

莫拉克颱風期間台東縣太麻里溪流域之降雨估計評估分析

王安翔 鄭兆尊 翁進登 傅金城 張駿暉

國家災害防救科技中心

摘要

本研究運用地面觀測資料、雷達定量降雨估計、雷達-雨量站降水整合估計技術(Chen et al., 2007)及 WRF 降雨模擬等降雨觀測和估計結果，以 2009 年莫拉克颱風侵襲期間台東縣太麻里溪流域做為研究個案，希望分析結果可做為淹水和土石流警戒基準研究之降雨因子參考資料。

而分析結果顯示，由雷達回波與整合降雨估計之哈默圖分析，顯示在靠近中央山脈陵線附近有明顯的降雨發生，且與強回波發生時間相近；推測在該區域應有較大雨勢發生。由降雨整合估計和 WRF 預報降雨之分析，顯示在太麻里流域上、中游之降雨皆較流域下游為大。與災區勘災報告之比對，應可推論在莫拉克期間太麻里溪流域之上游與中游的劇烈降雨導致嚴重流域上游地區有嚴重的坡地災害發生，也使得下游地區發生嚴重的淹水事件。

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

2009 年 8 月 5-10 日莫拉克颱風侵襲台灣，其所挾帶之破紀錄雨量，除了對台灣西南部與中部地區帶來嚴重的坡地災害與淹水災情，也對台東縣太麻里與知本等地造成嚴重的災情。在台東縣太麻里溪之勘災調查(圖 1a 和 b)，顯示在淹水災情方面，太麻里溪溪水暴漲越堤淹沒香蘭村溪頭聯外道路，由於溪水暴漲 3 人失蹤。坡地災害方面，莫拉克颱風強烈降雨之情況，更加速了岩體崩解也進而導致發生數十處甚至數百處的大規模坡地災害。

在坡地與淹水災害研究中，對於降雨空間分布的分析多僅靠少數雨量站之監測得到。而在台東縣太麻里流域之自動雨量站分佈多位於流域山谷之下游區處(圖 1b)，在流域之中、上游處並無雨量自動觀測站之設置。因此，在災害警戒值的研究中，若僅使用現有的雨量觀測站之觀測結果進行降雨空間分析，在災害研究上恐無法得到較為客觀的降雨警戒值資訊。

近年來使用雷達資料進行降雨估計的方法已日趨成熟，如 Chen et al.(2007)，林等(2006, 2007)及王等(2009)之研究顯示，透過雷達估計降雨和地面雨量站觀測之整合，可以提升山區之降雨估計精度。

因此，本研究希望藉由地面雨量觀測、雷達估計降雨、雷達-雨量站降雨整合估計及 WRF 模式降雨預報，對於莫拉克期間台東縣太麻里溪流域之降雨情況進行分析，做為淹水與坡地災害分析時之雨量資訊參考。

二、資料來源與分析方法

本研究主要以中央氣象局 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，同時也使用美國國家大氣研究中心(National Centre of Atmospheric Research, NCAR)所發展的天氣研究與預報模式(Weather Research and Forecasting modeling system, WRF)之預報降雨結果，進行模式預報降雨分析，以瞭解在颱風期間模式降雨預報與觀測降雨間之關係性。經初步分析莫拉克颱風個案之降雨時段，顯示從 8 月 7 日 08 時至 8 月 10 日 08 時為颱風主要降雨之時段，故本研究之降雨分析，皆以此時段為主。

2.1 WRF 模式設定說明

本研究所使用的預報模式，為美國國家大氣研究中心(NCAR)所發展的天氣研究與預報模式(WRF)。在此以兩公里水平解析度的區域模式來模擬颱風在臺灣地區的產生的降水特徵。而執行區域模式所需的初始場與側邊界條件場，是使用美國國家環境預測中心的全球預報系統(Global Forecast System of National Center for Environmental Prediction, NCEPGFS)所產出每日四次的 0.5 度網格的分析場，經由 WRF 模式的前置作業系統所製作而成。模式從地面垂直向上延伸到 50 hPa 的高度，共有 27 個垂直層；水平上則以台灣為中心嵌套了三層區域，解析度各為 18 公里、6 公里及 2 公里；在 18 公里的區域中使用了 Kain-Fritsch (Kain and Fritsch, 1993)的對流參數化，然而對流參數化在解析度 6 公里及 2 公里的區域則不予以計算；模式的三個區域皆使用了 WSM6 (Hong and Lin, 2006)的雲微物理參數化以及 YSU (Hong and Pan, 1996)的邊界層參數化。此外，WRF 模式中的 Grid Nudging 功能也被開啟執行，使用每日四次的分析場

資料來修正模擬的風場，而讓大氣的環流不至於隨著模式的積分而偏離觀測值太多。

2.2 雷達-雨量站降雨整合方法

圖 2 為傳統雨量空間分佈分析與 Chen et al. (2007)所使用之雷達-雨量站降雨整合法(以下簡稱降雨整合估計)的概念示意圖。在傳統降雨空間分佈中，依賴雨量站之分佈密度，而目前台灣地區雨量站空間密度約為 10-20km，惟部分地區高達 5-10km 左右(例如：台北市)。而透過雷達-雨量站降雨整合估計所得之估計降雨結果，其空間解析度高達 1.3km x 1.3km，可大為提高降雨空間分佈之解析能力。

而 QPESUMS 的降雨估計資料，其網格矩陣在 x 方向有 441 點，y 方向有 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-雨量站降雨整合估計值 $R_i(x, y)$ 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)及王等(2009)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之計算。

此外，為瞭解台東縣太麻里溪流域之上游和屏東縣交界山區是否有強降雨發生，因此，也使用 QPESUMS 系統之雷達回波觀測資料，進行回波時序分析。而台東縣太麻里溪流域之雨量觀測站位於該流域最東側位置，在山區沒有雨量站設置，故在太麻里溪流域之中選取兩個降雨估計測試點，此兩點之位置如圖 1b 所示；其目的是為了比較不同降雨估計方式在此測試點位置之降雨估計與降雨預報表現，以做為淹水和土石流警戒基準研究之降雨因子參考資料。

三、 分析結果

圖 3a 和 b 為 8 月 7 日和 8 月 8 日南台灣地區之日累積降雨分佈，圖中粗黑實線為太麻里溪流域所在之緯度(22.6°N)，黑線為海拔高度 1500m 之等值線。由單日累積降雨顯示，在台東縣與屏東縣交界山區於 8 月 7 日之降雨情況，不如 8 月 8 日之日累積降雨為大，

且在台東縣之降雨明顯較西半部之高雄縣和屏東縣為低。8 月 8 日在屏東縣與台東縣太麻里溪流域交界處之中央山脈有極大的累積降雨發生，約有 800mm 以上。配合 8 月 7 日(圖 4a)與 8 月 8 日(圖 4b)在 22.6°N 之每 10 分鐘雷達回波哈默圖(Hövmöller diagram)分析，顯示在 8 月 7 日主要強回波發生在中央山脈西側山區。而在 8 月 8 日太麻里溪流域所在範圍內(圖 4 中黑虛線所示範圍)，有強回波發生，此表示在 8 月 8 日時，在太麻里流域之上游山區有強降雨發生之可能。

圖 5 為莫拉克颱風侵襲期間在太麻里流域內之太麻里站和金峰站的雨量觀測結果，在颱風個案期間，太麻里站與金峰站之累積降雨分別為 299.0mm 和 904.0mm。由時雨量分析顯示，第一波強降雨發生在 8 月 8 日凌晨，另一波強降雨發生在 8 月 9 日凌晨。最大時雨量發生在金峰，高達 72mm/hr。太麻里站也有觀測到類似情況，但時雨量較金峰站觀測為低。由累積雨量分析顯示，在 8 月 8 日凌晨至 8 月 9 日 8 時之間，累積雨量增加最快。由圖 5 之測站降雨時序和圖 4b 之回波時序比較，可以發現當太麻里站與金峰站時雨量增大的發生時間與強回波發生在山脈陵線東側之時間一致，顯示颱風之對流雨帶有可能越過山脈，造成台東縣太麻里溪流域有較大雨勢發生。

更進一步分析比較 8 月 8 日雷達估計降雨(圖 6a)和降雨整合估計(圖 6b)之哈默圖，並與圖 4 比較，可以發現 8 月 8 日之雷達估計降雨沒有明顯的降雨發生，此可能是因為在該區之最低可用仰角回波之角度過高，導致雷達估計降雨偏低。而透過降雨整合估計技術所得到之降雨估計結果，顯示在靠近中央山脈陵線附近有明顯的降雨發生，且與圖 4 中強回波發生時間相近。

為瞭解太麻里溪流域之上、中游之降雨情況，因此，在流域之上、中游各選取一個雨量估計點做為估計降雨和預報降雨的分析。圖 7a 和 b 為太麻里溪流域之上游和中游之不同降雨估計的測試點時雨量分析，結果顯示在流域上游處，降雨整合估計(KRID)和 WRF 降雨預報(WRF)之降雨時序結果相近。而在流域中游處，也是同樣的情況。

表一為太麻里溪流域之不同降雨估計的累積雨量比較，結果顯示在流域上游和下游處，降雨整合估計和 WRF 預報降雨之累積雨量相近，而雷達估計降雨明顯偏少。由圖 1 之太麻里站和金峰站所在位置位於太麻里溪之下游，若將表一之結果與太麻里站和金峰站之觀測累積降雨比較，可以發現由降雨整合估計和 WRF 預報降雨所得到的上游與中游區域的雨量估計累積結果，皆比下游區域為高有數倍之多。

而由上述之估計降雨分析和災區勘災報告之比較，應可推論在莫拉克期間太麻里溪流域之上游與中游可能皆發生比流域下游為大之雨勢，因而導致太麻里溪下游發生嚴重的淹水事件，同時，也導致在流域

上游和中游有嚴重的坡地災害發生。

四、 結論

本研究希望藉由地面雨量觀測、雷達估計降雨、雷達-雨量站降雨整合估計及 WRF 模式降雨預報，對於莫拉克期間台東縣太麻里流域之降雨情況進行分析，做為坡地災害與淹水災害分析時之雨量資訊參考。而本研究主要結論歸納如下：

1. 由雷達回波與整合降雨估計之哈默圖分析，顯示在靠近台東縣的中央山脈陵線附近有明顯降雨發生，且與強回波發生時間相近；推測在該區域應有較大雨勢發生。
2. 在太麻里流域之上、中游的降雨整合估計結果和 WRF 降雨預報的降雨時序相近，且累積雨量值也相差不多，未來應可提供於實際颱風作業之降雨估計和預報參考。
3. 由降雨整合估計和 WRF 預報降雨之分析，顯示在莫拉克颱風期間太麻里流域上、中游之降雨皆可能比下游為大許多。
4. 由上述之分析和災區勘災報告之比對，應可推論在莫拉克期間太麻里流域之上游與中游的劇烈降雨導致嚴重坡地災害發生，也使得太麻里溪下游發生嚴重的淹水事件。

未來，應可依循此降雨分析方式，對於其他地區與颱風個案之災害，進行相同之降雨估計分析，以提供淹水和土石流警戒基準研究之降雨因子參考資料。

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.
7. Hong.S.-Y., and J.-O.J. Lin, 2006: The WRF Single-Moment 6-Class Microphysics scheme (WSM6). *J. of Korean Meteor. Soc.*, **42**, 129-151.
8. Hong, S.-Y., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
9. Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. *The representation of cumulus convection in numerical models*, K. A. Emanuel and D.J. Raymond, Eds., Amer. Meteor. Soc., 246pp.

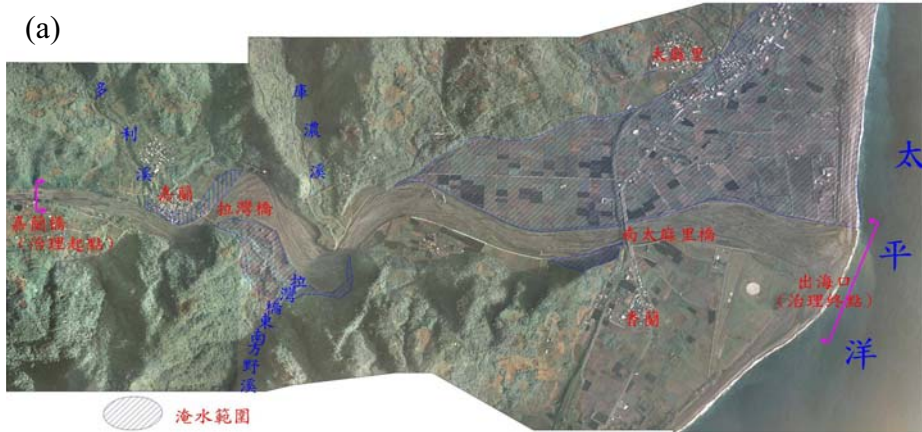


圖 1 莫拉克颱風期間台東縣太麻里河流域，(a)淹水範圍圖，(b)坡地災害分布圖。圖 b 中，黃色正方形位置為太麻里雨量站，黃色三角形所在位置為金峰雨量站，白色圓圈位置為太麻里溪中游與上游之降雨估計點位。(資料來源：NCDR 莫拉克颱風期間台東縣勘災報告書)

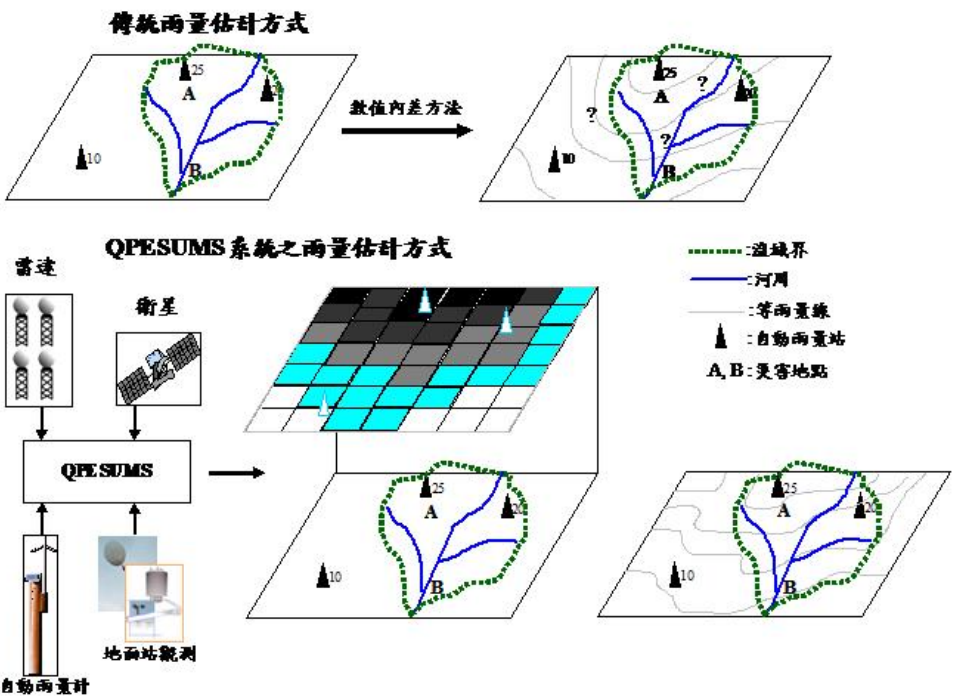
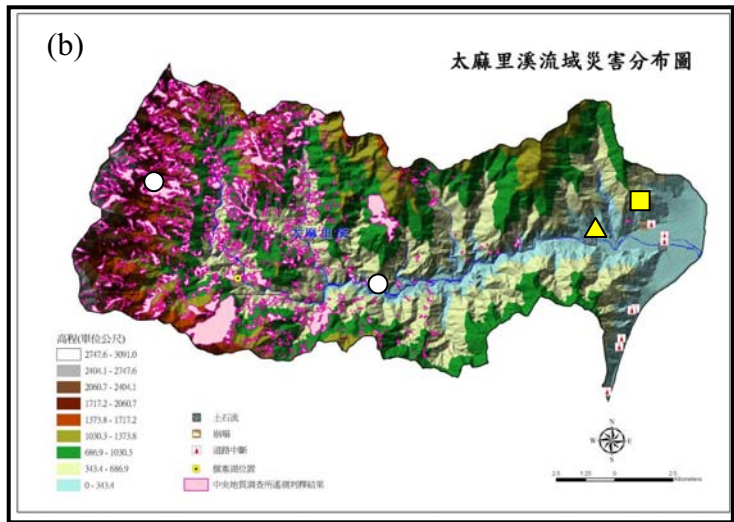


圖 2 傳統雨量估計與雷達-雨量站降雨整合估計方式比較之示意圖

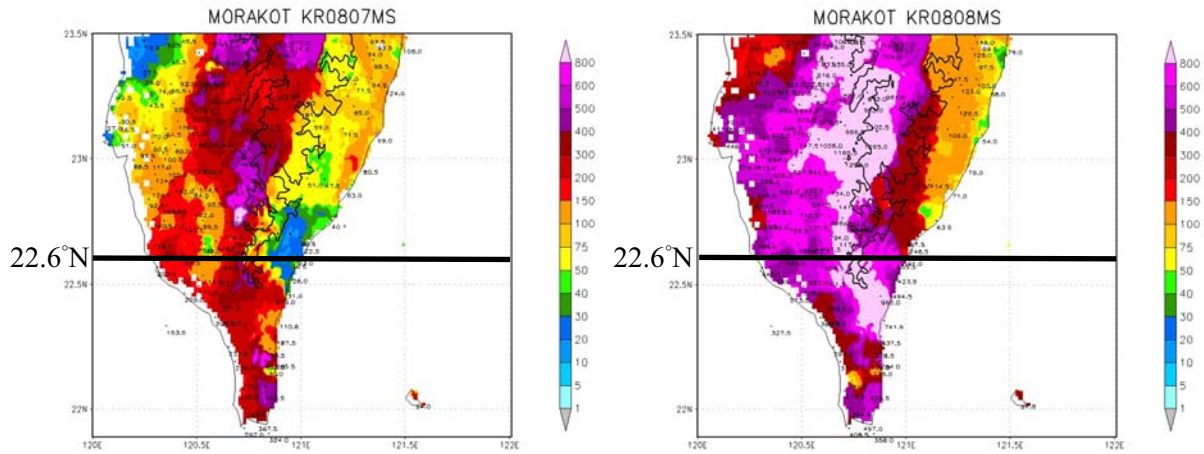


圖 3 2009 年莫拉克颱風之單日累積降雨，(a)8 月 7 日，(b)8 月 8 日。累積雨量如色標尺所示，圖中粗黑線為 22.6°N，此約為台東縣太麻里溪流域所在位置，黑線為海拔高度 1500m 等值線。

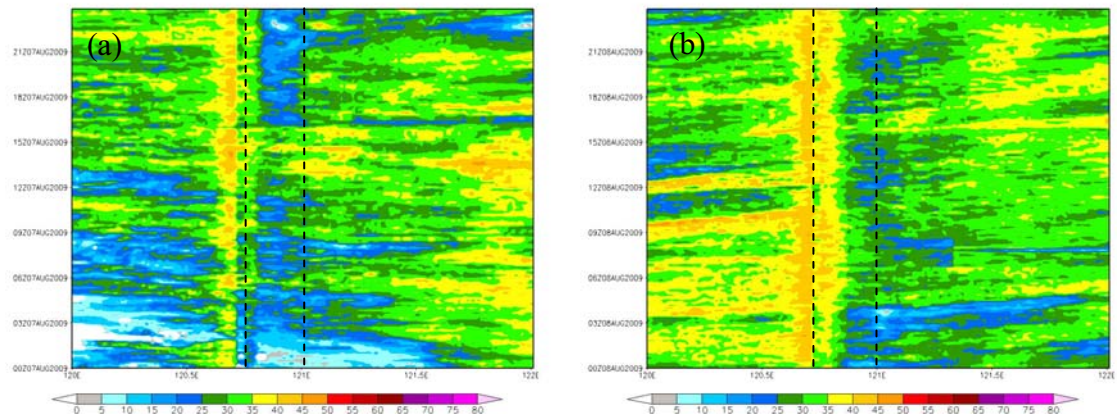


圖 4 2009 年莫拉克颱風之雷達回波哈默圖(Hövmöller diagram)，(a)8 月 7 日，(b)8 月 8 日。雷達回波強度如色標尺所示，單位 dBZ；圖中黑色虛線分別為 120.5°E 和 121.0°E，約為太麻里溪之最東與最西邊界。

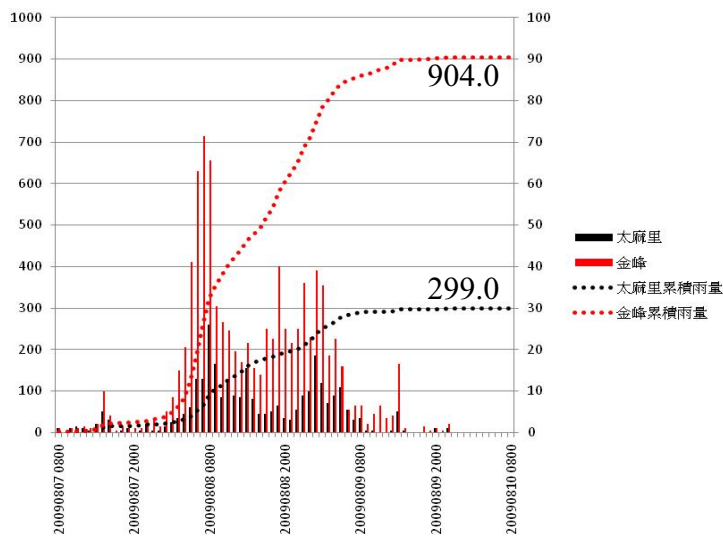


圖 5 2009 年莫拉克颱風期間台東縣太麻里溪之降雨歷線分析，圖中黑色和紅色柱狀圖分別為太麻里和金峰測站之時雨量(mm/hr)，黑色和紅色點線分別為太麻里和金峰測站之累積雨量，雨量單位 mm。在此時段內，太麻里站之累積雨量為 299.0mm，而金峰站為 904.0mm。

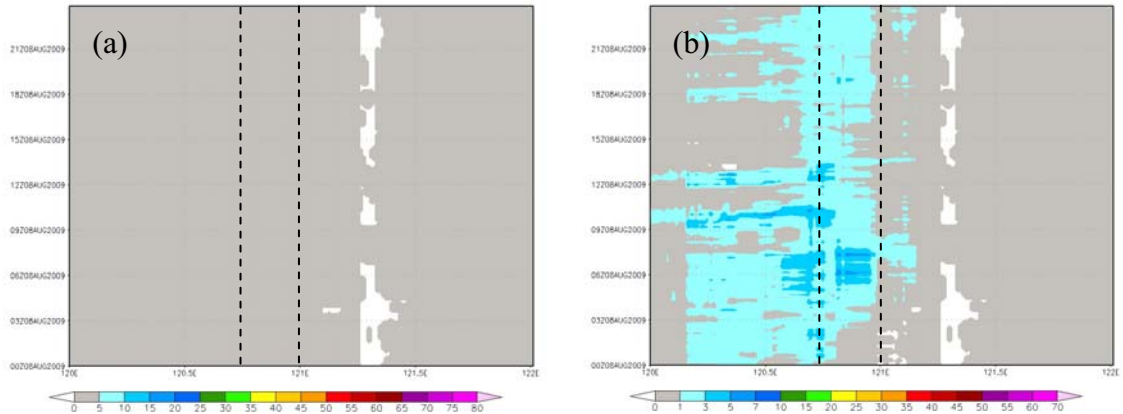


圖 6 2009 年 8 月 8 日之估計降雨哈默圖(Hövmöller diagram)，(a)雷達估計降雨，(b)降雨整合估計結果。估計降雨強度如色標尺所示，單位 mm/hr；圖中黑色虛線分別為 120.5°E 和 121.0°E，約為太麻里溪之最東與最西邊界。

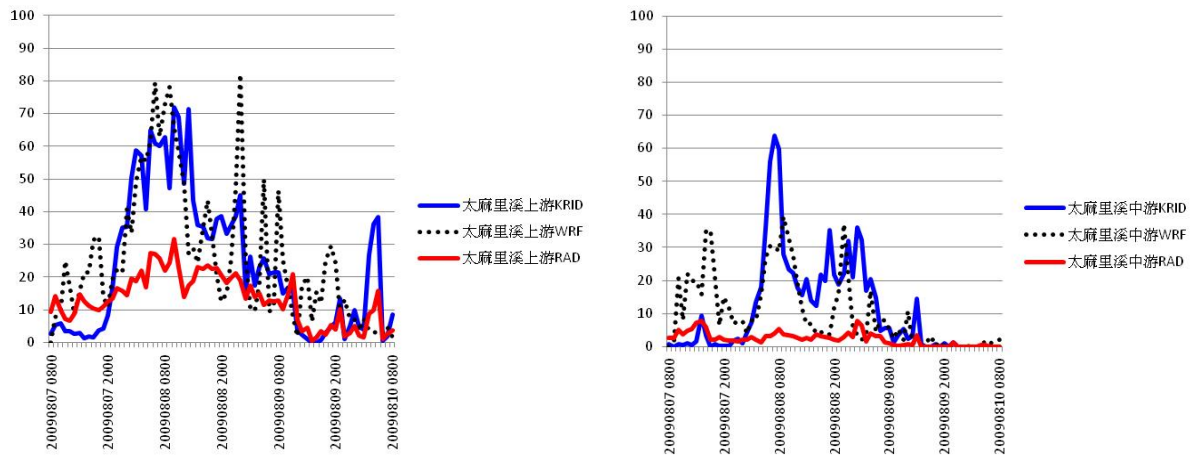


圖 7 台東縣太麻里河流域中游(120.7583°E 22.6222°N)與中游(120.8719°E 22.5769°N)於 8 月 7 日 08 時至 8 月 10 日 08 時之降雨整合估計(KRID)、WRF 模式降雨預報 (WRF)及雷達估計降雨 (RAD)的歷線分析，(a)太麻里溪上游，(b)太麻里溪中游。圖中藍色線表示降雨整合估計結果 (KRID)，黑色點線為 WRF 模式降雨預報結果(WRF)，及紅色實線為雷達估計降雨結果(RAD)。

表一 莫拉克颱風期間台東縣太麻里溪之估計累積雨量比較

(雨量累積時段為 8 月 7 日 08 時至 8 月 10 日 08 時，表中 RAD 表雷達估計降雨、KRID 表降雨整合估計結果，及 WRF 降雨預報結果；雨量單位 mm)

太麻里溪上游			太麻里溪中游		
RAD	KRID	WRF	RAD	KRID	WRF
972.4	1724.7	1884.6	166.6	799.7	746.3