

颱風強度統計預報基準模式開發及不確定性估計

蔡孝忠 林碩彥

淡江大學水資源及環境工程學系

Russell L. Elsberry

University of Colorado-Colorado Springs

Colorado Springs, Colorado

and

Naval Postgraduate School

Monterey, California

摘要

本研究採用 1945 年起之颱風最佳路徑資料做為歷史颱風資料庫，以類比颱風個案的方式搜尋相似之歷史颱風個案，開發颱風強度統計預報指引，並估計預報誤差之可能範圍，模式簡稱為 WAIP (Weighted Analog Intensity Prediction)。校驗結果顯示，在輸入資料僅有颱風預報路徑與目前颱風中心最大風速的條件之下，WAIP 可有效提供未來 5 天之颱風強度可能變化趨勢，120 小時之 MAE 較 ST5D 減少約 25%，預報偏差亦較小。相較於僅使用氣候與延續性概念之 ST5D 模式，WAIP 在西北太平洋絕大部分的區域具有較佳的預報技術，特別是路徑通過菲律賓呂宋島之颱風個案，72 小時與 120 小時之颱風中心最大風速預報誤差分別可比 ST5D 減少大約 10-15 kt 與 15-20 kt。本研究將於會議簡報中詳細介紹 WAIP 及其他常用颱風強度預報指引的預報技術比較結果，例如：STIPS、全球數值模式及中尺度模式等。

一、前言

颱風路徑預報技術於近年已有著顯著的進展，路徑預報誤差自 1975 年起有著明顯的遞減趨勢，近年 5 天颱風路徑預報技術約等同於 10 年前的 3 天預報誤差 (Elsberry 2007)。相較之下，颱風強度預報卻無明顯進展。DeMaria et al. (2013) 指出美軍聯合颱風警報中心(JTWC)之 24、48 及 72 小時之颱風強度官方預報誤差在過去 10 年之間並沒有明顯減小的趨勢。不過，DeMaria et al. (2014)發現近 5 年之颱風強度客觀預報指引(forecast guidance)已與 JTWC 官方預報有著較為相近的預報技術，或甚至優於 JTWC 官方預報。

JTWC 使用 ST5D 統計模式(Knaff et al. 2003)做為強度預報技術之評估基準(baseline)。若以 ST5D 之預報技術為基準，其他颱風強度客觀預報指引之預報誤差必須比 ST5D 具有更明顯的改進，該預報指引才會被視為具有顯著預報技術。ST5D 僅採用氣候與延續性的概念進行未來 5 天之颱風強度推估，並沒有考慮颱風未來可能路徑對於颱風強度的影響差異。Knaff et al. (2003) 比較了 ST5D 與持續法(Persistence Method)的預報技術，發現 ST5D 可比持續法有著更佳的預報技術，預報偏差約為 4 kt 及 7 kt，

而持續法於第 3 天及第 5 天的預報偏差分別約為 9 kt 及 14 kt。不過隨著預報時間的增加，ST5D 仍有著明顯的低估(under-forecast)現象。

Knaff et al. (2005) 參考 DeMaria et al. (2005) 之 Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme (簡稱 SHIPS)，針對西北太平洋颱風開發了 STIPS (Statistical Typhoon Intensity Prediction Scheme) 颱風強度動力統計預報模式。STIPS 採用了許多取自於全球模式的綜觀尺度環境變數，做為多變數迴歸模式(Multiple Regression)之預報因子，例如：850-200 hPa 之垂直風切、200 hPa 氣溫、500-300 hPa 之平均相對濕度，以及颱風最大可能強度(Maximum Potential Intensity; MPI)等相關因子。由 STIPS 與 ST5D 之預報測試比較結果可知，STIPS 在 48 小時後的平均絕對誤差(Mean Absolute Error; MAE)可比 ST5D 有著 2-5 kt 的改進效果，平均預報偏差 (Mean Bias; MB) 亦較不明顯。DeMaria et al. (2014)的評估結果顯示，Knaff et al. (2005)所開發之 STIPS (Statistical Typhoon Intensity Prediction Scheme)動力統計模式為最佳的颱風強度預報指引。

JTWC 進一步將 STIPS 法應用於多個全球數值預報模式之預報輸出，例如：NCEP GFS、NOGAPS、ECMWF 等全球預報模式，然後再

將強度預報結果整合為 STIPS consensus，以提升預報穩定度。屬於此類型的預報指引有 ST10 及 ST11 兩種。此外，為了考慮不同的海洋條件對於颱風強度預報的影響，亦將海洋熱容量 (Ocean Heat Content) 納入 STIPS 迴歸式 (Goni et al. 2009)，例如：S411 及 S511。在動力預報模式方面，除了採用全球預報模式之外，JTWC 亦參考多個中尺度區域預報模式之颱風預報結果，例如：WRF 模式 (Weather Research and Forecasting Model)、GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) 颱風模式、美國海軍所開發之 COAMPS-TC 模式 (Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System-Tropical Cyclone)，以及中央氣象局所提供之 TWRP 模式 (Typhoon WRF)。

中央氣象局近年致力於提升颱風預報相關技術，其中颱風路徑預報準確度已有顯著改進。針對颱風預報作業，目前氣象局主要發布颱風路徑與台灣各地區之風雨預報，尚未提供颱風強度官方預報。為了強化颱風預報相關能力，本研究將評估國際間現有的颱風強度客觀預報技術，並在進一步發展複雜的颱風強度預報指引之前，開發適合實際預報作業使用，且預報技術相似或優於 ST5D (Knaff et al. 2003) 之 5 天颱風強度預報基準模式，以期未來具備穩定之颱風強度預報能力。

二、5 日颱風強度統計預報基準模式

本研究採用 JTWC 從 1945 起之最佳路徑資料做為歷史颱風資料庫，以類比颱風個案的方式搜尋相似之歷史颱風個案。此外，為了使得路徑相似之個案亦具有相似的大尺度背景環境或季節特徵，歷史個案與目前預報個案之日期差異必須小於 30 日。颱風個案類比的主要考慮因子為：(1) 路徑誤差權重平均 (d_{Track}) 及 (2) 中心最大風速初始差異 (d_{V0})。求取路徑誤差權重平均 d_{Track} 時，假設其權重係數比例於 0 至 72 小時之間呈現 1 至 2 倍的線性變化；預報時間大於 72 小時之颱風中心位置差異則給予 2 倍的權重。最後將歷史個案之 d_{Track} 與 d_{V0} 進行排序，分別求得 $Rank_{Track}$ 與 $Rank_{V0}$ ，再以下式求取歷史個案之類比排序 ($Rank_{Analog}$)：

$$Rank_{Analog} = W_{Track} Rank_{Track} + W_{V0} Rank_{V0} \quad (1)$$

其中， W_{Track} 和 W_{V0} 為權重係數，且 $W_{Track} + W_{V0} = 1$ 。

本研究藉由類比歷史颱風個案之方式，找尋與目前颱風個案最為類似的 10 個歷史個案，

並配合統計校正方法，開發颱風強度統計預報指引。此外，如同颱風路徑潛勢及暴風圈侵襲機率預報產品，本研究將嘗試估計強度預報的可能誤差範圍 (forecast spread)，以提供強度預報的不確定性資訊，協助颱風預報作業之決策支援，使用者可根據可承受的最大風險做出最適合的防災準備。本研究並將採用線性迴歸的方式校正 WAIP 預報值及誤差可能範圍。

本研究利用(1)式之排序結果，選取前 10 個最相似的歷史個案。利用類似個案之颱風中心最大風速資料，再配合路徑相似度給予適當權重，以分別計算每 12 小時之颱風強度估計值 (V_w)：

$$V_w = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot V_i) / \sum_{i=1}^n w_i \quad (2)$$

其中， V_i 為第 i 個類似颱風中心最大風速，

$$w_i = (1/d_{Track,i}) / \sum_{i=1}^n (1/d_{Track,i})。$$

本研究簡稱此預報模式為 WAIP (Weighted Analog Intensity Prediction)。WAIP 之每 12 小時預報誤差估計範圍 (forecast spread; σ) 亦採用式(2)中之相同權重，計算方式如下：

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i (V_i - V_w)^2) / \sum_{i=1}^n w_i} \quad (3)$$

若假設預報誤差呈高斯分布 (Gaussian Distribution)，理論上預報誤差估計範圍 σ 應涵蓋約 68.26% 的預報誤差。

三、初步評估結果

由圖 1 可知，MAE 隨著預報時間的增加而上升，72-120 小時之 MAE 約落於 20-22 kt；相關係數值則隨著預報時間的增加而減小，72-120 小時之為 0.69-0.60。 W_{Track} 及 W_{V0} 的組合對於 MAE 及 R 值之影響差異不明顯，其中以 $W_{Track} = 0.8$ 及 $W_{V0} = 0.2$ 為最佳組合，故本研究後續將採用此權重係數組合做為搜尋類似歷史個案的標準。

相較於僅使用氣候與延續性概念之 ST5D，WAIP 在西北太平洋絕大部分的區域具有較佳的預報技術，尤其是路徑通過菲律賓呂宋島之颱風個案，72 小時與 120 小時之平均預報誤差可分別減少大約 10-15 kt 與 15-20 kt (如圖 2)。圖 3 為 WAIP 與 ST5D 之平均絕對誤差。兩模式之 MAE 在 36 小時之後開始有較為明顯的差異，WAIP 之 120 小時之 MAE 約為 19 kt，較 ST5D 約減少約 24%。

本研究將於會議簡報中詳細介紹 WAIP 及其他常用颱風強度預報指引的預報技術比較結果，例如：STIPS、全球模式及區域模式(如 HWRF 及 GFDL)。

參考文獻

Elsberry, R. L., 2007: Advances in tropical cyclone motion prediction and recommendations for the future. *Bull. World Meteor. Organiz.*, 56, 131-135.

DeMaria, M., M. Mainelli, L.K. Shay, J.A. Knaff and J. Kaplan, 2005: Further Improvements in the Statistical Hurricane Intensity Prediction

Scheme (SHIPS). *Wea. Forecasting*, 20, 531-543.

DeMaria, M., C. R. Sampson, J. A. Knaff, and K. D. Musgrave, 2014: Is tropical cyclone intensity guidance improving? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-12-00240.1

Knaff, J. A., De Maria, M., Sampson, C. R., and Gross, J. M. 2003. Statistical, five-day tropical cyclone intensity forecasts derived from climatology and persistence. *Wea. Forecasting*, 18, 80-92.

Knaff, J. A., Sampson, C. R., and DeMaria, M., 2005. An operational statistical typhoon intensity prediction scheme for the western North Pacific. *Wea. Forecasting*, 20, 688-99.

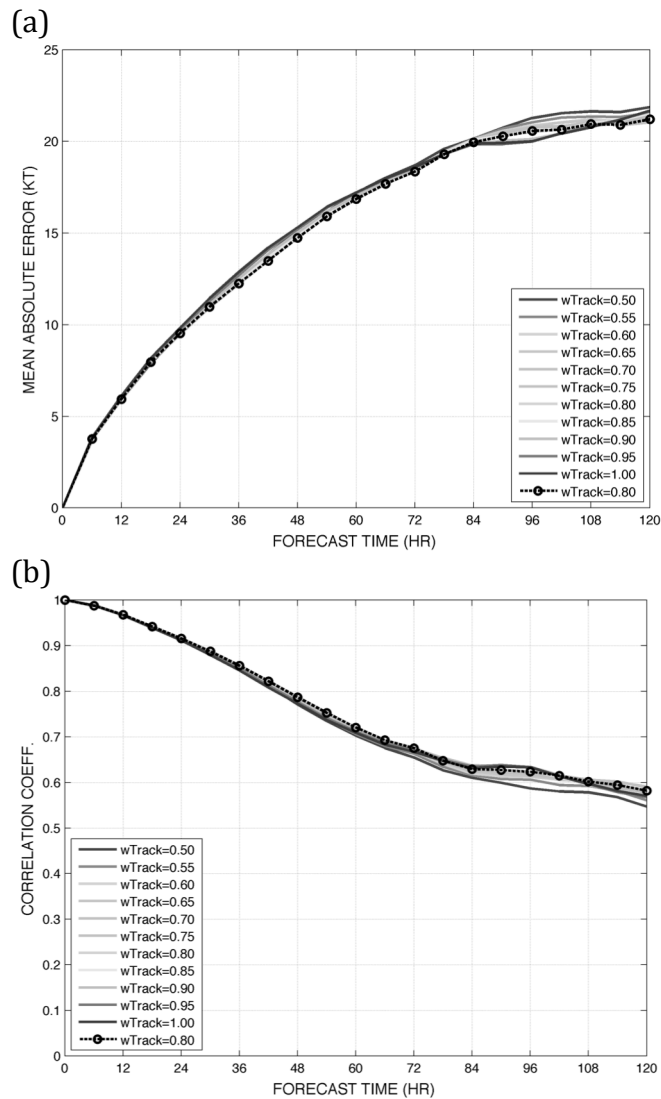


圖 1. WAIP 採用不同權重係數組合評估。(a)平均絕對誤差；(b)相關係數。

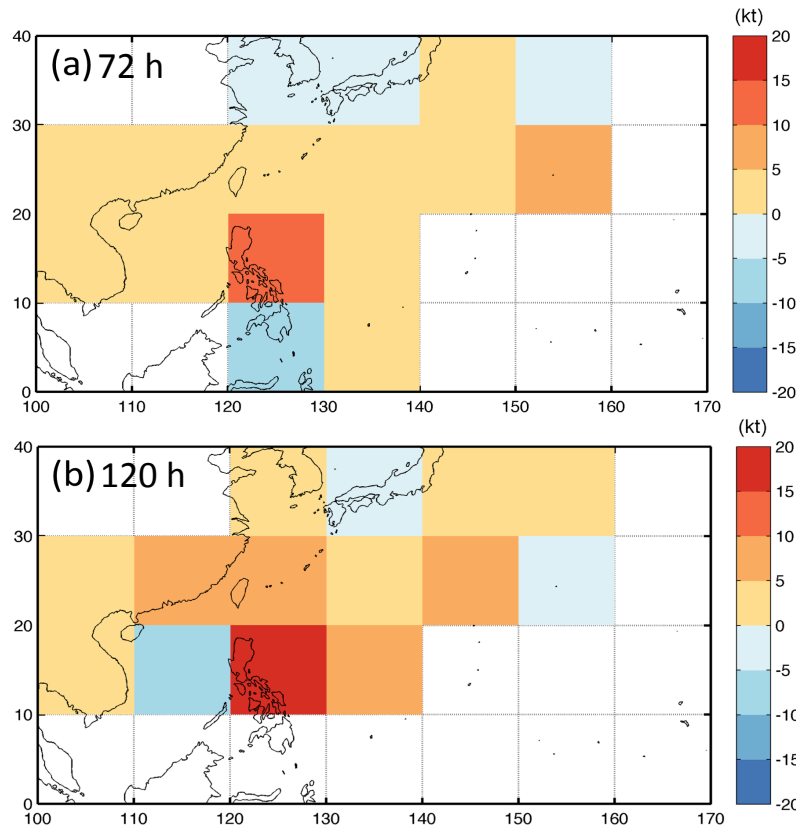


圖 2. WAIP 與 ST5D 之平均絕對誤差比較。(a)72 小時；(b)120 小時。
(數值大於零代表 WAIP 具有較小之平均絕對誤差)

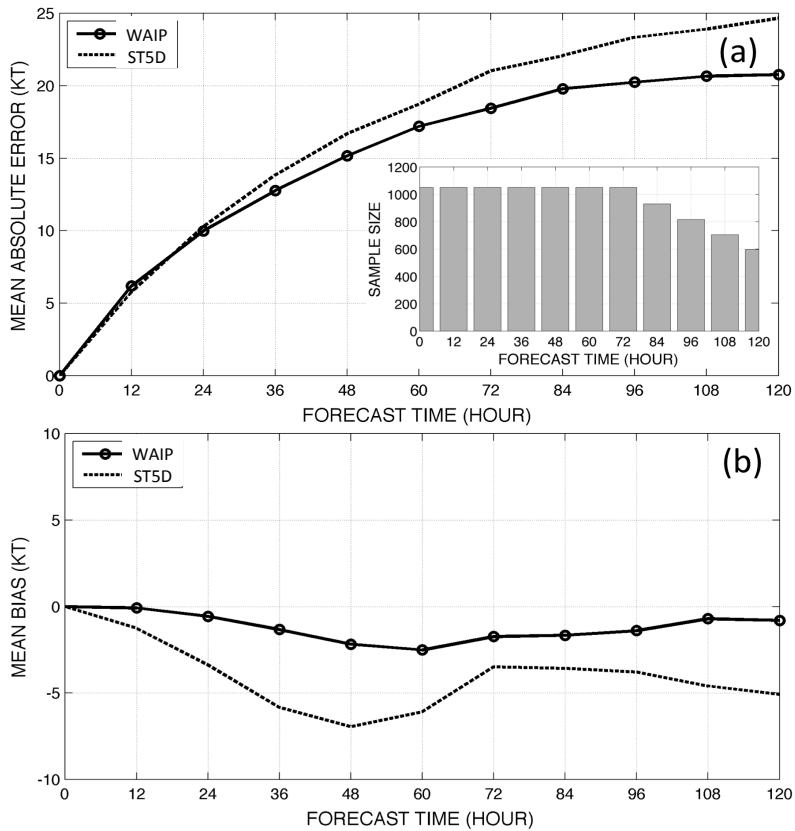


圖 3. WAIP 與 ST5D 預報結果比較。(a)平均絕對誤差；(b)預報偏差。