

梅雨期中尺度對流系統產生 豪雨的雷達分析

王陳台琦 林沛練 陳景森

國立中央大學大氣物理研究所

楊健生 魏運寶

民航局飛航服務總台中正氣象台

一、簡 介

五、六月梅雨季節產生豪雨的中尺度對流系統 (MCS)，是台灣雷達氣象研究的主题之一，在1990年6月9日至10日有一系列MCS伴隨鋒面於台灣北部附近發展，其中有一個meso- β 尺度向後生長之MCS，造成中壢地區日降水量200mm的豪雨。圖1為6月9日0500LST至0800LST的時雨量累積。因6月7日、8日暴風雨前的環境條件與著名的1984年6月3日台北盆地內水災非常相似，中央氣象局也於1990年6月8日發佈豪雨特報，因此中央大學的S-波段傳統雷達及民航局的C-波段都卜勒雷達都同時配合密集觀測了此個案的全程變化。這兩個雷達的位置標示於圖1中。

衛星影像及雷達圖顯示出6月9日當天清晨的最大雨勢是MCS向後發展所造成，同樣地1984年6月3日的豪雨也與MCS向後發展有關，這兩事件的相似性讓我們對這類MCS雷達回波的特性很有興趣。在美國，MCS或MCC的向後發展通常都帶來大量降水 (Scotfield and Weiss 1976, Maddox et. al. 1986)。對6月9日的事件，VAD分析指出在MCS的最底層有強烈的輻合及變形，進一步的都卜勒風場分析也許可更了解MCS的内部結構。

經由回波反射率及都普勒風場的詳細分析，在雷達資料中，我們發現了可解釋中尺度對流系統向後發展現象的明確特性記號 (signature)，希望這些結果能有助於預報員將來在短期預報中確認出這些豪雨

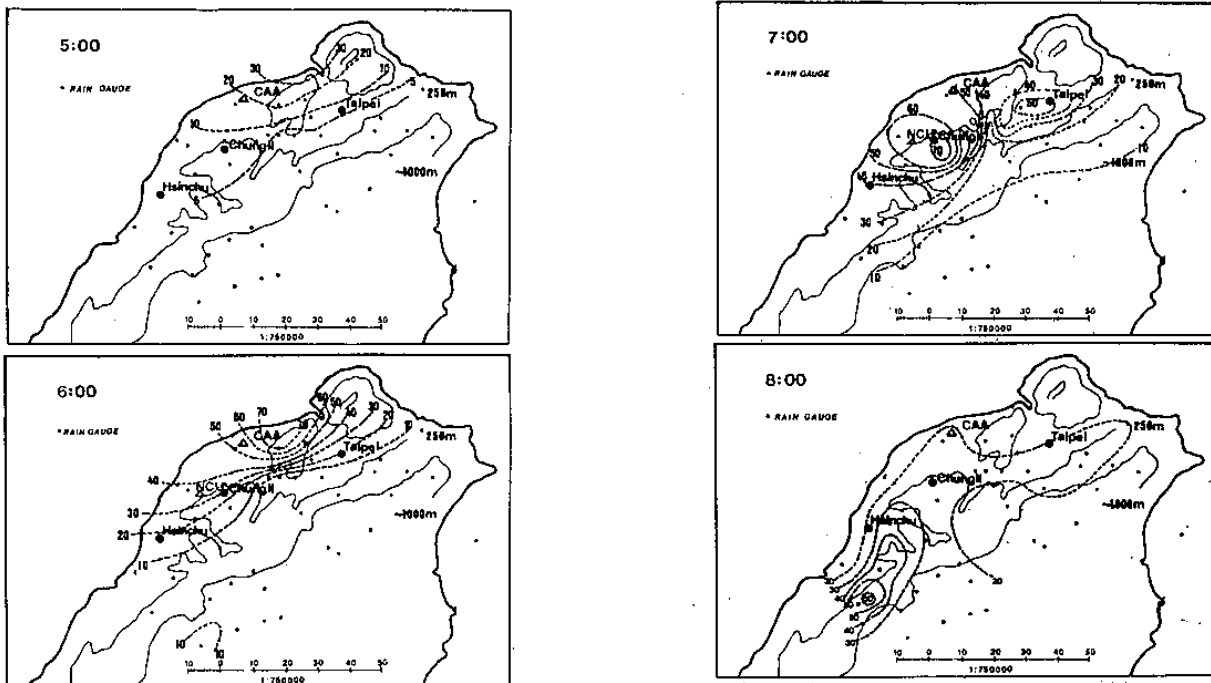


圖1 台灣北部自動雨量網的估計累積時雨量。
時間從6月9日0500LST至0800LST止。

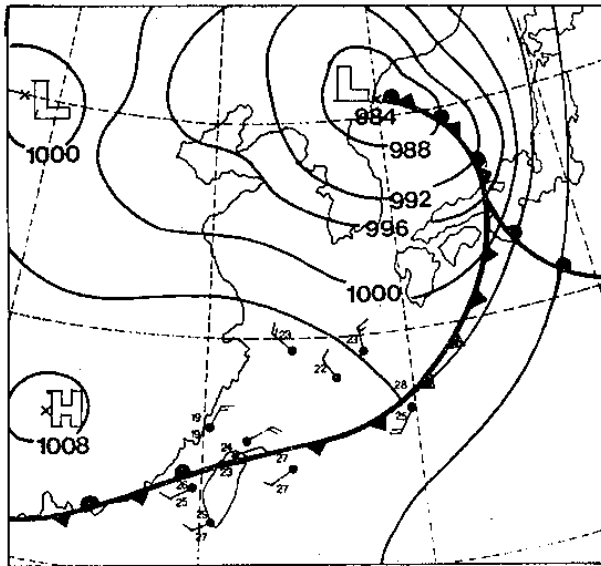
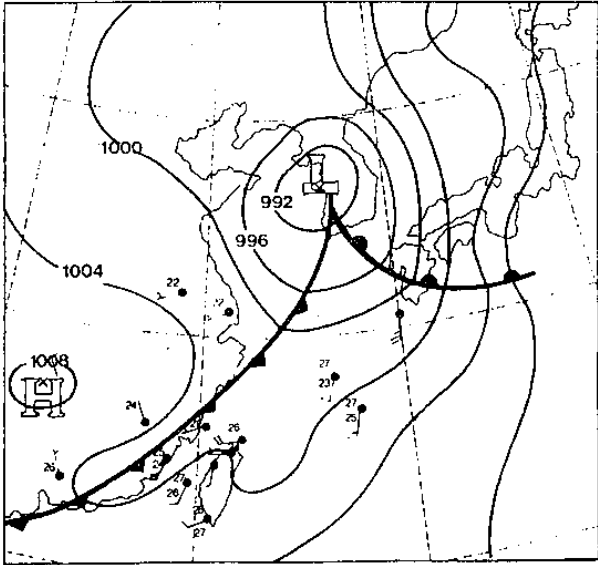


圖2 6月8日12Z, 2000LST及6月9日00Z, 0800LST之地面圖。

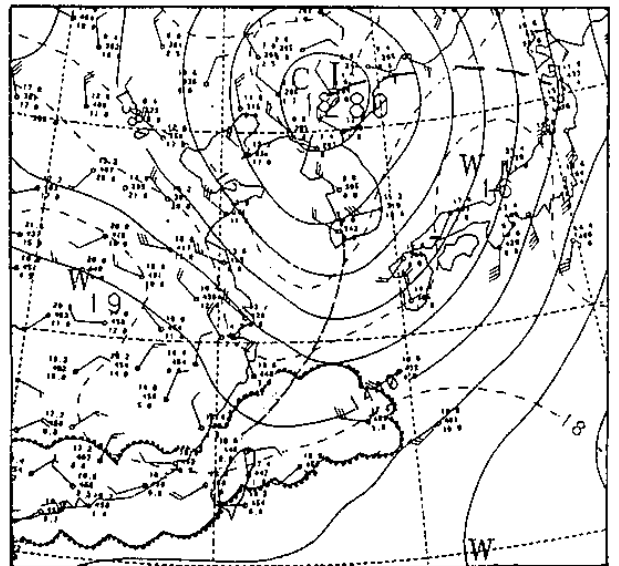
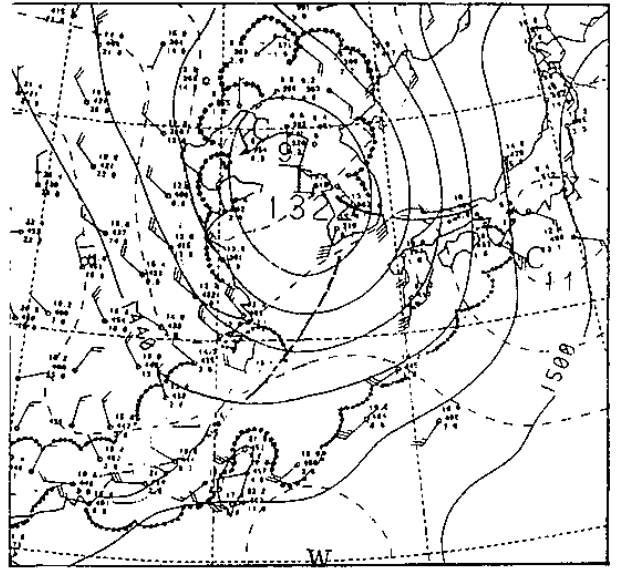


圖3 6月8日12Z, 2000LST及6月9日00Z, 0800LST之850mb之天氣圖。

的產生。

二、綜觀條件

一個標準的中緯度氣旋系統 (cyclone system) 於6月8日00Z 通過中國東南海岸 (圖2a) 12小時以後, 低氣壓開始形成封閉系統, 中心位於韓國附近 (圖2b)。6月9日12Z到00Z, 伴隨旋生的鋒面系統通過台灣北部海域向東移動。

由於囚錮性的發展 (occlusion development) 非常強烈的變形場 (deformation field) 和渦度場 (vorticity field) 伴隨鋒面過境。6月8日12Z沿台灣海峽的暖區內, 850mb 和 700mb, 流場 (flow

field) 顯示出一個朝東北, 最大風速25m/sec的低層噴流(LLJ-low level jet) (圖3a和3b)。因此一個非常地域性的高輻合區(local high convergence area) 將在LLJ和鋒面交接處出現, 動力機制非常適於MCS的發展。

圖4是6月8日10Z, 衛星紅外線雲圖(IR image) 台灣北部頂端200km 西北西處有一很小但很低溫的雲塊 (圖4箭頭所指部份)。圖5為該雲塊發展成中尺度對流系統的時間序列, 從6月8日10Z (18LST) 到6月9日23Z (07LST) 的15小時內, 該MCS繼續發展, 於此系統的西南方發展出另一新的對流系統, 事實上此對流系統從19Z到23Z一直是向後生長 (back building), 20Z時, 對流系統的西南端到達台灣西北方, 中心位置開始大量降水。由西南角的明暗及形

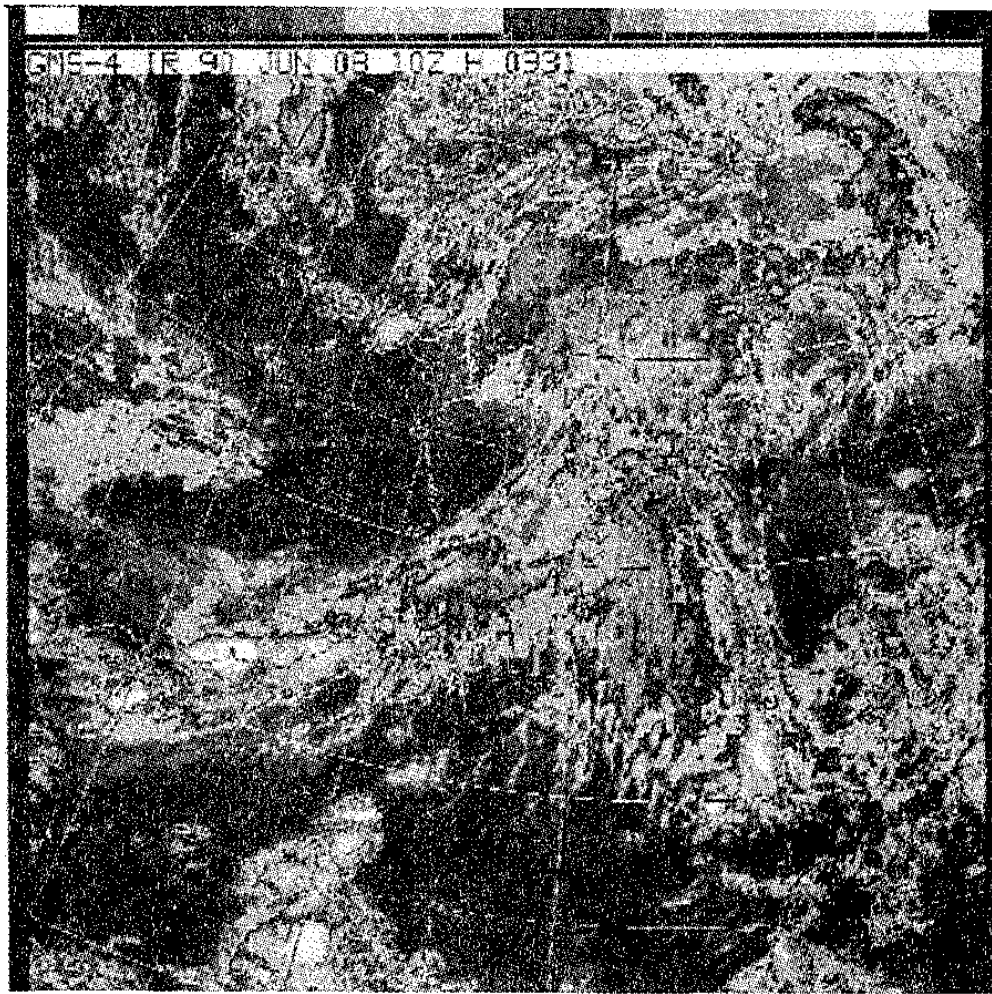


圖4 6月8日10Z, 1800LST之紅外線衛星雲圖。

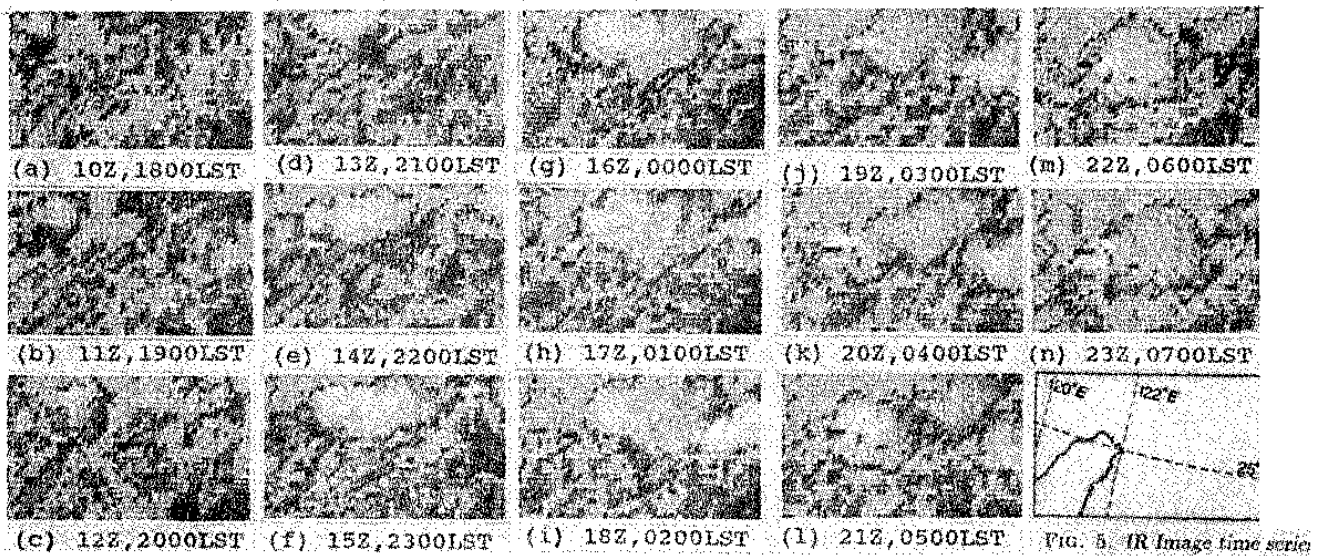


圖5 紅外線衛星雲圖時間序列。

狀變化可以看出該對流胞的週期。這個現象將配合雷達分析在下面的小節中進一步討論。

圖6表示6月7日00Z到6月10日12Z板橋探空的時間序列。陰影區顯示條件不穩定區($\partial\theta_e/\partial z < 0$)，有一層約30mb厚之條件穩定層，從6月8日00Z到

12Z 位於850mb附近，這個穩定層有如一個蓋子阻止了午後雷雨的發生，同時在白天的低層加熱作用提供較大的不穩定性，並且在傍晚時藉著隨高度層層不同之輻射冷卻作用(differential radiation cooling)，幫助低層噴流的發生，Carlson 和 Farrel (1982)

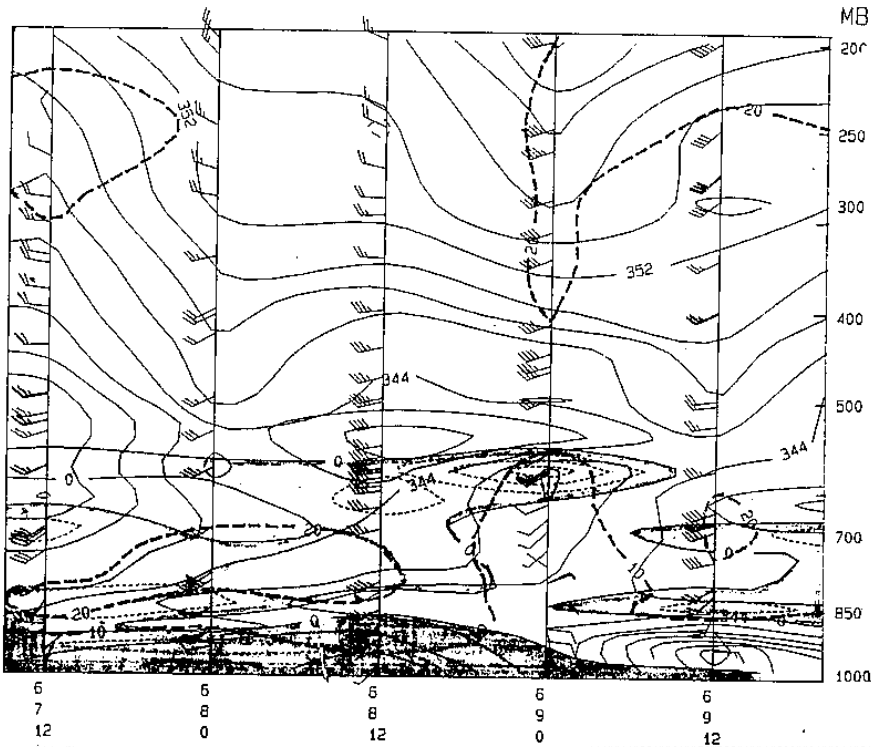


圖6 板橋探空時間序列，陰影區為 $\partial\theta_e / \partial z < 0$ 之區域，長虛線為等風速線以10m/sec 為間隔。

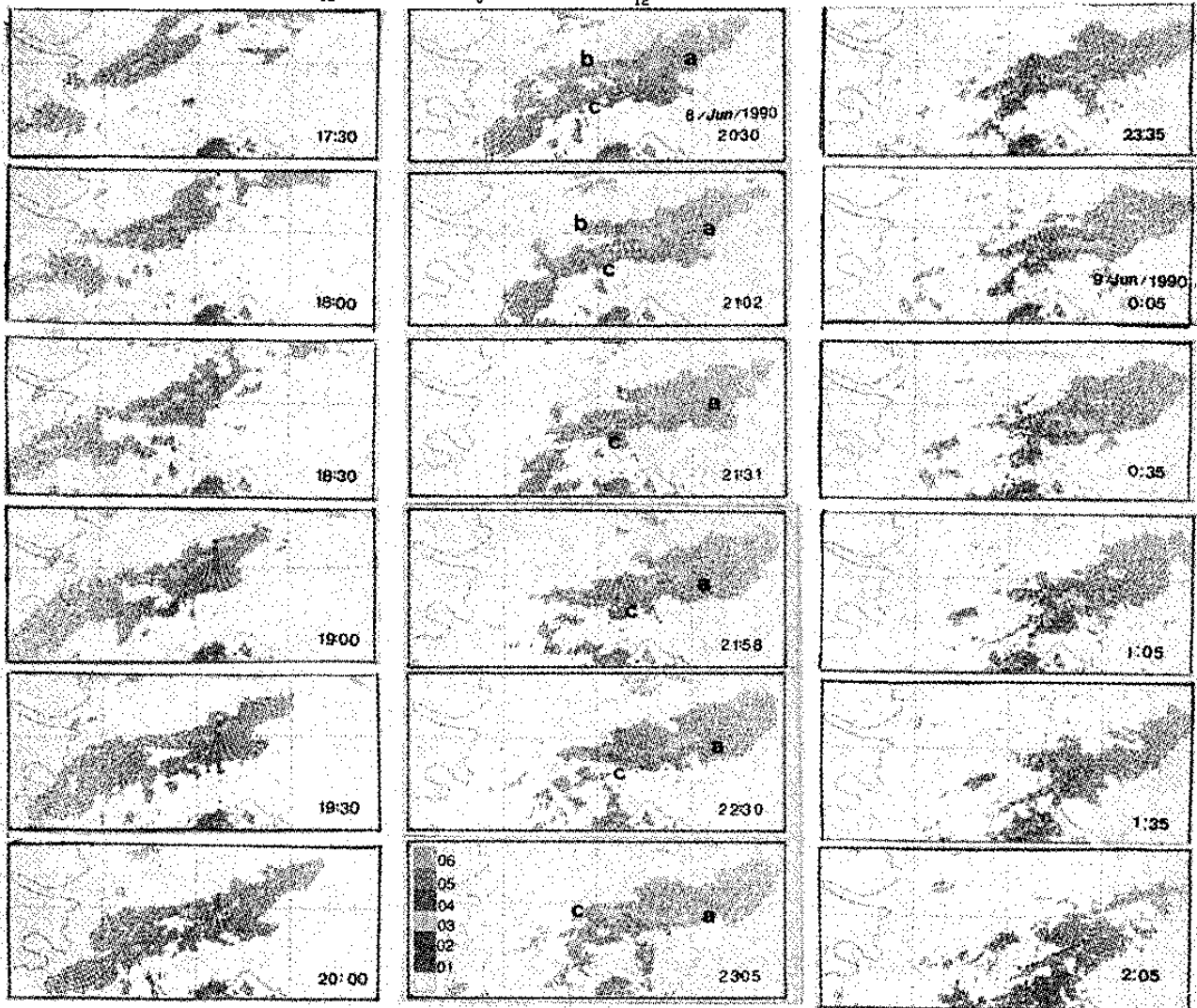
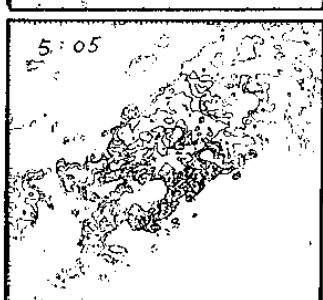
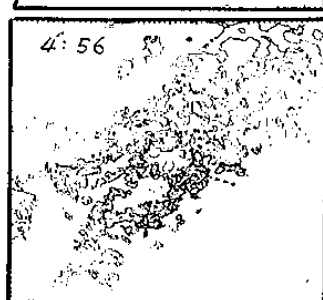
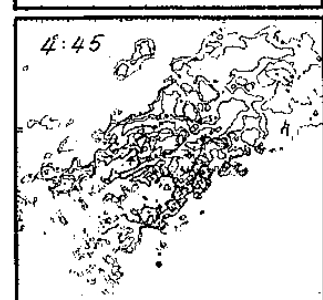
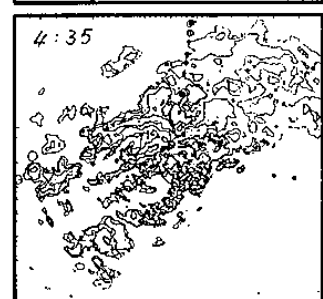
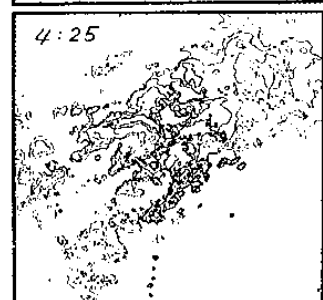
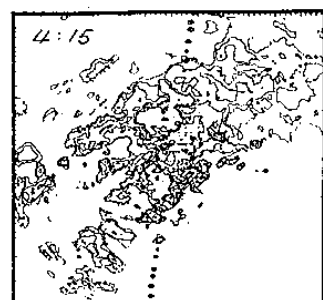
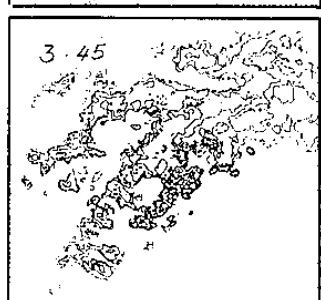
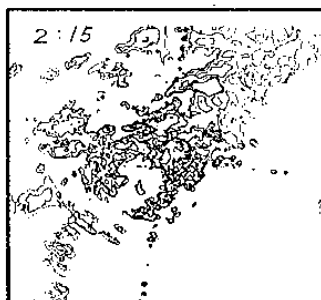
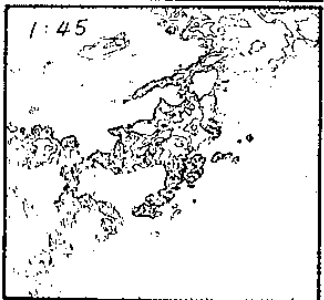


圖7 中大雷達每30分鐘PPI時間序列圖。



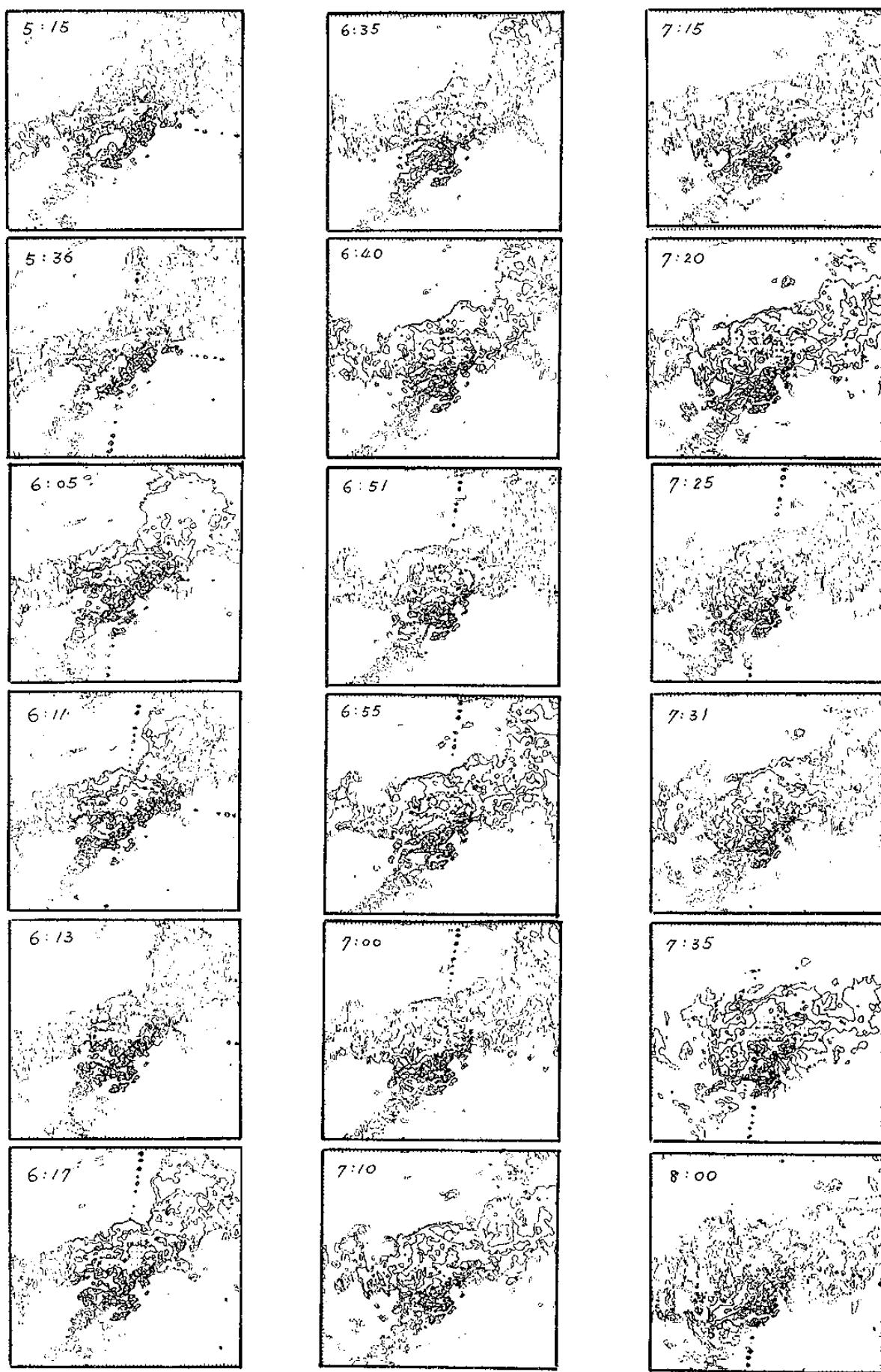


圖8 中大雷達每10分鐘或20分鐘PPI時間序列圖。

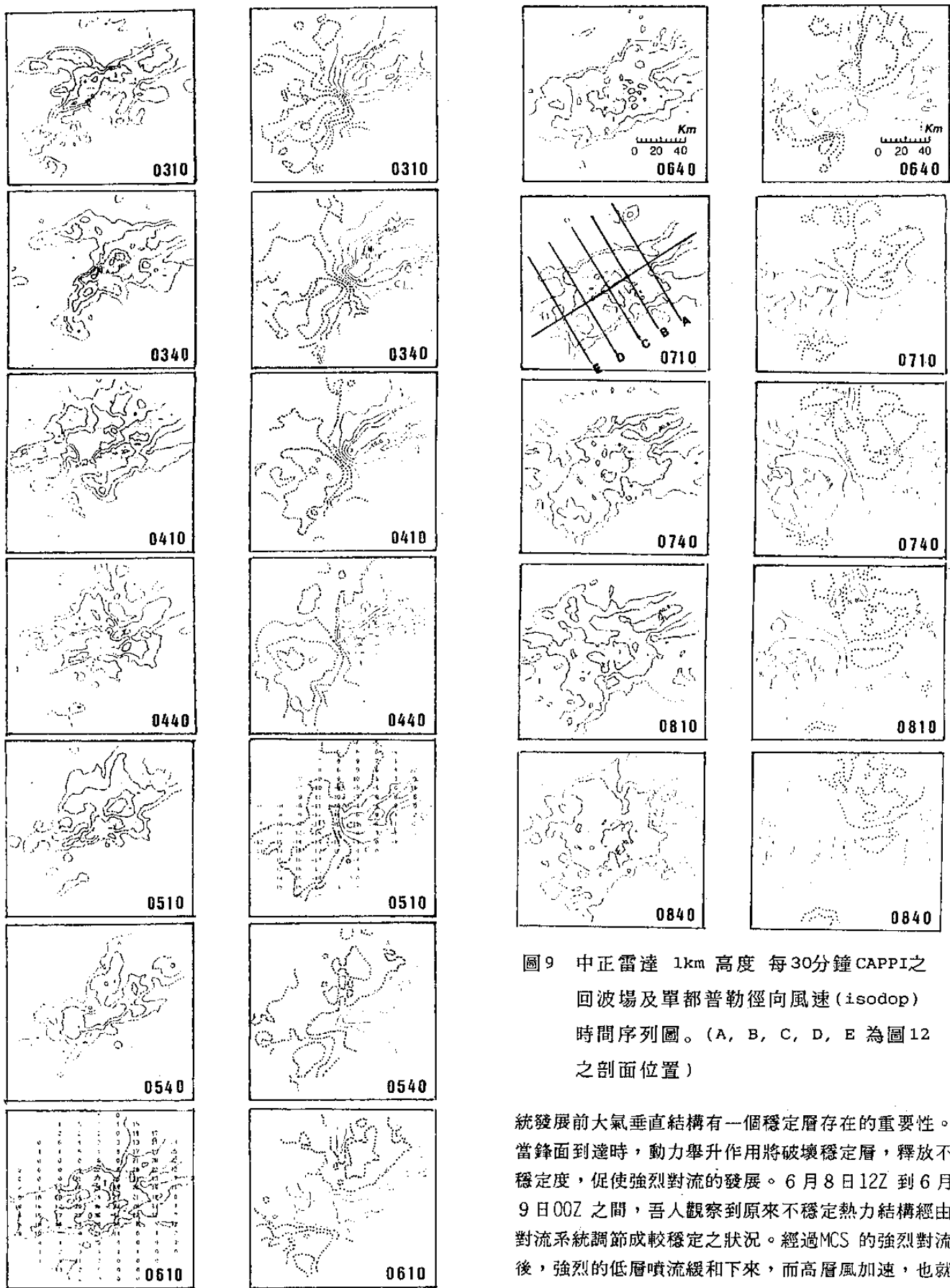


圖9 中正雷達 1km 高度 每30分鐘CAPPi之
回波場及單都普勒徑向風速 (isodop)
時間序列圖。(A, B, C, D, E 為圖12
之剖面位置)

統發展前大氣垂直結構有一個穩定層存在的重要性。當鋒面到達時，動力舉升作用將破壞穩定層，釋放不穩定度，促使強烈對流的發展。6月8日12Z 到6月9日00Z 之間，吾人觀察到原來不穩定熱力結構經由對流系統調節成較穩定之狀況。經過MCS 的強烈對流後，強烈的低層噴流緩和下來，而高層風加速，也就是說水平動量重新分配。在我們可預知動力和熱力的環境條件非常適於強烈對流發展的情況下，藉由6月

• McGinley (1986) 同時提出在傍晚觀測較強對流系

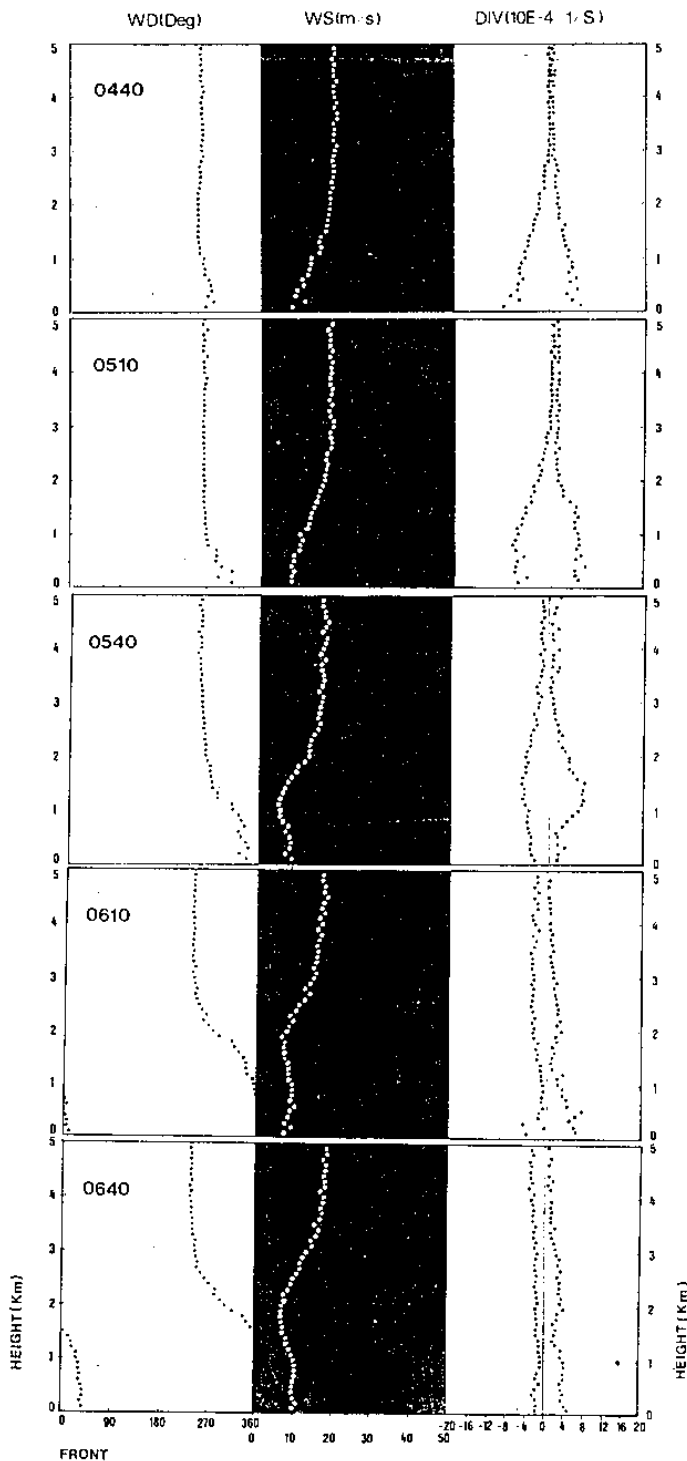


圖 10 中正雷達 VAD 所得平均風向、風速、輻散及變形之垂直分佈時間序列。

8 日 12Z 的傳統資料，如探空，地面資料，吾人是否能夠知悉 MCS 發展的時間，地點和強度？本計劃即想藉由 meso- β 和 meso- γ 都卜勒雷達資料分析，吾人能夠獲得更多有力的線索。

三、回波特性：

圖 7 是中大雷達每 30 分鐘的 PPI 圖，在開始的階段，回波呈現一個東北西南走向之鋒面雨帶，並且有很清楚的波浪狀線性回波記號之發展 (LEWP, LINE ECHO WITH WAVE PATTERN)，並且在波浪狀凸出的地區有較強之對流發生。經過整夜的觀測，我們注意到在此強對流中心回波型態有一種十分有趣重複發生的週期變化。而此強對流位置與衛星紅外線雲圖上最冷之區域一致。舉例來說，從 1430Z (2230LST) 35dBZ 以內之強回波區之外形有如一曬衣夾子，以最強回波為中心，靠東邊的 A 區形狀是一個向東北東方向沿伸的三角形，向西邊則回波分叉為兩支 (分別標為 B 區及 C 區)，北邊的 B 支呈東西走向，這支從 2230 LST 到 2330LST 間逐漸消散，同時南支呈東北東—西南西走向之回波，逐漸加強並以最強回波區為支點緩緩順時鐘方向旋轉，此時整個回波區呈一銳三角形，向西南西延伸，衛星雲圖上亦可看到三角形之低溫區，C 支完全取代了原先 B 支之位置，變為東西走向，到 0030LST 時，一支新的回波又在原先 C 支發展之相對位置回復到曬衣夾的型態，另一個週期又將開始，此時雲圖顯示西南西尾端變圓，和回波之發展十分吻合，而如果由整個時間序列看來(圖 7)，此週期性十分明顯。

值得注意的是當 B 區因為 C 區阻擋了熱與水氣之來源而消散，而 C 區快速的增強等相當熱鬧之變化正在進行時，A 區外型始終十分穩定地呈現東北東，西南西走向之楔形三角形。

當此系統緩慢向南移向台灣，中大每 10 分 PPI 圖可看到同樣周期性的變化，只是因為強烈的地形作用使得回波更強，型態更複雜 (圖 8)。在整個 MCS 發展的過程中，回波最強的區域永遠是整個系統最寬的地方。大尺度的強烈變形場及低層噴流也許是產生此種十分區域性之強對流的主要原因。為了要了解此系統之運動結構，接下來我們將以 CAA 中正雷達站單都普勒雷達資料來分析。

四、單都普勒風場分析

圖 9 顯示於 1 公里高處從 0310 到 0740LST，每隔 30 分鐘的回波場 (reflectivity)，和都普勒徑向速度等值線 (isodop)。雷達位於每張圖的中心位置，在 0340 時我們可以清晰看到三個方向的輻合流，包括鋒面後面的北北西流與西南噴流，二者相會於 A 區回波。在西北風和西南風間有一條西風分量 (west flow) 之入流 (inflow) 與鋒後西北風合流形成 B 區。此一股氣流並與西南氣流形成 C 區，0440 時 B 區消散，只有北北西流和西南氣流交會。B 區消散的原因可能是 C

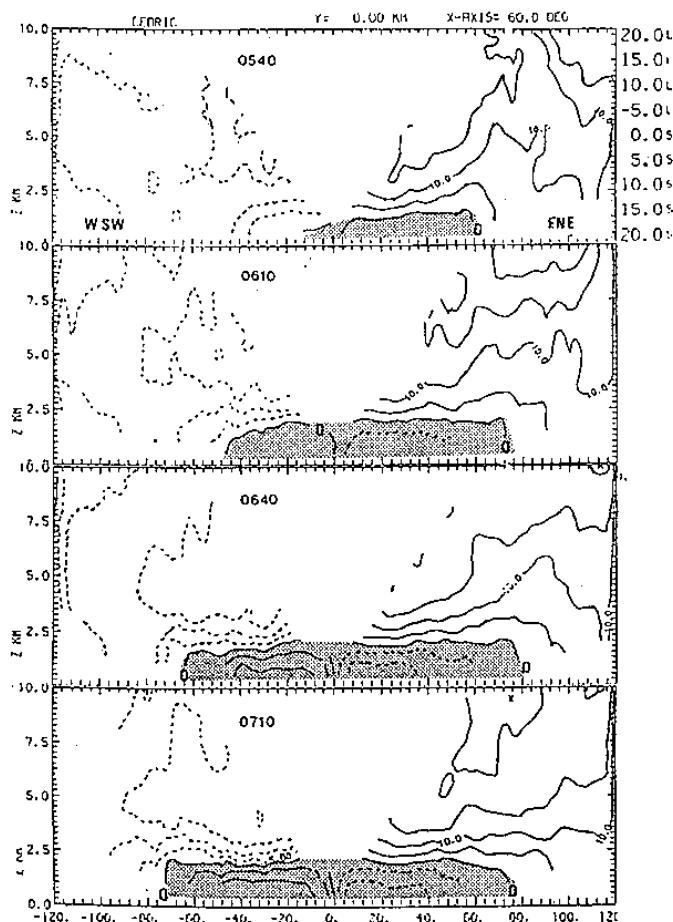
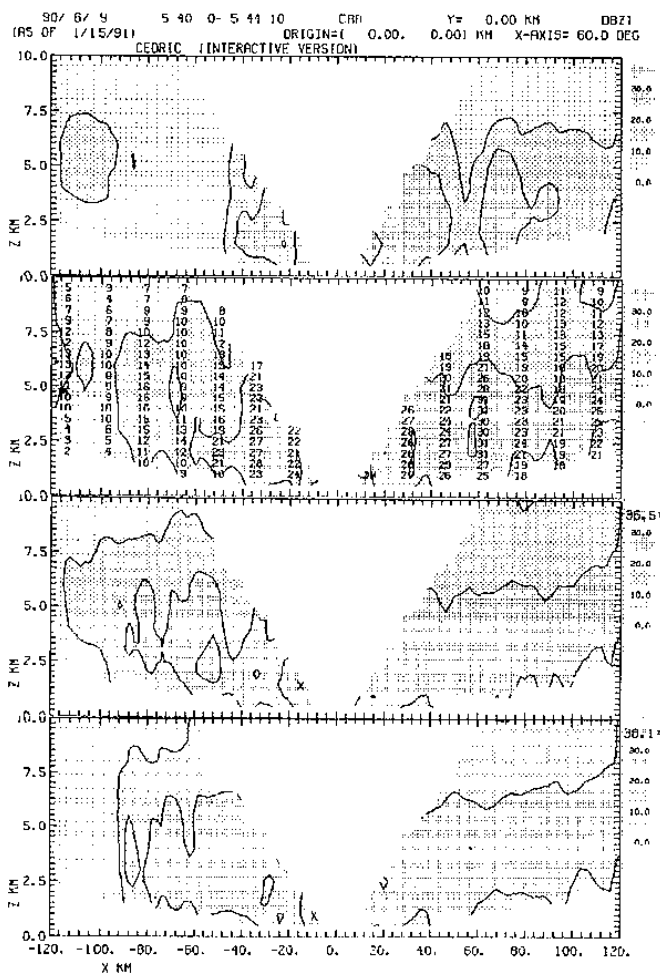


圖 11 中正雷達之回波場及單都普勒風速線通過方位角 60° - 240° 之垂直剖面每 30 分鐘之時間序列。

區的外散冷流使 B 區的入流逐漸穩定下來。0510 時，北邊的 B 區段完全消散，徑向風的型態是個陣風鋒面，北風在鋒後，鋒前為強烈的西南風。0610 時，我們可以清楚看到此陣風鋒面已經移動到雷達南邊 20 公里處，強烈的北北東風和西南風在陣風鋒面相會，鋒面後面風場方向從北北西，北變到北北東方向，顯示大尺度變形場 (deformation field) 的遷移，這項因素實際上助長了鋒生的過程 (front genesis)。

由 Browning 和 Wexler 於 1986 年提出的 VAD 分析技術能夠提供更多低層的訊息。圖 10 顯示從 0440 到 0640 每 30 分鐘於雷達半徑 30 公里內主要風向，風速，輻散場，以及變形場的垂直剖面。0440 時 1 公里以下主要方向是 250° SW，在 2 小時內從西南、西、西北，北轉到東北，顯示大尺度鋒面過境。在 2 公里高處西南氣流穩定地吹著，0440 時，於最低層發現強烈的輻合 (convergence) 和變形 (deformation) (最大值 $8 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$)，2 公里以上只有輕微的輻合和變形。0540 時，低層的輻合場減小，而且變形場的最大值上

升到 1.5 公里，在這個小時內，鋒面部位已經移到 VAD 分析範圍的南緣，這現象說明輻合的改變。提高之變形場顯示在這個小時內 850mb 大尺度變形場正發展中。一旦低層風轉到東北向，VAD 分析範圍在 2 公里高度下完全位於鋒面的冷區，只有很小的變形場存在。VAD 分析顯示向後生長之 MCS 動力狀況圖，對於最大回波和所在位置及回波型態的解釋有很大的助益。

圖 11 表示通過雷達位置，東北東—西南西的垂直剖面，在這個時間序列裡，我們可以仔細地看到從 0540 到 0840 之間冷空氣如何向西南西方向延伸，冷空氣在延伸的前端有一凸出的部位，顯示密度流的特性，這段時間內下降的大雨將增強質量外流，這現象顯示額外的動力舉升將溫暖的西南西氣流抬升而在 MCS 末端產生強烈對流。圖 12 顯示的是五個北北西—南南東的剖面沿東北東—西南西方向排列，可清楚看到 A、B、C 三區回波的三度空間分佈。

五、預測的可能性

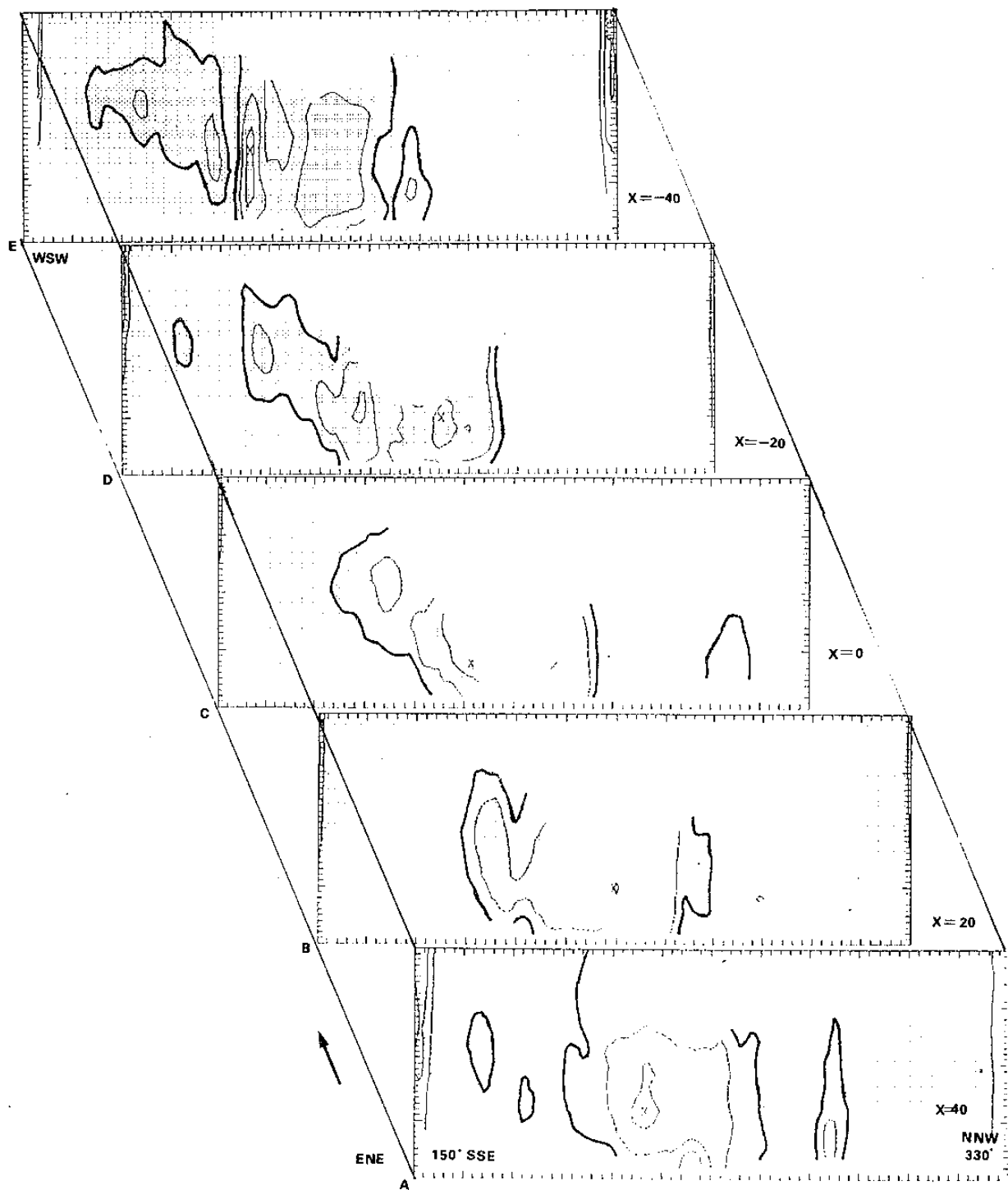


圖12 6月9日7:10-7:14通過方位角 330° - 150° 之五個回波垂直剖面圖(剖面位置標記於圖9中)。

比較1984年6月3日台北盆地淹水的降水分佈，我們發現1984年6月3日之降水中心在此次中心西方40公里處，由於此個案大部份降在地勢較高的地區，所以在此個案並未造成太大的災害，然而我們能夠在降水來臨前數小時內預測到降水中心嗎？如果兩個案都用外延法，我們發現以線性外延法追蹤最窄最強的雷達回波值，我們將可以在三小時內定出最大降水量的可能位置。

由以上討論，我們發現此類向後生長之MCS確實具備特殊之回波型態，這些緩慢的系統移動速度，強烈的低層輻合及變形及明顯之陣風鋒面均指向一個強烈穩定而且緩慢的降水系統。另外配合外沿法的運用，對於預測洪水氾濫之中尺度對流系統，前景是非常樂觀的。

誌 謝

本篇論文十分感激中央氣象局測政組提供雨量資料，民航局提供都普勒雷達資料及中央大學大氣物理研究所助理陳英材先生花費許多時間製圖，在此一併致謝。

REFERENCE

1. Browning, K. A. and R. Wexler, 1968: The determination of Kinematic properties of a wind field using Doppler Radar J.A.M., V.7, 105-113.
2. Carlson, T., and R. Farrell, 1982: The lid strength index as an aid in predicting severe local storms. Natl. Wea. Dig., 8(2), 27-39.
3. Maddox, R.A., Howard, K.W., Bartels, and Rodgers, D.M., 1986: Mesoscale Convective Complexes in the Middle Latitudes. Mesoscale Meteorology and Forecasting. American Meteorological Society.
4. McGinley, J., 1986: Nowcasting Mesoscale Phenomena. Mesoscale Meteorology and Forecasting. American Meteorological Society.
5. Scofield, R., and C. Weiss, 1976: Application of SMS products and other data for short range forecasting in the Chesapeake Bay region. Preprints, 6th Conference on Weather Forecasting and Analysis, Albany, N.Y., American Meteorological Society, Boston, 67-73.

Radar analysis of a flash-flood producing mesoscale convective system in 1990 Mei-Yu season of Taiwan

Tai-Chi Chen Wang, Pay-Liam Lin, Ching-Sen Chen
INSTITUTE OF ATMOSPHERIC PHYSICS
NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY
TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA

Chien-Sheng Yang, Yunn Pao Weih
CHINESE AERONAUTICAL ADMINISTRATION
TAIWAN, REPUBLIC OF CHINA

ABSTRACT

The characteristics of the mesoscale convective systems MCSs which producing heavy rain in Mei-Yu season (May and June) is one of the major issues of radar meteorological research of Taiwan. From June 9 to June 10 1990, a sequence of MCSs associated with a front evolved near northern Taiwan and caused heavy rain (daily precipitation over 200 mm)

Since the prestorm environmental conditions on June 7 and 8 were very similar to a disastrous flood which had happened on June 3 1984, the Central Weather Bureau of Republic of China issued the heavy rain warning on June 8 1990. The S-Band conventional radar operated by National Central University and the C-Band Doppler radar of Chinese Aeronautical Administration closely observed the whole event from June 8 to June 10.

Both satellite images and radar pictures indicated the heaviest rain in the early morning of June 9 was produced by a back building MCS. Similarly the flash flood of June 3, 1984 was also associated with a back building MCS. The similarity of these two cases causes us high interest of the radar characteristics of this kind MCS. In United States, a back building MCC or MCS often brought heavy precipitation (Scofield and Weiss 1976, Maddox et. al. 1986). For June 9 case the VAD analysis showed strong convergence and deformation at the lowest level within the MCS. Further analysis of Doppler wind may provide more informations of the internal structure of the MCS.

Through the detail analysis of the reflectivity and Doppler wind, we find the significant features in radar data to explain the back building phenomenon of mesoscale convective system and hopefully these results will help forecasters to identify these heavy rain producer in very short range forecasting.