

卡玫基颱風(2008)之數值模擬研究

楊筑方 簡芳菁

國立台灣師範大學地球科學系

摘要

卡玫基颱風於2008年7月16至19日間影響台灣，並在登陸台灣期間於中南部地區降下豪雨，造成嚴重水災及山區土石流。觀測資料顯示，卡玫基颱風影響台灣期間所造成之降雨可分為三個時期：1)第一時期為颱風登陸前，受到颱風外圍環流的影響，主要降雨位於台灣東北及西南部迎風面地區。2)第二時期為颱風登陸期間，在颱風環流與地形效應的作用下，主要降雨位於台灣西部地區，尤其台中地區時雨量最高約近 100 mm h^{-1} 。3)第三時期為颱風離台後引進西南氣流產生之降雨，主要降雨位於台灣中南部地區。本研究使用WRF模式模擬卡玫基颱風個案，探討卡玫基颱風在短時間內造成中部地區豪雨成災之原因。由模擬結果顯示，卡玫基颱風位於台灣東部外海時，其西側對流雨帶不斷移入台灣中南部地區，此對流受到地形效應之影響，發展更為旺盛，使得降雨集中在中南部山區。隨著颱風向北北西方行進，位於台灣西南部之對流雨帶逐漸向北移動。當颱風登陸台灣後，由颱風低層較乾冷之西來氣流受地形阻擋轉為向北至東北運動，並與西北方移入之暖濕對流帶於台灣中部地區輻合，同時受到地形抬升，發展為旺盛之對流系統。由於颱風北移速度減慢，不斷自台灣海峽移入的對流雨帶與陸地上之對流胞合併，使得旺盛之對流系統在台灣中部地區滯留，造成台灣中部地區降下嚴重豪雨。此對流帶隨著卡玫基颱風向北北東方移動出海的過程中持續北移，並逐漸減弱離開台灣。

關鍵詞：卡玫基颱風、豪雨、WRF 數值模擬

一、前言

台灣地區每到了夏秋兩季常受到西北太平洋上生成颱風之影響，而侵襲台灣之颱風帶來之大量降水經常會在各個地區傳出不少災情，尤其是短時間內降下之豪雨無法宣洩，造成嚴重水災及山崩、土石流的發生。過去一些研究(Wu et al. 2002; Chiao and Lin 2003; Lee et al. 2005)指出，由於颱風環流受到台灣地形舉升，使得迎風面之垂直運動加強，產生旺盛之對流系統，並降下豪雨。另外，Lee et al. (2005)及Chien et al. (2008)研究發現，2004年敏督利颱風在離台至出海期間，其外圍環流與西南氣流輻合生成之線狀對流在台灣西南部引起豪雨。

卡玫基颱風於2008年7月15日在菲律賓東北方生成，移動緩慢而近似滯留，16日後轉往北北西方向，朝台灣東部沿海靠近，17日17時(7月17日0900 UTC)增強為中度颱風，並在當日21時40分(1340 UTC)於宜蘭南部登陸，18日7時20分(7月17日2320 UTC)於桃園附近出海，並持續向北北西移動，17時50分(0950 UTC)進入大陸福建繼續向北移動(圖1a)。卡玫基颱風侵台期間，為台灣西部地區帶來超大豪雨，造成嚴重水災及山區土石流。根據降雨之時空分布，可分為三個時期。第一時期之降雨為颱風登陸前(7月16日1200 UTC至17日1200 UTC)，受到颱風外圍環流的影響，主要降雨位於台灣東北及西南部迎風面地區(圖2a)。當卡玫基颱風持續向北北西方前進，位於台灣東部外海時，除了颱風中心附近環流對流發展旺盛外，在台灣西南方外海有一中尺度對流系統發展，並逐漸移入台灣地區，造成西南部較多的降雨(圖1b)。第二時期(7月17日1200 UTC至18日1200 UTC)降雨為卡玫基颱風登陸台灣期間，此時中尺度對流系統向北移動，並與颱風中心附近之對流雨帶於台灣中部地區合併(圖1c)，降

雨區域涵蓋台灣西部區域，以中南部山區附近累積降雨量最高(圖2b)，並造成多處地區水災。降雨之第三時期(7月18日1200 UTC至19日1200 UTC)為颱風離台並向北行進期間，此期受到颱風引進之西南氣流影響，使得台灣中南部地區產生降雨(圖2c)。由時雨量時序變化可見(圖1d)，卡玫基颱風於第一及第二時期，台灣地區之最大時雨量分布隨時間向北移動，並於17日2300 UTC在台中地區有最大時雨量 94 mm h^{-1} 。而第三時期於台灣中南部地區之時雨量皆在 20 mm h^{-1} 以下，已較前兩個時期和緩。

二、模式設定與資料來源

本研究使用WRF v3.0版模式模擬卡玫基颱風。WRF模式的初始場及邊界條件來自NCEP GFS資料，並使用WRF-Var三維變分方法對模式初始場進行資料同化，同化資料包括傳統觀測資料(綜觀測站觀測資料及地面探空資料)及中央氣象局提供之颱風虛擬渦旋資料。模式之初始時間為2008年7月16日1200 UTC，模擬72小時，模式輸出為每15分鐘一筆。模式之網格設計為三層巢狀網格；D1(180×105)、D2(100×100)及D3(103×121)，解析度分別為45、15及5公里，垂直 σ 座標為31層。經過微物理過程及積雲參數法之敏感度測試後，最佳模擬為選用Thompson graupel scheme及New Grell scheme之組合，邊界層參數去選用YSU (Yonsei University) PBL scheme。

三、模擬結果

(一)颱風路徑模擬結果

模式模擬之卡玫基颱風路徑(圖1a)顯示,於初始時間時颱風中心位於菲律賓東北方海面上,並向北北西方轉西北方移動,進入台灣東部海域。在模擬28 h時,颱風中心於花蓮北部登陸,較觀測登陸位置稍偏南,接著由西北轉向北於台灣北部上空緩慢移動,並於模擬37 h時由台灣西北部出海。卡玫基颱風離開台灣後,朝北北西行進,且移動速度減慢。當颱風中心接近大陸地區時,轉向東北方,沿著華中沿岸地區移動。模擬之卡玫基颱風路徑大致上與觀測相近,至模擬48 h之後路徑誤差較大。

(二) 颱風結構分析

由颱風中心至半徑180 km間方位角平均之結果,分析颱風結構之時序變化。在模擬0-24 h間,卡玫基颱風往西北方移動,接近台灣東岸,其低層強風速帶及中層上升速度大值區隨時間向颱風中心靠近,顯示颱風眼牆內縮,強度逐漸減弱(圖3a及b)。卡玫基颱風登陸台灣期間(模擬24-37 h),由於颱風受到地形之影響,中心結構受到破壞,各氣象場之分布受地形影響大,其中在環流半徑150 km內有明顯降雨,回波也較強(圖3c及d)。在颱風離台之後,低層水平風速及中層上升速度減弱,颱風結構明顯較尚未登陸台灣時鬆散(圖3a及b)。

颱風半徑180 km內之徑向平均結果顯示,卡玫基為一明顯不對稱之颱風。在颱風登陸台灣前,以颱風東側環流之低層風速較強,西南側之上升運動大、回波強(圖4a及b)。當卡玫基颱風向西北移動的同時,颱風西北至西南側環流逐漸接觸到台灣東部陸地,低層水氣混合比明顯減少,而北側環流低層水氣增加(圖4c)。在颱風登陸台灣期間,卡玫基颱風受台灣地形影響,環流西至西南側之氣流於中央山脈西側迎風面輻合,使得低層水平風速增加(圖4a)。同時,颱風環流之朝濕空氣受地形抬升,水氣凝結,使得位於台灣上空環流之低層水氣量低,雲混合比值高,降雨量也明顯增加(圖4c及d)。卡玫基颱風離台後,持續向北北西轉東北方移動並逐漸接近中國大陸。此期間仍以環流西南側之對流較明顯,但平均之雷達回波及降雨量有減弱的現象。而由於颱風北至東北側環流位於華中地區之上空,同樣受到地形之影響,其低層水氣混合比明顯較低,環流北側之雲混合比值較高(圖4c及d)。

(三) 颱風侵台期間降雨分析

由模擬結果顯示,卡玫基颱風在第一時期(模擬0-24 h)之累積降雨高值區位於台灣東北及西南部山區,最高值為183 mm d⁻¹(圖2d)。與觀測之降雨比較,在山區有高估,西南部平原地區有明顯低估之現象。在第二降雨時期(模擬24-48 h),卡玫基颱風登陸台灣東部(模擬28 h)後,朝西北方

移動,於台灣北部上空期間行進速度減慢。在此24小時間,全台有雨,降雨分布與觀測相近,集中在西部地區,但於中部山區較觀測高估;最高值為896 mm d⁻¹,於南部山區則有低估之現象(圖2b及c)。在第三降雨時期(48-72 h),模擬之降雨量較觀測明顯不足,僅台灣西部沿海地區有部分降雨,而中南部山區之降雨明顯低估(圖2c及f)。

卡玫基颱風之三個降雨時期中,以第二時期之累積降雨量最高,其中在模擬34-35 h(7月17日2200-2300 UTC)間,台灣中部山區之時雨量高達185 mm h⁻¹。卡玫基颱風登陸台灣後,不斷有其環流之對流雨帶移入台灣西部地區,並於陸地上發展、增強。在模擬34 h時,於中部地區上空有一線狀回波形成,並在此對流帶附近投擲12個氣塊點,以了解氣塊之來源及去向。由氣塊軌跡線(圖5)顯示,此線狀對流系統由不同來源之氣流所輻合,其一為來自台灣東部外海低層大氣,由颱風環流引入之西北氣流(軌跡1-3),並帶入海峽上空低層潮濕水氣,另一為來自海峽南部低層大氣之西來氣流(軌跡4-12),但部分氣流受到中央山脈阻擋,轉為向北至東北運動(軌跡9-12),此輻合之氣流過山後,朝東北方運動。由剖面C(圖6a)可見,來自低層較乾冷之南風分量與較暖濕之北風分量於台灣中部地區輻合,提供對流得以發展之動力機制。由剖面D(圖6b)所示,除了位於110 km由南北風輻合發展之對流胞外,而位於迎風面地形附近(~150 km)之強西南風,受到中央山脈抬升,使得山區附近之對流持續發展中。當受對流舉升之氣流過山後,被引入颱風中高層(700-300 hPa)東南側環流中,而部分過山氣流於中央山脈背風側下沉。

圖7顯示,第二降雨時期剖面C不同氣象場之時序變化。由最大雷達回波(圖7a)可見,不斷有對流雨帶自海峽上空向東南方移入台灣西部地區,在颱風登陸之後,位於台灣中南部地區(~180 km)附近之強對流逐漸向北移動,並於模擬33-36 h在台灣中部地區(~220 km)滯留之後,再繼續向北移動並減弱。而時雨量高值區域與強對流位置及移動方向一致,強降雨帶同樣於台灣中部地區滯留(圖7b)。圖7c及d顯示,颱風登陸後,水氣混合比較低之南風分量於中南部近山區處(~180 km)生成,且持續增強,並與颱風西北側環流帶來較朝濕之北風分量於台灣中部地區輻合後,此處之水氣混合比增加,提供了對流發展所需之水氣。對流系統於中部地區滯留一段時間後,低層強風帶伴隨著輻合帶逐漸向北移動,同時對流系統逐漸減弱離開台灣,使得台灣西部地區降雨趨於緩和。

四、結論

卡玫基颱風於2008年7月16至19日間影響台灣,模擬結果顯示,卡玫基為一水氣及風速分布不對稱之颱風。在模擬72小時期間,位於颱風西南側環流之對流發展明顯較旺盛。而在颱風中心登陸台灣前,其強度有減弱之現象,並在東側

環流有較強之低層水平風速，北側環流有較豐富之水氣。同時，在此第一降雨時期，受到颱風環流影響，使得降雨出現在台灣東北及西南部迎風面地區，但降雨量於台灣西南部平原地區低估，而在山區附近有高估之現象。在第二降雨時期，台灣中央山脈之地形效應對流發展上扮演了重要角色。當卡玫基颱風環流接觸台灣地帶時，潮濕空氣受地形舉升，使得水氣凝結成雲，對流發展旺盛。颱風登陸之後，來自颱風低層乾冷之西來氣流受地形阻擋轉為向北至東北運動，並與由北方移入之暖濕對流帶於台灣中部地區輻合。輻合之氣流受到地形抬升，同時與不斷自海峽移入之對流雨帶於陸地上合併，使得對流系統發展更為旺盛。另外，卡玫基颱風於台灣北部上空移動速度變慢，造成對流系統於中部地區滯留，也是豪雨成災原因之一。第三時期之降雨由颱風引進西南氣流所造成，較第二時期明顯趨緩，而模式模擬之西南氣流偏弱，使得降雨量較觀測明顯不足。

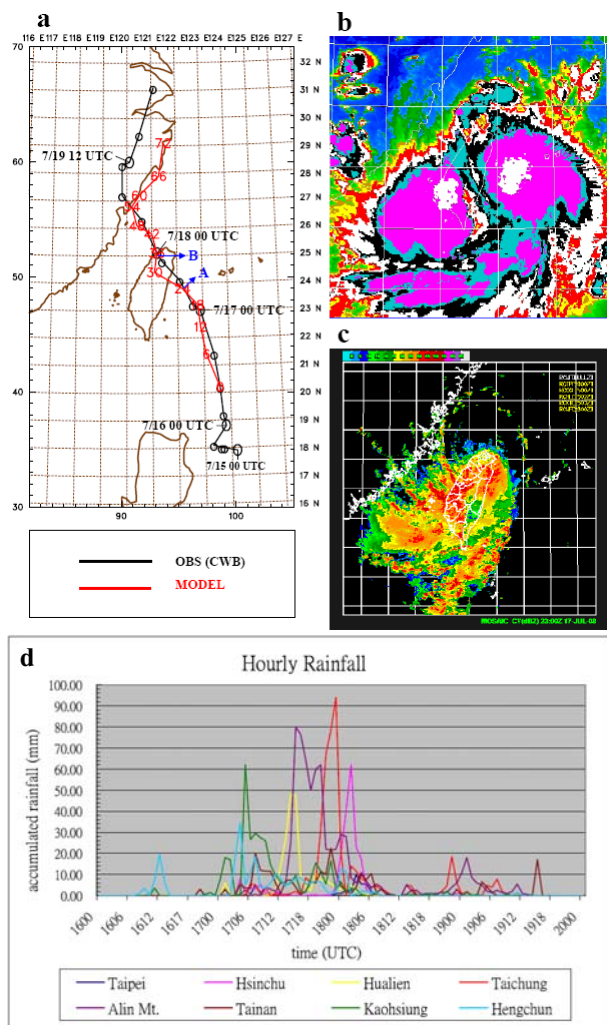


圖1 (a)卡玫基颱風觀測及模擬路徑。(b)2008年7月17日1000 UTC之色調強化衛星雲圖，此時颱風中心位於圖1a A點。(c)2008年7月17日2300 UTC之雷達回波圖，此時颱風中心位於圖1a B點。(d)2008年7月16日0000 UTC至20日0000 UTC各測站之時雨量變化。

五、參考文獻

Chiao, S., and Y.-L. Lin, 2003: Numerical modeling of an orographically enhanced precipitation event associated with Tropical Storm Rachel over Taiwan. *Wea. Forecasting*, **18**, 325-344.

Chien, F.-C., Y.-C. Liu, and C.-S. Lee, 2008: Heavy rainfall and southwesterly flow after the leaving of Typhoon Mindulle (2004) from Taiwan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **86**, 17-41.

Lee, C.-S., L.-Y. Lin, K. K.-W. Cheung, Y.-M. Chen, and H.-C. Kuo, 2005: A study on the heavy rainfall event in Taiwan associated with Typhoon Mindulle (2004) and the accompanied southwesterly flow, *天氣分析預報研討會論文彙編94*, 222-227.

Wu, C.-C., T.-H. Yen, Y.-H. Kuo, and W. Wang, 2002: Rainfall simulation associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The topographic effect. *Wea. Forecasting*, **17**, 1001-1015

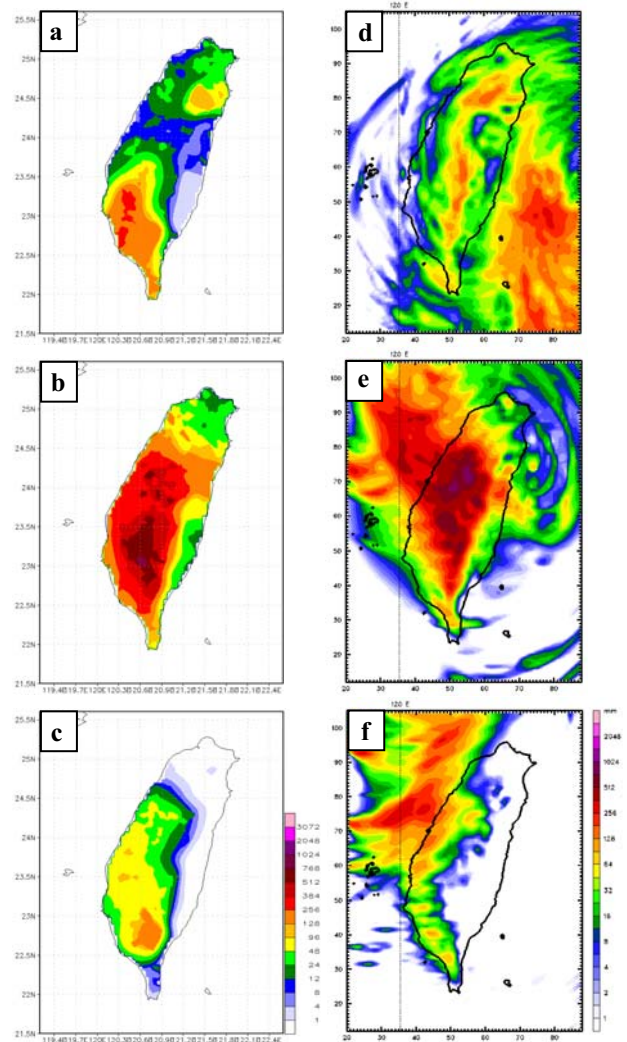


圖2 自動雨量站之24小時累積降雨(mm)。(a)2008年7月16日1200 UTC至17日1200 UTC。(b)2008年7月17日1200 UTC至18日1200 UTC。(c)2008年7月18日1200 UTC至19日1200 UTC。模式第三層網格模擬之24小時累積降雨

(mm)。(d)模擬 0-24 h。(e)模擬 24-48 h。(f)模擬 48-72 h。

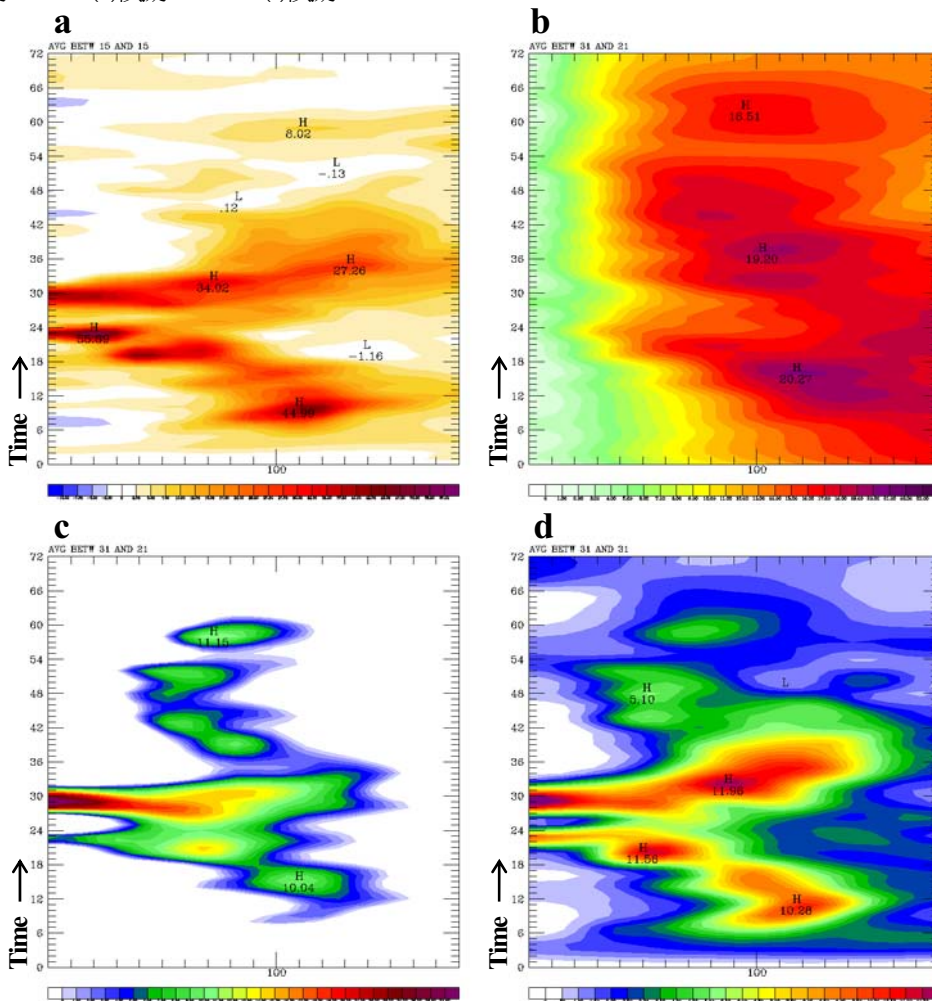


圖3 模擬之颱風中心至半徑 180 km 方位角平均時序變化圖。分別為(a) 500 hPa 垂直速度(cm s^{-1})、地面至 700 hPa 平均之(b)水平風速(m s^{-1})、(c)雷達回波(dBZ)及(d) 1 小時累積降雨(mm)。橫軸為颱風中心至外圍半徑之距離(km)，縱軸為模擬時間(0-72 h)。

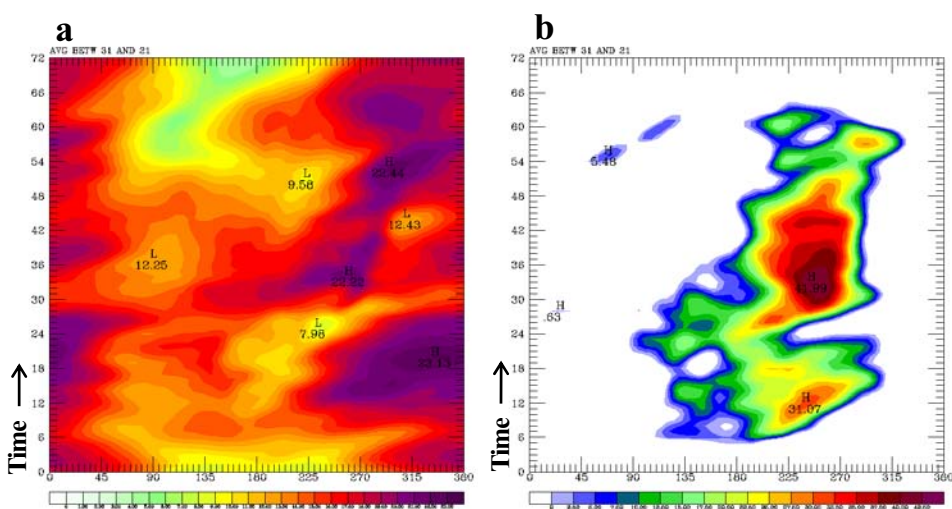


圖4 模擬之颱風中心至半徑 180 km 徑向平均時序變化圖。分別為地面至 700 hPa 平均之(a)水平風速(m s^{-1})、(b)雷達回波(dBZ)、(c)水氣混合比(g kg^{-1})及(d)雲混合比(g kg^{-1})。橫軸為方位角度數(東側為 0° 及 360° ，北側為 90° ，西側為 180° ，南側為 270°)，縱軸為模擬時間(0-72 h)。

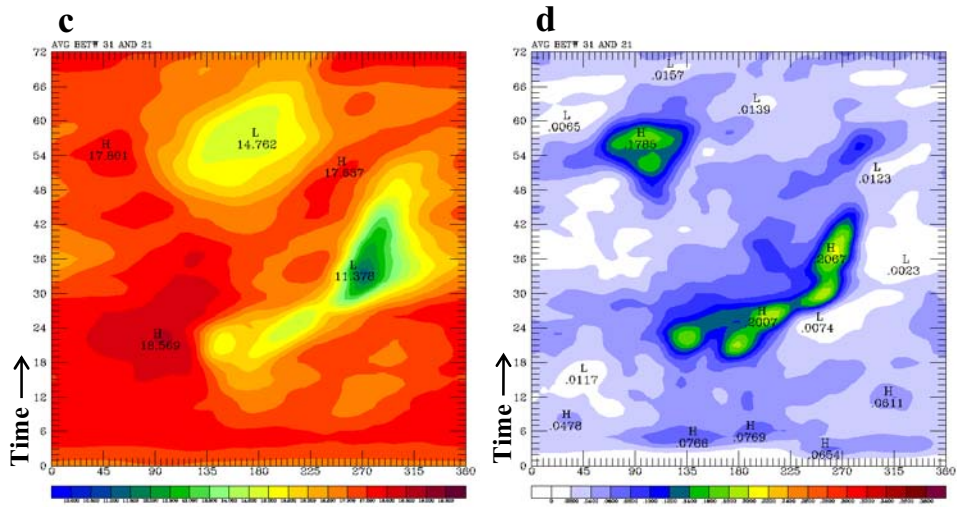


圖 4 (續)

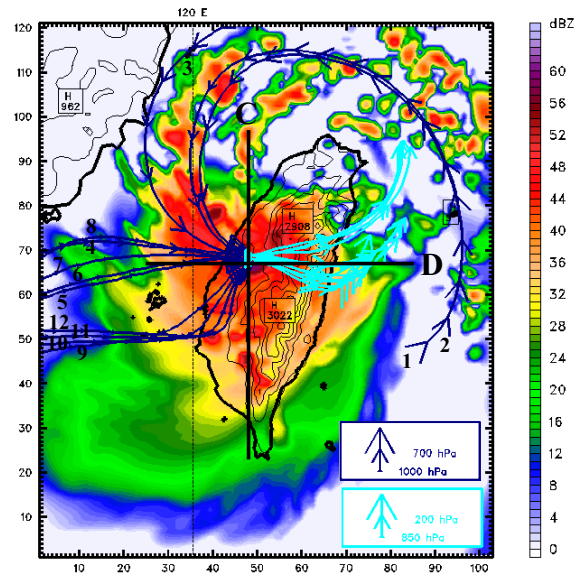


圖 5 模擬 34 h 之最大雷達回波(色階, 單位為 dBZ)、地形高度(細黑實線, 間距為 500 m)及投擲於 700 至 850 hPa 間之軌跡線(粗實線)。深藍線為由模擬 34 h 後推至 24 h, 淺藍線為由模擬 34 h 前推至 37 h, 間距為 1 小時, 箭頭大小表示氣塊所在高度(hPa)。

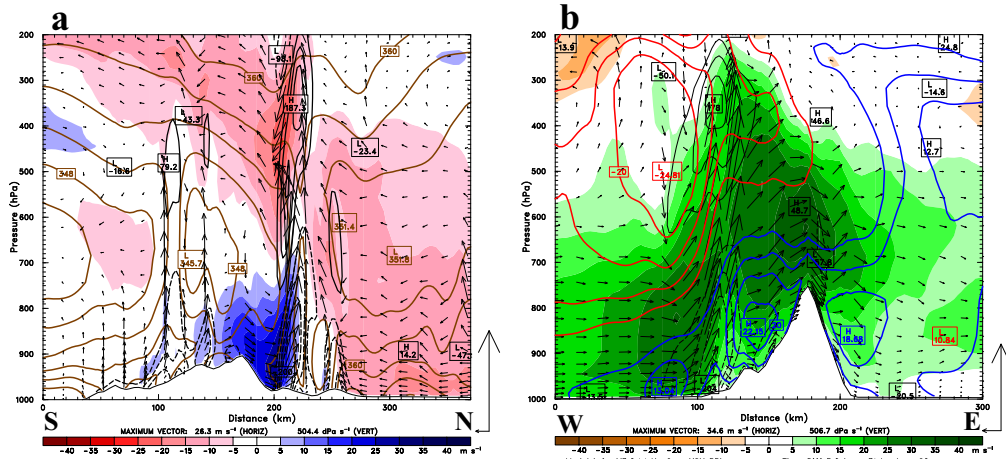


圖 6 (a)圖 5 中剖面 C 於模擬 34 h 時，色階為平行剖面之風($m s^{-1}$)，棕實線為相當位溫 θ_e (間距為 3 K)，黑色等值線為輻散場(間距為 $50 \times 10^{-5} s^{-1}$)，正值為實線，負值為虛線，箭頭為剖面上環流之方向。(b)圖 5 中剖面 D 於模擬 34 h 時，粗實線為垂直剖面之風($m s^{-1}$)，紅色為北風，藍色為南風。色階、黑色等值線及箭頭表示同圖 6a。橫軸為距離(km)，縱軸為高度(hPa)。

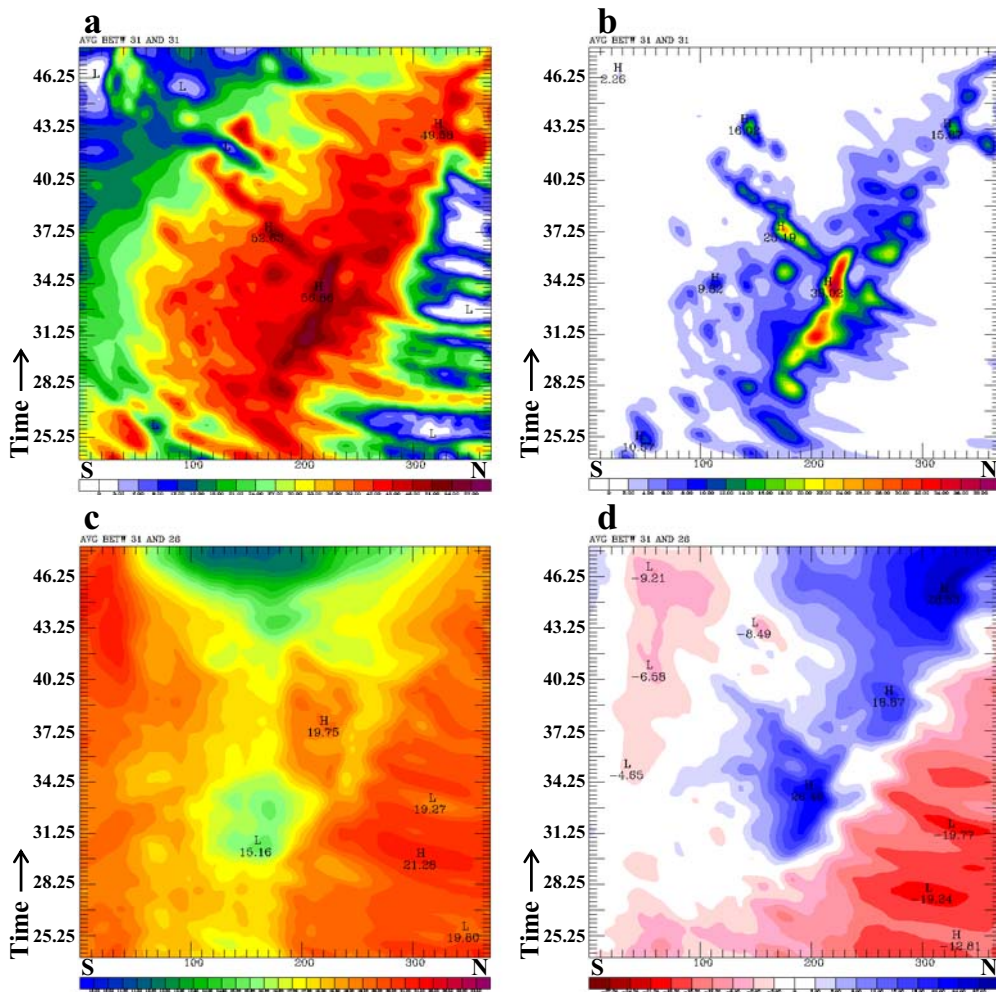


圖 7 圖 5 中剖面 C 之時序變化圖。分別為(a)最大雷達回波(dBZ)、(b) 15 分鐘累積降雨(mm)、地面至 850 hPa 平均之(c)水氣混合比($g kg^{-1}$)及(d)平行剖面之風($m s^{-1}$)。橫軸為距離(km)，縱軸為模擬時間(24-48 h)。