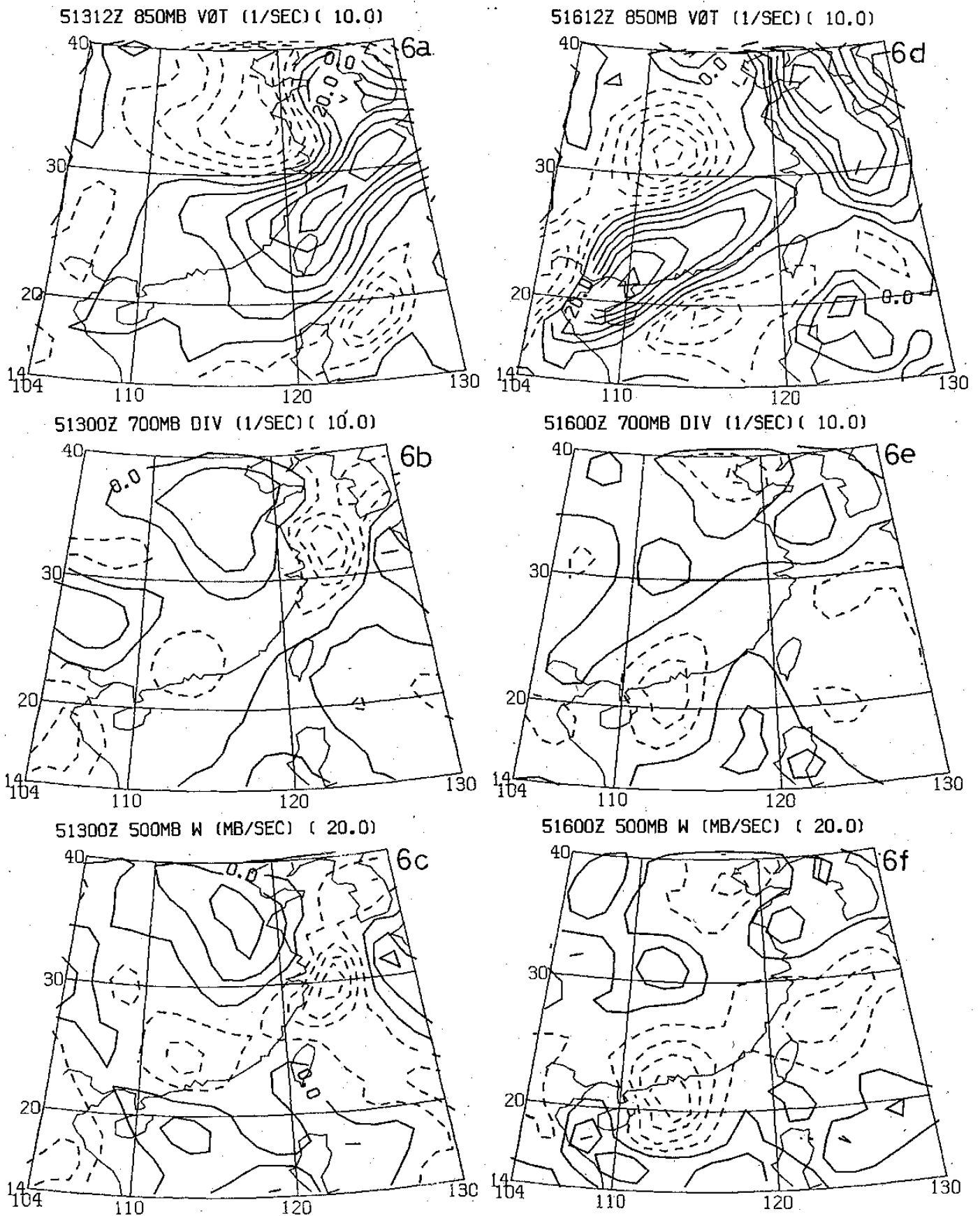


圖6 (6 a) 5月13日 12z 850 mb 渦度場。實線代表氣旋式渦度，虛線代表反氣旋式渦度，等值線間隔為 $1 \times 10^{-5}/s$ 。(6 b) 5月13日 00z 700 mb 輻散度場。實線代表輻散區，虛線代表輻合區，等值線間隔為 $1 \times 10^{-5}/s$ 。(6 c) 5月13日 00z 500 mb 垂直速度場。實線代表下降運動區，虛線代表上升運動區，等值線間隔為 $1 \mu b/s$ 。(6 d) 同 6 a，但為5月16日。(6 e) 同 6 b，但為5月16日。(6 f) 同 6 c，但為5月16日。

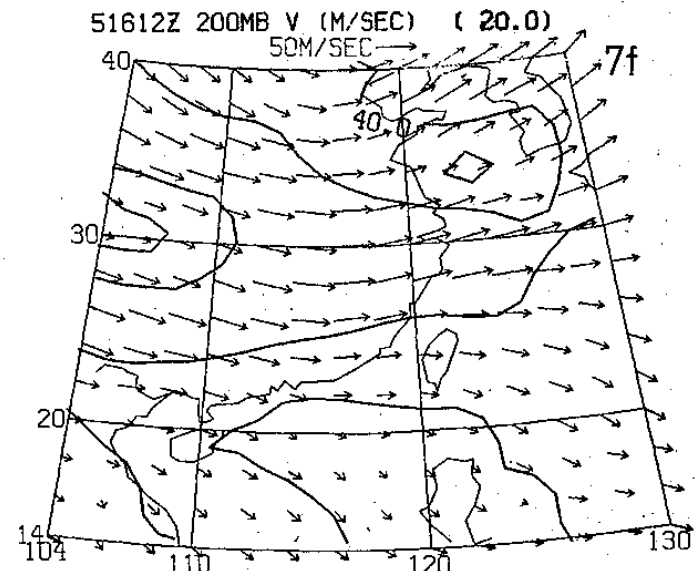
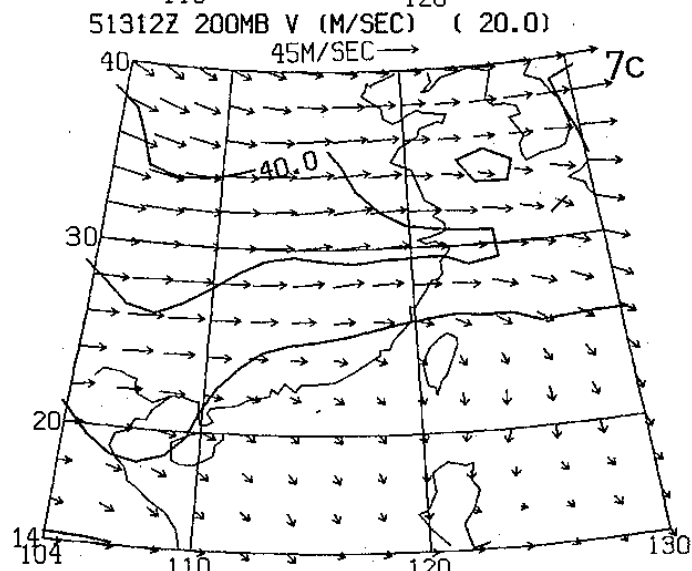
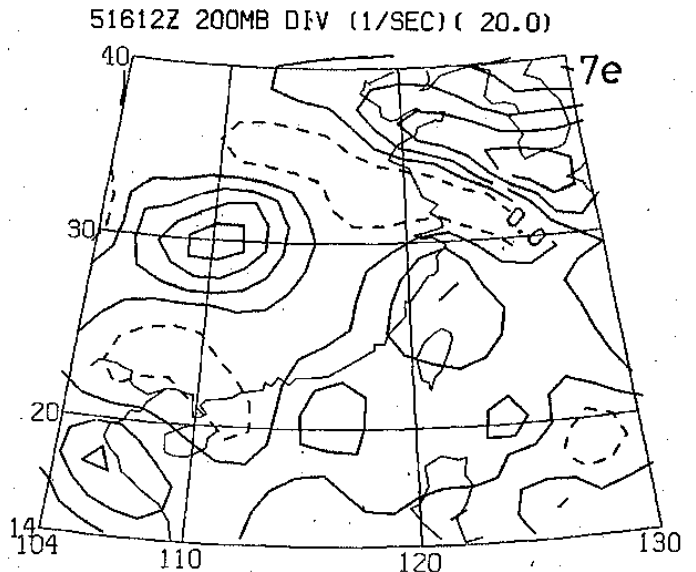
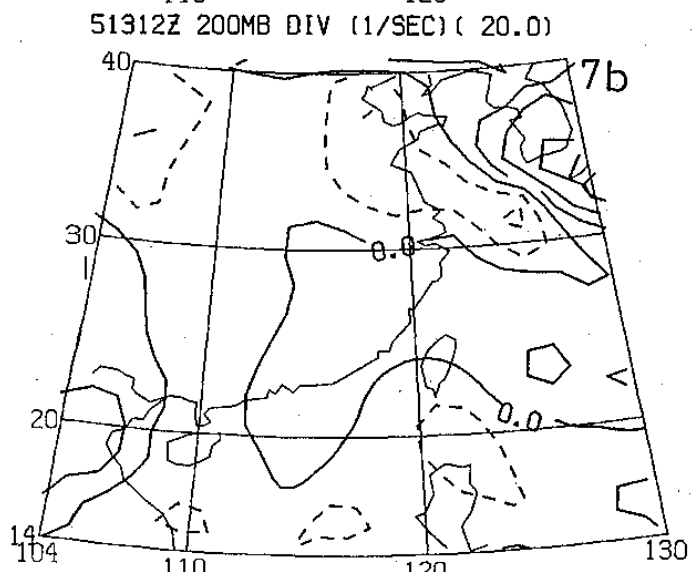
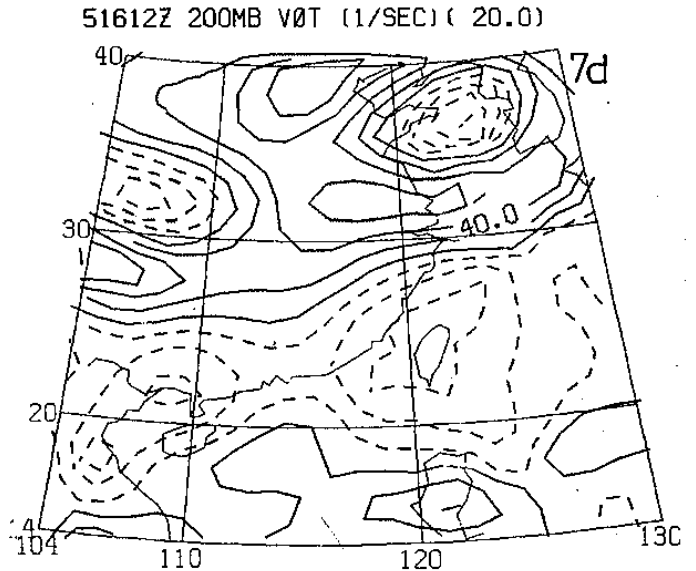
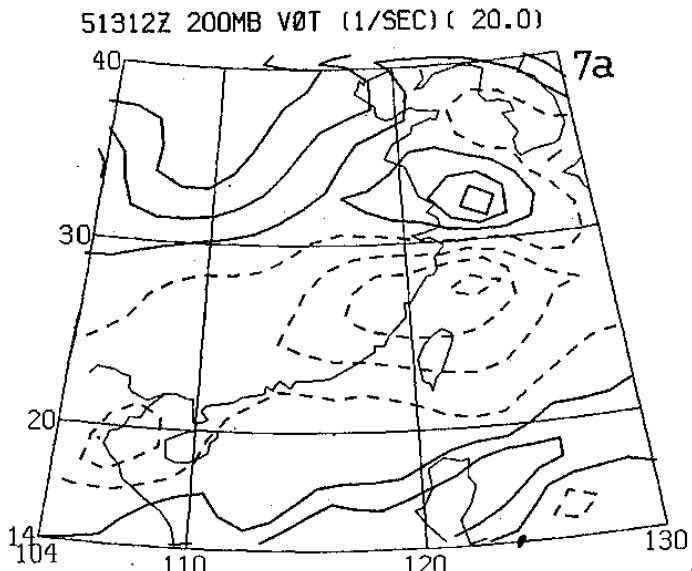


圖 7 (7 a) 同 6 a , 但爲 5 月 13 日 12z 200mb 渦度場。(7 b) 同 6 b , 但爲 5 月 13 日 12z 200 mb 輻散度場。(7 c) 同 5 a , 但爲 5 月 13 日 12z 200 mb 風場圖。(7 d) 同 7 a , 但爲 5 月 16 日。(7 e) 同 7 b , 但爲 5 月 16 日, (7 f) 同 7 c , 但爲 5 月 16 日。

參考文獻

- 丘台光、林雨我，1985：利用衛星、雷達資料作台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。
- 曲克恭、任立渝，1986：梅雨季發生大雨之綜觀預報法，大氣科學，14，17-32。
- 林熺閔、林民生，1988：第一階段 TEMAX 觀測期間中尺度對流系統之個案分析。民國 77 年天氣分析與預報研討會論文彙編。
- 吳宗堯、陳泰然，1987：台灣地區中尺度實驗計畫。國科會研究計畫 NSC76-0414-P052-01 報告。
- 紀水上、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 27-28 日個案分析。第四屆全國大氣科學學術研討會論文彙集，國科會，120-137。
- 陳景森、丘台光、王時鼎，1986：梅雨期間中尺度對流系統的初步研究（I）中尺度系統的演化。第四屆全國大氣科學學術研討會論文彙集，217-234。
- 陳泰然，1988：台灣梅雨研究的回顧，科學發展月刊第 16 卷第二期，239-266 頁。
- 蔡清彥、鄭寶鳳，1987：台灣地區梅雨期間低層噴流的結構分析及其發生豪雨的關係。大氣科學，15，1，1-16。
- Cressman, G.T., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 87, 367-374.
- Emanuel, K A., 1983: Elementary aspects of the interaction between cumulus convection and the large-scale environment. D.K. Lilly and T. Gal-Chen, *Mesoscale Meteorology-Theories, Observation and Models*, 551-575.
- Lin, M. S., 1986: The evolution and structure of composite Meso- α -scale convective complexes. Ph. D. Dissertation, Dept. of Atmos. Sci., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado 245pp.
- Maddox, R. A., 1983: Large-scale meteorological conditions associated with mid-latitude mesoscale convective complexes. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 1475-1493.
- O'Brien, J. J., 1970: Alternative Solutions to the classical vertical velocity problem. *J. Appl. Meteor.*, 9, 197-203.
- Ogura, Y., and Y-L. Chen, 1977: A life history of and intense Mesoscale Convective Storm in Oklahoma. *J. Atmos. Sci.*, 34, 1458-1476.

**To compare Developed MCS with Non-Developed MCS
in Environmental Conditions**

Ming-Sen Lin

**Applied meteorology Division,
Central Weather Bureau**

Shi-Min Lin Shin-Ting Wang

**Atmospheric R & D Center,
Central Weather Bureau**

ABSTRACT

Objective analysis scheme is employed to demonstrate the difference of environmental conditions between the developed and non-developed MCSs during the Intensive Period (IOP) of TAMEX. The MCS of IOP 1 on May 13, 1987 is found to be embedded in a fast-moving frontal cloud band, compared with the MCS in IOP 2 on May 16, 1987 of a slow-moving system. By examining the kinematic and thermodynamic features of two MCSs, it is found that the frontal convergence, LLJ, warm advection and moisture flux convergence at low level, deep short wave at middle level, coupled with the upper speed divergence/difffluence were the favorable environmental conditions for the formation, organization and maintenance of MCSs.

Strong cyclonic vorticity and convergence in the lower troposphere coupled with the significant anticyclonic vorticity and divergence in the upper troposphere were conducive to the MCSs formation and development. The vertical velocity field revealed that the MCSs were associated with the large-scale upward motion.