

東北季風、颱風環流與台灣地形交互作用之數值模擬分析

蕭羽利 簡芳菁
國立台灣師範大學地球科學系

摘 要

近年來，台灣地區受到颱風的影響造成嚴重的災情，2009年10月上旬的中度颱風芭瑪在台灣宜蘭、花蓮等地區帶來大量降水。宜蘭地區沿蘭陽溪流域的幾個自動雨量測站都創下單日雨量紀錄，其中大同鄉的牛鬥更是降下單日超過1000 mm 以上的雨量。本研究，使用WRF(Weather Research and Forecasting)模式，模擬颱風最大降水的期間(2009100406 UTC ~ 2009100706 UTC)，以期了解此期間在台灣東北部降水的過程與機制。此模擬降嘗試加入同化觀測資料期望可以得到更佳的模擬控制組，但就本次WRF模擬加入同化資料的結果而言，並未得到相對較佳的模擬。由已取得的最佳模擬控制組來看，此颱風為一典型之共伴效應颱風，該暴風半徑雖未直接侵襲台灣本島，但其北上颱風外圍環流所引發之中尺度對流系統，首先為台灣東部區域帶來一波降水；而後與南下之東北季風在台灣東部會合，大量的輻合舉升，而引發另一波降水；此外，受到台灣地形高聳險峻影響，該輻合所產生之對流系統受到地形強化及鎖定，導致在台灣東部地區降下驚人雨量。本實驗同時利用修改WRF模擬數值做降水的敏感度測試；分別減弱了台灣地區地形高度、颱風外圍環流強度以及東北季風風速，其模擬結果將與控制組相互比較，分析討論造成此次降水的主要原因。

關鍵字：颱風降水、數值模擬、WRF

一、前言

台灣地區於夏季前後經常受颱風侵襲，中央氣象局的資料顯示從4月下旬(柯吉拉，2003年)直至12月上旬(南瑪督，2004年)都有發布颱風警報的紀錄。當颱風接近台灣並時值東北季風盛行之際，颱風之環流即可能與東北季風產生交互作用而在台灣東部、東北部降下豪雨。

二、個案分析

本研究參考李等人(2009)中所列舉的條件來選取引發共伴效應之颱風：(1)於10、11月間影響台灣且中心位置位於16至26N，118至124E；(2)台灣附近有鋒面(3)竹子湖或宜蘭測站之日總雨量達到氣象學所定義之豪雨標準(4)彭佳嶼附近有顯著的強東北風。故本實驗選取芭瑪颱風為模擬研究個案。

芭瑪颱風為2009生成於西北太平洋地區，其路徑相較於李等人(2009)所分出的兩類共伴颱風路徑中較為特殊，並非第二類颱風從台灣東部往北前進，也些略不同於第一類的從台灣南方持續往西前進。芭瑪颱風於2009100305 UTC於菲律賓東北方登陸，而後以緩慢的速度持續向西北方前進，且到了2009100418 UTC 開始出現滯留現象。直到2009100506 UTC開始轉往向東南方向前進，於

2009100612 UTC再次登陸菲律賓，整個颱風期間三次進出菲律賓。

台灣在2009100409 UTC發布陸上颱風警報，以台灣本島的自動雨量站記錄來看，最大降水期間出現在4-5日之間，且出現兩個相對較強的降水中心，從累積50 h降水情形可以看出分別出現在宜蘭以及花蓮。另外由雷達回波(未圖示))可以發現第一波的降水來自於颱風環流所產生的中尺度對流系統，其隨著颱風北移的過程中(2009100406 UTC至2009100504 UTC)，將豐沛的水氣帶至台灣東部，且該對流系統在2009100422 UTC時至台灣東北方與東北季風輻合。在第二波由颱風環流引發之降水系統往北移的同時，颱風開始向東南方向移動，使得東北季風南下，兩者在20090504 UTC時於宜蘭東方輻合，並往陸地方移入進而產生降水。整體來看，芭瑪颱風對台灣地區所造成的降水可依照颱風行徑方向分成兩部分：第一部分為颱風往東北方向前進時，在台灣東部及東北部地區因中尺度對流系統與東北季風受地形舉升所產生的降水；第二部分為芭瑪颱風改往東南方向移動時，颱風環流與東部季風輻合產生的降水系統，其中最大時雨量出現在2009100512 UTC。

三、模式設定與資料來源

本次研究採用WRF v3.1.1版本模式模擬芭瑪颱風。模擬初始時間為2009100406 UTC。WRF模式的初始場以及邊界條件資料來源為NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 的GFS資料。模擬時採用三層巢狀網格，網格點間距分別為D01 (108×105)、D02(172× 121)、D03(247 ×217)，網格點間距分別為45、15和5公里，巢狀網格覆蓋了降水期間大部分的颱風環流以及東北季風。垂直 σ 座標為31層。經過數十組的敏感度測試，微物理過程選用Goddard microphysics scheme而積雲參數法選用Grell 3d ensemble cumulus scheme於D01及D02；邊界層參數選用YSU(Yonsei University)

四、控制組模擬結果與分析

模式模擬之控制組初始位置位於菲律賓西北方，前6 h持續緩慢的往北方移動(圖1)，而後開始往東北方前進；模擬12-24 h間，控制組颱風呈現小幅度的位移，至模擬時間30 h後，颱風中心開始往東南方向前進。因為在第6 h控制組颱風已往東北方向移動，導致模擬時間6 h以降的模擬路徑與觀測相較大致呈線往東平移的現象。另外在模擬30 h後，控制組的行進速度加快，造成與觀測路徑的誤差加大，不過在文章後段討論主要降水期間模擬的部分，其路徑誤差大致上在100 km以下。

模擬結果顯示，芭瑪颱風所帶來的降水主要集中在台灣的東部迎風面地區(圖2)，尤以北部宜蘭地區為最，兩日累積雨量可達1000 mm；其次為花蓮中部地區，兩日累積雨量可達700 mm。於實際觀測相較之下，宜蘭地區模擬最大降水強度雖有接近，但相對強降水區不若觀測範圍來的大；而次強降水區則有些微高估的現象，兩強降水區域皆有著些微的誤差。至於屏東恆春半島的累積雨量則與實際觀測極為接近。

前述累積50 h之強降水中心出現在宜蘭及花蓮地區，另外從模擬控制組中每2 h降水累積圖可以發現，台灣東岸降水分布大致上可以分成兩個部分(1)降水時間2009100406 UTC至2009100510 UTC：在此模擬時間內，台灣東北角有持續降水現象；另外在台灣的東側有兩條隨時間由南往北的降水帶，分別是模擬時間0-18 h以及模擬時間18-30 h。(2)降水時間在2009100510UTC至2009100610 UTC：此模擬期間內有一持續的降水區域位於花蓮地區；另外有一條隨時間由北往南的兩帶直至模擬第52 h時從台灣南端移出。從台灣東部相對濕度變化的時間序列(圖3-a)亦可以發現這種現象，東北部地區從初始時間一直到模擬時間30 h間都屬於高濕度的區域，在第一部分的降水時間內可以明顯發現由0-18 h有一由南往北移動的現象，另外在18-30 h間有另一高濕度的

空氣往北邊移動，大約至花蓮北端於模擬34 h時與從北邊來的空氣結合，至此為第一部分。模擬30 h以降發現濕度較高的區域有稍微的往南邊移動至花蓮地區，存在於模擬時間30-52 h內；另外有一潮濕空氣於往南移動至模擬52 h移出。與輻散場(圖3-b)比較後發現高相對濕度出現在空氣輻合的地方。

就每兩小時累積雨量而言，可以發現在模擬28 h(圖4-a)與模擬34 h(圖4-c)分別有最大的累積雨量。比對(圖3-b)恰巧在此模擬時間空氣有較強輻合。針對著兩個時間點以及較強降水區域周圍施放12點空氣塊，去追蹤在引發較強降水的輻合其空氣來源。追蹤發現於模擬28 h，位於宜蘭外海的空氣一部分來自東北方，其來源為東北季風，一部分來自東南方向(圖4-b)，來源為颱風外圍環流；而花蓮外海的空氣塊全部都來自台風的外圍環流。而於模擬34 h則有著相反情形，位於宜蘭外海的空氣塊來源皆來自東北方，而在花蓮外海的空氣塊一部分來自東北方，另外一部分來自東南方向(圖4-d)。

沿東西方向且經過強降水區域切一剖面A，可以看到在模擬時間28 h，宜蘭外海並無明顯對流胞存在，當東北季風與颱風外圍環流在此處水平輻合，產生一股東風往西流去，當氣流往台灣靠近地形時，受地形舉升產生強烈對流，另地形鎖定位效應使該對流胞移動速度非常緩慢甚至不動，於是在該地區帶來大量的降水；時間積分到模擬34 h，此時剖面A附近幾乎由東北季風主導，從剖面A上與模擬28 h比較，法現此時宜蘭外海上有許多對流胞生程，並往台灣接近。此時的對流胞來自於在台灣東北風外海因暖空氣被冷空氣往西北方向抬升所產生之對流系統，接著被強勁的東北季風帶往台灣東北部。另外一條剖面B，相較於剖面A，該剖面在台灣東部外海於模擬時間28 h有許多對流胞存在並且往西移動進入台灣東部，此對流胞源自於芭瑪颱風本身的中尺度對流系統，受氣旋式結構影響，使該對流胞於台灣東部由南往北移動；至模擬時間34 h時，可見該處強降水中心外海並無明顯對流胞存在，於近岸所生成的對流系統乃因東北季風兩颱風環流輻合，並向陸地方向前進受地形舉升而成之對流胞。

五、地形敏感度測試

模擬時間28 h花蓮地區以及模擬時間34 h之宜蘭地區主要降水乃因海外氣流輻合向台灣前進，受地形影響而造成降水。經由WRF模式處理。將台灣地區地形改為控制組高度的0%、50%以及130%。

在模擬颱風路徑方面，控制組與地形高度放大為130%的路徑極為接近，0%與50%的模擬因為少了中央山脈，使得這兩組路徑較控制組偏西方，與實際觀測較接近。在討論降水的模擬時間內誤皆在100

公里內。從減低地形的部分看，50 h累積降水在50%這一組的模擬依舊可以看出兩個強降水中心，位置與控制組非常接近，但此兩區地講水強度皆少於控制組，尤其是宜蘭地區，僅剩約500 mm的雨量(圖7-c)，而使得花蓮地區成為最大雨量出現的地點。相同的情況一出現在0%這一組模擬中，少了地形的影響，台灣東北部的雨量甚至只剩下90 mm，而花蓮地區累積降雨達330 mm(圖7-d)。另外由於缺少地形的阻擋，在花蓮地降水區域有較向內陸靠近的趨勢。而在高度增加為原本的130%之模擬，因受地形阻擋颱風強度不若其他三組，但在相近的地方皆有出現強降水中心，在宜蘭地區有將近900 mm的累積雨量，而原本出現在花蓮的降水則往東移至外海(圖7-b))。此乃因地形增加，空氣受到地形舉升及鎖定的現象可以在距離更遠的地方出現。由此可以發現，位於台灣東北部地區的降水原因中，地形影響占有舉足輕重的份量，譬如說第一部分(2009100406 UTC-2009100510 UTC)中於東北部的持續性降水，以及第二部分中(2009100510 UTC-2009100610 UTC)位於花蓮得北部的持續性降水，當地形減低，此範圍內的降水量也隨之下降。而在花蓮的降水主要由位於第一份部分中颱風環流中的中尺度對流系統移入，以及第二部分中鋒面產生的對流往陸地方向移動所帶來的降水，所以即使地形改變，其降水量變化也小於東北部的變化量。

六、結論

芭瑪颱風於2009年10月3號開始影響台灣，根據模擬結果顯示，芭瑪颱風為一典型之共伴效應颱風，前期屬於李等人(2009)分類中的第一類共伴類型颱風，後期因為環近場駛流改變，導致芭瑪颱風於2009100506 UTC開始轉向往回走，再次侵襲菲律賓。在模擬期間主要降水出現在模擬0-52 h，有兩個相對較強的降水中心，其中在宜蘭有著最高雨量超過1000 mm，花蓮地區的700 mm次之。在颱風往北方移動並滯留於南南東方時，在台灣東北部有持續性的降水，起因於東北季風持續的將海面上的水氣帶往陸地，遇到地形舉升產生降水；另外一支中尺度對流系統由台灣南邊往北邊移動，受氣旋結構帶動，將大量的對流胞帶至台灣東部。其次，當颱風中心開始轉往東南方前進，此時颱風環流跟著往南退，東北季風往前推進，使得台灣東部成為空氣遇地形舉升之地點，進而降下豪雨。於模擬30-52 h時有一股對流雲系從花蓮開始往南移動至52 h移出台灣，此降水系統乃因南下之冷空氣推暖空氣前進，使暖空氣舉升而產生的對流，產生之對流胞被強勁的東北季風帶往台灣東部並往南走。在地形敏感度測試中，當地形越低時全台迎風面降水越少，尤以

台灣東北方宜蘭地區變化為最，在控制組中高達1000 mm雨量，在50%及0%的地形變化中降水量僅剩500 mm及90 mm的雨量，而花蓮地區的降水量雖減少，但在50%以及0%的地形變化模擬中雨量只下降了50 mm 以及320 mm。

可以得知，芭瑪颱風所帶來的降水在東北部主要是東北季風帶來海上的水氣，遇到台灣地形舉升而降水；位於東部花蓮地區的降雨，則主要來自颱風本身的中尺度對流系統以及暖空氣被冷空氣抬升所形成的對流胞移入至台灣本島所造成之降水，受地形影響比重較低。

七、參考文獻

Chun-Chien Wu, Kevin K. W. Cheung, Ya-Yin Lo, 2009: Numerical study of the rainfall event due to the interaction of typhoon Babs(1998) and the northeasterly monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 2049-2064

李清聖 羅英哲 張龍耀，琳恩颱風(1987)與東北季風交互作用產生強降水之研究，大氣科學，九十六年三月

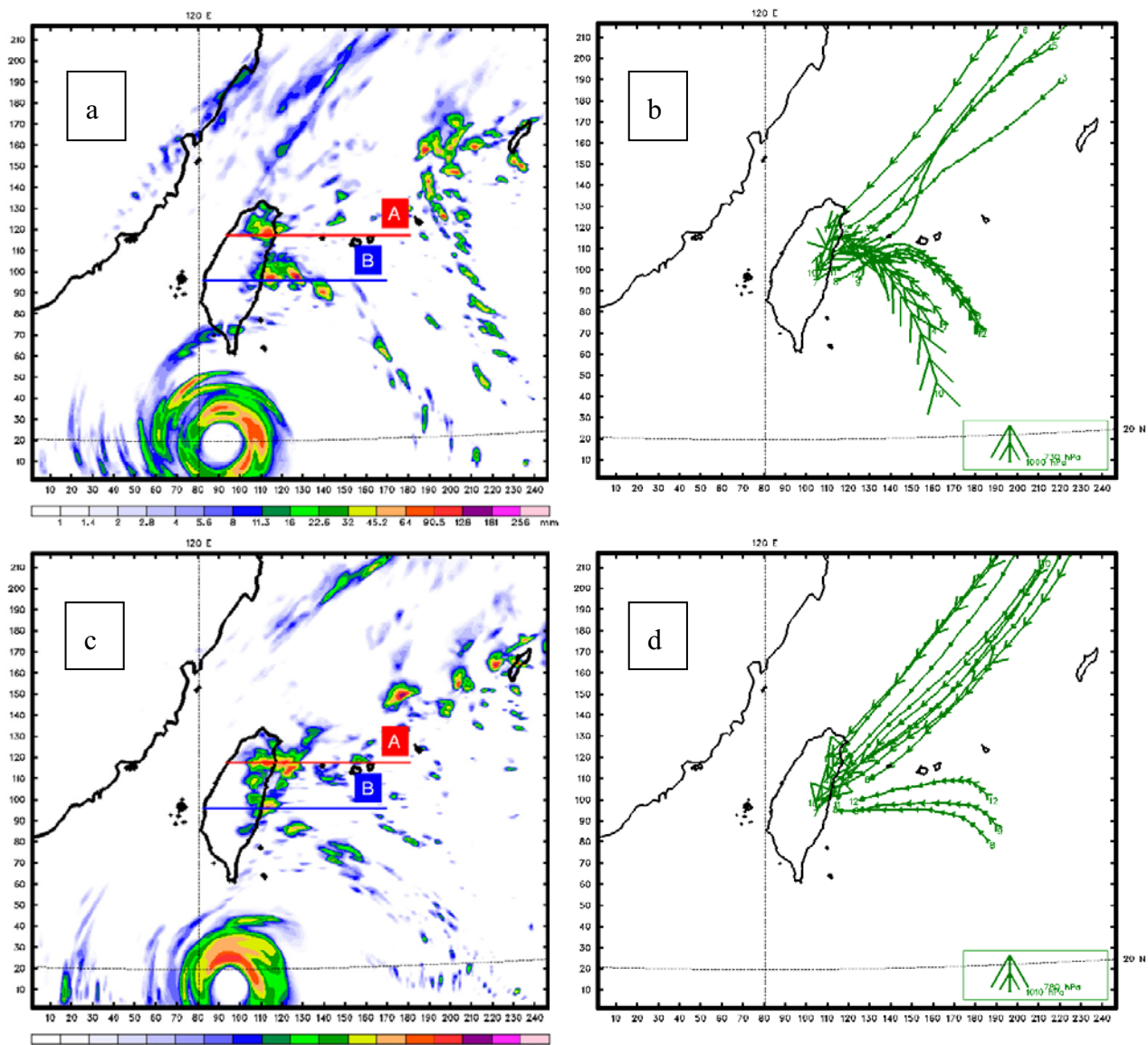


圖 4 模擬時間 (a)28 h 兩小時累積雨量。(b)28 h 氣流軌跡線。
(c)34 h 兩小時累積雨量。(d)24 h 氣流軌跡線。

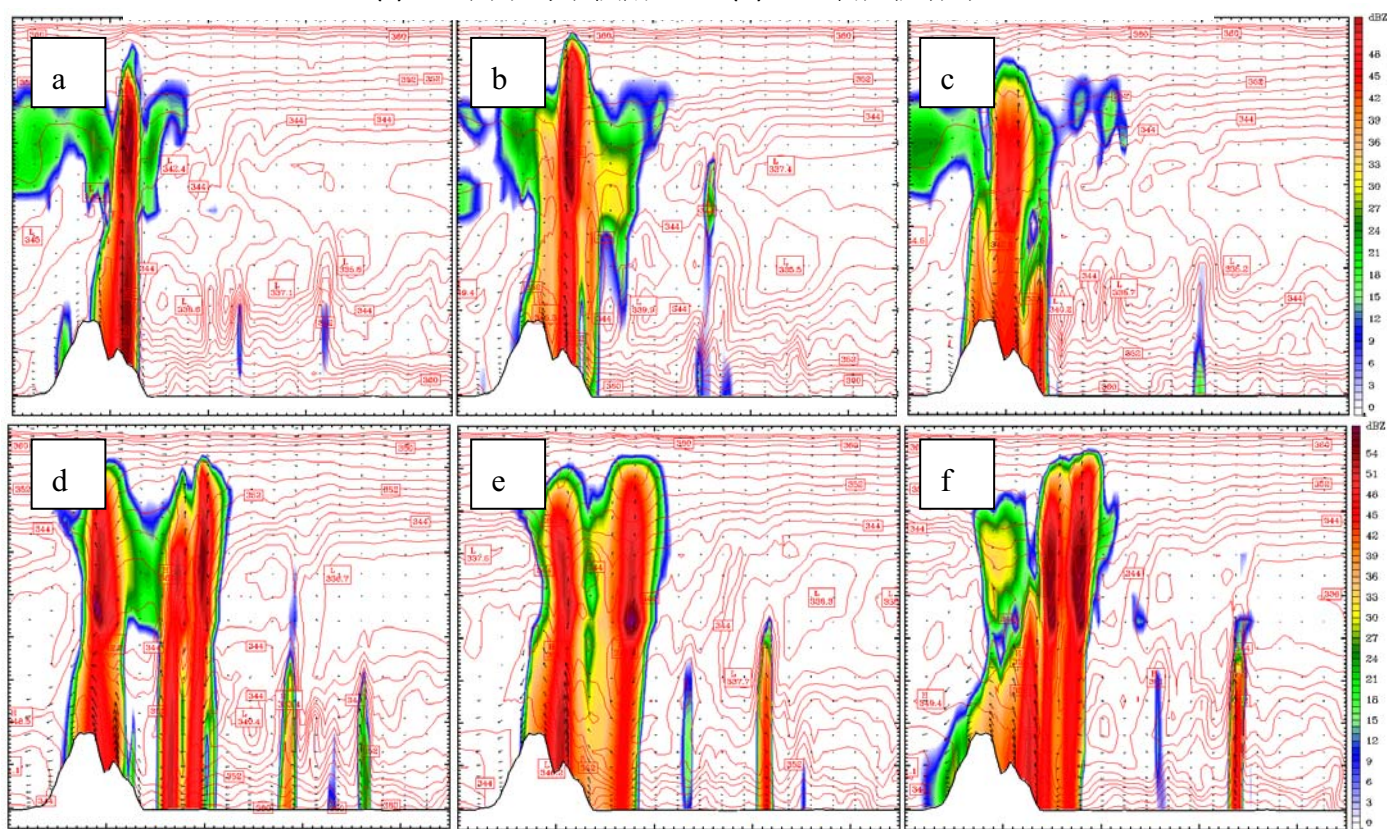


圖 5 垂直剖面 A 於 (a)28 h (b)29 h (c)30 h (d)34 h (e)35 h (f)36 h。色階為雷達回波，紅色線表是位溫，箭號表示水平風。

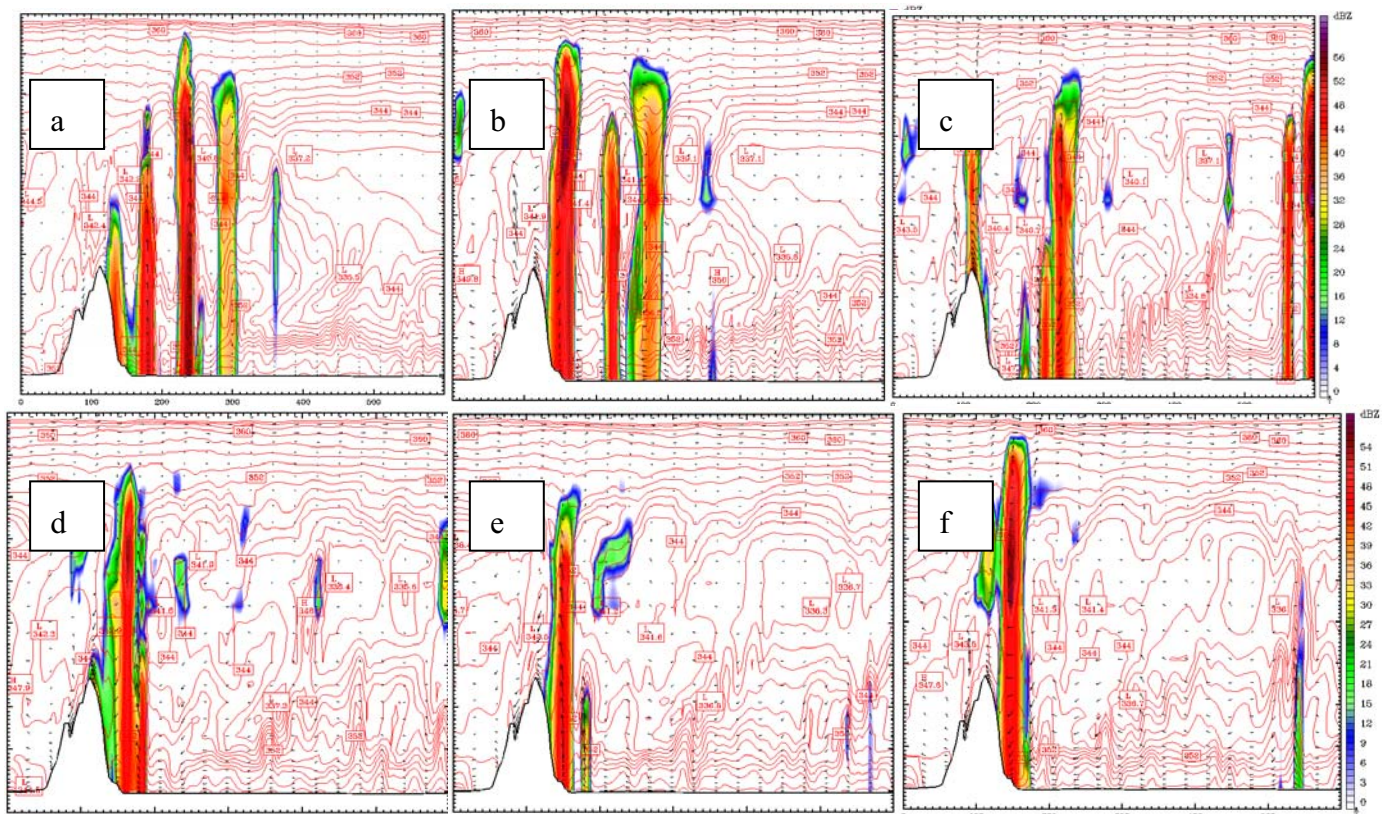


圖 6 垂直剖面 b 於 (a)28 h (b)29 h (c)30 h (d)34 h (e)35 h (f)36 h。色階為雷達回波，紅色線表是位溫，箭號表示水平風。

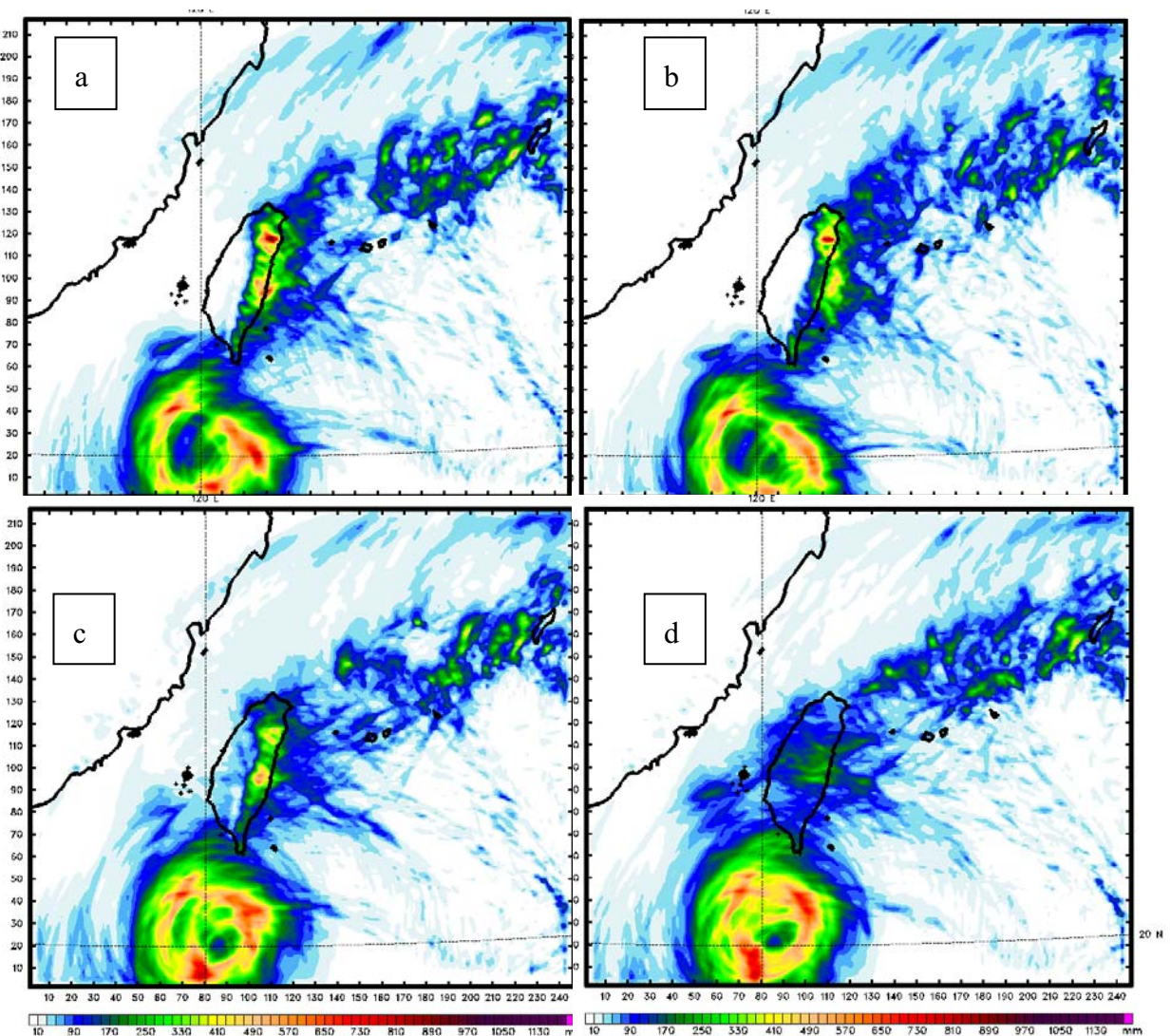


圖 7 模擬 50 h 累積降水量 (a)模擬控制組。(b)地形增高 130%。(c)地形縮小 50%。(d)地形高度為 0。色皆微降水量 mm