

颱風強度及結構受垂直風切影響之探討 - 以 2006 年碧利斯及凱米颱風為例

何秋鑿 林沛練

¹中央大學大氣物理所 ²中央大學大氣科學系

摘要

今日預報技術大幅進步，能大致掌握熱帶氣旋的路徑變化，但強度預報得分仍然偏低，Emanuel (2000) 指出這是由於我們缺乏對熱帶氣旋物理機制的深入了解。Wang and Wu (2004) 回顧過去熱帶氣旋研究指出，眾多限制熱帶氣旋發展的不良環境條件中，垂直風切扮演相當重要的角色。經綜觀天氣分析後發現，2006 年碧利斯颱風與凱米颱風在綜觀環境條件中有許多相似點，且兩者皆處於強垂直風切環境中，所以本文挑選碧利斯及凱米颱風探討垂直風切造成兩者結構及強度變化的影響。

結果顯示，Weather Research and Forecasting model (WRF) 在 48 小時內的模擬中，兩者路徑誤差最大不超過經緯兩度，且模式能掌握環境垂直風切及颱風結構的變化。比較碧利斯及凱米颱風在強垂直風切環境中的發展，碧利斯的最大切向風半徑隨著其增強而內縮，雖然凱米最大切向風半徑雖然不如碧利斯明顯內縮、但其風速也隨強度增強而增加；在溫度場的部份，凱米的中低層隨時間增溫，而碧利斯增溫情形較不明顯；垂直運動與雷達回波在方向上的分布皆有明顯波數一不對稱情形，與垂直風切方向有兩好的相關性。

隨著颱風增強，凱米及碧利斯的軸對稱性也逐層向上增加，但碧利斯的非對稱性始終大於凱米颱風，即使後期強度增加許多，非對稱性在各場量仍然明顯可見，這可能是因為碧利斯強度較凱米稍弱，不足以抵抗環境垂直風切影響所導致。

關鍵詞：垂直風切、颱風

一、前言

過去熱帶氣旋強度及結構變化的研究可歸納為兩個議題：決定最大潛在強度(Maximum Potential Intensity, MPI)的因子及颱風無法達到MPI的原因；其中，抑制颱風發展之動力因素又可分為內部動力及環境動力(Wang and Wu 2004)。現今已經有許多觀測及理想數值模擬的結果都能指出環境場的垂直風切對颱風強度為負貢獻(Jones 1995; DeMaria 1996等)。另外，許多研究也指出颱風垂直運動會受到垂直風切的影響而呈現不對稱發展((Jones 1995, 2000a,b; Bender 1997; Frank and Ritchie 1999, 2001, 2002等)。近幾年來由於電腦硬體及觀測技術的發展，現在能更進一步驗證理想模擬的結果(如Knaff 2004)，並使用較複雜的數值模式探討垂直風切造成的對流不對稱的結構(如Zhu et al. 2004; Braun et al. 2006)。但之前的數值模擬研究多探討垂直風切對理想渦旋的影響，真實個案討論較少，本文希望藉由天氣分析，真實個案的比較及高解析度之WRF數值模式進一步探討接近真實大氣環境的情形下垂直風切對颱風的強度及結構之影響。經過初步的天氣分析後，在此挑選2006年碧利斯及凱米颱風進行討論，第二節回顧碧利斯及凱米颱風的發展，比較個案的差異後，介紹研究動機及實驗設計，第三節利用Weather Research and Forecasting model (WRF)模擬結果探討兩者強度及結構之變化。整理兩者變化的同異處，第四節為本文所得到的結果與討論。

二、天氣分析及個案比較

(一) 碧利斯(BILIS)及凱米(KAEMI)颱風介紹

碧利斯(BILIS)為 2006 年西北太平洋第四號颱風，7 月 8 日在關島西方海面形成，成為此年西北太平洋第四號颱風。其於 7 月 13 06UTC 達最大強度(970hPa, 60KT)，7 月 15 日減弱為熱帶性低氣壓。從 7 月 13 日 06UTC 此時的衛星雲圖(圖 1)可知碧利斯颱風的特色為結構鬆散、無明顯颱風中心，對流發展呈現非軸對稱。凱米(KAEMI)為 2006 年西北太平洋第五號颱風，7 月 17 日 18UTC 形成，在 7 月 21 日 12UTC 達最大強度(960hPa, 70KT)，7 月 26 日減弱為熱帶性低氣壓。衛星雲圖顯示凱米最大特色為結構紮實且環流半徑小，不過其對流發展也出現非軸對稱的情形。

(二) 個案比較

分析兩者地面及中高層天氣圖(圖未示)可知，碧利斯與凱米生命期中，太平洋高壓勢力皆強盛，雖然碧利斯 11 日在東亞大槽加深後被阻斷，但 13 日高壓勢力隨即恢復。兩者颱風路徑十分接近，特別是生命期前半的中心定位幾乎一致；海溫約 29-30 度，雖然碧利斯在 11 日通過一低海溫區，但此時碧利斯仍緩慢增強。強度變化部份，兩者路徑重疊期間，凱米快速增強，碧利斯中心氣壓卻只有緩慢下降。從分析場計算兩者環境 200mb 到 850mb 的垂直風切變化可知兩者在此段期間，垂直風切值

逐漸增加，約 10-15m/s，低層比濕相近，但兩者的降水及風場皆有明顯非軸對稱的情況。

(三) 實驗設計：

本文爲了排除低海溫區及地形的影響，並挑選垂直風切值較大的時間探討兩者在 48 小時(BILIS-2006/07/09 00 - 07/11 00UTC KAEMI-2006/07/20 00 - 07/22 UTC)進行討論。在此利用 WRF2.1.2 版，初始場及邊界層資料使用 NCEP(National Center for Environmental Prediction)之 FNL 資料，三層槽狀網格(圖 2)，內層追隨颱風中心移動，模擬範圍分別是碧利斯:167×137(27km)、196×196(9km)、334×334(3km)；凱米 140×80 (27km)、163×163 (9km)、250×250 (3km)，且內層追隨颱風中心移動，垂直共 24 層，模式氣壓層頂爲 50mb 進行模擬。

三、模式結果

(一) 模式校驗

模式校驗分爲路徑、強度、降雨結構、環境垂直風切變化四者討論。與 RSMC2006 最佳路徑進行比較後發現(圖 3)，模擬的 48 小時內，碧利斯及凱米的移動路徑與觀測十分接近，碧利斯最大誤差約 147 公里，凱米的最大誤差約 195 公里。強度方面，碧利斯及凱米的強度變化與觀測也十分類似，在這段期間持續增強，不過碧利斯的強度較觀測強(差異約 11mb)，凱米的強度比觀測弱(差異約 11mb)。整體而言，凱米在模式中的增強情形仍優於碧利斯，此與觀測結果一致。與 TRMM 反演之每小時降雨率比較，模式皆能掌握兩者降水不對稱之情形(圖 4)。

(二) 模式結果分析

比較垂直風切與颱風強度的發展，看不到垂直風切發展與颱風減弱的關係(圖 5)。隨著模擬時間增加，當環境垂直風切增強，兩者強度卻沒有明顯受到抑制，雖然此與理想模擬結果不盡相同，但真實個案中影響強度的原因並非只有垂直風切，還有海溫條件、低層水氣供應等其他因子(Black et al 1994; Zhu et al. 2004)。從模式的 2 公尺高混合比(圖未示)可以發現模式低層比分析場的水氣充足，對兩者的增強有益，另外微物理的選擇也可能會影響強度變化。兩者在切向風隨時間變化皆有增強趨勢(圖 6)，但碧利斯的半徑隨著增強明顯內縮，凱米的最大切向風半徑雖然也有內縮，但不似碧利斯的情況。比較碧利斯與凱米的暖心結構發展(圖 7)，碧利斯颱風的中心增溫較不明顯，不過當暖心明顯增溫時，垂直速度也有增加的趨勢；凱米的低層增溫情形較碧利斯明顯。從垂直剖面上也能

明顯發現對流抑制及增強與風切方向的關係。比較兩個案每小時降雨量，低層位溫距平、垂直運動、相對渦度隨時間的發展(圖未示)，凱米隨著時間增強在相對渦度有呈現逐漸軸對稱的趨勢，而垂直運動仍有波數一不對稱之情況；碧利斯隨著增強，中心相對渦度無明顯的增加，中心增溫也不明顯，這樣的結果可能是兩者強度之差異所造成。

四、結論

本文針對 2006 年 7 月的碧利斯及凱米颱風模擬，垂直運動及風切方向的關係與過去觀測及模擬的結果一致，風切下游左側有利對流增強。颱風中心隨著高度增加也有向風切下游傾斜的趨勢。模擬結果顯示，雖然環境的垂直風切隨著時間而增強，但兩者的強度仍然繼續發展，這表示除了垂直風切的影響，仍有其他機制在控制兩者的強度變化。隨著颱風增強，凱米及碧利斯的對稱性也逐層向上增加，但碧利斯的不對稱性始終大於凱米颱風，即使後期強度增加許多，不對稱性在各場量仍然明顯可見，這可能是因爲碧利斯強度較凱米稍弱，不足以抵抗環境垂直風切影響所導致。

參考文獻

- Bender M. A., 1997: The effect of relative flow on the asymmetric structure of the interior of hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 703 - 724.
- Black M. L., J. F. Gamache, F. D. Marks Jr., C. E. Samsury, and H. E. Willoughby, 2002: Eastern Pacific Hurricanes Jimena of 1991 and Olivia of 1994: The effect of vertical shear on structure and intensity. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2291 - 2312.
- Braun, S., A., M. T. Montgomery, and Z. Pu, 2006: High-Resolution Simulation of Hurricane Bonnie (1998). Part I: The organization of eyewall vertical motion. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077-3107.
- Emanuel K. A., 2000: A statistical analysis of tropical cyclone intensity. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 1139 - 1152.
- Frank W. M., and E. A. Ritchie, 1999: Effects of environmental flow on tropical cyclone structure. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 2044 - 2061.
- Frank W. M., and E. A. Ritchie, 2001: Effects of vertical wind shear on the intensity and structure of numerically simulated hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 2249 - 2269.
- Frank W. M., and E. A. Ritchie, 2002: Tropical cyclones in complex vertical shears. Extended Abstracts, 25th Conf. on Hurricanes and Tropical

Meteorology, San Diego, CA, *Amer. Meteor. Soc.*, 315 - 316.

Jones S. C., 1995: The evolution of vortices in vertical shear. I: Initially barotropic vortices. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **121**, 821 - 851.

Jones S. C., 2000a: The evolution of vortices in vertical shear. II: Large-scale asymmetries. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 3137 - 3159.

Jones S. C., 2000b: The evolution of vortices in vertical shear. III: Baroclinic vortices. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 3161 - 3185.

Knaff, John A., S. A. Seseske, M. DeMaria and J. L. Demuth. 2004: On the Influences of Vertical Wind Shear on Symmetric Tropical Cyclone Structure Derived from AMSU. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 2503-2510.

Wang Y., and C.-C. Wu, 2004: Current understanding of tropical cyclone structure and intensity changes—A review. *Meteor. Atmos. Phys.*, **87**, 257 - 278.

Zhu T., D.-L. Zhang, and F. Weng, 2004: Numerical simulation of Hurricane Bonnie (1998). Part I: Eyewall evolution and intensity changes. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 225 - 241.

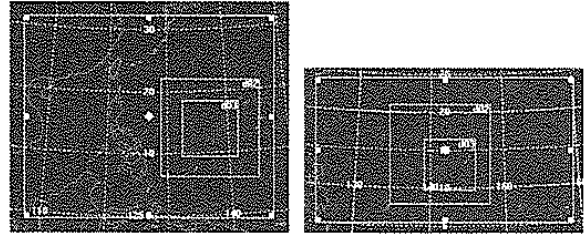


圖 2 碧利斯颱風(左)與凱米颱風(右)模擬範圍設定。

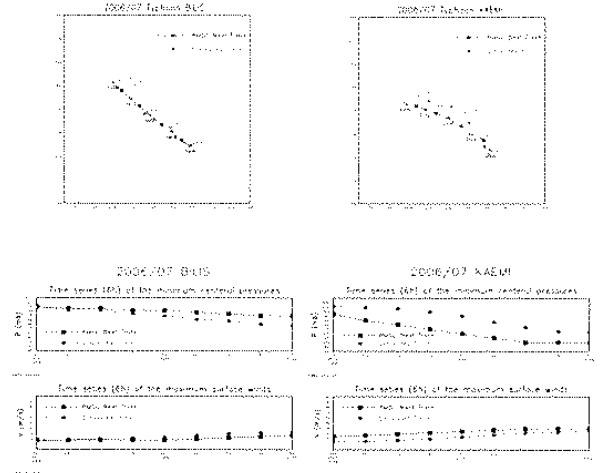


圖 3 碧利斯颱風(左)與凱米颱風(右)路徑(上)與強度(下)校驗。藍色為 RSMC 最佳路徑，綠色為模擬結果。

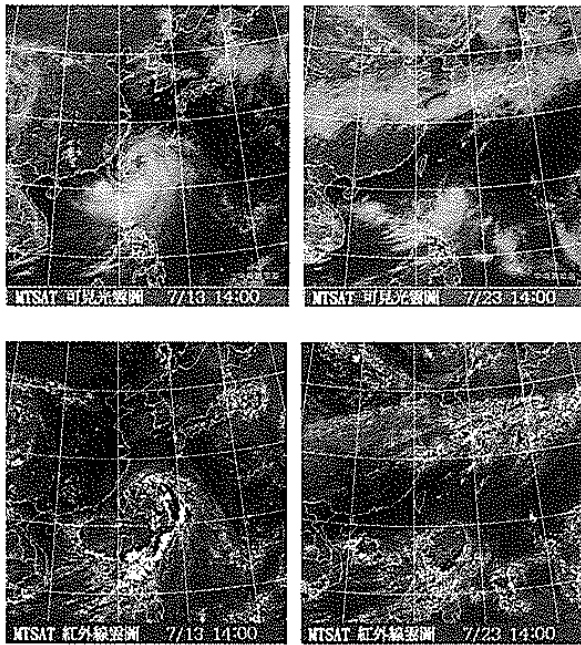


圖 1 MTSAT 可見光(上)及紅外線色調強化衛星雲圖(下)。7月13日06UTC(14LST)為碧利斯，7月23日06UTC(14LST)為凱米颱風。

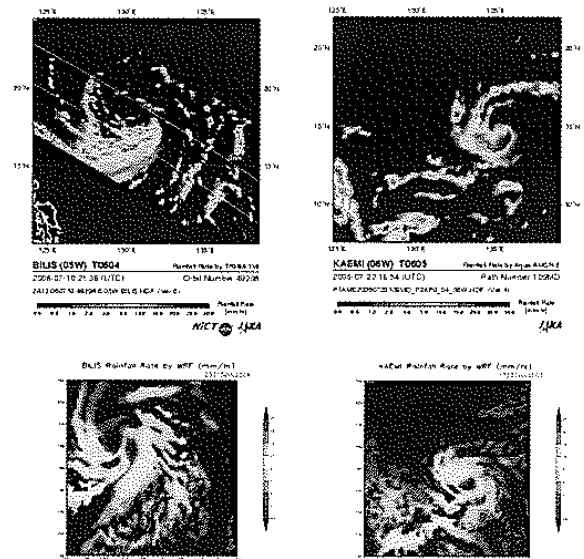


圖 4 TRMM/TMI 及 Aqua/AMSU-E 觀測(上)與模式(下)每小時累積降雨量比較(mm/hr)。左邊為碧利斯，右邊為凱米。

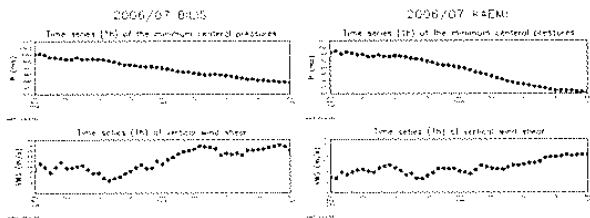


圖 5 碧利斯颱風(左)及凱米颱風(右)強度變化(最低海平面氣壓, hPa)與 200mb 到 850mb 的垂直風切(m/s)隨時間變化。

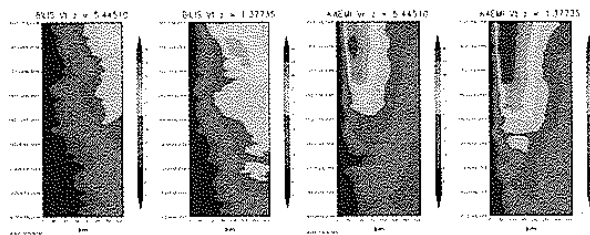


圖 6 碧利斯颱風(左)及凱米颱風(右)中層($Z = 5.44150$)及低層($Z=1.37735$)切向風風速隨時間變化(m/s)。垂直座標為時間, 水平座標為與颱風中心的距離。

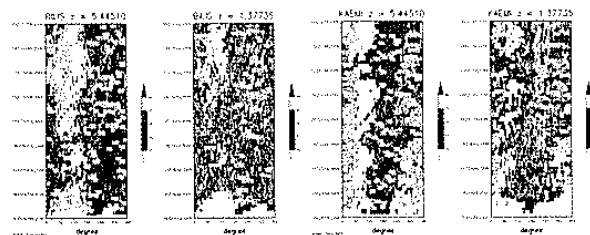


圖 7 碧利斯颱風(左)及凱米颱風(右)中層($Z = 5.44150$)及低層($Z=1.37735$)雷達回波(陰影, dBZ)與垂直速度(等值線, m/s)隨時間變化。垂直座標為時間, 水平座標為距離颱風中心 500km 內 360 度方向。

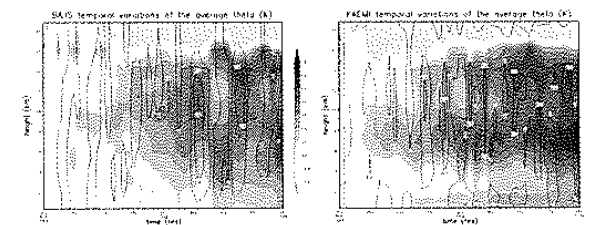


圖 8 碧利斯颱風(左)及凱米颱風(右)中心 60 公里內位溫平均與初始時間之差異隨時間的變化(陰影)及垂直運動(等值線)。