

納莉颱風(2001)個案雷達推估降水 在石門水庫霞雲集水區之流量模擬研究

方裕仁 楊明仁

國立中央大學水文與海洋科學研究所

摘 要

台灣地區坡陡流急且天氣多變，尤其颱風所帶來豪大雨，使得山區經常發生土石流及河川溢流等等的現象，造成人員的傷亡及經濟上的損失，因此需要對於洪水有預報的能力以及防災預警系統的建置。本篇研究針對石門水庫霞雲集水區作分析，所模擬的事件為2001年納莉颱風，雷達資料選用中央氣象局五分山雷達並搭配使用雷達回波估計降雨方案得到降雨強度估計值，再輸入到水文模式CASC-2D (Cascade 2 Dimensional Sediment) 作流量模擬。

研究結果顯示雷達估計降雨空間分佈情況對於集水區上游流量預報有所改善，使用自動雨量站觀測雨量所模擬的流量於集水區上游的模擬效果較差，顯示出雷達估計降雨相對於定點雨量觀測有較精細的空間資訊。再者由於山區雷達觀測受到地形限制及距離五分山雷達較遠的緣故會有回波低估的現象，因此必須利用實際觀測雨量站做雨量修正。修正後的雨量估計值利用雷達回波估計降雨方案的雷達回波與未修正前的雷達回波比較，相差約7.3dBZ左右。

關鍵字：雷達估計降雨、CASC-2D、流量模擬

一、前言

颱風為台灣水資源的主要來源，所儲蓄下來的水量可以維持秋冬季之用；若颱風帶來的雨量不足時，隔年春天有可能嚴重缺水。台灣南北長約385公里，東西寬約143公里，且地形海拔高於1000公尺的地區，佔台灣總面積的39.1%；因此台灣地區河川分佈主要受到地形所支配，以中央山脈的脊樑山脈作為分水嶺，分東西向注入海中。台灣地區河道坡陡流急，河水若從源頭順流而下只需不到一天的時間即流入海中。再加上台灣山脈土質脆弱及易崩塌，且近年山坡地過度開發，土石流災害層出不窮，造成溪流河道含沙量高且較易阻塞，若遇豪大雨導致河水氾濫。在台灣地區因為颱風所造成的經濟、農業與建築物上的損失，平均每年都有數十億元以上。因此在颱風災害的防災措施上，除了建造河道防護結構物（如堤防、攔沙壩等）外，更需要有精確的洪水預報能力及即時洪水預報警告系統的建置。

二、研究方法與實驗設計

本研究使用美國科羅拉多州州立大學(Colorado State University; CSU)所發展的二維階梯狀地表逕流與土壤沈積水文模式(The Cascade 2 dimensional sediment model; CASC2D-SED)。雷達資料使用中央氣象局五分山(RCWF)氣象雷達站資料，此為S波段(波長10公分)的都卜勒氣象雷達，能在5-10分鐘內提供回波強度(reflectivity)、平

均徑向速度(mean radial velocity)、頻譜寬(spectral width)等三種基本都卜勒雷達的量測資料之體積掃描。水文模式輸入雷達估計降水資料後，以模擬納莉(2001)颱風侵台期間之石門水庫霞雲集水區河道流量。本研究探討雷達估計降水在空間分佈上對於流量模擬結果的影響，以及與實際雨量的比較。水文模式地形資料由行政院農委會農林量測所提供解析度為40公尺的數位地形高程資料(DEM)，經由地理資訊系統(GIS)第3.2版內插到解析度200公尺(圖一)。模式設定為渠道參數寬100公尺、深5公尺、曼寧摩擦係數為0.08及河道彎曲度為1。地表參數設定曼寧摩擦係數為0.45、截留量為3.0公釐。土壤參數設定土壤皆為壤土，水力傳導係數為0.34cm/h、溼潤邊緣壓力為88.89公分、孔隙率為0.434。渠道不考慮地下水補助量，假設起始水深為0公尺，土壤濕度為0%。雷達資料使用的範圍為霞雲集水區上；由於石門水庫霞雲集水區位於山區，若使用的高度內插到距離地表高度低於4公里的話，則沒有雷達資料以供研究。因此本研究中高度內插到距離地表4公里高度，並且使用九點平均法做內插，以取得水平解析度為200公尺的雷達回波資料；將其雷達回波資料使用張偉裕(2002)的回波-降雨關係式計算集水區內各點降雨量，再將每筆雷達估計降水資料累加到1小時，以得到每小時降雨量。修正雷達回波使用Javier et al. (2007)所提出以降雨事件為基礎，對於事件集水區內的所有雨量站總累積降雨，

以及對應各雨量站的雷達估計降水之累積降雨的比值，其公式如下：

$$B_i = \frac{\sum_{j=1}^m G_{ij}}{\sum_{j=1}^m \int_0^{\tau_i} R_i(t, x_j) dt} \quad (1)$$

其中 B 為降雨強度修正係數、 m 為雨量站站數、 j 為測站編號、 i 為事件編號、 G_{ij} 為第 i 事件第 j 測站的累積降雨、 T_i 為第 i 事件的降雨延時，將修正值帶入回波-降水關係式如下：

$$R_i(t, x) = B_i a Z(t, x)^b \quad (2)$$

其中 $R(t, x)$ 為降雨強度(mm/h)、 $Z(t, x)$ 為雷達回波(mm^6/m^3)、

a 、 b 為常數，若為層狀降水 $a=302.6$ 、 $b=1.28$ ，對流降水則 $a=268.9$ 、 $b=1.34$ ，經由此公式得出修正後的雷達估計降水(張偉裕 2002)。觀測雨量資料使用北區水資源局提供的 12 個雨量站(霞雲、高義、玉峰、秀巒、西丘斯山、白石、池端、嘎啦賀、鞍部、三光、巴陵、鎮西堡)，再將這 12 個雨量站利用距離平方反比法得出集水區內每一網格點的雨量值。實際流量站資料由北區水資源局提供的四個流量站(霞雲、高義、玉峰、秀巒)，資料為每個小時的流量值。本研究的個案選用 2001 年納莉颱風，侵台期間為 9 月 15 日到 19 日，將實際雨量資料與雷達估計降水輸入到 CASC2D 水文模式；模擬時間為 92 個小時，時間步階(time step)為 2 秒，模擬四個流量測站位置的流量結果，其輸出資料為每個小時一筆，將模擬結果與實際流量站資料做比較分析。

三、研究結果與討論

研究結果顯示，使用雷達估計降水輸入到水文模式之後的預報流量與實際觀測流量比較，其結果皆低於霞雲集水區實際觀測流量，且模擬的第一個洪峰流量值遠低於觀測值的第一個洪峰流量值。若不考慮其他土壤因素，僅分析降雨量對於流量的影響，我們挑選霞雲、高義、玉峰、秀巒等四站的降雨量與雨量站同點的雷達推估降雨值做比較(圖二)，由結果看到雷達推估降水明顯低估。霞雲、高義、玉峰及秀巒的第一個洪峰降水分別低估約 50mm/hr、35mm/hr、50mm/hr 及 35mm/hr，第二個洪峰降水分別低估約 40mm/hr、20mm/hr、20mm/hr 及 20mm/hr，造成此低估的結果，主要因為石門水庫霞雲集水區位於山區，加上集水區距離五分山雷達平均 40~60km，顯示雷達所能觀測到的高度約為 4km~17km。另外參考楊政潭(2003)、許玉金(2003)、林位聰(2002)等人的碩士論文研究，皆指出修正雷達回波的重要性。於本文章中我們將對於雷達估計降水做修正，並探討雷達估計降

水經過修正之後造成流量的影響。

雷達估計降水與地面雨量觀測站的比較，有著較好的空間解析度。本研究中分別將雷達估計降水值以及地面雨量站經由水文模式模擬，其結果與實際觀測流量比較之後，並且使用正規化均方根誤差(root mean square error; RMSE)及效率係數(efficiency coefficient; EFFIC)判斷(表一、二)。正規化均方根誤差(root mean square error; RMSE)公式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Q_{simt} - Q_{obst})^2}{n-1}} \quad (3)$$

其中 Q_{simt} 為第 t 筆模擬流量值(m^3/hr)、 Q_{obst} 為第 t 筆觀測流量值(m^3/hr)、 n 為觀測資料與模擬資料之個數。RMSE 值越小代表模擬流量結果越好。效率係數(efficiency coefficient; EFFIC)公式如下：

$$EFFIC = \frac{\sigma_o^2 - \sigma_e^2}{\sigma_o^2} \times 100\% \quad (4)$$

$$\sigma_{obs}^2 = \sum_{t=1}^n (Q_{simt} - \bar{Q})^2 \quad (5)$$

$$\sigma_e^2 = \sum_{t=1}^n (Q_{obst} - Q_{simt})^2 \quad (6)$$

其中 Q_{obst} 為第 t 筆資料的觀測流量(m^3/s)、 Q_{simt} 為第 t 筆資料的模擬流量(m^3/s)、 \bar{Q} 為觀測值的平均流量(m^3/s)、 n 為觀測資料與模擬資料之個數。EFFIC 等於 1 則表示模擬值與觀測值完全符合，若等於 0 表示模擬結果有達到觀測流量平均值的水準，所以效率係數值越接近 1 模擬結果越佳。我們可看出與下游霞雲站實際流量的比較，利用雷達估計降水的模擬結果較不好，而觀測雨量搭配距離平方反比則較好。與上游的秀巒流量站比較，利用雷達估計降水模擬結果趨近於觀測值，而觀測雨量搭配距離平方反比則較差。但雷達估計降水值的誤差，會受到觀測區域與雷達站的距離、高度而有所影響，因此雷達估計降水必須利用地面雨量觀測站做即時修正。

雷達估計降雨修正值經過計算後的結果其比值為 3.77，若用雷達估計降水關係式反推雷達回波值增加約為 7.3dBZ 左右。在四個雨量站(霞雲、高義、玉峰、秀巒)之 92 小時累積降雨的結果修正前分別為 260.0mm、257.37mm、220.49mm 及 187.73mm，修正後分別為 980.47mm、970.28mm、831.25mm 及 707.77mm；其修正後與累積實際觀測雨量比較，分別為 1074mm、1010mm、937mm 及 781.5mm，因此加入修正值可改善雷達估計降水的結果。針對四個雨量站的實際降雨洪峰值與修正後的雷達估計降水洪峰值做比較，雨量站(霞雲、高義、玉峰、秀巒)在第一個極大值分別低估約 24mm/hr、11mm/hr、28mm/hr 及

16mm/hr，在第二個達值則分別高估約 13mm/hr、14mm/hr、18mm/hr 及 26mm/hr。這顯示在第一降兩極大值經過修正之後，是低估的情況；在第二個降兩極大值則是高估，其可能的原因是納莉颱風第一條雨帶進來之後，雷達觀測值的低估而導致估計降雨上與觀測雨量的誤差。

四、未來展望

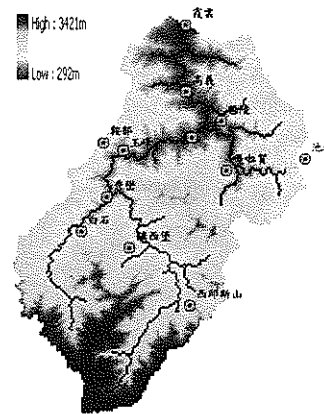
由於山區的雷達回波受到山脈地形阻擋，必須使用更大的仰角資料內插到距離地表 4 公里的雷達回波；再加上石門水庫霞雲集水區與五分山雷達站距離較遠，造成雷達觀測誤差。為了減少因為距離或是高度造成衰減，未來我們將使用中央大學大氣物理研究所的偏極化雷達資料，希望透過偏極化雷達相位差與降雨的關係式得到較好的雷達推估降水值，再輸入到水文模式之後比較其結果。另外我們將針對不同的個案評估雷達估計降水對於流量的影響，以討論此方法再圖同降水個案的可行性。

五、參考文獻

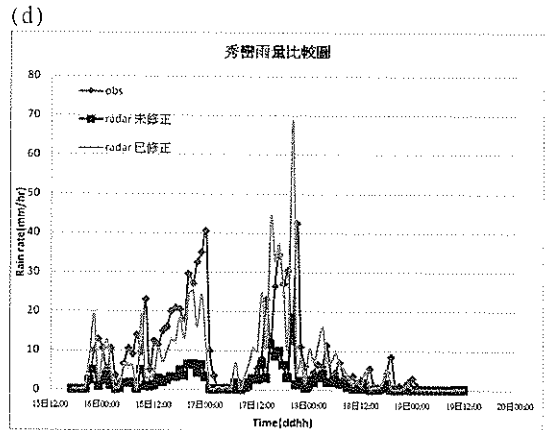
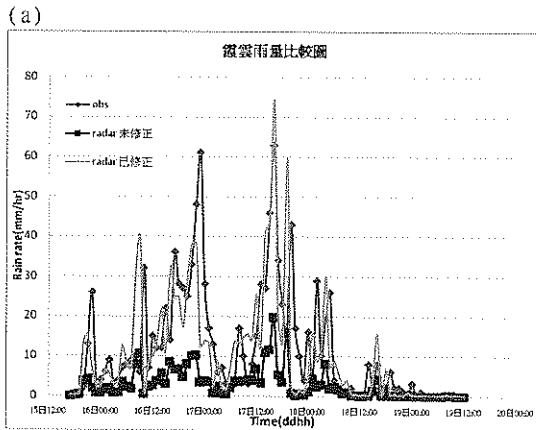
- Javier, Julie Rose N., James A. Smith, Katherine L. Meierdiercks, and Mary Lynn Baeck, 2007 : Flash flood forecasting for small urban watersheds in the Baltimore metropolitan region. *Weather And Forecasting*, 22, 1331-1344。
- Breve, K. and Binley, A. 1992 : The Future of Distributed Models: Model Calibration and Uncertainty Prediction. *Hydrological Processes*, 6, 279-298.
- Rojas, R., 2002 : GIS-based upland erosion modeling, geovisualization and grid size effects on erosion simulations with CASC2D-SED. PhD thesis, Dept. Civil Engr., Colorado State University, 124 page.
- 楊政潭，2002：雷達回波應用於颱風降雨空間分佈與總量之研究-以納莉颱風為例，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，共 103 頁。
- 張偉裕，2002：利用雨滴譜儀分析雨滴粒徑分佈納莉颱風個案，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，共 93 頁。
- 林位聰，2004：利用二維雨滴譜儀研究雨滴譜特性，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，共 100 頁。
- 紀博庭，2005：利用中央大學雙偏極化雷達資料反求雨滴粒徑分佈及降雨率方法的研究，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，共 78 頁。
- 陳心穎，2005：颱風事件下之集水區逕流模擬，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，共 81 頁。
- 黃奕璋，2007：極端降雨事件分散式集水區逕流模式之發展與驗證，國立中央大學水文科學研究所碩

士論文，共 82 頁。

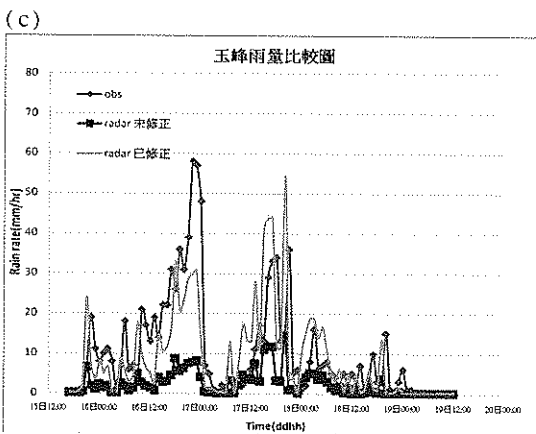
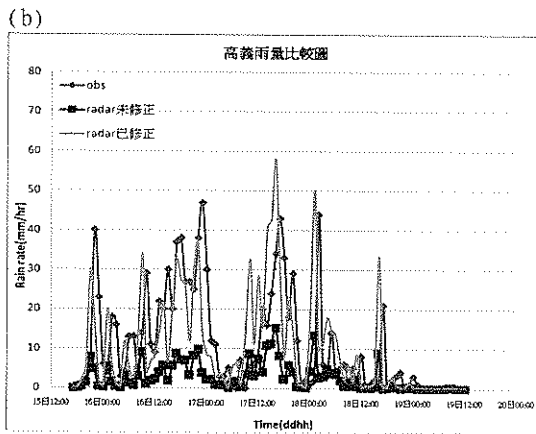
李煜欽，2007：分散式逕流模式應用於石門水庫極端降雨事件之模擬，國立中央大學水文科學研究所碩士論文，共 132 頁。



圖一 石門水庫霞雲集水區數值高程地形圖，各點標示為霞雲、高義、巴陵、三光、嘎啦賀、池端、玉峰、鞍部、秀巒、白石、鎮西堡、西邱斯山雨量站的位置，其中霞雲、高義、玉峰、秀巒等四站有流量觀測。



圖二 雷達估計降水位於各雨量站相同位置時的雨量比較圖，(a)霞雲(b)高義(c)玉峰(d)秀巒，分別將雷達修正前與修正後跟觀測值比較。

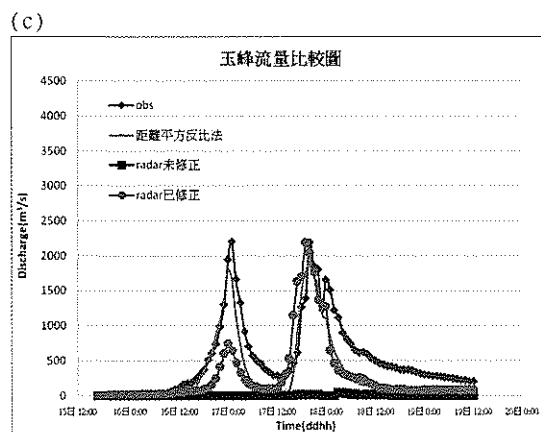
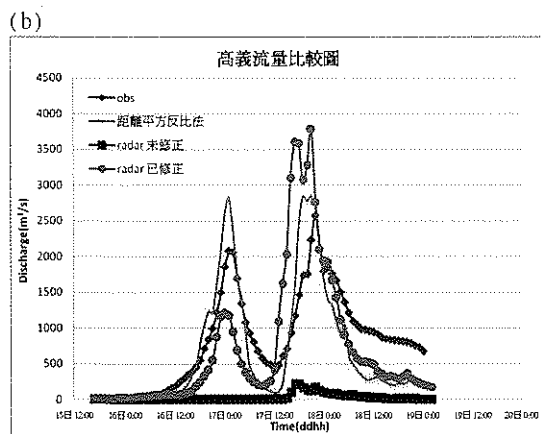
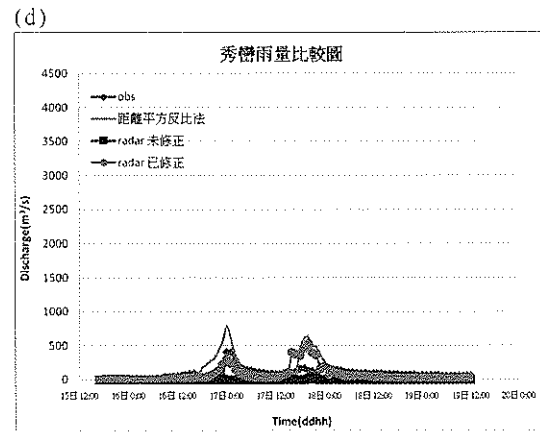
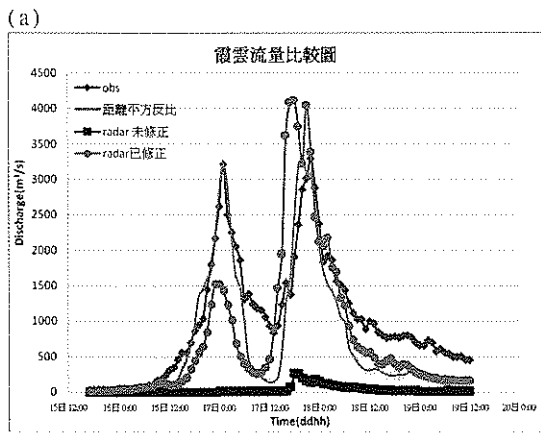


表一 各流量站所模擬的流量結果與實際流量之效率係數(EFFIC)，越接近 0 表示模擬結果接近觀測平均值，越接近 1 表示模擬結果與觀測結果越接近。

流量站	距離平方反比法	Radar 未修正	Radar 已修正
霞雲	0.700985 7	-1.349190	-0.09894
高義	0.313766 3	-1.675764	-0.6925039
玉峰	0.671843 3	-0.958696 5	-0.06738825 1
秀巒	-2.83451 3	-1.405324	-1.532157

表二 各流量站所模擬的流量結果與實際流量之均方根誤差(RMSE)，越接近 0 表示模擬結果接近觀測值。

流量站	距離平方反比法	Radar 未修正	Radar 已修正
霞雲	0.6477954	0.9883233	0.7070491
高義	0.6949350	0.9884752	1.019385
玉峰	0.7771400	1.001381	0.8869396
秀巒	1.835426	1.003942	1.216306



圖三 模擬流量與實際觀測流量比較圖，(a)霞雲(b)高義(c)玉峰(d)秀巒，分別將觀測雨量搭配距離平方反比法、未修正雷達估計降水、已修正雷達估計降水輸入到水文模式的模擬流量結果與觀測流量作比較。

