

雷達降雨估計於防災科技之應用

王安翔 張智昌 林聖琪 柯明淳 林李耀

國家災害防救科技中心

摘 要

台灣地區多山且山區時常有災害發生，因此山區的降雨監測一直是重要的課題，在坡地與淹水災害研究方面，多年來都是仰賴分布全台各地的雨量站，然而在山區之降雨的空間分布僅靠少數雨量站之監測所得到，無法滿足相關災害研究對於山區雨量之精度需求。尤其台灣地區的地質脆弱，可能局部地區的短延時強降雨便會造成災害。近年來使用雷達資料進行降雨估計的方法也已日趨成熟，如何精進降雨估計的誤差值便成為重要課題之一。

本研究以 2008 年和 2009 年之颱風個案為例，並以嘉義縣市為示範區，使用雷達-雨量站降雨整合技術(Chen et al., 2007)，透過均方根誤差(Root mean square error, RMSE)進行降雨估計誤差分析和不同高度測站之降雨特性統計分析，以瞭解實際觀測降雨值與降雨估計誤差間之關係，此結果將可提供小區域範圍的坡地與淹水災害警戒模式使用，作為雨量因子的重要參考資訊。

關鍵詞：雷達定量降雨估計、雷達-雨量站降雨整合技術

一、前言

台灣地區多山且山區時常有災害發生，因此山區的降雨監測一直是重要的課題，在坡地與淹水災害研究方面，多年來都是仰賴分布全台各地的雨量站。2009 年 8 月莫拉克颱風造成農業損失高達 194.11 億元，重創台灣農業。同時，也在高雄縣小林村發生嚴重的土石流災情，以及屏東縣林邊鄉造成大範圍淹水事件。

然而在山區之降雨的空間分布僅靠少數雨量站之監測所得到，無法滿足相關災害研究對於山區雨量之精度需求。尤其台灣地區的地質脆弱，可能局部地區的短延時強降雨便會造成災害。近年來使用雷達資料進行降雨估計的方法也已日趨成熟，如何精進降雨估計的誤差值便成為重要課題之一。

由坡地與淹水災害研究中顯示，對於無雨量站設置的未知點位雨量估計之時間與空間精度需求很高。因此，如何取得適切的未知點位之估計雨量，往往也決定淹水與坡地災害研究之結果。林等(2006, 2007)之研究顯示，逐時雷達估計降雨與地面雨量觀測之相關係數可高達 0.9 以上，唯降雨估計精度仍不夠。

而王(2009)對於雷達估計降雨在山區的估計結果進行分析，結果顯示雷達估計降雨之估計誤差隨測站海拔高度增加而增大。因此，本研究將運用雷達-雨量

站降雨整合估計技術(Chen et al., 2007)，對 2008 年與 2009 年侵台之個颱風個案(卡玫基、辛樂克及莫拉克)進行嘉義縣市雷達估計降雨之調整方法分析，希望藉此分析做為改進降雨整合估計技術之參考。

二、資料來源與分析方法

本研究主要以中央氣象局 2008 年和 2009 年的 QPESUMS 系統之即時雷達估計降雨和地面雨量站觀測資料進行定量降雨估計分析，目的為評估颱風期間雨量觀測資料之誤差，以供坡地和淹水系統所需之雨量資訊參考。同時，在颱風個案選取時段以中央氣象局發佈陸上颱風警報和解除陸上颱風警報之期間定義為整場颱風之降雨時段，個案計有：卡玫基、辛樂克及莫拉克颱風等 3 場颱風個案。另外，選取嘉義縣市做為研究示範區，該地區之雨量站分佈與地形高度分佈(如圖 1 所示)，此示範區共有 61 個雨量自動觀測站。

由 2008 年颱風卡玫基與辛樂克之觀測降雨、雷達估計降雨及雷達-雨量站降雨整合估計(以下簡稱降雨整合估計)依據測站高度進行分析顯示(圖 2 所示)，在測站高度高於約 1000-1500m 以上時，可以見到明顯的低估情況。因此考慮在海拔高度 1500m 以上之測站所得之地面觀測與雷達估計降雨差值進行平均誤差的計算，並將此結果加入地面觀測與雷達估計降雨差值，然後再進行整合估計之計算。而平均誤差之計算公式

(2.1)，如下說明：

$$Er = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - yi)}{n} \quad (2.1)$$

式中 x_i 和 y_i 分別代表雷達估計降雨和觀測降雨值。

表一為莫拉克颱風期間全台雷達估計降雨與降雨整合估計結果經平均誤差修正之平均均方根誤差比較，其過程為：

1. 先將全台測站進行高度分類，初步分為 500m 以下、500-1000m 以下及 1000m 以上，共 3 個群組進行評估。
2. 在每種高度分類中，隨機挑選該群組之 5% 的測站，做為統計檢驗用之測站。
3. 重複步驟 2，進行 5 次統計分析後，將最後結果進行平均。

另外，對於示範區中之降雨估計結果的評估，則先依據測站高度挑出統計檢驗所需之雨量觀測站(如表二所示)，共計 6 站；而其空間分佈情況，如圖 1 所示。所選定之雨量站觀測雨量資料不納入降雨整合估計之計算。然後將雷達估計降雨和降雨整合估計結果使用均方根誤差(RMSE, Root mean square error)評估優劣，下面為均方根誤差之公式(2.2)：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Rri - Rgi)^2} \quad (2.2)$$

式(2.2)中， n 為時間筆數(或資料筆數)， R_i 為雷達估計降雨結果(或降雨整合估計結果)， R_g 為雨量站觀測結果。而若當均方根誤差越小，則表示降雨估計結果越接近實際降雨觀測。

三、雷達-雨量站降雨整合方法

圖 3 為 Chen et al. (2007)所使用之雷達-雨量站降雨整合法的概念示意圖，其中 scale 1 (圖 3a) 表地面雨量觀測，假設其為真實降雨值，但其解析度大約 10 公里，在山區或偏遠地區更差(約 20 km)。scale 2 (圖 3b) 表雷達估計降雨，其特色為雨量估計為間接求取，但空間分佈較密，解析度較高(大約 1.3 km)，我們假設其為空間之內插權重值。根據圖 3 的概念模式，如圖 3c 所示，將逐步求出雷達-雨量站整合雨量 $R_i(x, y)$ ，其中 x, y 為 QPESUMS 的網格矩陣， x 共有 441 點， y 共 561 點，東西方向範圍(x)為東經 118 到 123.5 度，南北方向範圍(y)為北緯 20 到 27 度。

以下為雷達-雨量站降雨整合 $R_i(x, y)$ 之求取方法：

1. 令雷達估計雨量為 $R_r(x, y)$ ，地面雨量站觀測所得雨量為 $R_g(k)$ ，其中 k 為地面站代號，其數量依據選取範圍有所不同。
2. 將 $R_r(x, y)$ 內插至 $R_g(k)$ 之經緯座標上，得到 $R_r(k)$ 。
3. 求取雨量站上 $R_r(k)$ 與 $R_g(k)$ 之差值為 $\Delta R(k)$ ，而 $\Delta R(k) = R_r(k) - R_g(k)$ 。
4. 應用數值內插方法將 $\Delta R(k)$ 內插回雷達估計網格 x, y 上得到 $\Delta R(x, y)$ 。
5. 求得雷達-雨量站降雨整合估計雨量 $R_i(x, y)$ ，而 $R_i(x, y) = R_r(x, y) + \Delta R(x, y)$ 。

由林等(2006)、林等(2007, 2008)之研究顯示，透過雷達降雨估計值和地面觀測降雨值之差值較其他空間估計數值方法為佳，因此本研究將採用此方式進行降雨整合估計。唯最大差異是，在處理步驟 3 之前，先將測站高度高於 1500m(下面簡稱 ME1500)和 2000m(下面簡稱 ME2000)之測站，先進行地面降雨觀測和雷達估計降雨的平均誤差分析，然後將此結果加入步驟 3 所得之差值中。接著再進行降雨整合估計的運算。而在示範區中，測站高度高於 1500m 之站數為 10 站，約佔該區域測站總數的 1/6；高度高於 2000m 之站數為 6 站，約佔該區域測站總數的 1/10。

四、分析結果

本研究初步先使用颱風莫拉克(2009 年)侵襲期間之全台降雨觀測和雷達估計降雨，以及降雨整合估計依據測站高度分組進行平均誤差修正之結果進行比較，結果顯示將測站高度進行分組後所得到的平均均方根誤差，可以使得高度在 1000m 以上地區的均方根誤差降低，。顯示此方式應可做為降低山區降雨估計的方法。

而由於颱風降雨可能受到地形影響，因此，將縮小評估範圍，以瞭解此方法在較小區域範圍的表現情況。王(2009)選取嘉義縣市做為示範區，也透過不同估計方法進行降雨估計評估，故本研究將以同樣示範區進行比較。

圖 4a、b 及 c 為 2008 年颱風卡玫基和辛樂克，及 2009 年颱風莫拉克之檢驗雨量站的累積降雨觀測、雷達估計降雨及降雨整合估計未經平均誤差調整和經平均誤差調整之分析，結果顯示在測站海拔高度較高地區的雷達估計之累積降雨和觀測降雨有明顯的低估情況。而未經平均誤差修正之降雨整合估計在測站高度約 1000m 以上，累積估計雨量與累積觀測雨量有差異產生。若經過平均誤差之調整(如 ME1500 和 ME2000 所示)，可以見到降雨整合估計之累積雨量與實際觀測累積雨量之差異有減小之結果。由上述分析顯示，經過測站高度分類後所得之平均誤差，可以提升總累積雨量和時雨量之估計降雨準確度。

接下來，分析各颱風個案之估計累積降雨和實際

累積降雨之差異，如表三、表四及表五所示。結果顯示，在颱風卡玫基個案中以阿里山測站為例，ME1500 測試所得之結果和雷達估計降雨與實際累積降雨之差異，由-96.5 下降到-38.0，同時 RMSE 分析也從 51.2 下降至 36.1，此表示估計降雨之時序變化更接近觀測降雨之時序變化。而 ME2000 之測試中，也與 ME1500 結果相似，但不如 ME1500 為佳。另外，在颱風辛樂克與莫拉克的分析中，也出現同樣的結果。此顯示依據測站高度分類利用平均誤差的調整，可使得降低測站高度 1500m 以上測站的累積估計降雨和估計誤差。

五、結論

本研究之目的希望能減少在山區之估計降雨誤差，並將此結果提供作為坡地和淹水系統之雨量資訊。利用 2008 年和 2009 年 3 個侵台颱風個案(卡玫基、辛樂克及莫拉克)以嘉義縣市為示範區，透過雨量站高度分類計算雨量站觀測降雨值和雷達估計降雨值間的平均誤差後，再加入觀測降雨值和雷達估計降雨值之差值中，接著進行雷達-雨量站降雨整合估計之計算。本研究的主要結論歸納如下：

1. 以莫拉克颱風侵襲期間之全台降雨初步測試，經過測站高度分類後所得之平均誤差，將其納入降雨整合估計計算之結果。若與雷達估計比較，顯示此方法可以減少在山區之降雨估計誤差。
2. 由各颱風個案在示範區之降雨分析顯示，在較高海拔之雨量站位置經平均誤差修正所得的累積降雨整合估計值與檢驗雨量站之實際累積觀測降雨值相差較小。
3. 在示範區，各颱風個案在檢驗測站的均方根誤差 (RMSE) 分析，顯示經過平均誤差之調整後，均方根誤差都有降低，此表示在估計降雨時序與實際降雨時序更為接近。

經由本研究顯示，雖然目前在山區之雷達降雨估計結果不如平地之結果為佳，但使用測站高度進行平均估計誤差的修正，透過整合技術方法的使用，對於無雨量站設置之地區，仍可得到較佳之降雨估計結果。

參考文獻

1. 王安翔、林李耀、鳳雷及張智昌，2009：2008 年颱風個案在嘉義縣市之雷達定量降雨，天氣分析與預報研討會，台北，202-207。
2. 王安翔、林李耀及張智昌，2009：2008 年颱風個案在嘉義縣市之雷達定量降雨估算研究。第 18 屆水利工程研討會，屏東。
3. 林李耀、王安翔、黃麗蓉、張智昌、林聖琪、李清勝及周仲島，2006：雷達雨量資料在土石流預警之應用。天氣分析與預報研討會，台北，5-11 ~5-16。
4. 林李耀、王安翔，2007：雷達降雨應用在洪水及淹

水預報之研究(1/3)。國科會研究計畫報告書，1-48 頁。

5. 林李耀、王安翔，2008：雷達降雨應用在洪水及淹水預報之研究(2/3)。國科會研究計畫報告書，1-56 頁。
6. Chen, Chien-Yuan, L. - Y. Lin, F. - C Yu, C. - S Lee, C. - C Tseng, A. - H Wang, and K. - W. Cheung, 2007: Improving debris flow monitoring in Taiwan by using high-resolution rainfall products from QPESUMS. *Nat. Hazards*, **40**, 447-461.

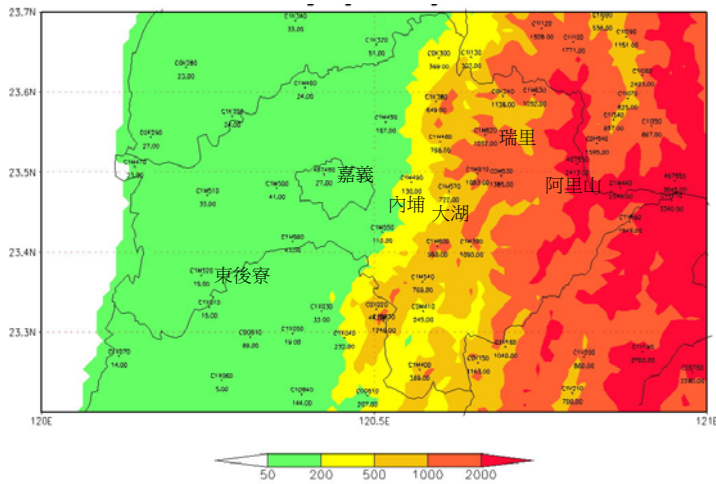


圖 1 (a)嘉義縣市之地形高度與雨量站分佈圖，地形高度如色標尺所示，高度單位公尺(m)。黑字標示之測站為統計檢驗點。圖中「+」表雨量站位置，上標數字為測站海拔高度(單位：m)，下標數字為雨量值(單位：mm)。

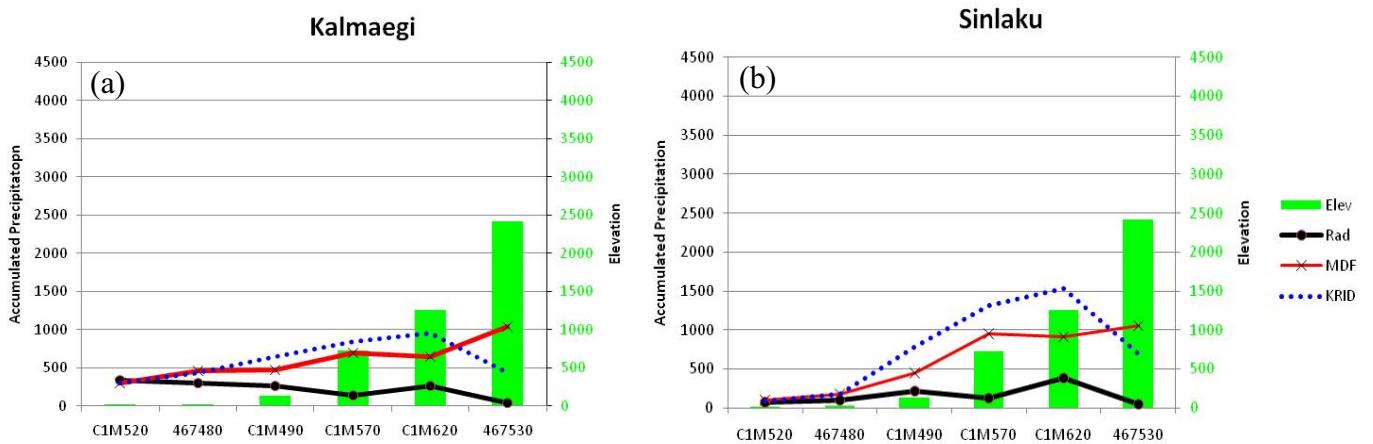


圖 2 觀測累積降雨(MDF)、雷達估計降雨(Rad)和降雨整合估計 (KRID)與測站高度分析比較，(a)卡玫基颱風，(b)辛樂克颱風。圖中紅線為測站觀測累積降雨，黑粗線為雷達估計降雨，藍色點線為整合降雨估計，雨量單位為 mm；綠色柱狀表測站高度(高度單位為公尺)。

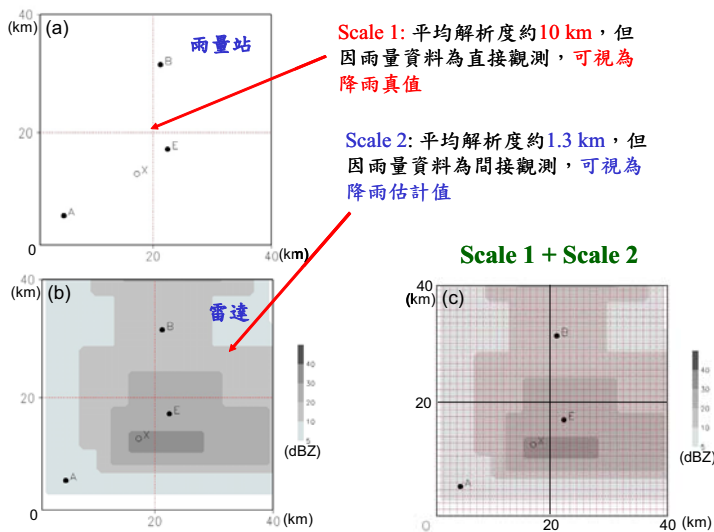


圖 3 雷達-雨量站降雨整合技術之概念示意圖

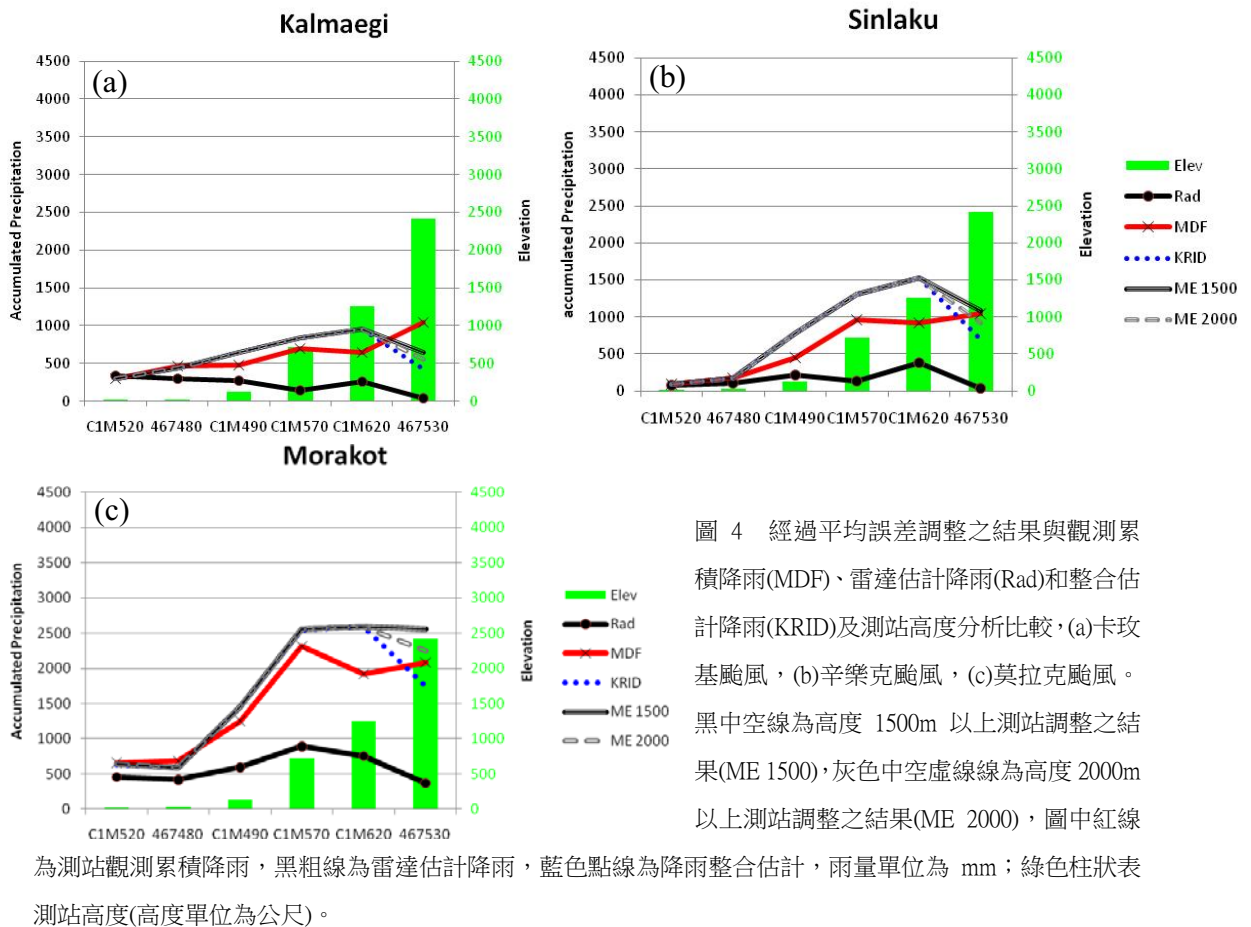


圖 4 經過平均誤差調整之結果與觀測累積降雨(MDF)、雷達估計降雨(Rad)和整合估計降雨(KRID)及測站高度分析比較，(a)卡玖基颱風，(b)辛樂克颱風，(c)莫拉克颱風。黑中空線為高度 1500m 以上測站調整之結果(ME 1500)，灰色中空虛線為高度 2000m 以上測站調整之結果(ME 2000)，圖中紅線

為測站觀測累積降雨，黑粗線為雷達估計降雨，藍色點線為降雨整合估計，雨量單位為 mm；綠色柱狀表測站高度(高度單位為公尺)。

表一 莫拉克颱風期間全台測站之雷達估計和降雨整合估計之平均均方根誤差比較表

測站高度分類	500m 以下	500-1000m	1000m 以上
雷達估計降雨	2.3	5.7	8.6
降雨整合估計經平均誤差修正	1.7	4.4	6.6

表二 示範區(嘉義縣市)檢驗測站表

測站代碼	測站名稱	緯度	經度	海拔高度(m)	測站代碼	測站名稱	緯度	經度	海拔高度(m)
C1M520	東後寮	23.3714	120.2403	19.0	C1M570	大湖	23.4767	120.6125	722.0
467480	嘉義	23.4977	120.4245	27.0	C1M620	瑞里	23.5469	120.6669	1252.0
C1M490	內埔	23.4875	120.5561	130.0	467530	阿里山	23.5104	120.8051	2413.0

表三 卡玫基颱風各估計降雨結果與觀測降雨誤差分析和 RMSE 分析

(誤差分析，單位：%)

測站	Elev	Rad		KRID		ME 1500		ME 2000	
		Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE
C1M520	19.0	12.4	1.1	0.6	0.9	0.5	0.9	0.7	0.9
467480	27.0	-34.1	3.7	-5.3	2.0	-5.3	2.0	-5.3	2.0
C1M490	130.0	-43.0	4.7	36.2	3.6	36.1	3.6	36.1	3.6
C1M570	722.0	-79.6	6.8	21.4	2.0	21.4	2.0	21.4	2.0
C1M620	1252.0	-59.2	4.5	45.8	3.0	45.8	3.0	45.8	3.0
467530	2413.0	-96.5	51.2	-58.7	39.2	-38.0	36.1	-47.4	37.0

表四 辛樂克颱風各估計降雨結果與觀測降雨誤差分析和 RMSE 分析

(誤差分析，單位：%)

測站	Elev	Rad		KRID		ME 1500		ME 2000	
		Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE
C1M520	19.0	-21.5	0.4	-5.6	0.3	-5.6	0.3	-5.6	0.3
467480	27.0	-42.1	1.6	3.1	0.6	3.1	0.6	3.1	0.6
C1M490	130.0	-52.7	2.7	73.0	2.6	72.9	2.6	73.0	2.6
C1M570	722.0	-86.3	4.9	37.3	2.3	37.3	2.3	37.3	2.3
C1M620	1252.0	-57.8	2.7	67.3	3.2	67.3	3.2	67.3	3.2
467530	2413.0	-96.0	17.1	-33.7	9.6	3.7	6.0	-12.8	7.4

表五 莫拉克颱風各估計降雨結果與觀測降雨誤差分析和 RMSE 分析

(誤差分析，單位：%)

測站	Elev	Rad		KRID		ME 1500		ME 2000	
		Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE	Error(%)	RMSE
C1M520	19.0	-30.5	3.0	-3.5	2.2	-1.9	2.2	-1.9	2.2
467480	27.0	-38.8	4.8	-14.0	2.7	-14.0	2.7	-14.1	2.7
C1M490	130.0	-52.6	7.8	16.1	5.0	16.5	5.0	16.4	5.0
C1M570	722.0	-61.5	7.9	10.1	3.2	10.2	3.3	10.2	3.3
C1M620	1252.0	-60.8	6.7	34.7	3.8	35.0	3.9	35.0	3.9
467530	2413.0	-82.4	34.6	-16.5	18.9	22.9	12.9	7.9	14.7