

辛樂克颱風侵台前眼牆結構演變研究

遲正祥¹ 周昆炫²

¹ 中國文化大學地學研究所大氣科學組

² 中國文化大學大氣科學系

摘要

辛樂克颱風為 2008 年侵台颱風中發布警報最多次數，也是 50 年來發布警報次數第二多的颱風。其生命期中除了侵台期間伴隨的強風豪雨外，亦包含許多值得深入研究的科學議題，如：1.發展期間的熱塔現象；2.雙眼牆的現象；3.登陸前眼牆明顯收縮；4.登陸後的二次打轉現象；5.眼牆經台灣破碎後於登陸日本前的重整過程。本研究主要藉由 WRF (Weather Research and Forecast model) 數值模式的模擬結果，並結合雷達回波與 TRMM 衛星遙測資料的比對，來探討部分上述科學議題。

本研究使用 WRF V3.0.1 針對 2008 年辛樂克颱風個案，以 NCEP $1^0 \times 1^0$ 解析度的全球分析資料作為模式的初始場與邊界條件進行模擬。透過三層巢狀網格設定，網格解析分別為 30、10 以及 3.33 公里，進行其雙眼牆以及登陸前眼牆收縮現象的模擬，並和雷達與衛星圖做初步校驗。模式模擬結果顯示，在路徑方面有相當程度的掌握，模式可以模擬實際颱風在登陸台灣前往北北西移動的趨勢，在颱風強度和地面最大風速模擬的趨勢上也與觀測數據一致，但有延遲的情況，強度也稍弱；然而在颱風內部結構方面則未能掌握出與觀測相符的結構演變。

進一步分析顯示，辛樂克颱風模擬的眼牆半徑與雷達觀測的外眼牆半徑相似，然而由於模式並無法模擬出內眼牆的形成，導致模擬結果中並無雙眼牆結構演變的情形。此外，眼牆收縮期間的過程亦無法由模式掌握，除了半徑未收縮之外，還呈現出橢圓形的眼牆結構。研究中也發現模式中初始場的颱風結構對模式模擬的颱風強度與颱風結構有相當程度的影響，未來將使用 T-PARC 國際觀測實驗的颱風內部核心飛機觀測資料，透過 3DVAR 或 4DVAR 資料同化來產生更接近真實颱風結構的模式初始場，進而改進目前模式無法解析的颱風內部結構演變。

關鍵字：辛樂克颱風、WRF 模式、雙眼牆、眼牆收縮

一、前言

2008 年的辛樂克颱風，在關島海域形成後，強度逐漸增強至強烈颱風，路徑則直接朝台灣北部移動，之後於宜蘭蘭陽溪登陸並從淡水出海，路徑則轉為北北東往日本方向移動。辛樂克影響台灣期間伴隨的強風豪雨，則造成台灣地區近 10 億元的經濟損失。由於辛樂克颱風在成為強烈颱風期間的內部結構演變中發展成的獨特雙眼牆現象、登陸台灣前呈現眼牆內縮、登陸後颱風打轉隨後被破壞、接近日本時颱風再重建等特殊的眼

牆演變過程，因此辛樂克颱風具有相當多的颱風研究議題可供探討。

颱風結構在非傳統觀測資料的分析和研究中，隨著遙測儀器的蓬勃發展，遙測資料對於現行的颱風分析和研究佔有相當大的重要性，張(1999)即採用五分山都卜勒雷達站的遙測資料，來分析 1996 年賀伯颱風侵台期間的兩帶分部及其細部結構特徵，結果發現賀伯颱風的眼牆呈現橢圓的形狀，而且其眼牆會隨著時間旋轉，此一觀測結果與理論分析(Kuo et al. 1999)相當一致。

由於辛樂克颱風可研究的範圍相當多，探討辛樂克颱風生命中的眼牆變化現象確實為相當有趣和值得研究的議題，對於國防發展，使用國內雷達資料是最直接的方式，也可避免在戰時衛星或飛機觀測被攔截，而模式的功能便在於補足觀測資料上空間和時間解析度的不足，因此對於模式模擬結果的資料比對，雷達資料是不可或缺的，若能了解颱風內部結構，對於颱風狀況下空戰的技術和概念也必定能夠有所提升。

近年來使用數值模式來研究台灣地形和颱風影響的模擬已日漸增多，如 Bender et al.(1987)使用 Geophysical Fluid Dynamics Laboratory(GFDL)颱風模式模擬理想颱風經過墨西哥群島、呂宋島和台灣島等地形對於颱風的強度、路徑和結構的影響；以及 Liu et al.(1997; 1999)則使用美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)與賓州大學合作發展的第五代中尺度靜力/非靜力模式(MM5)進行颱風模擬的研究，指出使用此模式較複雜的物理過程結合適當的初始條件及使用高解析度，可以對 Andrew 颱風(1992)的強度、路徑及內部結構有很詳細的模擬，且對於颱風在登陸時所產生的物理問題及內部動力機制亦有相關研究。而近年來同樣由 NCAR 所發展的 WRF 模式對於颱風數值模擬研究亦有相當成效，如 Zhou and Wang(2009)亦使用高解析度的數值模式來探討颱風內部動力結構的問題，對於 Annular Hurricane 眼牆的演變機制有清楚的呈現。本研究的動機為探討辛樂克颱風(2008)在登陸台灣前眼牆演變之議題，將使用雷達和衛星圖，與 WRF 數值模式的模擬結果的初步校驗來做相關的討論。

二、辛樂克颱風綜觀介紹

辛樂克颱風形成於西北太平洋上。2008 年 9 月 8 日 0600 UTC 時為在菲律賓東方海

面的熱帶性低氣壓，9 月 9 日 0000 UTC 增強為輕度颱風，命名為 Sinlaku，國際編號為 0813，聯合颱風警報中心 (Joint Typhoon Warning Center, JTWC) 編號則為 15W。生成後持續向北北西方向移動，9 月 10 日 2 時升為中度颱風；9 月 11 日 0030 UTC 發佈海上颱風警報；同日 0630 UTC 升為強烈颱風；9 月 11 日 2130 UTC 發佈海上陸上颱風警報，登陸日本的與那國島、石垣島，包括那霸南方的先島諸島，出現了雙眼牆現象(如圖 1、圖 2 所示)。以外眼牆為主，半徑約為 50 公里，內眼牆的回波則較弱。

9 月 13 日 0030 UTC 時辛樂克颱風強度減弱為中度颱風，移動方向同樣為北北西方向，暴風圈逐漸開始影響台灣地區。進入臺灣東部近海時呈現滯留現象，此時北方 500 hPa 的槽線並未將颱風引導往東北方向。其間可以看出眼牆內縮情形(圖 3 和圖 4)，半徑由約 50 公里逐漸收縮至約 25 公里。此外，受到迎風面地形舉升造成水氣凝結與背風面乾空氣下沉增溫的作用，導致台東地區出現焚風現象。13 日 1750 UTC 左右於宜蘭縣蘭陽溪附近登陸，隨後強度減弱並向南偏移至蘇澳附近呈打轉現象，14 日 0200 UTC 左右通過臺灣東北角進入北部海面，並維持在北部海面緩慢移動及打轉，同日 1230 UTC，中央氣象局將其降為輕度颱風。15 日 0000 UTC 左右才受到北方 500 hPa 槽線的作用轉向東北前進遠離臺灣並解除陸上颱風警報，9 月 16 日 0630 UTC 中央氣象局解除海上颱風警報。當辛樂克開始遠離臺灣後，原先預測會在中國福建北部至浙江南部再度登陸，但辛樂克卻在東海突然轉向 90 度以及出現再重建過程，以東北偏北方向往日本九州方向移動。

辛樂克颱風生命期中近中心最大風速為 51.0 m s^{-1} ，中心氣壓則為 925 hPa。此外辛樂克颱風期間也有亞太區域聯合颱風觀測

計畫(T-PARC)的飛機觀測資料可供使用，包括：投落送、飛機飛行高度資料與颱風強度 SFMR 觀測資料。

辛樂克颱風影響台灣期間造成合共 11 人死亡、11 人失蹤、20 人受傷，全台灣曾有逾 28 萬戶、處停電，134 處道路阻斷，封閉橋樑 7 處；行政院農業委員會水土保持局並曾針對 323 條溪流發佈土石流黃色警戒、430 條溪流發佈土石流紅色警戒。另據農委會統計，包括農業產物估計損失及民間設施毀損在內的農業損失，統計約達新台幣 9 億元左右。

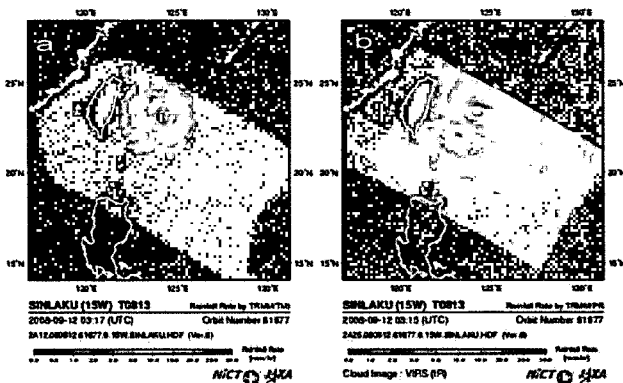


圖 1 TRMM 雙眼牆期間降雨(Precipitation Rate)回波圖：(a) 9 月 12 日 0317 UTC；(b) 9 月 13 日 0315 UTC。資料來源：日本 JAXA & NICT 颱風資料庫。
(http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/NRTtyphoon/index_e.htm)。

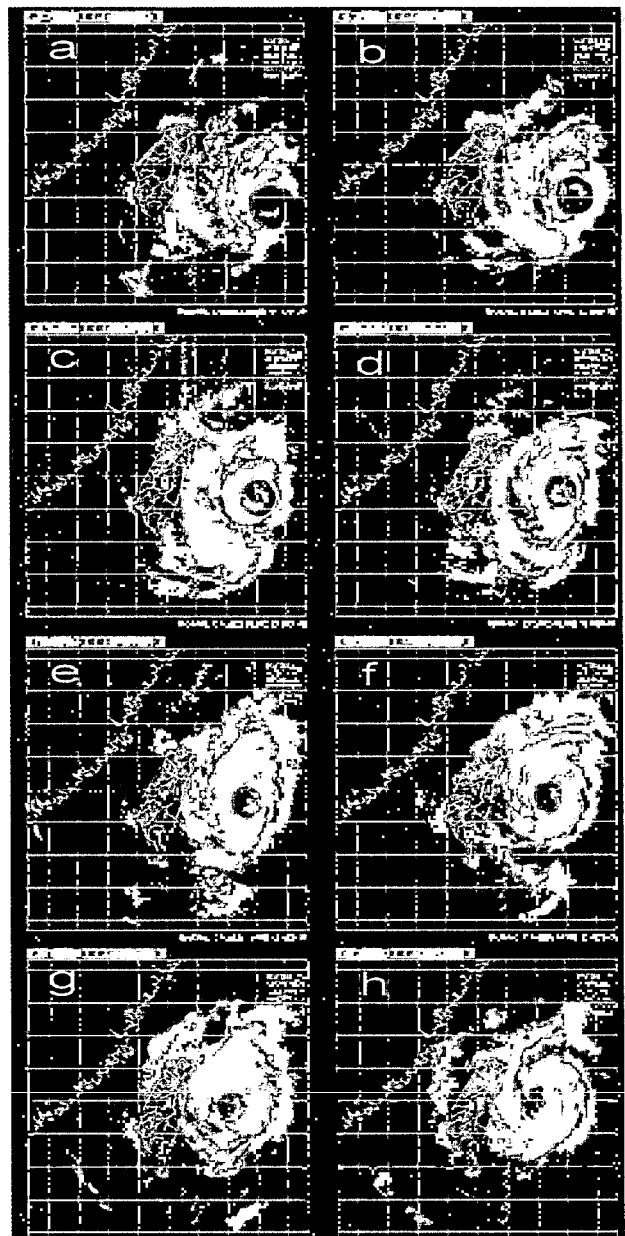


圖 2 雙眼牆期間雷達回波整合圖(dbz)：(a) 9 月 11 日 2300 UTC；(b) 9 月 12 日 0200 UTC；(c) 9 月 12 日 0500 UTC；(d) 9 月 12 日 0800 UTC；(e) 9 月 12 日 1100 UTC；(f) 9 月 12 日 1400 UTC；(g) 9 月 12 日 1700 UTC；(h) 9 月 12 日 2000 UTC。資料來源：中央氣象局。

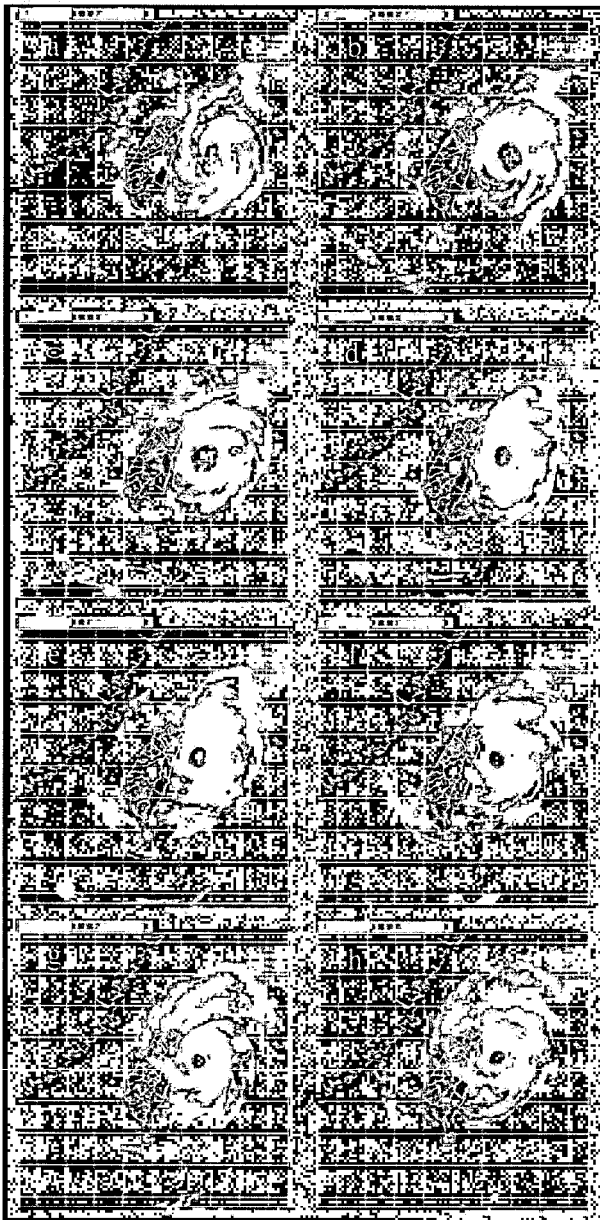


圖 3 眼牆收縮期間雷達回波整合圖(dbz)：(a) 9 月 12 日 2000 UTC；(b) 9 月 12 日 2200 UTC；(c) 9 月 13 日 0000 UTC；(d) 9 月 12 日 0200 UTC；(e) 9 月 13 日 0400 UTC；(f) 9 月 13 日 0600 UTC；(g) 9 月 13 日 0800 UTC；(h) 9 月 13 日 1000 UTC。資料來源：中央氣象局。

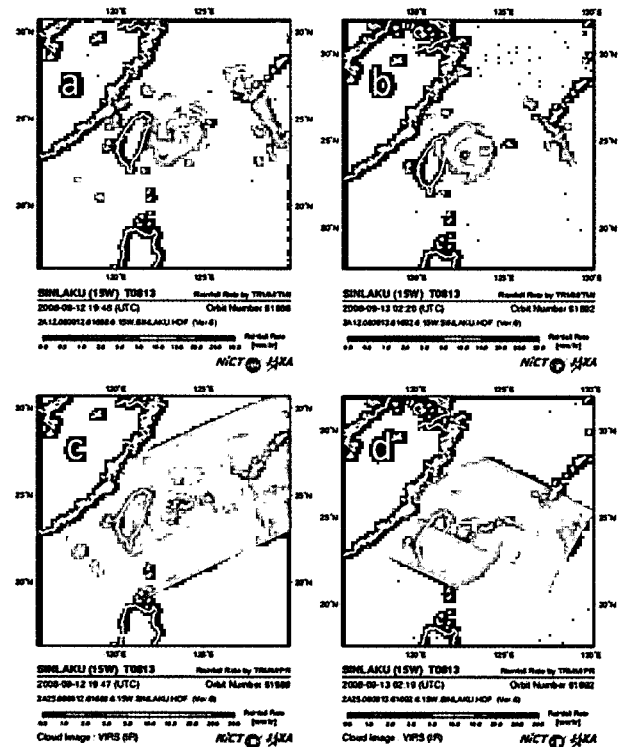


圖 4 TRMM 眼牆收縮期間降雨(Precipitation Rate)回波圖：(a) 9 月 12 日 1948 UTC；(b) 9 月 13 日 1220 UTC；(c) 9 月 12 日 1948 UTC；(d) 9 月 13 日 1220 UTC。資料來源：日本 JAXA & NICT 颱風資料庫。

(http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/NRT/typhoon/index_e.htm)。

三、實驗設計

1. 模式與物理參數設定

本研究將採用 WRF V3.0.1 版本來探討辛樂克颱風。WRF 模式是由 NCAR 等團隊共同研發，為最新一代中尺度數值天氣預報系統，適用空間尺度從數十公尺到數千公尺。網格設定(圖 5)是以 123°E, 25°N 為中心的三層巢狀網格，投影法選用藍伯特投影法，所選定的不變形緯度為 15°N、25°N，第一層(D1)解析度 30 公里，網格數為 160x150；第二層(D2)，解析度 10 公里，網格數為 301x262；第三層(D3)解析度 3.33 公里，網格數為 355x355，垂直層為 27 層，以 σ 為

座標，分別為 1.000, 0.990, 0.978, 0.964, 0.946, 0.922, 0.894, 0.860, 0.817, 0.766, 0.707, 0.644, 0.576, 0.507, 0.444, 0.380, 0.324, 0.273, 0.228, 0.188, 0.152, 0.121, 0.093, 0.069, 0.048, 0.029, 0.014, 0.000。三層積分的時間步長依次為 180、60 及 20 秒。三層的微物理參數法都選用 Goddard GCE 法；積雲參數法在第一和二層選用 Kain-Fritsch，第三層則無積雲參數法；邊界層參數法三層都選用 YSU。

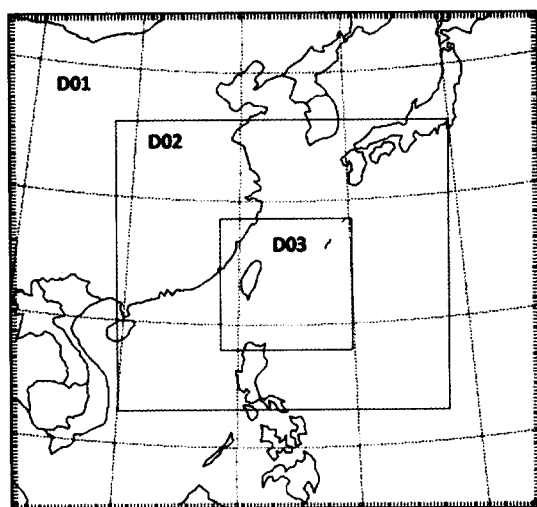


圖 5 WRF 模式三層網格設定示意圖。

2. 數值實驗

本研究的初始場及邊界值是採用美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) 的最終分析資料 (Final Analysis; FNL)，其空間及時間解析度分別為 $1.0^0 \times 1.0^0$ 及 6 小時。第一、二層模擬時間從 2008 年 9 月 8 日 1800 UTC 開始模擬 144 小時，結束時間為 2008 年 9 月 14 日 1800 UTC，讓模式積分 54 小時後，第三層的模擬時間從 2008 年 9 月 11 日 0000 UTC 才開始使用已經發展出來的颱風初始場模擬 90 小時，結束時間一樣為 2008 年 9 月 14 日 1800 UTC。第三層模擬時間延後的原因主要為運算資源的限制，所以無法產生較大的網格來涵蓋颱風生成至登陸期間的過程。本研究方法的優點在於可以涵蓋颱風生

長的過程，使模擬出颱風的強度和路徑與實際情況較接近。

四、模擬結果

1. 路徑與強度

由第二層的路徑模擬結果與 JTWC 的路徑比對如圖 6，除了在積分 24 小時出現的打轉現象不相同外，其餘的路徑誤差平均為 73 公里左右；實際颱風為移動緩慢的情況，模式則模擬出在海上打轉的現象，經實際比對後發現為逆時針方向打轉，而後速度移動又比實際颱風快。導致此狀況的原因，是由於模式颱風位於重整發展階段所產生的定位不準確或者有可能模式較難準確掌握微弱駛流有關，但模式路徑與實際颱風相似，皆有往北北西移動方向的趨勢。強度與地面最大風速隨積分時間演變情形的比對如圖 7，整體來說強度與地面最大風速上的趨勢一致，均有延後的情形，WRF 模擬的最強辛樂克強度於模式積分 96 小時後左右出現，海平面氣壓值為 931 hPa，地面風速最強為 50 m s^{-1} 。另外，由 JTWC 觀測的強度與地面最大風速可以發現辛樂克颱風出現雙眼牆期間，其強度與地面最大風速呈現逐漸減弱後的現象，此結果與過去研究並不一致，由於主要的眼牆一直出現在外圍，且內部眼牆只短暫出現不到 24 小時，因此辛樂克颱風的雙眼牆現象並非典型的雙眼牆個案。

Willoughby and Black (1996) 的研究結果也發現 1992 年大西洋的 Andrew 颱風在登陸前會因地表摩擦力的增加而使其眼牆內縮且強度增強的現象，於辛樂克颱風亦有相同情形，由 JTWC 在 13 日 0000 ~ 1200 UTC 觀測的颱風強度與地面最大風速可以發現，颱風強度呈現增強的情況；而後由於台灣地形作用，颱風強度則減弱。

至於在第三層的強度與地面最大風速的模擬結果如圖 8 所示。強度方面除了趨勢

一致外，整體來說與第二層的模擬結果一樣比 JTWC 觀測的強度稍弱；地面最大風速方面與第二層的模擬結果亦相同，而後期的模擬地面最大風速與 JTWC 的觀測相近。

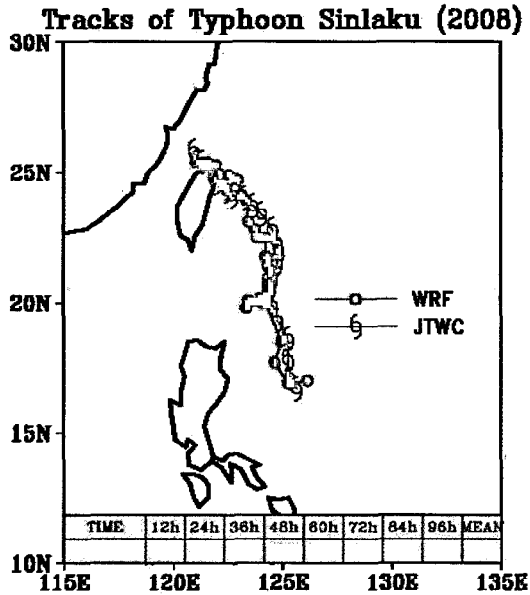


圖 6 JTWC 最佳路徑與第二層實驗的模擬路徑。每六小時一點。模擬初始時間為，總共積分 144 小時。路徑誤差如表所示，單位為公里。

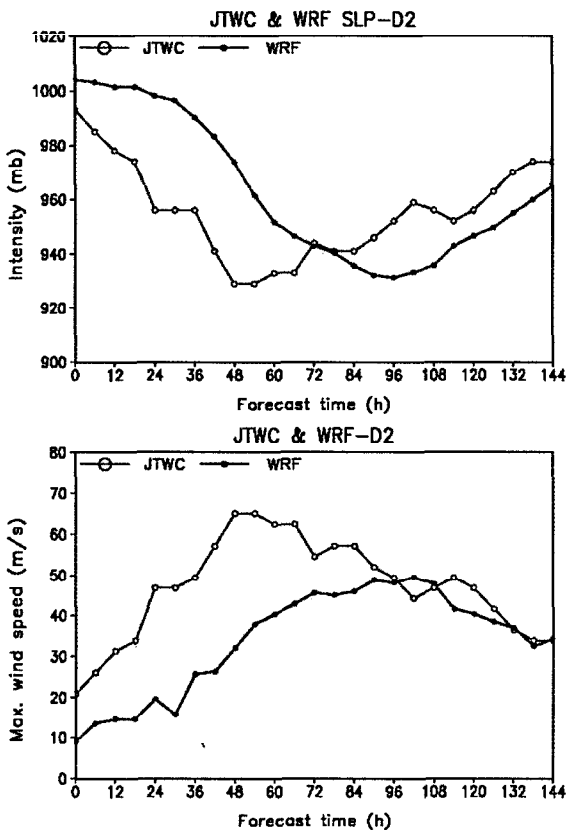


圖 7 JTWC 颱風強度與第二層實驗的模擬颱風強度比較圖，每六小時一點。(a) 為最低海平面氣壓值 (mb)；(b) 為地面最大風速 ($m s^{-1}$)。

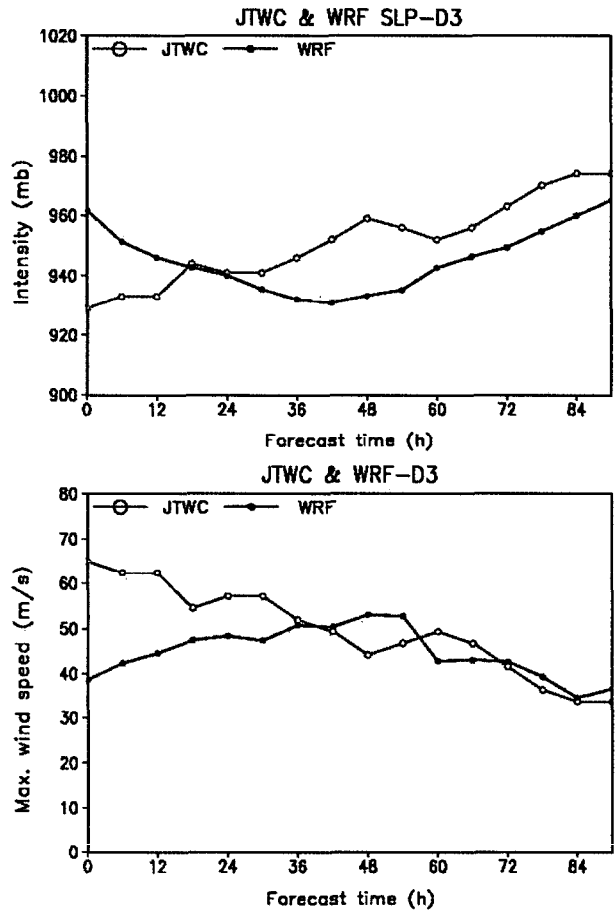


圖 8 JTWC 颱風強度與第三層實驗的模擬颱風強度比較圖，每六小時一點。(a) 為最低海平面氣壓值 (mb)；(b) 為地面最大風速 ($m s^{-1}$)。

2. 雙眼牆結構模擬

圖 9 為雙眼牆期間模擬的降水回波，無法看出明顯的雙眼牆，但仍可從圖 9f、9g 中看見少許回波。許多研究顯示，當雙眼牆的替代過程發生時，颱風強度會減弱，而後稍微增強(Black and Willoughby, 1992)。綜合上述的颱風強度與地面最大風速比較，從 JTWC 的觀測颱風強度有此一情形，然而模式於強度與地面最大風速方面並未完全和觀

測情況吻合，當模擬的颱風強度減弱時已進入登陸時期，因此也預期了結構方面模擬狀況的不理想。此一原因為初始場的資料不夠完善以及解析度不夠所導致(與台大吳俊傑教授個人聯繫)。儘管如此，雙眼牆期間模式所模擬的眼牆半徑與雷達觀測的眼牆半徑相同，均約為 50 公里左右。

3. 登陸前眼牆收縮模擬

圖 10 為眼牆收縮期間模擬的降水回波。其眼牆特徵為半徑約 50 公里，相較於衛星與雷達觀測資料收縮後的眼牆而言，是相當大的半徑，即模式眼牆沒有收縮情況，並且眼牆形狀於圖 10e、10f、10g、10h 均呈現出橢圓的形狀。由現階段的模擬結果顯示模式並未完全掌握住辛樂克在登陸前眼牆內縮的動力過程，代表模式內的物理過程仍無法呈現與實際辛樂克颱風眼牆內縮時所存在的大氣條件。此外，與雙眼牆的結構模擬相同，解析度的不足與颱風初始結構不完善亦有可能造成模式無法掌握眼牆內縮的可能因素之一。

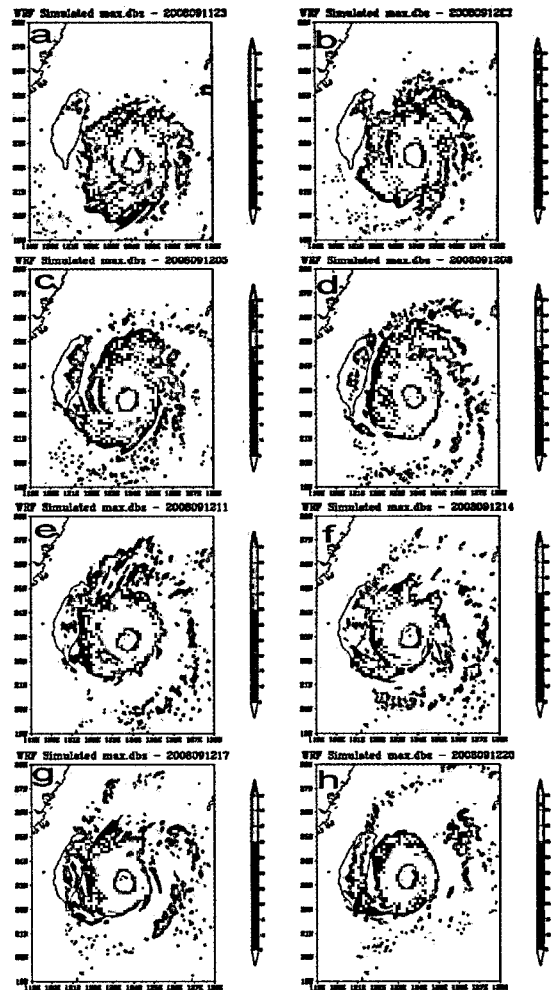


圖 9 雙眼牆期間 WRF 模擬的降水回波圖 (dbz)：(a) 9 月 11 日 2300 UTC；(b) 9 月 12 日 0200 UTC；(c) 9 月 12 日 0500 UTC；(d) 9 月 12 日 0800 UTC；(e) 9 月 12 日 1100 UTC；(f) 9 月 12 日 1400 UTC；(g) 9 月 12 日 1700 UTC；(h) 9 月 12 日 2000 UTC。

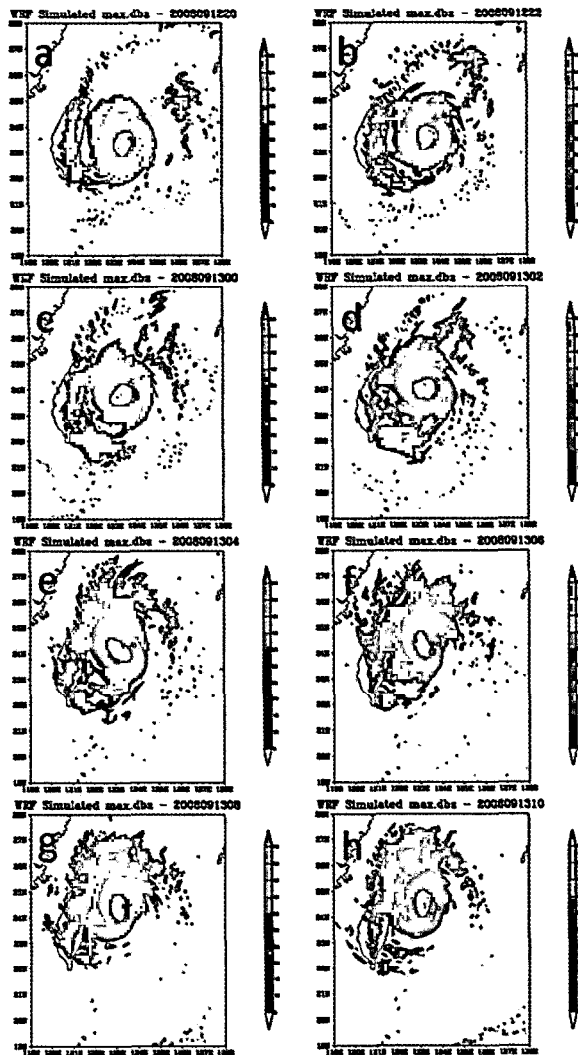


圖 10 眼牆收縮期間 WRF 模擬的降水回波圖 (dbz) :

(a) 9 月 12 日 2000 UTC ; (b) 9 月 12 日 2200 UTC ; (c) 9 月 13 日 0000 UTC ; (d) 9 月 12 日 0200 UTC ; (e) 9 月 13 日 0400 UTC ; (f) 9 月 13 日 0600 UTC ; (g) 9 月 13 日 0800 UTC ; (h) 9 月 13 日 1000 UTC 。

五、結語與展望

辛樂克颱風為一個相當值得研究的颱風，因為除了造成台灣的諸多災情外，也在進入日本前產生颱風重整的過程，其生命期還存在許多有趣的科學議題，例如在颱風發展期間曾經一度出現熱塔現象(圖未顯示)。本研究透過 WRF 模式模擬辛樂克颱風的雙眼

牆過程及眼牆收縮過程並進行初步與雷達和衛星圖的校驗。

模擬結果顯示，所得的模擬路徑有相當程度的掌握，與觀測的颱風往北北西移動的趨勢一致，誤差平均為 72 公里；而最大颱風強度相差 6 hPa，而強度和地面最大風速方面的變化趨勢也與實際觀測資料一致，只是有延遲的情況。但由於模式模擬的颱風前期出現與實際不相同的打轉現象，打轉方向為逆時針方向，原因可能為模式颱風位於重整發展階段所導致定位不準確以及可能掌握不到微弱融流，所以導致模式的後期移動速度較快，以及內部動力結構的掌握上不完全。即便如此，仍然可以在雙眼牆期間從模式的結果中看見少許回波在眼牆內部，且眼牆半徑與實際情況吻合，而眼牆收縮期間的模式結果則呈現為橢圓形眼牆的結構。

為了解決這些問題，未來將進行提高模式空間解析度的模擬來掌握更細部的眼牆過程，並且與雷達資料比對颱風內部的垂直結構。另外，未來亦會加入颱風期間的 T-PARC 飛機資料同化於模式中，期許能更多改善初始場的資料和結果，來掌握颱風眼牆結構。

參考文獻

- 張保亮、楊明仁與周仲島，1999: 颱風螺旋雨帶分析。第六屆全國大氣科學學術研討會論文集編。
- Bender, M. A., R. E. Tuleya, and Kurihara, 1987: A numerical study of the effect of island terrain on tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 130-155.
- Black, M. L., and H. E. Willoughby, 1992: The concentric eyewall cycle of hurricane Gilbert. *Mon. Wea. Rev.*, **120**, 947-957.
- Kuo, H.-C., R. T. Williams, and T.-H. Chen, 1999: A possible mechanism for eye rotation of Typhoon Herb. *J. Atmos. Sci.*, **56**, 1659-1673.

- Liu, Y., D.-L. Zhang, and M. K. Yau, 1997: A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part I: Explicit simulation and verification. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3073-3039.
- , ——, ——, 1999: A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992). Part II: Kinematics and inner-core structures. *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 2597-2616.
- Willoughby, H. E. and P. B. Black, 1996: Hurricane Andrew in Florida: Dynamics of a Disaster. *Bulletin of Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 543-549.
- Zhou, X., and B. Wang, 2009: From concentric eyewall to annular hurricane: A numerical study with the cloud-resolved WRF model. *Geophys. Res., Lett.*, VOL. **36**, L03802, doi:10.1029/2008GL036854.

The Eyewall Structure Evolution of Typhoon Sinlaku(2008) Before Landfalling in Taiwan

Cheng-Hsiang Chih¹ Kun-Hsuan Chou²

¹*Graduate Institute of Earth Science/Atmospheric Science, Chinese Culture University*

²*Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University*

Abstract

Typhoon Sinlaku (2008) with the most warnings issued in 2008, was also the second most warnings in the last 50 years in Taiwan. In addition to a lot of rain during landfalling in Taiwan, there are many academic topics associated with Typhoon Sinlaku (2008) to be discussed. These are: 1) The hot tower in development; 2) The phenomena of concentric eyewall; 3) The concentrative eyewall before landfall; 4) The spin of eyewall two times after landfall; 5) The eyewall breakdown after landfalling in Taiwan and reformation before landfalling in Japan. This research discusses these scientific issues by the WRF numerical model and compares the radar and TRMM satellite remote measurement data.

This research uses the WRF V3.0.1 version in Typhoon Sinlaku (2008) case. And the forecast uses the global model analytic field with NCEP with Global Final Analyses 10×10 to be the first field and boundary condition of the model. By the way of triply nested grids (30, 10, 3.33 km) to simulate the phenomena of concentric eyewall and the concentrative eyewall before landfall. These are verified with radar and TRMM satellite data. Results of the track indicate the model is similar to real typhoon for north north-western tendency before landfalling in Taiwan. The tendency of the typhoon intensity and ground maximum wind speed are also similar to the observable data, but there is delay situation and the intensity is slightly weak in the model. Moreover, the structure evolution of typhoon isn't similar to observable data.

Detailed analyses indicate the model eyewall radius is similar to radar outer eyewall radius, therefore, the model results don't show the structure evolution of concentric eyewall. Besides, the model also can't simulate well the process during the concentrative eyewall before landfall. Either the radius didn't contract or the eyewall became an elliptical shape. Results also indicate the model intensity and structure of typhoon is affected by the initial condition of typhoon structure. In the future we will use the plane data of the typhoon inner core in T-PARC national observable experiment, and apply assimilation 3DVAR or 4DVAR data to produce a initial condition that more closely approaches the real typhoon's structure and then improve the structure evolution within the typhoon that the present model can't analyze.

Keyword: Typhoon Sinlaku, WRF numerical model, phenomena of concentric eyewall, concentrative eyewall