

雷達估計降雨資訊應用於土石流警戒之研究

林睦容¹ 尹孝元² 曾奕超¹ 簡以達² 詹錢登¹

國立成功大學水利及海洋工程學系¹ 農業委員會水土保持局²

摘要

台灣地勢陡峭及地質破碎，夏季常有颱風、豪雨侵襲，容易引發土石流災害，為了減少土石流災害，防災預警的工作極為重要。台灣土石流防災降雨警戒系統的雨量資料，目前以參考雨量站的觀測雨量資料為依據。但參考雨量站存在有位置不適當、故障、數據傳輸及其他等等不確定之問題。為了彌補現有參考雨量站雨量資料的不足之處，以及結合多元雨量資訊來協助土石流防災預警之前提下，本研究以10個土石流潛勢溪流集水區為研究對象，針對2008~2016年間15場颱風豪雨事件，比較參考雨量站及雷達估計降雨等二種不同方法所得之雨量資料的差異性，分析降雨強度及累積雨量等影響土石流發生重要參數之雨量差異百分比及最大時雨量發生時間差，並探討集水區採用不同雨量資料對土石流警戒結果之差異。根據雨量差異分析結果顯示，雷達估計降水與參考雨量站觀測結果，其累積雨量與最大時雨量差異百分比約介於±20%內，但分析中發現當集水區之雷達降水估計結果可靠度不佳，雨量差異的範圍將會隨之擴大；此外，在最大時雨量發生時間差異方面，豪雨事件相對於颱風事件具有較大之落差存在，推論乃由於豪雨在時空分布上有較高之不確定性所致；而前述二類降雨資料在雨量值達警戒門檻時間之差異，約分布於±3小時內，但整體而言，當集水區採雷達估計雨量作為警戒發布參考，雨量達警戒門檻的時間，相較於採用參考雨量站者提早。

關鍵字：雷達估計降雨、土石流降雨警戒

一、前言

台灣由板塊互相擠壓作用而成，因板塊運動相當頻繁，致使台灣地勢陡峭及地質破碎，山坡土體不穩定以及頻繁的地震，產生大量鬆散土石堆積在坡面及河床上，提供了土石流發生主要的土砂來源。另外，台灣屬於副熱帶氣候區，於夏季常有颱風侵襲，雨量豐沛且集中，邊坡土體鬆動加上大量洪水易於發生土石流等災害，為減低災害所帶來的損傷，在防災預警方面極其重要。自2005年開始水土保持局以有效累積雨量和降雨強度的乘積定義為降雨驅動指標(Rainfall Triggering Index, RTI)，並用以評估一場土石流之可能性，即

$$RTI = I(t) \times R_{te}(t)$$

$$R_{te} = R_0 + P = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_i$$

其中 R_i 為本次降雨開使時刻前 i 日(24 小時)雨量， α 為日雨量衰減係數；為考量降雨量會因蒸發或逕流流失，對發土石流的貢獻會隨時間增加而減少，

目前雨量衰減係數採用 0.7。後續為方便民眾瞭解與宣導，水土保持局透過採用降雨強度 10 mm/hr 的條件下，將原本由降雨強度與有效累積雨量之乘積，減化為僅採有效累積雨量之單一指標，並以 50 mm 為級距，建立全臺土石流警戒基準值。

由於目前土石流警戒發佈之雨量參考來源，是採用預先選定之參考雨量站觀測結果作為依據，但採用該方式仍存在雨量觀測資料是否可代表整個土石流潛勢流集水區，以及儀器故障、數據傳輸中斷與其他等等不確定之問題。而近年中央氣象局發展並提供了雷達估計降雨資料，其係經由雷達回波-降雨率(Z-R)關係式來估計降雨量，稱之為雷達定量降雨估計(QPE, Quantitative Precipitation Estimation)(Zhang et al.,2009)[4]，可提供大範圍與高空解析度之降雨估計資料，將對現地降雨情勢的掌握有所助益。

本研究主要分析土石流降雨警戒系統在採用不同雨量資料之結果進行探討(參考站及雷達估計降雨)，比較不同類型之雨量資料的差異性，並探討應用於土石流警戒發佈的影響。

二、資料來源與分析方法

本研究分別蒐集 2008~2016 年之雷達估計降雨資料以及雨量站觀測資料。土石流警戒發布時所參照之降雨資訊，是採用中央氣象局、水土保持局、水庫管理局以及水利署等單位所建置的雨量站觀測資料。雷達估計降雨則是由中央氣象局與美國合作發展之劇烈天氣系統所提供，此系統整合多重觀測資料並提供多項產品，能加強對氣候的監測。其中本文所使用的雷達資料是接近地面且不受地形及地面影響之仰角觀測的最低仰角合成回波 (Mosaic Hybrid Scan Reflectivity, Hybrid) (Zhang et al., 2005) [3]，再利用 $Z = 32.5R^{1.65}$ (Xin et al., 1997) [2] 取得之降雨估計量，資料空間解析度為 1.3km*1.3km 的格網式降雨資料，觀測涵蓋範圍於南北向有 561 個，而東西向則有 441 個格網；而在即時雨量方面以每 10 分鐘更新一筆降雨資料。

由於雷達資料為格網式降水資料，在應用上須對區域內的格網進行界定，將格網與集水區進行套疊，判定格網涵蓋範圍。土石流潛勢溪流集水區依據其面積大小及格網雨量資料空間解析度的不同，會涵蓋數個以上的格網，因而需選定特定值作為該土石流潛勢溪流集水區區域的降雨代表值。於本文中使用的區域平均值(QPE₅₀)及第三四分位值(QPE₇₅)，前者計算方式是以土石流潛勢溪流集水區內所涵蓋之所有格網其算數平均值作為代表；而第三四分位值則是集水區內所涵蓋之所有格網，將其值由小到大排序後，取其累積機率 75% 所對應之值作為代表。

因為雷達估計降水會因山區地形多變，而有雷達掃描盲區之問題產生，中央氣象局劇烈天氣系統團隊另研擬了雷達定量降雨估計格網的信心度，以提供使用者在使用資料時的參考依據。信心度可分為三類，分別為佳、中等以及不佳，訂定的方式主要是考量了雷達迴波的最低可用仰角高度以及權重函數。首先考慮權重函數，當權重函數大於 0.3 時，表示格點受到雨量站修正，信心度等級為佳；而缺少雨量站的位置，根據 Chang et al.(2009)[1]雷達最低仰角回波與觀測雨量間相關性的統計結果，採用高度 3 公里以下做為門檻，信心度等級為中等；當權重函數為 0.3 以下且仰角高度高於 3 公里時，則分類為不佳等級(唐玉霜，2015)[6]。

表 1 氣象局雷達估計降雨信心度等級分類[6]

信心度等級	權重函數	最低可用仰角高度
佳	>0.3	
中等		≤3
不佳	≤0.3	>3

雖然中央氣象局提供信心度指標作為使用的參考依據，但通常在一個集水區範圍內可能包含兩個等級或以上的信心度格網，因此本研究藉由分析氣象局信心度格網與潛勢溪流集水區之空間分布後，提出 7 種可能出現的情況，如圖 1 所示，後續進一步建立土石流潛勢溪流集水區的雷達估計降雨可靠性分析方式及對應之評估標準。

本研究藉由分析信心度指標格網與土石流潛勢溪流集水區之空間分布後，建立土石流潛勢溪流集水區之雷達估計降雨可靠性分析方式及對應之評估標準(表 2)。給予信心度等級權重：信心度佳權重為 3；信心度中等權重為 2；信心度不佳權重為 1，依土石流潛勢溪流集水區各信心度級別涵蓋格數乘上權重，再除以總格網數計算得分。並將得分計算結果劃為三個可靠性範圍等級：可靠性高，2.4~3；可靠性中，1.7~2.3；可靠性低，1~1.6。

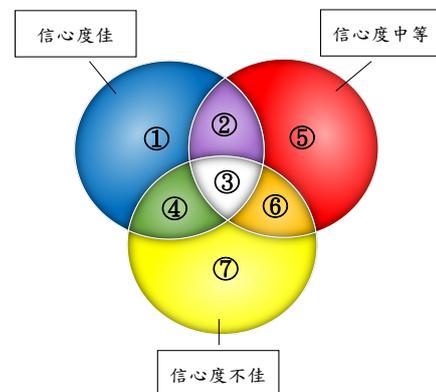


圖 1 雨量可靠性空間分布判別示意圖

而在降雨差異分析上，採用差異百分比之計算方法，如下式：

$$\frac{\chi_1(i) - \chi_0(i)}{\chi_0(i)} \times 100\%$$

式中 $\chi_0(i)$ 為參考站觀測雨量值； $\chi_1(i)$ 為雷達降水估計雨量值，雨量差異百分比若為正，即參考站觀測雨量較雷達估計雨量值小；差異百分比為負則反之。

另外為比較採用不同雨量可能產生之警戒發佈時間差，後續將進一步計算採用雷達估計雨量與採用參考雨量達警戒值之時間差，若時間差為正，即表示參考站雨量警戒發佈時間較早，若為負則反之。

表 2 潛勢溪流集水區雷達降雨可靠性評估計算方式

類型	氣象局信心度指標		
	佳	中等	不佳
	權重		
	3	2	1
1	○	-	-
2	○	○	-
3	○	○	○
4	○	-	○
5	-	○	-
6	-	○	○
7	-	-	○
得分	集水區各信心度等級格網數(○)×權重/總格網數量		

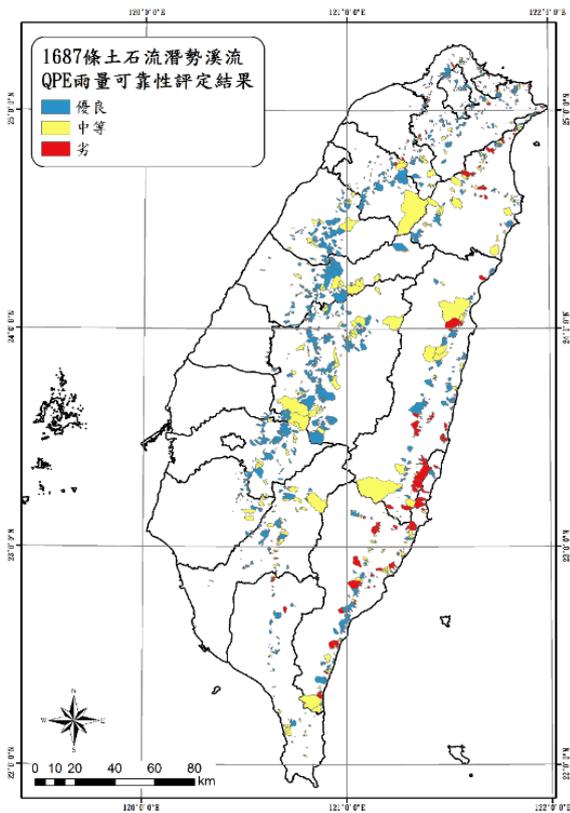


圖 2 土石流潛勢溪流雷達估計降雨可靠性評估結果

三、結果與分析

本研究依據全臺土石流潛勢溪流集水區格網式雷達估計雨量信心度(區分為佳、中等、不佳三個等級)，然後來評估全臺土石流潛勢溪流集水區雷達估計集水區代表雨量的可靠性(區分為高、中、低等三個等級)。全臺 1687 條土石流潛勢溪流集水區之可靠性空間分佈結果，如圖 2 所示。分析北、中、南及東部地區各可靠性等級潛勢溪流所佔的比例(圖 3)，以中部可靠性評估最好，而東部最差。另經由統計，全臺土石流潛勢溪流集水區，雷達估計代表雨量可靠性評定等級為高者約佔 62%，為中者約佔 26%，為低者約佔 12%。

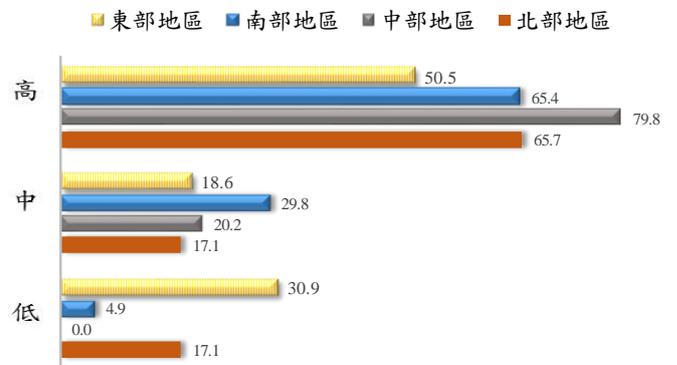
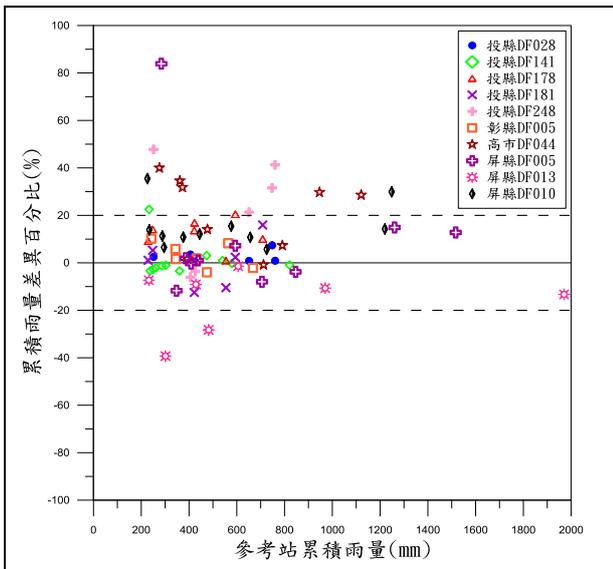
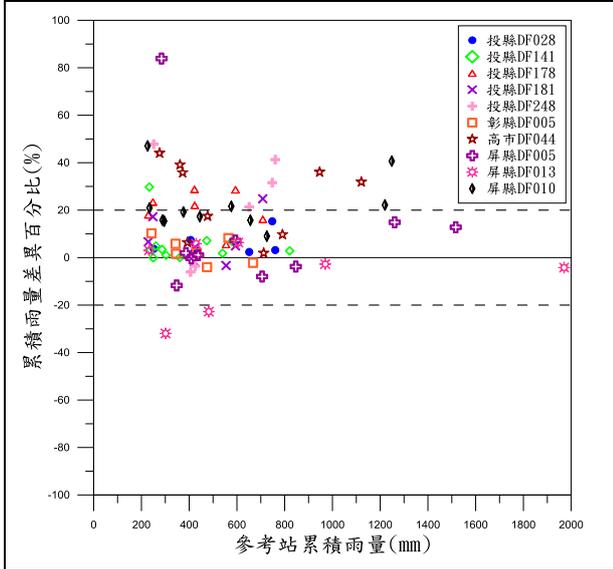


圖 3 土石流潛勢溪流於不同地區各類可靠性所佔比例

以本研究所選取的 10 個土石流潛勢溪流集水區為研究對象，針對參考站雨量、空間插值集水區代表雨量以及雷達估計雨量三種雨量資料進行分析，比較前述三種累積雨量、最大時雨量以及最大時雨量發生時間等三種降雨參數的差異。在累積雨量差異方面，各區域代表雨量計算之雷達估計降雨與參考雨量站觀測雨量差異結果可知(圖 4)，與參考雨量站觀測值相比較，兩者間之雨量差異百分比大部分落於±20%內，分別於總事件數下佔 80.2%以及 71.3%之比例(表 3)；另經由分析，落於範圍外之降雨事件，多數發生於雷達估計降雨可靠性低之地區。



a. 雷達代表性降雨採區域平均值計算方式



b. 雷達代表性降雨採第三四分位值計算方式

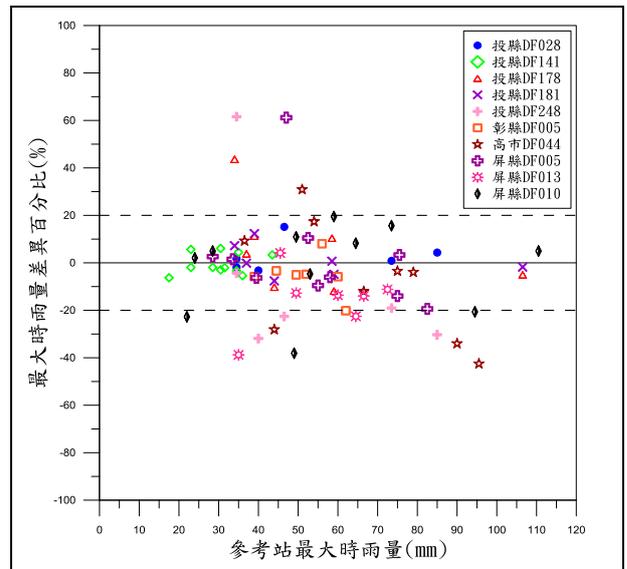
圖 4 雷達估計降雨與參考站之累積雨量差異結果

表 3 累積雨量差異分布統計表

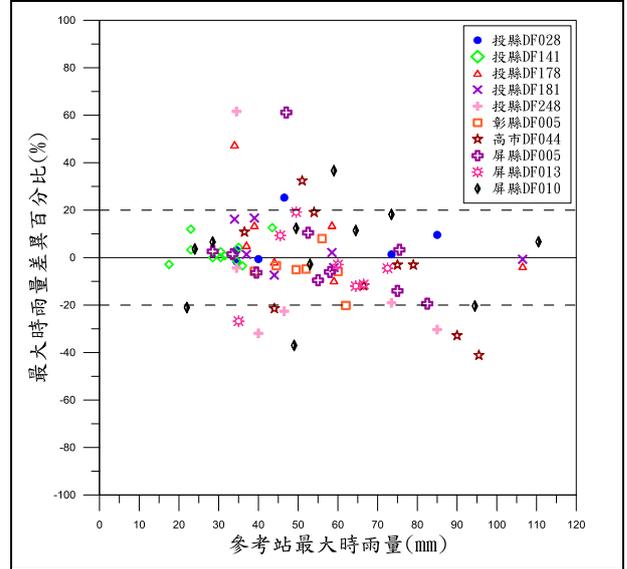
	<-50	-20~-50	0~-20	0~20	20~50	>50
QPE₅₀	0.0	2.5	29.6	50.6	16.0	1.2
QPE₇₅	0.0	2.5	16.0	55.6	24.7	1.2

單位：%

圖 5 為各區域代表雨量計算之雷達估計降雨與參考雨量站觀測雨量之最大時雨量差異結果，由差異結果可見，最大時雨量差異百分比範圍集中分布在 $\pm 20\%$ 內(詳表 4 所示)；另經由分析後，發現落於範圍外以豪雨事件佔多數，推論是由於豪雨在時空分布上有較高之不確定性所致。



a. 雷達代表性降雨採區域平均值計算方式



b. 雷達代表性降雨採第三四分位值計算方式

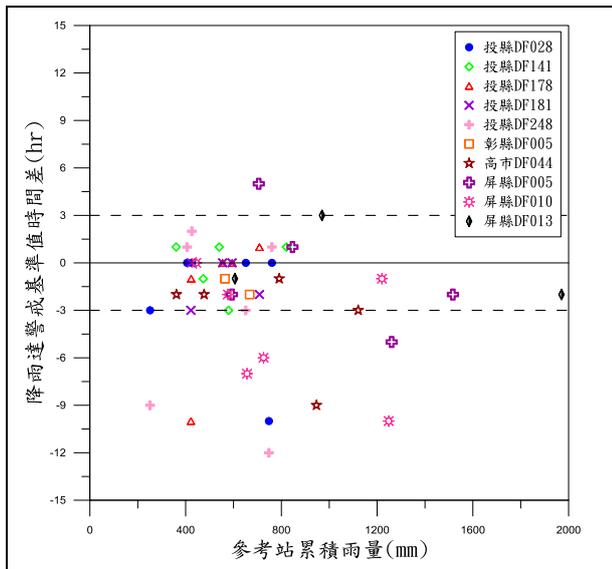
圖 5 雷達估計降雨與參考站之最大時雨量差異結果

表 4 最大時雨量差異分布統計表

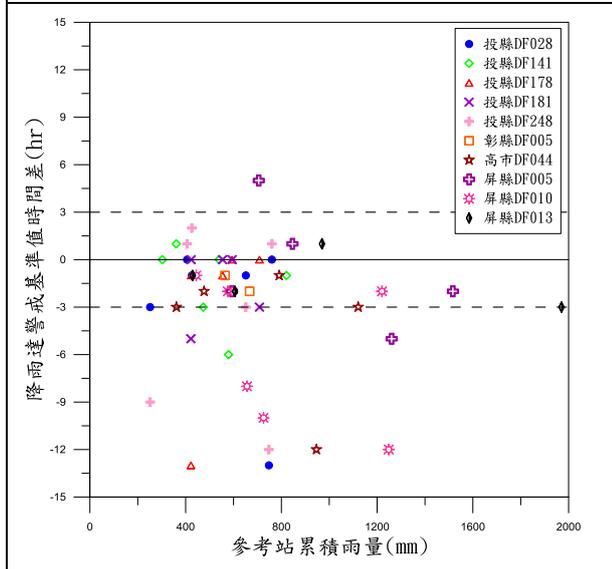
	<-50	-20~-50	0~-20	0~20	20~50	>50
QPE₅₀	0.0	14.8	44.4	35.8	2.5	2.5
QPE₇₅	0.0	13.6	38.3	40.7	4.9	2.5

單位：%

採用不同雨量資料在達警戒值時間差異結果如圖 6，當使雷達估計降雨量時，相對於原參考站雨量警戒發佈時間比較，警戒發佈時間差集中分布在 ± 3 小時內，且因集水區雷達代表性雨量計算方式不同，採用第三四分位值計算方法，其降雨警戒時間更加提早；整體上，雷達估計雨量提早達降雨警戒基準值之事件所佔比例較多(表 5)。



a. 雷達代表性降雨採區域平均值計算方式



b. 雷達代表性降雨採第三四分位值計算方式

圖 6 雷達估計降雨與參考站之最大時雨量差異結果

表 5 警戒發布時間差範圍分布統計表

	<-3	0~3	0	0-3	>3
QPE ₅₀	18.8	39.6	20.8	18.8	2.1
QPE ₇₅	22.0	46.0	18.0	12.0	2.0

單位：%

四、結論

土石流警戒發佈目前是以參考雨量站觀測值超過警戒基準值作為依據，而雨量站觀測雨量為點資料，只能代表特定地點之降雨值，且臺灣因地形及地勢複雜，使得雨量分布不均，加上山區雨量站密度不足，易造成土石流警戒發佈上之問題。近年，中央氣象局

QPESUMS 系統提供雷達估計降雨資訊，為格網式資料可提供大範圍的降雨資訊。本研究以 10 個土石流潛勢溪流為研究對象，透過 15 場颱風豪雨事件，進行雷達估計降雨及參考雨量站測值之比較，進一步討論應用不同雨量資料於土石流警戒發布之影響，以便日後可有效利用並結合多元雨量資訊輔助土石流防災預警。由比較結果顯示，累積雨量與最大時雨量差異百分比約介於±20%內，整體上，高估的情況佔多數，分析中發現當集水區之雷達降水估計結果為可靠性低，其雨量差異易於增加。在警戒發布時間比較方面，兩者達雨量警戒門檻值之時間差約分布於±3 小時內，於整體而言，當集水區採用雷達估計雨量作為警戒發布參考，相較於採用參考雨量站觀測雨量，達降雨警戒門檻的時間提早。

參考文獻

- [1] Chang, P. L., Lin, P. F., Jong-Dao Jou, B., and Zhang, J. (2009), "An application of reflectivity climatology in constructing radar hybrid scans over complex terrain", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(7), 1315-1327.
- [2] Xin, L., Reuter, G., and Larochelle, B. (1997), "Reflectivity - rain rate relationships for convective rainshowers in Edmonton: Research note", *Atmosphere-Ocean*, 35(4), 513-521.
- [3] Zhang, J., Howard, K., and Gourley, J.J.(2005), "Constructing three-dimensional multiple-radar reflectivity mosaics: Examples of convective storms and stratiform rain echoes." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22: 30-42.
- [4] Zhang, J., Howard, K., Pao-Liang, C., Paul Tai-Kuang, C., Chia-Rong, C., Langston, C., Wenwu, X., Kaney, B., and Pin-Fang, L. (2009). "High-resolution QPE system for Taiwan." *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications*. Springer, Berlin, Heidelberg,147-162.

- [5] 尹孝元、簡以達、詹錢登、曾奕超、王志賢(2016)，「應用雷達估計降水於土石流警戒發布之研究」，海峽兩岸水土保持學術研討會。
- [6] 唐玉霜、張保亮(2015)，「劇烈天氣系統(QPESUMS)發展與客製化服務」，中央氣象局天氣分析與預報研討會論文彙編。
- [7] 詹錢登(2016)，「土石流防災降雨警戒」，財團法人中興工程科技研究發展基金會出版。
- [8] 詹錢登、李明熹(2004)，「土石流發生降雨警戒模式」，中華水土保持學報。