

應用 WRF 模式於颱風路徑預報之研究

毛正氣¹ 黃明哲¹ 黃文龍² 陳昭銘³

海軍軍官學校¹ 國立中山大學² 國立高雄海洋科技大學³

摘要

爲了分析 WRF 模式對颱風預報能力，本研究設計 WRF 模式之後預報實驗，執行 2007 至 2009 年期間颱風季(6-9 月)之預報實驗。以每日 00Z、12Z 爲初始時間，執行 96 小時之預報，再根據預報所顯示之颱風路徑，比對美國颱風聯合預警中心之 6 小時颱風路徑資料，藉此評估 WRF 模式預報對颱風路徑之掌握能力，並計算颱風中心位置之誤差程度。進而探討當颱風於遠處或近處生成時，WRF 是否能適當預報颱風侵台與否之動向?而當預測颱風侵台時，則 WRF 對颱風中心位置及侵台路徑之掌握程度如何?本研究將後預報實驗中之 23 個颱風分成(1)生成位置遠，非朝向台灣(2)生成位置遠，朝向台灣，但不侵台(3)生成位置遠，朝向台灣，侵(近)台(4)生成位置近，侵(近)台等 4 種類型，而由後預報結果分析顯示，在侵台颱風個案中，WRF 模式均能在 2 天前，空間距離離恆春 700 公里以上時，即能掌握颱風侵台之資訊。整體而言，運用動力降尺度之三層巢狀模式，選用最精細網格與最靠近台灣範圍之 D3 網格，擁有最佳預報效能表現，24 小時預報誤差約爲 115 公里，48 小時預報誤差約爲 144 公里，72 小時預報誤差約爲 221 公里。上述研究成果，所得之空間、時間預警範圍及颱風中心位置之誤差範圍，當能有效協助 WRF 模式預報資訊之應用效能。

一、前言

在每年 6-9 月期間，西北太平洋海域之颱風，於熱帶洋域(南中國海、菲律賓海、西太平洋)生成之後，常會往西前進朝向亞洲、中南半島或往北朝向西北太平洋、日本海域前進，台灣恰於此二軌跡交會之處，因此台灣鄰近海域也正是夏季颱風活動最旺盛之區域(e.g., Chen et al. 2005; Chen et al. 2010)。台灣各主要港口由於缺乏優越的天然屏障，東部港口甚至位於颱風迎風面，強風與所引發港內之共振，會形成危害艦隻船體安全之危險海況，因此在颱風侵台期間，艦隊須事先掌握颱風侵台路徑，迅速調度移防，更改演訓課目，以維護艦隊安全及整體戰力。

海軍大氣海洋局目前之天氣預報作業以 Weather Research and Forecasting (WRF) 模式爲作業模式，因此 WRF 模式對台灣鄰近海域之颱風路徑預報及其預報誤差，須深入探討，方能有效協助海軍艦隊移防之決策擬定。爲了分析 WRF 模式之颱風預報能力，本研究設計 WRF 模式之後預報實驗，執行 2007-2009 年三年期間，每年颱風季(6-9 月)之預報實驗。以每日 00Z、

12Z 爲初始時間，執行 96 小時之預報，再根據預報所顯示之颱風路徑，比對美國颱風聯合預警中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)之 6 小時颱風路徑資料，藉此評估 WRF 模式預報對颱風路徑之掌握能力，並計算颱風中心位置之誤差程度。

本研究主要探討問題如下：

1. 當颱風生成於遠處或近處時，WRF 是否能適當預報颱風侵台與否之動向?其事先掌握之時間、空間範圍有多少?
2. 若預測颱風侵台，則 WRF 對颱風中心之位置及侵台路徑之掌握程度如何?其誤差範圍又有多少?

本研究將依上述二個問題，討論 WRF 對颱風活動之預報特性，供作海軍艦隊擬定颱風期間移防決策之參考資訊。此精進技術之發展，相信有助於海軍演訓作業之規劃安排及作戰效能之提升。

二、數值預報實驗

本預報實驗使用 WRF3.1 版模式，以三層巢狀格式執行動力降尺度實驗，大尺度邊界條件取自於美國國

家環境預報中心 GFS 之 96 小時預報資料,配合邊界條件之解析度,本實驗之三層網格自最大之 36 公里,依序縮小為 12 公里、4 公里,其空間範圍分別為:

- 1.36 公里之 Domain 1 (D1): 80.0° - 157.5° E, 0.1° - 53.9° N,
- 2.12 公里之 Domain 2 (D2): 107.6° - 126.0° E, 6.8° - 31.3° N,
- 3.4 公里之 Domain 3 (D3): 117.8° - 123.8° E, 20.2° - 27.9° N.

D1、D2、D3 之空間範圍如圖 1 所示。

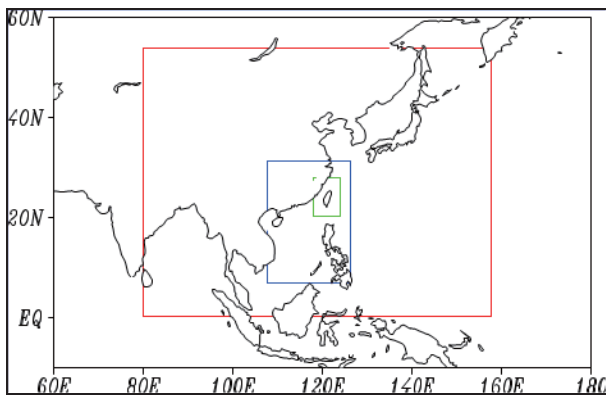


圖 1 WRF 三層巢狀模式使之空間範圍

WRF3.1 之垂直結構有 31 層,主要物理參數系統計有:

- 1.Yonsei University(YSU)邊界層參數法。
- 2.WRF Single-Moment5-class 微物理參數。
- 3.Kain-fritsch 積雲參數法。

陳與簡(2008)指出上述參數組合能呈現 WRF 之最佳預報效能。

三、颱風侵台預報之準確性

本節主要探討 WRF 對颱風是否侵台之預報準確性,選取 2007、2008、2009 三年每年 6-9 月期間,共計 23 個颱風,依其生成位置及路徑,分別下列 4 類型分別加以討論:

- 1.生成位置遠,非朝向台灣而來(計有 8 個案)。
- 2.生成位置遠,朝向台灣,但不侵(近)台(計有 4 個案)。

3.生成位置遠,朝向台灣,且侵台(計有 8 個案)。

4.生成位置近,侵(近)台(計有 3 個案)。

為了判斷各颱風預報之準確性,本研究取颱風生成後,開始明顯移動之時間為初始時間,在第一初始時間之後 12 小時、24 小時分別判定為第二、第三初始時間,將上述三個初始時間之 96 小時預報路徑分別與 JTWC 路徑疊加,依此判定 WRF 對颱風侵台與否之掌握準確性,再依三個時程中,選出最早預報出準確預報之初始時間,計算 WRF 預報能在多久之前、多遠之前(與恆春之距離)即可適切掌握颱風動態。此時間、空間之掌握,當有助海軍於適當時機制定艦隊移防之相關決策。

(一) 類型 1:生成位置遠,非朝向台灣

此類型颱風個案計有 8 個分別為: Toraji(2007)、Mekkhala(2008)、Nangka(2009)、Mujigae(2009)、Goni(2009)、Etau(2009)、Djujan(2009)、Ketsana(2009),其中 Toraji、Goni、Mujigae、Mekkhala 等 4 個颱風生成於南中國海,以朝向西北或向西的方向前進,移向海南島、中南半島、廣東之處,對台灣無直接威脅。WRF 對此 4 個颱風均能於第一初始時間即預報這些颱風不會侵台,且預報路徑均有相當準確度,其第一初始時間之起始位置距離恆春的距離分別為 Mujigae 之 680 公里、Toraji 之 1159 公里、Mekkhala 之 1158 公里、Goni 之 594 公里。

Djujan 與 Etau 生成於西太平洋,以向東北或西北路徑移向西北太平洋、日本海域、WRF 能在第一初始時間掌握 Etau 路徑,但須等到第三初始時間方能較準確掌握 Djujan 路徑,其初始位置分別距恆春為 1800 公里、1470 公里。

Ketsana、Nangka 均生成於菲律賓東方海面,向西移往南中國海,WRF 均能在第一初始時間準確預報其路徑,初始位置距恆春分別為 782 公里、1397 公里。

上述結果呈現,WRF 大致可在颱風開始明顯移動的第一初始時間即可掌握颱風路徑,距台灣恆春距離約為 600-1800 公里,反應距離遠近應不是影響 WRF 颱風預報準確率之因素。

(二)類型 2：生成位置遠，朝向台灣，不侵台

此類型颱風計有 4 個，分別為：Nari(2007)、Nuri(2008)、Hagupit(2008)、Linfa(2009)，其中 Linfa 生成於南中國海，約位於菲律賓北部西側洋域，生成後向北前進，移向台灣海峽，但未登陸台灣，此小海域向北移動路徑顯然有其預報困難性，WRF 直到第二初始時間才能適當掌握其移動路徑，其初始位置約距恆春 646 公里。Hagupit、Nurni、Nari 均生成於台灣東側或東南側之西太平洋洋域，Hagupit 和 Nari 均朝向西北移動，通過巴士海峽、南中國海後，進入中國南部。Nari 則以向北迴轉路徑移往日本。WRF 能在第一初始時間掌握 Hagupit 和 Nari 之路徑，其初始位置均約距恆春 870 公里。Nuri 則須在第二初始時間才能掌握其路徑，其初始位置距恆春高達 1135 公里。整體而言，WRF 對這些生成位置較遠的颱風，仍能掌握其路徑。

(三)類型 3：生成位置遠，朝向台灣，侵台

此類型颱風，計有 8 個，分別為：Sepat(2007)、Wipha(2007)、Kalmaegi(2008)、Fungwong(2008)、Sinlaku(2008)、Jangmi(2008)、Molave(2009)、Morakot(2009)，此 8 個颱風均生成於台灣東側或東南側海域，以朝向西北或朝北路徑侵台或近台。其中 Kalmaegi 與 Sinlaku 均生成於菲律賓東側海域，以朝北方向移往台灣，WRF 分別在第二、第三初始時間才掌握其適切路徑，其初始位置分別距恆春 562 公里、337 公里，算是相當靠近、但仍不易掌握其動向之颱風。Morakot 則是第三初始時間才能掌握其動向，空間距離為 1043 公里，以筆直向西之路徑切入台灣。其餘 5 個颱風均能在第一初始時間即掌握其颱風路徑，其初始位置距恆春約在 780-1120 公里之間，算是相當遠之距離。

(四)類型 4：生成位置近，侵(近)台

此類型颱風計有 3 個：Kammuri(2008)、Soudelor(2009)、Koppu(2009)，其共同點為均生成於台灣南側之巴士海峽海域，生成位置距恆春約為 300-400 公里，但其路徑均朝西往南中國海、中國南方前進，而非向北移往台灣。此向西之路徑，WRF 均可在第一初始時間即適宜掌握。

綜觀上述 4 種類型共計 23 個颱風之移動路徑預報

結果，不論其生成位置之遠或近、朝西、朝北或迴轉路徑，WRF 均可在三個初始時間內即掌握其路徑。換言之，WRF 模式可在適當的預報時間與空間範圍掌握颱風侵台與否之正確預報資訊。若 WRF 預報颱風不侵台，通常因其路徑明顯偏移台灣，即使稍有預報誤差，亦不會轉往台灣，故可相當程度依颱風預報結果，判定此類將不侵台。但在另一方面，若 WRF 預報颱風將侵台，且其路徑落在台灣鄰近海域，那艦隊移防之決策勢必加以考慮，因此，可在多久之前，多遠之前即可相信颱風之侵台預報，為重要之研究議題。

本文因此選定類型 3 中侵台的 8 個颱風個案與類型 2 中近台的 Linfa 颱風，計有 9 個個案，分別依其準確預報颱風路徑之初始時間與位置，計算其與中央氣象局所發布之侵台時間之時間間隔及距恆春之空間間隔，藉此判定預報準確度之時空間範圍，分析之結果陳列於表 1。該表列出颱風名稱、初始預報時間、距恆春距離、方位、及該颱風之實際登陸(近台)時間，初始時間與登陸(近台)時間之提前時間範圍。從表一可看出，除了 Molave 因颱風速度快，自初始預報到登陸只間隔 1 日；Kalmaegi 則因預報難度高，直到第三初始時間才掌握正確路徑，縮短其初始時間與登陸時間之間隔到 1 日 10 時。除此之外，其他 7 個颱風，其正確路徑預報之初始時間與登陸時間，約相差 2-3 日之間。而空間距離，除了 Kalmaegi、Sinlaku 因生成距離近，只有 300-500 公里之外，其餘 7 個颱風之距離大致落在 700-1100 公里之間，換言之，颱風位置約在距離恆春 700 公里之遠，即可相當程度掌握其路徑。在時間方面，約在 2 日之前。因此，若 WRF 預報颱風 2 日後將登陸或近台，可依此判斷該颱風侵台之可能性極高，應有艦隊移防之相關準備動作。以一般颱風而言，若其時速為每小時 12-15 公里，則 2 日(48 小時)之移動路徑約為 580-720Km，與 700-1100Km 之空間範圍之下標接近，換言之，可依據颱風離台約 700-1000 公里或 2 日後之預報結果來掌握颱風侵台與否之關鍵。

表 1 WRF 模式對 9 個侵（近）台颱風之預報特性分析

| 颱風 | 預報時間 | 與恆春距 | 方向 | 登陸（近台）時間 | 與預報初始時間之差 |
|----------|--------------|------|-----|------------|--------------|
| linfa | 12Z18jun2009 | 646 | SSW | 21日0時 | 2日4時 |
| morakot | 12Z05aug2009 | 1043 | E | 7日23時花蓮登陸 | 2日3時(III) |
| wipha | 00Z16sep2007 | 1108 | ESE | 18日6時 | 1日22時(移動速度快) |
| sinlaku | 12Z09sep2008 | 562 | SSE | 14日1時宜蘭登陸 | 3日5時(II) |
| sepat | 00Z16aug2007 | 823 | SE | 18日5時花蓮登陸 | 1日21時 |
| fungwong | 00Z25jul2008 | 1121 | E | 28日6時長濱登陸 | 2日21時 |
| jangmi | 00Z26sep2008 | 1063 | SE | 28日15時南澳登陸 | 2日7時 |
| molave | 00Z16jul2009 | 785 | SE | 17日18時 | 1日10時(移動速度快) |
| kalmaegi | 12Z16jul2008 | 337 | SSE | 17日21時宜蘭登陸 | 1日1時(III) |

四、颱風路徑誤差

上一節已診斷出 WRF 約可在颱風侵(近)台前 2 日，空間位置 700 公里以上時，即可適切掌握颱風侵台與否之訊息。若預報颱風將襲台，下一步驟則為預報颱風之登陸位置與路徑。然而由於台灣之空間尺度不大，且預報時程拉長到 48 小時，依過去其他預報模之表現來看，24 小時之預報，約有接近 100 公里之誤差，48 小時則有接近 200 公里之誤差(e.g., 陳得松等, 2010)，而此 100-200 公里之誤差，可將颱風登陸位置自台灣北部偏移到中部，對各地之防颱準備均有顯著影響，故須進一步探討 WRF 模式對颱風中心位置預報之誤差特性。

颱風中心位置之判定，中央氣象局於颱風預報作業中，運用下列 4 個定義來判斷：

1. 海平面氣壓最低處
2. 850-hPa 渦度最大處
3. 700-hPa 渦度最大處
4. 500-hPa 高度場最低處

這些判定，選用 4 個不同垂直高度之中心位置來決定，若颱風強度夠強，垂直發展結構良好，應當可以很清楚制定颱風中心位置。然而在某些情況之下，颱風之垂直發展未臻旺盛，各層所訂出之中心位置有所差異，也會徒增判定上之困難。有鑑於此，在研究作業上，本文選取最簡易、代表性的定義，即以海平面氣壓最低處作為颱風中心位置，依此來分析颱風路

徑預報之誤差。

本文選取上節類型 35 中侵(近)台的 8 個颱風個案為分析對象，以不同初始時間之 0h、24h、48h 預報位置與對應時間之 JTWC 颱風中心位置比較，計算兩者空間位置之差距，即為預報誤差。

類型 3 之 Kalmaegi、Fungwong、Sinlaku 及 Morakot 颱風依 JTWC 資料定義之實際路徑(黑色線)，0h 初始時間路徑(紅色線)、24 小時預報路徑(綠色線)、48 小時預報路徑(藍色線)，分別陳示於圖 2 至 5 中。而各颱風不同時程之平均預報誤差陳列於表二。

在此 8 個颱風預報個案中，初始時間之颱風中心位置大致與實際路徑接近，其空間誤差平均值為 D1 之 47 公里，D2 之 45 公里，D3 之 56 公里，約莫有 50 公里左右之誤差，可算是相當具有掌握能力。

在 24 小時預報個案中，呈現出一個有趣現象，即預報路徑傾向位於實際路徑之右側，如 Kalmaegi(圖 2)、Fungwong(圖 3)及 Sinlaku(圖 4)，然而在 48 小時預報，則無此特徵。一般而言，WRF 預報均能清楚掌握其移動路徑軌跡，但對速度之掌握有所落差，故易形成空間位置之偏移，誤差因之生成。

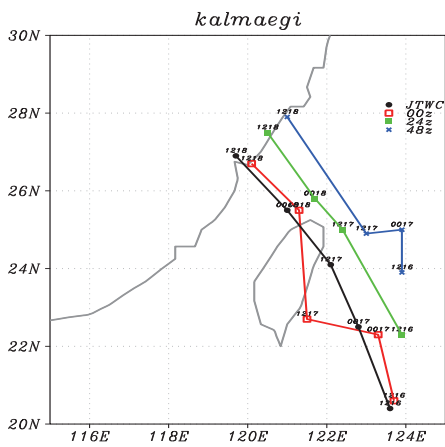


圖 2 Kalmaegi 颱風之預報路徑 Kalmaegi 颱風之實際路徑 (黑色線)、0h 初始時間路徑(紅色線)、24 小時預報路徑(綠色線)、48 小時預報路徑(藍色線)

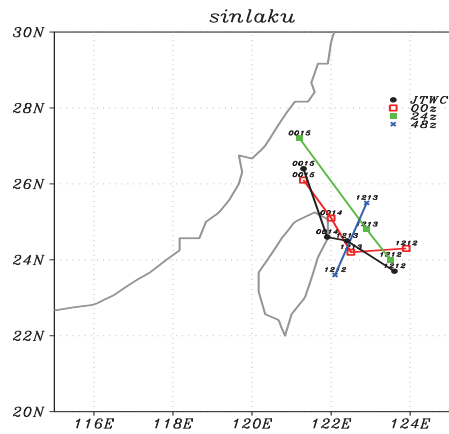


圖 4 如圖 2，但為 Sinlaku 颱風之預報路徑

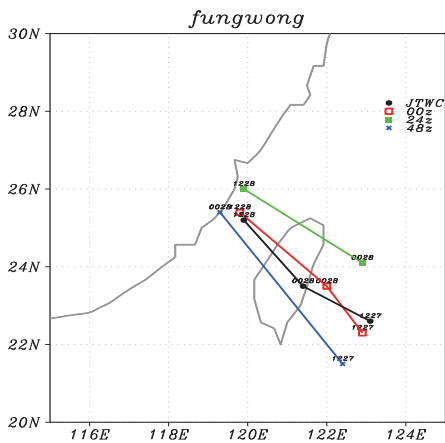


圖 3 如圖 2，但為 Fungwong 颱風之預報路徑

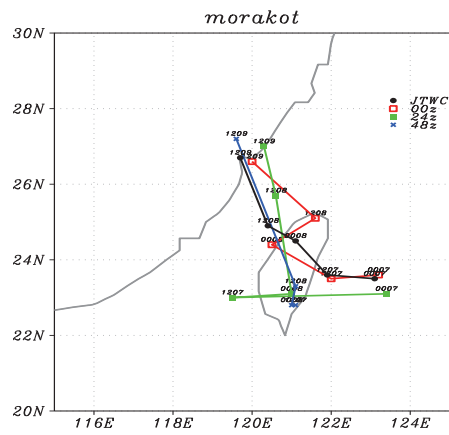


圖 5 如圖 2，但為 Morakot 颱風之預報路徑

表 2 8 個侵台颱風於 D1、D2、D3 三種網格模式中，於初始時間(00h)、24 小時預報(24h)、48 小時預報(48h)、72 小時預報(72h)之颱風中心平均預報誤差，以及此 8 個颱風個案之總平均誤差值

| 平均 | D01 | | | | D02 | | | | D03 | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 00h | 24h | 48h | 72h | 00h | 24h | 48h | 72h | 00h | 24h | 48h | 72h |
| 韋柏 | 27 | 176 | 213 | 430 | 22 | 185 | 203 | 368 | 25 | 177 | 120 | 267 |
| 聖柏 | 48 | 66 | 99 | 112 | 70 | 80 | 81 | 118 | 108 | 76 | 90 | 92 |
| 卡玫基 | 63 | 244 | 329 | 340 | 56 | 229 | 323 | 342 | 65 | 125 | 246 | 291 |
| 鳳凰 | 42 | 107 | 208 | 198 | 34 | 141 | 131 | 105 | 41 | 128 | 220 | 71 |
| 辛樂克 | 37 | 63 | 107 | 191 | 33 | 64 | 105 | 148 | 49 | 62 | 137 | 195 |
| 蕃蜜 | 55 | 67 | 127 | 155 | 41 | 84 | 126 | 193 | 46 | 75 | 136 | 228 |
| 莫拉菲 | 62 | 170 | 251 | 313 | 54 | 157 | 140 | 348 | 61 | 153 | 61 | 431 |
| 莫拉克 | 42 | 105 | 171 | 226 | 49 | 127 | 157 | 245 | 49 | 124 | 139 | 197 |
| 總平均 | 47 | 111 | 188 | 246 | 45 | 133 | 158 | 233 | 56 | 115 | 144 | 221 |

•平均誤差：00h 約50Km，24h 約120Km，48h 約150Km，72h 約220Km
 •準確度：d03(4km)>d02(12km)>d01(36km)

表 2 所整理之誤差總表顯示，24 小時預報 (24h) 之颱風中心位置誤差，在最大空間網格 36 公里之 D1 範圍，24 小時平均誤差為 111 公里，48 小時為 188 公里，在中間網格 12 公里之 D2，24 小時平均誤差為 133 公里，48 小時為 158 公里，在最精細網格 4 公里之 D3，24 小時預報誤差為 115 公里，48 小時預報誤差為 144 公里。整體而言，運用動力降尺度之三層巢狀模式，選用最精細網格與最靠近台灣範圍之 D3 網格，當擁有最佳之預報效能表現，原因或許為使用精細網格，較能充分反應颱風風速之強度，故對其移動速度之掌握亦較佳。促使預報誤差降低。此結果也建議，在使用多層巢狀模式預報系統時，可選用最精細網格之預報結果來掌握颱風動態，再藉助平均誤差，即 24 小時之 120 公里，48 小時之 150 公里，來修正調整預報中心位置，如中央氣象局颱風中心預報位置，均是以平均預報誤差為半徑，以一圓圈範圍顯示颱風中心之可能位置，即是納入此預報誤差之考量。

五、結語

本研究以海軍大氣海洋局之天氣預報作業模式 (WRF) 為分析對象，運用後預報實驗，執行 WRF 預報於 2007、2008、2009 年颱風季之逐日 00Z、12Z 之 96 小時預報，並針對該其間 23 個颱風個案之路徑預報結果，分析 WRF 對颱風預報之準確性與掌握能力。在後預報實驗中，以三層巢狀網格 (36 公里、12 公里、4 公里) 分別執行動力降尺度預報，主要研究成果概述如下：

(一) 將 23 個颱風分成 4 種類型

1. 生成位置遠，非朝向台灣。
2. 生成位置遠，朝向台灣，但不侵台。
3. 生成位置遠，朝向台灣，侵(近)台。
4. 生成位置近，侵(近)台。

在各種類型中，WRF 均能適當掌握颱風之移動特性。對颱風侵台與否，亦能清楚判定。

(二) 在侵台颱風之個案中，WRF 均能在 2 日之前，空間距離離恆春 700 公里以上時，即能掌握颱

風侵台之資訊。上述時間、空間範圍，可供海軍做為應用預報資訊之參考目標點。

(三) WRF 對颱風路徑之預報誤差，以最精細網格 (D3、4 公里) 而言，24 小時預報誤差約為 120 公里，48 小時預報誤差約為 150 公里。上述空間範圍可用以修正 WRF 預報之颱風中心位置與範圍，藉此判斷與修正颱風登陸或近台之可能區域，供做艦隊移防之參考依據。

上述研究成果，所得之空間、時間預警範圍，及颱風中心位置之誤差範圍，當能有效協助 WRF 預報資訊之應用效能，也能提供海軍於演訓、艦隊移防、防颱作業等相關決策制定之參考資訊，當有助海軍於防颱機動作業之整體效能。

六、參考文獻

- Jau-Ming Chen, Fang-Chuan Lu, Shu-Ling Kuo, and Ching-Feng Shih, 2005: "Summer climate variability in Taiwan and associated large-scale processes", *J. Meteor. Soc. Japan*, 83, 499-516.
- Jau-Ming Chen, Tim Li, and Ching-Feng Shih, 2010: "Tropical cyclone and monsoon induced rainfall variability in Taiwan". *J. Climate*. 23, 4107-4120.
- 陳昭銘、簡芳菁，2008: "高精度大氣數值模式及校驗系統之研究"，*國防科技學術合作研究計畫成果發表暨研討會*，2008 年 11 月 25 日，高雄，臺灣
- 陳昭銘、黃明哲、毛正氣、黃文龍，2010: "WRF 模式預報之系統性誤差與修正特性"，*99 年天氣分析與預報研討會*，2010 年 6 月 28-30 日，台北，臺灣
- 陳得松、蕭玲鳳、黃康寧、葉天降、鄭銘華，2010: "中央氣象局數值區域模式對颱風路徑預測之表現"，*99 年天氣分析與預報研討會*，2010 年 6 月 28-30 日，台北，臺灣