

# 辛樂克颱風(2008)侵台期間眼牆演變研究

遲正祥<sup>1</sup> 周昆炫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中國文化大學地學研究所

<sup>2</sup>中國文化大學大氣科學系

## 摘要

根據中央氣象局最佳路徑分析，辛樂克由台灣東南方登陸宜蘭，隨後打轉並在離陸後朝東北方行進，本研究使用 WRF V3.0.2 針對 2008 年辛樂克颱風個案，以 NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  解析度的全球分析資料作為模式的初始場與邊界條件加上渦旋植入技術進行模擬。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，並調整地形敏感度及渦旋植入之大小敏感度進行其登陸期間眼牆結構的模擬，所做之所有模擬實驗皆對路徑有相當好的掌握。

進一步分析顯示，除了不使用渦旋植入的控制組實驗(CTL)強度偏弱外，對照組 BM 之強度與路徑皆與最佳路徑誤差最小，並產生登陸前眼牆收縮，以及登陸期間眼牆被破壞，登陸後眼牆重建之現象；將地形移除為平地的實驗(FAT)雖路徑相似但卻沒有明顯此現象發生，無地形(NT)的實驗則是完全無此現象，因此地形扮演重要角色。

此研究最後探討颱風本身的大小敏感度對於此眼牆變化現象的影響，發現眼牆半徑越大(BVLR)與壯度越大(BVLS)的颱風，較容易於登陸後由外圍的風場重建，並在颱風外圍之降水也較多，內核的降水則減少，反之亦然。

## 一、辛樂克介紹及前言

對於颱風眼牆結構之演變，科學上仍有許多未解的難題，辛樂克颱風的特殊，在於單一個颱風便具有許多值得探討和深入分析的現象，例如：熱塔現象、雙眼牆、登陸前眼牆收縮、登陸後二次打轉、眼牆破壞後重建。此外，辛樂克颱風期間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，為相當難得的颱風個案。

過去對於颱風登陸期間演變的研究相當多 (Brand and Bleloch 1973, 1974; Yeh and Elsberry 1993a,b; Wu and Kuo 1999; Wu 2001; Wu et. al 2002; Chen and Yau 2003)。許多研究都指出地形扮演了重要的角色，其中也有探討地形對於路徑的影響 Huang et. al (2010)。而 Wu et.al (2003; 2009)提出了 1998 年的瑞伯颱風在登陸呂宋島前後產生眼牆收縮，破壞，重建等現象。Chou et. al (2011)也更進一步提出颱風與台灣地形交互作用的許多觀測個案，包括此研究的辛樂克，只是數值模擬方面，是否同樣現象在台灣地形也會得到同樣結果的工作則尚未被驗證。

另一個問題則是：既然地形扮演了重要的角色，那麼尺度多大的地形會產生影響？換一個觀點的問題則是，颱風本身大小的不同受到地形影響的

差異是什麼？

近年來也有越來越多相關文獻提到颱風大小的議題(Wang 2008, 2009; Hill and Lackmann 2009; Xu and Wang 2010a, b)，但如何定義颱風的大小仍然有許多方式及其問題，Merrill (1984) 提出了以風速來區分的颱風結構(如圖 1)，由此得知最直接的調整颱風大小的方式便是調整風場。

因此本研究為了探討以上問題，使用渦旋植入技術，在 NCEP 的初始場下植入不同最大暴風半徑大小以及不同壯度的敏感度實驗，以期得到更清楚此一現象的描述。

## 二、模式與實驗設計

本研究使用 WRF V3.0.2 模式並 NCEP 初始場，相關設計如表 1，三層巢狀網格，解析度最高為 3.33 公里。正式積分時間為 2008 年 9 月 11 日 00 UTC 至 2008 年 9 月 16 日 UTC。為了調整颱風結構更合理，使用 Wu 等人 (2001) 提出的渦旋植入技術，除了改善颱風結構，還可做為調整颱風本身的強度與大小的工具。

第一部分的實驗設計為地形敏感度，CTL 為不使用渦旋技術的控制組，BM 為使用最接近觀測數值調整出的渦旋，FLAT 為使用渦旋植入但台灣地形修改為平面 1 公尺，NT 為使用渦旋植入並以海洋取代台

灣地形。

第二部分之一為使用渦旋技術分別在強度，最大暴風半徑，壯度，等設定出 1100 組實驗使其積分 6 小時與環境場調整，從其中挑選出正式積分 6 小時後具有同樣強度，相似路徑，但不同最大暴風半徑大小之實驗。

第二部分之二為從 1100 組實驗中挑選出相同強度與最大暴風半徑，相似路徑，但不同壯度的實驗。以上實驗設計在第三小節討論第一部分實驗結果，在第四小節討論第二部分實驗結果，第五小節做總結。

### 三、地形敏感度實驗結果

四組實驗(CTL、BM、FLAT、NT)的路徑皆呈現轉彎，且移動速度較 JTWC 觀測的快，CTL 雖未登陸但仍然受到地形影響；強度方面除了 CTL 在初始值偏弱之外，其他的實驗比觀測值還強，受到地形影響的多寡，在生命期間的強度趨勢也相當合理。

以哈莫圖(hovemoller diagram)並軸對稱分析，CTL 強度雖弱且未登陸但顯示只要受地形影響，則出現登陸前眼牆收縮的現象仍然比 FLAT 和 NT 明顯，而 FLAT 雖然地形只有 1 公尺，但由於摩擦力仍然存在，還是有些許登陸前收縮，登陸後增強的現象，NT 則是完全毫無此現象，而 BM 則是完整呈現眼牆的變化，證明了地形對颱風眼牆結構扮演著關鍵性的角色，並在模式中也能掌握此一現象。

### 四、颱風大小敏感度實驗結果

#### (一) 最大暴風半徑敏感度

圖 4 顯示在積分 6 小時後的颱風結構，表示最大暴風半徑不同的三組實驗，分別為 BSR、BMR、BLR，其強度與路徑皆合理並且相似(未顯示圖)，圖 5 表示三組實驗皆出現登陸前眼牆收縮，登陸後被破壞而重整的現象，而在重整的過程中發現 BLR 的外圍風場比 BMR 和 BSR 來得強。由於颱風移動速度的差異，為了排除登陸前移速較慢的颱風受到較大影響的因素，本研究計算當颱風外圍( $17 \text{ m/s}$ )開始受到地形影響的時間開始，至登陸後外圍風場範圍離開台灣為止的期間(圖 5 中紅色框框)，來代表受地形影響的時期，而非採用只以登陸點計算登陸期間較簡單的分析。圖 6 顯示地面影響期間之軸對稱平均切向風，清楚顯示較大最大暴風半徑的颱風期外圍區域(距中心 1 度~2 度)有較強的風場，但 BLR 和 BML 則無差別；圖 7 則為受地形影響期間之軸對稱平均地面降水量，與軸對稱切向風平均之結果一致，且顯示越大的最大暴風半徑其內核降水量則越少，可能原因为較大眼牆的颱風

移動速度較慢，受到地形破壞程度相對較嚴重，而導致內核降水量減少，此結果與莫拉克颱風(2009)所造成的災情相符；進一步挑選出四個最大暴風半徑差異的四組實驗共 16 個個案軸對稱平均後的結果如圖 8 和圖 9，發現當最大暴風半徑越大，則差距會趨於縮小，顯示當眼牆半徑與地形的比例大過一個比例，其結果便趨於相似，因為外圍的風場受到地形的影響差異不大。

#### (二) 壯度敏感度

圖 10 和圖 11 亦顯示壯度敏感度之受地形影響期間的軸對稱平均切向風，呈現出與最大暴風半徑敏感度實驗相同的結果，表示其影響的因素一致，推測可能的原因與角動量與受地形影響之程度有關。

### 五、結語與展望

辛樂克颱風除了擁有許多人為的優勢，如大型實驗等諸多觀測外，也具備許多有趣的現象和議題於一身。本研究透過對登陸前眼牆收縮，登陸後眼牆破壞後重建的現象的因素作探討，指出最大的關鍵角色為地形；再次驗證無論是菲律賓還是台灣，地形的影響都不容忽視。

進一步以敏感度實驗檢驗颱風大小與地形之間交互作用的關係，發現無論是調整最大暴風半徑的大小，或是調整颱風的壯度，呈現的結果皆為越大的颱風眼牆或壯度，其外圍風場與降水也相對較大或多，但是當其比例超過某個程度，則結果便趨於相似，推測的原因為可能與角動量受到地形影響的程度有關；另外，此敏感度實驗顯示在內核區的結果與外圍區相反，其原因为較大的颱風移速較慢，內核所受到地形破壞的程度較嚴重，因此風場與降水量皆較弱或少。

為了更定量的了解上述問題，未來將使用理想模式來進行上述實驗，除了更準確探討地形水平尺度與颱風之比例所產生的交互作用外，更希望在理想模式下計算最大暴風半徑敏感度與壯度敏感度之下角動量的差異。另外，將更進一步調整以七級暴風半徑定義之颱風大小的敏感度來檢驗其交互作用，期望能對此特殊現象有更清楚的了解。

### 文獻回顧

Brand, S., and J. W. Bleloch, 1973: Changes in the characteristics of typhoons crossing the Philippines. *J. Appl. Meteor.*, **12**, 104 – 109.

- , and —, 1974: Changes in the characteristics of typhoons crossing the island of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 708 – 713.
- Chen, Y., and M. K. Yau, 2003: Asymmetric structures in a simulated landfalling hurricane. *J. Atmos. Sci.*, **60**, 2294–2312.
- Chou, K.-H.\* , C.-C. Wu, Y. Wang, and C.-H. Chih, 2011: Eyewall evolution of typhoons crossing the Philippines and Taiwan: An observational study. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* (accepted)
- Hill, K. A. and Lackmann, G. M., 2009: Influence of environmental humidity on tropical cyclone size. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 3294–3315.
- Merrill, Robert T., 1984: A Comparison of Large and Small Tropical Cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1408 – 1418.
- Wang, Y., 2008: Structure and formation of an annular hurricane simulated in a fully compressible, nonhydrostatic model – TCM4. *J. Atmos. Sci.*, **65**, 1505–1527.
- Wang, Y., 2009: How do outer spiral rainbands affect tropical cyclone structure and intensity? *J. Atmos. Sci.*, **66**, 1250–1273.
- Wu, C.-C., 2001: Numerical simulation of Typhoon Gladys (1994) and its interaction with Taiwan terrain using the GFDL hurricane model. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 1533 – 1549.
- , and Y. H. Kuo, 1999: Typhoons affecting Taiwan—Current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 67 – 80.
- , T.-H. Yen, Y.-H. Kuo, and W. Wang, 2002: Rainfall simulation associated with Typhoon Herb (1996) near Taiwan. Part I: The topographic effect. *Wea. Forecasting*, **17**, 1001 – 1015.
- , K.-H. Chou, H.-J. Cheng, and Y. Wang, 2003: Eyewall contraction, breakdown and reformation in a landfalling typhoon. *Geophys. Res. Lett.*, **30**(17), 1887.
- , H.-J. Cheng, Y. Wang, and K.-H. Chou, 2009: A numerical investigation of the eyewall evolution in a landfalling typhoon. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 21–40.
- Yeh, T.-C., and R. L. Elsberry, 1993a: Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part I: Upstream track deflections. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3193 – 3212.
- , and —, 1993b: Interaction of typhoons with the Taiwan orography. Part II: Continuous and discontinuous tracks across the island. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 3213 – 3233.
- Xu, Jing, and Yuqing Wang, 2010a: Sensitivity of Tropical Cyclone Inner-Core Size and Intensity to the Radial Distribution of Surface Entropy Flux. *J. Atmos. Sci.*, **67**, 1831 – 1852.
- , and —, 2010b: Sensitivity of the Simulated Tropical Cyclone Inner-Core Size to the Initial Vortex Size\*. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 4135 – 4157.

模式	WRF V3.0.1
中心點	123°E、25°N
投射法	藍伯特投影法，不變形縮度為15°N~25°N
網格四邊	2-way interpolation
分辨率	domain1 domain2 domain3
	33 km 10 km 3.33 km
网格數	160x150 301x262 355x325
時間步長	180s 60s 20s
物理參數	Goddard GCE Goddard GCF Goddard GFF
積雲參數	Kain-Fritsch Kain-Fritsch non
邊界層參數	YSU YSU YSU
垂直層	27層 $\sigma$ 圖樣

表1 WRF 模式設計之範圍與參數法等設定表。

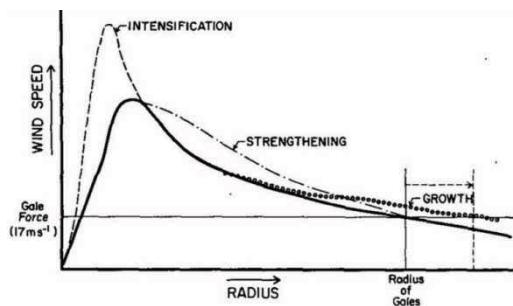


FIG. 1. Schematic of the changes in lower tropospheric tangential wind associated with intensification, strengthening and growth of a tropical cyclone.

圖 1 热帶氣旋中地對流層切向風示意圖。資料來源：

Merrill (1984)。

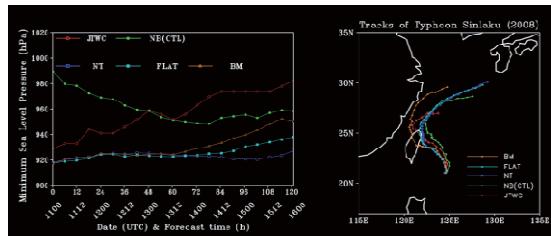


圖 2 CTL、BM、FLAT、NT 四組實驗與 JTWC 之 (左)最低海平面氣壓趨勢圖，每六小時一點；(右)路徑圖，每六小時一點。

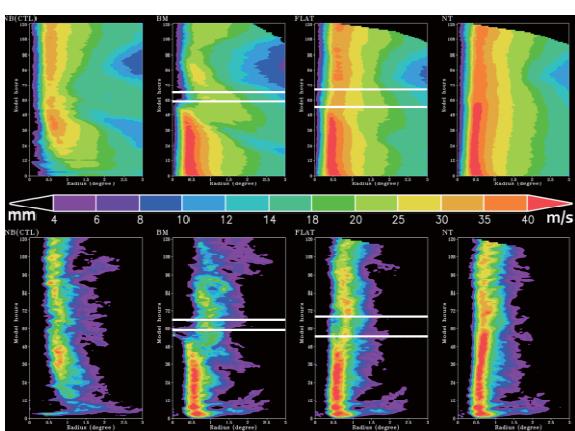


圖 3 哈莫圖，色階上方為軸對稱平均切向風，色階下方為籌對稱平均地面降水量，白實線為登陸離陸時間點。

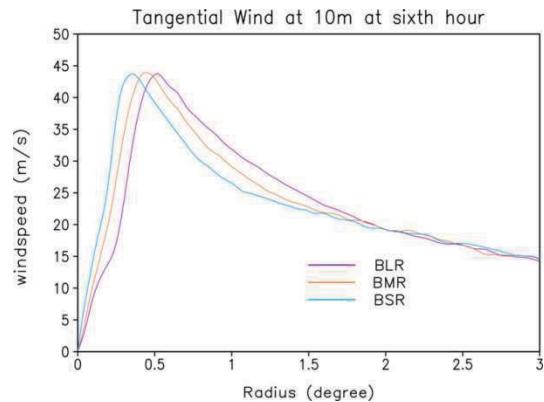


圖 4 BSR、BMR、BLR 三組最大暴風半徑敏感度實驗之積分時間第六個小時軸對稱平均切向風圖。

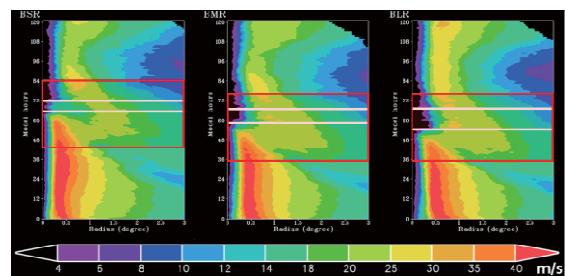


圖 5 與圖 3 相同，但為 BSR、BMR、BLR 三組哈莫圖，紅色範圍為受地形影響期間。

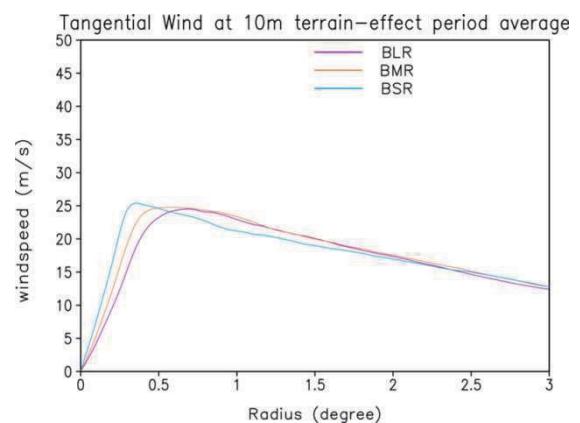


圖 6 BSR、BMR、BLR 三組受地形影響期間之軸對稱平均切向風圖。

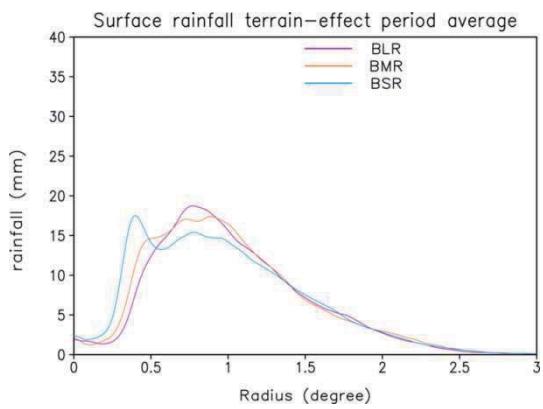


圖 7 BSR、BMR、BLR 三組受地形影響期間之軸對稱平均降水量圖。

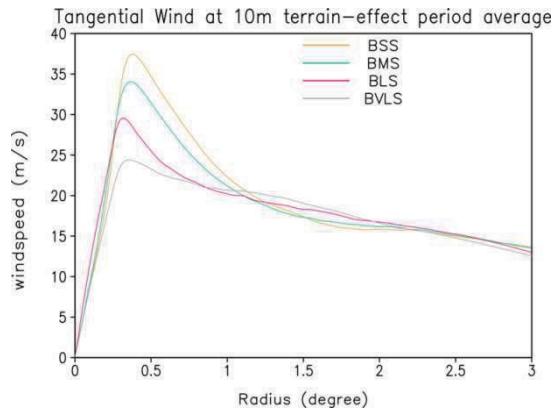


圖 10 BSS、BMS、BLS、BVLS 四組壯度敏感度實驗受地形影響期間之軸對稱平均切向風圖

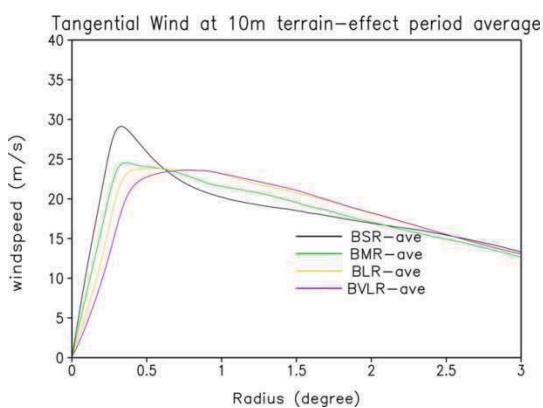


圖 8 16 組最大暴風半徑敏感度實驗受地形影響期間之軸對稱平均切向風之平均圖，分別為 BSR-ave 、 BMR-ave 、 BLR-ave 、 BVLR-ave 。

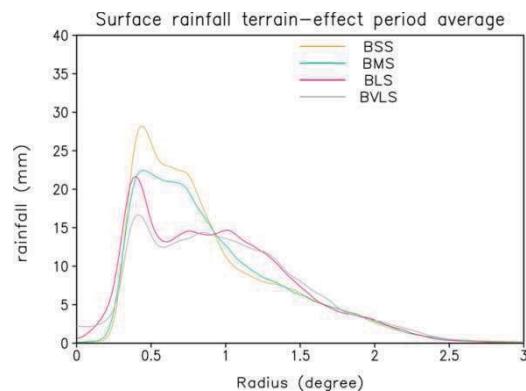


圖 11 與圖 10 相同，但為軸對稱平均降水量之平均圖。

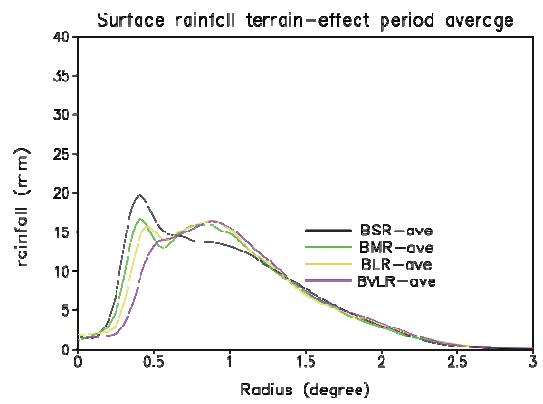


圖 9 與圖 8 相同，但為軸對稱平均降水量之平均圖。