110-050-7C72
MOTC-IOT-109-H2CB001g

整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統

交通部運輸研究所

中華民國 110 年 2 月

110

整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統

交通部運輸研究所

GPN：1011000165
定價 300 元

110-050-7C72
MOTC-IOT-109-H2CB001g

整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統

著者：張憲國、陳蔚瑋、蔡瑞舫、蘇青和、黃茂信、羅冠顯

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

整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統 / 張憲國, 陳蔚瑋, 蔡瑞舫, 蘇青和, 黃茂信, 羅冠顯著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 110.02
面 ; 公分
ISBN 978-986-531-227-5(平裝)

1.航運管理 2.運輸安全 3.風險管理

557.4 110000753

整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統

著　　者：張憲國、陳蔚瑋、蔡瑞舫、蘇青和、黃茂信、羅冠顯
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 2 月
印 刷 者：OOOOOOOOO
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：300 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 臺中市中區中山路 6 號•電話：(04)2226-0330

GPN：1011000165　　ISBN：978-986-531-227-5（平裝）

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

<table>
<tr><td colspan="6">出版品名稱：整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統</td></tr>
<tr><td colspan="3">國際標準書號（或叢刊號）
ISBN 978-986-531-227-5 (平裝)</td><td>政府出版品統一編號
1011000165</td><td>運輸研究所出版品編號
110-050-7C72</td><td>計畫編號
MOTC-IOT-109-H2CB001g</td></tr>
<tr><td colspan="3">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：黃茂信、羅冠顯
聯絡電話：04-26587120
傳真號碼：04-26560661</td><td colspan="2">合作研究單位：天禾資訊有限公司
計畫主持人：蔡瑞舫
協同主持人：張憲國
研究人員：胡順堯、張益誠、李晨瑞、劉勁成、陳蔚瑋
地址：新竹市東區金山里金山十街 32 號 2 樓
聯絡電話：04-2708-3575</td><td>研究期間
109 年 3 月
至
109 年 12 月</td></tr>
<tr><td colspan="6">關鍵詞：自動識別系統、波浪預測、資料庫、人工智慧、預測系統</td></tr>
<tr><td colspan="6">摘要：
臺灣地理位置位於東北亞和東南亞交界處，為海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要之熱點。然而，我國位處之地理位置卻易受颱風或異常波浪侵襲，西北太平洋地區每年平均生成 26.7 個颱風，其中平均 3.6 個颱風對臺灣本島造成重大影響，颱風所引起的巨浪除對港灣設施造成破壞，亦困擾船舶航行與碇靠之管理，本研究發展臺灣周邊海域的風浪預警介面，研發能快速計算颱風時期臺灣周邊海域颱風波浪的自動化整合生成模組，並利用現有的 AIS 系統配合風浪預測資料進行告警系統範圍的劃設，因應我國政府之國家長期發展策略對於臺灣海洋政策管理與施政方針所需，建立廣泛的船舶航行安全監控，可配合提供交通部航港局於颱風期間加強船舶航行安全管理，並提供海洋委員會海巡署執行海上救難之參考，亦提供港務公司船舶航行安全資訊以及船舶航行規劃與離港疏散之參考依據，以提升臺灣海域船舶安全。
此外，延續本所近年來在 AIS 系統與資料庫的相關研究，持續發展船舶航行安全風險評估系統，首先透過轉移港研中心往昔 AIS 資料至更適合處理巨量數據的文檔式 NoSQL 資料庫，以提升 AIS 資料庫的擴充性與效能。並以此資料庫做為大數據資料源配合人工智慧技術建立船舶航跡預測模型，再透過統計分析界定船舶行為異常、位置異常等情況的告警原則，以布袋港為示範港建立智慧化船舶航行安全風險評估系統，期能降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定船停靠之安全。</td></tr>
<tr><td>出版日期</td><td>頁數</td><td>定價</td><td colspan="3">本 出 版 品 取 得 方 式</td></tr>
<tr><td>110 年 2 月</td><td>281</td><td>300</td><td colspan="3">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。</td></tr>
<tr><td colspan="6">備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。</td></tr>
</table>

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS

INSTITUTE OF TRANSPORTATION

MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE: Development of the monitoring and warning systems for ship navigation considering wind and wave simulation			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-227-5(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011000165	IOT SERIAL NUMBER 110-050-7C72	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-109-H2CB001g
DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Ho Su PROJECT STAFF: Mao-Hsing Huang, Guan-Sian Luo PHONE: 886-4-26587120 FAX: 886-4-26560661			PROJECT PERIOD FROM Mar. 2020 TO Dec. 2020
RESEARCH AGENCY: Tenher Co., Ltd PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jui-Fang Tsai Co-PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsien-Kuo Chang PROJECT STAFF: Shun-Yao Hu, Yi-Cheng Chang, Chen-Rui Li, Jin-Cheng Liou, Wei-Wei Chen ADDRESS: 2F., No. 32, Jinshan 10th St., East Dist., Hsinchu City 300, Taiwan (R.O.C.) PHONE: 886-4-2708-3575			
KEY WORDS: automatic identification system；wave prediction；database；artificial intelligence；warning system			

Abstract:

Taiwan is located at the intersection between the geographical subregions of North-East Asia and South-East Asia to have a key junction of ship navigation between both subregions and to be a hot spot of sea transportation and economics and trade. However, the waters around Taiwan are suffering huge waves during typhoon periods. Averaged 3.6 typhoons per year pass through or by Taiwan from an average of 26.7 typhoons occurring in the region of the west Pacific Ocean and. Those typhoons cause strong winds and large waves to have severe impacts on sea transportation in the waters. Based on the demand for safe sea transportation during typhoon periods, monitoring and warning systems for ship navigation are required to be developed considering fast wind and wave simulation associated with AIS.

Following the recent researches for AIS and its related data base supported by the Center of Harbor & Marine Technology this project is to develop a new warning system for safe ship navigation. The key works are: 1. Converting the original data of AIS storaged at the Center of Harbor & Marine Technology to a format for a NoSQL data base that can be easily used for the treatment of big data for data augmentability and efficiency; 2 Applying artificial intelligence techniques to simulating ship tracks and to determining the criteria of abnormal sailing behaviors and stranding positions. The warning system is established and examined for the Budai Port as an example.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE
February 2021	281	300

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications

目錄

圖目錄

表目錄

第一章 前言

1.1 研究動機與目的

臺灣不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要之熱點，然而地理位置卻易受颱風或異常波浪侵襲，港灣周邊熱絡的船舶活動也存在諸多不可抗拒的危險。本研究主要目的是設計一套自動化預警介面，提供臺灣周邊海域即時的航行安全預警。針對即將發生的颱風事件進行波場模擬，並將結果與現有船舶自動識別系統(AIS)的資料，建立船舶航行安全大數據資料庫，另透過人工智慧(AI)技術建立船行預測模型，進而建立更完善的 AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統，使其能因應海象與船舶航行時的異常行為等訊號，在災害發生前先行告警，以降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定船停靠之安全。

根據世界經濟合作暨發展組織(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)2016 年的統計資料顯示，全球貿易量統計 85%的貨物仍透過海上運輸，全球海運貿易價值約佔貿易總額約 50%，可見全球貿易物流的主要方式仍以海洋運輸為大宗。因此，如何發展智慧化船舶監測系統，有效整合我國周遭海域船舶資訊，提升海洋船舶航行安全，顯得格外重要。

智慧化船舶監測系統需將電子通訊技術、資料庫系統、計算伺服器與網路，有效整合並應用於船舶、港埠及船岸之間的管理與監控，讓使用者藉由系統整合的相關資訊，快速了解船舶航行間可能發生的問題，進而進行告警與災害的事前防治。為進一步提升船舶於海上航行的安全，針對交通部運輸研究所 (以下簡稱本所)目前建置的船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)的大數據資料，整合風浪推算模式之結果，並對 AIS 資料進行資料前處理，建立大數據資料庫。透過資料探勘技術，挖掘 AIS 資料庫的船舶資訊，排除不適當的資料，再以 AI 技術開發船舶行為預測模型，配合地形資料與風浪預測資料，建立智慧化船舶航行安全風險評估系統，達到擱淺告警、船艏異常告警及漂流告警等預測判斷功能。

1.2 文獻回顧

1.2.1 船舶安全管理

國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)推動的「e化航行」是加強科技發展以應用於提升海上安全、保安與海洋環境之保護。其中主要技術包括：1.充分涵蓋的電子航行圖(Electronic Navigational Chart)；2.完整可靠的定位導航系統；3.船岸兩端以標準化人機界面，提供分析管理與決策支援的整合系統；4.高效且經濟的通訊架構。IMO 於 2008 年訂定「e 化航行策略」，使概念與策略的研擬進入實現階段。歐盟、美、加、日、韓、澳洲等各國都已研擬策略積極投入研發。e 化航行的第一步是使航海作業從紙海圖轉移至使用電子航行圖資料庫的「電子海圖顯示與資訊系統(Electronic Chart Display and Information System,簡稱 ECDIS)」。ECDIS 已成為海上人命安全國際公約(Safety of Life At Sea Convention)強制船舶安裝的配備，分階段由 2012 至 2018 年逐步實施。在後續階段則期望能善用 ECDIS 執行航路計畫、航路監視及航程記錄，在岸上透過海事服務，協助船舶航路計畫與監視，提升航行安全、效率與環境保護。

我國海域之船舶數量繁多且海洋事務活動頻繁，在未來水域交通密度持續增高的情況下，將使得海上交通風險程度提高，依「海上人命安全國際公約」強制要求所有客船、航行國際航線總噸位 300 以上的貨船，及非航行國際航線總噸位 500 以上的貨船，應裝設 AIS 船載臺，交通部於民國 97 年已配合修訂「船舶設備規則」，依公約規定要求符合噸位條件的國籍船舶，應裝設船舶自動辨識系統(Automatic Identification System, AIS)，為強化船舶航行安全，交通部規劃修正「船舶設備規則」，於民國 108 年 8 月 14 日修正各式船舶應裝設船舶自動識別系統(AIS)船載臺的相關規定。

交通部於民國 102 年提出「運輸政策白皮書-海運」，其中策略 15 由於港內海事案件發生頻率較高，強化港口安全服務與管理，可有效提升船舶航行安全。落實國際海事組織制定之港口國管制作業程序與規範，將提升導航之服務管理、港口管制檢查工作，可提升及國際交

流、強化船籍國管制及加強國內載客船舶安全管理等。策略 16 為提升海難災害防救應變能力，其行動方案為加強救難、搜救組織與執行能力、檢討海事評議制度及強化商港區域油污染防制能力。策略 17 為強化海運安全機制，著重於加強海運安全組織之督導與執行能力，透過加強安全文化教育訓練，強化管理機制、評鑑稽核與執行能力，形塑正確的安全文化，並藉由檢討改善並落實我國海事調查作業流程，建置與國際接軌之海事資料統計與分析制度，以預防海事案件發生。策略 18 為海運安全法規與制度為海運安全之基石，於持續檢討修正航運法規及相關子法，使其配合國際公約與國際接軌，並積極推動「海上交通安全法」之立法，以建立完善的海事法規體系，增進海運安全。上述研擬之策略與相關規定，顯示國內相當重視船舶航行安全，期望能透過航行監測與與海事防災服務的技術提升，加強國內航海安全與管理。此外，交通部已於 108 年底公布 2020 運輸政策白皮書，基於 102 年版，2020 年版提出協助航運發展，成為產業堅強後盾的政策，以及包括獎勵振興、法規調整等健全航運產業經營環境的策略與行動方案，並以推動航港產業升級，做為航港整合與轉型的長期方向。針對智慧轉型提出推動航港智慧轉型等策略，包括區塊鏈技術的應用、相關航港發展資料庫與船員智慧服務平臺的建置與強化、船舶操航智能輔助系統、港區智慧交通陸運系統以及智慧監控管理系統等行動方案，提升港口經營效率與安全。此外，包括港口之綠色與永續發展、海運安全法規制度強化、加入海運相關國際組織等，均為海運發展之長期持續性工作，2020 年版仍納入相關策略並微調行動方案。

本所研究報告「船舶監控預警系統之研究」彙整了國內目前 AIS 在各目標的相關成果，包括：1.AIS 接收站架設情況；2.利用中繼傳輸技術擴展 AIS 系統的接受範圍；3.統計各港口船舶軌跡與航路分布，藉由船舶最適化的航路選擇，達成船舶節能減碳的成效；4.以 AIS 歷史資料與即時動態資料開發的航跡分析探勘與即時預警技術，發展統計分析碰撞、擱淺、航儀或機械故障、漂流等事故；5.整合 AIS 與數位選擇性傳呼系統，能第一時間進行船舶救援調度，以爭取黃金救援時間；6.透過軌跡探勘取得慣用航路，並依據海圖水深區

域以及航跡探勘所得參數，提供自動化偵測警示功能。

交通部航港局為提升船舶航行安全，減少海難發生，強化海難救助，監控我國海域交通流，以利持續評估航行風險並規劃或調整航標與航路系統之設置，以自動識別系統(Automatic Identification System , AIS)為基礎，我國於全國燈塔燈建置 33 座 AIS，如圖 1.2.1 所示。

資料來源：交通部航港局網站

圖 1.2.1 交通部航港局 AIS 接收站點

美國威廉王子灣在一次船舶油汙洩漏事件後，展開許多研究與措施擬定，期望防止未來發生重大環境污染事件。Merrick 等人(2002)研究中提及當地成立了一個指導委員會，代表了業界、政府、當地公民聘請顧問團隊，創造了威廉王子灣風險評估系統，內容包括系統模擬、數據分析和專家判斷的詳細模型，該模型能評估涉及 PWS 營運之油船事故的當前風險和減少這種風險的措施。風險模型顯示可減少 75%的石油洩漏風險，並降低 68%的事故發生頻率。Merrick 等人(2005; 2006)研究中提及威廉王子灣風險評估系統未評估結果的不確定性，

因此，被認為是有前途但不完整的。評估這種不確定性的困難，在於動態環境與數據稀少的問題。而後開發了兩種方法，可用於評估海事風險評估中的不確定性，對具有潛在事故情況的貝葉斯模擬，及對描述這些情況的因素與專家判斷之間的關係，進行貝葉斯多元回歸分析。並結合兩種方法對兩個案例研究進行全面的風險和不確定性評估。Wang 等人(2004)回顧了海事風險評估的現狀，並概述設計選擇框架和設計優化框架，討論控制工程技術及其在風險建模和決策中的應用，再介紹 4 種新穎的風險建模和決策方法與其實例。說明在此類方法可解決常規技術無法應用的問題，以促進風險建模和決策。Balmat 等人(2009)提出了一種適用於海上安全的模糊風險評估方法，可自動定義在決策系統中使用的單個船舶風險因素，以模糊邏輯的模塊化和分層結構，獲得靜態風險因子和動態風險因子組成的模糊風險因子。靜態風險因素評估，考慮了與船舶有關的一些靜態數據(年齡、船旗、總噸位、公司數量、滯留時間和類型)。動態風險因素則考慮氣象條件(海況、風速和能見度)和當日時刻來評估。基於 2009 年的研究，Balmat 等人(2011)再提出一種模糊方法，以評估應用於海上安全的海上風險評估，尤其是對公海的污染預防，該系統可根據船舶的特性和天氣狀況為每艘船舶定義風險因素，並首先考慮了船速的變化。Zhang 等人(2016)建立了一種貝葉斯網路模型來預測天津港的船舶事故，該研究採用 2008 年至 2013 年的 6 年歷史事故數據，進行統計分析，再以貝葉斯網路來描述指標變量與事故後果之相關，通過敏感性分析確定影響性較大的指標變量，包括航行區域、船舶類型和一天中的時間，結果顯示事故發生的位置最敏感，其次是時間和船長。

上述國外早期文獻顯示在 AIS 系統尚未廣泛應用時，往昔的船舶風險著重於單一船舶的歷史資料分析，此外，為了考慮風險與不確定性，逐漸由統計方法與專家系統，轉為採用貝葉斯回歸、模糊及神經網路的方式來解決問題。在 AIS 系統廣泛設置後，大範圍的船舶管理與應用研究逐漸被提出：Nguyen 等人(2018)研究船舶碰撞的主要因素，開發了風險評估的數學模型，並基於 AIS 信息模擬碰撞評估，從而結合船上 AIS 為船員培訓和預警系統提供建議。Jeon 與 Yang(2019)指出往昔最接近點算法，沒有考慮船舶的航向能力與船舶在尺寸上的

操縱性差異，且應該多加考慮淺水區航行時擱淺的風險。因此，需利用 AIS 資料中船舶的長度和吃水深度、水深及航向，來進行分析擱淺風險、碰撞風險，並說明所提出算法可在短時間內處理大量的周圍海洋交通信息和環境信息。

1.2.2 颱風風場與波場相關計算與數值模式

常用的參數化風場經驗公式，包括 Rankine 渦流模式(1882)、Holland (1980)風場模式與 Jelesnianski et al. (1992)提出的 SLOSH Model 模式等。上述風場模式為對稱性颱風，然而，並非所有颱風都是對稱性颱風，因此，考慮不同方位上的最大風速半徑及代表暴風的半徑的差異，稱為非對稱風場模式，如 Gao et al. (2013)。參數化風場都必須先知道最大風速半徑，才能進行颱風圈內風速的計算。目前中央氣象局提供的颱風警報單，並無最大風速半徑的資訊，因此，颱風的最大風速半徑的估算，是使用各種參數化風場模式重要且基本的先決條件。往昔最大風速半徑的研究，如 Chang et al. (2015)及 Chavas et al. (2016)等人。Pan et al. (2016)整理往昔風場模式的風速表示式及最大風速半徑的經驗公式。

波浪推算部分，Moeini 等人(2010)以 SWAN 模式對波斯灣北部海域進行波浪模擬並將計算結果與 ECMWF 之模式比對，並進行波浪極值統計分析。Leonard-Williams 與 Saulter (2013)則是採用 WAVEWATCH III 模式計算 12 年波浪結果與 WAM 模式計算 50 年之波浪結果，進行極值統計分析。張君名(2016)以 MIKE-21 SW 模式計算自 2001 年~2015 年經過台灣附近海域對基隆海域形成較大波高的颱風做為模擬的對象，藉由 MIKE-21 SW 風波模式進行數值計算，並與本所港灣技術研究中心的觀測資料進行比對。陳等人(2017)以類神經以及 MKIKE-21 SW 模式的推算結果，進行國內主要港口設計波之探討。

1.2.3 資料庫與人工智慧技術

船載 AIS 系統會因為船舶動態的狀況，而有不同的資料傳輸頻率，A 級數據量的增加等於面臨大量的讀寫請求，為了避免任何明顯

的延遲，關聯式資料庫不再適用於此領域，因為連接和鎖定會對分布式系統中的性能產生負面影響。除了高性能之外，高可用性亦為基本要求，因此，資料庫必須易於複製，並且必須提供故障轉移機制來處理節點或數據中心故障，還需從多個從屬伺服器上讀取，以應對可能超過單個服務器容量的訪問高峰，由於關聯式資料庫提供的複製技術是有限的，因此，只能仰賴更新的技術來解決此類問題(Hecht 與 Jablonski, 2011)。隨著大數據的發展，NoSQL 技術的使用迅速增長，其優點包括簡化設計、平行擴展和更好的可控制性。NoSQL 資料庫越來越被視為關聯式資料庫的可行替代方案，其數據模型是處理大量結構化、半結構化和非結構化數據的更好方法。例如，NoSQL 資料庫通常用於收集和存儲社交媒體數據(Bhogal 與 Choksi, 2015)。此外，NoSQL 數據庫在很多方面與傳統數據庫不同，例如結構化架構、處理方法、複雜程度、資料回復及處理存儲大數據，但可能需注意 NoSQL 的安全性(Mohamed 等人, 2014)。

近 3 年內應用人工智慧技術(Artificial Intelligence, AI)對船舶自動識別系統(AIS) ，進行分析與應用於船舶風險分析的相關文獻包括：Chen 等人(2019)使用歷史 AIS 數據重建船隻的軌跡並進行標記，將原始 AIS 軌跡轉換為圖像數據結構，同時保留了船舶運動模式資訊，使卷積神經網絡(CNN)能處理 AIS 軌跡，再使用 CNN 提取船舶運動模式。Guo 等人(2020)應用深度強化學習於連續控制問題，以船舶自動識別系統(AIS)提供的船舶數據，用於訓練此路徑規劃模型，提出了一種自主路徑規劃模型，以實現未知環境下，無人艦船的智能路徑規劃。Hu 等人(2019)使用 AIS 考慮漁船的位置和速度，採用 Mean C-Fuzzy 方法完成漁船群聚分類，選用到達漁場最接近點的距離和到達漁場最接近點的時間，做為重要的變量來計算基本的碰撞風險。Tu 等人(2020)提出了一個全面的框架，來對大量的歷史 AIS 軌跡段進行建模，以進行準確的船徑預測，與現有方法進行比較，驗證結果顯示，可以優於傳統基準線方法。Chen 等人(2019)建立了利用 AIS 和歷史事故數據，評估船舶碰撞風險的方法，應用模糊方法建立碰撞對象檢測模型，通過貝葉斯網絡，以歷史事故數據，建立事故機率模型，初步結果顯示，此方法可用於分析船舶碰撞特性與風險。Gao 等人(2018)

構建適合 AIS 時序列特徵的雙向長短期記憶遞歸神經網絡(BI-LSTM-RNN)，建立即時船舶行為預測模型，雙向結構增強了歷史數據與未來數據之間的關聯性，進而提高了預測準確性，長短期記憶單元可以記住常見的行為模式，並忘記獨特的行為，從而提高了模型的通用性。Tang 等人(2019)提出了一種長短期記憶(LSTM)模型結合序列預測方法，預測船舶運動軌跡，利用天津港的 AIS 數據於訓練和測試該模型，結果顯示該模型能夠準確預測船舶航跡。Mao 等人(2018)構建用於航跡學習、預測和數據挖掘的標準 AIS 資料庫，並以極限學習機(ELM)的路徑預測方法進行測試，測試結果顯示，該資料庫可用做不同軌跡預測算法和智慧演算法的訓練資源。

由上述相關研究與文獻顯示，近年來 AI 技術應用於 AIS 資訊分析有相當多的應用，且能在風險評估部分，解決不確定性的問題，例如，船舶軌跡的預測與分類，然而對本研究而言，除了需要透過 AI 技術提升風險評估的正確性外，更應考量演算法的效能，才能確保風險評估系統的即時性。

1.3 工作項目與流程

本研究工作項目主要分為兩部分，其一為整合風浪預測至 AIS 系統並進行預警，此部分研究範圍與對象為臺灣周邊海域，主要包含臺灣周邊海域 AIS 訊號接收範圍，如圖 1.2.1 所示。另一則為建立船舶航行安全風險評估系統，此部分可分為三個子項目：1.航行安全大數據資料庫：研究對象包括本所港灣技術研究中心目前所架設的 AIS 接收站之所有資料；2.船舶航安預測模型：目前擬針對航行安全大數據資料庫中整合的船舶軌跡資料；3.AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統，由於使用時各港獨立操作，開發工作會先從資料庫中萃取部分資料，目前先選擇容易有擱淺問題的布袋港進行展示，本研究各工作項目如下：

1.基本資料蒐集分析。

2.建立自動化整合生成模組。

3.建立自動化颱風時期船舶預警介面系統。

4.船舶航行安全大數據資料庫資料源處理。

5.船舶航安預測大數據模型建置。

6.AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統建置。

圖 1.3.1 為本研究工作流程圖，以黃色虛線大致分為兩部分，一為整合風浪預測至 AIS 系統並進行預警;另一為船舶航行安全風險評估系統的建立。工作進度甘梯圖則如圖 1.3.2 所示，所有工作項目分述如後續章節。

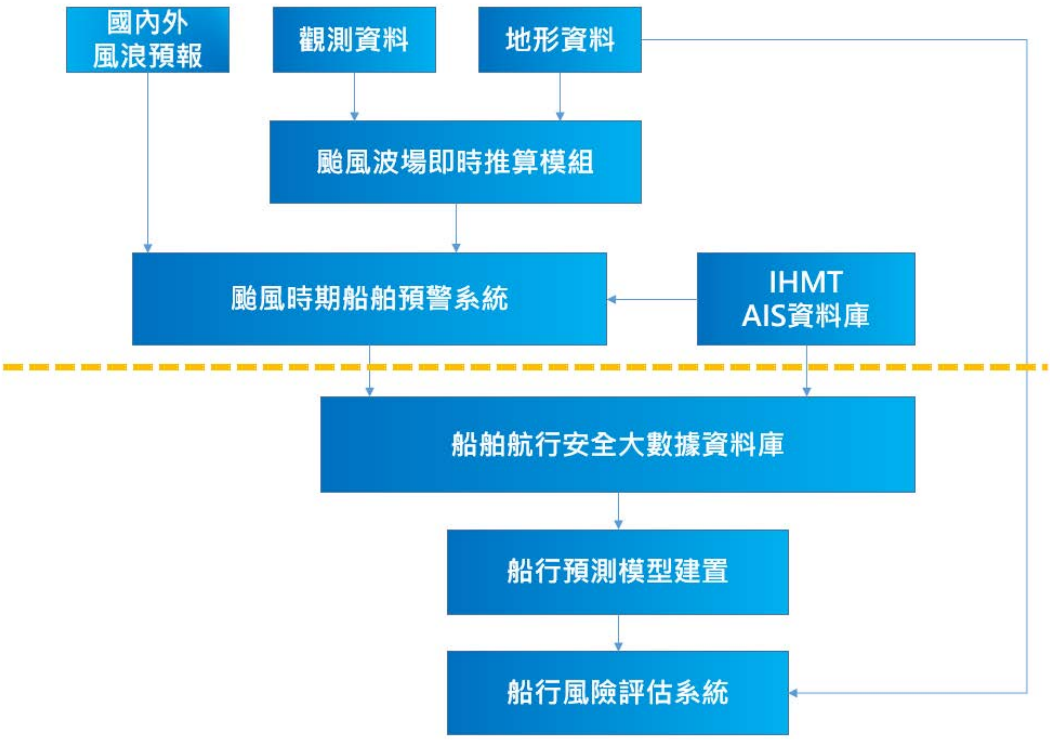


圖 1.3.1 工作流程圖

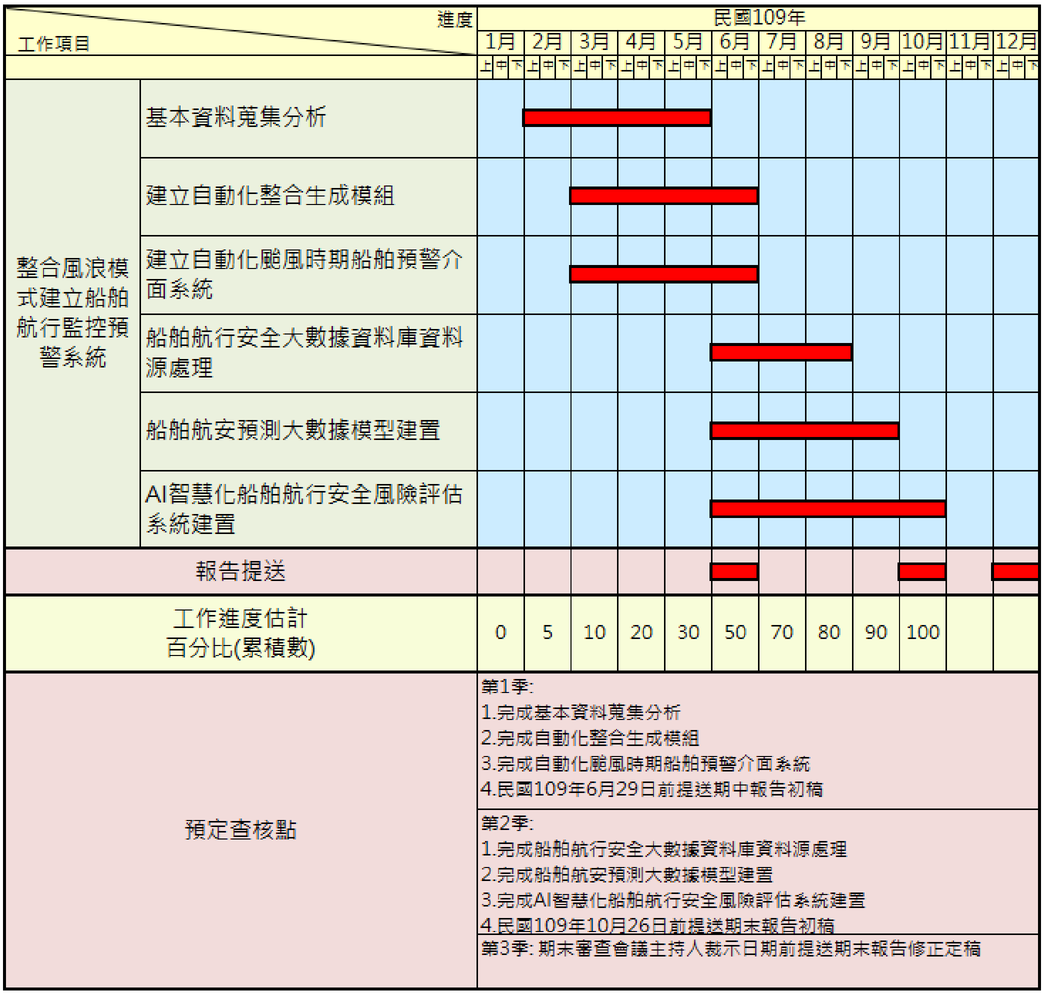


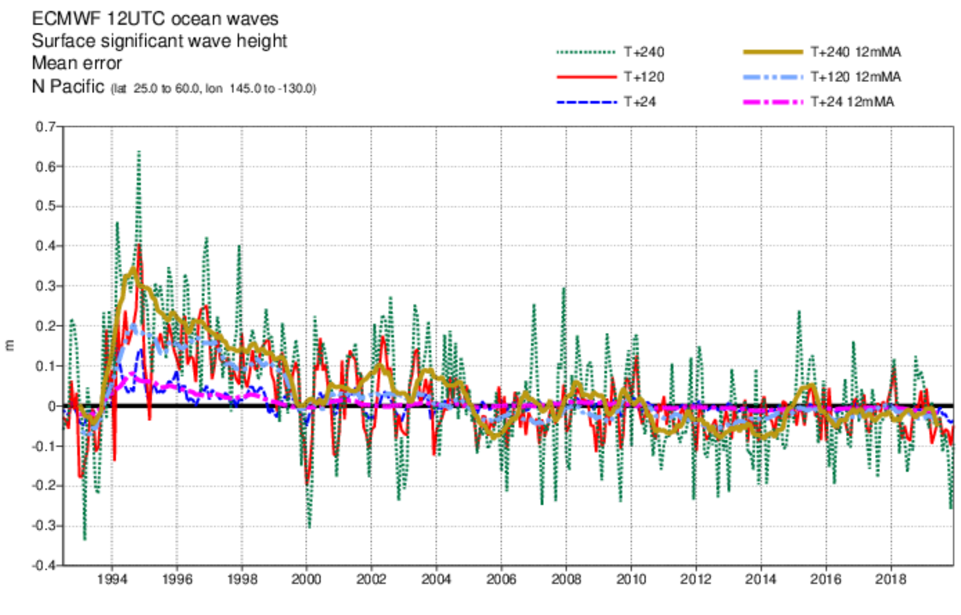
圖 1.3.2 工作進度甘梯圖

第二章 基本資料蒐集分析

2.1 國內外波浪推算與預報方法

2.1.1 國外波浪預報模式

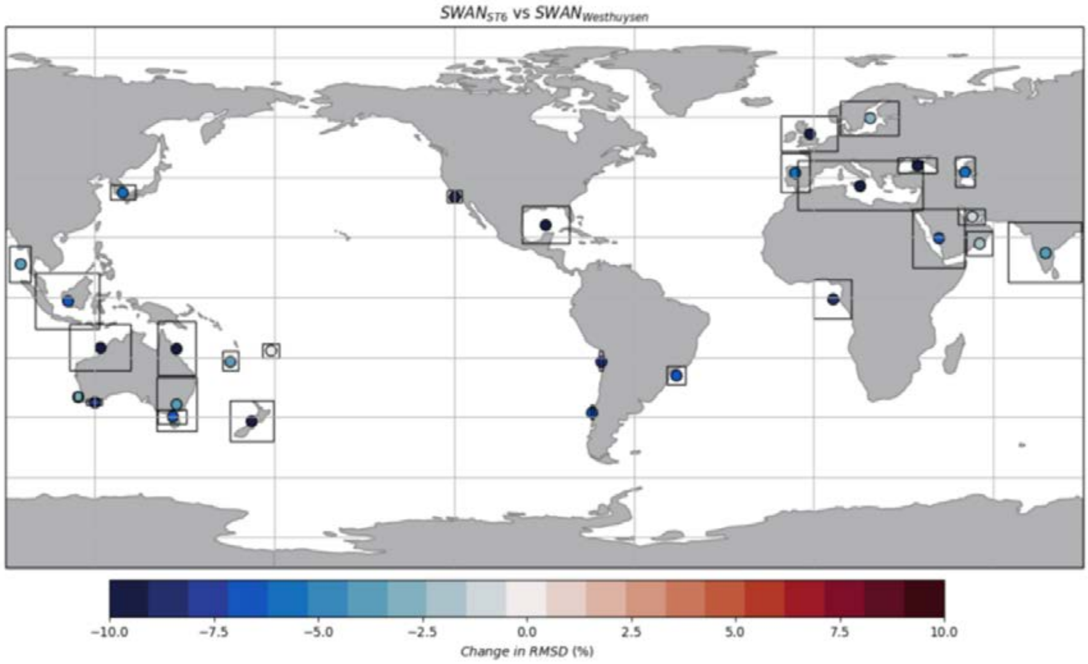
為能整合波浪預報之結果提供船舶航行安全風險評估模式，做為其風險因子之評估，本研究蒐集國內外風浪推算與預報的方法與相關產品，國外部份包括歐洲中尺度天氣預報中心(ECMWF)，其為創立於 1975 年的獨立政府間研究組織(Intergovernmental Ordanization)，亦為全天候運營服務機構，為會員國、合作國甚至更廣泛的商業與社群提供數值天氣預報。波浪預報方面，目前提供水平空間解析度 11km 的獨立波浪預報(HRES-SAW)或 14km 的大氣耦合波浪預報(HRES-WAM)兩種。近期世界氣象組織(WMO)與歐洲各國持續有針對其預報精度進行分析與回饋，圖 2.1.1 為 ECMWF 北太平洋近年來的示性波高驗證分析結果。關於綜合預測系統(IFS)、高分辨率預報(HRES)、總體預報(ENS)、延伸範圍預報和季節性預報的基本原理與架構，以及預報資料的可用性及注意事項，可參考 Owens 與 Hewson (2018)，然而，ECMWF 章程中，目前並無提及非會員國之資源分享。



資料來源：ECMWF 官方網站

圖 2.1.1 ECMWF 近年波浪預報誤差分析

MetOcean Solutions 為紐西蘭氣象局(MetService)的國有科技諮詢公司，提供氣象學和海洋學領域的專業數值建模和分析服務。波浪預報部分近年來發展新的 SWAN(ST6)模式，可以改善區域和局部尺度波浪模擬結果，其均方偏差改善高達 30%，如圖 2.1.2 所示。此外 MetOcean 並有提供波浪預報的 API 服務，透過網路連結服務可快速取得全球預報系統(GFS)與 ECMWF 的預測源條件所推估七日的預測資料，包括全球波高、週期、波向、風速、風向、氣溫、能見度、海面溫度、表面流等，可商討付費使用。

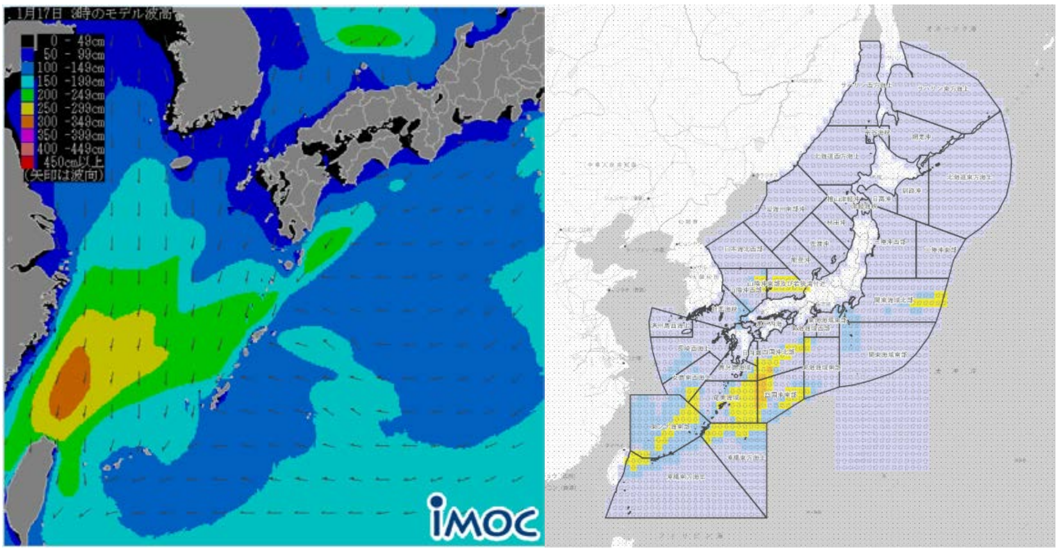


資料來源：MetOcean 網站

圖 2.1.2 SWAN(ST6)與舊 SWAN 波場間的均方偏差(RMSD)百分比變化

美國國家海洋與大氣管理局(NOAA)的公告波浪預報範圍僅至東經 140 度，而 Intertrust 公司的 PLANET OS 有提供 NOAA WAVEWATCH III (NWWIII)的預報波浪資料，其空間解析度為 1 度，時間解析度 3 小時。NWWIII (Tolman, 1997; 1999a; 2009) 是 NOAA/NCEP 基於 WAM 模型的精神開發的第三代波模型(Komen 等人, 1994)。

日本氣象廳(JMA)與國際氣象海洋株式會社(IMOC)其公開波浪預報資料提供範圍並不包括臺灣西海岸外海，如圖 2.1.3 所示，目前考量其預報範圍可能不適合本研究使用。



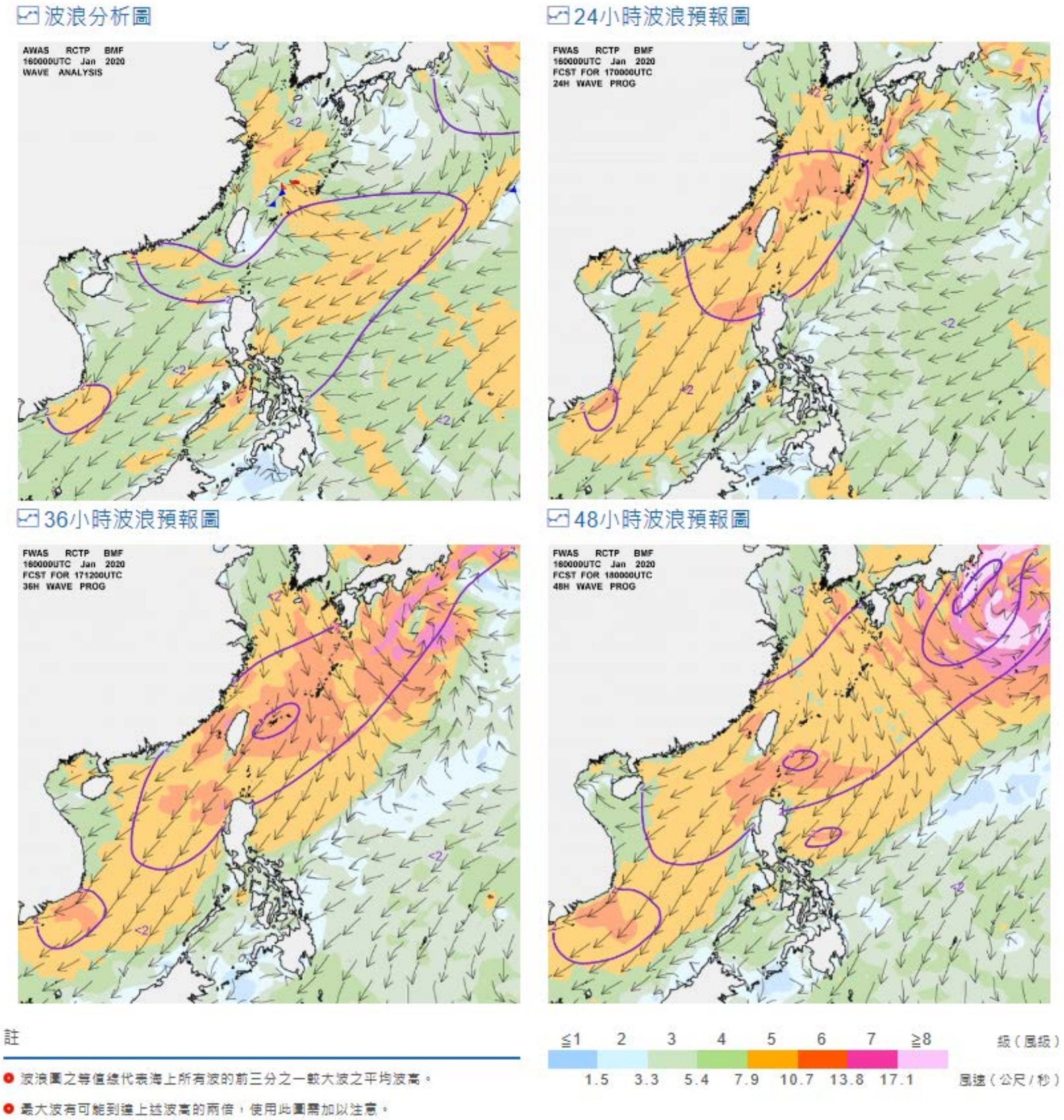
資料來源：IMOC 與 JMA 網站

(a)國際氣象海洋株式會社　　　　(b)日本氣象廳

圖 2.1.3 日本氣象廳(JMA)與國際氣象海洋株式會社(IMOC)波浪預報範圍

2.1.2 國內波浪預報模式

國內的波浪預測目前主要包括中央氣象局與本所。中央氣象局預報中心依據美國、日本、ECMWF 與局內海象中心所推算的結果來進行發布，如圖 2.1.4 所示，中央氣象局海象中心採用 NWWIII 波浪模式，分為 4 個尺度進行計算，包括全球(空間解析度 0.5 度)、西北太平洋(空間解析度 0.25 度)、近岸漁業範圍(空間解析度 10km)及近岸(空間解析度 2.5km)，其中全球與西北太平洋採用 NCEP 風場，其他則採用中央氣象局自行推算的高解析度風場，做為外部輸入條件，目前預報模式推算資料已透過國內氣象資料開放平台公開，可編寫介接程式透過網際網路擷取。



資料來源：中央氣象局

圖 2.1.4 中央氣象局所發布之波浪預報

本所自 2003 年起配合政府防救災施政政策，在國家型防災研究經費支持下，結合國內學者及專家歷經數年完成「臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System，簡稱 TaiCOMS)」之建置，著手進行臺灣周圍海域海象(水位、潮流及波浪等)之模擬與預測研究(劉等人，2012)，尤其關注於颱風期間之海象模擬(李等人，2006)。之後，更致力於近岸海象模擬與預警系統之結合研究，以及如何提升相關海象模擬結果之研究(林等人，2009)。2014 年「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)」與中央氣象局合作，更新採用以第四代數值天氣預報系統 WRF 風場資料，取代 NFS 風場資料為 TaiCOMS 作業化模擬風場，提昇 TaiCOMS 作業化風場資料精

確性，以改善海象模擬精度。2015 年「臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運」完成作業系統小尺度波浪模組更新與研究。2017 年「港灣海象模擬計數及作業系統之研究」參照 TaiCOMS 主要商港小尺度水動力模組及中尺度臺灣周圍海域暴潮模組加入小尺度澎湖海域的風浪、水位及流場模擬功能。2018 年「港灣海象模擬技術及預警系統研發」針對 TaiCOMS 作業化風場資料進行改版作業，改採用中央氣象局 WRF 作業化模式 M05 之作業化天氣預報風場資料。

在波浪模擬共規劃 5 種尺度的範圍，包括西太平洋範圍(遠域)、臺灣周圍海域範圍(近域)、近岸海域範圍及港域範圍，已將臺灣海域所有可能預報的的波浪狀況包含在內，其中近岸海域包含以臺灣本島主要商港及以離島海域為對象的海域，圖 2.1.5 為港灣環境資訊網臺灣，各海域 5 日海象觀測最大值。

資料來源：港灣環境資訊網

圖 2.1.5 各海域五日最大觀測波浪值

2.2 資料蒐集

本研究工作項目包括風浪推算與現有船舶 AIS 資料庫的相關應用，其中 AIS 資料直接由甲方開放資料庫權限可取得即時資料，往昔 AIS 資料由於資料量較大則直接以大容量儲存媒介自甲方轉移。其餘資料簡述如下：

2.2.1 海氣象資料

風浪資料由甲方提供八大主要港口包括基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港近五年實測資料(2015 年至 2019 年)，以配合自動化整合生成模組的風場計算生成與波浪推算結果之驗證與比較，相關應用與說明可參見 3.2 節與 3.4 節。

基隆港波浪資料來源為本所於 2001 年 6 月安置 NORTEK 剖面海流表面波浪與潮汐之監測系統(簡稱 AWCP)，在基隆港東防波堤堤頭北方約 200m，水深 48m。臺北港外海觀測樁位於外廓防波堤外水深約 20m 處；臺中港測站位於北防波堤堤頭 150 公尺外、水深 25 公尺處；布袋港測站位於布袋港外水深約 7m 處；安平港測站為安平港南堤外海；高雄港測站位於第一港口南堤燈塔外海；花蓮港測站位於在花蓮港東防波堤往南延長 380 公尺水深 34m 處；蘇澳港測站位於蘇澳港外約 700m 水深約 25m 處。其餘詳細觀測期間、座標與位置圖建議參考港灣技術研究中心觀測資料年報。

另為比較近年中央氣象局與港灣技術研究中心的波浪預測結果，亦請兩個單位提供近三年颱風期間的波浪預測資料供參考與比較，詳細說明與應用可參見 4.2 節。颱風事件與颱風路徑資料則以中央氣象局颱風資料庫為主，透過資料爬梳技術整併颱風資訊與內插後的風浪實測資料，如表 3.2-1 與表 3.4-1，詳細說明可參見後續章節。其中 3.2.2 節部分最大風速半徑公式有用到 r50 風速半徑與 r30 風速半徑部分採用日本氣象廳網站所提供的 best track 資料。

2.2.2 地形資料

地形資料僅取得布袋港周邊小範圍地形實測資料，如圖 2.2.1，

實際應用情況可參見 7.4 節。

圖 2.2.1 布袋港周邊實測水深點位(2020 年 7 月)

第三章 建立自動化整合生成模組

本工作項目主要建立一個颱風期間的自動化颱風波浪整合生成模組，能自動進行颱風波浪的波場推算。此模組主要包括三個部份：1.資料下載與前處理;2.參數化風場計算模組；3.波浪計算模組。並串聯三個模組實現自動化颱風波浪預測，流程如圖 3.1 所示。本研究建立一可自動化執行的整合模組，利用氣象單位所發布的颱風預測資訊進行參數化風場的計算，以提供後續波浪計算模組的輸入條件。在風場計算模組中包括颱風資料處理及參數化風場的計算。資料處理與自動化流程介紹於 3.1 節。在風場的計算中往昔研究提出的多種最大風速半徑估算方式來提供參數化模型風場做為尺度的調整係數，本研究為決選最適合臺灣地區使用的最大風速半徑公式，亦與實測風速的比較來做判斷，詳述於 3.2 節。另編寫程式將原本須人工操作的 MikeSW 模式加入波浪計算模組，以完成自動化颱風波浪整合生成模組，說明於 3.3 節。最後透過波浪計算模組計算往昔颱風波浪並與實測波浪進行比較，評估在臺灣各主要港口的波浪推算的精度分析，詳述於 3.4 節。

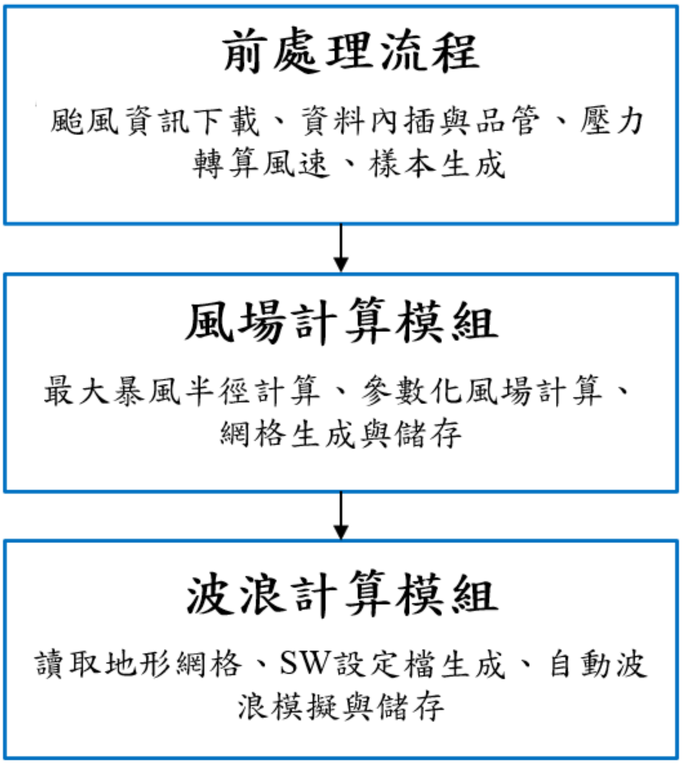


圖 3.1 自動化颱風波浪整合生成模組工作流程

3.1 前處理流程

往昔相關研究常因為資料取得的方便性而選用日本國土交通省氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)或聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)所發佈颱風即時路徑或是經再分析後重新公布的最佳路徑。近年來，因應行政院第 3322 次院會決議，期望透過政府開放資料(Open Data)，增進政府施政透明度、提升民眾生活品質並滿足產業界需求，中央氣象局除了往昔 PDF 格式的颱風警報資料外，在颱風侵臺期間也新增開放資料的介接，故本研究採用中央氣象局氣象資料開放平台中的颱風路徑資料做為資料來源，此開放資料以 JSON 與 XML 格式進行傳遞，其中 announcement 即關於發布內容之聲明、公告與說明。而 typhinfo 則為颱風資料之說明，包括該次發布所含有之颱風資料個數、本檔案之製作時間等。typhinfo 的第二層為每個颱風的資料，包括該颱風發生年份與英文名稱組成之識別碼。颱風屬性包括颱風中英文名稱颱風編號兩項。typhdata 為颱風在每個時間點的資訊，此部分包含颱風過去、現在及未來預報之資訊。在這三項下，又分別記載颱風該點時間、位置、強度與結構。位置資訊包括緯度與經度，為強度與結構之資訊中有近颱風中心最大風速、近颱風中心最大陣風與中心氣壓。常用的度量單位有 m/s、hPa、degree 與 km 等。另包含描述八方位暴風半徑的資訊與風力在大於某個蒲福風級級數的強風分布範圍，包括八方位扇形的角度區間，與相對應的半徑大小。

Typhdata 中現在的颱風資訊裡有包含預報颱風的移動變化情形與強度變化情形之文字描述。未來預測部分則有各預報點之機率圓半徑的預報資料，資料讀法如同前面對八方位暴風半徑的說明。每一個機率的預報圓為 strike_radius, percentage 則為侵襲機率, strike_radius precentage="70"就是 70%的預報圓。XML 架構樹狀圖簡示如圖 3.1.1。本介面計算參數化風場主要需要過去、現在與未來預測全時段的颱風相關資訊，本研究利用 MATLAB 編寫程式透過網際網路自動即時介接颱風資訊，並即時分析資料檔中颱風資訊。當資訊顯示有颱風發生時，即自動開始進行整個資料下載與前處理流程。以警報發布當下時刻的時間點其 XML 架構樹狀圖示如圖 3.1.2。

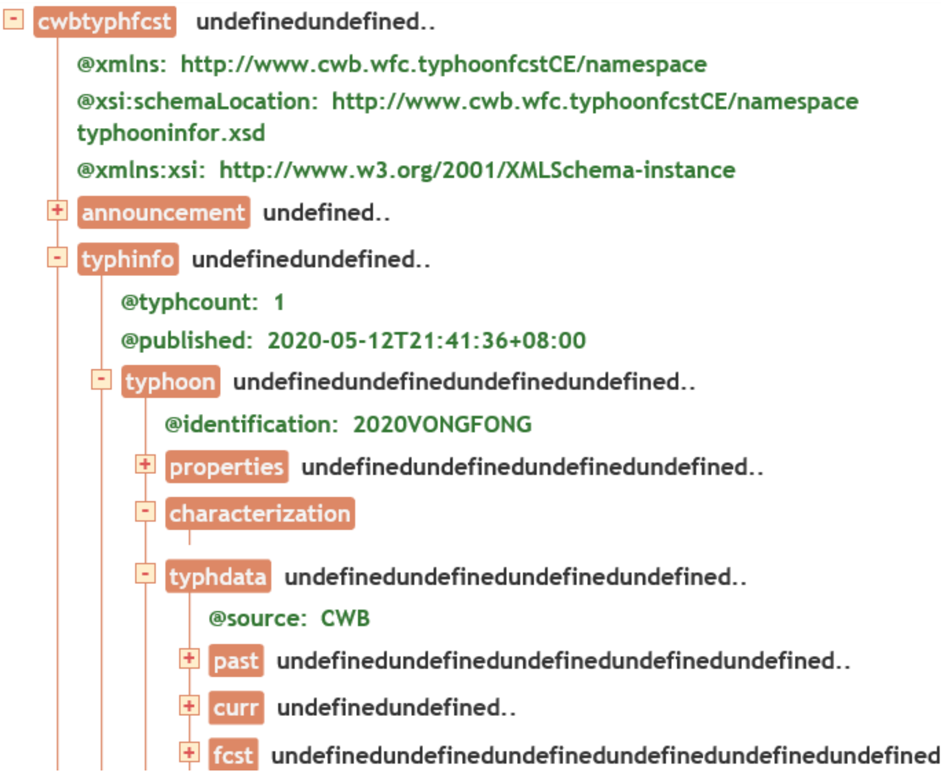


圖 3.1.1 中央氣象局氣象資料開放平台颱風路徑 XML 架構

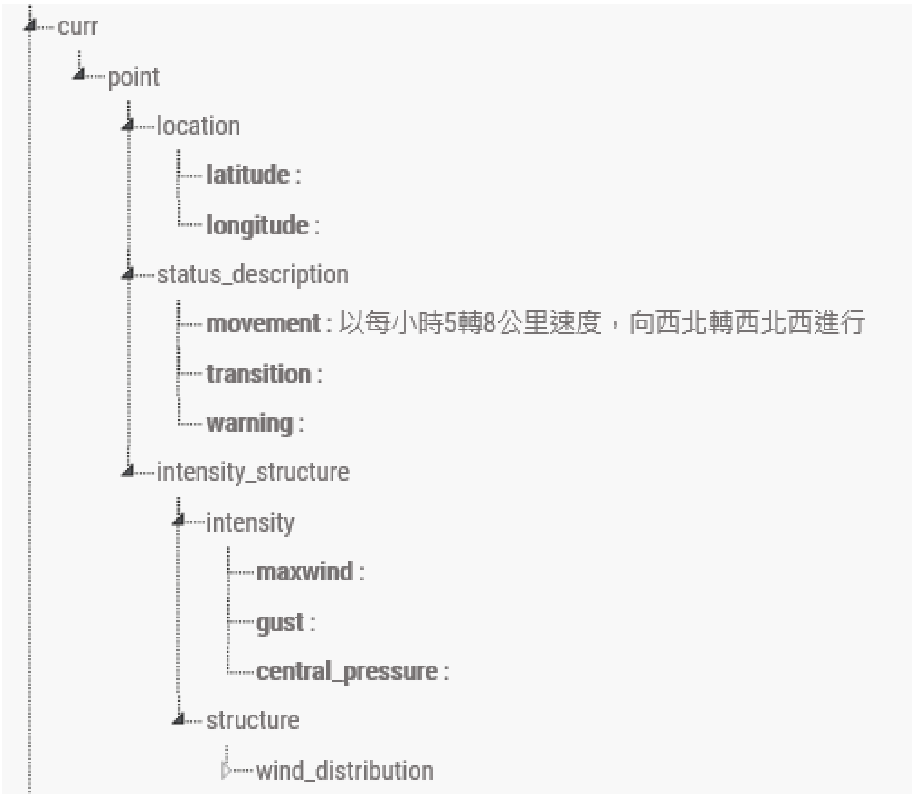


圖 3.1.2 颱風警報發布當下時間點的 XML 架構

不同於國外每 6 小時一筆的資料，往昔颱風侵臺期間的颱風資訊分別有 6 小時、3 小時甚至每小時的情況，為配合後續驗證與波浪推

算，本研究已編寫自動化流程，在介接資料發現有颱風侵臺時將颱風資訊(經緯度、中心氣壓、近中心最大風速等)配合波浪資料之時間間距利用合適的內插方式，將其時間間距內插為 1 小時一筆，並進行基本資料品管與檢核，以確保後續計算的正確性。

本研究為評估自動化颱風波浪整合生成模組的推算精度，除了即時的侵臺颱風資訊外，亦須考量往昔的颱風事件來評估模組計算能力。然而氣象資料開放平台的颱風路徑資訊僅會在有颱風侵臺期間會有相關資訊，故本研究一併針對中央氣象局的颱風資料庫進行資料爬梳，以獲得往昔颱風侵臺時的相關颱風資訊。以研究使用者登入網站後，可逐步在觀測資料中看到颱風路徑資料下載的連結，颱風資料庫中的往昔路徑資料，其內容包括年分、颱風名稱、各時間點、經緯度、中心氣壓、近中心最大風速、近颱風中心最大陣風、七級風暴風半徑、十級風暴風半徑與警報發布狀況等資訊，如圖 3.1.3 所示。不同於氣象資料開放平台，此部分記錄的使用時系為 UTC 時間，故需一併進行內插與資料檢核才能輸入風場計算模組。

```
Typhname Date Lat Lon Press Wind Gust 7Dir 10Dir Warn
2020 VONGFONG 2020/05/11 12:00  8.0 129.0 1004 15 23 -99 -99 3
2020 VONGFONG 2020/05/11 18:00  8.5 129.0 1002 15 23 -99 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/12 00:00  9.5 129.0 1002 15 23 -99 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/12 06:00 10.5 129.0 1002 15 23 -99 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/12 12:00 11.0 129.0 998 18 25 80 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/12 18:00 11.5 129.1 995 20 28 80 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/13 00:00 11.8 128.9 992 23 30 80 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/13 06:00 12.0 128.5 985 25 33 80 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/13 12:00 12.1 127.9 970 35 45 120 50 0
2020 VONGFONG 2020/05/13 18:00 12.2 127.0 965 38 48 120 50 0
2020 VONGFONG 2020/05/14 00:00 12.1 126.1 955 40 50 150 50 0
2020 VONGFONG 2020/05/14 06:00 12.2 125.2 948 43 53 150 50 0
2020 VONGFONG 2020/05/14 12:00 12.4 124.6 970 35 45 150 50 0
2020 VONGFONG 2020/05/14 18:00 12.6 123.7 975 33 43 150 50 0
2020 VONGFONG 2020/05/15 00:00 13.3 122.6 975 33 43 150 50 0
2020 VONGFONG 2020/05/15 06:00 14.0 121.8 980 28 35 120 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/15 12:00 14.9 121.3 985 25 33 120 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/15 18:00 16.0 120.7 995 20 28 80 -99 0
2020 VONGFONG 2020/05/16 00:00 17.3 120.1 998 18 25 80 -99 0
```

圖 3.1.3 中央氣象局颱風資料庫中的颱風路徑資料

3.2 風場計算模組

相較於目前氣象相關單位所模擬的風場，本研究採用中央氣象局發布的颱風資訊，配合參數化風場提供快速的計算方式，並將此流程建立為自動化流程，以提供後續波浪計算模組與設計波模組的整合計算。目前常用的參數化風場介紹於 3.2.1 節。在風場的計算中往昔研究提出的多種最大風速半徑估算方式來提供參數化模型風場作為尺度的調整係數，介紹於 3.2.2 節。此外，由於風場的正確性直接影響 MikeSW 波浪推算的精度，本研究為決選最適合臺灣地區使用的最大風速半徑公式，亦與實測風速的比較來做判斷，詳述於 3.2.3 節。

3.2.1 參數化風場模式

最早的參數化風場為 Rankine vortex model (1882)，在颱風眼(hurricane eye)內，速度與離颱風中心的半徑成線性正比，但颱風核心外的速度分布卻與距離成反比。Wurman and Gill (2000)及 Wurman (2002)利用移動式高解析都普勒雷達(Doppler radar)量測的風速剖面證實，颱風核心內的速度分布與固體旋轉運動相近，颱風核心外的速度分布呈現冪次方(power)反比的現象，而其指數約為-0.6 ± 0.1，稱為尺度參數(size parameter)。因此，修正的 Rankine vortex model 指表面風速，如式(3-1)所示。

$$v = \begin{cases} v_{\max}\dfrac{r}{R}, & r < R \\ v_{\max}\left(\dfrac{R}{r}\right)^{x}, & r \geq R \end{cases} \tag{3-1}$$

式中 R 最大風速的半徑，$v_{\max}$為最大風速，r 為離中心點的距離。當 R 及 $v_{\max}$為已知，由式(3-1)即可計算颱風圈內任何離中心點距離 r 的風速，Rankine vortex model 是角度對稱的風場模式。

爾後，其他學者所提出對稱的風場模式中，常被使用的 Holland Model (1980)為梯度風速，如式(3-2a、3-2b)所示。

$$v=\sqrt{\frac{B(p_n-p_c)}{\rho}\exp[-\left(\frac{R}{r}\right)^B]\left(\frac{R}{r}\right)^B+\left(\frac{rf}{2}\right)^2}-\frac{rf}{2} \tag{3-2a}$$

式中若 r=R 可得

$$B=\frac{e\rho(v_{\max}^2+v_{\max}Rf)}{p_n-p_c}\approx\frac{e\rho v_{\max}^2}{p_n-p_c} \tag{3-2b}$$

式(3-2a)之 f=2Ωsinφ 為 Coriolis parameter；式(3-2b)之 B 為形狀參數(shape parameter)，p_c為颱風中心氣壓，p_n為颱風外圍氣壓，一般可設為 1010 百帕(hPa)，ρ 為空氣密度(在溫度 20^{o}時，約為 1.204 kg/m^3)。

Holland 模式 B 是關鍵的參數，且風速為梯度風速。然而，在工程應用上，表面風速(surface wind)才會直接影響到工程的重要因子，因此，Holland (2008)再提出梯度風速與表面風速比值平方關係，來修正形狀參數，為 $B\approx1.6B_S$ 。Willoughby and Rahn (2004)分析 NOAA 的 1977 至 2000 年資料，迴歸出 Holland 模式的 B 參數如式(3-2c)：

$$B=0.886+0.0177v_{\max}-0.0094\phi \tag{3-2c}$$

一般風浪(wind wave)研究的風速，大多以 10 m 風速(V_{10})當為經驗公式中有關風速參數及波浪風能的代表風速。Harper et al. (2001)提出梯度風轉換為 v_{10}的經驗公式如式(3-3a)及式(3-3b)：

$$v_{10}=kv \tag{3-3a}$$

其中

$$k=\begin{cases}0.81, & v<6\\ 0.81-2.96\times10^{-3}(v-6), & 6\le v<19.5\\ 0.77-4.31\times10^{-3}(v-19.5), & 19.5\le v<45\\ 0.66, & 45<v\end{cases} \tag{3-3b}$$

另外，颱風旋轉切線風速因為地形摩擦效應的邊界層，產生風向往內向，因此，切線角度會往內。Sobey et al. (1977)提出切線風速往

內角度的修正公式如式(3-4)：

$$\beta(^{\circ})=\begin{cases}10\dfrac{r}{R}, & r<R\\ 75\dfrac{r}{R}-65, & R\le r<1.2R\\ 25, & 1.2R\le r\end{cases} \tag{3-4}$$

上述颱風風速模式是假設在停滯情況，若颱風以 v_f速度且 θ_f方向移動時，McConochie et al. (1999)提出修正梯度風速如式(3-5a)：

$$v_c=v_{10}+\alpha v_f \tag{3-5a}$$

式中 $\alpha=\dfrac{1}{2}[1+\cos(\theta_f-\theta_{\max})]\dfrac{v_f}{v_{\max}}$ (3-5b)

式(3-5b)中 $\theta_{\max}$為發生最大風速的方位角，一般在颱風中心前進方向的方位角右側約 65 度。Loridan et al. (2017)利用 37 場移動颱風的參數化風速與數值計算模式(Weather Research and Forecasting Model，提出同時考慮到角度及離颱風中心的距離的風速修正方法。Jelesnianski (1966)提出移動颱風的修正風速 v_c如式(3-5c)：

$$\mathbf{v}_c=\mathbf{v}+\frac{Rr}{R^2+r^2}\mathbf{v}_f \tag{3-5c}$$

其中 v_f為颱風移動的風速。式(3-5c)的修正速度方向如同颱風移動速度，但其修正大小，在中心為 0，幾乎線性增加至最大風速半徑處的 1/2，在颱風眼外則以離颱風中心的距離反比遞減。

3.2.2 風場模式中最大風速半徑的估算方法

參數化風場模式中最大風速的半徑為一關鍵參數，因此，有學者提出由颱風特性的直接表示式，如 Graham and Nunn (1959)考慮颱風中心緯度(φ)、中心氣壓(p_c)及移動速度(v_f)，簡示為 GN59，如式(3-6)：

$$R = 28.52\tanh[0.0873(\varphi - 28)] + \frac{12.22}{\exp\left(\frac{1013 - p_c}{33.86}\right)} + 0.2v_f + 37.22 \qquad (3\text{-}6)$$

其中 φ、p_c及 v_f的單位為度，hPa 及 m/s，計算 R 的單位為 m。

Wang (1978)使用七級暴風半徑的十分之一當為最大風速的半徑的經驗式(簡示 WA78) 如式(3-7)：

$$R = 0.1r_7 \qquad (3\text{-}7)$$

Ou 等人(1999)利用中央氣象局蒐集的 1945 至 1997 年的颱風中心氣壓的三次多項式迴歸所得最大風速的半徑的表示式如式(3-8)，後續簡示為 OU99

$$R = -1.529\times10^{-5}p_c^3 + 4.036\times10^{-2}p_c^2 - 35.645p_c + 10608.8 \qquad (3\text{-}8)$$

Silva 等人(2002)使用 1972 至 2001 共 30 年的 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)颱風中心氣壓資料迴歸最大風速的半徑，簡示為 SI02 如式(3-9)：

$$R = 0.4785p_c - 413 \qquad (3\text{-}9)$$

Willoughby and Rahn (2004)考慮颱風最大風速及颱風中心的緯度，使用 NOAA 的 1977 至 2000 年資料，分析 Holland 模式的最大風速及 B 參數的表示式，簡示 WR04 如式(3-10)：

$$R = 46.29\exp[-0.0153v_{\max} + 0.0166\varphi] \qquad (3\text{-}10a)$$

Knaff 等人(2007)提出如 Willoughby and Rahn (2004)的線性表示式，且簡示為 KN07 如式(3-11)：

$$R = 70.38 - 0.4238v_{\max} - 0.0074(\phi - 25)] \qquad (3\text{-}11)$$

Takagi and Wu (2016)提出以 r50 表示最大風速的半徑的線性關係，且簡示為 TW16 如式(3-12)：

$$R = 0.23 r_{50} \tag{3-12}$$

Takagi and Wu (2016)指出以式(3-12)表示最大風速的半徑與觀測值有決定係數(coefficient of determination)可達 0.57 的結果，顯示式(3-12)有高的可信度。

Nederhoff 等人(2019)分析最佳路徑資料(best-track data)會高估10%-40%的半徑，因此提出分不同海洋區域的最大風速半徑的對數分布(lognormal distribution)的平均值公式。經統計太平洋西北部海域的4836 場颱風資料，其適合的公式，且簡示 NE19 如式(3-13)：

$$R = 153.7 e^{-\frac{v_{\max}}{11.5}} (1 + 0.007|\phi|) + 28.9 \tag{3-13}$$

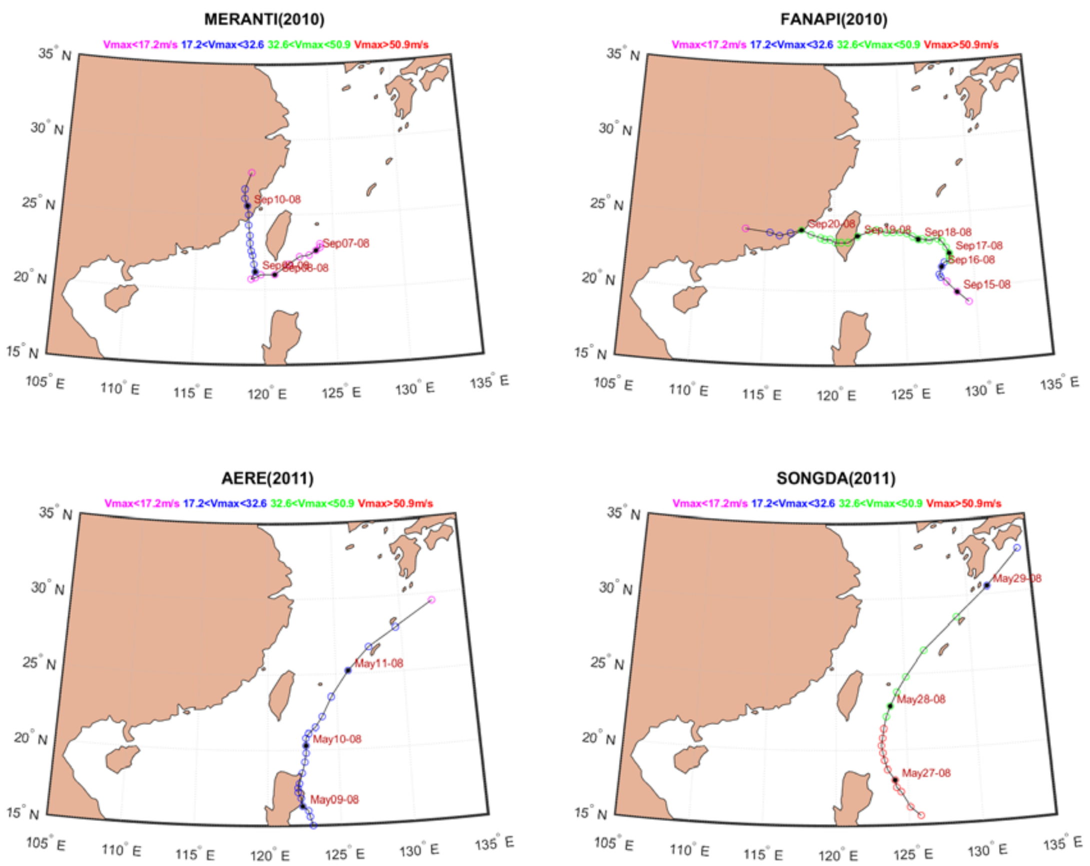
3.2.3 最合適的半徑公式決選

在臺灣的風速站多設在陸上，10 m 風速常會因為陸上地形高低起伏影響，尤其臺灣高山茂密森林更甚，若比對陸上風速資料則難說明風場模式的正確性。故最合適的評估地點為本所於 2004 年 12 月設立在臺北港外廓防波堤的外海設置外海觀測樁，淡水河口出水道上，其所在的水深約 20 m。本文使用的的風速資料在臺北港外海觀測樁測站測量。此觀測樁因兩次傾斜或傾倒重新安裝，且因儀器因素資料並非自安裝後全年不間斷量測，本研究考慮臺北港風速資料 95%以上的完整性，中央氣象局有發布颱風警報條件及颱風期間的最大風速對臺北港有影響，選擇 12 場颱風，列如表 3.2-1，並由臺北港風速資料及各主要商港的波浪資料，篩選最合適的最大風速半徑經驗公式。所選此 12 個颱風的規模及路徑，如圖 3.2.1。由圖 3.2.1 及表 3.2-1 顯示12 個颱風中有 5 個未侵臺，8 種為侵臺颱風，路徑歸類有 1、2、4 及5 四種。在臺北港觀測樁的風速都超過 7 級風速(17 m/s)，尤其 SOULIK (2013)較靠近臺北港，最大風速可達 32.0 m/s。

表 3.2-1 選擇 12 場測試颱風的特性及臺北港觀測樁的最大風速

年分	颱風名稱(路經分類)	起始日期	結束日期	Vmax(kt)	Pc(hPa)	U_{TP}(m/s)
2010	MERANTI (-)	2010/9/7	2010/9/14	55	985	17.3
2010	FANAPI (4)	2010/9/15	2010/9/21	95	928	24.3
2011	AERE(-)	2011/5/6	2011/5/15	40	978	15.5
2011	SONGDA(-)	2011/5/20	2011/6/2	105	919	16.7
2011	MEARI(-)	2011/6/21	2011/6/27	60	975	20.1
2011	NANMADOL (4)	2011/8/21	2011/8/31	100	924	17.6
2012	TALIM (9)	2012/6/16	2012/6/21	50	985	17.9
2012	SAOLA (2)	2012/7/27	2012/8/5	70	959	22.7
2012	JELAWAT (-)	2012/9/20	2012/10/3	110	904	19.5
2013	SOULIK (2)	2013/7/7	2013/7/14	100	924	32.0
2013	USAGI (5)	2013/9/16	2013/9/24	110	910	17.9
2013	FITOW (1)	2013/9/29	2013/10/7	75	959	17.1

註: 第二欄的括弧中代表氣象局 9 個路經分類，若”-“代表未侵臺。



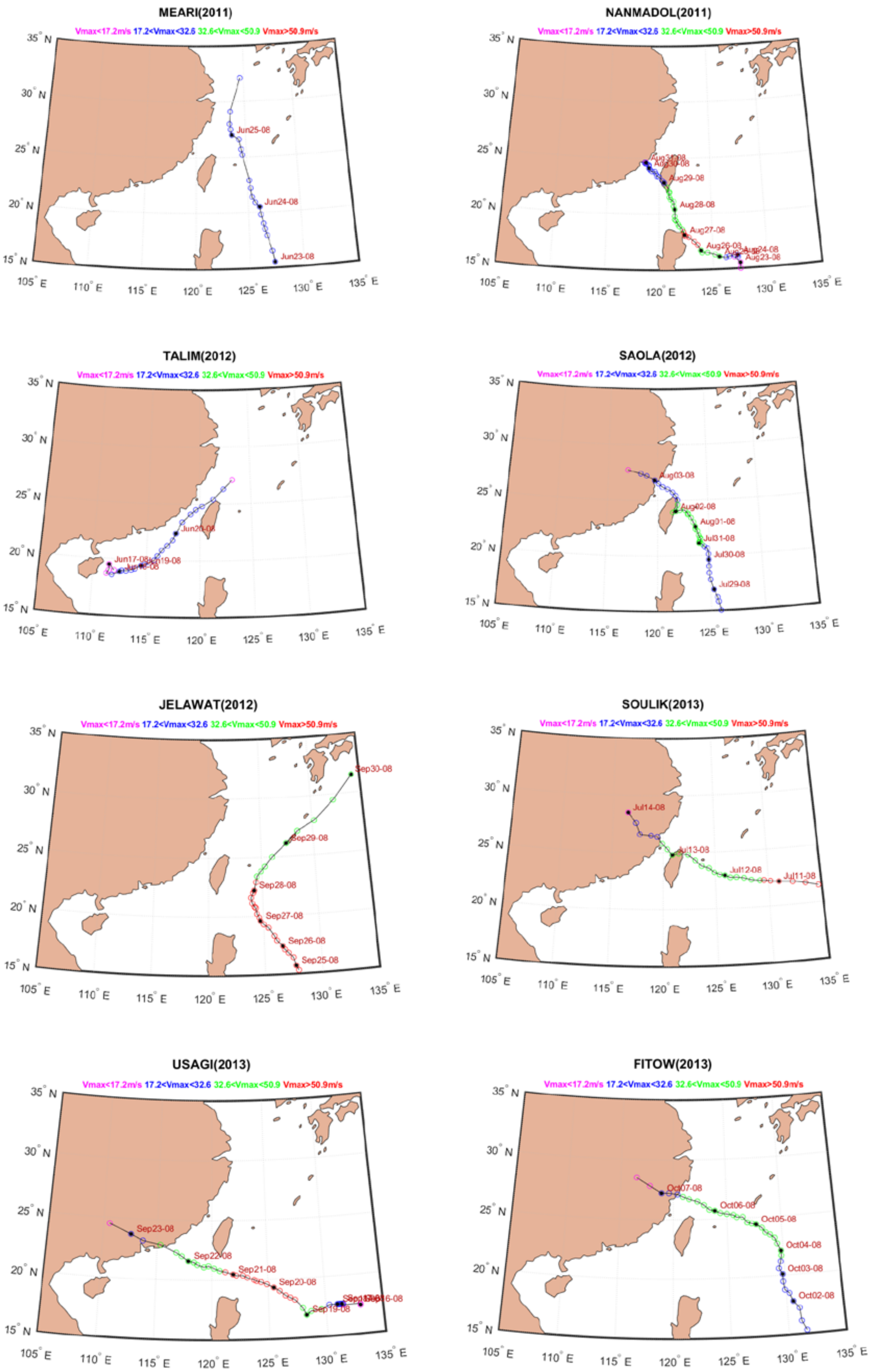


圖 3.2.1 12 場颱風規模與路徑圖

臺北港在臺灣本島北端，淡水河口南岸，臺北港離岸觀測樁在臺北港外廓防波堤外，淡水河口出水道上，其所在的水深約 20m。本文使用的風速資料為港灣技術研究中心於2004年12月設立在臺北港外海觀測樁測站。臺北港離岸觀測樁的座標為 25˚10’54”N，121˚22’32”E，其位置如圖 3.2.2。

圖 3.2.2 臺北港及離岸觀測樁的位置圖

觀測樁上安裝 Young Brand 風速計來觀測風向及風速，此風速計之觀測風速率的範圍為 0-60 m/sec，最大陣風則可測達 80 m/sec。風速計安裝高度約在海平面上 12 m，故可視研究波浪特性常用的 10 m 風速。風速的取樣方法為每小時的 50 分起至 60 分連續取 10 分鐘，取樣頻率為 1Hz。風速及風向的算術平均當為該小時風速及風向，其單位為 m/sec 及度。因為儀器問題或資料品值不佳，全年資料內會有缺漏的現象。表 3.2-2 為臺北港測站 2006 至 2013 年各年風速的蒐集率。為避免資料缺漏太多，造成後續分析的影響，本文選擇資料缺漏少的年份 2010-2013 年，進行後續的評估。

表 3.2-2 臺北港風力資料各年蒐集率

年度	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
整年	60.3%	74.3%	66.2%	87.0%	99.1%	94.6%	99.4%	74.2%
1 月	36.7%	99.5%	99.5%	100.0%	100.0%	99.7%	100.0%	100.0%
2 月	X	92.8%	100.0%	96.6%	96.6%	40.1%	100.0%	96.6%
3 月	X	28.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.9%	100.0%
4 月	X	X	24.3%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
5 月	X	12.4%	X	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
6 月	87.1%	50.3%	17.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
7 月	98.5%	54.3%	24.5%	39.8%	100.0%	100.0%	100.0%	82.0%
8 月	98.4%	89.9%	81.6%	16.5%	100.0%	100.0%	100.0%	X
9 月	99.2%	88.6%	86.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	54.0%
10 月	99.7%	100.0%	46.6%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
11 月	98.8%	80.7%	92.1%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	66.5%
12 月	100.0%	100.0%	91.9%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	X

以蘇力颱風為例說明計算步驟結果。由中央氣象局網頁公告的 2013 年蘇力颱風的強度及路徑圖，如圖 3.2.1。由圖 3.2.1 顯示，2013 年蘇力颱風於 7 月 7 日生成後，在 7 月 9 日距離約 2000 km， 11 日 20 時由強烈颱風減弱為中度颱風，接近臺灣東北部海面時略為向西北移動，13 日 3 時於新北市與宜蘭縣交界處登陸，8 時左右於新竹附近出海，16 時前後由福建進入大陸，屬於第 2 種侵臺路徑，分析日本氣象廳所提供 50 節與 30 節風速的半徑(表為 r50，r30)，示如圖 3.2.3。

圖 3.2.3 的橫軸為日期，共 5 天。圖 3.2.3 的中間及下圖的藍色圓圈代表長半徑，紅色十字代表短半徑。由圖 3.2.3 的上圖可知，在分析颱風時間的最大風速都超過中度颱風的最低標準。中間圖的 r50 顯示，在 11 日 20 時前，長短半徑是一樣，為 190 km，說明颱風眼附近的內圈是對稱的，但爾後的長短半徑逐漸差異越大，約為 220 km 及 150 km。當颱風在臺北港附近，最後長短半徑有 300 km 及 190 km 的差異。下圖的 r30 顯示，在 10 日 6 時以後由中度颱風轉為強列颱風，長短半徑就稍有差異，約為 500 km 及 440 km， 12 日 8 時以後，差異更大，當颱風在臺北港附近，最後長短半徑有 650 km 及 440 km 的差異。由此說明蘇力颱風在 12 日由強列颱風轉為中度颱風後，颱

風就變得越來越不對稱。

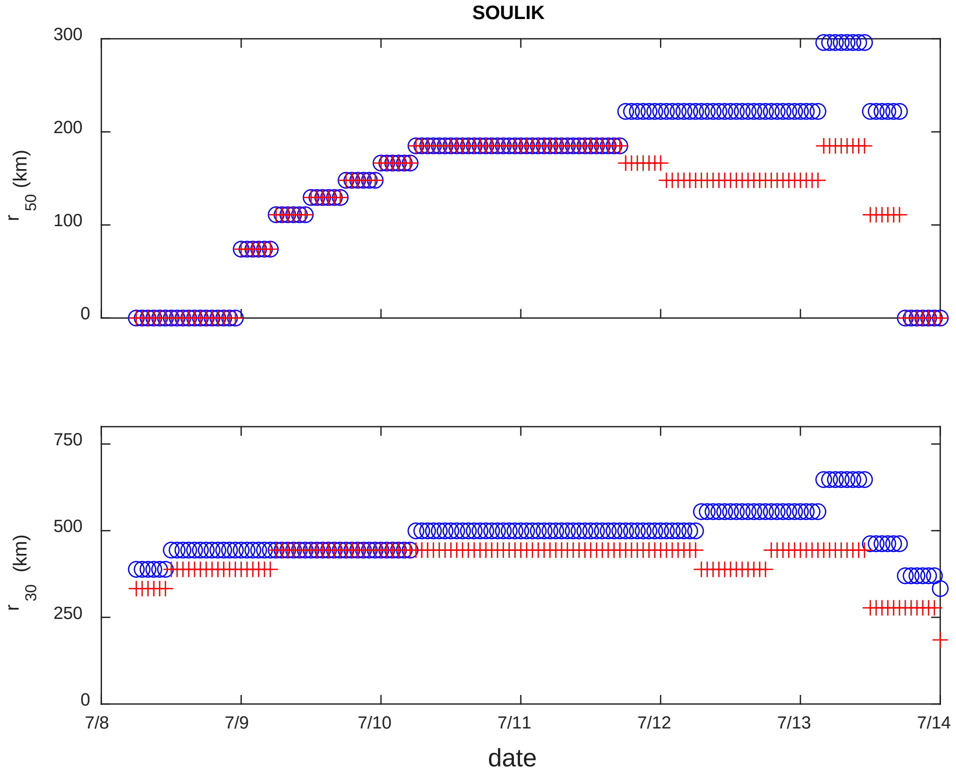


圖 3.2.3 蘇力颱風的颱風最大風速及 r50 及 r30

圖 3.2.4 可顯示蘇力颱風侵臺的 6 天中，從約 2500 km 的距離至極近臺北港後再離開臺灣。因蘇力颱風幾乎直線往臺北港前進，其距離呈直線變化，直至 13 日 8 時左右於新竹附近出海距離最近，隨後又遠離而增加距離。至於颱風最大風速及移動速度，如圖 3.2.4 之下圖之藍色圓圈及紅色十字。由圖 3.2.4 下圖可知，蘇力颱風前期屬於輕度轉為中度颱風，最大風速逐漸增加，至 10 日 6 時左右轉為強颱，最大風速約為 50m/s，11 日 6 時左右再轉為中颱，最大風速慢慢減緩，當颱風中心皆位於臺灣，最大風速衰減較快。至於蘇力颱風移動速度，最大值為 9.48 *m/s*，最小值為 2.42 *m/s*，平均值約為 6.29 *m/s*，而標準差為 1.34*m/s*，可見蘇力颱風的移動是屬於比較均勻的。

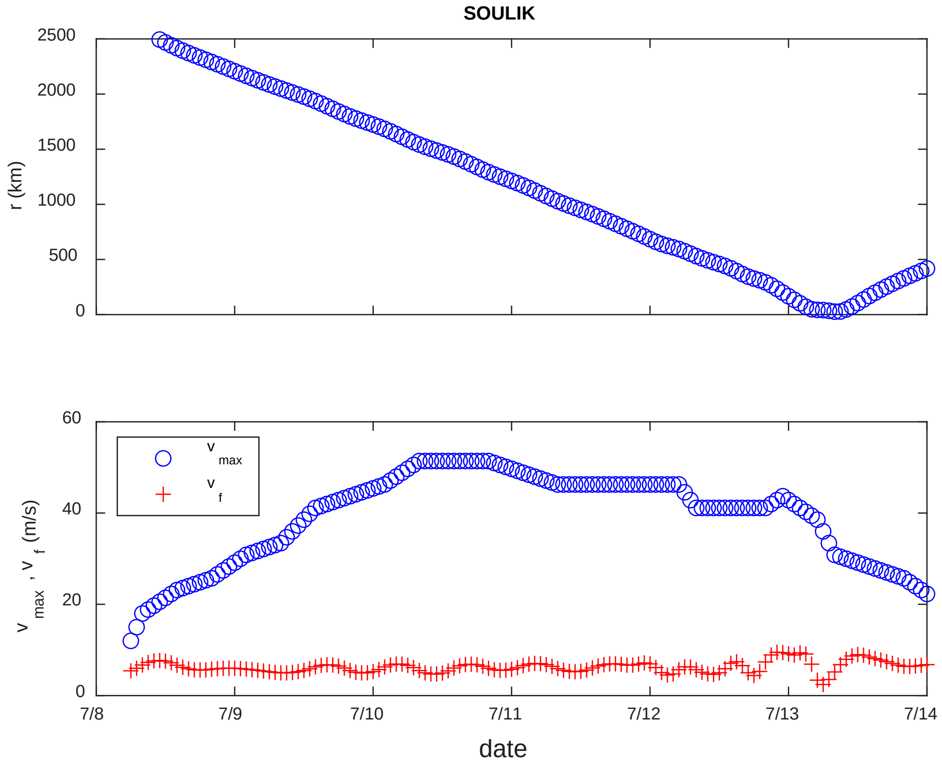


圖 3.2.4 蘇力颱風中心與臺北港觀測樁的距離

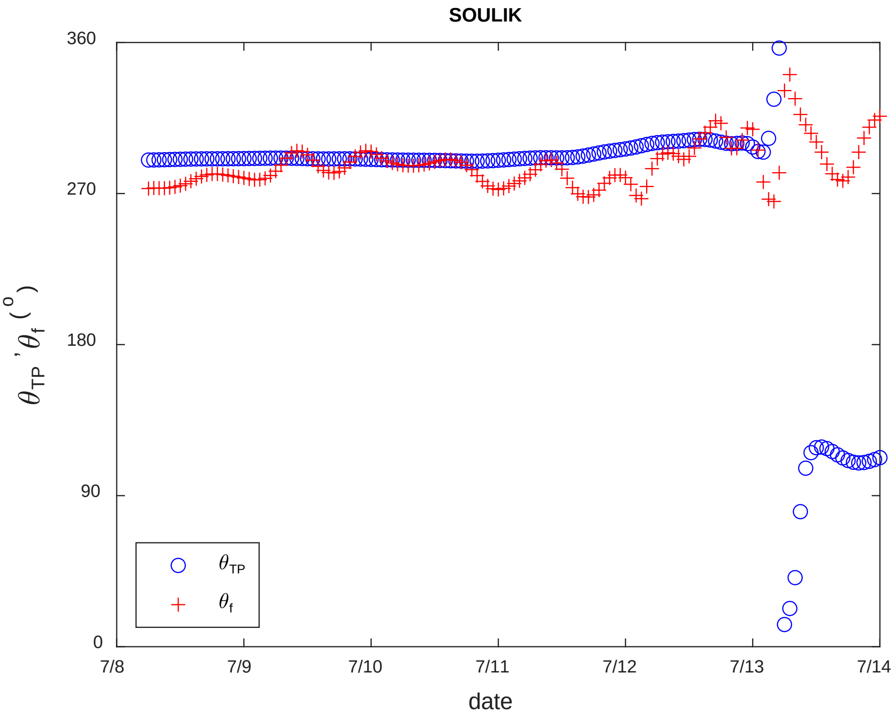


圖 3.2.5 蘇力颱風中心與臺北港觀測樁的方位角及前進方位角

圖 3.2.5 說明蘇力颱風從東往西進行時，與臺北港觀測樁的方位角持續維持約 290°，所以蘇力颱風前進方位角也維持約 290°但有上下幾度的振盪。當蘇力颱風在 7 月 13 日接近臺北港，位於桃園處，因此與臺北港觀測樁的方位角就接近於正方向，之後與臺北港觀測樁的方位角就在第一象限上，此時段的蘇力颱風還是往西前進方位角也約在 290°，但振盪更大。

以上述兩種風場模式及 8 種最大風速半徑 R 計算在臺北港外海觀測樁的風速特性，示如圖 3.2.6。由圖 3.2.6 顯示 8 種計算蘇力颱風的 R，OU99 及 KN07 所計算的 R 明顯大於其他 6 種，前者平均約 63km 且在颱風中期明顯大於前後期的 R，後者平均約 65km 且在颱風期間的 R 變動不大。GN59 的 R 在 8 種結果幾乎是最低的，且在颱風過程逐漸增加，平均約 28 km。SI02 的結果都有颱風前後期的 R 明顯較中期大，平均 R 約 39 km。WR04 及 NE19 的變動趨勢及值大小差不多，二者約 31.5 km，但是 NE19 估算前期輕颱的 R 有明顯變化，差異可達 40 km。WA78 及 TW16 在颱風前期逐漸增加 R，再中期時 R 比較固定，再直至接近臺北港快速增加後衰減，WA78 的 R 值比 TW16 較大，前者平均 R 約 47 km，而後者約 41 km。WA78、KN07 及 TW16 三者在颱風中期的 R 變化不大且三者接近。

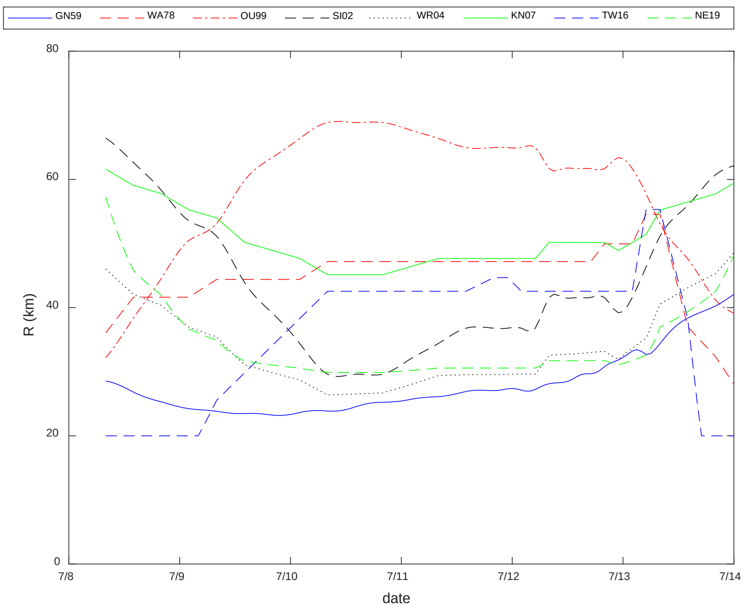


圖 3.2.6 以 8 種公式計算的蘇力颱風最大風速半徑

由圖 3.2.7 顯示以圖 3.2.6 的 8 種最大風速半徑代入 RVM 模式所計算的臺北港觀測樁的風速率，在颱風中心未接近臺北港時，8 種計算平滑的風速率都比稍微起伏的實測風速率大。當 R 值越大的計算風速率就比 R 值小者越偏離實測值，此因當推算點且風速衰減的冪次方固定時，越大的 R 值帶入式(1)所得計算風速就大於較小 R 值。如上述 R 的討論，OU99 有較大 R 值(紅色點線)，因此臺北港的相對距離也較大，所以計算速度就高於 GN59(藍色實線)。當颱風中心接近臺北港後及離開臺北港時，實測風速率有下降且再稍微升起的現象，若 R 值較大者就能描述此現象，但較小 R 值者就無法呈現。

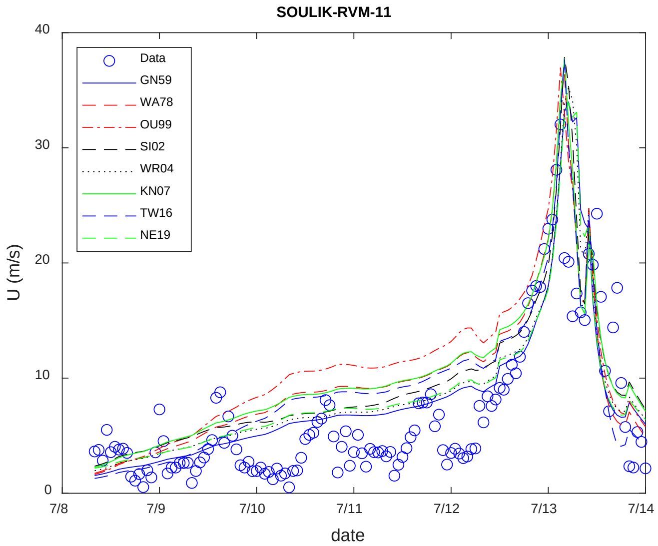


圖 3.2.7 以 RVM 模式計算蘇力颱風在臺北港風速率與風實測比較

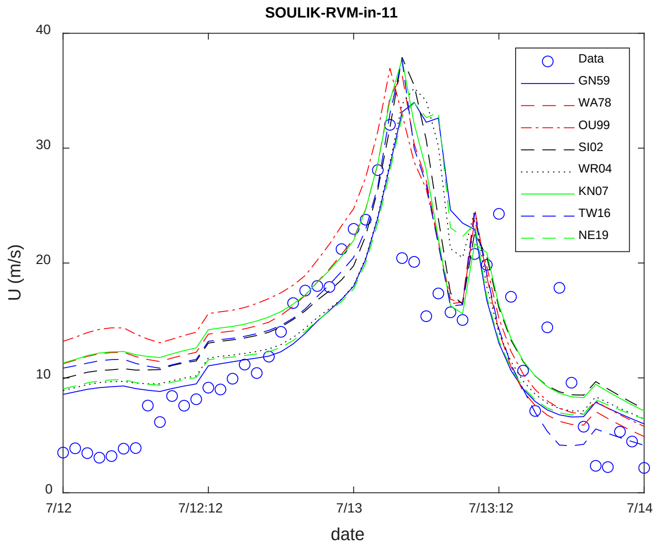


圖 3.2.8 以 RVM 模式計算蘇力颱風接近臺北港風速率與風實測比較

考慮颱風中心接近臺北港 500 km 範圍內的風速率時，圖 3.2.8 比較 8 種 RVM 模式計算結果與實測值。圖 3.2.8 顯示有 OU99、WA78、SI02、KN07 及 TW16 等 5 種可以描述測風速率有二次峰值的現象，其他 3 種較小 R 值則無法呈現此現象。

為量化說明計算風速分量與實測風速的吻合程度，以 WA78 為例，繪製計算風速與實測風速的散布圖(scatter plot)，示如圖 3.2.9。由圖 3.2.9 顯示風速的垂直分量呈現帶狀分布於傾斜直線上，但是水平分量就分布於水平直線。此因蘇力颱風略為向西移動，計算的風速幾乎是垂直的分量，水平分量就極低。

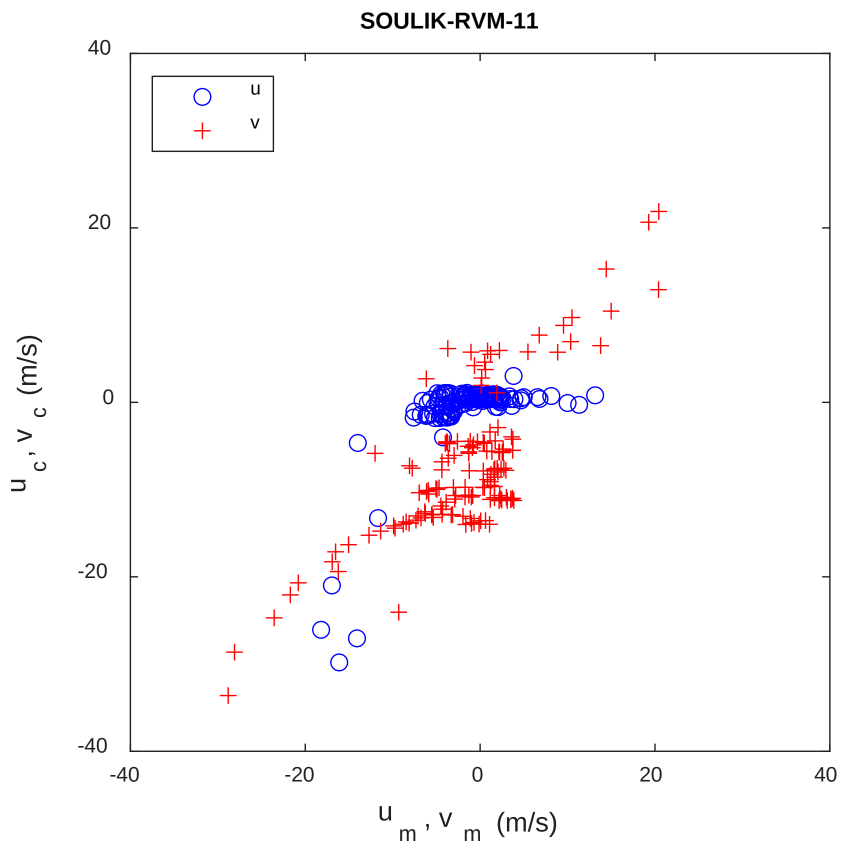


圖 3.2.9 以 WA78 計算 RVM 模式風速與實測風速的散布圖

以 RVM 模式計算整場風速率與實測值的 RMSE 及 bias 及颱風近臺北港 500km 的結果，分別示如圖 3.2.10。由圖 3.2.10 可知計算整場風速率與實測值的 RMSE 介於 4.8 m/s 至 6.7 m/s 之間，最低者為以 GN59 計算所得，最大兩個 RMSE 為以 OU99 及 KN07 計算所得者，RMSE 均 6.7±0.04 m/s 以上，其他的約為 5.0 m/s 至 5.7 m/s 之間。至

於 bias，GN59 所得為最低接近於 2.54 m/s，最高兩個為 OU99 及 KN07 的結果，均約 5.3±0.12 m/s。其他的約為 2.9 m/s 至 4.0 m/s 之間。由上述分析可知，計算整場風速率與實測值的 RMSE 大部分來自於颱風離臺北港遠處，在颱風核心外的 RVM 表示衰減慢，因高估所造成的 bias。

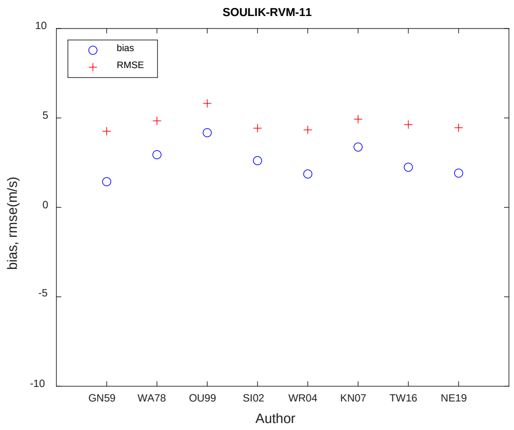


圖 3.2.10 以 RVM 模式計算整場風速率與實測值的 RMSE 及 bias

圖 3.2.11 為颱風近臺北港 500km 的 RMSE，其值介於 5.0 m/s 至 6.3 m/s 之間，最大三個 RMSE 反而為以 GN59、WR04 及 NE19 計算所得，約為 6.21±0.04 m/s，其他的約為 5.0 m/s 至 5.6 m/s 之間。至於 bias，最低兩個為 GN59 及 TW16 的結果，約 0.94±0.003 m/s，其次 WR04 及 NE19 有約 1.1±0.1 m/s 的 bias。其他的約為 1.4 m/s 至 3.2 m/s 之間。

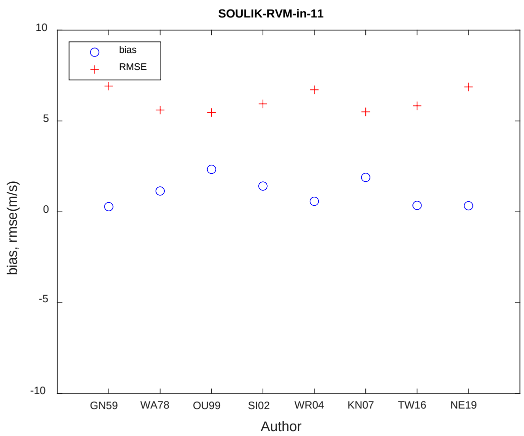


圖 3.2.11 以 RVM 模式計算颱風近臺北港風速率與實測值的 RMSE 及 bias

若以向量相關係數來看計算風速與實測值的整體趨勢是否一致，比較 8 種 R 公式所得整場颱風及颱風接近臺北港的結果，分別示如圖 3.2.12 及圖 3.2.13。由圖 3.2.12 及圖 3.2.13 顯示向量相關係數約在 0.475-0.508 及 0.514-0.55 間。圖 3.2.12 顯示最高者為 OU99，最低者為 SI02。而圖 3.2.13 最高者亦為 GN59，最低者還是 SI02。而此二圖的 8 個向量相關係數標準差相當小，僅分別為 0.010 及 0.015，故難以此當為評估優選 R 的好指標。

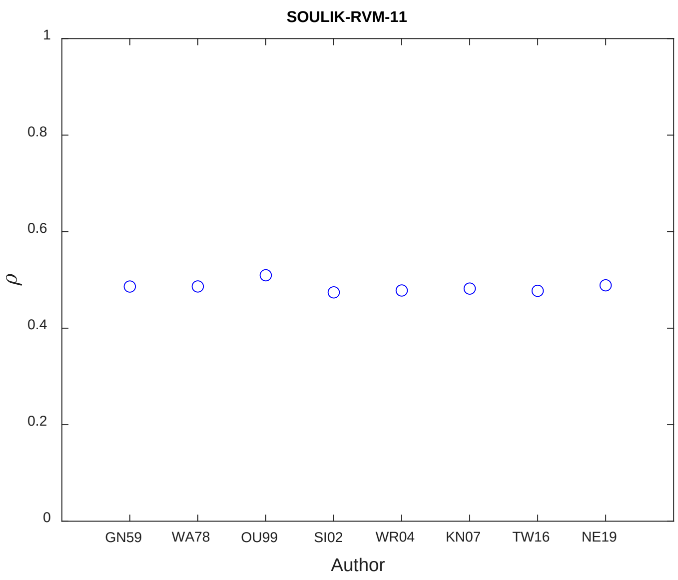


圖 3.2.12 以 RVM 模式計算整場風速與實測風速的向量相關係數

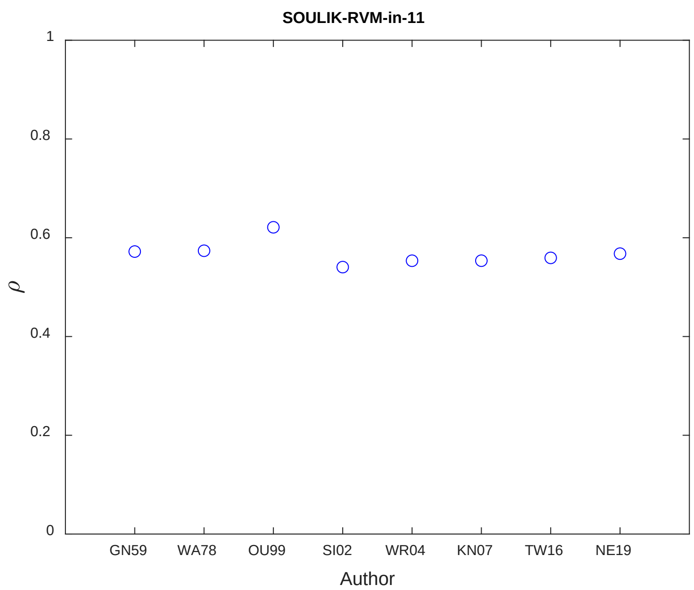


圖 3.2.13 以 RVM 模式計算颱風接近臺北港的風速與實測風速的向量相關係數

仿如上述 RVM 的分析及討論，接下來說明以 Holland 模式的計算結果。圖 3.2.14 顯示 Holland 模式所計算的臺北港觀測樁的風速率，在蘇力颱風中心未接近臺北港時，8 種計算平滑的風速率都稍大於振盪起伏的實測風速率，而在蘇力颱風中心接近臺北港時，計算風速接近於實測值，無明顯的雙峰風速特性。此無雙峰現象可以在圖 3.2.15 更清楚呈現計算的蘇力颱風接近臺北港風速率。

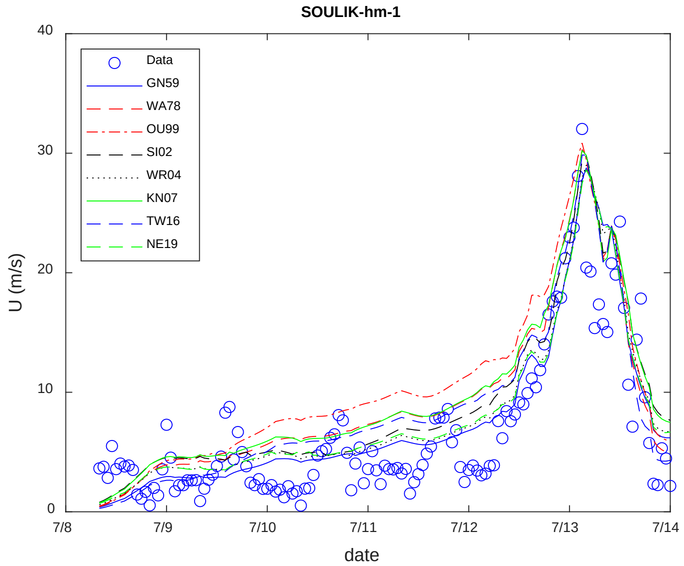


圖 3.2.14 以 HOLLAND 模式計算蘇力颱風在臺北港風速率與風實測之比較

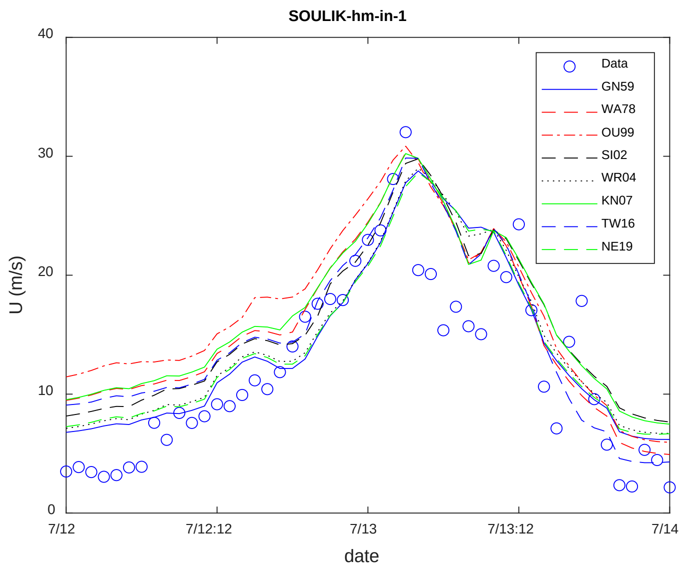


圖 3.2.15 以 HOLLAND 模式計算蘇力颱風接近臺北港風速率與風實測之比較

圖 3.2.16 為計算風速與實測風速的散布圖。由圖 3.2.9 顯示風速的垂直分量呈現帶狀分布於傾斜直線上，但是水平分量還是多分布於水平直線上。若與圖 3.2.9 比較可知，垂直分量較接近於傾斜 45 度的直線上。

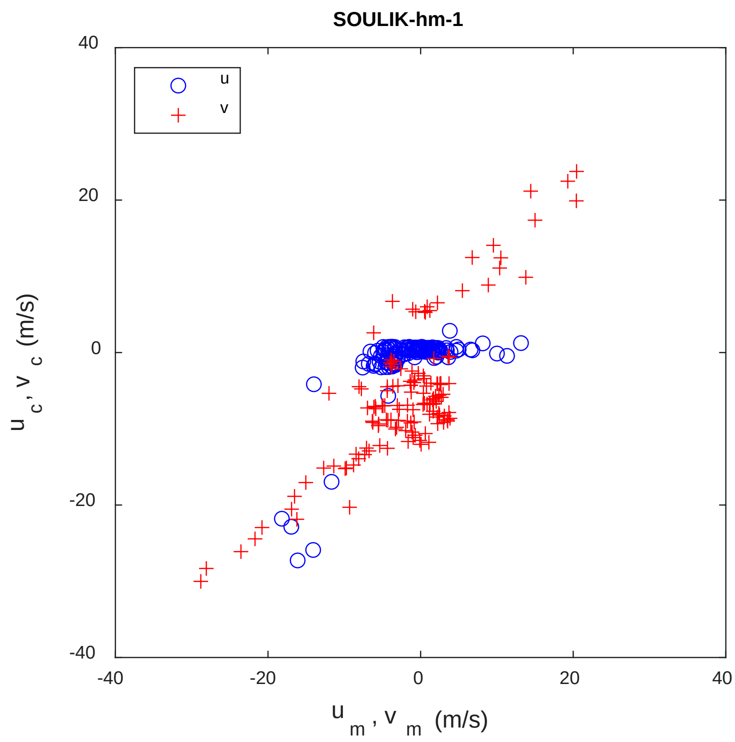


圖 3.2.16 以 WA78 計算 HOLLAND 模式風速與實測風速的散布圖

以 HOLLAND 模式計算整場風速率與實測值的 RMSE 及 bias 及颱風近臺北港的結果，分別示如圖 3.2.17。由圖 3.2.17 可知計算整場風速率與實測值的 RMSE 介於 3.3 m/s 至 5.9 m/s 之間，最大兩個 RMSE 為以 OU99 及 KN07 計算所得者，RMSE 約 5.86 ±0.006m/s 以上，最低者為以 GN59 計算所得，其他約為 4.0 m/s 至 4.8 m/s 之間。至於 bias，GN59 所得為最低接近於 1.85 m/s，最高兩個為 OU99 及 KN07 的結果，均約 4.72 ±0.15m/s。其他的約為 2.3 m/s 至 3.4 m/s 之間。若比較圖 3.2.10 的 RVM 可知，HOLLAND 模式計算整場風速的 RMSE 比 RVM 低約 1m/s。

若以圖 3.2.18 來看，颱風近臺北港 500km 的 RMSE 介於 4.7 m/s 至 5.6 m/s 之間，結果相近，最大 RMSE 為以 OU99 計算所得，最低者為以 TW16 計算所得。至於 bias，最低者為 GN59 的結果，1.07 m/s，

最高者為 KN07 計算所得，約 4.3 m/s。其他的約為 1.3 m/s 至 3.5 m/s 之間。

圖 3.2.19 及圖 3.2.20 分別為所得整場颱風及颱風接近臺北港計算風速與實測值的的向量相關係數。由圖 3.2.12 及圖 3.2.13 顯示向量相關係數約在 0.49-0.51 及 0.55-0.59 之間。圖 3.2.19 顯示 OU99 的向量相關係數高於其他者，最低者為 GN59。圖 3.2.20 比較高的二者亦為 WA78 及 OU99，最低者還是 KN07。

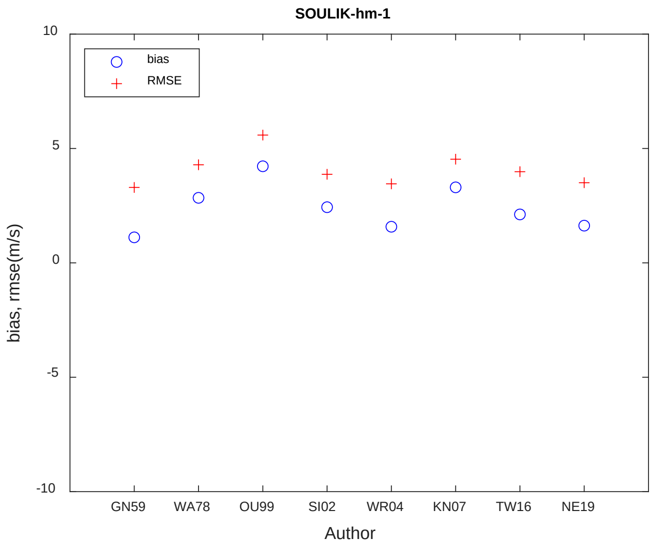


圖 3.2.17 以 HOLLAND 模式計算整場風速率與實測值的 RMSE 及 bias

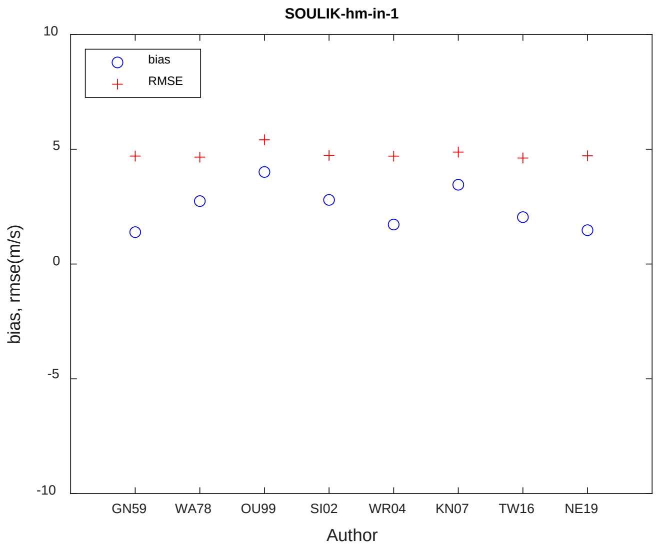


圖 3.2.18 以 HOLLAND 模式計算颱風近臺北港的風速率與實測值的 RMSE 及 bias

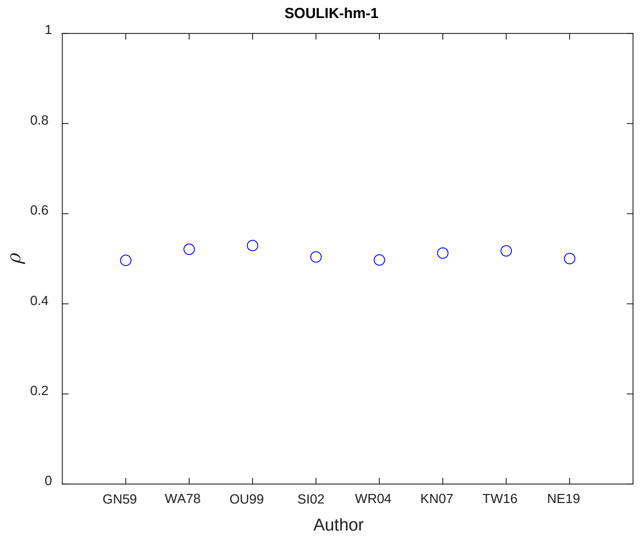


圖 3.2.19 以 HOLLAND 模式計算整場風速與實測風速的向量相關係數

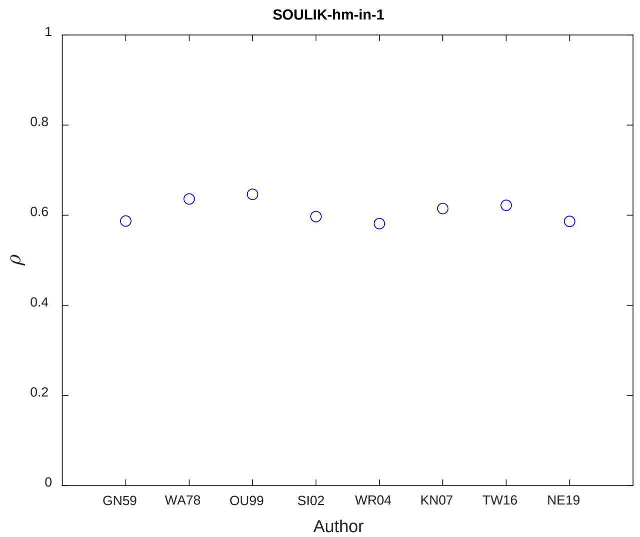


圖 3.2.20 以 HOLLAND 模式計算颱風接近臺北港風速與實測風速的向量相關係數

在式(3.2-1)的 RVM 風場模式中尺度參數(size parameter)，代表颱風眼外的風速衰減速率，當尺度參數越大，代表衰減速率越大。Riehl (1963)發現大西洋數個颱風核心外圍風速衰減率 x=0.5 或 Blanchard and Hsu (2005)分析 Wilma 颱風(2005) 核心外圍風速衰減率為 0.62。考慮各種條件下不同模式模擬蘇力颱風風速的結果，為較完整評估模式模擬能力的可靠度，在此節分析兩種參數化颱風模式，8 種最大風速半徑，颱風核心外圍衰減速率及因颱風移動速度的速度修正程式等因素，模擬 12 場颱風的風速，並比較模式評估指標，建立計算侵台

颱風風速的合適方式。本研究整理 8 種計算颱風風速方法的條件，如表 3.2-3 所示：

表 3.2-3 8 種計算颱風風速方法的條件

方法編號	模式	颱風移動修正	衰減速率(x)
1(RVM-11)	RVM	公式(3-5a)	0.5
2(RVM-12)	RVM	公式(3-5a)	0.7
3(RVM-13)	RVM	公式(3-5a)	0.62
4(HM-1)	HM	公式(3-5a)	-
5(RVM-21)	RVM	公式(3-5c)	0.5
6(RVM-22)	RVM	公式(3-5c)	0.7
7(RVM-23)	RVM	公式(3-5c)	0.62
8(HM-2)	HM	公式(3-5c)	-

為了解不同計算方式配合 8 種最大風速半徑公式在 12 場颱風風速與實測值的吻合度，以 12 場颱風為基準，比較 8 種計算方式中最低的 RMSE、BIAS 及最高的相關係數 ρ，表示最佳的計算方式；以及最高的 RMSE、BIAS 及最低的相關係數 ρ，表示最差的計算方式。圖 3.2.21 至圖 3.2.23 分別以 8 種計算方式計算 12 場颱風最低的 RMSE、BIAS 及最高 ρ。由圖 3.2.21 可知，由同一種參數模式但兩種颱風移動速度修正的結果相近，其中以 RVM12 及 RVM13(即衰減係數為 0.7 及 0.62)的 RMSE 結果(紅色及綠色線)大部分颱風情況的較另外兩種高。有較低 RMSE 的 HM 及 RVM11(黑色及藍色線)的 RMSE 差異相近。8 種計算方式計算所得圖 3.2.22 的 BIAS 也顯示如圖 3.2.21 的結果，大部分的情況 RVM12 及 RVM13 比 HM 及 RVM11 有較大的 BIAS。至於圖 3.2.23 最高相關係數 ρ 的差異不大，無法比較計算方法的優劣。

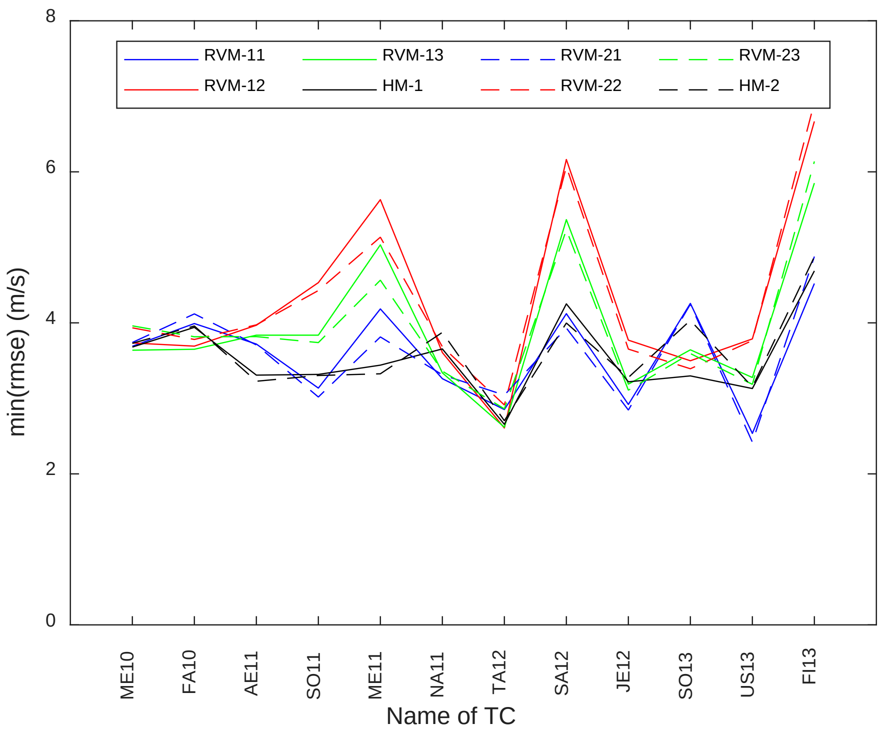


圖 3.2.21 以 8 種計算方式計算 12 場颱風最低的 RMSE

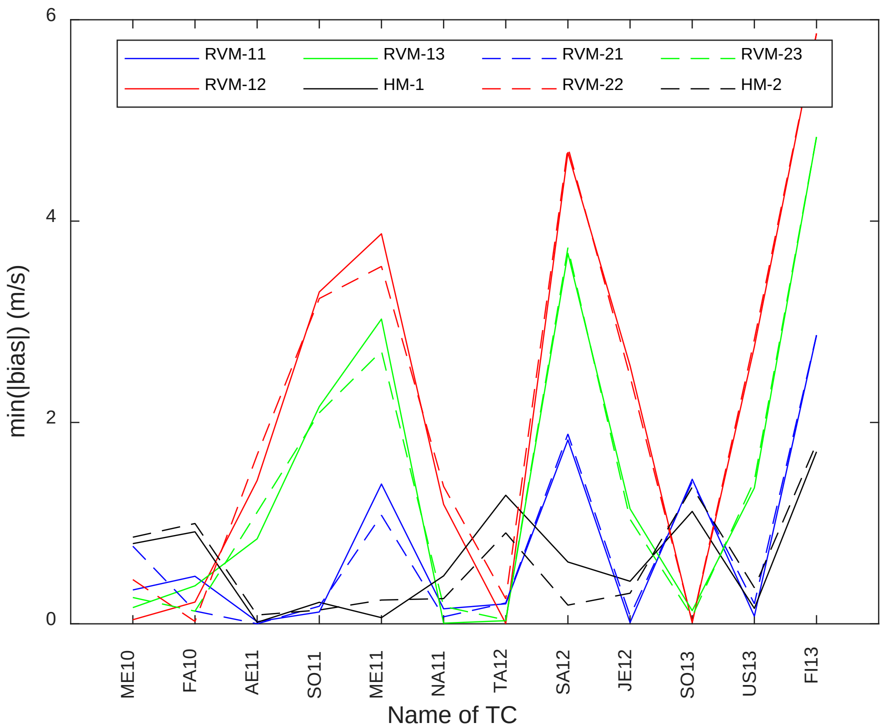


圖 3.2.22 以 8 種計算方式計算 12 場颱風最低的 BIAS

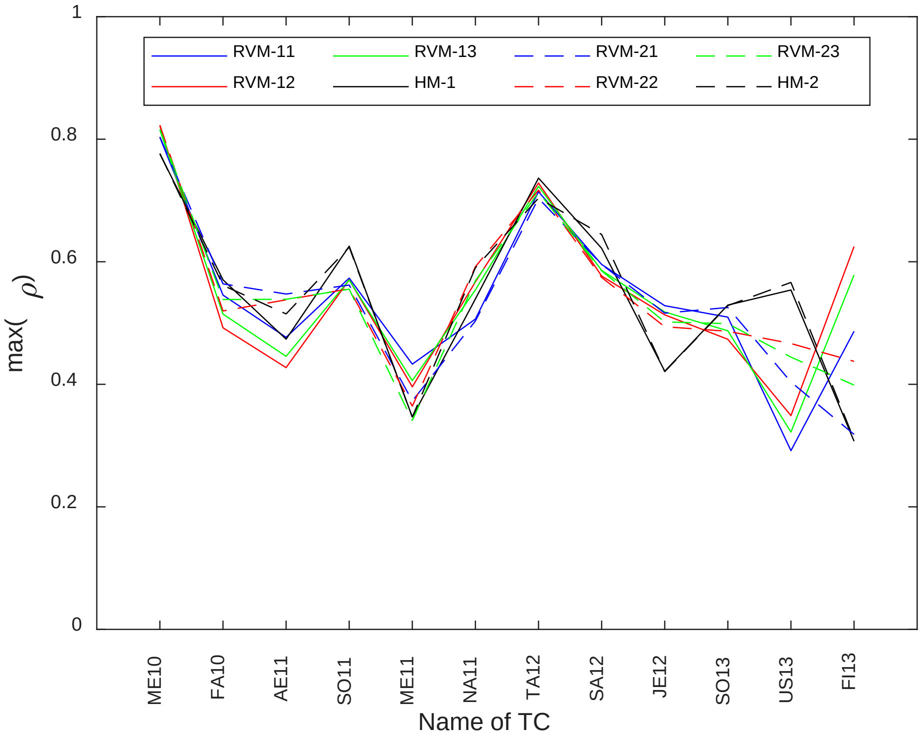


圖 3.2.23 以 8 種計算方式計算 12 場颱風最高 ρ

為清楚分析不同方法計算最低的 RMSE、BIAS 及最高 ρ 是以何種最大風速半徑公式所得。以最低的 RMSE 為例，將 8 種計算方式配合 8 種最大風速半徑公式所計算 12 場颱風的最低 RMSE 情況的最大風速半徑公式編號，列如表 3.2-4。

表 3.2-4 以 8 種計算方式所得最低 RMSE 情況的最大風速半徑公式編號

颱風 方法	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	7	1	1	6	2	2	1	6	6	1	6	6
2	8	6	4	3	2	3	8	2	3	6	3	6
3	8	4	4	3	6	6	8	2	3	6	3	6
4	7	1	1	6	5	4	7	6	6	1	2	6
5	7	1	5	6	6	2	1	2	6	1	6	6
6	8	6	4	3	6	6	8	2	3	3	3	6
7	8	4	4	3	6	6	8	2	3	2	3	6
8	7	1	1	6	5	2	7	4	6	1	8	6

由表 3.2-4 可知，以 8 種計算方式所得最低 RMSE 情況的最大風速半徑公式編號，並非固定由哪個最大風速半徑公式最佳或最差，即不同計算方法配合某種最大風速半徑公式對個別颱風是有較低的 RMSE。然而，若統計表 3.2-4 中，8 種計算方式及 12 場颱風的 96 種情況的最低的 RMSE 的最大風速半徑公式，列於表 3.2-5 的第一列。而表 3.2-5 的第二列則為統計有最低 BIAS 的最大風速半徑公式的數量。

相反地，圖 3.2.24 至圖 3.2.26 分別以 8 種計算方式計算 12 場颱風最高的 RMSE、BIAS 及最低 ρ 來凸顯較差模擬颱風風速的結果。如圖 3.2.24 可知，由同一種參數模式但兩種颱風移動速度修正的結果相近，其中大部分颱風情況的 RVM12 及 RVM13(即衰減係數為 0.7 及 0.62)的 RMSE 結果(紅色及綠色線)較另外兩種高。有較低 RMSE 的 HM 及 RVM11(黑色及藍色線)的 RMSE 差異相近。8 種計算方式計算所得圖 3.2.25 的 BIAS 也顯示如圖 3.2.24 的結果，大部分的情況 RVM12 及 RVM13 比 HM 及 RVM11 有較大的 BIAS。至於圖 3.2.26 的最低相關係數 ρ 的差異不大，無法比較計算方法的優劣。如同表 3.2-4 統計有最高 RMSE 及 BIAS 的最大風速半徑公式數量列於表 3.2-5 的最後兩列。

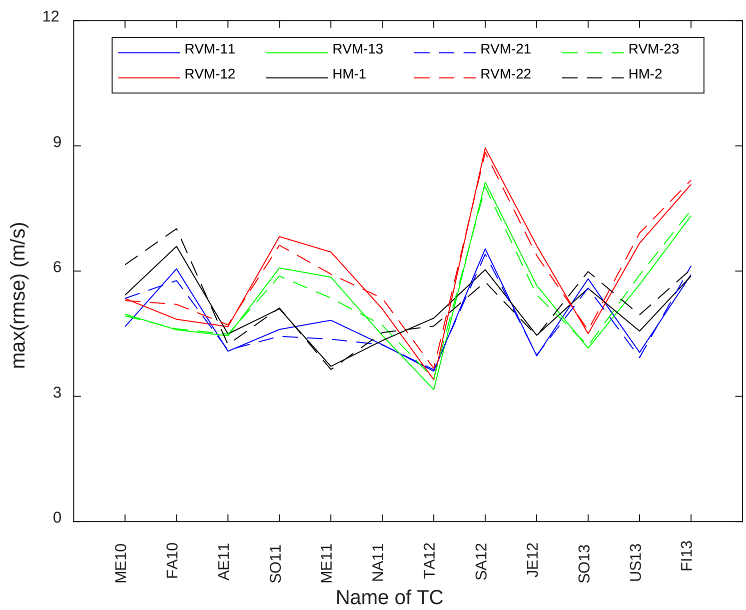


圖 3.2.24 以 8 種計算方式計算 12 場颱風最高的 RMSE

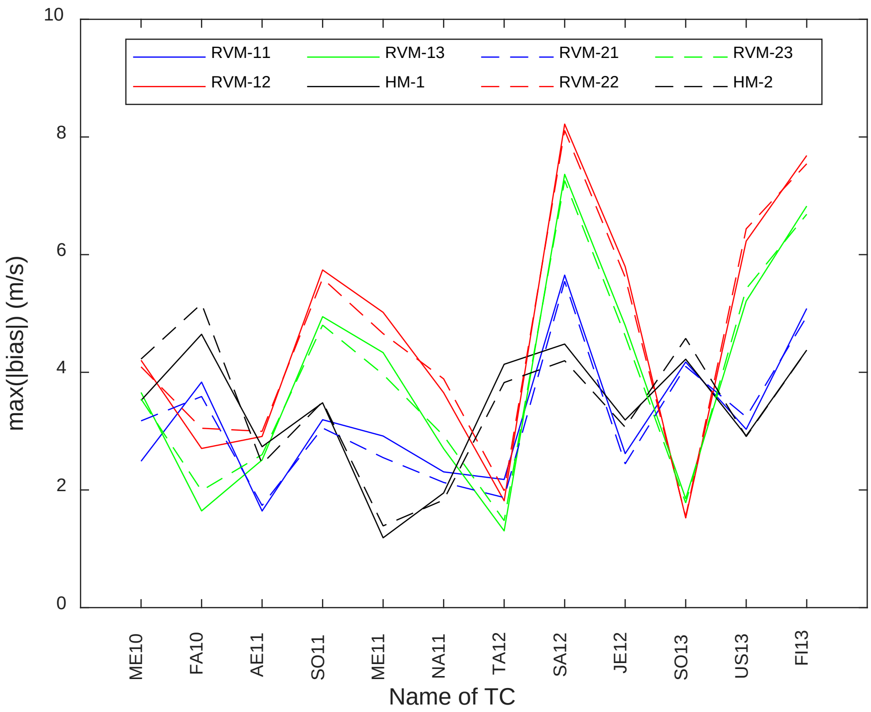


圖 3.2.25 以 8 種計算方式計算 12 場颱風最高的 BIAS

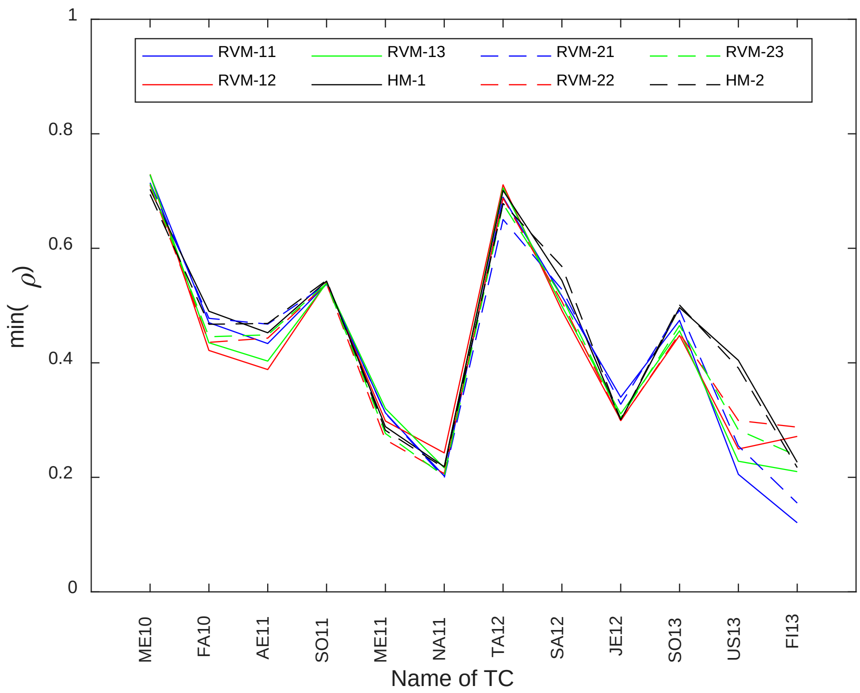


圖 3.2.26 以 8 種計算方式計算 12 場颱風最低 ρ

表 3.2-5 以 8 種最大風速半徑公式計算最佳及最差評估指標的編號

公式 / 指標	1	2	3	4	5	6	7	8
Min(RMSE)	13	12	14	8	3	31	6	9
Min(Bias)	8	14	20	9	1	27	11	6
Max(RMSE)	30	6	17	10	0	0	30	3
Max(Bias)	30	5	10	9	0	2	40	0

由表 3.2-5 的第一及二列可知，以第 6 種最大風速半徑公式(KN07)計算方式所得最低 RMSE 及 BIAS 的數量式最多的，而第 5 種最大風速半徑公式(WR04)計算方式所得最低 RMSE 及 BIAS 的數量式最少的。由表 3.2-5 的第三及四列可知，以第 1 及 7 種最大風速半徑公式(GN59 及 TW16)計算方式所得最高 RMSE 及 BIAS 的數量式最多兩個的(差異相近)，而第 4 及 5 種最大風速半徑公式(WR04 及 KN07)計算方式無所得最高 RMSE 及 BIAS 的數量。以此結果來判斷，KN07 的最大風速半徑公式可以提供各種計算方式獲得較低 RMSE 及 BIAS，而 GN59 及 TW16 的最大風速半徑公式卻反有較大的 RMSE 及 BIAS。

綜合上述比較結果，本研究以 MATLAB 撰寫風場計算模組，其中包括導入前處理流程中自動下載與內插的颱風資訊，再進行最大暴風半徑(採用 KN07)與參數化風場(RVM)的計算，並經颱風移動效應、切線風速角度修正與梯度風速轉換等風場修正，最後生成高空間解析度之風場網格資料，並經座標轉換後以 DHI mikeSW 所需的三角網格進行儲存。

3.3 波浪計算模組

本研究主要波浪推算模式採用丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發完成之 MIKE 21 軟體進行數值模擬，DHI 是一個獨立的國際諮詢及科學研究機構，其所研發的 MIKE 21 是模擬水動力、水質、泥沙、波浪的專業工程軟體，主要應用於港口、河流、湖泊、河口海岸和海洋，具有先進的前後處理功能和用戶介面。

3.3.1 波浪模式介紹

模式以有限體積法(Finite Volume Method)將控制方程式在空間上進行離散，所採用之網格系統為非結構性三角形網格，每一個三角形都代表一個元素，每一時間步均可解出各元素中心的 N 值。

MIKE 21 SW 主要用於模擬離岸及近岸區，風浪和湧浪的成長、衰減及傳播變形。MIKE 21 SW 包含兩個不同公式

1.全譜公式

全譜公式基於 Komen 等人(1994)和 Young (1999)的波動守恆方程。全譜模式包含下列物理現象：風浪成長、波與波非線性交互作用、白沫消散、底床摩擦消散、水深引起的波浪破碎、水深變化引起的折射和淺水變形、波流交互作用、水深隨時間變化產生的影響、波浪場冰層覆蓋產生的影響。

該模式係模擬波浪在各種外力作用下之波能變化，其求解之方程式為波浪作用力守恆方程式(Wave action conservation equation)，此方程式為二維時變域之偏微分方程式，表示如式(3-14)：

$$\partial N/\partial t + \nabla \cdot (v\vec{N}) = S/\sigma \tag{3-14}$$

其中，$N(\vec{x},\sigma,\theta,t)$為波力頻譜密度函數(wave action density function)，與波能頻譜密度函數(wave energy density function)之關係為 $N=E/\mathrm{N}$；$\vec{x}=(x,y)$為卡氏坐標；t 為時間；σ 為角頻率；而 θ 則為波向角。

$\vec{v}=\left(c_x,c_y,c_\sigma,c_\theta\right)$為一個 4 維空間的向量，$\left(c_x,c_y\right)=\frac{d\vec{x}}{dt}=\vec{c_g}+\vec{U}$，代表群波在空間上的傳遞速度，其中$\vec{c_g}$為群波速度，而$\vec{U}$則為海流之流速，模式可考量波浪在海流流動狀況下之傳遞情形。$c_\sigma = d\sigma/dt$，代表角頻率 σ 之變化速度。$c_\theta = d\theta/dt$，代表波向角 θ 之變化速度。

$\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial\sigma, \partial/\partial\theta)$ 為一個 4 維空間的向量運算子，S 則

為源項(Source term)，代表波浪傳遞過程時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象，表示如式(3-15)：

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \tag{3-15}$$

其中 S_{in}為風浪之成長項，S_{nl}為波與波非線性交互作用項，S_{ds}為白沫消散項，S_{bot}為底床摩擦項，而 S_{surf}則為碎波消耗項。

2.方向參數化解耦公式

方向參數化解耦公式基於波動守恆方程的參數化形式，按照 Holthuuijsen (1989)理論，參數化在頻率空間內進行，引入波譜的零階和一階矩作為決定變量，可用於以波浪碎波後而產生之沿岸流的泥沙傳輸計算。參數化的方程式表示如式(3-16)、式(3-17)：

$$\frac{\partial(\mathrm{m}_0)}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial(\mathrm{C}_{\mathrm{gx}}\mathrm{m}_0)}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial(\mathrm{C}_{\mathrm{gy}}\mathrm{m}_0)}{\partial \mathrm{y}} + \frac{\partial(\mathrm{C}_{\theta}\mathrm{m}_0)}{\partial \theta} = \mathrm{T}_0 \tag{3-16}$$

$$\frac{\partial(\mathrm{m}_1)}{\partial \mathrm{t}} + \frac{\partial(\mathrm{C}_{\mathrm{gx}}\mathrm{m}_1)}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial(\mathrm{C}_{\mathrm{gy}}\mathrm{m}_1)}{\partial \mathrm{y}} + \frac{\partial(\mathrm{C}_{\theta}\mathrm{m}_1)}{\partial \theta} = \mathrm{T}_1 \tag{3-17}$$

其中 $m_0(x,y,\theta)$為波譜 $N(x,y,\omega,\theta)$的零次矩，$m_1(x,y,\theta)$為波譜 $N(x,y,\omega,\theta)$的一次矩，C_{gx}及 C_{gy}分別為群波速度 x、y 方向之分量，C_θ為θ方向的波浪行進速度，ω為角頻率，T_0和 T_1為 Source Terms，包含風、底床摩擦、碎波等因素。n 次矩 $m_n(\theta)$定義如式(3-18)：

$$\mathrm{m}_{\mathrm{n}}(\mathrm{x}, \mathrm{y}, \theta) = \int_0^\infty \omega^{\mathrm{n}} \mathrm{N}(\mathrm{x}, \mathrm{y}, \omega, \theta) \mathrm{d}\omega \tag{3-18}$$

3.3.2 數值模擬條件

本研究所採用之地形資料，於近岸區利用海軍海洋測量局發行之海圖地形，而遠岸區則採用 National Geophysical Data Center 發布之全球高程資料 ETOPO2v2 (2006)。該地形資料範圍包含東經 180º～西經 180º、北緯 89.967º～南緯 90º，地形格網之解析精度為 2'×2' (約為 4×4 公里)。本研究採用非結構型三角網格方式計算，模擬範圍之邊界南約至北緯 14 º、北約至北緯 30 º、西約至東經 111º、東約至東經

135º，範圍涵蓋至大陸、臺灣及菲律賓群島，所模擬範圍之地形水深如圖 3.3.1 所示。由圖中可知，為於近岸區獲得較高精度之模擬結果，鄰近臺灣、澎湖、金門、馬祖海域之海岸線採用較密之網格，而遠岸區則採用較粗之網格，共計有 5,436 個節點、9,709 個元素，網格之設定如表 3.3-1 所示。地形及網格設定需綜合考慮目標區加密、各國際商港港型、計算時間及硬碟儲存空間，可依需求設定地形及網格資料作為數值模擬條件。

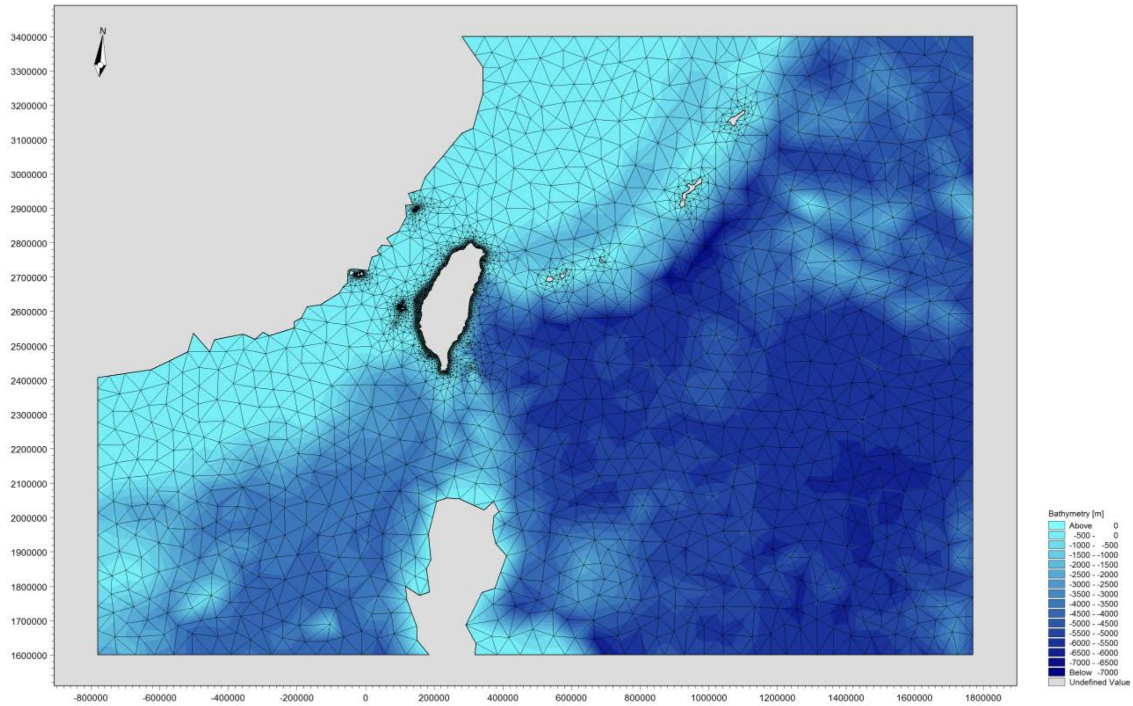


圖 3.3.1 風浪推算模擬範圍之地形水深

表 3.3-1 風浪推算模擬之網格設定內容

元素個數	9,709
節點個數	5,436
最小元素面積(m^2)	1,984
最大元素面積(m^2)	1.2×10^9

本研究進行 SW 模組颱風波浪推算所設定之相關參數如表 3.3-2 所示。在頻率領域方面，最小頻率採 0.055Hz，並以 1.1 倍參數的指數型式分割成 25 個頻率帶，相當於週期 1.85～18.18 秒。在角度領域

方面，以 22.5º為 1 個角度單位，共計分割成 16 個方向角，計算時距以 15 分鐘進行計算。風浪能量消散機制則考量 4 個波與波非線性交互作用、碎波效應、底床摩擦、白沫消散等物理機制。計算範圍的邊界條件共分成二種邊界形式，一為陸域邊界，其不考慮入射波浪的能量通量；另一為海域邊界，其考慮波浪通過此邊界時完全被吸收。

表 3.3-2 模式參數設定彙整表

相關參數	設　　定
頻率領域	0.055Hz~ 0.542Hz
角度領域	0º ~360º、$\Delta\theta$=22.5º
時　　距	Δt=15min
碎波指標	γ=0.8
底床摩擦	k_N=0.04m
白沫消散	C_{ds}=4.5、δ_{ds}=0.5

3.4 波浪推算精度驗證

數值模擬成果將提供後續預警介面使用，因此波浪計算模組的精度便顯得特別重要。為瞭解模式推算值與觀測值的吻合程度，採用式(3-19)至式(3-22)等 4 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為判定係數(R-square, R^2)、均方根誤差($RMSE$, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差$\Delta H_{s,p}$、最大波高發生時間誤差Δt_p。

$$R^2 = \frac{\left(\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,obs}\right)_{mn} - \overline{H}_{s,obs}\right)\left(\left(H_{s,num}\right)_{mn} - \overline{H}_{s,num}\right)\right)^2}{\left(\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,obs}\right)_{mn} - \overline{H}_{s,obs}\right)^2\right)\left(\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,num}\right)_{mn} - \overline{H}_{s,num}\right)^2\right)} \qquad (3\text{-}19)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn}\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,obs}\right)_{mn} - \left(H_{s,num}\right)_{mn}\right)^2} \qquad (3\text{-}20)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \qquad (3\text{-}21)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \tag{3-22}$$

其中 $H_{s,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高；$H_{s,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高；$t_{p,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間；$t_{p,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間。由式(3-21)可知，若 $\Delta H_{s,p}$ 為正值，表示模式推算的示性波高過於高估，若為負值則表示低估，由式(3-22)可知，若 Δt_p 為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。

在本所 104 年「臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究」的往昔研究成果中顯示使用 NCEP 風場推算颱風波浪時會因模擬風場的精度，使得 MIKE 21 SW 波浪模式無法精準的推算波浪的問題，顯示風場對於波浪推算的精度影響十分大。本節為說明本研究所建置的風場計算模組配合波場計算模組在國內各主要港口的推算精度，故以國內八個主要港口為目標進行颱風波浪模擬，表 3.4-1 為本研究選用的 21 場颱風資料，標題列 KL、TP、TC、BD、AP、KH、HL 及 SA 分別代表基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港。表格內則列出該場颱風事件本所監測記錄的最大波高值，後續以此 21 場颱風波浪推算結果與實測波高進行比較與驗證。

表 3.4-1 選用 21 場颱風資料與其所對應實測最大波高

颱風名稱(時間)	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA
DUJUAN(2015)	6.34	-	7.70	-	3.03	3.58	6.19	11.14
GONI(2015)	2.29	-	2.94	-	1.39	2.01	4.21	5.62
SOUDELOR(2015)	6.36	-	6.16	-	2.76	6.27	8.57	16.02
LINFA(2015)	5.63	-	3.00	-	-	4.03	3.44	5.26
CHAN_HOM(2015)	5.63	-	3.00	-	-	4.03	3.44	5.26
NOUL(2015)	1.91	-	1.86	-	0.91	1.15	2.57	3.30
AERE(2016)	5.04	5.09	-	1.41	-	-	3.04	3.88
MEGI(2016)	4.80	6.57	-	3.30	-	-	9.03	15.97
MALAKAS(2016)	4.74	4.93	3.21	2.97	-	-	7.01	7.75
MERANTI(2016)	2.46	2.89	3.21	2.97	-	-	7.01	7.75
NEPARTAK(2016)	1.75	1.54	3.55	2.05	2.72	-	5.70	6.67
TALIM(2017)	-	-	2.86	1.47	1.65	-	2.64	3.54
GUCHOL(2017)	1.09	-	1.65	1.12	2.02	-	1.81	2.03
HATO(2017)	1.41	1.00	2.41	1.55	3.41	-	3.32	3.76
HAITANG(2017)	2.61	3.17	3.05	2.38	4.53	-	4.74	-
NESAT(2017)	2.61	3.17	3.05	2.38	3.75	-	-	-
MANGKHUT(2018)	-	3.61	3.57	2.84	4.69	-	5.06	7.42
MARIA(2018)	5.64	4.87	2.31	0.90	-	-	-	6.16
MITAG(2019)	6.77	5.76	4.24	-	-	-	4.29	-
BAILU(2019)	-	1.36	3.37	-	-	-	5.14	-
LEKIMA(2019)	4.52	4.36	2.56	-	-	-	3.66	4.21

本自動化颱風波浪整合生成模組主要應用於臺灣周邊海域，雖然無深海測站的波高可供驗證，但可透過本所在臺灣各主要港口長期的監測資料來進行精度評估，故分為 8 個港口的測站進行比較。21 場颱風的路徑資料與模組推算精度比較圖可參見附錄。

表 3.4-2 為 21 場颱風中有相對應基隆港實測資料的 18 場推算精度分析，基隆港推算精度的比較中顯示，最大波高誤差平均絕對值約為 1.31m，其中尼莎(2017)推算結果有較大的高估現象，此外艾利(2016)與蓮花(2015)則有較明顯的低估。峰值發生時間誤差較大的有蓮花(2015)、艾利(2016)，這兩場颱風皆屬於臺灣南側西行颱風，基本上對基隆港無影響。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 0.84m，決定係數平均值為 0.45，決定係數較低的幾乎都是發生在峰值較不明顯的幾

場颱風，此外參數化風場對於非颱風造成的季節風浪無法正確的模擬也是可能的原因之一。

表 3.4-2 基隆港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE (m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	實測 $H_{s,p}$ (m)
2015	DUJUAN	杜鵑	0.52	0.88	1.12	0	6.34
2015	GONI	天鵝	0.91	0.28	0.67	-6	2.29
2015	SOUDELOR	蘇迪勒	0.96	0.55	0.19	-6	6.36
2015	LINFA	蓮花	1.07	0.25	-2.90	-113	5.63
2015	CHAN_HOM	昌鴻	0.73	0.89	-1.93	1	5.63
2015	NOUL	紅霞	0.72	0.05	0.25	-18	1.91
2016	AERE	艾利	2.18	0.16	-3.70	-74	5.04
2016	MEGI	梅姬	0.83	0.48	1.08	4	4.80
2016	MALAKAS	馬勒卡	1.42	0.07	1.22	-15	4.74
2016	MERANTI	莫蘭蒂	0.57	0.57	0.15	21	2.46
2016	NEPARTAK	尼伯特	0.88	0.49	1.31	-9	1.75
2017	GUCHOL	谷超	0.26	0.55	0.35	-1	1.09
2017	HATO	天鴿	0.36	0.08	-0.08	-6	1.41
2017	HAITANG	海棠	0.53	0.01	-1.29	29	2.61
2017	NESAT	尼莎	1.24	0.45	4.18	0	2.61
2018	MARIA	瑪莉亞	0.57	0.83	-0.21	2	5.64
2019	MITAG	米塔	0.68	0.72	-2.44	0	6.77
2019	LEKIMA	利奇馬	0.74	0.83	-0.57	-5	4.52
誤差平均絕對值			0.84	0.45	1.31	17.22	

表 3.4-3 為 21 場颱風中有相對應臺北港實測資料的 13 場推算精度分析，臺北港部分最大波高平均絕對誤差約 1.32m 與基隆港接近，其中尼莎(2017)推算結果與基隆港同樣有較大的高估現象，此外艾利(2016)則有較明顯的低估。峰值發生時間誤差較大的有山竹(2018)、艾利(2016)，這 2 場颱風皆屬於臺灣南側西行颱風，基本上對臺北港無影響。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 0.84m，決定係數平均值為 0.35。

表 3.4-3 臺北港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE (m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hr)	實測 $H_{s,p}$ (m)
2016	AERE	艾利	2.27	0.15	-3.98	-77	5.09
2016	MEGI	梅姬	0.67	0.62	-1.69	-1	6.57
2016	MALAKAS	馬勒卡	1.30	0.08	0.06	-8	4.93
2016	MERANTI	莫蘭蒂	0.50	0.58	-0.87	11	2.89
2016	NEPARTAK	尼伯特	0.72	0.25	0.99	-12	1.54
2017	HATO	天鴿	0.32	0.04	0.17	-4	1.00
2017	HAITANG	海棠	0.81	0.01	-2.11	29	3.17
2017	NESAT	尼莎	0.80	0.69	2.62	0	3.17
2018	MANGKHUT	山竹	0.91	0.02	-1.86	127	3.61
2018	MARIA	瑪莉亞	0.86	0.48	0.00	1	4.87
2019	MITAG	米塔	0.70	0.67	-2.11	7	5.76
2019	BAILU	白鹿	0.38	0.25	0.44	-9	1.36
2019	LEKIMA	利奇馬	0.63	0.67	-0.21	4	4.36
誤差平均絕對值			0.84	0.35	1.32	22.31	

表 3.4-4 為 21 場颱風中有相對應臺中港實測資料的 19 場推算精度分析，臺中港部分最大波高平均絕對誤差約 1.08m，其中尼莎(2017)推算結果與基隆臺北港同樣有較大的高估現象，此外蓮花(2015)與米塔(2019)則有較明顯的低估。峰值發生時間誤差較大的有昌鴻(2015)、馬勒卡(2016)與山竹(2018)，除山竹(2018)外其他兩場颱風皆東岸北向颱風，基本上對臺中港影響很小。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 0.87m，決定係數平均值為 0.41。

表 3.4-5 為 21 場颱風中有相對應布袋港實測資料的 12 場推算精度分析，布袋港部分最大波高平均絕對誤差約 1.67m，大多推算波高峰值皆呈現低估的現象。峰值發生時間誤差較大的有艾利(2016)、馬勒卡(2016)、谷超(2017)與馬莉亞(2018)。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 0.69m，決定係數平均值為 0.42。

表 3.4-4 臺中港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE	R^2	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	實測 $H_{s,p}$
2015	DUJUAN	杜鵑	0.99	0.55	0.09	4	7.70
2015	GONI	天鵝	0.64	0.23	-0.94	16	2.94
2015	SOUDELOR	蘇迪勒	0.67	0.72	1.28	-1	6.16
2015	LINFA	蓮花	1.59	0.00	-2.06	-35	3.00
2015	CHAN_HOM	昌鴻	1.25	0.01	-0.82	100	3.00
2015	NOUL	紅霞	0.48	0.04	-0.27	-23	1.86
2016	MALAKAS	馬勒卡	1.32	0.40	-0.08	84	3.21
2016	MERANTI	莫蘭蒂	0.71	0.77	-0.94	4	3.21
2016	NEPARTAK	尼伯特	0.45	0.79	-0.09	-2	3.55
2017	TALIM	泰利	0.74	0.36	-0.51	34	2.86
2017	GUCHOL	谷超	0.43	0.56	-0.28	-6	1.65
2017	HATO	天鴿	0.65	0.30	-1.18	5	2.41
2017	HAITANG	海棠	1.51	0.10	-1.37	24	3.05
2017	NESAT	尼莎	1.02	0.67	4.23	-1	3.05
2018	MANGKHUT	山竹	1.16	0.09	-1.88	123	3.57
2018	MARIA	瑪莉亞	0.43	0.72	0.83	6	2.31
2019	MITAG	米塔	1.13	0.30	-2.22	15	4.24
2019	BAILU	白鹿	0.54	0.75	-1.09	4	3.37
2019	LEKIMA	利奇馬	0.73	0.46	0.27	10	2.56
誤差平均絕對值			0.87	0.41	1.08	26.16	

表 3.4-6 為 21 場颱風中有相對應安平港實測資料的 11 場推算精度分析，安平港部分最大波高平均絕對誤差約 1.62m，與布袋港接近，其中蘇迪勒(2015)、尼伯特(2016)呈現明顯高估的推算結果，海棠(2017)則呈現低估。峰值發生時間誤差較大的有谷超(2017)與天鵝(2015)。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 0.77m，決定係數平均值為 0.49。

表 3.4-5 布袋港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE	R^2	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	實測 $H_{s,p}$
2016	AERE	艾利	0.59	0.01	-1.03	-78	1.41
2016	MEGI	梅姬	0.93	0.81	-2.79	8	3.30
2016	MALAKAS	馬勒卡	0.72	0.15	-2.57	70	2.97
2016	MERANTI	莫蘭蒂	0.64	0.54	-2.38	-5	2.97
2016	NEPARTAK	尼伯特	0.51	0.42	-1.42	2	2.05
2017	TALIM	泰利	0.46	0.71	-1.08	-11	1.47
2017	GUCHOL	谷超	0.40	0.16	-0.67	-72	1.12
2017	HATO	天鴿	0.69	0.49	-1.25	10	1.55
2017	HAITANG	海棠	1.21	0.40	-2.06	10	2.38
2017	NESAT	尼莎	0.76	0.65	-1.84	-12	2.38
2018	MANGKHUT	山竹	0.77	0.56	-2.51	-6	2.84
2018	MARIA	瑪莉亞	0.57	0.11	-0.49	185	0.90
誤差平均絕對值			0.69	0.42	1.67	39.08	

表 3.4-6 安平港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE	R^2	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	實測 $H_{s,p}$
2015	DUJUAN	杜鵑	0.53	0.74	1.27	-4	3.03
2015	GONI	天鵝	0.39	0.01	0.01	-67	1.39
2015	SOUDELOR	蘇迪勒	0.92	0.43	3.08	-7	2.76
2015	NOUL	紅霞	0.16	0.52	0.22	2	0.91
2016	NEPARTAK	尼伯特	1.40	0.35	3.66	13	2.72
2017	TALIM	泰利	0.36	0.48	-0.19	-23	1.65
2017	GUCHOL	谷超	0.68	0.28	-0.50	81	2.02
2017	HATO	天鴿	0.78	0.81	-1.74	7	3.41
2017	HAITANG	海棠	1.90	0.21	-3.08	-10	4.53
2017	NESAT	尼莎	0.79	0.75	-1.47	-7	3.75
2018	MANGKHUT	山竹	0.60	0.81	-2.65	-8	4.69
誤差平均絕對值			0.77	0.49	1.62	20.82	

表 3.4-7 為 21 場颱風中有相對應高雄港實測資料的 6 場推算精度分析，高雄港部分最大波高平均絕對誤差約 0.91m，其中昌鴻(2015)呈現低估。峰值發生時間誤差較大的有昌鴻(2015)。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 0.72m，決定係數平均值為 0.49。

表 3.4-7 高雄港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE	R^2	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	實測 $H_{s,p}$
2015	DUJUAN	杜鵑	0.57	0.58	0.13	2	3.58
2015	GONI	天鵝	0.57	0.00	-0.39	-6	2.01
2015	SOUDELOR	蘇迪勒	0.81	0.73	-1.46	3	6.27
2015	LINFA	蓮花	0.48	0.87	-0.24	1	4.03
2015	CHAN_HOM	昌鴻	1.54	0.09	-2.78	52	4.03
2015	NOUL	紅霞	0.32	0.65	0.49	-2	1.15
誤差平均絕對值			0.72	0.49	0.91	11	

表 3.4-8 為 21 場颱風中有相對應花蓮港實測資料的 19 場推算精度分析，花蓮港部分最大波高平均絕對誤差約 0.97m，其中紅霞(2015)呈現明顯高估的推算結果，其於峰值波高誤差都不超過 2m。峰值發生時間誤差較大的有馬勒卡(2016)與天鵝(2015)。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 0.85m，決定係數平均值為 0.65。

表 3.4-8 花蓮港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE	R^2	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta \mathrm{t}_p$	實測 $H_{s,p}$
2015	DUJUAN	杜鵑	0.65	0.87	-0.11	4	6.19
2015	GONI	天鵝	0.56	0.91	0.50	42	4.21
2015	SOUDELOR	蘇迪勒	0.90	0.94	-1.50	3	8.57
2015	LINFA	蓮花	0.72	0.14	-1.17	-26	3.44
2015	CHAN_HOM	昌鴻	1.25	0.48	-0.93	7	3.44
2015	NOUL	紅霞	1.35	0.81	3.20	-2	2.57
2016	AERE	艾利	0.70	0.12	-1.14	-26	3.04
2016	MEGI	梅姬	0.86	0.94	-0.96	-1	9.03
2016	MALAKAS	馬勒卡	1.79	0.09	-0.87	63	7.01
2016	MERANTI	莫蘭蒂	0.87	0.85	-0.80	0	7.01
2016	NEPARTAK	尼伯特	1.19	0.81	1.38	-2	5.70
2017	TALIM	泰利	0.61	0.61	0.14	-2	2.64
2017	GUCHOL	谷超	0.32	0.53	-0.11	6	1.81
2017	HATO	天鴿	0.43	0.88	-1.35	8	3.32
2017	HAITANG	海棠	1.56	0.01	-1.05	27	4.74
2018	MANGKHUT	山竹	0.64	0.86	-1.05	1	5.06
2019	MITAG	米塔	0.67	0.86	1.29	1	4.29
2019	BAILU	白鹿	0.31	0.96	0.49	4	5.14
2019	LEKIMA	利奇馬	0.78	0.73	-0.43	-8	3.66
誤差平均絕對值			0.85	0.65	0.97	12.26	

表 3.4-9 為 21 場颱風中有相對應蘇澳港實測資料的 17 場推算精度分析，蘇澳港部分最大波高平均絕對誤差約 2.19m，其中推算峰值幾乎呈現低估的現象，且蘇迪勒(2015)與梅姬(2016)甚至低估達 7m。峰值發生時間誤差較大的有馬勒卡(2016)與天鵝(2015)。各場颱風波高推算的 RMSE 平均為 1.09m，決定係數平均值為 0.60。

表 3.4-9 蘇澳港颱風波浪推算結果與實測波浪之誤差分析

年份	英文名稱	中文名稱	RMSE	R^2	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	實測 $H_{s,p}$
2015	DUJUAN	杜鵑	0.82	0.87	-2.80	3	11.14
2015	GONI	天鵝	0.72	0.82	-0.37	41	5.62
2015	SOUDELOR	蘇迪勒	2.07	0.87	-7.20	3	16.02
2015	LINFA	蓮花	1.13	0.15	-3.13	-27	5.26
2015	CHAN_HOM	昌鴻	1.58	0.23	-0.91	15	5.26
2015	NOUL	紅霞	1.20	0.86	1.98	-6	3.30
2016	AERE	艾利	0.80	0.06	-1.79	-27	3.88
2016	MEGI	梅姬	1.68	0.89	-7.66	-3	15.97
2016	MALAKAS	馬勒卡	2.11	0.11	-1.57	71	7.75
2016	MERANTI	莫蘭蒂	1.05	0.74	-2.24	8	7.75
2016	NEPARTAK	尼伯特	0.92	0.76	-0.99	6	6.67
2017	TALIM	泰利	0.74	0.57	0.18	-19	3.54
2017	GUCHOL	谷超	0.45	0.35	-0.36	-2	2.03
2017	HATO	天鴿	0.53	0.77	-1.76	7	3.76
2018	MANGKHUT	山竹	0.98	0.84	-3.29	1	7.42
2018	MARIA	瑪莉亞	0.79	0.84	-0.93	-3	6.16
2019	LEKIMA	利奇馬	1.03	0.52	0.10	-27	4.21
誤差平均絕對值			1.09	0.60	2.19	15.82	

3.5 小結

本章主要建立自動化波浪推算整合生成模組，前述各節詳述了三個子模組中所採用的方法、半徑公式的決選與自動化流程，當颱風侵臺時可自動介接中央氣象局的颱風資訊，可提供快速生成風場資料輸入 MikeSW 計算周邊海域的波場變化結果。本研究採用颱風資料庫往昔颱風資料，配合本所長期在臺灣各主要港口監測的波浪資料進行推算精度的評估。其中只要中央氣象局所公布颱風期間有波浪資料的波

浪測站皆納入評析，雖採用參數化風場所模擬的波場狀況僅能反映颱風所造成的波浪，可能導致部分測站非颱風造成波浪有較大誤差，但整體來看可發現高雄港推算精度最高，臺灣東岸花蓮港與西岸的臺中港次之。布袋港與安平港同樣有峰值波高推估較差的現象，臺北港與基隆港則同樣有整體波高 RMSE 與判定係數較低的問題，臺灣東岸的蘇澳港整體波高 RMSE 與判定係數都有不錯的表現，但有多場颱風實測值高於 10m 的峰值，則無法有效模擬。

本研發成果採用 Mike-21 SW 2011 版配合 Matlab v2020b 在微軟 Windows10 專業教育版作業系統環境中進行測試，硬體設備環境為一般個人電腦(中央處理器：Intel i7-7700，RAM：64G)，推算米塔颱風(2019)130 小時波浪場資料約需 15 分鐘，無論以預測 6 小時或 12 小時後的波浪場為目標仍有十分充足的時間。運算環境初估硬體設備約需 6 萬，軟體套件約需 40 萬，皆為往昔報價資料供參考。

第四章 建立自動化颱風時期船舶預警介面系統

本章主要建立一套能在颱風時期針對臺灣周邊海域提供波浪預警功能的介面系統。介面依據自動化颱風波浪模擬的結果即時提供 6 小時以上之預測結果劃設警示區域範圍，並具備連結現有船舶自動識別系統(AIS)的功能，列出應提出警示的船舶資訊供管理人員參考。

4.1 AIS 資料來源

船舶自動識別系統(AIS)資料目前採用本所介接航港於之 AIS 資料庫，目前此資料集依據水上業務行動識別碼(MMSI)每分鐘自動濾除重複資料，也就是僅保留各船舶單位最後發出的一筆訊號。每筆訊號包含欄位如表 4.1-1 所示。

表 4.1-1 目前 AIS 資料集中所包含的欄位與說明

Field	Description
IMO_Number	(IMO Number) 國際海事組織編號
Call_Sign	(Call Sign) 呼號
ShipName	英文船名
MMSI	(MMSI) 水上行動業務識別碼
Navigation_Status	(Navigation status) 航行狀態
ROT	(Rate of Tum , ROT) 迴轉率
SOG	(Speed Over Ground , SOG) 航速
Position_Accuracy	(Position accuracy) 位置準確度
Longitude	經度
Latitude	緯度
COG	(Course Over Ground , COG) 航向
Turn_Heading	真航向
Time_Stamp	時間標記
Comnunication_State	
Ship_and_Cargo_Type	(Type of ship) 船舶類型
Reference_Position_A	A+B = 船長
Reference_Position_B	
Reference_Position_C	C+D = 船寬
Reference_Position_D	
Fixing_Device	(Position system)定位設備
ETA	(Estimated Time of Arrival , ETA) 預估到達時間
Max_Draught	船舶最大吃水深度
Destination	目的地點
DTE	資料終端機設備
Gross_Tonnage	船舶總噸位
Record_Time	此筆紀錄接收時間

4.2 風場資料來源

為能在自動化颱風時期船舶預警介面系統中加入的風速預測提供使用者參考，本研究引用國內中央氣象局所發布之 6 小時 WRF 區域預測，其空間解析度為 15 公里，網格數為 254,485(661*385)。其格式為國際慣用之 GRIB2，包含高空包與地面包。高空包以氣壓分為 11 層，模式輸出部分如表 4.2-1。資料本介面主要引用其地面包資料中的 10 米 UV 方向之風速分量，將其轉算為空間速度分布值單位為 m/s，並提供後續風質點動畫之製作，地面包輸出資料如表 4.2-2 所示。

表 4.2-1 CWB WRF 模式高空包資料輸出部分

高空包	1000 hPa	925 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
Temperature(K)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
geopotential height (m)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
U Wind speed (m/s)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
V Wind speed (m/s)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
W speed (m/s)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Relative humidity (%)	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V

表 4.2-2 CWB WRF 模式地面包資料輸出部分

地面包	提供
Terrain surface pressure (hPa)	V
Total precipitation (mm)	V
Temperature at 2 meter height(K)	V
Dew point temperature at 2 meter height (K)	V
specific humidity at 2 meter height (kg/kg)	V
Relative humidity at 2 meter height (%)	V
U-component wind speed at 10 meter height (m/s)	V
V-component wind speed at 10 meter height (m/s)	V
Terrain surface (or ground) temperature (K)	V
Sea level pressure(hPa)	V
Sea level temperature, SST (K)	V
緯度值 (degree)	V
經度值 (degree)	V
Net shortwave (solar) flux at the surface (W/m**2) (positive : downward flux)	V

4.3 波場資料來源

前述自動化颱風時期波浪推算模組的推算結果，能夠以參數化風場在颱風時期快速計算預測的颱風波浪波場，然而本整合模組在無颱風侵臺時僅會固定時間偵測中央氣象局的開放資料介接而無計算結果。目前國內已有許多波浪預測資料可介接的情況下，本節評估國內兩種波浪預測的精度與可取得性來提供擇選本介面的資料輸入源，做為自動化颱風時期船舶預警介面系統的波高依據，進而擴展介面的使用性。中央氣象局氣象資料開放平台中波浪預報模式資料-臺灣海域預報資料中主要包括臺灣海域波浪預報逐 3 小時數值模式資料-包含浪高、週期、波向等，資料範圍在北緯 9.40~36.10 度東經 109.90~126.10 度之間，空間解析度 0.1 度，約為 11km 左右，介接單一時刻波場範圍示如圖 4.3.1。

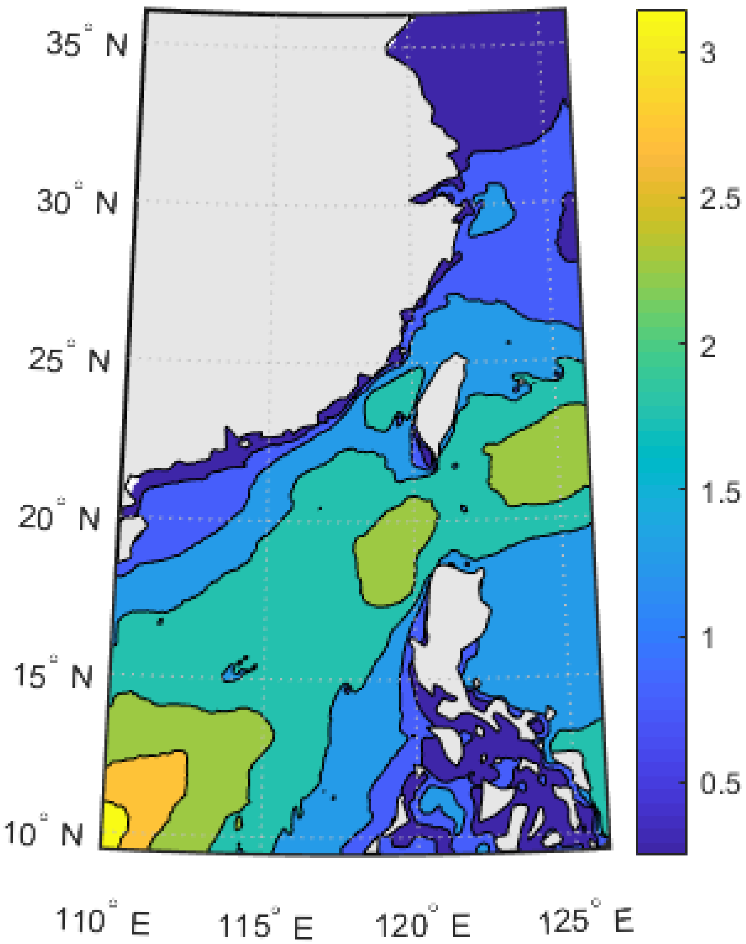


圖 4.3.1 中央氣象局臺灣海域預報資料

此外本所自 2003 年起配合政府防救災施政政策，在國家型防災研究經費支持下結合國內學者及專家歷經數年完成「臺灣近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System，簡稱TaiCOMS)」之建置，著手進行臺灣周圍海域海象(水位、潮流及波浪等)之模擬與預測研究，尤其關注於颱風期間之海象模擬。2018 年針對 TaiCOMS 作業化風場資料進行改版作業，改採用中央氣象局 WRF 作業化模式 M05 之作業化天氣預報風場資料。

在波浪模擬共規劃 5 種尺度的範圍，包括西太平洋範圍(遠域)、臺灣周圍海域範圍(近域)、近岸海域範圍及港域範圍，已將臺灣海域所有可能預測的的波浪狀況包含在內，其中近岸海域包含以臺灣本島主要商港為對象及以離島海域為對象的海域。目前本研究取得測試資料之波浪推算範圍為北緯 20.6~28 度東經 117.6~123.6 度，空間解析度 0.04 度，約為 2.4km。圖 4.3.2 為 TaiCOMS 波浪預測範圍圖。

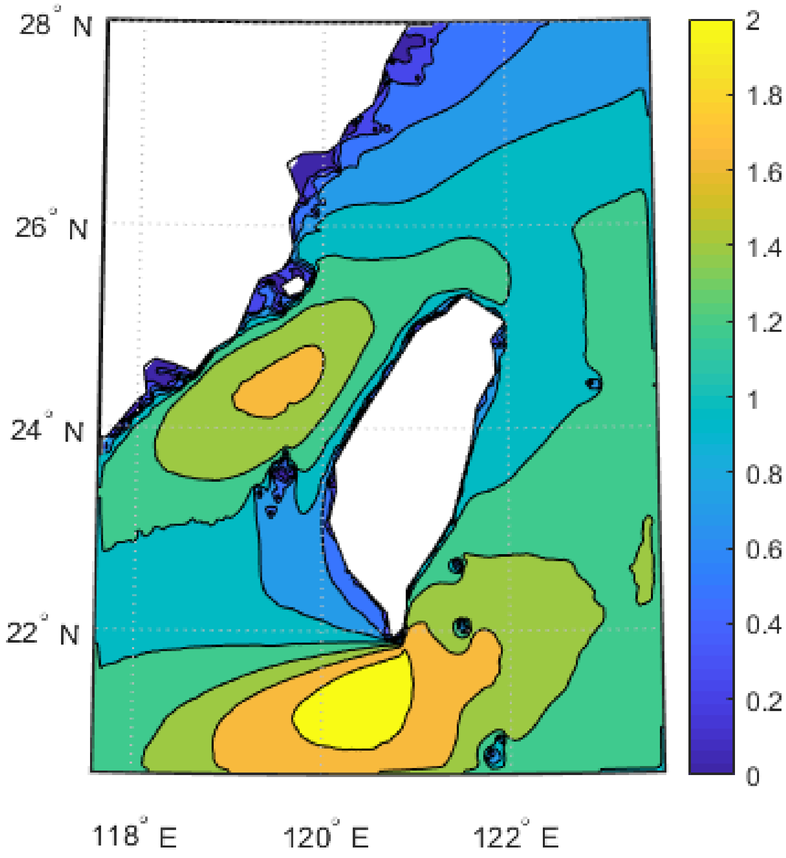


圖 4.3.2 TaiCOMs 波浪預測資料範圍

波浪預測模式若要實際整合於船舶航行安全風險評估模式，除了

須取得資料使用許可，其預測結果在國內周邊海域的精度也是相當重要的評估重點，本研究考量預報資料的可取得性，故以介接國內波浪預測模式為主，國內的波浪預測目前主要包括中央氣象局(NWWIII波浪模式)與本所(TaiCOMS)，兩單位所採用的風場資料來源可能不一，但本研究僅針對此兩個預測單位所提供的資料進行與實測資料的精度比較，經評估後擇選合適的資料來源，以期在告警系統中有精確的預警功能。

考量 TaiCOMS 於 2018 年進行改版，故選取 2018 年之後的颱風波浪進行比較，中央氣象局目前僅提供瑪麗亞(2018)颱風、利奇馬(2019)颱風、白鹿(2019)颱風及米塔(2019)颱風 4 組預報資料供比較，各場颱風路徑如圖 4.3.3~圖 4.3.6 所示。

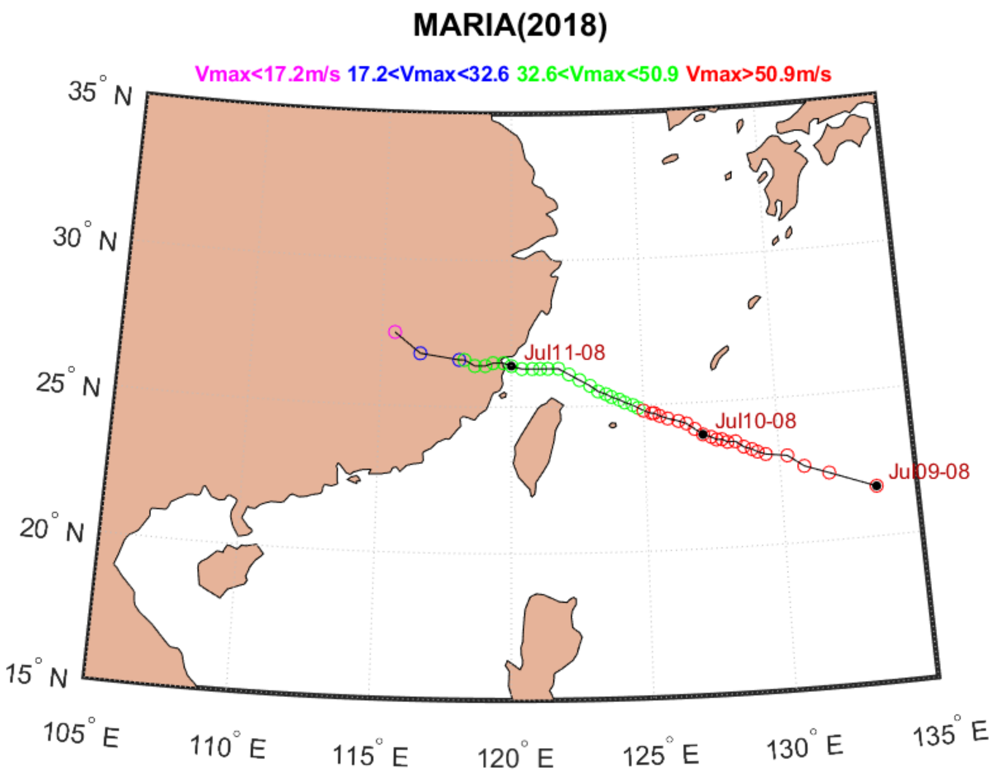


圖 4.3.3 瑪麗亞(MARIA)颱風路徑圖

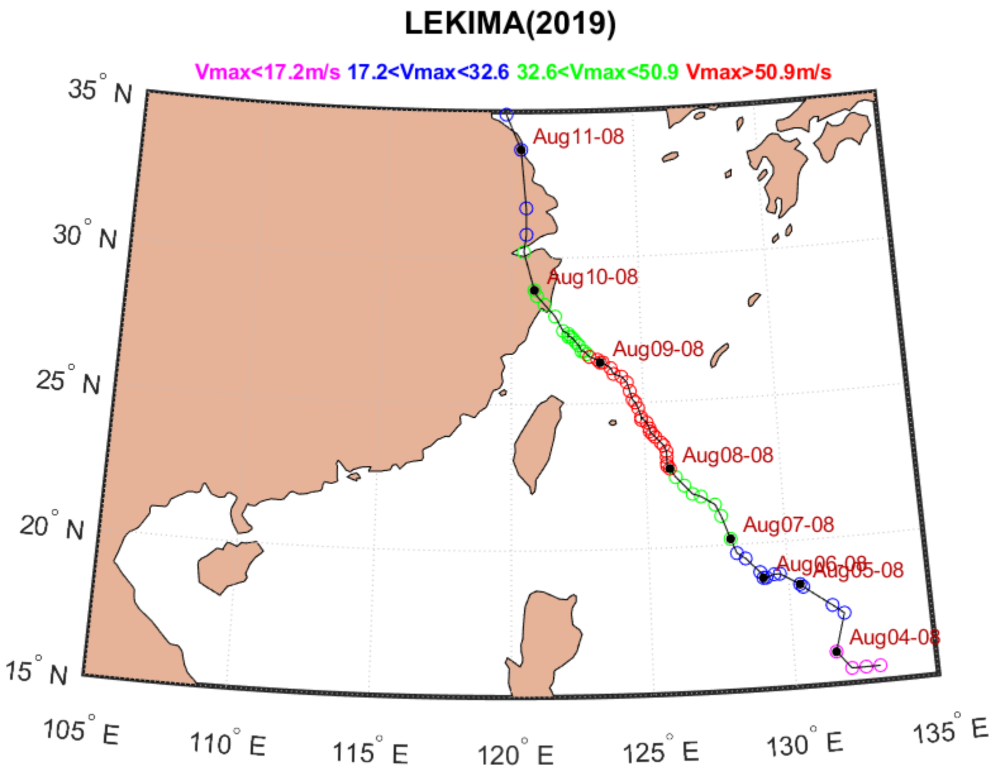


圖 4.3.4 利奇馬(LEKIMA)颱風路徑圖

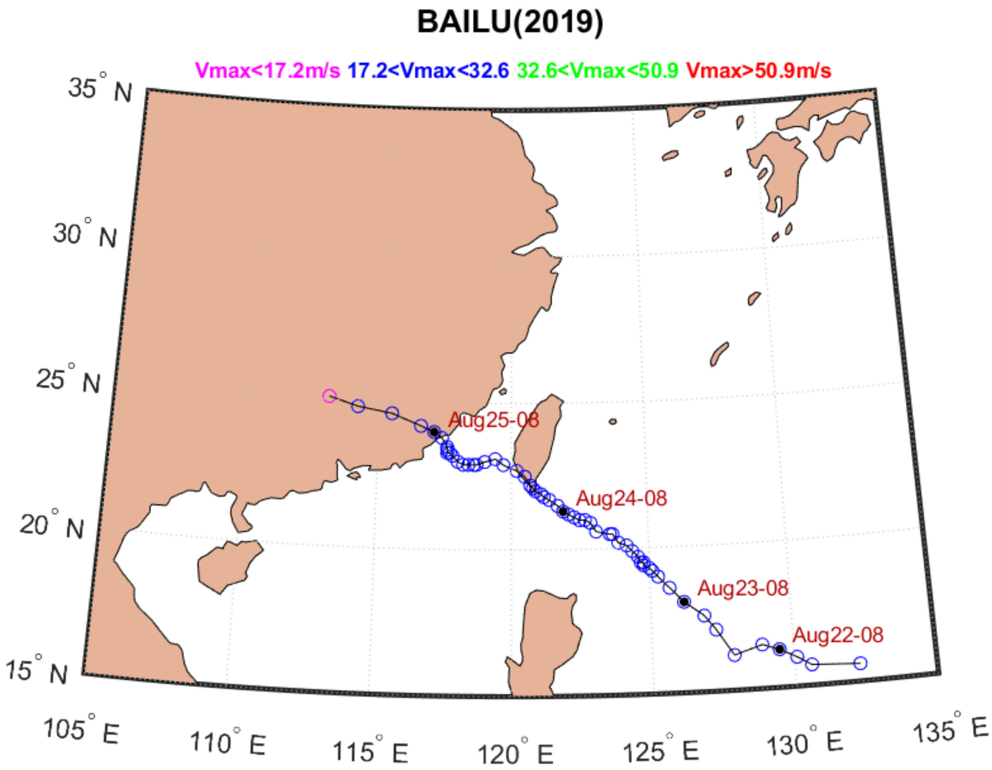


圖 4.3.5 白鹿(BAILU)颱風路徑圖

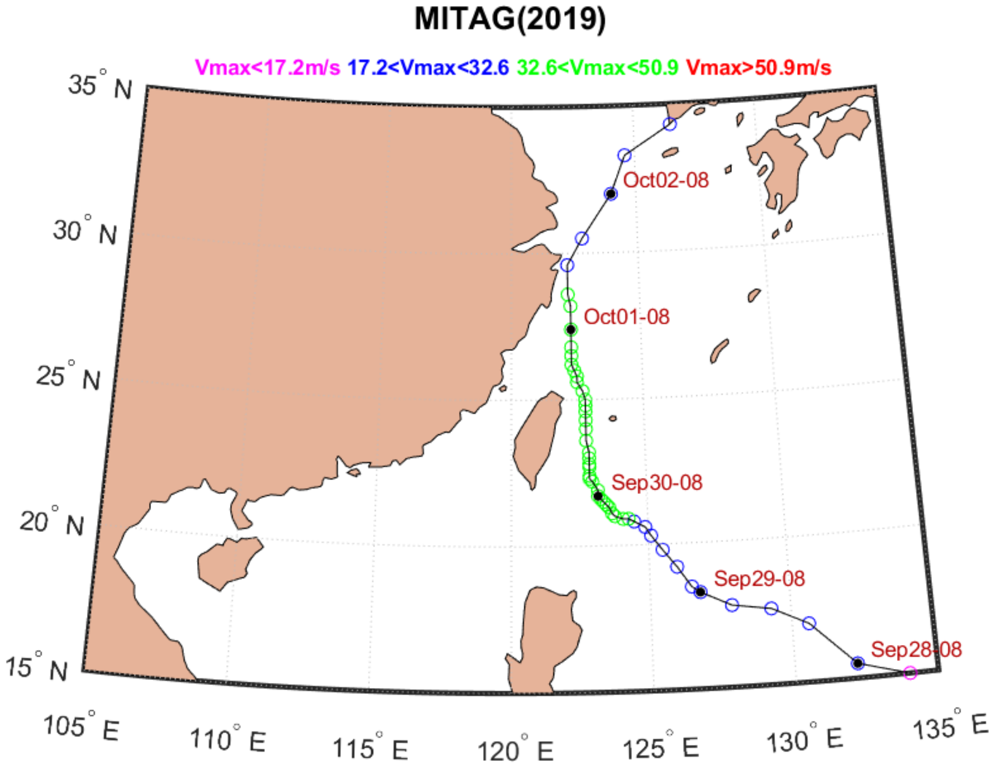


圖 4.3.6 米塔(MITAG)颱風路徑圖

4.2.1 模式評估指標

為瞭解模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 6 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為判定係數(R-square, R^2)、均方根誤差($RMSE$, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差$\Delta H_{s,p}$、最大波高發生時間誤差Δt_p，如式(4-1)至式(4-4)：

$$R^2=\frac{\left(\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,obs}\right)_{mn}-\overline{H}_{s,obs}\right)\left(\left(H_{s,num}\right)_{mn}-\overline{H}_{s,num}\right)\right)^2}{\left(\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,obs}\right)_{mn}-\overline{H}_{s,obs}\right)^2\right)\left(\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,num}\right)_{mn}-\overline{H}_{s,num}\right)^2\right)} \tag{4-1}$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{mn}\sum_m\sum_n\left(\left(H_{s,obs}\right)_{mn}-\left(H_{s,num}\right)_{mn}\right)^2} \tag{4-2}$$

$$\Delta H_{s,p}=MAX\left(H_{s,num}\right)-MAX\left(H_{s,obs}\right) \tag{4-3}$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \tag{4-4}$$

其中 $H_{s,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高；$H_{s,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高；$t_{p,num}$ 為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間；$t_{p,obs}$ 為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間。由式(4-3)可知，若 $\Delta H_{s,p}$ 為正值，表示模式推算的示性波高過於高估，若為負值則表示低估，由式(4-4)可知，若 Δt_p 為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。

4.2.2 示性波高的時序列比較

圖 4.3.7~圖 4.3.10 為各場颱風示性波高的時序列比較圖，圖中實心圓點為觀測值，藍色實線為中央氣象局(NWWIII 波浪模式)的預測結果，紅色實線為本所(TaiCOMS)的預測結果，KL、TP、TC、BD、AP、KH、HL 及 SA 分別表示基隆港、臺北港、臺中港、布袋港、安平港、高雄港、花蓮港及蘇澳港，未繪製時序列比較圖的港表示該測站未觀測到資料。由圖 4.3.7 瑪麗亞(MARIA)颱風期間各港示性波高時序列比較中可知，基隆港、臺北港和蘇澳港的模擬趨勢和觀測值一致，然 TaiCOMS 的預測結果皆較觀測值和 NWWIII 的預測結果高，而臺中港和布袋港的預測結果，兩個模式皆較差。由圖 4.3.8 利奇馬(LEKIMA)颱風期間各港示性波高時序列比較中可知，各港的模擬趨勢和觀測值一致，然 TaiCOMS 的預測結果皆較觀測值和 NWWIII 的預測結果高。由圖 4.3.9 白鹿(BAILU)颱風期間各港示性波高時序列比較中可知，臺北港的 NWWIII 模擬趨勢和觀測值一致，而 TaiCOMS 的預測結果則較差，臺中港和花蓮港的模擬趨勢和觀測值一致。由圖 4.3.10 米塔(MITAG)颱風期間各港示性波高時序列比較中可知，各港的模擬趨勢和觀測值一致，其中 NWWIII 的預測結果除了花蓮港高估，其餘港皆低估，TaiCOMS 的預測結果除了臺北港低估，其餘港皆高估。

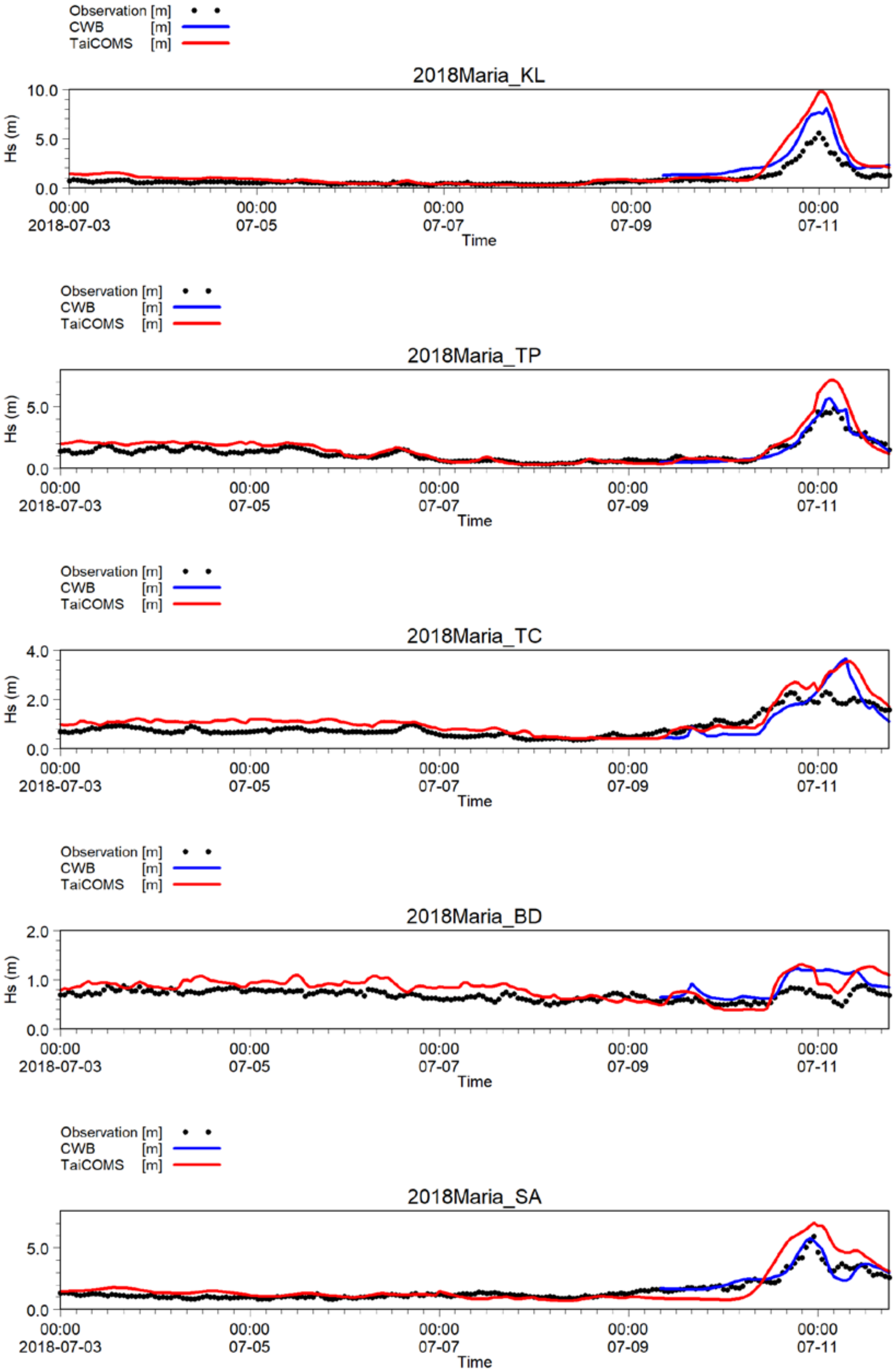


圖 4.3.7 瑪麗亞(MARIA)颱風期間各港示性波高時序列比較

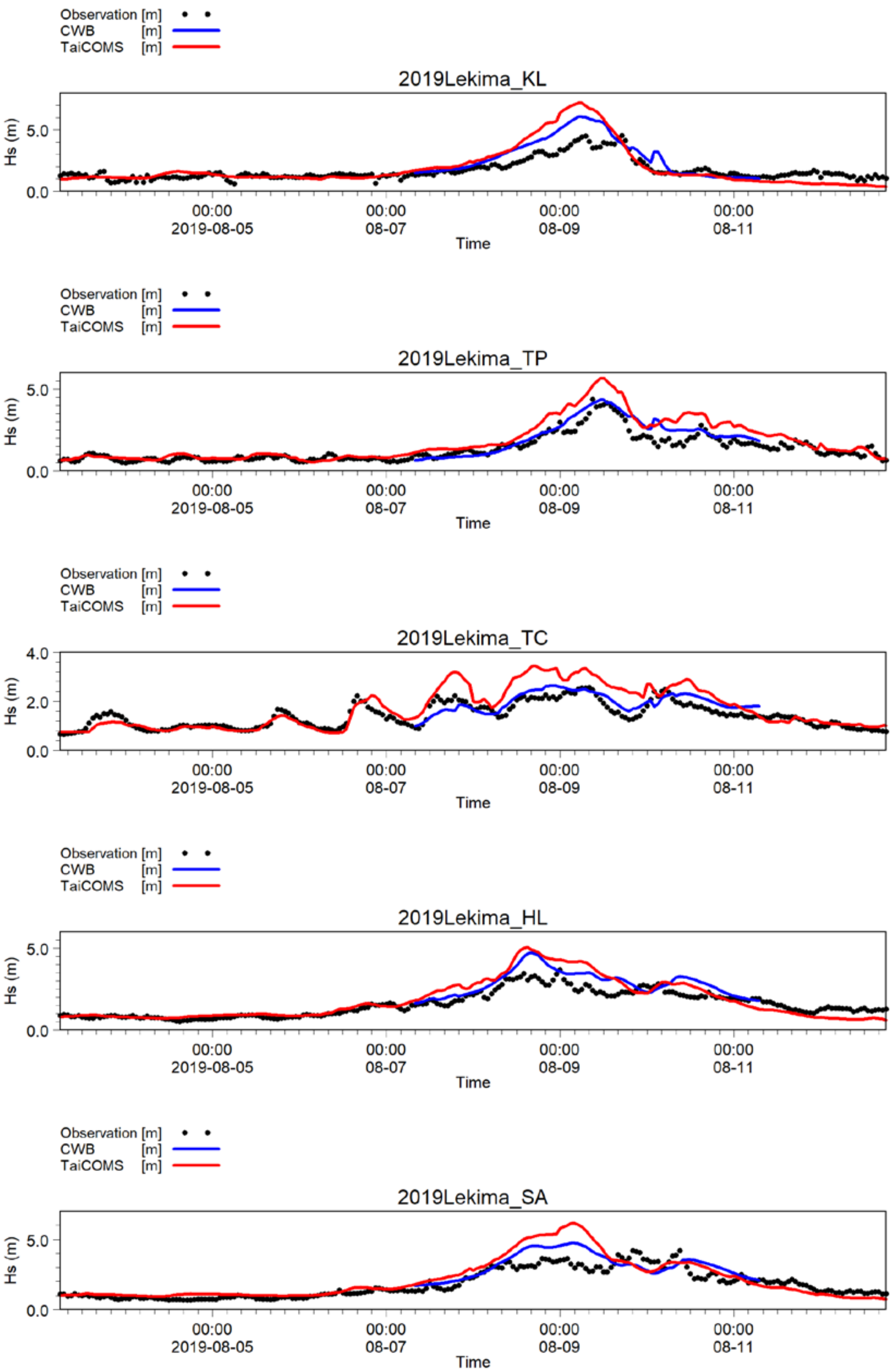


圖 4.3.8 利奇馬(LEKIMA)颱風期間各港示性波高時序列比較

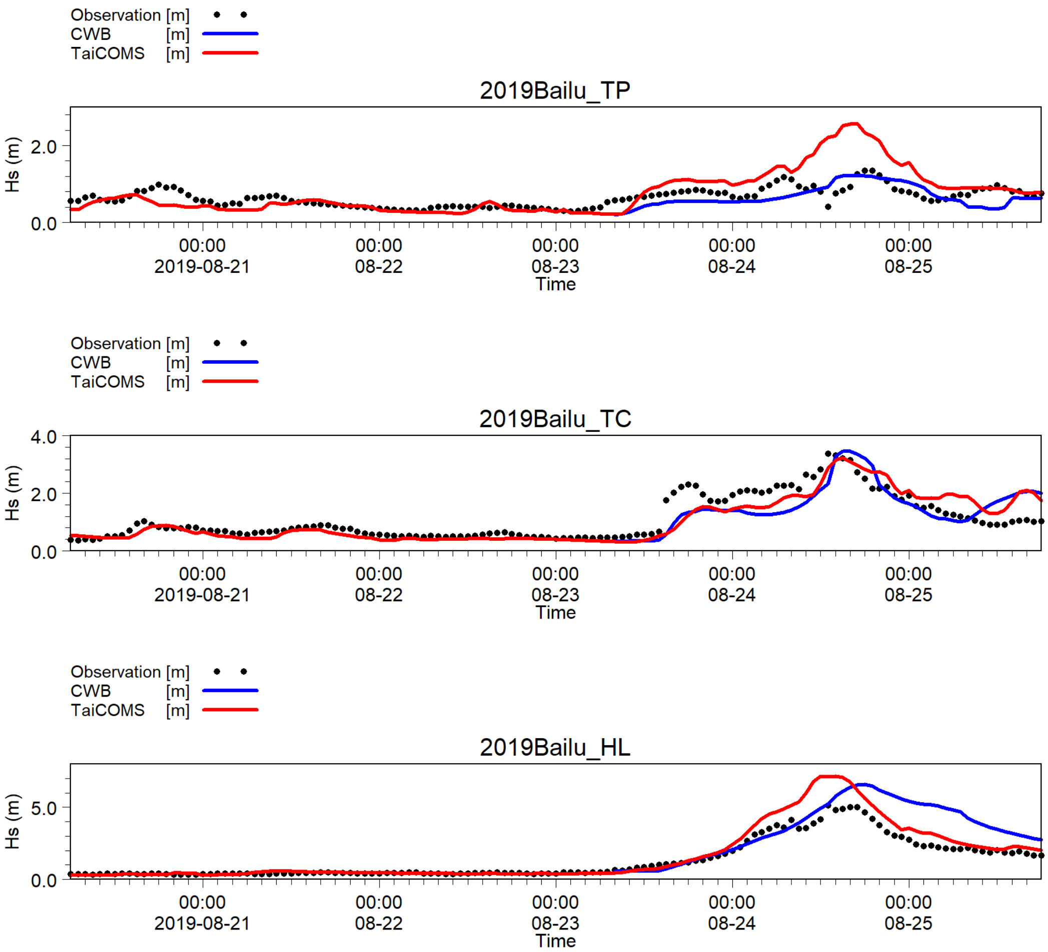


圖 4.3.9 白鹿(BAILU)颱風期間各港示性波高時序列比較

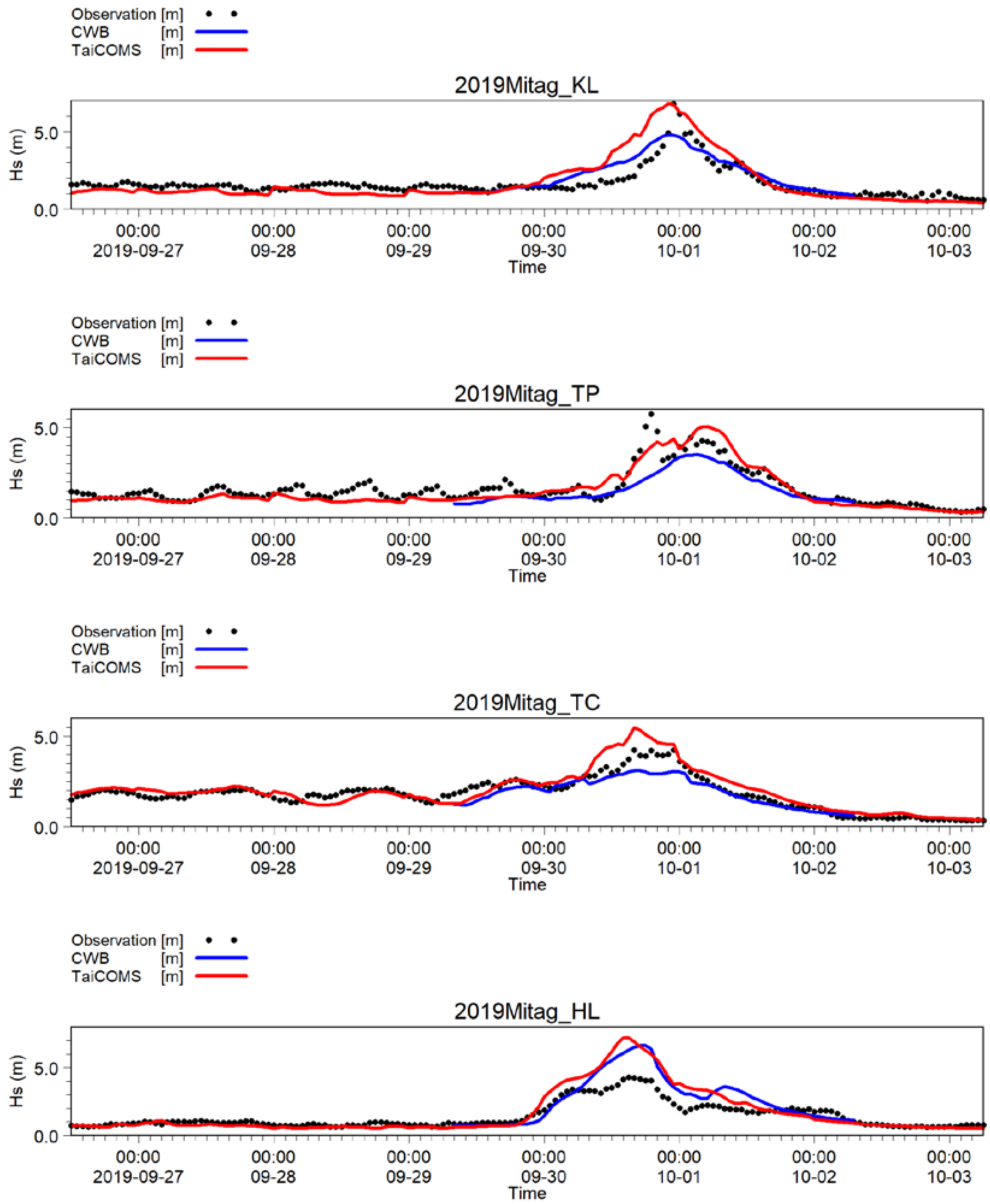


圖 4.3.10 米塔(MITAG)颱風期間各港示性波高時序列比較

4.3.3 示性波高的評估指標比較

表 4.3-1 為中央氣象局(NWWIII)波浪預測結果的比較，表中之「-」表示該測站未觀測到資料，由表中可知，2018 年瑪麗亞(MARIA)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以基隆港誤差最大，其誤差達 2.55m，蘇澳港誤差最小，誤差僅有 0.14m，各港誤差先取絕對值再取平均後的平均絕對值為 1.06m；最大波高發生時間誤差 Δt_p 以布袋港誤差最大，

其誤差達 17 小時，臺北港和蘇澳港誤差最小，誤差僅有 1 小時，各港誤差平均絕對值為 5.2 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為基隆港，其誤差達 1.35m，最小為布袋港，其誤差僅 0.29m，各港誤差平均絕對值為 0.61m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以布袋港最差，其值為 0.45，基隆港最佳，其值為 0.96，各港誤差平均絕對值為 0.78。2019 年利奇馬(LEKIMA)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$以基隆港誤差最大，其誤差達 1.55m，臺北港誤差最小，誤差僅有 0.03m，各港誤差平均絕對值為 0.66m；最大波高發生時間誤差 Δt_p以蘇澳港誤差最大，其誤差達 16 小時，臺北港誤差最小，誤差僅有 2 小時，各港誤差平均絕對值為 9.4 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為基隆港，其誤差達 0.97m，最小為臺中港，其誤差僅 0.33m，各港誤差平均絕對值為 0.66m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以蘇澳港最差，其值為 0.42，基隆港最佳，其值為 0.85，各港誤差平均絕對值為 0.65。2019 年白鹿(BAILU)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$以花蓮港誤差最大，其誤差達 1.42m，臺中港誤差最小，誤差僅有 0.08m，各港誤差平均絕對值為 0.55m；最大波高發生時間誤差 Δt_p以花蓮港誤差最大，其誤差達 5 小時，臺北港誤差最小，誤差僅有 1 小時，各港誤差平均絕對值為 3 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為花蓮港，其誤差達 1.51m，最小為臺北港，其誤差僅 0.29m，各港誤差平均絕對值為 0.81m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以臺北港最差，其值為 0.22，花蓮港最佳，其值為 0.64，各港誤差平均絕對值為 0.44。2019 年米塔(MITAG)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$以花蓮港誤差最大，其誤差達 2.34m，臺中港誤差最小，誤差僅有 1.16m，各港誤差平均絕對值為 1.94m；最大波高發生時間誤差 Δt_p以臺北港誤差最大，其誤差達 8 小時，基隆港和臺中港誤差最小，誤差僅有 1 小時，各港誤差平均絕對值為 3 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為花蓮港，其誤差達 1.07m，最小為臺中港，其誤差僅 0.50m，各港誤差平均絕對值為 0.74m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以臺北港最差，其值為 0.77，臺中港最佳，其值為 0.89，各港誤差平均絕對值為 0.83。

表 4.3-2 為本所(TaiCOMS)波浪預測結果的比較，表中之「-」表示該測站未觀測到資料，由表中可知，2018 年瑪麗亞(MARIA)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$以基隆港誤差最大，其誤差達 4.27m，蘇澳港誤差最小，誤差僅有 1.10m，各港誤差平均絕對值為 1.88m；最大波高發生時間誤差 Δt_p以布袋港誤差最大，其誤差達 16 小時，臺北港和蘇澳港誤差最小，誤差僅有 0 小時，各港誤差平均絕對值為 4.6 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為基隆港，其誤差達 2.04m，最小為布袋港，其誤差僅 0.29m，各港誤差平均絕對值為 1.04m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以臺中港最差，其值為 0.82，基隆港最佳，其值為 0.95，各港誤差平均絕對值為 0.88。2019 年利奇馬(LEKIMA)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$以基隆港誤差最大，其誤差達 2.67m，臺中港誤差最小，誤差僅有 0.90m，各港誤差平均絕對值為 1.64m；最大波高發生時間誤差 Δt_p以蘇澳港誤差最大，其誤差達 16 小時，臺北港誤差最小，誤差僅有 3 小時，各港誤差平均絕對值為 10.8 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為基隆港，其誤差達 1.37m，最小為臺中港，其誤差僅 0.77m，各港誤差平均絕對值為 1.06m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以蘇澳港最差，其值為 0.34，臺北港最佳，其值為 0.89，各港誤差平均絕對值為 0.66。2019 年白鹿(BAILU)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$以花蓮港誤差最大，其誤差達 2.02m，臺中港誤差最小，誤差僅有 0.13m，各港誤差平均絕對值為 1.12m；最大波高發生時間誤差 Δt_p以臺中港誤差最大，其誤差達 2 小時，臺北港和花蓮港誤差最小，誤差僅有 1 小時，各港誤差平均絕對值為 1.33 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE* 最大為花蓮港，其誤差達 1.03m，最小為臺中港，其誤差僅 0.58m，各港誤差平均絕對值為 0.75m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以臺北港最差，其值為 0.32，花蓮港最佳，其值為 0.95，各港誤差平均絕對值為 0.59。2019 年米塔(MITAG)颱風期間最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$以花蓮港誤差最大，其誤差達 2.91m，基隆港誤差最小，誤差僅有 0.05m，各港誤差平均絕對值為 1.23m；最大波高發生時間誤差 Δt_p以臺北港誤差最大，其誤差達 10 小時，臺中港誤差最小，誤差僅有 0 小時，各港誤差平均絕對值為 3 小時；模式預測颱風波浪與實測波浪均方根誤差 *RMSE*

最大為花蓮港，其誤差達 1.25m，最小為臺北港，其誤差僅 0.56m，各港誤差平均絕對值為 0.87m；預測波高結果與實測波高的決定係數 R^2以基隆港最差，其值為 0.79，花蓮港最佳，其值為 0.91，各港誤差平均絕對值為 0.85。

綜整表 4.3-1 和表 4.3-2 成各港波浪預測結果驗證如表 4.3-3 所示，由表中可知，針對基隆港平均來說，中央氣象局(NWWIII)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 2.03m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 4.67 小時，*RMSE* 為 0.98m，決定係數 R^2為 0.87；本所(TaiCOMS)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 2.33m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 4.33 小時，*RMSE* 為 1.50m，決定係數 R^2為 0.85；經由基隆港的誤差比較可知，除了最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p，中央氣象局(NWWIII)預測誤差略大於本所(TaiCOMS)，其餘誤差皆呈現中央氣象局(NWWIII)預測誤差小於本所(TaiCOMS)的結果。

針對臺北港平均來說，中央氣象局(NWWIII)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 0.83m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 3 小時，*RMSE* 為 0.50m，決定係數 R^2為 0.69；本所(TaiCOMS)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 1.39m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 3.5 小時，*RMSE* 為 0.79m，決定係數 R^2為 0.75；經由臺北港的誤差比較可知，除了決定係數 R^2中央氣象局(NWWIII)預測誤差相關性略低於本所(TaiCOMS)，其餘誤差皆呈現中央氣象局(NWWIII)預測誤差小於本所(TaiCOMS)的結果。

針對臺中港平均來說，中央氣象局(NWWIII)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 0.67m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 4.75 小時，*RMSE* 為 0.52m，決定係數 R^2為 0.63；本所(TaiCOMS)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 0.88m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 5.75 小時，*RMSE* 為 0.64m，決定係數 R^2為 0.70；經由臺中港的誤差比較可知，除了決定係數 R^2中央氣象局(NWWIII)預測誤差相關性略低於本所(TaiCOMS)，其餘誤差皆呈現中央氣象局(NWWIII)預測誤差小於本所(TaiCOMS)的結果。

針對布袋港僅有 2018 年瑪麗亞颱風代表，中央氣象局(NWWIII)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 0.35m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 17 小時，*RMSE* 為 0.29m，決定係數 R^2為 0.45；本所(TaiCOMS)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 0.44m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 16 小時，*RMSE* 為 0.29m，決定係數 R^2為 0.84。

針對花蓮港平均來說，中央氣象局(NWWIII)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 1.61m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 5 小時，*RMSE* 為 1.09m，決定係數 R^2為 0.72；本所(TaiCOMS)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 2.11m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 3.67 小時，*RMSE* 為 1.07m，決定係數 R^2為 0.83；經由花蓮港的誤差比較可知，除了最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$本所(TaiCOMS)預測誤差大於中央氣象局(NWWIII)，其餘誤差皆呈現本所(TaiCOMS)預測誤差小於中央氣象局(NWWIII)的結果。

針對蘇澳港平均來說，中央氣象局(NWWIII)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 0.35m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 8.5 小時，*RMSE* 為 0.63m，決定係數 R^2為 0.64；本所(TaiCOMS)預測結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$為 1.52m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p為 8 小時，*RMSE* 為 1.27m，決定係數 R^2為 0.60；經由蘇澳港的誤差比較可知，除了最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p，中央氣象局(NWWIII)預測誤差略大於本所(TaiCOMS)，其餘誤差皆呈現中央氣象局(NWWIII)預測誤差小於本所(TaiCOMS)的結果。

波浪預測模式若要實際整合於船舶航行安全風險評估模式，颱風期間最大波高誤差絕對值為最主要的評估指標，綜合上述誤差比較可知，中央氣象局(NWWIII)預測誤差皆小於本所(TaiCOMS)，相較於自動化整合生成模組也能提供全時段之預測，可大幅提升本介面的應用性，因此在精度與應用性的考量下，建議選用介接中央氣象局(NWWIII)預測模式，以期在告警系統中有精確的預警功能。

表 4.3-1 中央氣象局(NWWIII)波浪預測結果驗證

2018 瑪麗亞(MARIA)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	2.55	0.87	1.37	0.35	-	-	-	-0.14	1.06
Δt_p(hour)	2	-1	5	-17	-	-	-	-1	5.20
$RMSE$(m)	1.35	0.40	0.59	0.29	-	-	-	0.44	0.61
R^2	0.96	0.95	0.67	0.45	-	-	-	0.85	0.78
H_{max}(m)	5.55	4.84	2.30	0.88	-	-	-	5.93	3.90

2019 利奇馬(LEKIMA)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	1.55	-0.03	0.08	-	-	-	1.07	0.55	0.66
Δt_p(hour)	-11	2	-10	-	-	-	-8	-16	9.40
$RMSE$(m)	0.97	0.51	0.33	-	-	-	0.70	0.81	0.66
R^2	0.85	0.83	0.50	-	-	-	0.66	0.42	0.65
H_{max}(m)	4.52	4.36	2.56	-	-	-	3.66	4.21	3.86

2019 白鹿(BAILU)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	-	-0.14	0.08	-	-	-	1.42	-	0.55
Δt_p(hour)	-	-1	3	-	-	-	5	-	3.00
$RMSE$(m)	-	0.29	0.64	-	-	-	1.51	-	0.81
R^2	-	0.22	0.45	-	-	-	0.64	-	0.44
H_{max}(m)	-	1.36	3.37	-	-	-	5.15	-	3.29

2019 米塔(MITAG)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	-1.98	-2.26	-1.16	-	-	-	2.34	-	1.94
Δt_p(hour)	-1	8	1	-	-	-	2	-	3.00
$RMSE$(m)	0.61	0.78	0.50	-	-	-	1.07	-	0.74
R^2	0.80	0.77	0.89	-	-	-	0.85	-	0.83
H_{max}(m)	6.77	5.76	4.25	-	-	-	4.29	-	5.27

表 4.3-2 本所(TaiCOMS)波浪預測結果驗證

2018 瑪麗亞(MARIA)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	4.27	2.33	1.25	0.44	-	-	-	1.10	1.88
Δt_p(hour)	1	0	6	-16	-	-	-	0	4.60
$RMSE$(m)	2.04	0.97	0.62	0.29	-	-	-	1.29	1.04
R^2	0.95	0.94	0.82	0.84	-	-	-	0.85	0.88
H_{max}(m)	5.55	4.84	2.30	0.88	-	-	-	5.93	3.90

2019 利奇馬(LEKIMA)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	2.67	1.31	0.90	-	-	-	1.40	1.94	1.64
Δt_p(hour)	-11	3	-15	-	-	-	-9	-16	10.80
$RMSE$(m)	1.37	1.00	0.77	-	-	-	0.92	1.24	1.06
R^2	0.82	0.89	0.61	-	-	-	0.62	0.34	0.66
H_{max}(m)	4.52	4.36	2.56	-	-	-	3.66	4.21	3.86

2019 白鹿(BAILU)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	-	1.22	-0.13	-	-	-	2.02	-	1.12
Δt_p(hour)	-	-1	2	-	-	-	1	-	1.33
$RMSE$(m)	-	0.63	0.58	-	-	-	1.03	-	0.75
R^2	-	0.32	0.49	-	-	-	0.95	-	0.59
H_{max}(m)	-	1.36	3.37	-	-	-	5.15	-	3.29

2019 米塔(MITAG)颱風									
測站	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA	平均絕對值
$\Delta H_{s,p}$(m)	0.05	-0.71	1.24	-	-	-	2.91	-	1.23
Δt_p(hour)	-1	10	0	-	-	-	-1	-	3.00
$RMSE$(m)	1.09	0.56	0.58	-	-	-	1.25	-	0.87
R^2	0.79	0.83	0.88	-	-	-	0.91	-	0.85
H_{max}(m)	6.77	5.76	4.25	-	-	-	4.29	-	5.27

表 4.3-3 各港波浪預測結果驗證

	中央氣象局(NWWIII)				本所(TaiCOMS)			
KL	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2
2018 瑪麗亞	2.55	2	1.35	0.96	4.27	1	2.04	0.95
2019 利奇馬	1.55	-11	0.97	0.85	2.67	-11	1.37	0.82
2019 米塔	-1.98	-1	0.61	0.80	0.05	-1	1.09	0.79
平均絕對值	2.03	4.67	0.98	0.87	2.33	4.33	1.50	0.85
TP	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2
2018 瑪麗亞	0.87	-1	0.40	0.95	2.33	0	0.97	0.94
2019 利奇馬	-0.03	2	0.51	0.83	1.31	3	1.00	0.89
2019 白鹿	-0.14	-1	0.29	0.22	1.22	-1	0.63	0.32
2019 米塔	-2.26	8	0.78	0.77	-0.71	10	0.56	0.83
平均絕對值	0.83	3.00	0.50	0.69	1.39	3.50	0.79	0.75
TC	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2
2018 瑪麗亞	1.37	5	0.59	0.67	1.25	6	0.62	0.82
2019 利奇馬	0.08	-10	0.33	0.50	0.90	-15	0.77	0.61
2019 白鹿	0.08	3	0.64	0.45	-0.13	2	0.58	0.49
2019 米塔	-1.16	1	0.50	0.89	1.24	0	0.58	0.88
平均絕對值	0.67	4.75	0.52	0.63	0.88	5.75	0.64	0.70
BD	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2
2018 瑪麗亞	0.35	-17	0.29	0.45	0.44	-16	0.29	0.84
HL	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2
2019 利奇馬	1.07	-8	0.70	0.66	1.40	-9	0.92	0.62
2019 白鹿	1.42	5	1.51	0.64	2.02	1	1.03	0.95
2019 米塔	2.34	2	1.07	0.85	2.91	-1	1.25	0.91
平均絕對值	1.61	5.00	1.09	0.72	2.11	3.67	1.07	0.83
SA	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2	$\Delta H_{s,p}$(m)	Δt_p(hour)	*RMSE*(m)	R^2
2018 瑪麗亞	-0.14	-1	0.44	0.85	1.10	0	1.29	0.85
2019 利奇馬	0.55	-16	0.81	0.42	1.94	-16	1.24	0.34
平均絕對值	0.35	8.50	0.63	0.64	1.52	8.00	1.27	0.60

4.4 預警介面

本預警介面採用網頁介面的方式，如此可以集中於伺服器端處理所有運算，未來各單位可透過網際網路直接以網頁瀏覽器進行操作處理，除了省去軟體安裝與系統環境的設定外，更可透過行動設備進行操作與處理。主要功能即時提供 6 小時以上之波浪預測結果，並於圖面劃設警示範圍，透過連結現有 AIS 資料集，彙整應提出警示的船舶資訊，流程如圖 4.4.1 所示。

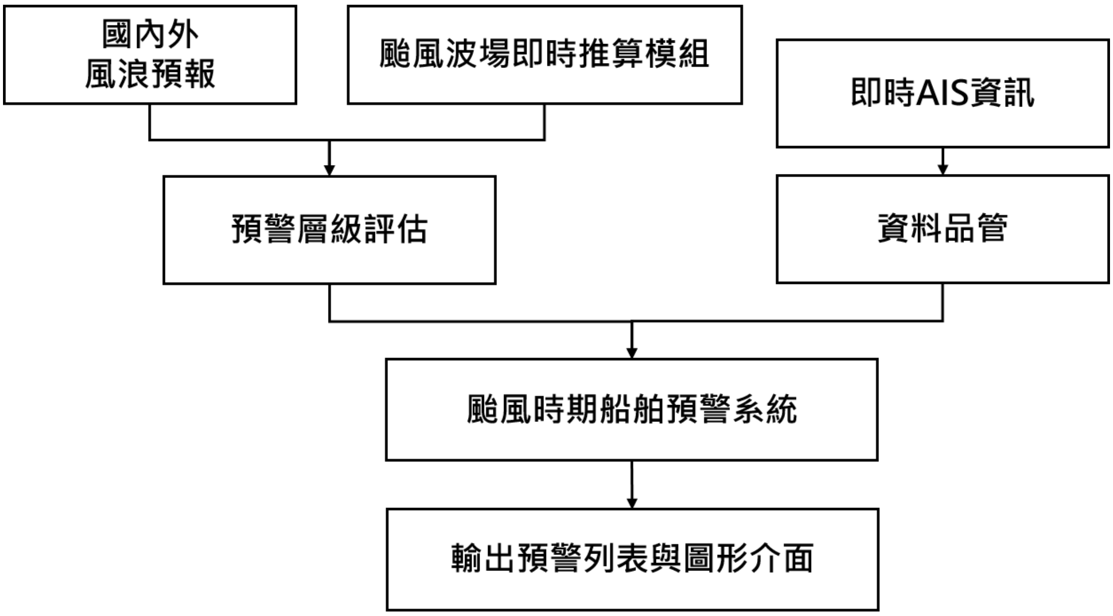


圖 4.4.1 颱風時期船舶預警介面系統流程圖

波場資料以 Geoserver 提供 Web Map Service(WMS)的方式提供即時圖資，Geoserver 係以 Java 語法所寫成的開源地理資訊系統網頁服務，是 Open Geospatial Consortium (OGC)的標準 Web Feature Service (WFS) 與 Web Coverage Service (WCS)的實做，同時也符合 Web Map Service (WMS)標準，如同是網路地圖系統的核心。License 為 GPL (GNU General Public License)。整體來說，Geoserver 也就是一個可架設於各種系統之上，讓使用者可以透過網路修改發佈地圖資料，這個系統支援許多規格如 Shapefile、PostGIS 等，並可轉成多種輸出格式如 jpeg、gif、png、KML、OpenLayers 等。此外也支援許多的地圖 API 如 Google Maps、Google Earth、Yahoo Maps、MS Virtual Earth 與 ESRI ArcGIS。目前採用最新發布版本為 2.15.2。

Geoserver 其功能目的在方便發佈地圖相關數據，同時也允許使用者編輯、更新資料，以便於用戶之間快速共享地理資料訊息。目前波場資料直接介接中央氣象局的波浪預測資料供即時呈現，未來若有需求亦可替換為其他波浪預測結果。

介面部分採用 Leaflet 來進行建置，是一款被廣泛使用在製作網頁地圖應用程式的 JavaScript library 開源套件，LICENSE 種類為 BSD 2-Clause，在 2011 年首次被發表，只要透過瀏覽器，可應用在電腦及行動裝置上。Leaflet 支援各種圖層資料格式，如 Web Map Service (WMS)、Web Map Tiled Service (WMTS)、GeoJSON、Vector 等格式，近年隨著軟體開源的盛行，各開發者不斷貢獻套件，使 leaflet 功能更趨完整。且 Leaflet 與其他開源軟體相比更加輕量化，大小僅約 38KB，目前採用最新版本為 2019 年 11 月推出的 Leaflet 1.6.0 版。所擁有的服務及功能如下表 4.4-1。

表 4.4-1 Leaflet 各種功能及所支援瀏覽器

Layers Out of the Box	Tile layers, WMS Markers, Popups Vector layers: polylines, polygons, circles, rectangles Image overlays GeoJSON
Interaction Features	Drag panning with inertia Scroll wheel zoom Pinch-zoom on mobile Double click zoom Zoom to area (shift-drag) Keyboard navigation Events: click, mouseover, etc. Marker dragging
Visual Features	Zoom and pan animation Tile and popup fade animation Very nice default design for markers, popups and map controls Retina resolution support
Customization Features	Pure CSS3 popups and controls for easy restyling Image- and HTML-based markers

	A simple interface for custom map layers and controls Custom map projections (with EPSG:3857/4326/3395 out of the box) Powerful OOP facilities for extending existing classes
Performance Features	Hardware acceleration on mobile makes it feel as smooth as native apps Utilizing CSS3 features to make panning and zooming really smooth Smart polyline/polygon rendering with dynamic clipping and simplification makes it very fast Modular build system for leaving out features you don't need Tap delay elimination on mobile
Map Controls	Zoom buttons Attribution Layer switcher Scale
Browser Support	Desktop: ● Chrome ● Firefox ● Safari 5+ ● Opera 12+ ● IE 7–11 ● Edge Mobile: ● Safari for iOS 7+ ● Android browser 2.2+, 3.1+, 4+ ● Chrome for mobile ● Firefox for mobile ● IE10+ for Win8 devices
Misc	Extremely lightweight No external dependencies

資料來源：Leaflet 網站

目前本介面已完成所有功能，網頁呈現如圖 4.4.2 所示。基本操作部分，網頁左上方有 Zoom in 與 Zoom out 互動按鈕，緊鄰其下方為主要功能表包括風浪預測圖層開關，告警資料的展示與輸出、船跡動畫展示開關與多邊形劃設功能。右上角則有波向動態質點及風浪告

警門檻值開關等。左下角在開啟波向動態質點開關時會同步呈現滑鼠游標所在處之海氣象資訊。

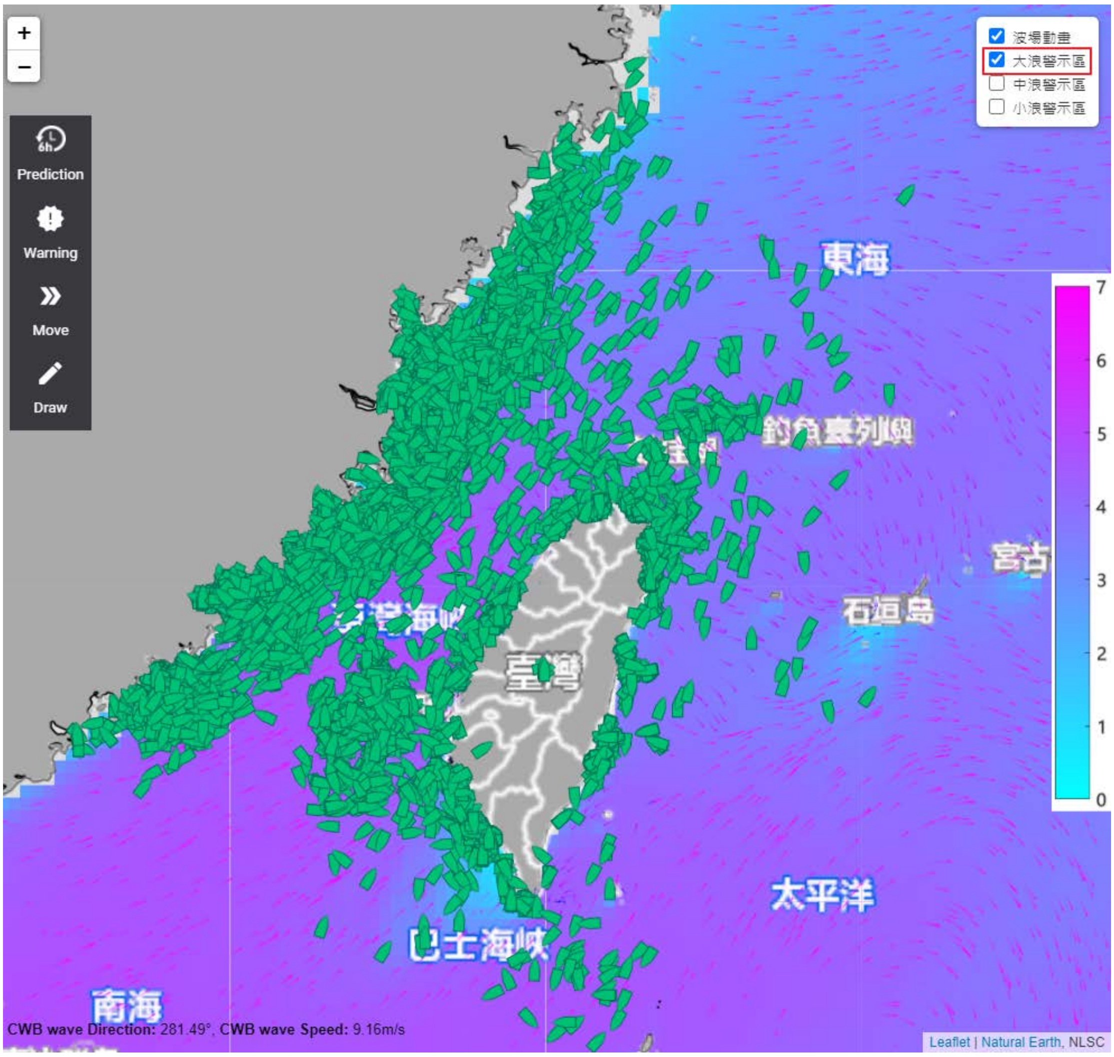


圖 4.4.2 目前介面網頁呈現狀態

目前底圖採用國土測繪中心提供之通用地形圖，未來亦可加入其他解析度更高之收費或免費圖資，波向動態質點會沿著波向持續有流動的動態效果，為工作團隊使用 leaflet 開源插件工具 leaflet-velocity 所建置之特效，其 License 為 MIT License。主要用來實現風場、波場、洋流等具方向性條件的視覺化工具，透過 HTML 中 Canvas 畫布實現，避免載入過多粒子。其動畫資料處理方式流程如下說明，先將格點上資料以雙線性內插方式(Bilinear Interpolation)，產生一較平滑表面，並隨機生成許多粒子在表面上，粒子會隨內插後的速度場移動及改變顏色。

圖 4.4.3 為打開颱風波浪示警區域的示意圖。經工作會議討論預設三種分級分別對應蒲福風級表中 5 至 7 級的風浪最大值做為門檻，將大於此門檻的部分於圖面標示色塊，警示等級由低而高分別對應黃、橘與紅色範圍。若點選左側 warning 工具列中的船舶浪高資訊會開啟預警船舶列表輸出視窗，先列出三種波高範圍之船隻統計量，如圖 4.4.4 並可將警示區域內的船舶資訊將會輸出*.csv 格式的檔案，可用純文字文件編輯器或 Excel 開啟，如圖 4.4.5。

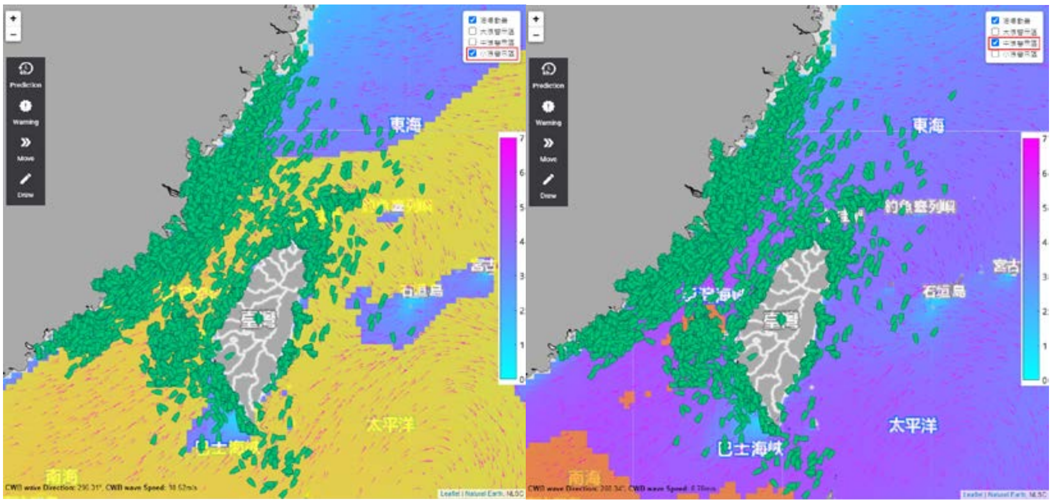


圖 4.4.3 開啟颱風波浪警示區域的呈現

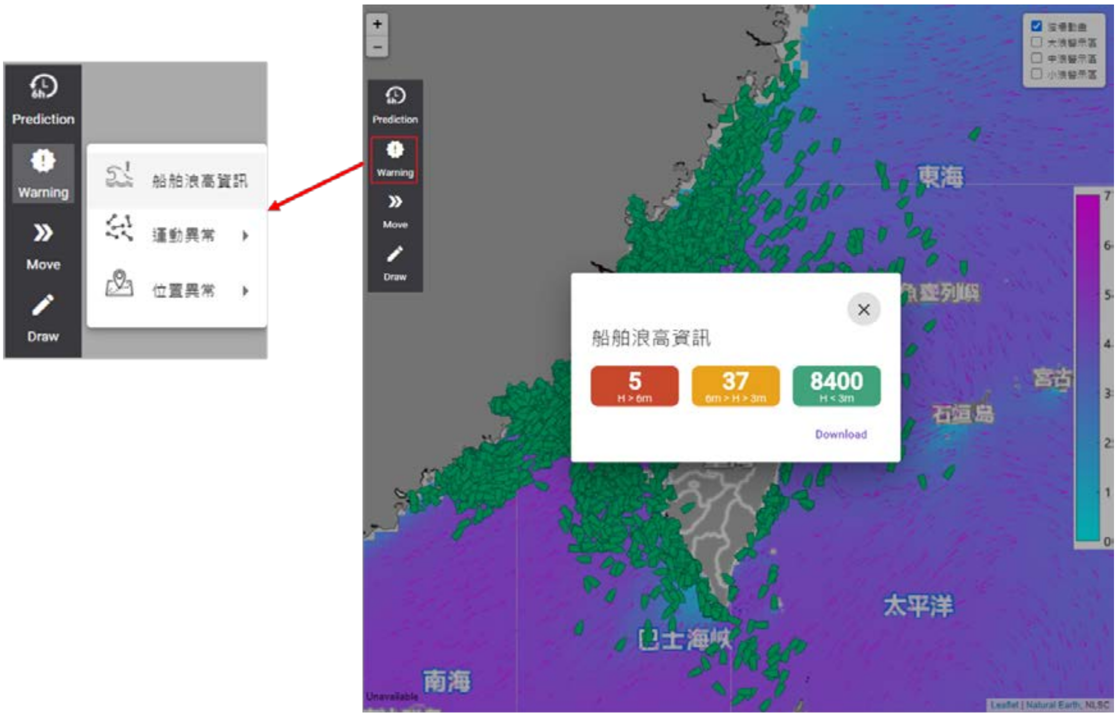


圖 4.4.4 預警船舶列表輸出視窗

目前輸出內容包括英文船名、水上行動業務識別碼、經緯度、船型代號、船長、船寬、船軸最大吃水深、船舶最大吃水深度、船舶總噸位、船舶位置浪高等。並依浪高大小排列。此外若使用者想了解個別船隻的詳細資訊亦可直接以滑鼠點及船舶圖示，介面會以對話框方式列出該船的相關資訊，如圖 4.4.6。

	A	B	C	D	E	H	K	L	M	N
1	ShipName	MMSI	Longitude	Latitude	Ship Type	Ship Length	Ship Width	MAX_Draught	Gross_Tonnage	waveH
2	SBI TETHYS	636017486	121.10631	25.739263	70	200	32	13.3	-1	180
3	CHANG CHUAN	312977000	121.16768	25.667222	70	74	12	4.3	-1	180
4		416000012	121.10742	25.716408	30	0	0	0	-1	180
5	MISAGO ARROW	311000413	121.19353	25.89816	70	200	32	10.5	-1	180
6	CLIPPER HELEN	258643000	121.06877	25.647768	84	154	22	8.4	-1	180
7	DROGBA	563043600	121.29512	26.273217	70	199	32	11.9	-1	179
8	TRANS FUTURE 11	356468000	121.27035	26.258747	70	165	28	6.4	-1	179
9	LINDA HOPE	351017000	121.07526	25.895203	70	292	45	11.1	-1	179
10	GMT ASTRO	373817000	121.37324	25.95602	70	191	32	9.3	-1	178
11	SISKIN ARROW	538005349	121.02907	25.95948	70	210	36	9.6	-1	178
12	EAST SAIL	312237000	121.36788	25.800932	70	70	12	5.1	0	178
13	NEW HORIZON	538008295	121.41182	25.935732	70	167	32	7.1	0	178
14		100900002	121.39163	25.630483	80	50	6	0	-1	177
15	TAIMA STAR	416011000	121.27427	25.548623	60	105	16	5	-1	177
16	GRAND ACE10	354252000	121.0524	26.002848	80	183	32	12.1	-1	177
17	BUENA BANDERA	356292000	121.12227	26.219752	80	82	18	4.6	0	177
18	5988	412000655	121.30305	25.67635	70	5	0	0	-1	177
19	PANWORLD	636016372	120.88884	25.7634	70	157	32	6.5	-1	176
20	SAWASDEE ATLANTI	538008835	121.35617	26.380578	70	132	27	8.6	0	176
21	PHUONG DONG 10	574001210	120.85078	25.748815	70	70	17	7.5	0	176
22		100900006	121.44155	25.7228	70	50	6	0	-1	175
23	DAEHO SUNRISE	440059000	120.95253	26.092832	80	100	17	5.9	-1	175

圖 4.4.5 警示區域內的船舶資訊輸出結果

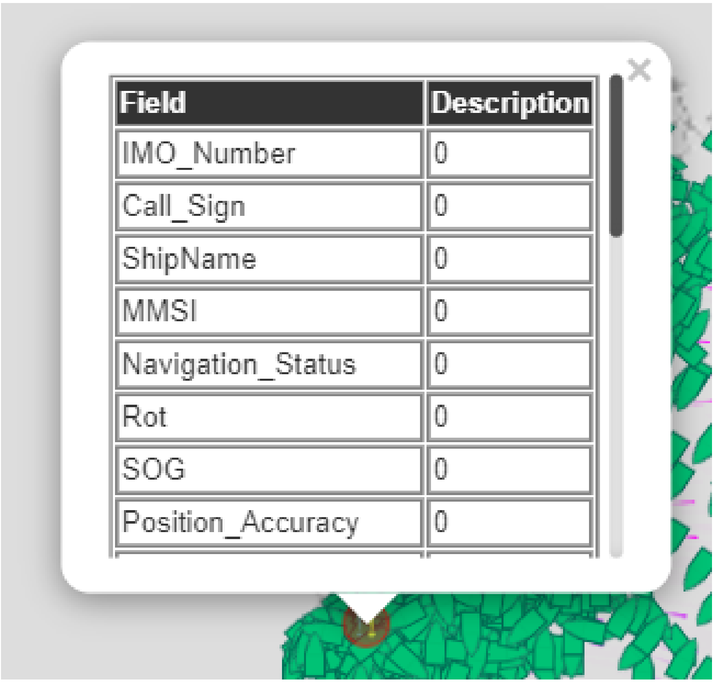


圖 4.4.6 個別船舶資訊

4.5 小結

自動化颱風時期船舶預警介面系統已完成各項功能，主要目前介接中央氣象局所公告之波速與波浪預測結果，能即時針對臺灣周邊海域提供風浪預警功能。未來也可更換資料來源依據自動化颱風波浪模擬的結果或其他波浪預測資料即時提供 6 小時以上之預測結果劃設警示區域範圍，並具備連結現有船舶自動識別系統(AIS)的功能，列出應提出警示的船舶資訊供管理人員參考。其中部分細節設定仍可進行調整，例如預測波場的資料來源、底圖、波高門檻值及輸出欄位等，後續可使用者視需求進行調整。目前 Web Mep Server(WMS)亦能提供其他介面的資料介接，未來若有更合適的圖台或介面，也可透過 WMS 提供的 api 呈現本研究的成果。

第五章 船舶航行安全大數據資料庫資料源處理

本章主要蒐集往昔 AIS 資料庫的紀錄檔，重新建立一套能提供後續船舶航安預測模型使用的資料庫。新的資料庫在水平擴充、查詢效能與便利性上都較往昔的資料庫有更好的表現。雖然目前成果主要提供本研究進行快速統計分析與 AI 模型建模之使用，但也能提供未來各 AIS 資料儲存單位作參考。

船舶 AIS 資料庫因需要不斷蒐集船隻回傳的訊號，有大量資料需蒐集處理，如下圖 5.1，2020 年臺灣附近 AIS 接收資料量統計，每個月約有近 5 億筆資料，資料量大小約 130 GB。在大量資料需不斷接收時，因不確定未來硬體容量需求，故此資料庫選擇時，需容易平行擴充，避免未來容量不足需轉移資料庫的問題，而 AIS 資料屬於地理空間資料，此資料庫亦需提供空間索引查詢功能，才能在大量資料下，快速搜尋空間中所需資料。因此系統亦包含海氣象警示系統，若能將歷史海氣象資料存放置資料庫中，未來將能提供歷史預測查詢或執行海氣象與船隻行為的研究。在統合以上需求及參考其它 AIS 資料庫研究後，選用文檔式 NoSQL 資料庫－MongoDB。

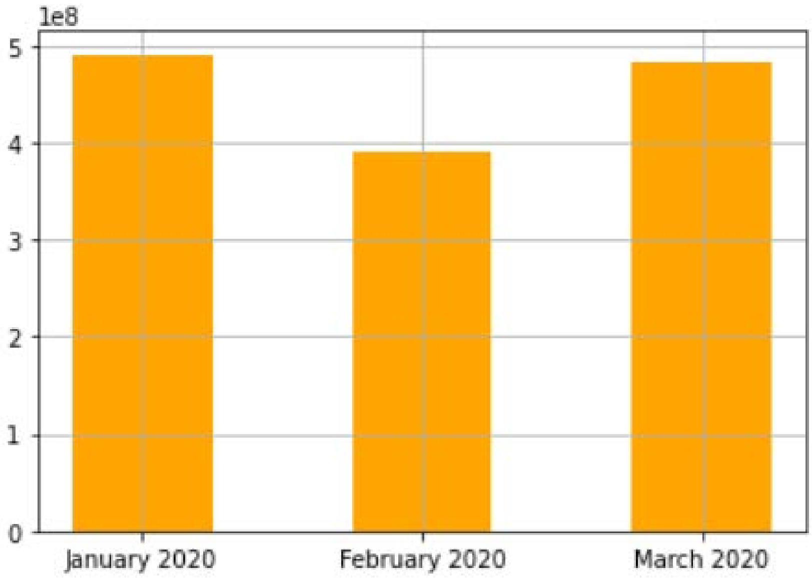


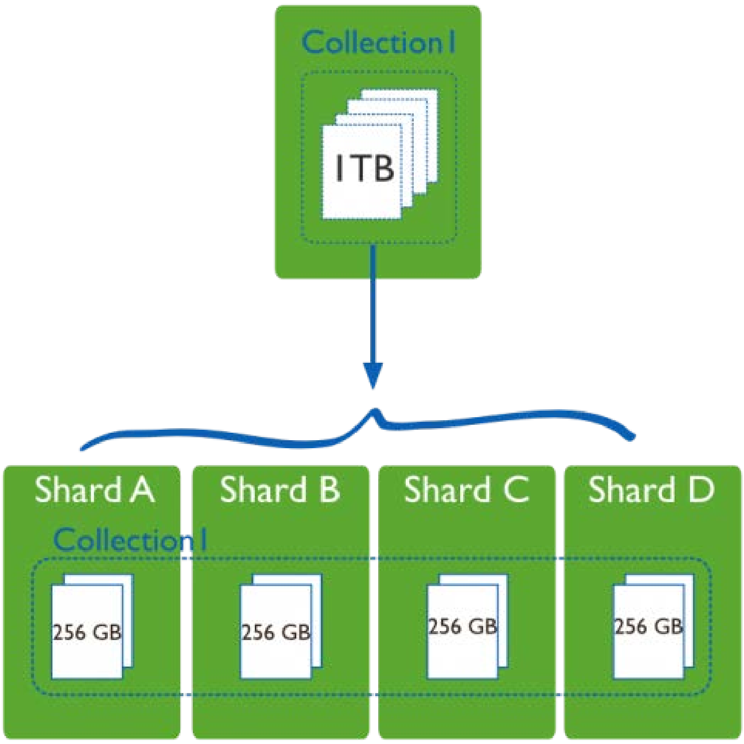
圖 5.1 2020 年 1~3 月臺灣附近 AIS 接收資料統計

5.1 MongoDB 特色

MongoDB 是屬於文檔式 NoSQL 資料庫，NoSQL 資料庫的意思是 "Not Only SQL"，也就是不限定為「關聯式資料庫」的資料庫管理系統的統稱。此類 NoSQL 具較高的彈性、可擴展性、高效能及高功能性的特點，在此節中針對本研究所選用 MongoDB 的各項特點作介紹。

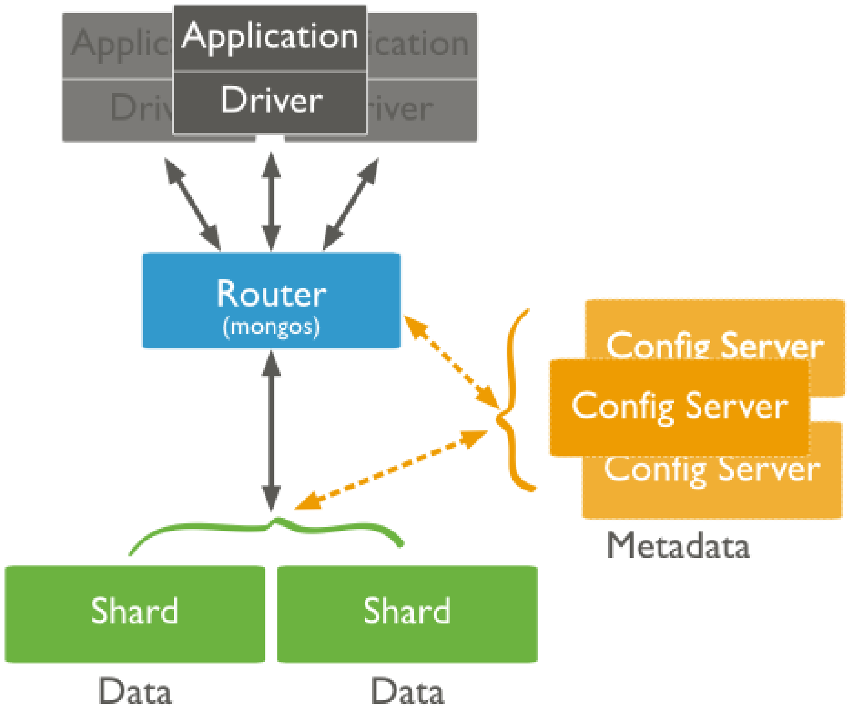
(一)水平擴充

在大數據時代的來臨，海量資料的存放情境中，垂直擴充架構已無法滿足需求，必須透過水平擴充來解決，又稱分散式架構。分散式架構，如圖 5.1.1，每一個切割片(Shard)都是由獨立的實體構成，由路由(Router)控制資料查找與輸入，如圖 5.1.2，當要操作 MongoDB Sharded Cluster 時，透過扮演 router 角色的 mongos 來連接，router 通常由多個實體組成，除了可以達到高可擴充性外，也可以分散處理任務保持高可用性(High Availability，HA)、高效能的效果。



資料來源：MongoDB Manual

圖 5.1.1 分散式架構



資料來源：MongoDB Manual

圖 5.1.2 分散式資料庫運作圖

(二)查詢索引(Index)

在資料庫中建立索引(Index)，會依選擇要建立索引的欄位建立一個樹狀結構(Tree)，可以快速的在資料庫中搜尋索引欄位，是一種在各種資料庫中，常見的以空間換取搜尋效率的方法。但若索引建立太多，除了會增加資料庫大小也會降低新增、更新的效率，故在索引欄位的決定時，需根據最終目的，謹慎設計資料庫索引。

在 MongoDB 中，以 B-Tree(Balance tree)做為預設的索引建立結構，Rudolf Bayer(1972)所提出，其特色在於所有葉節點(Leaf Node)的深度必定相同，避免如二元搜尋樹(Binary Search Tree)不平衡時，導致搜尋效率僅 O(n)，以英文字母建立結構為例，如圖 5.1.3，在 Header Block 中可得，若所要查詢的字母介於 A-K 之間，則往樹的左方查詢，若是 L-Z 之間則往右方查詢，以下子節點以此類推，可大幅降低查詢時間。在此研究中建立一般如 MMSI、時間…等等 Index 使用此種方式建立索引。

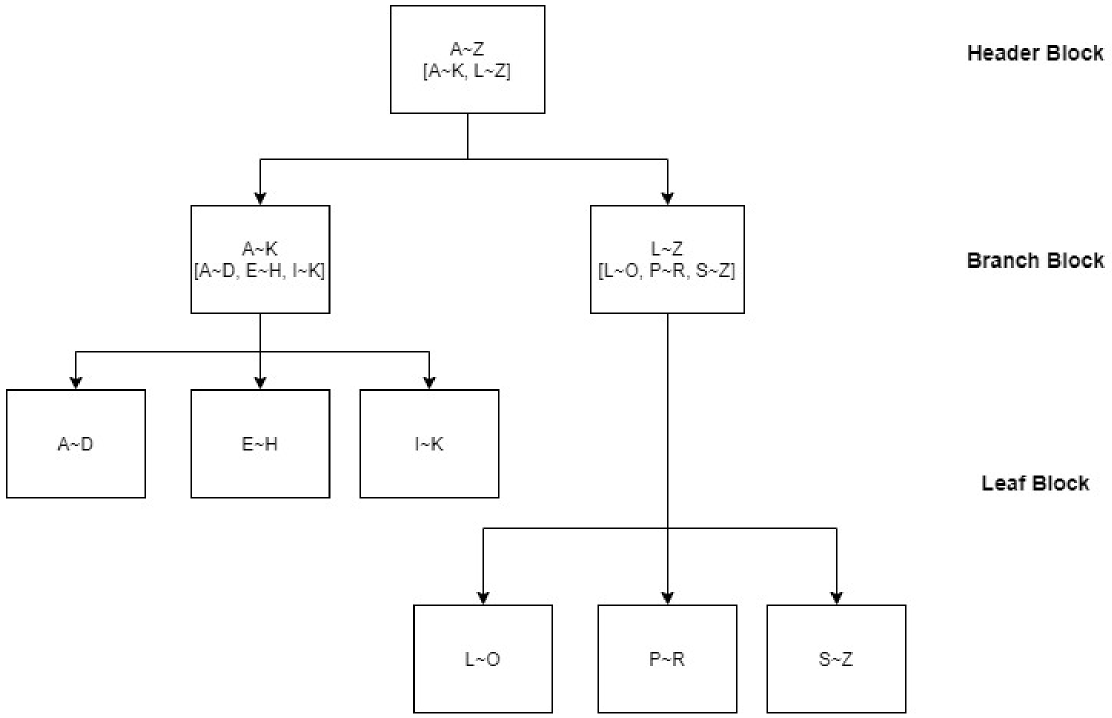
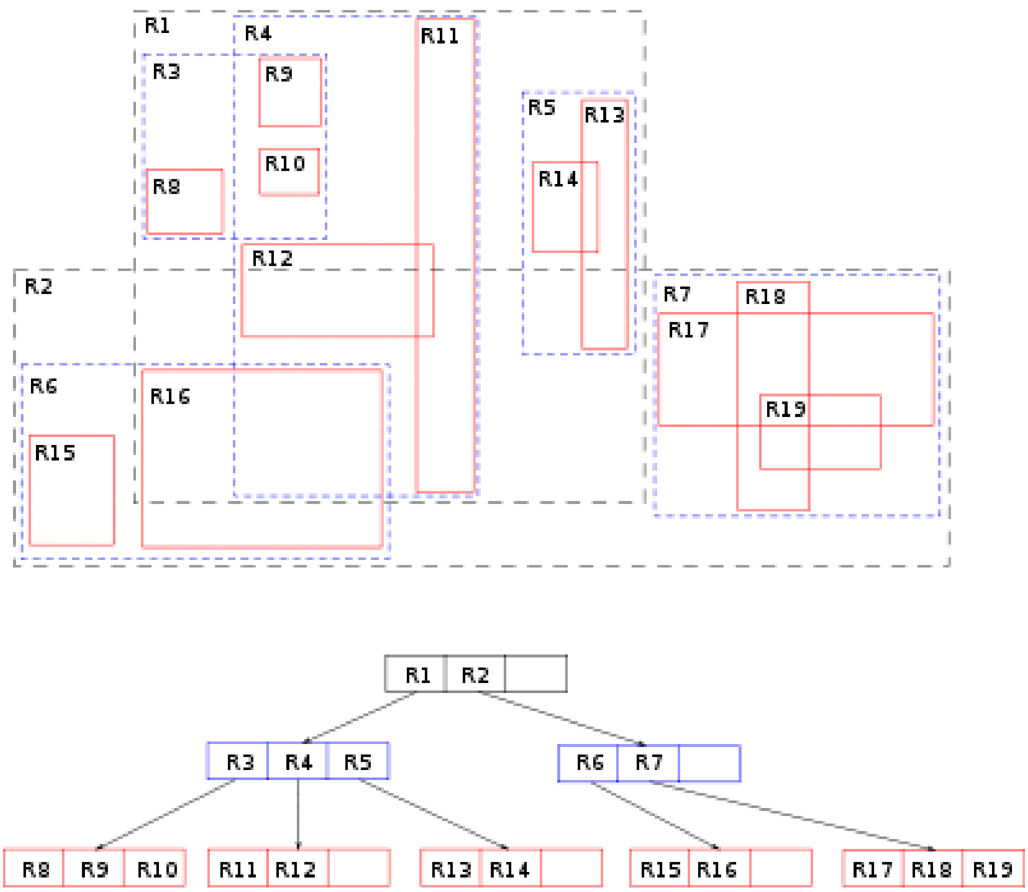


圖 5.1.3 B-tree 結構示意圖

而在空間查詢方面，MongoDB 係透過 R tree 來建立索引結構，R tree 是由 Antonin Guttman 於 1984 年所提出，R 代表矩形(Rectangle)，所有節點都在它們的最小外接矩形中，所以跟某個矩形不相交的查詢就一定跟這個矩形中的所有節點都不相交。葉子節點上的每個矩形都代表一個物件，節點都是物件的聚合，並且越往上層聚合的物件就越多。也可以把每一層看做是對資料集的近似，葉子節點層是最細粒度的近似，與資料集相似度 100%，越往上層越粗糙，如圖 5.1.4。主要用來做空間資料儲存的樹狀結構，可用來訪問二維或更高維度組成的空間資料。



資料來源：Wikipedia 網頁

圖 5.1.4 二維 R tree 範例

(三)檔案儲存

傳統的 File System 中，備份與擴充受限於建立時的硬體設備，而在 MongoDB 中，可將檔案轉為 Binary 文件存放在資料庫中，而若檔案大小大於 16 MB 可使用 GridFS 功能，將二進制文檔切割後存放在資料庫中，GridFS 在資料庫中使用 fs.files 和 fs.chunks 等兩個 Collection 來存儲檔案資料，fs.files 存放檔案名稱、大小、類型及上傳時間等資訊，而 fs.chunks 則是負責存放經過分割後的 Chunks，其優點是透過分割儲存的方式能夠快速讀取檔案中任何的片段，如圖 5.1.5。在海氣象推算歷史資料庫中，即可透過此種方式儲存資料，若未來隨資料量增加或預測資料的精度增加，使資料庫容量不足，有擴充需求時，即可方便的平行擴充資料庫。

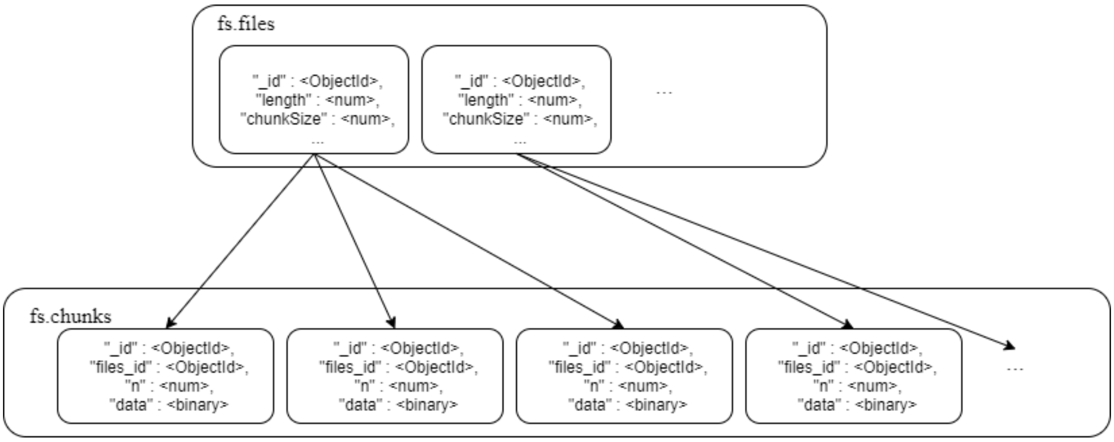


圖 5.1.5 MongoDB fs.files 和 fs.chunks 檔案切割存放示意圖

5.2 資料庫轉移

首先將歷史資料庫轉移至 MongoDB 中，再根據 MMSI 分類並加入篩選條件，去除異常資料，降低資料庫大小，並建立軌跡資料庫，其建立流程如圖 5.2.1。

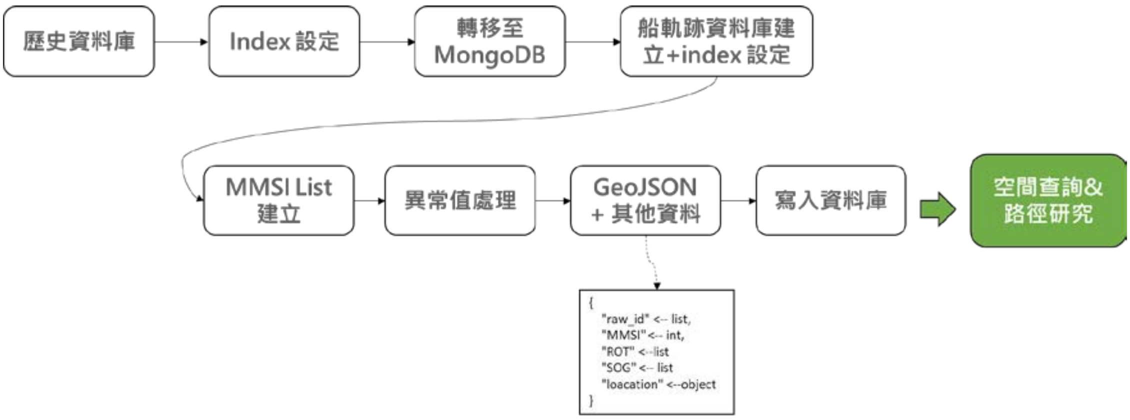


圖 5.2.1 資料庫建立流程

首先將中心所提供的歷史資料庫，MS SQL 中的資料如圖 5.2.2，轉移至文檔資料庫 MongoDB 中，如圖 5.2.3。在 AIS 歷史資料庫中，所包含的資訊如表 5.2-1，為考量後續需透過 MMSI 分類不同船隻建立船軌跡資料庫，故在將資料轉移前，將 MMSI 設定為 Collection 中的索引(Index)。

	IMO_Number	Call_Sign	ShipName	MMSI	Navigational_Status	ROT	SOG	Position_Accuracy	Longitude	Latitude	COG	True_Heading	Time_Stamp
1				416001295	15	128.0	6.2	0	121.893821666667	24.8454816666667	298.5	298	59
2	0	BR3804	KMSC NO.451	416005118	15	0.0	0.2	0	120.282095	22.6094183333333	332.2	1	1
3	0	BR3796	CHUNG CHENG NO 5	416005098	15	128.0	8	1	120.307253333333	22.5729716666667	312.3	511	0
4		1234567		400000003	15	128.0	102.3	0	181	91	360	0	0
5	9342401	VRMJ4	GAS EMERALD	477767400	0	-12.0	13.3	1	120.0244	22.7958	334	335	59
6	9342401	VRMJ4	GAS EMERALD	477767400	0	-12.0	13.3	1	120.0244	22.7958	334	335	59
7	9846536	VRSR5	TS SHANGHAI	477369700	0	0.0	10.5	1	121.900036666667	25.96846	56.3	54	58
8	0	BR3340	TIPM NO.12606	416003456	15	-128.0	2.3	1	120.320961666667	22.5508266666667	110.3	511	59
9		YYYY		100900545	15	128.0	102.3	1	181	91	360	511	51
10	9132947	3FAB8	UNI HARMONY	351865000	0	0.0	7.7	1	120.263283333333	25.6022666666667	35	35	59

圖 5.2.2 MS SQL AIS 歷史資料庫


```
{
    "_id" : ObjectId("5f37681ee7bd0672cce9358e"),
    "IMO_Number" : "",
    "Call_Sign" : 1234567,
    "ShipName" : "",
    "MMSI" : 400000003,
    "Navigational_Status" : 15,
    "ROT" : 128.0,
    "SOG" : 102.3,
    "Position_Accuracy" : 0,
    "Longitude" : 181.0,
    "Latitude" : 91.0,
    "COG" : 360.0,
    "True_Heading" : 0,
    "Time_Stamp" : 0,
    "Communication_State" : 0,
    "Ship_and_Cargo_Type" : 30,
    "Reference_Position_A" : 12,
    "Reference_Position_B" : 17,
    "Reference_Position_C" : 0,
    "Reference_Position_D" : 0,
    "Fixing_Device" : 0,
    "ETA" : "1900-01-01 00:00:00.000",
    "MAX_Draught" : 0.0,
    "Destination" : "",
    "DTE" : 0,
    "Gross_Tonnage" : 0,
    "Record_Time" : "2020-03-02 07:42:00"
}
```


圖 5.2.3 轉移後 MongoDB AIS 資料庫

表 5.2-1 AIS 欄位資訊

欄位	說明
IMO_Number	IMO 編號
Call_Sign	呼號
ShipName	船名
MMSI	Maritime Mobile Service Identity
Navigational_Status	航行狀態
ROT	迴轉率
SOG	航速
Position_Accuracy	位置準確度
Longitude	經度
Latitude	緯度
COG	航向
True_Heading	船艏方向
Time_Stamp	時間標記
Communication_State	通訊狀態
Ship_and_Cargo_Type	船舶類型編號
Reference_Position_A	A+B=船長
Reference_Position_B	
Reference_Position_C	C+D=船寬
Reference_Position_D	
Fixing_Device	定位設備
ETA	預估到達時間
MAX_Draught	最大吃水深度
Destination	目的地
DTE	資料終端設備
Gross_Tonnage	噸位
Record_Time	數據接收時間

5.3 軌跡資料庫建立

因在歷史資料庫中，逐時接收資料時並未考量是否由同一艘船發出的訊號及接收資料的品質，為了提供預測模型訓練資料集，在此需先建立歷史軌跡資料庫，以提高取得資料集時的速度及品質。

在建立船軌跡資料庫時，不僅將 MMSI 加入索引，也將經緯度加入做為空間索引，在 MongoDB 中，若要建立空間索引，需先建立 GeoJson 欄位，再透過 createIndex 功能中”2dsphere”的方式建立空間索引，因為軌跡座標，故 GeoJson 欄位使用”MultiPoint”代表軌跡，如圖 5.3.1。

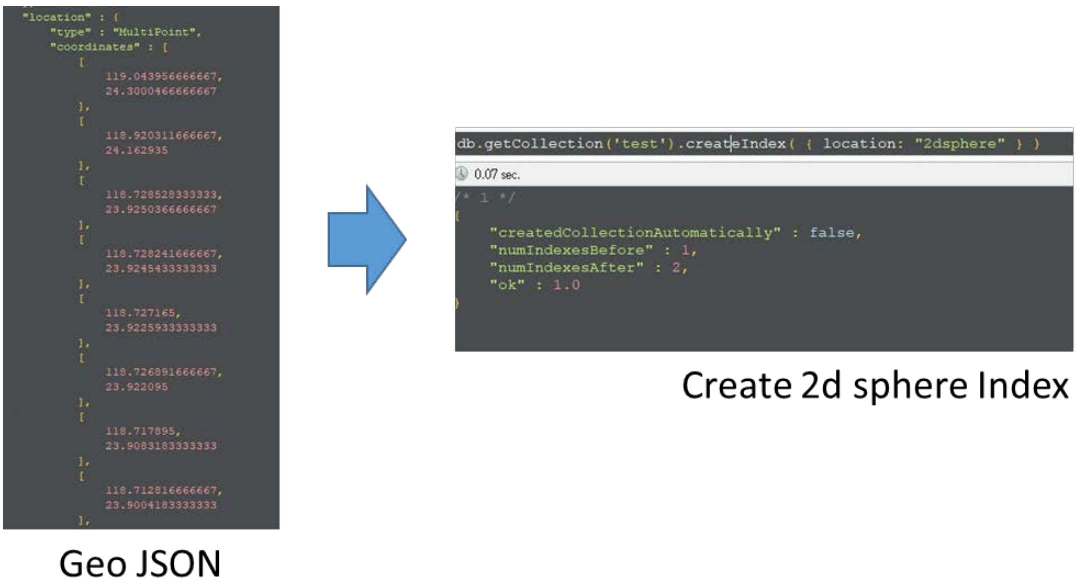


圖 5.3.1 MongoDB 空間索引建立

建立索引後，將資料匯入前，先去除歷史資料庫中的異常值，流程如下圖 5.3.2，先去除時間及空間重複資料，如圖 5.3.3、圖 5.3.4，再刪除 COG 及 SOG 的異常值，其篩選的閾值參考 108 年船舶航行安全大數據資料庫應用與分析報告，因 AIS 回傳資料中，回傳頻率有時間格較長，為了切分每次船舶任務的軌跡，此研究選定以 3 小時做為判斷標準，若超過 3 小時無回傳資料，則此次航行任務結束，取得其船軌跡，最後在船軌跡中，以速度判斷異常資料點，先將經緯度座標差轉為公里結合回傳時間差計算速度，換算成節(knot，1knot=1.852 km/hr)，若單點偏移量大(速度大於 70 節)，可能為定位異常所導致，故將此資料移除。

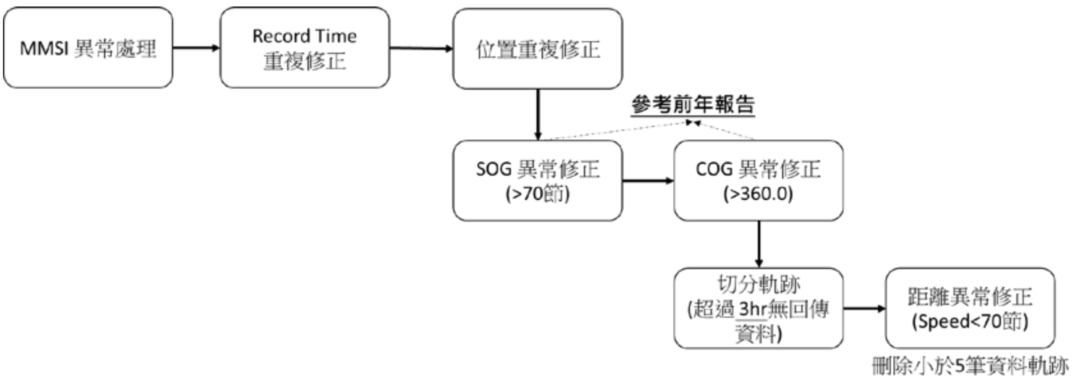


圖 5.3.2 異常值修正及軌跡決定

僅保留一筆資料
刪除其餘數據

_id	MMSI	Record_Time	SOG	COG	Longitude	Latitude
5f37681fe7bd0672cce9ef7e	416001295	2020-03-02 07:47:35	6.3	297.7	121.884085	24.850222
5f37681fe7bd0672ccea0071	416001295	2020-03-02 07:48:05	6.4	298.1	121.883170	24.850648
5f37681fe7bd0672ccea1318	416001295	2020-03-02 07:48:38	6.2	303.7	121.882223	24.851068
5f37681fe7bd0672ccea1319	416001295	2020-03-02 07:48:38	6.2	303.7	121.882223	24.851068
5f376820e7bd0672ccea3384	416001295	2020-03-02 07:49:37	6.9	295.9	121.880462	24.851855
5f376820e7bd0672ccea3386	416001295	2020-03-02 07:49:37	6.9	295.9	121.880462	24.851855
5f376820e7bd0672ccea4405	416001295	2020-03-02 07:50:07	6.4	297.9	121.879567	24.852270
5f376820e7bd0672ccea4406	416001295	2020-03-02 07:50:07	6.4	297.9	121.879567	24.852270
5f376820e7bd0672ccea5486	416001295	2020-03-02 07:50:37	6.6	300.1	121.878668	24.852713
5f376820e7bd0672ccea6579	416001295	2020-03-02 07:51:08	6.5	294.7	121.877785	24.853115
5f376820e7bd0672ccea657b	416001295	2020-03-02 07:51:08	6.5	294.7	121.877785	24.853115
5f376820e7bd0672ccea768c	416001295	2020-03-02 07:51:39	6.4	302.5	121.876877	24.853552

圖 5.3.3 回傳時間重複

僅保留頭尾資料
中間無前進數據

_id	MMSI	Record_Time	SOG	COG	Longitude	Latitude
5f376824e7bd0672ccee2513	416001295	2020-03-02 08:20:59	0.0	90.9	121.835787	24.867308
5f376825e7bd0672ccee881c	416001295	2020-03-02 08:24:02	0.0	90.9	121.835787	24.867308
5f376825e7bd0672cceee6ab	416001295	2020-03-02 08:27:01	0.0	90.9	121.835787	24.867308
5f376827e7bd0672ccf0653f	416001295	2020-03-02 08:39:08	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376828e7bd0672ccf1213b	416001295	2020-03-02 08:45:11	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376829e7bd0672ccf1dfe1	416001295	2020-03-02 08:51:14	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ae7bd0672ccf23ea9	416001295	2020-03-02 08:54:17	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682be7bd0672ccf33d29	416001295	2020-03-02 09:03:22	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682be7bd0672ccf39e18	416001295	2020-03-02 09:06:23	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ce7bd0672ccf3ffe5	416001295	2020-03-02 09:09:24	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ce7bd0672ccf461f7	416001295	2020-03-02 09:12:26	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682de7bd0672ccf4c42b	416001295	2020-03-02 09:15:28	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ee7bd0672ccf585bd	416001295	2020-03-02 09:21:32	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682ee7bd0672ccf5e600	416001295	2020-03-02 09:24:33	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682fe7bd0672ccf6469d	416001295	2020-03-02 09:27:35	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f37682fe7bd0672ccf70724	416001295	2020-03-02 09:33:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376830e7bd0672ccf766e3	416001295	2020-03-02 09:36:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376830e7bd0672ccf7c79c	416001295	2020-03-02 09:39:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376831e7bd0672ccf82816	416001295	2020-03-02 09:42:37	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376831e7bd0672ccf88861	416001295	2020-03-02 09:45:40	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376832e7bd0672ccf8e7ac	416001295	2020-03-02 09:48:41	0.0	80.7	121.835858	24.867230
5f376832e7bd0672ccf94829	416001295	2020-03-02 09:51:42	0.0	80.7	121.835858	24.867230

圖 5.3.4 回傳位置重複

在最終的告警系統中，為在介面中提供船舶即時位置及路徑資訊，供推算後告警使用以及為維持資料庫穩定，讀寫分離，需為即時呈現系統建立資料庫，此資料庫索引設定包含 MMSI、Record Time 及空間座標，資料庫更新資料內容為本所所提供的 15 分鐘資料庫，中心資料庫中包含 15 分鐘內，船舶回傳的最後一筆資料，並於每分鐘更新，故即時資料庫每分鐘訪問本所資料庫，取得資料後去除重複資料，寫入即時資料庫中，為維持資料庫效率，此即時資料庫僅保留 15 分鐘內回傳資料。

第六章 船舶航安預測大數據模型建置

AIS 資料庫長期蒐集船隻回傳資料，經由有效整理彙整為軌跡資料庫後，詳如前一章節說明，可搭配 AI 技術建立深度學習路徑預測模型，可預測船舶未來可能動態，從而提前發出警告訊息，達預警效果。本章節先預處理資料集中的軌跡資料，並建立預測模型及評估，並使用最佳模型進行延時分析。因 AIS 接收資料遍及臺灣周圍海域，各海域各有其船舶行為，本研究範圍選用布袋港周圍船隻建立預測模型，如圖 6.1，選擇船舶路徑經過此範圍的船隻，範圍大小為 1 km。

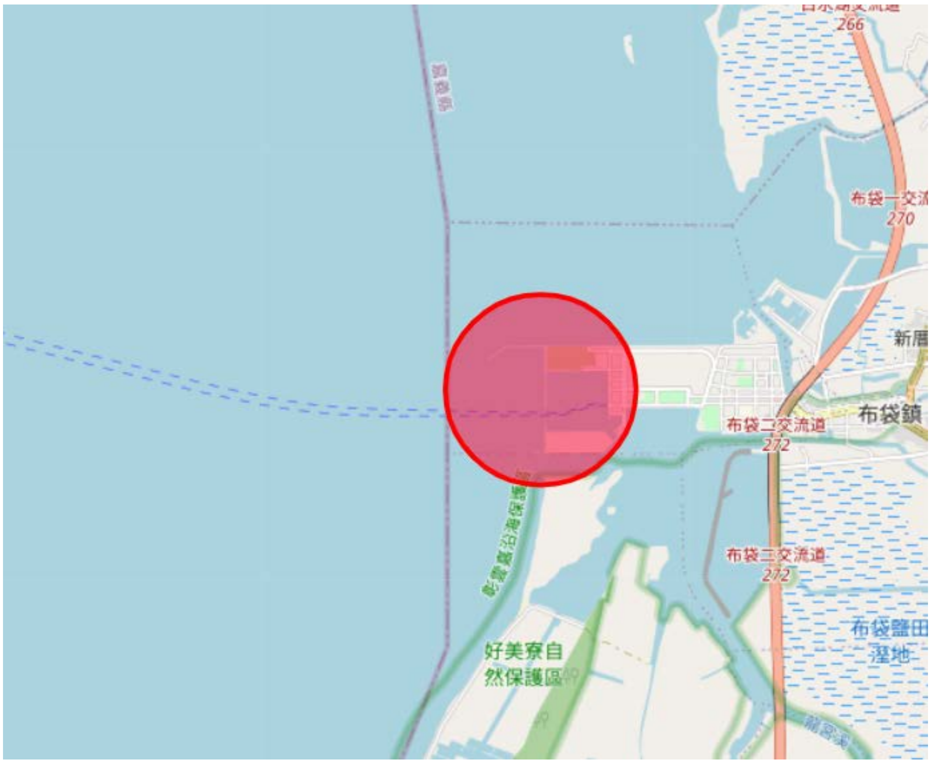


圖 6.1 船舶路徑選擇範圍

6.1 訓練資料選擇及資料預處理

AIS 資料庫欄位中，並非所有資料都與路徑軌跡有關。COG 因角度 0 度及 360 度不連續，在空間中分布較散亂，如圖 6.1.1 左，會使模型在訓練時混亂，不易建構模型。本研究將 COG 與 SOG 整理為 U、V 向量表示方式，如圖 6.1.1 右，由圖中可得，在空間中已有明顯較集中的分布，可增加模型訓練的成功率。而 ROT 機率密度統計

圖及 ROT 方向如圖 6.1.2，資料庫中 ROT 值多為 128　及 -128，與船隻實際行為相關性待需進行更多分析，故暫不考慮將 ROT 納入模型輸入值中。本研究最終選擇與船舶航行有關的欄位包括與經緯度(Lat, Lon)、方向向量(U, V)及回傳時間來進行分析與篩選進行建構深度學習模型所用的資料。

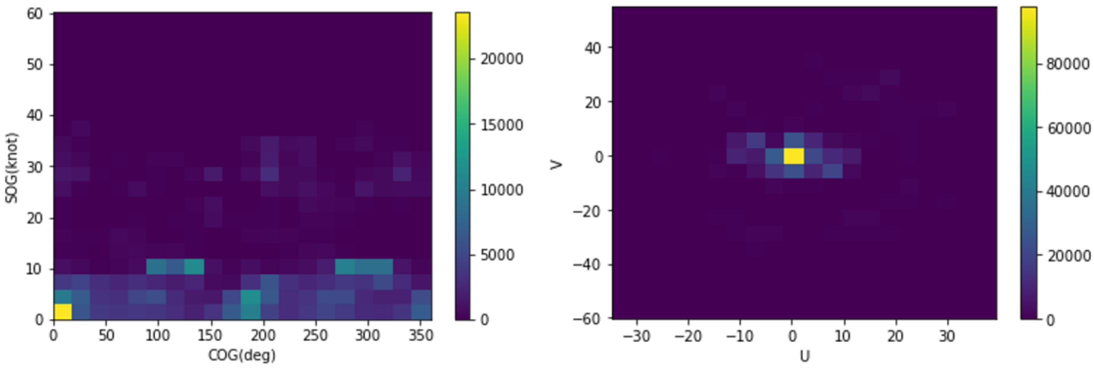


圖 6.1.1 二維直方圖統計(左: SOG、COG，右: U、V)

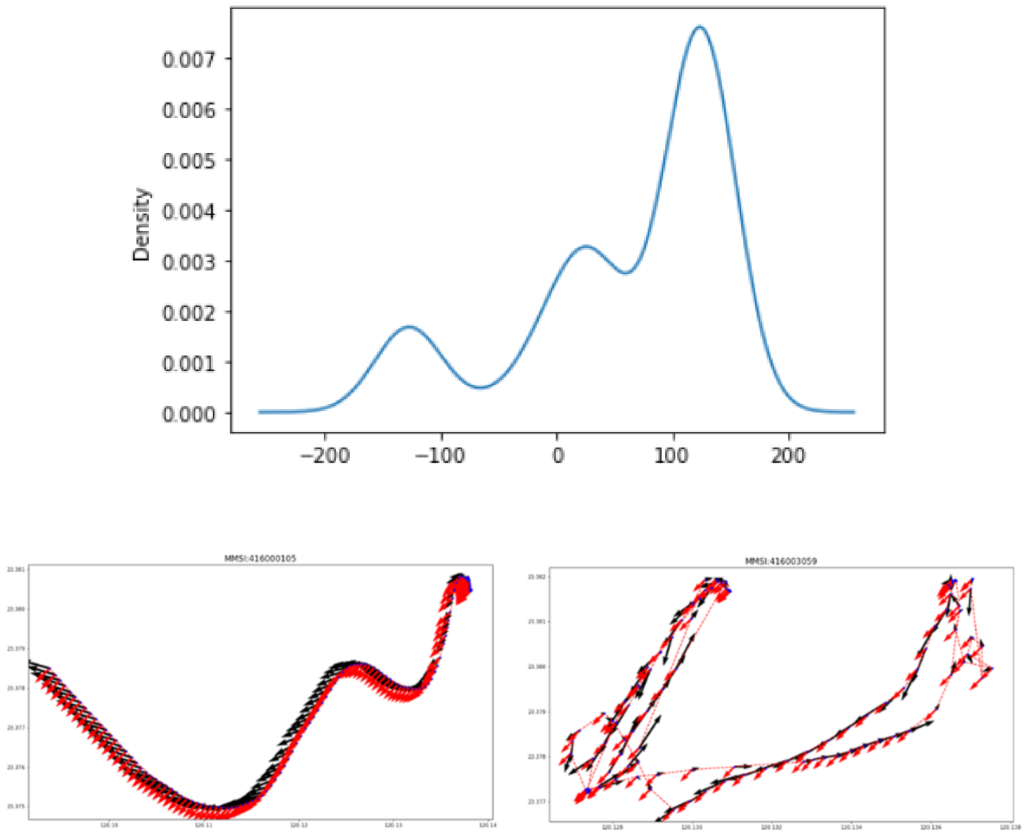


圖 6.1.2 ROT 機率密度分布圖與 ROT 方向(紅色箭頭)圖

在 Cargo Type 欄位中，Type 0 屬於 undefined type，內容包含大量測試或未定的船舶資料，其船軌跡範例如圖 6.1.3，散亂未定的雜訊資料易造成模型訓練的困難，故將 Type 0 資料排除。

在資料庫中，亦有船或浮標等搭載 AIS 系統的載具，在漂流時回傳資料，如圖 6.1.4，因此類目標的行為無法預測，故將此類資料排除，排除條件為活動軌跡中經緯度範圍小於 0.01 度的資料。

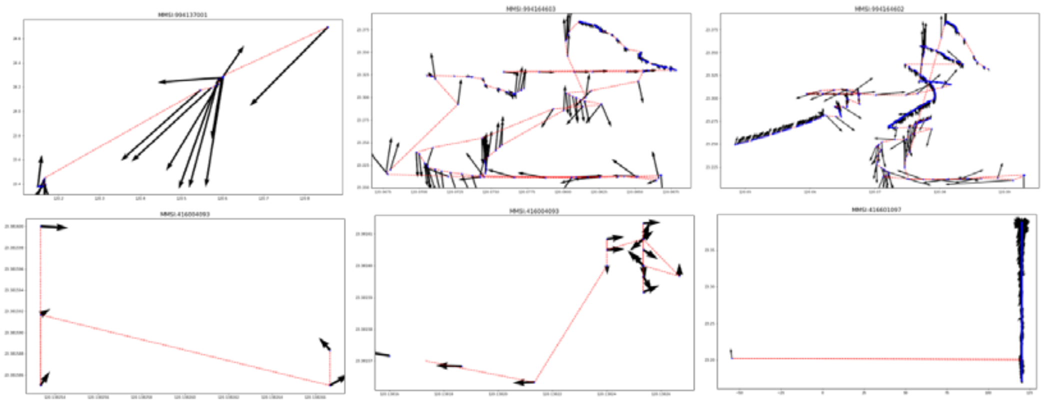


圖 6.1.3 Cargo Type 中 Type 0 船軌跡隨機選取範例

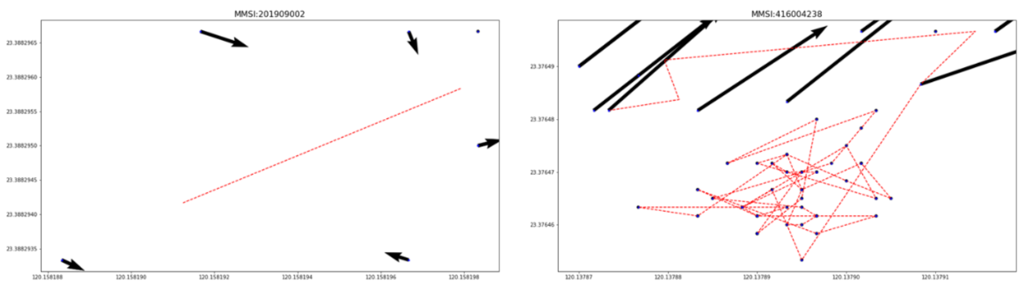


圖 6.1.4 漂流行為資料範例

在檢視完整體軌跡行為異常後，單一任務軌跡內部亦有異常資料點，可能因定位系統錯誤，導致在軌跡中，有時會出現極端離群值位置，為處理此種異常行為，本研究選用統計學中常用的去除離群值方法，離群值的臨界值上限選用 Q3 + 1.5 * IQR，下限為 Q1 - 1.5 * IQR，如圖 6.1.5 所示。

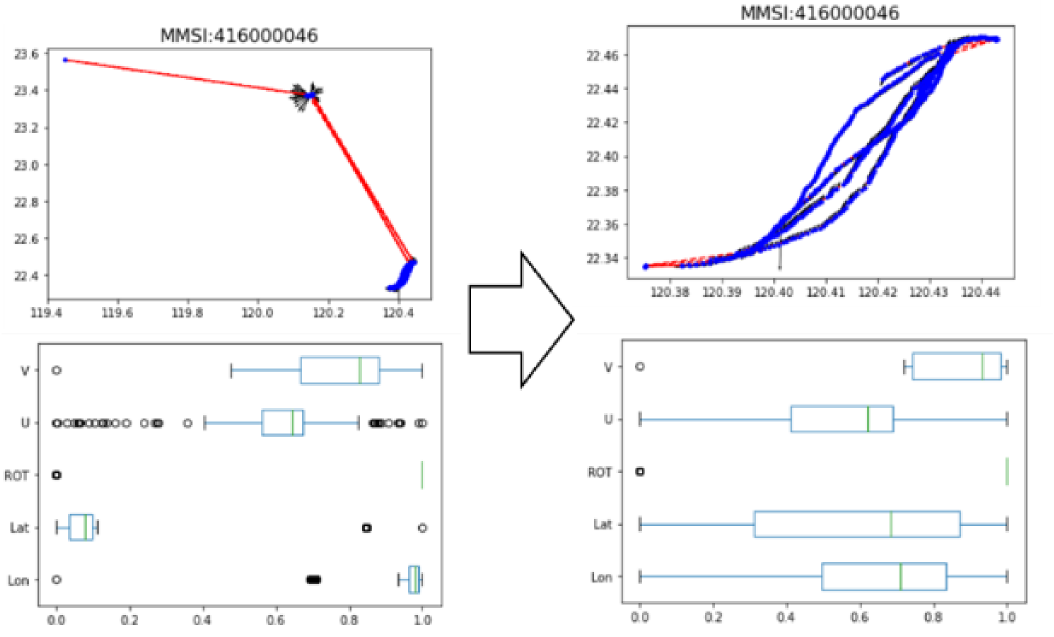


圖 6.1.5 離群值去除前後對照範例圖

路徑軌跡預測屬於時序列預測模型，建構神經網路模型結構時，如 NN、RNN，需先確定所要輸入的時間長度及間距，固定網路形狀後，才能透過誤差梯度更新神經網路內的參數，而因 AIS 回傳資料時間間距不定，故需先讓時間間距固定，本研究使用線性內插方式補足資料點，考量漁船、高速船等船舶速度及操控靈活性較高種類，選用內差時間間距為 1 分鐘，如圖 6.1.6 所示，圖中藍點表示回傳值，紅點則為內插後的結果。

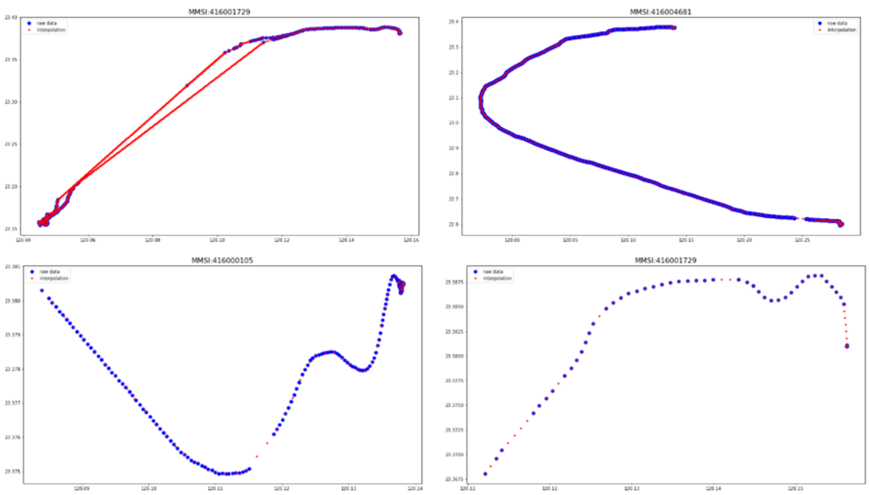


圖 6.1.6 船軌跡 1 分鐘線性內插範例圖

為避免常見路線軌跡或漁船常停留地點而導致訓練模型時，預測結果會往偏向停留地點，故在將資料輸入訊模型前先使用正規化(Normalize)處理，如下式(6-1)。

$$X_{normalized} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \tag{6-1}$$

最後完整資料預處理流程如圖 6.1.7，各月份船軌跡資料量如下表 6.1-1。

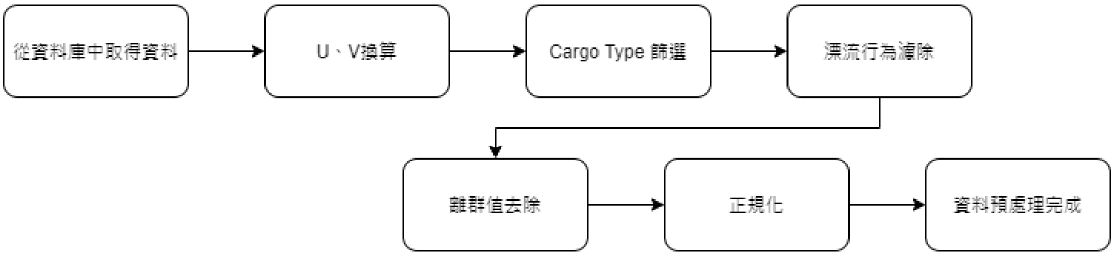


圖 6.1.7 資料預處理流程圖

表 6.1-1 船軌跡資料預處理前後統計表

月份	原始資料	移除異常資料後
1	233	215
2	236	211
3	178	146

6.2 AI 模型介紹

Warren McCulloch and Walter Pitts (1943)提出的類神經網路為近年廣為使用的深度學習模型的基礎，類神經網路概念為模仿大腦運作機制，有階層性的神經元連接，主要包含輸入層與輸出層及中間的隱藏層，可透過調整隱藏層的層數及神經元數量、不同的激發函數（activation function）來建構更複雜的神經網路，若隱藏層為兩層(含)以上，泛稱為深度神經網路，其示意圖如圖 6.2.1，在推算時，由輸入層開始輸入資料經由隱藏層再到輸出層，稱為前向傳播法（Forward-Propagation），但在更新隱藏層內的參數時，經由輸出層推

算結果與實際的結果誤差量透過誤差梯度反向更新隱藏層內參數，稱為反向傳播法(Backward-Propagation)，此過程又泛稱為模型訓練階段。

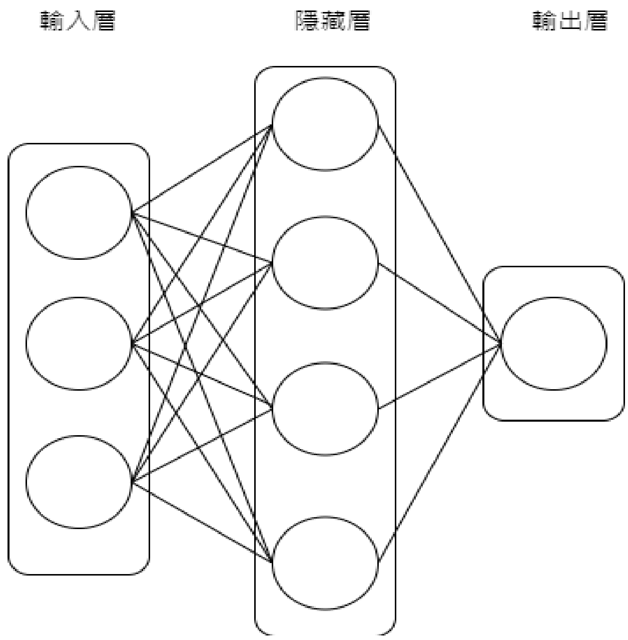


圖 6.2.1 神經網路示意圖

前述提到的 NN 架構屬於前饋式神經網路(Feedforward Neural Networks)，隱藏層中的輸出只會往前傳遞到下一層，輸入層與輸出層都是獨立沒有關係的，而在時序列的模型中，希望網路具有記憶功能，輸入層的前一刻時間點，也可能與此時間點推算結果有關，故發展出了遞歸神經網路（Recurrent Neural Network，RNN），RNN 由 David Rumelhart(1986)提出，可以將某層計算完成的輸出，再回傳給該層自己作為輸入，如下圖 6.2.2。

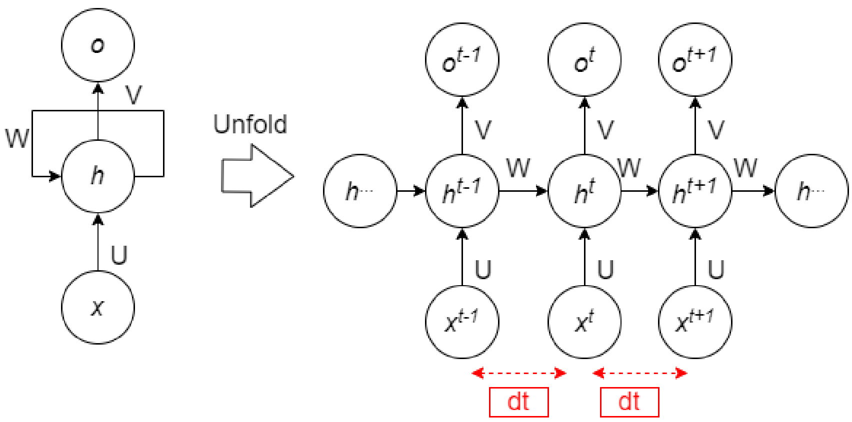
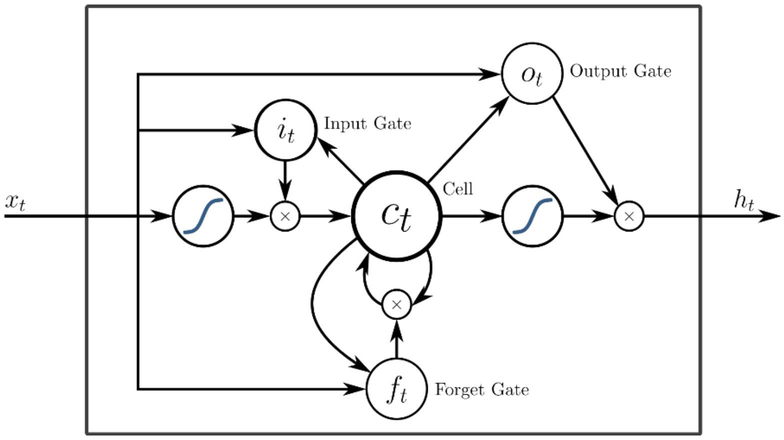


圖 6.2.2 遞歸神經網路(RNN)示意圖

RNN 模型中，由上圖 6.2.2 可得知，每筆時間輸入也會與下筆時間有關，若要輸入長時間資料，則會產生一個較深的神經網路架構，在訓練過程中，容易導致梯度消失和梯度爆炸問題，使模型訓練失敗，Hochreiter and Schmidhuber(1997)提出長短期記憶(Long Short Term Memory，LSTM)網路，導入 Input Gate、Output Gate 與 Forget Gate，如下圖 6.2.3，通過 gate 的控制保留與遺忘重要及不重要的參數，使此種結構下的遞歸神經網路有較佳的推算結果。



資料來源：Wikipedia 網頁

圖 6.2.3 長短期記憶(Long Short Term Memory，LSTM)網路示意圖

但 LSTM 因為參數多執行速度慢，後來 Junyoung Chung(2014)提出 Gated Recurrent Unit (GRU)，將 LSTM 中 forget gate 及 update gate 合併成 update gate，並把單元狀態和隱藏狀態合併，使模型的參數較少，儲存空間小、運算時間快且準確度與 LSTM 相似，若以產品導向考量，GRU 是較佳的選擇。

6.3 深度學習模型建置

前述內容提到，建立模型前需先決定輸入與輸出資料長度，過長的資料輸入長度，會使模型內的參數量增加，使模型變大，推算時間變長。為避免實際應用上可能因推算時間過長而降低其預測結果的應用性，本研究以 LSTM 模型測試輸入值 15 分鐘及 10 分鐘，其 RMSE 分別為 0.1592、 0.1678，準確度改變不大，除了考量模型大小及推算速度外，因 AIS 資料回傳量大，即時蒐集並清洗資料供模型輸入亦需耗費大量運算資源，故排除採用較長的時間輸入，輸入與輸出資料

長度如下圖 6.3.1，使用船軌跡前 10 分鐘資料，每分鐘為一筆輸入資料，推算後 1 分鐘結果。圖 6.3.2 為船舶路徑軌跡預測模型的輸入與輸出資料示意圖，綠色點為模型輸入值，紅色點則為模型輸出值。

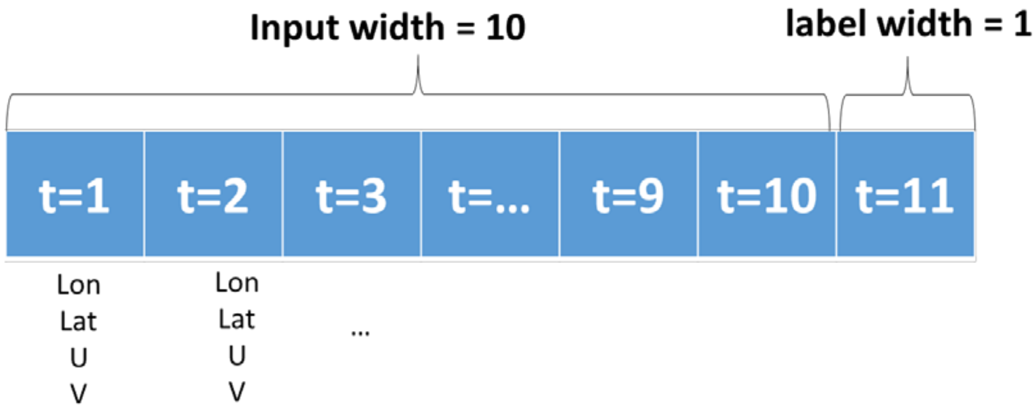


圖 6.3.1 輸入與輸出資料長度示意圖

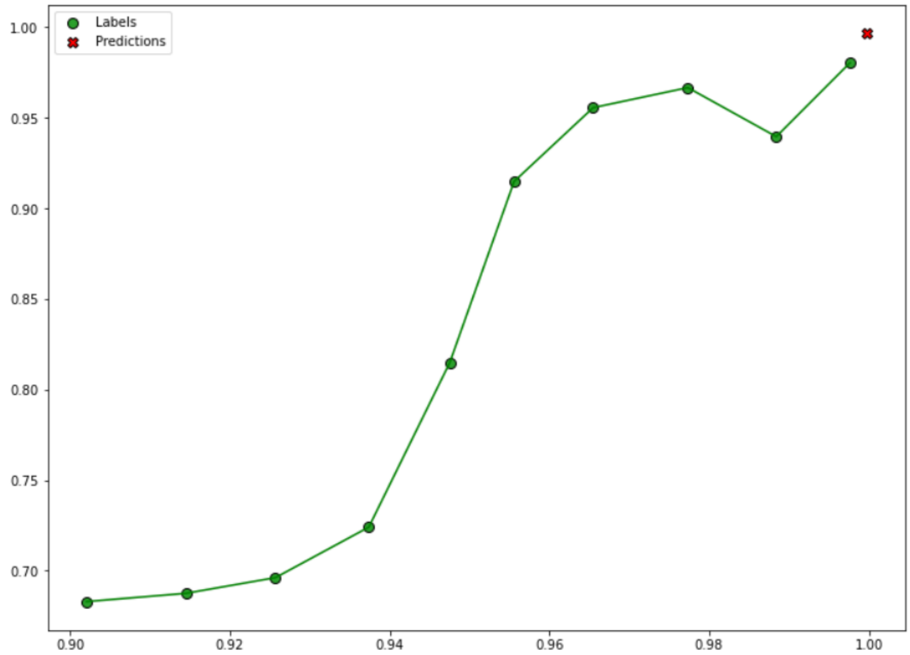


圖 6.3.2 船舶路徑軌跡輸入與輸出資料示意圖

在經過前一小節的資料預處理後，將所蒐集資料依任務軌跡切分為 3 部分資料集，分別為訓練資料集、驗證資料集及測試資料集，切分比例分別為 70%、20%及 10%，訓練資料集供模型訓練時使用，而在深度學習的網路中，因為有較多的參數，模型訓練後推算結果可能會偏向訓練資料集，此現象稱為過度學習(Overfitting)，避免 Overfitting 的方法有很多種，其中一種方法，可透過交叉驗證(cross validation)，改變訓練資料集來避免，每次 Epoch 訓練結束後都重新切分新的訓練及驗證資料集，可直接透過訓練及驗證資料集的表現來觀察是否 Overfitting，訓練過程，訓練資料集與測試資料集 Loss 相近，如下圖 6.3.3 範例圖，圖中藍色實線為訓練資料的誤差，紅色實線則為驗證資料的誤差，兩種資料集的誤差表現集中表示模型無 Overfitting。而最後 10%的測試資料集可提供建立不同模型或調整模型時，測試比較的依據。

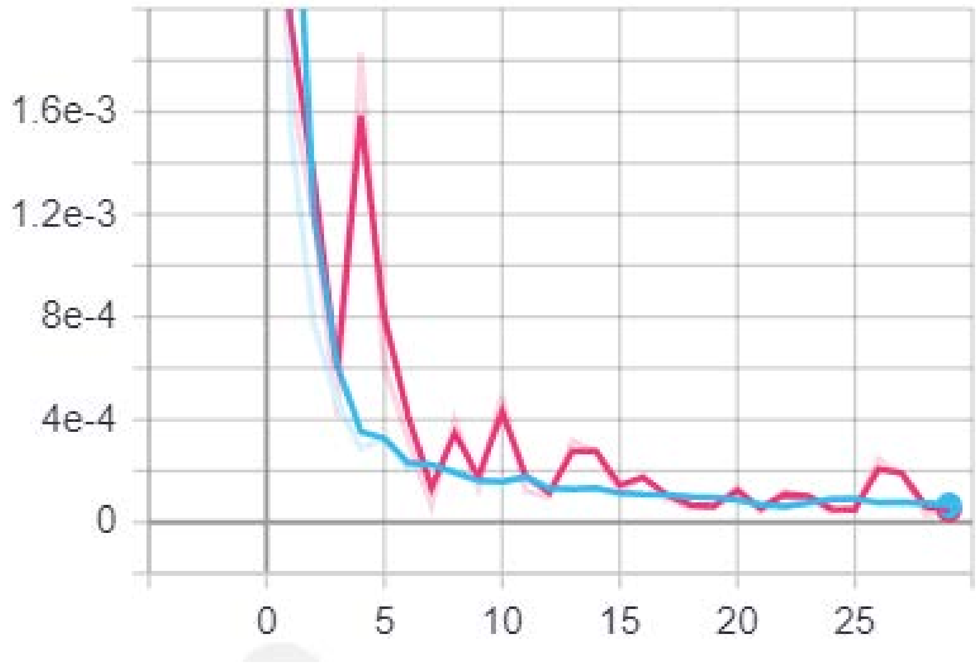


圖 6.3.3 LSTM 訓練過程範例圖(MSE)

資料隨機切分為訓練及驗證資料集(後面統稱訓練資料集)、測試資料集後，為確保兩資料集性質相近，繪製機率密度分布圖，如下圖 6.3.4，由圖中可以發現訓練資料集與測試資料集分布相近，測試資料集應可代表實際應用狀況，其中訓練資料集共 534 筆資料，測試資料集共 60 筆資料。

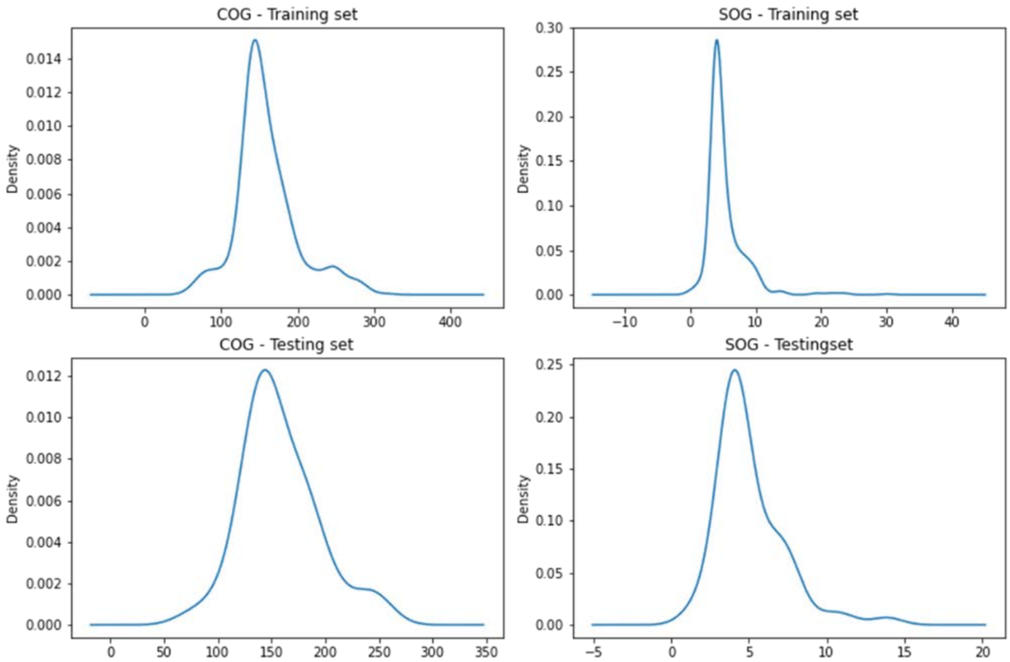


圖 6.3.4 SOG(右側)與 COG(左側)訓練資料集(上)與測試資料集(下)分布圖

6.4 模型架構

本研究分別架構 FNN、LSTM 及 GRU 三種深度學習模型，詳細模型架構如以下，並比較三種模型預測的準確度及運算速度。

6.4.1 前饋式神經網路(FNN)

輸入層將 10 個時間點 4 種資料(經度、緯度、U、V)展開成 10*4 個輸入值，隱藏層部分使用兩層全連階層連接，神經元數量皆為 64，activation function 使用 relu，輸出層輸出 2 個值分別代表經緯度。模型架構如下圖 6.4.1。

連接層，輸出層輸出 2 個值分別代表經緯度。模型架構如下圖 6.4.1。

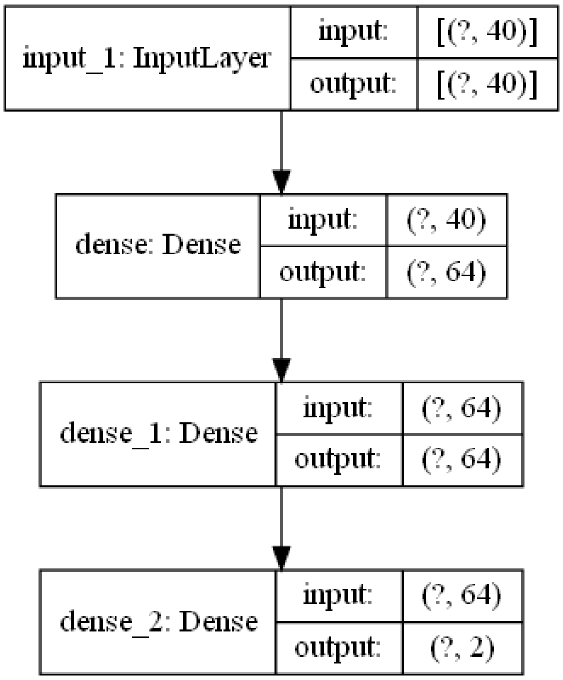


圖 6.4.1 FNN 模型架構圖

```
_________________________________________________________________
Layer (type)                 Output Shape              Param #
=================================================================
input_1 (InputLayer)         [(None, 40)]              0
_________________________________________________________________
dense (Dense)                (None, 64)                2624
_________________________________________________________________
dense_1 (Dense)              (None, 64)                4160
_________________________________________________________________
dense_2 (Dense)              (None, 2)                 130
=================================================================
Total params: 6,914
Trainable params: 6,914
Non-trainable params: 0
_________________________________________________________________
```

圖 6.4.2 FNN 各層參數數量

6.4.2 長短期記憶神經網路(LSTM)

輸入層輸入 10 個時間點，每個時間點含 4 個參數，隱藏層中包含一個 LSTM 層，內涵 128 個神經元，activation function 使用 tanh，recurrent activation function 使用 sigmoid，連接一層 512 個神經元的全連接層，輸出層輸出 2 個值分別代表經緯度。模型架構如下圖 6.4.3。

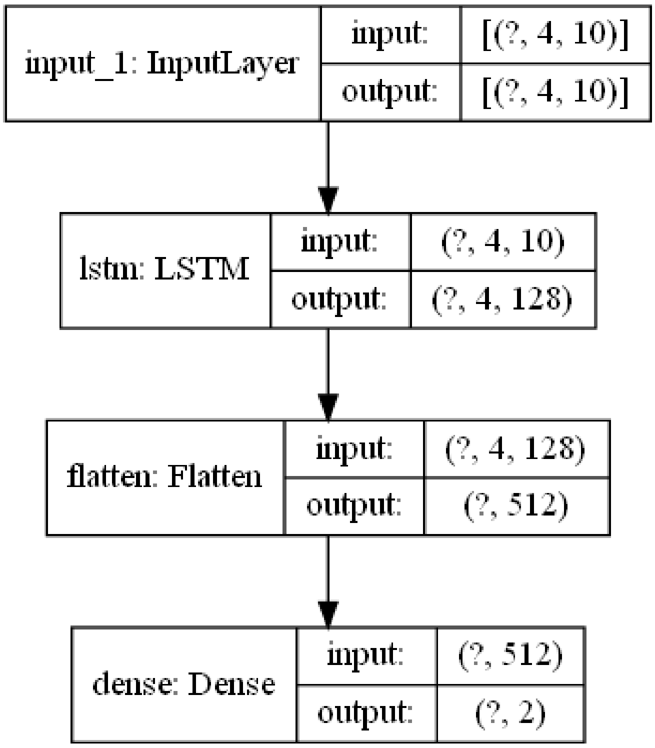


圖 6.4.3 LSTM 模型架構圖

Layer (type)	Output Shape	Param #
input_1 (InputLayer)	[(None, 4, 10)]	0
lstm (LSTM)	(None, 4, 128)	71168
flatten (Flatten)	(None, 512)	0
dense (Dense)	(None, 2)	1026

Total params: 72,194
Trainable params: 72,194
Non-trainable params: 0

圖 6.4.4 LSTM 各層參數數量

6.4.3 Gated Recurrent Unit

輸入層輸入 10 個時間點，每個時間點含 4 個參數，隱藏層中包含一個 LSTM 層，內涵 128 個神經元，activation function 使用 tanh，recurrent activation function 使用 sigmoid，連接一層 512 個神經元的全連接層，輸出層輸出 2 個值分別代表經緯度。模型架構如下圖 6.4.5。

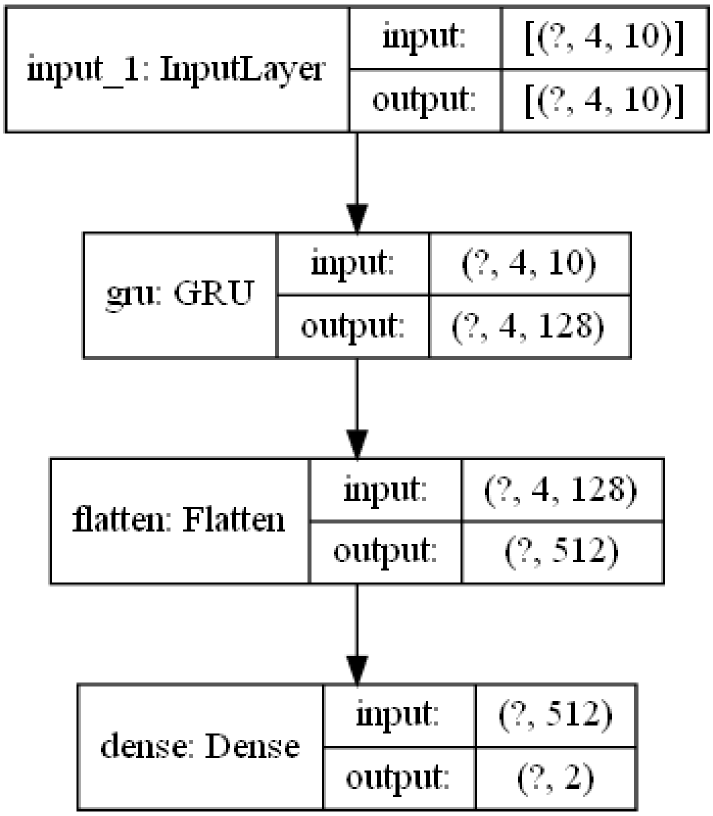


圖 6.4.5 GRU 模型架構圖

```
_________________________________________________________________
Layer (type)                 Output Shape              Param #
=================================================================
input_1 (InputLayer)         [(None, 4, 10)]           0
_________________________________________________________________
gru (GRU)                    (None, 4, 128)            53760
_________________________________________________________________
flatten (Flatten)            (None, 512)               0
_________________________________________________________________
dense (Dense)                (None, 2)                 1026
=================================================================
Total params: 54,786
Trainable params: 54,786
Non-trainable params: 0
_________________________________________________________________
```

圖 6.4.6 GRU 各層參數數量

6.5 模型比較

本節針對上述三個模型的進行比較，推算設備 CPU 採用 Intel i7-9700F，RAM64G，GPU 使用 RTX 2080s，深度學習設定還包括以下：

1. Loss function: Mean Squared Error(MSE)
2. Optimizer: Adam
3. Learning rate: 0.001
4. Epochs: 30

表 6.5-1 為三種模型推算測試資料集的結果比較，誤差量使用 RMSE 表示，單位為公里，運算速度為單筆資料推算時間，單位為秒。從表中可得知，LSTM 有最好的推算結果，其 RMSE 為 0.1678，其次是 GRU 模型，FNN 模型表現最差，而運算時間最短的是 FNN 其次是 GRU，最慢的是 LSTM，但其耗費時間與 GRU 相差不大，最後選用 LSTM 繼續後續的分析。圖 6.5.1 至圖 6.5.3 分別為 FNN、LSTM 及 GRU 推算測試資料集中的結果，紅色為推算路線，黑色為實際路線。

表 6.5-1 三種模型推算結果比較

	RMSE(km)	運算時間(秒)
FNN	0.4081	0.3037
LSTM	0.1678	0.3510
GRU	0.2465	0.3460

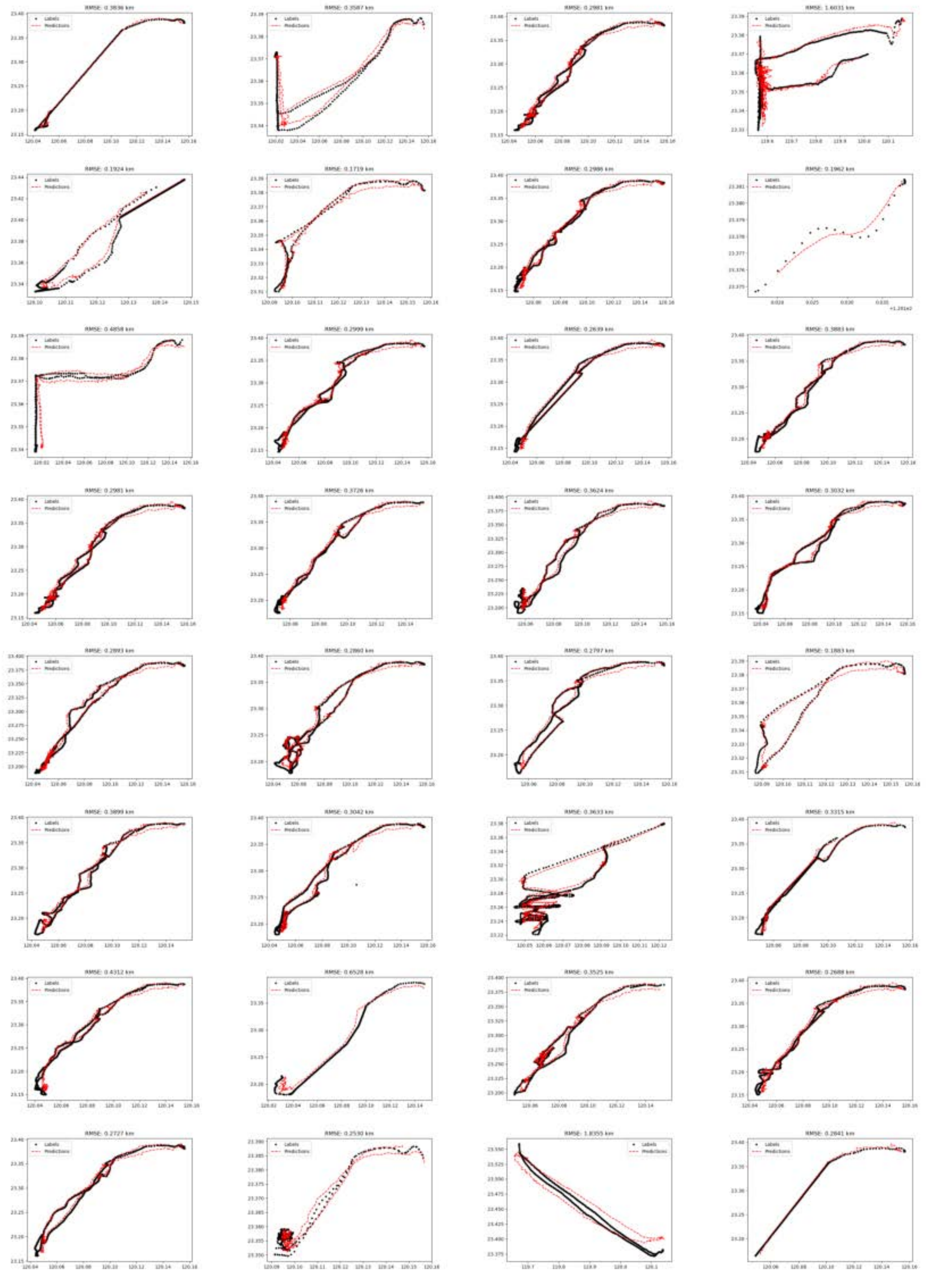


圖 6.5.1 FNN 測試資料集推算結果

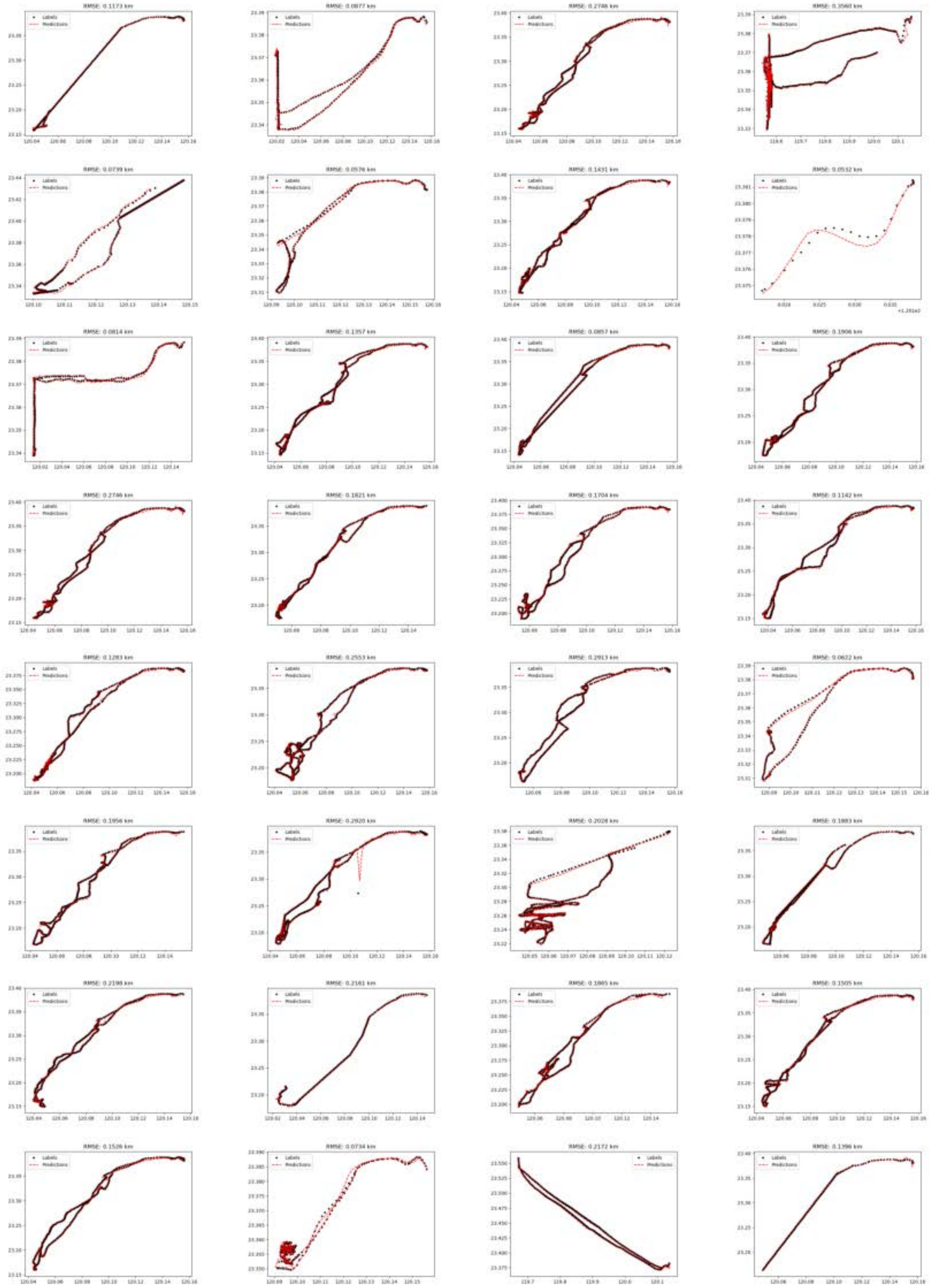


圖 6.5.2 LSTM 測試資料集推算結果

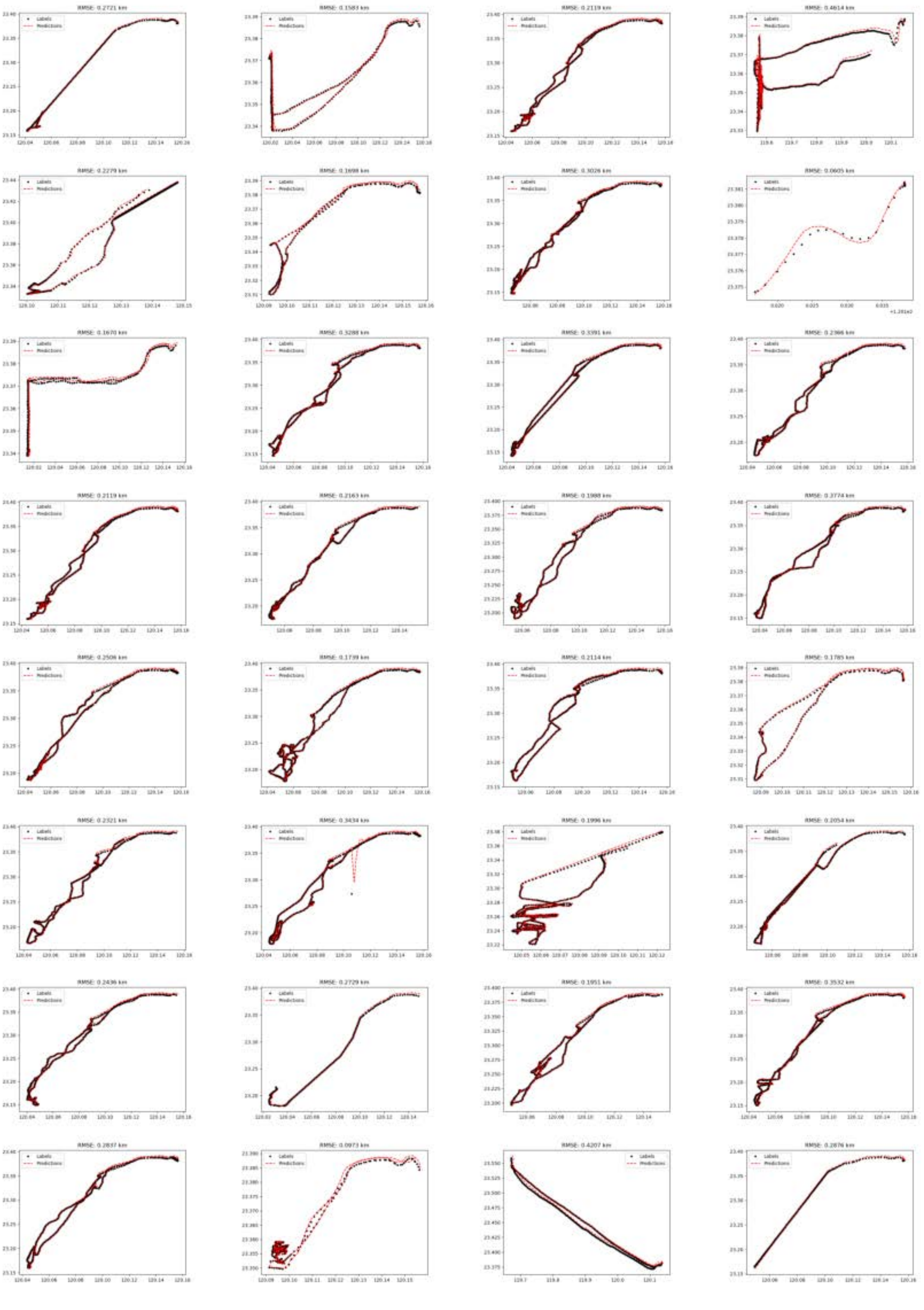


圖 6.5.3 GRU 測試資料集推算結果

6.6 模型擴展性分析

模型輸入值為 10 分鐘，推算後 1 分鐘的位置，若欲再往後推算時間點，可將推算結果在做為輸入值再加入模型中推算後面時間點的位置，本節選擇 LSTM 模型，探討推算後面時間點對於準確度的影響，可做為實際應用時的參考。

在實際應用時，因無法得知路線全域軌跡，無法使用最大值與最小值正規化，故將要輸入的 10 點資料中，將其最大值經緯度+0.1，最小值經緯度-0.1，作為正規化的依據標準。而在模型中，輸出的資料只有座標位置經緯度資料，並無 U、V 資料，無法直接作為輸入值，在前面章節有提到，U、V 是透過 SOG 及 COG 計算而來，但若直接透過預測的資料點回推 SOG 及 COG 後計算 U、V 值，可能因預測的誤差，導致 SOG 速度異常的狀況發生，故在推算後面資料時，本研究透過輸入時的 10 筆資料 SOG 平均，做為下一次時間點輸入計算的依據，結合預測資料點 t 與 t-1 時刻資料點位置座標計算的 COG 方向，計算出 U、V 作為下次時間點的輸入，流程如下圖 6.6.1。

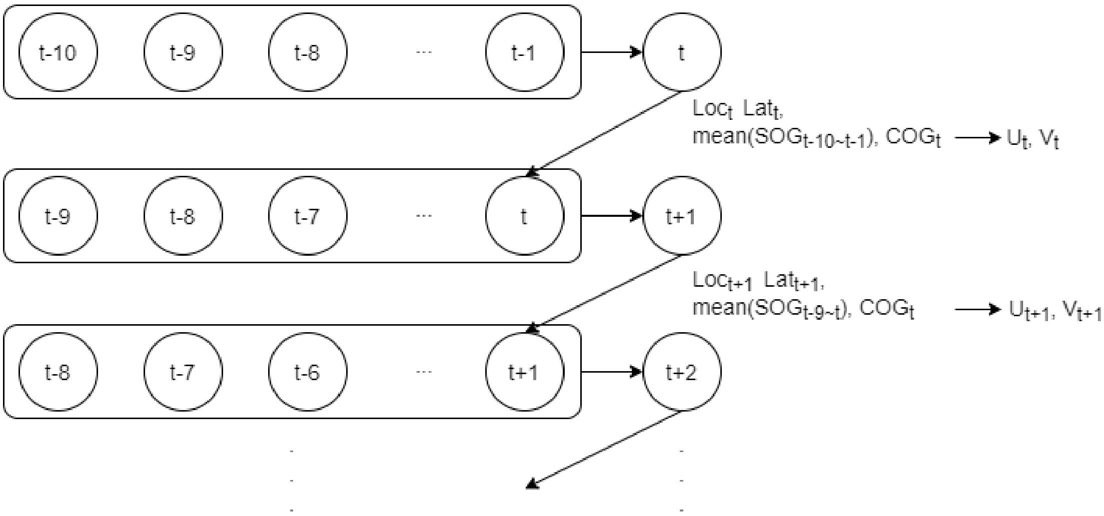


圖 6.6.1 延時推算示意圖

圖 6.6.1 為延時推算結果，可以看到推算誤差隨時間增加而增加，往後推算 3 分鐘，誤差在 1km 以內，往後推算 10 分鐘誤差達到 3.8 km，此結果顯示了誤差累積的情況，推算時間點越往後延伸，其路徑軌跡越散亂。

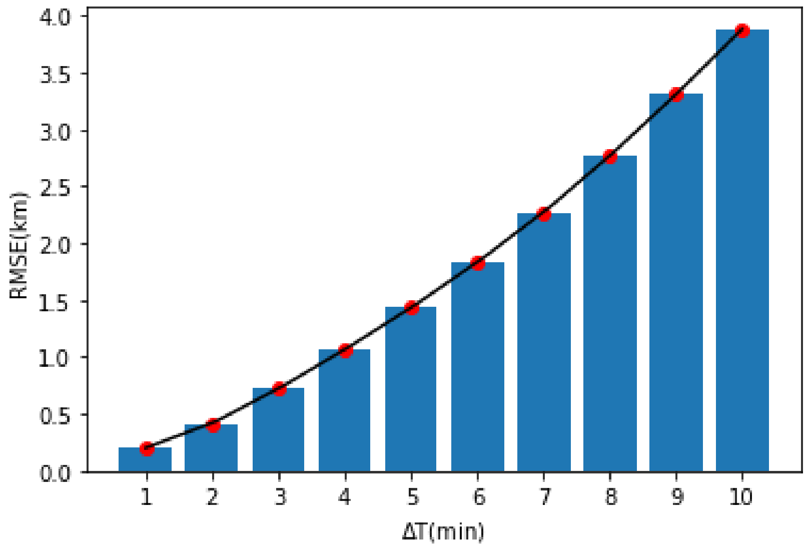


圖 6.6.2 延時推算結果

第七章 AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統建置

為降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定舶停靠之安全。本章依據招標工作目標引入前述AI船跡預測模型於AIS系統中，建立船舶航行安全風險評估系統。可針對當前回傳的 AIS 訊號，透過 AI 模型及歷史資料庫統計結果判斷是否需要進行告警。研究流程主要先統計歷史軌跡資料庫中各項特性，再針對本研究的告警項目統計及探討。其中行為異常透過統計方法及船舶限制判定異常告警，位置異常則透過 AI 船軌跡預測模型預測未來船軌跡位置，針對是否進入特定危險區域等狀況進行告警。

7.1 AIS 資料庫基本統計

(一)出航統計

本研究所建置的資料庫中，包含 2020 年 1~3 月份，AIS 回傳資料共 1,364,465,965 筆，經資料清洗並整理成軌跡資料庫後，共 305,282 筆軌跡資料。圖 7.1.1 至圖 7.1.3 為 1~3 月的日期統計圖，其中 1/24 至 1/31 為農曆年期間，船隻數量較少，2/2、3/1 無接收資料，可能資料庫異常或資料取得時發生問題。

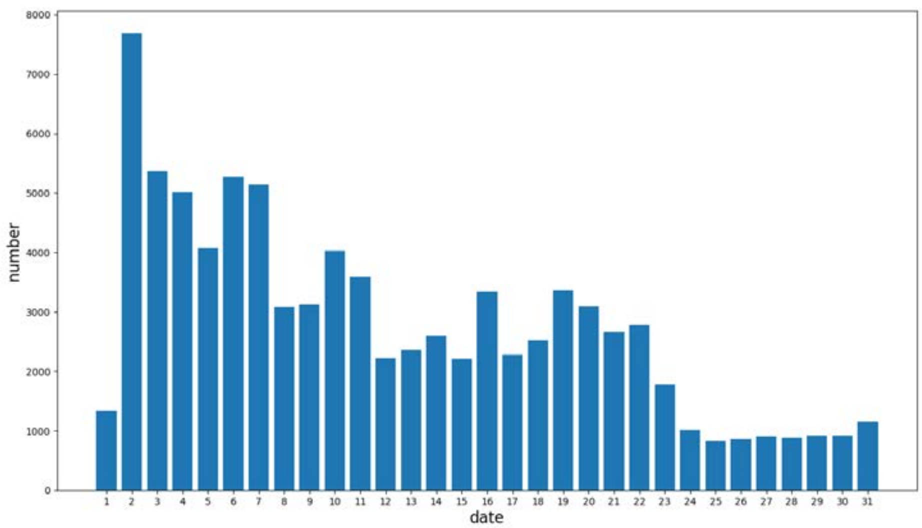


圖 7.1.1 2020 年 1 月出航統計圖

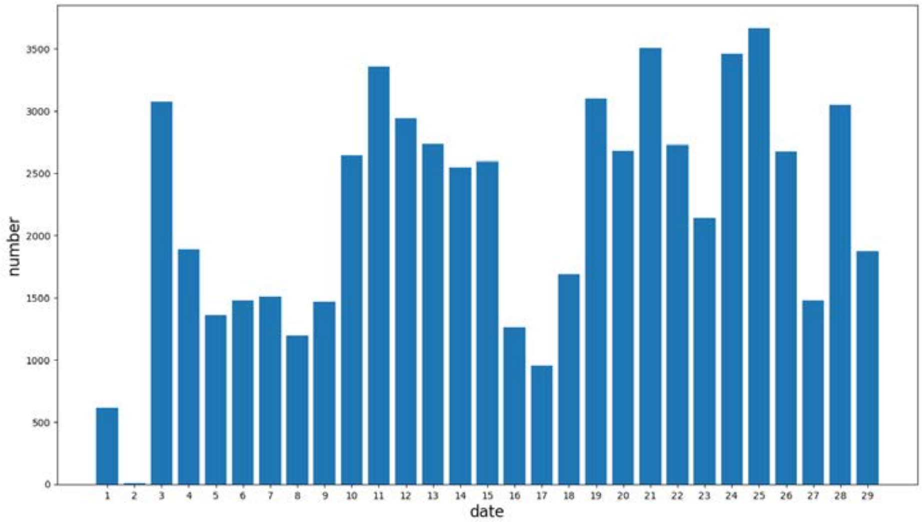


圖 7.1.2 2020 年 2 月出航統計圖

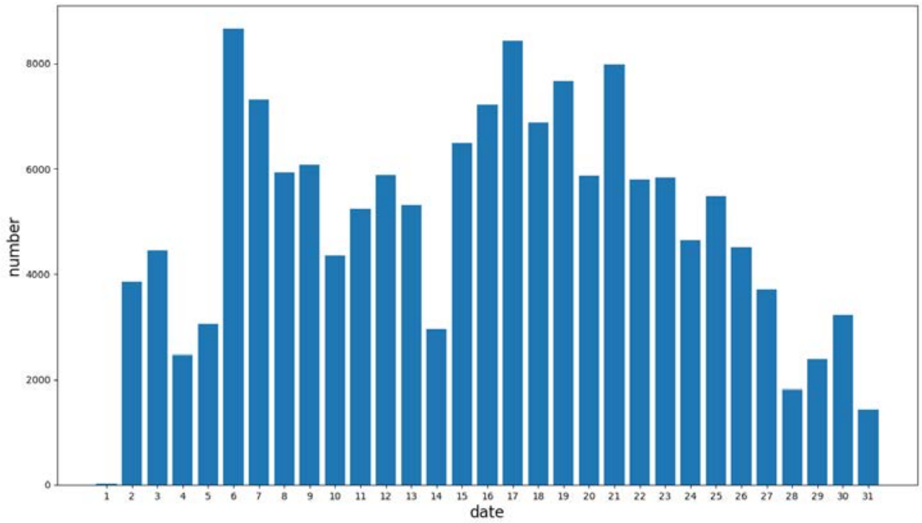


圖 7.1.3 2020 年 3 月出航統計圖

(二)船種統計

根據 AIS Cargo Type 船種類編號對應，如表 7.1-1，統計 1~3 月出航船種類如圖 7.1.4，圖中可顯示，臺灣附近船活動以漁船為主，其次為貨船，其中回傳資料也含大量 Not available 資料，因此資料為 AIS Cargo Type 欄位中的預設值，故可能因為有多使用者並未進行合理設定而有此現象。

表 7.1-1 AIS Cargo Type 編號對應表

Type Code	Description	Type Code	Description
0	Not available (default)	59	Noncombatant ship according to RR Resolution No. 18
1-19	Reserved for future use	60	Passenger, all ships of this type
20	Wing in ground (WIG), all ships of this type	61	Passenger, Hazardous category A
21	Wing in ground (WIG), Hazardous category A	62	Passenger, Hazardous category B
22	Wing in ground (WIG), Hazardous category B	63	Passenger, Hazardous category C
23	Wing in ground (WIG), Hazardous category C	64	Passenger, Hazardous category D
24	Wing in ground (WIG), Hazardous category D	65	Passenger, Reserved for future use
25	Wing in ground (WIG), Reserved for future use	66	Passenger, Reserved for future use
26	Wing in ground (WIG), Reserved for future use	67	Passenger, Reserved for future use
27	Wing in ground (WIG), Reserved for future use	68	Passenger, Reserved for future use
28	Wing in ground (WIG), Reserved for future use	69	Passenger, No additional information
29	Wing in ground (WIG), Reserved for future use	70	Cargo, all ships of this type
30	Fishing	71	Cargo, Hazardous category A
31	Towing	72	Cargo, Hazardous category B
32	Towing: length exceeds 200m or breadth exceeds 25m	73	Cargo, Hazardous category C
33	Dredging or underwater ops	74	Cargo, Hazardous category D
34	Diving ops	75	Cargo, Reserved for future use
35	Military ops	76	Cargo, Reserved for future use
36	Sailing	77	Cargo, Reserved for future use
37	Pleasure Craft	78	Cargo, Reserved for future use
38	Reserved	79	Cargo, No additional information
39	Reserved	80	Tanker, all ships of this type
40	High speed craft (HSC), all ships of this type	81	Tanker, Hazardous category A
41	High speed craft (HSC), Hazardous category A	82	Tanker, Hazardous category B
42	High speed craft (HSC), Hazardous category B	83	Tanker, Hazardous category C
43	High speed craft (HSC), Hazardous category C	84	Tanker, Hazardous category D
44	High speed craft (HSC), Hazardous category D	85	Tanker, Reserved for future use
45	High speed craft (HSC), Reserved for future use	86	Tanker, Reserved for future use
46	High speed craft (HSC), Reserved for future use	87	Tanker, Reserved for future use
47	High speed craft (HSC), Reserved for future use	88	Tanker, Reserved for future use
48	High speed craft (HSC), Reserved for future use	89	Tanker, No additional information
49	High speed craft (HSC), No additional information	90	Other Type, all ships of this type
50	Pilot Vessel	91	Other Type, Hazardous category A
51	Search and Rescue vessel	92	Other Type, Hazardous category B
52	Tug	93	Other Type, Hazardous category C
53	Port Tender	94	Other Type, Hazardous category D
54	Anti-pollution equipment	95	Other Type, Reserved for future use
55	Law Enforcement	96	Other Type, Reserved for future use
56	Spare - Local Vessel	97	Other Type, Reserved for future use
57	Spare - Local Vessel	98	Other Type, Reserved for future use
58	Medical Transport	99	Other Type, no additional information

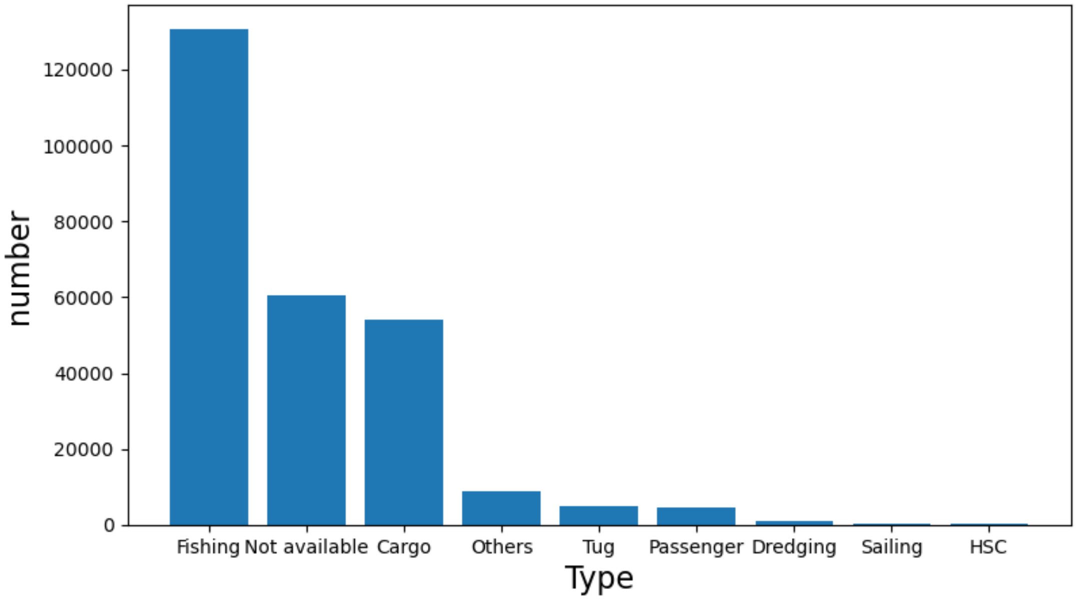


圖 7.1.4 1~3 月出航船種類統計

7.2 船速異常判定

除上述基本統計外，本研究希望能對於一般船舶過程中的行為特性做基本統計分析，並歸納可能的異常資料進行告警。此類異常情況在本研究中稱為運動異常。運動異常中主要考量船行速度、船艏與船行方向的一致性來判定，其中船行速度可經由統計分析來判定較為極端的情況並進行告警。然而，因船型種類不同也有不同的船速特性，故本研究依照船種類分類統計 SOG 欄位。首先分別統計各組船軌跡 SOG 的最大值，作為其代表值，再進行統計分布分析。由圖 7.2.1 至圖 7.2.6 各船種分類 SOG 機率密度統計圖中可看到，在 SOG 為 0 皆有峰值，此軌跡可能是停船後或捕魚工作中仍繼續回傳 AIS 訊號。

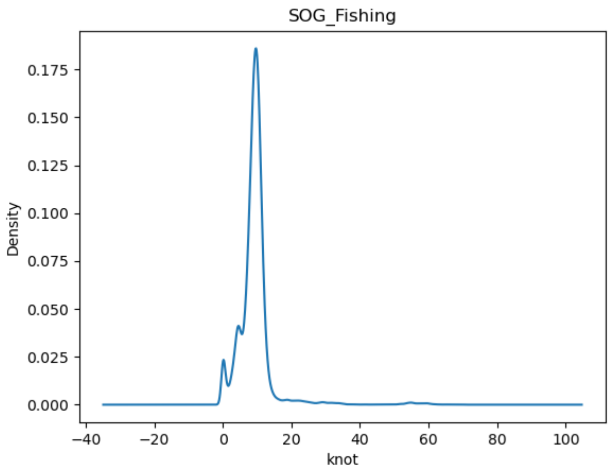


圖 7.2.1 Fishing SOG 機率密度分布圖

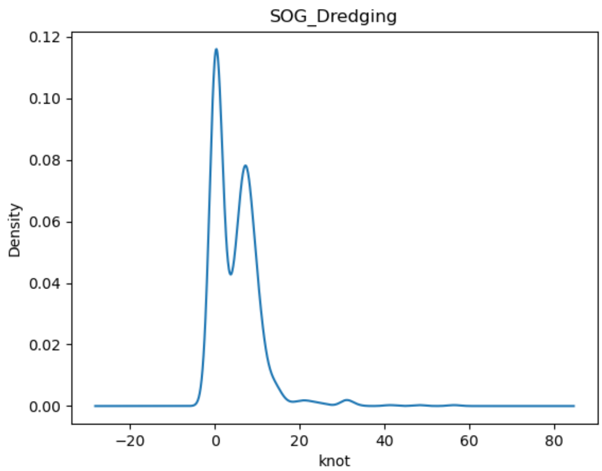


圖 7.2.2 Dredging SOG 機率密度分布圖

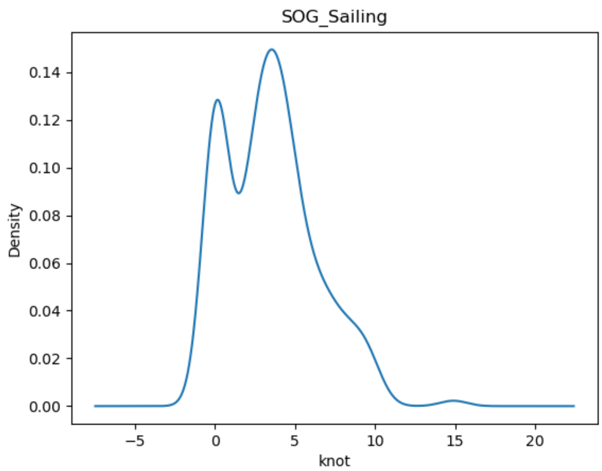


圖 7.2.3 Sailing SOG 機率密度分布圖

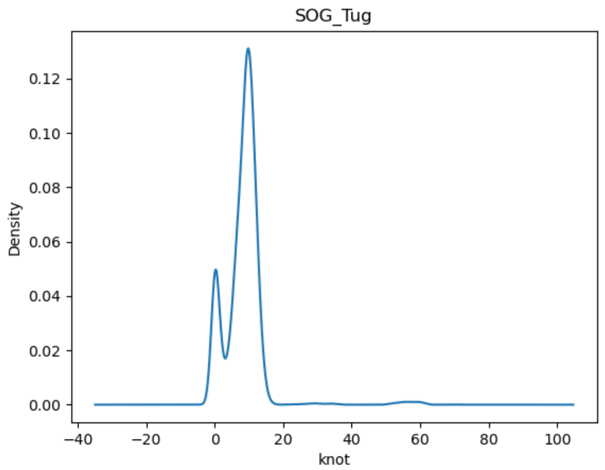


圖 7.2.4 Tug SOG 機率密度分布圖

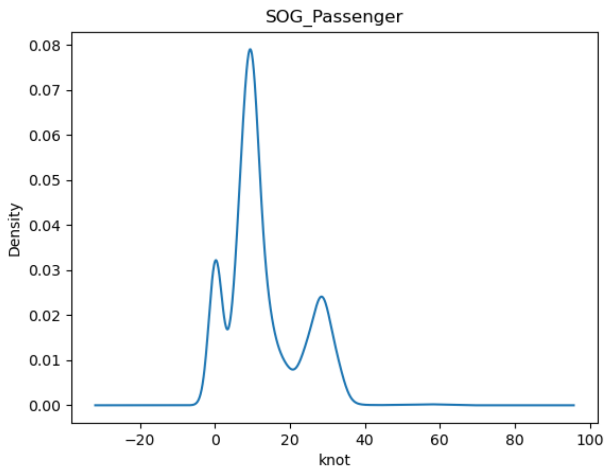


圖 7.2.5 Passenger SOG 機率密度分布圖

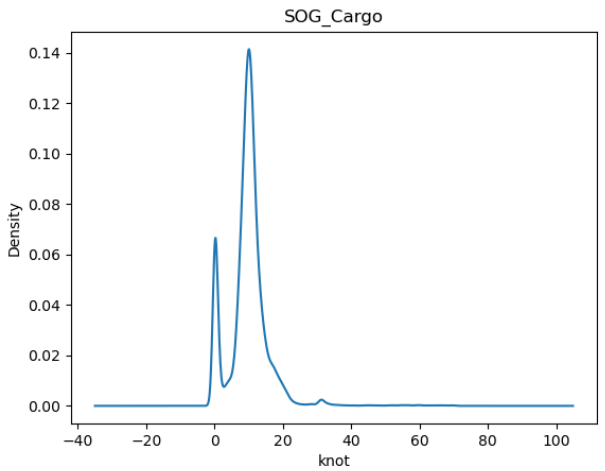


圖 7.2.6 Cargo SOG 機率密度分布圖

為避免此種類軌跡影響統計結果，故先將最大船速小於 1 節的軌跡移除，移除後統計分布如圖 7.2.7 至圖 7.2.12，並統計移除低速軌跡的結果，如表 7.2-1。透過盒鬚圖離群值判別法判斷船速是否異常，上限離群值檢測標準為第三四分位加上 1.5 倍的四分位距(Q3 + IQR*1.5)，其告警臨界值如下表 7.2-2，其中高速船(HSC)因資料量較少，且其速度快，速度分布較廣，計算結果為 65.4 節，但一般高速船最大速度約 42 節，故告警以 42 節替代。

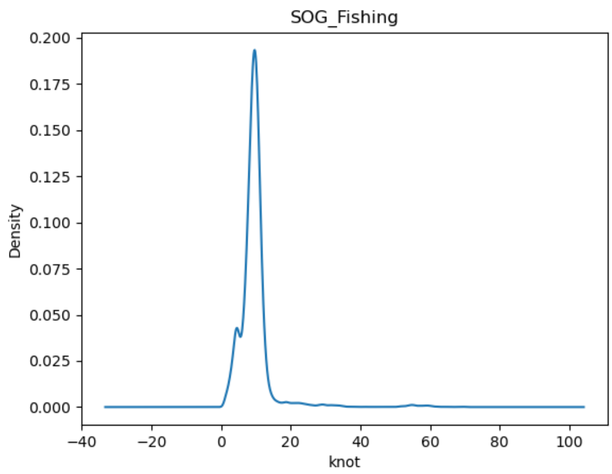


圖 7.2.7 Fishing SOG 機率密度分布圖(移除低速軌跡後)

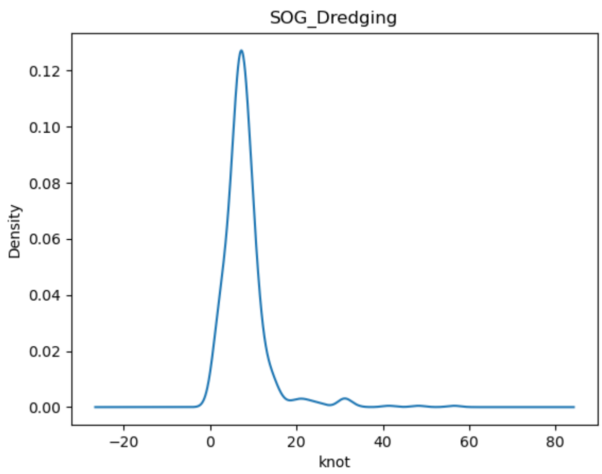


圖 7.2.8 Dredging SOG 機率密度分布圖(移除低速軌跡後)

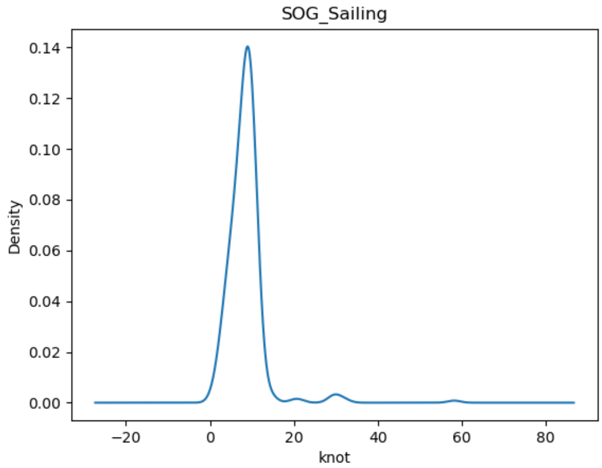


圖 7.2.9 Sailing SOG 機率密度分布圖(移除低速軌跡後)

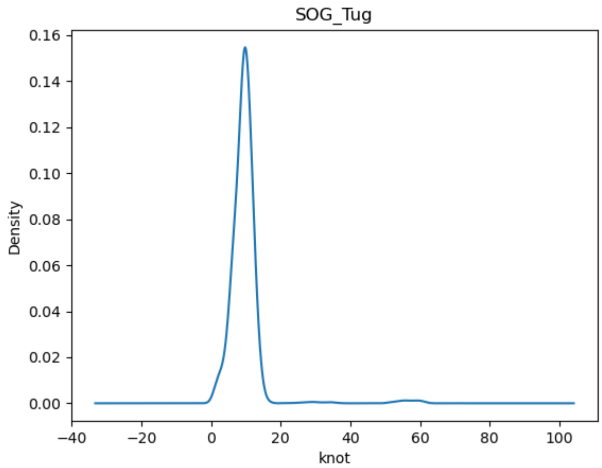


圖 7.2.10 Tug SOG 機率密度分布圖(移除低速軌跡後)

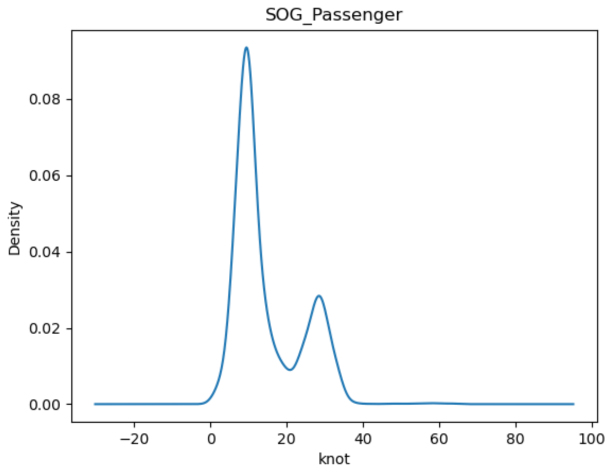


圖 7.2.11 Passenger SOG 機率密度分布圖(移除低速軌跡後)

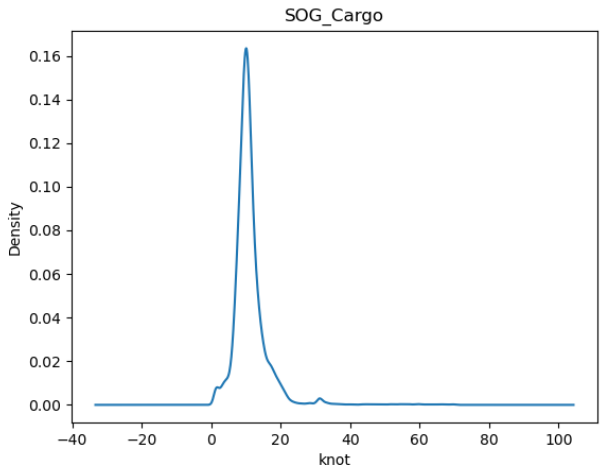


圖 7.2.12 Cargo SOG 機率密度分布圖(移除低速軌跡後)

表 7.2-1 移除低速軌跡後統計圖表

	Fishing	Dredging	Sailing	Tug	Cargo	HSC	Passenger	Not available
count	125928	538	322	4164	51906	376	4184	58223
mean	9.73	8.02	8.51	9.78	11.26	19.28	14.76	8.36
std	5.78	5.46	4.75	5.92	5.56	11.66	8.83	5.52
min	1.10	1.10	1.20	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
25%	7.80	5.60	6.50	7.70	8.80	8.90	8.80	5.30
50%	9.30	7.20	8.50	9.50	10.40	17.70	10.70	8.50
75%	10.60	9.10	10.00	10.90	12.30	31.50	21.53	10.20
max	69.80	56.50	58.20	69.80	69.90	56.10	63.80	69.90

表 7.2-2 船舶分類告警臨界值

Cargo Type	Speed limit(knot)
Fishing	14.80
Dredging	14.35
Sailing	15.25
Tug	15.70
Cargo	17.55
HSC	42.00
Passeger	40.61
Not available	17.55

7.3 異常漂流判定

運動異常中除了速度異常外，還有一種情況就是船舶行進方向與船艏方向有過大差異的情況，此類現象可能是船隻已經失去動力，或是遭遇其他外力的影響所造成的漂流狀態。漂流定義為船前進方向(COG)與船艏方向(True Heading)的差異度過大，如下圖 7.3.1，差異過大時所提出的告警，Makino (2012, 2013)文章中提到，正常航行時，若差異角度超過 5 度，即會造成船的不穩定，Kose et al.(1998)提到，船最大可接受的角度差為 14.3 度，上述兩研究皆為針對來島海峽的研究。因資料庫大，若無先建立索引，查詢及統計分析不易，本研究漂流分析資料取自 1~3 月布袋港周圍船隻軌跡，與前章節建立預測模型時資料相同，資料內容詳見前一章節分析說明。

將前進方向(COG)與船艏方向(True Heading)相減後取絕對值，再取得軌跡內最大值作為路徑角度偏差代表，差異統計偏差分布如圖 7.3.2，由圖中可看到有兩個峰值分布。由於一般船隻航行皆仰賴引擎動力往前推進，除 0 度以外的另一個峰值研判可能因裝置安裝時或前進方向與預設方向相反，對於船隻而言，反轉 180 度前後的角度差應是等效的，故將偏差量透過 tan、arctan 轉換，使角度在-90~90 度之間，而在角度偏差量中，因順時針與逆時針偏差所代表的意義是相等的，故將其取絕對值，統計分布如圖 7.3.3，在依盒鬚圖離群值判別法得到漂流異常告警門檻值為 37.61 度，此結果稍小於謝等人(2020)研究報告提到的 45 度，但較 Makino(2012, 2013)及 Kose 等人(1998)文獻中提到的大許多，相關統計量列於表 7.3-4。僅考慮統計結果，將異常漂流的告警判定門檻界定於 37.61 度。未來若有 CFD 數模計算等相關研究的結果可參酌修正此門檻值。

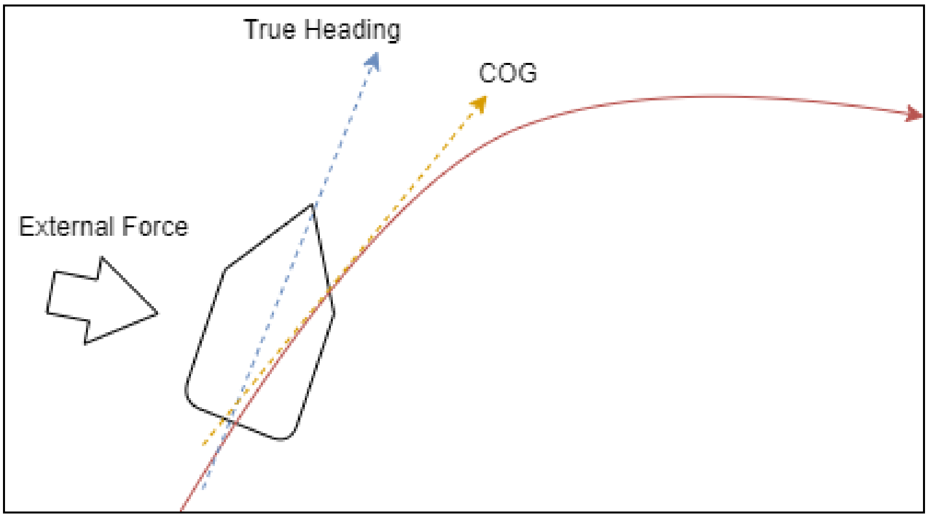


圖 7.3.1 前進方向(COG)與船艏方向(True Heading)示意圖

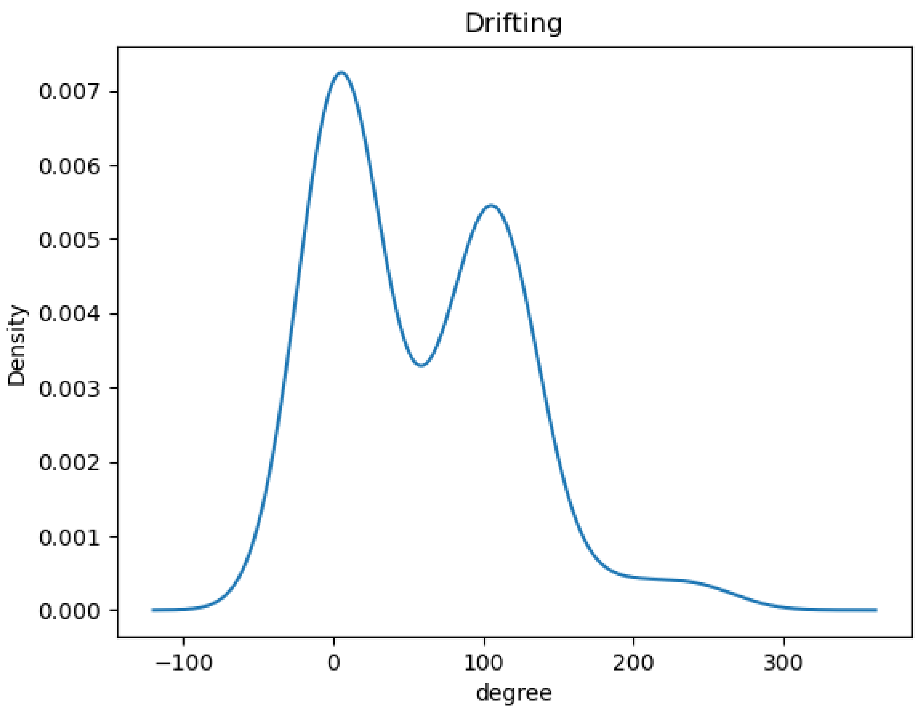


圖 7.3.2 布袋港周圍船隻前進方向與船艏方向差異值統計

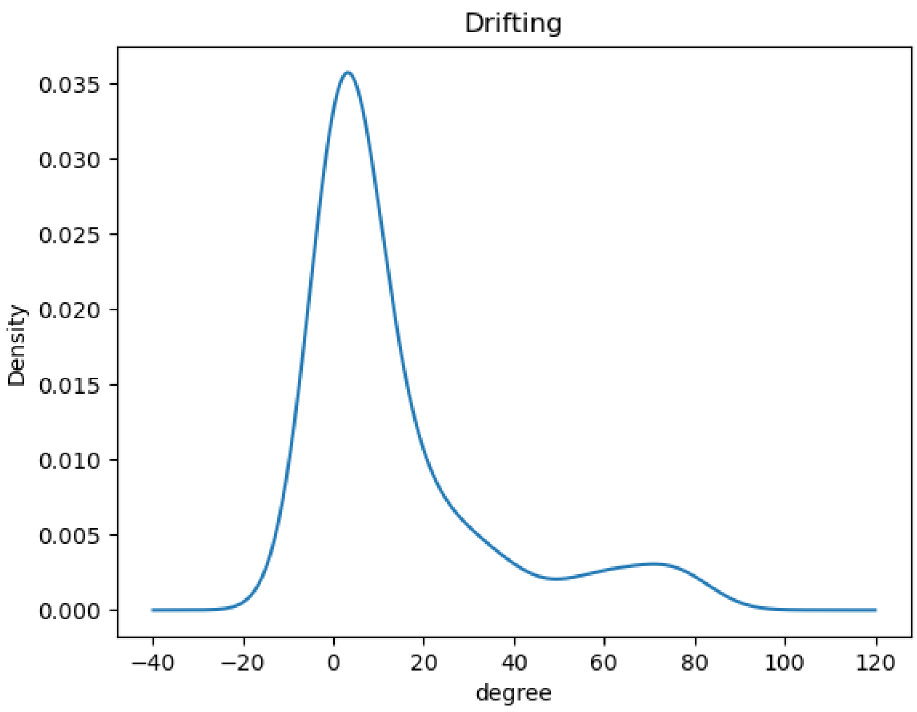


圖 7.3.3 布袋港周圍船隻前進方向與船艏方向差異值統計(校正後)

表 7.3-1 COG 與船艏方向差值統計量

	degree
count	152.00
mean	13.75
std	20.55
min	0.10
25%	1.18
50%	3.70
75%	15.75
max	80.00
limit	37.61

7.4 擱淺告警判定

擱淺的告警判斷除須考量研究範圍內底床地形之外，海況變化與各船的吃水深也是相對重要的判斷依據。由於目前甲方尚未申請合適的大範圍底床地形資料，故此部分先以假設的地形資料進行測試。 擱淺告警標準主要採用該點地形水深減去相對當地潮位計算出絕對水

深，當絕對水深小於該船吃水深即達告警標準。

海況的影響主要來自潮位的變化，以布袋港周邊海域而言，平均潮差由北側箔子寮、塭港、東石、布袋至南邊將軍站的平均潮差依次為 220cm、152cm、149cm、135cm 及 113cm，大潮差則分別為 281cm、225cm、198cm、201cm 及 158cm，均呈現由北向南遞減的趨勢。此空間配合時間的潮位變化使得擱淺告警的判斷需要考量範圍內各點各時刻的潮位，故必須利用潮位推算模式來達成。許多研究發展潮位推算模式，如美國奧瑞岡州立大學 Oregon State University, OSU)所開發之全球與區域潮位模型 TPXO 8-atlas、丹麥科技大學(Technical University of Denmark, DTU)於 2010 年發表之經驗海洋潮位模型 DTU10 與日本國家天文台(National Astronomical Observatory in Japan, NAOJ)所開發之全球潮位模型(NAO99b)與區域潮位模型(NAO99Jb)等(蕭, 2017)。MOI 潮位模式為林(2018)使用三層巢狀網格所發展可精準描述臺灣海域的潮位模式。其以美國普林斯頓大學所發展的 Princeton Ocean Model (簡稱 POM) 之原始程式碼源為基礎，並經臺灣海域沿岸潮位站 24 個分潮的資料同化(assimilation)而建立的模式。本研究評估幾種模式在布袋港附近潮位站的估算精度，如表 7.4-1，顯示 MOI 可提供精確的海況條件確保後續分析結果的正確性。故在本研究中建議採用 MOI 潮位推算模式來進行大範圍的即時潮位推算。

表 7.4-1 MOI 及 NAO99b 的推算潮位的 RMSE (單位: cm)

目標點	MOI 模式	NAO99b 模式
箔子寮	17.40	33.23
澎湖	14.18	16.13
東石	18.26	42.13
布袋	14.24	36.13
將軍	13.49	14.43

圖 7.4.1 為 AIS 資料中吃水深的次數統計，橫軸為吃水深，縱軸則為次數統計。因每艘船吃水深不同，造成擱淺的風險也不同，在 AIS 欄位中，雖然有吃水深欄位，但多數船隻並無設定吃水深資料而回傳其預設值 0。故本研究篩選有回傳的吃水深資訊，分別透過船體長、寬及面積與其吃水深建立回歸模型，如下圖 7.4.2 至圖 7.4.4，由圖中可得，船寬與吃水深線性回歸後的 R-square 值約為 0.57；船長與吃水深線性回歸後的 R-square 值約為 0.63；面積與吃水深線性回歸後的 R-square 值約為 0.42，結果顯示船長與吃水深有較高的相關性。本研究進一步採用多變數回歸進行分析，將上述長、寬與面積當作因子進行分析，結果如圖 7.4.5，多變數回歸的 R-square 值約為 0.67。故建議可採用船長或多變數的回歸模型針對缺漏吃水深資料的情況進行補遺計算，輔助警示擱淺時判斷。

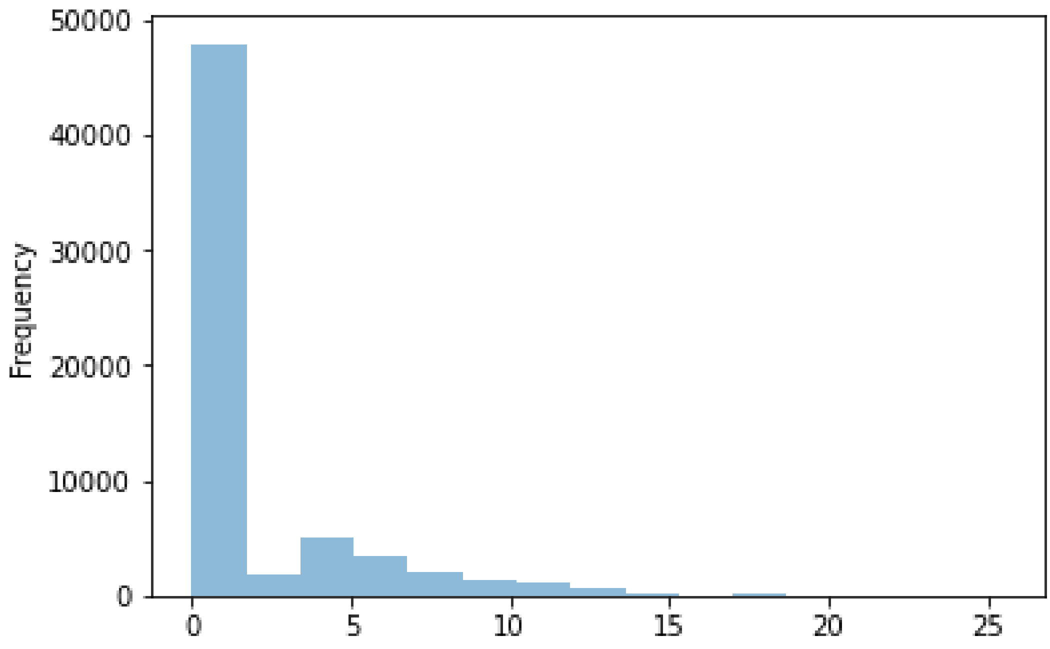


圖 7.4.1 吃水深回傳資料統計

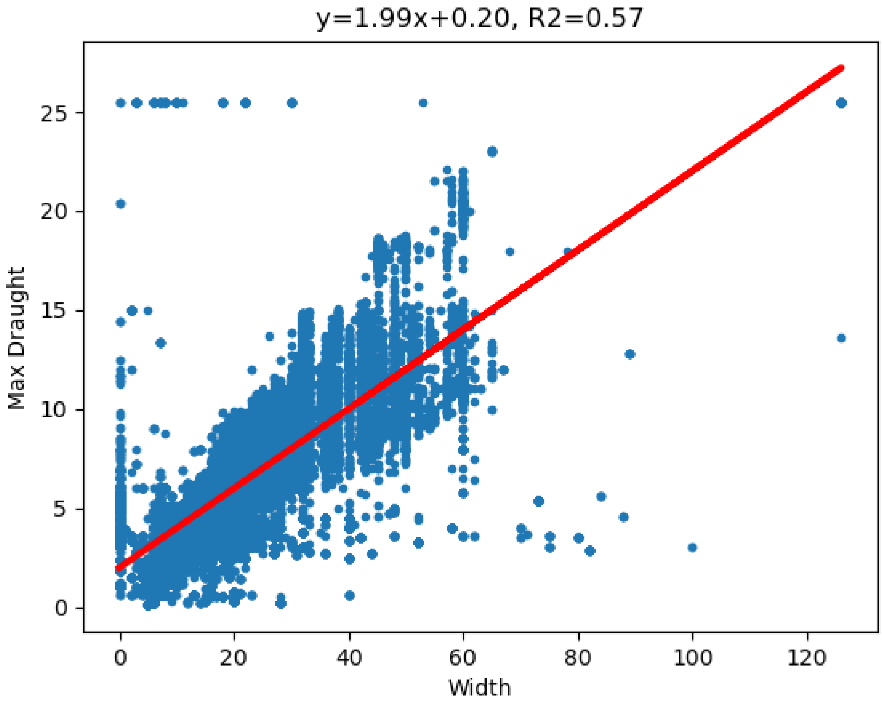


圖 7.4.2　船寬線性回歸模型

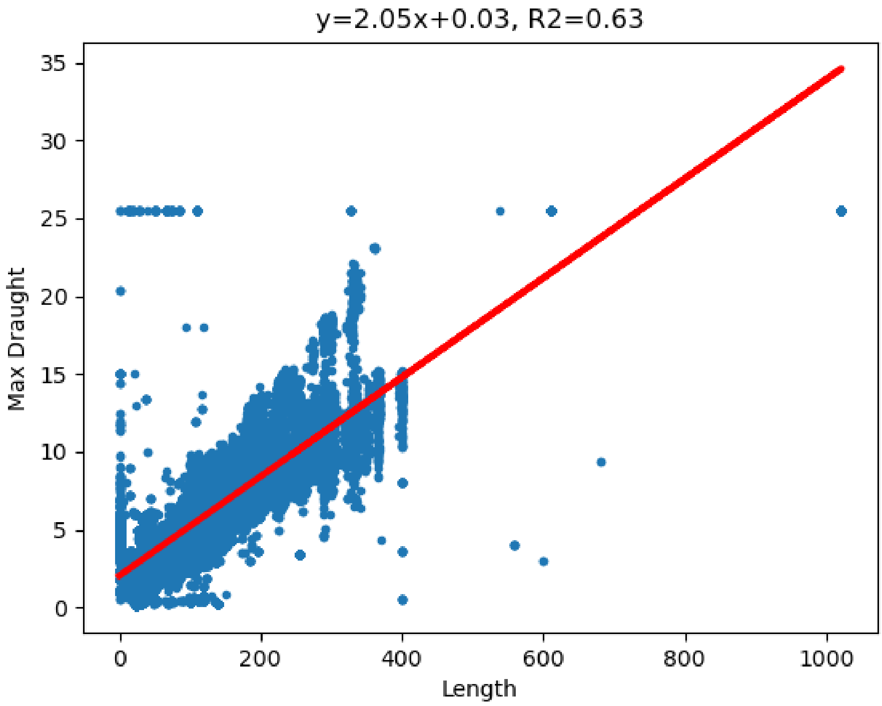


圖 7.4.3　船長回歸模型

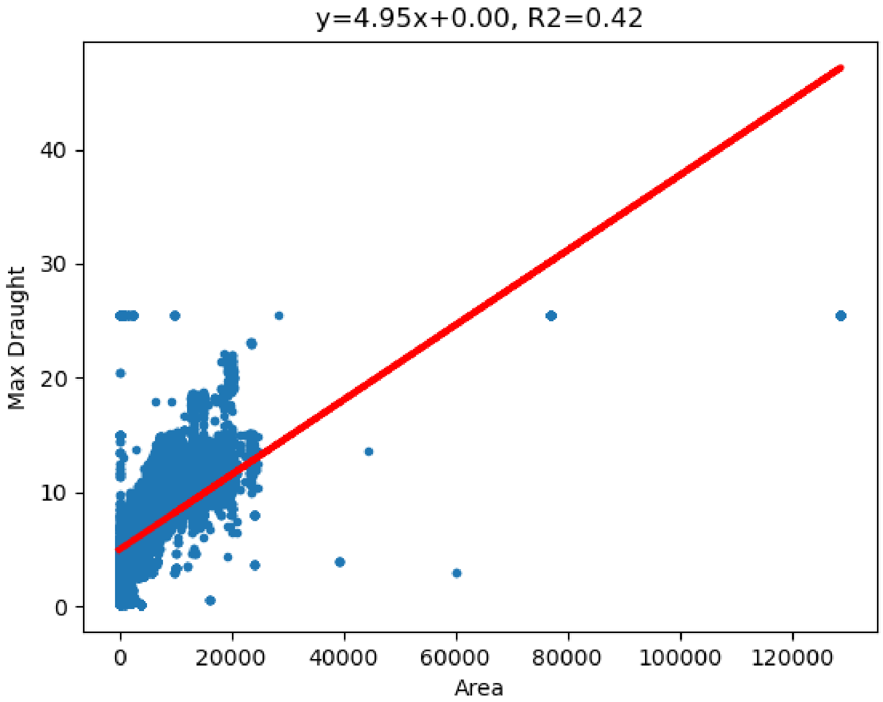


圖 7.4.4 船面積回歸模型

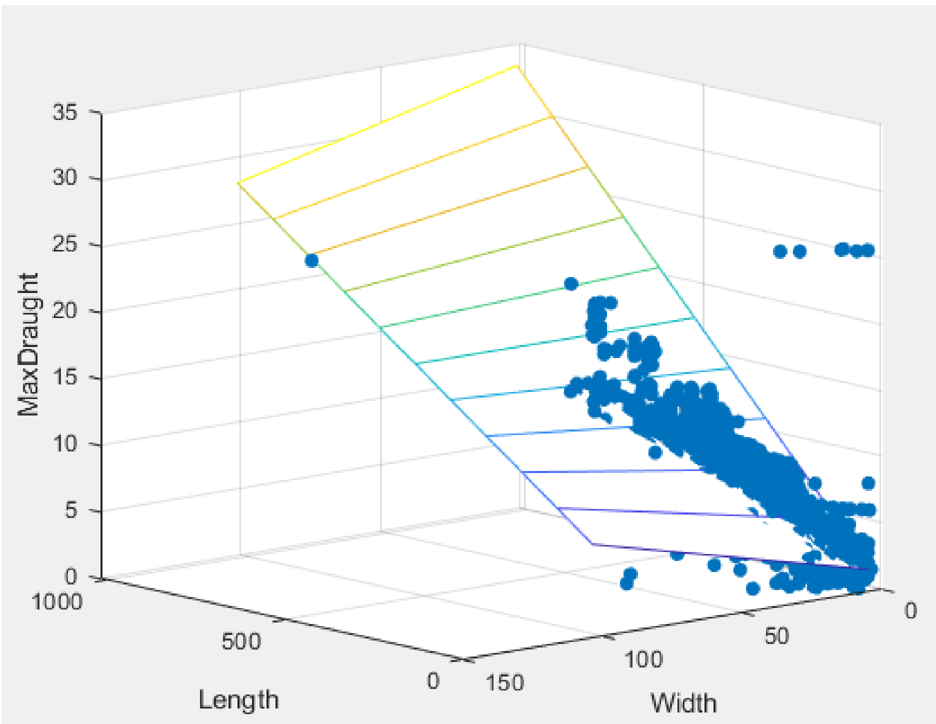


圖 7.4.5 多變數回歸模型

7.5 AI 船舶航行安全風險評估系統架構

本研究依照招標工作項目針對海上船舶航行行為、擱淺告警、船艏異常告警及漂流告警等目標建構船舶航行安全評估系統，將船舶的異常行為分為運動異常與位置異常兩類。運動異常中在細分為速度異常與船艏異常。位置異常則分為擱淺、偏離航道與禁航區等三類。詳細分類示意圖如圖 7.5.1。

運動異常採用 7.2 與 7.3 節的判斷機制即可即時於系統中連結 AIS 大數據資料庫進行判別。位置異常的部分則採用第六章所研發的 AI 船行軌跡預測模型推算目標區內船舶 10 分鐘內可能的預測路徑，再透過向量分析判定其告警需求。目前擱淺告警的機制已完成架構如 7.4 節，航道與禁航區等功能由於需要航港局或相關管理單位發布，目前規劃採用人工進行設定，未來若發布單位有此技術建議可採用自動介接的方式來劃定。

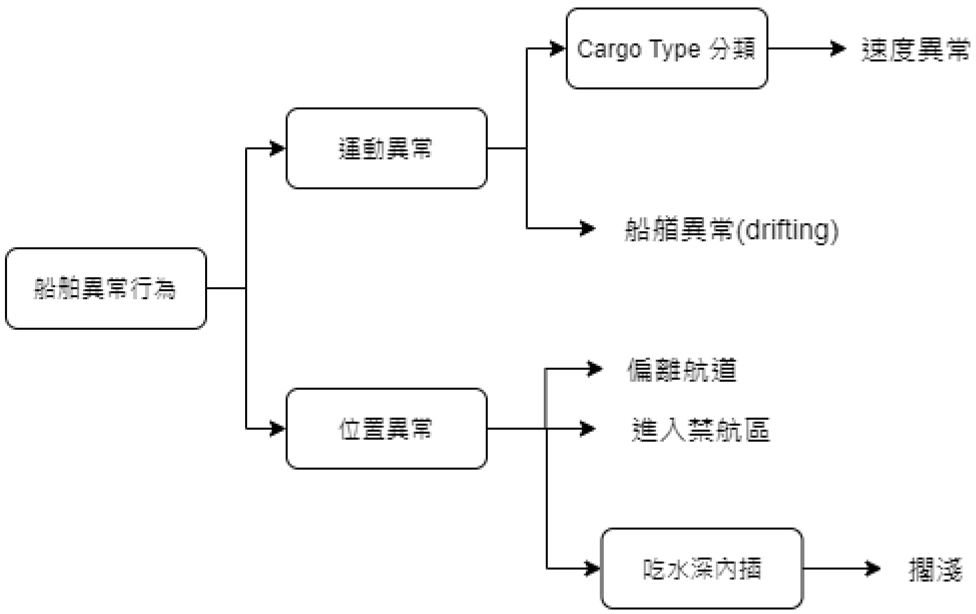


圖 7.5.1 船舶異常行為判定分類

為提供現有研發成果的展示，工作團隊一併將本章船舶安全風險評估系統的告警資訊在第四章的自動化颱風時期預警介面作展示，圖 7.5.2 為介面中各種告警資訊的輸出工具列布局。圖 7.5.3 則為將船舶異常警示的符號加入介面中。當介面中出現告警船隻的位置，使用者可用滑鼠點選船隻對該船進行預測路徑的展示，如圖 7.5.4。

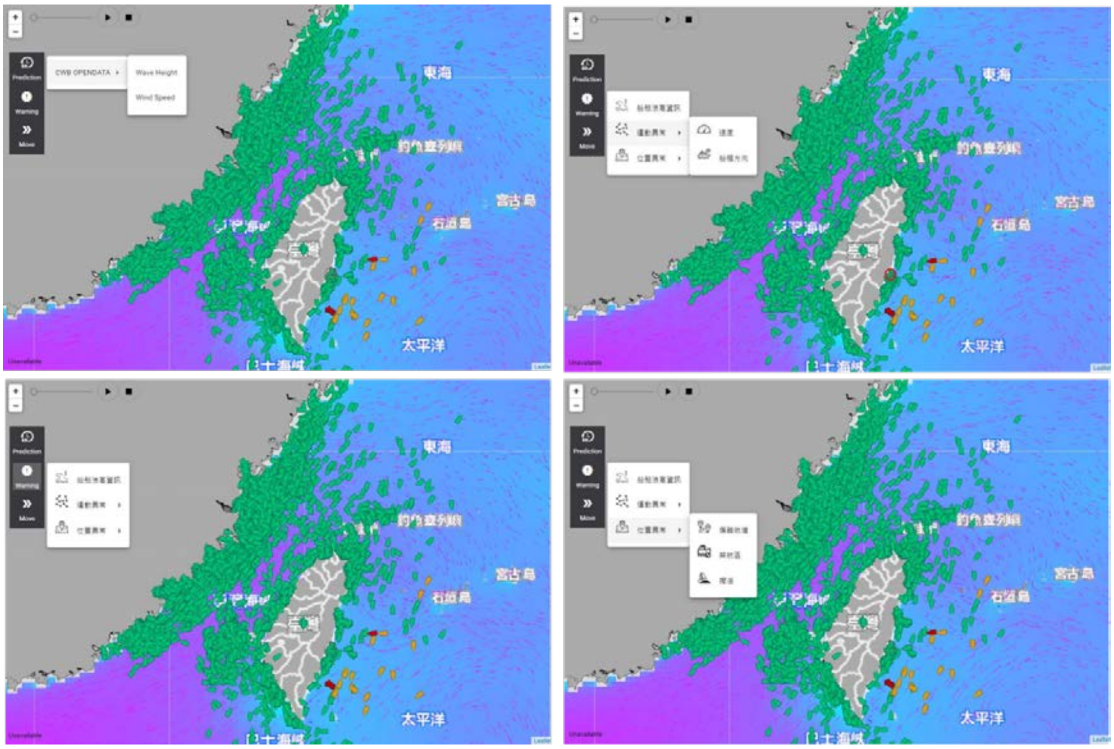


圖 7.5.2 各種告警資訊的輸出工具列

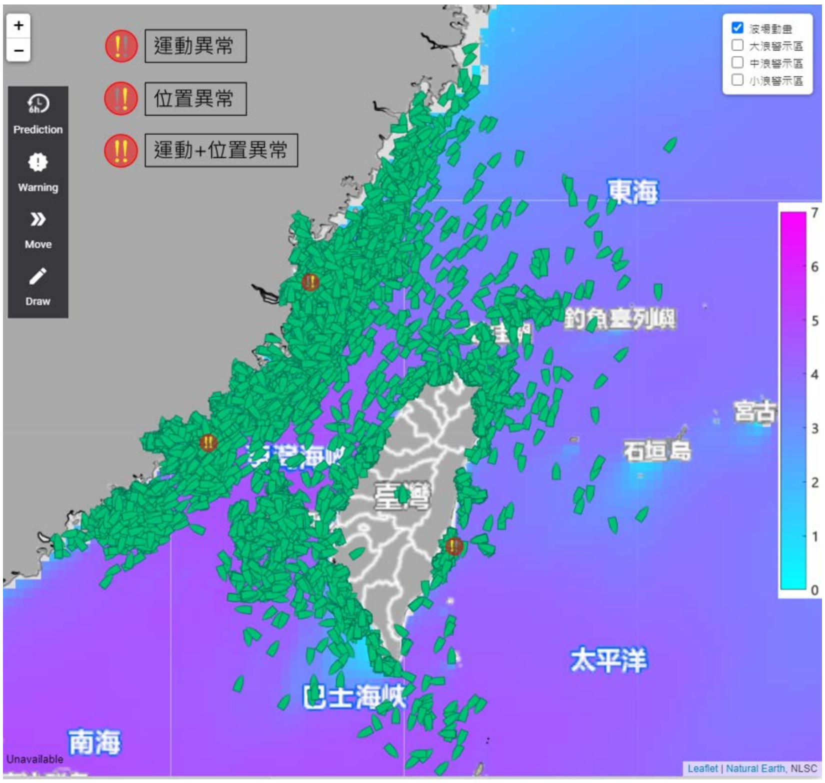


圖 7.5.3 船隻異常警示圖示

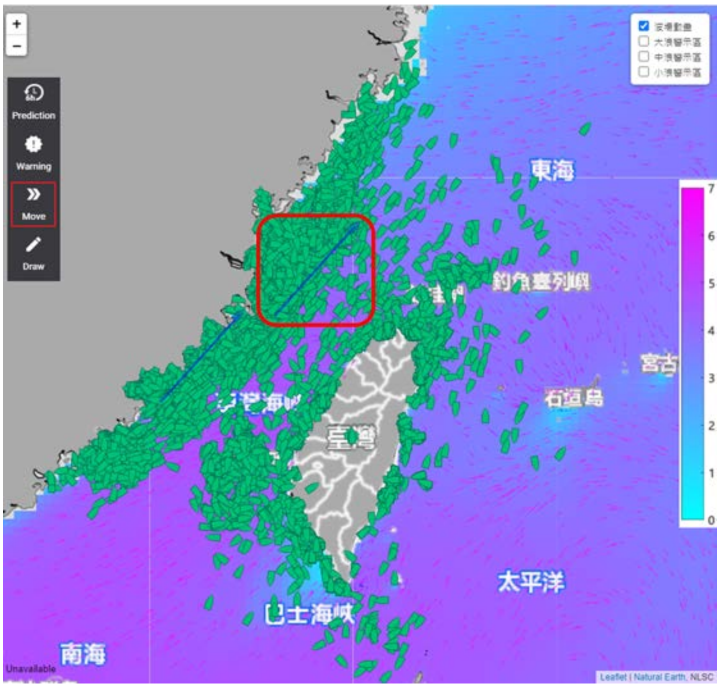


圖 7.5.4 異常船隻路徑展示功能

此外針對禁航區與未來航道限制等考量，工作團隊在介面中加入了自定告警區域的功能。在接獲公告禁航區或已規劃的航道限制，使用者可用滑鼠點選左側工具列開啟劃定告警區域功能，並進行劃設，如圖 7.5.5。目前這些功能已完成於介面中，未來亦可視使用單位將告警結果以 API 方式介接至其他更合適的圖台做其他應用。圖 7.5.6 為介面於布袋港的展示成果。

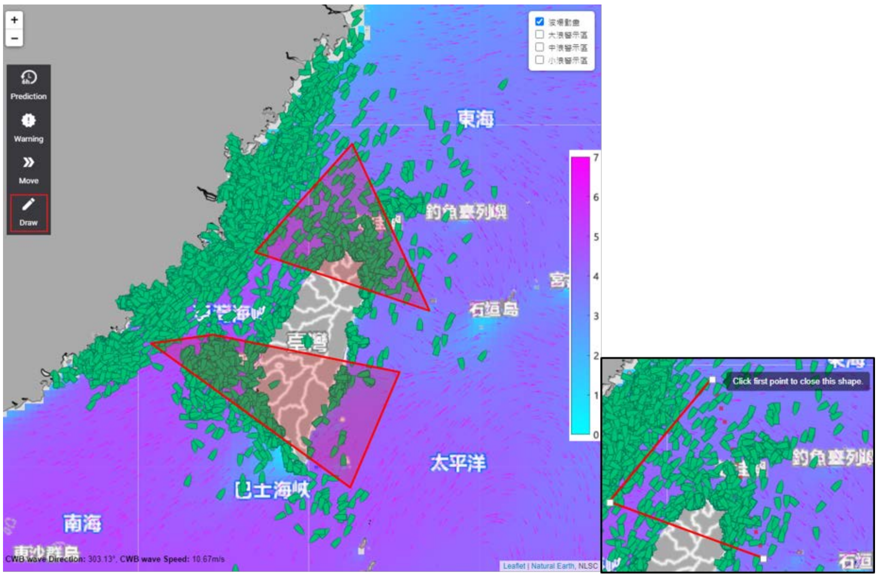


圖 7.5.5 劃定告警區域的功能

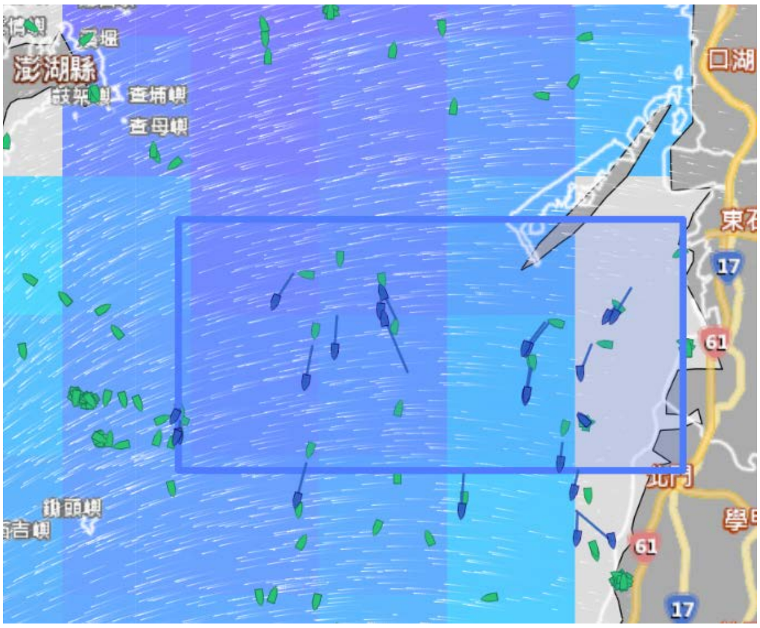


圖 7.5.6 介面於布袋港之展示成果

本研究第三章以外的介面系統所編寫的程式碼皆使用開源專案或自行開發，並無使用商業套裝軟體，相關開發環境需求如表 7.5-1，詳細後台開發使用的開源專案名稱及版本如表 7.5-2，前端開發使用的開源專案及版本如表 7.5-3。

表 7.5-1 本研究資料庫、網頁介面與風險系統所採用開源專案及軟體

套件名稱	版本	說明
Python	3.7.7	主要開發語言 （伺服器架設、AI 功能開發、資料清洗…等等相關功能）
Node.js	14.15.0	網頁前端
Angular CLI	9.1.12	網頁前端
Tomcat	7.0.104	Web Map Server
Ggeoserver	2.17.0	Web Map Server
MongoDB	4.2.5	資料庫

表 7.5-2 後台開發使用的開源專案名稱及版本

Name	Version	Name	Version	Name	Version
APScheduler	3.6.3	ezdxf	0.12.5	pymongo	3.10.1
Flask	1.1.1	gast	0.2.2	pyodbc	4.0.30
Flask-APScheduler	1.11.0	geographiclib	1.50	pyparsing	2.4.7
Flask-Cors	3.0.9	geopy	2.0.0	pyrsistent	0.16.0
GDAL	3.0.4	google-auth	1.12.0	python-dateutil	2.8.1

Jinja2	2.11.1	google-auth-oauthlib	0.4.1	pytz	2019.30
Keras-Applications	1.0.8	google-pasta	0.2.0	pywin32	227.00
Keras-Preprocessing	1.1.0	gpxpy	1.4.2	pywinpty	0.5.7
MarkupSafe	1.1.1	grpcio	1.27.2	pyzmq	19.0.0
PTable	0.9.2	h5py	2.10.0	rasterio	1.1.4
Pillow	7.2.0	idna	2.90	requests	2.23.0
PyWavelets	1.1.1	image-classifiers	1.0.0	requests-oauthlib	1.3.0
PyYAML	5.3.1	imageio	2.9.0	rsa	4.00
Pygments	2.6.1	imgaug	0.4.0	scikit-image	0.17.2
Send2Trash	1.5.0	importlib-metadata	1.6.0	scipy	1.4.1
Shapely	1.7.1	itsdangerous	1.1.0	segmentation-models	1.0.1
Werkzeug	1.0.0	jedi	0.16.0	setuptools	46.1.3
absl-py	0.9.0	jsonschema	3.2.0	six	1.14.0
affine	2.3.0	kiwisolver	1.2.0	snuggs	1.4.7
albumentations	0.4.6	llvmlite	0.34.0	soupsieve	2.0.1
astor	0.8.1	lxml	4.5.1	tensorboard	2.1.1
attrs	19.3.0	matplotlib	3.2.1	tensorflow-gpu	2.1.0
backcall	0.1.0	mistune	0.8.4	tensorflow-gpu-estimator	2.1.0
beautifulsoup4	4.9.1	nbconvert	5.6.1	termcolor	1.1.0
bleach	3.1.4	nbformat	5.0.4	terminado	0.8.3
bs4	0.0.1	networkx	2.50	testpath	0.4.4
cachetools	4.0.0	numba	0.51.0	tifffile	2020.10.1
certifi	2019.11.28	numpy	1.18.2	tornado	6.0.4
chardet	3.0.4	oauthlib	3.1.0	traitlets	4.3.3
click	7.1.1	opencv-python	4.2.0.34	tzlocal	2.0.0
click-plugins	1.1.1	opt-einsum	3.2.0	urllib3	1.25.8
cligj	0.5.0	pandas	1.1.2	wcwidth	0.1.9
colorama	0.4.3	pandocfilters	1.4.2	webencodings	0.5.1
comtypes	1.1.7	parso	0.6.2	wheel	0.34.2
cycler	0.10.0	pickleshare	0.7.5	wrapt	1.12.1
decorator	4.4.2	prometheus-client	0.7.1	zipfile37	0.1.3
defusedxml	0.6.0	prompt-toolkit	3.0.5	zipp	3.1.0
dxfgrabber	1.0.1	protobuf	3.11.3	tomcat	7.0.104
efficientnet	1.0.0	pyasn1	0.4.8	geoserver	2.17.0
entrypoints	0.30	pyasn1-modules	0.2.8		

表 7.5-3 前端開發使用的開源專案及版本

Name	Version
angular-devkit/architect	0.901.12
angular-devkit/build-angular	0.901.12
angular-devkit/build-optimizer	0.901.12
angular-devkit/build-webpack	0.901.12
angular-devkit/core	9.1.12
angular-devkit/schematics	9.1.12
angular/animations	9.1.12
angular/cdk	9.2.4
angular/cli	9.1.12
angular/common	9.1.12
angular/compiler-cli	9.1.12
angular/compiler	9.1.12
angular/core	9.1.12
angular/forms	9.1.12
angular/material	9.2.4
angular/platform-browser-dynamic	9.1.12
angular/platform-browser	9.1.12
angular/router	9.1.12
babel/code-frame	7.10.4
babel/compat-data	7.11.0
babel/core	7.9.0
babel/generator	7.11.5
babel/generator	7.9.3
babel/helper-annotate-as-pure	7.10.4
babel/helper-builder-binary-assignment-operator-visitor	7.10.4
babel/helper-compilation-targets	7.10.4
babel/helper-create-regexp-features-plugin	7.10.4
babel/helper-define-map	7.10.5
babel/helper-explode-assignable-expression	7.11.4
babel/helper-function-name	7.10.4
babel/helper-get-function-arity	7.10.4
babel/helper-hoist-variables	7.10.4
babel/helper-member-expression-to-functions	7.11.0
babel/helper-module-imports	7.10.4
babel/helper-module-transforms	7.11.0
babel/helper-optimise-call-expression	7.10.4
babel/helper-plugin-utils	7.10.4
babel/helper-regex	7.10.5
babel/helper-remap-async-to-generator	7.11.4
babel/helper-replace-supers	7.10.4
babel/helper-simple-access	7.10.4
babel/helper-skip-transparent-expression-wrappers	7.11.0
babel/helper-split-export-declaration	7.11.0
babel/helper-validator-identifier	7.10.4
babel/helper-wrap-function	7.10.4
babel/helpers	7.10.4
babel/highlight	7.10.4
babel/parser	7.11.5
babel/plugin-proposal-async-generator-functions	7.10.5
babel/plugin-proposal-dynamic-import	7.10.4
babel/plugin-proposal-json-strings	7.10.4
babel/plugin-proposal-nullish-coalescing-operator	7.10.4
babel/plugin-proposal-numeric-separator	7.10.4
babel/plugin-proposal-object-rest-spread	7.11.0
babel/plugin-proposal-optional-catch-binding	7.10.4
babel/plugin-proposal-optional-chaining	7.11.0
babel/plugin-proposal-unicode-property-regex	7.10.4
babel/plugin-syntax-async-generators	7.8.4
babel/plugin-syntax-dynamic-import	7.8.3
babel/plugin-syntax-json-strings	7.8.3
babel/plugin-syntax-nullish-coalescing-operator	7.8.3
babel/plugin-syntax-numeric-separator	7.10.4
babel/plugin-syntax-object-rest-spread	7.8.3
babel/plugin-syntax-optional-catch-binding	7.8.3
babel/plugin-syntax-optional-chaining	7.8.3
babel/plugin-syntax-top-level-await	7.10.4
babel/plugin-transform-arrow-functions	7.10.4
babel/plugin-transform-async-to-generator	7.10.4
babel/plugin-transform-block-scoped-functions	7.10.4
babel/plugin-transform-block-scoping	7.11.1
babel/plugin-transform-classes	7.10.4
babel/plugin-transform-computed-properties	7.10.4
babel/plugin-transform-destructuring	7.10.4
babel/plugin-transform-dotall-regex	7.10.4
babel/plugin-transform-duplicate-keys	7.10.4
babel/plugin-transform-exponentiation-operator	7.10.4
babel/plugin-transform-for-of	7.10.4
babel/plugin-transform-function-name	7.10.4
babel/plugin-transform-literals	7.10.4
babel/plugin-transform-member-expression-literals	7.10.4
babel/plugin-transform-modules-amd	7.10.5

babel/plugin-transform-modules-commonjs	7.10.4
babel/plugin-transform-modules-systemjs	7.10.5
babel/plugin-transform-modules-umd	7.10.4
babel/plugin-transform-named-capturing-groups-regex	7.10.4
babel/plugin-transform-new-target	7.10.4
babel/plugin-transform-object-super	7.10.4
babel/plugin-transform-parameters	7.10.5
babel/plugin-transform-property-literals	7.10.4
babel/plugin-transform-regenerator	7.10.4
babel/plugin-transform-reserved-words	7.10.4
babel/plugin-transform-shorthand-properties	7.10.4
babel/plugin-transform-spread	7.11.0
babel/plugin-transform-sticky-regex	7.10.4
babel/plugin-transform-template-literals	7.10.5
babel/plugin-transform-typeof-symbol	7.10.4
babel/plugin-transform-unicode-regex	7.10.4
babel/preset-env	7.9.0
babel/preset-modules	0.1.4
babel/runtime	7.11.2
babel/template	7.10.4
babel/template	7.8.6
babel/traverse	7.11.5
babel/types	7.11.5
istanbuljs/schema	0.1.2
jsdevtools/coverage-istanbul-loader	3.0.3
ngtools/webpack	9.1.12
nodelib/fs.scandir	2.1.3
nodelib/fs.stat	2.0.3
nodelib/fs.walk	1.2.4
npmcli/move-file	1.0.1
schematics/angular	9.1.12
schematics/update	0.901.12

types/color-name	1.1.1
types/glob	7.1.3
types/jasmine	3.5.14
types/jasminewd2	2.0.8
types/json-schema	7.0.6
types/minimatch	3.0.3
types/node	12.12.55
types/q	0.0.32
types/q	1.5.4
types/selenium-webdriver	3.0.17
types/source-list-map	0.1.2
types/webpack-sources	0.1.8
webassemblyjs/ast	1.8.5
webassemblyjs/floating-point-hex-parser	1.8.5
webassemblyjs/helper-api-error	1.8.5
webassemblyjs/helper-buffer	1.8.5
webassemblyjs/helper-code-frame	1.8.5
webassemblyjs/helper-fsm	1.8.5
webassemblyjs/helper-module-context	1.8.5
webassemblyjs/helper-wasm-bytecode	1.8.5
webassemblyjs/helper-wasm-section	1.8.5
webassemblyjs/ieee754	1.8.5
webassemblyjs/leb128	1.8.5
webassemblyjs/utf8	1.8.5
webassemblyjs/wasm-edit	1.8.5
webassemblyjs/wasm-gen	1.8.5
webassemblyjs/wasm-opt	1.8.5
webassemblyjs/wasm-parser	1.8.5
webassemblyjs/wast-parser	1.8.5
webassemblyjs/wast-printer	1.8.5
xtuc/ieee754	1.2.0
xtuc/long	4.2.2
yarnpkg/lockfile	1.1.0
JSONStream	1.3.5

accepts	1.3.7
acorn	6.4.1
adm-zip	0.4.16
after	0.8.2
agent-base	4.2.1
agent-base	4.3.0
agentkeepalive	3.5.2
aggregate-error	3.1.0
ajv-errors	1.0.1
ajv-keywords	3.5.2
ajv	6.12.3
ajv	6.12.4
alphanum-sort	1.0.2
ansi-colors	3.2.4
ansi-colors	4.1.1
ansi-escapes	4.3.1
ansi-html	0.0.7
ansi-regex	2.1.1
ansi-regex	4.1.0
ansi-regex	5.0.0
ansi-styles	2.2.1
ansi-styles	3.2.1
ansi-styles	4.2.1
anymatch	2.0.0
anymatch	3.1.1
app-root-path	2.2.1
append-transform	1.0.0
aproba	1.2.0
arg	4.1.3
argparse	1.0.10
aria-query	3.0.0
arr-diff	4.0.0
arr-flatten	1.1.0
arr-union	3.1.0
array-flatten	1.1.1
array-flatten	2.1.2
array-union	1.0.2
array-union	2.1.0
array-uniq	1.0.3
array-unique	0.3.2
arraybuffer.slice	0.0.7
arrify	1.0.1

asap	2.0.6
asn1.js	5.4.1
asn1	0.2.4
assert-plus	1.0.0
assert	1.5.0
assign-symbols	1.0.0
ast-types-flow	0.0.7
async-each	1.0.3
async-limiter	1.0.1
async	2.6.3
asynckit	0.4.0
atob	2.1.2
autoprefixer	9.7.4
aws-sign2	0.7.0
aws4	1.10.1
axobject-query	2.0.2
babel-loader	8.0.6
babel-plugin-dynamic-import-node	2.3.3
backo2	1.0.2
balanced-match	1.0.0
base64-arraybuffer	0.1.5
base64-js	1.3.1
base64id	2.0.0
base	0.11.2
batch	0.6.1
bcrypt-pbkdf	1.0.2
better-assert	1.0.2
big.js	5.2.2
binary-extensions	1.13.1
binary-extensions	2.1.0
blob	0.0.5
blocking-proxy	1.0.1
bluebird	3.7.2
bn.js	4.11.9
bn.js	5.1.3
body-parser	1.19.0
bonjour	3.5.0
boolbase	1.0.0
brace-expansion	1.1.11
braces	2.3.2
braces	3.0.2

brorand	1.1.0
browserify-aes	1.2.0
browserify-cipher	1.0.1
browserify-des	1.0.2
browserify-rsa	4.0.1
browserify-sign	4.2.1
browserify-zlib	0.2.0
browserslist	4.14.0
browserstack	1.6.0
buffer-from	1.1.1
buffer-indexof	1.1.1
buffer-xor	1.0.3
buffer	4.9.2
builtin-modules	1.1.1
builtin-status-codes	3.0.0
builtins	1.0.3
bytes	3.0.0
bytes	3.1.0
cacache	12.0.4
cacache	15.0.0
cacache	15.0.5
cache-base	1.0.1
caller-callsite	2.0.0
caller-path	2.0.0
callsite	1.0.0
callsites	2.0.0
camelcase	5.3.1
caniuse-api	3.0.0
caniuse-lite	1.0.30001122
canonical-path	1.0.0
caseless	0.12.0
chalk	1.1.3
chalk	2.4.2
chalk	3.0.0
chardet	0.7.0
chokidar	2.1.8
chokidar	3.4.2
chownr	1.1.4
chownr	2.0.0

chrome-trace-event	1.0.2
cipher-base	1.0.4
circular-dependency-plugin	5.2.0
class-utils	0.3.6
clean-stack	2.2.0
cli-cursor	3.1.0
cli-spinners	2.4.0
cli-width	2.2.1
cliui	5.0.0
cliui	6.0.0
clone-deep	4.0.1
clone	1.0.4
clone	2.1.2
coa	2.0.2
codelyzer	5.2.2
collection-visit	1.0.0
color-convert	1.9.3
color-convert	2.0.1
color-name	1.1.3
color-name	1.1.4
color-string	1.5.3
color	3.1.2
colors	1.1.2
colors	1.4.0
combined-stream	1.0.8
commander	2.20.3
commondir	1.0.1
compare-versions	3.6.0
component-bind	1.0.0
component-emitter	1.2.1
component-emitter	1.3.0
component-inherit	0.0.3
compressible	2.0.18
compression	1.7.4
concat-map	0.0.1
concat-stream	1.6.2
connect-history-api-fallback	1.6.0
connect	3.7.0
console-browserify	1.2.0
constants-browserify	1.0.0

content-disposition	0.5.3
content-type	1.0.4
convert-source-map	1.7.0
cookie-signature	1.0.6
cookie	0.3.1
cookie	0.4.0
copy-concurrently	1.0.5
copy-descriptor	0.1.1
copy-webpack-plugin	6.0.3
core-js-compat	3.6.5
core-js	3.6.4
core-util-is	1.0.2
cosmiconfig	5.2.1
create-ecdh	4.0.4
create-hash	1.2.0
create-hmac	1.1.7
cross-spawn	6.0.5
crypto-browserify	3.12.0
css-color-names	0.0.4
css-declaration-sorter	4.0.1
css-loader	3.5.1
css-parse	2.0.0
css-select-base-adapter	0.1.1
css-select	2.1.0
css-selector-tokenizer	0.7.3
css-tree	1.0.0-alpha.37
css-tree	1.0.0-alpha.39
css-what	3.3.0
css	2.2.4
cssauron	1.4.0
cssesc	3.0.0
cssnano-preset-default	4.0.7
cssnano-util-get-arguments	4.0.0
cssnano-util-get-match	4.0.0
cssnano-util-raw-cache	4.0.1
cssnano-util-same-parent	4.0.1
cssnano	4.1.10
csso	4.0.3
custom-event	1.0.1
cyclist	1.0.1
damerau-levenshtein	1.0.6
dashdash	1.14.1
date-format	2.1.0
date-format	3.0.0
debug	2.6.9
debug	3.1.0
debug	3.2.6
debug	4.1.1
debuglog	1.0.1
decamelize	1.2.0
decode-uri-component	0.2.0
deep-equal	1.1.1
default-gateway	4.2.0
default-require-extensions	2.0.0
defaults	1.0.3
define-properties	1.1.3
define-property	0.2.5
define-property	1.0.0
define-property	2.0.2
del	2.2.2
del	4.1.1
delayed-stream	1.0.0
depd	1.1.2
dependency-graph	0.7.2
des.js	1.0.1
destroy	1.0.4
detect-node	2.0.4
dezalgo	1.0.3
di	0.0.1
diff	4.0.2
diffie-hellman	5.0.3
dir-glob	3.0.1
dns-equal	1.0.0
dns-packet	1.3.1
dns-txt	2.0.2
dom-serialize	2.2.1
dom-serializer	0.2.2
domain-browser	1.2.0
domelementtype	1.3.1
domelementtype	2.0.1
domutils	1.7.0
dot-prop	5.2.0
duplexify	3.7.1
ecc-jsbn	0.1.2
ee-first	1.1.1
electron-to-chromium	1.3.558
elliptic	6.5.3
emoji-regex	7.0.3
emoji-regex	8.0.0
emojis-list	3.0.0
encodeurl	1.0.2
encoding	0.1.13
end-of-stream	1.4.4
engine.io-client	3.4.3
engine.io-parser	2.2.0
engine.io	3.4.2
enhanced-resolve	4.1.1
ent	2.2.0
entities	2.0.3
err-code	1.1.2
errno	0.1.7
error-ex	1.3.2
es-abstract	1.17.6
es-to-primitive	1.2.1
es6-promise	4.2.8
es6-promisify	5.0.0
escalade	3.0.2
escape-html	1.0.3
escape-string-regexp	1.0.5
eslint-scope	4.0.3
esprima	4.0.1
esrecurse	4.3.0
estraverse	4.3.0
estraverse	5.2.0
esutils	2.0.3
etag	1.8.1
eventemitter3	4.0.7
events	3.2.0

eventsource	1.0.7
evp_bytestokey	1.0.3
execa	1.0.0
exit	0.1.2
expand-brackets	2.1.4
express	4.17.1
extend-shallow	2.0.1
extend-shallow	3.0.2
extend	3.0.2
external-editor	3.1.0
extglob	2.0.4
extsprintf	1.3.0
fast-deep-equal	3.1.3
fast-glob	3.2.4
fast-json-stable-stringify	2.1.0
fastparse	1.1.2
fastq	1.8.0
faye-websocket	0.10.0
faye-websocket	0.11.3
figgy-pudding	3.5.2
figures	3.2.0
file-loader	6.0.0
fileset	2.0.3
fill-range	4.0.0
fill-range	7.0.1
finalhandler	1.1.2
find-cache-dir	2.1.0
find-cache-dir	3.3.1
find-up	3.0.0
find-up	4.1.0
flatted	2.0.2
flush-write-stream	1.1.1
follow-redirects	1.13.0
for-in	1.0.2
forever-agent	0.6.1
form-data	2.3.3
forwarded	0.1.2
fragment-cache	0.2.1
fresh	0.5.2
from2	2.3.0
fs-extra	4.0.2

fs-extra	8.1.0
fs-minipass	1.2.7
fs-minipass	2.1.0
fs-write-stream-atomic	1.0.10
fs.realpath	1.0.0
function-bind	1.1.1
genfun	5.0.0
gensync	1.0.0-beta.1
get-caller-file	2.0.5
get-stream	4.1.0
get-value	2.0.6
getpass	0.1.7
glob-parent	3.1.0
glob-parent	5.1.1
glob	7.1.6
globals	11.12.0
globby	11.0.1
globby	5.0.0
globby	6.1.0
graceful-fs	4.2.4
handle-thing	2.0.1
har-schema	2.0.0
har-validator	5.1.5
has-ansi	2.0.0
has-binary2	1.0.3
has-cors	1.1.0
has-flag	3.0.0
has-flag	4.0.0
has-symbols	1.0.1
has-value	0.3.1
has-value	1.0.0
has-values	0.1.4
has-values	1.0.0
has	1.0.3
hash-base	3.1.0
hash.js	1.1.7
hex-color-regex	1.1.0
hmac-drbg	1.0.1
hosted-git-info	2.8.8
hosted-git-info	3.0.5
hpack.js	2.1.6

hsl-regex	1.0.0
hsla-regex	1.0.0
html-comment-regex	1.1.2
html-entities	1.3.1
html-escaper	2.0.2
http-cache-semantics	3.8.1
http-deceiver	1.2.7
http-errors	1.6.3
http-errors	1.7.2
http-proxy-agent	2.1.0
http-proxy-middleware	0.19.1
http-proxy	1.18.1
http-signature	1.2.0
https-browserify	1.0.0
https-proxy-agent	2.2.4
humanize-ms	1.2.1
iconv-lite	0.4.24
iconv-lite	0.6.2
icss-utils	4.1.1
ieee754	1.1.13
iferr	0.1.5
ignore-walk	3.0.3
ignore	5.1.8
image-size	0.5.5
immediate	3.0.6
import-cwd	2.1.0
import-fresh	2.0.0
import-from	2.1.0
import-local	2.0.0
imurmurhash	0.1.4
indent-string	4.0.0
indexes-of	1.0.1
indexof	0.0.1
infer-owner	1.0.4
inflight	1.0.6
inherits	2.0.1
inherits	2.0.3
inherits	2.0.4
ini	1.3.5
inquirer	7.1.0
internal-ip	4.3.0

invariant	2.2.4
ip-regex	2.1.0
ip	1.1.5
ipaddr.js	1.9.1
is-absolute-url	2.1.0
is-absolute-url	3.0.3
is-accessor-descriptor	0.1.6
is-accessor-descriptor	1.0.0
is-arguments	1.0.4
is-arrayish	0.2.1
is-arrayish	0.3.2
is-binary-path	1.0.1
is-binary-path	2.1.0
is-buffer	1.1.6
is-callable	1.2.0
is-color-stop	1.1.0
is-data-descriptor	0.1.4
is-data-descriptor	1.0.0
is-date-object	1.0.2
is-descriptor	0.1.6
is-descriptor	1.0.2
is-directory	0.3.1
is-docker	2.1.1
is-extendable	0.1.1
is-extendable	1.0.1
is-extglob	2.1.1
is-fullwidth-code-point	2.0.0
is-fullwidth-code-point	3.0.0
is-glob	3.1.0
is-glob	4.0.1
is-interactive	1.0.0
is-number	3.0.0
is-number	7.0.0
is-obj	2.0.0
is-path-cwd	1.0.0
is-path-cwd	2.2.0
is-path-in-cwd	1.0.1
is-path-in-cwd	2.1.0
is-path-inside	1.0.1
is-path-inside	2.1.0
is-plain-obj	1.1.0

is-plain-object	2.0.4
is-regex	1.1.1
is-resolvable	1.1.0
is-stream	1.1.0
is-svg	3.0.0
is-symbol	1.0.3
is-typedarray	1.0.0
is-windows	1.0.2
is-wsl	1.1.0
is-wsl	2.2.0
isarray	1.0.0
isarray	2.0.1
isbinaryfile	4.0.6
isexe	2.0.0
isobject	2.1.0
isobject	3.0.1
isstream	0.1.2
istanbul-api	2.1.7
istanbul-lib-coverage	2.0.5
istanbul-lib-coverage	3.0.0
istanbul-lib-hook	2.0.7
istanbul-lib-instrument	3.3.0
istanbul-lib-instrument	4.0.3
istanbul-lib-report	2.0.8
istanbul-lib-source-maps	3.0.6
istanbul-reports	2.2.7
jasmine-core	2.8.0
jasmine-core	3.5.0
jasmine-spec-reporter	4.2.1
jasmine	2.8.0
jasminewd2	2.2.0
jest-worker	25.1.0
jest-worker	26.3.0
jquery	3.5.1
js-tokens	4.0.0
js-yaml	3.14.0
jsbn	0.1.1
jsesc	0.5.0
jsesc	2.5.2
json-parse-better-errors	1.0.2

json-parse-even-better-errors	2.3.1
json-schema-traverse	0.4.1
json-schema	0.2.3
json-stringify-safe	5.0.1
json3	3.3.3
json5	1.0.1
json5	2.1.3
jsonfile	4.0.0
jsonparse	1.3.1
jsprim	1.4.1
jszip	3.5.0
karma-chrome-launcher	3.1.0
karma-coverage-istanbul-reporter	2.1.1
karma-jasmine-html-reporter	1.5.4
karma-jasmine	3.0.3
karma-source-map-support	1.4.0
karma	5.0.9
killable	1.0.1
kind-of	3.2.2
kind-of	4.0.0
kind-of	5.1.0
kind-of	6.0.3
leaflet-canvas-markers	1.0.6
leaflet-draw	1.0.4
leaflet-plugin-trackplayback	1.0.5
leaflet-velocity	1.7.0
leaflet.motion	0.2.3
leaflet	1.6.0
less-loader	5.0.0
less	3.11.3
leven	3.1.0
levenary	1.1.1
license-webpack-plugin	2.1.4
lie	3.3.0
loader-runner	2.4.0
loader-utils	1.4.0
loader-utils	2.0.0
locate-path	3.0.0

locate-path	5.0.0
lodash.clonedeep	4.5.0
lodash.memoize	4.1.2
lodash.uniq	4.5.0
lodash	4.17.20
log-symbols	3.0.0
log4js	6.3.0
loglevel	1.7.0
loose-envify	1.4.0
lru-cache	5.1.1
lru-cache	6.0.0
magic-string	0.25.7
make-dir	2.1.0
make-dir	3.1.0
make-error	1.3.6
make-fetch-happen	5.0.2
mamacro	0.0.3
map-cache	0.2.2
map-visit	1.0.0
md5.js	1.3.5
mdn-data	2.0.4
mdn-data	2.0.6
media-typer	0.3.0
memory-fs	0.4.1
memory-fs	0.5.0
merge-descriptors	1.0.1
merge-source-map	1.1.0
merge-stream	2.0.0
merge2	1.4.1
methods	1.1.2
micromatch	3.1.10
micromatch	4.0.2
miller-rabin	4.0.1
mime-db	1.44.0
mime-types	2.1.27
mime	1.6.0
mime	2.4.6
mimic-fn	2.1.0
mini-css-extract-plugin	0.9.0
minimalistic-assert	1.0.1
minimalistic-crypto-utils	1.0.1

minimatch	3.0.4
minimist	1.2.5
minipass-collect	1.0.2
minipass-flush	1.0.5
minipass-pipeline	1.2.4
minipass	2.9.0
minipass	3.1.3
minizlib	1.3.3
minizlib	2.1.2
mississippi	3.0.0
mixin-deep	1.3.2
mkdirp	0.5.5
mkdirp	1.0.4
move-concurrently	1.0.1
ms	2.0.0
ms	2.1.1
ms	2.1.2
multicast-dns-service-types	1.1.0
multicast-dns	6.2.3
mute-stream	0.0.8
nanomatch	1.2.13
negotiator	0.6.2
neo-async	2.6.2
nice-try	1.0.5
node-fetch-npm	2.0.4
node-forge	0.9.0
node-libs-browser	2.2.1
node-releases	1.1.60
normalize-package-data	2.5.0
normalize-path	2.1.1
normalize-path	3.0.0
normalize-range	0.1.2
normalize-url	1.9.1
normalize-url	3.3.0
npm-bundled	1.1.1
npm-install-checks	4.0.0
npm-normalize-package-bin	1.0.1
npm-package-arg	6.1.1
npm-package-arg	8.0.1
npm-packlist	1.4.8

npm-pick-manifest	3.0.2
npm-pick-manifest	6.0.0
npm-registry-fetch	4.0.7
npm-run-path	2.0.2
nth-check	1.0.2
num2fraction	1.2.2
oauth-sign	0.9.0
object-assign	4.1.1
object-component	0.0.3
object-copy	0.1.0
object-inspect	1.8.0
object-is	1.1.2
object-keys	1.1.1
object-visit	1.0.1
object.assign	4.1.0
object.getownpropertydescriptors	2.1.0
object.pick	1.3.0
object.values	1.1.1
obuf	1.1.2
on-finished	2.3.0
on-headers	1.0.2
once	1.4.0
onetime	5.1.2
open	7.0.3
opn	5.5.0
ora	4.0.3
original	1.0.2
os-browserify	0.3.0
os-homedir	1.0.2
os-tmpdir	1.0.2
osenv	0.1.5
p-finally	1.0.0
p-limit	2.3.0
p-limit	3.0.2
p-locate	3.0.0
p-locate	4.1.0
p-map	2.1.0
p-map	3.0.0
p-map	4.0.0
p-retry	3.0.1
p-try	2.2.0

pacote	9.5.12
pako	1.0.11
parallel-transform	1.2.0
parse-asn1	5.1.6
parse-json	4.0.0
parse5	4.0.0
parse5	5.1.1
parseqs	0.0.5
parseuri	0.0.5
parseurl	1.3.3
pascalcase	0.1.1
path-browserify	0.0.1
path-dirname	1.0.2
path-exists	3.0.0
path-exists	4.0.0
path-is-absolute	1.0.1
path-is-inside	1.0.2
path-key	2.0.1
path-parse	1.0.6
path-to-regexp	0.1.7
path-type	4.0.0
pbkdf2	3.1.1
performance-now	2.1.0
picomatch	2.2.2
pify	2.3.0
pify	4.0.1
pinkie-promise	2.0.1
pinkie	2.0.4
pkg-dir	3.0.0
pkg-dir	4.2.0
portfinder	1.0.28
posix-character-classes	0.1.1
postcss-calc	7.0.4
postcss-colormin	4.0.3
postcss-convert-values	4.0.1
postcss-discard-comments	4.0.2
postcss-discard-duplicates	4.0.2
postcss-discard-empty	4.0.1
postcss-discard-overridden	4.0.1

postcss-import	12.0.1
postcss-load-config	2.1.0
postcss-loader	3.0.0
postcss-merge-longhand	4.0.11
postcss-merge-rules	4.0.3
postcss-minify-font-values	4.0.2
postcss-minify-gradients	4.0.2
postcss-minify-params	4.0.2
postcss-minify-selectors	4.0.2
postcss-modules-extract-imports	2.0.0
postcss-modules-local-by-default	3.0.3
postcss-modules-scope	2.2.0
postcss-modules-values	3.0.0
postcss-normalize-charset	4.0.1
postcss-normalize-display-values	4.0.2
postcss-normalize-positions	4.0.2
postcss-normalize-repeat-style	4.0.2
postcss-normalize-string	4.0.2
postcss-normalize-timing-functions	4.0.2
postcss-normalize-unicode	4.0.1
postcss-normalize-url	4.0.1
postcss-normalize-whitespace	4.0.2
postcss-ordered-values	4.1.2
postcss-reduce-initial	4.0.3
postcss-reduce-transforms	4.0.2
postcss-selector-parser	3.1.2
postcss-selector-parser	6.0.2
postcss-svgo	4.0.2
postcss-unique-selectors	4.0.1
postcss-value-parser	3.3.1
postcss-value-parser	4.1.0

postcss	7.0.27
postcss	7.0.32
prepend-http	1.0.4
process-nextick-args	2.0.1
process	0.11.10
promise-inflight	1.0.1
promise-retry	1.1.1
promise	7.3.1
protoduck	5.0.1
protractor	7.0.0
proxy-addr	2.0.6
prr	1.0.1
psl	1.8.0
public-encrypt	4.0.3
pump	2.0.1
pump	3.0.0
pumpify	1.5.1
punycode	1.3.2
punycode	1.4.1
punycode	2.1.1
q	1.4.1
q	1.5.1
qjobs	1.2.0
qs	6.5.2
qs	6.7.0
query-string	4.3.4
querystring-es3	0.2.1
querystring	0.2.0
querystringify	2.2.0
randombytes	2.1.0
randomfill	1.0.4
range-parser	1.2.1
raw-body	2.4.0
raw-loader	4.0.0
read-cache	1.0.0
read-package-json	2.1.2
read-package-tree	5.3.1
readable-stream	2.3.7
readable-stream	3.6.0
readdir-scoped-modules	1.1.0
readdirp	2.2.1

readdirp	3.4.0
reflect-metadata	0.1.13
regenerate-unicode-properties	8.2.0
regenerate	1.4.1
regenerator-runtime	0.13.5
regenerator-transform	0.14.5
regex-not	1.0.2
regexp.prototype.flags	1.3.0
regexpu-core	4.7.0
regjsgen	0.5.2
regjsparser	0.6.4
remove-trailing-separator	1.1.0
repeat-element	1.1.3
repeat-string	1.6.1
request	2.88.2
require-directory	2.1.1
require-main-filename	2.0.0
requires-port	1.0.0
resolve-cwd	2.0.0
resolve-from	3.0.0
resolve-url	0.2.1
resolve	1.17.0
restore-cursor	3.1.0
ret	0.1.15
retry	0.10.1
retry	0.12.0
reusify	1.0.4
rfdc	1.1.4
rgb-regex	1.0.1
rgba-regex	1.0.0
rimraf	2.7.1
rimraf	3.0.2
ripemd160	2.0.2
rollup	2.1.0
run-async	2.4.1
run-parallel	1.1.9
run-queue	1.0.3
rxjs	6.5.4
rxjs	6.5.5
safe-buffer	5.1.2
safe-buffer	5.2.1

safe-regex	1.1.0
safer-buffer	2.1.2
sass-loader	8.0.2
sass	1.26.3
saucelabs	1.5.0
sax	1.2.4
schema-utils	1.0.0
schema-utils	2.7.1
select-hose	2.0.0
selenium-webdriver	3.6.0
selfsigned	1.10.7
semver-dsl	1.0.1
semver-intersect	1.4.0
semver	5.7.1
semver	6.3.0
semver	7.0.0
semver	7.1.3
send	0.17.1
serialize-javascript	3.1.0
serialize-javascript	4.0.0
serve-index	1.9.1
serve-static	1.14.1
set-blocking	2.0.0
set-immediate-shim	1.0.1
set-value	2.0.1
setimmediate	1.0.5
setprototypeof	1.1.0
setprototypeof	1.1.1
sha.js	2.4.11
shallow-clone	3.0.1
shebang-command	1.2.0
shebang-regex	1.0.0
signal-exit	3.0.3
simple-swizzle	0.2.2
slash	3.0.0
smart-buffer	4.1.0
snapdragon-node	2.1.1
snapdragon-util	3.0.1
snapdragon	0.8.2
socket.io-adapter	1.1.2
socket.io-client	2.3.0
socket.io-parser	3.3.0

socket.io-parser	3.4.1
socket.io	2.3.0
sockjs-client	1.4.0
sockjs	0.3.20
socks-proxy-agent	4.0.2
socks	2.3.3
sort-keys	1.1.2
source-list-map	2.0.1
source-map-loader	0.2.4
source-map-resolve	0.5.3
source-map-support	0.4.18
source-map-support	0.5.19
source-map-url	0.4.0
source-map	0.5.7
source-map	0.6.1
source-map	0.7.3
sourcemap-codec	1.4.8
spdx-correct	3.1.1
spdx-exceptions	2.3.0
spdx-expression-parse	3.0.1
spdx-license-ids	3.0.5
spdy-transport	3.0.0
spdy	4.0.2
speed-measure-webpack-plugin	1.3.1
split-string	3.1.0
sprintf-js	1.0.3
sprintf-js	1.1.2
sshpk	1.16.1
ssri	6.0.1
ssri	8.0.0
stable	0.1.8
static-extend	0.1.2
statuses	1.5.0
stream-browserify	2.0.2
stream-each	1.2.3
stream-http	2.8.3
stream-shift	1.0.1
streamroller	2.2.4
strict-uri-encode	1.1.0
string-width	3.1.0
string-width	4.2.0

string.prototype.trimend	1.0.1
string.prototype.trimstart	1.0.1
string_decoder	1.1.1
strip-ansi	3.0.1
strip-ansi	5.2.0
strip-ansi	6.0.0
strip-bom	3.0.0
strip-eof	1.0.0
style-loader	1.1.3
stylehacks	4.0.3
stylus-loader	3.0.2
stylus	0.54.7
supports-color	2.0.0
supports-color	5.5.0
supports-color	6.1.0
supports-color	7.2.0
svgo	1.3.2
symbol-observable	1.2.0
tapable	1.1.3
tar	4.4.13
tar	6.0.5
terser-webpack-plugin	1.4.5
terser-webpack-plugin	3.0.3
terser	4.6.10
terser	4.8.0
through2	2.0.5
through	2.3.8
thunky	1.1.0
timers-browserify	2.0.11
timsort	0.3.0
tmp	0.0.30
tmp	0.0.33
tmp	0.2.1
to-array	0.1.4
to-arraybuffer	1.0.1
to-fast-properties	2.0.0
to-object-path	0.3.0
to-regex-range	2.1.1
to-regex-range	5.0.1
to-regex	3.0.2
toidentifier	1.0.0
tough-cookie	2.5.0
tree-kill	1.2.2
ts-node	8.3.0
tslib	1.11.1
tslib	1.13.0
tslint	6.1.3
tsutils	2.29.0
tty-browserify	0.0.0
tunnel-agent	0.6.0
tweetnacl	0.14.5
type-fest	0.11.0
type-is	1.6.18
typedarray	0.0.6
typescript	3.6.5
typescript	3.8.3
ua-parser-js	0.7.21
unicode-canonical-property-names-ecmascript	1.0.4
unicode-match-property-ecmascript	1.0.4
unicode-match-property-value-ecmascript	1.2.0
unicode-property-aliases-ecmascript	1.1.0
union-value	1.0.1
uniq	1.0.1
uniqs	2.0.0
unique-filename	1.1.1
unique-slug	2.0.2
universal-analytics	0.4.20
universalify	0.1.2
unpipe	1.0.0
unquote	1.1.1
unset-value	1.0.0
upath	1.2.0
uri-js	4.4.0
urix	0.1.0
url-parse	1.4.7
url	0.11.0
use	3.1.1
util-deprecate	1.0.2
util-promisify	2.1.0
util.promisify	1.0.1
util	0.10.3
util	0.11.1
utils-merge	1.0.1
uuid	3.4.0
uuid	7.0.2
validate-npm-package-license	3.0.4
validate-npm-package-name	3.0.0
vary	1.1.2
vendors	1.0.4
verror	1.10.0
vm-browserify	1.1.2
void-elements	2.0.1
watchpack-chokidar2	2.0.0
watchpack	1.7.4
wbuf	1.7.3
wcwidth	1.0.1
webdriver-js-extender	2.1.0
webdriver-manager	12.1.7
webpack-dev-middleware	3.7.2
webpack-dev-server	3.11.0
webpack-log	2.0.0
webpack-merge	4.2.2
webpack-sources	1.4.3
webpack-subresource-integrity	1.4.0
webpack	4.42.0
websocket-driver	0.6.5
websocket-extensions	0.1.4
when	3.6.4
which-module	2.0.0
which	1.3.1
worker-farm	1.7.0
worker-plugin	4.0.3
wrap-ansi	5.1.0
wrap-ansi	6.2.0
wrappy	1.0.2
ws	6.1.4
ws	6.2.1
ws	7.3.1
xml2js	0.4.23
xmlbuilder	11.0.1

xmlhttprequest-ssl	1.5.5
xtend	4.0.2
y18n	4.0.0
yallist	3.1.1
yallist	4.0.0
yargs-parser	13.1.2
yargs-parser	18.1.3
yargs	13.3.2
yargs	15.3.0
yargs	15.4.1
yeast	0.1.2
yn	3.1.1
zone.js	0.10.3

第八章 結論與建議

為建立更完善的船舶航行安全風險評估模型與監測系統，以降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行與港口定船停靠之安全。本研究延續港灣技術研究中心近年來的 AIS 系統與資料庫等相關研究，進一步引入更適合大數據的文檔式 NoSQL 資料庫，並結合風浪預測資訊與 AI 技術，發展自動化颱風時期船舶預警介面系統與 AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統。

8.1 結論

1. 本研究比較三種不同的風速衰減率 RVM 模式及 Holland 模式的計算風速結果，發現衰減率為 0.5 的 RVM 模式及 Holland 模式模擬風速的能力相近。衰減率為 0.5 的 RVM 模式比更高衰減率的 RVM 模式有較佳的吻合度。另為決定風場計算模組中的風場模式與最大暴風半徑的計算方式，進行 12 場颱風與各種計算方式組合的比較，結果顯示 KN07 的最大風速半徑公式可以提供各種計算方式獲得較低 RMSE 及 BIAS。

2. 本研究建立的自動化波浪推算整合生成模組，可自動化運行整合模組，當颱風侵臺時可自動介接中央氣象局的颱風資訊，快速生成風場資料輸入 MikeSW 計算周邊海域的波場。本整合模組在無颱風侵臺時僅會固定時間偵測中央氣象局的開放資料介接而無資料可進行運算，故本研究採用颱風資料庫往昔颱風資料配合本所長期在臺灣各主要港口監測的波浪資料進行推算精度的評估。其中只要中央氣象局所公布颱風期間有波浪資料的波浪測站皆納入評析，雖採用參數化風場所模擬的波場狀況僅能反映颱風所造成的波浪，可能導致部分測站非颱風造成波浪有較大誤差，但整體來看可發現高雄港推算精度最高，臺灣東岸花蓮港與西岸的臺中港次之。布袋港與安平港同樣有峰值波高推估較差的現象，臺北港與基隆港則同樣有整體波高 RMSE 與判定係數較低的問題，臺灣東岸的蘇澳港整體波高

RMSE 與判定係數都有不錯的表現，但有多場颱風實測值高於 10m 的峰值則無法有效模擬。

3. 自動化颱風時期船舶預警介面系統已完成各項功能，經過精度與資料可取得性評估後，選用中央氣象局所公告的預報風浪資料作為本介面的資料來源，如此一來可改善進有颱風期間有資料的問題，能在臺灣周邊海域提供全時段風浪預警功能。介面主要介接中央氣象局開放資料平台並即時提供 6 小時以上之預測結果，再依三種門檻進行警示區域範圍劃設，並具備連結現有船舶自動識別系統(AIS)的功能，列出應提出警示的船舶資訊供管理人員參考。

4. 工作團隊蒐集往昔 AIS 資料庫的紀錄檔，重新建立一套能提供後續船舶航安預測模型使用的資料庫。新的 MongoDB 資料庫在水平擴充、查詢效能與便利性上都較往昔的資料庫有更好的表現。目前除提供工作團隊進行快速統計分析，另經過一系列資料品管，將 MMSI 加入索引，也將船跡經緯度資料加入作空間索引，作為 AI 船跡預測模型建模所需的歷史軌跡資料庫之使用。

5. AIS 資料庫長期蒐集船隻回傳資料，經由有效整理彙整為軌跡資料庫後，可搭配 AI 技術建立深度學習路徑預測模型，可預測船舶未來可能動態，從而提前發出警告訊息達到預警效果。本研究先預處理資料集中的軌跡資料，並建立多種預測模型進行評估，最後使用最佳模型進行模型擴展延時分析，結果顯示擴展預測時間後的誤差也隨著增加。

6. 透過統計歷史軌跡資料庫中各項特性，將船舶異常情況分為兩大類，其中行為異常透過統計方法及船舶限制判定異常告警門檻，位置異常則引入 AI 船軌跡預測模型預測未來船軌跡位置，針對是否進入特定危險區域等狀況進行告警。船速異常的告警標準依照不同船種的統計分析結果來界定，異常漂流判定則經修正原始資料後的角度差進行統計分析，漂流告警的門檻值為 37.61 度。擱淺告警則需透過潮位模式推算平面潮位配合底床地形算出空間上各點絕對水深再配合船舶 AIS 資料中的吃水深進行告警判定。其中針對吃水

深的資料缺漏問題，本研究利用船長、船寬建立多變數回歸模型，其判定係數達 0.67，可在缺少吃水深資料的情況下進行計算。

8.2 建議

1.漁船屬於數量繁多且軌跡變動大較難預測的船種，未來若能有更完整的船種資料，AI 船跡預測模型可考慮分多模型建立來提升精度，但需考慮多組模型所增加的推算時間。

2.在依盒鬚圖離群值判別法得到漂流異常告警門檻值為 37.61 度，此結果稍小於謝等人(2020)研究報告提到的 45 度，但較 Makino(2012, 2013)及 Kose 等人(1998)文獻中提到的大許多，此統計分析結果未來若有 CFD 數模計算相關研究的成果可參酌修正此門檻值。

3.MongoDB 此類文檔式資料庫雖然目前主要提供工作團隊進行快速統計分析與作為 AI 模型建模所需的歷史軌跡資料庫之使用，但因應 AIS 此類大量數據，建議資料來源單位也能參考此類做法進行建置。

4.自動化颱風時期船舶預警介面系統中部分細節設定可視後續使用單位進行調整，例如預測波場的資料來源、底圖、波高門檻值及輸出格式及欄位篩選功能等。本研究所採用的 Web Map Server(WMS)亦能提供其他介面進行資料介接，未來若有更合適的圖台或介面，也可透過串接 WMS 提供的 api，呈現本研究的成果。

8.3 成果效益與應用情形

本研究建立的自動化波浪推算整合生成模組，可自動化運行整合模組，當颱風侵臺時可自動介接中央氣象局的颱風資訊，並快速計算周邊海域的波場，除了颱風時期的波浪預警外，亦可提供往昔颱風波浪的計算，可應用於海岸工程規劃設計階段的設計波推算。未來若能持續提供 WRF 加密計算的風場來源，亦可提升波浪推算精度。

自動化颱風時期船舶預警介面系統採用網頁介面進行建置，將運

算與設備資源集中在伺服器端，用戶端僅須透過一般電腦或隨身通訊設備即可以進行操作與瀏覽。可提供航港局或港務營運相關單位使用，能即時掌握船隻動態與海面上六小時以後的風浪情況，主要功能並能依據不同門檻畫定告警區域，輸出範圍內的船舶資料供管理單位作進一步處理。

AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統目前僅先以布袋港周邊為示範區進行建置，雖然無法立即提供布袋港以外的管理單位使用，但系統建置過程的經驗與 AI 技術應用的結合可提供相關研究人員與學術單位做參考。擱淺用的地形資料建議可洽船舶中心(SOIC)或國土測繪中心申請更精準的地形水深資料，以利提升擱淺告警之判定準確度。

參考文獻

1. 李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和、劉正琪、林炤圭、張憲國、王兆璋(2006)「近岸數值模擬系統之建立(III)」，交通部運輸研究所。
2. 林炤圭、劉正琪、邱永芳、蘇青和、陳明宗、李俊穎、林莉鳳(2009)「近岸海象數值模擬及預警系統之建立(4/4)-波浪部份」，交通部運輸研究所。
3. 劉正琪、李俊穎、陳明宗、蘇青和、邱永芳(2012)「TaiCOMS 颱風波浪模擬成果評估」，第 34 屆海洋工程研討會論文集，臺南，103-108 頁。
4. 江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝(2013)「臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(4/4)」，交通部運輸研究所。
5. 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」，港灣季刊，第 97 期，40-49 頁。
6. 邱永芳、蘇青和、李俊穎、李兆芳、劉正琪、陳冠宇(2014)「整合臺灣海岸及港灣海氣地象模擬技術之研究(3/4)」，交通部運輸研究所。
7. 蘇青和、李俊穎(2014)「2012 年港灣海氣象觀測資料年報 (波浪部份)」，交通部運輸研究所。
8. 江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝(2015)「臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(2/4)」，交通部運輸研究所。
9. 李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、涂力夫、謝佳紘(2015)「臺灣主要商港海象模擬技術之精進及系統維運」，交通部運輸研究所。
10. 張君名(2016) 「基隆外海不同點位波浪設計條件之探討」，第

38 屆海洋工程研討會論文集，臺北，17-22 頁。

11.蕭力榮(2017) 「臺灣本島與離島潮位分析及深度基準探討」，國立交通大學土木工程學系碩士論文。

12.陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝(2017)「臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(4/4)」，交通部運輸研究所。

13.陳蔚瑋、張憲國、劉勁成、朱志誠、賴彥廷(2018)「極值波浪推算模組化操作系統的研發」，第 40 屆海洋工程研討會，高雄。78-83 頁。

14.邱永芳、李兆芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、謝佳紘、江朕榮(2018)「港灣海象模擬技術及預警系統研發」，交通部運輸研究所。

15.蔡立宏、黃茂信、陳子健、簡靖承(2019)「船舶監控預警系統之研究」，交通部運輸研究所。

16.蔡立宏、蔣敏玲、廖慶堂、羅冠顯、衛紀淮、李政達、劉明鑫、林受勳(2019)「2018 年 12 港域海氣象觀測資料年報」，交通部運輸研究所。

17.交通部運輸研究所(2019)，「2020 年版運輸政策白皮書」，交通部運輸研究所。

18.謝明志、蘇青和、黃茂信、翁健二、潘郁仁(2020)「船舶航行安全大數據資料庫應用與分析」，交通部運輸研究所。

19.Balmat, J. F., Lafont, F., Maifret, R., Pessel, N. (2009). MAritime RISk Assessment (MARISA), a fuzzy approach to define an individual ship risk factor. Ocean engineering, 36(15-16), pp.1278-1286.

20.Balmat, J. F., Lafont, F., Maifret, R., Pessel, N. (2011). A decision-making system to maritime risk assessment. Ocean Engineering, 38(1), pp.171-176.

21. Bhogal, J., Choksi, I. (2015). Handling big data using NoSQL. In 2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, (pp. 393-398). IEEE.
22. Blanchard, B. W., Hsu, S. A. (2005) On the radial variation of the tangential wind speed outside the radius of maximum wind during hurricane Wilma, Louisiana: Coastal Studies Institue, Louisiana State University, pp.1-11.
23. Chen, P., Mou, J., van Gelder, P. H. A. J. M. (2017). Risk assessment methods for ship collision in estuarine waters using AIS and historical accident data. Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources.
24. Chen, X., Kamalasudhan, A., Zhang, X. (2019). An application of convolutional neural network to derive vessel movement patterns. In 2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS) (pp. 939-944). IEEE.
25. Chang, C. M., H. M. Fang, Y. W. Chen, and S. H. Chuang (2015). Discussion on the maximum storm radius equations when calculating typhoon waves, Journal of Marine Science and Technology, 23(5), pp.608-619.
26. Chavas, D. R., Lin, N., Dong, W. H., Lin, Y. L. (2016). Observed tropical cyclone size revisited, Journal of Climate, pp.2923-2939.
27. Chung, J., Kastner, K., Dinh, L., Goel, K., Courville, A. C., Bengio, Y. (2015). A recurrent latent variable model for sequential data. In Advances in neural information processing systems (pp. 2980-2988).
28. Gao, J., Luettich, R., Fleming J. (2013). Development and initial evaluation of generalized asymmetric tropical cyclone vortex model in ADCIRC, ADCIRC Users Group Meeting, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg.
29. Gao, M., Shi, G., Li, S. (2018). Online Prediction of Ship Behavior with Automatic Identification System Sensor Data Using

Bidirectional Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network. Sensors, 18(12), p.4211.

30. Graham, H. E., Nunn, D. E. (1959). Meteorological considerations pertinent to standard project hurricane, Atlantic and Gulf Coasts of the United States, National hurricane research project report No.74, Washington, D. C: U. S. Weather Bureau.

31. Guo, S., Zhang, X., Zheng, Y. (2020). An Autonomous Path Planning Model for Unmanned Ships Based on Deep Reinforcement Learning. Sensors, 20(2), p.426.

32. Harper, B.A., T.A. Hardy, L.B. Mason, L. Bode, I.R. Young, and P. Nielsen (2001). Queensland climate change and community vulnerability to tropical cyclones, ocean hazards assessment. Stage 1 report. Department of Natural Resources and Mines, Queensland, Brisbane, Australia, p.368.

33. Hecht, R., Jablonski, S. (2011). NoSQL evaluation: A use case oriented survey. In 2011 International Conference on Cloud and Service Computing (pp. 336-341). IEEE.

34. Holland, G. J. (1980). An analytical model of the wind and pressure profiles in hurricanes, Monthly Weather Review, 108, pp.1212-1218.

35. Holthuijsen, L.H, N. Booij and T.H.C. Herbers, (1989). A Prediction Model for Stationary, Short-crested Waves in Shallow Water with Ambient Currents. Coastal Engineering, 13, pp.23-54.

36. Hu, Y., Park, G. K., Pham, T. Q. M. (2019). A solving algorithm of navigational collision risk through data analysis of fishing vessel activities. Journal of Data, Information and Management, pp.1-13.

37. Jelesnianski, C. P. (1966) Numerical computations of storm surges without bottom stress, Monthly Weather Review, 94(6), pp.379-394.

38. Jelesnianski, C. P. (1992). SLOSH: Sea, lake, and overland surges from hurricanes (Vol. 48). US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service.

39.Jeon, H. K., Yang, C. S. (2019). Designing Algorithms to Assess Collision Risk in Coastal Waters. In OCEANS 2019-Marseille (pp. 1-4). IEEE.

40.Johansson, F., Falkman, G. (2007). Detection of vessel anomalies-a bayesian network approach. In 2007 3rd International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information (pp. 395-400). IEEE.

41.Jose, F., & Stone, G. W. (2006). Forecast of nearshore wave parameters using MIKE-21 Spectral wave model.

42.Kao, S. L., Lee, K. T., Chang, K. Y., Ko, M. D. (2007). A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service. The Journal of Navigation, 60(1), pp.17-31.

43.Knaff, J. A., Sampson, C.R., DeMaria, M., Marchok, T.P., Gross, J.M., McAdie, C.J. (2007). Statistical tropical cyclone wind radii prediction using climatology and persistence. Weather Forecast, 22, 4, pp.781-791.

44.Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann, and P. A. E. M. Janssen, 1994: Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge University Press, p.532.

45.Kose, K., Takase, S., Iijima, Y. D. (1998). Simulation studies on current effects in Kurushima Strait, The Journal of Japan Institute of Navigation, 99, pp.247-254.

46.Laxhammar, R. (2008). Anomaly detection for sea surveillance. In 2008 11th international conference on information fusion (pp. 1-8). IEEE.

47.Leonard-Williams, A., & Saulter, A. (2013). Comparing EVA results from analysis of 12 years of WAVEWATCH III and 50 years of NORA10 data. Met Office Forecasting Research Technical Report, p.574.

48.Loridan T., Crompton, R. P. and E. Dubossarsky (2017). Machine Learning Approach to Modeling Tropical Cyclone Wind Field Uncertainty, Monthly Weather Review, 145, pp.3587-3605.

49.Makino, H. (2012). Analysis of ship refuge action in tsunami using AIS data: case of the 2011 East Japan earthquake and tsunami, Journal of shipping and Ocean Eng., 2, pp.380-385.

50.Makino, H. (2013). Verification of the time tsunami attacked coasting ships using AIS—case of the 2011 East Japan tsunami, Journal of earth science and. Engineering, 2, pp.125-129.

51.Mao, S., Tu, E., Zhang, G., Rachmawati, L., Rajabally, E., Huang, G. B. (2018). An automatic identification system (AIS) database for maritime trajectory prediction and data mining. In Proceedings of ELM-2016 (pp. 241-257). Springer, Cham.

52.Martineau, E., Roy, J. (2011). Maritime anomaly detection: Domain introduction and review of selected literature (No. DRDC-VALCARTIER-TM-2010-460). DEFENCE RESEARCH AND DEVELOPMENT CANADA VALCARTIER (QUEBEC).

53.McConochie, J. D., T. A. Hardy and L. B. Mason (2004). Modelling tropical cyclone over-water wind and pressure fields. Ocean Engineering, 31, pp.1757-1782.

54.Meijers, M., van Oosterom, P., Quak, W. (2016). Management of AIS messages in a Geo-DBMS. Technical report, Delft University of Technology.

55.Merrick, J., Dorp, J., Mazzuchi, T., Harrald, J., Spahn, J., Grabowski, M. (2002). The Prince William Sound Risk Assessment. INFORMS Journal on Applied Analytics, 32(6), pp.25-40.

56.Merrick, J. R., Van Dorp, J. R., Dinesh, V. (2005). Assessing uncertainty in simulation-based maritime risk assessment. Risk Analysis: An International Journal, 25(3), pp.731-743.

57.Merrick, J., Dorp, J. (2006). Speaking the Truth in Maritime Risk Assessment, Risk Analysis, 26(1), DOI: 10.1111/j.1539-6924.2006.00708.x

58.Moeini, M. H., Etemad-Shahidi, A., & Chegini, V. (2010). Wave modeling and extreme value analysis off the northern coast of the Persian Gulf. Applied Ocean Research, 32(2), pp.209-218.

59. Mohamed, M. A., Altrafi, O. G., Ismail, M. O. (2014). Relational vs. nosql databases: A survey. International Journal of Computer and Information Technology, 3(03), pp. 598-601.

60. Nederhoff, K., A. Giardino,M. Ormondt, and D.Vatvani, Estimates of tropical cyclone geometry parameters based on best-track data, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 19, pp.2359–2370 (2019).

61. Nguyen, D., Vadaine, R., Hajduch, G., Garello, R., Fablet, R. (2018). A multi-task deep learning architecture for maritime surveillance using ais data streams. In 2018 IEEE 5th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA) (pp. 331-340). IEEE.

62. Nguyen, M., Zhang, S., Wang, X. (2018). A Novel Method for Risk Assessment and Simulation of Collision Avoidance for Vessels based on AIS. Algorithms, 11(12), p.204.

63. Ou, S.-H., T.-W. Hsu, S.-Y. Tzang, C.-C. Fang and J.-M. Liau, (1999). The study of typhoon waves in Taiwan area by swan model. Proceedings of the 21th Ocean Engineering Conference in Taiwan, pp.87-95.

64. Pan, Y., Chen, Y. P., Li, J. X., & Ding, X. L. (2016). Improvement of wind field hindcasts for tropical cyclones. Water Science and Engineering, 9(1), pp. 58-66.

65. Rankine, W. J. M. (1882). A manual of applied physics, 10th ed. Charles Griff and Co., p.663.

66. Riehl, H. (1963). Some relations between wind and thermal structure of steady state hurricanes. J. Atmos. Sci., 20, pp.276-287.

67. Ristic, B., La Scala, B., Morelande, M., Gordon, N. (2008). Statistical analysis of motion patterns in AIS data: Anomaly detection and motion prediction. In 2008 11th.

68. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, and Dudhia, J. (2001). Prototype for the WRF (Weather Research and Forecasting) model. Preprints, Ninth Conf. on Mesoscale Processes, Fort Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc., J11-J15.

69.Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and Powers, J. G. (2005). A description of the Advanced Research WRF version 2. NCAR/TN-468_STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, p.88.

70.Skamarock, W. C. (2008). A description of the advanced research WRF version 3. NCAR Tech Note NCAR/TN-4751STR, p.125.

71.Silva, R., G. Georges, S. Paulo, B. Gustavo , Gabriel, B. G. D. (2002). Oceanographic vulnerability to hurricanes on the Mexican coast. Proceedings of 28th Conference on Coastal Engineering, pp.39-51.

72.Sobey, R.J., Harper, B.A., Stark, K.P., (1977). Numerical simulation of tropical cyclone storm surge along the Queensland Coast, Research Bulletin CS14. Department of Civil and Systems Engineer, James Cook University.

73.Takagi, H., Wu, W.J. (2016). Maximum wind radius estimated by the 50 kt radius: improvement of storm surge forecasting over the western North Pacific, Natural Hazards and Earth System Sciences, 16, pp.705-717.

74.Tang, H., Yin, Y., Shen, H. (2019). A model for vessel trajectory prediction based on long short-term memory neural network. Journal of Marine Engineering & Technology, pp.1-10.

75.Tolman, H. L. (1997). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA/NWS/NCEP/OMB Tech. Note 151, p.97.

76.Tolman, H. L. (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA/NWS/NCEP/OMB Tech. Note 166, p.110.

77.Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Tech. Note 276, p.194 1 appendixes

78.Tu, E., Zhang, G., Mao, S., Rachmawati, L., Huang, G. B. (2020). Modeling Historical AIS Data For Vessel Path Prediction: A

Comprehensive Treatment. arXiv preprint arXiv:2001.01592.

79. Organization for Economic Co-operation and Development (2016). Shipping intelligence weekly, CLarksons research.

80. Owens, R G, Hewson, T D (2018). ECMWF Forecast User Guide. Reading: ECMWF. doi: 10.21957/m1cs7h

81. Wang, G. C. Y. (1978). Sea-level pressure profile and gusts within a typhoon circulation. Monthly Weather Review, 106, pp.954-960.

82. Wang, J., Sii, H. S., Yang, J. B., Pillay, A., Yu, D., Liu, J., Maistralis, E., Saajedi, A. (2004). Use of advances in technology for maritime risk assessment. Risk Analysis: An International Journal, 24(4), pp.1041-1063.

83. Willoughby, H. E., Rahn, M. E. (2004). Parametric representation of the primary hurricane vortex. Part I: observations and evaluation of the Holland (1980) model, Monthly Weather Review, 132, pp.3033-3048.

84. Wurman, J., and S. Gill (2000). Finescale radar observations of the Dimmitt, Texas (2 June 1995), tornado. Monthly weather review, 128(7), pp.2135-2164.

85. Wurman, J. (2002). The multiple-vortex structure of a tornado. Weather and forecasting, 17(3), pp.473-505.

86. Xiao, F., Ligteringen, H., Van Gulijk, C., Ale, B. (2015). Comparison study on AIS data of ship traffic behavior. Ocean Engineering, 95, pp.84-93.

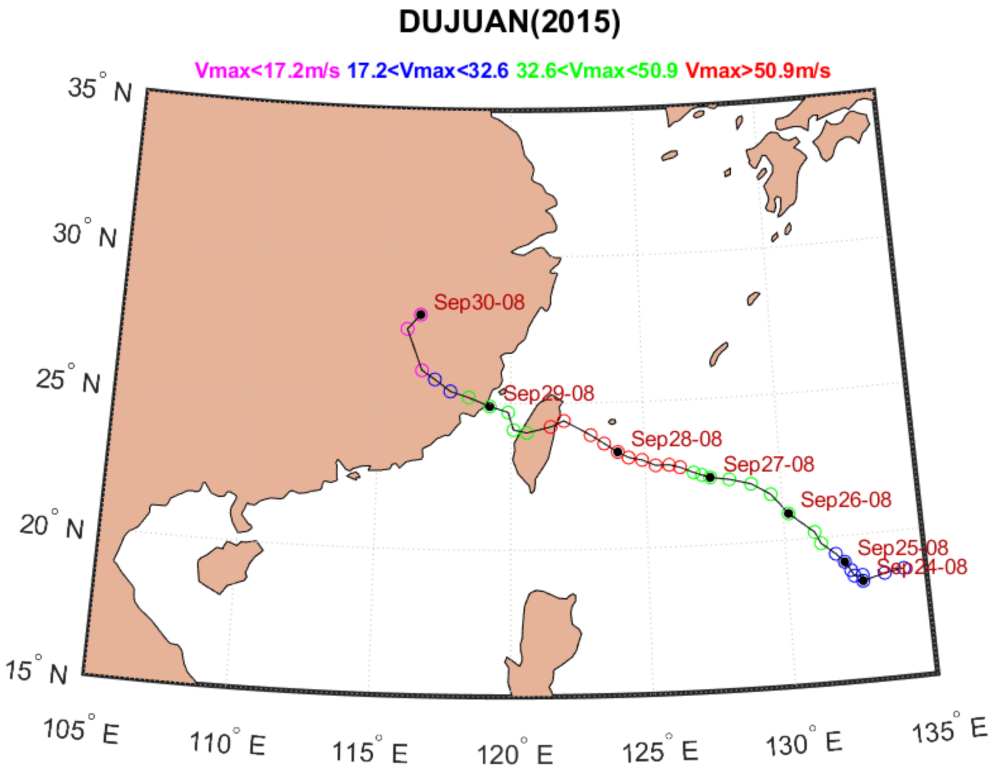
87. Young, I.R. (1999). Wind Generated Ocean Waves, in Elsevier Ocean Engineering Book Series, Volume 2, Eds. R. Bhattacharyya and M.E. McCormick, Elsevier.

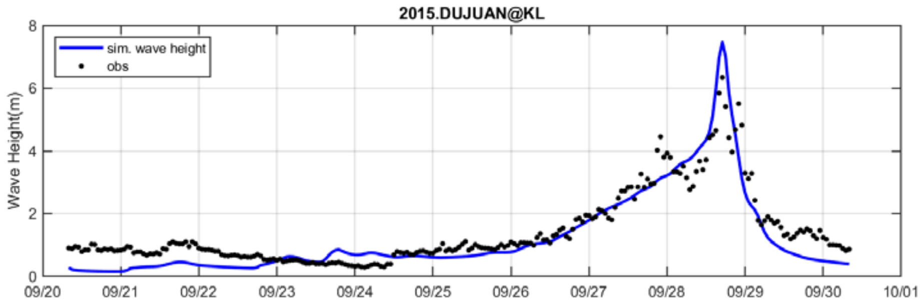
88. Zhang, J., Teixeira, Â. P., Guedes Soares, C., Yan, X., Liu, K. (2016). Maritime transportation risk assessment of Tianjin Port with Bayesian belief networks. Risk analysis, 36(6), pp.1171-1187.

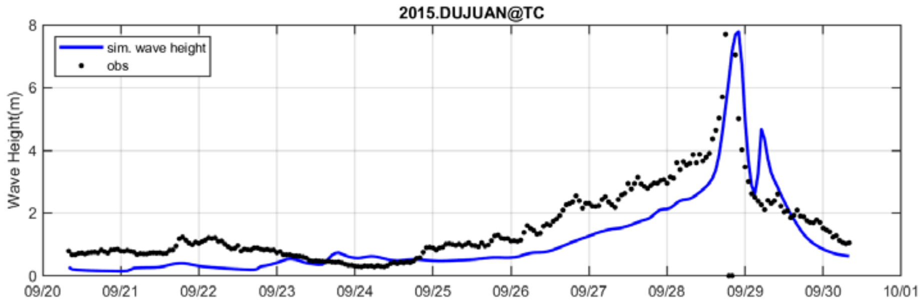
附錄一

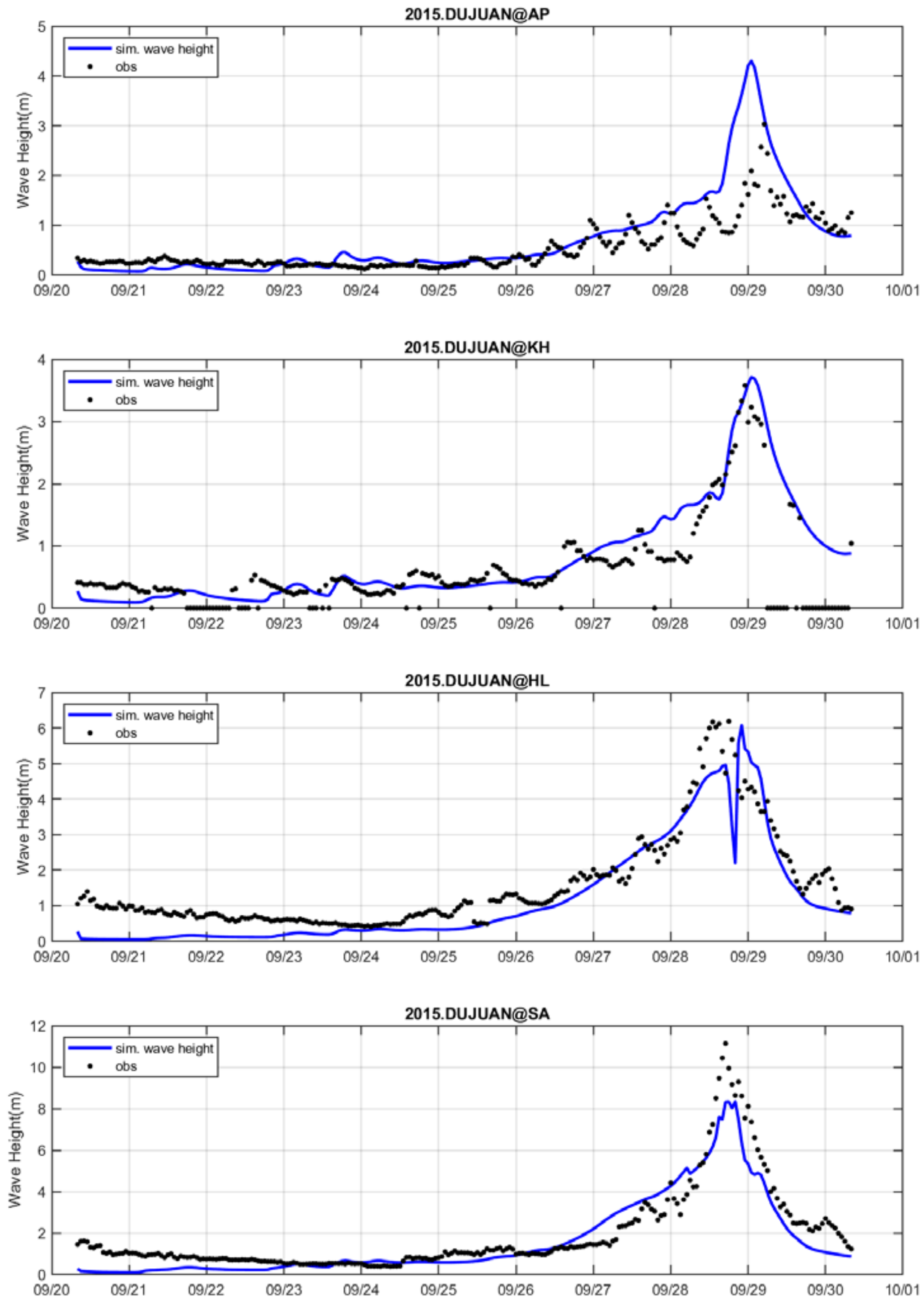
各港颱風波浪推算結果比較

附錄一 各港颱風波浪推算結果比較

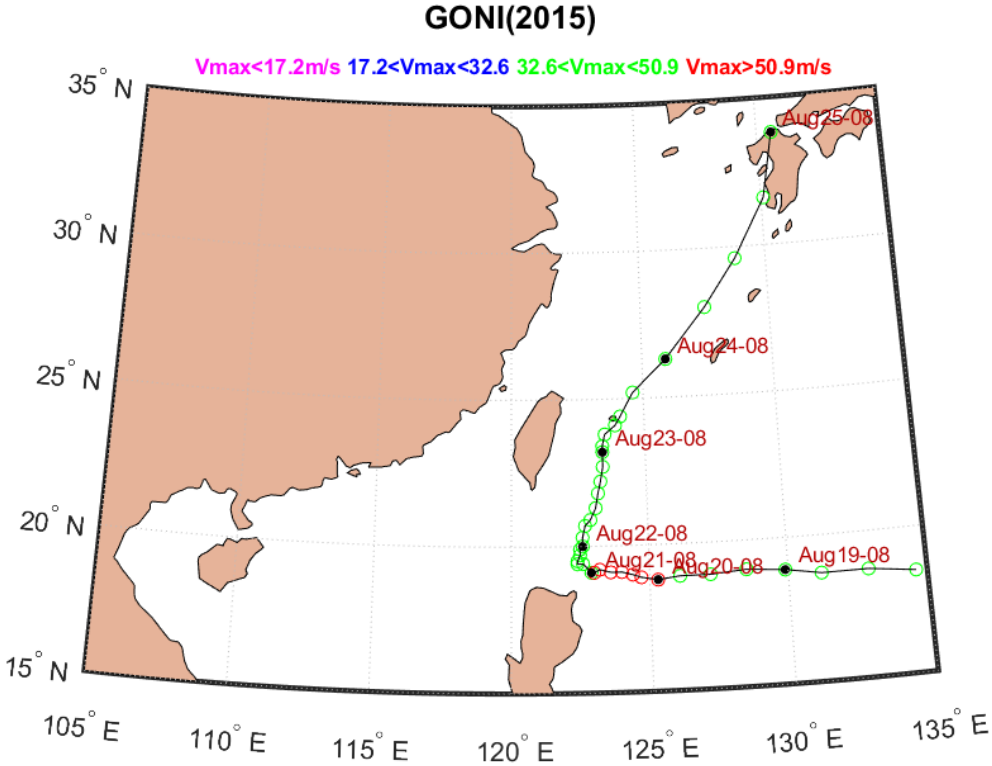




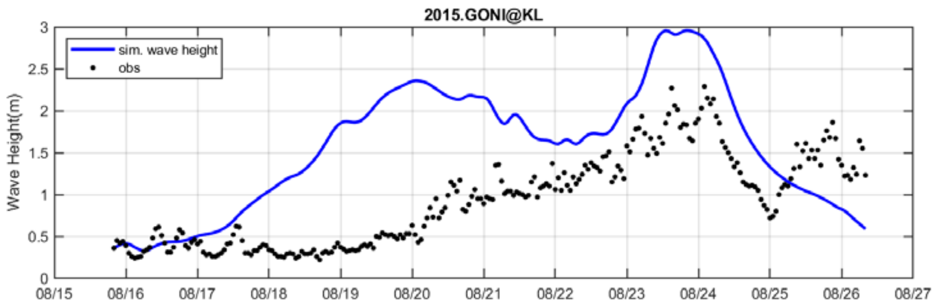




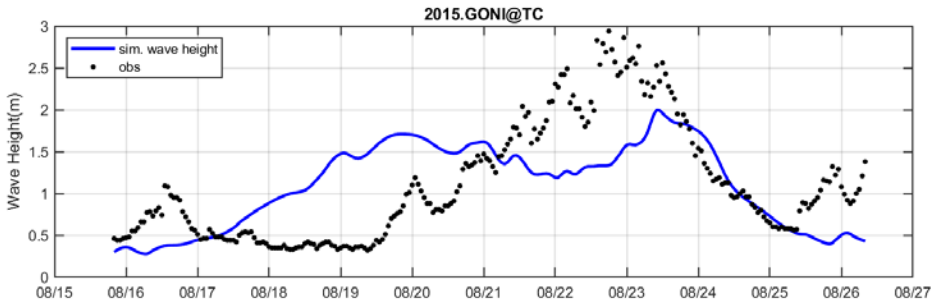
附圖 1 DUJUAN(2015)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較



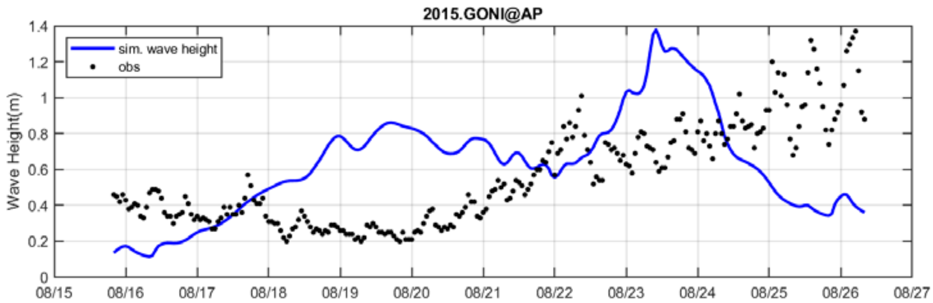
GONI(2015)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Aug25-08
Aug24-08
Aug23-08
Aug22-08
Aug21-08
Aug20-08
Aug19-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E



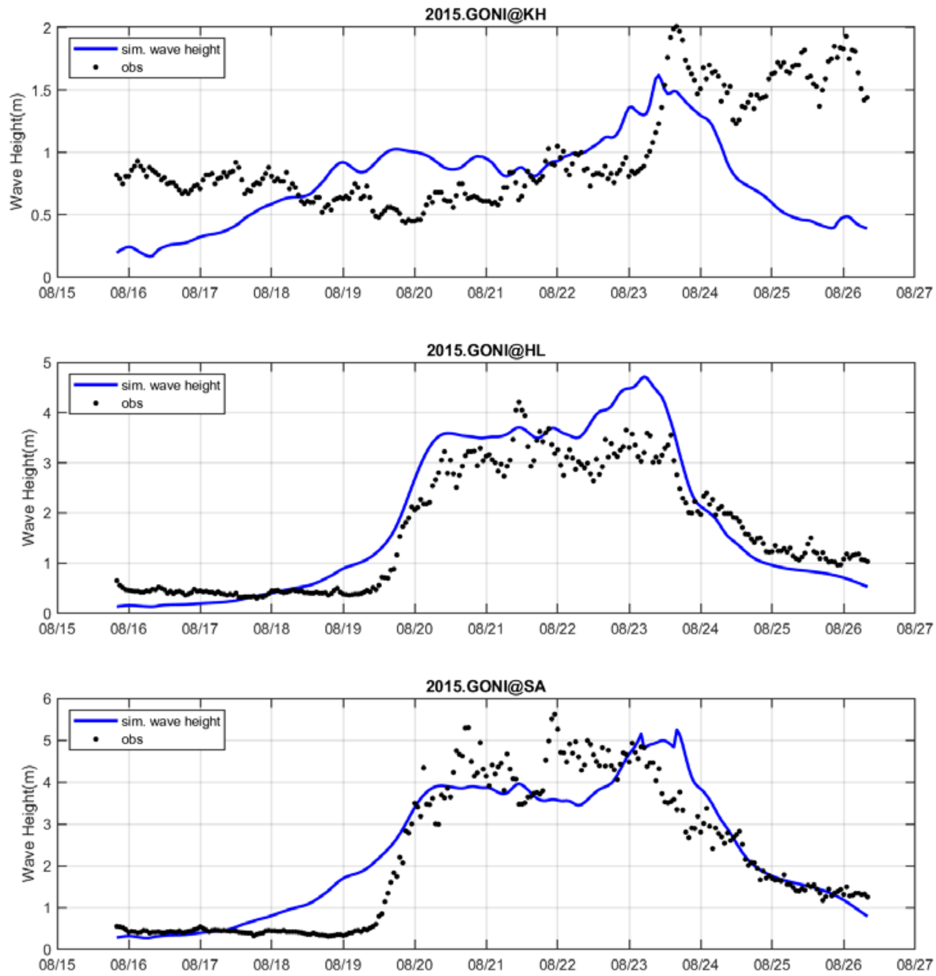
2015.GONI@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/15
08/16
08/17
08/18
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25
08/26
08/27



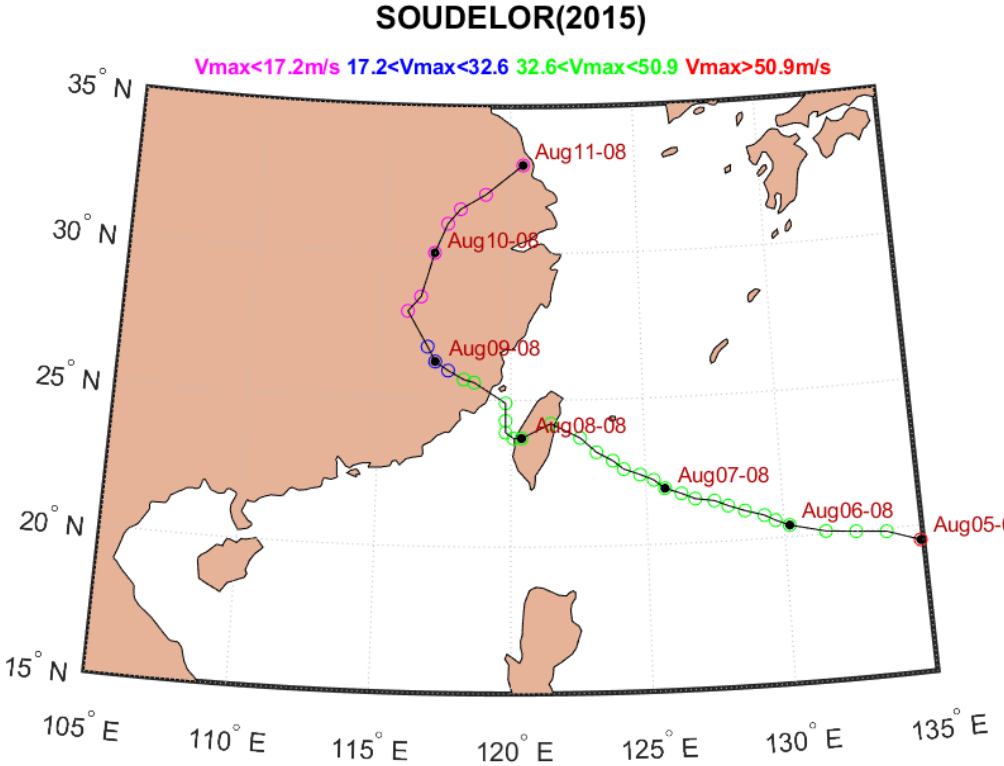
2015.GONI@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/15
08/16
08/17
08/18
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25
08/26
08/27

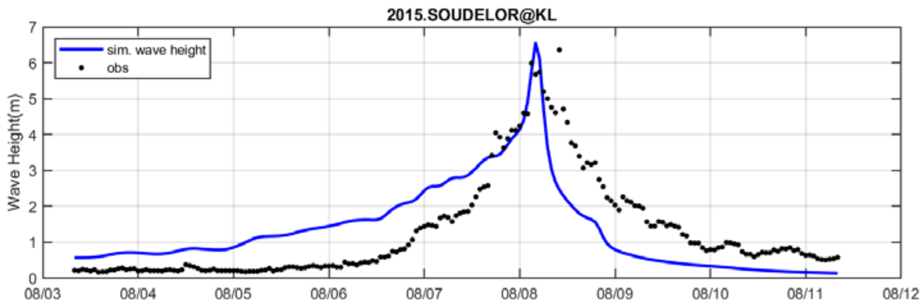


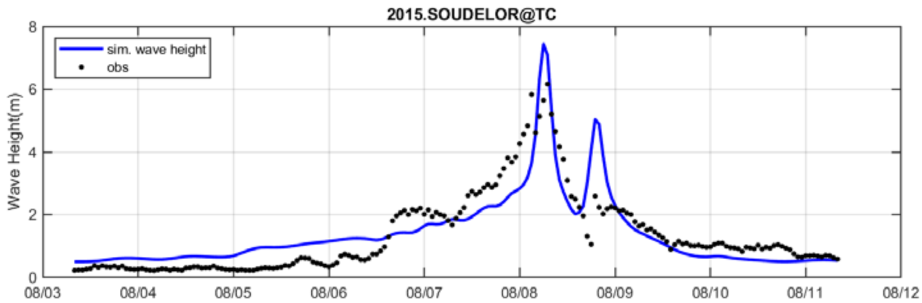
2015.GONI@AP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/15
08/16
08/17
08/18
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25
08/26
08/27

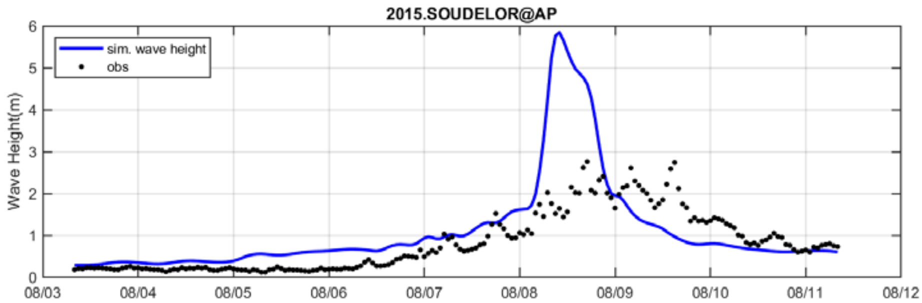


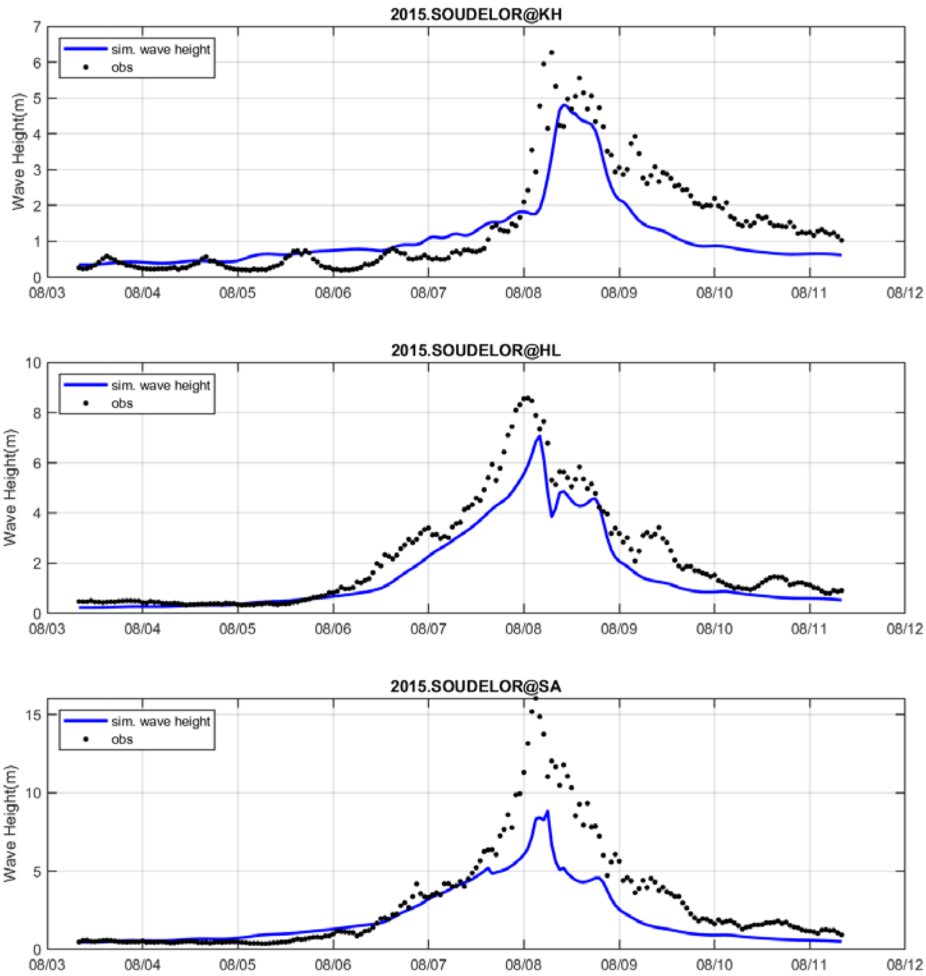
附圖 2 GONI(2015)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


SOUDELOR(2015)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Aug11-08
Aug10-08
Aug09-08
Aug08-08
Aug07-08
Aug06-08
Aug05-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E

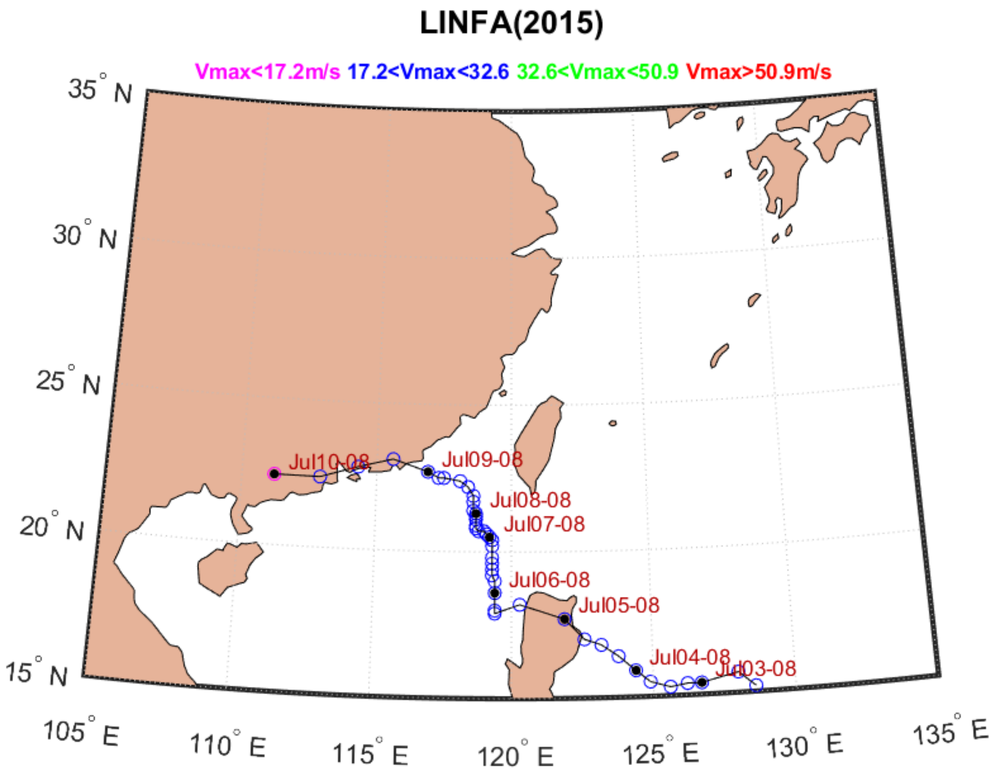

2015.SOUDELOR@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/03
08/04
08/05
08/06
08/07
08/08
08/09
08/10
08/11
08/12

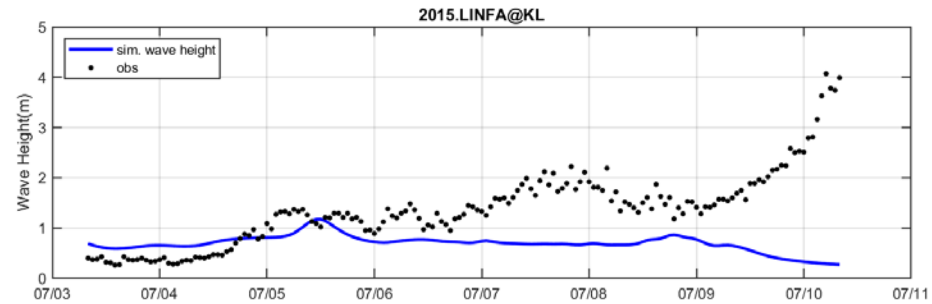

2015.SOUDELOR@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/03
08/04
08/05
08/06
08/07
08/08
08/09
08/10
08/11
08/12

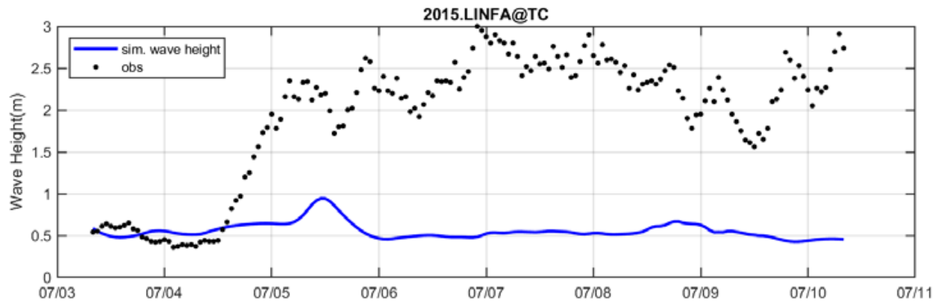

2015.SOUDELOR@AP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/03
08/04
08/05
08/06
08/07
08/08
08/09
08/10
08/11
08/12

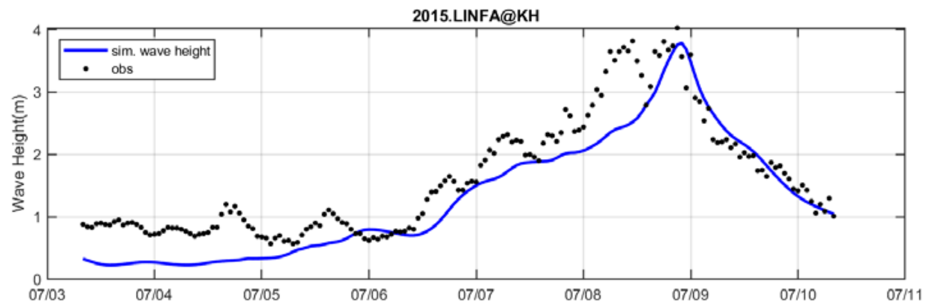


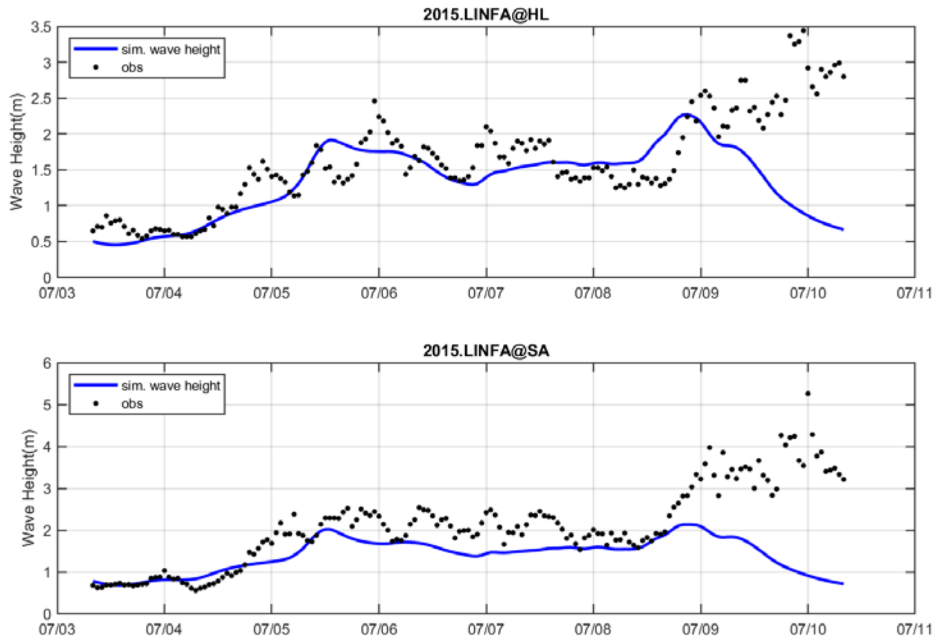
附圖 3 SOUDELOR(2015)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


LINFA(2015)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Jul10-08
Jul09-08
Jul08-08
Jul07-08
Jul06-08
Jul05-08
Jul04-08
Jul03-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E

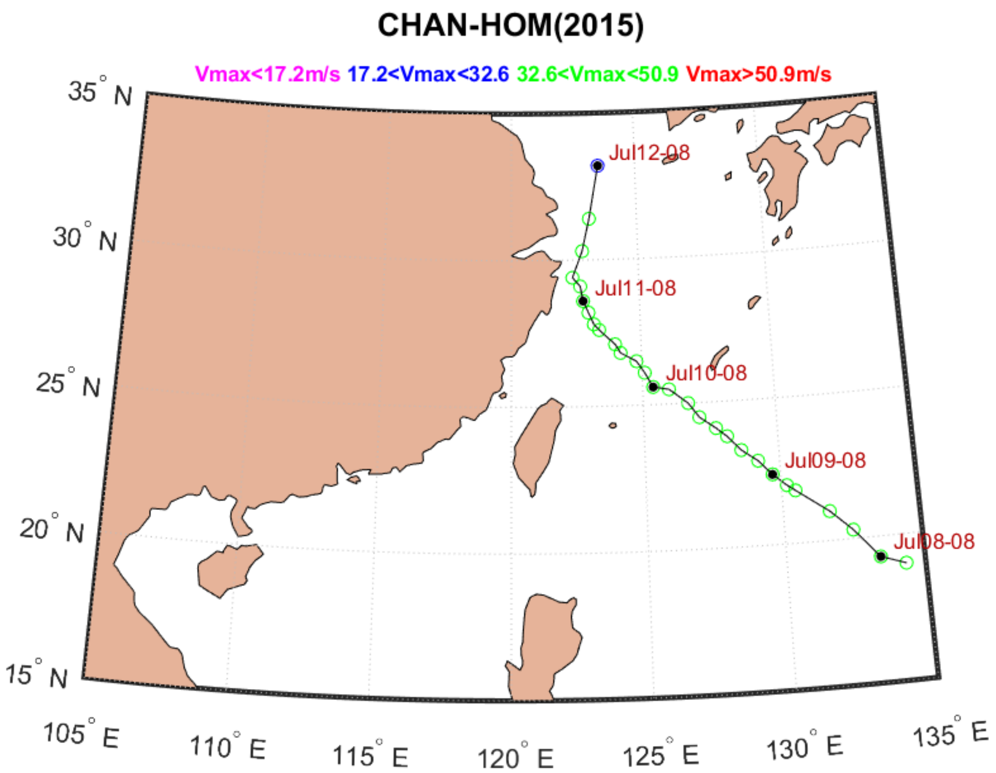

2015.LINFA@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11

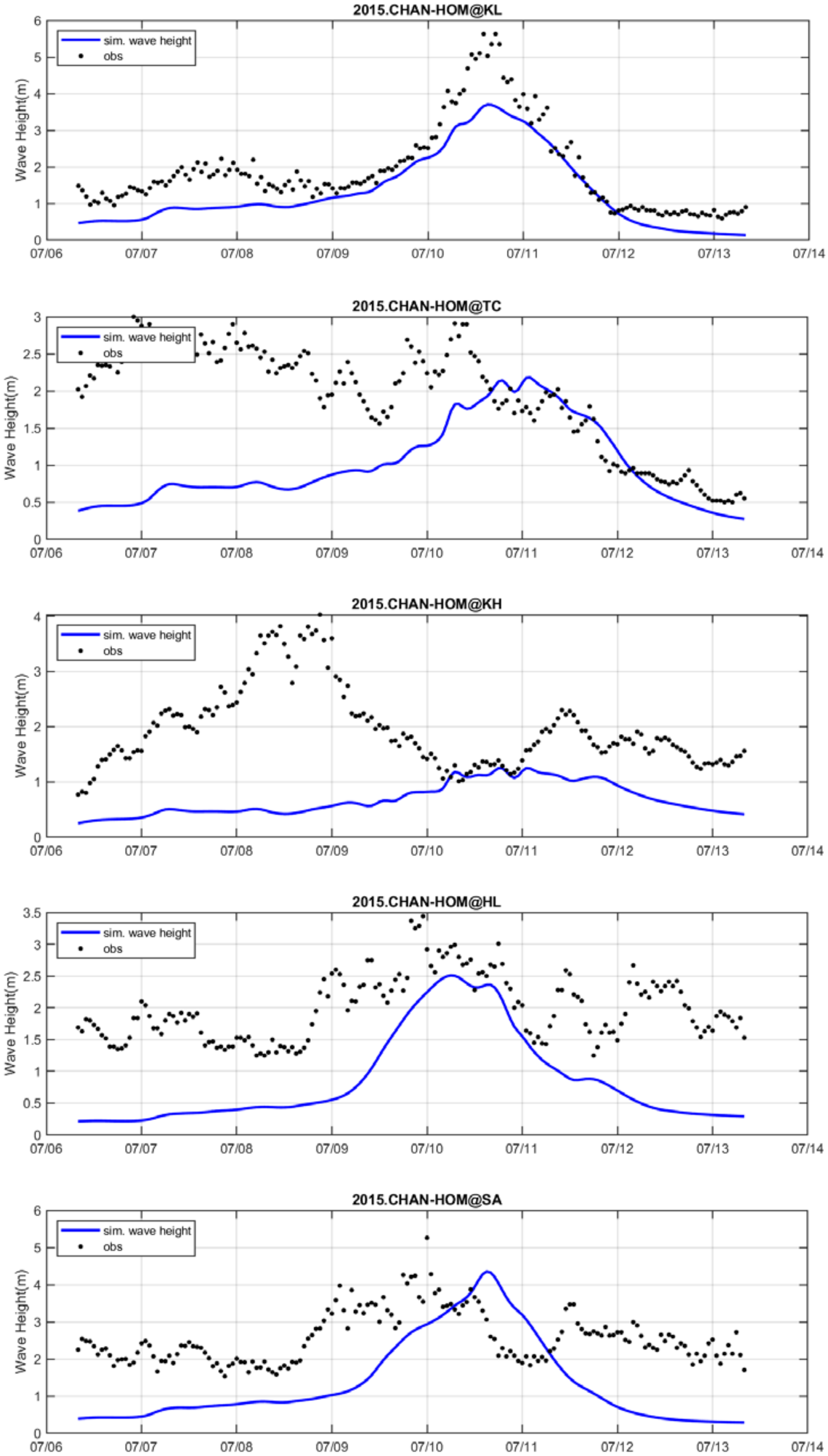

2015.LINFA@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11


2015.LINFA@KH
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11

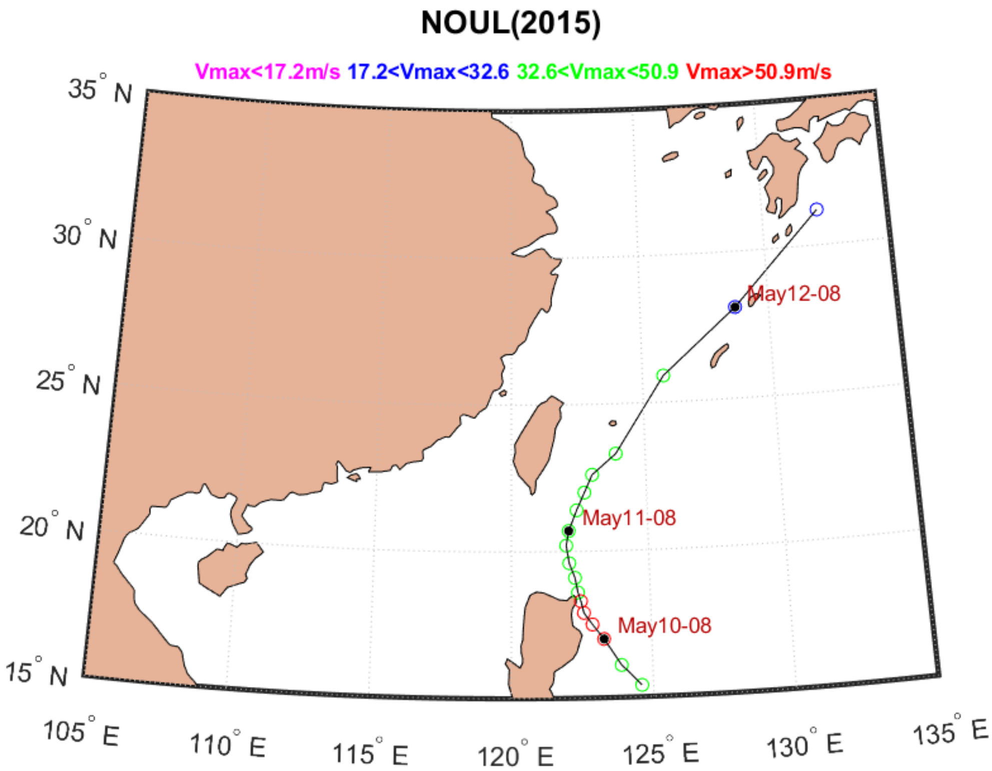


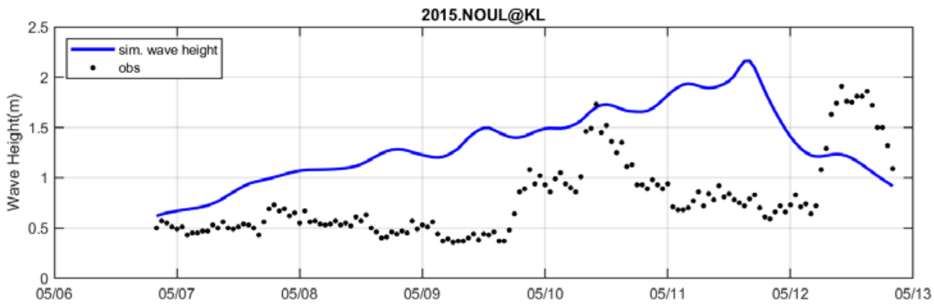
附圖 4 LINFA(2015)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

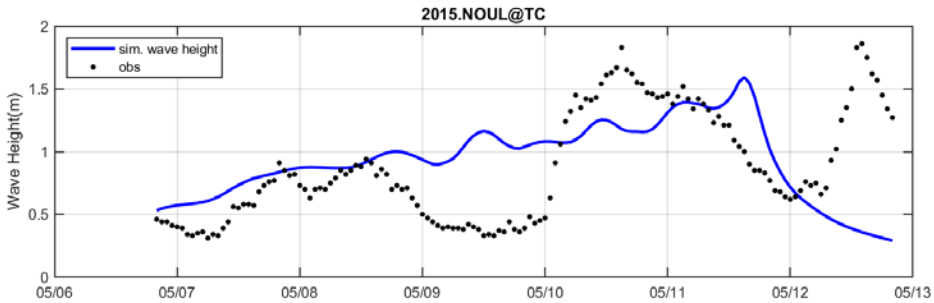


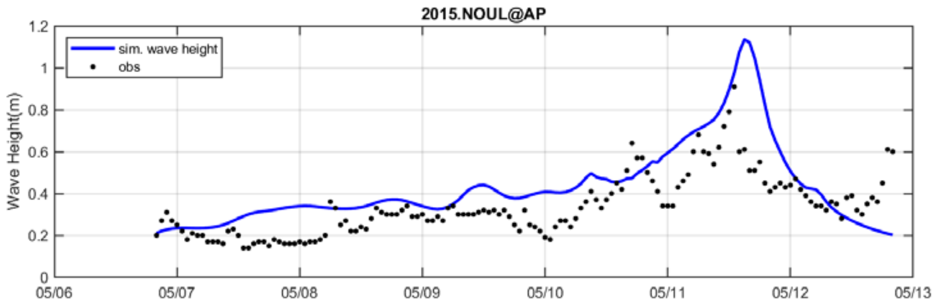


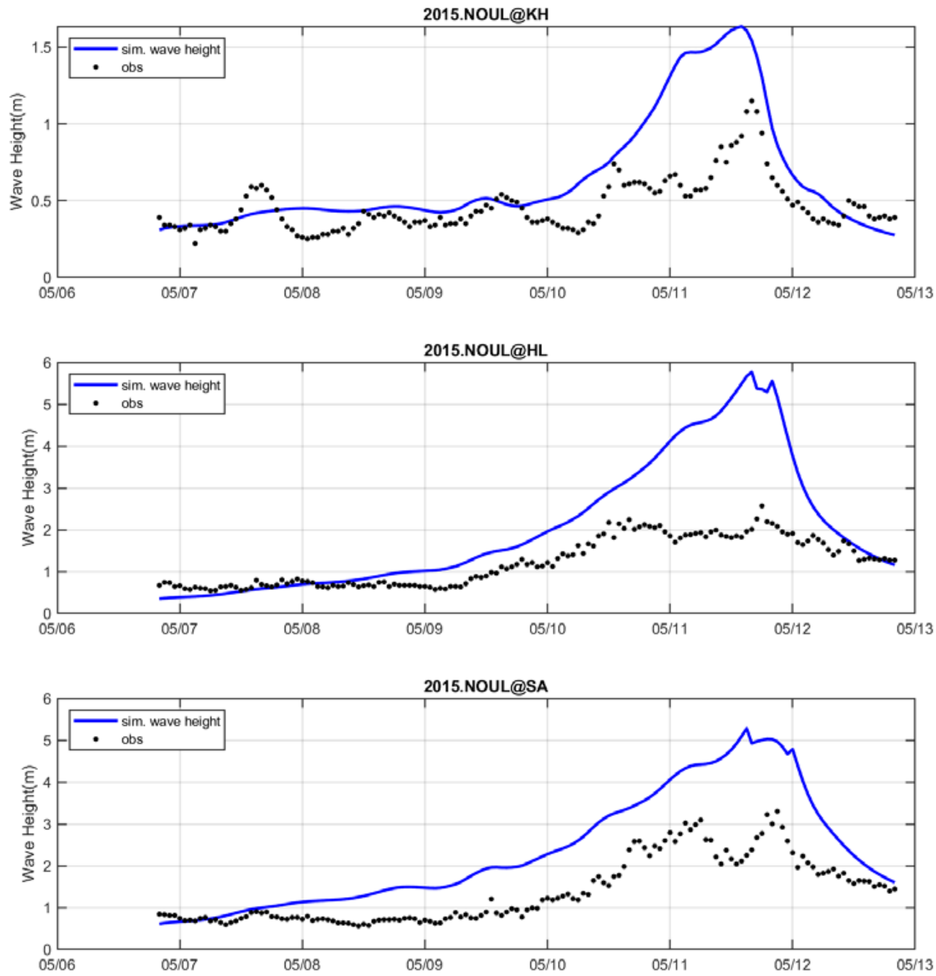
附圖 5 CHAN_HOM(2015)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


NOUL(2015)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
May12-08
May11-08
May10-08

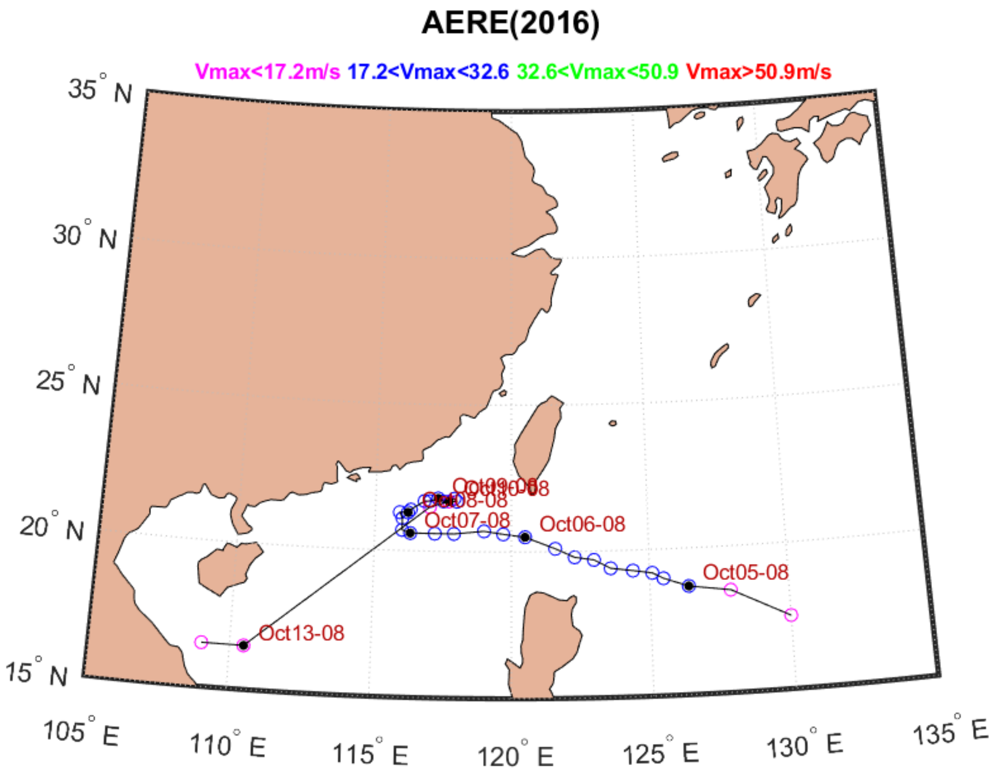

2015.NOUL@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)


2015.NOUL@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)

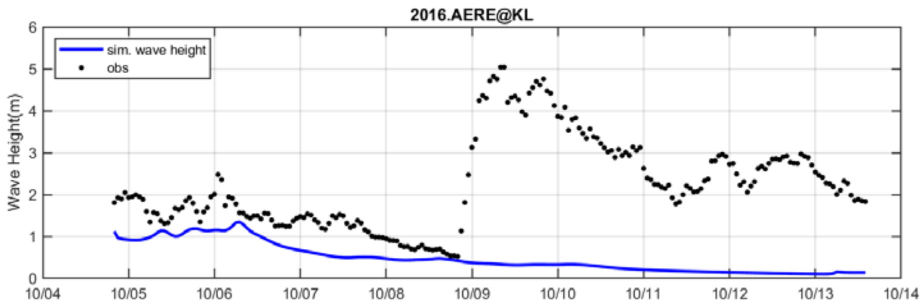

2015.NOUL@AP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)



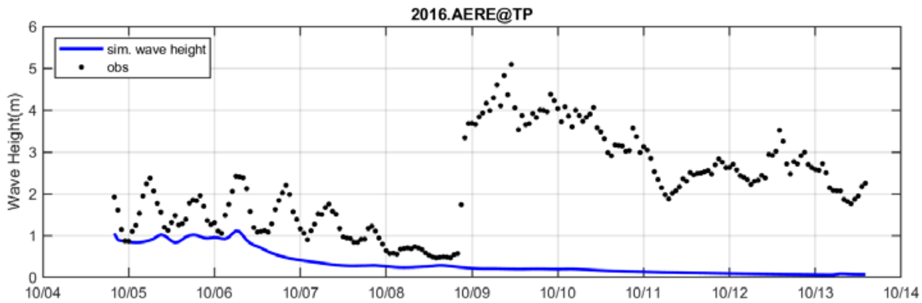
附圖 6 NOUL(2015)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較



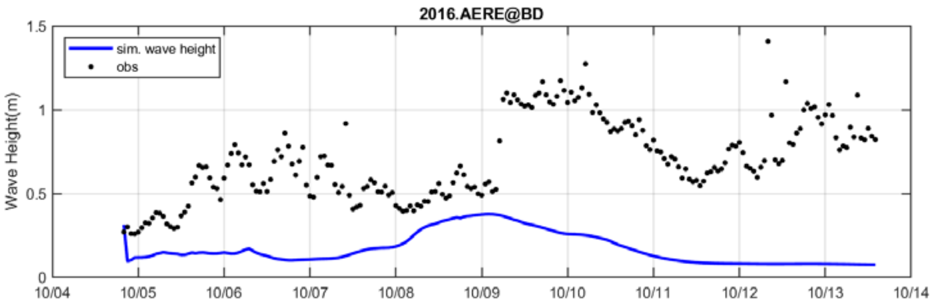
AERE(2016)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Oct05-08
Oct06-08
Oct07-08
Oct13-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E



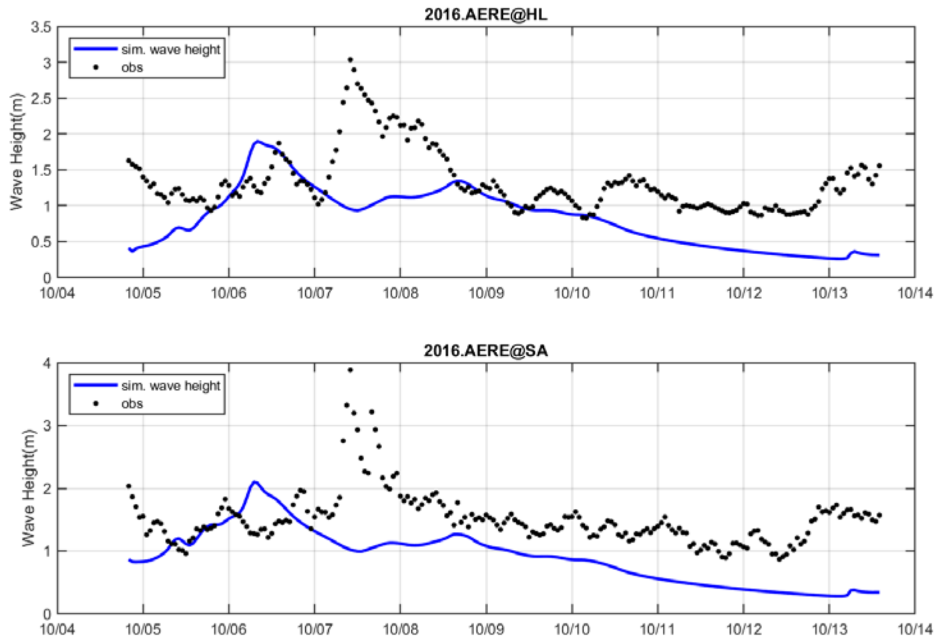
2016.AERE@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
10/04
10/05
10/06
10/07
10/08
10/09
10/10
10/11
10/12
10/13
10/14



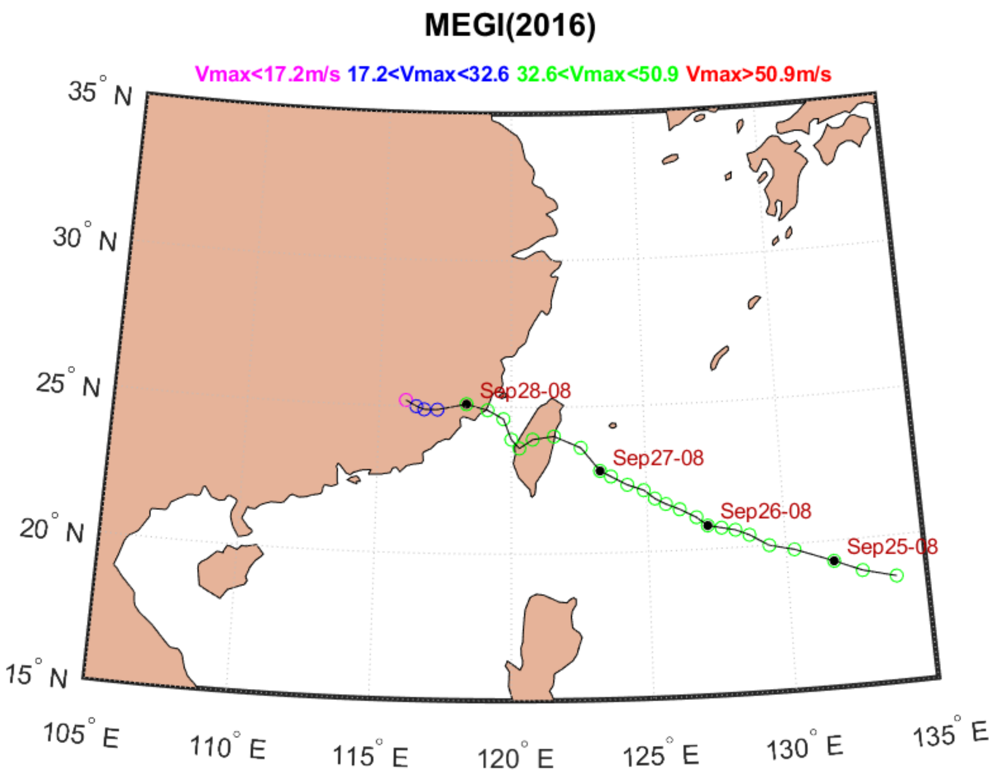
2016.AERE@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
10/04
10/05
10/06
10/07
10/08
10/09
10/10
10/11
10/12
10/13
10/14

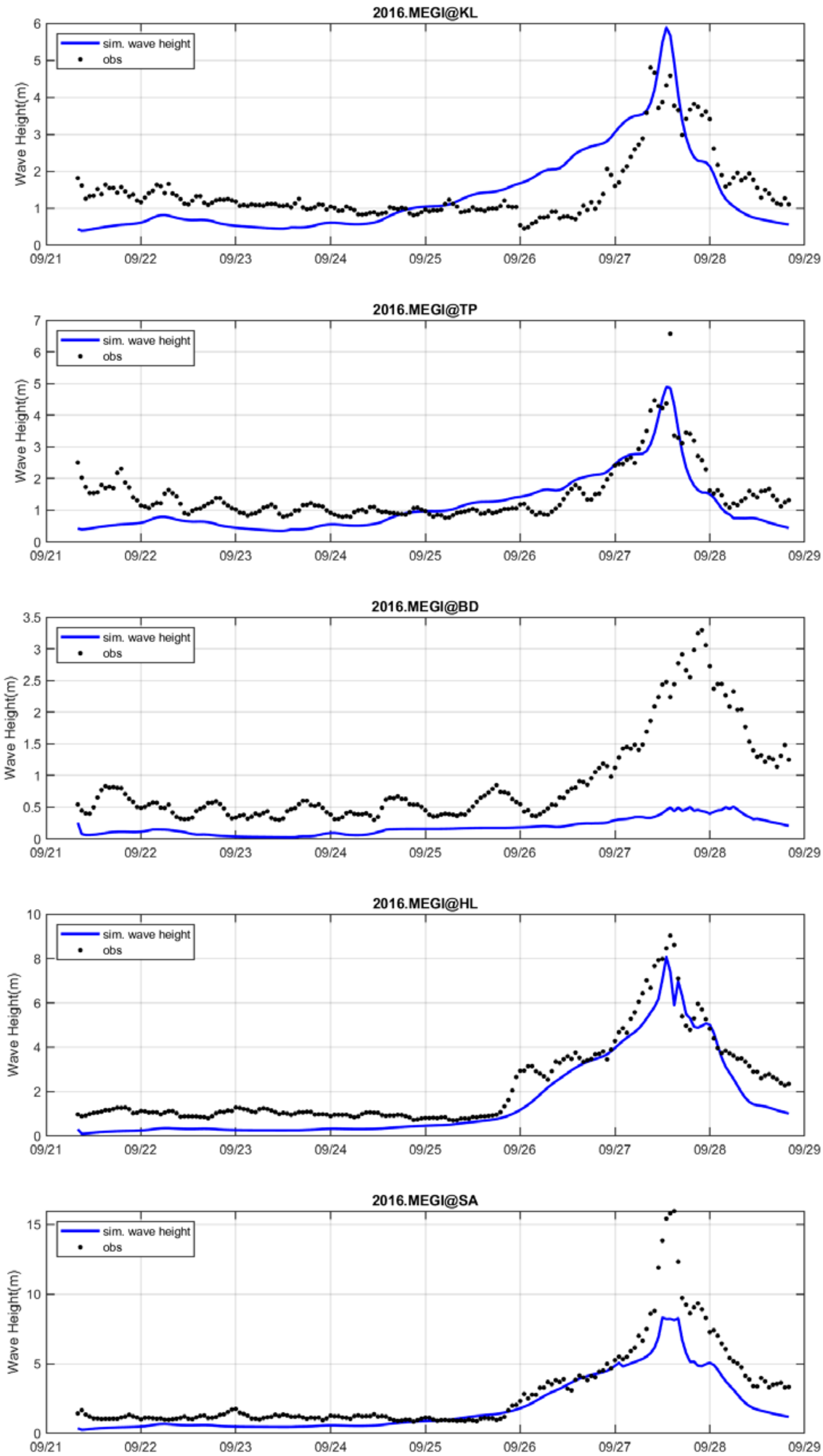


2016.AERE@BD
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
10/04
10/05
10/06
10/07
10/08
10/09
10/10
10/11
10/12
10/13
10/14

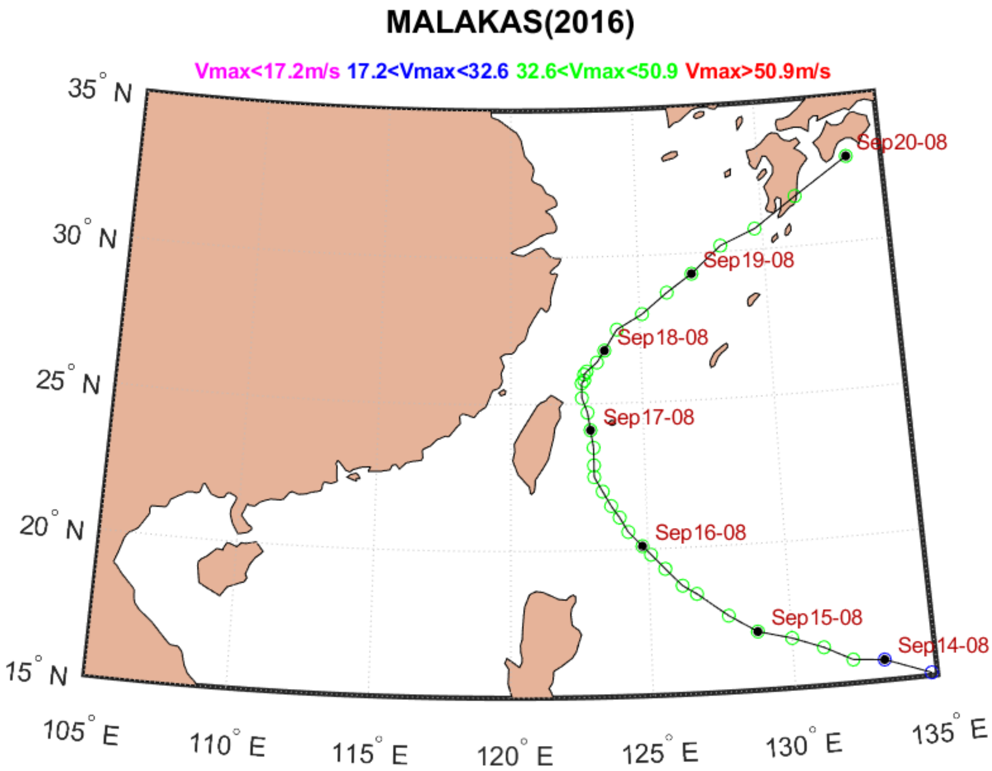


附圖 7 AERE(2016)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較



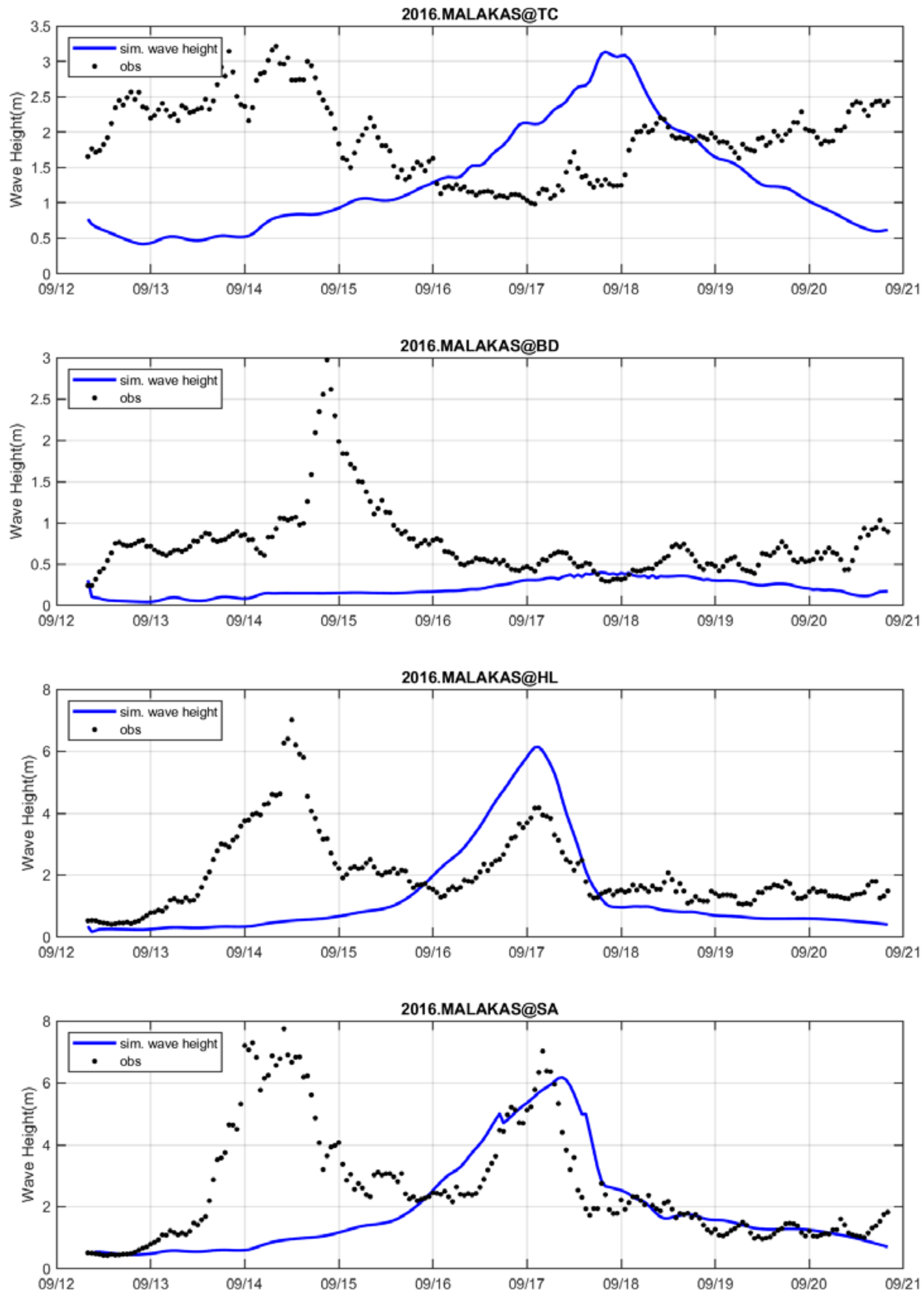


附圖 8 MEGI(2016)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

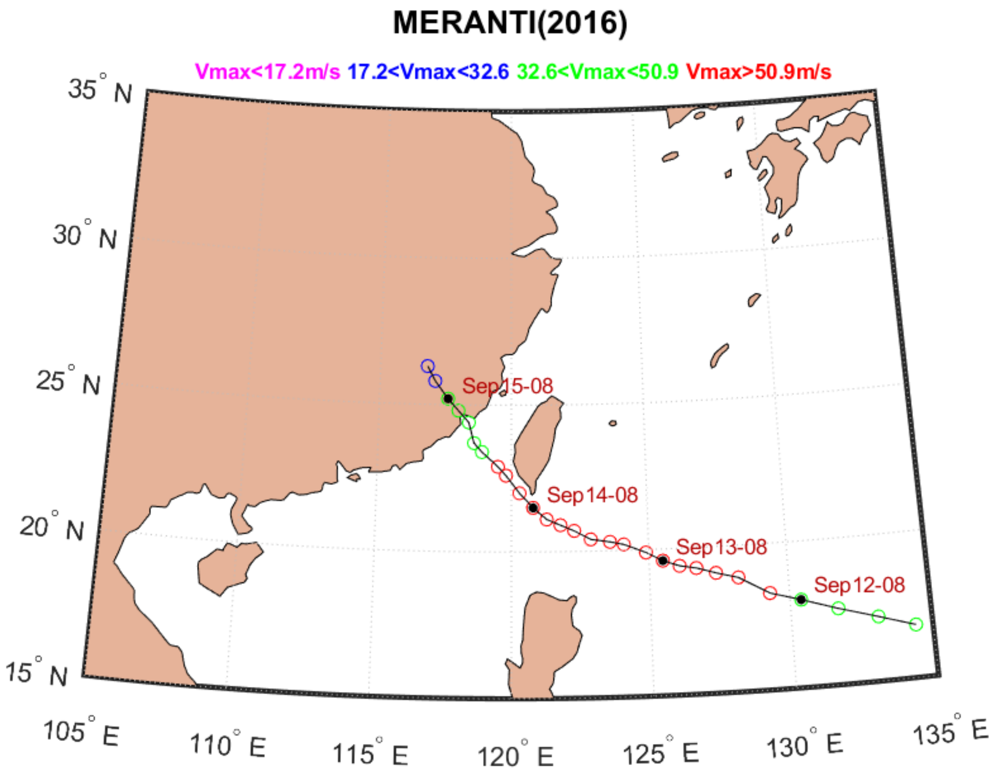

MALAKAS(2016)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Sep20-08
Sep19-08
Sep18-08
Sep17-08
Sep16-08
Sep15-08
Sep14-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E

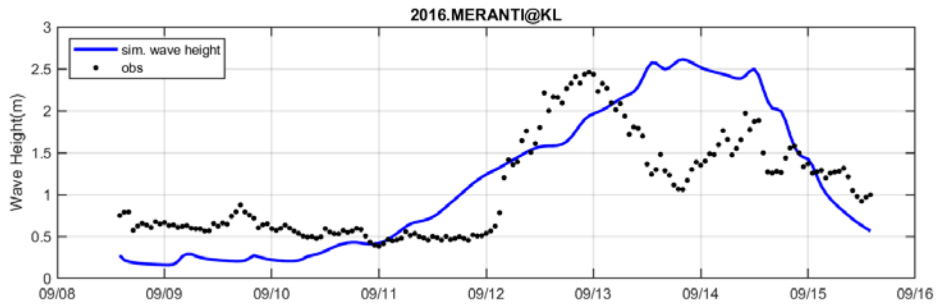

2016.MALAKAS@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16
09/17
09/18
09/19
09/20
09/21

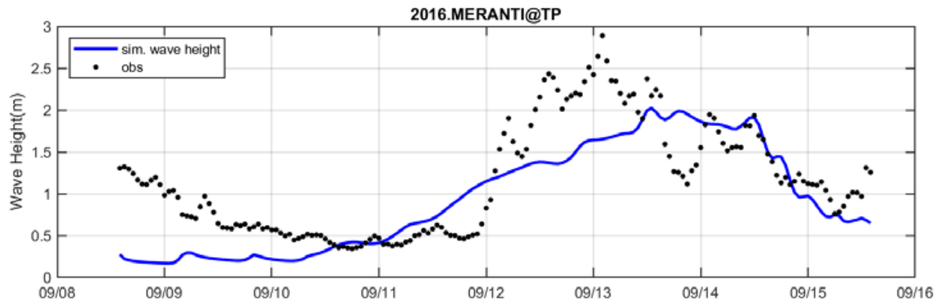

2016.MALAKAS@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16
09/17
09/18
09/19
09/20
09/21

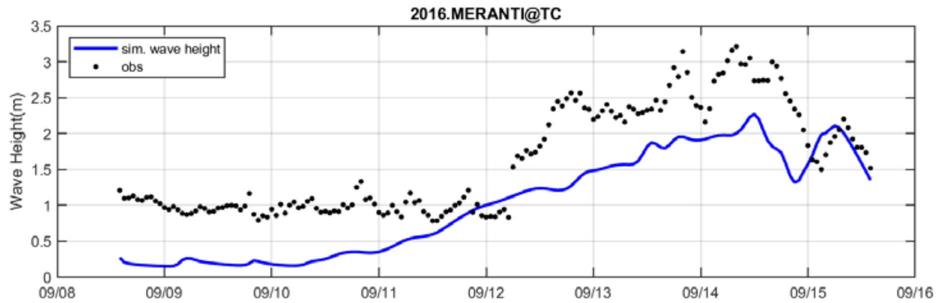


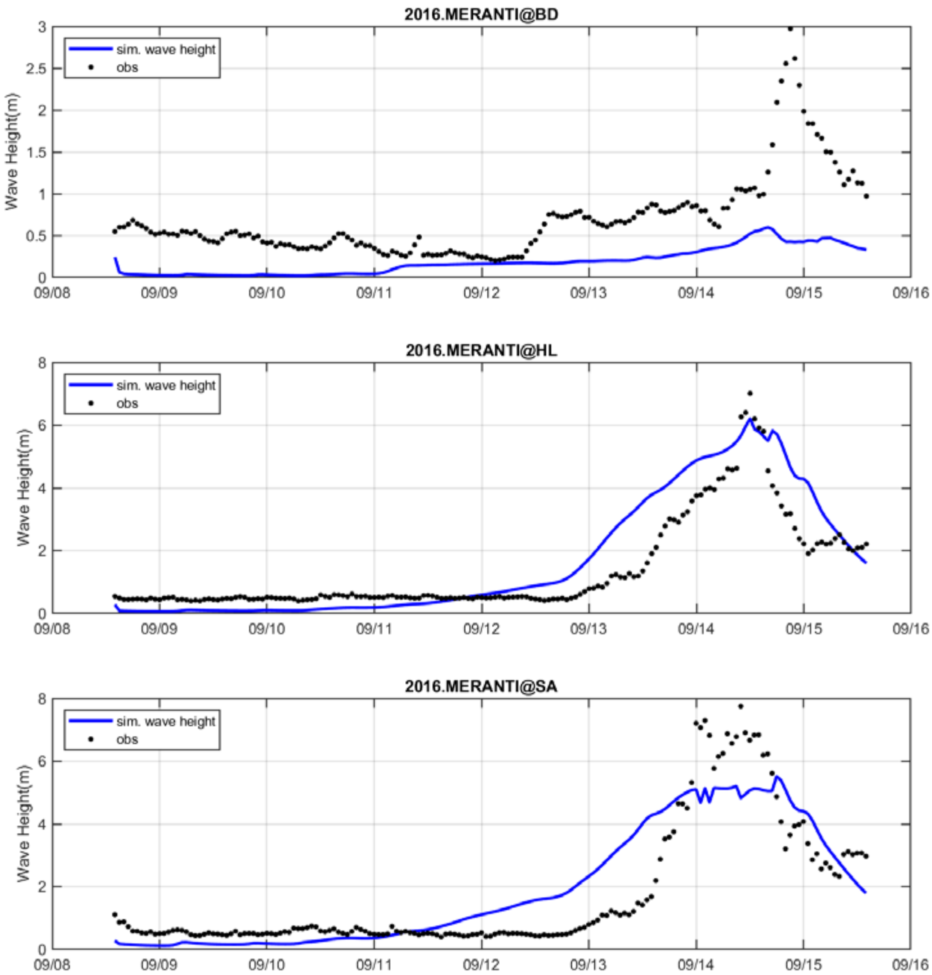
附圖 9 MALAKAS(2016)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


MERANTI(2016)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E
Sep15-08
Sep14-08
Sep13-08
Sep12-08

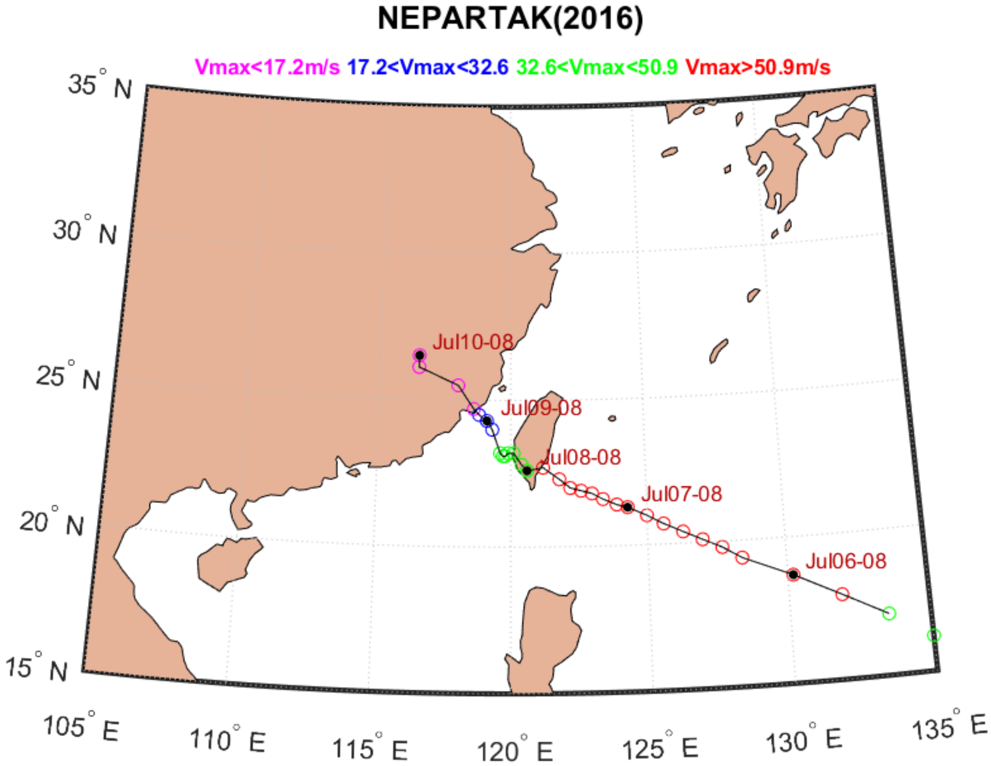

2016.MERANTI@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/08
09/09
09/10
09/11
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16


2016.MERANTI@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/08
09/09
09/10
09/11
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16

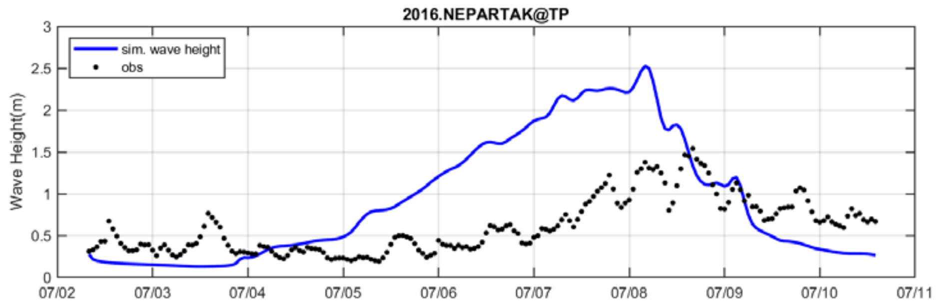

2016.MERANTI@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/08
09/09
09/10
09/11
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16



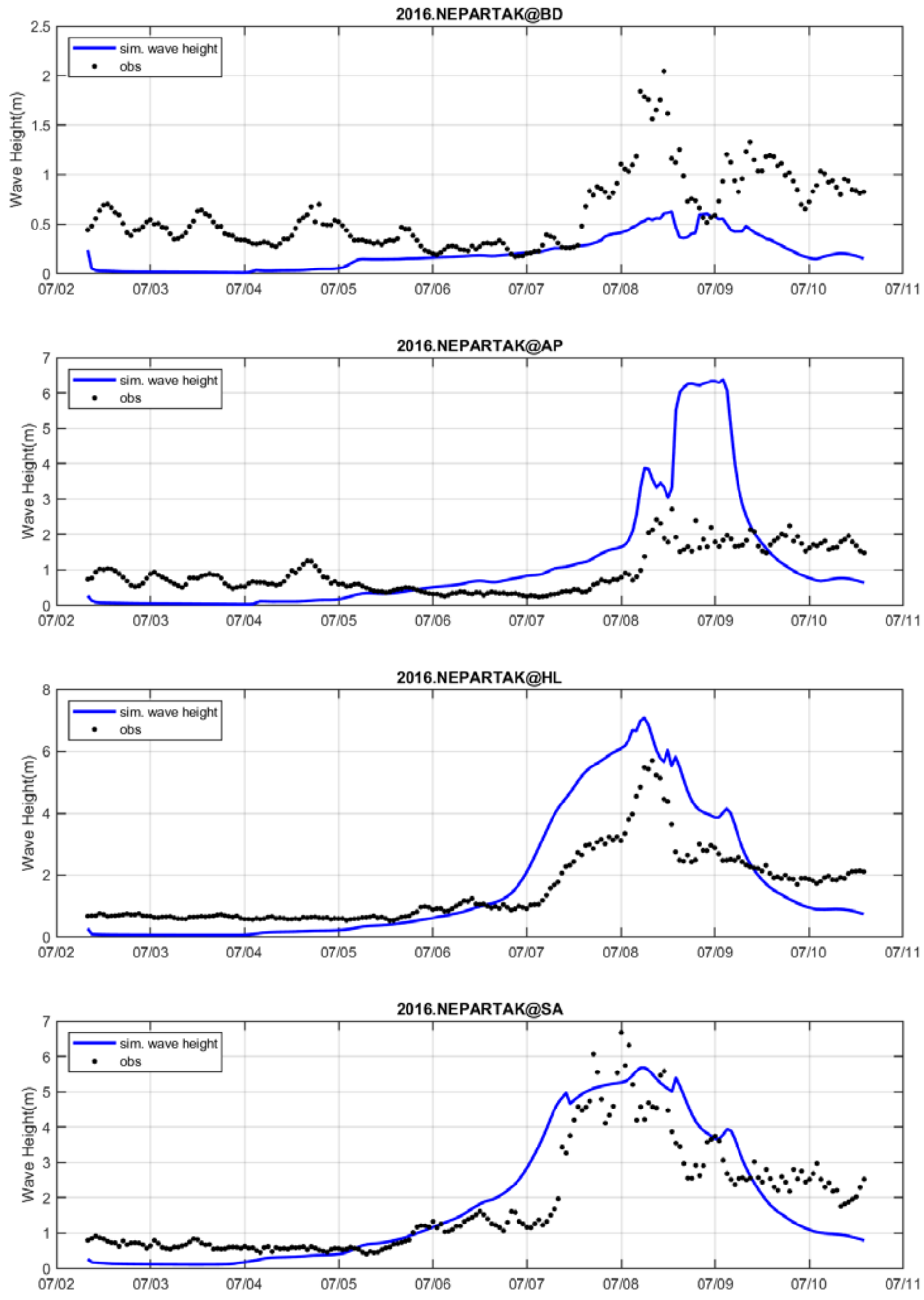
附圖 10 MERANTI(2016)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


NEPARTAK(2016)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Jul10-08
Jul09-08
Jul08-08
Jul07-08
Jul06-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E

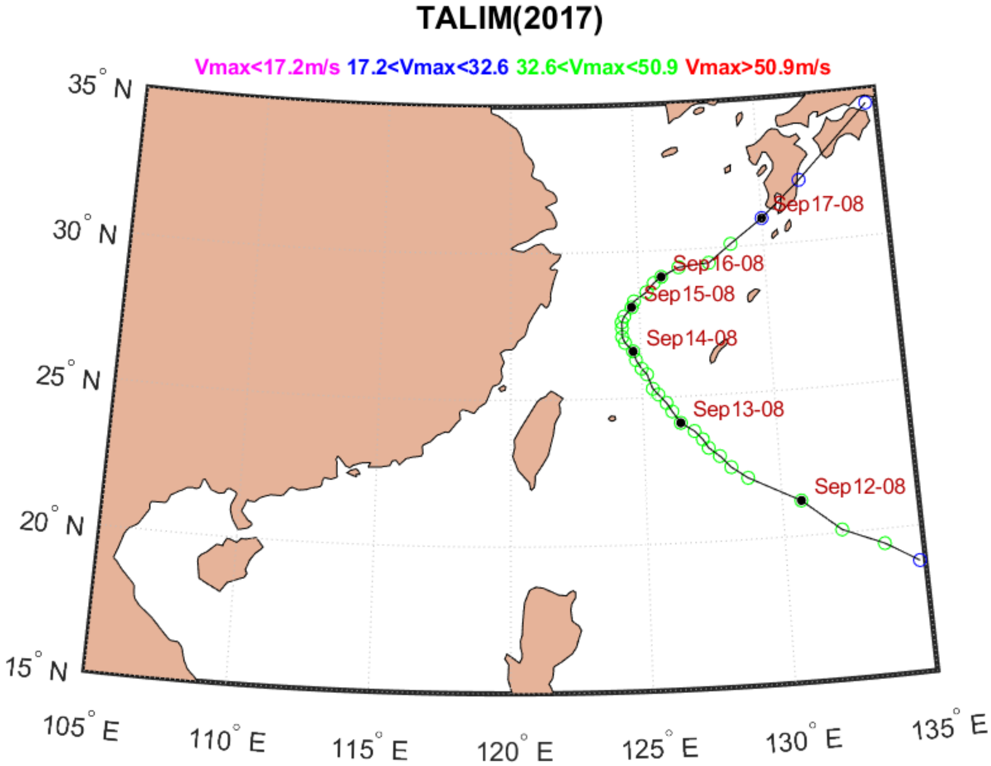

2016.NEPARTAK@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/02
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11

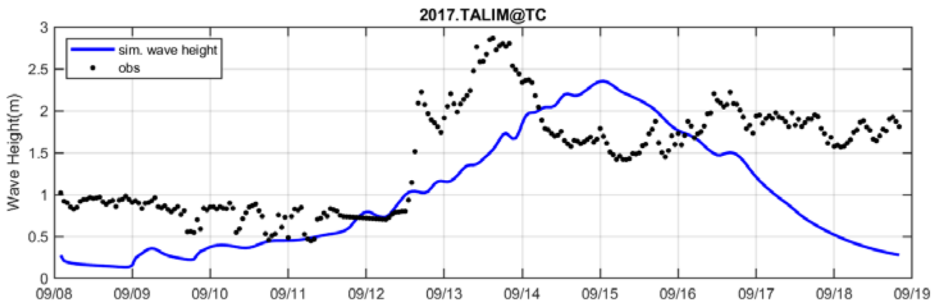

2016.NEPARTAK@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/02
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11

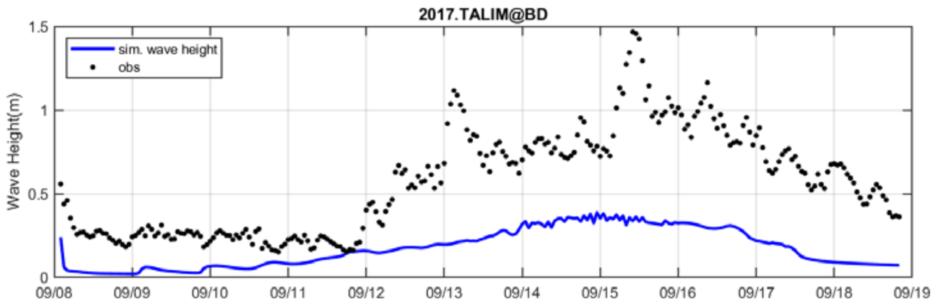

2016.NEPARTAK@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/02
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11



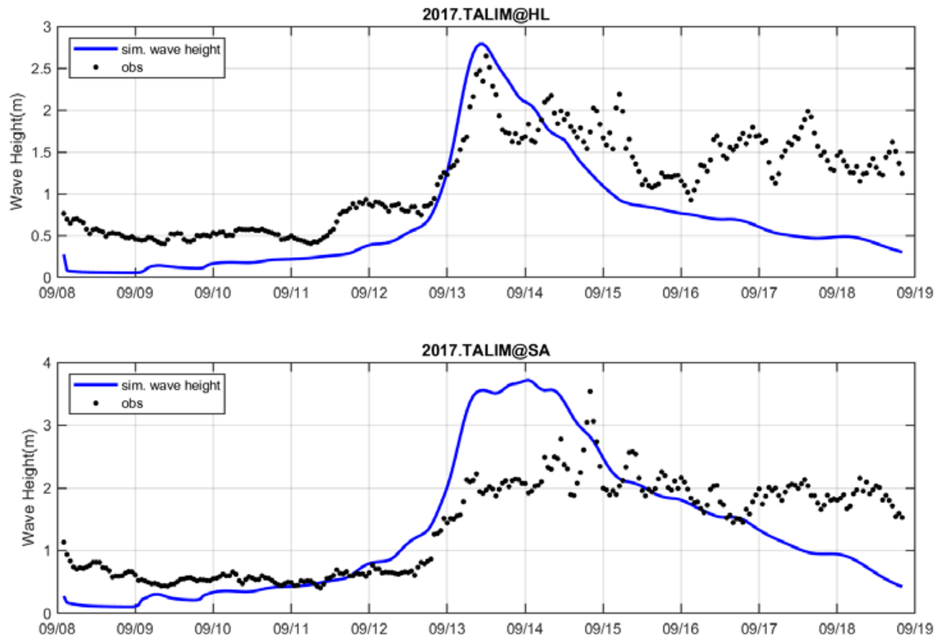
附圖 11 NEPARTAK(2016)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


TALIM(2017)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Sep17-08
Sep16-08
Sep15-08
Sep14-08
Sep13-08
Sep12-08

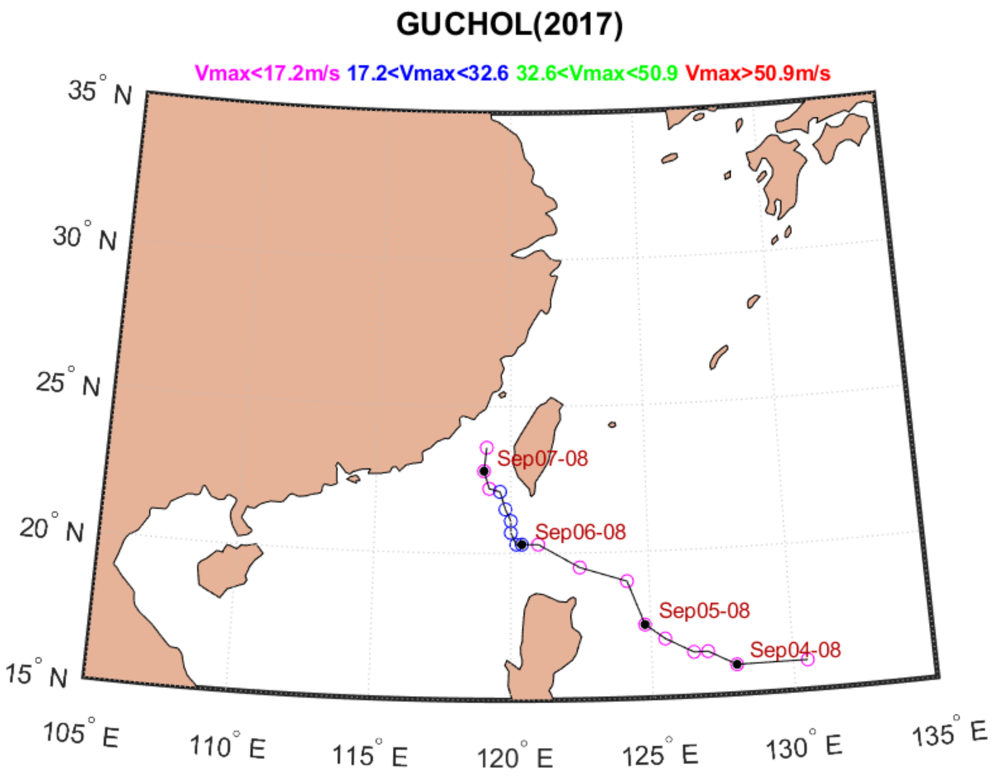

2017.TALIM@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)

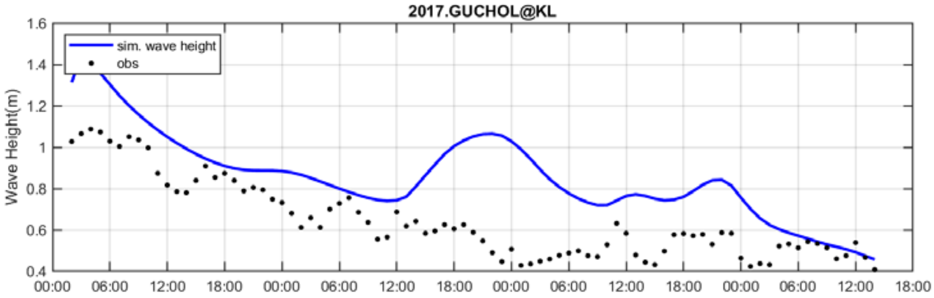

2017.TALIM@BD
sim. wave height
obs
Wave Height(m)

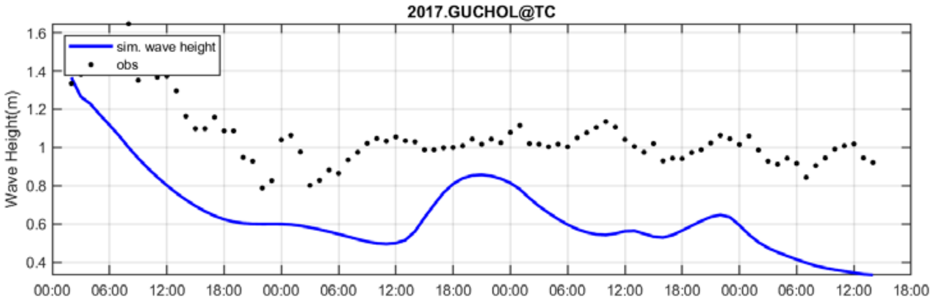

2017.TALIM@AP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)

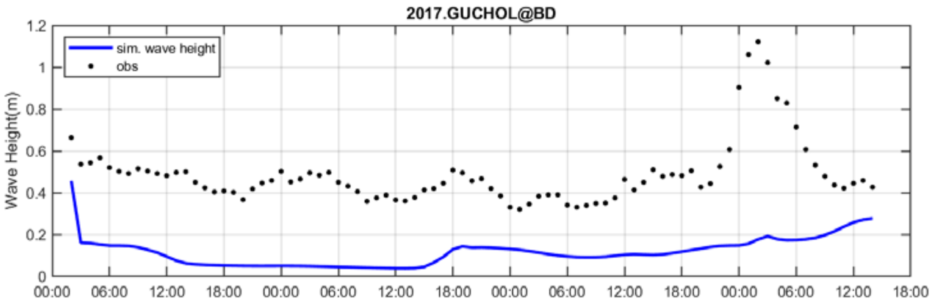


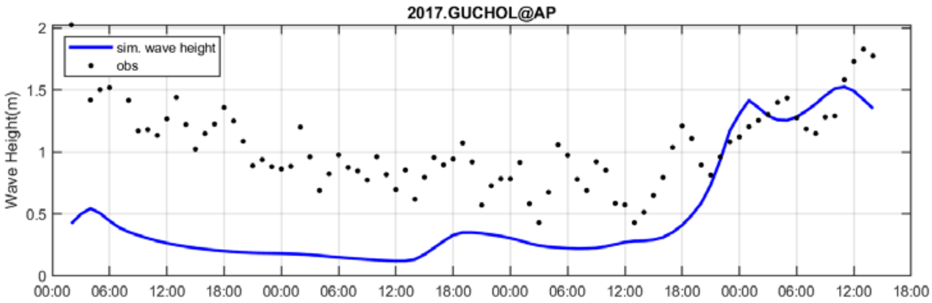
附圖 12 TALIM(2017)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

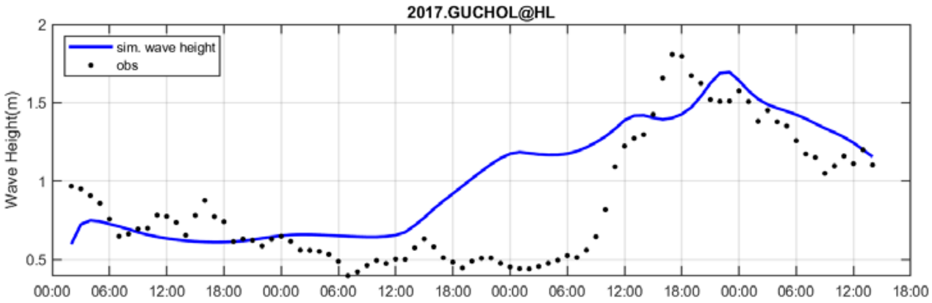


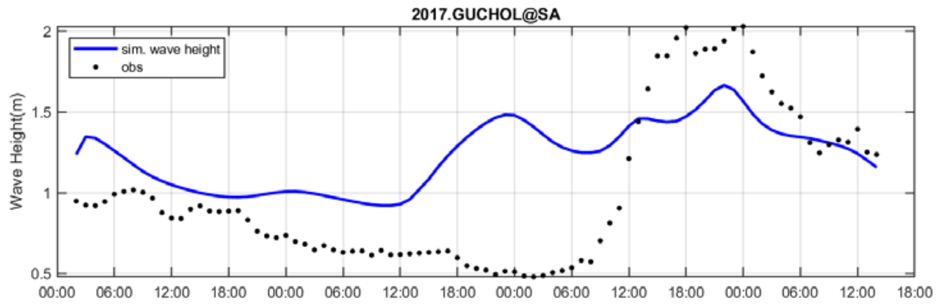

2017.GUCHOL@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00


2017.GUCHOL@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00

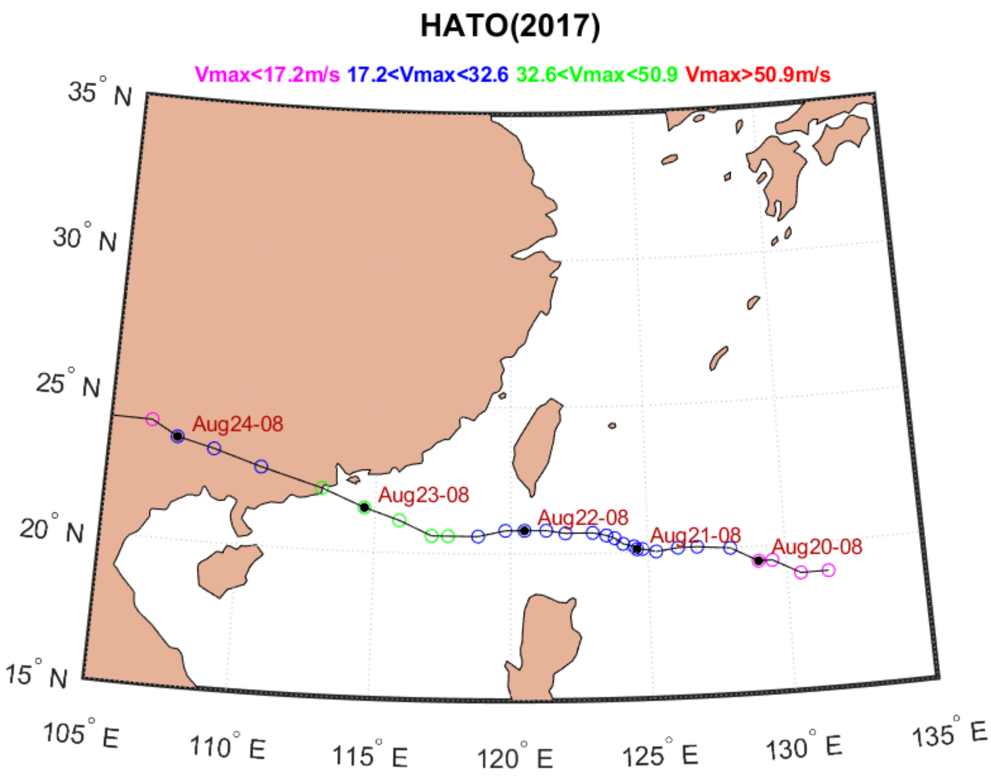

2017.GUCHOL@BD
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00

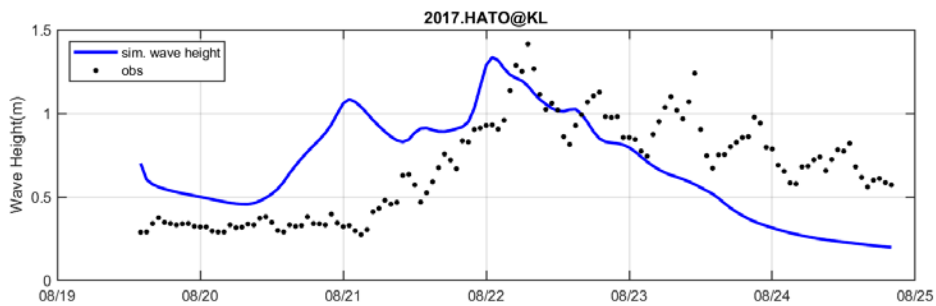

2017.GUCHOL@AP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
2
1.5
1
0.5
0
00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00

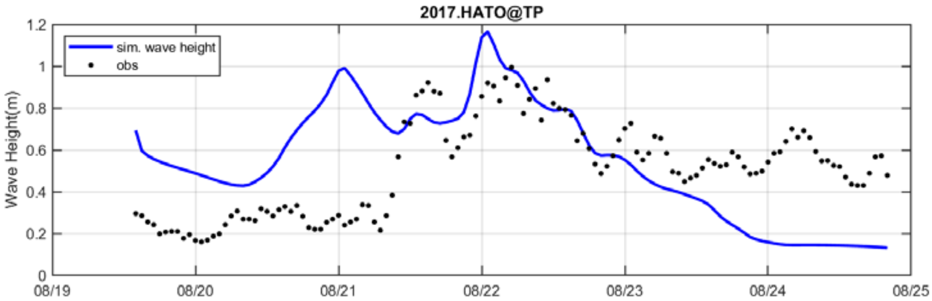

2017.GUCHOL@HL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
2
1.5
1
0.5
00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00 00:00 06:00 12:00 18:00

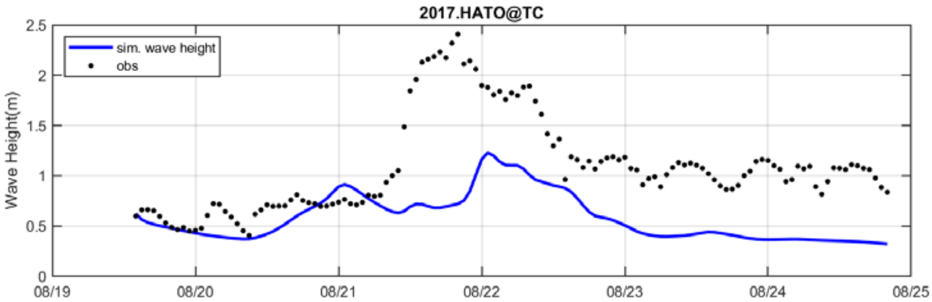


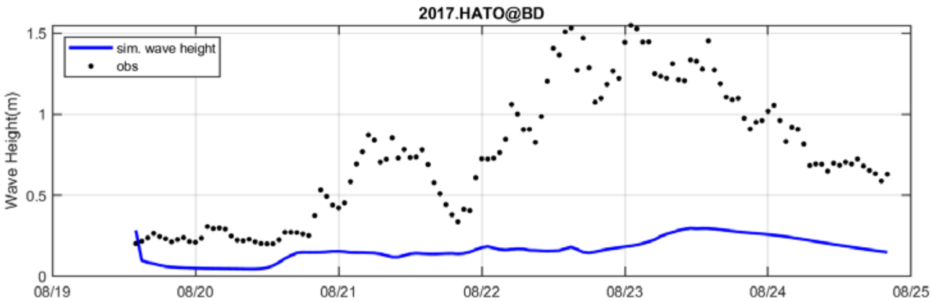
附圖 13 GUCHOL(2017)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

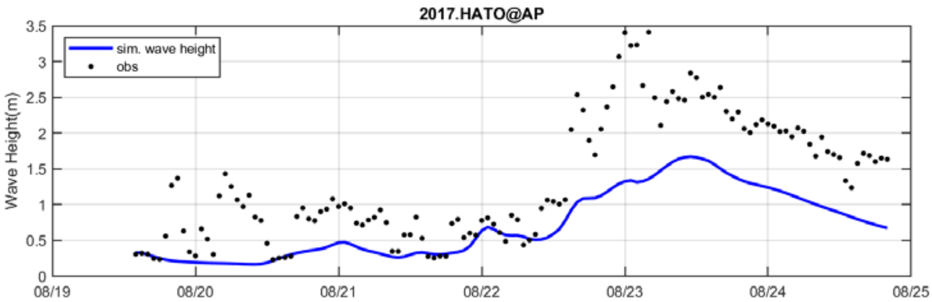


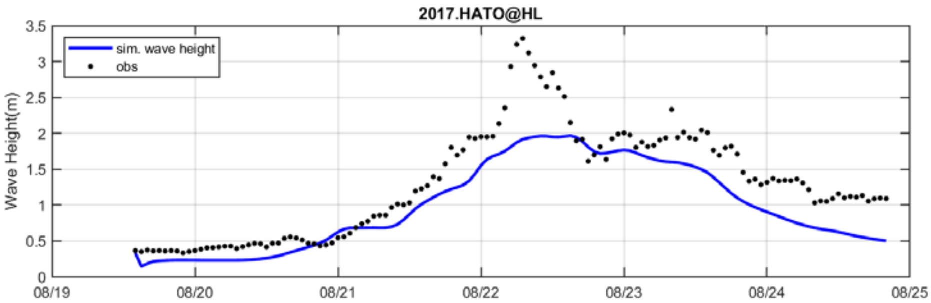


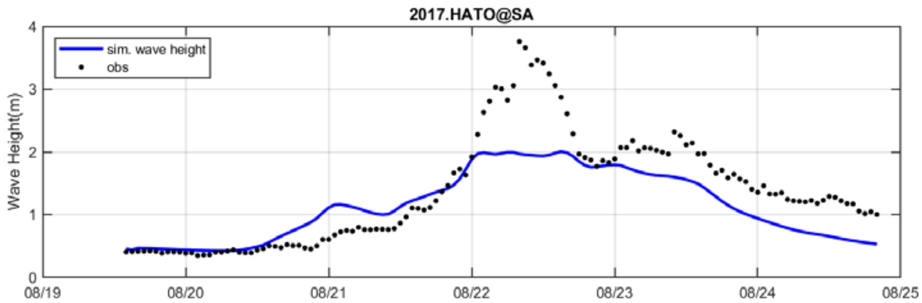

2017.HATO@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25


2017.HATO@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25

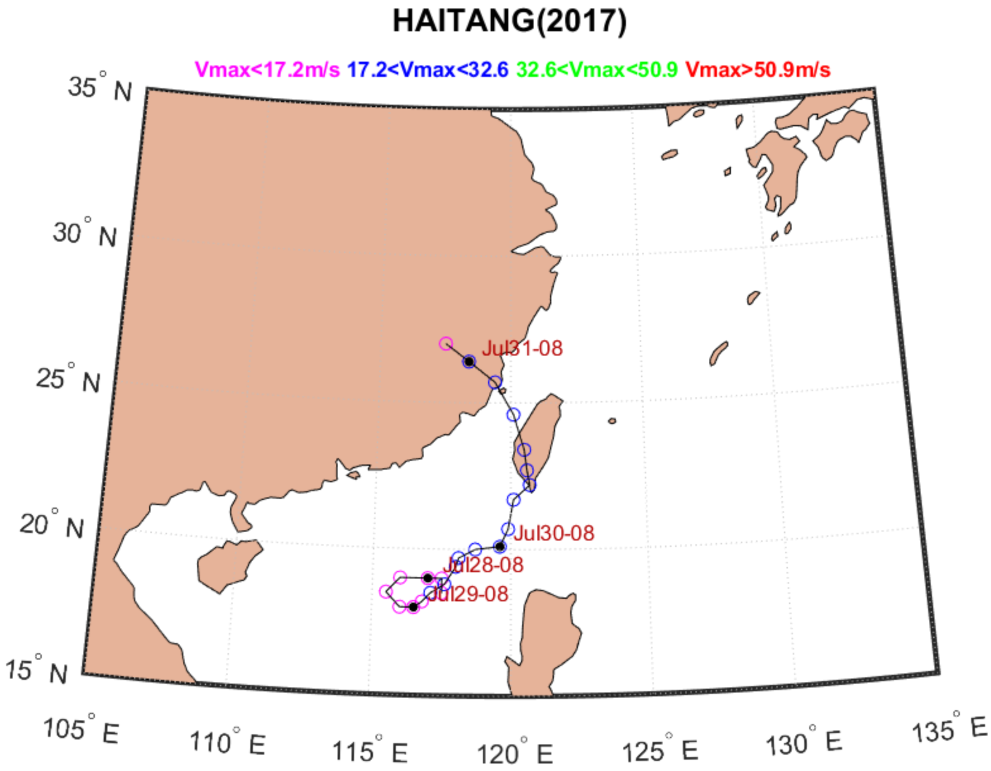

2017.HATO@BD
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
0
0.5
1
1.5
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25

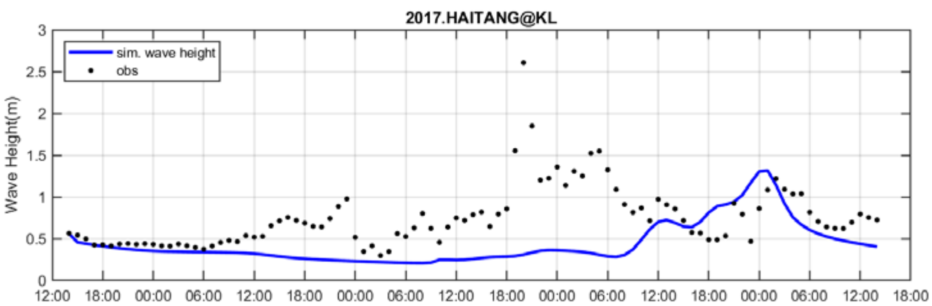

2017.HATO@AP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25

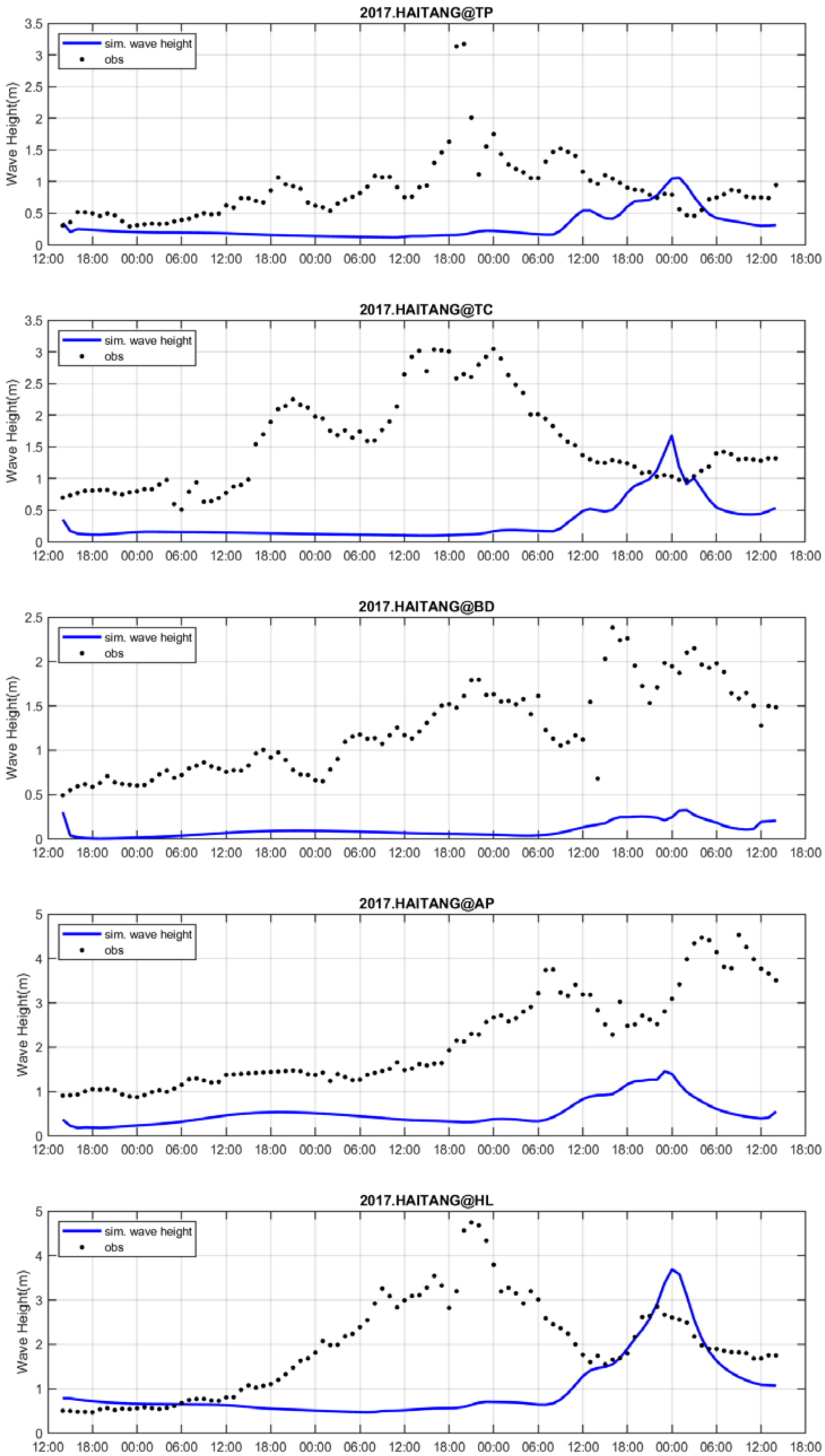

2017.HATO@HL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
08/19
08/20
08/21
08/22
08/23
08/24
08/25



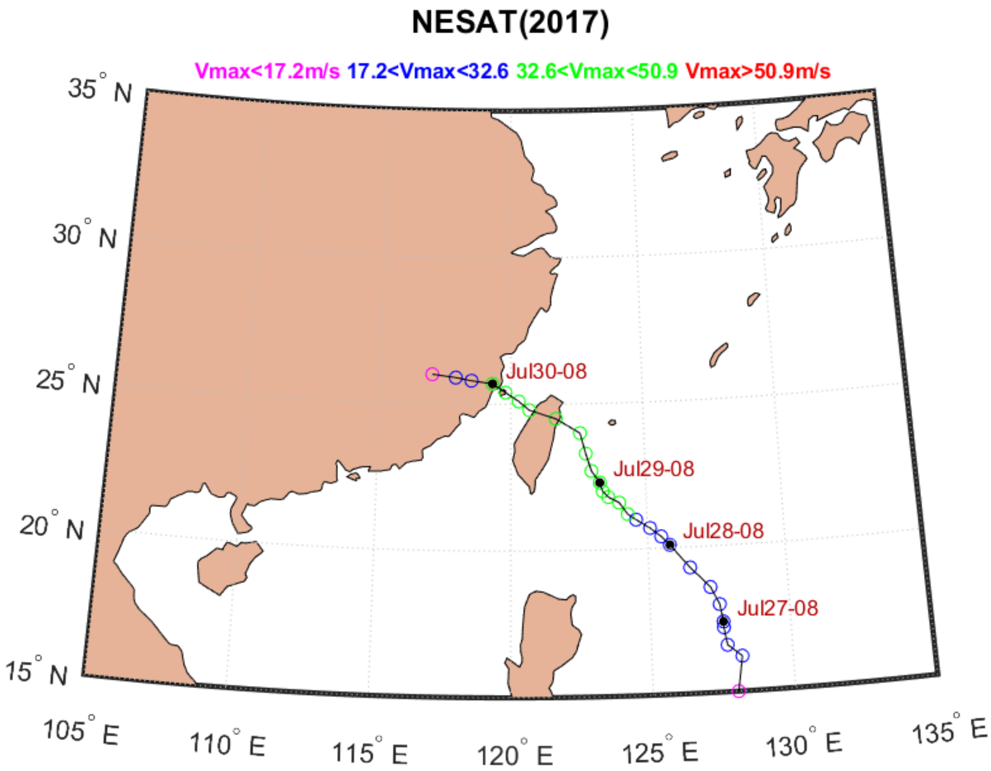
附圖 14 HATO(2017)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

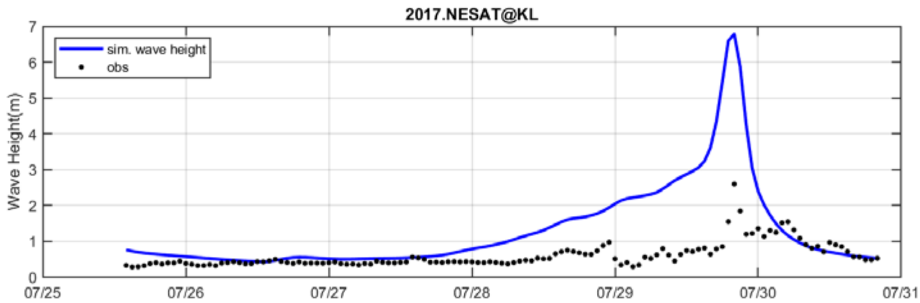


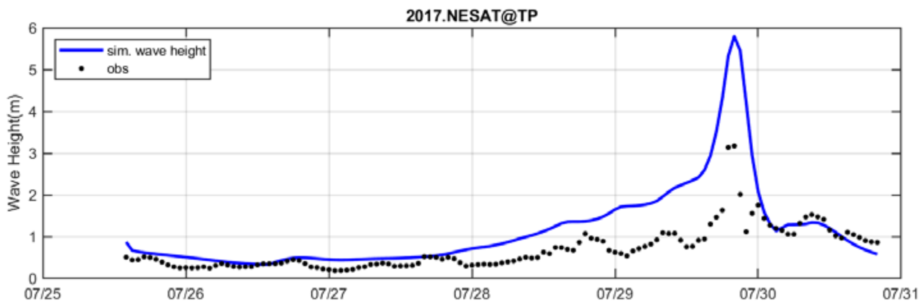


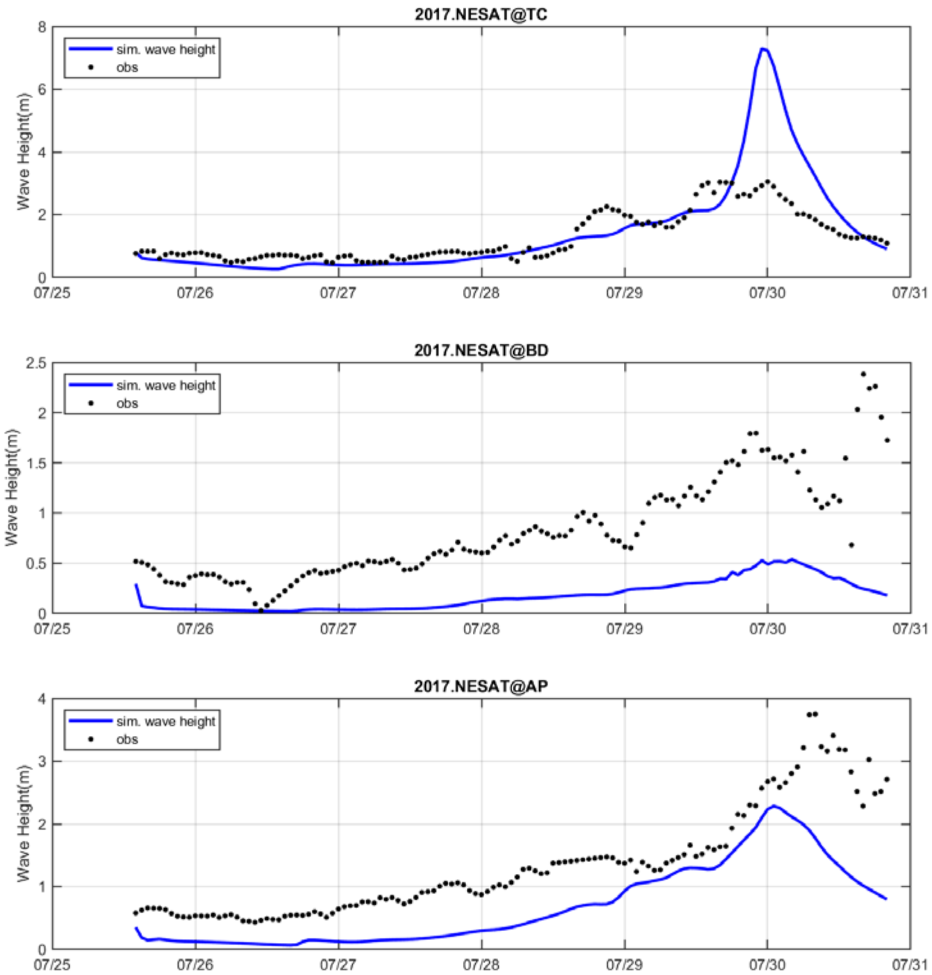


附圖 15 HAITANG(2017)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

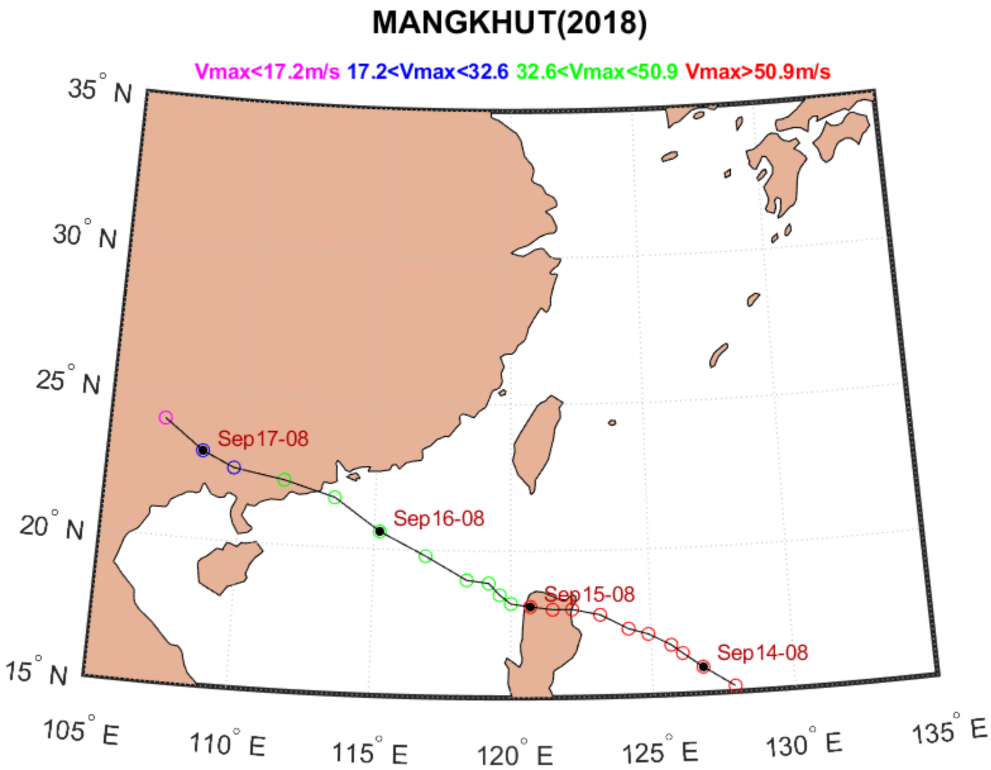

NESAT(2017)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Jul30-08
Jul29-08
Jul28-08
Jul27-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E

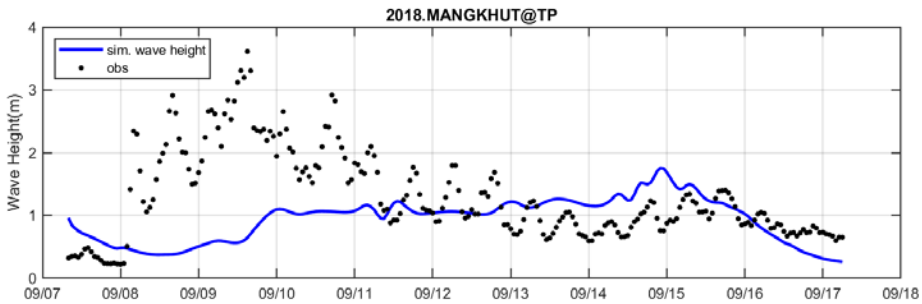

2017.NESAT@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/25
07/26
07/27
07/28
07/29
07/30
07/31

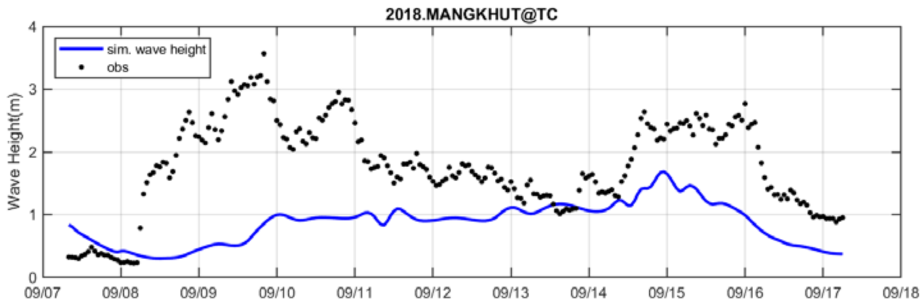

2017.NESAT@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/25
07/26
07/27
07/28
07/29
07/30
07/31

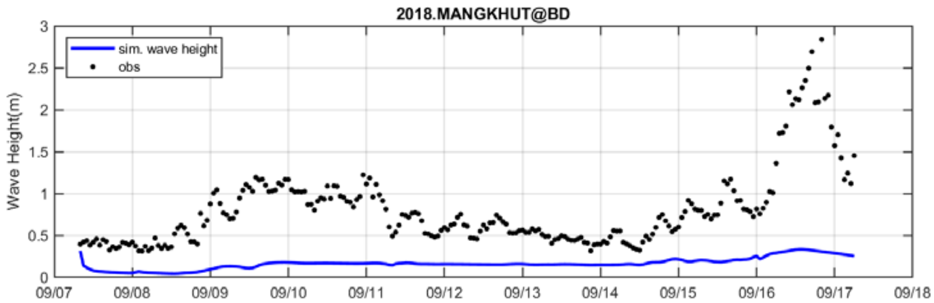


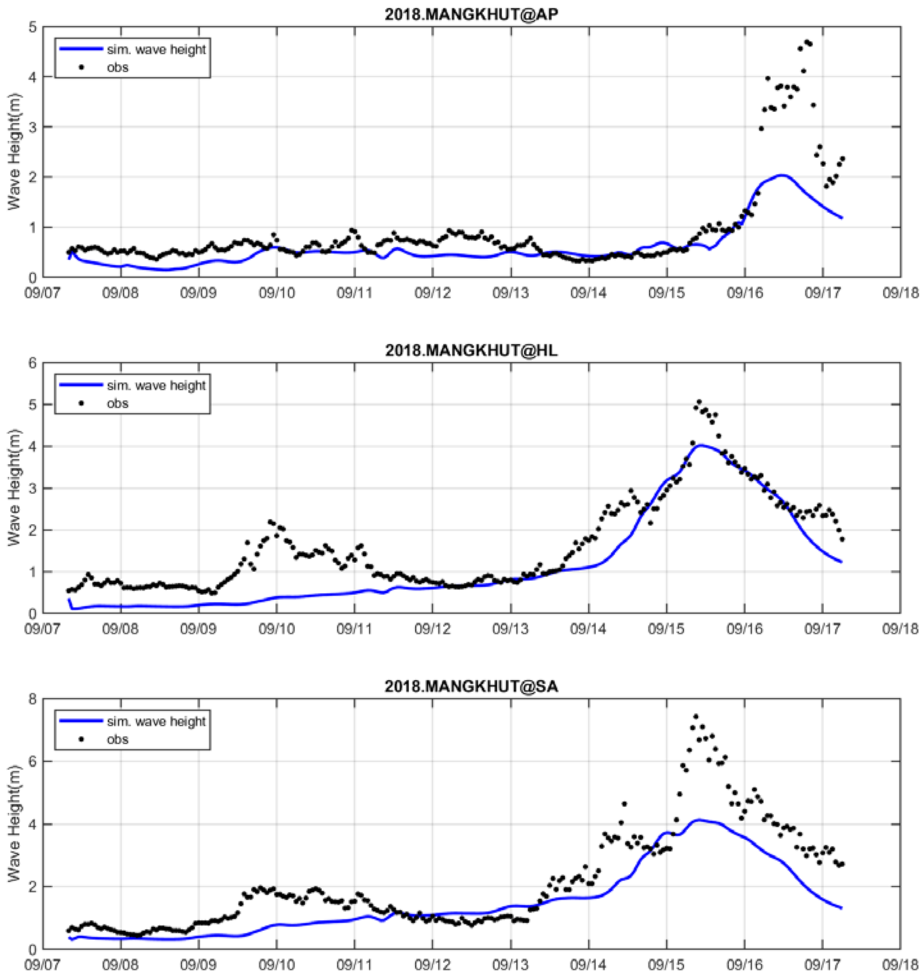
附圖 16 NESAT(2017)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


MANGKHUT(2018)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Sep17-08
Sep16-08
Sep15-08
Sep14-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E

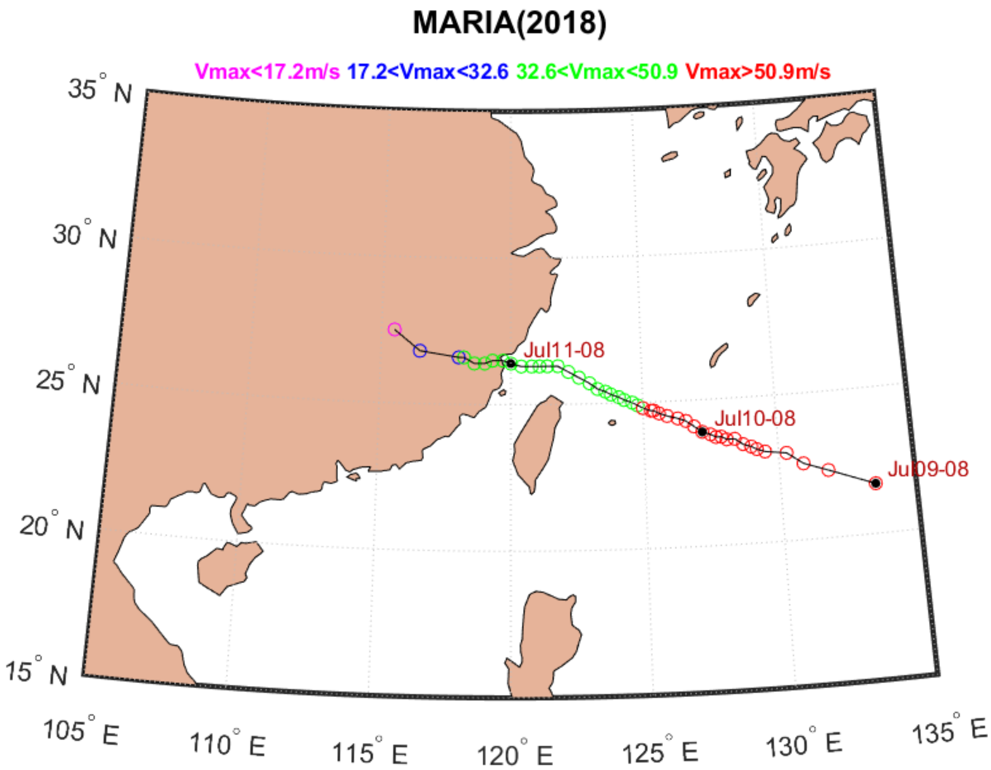

2018.MANGKHUT@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/07
09/08
09/09
09/10
09/11
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16
09/17
09/18

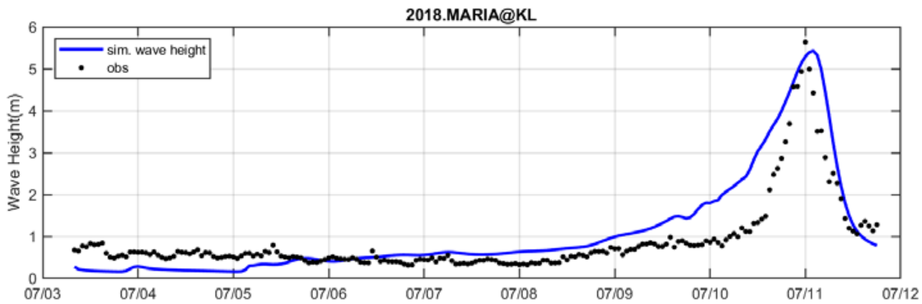

2018.MANGKHUT@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/07
09/08
09/09
09/10
09/11
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16
09/17
09/18

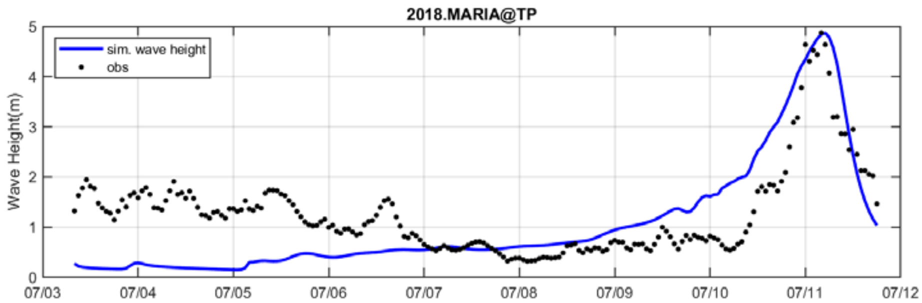

2018.MANGKHUT@BD
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
09/07
09/08
09/09
09/10
09/11
09/12
09/13
09/14
09/15
09/16
09/17
09/18

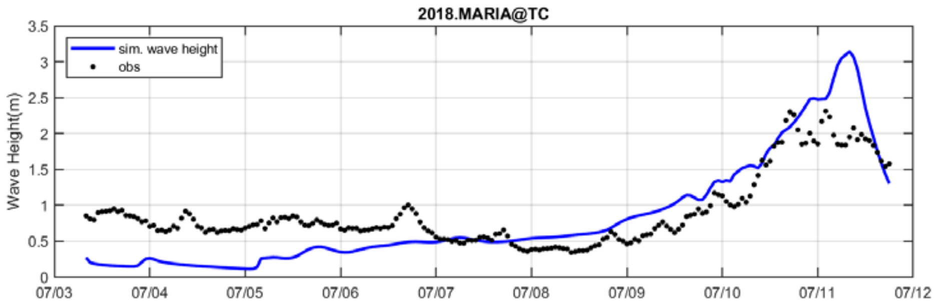


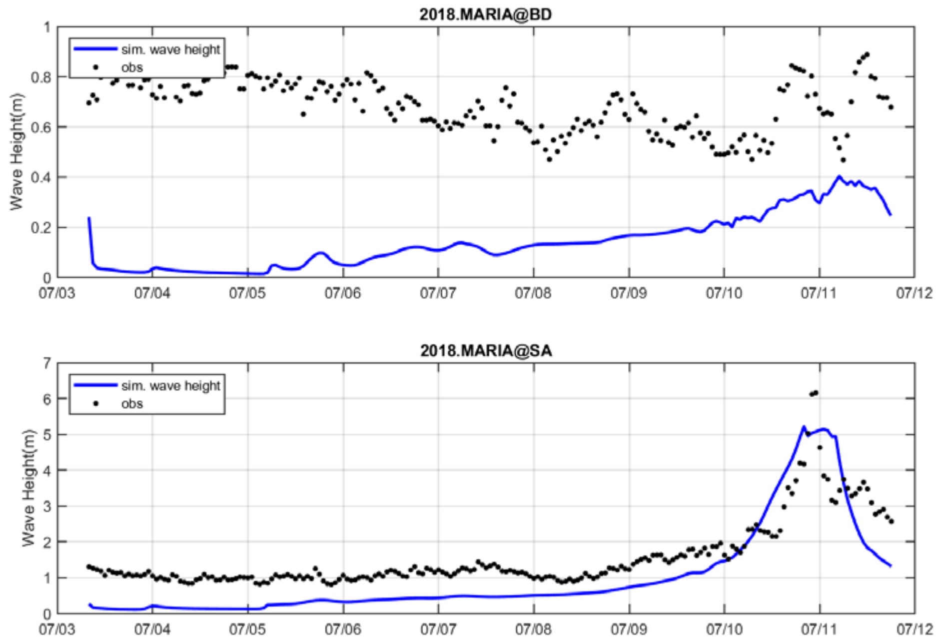
附圖 17 MANGKHUT(2018)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


MARIA(2018)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E
Jul11-08
Jul10-08
Jul09-08

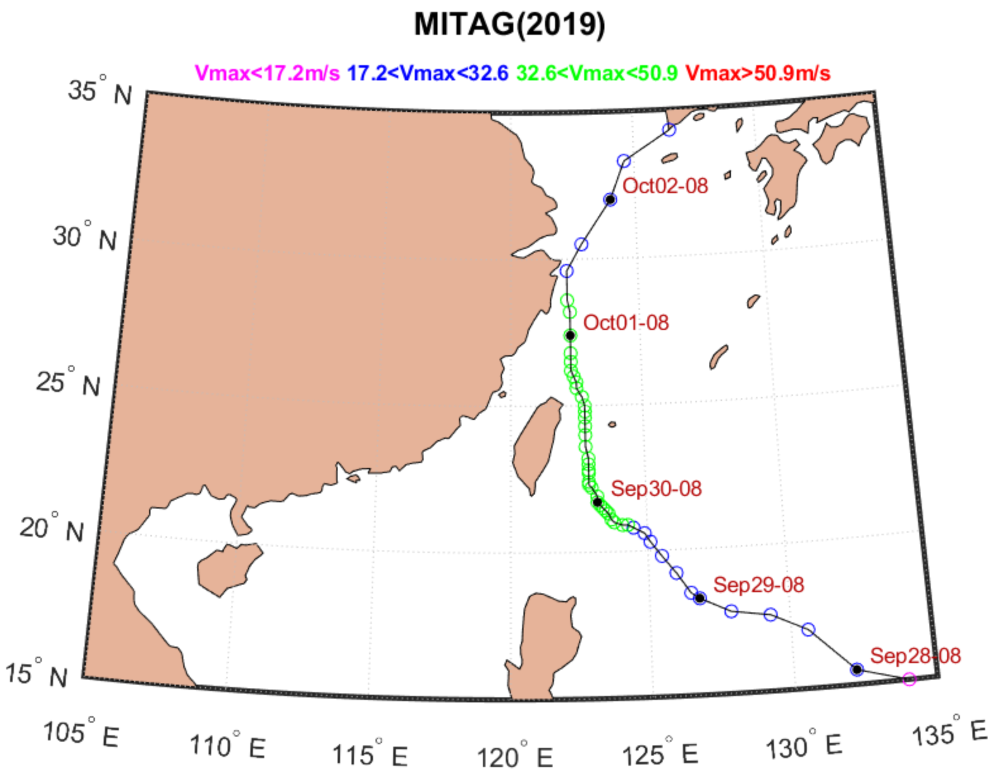

2018.MARIA@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11
07/12

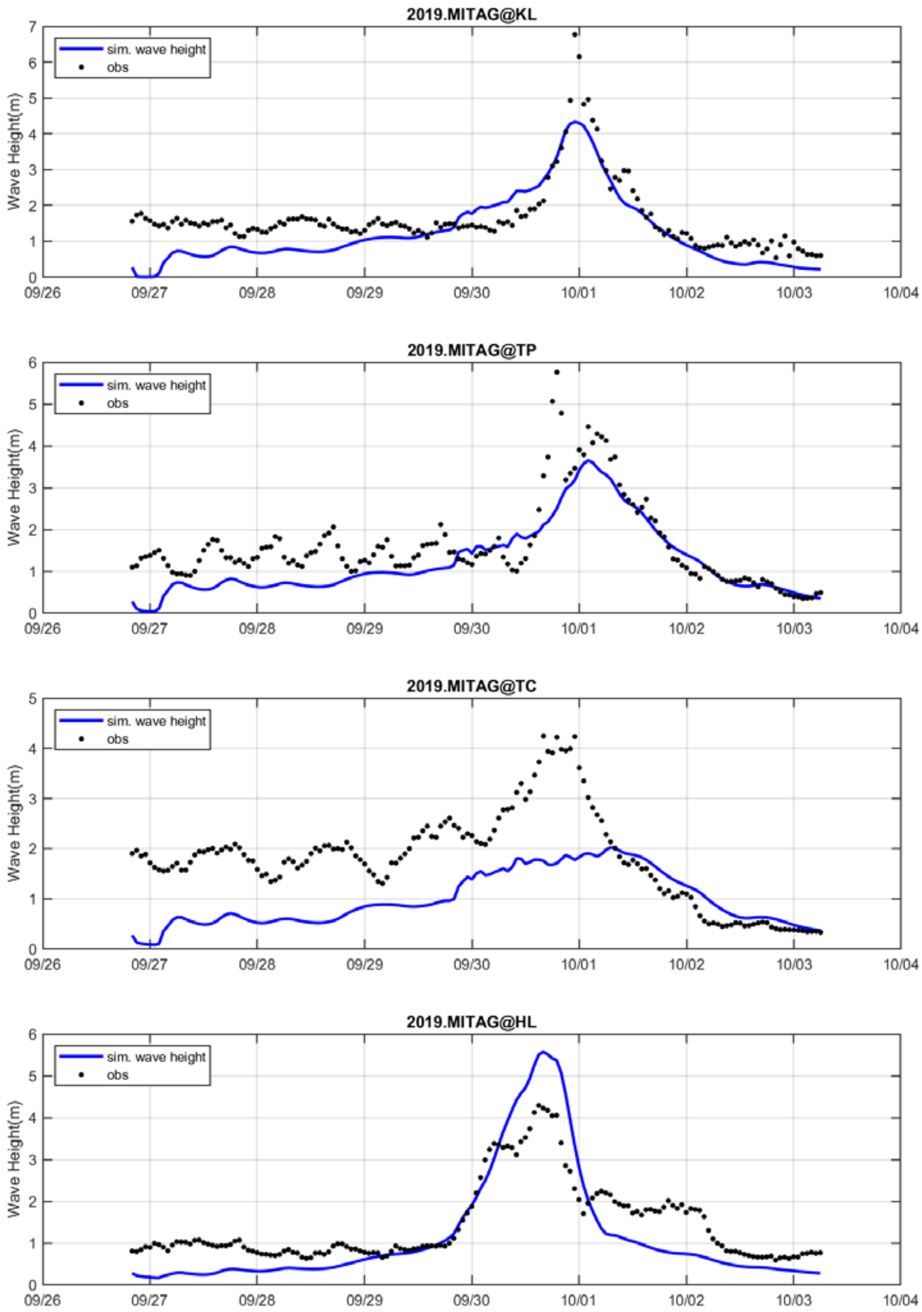

2018.MARIA@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11
07/12


2018.MARIA@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
07/03
07/04
07/05
07/06
07/07
07/08
07/09
07/10
07/11
07/12

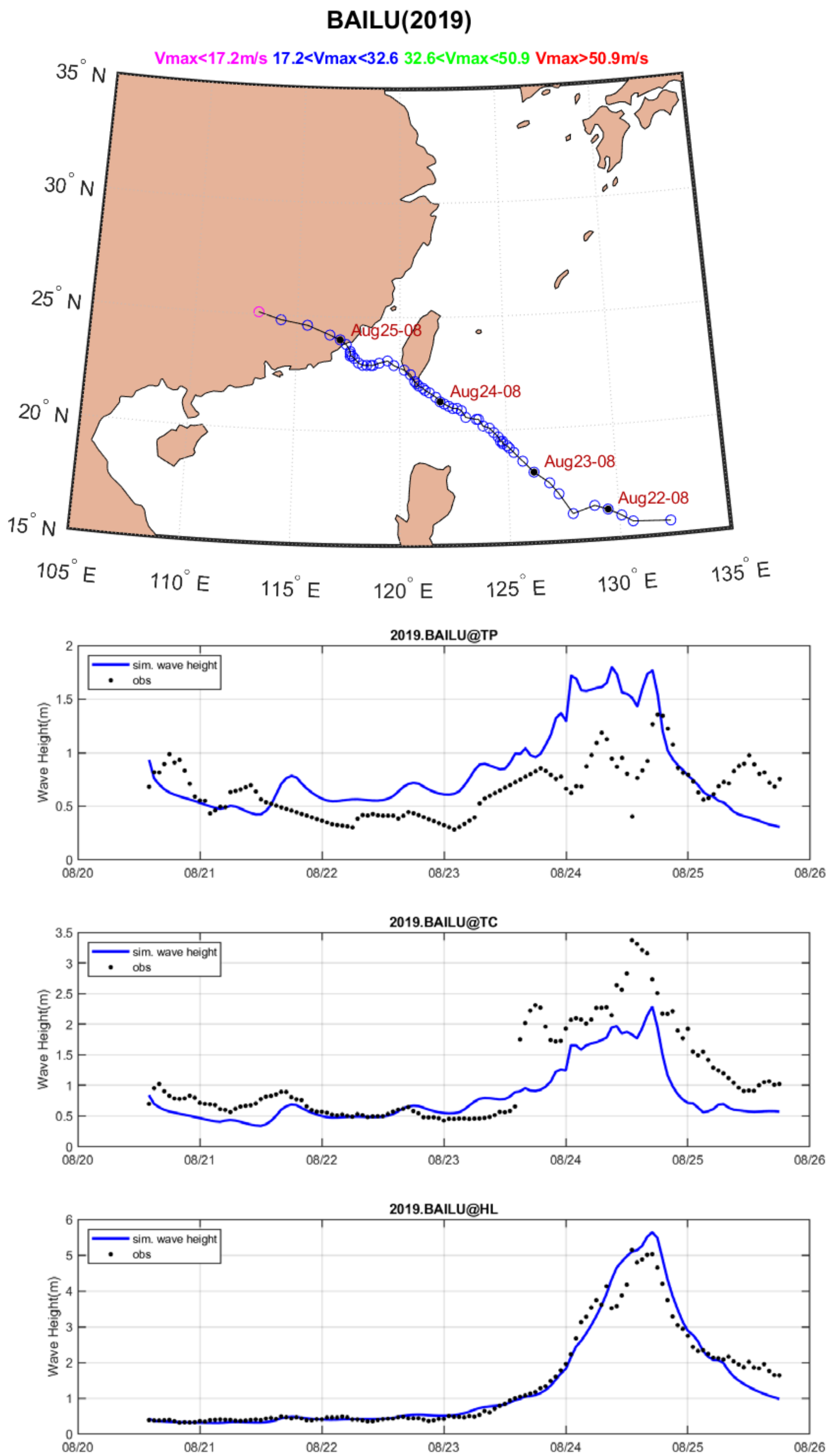


附圖 18 MARIA(2018)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

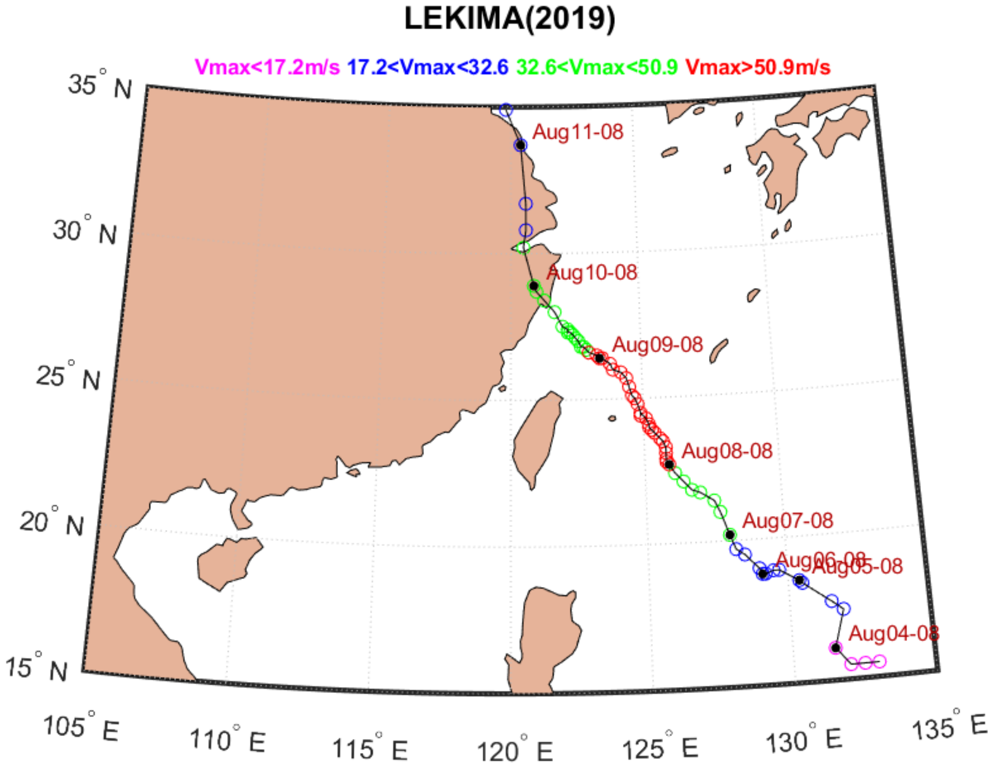


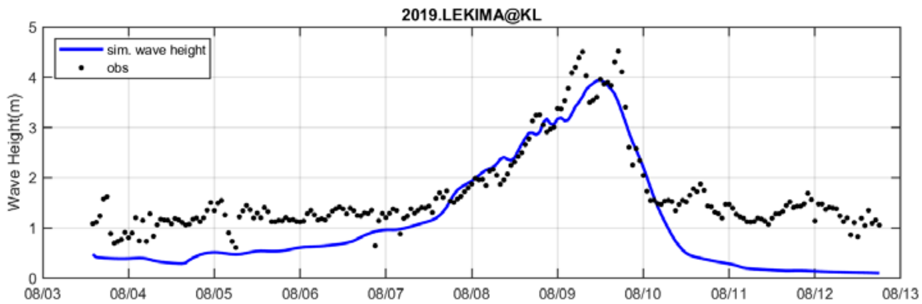


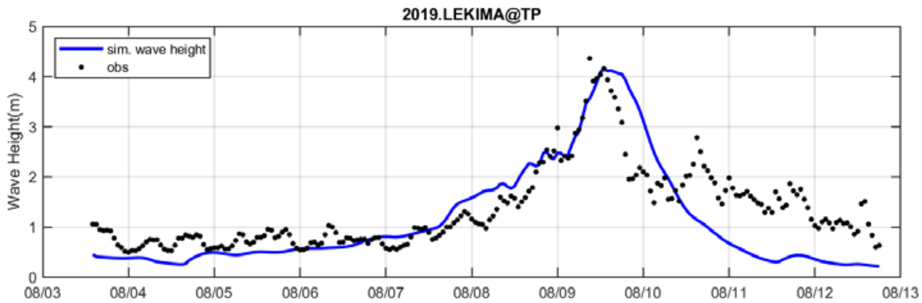
附圖 19 MITAG(2019)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

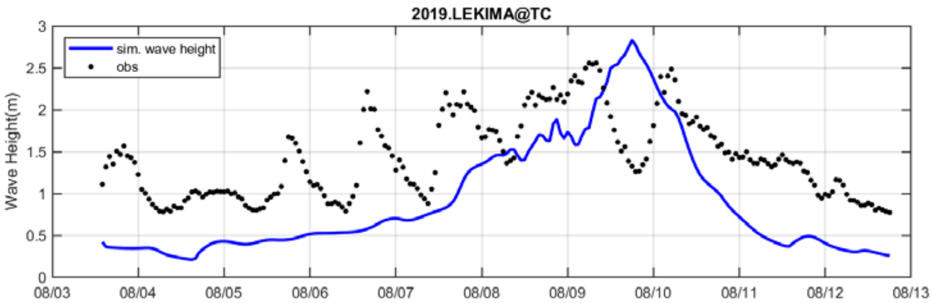


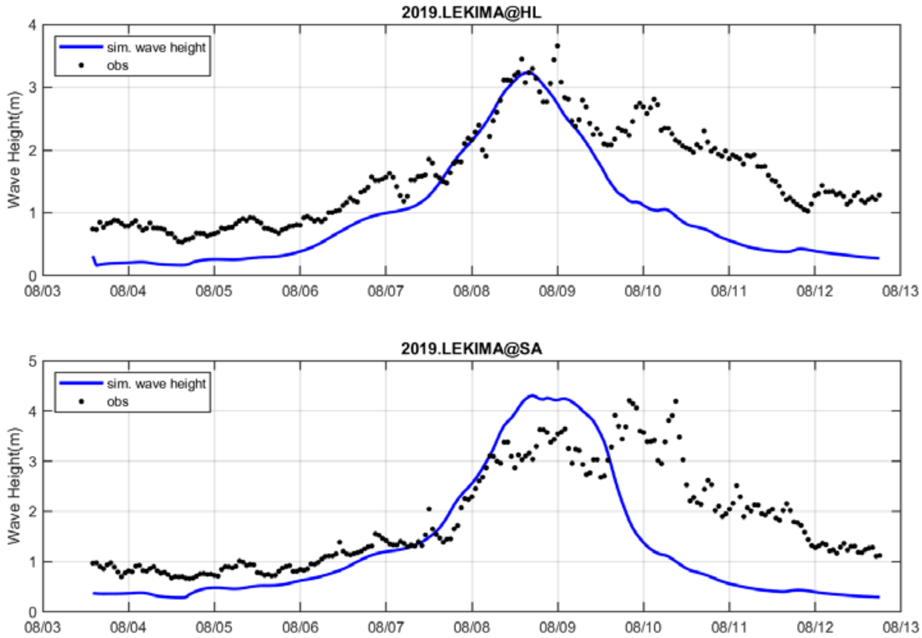
附圖 20 BAILU(2019)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較


LEKIMA(2019)
Vmax<17.2m/s 17.2<Vmax<32.6 32.6<Vmax<50.9 Vmax>50.9m/s
Aug11-08
Aug10-08
Aug09-08
Aug08-08
Aug07-08
Aug06-08
Aug05-08
Aug04-08
35° N
30° N
25° N
20° N
15° N
105° E
110° E
115° E
120° E
125° E
130° E
135° E


2019.LEKIMA@KL
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/03
08/04
08/05
08/06
08/07
08/08
08/09
08/10
08/11
08/12
08/13


2019.LEKIMA@TP
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/03
08/04
08/05
08/06
08/07
08/08
08/09
08/10
08/11
08/12
08/13


2019.LEKIMA@TC
sim. wave height
obs
Wave Height(m)
08/03
08/04
08/05
08/06
08/07
08/08
08/09
08/10
08/11
08/12
08/13



附圖 21 LEKIMA(2019)颱風路徑圖與自動化颱風波浪整合生成模組誤差比較

附錄二

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期中報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-109-H2CB001g 整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統

合作研究單位：天禾資訊有限公司

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、林銘崇委員		
1. 第二章顯以相關波浪模式之驗證分析為主，與「基本資料蒐集分析」並不完全吻合。	經工作會議討論，已將波浪模式相關比較部分移至第四章。	同意辦理
2. 附錄所示颱風波浪整合生成模式誤差比較，部分結果差異不小，是否有評估參考指標？	颱風波浪整合生成模式的驗證與相關指標比較表皆詳述於 3.4 節中。	同意辦理
3. 風力除風浪生成效應外，亦會直接作用於航行船舶之效應，本研究並未考慮後者之直接風效應，基本規畫思考如何？	經工作會議討論，已將中央氣象局預報風場加入預警介面中。	同意辦理
二、梁乃匡委員		
1. 本研究利用現有相關模式，如波浪預報及 AIS，來建立船舶航行監控預警系統，目前重點在波浪，但風是更直接影響船舶航行，因此風的預報資料同時納入考慮，後續宜加強從風場波場預報，得出船舶航行的預警。	本研究颱風時期船舶預警介面系統在工作擬定階段僅考量國內外合適的預測波場或本研究中颱風波浪整合生成模式的計算波場，經工作會議討論，已將中央氣象局預報風場引用納入預警介面。	同意辦理
三、陳冠宇委員		
1. 利用 AIS 大數據與風浪模式結合是很好的想法。	感謝委員肯定。	
2. 文獻引用有誤，如 Gau	感謝委員指正，已於 1.3.2 節修正為	同意辦理

（2020）、港研（2019）。	Guo(2020)、Gao(2018)與蔡等人(2019)。	
3. 風浪模式之介紹，應說明使用之模式為WAM、SWAN或WWIII。	本研究主要評估國內外可引用之預報結果，主要以精度與可取得性來進行評估，且部分單位預報結果並非僅參考單一模式，故目前除本研究颱風波浪整合生成模式外，僅介接各單位所提供的推算結果進行評估。	同意辦理
4. 第 2-1 節中未說明使用之參數化颱風（如 3.2.1）與背景流場。	國內外各單位預報來源大多可能並非採用參數化風場，本研究主要考量預測來源資料的精度與可用性，故僅針對國內外現有預報資料。	同意辦理
5. 貴公司使用 MIKE21 及 SWAN，再算一次之理由為何（已知 CWB, Taicoms）？有整體考量嗎？在 p.4-3 為何無 CWB？在流場方面有改進嗎？	本研究依照招標需求，建立自動化整合生成模組，參數化風場能在颱風時期，快速提供風場計算結果，MikeSW 在工程上已有相當多的應用。p.4-3 為 TaiCOMs 預測資料範圍，CWB 說明於 P4-2。本研究主要考量颱風波浪問題未考量流場。	同意辦理
6. 大數據分析什麼？AIS/SWAN 可以先分析歷年船難嗎？	AIS 大數據資料庫主要分析船行特性，已呈現於期末報告第五章，主要希望能透過往昔正常航行的軌跡建模檢測異常航行狀況，船難資料與其成因紀錄不夠詳盡，暫不列入建模之輸入條件。	同意辦理
7. 可以再比較 CWB 波浪實測資料。	目前已針對 TaiCOMs 與 CWB 兩單位提供資料的往昔颱風進行比較。	同意辦理
四、盧展猷委員		
1. 本研究僅針對颱風的風浪模式對臺灣環島周邊的效益是否夠？是否，擴及至其他氣候條件？一般颱風到達前的船都已經離開？本研究預警機制如何建立？	期中報告前的工作內容，主要整合波浪預測與 AIS 系統的應用，介面提供預測波場並畫設波高較大區域，供航行中或港內的船舶參考，至於港內離港避災，則仍依照各管理單位的流程。	同意辦理
2. 預測預警是否能及時？或配	預警介面能即時提供海上 6 小時後	同意辦理

合不同的管理需求？及其他管理系統相容(現有 VTS 管制的是各港分公司，未來有航港局於原商港港區範圍外，另外風電業者也有自己系統……），船型、船速……有不同預警的標準。	的波場預測與警示區，可提供各單位在營運與海上作業時做參考，經工作會議討論，已加入警示區波高門檻值的調整，以提供各種不同需求使用。	
3. 未來自動化船舶是趨勢，此等資料庫能否提供，未來自動化的參數數據需求？	本研究資料庫主要應用於航安風險評估系統之建立，未來若有其他相關應用，可再與港研中心研議。	同意辦理
五、蘇青和委員		
1. 報告格式請依本所規定，並增加中英文摘要。	遵照辦理，目前內文與圖表格式皆符合規定，期末將補充中英文摘要。	同意辦理
2. 第一章前人研究，今年研究內容之進度（甘梯圖）應詳細說明。	已於期末報告第一章中專節加入進度、甘梯圖與流程圖。	同意辦理
3. 第二章之名稱建議更改，需與內容一致。	第二章雖名為『基本資料蒐集分析』，但分析部分佔太多部分，經工作會議討論，已將分析部分移至 4.2 節。	同意辦理
4. 風場為船舶航行重要海氣象資訊之一，第二章應針對各種風場模式與模式預報成果檢核，做較詳細完整的補充。	4.2 節目前已針對國內兩大波浪預報提供單位的預報結果進行精度比較，主要依據其資料取得性與預報精度做擇選的考量。	同意辦理
5. 第二章不同波場預報模式比對，應先針對各自風場之差異做比較。	由於部分預報波場來源單位表示，其公告之資料可能採用不同模式的結果，無法提供明確風場來源，故本研究僅於 4.2 節考量各單位能提供的往昔預報結果進行評比。	同意辦理
6. 不同波浪模式檢核比較，除考慮各觀測值之誤差大小外，歷線圖之型態、最大值尖峰現象	4.2.1 與 3.4 節皆已針對最大值尖峰現象進行精度分析。	同意辦理

也甚為重要。		
7. 本研究在船舶航安大數據資料分析，觀測模式建置在風險評估系統建置等項目，為重要之工作項目，建議強化其研究成果。	遵照辦理，船舶航安大數據已於期末報告第五章完成資料庫建置，第六章引入 AI 技術，發展船舶航跡預測模式，最後納入風險評估系統。	同意辦理
六、李俊穎委員		
1. 圖 2.1.5 為觀測區域內本所及所外各觀測站之最大值，非模擬推算成果，請修改 2.1.2 小節內相關文字	感謝委員指正，已修正文內敘述。	同意辦理
2. 氣象局 NWWIII 及港研中心 Taicoms，兩者作業化系統內原存有風場不一致問題，似乎文內均未提到，建議補述。	由於氣象局公告預報來源可能參考不同模式，本研究僅於 4.2 節針對各單位可提供的往昔預報結果進行評估，風場不一致已補述於 4.2 節。	同意辦理
3. 所採用氣象局預報資料內八方位暴風半徑，當暴風圈屬不對稱結構，如何轉換成參數化風場，建議加以補述。	目前本研究針對非對稱的參數化風場仍於研發階段，僅能採用經驗公式計算對稱性的參數化風場。	同意辦理
4. 所採用參數化風場，當臺灣近海區域有兩個以上颱風生成時，其作業流程是否有需調整？	颱風波浪整合生成模式的資料介接模組能自動因應多個颱風的情況，選用對臺灣影響較大的颱風，兩個颱風同時影響計算場域的此類情況，建議另案研究其複雜的交互機制。	同意辦理
5. 在 3-15 頁所提及其他結果則放在附錄一內，本報告附錄一內無相關結果，建議修改內文。	附錄一為颱風波浪整合生成模式 21 場颱風於八大主要港口的推算結果，已修正 p.3-15 誤植處。	同意辦理
6. 所提及整合模組其預警系統之整體作業流程，颱風期間是僅用參數化風場推算結果，亦也有展示氣象局預報資料整	已於工作會議中研議採用氣象局公告資料作呈現，已補述於期末報告 4.2 節。	同意辦理

合展示，建議加以補充說明。		
7. 建議補述所規劃推算模組其所需計算時間與搭配相關商業軟體、硬體規格及系統整體概略費用。	已於期末報告 3.5 節進行補述。	同意辦理
8. 因各噸位船舶耐浪程度不同，後續建議可在預警介面中考量不同噸位船隻分類，以利應用。	目前 AIS 資料庫中噸位欄位大多無詳細資訊，另外考量各噸位船舶耐浪程度，尚無明確依據進行定義，故介面僅先透過列表方式列出相關資訊，提供後續使用單位自行評估其所需預警門檻。	同意辦理
七、許義宏委員		
1. 颱風波浪推算之模擬時間多久？是否可滿足應用單位應變使用。	目前依照本案招標需求提供 6 小時後的預測情況，未來相關應用單位若有特殊需求，可再與港研中心研議進行調整。	同意辦理
2. 目前為期中報告階段，對於後續工作事項之流程及方法應有所說明。	已補充工作進度、工作進度甘梯圖於第一章，工作內容與成果已詳述於期末報告。	同意辦理
3. 在 AIS 部分，目前僅將船舶資訊呈現，仍應將目前正在處理之進度及建置方法，進行摘要說明，以利瞭解。（對應進度甘梯圖）	已補充工作進度、工作進度甘梯圖與流程圖於第一章。	同意辦理
4. 船舶航行安全風險評估系統規劃以布袋港進行展示，由於該港船舶數量偏少，是否具代表性，且足以做為 AI 智慧化學習之資料源，建議再補充說明。	船舶航行安全風險評估系統主要以單一港口周邊針對海上船舶航行行為、擱淺告警、船艏異常告警及漂流告警等分析。各港因為環境不同，需各別建模，進行測試其可行性，目前僅針對布袋港作為示範區進行建模。	同意辦理
5. 簡報第 27 頁，船種噸位建議也納入，展示介面並用不同顏	目前 AIS 資料庫中噸位資料欄位資訊較不完善，若未來資料有改善可在調整納入。展示介面的輸出表為了提	同意辦理

色區分。	升各種操作系統與應用軟體的廣泛性，目前採用最廣泛使用的 csv 檔作為傳輸格式，該格式甚至可視為純文字文件開啟，但相對就無法加入色彩表示。	
八、國家海洋研究院		
1. 本研究工作項目共六大項，於期中完成前三項，建議增加如甘梯圖說明期程安排規劃，且期中報告中亦須針對 4-6 工作項目進行說明。	感謝委員建議，已於期末報告第一章補充工作進度、工作進度甘梯圖與流程圖。	同意辦理
2. NOAA WAVE WATCH III 簡寫應為 NWWIII。	感謝委員指正，已改為 NWWIII。	同意辦理
3. p.4-3 模式範圍提及西北亞建議使用西北太平洋。	已修改為西北太平洋。	同意辦理
4. p.2-8 指標 ΔHs,p/Hmax 及 RMSE/Hmax 文中似乎並無使用？	感謝委員指正，已刪除誤植處。	同意辦理
5. 第 2.2.3 節中，並無說明如何計算絕對平均值，建議增加說明。	已於 2.2.3 節加入說明並修正為平均絕對值。	同意辦理
6. p.3-4 第二段第一行，最後”除了其實的侵臺”是否為”除了即時的侵臺”。	感謝指正，已修正。	同意辦理
7. 表 3.2-1 建議放入颱風中文名稱，因為後面文章中颱風英文名稱皆有使用。	已加入中文名稱。	同意辦理
8. p.3-13 第二段第一行倒數第 2 個字”籃”→”藍”。	感謝指正，已修正。	同意辦理
9. 第三章為何使用參數化風	依照本案招標需求而採用參數化風場，參數化風場可提供較省時間的推	同意辦理

場，而不使用 WRF 風場？	算結果，介面則選用中央氣象局所公告的預測資料做為告警標準。	
10. 船舶警示部分，針對不同大小、類型，應有不同波高警示門檻值，應船舶抗浪性不一致，是否可增加風的警示？	目前 AIS 資料庫中噸位資料欄位資訊較不完善，另外考量目前各噸位船舶耐浪程度尚無明確依據進行定義，故目前介面僅先透過列表方式列出相關資訊，提供使用單位自行評估其所需預警門檻。風場部分則已經工作會議討論，納入氣象局預測風場供使用單位做參考。	同意辦理
11. P.2-9 缺 BD、布袋港說明。	已補入說明於 P4-7。	同意辦理
九、臺灣港務股份有限公司		
1. 建議本研究計畫之應用提供予交通部航港局海事中心對於臺灣海域航行安全之預警監控之參考。	感謝委員建議，因應海象與船舶航行時的異常行為等訊號，在災害發生前先行告警，期望能降低海上災難發生機率，有效提升船舶於海上航行安全。	同意辦理

附錄三

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫(具委託性質)

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-109-H2CB001g 整合風浪模式建立船舶航行監控預警系統

合作研究單位：天禾資訊有限公司

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、陳賓權委員		
1. 本研究以港研自行開發第四代 TaiCOM 系統，利用 8 大港口之近 5 年實際觀測風浪及近 3 年颱風波浪預測資料，進行實證研究，文獻回顧完整、方法論紮實，開發之預警監控系統亦具有實用性，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意辦理
2. p.1-8 中段，「期中報告已於…，將分述如後續章節」這段文字，建議期末報告定稿時刪除。	感謝委員建議，已於定稿修正。	同意辦理
3. p.2-6，地形資料只取得布袋港周邊小範圍地形實測資料，由於不同港預測精度有所差異，建議可洽船舶中心(SOIC)聯繫，是否有全臺海岸周邊水文水深資料，以利後續研究校正分析。	感謝委員建議，已納入結論與建議中，供後續各港建立本系統時作參考。	同意辦理
4. 表 3.4-2~3.4-9，呈現各港颱風期間，波浪推算結果與實測波浪之誤差分析，其中有多場颱風實測值高於 10m 的峰值，無法有效模擬，是否可將颱風發生的季節因素一併考	由於風場來源採用參數化風場，故目前本模組無法模擬季節風浪的特性。	同意辦理

慮？		
5. 建議可以於實驗取樣時間內，比對颱風波浪資料與同一時間內可得AIS軌跡資料，觀察影響範圍內船舶軌跡與颱風波浪的連結性，以強化本監控預警系統的效益。	由於颱風資訊與船舶軌跡間的關係，主要還是依各個操船者的作業目的與個人主觀判斷，會有不同的機制，故將風浪預報資訊供操船者自行評估。	同意辦理
6. p.7-12 有關擱淺告警判定，係透過船體的長、寬及面積與其吃水深建立回規模型，可能造成誤差，建議可洽本局 MTNet 索取船舶檢丈資料來比對。	經聯繫 MTNet 目前並無針對船舶檢丈資料做相關彙整，建議未來另案與航港局航務中心協商資料提供的方式。另由於本研究考量風險系統的即時性，故目前建議採用 7.4 節的多變數回歸模型，進行即時補遺為較好方式。	同意辦理
7. 航港局自 107 年 10 月起陸續完成 33 站 AIS 岸臺硬體建設，後續也與運研所港研中心介接 27 站進行整合，目前共有 49 站 AIS 站台。今年 6 月起亦購置衛星 AIS，大幅加大涵蓋範圍補足海峽中線盲區問題。前述 AIS 岸臺亦可提供對船舶廣播功能，可協助發佈告警資訊，建議未來可以加強交流合作。	感謝委員建議，本研究已因應 AIS 大量數據，提出非關連式文檔資料庫的應用，未來若有更多的 AIS 資訊，勢必能再進一步提升本研究之應用性。	同意辦理
二、林銘崇委員		
1. 是否設定預警基準或指標？	本研究船舶預警介面系統中風浪預警範圍的基準已示如 p.4-23，風險系統各告警機準則如 7.2 節至 7.4 節。	同意辦理
2. 風險評估系統中異常判定牽涉因素複雜，如何處	基本透過統計分析與地形水位基準，已詳述如期末報告 7.2 節至 7.4 節。	同意辦理

理研判？		
3. 與 AIS 之聯結說明可加強。	風浪預警介面中的 AIS 資訊引用，已詳述於 4.3 節，第五章則將往昔 AIS 資料以非關聯式文檔資料庫進行建立，並提供第六章船跡預測 AI 模型之用，第七章則利用即時 AIS 資訊進行風險模式之建立。	同意辦理
三、蕭士俊委員		
1. 整體報告內容完整，值得肯定。	感謝委員肯定。	同意辦理
2. 報告有部份符號不一致及圖表之圖說不清，請修正。 (A) p.3-5 Vmax。 (B) p.3-14 Fig3.2-3 符號應說明。 (C) p.3-34 文中有式(2-1)~(2-4)應為誤植。 (D)表 3.4-2 及 3.4-3 等應加上單位。 (E) p.3-31 eq(3-14)向量符號跑掉。 (F) p.7-14 圖 7.4.1 縱軸 frequency 意義？	(A) 已修正文中下標。 (B) 已說明於 P3-13。 (C) 已修正於 p3-34。 (D) 已於表 3.4-2 與表 3.4-3 加入單位。 (E) 已修正式(3-14)。 (F) 已於 P7-14 中補充說明為次數統計。	同意辦理
3. 是否將 HSC 之 SOG 分布呈現？表 7.2-2 告警臨界值應改為 42Knot。	已修正表 7.2-2，會建議採用 42knot 主要是由於樣本資料中太少，故不再增列過少資料量的分布。	同意辦理
4. p.7-8 圖 7.2.9 sailing SOG 之 peak 值為何？	圖 7.2.9 主要可看出 peak 值所對應的 SOG 集中區域，其值 0.14 為分布面積 1 中所佔之比例。	同意辦理
四、蘇青和委員		
1. 第 1 章 p.1-2 之文獻回顧建議增加風場及波場數值模式相關研究部份。	感謝委員建議，已於 1.2.2 節增加本研究參考的相關風浪計算與數值模式文獻。	同意辦理
2. 第 2 章 p.2.2 資料蒐集有	已增加海氣象資料來源之基本說明，各	同意辦理

關 AIS、海氣象及地形等資料蒐集僅一頁，有待加強。	測站詳細觀測期間、座標與位置圖建議參閱觀測資料年報。	
3. 第 3 章波場 3 種模式比較，如何選取最佳方法，應單節完整說明，4.2 節部份比對應移至本章，另建議增加風場模式之完整說明。	第三章主要依公告工作項目，說明如何建立建立自動化整合生成模組，第四章預警介面 3 種波場模式如何選取最佳方法已專節說明如 4.3 節。	同意辦理
4. 第 4 章 4.2 節改為風場資料來源，4.3 節改為波場資料來源，4.4 節改為預警介面，本節應增加風場部份成果。	遵照辦理，已增加風場資料來源於 4.2 節。	同意辦理
5. 第 5 章資料處理，有關異常值檢核及修正甚為重要，建議另單節完整說明。	第五章主要著重於非關聯式文檔資料庫的應用與資料轉移，針對 AI 船跡模型的部分需求，建立軌跡資料庫，異常值的處理與排除，已詳述於 5.3 節。	同意辦理
6. 第 6 章模型建置，是否有考量布袋港區域特性？	本研究 AI 模型透過資料前處理選用布袋港周邊船跡資料，可參閱第六章與 6.1 節。	同意辦理
7. 第 7 章建議增加布袋港單位環境展示成果。	已於圖 7.5.6 增加介面於布袋港的展示成果。	同意辦理
五、李俊穎委員		
1. 第四章所發展系統建議補述系統現階段所建置軟硬體環境，以及未來所需軟硬體及表列輸入與輸出資訊。	自動化整合生成模組的建議軟硬體環境於 3.5 節進行說明，其餘資料庫與系統介面的部分則表列於 7.5 節供未來實機架設做參考。	同意辦理
2. 第五章建議補述 AIS 資料庫採用 MongoDB 與原先資料庫之差異。	由於原資料庫並無明確參考文獻可引用，且本研究僅授權遠端介接其中一部分做即時資訊處理，故第五章僅針對傳統資料庫與非關聯式文檔資料庫的特性進行比較。	同意辦理
3. 有關第四章風波門檻值已在工作會議中預擬，建議在報告中說明。	已於 p.4-24 加入說明。	同意辦理

4. 目前計算是否每6小時計算一次請再補述作業流程。	p.3-2 已說明自動化整合生成模組能即時檢測是否有更新颱風資料，若有即自動進行下載並計算風場與波浪，並非每6小時計算一次。	同意辦理
5. 船舶異常資料分析建議後續可再歸納如每月告警數評估或與實際案例分析等。	目前即時風險系統僅介接中心內部15分鐘內之即時資料，建議未來確定直接連線之資料庫後，再蒐集一段時間之資料進行評估分析。	同意辦理
6. 在船速異常判定所分類統計後，極速大多小於現有資料最大值，是否會導致有太多預警資訊，建議後續計畫可再評估。	由於歷史資料庫與未來航港局所介接之資料庫資料密度可能不同，建議未來確定直接連線之資料庫後再蒐集一段時間資料進行評估分析。	同意辦理
7. 系統建置後續仍需考量資通安全，建議整理所用套件，並作源碼檢測及弱點掃描等。	本研究主要研發相關模式與介面，並考量資料來源與介接之可行性，因未來系統設置與操作環境無法掌握，且源碼檢測與弱點掃描，並非本研究主要工作項目，建議於部署產品時針對當時設備與工作環境另案進行評估。	同意辦理
六、許義宏委員		
1. 第1.2節文獻回顧部份，部分資料過舊，請更新。例如：p.1-2 交通部已於108年底公布2020運輸政策白皮書以及 p.1-3AIS目前已移交航港局，且本研究之AIS資料均是介接航港局資料庫。	已於1.2節加入2020運輸政策白皮書，並簡述與 102 年度之差異。並已更新航港局AIS站點。	同意辦理
2. 第4.1節AIS資料來源，請修正為本中心介接航港局AIS資料庫。	已修正於4.1節。	同意辦理
3. p.4-23 在警示區的船舶係採用.csv格式輸出，其在使用者操作上似乎不夠方便。建議於報告內提出頁面後續精進方式，以做為後續研究參考。	感謝委員建議，csv檔可透過純文字文件或Microsoft Office軟體中的Excel套件進行開啟，是屬於較為跨平台的通用格式，未來建議可配合不同使用者族群調整介面，已加入建議說明。	同意辦理

4. 依目前設計之船舶風險展示頁面，可能在實際應用時輸出大量船舶資訊，後續建議可設定篩選機制，由使用者篩選需輸出之條件，如船舶大小或種類等。	感謝委員建議，目前介面盡量以簡化操作的方式因應行動通訊與網頁平台，未來建議可配合不同使用者族群，調整介面輸出的篩選流程，已加入建議說明。	同意辦理
5. p.7-14 本研究採用船長及船寬進行吃水深之補遺，研究中是否有評估利用總噸位進行分析？請說明。(勞氏資料庫)	現有資料中總噸位也許多缺值，故目前僅依照工作會議討論的結果採用船長、船寬與面積進行分析。	同意辦理
6. 在布袋港航行風險評估系統，是否可能利用歷史軌跡標繪取得進出港船舶之主要動線，提供港務管理人員瞭解船舶是否有偏離航道之參考。	本介面主要介接近15分鐘內資料庫因應即時資訊與告警，故目前無此功能。	同意辦理
7. 第6章船舶軌跡構建，在進行數據量壓縮時，研究中採用之時間間距為何？(是用1分鐘取1點嗎？)	是以 1 分鐘 1 點來進行內插，可參見p.6-4。	同意辦理
8. 軌跡訓練約500多筆，這些訓練樣本大多是哪類船舶？(貨船、客船、漁船…)	是以漁船為主，可參見表7.2-1。	同意辦理
9. MongoDB對ShipName等文字訊息的 AI 學習是否能達到？	MongoDB 本身著重於資料儲存與處理，ShipName 欄位為各AIS子機為人設定，各船間的相關並不高，以目前技術評估若以其做為AI模型建構的輸入因子，可能僅會造成無意義的權重與誤判。	同意辦理
七、國家海洋研究院書面意見		
1. 圖3.2.2中台北港離岸觀測樁，建議改為臺北港離岸觀測樁。	已修正。	同意辦理
2. 有關 p.3-42 軟體套件約	感謝委員建議，自動化整合生成模組的	同意辦理

需 40 萬，建議列出本研發成果所需之套件，以利相關單位，評估及採購。	建議軟硬體環境於 3.5 節進行說明，其餘資料庫與系統介面的部分，則表列於 7.5 節，供未來實機架設做參考。	
3. 於 4.2.2 小節圖 4.2-7~圖 2.2.10 誤植，應該是圖 4.2-7~圖 4.2-10。	已修正。	同意辦理
4. 有關 4.3 節預警介面部份，建議位於警示區域內之船舶以不同顏色表示，方便使用者判斷如 4.3-3。	由於介面主要功能為風浪預警，底圖採用色階呈現且警示區域亦採紅橘黃三色區塊，船舶類型可讓使用者透過點擊船隻方式展示詳細資訊，以避免介面太過複雜。	同意辦理
八、交通部航港局書面意見		
1. 審查報告第 7 章 AI 智慧化船舶航行安全風險評估系統建置內，所設計的幾項評估船速異常、異常漂流及擱淺告警判定，報告內所設定的警戒臨界值參考來源為何，僅參考研究報告結果來做設定恐與現實有落差？	本研究主要透過歷史資料的統計分析來評估離群值，可參見第七章。	同意辦理
2. 對於港研中心為提高船舶航行安全，降低海難發生危險，開發預警系統，對此本局深表支持，惟在該案期中報告審查會議時提及未來系統開發完成後將移交本局管理，本局於前開整合會議分工，未來 AIS 資料本局僅提供予相關單位執行各業務，倘開發完成後請港研中心持續維管，成果分享相關單位使用。	目前本研究主要是以研發可行之預警介面為目的，後續應用與實機環境架設，建議透過行政協商與架設環境評估來提升本介面的應用性。	同意辦理
九、臺灣港務股份有限公司		
1. 於摘要部分，建議增加颱	已針對文中相關敘述進行修正並補述颱	同意辦理

風對船舶影響，及「預警」、「預報」統一修正為「預測」。	風對船舶之影響於摘要部分。	
2. p.1-3，目前 AIS 接收站數量及地點，請依航港局公佈之資料，修正內容。	已依航港局公佈之資料修正 AIS 接收站數量及地點。	同意辦理

附錄四

期末報告簡報資料

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

整合風浪模式
建立船舶航行監控預警系統

期末簡報

投標廠商:天禾資訊有限公司

中華民國一百零九年十一月六日

研究動機

- 臺灣不僅是東北亞與東南亞海上來往航運的樞紐，在海運與經濟貿易上更為重要之熱點，然而地理位置卻易受颱風或異常波浪侵襲，港灣周邊熱絡的船舶活動也存在諸多不可抗拒的危險。因此如何發展智慧化船舶監測系統有效整合我國周遭海域船舶資訊，提升海洋船舶航行安全顯得格外重要。
- 為進一步提升船舶於海上航行的安全，針對交通部運輸研究所港灣技術研究中心目前建置的船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)的大數據資料，整合風浪推算模式之結果，並對AIS資料進行資料前處理，建立大數據資料庫。利用大數據分析方式透過資料探勘技術挖掘AIS資料庫的船舶資訊，排除不適當的資料，再以AI技術開發船舶行為預測模型，配合地形資料與風浪預報資料建立智慧化船舶航行安全風險評估系統，達到擱淺告警、船艏異常告警及漂流告警等預測判斷功能。

2

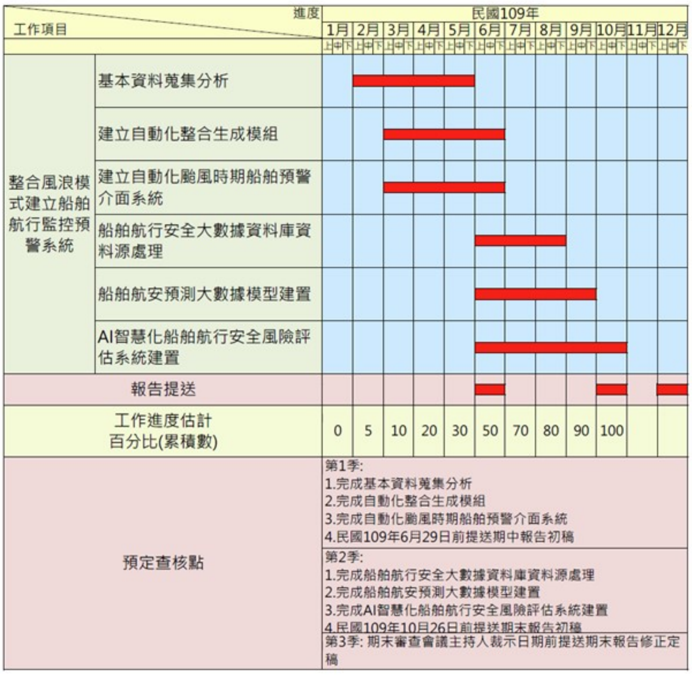
研究內容與工作項目

- 基本資料蒐集分析
- 建立自動化整合生成模組
- 建立自動化颱風時期船舶預警介面系統
- 船舶航行安全大數據資料庫資料源處理
- 船舶航安預測大數據模型建置
- AI智慧化船舶航行安全風險評估系統建置

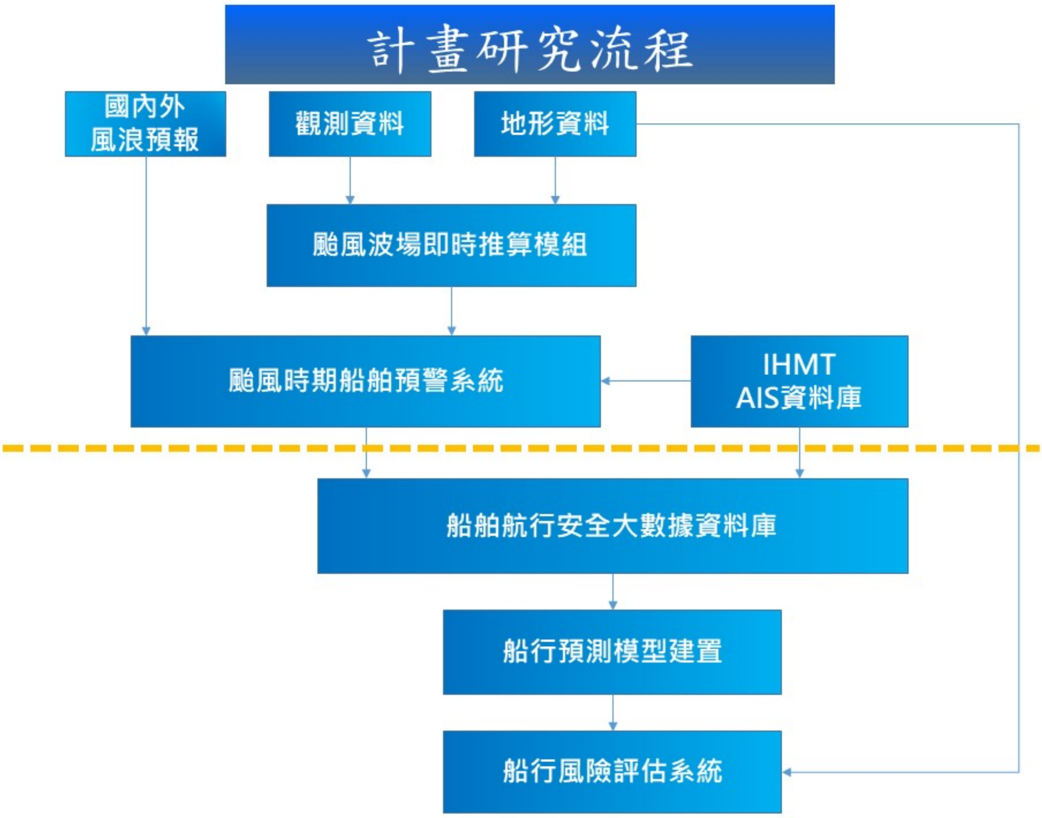
3

另就本計畫說明主要研究成果及重大突破製作成果展示海報與影片，配合相關成果發表與投稿，並依政府研究資訊系統針對論文發表、研究報告與其他效益等三項進行績效指標評估與填報。

預定進度甘梯圖



4



研究範圍與對象

工作項目主要又可分為兩部分：

(一)整合風浪預報至AIS系統並進行預警

無論是選用國內外其他單位的預報資料或是本計畫內所提供的颱風時期自動化整合推算結果，其研究範圍與對象為臺灣周邊海域，主要包含臺灣周邊海域AIS訊號接收範圍。

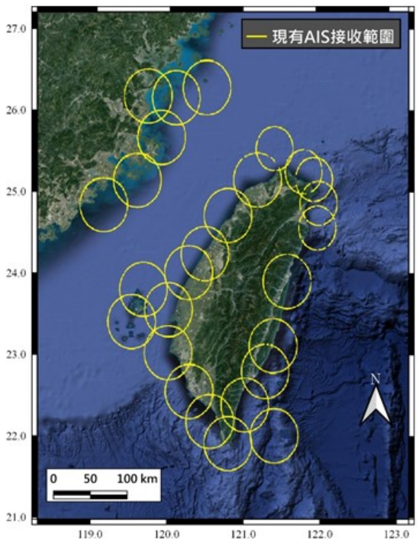
(二)船舶航行安全風險評估系統的建立

分為三個子項目：

1.航行安全大數據資料庫的研究對象包括交通部港灣技術研究中心目前所架設的AIS接收站之所有資料

2.船舶航安預測模型目前擬針對航行安全大數據資料庫中整合的船舶軌跡資料

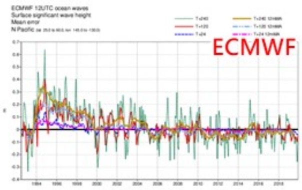
3.AI智慧化船舶航行安全風險評估系統考量使用上各港獨立操作，開發上會先從資料庫中萃取部分資料，目前先選擇單港環境進行展示(布袋港)。

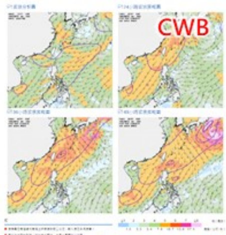


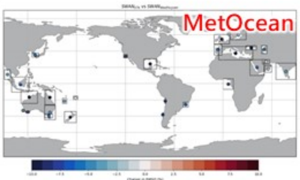
6

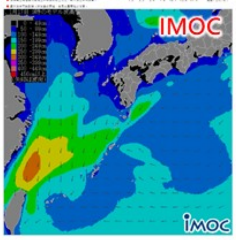
基本資料蒐集分析

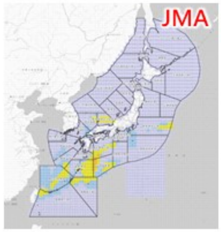
- 颱風波浪預報相關資料











- 風浪實測資料與地形資料蒐集
  - 針對港研中心現有主要港口波浪資料與地形資料進行蒐集，提供後續模式驗證與擱淺告警之標準。

7

建立自動化整合生成模組

- 前處理流程：來源資料目前CWB所公布的即時預報資訊編寫自動化下載與前處理程式模組。
- 風場計算模組：最大風速半徑推算方式擇選。並考慮考量颱風移動效應、切線風速角度修正與梯度風速轉換等修正。
- 波浪計算模組：颱風侵台期間自動化波場推算與輸出，並與實測資料進行精度比較。

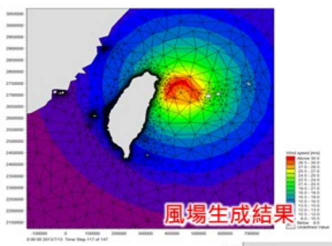
前處理流程
颱風資訊下載、資料內插與品管、壓力轉算風速、樣本生成

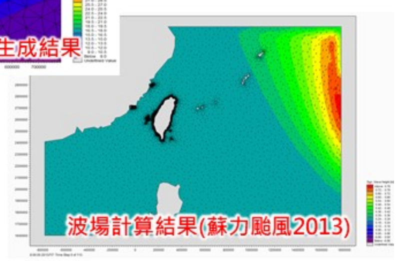
↓

風場計算模組
最大暴風半徑計算、參數化風場計算、網格生成與儲存

↓

波浪計算模組
讀取地形網格、設定檔生成、自動波浪模擬與儲存





建立自動化整合生成模組

- 自動化下載預報資訊與前處理程式模組

◆ **資料自動下載**

資料包括各個侵台颱風過去、現在與未來的時間、位置、強度與結構，包括、時間、中心經緯度、中心氣壓、近中心最大風速、近中心最大陣風、八方位半徑資訊與等參數。

◆ **資料品管**

針對即時預報資料中格式進行檢核，例如有效格數、不明標記的符號，並以合理方式進行內插。

颱風路徑XML架構

當下時間點的XML架構

9

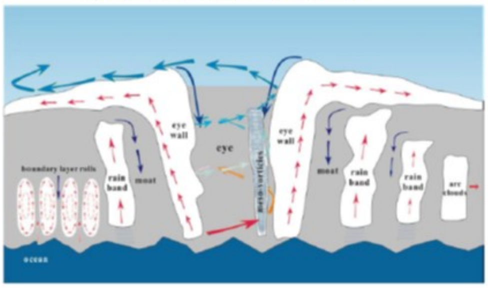
建立自動化整合生成模組

- 風場計算模組

➢ **修正的Rankine vortex model**

$$v = \begin{cases} v_{\max}\dfrac{r}{R}, & r < R \\ v_{\max}\left(\dfrac{R}{r}\right)^{x}, & r \geq R \end{cases}$$

風場結構圖(Li et al., 2013)



➢ **Holland Model (1980)**

$$v = \sqrt{\frac{B(p_n - p_c)}{\rho}\exp[-\left(\frac{R}{r}\right)^{B}]\left(\frac{R}{r}\right)^{B} + \left(\frac{rf}{2}\right)^{2}} - \frac{rf}{2}$$

$$B = \frac{e\rho(v_{\max}^2 + v_{\max}Rf)}{p_n - p_c} \approx \frac{e\rho v_{\max}^2}{p_n - p_c}$$

10

建立自動化整合生成模組

- 風場計算模組-相關風場修正

  - **移動風速(McConochie et al., 1999)**

$$v_c = v + \alpha v_f \qquad \alpha = \frac{1}{2}[1+\cos(\theta_f - \theta_{\max})]\frac{v_f}{v_{\max}}$$

  - **10 m風速(V_{10}) (Harper et al., 2001)**

$$v_{10} = k v_c \qquad k = \begin{cases} 0.81, & v<6 \\ 0.81-2.96\times10^{-3}(v-6), & 6\le v<19.5 \\ 0.77-4.31\times10^{-3}(v-19.5), & 19.5\le v<45 \\ 0.66, & 45<v \end{cases}$$

  - **風向修正(Sobey et al., 1977)**

$$\beta(^\circ) = \begin{cases} 10\frac{r}{R}, & r<R \\ 75\frac{r}{R}-65, & R\le r<1.2R \\ 25, & 1.2R\le r \end{cases}$$

11

建立自動化整合生成模組

- 風場計算模組-最大風速半徑的經驗公式

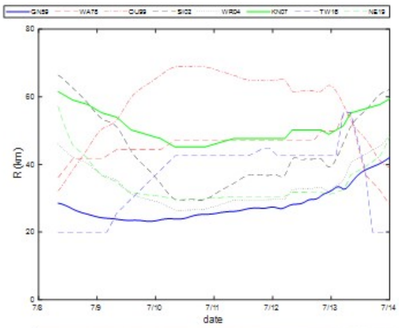
1. Graham and Nunn (1959) $R = 28.52\tanh[0.0873(\phi-28)] + \dfrac{12.22}{\exp\left(\dfrac{1013-p_c}{33.86}\right)} + 0.2v_f + 37.22$
2. Wang (1978) $R = 0.1r_{30}$
3. Ou et al. (1999) $R = -1.529\times10^{-5}p_c^3 + 4.036\times10^{-2}p_c^2 - 35.645p_c + 10608.8$
4. Silva et al. (2002) $R = 0.4785p_c - 413$
5. Willoughby and Rahn (2004) $R = 46.29\exp(-0.0153v_{\max} + 0.0166\phi)$
6. Knaff et al. (2007) $R = 70.38 - 0.4238v_{\max} - 0.0074(\phi-25)]$
7. Takagi and Wu (2016) $R = 0.23r_{50}$
8. Nederhoff et al.(2019) $R = 153.7e^{-\frac{v_{\max}}{11.5}}(1+0.007|\phi|)+28.9$

12

建立自動化整合生成模組

風場計算模組-最大風速半徑擇選

本研究採用台北港有完整資料的12場颱風，來進行最大風速半徑計算方式的擇選。其中對應不同風場模式、移動風速修正與RVM衰減速率整理了八種計算方式，此八種計算方式在12場颱風的推算精度則由RMSE、BIAS與相關係數做為評估指標。最終探討各個最大風速半徑計算方式最佳及最差評估指標的次數統計。評估結果後選用RVM配合KN07最大風速半徑計算方式來處理自動化整合生成模組中的風場生成。



公式 / 指標	1	2	3	4	5	6	7	8
Min(RMSE)	13	12	14	8	3	31	6	9
Min(Bias)	8	14	20	9	1	27	11	6
Max(RMSE)	30	6	17	10	0	0	30	3
Max(Bias)	30	5	10	9	0	2	40	0

13

建立自動化整合生成模組

波浪計算模組

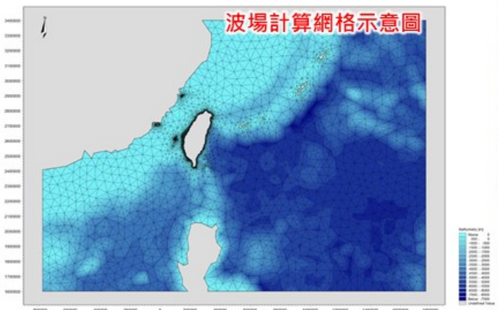
編寫自動化模組將計算風場儲存為MikeSW可用的輸入格式，自動生成波浪MikeSW的計算設定檔進行計算，並儲存波場計算結果。

網格設定內容

元素個數	9,709
節點個數	5,436
最小元素面積(m^2)	1,984
最大元素面積(m^2)	1.2×10^9

模式參數設定

相關參數	設　定
頻率領域	0.055Hz~ 0.542Hz
角度領域	0° ~360°、$\Delta\theta$=22.5°
時　距	Δt=15min
碎波指標	γ=0.8
底床摩擦	k_N=0.04m
白沫消散	C_{ds}=4.5、δ_{ds}=0.5

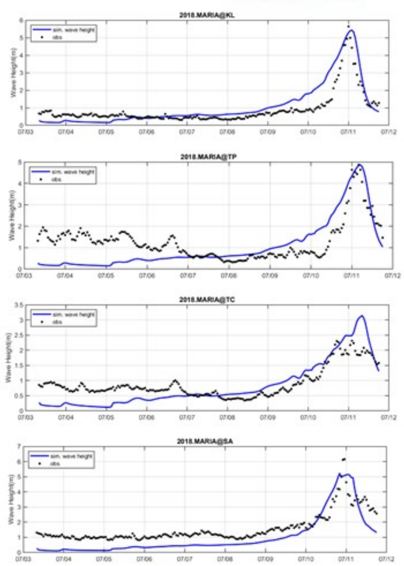


14

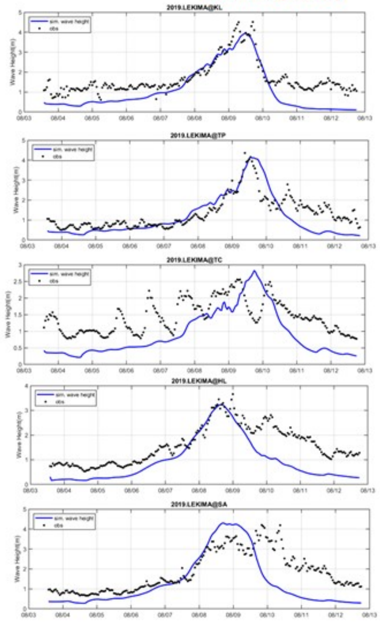
颱風波浪推算結果

- CWB track→RVM→MIKE21

Maria(2018)



Lekima(2019)

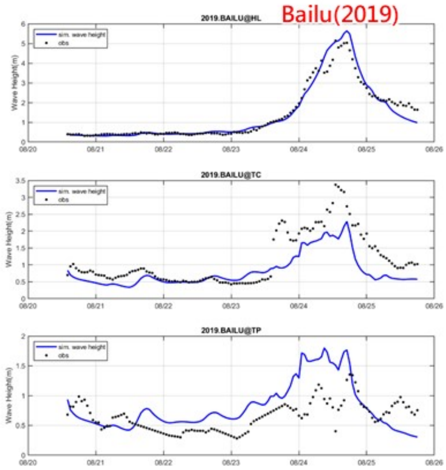


15

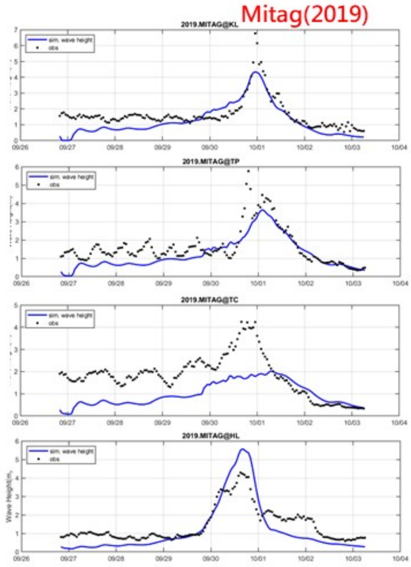
颱風波浪推算結果

- CWB track→RVM→MIKE21

Bailu(2019)



Mitag(2019)



16

颱風波浪推算結果

- CWB track→RVM→MIKE21

颱風名稱(時間)	KL	TP	TC	BD	AP	KH	HL	SA
DUJUAN(2015)	6.34	-	7.70	-	3.03	3.58	6.19	11.14
GONI(2015)	2.29	-	2.94	-	1.39	2.01	4.21	5.62
SOUDELOR(2015)	6.36	-	6.16	-	2.76	6.27	8.57	16.02
LINFA(2015)	5.63	-	3.00	-	-	4.03	3.44	5.26
CHAN_HOM(2015)	5.63	-	3.00	-	-	4.03	3.44	5.26
NOUL(2015)	1.91	-	1.86	-	0.91	1.15	2.57	3.30
AERE(2016)	5.04	5.09	-	1.41	-	-	3.04	3.88
MEGI(2016)	4.80	6.57	-	3.30	-	-	9.03	15.97
MALAKAS(2016)	4.74	4.93	3.21	2.97	-	-	7.01	7.75
MERANTI(2016)	2.46	2.89	3.21	2.97	-	-	7.01	7.75
NEPARTAK(2016)	1.75	1.54	3.55	2.05	2.72	-	5.70	6.67
TALIM(2017)	-	-	2.86	1.47	1.65	-	2.64	3.54
GUCHOL(2017)	1.09	-	1.65	1.12	2.02	-	1.81	2.03
HATO(2017)	1.41	1.00	2.41	1.55	3.41	-	3.32	3.76
HAITANG(2017)	2.61	3.17	3.05	2.38	4.53	-	4.74	-
NESAT(2017)	2.61	3.17	3.05	2.38	3.75	-	-	-
MANGKHUT(2018)	-	3.61	3.57	2.84	4.69	-	5.06	7.42
MARIA(2018)	5.64	4.87	2.31	0.90	-	-	-	6.16
MITAG(2019)	6.77	5.76	4.24	-	-	-	4.29	-
BAILU(2019)	-	1.36	3.37	-	-	-	5.14	-
LEKIMA(2019)	4.52	4.36	2.56	-	-	-	3.66	4.21

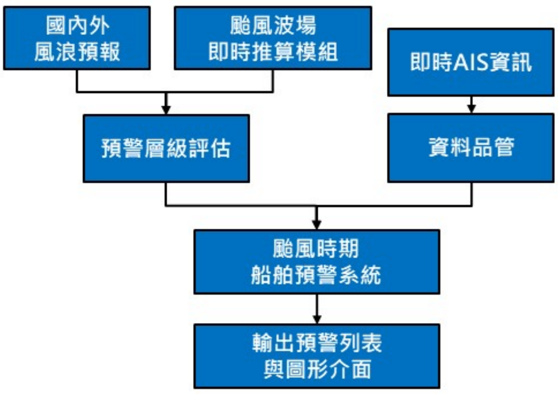
地點	RMSE	R^2	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p
基隆港	0.84	0.45	1.31	17.22
臺北港	0.84	0.35	1.32	22.31
臺中港	0.87	0.41	1.08	26.16
布袋港	0.69	0.42	1.67	39.08
安平港	0.77	0.49	1.62	20.82
高雄港	0.72	0.49	0.91	11
花蓮港	0.85	0.65	0.97	12.26
蘇澳港	1.09	0.60	2.19	15.82

本研究依據中央氣象局所公布颱風期間(共21場)有波浪資料(2015至今)的波浪測站皆納入評析，雖採用參數化風場所模擬的波場狀況僅能反映颱風所造成的波浪，可能導致部分測站非颱風造成波浪有較大誤差，但整體來看可發現高雄港推算精度最高，東岸花蓮港與西岸的臺中港次之。布袋港與安平港同樣有峰值波高推估較差的現象，東岸的蘇澳港整體波高判定係數不錯，但有多場實測值高於10m的峰值無法有效模擬。

17

建立自動化颱風時期船舶預警介面系統

- 除前述自動化颱風波浪推算模組，工作團隊建議亦可評估國內外現有波浪預報來進行船舶海象預警。國內現有波浪預報經過精度評估與資料可用性的討論後，選用中央氣象局開放資料集中的波浪預報與風速預報。
- 預警介面規劃採用網頁介面的方式，如此可以集中於伺服器端處理所有運算，未來各單位可透過網際網路直接以網頁瀏覽器進行操作處理。
- 已初步進行介面建構。主要功能即時提供6小時以上之預測結果，並於圖面劃設警示範圍，透過連結現有船舶自動識別系統(AIS)，列出應提出警示的船舶資訊供管理人員參考。



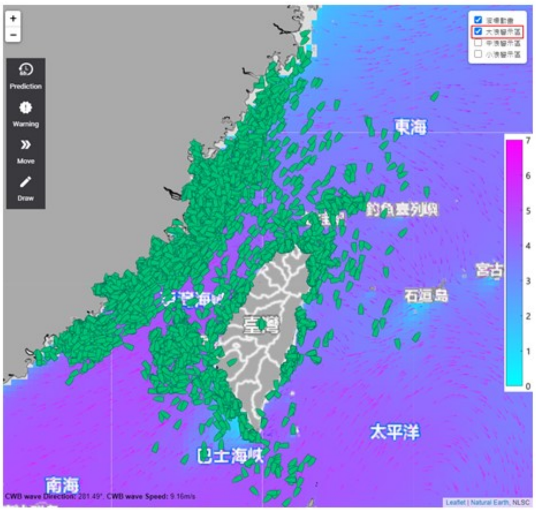
建立自動化颱風時期船舶預警介面系統

- 介面底圖採用國土測繪中心提供之臺灣通用電子地圖WMTS作為底圖。
- 地標與船跡符號已測試能配合可視範圍自動調整合適大小進行展示。
- 預報風場與波場以Geoserver轉為WMS的方式提供即時圖資，介面部分採用Leaflet來進行建置。

◆ 主要功能表(左)：
- 風浪預報圖層開關
- 告警資料展示與輸出
- 船跡動畫展示開關
- 多邊形劃設功能

◆ 次要功能區(右)：
- 波向動態質點開關
- 風浪告警門檻值切換

◆ 其他互動功能：
- Zoom in與Zoom out互動按鈕
- 點擊船隻顯示AIS資訊
- 滑鼠位置即時顯示資訊



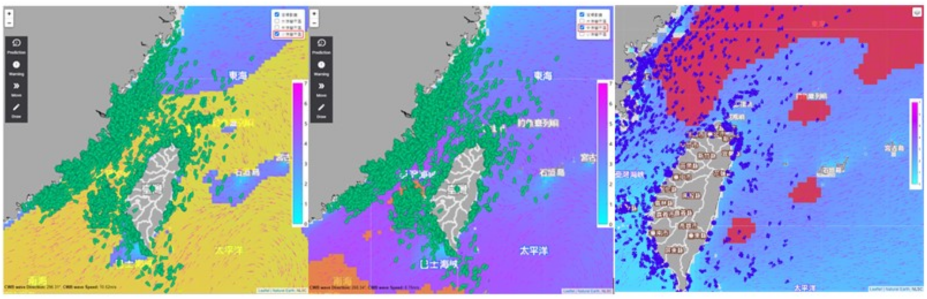
19

建立自動化颱風時期船舶預警介面系統

- 經工作會議討論，因應未來不同使用者需求，決定預設三種分級分別對應蒲福風級表中5至7級的風浪最大值做為門檻，顯示不同級別的警示範圍，由小到大分別以黃、橘與紅色區塊來顯示。

5	清風 Fresh breeze	8.0 - 10.7	29 - 38	17 - 21	19 - 24	清勁	31 - 40	中浪	2.0	2.5
6	強風 Strong breeze	10.8 - 13.8	39 - 49	22 - 27	25 - 31	強風	41 - 51	大浪	3.0	4.0
7	疾風 Near gale	13.9 - 17.1	50 - 61	28 - 33	32 - 38		52 - 62		4.0	5.5

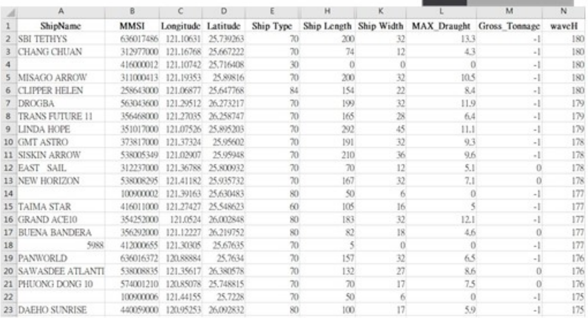
警示等級	風速(m/s)	波高(m)
黃	10.7以上	2.5以上
橘	13.8以上	4.0以上
紅	17.1以上	5.5以上



20

建立自動化颱風時期船舶預警介面系統

- 依據未來6小時可能有較大波浪的區域，快速統計各種波浪情境區域的船隻數量，並快速提供預警區域內的所有船舶列表下載。



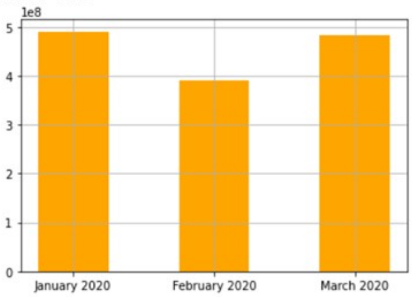
	A	B	C	D	E	H	K	L	M	N
1	ShipName	MMSI	Longitude	Latitude	Ship Type	Ship Length	Ship Width	MAX_Draught	Gross_Tonnage	waveH
2	SBI TETHYS	636017486	121.10631	25.739263	70	200	32	13.3	-1	180
3	CHANG CHUAN	312977000	121.16768	25.667222	70	74	12	4.3	-1	180
4		416000012	121.10742	25.716408	30	0	0	0	-1	180
5	MISAGO ARROW	311000413	121.19353	25.89816	70	200	32	10.5	-1	180
6	CLIPPER HELEN	258643000	121.06877	25.647768	84	154	22	8.4	-1	180
7	DROGBA	563043600	121.29512	26.273217	70	199	32	11.9	-1	179
8	TRANS FUTURE 11	356468000	121.27035	26.258747	70	165	28	6.4	-1	179
9	LINDA HOPE	351017000	121.07526	25.895203	70	292	45	11.1	-1	179
10	GMT ASTRO	373817000	121.37324	25.95602	70	191	32	9.3	-1	178
11	SISKIN ARROW	538005349	121.02907	25.95948	70	210	36	9.6	-1	178
12	EAST SAIL	312237000	121.36788	25.800932	70	70	12	5.1	0	178
13	NEW HORIZON	538008295	121.41182	25.935732	70	167	32	7.1	0	178
14		100900002	121.39163	25.630483	80	50	6	0	-1	177
15	TAIMA STAR	416011000	121.27427	25.548623	60	105	16	5	-1	177
16	GRAND ACE10	354252000	121.0524	26.002848	80	183	32	12.1	-1	177
17	BUENA BANDERA	356292000	121.12227	26.219752	80	82	18	4.6	0	177
18	5988	412000655	121.30305	25.67635	70	5	0	0	-1	177
19	PANWORLD	636016372	120.88884	25.7634	70	157	32	6.5	-1	176
20	SAWASDEE ATLANTI	538008835	121.35617	26.380578	70	132	27	8.6	0	176
21	PHUONG DONG 10	574001210	120.85078	25.748815	70	70	17	7.5	0	176
22		100900006	121.44155	25.7228	70	50	6	0	-1	175
23	DAEHO SUNRISE	440059000	120.95253	26.092832	80	100	17	5.9	-1	175

目前介面提供輸出資料：
1. 船名
2. 水上業務識別碼
3. 經緯度
4. 船型
5. 船長
6. 船舶最大吃水深
7. 預估波高

21

船舶航行安全大數據資料庫資料源處理

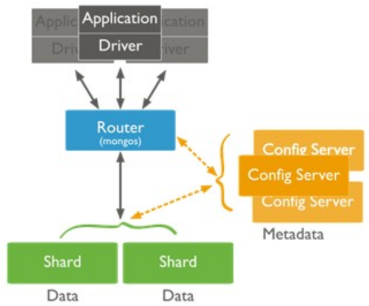
- 蒐集往昔AIS資料庫的紀錄檔，重新建立一套能提供後續船舶航安預測模型使用的資料庫。
- 船舶AIS資料庫因需要不斷蒐集船隻回傳的訊號，有大量資料需蒐集處理，2020年台灣附近AIS接收資料量統計，每個月約有近5億筆資料，資料量大小約130 GB。
- 在大量資料需不斷接收時，因不確定未來硬體容量需求，故此資料庫選擇時，需容易平行擴充，避免未來容量不足需轉移資料庫的問題，而AIS資料屬於地理空間資料，此資料庫亦需提供空間索引查詢功能，才能在大量資料下，快速搜尋空間中所需資料。
- 此外資料庫若能包含海氣象資料存放，未來將能提供歷史預報查詢或執行海氣象與船隻行為的延伸研究。



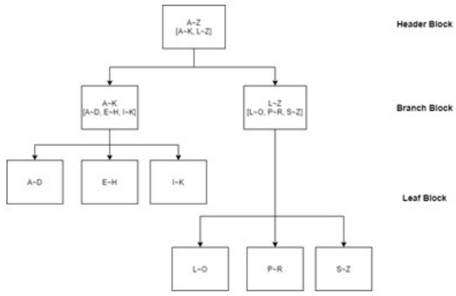
22

船舶航行安全大數據資料庫資料源處理

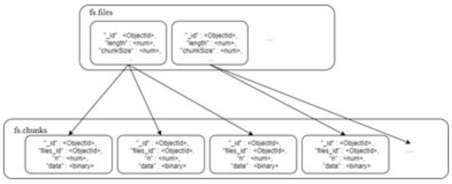
- 綜合上述需求，本研究選用文檔式NoSQL資料庫–MongoDB
- 特色1：水平擴充(分散式架構)



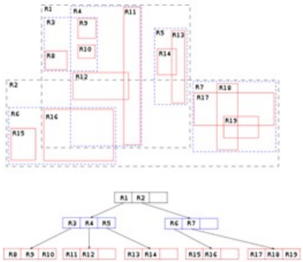
- 特色2：查詢索引(B-tree)



- 特色3：檔案儲存(binary)



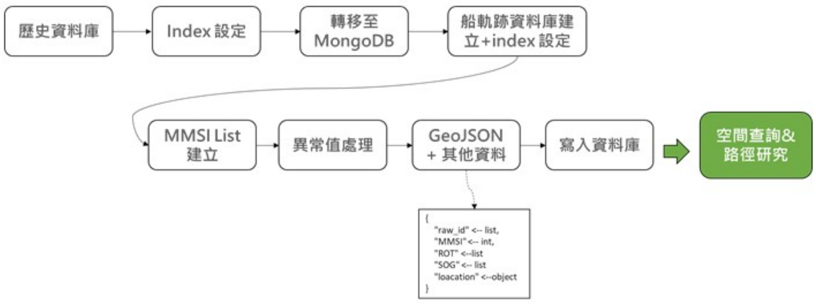
- 特色4：空間查詢(R-tree)



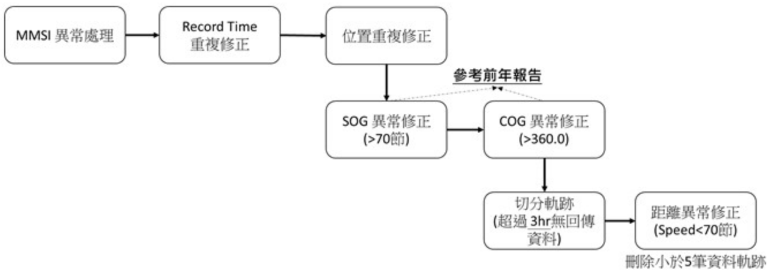
23

船舶航行安全大數據資料庫資料源處理

- 將歷史資料庫轉移至MongoDB處理流程：



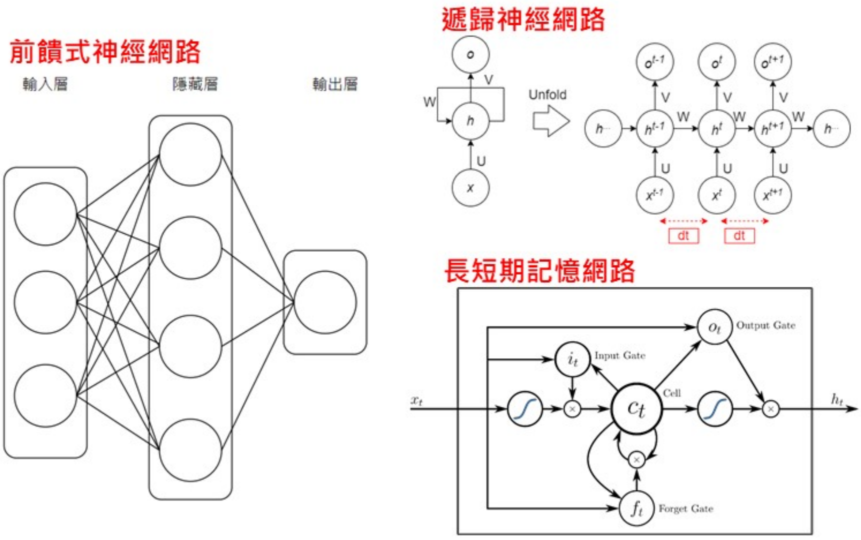
- 根據MMSI分類並加入篩選條件，去除異常資料，降低資料庫大小，並建立軌跡資料庫



24

船舶航安預測大數據模型建置

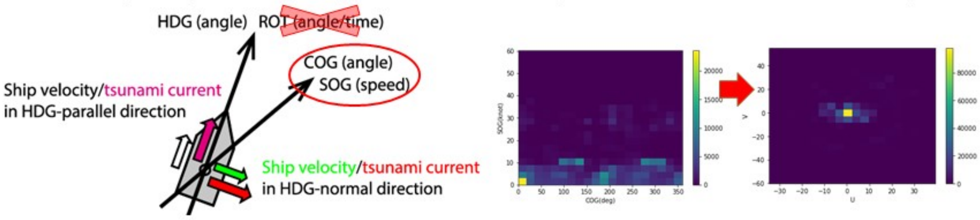
- 本研究以AI技術配合歷史船舶航跡資料庫建立預測模型，進而提前發出警告訊息達到預警效果。測試模型包括以下：



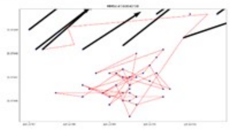
25

其他異常資料與數據預處理

- 重複資料(時間、位置)，MMSI異常(不符規定、空值)=>去除
- ROT(rate of turn)資訊異常，幾乎皆為128與-128，故不採用。
- 航向(COG)與航速(SOG)以U、V向量表示(避免角度0 & 360不連續問題)



- 最大吃水深(Max_Draught)與船舶總噸位(Gross Tonnage)大部分都無值。
- 船舶類型(Ship and Cargo Type)有undefined type與許多異常資料。
- 漂流資料處理：將最大移動距離小於0.01度資料濾除(denoise)

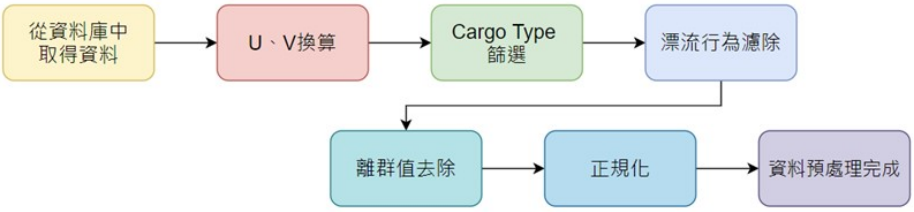


- 位置異常資料：因GPS 定位訊號接收問題，導致船軌跡位置異常，但此類資料因不連續資料少，不加以處理。

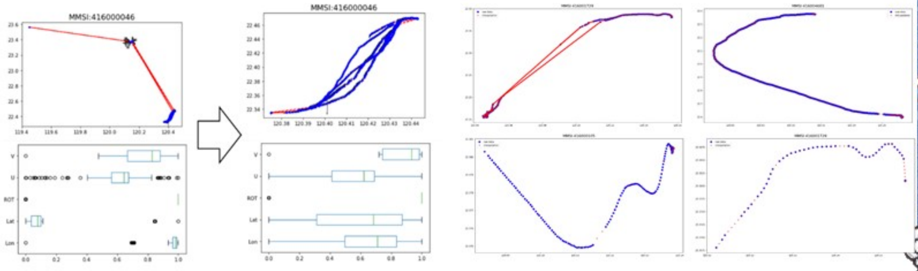
26

其他異常資料與數據預處理

- 預處理流程



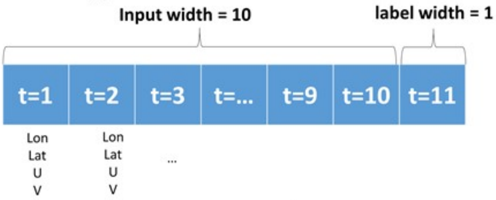
- 離群值去除與內插



27

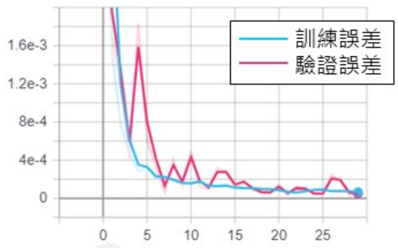
船舶航安預測大數據模型建置

- 考量模型大小及推算速度外，因AIS資料回傳量大，即時蒐集並清洗資料供模型輸入亦需耗費大量運算資源，故排除採用較長的時間輸入，使用船軌跡前10分鐘資料，推算後1分鐘結果。



- 依任務軌跡切分為3部分資料集，分別為訓練資料集、驗證資料集及測試資料集，切分比例分別為70%、20%及10%。

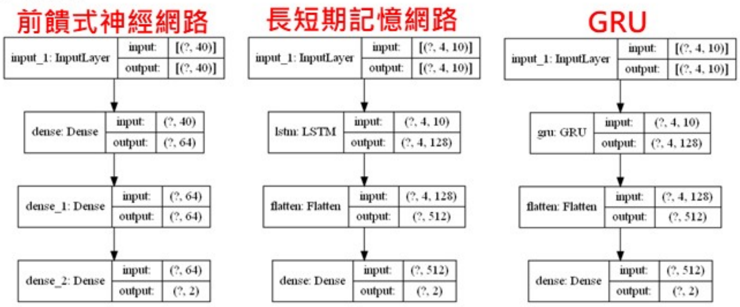
- 採用交叉驗證(cross validation)改善過度學習的問題



28

船舶航安預測大數據模型建置

- 模式架構



- 模型比較：

設備：CPU採用Intel i7-9700F，RAM64G，GPU使用RTX 2080s
設定：

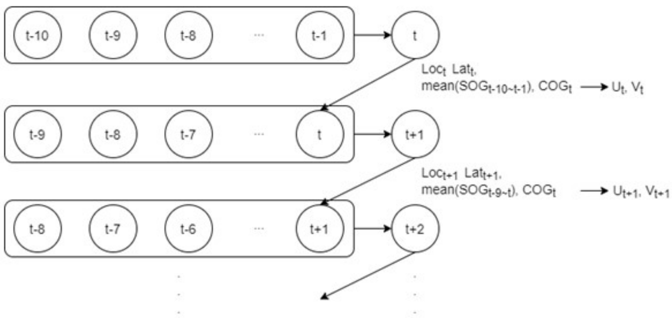
Loss function: Mean Squared Error(MSE)
Optimizer: Adam
Learning rate: 0.001
Epochs: 30

	RMSE(km)	運算時間(秒)
FNN	0.4081	0.3037
LSTM	0.1678	0.3510
GRU	0.2465	0.3460

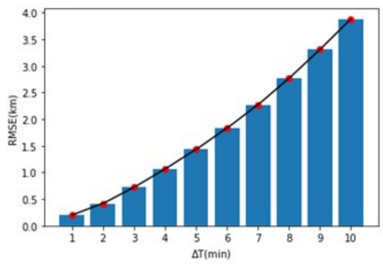
29

船舶航安預測大數據模型建置

- 模型擴展性分析



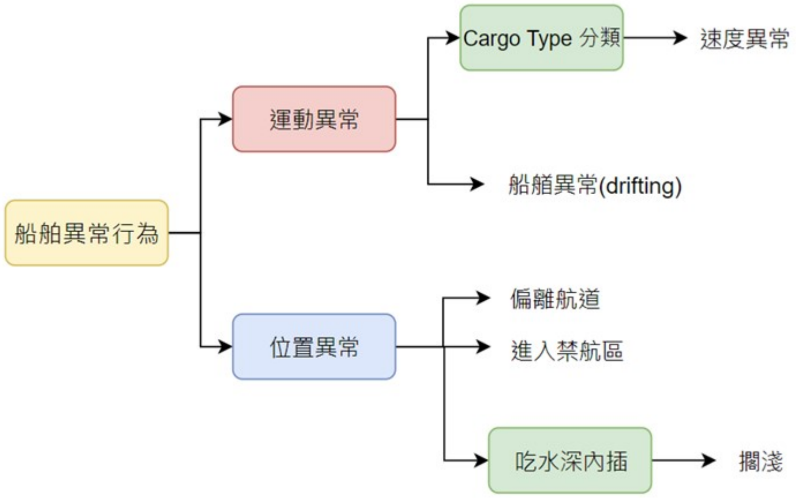
- 往後推算3分鐘，誤差在1km以內，往後推算10分鐘誤差達到3.8 km，此結果顯示了誤差累積的情況，推算時間點越往後延伸，其路徑軌跡越散亂。



30

AI智慧化船舶航行安全風險評估系統

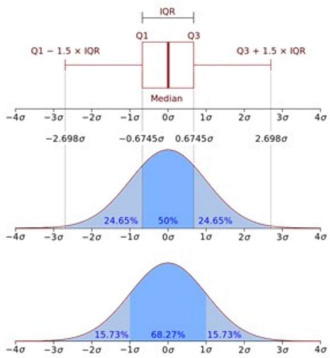
- 針對海上船舶航行行為、擱淺告警、船艏異常告警及漂流告警等目標建構船舶航行安全評估系統，將船舶的異常行為分為運動異常與位置異常兩類。運動異常中在細分為速度異常與船艏異常。位置異常則分為擱淺、偏離航道與禁航區等三類。



AI智慧化船舶航行安全風險評估系統

- 船速異常判定

先去除停船或捕魚船隻的低速資料後進行統計分佈分析，透過盒鬚圖離群值判別法判斷船速是否異常，上限離群值檢測標準為第三四分位加上1.5倍的四分位距(Q3 + IQR*1.5)，其告警臨界值如下表，其中高速船(HSC)因資料量較少，其速度快且速度分布較廣，計算結果為65.4節，但一般高速船最大速度約42節，故告警以42節替代。



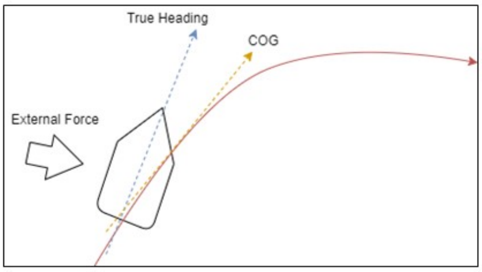
	Fishing	Dredging	Sailing	Tug	Cargo	HSC	Passenger	Not available
count	125928	538	322	4164	51906	376	4184	58223
mean	9.73	8.02	8.51	9.78	11.26	19.28	14.76	8.36
std	5.78	5.46	4.75	5.92	5.56	11.66	8.83	5.52
min	1.10	1.10	1.20	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
25%	7.80	5.60	6.50	7.70	8.80	8.90	8.80	5.30
50%	9.30	7.20	8.50	9.50	10.40	17.70	10.70	8.50
75%	10.60	9.10	10.00	10.90	12.30	31.50	21.53	10.20
max	69.80	56.50	58.20	69.80	69.90	56.10	63.80	69.90

Cargo Type	Speed limit (knot)
Fishing	14.80
Dredging	14.35
Sailing	15.25
Tug	15.70
Cargo	17.55
HSC	~~65.40~~ 42.00
Passenger	40.61
Not available	17.55

AI智慧化船舶航行安全風險評估系統

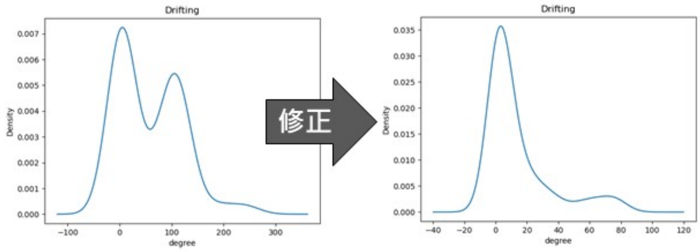
異常漂流判定

運動異常中除了速度異常外，還有一種情況就是船舶行進方向與船艏方向有過大差異的情況，此類現象可能是船隻已經失去動力，或是遭遇其他外力的影響所造成的漂流狀態。漂流定義為船前進方向(COG)與船艏方向(True Heading)的差異度過大。



異常漂流判定

在分析過程中發現許多設備安裝時預設方向錯誤造成資料中有雙峰分布的狀況，故進行適當修正再行分析。



	degree
count	152.00
mean	13.75
std	20.55
min	0.10
25%	1.18
50%	3.70
75%	15.75
max	80.00
limit	37.61

33

AI智慧化船舶航行安全風險評估系統

擱淺告警判定

擱淺的告警判斷需考量底床地形、海況變化與各船的吃水深。

擱淺告警標準：
(地形水深-當地潮位)<該船吃水深

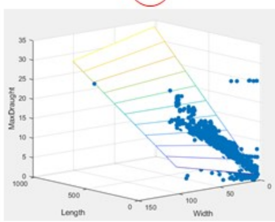
潮位計算

潮位變化使得擱淺告警的判斷需要考量研究範圍內各點各時刻的潮位，故必須利用潮位推算模式來達成。目前工作團隊以兩種潮位模式對計畫區周邊潮位站進行比較，結果顯示MOI潮位模式有較少的推算結果，故建議採用此模式進行即時計算。

目標點	MOI 模式	NAO99b模式
箔子寮	17.40	33.23
澎湖	14.18	16.13
東石	18.26	42.13
布袋	14.24	36.13
將軍	13.49	14.43

吃水深缺漏問題

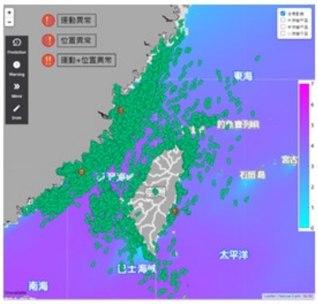
AIS欄位中雖有吃水深欄位，但多數船隻並無設定吃水深資料而回傳其預設值0。故本研究篩選有回傳的吃水深資訊，分別透過船體長、寬及面積與其吃水深建立回歸模型來解決此問題。



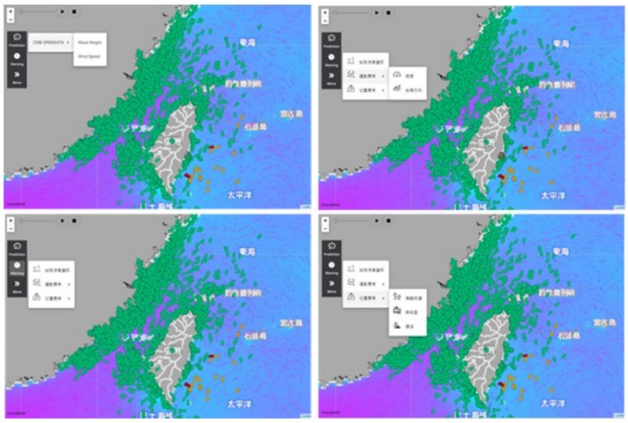
34

將風險評估系統整合至船舶預警介面

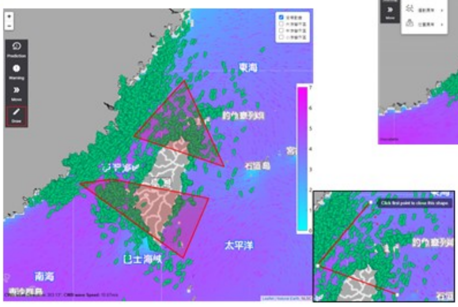
- 船隻異常警示圖示



- 各種告警資訊的輸出工具列



- 劃定告警區域的功能



35

結論

- 本計畫建立的自動化波浪推算整合生成模組，已完成三個子模組的建立並可自動化運行整合模組，當颱風侵臺時可自動介接中央氣象局的颱風資訊，快速生成風場資料輸入MikeSW計算周邊海域的波場。推算精度部分採用2015至今全部21場颱風在港研中心八大主要港口有實測波浪資料的事件進行評估，整體來看可發現高雄港推算精度最高，臺灣東岸花蓮港與西岸的臺中港次之。布袋港與安平港同樣有峰值波高推估較差的現象，東岸的蘇澳港有多場颱風實測值高於10m的峰值則無法有效模擬。
- 自動化颱風時期船舶預警介面系統已完成各項功能，能在全時段針對臺灣周邊海域提供波浪預警功能。目前介面介接中央氣象局公告預報資料即時提供6小時以上之風浪預測結果劃設警示區域範圍，並具備連結現有船舶自動識別系統(AIS)的功能，列出應提出警示的船舶資訊供管理人員參考。其中部分細節設定可開放進行調整，例如預報波場的資料來源、底圖、波高門檻值及輸出欄位等，後續可視需求進行調整。本研究圖台亦能提供其他介面的資料介接，若有更合適的圖台或介面，也可透過api呈現本計畫的成果。
- 工作團隊蒐集往昔AIS資料庫的紀錄檔，重新建立一套能提供後續船舶航安預測模型使用的資料庫。新的MongoDB資料庫在水平擴充、查詢效能與便利性上都較往昔的資料庫有更好的表現。目前除提供工作團隊進行快速統計分析，另經過一系列資料品管，將MMSI加入索引，也將船跡經緯度資料加入作空間索引，作為AI船跡預測模型建模所需的歷史軌跡資料庫之使用。

36

結論

- AIS資料庫長期蒐集船隻回傳資料，經由有效整理彙整為軌跡資料庫後，可搭配AI技術建立深度學習路徑預測模型，可預測船舶未來可能動態，從而提前發出警告訊息達到預警效果。本研究先預處理資料集中的軌跡資料，並建立多種預測模型進行評估，最後使用最佳模型進行模型擴展延時分析，結果顯示擴展預測時間後的誤差也隨著增加。
- 透過統計歷史軌跡資料庫中各項特性，將船舶異常情況分為兩大類，其中行為異常透過統計方法及船舶限制判定異常告警門檻，位置異常則引入AI船軌跡預測模型預測未來船軌跡位置，針對是否進入特定危險區域等狀況進行告警。船速異常的告警標準依照不同船種的統計分析結果來界定，異常漂流判定則經修正原始資料後的角度差進行統計分析，漂流告警的門檻值為37.61度。擱淺告警則需透過潮位模式推算平面潮位配合底床地形算出空間上各點絕對水深再配合船舶AIS資料中的吃水深進行告警判定。其中針對吃水深的資料缺漏問題，本研究利用船長、船寬建立多變數回歸模型，其判定係數達0.67，可在缺少吃水深資料的情況下進行計算。

37

敬請指教