

# NWW3對臺灣東部海域湧浪之預報能力分析

李維德<sup>1</sup> 陳昭銘<sup>2</sup> 曾若玄<sup>1</sup> 孫永大<sup>3</sup> 黃文嶺<sup>3</sup> 陳家銘<sup>4</sup> 洪信昌<sup>2,3</sup>

國立中山大學海洋科學系<sup>1</sup> 國立高雄科技大學海事資訊科技系<sup>2</sup> 海軍大氣海洋局<sup>3</sup> 三商電腦公司<sup>4</sup>

## 摘要

週期較長的湧浪往臺灣傳遞過程中，常易因地形淺化造成能量堆積，在近岸形成大浪，無預期危及民眾生命財產安全；有鑑於此，湧浪(週期 $\geq 8$ 秒、湧高 $\geq 1.5$ 公尺)成為預報作業中心關注的預警項目之一。本研究針對海軍大氣海洋局所建置波浪數值模式(NWW3)於2019年每日產出的96小時預報結果，與浮標觀測資料相互比對，期能透過時間及空間上的差異，診斷模式的預報特性，以提供後續模式精進之參考，及提升數值模式的預報能力。

本研究以東部海域的龍洞、蘇澳、花蓮、蘭嶼、臺東及龜山島等6處浮標資料分析，經比對72小時以內的NWW3預報結果顯示，相關性除花蓮整體偏低以外，其餘5處在48小時內湧浪之預報相關係數均達0.66-0.86；其次，前4處平均湧高偏強或偏弱的差異約10%，後2處呈現偏弱約21-33%。經統計浮標實測湧浪個案數量，顯示60.2%肇因於颱風，其餘多為東北季風天氣系統；花蓮以北湧浪個案主要因颱風而起居多，臺東以南則以東北季風造成居多。綜合而言，NWW3結果可作為湧浪的預報依據，但其能力因地點及天氣系統而異。

**關鍵字：**湧浪、NWW3、可預報度、颱風、東北季風

## 一、前言

俗諺有云「無風不起浪」，意味海面上的波動肇因於風力吹拂而起，所形成的風浪在脫離風域，或失去原生風力影響之後，仍持續在海表傳遞則稱為湧浪(swell)。過去研究歸納熱帶風暴及季風等天氣系統，可能在世界各地產生湧浪並影響近沿岸地區(Glejin et al. 2013; Tao et al. 2017)。

尤其颱風所產生週期較長的湧浪，在朝臺灣傳遞過程中，也常易因地形淺化造成能量堆積，於近岸形成大浪，無預期的危及民眾生命財產安全與影響重要工作進行(Liang 2003, 2012)。另冬季期間，東北季風的強弱成為東亞地區湧浪的成因(Shimura et al. 2016)，也可能對臺灣沿岸及各港口產生不同程度的影響(Doong et al. 2021)。

有鑑於此，湧浪(週期 $\geq 8$ 秒、湧高 $\geq 1.5$ 公尺)成為預報作業中心必要關注的預警項目之一。本研究針對海軍大氣海洋局所建置波浪數值模式(NWW3)於2019年每日產出的96小時預報結果，與東部海域浮標觀測資料相互比對，期能透過診斷時間及空間上的差異，從而找出預報特性、調整模式參數，進而提升數值模式的預報能力。

## 二、湧浪資料及數值模式

### (一) 觀測資料：

為能掌握大部份颱風及東北季風所產生湧浪，對沿岸所造成的影響，因此選擇迎風面為臺灣東部地區浮標站，由北而南依序為龍洞、龜山島、蘇澳、花蓮、臺東及蘭嶼等6處(如圖1)，且2019年浪高觀測

紀錄顯示，均具有超過50筆以上的湧浪個案數量(如表1)，可作為後續與數值預報結果相互比對。

### (二) 波浪數值模式：

1. 海軍大氣海洋局引進美國國家海洋大氣總署「第三代波浪模式」(NOAA WaveWatch-III，簡稱NWW3)，並運用局內大氣模式產生的海表面風及熱通量來驅動波浪預報，預報作業則依據任務需求，採用巢狀網格的降尺度數值運算方式。

2. 涵蓋範圍(NWW3-d03，如圖1)為東經119~123度，北緯21~26度，水平解析度0.02度(約2公里)。本研究使用每日00Z為初始時間之預報結果，每次預報96小時，預報產出間隔為1小時一筆，產品包括示性波高、週期及波向。

### (三) 比對方式：

以浮標資料做為實測基礎，將NWW3預報結果於浮標鄰近4個網格點平均，相互比對並計算2019年所有湧浪個案在各地的相關係數，定性分析臺灣東部沿岸湧浪的數值模擬特性。本文以下內容將就各地的預報與實測相關性，及不同天氣系統下的NWW3預報能力，進行診斷分析。

## 三、湧浪預報與實測料之相關性

(一) 以龍洞為例，表1顯示2019年總共紀錄52筆湧浪個案，圖2.1a至2.1d則將96小時NWW3預報劃分為4個預報時段，將波高預報值分別與對應時間的浮標實測值相比，進行散布圖分析(如圖中藍點分布)，計算兩資料間之相關係數，分析結果顯示，48小時以內的相關係數達0.76-0.77，且迴歸曲線斜率0.92-0.96(如圖中藍線)，

呈現與實測波高的變化具有相當高程度的一致性。儘管72小時預報的相關係數下降為0.36，由於統計上仍達99%顯著程度(自由度50，相關係數 $\geq 0.36$ )，因此NWW3在龍洞地區的湧浪預報能力可達72小時。96小時預報相關係數降為0.13，則不具關連性

- (二) 將上述比對方式應用於其餘東部5站(如圖2.2-2.6)，得出相關係數除花蓮整體偏低(0.41-0.42)以外，其餘蘇澳、龜山島、臺東、蘭嶼，及前述的龍洞等5處，在48小時內預報均達0.66-0.86；另72小時預報的相關性雖然普遍偏低(0.33-0.48)，然因統計上仍達95%顯著程度(自由度50，相關係數 $\geq 0.28$ )，因此，小結NWW3在東部地區具有72小時的預報能力。上述5站之96小時預報的相關係數均明顯降低，僅為0.0-0.18，顯示模式對湧浪不具96小時之預報能力。

由於作業中心的主要工作需求，為達到穩定的預報準度及持續的預報能力，並能在不同的地點與各種季節性天氣系統的條件下持恆，目前NWW3在以上的準度及持續預報等項目，可初步滿足作業要求。

## 四、地點與季節之比較

本小節針對東部浮標站位置，接續分析NWW3預報與實測值在地點上的差異，及浮標資料反映出湧浪對不同季節天氣系統的特性。

- (一) 經比較4個預報時段的NWW3波高，表2顯示在72小時以內，龍洞、蘇澳、花蓮及蘭嶼的湧高預報平均值，相對觀測湧高平均值，可偏強或偏弱，差異約在10%左右，但臺東及龜山島則偏弱約21-33%。其中，龍洞的72小時內預報效果最佳，所有預報湧高平均值與觀測平均值差異均小於2%；蘇澳為次佳，其差異維持在10%以內的穩定程度。
- (二) 此外，經統計2019年浮標實測資料，共397湧浪個案，表3顯示239個案(約佔60.2%)是由於夏秋季(7月15日至10月3日)西北太平洋的侵臺颱風所引起(如圖3)，其餘158個案(約39.8%)則分布在其他月份，除蘭嶼在5月有4個案外，剩下大多起因於冬季(1-3月及10-12月)的東北季風，顯示造成臺灣東部海域湧浪之主要成因為夏季之颱風與冬季之東北季風。
- (三) 就季節性的天氣系統而言，表3亦顯示花蓮以北的湧浪個案主要因颱風而起居多(約佔60.0-88.5%)，臺東以南則以東北季風所造成居多(約佔57.1-60.2%)。

## 五、結語

本研究主要發現歸納如下：

- (一) 就東部地區的6處浮標而言，經比對72小時以內的NWW3預報結果顯示，與浪預報之相關性，除花蓮整體偏低以外，其餘龍洞、龜山島、蘇澳、臺東及蘭嶼等5處之48小時內預報與觀測資料的相關係數可達0.66-0.86，具有適宜預報能力。

- (二) 相較於觀測湧高平均值，龍洞、蘇澳、花蓮及蘭嶼的預報湧高平均值，可偏強或偏弱，差異約為10%，而臺東及龜山島預報平均值約偏弱21-33%。

- (三) 浮標實測湧浪之個案，60.2%肇因於颱風，其餘39.8%多歸因於東北季風天氣系統。

- (四) 花蓮以北的湧浪個案主要因颱風所引起，並建議可以龍洞及蘇澳做為西北太平洋侵臺颱風湧浪的指標；臺東以南則主要受東北季風所造成。

綜合而言，NWW3預報結果可作為湧浪的預報依據，其預報能力受到地點及天氣系統之影響。此外，將NWW3海底地形解析度提高，調整資料同化及模式暖啟動等，也可考量做為提升模式預報能力的精進方式。

## 參考文獻：

- Doong, D.-J., Y.-M. Fan, J.-Y. Chen, and C.-C. Kao, 2021: Analysis of long-period hazardous waves in the Taiwan Marine Environment Monitoring Service. *Frontiers in Marine Science*, **8**, 657569.
- Glejin, J., V.S. Kumar, and T.M.B. Nair, 2013: Monsoon and cyclone induced wave climate over the near shore waters off Puduchery, southwestern Bay of Bengal. *Ocean Engineering*, **72**, 277–286.
- Liang, N.-K., 2003: The typhoon swell Doppler effect. *Ocean Engineering*, **30**, 1107–1115.
- Liang, N.-K., 2012: The freak wave potential of typhoon swell. *Journal of Marine Science and Technology*, **20**, 467–471.
- Shimura, T., N. Mori, and M.A. Hemer, 2016: Variability and future decreases in winter wave heights in the Western North Pacific. *Geophysical Research Letters*, **43**, 2716–2722.
- Tao, A.-F., J. Yan, Y. Pei, J.-H. Zheng, and N. Mori, 2017: Swells of the East China Sea. *Journal of Ocean University China*, **16**, 674–682.

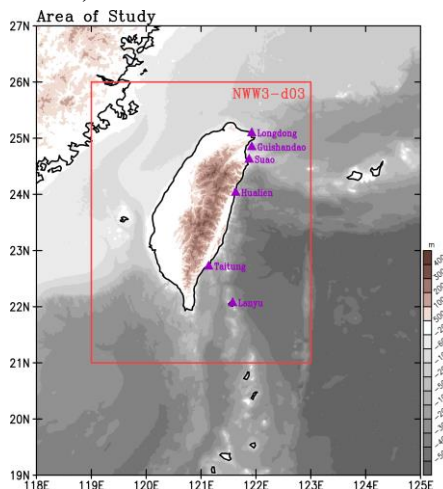


圖 1：臺灣東部浮標站及NWW3 預報範圍示意圖。

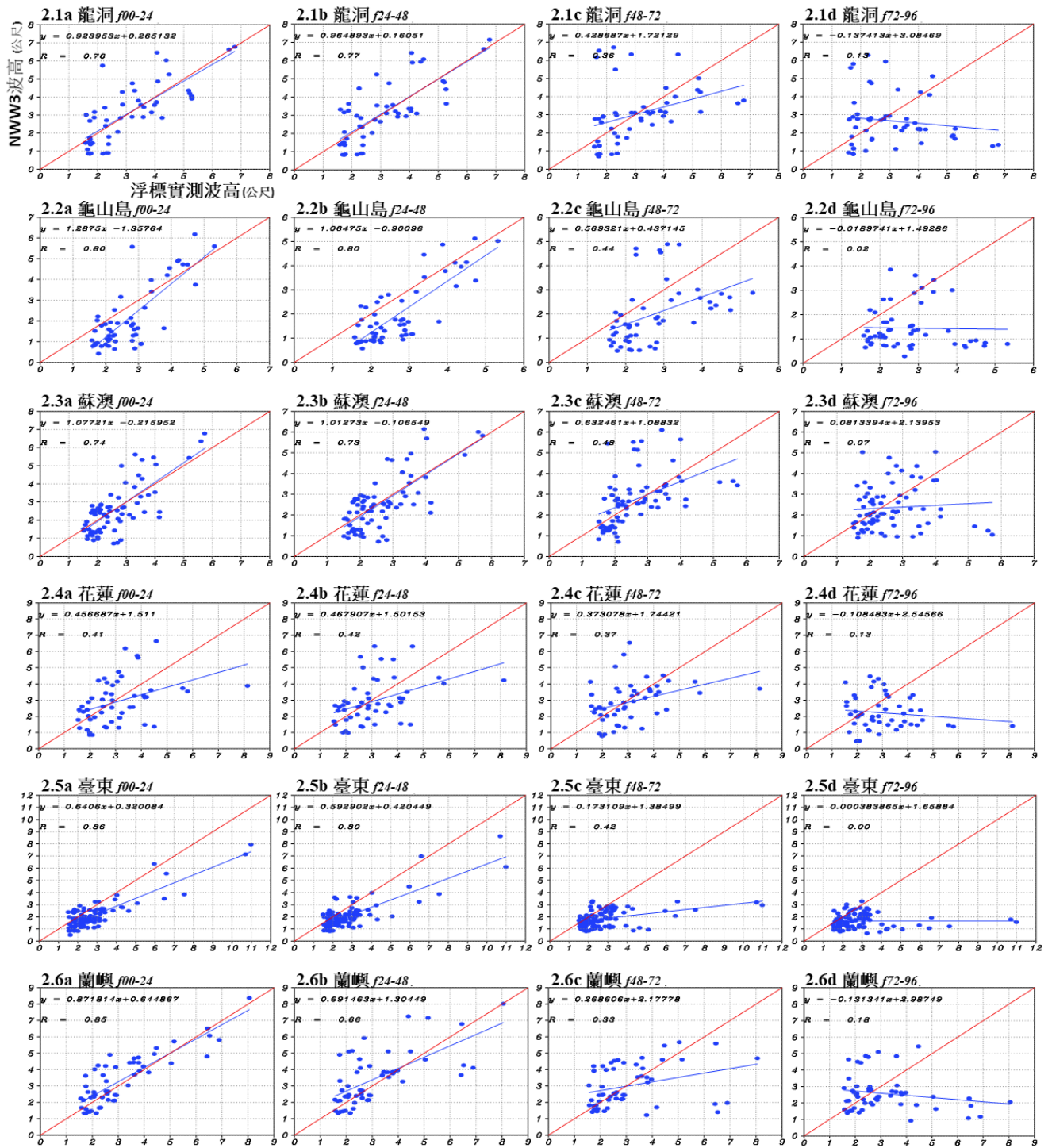
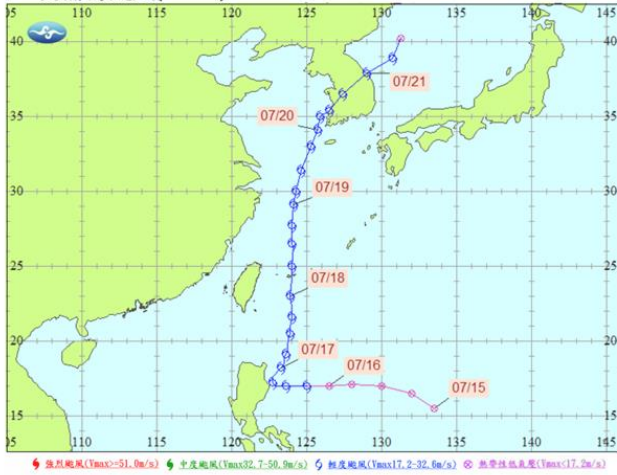
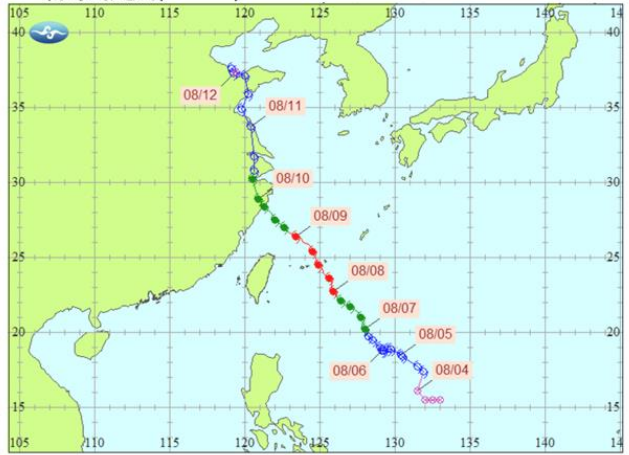


圖2：臺灣東部6個浮標實測湧浪與NWW3預報湧浪之比較。

3a 丹娜絲颱風(Danas)



3b 利奇馬颱風(Lekima)



3c 白鹿颱風(Bailu)



3d 米塔颱風(Mitag)

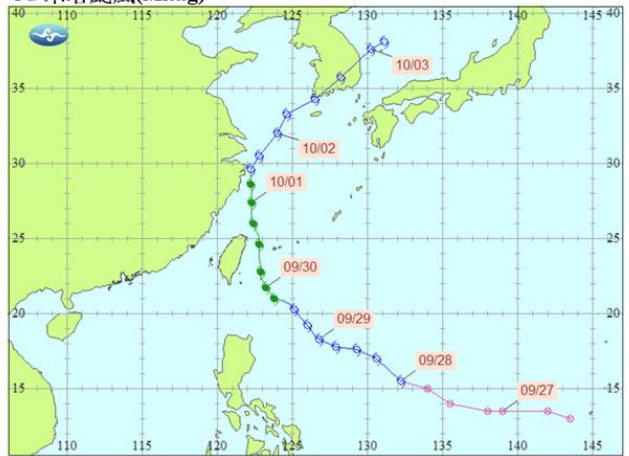


圖3：2019年侵臺颱風路徑圖(中央氣象局官網下載，[https://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/public/warning\\_typhoon\\_list/](https://rdc28.cwb.gov.tw/TDB/public/warning_typhoon_list/))。



表1：2019年東部浮標湧浪與NWW3預報湧浪之分析表。

2019年湧浪			f00-24			f24-48			f48-72			f72-96		
站名	個案數	觀測波高(m)	相關係數	RMSE	RMSE/觀測波高	相關係數	RMSE	RMSE/觀測波高	相關係數	RMSE	RMSE/觀測波高	相關係數	RMSE	RMSE/觀測波高
龍洞	52	3.05	<b>0.76</b>	1.05	0.34	<b>0.77</b>	1.05	0.34	<b>0.36</b>	1.63	0.54	0.13	2.07	0.68
龜山島	55	2.71	<b>0.80</b>	1.11	0.41	<b>0.80</b>	1.04	0.38	<b>0.44</b>	1.38	0.51	0.02	1.80	0.66
蘇澳	75	2.61	<b>0.74</b>	0.91	0.35	<b>0.73</b>	0.89	0.34	<b>0.48</b>	1.15	0.44	0.07	1.37	0.53
花蓮	51	3.05	<b>0.41</b>	1.43	0.47	<b>0.42</b>	1.41	0.46	<b>0.37</b>	1.40	0.46	0.13	1.90	0.62
臺東	108	2.78	<b>0.86</b>	1.06	0.38	<b>0.80</b>	1.15	0.41	<b>0.42</b>	1.67	0.60	0.00	1.98	0.71
蘭嶼	56	3.08	<b>0.85</b>	0.86	0.28	<b>0.66</b>	1.31	0.42	<b>0.33</b>	1.59	0.52	0.18	2.04	0.66

備註：  
 1. 自由度50：相關係數 $\geq 0.36$ ，99%顯著程度。  
 2. 自由度50：相關係數 $\geq 0.28$ ，95%顯著程度。  
 3. 自由度50：相關係數 $\geq 0.24$ ，90%顯著程度。

表2：2019年東部浮標站與NWW3預報之湧高平均值比較表。

2019年湧浪			f00-24		f24-48		f48-72		f72-96	
站名	個案數	觀測波高(m)	預報波高(m)	預報/觀測波高	預報波高(m)	預報/觀測波高	預報波高(m)	預報/觀測波高	預報波高(m)	預報/觀測波高
龍洞	52	3.05	3.08	<b>1.01</b>	3.10	<b>1.02</b>	3.03	<b>0.99</b>	2.67	<b>0.87</b>
龜山島	55	2.71	2.13	<b>0.79</b>	1.98	<b>0.73</b>	1.98	<b>0.73</b>	1.44	<b>0.53</b>
蘇澳	75	2.61	2.59	<b>0.99</b>	2.53	<b>0.97</b>	2.74	<b>1.05</b>	2.35	<b>0.90</b>
花蓮	51	3.05	2.91	<b>0.95</b>	2.93	<b>0.96</b>	2.88	<b>0.94</b>	2.21	<b>0.73</b>
臺東	108	2.78	2.10	<b>0.76</b>	2.07	<b>0.74</b>	1.87	<b>0.67</b>	1.66	<b>0.60</b>
蘭嶼	56	3.08	3.33	<b>1.08</b>	3.44	<b>1.11</b>	3.01	<b>0.97</b>	2.58	<b>0.84</b>

表3：2019年各月份湧浪分布值。

站名	月份												湧浪個案總數	颱風期間個數	其他月份個數
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月			
龍洞	0	0	0	0	0	0	0	17	28	3	1	3	52	46	6
龜山島	0	2	0	0	0	0	2	18	26	3	2	2	55	47	8
蘇澳	1	0	1	0	0	0	0	17	28	6	11	11	75	45	30
花蓮	0	0	0	0	0	0	0	12	22	0	9	8	51	34	17
臺東	0	8	0	0	0	0	1	22	20	21	16	20	108	43	65
蘭嶼	0	3	1	0	4	0	0	18	6	13	6	5	56	24	32
小計												397	239 (60.2%)	158 (39.8%)	

備註：2019年侵臺颱風期間為7月15日至10月3日。

# **Analysis of Swell Prediction in Oceans East of Taiwan by NWW3**

**Wei-Teh Li<sup>1</sup>, Jau-Ming Chen<sup>2</sup>, Ruo-Shan Tseng<sup>1</sup>, Yung-Da Sun<sup>3</sup>, Wen-Ling Huang<sup>3</sup>, Chia-Ming Chen<sup>4</sup>,  
Shin-Chang Hung<sup>2,3</sup>**

**Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University<sup>1</sup>**

**Department of Maritime Information and Technology, National Kaohsiung University of Science and  
Technology<sup>2</sup>**

**Naval Meteorological and Oceanographic Office<sup>3</sup>**

**Mercuries Data Systems Ltd.<sup>4</sup>**

## **Abstract**

On the propagation toward Taiwan, the swells usually form big waves near the coast due to energy accumulation by shoaling effect. These waves could possibly cause human casualty and property loss. Therefore, the swell forecast, i.e. period  $\geq 8$  sec and wave height  $\geq 1.5$  m, becomes one of the important items at the operational center. In this study, the daily numerical outcome forecasted by NWW3 from Naval Meteorological and Oceanographic Office would be used to compare with the in-situ observations by buoys. The NWW3 outcome covers daily 96-hour forecasts in 2019. It is expected to examine the temporal and spatial differences by comparing the results of numerical simulation with observations. Thus, characteristics of model capability should be better understood to adjust the simulating parameters and improve model prediction.

The buoys are mainly deployed along east coast of Taiwan, which are located in Longdong, Suao, Hualien, Lanyu, Taitung and Guishandao, respectively. First of all, comparing the 72-hour NWW3 forecast with the observation, the correlation can show 0.66-0.86 within 48-hour forecast among five of the above locations, except Hualien. On average, the forecasted swell heights are close to observed swell heights by roughly 10% in the former four locations, while forecasts of the latter two locations are weaker than the observed by about 21-33%. On the other hand, the buoy data indicates that 60.2% of the swell cases could be initiated by typhoons, while the other 39.2% are mainly by the northeast monsoon. Most swell cases occurring in the north of Hualien and south of Taitung are caused by typhoons and the northeast monsoon, respectively. In summary, the NWW3 could be a useful tool to forecast the swell, and it may also need to adjust the forecasting reference with respect to spatial locations and weather systems.

**Keywords:** swell, NWW3, prediction, typhoon, northeast monsoon