

梅雨期間華南中尺度對流系統的結構分析

丘 台 光

中央氣象局科技中心

陳 景 森

中央大學大氣物理研究所

摘 要

每年梅雨期間，造成華南與台灣地區豪雨的最主要的降水系統，就是中尺度對流系統，而有關中尺度對流系統在水平、垂直方面熱力、運動以及動力方面之結構如何？乃為本文探討的重點。

本文選取 1981 年 5 月 27 - 28 日及 1985 年 5 月 27 - 28 日發生在華南較大的中尺度對流系統個案，有系統的加以探討，分析的結果並與美、日所作的研究加以比較。

研究結果顯示，梅雨期間在華南產生的中尺度對流系統，在綜觀環境或許有些差異，但在 Meso - α 尺度方面之水平、垂直之熱力，運動以及動力方面則與美國所作 MCC 方面及日本所作積雲簇之結構均有類似的結構。

一、前 言

每年梅雨期間，造成華南及台灣地區豪雨的最主要的降水系統，就是中尺度對流系統 (Mesoscale Convective System 簡稱 MCS)，而有關中尺度對流系統在水平、垂直方面熱力、運動以及動力方面之結構如何？乃為本文主要探討的重點。

Maddox (1983) 採用綜觀尺度探空的資料作 10 個 MCC (Mesoscale Convective Complex) 合成分析指出，MCC 在成熟期中下層為正渦度區，最大值在 850mb 左右，高層 200mb 為強烈反氣旋 (負渦度區)，最大上升運動為 $-8 \mu\text{bs}^{-1}$ 發生在 450mb 左右，且中下層為暖心結構，上層為冷心結構。

Wetzel et al (1983) 亦採用探空資料分析兩組 MCC 個案亦有類似的結果，另外更指出輻合 (散) 量在 MCC 中層 500mb 出現配對 (Coupling) 現象，且指出 MCC 與典型斜壓波有很大的不同。Perkey and Maddox (1985) 更用數值模式模擬出與前述有關 MCC 結構之特徵。在日本方面，Akiyama (1984) 採用綜觀尺度探空資料，分析類似 MCC 的

積雲簇 (Cloud cluster) 之結構分布情形，指出積雲簇大小與低層 850mb 輻合範圍一致，輻合最大值約 $-2 \times 10^{-6} \text{s}^{-2}$ ，高層為明顯輻散區，最大為 $6 \times 10^{-6} \text{s}^{-2}$ 左右。

國內方面有關探討華南 MCS 次綜觀尺度或 Meso - α 尺度方面之結構非常少，故本文乃選取兩組發生在華南較大的 MCS 個案，有系統的探討 MCS 水平、垂直方面熱力、運動以及動力方面結構之特徵，分析結果並與美國及日本方面所作的研究加以比較。

二、資料處理與分析方法

為了獲得較為客觀、正確的結果，資料的處理及分析方面採用較嚴謹、周密的研究用 NCAR/PSU 中尺度模式前後處理軟體與方法，有關詳細的過程見丘 (1986)。簡單的說，首先選取 1981 年 5 月 27 - 28 日及 1985 年 5 月 27 - 28 日兩組個案，從美國 NMC 磁帶讀進 2.5 度經緯度上天氣資料，然後將經緯度上資料內插到網格點上作為第一次猜測值。在此網格間距定為 80 KM，加上地面及探空資料，

經 Cressman 客觀分析方法再作內插，如此將會得到更為合理的分析場，尤其在海洋及海洋與陸地邊界區，最後再將 P 座標上之網格點資料內插到 σ 面上，作為診斷分析之輸入資料。

網格座標水平及垂直均採交錯式網格 (Staggered grid) 結構，如 Arakawa B 網格形式相同，即風場與質量場定義在不同點上。垂直方面，垂直速度被定義在全層面 (Full level)，其他變量如 U、V、T、Q、 Φ 則定義在半層面 (Half-level)，所有診斷方程均已轉換到 σ 面上，垂直速度乃由連續方程求得， σ 面上最低層及最高層垂直速度定為零。資料在 σ 面上計算完成後，結果再依須要內插到 P 座標上表示出來。

三、華南 MCS 的結構分析

(一) 個案 I - 1981 年 5 月 27 - 28 日

由氣象衛星雲圖分析顯示如圖 1，圖中如箭頭所指之 MCS 最早發生於 27 日 06Z，此時鋒面位於雲系北邊，12Z 時鋒面南下，MCS 發展到最大，到了 16Z 則明顯減弱，本個案乃以 27 日 12Z 且在廣西省附近 MCS (成熟期) 作為分析的對象，分別探討 MCS 雲系範圍內之水平與垂直結構。

a. MCS 水平結構

圖 2 a 為 850mb、500mb 及 200mb 之輻合 (散) 量分布圖，圖中可見低層 (850mb) 輻合區及高層輻散區約與雲系範圍一致，此與 Akiyama (1984) 分析雲簇有類似結果，而中層 500mb 出現輻合與輻散配對出現的現象，此與 Wetzel et al (1983) 分析 MCC 有類似結果。圖 2 b 為 850mb、500mb 及 200mb 之渦旋量分布圖，圖中顯示 MCS 低層為正渦度區，高層為負渦度區，中層 MCS 雲系內為弱正渦度區。圖 2 c 為 850mb、500mb 及 200mb 之垂直速度分布，由圖中可見在雲系西半部主要上升運動，東半部的中下層出現微弱下降運動，尤其在中層 500mb 左右。

b. MCS 垂直結構

為了探討 MCS 之垂直結構分布，分別切南北

及東西剖面如圖 3 所示。圖 4 為 MCS 南北剖面的輻合量、渦旋量、垂直速度及位溫之垂直分布，由圖 4 (a) 可看出在 900mb 下為輻散區，中下層 (450-900mb) 為輻合區，最大值約為 $-5 \times 10^{-6} s^{-1}$ ，高層為明顯輻散區，最大值約為 $8 \times 10^{-6} s^{-1}$ 。渦度場分布顯示如圖 4 (b)，正渦度區發生低對流層，其中最大值 $6 \times 10^{-6} s^{-1}$ 發生於 850mb 左右，中上層 (400-100mb) 為負渦度區，最大值 $-8.5 \times 10^{-6} s^{-1}$ 左右發生在 250mb 左右。垂直運動量分布如圖 4 (c)，大約 900mb 以上大部分均為上升區，除了雲系北緣中下層有弱的下降運動，最大上升運動 $10 \mu b s^{-1}$ 發生在 350mb 左右。又由位溫垂直分布來看如圖 4 (d)，在中高層為暖心結構，最上層為冷心結構，在 MCS 最上層 200mb 左右為冷心結構，且在 900mb 以下亦為冷心結構，此為降水到地表附近蒸發冷卻所引起。圖 5 為南北剖面氣流、相當位溫與相對濕度之垂直分布圖，圖中可見 MCS 最主要能量來源為南方暖濕空氣流入 MCS 內，MCS 內為潛在不穩定最大區，鋒面梯度 θ 較 θ 分布明顯 (圖 4 (d) 與圖 5)，此與 Wetzel et al (1983) 分析兩組 MCC 南北之剖面之 θ 分布不一樣。

東西剖面分析如圖 6，圖中輻合量、渦旋量及上升速度分布與南北剖面類似，但在雲系東半部 700mb 左右為一強輻散區，有一下降運動在此區發生，此正與兩主對流雲系之間空隙配合。又由東西剖面來看東西剖面流與相濕位溫之分布如圖 7 a，中層冷乾空氣流入 MCS，促進大氣潛在不穩定增強與持續。圖 7 b 為東西剖面中之垂直剖面風速之分布圖，圖中顯示在 850mb 至 500mb 有明顯氣旋式風切存在，最大在 700mb 左右，但由圖 6 (b) 比較，最大渦旋度卻發生在 850mb 左右，可見此最大渦旋度存在於 850mb，主要是由輻合所產生。

(二) 個案 II - 1985 年 5 月 27 - 28 日

由氣象衛星雲圖分析如圖 8 所示，圖中可見在華南鋒面帶上產生三組 MCS 系統，其中 MCS - I 即為本個案所要探討的對象，MCS - I 最早在 26 日 20L (12Z) 產生，27 日 08L (00Z) 發展到成熟期，11L 起就已減弱了，本節乃以 MCS - I 之成

熟階段來探討 MCS 之水平、垂直結構。

a. MCS 水平結構

本個案所分析 850、500 以及 200 mb 之輻合(散)量、渦旋量之分布可參考 Chen, Chiou and Wang (1986) 如圖 9 所示, 850 mb 之輻合區與 MCS 雲系配合, 此亦與日本 Akiyama (1984) 所作結果類似, 中層 500 mb, 出現輻合及輻散區配對現象, 此亦與 Wetzel et al (1983) 所研究 MCC 類似的現象, 大致上個案 II 與個案 I 在 MCS 之水平結構上有相似的結果。

b. MCS 垂直結構

圖 10 為 MCS 南北剖面(如圖 8 所示)輻合(散)量、渦旋量以及垂直速度之分布圖, 圖中可看出與個案 I 有相似的特徵, 但個案 II 比個案 I 強度要大, 輻合最大區($-6 \times 10^{-6} \text{ s}^{-2}$)發生在 850 mb 左右, 輻散最大區($9 \times 10^{-6} \text{ s}^{-2}$)發生在 250 mb 左右, 中層為弱輻合區, 中下層為正渦度區, 最大值約 $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-2}$ 發生於 800 mb 左右, 上升運動在整個 MCS 雲系內, 最大值約 $10 \mu\text{bs}^{-1}$ 發生於 350 mb 左右, 此與個案 I 結果相同, 但與美國中緯度 MCC 之垂直速度最大在中層(450 mb 左右)有差異。而中緯度典型颶線或熱帶地區颶線, 在成熟期除了上層有一最大上升速度在 400 mb 左右外, 在低層 750 mb 左右有另外一個更強的上升速度(Ogura and Chen, 1977; Ogura and Liou, 1980)。這些差異的原因, 是否由於資料的解析度的關係, 或是合成個案的原因, 或是其他原因, 我們需要加以更深入的探討。

四、總 結

本文乃選取 1981 年 5 月 27-28 日及 1985 年 5 月 27-28 日發生在華南較大的中尺度對流系統個案, 採用 NCAR/PSU 中尺度模式前、後處理(pre-process, post-process)之軟體與方法, 有系統的加以探討有關華南中尺度對流系統水平及垂直方面熱力、運動以及動力方面之結構, 研究的結果可大致歸納下列幾點結構:

1. 華南中尺度對流系統在水平方面之運動分析, 個案 I 與個案 II 有相同的結果, 即在 850 mb 之輻合區與 MCS 雲系範圍一致, 此與 Akiyama (1984) 所作結果類似, 又中層 500 mb 出現輻合及輻散量配對現象(coupling), 此與 Wetzel et al (1983) 所研究 MCC 類似的結果。

2. 華南中尺度對流系統在垂直方面之熱力、運動及動力結構分析, 個案 I 與個案 II 有相似的特徵。如中層暖心結構, 高層冷心結構, 低對流層輻合, 高對流層為明顯輻散區, 中下層為正渦度區, 最大值發生在 850 mb 左右, 上層為負渦度區, 低層暖濕空氣(高 θ)占據 MCS 下層, 冷乾空氣由中層流入 MCS 內。整個 MCS 雲區內大部分為上升運動, 最大值發生在 350 mb 左右, 而 Maddox (1983) 研究上升速度最大值發生於 450 mb 左右, 這些差異的原因未來將進一步加以探討。

3. 華南 MCS 伴隨梅雨鋒與美國 MCC 伴隨中緯度冷鋒或滯留鋒在綜觀環境下仍有些差異, 但在 meso- α 尺度下(雲系範圍區內), 不管是熱力、運動或動力方面之結構均有類似的特徵。

誌 謝

本文之完成, 特別感謝美國國家大氣研究中心研究員郭英華博士, 提供 NCAR/PSU 中尺度模式系統及計算機的使用。

參考文獻

- Akiyama, T., 1984: A Medium-scale cloud cluster in a Baiu front. Part II: Thermal and Kinematic fields and heat budget, *Jou. Meteo Soc. Japan*, 62, 505-521.
- Chen, C. S., T. K. Chiou and S. T. Wang, 1986: An investigation of a mesoscale convective systems in Mei-Yu Fronts, International conference on Monsoon and Mesoscale Meteorology, TAIPEI, 33-42.

Maddox, R. A., 1983: Large-scale meteorological conditions associated with mid-latitude mesoscale convective complexes. Mon. Wea. Rev. 111, 1475-1493.

Ogura, Y. and Y. L. Chen, 1977: A life history of an intense mesoscale convective storm in Oklahoma, J. A. S., 34, 1458-1476.

Ogura, Y. and M. T. Liou, 1980: The structure of a midlatitude squall line: A case study, J. A. S., 37, 553-567.

Perkey, D. J. and R. A. Maddox, 1985: A numerical investigation of a mesoscale convective system. Mon. Wea. Rev., 113, 553-566.

Wetzel, P. J., W. R. Cotton and R. L. Mcanally, 1983: A long-lived mesoscale convective complex, Part II: Evolution and structure of the mature complex. Mon. Wea. Rev., 111, 1919-1937.

丘台光，1986：赴美國國家大氣研究中心研習中尺度模式報告書，中央氣象局，59 pp.

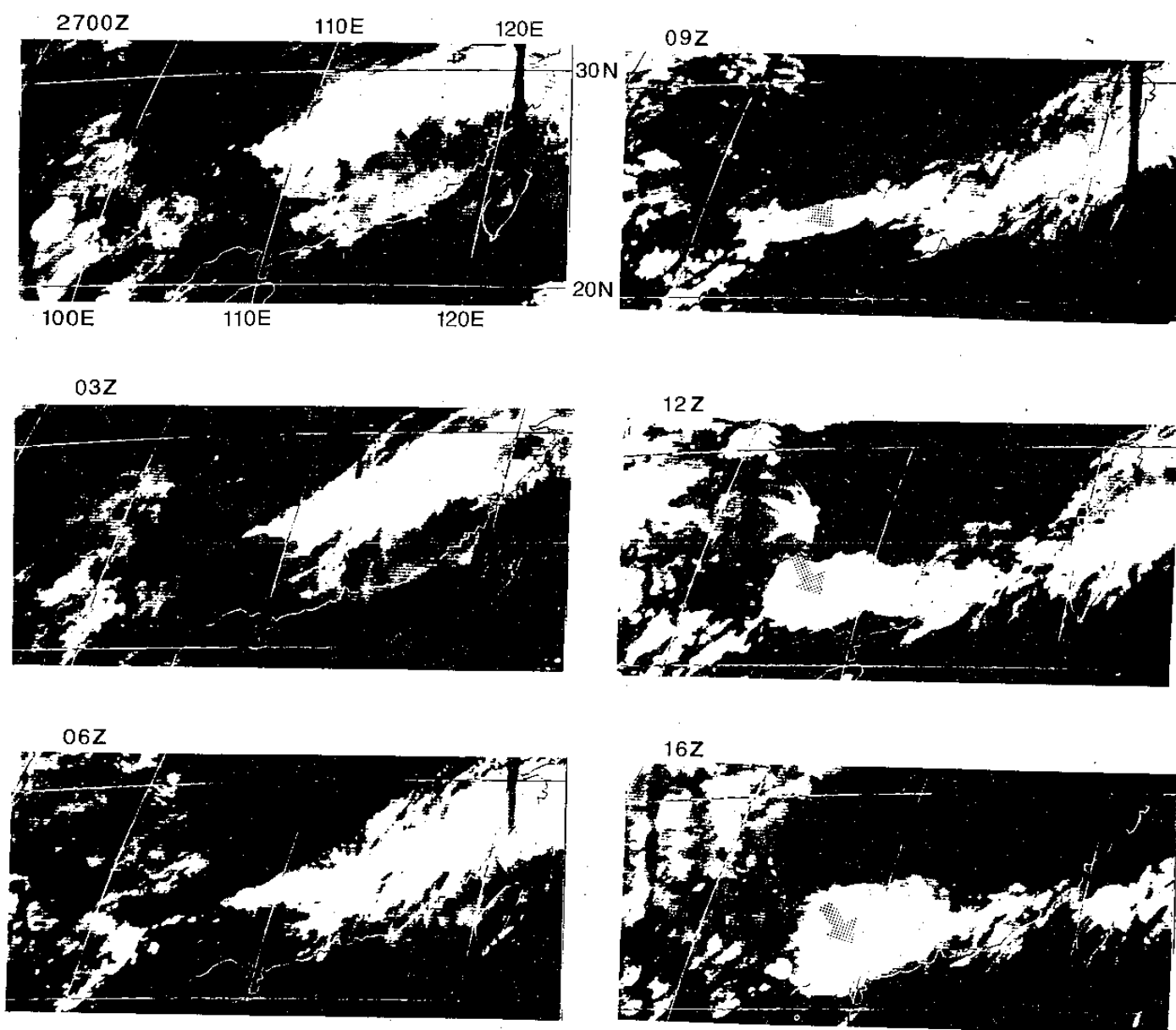


圖1 1981年5月27日00Z至16Z的氣象衛星雲圖照片。

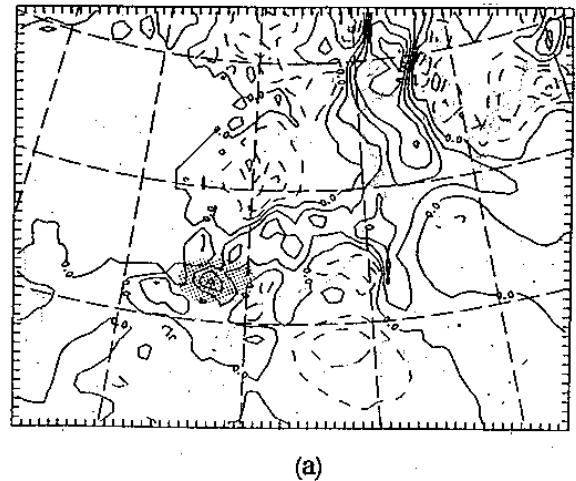
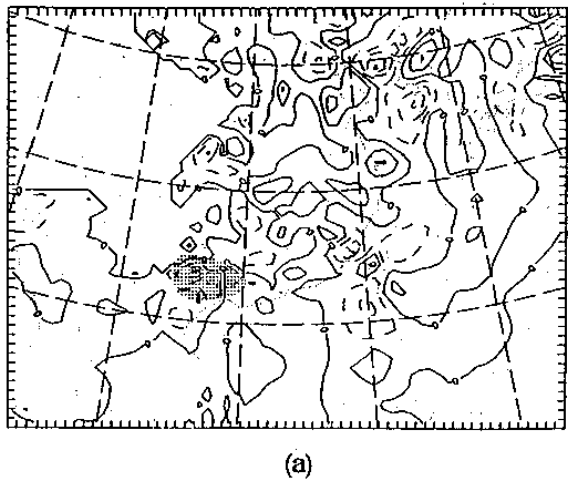
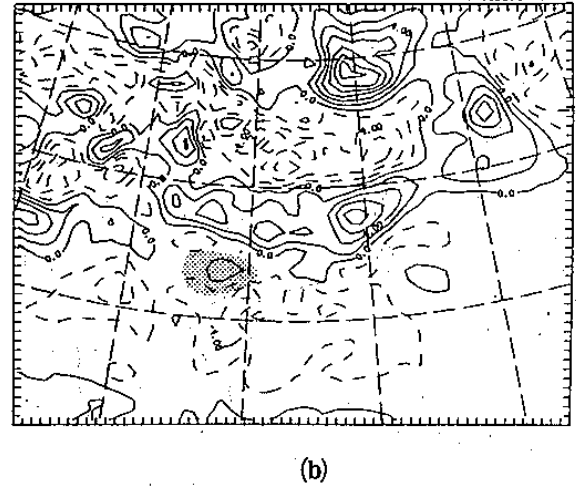
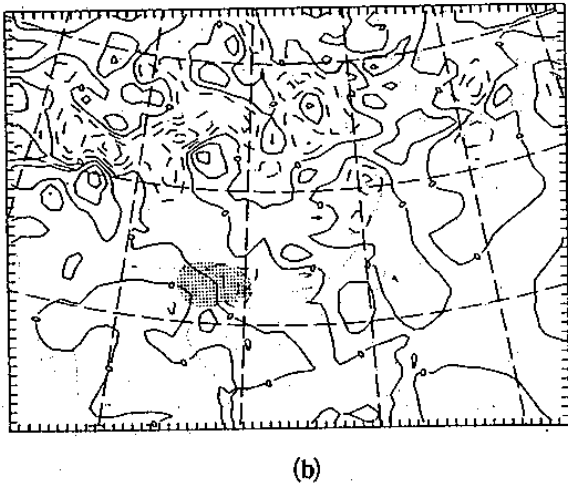
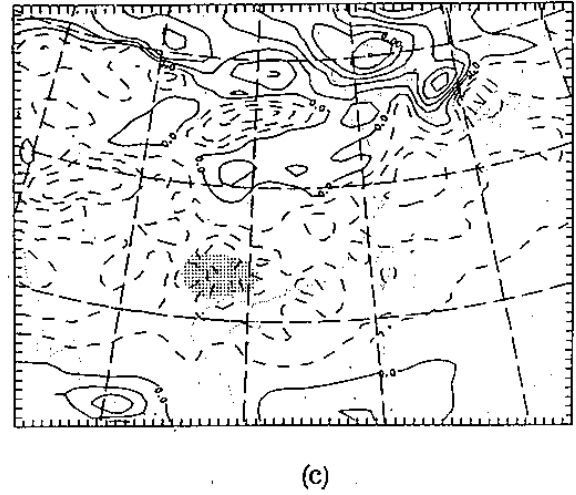
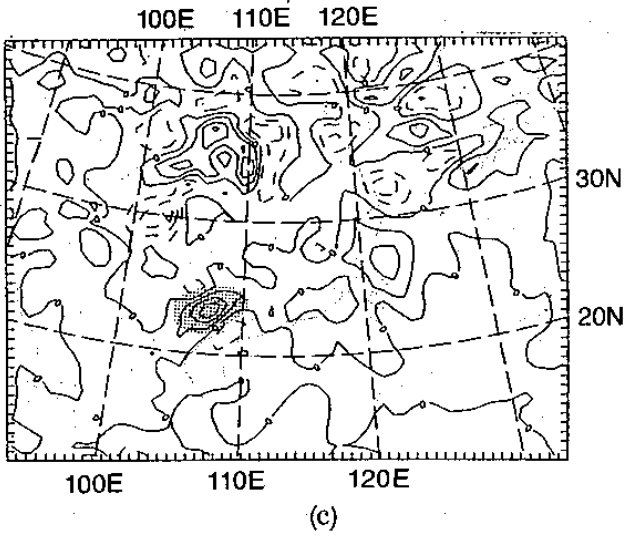
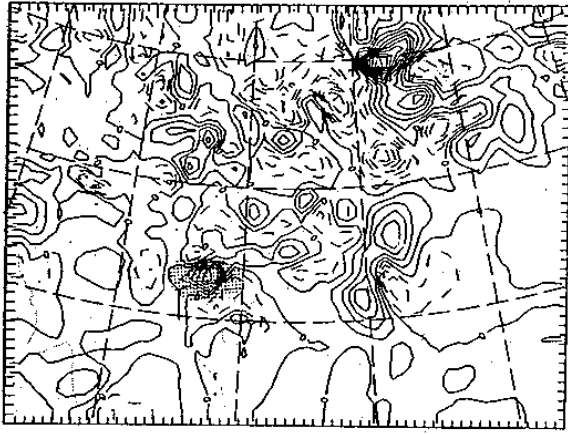
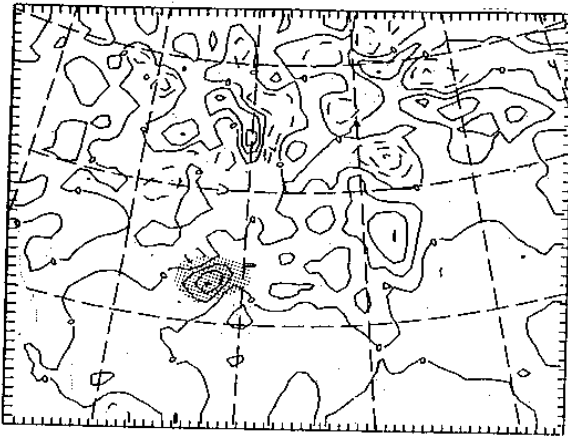


圖 2 a 1981 年 5 月 27 日 12 Z 850 mb、500 mb 及 200 mb 之輻合(散)量 ($2 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$) 分布圖。(a)表 850 mb，(b)表 500 mb，(c)表 200 mb，圖中陰影區表雲系低於 -32°C 之範圍。

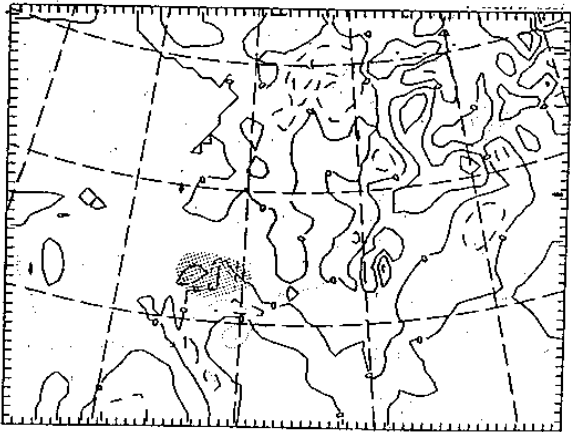
圖 2 b 850 mb、500 mb 及 200 mb 之渦旋度 ($2 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$) 分布圖、時間及說明同圖 2 a。



(c)



(b)



(a)

圖 2 c 850 mb、500 mb 及 200 mb 之垂直速度 ($2 \times 10^{-3} \text{ mbs}^{-1}$) 分布圖、時間及說明同圖 2 a。

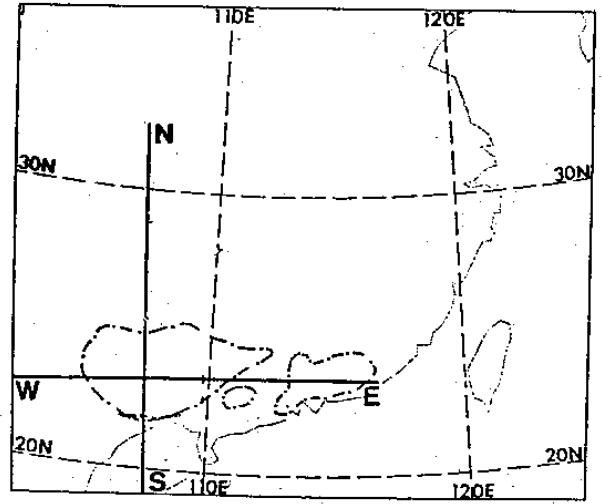
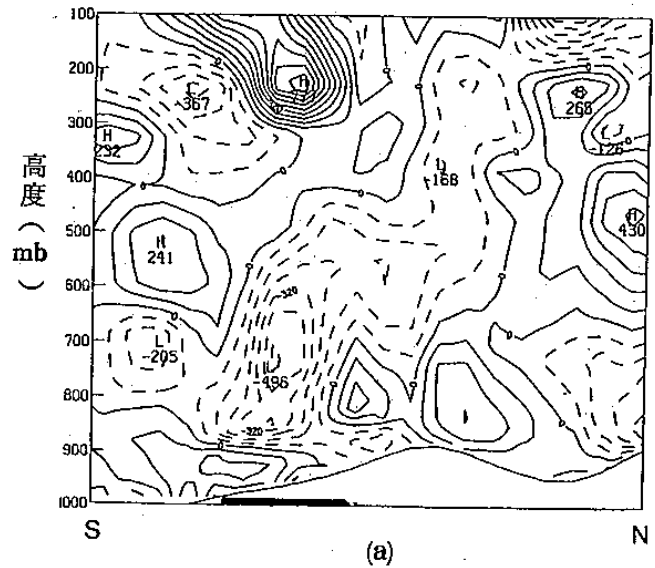


圖 3 1981 年 5 月 27 日 12 Z MCS (個案 I) 南北 (NS) 及東西 (WE) 剖面示意圖，圖中點線所圍之區域為雲系溫度低於 -32°C 之範圍。



(a)

圖 4 1981 年 5 月 27 日 12 Z MCS 南北剖面的 (a) 輻合量 ($80 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$)，(b) 渦旋度 (10^{-6} s^{-1})，(c) 垂直速度 ($90 \times 10^{-6} \text{ mbs}^{-1}$) 其中實線表輻散、正渦度及上升運動區，虛線表輻合、負渦度及下降運動區，(d) 位溫 (5°K) 垂直分布圖，圖中粗實線表雲系低於 -32°C 之範圍。

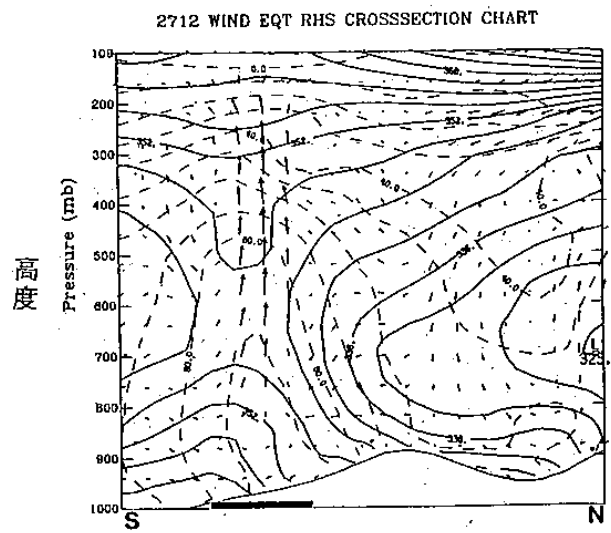
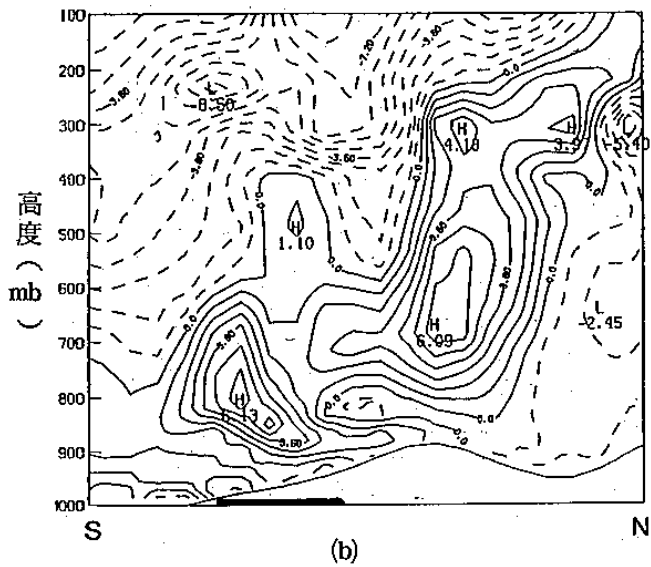


圖 5 MCS 南北剖面氣流、相當位溫 (3°K) 及相對濕度 (10%) 之垂直分布圖，其他說明同圖 4。

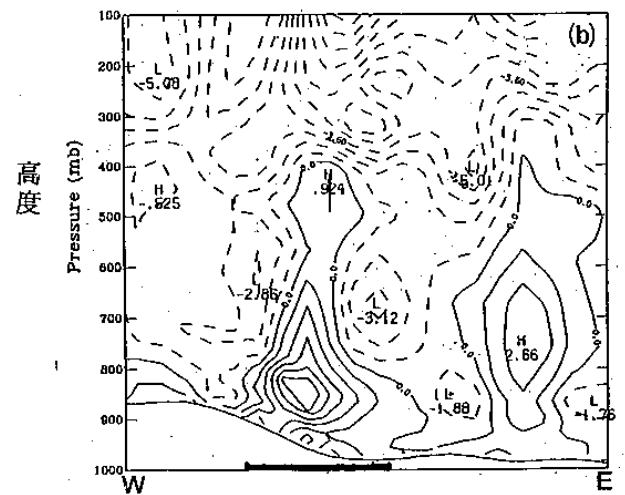
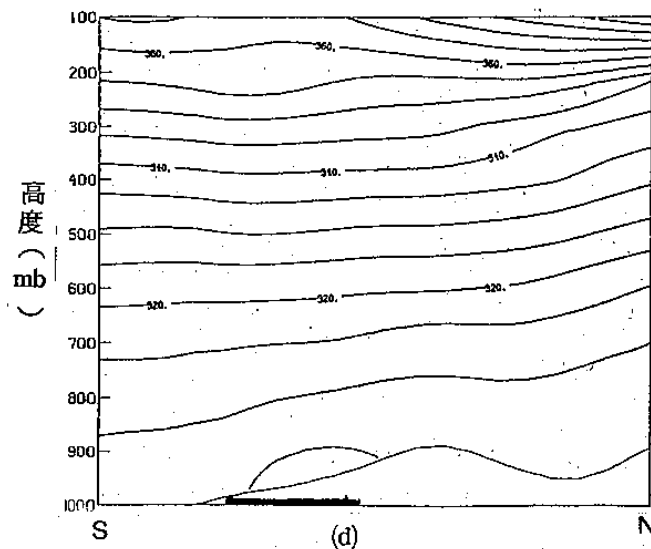
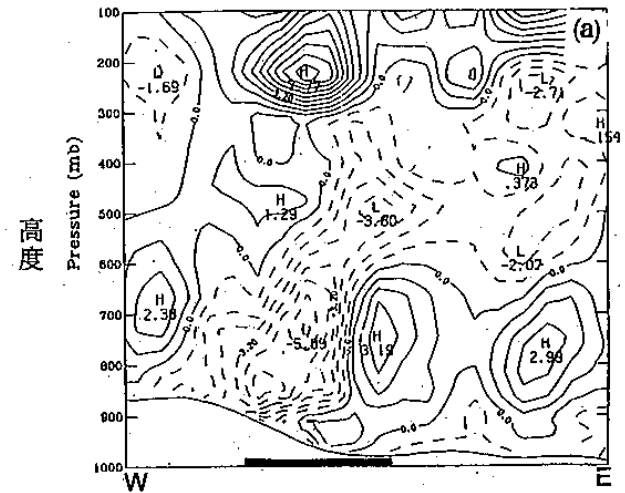
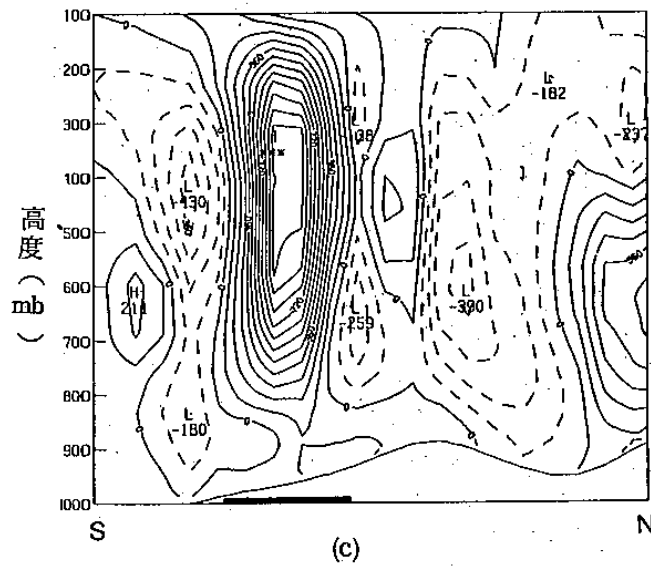
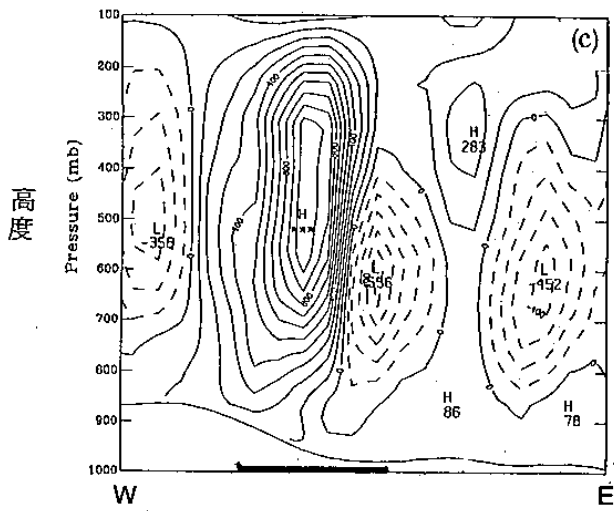


圖 6 MCS 東西剖面的 (a) 輻合量 ($10^{-6} s^{-1}$), (b) 渦旋度 ($10^{-6} s^{-1}$), (c) 垂直速度 ($100 \times 10^{-6} mbs^{-1}$) 的垂直分布圖，其他圖說同圖 4。

續圖 4



續圖 6

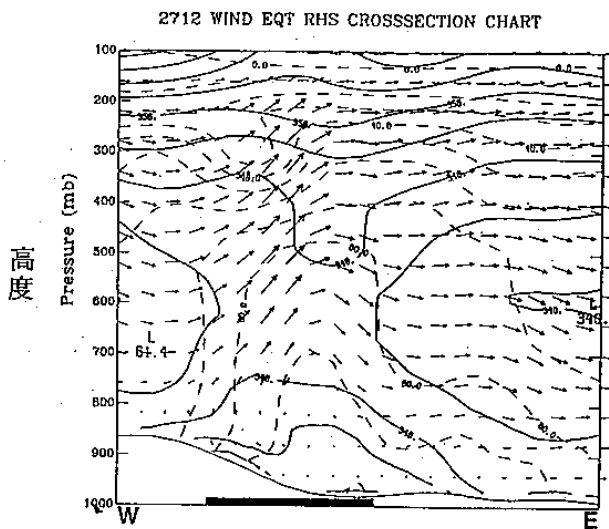


圖 7 a MCS 東西剖面氣流、相當位溫 (5°K) 及相對濕度 (10%) 之垂直分布圖。

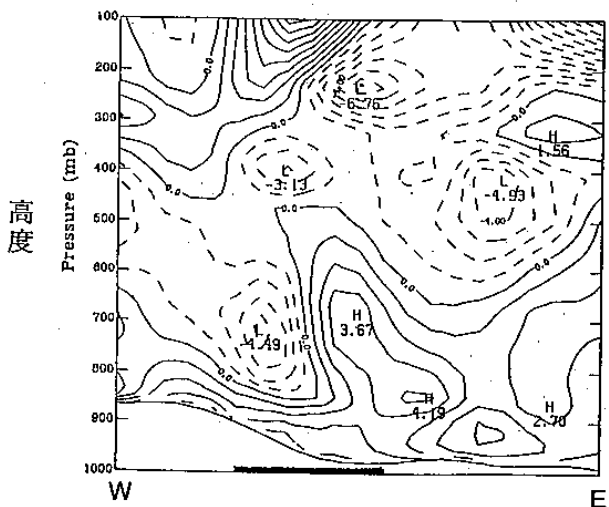


圖 7 b MCS 東西剖面之緯向風速 (ms^{-1}) 之垂直分布圖。

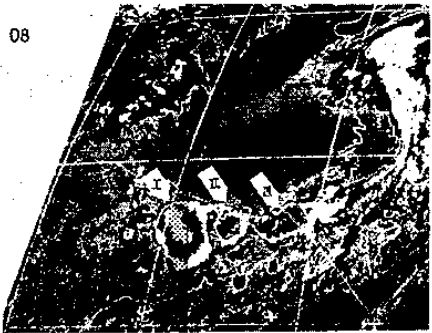
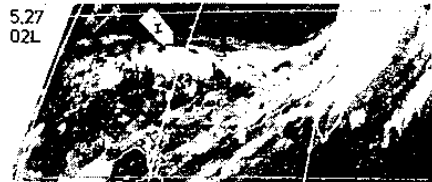
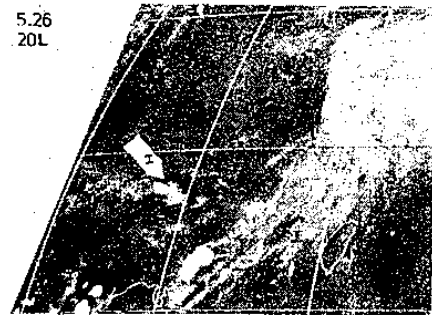
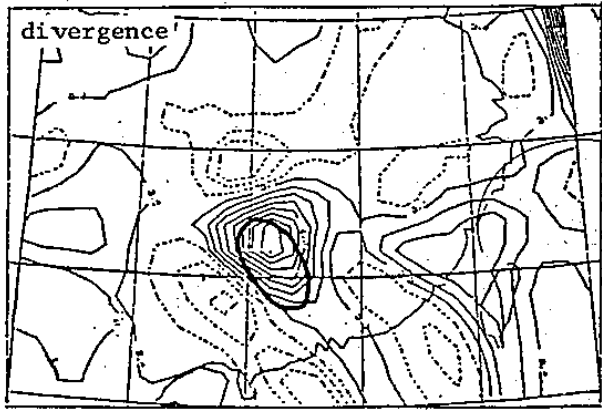
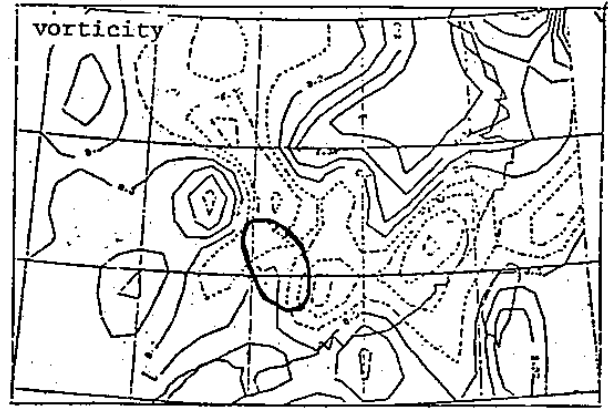


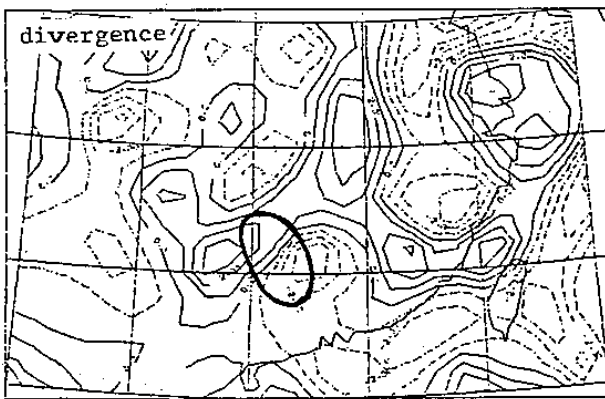
圖 8 1985 年 5 月 26 日 12 Z (20 L) 至 27 日 06 Z (14 L) 的氣象衛星雲圖照片。



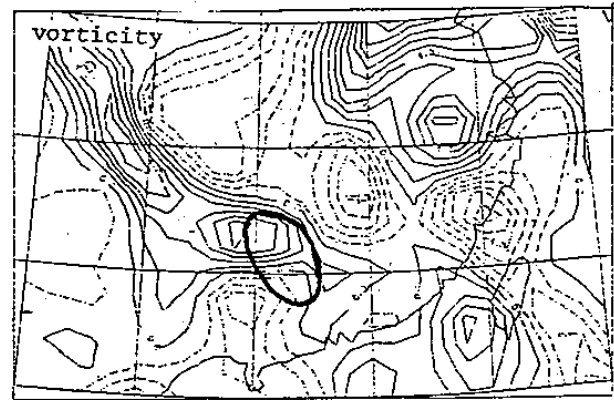
(c)



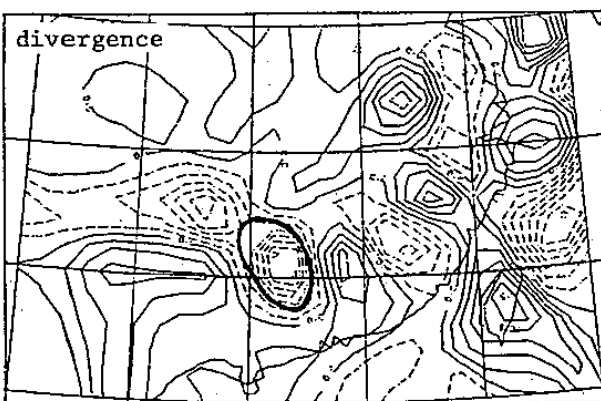
(c)



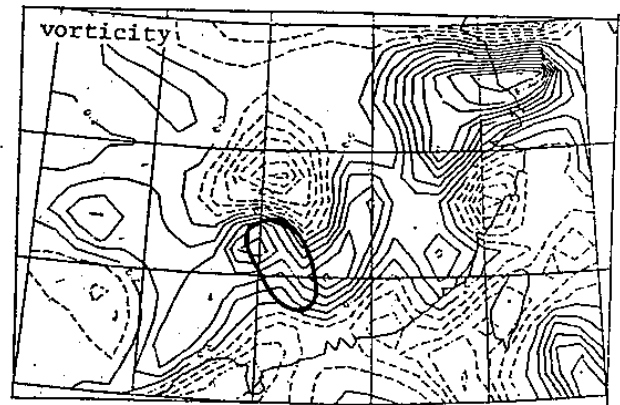
(b)



(b)



(a)



(a)

圖9 1985年5月27日00Z(08L)850mb、500mb及200mb之輻合(散)量($10^{-5} s^{-1}$)之分布圖，其中左邊圖表輻合(散)量圖，右邊表渦旋度區，又(a)表850mb，(b)表500mb，(c)表200mb圖。

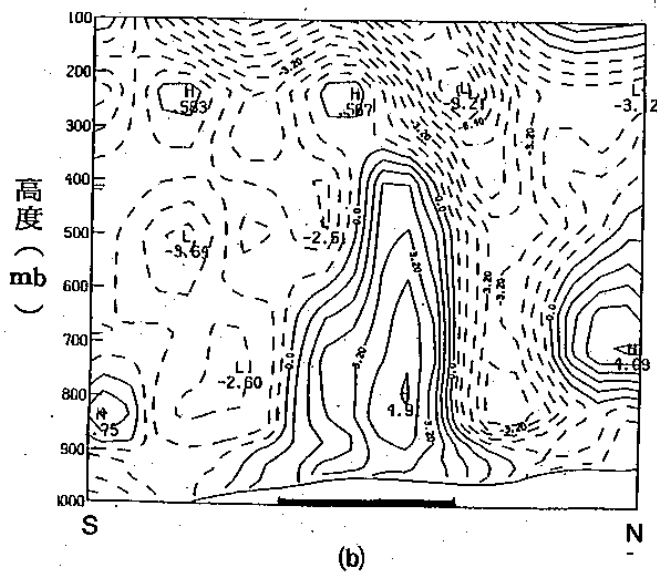
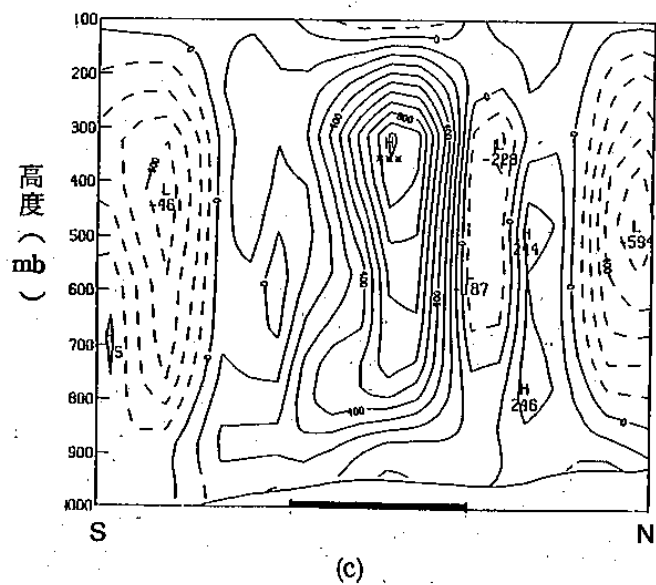
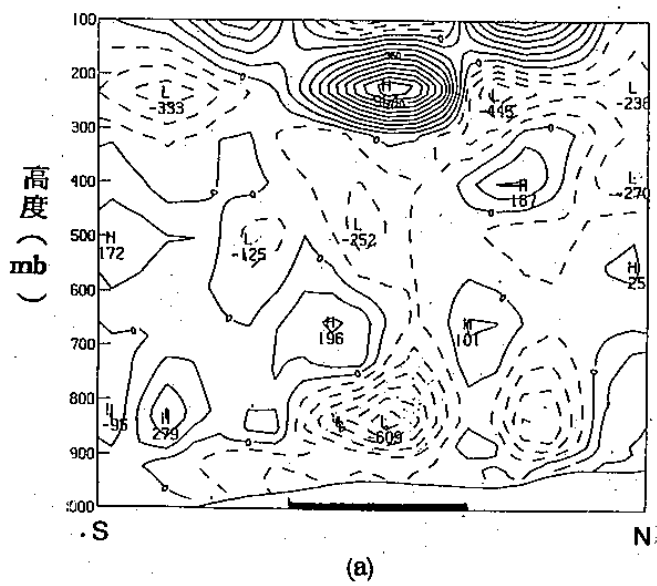


圖10 1985年5月27日00Z MCS之南北剖面(a)輻合量 ($100 \times 10^{-7} s^{-2}$)、(b)渦旋度 ($10^{-6} s^{-2}$)及(c)垂直速度 ($100 \times 10^{-6} mb s^{-2}$)之垂直分布圖，圖中粗實線、實線及虛線說明同圖4。

**THE STRUCTURE OF MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEM IN
SOUTHEASTERN CHINA DURING MEI-YU PERIOD**

Tai-Kwang Chiou

Ching-Sen Chen

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

**Department of Atmospheric Physics
National Central University**

ABSTRACT

During Mei-Yu period heavy rainfall in southeastern China are the Mesoscale Convective Systems (MCSs). The study of thermodynamic, kinematic and dynamic structure of MCS is the major topic of this study.

In this study, two larger MCS cases occurring in southeastern China are selected : One is the case of 27-28 May 1981, another case is from 27-28 May 1985. We analyze the structure of MCS and compare with the similiar result studied in U.S. and Japan.

Results show that the horizontal and Vertical thermodynamic, kinematic and dynamic structure of MCS occurring in southeastern China are similiar to those of MCC in U.S. and those of cloud cluster in Japan. However the synoptic situations for MCS in SE China are different from those in U.S.