

梅雨季西南季風影響下颱風雨帶之特徵-泰利颱風(2012)個案

陳伯軒 魏志憲
空軍氣象聯隊 國防大學理工學院國防科學研究所

周仲島 賴曉薇
國立台灣大學大氣科學系

摘要

梅雨期間滯留鋒面於華南地區常形成一風切帶，範圍有時長達數百公里甚至千公里，風切帶內伴隨著中尺度渦旋，部分渦旋有時會增強為颱風，泰利颱風（2012）源自於華南地區的低壓系統，初期此一低壓系統與梅雨鋒面系統相連結，逐漸增強為熱帶低壓。與鋒面系統切割後，增強為颱風，朝東北方向移動，通過台灣海峽後於彭佳嶼東北方減弱為熱帶性低氣壓。

環境分析資料顯示，泰利颱風具不對稱性之環流結構，東南側伴隨著相當強度來自南海的西南氣流，6月19日至21日造成台灣地區降水可歸類為三個週期，兩大主因，即是西南氣流-颱風雨帶-西南氣流。分析雷達觀測資料發現颱風內核區結構不明顯，雨帶與颱風移動方向割離的情況。

本研究進一步解析空軍馬公雙偏極化都卜勒氣象雷達及中央氣象局七股都卜勒氣象雷達資料，針對泰利颱風向東北移動通過台灣海峽時，隨時間變化的特徵，發現泰利颱風通過台灣海峽期間回波結構不對稱且無法分辨出內核區的特徵，並且運用雙都卜勒雷達資料合成探討深對流系統即降水系統A在颱風雨帶中扮演的角色以及渦度、輻合(散)還有強上升運動速度的特徵，亦運用雙偏極化雷達參數探討深對流的微物理特徵，歸納出降水系統A不具眼牆的特徵，此外，運用地面測站資料，發現降水系統A的強降水帶來冷池的中尺度現象，並討論雨帶結構和颱風增強(或減弱)的可能關係。

關鍵字：西南季風、雙偏極化氣象雷達

一、前言

中央氣象局針對侵台颱風路徑所作之九大分類，自1911至2010年間，由台灣西南方朝向東北移動進入台灣海峽之颱風個案(第9類路徑)比例為6.9%，是九大分類(不含特殊路徑)內統計數量次少者，而第9類路徑又可歸納出南中國海區域形成與非南中國海區域形成之颱風，顯示從南中國海區域生成之颱風進而影響台灣者相當少見。

Lee et al. (2006)統計1972至2002年間，歸納台灣梅雨季節期間(每年5-6月)南中國海(SCS)與鋒面有關之熱帶氣旋生成的環境條件，由於南中國海地區季風逐漸轉換，南來氣流與北來氣流於南中國海的北端形成一風切帶，底層環境的相對渦度增加，中層短波槽加深，高層則有輻散系統支持，因此有利氣旋系統的增強，並將這樣的統計結果歸納成為一套概念模式(圖1.)，另外也指出與鋒面有關之熱帶氣旋形成位置及形成後會朝東北方向移動(圖 2.)。另外，Lee et al. (2006)的發現整個統計南中國海地區形成的熱帶氣旋數量為119個，而5、6月份形成的比例

為16.8%即20個，同樣的1972至2002年間在西北太平洋生成的氣旋總數為793個，顯示在南中國海與鋒面有關所形成的氣旋系統案例非常少見。

泰利颱風（2012）的形成源自於華南地區的低壓系統，此一低壓系統為梅雨鋒面系統尾端之低壓區，向東移出至南中國海後，在南海北側增強，形成熱帶氣旋並與鋒面系統切割，其後形成颱風並且朝東北方向移動，通過台灣海峽期間造成台灣西南部沿海地區淹水災情。

泰利颱風是相當少見的個案之一，在行進穿越台灣海峽時，通過台灣西部地區氣象雷達觀測網，包括空軍氣象聯隊設置於台中清泉崗基地、澎湖馬公之雙偏極化都卜勒氣象雷達，以及中央氣象局設置於七股及墾丁之都卜勒氣象雷達，為台灣西南部地區劇烈天氣系統觀測提供良好之觀測平台。因此本研究期望透過分析新設置雷達的觀測資料，進一步探討泰利颱風所伴隨之雨帶的結構特徵，嘗試描述泰利颱風的雨帶與過去概念模式之異同。

二、資料來源與分析方法

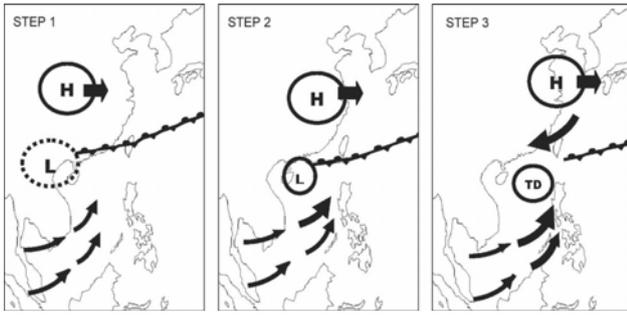


圖 1. 與鋒面系統有關形成之熱帶氣旋概念模式示意圖 (摘自Lee et al. 2006)。

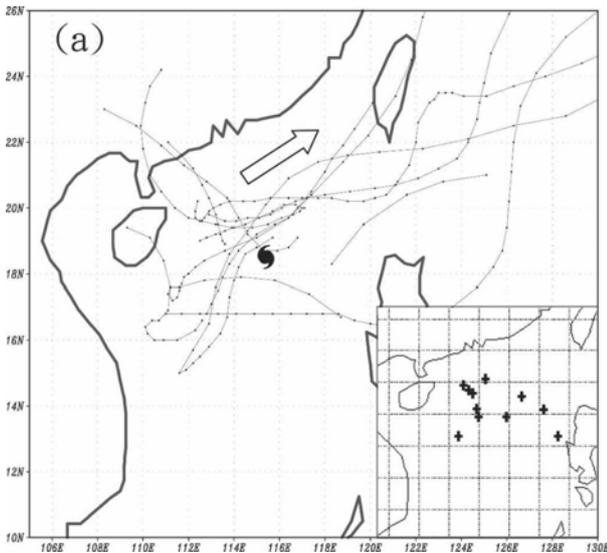


圖 2. 與鋒面系統有關形成之熱帶氣旋位置及移動趨勢示意圖 (摘自Lee et al. 2006)。

本研究個案時間為泰利颱風行經台灣海峽時，自2012年6月20日0000至1600UTC止，使用馬公C-波段雙偏極化都卜勒氣象雷達(C-Pol)及七股S-波段都卜勒氣象雷達(S-band)資料，兩雷達掃描仰角計有0.5°、1.4°、2.4°、3.4°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°共9層掃描仰角，並每七分半鐘執行一次掃描。可獲得之參數除了降水回波(ZH)、徑向風(VR)以及波譜寬(SW)外，馬公氣象雷達還可蒐集、ZDR(差異反射率)、 ρ_{HV} (相關係數)、KDP(比差異相位差)、 Φ_{DP} (差異相位差)等參數，可應用於。

當雨帶移入馬公與七股氣象雷達共同觀測區域時，可進行雙都卜勒風場合成分析。都卜勒風場合成方法參考Ray et al. (1978、1979)，而垂直運動場則是先積分非彈性連續方程式，再藉由變分法調整而得。此外藉由速度方位顯示(Velocity Azimuthal Display VAD)法(Lhermitte and Atlas 1961, Browning and Wexler 1968)，求得相對應掃描高度的

水平風向風速，用於分析颱風移近台灣西南部時環境風場特徵。

三、綜觀環境分析

透過颱風強度變化及路徑圖(圖3)，泰利颱風(2012)源自於6月16日1200UTC海南島附近之低壓帶形成一熱帶低壓，於17日1800UTC增強為輕度颱風，而後以東北方向朝臺灣海峽移動，20日通過台灣海峽，隨後減弱為熱帶性低氣壓。

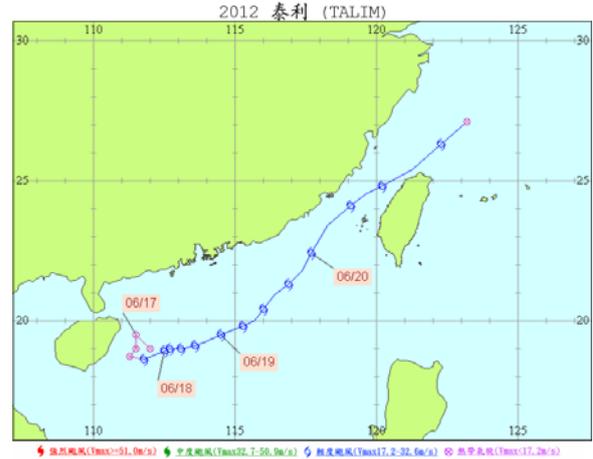


圖 3. 泰利颱風強度變化及路徑圖。

6月16日0000UTC(圖4a.)滯留鋒面仍然自日本向西南方向延伸通過東海及台灣海峽至華南一帶與海南島附近的低壓系統構聯，此低壓移動速度緩慢呈近似滯留狀態，6月17日0000UTC(圖4b.)鋒面系統明顯北抬至長江流域一帶，低壓系統與其割離，開始緩慢朝東北方向前進。6月16日海南島附近的低壓系統增強為熱帶氣旋後逐漸的朝東北方向移動，也就是說，泰利颱風個案生成的環境條件及移動方向與Lee et al. (2006)統計的結果相同。

初步分析發現，泰利颱風的形成初期環境條件位於鋒面的風切帶上，中層短波槽，高層輻散系統支持，增強後與鋒面系統割離，移動方向的第一、四象限風速大於第二、三象限，存在延伸數百公里的西南氣流，底層的噴流夾帶明顯的水氣。

由七股雷達VAD風場分析(圖5.)，以七股為中心選定半徑30公里的範圍進行方場平均。0101UTC至0601UTC期間，垂直風向結構均呈現西南風(黃色陰影區)，風速平均風達40kt以上最大達到65kt，在0631UTC之後，高度6公里以上風向風向逐漸轉為西風，6公里以下維持西南風，與颱風相對位置比較，雖然颱風移動到七股雷達站的北北西方，6公里以下平均風向仍維持西南風，6公里上高度逐漸轉變為西風，因此在0101UTC至0731UTC颱風通過台灣海峽南部期間，6公里以下為西南氣流，6公里以上始能分辨出颱風的環流結構。

四、雨帶特徵與演變

利用6月20日七股雷達仰角0.5度之平面位置顯示(Plan Position Indicator ; PPI) (圖 6.)方式，颱風由南海地區通過台灣海峽期間進行分析。為利於分析底層的環流結構，由PPI時序觀察到颱風雨帶回波結構呈現不對稱的現象，而颱風環流特徵不易分辨，颱風移動方向的第一、四象限雨帶結構較明顯。0300 UTC時(圖 6a.)，一強降水系統發展於澎湖西南方，且位於颱風東側雨帶上，強度達40dBZ以上，此降水系統最為接近颱風的內核區域，然而由於雷達降水回波與衛星雲圖顯示颱風雨帶結構相當不對稱，考量該降水系統可能為發展中的眼牆結構，因此本研究定義此強降水系統為降水系統A。

持續追蹤降水系統A的移動，於0400 - 0500 UTC(圖 6 b, c.)通過澎湖地區，隨後至0600 UTC(圖 6 d.)通過澎湖地區，轉向朝雲林嘉義沿海一帶移動進入陸地。0600UTC降水系統A向東移動接近雲嘉南地區時，沿海地區激發另一回波強度大於40dBZ的降水系統B，0700UTC降水系統A與降水系統B合併為A'，此外，在南方出現一帶狀回波C，降水系統A持續向東移動進入陸地後開始減弱，帶狀回波C則向東南至南方方向傳遞。與中央氣象局的颱風定位資料比較發現，回波的移動趨勢與颱風中心出現割離的情況，自此之後，欲清楚分辨出屬於颱風的核心區域變得更加不容易。

0309UTC七股單都卜勒風場及回波等高面顯示圖(圖 7.)，在2公里的高度，降水系統A位於七股雷達站西方約80至100公里處，0300UTC颱風中心於七股雷達站西方196公里處(如圖示)，為了方便追蹤降水系統A，以等值線強調回波值大於40dBZ的區域，可以清楚辨識降水系統A南北長度達90公里，東西寬度約略為30公里，是一個南北長條形的降水系統，回波最大值達50dBZ，在降水系統A北側的位置。徑向風較大的區域則分成兩個區域，一是緊鄰降水系統A的西南方，另一則是位於降水系統A的東側至東南側。零值線通過降水系統A的位置，出現了彎折的現象，顯示此處有旋轉的跡象。

藉由七股與馬公雙都卜勒雷達風場合成，詳細探討降水系統A的動力特徵。在去除系統的移動移動速度($u=10.8 \text{ ms}^{-1}$, $v=5.0 \text{ ms}^{-1}$)後，可以觀察到隨高度的增加，出現氣旋式的環流特徵(圖8.)，並在4公里的高度發現一渦旋出現在A系統西北側，該出相當接近颱風中心，推測為颱風內核環流區之小渦旋。由此更進一步確認在單都卜勒風場所看到的彎折之處與系統旋轉之相關性。

在4公里的高度，西南方強風區位於A系統的西南側，風速大於 40 ms^{-1} ，並且在向西方向可以發現明顯的強風速梯度，同樣區域在4公里高度渦旋之渦

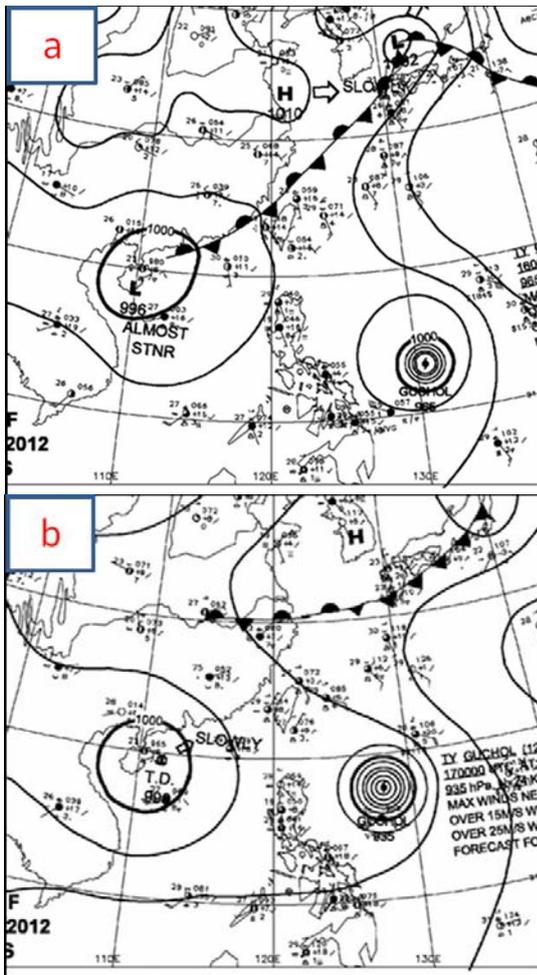


圖 4. 地面天氣圖 (a) 6月16日0000 UTC。(b)17日0000UTC。資料摘製自中央氣象局。

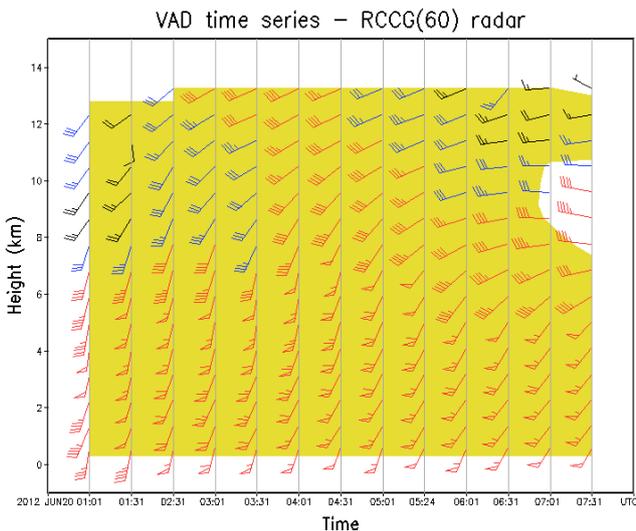


圖 5. 七股雷達VAD垂直風場分析圖。時序為6月20日0101 UTC至0731 UTC，取用雷達資料半徑為60公里，黃色陰影區域代表風向小於270度。風標顏色：風速低於25kts黑色，25至34kts藍色，34kts以上紅色。

度(圖 9 a.)則到達 $9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，此外，4公里高度在回波最強的區域西南緣，可以發現輻合帶(圖 9 b.)，上升運動達到 12 ms^{-1} (圖 9 c.)，Jorgensen et al. (1985) [15]觀測得颶風內垂直上升運動速度均小於 6 ms^{-1} ，而本個案降水系統A的垂直上升運動速度出現大於 6 ms^{-1} 的情況，顯示在降水系統A北側回波最強的區域，與風速梯度造成的輻合有關，降水系統A的移動方向沿著其最大的輻合區位置方向移動。

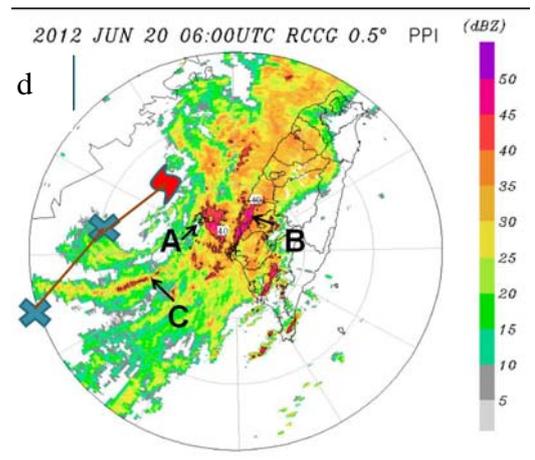
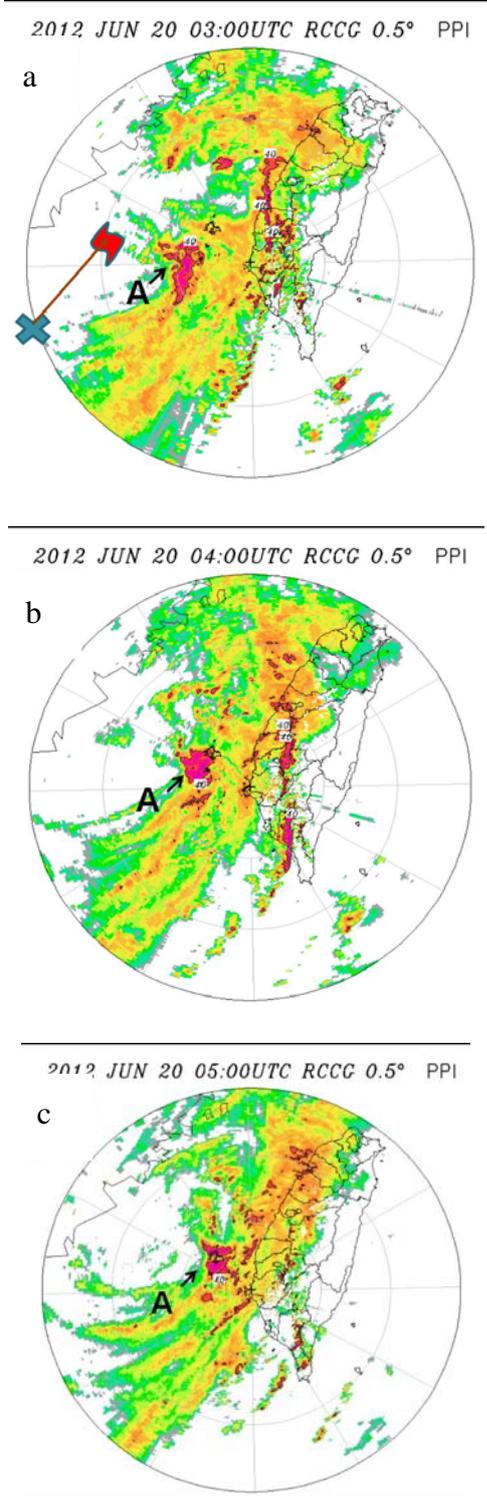


圖 6. 6月20日七股雷達仰角0.5° PPI回波圖。(a) 0300 UTC，(b) 0400 UTC，(c) 0500 UTC，(d) 0600 UTC。圖中" + "為七股雷達站位置，颱風符號位置為中央氣象局颱風中心定位位置，X 符號為颱風過去位置。

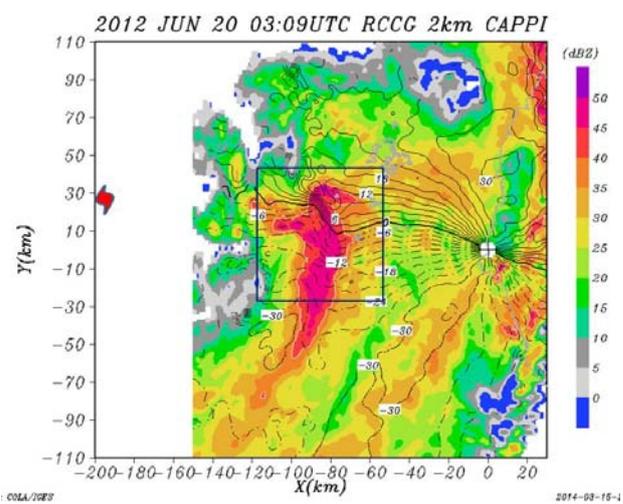


圖 7. 6月20日0309UTC七股雷達降水回波與徑向風場之等高面平面位置顯示合成圖，" + "為七股雷達站位置，颱風符號為中央氣象局0300UTC 颱風定位位置，細實線代表正的徑向風場等風速線，虛線為負。

五、討論與結論

由於西南氣流於泰利颱風通過台灣之前，即已帶來明顯降水。6月19日至21日造成台灣地區降水可歸類為三個週期，兩大主因，即是西南氣流-颱風雨帶-西南氣流。

泰利颱風通過台灣海峽期間，強對流發展於颱風移動方向第一、四象限之雨帶上，強度甚至達到 50 dBZ 的強度，透過都卜勒雷達資料合成風場，降水雨帶的風場特徵與典型颶風中心結構特徵不同，底層沒有向颱風中心的入流，且不具眼牆特徵。再進一步探討降水系統的結構特性發現，風速大於 40

ms^{-1} 噴流條位於回波最強區域的西南邊，並且在朝西方向存在明顯的風速梯度，同樣區域在4公里高度過度分布也發現明顯正過度現象，西南緣有明顯的輻合帶，在降水系統A北側回波最強的區域，由風速梯度造成的輻合，是降水系統A發展的動力條件。此外，將系統的移動速度除去後，可以觀察到隨高度增加出現氣旋式的環流特徵。

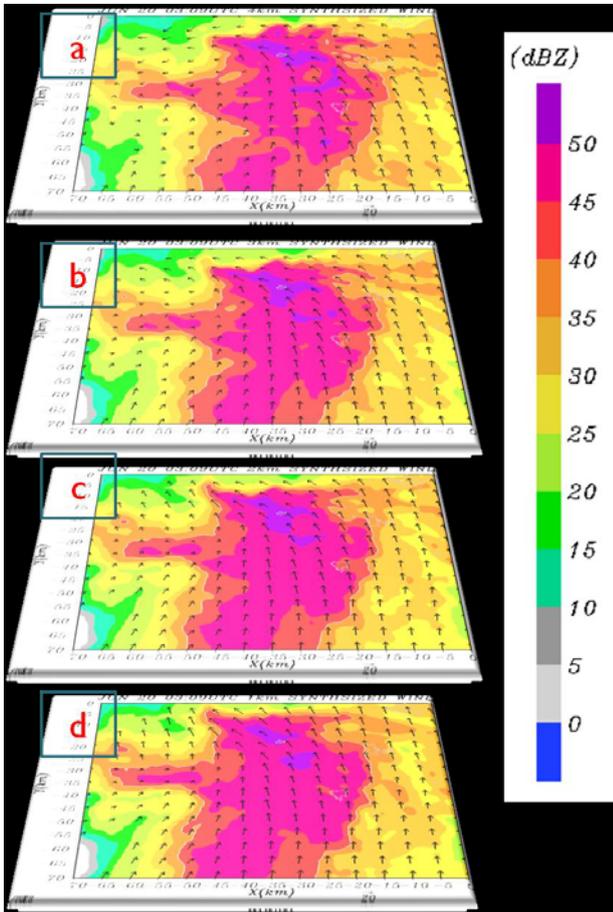


圖 8. 0309UTC雙都卜勒風場去除系統移速與回波合成圖。(a)4公里(b)3公里(c)2公里(d)1公里高度，風速單位為 ms^{-1} 。

此外，在垂直特徵上，在降水系統北側回波高度發展最高，且具有「熱塔」的深對流現象，上升運動達到 20 ms^{-1} 與唐(2010)觀測莫拉克兩帶上深對流系統 18 ms^{-1} 的結果相似，Jorgensen et al. (1985) 觀測得颶風內垂直上升運動速度均小於 6 ms^{-1} 。降水系統的生命週期持續4個小時之久。Houze (2009)所提的渦旋熱塔本身存在旋轉的特性，且其上升氣流並不是因為底層之內流(inflow)遭遇沉降氣流區的陣風鋒面而引發，而是因為底層雨雲蒸發冷卻後所造成空氣密度之差異(即密度梯度的增加)，迫使底層之內流遭遇到降水成層區後被抬升，渦旋熱塔內部之上升氣流主要為受熱力引發。而泰利颱風雨帶上的降水系統內深對流的位置出現在氣旋環流東北側，上升

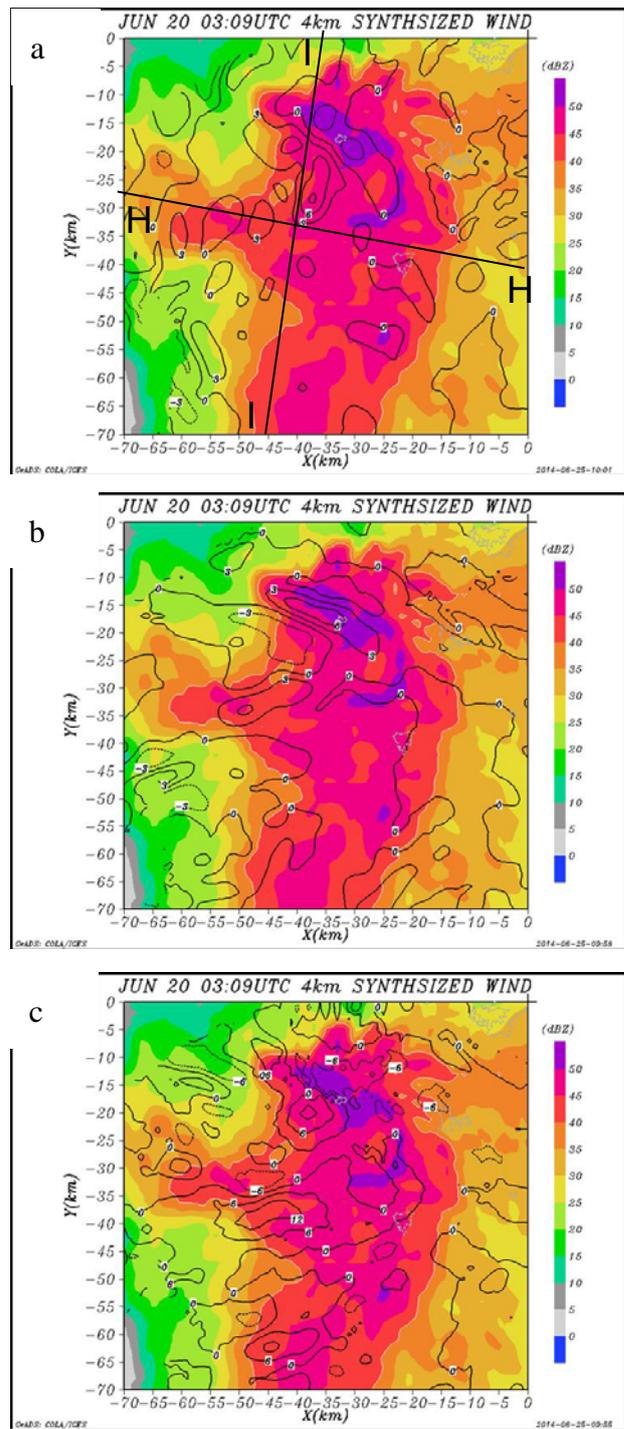


圖 9. 0309UTC七股與馬公雙都卜勒風場及回波合成圖。等值線分別為(a) 過度場，單位 10^{-3} s^{-1} ，(b)輻合輻散場，(c)垂直運動場。

速度達到 20 ms^{-1} 的強度(圖 10.)，但是中低層的風場有明顯輻合及動力條件，降水系統的移動方向與其最大輻合區位置具相關性。唐(2010) 觀測莫拉克兩帶上對流的熱塔現象，發現在熱塔內高層冰晶形成還有冰晶與過冷水的凙化現象，以及熱塔下方的大量水滴等凝結作用均會釋放大量潛熱，對於熱塔的生命週期有很大的幫助，本研究觀察泰利颱風雨帶

上深對流降水系統，同樣發現在明顯上升運動位置上方存在冰晶，60至100公里處6公里以下高度有強降水及冰水混合的現象，未來能探討深對流的水象粒子特徵，以進一步說明潛熱與深對流發展的關係。

參考文獻

- 唐玉霜，2010：2009莫拉克颱風雷達觀測中尺度雨帶特性研究，中央大學碩士論文，桃園，70頁。
- Browning, K.A., and Wexler, R.,1968: The Determination of Kinematic Properties of a Wind Field Using Doppler Radar. *J.Appl Meteor.* 105.
- Jorgensen, D. P., Zipser, E. J., and Lemone M. A., 1985: Vertical motion in intense hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 42, 839-856.
- Lee, C. S., Lin, Y. L., and Cheung, K. K. W., 2006: Tropical cyclone formations in the South China Sea associated with the Mei-yu front. *Mon.Wea.Rev.*, 134, 2670–2687.
- Lhermitte, R. M., and Atlas, D., 1960: Precipitation motion by pulse Doppler, Preprint, 9th Weather Radar Conf., Kansas City, MO., *Amer. Meteo. Sci.*, 218-223.
- Houze, R. A., Jr., 2010: Review-clouds in tropical cyclones. *Mon.Wea.Rev.*,138, 293–344.
- Ray, P. S., Wagner, K. K., Johnson, K. W., J. J. Stephens, W. C. Bumgarner, and E. A. Mueller, 1978: Triple-Doppler observations of a convective storm. *J. Appl. Meteor.* 17, 1201-1212.
- Ray, P. S., J. J. Stephen sand K. W. Johnson, 1979: Multiple-Doppler radar network design. *J. Appl. Meteor.* 18, 706-710.

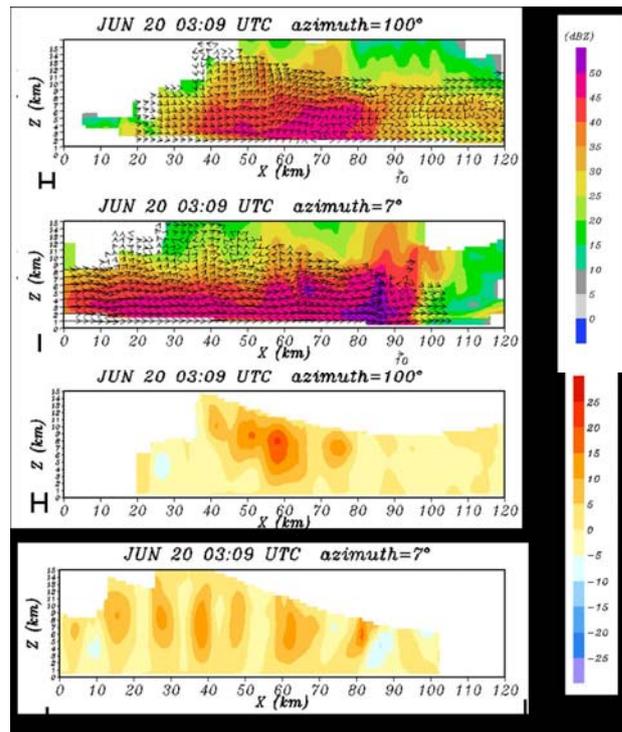


圖 10. 降水系統A 在0309UTC雙都卜勒風場反演剖面圖。陰影為回波，量矢為風場(ms-1)，等值線為垂直速度場(ms⁻¹)實線為正代表上升運動，虛線反之。