

軸對稱化與雙渦旋交互作用

徐理寰 郭鴻基

國立台灣大學大氣科學研究所

摘要

隨著雷達回波與衛星微波觀測技術的廣泛應用，有許多颱風雙眼牆的個案被觀測到，一個典型的個案例如圖 1 Black and Willoughby (1992) 所分析的 Hurricane Gilbert (1988) 的切向風速剖面圖，9 月 11 日到 9 月 13 日可以看到最大風速極值增強且內縮形成內眼牆，此時外圍開始形成次大風速極值。9 月 13 日到 9 月 14 日這段時間，內眼牆最大風速下降，但次大風速極值內縮且增強形成第二眼牆，接下來兩天內眼牆強度減弱，外眼牆內縮取代內眼牆(eyewall replacement)。雙眼牆結構的形成與週期在許多觀測上可以發現與颱風強度的變化有密切的關係，因此研究雙眼牆形成的過程及機制，對於颱風強度的預報改善，會有很大的助益。

圖二為 2001 年利奇瑪颱風的雷達觀測，其雙眼牆結構由一穩定強度的颱風中心拉伸、組織外圍不對稱的對流區而形成，時間大約是十二小時。Kuo et al. (2004) 觀察利奇瑪颱風雙眼牆形成過程之雷達資料，發現核心渦旋組織週圍大範圍不對稱對流區形成雙眼牆結構，從而以理想雙渦旋交互作用實驗來模擬雙眼牆結構的形成。此實驗延伸 Dristchel and Waugh (1992) 的雙渦旋實驗，加入渦旋強度比的參數，使用小而強渦旋為核心，大而較弱渦旋代表鄰近渦度場，強調核心渦旋強度之重要性並假設颱風中心渦旋在形成期間結構穩定不變，並使用了兩渦旋強度比、兩渦旋半徑比和兩渦旋間的無因次距離為實驗的三個參數，分別定義為 γ 、 r 和 Δ/R_1 ，其中 R_1 為核心渦旋半徑。核心渦旋為阮肯渦旋(Rankine vortex) 時， γ 要在 6 以上，外圍渦旋要比核心渦旋大，且兩渦旋間要有適當的距離才會形成雙眼牆結構。

而實際從觀測上可以得知颱風中心結構並非一直穩定不變的：Kossin and Eastin (2001) 利用飛機觀測資料分析數個颱風的運動場與熱力場結構，指出強烈颱風眼及眼牆的運動場結構有時會出現兩種截然不同類型的演變，且在這兩種類型的演變中發現颱風強度也同時會有改變，以圖 3 Hurricane Diana(1984) 的飛機觀測資料為例，在渦度與切向風的分布上，從第一種類型演變到第二種類型後，原本在眼牆的渦度與風速皆會減弱，颱風眼內渦度和風速會增強，另外在眼牆外也有區域有輕微的渦度及風速的增加。這樣的觀測結果可以用 Schubert et al. (1999) 提出颱風中渦度側向混合的機制來解釋，Schubert et al. (1999) 在模式中以渦度環的結構來模擬颱風眼牆，實驗最終渦度環形成一個單極渦旋，渦度從中心單調向外遞減。此單極渦旋與最初渦度環兩者結構相比，眼牆的渦度減少，眼內及

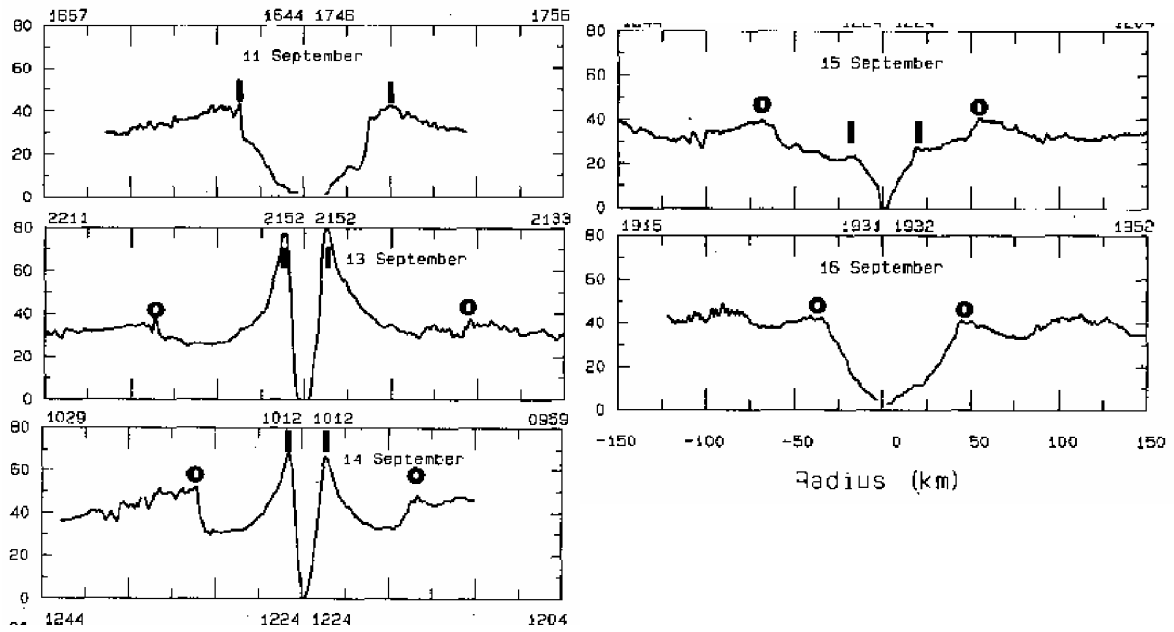
眼牆外風速增加，結果與 Kossin and Eastin (2001) 分析的觀測資料吻合。

此篇論文延續 Kuo 等人的雙渦旋實驗，改變核心渦旋強度維持不變的假設，以一個呈環狀分佈的渦度結構來作為核心渦旋並且控制初始條件使核心渦度環會進行軸對稱化過程混合成一單極渦旋，控制參數為核心渦度環與外圍渦旋強度比、渦度環混合後半徑與外圍渦旋半徑比以及兩渦旋間無因次的距離，圖四為實驗示意圖。此實驗設計希望從正壓的觀點去探討當颱風眼牆進行軸對稱化過程時對組織外圍渦度能力的影響。從觀測上得知颱風眼牆與颱風眼的位渦混合後，颱風眼渦度及風速會增加，眼牆部份渦度及風速皆會減少，此種位渦混合過程通常也伴隨著中心壓力急遽下降(Kossin and Schubert 2001)。

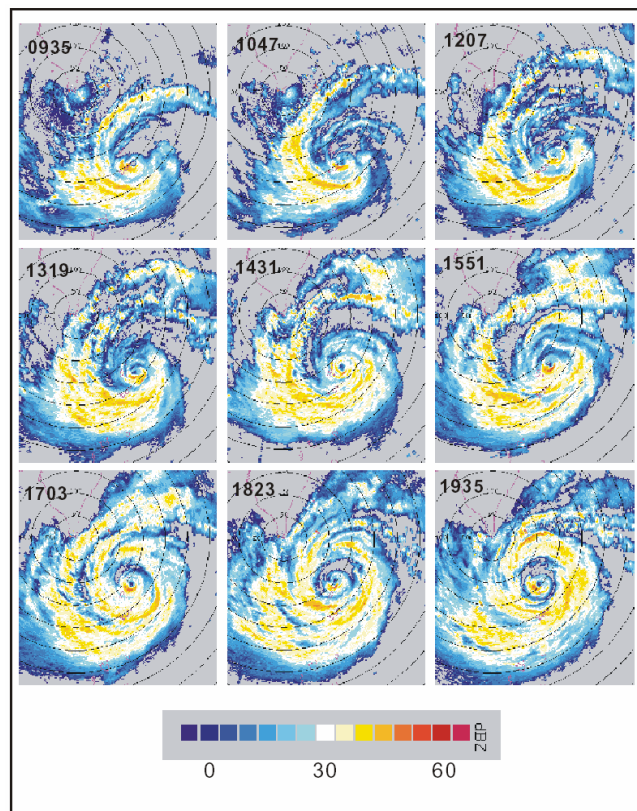
實驗結果顯示只有在外圍渦旋半徑為核心渦旋半徑 4 倍以上，兩渦旋間無因次化距離要在 3 以內，強度比在半徑比為 1/4 時需要在 8 倍以上，半徑比為 1/5 時則需要在 9 倍以上才有機會形成雙眼牆結構，實驗中核心渦度環仍然有呈現出軸對稱化的特徵，包括渦度向渦旋中心混合、颱風眼及眼牆外渦度增加，颱風眼牆的渦度減弱、渦旋中心風速增強以及中心壓力急遽下降等特性。隨著核心渦旋強度的增強，雙渦旋實驗中越容易出現雙眼牆結構，中心壓力下降值也越大，當核心渦旋強度相同時，兩渦旋間距離的遠近與壓力下降多少無關。外圍渦旋大小也是影響中心下降壓力大小的因素之一，外圍渦旋越大時壓力下降的越多，雙渦旋實驗中壓力下降隨核心渦旋強度變化大約是呈現線性的關係，核心渦旋強度越強壓力下降的越多，但可注意到當實驗結果為兩渦旋互繞的時候，核心渦旋中心壓力下降的很少，不符合線性的變化。

參考書目

- Black, M. L., and H. E. Willoughby, 1992: The concentric eyewall cycle of Hurricane Gilbert. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 947-957.
- Dritschel, D. G., and D. W. Waugh, 1992: Quantification of the inelastic interaction of unequal vortices in two-dimensional vortex dynamics. *Phys. Fluids A*, **4**, 1737-1744.
- Kossin, J. P., and W. H. Schubert, 2001: Mesovortices, polygonal flow patterns, and rapid pressure falls in hurricane-like vortices. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 2196-2209.
- Kossin, J. P., and Eastin, M.D., 2001: Two distinct regimes in the kinematic and thermodynamic structure of the hurricane eye and eyewall. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 1079-1090.
- Kuo, H.-C., L.-Y. Lin, C.-P. Chang, and R. T. Williams, 2004: The formation of concentric vorticity structures in typhoons. *J. Atmos. Sci.*, **119**, 1347-1361.
- Schubert, W. H., M. T. Montgomery, R. K. Taft, T. A. Guinn, S. R. Fulton, J. P. Kossin, and J. P. Edwards, 1999: Polygonal eyewalls, asymmetric eye contraction, and potential vorticity mixing in hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1197-1223.

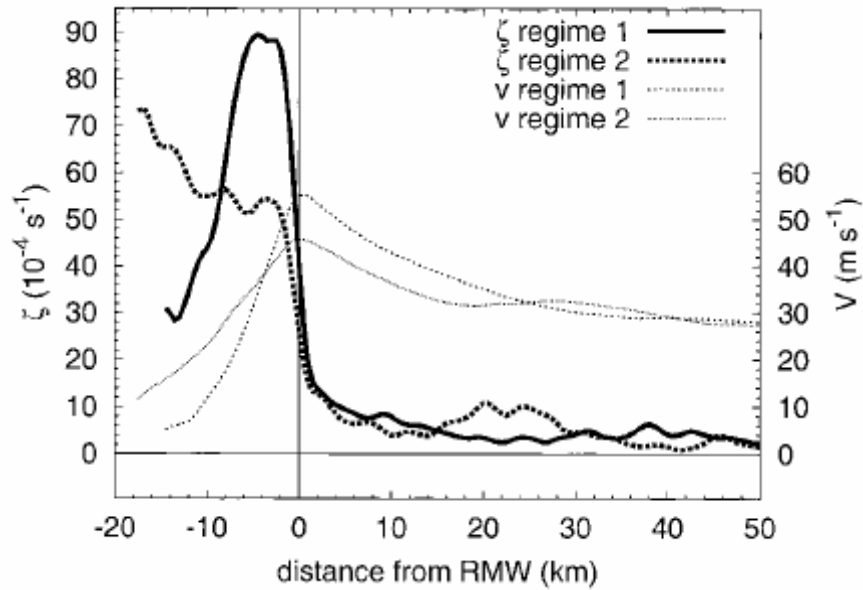


圖一 Hurricane Gilbert(1988)五次飛機觀測的切向風速徑向剖面。圖中標示 I, O 分別表示內眼牆與外眼牆的位置, 每張圖上方標示有觀測的時間。(摘自 Black and Willoughby, 1992)

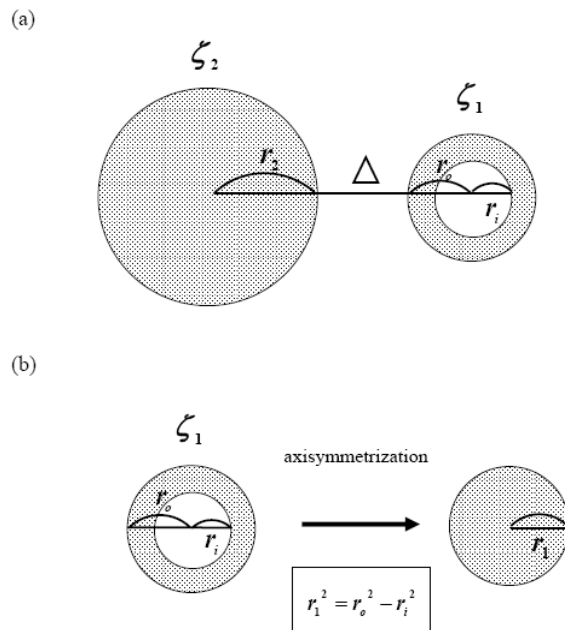


圖二 墾丁雷達站仰角 0.5°利奇瑪颱風的雷達回波圖, 時間為 9 月 25 日 0935-1935

LCT。時間序列為從左到右、從上到下。(摘自 Kuo et al., 2004)



圖三 Hurricane Diana(1984) 850mb 的第一種類型與第二種類型的平均切向風速與渦度徑向剖面，橫軸為距離最大風速半徑的距離，縱軸左邊為渦度，右邊為切向風速。第一種類型由 9 月 11 日 1100 UTC 到 9 月 12 日 0000 UTC 期間 22 次飛機觀測資料平均。第二種類型由 9 月 12 日 0000 UTC 到 1200 UTC 期間 18 次飛機觀測資料平均。(摘自 Kossin and Eastin, 2001)



圖四 (a) 雙渦旋實驗的示意圖。(b) 中心渦旋假設會軸對稱化為單極渦旋。半徑會有 $r_1^2 = r_o^2 - r_i^2$ 的關係式。