

全球暖化對颱風與地形交互作用的影響

藍晨豪¹ (Chen Hau Lan) 林沛練¹ (Pay Liam Lin) 盧承萱² (Sarah Lu) 王維強³ (Wei-Chyung Wang)
鄭兆尊³ (Chao-Tzuen Cheng)

¹National Central University

²University at Albany, State University of New York

³National Science and Technology Center for Disaster Reduction, Taiwan

摘要

因為台灣複雜的地形影響，在台灣附近的颱風受到地形影響，這種影響導致颱風影響時間增加，並影響其台灣的累積降雨量。為了比較當前與未來TC上路徑的差異，本研究首先利用國家防災科技中心(NCDR)對HiRAM模型利用WRF進行動力降尺度得到的颱風路徑分類(北部、中部、南部)。分析這三種類型在氣候變遷下颱風的變化，除了強度的變化外，颱風的移動速度加快，導致影響時間減少。其中又以北部類型的颱風變化最為明顯。為了探索北部的颱風在未來氣候變遷下移動速度變化的機制，以2015年的杜鵑颱風進行個案分析，並用pseudo global warming method(PGW)模擬全球暖化的情境，並利用位渦趨勢分析來計算水平平流(HA)、垂直平流(VA)和非絕熱項(DH)的貢獻。境過當前與未來的模擬比較，不僅結構增強，而且在不同的PV貢獻項也有變化，水氣的增加導致了DH項的增加。此外該個案在靠近時，由於地形的影響導致台灣東部有一噴流產生(CBJ)，進而使HA項增加，使颱風在登陸前產生較大的偏折。然而在PGW模擬下，CBJ的強度下降，使颱風偏折情況減少。

關鍵字：颱風路徑、氣候變遷

一、前言

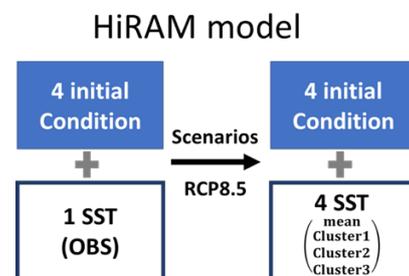
受到未來的全球暖化的影響，颱風的數量不但有所變化，其結構強度也有所提升。在未來的情境下，颱風會有較強的強度發生歸因於更溫暖的海平面氣溫。受到海平面溫度的增加，Kanada et al. (2017)認為更強的熱含量使內核的垂直運動增強，進而使颱風增強，半徑減少。除此之外，較溫暖的海水也會影響到颱風的生成的位置往北移動(Camargo et al. 2014)。種種的因素令我們必須對未來的極端氣候提前做準備。尤其是針對未來侵台的颱風更需要多留意。

因此在研究中，在第二節為資料來源與模擬介紹。第三節會探討統計下過去情境與未來情境下颱風移動路徑下的變化。第四節為個案分析。第五節為結論與總結。

二、資料與方法

本篇文章使用國家災害防救科技中心(National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR)所提供的在現在情境(1979-2015)以及未來情境

(2075-2100)下近台灣颱風路徑資料。該資料來源如圖一。



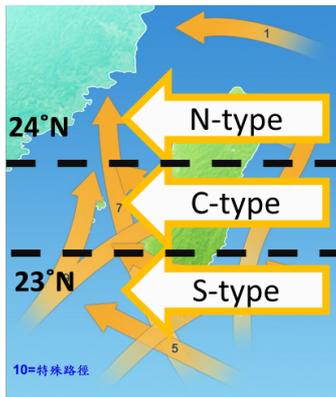
圖一、NCDR HiRAM資料

此份資料使用高解析度氣候模式(HiRAM)進行動力降尺度，其在過去情境使用四種不同的初始條件，並使用觀測的海表面溫度(SST)加入一起模擬，在未來情境下，選擇RCP8.5的情境模擬，並選用4種不同的SST作為成員模擬。之後再使用WRF進行動力降尺度，已得到高解析度資料已用於後續統計分析。

本研究針對上述所提及的路徑資料，取出西行路徑颱風(Westward Landing Typhoon, WLT)，進行分析。其判別方法如下：

1. 找出未登入前的颱風行進方向於-30至-150度的時間。

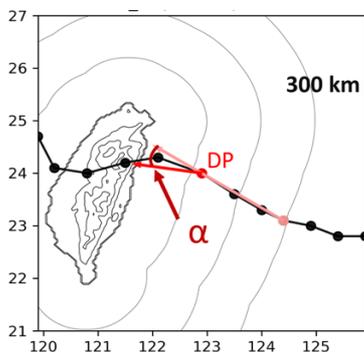
- 其1.找出時間在登入前的頻率需大於0.4。
- 參考中央氣象局分類方法，登入位置大於24N為N-type，23N-24N為C-type，23以下為S-type，如圖二所示。



圖二、颱風移動路徑分類示意圖

為了定義颱風受地形偏折情形，Hsu et al. (2016) 提出了偏折點(Deflection point, DP)和偏折角(Deflection angle)的概念(如圖三)，定義方法如下：

- 從靠近台灣300km開始，找出其最長的直線距離。直線距離終點即為DP。
- DP與登入點的連線(紅色向量)與1.找出的直線距離(粉色向量)及夾角即為偏折角。



圖三、偏折點(DP)示意圖

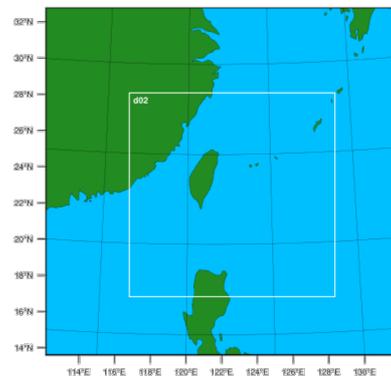
為了進一步探討其氣候變遷的機制，本篇在後續的個案分析中利用了假想氣候變遷(Pseudo Global Warming, PGW)對2015年的杜鵑颱風來做敏感度實驗。使用的模式設定如表一所示，其網格設定為兩層巢狀網格，分別為15km、5km的解析度，如圖四。其初始場為NCEP FNL 1公里解析度分析場。開始模擬時間於DP前12小時，並做6小時spin up。在該研究中模擬了兩組實驗，分別為CNTLrun 和 PGW run。本篇使用的PGW方法如下式所示：

$$FUTURE = CURRENT + \Delta Anomaly_{monthly\ mean}$$

將氣候上統計的變異量加入至原先的初始場，使其成為新的初始場。在本篇中變異量使用2017-2100年的月平均減去1979-2015年的月平均，並將其變異量內插置不同天數，以避免在月份變化時的不連續。在這裡增加變異量的變數分別有各層的溫度、濕度、重力位場、風場以及海平面溫度。

表一、個案分析的模式設定

WRF model	
microphysics	WSM6 scheme
PBL	YSU scheme
Resolution	D01 15km / D02 5 km
Vertical layers	39
Initial time	12 hours before DP
IC and BC	NCEP FNL analysis 1 degree



圖四、理想化實驗設計圖。

模擬過後的颱風會利用Wu and Wang (2001)所提出利用位渦趨勢(Potential Vorticity Tendency Analysis, PVT)進行分析，其公式如下：

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \underbrace{-\mathbf{V} \cdot \nabla_h P}_{HA} + \underbrace{w \frac{\partial P}{\partial z}}_{VA} + \underbrace{\rho^{-1} \nabla_3 \cdot (Q\mathbf{q})}_{DH}$$

右式分別為水平平流項(HA)、垂直平流項(VA)和非絕熱項(DH)的影響。並利用傅立葉分析進行計算，找出軸對稱(波數為0)與非對稱(波數為1)的結構，已用於探討不同項對颱風移動的貢獻。

為量化不同PVT的貢獻量，使用Wu and Wang (2001)提出的公式加以計算：

$$C_y = -\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial P_s}{\partial y} \right)_i \left(\frac{\partial P}{\partial t} \right)_{1i}}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial P_s}{\partial y} \right)_i^2}, \quad C_y = -\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial P_s}{\partial y} \right)_i \left(\frac{\partial P}{\partial t} \right)_{1i}}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial P_s}{\partial y} \right)_i^2}$$

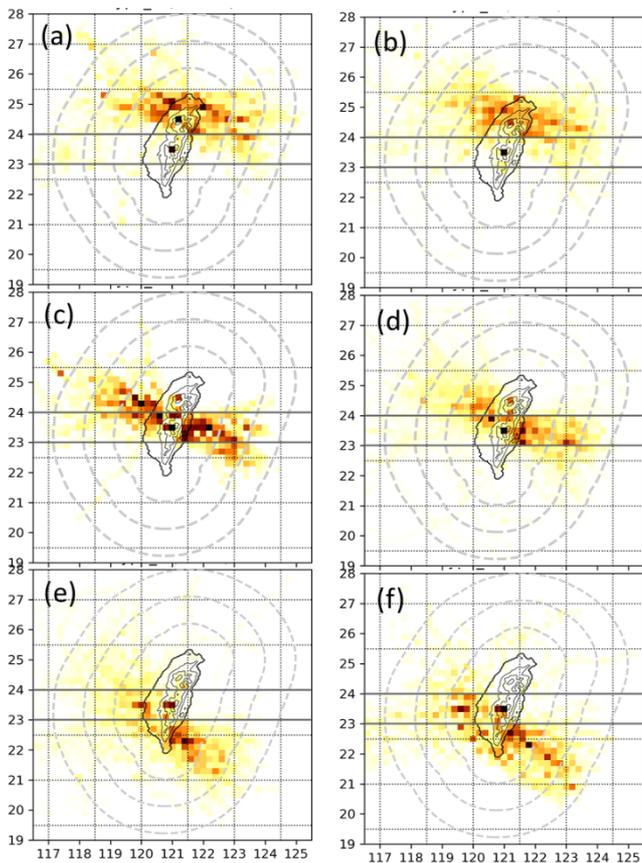
其中，P可為不同的PVT項，下標s為對稱結構，而下標1為非對稱結構，並計算在暴風半徑400公里內的網

格點資料，即可得到該PVT項對移動速度與方向的貢獻量。

三、路徑統計分析

由上述NCDR提供的颱風路徑進行分析，並計算不同路徑型態的出現頻率，如圖五。

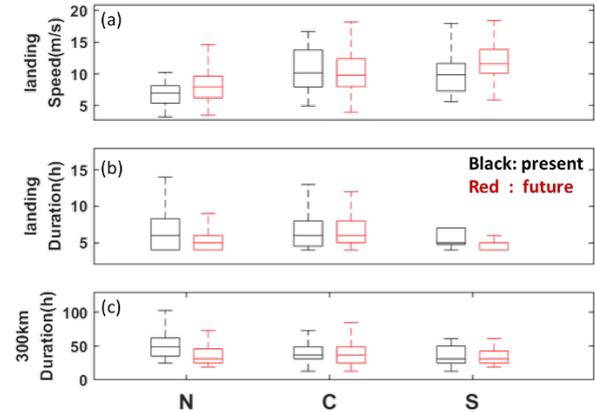
從圖五的結果可以看到，在過去的情境下，WLT在接近陸地時都有因為與地形交互作用，導致在地形上或周圍出現機率高。然而在未來情境下的模擬，颱風的中心氣壓更強，導致不容易受地形影響，因而無法在N-type和C-type的路徑下看到地形周圍有較高的出現頻率的情況發生。不過S-type的颱風還是仍有滯留的情形發生。



圖五、不同方法對 D_m 的反演結果。

圖六為三種路徑型態的侵台移速、侵台時間以及在台灣周圍300km的時間，黑色為過去情境，紅色則為未來情境下的結果。從侵台移速來看，在N-type和S-type中都有發現移動速度有增強的趨勢。從登陸時間來看，在過去情境下，北部地區的登陸時間最長。但到了未來情境時，時間有明顯的減少。這種情形在周圍300km的時間也有發生，且來得更明顯。這其中的機制可推測為颱風靠近台灣時，由於全球暖化改變了颱風的結構，使其增強，進而導致受地形的阻擋效

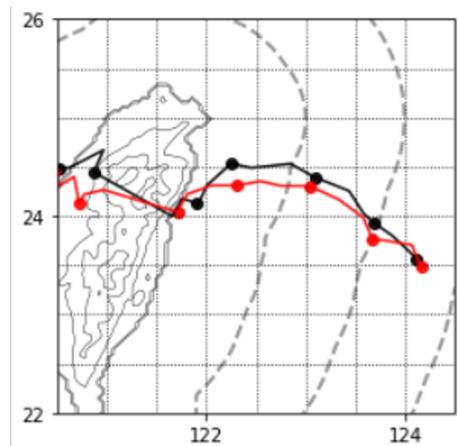
應減少，實在台灣周圍時間變少，進而使累積降雨量下降。這種地形效應的減弱在N-type颱風中最为明顯。因此在後續的個案分析中，將選用N-type中出現實際案例進行模擬。



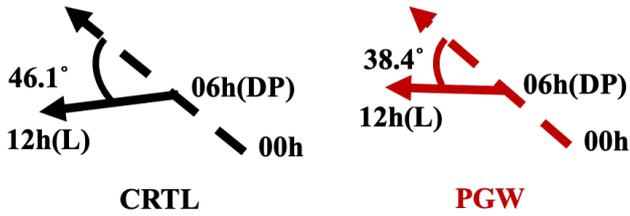
圖六、不同路徑型態在侵台移速、侵台時間以及在台灣周圍300km的時間的變化。

四、個案分析

本篇探討的個案為2015年的杜鵑颱風，並進行上述所提及的敏感度實驗，模擬的結果如圖七。黑色為CNTL run，紅色為PGW run。從兩個的模擬得路徑可以發現兩者的偏折點沒有改變，但角度則是有明顯的差異，從圖八可以得知，在未來情境下的角度有明顯減少的情況發生。為了進一步探討其中PVT的差異，本篇選取了兩個時段進行討論，分別位於DP前時段(03-05hr)以及DP後時段(09-11hr)作為探討。

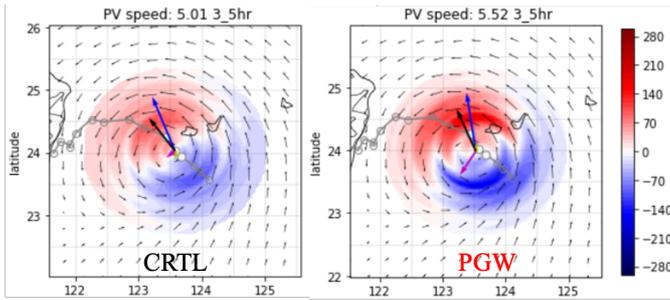


圖七、WRF模擬的路徑結果。黑色為CNTL run，紅色為PGW run。

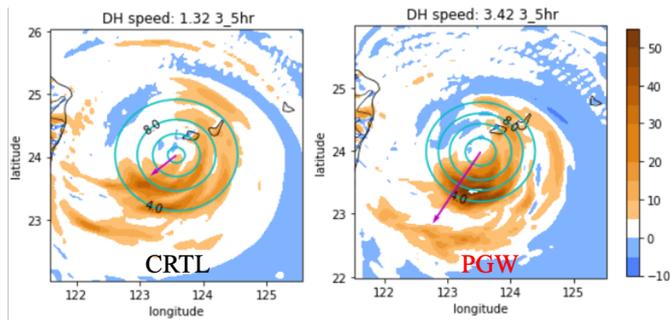


圖八、兩個敏感度實驗計算出的偏折角。

圖九為DP前時段的PVT分析結果，整體的移動方向與計算後PVT向量(為黑色箭頭相似，兩個敏感度測試也有相似的大小。但兩者在非絕熱向的貢獻量有明顯的差異，如圖十。圖十中的箭頭為非絕熱對移動速度的貢獻量，可以發現在PGW run結果有近一倍的增加。從非絕熱加熱率也可以看到，在PGW run的颱風有增強的情形，並且有更集中的狀況。從其對稱的PV結構也能明顯看出在未來情境模擬下，颱風的強度增強並且有較小的半徑。其機制為在未來情境下，海表溫度增強，潛熱也增強，導致位渦的增強更為明顯。

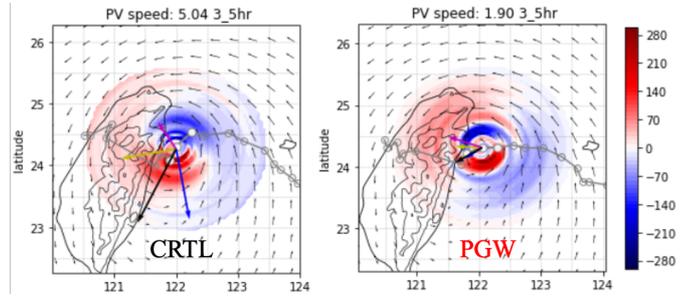


圖九、DP前的PVT分析。

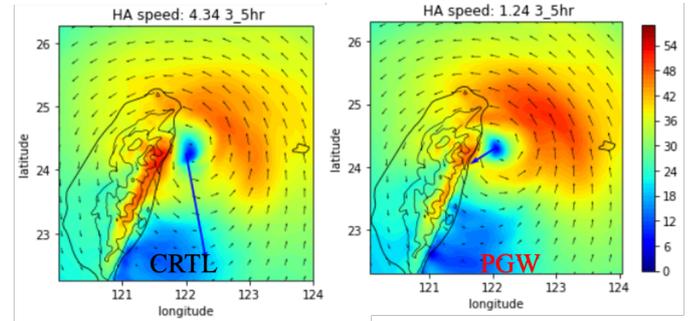


圖十、非絕熱項的PVT移速貢獻與非絕熱加熱率。

圖十一為DP後時段的PVT分析結果，兩個敏感度測試有非常大的差異，尤其在水平平流項的貢獻量(藍色箭頭)上差異明顯。進一步探討為受到地形阻塞導致的噴流產生的影響，從圖十二可以看到，在底層的平均風場有明顯的噴流沿著台灣地形東部。但在PGW run的結果可以發現，受到未來更強的颱風結構，風速增強，使地形不易阻擋氣流過山，該噴流明顯減弱。



圖十一、DP後時期的PVT分析。

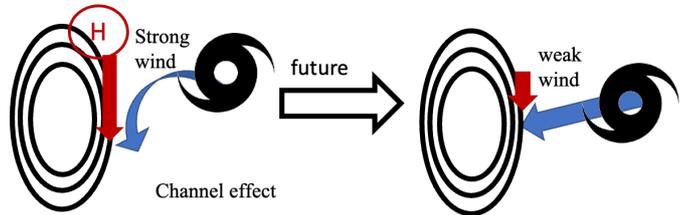


圖十二、水平平流項的PVT移速貢獻與平均風場。

五、結論

本研究從統計上與模式上都對在全球變遷下颱風與地形交互作用做了十足的探討。從結果可以發現，在未來情境底下，西行颱風的強度有所增強，導致降侵台時間明顯減弱，間接的影響在未來颱風帶來的降雨量減少。

針對時間減少的元因在個案分析中進行探討，發現有兩件事情值得注意。(1)在未來情境下，在PVT的分析下受到更強SST與水氣，非絕熱項增強，也影響了颱風的強度、大小。(2)在靠近台灣時期，明顯看到台灣東部有噴流的產生，並且影響到其颱風的非對稱結構，使其的水平平流項產生變化。但在未來的情境底下，颱風的強度變強，氣流不受地形阻擋，也使噴流減弱，如圖十三。



圖十三、噴流改變示意圖。

五、參考文獻

Ulbrich, C. W., 1983: Natural variations in the analytical form of the raindrop size Distribution. *J. Climate*

Appl. Meteor., **22**, 1764-1775.

- Ulbrich, C. W., and D. Atlas, 2007: Microphysics of raindrop size spectra: Tropical continental and maritime storms. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **46**, 1777-1791.
- Hsu, L. H., Su, S. H., Fovell, R. G., & Kuo, H. C. (2018). On typhoon track deflections near the east coast of Taiwan. *Monthly Weather Review*, 146(5), 1495-1510.
- Hsu, L.-H., H.-C. Kuo, and R. G. Fovell, 2013: On the geographic asymmetry of typhoon translation speed across the mountainous island of Taiwan. *J. Atmos. Sci.*, 70, 1006–1022
- Huang, Y.-H., C.-C. Wu, and Y. Wang, 2011: The influence of island topography on typhoon track deflection. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1708–1727
- Gutmann, E. D., Rasmussen, R. M., Liu, C., Ikeda, K., Bruyere, C. L., Done, J. M., ... & Veldore, V. (2018). Changes in hurricanes from a 13-yr convection-permitting pseudo global warming simulation. *Journal of Climate*, 31(9), 3643-3657
- Rasmussen, and Coauthors, 2011: High-resolution coupled climate runoff simulations of seasonal snowfall over Colorado: A process study of current and warmer climate. *J. Climate*, 24, 3015-3048
- Wang, C. C., Tseng, L. S., Huang, C. C., Lo, S. H., Chen, C. T., Chuang, P. Y., ... & Tsuboki, K. (2019). How much of Typhoon Morakot's extreme rainfall is attributable to anthropogenic climate change?. *International Journal of Climatology*, 39(8), 3454-3464.
- Kanada, S., Takemi, T., Kato, M., Yamasaki, S., Fudeyasu, H., Tsuboki, K., ... & Takayabu, I. (2017). A multimodel intercomparison of an intense typhoon in future, warmer climates by four 5-km-mesh models. *Journal of Climate*, 30(15), 6017-6036.