

# 莫拉克颱風(2009)與西南氣流交互作用造成劇烈降雨之初步分析

莊耀中<sup>1</sup>、魏志憲<sup>2</sup>、汪建良<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國防大學理工學院國防科學研究所

<sup>2</sup>國防大學理工學院環境資訊及工程學系

## 摘要

莫拉克颱風(2009)帶來大量降雨,其中累積最高降雨量達2,777毫米,超過1996年賀伯颱風所累積降雨量(1,736毫米)記錄,當莫拉克颱風的雨帶伴隨西南氣流而被加強且持續地移入陸地時造成大量降雨,導致在整個南台灣地區引發大量的土石流和大水災。這篇研究利用空軍在馬公C頻的雙偏極化氣象雷達和中央氣象局在七股及墾丁S頻的都卜勒氣象雷達資料來分析莫拉克颱風的雨帶,並且更進一步使用VAD(velocity-azimuth display)方法了解颱風伴隨西南氣流造成的影響。

這個研究所選取個案時間從2009年8月07日0000UTC到2009年8月08日1700UTC,由於雨帶位於於兩座雷達掃描範圍共同覆蓋的地方,正好可以利用雙都卜勒風場分析。定性研究指出登陸時七股雷達附近持續受到颱風環流影響,環境風場以偏北風為主,但是墾丁雷達附近開始受到西南氣流影響,環境風場已開始轉為偏南風,登陸後南部地區及外海的環境風場以西南風為主。利用VAD方法做定量分析,表示有輻合帶在七股和墾丁外海,也證實西南氣流影響隨著時間有持續增強,雨帶在這個區域不斷發展的原因之一。從墾丁切線和徑向風場發現切線風場數值變動不大,表示颱風環流持續影響,但是徑向風場數值有持續增加趨勢,顯示有西南氣流持續影響並增強。

關鍵字:雙都卜勒風場、颱風、西南氣流

## 一、前言

莫拉克颱風在南台灣地區造成嚴重水災,由雷達資料發現有長生命期的線性雨帶在沿海地區發展,造成南台灣地區大量降雨;在陳等(2010)[1]提到莫拉克颱風侵台時持續不斷的豪雨重創南台灣,可能的原因為西南季風提供源源不絕的水氣和莫拉克颱風環流共伴,在8月6日至10日期間,於台灣海峽南部產生額外輻合作用,激發強烈對流系統,以致於台灣中南部地區降下起大豪雨。在此一強輻合區內,有東西走向強降雨回波不斷生成,主要是因為颱風北風環流與西南氣流輻合作用所產生,對流系統不斷自海上移入台灣西南部陸地,當對流胞通過時即有較強的雨勢發生,造

成台南以南地區從沿海至山區的強降雨事件的發生。俞(1982)[2]對1952到1981年通過台灣北方海域之颱風資料與台灣中南部降雨資料進行統計研究指出,通過台灣東北方海面轉向東北行徑之颱風,移至韓國、日本一帶時,可將來自南海之潮濕不穩定氣流引進台灣,造成台灣中南部地區嚴重豪雨。Chiao et al. (2003)[3]對1999年8月侵台的Rachel颱風進行數值模式研究,發現當颱風侵台及離台後,西南季風及颱風環流增強,低層輻合通過海面,遇到台灣西南部地形生成新的對流胞,在台灣中南部引發豪大雨。Lee et al. (2005)[4]對敏督利颱風引起的降雨過程分為二個階段,第二階段為颱風北行遠離台灣後,其牽引來自南中國海熱帶地區潮濕且不穩定的西南氣流移向台

灣，此為產生豪雨的主要原因。李等(2004)[5]研究分析結果也發現，敏督利颱風逐漸遠離期間，南中國海低層大氣為暖濕且條件性不穩定的環境，且大氣中對流可用位能值偏高，由於南中國海一直有對流雲系生成及發展，並透過西南氣流傳送至台灣地區，再受到中央山脈地形的舉升，導致台灣中南部豪大雨。Chien et al. (2008)[6]和Lee et al. (2008)[7]從觀測和數值模擬方面探討敏督利颱風(2004)和西南氣流的關係，研究指出西南氣流以遞減加速度梯度從南中國海北部向東北輸送對流不穩定的空氣到台灣海峽的低壓系統，當低層的空氣輻合提供了足夠舉升作用，使得強烈的中尺度對流系統被引發，伴隨西南氣流中尺度對流系統加速進入台灣海峽南部；此時結合西風氣流的颱風環流，在台灣西南部也產生對流雨帶；當這些中尺度對流系統向陸地移動時開始增強，從而導致豪雨發生。

Wu et al.(2009)[8]模擬結果顯示颱風侵台期間季風的存在會影響降雨強度，配合台灣中央山脈的特殊地形，降雨最強地區往往是颱風環流、季風和地形的交匯處。Ge et al.(2010)[9]指出莫拉克颱風侵襲期間台灣處於大尺度的季風槽中，模式模擬顯示台灣南部外海的西南氣流帶來潮濕的水氣，與台灣地形交互作用造成劇烈降雨。Wu et al.(2011)[10]利用衛星和地面觀測等觀測資料指出莫拉克颱風造成劇烈降雨的原因有三個：(1)颱風登陸造成綜觀尺度西南氣流增強，(2)颱風向北轉向，(3)颱風長時間逗留；其中西南氣流扮演重要角色。Liang et al.(2011)[11]運用WRF (Weather Research and Forecasting model)模擬結果顯示莫拉克颱風和西南氣流的交互作用會影像颱風路徑變化，使得莫拉克颱風向北轉向和移動緩慢帶來嚴重降雨。Chien and

Kuo(2011) [12]研究統計52個西向路徑侵台的颱風發現莫拉克是登陸前後移動速度最緩慢之一，並指出登陸後西南氣流持續帶來暖濕水氣和颱風環流輻合形成東西向對流帶，並移入台灣內陸造成嚴重降雨。本文利用雷達資料分析影響莫拉克颱風的西南氣流，期望能透過實際的觀測資料找出西南氣流何時開始影響莫拉克颱風對南部地區的降雨。

## 二、資料介紹

本文利用空軍在馬公 C 頻的雙偏極化氣象雷達和中央氣象局在七股及墾丁 S 頻的都卜勒氣象雷達資料來分析西南氣流，馬公雷達與七股雷達距離 64 公里，墾丁雷達和七股雷達距離 160 公里，其中馬公雷達為空軍氣象聯隊新建置的 C 頻雙偏極化雷達，於 2009 年 4 月 1 日開始啟用，為台灣地區首部作業化之雙偏極化都卜勒氣象雷達。Lhermitte and Atlas(1960)[13]指出在水平空間上均勻的風場合降水條件下，由固定仰角的雷達波術作 360 度全方位角掃描所得到的平均徑向速度是掃描方位角的正弦函數曲線，此正弦曲線可以求得相對應掃描高度的水平風向，風速和粒子垂直速度，這種徑向速度對應方位角構成的曲線稱為速度方位顯示 (Velocity Azimuthal Display)，簡稱 VAD 方法。透過上述方法分析莫拉克颱風雨帶和西南氣流，期望能找到西南氣流影響的時間。

## 三、個案分析

從 8 月 07 日 1600 UTC 雷達回波圖(圖 1)發現台灣南部外海有數個颱風雨帶形成，可以分成二個部分，標示 A 區域的颱風雨帶為由南往北移動，標示 B 區域的颱風雨帶為由西

向東移動，其中紅色圓圈為以颱風為中心半徑 100 公里畫一個；正常颱風雨帶移動情況應該是以螺旋向內朝颱風中心移動，但是 B 區域的颱風雨帶並沒有如此移動，反而和紅色圓圈有夾角形成，推估原因可能是受到其他外力影響，導致颱風雨帶並沒有螺旋向內情況。

為了進一步確認影響颱風雨帶形成的原因，利用馬公、七股和墾丁雷達資料分析登陸時和登陸後颱風雨帶強度及風場分布情況；從 8 月 07 日 1616 UTC 七股雷達回波圖(圖 2)發現南部外海有二條颱風雨帶，且颱風雨帶走向為西北-東南，而 8 月 07 日 1616 UTC 墾丁雷達回波圖(圖 3)發現另一個颱風雨帶走向為西南-東北；同一時間馬公徑向風場(圖 4)顯示該地區風場為北北西風，而墾丁徑向風場(圖 5)顯示該地區為西南西風。馬公和七股雷達的雙都卜勒風場(圖 6)分析顯示該地區環境風場為北北西風轉西北風，與颱風環流方向一致，墾丁和七股雷達的雙都卜勒風場(圖 7)分析顯示該地區環境風場為西北西風轉西風，與颱風環流方向相異；由上述資料分析得知，馬公雷達到墾丁雷達的環境風場逐漸轉為西南風。

接下來探討登陸後颱風雨帶和風場的變化，從 8 月 08 日 1701 UTC 七股雷達回波圖(圖 8)發現有二條颱風雨帶形成，走向為西南-東北，同樣的從 8 月 08 日 1701 UTC 墾丁雷達回波圖(圖 9)發現颱風雨帶也是西南-東北走向，比對七股徑向風場(圖 10)顯示該地區為西南西風(七股徑向風場為初始資料並沒有經過風場修正)，而墾丁徑向風場(圖 11)顯示該地區為西南風。利用墾丁和七股雷達的雙都卜勒風場(圖 12)的分析顯示該地區環境風場為西南風，由上述資料可以推估該時段環境風場已轉為偏西南風。綜合二個時段的回波圖、徑向風場和雙都卜勒風場資料顯示登陸時七股雷

達附近持續受到颱風環流影響，環境風場以偏北風為主，但是墾丁雷達附近開始受到西南氣流影響，環境風場已開始轉為偏南風，登陸後南部地區及外海的環境風場以西南風為主。

之前分析以定性為主，接下來利用 VAD 方法做定量分析，從 2009 年 8 月 07 日 1200 UTC 到 8 月 07 日 2400 UTC 七股之 VAD 垂直風場分析圖(圖 13)顯示還是受到颱風外圍風場影響，風向由西北風轉為西風，風速也有增大情況，但是從墾丁之 VAD 垂直風場分析圖(圖 14)可以發現，風向有逐漸轉為西南風，且風速有逐漸增強，再從垂直高度分析，隨著時間風向轉為西南風高度越高，二張分析圖比較，表示有輻合帶在七股和墾丁外海，也證實西南氣流影響隨著時間有持續增強，雨帶在這個區域不斷發展的原因之一，由當時雷達回波圖(略)驗證，雨帶有持續往北移動的情況，回波強度有達到 45dBZ 以上，顯示雨帶有一定強度，雨帶生長由外海移動到陸地，而回波較強地區皆在山區，所以在山區造成大量降雨。

為了更進一步了解西南氣流影響的時間，利用以颱風為中心，求雷達站的切線和徑向風場(圖 15)，其中切線風場表示颱風環流，而徑向風場表示其他環流影響，從七股切線和徑向風場發現(圖 16)切線風場數值變動不大，表示颱風環流持續影響，而徑向風場數值在零值上下變動，表示送其他環流影像不大，從墾丁切線和徑向風場(圖 17)發現切線風場數值變動不大，表示颱風環流一樣持續影響，但是徑向風場數值在 0900UTC 過後有持續增加趨勢，顯示有其他環流持續影響並增強，由之前資料分析可以判定為西南氣流影響。

## 四、結論

莫拉克颱風的影響是台灣歷年颱風的前幾名，利用雷達資料分析颱風環流和西南氣流的交互作用，雖然沒有辦法直接證實西南氣流對颱風影響程度，但是使用雙都卜勒風場和 VAD 之分析結果得知西南氣流在颱風登陸後開始影響，造成墾丁附近雨帶不斷形成且強度增強，隨著時間進行開始往北移，在七股附近不斷有雨帶形成，逐漸往陸地移動，造成劇烈降雨。本次研究還有很多因素未考慮，例如渦度和輻散場，這些因素可以進一步了解雨帶上對流胞的運動結構，期望未來可以考慮進去。

參考文獻

[1] 陳台琦, 唐玉霜, 魏志憲, 林沛練, 廖宇慶, 張偉裕, 周鑑本, 紀博庭, 林忠義, 2010: 莫拉克颱風雷達觀測中尺度雨帶特徵。大氣科學, 38, 39-62。  
 [2] 俞家忠, 1982: 通過台灣北方海上颱風與台灣中南部豪雨之研究。大氣科學, 9, 95-112。  
 [3] 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.  
 [4] 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集編(94), 222-227.  
 [5] 李紀恩, 呂木村, 林裕豐, 林得恩, 2004: 敏督利颱風(2004)過後對台灣中南部地區造成豪大雨之個案探討, 天氣分析與預報, 181, 25-34。  
 [6] 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.  
 [7] Lee, C.-S., Y.-C. Liu, and F.-C. Chien, 2008: The Secondary low and Heavy Rainfall Associated with Typhoon Mindulle (2004). *Mon. Wea. Rev.*, 136, 1260-1283.  
 [8] Wu, K. K. W. Cheung, and Y.-Y. Lo, 2009: Numerical study of the rainfall event due to interaction of Typhoon Babs (1998) and the northeasterly monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 2049-2064.  
 [9] Ge, X., T. Li, S. Zhang, and M. Peng, 2010: What causes the extremely heavy rainfall in Taiwan during Typhoon Morakot (2009)? *Atmos. Sci. Lett.*, 11,

46-50, doi:10.1002/asl.255.  
 [10] Wu, L., J. Liang, and C.-C. Wu, 2011a: Monsoonal Influence on Typhoon Morakot (2009). Part I: Observational analysis. *J. Atmos. Sci.*, 2208-2221.  
 [11] Liang, J., L. Wu, X. Ge, and C. C. Wu, 2011: Monsoonal Influence on Typhoon Morakot (2009). Part II: Numerical Study. *J. Atmos. Sci.*, 2222-2235.  
 [12] Chien, F.-C., and H.-C. Kuo (2011), On the extreme rainfall of Typhoon Morakot (2009), *J. Geophys. Res.*, 116, D05104, doi:10.1029/2010JD015092.  
 [13] Lhermitte, R. M., and D. Atlas, 1960: Precipitation motion by pulse Doppler, Preprint, 9th Weather Radar Conf., Kansas City, MO., Amer. Meteor. Sci., 218-223.

圖表彙整

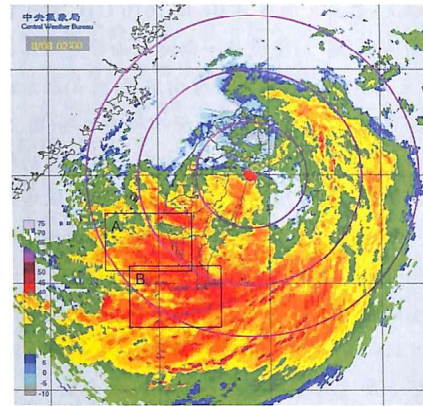


圖1. 8月7日1600 UTC雷達合成回波圖，紅色圓圈為半徑100公里。(中央氣象局)

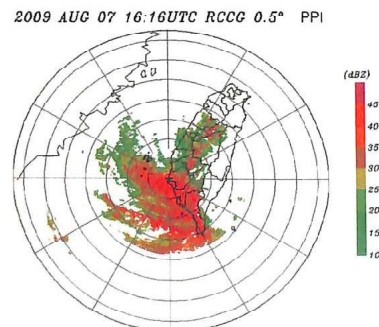


圖2. 8月7日1616 UTC七股雷達在仰角0.5度之平面位置圖。

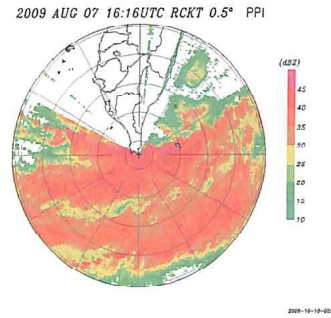


圖3. 8月7日1616 UTC墾丁雷達在仰角0.5度之平面位置圖。

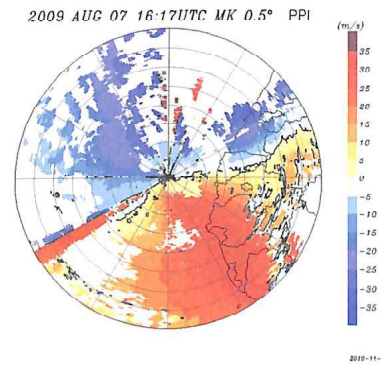


圖4. 8月7日1617 UTC馬公雷達在仰角0.5度之徑向風場圖。

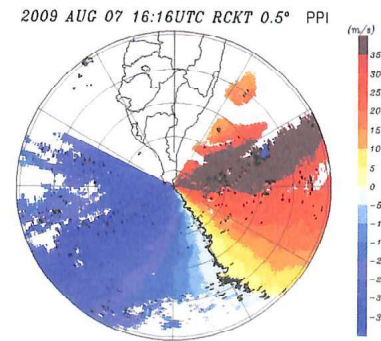


圖5. 8月7日1616 UTC墾丁雷達在仰角0.5度之徑向風場圖。

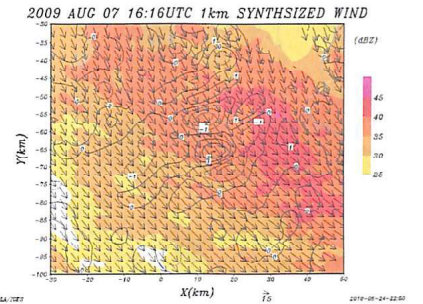


圖6. 2009年8月7日1616 UTC時馬公與七股雷達在1公里高度雙都卜勒合成風場圖。填色代表降水回波，等值線為垂直速度場，灰色實線代表海岸線。橫座標與縱座標代表與雷達站之距離。

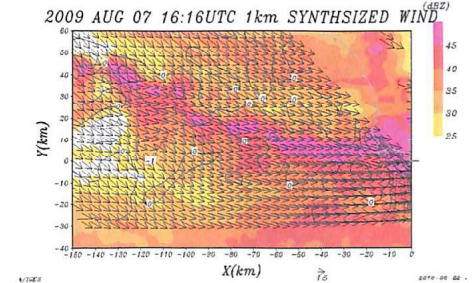


圖7. 2009年8月7日1616 UTC時墾丁與七股雷達在1公里高度雙都卜勒合成風場圖。填色代表降水回波，等值線為垂直速度場，灰色實線代表海岸線。橫座標與縱座標代表與雷達站之距離。

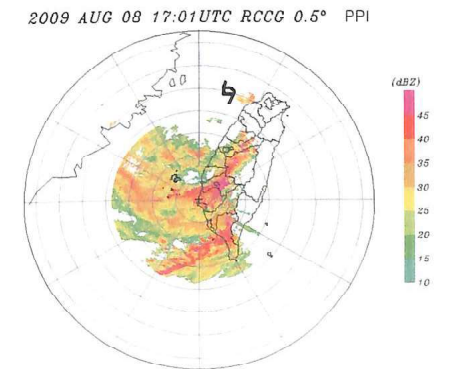


圖8. 8月8日1701 UTC七股雷達在仰角0.5度之平面位置圖。

2009 AUG 08 17:01UTC RCKT 0.5° PPI

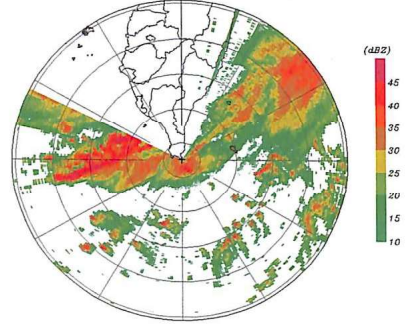


圖9. 8月8日1701 UTC 聖丁雷達在仰角0.5度之平面位置圖。

2009 AUG 08 17:01UTC RCCG 0.5° PPI

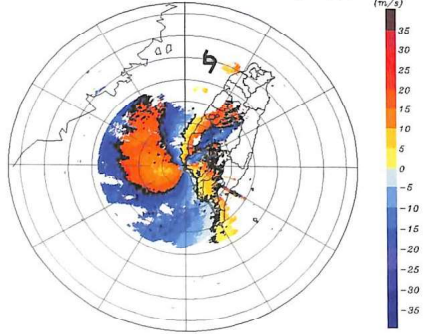


圖10. 8月8日1701 UTC 七股雷達在仰角0.5度之徑向風場圖。

2009 AUG 08 17:01UTC RCKT 0.5° PPI

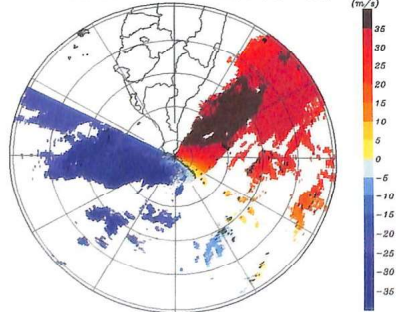


圖11. 8月8日1701 UTC 聖丁雷達在仰角0.5度之徑向風場圖。

2009 AUG 08 17:01UTC 1km SYNTHESIZED WIND

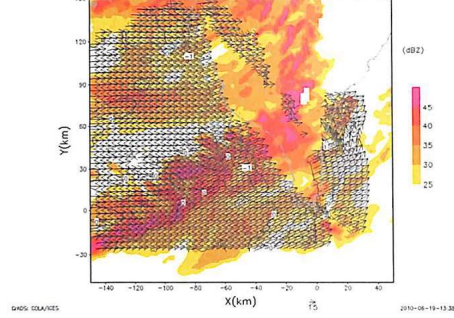


圖12. 2009年8月8日1701 UTC時聖丁與七股雷達在1公里高度雙都卜勒合成風場圖。填色代表降水回波，等直線為垂直速度場，灰色實線代表海岸線。橫座標與縱座標代表與雷達站之距離。

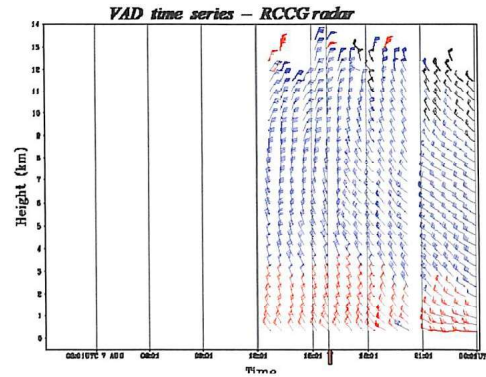


圖13. 2009年8月07日1200 UTC到8月08日0000 UTC七股之VAD垂直風場分析圖。風速的單位是海裡。紅色箭頭表示時間為2009年8月7日1530UTC是莫拉克颱風登陸的時間。11公里以上的一些風向反轉是不可靠的，因為有不完全的數據覆蓋。

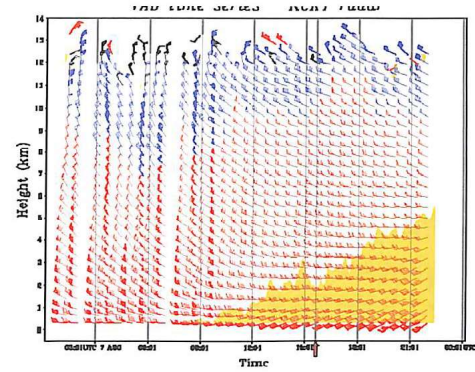


圖14. 2009年8月07日0000 UTC到8月08日0000 UTC 聖丁之VAD垂直風場分析圖。黃色陰影區域代表風向小於270度。其它描述如圖13。

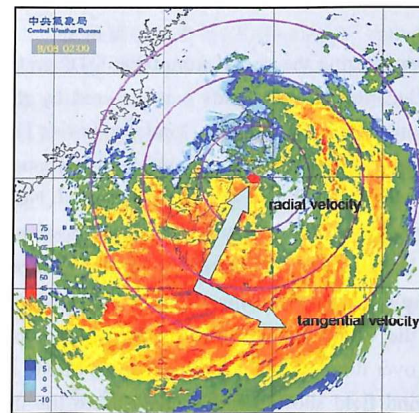


圖15. 8月7日1600 UTC雷達合成回波圖，紅色圓圈為半徑100公里。颱風符號位置為中央氣象局定位颱風中心。以颱風為中心，切線風場表示颱風環流，而徑向風場表示其他環流。

七股切線風和徑向風分析

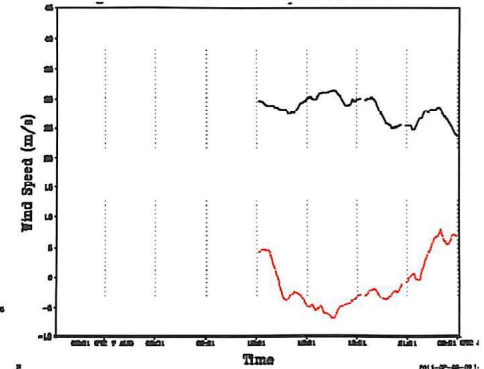


圖16. 2009年8月7日1200 UTC到8月8日0000 UTC七股之切線和徑向風場分析圖。黑色圓圈為切線風場，紅色圓圈為徑向風場。

聖丁切線風和徑向風分析

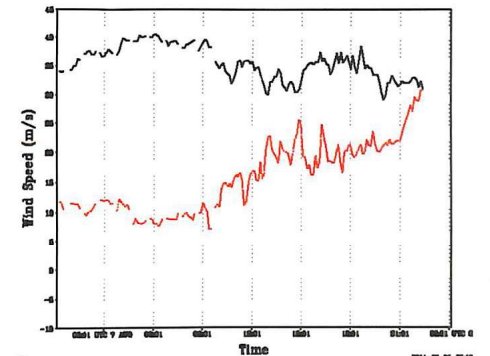


圖17. 2009年8月7日0000 UTC到8月8日0000 UTC 聖丁之切線和徑向風場分析圖。黑色圓圈為切線風場，紅色圓圈為徑向風場。

## Preliminary Analysis of the Intense Rainfall to the Interaction of typhoon Morakot (2009) and the Southwesterly Flow

Yao-Chung Chuang<sup>1</sup> and Chih-Hsien Wei<sup>2</sup> and Jian-Liang Wang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *School of Defense Science, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Taoyuan, Taiwan*

<sup>2</sup> *Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Taoyuan, Taiwan*

### Abstract

The plentiful rainfall forms when the rain-bands of Typhoon Morakot(2009) is being strengthened and moved in the land constantly. The research uses the Air Force weather wing C-band dual-polarization radar in Makung and the Central Weather Bureau S-band Doppler weather radar in Chiku and Kenting to observe the rain-bands of typhoon Morakot, and further use of the VAD(velocity-azimuth display) approach to understanding the interaction of typhoon Morakot (2009) and the southwesterly flow impact.

The case of this study focuses on rain-bands developed during the period from 0000 UTC on 07 August 2009 to 1700 UTC on 08 August 2009. The location of rain-bands was covered by the scanning range of both radars, providing good opportunity for Dual-Doppler wind synthesis. The qualitative study pointed out that when the typhoon landed the near Chiku radar, wind field continued to be influenced by the typhoon circulation, and Environmental wind field into the north wind. Near Kenting radar wind field began to impact for southwesterly flow. Environmental wind field has started to change for the southerly winds. After the typhoon landed in the southern region and offshore environmental wind field began to change for the southwest wind. Using the VAD method for quantitative analysis, there have convergence zone in the Chiku and Kenting off the coast. Also confirmed that the southwest flow continued to improve over time. Rainbands of the causes of one of continuous development in this area. Find tangential wind field showed little change from the the Kenting tangential and radial wind field. The continuing impact of the typhoon circulation. Radial wind field numerical increasing trend in the southwesterly flow continued to influence and enhance.

**Keywords: Dual-Doppler wind, typhoon, southwesterly flow**