

# 雷達估計山區雨量之初步研究

鳳雷<sup>1</sup>、王安翔<sup>1</sup>、馬武成<sup>2</sup>、林李耀<sup>1</sup>、周仲島<sup>1,2</sup>  
國家災害防救科技中心<sup>1</sup>  
國立台灣大學大氣科學系<sup>2</sup>

## 摘要

台灣地區地勢山陡水急、地質條件破碎，每當颱風或豪雨來襲時，洪水、土石流或崩塌事件頻繁，經常造成民眾重大的生命財產損失。不論是河川水位或是土石流預警均非常仰賴準確的雨量觀測資料。傳統上，是利用地面雨量站的觀測進行集水區累積雨量或土石流災點之降雨強度推估。由於山區地形複雜，利用少數的雨量站進行雨量推估時不確定性大，若能加上空間及時間解析度高的雷達估計雨量必能增加雨量推估的準確性。

本研究即利用台灣北部地區現有作業用S頻都卜勒雷達及另一部研究用C頻偏極化雷達，進行陽明山超大豪雨個案之研究工作，分析中也發現，地形增強型降雨，其降雨強度向上快速遞減，必須盡可能的採用最接近地表的雷達觀測資料來估計雨量。然而，在石門水庫集水區雨量估計的初步研究結果顯示地形雜訊、波束遮蔽對雷達反射率影響大，部份方位被迫採用較高仰角的雷達觀測資料。要改善石門水庫集水區之地形增強型降雨的雷達雨量估計的準確度，上述兩個要求相互矛盾，於集水區鄰近地區架設新型雷達站應為解決困境的一種方法。

## 一、前言

近年來國內經常發生洪水、土石流或崩塌事件，造成民眾重大的生命財產損失。不論是河川水位或是土石流預警均非常仰賴準確的雨量觀測資料，但這些坡地災害大多是發生在山區，因此如何準確的測量山區降雨強度就是一個非常重要的課題。若要對災害事件發生前就能提供預警，或甚至執行人員撤離等工作就必須要提供準確的降雨預報產品。不論是雨量觀測或者是預報，在台灣複雜多變的地形條件下均是極為困難的一項任務。

地形與降水之間存在者非常複雜的關係，雖然地形降雨這個科學議題早在四十多年及更早之前就已經開始研究(Hobbs et al. 1973)，然而山區常常缺乏觀測資料，使得地形降水的研究更加困難。雖然台灣目前共設置了400多個自動觀測雨量站，然而因為山區地形險峻，窮山僻壤處觀測資料仍是缺乏，山區的雨量觀測空間解析度較為不足。氣象局於2001年已建置完成都卜勒雷達觀測網，2005年中央大學也架設完成一部偏極化雷達，這提供我們研究地形降水分佈、結構及降水物理過程的機會。2006年9月10日在陽明山的竹子湖測站量測到大於556mm的24小時累積雨量，而台北市盆地內大部份的雨量站所量測的24小時累積雨量則多在150mm以下。這是一個研究地形如何增強降雨及的很好個案，也是一個測試偏極化雷達在量測地形增強降雨時表現如何的一個好個案。

## 二、天氣概述

9月10日02時之地面天氣系統概況，原位於琉球南方海面之低壓持續向西緩慢移動，已移至台灣東南方海面並略加深為1004百帕低壓；原位於關島西方海面之低壓持續以10公里的時速向西移動，且已發展為

1002百帕之熱帶低壓；鋒面由日韓對馬海峽向南南西延伸至台灣東部海面；圖1為氣象局9月10日2時地面天氣分析，圖2分別為08、14、20時台灣地區紅外線衛星雲。由雲圖中可清楚顯示影響北台灣之雲系，係由台灣東部海面發展在向西移入。氣象局分於10日4時發布大雨特報、14時發布豪雨特報（今日北部及東半部地區有局部性大雨或豪雨）、17時40分發布豪雨特報。

9月9日以台北縣坪林、石碇等東南側地區之降雨較為顯著外（僅達大雨標準），其它地方雨勢均相對微弱。9月10日台灣北部地區的降雨更為密集，最大降雨區域已向北移至士林、北投及萬里等陽明山區（已達超大豪雨標準），其中以竹子湖站（556.5mm）、湖田國小站（482mm）、鞍部站（454mm）及大坪站（362.5mm）之累積雨量較高，另於瑞芳、汐止、內湖及士林、北投、淡水一帶之降雨量亦有多站達大豪雨標準。竹子湖站48hr累積雨量高達624.5mm。圖3為9月10日的地面雨量圖。

本次豪雨事件於台北縣市部份地區造成零星淹水及土石流災情，比較特別的是由於山區豪雨造成基隆河水位急速上漲，員山子分洪道已經到達分洪臨界點，並開始進行分洪工作。台北市政府發佈訊息表示隨時可能關閉基隆河系的疏散門，請車輛停放在堤外河川區域的車主，儘速將愛車駛離河川區域。由於台北市區雨量並未特別大，市民並未預期會關閉水門，此突然的訊息造成市民很大的困惑，所幸山區雨量隨後即停止，市政府並未關閉水門。

## 三、雷達估計雨量分析

雷達雨量估計分別使用中央氣象局QPESUMS系統雨量估計產品及中央大學C-頻偏極化雷達的觀測資料，分析時間為2006年9月10日00-16Z，地面雨量資料使用QPESUMS系統接收之自動雨量站產品。由於分析

個案的位置在台灣北部，故中央氣象局QPESUMS系統雨量估計產品之資料主要就是來自五分山雷達站。圖4為累積QPESUMS時雨量估計產品之16小時累積雨量圖。圖中估計之雨量在台北市北部的陽明山地區(含大屯山及七星山)及淡水近海地區具有大於500mm累積雨量的觀測。初步與地面雨量觀測的比對，發現大雨發生的區域掌握的相當不錯，但有高估的趨勢。

中央山學偏極化雷達在此期間的體積掃描觀測共有七層，分析採用最低四層PPI觀測(仰角分別為0.5、1.0、2.0、3.0度)，雨量估計法以R(KDP)為主，當KDP值太低時改採用 R(Z)估計法，雷達資料採用Bringi et al. (2001)的前置處理程序，使用雷達反射率因子估計雨量前已經過衰減訂正程序。圖5為9月10日00-16Z偏極化雷達16小時累積雨量圖。由於本個案之山區雨量在使用一般的R(KDP)係數時會導致嚴重的低估，本文使用的雨量估計公式為

$$R = 51.9 KDP^{0.85} \\ Z = 32.5 R^{1.65}$$

由圖5中的雷達雨量估計與地面雨量計的比較結果發現，使用C頻偏極化雷達傳播相位差估計的雨量有明顯的低估現象，但雨量分佈的表現比圖4似乎更為合理。使用傳播相位差所估計的雨量明顯低估的原因初步猜測為地形性降雨之雨滴譜平均粒子直徑偏小，雨滴比較接近球形，造成總傳播相位偏移差小，在此種降雨型態下使用相位差方式估計雨量靈敏度不足。

為檢驗上述之猜測，利用C-Pol雷達不同仰角對陽明山地區分析降雨分佈，發現降雨垂直剖面向上迅速遞減，在最低兩層仰角(0.5、1.0度)的觀測中除了地形遮蔽以及低於地表高度處的地方，雨量的估計值比第四層仰角(3.0度)所估計的結果大很多。這結果表示降雨率隨著高度向上快速的減弱。這個現象與文化大學架設在陽明山的微降雨雷達(Micro Rain Radar, MRR-2)的垂直觀測結果相一致，MRR-2觀測的強雷達反射率因子均局限於2km以下的高度。但MRR-2因為波長較短衰減嚴重，降雨率隨高度變化的幅度仍需再進一步驗證。

#### 四、討論與建議

本文初步分析了2006年9月10日發生在台灣北部陽明山地區的超大豪雨個案，觀測雨量最大的竹子湖測站16小時的累積雨量高達527mm，分析這16小時的地面逐時雨量，大於50 mm/hr的降雨率分別為08-09Z及11-12Z兩波，但最高時降雨率低於67mm/hr。由偏極化雷達及MRR-2的觀測結果，初步分析認為此次陽明山高效率的降水事件具有明顯的地形增強現象，增強的原因可能是移動性的雨帶由台灣北部海面通過台灣北部陸地，為陽明山地區已存在的地形舉升降雨(大量的小雨滴)帶來大量的中型雨滴，明顯的雨滴粒徑大小差異，會使雨滴的碰併過程更為有效率，因此造成山區的暖雲降雨過程較平地更為有效率。

由於觀測資料的限制，利如微降雨雷達MRR-2使用的波長很短，觀測降雨時會有很高的衰減，使得資料分析存在較高的不確定性。建議引進波長較長且可以觀測垂直剖面(線)的雷達觀測設備，例如運用在Mesoscale Alpine Program (Rotunno and Houze, 2007)或California Land-Falling Jets Experiment (White et al., 2003)的S-Band垂直指向雷達。如此才能驗證台灣地區山區發生的高效率降雨的物理機制。

使用總傳播相位偏移差資訊觀測此類地形增強降雨時，必需確認雨滴譜是否屬於雨滴數量多、雨滴直徑小的雨滴譜。若雨滴粒徑確實集中在中小雨滴的型態(與深對流具有大雨滴的情形不同)，則使用R(KDP)雨量估計方法時，必需使用特別的係數。要驗證這個課題就需要在山區架設雨滴譜儀，並收集大量的個案。透過對地形降雨的雨滴譜特徵，及降雨增強的物理過程，使用偏極化雷達估計降雨率時才能獲得精準的結果。

此次的觀測分析也點出了另一個需求，因為這種高效的地形降雨，降雨率垂直向上遞減的非常迅速，使得雷達的觀測必需越接近地面較好。這個要求除了需將雷達盡可能的接近觀測目標區之外，因使用的雷達波束要越靠近地面越好，雷達處理地形雜波的能力必需更為加強。也許使用與能量觀測無關的傳播相位偏移差資訊來估計雨量是未來的另一種選擇。

#### 誌謝：

感謝氣象局提供雷達及雨量站觀測資料及產品及中央大學大氣科學系提供偏極化雷達觀測資料。本研究在部份 NSC 95-2111-M-002-018A-P2 經費支持下完成。

#### 參考文獻：

- Bringi, V.N., T. Keenan and V. Chandrasekar 2001: Correcting C-Band Radar Reflectivity and Differential Reflectivity Data For Rain Attenuation: A Self Consistent Method with Constraints., *Trans IEEE Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, No. 9, 1906-1915.
- Hobbs, P. V., Easter, R. C. and Fraser, A. B., 1973: A theoretical study of the flow of air and fallout of solid precipitation over mountainous terrain. Part II: Microphysics. *J. Atmos. Sci.*, 30, 813-823.
- Rotunno, R., and Houze, R.A., 2007: Lessons on orographic precipitation from the Mesoscale Alpine Programme. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 133, 1-31.
- White, A.B., Neiman, P.J., Ralph, F.M., Kingsmill, D.E., and Persson, P.O.G., 2003: Coastal orographic rainfall processes observed by radar during the California Land-Falling Jets Experiment. *J. Hydrometeorol.*, 4, 264-282.

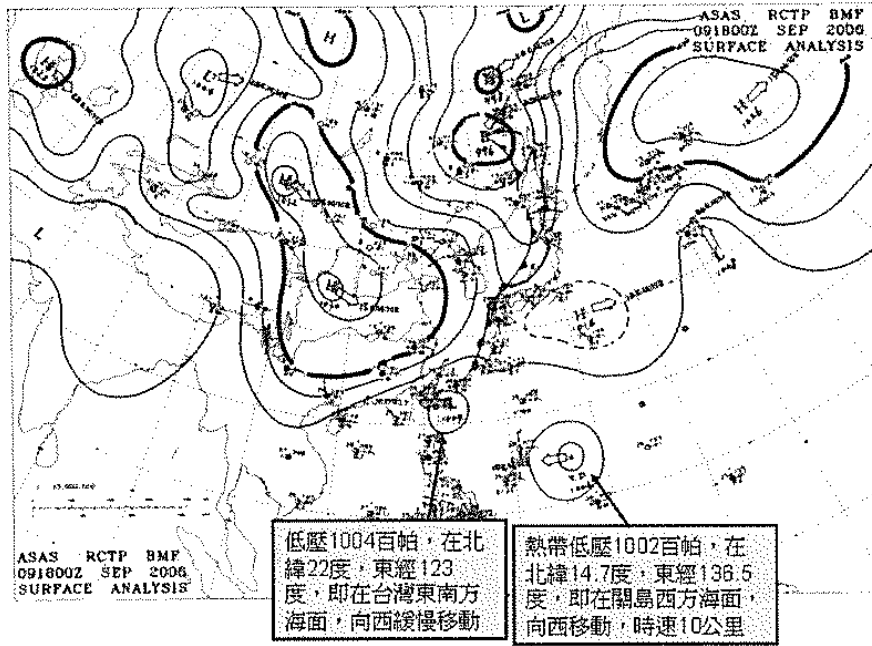


圖 1 氣象局 09/10/02 時地面天氣圖

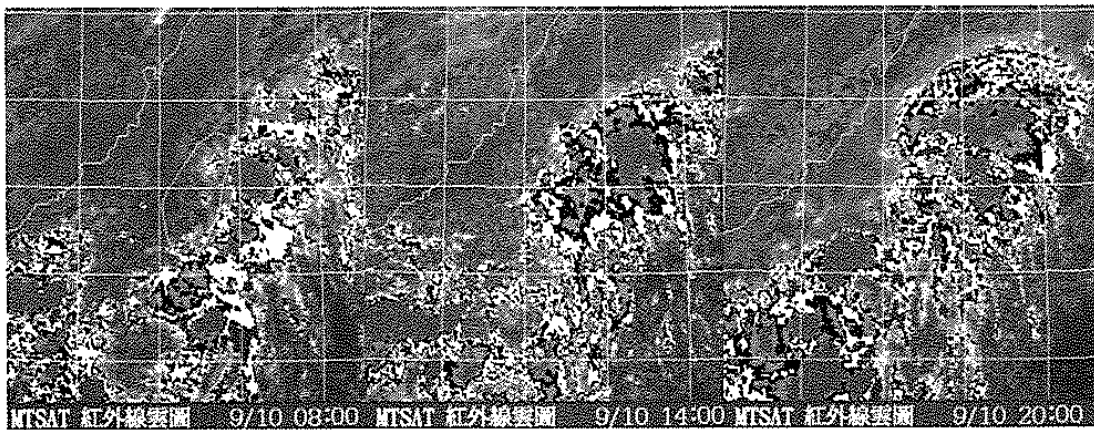


圖 2 氣象局 09/10/08、14、20 時台灣地區紅外線衛星雲圖

9/10 00:00 ~ 9/11 00:00

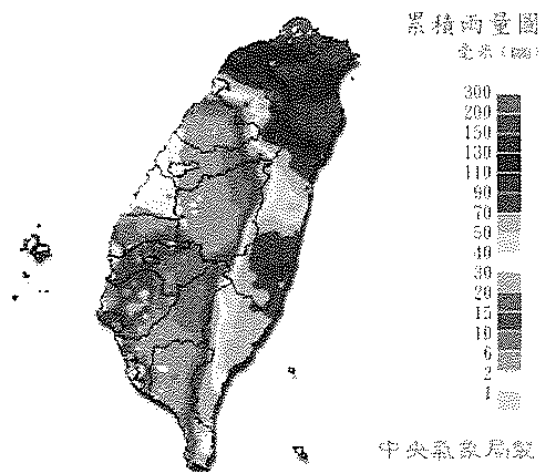


圖 3 氣象局 9 月 10 日累積雨量圖

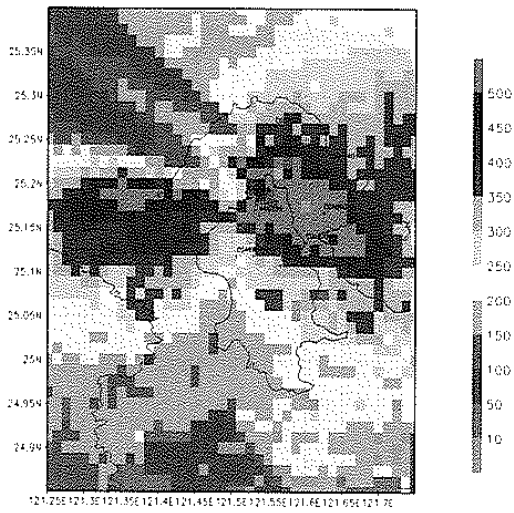
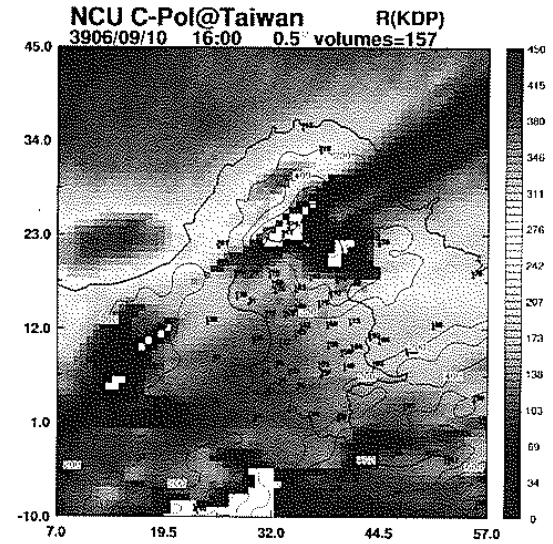


圖 4 9月10日 00-16Z 氣象局 QPESUMS 累積雨量圖



6(a) 9月10日 00-16Z 偏極化雷達 0.5 仰角累積雨量圖

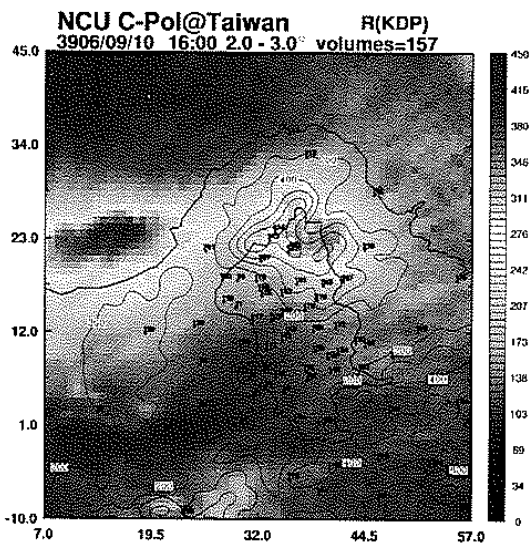


圖 5 9月10日 00-16Z 偏極化雷達 16 小時累積雨量

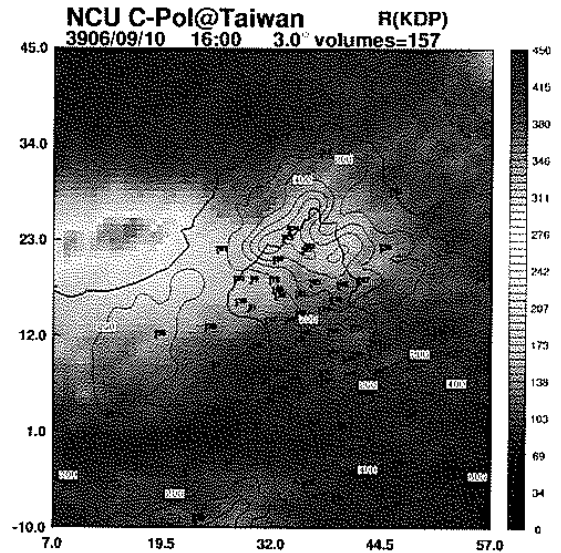


圖 6(b) 9月10日 00-16Z 偏極化雷達 3.0 仰角累積雨量圖