

華南地區中尺度對流系統之結構分析

林 松 錦
國立中央大學
大氣物理系所

陳 雯 美
中央氣象局
科技中心

摘 要

中尺度對流系統的生成發展常造成嚴重的豪雨災害。因此，若能將大尺度及中尺度的環流特性從日常的氣象觀測資料中分離開來，再分別加以分析，將有助於了解中尺度對流系統的生成機制及其和大尺度環流之間的交互作用。在此將採用客觀尺度分離的方法，針對梅雨期間在華南地區成長的中尺度對流系統，分析其水平及垂直結構。

一、前言

中尺度對流系統的生成發展常導致嚴重的豪雨災害。近年來由中尺度對流系統的診斷分析及數值模擬發現，在中尺度對流系統的成長過程中大尺度環流的強迫機制往往相當微弱，而且中尺度對流系統的發展常會影響甚或改變大尺度環流的形態與結構 (Fritch 等, 1979; Maddox 等, 1979, 1981; Lin 與 Chiou, 1985)。因此，若能將中、大尺度天氣特性從日常之氣象觀測資料中分離開來，再做個別的深入分析研究，這將有助於了解中尺度對流系統的發生機制，以及中尺度對流系統與大尺度大氣環流之間的交互作用。

Lin 與 Chiou (1985) 將 Maddox (1980 a) 的客觀尺度分離方法經些許修改初步應用於華南地區的中尺度對流系統個案分析。結果顯示，雖然華南地區的探空觀測網不如美國地區密集，但對於波長 1000 公里以上之中尺度天氣系統仍能有效地將中尺度天氣特性分離開來。本研究繼 Lin 與 Chiou (1985) 利用客觀尺度分離方法對同一中尺度對流系統個案作更深的水平及垂直結構分析。Lin (1988) 將有較詳盡的分析。

二、資料處理及計算方法

本文中所選擇的中尺度對流系統係一發生於華南地區發展較完全且較獨立的個案。起於 1984 年 5 月 31 日 0600 UTC 該中 $-\alpha$ 尺度對流系統在雲貴邊界由一伴隨有低壓波的對流雲帶 (圖 1. 箭頭 A 所指) 開始發展。至 5 月 31 日 1800 UTC 該中尺度對流系統達到成熟階段 (圖 1. 箭頭 B 所指) 後開始消散。雖然在兩天之後有另一中 $-\beta$ 尺度對流系統在臺灣北部造成嚴重的六三水災，然因在廣大海面上缺乏探空資料無法對此對流系統進行分析。

客觀尺度分離分析所使用的探空資料包括 1000、850、700、500、400、300、250、200、150 及 100 hPa 等十層，自 1984 年 5 月 31 日 0000 UTC 至 6 月 1 日 1200 UTC 共有四次 12 小時間隔的探空觀測資料。這四個時間分別約處於系統發生前、發展階段、消散階段及消散後的四個階段。分析的範圍為東經 100 度到 125 度，北緯 20 度到 35 度，採用 1 度經緯度網格點。

為使 Maddox (1980 a) 的客觀尺度分離法更有效地運用，Lin 與 Chiou (1985) 作了些許修訂。Maddox 的方法基本上是以 Barnes (1964, 1973)

的低通濾波客觀分析方法為基礎，將兩組波長反應不同的客觀分析結果，經由 Doswell (1977) 的帶通濾波法將中尺度波長的特性從日常之氣象觀測資料中濾出。所分析的中尺度對流系統的波長經由衛星雲圖估計約為 1500 公里，大約為系統成熟時大小的兩倍 (Maddox, 1981)。

計算過程中水平微分計算係採用中間差分法。垂直速度的估算則採用 Smith (1971) 的運動學法並經 O'Brien (1970) 的線性修正。在垂直上下邊界 100 及 1000 hPa 的垂直速度定為零。在文中診斷分析項 (如溫度平流等) 的中尺度分量為全分量和大尺度分量的差值，因此中尺度分量包含了中尺度環流以及中、大尺度交互作用的貢獻。在本節之分析圖中，實線代表正值，虛線代表負值。

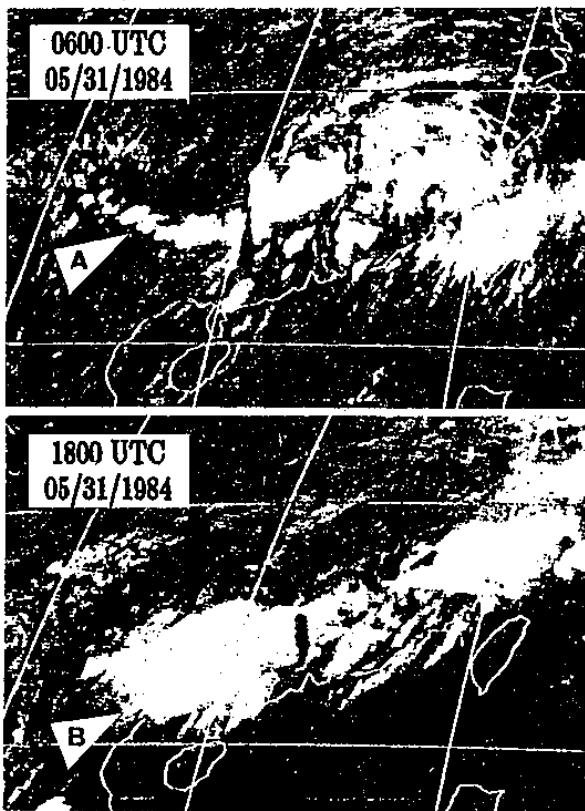


圖 1. 1984 年 5 月 31 日 0600 UTC (初生期) 及 1800 UTC (成熟期) 的衛星雲圖。

三、結構分析與討論

5 月 31 日 0000 UTC 在中尺度對流系統開始發展之前。500 hPa 高度場分析顯示中層中尺度短波槽已明顯出現在對流系統生成位置的西方，但大

尺度場只有微弱的槽脊分布 (圖未示)。中層短波槽的出現常被認為是中尺度對流系統開始生成的徵兆 (丘與廖, 1984; Maddox, 1981; Lin, 1986; Leary 與 Rappaport, 1987)。低層 850 hPa 溫度場分析之大尺度場大致為由南到北遞減的分布，中尺度場則在系統成熟位置的西北方有一西北、東南方向溫度梯度很大的區域，在同一位置 850 hPa 中尺度水平溫度平流分析 (圖 2) 亦呈現強烈冷暖平流對勢的形態。這種強勢的斜壓分布有利於系統的發展。圖 3 為此時沿北緯 23 度 (約為系統成熟時

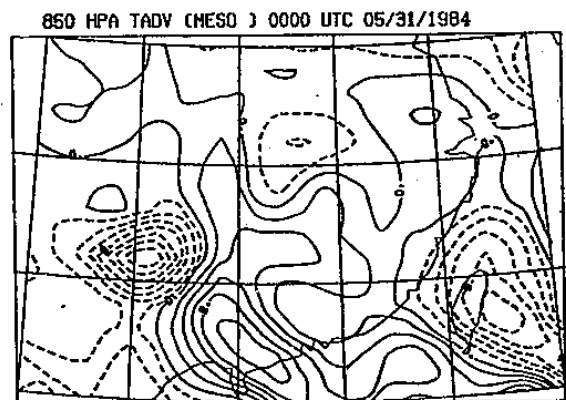


圖 2. 1984 年 5 月 31 日 0000 UTC 850 hPa 水平溫度平流分析。等值線間距為 $1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C s}^{-1}$

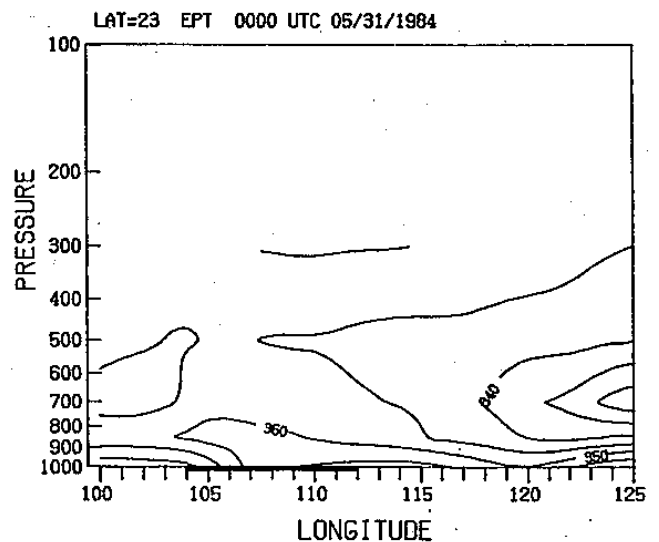


圖 3. 1984 年 5 月 31 日 0000 UTC 沿北緯 23 度相當位溫的東西垂直剖面。等值線間距為 5°K 。之中心緯度，分析圖下方之粗黑線表中尺度對流系統成熟時之位置) 的相當位溫東西垂直剖面，分析顯示在 500 hPa 以下有相當深厚的條件不穩定層。總指數分布亦顯示在對流系統生長的位置上總指數值均高於 40 (圖未示)。

5月31日1200 UTC正當系統成熟前的發展階段。此時850 hPa的中尺度高度場分析(圖4.)顯示在系統生成的位置已有低壓中心形成這和丘與廖(1984)所做的華南地區中尺度對流系統的分析結果相同,但和美國地區之中尺度對流複合體的發展常伴有地面中尺度高壓的情形不同(Maddox, 1980 b; Lin, 1986)。溫度及高度場的垂直剖面分析(圖5.)也可看出低層為暖心低壓、中層為暖心高壓,而高層則為冷心高壓。溫度及高度場的垂直分布亦顯示華南地區的中尺度對流系統雲頂高度及最大潛熱釋放高度均較美國地區之中尺度對流複合體高100 hPa左右。中層的短波槽此時亦較12小時前加深。低層中尺度風場的分布形態造成極強的風場輻合及水汽輻合,尤以1000 hPa的水汽輻合更是突出(圖6.)。強大的中尺度水汽輻合及旺盛的大尺度西南氣流從南方帶來大量的溫濕空氣應是這個階段維持中尺度對流系統發展的主要因素。此外,在對流系統西北方由於強冷暖溫度平流對勢所造成的強烈斜壓不穩定也是中尺度對流系統迅速發展的有利因素(圖未示)。圖7.為輻散及垂直速度場的垂直分布圖。圖中顯示對流系統的下層有很強的輻合而上層是輻散,整個對流系統內均為上升運動。上的輻散已較12小時前增強,一方面是對流運動所造成的結果。但上層輻散的增強也會加速中尺度對流系統的發展。總指數此時在對流系統區內的最大值已高達48。

對流系統在5月31日1800 UTC達到成熟。

6月1日0000 UTC時已是系統成熟後的消散階段

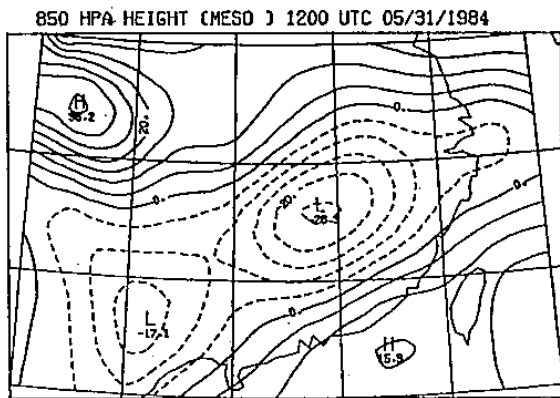


圖4. 1984年5月31日1200 UTC 850 hPa的中尺度高度場分析。等值線間距為5m。

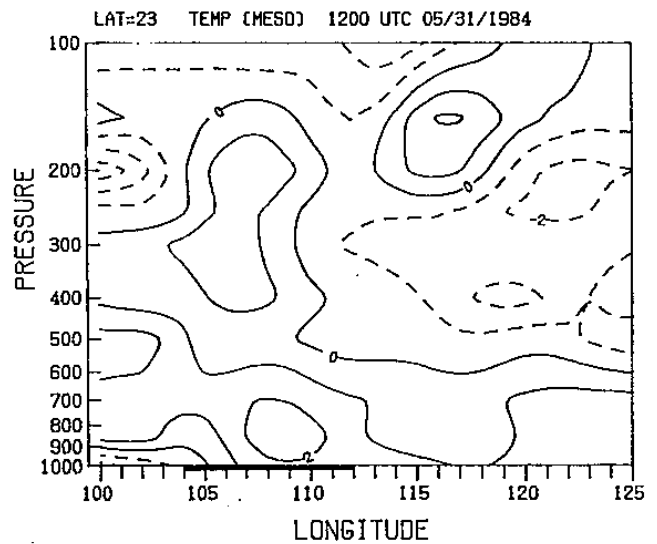
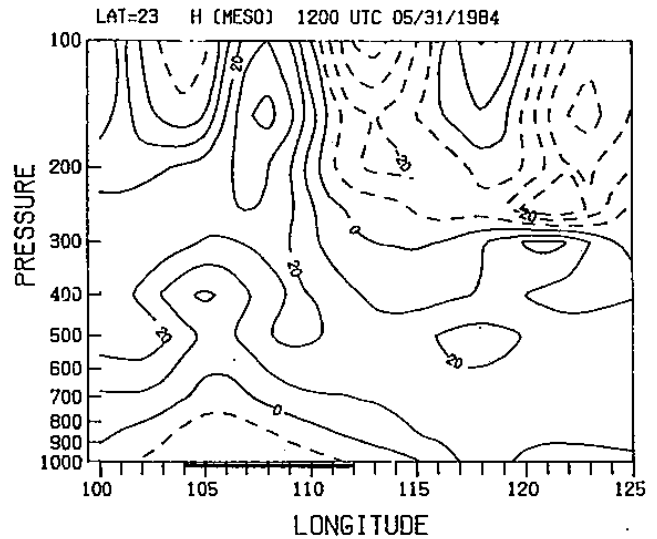


圖5. 1984年5月31日1200 UTC沿北緯23度中尺度高度(上圖)及溫度(下圖)場的東西垂直剖面,等值線間距分別為10m及1°C。

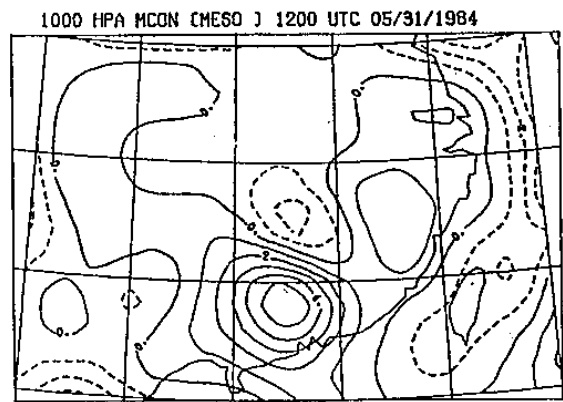


圖6. 1984年5月31日1200 UTC 1000 hPa的水汽輻合場分析。等值線間距為 $1 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 。

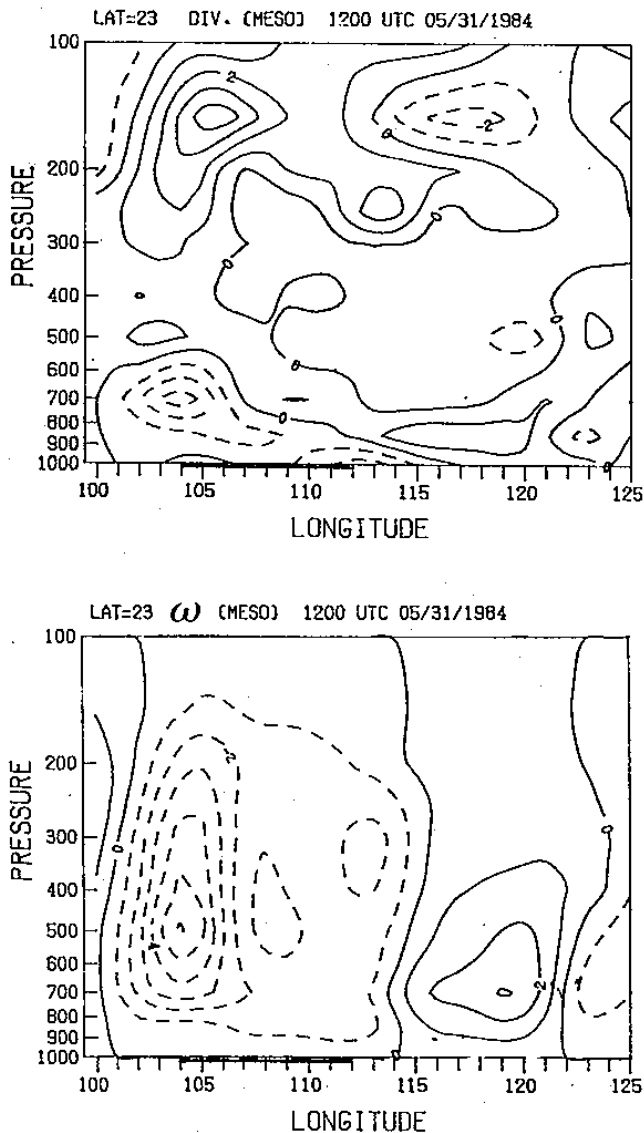


圖 7. 1984 年 5 月 31 日 1200 UTC 沿北緯 23 度中尺度輻散 (上圖) 及垂直速度 (下圖) 的東西垂直剖面。等值線間距分別為 $1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 及 $1 \times 10^{-3} \text{ hPa s}^{-1}$ 。

此時系統範圍較成熟時小，但位置幾乎沒有改變。這時候在 850 hPa 上的大尺度及中尺度高度場 (圖 8.) 均顯示有一高壓系統由四川省向東南移動。這個高壓系統的侵入可能是造成中尺度對流系統消散的原因之一。垂直相當位溫剖面的分析也可看出此時低層條件不穩定層的厚度只限於 700 hPa 以下 (圖未示)。在中對流層 500 hPa 的大尺度短波槽已完全消失，但中尺度短波槽仍繼續加深。低層 850 hPa 的溫度場分析却發現中尺度場原來溫度梯度很大區已減弱很多，但大尺度場的溫度梯

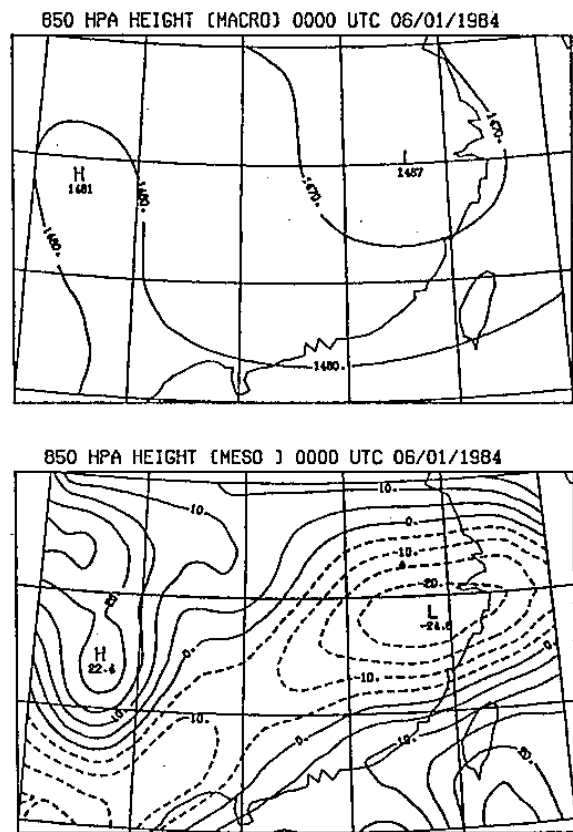


圖 8. 1984 年 6 月 1 日 0000 UTC 850 hPa 的大 (上圖)、中 (下圖) 尺度高度場分析。大尺度場及中尺度場的等值線間距分別為 10m 及 5 m。

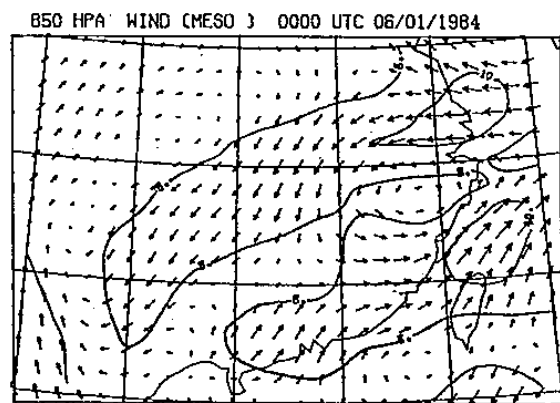


圖 9. 1984 年 6 月 1 日 0000 UTC 850 hPa 的中尺度風場分析。等風速線間距為 5 m s^{-1} 度增加了。中尺度溫度梯度的減弱不利於對流系統的發展，而大尺度溫度梯度的增強可能是對流潛熱釋放所造成的結果。由 850 hPa 的風場分析中 (圖 9.) 可以看出在系統東南邊緣有一中尺度低層噴流生成，這在前一時間並不存在，顯然這是系統發展所造成。低層噴流的存在是否為中尺度對流系統

生成的主要機制或是中尺度對流系統發展所造成的結果一直是個爭論的主題。日本的學者如 Akiyama (1973) 及 Ninomiya 與 Akiyama (1974) 等都主張低層噴流是對流所造成動量下傳的結果。然由尺度分離的中、大尺度風場來看，在中尺度對流系統發生前大尺度強盛西南氣流應是引發對流系統生成的主要因素之一，而中尺度對流系統的發展亦會在系統的東南邊緣增強西南氣流甚或造成噴流。這個階段的輻散及垂直速度剖面（圖10.）在高層已出現輻合而低層輻散的現象，且對流系統內下降氣流已佔了大部份的區域。高層輻散的減弱或轉變成輻

合的形態通常是中尺度對流系統開始消散的跡象（陳等，1982；紀與陳，1984）。總指數大於40的區域此時僅限於在對流系統的南部而已。

6月1日1200 UTC時系統已完全消散。為討論中尺度對流系統對大尺度環境的影響，在此將討論系統成熟時所在位置及其附近的情況。由於受西北方南侵高壓的影響，原伴隨對流系統的中尺度低壓已幾乎消失。受系統發展時潛熱釋放的影響，中層暖心高壓仍然相當明顯。不過維持了近36小時的低層強中尺度溫度梯度此時已不復見（圖未示）。在這個階段值得一提的是低層850 hPa大尺度風場（圖11.），在前面36小時當中尺度對流系統在成長的過程中，分析區域南半部的風場均是旺盛的西南氣流，而在系統完全消散後此時的大尺度風場已轉成西北或西風氣流。由此可見旺盛西南氣流所帶來豐沛的溫濕空氣是中尺度對流系統成長相當重要的因素。

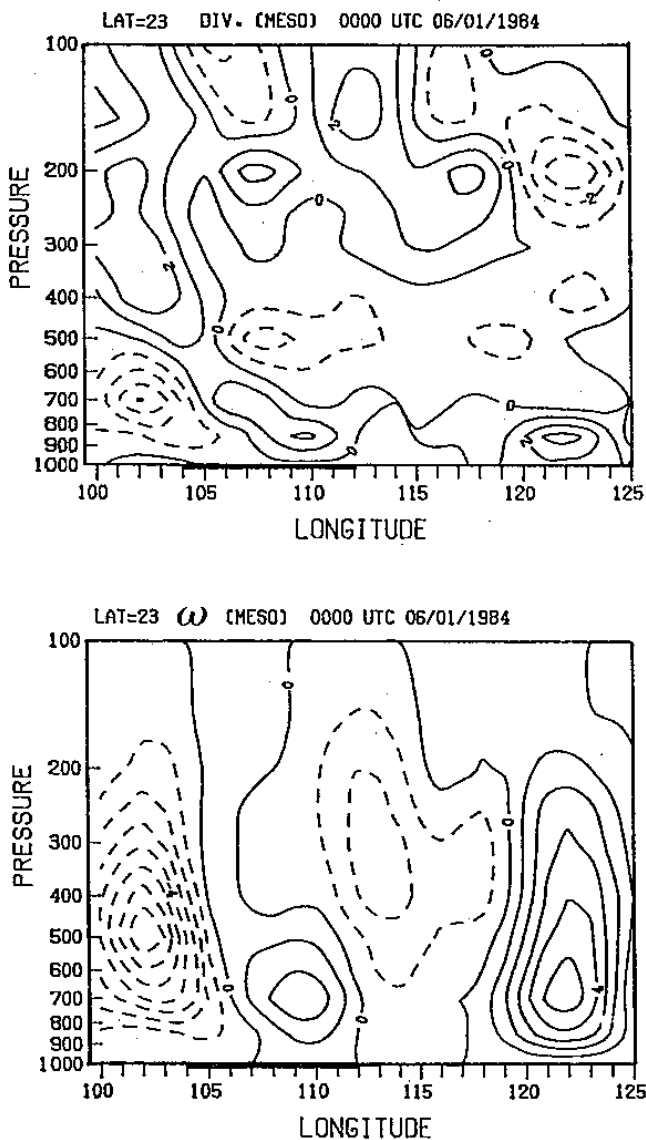


圖10. 1984年6月1日0000 UTC沿北緯23度中尺度輻散（上圖）及垂直速度（下圖）場的東西垂直剖面。等值線間距同圖7。

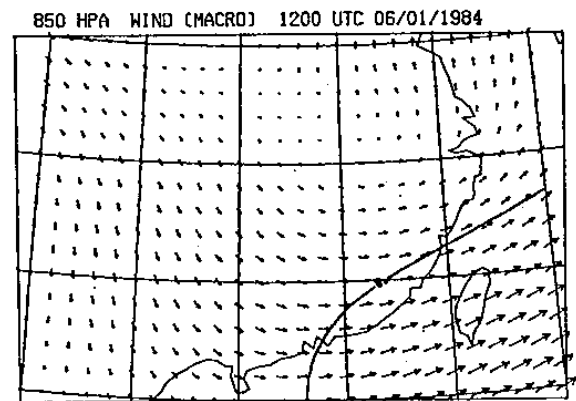


圖11. 1984年6月1日1200 UTC 850 hPa的大尺度風場分析。等風速線間距為 5 m s^{-1}

四、總結

由於中尺度對流系統的迅速發展及短暫的生命期，要以12小時一次的探空資料作詳盡的結構分析並不容易。在此僅就這一個案的分析作一總結。

在中尺度對流系統成熟時所在的位置上，在系統發展前，低層大氣具有深厚的條件不穩定層及高總指數，南方有暖舌深入與西北方南下的冷空氣形成一溫度梯度很大的斜壓區。在對流系統的暖方有強烈的低層暖平流，同時在對流系統西方之中對流

層伴隨有短波槽。高層的輻散氣流亦為引發對流系統生成的主要因素。在系統的發展階段，低層的中尺度水汽輻合及強盛的大尺度西南氣流帶來的豐沛水汽為維繫系統發展的主要因素。此時中對流層的短波槽繼續加深。對流所產生的大量潛熱釋放在系統上方的中對流層造成中尺度暖心高壓，但低層則為暖心低壓。高層的輻散及低層的輻合繼續增強，因而在對流系統內有很強的上升運動。到系統的消散階段，低層水汽與風場已變為輻散的形式。中對流層大尺度短波槽逐漸消失，但中尺度短波槽仍繼續加深。中層暖心及中高層中尺度高壓已較為減弱。高層輻散亦漸轉為輻合。由於系統的發展，在系統東南邊緣的低層噴流更見增強，此時中尺度的溫度梯度雖減小而大尺度的溫度梯度却增加。就整個系統的發展過程來看，大尺度西南氣流的持續供應濕濕空氣佔極重要的角色。

誌 謝

本研究進行期間承國科會經費支援 (NSC 76-0202-M008-07)，中央氣象局提供探空觀測資料及衛星雲圖，特此誌謝。

參考文獻

丘台光與廖學鎰，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。
 陳泰然、紀水上與謝維權，1982：初春華南中尺度對流複合系統之個案研究。中範圍天氣系統研討會論文集編，中央氣象局，593-612。
 紀水上與陳泰然，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集編，中央氣象局，95-114。

Akiyama, T., 1973: Ageostrophic low-level jet stream in the Baiu season associated with heavy rainfalls over the sea area. J. Meteor. Soc. Japan, 51, 205-208.

Barnes, S.L., 1964: A technique for maximizing details in numerical weather map analysis. J. Appl. Meteor., 3, 396-409.

----, 1973: Mesoscale objective map analysis using

weighted time series observations. NOAA Tech. Memo., ERL NSSL-62, 60pp.

Doswell, C.A. III, 1977: Obtaining meteorologically significant surface divergence fields through the filtering property of objective analysis. Mon. Wea. Rev., 105, 885-892.

Fritch, J.M., R.A. Maddox, L.R. Hoxit and C.F. Chappell, 1979: Convectively driven mesoscale pressure systems aloft. Preprints Fourth Conf. on Numerical Weather Prediction, Silver Spring Amer. Meteor. Soc., 398-406.

Leary, C.A., and E.N. Rappaport, 1987: The life cycle and internal structure of a mesoscale convective complex. Mon. Wea. Rev., 115, 1503-1527.

Lin, M.S., 1986: The evolution of composite meso-alpha-scale convective complexes. Ph.D. Dissertation, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 245pp.

Lin, S.C., and T.K. Chieu, 1985: Objective scale separation technique and its application on the mesoscale convective system diagnostics. P. meteor. Res., 8, 69-94.

----, 1988: The life cycle and structure of a mesoscale convective system occurring in the southern China area during Mei-Yu season. P. Meteor. Res., 11, 1-26.

Maddox, R.A., C.F. Chappell and L.R. Hoxit, 1979: Synoptic and meso- α scale aspects of flash flood events. Bull. Amer. Meteor. Soc., 60, 115-123.

----, 1980a: An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. Mon. Wea. Rev., 108, 1108-1121.

----, 1980b: Mesoscale convective complexes. Bull. Amer. Meteor. Soc., 61, 1374-1387.

----, 1981: The structure and life-cycle of midlatitude mesoscale convective complexes. Atmos. Sci. Paper No.336, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 311pp.

----, D.J. Perky, and J.M. Fritch, 1981: Evolution of upper tropospheric features during the development of a mesoscale convective complex. J. Atmos. Sci., 38, 1664-1674.

Ninomiya K., and T. Akiyama, 1974: Band structure of mesoscale echo cluster associated with low-

level jet stream. J Meteor. Soc. Japan, 52, 300-313.

Smith, P.J., 1971: An analysis of kinematic vertical motions. Mon. Wea. Rev., 99, 715-724.

O'Brien, J.J., 1970: Alternative solutions to the classical vertical velocity problem. J. Appl. Meteor., 9, 197-203.

The Structure of A Mesoscale Convective System Occurring in the Southern China Area

Song-Chin Lin

Wen-Mei Chen

Department of Atmospheric Physics
National Central University

Science and Technology Center
Central Weather Bureau

ABSTRACT

Occurrence of a mesoscale convective system (MCS) frequently leads to severe heavy rainfall. Thus, it would aid significantly in the understanding of the genesis of an MCS and its influence on the large-scale environment if the mesoscale features can be extracted from the meteorological data. In the present study, an objective scale separation technique will be utilized to study the horizontal and vertical structure of an MCS occurring in the southern China area.