

# 颱風強度預報及誤差不確定性之客觀預報指引開發

蔡孝忠<sup>1,2</sup> Russell L. Elsberry<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>淡江大學水資源及環境工程學系

<sup>2</sup>Department of Meteorology, Naval Postgraduate School

Monterey, California, U.S.A.

<sup>3</sup>Trauma, Health, Hazards Center, University of Colorado-Colorado Springs

Colorado Springs, Colorado, U.S.A.

## 摘要

本研究採用 JTWC 之最佳路徑與官方預報資料，藉由類比歷史颱風個案之方式，開發颱風強度統計預報指引，並估計預報誤差之可能範圍(forecast spread)，模式簡稱為 WANI (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強度的條件之下，WANI 可提供未來 5 天之颱風強度可能變化趨勢，120 小時之平均絕對誤差(mean absolute error)較 ST5D 減少約 24%，預報偏差(bias)亦較小。此外，WANI 之預報誤差可能範圍可有效涵蓋約 68%之誤差。自 2014 年 1 月起，此預報模式已安裝於美軍聯合颱風警報中心進行實際預報測試。

關鍵字：颱風強度預報、預報不確定性、類比法、誤差校正

## 一、前言

颱風路徑預報技術自 1990 年起有著顯著的進展，目前 5 天颱風路徑預報技術約同等於 10 年前之 3 天預報誤差(Elsberry 2007)。相較之下，颱風強度預報卻無明顯改進。DeMaria et al. (2013)以美軍聯合颱風警報中心(JTWC)為例，指出 JTWC 之 24、48 及 72 小時之颱風強度官方預報誤差在過去 10 年之間並沒有明顯降低的趨勢。

在西北太平洋颱風強度預報指引(forecast guidance)之中，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)。在不考慮未來颱風可能路徑的情形下，ST5D 僅採用氣候與延續性的概念進行未來五天的颱風強度推估。相較於 ST5D，其他颱風強度預報指引在進行預報技術評估時，其預報誤差必須比 ST5D 更具有顯著改進才會被視為具有預報技術。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。

此外，颱風預報具有一定程度的不確定性，除了發佈決定性(deterministic)的預報資訊之外，各國預報單位皆嘗試提供預報誤差的可能範圍，作為決策支援及風險評估之用，例如中央氣象局於 2003 年起所發佈之颱風路徑潛勢預報。此產品根據近年官方路徑預報誤差資料，估計 70

%機率之預報誤差可能範圍，對使用者而言，路徑潛勢預報產品較單一預報路徑更具有參考價值，也可有效減少路徑預報資料的誤用(顧欣怡 2006)。

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，有別於 ST5D、STIPS 等颱風強度預報指引，本研究亦估計強度預報誤差之可能範圍(forecast spread)，作為強度預報之不確定性參考。

## 二、資料與方法

本研究採用 JTWC 於 1945-2012 之最佳路徑與官方預報資料，以類比的方式搜尋相似之歷史颱風個案。歷史個案與目前預報個案之日期差異必須小於 30 日，個案類比的主要考慮因子為：(1)平均路徑誤差( $d_{Track}$ )及(2)中心最大風速初始差異( $d_{v0}$ )。將歷史個案之  $d_{Track}$  與  $d_{v0}$  進行排序，分別求得  $Rank_{Track}$  與  $Rank_{v0}$ ，之後再以下式求取歷史個案之類比排序( $Rank_{analog}$ )：

$$Rank_{analog} = W_{Track} \cdot Rank_{Track} + W_{v0} \cdot Rank_{v0}. \quad (1)$$

其中， $W_{Track}$  和  $W_{v0}$  為權重係數，且  $W_{Track} + W_{v0} = 1$ 。分析結果顯示，權重係數之最佳組合為  $W_{Track} = 0.8$  與  $W_{v0} = 0.2$ 。

本研究選取前 10 個最相似的歷史個案，利用類似個案之中心最大風速資料，並根據路徑之相似度給予適當權重，分別計算每 12 小時之颱風強度估計值( $V_w$ )：

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

其中， $V_i$  為第  $i$  個類比個案之颱風中心最大風速， $w_i = (1/d_{Track,i}) / \sum_{i=1}^n (1/d_{Track,i})$ 。本研究簡稱此一預報模式為 WANI (Weighted ANalog Intensity prediction)。WANI 之預報誤差可能範圍( $\sigma$ )為：

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

若假設預報誤差呈高斯分布 (Gaussian Distribution)，則 WANI 之預報誤差可能範圍應涵蓋約 68.26% 之預報誤差。

### 三、預報偏差校正

本研究採用下式進行預報偏差校正 (bias correction)：

$$V_m = a \mathbf{X} + b \quad (4)$$

其中， $a$  和  $b$  為待定係數， $\mathbf{X}$  為預報因子。 $\mathbf{X}$  包含了原始颱風強度估計值( $V_w$ )、颱風中心經緯度、目前颱風強度、相似個案之初始強度標準偏差 (standard deviation)，以及類比個案之路徑平均差異。

為了使誤差可能範圍( $\sigma$ )之估計更具有統計代表性，本研究亦針對  $\sigma$  進行統計校正：

$$\sigma' = |a' \cdot \sigma + b'| \quad (5)$$

其中， $a$  和  $b$  為待定係數。係數  $a$  的限制範圍為  $0.5 < a < 1.5$ ， $b$  的限制範圍為  $-0.5\sigma \leq b \leq 0.5\sigma$ 。校正  $\sigma$  所使用之代價函數 (cost function) 為：

$$J_t = J_{1t} + J_{2t} + J_{3t} \quad (6)$$

其中， $t$  為預報時間， $J_{1t}$  限制 PoD (Probability of Detection) 為 68.26%， $J_{2t}$  為強度預報誤差與  $\sigma$  之相關係數， $J_{3t}$  為懲罰項 (penalty term)，定義為  $\sigma'$  與觀測誤差的比值大於 2 所佔之個案比例百分比，以避免誤差估計範圍較實際誤差高出許多。將第 6 式之各項進行正規化之後，以迭代

方式求取每 12 小時之最佳校正係數  $a'$  及  $b'$ 。

### 四、預報技術評估

相較於僅使用氣候與延續性概念之 ST5D，WANI 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。圖 1 為 WANI 與 ST5D 之平均絕對誤差 (mean absolute error; MAE) 比較。兩模式之 MAE 在 36 小時之後開始有較為明顯的差異，WANI 之 120 小時之 MAE 約為 19 kt，較 ST5D 約減少約 24%。

圖 2 為觀測資料、WANI 及 ST5D 於 72 小時和 120 小時之盒形圖 (box plot)。由圖可知，WANI 之資料分布範圍與觀測資料相比雖然仍有偏小的情形，但相較於 ST5D 來說，WANI 之預報已可涵蓋較強與較弱的颱風強度。

圖 3(a) 顯示，使用 JTWC 官方預報路徑或 JTWC 最佳路徑作為 WANI 模式輸入，對於強度預報之影響僅限於 24 小時內，自 36 小時起之 MAE 並無明顯差異。WANI 之相關係數自 60 小時起，可維持在 0.7 左右 (圖 2b)，而 S511 (STIPS consensus) 與 JTWC 官方預報之相關係數則是持續遞減至 0.56 左右。

圖 4 為 WANI 提供的預報誤差不確定範圍之偵測率 (probability of detection; POD)。在校正之前 (圖 4a)，WANI spread 於 48 小時之前有偏大的情形，因此 POD 高於 68.26%。而 48 小時之後之 POD 偏小，顯示 WANI 原始 spread 不足以涵蓋合理之預報誤差範圍。圖 4b 為經過誤差校正之後的 POD，顯示本研究提出之預報偏差校正方法可有效將 POD 維持在 68.26% 左右的水準。

### 五、總結

本研究藉由類比歷史颱風個案之方式，使用 JTWC 之最佳路徑與官方預報資料，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 WANI。

校驗結果顯示，相較於僅使用氣候與延續性概念之 ST5D，WANI 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。

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，WANI 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 24%，預報偏差亦較小。

此外，本模式提供之預報誤差可能範圍可涵蓋約 68.26% 之預報誤差。

WANI 模式自 2014 年 1 月起已安裝於美軍聯合颱風警報中心，並納入該中心之颱風預報作業標準程序，颱風預報員可即時取得 WANI 預報資訊，進行實際預報測試。

## 六、參考文獻

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 De Maria, M., 2005. An operational statistical typhoon intensity prediction scheme for the western North Pacific. *Wea. Forecasting*, 20, 688-99.

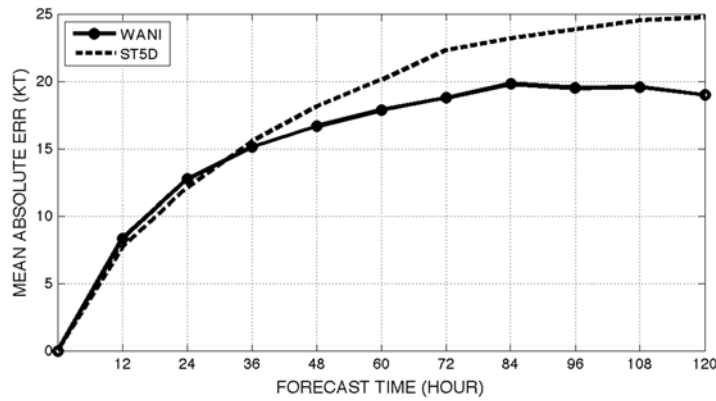


圖 1. WANI 與 ST5D 之平均絕對誤差比較。

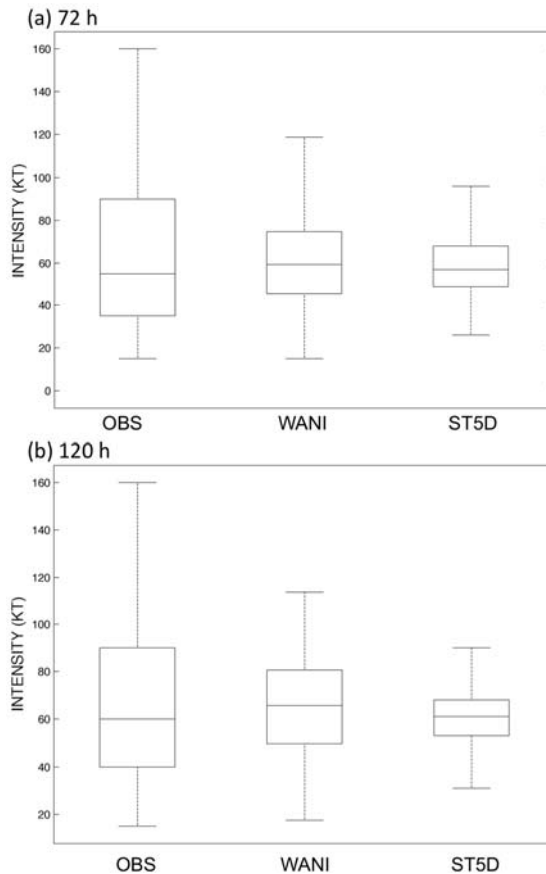


圖 2. 觀測資料、WANI 與 ST5D 之資料分布盒形圖(box plot)。(a) 72 h; (b) 120 h。

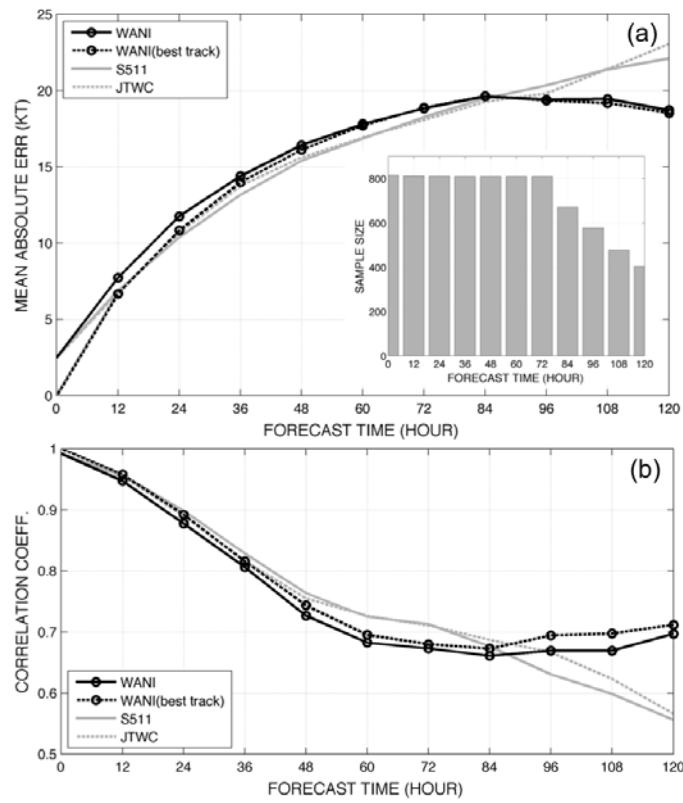


圖 3. WANI、WANI-最佳路徑、S511 及 JTWC 預報技術比較。(a)平均絕對誤差; (b)相關係數。

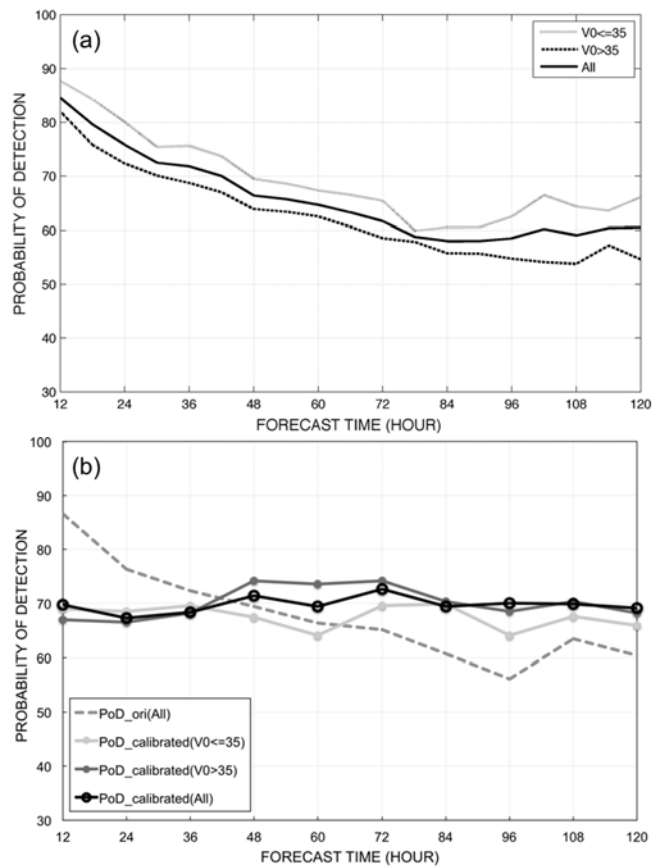


圖 4. WANI 可能誤差範圍之偵測率(Probability of Detection)。(a)誤差校正前; (b)誤差校正後。