

莫拉克颱風(2009)的對流雨帶在運動結構上之初步分析

莊耀中¹ 魏志憲¹ 汪建良²

¹國防大學理工學院國防科學研究所
²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,並且更進一步使用雙都卜勒風場之分析去了解颱風雨帶上發展成強烈對流胞之動力結構。

這個研究所選取個案時間從2009年8月08日2200 UTC到2009年8月09日0600UTC,雨帶和颱風中心之間的距離大約是250公里,該雨帶在匯入颱風時比其他位置雨帶強度更強烈,且有不同於螺旋雨帶的線性特性;由於雨帶位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。研究指出東西方向的線性雨帶位於海岸線附近地區,從合成風場分析似乎有一個明顯的合流區疊加在對流雨帶上面,而合流區是由西和西南方向氣流所造成。在合流區上游有新的對流胞明顯地生成,並且向東傳播到內陸,在合流區有水平切變所引起正的垂直渦度和很強的垂直速度,合流現象可能增強西方向氣流的最大速度超過24m/s,所以西方向氣流也可以被稱為噴流,而此噴流成因像是第二最大的水平風(SHWM)和雨帶所結合,形成原因和螺旋雨帶不同;強烈西方向氣流伸展的高度範圍從2公里到5公里,雨帶上成熟的對流胞和上升氣流的位置在強風的北方,也就是在傾向颱風的內側。

關鍵字: 雙都卜勒風場、颱風雨帶

一、前言

莫拉克颱風在南台灣地區造成嚴重水災,由雷達資料觀測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;圖1為颱風內部結構:颱風眼、眼牆和雨帶三部份(Willough, 1988) [1],颱風雨帶有

三種分別為主要雨帶、第二雨帶和外部雨帶,其中主要雨帶是上游區的對流降雨和下游區的層狀降雨構成,之前研究(Barnes et al., 1983) [2]有提過一個概念模式,表示主要雨帶的對流胞內有二個對流尺度環流:一個為螺旋向外的上升氣流,另一個為螺旋向內下

降入流(圖2a),其中對流尺度上升氣流螺旋狀的傾斜引起切應力水平渦度變為垂直渦度(圖2b),使得對流胞向上傾斜發展;也有研究(Hence et al., 2008) [3]指出主要雨帶上是多個對流胞所組合而成(圖3a),而主要雨帶上對流胞內的對流尺度空氣運動和第二最大的水平風相互作用會增強雨帶強度(圖3b);且雨帶上對流胞的生長位置在第二最大的水平風的北方。本文利用雙都卜勒資料針對莫拉克颱風的主要雨帶上影響要素作探討,期望能透過雷達資料了解雨帶上的運動結構,能進一步印證之前的概念模式,並了解颱風雨帶上的對流胞和第二最大的水平風的相互作用。

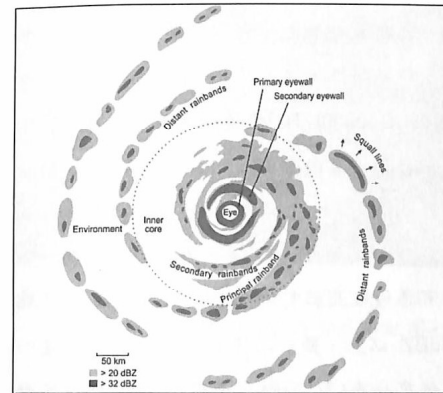


圖1 颱風結構的概念模式。(Willough, 1988)

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S頻的都卜勒氣象雷達資料來分析莫拉克颱風的雨帶,馬公雷達與七股雷達距離64公里,其中馬公雷達

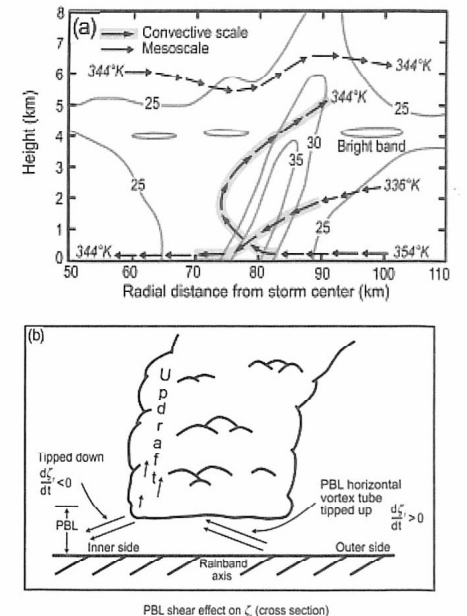


圖2 雨帶上對流尺度結構的概念模式。(Barnes et al., 1983)

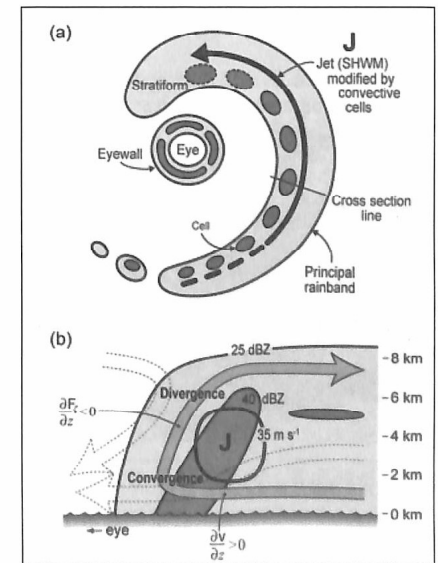


圖3 雨帶上對流胞內對流尺度空氣運動的概念模式。(Hence et al., 2008)

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。因為雷達掃描範圍互有重疊(圖 4)，可進行雙都卜勒雷達風場合成，都卜勒風場合成方法參考 Ray et al. (1978、1979) [4][5]，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。以莫拉克颱風個案為例，將此二雷達觀測之都卜勒風場進行合成，選取個案時間從 2009 年 8 月 08 日 2200 UTC 到 2009 年 8 月 09 日 0600UTC，兩帶和颱風中心之間的距離大約是 250 公里(圖 5)，選取兩帶位置在整個颱風兩帶中雷達回波最強的地方，兩帶的位置剛好是二個雷達可以作雙都卜勒雷達風場合成，有利於分析兩帶上的運動結構和探討支持兩帶持續發展的來源。

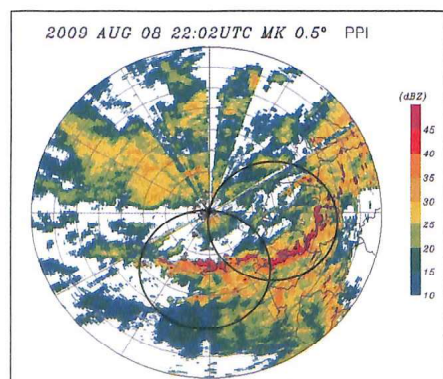


圖 4 2009年8月8日2202 UTC時馬公雷達在仰角0.5度之PPI圖。圖圈範圍為雙都卜勒風場合成區域，黑色實線代表海岸線與縣市界。

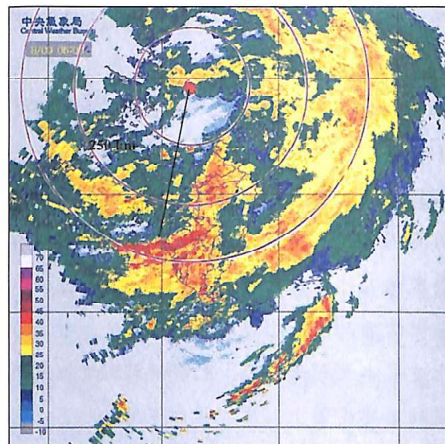


圖 5 2009年8月8日2200 UTC時雷達合成圖。圖圈半徑為100公里。

三、個案分析

莫拉克颱風影響台灣期間，颱風兩帶有長生命期特性，從 8 月 08 日 0000 UTC 到 8 月 09 日 0600UTC 雷達回波緯度分布(圖 6)可以發現，且兩帶有南北震盪情況，生成的位置不固定，8 月 08 日 2200 UTC 到 8 月 09 日 0600UTC 的雷達回波和其他時間相比，兩帶有持續往北移動的情況，回波強度有達到 45dBZ 以上，顯示兩帶有一定強度，雷達回波經度分布(圖 7)顯示兩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，為了進一步了解兩帶特性利用馬公雷達和七股氣象雷達資料使用雙都卜勒風場之分析，由圖 8 得知有一東西走向的對流兩帶位從七股雷達外海延伸至澎湖群島西南側，兩帶系統呈現近似滯留狀態，兩帶回波強度有到達 45dBZ 以上，兩帶中

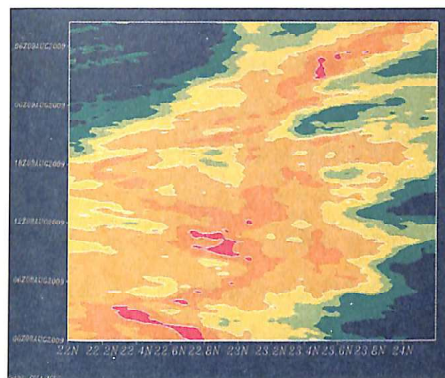


圖 6 2009年8月08日0000 UTC到8月09日0600UTC雷達回波緯度分布哈默圖。切割面位置119.8~120.8° E。

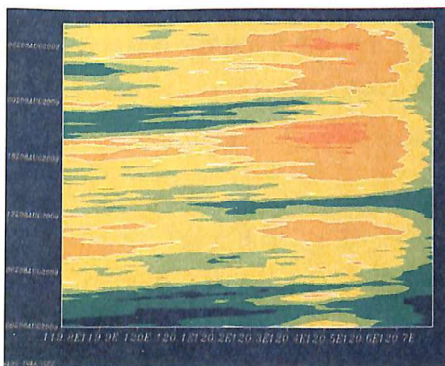


圖 7 2009年8月08日0000 UTC到8月09日0600UTC雷達回波經度分布哈默圖。切割面位置23.2~24.2° N。

40dBZ 以上為對流胞範圍，可以看出有數個對流胞呈東西向分布，從合成風場分析似乎有一個明顯的合流區疊加在對流兩帶上面，而合流區是由西和西南方向氣流動所造成。在合流區上游有新的對流胞明顯地生成，並且向東傳播到內陸，在合流區有水平切變所引起正的垂直渦度和很強的垂直速度，最大

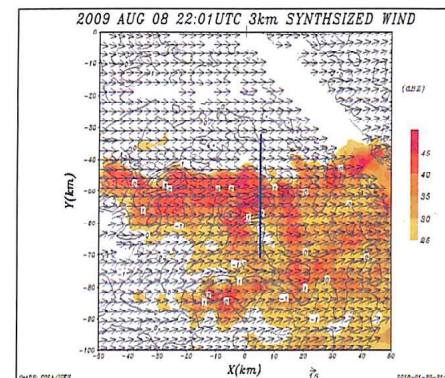


圖 8 2009年8月8日2201 UTC時馬公與七股雷達在3公里高度雙都卜勒合成風場圖。填色代表降水回波，等值線為垂直速度場，符號+代表馬公雷達位置，灰色實線代表海岸線。橫座標與縱座標代表與雷達站之距離，藍色實線為切割面位置。

垂直速度為 4 m/s，合流現象可能增強西方向氣流的最大速度超過 24m/s，所以西方向氣流也可以被稱為噴流，而此噴流成因像是第二最大的水平風和兩帶所結合，形成原因和螺旋兩帶不同，而對流胞在噴流北方和前人研究概念模式相符。

由圖 9 可以看到對流胞上的運動結構的分佈，從回波場來看對流胞強度可以到達 45dBZ 以上，最強回波區在底層，對流發展高度可以到十公里，而對流發展向颱風中心傾斜現象，和之前研究發現的現象不一樣，可能的原因為兩帶距離颱風中心比較遠，且受強勁南風分量影響較大，導致傾斜方向不一樣；從風場分析，和概念模式相比較，一樣有上升氣流，方向一樣由對流胞外部向內輻合，在回波最強地方向上傳送，到高度 7-8

公里處向外輻散，顯示有很強的垂直速度；切向風速表現顯示最大速度為 24m/s，位置在 2-4 公里高度，且在最強回波區的南方，和概念模式相同。由圖 10 分析垂直速度場，發現最強垂直速度為 4m/s，位置在 3-4 公里高度，在最強回波區上方，由之前分析比較，切向風速和垂直速度最強位置重疊，加上風場分析上升氣流位置也大致相同，由之前研究得知傾斜引起切應力導致水平渦度變為垂直渦度，由之前分析可以間接得到上述結果，顯示此次個案雨帶上對流尺度的運動結構和概念模式相同。

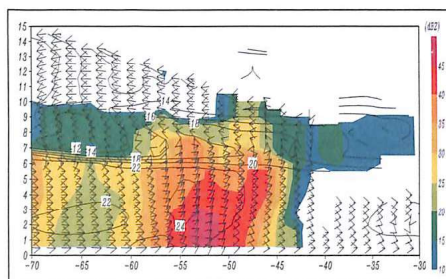


圖9 垂直剖面圖。填色代表降水回波，等值線為切線速度風場。橫座標代表與雷達站之距離，縱座標代表高度，箭頭為風場合成。

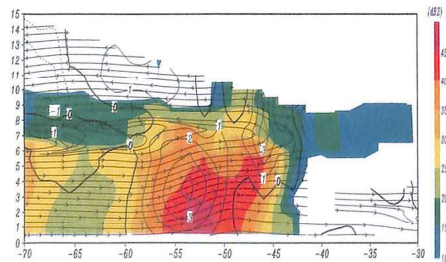


圖10 垂直剖面圖。填色代表降水回波，等值線為垂直速度風場。橫座標代表與雷達站之距離，縱座標代表高度。

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雨帶運動結構，期望能找到雨帶維持的原因，和之前研究比較，雖然不能直接證實雨帶增強的原因，但是使用雙都卜勒風場之分析結果得知雨帶上合流區是由西和西南方向氣流動所造成，合流現象可能增強西方向氣流，且在雨帶中對流尺度上的分析，可以知道對流胞的發展是利於雨帶的增強，也證實研究結果和概念模式相符合，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] Willoughby, H. E., 1988: The dynamics of the tropical hurricane core. *Aust. Meteor. Mag.*, 36, 183-191.
- [2] Barnes, G. M., E. J. Zipsper, D. Jorgensen, and F. Marks Jr. (1983), Mesos-scale and convective structure of a hurricane rainband, *J. Atmos. Sci.*, 40, 2125-2137.
- [3] Hence, D. A., and R. A. Houze Jr., 2008: Kinematic structure of convective-scale elements in the rainbands of Hurricanes Katrina and Rita (2005). *J. Geophys. Res.*, 113, D15108, doi:10.1029/2007JD009429.
- [4] Ray, P. S., K. K. Wagner, K. W. Johnson, J. J. Stephens, W. C. Bumgarner and E. A.

Mueller, 1978: Triple-Doppler Observations of a Convective Storm. *J. Appl. Meteor.* 17, 1201-1212.

- [5] Ray, P. S., J. J. Stephens and K. W. Johnson, 1979: Multiple-Doppler Radar Network Design. *J. Appl. Meteor.* 18, 706-710.