

# Hurricane WRF 與 Typhoon WRF 於西北太平洋颱風路徑及降雨預報表現之評估

蔡金成<sup>1</sup> 蕭玲鳳<sup>1</sup> 陳得松<sup>2</sup> 包劍文<sup>3</sup> 李清勝<sup>1</sup>

台灣颱風洪水研究中心<sup>1</sup> 中央氣象局<sup>2</sup> NOAA Earth System Research Laboratory<sup>3</sup>

## 摘要

台灣颱風洪水研究中心及中央氣象局共同與美國 NOAA 地球系統研究實驗室(ESRL)及美國環境模擬中心(EMC)合作，於台灣建置 Hurricane WRF(HWRF)系統。2013 至 2014 年期間執行颱風預報採行兩種不同之模式設定：其一設計為美國原本設計之槽狀移動網格設計，為提升颱風路徑與強度預報；其二設計為槽狀固定網格，可針對台灣之定量降水預報進行評估。

本篇研究將比較 HWRF 的兩種實驗設計與 Typhoon WRF(TWRF)在颱風路徑與降雨之預報表現。TWRF 為中央氣象局所發展之模式，並同時應用包含：WRF3DVAR outer loop、兩次 6 小時暖啟動與 Blending scheme(混合全球模式之大尺度與 WRF 模式之中小尺度)。

在 HWRF 槽狀移動網格之建置成果，將顯示針對 2013 與 2014 年間之西北太平洋颱風之路徑預報結果，台灣所執行之 HWRF 槽狀移動網格與美國 EMC 執行之 HWRF 相當接近，表示本研究成功移植 HWRF 系統於台灣運行。在降雨預報表現之評估，我們以 2013 年 HWRF 槽狀固定網格之實驗與 TWRF 進行比較，結果顯示儘管路徑預報與 TWRF 表現相當，但在 24 小時之累積降雨預報表現相較於 TWRF 確有明顯低估。因此在 2014 年，針對 HWRF 槽狀固定網格之實驗提高水平解析度由 45/15/5 公里至 27/9/3 公里，將可改進 24 小時累積降雨在超大豪雨(350mm)之門檻，大豪雨(200mm)以下之門檻則無顯著改進。為此，進一步針對 2014 年侵台之麥德姆與鳳凰颱風進行實驗，評估 HWRF 槽狀固定與移動網格之路徑與雨量預報表現與 TWRF 之表現差異。

關鍵字：Hurricane WRF、巢狀移動網格

## 一、前言

本篇延續蔡等人(2012、2013 與 2014)之研究，透過設定兩組 HWRF 實驗：一為移動巢狀網格；另一為固定巢狀網格進行實驗，評估 Hurricane WRF(HWRF)在西北太平洋之颱風預報表現。蔡等人(2014)之研究顯示：HWRF 移動巢狀網格於 2013 年更新版本後，模式預報能力有顯著改進；HWRF 固定巢狀網格，在提高水平解析度後，可改進氣壓場牛眼現象且同時增進模式降水與路徑預報能力。

在 HWRF 移動巢狀網格之實驗，我們將評估該實驗於 2013 至 2014 年與 EMC HWRF 之颱風路徑預報表現。此外，針對 HWRF 固定巢狀網格之颱風路徑與降雨預報表現，與 TWRF 及 HWRF 移動巢狀網格進行比較。

## 二、模式簡介

HWRF 為美國 National Centers for Environmental Prediction (NCEP)下轄的研究單位 Environmental Modeling Center (EMC)負責研究發展

與改進，HWRF 模式之物理過程改進，由 EMC 與 NOAA 下轄研究單位 ESRL(Earth System Research Laboratory)共同合作。HWRF 系統詳細介紹可參考 Community HWRF USER' GUIDE V3.3a(Bao et al. 2011)。

EMC HWRF 為美國環境預報中心即時針對西北太平洋颱風進行之作業化預報，該預報使用 GSI 資料同化且為移動巢狀網格。TTFRI HWRF 之實驗設計與 EMC HWRF 相似，唯 TTFRI HWRF 未使用 GSI 資料同化系統。

TWRF(Typhoon WRF) 模式以 ARW-WRF 為基礎，應用包含：WRF3DVAR outer loop、颱風中心位置重置技術與 Blending scheme(混合全球模式之大尺度與 WRF 模式之中小尺度)，作業化時以 2 次 6 小時暖啟動驅動模式，為中央氣象局發展之模式。

## 三、實驗設計

第一部分之 3 層移動巢狀網格之網格解析度為 27/9/3 公里，模式垂直層數為 43 層，模式頂 50hPa，模式積分時間步階為 45 秒，初始場與邊界條件使用 NCEP Hybrid-GFS (T574) 之資料，並使用 NCEP GFS 0.5 度之資料，提供模式所需之地表參數。2013-2014

年 HWRF 移動巢狀網格皆已包含：(1)模式巢狀網格之內插法；(2)巢狀網格之颱風中心定位演算法；(3)調整模式物理參數使用之頻率與擴大第三層巢狀網格範圍，等模式發展之更新。EMC HWRF 實驗包含 GSI 資料同化系統，TTFRI HWRF 則未使用 GSI 資料同化系統進行模式初始化。

此外，評估 HWRF 模式之降雨預報能力，第二部分的研究，使用 3 層固定巢狀網格(HWRF\_T)，網格解析度為 27/9/3 公里，模式積分時間步階為 45 秒，模式之水平範圍近似現行中央氣象局作業之設定，初始場與邊界條件使用 NCEP GFS 0.5 度資料。固定巢狀網格(HWRF\_T)實驗同時設計垂直層 43 層與 28 層，進行路徑與降雨預報能力之評估。上述實驗設計皆未使用海洋模式進行耦合，第三層皆未使用積雲參數法，詳細實驗設計請參考表 1。

## 四、實驗結果與未來工作

本篇研究中，第一部分比較巢狀移動網格 TTFRI HWRF 與 EMC HWRF 之路徑預報表現。針對 2013 至 2014 年西北太平洋颱風之路徑預報表現，總計分析 704 個預報初始時間，最高解析度 3 公里，預報第 24、48 與 72 小時的路徑誤差分別為：TTFRI HWRF 實驗 72/125/188 公里；EMC HWRF 實驗 75/128/188 公里(表 2)。此結果顯示，移動巢狀網格是否使用 GSI 資料同化系統於模式初始化過程，對於颱風路徑預報較為不敏感，未使用 GSI 資料同化系統之 TTFRI HWRF，僅在第 24 至 48 小時之路徑預報能力略優於使用 GSI 資料同化系統之 EMC HWRF，約改進 2~4%。

第二部分，比較固定巢狀網格(HWRF\_T)之兩組實驗(垂直層 43 層與 28 層)與 TTFRI HWRF 及 TWRF 之路徑與降雨預報表現。分析個案以 2014 年登陸台灣之麥德姆與鳳凰颱風，共 36 個預報時間。在颱風生命全期之路徑預報校驗結果顯示，HWRF\_T (HWRF\_43lev\_d2) 垂直層 43 層之路徑預報表現優於 28 層(HWRF\_28lev\_d2)，尤其在預報時間第 24 小時之後，隨著預報時間增加，模式垂直層數多者有較佳之路徑預報能力，HWRF 固定巢狀網格之路徑預報能力表現皆差於 HWRF 移動巢狀網格及 TWRF。第 24、48 與 72 小時的路徑誤差分別為：HWRF\_43lev\_d2 實

驗 99/192/263 公里；TTFRI HWRF 實驗 58/132/214 公里；TWRF 實驗為 74/115/150 公里。

評估模式降雨預報表現同時，選擇颱風為台灣帶來最主要降雨的時段，統計包含：麥德姆與鳳凰颱風各 9 個預報初始時間，共 18 個預報初始時間。與降雨校驗相同時段的路徑校驗結果顯示：TTFRI HWRF 與 TWRF 路徑預報表現相近，第 24、48 與 72 小時的路徑誤差為：80/153/223 公里與 88/143/207 公里，其次為 HWRF\_T 垂直層 43 層之實驗，最差為 HWRF\_T 垂直 28 層之實驗(表 3)。降雨預報表現與路徑預報能力表現對應，18 個預報初始時間的分析結果顯示：路徑預報較佳的 TWRF 與 TTFRI HWRF，24 小時累積雨量的預報能力，無論是模式第一天(0~24 小時)、第二天(24~48)或是第三天(48~72)皆表現較佳。模式第一天 TS 得分在 24 小時累積達豪雨(130 毫米)門檻，TTFRI HWRF 與 TWRF 皆達到 0.39 以上，HWRF\_T 固定網格之實驗 TS 得分則不及 0.35；第二天及第三天的 TS 得分在豪雨門檻，TTFRI HWRF 與 TWRF 同樣表現較佳，分別可達到 0.26 與 0.18 以上(表 4)。固定網格之 HWRF\_T 雖提高垂直解析度有助益於降雨預報之提升，唯其預報能力仍顯著低於 HWRF 移動巢狀網格與 TWRF。BIAS 得分計算結果顯示，TWRF 在模式第一天，24 小時累積達超大豪雨(350 毫米)以上之門檻有低估之情況，TTFRI HWRF 則表現較佳。模式第二天之降雨表現，在超大豪雨門檻值以下之降雨，TWRF 與 TTFRI HWRF 皆有高估之情況，累積雨量達到 500 毫米以上，TWRF 則有低估，TTFRI HWRF 則顯著高估。模式第三天之降雨預報能力，TWRF 與 TTFRI HWRF 皆有高估，TTFRI HWRF 高估情況最為顯著(表 4)。

未來將更新 HWRF 移動巢狀網格之模式版本與 EMC HWRF 同步，唯仍不使用 GSI 資料同化系統，進行西北太平洋之颱風預報能力評估。對於固定巢狀網格之降雨評估，將透過不同積雲參數法或雲微物理參數法並結合 0.25 度 NCEP GFS 全球預報場進行評估研究。

## 五、參考文獻

Shaowu Bao, Richard Yablonsky, Don Stark and Ligia Bernardet, 2011: Community HWRF USERS' GUIDE V3.3a. The Developmental Testbed Center.

蔡金成、蕭玲鳳、陳得松、包劍文與李清勝，2012：

Hurricane WRF 模式於西北太平洋颱風預報之初步測試研究。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局。

蔡金成、蕭玲鳳、陳得松、包劍文與李清勝，2013：

HWRF 模式 2012 年於西北太平洋之建置與預報表現評估。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局。

蔡金成、蕭玲鳳、陳得松、包劍文與李清勝，2014：

Hurricane WRF 模式 2013 年於西北太平洋之預報表現評估。天氣分析與預報研討會論文彙編，中央氣象局。

表 1、HWRF 實驗設計表

| Experiment    | cold/warm start | analysis | bogus      | Cumulus scheme | Microphysics scheme | Boundary Layer | Note   |
|---------------|-----------------|----------|------------|----------------|---------------------|----------------|--|
| TTFRI HWRF    | cold start      | NODA     | HWRF bogus | SAS            | Ferrier             | NCEP GFS       | 43levels ;model top 50hPa; 2 way; time_step=45; 27/9/3km; moving nested; |
| EMC HWRF      | cold start      | GSI      | HWRF bogus | SAS            | Ferrier             | NCEP GFS       | 43levels ;model top 50hPa; 2 way; time_step=45; 27/9/3km; moving nested; |
| HWRF_43lev_d2 | cold start      | NODA     | no bogus   | SAS            | Ferrier             | NCEP GFS       | 43levels; model top 50hPa; 1 way; time_step=54; 45/15/5km                |
| HWRF_28lev_d2 | cold start      | NODA     | no bogus   | SAS            | Ferrier             | NCEP GFS       | 28levels; model top 50hPa; 1 way; time_step=54; 27/9/3km                 |
| TWRF          | warm start      | 3DVAR    | no bogus   | KF             | Goddard             | YSU            | with WRF3DVAR outerloop and blending                                     |

表 2、2013 至 2014 年西北太平洋颱風之路徑預報表現(網格解析度:3km)

| Experiment | 0 fhr(704)* | 24fhr(593) | 48fhr(475) | 72fhr(362) |
|------------|-------------|------------|------------|------------|
| TTFRI HWRF | 28          | 72         | 125        | 188        |
| EMC HWRF   | 26          | 75         | 128        | 188        |

\*fhr 為預報小時；括號內為個案數。

表 3、2014 年麥德姆與鳳凰颱風之路徑預報表現(校驗有效時間為主要降雨時段\*)

| Experiment          | 0 fhr(18) | 24fhr(26) | 48fhr(26) | 72fhr(18) |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| HWRF_43lev_d1(45km) | 37        | 97        | 189       | 283       |
| HWRF_28lev_d1(45km) | 37        | 109       | 229       | 367       |
| TTFRI HWRF(3km)     | 50        | 80        | 153       | 223       |
| TWRF(45km)          | 38        | 88        | 143       | 207       |

\*麥德姆颱風校驗有效時間：07/21 12Z-07/23 12Z；鳳凰颱風校驗有效時間：09/19 18Z-09/21 18Z

表 4、HWRF 與 TWRF 於麥德姆及鳳凰颱風之降雨預報得分

| (a)模式第一天(00-24fhr) |      |      |      |      | (b)模式第二天(24-48fhr) |      |      |      |      | (c)模式第三天(48-72fhr) |      |       |       |      |
|--------------------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|--------------------|------|-------|-------|------|
| HWRF_28lev         |      |      |      |      | HWRF_28lev         |      |      |      |      | HWRF_28lev         |      |       |       |      |
| 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS   | BS    | FAR  |
| 50                 | 0.44 | 0.26 | 0.83 | 0.32 | 50                 | 0.28 | 0.08 | 0.8  | 0.5  | 50                 | 0.09 | -0.04 | 0.42  | 0.73 |
| 80                 | 0.38 | 0.27 | 0.77 | 0.36 | 80                 | 0.2  | 0.07 | 0.84 | 0.63 | 80                 | 0.04 | -0.04 | 0.38  | 0.87 |
| 130                | 0.32 | 0.26 | 0.72 | 0.43 | 130                | 0.14 | 0.07 | 0.86 | 0.73 | 130                | 0.01 | -0.03 | 0.33  | 0.95 |
| 200                | 0.22 | 0.19 | 0.6  | 0.52 | 200                | 0.11 | 0.08 | 0.85 | 0.79 | 200                | 0    | -0.01 | 0.29  | 0.98 |
| 350                | 0.12 | 0.12 | 0.48 | 0.67 | 350                | 0.05 | 0.04 | 0.65 | 0.88 | 350                | 0    | 0     | 0.06  | 1    |
| 500                | 0.1  | 0.1  | 0.77 | 0.79 | 500                | 0.03 | 0.03 | 1.03 | 0.94 | 500                | 0    | 0     | 0     | NaN  |
| HWRF_43lev         |      |      |      |      | HWRF_43lev         |      |      |      |      | HWRF_43lev         |      |       |       |      |
| 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS   | BS    | FAR  |
| 50                 | 0.47 | 0.3  | 0.76 | 0.26 | 50                 | 0.33 | 0.13 | 0.79 | 0.44 | 50                 | 0.17 | 0.01  | 0.54  | 0.6  |
| 80                 | 0.39 | 0.28 | 0.71 | 0.32 | 80                 | 0.24 | 0.11 | 0.83 | 0.58 | 80                 | 0.08 | -0.02 | 0.5   | 0.79 |
| 130                | 0.33 | 0.28 | 0.65 | 0.37 | 130                | 0.18 | 0.11 | 0.86 | 0.66 | 130                | 0.03 | -0.01 | 0.46  | 0.89 |
| 200                | 0.25 | 0.22 | 0.56 | 0.45 | 200                | 0.15 | 0.12 | 0.9  | 0.72 | 200                | 0.02 | -0.01 | 0.47  | 0.95 |
| 350                | 0.12 | 0.11 | 0.46 | 0.66 | 350                | 0.09 | 0.08 | 0.87 | 0.82 | 350                | 0    | -0.01 | 0.62  | 1    |
| 500                | 0.16 | 0.16 | 0.9  | 0.71 | 500                | 0.02 | 0.02 | 1.77 | 0.96 | 500                | 0    | 0     | 1.35  | 1    |
| TWRF               |      |      |      |      | TWRF               |      |      |      |      | TWRF               |      |       |       |      |
| 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS   | BS    | FAR  |
| 50                 | 0.59 | 0.37 | 1.29 | 0.35 | 50                 | 0.43 | 0.19 | 1.2  | 0.45 | 50                 | 0.37 | 0.15  | 0.95  | 0.45 |
| 80                 | 0.48 | 0.33 | 1.36 | 0.44 | 80                 | 0.33 | 0.16 | 1.37 | 0.58 | 80                 | 0.28 | 0.13  | 1.13  | 0.58 |
| 130                | 0.39 | 0.31 | 1.29 | 0.5  | 130                | 0.26 | 0.16 | 1.48 | 0.66 | 130                | 0.18 | 0.09  | 1.43  | 0.74 |
| 200                | 0.29 | 0.26 | 1.03 | 0.55 | 200                | 0.19 | 0.15 | 1.5  | 0.73 | 200                | 0.09 | 0.05  | 1.76  | 0.86 |
| 350                | 0.17 | 0.17 | 0.33 | 0.41 | 350                | 0.1  | 0.09 | 0.96 | 0.82 | 350                | 0.03 | 0.01  | 1.93  | 0.96 |
| 500                | 0.06 | 0.06 | 0.13 | 0.5  | 500                | 0.15 | 0.15 | 0.26 | 0.38 | 500                | 0.04 | 0.03  | 2.81  | 0.95 |
| TTFRI HWRF         |      |      |      |      | TTFRI HWRF         |      |      |      |      | TTFRI HWRF         |      |       |       |      |
| 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS  | BS   | FAR  | 門檻                 | TS   | ETS   | BS    | FAR  |
| 50                 | 0.57 | 0.37 | 1.13 | 0.31 | 50                 | 0.52 | 0.31 | 1.07 | 0.34 | 50                 | 0.4  | 0.16  | 1.17  | 0.47 |
| 80                 | 0.48 | 0.34 | 1.31 | 0.41 | 80                 | 0.42 | 0.28 | 1.23 | 0.46 | 80                 | 0.31 | 0.14  | 1.5   | 0.6  |
| 130                | 0.41 | 0.33 | 1.2  | 0.47 | 130                | 0.32 | 0.23 | 1.41 | 0.59 | 130                | 0.23 | 0.12  | 2.17  | 0.73 |
| 200                | 0.33 | 0.3  | 1.13 | 0.53 | 200                | 0.25 | 0.21 | 1.6  | 0.68 | 200                | 0.14 | 0.08  | 3.21  | 0.84 |
| 350                | 0.19 | 0.19 | 0.89 | 0.66 | 350                | 0.15 | 0.14 | 1.63 | 0.79 | 350                | 0.05 | 0.04  | 5.18  | 0.94 |
| 500                | 0.08 | 0.08 | 1.19 | 0.87 | 500                | 0.08 | 0.07 | 3.88 | 0.91 | 500                | 0.03 | 0.03  | 10.35 | 0.97 |