

TAMEX 期間台灣中部山區長生命對流系統之研究：回波演化分析

張茂興¹ 何台華¹ 周仲島²

1. 中正理工學院應用物理系

2. 台灣大學大氣科學研究所

摘要

TAMEX IOP 11 實驗期間 (1987 年 6 月 20 日) 在微弱綜觀天氣條件下，因西南盛行風、區域性海陸風及台灣複雜地形之間的交互作用，在台中與苗栗山區出現由單雷雨胞發展至生命期長達 6 小時以上有組織的中尺度對流系統。

利用時間間隔 4 分鐘的 CP4 與 TOGA 雷達 4km 等高面的回波資料，對此山區中尺度對流系統的回波演化過程與移行狀況進行瞭解。結果顯示；此對流系統可分成三個截然不同的演化階段。初期回波，以單胞雷雨及雷雨胞之合併為主，主要發生區域為地形高度約 200-500 公尺的斜坡上。第二階段時，多個雷雨胞組織成南北向線狀中尺度對流系統，沿盛行風往較高山區移動並減弱。在最後一階段，對流系統主要為東北-西南走向，新胞在西南上風處持續生成往東北方較高處移行併入舊有之中尺度對流系統，而呈近似滯留。在不同階段的對流回波，其組織發展過程與移行狀況皆有不同，降水分佈也有明顯的差異。

一、前言

在 1946 與 1947 年於美國佛羅里達州與俄亥俄州執行的雷暴計畫 (Thunderstorm Project) 中，獲得完整而可正確描述雷暴結構的資料。Byers and Braham (1949) 除利用傳統測站 (含降水) 與探空資料外，另外加入雷達與飛機的觀測資料，進行有關雷暴動力與結構的探討，其中很清楚的將雷暴多胞特徵辨認出來，並提出單胞之間合併 (merging) 的觀念。至目前雲胞合併並沒有一致性的定義，有許多學者利用垂直速度的分佈來認定雲胞的合併，也有由統計上的研究，認為合併過程是以達某一程度降雨區域或雷達回波的結合來定義之。不論由雷達觀測或數值模式的研究，皆說明了雲胞合併為風暴發展的一個重要過程，雲胞的合併，會使雲系面積、發展的高度與降水強度呈戲劇性的增加 (Lopez, 1976; Houze and Cheng, 1977; Changnon, 1976; Simpson et al., 1980; Westcott, 1984; Westcott and Kennedy, 1989)。其中 Simpson et al. (1980) 以 Z-R 關係由雷達回波推得降雨量，定義雨量大於 1mmh^{-1} 的封閉區域為單一回波；若由兩個或更多獨立的單一回波結合，定義為一階合併 (first-order mergers)；結合兩個或更多一階合併者，則定義

為二階合併 (second-order mergers)。結果發現，單一回波平均生命期為 24.2 分鐘，雲系面積為 31.9 km^2 ，二階合併之生命期約為單一回波的 1 倍，面積約為 27 倍。Westcott and Kennedy (1989) 對美國依利諾州雷暴個案的探討，認為回波合併與發展有兩種不同的機制：(1) 新胞在已存在的兩個舊胞之間生成、合併及發展。(2) 與舊胞分離的狀況下，新胞在上風處生成進而追上舊胞並與其合併發展。

梅雨季鋒面來臨之前，常可在台灣山區產生組織之中尺度對流系統，造成局部地區豪大雨象，在有利條件下，地形可激發、組織並長時間維持山區對流 (Jou, 1994)。Chen et al. (1991) 曾以中正機場雷達觀測和二維雲模式研究 TAMEX IOP 8 (1987 年 6 月 7 日) 鋒前氣流與台灣北部地形交互作用引發強烈降水的物理過程，證明適當的熱動力結構、西風類型和正確的頂高度能幫助新的對流雲胞在山脈西側斜坡地上形成，接著向東移行與舊對流系統合併，使得降水系統能在山頂長時間停留與發展，降水也很明顯的增加了。梁 (1991) 與 Chen and Chan (1994) 分別針對 TAMEX IOP 11 (6 月 20 日) 個案，研究探討在台灣中部山區地形雲或雷雨胞形成有地理位置與生成的機制及特定雷雨胞的運動場

性。但是由 6 月 20 日一系列雷達回波的分析，發現在台中、苗栗與南投山區產生的降水系統初始為單胞雷雨，之後數個雷雨胞進行合併並發展成具組織性的對流降水系統。在台中與苗栗地區有雨量測站資料顯示 6 小時累積雨量可達 85mm。本文乃利用 NCAR CP-4 及 NOAA TOGA 都卜勒雷達時間間距 4~5 分鐘的回波資料，對此降水回波演化過程進行較深入完整之分析工作。

二、都卜勒雷達掃描特性及資料處理

都卜勒雷達回波資料，主要是可利用等高面 (CAPPI) 回波時間序列圖，瞭解長生命對流系統之演化過程。以下將分別描述各雷達資料掃描特性及資料處理方法。

1. CP4 雷達

在本個案所處理 CP4 的雷達資料，在磁帶上是以國際標準格式儲存，而雷達大都以扇形掃描為主，約 4-5 分鐘完成一次體積掃描，至少含有 20 個以上圓錐面的資料。CP4 是一個研究用的都卜勒雷達，每一波束上的一個距離單位 (gate) 為 150m，資料品質大抵說來是非常好的。但為使 CP4 的解析度與 TOGA 雷達觀測的相同，在 CP4 的 PPI 資料上，取徑向方向的資料作四點平均，使解析度下降到約 500m。另外 CP4 雷達低仰角的資料，因受地形影響產生的地面雜波仍含在資料裡，所以首先需將地面雜波去除，去除地面雜波的方法，在本個案研究中，是利用在雷雨系統發生前的雷達觀測資料，找出雜波在資料中的特性，經數據化的分析後，將徑向風速 $-0.8 < V_r < 0.8$ ，而同時回波值大於 35 dbZ 的回波及風場資料去除，結果驗證只會去除不同時段相同位置皆存在之雜波。

2. TOGA 雷達

TOGA 雷達在磁帶上也是以國際標準格式儲存，在本個案選取時間內雷達也大都以扇形掃描為主，約 4-5 分鐘完成一次體積掃描，一組體積掃描也皆至少含有個 20 圓錐面的資料。雷達水平及垂直波束寬皆約為 1 度，距離單位為 500 公尺，每一波束有 225 個資料，掃描半徑約為 112 公里。

不論是 CP4 或 TOGA 都卜勒雷達資料，在處理資料過程中，由於雷達是以扇形方式掃描，其方位角及仰角都不是固定值，而且方位角有時由大至小，有時由小至大，所以下磁帶取回波資料，必須先將每一波束之仰角、方位角及觀測時間放在每一波束回波值之前，以利於未來重新排列或處理資料時用。同樣將不同仰角的 PPI 資料以雙線性內差法內差至直角座標等高度的網格系統內。

三、結果與討論

1. 降水型態

圖 1a 顯示台灣中部地區雨量站位置、地名與地形高度，星號分別代表 TOGA、CP4 雷達位置，而以 TOGA 雷達位置為 (0, 0) 點。圖 1b 為各雨量站由 1300LST~1900LST 6 小時雨量的分佈，於台中縣新伯公、雙崎 6 小時的雨量分別為 85mm 與 56mm，苗栗象鼻、松安分別為 47mm 與 33mm，相對在較西邊的苗栗卓蘭、新開與大湖 6 小時的雨量也有 36mm、33mm 與 26mm，在這區域顯然是降雨量較多的地方。

2. 回波之演化

1987 年 6 月 20 日 (TAMEX IOP 11) 1316LST 左右，雷達觀測到在苗栗山區有新生的三個單雷雨胞，此單胞在移行與合併發展時，南投日月潭附近山區也有雷雨胞生成往北移行，經合併及發展後漸呈有組織之對流系統，不論單胞雷雨之間或對流系統與新胞的合併，都持續的在台中與苗栗山區發展，其生命期超過了 6 小時。所以對此雷雨胞或對流系統之生成位置、組織發展及移行過程，利用地面 TOGA 與 CP4 都卜勒雷達，等高面 4km 的回波資料來瞭解對流演化過程。

在圖 2 中顯示的時間皆為雷達掃描的初始時間。回波結構特性分析的範圍是以 TOGA 雷達的位置為 (0,0) 點，東西向取 -10km~50km，南北向取 -50km~50km，以台中及苗栗地區為主，圖中星號代表地面 TOGA 與 CP4 雷達的位置。綜合可將圖 2 中區域內的雷雨胞或對流系統的演化特徵歸納為幾點：

(1) 由 CP4 雷達的觀測，最初始的雷雨胞是在苗栗山區生成，以分離的三個單胞雷雨出現，後續雷雨胞之間有合併的情形，而單獨向北移動的單胞會很快的消散。配合 TOGA 雷達的觀測，發現在上風區的單胞雷雨會被加強並發展起來，另外，在南投日月潭附近有新的雷雨胞形成並往北移行，雲胞之間也有合併發展的情形 (圖 2a-2f 所示)。

(2) 苗栗山區形成的雷雨胞發展後，在大湖與新開之間有漸消散的現象，此時在台中測站東邊十餘公里，有新胞在 200m 高度線附近形成，向東移行在 200m~500m 斜坡上發展，又在 500m 地形高度線附近與舊有之雷雨胞合併，形成較有組織性且與地形等高度線平行的對流系統，加上與南方移向北邊的對流系統合併，呈現南北向的對流系統 (圖 2g-2j 所示)，在對流系統的西邊或西南邊的上風處，陸續的有新胞產生，並與主系統合併，形成較大的降水中心。

- (3) 具組織性南北向之對流系統向東北方向的高山區移行，造成苗栗松安、象鼻與台中雙崎有較大的降水，而在苗栗卓蘭與台中新伯公附近及以南地區，尤其是 500m 地形線附近不斷的有新的雷雨胞生成並與主系統合併，使得在新伯公與雙崎一帶的對流系統持續的發展中（圖 2k-2l 中可顯示此現象）。
- (4) 往東北方向移行至中央山脈較高處的對流系統快速的消散，在台中東邊一帶的 200m~500m 地形上仍不斷的有新胞生成，往東北方向與在新伯公一帶的對流系統合併，以 30dBZ 的等值線來看，對流系統仍具組織性，但方向顯然是呈東北-西南向，範圍在南北向的 -20km 至 10km，東西向由 10km 至 35km 處，呈近似滯留，較大回波仍在上方發展，此種情形約維持了近 1 小時多，而此段時間也造成新伯公的時雨量達 33mm（圖 2m-2r）。

從上面的描述可知，本個案中不論是雷雨單胞或對流系統，在台中與苗栗地區出現的時間超過了 6 小時，而台中與苗栗的降雨也大都發生在這段時間內，其回波結構有明顯的三種不同狀況，一、是初期的單胞雷雨系統，二、是南北向具組織性的對流系統，隨後向東北方向的高山區移行，三、是呈東北-西南近似滯留的對流系統。配合降水資料來看，第一類型單胞雷雨在有雨量站的地方，並未有明顯的降雨，第二類型初組織時，也並未帶來明顯之降水，但移行至東北方時，卻使得在苗栗松安、象鼻及台中雙崎雨量站測得明顯之降水，然而最大的降雨量是發生在第三類型對流系統出現時，所以不同的回波結構，其降水現象也有明顯的差異。

四、結 論

本個案環境在沒有鋒面系統接近，高空沒有短波槽或中、低層噴流等強綜觀天氣條件下，在台中與苗栗山區出現了由單胞至有組織的對流系統，其生命期長達 6hr 以上，而對流系統能持續如此長久，由回波演化的過程中，可瞭解到新胞不斷的生成，並與舊系統的合併是主要的原因。新胞不斷的在相同地方生成，對流系統的被組織、移行、發展與維持，相信環境風場、局部環流與地形效應的影響都扮演了相當重要的角色。所以初步利用 CP4 與 TOGA 都卜勒雷達 4km 的 CAPPI 回波資料來瞭解雷雨胞與對流系統的演化。

由雨量站的資料及雷達回波的分析，可得以下幾點結論：

1. 對流系統在整個 6 個多小時的生命期中，其生

成、移行及維持明顯的有三個不同的階段，初期時，以單胞雷雨及雲胞之間的合併為主，位於苗栗山區的單雷雨胞若向北移行，很快的就消散了，較南邊的雷雨胞會與南投日月潭一帶生成向北移行的雷雨胞合併，進而持續發展。第二階段時，形成南北向具組織性的對流系統，此對流系統向東北高山區移動，北邊及東北邊的系統在消散中，南邊的舊系統會與新胞合併而持續發展。第三階段，新胞在西南上風處持續生成並與舊有對流系統合併，而降水系統呈東北-西南向，近似滯留在台中新伯公一帶，時間長達 1 小時以上。

2. 對流回波結構不同階段中，所造成的降水也有明顯的差異，如在初期為單胞雷雨時，雨量站之降水資料並不明顯，在第二階段，初成南北向線狀系統時，雨量站並未量測到任何較大的降水資料，但當對流系統移行至東北方時，苗栗松安、象鼻及台中雙崎皆量測到明顯之大降水，後期對流系統成近似滯留時，造成台中新伯公量測到之時雨量高達 33mm。
3. 初期雷雨胞間的合併，主要以單胞型態在發展，但至第二階段時，卻因新胞與舊對流系統的合併，形成具組織性的降水系統，而至第三階段卻成東北-西南向近似滯留的對流系統，顯然此不同階段，合併過程、移行與維持的機制有很大的差異性。
4. 新胞的生成及與舊系統的合併，對系統的發展與維持是相當重要的因素，在一些特定的斜坡上，很容易生成新胞，而這必然與環境風場、局部環流與台灣特殊的地形有很大之關連。

綜合以上，在不同階段的對流系統其組織發展過程與移行狀況顯然都是不同的，而降水分佈也有明顯的差異。往後期望藉由雙都卜勒雷達資料的合成分析，由運動場及反演的熱、動力場能對此台灣中部山區長生命的對流系統能獲得更進一步的瞭解。

誌 謝

本研究得以完成，需感謝國立中央大學陳台琦教授與林沛練教授提供都卜勒雷達與雨量資料，國立台灣大學大氣科學系 P-3 實驗室在資料處理軟體上的協助。本文在國科會專案研究計畫 NSC 84-2111-M-014-001 AP2 支援下完成。

參考文獻

- 梁丕賢, 1991: TAMEX IOP #11 中苗山區雷雨雙都普勒雷達觀測分析—雷雨結構及動力特性。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
- Byers, H. R., and R. R. Braham, Jr., 1949: The Thunderstorm: Report of the Thunderstorm Project. U.S Government Printing Office, Washington, D.C., 287 pp.
- Changnon, S. A., Jr., 1976: Effects of urban areas and echo merging on radar echo behavior. *J. Appl. Meteor.*, 15, 561-570.
- Chen C. S, W. S Chen and Z. Deng, 1991: A study of a mountain-generated precipitation system in northern Taiwan during TAMEX IOP 8. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2574-2606.
- Chen C. S and Y. E. Chan, 1994: On the formation of cloud and precipitation systems in Taiwan during TAMEX IOP #11. *TAO*, 5, 137-168.
- Houze, R. A., Jr., and C-P Cheng, 1977: Radar characteristics of tropical convection observed during GATE: Mean properties and trends over the summer season. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 964-980.
- Jou, B. J. D., 1994: Mountain-originated mesoscale precipitation system in northern Taiwan: A case study 21 June 1991. *TAO*, 5, 169-197.
- Lopez, R. E., 1976: Radar characteristics of the cloud populations of tropical disturbances in the northwest Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 268-283.
- Simpson, J., N. E. Westcott., R. J. Clerman, and R. A. Pielke, 1980: On cumulus mergers. *Arch. Meteor. Geoph. Biokl., Ser. A.*, 29, 1-40.
- Westcott, N. E., 1984: A historical perspective of cloud mergers. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 6, 219-226.
- Westcott, N. E., and P. C. Kennedy, 1989: Cloud development and merger in an Illinois thunderstorm observed by Doppler radar. *Atmos. Sci.*, 46, 117-131.

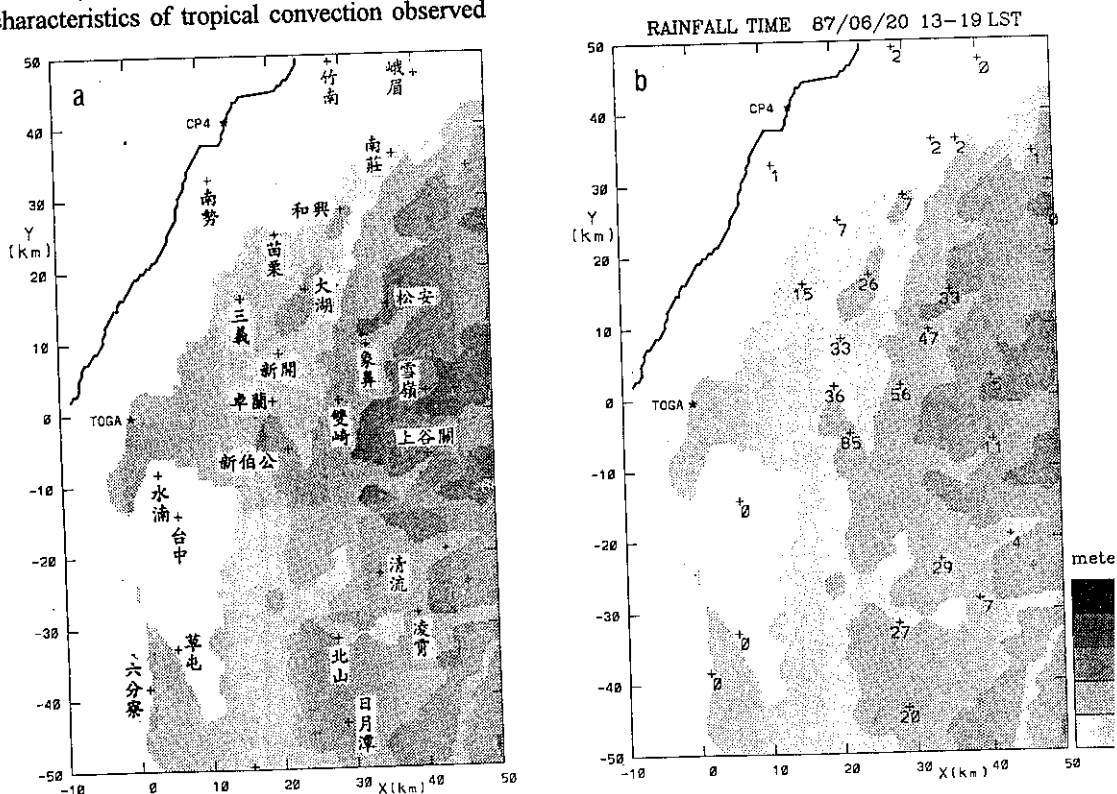
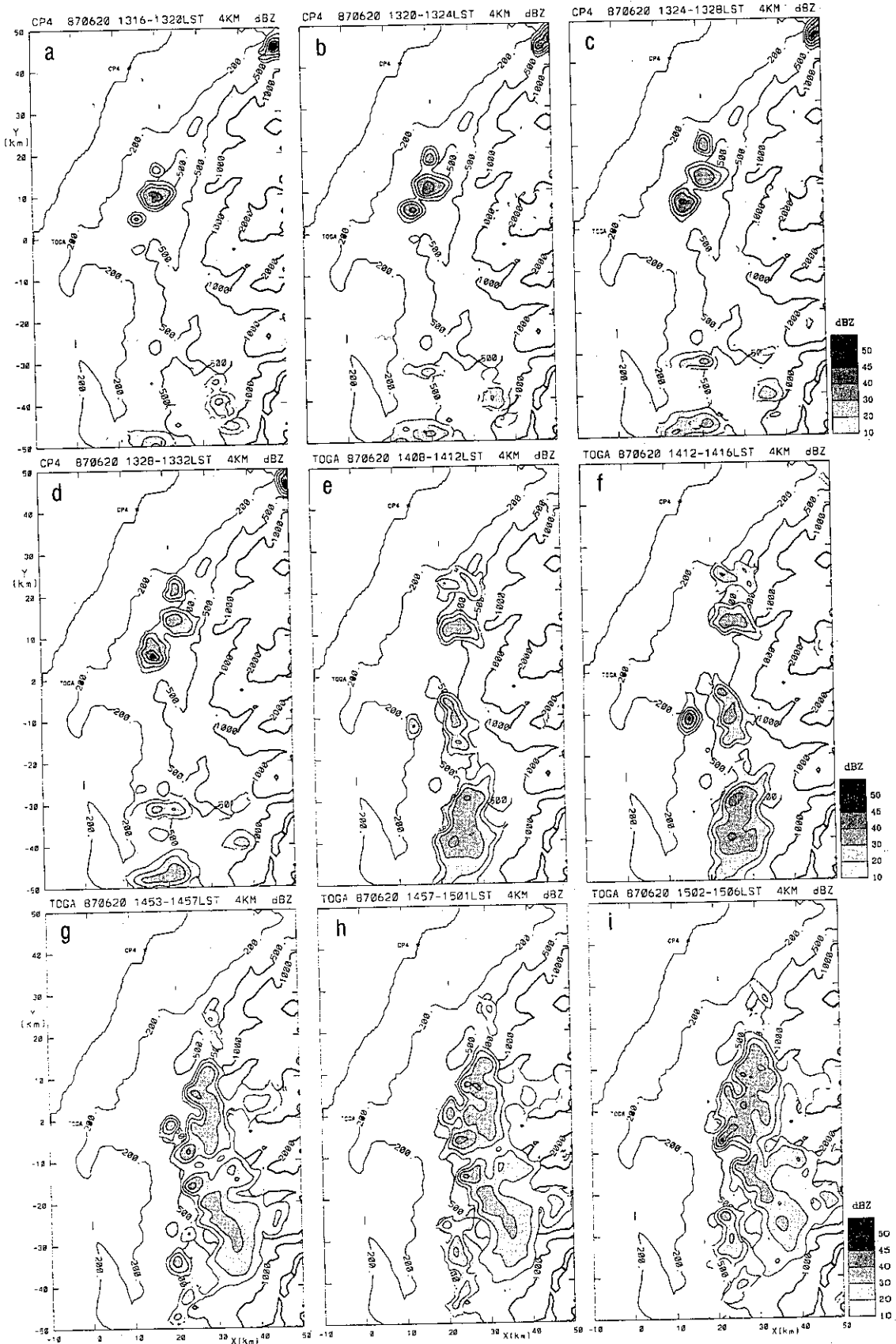


圖 1. (a) 以台中、苗栗與南投地區為主的雨量站位置及站名圖，範圍取東西向為 60km，南北向取 100km，TOGA 雷達位置為 (0,0) 點，(b) 1987 年 6 月 20 日 1300LST-1900LST 與 (a) 同區域內雨量站量測的 6 小時雨量分佈圖。



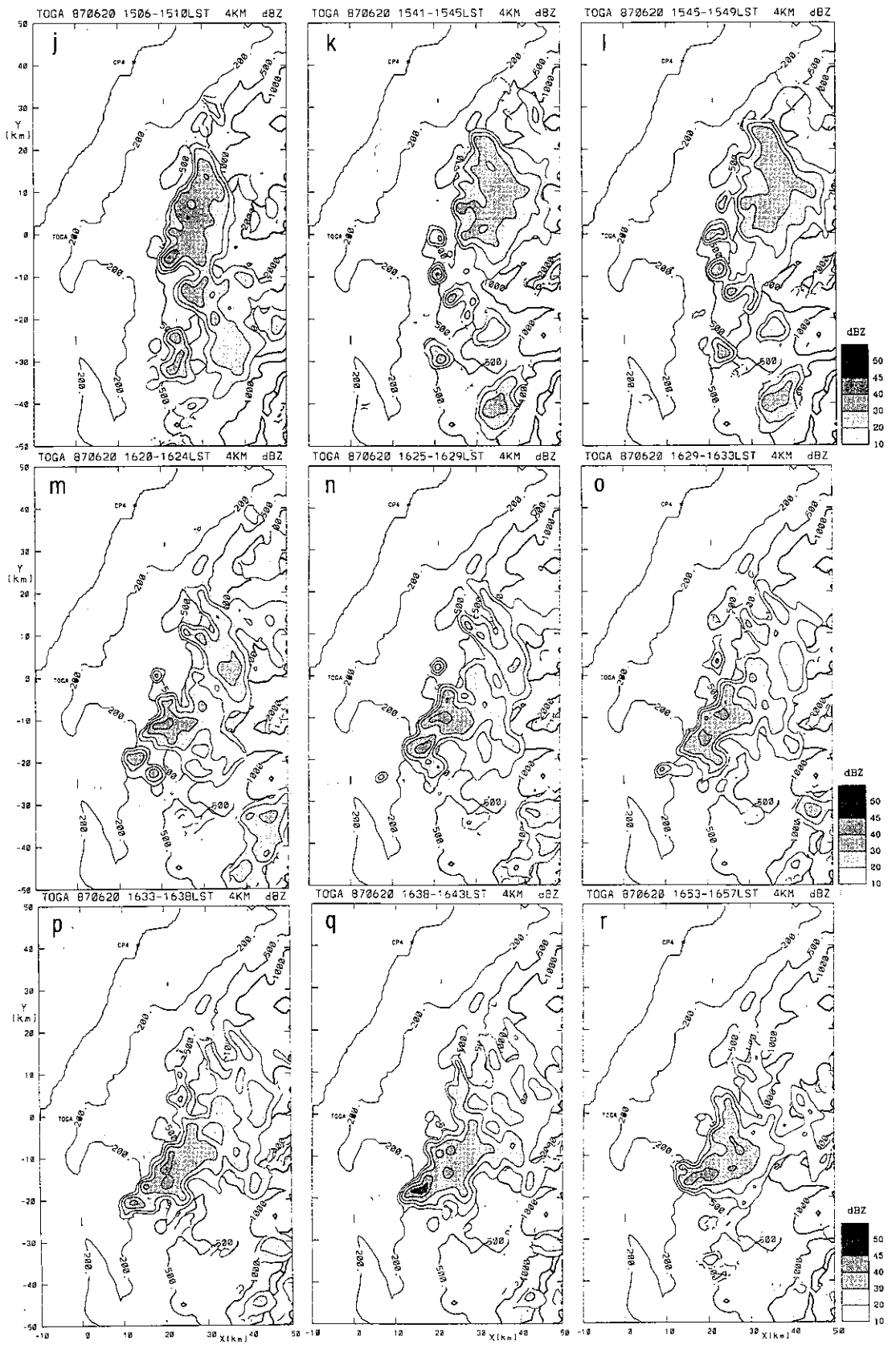


圖 2. CP4 與 TOGA 雷達之 4km CAPPI 回波時間序列圖，回波單位為 dBZ，實線為地形高度線。

Observation study of a long-lived organized mountain convective system in the central Taiwan during TAMEX : Echo evolution analysis

Mou-Hsiang Chang Tai-Hwa Hor
Dept. of Applied Physics
Chung Cheng Institute of technology

Ben Jong-Dao Jou
Dept. of Atmospheric Sciences
National Taiwan University

ABSTRACT

On early afternoon of June 20, 1987 (Tamex IOP 11) some thunderstorms occurred in the mountains of Tai-Chung and Miao-Li areas. The thunderstorms developed into an organized convective system in late afternoon. The entire duration of the long-lived convective system lasted for more than six hours. The possible role of the prevailing southwesterly flows, sea-breeze circulation, and the terrain effect on the formation and organization of the mountain convective system is also investigated. In this paper, the precipitation echoes observed by the CP4 and TOGA Doppler radars are analyzed to reveal the evolution of the convective system during this period.

The preliminary results show that the convective systems evolution had three different stages. In the first stage, thunderstorms and merged cells dominated. In the second stage, the system was organized into a north-south oriented mesoscale cloud line along the mountain slope, and moved northeastward upslope. In the last stage, the lined system was quasi-stationary, and oriented from the north-south to the northeast-southwest. The rainfall distribution on the ground was apparently different in the three stages.