

利用高解析度之中尺度模式探討颱風眼牆附近之物理過程

A) 背景、目的與重要性

台灣位於西北太平洋盛行颱風路徑上，每年因颱風所造成的災害與損失難以計數，而颱風強度與其造成的災害有直接的關係，因此颱風強度預報的重要性可見一斑。目前對於颱風強度的預報能力，遠較其路徑的預報能力來得弱，這是因為颱風的路徑和其外圍結構有關；而強度卻和中小尺度許多的物理過程有關，這是因為在研究颱風風速最強的眼牆區域，許多小尺度的對流胞以及物理過程均會影響眼牆的強度及軸對稱化的過程，對於其強度的改變扮演很重要的角色，而解析度在 1 km 以下，則可以不使用積雲參數化的方法，直接模擬雲以及積雲對流過程，相信能提升積雲對流之模擬能力。因此本研究計畫希望能使用 WRF (the Weather Research and Forecasting model) 作為模式動力上的基礎，再將 Ooyama (1990) 目前最完整的熱力模式架構置入其中，希望能使目前被廣為使用的 WRF 模式能有更優秀的表現，以期能更瞭解影響颱風強度的關鍵因子，進而增進颱風強度預報之能力。

B) 研究方法

WRF 模式是目前全世界最被廣為使用的中尺度氣象模式，其動力過程已被廣泛地測試過，精確程度值得信賴。但其熱立模式架構是以乾熵 (dry entropy) 作為保守參數，但大氣是含有水汽 (water vapor) 的，乾熵中並未考慮水汽所造成之效應；Ooyama (1990) 的熱力學模式架構，是目前最為完整的熱力學模式架構，其中的保守參數是濕熵 (moist entropy)，是較為精確的熱力學架構。因此，本研究希望能將 Ooyama (1990) 的熱力學模式架構，套用在 WRF 模式上面，並作一連串的測試，確定模式正確無誤，希望能使 WRF 模式有更優秀的表現。

圖 1 為 RAINEX (The NSF sponsored Hurricane Rainband and Intensity Experiment) 實驗觀測 Hurricane Rita (2005) 近中心渦度分佈的結構。圖中的 Eye 代表颱風眼中心，紅線所經過的剖面如圖 2 所示。圖中清楚可見颱風中心附近有一明顯的中渦旋 (mesovortex) (紅色區域)，其最大值約為 $2.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。其他地方亦可看到數個渦度較強的深黃色區域，其值約為 $1.5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。這些渦度較強的小渦旋會把颱風中心較為溫暖的空氣，帶出到外圍眼牆的地區，並且透過渦旋本身的旋轉，充分混合近中心的暖空氣與眼牆的空氣，使眼牆有能量來源而進一步地發展。由垂直剖面來看此中渦旋結構，如圖 2 所示，Eye 代表眼中心，橫軸代表距離，縱軸代表高度，綠色箭頭代表由中心向外吹的大致風向。近中心較為溫暖的空氣經由此外流 (outflow) 向眼牆帶，此現象即稱為 turbo-boosting，有助於中心暖空氣與眼牆之間的交互作用。

同樣地，Montgomery et al. (2006) 觀測 Hurricane Isabel (2003) 也有看到類似的情形。如圖 3 所示，上圖為切向風速與徑向風速隨距離的剖面圖，橫軸為距離，縱軸為高度，顏色部份代表切向風速，等值線代表徑向風速。下圖則為虛溫、慣性穩定度與次環流隨距離的剖面圖，橫軸為距離，縱軸為高度，顏色部份代表虛溫，等值線代表慣性穩定度，

箭頭代表次環流。上圖可以看到，在近中心 25 公里，高 1 公里以下有較強的內流 (inflow)，而同一地點高 2 公里的地方則有外流，最大切向風發生的地方在近中心約 42 公里，高 1 公里的地方。對照下圖，有內流的區域將眼牆較冷的空氣帶進了眼中心，而有外流的區域則將眼中心較暖的空氣帶到了眼牆，並且經過次環流向上提升，與眼牆的空氣混合，此一現象即為 turbo-boosting。促使眼中心與眼牆的空氣混合，進一步造成起轉效應。

此外，除了以上稱為 turbo-boosting 的中渦旋之外，在某些強颱風眼牆中心亦有中渦旋的現象，此一現象即為 Schubert et al. (1999) 所提出因正壓不穩定而生成之中渦旋。圖 4 為 Hurricane Isabel (2003) 之可見光衛星雲圖，如圖所示，在颱風眼牆內有六個明顯可見之中渦旋，形成一星形狀，即為五個中渦旋繞著一中渦旋打轉。此現象被認為是因為颱風眼牆之渦度帶較強，而有正壓不穩定所導致。未來在確定了 WRF 模式的正確性後，將著手進行颱風眼牆附近的全物理 (full physics) 高解析度模擬。

C) 預期成果

完成將 Ooyama (1990) 熱力模式架構植入的工作，並作一系列的測試工作，以確保經過更動後之模式的精確度。在確定模式正確無誤後，將使用此模式進一步開始研究颱風眼附近劇烈對流與中小尺度的對流系統之發展，並研究中小尺度對流系統在颱風起轉效應 (spinup) 的過程中所扮演的角色，以期能對於颱風強度的改變有更進一步的瞭解，使颱風強度預報的能力更上層樓。

D) 參考文獻

- Houze Jr., R. A., S. S. Chen, B. F. Smull, W-C. Lee, M. M. Bell, 2007: Hurricane intensity and eyewall replacement, *Science*, **315**, 1235-1239.
- Montgomery, M. T., M. Bell, S. D. Aberson, and M. Black, 2006: Hurricane Isabel (2003): New insights into the physics of intense storms. Part I: Mean vortex structure and maximum intensity estimate. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **87**, 1335–1347.
- Ooyama, K. V., 1990: A Thermodynamic Foundation for Modeling the Moist Atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 2580-2593.
- 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.

E) 附圖

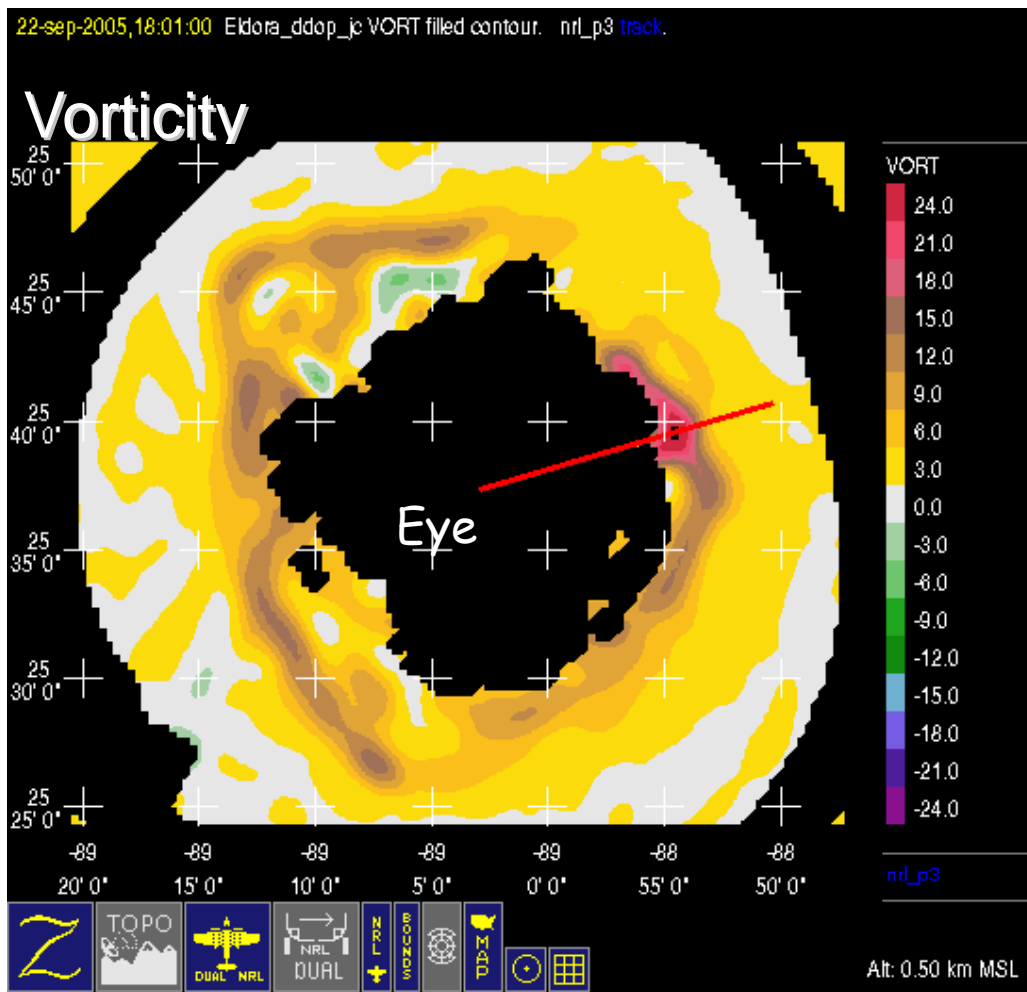


圖 1：RAINEX 觀測 Hurricane Rita (2005) 9 月 22 日 1801 UTC 垂直高度 0.5 km 的近中心渦度分布圖。圖中的 Eye 代表颱風眼中心，紅線所經過的剖面如圖 2 所示。圖中清楚可見颱風中心附近有一明顯的中渦旋（紅色區域），其最大值約為 $2.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。其他地方亦可看到數個渦度較強的深黃色區域。（摘自 RAINEX, Houze et al., 2007）

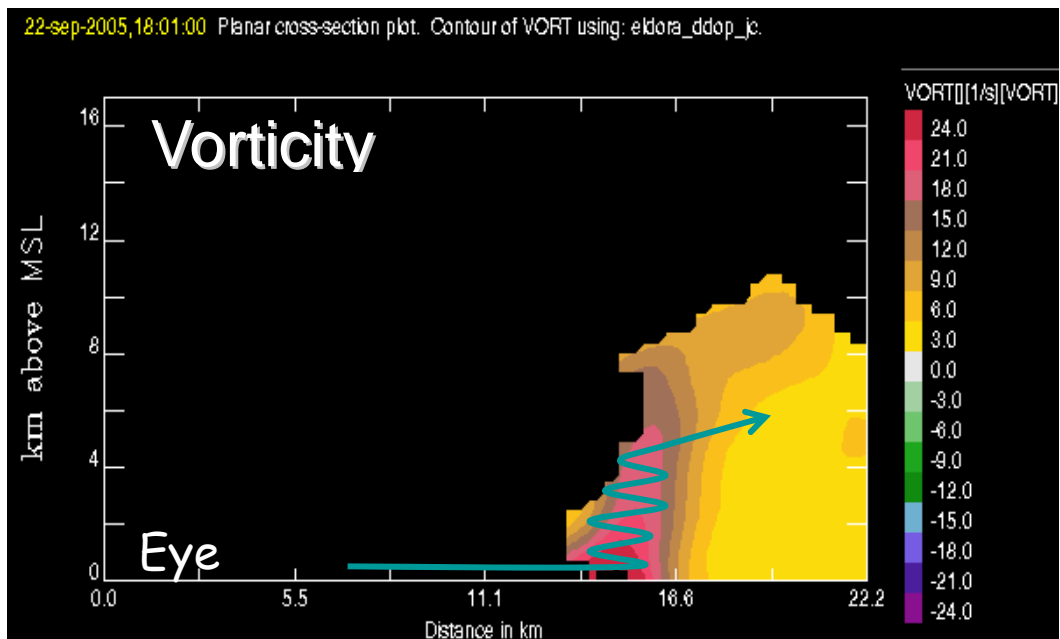


圖 2：為圖 1 紅線之渦度剖面圖。Eye 代表眼中心，橫軸代表距離，縱軸代表高度。綠色箭頭代表由中心向外吹的大致風向。近中心較為溫暖的空氣經由此外流（outflow）向眼牆帶，此現象即稱為 turbo-boosting，有助於中心暖空氣與眼牆之間的交互作用。（摘自 RAINEX, 2005）

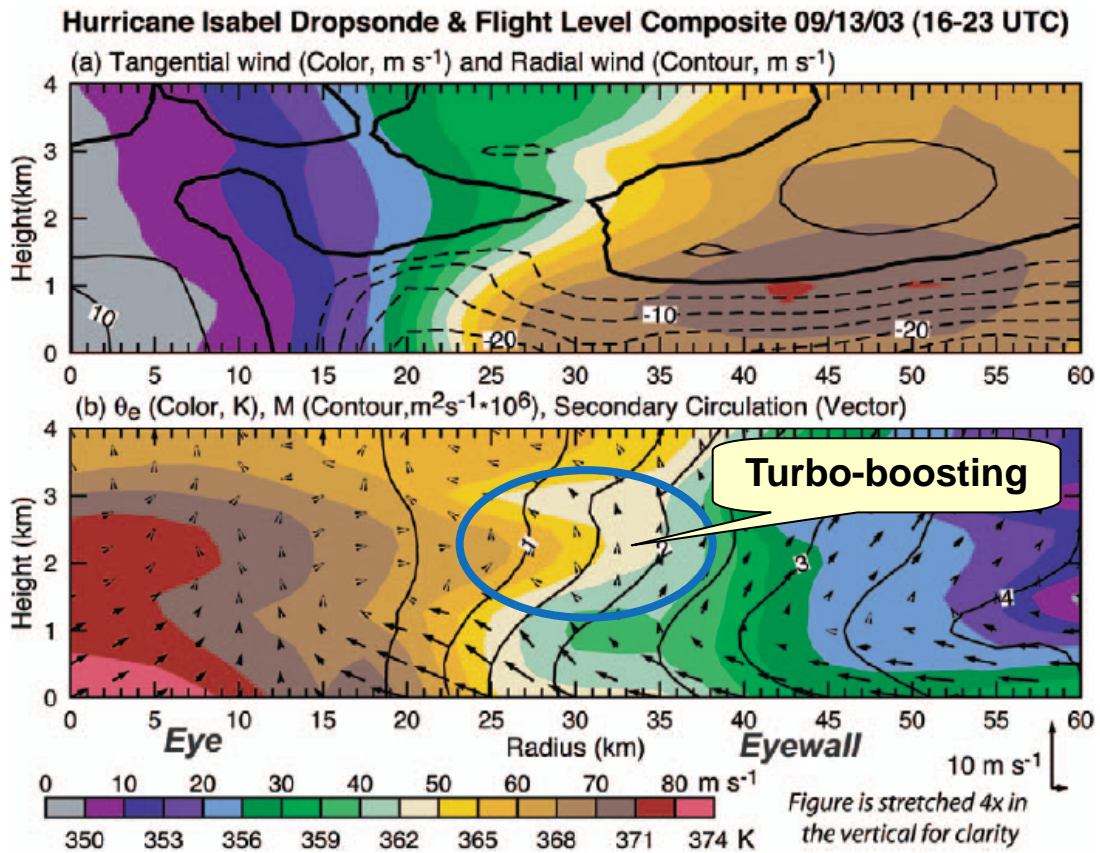


圖 3：Montgomery et al. (2006) 觀測 Hurricane Isabel (2003) 近中心剖面圖。上圖為切向風與徑向風隨距離的剖面圖，橫軸為距離，縱軸為高度，顏色部份代表切向風速，等值線部份代表徑向風速。下圖則為虛溫、慣性穩定度與次環流隨距離的剖面圖，橫軸為距離，縱軸為高度，顏色部份代表虛溫，等值線代表慣性穩定度，箭頭代表次環流。在近中心 30 公里，高 2 公里處有 turbo-boosting 的現象。(摘自 Montgomery et al., 2006)

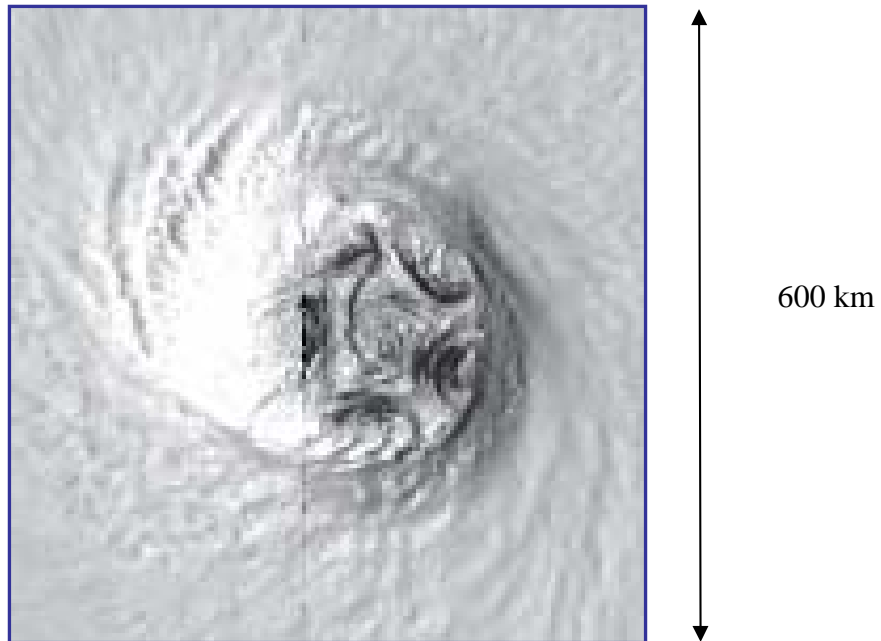


圖 4：Hurricane Isabel (2003) 於 1315 UTC 12 Sep. 近眼中心之可見光衛星雲圖。圖中所示約為 600 公里見方。可清楚看見眼牆內有六個中渦旋存在，且呈星形分佈，五個中渦旋繞著一個中渦旋旋轉。