

莫拉克颱風綜觀環境以及降雨特徵分析

周仲島^{1,2} 于宜強² 鳳雷^{2,3} 陳永明² 李清勝^{1,3} 鄭明典⁴

¹ 國立台灣大學大氣科學系

² 國家災害防救科技中心

³ 台灣颱風洪水研究中心

⁴ 中央氣象局氣象預報中心

(中華民國九十九年五月十四日收稿；中華民國九十九年六月二十九日定稿)

摘 要

本文針對莫拉克颱風綜觀環境特徵與降雨特性進行綜合分析整理。分析內容包括高空環流特性、低層水氣通量、季風指數、季內振盪、降雨時空分布及衛星雷達觀測特徵等。初步分析結果顯示，莫拉克颱風降雨結構呈現明顯非對稱特徵，在颱風侵台期間，南方外圍環流持續出現多條對流旺盛之雨帶，雨帶受地形舉升而出現超大豪雨，由於颱風移速特別緩慢，造成台灣南部山區之超大豪雨持續三天。綜觀分析顯示，此持續且對流旺盛之雨帶的形成，可歸因於颱風外圍環流與夏季西南季風交互作用的結果。利用七股雷達都卜勒風場反演水平風垂直分布結果顯示，南部山區發生超大豪雨的時期，和雷達反演之三公里高度旺盛西風有非常高的相關性。

關鍵字：綜觀環境、西南季風、莫拉克颱風(0908)非對稱結構、移速緩慢、長生命期對流雨帶、超大豪雨和強西風

一、前言

2009年8月4日凌晨02時(地方時)在台灣恆春鵝鑾鼻東方1500公里海面生成編號8號的颱風，命名為莫拉克(MORAKOT)。圖1為莫拉克颱風路徑圖。圖中顯示颱風形成後先以時速20公里的速度向西北偏西的方向移動，中央氣象局分別於5日20時與6日08時發佈海上颱風警報和海上陸上颱風警報。警報期間颱風最大強度為中度颱風，七級風暴風半徑達250公里、十級風暴風半徑為100公里。當莫拉克颱風接近台灣本島時(7日)，行進速度明顯減慢，移動速度由20 km/hr 減為10 km/hr。颱風中心於7日23時50分在花蓮市附近登陸，登陸後其速度更加緩慢(颱風移速呈現近似滯留小於5 km/hr)，移動方向有偏北趨勢。8日11時颱風強度已減弱為輕度颱風，於14時左右在桃園附近出海，持續向北北西移動，速度緩慢，此時台灣整個都籠罩在颱風的影響下。台灣本島一直到9日19時後才脫離颱風七級風暴風圈之影響，中央氣象局於10日05

時才解除海上陸上颱風警報。莫拉克颱風從七級風暴風圈影響台灣陸地到暴風圈脫離台灣本島共歷時64小時，陸上警報的發布至解除長達93小時。

莫拉克颱風影響台灣五天期間(8/6~8/10)，整場颱風總累積雨量的主要中心集中在嘉義與高屏山區。莫拉克期間觀測最高降雨量記錄是位於阿里山奮起湖站(氣象局站)總累積雨量高達3060mm；高屏山區的御油山(高雄縣桃源鄉)總累積雨量亦高達2823mm，尾寮山(屏東縣三地門鄉)總累積雨量也高達2910mm。莫拉克颱風所帶來超大豪雨造成大規模的災害發生，豪雨的規模遠超過防洪設計，大量洪水造成多處防洪設施發生破堤、堤防受損與溢堤等事件，導致南部地區145個鄉鎮市淹水。山區也因為超大豪雨導致大面積坡地坍塌、土石流等共計有1690個災害點位。全台受災縣市包括台中縣市、彰化縣、南投縣、雲林縣、嘉義縣市、台南縣市、高雄縣、屏東縣及台東縣等受災。全台死亡人數620

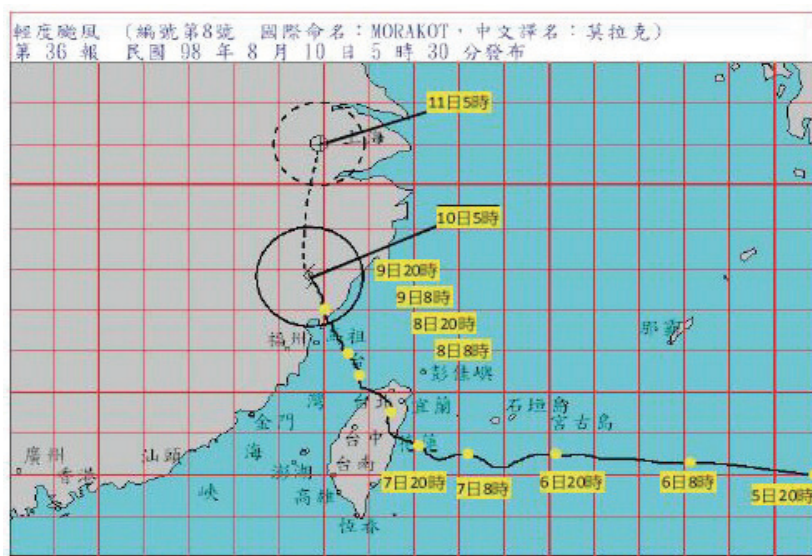


圖1 莫拉克颱風路徑圖，2009年8月5日20時至8月10日5時。(取自中央氣象局，時間為地方時)

人，失蹤 80 人。農林漁牧經濟損失高達 165 億元。莫拉克颱風降雨的規模是前所未有，為瞭解造成本次颱風極端降雨的特性，本報告針對莫拉克颱風發生的大尺度環境和中尺度特性進行初步整理分析，並簡要討論發生超大豪雨的可能原因。

二、莫拉克颱風環境特徵

(一) 綜觀天氣特徵

莫拉克颱風侵襲台灣以前，台灣附近的西北太平洋上是由一個大低壓帶所籠罩，低壓帶內有二個颱風存在，一個是位於南海海南島附近的柯尼颱風，另一個是正在接近台灣的莫拉克颱風。

而在更東方海面，有一個正在發展中的熱帶低壓擾動（後來發展成艾陶颱風，影響日本）。整體而言，整個低壓帶緩慢向西移動，太平洋高壓位於低壓帶東北方亦緩慢向西延伸。位於低壓帶北方的高壓脊西伸至中國大陸華北的陸地，高壓南緣的東風為莫拉克颱風的主要駛流場，導引颱風向西行進。低壓帶南緣的強西南風，從印度孟加拉灣帶進豐沛的水氣，提供低壓帶活躍的對流活動。

圖 2 為莫拉克颱風侵台前後 850hPa 氣流場和水氣通量場的變化。8 月 6 日莫拉克颱風受太平洋高壓導引穩定向西移動，在南海的柯尼颱風一度登陸中國大陸廣東地區，並減弱為熱帶低壓。

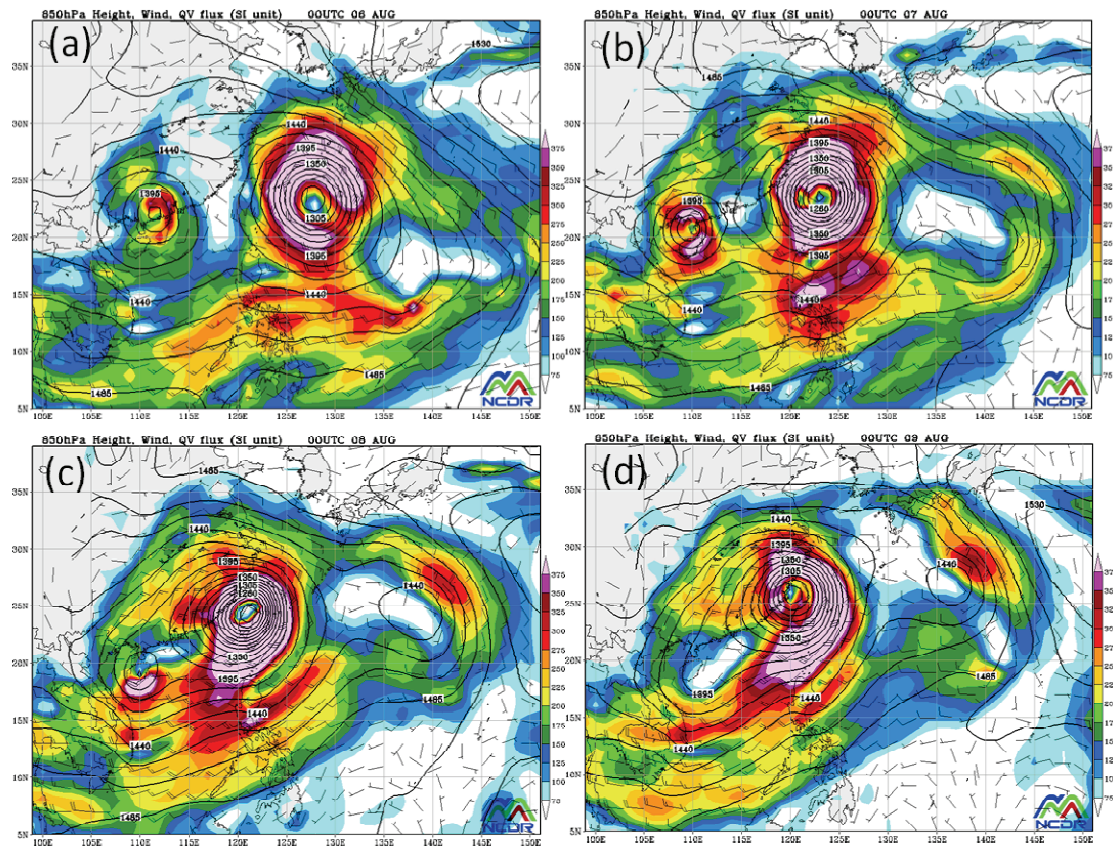


圖 2 莫拉克颱風期間 850hPa 環境流場分析圖，等值線為高度場、風標為水平風向風速、彩色部分為水氣通量場。
(a) 2009/08/06 0000UTC，(b) 08/07 0000UTC，(c) 08/08 0000UTC，(d) 08/09 0000UTC。

之後柯尼颱風並未直接深入中國大陸，反而回轉向南再進入南海，繞至海南島南端往東，形成一個逆鐘向打轉的軌跡。柯尼颱風在南海怪異的路徑，以及對於低壓帶南側西南風長時間維持和此一地區水氣的持續輸送所扮演的角色，值得進一步分析予以釐清（圖 2c）。莫拉克颱風整體的降雨型態呈現明顯的北輕南重特徵（見圖 9），而由圖 2b 可以發現，莫拉克颱風南側盛行的西南季風在莫拉克接近台灣陸地時，與莫拉克產生緊密互動，強化了整體的水氣輸送。這個結果顯示颱風環流和季風環流兩者交互作用，可能導致颱風的自我強化以及非對稱的極端降雨。

莫拉克颱風影響期間中高對流層（500hPa 如

圖 3；200hPa 如圖 4）大氣環流場的特徵相當有趣。500hPa 的高度場變化特徵和 850hPa 的高度場風場相當一致。太平洋高壓脊先西伸再東退特徵清楚，高壓南側東風駛流導引作用在初期相當明顯。500hPa 相對渦度場的變化似乎顯似在 8 月 7-8 日之間南海的柯尼颱風和台灣北部的莫拉克颱風之間有雙颱風互旋-藤原效應的發生(Yang et al. 2008)。由於莫拉克颱風影響在台灣造成極端的累積雨量，此一結果和莫拉克颱風極度緩慢的移動速度有關。造成莫拉克颱風宜速緩慢的原因現階段並不清楚，尤其是柯尼颱風和莫拉克颱風兩者之間的互動這個課題就顯得特別重要，需要進一步釐清。

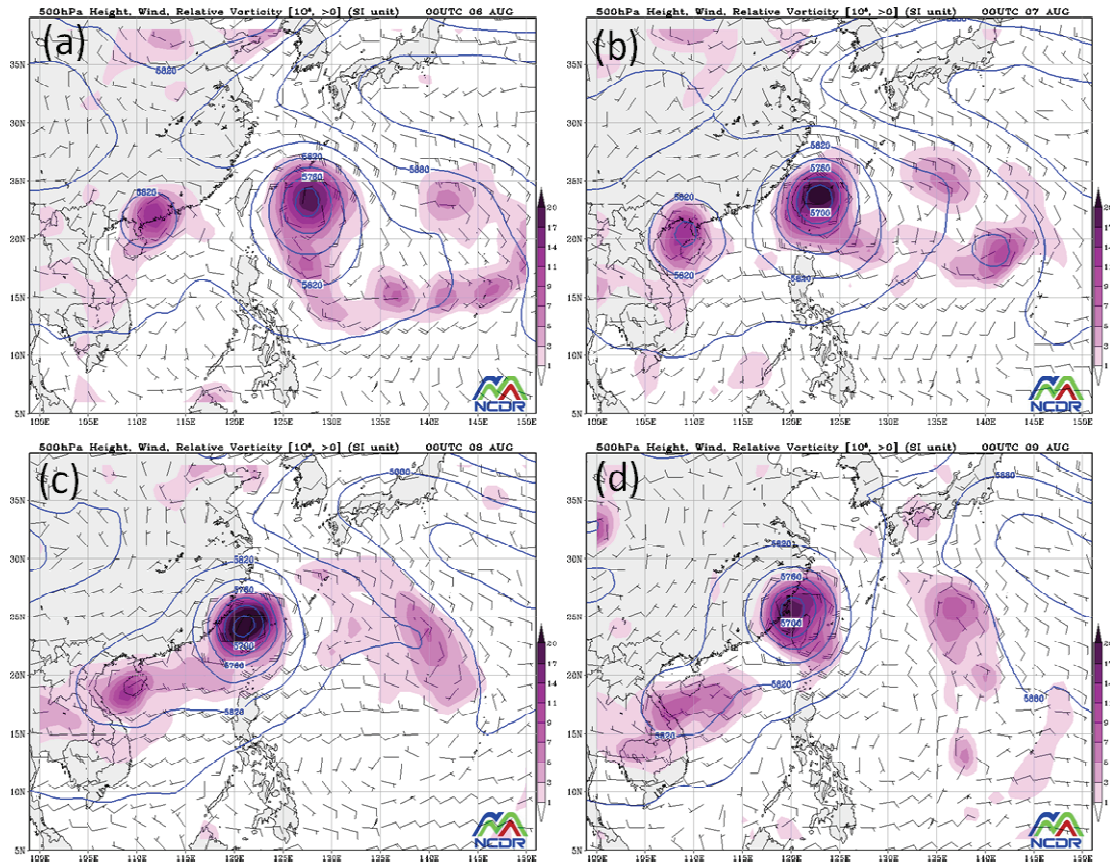


圖 3 莫拉克颱風期間 500hPa 環流場分析圖，等值線為高度場、風標為水平風向風速、彩色部分為相對渦度場。(a) 2009/08/06 0000UTC，(b) 2009/08/07 0000UTC，(c) 2009/08/08 0000UTC，(d) 2009/08/09 0000UTC。

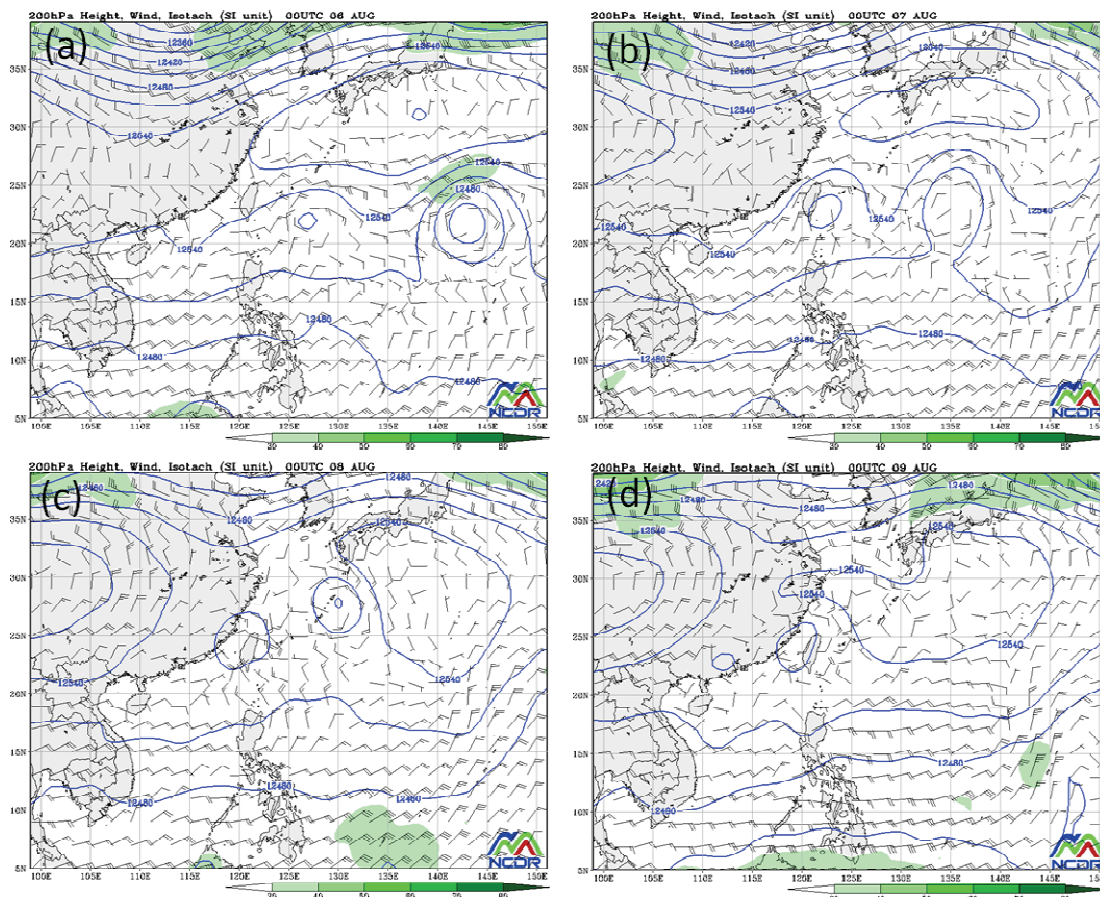


圖 4 莫拉克颱風期間 200hPa 環流場分析圖，等值線為高度場、風標為水平風向風速、彩色部分為等風速區。
 (a) 2009/08/06 0000UTC，(b) 2009/08/07 0000UTC，(c) 2009/08/08 0000UTC，(d) 2009/08/09 0000UTC。

200hPa 的高度場除了顯著的太平洋高壓系統外（圖 4），比較明顯的是在莫拉克颱風東側約 1000 公里處有一個顯著的冷心低壓緊跟著莫拉克颱風西行。在此低壓的東南側後來生成艾陶颱風。8 日 200hPa 高層北方低壓槽線東移，導致高壓脊明顯減弱，莫拉克颱風東側的冷心低壓受此槽線導引逐漸向北移動。9 日高層低壓槽線已東移至韓國渤海一帶，颱風北方高壓勢力明顯減弱，造成莫拉克颱風與整個季風大低壓帶逐漸北移。

(二) 西北太平洋夏季季風

使用 Wang and Fan (1999) 所建議的西北太平洋季風指數計算結果顯示，相較於往年西北太平洋季風強度，2009 年夏季季風強度並無明顯增強情形。分析低層水汽通量的變化，卻清楚發現 2009 年莫拉克颱風生成期間（7 月 25 日～8 月 9 日），南海地區低層水汽通量強度是近年來最強的一年（圖 5）。造成這個超強水汽通量的原因並不清楚，是否和季內振盪有關需要進一步研究。

澳洲氣象局(BMRC) 針對季內振盪 MJO 所進行之監測，莫拉克颱風侵襲台灣期間，MJO 呈

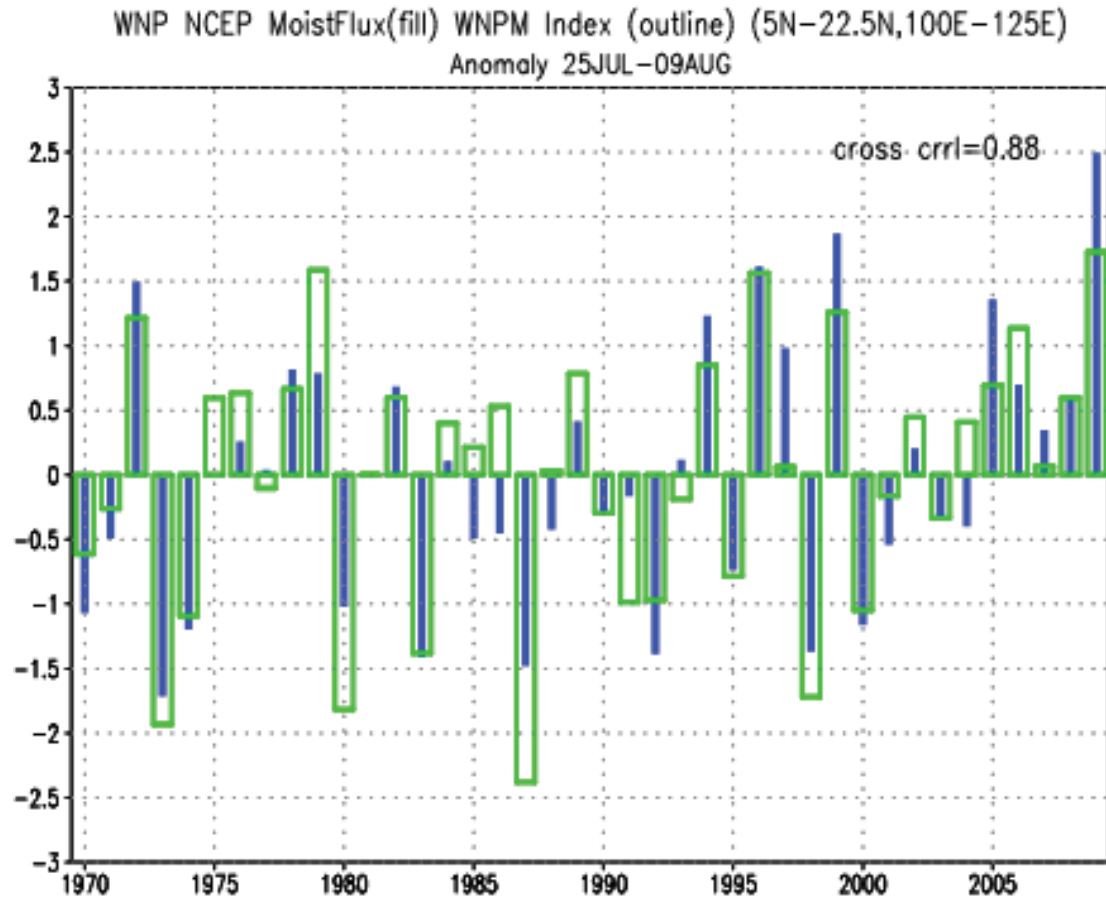


圖 5 西北太平洋 ($5^{\circ}\text{N}\sim 22.5^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$) 季風指數與水汽通量隨時間變化。
(實心：季風指數；空心：NCEP 850hPa 水汽通量距平)

現微弱對流的型態停留在 $80^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 間的熱帶地區。根據過去的經驗，這樣的特徵對於西北太平洋上颱風的生成與颱風強度的增強影響有限。另外，根據 NOAA 氣候監測 MJO 指標變化顯示，2009 年 8 月 5 日～2009 年 8 月 10 日莫拉克颱風襲台期間，MJO 呈現在第六相位的型態，其強度明顯偏弱。MJO 的歷程中可以分成八個相位，當歷程進入第六相位時，熱帶對流向東移入海洋大陸附近，位於對流區的後方存在強下沉區，下沉區中伴隨低層強西風帶，與此次影響莫拉克颱風的西南季風位置相近。分析莫拉克侵台期間 ISO 的移行（圖 6），發現莫拉克颱風侵台期間 ISO 由

熱帶低緯度地區向北移至台灣上空（2009 年 8 月 4 日～2009 年 8 月 11 日），並滯留在台灣附近（其範圍 $90^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ ； $15^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$ ），雖然強度隨時間有減弱的趨勢，但是 ISO 滯留台灣期間空間配置有利於南方水氣的提供，對於莫拉克颱風可能會有維持甚至加強其水氣來源的作用。

三、莫拉克颱風中尺度特徵

(一) 降雨分布特徵

莫拉克颱風影響初期主要降雨集中於北台灣地區，自暴風圈開始接觸本島後，中南部山區才

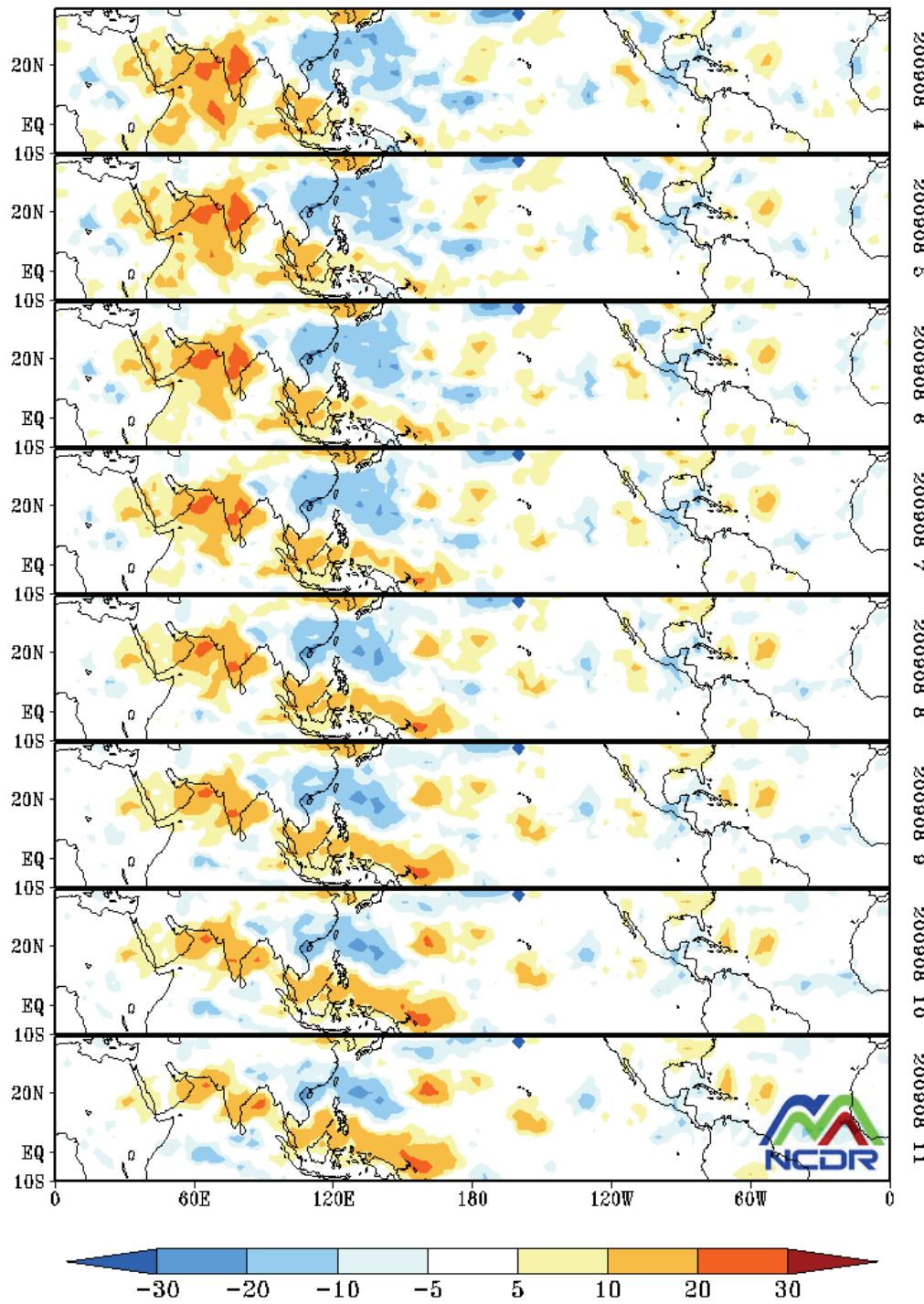


圖 6 莫拉克颱風侵台期間季內振盪指數時空分布圖，圖為 30-60 天濾波後之外逸長波輻射 (OLR，其中暖色系代表正值變化，冷色系代表負變化量，單位 Watt/m^2)。

成為主要降雨區。圖 7 為 2009 年 8 月 6 日至 9 日 24 小時累積雨量圖，6 日的主要降雨集中在北部山區，7 日之後北部地區雨勢漸歇，南部山區（南投以南）開始降下豪雨，最後台灣南部地區之累積降雨反而高於颱風中心途經之地區。在嘉義與高雄、屏東山區，最大日雨量都超過 1000 毫米。8 日以後，在颱風中心出海且逐漸向北北西行進時，主要降雨帶隨之緩慢北移，台南以北地區才開始出現較大雨勢。10 日之降雨明顯趨緩，但仍有較為旺盛之西南氣流在南部山區持續產生降水，最大日雨量仍可達 300 毫米。莫拉克颱風影響台灣地區時，主要降雨均發生在台灣南部地區。就颱風環流結構而言，莫拉克颱風雲系結構呈現非常不對稱，颱風在接近陸地時發生結構性變化，颱風南側降雨帶與風場明顯增強且範圍擴大，造成台灣西南迎風面山區降雨持續不斷。

(二) 衛星雲圖特徵

圖 8 為莫拉克颱風侵台期間每 12 小時衛星紅外線強化雲圖。8 月 6 日颱風位於台灣東方海面持續向西行，颱風環流的雲系大致集中在颱風中心附近，整體而言颱風的結構尚屬完整，主要特徵為颱風南側雲系發展相當旺盛且分布範圍非常寬廣。7 日颱風逐漸接近台灣的陸地時移速開始減緩，颱風環流北側雲系快速減弱消散，環流南側西南風持續增強，台灣南部山區迎風面地形上對流雲系持續發展旺盛。8 日白天颱風中心在台灣陸地上緩慢向北移動，位於台灣南方海面上的颱風主要對流雲系、西南風強風軸，隨颱風北移強降雨帶隨之逐漸北移，台灣南部陸地迎風面雨勢再次增加。9 日颱風持續北移，颱風環流的雲雨帶逐漸北移影響台灣中部地區，台灣南部雨勢才逐漸減小。

(三) 雷達回波特徵

本節利用 QPESUMS 系統合成之雷達回波說明颱風環流內對流系統的發展情形。圖 8 為 8 月 7 日 00UTC 至 9 日 12UTC 開始每 12 小時的雷達回波圖。7 日上午（圖 9a）強降雨對流雲系分布於颱風眼牆附近，颱風外圍環流雲系呈現南北不對稱，颱風南側對流雲系分布較廣。7 日在颱風中心緩慢接近台灣東部陸地期間，颱風環流對流雲系的分布由颱風中心向外擴張，大部分的對流雲系都位在台灣南方的巴士海峽上，颱風北側環流引進的東風受台灣北部山區地形抬升作用影響，強降雨回波多出現在宜蘭附近的雪山山區。在 7 日下午（圖 9b）開始高屏山區一直出現南北走向的降雨回波，隨著颱風逐漸接近台灣東部陸地時，南部山區降雨強度也越來越強。8 日凌晨起颱風外圍環流與台灣南部地區西南風產生輻合作用，在南部地區出現東西走向的強降雨回波訊號，此時颱風中心正通過台灣北部陸地，颱風北部雲系明顯減弱，造成當日主要降雨分布於台灣南部地區。

8 日至 9 日的白天颱風緩慢的向西北移動，台灣南部出現了二種強降雨回波。一種為東西走向的降雨回波，主要是因為颱風環流與西南氣流輻合作用所產生，對流系統自海上不斷移入台灣西南部陸地，造成台南以南地區從沿海至山區的強降雨事件的發生。另一種是在東西走向強降雨回波南側出現的南北走向的強降雨回波，自 8 日凌晨起持續存在南部高屏山區，此類回波直至 9 日颱風環流北移後才逐漸減弱。東西向的強降雨回波 8 日至 9 日在阿里山區以南地區緩慢向北移動，造成該區豪雨成災。

從七股雷達的徑向風場（圖 10）可以發現，

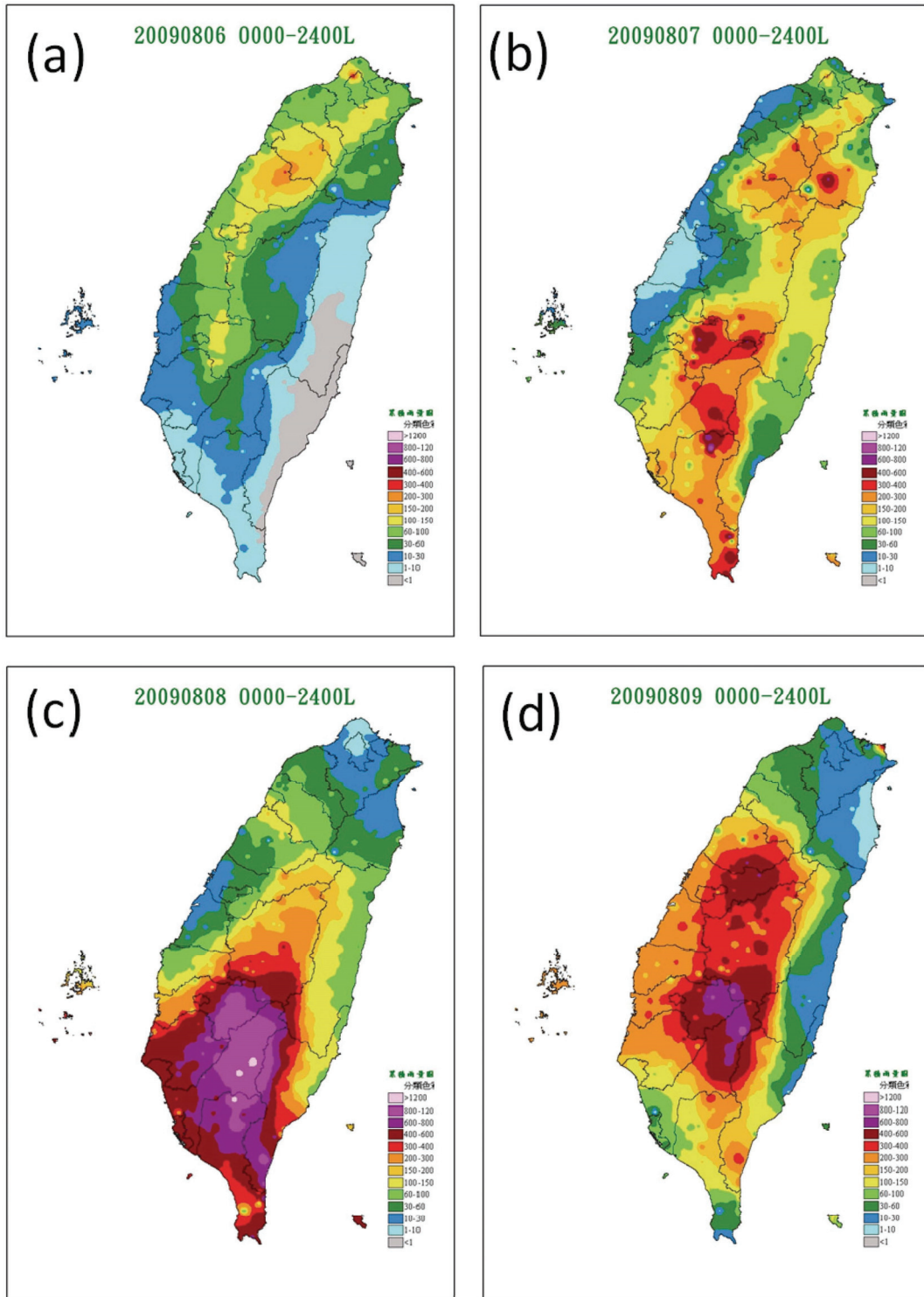


圖 7 莫拉克颱風侵台期間單日累積雨量圖。2009 年 8 月(a) 6 日、(b) 7 日、(c) 8 日、及(d) 9 日 (0000~2400 LST)。

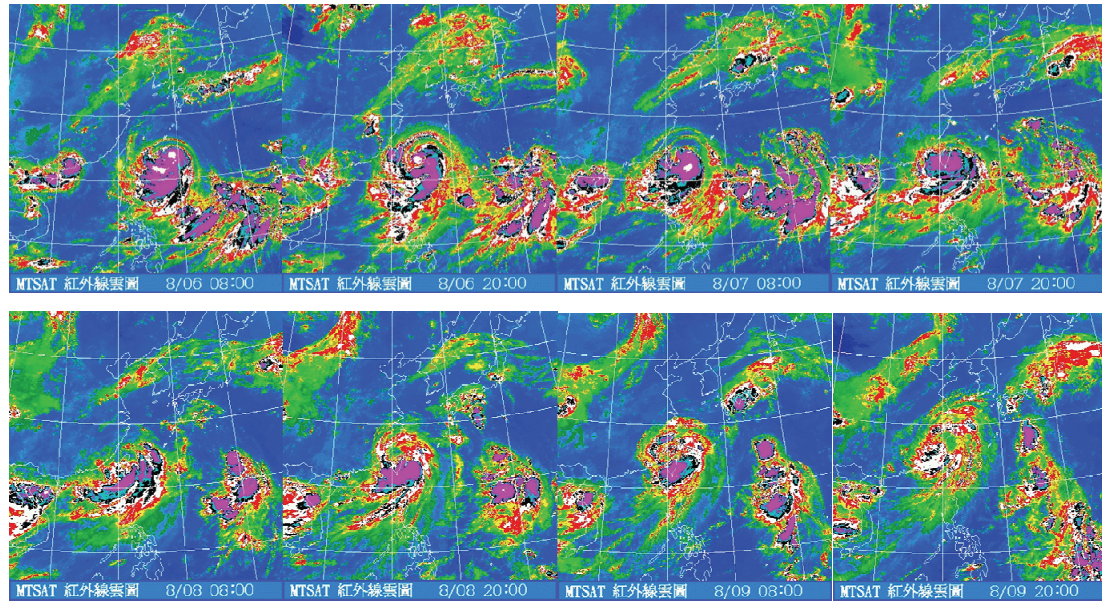


圖 8 莫拉克颱風侵台期間衛星紅外線強化雲圖，2009 年 8/6 0000UTC~8/9 1200UTC，間隔為每 12 小時。
(資料來源中央氣象局)

8 月 8 日晚間當颱風受地形影響減弱為輕度颱風時(中心風速小於 33m/s)，在臺灣海峽的颱風外圍環流出現 35m/s 以上的強西南風，在強西南風的迎風面山區(阿里山山區以南區域)出現超過 1500mm 的日雨量。針對阿里山以南山區面積平均時雨量時間變化分析(圖 11)，該區域 8 日 3 時開始至 9 日晚間 12 時為止長達 33 個小時，平均時雨量超過 20mm 以上，當中有 10 個小時雨勢更大，每小時平均雨量可達 40mm 左右。利用七股雷達以 VAD 方法計算雷達附近平均水平風垂直剖面(Browning and Wexler 1968)，發現 8 日凌晨開始從低層至高空風速明顯加強，時間長達 30 個小時以上，低層風速均可以高達 25m/s 以上，平均時雨量高達 40mm 的 10 個小時，風速更高達 30 m/s 左右。莫拉克颱風外圍環流強西南風和南部山區強降雨關係密切。

台灣南部強降雨發生時，由雷達回波中發現多條東西走向的強降雨回波帶，由海上向陸地山

區延伸。針對強降雨回波帶進行垂直剖面分析(圖 12)，可以發現在強降雨回波帶內有延續不斷垂直發展良好的對流雨胞由海面向陸地移動，從這些對流胞的垂直發展可以發現，在海上發展的強對流垂直發展高度約 12KM，>25dBZ 的回波發展高度約 8KM，>45dBZ 的強回波則集中在 1~5KM 處，且越接近地面越強。當對流胞受地形加強後，可以發現對流發展高度增高至 17 KM，>25dBZ 的回波也加高到 12KM 高度，>45dBZ 的強回波依舊集中在 5KM 高度，但 3~5KM 高度的回波強度也明顯較海面回波強。當此類對流雨胞通過時，當地就有較強的降雨發生。此種在同一地點持續降強對流降雨型態是造成區域洪水的主要原因。

四、莫拉克颱風降雨特性分析

莫拉克颱風受大尺度環境、颱風環流、以及台灣地形綜合影響，造成前所未有的豪雨事件，

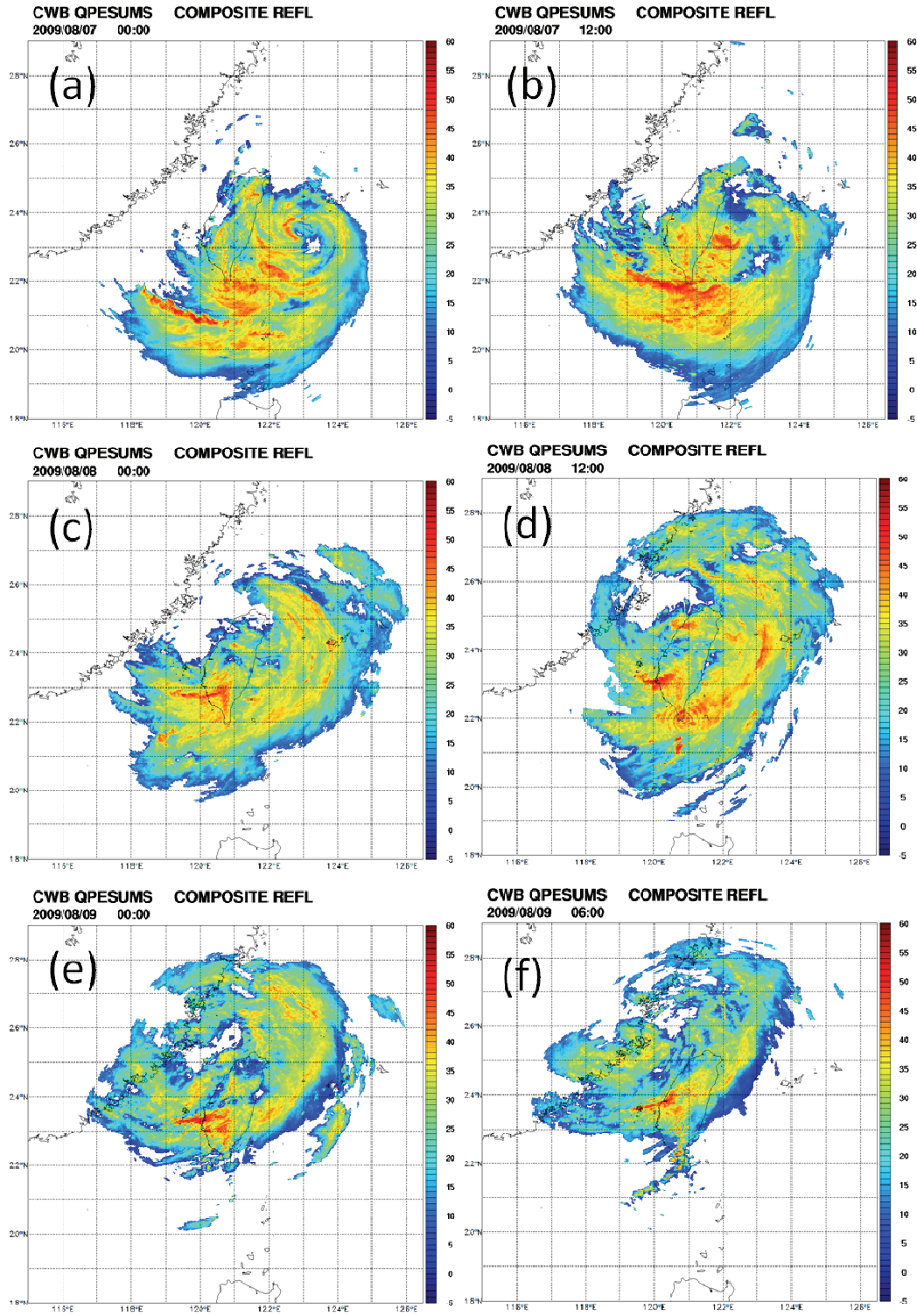


圖 9 莫拉克期間 QPESUMS 雷達回波變化圖，(a) 2009/08/07 0000UTC; (b) 08/07 1200UTC; (c) 08/08 0000UTC; (d) 08/08 1200UTC; (e) 08/09 0000UTC; and (f) 08/09 0600UTC。

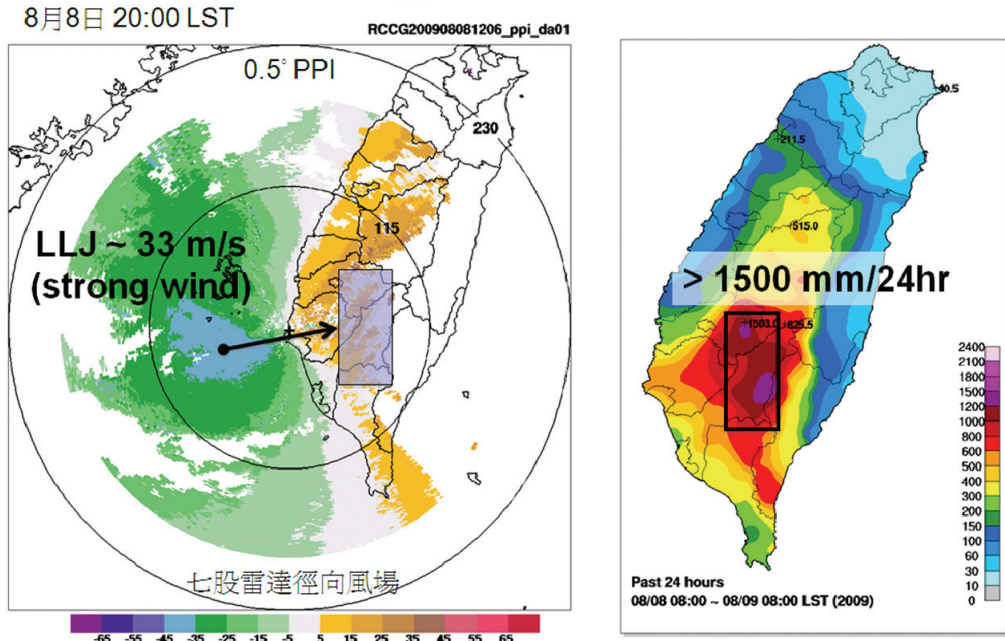


圖 10 莫拉克颱風期間風場與降雨之比較，左圖為七股雷達觀測之徑向風場，右圖為 2009 年 8 月 8 日 24 小時實際降雨量。

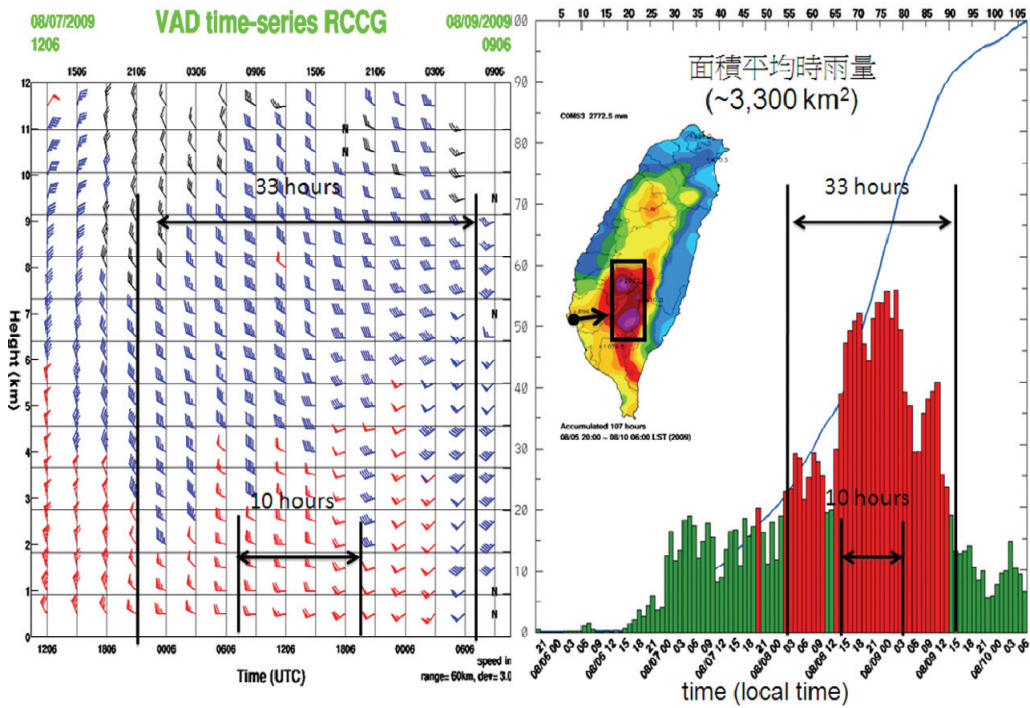


圖 11 莫拉克颱風以七股雷達 VAD 方法導出之水平風場垂直剖面（左圖）與山區平均降雨（右圖）關係密切，雷達風場觀測時間自 08/07 1206 時至 08/09 0906 時結束，山區降雨觀測時間自 08/06 至 08/10。

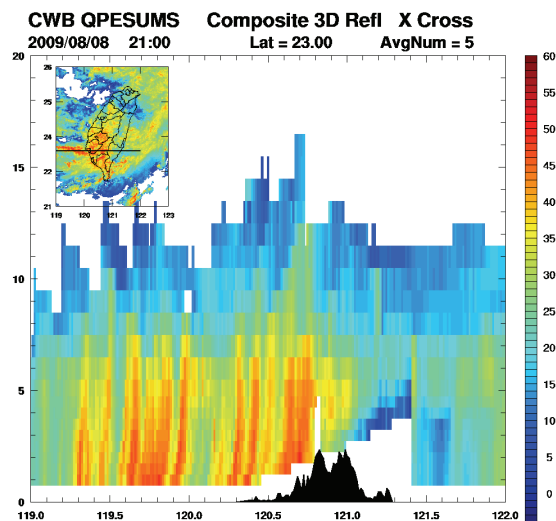


圖 12 莫拉克颱風侵台期間 8 月 8 日 21:00 時雷達降雨回波緯度 23.0 度之東西向垂直剖面圖。

豐沛雨量導致嚴重的災害，受災範圍與規模不亞於 921 集集大地震。主要的災情涵蓋台東、屏東、高雄、台南、嘉義、雲林、彰化、台中及南投等縣市。主要的災害類別包括水災、土石流、坡地崩塌、橋樑斷裂、河海堤損毀、交通中斷、堰塞湖及農業災損等等。圖 13 顯示莫拉克颱風影響期間（8/6~8/10）五天雨量總累積，最主要降雨中心為嘉義、台南與高屏山區，其中降雨量最高記錄為嘉義縣阿里山站，總累積雨量高達 3060 毫米，表 1 為莫拉克颱風之累積降雨量前 10 名之雨量值及其所在鄉鎮與流域，莫拉克颱風累積降雨前 10 名測站主要分佈在高屏溪、曾文溪與八掌溪流域之上游地區，累積雨量均超過 2000mm 以上，此次降雨造成高雄、屏東、台南與嘉義地區重大災情。分析南部山區的降雨歷線（包括嘉義縣奮起湖站、屏東縣尾寮山站、高雄縣御油山站及嘉義縣馬頭山站），時雨量超過 20~30mm/hr 強度的連續時間超過 48 個小時，其中時雨量超過 50mm/hr 的時間長達 24 小時以上，同時這些測站的最大時雨量可達 90~100mm/hr，由於強降雨持

續時間相當長，因此造成南部山區多處地區累積雨量超過 2000mm 甚至逼近 3000mm。此類降雨型態屬於長延時的持續性降雨與 2008 年造成重大災害的卡玫基颱風的短延時集中型暴雨（主要降雨集中在 6 小時內）有明顯差異。

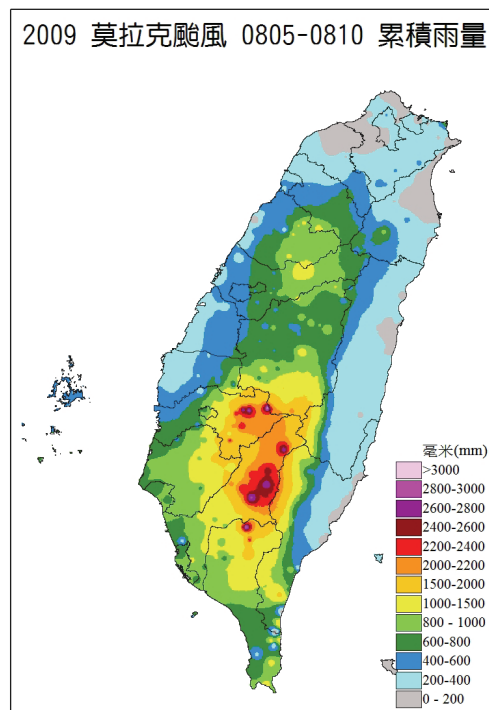


圖 13 莫拉克颱風 8/5~8/10 總累積雨量。

表 1 莫拉克颱風 8/6~8/10 總累積雨量前 10 名

站名	累積雨量	流域	行政區
阿里山	3060	曾文溪流域	嘉義縣阿里山鄉
尾寮山	2910	高屏溪流域	屏東縣三地門鄉
奮起湖	2863	八掌溪流域	嘉義縣竹崎鄉
御油山	2823	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉
溪南	2747	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉
石磐龍	2706	八掌溪流域	嘉義縣竹崎鄉
南天池	2694	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉
小關山	2485	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉
瀨頭	2408	曾文溪流域	嘉義縣阿里山鄉
新發	2356	高屏溪流域	高雄縣六龜鄉

表2為此次颱風期間24小時延時雨量最大累積雨量排名前20名，24小時延時雨量第一名的測站為嘉義縣阿里山鄉的阿里山站，24小時雨量為1624mm，第二名為嘉義縣竹崎鄉的石磐龍站，雨量為1584mm，前20名的雨量均超過1000毫米，平均起來每小時需超過40~50mm，前20名降雨集中區在高雄、屏東、嘉義、台南、台南等重災區。表3為颱風期間48小時最大累積雨量排

名前20名，第一名的測站為嘉義縣阿里山鄉的阿里山站雨量為2361mm，第二名的測站為屏東縣三地門尾寮山站雨量為2217mm，前20名48小時雨量均超過1500mm，分布區域為嘉義縣、台南縣、高雄縣及屏東縣等地山區。比較表1、表2、與表3得知此次颱風影響雖長達四天，但主要降雨則集中在8/8~8/9的48小時內，其間最大累積雨量超過2000mm，平均時雨量約40~50mm。

表2 莫拉克颱風期間24小時最大累積雨量排名

排名	站名	地址	24小時最大累積(毫米)
1	阿里山	嘉義縣阿里山鄉	1623.5
2	石磐龍	嘉義縣竹崎鄉	1583.5
3	奮起湖	嘉義縣竹崎鄉	1572.0
4	南天池	高雄縣桃源鄉	1448.5
5	尾寮山	屏東縣三地門	1414.0
6	馬頭山	嘉義縣大埔鄉	1378.5
7	溪南	高雄縣桃源鄉	1340.5
8	小關山	高雄縣桃源鄉	1272.0
9	復興	高雄縣桃源鄉	1231.0
10	瀨頭	嘉義縣阿里山	1215.0
11	新發	高雄縣六龜鄉	1200.0
12	上德文	屏東縣三地門	1189.0
13	瑪家	屏東縣瑪家鄉	1181.0
14	梅山	高雄縣桃源鄉	1146.5
15	新高口	嘉義縣阿里山	1144.0
16	神木村	南投縣信義鄉	1136.5
17	小公田	嘉義縣番路鄉	1125.5
18	曾文	臺南縣楠西鄉	1089.5
19	瑞里	嘉義縣梅山鄉	1085.0
20	大湖	嘉義縣番路鄉	1080.0

表3 颱風期間48小時最大累積雨量排名

排名	站名	地址	48小時最大累積(毫米)
1	阿里山	嘉義縣阿里山鄉	2361.0
2	尾寮山	屏東縣三地門	2217.0
3	奮起湖	嘉義縣竹崎鄉	2162.0
4	石磐龍	嘉義縣竹崎鄉	2108.0
5	南天池	高雄縣桃源鄉	2041.0
6	溪南	高雄縣桃源鄉	2009.5
7	馬頭山	嘉義縣大埔鄉	1988.5
8	上德文	屏東縣三地門	1971.5
9	小關山	高雄縣桃源鄉	1887.0
10	瀨頭	嘉義縣阿里山	1812.5
11	大湖	嘉義縣番路鄉	1679.0
12	新發	高雄縣六龜鄉	1662.5
13	復興	高雄縣桃源鄉	1659.0
14	曾文	臺南縣楠西鄉	1644.5
15	神木村	南投縣信義鄉	1634.0
16	新高口	嘉義縣阿里山	1622.5
17	梅山	高雄縣桃源鄉	1617.5
18	甲仙	高雄縣甲仙鄉	1601.0
19	瑪家	屏東縣瑪家鄉	1557.0
20	高中	高雄縣桃源鄉	1546.5

比較 24 小時與 48 小時最大延時雨量與過去 20 年 (1989~2008, 氣象局開始設置自動雨量站) 的歷史排名比較 (表 4), 過去 24 小時與 48 小時累積降雨最強颱風均為 1996 年賀伯颱風, 24 小時與 48 小時雨量分別為 1748.5mm 與 1986.5mm, 然而莫拉克颱風 48 小時延時雨量的第一名遠遠超過賀伯颱風, 莫拉克單一事件的 24 小時或 48 小時延時雨量排名前 20 名均超過歷史

排名前 20 名, 可見莫拉克颱風總累積雨量較其他颱風大且分佈範圍廣。

五、討論與結論

本文利用高空天氣圖及衛星雷達等資料, 針對莫拉克颱風的綜觀環境和中尺度降雨特徵進行整理分析。分析結果顯示, 莫拉克颱風的降雨分布和颱風路徑及結構有密切的關聯。當颱風接近

表 4 莫拉克颱風期間 24 小時 (左) 與 48 小時 (右) 最大累積雨量與 1989~2008 年歷史排名前 20 名之比較

排序	24 小時延時雨量	歷史事件	莫拉克各測站 24 小時延時雨量排名	48 小時延時雨量歷史排名	歷史事件	莫拉克各測站 48 小時延時雨量排名
1	1748.5	賀伯	1572.5	1986.5	賀伯	2217.5
2	1345.0	賀伯	1446	1879.5	海棠	2163
3	1274.5	卡絲	1417	1715.0	海棠	2039
4	1254.5	海棠	1385.5	1645.5	賀伯	2012
5	1185.0	納莉	1341	1644.0	海棠	1992
6	1180.0	卡絲	1291.5	1589.5	海棠	1987
7	1154.0	艾利	1273.5	1537.0	艾利	1976
8	1067.5	賀伯	1232	1525.0	海棠	1889
9	1065.5	海棠	1221	1522.0	海棠	1813.5
10	1063.0	納莉	1200	1511.5	敏督利	1676.5
11	1043.0	南瑪都	1192.5	1499.0	敏督利	1665
12	1042.0	納莉	1180.5	1474.0	海棠	1660.5
13	1035.0	柯羅莎	1148	1437.0	敏督利	1646
14	1026.0	海棠	1141	1419.0	敏督利	1629.5
15	1015.0	卡絲	1131	1417.5	辛樂克	1623.5
16	1010.0	海棠	1125.5	1416.5	敏督利	1618
17	1008.5	聖帕	1089	1399.5	辛樂克	1604.5
18	1003.5	艾利	1079	1388.0	艾利	1559.5
19	992.5	海棠	1079	1371.0	敏督利	1547
20	991.5	辛樂克	1051.5	1367.5	卡絲	1520

本島時，主要降雨區受外圍環流影響發生在迎風面的苗栗和新竹地區。等颱風中心接近並即將登陸本島時，降雨區分成兩個區域：一個在北邊靠近颱風行經路徑，另一個在外圍環流影響的南部迎風面山區。每 6 小時累積雨量顯示，南部迎風面山區降雨延時長、雨強大，兩者都是造成局部地區大豪雨的條件。莫拉克颱風在南部山區所帶來的降雨和其超長延時有密切關係，而超長延時降雨主要是因為颱風移速緩慢之故。由颱風路徑清楚顯示，莫拉克颱風離開台灣本島後並沒有如預期般快速被西風帶之短波槽帶走，反倒是緩慢往北移動（8 日 8 時到 9 日 8 時之 24 小時期間僅移動不到 150 公里）。這一段時間是嘉義南山區降下超大豪雨的時段，而莫拉克侵台期間最大累積降雨主要就落在嘉義縣阿里山區。

特別值得一提的就是：莫拉克颱風五天期間（由 8 月 6 日至 10 日共 120 小時），在中央山脈迎風面即有超過二十個雨量站的累積雨量都超過 2000mm，亦即超過半年的雨量在不到五天時間內下完。然而就時雨量而言，莫拉克颱風並不是最突出的，例如 1996 年賀伯颱風在阿里山所帶來的雨量，12 小時累積超過 1200mm，平均每小時超過 100mm。這說明**莫拉克颱風所帶來的災難和長延時強降雨關係密切，而超長延時之強降雨主要在颱風的移速緩慢**。莫拉克颱風在登陸後移動速度變得緩慢的原因仍有待研究，但應與環境流場之變化有密切之關係，例如微弱的駛流及南海北方之柯尼颱風之路徑等。氣象局在這方面的預報並沒有提供足夠的說明。不過有些初步研究指出，當莫拉克侵台期間；在南海接近海南島東側有颱風柯尼形成。柯尼颱風先是往西北方向登陸廣東，大家都以為這個颱風的影響應該很快會結束，沒想到柯尼登陸後往西南方向大轉彎，到了

海南島西南側再轉成東行颱風，幾乎可以說是一個 180 度的大繞轉。通常發生這種特異的路徑，不外乎駛流場弱、颱風呈非對稱、地形效應的影響等。當然也不排除雙颱風甚至多颱風之間的交互作用。莫拉克颱風和柯尼颱風之間的牽扯，看來並不單純，頗值得進一步深入探討。

中尺度分析結果顯示，南部山區降雨強度大小和西南風強度有非常高的相關性。然而，決定西南氣流強度的大氣過程和颱風活動特徵的相關為何？這個問題已經是個老問題，我們在台灣成長的幾乎對於颱風引進西南氣流這種官方制式說法大都耳熟能詳。然而稍加追究，颱風引進西南氣流並非每個都釀成重大災害，這其中的差異，依據 Lin et al. (2001) 研究結果認為和西南風的強度、大氣潮濕程度、以及地形高度等，對是否形成豪大雨都有關。可惜的是這樣的理解對於強風速帶要發生在哪個區域、大豪雨要發生在哪個山區，並沒有太大幫助。如何有效監測或是預報每個西行登陸台灣的颱風其引進強西南風所在的區域以及強度，應是未來研究的重點方向。

另一方面，超大豪雨的形成和水氣充分的提供有密切關聯。莫拉克颱風充沛水氣的輸送，其來源為何？與柯尼颱風大繞轉回來引進顯著西南風有無關連？過去由於科技的限制，對於精確水氣的監測並不容易，尤其是海上。近年來由於遙測技術的精進，不論在陸地或是海上都有不少方式可以提供監測結果，譬如 Ground-GPS 以及 GPS 無線電掩星法都是(Braun et al 2003)。可惜的是這些技術在國內都屬於正在開發或是研究的對象，對於作業使用仍有待加強加速。

造成局部地區豪大雨現象有幾個重要成分必須同時存在：風速強、水氣多、再加上長延時，三

者缺一不可。莫拉克颱風三者都有而且都超大，也難怪雖然動力數值模式已經有訊號顯示這將是一場超大豪雨，對於預報把關的人而言，依據過去經驗，48 小時降雨超過 2000 毫米的記錄幾乎是沒有的。這樣的超大降雨是否會變成未來的常態，這將變成另一個我們必須嚴肅對待的課題。

致謝

本文在國科會自然處專題研究計畫（計畫編號：NSC99-2111-M-002-006-MY2）的支援下完成，部分內容取材自國家災害防救科技中心氣象組出版之報告。氣象組同仁朱容練博士、吳宜昭博士、王安翔先生、張智昇先生、李宗融先生及黃柏誠先生協助繪圖與資料整理，使本文得以順利完成，在此感謝。台大中尺度 P3 研究室助理黃秀恩小姐的文字處理特此致謝。

參考文獻

- Braun, J., C. Rocken and J. Liljegren, 2003: Comparisons of line-of-sight water vapor observations using the Global Positioning System and a pointing microwave radiometer, *J. of Atmos. Oceanic Tech.*, 20, 606-612.
- Browning, K. A., and R. Wexler, 1968: The determination of kinematic properties of a wind field using Doppler radar. *Journal of Applied Meteorology*, 7, 105-113.
- Lau, K. M. and P. H. Chan, 1986: The 40-50 day oscillation and the El Niño/Southern Oscillation: A new perspective. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 67, 533-534.
- Lin, Y.-L., S. Chiao, T.-A. Wang, M. L. Kaplan, and R. P. Weglarz, 2001: Some common ingredients for heavy orographic rainfall, *Weather and Forecasting*, 16, 633-660.
- Murakami, T. and T. Nakazawa, 1985: Tropical 45 day oscillations during the 1979 Northern Hemisphere summer, *J. Atmos. Sci.*, 42, 1107-1122.
- Wang, B. and Z. Fan, 1999: Choice of South Asian Summer Monsoon indices, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 629-638.
- Yang, C.-C., C.-C. Wu, K.-H. Chou, and C.-Y. Lee, 2008: Binary Interaction between Typhoons Fengshen (2002) and Fungwong (2002) Based on the Potential Vorticity Diagnosis. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 4593-4611.

Synoptic Environment and Rainfall Characteristics of Typhoon Morakot (0908)

Ben Jong-Dao Jou^{1,2} Yi-Chiang Yu² Feng Lei^{2,3}
Yung-Ming Chen² Cheng-Sheng Lee^{1,3} Ming-Dean Cheng⁴

¹Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

²National Science and Technology Center for Disaster Reduction

³Taiwan Typhoon Flood Research Institute

⁴Central Weather Bureau

(manuscript received 14 May 2010 ; in final form 29 June 2010)

ABSTRACT

Synoptic environments and rainfall characteristics of typhoon Morakot (0908) is investigated in this paper. The paper provides: (1) large-scale environment conditions: upper air circulation patterns, low-level water vapor fluxes, monsoon index calculation, and index for intraseasonal oscillation (MJO); and (2) the spatial and temporal variation of rainfall, the mesoscale characteristics of the storm through examining the satellite images and radar reflectivity and Doppler wind patterns. The satellite images and the composite radar reflectivity maps of typhoon Morakot all showed pronounced asymmetrical structure, with south side of the storm attached with huge convective rainbands. This feature is attributed to the interaction of typhoon circulation with southwest monsoonal flows.

The torrential rainfall in the mountain areas of south Taiwan in three consecutive days during the landfall period of Morakot is closely related to the continuously-developing huge convective rainbands over the Taiwan Strait. The VAD analyses showed that the torrential rainfall over the mountain is positively correlated to the strength of the westerly winds at 3 km height upstream to the convective rainbands. This prolonged continuously-developing convective rainbands over the Taiwan Strait and the induced torrential rainfall over the mountain is attributed to the slow movement of the typhoon after it made landfall.

Keywords: Synoptic environment, southwest monsoon, asymmetrical structure of Morakot, slow movement, prolonged convective rainbands, torrential rainfall and strong westerly wind.