

# 利用中壢VHF雷達進行颱風降水之觀測

朱延祥 江李波

國立中央大學大氣物理研究所

## 摘 要

基本上，中壢VHF雷達是利用大氣折射指數不規則擾動的散射或穩定層狀結構的反射作用產生回波，以進行有關大氣參數的觀測。然而VHF雷達亦可利用降水顆粒作為目標物，再根據其回波，而測出降水的下墜速度及分佈。本研究將利用中壢VHF雷達，針對1988年6月2日侵襲台灣的蘇珊颱風，進行有關降水的觀測。結果發現，冰晶及雨滴的下墜速度分別為1m/s和7m/s左右。此外，雨滴的回波功率在0°C的融解層(Melting Layer)有明顯的增強，此現象與傳統氣象雷達的觀測十分一致。至於大氣的真正垂直運動速度及降水回波的都卜勒頻譜(Doppler Spectrum)，在本文中亦有進一步的說明與討論。

## 一、前 言

VHF雷達(30~300MHz)的大氣觀測功能在所有的大氣觀測專用雷達中，算是最具潛力的一個。它不但能觀測到電離層(Ionosphere)中的自由電子密度(Free Electron Density)，電子與離子的溫度，大氣化學成份，電子及離子的移動速度，地球磁力線的傾斜角(Inclination)等重要的大氣參數外(Evans, 1969)，同時它亦可進行中性大氣(包括對流層，平流層及中氣層)的三維風場、溫度剖面、對流層頂、中氣層頂、大氣重力波(Gravity Wave)及大氣精細結構(Fine Structure)等的觀測(Gage及Balsley, 1978, Rottger, 1980)。由於VHF雷達具有如此優異的觀測能力，世界各國莫不紛紛設立此種雷達，以進行有關的大氣科學之觀測與研究(Balsley及Gage, 1980)。我國亦不例外，於民國74年6月在中壢中央大學校園內設立東南亞第一座VHF雷達，國際上稱此雷達為中壢VHF雷達(Chung-Li VHF Radar)。

基本上，VHF雷達回波之產生，係利用大氣折射指數(Refractive Index)不規則的擾動之散射作用及大氣穩定層狀結構的反射作用所致(Doviak及Zrnica, 1984)。然而根據理論的計算，大氣降水(Precipitation)顆粒，如雨滴、冰晶等，亦可對VHF頻帶的雷達波，藉雷萊散射(Rayleigh Scattering)的方式，產生有效的回波(Balsley及Gage, 1982)。根據學者的估計，其回波功率甚至有可能比由大氣折射指數不規則擾動之散射作用所產生的回波還要強。有鑒於此，Fukao et al(1985), Wakasugi et al(1985, 1986)先後利用日本MU雷達進行鋒面(Front)降水的有關研究。結果證實VHF雷達的確可以有效的觀測到水滴的回波，並測出其下墜速度。但他們並未觀測到冰晶的下墜速度以及0°C融解層(Melting Layer)的亮帶(Bright Band)現象。

在本研究中，將利用中壢VHF雷達進行颱風降水的觀測與研究。在本文第二節中，將略述中壢VHF雷達的基本特性，第三節將說明觀測的結果，第四節則對本次觀測案例作一討論及結論。

## 二、中壢VHF雷達特性簡介

中壢 VHF 雷達成立於民國 74 年 6 月。在設計之初，中壢雷達是以 ST 雷達，即只能對平流層 (Stratosphere) 及對流層 (Troposphere) 進行觀測的雷達的規格來籌建的。但經實測結果，中壢 VHF 雷達仍能觀測到離地 80 公里之中氣層 (Mesosphere) 的不規則體 (Irregularities) 的存在 (Chu et al., 1989) 以及發生在 80 公里到 120 公里之間的流星尾 (Meteor Trail) (Chu 及 Chiang, 1990)。換言之，中壢 VHF 雷達係具有同時觀測中氣層，平流層及對流層的 MST 雷達。

中壢 VHF 雷達係由三套完全相同的發射，接收與訊號處理系統所組成。其天線陣列 (Antenna Array) 是由三組排列成 U 字形的天線方陣 (Square Array) 所構成，而每組天線方陣又是由 64 根 ( $8 \times 8$ ) 八木天線 (Yagi Antenna) 所組成，其邊長約為 40 公尺。全部天線陣列的面積為 4800m<sup>2</sup>。而每一天線方陣所產生的雷達波束 (Radar Beam) 具有 7.4° 的半功率波束寬 (Half Power Beam Width)。此外每一波束除了可朝垂直方向發射外，亦可朝東、南、西、北以 17° 天頂角的方向發射。中壢雷達的發達頻率為 52MHz (波長為 5.77m)，尖峰發射功率 (Peak Transmitted Power) 為 0.18MW，可使用之發射脈波寬 (Pulse Width) 為 1, 2, 4, 8 及 18  $\mu$ s，脈波的工作週期 (Duty Cycle) 最大不得超過 2%。另外在中壢雷達上，亦備有碼元素 (Code Element) 為 2, 4, 8 及 16 比次 (Bits) 的互補碼 (Complementary Code) 的相位加碼 (Phase Coding) 裝置。如此不但可提高中壢雷達的觀測高度，同時亦不致犧牲掉最佳空間解析度 (Range Resolution)，即 150m，的要求 (朱與黃，1988)。至於中壢雷達的其他特性，可參考朱 (1990) 的文獻，此處不再贅述。

## 三、觀測結果

本研究所使用的資料，係中壢 VHF 雷達在 1988 年 6 月 2 日 0907LT 到 1145LT 針對蘇珊 (Susan) 颱風所作的觀測結果。由圖 1 中可明顯看出在 6 月 2 日當天，蘇珊颱風的雲層正籠罩在台灣上空，而由中央大學氣候站的降雨記錄亦可知，在雷達觀測當時，降雨量約為 10mm/hr。為了要保證能測到降水的回

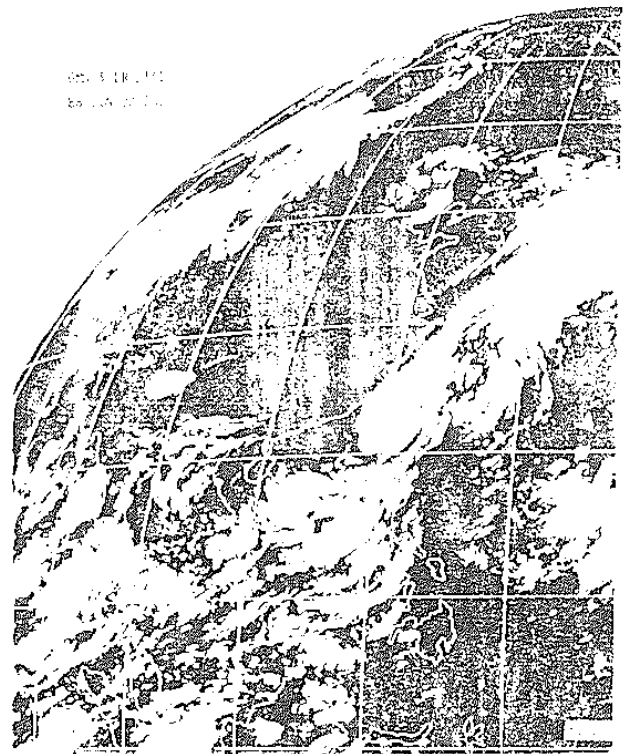


圖 1

波，並排除雷達波束旁波瓣 (Sidelobe) 的干擾，在本次觀測中雷達波束的指向作如下的安排：首先三個波束先一起朝垂直向發射，然後再一起傾斜朝東觀測，接著再回到垂直向，然後波束再朝北發射，隨即再回到垂直向，接著再朝東，朝垂直，朝北，如此依序輪流進行。每個方向的觀測時間均為 2 分鐘。另外在本次觀測中，雷達參數的設定如下：脈波寬為 2  $\mu$ s (亦即空間解析度為 300 公尺)，高度層 (Range Gate) 選為 40 層，起始觀測高度為 1.5 公里，脈波間隔時間 (Inter-Pulse Period) 為 500  $\mu$ s，同相積分時間 (Coherent Integration Time) 為 0.25 秒。另外使用 64 點的 FFT 處理回波訊號，以得到都卜勒頻譜 (Doppler Spectrum)。再由都卜勒頻譜便可得到所希望的大氣參數。圖 2 即為垂直波束的都卜勒頻譜在不同高度的分佈情形。此圖係經一小時平均的結果。由圖中明顯看出在 2.4 公里以上的高度，都卜勒頻譜均含有 2 個峰值 (Peak)。一個峰值始終位在都卜勒頻移 (Doppler Frequency Shift) 為零的附近。同時其功率值甚大，一般均大於 30dB 以上 (超過的部份以水平虛線表示) 而另一個峰值則功率值較低，並且隨高度之不同而改變其

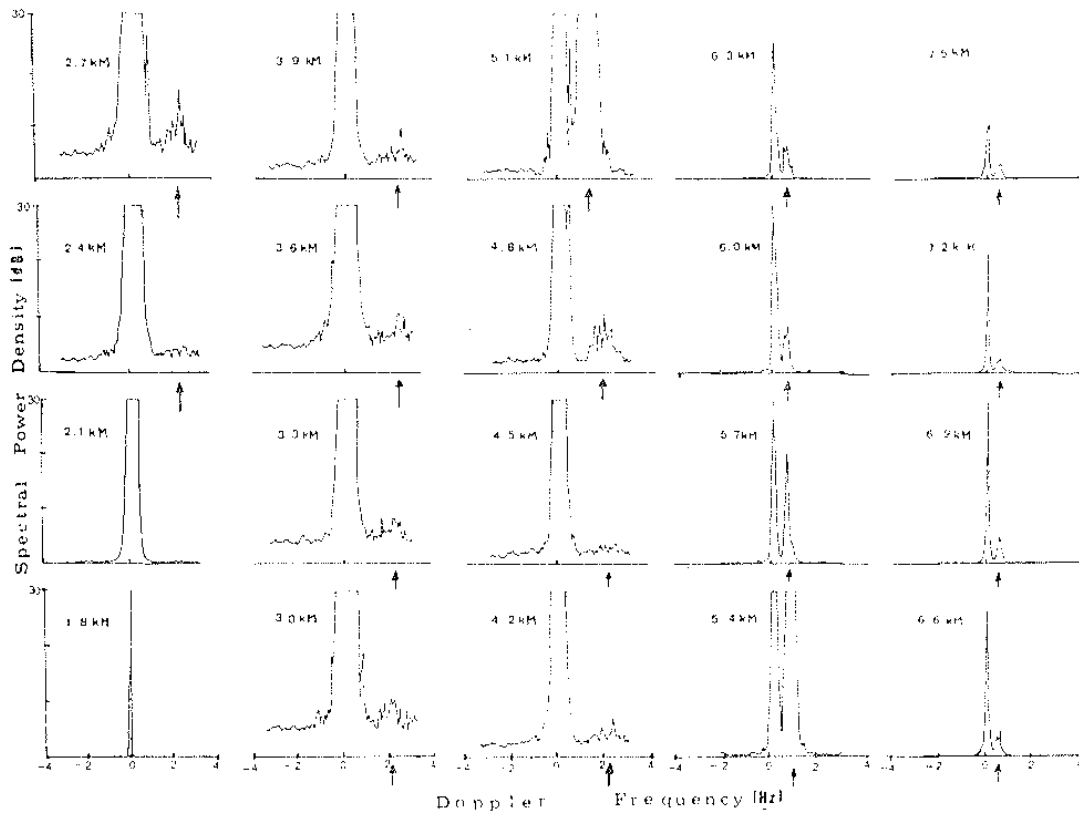


圖 2

位置，但無論如何，其值始終落在都卜勒頻移量為正（亦即朝天線移動）的區域，根據隨後所提及的證據，可以確定前者的峰值代表了大氣折射指數不規則擾動的散射回波，而後者則代表了降水粒子（雨滴或冰晶）的散射回波所形成的都卜勒頻譜。仔細比較二者的回波功率（Echo Power），可以發現，一般而言，大氣折射指數的回波功率要比降水回波大。但在 5 公里高度附近，降水回波反而比大氣折射指數要強約 5dB 左右。如圖 3 所示。若單純比較降水回波功率在不同高度上的分佈，則更可明確看出在 5 公里附近的回波值要比其他高度平均大了約 15dB 左右，此現象極類似傳統氣象雷達在 0°C 的融解層所觀測到的亮帶（Bright Band）結構。此暗示 VHF 雷達的降水回波，亦如傳統氣象雷達一般，是利用降水粒子的雷萊散射（Rayleigh Scattering）所致，而非如 Fukao et al (1985) 所建議的是由水汽的體散射（Volume Scattering）所致。為了進一步確定圖 3 中 5 公里附近的高度是 0°C 的融解層，有必要取探空資料中的溫度剖面加以證實。圖 4 為 6 月 2 日 0800Z 之板橋探空站的溫度剖面圖。由圖中

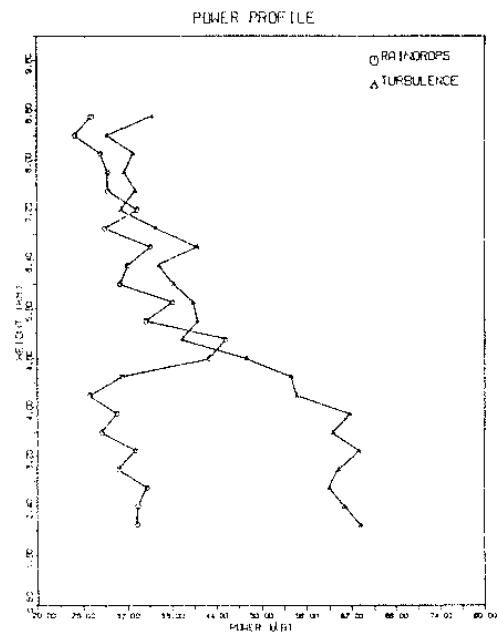


圖 3

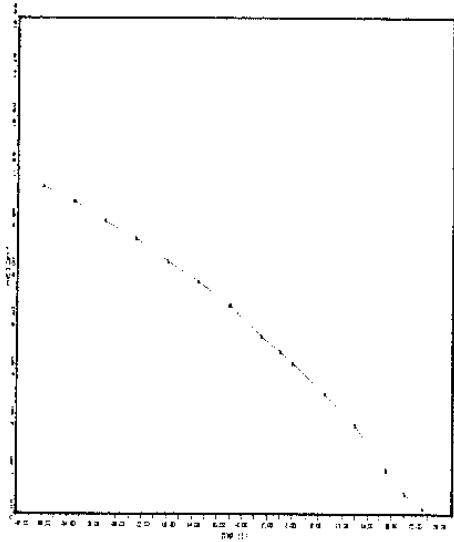


圖 4

可明顯看出在 5 公里附近，大氣的溫度的確是  $0^{\circ}\text{C}$ ，換言之，在 5 公里以上，水汽之凝結物將是固體的冰晶，而 5 公里以下，水汽將凝結成液體的雨滴。根據上述，利用圖 2 的都卜勒頻譜，便可得到降水回波的平均都卜勒頻移量， $f_0$ ，再利用  $V_r = -f_0 \lambda / 2$  的公式，其中  $V_r$  即為降水粒子之下墜速度， $\lambda$  為雷射波長，即可得到  $V_r$  值。如圖 5 所示。由圖中可看出在融解層以上的冰晶，其下墜速度約在  $1\text{m/s}$  左右，但在融解層以下的雨滴，其下墜速度則迅速增大到  $6 \sim 7\text{m/s}$ 。此結果與傳統氣象雷達觀測者十分一致 (Battan, 1973; Fletcher, 1972; Wallace 及 Hobbs, 1977)。至於觀測當時的大氣真正垂直速度，則如圖 6 所示。由圖中可知在 7 公里以上，大氣具有微弱的上升速度，其值約為  $0.1 \sim 0.2\text{m/s}$ ，但在 7 公里以下，大氣則往下運動，其速度約  $0.2\text{m/s}$  左右，與降水粒子之下墜速度相比，其值顯然甚小而無法影響到降水之下墜。因此吾人可以確定圖 5 所顯示者，即為降水本身之終端速度 (Terminal Velocity)。

#### 四、討論與結論

由 VHF 雷達的降水回波中，除了可得到降水粒子之下墜終端速度外，根據理論 (Doviak 及 Zrnic 1984)，在適當的條件下，利用降水回波都卜勒頻譜寬 (Doppler Spectral Width)，並可進一步算出降

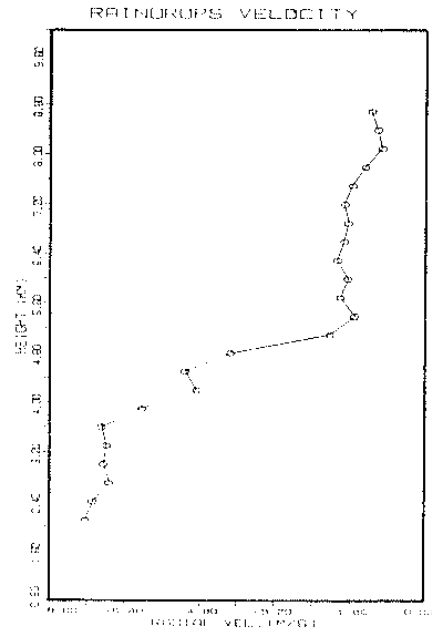


圖 5

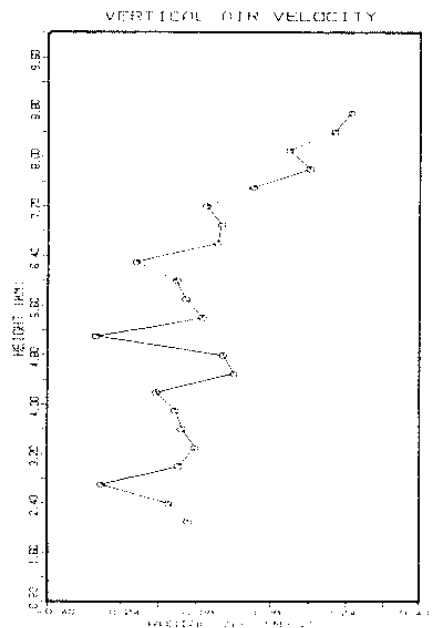


圖 6

水粒子之粒徑分佈 (Drop-Size Distribution)。Wakasugi et al (1985) 便曾利用日本 MU 雷達進行此方面的研究。一般而言，欲自降水之都卜勒頻譜中反求出降水粒子的粒徑分佈，必須要考慮到許多會影響回波都卜勒頻譜寬的因素，例如亂流，風切及

由水平風所產生的波束加寬效應 (Beam Broadening Effect)。對垂直波束而言，風切效應可以忽略不計，而亂流所引起的加寬效應，在降水回波之都卜勒頻譜中亦不重要，而可略去。但若雷達波束甚寬（如中壢雷達者），則波束加寬效應將甚顯著而不可忽略（朱，1988；Woodman及Chu，1989；Chu et al.，1990）。因此欲由觀測之降水回波都卜勒頻譜中，算出降水之粒徑分佈，便必須將此效應扣除，有關此方面的研究目前正進行中。

由本研究可以證實，中壢VHF雷達具有同時觀測大氣運動速度及降水粒子下墜速度的能力。此特性對傳統氣象雷達而言，是不可能具有的。因此若能善用VHF雷達的觀測資料，不但可進一步提升傳統氣象雷達的研究範圍，同時並能發掘出更多有關的大氣奧秘，而對大氣科學界提供更多的貢獻。

#### 參考文獻

- Balsley, B.B., and K.S. Gage, The MST radar techniques: Potential for middle atmosphere studies, *Pure and Applied Geophys.*, 118, 452-493, 1980.
- Balsley, B.B., and K.S. Gage, On the use of radars for operational wind profiling, *Bull. Am Meteorol. Soc.*, 63, 1009-1018, 1982.
- Battan, L.J., Radar observation of the atmosphere, Univ. of Chicago Press, 324PP, 1973.
- Chu, Y.H., and T.R. Chiang, The observations of meteor trail made with Chung-Li VHF radar, 1990 (Submitted to TAOS for publication).
- Chu, Y.H., J.K. Chao, C.H. Liu, and J. Rottger, The mesospheric observations by using of Chung-Li VHF radar, paper presented in 4th MST radar workshop held in Kyoto and to be appeared In Handbook for MAP vol. 28, 1989.
- Chu, Y.H., J.K. Chao, C.H. Liu, and J. Rottger, Aspect sensitivity of VHF radar measured with vertically pointed antenna beam, *Radio Sci.*, vol 25, 1990 (Accepted for Publication).
- Doviak, R.J., and D.S. Ernic, Doppler radar and weather observations, Academic Press, 458PP, 1984.
- Evans, J.V., Theory and Practice of Ionosphere study by Thomson scatter radar, *Proc. IEEE*, 57, 496-530, 1969.
- Fletcher, N.H., The physics of rainclouds, Cambridge Univ. Press, New York, 386PP, 1972.
- Fukao, S.K., Wakasugi, T. Sato, T. Tsuda, I. Kimura, N. Takeuchi, M. Matsuno and S. Kato, Simultaneous observation of precipitating atmosphere by VHF and C/Ku band radars, *Radio Sci.*, 20, 622-630, 1985.
- Rottger, J., Structure and dynamics of the stratosphere and mesosphere revealed by VHF radar investigations, *Pure and Applied Geophys.*, 118, 494-512, 1980.
- Wakasugi, K., S. Fukao, S. Kato, A. Mizutani and M. Matsuno, Air and precipitation particle motions within a cold front measured by the MU radar, *Radio Sci.*, 20, 1233-1240, 1985.
- Wakasugi, K., A. Mizutani, M. Matsuno, S. Fukao and S. Kato, A direct method for deriving drop-size distribution and vertical air velocities from VHF Doppler radar spectra, *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 3, 1-7, 1986.
- Wallace, J.M., and P.V. Hobbs, Atmospheric Science: An Introductory Survey, Academic, San Diego, Calif., 1977.
- Woodman, R.F., and Y.H. Chu, Aspect sensitivity measurements of VHF backscatter made with the Chung-Li radar: Plausible mechanisms, *Radio Sci.*, 24, 113-125, 1989.
- 朱延祥，MST雷達回波機制的研究，博士論文，國立中央大學，1989。
- 朱延祥與黃榮華，相位加碼技術在中壢VHF雷達上之應用，1988年電信工程研討會，189-197, 1989。

# The observations of Typhoon Precipitation By Using Chung-Li VHF Radar

Chu, Yen-Hsyang and Chian, Lee-Po

Institute of Atmospheric Physics, National Central University

## Abstract

Conventionally, the VHF radar returns are generated either from turbulent scattering or from layer reflection of atmospheric refractive index. However, from the theoretical calculation, the precipitation particles, e.g., rain drops, ice sheets or snow particles, are also the targets of VHF radar. This implies that VHF radar can observe the precipitation features, such as the terminal velocities of precipitation particles, rain drop size distribution, if the relevant radar signal analysis is performed. In this paper, the precipitation of Susan Typhoon measured with Chung-Li VHF radar, which is occurred at June 2, 1988, will be discussed. We find that the terminal velocities of ice particles and rain drops are 1 m/s and 7 m/s, respectively, and the echo power of precipitation is enhanced remarkably at the melting layer, i.e., the height with 0°C. These features are agreed very well with the observation results obtained by the conventional meteorological radar. In the text, the atmospheric vertical velocity and the Doppler spectrum of precipitation will be also presented and discussed.