

110-058-7C80

MOTC-IOT-109-H2CB004

離岸風電建置與航安技術發展(4/4)- 風對臺中港鄰近海域船舶航行安全 影響評估



交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

110

風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估

交通部運輸研究所

GPN: 1011000171

定價 600 元

110-058-7C80

MOTC-IOT-109-H2CB004

離岸風電建置與航安技術發展(4/4)- 風對臺中港鄰近海域船舶航行安全 影響評估

著者：陳昭銘、談珮華、陳慧珊、李維德、蘇青和、劉明鑫

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

離岸風電建置與航安技術發展：風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估。(4/4) / 陳昭銘, 談珮華, 陳慧珊, 李維德, 蘇青和, 劉明鑫著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所, 民 110.02

面；公分

ISBN 978-986-531-245-9(平裝)

1. 航運管理 2. 運輸安全 3. 風險管理

557.4

110000825

離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估

著者：陳昭銘、談珮華、陳慧珊、李維德、蘇青和、劉明鑫

出版機關：交通部運輸研究所

地址：105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網址：www.iot.gov.tw (中文版>數位典藏>本所出版品)

電話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國 110 年 02 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：600 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)2349-6789

國家書店松江門市：104472 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)2518-0207

五南文化廣場：400002 臺中市區中山路 6 號・電話：(04)2226-0330

GPN：1011000171 ISBN：978-986-531-245-9 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估			
國際標準書號(或叢刊號) ISBN978-986-531-245-9(平裝)	政府出版品統一編號 1011000171	運輸研究所出版品編號 110-058-7C80	計畫編號 MOTC-IOT-109-H2CB004
本所主辦單位：港研中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：蘇青和 研究人員：劉明鑫 聯絡電話：04-26587229 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立高雄科技大學 計畫主持人：陳昭銘 研究人員：陳慧珊 地址：高雄市中洲三路 482 號 聯絡電話：07-8100888 EXT 25307		研究期間 自 109 年 3 月 至 109 年 12 月
關鍵詞：臺中港、離岸風電、預報、航行安全			
<p>因應全球暖化之調適措施，臺灣積極推動綠能開發，對應離岸風電場域之建置，未來將有眾多工作船舶進出臺中港與鄰近海域，該海域之強風、大浪為工作船舶帶來不可測危險，在航行安全考量之下，亟需對該海域之海氣象特性進行了解與掌握，期以達到增進航行安全之目的，協助港埠安全管理。目前離岸風電區仍欠缺觀測資料，因此需要運用數值預報模式，提供該海域之海氣象資訊。依此，研究方法將運用 2019 年觀測資料分析臺中港區海氣象環境之變化特性，再建置數值模式預報臺中港區之風、波場，搭配預報誤差修正系統，經由誤差修正，提供較具準確性之離岸風電區海氣象預報資訊。</p> <p>研究主要成果包括:(1)臺中港區觀測風場分布，自無遮蔽的堤頭測站，依次減弱到臨港邊測站，再減弱到陸上測站；(2)對臺中港區風速、波高之預報能力，於東北風強盛之 9 月-2 月最高，最低時期為西南季風之 6 月-8 月；(3)模式預報風場顯示臺中港區與離岸風電區強度相近，但預報波高於離岸風電區明顯高於臺中港區；(4)預報模式對秋、冬季 9 級風以上強風個案具有良好預報能力，對 7-9 月颱風個案僅具有一般預報能力；(5)本研究所建置之誤差修正方法，對臺中港區風速極值大小與波高偏弱誤差均具有良好修正能力；(6)離岸風電區預報資料顯示，對大型服務操作船/兼交通船與自升式安裝船而言，不適合運作之危險狀況於 11-1 月最高，6-8 月最低。</p> <p>成果效益：</p> <p>在施政與實務上，本研究所建置之風波預報模式能適宜預報臺中港與鄰近離岸風</p>			

電區之海氣象環境，可提前預報激烈天氣之危險狀況，提供預警資訊，協助船舶航行之安全管理使用。對船舶航行影響之分析結果，可供各式船隻評估其合適作業時間，適宜規劃作業時程，提升施工成效。

提供政府單位應用情形：

完成風波預測模式之建置，可提供港灣技術研究中心建置港灣區海氣象預報系統之使用。模式預報資訊與船舶航行影響分析，可供航港局及港務公司等相關單位使用，管理港區與離岸風電區船隻之航行與作業，提升航行安全與港務管理效益。

出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
110 年 2 月	266	600	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Development technology for off-shore wind power station and navigation safety (4/4)-Impacts of winds on navigation safety of ships around Taichung Harbor			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-245-9(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011000171	IOT SERIAL NUMBER 110-058-7C80	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-109-H2CB004
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Ho Su PROJECT STAFF: Ming-Hsin Liu PHONE: +866-4-26587229 FAX: +866-4-26560661			PROJECT PERIOD : FROM March 2020 TO December 2020
RESEARCH AGENCY: NATIONAL KAOHSIUNG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jau-Ming Chen PROJECT STAFF: Hui-Shan Chen ADDRESS: No. 482, Jhongjhou 3 rd Rd, Kaohsiung, 805, Taiwan, R.O.C. PHONE: +886-7-810-0888 ext.25307			
KEY WORDS: Taichung Harbor, Off-shore wind power, Forecast, Navigational safety			
<p>To mitigate the impacts of global warming, Taiwan has devoted to develop green energy. Many working ships will sail around the Taichung Harbor and surrounding oceans to build up the off-shore wind power plants. These ships will encounter the dangerous marine situations caused by strong winds and high waves. In order to secure navigational safety and assist harbor management, it is necessary to understand and foresee marine conditions in the off-shore wind power zones. Due to the lack of observational data, the marine conditions have to obtain from numerical models. To reach the above goals, this study employs observational data of 2019 to analyze meteorological and marine variability features around the Taichung Harbor. Numerical models are constructed to provide the forecast information for the observation-lack regions. The forecast data from prediction models are used to establish bias-correction systems for wind speed and wave height. The bias-corrected outputs provide better information of winds and waves for the off-shore wind power zone by which their impacts on navigational safety can be examined.</p> <p>The major results of this study are as follows: (1) wind speeds in the Taichung Harbor become weakening from off-shore stations toward near-shore stations and inland stations; (2) the prediction capability for wind speed and wave height in the Taichung Harbor is the best in the northeast monsoon season and the lowest in the southwest monsoon season; (3) the predicted wind speed exhibits comparable strength between the Taichung Harbor and the off-shore wind power zone, while predicted wave height is stronger in the off-shore wind power zone than the Taichung Harbor; (4) models have good prediction skills for predicting wind speed and wave height for strong-wind cases (reaching Force-9 level) in the Taichung Harbor, but only normal skills for predicting typhoon cases; (5) the bias-correction schemes developed in this study can efficiently reduce prediction errors of wind speed and wave height; (6) the predicted wave height in the off-shore wind power zone indicates that the percentages of dangerous conditions for the large-size transport and engineering vessels in the highest in Novemebr-January and the lowest in June-August.</p>			

Benefits of results:

In administration and practical operation, the wind and wave models developed in this study can suitably predict marine and meteorological conditions for the Taichung Harbor and off-shore wind power zone. The predicted dangerous conditions associated with hazardous weather can serve as warning information to secure navigation safety of ships. Analyses regarding impacts of winds and waves on navigational safety can provide useful information for different types of vessels to better estimate their suitable working hours. This helps better arrange working schedules and improve the operation efficiency.

Applications by governmental agency:

The developed wind and wave models can be adopted by the Harbor and Marine Technology Center to establish a prediction system for marine and meteorological environments over the harbor regions. The prediction information and the analyzed potential impacts on navigational safety can be adopted by the Maritime Port Bureau and the Taiwan International Ports Corporation to assist the management of navigations and operations of ships in the harbor region and the off-shore wind power zone by which the management efficiency and navigational safety can be improved.

DATE OF PUBLICATION February 2021	NUMBER OF PAGES 266	PRICE 600
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.		

目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	X
第一章 前言.....	1-1
1.1 研究背景.....	1-1
1.2 研究目標與工作內容.....	1-5
第二章 臺中港區風、波、潮、流場特性與關聯性分析.....	2-1
2.1 觀測資料收集.....	2-1
2.2 臺中港觀測海氣象特性分析.....	2-4
2.3 海氣象變數之關聯性分析.....	2-28
第三章 臺中港鄰近海域之風、波數值模擬與特性分析.....	3-1
3.1 建置臺中港區風、波數值預報模式.....	3-1
3.2 臺中港區風、波預報誤差分析.....	3-6
3.3 臺中港區與離岸風電區之預報風、波特特性分析.....	3-15
第四章 臺中港強風個案之預報特性分析.....	4-1
4.1 強風個案之臺中港區風場預報特性分析.....	4-1
4.2 強風個案之臺中港區波高預報特性分析.....	4-12
第五章 臺中港區颱風個案之預報特性分析.....	5-1
第六章 臺中港鄰近海域船舶航行安全影響分析.....	6-1
6.1 臺中港區風場預報誤差修正能力分析.....	6-3
6.2 臺中港區波高預報誤差修正能力分析.....	6-13

6.3 臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估.....	6-23
第七章 結論與建議.....	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 建議.....	7-3
7.3 成果效益與應用.....	7-6
7.4 提供政府單位應用情形.....	7-6
參考文獻.....	參-1
附錄一 WRF 模式之介紹與執行.....	附 1-1
附錄二 NWW3 模式之介紹與執行.....	附 2-1
附錄三 期中報告審查意見及辦理情形說明表.....	附 3-1
附錄四 期末報告審查意見及辦理情形說明表.....	附 4-1
附錄五 期末報告簡報.....	附 5-1
附錄六 工作會議紀錄.....	附 6-1

圖目錄

圖 2.1	臺中港區觀測站位置圖.....	2-2
圖 2.2	臺中港區 2019 年逐日風速時間序列.....	2-5
圖 2.3	T2 風速逐月平均之時變化.....	2-18
圖 2.4	TIDE 測站日潮差時間序列.....	2-21
圖 2.5	TIDE 測站潮位之頻譜分析.....	2-25
圖 2.6	1-6 月 AWAC 測站流速之頻譜分析.....	2-26
圖 2.7	7-12 月 AWAC 測站流速之頻譜分析.....	2-27
圖 2.8	風速與波高、流速之 1-2 月關聯性分析.....	2-29
圖 2.9	風速與波高、流速之 3-4 月關聯性分析.....	2-30
圖 2.10	風速與波高、流速之 5-6 月關聯性分析.....	2-31
圖 2.11	風速與波高、流速之 7-8 月關聯性分析.....	2-32
圖 2.12	風速與波高、流速之 9-10 月關聯性分析.....	2-33
圖 2.13	風速與波高、流速之 11-12 月關聯性分析.....	2-34
圖 3.1	WRF 模式各層範圍與臺中港區風、波預報.....	3-4
圖 3.2	模式使用之臺中港鄰近海底地形.....	3-5
圖 3.3	觀測與預報風速、波高之 1-2 月迴歸分析.....	3-7
圖 3.4	觀測與預報風速、波高之 3-4 月迴歸分析.....	3-8
圖 3.5	觀測與預報風速、波高之 5-6 月迴歸分析.....	3-9

圖 3.6	觀測與預報風速、波高之 7-8 月迴歸分析	3-10
圖 3.7	觀測與預報風速、波高之 9-10 月迴歸分析	3-11
圖 3.8	觀測與預報風速、波高之 11-12 月迴歸分析	3-12
圖 3.9	臺中港區(綠點)與離岸風電區(紅色斜框)之分布圖	3-15
圖 3.10	臺中港與離岸風電區之 1-2 月預報場關聯性分析	3-16
圖 3.11	臺中港與離岸風電區之 3-4 月預報場關聯性分析	3-17
圖 3.12	臺中港與離岸風電區之 5-6 月預報場關聯性分析	3-18
圖 3.13	臺中港與離岸風電區之 7-8 月預報場關聯性分析	3-19
圖 3.14	臺中港與離岸風電區之 9-10 月預報場關聯性分析	3-20
圖 3.15	臺中港與離岸風電區之 11-12 月預報場關聯性分析	3-21
圖 3.16	臺中港浮標位置圖(紅色星號).....	3-29
圖 3.17	臺中港浮標觀測、預報結果與離岸風電區預報結果.....	3-30
圖 4.1	2019 年 1 月 1 日-3 月 7 日強風個案之風速預報結果	4-3
圖 4.2	2019 年 3 月 23 日-10 月 30 日強風個案之風速預報結果	4-5
圖 4.3	2019 年 11 月 4 日-11 月 27 日強風個案之風速預報結果	4-7
圖 4.4	2019 年 12 月 2 日-12 月 30 日強風個案之風速預報結果	4-9
圖 4.5	2019 年 1 月 1 日-3 月 7 日強風個案之波高預報結果	4-14
圖 4.6	2019 年 3 月 23 日-10 月 3 日強風個案之波高預報結果	4-16
圖 4.7	2019 年 11 月 4 日-11 月 27 日強風個案之波高預報結果	4-18
圖 4.8	2019 年 12 月 2 日-12 月 30 日強風個案之波高預報結果	4-20

圖 5.1 尼伯特、莫蘭蒂颱風之風速、波高預報結果.....	5-3
圖 5.2 馬勒卡、梅姬颱風之風速、波高預報結果.....	5-5
圖 5.3 尼莎、海棠颱風之風速、波高預報結果.....	5-7
圖 5.4 谷超、泰利颱風之風速、波高預報結果.....	5-9
圖 5.5 瑪莉亞、山竹颱風之風速、波高預報結果.....	5-11
圖 5.6 丹娜絲、利奇馬颱風之風速、波高預報結果.....	5-13
圖 5.7 白鹿、米塔颱風之風速、波高預報結果.....	5-15
圖 6.1 1 月風場第 1-24 小時與 25-48 小時預報之迴歸分析.....	6-2
圖 6.2 1-4 月風速之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果	6-7
圖 6.3 5-8 月風速之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果	6-8
圖 6.4 9-12 月風速之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果	6-9
圖 6.5 1-4 月波高之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果	6-17
圖 6.6 5-8 月波高之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果	6-18
圖 6.7 9-12 月波高之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果	6-19
圖 6.8 預報風速與波高之各季平均值.....	6-29

表目錄

表 1-1	預定進度甘梯圖.....	1-7
表 2-1	2017-2019 年觀測資料筆數.....	2-3
表 2-2	臺中港區各測站之風速相關係數.....	2-5
表 2-3	T2 測站逐時風速分布表.....	2-6
表 2-4	T8 測站逐時風速分布表.....	2-7
表 2-5	T5 測站逐時風速分布表.....	2-8
表 2-6	T1 測站逐時風速分布表.....	2-9
表 2-7	T6 測站逐時風速分布表.....	2-9
表 2-8	T2 測站逐時風向分布表.....	2-10
表 2-9	T8 測站逐時風向分布表.....	2-11
表 2-10	T5 測站逐時風向分布表.....	2-12
表 2-11	T1 測站逐時風向分布表.....	2-13
表 2-12	T6 測站逐時風向分布表.....	2-14
表 2-13	各測站對應 T2 測站之平均風速與比例.....	2-16
表 2-14	AWAC 測站逐時波高分布表.....	2-19
表 2-15	AWAC 測站逐時流速分布表.....	2-20
表 2-16	TIDE 測站逐時潮位分布表.....	2-20
表 2-17	TIDE 測站逐日潮差分布表.....	2-22

表 2-18	風速與波高、流速之迴歸分析	2-36
表 3-1	預報風速與波高之關聯性與誤差分析	3-14
表 3-2	臺中港與離岸風電區之預報風速、波高關聯性分析	3-22
表 3-3	觀測與預報風速之分布百分比	3-25
表 3-4	觀測與預報波高之分布百分比	3-27
表 3-5	臺中港浮標之風場、波高觀測筆數	3-28
表 4-1	強風個案風場之平均預報特性彙整表	4-11
表 4-2	強風個案波高之平均預報特性彙整表	4-22
表 5-1	颱風個案風速之平均預報特性彙整表	5-17
表 5-2	颱風個案波高之平均預報特性彙整表	5-19
表 5-3	颱風個案之路徑、優良個案、預報誤差分析	5-20
表 6-1	第 1-24 小時預報風速之預報能力分析	6-4
表 6-2	第 25-48 小時預報風速之預報能力分析	6-5
表 6-3	風速 24 小時預報於誤差修正前後之預報能力	6-11
表 6-4	風速 48 小時預報於誤差修正前後之預報能力	6-12
表 6-5	第 1-24 小時預報波高之預報能力分析	6-14
表 6-6	第 25-48 小時預報波高之預報能力分析	6-15
表 6-7	波高 24 小時預報於誤差修正前後之預報能力	6-21
表 6-8	波高 48 小時預報於誤差修正前後之預報能力	6-22
表 6-9	誤差修正後之離岸風電區預報風速分布百分比	6-24

表 6-10 誤差修正後之離岸風電區之預報波高分布百分比	6-24
表 6-11 離岸風電海域作業安全指引(勞動部，2018).....	6-25
表 6-12 離岸風電區預報波高與臺中港觀測波高之危險狀況百分比	6-27
.....	6-27
表 7-1 預期目標與達成情形對照表	7-5

第一章 前言

1.1 研究背景

臺灣為一海島，四面臨海，且位於亞洲季風區，風場呈現清楚季節變化，每年 6-8 月為西南季風季節，10-4 月為東北季風季節，9 月與 5 月為季風轉變的過渡時期(中央氣象局，2006；陳，2006)。東北季風源自西伯利亞高壓外圍環流，自北往南吹送，冷冽且風速強勁。西南季風則是源自亞洲低壓南側，由南海往臺灣吹來，空氣熱且濕，風力較小。蕭(2012)運用繞極衛星資料分析臺灣海峽之風浪分析特性，研究結果顯示西南季風時期之主要風力約 3-5 級，波浪約 3-4 級，但在東北季風時期，主要風力增加為 5-7 級，波浪增強為 5-6 級，風力與波浪強度明顯增強，顯示清楚季節差異。臺灣海峽為一個狹長通道，南北開口較寬闊，中間海道較為狹窄，由於狹道效應，使海峽中部之風浪比南北兩地區為大。黃(2013)分析臺中港之風浪觀測資料，西南季風時期主要風力為 2-4 級，波浪為 3-4 級。在東北季風時期主要風力為 6-8 級，波浪則為 5-6 級。上述研究結果顯示，臺中港所相鄰的臺灣海峽中部海域在東北季風時期具有較強風浪，呈現該海域獨特海氣象環境特性。

國際間目前最重要的共同課題之一為推動全球暖化之因應與調適措施，科學研究指出全球暖化之主要成因為人為製造之溫室氣體大量增加(IPCC, 2001, 2007)，為減少溫室氣體排放，需從燃燒化石燃料之能源生產方式逐漸改為綠色能源來替代。我國未來能源政策即以綠能推廣為主要發展方向，先行推動太陽能發電，後續再銜接風力發電，近期更從陸上風力發電延伸到近海之離岸風力發電。離岸風力發電成為大家關注的議題，國際間風力發電所產生的供電量，10 年前就已超過全世界用電量的 1%，且成長速度逐年增加。影響風力發電的因素包括各級風速的分布，並據以參考設置適當風力發電的機型(邱等，2016)。以小型風力發電機的風力切入速度約為 3 m/s 做為基準，臺中港因風力效

率較佳(高於 3 m/s 風速達 63.4%)，所以國內大多將離岸風電潛力場址規劃於臺灣中部海域，並進一步分析附近海域有關氣海象特性，在不同季節的變化，做為選址建設、發電供電及後續維修的環境參考指標(傅等，2019; 羅等，2019)。

因應離岸風電場域之開發，未來將有眾多工作船舶進出臺中港與鄰近海域，該海域之強風雖助益風力發電效能，但強風與伴隨而來的強浪也為在該區施工維護的船舶帶來不可測的危險，在航行安全考量之下，亟需對該海域之海氣象特性進行了解，除了分析現成觀測資料，掌握臺中港海氣象環境之變化特性外，在無觀測資料之鄰近海域，則可借助具備良好精確度的數值模式，運用數值模擬與預報，提供該海域之海氣象資訊，做為船舶施工維護規劃之參考資料，期以增進航行安全，提升港灣安全管理。

在此需求背景之下，便需要對臺中港區之長期觀測資料進行分析，增進對此海域海氣象特性的了解，至於外海缺乏觀測資料的區域，則需建置大氣風場模式與波浪模式進行數值模擬與預報，經由觀測資料檢驗數值模擬結果，診斷數值模式之系統性誤差，再發展誤差修正方式，以此誤差修正方式應用於模式預報結果，期以減少預報誤差，提高預報準確率。目前國際間常用之數值模式，風場方面是 Weather Research and Forecasting (WRF)模式，波浪方面則是 NOAA WaveWatch-III (NWW3) 模式，這二個模式現行均使用於中央氣象局與海軍大氣海洋局做為預報模式，執行臺灣周邊海域之大氣風場與波浪場的預報作業。

WRF 模式運用多層巢狀降尺度方式，逐層縮小空間範圍，同時提高模式網格點解析度，執行對目標區間之高解析度模擬與預報。過去研究顯示，此種降尺度方式能將全球的大尺度預報資訊(約 50km 網格點)精確地降尺度到目標區域之 2-5km 網格點(陳與簡，2009，2010)。依據觀測資料與模式結果比對之後，所發展的統計誤差修正系統，亦能相當程度降低預報誤差，提升模式預報準確程度(陳等，2010)。針對港灣區之風場預報，陳等(2014)經由 3 層降尺度 WRF 模式，對臺北港區進行

2km x 2km 網格點之風場預報，並與臺北港外海觀測樁觀測風速進行比對，結果顯示 WRF-2km 預報場對颱風所引發之強風個案，對 72% 颱風個案具備良好預報能力，亦即對颱風個案 48 小時風速之預報，預報風速與觀測風速之平均相關係數達 0.5 以上。陳等(2015)進一步指出，WRF 對 8 級風以上強風個案之預報良好個案比例為 81.3%，東北風季節之預報良好個案比率為 83%，西南風季節之比率略低，約為 75%。上述結果清楚顯示 WRF 模式之降尺度預報方式對港灣區風場具有相當程度的預報準確性，適宜做為港灣區風場之預報模式使用。在波浪模式方面，陳等(2013)運用 WRF 風場驅動 NWW3 模式，執行臺灣周邊海域之波浪進行預報，網格點解析度為 10km。研究結果顯示 NWW3 預報場與衛星觀測波高場之空間分布型態相當符合，且在運用誤差修正系統後，可再降低臺灣海峽波浪預報誤差的 22-25%，反應經誤差修正後可提供適宜的波浪預報資訊。上述結果顯示 WRF 與 NWW3 結合之風-波浪預報系統應具有適宜能力來預報臺灣海域之海氣象環境場。

國際間已普遍運用 WRF 與 NWW3 來協助提供離岸風電場域之海氣象環境資訊，包括風速、風向、波高、波向及週期等，均為掌握未來海面複雜環境動態變化的重要因素(Emmanouil et al., 2020; Seyr et al., 2019)。以歐洲為例，Hasager et al. (2020)將合成孔徑雷達(SAR)及衛星反演(ASCAT)海表風場，整合 WRF 模擬結果以評估歐洲地區的 10 個風場區域，範圍從北歐斯堪地那維亞向南延伸至中南歐，及向東涵蓋地中海至土耳其等國的近岸海域，完成「新歐洲風場堪輿圖」(New European Wind Atlas，簡稱 NEWA)。Hallgren et al. (2020)採用 LiDAR 剖風儀增加風力觀測精度，將其與 4 種數值模式輸出相比較，發現模式均能模擬波羅的海區域風場特性。北歐地區利用逐時 WRF 重分析資料，配合機率模型，模擬丹麥西部海域風力變化(Koivisto et al., 2020)。亞洲地區利用 LiDAR 剖風儀觀測日本千葉縣南邊海域實際風力，發現該地區海風較陸風強，且 WRF 能模擬出相同的風力變化特性(Goit et al. 2020)。在波浪方面，Sheng et al. (2019)運用 ECMWF 風場及 Holland 颱風模型，結合 NWW3 模式模擬颱風侵襲舟山群島所引起的 5 公尺波

高，相較浮球觀測波高，其均方根誤差(RMSE)約為 0.79-1.12 公尺，呈現不錯模擬效果。Merrifield et al. (2019)同樣運用 ECMWF 風場驅動 NWW3 模式，模擬颱風經過帛琉產生湧浪(swell)及風浪(sea wave)，兩者最大的示性波高分布均與颱風路徑相符，且 4 公尺以上波高涵蓋範圍(150-200 公里)亦與颱風的暴風半徑一致。NWW3 也被用於模擬及預報颱風(颶風)造成太平洋及大西洋 4 公尺以上巨浪之分布特性(Sampson et al., 2016)。

近年來，隨著電腦硬體與計算能力的提升，進一步提高預報模式之解析度，故可針對特定港灣區域之風與波浪場進行高解析度網格點的預報，中央氣象局預報係以全臺為範圍，風場模式之解析度於 2018 年底從 5 公里提升到 3 公里網格點，波浪模式則從 10 公里提升到 2.5 公里網格點，然而對單一港灣區範圍而言，更高解析度應能更有助掌握港灣區與鄰近海域之海氣象資訊。陳等(2014)、陳等(2015)顯示提高解析度到 2km 即可適宜掌握臺北港港灣區風場之變化特性，對夏季颱風與冬季東北季風所引發之強風個案，亦具備適宜預報能力。由此可推論，針對臺中港區與鄰近離岸風電海域之海氣象特性，亦可建立該海域之風場與波浪之預報模式，運用 1-2km 之高解析度網格點，對該海域之風、波浪進行數值模擬與預報，因應該區缺乏觀測資料之問題，提供適宜模式海氣象資訊，作為災害性天氣之預警，協助航行安全與工作效率，強化港埠管理效能。

1.2 研究目標與工作內容

本研究目標為建置一套能適切掌握臺中港區與鄰近離岸風電區海域之風、波預報模式，對沒有觀測資料之離岸風電區提供適宜風、波預報資訊，依此分析該海域風、波對船舶航行影響，以提高航行安全與港務管理效益。為達成此目標，規劃執行下列工作事項：

1. 臺中港區風、波、潮、流場特性與關聯性分析

收集臺中港區測站觀測資料，使用較完整觀測資料時間區段進行分析，藉以了解臺中港區海氣象環境風、波、潮、流之變化特性與風-波、風-流之關聯性，臺中港區風、波觀測資料將用於檢驗模式預報結果。

2. 臺中港鄰近海域之風、波數據模擬及特性分析

建置臺中港區鄰近海域之風、波預報模式，提供高解析度之風、波預報資訊。並對預報風、波進行校驗，診斷預報風速與波高對應觀測資料之逐月均方根誤差與相關係數，由風速與波高之預報能力與誤差特性，協助掌握預報資訊之適宜使用方式。

3. 臺中港鄰近海域颱風(強風)期間個案風、波數值模擬及特性分析

數值模式預報主要應用功能為災害預警，因此風、波預報模式對颱風與強風個案所引發大風大浪之預報能力與誤差特性，需要加以分析診斷。

4. 風波對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響分析

在確認數值預報模式對臺中港區海氣象環境具備實際值預報能力之後，經由執行臺中港區預報結果之誤差修正，再將修正後預報資訊，經由臺中港區與離岸風電區之迴歸方程式映射，經由誤差修正來提升離岸風電區海域風、波預報資訊之準確性，藉預報資訊分析離岸風電區海氣象環境變化特性，做為缺乏觀測資料下之替代方案。

藉由預報資訊提供全年逐月風級、波級之分布特性，掌握各月危險海氣象環境所佔比例，提供不同月份各級船舶進出臺中港與鄰近離岸風電區海域之安全影響評估使用，不同噸級船舶由於耐波性不同，可藉此規劃適宜工作時程，助益航行安全。

上述工作進度甘特圖如表 1-1 之所示，本研究所建置之高解析度風、波數值預報模式，在確認其模擬與實質預報能力之後，後續可考慮做為作業化模式執行例行性預報，提供臺中港及鄰近海域預報風波資訊，協助提供缺乏觀測資訊之臺中港鄰近外海區域之海氣象資訊，做為船舶進出離岸風電場域航行安全影響之參考資訊，藉以強化臺中港與離岸風電場域之安全管理效率。

表 1-1 工作進度甘梯圖

工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	備註
臺中港區風、波、潮、流場特性與關聯性分析。											
臺中港鄰近海域之風、波數據模擬及特性分析。											
臺中港鄰近海域颱風(強風)期間個案風、波數值模擬及特性分析。											
風波對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響分析。											
修正與完成結案報告											
工作進度估計百分比(累積數)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
預定查核點	第1季: 完成臺中港海氣象變數變化特性分析										
	第2季: 完成臺中港鄰近海域風波預報與繳交期中報告初稿										
	第3季: 完成颱風與強風個案之風波預報分析										
	第4季: 完成風波變化對船舶航行安全之影響評估、繳交期末報告初稿、完成結案報告。										

第二章 臺中港區風、波、潮、流場特性與關聯性分析

2.1 觀測資料收集

臺中港區建置有完整海氣象觀測系統，如圖 1 所示，觀測位置涵蓋港區四周的堤頭及陸地區域，分述如下。

- 風場觀測:

T2 站: 北堤綠燈塔觀測站(24.2997N, 120.4864E、高度 16.62m)。

T8 站: 北防沙堤觀測站(24.3122N, 120.5269E、高度 5.97m)。

T1 站: 防風林觀測站(24.3052N, 120.5312E、高度 18.54m)。

T5 站: 31 號碼頭觀測站(24.2744N, 120.5163E、高度 9.47m)。

T6 站: 港研中心觀測站(24.2703N, 120.5289E、高度 26.17m)。

- 波與流觀測:

AWAC 站:北防波堤綠燈塔外海約 700-800 公尺(24.30333N, 120.48193E)，使用聲波式波向波高與剖面海流儀(Acoustic Doppler Wave and Current Profile)，以聲波與波壓監測海面波動(許等 2018)。

- 潮位觀測:

Tide 站: 4 號碼頭(24.2878140N, 120.5330660E)。



資料來源: 港灣技術研究中心

圖 2.1 臺中港區觀測站位置圖

為分析臺中港港區之海氣象特性，以及檢驗模式預報結果，因此需收集臺中港區之觀測資料，包括風速、波高、流速、潮位高度等逐時觀測資料，風為 10 分鐘平均風速，流為上層流場最上方 1/3(約從表面到水下 7-8 公尺)之 10 分鐘平均流速，波為 30 分鐘觀測期間，取最大 1/3 波高值平均之示性波高，潮位為整點前 6 分鐘之平均觀測高度，為原始水深資料。本研究所蒐集之 2017-2019 年觀測資料內容而言，其逐月觀測資料筆數，如表 2-1 所示，僅有 2019 年有較完整的整年資料，其餘各年則各有連續數月時間之資料遺失，因此，本研究將以 2019 年為分析對象，進行整年系統性分析。

表 2-1 2017-2019 年觀測資料筆數

年	月	T2 風速	AWAC 波流	潮位
2017	1	743	0	713
2017	2	672	0	651
2017	3	744	0	741
2017	4	720	0	712
2017	5	743	0	744
2017	6	719	0	720
2017	7	744	414	744
2017	8	744	730	744
2017	9	720	542	720
2017	10	744	0	744
2017	11	720	0	709
2017	12	744	58	709
2018	1	744	599	703
2018	2	672	0	638
2018	3	744	0	734
2018	4	720	0	719
2018	5	744	0	744
2018	6	720	61	720
2018	7	744	744	744
2018	8	744	492	744
2018	9	720	588	718
2018	10	744	740	739
2018	11	720	656	711
2018	12	744	731	689
2019	1	744	736	654
2019	2	672	672	646
2019	3	744	737	617
2019	4	720	714	720
2019	5	744	732	744
2019	6	720	612	720
2019	7	744	618	744
2019	8	744	719	540
2019	9	720	716	444
2019	10	744	729	744
2019	11	720	698	720
2019	12	744	715	744

2.2 臺中港觀測海氣象特性分析

臺中港區有數個風速觀測站，他們間之對應關係可協助了解港區風場之分布特性。圖 2.1 所示為 T1、T2、T5、T6、T8 等 5 站於 2019 年每天 08 時之風速時間序列，就整體而言，T2 風速最強，T8 次之，T5 與 T1 再次之，T6 最弱。以全年風速之平均值而言，T2 為 8.33m/s, T8 為 5.96m/s, T5 為 4.82m/s, T1 為 3.98m/s, T6 為 3.35m/s。圖 2.1 顯示這 5 個測站之分布，T2 為最靠近外海，無遮蔽，因此風速最大。其次為 T8 與 T5 靠近港邊，遮蔽較少，還能維持一定風速強度。T1 與 T6 均靠近內陸，T1 在北，為樹林所環繞。T6 在南，且被港區建物所環繞，因此風速最小。上述結果顯示，越靠近港外，遮蔽越少之測站，其風速將明顯大於陸地上、建物環繞之測站風速。

除風速大小之外，尚須評估這 5 個測站風速之最大風速與時間變化特性，於 2019 年，各測站之最大觀測風速分別為 T2 之 27.3m/s，T8 之 21.8m/s，T5 之 19.2m/s，T1 之 15.8m/s，T6 之 11.8m/s。由圖 2.2 時間序列進行兩兩測站間風速之相關係數分析，結果如表 2-2 所示。所有測站間之相關係數約在 0.81-0.95 之間，呈現高度關聯性，反映各測站之觀測結果應有一致性，但其中，T6 測站與其他測站之相關係數為 0.87-0.91 之間，但其餘測站兩兩間之相關係數約為 0.94-0.95，顯示 T6 測站位於港區內測，受到周多建物環繞產生部分干擾結果，使其與其餘較少遮蔽之測站間的風速變化特性，關聯性略為降低。

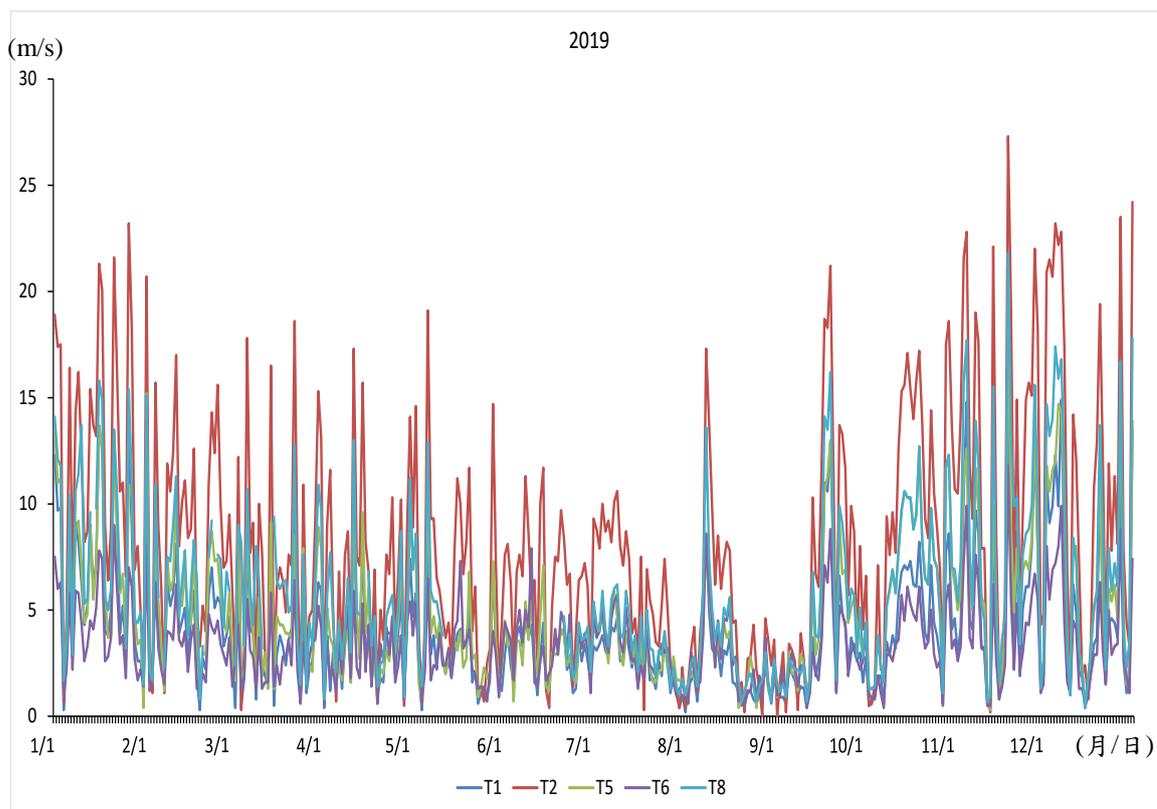


圖 2.2 臺中港區 2019 年逐日風速時間序列

表 2-2 臺中港區各測站之風速相關係數

相關係數	T2	T5	T6	T8
T1	0.95	0.95	0.91	0.94
T2		0.95	0.89	0.94
T5			0.87	0.94
T6				0.89

本研究取 5 個風速測站之逐時資料，以 1-12 月為單位，分析逐月風速強度之分布百分比，依蒲伏風級(Beaufort scale)進行分級，主要特性彙整如下：

- 最強風速之 T2 測站(表 2-3)，7 級以上強風主要分布在 10-1 月，約佔 38-56%，其中 8-9 級強風之百分比，以 11 月之 39% 最高，12 月(31%)與 1 月(30%)其次。西南季風時期之 5-8 月，風級主要在 5 級風及以下。
- T8 風速為第二強(表 2-4)，8-9 級風所占百分比於 11 月-1 月期間降為 1-9%，較強之風級變為 6-7 級風。10 月-1 月之 6 級風及以上風速百分比為 30-48%。5-8 月之風速主要為 3-5 級風之間。

表 2-3 T2 測站逐時風速分布表

2019-T2(%)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
3 級風以下	11	22	34	34	41	32	33	51	38	17	16	20
4 級風	11	13	16	23	20	31	21	22	11	14	8	9
5 級風	15	17	19	21	15	28	31	13	10	15	11	13
6 級風	14	26	16	12	12	8	12	5	14	16	9	16
7 級風	19	18	10	8	8	1	2	7	15	21	17	10
8 級風	24	3	6	1	3	0	1	3	8	15	21	12
9 級風以上	6	1	1	0	0	0	0	0	4	2	18	19
總筆數	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

表 2-4 T8 測站逐時風速分布表

2019-T8(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	24	26	34	57	53	88	73	79	47	32	23	32
4級風	16	28	27	23	20	12	25	11	13	16	14	16
5級風	18	29	27	14	18	0	2	5	14	22	15	15
6級風	28	13	10	6	8	0	0	4	17	24	19	15
7級風	13	3	1	0	1	0	0	1	6	6	20	14
8級風	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	8
9級風以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
總筆數	669	591	672	643	299	210	744	744	720	744	720	744

- T5 測站之風速分布百分比如表 2-5 所示，7 級級以上強風僅出現東北季風時期之 9-2 月，且百分比不高，約為 1-10%，主要較強風級約落在 5-6 級，但西南季風時期之 5-8 月則為 4-5 級風。
- T1 風速分布如表 2-6 所示，進一步減弱之風速，僅 9 月-1 月有 7 級風個案，約佔 0-6%。東北季風時期較強風級為 5-6 級，西南季風時期較強風級為 4-5 級，但全年大多數風速為 3 級及以下。
- T6 風速分布如表 2-7 所示，風速最弱，無 7 級風及以上風速，6 級風個案亦不多，僅 9 月-1 月期有 0-3%。東北季風時期較強風級為 5 級，西南季風時期較強風級為 4 級，但全年大多數風速為 3 級及以下，約佔 53-92%。

上述風速分級之分析，清楚顯示臺中港區觀測風速強度自港區外緣(T2)、港內臨海區域(T8、T5)、港區後方陸地(T1、T6)之方向，逐次減弱之分布特性，且此分布與測站高度無關，因為較強風之 T2(16.62m)、T8(5.97m)、T5(9.47m)之高度均比較弱風速 T1(18.54m)、T6(26.17m)之高度為低，顯示風場觀測高度應不是影響觀測風速強弱之原因。上述分析結果對臺中港區之風場分布提供一個系統性之概念模式。

表 2-5 T5 測站逐時風速分布表

2019-T5(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	31	43	61	74	75	95	91	89	55	32	31	42
4級風	21	29	19	17	15	4	9	7	18	16	17	17
5級風	27	21	16	9	8	1	0	3	17	22	23	18
6級風	17	5	5	0	1	0	0	1	8	24	21	15
7級風	3	1	0	0	0	0	0	0	2	6	7	10
8級風	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9級風以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總筆數	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

表 2-6 T1 測站逐時風速分布表

2019-T1(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	38	55	70	80	84	96	94	90	64	52	42	48
4級風	17	27	17	14	12	3	5	6	12	22	13	16
5級風	21	14	11	5	4	1	1	4	16	20	23	17
6級風	20	3	2	1	1	0	0	1	7	5	16	13
7級風	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	6
8級風	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9級風以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總筆數	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

表 2-7 T6 測站逐時風速分布表

2019-T6(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	56	77	81	87	92	90	86	88	75	69	53	62
4級風	32	19	17	13	7	9	13	10	17	23	28	23
5級風	12	3	1	0	1	0	1	2	7	8	16	13
6級風	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2
7級風	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8級風	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9級風以上	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
總筆數	744	672	741	720	744	720	744	744	720	744	720	744

除了風速之外，本研究也分析風向之季節變化特性，風向採 16 方位分類，每方位 22.5 度，正北方向為 360 度或 0 度，北風方位之角度範圍為 348.75 度到 11.25 度，其餘方位依此類推。

T2 測站之逐月風向分布百分比如表 2-8 所示，1-3 月以東北風、北北東風為主。4-5 月在東北風、北北東風之外，西南風、南南西風開始明顯。6-8 月則轉以南風、南南西風、西南風為主。9-12 月又轉成東北風、北北東風為主。上述季節變化呈現 9 月到隔年 3 月為東北季風季節，6-8 月為西南季風季節，4-5 月則為中間過渡時期。

表 2-8 T2 測站逐時風向分布表

風向(T2)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
N	8	9	9	9	4	2	4	6	5	3	2	6
NNE	78	49	33	28	26	6	7	13	46	57	75	67
NE	8	29	28	14	25	8	3	8	21	25	16	17
ENE	1	3	4	3	2	2	1	3	2	2	1	1
E	0	0	3	1	1	1	1	1	1	0	1	1
ESE	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1
SE	0	1	1	1	0	1	1	2	1	0	1	1
SSE	1	1	1	1	1	6	3	8	3	1	1	0
S	0	1	2	8	7	18	17	16	4	2	0	1
SSW	0	1	6	16	10	31	37	22	5	3	1	1
SW	0	0	5	12	10	19	15	6	2	2	0	1
WSW	0	1	1	2	2	3	3	3	1	1	1	1
W	0	0	0	1	1	1	2	2	1	0	0	0
WNW	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
NW	1	1	1	1	4	1	2	4	3	1	1	1
NNW	2	2	4	2	4	1	2	4	4	3	1	2
總筆數	744	672	744	720	744	720	744	744	720	743	720	744

T8 測站之逐月風向分布百分比如表 2-9 所示，1-5 月以北北東風、東北風為主，但 4 月出現部分南風、西南西風。6-8 月則轉以南風、南南西風、南南東風為主。9-12 月又轉成北北東風、東北風為主。季節變化分別為 9 月到隔年 3 月之東北季風，6-8 月之西南季風，與 4-5 月之過渡時期。

表 2-9 T8 測站逐時風向分布表

風向(T8)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
N	6	5	6	10	2	2	4	6	5	3	2	6
NNE	45	23	13	17	16	0	6	12	27	31	31	27
NE	37	38	30	18	38	2	3	5	32	43	49	47
ENE	7	17	9	7	15	2	1	3	8	8	8	7
E	1	4	2	3	1	1	2	3	2	1	3	3
ESE	1	3	4	1	2	3	3	3	2	1	1	2
SE	0	3	10	1	1	4	3	4	3	1	1	2
SSE	1	1	3	3	3	10	4	10	4	1	0	0
S	1	1	4	11	4	25	30	20	4	3	0	0
SSW	0	1	6	7	2	21	17	9	2	1	0	0
SW	0	1	5	5	2	6	5	4	1	1	0	0
WSW	0	0	3	10	4	12	10	3	1	1	0	1
W	0	1	1	2	2	9	5	4	1	1	1	0
WNW	0	1	0	2	3	1	3	3	2	1	1	0
NW	1	0	1	2	3	0	3	3	3	1	1	1
NNW	1	1	2	2	2	0	2	6	4	3	1	2
總筆數	669	591	672	643	299	210	744	744	720	744	720	744

T5 測站之逐月風向分布百分比如表 2-10 所示，其分布特性與 T2 相近，9 月到隔年 3 月為東北季風季節，主要風向為北北東風、東北風，6-8 月為西南季風季節，主要風向為南風、南南西風、西南風，4-5 月為東北季風與西南季風之過渡時期。

表 2-10 T5 測站逐時風向分布表

風向(T5)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
N	1	3	5	2	4	1	3	5	6	3	2	3
NNE	38	24	19	21	14	5	8	15	20	23	19	21
NE	56	57	42	27	36	9	5	7	48	60	69	64
ENE	1	7	8	6	4	2	1	3	4	2	3	4
E	0	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
ESE	0	1	2	1	1	2	0	1	0	0	0	1
SE	0	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2
SSE	1	1	2	2	1	3	3	3	2	0	1	1
S	1	1	2	6	6	17	13	15	5	2	0	2
SSW	0	1	4	13	10	29	36	23	5	2	1	0
SW	0	1	4	9	7	17	17	9	1	3	0	0
WSW	0	0	3	7	5	9	6	3	1	0	0	0
W	0	0	2	2	2	1	2	2	1	1	0	0
WNW	0	1	1	1	2	1	3	3	1	0	1	0
NW	0	0	0	1	2	0	1	3	1	1	0	0
NNW	0	1	1	1	2	0	0	3	2	1	0	1
總筆數	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

T1 測站之逐月風向分布百分比如表 2-11 所示，其分布特性與 T2、T5 相近，9 月到隔年 3 月為東北季風季節，主要風向為北北東風、東北風，6-8 月為西南季風季節，主要風向為南南東風、南風、南南西風、西南風，4-5 月為東北季風與西南季風之過渡時期。

表 2-11 T1 測站逐時風向分布表

風向(T1)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
N	12	8	9	9	6	2	5	8	6	5	3	6
NNE	74	53	40	28	29	8	6	12	46	63	72	69
NE	8	25	18	13	17	5	2	4	18	16	14	11
ENE	1	2	5	3	3	2	1	3	3	2	2	3
E	0	1	2	2	1	2	1	3	1	0	1	1
ESE	0	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1
SE	0	1	2	2	2	3	3	6	3	0	2	2
SSE	1	1	2	4	5	12	8	13	4	1	0	1
S	0	1	4	13	10	31	38	20	4	2	0	1
SSW	0	1	3	9	5	13	12	9	1	1	0	1
SW	0	0	4	9	6	14	11	5	1	2	0	0
WSW	0	1	1	2	2	3	2	2	1	1	0	0
W	1	0	1	2	3	2	4	3	1	0	0	0
WNW	1	1	1	1	4	0	1	3	2	1	1	1
NW	1	1	2	1	2	1	2	2	3	2	1	1
NNW	1	3	3	3	3	2	1	5	3	2	1	2
總筆數	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744

T6 測站之逐月風向分布百分比如表 2-12 所示，其分布特性與 T2、T5、T1 相近，東北季風季節涵蓋 9 月到隔年 3 月，以北北東風、東北風為主，4-5 月為過渡時期，北北東風、東北風、南風均有相當頻率之出現。6-8 月為西南季風季節，以南風、南南東風為主。

表 2-12 T6 測站逐時風向分布表

風向(T6)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
N	8	8	6	9	5	1	4	5	5	5	3	5
NNE	37	23	15	12	11	4	4	6	21	24	25	25
NE	45	43	36	22	30	7	4	11	40	48	56	53
ENE	3	11	11	10	9	3	3	4	8	7	5	6
E	0	2	2	1	1	2	1	1	1	0	2	1
ESE	1	1	2	1	1	2	1	2	1	0	1	1
SE	0	1	3	1	2	3	2	4	2	1	1	1
SSE	1	1	3	5	6	17	13	19	6	2	1	1
S	1	1	6	16	13	35	38	20	6	3	1	1
SSW	0	1	3	4	3	7	8	7	1	1	0	0
SW	0	0	1	6	4	6	4	2	1	1	0	0
WSW	0	0	3	6	3	10	8	3	0	1	0	0
W	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
WNW	1	2	4	3	4	2	2	4	3	1	2	2
NW	1	3	2	2	7	2	5	8	7	4	2	1
NNW	1	1	3	2	1	0	2	3	1	1	1	1
總筆數	744	672	741	720	744	720	744	744	720	744	720	744

臺中港區風速呈現從堤頭開闊處(T2)最強風速，往建物密集陸地區(T6)減弱之分布特性。這些測站間風速大小分布之關聯性與風速減弱之幅度，均值得進一步探討，其分析結果當有助更佳掌握臺中港區風速之空間分布特性。本研究以 T2 逐時風速為基準，依 1-12 月逐月分別擷取 7 級風、8 級風、9 級風(含)以上之風速資料，計算各風級之風速平均值。之後再針對其餘 4 測站，分別取各站對應 T2 各級風發生時間之風速，計算其平均值，再計算各測站平均風速對比 T2 平均風速之比例，以便呈現各測站在強風發生狀況下，彼此風速之變化情形以及變化幅度，上述所有結果均呈現於表 2-13。

表 2-13 顯示，在所有月份之較強風速時期，均是 T2 風速最強，T8 其次，T5 與 T1 又其次，T6 最弱。T2 風速可分為兩階段，9 月-3 月包含 7-9 級風，4 月-8 月則僅有 7-8 級風。T8 風速於 9 月-3 月約為 T2 風速之 0.68-0.75 間，4 月-8 月則變小為 0.50-0.72 間。T5 風速於 9 月-3 月約為 T2 風速之 0.57-0.72 間，4 月-8 月則變小為 0.39-0.57 間。T1 風速於 9 月-3 月約為 T2 風速之 0.50-0.62 間，4 月-8 月則變小為 0.41-0.60 間。T6 風速於 9 月-3 月約為 T2 風速之 0.35-0.42 間，4 月-8 月則變小為 0.34-0.49 間。各測站風速對應 T2 的 7-9 級風速之變化幅度，全年平均值分別為 T8 之 0.70、T5 之 0.58、T1 之 0.53、T6 之 0.38。換言之，當 T2 發生 7-9 級風時，概略會依 70%、60%、50%、40%之比例往 T8、T5、T1、T6 站依序遞減。

表 2-13 各測站對應 T2 測站之平均風速與比例

2019 月份	風級	T2		T8		T5		T1		T6	
		平均值	平均值	T8/T2	平均值	T5/T2	平均值	T1/T2	平均值	T6/T2	
1	7 級	15.6	10.7	0.69	8.8	0.57	8.7	0.56	5.8	0.37	
	8 級	18.7	13.3	0.71	11.2	0.60	11.4	0.61	7.2	0.39	
	9 級以上	22.1	15.8	0.72	13.4	0.61	13.7	0.62	9.0	0.41	
2	7 級	15.1	10.9	0.72	9.3	0.61	8.3	0.55	6.1	0.40	
	8 級	18.4	13.8	0.75	12.3	0.67	11.0	0.60	7.8	0.42	
	9 級以上	21.2	15.2	0.72	12.7	0.60	11.8	0.55	8.3	0.39	
3	7 級	15.4	10.8	0.70	9.2	0.59	8.0	0.52	5.7	0.37	
	8 級	18.3	12.4	0.68	10.8	0.59	9.6	0.52	6.7	0.37	
	9 級以上	21.3	15.2	0.71	12.0	0.57	11.0	0.52	7.4	0.35	
4	7 級	15.3	11.0	0.72	8.8	0.57	8.0	0.52	5.7	0.37	
	8 級	18.1	12.1	0.67	9.9	0.55	9.2	0.51	6.2	0.34	
5	7 級	15.2	10.3	0.68	8.3	0.54	7.1	0.47	5.2	0.34	
	8 級	18.6	12.8	0.69	10.4	0.56	9.4	0.50	6.5	0.35	
6	7 級	14.4			8.1	0.56	8.6	0.60	6.3	0.43	
7	7 級	14.8	7.4	0.50	5.8	0.39	6.0	0.41	7.2	0.49	
	8 級	18.3	12.1	0.66	8.0	0.44	8.6	0.47	6.8	0.37	
8	7 級	15.4	10.1	0.66	7.3	0.47	7.4	0.48	6.7	0.43	
	8 級	18.7	12.0	0.64	8.6	0.46	8.7	0.47	7.5	0.40	
9	7 級	15.4	11.5	0.75	9.0	0.58	8.6	0.56	6.1	0.40	
	8 級	18.7	13.5	0.72	10.8	0.58	10.3	0.55	7.2	0.38	
	9 級以上	22.5	16.8	0.75	13.8	0.61	13.2	0.59	9.1	0.40	
10	7 級	15.6	11.2	0.72	11.2	0.72	7.9	0.51	6.0	0.38	
	8 級	18.3	13.0	0.71	13.0	0.71	9.4	0.51	6.9	0.37	
	9 級以上	21.9	15.1	0.69	15.1	0.69	11.3	0.52	8.1	0.37	
11	7 級	15.4	10.9	0.71	8.8	0.57	7.7	0.50	5.8	0.37	
	8 級	19.2	14.3	0.74	11.1	0.58	10.0	0.52	7.1	0.37	
	9 級以上	22.9	17.4	0.76	13.6	0.59	12.7	0.56	8.7	0.38	
12	7 級	15.4	11.2	0.73	8.7	0.57	8.0	0.52	5.6	0.37	
	8 級	18.8	13.3	0.71	10.8	0.57	9.5	0.50	6.5	0.35	
	9 級以上	23.4	17.1	0.73	13.7	0.58	12.9	0.55	8.7	0.37	
總平均			0.70		0.58		0.53		0.38		

為配合航行安全之需求，需要了解臺中港逐月之風速時變化特性，本研究依此分析 T2 風速於 2019 年 1-12 月逐月平均之時變化情形，如圖 2.3 所示，從此圖中可清楚看出風速自 1 月到 3 月依次遞減，4 月到 6 月風速均相當，風速自 7 月到 8 月減弱，但到 9 月就明顯增強，10 月又增強，11 月達最大值，12 月較為減弱。達到 7 級風(13.9m/s，以紅線顯示)以上之時段分別為 1 月之 13-19 時段，10 月之 15-17 時段，11 月之 11-21 時段，12 月之 15-20 時段。這些分析指出在東北季風最強之 10 月-1 月期間，臺中港容易在午後持續產生 7 級以上強風個案，使臺中港產生危險等級之環境變化，可提供為航行安全與施工考量之參考資訊。

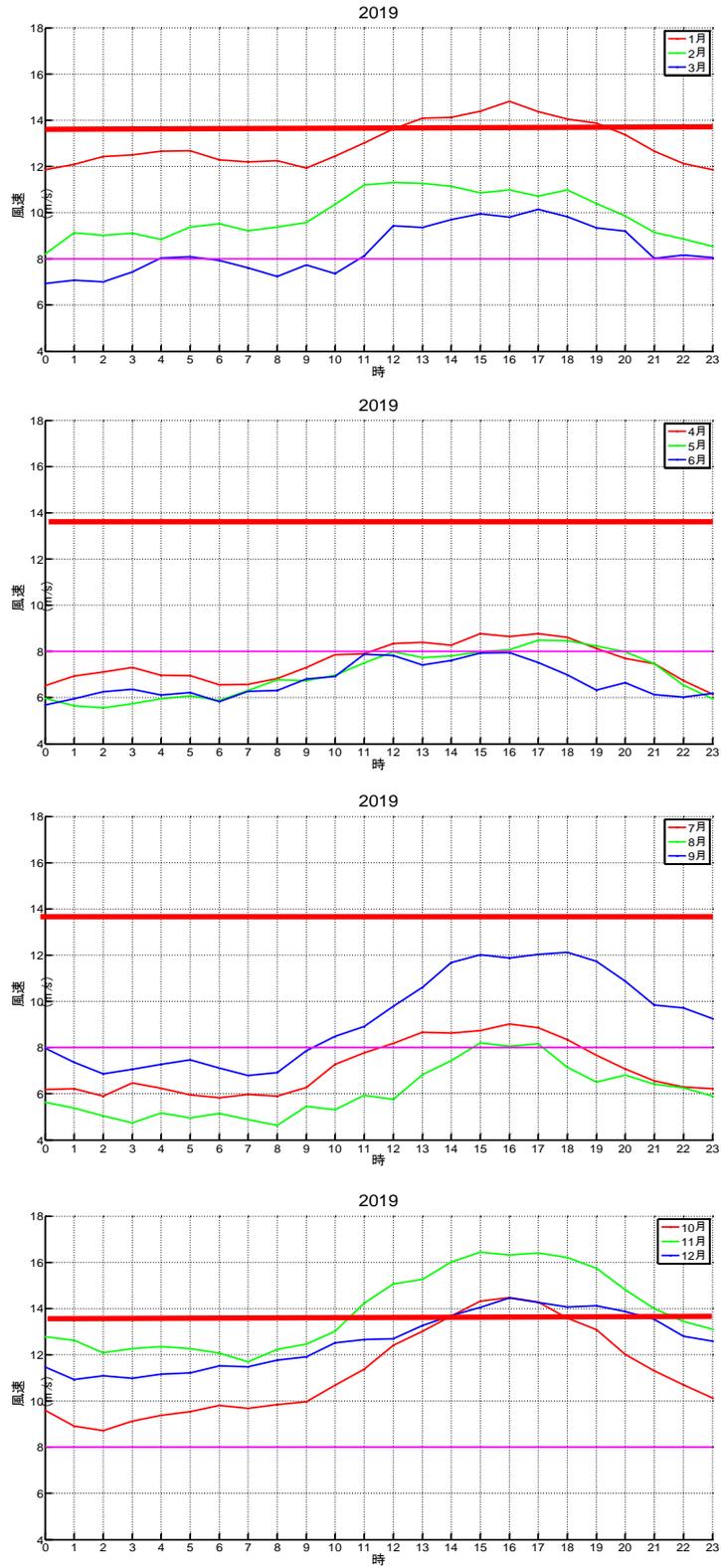


圖 2.3 T2 風速逐月平均之時變化

臺中港之海象特性，以 AWAC 測站觀測之逐時波高、流速與 TIDE 測站觀測之逐時潮位高度進行分析，依 2019 年 1-12 月分析逐月波高、流速、潮位高度之分布百分比，主要特性彙整如下：

- 波高依蒲伏量表來分級，如表 2-14 所示，全年最大值为 4.34m，東北季風(9-4 月)普遍出現 5 級及以上波高，其中以 11 月-1 月為最強，約佔 43-60%，其中 6 級及以上之波高百分比為 11-20%，對應 T2 風速之最大強度時段。其餘 9 月-10 月與 2 月-4 月較大波高以 5 級為主。西南季風季節(5 月-8 月)之波高明顯減弱，5 月與 8 月為 5 級以下，6 月與 7 月為 4 級以下。

表 2-14 AWAC 測站逐時波高分布表

2019-波高 (m)(%)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
3 級以下	7	18	26	55	51	85	86	66	28	18	9	14
4 級	44	44	53	30	36	15	12	24	49	46	31	44
5 級	37	36	21	15	11	0	2	9	19	34	40	27
6 級以上	11	2	1	0	2	0	0	1	5	2	20	16
總筆數	736	672	737	715	733	612	617	719	717	729	698	715

- 流速以節數來分級(表 2-15)，全年最大值为 1.68m/s，較強流速達 3 節以上，發生於 6-8 月與 11-12 月。整體而言，2 節以上流速分布百分比以西南季風時期 6 月-7 月之 58-60%，高於東北季風時期 11 月-12 月之 43-44%，呈現夏季流速高於冬季流速之特性。進一步分析顯示，夏季較高流速之發生均可對應到綜觀天氣現象之發生，以 58 天較高流速個案而言，主要對應之天氣現象為西南風增強或西南氣流個案(18 天)，其次為午後雷陣雨(17 天)及西南風伴隨低壓帶(12 天)。

表 2-15 AWAC 測站逐時流速分布表

2019-流速 (m/s)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1節(0-0.5m)	77	94	82	70	71	42	40	60	78	76	57	66
2節(0.5-1m)	23	6	16	25	26	49	50	34	22	24	37	25
3節(1-1.5m)	0	0	2	5	3	8	10	7	0	0	6	9
3節以上 (1.5m)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
總筆數	736	672	737	714	732	612	618	719	716	729	698	715

- 潮位高度以公尺為分級標準(表 2-16)，全年最大值為 5.87m，最高潮位(5m 以上)與最低潮位(0m 以下)分布百分比呈現季節差異。3月-7月最低潮位為 0%，最高潮位為 1-10%，8月-9月最高潮位(5-8%)與最低潮位(27-38%)均有一定比例，11月-2月最高潮位接近 0，最低潮位有 2-5%。上述結果顯示 3月-7月傾向往較高潮位發展，11月-2月則往較低潮位發展，8月-9月則往最高與最低潮位發展，反應較大潮差之變化趨勢。

表 2-16 TIDE 測站逐時潮位分布表

潮位(m)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0 以下	4	2	0	0	0	0	0	27	38	0	2	5
0~1	21	19	16	13	10	6	6	5	8	15	17	19
1~2	19	20	23	22	24	25	23	18	14	22	21	21
2~3	17	16	18	18	18	18	17	12	10	18	17	17
3~4	24	22	24	21	19	18	18	12	10	18	22	22
4~5	15	19	19	24	26	29	26	18	14	23	20	16
5 以上	0	1	1	2	4	4	10	8	5	4	0	0
總筆數	654	646	617	720	744	720	744	540	444	744	720	744

為進一步了解臺中港海象變化特性，將分析港區逐日潮差之變化

特性，本研究選取當日 24 小時均有潮位資料之日期進行潮差分析，計算當日最高潮位與最低潮位之差值做為分析值，若當日潮位資料有 1 小時以上之缺漏，則不計算。依此篩選而得之潮差時間序列如圖 2.4 所示。有完整資料之月份計有 4-7 月與 10-12 月。在這些月分中，潮差呈現清楚之天文潮特性，一個月內有 2 個週期，其中一個週期之潮差大於另一個週期。潮差較大之值可達 5 公尺以上，較小之值可低於 3 公尺以下。

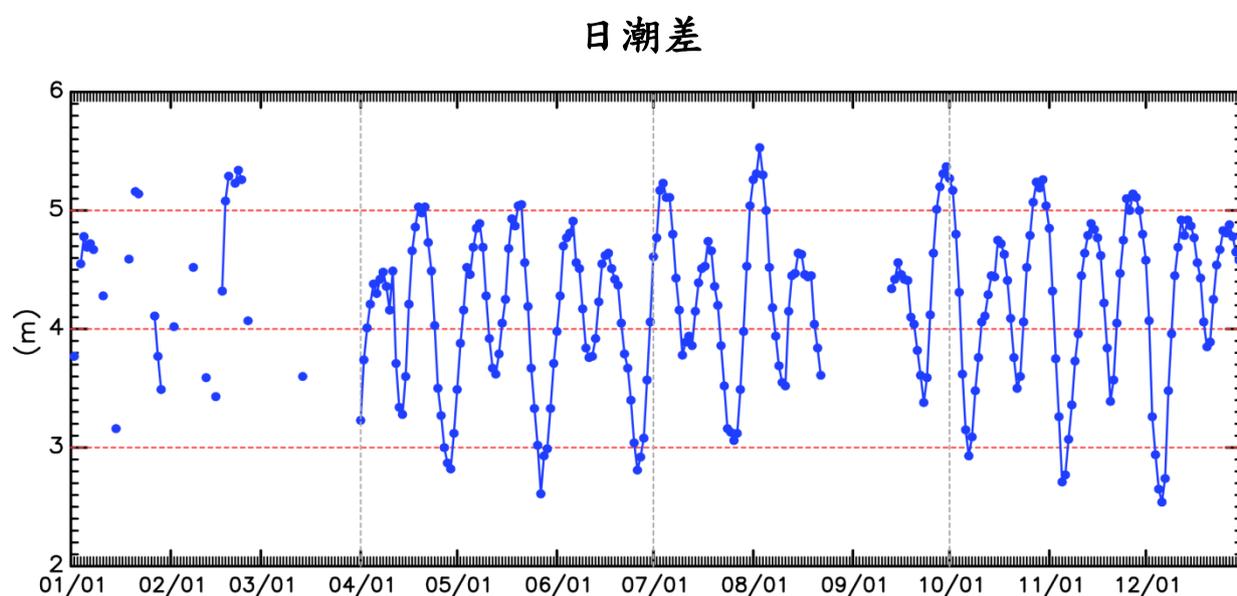


圖 2.4 TIDE 測站日潮差時間序列

本研究選取有完整日潮差之月分(4-7月、10-12月)，分別計算潮差大小之分布百分比，如表 2-17 所示。各月之主要潮差大小落在 3-4 公尺與 4-5 公尺之間，較大潮差值出現在 5-6 公尺，較小潮差值出現在 2-3 公尺。4-5 月之 5-6 公尺與 2-3 公尺潮差值均有相當比例，且兩者相當。6 月與 12 月則有相當比例之 2-3 公尺潮差值，但無 5-6 公尺潮差值，反映潮差偏小之變化特性。7 月、10 月、11 月則有較高比例之 5-6 公尺潮差值，且比 2-3 公尺潮差值之比例明顯為高，反映潮差偏大之變化特性。

表 2-17 TIDE 測站逐日潮差分布表

潮差(m)(%)	4 月	5 月	6 月	7 月	10 月	11 月	12 月
2-3m	7	10	7	0	3	7	13
3-4m	33	35	37	39	26	30	16
4-5m	53	48	57	45	48	47	71
5-6m	7	6	0	16	23	17	0
總筆數	30 天	31 天	30 天	31 天	31 天	30 天	31 天

在海象資料之中、潮與流均具有週期變化特性，本研究選區具有完整逐時潮位資料之 2019 年 5-7 月、10-12 月，逐月對潮位資料進行頻譜分析(power spectral analysis)，本方法係將整月之逐時資料進行傅立葉分析，再計算不同週期傅立葉分量之強度，將強度與週期標示於圖中。若以總共 N 小時之資料匯入傅立葉分析之中，第 m 個分量之週期為 N/m 小時。在獲得各週期分量之強度後，再計算顯著程度達 90% 之檢定值(圖中之虛線)，分量強度高於檢定線者可視為主要週期分量。圖 2.5 分析結果顯示，各月中均以 12.4 小時週期之分量最強，且明顯高於 90% 檢定線，反應半日潮為臺中港區之主要潮位變化分量。分析亦顯示第二大分量為 24 小時附近週期之全日潮，但其強度並未高於顯著程度檢定線。

2019 年各月 AWAC 逐時流速之頻譜分析如圖 2.6 與圖 2.7 所示，各月流場之缺漏資料大多為零星分布，以線性內插方式補遺。在圖 2.6 與圖 2.7 中，各月流速具 90% 統計顯著程度之主要週期分量分為兩部分：數日長週期與單日短週期，單日短週期方面主要為 24 小時(全日)、12.4 小時(半日)，半日週期通常具有顯著程度，且強過全日週期，全日週期則未必具有顯著程度，單日短週期反映受到潮汐影響之潮流特性。在數日長週期方面，各月之主要顯著週期分量有所不同，彙整如下：

- 1 月為 124 小時(約 5 天)，
- 2 月為 134.4 小時(約 5.6 天)、75 小時(約 3 天)，
- 3 月為 186 小時(約 7.8 天)、62 小時(約 2.6 天)，
- 4 月為 360 小時(約 15 天)，
- 5 月為 372 小時(約 15.5 天)，
- 6 月為 360 小時(約 15 天)，

- 7 月為 372 小時(約 15.5 天)，
- 8 月為 744 小時(約 31 天)、372 小時(約 15.5 天)，
- 9 月為 360 小時(約 15 天)，
- 10 月為 744 小時(約 31 天)、372 小時(約 15.5 天)、124 小時(約 5 天)，
- 11 月為 120 小時(約 5 天)，724 小時(約 3 天)
- 12 月為 372 小時(約 15.5 天)。

顯著長週期分量主要為 1 個月(31 天)、半個月(約 15 天)，反映天文潮之影響，其餘分量之週期為 5 天、3 天左右。

上述分析顯示潮位最強頻譜為半日潮，流場雖也有半日潮、全日潮，但最強頻譜多發生在 15 天、30 天週期，與天文潮頻譜相近，顯示臺中港潮位與流場受到潮汐影響之特性有所不同，潮位主要反映地球自轉之半日潮特性，流場則主要反映月球公轉所引發之天文潮影響。

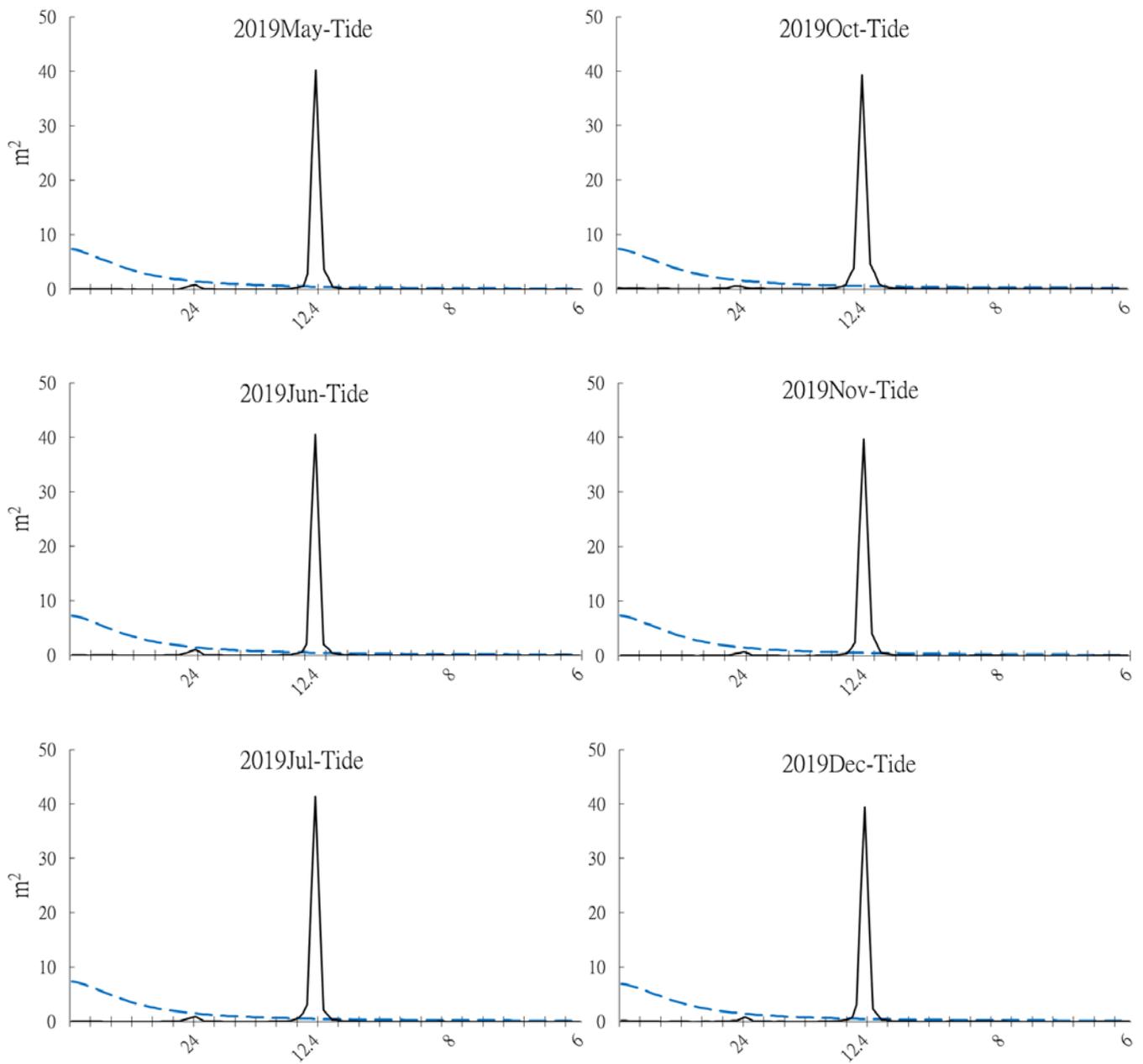


圖 2.5 TIDE 測站潮位之頻譜分析

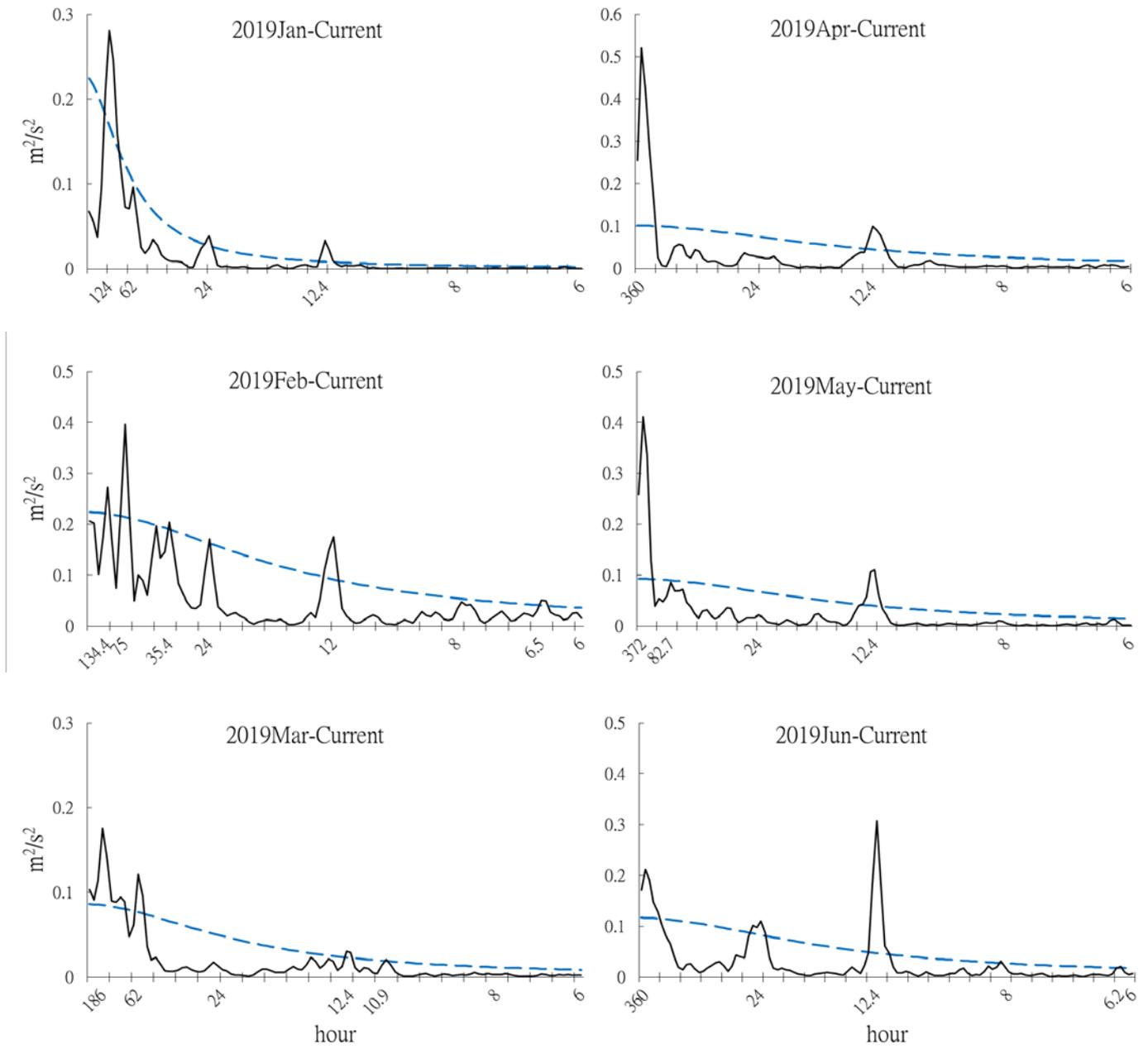


圖 2.6 1-6 月 AWAC 測站流速之頻譜分析

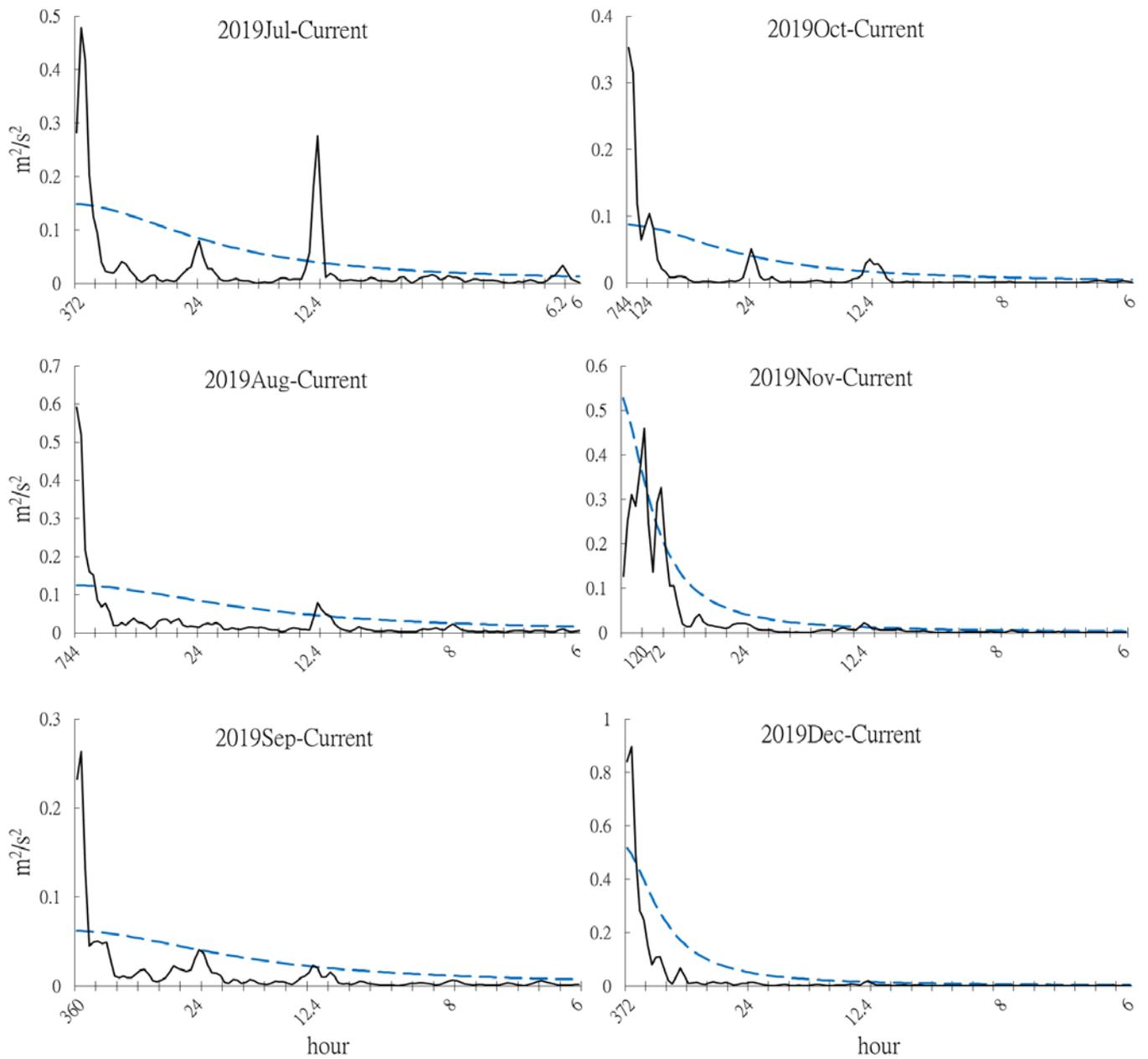


圖 2.77-12 月 AWAC 測站流速之頻譜分析

2.3 海氣象變數之關聯性分析

圖 2.1 顯示觀測風速之 T2 測站與觀測波高、流速之 AWAC 測站互為相鄰，其觀測資料可視為接近同地之同步觀測，因此可運用來分析臺中港區海象與氣象變數之關聯性。本節之關聯性分析，僅單就資料數據進行統計分析，其目的為運用簡單、易操作之統計方程式作為後續誤差修正之工具，且統計關聯性之分析結果，可提供科學化數據供比較關聯性隨季節之變化特性。在此目的之下，關聯性分析因此未針對各種風-波、風-流變化之動力機制進行細節探討。本研究以月分為單位，以逐時資料分別計算 T2 風速與 AWAC 波高、流速之散佈關係，其對應之迴歸分析方程式與相關係數共分為 3 類執行：5 級風以下個案($<8\text{m/s}$)、5 級風(含)以上個案($\geq 8\text{m/s}$)、全部個案。5 級風以下個案之迴歸方程式與相關係數顯示於圖左上角，迴歸線以細紅線顯示。5 級風(含)以上個案之迴歸方程式與相關係數顯示於圖右下角，迴歸線以細紅線顯示。全部個案之迴歸方程式與相關係數顯示於圖右上角，迴歸線以粗黑線顯示。

圖 2.8 顯示 1 月與 2 月之海氣象資料關聯性分析結果，就風速-波高關聯性而言，全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 1 月之 0.84、0.24、0.84 與 2 月之 0.73、0.47、0.71。風速-流速於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 1 月之 0.76、0.10、0.80 與 2 月之 0.39、0.06、0.52。顯示風速-波高於 1 月與 2 月均有高度對應關係，且此關聯性主要源自於較大風速與波高。風速-流速之關聯性均比風速-波高為低，於 1 月仍有高度對應關係，但 2 月之關聯性就明顯降低，5 級風以上之關聯性仍比 5 級風以下之關聯性為強。

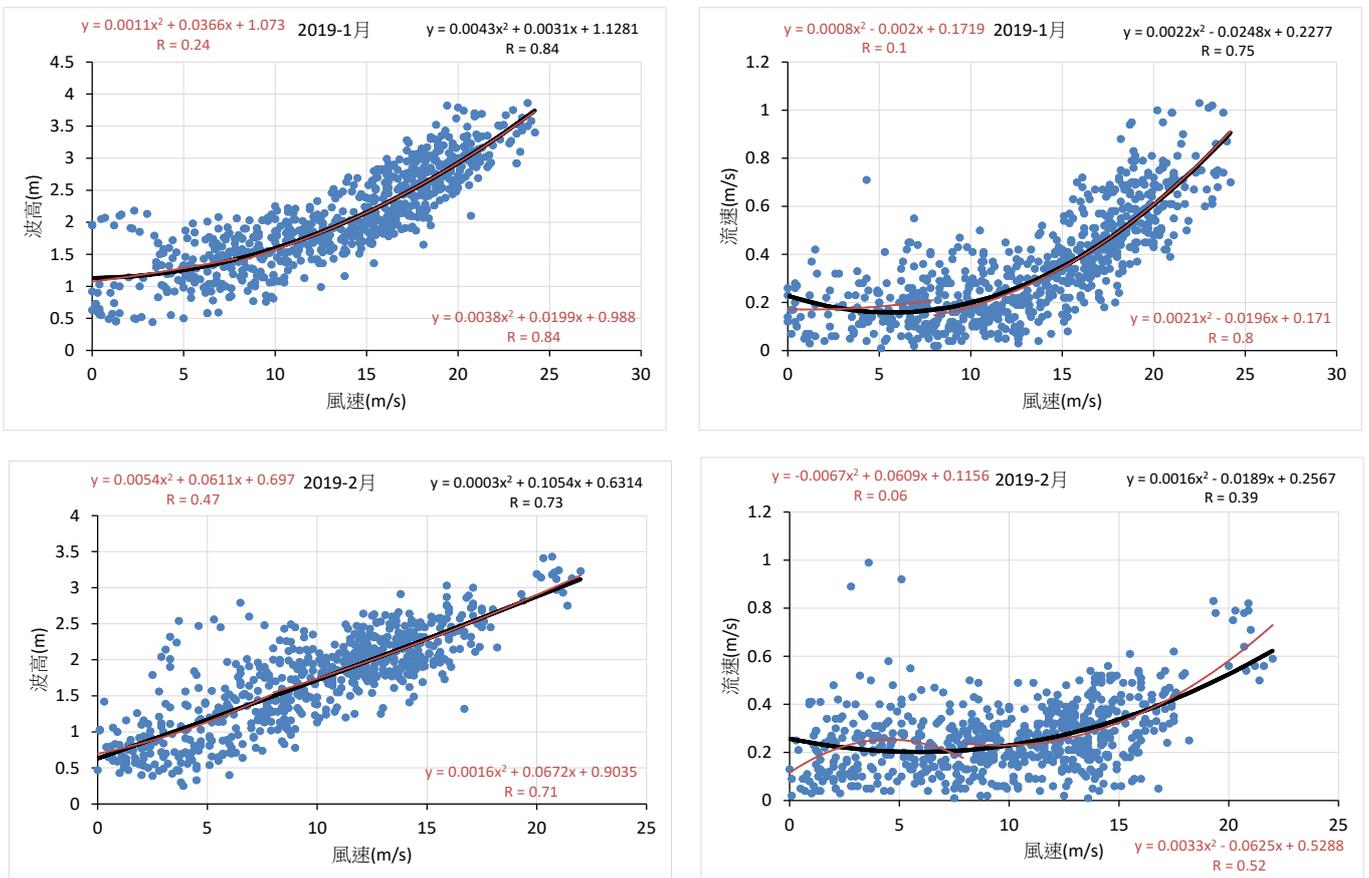


圖 2.8 風速與波高、流速之 1-2 月關聯性分析

圖 2.9 顯示 3 月與 4 月之海氣象資料關聯性分析結果，風速-波高於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 3 月之 0.68、0.02、0.78 與 4 月之 0.68、0.12、0.70。風速-流速於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 3 月之 0.25、0.28、0.27 與 4 月之 -0.04、0.18、0.05。風速-波高於 3 月與 4 月仍有高度對應關係，且此關聯性主要源自於較大之風與波高。反之，風速-流速於 3 月與 4 月之關聯性均相當低，並無清楚之線性對應關係，4 月全部資料之迴歸線甚至產生較大風速對應較小流速之情形。

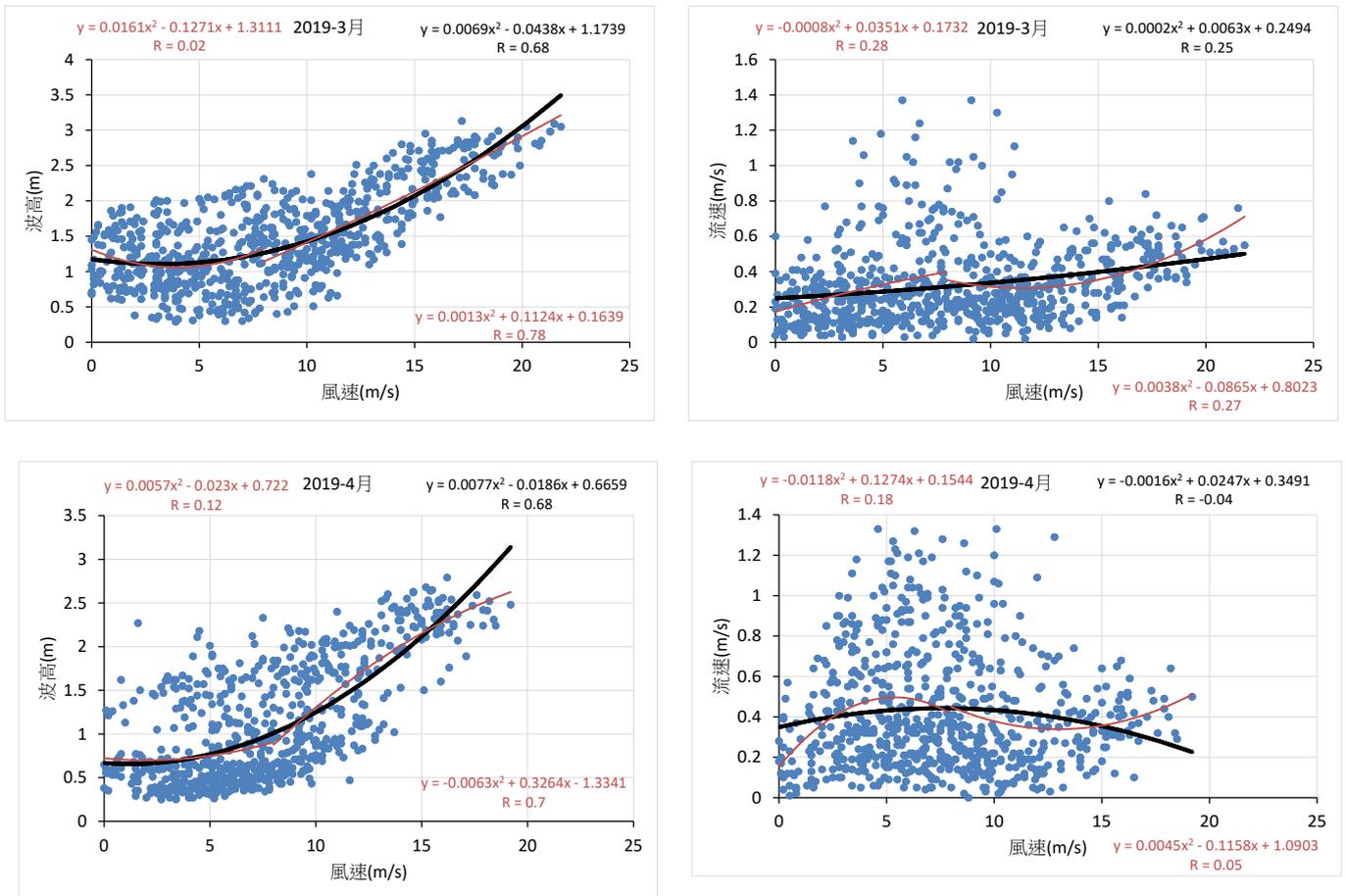


圖 2.9 風速與波高、流速之 3-4 月關聯性分析

圖 2.10 顯示風速-波高於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 5 月之 0.76、0.24、0.74 與 6 月之 0.21、-0.20、0.62。風速-流速於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 5 月之 0.27、0.37、0.16 與 6 月之 0.33、0.44、-0.16。風速-波高於 5 月仍有高度對應關係。6 月時全部資料對應關係明顯降低，但 5 級風以上之關聯性仍不差(相關係數 0.62)。風速-流速於 5 月與 6 月之關聯性於所有 3 種分類均低，並無清楚之線性對應關係，且全部資料之迴歸線也呈現較大風速對應較小流速之情形。

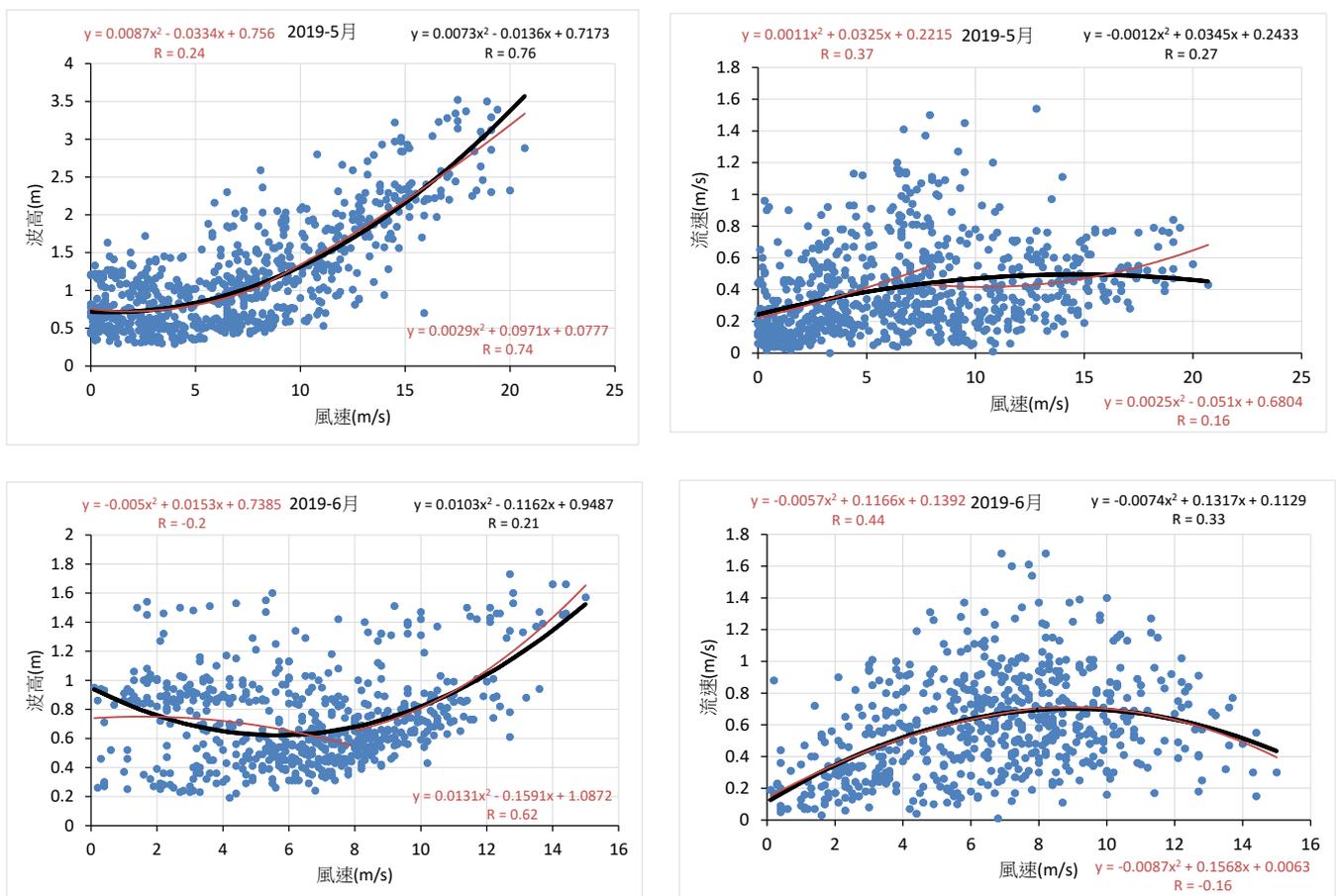


圖 2.10 風速與波高、流速之 5-6 月關聯性分析

於 7 月-8 月西南季風時期，圖 2.11 顯示風速-波高於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 7 月之 0.58、0.22、0.54 與 8 月之 0.55、0.05、0.67。風速-流速於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 7 月之 0.45、0.43、0.05 與 8 月之 0.39、0.45、-0.04。風速-波高於 7 月與 8 月之全部資料關聯性高於 6 月，相關係數約在 0.55-0.58 之間，但仍比東北季風時期 1 月到 4 月之 0.68-0.84 為低。7 月與 8 月之關聯性主要來自較大之風速與波高。風速-流速於 7 月與 8 月之關聯性於所有 3 種分類均不高，都在 0.5 以下，並無清楚之線性對應關係，且全部資料之迴歸線也呈現較大風速對應較小流速之向下彎曲情形。

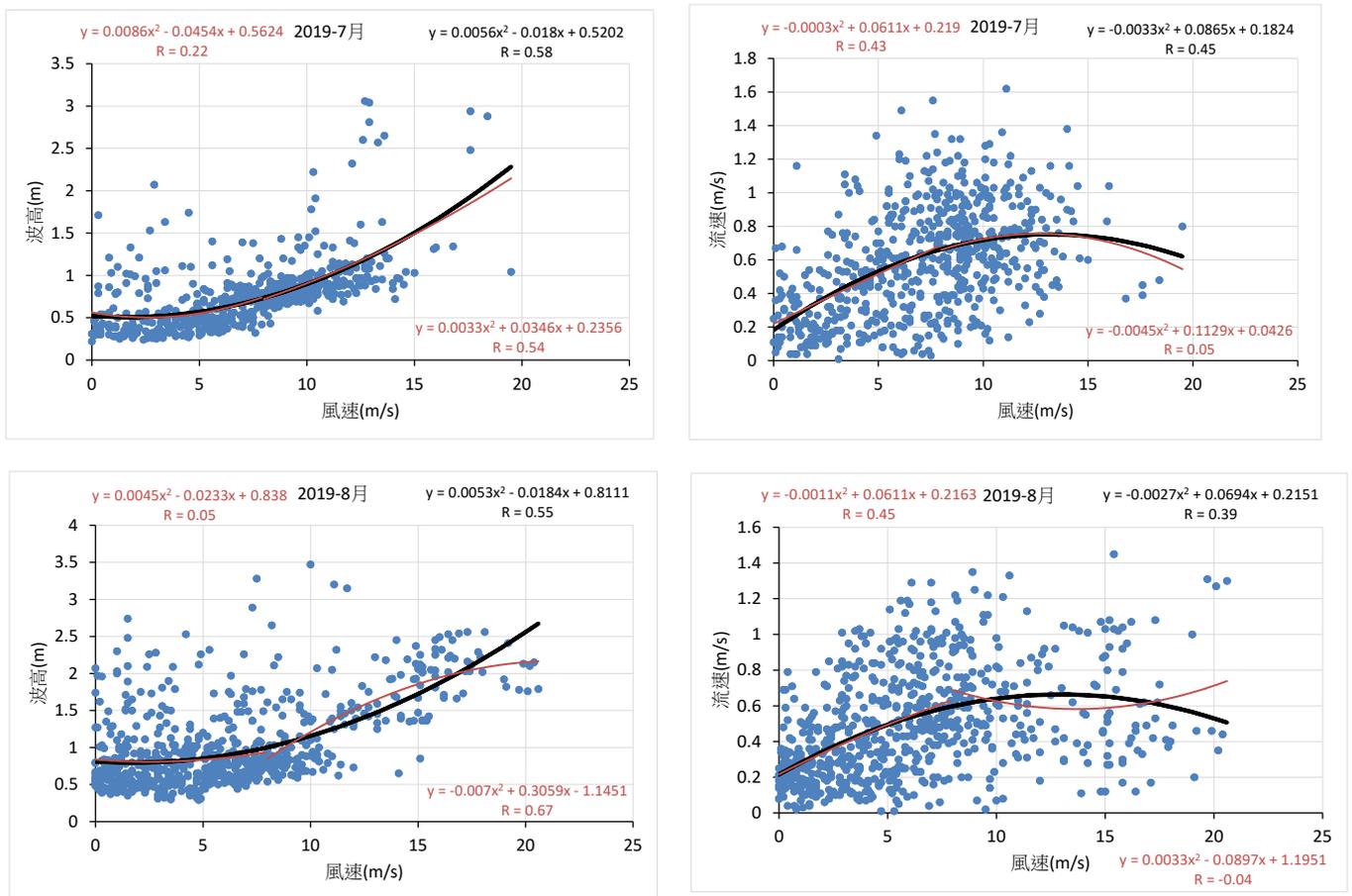


圖 2.11 風速與波高、流速之 7-8 月關聯性分析

9月到10月又轉為東北季風時期，風速與波高、流速均呈類似線性遞增之對應關係，圖 2.12 顯示風速-波高於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 9 月之 0.88、0.34、0.83 與 10 月之 0.82、0.39、0.78。風速-流速於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 9 月之 0.47、0.21、0.60 與 10 月之 0.60、0.34、0.63。風速-波高於 9 月與 10 月均有明顯關聯性，且以 5 級風以上之關聯性高於 5 級風以下。風速-流速於 9 月與 10 月之關聯性比夏季提高，主要關聯性源自於 5 級風以上之風速與流速，全部資料之迴歸線也呈現較大風速對應較大流速之向上彎曲情形。

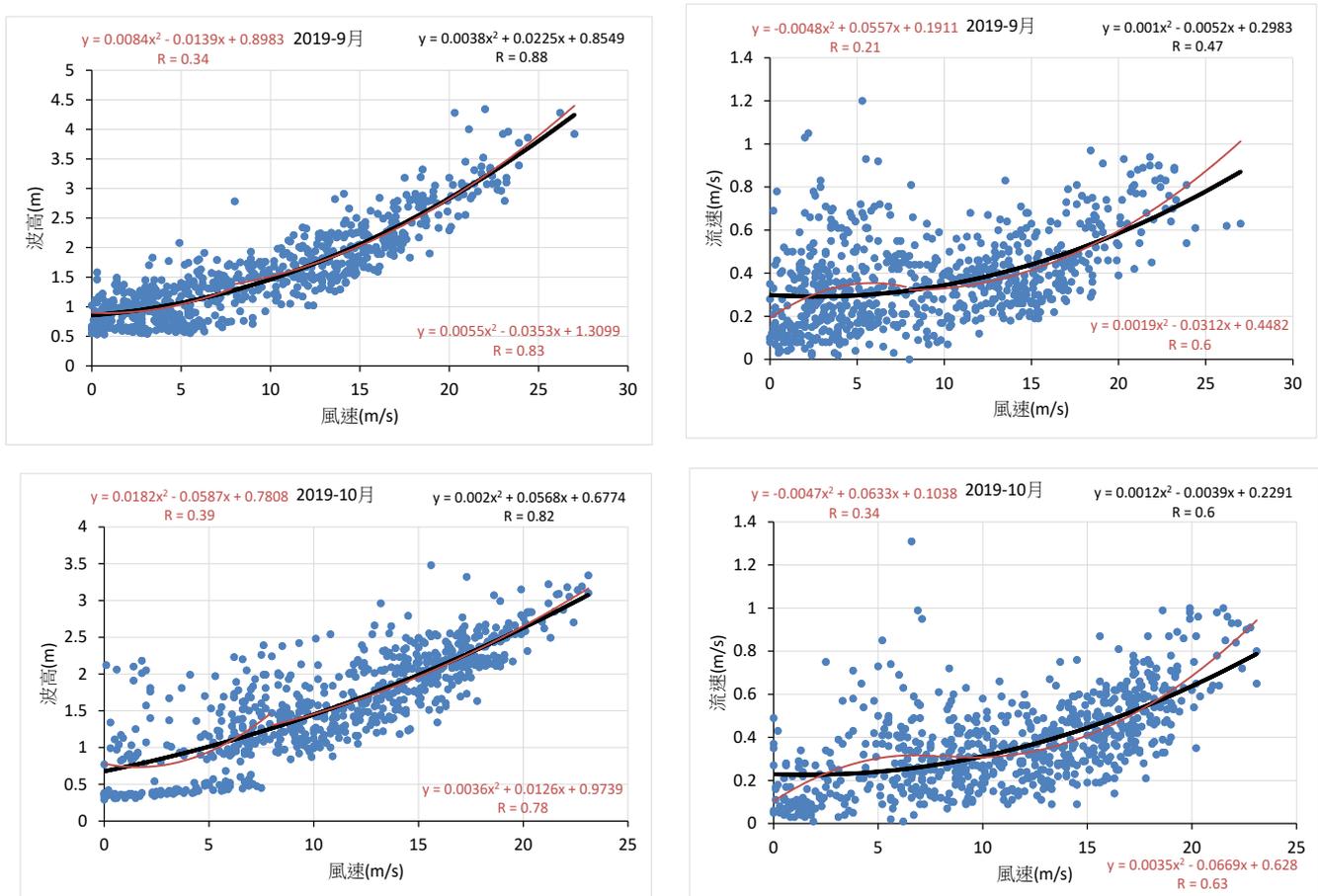


圖 2.12 風速與波高、流速之 9-10 月關聯性分析

11月-12月為強盛東北季風時期，風速與波高、流速均之線性對應關係更為明顯，圖 2.13 顯示風速-波高於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 11 月之 0.90、0.28、0.88 與 12 月之 0.89、0.29、0.91。風速-流速於全部資料、5 級風以下、5 級風以上之相關係數分別為 11 月之 0.77、0.04、0.80 與 12 月之 0.82、0.18、0.86。風速-波高、於 11 月與 12 月均有明顯關聯性，且以 5 級風以上之關聯性高於 5 級風以下。風速-流速之關聯性有更高於夏季與 9 月-10 月，主要關聯性源自於 5 級風以上之風速與流速，全部資料之迴歸線也呈現較大風速對應較大流速之向上彎曲情形。

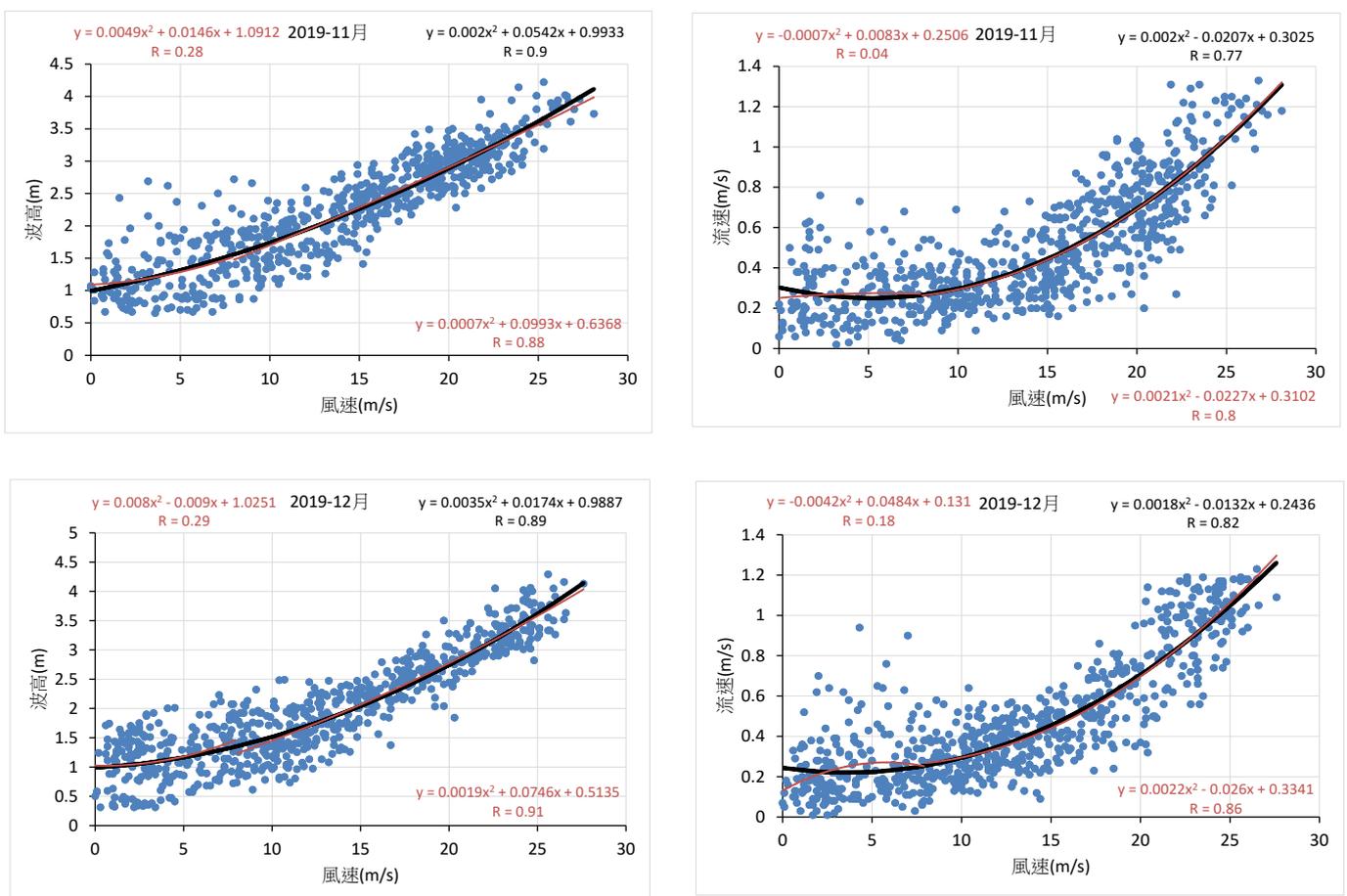


圖 2.13 風速與波高、流速之 11-12 月關聯性分析

為彙整 2019 年逐月之風速-波高、風速-流速之關聯性分析結果，表 2-18 顯示各月逐時資料計算而得之全部資料迴歸方程式，以及全部資料、5 級風以下資料、5 級風(含)以上資料之相關係數。風速-波高之關聯性可分為 3 個時間區間討論，以全部資料之相關係數而言，大致以 9 月-2 月東北季風發展、強盛時期之相關係數最高，約在 0.82-0.90 之間。在東北季風過渡到西南季風之 3 月-5 月，相關係數略降為 0.68-0.76，但仍在 0.6 以上，具有相當程度之對應關係。而在 6 月-8 月西南季風時期，關聯性最低，相關係數僅有 0.21-0.58，降到 0.6 以下。從 5 級風以下與 5 級風以上之相關係數來看，5 級風以上為主要關聯性來源，相關係數為 0.54-0.91 之間，5 級風以下相關係數為 -0.20-0.47，均在 0.5 以下，顯示較強風浪時之關聯性較佳。

風速-流速之關聯性明顯低於風速-波高，全部資料之相關係數於 10 月-1 月最高，約為 0.60-0.82 之間，其餘月份則降到 0.5 以下，約為 -0.04-0.47，資料關聯性於較大風速比較小風速為佳，顯示主要關聯性來自較大風速之資料，5 級風以上資料之相關係數於 10 月-1 月為 0.63-0.86，9 月與 2 月其次，分別為 0.60 與 0.52，仍在 0.50 以上。其餘月份(3 月-8 月)相關係數降到 0.5 以下，約為 -0.16-0.27 之間。

從上述分析可以看出，東北季風時期(9 月-2 月)較強風速會導致風速-波高與風速-流速之關聯性高於較弱風速之西南季風時期(6 月-8 月)，因此可運用全部資料之迴歸方程式作為誤差修正系統，藉以修正較弱風速時之較差對應關係，此方法適用於全年每一個月份，但在東北季風時期之誤差修正效果優於西南季風時期。

表 2-18 風速與波高、流速之迴歸分析

全	風速(x)-波高(y)				風速(x)-流速(y)			
	全部資料 迴歸方程式	相關 係數	5 級 以下	5 級 以上	全部資料 迴歸方程式	相關 係數	5 級 以下	5 級 以上
2019								
1 月	$y = 0.0043x^2 + 0.0031x + 1.1281$	0.84	0.25	0.84	$y = 0.0022x^2 - 0.0248x + 0.2277$	0.75	0.11	0.80
2 月	$y = 0.0003x^2 + 0.1054x + 0.6314$	0.83	0.47	0.71	$y = 0.0016x^2 - 0.0189x + 0.2567$	0.39	0.06	0.52
3 月	$y = 0.0069x^2 - 0.0438x + 1.1739$	0.68	0.02	0.78	$y = 0.0002x^2 + 0.0063x + 0.2494$	0.25	0.28	0.27
4 月	$y = 0.0077x^2 - 0.0186x + 0.6659$	0.68	0.12	0.70	$y = -0.0016x^2 + 0.0247x + 0.3491$	-0.04	0.18	-0.05
5 月	$y = 0.0073x^2 - 0.0136x + 0.7173$	0.76	0.24	0.74	$y = -0.0012x^2 + 0.0345x + 0.2433$	0.27	0.37	0.16
6 月	$y = 0.0103x^2 - 0.1162x + 0.9487$	0.21	-0.20	0.62	$y = -0.0074x^2 + 0.1317x + 0.1129$	0.33	0.44	-0.16
7 月	$y = 0.0056x^2 - 0.018x + 0.5202$	0.58	0.22	0.54	$y = -0.0033x^2 + 0.0865x + 0.1824$	0.45	0.43	0.05
8 月	$y = 0.0053x^2 - 0.0184x + 0.8111$	0.55	0.06	0.67	$y = -0.0027x^2 + 0.0694x + 0.2151$	0.39	0.45	-0.04
9 月	$y = 0.0038x^2 + 0.0225x + 0.8549$	0.88	0.34	0.83	$y = 0.001x^2 - 0.0052x + 0.2983$	0.47	0.21	0.60
10 月	$y = 0.002x^2 + 0.0568x + 0.6774$	0.82	0.39	0.78	$y = 0.0012x^2 - 0.0039x + 0.2291$	0.60	0.34	0.63
11 月	$y = 0.002x^2 + 0.0542x + 0.9933$	0.90	0.28	0.88	$y = 0.002x^2 - 0.0207x + 0.3025$	0.77	0.04	0.80
12 月	$y = 0.0035x^2 + 0.0174x + 0.9887$	0.89	0.29	0.91	$y = 0.0018x^2 - 0.0132x + 0.2436$	0.82	0.18	0.86

第三章 臺中港鄰近海域之風、波數值模擬與特性分析

3.1 建置臺中港區風、波數值預報模式

本研究所使用之大氣風場預報模式係以 Weather Research and Forecasting (WRF) 模式(e.g., Skamarock et al. 2001)進階改良之版本(Skamarock et al. 2005; Skamarock et al. 2008)，WRF 為國際間通用之大氣數值預報模式，確認具有優越預報能力。國內氣象界亦普遍使用 WRF 模式來分析、模擬、預報臺灣地區各種天氣現象(Chi and Jian 2009；簡與洪 2010;洪等, 2006；簡等, 2006)。也廣泛應用於颱風預報與特性分析，例如颱風侵臺路徑與強度變化(簡 2011)，2009 年莫拉克颱風破紀錄降雨之預報與模擬亦顯示適宜預報能力(Tao et al., 2011)，可應用於颱風天氣之預報使用。陳等(2014)與陳等(2015)運用 2km 網格點之 WRF 模式來模擬與預報臺北港颱風與強風個案之相關風場，顯示高解析度之 WRF 模式對臺灣港灣區強風個案之風場具備適宜之預報能力。

本研究將使用 WRF-3.7.1 版本模式做為臺中港灣區之風場預報系統，使用四層巢狀方式，將全球大尺度預報資訊，以動力降尺度方式，逐次提高網格點解析度，達到臺中港區所需求之高解析度預報資訊。依港灣區預報作業之設定需求，其相關執行細節如下所述：

- WRF 模式之邊界條件採用美國 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) Global Forecast System (GFS) 模式之預報場(<https://ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/>)，未使用資料同化，僅以 GFS 模式 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (約 50 公里)網格之分析場，經由 WRF 的前置處理系統(WPS)，將資料內插至 WRF 模式所設定之

第一層模式網格點上，作為 WRF 初始場來執行預報。預報之後，再以每 12 小時間隔將 GFS 全球預報結果更新到 WRF 邊界條件，驅動 48 小時預報。

- 本研究之 WRF 降尺度預報系統，採用四層巢狀系統，以 3 倍放大效率，依序使用 32 公里，10.8 公里，3.6 公里，1.2 公里等四種解析度，將全球預報資訊依序降尺度到亞洲-太平洋地區(d01)、東亞臨海地區(d02)、臺灣鄰近海域(d03)、臺中港鄰近海域(d04)。降尺度過程中，下一層預報之邊界條件，係由上一層預報結果經由內插到下一層模式之範圍與解析度來提供，每 12 小時提供一次邊界條件。做為邊界條件之變數包括大氣各垂直層之溫度、濕度、風場、高度場，各層土壤溫度、海平面氣壓、海冰等。本研究 WRF 模式共有 32 垂直層，從 1000hPa 到 100hPa，近地面有 5 層，分別為 1000hPa、975hPa、950hPa、925hPa、900hPa，藉以強化地面風場之預報。d01 到 d04 各層模式之物理設定均相同，包含土壤模式、微物理參數法、邊界層參數法、積雲參數、長波輻射和短波輻射參數法等。各層模式所使用之地形資料有所不同，在 32 公里網格之 d01 為 10 分解析度(約 16.7 公里)，10.8 公里網格之 d02 為 2 分解析度(約 3.3 公里)，3.6 公里網格之 d03 與 1.2 公里網格之 d04 均使用 30 秒解析度(約 0.8 公里)，地形資料可由 WRF 官方網站獲得(https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/download/get_sources_wps_geog_V3.html)。此種降尺度系統，過去研究已證實可有效將全球預報資訊轉化到數公里到十幾公里小範圍目標區域之內(洪等 2006;簡等 2006; 陳與簡 2009, 2010)。

在執行大氣模式之四層降尺度預報之後，可使用預報風場驅動 NOAA WaveWatch Version-3 (NWW3) 模式 (Tolman et al. 2002) 進行預報，NWW3 為風浪模式，僅須由大氣模式的表面風場來驅動即可，不必單獨進行四層降尺度，故本研究用第三層 (3.6 公里網格) WRF 模式所預報之 10 米風場，內插成臺中港鄰近海域之 2 公里網格點，以初始場與每 12 小時預報場做為邊界條件，降尺度驅動第四層 (2 公里網格) NWW3 模式 (5.16 版本) 進行臺中港鄰近海域之波高預報。NWW3 模式對颱風所引發波高之預測，有相當之準確度 (Tolman et al. 2005; 朱等 2008)。

WRF 以動力降尺度方式預報到四層由大到小之區域如下：

- 第一層 (d01)：亞洲-太平洋地區 (32 公里解析度)，
範圍：94.9682E-165.0318E, 0.067N-48.7907N
水平網格點總數：205 x 164
- 第二層 (d02)：東亞臨海地區 (10.8 公里解析度)，
範圍：115.8041E-126.3365E, 18.1860N-30.2649N
水平網格點總數：93 x 117
- 第三層 (d03)：臺灣鄰近海域 (3.6 公里解析度)
範圍：119.0860E-123.6271E, 20.5260N-26.4717N
水平網格點總數：120 x 171
- 第四層 (d04)：臺中港區與鄰近海域 (1.2 公里解析度)
範圍：119.7983E-120.8541E, 23.7655N-24.5547N
水平網格點總數：84 x 69

臺中港區之波浪預報模式執行如下：

- 臺中港區與鄰近海域 (2 公里解析度)
範圍：119E-123E, 21N-26N
水平網格點總數：201 x 261

WRF 第一層到第三層範圍以及 WRF 第四層與臺中港區 NWW3 模

式之空間範圍，如圖 3.1 所示。

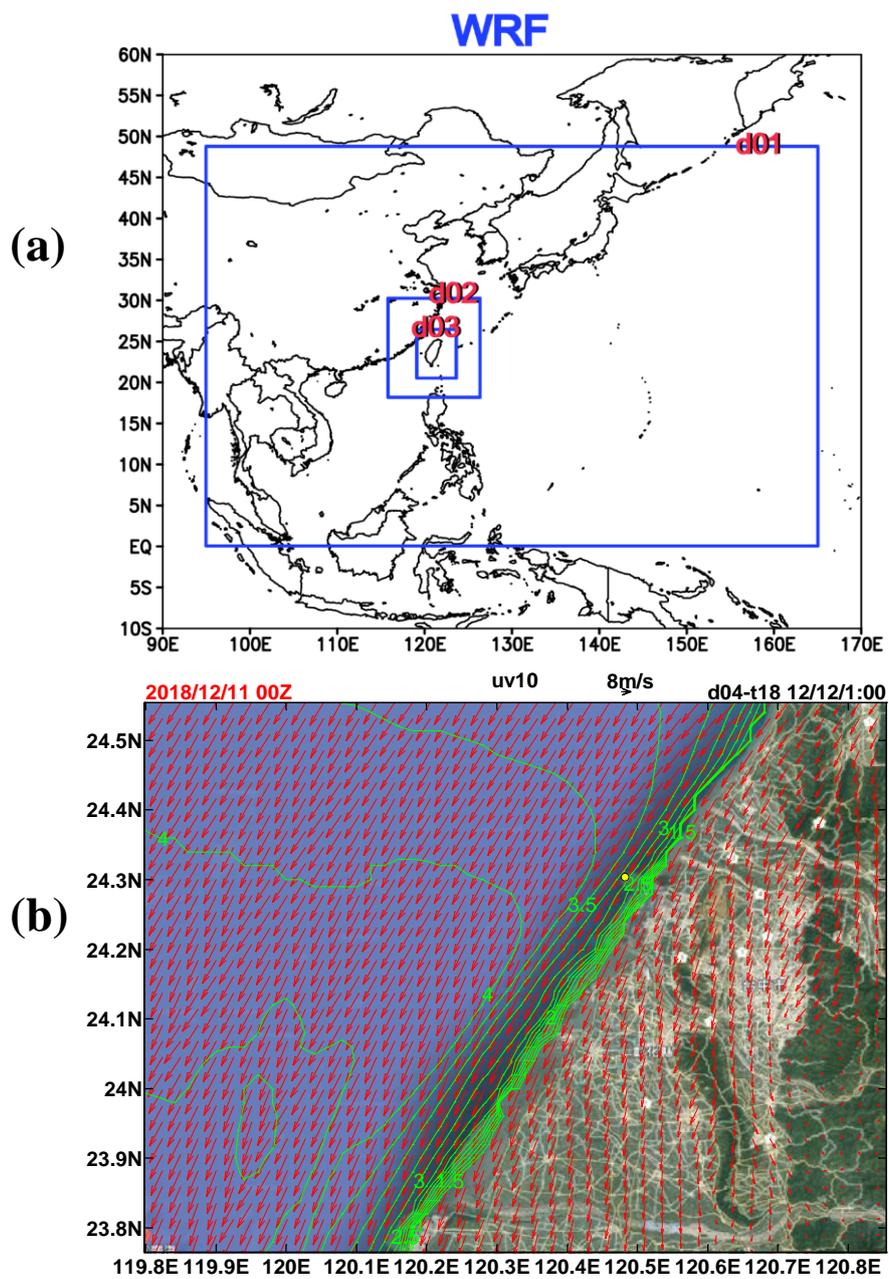


圖 3.1 WRF 模式各層範圍與臺中港區風、波預報

NWW3 模式所使用之臺中港鄰近海域之海底地形資料，如圖 3.2 所示，單位為公尺。該資料由美國地球物理中心（National Geophysical Data Center）提供，為包括海洋海底地形之高度資料。

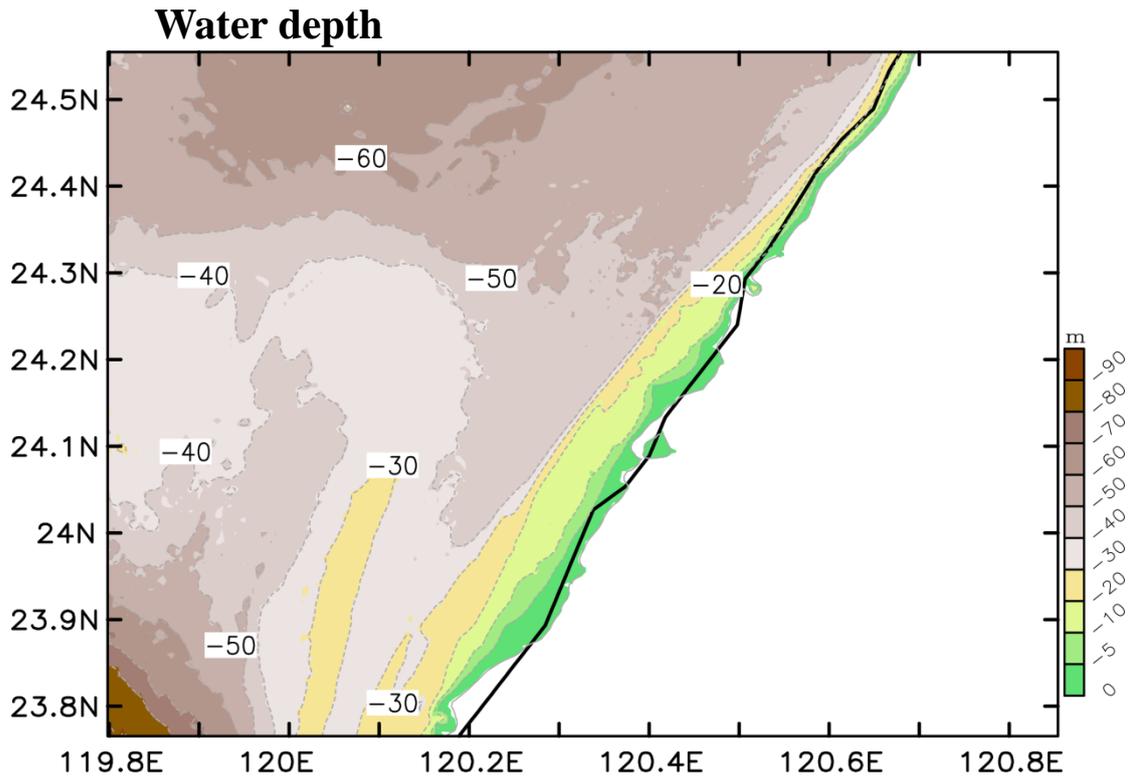


圖 3.2 模式使用之臺中港鄰近海底地形

上述四層 WRF 模式與單層 NWW3 模式之預報系統，執行預報之前置作業為從美國氣象網站下載大尺度預報資訊做為邊界條件，約需耗時 2-3 小時。下載後，再運用高雄科技大學所建置 PC-Cluster 內之 48-core CPU，執行 48 小時預報約需 3.5 小時完成。預報結果之繪圖與數值分析計算，若程式完備，可立即執行與快速完成。

3.2 臺中港區風、波預報誤差分析

臺中港區風、波之預報結果，需檢驗其預報能力，同時建立誤差修正系統，以供實際作業應用。預報能力之檢驗，將以對應 T2 站周圍四點之預報風場，取其平均值作為對應 T2 之預報風場，再計算 T2 站觀測風速與預報風速之迴歸方程式與相關係數，作為後續誤差修正之用。波高之檢驗，則取 AWAC 站周圍四點預報波高之平均值，再計算 AWAC 觀測波高與對應預報波高之迴歸方程式與相關係數。本研究使用預報之 10 米風速與示性波高進行後面之分析比對。

T2 與 AWAC 為逐時觀測資料，模式預報則是以每天 00Z(在地時間上午 8 點)、12Z(在地時間下午 8 點)為初始時間分別進行 48 小時預報，為與全年逐時觀測資料比對，故每一個預報個案均取其第 1-12 小時預報結果，串成全年之逐時預報資料，再與對應時間之觀測資料進行迴歸分析。2019 年逐月之 T2 風速與 AWAC 波高之觀測-預報迴歸分析結果，如圖 3.3 到圖 3.8 所示，其主要預報特性，如下所述。

圖 3.3 所示為 1 月與 2 月對應 T2 站風速與 AWAC 波高之觀測與預報結果之散佈分析圖，風速與波高之預報和觀測之對應關係均佳，相關係數在 0.87-0.91 之間。與 $x=y$ 之對角線(粗紅線)比較，1 月 x 軸之預報風速比 y 軸之觀測風速為弱，2 月預報風速接近觀測風速。波高 1 月、2 月觀測值大多粗紅線上方，反映預報波高於 1 月、2 月均比觀測波高為弱。

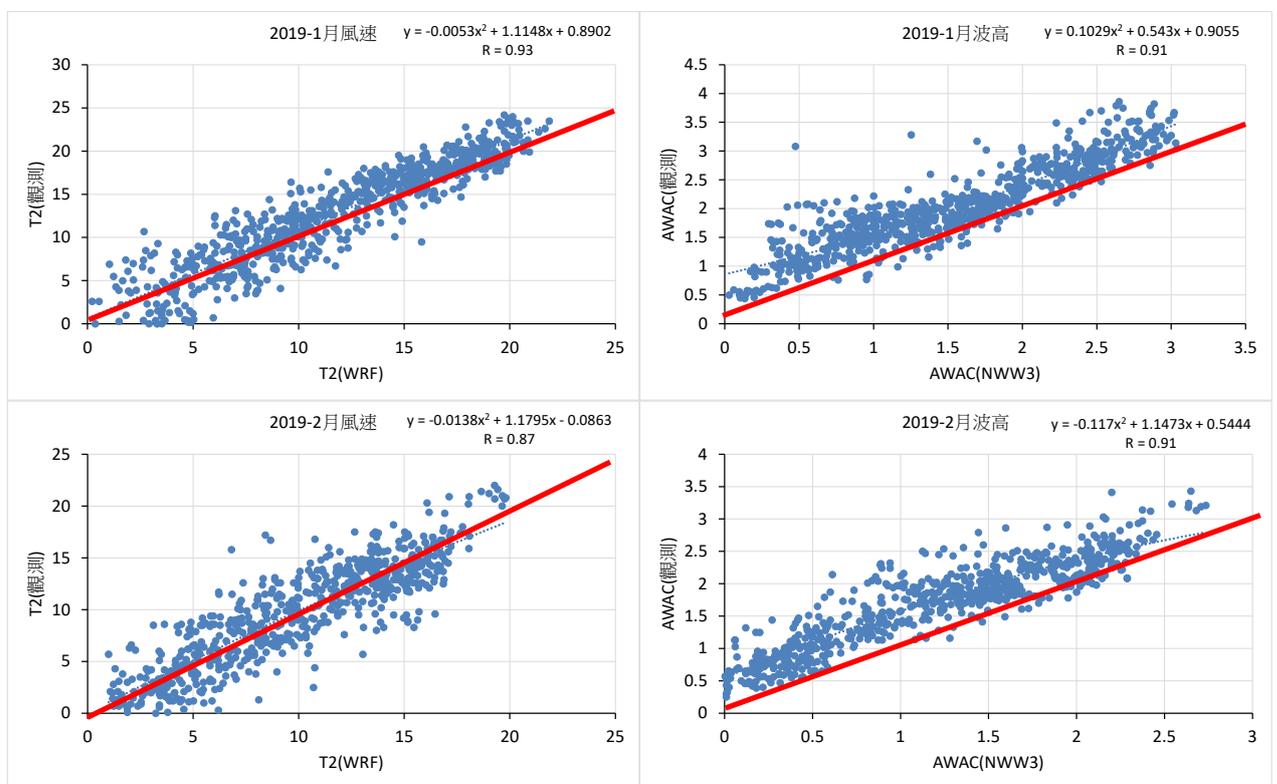


圖 3.3 觀測與預報風速、波高之 1-2 月迴歸分析

3月與4月之迴歸分析結果如圖 3.4 所示，相關係數比 1 月、2 月為低，但仍有 0.79-0.83，顯示模式預報風速與波高仍能高度掌握觀測特性。預報場與觀測場之對應關係於較低風速與波高時較為發散，較高風速與波高時，對應關係較為良好。就強度而言，風速於 3 月、4 月大致沿著 $x=y$ 粗紅線分布，但上方店數比下方略多，顯示預報風速比觀測風速呈現略偏弱誤差。預報波高於 3 月、4 月均呈現明顯偏弱誤差。

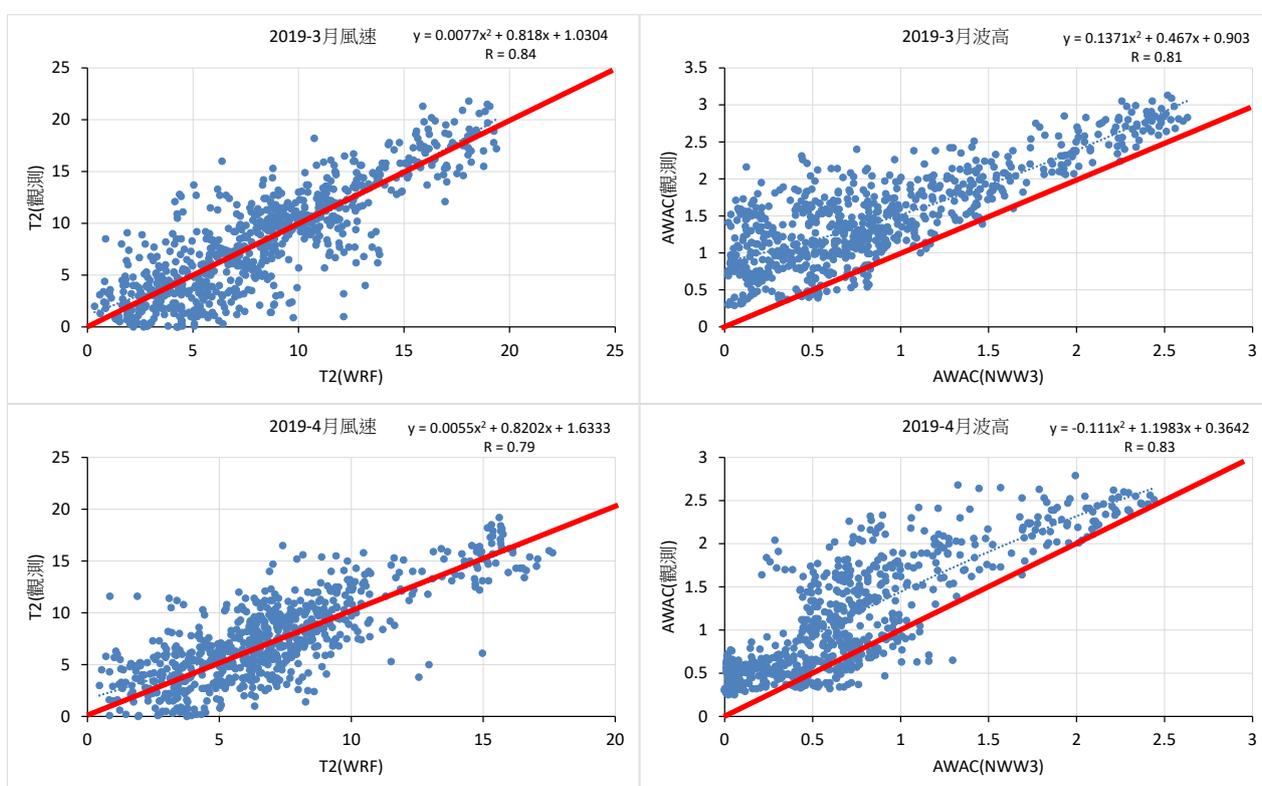


圖 3.4 觀測與預報風速、波高之 3-4 月迴歸分析

5月為東北季風消退轉為西南季風之月分，6月則為明顯西南季風時期，因此5月與6月之預報特性也伴隨季風轉變而變異，圖3.5顯示5月之風速與波高之觀測-預報相關係數仍高，分別為0.85與0.86，但6月時，風速相關係數降為0.69，波高相關係數降到只有0.25，顯示6月波高預報能力偏低。就預報強度而言，風速於5月大致沿著 $x=y$ 線上下分布，顯示能適切掌握觀測風速強度。6月則在較大風速處($>10\text{m/s}$)，預報風速比觀測風速呈現偏強特性。波高截於5月為明顯偏弱誤差、6月則在 $x=y$ 線上下廣泛分布，有偏弱誤差亦有偏強誤差，顯示預報能力不佳，相關係數為0.25，為全年最低。

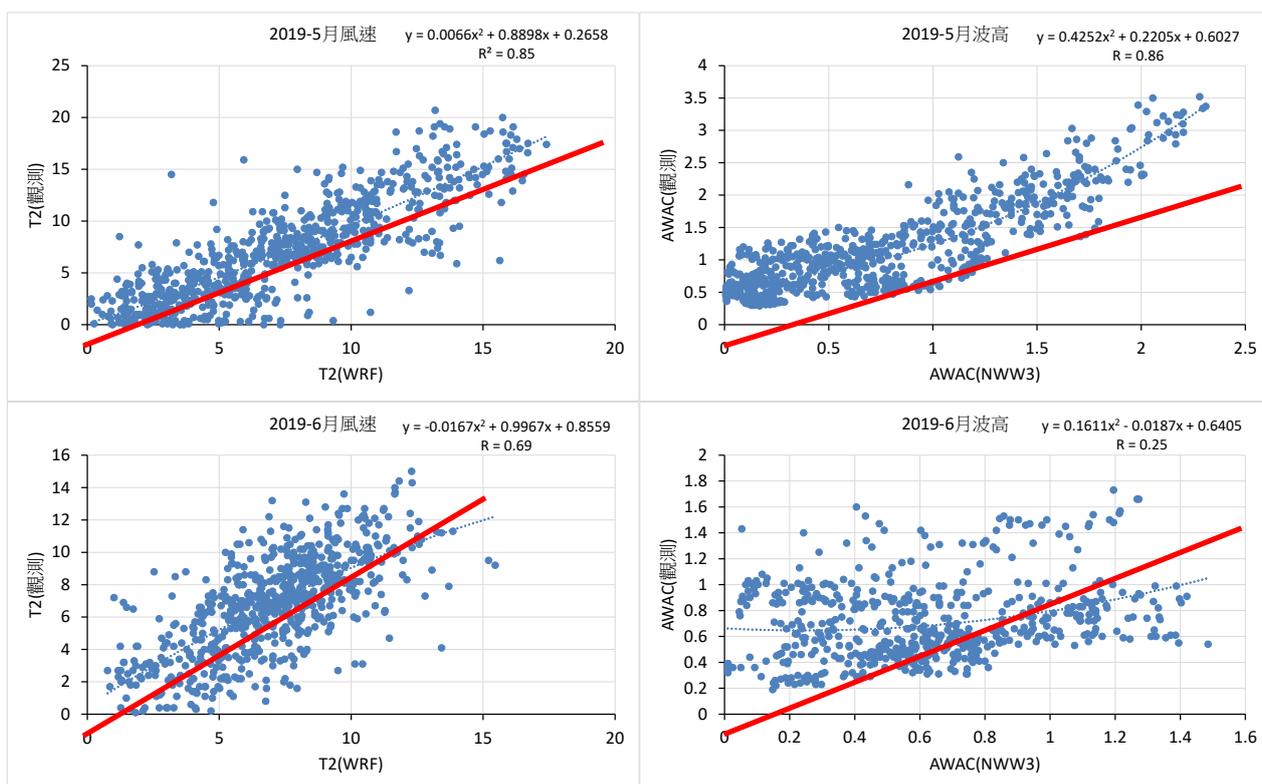


圖 3.5 觀測與預報風速、波高之5-6月迴歸分析

圖 3.6 顯示西南季風時期之 7 月與 8 月預報結果比 6 月為佳，風速之相關係數於 7 月為 0.70，8 月為 0.73，有一定預報能力，但未及東北季風時期之 0.8 以上之相關係數。波高相關係數於 7 月僅有 0.50，主因為模式未能預報一些 2m 以上較強之波高值。8 月相關係數為 0.68，雖具備部分預報能力，但對較強波高也呈現偏弱誤差。7 月有較多點分布於 $x=y$ 線下方，反映預報風速有偏弱誤差，8 月於 13m/s 以上強風處，多數點分布在 $x=y$ 線上方，顯示預報風速偏弱誤差。7 月波高於 x 軸 1-2m 之間，有許多典之觀測波高達到 2-3m 之間，顯示預報波高未能掌握部分觀測強浪。8 月之分布多在 $x=y$ 線上方，反映出預報波高偏弱特性。

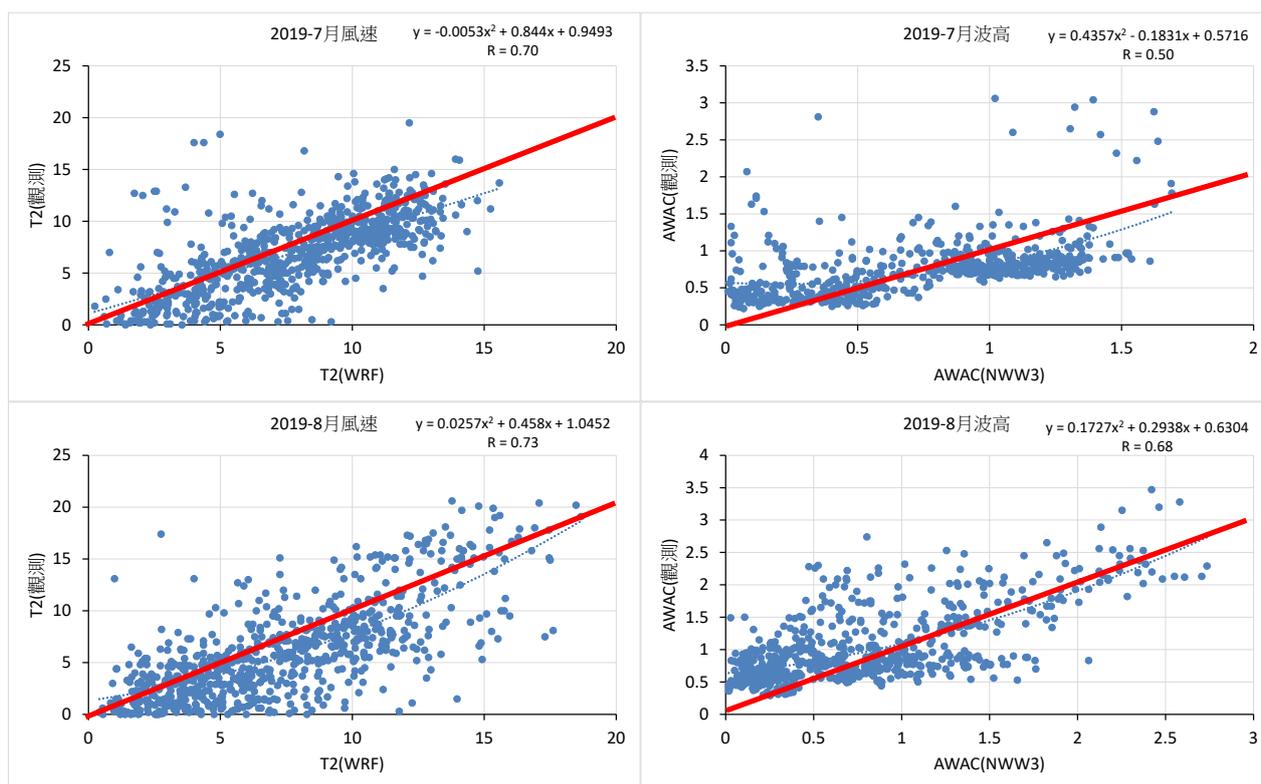


圖 3.6 觀測與預報風速、波高之 7-8 月迴歸分析

9 月、10 月東北季風轉趨明顯，風速與波高兩變數之預報場與觀測場均呈現高度相關性，散佈圖也呈現高度線性特性，圖 3.7 顯示相關係數於風速為 0.90-0.92，波高為 0.90-0.94。9 月、10 月風速分布大致沿著 $x=y$ 粗紅線，反映預報風速與觀測風速接近之特性。預報波高於 9 月、10 月呈現清楚偏弱特性，資料多分布在粗紅線以上。

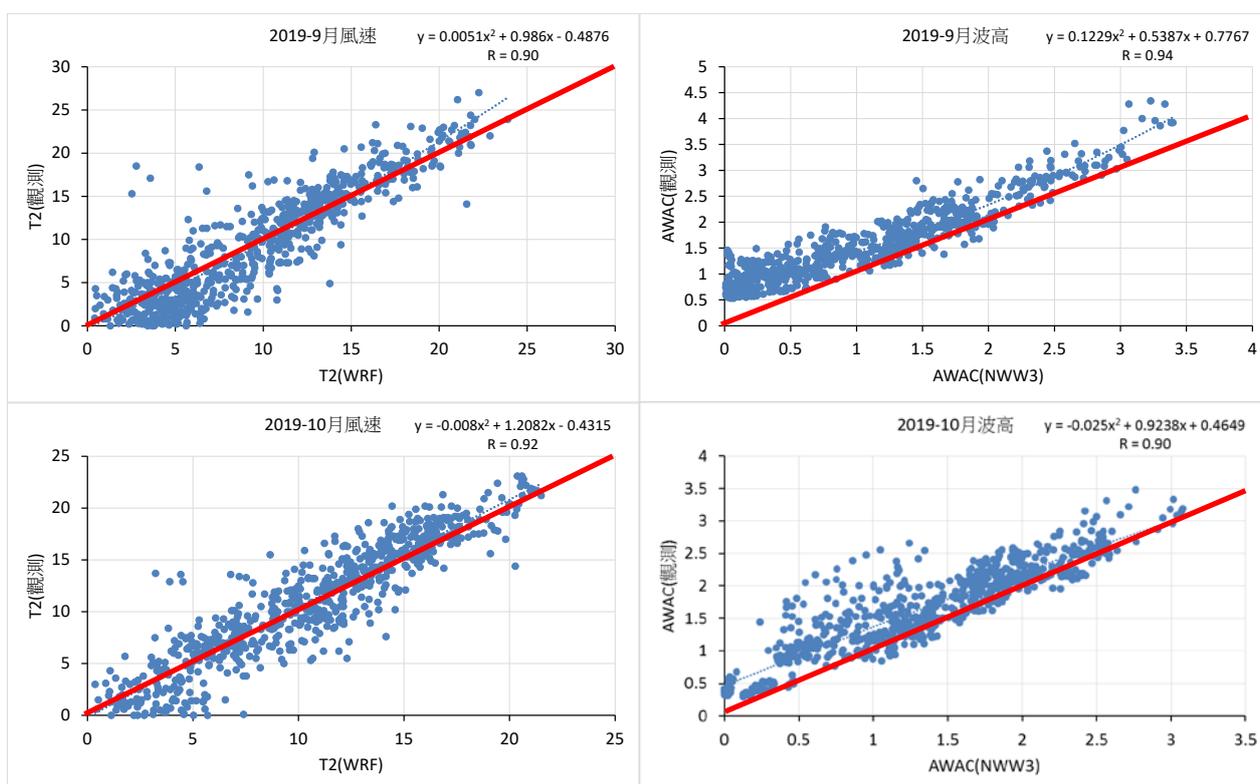


圖 3.7 觀測與預報風速、波高之 9-10 月迴歸分析

11月與12月為東北季風強盛時期，圖 3.8 顯示預報場與觀測場於風速與波高均呈現高度線性關係，相關係數均達到 0.94-0.95 之間，甚至比 1 月、2 月之相關係數還高。風速於 11 月，12 月大致沿著 $x=y$ 線上下分布，但線上方之點數比下方略多，顯示預報風速雖接近觀測風速，但仍有偏弱誤差，特別是在觀測風速較大之時($>15\text{m/s}$)。波高於 11 月，12 月則沿著 $x=y$ 線上方線性分布，預報波高雖與觀測波高有良好對應關係，但仍有明顯偏弱誤差。

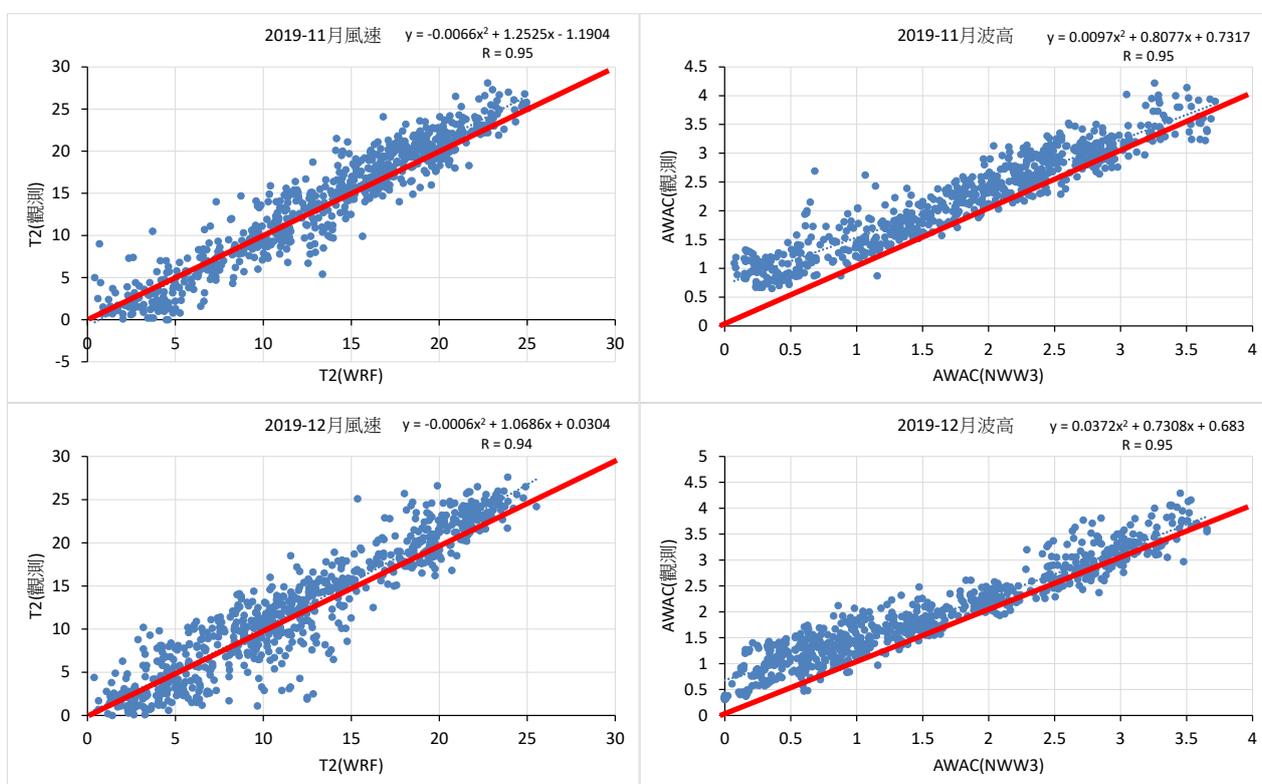


圖 3.8 觀測與預報風速、波高之 11-12 月迴歸分析

上述分析顯示，預報風速對比觀測風速呈現偏強或偏弱之誤差，但在強風時常有偏弱誤差，而預報波高比觀測波高多呈現明顯偏弱誤差。為定量評量預報風速與預報波高之誤差特性，2019 年對應 T2 風速與 AWAC 波高之逐月預報誤差之均方根誤差 (root mean square error, RMSE)、相對均分跟誤差 (relative RMSE, RRMSE) 與預報值-觀測值之相關係數如表 3-1 所示，其中 $RMSE = \sqrt{\sum_1^n (F_i - O_i)^2 / n}$ ，而 F_i 、 O_i 為該月之預報值與對應觀測值，總筆數為 n 。RRMSE = $RMSE / \bar{O}$ ， \bar{O} 為該月所有觀測值 O_i 之月平均值，代表誤差對應觀測場強度之比例。RMSE 值通常在較強風速與波高之月份容易增大，為修正此偏差，應用 RRMSE 來反映誤差對應觀測強度之比例，做為一種標準化之後的評量標準。RMSE 與 RRMSE 值越小、相關係數值越高反應預報能力越佳。

風速方面，相關係數顯示預報能力依 3 個時期變化，最佳時期為東北季風強盛之 9 月-2 月，相關係數為 0.87-0.95，其次為東北季風轉弱到西南季風過渡時期之 3 月-5 月，相關係數為 0.79-0.85，預報能力最低時期發生在西南季風之 6 月-8 月，相關係數為 0.69-0.73。9 月-2 月之 RMSE 為 2.24-2.77 m/s，RRMSE 為 0.16-0.30，但 6 月-8 月之 RMSE 增為 2.27-3.46 m/s，RRMSE 也增為 0.34-0.57，RRMSE 比 9 月-2 月為高，反映較大之誤差比例，3 月-5 月之 RMSE 與 RRMSE 值大致位 9 月-2 月與 6 月-8 月之間。波高方面，相關係數於 9 月-2 月最高，為 0.90-0.95，3 月-5 月其次，為 0.81-0.86，6 月-8 月最低，為 0.25-0.68。RMSE 於 9 月-2 月為 0.44-0.59m，3 月-5 月為 0.53-0.72m，6 月-8 月為 0.40-0.53m，RRMSE 於 9 月-2 月最低，為 0.23-0.38，3 月-5 月其次，為 0.46-0.51，6 月-8 月最高，為 0.53-0.56，顯示 RRMSE 所反映之誤差比例能合理反映相關係數之變化特性。上述結果反應持續性之強風，如東北季

風，其風、波變化情形在穩定強風影響之下，較為單純，因此也較容易為模式所掌握，誤差較小。但在夏季，雖然風速較為微弱，但西南氣流、颱風、午後雷陣雨等現象常會引發瞬間強風與大浪，模式對這些瞬間變化現象之預報能力常會有所不及，因此預報能力較差，誤差值增大。因此在運用模式預報資訊時，宜注意季節性之差異，東北季風季節之預報能力與可信度當比西南季風時期為佳。

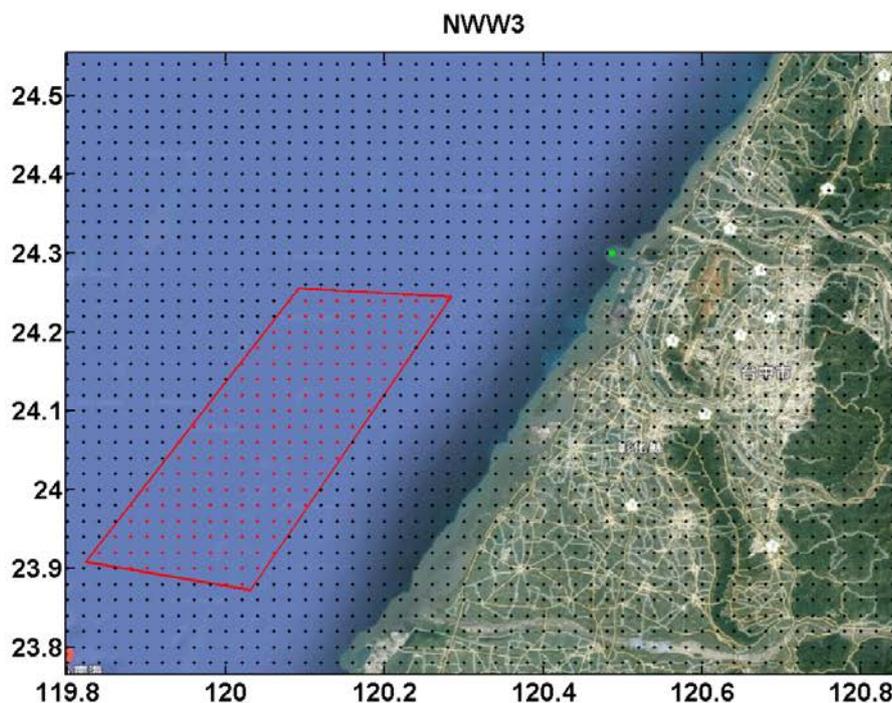
表 3-1 預報風速與波高之關聯性與誤差分析

2019	T2(WRF)-T2(觀測)			AWAC(NWW3)-AWAC(觀測)		
	相關係數	RMSE	RRMSE	相關係數	RMSE	RRMSE
1 月	0.93	2.37	0.18	0.91	0.59	0.29
2 月	0.87	2.37	0.24	0.91	0.57	0.33
3 月	0.84	2.8	0.33	0.81	0.72	0.49
4 月	0.79	2.62	0.35	0.83	0.56	0.51
5 月	0.85	2.54	0.36	0.86	0.53	0.46
6 月	0.69	2.27	0.34	0.25	0.40	0.56
7 月	0.70	2.82	0.40	0.50	0.41	0.54
8 月	0.73	3.46	0.57	0.68	0.53	0.53
9 月	0.90	2.77	0.30	0.94	0.58	0.38
10 月	0.92	2.26	0.20	0.90	0.44	0.27
11 月	0.95	2.24	0.16	0.95	0.51	0.23
12 月	0.94	2.63	0.21	0.95	0.49	0.25

3.3 臺中港區與離岸風電區之預報風、波特性和分析

本研究建置具實質預報能力之數值模式來協助提供臺中港與外海離岸風電區之風波預報資訊。上節分析已掌握基準點(T2 風速、AWAC 波高)之預報資料與觀測資料之關聯性與誤差特性，本節將比較 T2 或 AWAC(基準點)預報風、波與外海離岸風電區(目標點)預報風、波，逐月探討預報風、波於離岸風電區與臺中港區之差異與關聯性，提供離岸風電區域預報風、波變化之概念模式。圖 3.9 以紅色斜框顯示離岸風電區之分析範圍，其 4 個邊界點為(120.09118E, 24.25556N)、(120.28454E, 24.24505N)、(119.82278E, 23.9083N)、(120.03087E, 23.87248N)。臺中港區之觀測站區域以綠點顯示。

圖 3.9 臺中港區(綠點)與離岸風電區(紅色斜框)之分布圖



離岸風電區之預報值取紅色斜框內所有點之區域平均值代表。圖 3.10 所示為以 1 月、2 月逐時資料，計算 T2 風速(左側)或 AWAC 波高(右側)與對應離岸風電區平均值之迴歸分析圖，這些散佈圖均顯示相當高線性對應關係，4 張圖之相關係數高達 0.95-0.98 之間，反映模式預報中，臺中港區與離岸風電區之逐時變化趨勢呈現高度正關聯性。在強度方面，分布點對應 $x=y$ 線(粗紅線)之位置顯示，1 月之離岸風電區預報風速比 T2 預報風速稍強，但 2 月則是 T2 預報風速稍強。波高方面，離岸風電區預報波高於 1 月、2 月均比 AWAC 預報波高明顯增強，增強幅度於較強波高階段更為擴大。

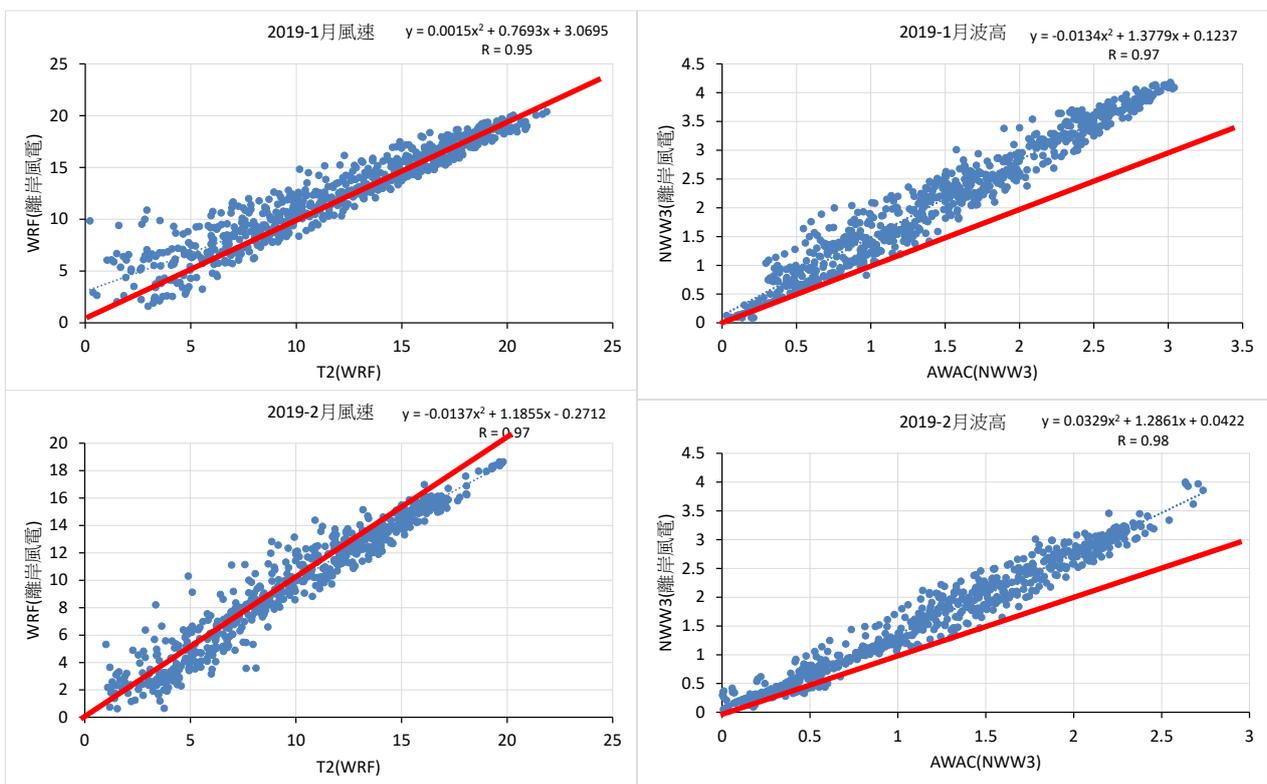


圖 3.10 臺中港與離岸風電區之 1-2 月預報場關聯性分析

3月、4月之預報風速與波高於臺中港區與離岸風電區也呈現高度正相關性(圖 3.11)，相關係數達 0.90-0.96。強度方面，3月離岸風電區預報風速比 T2 預報風速略強，但 4月兩區風速強度相當。波高方面，離岸風電區預報波高明顯高過 AWAC 預報波高，兩區強度差異隨著波高增強更形放大。

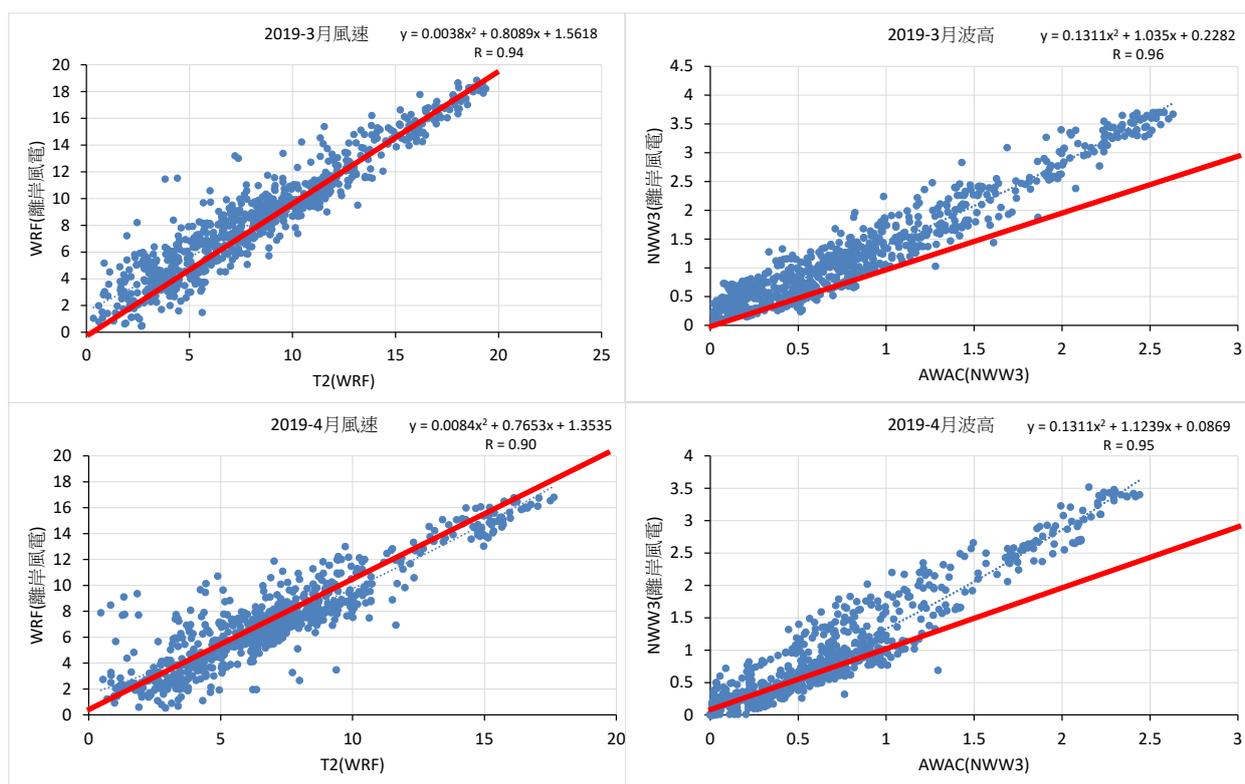


圖 3.11 臺中港與離岸風電區之 3-4 月預報場關聯性分析

如圖 3.12 所示，離岸風電區與臺中港區之預報場，5 月仍呈現高度正相關性，相關係數為 0.93-0.95，6 月相關性雖然還算高，但已降為 0.81-0.84，顯現西南季風時期，臺中港區與離岸風電區預報風波場之變化趨勢存有部分差異。強度方面，離岸風電區域報風速比 5 月 T2 預報風速稍強，6 月則較為接近。波高仍是離岸風電區明顯高於臺中港區，且其差異於 5 月時隨這波高增大而放大，但 6 月則各種波高均相當均勻地放大。

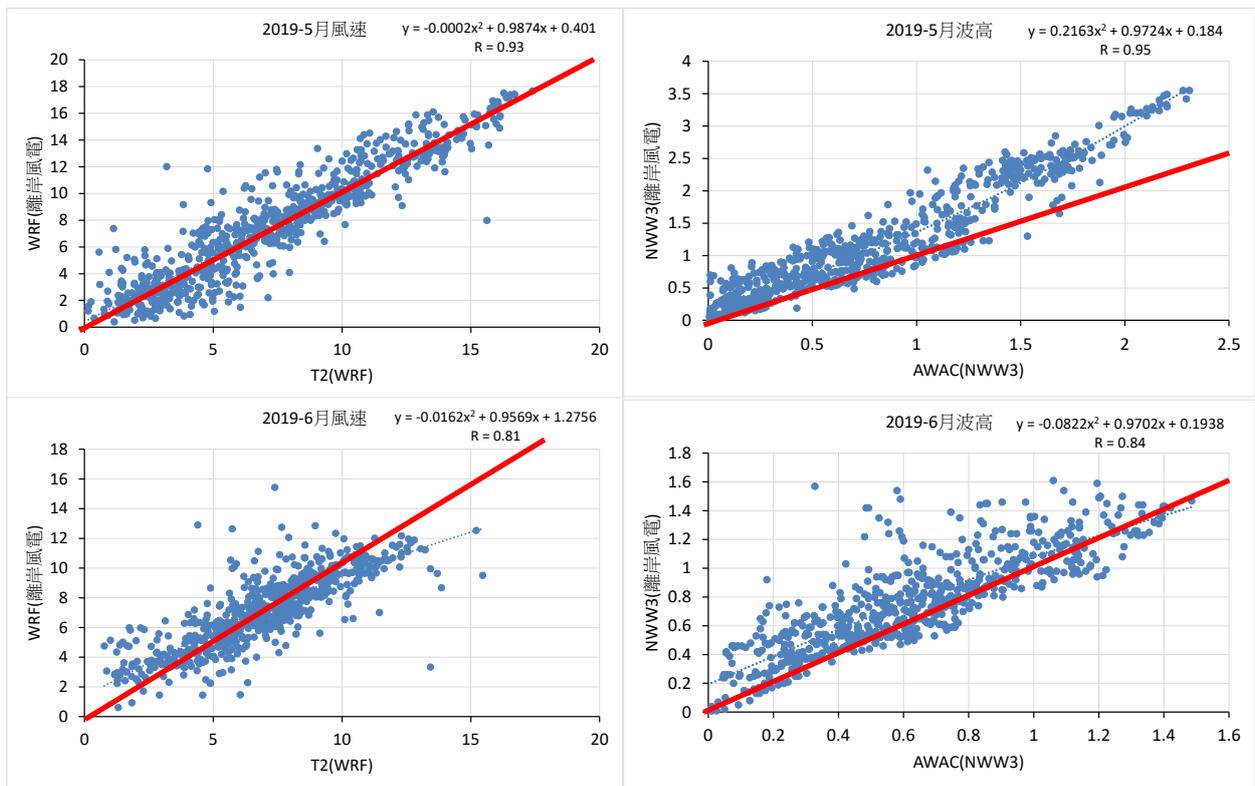


圖 3.12 臺中港與離岸風電區之 5-6 月預報場關聯性分析

7月、8月為西南季風強勢時期，區域天氣變化形態多元，因此離岸風電區與臺中港區預報場之關聯性，風速相關係數降到 0.79-0.8，但波高相關係數不低，均為 0.87，如圖 3.13 所示。對比於 $x=y$ 線，離岸風電區預報風速比臺中港區預報風速為高。波高預報場方面，離岸風電區明顯高於臺中港區，且隨著波高增強更形增大

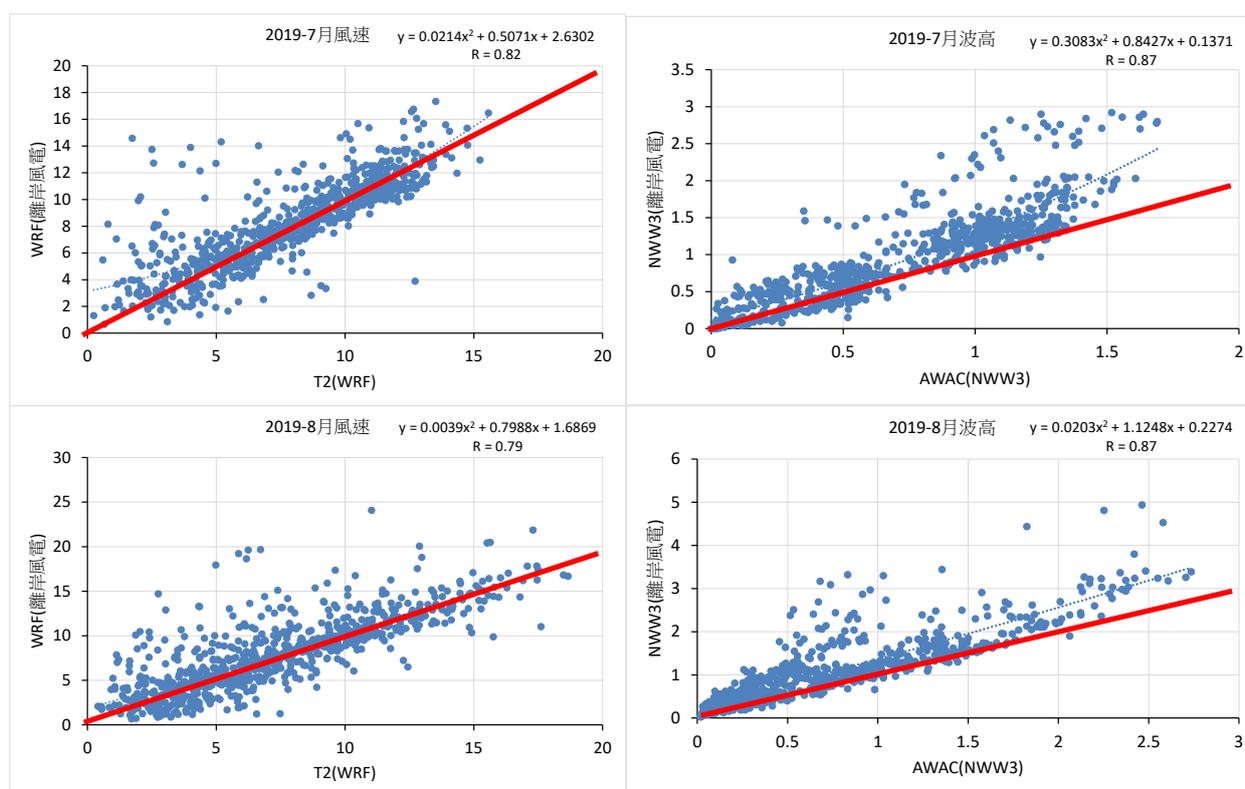


圖 3.13 臺中港與離岸風電區之 7-8 月預報場關聯性分析

9月、10月又轉回東北季風季節，預報場於離岸風電區與臺中港區又呈現高度正關聯性，圖 3.14 顯示風速相關係數為 0.90-0.93，波高均為 0.97。強度方面，x=y 線上方之點數略多於下方，反映離岸風電區預報風速比臺中港區預報風速略強。預報波高於離岸風電區之強度明顯高於臺中港區，且在較強波高階段差異更為放大。

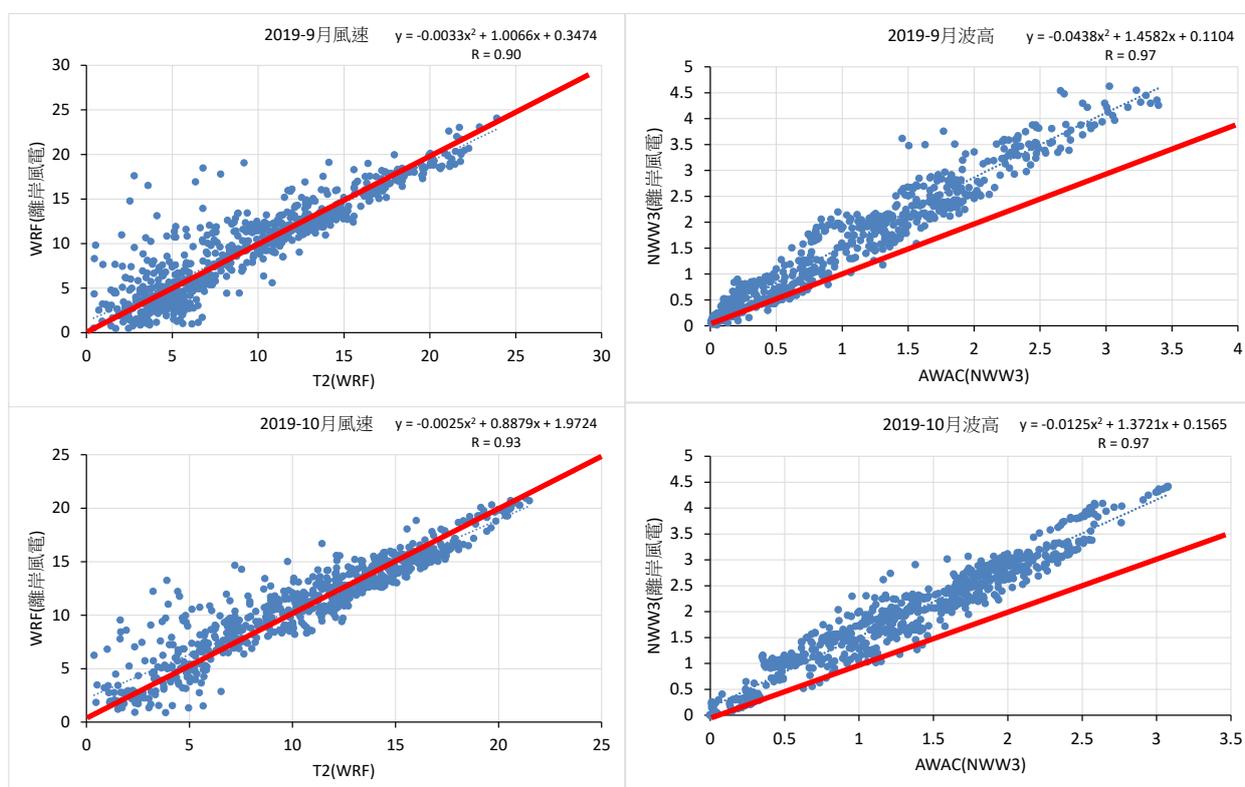


圖 3.14 臺中港與離岸風電區之 9-10 月預報場關聯性分析

於東北季風強盛之 11 月、12 月時期，臺中港與鄰近外海大致受到單一天氣系統之影響，因此離岸風電區與臺中港區之預報風速與波高呈現高度正相關性，圖 3.15 顯示風速相關係數均為 0.96，波高則均為 0.98。強度方面，於較弱風速時(<10m/s)，離岸風電區預報風速較大，但在較強風速時(>20m/s)，臺中港區風速較大。預報波高均在離岸風電區較大，與臺中港區預報波高之差異，隨著波高增強而放大。

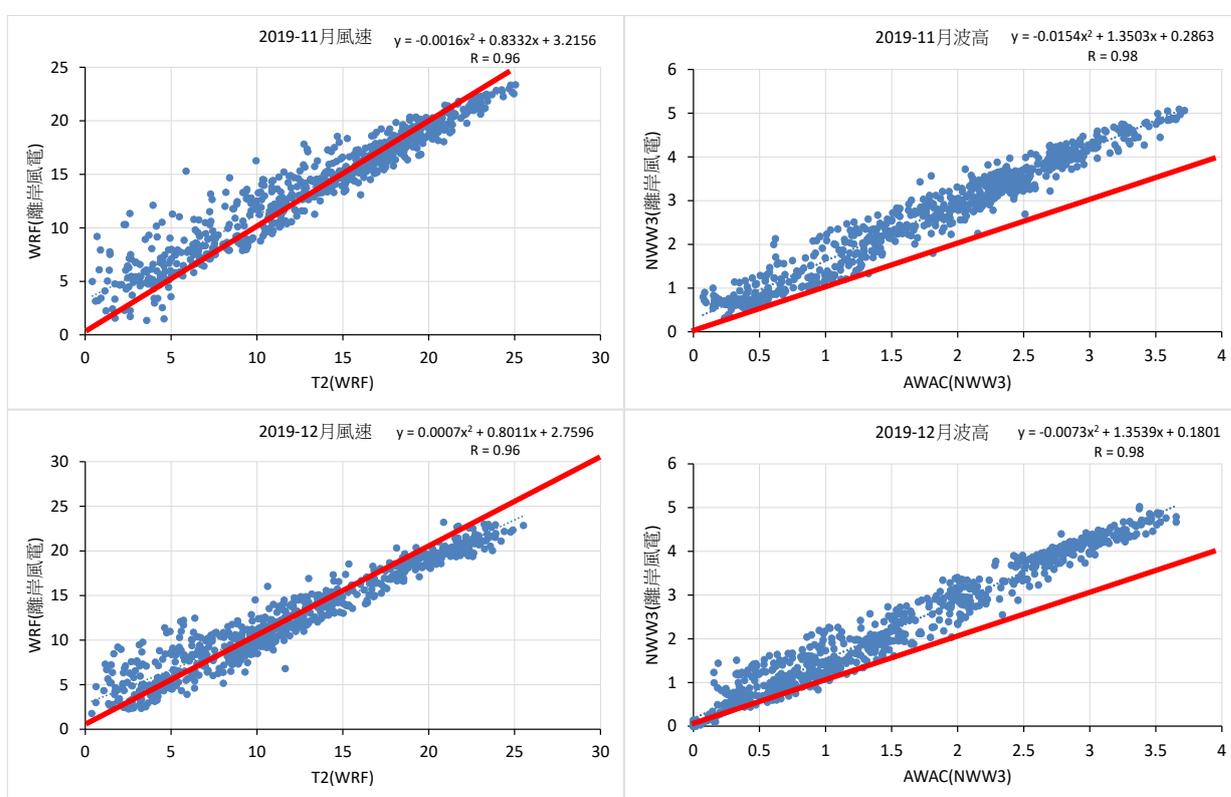


圖 3.15 臺中港與離岸風電區之 11-12 月預報場關聯性分析

表 3-2 顯示本節所建置之臺中港區與離岸風電區之預報風速(左側)與預報波高(右側)之逐時資料相關係數。預報風速相關係數於 6 月-8 月略低，為 0.79-0.82，其餘月分都相當高，為 0.90-0.97。預報波高之相關係數普遍比預報風速為高，6 月-8 月為 0.84-0.87，其餘月份為 0.95-0.98。整體而言，臺中港區與離岸風電區之風速與波高均呈現高度正相關性，顯示容易受到相同天氣系統之均勻影響，但夏季常有區域性激烈天氣，如午後雷陣雨、低壓帶、鋒面系統、颱風等，因此，容易產生臺中港區與鄰近外海之區域性差異，而使相關性略微降低。

表 3-2 臺中港與離岸風電區之預報風速、波高關聯性分析

	WRF(T2-離岸風電)	NWW3(AWAC-離岸風電)
2019	相關係數	相關係數
1 月	0.95	0.97
2 月	0.97	0.98
3 月	0.94	0.96
4 月	0.90	0.95
5 月	0.93	0.95
6 月	0.81	0.84
7 月	0.82	0.87
8 月	0.79	0.87
9 月	0.90	0.97
10 月	0.93	0.97
11 月	0.96	0.98
12 月	0.96	0.98

在分析模式預報風速與波高後，可將全年逐月之預報風級、波級分布與觀測風級、波級分布進行比對，藉以了解預報場在全年季節變化特性上，其分布特性與觀測場之異同。表 3-3 所示為 T2 觀測風速、T2 預報風速、離岸風電區預報風速之逐月風級分布百分比，本研究著重於模式對激烈天氣之預報能力，因此，以 7 級風(含)以上之風級進行比較如下：

- 最強風級之 9 級風(含)以上：

T2 觀測風速於 11 月-12 月為 18-19%，其餘月份為 6% 以下。

T2 預報風速於 11 月-12 月為 10-14%，其餘月份為 3% 以下。

離岸風電區預報風速於 11 月-12 月為 6-7%，其餘月份為 1% 以下。

顯示模式對 9 級(含)以上強風之預報有偏弱特性。

- 8 級風：

T2 觀測風速於 10 月、11 月、12 月、1 月分別為 15%、21%、12%、24%，其餘月份為 8% 以下。

T2 預報風速於 10 月、11 月、12 月、1 月分別為 8%、23%、14%、19%，其餘月份為 6% 以下。

離岸風電區預報風速於 10 月、11 月、12 月、1 月分別為 5%、26%、20%、18%，其餘月份為 8% 以下。

顯示 T2 預報風速、T2 觀測風速、離岸風電區預報風速於 8 級風之分布百分比雖互有高低，但大致呈現相近分布特性。

- 7 級風(含)以上：

將 7 級、8 級、9 級以上之強風累加，可得強風百分比如下。

T2 觀測風速於 10 月、11 月、12 月、1 月分別為 38%、56%、41%、49%，其餘月份為 27% 以下。

T2 預報風速於 10 月、11 月、12 月、1 月分別為 33%、52%、38%、42%，其餘月份為 25% 以下。

離岸風電區預報風速於 10 月、11 月、12 月、1 月分別為 30%、56%、41%、42%，其餘月份為 20% 以下。

顯示 T2 預報風速與 T2 觀測風速之強風分布百分比大致相近，且離岸風電區預報風速之強風分布特性與 T2 預報風速相近，顯示臺中港區與外海離岸風電區之風速大致呈現強度相近之均勻風場分布特性。

表 3-3 觀測與預報風速之分布百分比

T2(觀測)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	11	22	34	34	41	32	33	51	38	17	16	20
4級風	11	13	16	23	20	31	21	22	11	14	8	9
5級風	15	17	19	21	15	28	31	13	10	15	11	13
6級風	14	26	16	12	12	8	12	5	14	16	9	16
7級風	19	18	10	8	8	1	2	7	15	21	17	10
8級風	24	3	6	1	3	0	1	3	8	15	21	12
9級風以上	6	1	1	0	0	0	0	0	4	2	18	19
總筆數	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
T2(WRF)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	12	20	29	34	38	26	26	35	30	18	14	18
4級風	13	14	20	33	20	36	22	23	15	14	8	10
5級風	19	16	22	21	22	29	29	21	13	15	10	17
6級風	15	24	15	4	14	7	23	14	21	21	15	16
7級風	21	22	9	8	7	0	1	6	12	24	19	10
8級風	19	3	4	0	0	0	0	1	6	8	23	14
9級風以上	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	10	14
總筆數	744	672	744	720	744	672	744	744	720	744	720	744
WRF(離岸風電)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	6	22	26	29	35	25	22	31	29	13	6	12
4級風	12	11	19	36	18	33	24	17	11	10	10	11
5級風	19	17	27	21	24	35	30	25	12	20	12	19
6級風	20	30	13	6	15	7	22	18	29	26	16	18
7級風	24	19	11	8	7	0	3	7	10	25	24	14
8級風	18	1	3	0	1	0	0	2	8	5	26	20
9級風以上	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6	7
總筆數	744	672	744	720	744	672	744	744	720	744	720	744

表 3-4 所示為 AWAC 觀測波高、AWAC 預報波高、離岸風電區預報波高之逐月波級分布百分比，5 級波高(含)以上之波級比較如下：

- 最強波級之 6 級波高(含)以上：

AWAC 觀測波高於 11 月、12 月、1 月為 20%、16%、11%，其餘月份為 5% 以下。

AWAC 預報波高於 11 月、12 月、1 月為 8%、11%、1%，其餘月份為 1% 以下。

離岸風電區預報波高於 11 月、12 月、1 月為 46%、33%、28%，其餘月份為 15% 以下。

顯示模式對 6 級(含)以上波高之預報於臺中港區有偏弱特性。但離岸風電區域報波高比臺中港區觀測波高或預報波高明顯增強。

- 5 級波高(含)以上：

將 5 級、6 級以上之波高累加，可得強波百分比如下。

AWAC 觀測波高於 10 月、11 月、12 月、1 月、2 月分別為 36%、60%、43%、48%、38%，其餘月份為 24% 以下。

AWAC 預報波高於 10 月、11 月、12 月、1 月、2 月分別為 19%、48%、36%、30%、16%，其餘月份為 13% 以下。

離岸風電區預報波高於 10 月、11 月、12 月、1 月、2 月分別為 49%、71%、51%、56%、41%，其餘月份為 38% 以下。

上述結果顯示 AWAC 預報波高比 AWAC 觀測波高有偏弱之誤差。離岸風電區預報波高則明顯強過臺中港區之 AWAC 觀測波高與預報波高，顯示外海離岸風電區波高明顯比近岸臺中港區波高來得強烈，因此本模式所預報之離岸風電區強烈波高，當可提供做為航

行安全管理之參考資訊與指引，特別是在強盛東北季風時期，這也反映持續性強烈東北季風，經由風吹所累積之能量當造成外海空曠海域之持續性強浪。

表 3-4 觀測與預報波高之分布百分比

AWAC(觀測)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級以下	7	18	26	55	51	85	86	66	28	18	9	14
4級	44	44	53	30	36	15	12	24	49	46	31	44
5級	37	36	21	15	11	0	2	9	19	34	40	27
6級以上	11	2	1	0	2	0	0	1	5	2	20	16
總筆數	736	672	737	715	733	612	617	719	717	729	698	715
AWAC(NWW3)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級以下	30	39	68	80	68	85	66	72	51	31	22	36
4級	40	45	23	15	29	15	34	24	36	50	29	28
5級	29	16	9	5	3	0	0	5	11	18	40	25
6級以上	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	8	11
總筆數	744	672	744	715	744	684	743	744	720	736	720	732
NWW3(離岸風電)(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級以下	15	30	47	66	55	77	53	54	41	17	14	20
4級	29	29	33	21	26	23	41	34	23	33	15	30
5級	28	33	11	10	16	0	6	9	24	34	25	18
6級以上	28	8	9	4	3	0	0	3	12	15	46	33
總筆數	744	672	744	710	744	684	740	744	720	737	720	737

為進一步檢驗模式之預報結果，本研究取 2019 年建置之臺中港浮標資料進行比對，該浮標之風速與波高觀測筆數如表 3-5 所示，浮標位置(120.4094E, 24.2108N)，如圖 3.16 之紅色星號所示。該浮標位於臺中港區與離岸風電區之間，自 2019 年 8 月下旬開始觀測，波高為示性波高，風速測量高度為 2.5 公尺。但在 10 月上旬，風場觀測儀器故障，至今未能恢復觀測，但波高觀測則是持續運作。因此，本研究將以有完整觀測資料之 2019 年 9 月進行比對。

表 3-5 臺中港浮標之風場、波高觀測筆數

月份	風場觀測筆數	波高觀測筆數
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	208	229
9	694	715
10	210	697
11	0	672
12	0	719

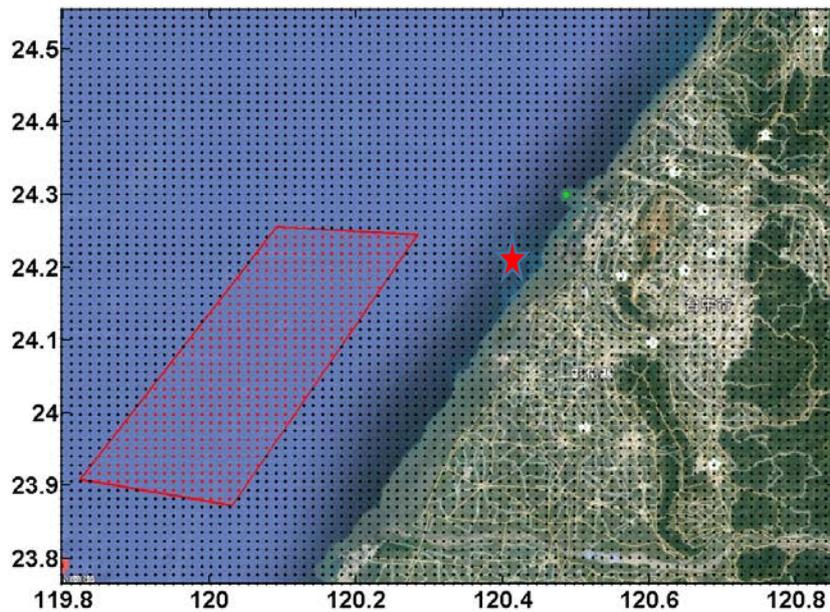


圖 3.16 臺中港浮標位置圖(紅色星號)

臺中港浮標之觀測資料係取 9 月共 30 天，每天在地時間 0 時之資料串成該月共 30 筆資料之時間序列，模式則取 12Z(在地時間晚上 8 點)預報個案之第 4 時預報結果，串成 9 月共 30 筆預報資料之時間序列，再與對應時間之觀測資料時間序列比對。比對資料包括臺中港浮標之觀測資料(藍線)、對應臺中港浮標之預報資料(紫線)、離岸風電區之預報資料(綠線)，分別對風速與波高預報結果比對。結果如圖 3.17 所示。就風場而言，三條時間序列呈現相似之變化特性，但風速則是預報場比觀測場，特別是較大風速發生之 9 月 14-30 日，顯示外海之預報風速應是比觀測風速為強。在波高方面，三條時間序列之變化特性相近，但強度則是臺中港浮標觀測波高與離岸風電區預報波高相近，且兩者均比臺中港浮標預報波高為強，顯示外海預報波高仍存有偏弱特性，因此離岸風電區之預報波高當有向上修正之可能性。為診斷預報資料與觀測資料一致性之高低，本研究分別計算風速與波高各自 3 條時間序列之相關係數，浮標觀測風速與浮標預報風速、離岸風電區預報風速之相關係數分別為 0.91、0.90，浮標觀測波高與浮標預報波高、離岸風電區預報波高之相關係數分別為 0.94、0.94，這些結果顯是預報風場與波

高於外海空曠海域具有高度之準確性，足以預報臺中港區外海海氣象環境之變化狀態，唯有其強度仍需進行誤差修正。

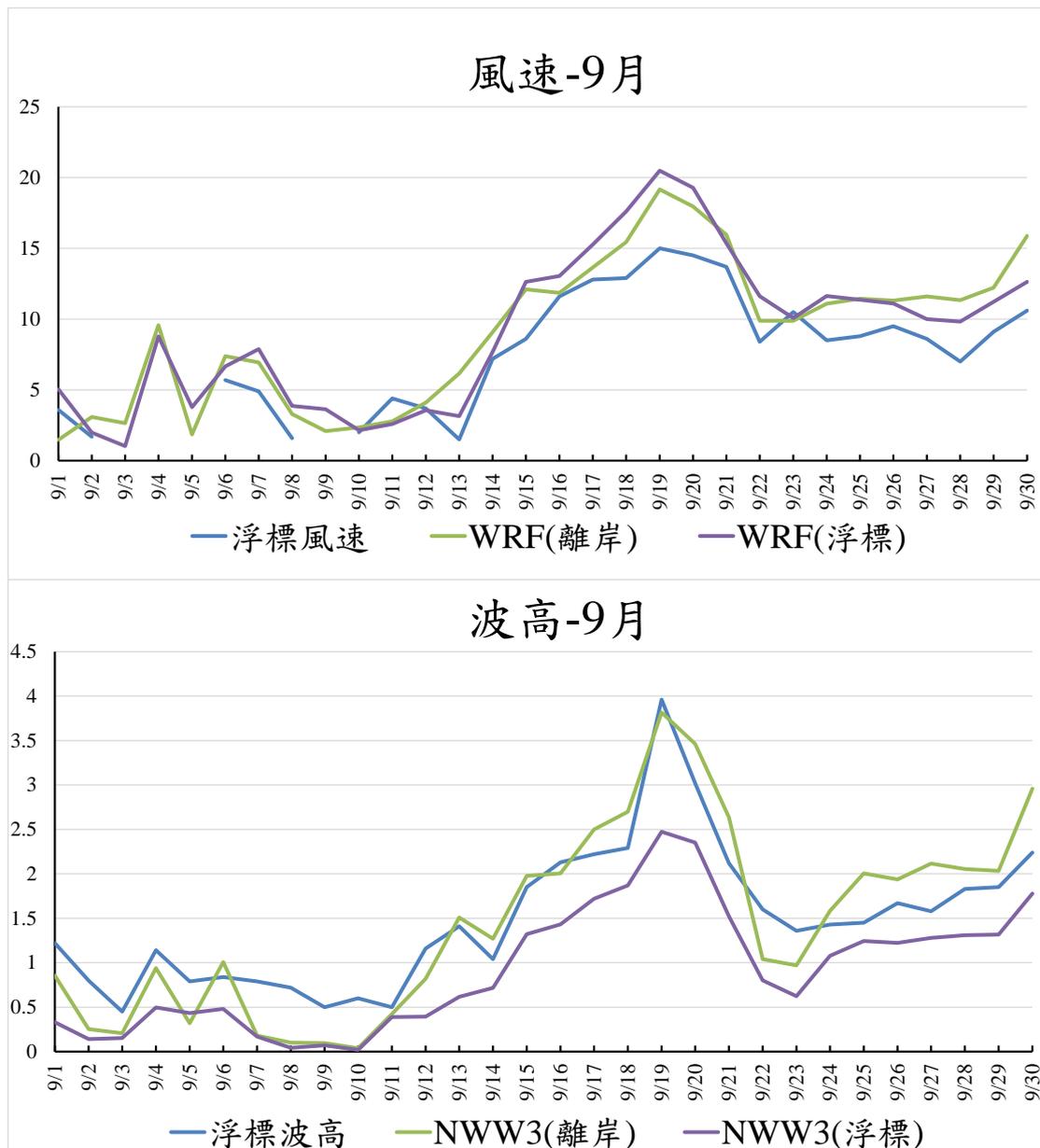


圖 3.17 臺中港浮標觀測、預報結果與離岸風電區預報結果

第四章 臺中港強風個案之預報特性分析

建置風、波預報模式之後，對其預報能力之分析，除了季節變化特性之基本能力掌握之外，另一個重點為針對災害天氣預報之掌握能力。引發強風大浪之災害性天氣主要有兩類，一為夏、秋季突發性之颱風，另一類為東北季風時期之持續性強風，本章將針對風、波預報模式對強風個案之預報能力進行檢驗。

4.1 強風個案之臺中港區風場預報特性分析

臺中港區強風可達到 9 級以上，本研究定義 2019 年之中，當日 T2 逐時風速資料曾達到 9 級風($\geq 20.8\text{m/s}$)為強風個案，再取強風個案當日之前 2 天與後 1 天共計 4 天(96 小時)區間，此時間區間可對應初始時間相隔 12 小時之連續 5 個 48 小時預報，將 T2 風速之 48 小時預報結果與對應時間觀測風速比對，預報能力之檢驗項目如下所列：

- 逐時預報風速與觀測風速之 48 小時相關係數，藉此診斷模式對風速變化趨勢與強度之掌握能力。
- 計算預報風速與觀測風速於 48 小時區間之均方根誤差(RMSE)。
- 緯向風與經向風之 48 小時相關係數，診斷不同風場之預報特性。
- RMSE/W_s (觀測最大風速)之相對百分比，評估 RMSE 對比最大風速之相對強度。
- dT: 預報最大值與觀測最大值之時間差距(預報-觀測)，提前為負值，

延後為正值。

- dWs: 預報最大風速與觀測最大風速之強度差距(預報-觀測)。
- dWs/Ws: 最大風速誤差之比例值

2019 年之中，共計選取 24 個強風個案，每案可能包含一天或兩天發生強風的日期，每個個案之全部涵蓋期間區為 4 天(96 小時)，其觀測時間序列以黑線顯示，自第一筆時間開始，每隔 12 小時所執行之 5 個 WRF 預報對 T2 風速之 48 小時預報結果，分別以紅線、綠線、藍線、紫線、橙線顯示，每個預報對應臺灣本地時間之初始時間也標示在圖中。所選取 24 個強風個案之 T2 風速預報結果，顯示於圖 4-1 到圖 4-4，各圖中之橫線代表 9 級風強度，做為達到強風個案之檢驗標準。

圖 4-1 分析結果敘述如下：

- 1 月 1 日強風個案持續發生數天，預報模式可掌握其強風強度。
- 1 月 16-17 日強風個案於 18 日明顯減弱，模式準確掌握轉弱變化。
- 1 月 20-21 日強風個案為從 18-19 日偏弱風場轉強，模式可準確掌握轉強之變化。
- 1 月 25-26 日強風個案為從 24 日偏弱風場轉強，再於 27 日轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象，惟 27 日轉弱速度太快。
- 1 月 31 日-2 月 1 日強風個案為從 30 日偏弱風場轉強，再於 2 月 2 日轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象。
- 3 月 7 日強風個案為從 6 日偏弱風場轉強，再於 8 日轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象。

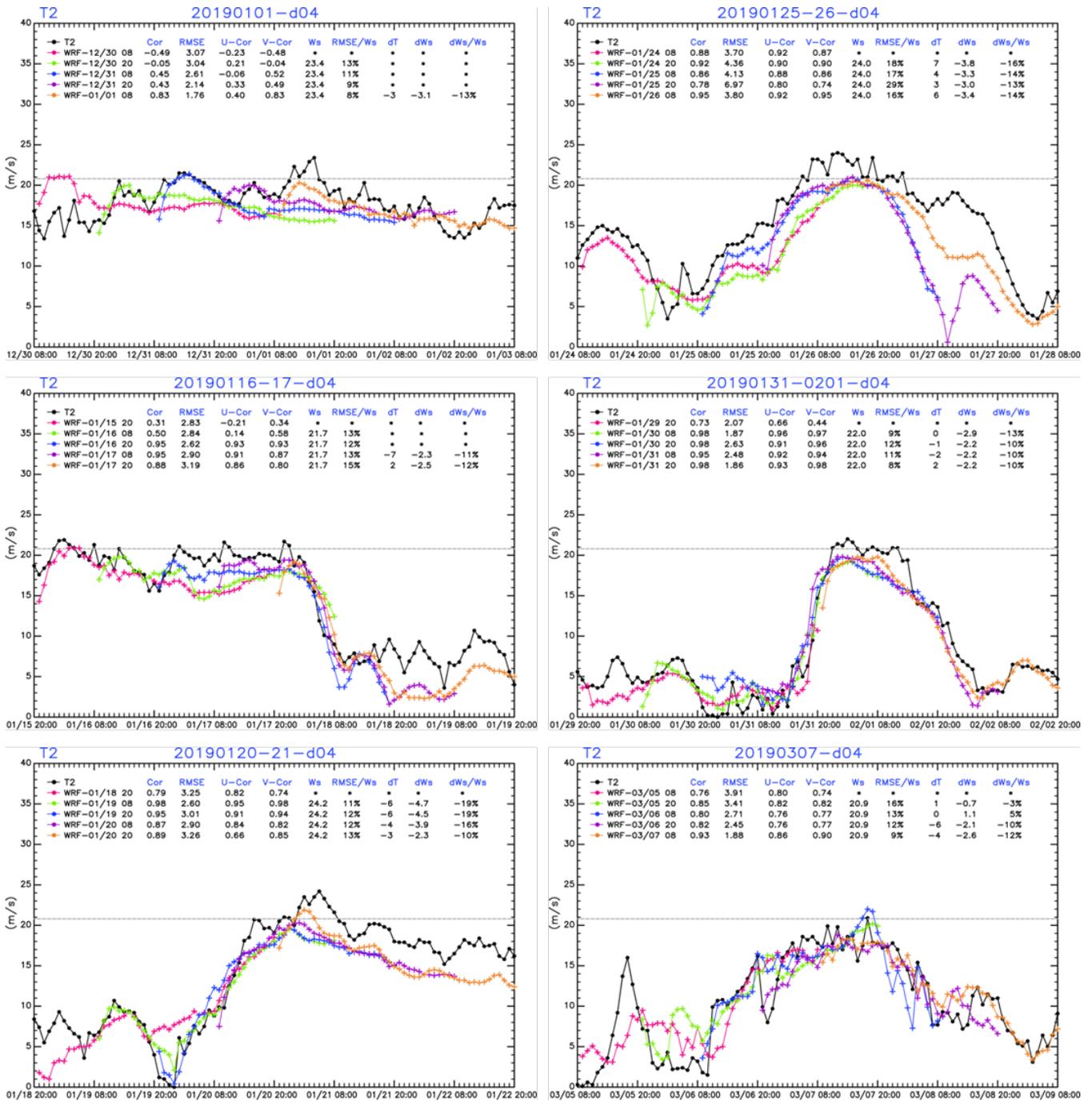


圖 4.1 2019 年 1 月 1 日-3 月 7 日強風個案之風速預報結果

圖 4-2 分析結果敘述如下:

- 3 月 23 日強風個案為從 22 日偏弱風場轉強，再於 24 日轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象。
- 3 月 31 日之風速不強，發生增強、減弱交替之變化特性，於 31 日下午增強達到 9 級風，再於 4 月 1 日明顯減弱，模式大致可掌握觀測風場之強弱變化特性。
- 9 月 19-20 日強風個案從 18 日開始減弱，21-22 日明顯減弱，模式可準確掌握轉弱之變化。
- 9 月 30 日強風個案於 28-30 日期間，逐日均有增強、減弱之變化現象，10 月 1 日明顯減弱，模式預報大致可掌握強弱變化之現象。
- 10 月 14-15 日強風個案為從 13 日轉強，再於 16 日轉弱，模式可準確掌握此變化特性。
- 10 月 30 日強風個案為從 28 日逐漸轉強，再於 31 日轉弱再略增強，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象，惟預報風速偏弱。

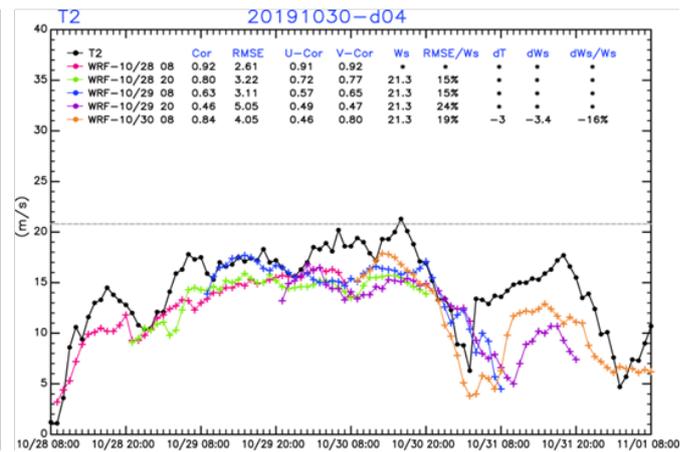
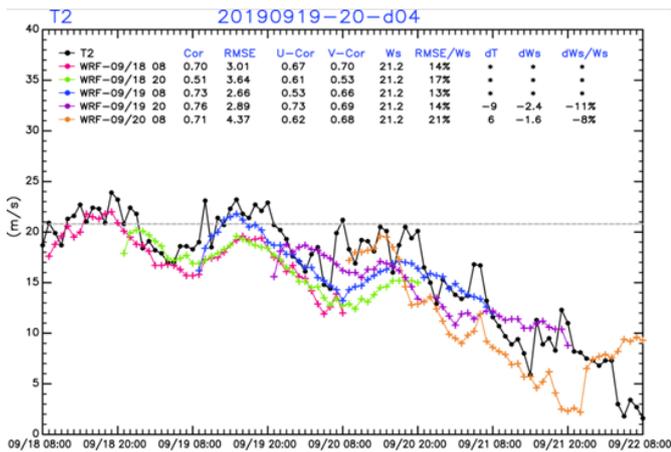
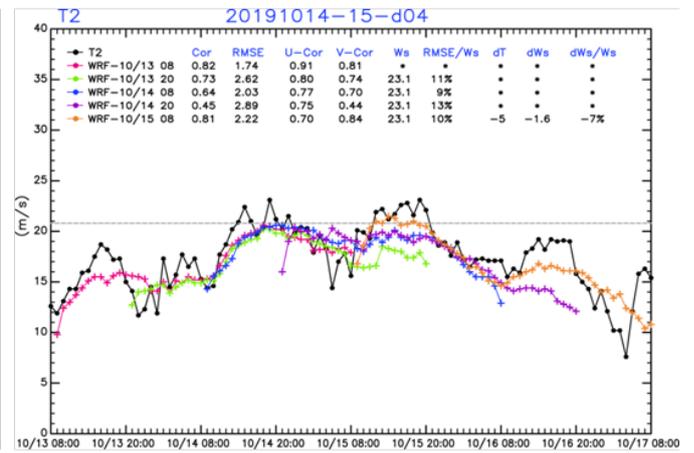
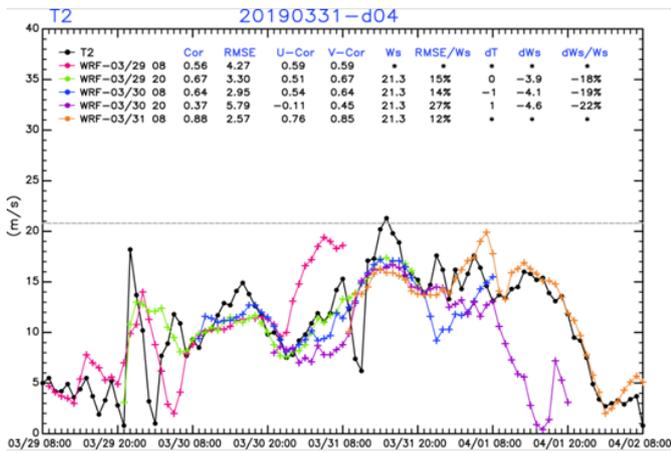
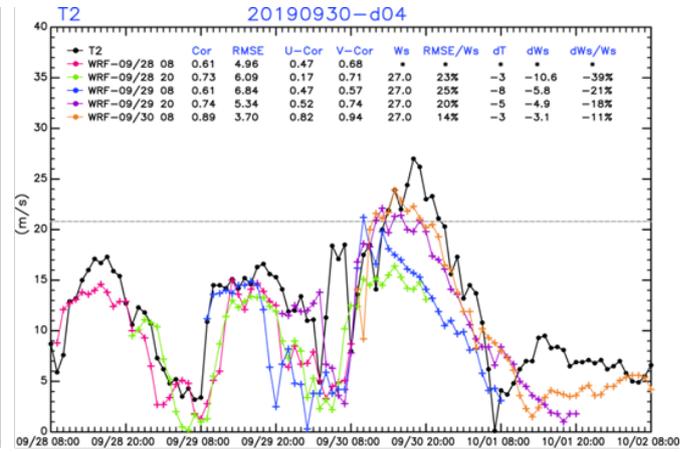
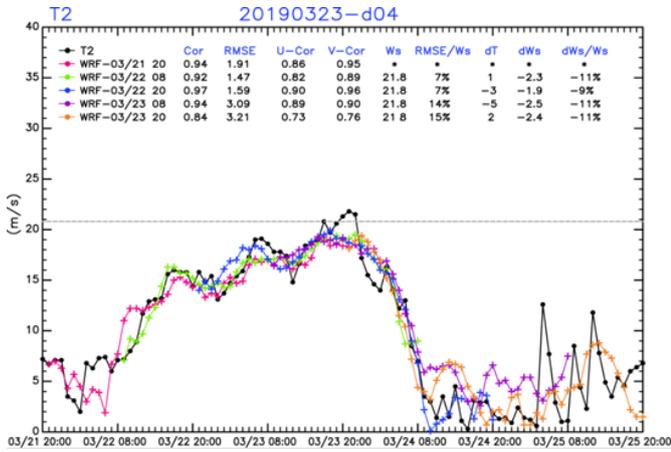


圖 4.2 2019 年 3 月 23 日-10 月 30 日強風個案之風速預報結果

圖 4-3 分析結果敘述如下:

- 11 月 4-5 日強風個案於 6 日上午轉弱，下午略為增強後再轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象，惟預報風速轉弱速度過快。
- 11 月 8-9 日強風個案於 10 日迅速轉弱，模式可掌握觀測風場之轉弱變化特性。
- 11 月 13-14 日強風個案從 13 日上午迅速轉強，持續維持強度，直到 15 日再迅速轉弱，模式可準確掌握轉強、轉弱之變化，惟預報風速轉弱速度過快。
- 11 月 18-19 日強風個案於 18 日上午迅速轉強，維持強風狀態，直到 21 日才迅速轉弱。模式預報可掌握觀測風速強弱變化現象，惟預報風速轉弱速度過快。
- 11 月 20-21 日強風個案於 20 日晚上為強風狀態，21 日上午迅速變弱後再增強回來，22 日開始轉弱，23 日明顯變弱。模式可準確掌握風速強弱變化，惟預報風速偏弱。
- 11 月 27-28 日強風個案為從 27 日逐漸轉強，28 日最強，再於 29 日轉弱，30 日明顯變弱。模式可清楚掌握此強弱變化現象，惟預報風速轉弱速度過快。

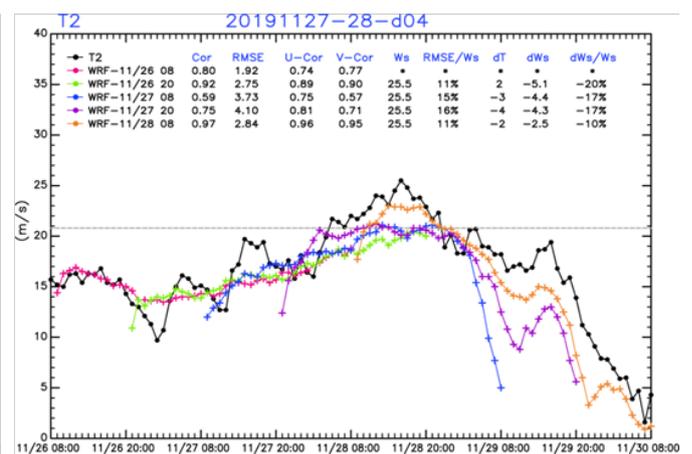
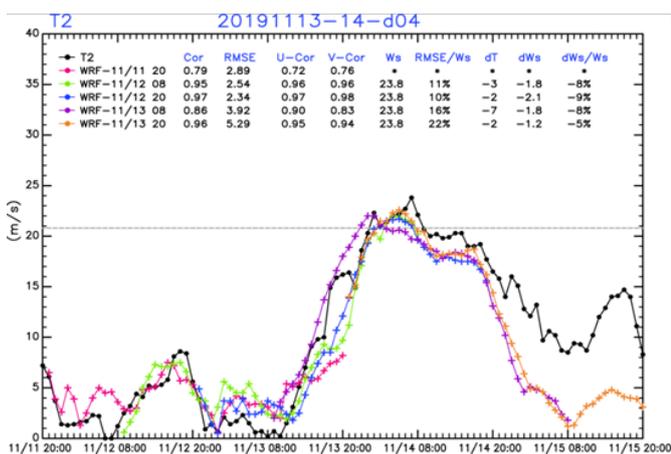
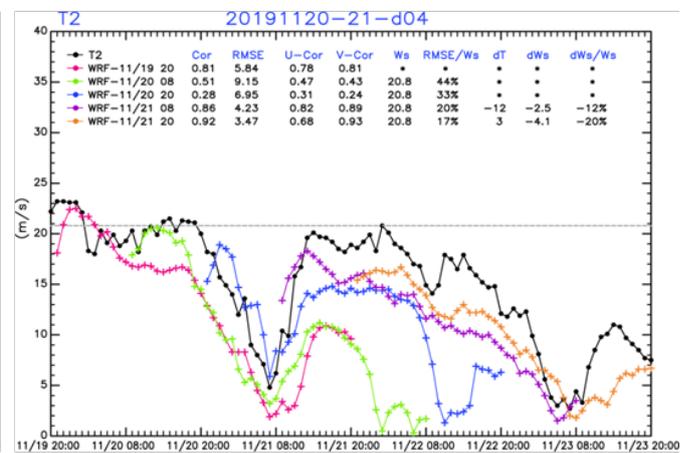
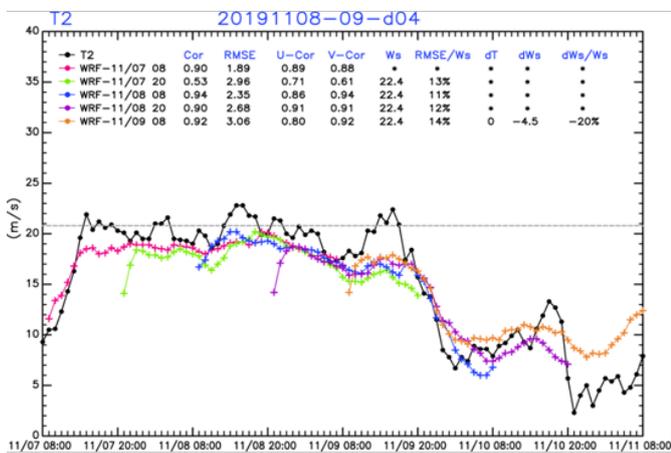
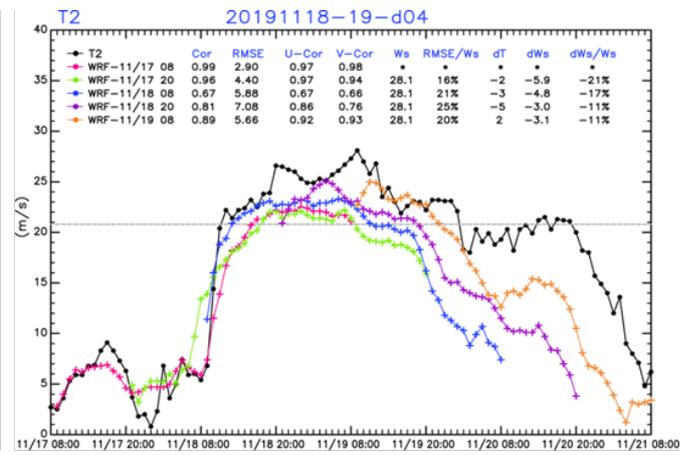
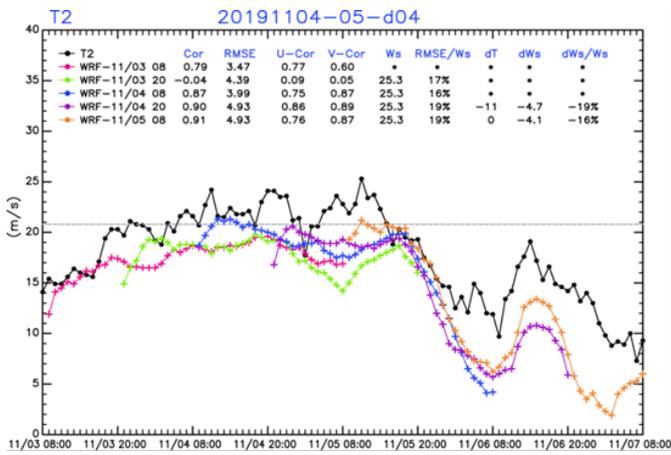


圖 4.3 2019 年 11 月 4 日-11 月 27 日強風個案之風速預報結果

圖 4-4 分析結果敘述如下：

- 12 月 2-3 日強風個案自 1 日晚上迅速增強後，持續維持強風狀態，模式可清楚掌握此轉強過程，惟 4 日預報風速偏弱。
- 12 月 4-5 日強風個案於 3 日到 7 日期間均維持強風狀態，模式可掌握此持續強風狀態，惟預報風速略偏弱。
- 12 月 6-7 日強風個案於 6 日到 7 日均維持強風狀態，於 8 日迅速轉弱，9 日持續減弱。模式可準確掌握轉弱之變化。
- 12 月 19 日強風個案於 18 日開始轉強後維持較強風狀態，21 日才逐漸減弱，模式預報可掌握風速強弱變化現象。
- 12 月 26-27 日強風個案於 26 日上午開始轉強，27 日上午達到最強風速，27 日晚上迅速轉弱，模式可準確掌握風速強弱變化。
- 12 月 30-31 日強風個案為從 30 日晚上迅速轉強，31 日上午最強，下午開始轉弱，模式可清楚掌握此強弱變化現象。

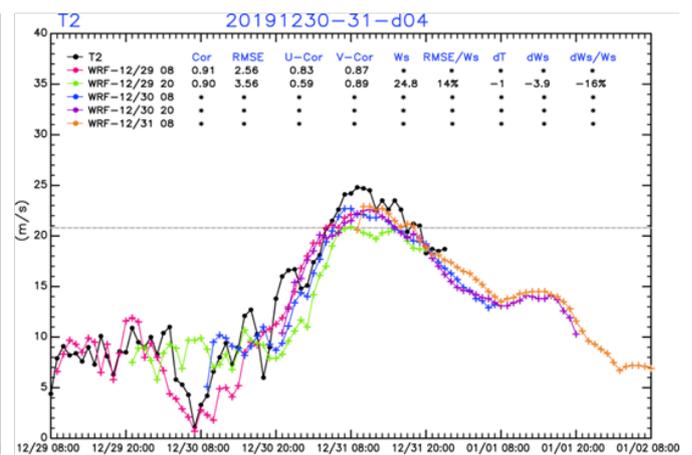
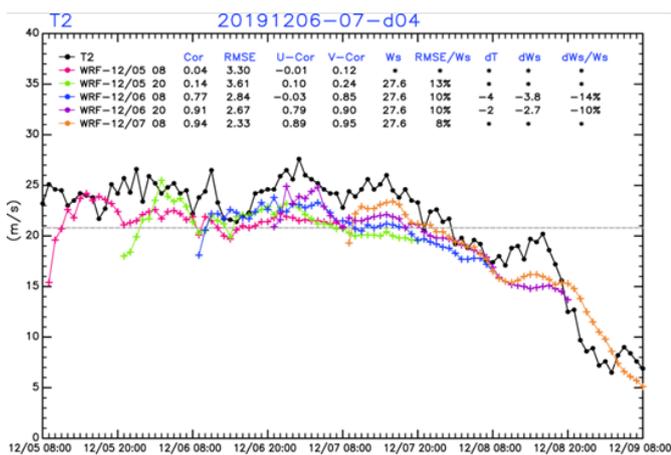
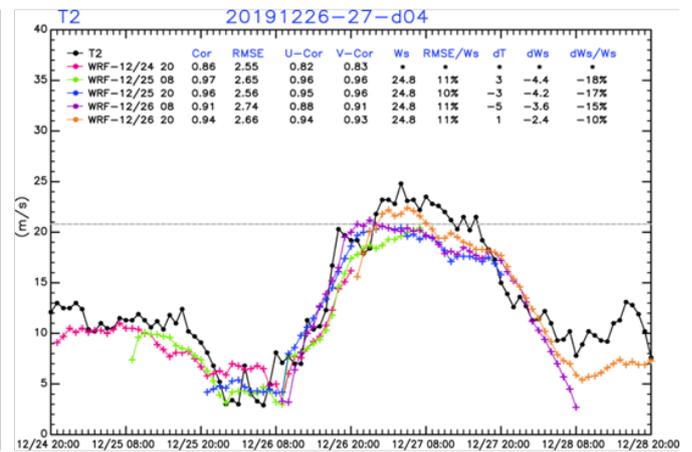
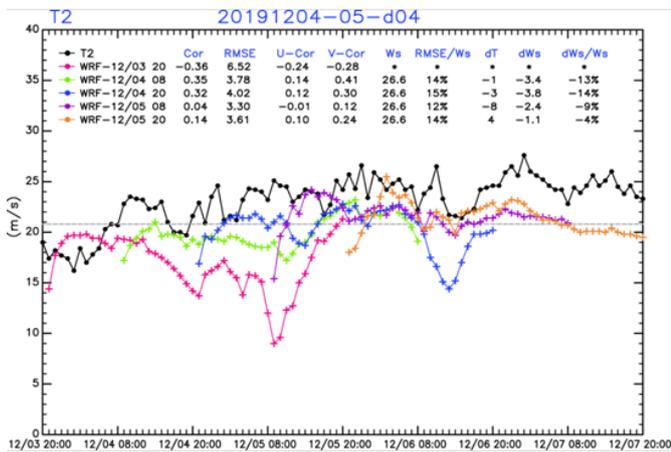
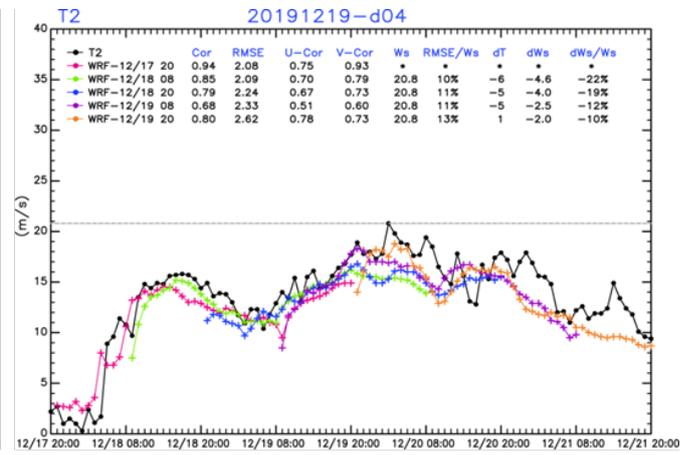
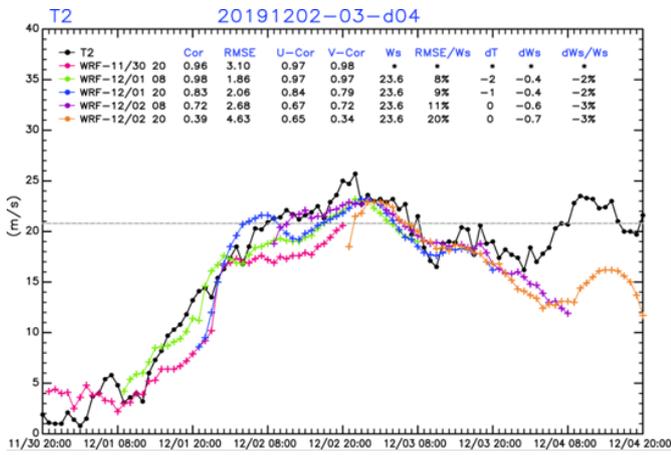


圖 4.4 2019 年 12 月 2 日-12 月 30 日強風個案之風速預報結果

為評估 WRF 模式對強風個案之整體預報能力，上述各強風個案對 T2 風速之 5 個 48 小時預報的各項分析結果，均計算其平均值，再將其列表彙整於表 4-1。整體而言，T2 預報風速與觀測風速之平均相關係數，除了 1 月 1 日與 12 月 4-5 日兩個案之外，平均值約在 0.56-0.93 之間，全部相關係數平均值為 0.74。若以 48 小時之相關係數而言，0.37 以上即達到 99% 顯著程度，反應強風個案之整體預報能力為佳。就 U 與 V 之相關係數而言，V 相關係數高於 U 相關係數之個案以藍字顯示，可看到 V 相關係數多數比 U 相關係數為高。全部個案之 U 相關係數平均值為 0.67，V 相關係數平均值為 0.73，反應經向風之正確預報為整體預報能力之主要來源。RMSE 相對最大風速(RMES/Ws)之比值落在 10-29%，全部平均值為 15%。最大風速預報之時間大多為提前(dT 為負值，藍字顯示)，平均提早 2.2 小時。對最大風速強度之預報偏差均為負值(dWs)，偏弱-5%~-22%，平均值為-13%，顯示預報風速有偏弱誤差。

將表 4-1 中相關係數平均值高於 0.5、RMSE/Ws 百分比平均值低於 1/3 (33%)以紅字顯示，兩者均達成者定義為預報優良個案。在全部 24 個案中，有 22 個案為優良預報結果，達 92%，顯示 WRF 對臺中港區強風個案之風速具備優良預報能力。在季節差異上，對風速之預報能力，冬季(12-1-2 月)11 個案中，有 9 個為優良預報個案，達 82%。秋季(9-10-11 月)10 個案與春季(3 月)3 個案全部為優良預報個案，均達 100%。顯示對臺中港區風場之預報能力，於秋季、冬季、春季(3 月)之預報能力均佳。

表 4-1 強風個案風場之平均預報特性彙整表

強風個案	相關 係數	RMSE	U-相關 係數	V-相關 係數	Ws	RMSE/Ws	dT	dWs	dWs/Ws
20190101	0.23	2.5	0.13	0.26	23.4	10 %	-3.0	-3.1	-13 %
20190116-0117	0.72	2.9	0.53	0.70	21.7	13 %	-2.5	-2.4	-12 %
20190120-0121	0.90	3.0	0.84	0.87	24.2	12 %	-4.8	-3.9	-16 %
20190125-0126	0.88	4.6	0.88	0.86	24.0	20 %	5.0	-3.4	-14 %
20190131-0201	0.92	2.2	0.88	0.86	22.0	10 %	-0.3	-2.4	-11 %
20190307	0.83	2.9	0.80	0.80	20.9	13 %	-2.3	-1.1	-5 %
20190323	0.92	2.3	0.84	0.89	21.8	11 %	-1.3	-2.3	-11 %
20190331	0.62	3.8	0.46	0.64	21.3	17 %	0.0	-4.2	-20 %
20190919-0920	0.68	3.3	0.63	0.65	21.2	16 %	-1.5	-2.0	-10 %
20190930	0.72	5.4	0.49	0.73	27.0	21 %	-4.8	-6.1	-22 %
20191014-1015	0.69	2.1	0.79	0.71	23.1	11 %	-5.0	-1.6	-7 %
20191030	0.73	3.6	0.63	0.72	21.3	18 %	-3.0	-3.4	-16 %
20191104-1105	0.69	4.3	0.65	0.66	25.3	18 %	-5.5	-4.4	-18 %
20191108-1109	0.84	2.6	0.83	0.85	22.4	13 %	0.0	-4.5	-20 %
20191113-1114	0.91	3.4	0.90	0.89	23.8	15 %	-3.5	-1.7	-8 %
20191118-1119	0.86	5.2	0.88	0.85	28.1	21 %	-2.0	-4.2	-15 %
20191120-1121	0.68	5.9	0.61	0.66	20.8	29 %	-4.5	-3.3	-16 %
20191127-1128	0.81	3.1	0.83	0.78	25.5	13 %	-1.8	-4.1	-16 %
20191202-1203	0.78	2.9	0.82	0.76	23.6	12 %	-0.8	-0.5	-3 %
20191204-1205	0.10	4.2	0.02	0.16	26.6	14 %	-2.0	-2.7	-10 %
20191206-1207	0.56	3.0	0.35	0.61	27.6	11 %	-3.0	-3.3	-12 %
20191219	0.81	2.3	0.68	0.76	20.8	11 %	-3.8	-3.3	-16 %
20191226-1227	0.93	2.6	0.91	0.92	24.8	11 %	-1.0	-3.7	-15 %
20191230-1231	0.91	3.1	0.71	0.88	24.8	14 %	-1.0	-3.9	-16 %
總平均	0.74	3.4	0.67	0.73	23.6	15 %	-2.2	-3.1	-13 %

4.2 強風個案之臺中港區波高預報特性分析

強風個案所對應臺中港區波高之預報結果，檢驗 NWW3 模式對 AWAC 波高之預報能力，檢驗包含下列分析項目：

- 逐時預報波高與 AWAC 觀測波高之 48 小時相關係數。
- 預報波高與觀測波高於 48 小時區間之 RMSE 值。
- RMSE/Hs(觀測最大波高)之相對百分比。
- dT: 預報最大波高與觀測最大波高發生時間之差距(預報-觀測)。
- dHs: 預報最大波高與觀測最大波高之強度差距(預報-觀測)。
- dHs/Hs: 最大波高值誤差之比例值

AWAC 預報結果如圖 4-5 到圖 4-8 所示，圖 4-5 分析結果敘述如下：

- 2019 年 1 月 1 日強風個案之每個波高預報，於前 6 小時預報偏弱，後續強度提升，但仍比觀測波高微弱。
- 1 月 16-17 日強風個案於 18 日明顯減弱，模式可準確掌握轉弱之變化，但 18 日晚上之後的預報波高減弱過於迅速。
- 1 月 20-21 日強風個案顯現從 20 日到 21 日有波高增強現象，預報模式能適當掌握此現象，惟預報波高偏弱。
- 1 月 25-26 日強風個案從 25 日到 26 日有波高增強現象，模式能適當所掌握，惟預報波高之強度與極值均偏弱。

- 1月31日-2月1日強風個案於31日晚間開始迅速增強，再於2月2日明顯轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象，惟預報波高偏弱，且2月2日減弱過於迅速。
- 3月7日強風個案從6日偏弱波高轉強，再於8日轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象，惟預報波高偏弱。

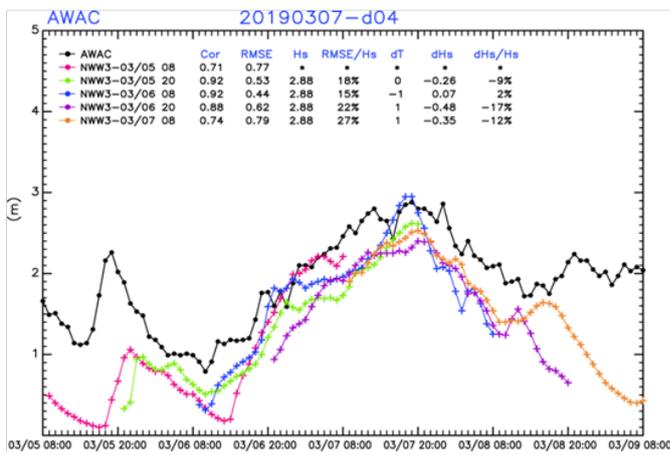
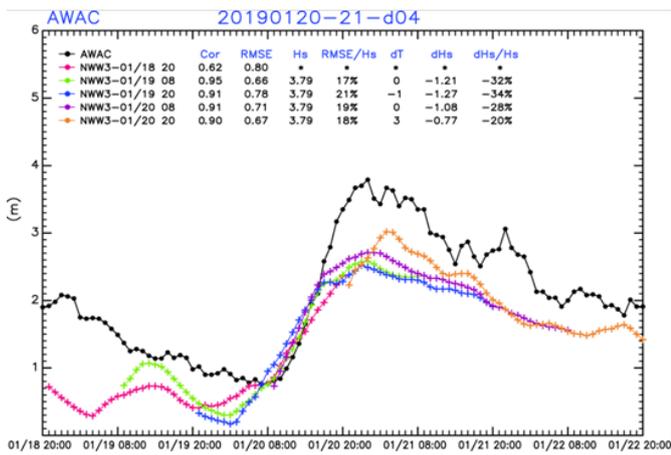
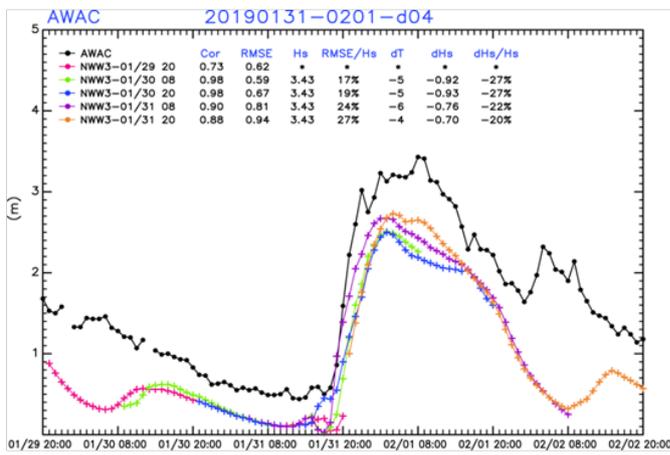
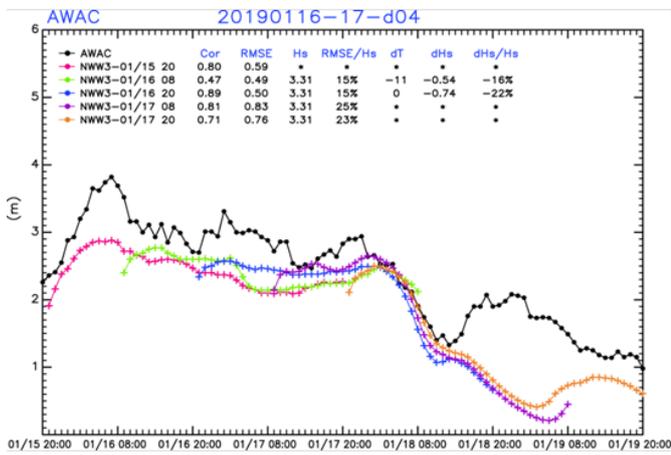
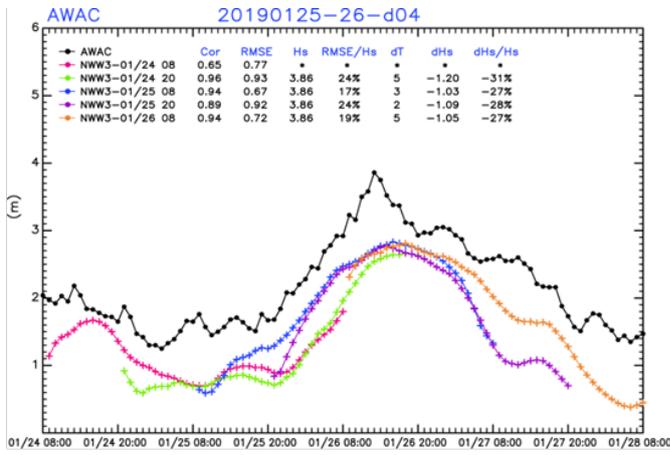
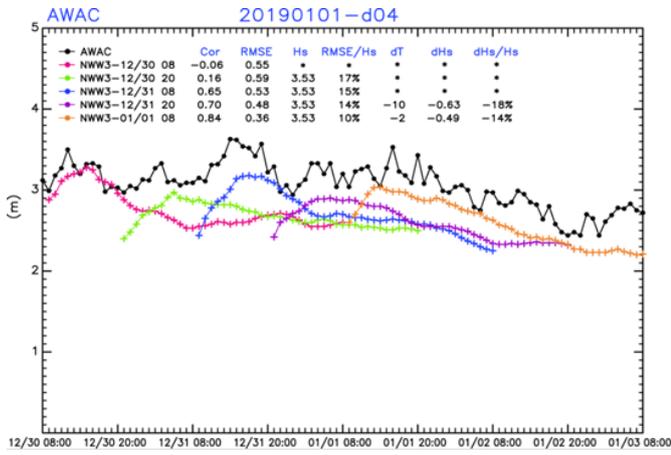


圖 4.5 2019 年 1 月 1 日-3 月 7 日強風個案之波高預報結果

圖 4-6 分析結果敘述如下:

- 3 月 23 日強風個案為從 22 日偏弱波高轉強，再於 24 日轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪之變化現象，惟 24 日之預報波高減弱過於迅速。
- 3 月 31 日強風個案自 3 月 29-30 日持續增強，於 31 日下午達到最大值，再於 4 月 1 日下午明顯減弱，模式大致可掌握觀測波高之強弱變化特性。
- 9 月 19-20 日強風個案之波高從 18 日逐漸減弱，21-22 日明顯減弱，模式可準確掌握觀測波高轉弱之變化。
- 9 月 30 日強風個案於 9 月 28-30 日期間，波高逐日均有增強、減弱之變化現象，9 月 30 日晚間達到最大值，10 月 1 日迅速減弱，模式預報大致可掌握強弱變化之現象，惟預報波高偏弱。
- 10 月 14-15 日強風個案之波高從 13 日轉強，再於 16 日轉弱，模式可準確掌握此變化特性。
- 10 月 30 日強風個案之波高從 28 日逐漸轉強，再於 11 月 1 日轉弱，模式可清楚掌握此強弱震盪變化現象，惟預報波高減弱速度過於迅速。

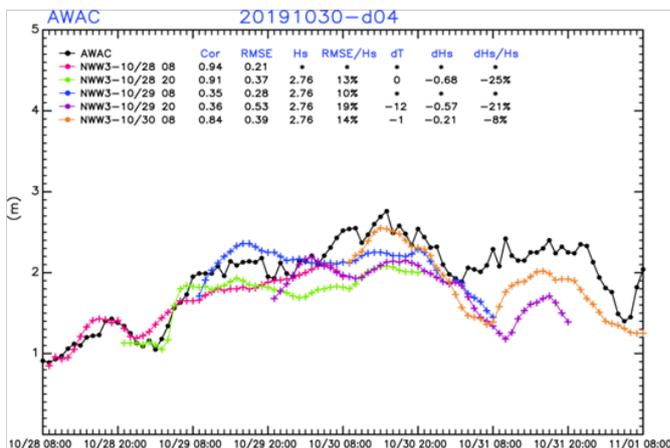
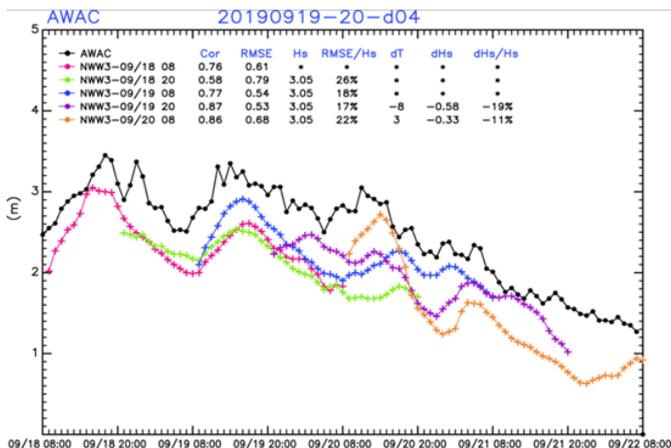
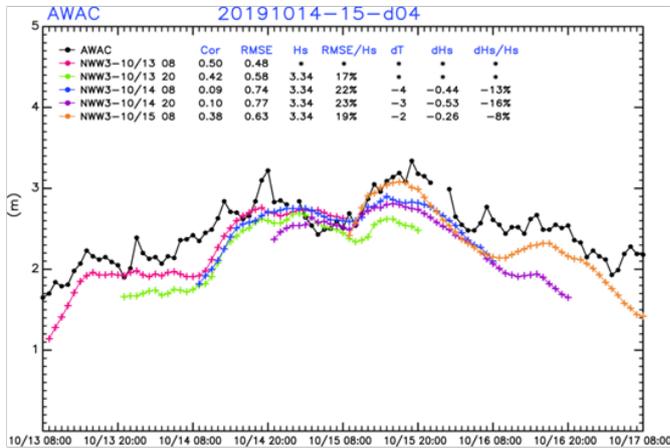
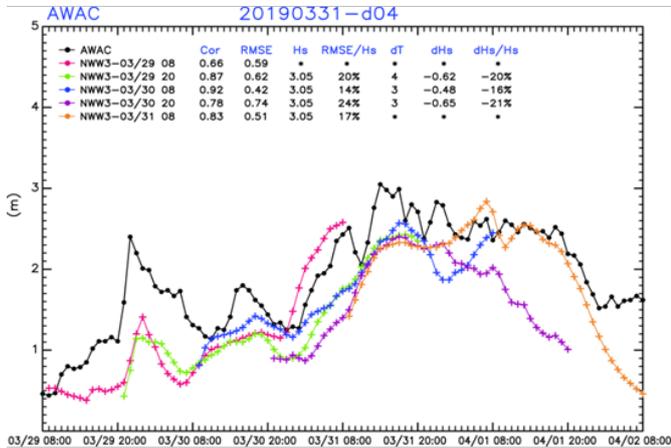
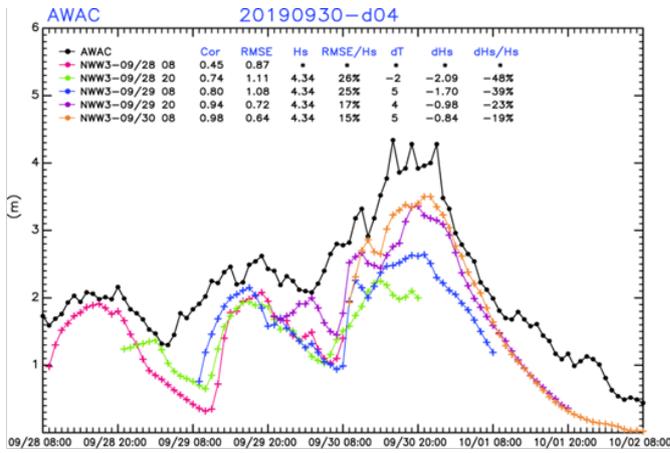
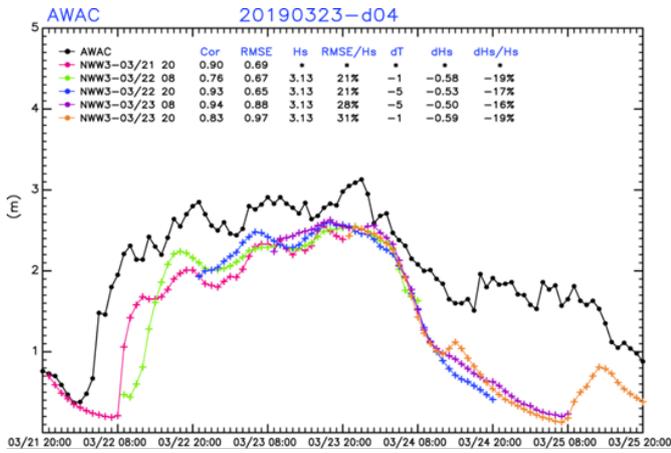


圖 4.6 2019 年 3 月 23 日-10 月 3 日強風個案之波高預報結果

圖 4-7 分析結果敘述如下:

- 11 月 4-5 日強風個案之波高自 5 日晚間轉弱，模式可清楚掌握此轉弱變化現象，惟預報波高轉弱速度過快。
- 11 月 8-9 日強風個案之波高自 7 日起逐日減弱，於 10 日迅速轉弱，模式可掌握此觀測波高轉弱變化特性。
- 11 月 13-14 日強風個案之波高從 13 日中午迅速轉強，於 13-14 日持續維持強度，直到 15 日再迅速轉弱，模式可準確掌握觀測波高轉強、轉弱之變化，惟預報波高偏弱且轉弱速度過快。
- 11 月 18-19 日強風個案之波高於 18 日上午迅速轉強，維持強波狀態，直到 20 日逐漸減弱，模式預報可掌握強弱變化現象，惟預報波高轉弱速度過快。
- 11 月 20-21 日強風個案之波高於 20 日晚上為強波狀態，21 日上午迅速變弱後再增強回來，22 日上午開始轉弱，23 日明顯變弱。模式可準確掌握觀測波高強弱變化現象，惟預報波高偏弱。
- 11 月 27-28 日強風個案之波高從 28 日凌晨逐漸轉強，29 日凌晨開始轉弱，模式可清楚掌握觀測波高強弱變化現象，惟 30 日預報波高轉弱速度過快。

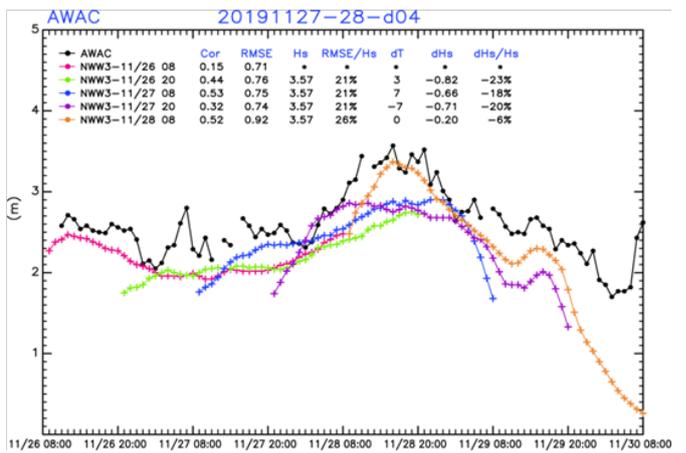
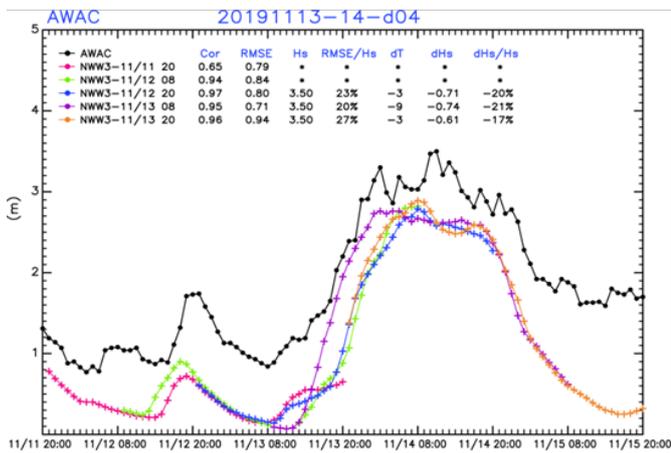
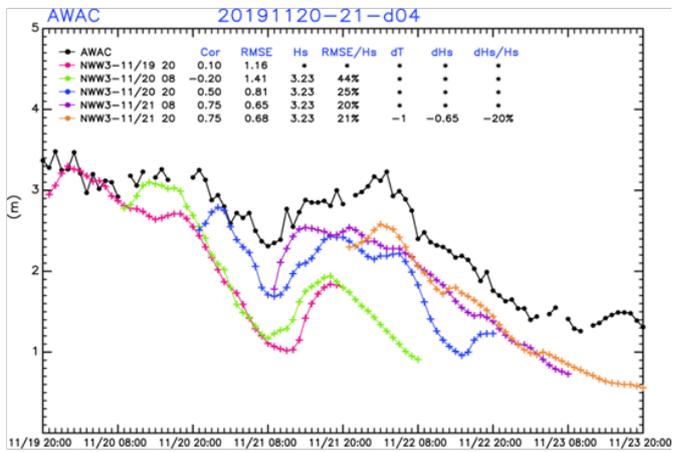
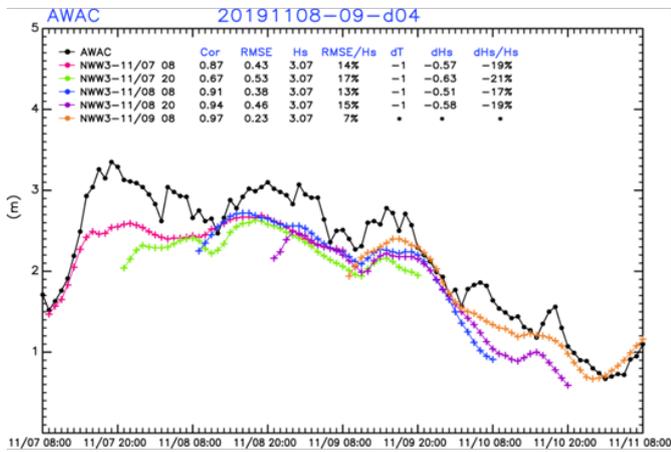
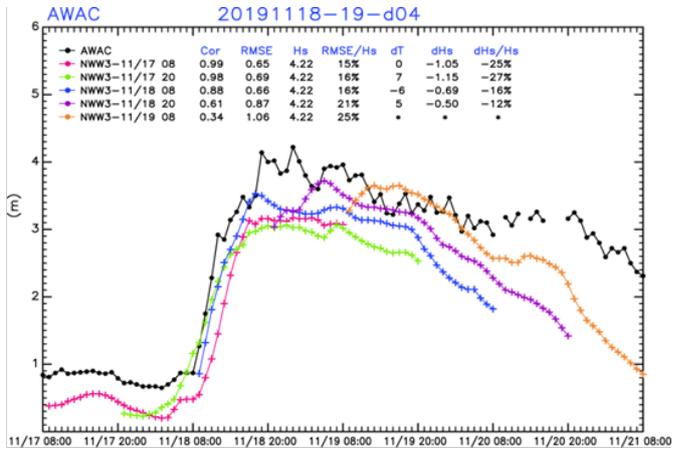
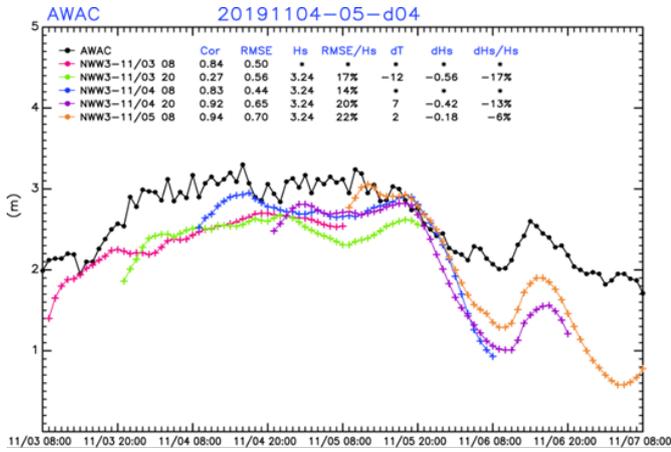


圖 4.7 2019 年 11 月 4 日-11 月 27 日強風個案之波高預報結果

圖 4-8 分析結果敘述如下:

- 12 月 2-3 日強風個案之波高自 1 日晚上迅速增強後，持續維持強波狀態，模式可清楚掌握此轉強過程。
- 12 月 4-5 日強風個案之波高均維持 3m 左右或以上強度，模式可掌握此持續強波狀態，惟對最大波高之預報強度偏弱。
- 12 月 6-7 日強風個案之波高於 6 日、7 日均維持強波狀態，於 8 日迅速轉弱，9 日持續減弱。模式可準確掌握轉弱之變化，惟對最大波高之預報強度偏弱。
- 12 月 19 日強風個案之波高於 18 日清晨開始轉強後，維持 2-3m 波高狀態，直到 21 日清晨才逐漸減弱，模式預報可掌握波高強弱變化現象。
- 12 月 26-27 日強風個案之波高於 26 日下午開始轉強，27 日上午達到最強波高，27 日晚上開始轉弱，模式可準確掌握波高強弱變化，惟對較弱波高之預報強度也過於偏弱。
- 12 月 30-31 日強風個案之波高從 30 日晚上迅速轉強，31 日上午最強，31 日下午開始轉弱，模式可清楚掌握此強弱變化現象。

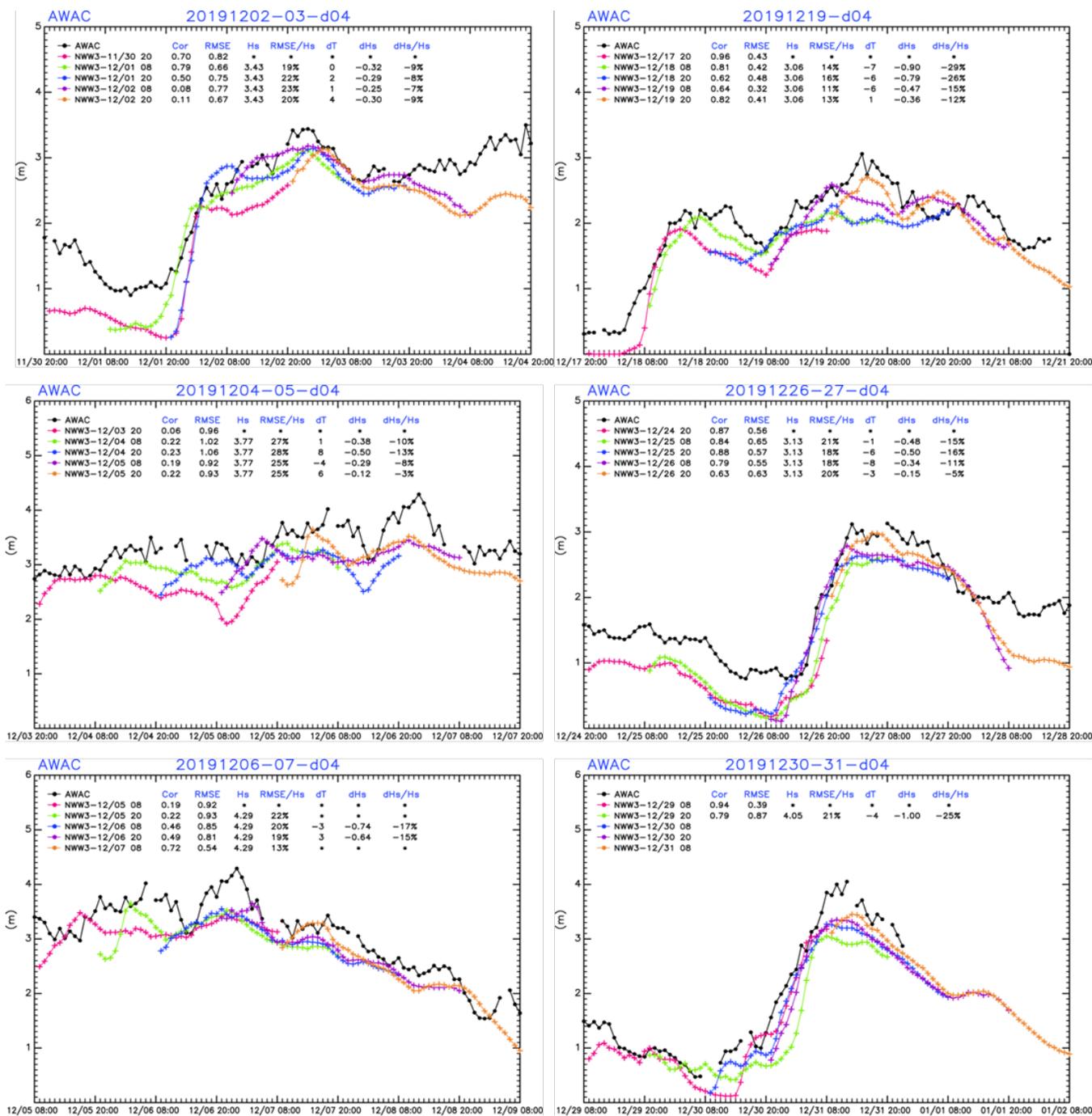


圖 4.8 2019 年 12 月 2 日-12 月 30 日強風個案之波高預報結果

對臺中港區 AWAC 波高之整體預報能力評估，以每個強風個案所執行 5 個 48 小時預報之檢驗項目平均值呈現於表 4-2。在相關係數平均值方面，24 個案中有 17 個案高於 0.5(以紅字顯示)，7 個未達 0.5，所有個案總平均值為 0.68，明顯高於 99%顯著程度之 0.37。RMSE 總平均值為 0.7m，最大波高 H_s 總平均值為 3.46m，RMSE/ H_s 之比值落在 13-26%之間，總平均值為 20%。所預報最大波高相對觀測最大波高發生時間，在 24 個案中有 14 個案為提前(dT 為負值，藍字顯示)，10 個延後，總平均為提早 1.4 小時。對最大波高強度之預報偏差均為偏弱， dH_s 為負值，偏弱百分比(dH_s/H_s)為-8%~-32%之間，平均值為-18%。取相關係數平均值高於 0.5，RMSE/ H_s 百分比平均值低於 1/3 (33%)之個案以紅字顯示，兩者均符合者定義為預報優良個案。在全部 24 個案中，有 17 個優良預報個案，達 71%，雖比 T2 風速預報優良個案之 92%為低，但 NWW3 模式對臺中港區強風個案之波高預報仍具備優良預報能力，惟其預報強度大多偏弱，為其系統性誤差。在季節差異上，冬季(12-1-2 月)11 個案中，有 7 個優良預報個案，達 64%，秋季(9-10-11 月)10 個案中，有 7 個為優良預報個案，達 70%，春季 3 月的 3 個案全部為優良預報個案，達 100%，顯示對臺中港區之波高預報，於秋季、冬季、春季(3 月)之預報能力均佳。

表 4-2 強風個案波高之平均預報特性彙整表

強風個案	相關係數	RMSE	Hs	RMSE/Hs	dT	dHs	dHs/Hs
20190101	0.46	0.5	3.53	14 %	-6.0	-0.56	-16 %
20190116-0117	0.74	0.6	3.31	19 %	-5.5	-0.64	-19 %
20190120-0121	0.86	0.7	3.79	19 %	0.5	-1.08	-29 %
20190125-0126	0.88	0.8	3.86	21%	3.8	-1.09	-28%
20190131-0201	0.89	0.7	3.43	22 %	-5.0	-0.83	-24 %
20190307	0.83	0.6	2.88	20.5%	0.3	-0.26	-9%
20190323	0.87	0.8	3.13	25 %	-3.0	-0.55	-18 %
20190331	0.81	0.6	3.05	19 %	3.3	-0.58	-19 %
20190919-0920	0.77	0.6	3.05	21 %	-2.5	-0.46	-15 %
20190930	0.78	0.9	4.34	21 %	3.0	-1.40	-32 %
20191014-1015	0.30	0.6	3.34	20 %	-3.0	-0.41	-12 %
20191030	0.68	0.4	2.76	14 %	-4.3	-0.49	-18 %
20191104-1105	0.76	0.6	3.24	18 %	-1.0	-0.39	-12 %
20191108-1109	0.87	0.4	3.07	13 %	-1.0	-0.57	-19 %
20191113-1114	0.89	0.8	3.50	23 %	-5.0	-0.69	-19 %
20191118-1119	0.76	0.8	4.22	19 %	1.5	-0.85	-20 %
20191120-1121	0.38	0.9	3.23	28 %	-1.0	-0.65	-20 %
20191127-1128	0.39	0.8	3.57	22 %	0.8	-0.60	-17 %
20191202-1203	0.44	0.7	3.43	21 %	1.8	-0.29	-8 %
20191204-1205	0.18	1.0	3.77	26 %	2.8	-0.32	-9 %
20191206-1207	0.42	0.8	4.29	19 %	0.0	-0.69	-16 %
20191219	0.77	0.4	3.06	14 %	-4.5	-0.63	-21 %
20191226-1227	0.80	0.6	3.13	19 %	-4.5	-0.37	-12 %
20191230-1231	0.87	0.6	4.05	21 %	-4.0	-1.00	-25 %
總平均	0.68	0.7	3.46	20 %	-1.4	-0.64	-18 %

第五章 臺中港區颱風個案之預報特性分析

第四章強風個案多發生在東北季風時期，屬於秋、冬季強風現象，但在夏季時，西南季風風力偏弱，能引發強風之天氣現象則多歸因於颱風。針對颱風所引發海氣象環境變化之預報能力，本研究選取 2016-2019 年間之 14 個侵(近)臺颱風個案，每個個案以颱風侵(近)臺之當天為基準日，取基準日之前兩天與後一天為預報檢驗區間，共對應 5 個 48 小時預報，每個預報之初始時間相隔 12 小時。颱風在西北太平洋海域之路徑係採用美國颱風聯合預警中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)之最佳路徑資料(best track data)，該資料每 6 小時一筆，記載颱風中心之經緯度、時間、中心最大風速，可藉由該資料來定位颱風移動路徑，做為檢核模式預報颱風位置與移動路徑之觀測驗證資料。

在 14 個颱風中，因其移動路徑有所不同，對臺中港之影響程度亦有所不同。颱風預報能力之檢驗分為三部分，第一部分為颱風路徑之預報分析，首先定義 JTWC 每筆觀測資料所示颱風中心位置之鄰近 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 空間範圍，取此範圍內 WRF-d01 網格之預報海平面氣壓(sea level pressure)，以其最低氣壓位置當作颱風中心預報位置，每 6 小時計算一次，再與 JTWC 觀測颱風中心位置互為比較，在 48 小時預報中，共有 9 個颱風中心位置可供比較。第二部分為臺中港區 T2 風速之預報結果分析，第三部分為臺中港區 AWAC 波高之預報結果分析，第二部分與第三部分之分析方法與第四章強風個案風速、波高預報之分析方法一樣。

圖 5.1 左側圖顯示 2016 年尼伯特(Nepartak)颱風以西北路徑侵襲臺灣南部，預報路徑從中部陸續修正(上圖)，直到第四個預報才相當準確預報行經臺灣南部之路徑。風速方面(中圖)，觀測風速(黑線)於 2016 年 7 月 7 日上午迅速增強，7 月 8 日下午才迅速減弱，後續風速產生高低震盪。預報風場可掌握風速迅速增強之特性，但對後續高低震盪變化之掌握程度不足。波高方面(下圖)，觀測值(黑線)從 7 月 6 日上午一路增強，7 月 8 日上午達最大值，後續一路減弱。預報波高(藍線)可掌握 7 月 7 日之迅速增強與 7 月 8 日之最大波高，但預報波高比觀測波高明顯偏弱。

圖 5.1 右側圖顯示 2016 年莫蘭蒂(Meranti)颱風以西北路徑緊鄰臺灣南端而過，預報路徑方面(上圖)，除了第 2(綠線)、4(紫線)個預報之路徑過於偏南之外，其餘預報之路徑算是相當準確。風速方面(中圖)，觀測風速(黑線)於 2016 年 9 月 12 日上午迅速增強，於 9 月 13 日下午迅速減弱，後續風速產生高低震盪。預報風場可掌握 9 月 12 日風速迅速增強之特性，但對後續高低震盪變化之掌握仍有不足。波高方面(下圖)，觀測值(黑線)從 9 月 12 日白天增強後，便維持強度不墜，直到 9 月 14 日下午才迅速減弱。預報波高可掌握 9 月 12 日迅速增強後，維持到 9 月 13 日之現象，但預報波高之強度明顯低於觀測波高。

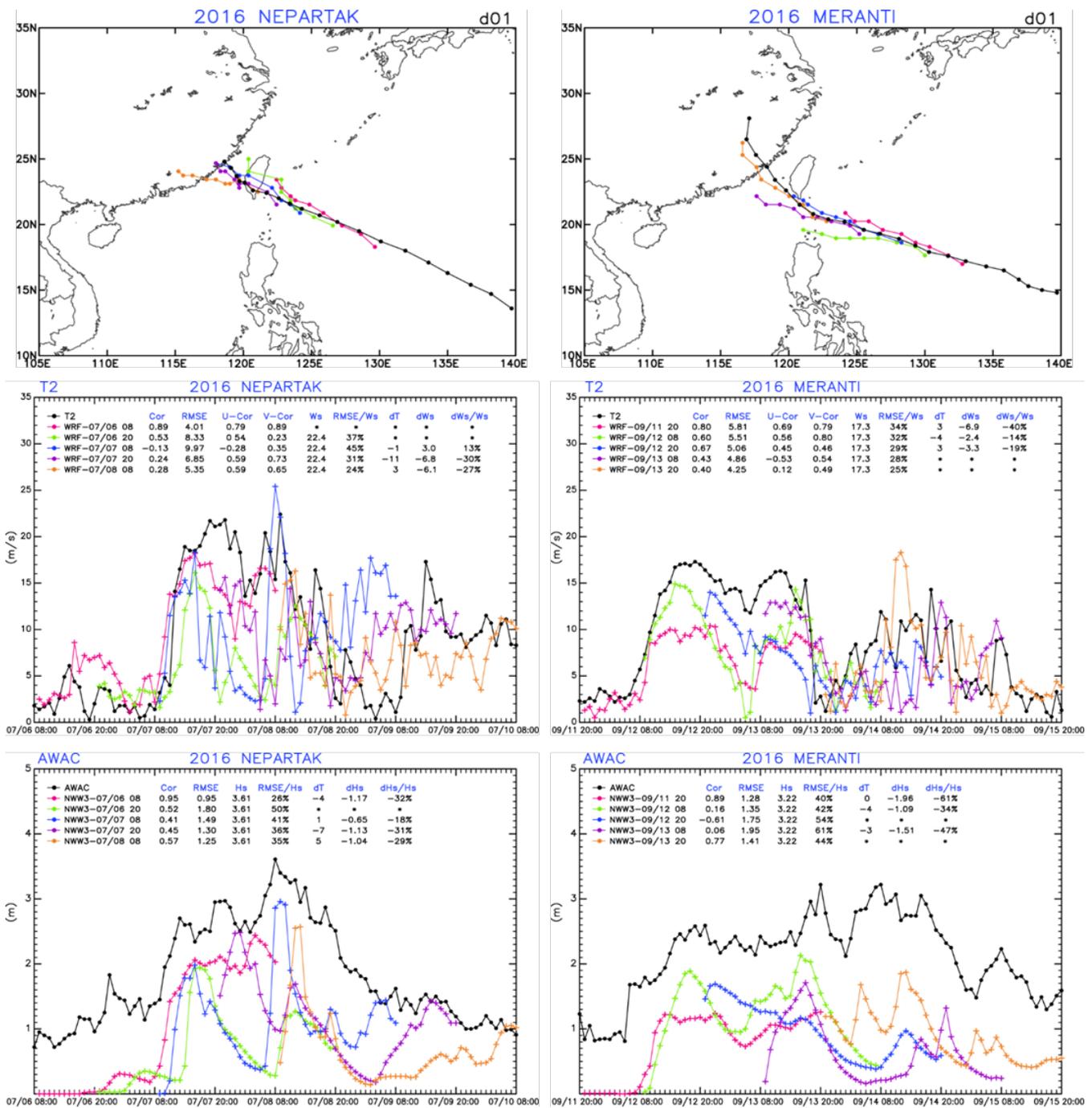


圖 5.1 尼伯特、莫蘭蒂颱風之風速、波高預報結果

圖 5.2 左側圖顯示 2016 年馬勒卡(Malakas)颱風移經臺灣東側再轉向東北朝日本而去，整體而言，所有 5 個預報均能掌握從臺灣東側海面轉往日本之移動路徑，由於臺中港距離颱風位置甚遠，且位於中央山脈背風面，因此風速並不強。觀測風速(黑線)於 2016 年 9 月 15-17 日呈現強弱變化情形，直到 9 月 18 日才略為增強，預報風速強度與觀測風速相當，惟對強弱變化之掌握仍有不足。波高方面，觀測值(黑線)從 9 月 15-17 日之 2m 以下增強到 9 月 18 日之 2m 以上，預報波高雖呈現波高不強之特性，但預報波高比觀測值普遍偏弱，差距約在 1m 左右。

圖 5.2 右側圖顯示 2016 年梅姬(Megi)颱風以西北路徑穿越臺灣中部而過，預報路徑方面，第 1-3 個預報路徑(紅線、綠線、藍線)過於偏南，後續第 4-5 個預報路徑算是相當準確。風速方面，觀測風速(黑線)於 2016 年 9 月 26 日上午增強，9 月 27 日下午達到最大值，後續風速迅速減弱。預報風場可掌握風速迅速增強、減弱之變化特性，但對 9 月 27 日下午最大風速之預報強度明顯不足。波高方面，觀測值(黑線)從 9 月 25 日到 27 日呈現持續增強，但在最大波高之後，觀測儀器受損，致使無法繼續觀測。預報波高可掌握 9 月 27 日之前波高持續增強之現象，惟對最大波高之預報強度仍不足。預報資料顯示波高於最大值之後便迅速減弱，與風速之觀測結果相符合。

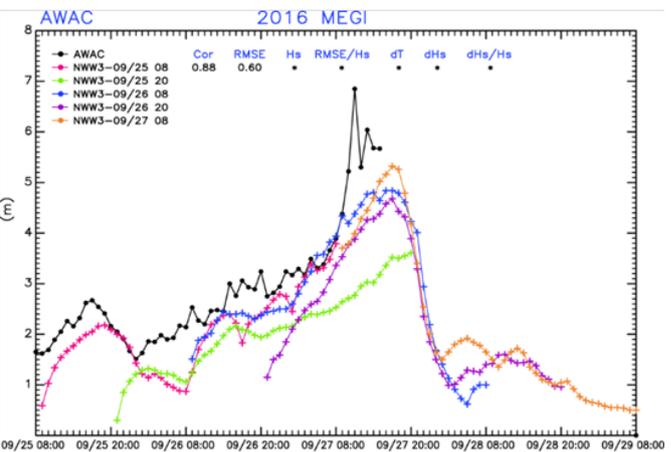
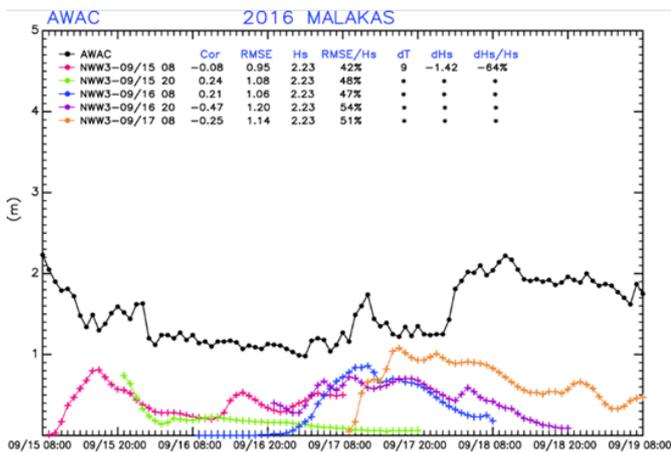
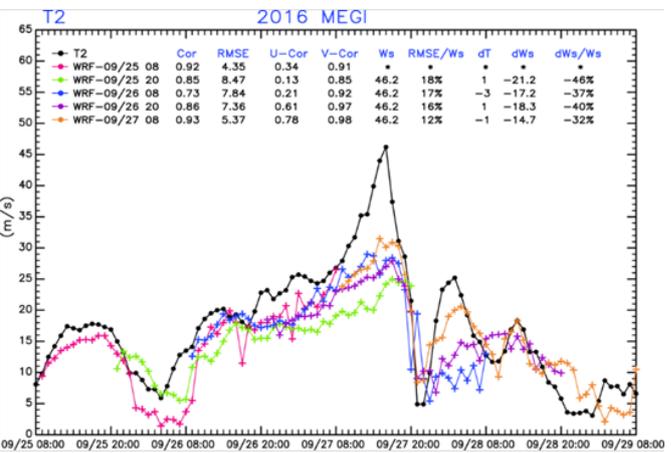
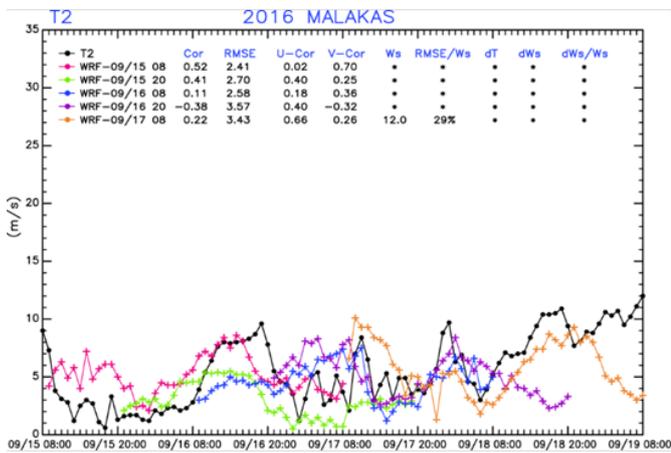
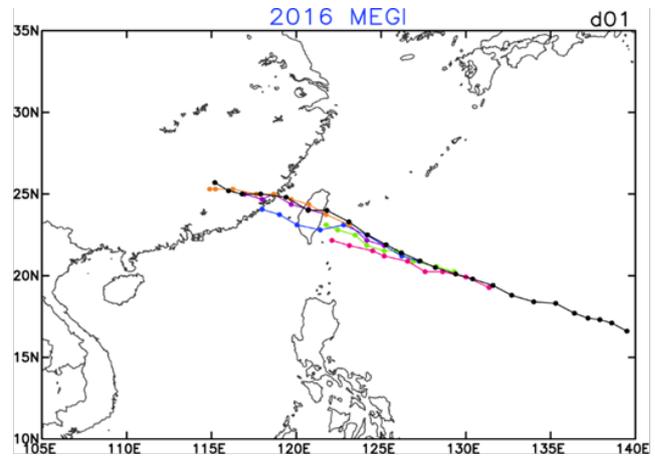
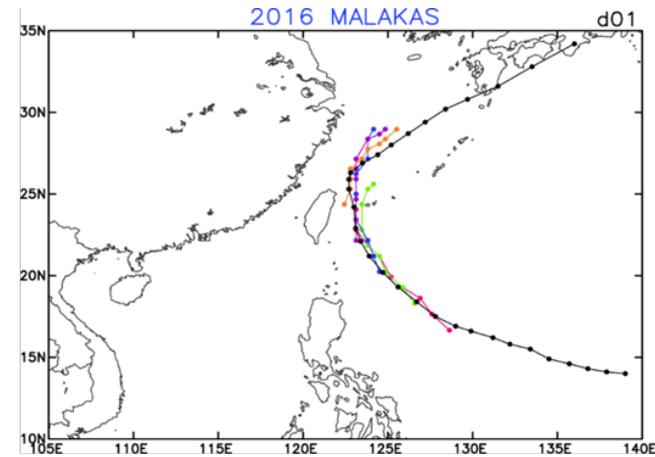


圖 5.2 馬勒卡、梅姬颱風之風速、波高預報結果

圖 5.3 左側圖顯示 2017 年尼莎(Nesat)颱風以西北路徑移經臺灣北部，路徑預報方面，第 1-2 個預報路徑朝向北方移動，有明顯誤差，第 3-5 個預報則調整回來西北路徑侵襲臺灣，惟其預報路徑朝向臺灣中部，呈現偏南誤差。風速方面，觀測風速(黑線)於 2017 年 7 月 29 日中午之前微弱，之後風速雖然增強，但忽強忽弱，7 月 30 日中午之後轉趨微弱。整體而言，觀測風速忽強忽弱，預報風速雖可部分掌握 7 月 29 日之增強現象，但對忽強忽弱之快速變化情形，掌握程度有所不足。波高方面，觀測值(黑線)從 7 月 28 日下午開始增強，7 月 29 日中午之後再次增強，直到 7 月 30 日上午開始減弱。預報波高雖然對 7 月 29 日之增強現象有所掌握，但預報強度不足，對 7 月 30 日之後減弱現象，預報波高則為偏強誤差。

圖 5.3 右側圖顯示 2017 年海棠(Haitang)颱風從臺灣西南側以東北路徑登陸臺灣南部，再轉向西北往中國東南沿海而去。預報路徑方面，第 1 個預報路徑(紅線)雖掌握颱風往東北方向朝臺灣而來，但路徑過於偏北，後續第 2-5 個預報路徑則是相當程度能掌握颱風路徑。風速方面，觀測風速(黑線)於 2017 年 7 月 29 日下午開始增強，維持一天，7 月 30 日下午開始減弱。預報風場可掌握風速迅速增強、減弱之變化特性，但對忽強忽弱之快速變化情形，掌握程度仍不足，且在 7 月 30 日風速呈現偏強誤差，但 7 月 31 日預報風速之強度與觀測接近。波高方面，觀測值(黑線)於 7 月 28 日到 29 日呈現持續增強，30 日開始減弱。預報波高可掌握 7 月 29 日波高增強現象，惟波高強度不足。7 月 30 日預報波高有偏強誤差，與風速之誤差特性相符，7 月 31 日預報波高則接近觀測波高。

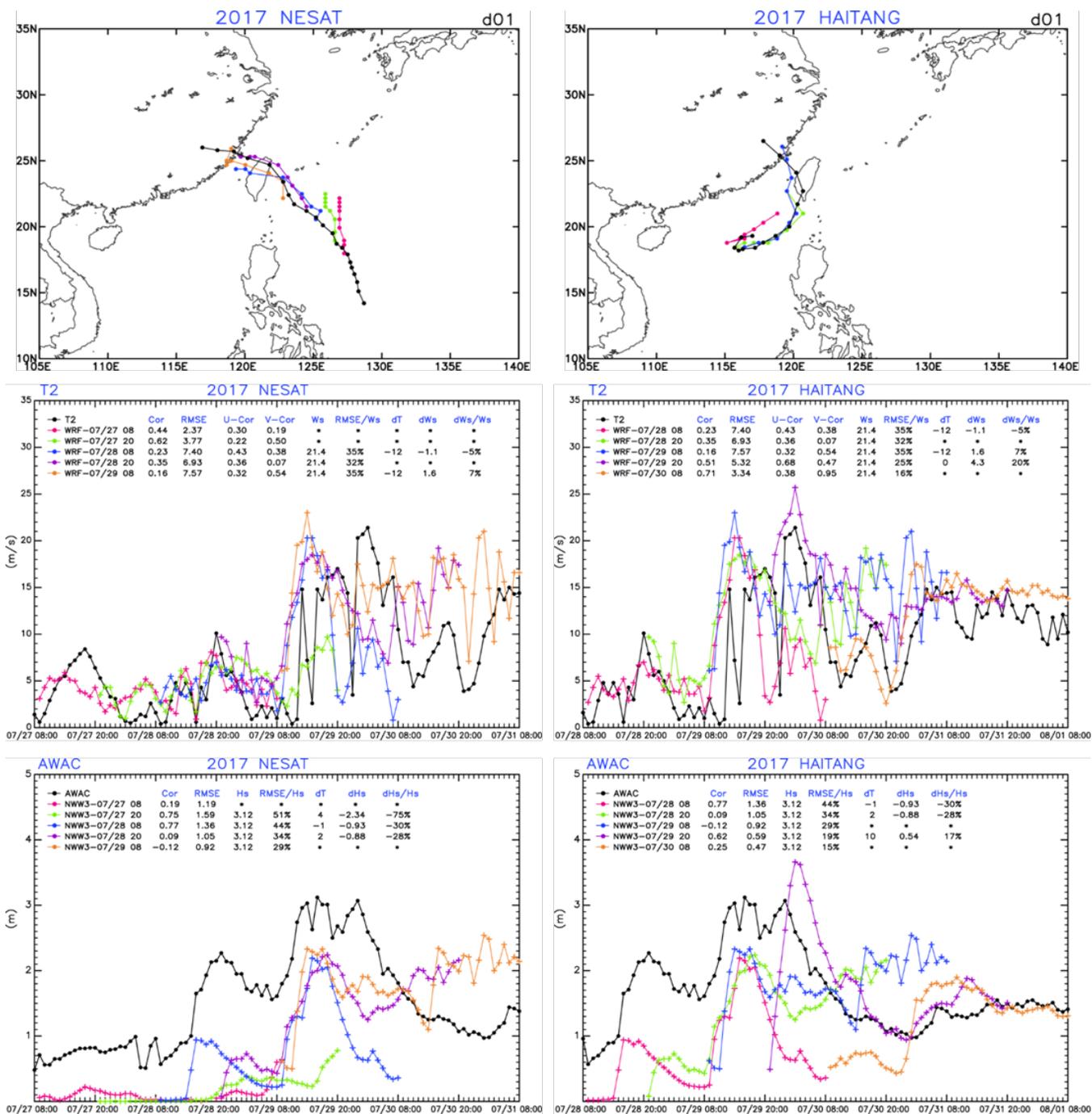


圖 5.3 尼莎、海棠颱風之風速、波高預報結果

圖 5.4 左側圖顯示 2017 年谷超(Guchol)颱風以西北路徑移經巴士海峽再往北移入臺灣海峽，路徑預報方面，所有 5 個預報均能掌握此路徑趨勢。風速方面，由於颱風路徑偏南，與臺中港有段距離，觀測風速(黑線)微弱，僅於 2017 年 9 月 27 日略增強，大多呈現忽大忽小快速變化情形。預報風速雖可掌握風速微弱現象，但對忽大忽小快速變化情形之掌握有所不足。波高方面，觀測值(黑線)均為微弱，約在 1m 左右，預報波高雖然也反映微弱波高現象，但波高值明顯更為偏低。

圖 5.4 右側圖顯示 2017 年泰利(Talim)颱風以西北路徑移動，靠近臺灣東北側海域後，再轉向東北朝日本而去，此颱風路徑距離臺灣相當遠。預報路徑方面，所有 5 個預報均能準確掌握此颱風移動路徑。風速方面，觀測風速(黑線)於 2017 年 9 月 12 日下午開始增強，13 日上午再次增強，14 日上午開始減弱。預報風場可掌握風速增強、減弱之變化特性，不論相位或強度均相當準確。波高方面，觀測值(黑線)於 7 月 12 日下午增強，持續二天，直到 7 月 14 日上午才開始減弱。預報波高可掌握波高增強與減弱之變化現象，惟預報波高強度偏弱。

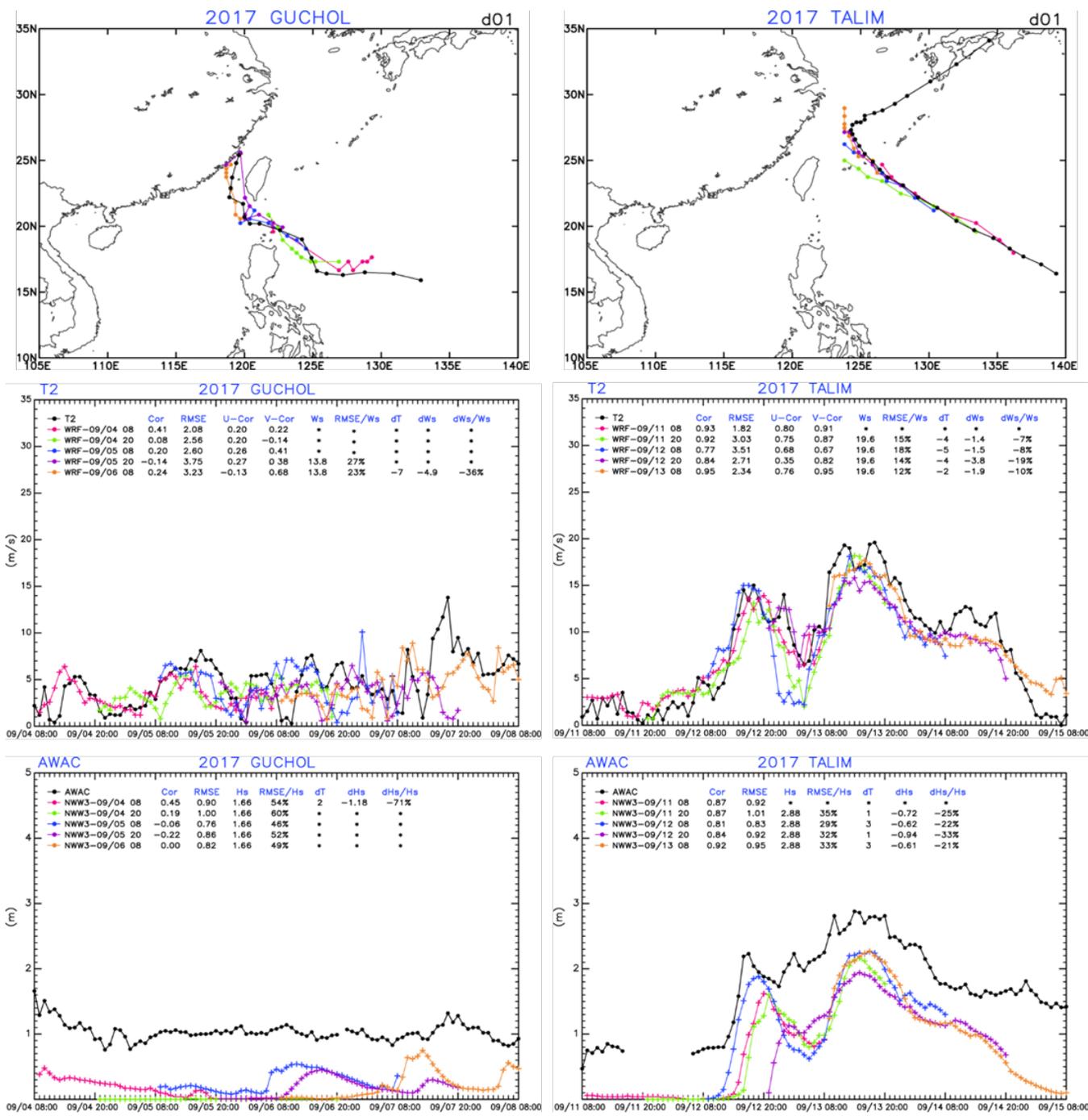


圖 5.4 谷超、泰利颱風之風速、波高預報結果

圖 5.5 左側圖顯示 2018 年瑪莉亞(Maria)颱風以西北路徑移經臺灣北側海域，路徑預報方面，所有 5 個預報均能掌握此路徑趨勢。風速方面，觀測風速(黑線)於 2018 年 7 月 10 日上午開始增強，再於 7 月 11 日下午減弱，整個期間均呈現忽大忽小快速變化情形。預報風速對一波一波風速變化情形掌握程度為佳。波高方面，觀測值(黑線)如風場變化一般，於 7 月 10 日上午開始增強，7 月 11 日下午減弱。波高預報方面，所有 5 個預報均能掌握波高增強與後續減弱變化情形，惟前 3 個預報與第 5 個預報之波高強度不足，但第 4 個預報之波高卻又偏強。

圖 5.5 右側圖顯示 2018 年山竹(Mangkhut)颱風以西北路徑移經菲律賓賓北部。預報路徑方面，所有 5 個預報均能準確掌握颱風移動路徑。風速方面，觀測風速(黑線)於 2018 年 9 月 14 日下午增強，維持一天，於 9 月 15 日上午迅速減弱。預報風場可掌握 9 月 14 日風速增強之變化，但對 9 月 14 日較強風速持續之現象則預報強度不足，對 9 月 15 日之後風速變弱現象，預報強度則偏強。波高方面，觀測值(黑線)於 9 月 14 日上午開始增強，持續二天，直到 9 月 16 日上午才開始減弱。預報可掌握波高增強與減弱之變化現象，惟預報波高強度不足。

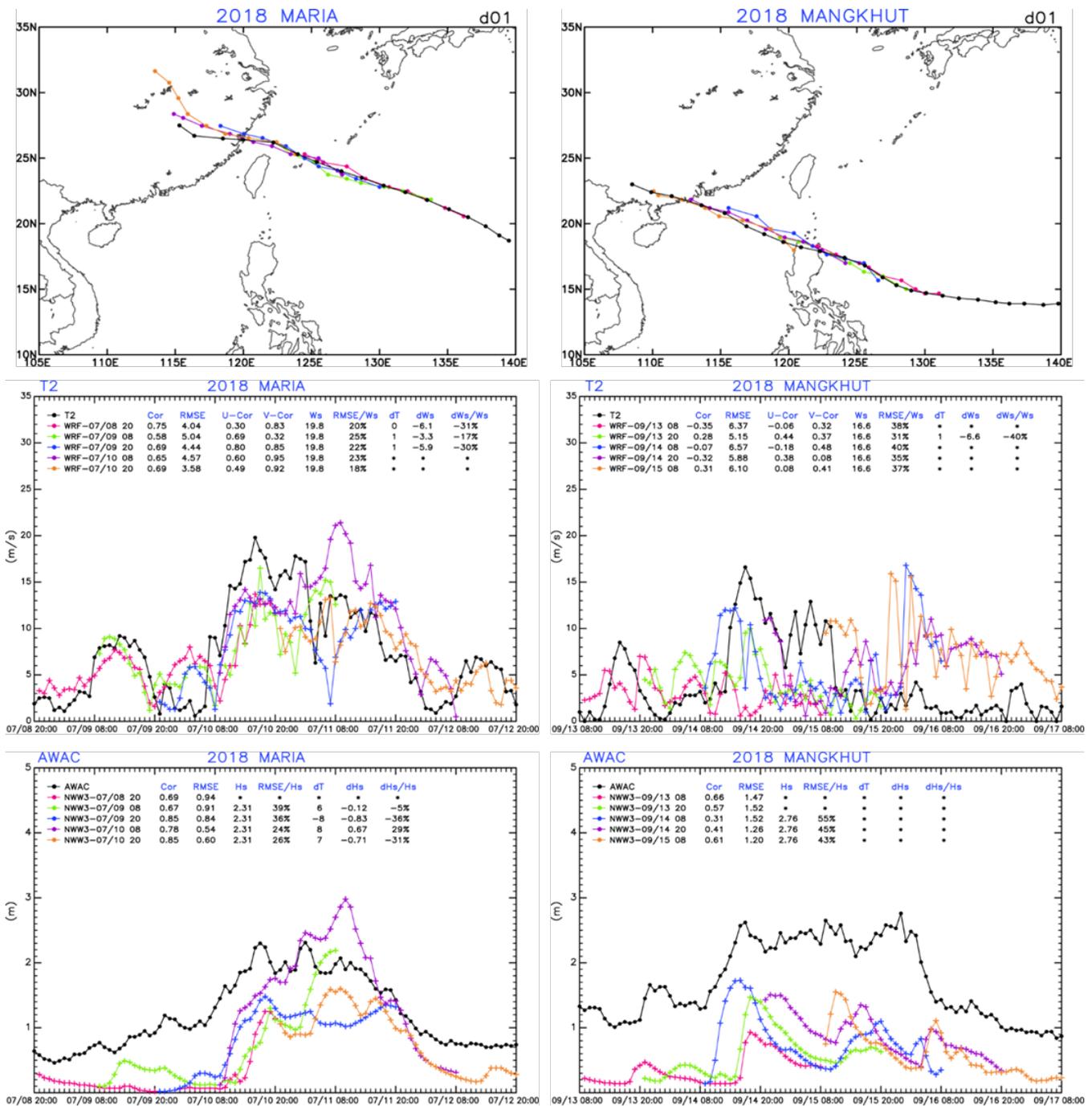


圖 5.5 瑪莉亞、山竹颱風之風速、波高預報結果

圖 5.6 左側圖顯示 2019 年丹娜絲(Nanas)颱風以往北路徑移經臺灣東側海域，路徑預報方面，所有 5 個預報均能掌握此路徑趨勢。風速方面，觀測風速(黑線)於 2019 年 7 月 17 日下午快速增強，再於 7 月 18 日下午減弱，整個期間均呈現忽大忽小快速變化情形。第 1-3 個預報對風速一波一波變化情形掌握程度不足，第 4-5 個預報掌握程度則為佳。波高方面，觀測值(黑線)於 7 月 17 日下午迅速增強，7 月 18 日上午開始減弱。波高預報對此波高增強與後續減弱變化情形，均能適當掌握，惟對 7 月 17 日最強波高區間之預報強度偏弱。

圖 5.6 右側圖顯示 2019 年利奇馬(Lekima)颱風以西北路徑移經臺灣東北部海域朝向中國東部沿海而去。預報路徑方面，第 1 個預報路徑過於往北，後續預報均能準確掌握颱風往中國沿海而去之西北移動路徑。風速方面，觀測風速(黑線)於 2019 年 8 月 7 日上午迅速增強，便持續維持 15m/s 左右之風速，但風速也有忽大忽小之變化情形。預報風場可適切掌握 8 月 7 日風速增強與後續忽大忽小之變化情形，且強度與變化相位均佳。波高方面，觀測值(黑線)於 8 月 7 日上午開始增強，持續到 8 月 10 日。預報波高可掌握波高增強與高低變化現象，惟第 1-2 個預報之波高強度有所不足，但第 3-5 個預報之預報波高強度符合觀測結果。

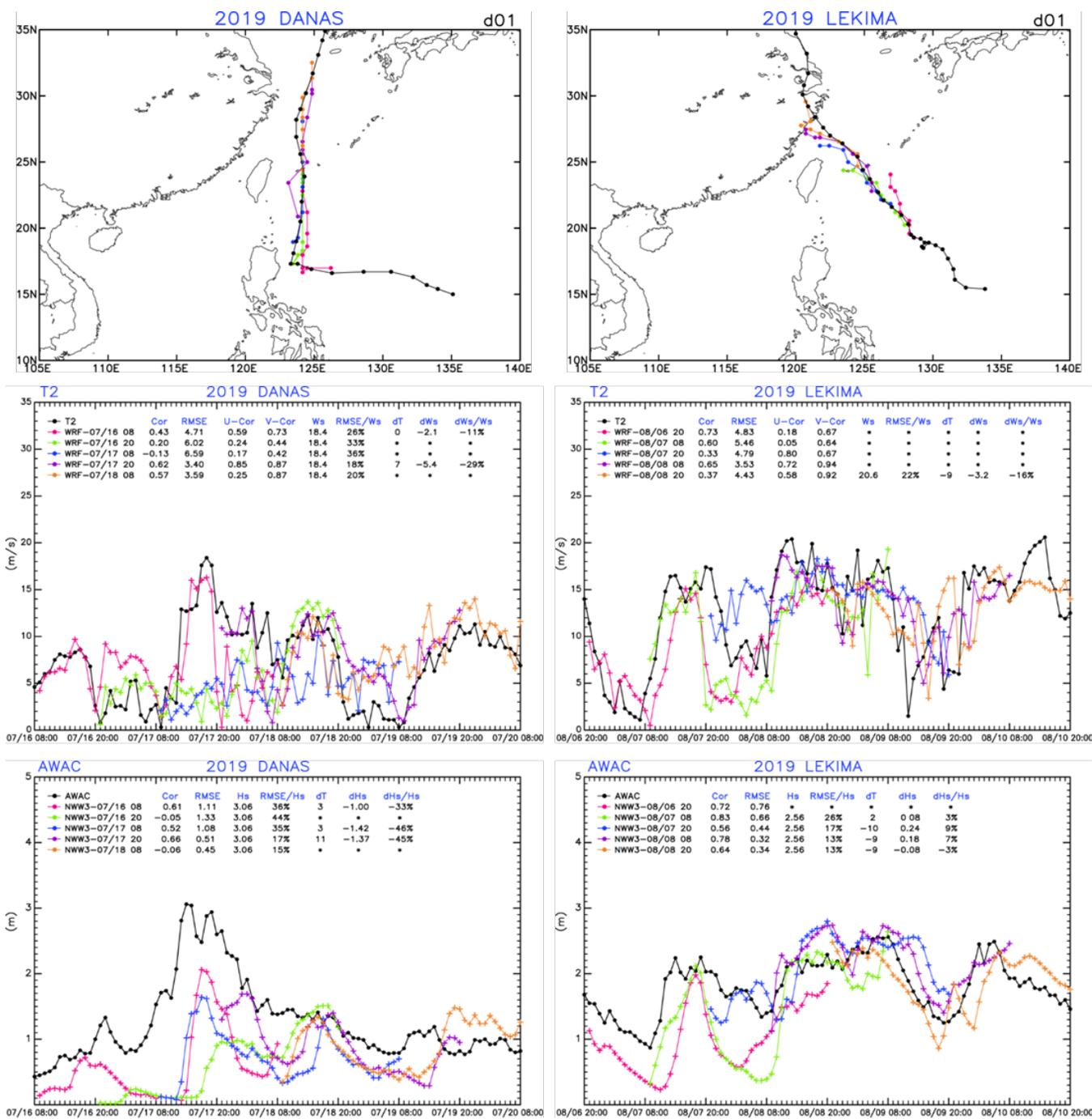


圖 5.6 丹娜絲、利奇馬颱風之風速、波高預報結果

圖 5.7 左側圖顯示 2019 年白鹿(Bailu)颱風以西北路徑移經臺灣南端朝向中國東南沿海而去。路徑預報方面，第 1-4 個預報路徑均有偏北誤差，但逐漸往南修正靠近觀測結果，第 5 個預報則能相當準確掌握移動路徑。風速方面，觀測風速(黑線)於 2019 年 8 月 24 日下午增強，僅持續一天，於 8 月 25 日凌晨迅速減弱，預報能掌握此風速增強現象，但對 8 月 25 日後之減弱現象掌握程度不足，呈現偏強誤差。波高方面，觀測值(黑線)於 8 月 23 日下午提早增強，8 月 24 日下午達到最大值，8 月 25 日上午迅速減弱。波高預報能掌握 8 月 23 日增強與 8 月 24 日最大波高之變化特性，但預報強度偏弱。

圖 5.7 右側圖顯示 2019 年米塔(Mitag)颱風以西北轉北路徑移經臺灣東側海域朝向韓國而去。預報路徑方面，所有 5 個預報均能適切掌握此移動路徑。風速方面，觀測風速(黑線)於 2019 年 9 月 29 日上午迅速增強，9 月 30 日晚上達到最大值，10 月 1 日清晨開始迅速減弱。預報風場可適切掌握 9 月 29 日到 10 月 1 日期間風速增強、最大風速、風速減弱之變化特性，且強度與變化相位均佳。波高方面，觀測值(黑線)於 8 月 29 日清晨開始增強，9 月 30 日下午達到最大值，10 月 1 日清晨開始迅速減弱。預報波高可掌握上述波高增強、最大波高、波高減弱之變化特性，但預報波高強度比觀測波高略為微弱。

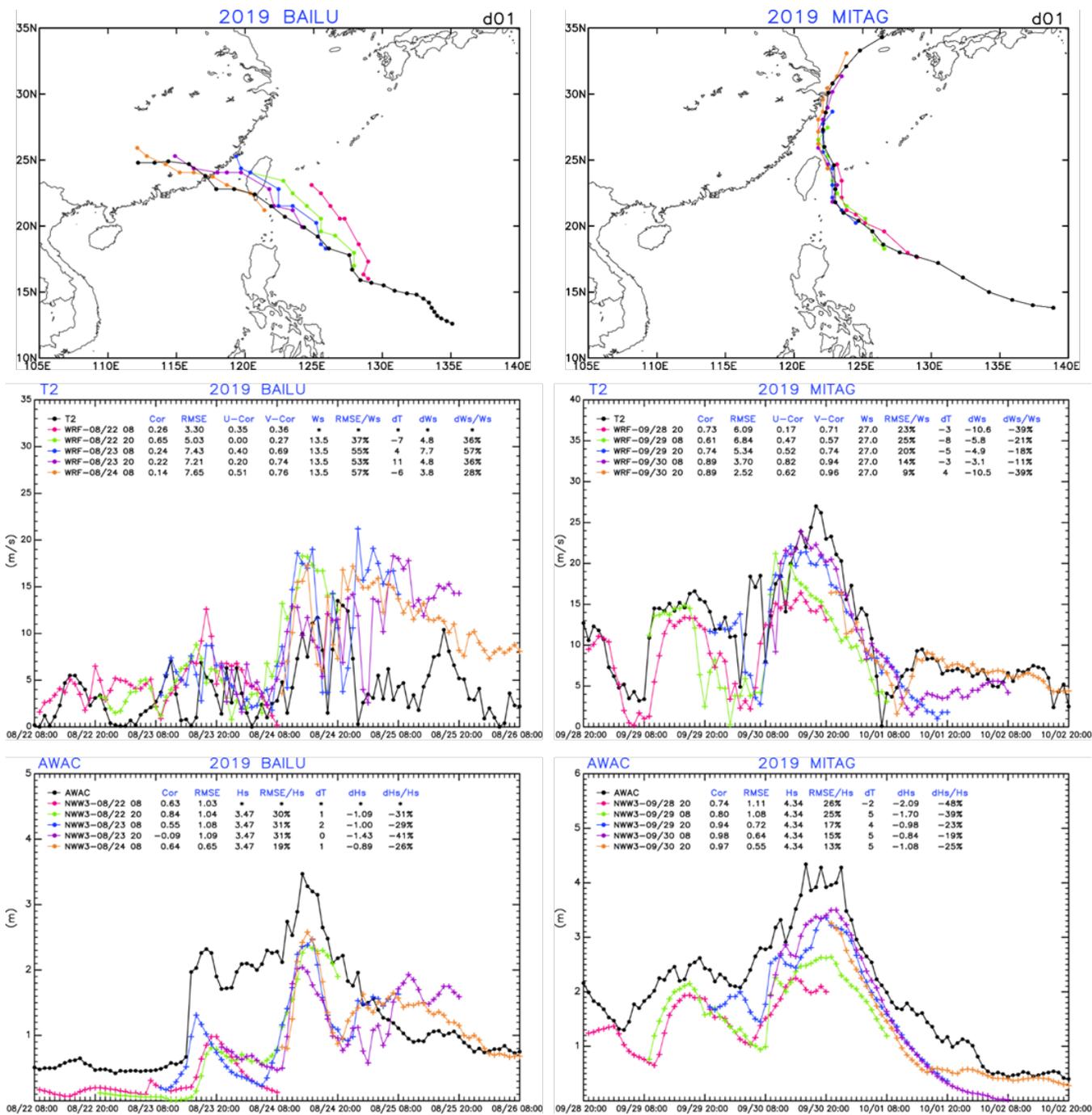


圖 5.7 白鹿、米塔颱風之風速、波高預報結果

為評估 WRF 模式對颱風個案之整體預報能力，上述各颱風個案之 5 個 48 小時預報的結果，計算其平均值彙整於表 5-1。預報風速與觀測風速之平均相關係數，於 14 個颱風個案中，有 6 個高於 0.5，全部個案之相關係數平均值為 0.45，仍高於 99% 顯著程度之 0.37。在 14 個案中，有 13 個案之 V 相關係數高於 U 相關係數(以藍字顯示)，反應經向風之掌握為影響預報準確度之主要因素，全部個案之 U 相關係數平均值為 0.39，V 相關係數平均值為 0.59。RMSE 相對最大風速(RMES/Ws) 之比值，除了白鹿颱風之 51% 之外，其餘個案落在 15-36%，全部平均值為 28%。最大風速發生時間之預報有 8 個提前，5 個延後，平均提早 3.1 小時。對最大風速強度之預報偏差多為偏弱(dWs 為負值)，平均值為-16%。

如強風個案之定義，相關係數平均值高於 0.5，RMSE/Ws 百分比平均值低於 1/3 (33%) 以紅字顯示，兩者均達成之個案定義為預報優良個案，在全部 14 個案中，有 6 個為預報優良個案，為 43%，顯示 WRF 對臺中港區颱風個案風場仍具備預報能力，但預報能力不若強風個案 (92% 為預報優良個案)，這應與季節背景有關，亦即模式對夏季西南季風時期之風場預報能力低於東北季風強盛之秋冬季。

表 5-1 颱風個案風速之平均預報特性彙整表

颱風名稱	相關係數	RMSE	U-相關係數	V-相關係數	Ws	RMSE/Ws	dT	dWs	dWs/Ws
2016 尼伯特	0.36	6.9	0.45	0.57	22.4	34 %	-3.0	-3.3	-15 %
2016 莫蘭蒂	0.58	5.1	0.26	0.62	17.3	30 %	0.7	-4.2	-24 %
2016 馬勒卡	0.18	2.9	0.33	0.25	12.0	29 %	x	x	x
2016 梅姬	0.86	6.7	0.41	0.93	46.2	16 %	-0.5	-17.9	-39 %
2017 尼莎	0.36	5.6	0.33	0.34	21.4	34 %	-12.0	0.3	1 %
2017 海棠	0.39	6.1	0.43	0.48	21.4	29 %	-8.0	1.6	7 %
2017 谷超	0.16	2.8	0.16	0.31	13.8	25 %	-7.0	-4.9	-36 %
2017 泰利	0.88	2.7	0.67	0.84	19.6	15 %	-3.8	-2.2	-11 %
2018 瑪莉亞	0.67	4.3	0.58	0.77	19.8	22 %	0.7	-5.1	-26 %
2018 山竹	-0.03	6.0	0.13	0.33	16.6	36 %	1.0	-6.6	-40 %
2019 丹娜絲	0.34	4.9	0.42	0.67	18.4	27 %	3.5	-3.8	-20 %
2019 利奇馬	0.54	4.6	0.47	0.77	20.6	22 %	-9.0	-3.2	-16 %
2019 白鹿	0.30	6.1	0.29	0.56	13.5	51 %	0.5	5.3	39 %
2019 米塔	0.77	4.9	0.52	0.78	27.0	18 %	-3.0	-7.0	-26 %
總平均	0.45	4.97	0.39	0.59	20.7	28%	-3.1	-3.92	-16%

颱風個案波高預報之整體預報能力彙整於 5-2。AWAC 預報波高與觀測波高之平均相關係數，於 14 個颱風個案中，有 8 個高於 0.5，全部個案之相關係數平均值為 0.5，高於 99% 顯著程度之 0.37。RMSE 相對最大波高(RMSE/Hs)之比值，低於 33% 者有 7 個案，所有個案之比值落在 17-52% 之間，全部個案之比值平均值為 35%，顯示預報波高偏弱造成較大之誤差比值。最大波高發生時間之預報僅有 3 個提前，9 個延後，平均延後 1.81 小時。對最大波高強度之預報偏差多為偏弱(負 dHs 值)，偏弱平均值為 -34%。

相關係數平均值高於 0.5，RMSE/Hs 百分比平均值低於 1/3 (33%) 均以紅字顯示，兩者均達成之個案定義為預報優良個案，14 個案中有 6 個為預報優良個案(43%)，其中包括梅姬颱風，它的 RMSE/Hs 因為缺乏部分觀測資料無法估計，但其預報時間序列顯示與觀測資料高度對應關係，相關係數平均值高達 0.88，因此視為預報優良個案。整體而言，NWW3 對臺中港區颱風個案之波高仍具備預報能力，相關係數平均值達 0.50，但預報波高偏弱為其主要誤差，致使預報優良個案降為 43%，低於強風預報優良個案之 71%，這也反應夏季西南季風時期之波高預報能力低於東北季風強盛之秋冬季。

表 5-2 颱風個案波高之平均預報特性彙整表

颱風名稱	相關係數	RMSE	Hs	RMSE/Hs	dT	dHs	dHs/Hs
2016 尼伯特	0.58	1.4	3.61	38 %	-1.3	-1.00	-28 %
2016 莫蘭蒂	0.25	1.5	3.22	48 %	-2.3	-1.52	-47 %
2016 馬勒卡	-0.07	1.1	2.23	48 %	9.0	-1.42	-64 %
2016 梅姬	0.88	0.6	x	x	x	x	x
2017 尼莎	0.34	1.2	3.12	40 %	1.7	-1.38	-44 %
2017 海棠	0.32	0.9	3.12	28 %	3.7	-0.42	-14 %
2017 谷超	0.07	0.9	1.66	52 %	2.0	-1.18	-71 %
2017 泰利	0.86	0.9	2.88	32 %	2.0	-0.72	-25 %
2018 瑪莉亞	0.77	0.8	2.31	31 %	3.3	-0.25	-11 %
2018 山竹	0.51	2.8	2.76	48 %	x	x	x
2019 丹娜絲	0.34	0.9	3.06	29 %	5.7	-1.26	-41 %
2019 利奇馬	0.71	0.5	2.56	17 %	-6.5	0.11	4 %
2019 白鹿	0.51	1.0	3.47	28 %	1.0	-1.10	-32 %
2019 米塔	0.89	0.8	4.34	19 %	3.4	-1.34	-31 %
總平均	0.50	1.09	2.95	35%	1.81	-0.96	-34%

14 個颱風個案之移動路徑，對 T2 風速、AWAC 波高之預報優良個案，以及第 24、48 小時預報之颱風中心位置的平均距離誤差，彙整於表 5-3。颱風路徑依中央氣象局 9 種路徑分類，部分離臺灣較遠颱風，若其移動路徑類似 A 類路徑，即以類 A 路徑分類。所有颱風之中，共有 5 個颱風之風場預報與波高預報均優良：瑪莉亞、利奇馬、梅姬、米塔、泰利，顯示當風場預報良好時，波高預報也有較佳結果。其中瑪莉亞、利奇馬為僅有的 2 個第 1 路徑颱風，米塔、泰利為 4 個屬於第 6(或類 6)路徑颱風中之 2 個，顯示模式對第 1 路徑之預報能力最佳(以西北行移經台灣北側海面)，第 6 路徑之預報能力為次佳(以北行方向移經台灣東側海面)。14 個颱風之中心位置預報誤差，於第 24、48 小時分別

為 84、169km，約落在每 84km/天之誤差範圍。颱風個案之中心位置預報誤差比平均誤差為小，以紅字顯示，預報優良颱風之誤差比平均誤差為小。颱風常在侵(近)臺前後數天，引發長浪進入臺灣附近海域，由於夏季季節性風浪不強，外來長浪之影響當更為明顯，本研究之波浪模式只使用臺中港附近海域進行預報，難以反應長浪效應，改善方法為使用全臺海域波浪預報模式，期能提升對夏季颱風之預報能力。

表 5-3 颱風個案之路徑、優良個案、預報誤差分析

颱風名稱	路徑	T2 預報 優良個案	AWAC 預報 優良個案	颱風中心 24hr 誤差	颱風中心 48hr 誤差
2018 瑪莉亞	1	V	V	75	167
2019 利奇馬	1	V	V	48	183
2017 尼莎	2			102	326
2016 梅姬	3	V	V	48	128
2019 白鹿	4		V	144	202
2016 尼伯特	4			99	150
2018 山竹	類 5			52	125
2019 米塔	6	V	V	73	117
2016 馬勒卡	類 6			62	138
2017 泰利	類 6	V	V	42	98
2019 丹娜絲	類 6			137	218
2016 莫蘭蒂	7	V		71	223
2017 海棠	7			84	120
2017 谷超	類 7			132	172
總平均				84	169

第六章 臺中港鄰近海域船舶航行安全影響分析

前面分析指出本研究所建置模式，對臺中港區強風現象具備適宜預報能力，因此對臺中港區與鄰近離岸風電區之強風現象，其預報資訊當具有參考價值。預報結果指出離岸風電區波高明顯高於臺中港區，由於該區迄今仍未有系統性觀測資訊可供使用與檢驗，因此仍需藉由模式預報資訊來提供離岸風電區之海氣象資訊，做為各式船舶航行之安全指引，以提升港埠安全管理成效。

模式預報之離岸風電區風、波資訊，有其系統性誤差存在，因此需要進行誤差修正。由於缺乏該區之觀測資料做為基準來修正，本研究採用二階方法來進行修正，第一步驟為建立臺中港區預報資料與觀測資料之迴歸方程式，第二步驟再建立臺中港區預報資料與離岸風電區預報資料之迴歸方程式。模式內之臺中港區與鄰近離岸風電區多受到同一天氣系統影響，故兩者間存在系統性對應關係與高度關聯性，因此可用第二步驟所建立之迴歸方程式將臺中港區之預報資訊映射到離岸風電區進行修正，而臺中港區之預報資訊則須經由第一步驟所建立之迴歸方程式，經由觀測資料進行誤差修正，修正後之臺中港區預報資料才能使用於第二步驟之映射使用。

上述二階修正方法兩步驟之執行，其關鍵為本研究所建立之迴歸方程式須具備實質修正能力，該修正能力為何須加以檢驗。本研究執行 48 小時預報，一般而言，預報誤差常會隨預報時間增加而變大，第一天(1-24 小時)與第二天(25-48 小時)預報之誤差差異是否顯著，也是另一個值得了解的問題。有鑑於此，本研究執行如圖 6-1 所示，對臺中港

區 T2 之預報風速(x)與觀測風速(y)(左側圖)、臺中港區 T2 預報風速(x)與離岸風電區預報風速(y)(右側圖)，分別建立第 1-24 小時預報(上圖)與第 25-48 小時預報(下圖)之散佈圖，再依資料計算二階修正法兩步驟所需之迴歸方程式，並以相關係數顯示資料間之關聯性。為檢視預報能力，對臺中港區 T2 預報風速與觀測風速一併計算其 RMSE 與 RMSE/觀測風速平均值之 Relative RMSE(RRMSE)，作為後續檢驗預報誤差修正能力之評比指標。

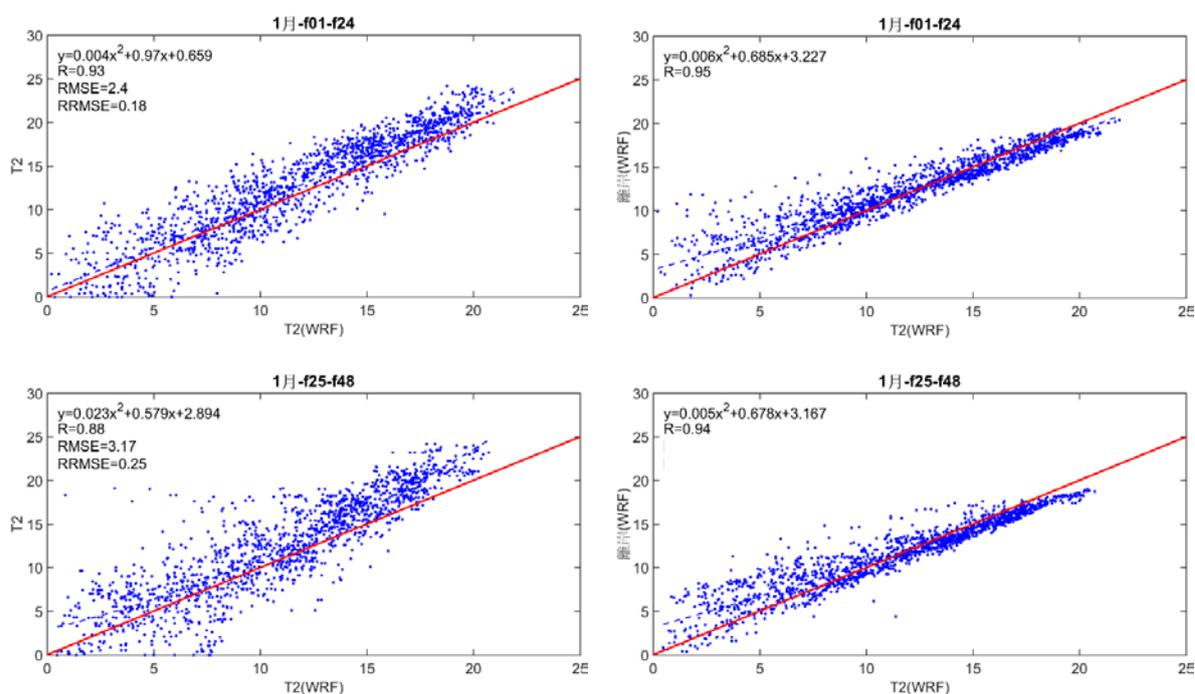


圖 6.1 1 月風場第 1-24 小時與 25-48 小時預報之迴歸分析

6.1 臺中港區風場預報誤差修正能力分析

本研究依 2019 年 1-12 月，取每月每日 00Z、12Z 之預報實驗，每個實驗取第 1-24 小時預報結果，因此 1 月計有 $24(\text{時}) \times 2(\text{預報}) \times 31(\text{日}) = 1488$ 筆可供檢驗其預報能力。每筆預報資料計算 T2 預報風速、離岸風電區預報風速，再將 T2 預報風速與對應時間之 T2 觀測風速計算相關係數、RMSE、RRMSE(RMSE/觀測風速之平均值)、迴歸方程式。另一部分則計算 T2 預報風速與離岸風電區預報風速間之相關係數與迴歸方程式，其分析結果呈現於表 6-1。整體而言，臺中港區 T2 預報風速與 T2 觀測風速之相關係數於 6-8 月低於 0.7，其餘月分均高，約在 0.71-0.94 之間。RRMSE 於 6-8 月高於 0.4，其餘月分較低，約在 0.18-0.39 之間。顯示對臺中港 T2 風場之第 1-24 小時預報能力於夏季 6-8 月較低。T2 預報風速與離岸風電區域報風速之關聯性於每個月分均高，在 0.75-0.96 之間，反應模式預報風場於臺中港區與離岸風電區呈現密切關聯性，換言之，當臺中港區風速大小變化與離岸風電區風速變化為相當一致時，經由第一步驟修正臺中港區之 T2 預報風速後，離岸風電區之預報風速也應隨之修正，因此可使用第二步驟之臺中港區預報風速-離岸風電區域報風速的映射迴歸方程式來修正離岸風電區預報風速。

如表 6-1 分析，T2 風速之第 25-48 小時預報能力分析如表 6-2 所示。臺中港區 T2 預報風速與 T2 觀測風速之相關係數低於 0.7 的月份計有 4-8 月，RRMSE 高於 0.4 的月份計有 3-9 月，顯示第二天預報比第一天預報之預報誤差較大。T2 預報風速與離岸風電區域報風速之相關係數落在 0.69-0.96 之間。雖比第一天預報為低，但仍呈現高度關聯性。

表 6-1 第 1-24 小時預報風速之預報能力分析

	T2(WRF)-T2(觀測)				T2(WRF)-離岸(WRF)	
	f01-f24				f01-f24	
2019	相關係數	RMSE	RRMSE	迴歸方程式	相關係數	迴歸方程式
1 月	0.93	2.4	0.18	$y=0.004x^2+0.97x+0.659$	0.95	$y=0.006x^2+0.685x+3.227$
2 月	0.86	2.42	0.25	$y=-0.008x^2+1.079x-0.241$	0.96	$y=-0.004x^2+0.988x+0.366$
3 月	0.83	2.87	0.34	$y=0.017x^2+0.627x+1.672$	0.94	$y=0.008x^2+0.732x+1.744$
4 月	0.71	2.92	0.39	$y=0.02x^2+0.506x+2.773$	0.85	$y=0.012x^2+0.633x+2.015$
5 月	0.83	2.69	0.39	$y=0.021x^2+0.713x+0.561$	0.89	$y=0.013x^2+0.736x+1.551$
6 月	0.56	2.74	0.41	$y=-0.008x^2+0.729x+2.095$	0.75	$y=-0.006x^2+0.754x+2.278$
7 月	0.67	3.01	0.43	$y=0.014x^2+0.517x+1.919$	0.83	$y=0.027x^2+0.413x+2.915$
8 月	0.69	3.62	0.6	$y=0.027x^2+0.349x+1.674$	0.81	$y=0.014x^2+0.628x+2.413$
9 月	0.88	3.05	0.33	$y=0.011x^2+0.846x+0.543$	0.88	$y=0.008x^2+0.686x+2.435$
10 月	0.9	2.5	0.22	$y=0.007x^2+0.892x+0.76$	0.91	$y=0.005x^2+0.705x+2.989$
11 月	0.94	2.67	0.19	$y=-0.006x^2+1.221x-0.644$	0.96	$y=-0.004x^2+0.921x+2.324$
12 月	0.93	2.74	0.22	$y=0.008x^2+0.877x+0.516$	0.96	$y=0.004x^2+0.726x+3.01$

表 6-2 第 25-48 小時預報風速之預報能力分析

	T2(WRF)-T2(觀測)				T2(WRF)-離岸(WRF)	
	f25-f48				f25-f48	
2019	相關係數	RMSE	RRMSE	迴歸方程式	相關係數	迴歸方程式
1 月	0.88	3.17	0.25	$y=0.023x^2+0.579x+2.894$	0.94	$y=0.005x^2+0.678x+3.167$
2 月	0.82	2.62	0.27	$y=-0.006x^2+1.034x+0.104$	0.96	$y=0x^2+0.918x+0.571$
3 月	0.74	3.64	0.43	$y=0.02x^2+0.45x+3.161$	0.89	$y=0.017x^2+0.529x+2.86$
4 月	0.57	3.6	0.47	$y=0.04x^2+0.024x+5.223$	0.79	$y=0.023x^2+0.393x+3.153$
5 月	0.64	3.63	0.54	$y=0.015x^2+0.663x+1.425$	0.84	$y=0.019x^2+0.587x+2.495$
6 月	0.34	3.44	0.52	$y=-0.02x^2+0.678x+2.861$	0.69	$y=0.015x^2+0.406x+3.844$
7 月	0.65	3.18	0.46	$y=0.012x^2+0.533x+1.637$	0.84	$y=0.013x^2+0.602x+2.463$
8 月	0.58	4.13	0.68	$y=0.002x^2+0.655x+1.069$	0.82	$y=0.021x^2+0.505x+2.792$
9 月	0.79	3.98	0.42	$y=0.053x^2+0.088x+3.884$	0.87	$y=0.016x^2+0.505x+3.251$
10 月	0.83	3.21	0.28	$y=0.022x^2+0.568x+2.37$	0.9	$y=0.011x^2+0.582x+3.51$
11 月	0.86	4.57	0.33	$y=-0.004x^2+1.099x+2.331$	0.93	$y=-0.005x^2+0.957x+2.043$
12 月	0.9	3.65	0.29	$y=-0.002x^2+1.176x+0.055$	0.92	$y=0.006x^2+0.661x+3.623$

為診斷對模式預報誤差之修正能力，本研究以 2019 年 1-12 月逐月為分析對象，取該月每日 08 時臺灣本地時間(00Z UTC)之 T2 觀測風速，繪成時間序列(1 月計有 31 筆資料)，再將第 24 小時預報之 T2 風速(1 月計有 30 筆資料)、第 48 小時預報之 T2 風速(1 月計有 29 筆資料)以對應時間序列疊加上去，其結果如圖 6.2、圖 6.3、圖 6.4 左側圖所示。在誤差修正方面，以第 24 小時、第 48 小時之預報風速作為 x 值，分別以表 6-1、表 6-2 左側 T2 預報風速-T2 觀測風速之迴歸方程式進行修正，取迴歸後之 y 值當做 T2 預報風速之誤差修正結果，再將誤差修正後之結果繪成時間序列，與觀測時間序列進行比對。其結果顯示於圖 6.2、圖 6.3、圖 6.4 之右側。

就原始預報而言(圖 6.2-6.4 左側圖)，第 24 小時預報(藍線)與第 48 小時預報(綠線)均能相當程度掌握 T2 觀測風速(紅線)之逐日變化情形，主要誤差為風速偏強或偏弱。經由迴歸方程式誤差修正之後，圖 6.2-6.4 右側圖比左側圖呈現部份明顯改善效果，概述如下：

- 1 月：16、21、26 日最大値之明顯偏弱誤差修正為接近。
- 2 月：17、23 日之偏強誤差均減小。
- 3 月：對極值改善效果有限。
- 4 月：4、25、28 日之偏弱誤差均有明顯減少。
- 5 月：7 日偏弱誤差有減少。
- 6 月：3、29 日之誤差均有減小。
- 7 月：10-14 日與 21-24 日之誤差均有減小。
- 8 月：17、25、29 日之偏強誤差均有減小。
- 9 月：18-20 日之偏弱誤差有所減小。
- 10 月：20、30 日之偏弱誤差有所減小。
- 11 月：4、14、19、28 日之偏弱誤差均有減小。
- 12 月：3-5、20、27 日之偏弱誤差均有所減小。

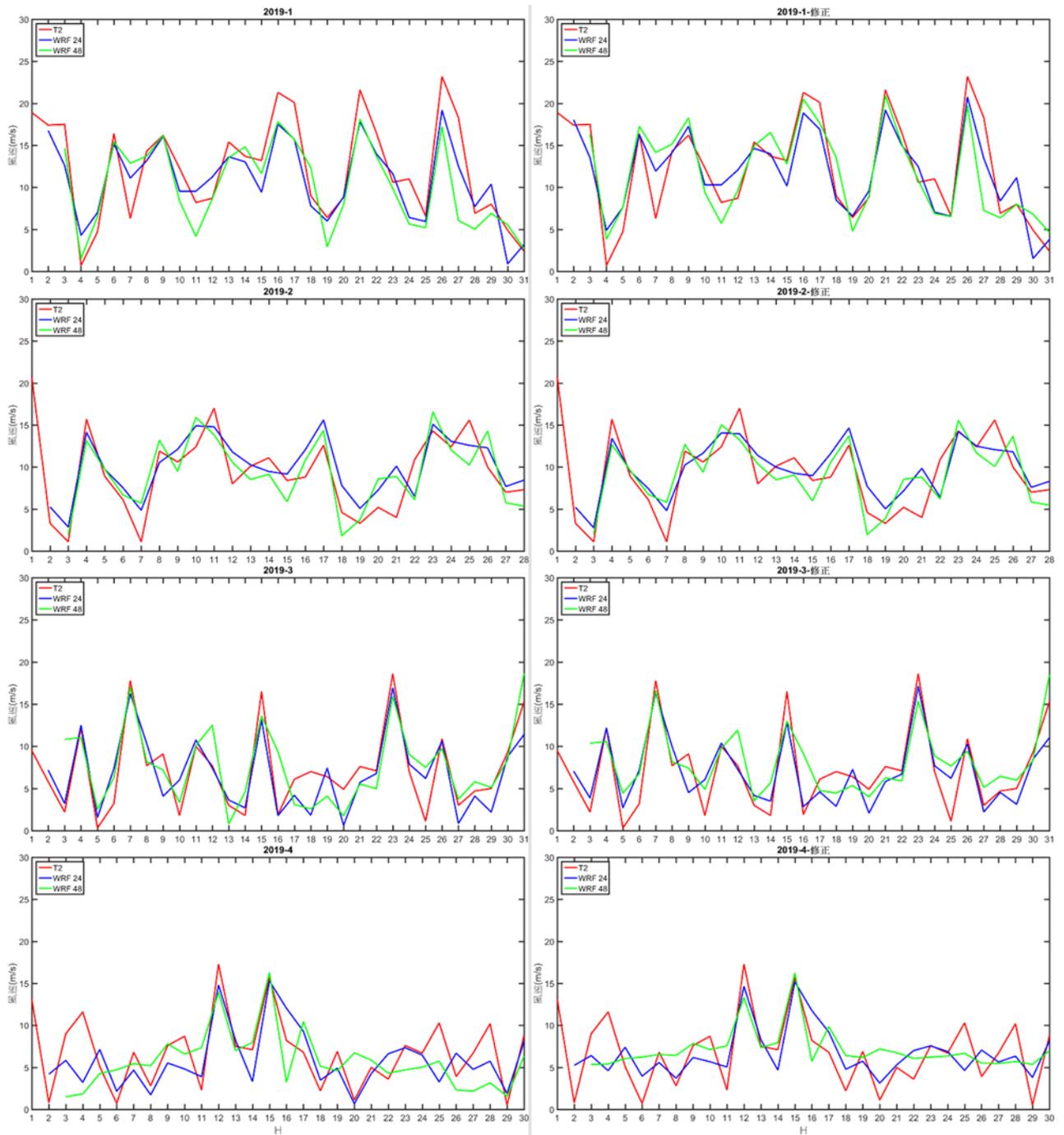


圖 6.2 1-4 月風速之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果

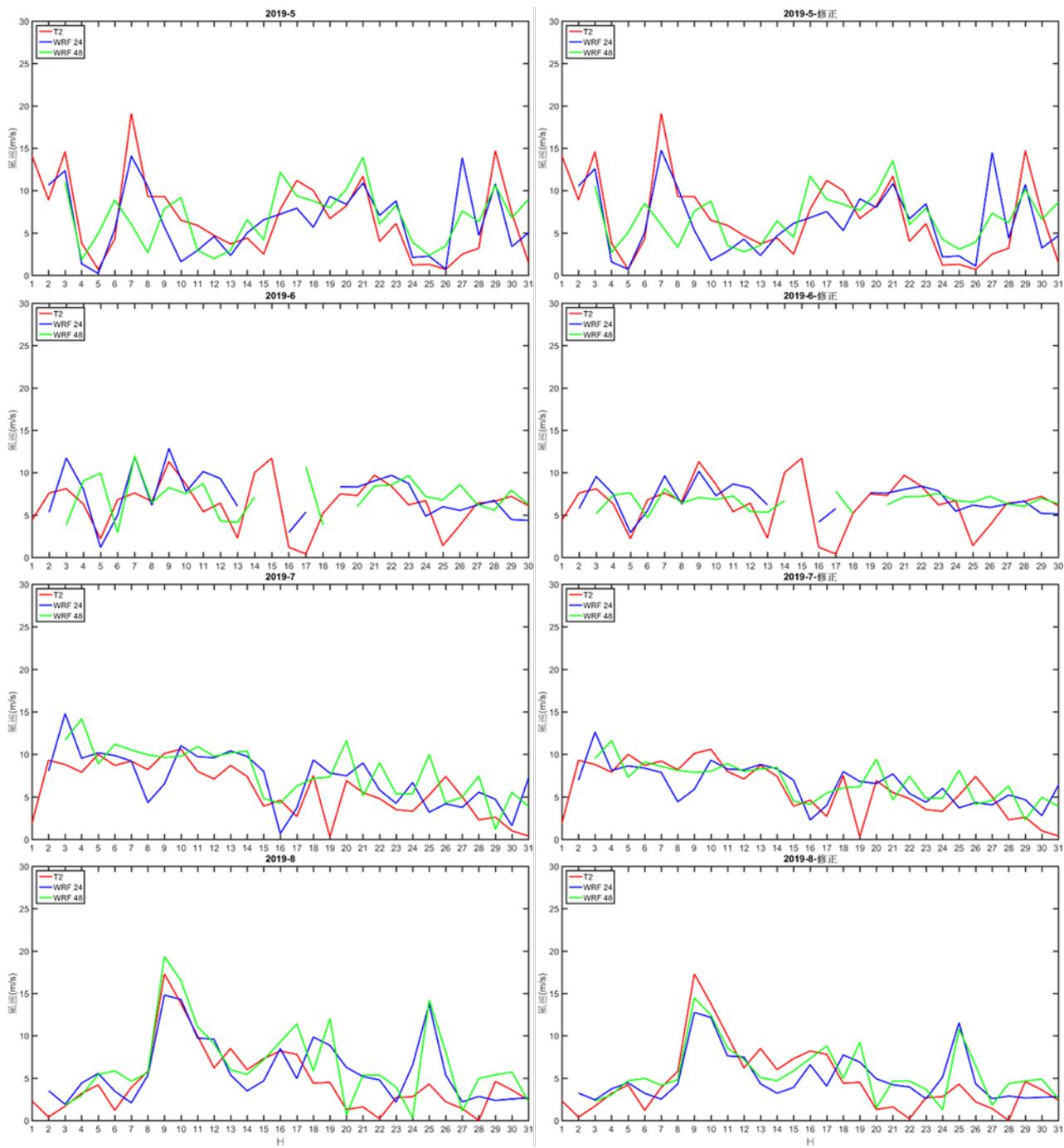


圖 6.3 5-8 月風速之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果

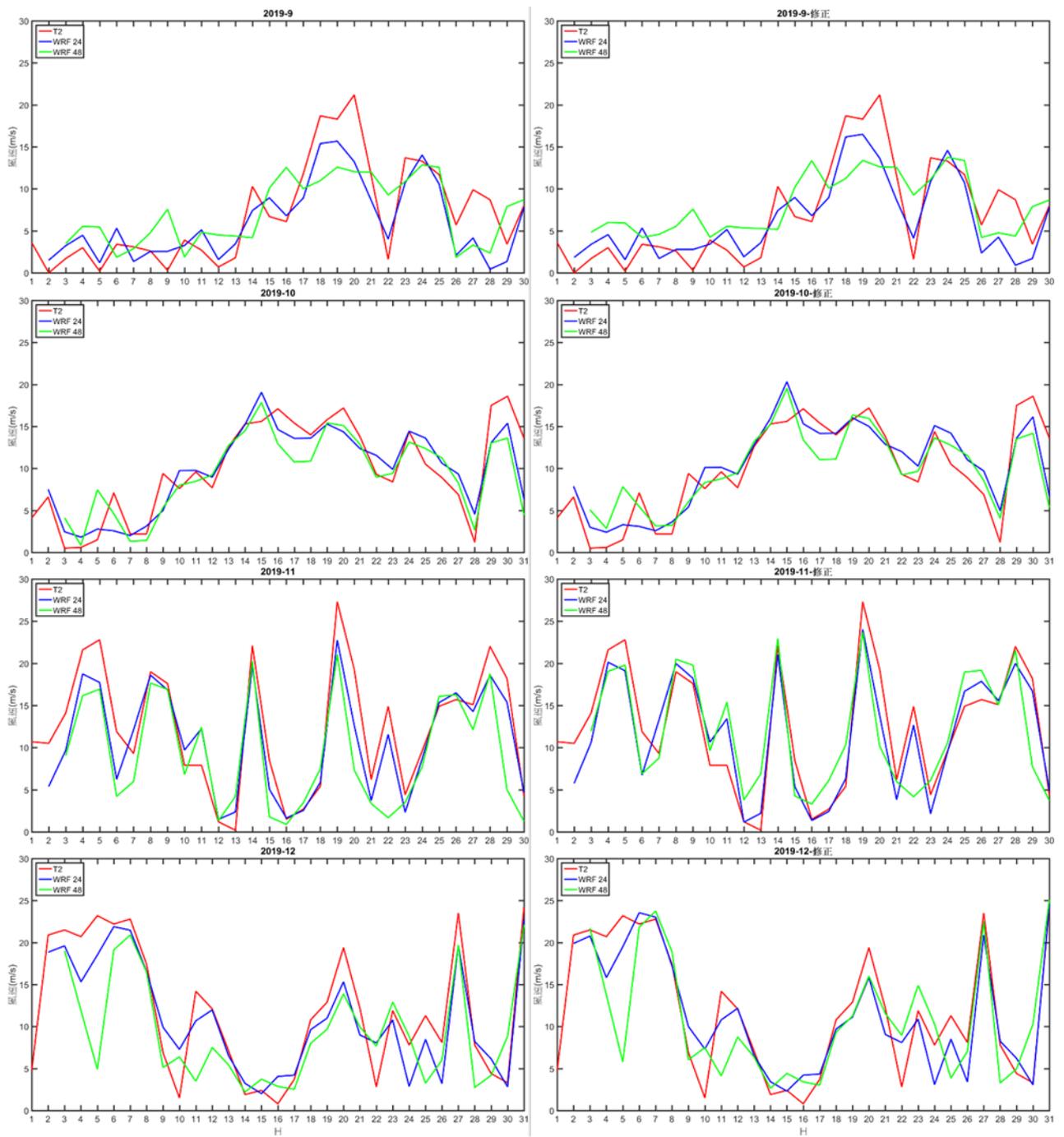


圖 6.4 9-12 月風速之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果

除時間序列比較外，為定量檢核預報誤差修正成效，計算圖 6.2-6.4 圖中，觀測時間序列與誤差修正前後時間序列之平均風速，誤差修正前後之預報與觀測時間序列的相關係數、RMSE、RRMSE。第 24 小時預報與第 48 小時預報之計算結果呈現於表 6-3、表 6-4。表中若誤差修正後之結果更好以紅字顯示，與誤差修正前一樣以綠字顯示，誤差修正更好現象為預報平均風速更接近觀測平均風速、相關係數變大、RMSE 與 RRMSE 變小。表 6-3 顯示，在 1-12 月的第 24 小時預報之誤差修正，平均風速更接近觀測者有 11 個月，相關係數有 4 個月更高、8 個月持平，RMSE 有 10 個月減小，RRMSE 有 9 個月減小、1 個月持平。計算整年平均值，觀測風速平均值為 8.34m/s，預報風速從修正前之 8.16m/s 變為修正後之 8.30m/s，更接近觀測值。修正前後，相關係數從 0.79 提高為 0.80，RMSE 從 2.91m/s 降為 2.69m/s，RRMSE 從 0.38 降為 0.35，以(預報值-觀測值)/觀測值來計算改善率，RMSE 與 RRMSE 均約改善 8%。表 6-4 顯示，1-12 月的第 48 小時預報之誤差修正，平均風速更接近觀測者有 9 個月，相關係數有 5 個月更高、7 個月持平，RMSE 全部月份均減小，RRMSE 有 11 個月減小、1 個月持平。計算整年平均值，觀測風速平均值為 8.34m/s，誤差修正從 8.08m/s 修正為 8.58m/s，修正前偏弱-0.26m/s，修正後為偏強 0.24m/s，顯示效果有限。修正前後，相關係數從 0.65 提高為 0.67，RMSE 從 3.87m/s 降為 3.42m/s，改善率約為 12%，RRMSE 從 0.49 降為 0.41，改善率約為 16%。

上述分析顯示，在 T2 風速預報能力方面，第 24 小時預報之準確性明顯高於第 48 小時預報。在誤差修正方面，第 24 小時預報之風速強度修正能力高於第 48 小時預報，但 RMSE 與 RRMSE 之改善成效，第 48 小時預報之 11-16% 則高於第 24 小時預報之 8%。

表 6-3 風速 24 小時預報於誤差修正前後之預報能力

T2-WRF(24hr 預報)									
	原始預報					誤差修正後			
月	T2 風速	WRF 風速	相關係數	RMSE	RRMSE	WRF 風速	相關係數	RMSE	RRMSE
1	12.24	10.94	0.9	2.9	0.27	11.83	0.9	2.61	0.22
2	9.37	10.04	0.85	2.51	0.25	9.69	0.85	2.42	0.25
3	7.24	6.78	0.86	2.57	0.38	7.03	0.87	2.41	0.34
4	6.82	5.87	0.7	3.03	0.52	6.67	0.71	2.86	0.43
5	6.77	6.38	0.69	3.35	0.53	6.28	0.69	3.37	0.54
6	6.31	7.15	0.64	2.54	0.36	6.84	0.64	2.17	0.32
7	5.9	7.19	0.56	3.07	0.43	6.5	0.57	2.56	0.39
8	4.64	5.9	0.69	3.2	0.54	5.03	0.71	2.76	0.55
9	6.92	6.06	0.88	3.09	0.51	6.29	0.88	2.96	0.47
10	9.85	9.83	0.88	2.62	0.27	10.37	0.88	2.65	0.26
11	12.23	10.77	0.93	3.07	0.28	11.57	0.93	2.75	0.24
12	11.76	11	0.94	2.98	0.27	11.45	0.94	2.76	0.24
avg	8.34	8.16	0.79	2.91	0.38	8.30	0.80	2.69	0.35

表 6-4 風速 48 小時預報於誤差修正前後之預報能力

T2-WRF(48hr 預報)									
	原始預報					誤差修正後			
月	T2 風速	WRF 風速	相關係數	RMSE	RRMSE	WRF 風速	相關係數	RMSE	RRMSE
1	12.24	10.17	0.83	3.68	0.36	11.73	0.84	3.24	0.28
2	9.37	9.31	0.77	2.81	0.3	9.12	0.77	2.73	0.3
3	7.24	7.7	0.77	3.31	0.43	8.23	0.79	3.24	0.39
4	6.82	5.76	0.5	3.85	0.67	7.13	0.6	3.22	0.45
5	6.77	6.82	0.51	4.03	0.59	6.8	0.51	3.95	0.58
6	6.31	7.34	-0.1	3.75	0.51	6.66	-0.07	2.82	0.42
7	5.9	7.95	0.67	3.18	0.4	6.74	0.67	2.37	0.35
8	4.64	6.79	0.79	3.41	0.5	5.65	0.79	2.51	0.44
9	6.92	7.19	0.63	4.57	0.64	8.04	0.68	4.4	0.55
10	9.85	9.35	0.84	3.11	0.33	10.06	0.84	3.08	0.31
11	12.23	9.27	0.8	5.43	0.59	12.01	0.8	4.53	0.38
12	11.76	9.29	0.78	5.35	0.58	10.73	0.78	4.97	0.46
avg	8.34	8.08	0.65	3.87	0.49	8.58	0.67	3.42	0.41

6.2 臺中港區波高預報誤差修正能力分析

本節將分析波高預報誤差之修正能力，如 6.1 節之分析方法，只是將 T2 風速變更為 AWAC 觀測波高與第 1-24 小時、第 25-48 小時預報之 AWAC 與離岸風電區預報波高。在迴歸分析方面，對第 1-24 小時波高預報之分析結果呈現於表 6-5。整體而言，臺中港區 AWAC 預報波高與 AWAC 觀測波高之相關係數於 6-8 月較低，約為 0.24-0.6，其餘月分較高，約為 0.81-0.95 之間。RRMSE 於 3-8 月高於 0.4，約為 0.48-0.59，其餘月分較低，約在 0.25-0.33 之間。顯示對臺中港 AWAC 波高之第 1-24 小時預報能力於夏季 6-8 月較低。AWAC 預報波高與離岸風電區預報波高之關聯性於每個月均高，相關係數為 0.84-0.98 之間，反應在模式中，臺中港區與離岸風電區之波高變化有相當高關聯性，因此可使用誤差修正後之臺中港區 AWAC 預報波高，經由臺中港區預報波高-離岸風電區預報波高的映射迴歸方程式來修正離岸風電區預報波高。

表 6-6 呈現對波高之第 25-48 小時預報之能力分析。臺中港區 AWAC 預報波高與 AWAC 觀測波高之相關係數低於 0.7 的月份計有 5-8 月，RRMSE 高於 0.4 的月份計有 3-9 月，顯示對第二天的波高預報比第一天預報之預報誤差較大。AWAC 預報波高與離岸風電區預報波高之相關係數落在 0.82-0.98 之間，與第一天預報之相關係數相當，具有相當高之關聯性。

表 6-5 第 1-24 小時預報波高之預報能力分析

	AWAC(NWW3)-AWAC(觀測)				AWAC(NWW3)-離岸(NWW3)	
	f01-f24				f01-f24	
2019	相關係數	RMSE	RRMSE	迴歸方程式	相關係數	迴歸方程式
1 月	0.91	0.57	0.28	$y=0.118x^2+0.525x+0.866$	0.97	$y=0.001x^2+1.358x+0.115$
2 月	0.9	0.55	0.33	$y=-0.155x^2+1.201x+0.521$	0.98	$y=0.075x^2+1.191x+0.079$
3 月	0.82	0.72	0.48	$y=0.143x^2+0.432x+0.919$	0.97	$y=0.128x^2+1.063x+0.213$
4 月	0.81	0.57	0.53	$y=-0.08x^2+1.119x+0.404$	0.93	$y=0.14x^2+1.078x+0.115$
5 月	0.85	0.55	0.49	$y=0.414x^2+0.261x+0.591$	0.94	$y=0.222x^2+0.97x+0.198$
6 月	0.24	0.42	0.59	$y=0.055x^2+0.105x+0.612$	0.84	$y=-0.002x^2+0.802x-0.282$
7 月	0.4	0.45	0.59	$y=0.183x^2+0.081x+0.559$	0.87	$y=0.129x^2+1.061x+0.098$
8 月	0.62	0.58	0.57	$y=0.179x^2+0.193x+0.71$	0.87	$y=-0.001x^2+1.139x+0.249$
9 月	0.93	0.62	0.4	$y=0.108x^2+0.605x+0.771$	0.96	$y=-0.066x^2+1.507x+0.116$
10 月	0.87	0.47	0.29	$y=0.008x^2+0.814x+0.536$	0.97	$y=-0.018x^2+1.413x+0.143$
11 月	0.94	0.57	0.26	$y=0.013x^2+0.802x+0.766$	0.98	$y=-0.018x^2+1.382x+0.26$
12 月	0.95	0.48	0.25	$y=0.066x^2+0.646x+0.707$	0.98	$y=0x^2+1.347x+0.187$

表 6-6 第 25-48 小時預報波高之預報能力分析

	AWAC(NWW3)-AWAC(觀測)				AWAC(NWW3)-離岸(NWW3)	
	f25-f48				f25-f48	
2019	相關係數	RMSE	RRMSE	迴歸方程式	相關係數	迴歸方程式
1 月	0.88	0.65	0.32	$y=0.201x^2+0.363x+0.969$	0.96	$y=0.056x^2+1.149x+0.258$
2 月	0.87	0.58	0.35	$y=-0.127x^2+1.179x+0.499$	0.98	$y=0.093x^2+1.167x+0.056$
3 月	0.74	0.83	0.56	$y=0.196x^2+0.24x+1.065$	0.95	$y=0.071x^2+1.215x+0.2$
4 月	0.7	0.65	0.61	$y=-0.092x^2+1.07x+0.473$	0.91	$y=0.122x^2+1.117x+0.128$
5 月	0.64	0.65	0.6	$y=0.11x^2+0.637x+0.559$	0.91	$y=0.138x^2+1.083x+0.208$
6 月	0.25	0.46	0.65	$y=-0.054x^2+0.264x+0.561$	0.82	$y=0.047x^2+-0.678x+0.378$
7 月	0.38	0.47	0.62	$y=0.206x^2+0.002x+0.59$	0.87	$y=0.101x^2+1.091x+0.102$
8 月	0.58	0.61	0.6	$y=0.25x^2+0.009x+0.793$	0.89	$y=-0.108x^2+1.392x+0.16$
9 月	0.85	0.72	0.46	$y=0.206x^2+0.471x+0.828$	0.95	$y=-0.09x^2+1.504x+0.141$
10 月	0.8	0.55	0.33	$y=0.088x^2+0.586x+0.706$	0.96	$y=-0.002x^2+1.351x+0.202$
11 月	0.91	0.78	0.35	$y=-0.001x^2+0.86x+0.905$	0.97	$y=-0.029x^2+1.394x+0.299$
12 月	0.94	0.59	0.3	$y=0.036x^2+0.799x+0.68$	0.97	$y=-0.021x^2+1.408x+0.196$

在預報誤差修正能力方面，取每月每日 08 時臺灣本地時間(00Z UTC)之 AWAC 觀測波高，與第 24 小時、第 48 小時 AWAC 預報波高之時間序列互為比較，1-12 月逐月之分析結果如圖 6.5 至圖 6.7 所示。原始預報之結果顯示於左側，誤差修正後之結果顯示於右側，以供比較。就原始預報而言(圖 6.5 至 6.7 左側圖)，第 24 小時預報(藍線)與第 48 小時預報(綠線)均能相當程度掌握 AWAC 觀測波高(紅線)之逐日變化情形，主要誤差為波高偏弱。經由迴歸方程式誤差修正之後，圖 6.5 至圖 6.7 右側圖比左側圖呈現部份明顯改善效果，概述如下：

- 圖 6.5: 1-4 月之偏弱預報波高於誤差修正後均能增強，更為接近觀

測值。

- 圖 6.6: 5 月偏弱預報波高修正後增強，更為接近觀測。6 月初期偏強預報波高與後期偏弱預報波高，修正後均更為接近觀測。7 月初期偏強預報波高修正後更為接近觀測。8 月初期與後期之偏弱預報波高，修正後更為接近觀測值。
- 圖 6.7: 9-12 月呈現均勻性的波高偏弱誤差，經修正後，波高增強，更為接近觀測值。

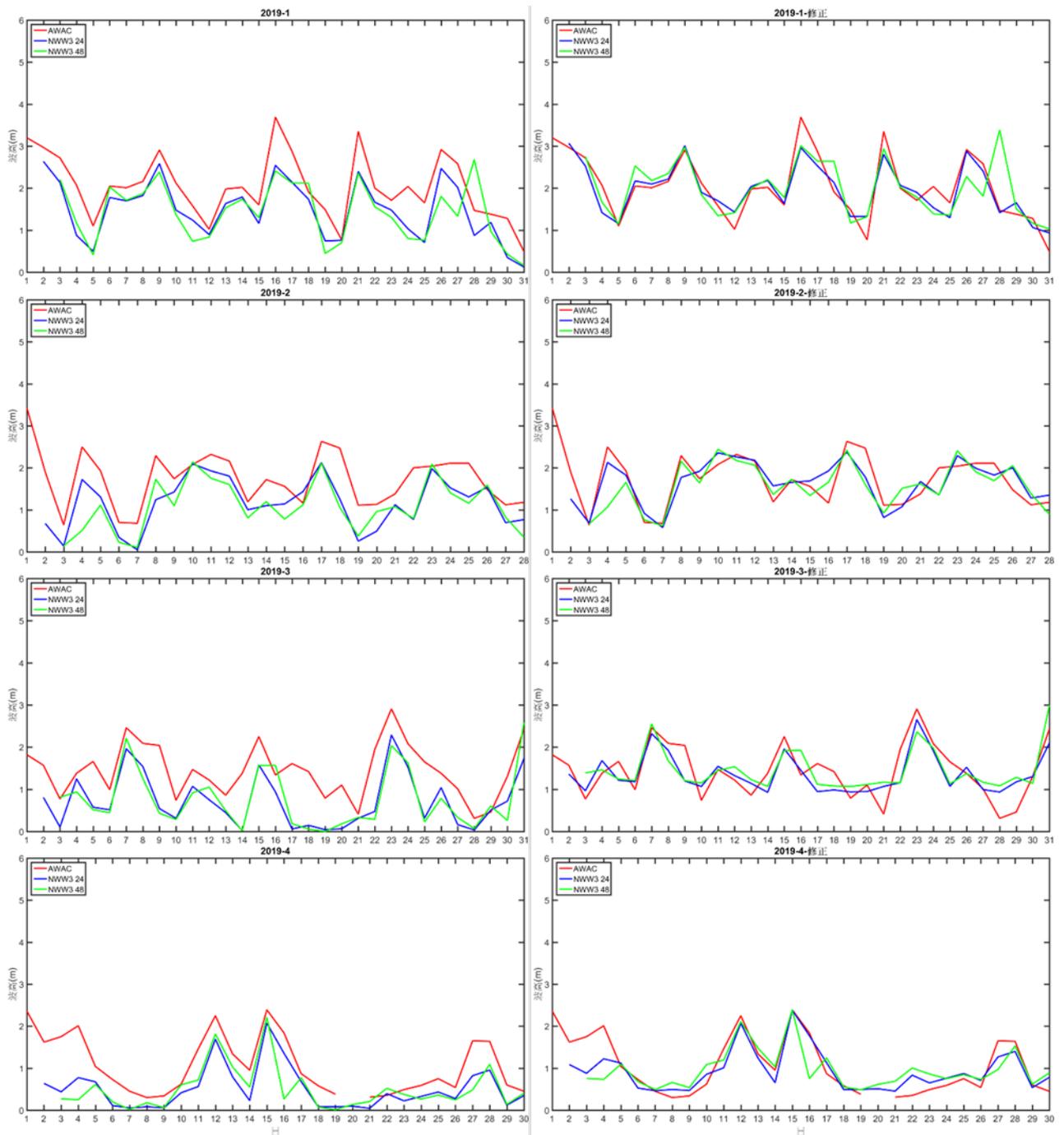


圖 6.5 1-4 月波高之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果

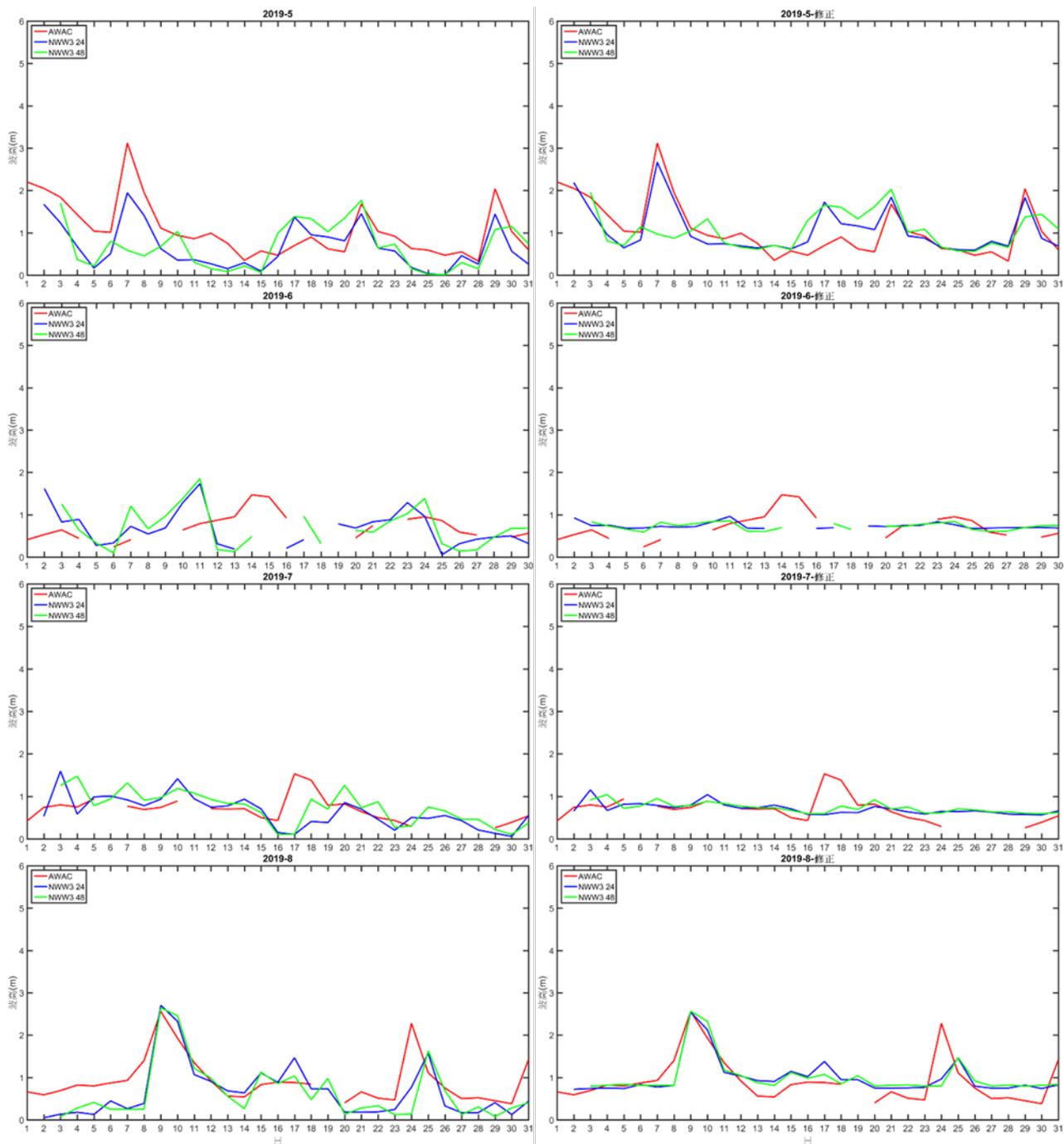


圖 6.6 5-8 月波高之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果

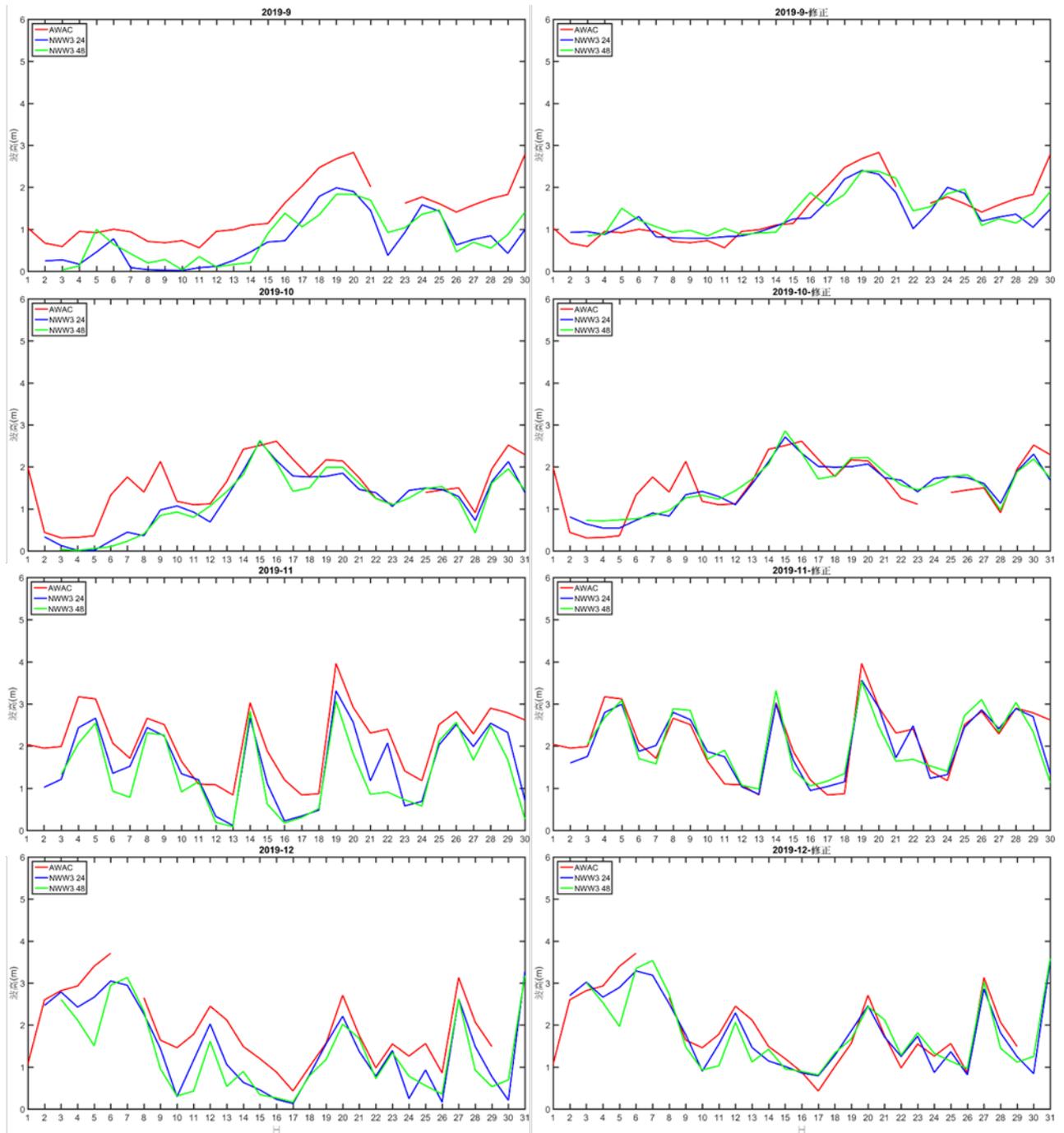


圖 6.7 9-12 月波高之 24、48 小時原始預報與誤差修正結果

定量檢核波高預報誤差之修正成效，表 6-7、表 6-8 分別顯示第 24、48 小時預報分析結果，包括觀測波高時間序列之平均波高，誤差修正前後之預報與觀測時間序列的相關係數、RMSE、RRMSE。誤差修正後之結果更好以紅字顯示，一樣以綠字顯示。表 6-7 顯示，在 1-12 月的第 24 小時預報之誤差修正，平均風速全部更接近觀測者，相關係數有 8 個月更高、4 個月持平，RMSE 與 RRMSE 在全部 12 個月均減小。整體而言，誤差修正法能有效提升預報波高強度，降低系統性誤差之大小，致使改善效果明顯，呈現在平均波高、RMSE、RRMSE 等與波高強度密切相關的指標上面。若計算整年之平均值，相對觀測波高平均值之 1.39m，預報誤差修正從修正前之 0.96m 變為修正後之 1.35m，明顯更接近觀測值。修正前後，相關係數從 0.72 略升為 0.73，RMSE 從 0.66m 降為 0.33m，改善率約為 45%。RRMSE 從 0.71 降為 0.27，改善率約為 62%。表 6-8 顯示，在 1-12 月的第 48 小時預報之誤差修正，平均波高更接近觀測者有 11 個月、1 個月持平。相關係數有 3 個月更高、6 個月持平。RMSE 與 RRMSE 於全部月份均減小。若計算整年之平均值，相對觀測波高平均值之 1.39m，誤差修正從修正前之 0.93m 變為修正後之 1.36m，非常接近觀測值，效果顯著。修正前後，相關係數維持在 0.63，RMSE 從 0.7m 降為 0.43m，改善率約為 39%。RRMSE 從 0.82 降為 0.34，改善率約為 59%。

在 AWAC 波高預報能力方面，第 24 小時預報之準確性明顯高於第 48 小時預報，在誤差修正方面，以波高強度之改善最為明顯，RMSE 與 RRMSE 之改善率，第 24 小時預報為 45-62%，第 48 小時預報為 39-59%，以第 24 小時預報之改善成效優於第 48 小時預報。

表 6-7 波高 24 小時預報於誤差修正前後之預報能力

AWAC-NWW3(24hr 預報)									
	原始預報					誤差修正後			
月	AWAC 波高	NWW3 波高	相關係數	RMSE	RRMSE	NWW3 波高	相關係數	RMSE	RRMSE
1	2.04	1.48	0.91	0.6	0.4	1.96	0.92	0.31	0.16
2	1.74	1.16	0.79	0.64	0.55	1.65	0.8	0.35	0.21
3	1.45	0.73	0.77	0.83	1.14	1.37	0.78	0.4	0.29
4	1.06	0.53	0.87	0.58	1.1	0.95	0.88	0.32	0.34
5	1.07	0.67	0.81	0.52	0.78	1.07	0.85	0.33	0.31
6	0.7	0.71	-0.01	0.53	0.75	0.74	0.07	0.23	0.31
7	0.68	0.64	0.19	0.43	0.67	0.71	0.2	0.3	0.42
8	0.92	0.65	0.72	0.53	0.82	0.99	0.73	0.37	0.38
9	1.41	0.73	0.87	0.77	1.06	1.31	0.87	0.37	0.28
10	1.57	1.18	0.84	0.53	0.45	1.52	0.84	0.36	0.24
11	2.13	1.56	0.91	0.68	0.44	2.06	0.91	0.34	0.17
12	1.95	1.45	0.95	0.6	0.41	1.85	0.95	0.3	0.16
avg	1.39	0.96	0.72	0.60	0.71	1.35	0.73	0.33	0.27

表 6-8 波高 48 小時預報於誤差修正前後之預報能力

AWAC-NWW3(48hr 預報)									
	原始預報					誤差修正後			
月	AWAC 波高	NWW3 波高	相關係數	RMSE	RRMSE	NWW3 波高	相關係數	RMSE	RRMSE
1	2.04	1.42	0.75	0.74	0.52	1.99	0.72	0.52	0.26
2	1.74	1.08	0.7	0.74	0.68	1.58	0.71	0.44	0.28
3	1.45	0.76	0.68	0.86	1.13	1.46	0.69	0.47	0.32
4	1.06	0.51	0.68	0.67	1.32	0.97	0.68	0.47	0.48
5	1.07	0.67	0.29	0.75	1.12	1.07	0.29	0.63	0.59
6	0.7	0.73	0.17	0.53	0.73	0.72	0.12	0.23	0.32
7	0.68	0.74	0.31	0.42	0.57	0.74	0.31	0.29	0.39
8	0.92	0.63	0.64	0.6	0.95	1.01	0.7	0.4	0.4
9	1.41	0.79	0.85	0.75	0.95	1.4	0.85	0.37	0.26
10	1.57	1.18	0.81	0.59	0.5	1.56	0.8	0.39	0.25
11	2.13	1.35	0.84	0.93	0.69	2.06	0.84	0.46	0.22
12	1.95	1.25	0.88	0.83	0.66	1.76	0.88	0.47	0.27
avg	1.39	0.93	0.63	0.70	0.82	1.36	0.63	0.43	0.34

6.3 臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估

6.1 與 6.2 節之分析指出，本研究所建置之誤差修正方法，經由 T2 與 AWAC 觀測資料之應用，可有效修正與提升臺中港區風、波預報結果之準確性。臺中港區風、波誤差修正為第一步驟，可再結合第二步驟之臺中港區-離岸風電區之迴歸方程式，將臺中港區誤差修正結果映射到離岸風電區，做為對離岸風電區預報風、波之誤差修正。

在缺乏觀測資料情形之下，為建立離岸風電區之 1-12 月海氣象環境資訊，本研究取每月每日 00Z、12Z 的預報，每個預報取第 1-12 小時之 T2 風速或 AWAC 波高的預報值，串成整年連續之時間序列。T2 預報風速經由表 6-1 之 T2 預報風速(x)-T2 觀測風速(y)之迴歸方程式進行誤差修正，修正後之值再經由 T2 預報風速(x)-離岸風電區預報風速(y)之迴歸方程式進行映射，對離岸風電區之預報風速進行修正。經由上述兩修正步驟後，離岸風電區預報風速之 1-12 月風級分布百分比如表 6-9 所示。運用同樣分析方法，全年之 AWAC 預報波高，可經由表 6-5 所示之兩個迴歸方程式誤差修正後，所獲得離岸風電區預報波高之 1-12 月波級分布百分比如表 6-10 所示。

誤差修正後之離岸風電區風速，相較於表 3-3 所示之離岸風電區風速原始預報結果，在 8-9 級強風方面之百分比，於冬季有所增加。8-9 級風之合計百分比，在風速較大之 9、10、11、12、1 月方面，原始預報為 9%、5%、32%、27%、18%，誤差修正後變為 11%、10%、41%、28%、25%。波高方面，表 3-4 所示離岸風電區波高原始預報結果之最大波級為 6 級，但表 6-10 所示誤差修正後之離岸風電區最大波級提升到 7 級，比較 6-7 級波高之合計百分比，在波高較大之 9、10、11、12、

1 月方面，原始預報為 12%、15%、46%、33%、28%，誤差修正後增大為 22%、25%、62%、39%、41%，反映誤差修正後，離岸風電區較大波級之比例明顯提升，這結果應與 6.2 節所示原始預報波高呈現偏弱誤差，修正後使波高增大有關。

表 6-9 誤差修正後之離岸風電區預報風速分布百分比

WRF 離岸- 修正後(%)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
3 級風以下	2	20	21	19	35	9	20	35	18	6	6	7
4 級風	10	16	28	50	24	68	40	35	25	17	9	16
5 級風	21	19	26	21	20	23	37	21	15	18	9	17
6 級風	20	32	13	4	10	0	3	7	21	24	16	21
7 級風	22	13	8	6	8	0	0	2	11	25	19	11
8 級風	21	0	4	0	3	0	0	0	6	8	31	13
9 級風以上	4	0	0	0	0	0	0	0	5	2	10	15

表 6-10 誤差修正後之離岸風電區之預報波高分布百分比

NWW3 離岸 -修正後(%)	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
3 級以下	0	7	0	30	31	100	57	0	0	6	0	0
4 級	21	29	63	52	42	0	43	91	46	25	16	33
5 級	38	39	24	11	16	0	0	8	32	43	22	27
6 級	25	26	9	7	8	0	0	0	17	24	33	17
7 級以上	16	0	5	0	4	0	0	0	5	1	29	22

離岸風電區缺乏觀測資料，誤差修正後之預報資訊，可提供離岸風電區之海氣象環境資訊，做為船舶航行臺中港與離岸風電區之安全影響評估的參考資訊。依據官方資訊，勞動部職業安全衛生署(2018)制定”離岸風電海域作業安全指引”，其中擬定”人員進出安全檢核表”如表 6-11 所示，此表標示各式人員交通船與施工船隻進出離岸風電區時，依波高大小所訂定之安全檢核細項，各式船舶航行對應之波高安全限制，從小型交通船的 0.8m 到大型施工船的 3.5m，這些檢核細項可供做為各式船舶航行於臺中港與離岸風電區之安全影響評估標準。

表 6-11 離岸風電海域作業安全指引(勞動部，2018)

項目	檢核細項
筏艇航行/登風機或海上結構物	橡皮筏(Raft)交通艇 (適合操作浪高：0.8m 以下)
人員交通船航行/登風機或海上結構物	1.單胴船(Single Hull)交通船 (適合操作浪高：1m 以下) 2.雙胴船(Catamaran)交通船 (適合操作浪高：1~2m) 3.小水面雙胴(SWATH)交通船 (適合操作浪高：1.5~2.5m)
中型船航行/登風機或海上結構物	服務操作船(SOV)兼交通船 (適合操作浪高：2~3m)
大型施工船航行/登風機或海上結構物	自升式安裝船(WTIV) (適合操作浪高：航行 3m；作業 1.5~2.5m)

由表 6-10 所獲得之誤差修正後的離岸風電區預報波高與臺中港區

AWAC 觀測波高，分別依安全指引所訂各式船舶之安全限制標準，1-12 月各月超過安全限制之危險狀況百分比，整合到表 6-12。由於臺中港鄰近海域之強風常引發大浪，因此小型船隻可運作之空間有限。以較大型之小水面雙胴交通船為例，離岸風電區不適合其運作之危險狀況於 6-8 月最低(0-3%)，3-5 月次低(11-22%)，11-1 月最高(51-71%)，其餘月份為 40-49%。若以大型服務操作船/兼交通船與自升式安裝船為例，危險狀況於 6-8 月為 0%，可充分運作，3-5 月次低，為 7-13%。11-1 月危險狀況比例最高，為 39-61%，能施工之機會約剩下一半，9-10 月與 2 月之危險狀況比例為 22-26%。

以臺中港區觀測 AWAC 波高做為船舶航行安全影響評估之依據，對應”離岸風電海域作業安全指引”所得到之危險狀況百分比顯示，小水面雙胴交通船不適合運作之危險狀況於 2-8 月為 0-9%，9-10 月為 9-11%，11-1 月最高，增大為 26-42%。若以大型服務操作船/兼交通船與自升式安裝船為例，危險狀況於 2-10 月為 0-5%，11-1 月僅為 11-20%，與離岸風電區預報波高所顯示之 39-62%有數倍之差距，因此若以臺中港區之觀測波高做為依據來評估外海離岸風電區之安全標準，將會有明顯差異與潛在危險性，須加以注意與警示。換言之，不宜以臺中港區觀測波高來推估海離岸風電區之航行安全影響，應確實使用離岸風電區之實測資料或具準確度之預報資料做為該區船舶航行安全影響評估之依據。

表 6-12 離岸風電區預報波高與臺中港觀測波高之危險狀況百分比

離岸風電區		超過安全指引標準(%)											
項目	安全限制	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
橡皮筏交通艇	波高 \leq 0.8m	100	97	100	78	100	7	75	100	100	100	100	100
單胴交通船	波高 \leq 1m	100	93	100	70	69	0	43	100	100	94	100	100
雙胴交通船	波高 \leq 2m	79	64	37	18	28	0	0	9	54	69	84	67
小水面雙胴交通船	波高 \leq 2.5m	58	49	22	11	18	0	0	3	40	44	75	51
服務操作船/ 兼交通船	波高 \leq 3m	41	26	13	7	12	0	0	0	22	25	62	39
自升式安裝船	波高 \leq 3m	41	26	13	7	12	0	0	0	22	25	62	39
臺中港區		超過安全指引標準(%)											
項目	安全限制	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
橡皮筏交通艇	波高 \leq 0.8m	97	87	83	53	60	37	36	50	84	88	97	92
單胴交通船	波高 \leq 1m	93	82	74	45	49	15	14	34	72	82	91	86
雙胴交通船	波高 \leq 2m	48	38	21	15	13	0	2	9	23	35	60	42
小水面雙胴交通船	波高 \leq 2.5m	30	9	8	2	5	0	1	2	11	9	42	26
服務操作船/ 兼交通船	波高 \leq 3m	11	2	1	0	2	0	0	1	5	2	20	16
自升式安裝船	波高 \leq 3m	11	2	1	0	2	0	0	1	5	2	20	16

上述分析顯示臺中港區與離岸風電區之海氣象環境存有明顯差異。為進一步呈顯此差異之空間特性，本研究選取每月每日 00Z、12Z 之預報，取每個預報之第 1-12 小時預報結果，串成全年連續之預報資料，分別對 WRF-10m 風速與 NWW3 波高計算 1-3 月、6-8 月、10-12 月等 3 個季節之平均值，其結果如圖 6.8 所示。在各季節之 WRF 10m-風速分布圖中，臺中港區(藍色星號)與離岸風電區(黑色方框)之風速大致接近，於 1-3 月為 9.5-10m/s 之間，6-8 月降為 3.5m/s 左右，10-12 月又增強為 12.5m/s 左右。NWW3 預報波高之季節平均值，呈現離岸風電區明顯大於臺中港區之分布特性，1-3 月平均值於臺中港區為 1.2-1.4m 之間，離岸風電區為 1.6-1.8m 之間，6-8 月臺中港區平均值為 0.6-0.8m 之間，離岸風電區為 0.8-1.0m 之間，10-12 月平均值於臺中港區為 1.6-1.8m 之間，離岸風電區為 2.2-2.4m 之間。就波高季節平均值而言，離岸風電區比臺中港區於 1-3 月約高 0.4m，6-8 月約高 0.2m，10-12 月則明顯增高約 0.8m，顯見隨著冬季風速之增強，離岸風電區相較臺中港區的波高增強幅度也隨之增大。

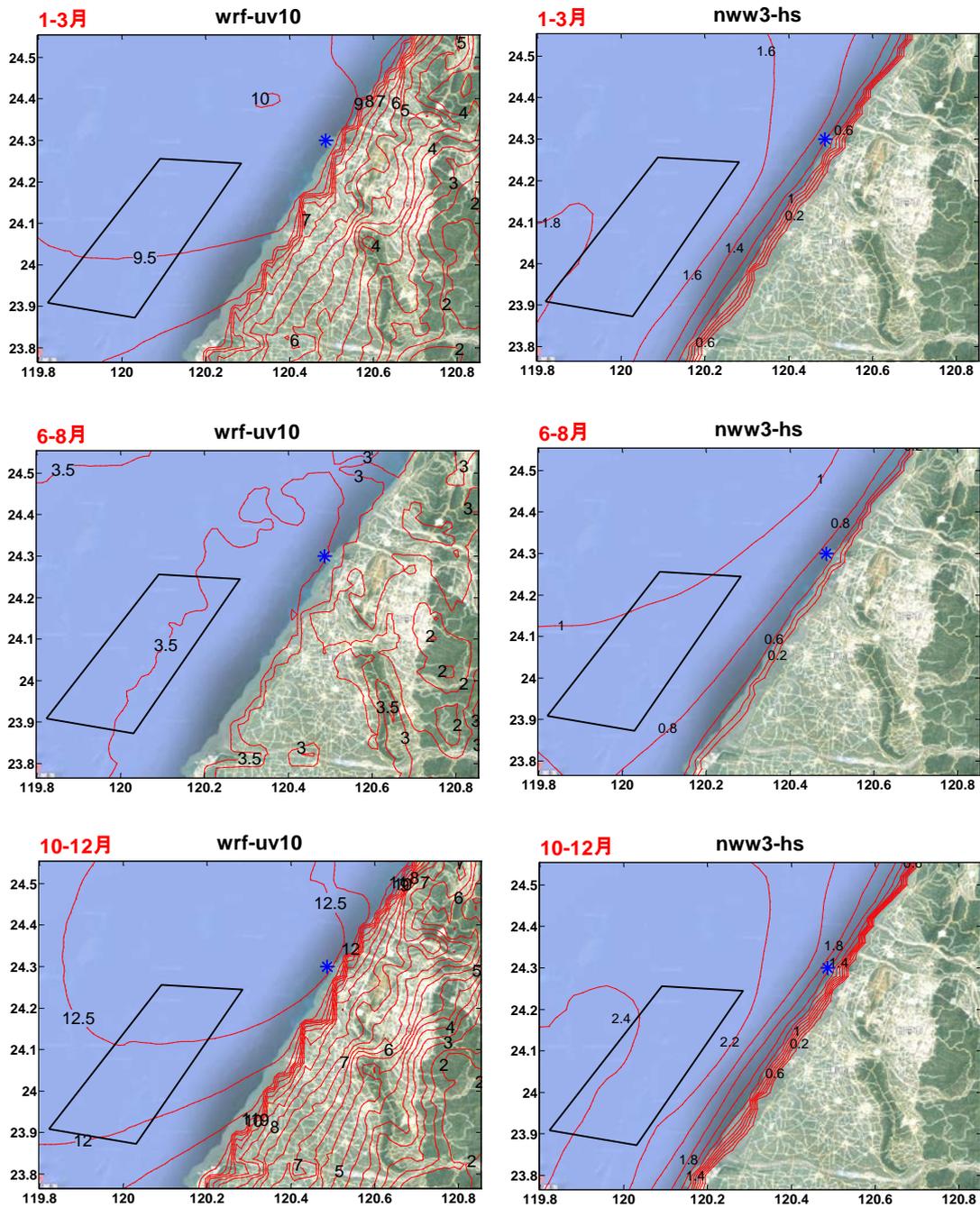


圖 6.8 預報風速與波高之各季平均值

第七章 結論與建議

全球暖化正迅速發展，關鍵之因應措施為節能減碳，為達到減碳之需求，各國正積極推動綠能，臺灣從初期發展太陽能與陸上風力發電發展，近期推展到離岸風電，主要場域位於風力強勁之臺中港/彰濱鄰近外海。在離岸風電場域建置過程中，將有眾多工作船舶進出臺中港與鄰近海域，有鑑於該海域常出現強風、大浪，在航行安全考量之下，亟需對該海域之海氣象特性進行了解與掌握，期以達到增進航行安全之目的，協助港埠安全管理。目前離岸風電區仍欠缺觀測資料，因此需要運用數值預報模式，協助掌握該海域之海氣象資訊，提供預警與安全管理之用。

7.1 結論

本研究以 2019 年為分析對象，運用觀測資料分析臺中港區海氣象環境變化特性與關聯性，再運用數值模式預報臺中港區與鄰近外海離岸風電區之風速與波高，建立臺中港區預報資料之誤差修正系統，運用修正後之臺中港區預報資料，經由映射模式修正離岸風電區之預報結果，提供較具參考性與準確性之離岸風電區海氣象預報資訊，完成船舶航行安全影響評估，協助港埠管理。主要研究成果陳述如下：

1. 臺中港區觀測風速自無遮蔽的堤頭 T2 站，依次減弱到臨港邊之 T8、T5 站，再減弱到建物環繞之陸上測站 T1、T6 站，各測站全年時間序列之關聯性均相當高。

2. 臺中港區觀測資料顯示，東北季風季節(10月-2月)有 22-56%達 7 級(含)風以上，36-60%達 5 級(含)波高以上。西南季風季節(6月-8月)有 76-91%為 5 級(含)風以下，90-100%為 4 級(含)波高以下。
3. 風速-波高之逐時資料相關係數，其關聯性以 9 月-2 月最高(0.82-0.90)，6 月-8 月最低(0.21-0.58)，過度時期(3 月-5 月)為 0.68-0.76。東北季風時期較強風速導致風速-波高關聯性高於較弱風速之西南季風時期。
4. 對 T2 風速與 AWAC 波高之預報能力於東北季風強盛之 9 月-2 月最高，其次為東北季風轉弱到西南季風之過渡時期 3 月-5 月，最低時期為西南季風之 6 月-8 月。
5. 模式預報風速於臺中港區與離岸風電區強度相近，預報波高於離岸風電區明顯高於臺中港區，預報風速與預報波高於臺中港區與離岸風電區均呈現高度正關聯性，反應受到相同天氣系統之均勻影響。
6. 預報模式對秋、冬季 9 級風以上強風個案具有良好預報能力，在 24 個強風個案中，預報結果與觀測資料相關係數高、誤差比例低之優良預報個案比例，風速預報為 92%，波高預報為 71%。
7. 預報模式對 7-9 月颱風個案僅具有一般預報能力，在 14 颱風個案中，優良預報個案於風速預報與波高預報均為 43%，反應對颱風預報能力低於秋、冬季之強風個案。
8. 本研究所建置之誤差修正方法，對臺中港區風速極值大小與波高偏弱誤差均具有良好修正能力。誤差降低之改善率，風速第 24、48 小時預報分別為 8%、11-16%，波高第 24、48 小時預報之誤差改善率

分別為 45-62%、39-59%，預報波高之修正效果高於風速。

9. 誤差修正後之離岸風電區預報資料顯示，對大型服務操作船/兼交通船與自升式安裝船而言，不適合運作之危險狀況於 6-8 月為 0%，3-5 月為 7-13%，9-10 月與 2 月為 22-26%，11-1 月危險狀況比例最高，為 39-61%，此結果供做船舶航行安全影響評估之用。

本研究執行迄今，符合研究規劃內容與進度，研究預期目標與達成情形，如表 7-1 所示。研究結果顯示本研究所建置之預報模式能適宜預報臺中港與鄰近離岸風電區之激烈天氣海氣象環境，可應用做為預警資訊，評估船舶航行之安全影響，供做港埠管理使用。

7.2 建議

研究結果亦顯示東北季風時期在穩定強風影響下，風、波變化情形單純，模式具備較佳預報能力。在較弱西南季風時期，西南氣流、颱風、午後雷陣雨等現象常會引發瞬間強風與大浪，模式對這些瞬間變化現象之預報能力常有所不及，呈現較差預報能力。本研究之預報模式對秋、冬季強風個案之預報能力高於夏季颱風個案，一般而言，當颱風來襲時，中央氣象局會發出密集颱風警報資訊，港埠單位與船舶於警報期間均會主動避險，停止執行工作，涉險機會很小。但在東北季風時期，強風常是隨時而來，中央氣象局通常不會密集追蹤預報，因此需要特定模式來預報強風變化情形，因此對臺中港區之預報資訊而言，強風預報之重要性會比颱風預報來的重要。

依據本研究之執行結果，後續改進方向建議如下：

1. 本研究所驗證之 AWAC 位於鄰岸地區上，岸形與水下地形改變最大，但模式為 2 公里網格，對鄰岸地區之岸形與水下地形掌握仍屬不足，因此呈現偏弱之波高預報誤差。提升預報能力之方法通常為置入較高解析度與精準度之陸上與海底地形、不同參數測試、提高空間網格解析度，上述修正方式均須經由模式實驗設計進行多方測試，仍待未來研究執行。
2. 模式之風場或波高預報強度，網格點越大，區域平均效果越大，強度便易變弱，因此提高空間解析度對較強風速與波高之預報當有所助益。時間解析度若能從逐時輸出提升到每 10 分鐘輸出，當有助掌握瞬間發生之強風現象。因此在足夠電腦資源之下，應適度提高模式之空間與時間解析度。
3. 在空間範圍方面，因應颱風從遠處引發長浪傳送進來之特性，可考慮將有限的臺中港鄰近海域波高預報範圍擴充為全臺周邊海域範圍，但必須有充分電腦資源來支持。
4. 本研究分析 2019 年資料，為風機安裝前之時期，數年後待風機安裝完成，可再進行類似分析，比較風機安裝前後之海氣象對應關係與區域風場、流場之變化特性。
5. 分析結果顯示臺中港區風、波預報結果，可經由運用觀測資料與誤差修正方法來獲得明顯改善，其中波高預報改善之程度又高於風場預報。因此未來若能獲得離岸風電區觀測塔之觀測資料，當能應用來改進離岸風電區之預報結果，提供更準確之預報資訊，提供更精準船舶航行安全指引，助益港埠管理績效。

表 7-1 預期目標與達成情形對照表

項目	預期目標	達成情形
1	完成臺中港區海氣象觀測資料分析。	已達成：完成臺中港區海氣象環境(風、波、流、潮)之變化特性與關聯性分析。
2	完成臺中港區與外海離岸風電區之高解析度風、波預測模式。	已達成：完成建置臺中港與鄰近海域之風波預報模式，檢測其逐月預報能力與誤差特性，確認具實質預報能力。
3	完成颱風(強風)期間臺中港鄰近海域強風及大浪特性分析。	已達成：完成對強風與颱風個案之預報實驗與風、波之預報能力分析。
4	完成風浪對於臺中港鄰近海域船舶航行之影響分析，作為船舶進出臺中港及鄰近外海航行安全之評估使用。	已達成：完成對臺中港與鄰近離岸風電區預報風、波之特性分析，依其變化情形診斷對各式船舶航行安全之影響程度。

7.3 成果效益與應用

1. 在施政與實務上，本研究所建置之風波預報模式能適宜預報臺中港與鄰近離岸風電區之海氣象環境，可提前預報激烈天氣之危險狀況，提供預警資訊，協助船舶航行之安全管理使用。
2. 本研究對船舶航行影響之分析結果，可供各式船隻評估其合適作業時間，適宜規劃作業時程，提升施工成效。

7.4 提供政府單位應用情形

1. 風波預測模式之建置，可提供港灣技術研究中心建置港灣區海氣象預報系統之使用。
2. 模式預報資訊與船舶航行影響分析，可供航港局及港務公司等相關單位使用，協助管理港區與離岸風電區船隻之航行與作業，提升航行安全與港務管理效益。

參考文獻

1. 中央氣象局，2006：氣象宣導系列合輯，交通部中央氣象局，112 頁。
2. 陳昭銘，2006：“氣候變異”，氣象與工程系列叢書，謝信良主編，財團法人中興工程科技研究發展基金會發行，ISBN-13:978-986-7142-24-5，63 頁。
3. 蕭登倨，2012: 臺灣海峽航路之海象特性分析。國立高雄海洋科技大學海事資訊科技系碩士論文。
4. 黃韋豪，2013: 臺灣國際港之風浪特性分析。國立高雄海洋科技大學海事資訊科技系碩士論文。
5. 邱永芳、黃茂信、李賢華、余聿祥、方鉢淳，2016：風能應用於臺灣港灣之初步研究。交通部運輸研究所港灣季刊，第 104 期，40-45 頁。
6. 傅怡釗、李俊穎、蘇青和、謝佳紘，2019；波浪通過臺灣中部海域離岸風電場址之初步探討。交通部運輸研究所港灣季刊，第 112 期，22-32 頁。
7. 羅冠顯、蔡立宏、曾俊傑，2019:離岸風電基地母港(臺中港)鄰近海域海氣象特性分析。交通部運輸研究所港灣季刊，第 114 期，50-66 頁。
8. 陳昭銘、簡芳菁，2009: 高精度大氣數值模式及校驗系統之研究(II)，國防科技學術合作研究計畫成果發表暨研討會，2009 年 12 月 3 日，高雄，臺灣。
9. 陳昭銘、簡芳菁，2010: 高精度大氣數值模式及校驗系統之研究(III)，

99 年度海軍軍事科技研討會，2010 年 11 月 25-26 日，高雄，臺灣。

10. 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，臺北，臺灣。
11. 陳昭銘、郭智明、劉進順、何良勝、黃茂信，2015: 臺北港與國際港之颱風風場預報特性研究。港灣季報，第 101 期，37-50 頁。
12. 陳昭銘、劉進順、崔怡楓，2013: 波浪預報精進技術之研究(III)，102 年度海軍軍事科技研討會，2011 年 11 月 20 日，高雄，臺灣。
13. 陳昭銘、何良勝、黃茂信、郭智明、劉進順，2014: 臺北港風場之預報特性研究。港灣季報，第 97 期，40-49 頁。
14. 許城榕、許弘莒、李孟學、羅冠顯、李政達、蔡立宏，2018: AWAC 波浪量測資料分析以金門海域為例。第 40 屆海洋工程研討會論文集，高雄、臺灣。
15. 簡芳菁、洪玉秀，2010: 梅雨季西南氣流氣候平均與個案之數值研究。大氣科學，第 38 期，237-266 頁。
16. 洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中，2006: WRF 模式之敏感度測試第一部分：探空測站上的校驗，大氣科學，第 34 期，241-260 頁。
17. 簡芳菁、洪景山、張文錦、周仲島、林沛練、林得恩、劉素屏、繆璿如、陳致穎，2006: WRF 模式之敏感度測試第二部分：定量降水預報校驗，大氣科學，第 34 期，261-276 頁。
18. 簡國基，2011: 海棠颱風登陸臺灣前內核結構演變之研究。大氣科學，第 39 期，83-93 頁。
19. 朱啟豪、林芳如、楊天瑋、徐月娟，2008: 中央氣象局波浪模式模擬近岸風浪預報之應用研究，天氣分析與預報研討會，2008 年 9 月

9-11 日，臺北，臺灣。

20. 勞動部職業安全衛生署，2018: 離岸風電海域作業安全指引，143 頁。
21. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001: The third assessment report “Climate change 2001”, p.398.
22. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007: The fourth assessment report “Climate change 2007”, p.852.
23. Emmanouil, S., S. G. Aguilar, G. F. Nane, and J.-J. Schouten, 2020: Statistical models for improving significant wave height predictions in offshore operations. *Ocean Engineering*, 206, pp. 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107249>.
24. Seyr, H., and M. Muskulus, 2019: Decision support methods for operations and maintenance for offshore wind farms: a review. *Applied Science*, 9(2), 1-30, <https://doi.org/10.3390/app9020278>.
25. Hasager, C. B., A. N. Hahmann, T. Ahsbaks, I. Karagali, T. Sile, M. Badger, and J. Mann, 2020: Europe’s offshore winds assessed with synthetic aperture radar, ASCAT and WRF. *Wind Energy Science*, 5, pp. 375-390, doi:10.5194/wes-5-375-2020.
26. Hallgren, C., J. Arnqvist, S. Ivanell, H. Körnich, V. Vakkari, and E. Sahlée, 2020: Looking for an offshore low-level jet champion among recent reanalyses: a tight race over the Baltic Sea. *Energies*, 13, pp. 3670-3695, doi:10.3390/en13143670.
27. Koivisto, M., G. M. Jónsdóttir, P. Sørensen, K. Plakas, and N. Cutululis, 2020: Combination of meteorological reanalysis data and stochastic simulation for modelling wind generation variability. *Renewable Energy*, 159, pp. 991-999, doi:10.1016/j.renene.2020.06.033.

28. Goit, J. P., A. Yamaguchi, and T. Ishihara, 2020: Measurement and prediction of wind fields at an offshore site by scanning Doppler LiDAR and WRF. *Atmosphere*, 11, pp. 442-461, doi:10.3390/atmos11050442.
29. Sheng, Y., W. Shao, S. Li, Y. Zhang, H. Yang, and J. Zuo, 2019: Evaluation of typhoon waves simulated by WaveWatch-III model in shallow waters around Zhoushan Islands. *Journal of Ocean University of China*, 18, pp. 365-375, <https://doi.org/10.1007/s11802-019-3829-2>.
30. Merrifield, S. T., T.A. Schramek, S. Celona, A. B. V. Bôas, P. L. Colin, and E. J. Terill, 2019: Typhoon-forced waves around a western Pacific Island Nation. *Oceanography*, 32, pp. 56-65, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2019.411>.
31. Sampson, C. R., J. A. Hansen, P. A. Wittmann, J. A. Knaff, and A. Schumacher, 2016: Wave probabilities consistent with official tropical cyclone forecasts. *Weather and Forecasting*, 31, pp. 2035-2045, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-15-0093.1>.
32. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, and J. Dudhia, 2001: Prototype for the WRF (Weather Research and Forecasting) model. Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., J11-J15.
33. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, 2005: A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR/TN-468_STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, p. 88.
34. Skamarock, W. C., and Coauthors, 2008: A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech Note NCAR/TN-4751STR, pp. 125.

35. Chi, S.-S., and G.-J. Jian, 2009: The effects of the heavy rainfall event of 12 June 2005 on Taiwan terrain. *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 20, pp. 629-644.
36. Tao, W.-K., J. J. Shi, P.-L. Lin, J. Chen, S. Lang, M.-Y. Chang, M.-J. Yang, C.-C. Wu, C. Peters-Lidard, C.-H. Sui, and B. J.-D. Jou, 2011: High-resolution numerical simulation of the extreme rainfall associated with Typhoon Morakot. Part I: Comparing the impact of microphysics and PBL parameterizations with observations. *Terr. Atmos. Ocean Sci.*, 22, pp. 673-696.
37. Tolman, H. L., B. Balasubramaniyan, L. D. Burroughs, D. V. Chalikov, Y. Y. Chao, H. S. Chen, and V. V. Gerald, 2002: Development and implementation of wind-generated ocean surface wave models. *Wea. Forecasting*, 17, pp. 311–333.
38. Tolman, H. L., J. H. G. M. Alves, and Y. Y. Chao, 2005: Operational forecasting of wind-generated waves by Hurricane Isabel at NCEP. *Wea. Forecasting*, 20, pp. 544–557.

附錄一 WRF 模式之介紹與執行

WRF 模式之介紹與執行

WRF 模式(Weather Research and Forecast model)為國際間普遍使用之數值天氣預報系統，由美國國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)、美國國家海洋大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)所轄之國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)、聯邦航空總署(Federal Aviation Administration, FAA)等許多單位共同研發與改良。可自由下載，具備易維護及高預報效率等特性。因應電腦設備之進步，模式具備模組化程式碼，能在平行處理計算平台上運作(如 PC cluster 叢集電腦)，以提高計算效率能。模式亦可自行選擇功能模組與組合，針對不同地區、不同天氣特性、不同天氣對象分別加以預報，故可普遍使用於世界各地之預報執行。

本研究使用 WRF 3.7.1 版，其動力計算模式為 NCAR 發展的 WRF 進階研究版(Advance Research WRF, ARW)，ARW 是由 NCAR 的 MMM(Mesoscale and Microscale Meteorology Division)所研發，著重研究發展功能，包含靜力穩定模式，能夠應用於即時數值天氣預報與分析、資料同化、降尺度模擬、颱風模擬等領域。

WRF 模式是由完全可壓縮非靜立方程所組成，模式核心為動力控制方程式，皆寫為通量形式，包含三維動量方程式(東西方向、南北方向、垂直方向)、熱力方程式、連續方程式。水平網格為 Arakawa C 網格點，此種網格設計將速度場交錯在質量場/熱力場的左右上下二分之一網格處，呈現交錯分布網格架構。垂直方向座標使用 sigma(σ)的追隨

地勢坐標，並可採用不一致的網隔間距，地表 σ 為 1，大氣層頂 σ 為 0。時間積分採用 3 階 Runge-Kutta scheme。藉由多層巢狀降尺度計算方式，WRF 預報或模擬應用範圍可由數十公尺至數千公里。

WRF 模式之執行流程可分為四個主要大部分，如圖附錄 1.1 所示，分別是前處理系統 (Preprocessing System, WPS)、資料同化 (Data Assimilation)、模式計算 (ARW model)、後處理與視覺化 (Post-processing system and Visualization)，各流程之執行細節如下所述：

1. 前處理系統：使用 WRF 進行預報時，需要輸入環境資訊做為預報系統之初始值與邊界條件，以供後續積分計算使用。外部匯入之資料，包含網格氣象場資料、陸地資料等。這些資料送入前處理系統，執行三步驟：

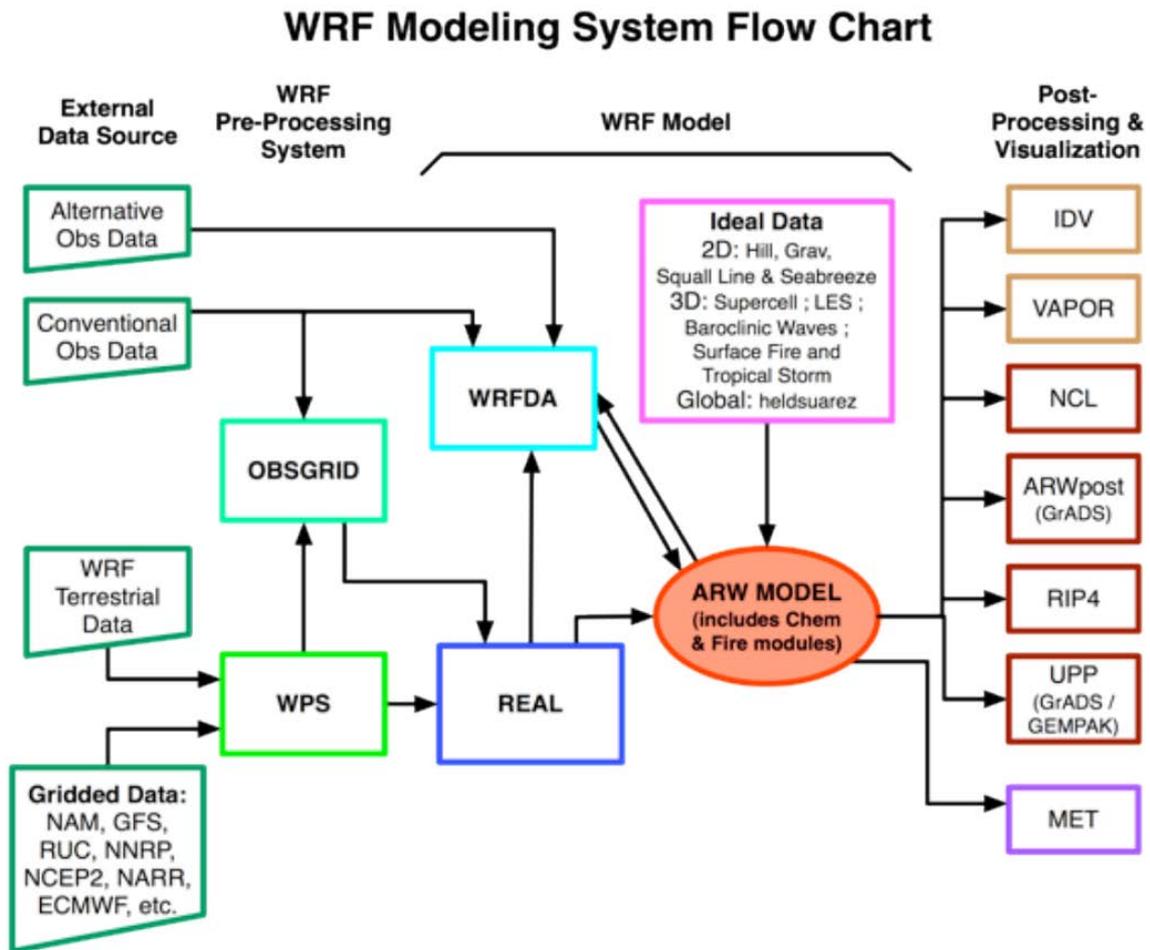
- geogrid: 主要在處理地理資訊，會依據使用者設定的各層網格解析度及範圍，計算經緯度位置、地表情形與地形高度資料，再內插至網格點上。
- ungrib: 從所匯入的網格氣象場資料擷取出指定預報時間區間的氣象場資訊。
- metgrid: 把 ungrib 處理後的氣象場資訊水平內插至 geogrid 處理後的地理資訊。

2. 資料同化：將可使用之即時觀測資訊，納入模式輸入資訊之中，作為修正模式之 ground truth 依據。但此功能在本預報系統中不啟用。

3. 模式計算：前處理系統與資料同化處理後之資訊，匯入 REAL 程序，將所有資料進行內插，產出初始場和邊界場資料後，即可開始透過

ARW 模式積分計算，進行預報與模擬。

4. 後處理與視覺化:模式計算後所產生輸出資料,可將資料轉換成指定格式,方便後續分析處理,也可透過不同繪圖程式(如 NCL、GrADS 等),直接將預報或模擬結果繪圖輸出,提供視覺化氣象資訊。



圖附 1.1 WRF 模式之四個主要執行流程

(資料來源: ARW Users Guide V3.7)

本研究之 WPS 前處理部分, WRF 模式之邊界條件採用美國 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) Global Forecast System (GFS) 模式預報場 (<https://ftp.ncep.noaa.gov/data/nccf/com/gfs/prod/>), 自

初始場開始，以每 12 小時間隔將 GFS 全球預報結果更新到 WRF 邊界條件，總共執行 48 小時預報。GFS 預報場為全球 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (約 50 公里) 網格資料，經由 WRF 的前置處理系統將資料內插至 WRF 模式所設定之第一層模式網格點上，第二、三、四層之降尺度預報過程中，下一層預報之邊界條件，係由上一層預報結果經由內插到下一層模式之範圍與解析度來提供，每 12 小時提供一次邊界條件。做為邊界條件之變數包括大氣各垂直層之溫度、濕度、風場、高度場，各層土壤溫度、海平面氣壓、海冰等。本研究 WRF 模式共有 32 垂直層，從地表到大氣層頂，預報輸出資料轉換到 26 標準氣壓層，分別為 1000hPa、975hPa、950hPa、925hPa、900hPa、850hPa、800hPa、750hPa、700hPa、650hPa、600hPa、550hPa、500hPa、450hPa、400hPa、350hPa、300hPa、250hPa、200hPa、150hPa、100hPa、70hPa、50hPa、30hPa、20hPa、10hPa。

本研究 WRF 模式預報部分，重要參數模組設定介紹如下：

1. 微物理過程：雲物理過程包含水氣、降水、降雪、雲水與雲冰等共五種粒子，用以模擬雲內水氣三態變化與降水等微物理過程，影響模式降雨預報能力，本模式使用 Purdue Lin Scheme 模組(Chen and Sun 2002)。

2. 積雲參數法：對流降雨過程經由各網格點上之氣象資訊，以參數化方式計算次網格內的水氣變化，以解析次網格之對流或淺雲等。積雲參數法影響大尺度深對流雲系之生成與發展，在熱帶地方尤其重要，會影響對颱風生成、降雨強度之預報與模擬能力。本模式使用 Betts–Miller–Janjic Scheme 模組 (Janjic 1994)。

3. 地表參數法：計算近地表與邊界層附近摩擦效應、熱通量與水

氣通量，以係數法來估算各量值大小，影響模式之垂直運動與能量傳輸過程。本模式使用 Revised MM5 Scheme 模組(Jimenez et al. 2012) 計算各通量係數。

4. 邊界層參數法:計算邊界層紊流與動能傳送，將近地面之大氣環境分為混合層與穩定層以決定邊界層之溫度、濕度及雲帶垂直分布情況，決定整層大氣之垂直方向能量傳送。本模式使用 Yonsei University (YSU) PBL 模組 (Hong et al. 2006)。

5. 輻射參數: 計算長波輻射與短波輻射，向上長波主要有地表熱輻射，參數依地表性質而有所不同；向下長波為雲及氣體熱輻射，其內包含水氣、臭氧、二氧化碳及雲厚等。短波參數計算空氣散射與水氣吸收，並考慮雲頂及不同性質地表之反照率。本模式使用 RRTMG Shortwave and Longwave Schemes (Iacono et al. 2008)。

本研究之後處理部分，將預報輸出資料轉換成 GrADS 格式儲存，後續方便運用 GrADS 程式進行資料計算、篩選與繪圖，提供視覺化之產品，供分析與展示使用。

WRF 模式相關細節，請參閱使用手冊 User's Guide for Advanced Research WRF Modeling System (https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html 下載)、Skamarock et al. (2008)、蔡(2013)、張(2019)。WRF 模式程式碼可從 <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/downloads.html> 下載。

參考文獻

1. 蔡孟光，2013: 颱風數量年際變化之模擬與機制探討-WRF 30公里解析度區域氣候模式。國立臺灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
2. 張承泰，2019: 以WRF動力降尺度資料探討台北地區未來午後熱對流變化。國立中央大學大氣科學學系碩士論文。
3. Chen, S.-H., and W.-Y. Sun, 2002: A one-dimensional time dependent cloud model. *J. Meteor. Soc. Japan*, 80, pp. 99–118.
4. Janjic, Z. I., 1994: The Step–Mountain Eta Coordinate Model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Mon. Wea. Rev.*, 122, pp. 927–945.
5. Jimenez, P. A., J. Dudhia, J. F. Gonzalez-Rouco, J. Navarro, J. P. Montavez, and E. Garcia-Bustamante, 2012: A revised scheme for the WRF surface layer formulation. *Mon. Wea. Rev.*, 140, pp. 898–918.
6. Hong, S.-Y., Y. Noh, and J. Dudhia, 2006: A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Mon. Wea. Rev.*, 134, pp. 2318–2341.
7. Iacono, M. J., J. S. Delamere, E. J. Mlawer, M. W. Shephard, S. A. Clough, and W. D. Collins, 2008: Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *J. Geophys. Res.*, 113, D13103.
8. Skamarock, W. C., and Coauthors, 2008: A description of the advanced

research WRF version 3. *NCAR Tech Note NCAR/TN-4751STR*, p.125.

附錄二 NWW3 模式之介紹與執行

NWW3 模式之介紹與執行

NOAA WAVEWATCH Version-3 (NWW3) 模式為美國 NOAA/NCEP 所發展之第三代波浪模式。它是從 Delft University of Technology 的 WAVEWATCH 模式與 NASA, Goddard Space Flight Center 的 WAVEWATCH version-2 發展而來，但 NWW3 與前兩個模式版本仍有明顯改進，如控制方程式、模式架構、數值方法、物理參數等，NWW3 也開放加入新的物理過程與數值方法，期以提升波浪預報效能。

NWW3 波浪模式的特點在於求解波譜作用力密度平衡方程式來求得波數方向頻譜，本模式應用時有一個假設，即波浪與周邊介質(水深與洋流)隨時間與空間變化，且遠大於單一波浪變化尺度。模式中也包含波浪傳遞過程中物理機制的參數化，使模式適用於地形變化不大的海域。波浪傳遞過程可經由一般(x-y)或三角網格來解。這些特性允許 NWW3 模式可運用在 1 至 10 公里網格之計算以及波浪碎波外的區域。

NWW3 模式所用之控制方程式為求解球面座標之波譜作用力密度平衡方程式(spectral action density balance equation)，如下式：

$$\begin{aligned} \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \phi} (\dot{\phi} N) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\lambda N) + \frac{\partial}{\partial \kappa} (\kappa N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta}_g N) + \frac{\partial}{R^2 \partial \lambda} (D_{\lambda\lambda} \frac{\partial N}{\partial \lambda}) \\ + \frac{\partial}{R^2 \cos^2 \phi \partial \phi} (D_{\phi\phi} \frac{\partial N}{\partial \phi}) + \frac{D_{\lambda\phi}}{R^2} \frac{\partial^2 N}{\cos \phi \partial \lambda \partial \phi} = \dot{S} \end{aligned} ,$$

$$\text{其中, } \dot{\phi} = \frac{C_g \cos \theta + U_\phi}{R}$$

$$\dot{\lambda} = \frac{C_g \sin \theta + U_\lambda}{R \cos \phi},$$

$$\dot{\theta}_g = \dot{\theta} - \frac{C_g \tan \phi \cos \theta}{R},$$

$$\dot{S} = \frac{S}{\sigma} C_g^{-1} \cos \phi,$$

$$N = N C_g^{-1} \cos \phi,$$

$$\dot{\kappa} = -\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - \kappa \cdot \frac{\partial U}{\partial s},$$

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{\kappa} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} - \kappa \cdot \frac{\partial U}{\partial m} \right].$$

$N = N(\lambda, \phi, \theta, \kappa, t)$ 為波動密度能譜(wave action density spectrum)， λ 經度、 ϕ 緯度， θ, κ 為波浪傳遞之方向及波數(wave number)， t 時間， C_g 群波速度。 S 為源項(source term)之波浪能譜(wave energy spectrum)，包括線性風浪交互作用 S_{in} 、風浪交互作用 S_{in} 、非線性波浪交互作用 S_{nl} 、能量消散(白帽現象) S_{ds} 、底床摩擦力 S_{bot} 、碎波 S_{db} 、三波交互作用 S_{tr} 、水深引起之波浪散射 S_{sc} 及使用者自行定義的源項 S_{xx} ， σ 波浪頻率， R 地球半徑， $D_{\phi\phi}, D_{\lambda\lambda}, D_{\lambda\phi}$ 擴散係數， U_ϕ, U_λ 流速， d 水深， s, m 波浪前進方向及垂直方向座標。

NWW3模式具備如下之主要物理特性:

1. 控制方程式包括波場的折射和受平均水深時空間變化控制之對應變化。
2. 源項之物理參數化包括:風之作用、非線性共振、消散、底部摩擦、表面碎裂、波-海底交相互作用引起的散射。

3. 波之傳遞視為線性，非線性共振部分包含在源項之中。

在執行 WRF 模式之降尺度預報之後，可使用預報風場驅動 NWW3 模式進行波浪預報，本研究運用第三層臺灣鄰近海域之 3.6 公里網格點 WRF-d03 模式所預報之 10 米風場，作為 NWW3 模式之初始場，並提供每 12 小時預報資訊做為邊界條件，執行臺中港鄰近海域之 2 公里網格點 NWW3 模式波浪預報。NWW3 為風浪模式，僅須由大氣數值模式的表面風場來驅動即可，無須其他變數。NWW3 模式之輸出變數包括：示性波高、風浪波高、風浪週期、風浪波向、主湧波高、主湧週期、主湧波向、平均週期、平均波向、主頻等。

NWW3 模式開放自由使用，模式程式碼與相關建置細節，可到 <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch> 下載，NWW3 模式之相關細節，請參閱 Tolman et al. (2002)、林(2004)、張(2014)、User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 5.16 (可從 <https://github.com/NOAA-EMC/WW3/wiki/WAVEWATCH-III-User-Guide> 下載)。

參考文獻

1. 林文欽，2004: WAVEWATCH III 海洋波浪模式之參數敏感度分析，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
2. 張恆文，2012: 建構波浪系集預報系統 (1/4)。交通部中央氣象局 MOTC-CWB-101-O-01。
3. Tolman, H. L., B. Balasubramanian, L. D. Burroughs, D. V. Chalikov, Y.

Y. Chao, H. S. Chen, and V. V. Gerald, 2002: Development and implementation of wind-generated ocean surface wave models. *Wea. Forecasting*, 17, pp. 311–333.

附錄三 期中報告審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所合作研究計畫
■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估

執行單位：國立高雄科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>一、蔡主任立宏</p> <p>1、請探討各風測站之間的相關性。</p> <p>2、風向的特性請再增列說明，如季節性、時變化等。</p> <p>3、模式驗證使用的為氣象局的浮標，請注意其風測站設置於浮標的高度。</p> <p>4、有關分析資料的來源應確認其物理意義為何，如流為表面流或剖面流。</p>	<p>1、各測站風速大小與時間序列之相關性分析，已納入期中報告中，如表 2-2 所示。</p> <p>2、將對各測站風向之季節變化進行分析，分析結果於期末報告討論。</p> <p>3、氣象局浮標之測風高度為 2.5 米，已在報告中說明。</p> <p>4、風、波、流、潮觀測資料之測量方式與物理意義，已在第 2-1 節補充說明。風為 10 分鐘平均風速，流為上層流場最上方 1/3(約從表面到水下 7-8 公尺)之 10 分鐘平均流速，波為 30 分鐘觀測期間，取最大 1/3 波高值平均之示性波高，潮位為即時觀測高度。</p>	<p>同意辦理。</p>
<p>二、蘇青和委員</p> <p>1、請依本所研究報告格式撰寫。</p> <p>2、第一章應加強研究計畫之前人研究、分年研究工作內容及時程(甘特圖)。</p> <p>3、第二章臺中港海氣象特性分析。除相關分析外，建議增加其他分析方法，例如能譜分析等。</p> <p>4、第二章 P2-11 圖 2-3 圖說明「日變化」應改為「時變化」。</p> <p>5、第三章風場模式及波場模式相關理論介紹應詳列於附錄。</p> <p>6、第三章風波模式成果檢核及比較，除相關分析，建議增</p>	<p>1. 期中報告修正版已依港灣技術研究中心之格式修正。</p> <p>2. (1)期中報告修正版新增第 1-2 節，納入甘特圖並說明計畫之主要工作內容、進度、目標。 (2)持續加強前人研究內容，將在期末報告中彙整討論。</p> <p>3. 潮與流將進行 power spectral analysis 來探討其頻譜變化特性，結果將在期末報告中討論。</p> <p>4、已更正為「時變化」。</p> <p>5、WRF 與 NWW3 之預報方式、邊界條件、與水深條件已新增到期中報告修正版中，請見第 3-1 節。其餘模式介紹與相關理論將彙整於期末報告之附錄中。</p> <p>6、風波預報誤差將以均方根誤差 (root mean square error) 值來呈</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>化」。</p> <p>5、第三章風場模式及波場模式相關理論介紹應詳列於附錄。</p> <p>6、第三章風波模式成果檢核及比較，除相關分析，建議增歷線圖比對(誤差分析)，誤差量比對等。</p> <p>7、強風及大浪分析，風浪對船舶航行之影響分析，皆為本研究重點，應強化其研究成果。</p>	<p>3-1 節。其餘模式介紹與相關理論將彙整於期末報告之附錄中。</p> <p>6、風波預報誤差將以均方根誤差 (root mean square error) 值來呈現，對颱風與強風個案將進行歷線圖比對，上述分析結果將在期末報告中討論。</p> <p>7、(1)強風與颱風個案所引發之激烈風浪情形，將在期末報告中進行分析討論。 (2)將收集主要施工船舶適宜工作所對應之風、波條件，再與本計畫所預報離岸風電區之風、波資訊進行比對，分析離岸風電區風浪對船舶航行安全之影響，結果將以列表方式在期末報告中討論。</p>	
<p>三、李俊穎委員</p> <p>1、有關風場預報 (WRF) 建議補述各層初始及邊界條件，並說明各層模組除解析度外其它差異為何？</p> <p>2、有關波浪預報 (NWWIII) 建議補述相關初始及邊界條件與地形水深條件。</p> <p>3、有關潮位分級一般較少以一般潮位高度劃分，其用意為何？</p> <p>4、有關預報與觀測為何採用二次曲線作回歸曲線？</p> <p>5、所採用觀測資料之風速、波高及流速是否分別為平均風速、示性波高及表面流速？請加以補述。</p>	<p>1、WRF 模式之初始條件與邊界條件，以及 4 層巢狀模式之降尺度方式，已在期中報告修正版中補充說明，請見第 3-1 節。</p> <p>2、NWW3 模式之初始條件、邊界條件、與水深條件已新增到期中報告修正版中，請見第 3-1 節。</p> <p>3、此分析係以港灣技術研究中心之潮位資料分布特性進行探討，後續將進行潮差分析，並納入期末報告中討論。</p> <p>4、理想狀況下，預報與觀測資料應呈現一次線性對應關係，方為正確。但考量部分預報不佳月份，二次曲線較易呈現其誤差特性，且二次曲線對預報較佳月份也能呈現一次曲線特性，因此使用二次曲線來統合呈現預報特性。</p> <p>5、風、波、流觀測資料之測量方</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	<p>式與物理意義，已在第 2-1 節補充說明。風為 10 分鐘平均風速，流為上層流場最上方 1/3(約從表面到水下 7-8 公尺)之 10 分鐘平均流速，波為 30 分鐘觀測期間，取最大 1/3 波高值平均之示性波高。</p>	
<p>四、簡仲環委員</p> <p>1、觀測資料為何從 2017 年開始？為增加資料統計分析之代表性，建議增加資料蒐集時間長度。圖 2-1 中本計畫取用之風速站標出即可，餘可刪除。</p> <p>2、海氣象變數之關聯性分析中，風速與流速有需要作相關分析？是否欲探討風驅流？若是則海流資料中，如何擷取出單純的風驅流成份？(如何去除潮流、恆流、沿岸流等)。</p> <p>3、中央氣象局也作 TWRP 及 NWW3 模式之運算，本計畫和 CWB 相較有何差異？宜補充說明。</p> <p>4、預報誤差分析除了以迴歸分析外，建議增加其他統計分析上之誤差分析方法，以得較具體量化之誤差。目前僅相關係數高低及其預報與觀測相較偏強或偏弱之定性說明。</p> <p>5、預報與觀測之差異也不宜僅以不同風及之發生機率作比較。建議再增加其他比較方式。為何風電區預報比 T2 區預報(及觀測)為弱？(如第 3-22 頁所述)</p>	<p>1、(1)本計畫主要目的為對臺中港區與離岸風電區之風速、波高進行預報並檢驗預報準確性，因此需要完整之觀測資料來檢驗全年預報結果。2019 年有完整之觀測資料與預報實驗，因此選為分析對象，其餘年分多有連續數月之資料缺漏，因此不適合進行分析。(2)圖 2.1 為取自港灣技術研究中心之圖檔，故依原圖呈現，未作變更。</p> <p>2、(1)為了解臺中港區觀測資料之關聯性，故分析風-波、風-流之關聯性，顯示原始資料間，風-波對應關係比風-流對應關係強。(2)本計畫工作內容未包含風驅流之探討。</p> <p>3、中央氣象局之預報模式係以全臺海域為預報範圍，模式最高解析度，TWRP 從之前 5 公里，提升為目前之 3 公里，NWW3 也從 10 公里提升為 2.5 公里，本計畫 WRF 為 1.2 公里，NWW3 為 2 公里，且特別針對臺中港區進行預報，顯示本計畫之特定設計目標與更高解析度，與中央氣象局有所不同。</p> <p>4、預報誤差值將以均方根誤差(root mean square error)來呈現，評估預報誤差強度，搭配相關係數評估預報相位之準確性，兩者互補來提供較完整之預報誤差診斷，逐月進行分析，</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>6、對船舶航行安全而言，瞬間強風的安全影響為何。</p>	<p>結果將在期末報告中討論。</p> <p>5、(1)如第4點回覆所述，將以均方根誤差與相關係數來定量評估誤差強度與相位，且為逐月分析。預報風級之發生機率係以全年為分析對象，主要為探討預報能力之季節變化特性，為逐月均分根誤差與相關係數之伴隨分析，兩者目的不同，已在期中報告修正版中補充說明。(2)將以模式預報風速之空間分布圖說明離岸風電區與臺中港區風速之差異特性，結果將在期末報告中討論。</p> <p>6、瞬間強風對航行安全一定有所影響，可能導致船舶進出港時之偏移而導致碰撞。若要預報瞬時風速須以每 5-10 分鐘一筆預報輸出，由於執行模式預報之電腦資源有限，目前預報結果為 1 小時一筆預報輸出，未能針對瞬間強風進行預報。</p>	
<p>五、江茂雄委員</p> <p>1、觀測站量測高度為何？(T2,T8,T1,T5,T6)。</p> <p>2、建議提供執行計劃進度表或甘特圖，以利預定進度與執行進度之比較及說明。期中及期末之預期成果與實際成果之說明，也建議表列說明。</p> <p>3、波高預測值與觀測值差異仍大，是否有需再進一步修改模式之參數。</p> <p>4、離岸風電區風速、波高資料來源為何？量測高度是否與臺中港區量測之高度一致。</p> <p>5、目前之預報結果，9月~2月</p>	<p>1、各風速測站之高度已呈現在第 2.1 節中。</p> <p>2、(1)期中報告修正版已新增第 1-2 節，納入甘特圖並說明計畫之主要工作內容、進度、目標。(2)計畫之預期成果與實際成果，也已表列方式說明。</p> <p>3、模式中，地形與水深是影響近岸波高預報準確性之重要因素，後續計畫可測試運用較高解析度之地形與水深資料來修正 NWW3 預報。</p> <p>4、離岸風電區之風速、波高並無觀測資料，計畫所分析全為模式預報資料，模式風場為 10 米風，波高為示性波高。</p> <p>5、4~9 月風浪較小，只有颱風容易危及船舶航安，模式對颱風</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>最佳，6月~8月最低，但未來離岸風場運作卻會集中於4~9月，是否可能持續修正模式，提高預測之準確度!</p> <p>6、台電測風塔資料應可向台電尋求合作及資料提供!</p>	<p>之預報能力將在期末報告中討論。分析所得之預報誤差將做為未來模式修正方向之依據與參考，期以提高預測準確度。</p> <p>6、將依委員建議洽詢臺電相關資料。</p>	
<p>六、江文山委員</p> <p>1、P1-3 提到中央氣象預報的相關資訊，請再確認。</p> <p>2、第二章針對風速、波高與流速的相關性作初步分析，以多項式迴歸為主。然就波高與風速的關係，基於風浪成長理論，文獻上有相關的經驗式，建議可進一步依此理論進行探討。另流速的驅動力以潮汐、風速等為主要因子，建議可分別探討其間關係，可得到較合理的結果。</p> <p>3、P3-4 預測 12 小時波高與實測波高的分析探討，請詳細說明作法。</p> <p>4、P3-30 實測與預測風與波高的比較，請詳細說明作法。</p> <p>5、報告中對計畫題目風對臺中港海域船舶航行安全影響，缺乏論述，建議後續補述說。</p> <p>6、報告中對於數據分析結果說明詳細，建議對相關成因補充說明。</p>	<p>1、中央氣象局全臺預報之模式最高解析度，WRF 從之前 5 公里提升為目前之 3 公里，NWW3 也從 10 公里提升為目前之 2.5 公里，將對相關說明進行修正。</p> <p>2、本計畫主要目的是運用觀測資料來驗證模式預報結果，因此著重港灣技術研究中心實際觀測資料間之相關性，期以了解觀測資料之分布特性。關於風-流間與風驅流之動力關係，因未做為預報結果檢驗之用，故未規劃在此計畫中分析。</p> <p>3、模式預報於每天 00Z(在地時間上午 8 點)、12Z(在地時間下午 8 點)分別進行 48 小時預報，為與全年逐時觀測資料比對，故每一個預報個案均取其第 1-12 小時預報結果，串成全年之逐時預報資料，再與對應時間之觀測資料進行迴歸分析。已在報告中補充說明。</p> <p>4、臺中港浮標之觀測資料係取 9 月共 30 天，每天在地時間 0 時之資料串成該月共 30 筆資料之時間序列，模式則取 12Z(在地時間晚上 8 點)預報個案之第 4 時預報結果，串成 9 月共 30 筆預報資料之時間序列，再與對應時間之觀測資料時間序列比對。已在報告中補充說明。</p> <p>5、本計畫主要目的係針對缺乏觀測資料之離岸風電區的風、波資訊，運用模式預報結果做為</p>	<p>同意辦理。</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	<p>替代，並經由誤差修正來提升預報風、波資訊之準確度。藉由提供全年逐月風級、波級之分布特性，對不同噸級船舶之耐波性，對其航行安全當有不同程度影響，施工船舶可藉此規劃適宜工作時程，助益航行安全。在確認模式之適宜預報能力之後，未來若能執行例行性預報，其預報資訊當能進一步提升船舶航行安全。</p> <p>6、本計畫著重預報能力之檢驗與預報資訊之適宜運用方式，對風、波預報不佳之結果，可能與模式之地形地物設定、海陸交界、海底地形等因素有關，但確實成因與動力因素，仍待未來設計模式實驗方能進一步分析。</p>	

附錄四 期末報告審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見及辦理情形說明表

計畫名稱：離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域

船舶航行安全影響評估

合作研究單位：國立高雄科技大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、王錦榮委員		
1. 建議增加風機安裝前後，對應風速-流速之變化及預報分析	本計畫分析 2019 年資料，為風機安裝前之時期，未來數年後待風機安裝完成，可再進行類似分析，比較風機安裝前後之海氣象變化情形，此項建議已列入未來建議工作事項。	同意辦理
2. 瞬間強風對船舶航安的影響，建議未來可以列入分析。	預報瞬間風速需要提高模式預報時間區間之解析度，例如從目前之 1 小時輸出改成 10 分鐘輸出，因此需要未來研究來執行。	同意辦理
3. 簡報 P.18，颱風個案之預報，其基準日以前 2 天與後 1 天為預報檢驗間共 4 天，建議延伸到颱風過後 2 天。	颱風過後仍會引發長浪來影響，但風場之影響有限，未來可依委員建議延伸預報期間到颱風過後 2 天，期以增加對長浪影響之預報與掌握。	同意辦理
4. 建議增加由台灣海峽北上之颱風進行預報。	於 2016-2019 年間，只有 2017 年谷超颱風從南往北行經臺灣海峽，但模式對其預報能力不佳，颱風中心位置誤差偏大，以致風速變化掌握不好，預報波高也偏弱。未來若有類似路徑颱風，將新增	同意辦理

	<p>峽，但模式對其預報能力不佳，颱風中心位置誤差偏大，以致風速變化掌握不好，預報波高也偏弱。未來若有類似路徑颱風，將新增預報實驗檢驗此路徑颱風之預報能力。</p>	
<p>5. 簡報 P.24 缺離岸風電區觀測資料。建議可與風電業者合作，以取得觀測值。</p>	<p>於臺中港外海離岸風電區，臺電設有觀測塔，可提供風速、波高、海流等資料，但該資料目前尚未釋出，未來將與臺電聯繫，取得實測資料來檢驗與修正模式預報結果。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>6. 建議如本研究之結論，未來應置入較高解析度與精準度之陸上與海底地形，不同參數測試，以提高預報解析度。</p>	<p>模式預報能力有其誤差特性，後續修正很重要，可著手方法包括提高模式之空間與時間解析度、納入高精度之地形資料、不同參數方法之測試等，這些修正措施仍待未來工作繼續完成。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>二、江茂雄委員</p>		
<p>1. 台電測風塔資料目前尚未於網站公開，但可透過台電再生能源處協助取得，建議未來可透過台電得。</p>	<p>於臺中港外海離岸風電區，臺電設有觀測塔，可提供風速、波高、海流等觀測資料，但該資料目前尚未釋出，未來將與臺電聯繫，取得實測資料來檢驗與修正模式預報結果。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>2. 颱風預報準確度較低，可以了解，數值建模預測對發生頻率低的極端條件預測誤差會較大!故可能需要針對極</p>	<p>本計畫颱風個案之預報波高、風速均存有偏弱誤差，應與颱風強度偏差有關，而颱風強度又會影響移動速度與後續移動路徑之準</p>	<p>同意辦理</p>

<p>端條件下進行補償及修正。</p>	<p>確度，因此可考慮運用 WRF 內之 TC-Bogus scheme，以人工方式適度增加颱風初始氣旋之強度，協助掌握後續較佳颱風強度、移動速度、移動路徑，當有助改善風速與波高之預報。</p>	
<h3>三、江文山委員</h3>		
<p>1. 計畫目標之一是提供風、波場資料作為離岸風場施工維護所需之參考，未來風機建置之後，這些大型結構物，可能對風場造成振動，使得在離岸風機海域中船行受到影響，從專業經驗來看這影響大概是如何？</p>	<p>風機建置後，大量風扇轉動將帶動紊流，無可避免將在離岸風電場域造成風場擾動，但此擾動從 90-100 公尺高空傳到地面時，預期會相當幅度減弱，對海象波高之影響也會隨之減少。但實際影響程度，仍待未來實測與紊流模式進行檢驗，或進行風機建置前後的海氣象環境比較分析。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>2. P.2-2，”潮位為即時觀測高度”，一般而言，應該是某段時間的平均值，請再確認，並請補充說明為何種潮位系統。</p>	<p>潮位為整點前 6 分鐘之平均觀測高度，為原始水深資料，上述說明已加在 2.1 節。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>3. p.2-5，圖 2.2，圖 3.17 物理量請加註單位。</p>	<p>圖 2.2、3.17 之風速單位為 m/s，波高單位為 m，已將單位加註於該 2 圖中。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>4. 節 2.3 海氣象變數之關聯性分析，純就數據做統計分析，較缺乏理論機制的基礎。建議補充說明該項分析</p>	<p>已在 2.3 節補充說明:”本節之關聯性分析，僅單就數據進行統計分析，其目的為運用簡單、易操作之統計方程式作為後續誤差修</p>	<p>同意辦理</p>

<p>的動機與目的係基於要務上簡易應用的出發點，因此，未針對各種機制進行細節分析。</p>	<p>正之工具，且統計關聯性之分析結果，提供科學化數據可供比較關聯性隨季節之變化特性。在此目的之下，關聯性分析因此未針對各種風-波、風-流變化之動力機制進行細節探討”。</p>	
<p>5. p.3-13 在 T2 站預報風速與實測風速比較，顯示強風時預報偏弱，因 T2 站設在燈塔結構體上，是否受此影響，建議可再檢視。</p>	<p>模式預報與觀測資料常有誤差，於無遮蔽之海面開闊處，通常對強風有偏弱誤差，對弱風有偏強誤差。但在陸地建物密集之處，因未能解析建物之遮蔽與摩擦效應，預報風速常會呈現偏強誤差。T2 測站之燈塔位於堤頭開闊處，燈塔本身屬獨立建築，對風速之遮蔽效應應屬有限。對 T2 強風之預報偏弱，應與模式解析度有關，未來若能提高模式解析度，當有助預報結果之改進。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>6. p.4-10，強風預報之分析結果，說明於秋春季之預報能力高於冬季，請再進一步確認。</p>	<p>論述修正如下:”風速之預報能力，冬季(12-1-2 月)11 個案中，有 9 個為優良預報個案。秋季(9-10-11 月)10 個案與春季(3 月)3 個案全部為優良預報個案。在波高預報方面，冬季 11 個案中，有 7 個優良預報個案，秋季 10 個案有 7 個為優良預報個案，春季 3 月的 3 個案全部為優良預報個案。顯示對臺中港區之風速與</p>	<p>同意辦理</p>

	波高預報，於秋季、冬季、春季(3月)之預報能力均佳。”	
7. 颱風預報分析，建議歸納不同路徑的預報能力說明。	颱風預報結果與路徑之對應關係呈現於表 5-3，在最多預報優良個案的路徑中，2 個第 1 路徑颱風均為預報優良，4 個第 6 路徑颱風有 2 個為預報優良，依此結果歸納，對第 1 路徑颱風之預報結果最佳，第 6 路徑其次，此分析結果補述於第 5 章結尾。	同意辦理
四、蔡主任立宏		
1. 台電測風塔資料是否有直接向相關單位接洽或是僅以網路查詢?	係經由臺電官方網站查詢，網站顯示該類資料均須付費採購，且臺中港外海觀測塔資料迄今仍未釋出。	同意辦理
2. 期末報告摘要，須包含計畫的緣由、目的、方法、成果、應用，另其格式與本所出版品規定不符，請再修正整理。	已依委員建議修正，在修正後之摘要中，緣由與目的包含在第一段，研究方法、成果、應用分別包含在第二、三、四段。中英文摘要之格式、字體大小已依港灣技術研究中心規定修正。	同意辦理
3. 建議可探討各風測站之間的相關性。	各測站風速對應 T2 的 7-9 級風之變化幅度，全年平均值分別為 T8 之 0.70、T5 之 0.58、T1 之 0.53、T6 之 0.38。2019 年 1-12 月逐月，各測站對應 T2 的 7-9 級風之風速分析表如表 2-13 所示。	同意辦理
4. 報告結論，不應只有成果說	結論已依計畫緣由、目的、研究方法、成果、應用等面向進行補述。	同意辦理

<p>明，請補充及修正論述。</p>	<p>並依研究結果討論模式預報能力之優點與不足之處，依此提出未來模式改進之建議事項。</p>	
<p>5. 請再探討運用本預報模式於何種颱風路徑時，可獲得較佳的預報。</p>	<p>颱風預報能力與路徑之對應關係，呈現於表 5-3。分析結果顯示，第 1 路徑(往西北方向移經臺灣北側海面)預報結果最佳，第 6 路徑(往北前進移經臺灣東側海面)其次，此分析結果補述於第 5 章結尾。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>五、蘇青和委員</p>		
<p>1. 第 2 章能譜分析結果，圖 2.5 臺中港區 2019 年 5-7 月、10-12 月各月 TIDE 測站逐時潮位之頻譜分析及圖 2.6 臺中港區 2019 年 1-6 月各月 AWAC 測站流速之頻譜分析，顯示主要頻率位置有差異，建議統一說明。</p>	<p>潮位最強頻譜為半日潮，流場雖也有半日潮、全日潮，但最強頻譜為 15 天、30 天週期，與天文潮頻譜相近，顯示臺中港潮位主要反映地球自轉之半日潮影響，流場則主要反映月球公轉之天文潮影響，上述討論已補述在 2.2 節結尾。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>2. 第 3 章風場分四層模擬計算，但波場僅分一層，建議說明原因。風場預報成果較波場預報為佳，是否有其原因？</p>	<p>(a)WRF 風場模式進行四層降尺度，為標準作業方式。NWW3 為風浪模式，只用風場即可驅動波浪預報，因此可不進行四層降尺度，只用第三層(3.6 公里-網格)之模式風場即可降尺度驅動第四層(2 公里-網格)之臺中港區波浪預報。</p> <p>(b)在鄰近海面地區，無建物或地</p>	<p>同意辦理</p>

	形遮蔽效應，風場一般都能良好預報。但在相同地區，岸形與水下地形改變最大，若無足夠地形資料或模式解析度來掌握地形變化，鄰岸地區之波高預報則會呈現較大誤差，因此波高預報能力會低於風場預報。	
3. 波場預報結果多較觀測值為小，其原因為何？	本計畫所驗證之 AWAC 位於鄰岸地區上，岸形與水下地形改變最大，但模式為 2 公里網格，對鄰岸地區之岸形與水下地形掌握仍屬不足，因此呈現偏弱之波高預報誤差。上述說明已加在第 7 章之建議事項。	同意辦理
4. 空間與時間降尺度，是否可改善風場及波場之精度？	模式之風場或波高預報強度，網格點越大，區域平均效果越大，強度便易變弱，因此提高空間解析度對較強風速與波高之預報當有所助益。時間解析度若能從逐時輸出提升到每 10 分鐘輸出，當有助掌握瞬間發生之強風現象。因此在足夠電腦資源之下，應適度提高模式之空間與時間解析度。上述說明已加入第 7 章之建議事項。	同意辦理
5. 船舶航行安全影響評估，可整合基地母港臺中港及離岸電場址兩地成果。	已依委員建議，整合離岸風電區與臺中港區船舶航行安全影響評估之結果(表 6-12 與 6-13)到新的表 6-12，方便比較兩區域之航行	同意辦理

	安全差異，同時也顯示臺中港區之觀測資料不宜做為推估離岸風電區船舶航行安全影響之用。	
六、李俊穎委員		
1. 有關觀測之 T2 風與預測風速對比，因 T2 高程為 16.62m，可能與海面上 10m 風有差異，建議可修改後再比較。	運用港灣中心經驗式 $U_z=U_{10}(Z/10)^{1/7}$ ，T2 高度 $Z=16.62m$ ，因此 T2 風速約為 10m 風速之 1.07 倍，兩者差異不大。T2 風速與預報 10m 風速因高度差異可能衍生之誤差，已由計畫中之誤差修正系統來調整，因此可加強 10m 預報風速強度變化之精準度。未來若執行延續計畫，可應用上述經驗式進行風速調整後再進行分析。	同意辦理
2. 建議補述分析所模擬颱風預報路徑與實際路徑差異。	颱風路徑預報與實際路徑之差異，以每個颱風之第 24、48 小時之中心位置平均誤差大小來呈現，預報能力與颱風路徑之對應關係，亦一併列於表 5-3。分析結果顯示，第 1 路徑預報結果最佳，第 6 路徑其次，此分析結果補述於第 5 章結尾。	同意辦理
3. 依 3.1 節波浪預報範圍，會無法反應範圍外颱風事件之風浪變化，尤其是湧浪部分，建議可再評估，納入後續計畫。	建置環臺範圍之波浪預報模式，期以納入長浪效應，預期可提升波浪預報準確度，此項建議已納入後續改進方向之建議事項(見第 7 章)。	同意辦理

<p>4. 請補充說明本系統運作之軟體，作為後續評估參考。</p>	<p>本計畫之風場、波高預報系統，需要上美國氣象網站下載大尺度預報資訊做為邊界條件，約需耗時2-3 小時。下載後，再運用 PC-Cluster 內之 48-core CPU，執行3.5 小時方能完成 48 小時預報。預報結果之繪圖與數值計算，相當快速，可立即執行與完成。上述說明已補充於第 3.1 節。</p>	<p>同意辦理</p>
<p>七、台灣港務股份有限公司台中分公司</p>		
<p>1. 建議國立高雄科技大學可以與台電的測風塔資料結合，並提供資訊畫面顯示當日的風場狀況是否能出去作業，以利風機業者提出申請並作為收費的依據。</p>	<p>臺電觀測塔資料尚未釋出，未來若能拿到此筆資料，可用來檢驗離岸風電區預報，誤差修正後之預報結果當可提供適宜預報資訊來提升該區域船舶航行安全與施工作業管理。</p>	<p>同意辦理</p>

附錄五 期末報告簡報

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

『離岸風電建置技術與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估』
招標案

期末報告

主持人:國立高雄科技大學 陳昭銘
協同主持人:國立嘉義大學 談珮華

2020年11月6日

1

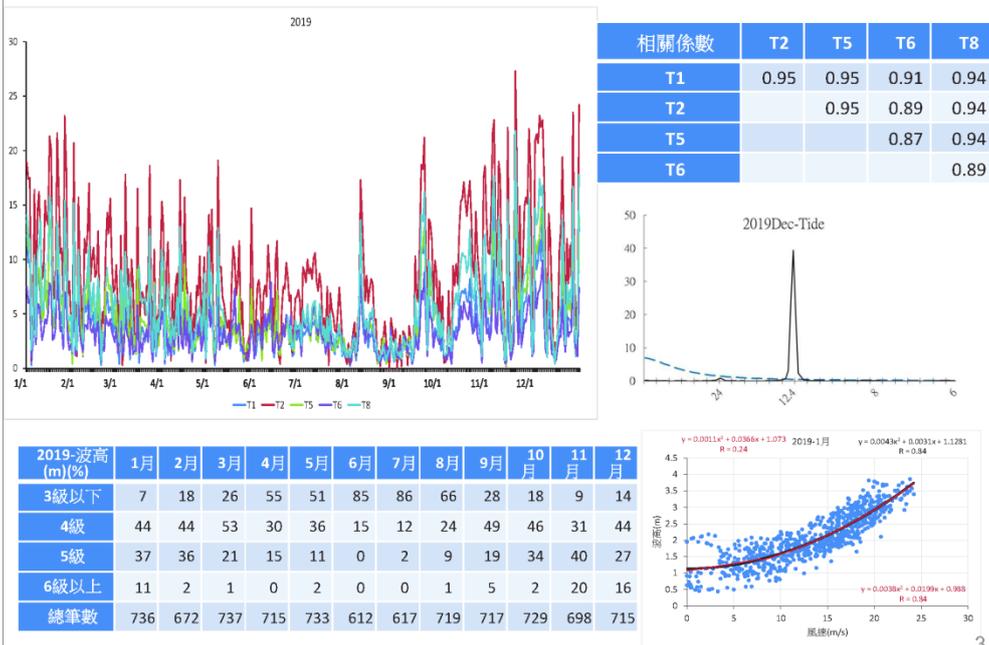
一、前言

本計畫以臺中港與鄰近海域之離岸風電區之海氣象資訊為分析對象，建置高解析度風場與波浪預報模式，提供具精確度之海氣象預報資訊，做為航行安全影響評估，提升港埠管理績效。

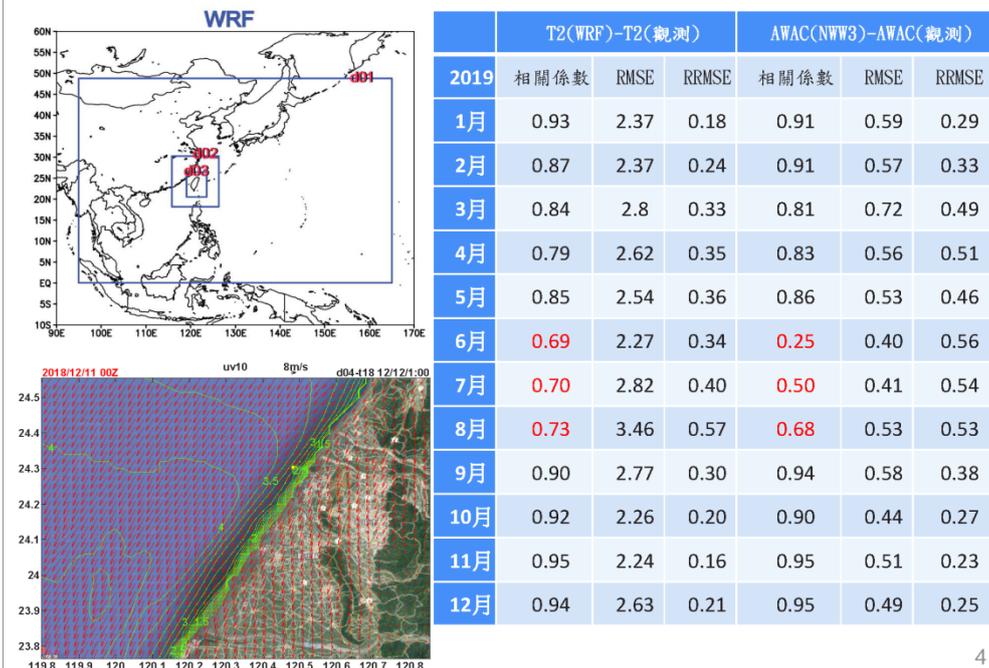
1. 臺中港區海氣象觀測資料特性分析
2. 臺中港區與外海離岸風電區之高解析度風、波預測模式建置
3. 颱風(強風)期間臺中港鄰近海域強風及大浪特性分析
4. 風浪對於臺中港鄰近海域船舶航行之安全影響分析。

2

二、臺中港區風、波、潮、流場特性與關聯性分析



三、臺中港鄰近海域之風、波數值模擬與特性分析



期中審查意見回覆

蔡主任立宏

1、請探討各風測站之間的相關性。

Reply: 相關性分析，已納入期中報告中，如表2-2所示

2、風向的特性請再增列說明。

Reply: 各測站風向之季節變化分析結果納入期末報告中。

3、模式驗證使用的為氣象局的浮標，請注意其風測站設置於浮標的高度。

Reply: 氣象局浮標之測風高度為2.5米，已在報告中說明。

4、有關分析資料的來源應確認其物理意義為何，如流為表面流或剖面流。

Reply: 風、波、流、潮觀測資料之測量方式與物理意義，已在第2-1節補充說明

5

蘇青和委員

1、請依本所研究報告格式撰寫。

Reply: 已依港灣技術研究中心之格式修正。

2、第一章應加強研究計畫之前人研究、分年研究工作內容及時程(甘特圖)。

Reply: 新增第1-2節，納入甘特圖。已加強前人研究內容。

3、第二章臺中港海氣象特性分析。建議增加其他分析方法，例如能譜分析等。

Reply: 潮與流進行power spectral analysis來探討其頻譜變化特性。

4、第二章P2-11圖2-3圖說明「日變化」應改為「時變化」。

Reply: 已更正

5、第三章風場模式及波場模式相關理論介紹應詳列於附錄。

Reply: WRF與NWW3之模式介紹與相關理論彙整於附錄1、2。

6、第三章風波模式成果檢核及比較，建議增壓線圖比對(誤差分析)，誤差量比對等。

Reply: 已新增風波預報誤差(RMSE)值。颱風與強風個案將進行歷線圖比對

7、風浪對船舶航行之影響分析，皆為本研究工作重點，應強化其研究成果。

Reply: 已在期末報告中分析討論。

6

李俊穎委員

1、風場預報 (WRF) 建議補述各層初始及邊界條件，並說明各層模組除解析度外其它差異為何？

Reply: 初始條件與邊界條件，及4層巢狀模式降尺度方式，請見第3-1節。

2、有關波浪預報 (NWWIII) 建議補述相關初始及邊界條件與地形水深條件。

Reply: NWW3模式之初始條件、邊界條件、與水深條件已新增到第3-1節。

3、有關潮位分級一般較少以一般潮位高度劃分，其用意為何？

Reply: 新增潮差分析，並納入期末報告中。

4、有關預報與觀測為何採用2次曲線作迴歸曲線？

Reply: 考量部分預報不佳月份，二次曲線較易呈現其誤差特性。

5、所採用觀測資料之風速、波高及流速是否分別為平均風速、示性波高及表面流速？請加以補述。

Reply: 第2-1節補充說明。風為10分鐘平均風速，流為上層流場最上方1/3(約從表面到水下7-8公尺)之10分鐘平均流速，波為30分鐘觀測期間，取最大1/3波高值平均之示性波高。

7

簡仲環委員

1、為增加資料統計分析之代表性，建議增加資料蒐集時間長度。

Reply: 2019年有完整之觀測資料與預報實驗，其餘年分多有連續數月資料缺漏，因此不適合進行分析

2、海氣象變數之關聯性分析中，風速與流速有需要作相關分析？是否欲探討風驅流？

Reply: 分析風-波、風-流之關聯性，風-波對應關係比風-流對應關係強。計畫工作內容未包含風驅流之探討。

3、中央氣象局也作TWRP及NWW3模式之運算，本計畫和CWB相較有何差異？宜補充說明。

Reply: 本計畫之特定設計目標範圍與更高解析度，與中央氣象局有所不同。

4、預報誤差分析除了以迴歸分析外，建議增加其他統計分析上之誤差分析方法，以得較具體量化之誤差。目前僅相關係數高低及其預報與觀測相較偏強或偏弱之定性說明。

Reply: 新增預報誤差RMSE值分析，評估預報誤差強度，搭配相關係數評估預報相位之準確性，兩者互補來提供較完整之預報誤差診斷

5、預報與觀測之差異也不宜僅以不同風及之發生機率作比較。建議再增加其他比較方式。為何風電區預報比T2區預報(及觀測)為弱？(如第3-22頁所述)

Reply: 以均方根誤差與相關係數來定量評估逐月誤差強度與相位。將以模式預報風速之空間分布圖說明離岸風電區與臺中港區風速之差異特性。

6、對船舶航行安全而言，瞬間強風的安全影響為何。

Reply: 瞬間強風對航行安全有所影響，模式預報資源有限，未能針對瞬間強風進行預報。⁸

江茂雄委員

1、觀測站量測高度為何？(T2, T8, T1, T5, T6)。

Reply:各風速測站之高度已呈現在第2.1節中。

2、建議提供執行計劃進度表或甘特圖，以利預定進度與執行進度之比較及說明。期中及期末之預期成果與實際成果之說明，也建議表列說明。

Reply:新增第1-2節，納入甘特圖。計畫之預期成果與實際成果，如表7-1。

3、波高預測值與觀測值差異仍大，是否有需再進一步修改模式之參數。

Reply:可測試運用較高解析度之地形與水深資料來修正NWW3預報。

4、離岸風電區風速、波高資料來源為何？量測高度是否與臺中港區量測之高度一致。

Reply:離岸風電區之風速、波高全為模式預報資料。

5、目前之預報結果，9月~2月最佳，6月~8月最低，但未來離岸風場運作卻會集中於4~9月，是否可能持續修正模式，提高預測之準確度！

Reply:分析所得之預報誤差將做為未來模式修正方向之依據與參考，期以提高預測準確度。

6、台電測風塔資料應可向台電尋求合作及資料提供！

Reply:將依委員建議洽詢臺電相關資料。

9

江文山委員

1、P1-3提到中央氣象預報的相關資訊，請再確認。

Reply:中央氣象局全臺預報模式最高解析度，WRF提升為3公里，NWW3提升為2.5公里，已對相關說明進行修正。

2、第二章針對風速、波高與流速相關性分析，以多項式迴歸為主。然就波高與風速的關係，基於風浪成長理論，文獻上有相關的經驗式，建議可進一步依此理論進行探討。另流速的驅動力以潮汐、風速等為主要因子，建議可分別探討其間關係，可得到較合理的結果。

Reply:本計畫主要目的是運用觀測資料來驗證模式預報結果，關於風-流間與風驅流之動力關係，因未做為預報結果檢驗之用，故未規劃在此計畫中分析。

3、P3-4預測12小時波高與實測波高的分析探討，請詳細說明作法。

Reply:已在報告中補充說明

4、P3-30實測與預測風與波高的比較，請詳細說明作法。

Reply:已在報告中補充說明

5、報告中對計劃題目風對臺中港海域船舶航行安全影響，缺乏論述，建議後續補述說。

Reply:本計畫主要目的係針對缺乏觀測資料之離岸風電區的風、波資訊，運用模式預報結果做為替代，提供全年逐月風級、波級之分布特性，對不同噸級船舶航行安全當有不同程度影響，未來若能執行例行性預報，其預報資訊當能進一步提升船舶航行安全。

6、報告中對於數據分析結果說明詳細，建議對相關成因補充說明。

Reply:模式預報結果之確實成因與動力因素，仍待未來設計模式實驗方能進一步分析。 10

四、臺中港區強風個案之預報特性分析

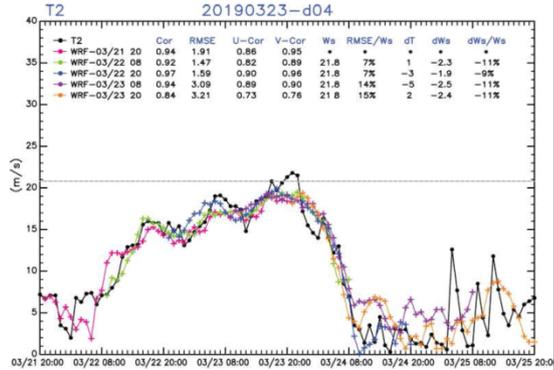
4.1 強風個案之臺中港區風場預報特性分析

➤ 當日T2逐時風速資料曾達到9級風 ($\geq 20.8\text{m/s}$)為強風個案

➤ 取強風個案當日之前2天與後1天共計4天(96小時)區間，對應初始時間相隔12小時之連續5個48小時預報，將T2風速之48小時預報結果與對應時間觀測風速比對，

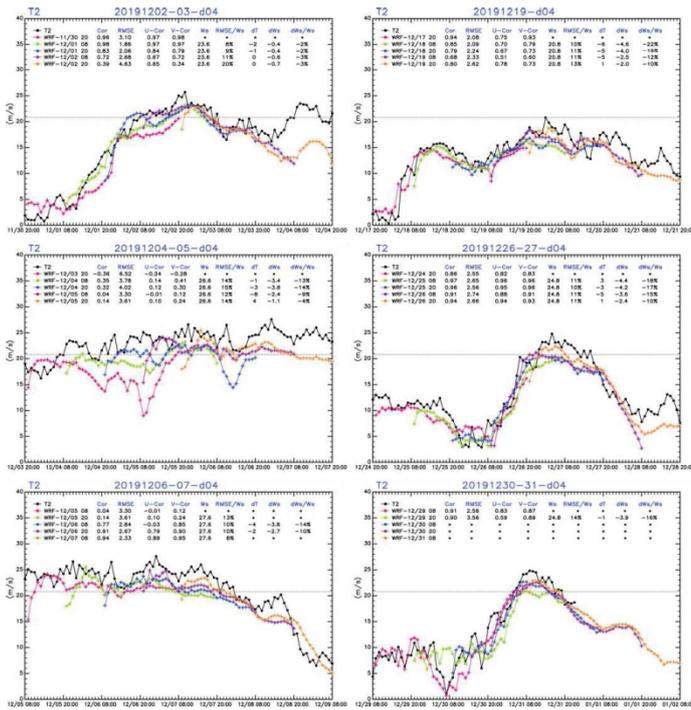
預報能力檢驗包含下列數個分析項目：

- 逐時預報風速與觀測風速之48小時相關係數。
- 緯向風與經向風之48小時相關係數
- 計算預報風速(波高)與觀測風速(波高)於48小時之RMSE。



- RMSE/Ws(最大風速或波高)之相對百分比，
- dT: 預報最大值與觀測最大值之時間差距
- dWs: 預報最大值與觀測最大值之強度差距
- dWs/Ws: 最大值誤差之比率值

11



- 預報風速強度接近觀測強度，但略偏弱
- 時間與強度變化趨勢相近

12

風場之平均預報特性彙整表

T2站	相關係數	RMSE	U相關係數	V相關係數	Ws	RMSE/Ws	dT	dWs	dWs/Ws
20190101	0.23	2.5	0.13	0.26	23.4	10%	-3.0	-3.1	-13%
20190116-0117	0.72	2.9	0.53	0.70	21.7	13%	-2.5	-2.4	-12%
20190120-0121	0.90	3.0	0.84	0.87	24.2	12%	-4.8	-3.9	-16%
20190125-0126	0.88	4.6	0.88	0.86	24.0	20%	5.0	-3.4	-14%
20190131-0201	0.92	2.2	0.88	0.86	22.0	10%	-0.3	-2.4	-11%
20190307	0.83	2.9	0.80	0.50	20.9	13%	-2.3	-1.1	-5%
20190323	0.92	2.3	0.84	0.89	21.8	11%	-1.3	-2.3	-11%
20190331	0.62	3.8	0.46	0.64	21.3	17%	0.0	-4.2	-20%
20190919-0920	0.68	3.3	0.63	0.65	21.2	16%	-1.5	-2.0	-10%
20190930	0.72	5.4	0.49	0.73	27.0	21%	-4.8	-6.1	-22%
20191014-1015	0.69	2.1	0.79	0.71	23.1	11%	-5.0	-1.6	-7%
20191030	0.73	3.6	0.63	0.72	21.3	18%	-3.0	-3.4	-16%
20191104-1105	0.69	4.3	0.65	0.66	25.3	18%	-5.5	-4.4	-18%
20191108-1109	0.84	2.6	0.83	0.85	22.4	13%	0.0	-4.5	-20%
20191113-1114	0.91	3.4	0.90	0.89	23.8	15%	-3.5	-1.7	-8%
20191118-1119	0.86	5.2	0.88	0.85	28.1	21%	-2.0	-4.2	-15%
20191120-1121	0.68	5.9	0.61	0.66	20.8	29%	-4.5	-3.3	-16%
20191127-1128	0.81	3.1	0.83	0.78	25.5	13%	-1.8	-4.1	-16%
20191202-1203	0.78	2.9	0.82	0.76	23.6	12%	-0.8	-0.5	-3%
20191204-1205	0.10	4.2	0.02	0.16	26.6	14%	-2.0	-2.7	-10%
20191206-1207	0.56	3.0	0.35	0.61	27.6	11%	-3.0	-3.3	-12%
20191219	0.81	2.3	0.68	0.76	20.8	11%	-3.8	-3.3	-16%
20191226-1227	0.93	2.6	0.91	0.92	24.8	11%	-1.0	-3.7	-15%
20191230-1231	0.91	3.1	0.71	0.58	24.8	14%	-1.0	-3.9	-16%
總平均	0.74	3.4	0.67	0.73	23.6	15%	-2.2	-3.1	-13%

48小時預報，99%顯著程度相關係數為0.37

平均相關係數 ≥ 0.5
RMSE/Ws $\leq 33\%$

較佳預報個案:
22/24=92%

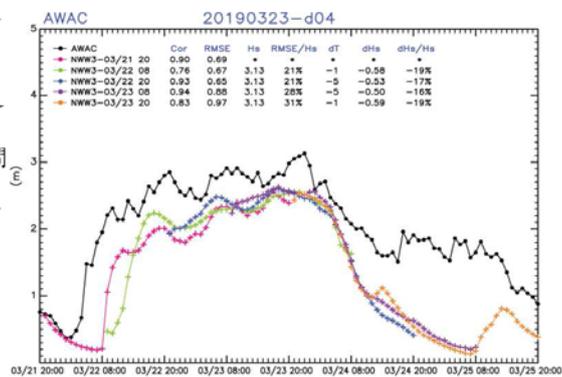
22個案中，15個案之V相關係數高於U相關係數，經向風預報為掌握強風個案之關鍵

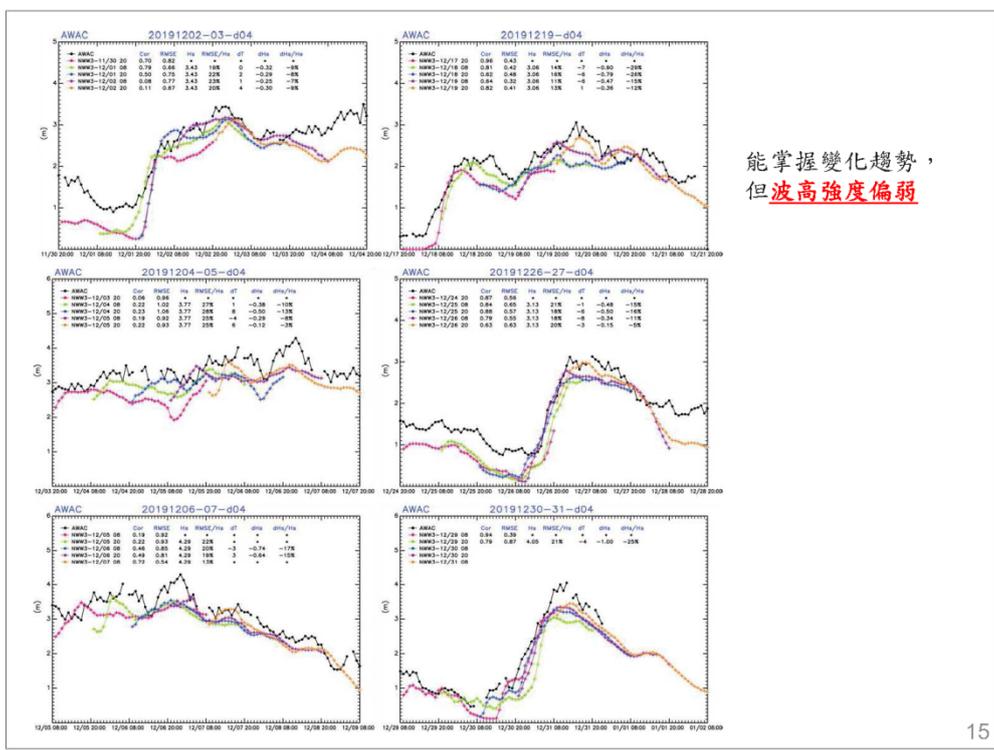
- 全部相關係數平均值為0.74。U相關係數平均值為0.67，V相關係數平均值為0.73
- RMSE/Ws全部平均值為15%。最大風速預報時間平均提早2.2小時。
- 最大風速強度有偏弱誤差，平均值為-13%。

4.2 強風個案之臺中港區波高預報特性分析

檢驗NWW3模式對AWAC波高之預報能力，檢驗包含下列分析項目：

- 逐時預報波高與AWAC觀測波高之48小時相關係數。
- 預報波高與觀測波高於48小時區間之RMSE值。
- RMSE/Hs(觀測最大波高)之相對百分比。
- dT: 預報最大波高與觀測最大波高發生時間之差距(預報-觀測)。
- dHs: 預報最大波高與觀測最大波高之強度差距(預報-觀測)。
- dHs/Hs: 最大波高值誤差之比例值





15

波高之平均預報特性彙整表

AWAC站	相關係數	RMSE	Hs	RMSE/Hs	dT	dHs	dHs/Hs
20190101	0.46	0.5	3.53	14%	-6.0	-0.56	-16%
20190116-0117	0.74	0.6	3.31	19%	-5.5	-0.64	-19%
20190120-0121	0.86	0.7	3.79	19%	0.5	-1.08	-29%
20190125-0126	0.88	0.8	3.86	21.0	3.8	-1.09	-28.3
20190131-0201	0.89	0.7	3.43	22%	-5.0	-0.83	-24%
20190307	0.83	0.6	2.88	21%	0.3	0%	-9.0
20190323	0.87	0.8	3.13	25%	-3.0	-0.55	-18%
20190331	0.81	0.6	3.05	19%	3.3	-0.58	-19%
20190919-0920	0.77	0.6	3.05	21%	-2.5	-0.46	-15%
20190930	0.78	0.9	4.34	21%	3.0	-1.40	-32%
20191014-1015	0.30	0.6	3.34	20%	-3.0	-0.41	-12%
20191030	0.68	0.4	2.76	14%	-4.3	-0.49	-18%
20191104-1105	0.76	0.6	3.24	18%	-1.0	-0.39	-12%
20191108-1109	0.87	0.4	3.07	13%	-1.0	-0.57	-19%
20191113-1114	0.89	0.8	3.50	23%	-5.0	-0.69	-19%
20191118-1119	0.76	0.8	4.22	19%	1.5	-0.85	-20%
20191120-1121	0.38	0.9	3.23	28%	-1.0	-0.65	-20%
20191127-1128	0.39	0.8	3.57	22%	0.8	-0.60	-17%
20191202-1203	0.44	0.7	3.43	21%	1.8	-0.29	-8%
20191204-1205	0.18	1.0	3.77	26%	2.8	-0.32	-9%
20191206-1207	0.42	0.8	4.29	19%	0.0	-0.69	-16%
20191219	0.77	0.4	3.06	14%	-4.5	-0.63	-21%
20191226-1227	0.80	0.6	3.13	19%	-4.5	-0.37	-12%
20191230-1231	0.87	0.6	4.05	21%	-4.0	-1.00	-25%
總平均	0.68	0.7	3.46	20%	-1.4	-0.64	-18%

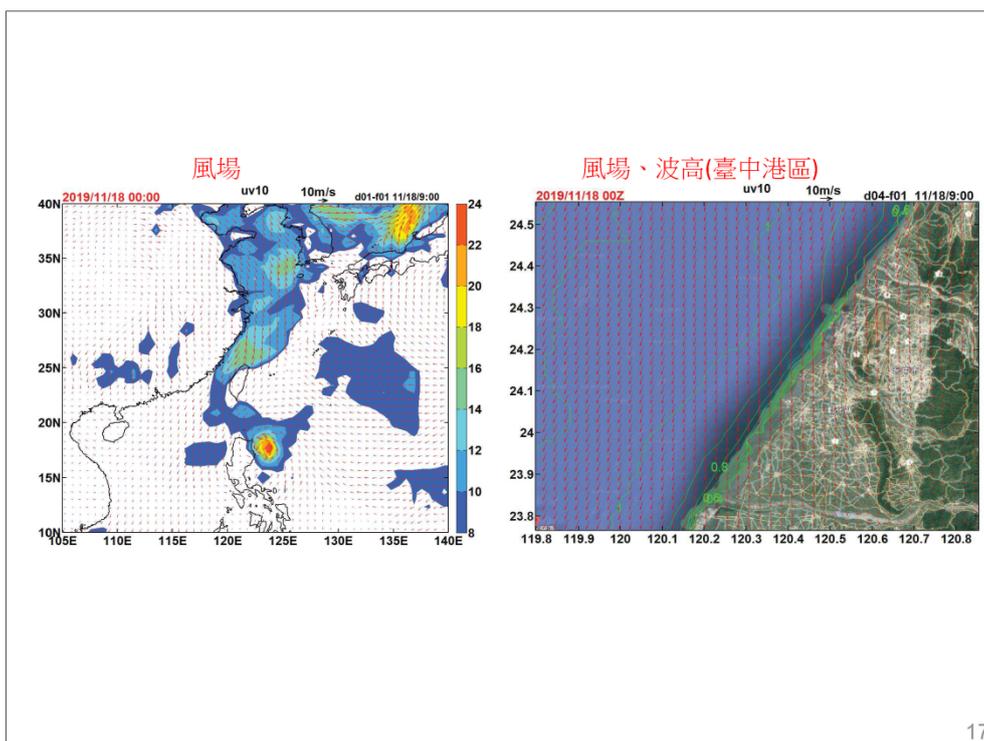
48小時預報，
99%顯著程度相關係數為0.37

平均相關係數 ≥ 0.5
RMSE/Hs $\leq 33\%$

較佳預報個案: 17/24=71%

- 波高預報相關係數總平均值為0.68，RMSE/Hs總平均值為20%。
- 預報最大波高時間總平均為提早1.4小時。dHs/Hs平均值為-18%。

16

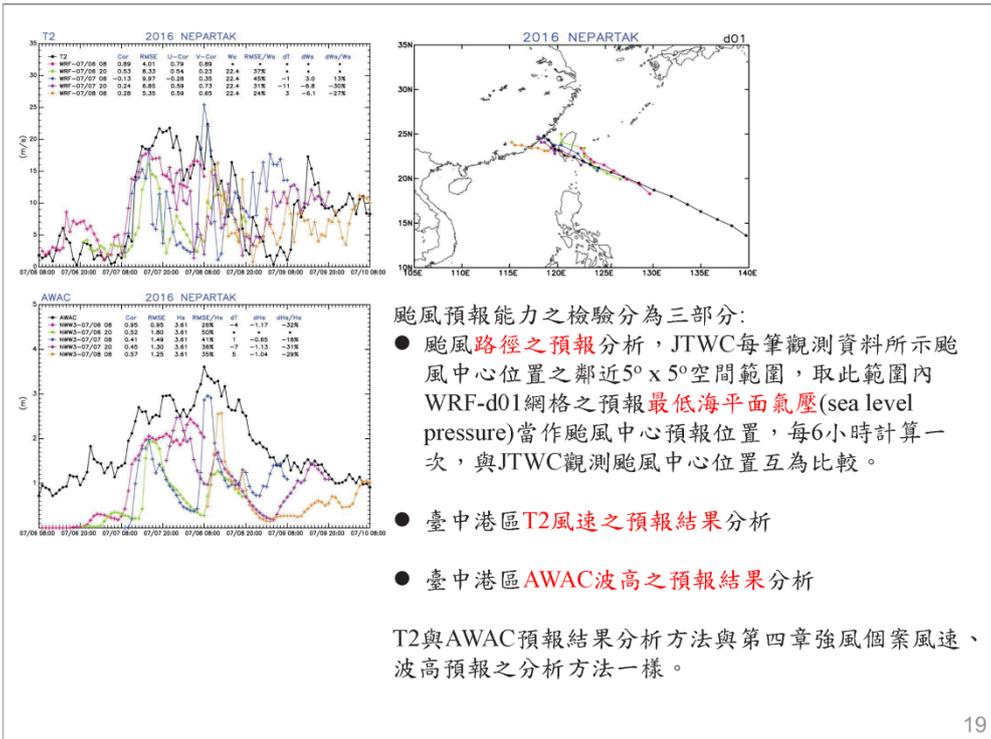


17

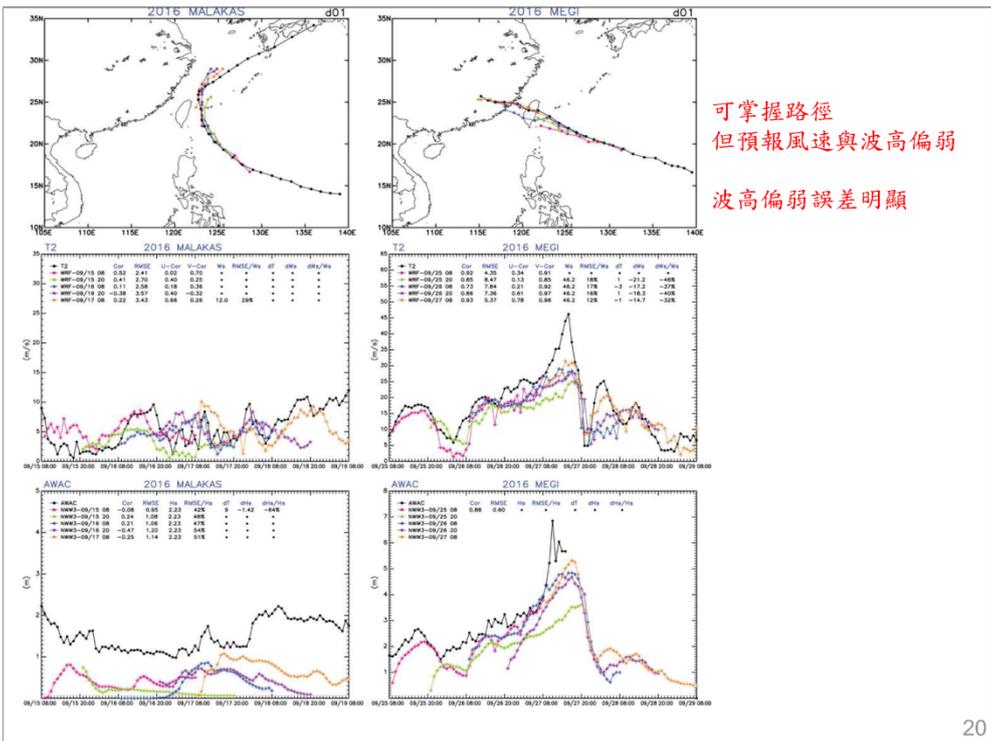
五、臺中港區颱風個案之預報特性分析

- 2016-2019年間之14個侵(近)臺颱風個案
- 每個個案以颱風侵(近)臺之當天為基準日，
取基準日之前兩天與後一天為預報檢驗區間共4天，
對應5個初始時間相隔12小時之48小時預報
- 美國颱風聯合預警中心(JTWC)之6-hr路徑資料，記載颱風中心之經緯度、時間，檢核模式預報颱風位置與移動路徑之觀測驗證資料。

18



19



20

T2站颱風風場之平均預報特性彙整表

颱風名稱	相關係數	RMSE	U-相關係數	V-相關係數	Ws	RMSE/Ws	dT	dWs	dWs/Ws
2016 尼伯特	0.36	6.9	0.45	0.57	22.4	34%	-3.0	-3.3	-15%
2016 莫蘭蒂	0.58	5.1	0.26	0.62	17.3	30%	0.7	-4.2	-24%
2016 馬勒卡	0.18	2.9	0.33	0.25	12.0	29%	x	x	x
2016 梅姬	0.86	6.7	0.41	0.93	46.2	16%	-0.5	-17.9	-39%
2017 尼莎	0.36	5.6	0.33	0.34	21.4	34%	12.0	0.3	1%
2017 海棠	0.39	6.1	0.43	0.48	21.4	29%	-8.0	1.6	7%
2017 谷超	0.16	2.8	0.16	0.31	13.8	25%	-7.0	-4.9	-36%
2017 泰利	0.88	2.7	0.67	0.84	19.6	15%	-3.8	-2.2	-11%
2018 瑪莉亞	0.67	4.3	0.58	0.77	19.8	22%	0.7	-5.1	-26%
2018 山竹	-0.03	6.0	0.13	0.33	16.6	36%	1.0	-6.6	-40%
2019 丹娜絲	0.34	4.9	0.42	0.67	18.4	27%	3.5	-3.8	-20%
2019 利奇馬	0.54	4.6	0.47	0.77	20.6	22%	-9.0	-3.2	-16%
2019 白鹿	0.30	6.1	0.29	0.56	13.5	51%	0.5	5.3	39%
2019 米塔	0.77	4.9	0.52	0.78	27.0	18%	-3.0	-7.0	-26%
總平均	0.45	4.97	0.39	0.59	20.7	28%	-3.1	-3.92	-16%

48小時預報，
99%顯著程度相關係數
為0.37

平均相關係數 ≥ 0.5
RMSE/Ws $\leq 33\%$

較佳預報個案：
6/14=43%

- 全部個案相關係數平均值為0.45，U相關係數平均值為0.39，V相關係數平均值為0.59
- RMSE/Ws平均值為28%。最大風速發生時間平均提早3.1小時。
- 最大風速強度預報為偏弱誤差，平均值為-16%。
- 預報優良個案為43% vs. 強風個案92%

21

AWAC站颱風波高之平均預報特性彙整表

颱風名稱	相關係數	RMSE	Hs	RMSE/Hs	dT	dHs	dHs/Hs
2016 尼伯特	0.58	1.4	3.61	38%	-1.3	-1.00	-28%
2016 莫蘭蒂	0.25	1.5	3.22	48%	-2.3	-1.52	-47%
2016 馬勒卡	-0.07	1.1	2.23	48%	9.0	-1.42	-64%
2016 梅姬	0.88	0.6	x	x	x	x	x
2017 尼莎	0.34	1.2	3.12	40%	1.7	-1.38	-44%
2017 海棠	0.32	0.9	3.12	28%	3.7	-0.42	-14%
2017 谷超	0.07	0.9	1.66	52%	2.0	-1.18	-71%
2017 泰利	0.86	0.9	2.88	32%	2.0	-0.72	-25%
2018 瑪莉亞	0.77	0.8	2.31	31%	3.3	-0.25	-11%
2018 山竹	0.51	2.8	2.76	48%	x	x	x
2019 丹娜絲	0.34	0.9	3.06	29%	5.7	-1.26	-41%
2019 利奇馬	0.71	0.5	2.56	17%	-6.5	0.11	4%
2019 白鹿	0.51	1.0	3.47	28%	1.0	-1.10	-32%
2019 米塔	0.89	0.8	4.34	19%	3.4	-1.34	-31%
總平均	0.50	1.09	2.95	35%	1.81	-0.96	-34%

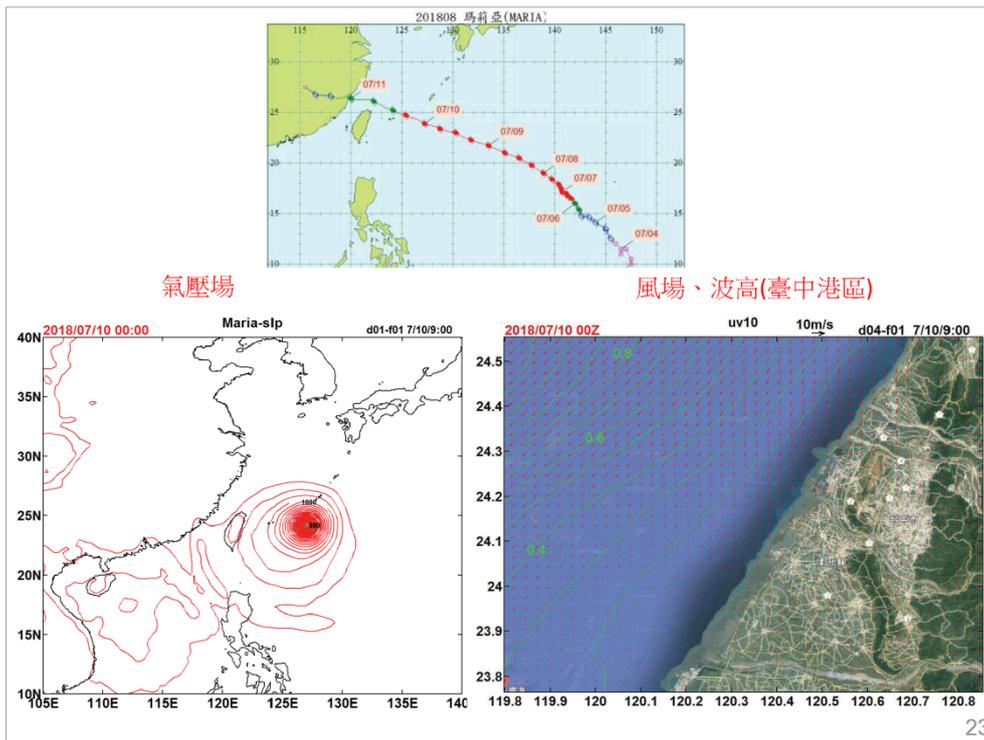
48小時預報，
99%顯著程度相關係數
為0.37

平均相關係數 ≥ 0.5
RMSE/Ws $\leq 33\%$

較佳預報個案：
6/14=43%

- 波高預報全部個案相關係數平均值為0.5
- RMSE/Hs比值之平均值為35%，最大波高發生時間平均延後1.81小時。
- 最大波高強度之預報偏弱，平均值為-34%。
- 預報優良個案為43% vs. 強風預報71%。

22



六、臺中港鄰近海域船舶航行安全影響分析

- ▶ 在缺乏觀測資訊之離岸風電區，可藉由模式預報來提供海氣象資訊，做為各式船舶航行之安全指引，以提升港埠安全管理成效。
- ▶ 缺乏該區觀測資料，模式預報需要進行二階誤差修正：
 1. 建立臺中港區預報資料與觀測資料之迴歸方程式，經由觀測資料對臺中港區預報資訊進行誤差修正。
 2. 建立臺中港區預報資料與離岸風電區預報資料之迴歸方程式，將臺中港區誤差修正後之預報資訊映射到離岸風電區，進行誤差修正。

6.1 臺中港區風場預報誤差修正能力分析

- 依2019年1-12月，取每月每日00Z、12Z之預報實驗，每個實驗取第1-24(或25-48)小時預報結果，因此1月計有24(時)x2(預報)x31(日)=1488筆可供檢驗其預報能力。
- 每筆預報計算T2預報風速與對應T2觀測風速之相關係數、RMSE、RRMSE(RMSE/觀測風速之平均值)、迴歸方程式。
- 計算T2預報風速與離岸風電區預報風速間之相關係數與迴歸方程式

25

2019	T2(WRF)-T2(觀測)				T2(WRF)-離岸(WRF)	
	相關係數	RMSE	RRMSE	方程式	相關係數	方程式
1月	0.93	2.4	0.18	$y=-0.004x^2+0.97x+0.659$	0.95	$y=-0.006x^2+0.685x+3.227$
2月	0.86	2.42	0.25	$y=-0.008x^2+1.079x-0.241$	0.96	$y=-0.004x^2+0.988x+0.366$
3月	0.83	2.87	0.34	$y=-0.017x^2+0.627x+1.672$	0.94	$y=-0.008x^2+0.732x+1.744$
4月	0.71	2.92	0.39	$y=-0.02x^2+0.506x+2.773$	0.85	$y=-0.012x^2+0.633x+2.015$
5月	0.83	2.69	0.39	$y=-0.021x^2+0.713x+0.561$	0.89	$y=-0.013x^2+0.736x+1.551$
6月	0.56	2.74	0.41	$y=-0.008x^2+0.729x+2.095$	0.75	$y=-0.006x^2+0.754x+2.278$
7月	0.67	3.01	0.43	$y=-0.014x^2+0.517x+1.919$	0.83	$y=-0.027x^2+0.413x+2.915$
8月	0.69	3.62	0.6	$y=-0.027x^2+0.349x+1.674$	0.81	$y=-0.014x^2+0.628x+2.413$
9月	0.88	3.05	0.33	$y=-0.011x^2+0.846x+0.543$	0.88	$y=-0.008x^2+0.686x+2.435$
10月	0.9	2.5	0.22	$y=-0.007x^2+0.892x+0.76$	0.91	$y=-0.005x^2+0.705x+2.989$
11月	0.94	2.67	0.19	$y=-0.006x^2+1.221x-0.644$	0.96	$y=-0.004x^2+0.921x+2.324$
12月	0.93	2.74	0.22	$y=-0.008x^2+0.877x+0.516$	0.96	$y=-0.004x^2+0.726x+3.01$

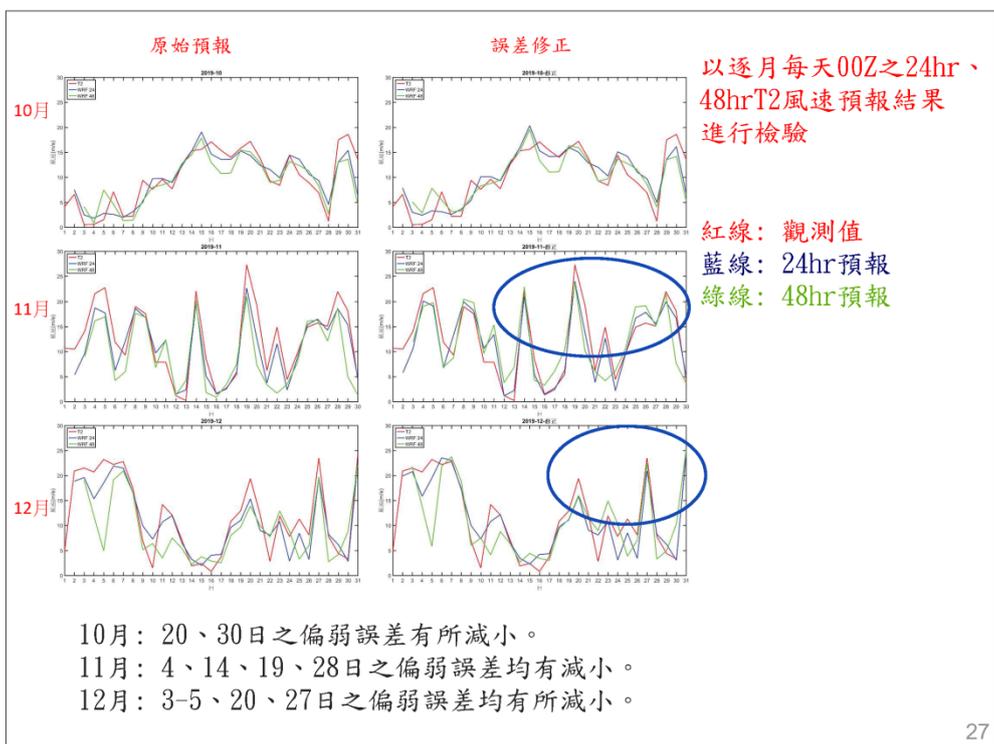
紅色：
相關係數<0.7
RRMSE>0.4

- T2風場之第1-24小時預報能力於夏季6-8月較低。

2019	T2(WRF)-T2(觀測)				T2(WRF)-離岸(WRF)	
	相關係數	RMSE	RRMSE	方程式	相關係數	方程式
1月	0.88	3.17	0.25	$y=-0.023x^2+0.579x+2.894$	0.94	$y=-0.005x^2+0.678x+3.167$
2月	0.82	2.62	0.27	$y=-0.006x^2+1.034x-0.104$	0.96	$y=x^2+0.918x+0.571$
3月	0.74	3.64	0.43	$y=-0.02x^2+0.45x+3.161$	0.89	$y=-0.017x^2+0.529x+2.86$
4月	0.57	3.6	0.47	$y=-0.04x^2+0.024x+5.223$	0.79	$y=-0.023x^2+0.393x+3.153$
5月	0.64	3.63	0.54	$y=-0.015x^2+0.663x+1.425$	0.84	$y=-0.019x^2+0.587x+2.495$
6月	0.34	3.44	0.52	$y=-0.02x^2+0.678x+2.861$	0.69	$y=-0.015x^2+0.406x+3.844$
7月	0.65	3.18	0.46	$y=-0.012x^2+0.533x+1.637$	0.84	$y=-0.013x^2+0.602x+2.463$
8月	0.58	4.13	0.68	$y=-0.002x^2+0.655x+1.069$	0.82	$y=-0.021x^2+0.505x+2.792$
9月	0.79	3.98	0.42	$y=-0.053x^2+0.088x+3.884$	0.87	$y=-0.016x^2+0.505x+3.251$
10月	0.83	3.21	0.28	$y=-0.022x^2+0.568x+2.37$	0.9	$y=-0.011x^2+0.582x+3.51$
11月	0.86	4.57	0.33	$y=-0.004x^2+1.099x+2.331$	0.93	$y=-0.005x^2+0.957x+2.043$
12月	0.9	3.65	0.29	$y=-0.002x^2+1.176x+0.055$	0.92	$y=-0.006x^2+0.661x+3.623$

- T2預報風速與離岸風電區域報風速之關聯性於每個月分均高，反應模式預報風場於臺中港區與離岸風電區呈現密切關聯性

26



27

月份	T2-WRF(24hr預報)					誤差修正後			
	T2 (平均)	WRF 平均	相關係數	RMSE	RRMSE	WRF 平均	相關係數	RMSE	RRMSE
1	12.24	10.94	0.9	2.9	0.27	11.83	0.9	2.61	0.22
2	9.37	10.04	0.85	2.51	0.25	9.69	0.85	2.42	0.25
3	7.24	6.78	0.86	2.57	0.38	7.03	0.87	2.41	0.34
4	6.82	5.87	0.7	3.03	0.52	6.67	0.71	2.86	0.43
5	6.77	6.38	0.69	3.35	0.53	6.28	0.69	3.37	0.54
6	6.31	7.15	0.64	2.54	0.36	6.84	0.64	2.17	0.32
7	5.9	7.19	0.56	3.07	0.43	6.5	0.57	2.56	0.39
8	4.64	5.9	0.69	3.2	0.54	5.03	0.71	2.76	0.55
9	6.92	6.06	0.88	3.09	0.51	6.29	0.88	2.96	0.47
10	9.85	9.83	0.88	2.62	0.27	10.37	0.88	2.65	0.26
11	12.23	10.77	0.93	3.07	0.28	11.57	0.93	2.75	0.24
12	11.76	11	0.94	2.98	0.27	11.45	0.94	2.76	0.24
avg	8.34	8.16	0.79	2.91	0.38	8.30	0.80	2.69	0.35

- 若誤差修正後結果更好以紅字顯示，一樣則以綠字顯示
- 更好現象: 平均風速更接近觀測平均風速、相關係數變大、RMSE與RRMSE變小

整年之平均值

- 觀測風速平均值為8.34m/s，預報風速從修正前之8.16m/s變為8.30m/s，
- 相關係數0.79提高為0.80，RMSE從2.91m/s降為2.69m/s，RRMSE從0.38降為0.35
- 以(預報值-觀測值)/觀測值來計算改善率，RMSE與RRMSE均約改善8%。

28

T2-WRF(48hr預報)									
月份	原始預報					誤差修正後			
	T2 (平均)	WRF 平均	相關係數	RMSE	RRMSE	WRF 平均	相關係數	RMSE	RRMSE
1	12.24	10.17	0.83	3.68	0.36	11.73	0.84	3.24	0.28
2	9.37	9.31	0.77	2.81	0.3	9.12	0.77	2.73	0.3
3	7.24	7.7	0.77	3.31	0.43	8.23	0.79	3.24	0.39
4	6.82	5.76	0.5	3.85	0.67	7.13	0.6	3.22	0.45
5	6.77	6.82	0.51	4.03	0.59	6.8	0.51	3.95	0.58
6	6.31	7.34	-0.1	3.75	0.51	6.66	-0.07	2.82	0.42
7	5.9	7.95	0.67	3.18	0.4	6.74	0.67	2.37	0.35
8	4.64	6.79	0.79	3.41	0.5	5.65	0.79	2.51	0.44
9	6.92	7.19	0.63	4.57	0.64	8.04	0.68	4.4	0.55
10	9.85	9.35	0.84	3.11	0.33	10.06	0.84	3.08	0.31
11	12.23	9.27	0.8	5.43	0.59	12.01	0.8	4.53	0.38
12	11.76	9.29	0.78	5.35	0.58	10.73	0.78	4.97	0.46
avg	8.34	8.08	0.65	3.87	0.49	8.58	0.67	3.42	0.41

第48小時預報之誤差修正:

- 相對觀測風速平均值之8.34m/s，誤差修正從8.08m/s修正為8.58m/s，修正前後，相關係數從0.65提高為0.67
- RMSE從3.87m/s降為3.42m/s，改善率約為11%，RRMSE從0.49降為0.41，改善率約為16%。

29

6.2 臺中港區波高預報誤差修正能力分析

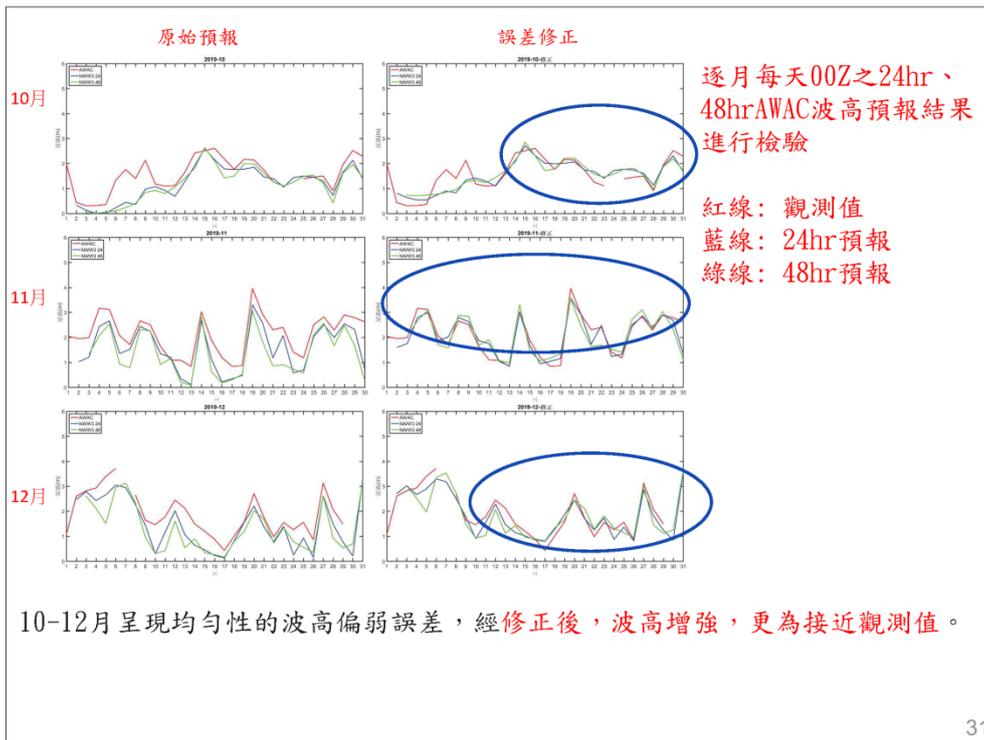
2019	AWAC(NWW3)-AWAC(觀測)				AWAC(NWW3)-AWAC(離岸)			
	相關係數	RMSE	RRMSE	方程式	相關係數	RMSE	RRMSE	方程式
1月	0.91	0.57	0.28	$y=0.118x^2+0.525x+0.866$	0.97	$y=0.001x^2+1.358x+0.115$		
2月	0.9	0.55	0.33	$y=-0.155x^2+1.201x+0.521$	0.98	$y=0.075x^2+1.191x+0.079$		
3月	0.82	0.72	0.48	$y=0.143x^2+0.432x+0.919$	0.97	$y=0.128x^2+1.063x+0.213$		
4月	0.81	0.57	0.53	$y=-0.08x^2+1.119x+0.404$	0.93	$y=-0.14x^2+1.078x+0.115$		
5月	0.85	0.55	0.49	$y=0.414x^2+0.261x+0.591$	0.94	$y=-0.222x^2+0.97x+0.198$		
6月	0.24	0.42	0.59	$y=0.055x^2+0.105x+0.612$	0.84	$y=-0.002x^2+0.802x+0.282$		
7月	0.4	0.45	0.59	$y=0.183x^2+0.081x+0.559$	0.87	$y=-0.129x^2+1.061x+0.098$		
8月	0.62	0.58	0.57	$y=0.179x^2+0.193x+0.71$	0.87	$y=-0.001x^2+1.139x+0.249$		
9月	0.93	0.62	0.4	$y=0.108x^2+0.605x+0.771$	0.96	$y=-0.066x^2+1.507x+0.116$		
10月	0.87	0.47	0.29	$y=0.008x^2+0.814x+0.536$	0.97	$y=-0.018x^2+1.413x+0.143$		
11月	0.94	0.57	0.26	$y=0.013x^2+0.802x+0.766$	0.98	$y=-0.018x^2+1.382x+0.26$		
12月	0.95	0.48	0.25	$y=0.066x^2+0.646x+0.707$	0.98	$y=0x^2+1.347x+0.187$		

紅色：
相關係數<0.7
RRMSE>0.4

- 臺中港AWAC波高之第1-24小時預報能力於夏季6-8月較低
- AWAC預報波高與離岸風電區預報波高之關聯性於每個月均高，有相當高關聯性。

2019	AWAC(NWW3)-AWAC(觀測)				AWAC(NWW3)-AWAC(離岸)			
	相關係數	RMSE	RRMSE	方程式	相關係數	RMSE	RRMSE	方程式
1月	0.88	0.65	0.32	$y=0.201x^2+0.363x+0.969$	0.96	$y=0.056x^2+1.149x+0.258$		
2月	0.87	0.58	0.35	$y=-0.127x^2+1.179x+0.499$	0.98	$y=-0.093x^2+1.167x+0.056$		
3月	0.74	0.83	0.56	$y=0.196x^2+0.24x+1.065$	0.95	$y=-0.071x^2+1.215x+0.2$		
4月	0.7	0.65	0.61	$y=-0.092x^2+1.07x+0.473$	0.91	$y=-0.122x^2+1.117x+0.128$		
5月	0.64	0.65	0.6	$y=0.11x^2+0.637x+0.559$	0.91	$y=-0.138x^2+1.083x+0.208$		
6月	0.25	0.46	0.65	$y=-0.054x^2+0.264x+0.561$	0.82	$y=0.047x^2+0.678x+0.378$		
7月	0.38	0.47	0.62	$y=0.206x^2+0.002x+0.59$	0.87	$y=0.101x^2+1.091x+0.102$		
8月	0.58	0.61	0.6	$y=0.25x^2+0.009x+0.793$	0.89	$y=-0.108x^2+1.392x+0.16$		
9月	0.85	0.72	0.46	$y=0.206x^2+0.471x+0.828$	0.95	$y=-0.09x^2+1.504x+0.141$		
10月	0.8	0.55	0.33	$y=0.088x^2+0.586x+0.706$	0.96	$y=-0.002x^2+1.351x+0.202$		
11月	0.91	0.78	0.35	$y=-0.001x^2+0.86x+0.905$	0.97	$y=-0.029x^2+1.394x+0.299$		
12月	0.94	0.59	0.3	$y=0.036x^2+0.799x+0.68$	0.97	$y=-0.021x^2+1.408x+0.196$		

30



31

AWAC-NWW3(24hr預報)									
月份	原始預報					誤差修正後			
	AWAC (平均)	NWW3 平均	相關係數	RMSE	RRMSE	NWW3 平均	相關係數	RMSE	RRMSE
1	2.04	1.48	0.91	0.6	0.4	1.96	0.92	0.31	0.16
2	1.74	1.16	0.79	0.64	0.55	1.65	0.8	0.35	0.21
3	1.45	0.73	0.77	0.83	1.14	1.37	0.78	0.4	0.29
4	1.06	0.53	0.87	0.58	1.1	0.95	0.88	0.32	0.34
5	1.07	0.67	0.81	0.52	0.78	1.07	0.85	0.33	0.31
6	0.7	0.71	-0.01	0.53	0.75	0.74	0.07	0.23	0.31
7	0.68	0.64	0.19	0.43	0.67	0.71	0.2	0.3	0.42
8	0.92	0.65	0.72	0.53	0.82	0.99	0.73	0.37	0.38
9	1.41	0.73	0.87	0.77	1.06	1.31	0.87	0.37	0.28
10	1.57	1.18	0.84	0.53	0.45	1.52	0.84	0.36	0.24
11	2.13	1.56	0.91	0.68	0.44	2.06	0.91	0.34	0.17
12	1.95	1.45	0.95	0.6	0.41	1.85	0.95	0.3	0.16
avg	1.39	0.96	0.72	0.60	0.71	1.35	0.73	0.33	0.27

- 若誤差修正後結果更好以紅字顯示，一樣則以綠字顯示
- 誤差修正更好現象：平均風速更接近觀測平均風速、相關係數變大、RMSE與RRMSE變小

整年之平均值：

- 觀測波高平均值1.39m，預報誤差修正從修正前之0.96m變為修正後之1.35m
- 修正後，相關係數從0.72略升為0.73
- RMSE從0.66m降為0.33m，改善率約為45%。RRMSE從0.71降為0.27，改善率約為62%。

32

AWAC-NWW3(48hr預報)										
月份	原始預報					誤差修正後				
	AWAC (平均)	NWW3 平均	相關係數	RMSE	RRMSE	NWW3 平均	相關係數	RMSE	RRMSE	
1	2.04	1.42	0.75	0.74	0.52	1.99	0.72	0.52	0.26	
2	1.74	1.08	0.7	0.74	0.68	1.58	0.71	0.44	0.28	
3	1.45	0.76	0.68	0.86	1.13	1.46	0.69	0.47	0.32	
4	1.06	0.51	0.68	0.67	1.32	0.97	0.68	0.47	0.48	
5	1.07	0.67	0.29	0.75	1.12	1.07	0.29	0.63	0.59	
6	0.7	0.73	0.17	0.53	0.73	0.72	0.12	0.23	0.32	
7	0.68	0.74	0.31	0.42	0.57	0.74	0.31	0.29	0.39	
8	0.92	0.63	0.64	0.6	0.95	1.01	0.7	0.4	0.4	
9	1.41	0.79	0.85	0.75	0.95	1.4	0.85	0.37	0.26	
10	1.57	1.18	0.81	0.59	0.5	1.56	0.8	0.39	0.25	
11	2.13	1.35	0.84	0.93	0.69	2.06	0.84	0.46	0.22	
12	1.95	1.25	0.88	0.83	0.66	1.76	0.88	0.47	0.27	
avg	1.39	0.93	0.63	0.70	0.82	1.36	0.63	0.43	0.34	

- 若誤差修正後結果更好以紅字顯示，一樣則以綠字顯示
- 誤差修正更好現象:平均風速更接近觀測平均風速、相關係數變大、RMSE與RRMSE變小

整年之平均值:

- 相對觀測波高平均值之1.39m，誤差修正從修正前之0.93m變為修正後之1.36m。
- 修正前後，相關係數維持在0.63
- RMSE從0.7m降為0.43m，改善率約為39%。RRMSE從0.82降為0.34，改善率約為59%。

33

6.3 臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估

- 為建立離岸風電區之1-12月海氣象環境資訊，本計畫取每月每日00Z、12Z的預報，每個預報取第1-12小時之T2風速或AWAC波高的預報值，串成整年連續之時間序列。
- T2預報風速經由表6-1之T2預報風速(x)-T2觀測風速(y)之迴歸方程式進行誤差修正，修正後之值再經由T2預報風速(x)-離岸風電區預報風速(y)之迴歸方程式進行映射，對離岸風電區之預報風速進行修正。
- 經由上述兩修正步驟後，離岸風電區預報風速之1-12月風級分佈百分比如表6-9所示。
- 運用同樣分析方法，全年之AWAC預報波高，可經由表6-5所示之兩個迴歸方程式誤差修正後，所獲得離岸風電區預報波高之1-12月波級分佈百分比如表6-10所示。

34

6.3 臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估

WRF預報，經誤差修正與映射後之離岸風電區風場分布 **3-8月，6級風以上 (≥10.8m/s)比例低於30%**

WRF離岸-修正後(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級風以下	2	20	21	19	35	9	20	35	18	6	6	7
4級風	10	16	28	50	24	68	40	35	25	17	9	16
5級風	21	19	26	21	20	23	37	21	15	18	9	17
6級風	20	32	13	4	10	0	3	7	21	24	16	21
7級風	22	13	8	6	8	0	0	2	11	25	19	11
8級風	21	0	4	0	3	0	0	0	6	8	31	13
9級風以上	4	0	0	0	0	0	0	0	5	2	10	15

誤差修正後之離岸風電區風速，在8-9級強風方面之百分比，於冬季有所增加。

8-9級風之合計百分比，在風速較大之 9、10、11、12、1月方面，
原始預報為 9%、5%、32%、27%、18%，
誤差修正後變為 11%、10%、41%、28%、25%。

35

NWW3預報，經誤差修正與映射後之離岸風電區波高分布

4-8月，5級浪(≥2m)以上比例低於30%

NWW3離岸-修正後(%)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3級以下	0	7	0	30	31	100	57	0	0	6	0	0
4級	21	29	63	52	42	0	43	91	46	25	16	33
5級	38	39	24	11	16	0	0	8	32	43	22	27
6級	25	26	9	7	8	0	0	0	17	24	33	17
7級以上	16	0	5	0	4	0	0	0	5	1	29	22

修正後之離岸風電區最大波級提升到7級，比較6-7級波高之合計百分比：

波高較大之 9、10、11、12、1月方面，
原始預報為 12%、15%、46%、33%、28%，
誤差修正後增大為 22%、25%、62%、39%、41%，
反映誤差修正後，離岸風電區較大波級之比例明顯提升，

36

(108年1月)勞動部職業安全衛生署規定：
離岸風電海域作業安全指引 - 人員進出安全檢核表

項目	檢核細項
筏艇航行/登風機或海上結構物	橡皮筏(Raft)交通艇 (適合操作浪高：0.8m以下)
人員交通船航行/登風機或海上結構物	1. 單胴船(Single Hull)交通船 (適合操作浪高：1m以下) 2. 雙胴船(Catamaran)交通船 (適合操作浪高：1~2m) 3. 小水面雙胴(SWATH)交通船 (適合操作浪高：1.5~2.5m)
中型船航行/登風機或海上結構物	服務操作船(SOV)兼交通船 (適合操作浪高：2~3m)
大型施工船航行/登風機或海上結構物	自升式安裝船(WTIV) (適合操作浪高：航行 3m；作業 1.5~2.5m)

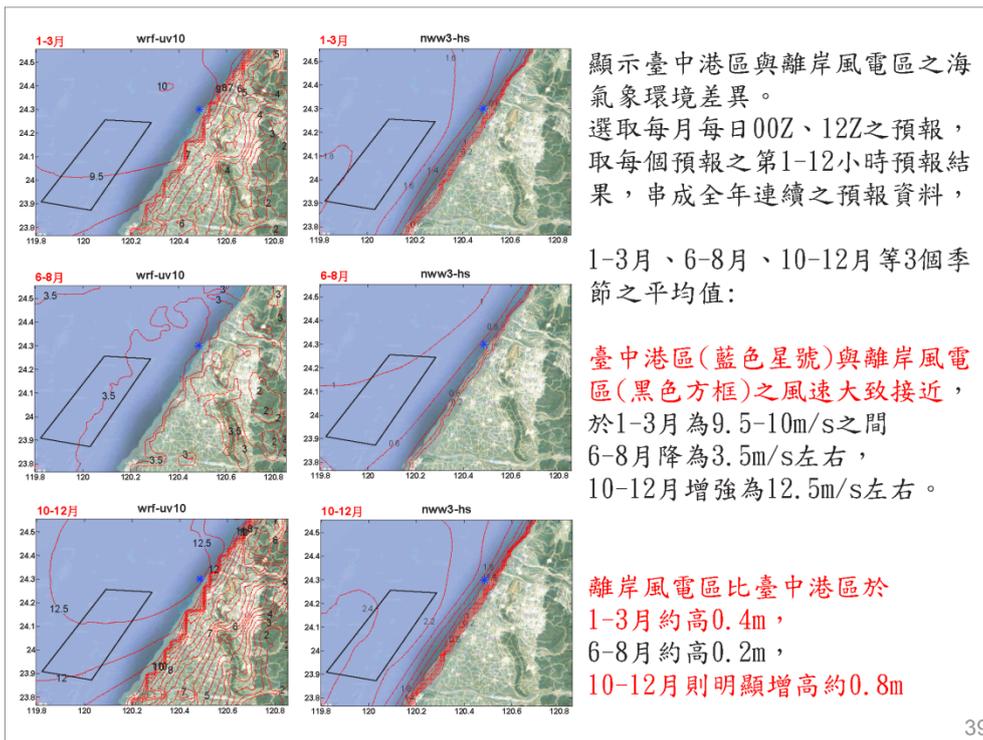
37

項目	安全限制	超過安全限制之百分比											
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
橡皮筏交通艇	波高 ≤ 0.8m	100	97	100	78	100	7	75	100	100	100	100	100
單胴交通船	波高 ≤ 1m	100	93	100	70	69	0	43	100	100	94	100	100
雙胴交通船	波高 ≤ 2m	79	64	37	18	28	0	0	9	54	69	84	67
小水面雙胴交通船	波高 ≤ 2.5m	58	49	22	11	18	0	0	3	40	44	75	51
服務操作船/兼交通船	波高 ≤ 3m	41	26	13	7	12	0	0	0	22	25	62	39
自升式安裝船	波高 ≤ 3m	41	26	13	7	12	0	0	0	22	25	62	39

離岸風電區1-12月各月超過安全限制之危險狀況百分比：

- 以較大型之小水面雙胴交通船為例，不適合其運作之危險狀況於6-8月最低(0-3%)，3-5月次低(11-22%)，11-1月最高(51-71%)，其餘月份為40-49%。
- 若以大型服務操作船/兼交通船與自升式安裝船為例，危險狀況於6-8月為0%，3-5月次低，為7-13%。11-1月危險狀況比例最高，為39-61%，9-10月與2月之危險狀況比例為22-26%。

38



39

七、結論

本報告運用觀測資料分析臺中港區海氣象變化特性與關聯性，再運用數值預報模式建立臺中港區預報資料之誤差修正系統，可提供較具代表性與準確性之離岸風電區海氣象預報資訊，主要研究成果陳述如下：

- 預報模式對秋、冬季9級風以上強風個案具有良好預報能力，優良預報個案比例於風速為92%，波高為71%。
- 預報模式對7-9月颱風個案僅具有一般預報能力，在14颱風個案中，優良預報個案於風速預報與波高預報均為43%
- 本計畫所建置之誤差修正方法，對臺中港區風速與波高均具有良好修正能力。誤差降低之改善率，風場第24、48小時預報分別為8%、11-16%，波高第24、48小時預報之誤差改善率分別為45-62%、39-59%。
- 誤差修正後之離岸風電區預報資料顯示，對大型服務操作船/兼交通船與自升式安裝船而言，不適合運作之危險狀況於6-8月為0%，3-5月為7-13%，9-10月與2月為22-26%，11-1月危險狀況比例最高，為39-61%，此結果供做船舶航行安全影響評估之用。

40

依據本計畫執行結果，後續之改進方向建議如下：

- 置入較高解析度與精準度之陸上與海底地形、不同參數測試、提高預報解析度與空間範圍。
- 因應颱風從遠處引發長浪傳送進來之特性，可考慮將有限的臺中港鄰近海域波高預報範圍擴充為全臺周邊海域範圍。
- 分析結果顯示臺中港區風、波預報結果，可經由運用觀測資料與誤差修正方法來獲得明顯改善，未來若能獲得離岸風電區觀測塔之觀測資料，當能應用來改進離岸風電區之預報結果，提供更準確之預報資訊與更精準船舶航行安全指引，助益港埠管理績效。

41

報告結束

敬請指教！

42

附錄六 工作會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

二、時間：109年3月26日(星期四)下午2時

三、地點：港灣技術研究中心3樓會議室

四、主持人：蘇科長青和

紀錄：劉明鑫

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一) 工作進度說明：

(1)本研究計畫依據工作項目辦理臺中港區風速分佈特性，本次已蒐集2017年至2019年有關臺中港區風速風向觀測站T2、T8、T1、T5、T6之觀測資料，並進行各測站風速、風向之分佈特性分析、逐月平均之風速日變化分析。

(2)另依據工作項目辦理臺中港波、流、潮分佈特性分析，蒐集2018年至2019年之相關波、流、潮資料，並將2018年波、流、潮資料依月份並分級製表。

(3)亦依據工作項目辦理臺中港波、流、潮分關聯性分析，進行2018年之波、流、潮資料之關聯性分析，獲得其相關係數，並繪製成散佈圖。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論：

(1)臺灣港務股份有限公司：

1.有關本研究題目關於船舶航行安全，因離岸風電船隻，其種類不一，耐風抗浪之特性皆不相同，建議可再蒐集相關資料列表，依據各類型船隻其耐風抗浪之特性分級。

(2)本所港灣技術研究中心：

1.有關臺中港波、流、潮分佈特性分析之流速部分，流速建議速度單位，除以(m/s)表示外，增加以節表示，以利應用單位參考使用。

2.有關臺中港波、流、潮分佈特性分析之潮位部分，潮位建議以

築港高程為基準表示，以利應用單位參考使用。

七、結論：

- (一)有關本研究第一期款，需於3月底完成請款，請合作單位儘速辦理相關請款作業。
- (二)請考量臺灣港務股份有限公司之建議，蒐集離岸風電船隻相關資料，依據各類型船隻其耐風抗浪之特性分級。
- (三)請合作團隊對依規劃之期程，進行後續研究工作。

八、散會：下午4時10分

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

時間：109年3月26日(星期四)下午2時

地點：港灣技術研究中心3樓會議室

單位	簽名
交通部航港局	
海洋委員會海巡署	
臺灣港務股份有限公司	劉立宏
本所港研中心	李雲和 劉明鑫 黃茂存
合作研究單位： 國立高雄科技大學	陳昭銘
其他	

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

二、時間：109年4月23日(星期四)下午2時

三、地點：港灣技術研究中心3樓會議室

四、主持人：蘇科長青和

紀錄：劉明鑫

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一) 工作進度說明：

(1) 本研究計畫依據工作項目辦理 2019 年臺中港區風、流、波、潮分佈特性分析，本次蒐集 2019 年有關臺中港區風速風向觀測站 T2、T8、T1 T5、T6 之觀測資料，並進行各測站風速、風向之分佈特性分析、逐月平均之風速日變化分析。

(2) 另依據工作項目辦理臺中港波、流、潮分佈特性分析，蒐集繪製 2019 年之相關波、流、潮資料，並將 2019 年波、流、潮資料依月份並分級製表，並依前次會議意見修正表單格式。

(3) 亦依據工作項目辦理臺中港波、流、潮分關聯性分析，進行 2019 年之波、流、潮資料之關聯性分析，獲得其相關係數，並繪製成散佈圖。

(4) 依前次會議建議，參考勞動部職業安全衛生署規定離岸風電海域作業安全指引及財團法人船舶暨海洋產業研發中心研究機構能源科技專案之內容，提出風浪對離岸風電工作船之影響。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. 有關本研究蒐集之波、流、潮資料，建議對相關資料進行檢核，避免將錯誤之資料納入統計之中。

2. 有關本研究夏季期間之流速過大原因，可再進行探討。

七、結論：

(一) 有關本研究蒐集之波、流、潮資料，建議對相關資料進行檢核。

(二) 有關本研究夏季期間之流速過大原因，建議可再進行探討。

(三)請合作團隊簡報時，於會議中說明工作項目及進度，可考量依干特圖進行說明。

(四)請合作團隊對依規劃之期程，進行後續研究工作。

八、散會：下午 3 時 30 分

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

時間：109年4月23日(星期四)下午2時

地點：港灣技術研究中心3樓會議室

單位	簽名
交通部航港局	
海洋委員會海巡署	
臺灣港務股份有限公司	劉正榮
本所港研中心	孫吉和 劉明倉 黃長行 許義宏 林廷
合作研究單位： 國立高雄科技大學	陳昭銘
其他	

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

- 一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議
- 二、時間：109年5月28日(星期四)下午2時
- 三、地點：港灣技術研究中心3樓會議室
- 四、主持人：蘇科長青和
紀錄：劉明鑫
- 五、出(列)席人員：如後附簽到表
- 六、討論議題：
 - (1)本研究計畫依據工作項目辦理異常風場與流速之檢驗，將異常之資料提出並繪製成圖。
 - (2)本次會議依前次會議結論分析夏季期間之流速過大原因，共計分析59天的個案，探討綜觀天氣系統對於流速可能之影響如鋒面、颱風外圍環流、午後雷陣雨、西南風及低壓帶、西南風(氣流)皆為可能之原因。
 - (3)另對離岸風電區波高之預報特性進行說明，有關模式波高分布比觀測 AWAC 為弱；模式離岸風電區波高比模式臺中港區波高為強，並未來將依此特性對於預報之區域進行映射，修正預報區域之數值。
- 七、結論：請合作團隊對依規劃之期程，進行後續研究工作。
- 八、散會：下午3時30分

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

時間：109年5月28日(星期四)下午2時

地點：港灣技術研究中心3樓會議室

單位	簽名
交通部航港局	
海洋委員會海巡署	
臺灣港務股份有限公司	
本所港研中心	郭子 劉明春
合作研究單位： 國立高雄科技大學	陳昭銘
其他	

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展
(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」合作研究案 6 月份工作會議

二、時間：109 年 6 月 18 日(星期四)下午 2 時

三、地點：港灣技術研究中心 3 樓會議室

四、主持人：蘇科長青和

紀錄：劉明鑫

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一) 工作進度說明：

- 1.完成臺中港海氣象關聯性分析。
- 2.完成臺中港鄰近海域風波預報與繳交期中報告初稿。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.臺中港區風、波之預報特性分析討論。
- 2.離岸風電區風、波之預報特性分析討論。
- 3.臺中港浮標之模式檢驗分析討論。

七、結論：

(一)請合作團隊依規劃之期程，進行後續研究工作。

(二)期中報告審查預定於 7 月辦理，屆時將另案通知，並請合作單位配合時程辦理。

八、散會：下午 3 時 40 分

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

時間：109年6月18日(星期四)下午2時

地點：港灣技術研究中心3樓會議室

單位	簽名
交通部航港局	
海洋委員會海巡署	
臺灣港務股份有限公司	劉立宏
本所港研中心	蘇晉和 黃茂信
合作研究單位： 國立高雄科技大學	陳昭銘
其他	

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展
(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」期中報告
審查會議紀錄

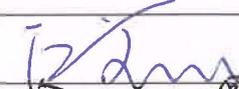
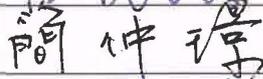
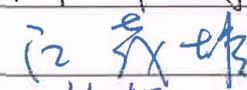
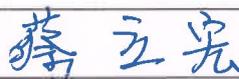
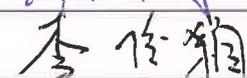
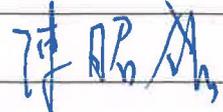
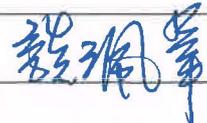
二、時間：民國 109 年 7 月 7 日(星期二) 13 時 40 分

三、地點：本中心 2 樓簡報室

四、主席：蔡主任立宏

記錄：劉明鑫

五、出席：

服務單位	姓名	簽名
國立成功大學水工試驗所	江文山委員	
特聘專家學者	簡仲璟委員	
國立臺灣大學	江茂雄委員	
臺灣港務股份有限公司	王錦榮委員	
主辦單位：本所港研中心		
本所港研中心	蔡主任立宏	
本所港研中心	蘇青和委員	
本所港研中心	李俊穎委員	
本所港研中心	劉明鑫助理研究員	
執行單位：國立高雄科技大學		
		







六、主席致詞：(略)

七、合作研究單位簡報：(略)

八、審查委員審查意見：

1. 蔡主任立宏

- (1)請探討各風測站之間的相關性。
- (2)風向的特性請再增列說明，如季節性、時變化等。
- (3)模式驗證使用的為氣象局的浮標，請注意其風測站設置於浮標的高度。
- (4)有關分析資料的來源應確認其物理意義為何，如流為表面流或剖面流。

2. 蘇青和委員

- (1)請依本所研究報告格式撰寫。
- (2)第一章應加強研究計畫之前人研究、分年研究工作內容及時程(甘特圖)。
- (3)第二章臺中港海氣象特性分析。除相關分析外，建議增加其他分析方法，例如能譜分析等。
- (4)第二章 P2-11 圖 2-3 圖說明「日變化」應改為「時變化」。
- (5)第三章風場模式及波場模式相關理論介紹應詳列於附錄。
- (6)第三章風波模式成果檢核及比較，除相關分析，建議增歷線圖比對(誤差分析)，誤差量比對等。
- (7)強風及大浪分析，風浪對船舶航行之影響分析，皆為本研究工作重點，應強化其研究成果。

3. 李俊穎委員

- (1)有關風場預報(WRF)建議補述各層初始及邊界條件，並說明各層模組除解析度外其它差異為何？
- (2)有關波浪預報(NWWIII)建議補述相關初始及邊界條件與地形水深條件。

- (3)有關潮位分級一般較少以一般潮位高度劃分，其用意為何？
- (4)有關預報與觀測為何採用 2 次曲線作回歸曲線？
- (5)所採用觀測資料之風速、波高及流速是否分別為平均風速、示性波高及表面流速？請加以補述。

4.簡仲璟委員

- (1)觀測資料為何從 2017 年開始？為增加資料統計分析之代表性，建議增加資料蒐集時間長度。圖 2-1 中本計畫取用之風速站標出即可，餘可刪除。
- (2)海氣象變數之關聯性分析中，風速與流速有需要作相關分析？是否欲探討風驅流？若是則海流資料中，如何擷取出單純的風驅流成份？（如何去除潮流、恆流、沿岸流等。）
- (3)中央氣象局也作 TWRF 及 NWW3 模式之運算，本計畫和 CWB 相較有何差異？宜補充說明。
- (4)預報誤差分析除了以迴歸分析外，建議增加其他統計分析上之誤差分析方法，以得較具體量化之誤差。目前僅相關係數高低及其預報與觀測相較偏強或偏弱之定性說明。
- (5)預報與觀測之差異也不宜僅以不同風及之發生機率作比較。建議再增加其他比較方式。為何風電區預報比 T2 區預報（及觀測）為弱？（如第 3-22 頁所述）
- (6)對船舶航行安全而言，瞬間強風的安全影響為何。

5.江茂雄委員

- (1)觀測站量測高度為何？（T2,T8,T1,T5,T6）。
- (2)建議提供執行計劃進度表或甘特圖，以利預定進度與執行進度之比較及說明。期中及期末之預期成果與實際成果之說明，也建議表列說明。
- (3)波高預測值與觀測值差異仍大，是否有需再進一步修改模式之參數。
- (4)離岸風電區風速、波高資料來源為何？量測高度是否與臺中港區量測之高度一致。
- (5)目前之預報結果，9 月～2 月最佳，6 月～8 月最低，但未來離岸

風場運作卻會集中於4~9月，是否可能持續修正模式，提高預測之準確度！

(6)台電測風塔資料應可向台電尋求合作及資料提供！

6. 江文山委員

(1)P1-3 提到中央氣象預報的相關資訊，請再確認。

(2)第二章針對風速、波高與流速的相關性作初步分析，以多項式迴歸為主。然就波高與風速的關係，基於風浪成長理論，文獻上有相關的經驗式，建議可進一步依此理論進行探討。另流速的驅動力以潮汐、風速等為主要因子，建議可分別探討其間關係，可得到較合理的結果。

(3)P3-4 預測 12 小時波高與實測波高的分析探討，請詳細說明作法。

(4)P3-30 實測與預測風與波高的比較，請詳細說明作法。

(5)報告中對計劃題目風對臺中港海域船舶航行安全影響，缺乏論述，建議後續補述說明。

(6)報告中對於數據分析結果說明詳細，建議對相關成因補充說明。

九、合作研究單位答覆(略)

十、主席結論：

1.經出席委員同意，本計畫期中報告內容審查通過。

2.請合作單位依委員審查意見修正後檢送定稿，並依契約規定期程辦理請款事宜。

十一、散會(下午 3 時 10 分)

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展
(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」合作研究
案 8 月份工作會議

二、時間：109 年 8 月 20 日(星期四)下午 2 時

三、地點：港灣技術研究中心 3 樓會議室

四、主持人：蘇科長青和

紀錄：劉明鑫

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一) 工作進度說明：

1. 臺中港區潮差與潮、流頻譜之分析。
2. 臺中港區強風個案之風、波預報特性分析。
3. 臺中港區颱風個案之風、波預報特性分析。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論：

1. 於臺中港區選取具有完整逐時潮位資料之 2019 年 5-7 月、10-12 月，逐月對潮位資料進行頻譜分析(power spectral analysis)，其分析結果半日潮為顯著，全日潮則接近顯著。
2. 臺中港區強風個案之風、波預報特性分析討論，以臺中港 T2 測站為例，依數個分析項目檢驗模式預報能力。
3. 臺中港區颱風個案之風、波預報特性分析討論，以 2016 年至 2019 年颱風案例檢驗其模式預報能力，並製作平均預報特性彙整表。

七、結論：

- (一) 建議合作單位有關流速頻譜分析以兩個分量去探討分析。
- (二) 建議合作單位有關波高預報特性再以季節區分進行分析。
- (三) 請合作團隊依規劃之期程，進行後續研究工作。

八、散會：下午 3 時 50 分

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

時間：109年8月20日(星期四)下午2時

地點：港灣技術研究中心3樓會議室

單位	簽名
交通部航港局	
海洋委員會海巡署	
臺灣港務股份有限公司	
本所港研中心	李若子 劉明宏
合作研究單位： 國立高雄科技大學	陳昭銘
其他	

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展
(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」合作研究案 9 月份工作會議

二、時間：109 年 9 月 24 日(星期四)下午 2 時

三、地點：港灣技術研究中心 3 樓會議室

四、主持人：蘇科長青和

紀錄：劉明鑫

五、出(列)席人員：如後附簽到表

六、討論議題：

(一) 工作進度說明：

- 1.臺中港區風場預報之修正結果分析。
- 2.臺中港區波高預報之修正結果分析。
- 3.對離岸風電區船舶航行安全之影響。

(二) 針對目前研究方向與執行情形進行討論：

- 1.於臺中港區測站運用實測之資料與模式之資料進行誤差修正，誤差修正完畢後，再將其映射至離岸風電區之模式，並列出各月有關臺中港區模式、臺中港區測站及離岸風電區其相關係數及相關方程式。
- 2.將風、波以逐月每天 00Z 之 24 小時、48 小時 T2 風速預報結果進行檢驗，並繪製歷線圖比較原始預報與誤差修正後之相位及強度。
- 3.有關離岸風電區船舶航行安全之影響，運用 WRF 模式預報將誤差修正與映射後之離岸風電區風場分布情形繪製成表，另運用 NWW3 波浪模式預報將誤差修正與映射後之離岸風電區波高分布情形繪製成表，配合勞動部職業安全衛生署離岸風電海域作業安全指引進行討論。

七、結論：

- (一) 建議合作單位有關船舶航行安全之影響，除針對離岸風電區外再增加臺中港區進行分析及相關統計表單。
- (二) 請合作團隊依規劃之期程，進行後續研究工作，並於 109 年 10

月 26 日以前提交送期末報告初稿。

八、散會：下午 3 時 30 分

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

時間：109年9月24日(星期四)下午2時

地點：港灣技術研究中心3樓會議室

單位	簽名
交通部航港局	
海洋委員會海巡署	
臺灣港務股份有限公司	
本所港研中心	陳昭銘 趙明義
合作研究單位： 國立高雄科技大學	陳昭銘
其他	

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

- 一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」合作研究案 10 月份工作會議
- 二、時間：109 年 10 月 16 日(星期五)上午 10 時 30 分
- 三、地點：港灣技術研究中心 3 樓會議室
- 四、主持人：蘇科長青和
紀錄：劉明鑫
- 五、出（列）席人員：如後附簽到表
- 六、討論議題：
 - （一）工作進度說明：
 - 1.本案計畫目標說明。
 - 2.期中審查意見回覆說明。
 - 3.期末報告內容說明。
 - （二）針對目前研究方向與執行情形進行討論：
 - 1.有關期末報告表格如表 2-1，建議將表格配置成 1 頁，以精簡報告版面，並請重新檢視各章節。
 - 2.有關期末報告 P2-25，建議將 P2-26 圖放置於 P2-25，以精簡報告版面，並請重新檢視各章節。
 - 3.期末報告簡報內容，可再增加有關期中相關工作內容，以利審查委員瞭解本案計畫。
 - 4.有關期末報告表格，建議相關表格儘量使用可編製之文字格式，而不要使用圖片，方便未來進行編修工作，並請重新檢視各章節。
- 七、結論：請國立高雄科技大學於 109 年 10 月 26 日以前提送紙本期末報告初稿至本中心。
- 八、散會：上午 11 時 50 分

會議簽到表

會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展(4/4)-
風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」工作會議

時間：109年10月16日(星期五)上午10時30分

地點：港灣技術研究中心3樓會議室

單位	簽名
交通部航港局	
海洋委員會海巡署	
臺灣港務股份有限公司	
本所港研中心	陳吉和 劉明義
合作研究單位： 國立高雄科技大學	陳昭銘
其他	

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心會議紀錄

一、會議名稱：「MOTC-IOT-109-H2CB004 離岸風電建置與航安技術發展
(4/4)-風對臺中港鄰近海域船舶航行安全影響評估」期末報告
審查會議紀錄

二、時間：民國 109 年 11 月 6 日(星期五) 15 時

三、地點：本中心 2 樓簡報室

四、主席：蔡主任立宏

記錄：劉明鑫

五、出席：

服務單位	姓名	簽名
國立成功大學水工試驗所	江文山委員	江文山
國立中山大學	曾以帆委員	請假
國立臺灣大學	江茂雄委員	江茂雄
臺灣港務股份有限公司	王錦榮委員	王錦榮
主辦單位：本所港研中心		
本所港研中心	蔡主任立宏	蔡立宏
本所港研中心	蘇青和委員	蘇青和
本所港研中心	李俊穎委員	李俊穎
本所港研中心	劉明鑫助理研究員	劉明鑫
執行單位：國立高雄科技大學		
	陳昭銘	
	張珮華	

列席單位：		
交通部航港局		
臺灣港務股份有限公司 臺中分公司	葉添鈞	

六、主席致詞：(略)

七、合作研究單位簡報：(略)

八、審查委員審查意見：

1. 蔡主任立宏

- (1)有關台電測風塔資料是否有直接向相關單位接洽或是僅以網路查詢?
- (2)有關期末報告摘要須包含計畫的緣由、目的、方法、成果、應用，這五個部分需要呈現在摘要裡面，另其格式與本所規定不符，請再修正整理。
- (3)請探討各風測站之間的相關性，即最外面風測站與其它內陸風測站間的關係性，並進行分析。
- (4)有關報告結論的部分，不僅是顯示成果而已，論述上請在修正。
- (5)可以再探討何者颱風路徑運用本預報模式可獲得較佳的預報成果。

2. 蘇青和委員

- (1)第 2 章能譜分析結果，潮位圖 2.5 及潮流圖 2.6 顯示主要頻率位置有差異建議統一說明。
- (2)第 3 章風場分四層模擬計算，但波場僅分一層，建議說明原因? 風場預報成果較波場預報為佳，是否有其原因?
- (3)波場預報結果大都較觀測值為小，其原因為何?
- (4)空間與時間降尺度是否可改善風場及波場之精度?
- (5)船舶航行安全影響評估，可整合基地母港臺中港及離岸電場址兩地成果。

3. 李俊穎委員

- (1)有關觀測之 T2 風與偵測風速比對，因 T2 高程為 16.62m，可能與海面上 10m 風有差異，建議可修改後再比較。
- (2)建議補述分析所模擬颱風預報路徑與實際路徑差異。
- (3)依 3.1 節波浪預報範圍，會無法反應範圍外颱風事件之風浪變

化，尤其是湧浪部份，建議可再評估，納入後續計畫。

(4)請補充說明本系統運作時軟硬體，作為後續評估參考。

4.王錦榮委員

(1)建議增加風機安裝前後，對應風速-流速之變化及預報分析。

(2)瞬間強風對船舶航安的影響，建議未來可以列入分析。

(3)簡報 P18，颱風個案之預報，其基準日以前 2 天與後 1 天為預報檢驗間共 4 天，建議延伸到颱風後 2 天。

(4)建議增加由台灣海峽北上之颱風進行預報。

(5)預簡報 P24 缺離岸風電區觀測資料，建議可與風電業者合作，以取得觀測值。

(6)建議如本研究之結論，未來應置入較高解析度與精準度之陸上與海底地形，不同參數測試，以提高預報解析度。

5.江茂雄委員

(1)台電測風塔資料目前尚未於網站公開，但可透過台電再生能源處協助取得，建議未來可透過。

(2)颱風預報準確度較低，可以了解，數值建模預測對發生頻率低的極端條件預測誤差會較大！故可能需要針對極端條件下進行補償及修正。

6.江文山委員

(1)計畫目標之一是提供風、波場資料作為離岸風場施工維護所需之參考，未來風機建置之後，這些大型結構物，可能對風場造成振動，使得在離岸風機海域中船行受到影響，從專業經驗來看這影響大概是如何？

(2) P2-2，”潮位為即時觀測高度”，一般而言應該是某段時間的平均值，請再確認，並請補充說明為何種潮位系統。

(3) P2-5，圖 2.2、圖 3.17 物理量請加註單位。

(4)節 2.3 海氣象變數之關聯性分析，純就數據作統計分析，較缺乏理論機制的基礎。建議補充說明該項分析的動機與目的係基於要務上簡易應用的出發點，因此未針對各種機制進行細部分析。

(5) P3-13 在 T2 站預報風速與實測風速比較顯示強風時預報偏弱，因 T2 站設在燈塔結構體上，是否受此影響，建議可再檢視。

(6) P4-10 強風預報之分析結果說明於秋春季之預報能力高於冬季，請再進一步確認。

(7) 颱風預報分析建議歸納不同路徑的預報能力說明。

7.臺灣港務股份有限公司臺中分公司

(1)建議合作團隊可以與台電的測風塔資料結合，並提供資訊畫面顯示當日的風場狀況是否能出去作業，以利風機業者提出申請並作為收費的依據。

九、合作研究單位答覆(略)

十、主席結論：

1.經出席委員同意，本計畫期末報告內容審查通過。

2.經主席裁示合作單位期末報告於 11 月 27 日止，須依審查委員意見完成報告修正並提送報告至本所。

十一、散會(下午 4 時 33 分)