

熱帶氣旋形成過程伴隨之尺度交互作用：低層動量強迫機制

Scale interaction during tropical cyclone formation: Low-Level momentum forcing

張龍耀 李清勝
臺灣大學大氣科學研究所

摘要

本研究針對 2004~2005 年間，西北太平洋地區共 57 個颱風個案進行分析，嘗試找出不同環境強迫機制下形成之熱帶氣旋之差異性，以及其所伴隨的中尺度系統特徵與演變。首先針對在熱帶氣旋形成前，擾動北方低層東風有顯著增強的 Bolaven(2005)個案進行分析與模擬，目的在分析此類型個案中北方東風扮演之角色，並探討此類個案中，中尺度系統的演變過程以及其重要性。利用 TRMM 之 TMI 雨量資料以及 QSCAT 衛星資料，顯示此個案其形成期間具有以下特徵。1. 有移動性高壓東移經過系統北側。2. 南側伴隨有廣泛但微弱的低壓(氣旋式風場)。3. 由於北側強風輻合激發之對流集中於環流中心的西北側。4. 較靠近系統中心的對流，由於受到近中心風速較強的影響，逐漸被捲入系統。5. 待對流中心與環流中心合併後，系統開始顯著增強。

利用新一代數值模式 WRF (Weather research and forecasting)進行模擬，結果顯示，WRF 模式對於上述形成期間的特徵都有相當好的掌握。結果同時顯示，由於北側強東風主要集中在 850hPa，因此所激發的位渦也以這個高度最為顯著。透過小尺度的位渦柱不斷的合併、增強過程，逐漸增強背景位渦，使得所產生的位渦柱強度亦逐漸增強，同時其往上穿透的能力也隨之增強；最後，終將形成垂直結構更完整的位渦中心，並且使低層環流增強，跨越 per-WISHE 階段而達到 WISHE-Wind induced surface heat exchange(Rotunno and Emanuel,1987)的階段。

一. 前言

觀測資料顯示，熱帶氣旋形成時，除綜觀環境條件合適外，常伴隨有環境流場的變化，例如擾動南側的跨赤道流(Love,1985、李與侯,2004)，或是北側的低層東風增強(Lee,1989、Lee and Lee,2002、黃,2001、莊,2004)以及高對流層槽線(Sadler,1976、Pfeffer and Challa,1992)……等。此類在環境大尺度流場變化作用下的熱帶氣旋形成過程中，約有 70%的個案可同時觀測到中層中尺度系統(MCS)的存在(Ritchie and Holland,1997)，同時透過 MCSs 合併、增強之過程，有助於形成地面氣旋式環流。透過此低層氣旋式環流的建立，將有可能跨越隨機階段，進到 CISK(Ooyama,1964、Charney and Eliassen,1964)理論中系統自我維持的物理決定階段，促使熱帶氣旋形成。

Lee and Lee(2002)、黃(2001)、莊(2004)的研究中指出，此類型個案形成期間，其北側均伴隨有一移動性高壓東移經過擾動北側。利用 MM5 數值模式結果顯示，熱帶擾動北側之強東風伴隨有帶狀的渦度，以平流的方式進入擾動中心，促使擾動增強形成熱帶氣旋。同時透過敏感度實驗，顯示減弱北方高壓強度將間接減弱此強東風帶，使熱帶擾動無法持續增強成熱帶氣旋。

由於觀測技術的進步，使我們對於熱帶氣旋形成

區域之洋面上的觀測資料更為完整，也使我們有機會瞭解熱帶氣旋形成期間之中尺度結構特徵。本研究將針對 2005 年西北太平洋地區第 24 號熱帶氣旋 Bolaven 進行分析與模擬，探討在伴隨有北側強東風爆發的環境強迫機制下形成之熱帶氣旋，其所伴隨的中尺度系統特徵與演變，另一方面，也將探討這些中尺度系統在熱帶氣旋形成過程之重要性。

二. 資料分析

分析 JTWC 對 Bolaven(2005)發佈 TCFA 時間之 JMA 地面天氣圖顯示(圖 1)，在其形成期間北方有一移動性高壓經過，此兩系統距離約為 2500~3000 公里。利用 QSCAT 近海面風場資料以及 TMI 降雨資料，清楚顯示 Bolaven 形成初期，伴隨有北側強東風的接近以及南側微弱氣旋式環流的分佈特徵(圖 2a)；隨著高壓東移，可看到強東風區與熱帶擾動環流形成一幅合帶，並激發出線狀對流(圖 2b)；此線狀對流隨即被熱帶擾動本身的環流影響，逐漸旋入擾動中心，隨後系統即迅速增強(圖 2c)。分析 2004~2005 年間同樣類型個案，發現 2004 年的 Namadol 及 Talas 也具有相同的對流以及環流特徵。由這些中尺度特徵，可建立一概念模式如圖 3 所示；第一階段，北側強東風將伴隨有帶狀的對流(渦度)移近南方廣泛的低壓區，此時可能形成尺度較小但較強的氣旋式環流。第二階段中，隨著高壓東移，配合新形成的熱帶擾動或是環境風場，將形成帶狀的對流帶。第三階段，此時擾動氣旋式環流已經顯著增強，將帶狀對流逐漸旋入系統中心。

三. 模擬結果分析

利用 WRF 模式對 Bolaven 進行模擬, 初始時間為 TCFA 前 48 小時, 網格解析度分別為 (60km, 20km, 4km), 垂直方向為 31 層, 積雲參數化使用 KF scheme, 雲微物理參數化使用 Reisner scheme。模擬結果強度變化如圖 4 所示, 顯示模擬對於系統初期強度無顯著變化以及後期迅速增強的現象, 有相當好的掌握。檢驗 200511130000 UTC(模式積分 36 小時), 經過熱帶擾動中心的東西風南北剖面, 顯示擾動中心北側之強東風最強可達 20m/s, 高度位於 800~850hPa (圖 5)。

分析積分 27~33 小時 (TCFA 前 21 小時~15 小時) 每隔 3 小時之 500、700 及 850hPa 高度, 跟隨擾動中心 6°X6° 範圍內, 位渦以及風場顯示 (圖 6), 在 850hPa 由於擾動本身之氣旋式環流與北側強東風在擾動中心東側出現輻合帶, 因而激發出成線狀排列之對流, 與圖 2b 之對流分佈相當類似; 隨後受到擾動之氣旋式環流影響, 逐漸旋入系統中心; 同時 700hPa 之氣旋式環流仍相當微弱, 而 500hPa 則無明顯氣旋式風場存在。圖 7 為積分 40~42 小時, 每隔 1 小時之位渦與風場分佈圖; 圖中顯示, 此時 850hPa 氣旋式風場以及位渦均顯著增強, 同時伴隨有數個強位渦中心在其中產生互繞、合併的現象, 使得整體位渦逐步增強; 同時, 700hPa 高度之氣旋式風場亦有增強之現象; 但 500hPa 仍無明顯氣旋式環流。透過不同層的比對, 顯示此時整個擾動呈現往西傾斜之現象。圖 8 為積分 60~72 小時 (TCFA 後 12~24 小時) 每隔 6 小時之位渦與風場分佈圖, 顯示此時 700、850hPa 高度之位渦與氣旋式環流均已顯著增強; 同時在這 12 小時間, 也可看到 500hPa 之氣旋式風場逐漸形成。同時擾動也從往西傾斜的結構轉變為較垂直之結構。

四. 結論與討論

透過第四章中, 低層位渦互繞、合併之過程, 逐漸增強局部地區之位渦, 使得能夠激發之個別位渦強度越來越強; 同時由於位渦增強, 其垂直方向之穿透厚度亦逐漸增大, 最後終究形成一夠強之位渦, 能夠向上影響到中層。分析模擬期間地表向上之熱量通量 (圖 9), 顯示此位渦合併過程處於 pre-WISHE 階段, 待低層氣旋式環流顯著增強後 (TCFA 後 12 小時), 才進入 WISHE 機制主導之物理決定階段。這種透過低層位渦合併逐漸增強往上發展, 導致熱帶氣旋形成的過程, 以及隨後進入 WISHE 階段, 地表熱通量顯著增加的現象, 與 Montgomery et al., 2006 透過 RAMS 模式模擬理想個案之結果一致。

未來將針對此類型其他個案以及伴隨不同綜觀環境類型之個案進行分析與模擬, 嘗試探討不同綜觀強迫機制下, 熱帶氣旋形成過程中, 中尺度系統演變過程之差異。

五. 參考文獻

- 黃麗蓉, 2001: 信風爆發對熱帶氣旋形成之影響。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文, 105pp。
- 莊惟然, 2004: 颱風形成期間環境信風場之變化與影響。國立台灣大學大氣科學研究所碩士論文, 112pp。
- 李清勝與侯嘉榮, 2004: 伴隨強跨赤道流之熱帶氣旋形成個案的分析與模擬。《大氣科學》, 32, 161-182。
- Charney, J. G., and A. Eliassen, 1964: On the growth of the hurricane depression. *J. Atmos. Sci.*, 21, 68-75.
- Lee, C. S., 1989: Observational analysis of tropical cyclogenesis in the Western North Pacific. Part II: Budget analysis. *J. Atmos. Sci.*, 46, 2580-2598.
- , and C. H. Lee, 2002: A numerical simulation of the environmental momentum influences on typhoon formation. *Proceedings of the Fourth Conference on East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate*. World Scientific, Singapore. 261-271.
- Love, G., 1985b: Cross-equatorial interactions during tropical cyclone genesis. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1499-1509.
- Montgomery M. T., M. E. Nicholls, T.A. Cram and A.B. Saunders., 2006: A vortical hot tower route to tropical cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.*, 63, 355-386
- Ooyama, K. V., 1964: A dynamical model for the study of tropical cyclone development. *Geophys. Int.* 4, 187-198.
- Pfeffer, R. L., and M. Challa, 1992: The role of environmental asymmetries in Atlantic hurricane formation. *J. Atmos. Sci.*, 49, 1051-1059.
- Rotunno, R. and Emanuel, K. A. 1987: An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part II, *J. Atmos. Sci.*, 44, 542-561.
- Ritchie, E. A., and G. J. Holland, 1997: Scale Interactions during the Formation of Typhoon Irving. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 1377-1396.
- Sadler, James C., 1976: A Role of the Tropical Upper Tropospheric Trough in Early Season Typhoon Development. *Mon. Wea. Rev.*, 104, 1266-1278.

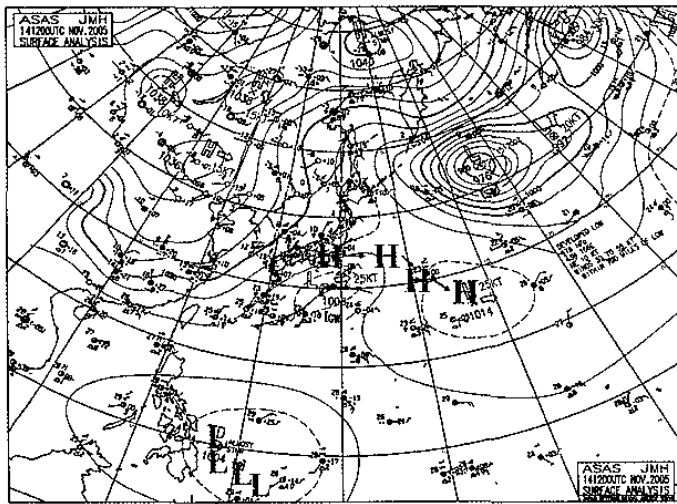


圖 1 200511141200 UTC, JMA 地面天氣圖, 圖中深色符號代表當時高低壓位置, 淺色符號代表前 12、24、36 小時之高低壓位置。

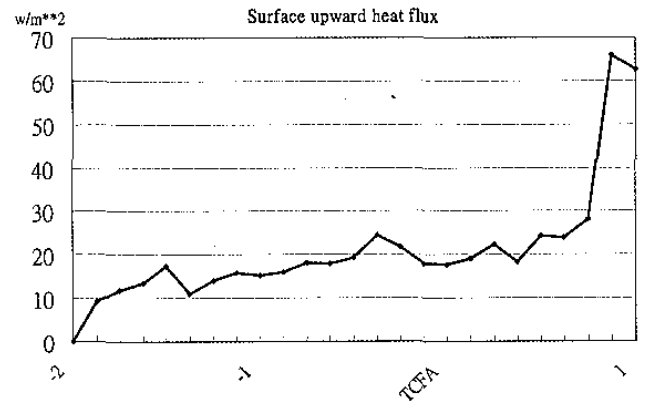


圖 9 跟隨擾動中心半徑 1 度內之地表熱通量隨時間變化圖。

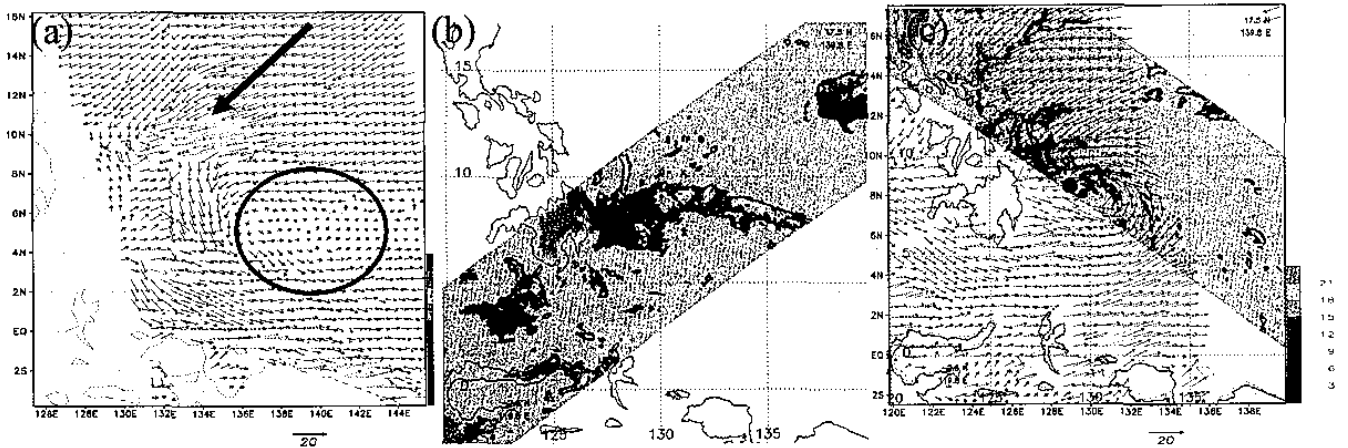


圖 2 a. 200511120643 UTC 之 QSCAT 10m 風分佈圖, 圖中箭頭表示強東風區, 圓圈代表擾動南側微弱之氣旋式環流區; b. 200511131302 UTC 之 TMI 對流分佈圖; c. 200511132132 UTC 之 QSCAT 10m 風及 TMI 對流分佈圖, 圖中紅點代表熱帶擾動位置。

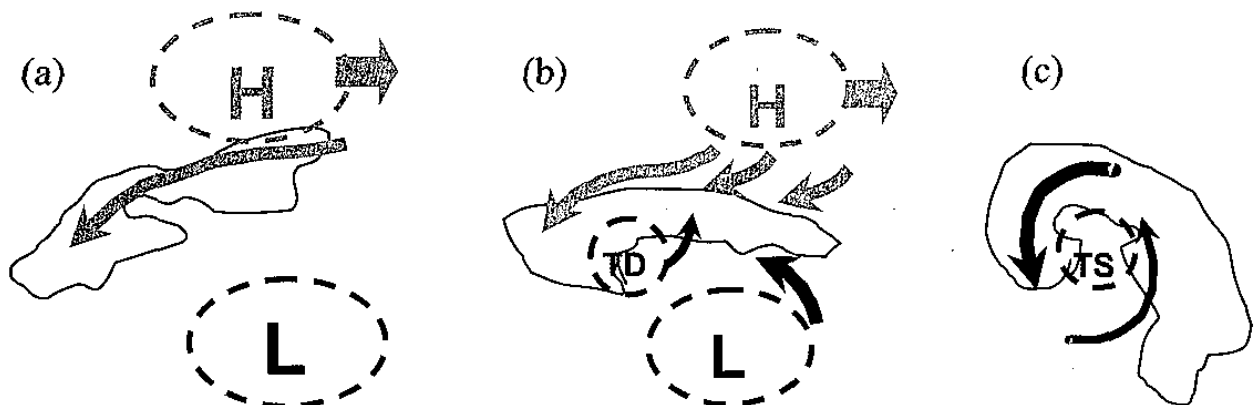


圖 3 伴隨北側強東風之熱帶氣旋形成過程示意圖。

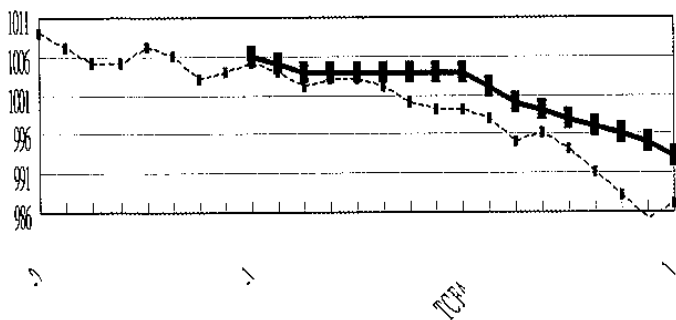


圖 4 Bolaven (2005) 之中心氣壓變化圖 (實線) 以及 WRF 模式模擬結果中心氣壓變化圖 (虛線)。

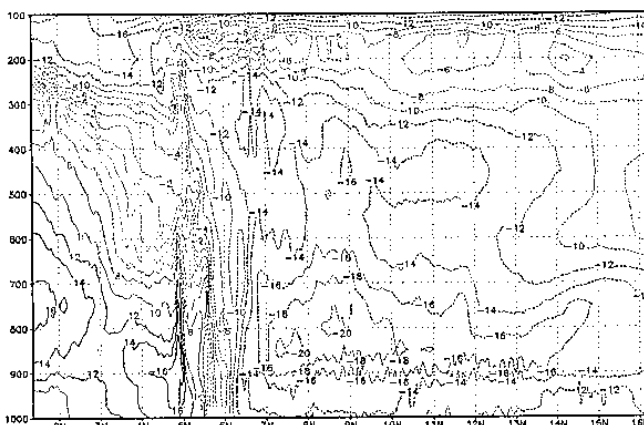


圖 5 模式積分 36 小時 (200511130000 UTC) 通過擾動中心南北剖面 (132.5E) 之東西風分量。

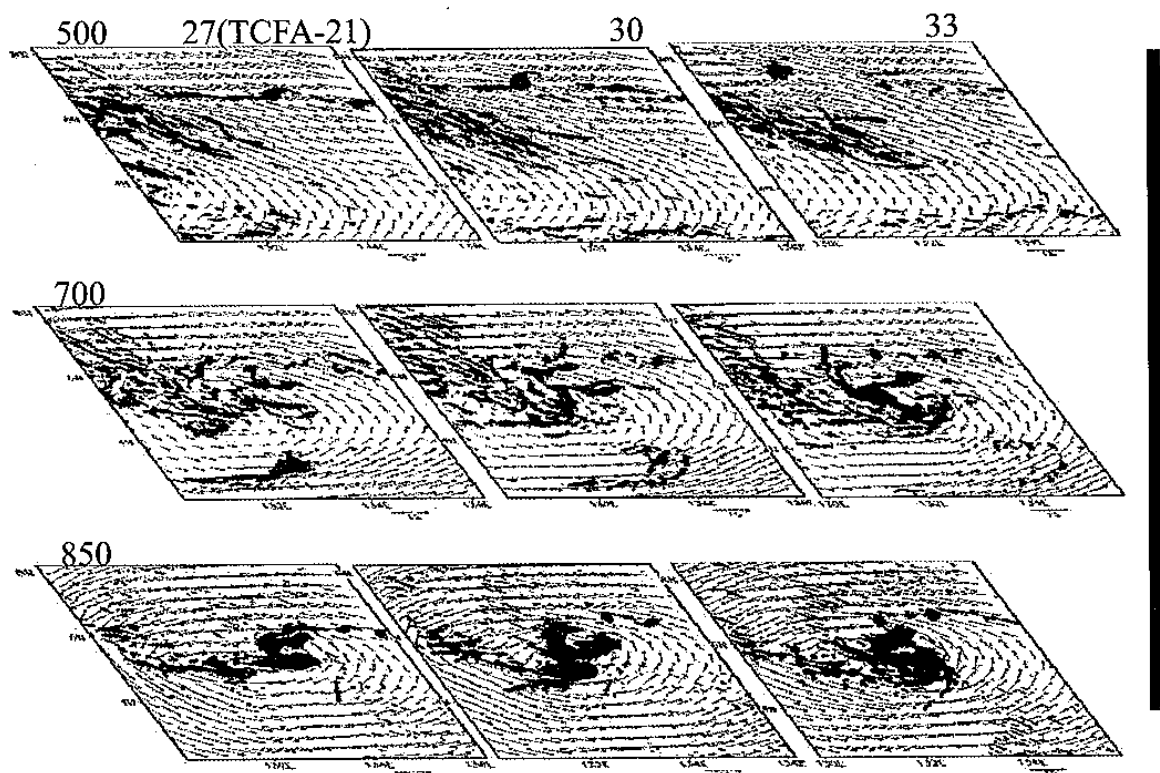


圖 6 跟隨系統中心之 500、700、850hPa 位渦與風場圖，由左至右分別為積分 27 (TCFA 前 21 小時)、30 (TCFA 前 18 小時)、33 小時 (TCFA 前 15 小時)，陰影部分為位渦，單位為 PVU。

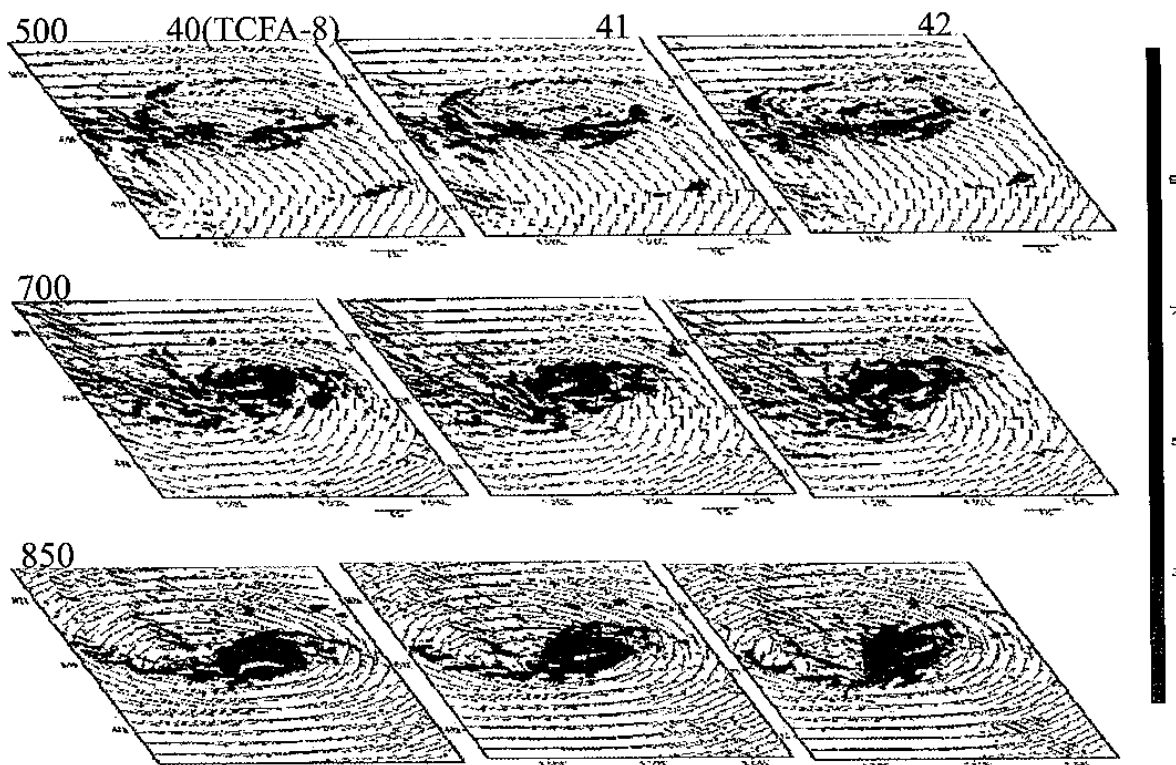


圖 7 跟隨系統中心之 500、700、850hPa 位渦與風場圖，由左至右分別為積分 40 (TCFA 前 8 小時)、41 (TCFA 前 7 小時)、42 小時 (TCFA 前 6 小時)，陰影部分為位渦，單位為 PVU。

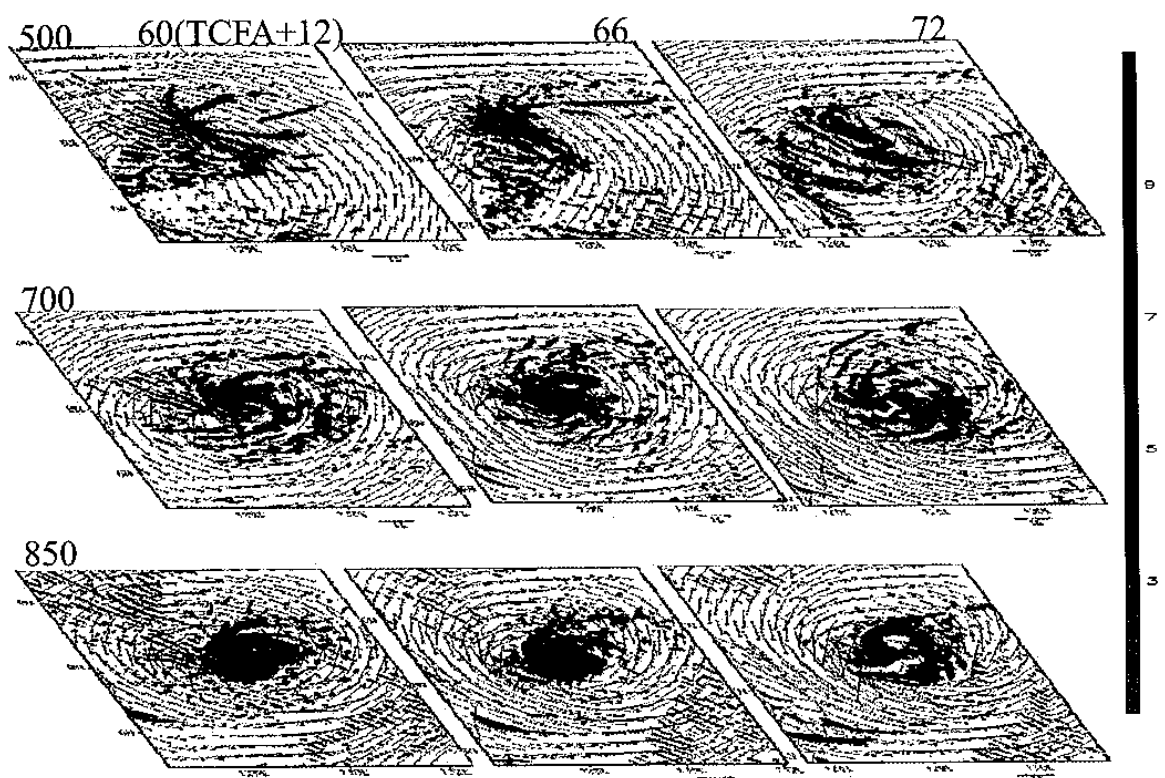


圖 8 跟隨系統中心之 500、700、850hPa 位渦與風場圖，由左至右分別為積分 60 (TCFA 後 12 小時)、66 (TCFA 後 18 小時)、72 小時 (TCFA 後 24 小時)，陰影部分為位渦，單位為 PVU。