

108-126-7B46

MOTC-IOT-108-H2DB004

整合 AIS 與海洋陣列雷達系統 之航安應用評估



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 12 月

108-126-7B46

MOTC-IOT-108-H2DB004

整合 AIS 與海洋陣列雷達系統 之航安應用評估

著 者：錢 樺、賴堅戎、蕭傑諭
蘇青和、黃茂信、許義宏

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 12 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估 / 錢樺等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民 108.12

面；公分

ISBN 978-986-531-051-6(平裝)

1.航運管理 2.運輸系統

557

108021938

整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估

著者：錢樺、賴堅戊、蕭傑諭、蘇青和、黃茂信、許義宏

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>>中心出版品)

電話：(04)26587196

出版年月：中華民國 108 年 12 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010802637

ISBN：978-986-531-051-6 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-051-6(平裝)	政府出版品統一編號 1010802637	運輸研究所出版品編號 108-126-7B46	計畫編號 108-H2DB004
本所主辦單位：港灣技術研究中心 主管：謝明志 計畫主持人：蘇青和 研究人員：黃茂信、許義宏 聯絡電話：04-26587196 傳真號碼：04-26560661		合作研究單位：國立中央大學 計畫主持人：錢樺、賴堅戊、蕭傑諭 研究人員：魏世聰、陶瑞全、楊文榮、林雨竹、王溥琳、溫雲晨、車函芳 地址：桃園市中壢區中大路 300 號 聯絡電話：03-4227151 #65670	
研究期間 自 108 年 02 月 至 108 年 12 月			
關鍵詞：船舶自動識別系統、海洋高頻陣列雷達、電子海圖系統、船舶運行管理			
摘要： 為因應離岸風電設置所衍生海上船舶交通量增加及航道改變之風險，本計畫以離岸風電海域及臺中港與之間通聯潛力場址海域、航道做為系統研發之研究海域，利用本所於臺中港北防沙堤附近所建置之陣列雷達觀測系統，開發船艦偵測技術，並整合航港局船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)，強化海域船舶預警監控，提升航行安全。 本計畫透過都卜勒距離譜，以調適性偵測法與調適性船舶偵測法，搭配固定錯誤警報率過濾法及雜訊測試，進行船舶軌跡偵測評估。經比對高頻雷達辨識之船舶與航港局 AIS 資料顯示，在近岸 4 公里內之海面雜訊干擾較強以及超過 30 公里、回波訊號較弱的地方，較不易準確偵測船舶，但觀測距離 4~30 公里之觀測成功率呈現平穩的趨勢，成功率約為 60%。另進一步針對船舶尺寸進行分析，高頻雷達觀測成功率並無明顯受到船舶尺寸之影響。因此，背景環境雜訊干擾還是主要影響雷達應用在船舶觀測成功率之關鍵因子。同時，本計畫整合雷達解算出之船位資訊及航港局 AIS 資料，透過地理資訊軟體 QGIS 進行成果展示，以視覺化方式呈現海域船舶分布情形，可作為後續航港單位加值應用及開發之系統雛形。 另外，本計畫亦針對離岸風電工作船進出臺中港之港航操船作業影響進行評估分析，透過等候理論及情境模擬方法，分析於尖峰時段之工作船對港口之影響。經分析結果顯示，在尖峰時段，最大總等候時間可能增加至 6.58 倍，因此宜避免離岸風電工作船過度集中於尖峰時段進出港。 本計畫完成結合雷達主動式船舶偵測與被動式 AIS 船舶動態系統之資訊，並開發船舶監控整合展示系統雛形，可提升監控海域之船隻動態監測，另外，亦進行船舶運行及碼頭利用之效率與安全相關分析，可提供港務相關單位航運管理策略制定之參考依據。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
108 年 12 月	208	200	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。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 ☒ 普通 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密）			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Feasibility Assessment of Integration of HF Phase Array Radar and AIS for Navigation Safety			
ISBN (OR ISSN) 978-986-531-051-6(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010802637	IOT SERIAL NUMBER 108-126-7B46	PROJECT NUMBER 108-H2DB004
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Ming-jyh Hsieh PRINCIPAL INVESTIGATOR: Su Ching-Ho PROJECT STAFF: Mao-Hsing Huang, Yi-Hung Hsu PHONE: (04) 26587196 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM February 2019 TO December 2019
RESEARCH AGENCY: NATIONAL CENTRAL UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hwa Chien, Jian-Wu Lai, Chieh-Yu Hsiao PROJECT STAFF: S-T Wei, D-D Toan, W-J Yang, Y-C Lin, P-L Wang, Y-C Wen, H-F Che ADDRESS: Taiwan, R.O.C. PHONE: (03)4227151 ext.65670			
KEY WORDS: AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM, OTH HIGH-FREQUENCY RADAR, AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM, SHIP ROUTES AND PORT MANAGEMENT			
ABSTRACT: Corresponding to the risk of increased marine vessel traffic and channel changes arising from offshore wind power installations. This project uses the array radar observation system which built by the institute near the Taichung Port North Sandbank to develop ship detection technology, and integrate the Maritime and Port Bureau's Automatic Identification System (AIS) around the offshore wind power area and the Taichung Port area. This project uses the Doppler spectroscopy, adaptive detection method and adaptive ship detection method to perform ship trajectory detection. Otherwise it also combined with fixed false alarm rate filtering and noise test method to enhance ship identification accuracy. The comparison of high-frequency radar identification and AIS data shows that the success rate of observation at an observation distance of 4 ~ 30 kilometers shows a steady trend, and the success rate is about 60%. However, it is difficult to accurately detect ships within 4 kilometers near shore with strong sea noise interference and over 30 kilometers with weak echo signals. Background environmental noise interference is a key factor that mainly affects the success rate of radar applications in ship observation. Simultaneously, this project integrates the ship position information calculated by the radar and the AIS data of the Maritime and Port Bureau, and uses geographic information software (QGIS) for display, to visualize the distribution of ships in the sea area. This result can be used as a prototype of the value-added application and development system. In addition, this project also evaluates and analyzes the impact of offshore wind power work boats entering and leaving Taichung Port on the operation of port navigation vessels. The analysis results show that during peak hours, the maximum total waiting time may increase to 6.58 times. Therefore, it is advisable to avoid excessive concentration of offshore wind power workboats in and out of ports during peak hours. The results of this project can enhance the Maritime and Port authority as a reference basis for monitoring the dynamic monitoring of ships in the sea area, and port management strategies to improve navigation safety.			
DATE OF PUBLICATION December, 2019	NUMBER OF PAGES 208	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
圖目錄	VI
表目錄	X
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫背景	1-1
1.2 計畫範圍與對象	1-3
1.3 目的與工作項目	1-4
第二章 研發高頻陣列雷達訊號辨識船舶的演算法	2-1
2.1 高頻陣列雷達背景與現況	2-1
2.2 觀測資料說明：都卜勒距離譜	2-6
2.3 高頻陣列雷達訊號之雜訊特徵研究	2-10
2.3.1 背景雜訊特徵研究	2-11
2.3.2 背景雜訊時空間特性分析	2-18
2.4 高頻陣列雷達訊號之船舶辨識演算法	2-21
2.4.1 船舶偵測方法介紹與步驟說明	2-22
2.4.2 船舶偵測方法測試與軌跡比對結果	2-26
第三章 整合雷達船舶資料與 AIS 資料庫及展示介面	3-1
3.1 海洋開發與航行安全的競合	3-1
3.2 AIS 資料與特性	3-2

3.3 展示系統及架構.....	3-7
3.4 AIS 船舶密度分析技術	3-13
3.5 成果之未來應用及開發.....	3-17
第四章 港航操船作業規劃.....	4-1
4.1 船舶運行效率分析.....	4-1
4.1.1 船舶運行效率相關文獻回顧.....	4-1
4.1.2 船舶運行效率分析.....	4-3
4.2 船舶運行安全分析.....	4-21
4.2.1 船舶運行安全相關文獻回顧.....	4-21
4.2.2 船舶運行安全分析.....	4-23
4.3 碼頭利用效率分析.....	4-29
4.3.1 碼頭利用效率相關文獻回顧.....	4-29
4.3.2 碼頭利用效率分析.....	4-30
4.4 航道與碼頭管理建議.....	4-34
4.4.1 模擬加入風力發電工作船之前後差異分析.....	4-34
4.4.2 管理建議.....	4-38
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-3
5.3 成果效益及應用情形.....	5-4
參考文獻.....	參-1

附錄一、訪談紀要	附錄 1-1
附錄二、期中報告審查意見處理情形表	附錄 2-1
附錄三、期末報告審查意見處理情形表	附錄 3-1
附錄四、期末簡報	附錄 4-1

圖 目 錄

圖 1.1 離岸風電潛力場址圖	1-1
圖 1.2 計畫區域示意圖	1-3
圖 1.3 三大工作連結	1-5
圖 2.1 臺中港海洋高頻陣列雷達系統外觀現況	2-2
圖 2.2 雷達機房內部設置與更新項目	2-5
圖 2.3 臺中港前八支天線元觀測的 I/Q 訊號時間序列示意圖	2-8
圖 2.4 第一支天線的 IQ 訊號示意圖	2-8
圖 2.5 I 訊號與對應的 Q 訊號之第一次的傅立葉轉換示意圖	2-9
圖 2.6 第二次傅立葉轉換之都卜勒距離譜示意圖	2-9
圖 2.7 臺中港高頻陣列雷達強度時序列圖	2-12
圖 2.8 臺中港附近觀測儀器位置圖	2-13
圖 2.9 AWAC 觀測之 U、V 方向之流速剖面	2-14
圖 2.10 臺中港高頻陣列雷達與鄰近觀測站風速資料比對圖	2-15
圖 2.11 臺中港高頻陣列雷達與鄰近觀測站波浪資料比對圖	2-16
圖 2.12 臺中港高頻陣列雷達 LERA 及 AWAC 之波浪資料比對圖 ..	2-17
圖 2.13 不同角度之背景雜訊時序列圖	2-19
圖 2.14 高頻雷達雜訊平均與標準偏差圖	2-20
圖 2.15 雷達訊號之船舶辨識演算法流程圖	2-21
圖 2.16 未經偵測演算處理之都卜勒距離譜	2-26
圖 2.17 經二維移動平均處理之都卜勒距離譜	2-27
圖 2.18 交叉頻譜扣除二維移動平均得到之殘餘訊號	2-27

圖 2.19 移除近岸干擾與布拉格波影響之殘留訊號圖.....	2-28
圖 2.20 不同標準偏差之調適門檻過濾結果.....	2-29
圖 2.21 調適性船舶偵測法之調適門檻圖.....	2-30
圖 2.22 原始訊號強度減門檻值之殘餘訊號圖.....	2-31
圖 2.23 調適性船舶偵測法之偵測結果圖.....	2-31
圖 2.24 不同過濾法處理後之結果比較圖.....	2-32
圖 2.25 高頻雷達資料經船舶偵測法演算結果與 AIS 比對圖	2-33
圖 2.26 高頻雷達資料經亮度分布技術處理與 AIS 比對圖	2-34
圖 2.27 統計距離門軌跡辨識計算與 AIS 比對圖	2-35
圖 2.28 高頻陣列雷達與 AIS 船舶位置距離誤差比對圖	2-36
圖 2.29 108 年 7 月高頻陣列雷達於不同距離之觀測成功率.....	2-38
圖 2.30 108 年 8 月高頻陣列雷達於不同距離之觀測成功率.....	2-38
圖 2.31 不同船舶尺寸與海面回波訊號強度比較圖.....	2-40
圖 2.32 108 年 7 月高頻陣列雷達於不同船舶尺寸之觀測成功率	2-41
圖 2.33 108 年 8 月高頻陣列雷達於不同船舶尺寸之觀測成功率	2-41
圖 2.34 108 年 7 月高頻陣列雷達於船艏向之觀測成功率.....	2-42
圖 2.35 108 年 8 月高頻陣列雷達於船艏向之觀測成功率.....	2-43
圖 2.36 108 年 7 月高頻陣列雷達於船舶行進方向之觀測成功率	2-43
圖 2.37 108 年 8 月高頻陣列雷達於船舶行進方向之觀測成功率	2-44
圖 2.38 X 波段移動式微波雷達觀測站現場.....	2-45
圖 2.39 108 年 10 月 16 日 10：30 AIS 與微波雷達觀測比較	2-45
圖 2.40 108 年 10 月 16 日 13：30 AIS 與微波雷達觀測比較	2-46

圖 3.1 民國 99 至 107 年在我國海域發生的海事案件統計.....	3-1
圖 3.2 AIS 船位資料檔案格式	3-6
圖 3.3 雷達船位資料檔案格式.....	3-6
圖 3.4 GeoJSON 格式檔案內容.....	3-7
圖 3.5 展示系統之網路架構.....	3-8
圖 3.6 快速啟動之模板.....	3-9
圖 3.7 支援多種格式之資料匯入畫面	3-10
圖 3.8 QGIS 操作圖層設定	3-11
圖 3.9 內政部 S57 圖資與 OSM 圖層及船位數據疊合.....	3-11
圖 3.10 網頁匯出功能示意圖	3-12
圖 3.11 各種類船舶之行跡分佈	3-13
圖 3.12 歐盟(EMODnet)計算船舶密度的方法	3-14
圖 3.13 AIS 船舶密度分佈圖	3-15
圖 3.14 雷達船位密度分佈圖.....	3-16
圖 3.15 航跡流檢測圖例.....	3-17
圖 4.1 等候曲線圖(Queuing diagram)概念	4-1
圖 4.2 107 年度 3-6 月日間航行於臺中港航道之統計與分析	4-2
圖 4.3 進港實際預報等候累積分佈圖	4-4
圖 4.4 進港實際預報等候累積分佈局部圖.....	4-4
圖 4.5 出港實際預報等候累積分佈圖	4-5
圖 4.6 出港實際預報等候累積分佈局部圖.....	4-6
圖 4.7 進出港合併等候理論圖	4-8
圖 4.8 進港總預報等候時間理論值之累積分佈圖.....	4-9

圖 4.9 進港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈圖	4-9
圖 4.10 出港總預報等候時間理論值之累積分佈圖.....	4-10
圖 4.11 出港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈圖	4-11
圖 4.12 進出港合併總預報等候時間理論值之累積分佈圖.....	4-11
圖 4.13 進出港需等候船隻之平均等候時間理論值之累積分佈圖	4-12
圖 4.14 進港各月預報等候時間之統計值.....	4-16
圖 4.15 進港各月預報等候時間之統計值.....	4-16
圖 4.16 出港各月等候之統計值.....	4-17
圖 4.17 各月預報等候時間之標準差.....	4-18
圖 4.18 各月出港預報等候時間累積分佈圖.....	4-19
圖 4.19 船舶資料篩選示意圖之 1.....	4-24
圖 4.20 船舶資料篩選示意圖之 2.....	4-24
圖 4.21 船舶距離累積分佈圖	4-26
圖 4.22 船舶距離累積分佈圖	4-28
圖 4.23 各月份各種類碼頭利用率比較圖.....	4-31
圖 4.24 各月平均靠泊碼頭時間統計值.....	4-32

表 目 錄

表 2-1 目前臺中港雷達參數	2-4
表 3-1 船舶種類(Ship Type)代碼列表	3-4
表 3-2 船舶移動設備報告時間	3-5
表 4-1 實際等候統計表.....	4-7
表 4-2 總預報等候時間理論值統計表(容量 6).....	4-13
表 4-3 需等候船隻之平均預報等候理論值統計表(容量 6).....	4-13
表 4-4 總預報等候時間理論值統計表(容量 8).....	4-14
表 4-5 需等候船隻之平均預報等候理論值統計表	4-14
表 4-6 各月出港預報等候時間分佈	4-20
表 4-7 船舶運行安全相關文獻統整表	4-21
表 4-8 各月船舶距離統計表	4-27
表 4-9 7 月船舶距離統計表	4-28
表 4-10 靠泊碼頭時間統計值	4-33
表 4-11 窄口容量 6 的情境模擬結果	4-36
表 4-12 窄口容量 8 的情境模擬結果	4-36
表 4-13 窄口容量 6 的模擬比較	4-37
表 4-14 窄口容量 8 的模擬比較	4-38

第一章 緒論

1.1 計畫背景

為順利推動國家能源政策達成再生能源發電占比 20%預定目標，離岸風電目標由原本規劃於 114 年累計達 3 GW（10 億瓦）已增加至 5.5 GW，106 年已完成 2 架示範機組，裝置容量共計 8MW。在此一基礎之下，政府規劃 109 年目標為合計設置容量 520MW；另中長期目標為 114 年合計設置容量要達成 5.5GW。大部份分佈於彰濱外海(參考圖 1.1 離岸風電潛力場址圖)。

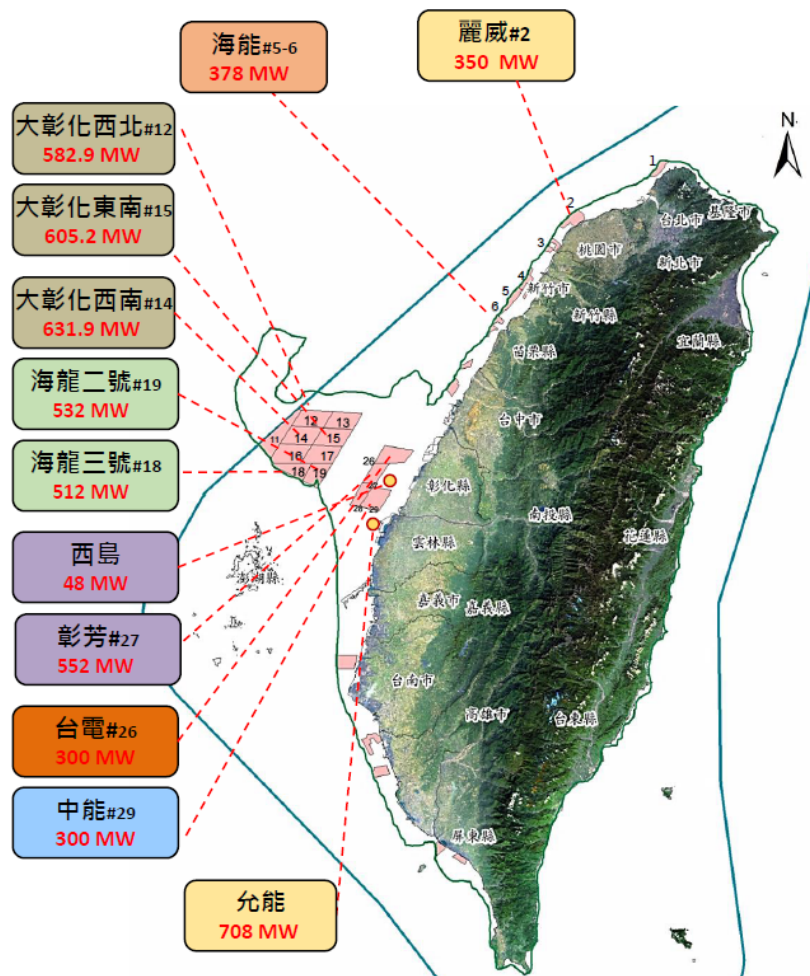


圖 1.1 離岸風電潛力場址圖

參考來源：經濟部能源局

臺中港為配合行政院離岸風電發展規劃，於民國 114 年達 5.5GW 裝置容量之目標，規劃於臺中港周遭設置 1.碼頭及預組裝區，以及 2.國產化製造產業專區等重件碼頭、碼頭後線相關土地使用以及工業專業區等 160 餘公頃，做為「離岸風電產業專區」。預期未來離岸風電的施工與維運都將提升臺中港船隻進出頻度，因此提高航道安全、避免事故與港埠有效管理是必要工作，而船隻動態監測即為首要之務。

本所於 106、107 年逐步進行相關研究，於 106 年度「離岸風能建置與航安技術發展」研究計畫中，比較國際各離岸風電發展先進國家對於離岸風電發展建置與海上船舶航安影響，進行相關文獻蒐集與分析，並針對我國離岸風電區建置之海上船舶航行安全管理的安全機制、航路安全規劃，建置一船舶交通流量分析與監測應用系統；於 107 年度「離岸風電區之船舶監控及急難救助」研究計畫中，更進一步整合船舶自動辨識系統 (Automatic Identification System, AIS)及電子海圖資訊，並將資訊匯整於臺灣海域船舶動態資訊系統，進行船舶航行的動態監測，當系統偵測到船舶誤駛入離岸風電禁航區時，能即時做出預警通知。此外亦針對數位選擇性傳呼(Digital Selective Calling, DSC)訊號進行解碼與資料格式轉換處理，將其整合於船舶動態資訊系統平臺當中，使平臺成為具備急難救助資訊顯示功能的 AIS 暨 DSC 即時資訊整合系統。

本計畫將基於前期研究基礎發展，結合海洋陣列雷達系統連續且主動地偵測海面船舶資訊，以彌補被動式船舶動態監測系統(如 AIS 系統)，進一步使未裝載 AIS 發報器或未進行發報之船舶亦能納入監測系統中。此外，再透過多重船舶動態監測資訊整合納入船舶動態資訊系統平臺，以利規劃港內航行之船舶最佳化的進出航線、時程與碼頭停靠率，有效降低船舶因離岸風電發展建設造成航行事故發生的可能性。

1.2 計畫範圍與對象

本計畫旨在結合雷達主動式船舶偵測與被動式 AIS 船舶動態系統之資訊，開發展示介面，以利進行套疊、比對等工作，檢出未發報之船舶動態，提升監控海域之船隻動態監測，並利用所得資訊進行船舶運行及碼頭利用之效率與安全相關分析。因此，計畫範圍以臺中港為中心，於本所建置之陣列雷達有效觀測範圍 40 公里半徑內，配合既有之船舶自動識別系統資訊，如圖 1.2 所示區域。

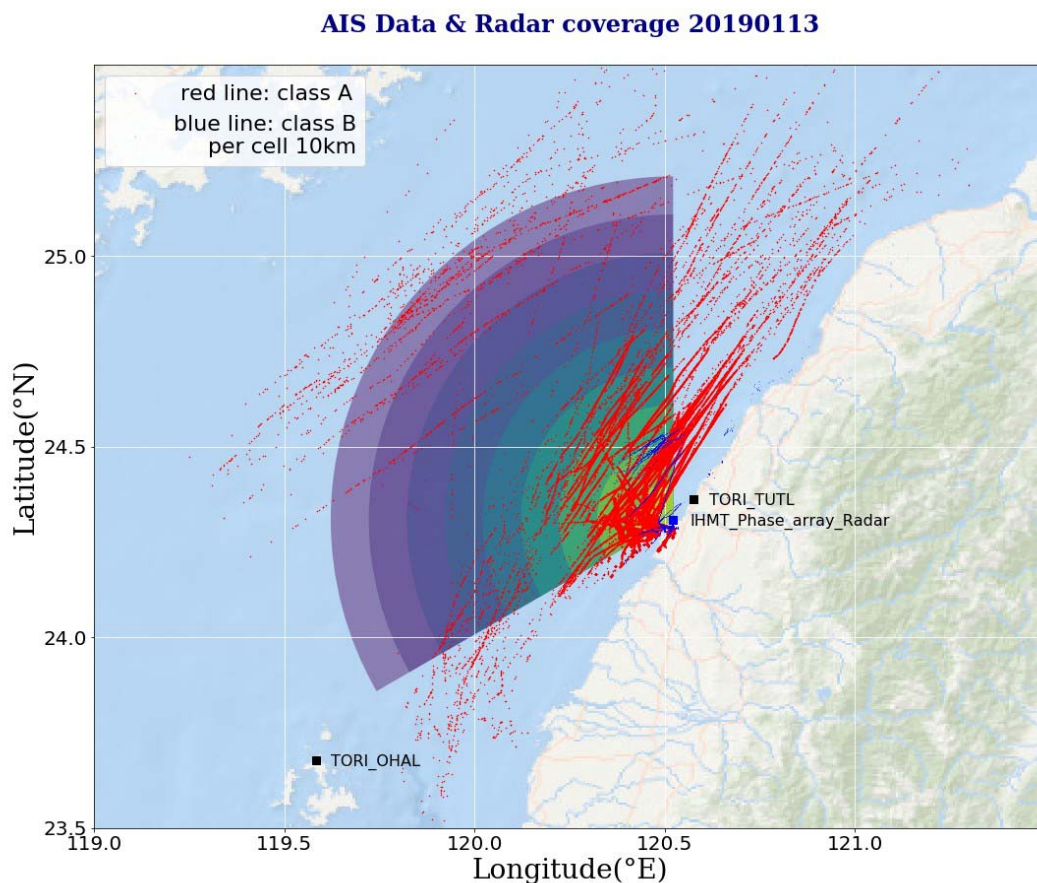


圖 1.2 計畫區域示意圖

(套疊 AIS 船跡與港研陣列雷達觀測 40 公里範圍)

1.3 目的與工作項目

在本計畫係以延續 106、107 年相關研究成果，於離岸風電海域及臺中港船隻往來潛力場址海域區域、航道做為系統研發之研究海域，結合 107 年於臺中港北防沙堤附近建置之高頻陣列雷達觀測系統，利用電磁波原理進行船艦偵測，與船舶自動識別系統互補，以多重監測系統提升對監控海域之船隻動態監控，保障海上航道安全與增進港埠使用效能，並開發電子海圖整合展示系統並建置資料庫，同時為提升港埠與航運高效營運，進行船舶分類統計及管理功能開發。

主要工作項目規劃主要分為三大項如下：

1. 建置臺中港區離岸風電海域 AIS 及海洋陣列雷達系統：使用本所海洋陣列雷達系統，針對海洋陣列雷達系統之回傳訊號，研發船舶辨識之資料格式模組與既有之 AIS 訊號格式進行比對，並撰寫軟體演算法進行系統資料格式轉換，完成資料庫建置規劃。
2. 建置臺中港區與離岸風電海域 AIS、海洋陣列雷達顯示介面：依據上述所建置 AIS 與海洋陣列雷達資料庫進行 AIS 與海洋陣列雷達設計顯示介面系統。
3. 結合大數據分析技術，蒐集包含離岸風電作業等各船舶進出港作業時間做為大數據分析資料源，提出最佳化的船舶進出港航線、進出時程與碼頭使用率的規劃。

此三大工作項目分別以本報告之第二、三、四章呈現，三大工作連結如圖 1.3 所示，第二章「研發高頻陣列雷達訊號辨識船舶演算法」介紹本所建置之臺中港海洋陣列雷達系統，說明雷達回波訊號原理與觀測資料的形式，研究、過濾雷達回波之雜訊，呈現船舶辨識演算法的研發成果，將高頻雷達辨識船舶之成果與 AIS 分析與比較，評估辨識船舶演算法之可行性；第三章「整合雷達船舶資料與 AIS 資料庫及展示介面」介紹 AIS 資料與特性，並於此章說明高頻雷達船舶辨識之船舶資訊與 AIS 整合納入船舶動態資訊系統平臺，建置資料庫並將資料

成果於 Web 展示，再利用高頻雷達與 AIS 資料建立船舶密度分析技術；第四章「港航操船作業規劃」參考許多文獻並根據二、三章說明之高頻雷達與 AIS 資料對於船舶運行的效率、安全及碼頭利用效率進行分析，最後對航道與碼頭管理提出管理建議。第五章為本計畫之結論與建議。



圖 1.3 三大工作連結

第二章 研發高頻陣列雷達訊號辨識船舶演算法

本計畫目標為建置臺中港區離岸風電海域 AIS 及海洋陣列雷達系統，使用本所之海洋高頻陣列雷達系統，針對海洋高頻陣列雷達系統之回傳訊號，研發船舶辨識之資料格式模組與既有之 AIS 訊號格式進行比對，並撰寫軟體演算法進行系統資料格式轉換，完成資料庫建置規劃。

本計畫採用的策略與步驟如下：

1. 發展從都卜勒距離譜(Doppler-range spectrum)中辨識船舶訊號的演算法。本計畫將採用 Roarty et al. (2010) 的方法為基礎，應用於臺中港雷達資料，進行測試與改進。
2. 驗證辨識資料正確性，評估辨識能力，探討船舶位置、距離、移動方向與雷達訊號辨識結果的相關性。
3. 定義辨識資料格式，納入 AIS 資料庫。

2.1 高頻陣列雷達背景與現況

雷達早期發展主要之應用即在於目標物探測，一般常用於民用航海的微波(Microwave，波長為公分等級)雷達其發射電磁波在大氣中傳遞路徑為直線，受地球表面曲率限制，海面目標物探測距離與雷達架設高程有關，因此一般難以探測超越海平面外的目標物，僅能進行視距內的探測。高頻(High Frequency，波長為公尺等級)電磁波的傳遞，在海氣交界面會產生重複性的折射，使電磁波得以沿著海洋表面的曲面前進，探測視距外的目標物。

高頻雷達頻率介於 3~30MHz，觀測距離約可超過 200 海里(約 370 公里) (Dzvonkovskaya and Rohling, 2006)。高頻雷達之 200 海里觀測範圍特性可應用於多方面領域，包含船隻偵測、救難搜尋、汙染物分布、

漁業與海洋學，亦適用於聯合國海洋法公約(United Nations Convention on the Law of the Sea)建立 200 海里之專屬經濟海域(Exclusive Economic Zone, EEZ)的國家，用以偵測與追蹤經濟海域內的船隻活動(Dzvonkovskaya and Rohling, 2007; Ponsford and Wang, 2010)。由於臺中離岸風電場址海域距離海岸在 20 公里以上，一般微波雷達觀測距離約 20 公里以內，高頻雷達則無此距離限制，另外臺中港高頻雷達屬持續發射與接收電磁波，一般微波雷達發射與接收時間則需錯開，高頻雷達之接收資料品質更為穩定。因此本計畫採用高頻雷達作為目標物探測的工具。

本計畫利用 107 年 12 月建置於臺中港北側海岸(經緯度 24° 18.591' N, 120° 31.389' E)的海洋高頻陣列雷達系統，進行視距外船舶目標物的探測，這些目標物的位置資訊將與現有 AIS 系統結合，掌握臺中外海離岸風電施工海域相關作業船舶的動態。本計畫所採用的雷達為夏威夷大學研製的低成本高頻雷達(Least-Expensive Radar, LERA)，其特點為採用現行商用電子市場可獲得的元件整合而成，無需開發專屬零組件，系統架構則具有彈性，可隨消費電子產業快速進步而不斷改進更新提升性能；另一方面，相較於商業化的產品，成本低廉。此高頻雷達系統架構開放，資訊透明，提供國內相關產學參與的機會。下圖 2.1 為該雷達系統建置於臺中港北側海岸的外觀。

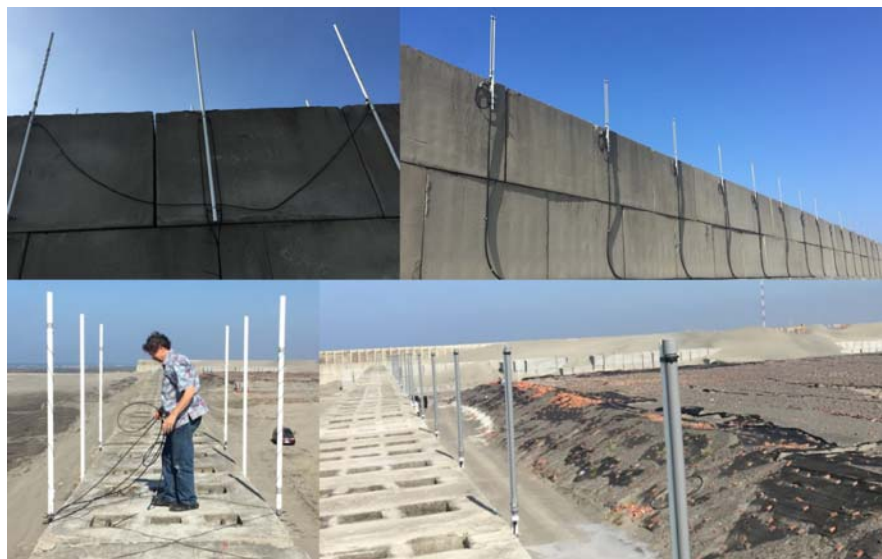


圖 2.1 臺中港海洋高頻陣列雷達系統外觀現況

本計畫所使用的高頻雷達，其規格與主要設定如表 2-1。目前設定觀測時距因同時因應波流觀測研究之所需，設定為每 30 分鐘觀測一次，此觀測時距是可以因應需求而調整，本計畫將每筆 30 分鐘之雷達觀測資料以每分鐘去做船舶分析，時間解析度是適用船舶偵測。每次觀測時，由四支天線組成的發射陣列，向海面連續發射中央頻率為 27.75MHz 的高頻電磁波，其訊號為線性調變的連續啁啾(chirp)訊號(FMCW)，chirp 訊號的頻寬為 300kHz (國家通訊傳播委員會所核定的頻寬為 500kHz，考量環境訊號雜訊，目前採用 300kHz)，每段 chirp 訊號時間長度設定為 0.2166 秒，每次觀測發射 8192 次 chirp，共耗時約 29.5 分鐘，可估計流速的解析度為 2.75 cm/s。距離解析度為 500 公尺，相較微波雷達解析度較低，但觀測距離 40 公里優於微波雷達。高頻雷達觀測盲區約 2 公里，目前盲區內之港口區域無法有效監控，若未來於臺中港南方增設第二雷達站，即可增加離岸風場區域雷達觀測覆蓋之完整性，亦可透過兩站之觀測資料分析與比對來增加觀測船舶狀態及其位置之準確性。

表2-1 目前臺中港雷達參數

觀測時距	30 分鐘
雷達頻率	27.75 MHz
頻寬(Bandwidth)	300 KHz
發射天線數量	4
接收天線數量	16
方位角(Main Bearing)	296 (Deg., WWN)
觀測距離(km)	40 km (最高 80 km)
距離解析度(Range resolution)	500 m
方位解析度(Azimuthal resolution)	5 deg
啁啾長度(Chirp length)	0.21666 sec
取樣頻率(Sampling frequency)	740 Hz
每啁啾取樣數 (Number of samples per chirp (MT))	1280
最小啁啾數 (Number of minimum chirps (NCHIRP))	8192

於計畫期間 108 年 3 月邀請臺中港海洋高頻陣列雷達系統的主要建立者之一的夏威夷大學 Pierre Flament 教授，指導本計畫團隊持續改善臺中港高頻陣列雷達系統之訊號品質，期間增加並改善了雷達機房的冷卻系統，提升雷達系統的穩定性，更新 Dtacq AD system 的 32 組通道，增加每支天線(16 支天線)I 跟 Q 的訊號品質，雷達機房內部設置與更新如圖 2.2 所示。

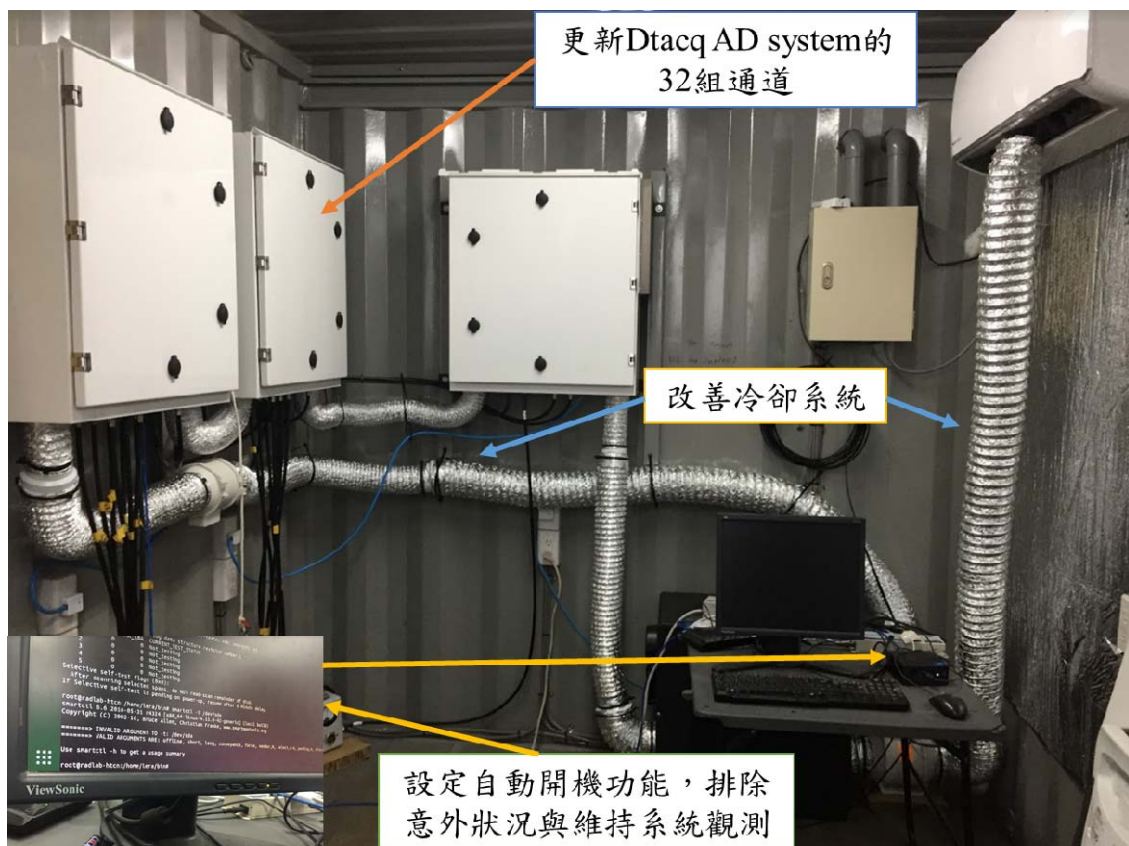


圖 2.2 雷達機房內部設置與更新項目

2.2 觀測資料說明：都卜勒距離譜

都卜勒距離譜(Doppler-Range Spectrum) 是高頻線性調變雷達最主要的觀測結果產品，本計畫使用高頻雷達所求之所有參數包括船舶訊號、表面海流、波浪，皆從都卜勒距離譜中反演算得來的。

都卜勒距離譜求得之過程，是將天線所接收的回波訊號及發射訊號進行混頻與降頻，可得到中頻訊號間的頻率差值，由於頻率經線性調變，因此頻率差值大小與 chirp 訊號內的時間位置有關，從而可用以作為指標估計電磁波傳波某距離所需的時間，作為距離的標定依據。目前的頻寬 300 kHz 所對應的徑向解析度為 500 m。實際作業上，雷達系統中的每一支接收天線感應到的回波訊號經電路混頻（降頻之後）之後以複數形式的 I、Q 紀錄，表示電磁場實部與虛部，並以採樣頻率 740 Hz 類比數位轉換器記錄為離散時間序列，如圖 2.3 所示。每一個 chirp (長度 0.2166 秒)中有 160 個時序列離散樣本點，該時序列經第一次的傅立葉轉換可得到 80 個正以及 80 個負的距離元上的傅立葉係數，其中距離的負值不具物理意義，而每一組正距離元上傳立葉係數都可計算對應的振幅與相位，每一個距離元解析度為 500 公尺，因此探測範圍目前為 40 km。

回波強度（震幅）與相位可分別由 I、Q 函數求得，考慮同一距離元上所反射的 I、Q 呈現時間的週期性震盪，此為波浪影響造成的都卜勒頻偏（單位時間的相位變化），如圖 2.4 第一支天線的 IQ 訊號，將每一個 chirp 訊號對整齊排列，縱軸為每一個 chirp 訊號的時間，總長為 0.2166 秒，橫軸表示不間斷持續發射 chirp 訊號的觀測時間長度，總長為 29.5 分鐘，目前展示前 6 分鐘，圖上的顏色的 I 訊號的強度，強度隨時間的震盪為受波浪影響所致。將圖 2.4 的 I 訊號與對應的 Q 訊號，在縱軸方向進行第一次的傅立葉轉換，將縱軸由時間軸，轉換為頻率軸，由於 chirp 為線性調變訊號，可再將頻率找到對應的距天線元距離。本圖只繪出前 20 公里的資料。其中負值的距離不具物理意義，可捨棄

或用作系統內部雜訊討論用。本圖上畫的是每一個距離元上的顏色為訊號強度（ I/Q 的絕對值），實際上是複數型態的傅立葉係數，如圖 2.5 所示。據此，進一步再對於複數時序列對橫坐標時間進行第二次的傅立葉轉換，得到對應於都卜勒頻偏上的回波強度之都卜勒譜，代表在不同都卜勒頻偏下的雷達回波強度。每一個接收天線上每一個距離元上都可以計算出都卜勒譜，亦稱交叉頻譜(Cross spectra)，兩者合併起來成為一個三維的譜，稱為都卜勒距離譜，是高頻線性調變雷達最主要的觀測結果產品，如圖 2.6，縱軸為頻率對應的距天線元距離，橫軸為都卜勒頻偏，顏色為回波強度，譜上可清楚見到兩個能量的峰值，稱之為一階峰，是海面波浪布拉格散射下的結果。每一個接收天線的都卜勒距離譜是全向性的，並沒有指定方位，要能探測方位，必須利用到多支天線接收的相位差進行波束合成(Beam forming)，因此天線陣列中天線元的數量決定了方位角的解析度。16 支天線元的陣列，方位角的解析度約為 8 度。

之後其他所有的參數，包括表面海流、波浪參數，都是從都卜勒距離譜中反演算得來的。回波強度受海面波浪布拉格散射影響，在布拉格頻率上的強度最高，但是其他海面目標物的反射如船舶反射訊號也會出現在都卜勒譜中。本計畫第一工作目標即為從臺中港雷達產出的經過波束集成後，從每一個方位角之都卜勒距離譜找出船舶訊號，並提供其船舶位置資訊。

一般而言，經由鏡面幾何反射的回波其強度要較海面布拉格散射強烈兩個數量級，但是由於高頻雷達的方位解析度及徑向距離解析度遠較船舶尺寸為大，也就是船舶回波將被雷達的足跡(Footprint)大小平均掉，因此船身的幾何反射強度在譜上呈現的特徵並非十分顯著，海面布拉格散射與船舶鏡面反射之強度比較結果呈現於本計畫 2.4.2 的第 6 項之(3)，隨距離越遠，雷達回波足跡平方增加，加上路徑上的訊號傳遞衰減，遠處船舶強度迅速減弱，此為探測距離的限制，目前本計畫設定以 40 公里為目標物掃描半徑，未來亦可探討增程的可行性。

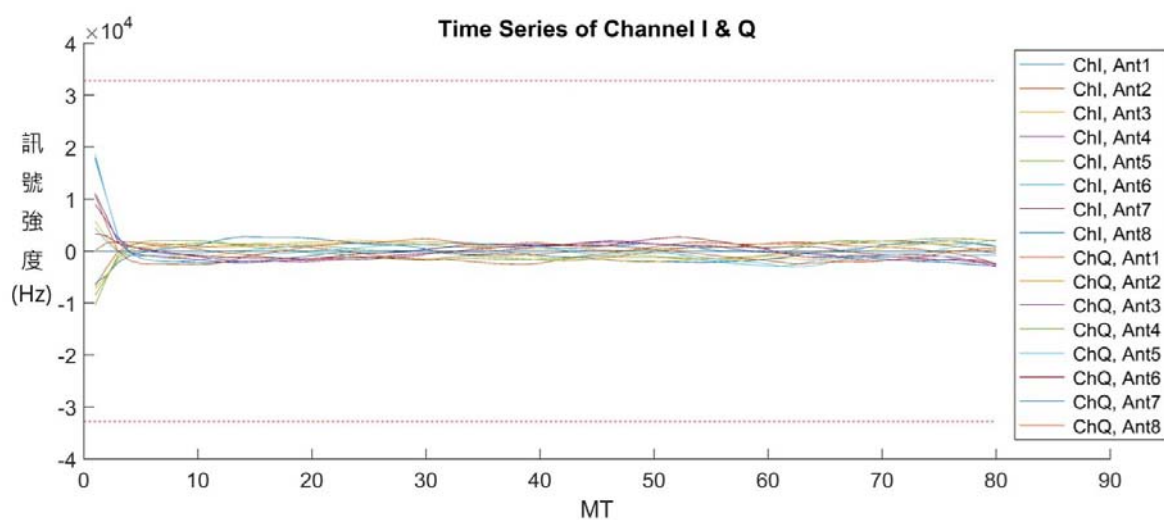


圖 2.3 臺中港前八支天線元觀測的 I/Q 訊號時間序列示意圖

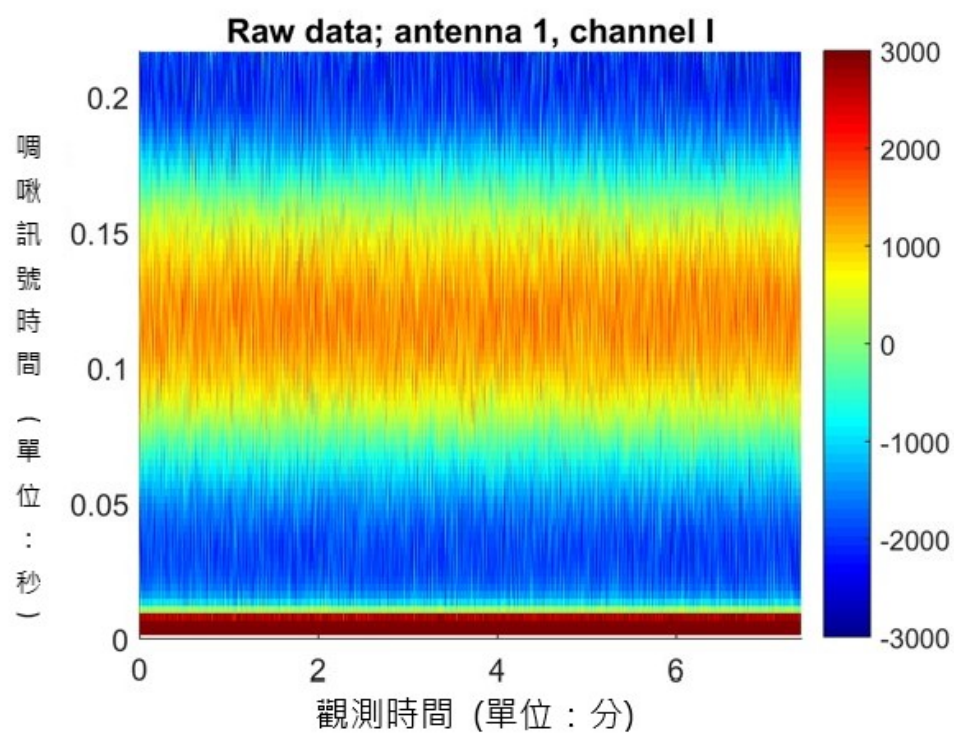


圖 2.4 第一支天線的 IQ 訊號示意圖

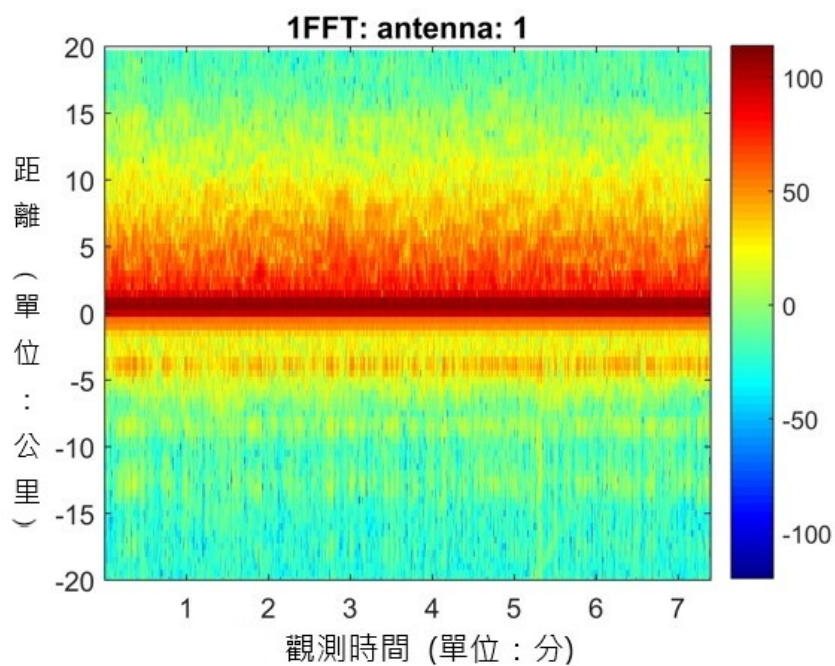


圖 2.5 I 訊號與對應的Q 訊號之第一次傅立葉轉換示意圖

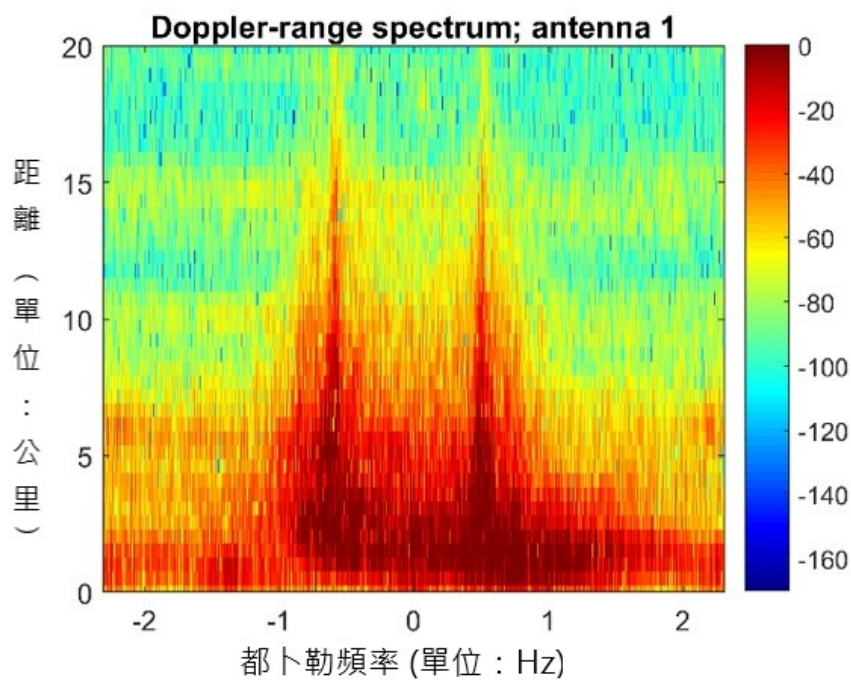


圖 2.6 第二次傅立葉轉換之都卜勒距離譜示意圖

2.3 高頻陣列雷達訊號之雜訊特徵研究

於 1970 年代即有使用高頻天波雷達(HF skywave radar)應用於船隻偵測的案例。於 1984 年 Tony Ponsford 發表首篇研究報告關於運用高頻地波雷達(HF surface wave radar)應用於船隻偵測與追蹤(Ponsford, 1984)。過去存在大量跡象證明高頻雷達可用以偵測船隻，卻只有少數研究發表指出如何有效從高頻雷達回波訊號中準確的解析出船隻的回波訊號(Fernandez et al., 2001)。為使用高頻陣列雷達訊號辨識船舶資訊，首要必須了解雷達回波訊號機制與特性，並從雷達回波訊號中過濾背景雜訊以獲取船舶訊號。

根據 Fernandez et al.(2001)與 Shearman(1983)，船舶反應於雷達之回波訊號強度(P_r) 以公式來表示：

$$P_r = (P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma L_p L_s) / (4\pi^3 r^4) \dots\dots\dots(2.1)$$

P_t 為平均發射功率(W)， G_t 為發射天線增益， G_r 為接收天線增益， λ 為波長(m)， σ 為船的雷達截面積， L_p (r) 為因表面波傳波造成的傳播耗損， L_s 為所有系統的耗損， r 為距離(m)。

估計背景雜訊強度 P_n ：

$$P_n = F_a k T_0 B \dots\dots\dots(2.2)$$

$k=1.38 \times 10^{-23}$ J/degK， $T_0=290$ K， $B=1/\text{CIT}$ ，CIT 為同調累積時間(coherent integration time)， F_a 為受到熱雜訊影響之係數。

訊號雜訊比(signal to noise ratio, SNR)：

$$\text{SNR}(\text{dB}) = 10 \text{Log}_{10} (P_r / P_n) \dots\dots\dots(2.3)$$

高頻雷達回波因雷達頻率、輻射功率、物體表面特性、物體截面積大小、海面粗糙度與現場環境條件等許多因素而影響(Ponsford and

Wang, 2010)。根據 Fernandez et al.(2001)，解析高頻雷達回波訊號中之船隻訊號，容易因陸地、電離層游離與海面散射等因素所干擾或錯誤辨認。根據 Dzvonkovskaya and Rohling(2006)，高頻雷達之雜訊水平(noise level)主要受外界環境雜訊影響，並根據不同的雜訊特徵對雷達訊號有相對應不同的影響。

為了透過臺中港海洋高頻陣列雷達的觀測獲得都卜勒距離譜，並有效且精準的辨識船舶訊號，過濾船舶訊號以外之雜訊是一重要工作，因此了解雜訊特徵非常重要。本章節描述臺中港附近之雜訊特徵與分析雜訊之時空間分布特性。

2.3.1 背景雜訊特徵研究

於計畫期間 108 年 3 月夏威夷大學 Pierre Flament 教授指導改善臺中港海洋高頻陣列雷達系統之訊號品質後，測試天線訊號之品質不錯，雷達更新後將雷達訊號做長時間繪製如圖 2.7 所示，可以發現幾點雜訊特徵：

1. 每天白天固定會有大約 6 個小時背景雜訊增加的現象，推估為日照所造成電離層游離化，雷達訊號經過電離層折射後所造成雜訊增加。
2. 距離約 2-4 公里處常有強雜訊，推估為離岸風力發電之風機葉扇旋轉導致雷達訊號產生都卜勒效應而受到影響。
3. 8、16 公里處也有些固定雜訊，因圖中之距離是由線性調變的頻率去推算，亦有可能受到現實物體外或其他電磁波干擾之因素影響，目前推估可能與附近臺中國際機場通訊影響有關。

以上幾點背景雜訊來源為本計畫過濾雜訊過程之重點項目，除了主要的波浪干擾需要過濾外，後續過濾法門檻之選擇、辨識成效的好壞也會以這幾項雜訊做為參考與評估依據之一。

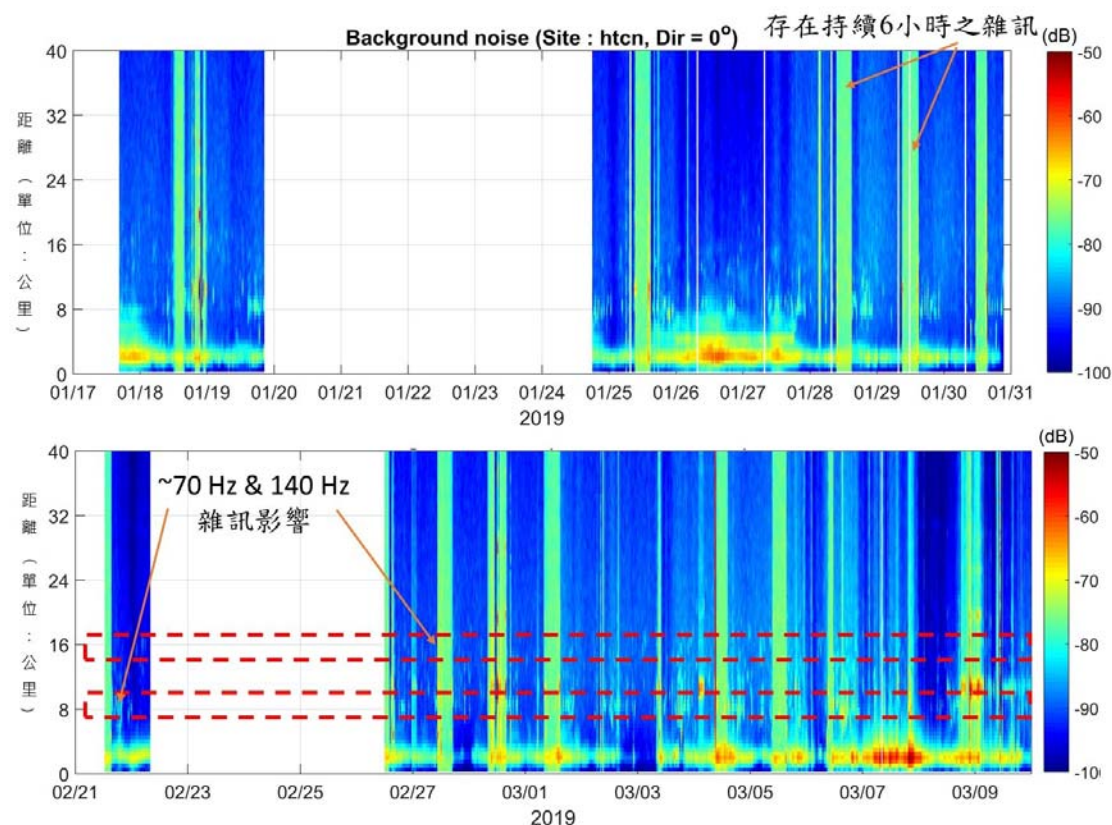


圖 2.7 臺中港高頻陣列雷達強度時序列圖

為能了解臺中港附近船舶訊號以外之雷達訊號(雜訊)特徵，本計畫使用臺中港口近海之聲學底碇潮波流儀(Acoustic Waves and Currents sensor, AWAC)、北堤堤頭之 6 號觀測站(代號：#6)以及海洋中心之高頻雷達測流系統(Coastal Ocean Dynamics Application Radar, CODAR)下龜殼站(代號：TUTL)的觀測資料與本計畫使用的臺中港高頻陣列雷達(代號：HTCN)觀測資料做比對(位置如圖 2.8 所示)，以了解雷達觀測品質與其他儀器觀測之差異，並研究雜訊特徵。



圖 2.8 臺中港附近觀測儀器位置圖

由 AWAC 資料(圖 2.9)一至三月潮汐海流觀測資料顯示，潮流流向往返的特徵並未完全與潮汐漲退潮時間一致，其原因為是受潮流共振腹點影響。臺灣西部海岸潮流受臺灣海峽潮波共振控制，臺中港位於其振盪之腹點附近，臺中港附近海域流場敏感，會隨著腹點位置漲退潮可能呈現完全不同的流況，對於船舶於進出港，尤其經過北防波堤時之操作帶來風險。腹點位置受天氣系統影響而改變，臺中港潮流特徵收天氣系統影響而敏感。

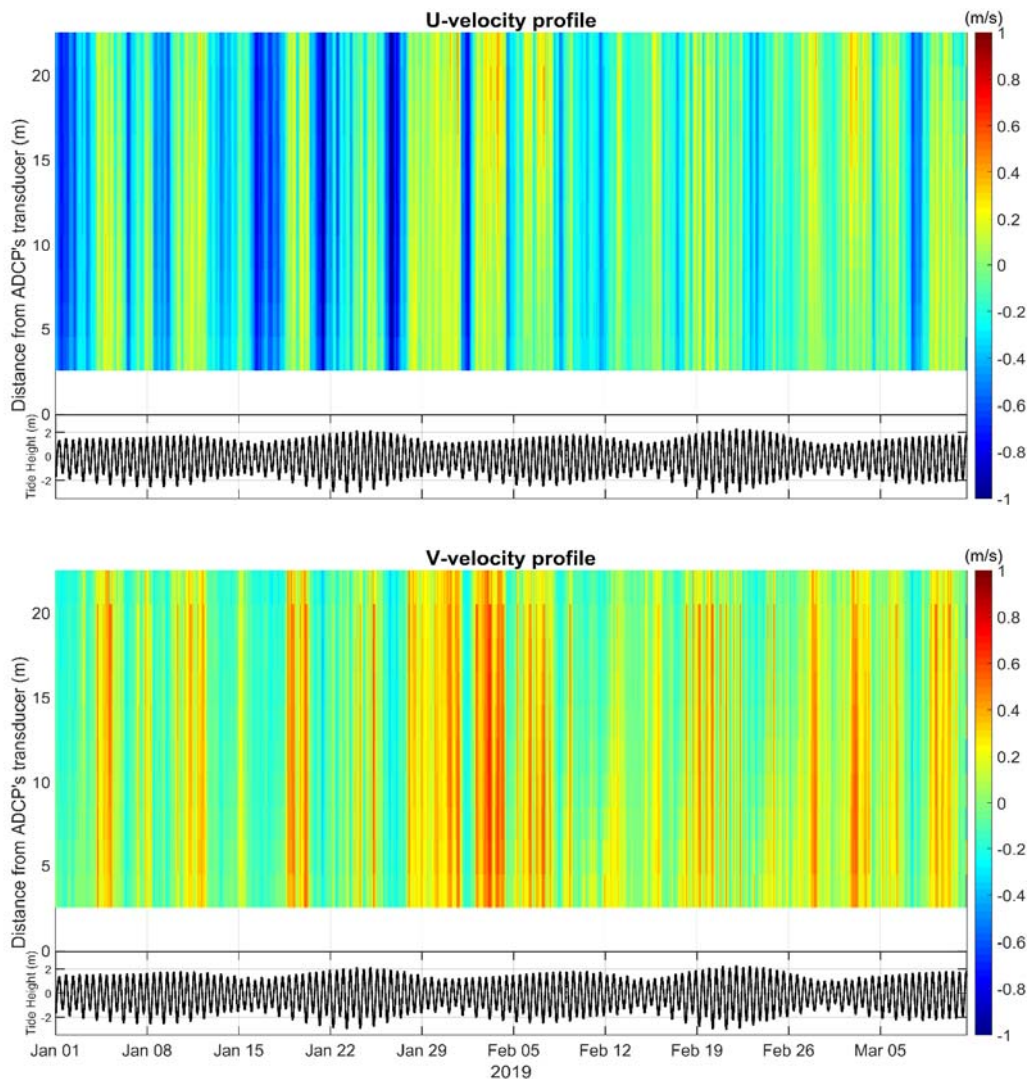


圖 2.9 AWAC 觀測之 U、V 方向之流速剖面

將臺中港海洋高頻陣列雷達 LERA 與海洋中心下龜殼站雷達 CODAR 資料及 AWAC 做比對，由於兩個雷達站使用之電磁波頻率不同，分別為 27MHz 與 5MHz，所反應海洋表面海流速度之水深便不同，LERA 因發射頻率較高，量測之水深比 CODAR 量測之海流水深更為表層，如圖 2.10 所示，觀測時間為 108 年 1 月 24 日至 31 日，根據新竹資料浮標與臺中港北堤堤頭的 6 號觀測站提供之風速風向，無論風速大小，CODAR 量測的流速值普遍比 LERA 來的大，此結果可能受斯托克斯漂移(stokes drift)、底床摩擦應力、海氣交互作用等的影響，其影

響機制多樣且複雜。

6 號觀測站之風速風向資料較為不連續，故以新竹浮標資料一同比對，但新竹資料浮標與臺中港距離約 70 公里，故風速強度與 6 號觀測站不盡相同，普遍為臺中港之風速較高的狀況，風向則大致相同。

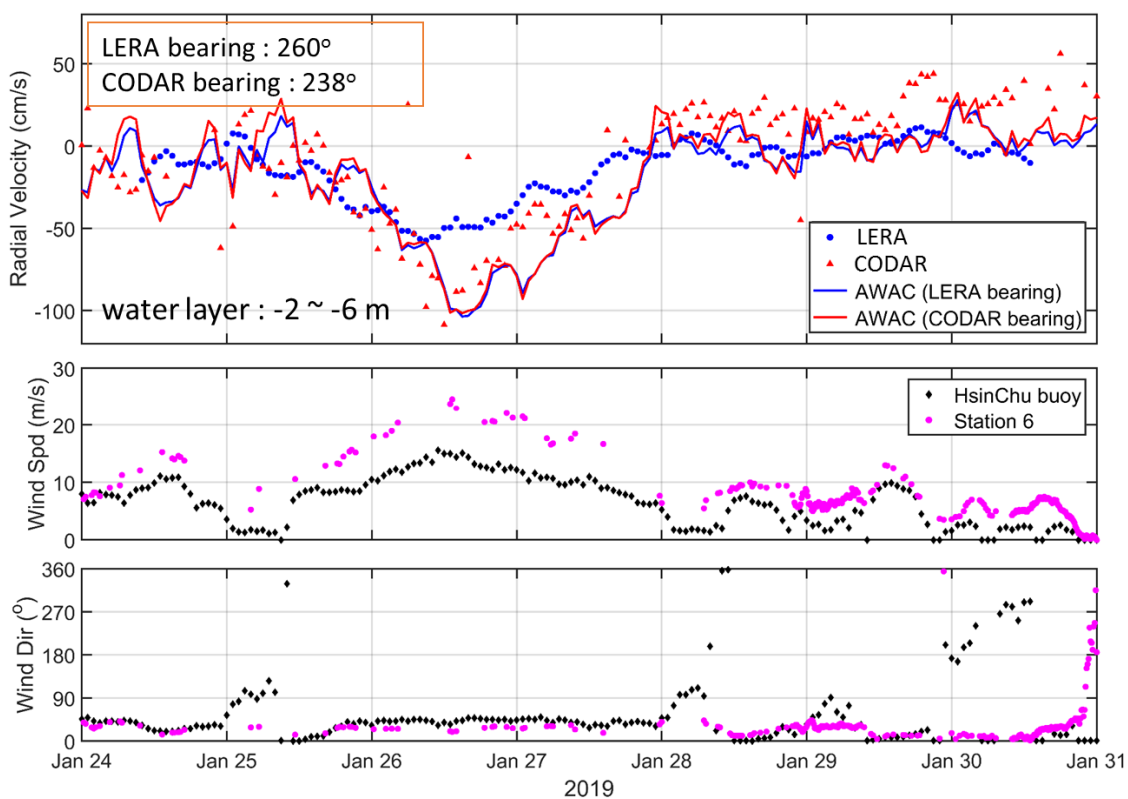


圖 2.10 臺中港高頻陣列雷達與鄰近觀測站風速資料比對圖

圖 2.11 所示，新竹資料浮標量測到之浪高比臺中港 AWAC 觀測之浪高為低，原因為受到東北季風吹拂的影響，臺中港比新竹多了約 70 公里的距離可以讓波浪發展。波浪週期受到潮流方向影響而改變，因此新竹有較明顯的潮流震盪，而臺中港因潮流方向的改變較為不顯著而對波浪週期影響較少。AWAC 與 LERA 演算之波高結果非常吻合。

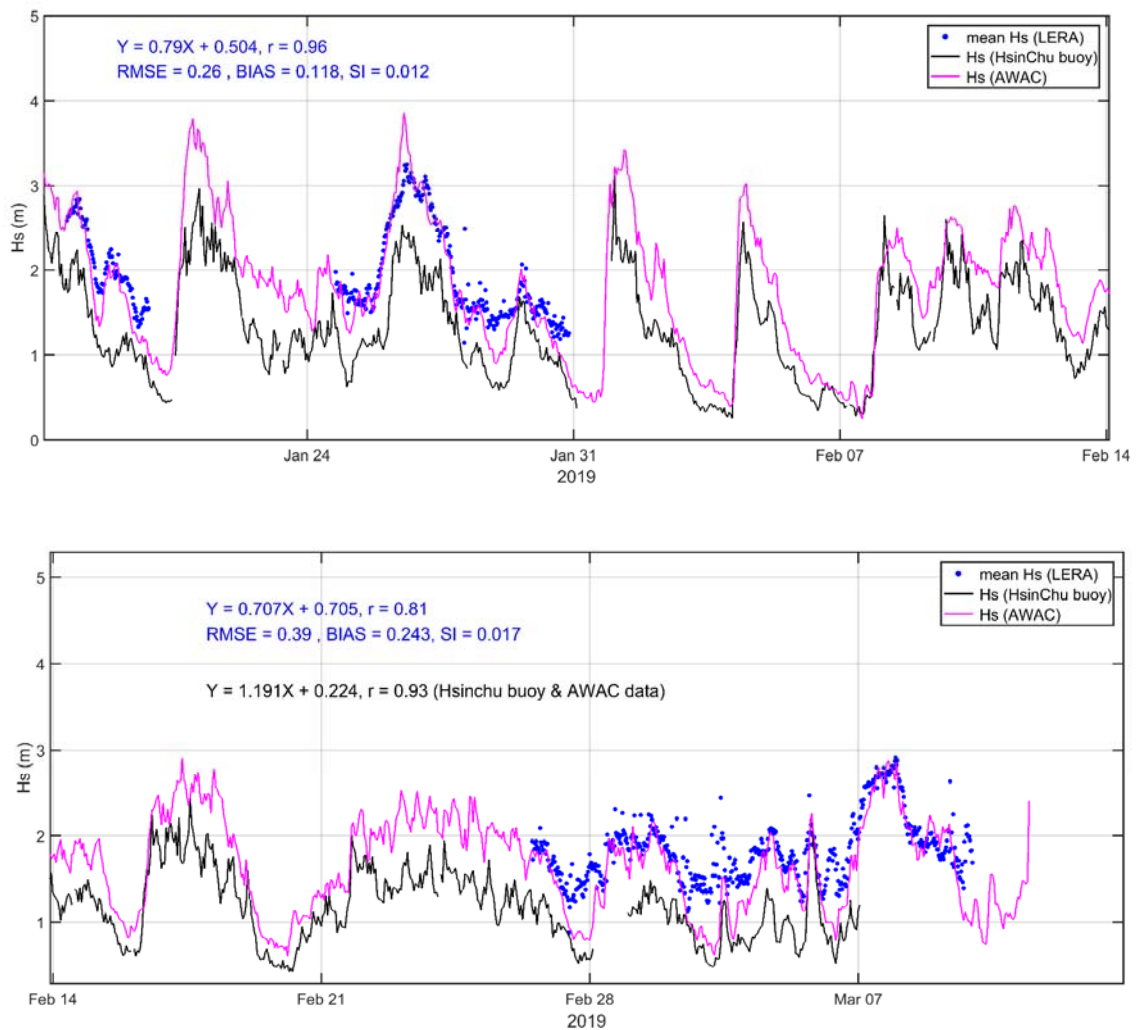


圖 2.11 臺中港高頻陣列雷達與鄰近觀測站波浪資料比對圖

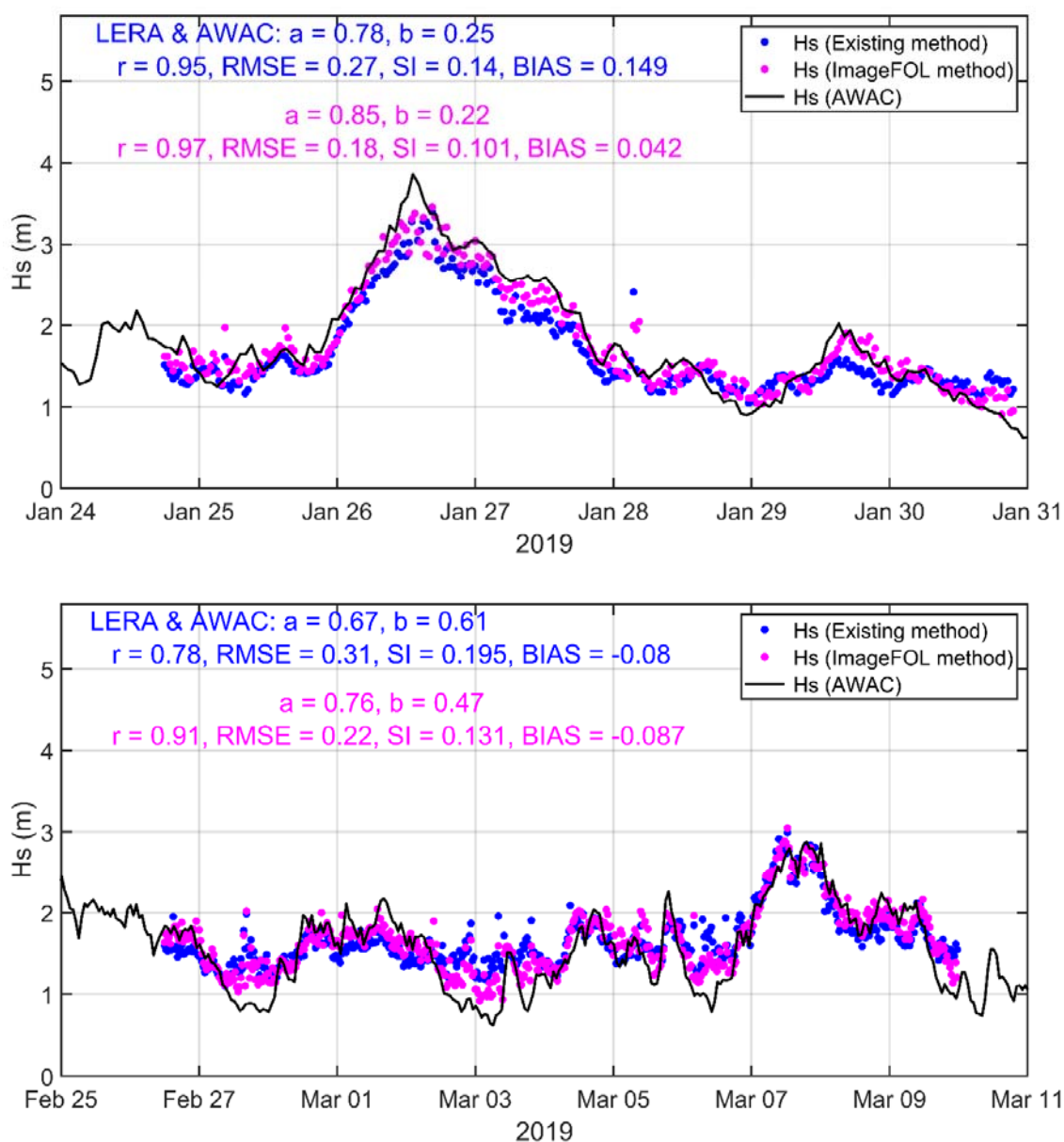


圖 2.12 臺中港高頻陣列雷達 LERA 及 AWAC 之波浪資料比對圖

從圖 2.11 中 1 月 24 日至 1 月 31 日將高頻雷達資料使用不同波浪分析演算法計算結果如圖 2.12 所示，結果顯示與 AWAC 資料之相關係數可高達 0.97，相關性非常好，均方根誤差可達 0.18 公尺。

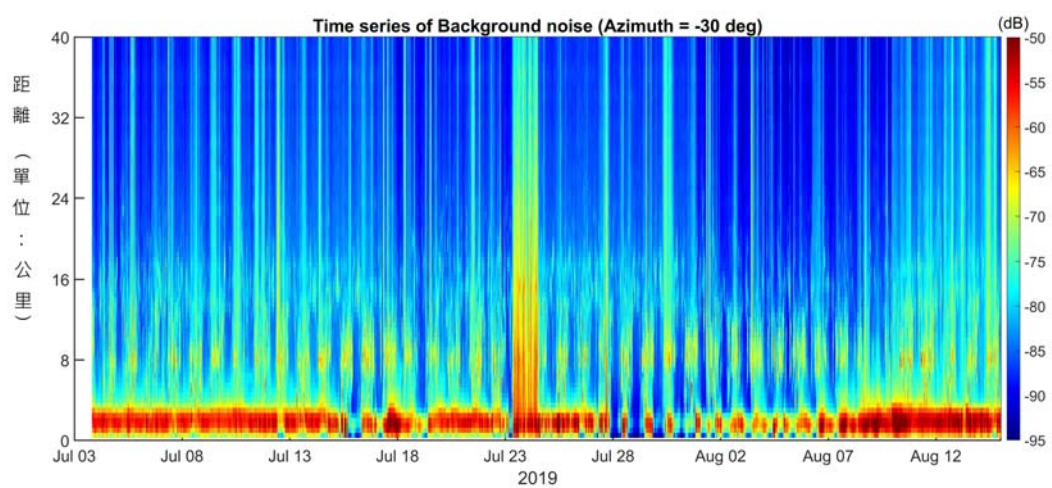
上述高頻雷達之波浪散射訊號為海上觀測船舶之主要雜訊干擾來源之一，了解臺中港近岸海域雜訊背景後，接下來如何將波浪散射訊

號與其他背景雜訊干擾過濾便為辨識船波訊號的重要工作項目。高頻雷達與其他觀測儀器比對，除了了解臺中港觀測環境背景資訊外，透過多項比對也可間接反應了高頻雷達之良好觀測品質。

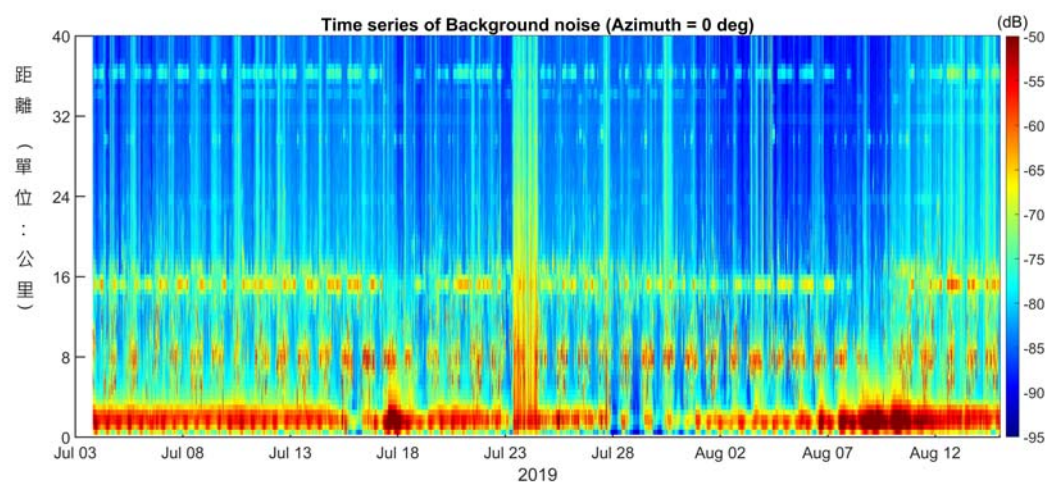
2.3.2 背景雜訊時空間特性分析

根據上述雜訊特徵探討，為進一步了解背景干擾如何影響雷達回波，將雷達回波訊號作長時間、與空間之特性分析。根據圖 2.13，將長時間序列之雜訊依不同角度呈現，觀測時間約長達 1 個半月，角度分別以 -30° 、 0° 與 30° 為例作比較。從圖 2.13 可得知，大部分現象與圖 2.7 一致，近岸部分 2 至 4 公里處皆有明顯雷達訊號，此部分雜訊不影響遠處訊號；圖中明顯看出受電離層游離影響而造成的日週期震盪雜訊干擾；8 與 16 公里處有穩定雜訊干擾。其中較為特殊的狀況是 7 月 23 日至 25 日有一穩定強干擾，此現象與當時於高頻雷達系統附近的施工人員固定使用無線電有關。

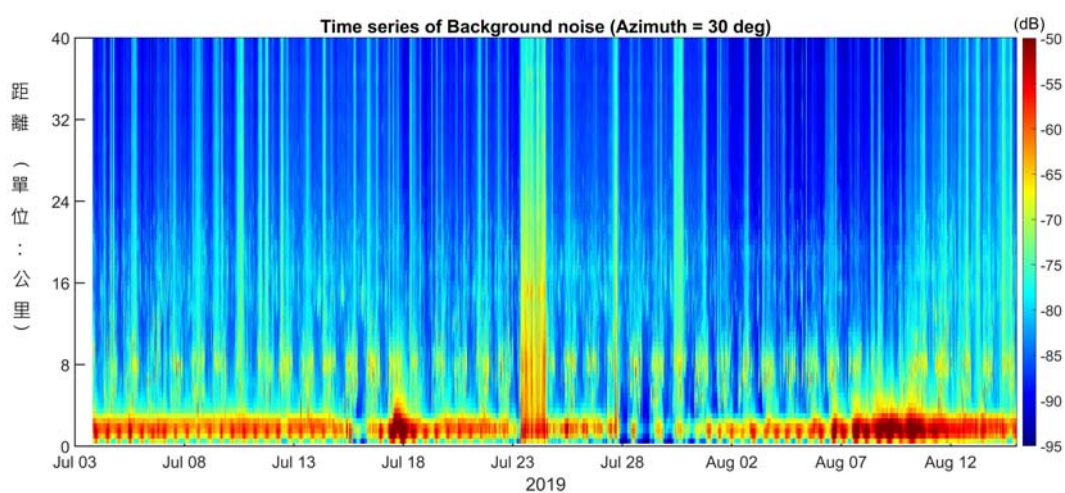
從圖 2.13(a)(b)(c)之不同角度可以看出 0 度方向上於 36 公里處附近會有較明顯的訊號持續干擾，透過平均及標準偏差將背景雜訊繪製於地圖上呈現如圖 2.14 所示，0 度附近之雜訊偏低，甚至是日週期震盪的影響亦不明顯，但於 0 度兩側則有雜訊逐漸增加的狀況，於正負 35 度雜訊值最大。此部分可能原因有二，一為受波束合成演算時造成的副波瓣效應(Sidelobe effect)，另外亦有可能是從廈門與福州方向傳來之訊號干擾。另外位於 0 度的方向上，8 與 16 公里處之訊號干擾明顯，0 度兩側約正副 30 度則不明顯。



(a) -30°



(b) 0°



(c) 30°

圖 2.13 不同角度之背景雜訊時序列圖

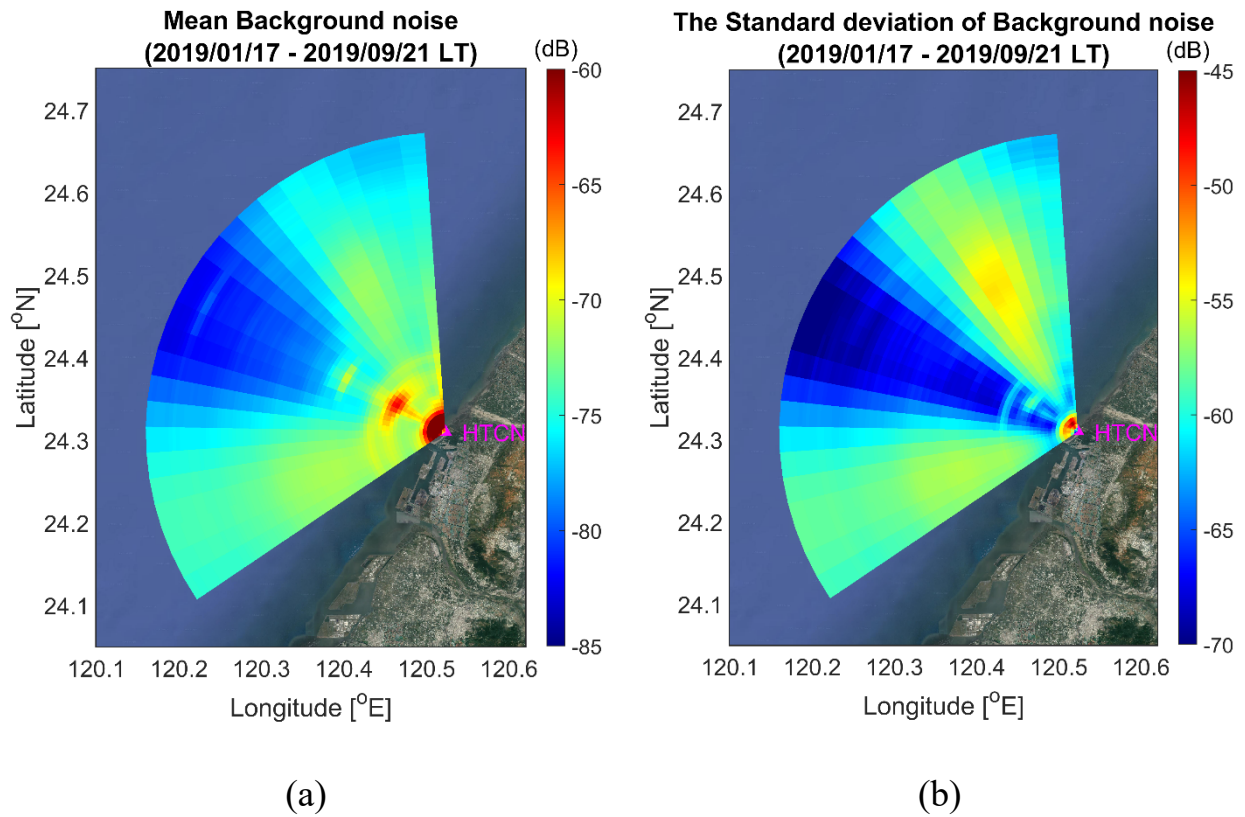


圖 2.14 高頻雷達雜訊平均與標準偏差圖

根據上述討論發現，此 LERA 高頻雷達系統受不同外界訊號干擾，此狀況會降低雷達觀測的資料穩定性，增加船舶、海洋水動力觀測之不確定性。為解決以上干擾問題，可透過找尋適合之雜訊過濾演算法解決，長遠角度而言，亦可從各項雷達軟硬體逐步研究、改進，降低所有步驟可能造成之訊號干擾。

2.4 高頻陣列雷達訊號之船舶辨識演算法

為能從波浪散射背景訊號中萃取出目標物船舶訊號，本計畫參考 Dzvonkovskaya and Rohling(2007)、Roarty et al.(2010)、Chuang et al. (2015)、Lu et al.(2017)，使用文獻中提出之高頻雷達偵測船舶方法與步驟，船舶辨識演算流程如圖 2.15 所示，以下章節說明船舶偵測方法、步驟與測試結果。

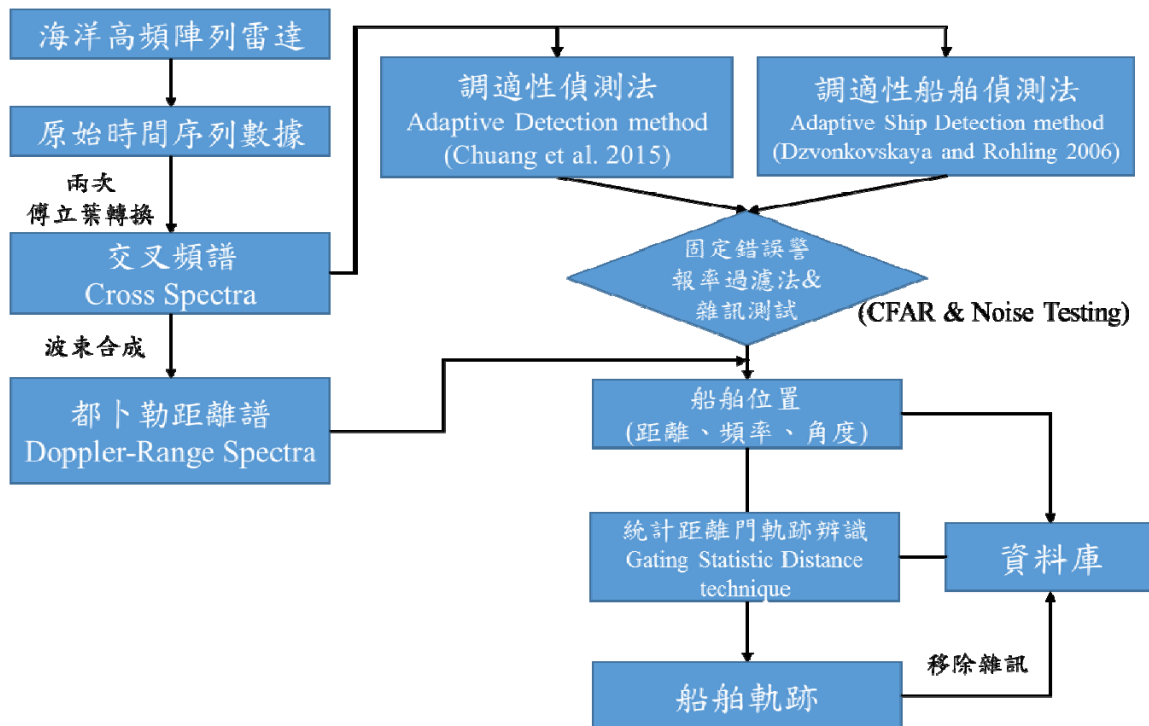


圖 2.15 雷達訊號之船舶辨識演算法流程圖

2.4.1 船舶偵測方法介紹與步驟說明

本計畫以 Roarty et al. (2010)的概念為基礎，第一步船舶偵測方法簡述如下：由較為長期的觀測資料中，統計釐清波浪散射訊號特性以及環境背景雜訊在都卜勒距離譜上的分佈特徵，兩者疊加後作為強度門檻值，比較現有觀測的譜值與門檻的差異，當差異達到顯著水準時，辨識為船隻、否則為海面雜波。此步驟本計畫分別使用兩種方法，一是參考 Chuang et al.(2015)之調適性偵測法(Adaptive Detection method)，二是參考 Dzvonkovskaya and Rohling(2006)之調適性船舶偵測法(Adaptive Ship Detection method)用以初步過濾大部分之背景雜訊，以下辨識演算皆以觀測時距 1 分鐘做計算，。

1. 調適性偵測法

參考 Chuang et al.(2015)使用之調適性偵測法，先將多幅交叉頻譜使用二維移動平均(2D moving average)，再將交叉頻譜扣除二維移動平均過之頻譜，求得殘餘訊號(Residual signal)，二維移動平均公式如下所示：

$$y(i, j) = \frac{1}{m \times n} \sum_{k=-(m-1)/2}^{(m-1)/2} \sum_{l=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} x(i+k, j+l) \dots\dots\dots(2.5)$$

i 為都卜勒頻偏， j 為距離單元， $x(i+k, j+l)$ 為原始交叉頻譜強度值， $m \times n$ 為計算之二維移動窗(2D moving window)範圍。

求得殘餘訊號後，使用不同倍數的標準偏差值加上平均值做為門檻加以過濾，分別以 1.5、2、2.5、3 倍標準偏差做為調適門檻(Adaptive threshold)嘗試過濾雜訊影響。

2. 調適性船舶偵測法

調適性船舶偵測法參考 Kendall et al.(1967)與 Dzvonkovskaya et al.(2006、2007、2010)，此方法適用於船舶偵測環境位於由一階海面背向散射主導之強雜訊環境。其調適門檻公式如下：

$$T = \max\{T_{\alpha,R}, T_{\alpha,D}\} \dots\dots\dots(2.6)$$

$T_{\alpha,R}$ 為距離域中曲線回歸(Curvilinear regression)之信賴上界值(Upper confidence bound value)100(1- α)%， $T_{\alpha,D}$ 為頻率域曲線回歸之信賴上界值 100(1- α)%，若交叉頻譜強度能同時高於距離、頻率域之調適門檻 T ，則視為可能之船舶訊號。此研究分析中所使用之 α 為 0.05，使信賴上界值為 95%，此為普遍認定之可信度(Confident level)，確保以此標準所取得之結果良好。

經過第一步的調適性偵測法或調適性船舶偵測法後，雷達辨識船舶演算法之第二步驟參考 James J. Jen(2011)，同時使用固定錯誤警報率過濾法(Constant False-Alarm-Rate, CFAR)與雜訊測試(Noise testing)，目的為透過設立較準確之門檻值與過濾條件以更精準地從第一步偵測法的結果中找出更正確的船舶位置。

3. 固定錯誤警報率過濾法與雜訊測試

固定錯誤警報率過濾法以聶曼-皮爾遜準則(Neyman-Pearson criterion)為依據，設立準確門檻值，足夠限制大部分的錯誤訊號，並留下期望探測之目標物訊號，此方法的優點是可根據不同範圍得到相對應不同的門檻值(Rohling, 1983；Dzvonkovskaya and Rohling, 2006；Dzvonkovskaya et al., 2010；Dzvonkovskaya and Rohling, 2007；James J. Jen, 2011)。

固定錯誤警報率過濾法設立之門檻值公式如下所示：

$$T = \alpha P_n \dots\dots\dots(2.7)$$

T 為門檻值， α 為比例因子(scaling factor)，在這可稱為門檻因子(threshold factor)， P_n 則為雜訊強度。

平均固定錯誤警報率(Cell-averaging CFAR, CA-CFAR)的概念為，欲求之目標單元(Cell Under Test, CUT)，將其周圍取一範圍，範圍內之其他單元稱作訓練單元(Training cell)，並將範圍內之訓練單元做平均得到此範圍之平均強度值(Local average power level)，若目標單元之訊號強度大於範圍內之雜訊平均強度乘上門檻因子，則可視為欲求之目標物訊號，範圍內之平均雜訊強度 P_n 以下列公式表示：

$$P_n = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N x_m \dots\dots\dots(2.8)$$

N 代表訓練單元的數目， x_m 代表每一個訓練單元。

門檻因子 α 則表示為：

$$\alpha = N(P_{fa}^{-1/N} - 1) \dots\dots\dots(2.9)$$

P_{fa} 為錯誤警報率。錯誤警報率為常數，而錯誤警報率的決定依據過濾效果可調整以達到過濾最佳效果。

固定錯誤警報率有分不同方法，其中比較常見的有上述的平均固定錯誤警報率、最大平均固定錯誤警報率(Greatest-Of-Cell-Average CFAR, GOCA-CFAR)、最小平均固定錯誤警報率(Smallest-Of-Cell-Average CFAR, SOCA-CFAR)等，其最大平均意思為在多個範圍之訓練單元中，取最大平均訓練單元去計算門檻值，根據 Dzvonkovskaya and Rohling (2006)，最大平均固定錯誤警報率適合用於此雷達訊號過濾步驟，故此步驟分析以最大平均固定錯誤警報率做為過濾法。

在使用最大平均固定錯誤警報率過濾雜訊時，需同時進行雜訊測試，根據 Dzvonkovskaya and Rohling(2006)，雜訊測試之訊號雜訊水平

(signal-to-noise level)得確認為至少高於 6dB，達到以上兩種條件，才可視為可能之船舶訊號，否則認定為一般背景雜訊而濾除。

以上雜訊過濾過程皆使用交叉頻譜計算，第三步驟將交叉頻譜經過雷達方向定位(Direction of Arrival, DOA)過程繪製成都卜勒距離譜，有兩種方式可以分別是參考 Schmidt(1986)的多重訊號演算法(Multiple Signal Classification, MUSIC)以及參考 Bhuiya et al.(2012)的波束合成(Beam forming)演算法，其中波束合成演算法於過去利用高頻陣列雷達進行觀測之文獻被廣為使用，因此本計畫於雷達方向定位過程使用波束合成演算法計算。

4. 統計距離門(Gating statistical distance)軌跡辨識

以上步驟關鍵是使用適當統計方法的應用及調整，需要與 AIS 資料相互比對，利用實際資料逐步調整門檻值的適當設定。然而實際應用時考量雷達斑駁(Speckle)必然產生許多錯報值，此時再經由第四步驟過濾。第四步驟為：得到疑似目標物的訊號時，經由檢核目標物位置在時間軸上的變化、目標物速度與航向之一致性，作為確認的依據，由於辨識點可能錯報，必須經由時間序列上位置、速度與航向的一致性作為品質指標。這一部分要發展為自動化軌跡辨識判斷是一挑戰，需要實際的 AIS 資料作為調整。此自動化軌跡辨識步驟參考使用 Dzvonkovskaya et al. (2010)、Dzvonkovskaya and Rohling(2007)、Gurgel et al.(2010)之統計距離門軌跡辨識技術。統計距離門之船舶條件判定公式如下：

$$d < \Delta d : |V_{RS} - V_Q| < \Delta V \dots\dots\dots (2.10)$$

d 為預測船舶與原始船舶之距離， Δd 為船舶距離判定門檻， V_{RS} 為更新之船舶速度， V_Q 為原始船舶速度， ΔV 為船舶速度判定門檻。船舶

距離與速度門檻依照現實船舶而設定，統計距離門之軌跡辨識條件必須滿足以上兩個條件，一為船舶訊號不可相差太遠，二為速度差不可相差太多，即可視為偵測前後之兩訊號可能為相同之船舶訊號。

2.4.2 船舶偵測方法測試與軌跡比對結果

以下偵測演算法測試以 108 年 8 月 31 日 3 時臺中港海洋高頻陣列雷達觀測資料為例，圖 2.16 為未經偵測演算處理之都卜勒距離譜，計算之時序列資料時間為 55 秒，距離單元(cell)為 81，距離為 40 公里，頻率單元為 256，頻率為-2.3Hz 到 2.3Hz。

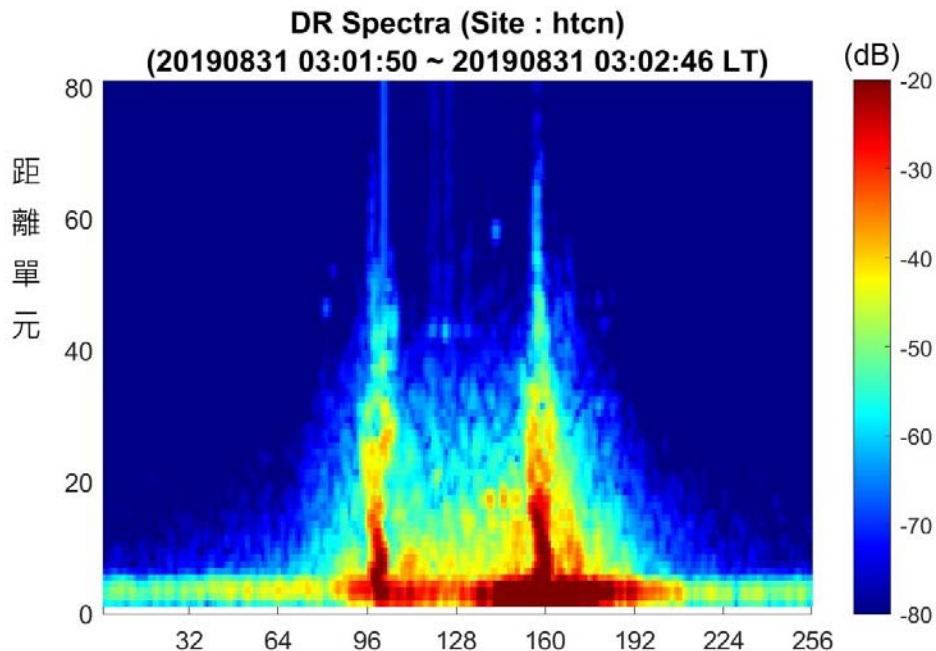


圖 2.16 未經偵測演算處理之都卜勒距離譜

1. 調適性偵測法測試結果

首先將多幅交叉頻譜經過二維移動平均處理，處理結果如圖 2.17 所示。再將交叉頻譜扣除二維移動平均得到殘餘訊號如圖 2.18 所示。

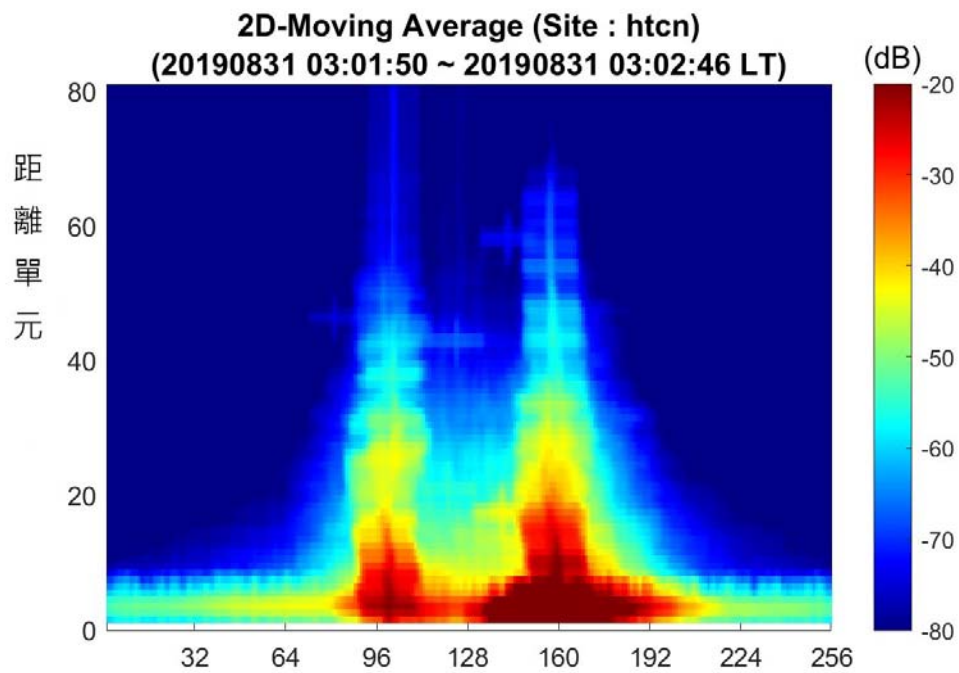


圖 2.17 經二維移動平均處理之都卜勒距離譜

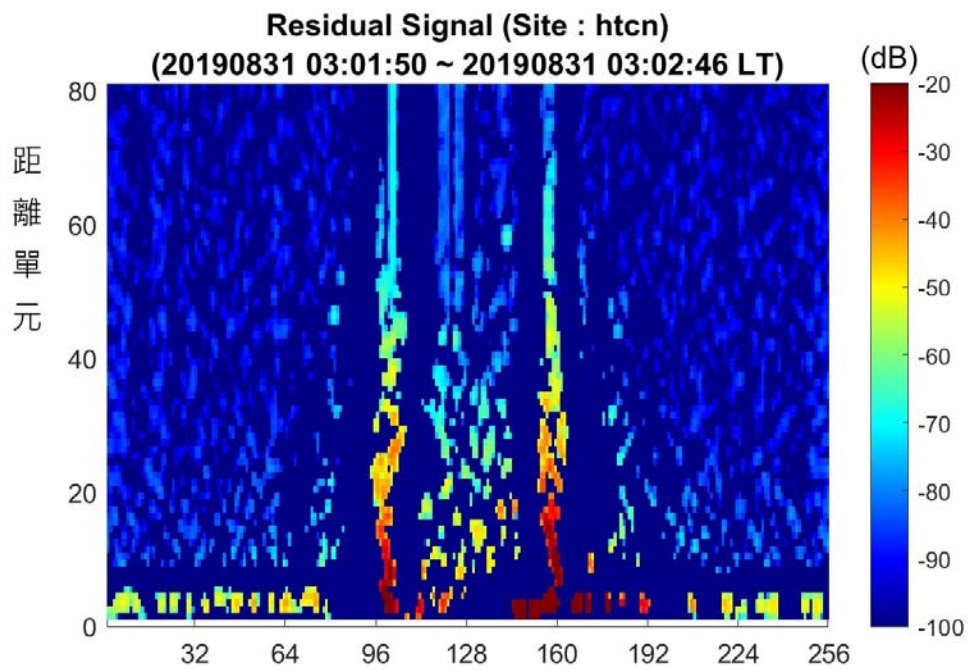


圖 2.18 交叉頻譜扣除二維移動平均得到之殘餘訊號

從圖 2.18 可以發現 0 到 4 公里處之近岸干擾和接近頻率 100 和 160 單元之布拉格波影響區域有強殘留訊號，此部分雜訊非欲求之船舶訊號，將此部分直接移除如圖 2.19 所示。

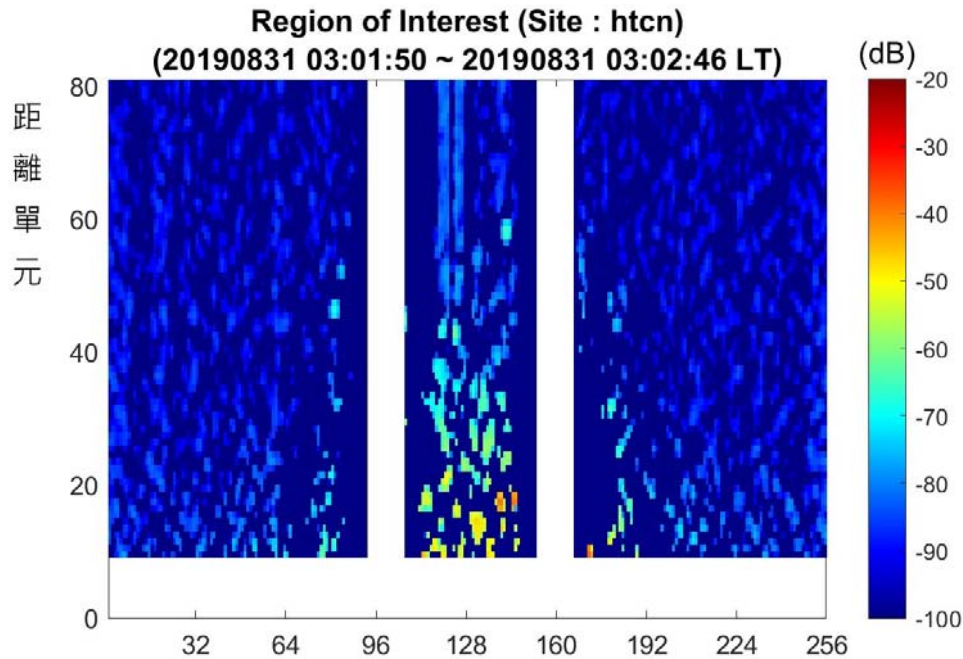
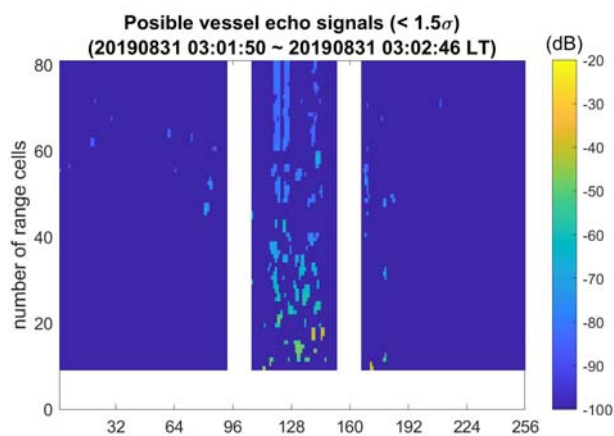
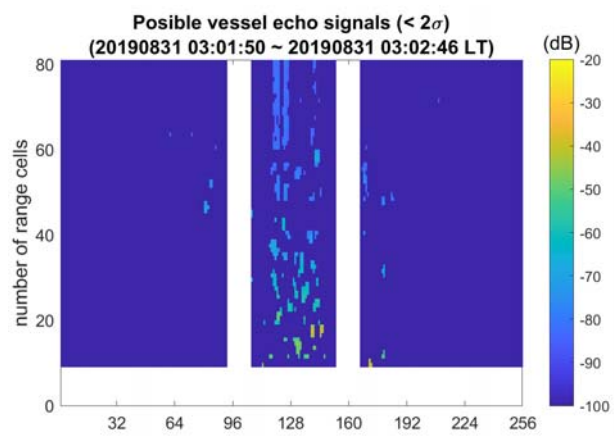


圖 2.19 移除近岸干擾與布拉格波影響之殘留訊號圖

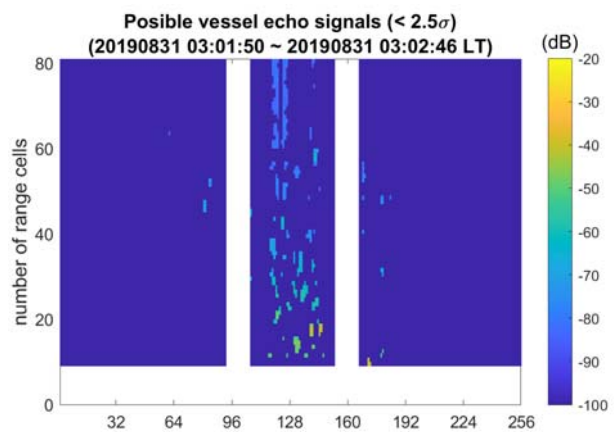
接著使用不同倍數的標準偏差值加上平均值做為門檻加以過濾，分別以 1.5、2、2.5、3 倍標準偏差做為調適門檻，其結果如圖 2.20 所示。Chuang et al.(2015)認為 2.5 倍標準偏差做為調適門檻結果最佳，已下圖結果 2.5 倍標準偏差確實過濾更多雜訊，但依然有雜訊過多未濾掉的情形，下一步會使用固定錯誤警報率過濾法繼續進行雜訊的濾除。



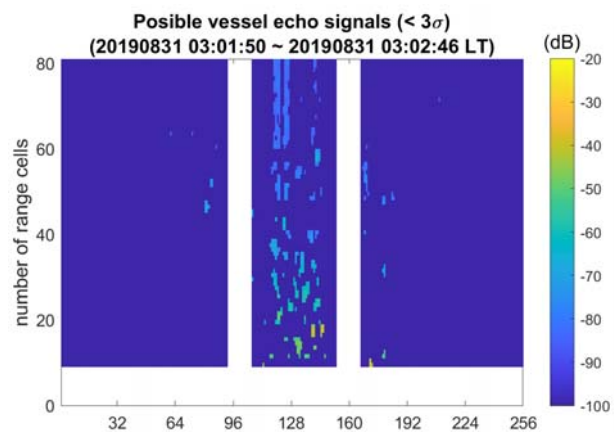
(a) 1.5 倍標準差



(b) 2 倍標準差



(c) 2.5 倍標準差



(d) 3 倍標準差

圖 2.20 不同標準偏差之調適門檻過濾結果

2. 調適性船舶偵測法測試結果

從圖 2.16 計算每一個單元之調適性船舶偵測法之調適門檻，其信賴上界值為 95%，每一個單元之調適門檻計算結果如圖 2.21 所示。

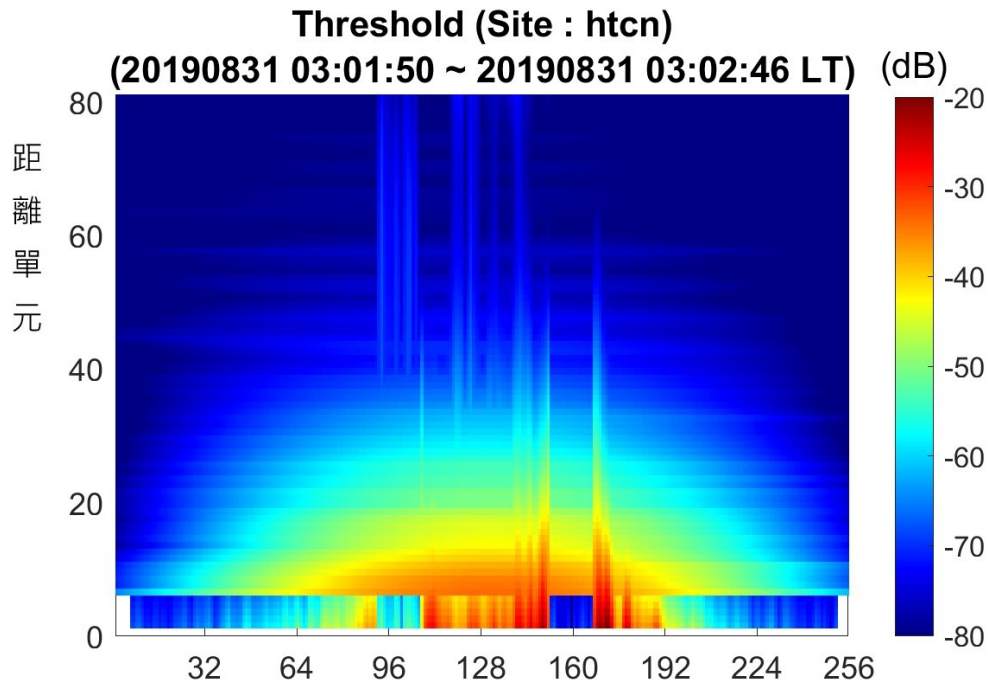


圖 2.21 調適性船舶偵測法之調適門檻圖

將圖 2.16 的訊號強度減去圖 2.21 之門檻值，結果如圖 2.22 所示，將圖 2.22 的 0 以上的值之位置於圖 2.16 保留得到調適性船舶偵測法之偵測結果如圖 2.23 所示。

如同調適性偵測法，下一步會使用固定錯誤警報率過濾法繼續進行雜訊的濾除。

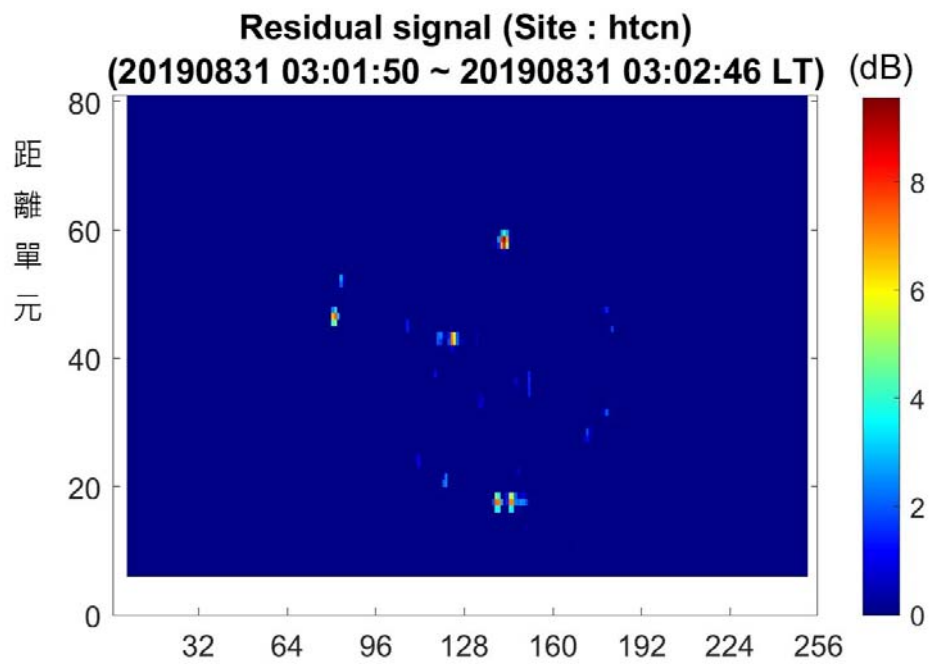


圖 2.22 原始訊號強度減門檻值之殘餘訊號圖

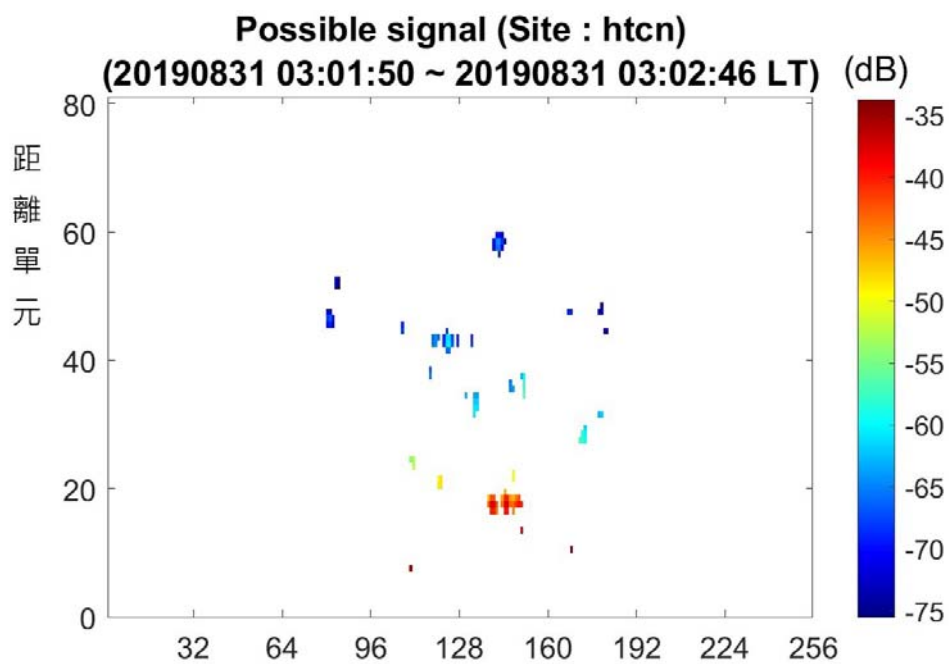
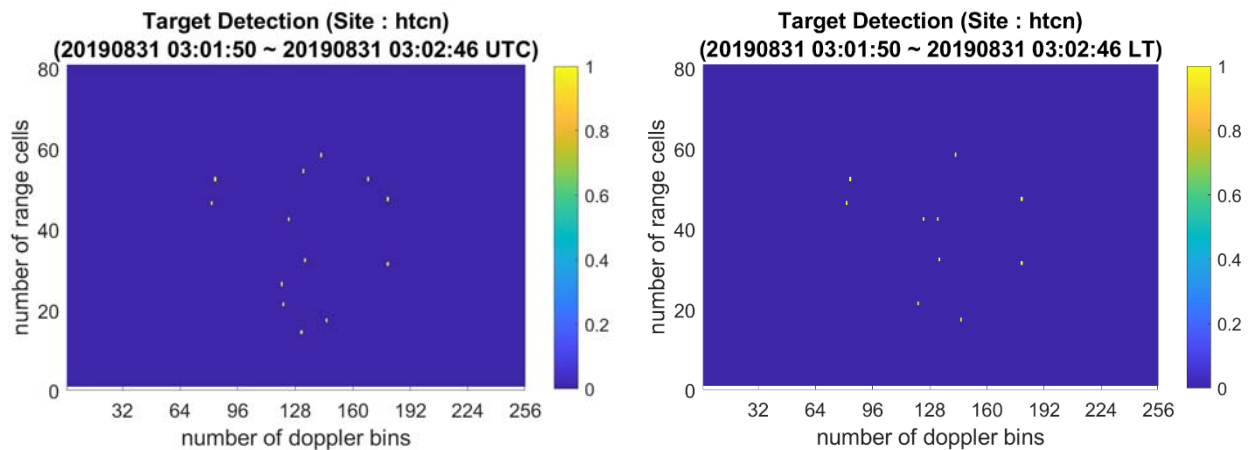


圖 2.23 調適性船舶偵測法之偵測結果圖

3. 固定錯誤警報率過濾法與雜訊測試結果

為透過設立較準確之門檻值與過濾條件以更精準地從第一步偵測法的結果中找出更正確的船舶位置，於調適性偵測法及調適性船舶偵測法後使用固定錯誤警報率過濾法中的最大平均固定錯誤警報率過濾，結果如圖 2.24 所示。



(a)調適性偵測法與固定錯誤警報率過濾法處理後之結果 (b)調適性船舶偵測法與固定錯誤警報率過濾法處理後之結果

圖 2.24 不同過濾法處理後之結果比較圖

從圖 2.24 看來使用兩種船舶偵測法可有效的從高頻雷達都卜勒距離譜取得可能之船舶訊號，但兩種方法得到之可能船舶訊號並非完全一致，可以與 AIS 資料比對及經過統計距離門軌跡辨識確認所有可能之船舶訊號。

4. 船舶偵測法與 AIS 比對結果

於固定錯誤警報率過濾法處理後，將結果與 AIS 資料進行比對，結果如圖 2.25 所示，為確保所有可能之船舶訊號都有被偵測到，將調

適性偵測法與調適性船舶偵測法之所有可能船舶位置以黃色點表示，洋紅色點為 AIS 同時間之船舶位置，洋紅色數字為船舶水上識別碼，黑色線條為 AIS 之船舶軌跡。

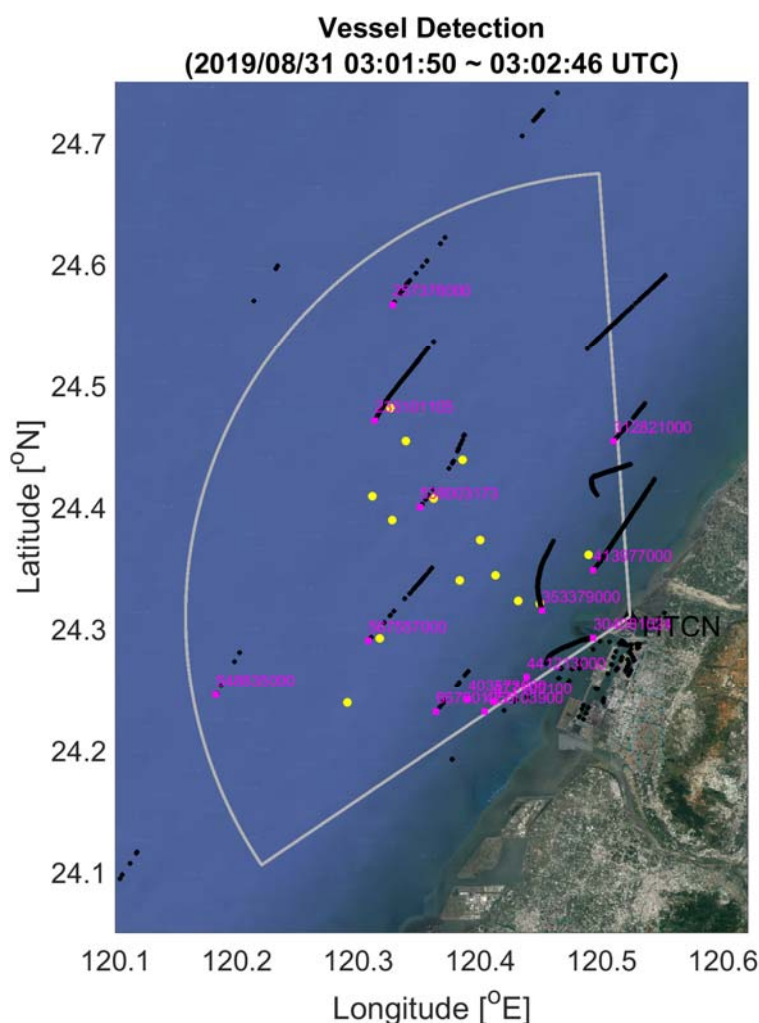


圖 2.25 高頻雷達資料經船舶偵測法演算結果與 AIS 比對圖

從圖 2.25 之結果發現，AIS 中的船舶位置大部分是有被高頻雷達之船舶偵測法偵測到的，結果良好，但有一部分 AIS 顯示之船舶未被偵測以及黃色點並未同時被標註在 AIS 中。AIS 船舶卻未被偵測大部分集中在近岸海面雜訊干擾較強的地方及較遠回波訊號較弱的地方，而有黃色點卻沒顯示 AIS 資訊的可能原因為未能確實過濾所有雜訊或船舶並未確實登錄資訊於 AIS 中。

將此高頻雷達資料引用中國醫藥大學陳振雄教授使用之亮度分布技術(Brightness distribution techniques)，結果如圖 2.26 所示。從圖 2.26 發現，船舶於移動狀態下能被高頻雷達系統有效的偵測到，但於觀測範圍左右兩側偵測準確度有進步的空間，此與兩側之強訊號干擾有關。

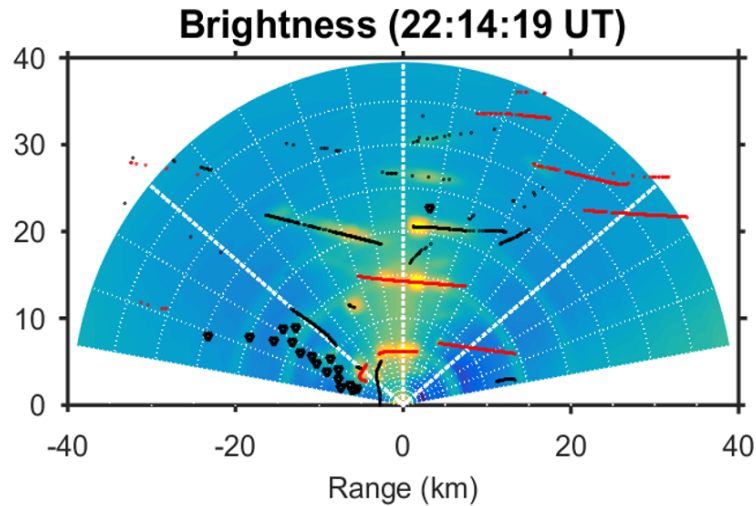


圖 2.26 高頻雷達資料經亮度分布技術處理與 AIS 比對圖

5. 統計距離門軌跡辨識法測試及 AIS 比對結果

從兩種船舶偵測法之結果經過統計距離門軌跡辨識法再次確認船舶訊號，其結果如圖 2.27 所示，橘色軌跡(點)即為使用統計距離門軌跡辨識計算之結果，雷達觀測最後時間點之船舶位置以黃色點表示，洋紅色點為 AIS 同時間之船舶位置，洋紅色數字為船舶水上識別碼，黑色線條為 AIS 之船舶軌跡。。

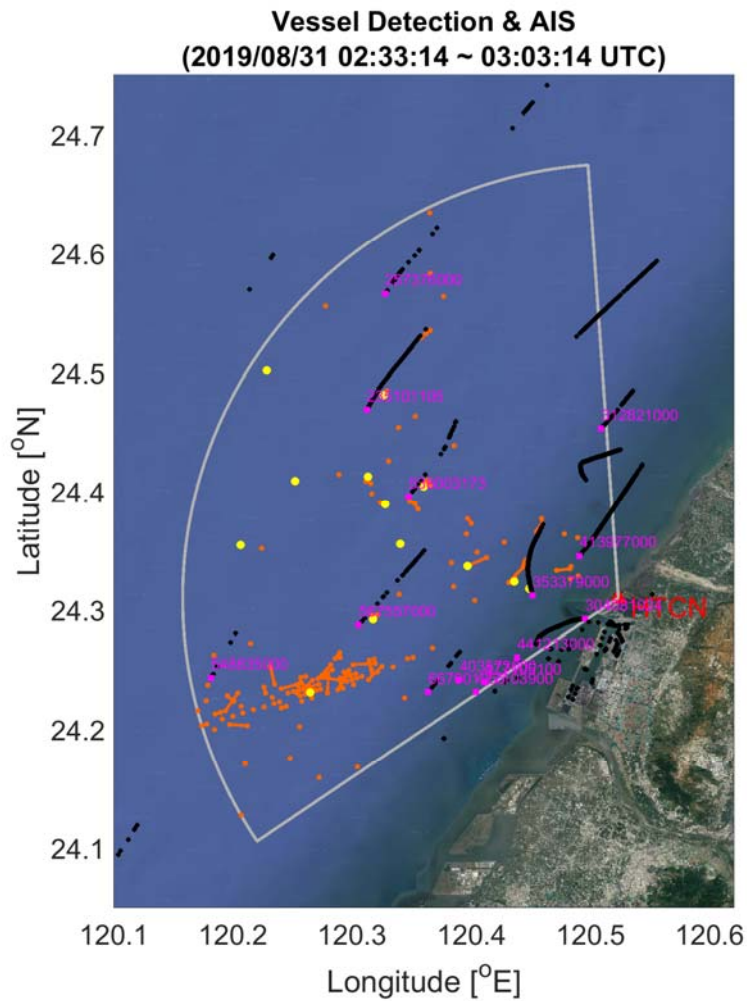


圖 2.27 統計距離門軌跡辨識計算與 AIS 比對圖

從圖 2.27 發現，在較低雜訊干擾下及無偵測資料缺漏的情形下較能呈現船舶軌跡，大部分軌跡辨識呈現品質受雜訊干擾程度影響大，結果仍有進步與改善的空間。若未來有第二座臺中港高頻雷達系統，可根據雙雷達系統之都卜勒頻偏計算出即時之船舶運動狀態，可大幅改善船舶軌跡之品質。

6. 高頻陣列雷達與 AIS 比對結果

本小節進行高頻陣列雷達與 AIS 之資料比對，透過統計分析雷達與 AIS 之間的差異，這理以 AIS 資料為真值來計算雷達的觀測成功率，因此觀測成功率定義為 AIS 紀錄資料中之船舶有被高頻雷達觀測到即表示為成功，反之若沒被高頻雷達觀測到則視為失敗，若高頻雷達有偵測到船舶訊號卻沒有被 AIS 所紀錄，則暫不列入此觀測成功率之統計中。以下分別以觀測距離、船舶大小、船艏向、行進方向等進行比對探討，以了解高頻雷達與 AIS 之船舶觀測特性差異。

(1) 雷達與 AIS 船舶位置距離誤差比對

使用船舶偵測法偵測之船舶位置與相同之 AIS 船舶訊號位置做距離誤差比對，比對資料時間為 108 年 7 月 31 日，比對資料長度為 24 小時，比對資料筆數為 28000 筆，比對結果如圖 2.28 所示。

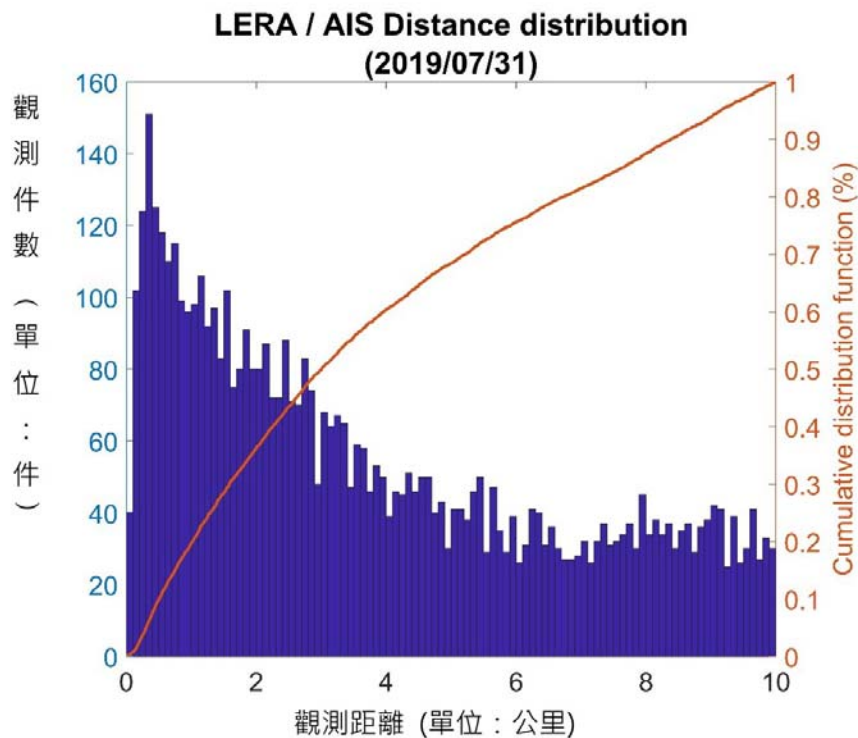


圖 2.28 高頻陣列雷達與 AIS 船舶位置距離誤差比對圖

目前高頻雷達在近岸海面雜訊干擾較強以及較遠、回波訊號較弱的地方不易偵測船舶，高頻雷達觀測範圍之左右兩側有強訊號干擾，亦不易精準偵測船舶位置，根據圖 2.28 結果顯示高頻雷達偵測船舶位置與 AIS 位置距離差少於 2 公里之機率佔 35%，4 公里之機率佔 60%，此初步分析結果尚佳而存在進步的空間，若撇除上述訊號干擾過強的部分，其船舶偵測結果良好。

(2) 分析雷達觀測距離成功率

7 月及 8 月高頻陣列雷達與 AIS 比對於不同觀測距離下之觀測成功率呈現如圖 2.29、2.30。以下分析以高頻陣列雷達與 AIS 船舶位置低於 4 公里(8 單元)視為相同船舶。圖 2.29 與 30 之左方縱軸(藍字)為觀測成功率，右方縱軸(紅字)為不同距離下之 AIS 紀錄資料筆數，橫軸為觀測距離(單位公里)，7 月 3~31 日資料筆數為 124080 筆，8 月 23~31 日資料筆數為 43149 筆。

從圖 2.29 與 30 之 7 月及 8 月不同距離之觀測成功率計算結果可以發現，距離 4 公里以下及超過 30 公里有觀測成功率下降的情形，此狀況與高頻雷達近岸受到強海面雜訊影響以及觀測距離較遠則回波訊號較弱有關，於觀測距離 4~30 公里之觀測成功率呈現平穩的趨勢，成功率約為 60%，此成功率尚佳，除了觀測距離 34 公里以上，成功率也有達到 50%，此結果顯示觀測距離超過 34 公里觀測成功率偏低，觀測範圍受到限制。

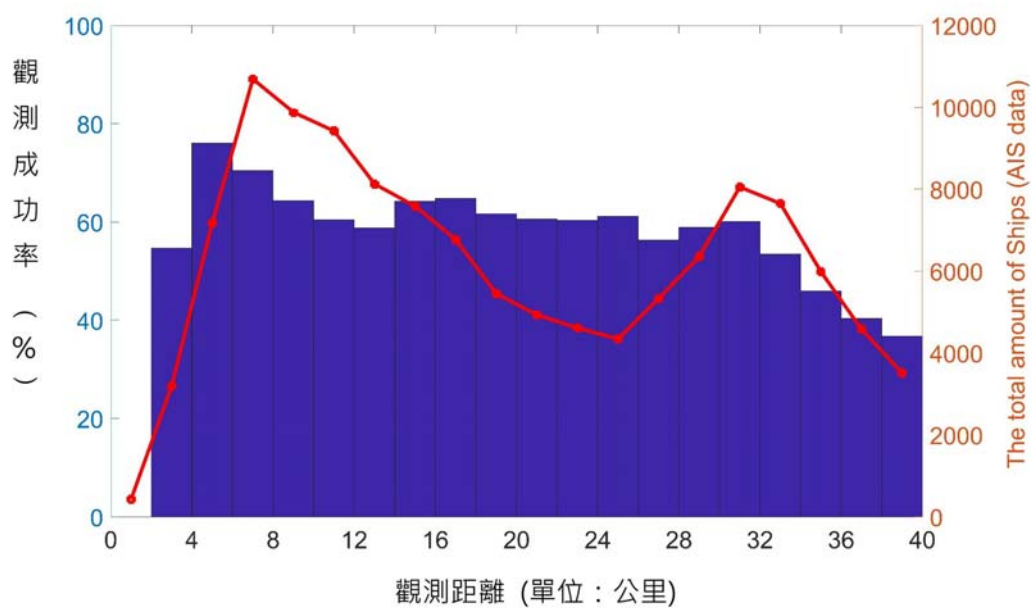


圖 2.29 108 年 7 月高頻陣列雷達於不同距離之觀測成功率

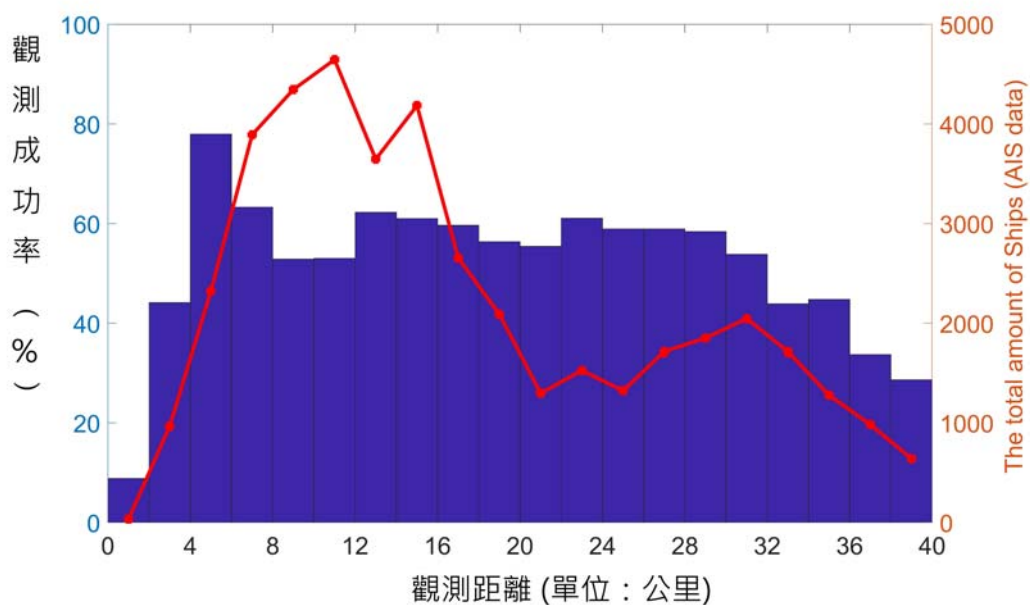


圖 2.30 108 年 8 月高頻陣列雷達於不同距離之觀測成功率

(3) 分析雷達對於船舶尺寸觀測成功率

高頻雷達探測船舶成功率的影響因素包含雜訊及船舶本身狀態，

此節先將不同船舶尺寸與都卜勒距離譜之一、二階海面回波訊號作強度比較，以了解海面布拉格散射與船舶鏡面反射回波訊號強度上的差異，如圖 2.31 所示，縱軸為雷達回波強度(單位 dB)，橫軸雷達觀測目標物距離(單位公里)，結果發現船舶長度越長回波強度越強，原因為雷達截面積的影響，另外也可發現隨著觀測目標物距離越遠，回波強度也越弱，此結果與雷達回波強度公式表示強度隨著距離的四次方成反比一致。都卜勒距離譜之一、二階回波強度受海面波浪布拉格散射影響，隨著波高增強一、二階回波強度也會增強，透過對一、二階回波強度的統計了解海面波浪之雷達回波的強度為何，圖 2.31 之一、二階回波強度使用 2019 年 1 月適性波高 3.8 公尺時做統計，來了解船舶訊號在高波浪干擾情況下之比對結果，從結果顯示得知船舶回波訊號強度一般而言大於海面波浪之回波訊號，但依然有少部分船舶訊號小於波浪回波強度，尤其一階峰之最大值更容易出現大於船舶訊號強度的情形。雖然回波強度隨著距離增加而下降，船舶訊號依舊大於波浪訊號，此結果與圖 2.29、30 的不同距離之觀測成功率呼應。另一方面 8 與 16 公里處有出現 2.3 節提到的雜訊干擾，導致船舶訊號與一、二階回波有強度異常的情況。從圖 2.31 得知一般而言波浪訊號強度是低於船舶回波訊號，但在強波浪情形下，會有部分尤其較小尺寸船舶會受到波浪訊號干擾而難以辨識。

圖 2.32 與圖 2.33 為高頻陣列雷達與 AIS 比對於不同船舶尺寸下之觀測成功率，觀測成功率之定義一樣為 AIS 紀錄資料中之船舶有被高頻雷達觀測到即表示為成功。圖 2.32 與圖 2.33 左方縱軸(藍字)為觀測成功率，右方縱軸(紅字)為不同船舶尺寸之 AIS 紀錄資料筆數，橫軸為船舶尺寸(單位公尺)，7 月 3~31 日資料筆數為 124080 筆，8 月 23~31 日資料筆數為 43149 筆。

從圖 2.32 與圖 2.33 之 7 月及 8 月不同船舶尺寸之觀測成功率計算結果可以發現，300 公尺以上之船舶資料筆數較少，觀測成功率之分析結果起伏較大，除此之外，大部分觀測成功率呈現約為 50~60%，此結果說明高頻雷達觀測並無明顯受到船舶尺寸而影響成功率，此結果也

可從圖 2.31 不同船舶尺寸之回波訊號基本上大於波浪回波訊號可得知，這表示船舶尺寸大小對於高頻陣列雷達之船舶偵測結果的好壞並非主要影響因素，而複雜的背景環境雜訊干擾還是主要影響觀測成功率的關鍵。

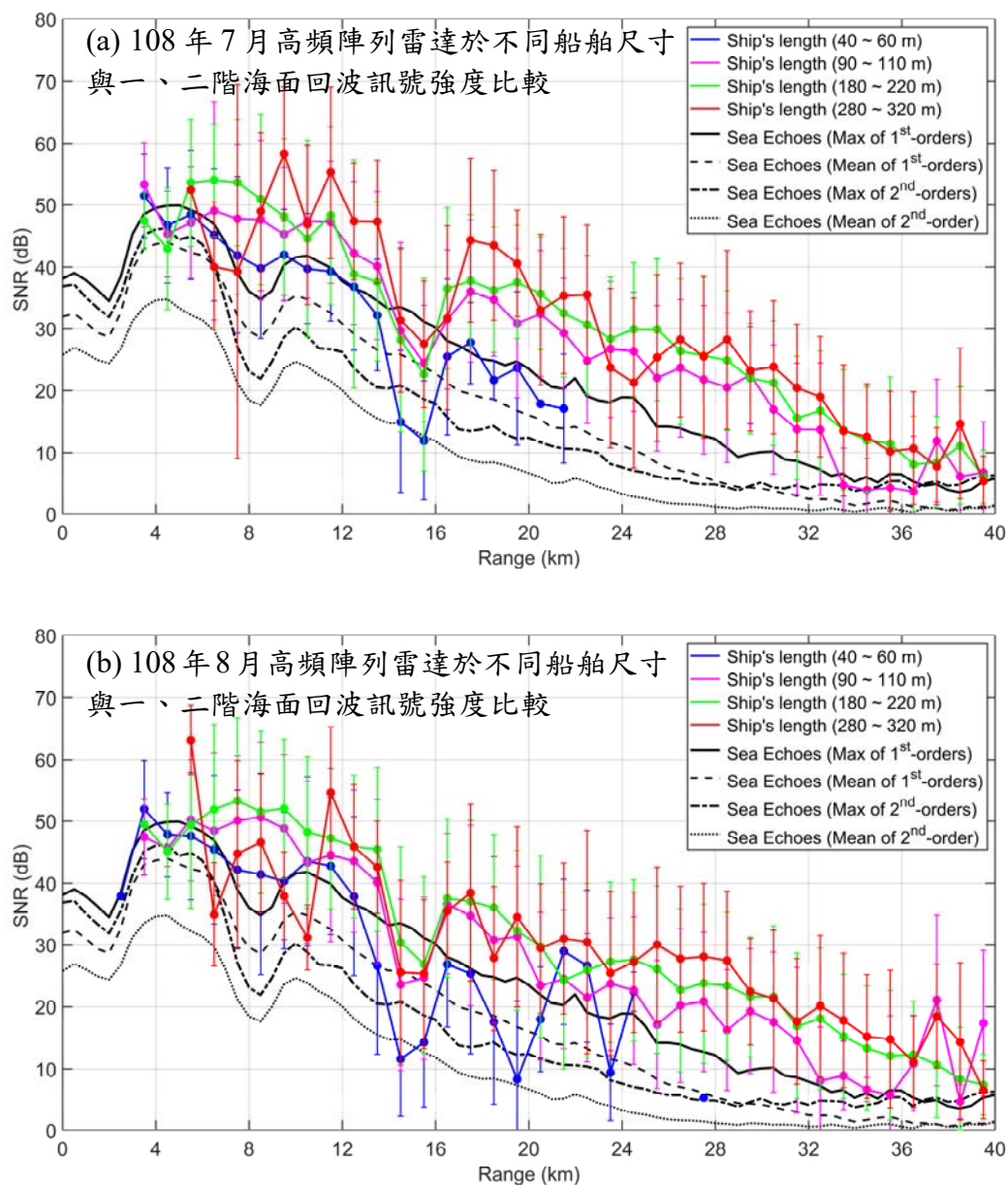


圖 2.31 不同船舶尺寸與海面回波訊號強度比較圖

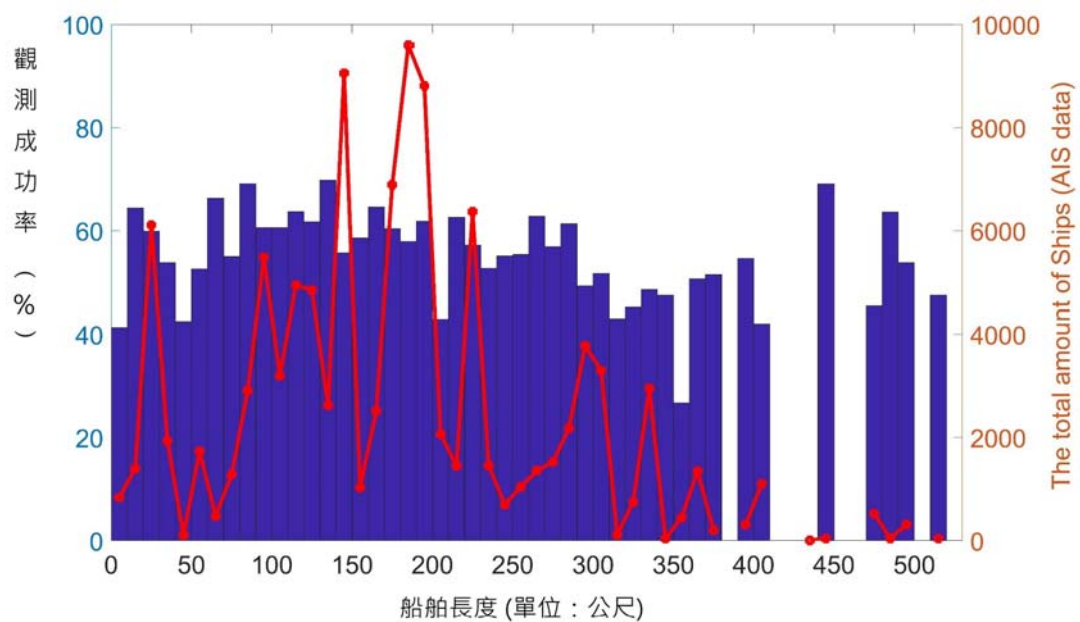


圖 2.32 108 年 7 月高頻陣列雷達於不同船舶尺寸之觀測成功率

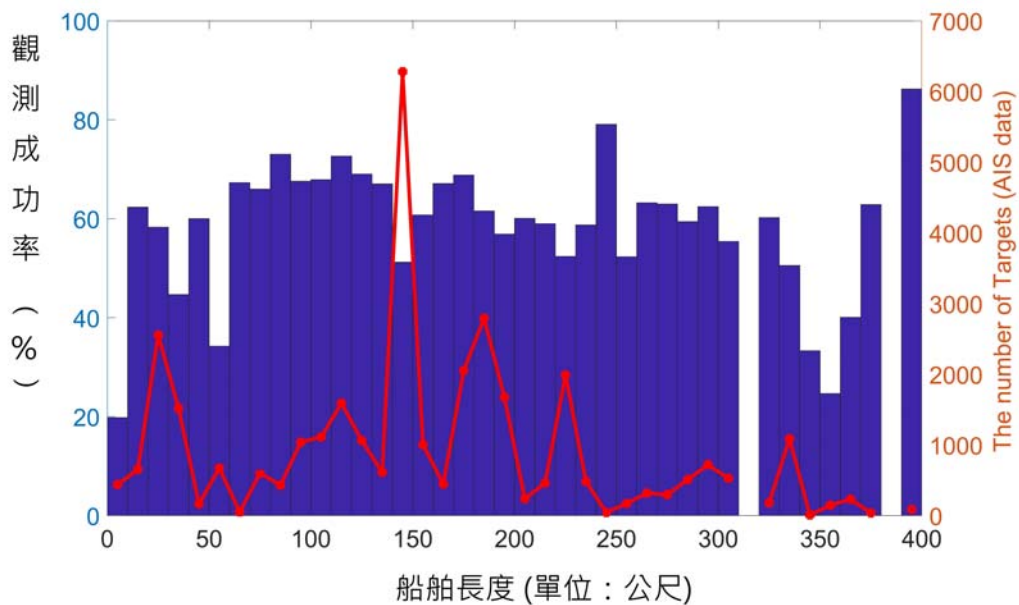


圖 2.33 108 年 8 月高頻陣列雷達於不同船舶尺寸之觀測成功率

(4) 分析雷達對於船艏向與船舶行進方向觀測成功率

船艏向與船舶行進方向會有些微的差異，一般而言船舶行進向量大約等於船艏向量與海表面流向量的加總，這裡將船艏向與船舶行進方向都進行統計分析，統計之觀測目標海域為垂直海岸線-30~30 度之間，7、8 月船艏向分析結果如圖 2.34、35，船舶行進方向結果如圖 2.36、37 所示，左方縱軸(藍字)為觀測成功率，右方縱軸(紅字)為資料筆數，橫軸為船艏向和船行進方向(單位：度)，0 度為北，180 度為南，大約 120 度為方向朝向雷達，300 度為背向雷達方向。

由圖 2.34~37 發現，若船艏向或行進方向面向或背向雷達，其觀測成功率較高，反之若平行於海岸線之船艏向或行進方向，觀測成功率較低，此結果可能是當船艏向接近面向或背向雷達方向時，船舶長度相較船舶寬度更長，更容易以較大的厚度造成一方向之電磁波有效的反射回去。

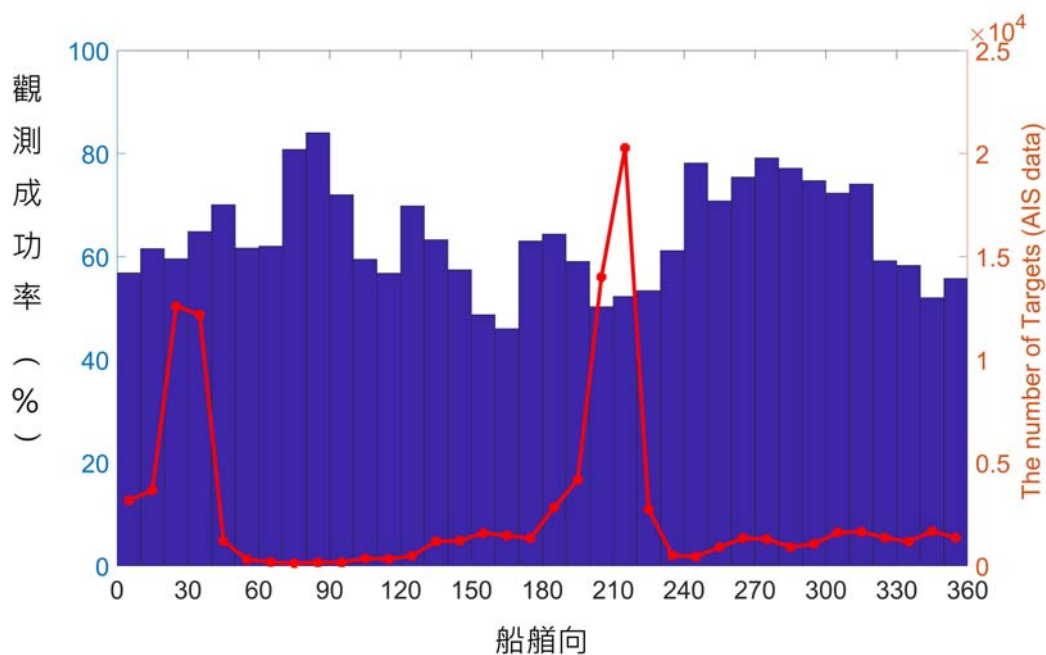


圖 2.34 108 年 7 月高頻陣列雷達於船艏向之觀測成功率

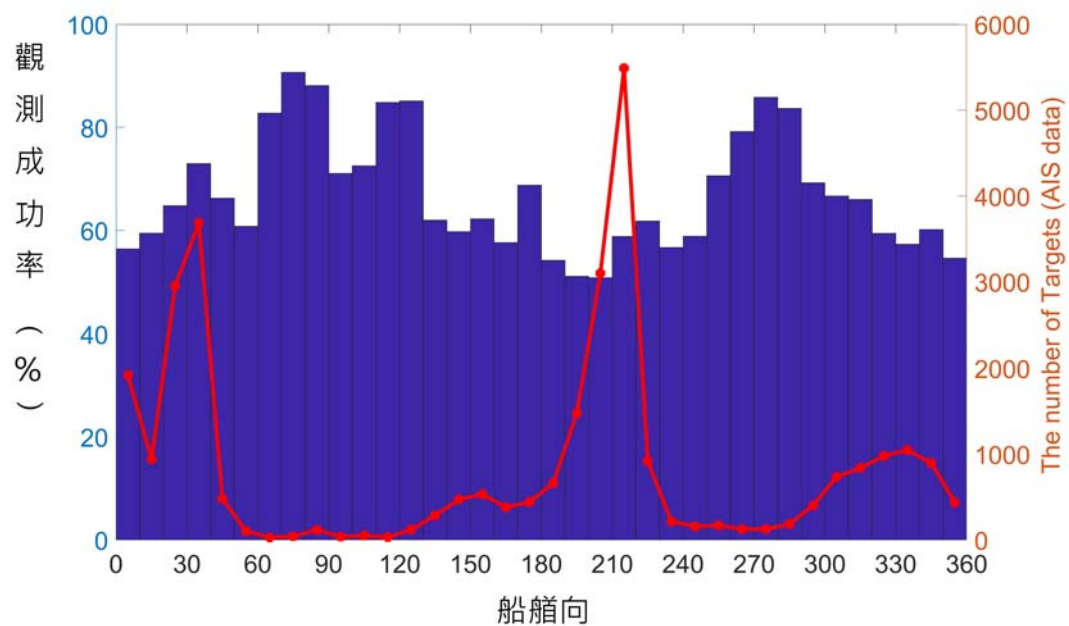


圖 2.35 108 年 8 月高頻陣列雷達於船艏向之觀測成功率

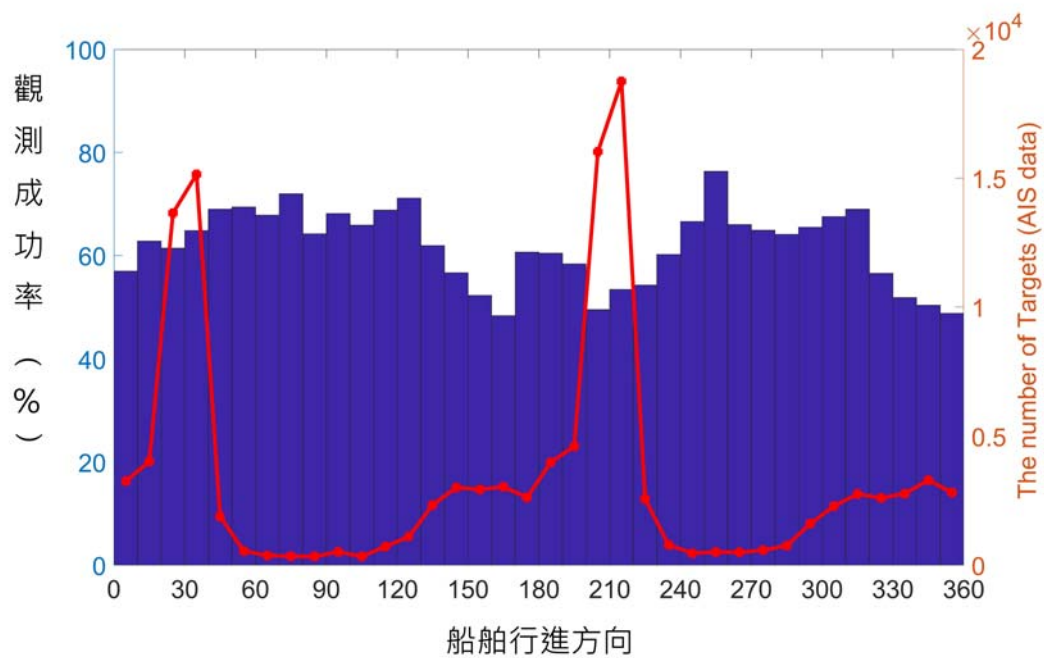


圖 2.36 108 年 7 月高頻陣列雷達於船舶行進方向之觀測成功率

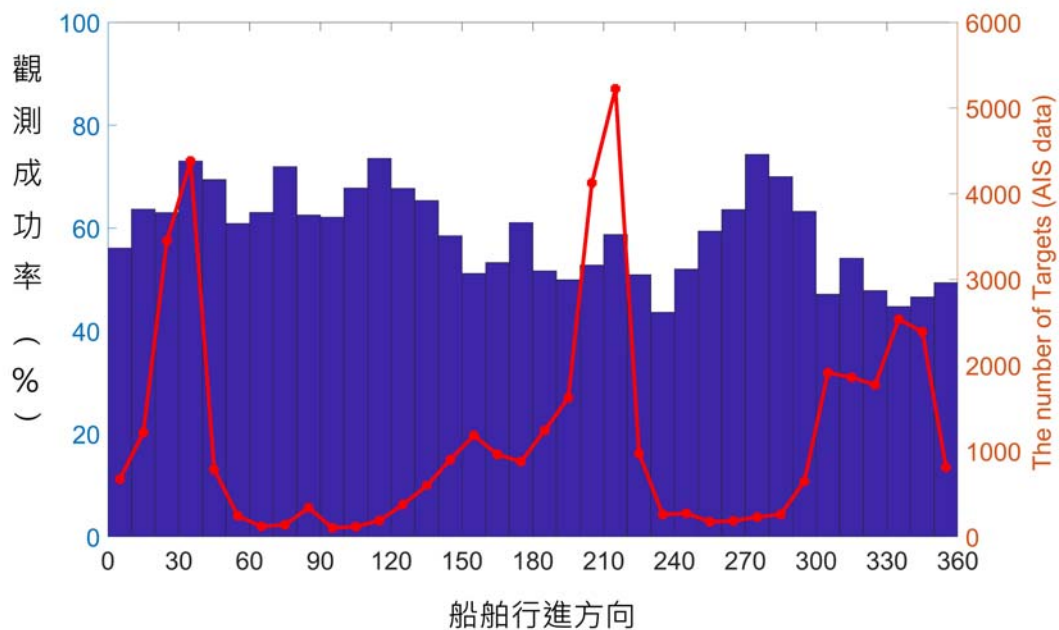


圖 2.37 108 年 8 月高頻陣列雷達於船舶行進方向之觀測成功率

7. AIS 與微波雷達比對結果

本計畫發展高頻陣列雷達辨識船舶訊號的演算法，並與 AIS 資訊做比較，了解其演算法之可行性，但於演算法與 AIS 的比較過程中，發現常有高頻雷達辨識之船舶訊號並無出現於 AIS 資訊中，若上述比較以 AIS 資訊為真值，則需確定 AIS 是否能夠完整呈現與代表現實狀況之船舶狀態。

基於以上描述，本計畫於 108 年 10 月 16 日架設 X 波段移動式微波雷達觀測站於高頻陣列雷達站旁(如圖 2.38)，以高頻雷達距離解析度 500 公尺其兩站為同一單元內，可視為位於相同位置，觀測結果如下圖 2.39 與 2.40。



圖 2.38 X 波段移動式微波雷達觀測站現場

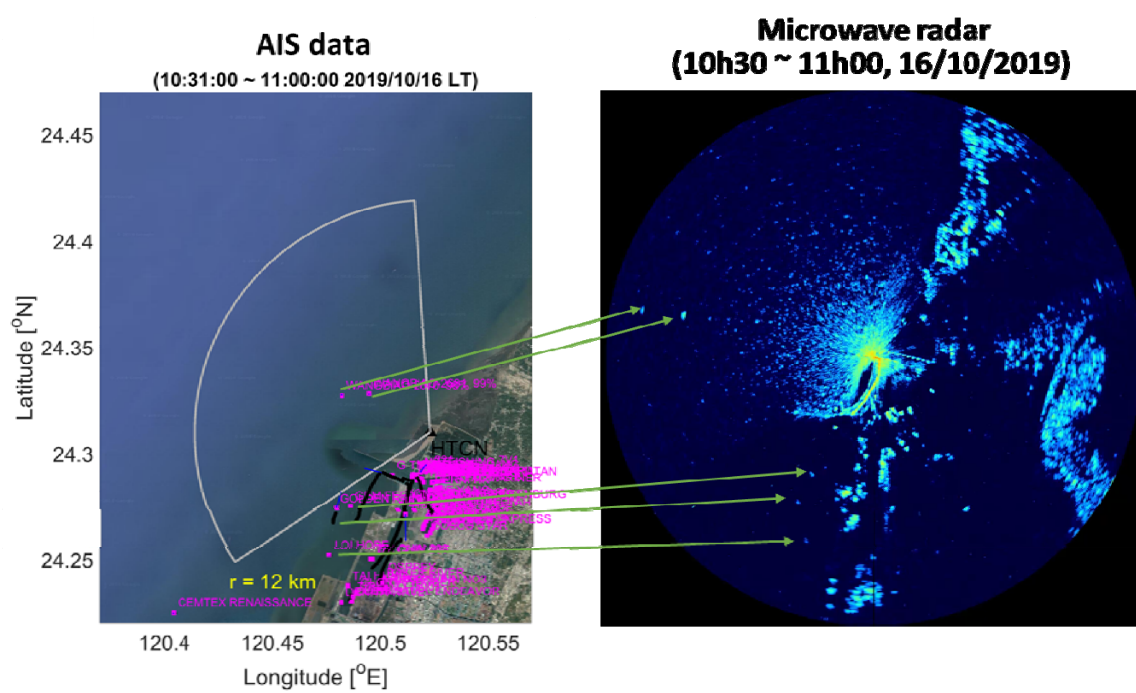


圖 2.39 108 年 10 月 16 日 10 : 30 AIS 與微波雷達觀測比較

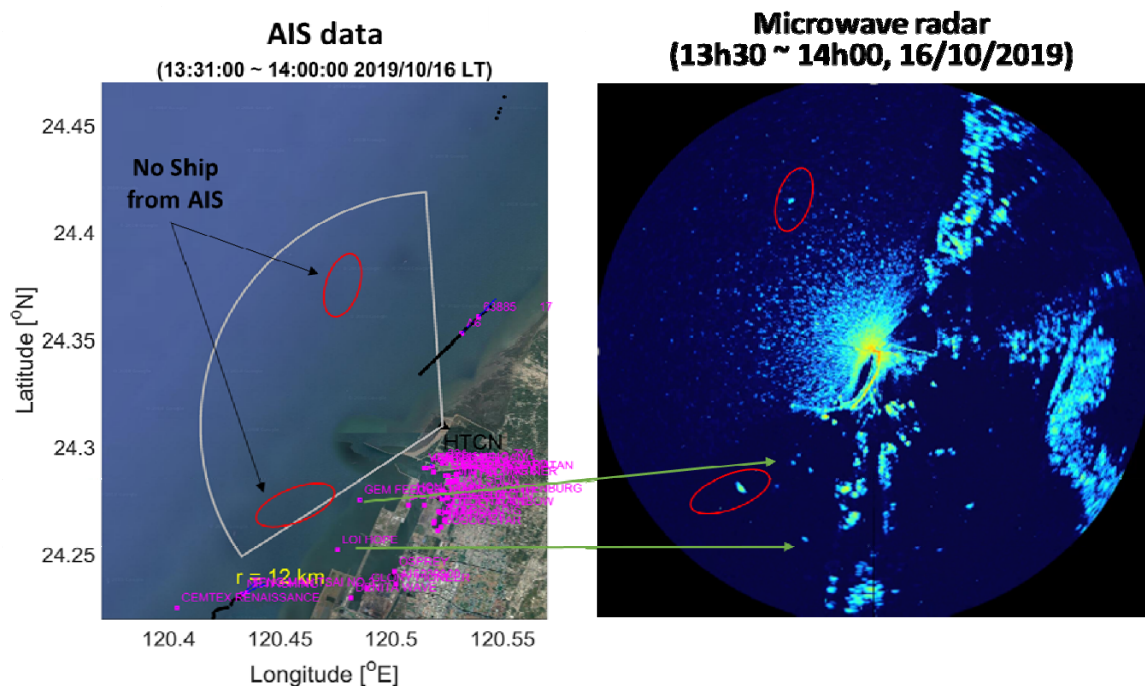


圖 2.40 108 年 10 月 16 日 13：30 AIS 與微波雷達觀測比較

圖 2.39 所示，洋紅色字、點為 AIS 資訊紀錄之船舶水上識別碼及其位置，白色扇形半徑為 12 公里約為右圖之微波雷達觀測半徑，10 月 16 日 10：30 觀測之結果顯示，AIS 資料之船舶位置皆清楚的顯示於微波雷達觀測影像中，經過多張微波雷達影像與 AIS 資訊比較，可以確定 AIS 船舶位置能清楚顯示於微波雷達影像呈現，但於圖 2.40 中發現，同日 13：30 時段之 AIS 資訊中，幾乎沒有船舶位於臺中港口外之近岸海域，如微波雷達圖所示，於港口南邊之兩船舶訊號於 AIS 中有紀錄，然而南邊兩船舶位置再離岸約 4 公里處有一明顯之強船舶訊號，此訊號於 AIS 則無紀錄，距離臺中港口北方約 8 公里處亦有一強船舶訊號，同樣並沒有於 AIS 資料中紀錄。

AIS 為被動式船舶動態監測系統，紀錄之船舶資訊必須經由船家主動將船舶資訊回報，若船家未主動進行回報或未裝載 AIS 發報器，則無法透過 AIS 了解船舶資訊，如同圖 2.40 所呈現，會有船舶紀錄與現

實狀況不同、消失的情形出現，因此本計畫於高頻雷達船舶辨識法的比較過程中，常有觀測到船舶訊號但未出現於 AIS 紀錄，可能是背景雜訊干擾的誤判，亦有很大的機會是 AIS 並未明確紀錄所致。

第三章 整合雷達船舶資料與 AIS 資料庫及展示介面

3.1 海洋開發與航行安全的競合

根據交通部統計查詢網海事案件原因統計，自 99 年到 107 年統計數據顯示我國海域海上事故每年發生約 130 到 216 件(如圖 3.1)，商船與漁船事故比例各佔半數；其中兩船碰撞者佔比總原因的 25%，顯示海洋船舶密度監控與管理是海洋發展重要的的議題。為避免海洋開發方案可能增加的船舶碰撞、競合風險，本節將以 AIS 分析監測水域之船舶動態，瞭解其空間、時間分佈以及型態，以供後續開發評估選址之風險評估之用。

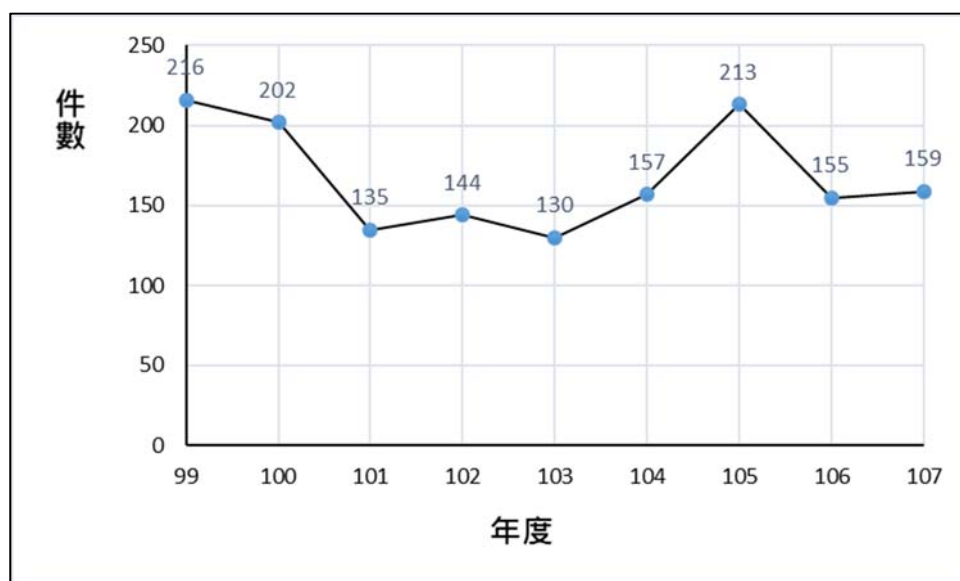


圖 3.1 民國 99 至 107 年在我國海域發生的海事案件統計

數據來源：交通部統計處

未來在離岸風電設置風機後，除原有進出港的船舶外，多了行進速度慢且載有大型機具的施工船，可以想像離岸風電作業海域往來港區

間將更容易發生航安事故；以下擷取自(陳彥宏，2019)臺灣海事安全與保安研究學刊中發表的「離岸風場的海上航行風險與因應機制」文章內容提及的一段話：“這些離岸風電場域發生的碰撞事故或是失去動力漂流，不單單只是船與船之間的事，可能擴及的是，政府好不容易建設的風機，一不小心就變成事故船舶的保齡球瓶了”，這不是危言聳聽，若不做好風險評估與控管，這種推論將有可能成真。

已有許多文獻提及對於航安風險控管，如使用 AIS 搭配監控離岸風機施工船舶派遣進行蒙地卡羅演算法(Monte Carlo method)來追蹤決策支援系統(顏等人，2016)；抑或是搭配 AIS 使用數位選擇性傳呼(Digital Selective Calling, DSC) 以 VHF 70 頻道主動通知或透過持續監聽以應付臨時性的緊急應變的措施及手段(邱等人，2018)，以上都顯示 AIS 在航安風險控管相關應用是相當重要的。

3.2 AIS 資料與特性

自 2002 年國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)發布《國際海上人命安全公約》(International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS) 要求航行於國際水域，總噸位在 300 以上之船舶，以及所有不論噸位大小的客船，均應安裝船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)，我國為加強航安與海上風險管控自 2007 年起，更進一步要求國內航線 500 噸以上船舶也要加裝 AIS。其透過特高頻無線電和衛星傳輸的通訊系統，配合地面接收站，可實現船舶航行安全監控與管理的目的，提升航行事故與海難搜救等重要的證據。

AIS 系統具有導航、助航，並可提供船舶動態訊息，更進階可提供交通流分析、偏航、擱淺等航行危機警示，及提供海事案件調查等應用，另外，AIS 發報機本身具有避碰功能，也就是透過 VHF 廣播發送本船訊息，同時接收它船的訊息，這些訊息中主要有船舶的水上識別碼(MMSI)，是資料檔中共通的重要欄位，在船位報告中包含了經緯度、

船舶對地速度(Speed over Ground, SOG, 單位 knots)、船舶對地航向(Course over Ground, COG)、船艏向(Heading, HDG)，以及傳送訊號時間等各項參數等，以提供避碰的決策，而岸端也設置的船舶交通通訊管制站臺(VTS)，隨時監控海上 AIS 動態，搭配 AIS 使用數位選擇性傳呼(Digital Selective Calling, DSC) 以 VHF 70 頻道主動通知以應付臨時性的緊急應變的措施及手段(邱等人，2018)；由於 VHF 頻段之 AIS 有效距離約 20 海浬，必須透過國際衛星輔助接收 AIS 的交換訊息，因此於 2019 年 1 月為建構友善航海環境並降低意外發生風險，配合國際衛星輔助搜救計畫協議(ICSFA)義務，提升遇險船舶搜救效率，及國際衛星輔助搜救組織(COSPAS-SARSAT)計畫，交通部啟動了中軌道衛星接收系統站的建置，現已進入試運行階段。

AIS 資料主要使用船位報告(Position report)中的船舶水上識別碼(Maritime Mobile Service Identity, MMSI)，經度及緯度、船舶對地速度(Speed over Ground, SOG, 單位 knots)、船舶對地航向(Course over Ground, COG)、船舶種類代碼(Ship Type)以及傳送訊號時間等各項參數，其中 Ship Type 計有 99 種，大致分類為客輪 (Passenger, 60-69)、貨船 (Cargo, 70-79)、油輪(Tanker, 80-89)、漁船(Fishing, 30)及快艇(High Speed Craft, HSC, 40-49) (請參考表 3-1 船舶種類代碼列表)。

表3-1 船舶種類(Ship Type)代碼列表

編碼	船舶類別
0	Not available (default)
1-19	Reserved for future use
20-29	Wing in ground (WIG)
30	Fishing
31-32	Towing
33	Dredging or underwater ops
34	Diving ops
35	Military ops
36	Sailing
37	Pleasure Craft
38-39	Reserved
40-49	High speed craft (HSC)
50	Pilot Vessel
51	Search and Rescue vessel
52	Tug
53	Port Tender
54	Anti-pollution equipment
55	Law Enforcement
56-57	Spare - Local Vessel
58	Medical Transport
59	Noncombatant ship according to RR Resolution No. 18
60-69	Passenger
70-79	Cargo
80-89	Tanker
90-99	Other Type

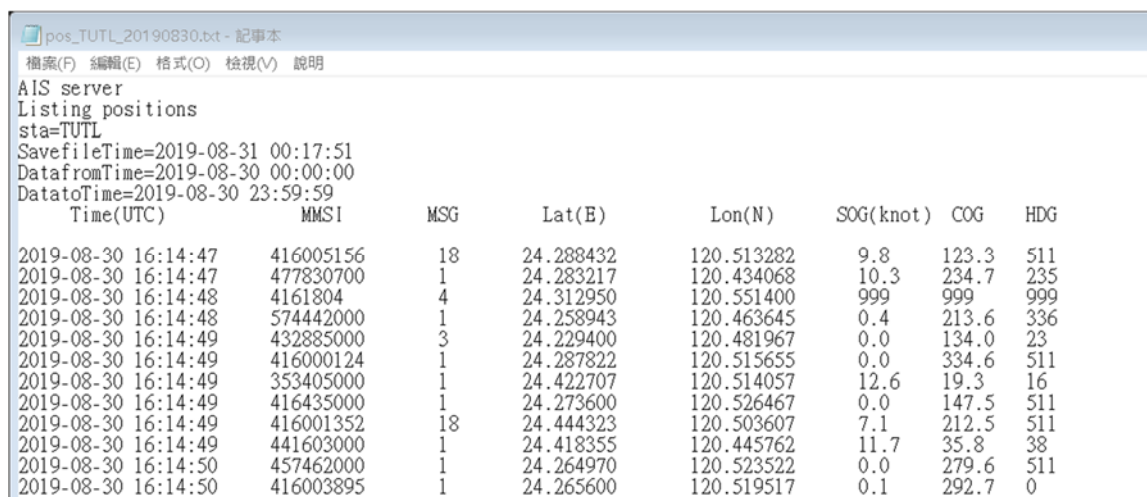
為能正確地統計出更接近真實的數據，必須了解以下重要的特性，由於 AIS 更新頻率與船速有關，為考量安全船速越快則更新越頻繁，根據船舶識別 IUT-R M.1371-1 (Table 1a) 技術文件說明：於正常操作中，以訊息類別 1、2、3 者，AIS 發報 (transponder) 將每 2 至 10 秒廣播位置報告，在錨泊或靜止且船速小於 3 節時更新頻率 3 分鐘，船速大於 3 節則 10 秒更新一次，而船速在 0 到 14 節時每 10 秒報位，有航向變化時 3.3 秒更新，14 到 23 節時每 6 秒更新，有航向變化則 2 秒更新，船速大於 23 節時，不論有無航向改變都是每 2 秒更新，船舶各種狀態之更新頻率請參考表 3-2。

表3-2 船舶移動設備報告時間

船舶運動狀態	間隔
錨泊或停泊，運動速度不超過 3 節	3 min
錨泊或停泊，運動速度超過 3 節	10 sec
0 到 14 節	10 sec
0 到 14 節且更換航線	3.3 sec
14 到 23 節	6 sec
14 到 23 節且更換航線	2 sec
大於 23 節	2 sec
大於 23 節且更換航線	2 sec

資料來源：IUT-R M.1371-1 (Table 1a)

本計畫將 AIS 資料由 MSSQL 資料庫匯出(如圖 3.2 AIS 船位資料檔案格式)，以及雷達解算之船位資訊圖 3.3 雷達船位資料檔案格式，並設定排程轉成 web-GIS 可讀取之 GeoJSON 格式(如圖 3.4)，以更新展示數據，文字檔資料格式如下圖(圖 3.2 及圖 3.3)。



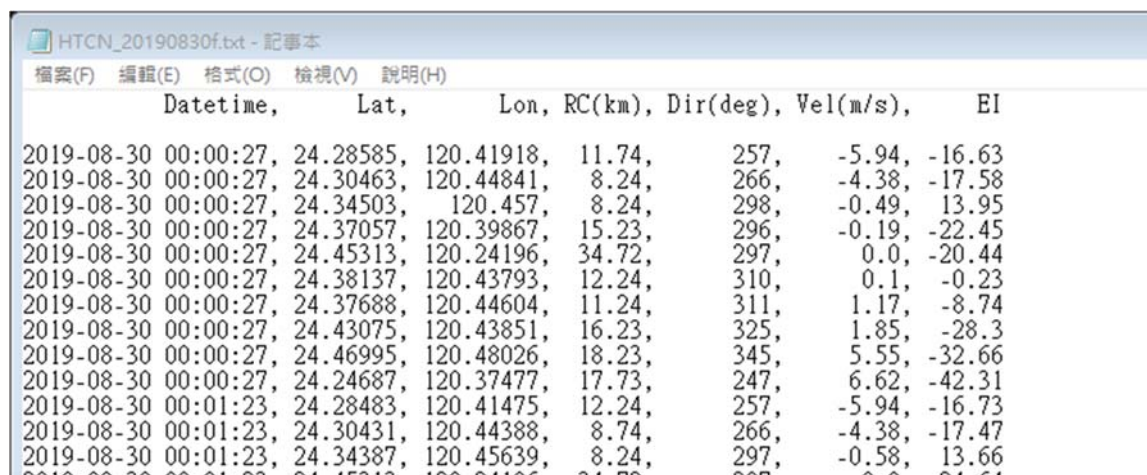
```

AIS server
Listing positions
sta=TUTL
SavefileTime=2019-08-31 00:17:51
DatafromTime=2019-08-30 00:00:00
DatatoTime=2019-08-30 23:59:59

```

Time(UTC)	MMSI	MSG	Lat(E)	Lon(N)	SOG(knot)	COG	HDG
2019-08-30 16:14:47	416005156	18	24.288432	120.513282	9.8	123.3	511
2019-08-30 16:14:47	477830700	1	24.283217	120.434068	10.3	234.7	235
2019-08-30 16:14:48	4161804	4	24.312950	120.551400	999	999	999
2019-08-30 16:14:48	574442000	1	24.258943	120.463645	0.4	213.6	336
2019-08-30 16:14:49	432885000	3	24.229400	120.481967	0.0	134.0	23
2019-08-30 16:14:49	416000124	1	24.287822	120.515655	0.0	334.6	511
2019-08-30 16:14:49	353405000	1	24.422707	120.514057	12.6	19.3	16
2019-08-30 16:14:49	416435000	1	24.273600	120.526467	0.0	147.5	511
2019-08-30 16:14:49	416001352	18	24.444323	120.503607	7.1	212.5	511
2019-08-30 16:14:49	441603000	1	24.418355	120.445762	11.7	35.8	38
2019-08-30 16:14:50	457462000	1	24.264970	120.523522	0.0	279.6	511
2019-08-30 16:14:50	416003895	1	24.265600	120.519517	0.1	292.7	0

圖 3.2 AIS 船位資料檔案格式



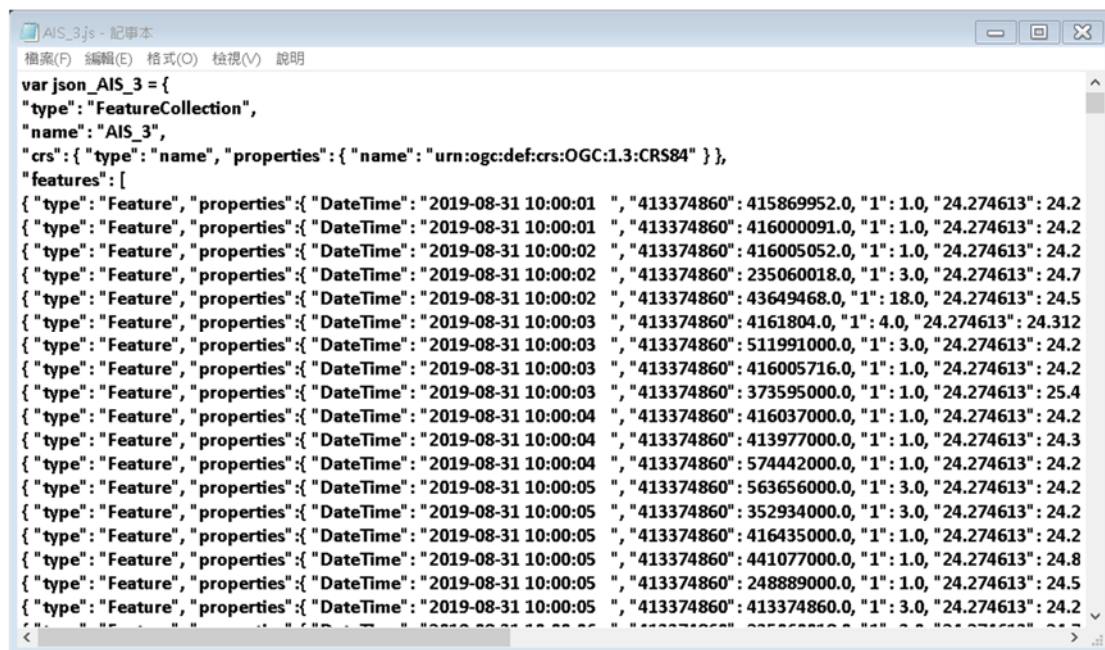
```

HTCN_20190830f.txt

```

Datetime,	Lat,	Lon,	RC(km),	Dir(deg),	Vel(m/s),	EI
2019-08-30 00:00:27,	24.28585,	120.41918,	11.74,	257,	-5.94,	-16.63
2019-08-30 00:00:27,	24.30463,	120.44841,	8.24,	266,	-4.38,	-17.58
2019-08-30 00:00:27,	24.34503,	120.457,	8.24,	298,	-0.49,	13.95
2019-08-30 00:00:27,	24.37057,	120.39867,	15.23,	296,	-0.19,	-22.45
2019-08-30 00:00:27,	24.45313,	120.24196,	34.72,	297,	0.0,	-20.44
2019-08-30 00:00:27,	24.38137,	120.43793,	12.24,	310,	0.1,	-0.23
2019-08-30 00:00:27,	24.37688,	120.44604,	11.24,	311,	1.17,	-8.74
2019-08-30 00:00:27,	24.43075,	120.43851,	16.23,	325,	1.85,	-28.3
2019-08-30 00:00:27,	24.46995,	120.48026,	18.23,	345,	5.55,	-32.66
2019-08-30 00:00:27,	24.24687,	120.37477,	17.73,	247,	6.62,	-42.31
2019-08-30 00:01:23,	24.28483,	120.41475,	12.24,	257,	-5.94,	-16.73
2019-08-30 00:01:23,	24.30431,	120.44388,	8.74,	266,	-4.38,	-17.47
2019-08-30 00:01:23,	24.34387,	120.45639,	8.24,	297,	-0.58,	13.66

圖 3.3 雷達船位資料檔案格式



```
var json_AIS_3 = {
  "type": "FeatureCollection",
  "name": "AIS_3",
  "crs": { "type": "name", "properties": { "name": "urn:ogc:def:crs:OGC:1.3:CRS84" } },
  "features": [
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:01", "413374860": 415869952.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:01", "413374860": 416000091.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:02", "413374860": 416005052.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:02", "413374860": 235060018.0, "1": 3.0, "24.274613": 24.7 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:02", "413374860": 43649468.0, "1": 18.0, "24.274613": 24.5 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:03", "413374860": 4161804.0, "1": 4.0, "24.274613": 24.312 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:03", "413374860": 511991000.0, "1": 3.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:03", "413374860": 416005716.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:03", "413374860": 373595000.0, "1": 1.0, "24.274613": 25.4 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:04", "413374860": 416037000.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:04", "413374860": 413977000.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.3 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:04", "413374860": 574442000.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:05", "413374860": 563656000.0, "1": 3.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:05", "413374860": 352934000.0, "1": 3.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:05", "413374860": 416435000.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.2 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:05", "413374860": 441077000.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.8 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:05", "413374860": 248889000.0, "1": 1.0, "24.274613": 24.5 },
    { "type": "Feature", "properties": { "DateTime": "2019-08-31 10:00:05", "413374860": 413374860.0, "1": 3.0, "24.274613": 24.2 }
  ]
}
```

圖 3.4 GeoJSON 格式檔案內容

3.3 展示系統及架構

參考臺灣海域船舶動態資訊系統及其現有功能，建立以臺中港區為中心的電子海圖地理資訊系統，顯示具有 AIS 動態資訊圖層(Layer)及海洋陣列雷達動態資訊圖層的展示介面，其架構為可設置主機，硬體安裝 ubuntu 16.04 Desktop 版本作業系統，及安裝 LAMP(Linux + Apache2 + PHP)伺服器軟體。整合開放源代碼之地理資訊圖資(OpenStreetMap)，主機負責接收船舶動態數據及雷達解算之船位之文字檔，格式如圖 3.2 及圖 3.3，排程將資訊轉成支援 webGIS 讀取之 .js 檔案(格式如圖 3.4)，js 檔即為 WebGIS 之圖層(layer)。webGIS 的格式設定可自行操作由 QGIS 使用 qgis2web-plugin 產出，產出之資料夾連結到 Apache 網頁伺服器即可透過內網遠端瀏覽。

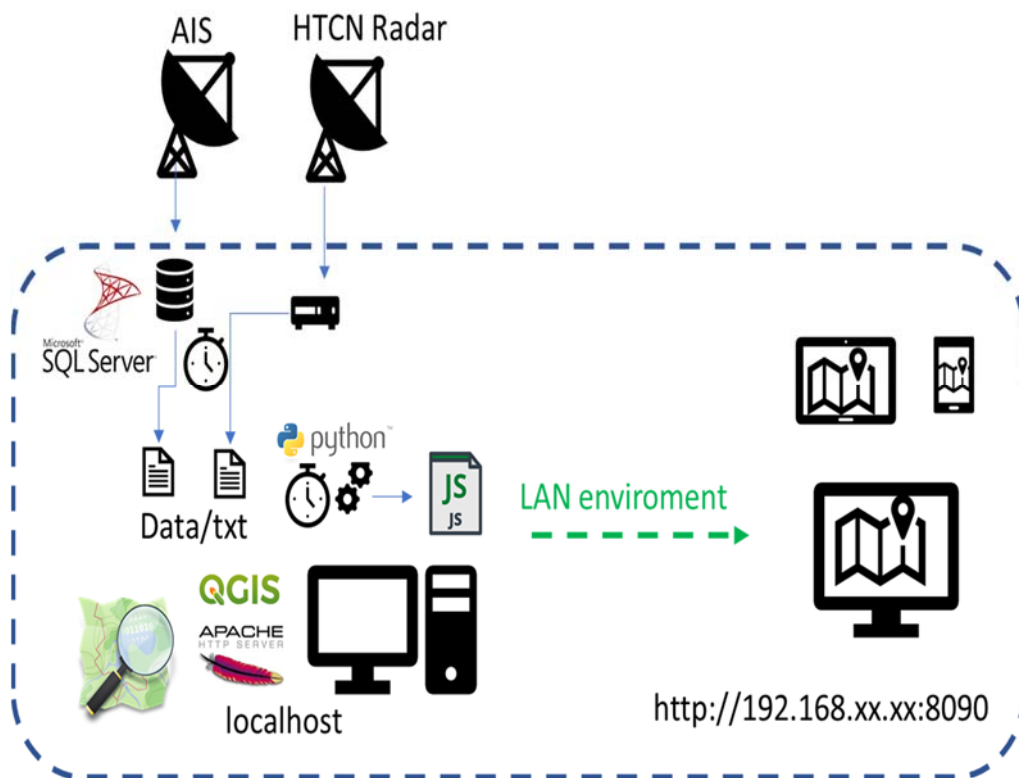


圖 3.5 展示系統之網路架構

回顧國際知名之免費 GIS 伺服器軟體，包括 QGIS(早期 Quantum GIS)，gVSIG、Whitebox GAT、SAGA GIS、GRASS GIS、MapWindow 等等，其中使用者第一名的 QGIS 自第二版以來新增 Python 插件功能，使之軟體功能大幅提升，現已更新至 3.4 版，包含繪製成 Web 介面，且支援跨平臺作業系統，操作親和容易上手。

以下將以圖文並茂之報告內容說明系統介面，首先介紹開啟，QGIS 具可快速開啟，開啟之模板可儲存成 Project，方便移轉或使用，請見圖 3.6。

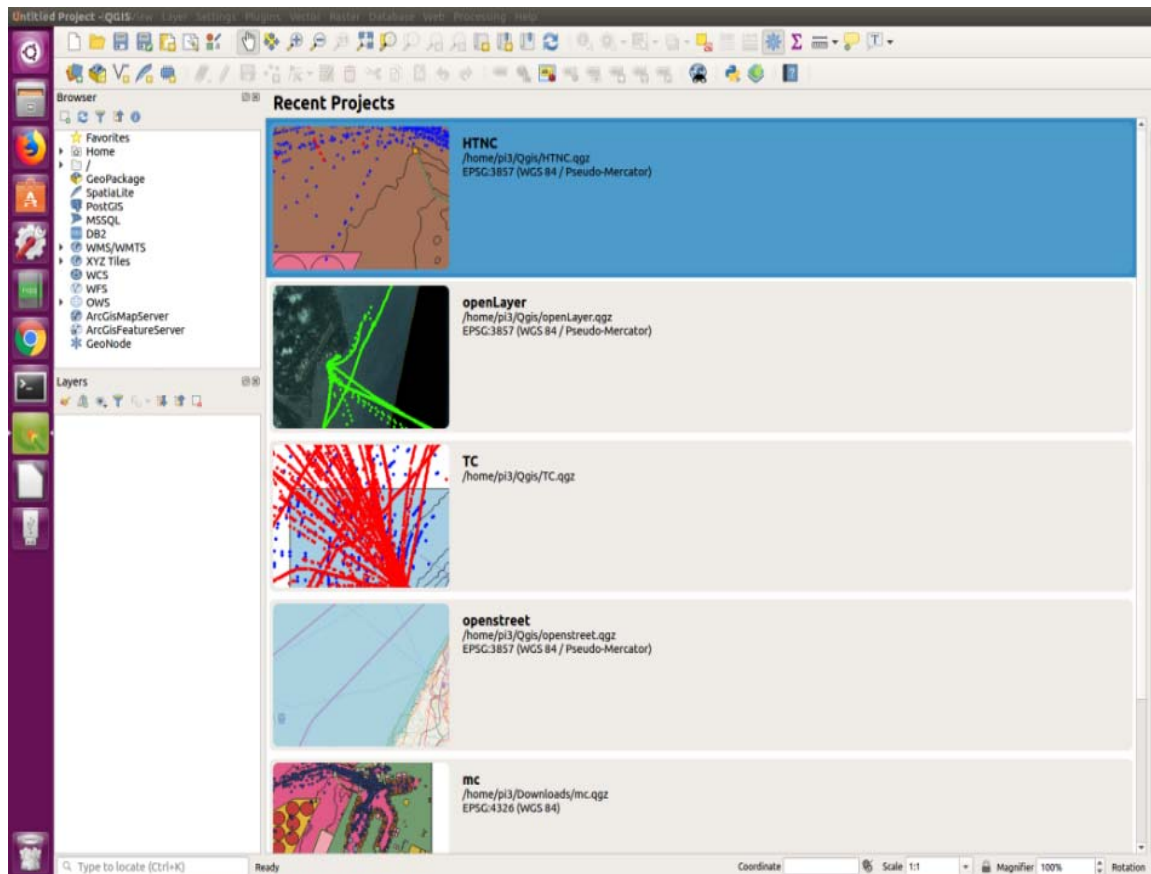


圖 3.6 快速啟動之模板

匯入資料說明：QGIS 支援多種匯入格式，包含讀取向量圖層、文字檔(Delimited Text)、網格(Mesh)、或 GeoPackage 物件，以及連結 PostgreSQL、MSSQL 或讀取 WMS、ArcGIS 格式圖資等等，下圖為資料匯入畫面(圖 3.7)，以本計畫為例，AIS 文字檔格式選擇 Delimited Text 匯入方式，選擇檔案路徑、檔案名稱、自訂 X、Y 欄位、送出即完成匯入動作。

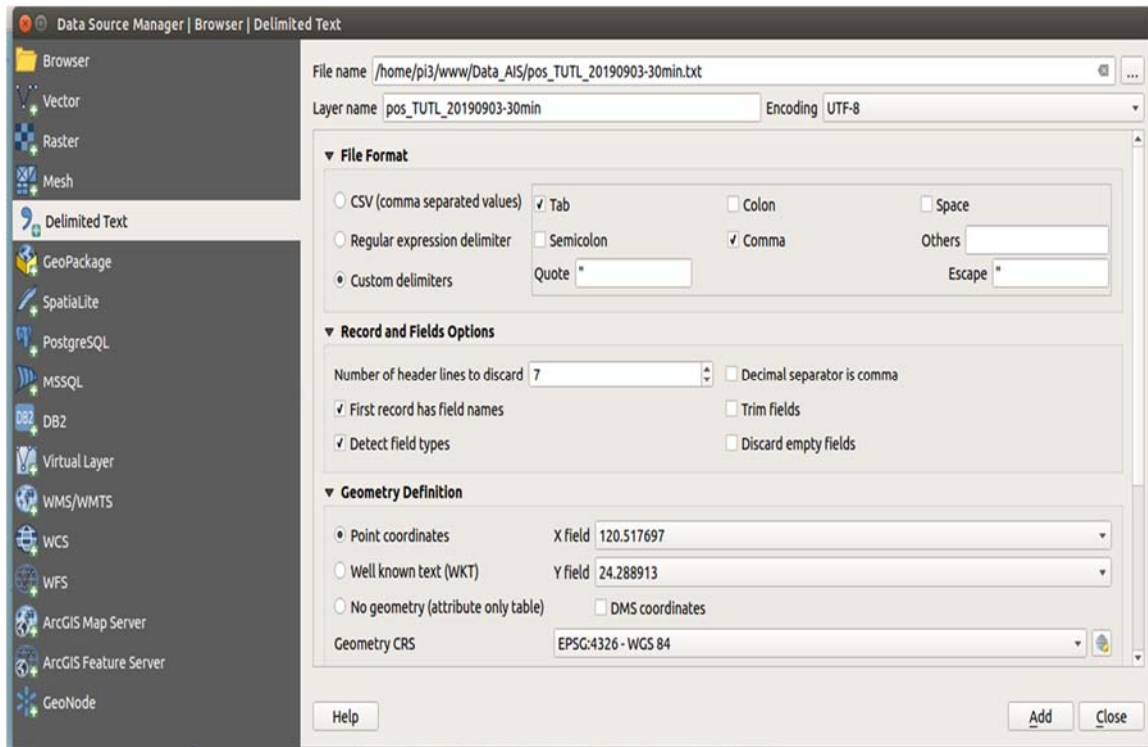


圖 3.7 支援多種格式之資料匯入畫面

匯入後即可看見資料圖層，資料圖層清單列表於左下方，可勾選是否顯示，新增或刪除圖層，或更改圖層之圖標，圖標顏色、大小設定，或設定顯示標籤等，就緒後即可進行匯出至網頁，操作介面淺顯易懂，功能強大，直覺是操作，下圖為導入開放自由源代碼之 OpenStreetMap 圖層，並匯入 AIS 及雷達解算船位資料的圖層疊合(如下圖 3.8)。

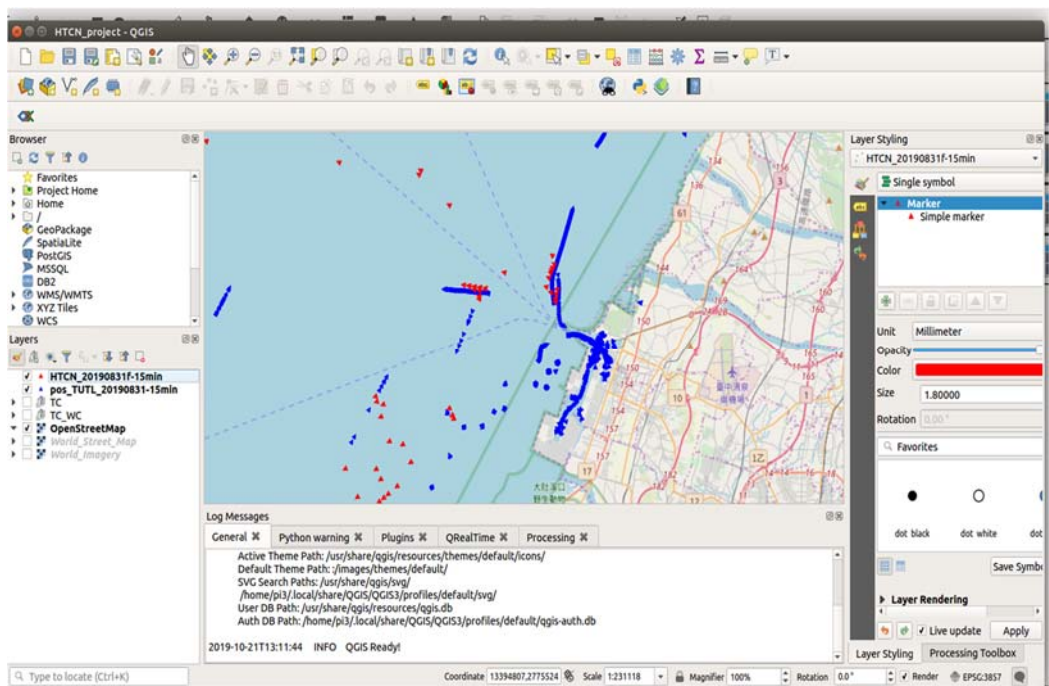


圖 3.8 QGIS 操作圖層設定

圖 3.9 為使用 QGIS 讀取內政部 S57 格式之電子海圖(*.000)，同時與 OpenStreetMap 圖層及 AIS 文字檔數據、雷達船位文字檔數據疊合並存 (圖 3.9)

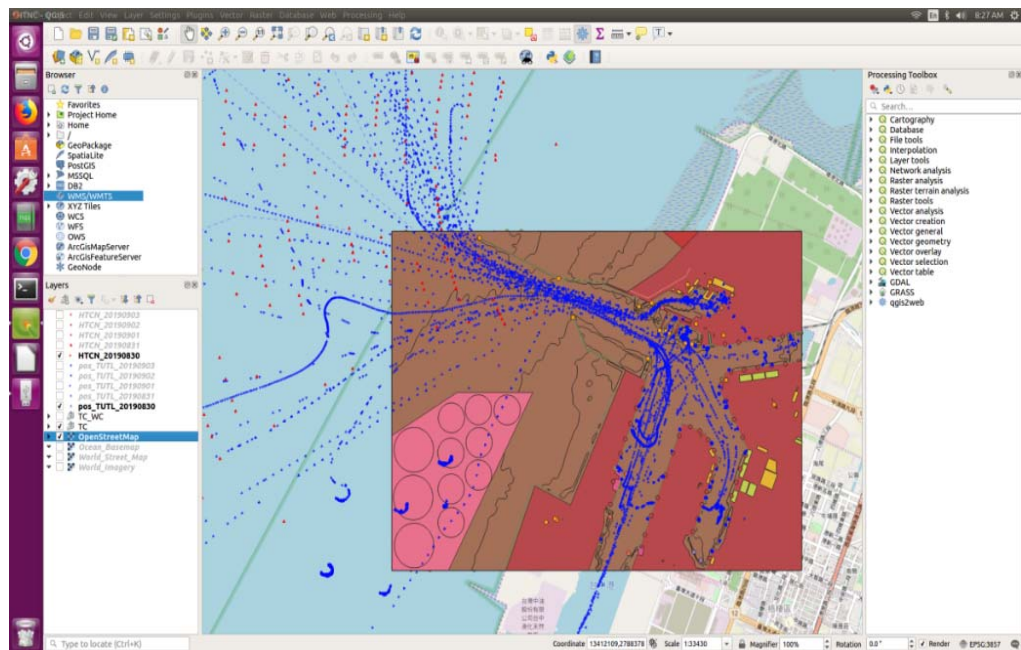


圖 3.9 內政部 S57 圖資與 OSM 圖層及船位數據疊合

網頁匯出功能說明：網頁匯出的動作只需要進行一次，完成匯出後，未來只要更新資料 js 檔即可，自從 QGIS 提供 Python Developer API 以來，開放開發者撰寫外掛，並提供分享平臺(QGIS Python Plugins Repository)，現已有超過 1000 支外掛程式開放供開發及使用者免費下載使用，使得 QGIS 的功能更為強大且富彈性擴充，功能強大的 qgis2web 外掛程式將操作介面已設定好之海圖圖資、數據圖資(AIS 及雷達船位)匯出成網頁畫面，匯出設定可預先瀏覽，匯出(export)即完成 web 網頁架構設計，下圖為使用 qgis2web 外掛程式，將資料即圖曾匯出成 js 即 html 檔(見圖 3.10)。

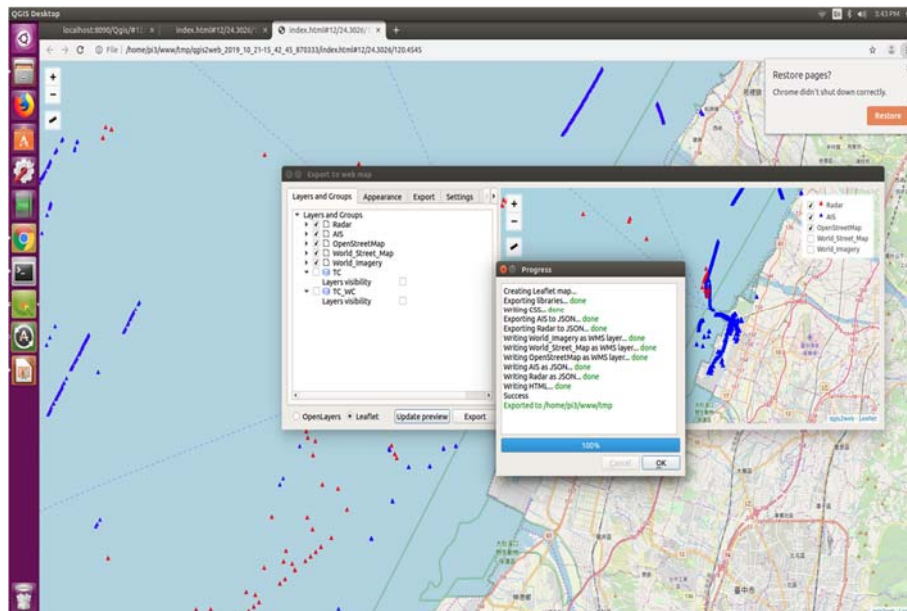


圖 3.10 網頁匯出功能示意圖

3.4 AIS 船舶密度分析技術

本計畫利用航港局 AIS 資料匯入本所 SQL 資料庫，時間自 2019 年 8 月 30 至 9 月 3 日共計五日，並使用 AIS 資料進行船舶密度的技術開發，8 月底至 9 月 5 日於 120°E、120.75°E、24°N、24.75°N 區域內將近有 8,403,581 筆數據，不重複之 MMSI 為 2,903 筆，此代表活動於該月該區域之不同船舶有 2,903 艘，其中貨輪有 880 艘(30.3%)，油輪 665 艘(22.9%)、漁船有 278 艘(9.6%)、客輪 21(0.7%)、快艇 5 艘(0.2%)，其他未分類或無法辨識 1054 艘(36.3%)佔比相當高，見圖 3.11，各類船舶航跡分佈區域有所不同，圖左上綠色的漁船多分佈於近岸軌跡較為紊亂、而圖右上藍色的貨輪與圖左下紅色的油輪活動範圍稍遠離沿岸多呈東北西南走向，兩者軌跡類似，圖右下除有特定軌跡之紛紅色的快艇及淺藍色客輪航線，尚有黃色未分類及無法辨識之船舶。

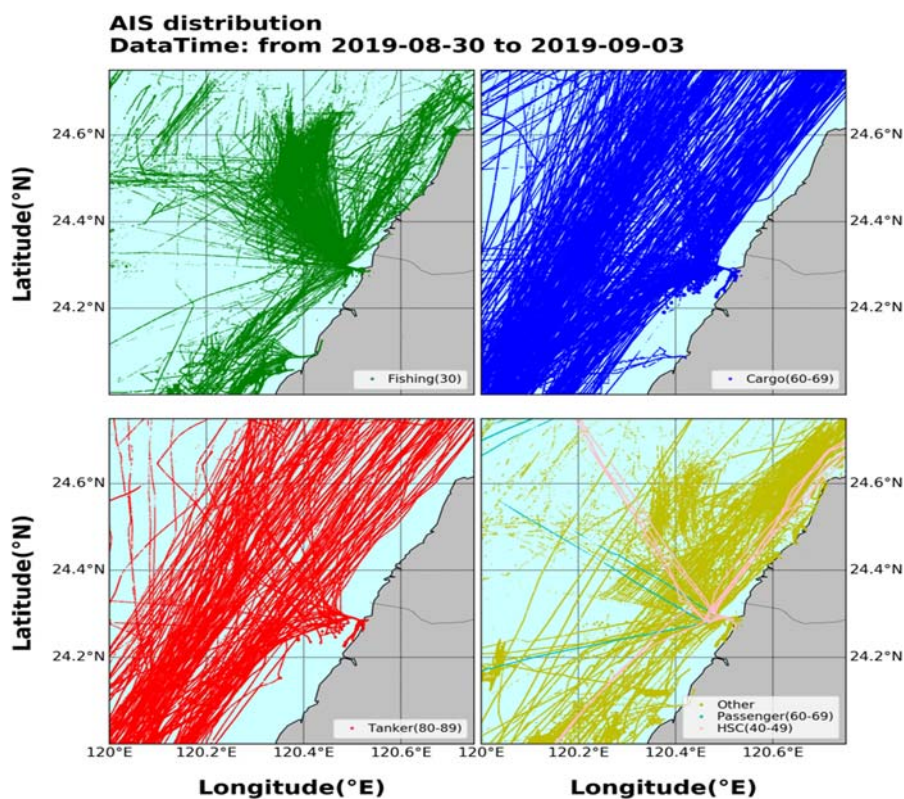


圖 3.11 各種類船舶之行跡分佈

為提供開發場址評估，發展 AIS 格網密度分析技術，AIS 巨量資料

處理，主要以矩陣、關聯矩陣、座標轉換技巧，處理分割時間與空間的二維巨量資料；前處理流程依序為由資料庫逐月匯出文字檔、再進行時間與空間分割，在每個單位時間與空間裡統計出船舶密度、船舶種類數量與其航向，並分析截斷面的量化的時間變化請形。船舶密度分析的定義與計算法則，海面船舶密度計算是以單位時間單位面積內的海面船舶數量，同時統計通過截斷面之各類船舶數量及南北航向數量。

回顧歐盟船舶密度計算方法(EMODnet)船舶密統計方法很多，主要有四類：一是統計單位面積內的航線數量(如下圖 3.12 左上)、一是統計單位面積內航跡長度量(圖中上)，單位為公里、三是統計航跡點數量(圖 3.12 右上)，四則是統計航線在網格內的行經時間(圖 3.12 中下)，本方法是以計算不重複 MMSI 數量，即每艘創造出一條航線，與歐盟之第一種的統計方法相同。

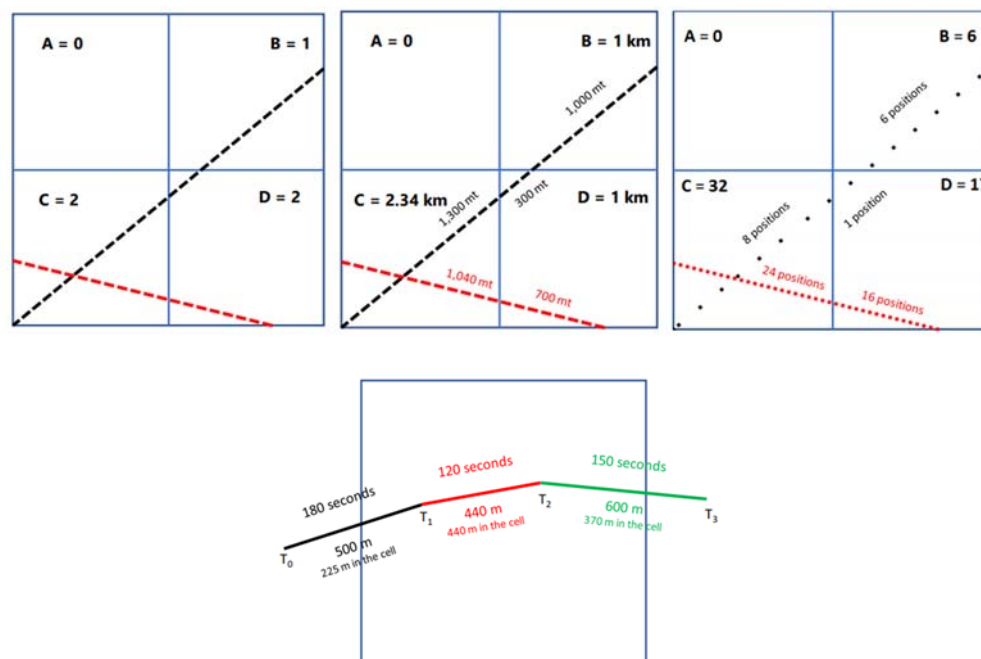


圖 3.12 歐盟(EMODnet)計算船舶密度的方法

取雷達解析船位相同時間之 AIS 資料，時間自 2019 年 8 月 30 至 9 月 3 日共計五日，為比較雷達解析，空間解析網格約 0.5x0.5 公里(1/200 經緯度)，網格點以左下角為原點，計算不重複 MMSI，時間解析以 1 小時為最小統計單位，密度統計單位為每小時單位網格船舶數量。船舶密度高低以色階代表，深藍色代表低密度表示該區船舶活動低，單位時間單位網格內船舶出現少，紅色代表高船舶密度，見圖 3.13，由密度圖顯示港區呈現黃色，向西北延伸，平行台灣海岸線有兩條帶狀航行密集區，對照圖 3.11 船舶類別分佈，伸出港口向西北帶狀應為漁船活動分佈，東北西南軌跡則為貨輪油輪之活動分佈。

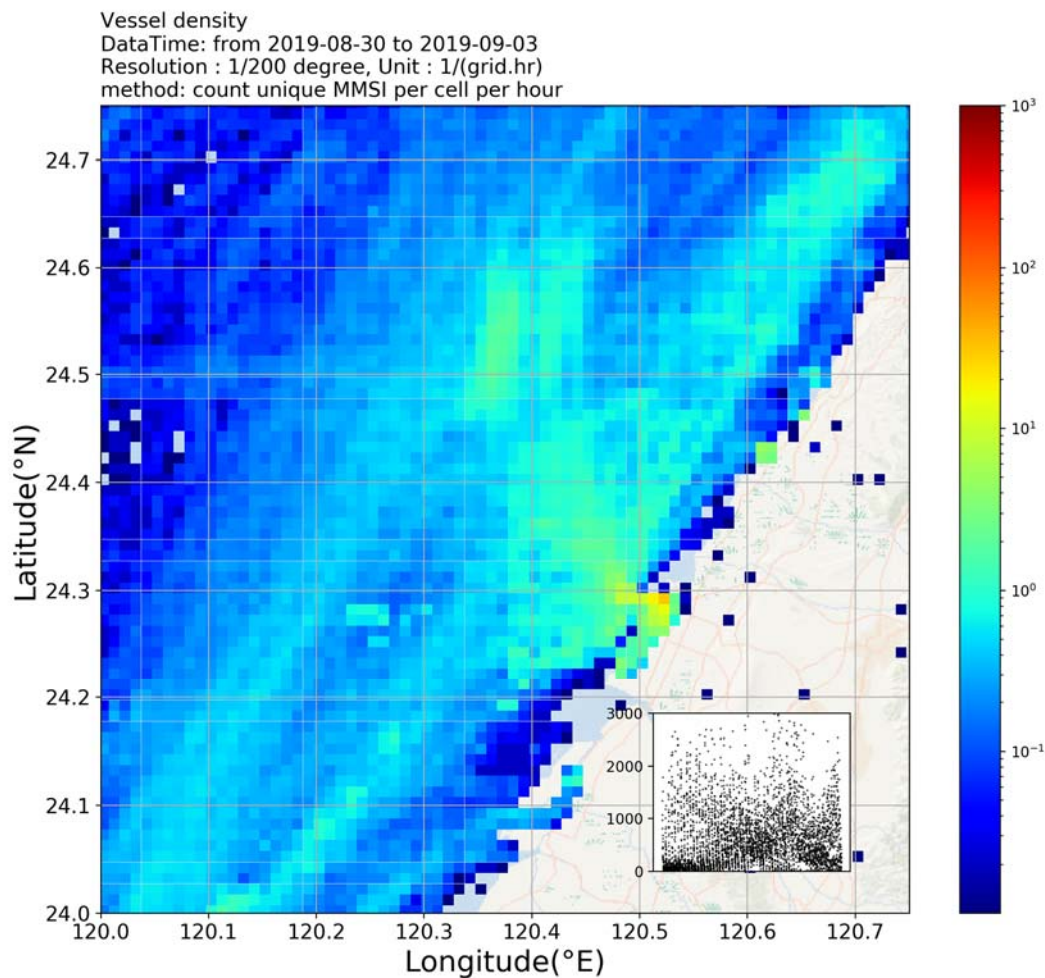


圖 3.13 AIS 船舶密度分佈圖

並將雷達船位數據製作成涵蓋區之扇形密度圖，由於雷達解算出船位資料沒有 MMSI 參數，無法判定為同一艘船的行為，故密度分佈圖以全部時間內出現頻率來進行計算，單位為單位網格內出現次數，統計分佈見圖 3.14 雷達船位密度分佈圖，雷達密度分佈以測站方位角 296 度，左右正負各 60 度，距離單元解析為 0.5 公里，角度解析為 1 度，扇形最大半徑約 40 公里。由雷達密度顯示主要密集區在約 1/3 扇形的中間角度分佈，呈現淺藍色點狀分佈，兩側邊界數值特別高呈紅色，扣除邊界資料分佈最大值在 100 以下。

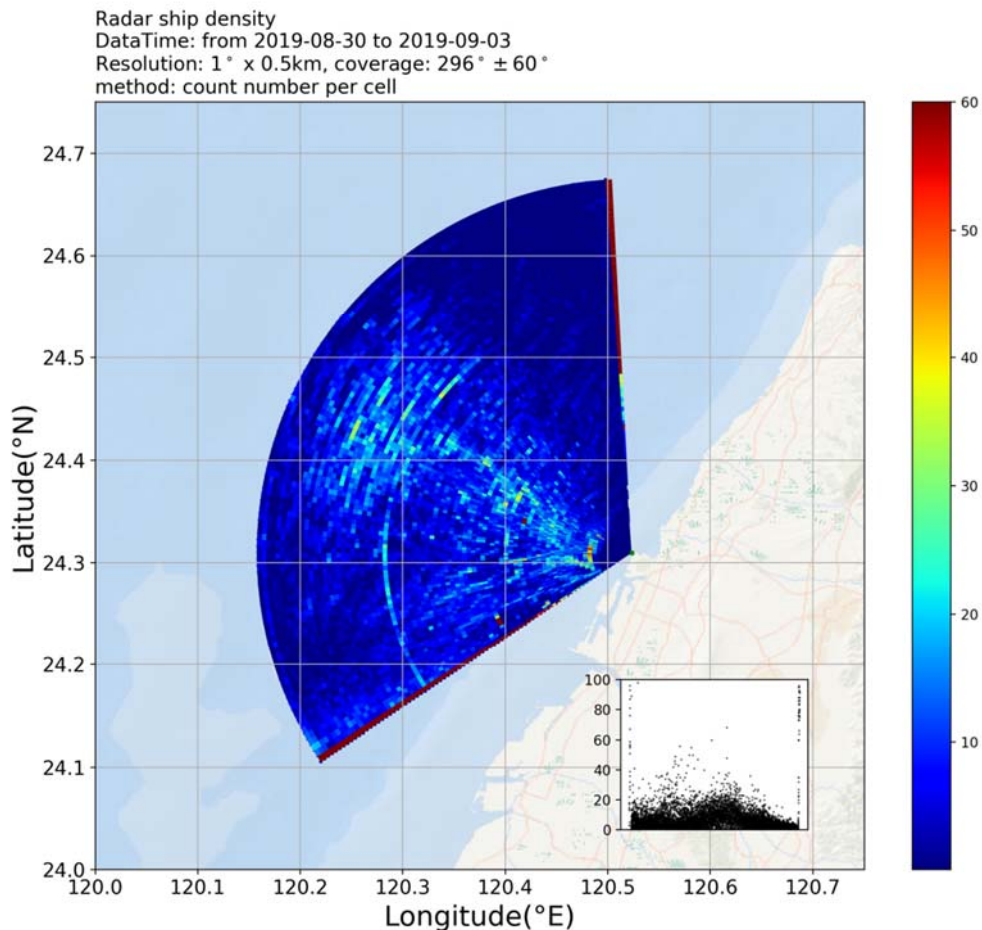


圖 3.14 雷達船位密度分佈圖

3.5 成果之未來應用及開發

本計畫開發之陣列雷達之船艦偵測及多重船舶資訊整合資料庫與展示介面，將可望提供監測區內更完整之船舶航行資訊。未來若進一步整合相關資料，輔以航行安全及監測區的航行交通狀態的統計分析與程式開發，透過資料庫檢索工具程式的開發，提供船舶航跡追蹤、偏離航道警示、誤駛入離岸風電限/禁航區警示、天氣海象狀況(導入氣象局開放資料)等。例如根據船舶動態數據識別船隻類型，由 AIS Message Type5 可解析出船舶種類(Ship Type)，例如客輪、貨船、油輪...等共有 99 種分類代碼，得以篩選特定船舶進行監控及各種航管相關的統計，將可提供類似圖 3.15 所示之航跡流檢測圖，作為安全性評估，並進而達成加速港埠離港到港管理、流量調節。此外未來亦可參考歐洲海事安全署(European Maritime Safety Agency, EMSA)對危險操船行為的定義，如錨泊(anchorage)、偏移(drifting)、欺騙位置(spoofing position)、(in/out area)、船艏向瞬變(sudden change of heading)及觸底警告(heading to/off shore)等，開發自動識別演算法。

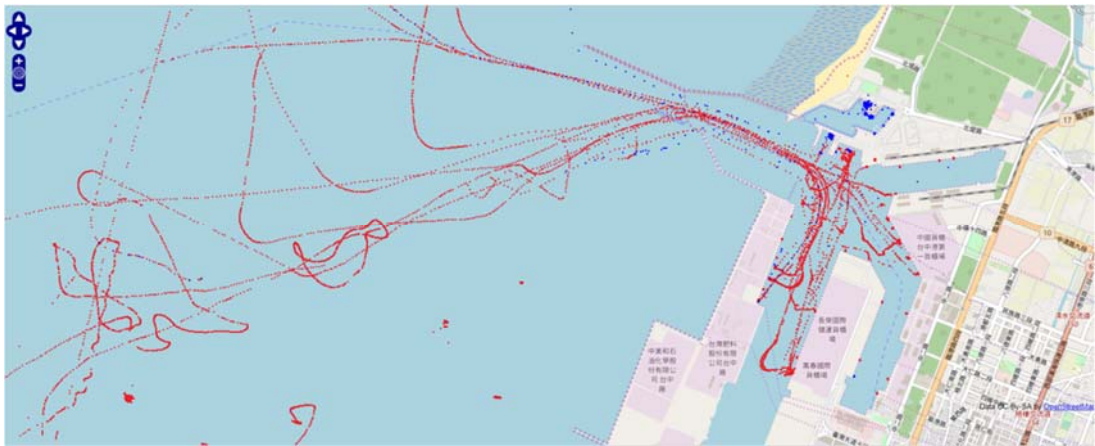


圖 3.15 航跡流檢測圖例

第四章 港航操船作業規劃

4.1 船舶運行效率分析

4.1.1 船舶運行效率相關文獻回顧

由於航道資源(容量之概念)有限，如何在符合安全標準且兼顧降低風險之概念下，有效率地運用航道資源為航港機關重視之議題。在過往文獻中，本所(2014)研究計畫「結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫(1/4)」指出，可透過進港航跡長度與航行時間過長的比例、港外漂航時間等來評估航行效率。Wang et al (2017)則考量船舶進出港順序規則(例如先到先服務)、航道運用方向(單向、雙向或部分雙向)等不同影響因素下，建立模擬模型，改善水道通過能力，並以平均等待時間(Average Waiting Time, AWT)與平均服務時間(Average Service Time, AST)之比值做為港口服務水準之評估指標。Newell(1987)以等候理論(Queuing theory)探究異質性旅運者通勤旅次，建立合理指派模式。Hansen & Hsiao(2005)以及 Hsiao & Hansen(2006)則應用等候理論於美國飛機航班延誤之原因分析，此理論概念亦可應用至本計畫，其基本原理如圖 4.1 所示。

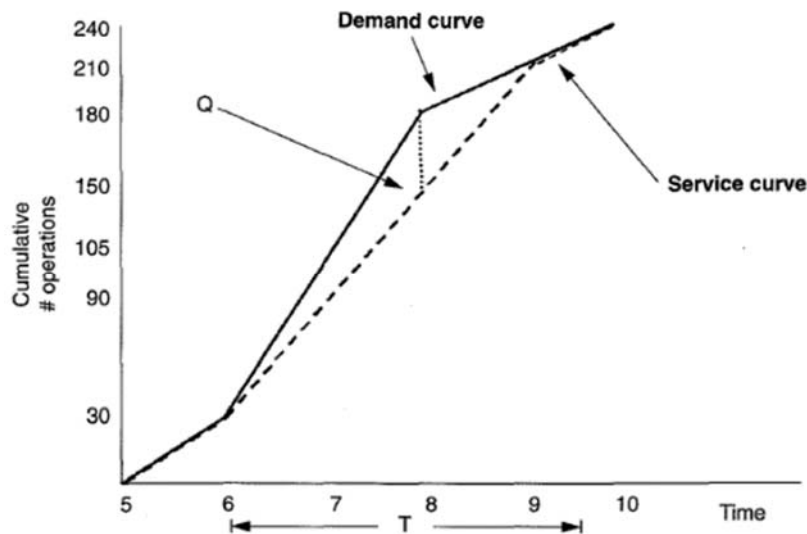


圖 4.1 等候曲線圖(Queuing diagram)概念

圖 4.1 之橫軸為時間，在本計畫中以每小時或每分鐘為分析單位；縱軸為累積船舶數量。需求曲線(Demand curve)乃以船舶原本欲進港或使用航道之時間與船舶數量計算並繪製而成；而服務曲線(Service curve)乃是真實進港或使用航道之時間與船舶數量計算並繪製而成。需求曲線一定會在服務曲線之上方(因為有進港需求才有服務)，最低時兩者會重疊，表示需求流量達到服務容量。兩曲線之上下距離可用以表達某時間點之等候長度(該時間點正等候進港之船舶數量)；兩曲線之橫向距離則可用以表達單一船舶所需花費之預報等候時間(若先到先服務)；兩曲線之間的面積可用以表達船舶在此系統中之總預報等候時間。

臺中港北防波堤及南防波堤之間有一窄口，本所(2018)研究計畫「離岸風電區之船舶監控及急難救助」曾於 107 年 3 月至 6 月期間隨機抽出 12 天，將日間 6-18 時船舶 AIS 訊號繪製於臺中港區航道，統計出進出臺中港南北外廓堤防口之船舶數目，並以 AIS 軌跡繪製出當日船行的密度，依照 AIS 軌跡可以看出船舶在窄口的密度遠高於港內及港外，因此窄口部分會是探討船舶運行效率的重點，如圖 4.2 所示。

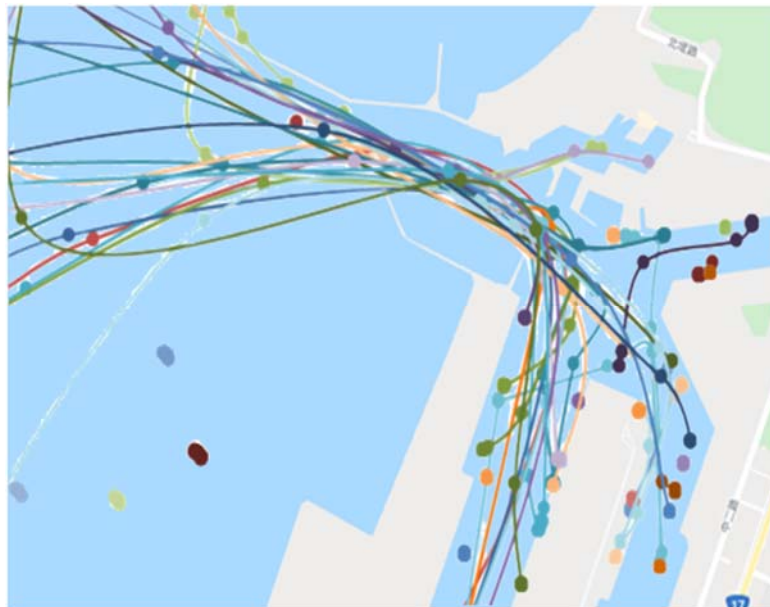


圖 4.2 107 年度 3-6 月日間航行於臺中港航道之統計與分析

資料來源：本所(2018)「離岸風電區之船舶監控及急難救助」

本計畫利用等候理論概念，評估不同進港船舶數量(與其規劃進港時間)對系統之衝擊，可以總預報等候時間、最大預報等候時間、最大等候船舶數量、平均預報等候時間、平均等候船舶數量等作為績效衡量之指標。基本情境為尚未有風力發電工作船進港需求之情況，而後比較不同之情境(包括不同數量之風力發電工作船與安排進港時間)所造成之各指標差異。以期量化風力發電工作船所造成之影響，並透過進港時程之安排(改變需求曲線)，減少風力發電工作船帶來之衝擊。

4.1.2 船舶運行效率分析

本計畫透過臺灣港棧服務網(Taiwan Port NET, TPNET)蒐集一年期(2018/06/01 至 2019/05/31) 之進、出港船舶運行時間資料，若原始資料有部分缺漏，則採用無缺漏之期間資料進行分析。

1. 總體船舶運行效率

(1)預報等候時間實際值

a. 進港預報等候時間實際值

以「通過港口時間」與「船長報到 ETA」的相差值作為實際進港預報等候時間，其中通過港口時間表示進港船舶航行通過北防波堤及南防波堤之時間；船長報到 ETA(Estimated Time of Arrival)表示預計通過時間，並統計其平均預報等候時間與第 50 百分位的預報等候時間，其中，由於少數資料為離群值(極高之預報等候時間)，因此資料呈現上僅保留低於 95 百分位之資料。

圖 4.3 是進港實際預報等候累積分佈圖，圖中橫軸為預報等候時間(小時)，預報等候時間為負值代表船舶抵達時間(通過港口時間)早於預計通過時間 (船長報到 ETA)，正值則代表預計通過時間 (船長報到 ETA)早於船舶抵達時間(通過港口時間)；縱軸為累積百分

比。透過圖 4.3 可得知，僅有少數船舶會提前抵達港口，約有 90% 船隻的預報等候時間在 24 小時內，而預報等候時間極大者(離群值)僅占一小部份。因此進一步選取提早 1 小時至延誤 2.5 小時範圍內之資料，繪成圖 4.4 表示。

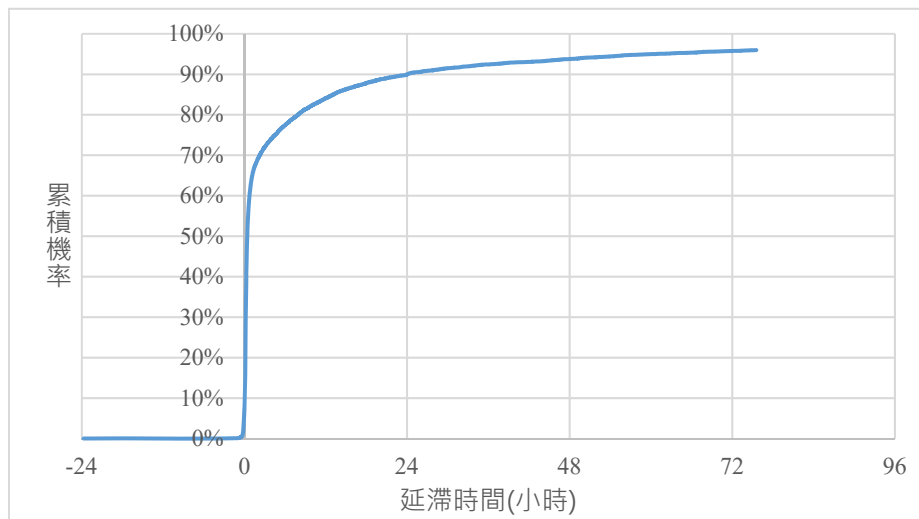


圖 4.3 進港實際預報等候累積分佈圖

圖 4.4 為進港實際預報等候累積分佈局部圖，橫軸為預報等候時間(分鐘)，縱軸為累積百分比。此圖顯示 70%進港船隻的總預報等候時間都在 135 分鐘內，且約有 6%之船隻會提早進港。

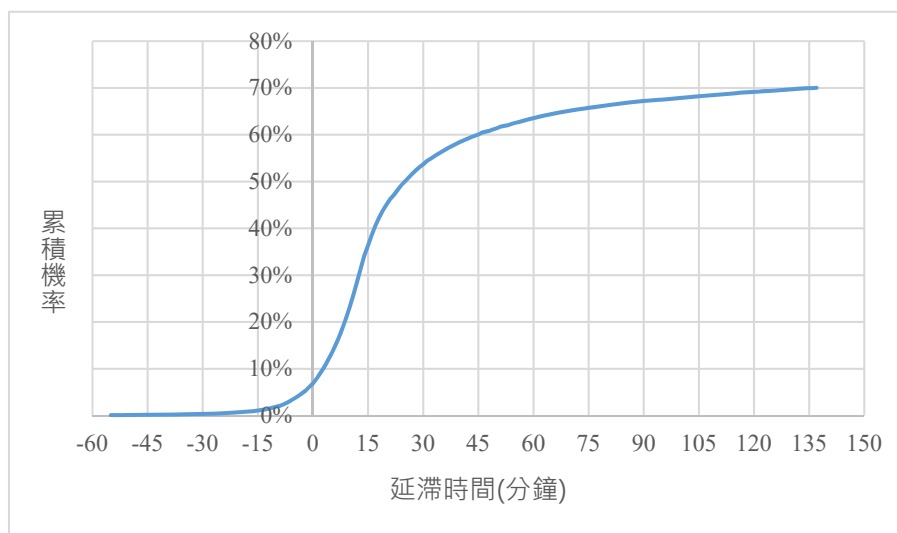


圖 4.4 進港實際預報等候累積分佈局部圖

b. 出港預報等候時間實際值

以「實際出港時間」與「預定出港時間」的相差值作為出港實際預報等候時間，其中實際出港時間為出港船舶航行通過北防波堤及南防波堤之時間；預定出港時間表示預計通過港口時間，並統計其平均預報等候時間與第 50 百分位的預報等候時間。

圖 4.5 為出港實際等候累積分佈圖，橫軸為預報等候時間(小時)，預報等候時間為負值代表船舶出港時間(實際出港時間)早於預計通過時間 (預計通過出港時間)，亦即船舶比預計通過出港時間提早離開港口，正值則代表預計通過時間 (預計通過出港時間)早於船舶出港時間(實際出港時間)；縱軸為累積百分比。透過圖 4.5 可得知，絕大多數船隻之預報等候時間在 200 小時內，而預報等候時間極大者(離群值)僅占一小部份。因此進一步選取低於 95 百分位、高於 -60 小時之資料進行分析，圖 4.6 顯示，95%之船隻出港預報等候時間約於 40 小時內，而約有 40%的船隻比預計通過出港時間提早離開港口。

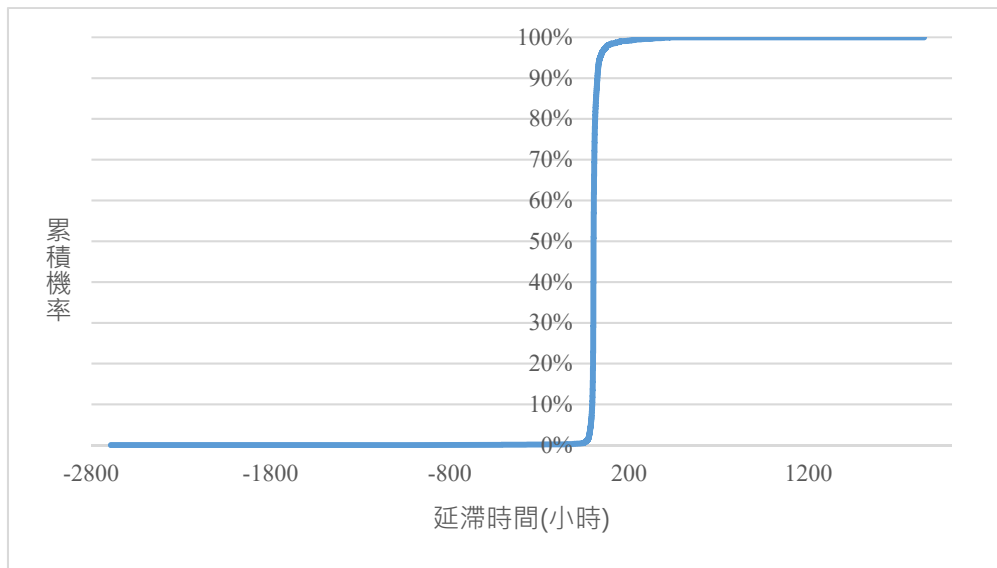


圖 4.5 出港實際預報等候累積分佈圖

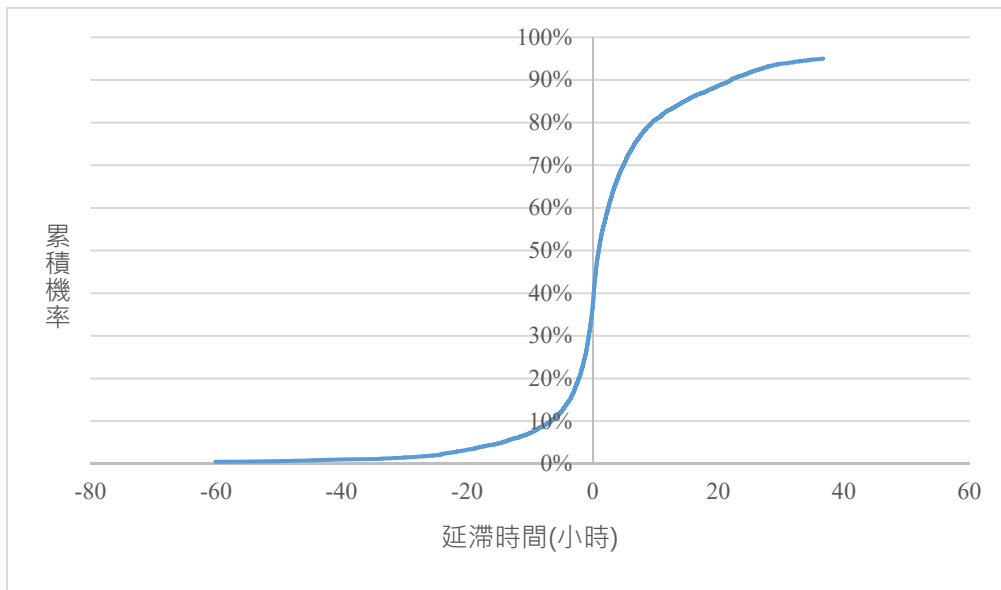


圖 4.6 出港實際預報等候累積分佈局部圖

c. 進出港預報等候時間實際值統計

以下將進、出港實際預報等候時間之平均數、標準差、第 25 百分位數、第 50 百分位數、第 75 百分位數、最大值與最小值，以表 4-1 呈現。可發現進港實際預報等候時間之平均數高於出港實際預報等候時間兩倍多(但中位數則相反)，表示平均而言，進港在預計通過時間與實際通過時間上有著較大的落差；然而值得注意的是，出港實際預報等候時間之標準差高於進港實際預報等候時間，表示出港各船隻實際預報等候時間之差異較大。在極值的部分，無論是最大或最小值，均為出港實際預報等候時間較大，由此可知於預定出港時間之估算較不準確。於此方面，未來在管理或許有可能之改善空間，以提升船舶運行效率。

表 4-1 實際等候統計表

單位：小時

	平均數	標準差	第 25 百分位數	第 50 百分位數	第 75 百分位數	最大值	最小值
進港等候 觀察值	11.68	43.38	0.17	0.42	4.53	1056.40	-23.72
出港等候 觀察值	5.87	57.63	-1.25	0.95	6.65	1844.37	-2691.02

(2)預報等候時間理論值

本計畫根據等候理論，以容量曲線與每日預計通過進出港之累積船舶曲線間的面積，表達船舶在此系統中之每日總預報等候時間；以每日總預報等候時間除以每日受等候影響之船舶數，表達需等候船舶在此系統中之平均預報等候時間。

圖 4.7 以 107 年 10 月 23 日為例，繪製等候理論圖，橫軸為時間(採取 24 小時制)，縱軸為每日累積通過窄口之船舶數。由等候理論圖可知，16 點之前窄口容量均可服務欲通過之船舶，但 16 點後預計通過進港船舶數大於容量，導致該窄口無法負荷而產生預報等候時間，若以服務容量為每小時 8 艘船為例，可知每日總預報等候時間為 4 小時(即綠色與橘色線內之面積)，需等候船舶之平均預報等候時間約為 0.27 小時。

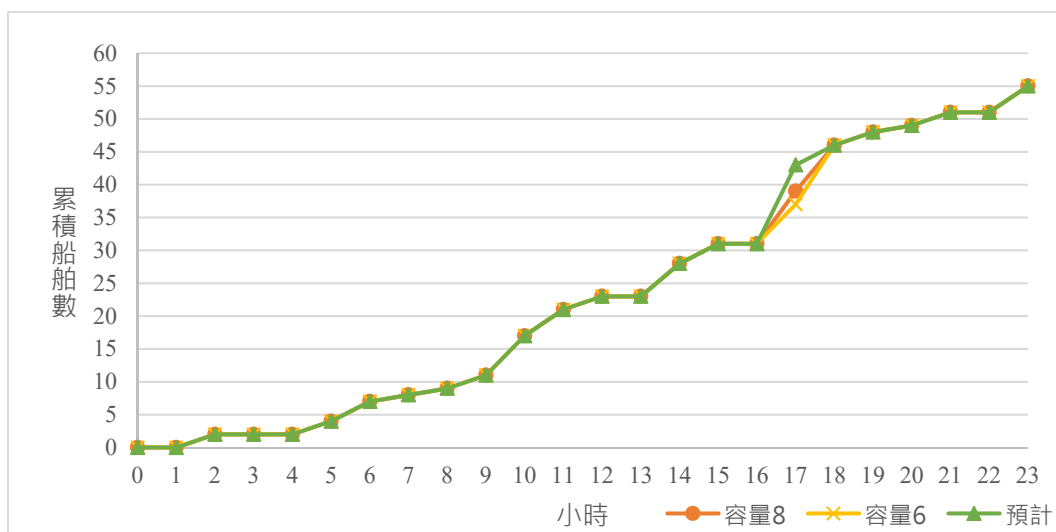


圖 4.7 進出港合併等候理論圖

a. 進港預報等候時間理論值

首先討論進港之窄口容量，利用「通過港口時間」，找出臺中港北防波堤及南防波堤間之窄口容量最高為每小時可服務 7 艘船；利用「船長報到 ETA」找出臺中港窄口需求現況每小時至多 6 艘，理論上不會有延滯情形發生。但上述對窄口容量之推估忽略了船舶大小、種類等可能影響窄口服務容量之因子，故以下對臺中港北防波堤及南防波堤間之窄口容量假設為進港與出港每小時皆可服務 3 艘或 4 艘船，繪製出該服務水準下之等候理論圖。

圖 4.8 呈現進港總預報等候時間理論值之累積分佈，橫軸為總預報等候時間(分鐘)，縱軸為累積百分比，圖中顯示若容量為每小時 4 艘船，一年當中約有 10%的天數可能產生等候；發生等候日之總預報等候時間中位數為 60 分鐘。若容量降為每小時 3 艘船時，則一年當中會有約 40%之船舶進港需要等候，發生等候日之總預報等候時間中位數，亦大約 60 分鐘。

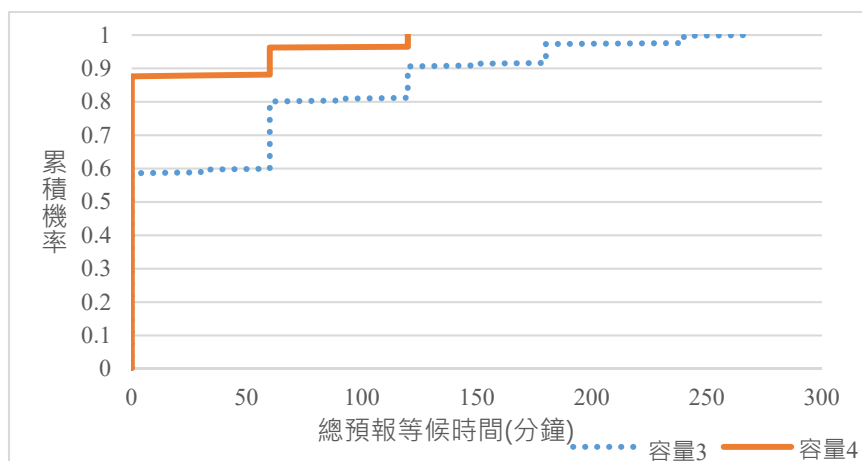


圖 4.8 進港總預報等候時間理論值之累積分佈圖

圖 4.9 呈現進港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈，橫軸為需等候船隻之平均預報等候時間(分鐘)，縱軸為累積百分比，圖中顯示若容量為每小時 4 艘船，一年當中約僅有 10% 的天數，其船舶進港可能需要等候；發生等候日之等候船隻，其需等候船隻之平均預報等候時間中位數大約為 12 分鐘。若容量降為每小時 3 艘船時，則一年當中會有約 40% 之船舶進港需要等候，發生等候日之等候船隻，其需等候船隻之平均預報等候時間中位數大約為 15 分鐘。

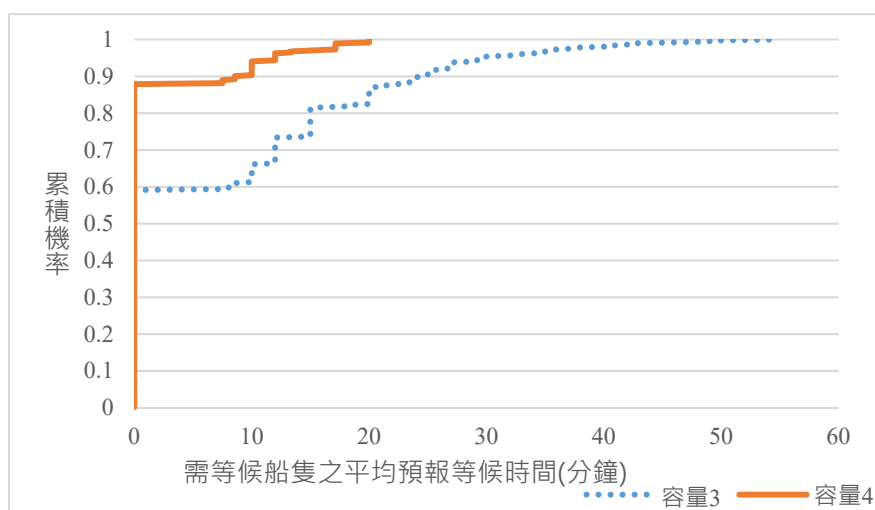


圖 4.9 進港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈圖

b. 出港預報等候時間理論值

圖 4.10 呈現出港總預報等候時間理論值之累積分佈，橫軸為總預報等候時間(分鐘)，縱軸為累積百分比，圖中顯示若容量為每小時 4 艘船，一年當中約有 35% 的天數可能產生等候；發生等候日之總預報等候時間中位數為 60 分鐘。若容量降為每小時 3 艘船時，則一年當中會有近七成之船舶進港需要等候，發生等候日之總預報等候時間中位數約為 120 分鐘。

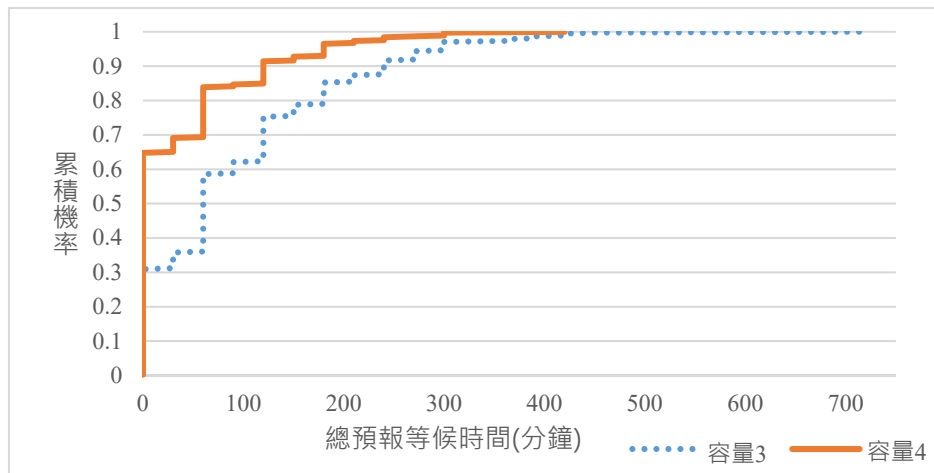


圖 4.10 出港總預報等候時間理論值之累積分佈圖

圖 4.11 分析出港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈。由圖可知，若容量為每小時 4 艘船，一年當中約有 35% 的天數，船舶出港可能需要等候；發生等候日之等候船隻，其需等候船隻之平均預報等候時間中位數大約為 12 分鐘。若容量降為每小時 3 艘船時，則有近七成日期船舶出港發生等候，發生等候日之等候船隻，其需等候船隻之平均預報等候時間中位數大約為 20 分鐘。

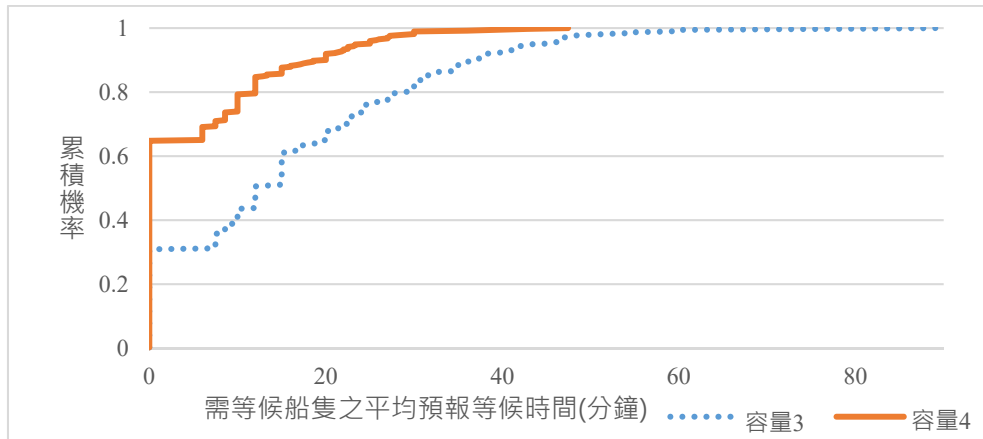


圖 4.11 出港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈圖

c. 進出港合併預報等候時間理論值

若將進出港船舶運行合併探究，可得進出港合併總預報等候時間理論值，此處假設臺中港北防波堤及南防波堤間之窄口容量為個別討論進出港時之兩倍(即每小時可服務 6 艘或 8 艘船)，繪製出該服務水準下的等候理論圖。

圖 4.12 呈現進出港合併總預報等候時間理論值之累積分佈，橫軸為總預報等候時間(分鐘)，縱軸為累積百分比，圖中顯示若容量為每小時 8 艘船，一年當中約有 7%的天數可能產生等候；發生等候日之總預報等候時間中位數為 60 分鐘。若容量降為每小時 6 艘船時，則一年當中約有 30%的天數可能產生等候，發生等候日之總預報等候時間中位數，亦約為 60 分鐘。

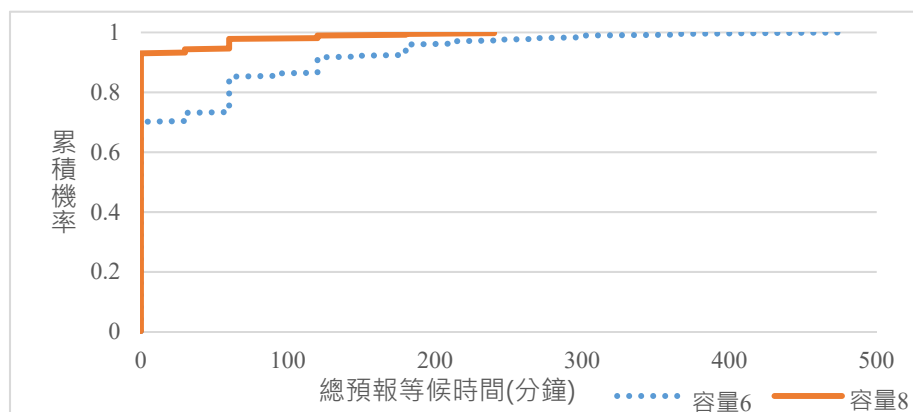


圖 4.12 進出港合併總預報等候時間理論值之累積分佈圖

圖 4.13 分析進出港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈。若容量為每小時 8 艘船，一年當中約僅有 7% 的天數，其船舶理論上可能需要等候；發生等候日之等候船隻，其需等候船隻之平均預報等候時間中位數大約為 5 至 6 分鐘。若容量降為每小時 6 艘船時，約有三成日期，船舶理論上需要等候，發生等候日之等候船隻，其需等候船隻之平均預報等候時間中位數大約為 10 分鐘。

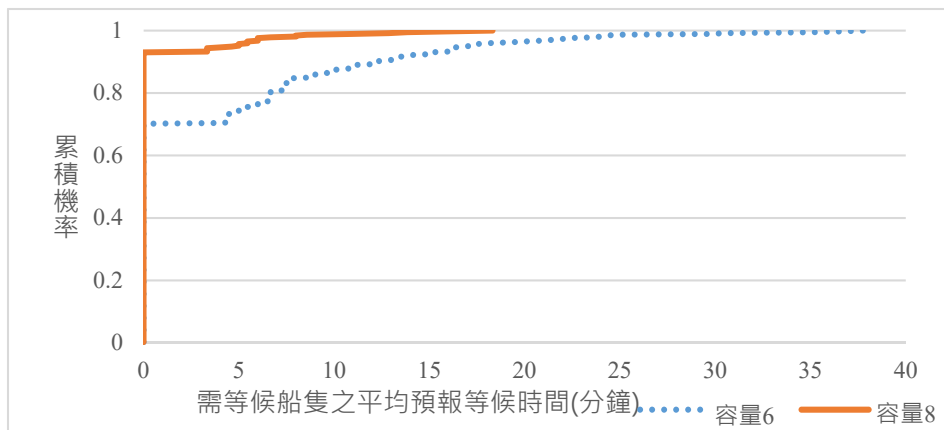


圖 4.13 進出港需等候船隻之平均預報等候時間理論值之累積分佈圖

d. 預報等候時間理論值統計彙整

茲彙整各情境，當假設容量為每小時 6 艘船時，總預報等候時間理論值之統計，及需等候船隻之平均預報等候時間之統計，如表 4-2 與表 4-3；當假設容量為每小時八艘船時，總預報等候時間理論值之統計，及需等候船隻之平均預報等候時間理論值之統計，如表 4-4 與表 4-5。由表 4-2 可看出，若容量為每小時 6 艘船、進出港容量分開計算，則理論上日平均進、出港總預報等候時間分別為 43.79 分鐘、94.19 分鐘；若進出港容量合併計算，則理論上日平均總預報等候時間則為 35.24 分鐘。若將容量設定為每小時 8 艘船 (如表 4-4)，則相對應之理論總預報等候時間均縮小，多數日期之船隻進出港無需等候。

表 4-2 總預報等候時間理論值統計表(容量 6)

單位：分鐘

假設進出港個別容量為每小時 3 艘船，進出港合併為每小時 6 艘船							
	平均數	標準差	第 25 百分位數	第 50 百分位數	第 75 百分位數	最大值	最小值
進港 等候理論值	43.79	64.64	0.00	0.00	60.00	330.00	0.00
出港 等候理論值	94.19	103.30	0.00	60.00	120.00	720.00	0.00
進出港合併 等候理論值	35.24	72.68	0.00	0.00	60.00	480.00	240.00

表 4-3 需等候船隻之平均預報等候時間理論值統計表(容量 6)

單位：分鐘

假設進出港個別容量為每小時 3 艘船，進出港合併為每小時 6 艘船							
	平均數	標準差	第 25 百分位數	第 50 百分位數	第 75 百分位數	最大值	最小值
進港 等候理論值	7.95	11.45	0.00	0.00	15.00	62.00	0.00
出港 等候理論值	15.94	15.67	0.00	12.00	24.00	103.05	0.00
進出港合併 等候理論值	3.42	6.62	0.00	0.00	5.45	37.79	0.00

表 4-4 總預報等候時間理論值統計表(容量 8)

單位：分鐘

假設進出港個別容量為每小時 4 艘船，進出港合併為每小時 8 艘船							
	平均數	標準差	第 25 百分位數	第 50 百分位數	第 75 百分位數	最大值	最小值
進港 等候理論值	9.76	27.93	0.00	0.00	0.00	120.00	0.00
出港 等候理論值	37.10	66.14	0.00	0.00	60.00	420.00	0.00
進出港合併 等候理論值	6.05	27.24	0.00	0.00	0.00	240.00	0.00

表 4-5 需等候船隻之平均預報等候時間理論值統計表(容量 8)

單位：分鐘

假設進出港個別容量為每小時 4 艘船，進出港合併為每小時 8 艘船							
	平均數	標準差	第 25 百分位數	第 50 百分位數	第 75 百分位數	最大值	最小值
進港 等候理論值	1.54	4.31	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00
出港 等候理論值	5.29	8.80	0.00	0.00	10.00	56.53	0.00
進出港合併 等候理論值	0.53	2.22	0.00	0.00	0.00	18.31	0.00

2. 按月船舶運行效率

(1)預報等候時間實際值

本節針對預報等候時間實際值進行按月份之趨勢分析，檢視船舶運行效率之演變趨勢，彙整統計值包括進出港之預報等候時間平均數、百分位數及標準差。

a. 進港預報等候時間實際值

圖 4.14 呈現各月份進港預報等候時間之平均數、中位數(Q2)、第 25 百分位數(Q1)與第 75 百分位數(Q3)；由於各月份的平均值相對較大，不易觀察到 Q1 與 Q2 之變化趨勢，故另外提取 Q1 與 Q2 繪成圖 4.15。由圖 4.14 可觀察到民國 108 上半年度之平均預報等候時間均高於 107 下半年，尤其 108 年 2、3 月之平均預報等候時間提高至 20 小時(1200 分鐘)，是由離群值導致(部分船隻等候過久)，根據本所 2017 年發布之 12 港域海氣象觀測資料年報，顯示冬季之平均風速大於其他季節，因此本團隊推論，進港預計等候時間較大是受氣候不穩定之影響，由於冬季之氣候較不適海上作業，可能造成船舶進港之延誤。若觀察第 75 百分位數，會發現各月份之值起伏較大，大約於 100 分鐘至 400 分鐘之間。圖 4.15 則細究各月份之進港預報等候時間之中位數與第 25 百分位數，若觀察各月預報等候時間之中位數，其中位數均小於 30 分鐘，表示在所有月份中，每月均有一半以上之船隻進港預報等候時間小於 30 分鐘。兩指標(Q1 與 Q2)相較於第 75 百分位數相對平穩。從圖中可見，各月之第 25 百分位數均為等候 10 分鐘上下，並無依據月份而有不同的差異；而中位數相對有起伏，從 107 年 6 月預報等候時間約 18 分鐘逐漸提升至 30 分鐘，至 108 年 1 月預報等候時間有下降趨勢，但降至 2 月便趨於穩定，預報等候時間大約在 25 分鐘左右。

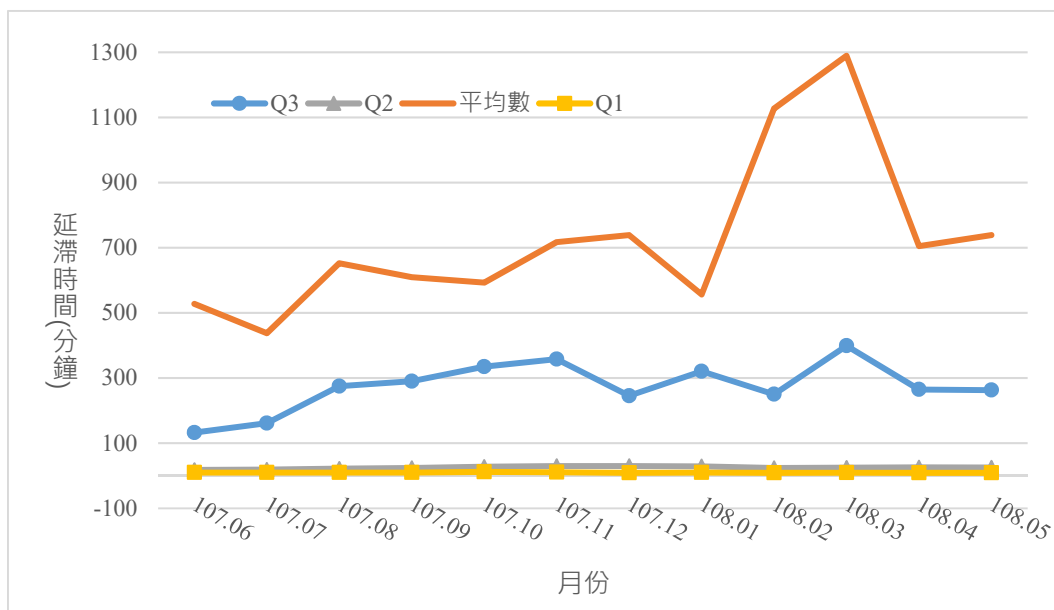


圖 4.14 進港各月預報等候時間之統計值

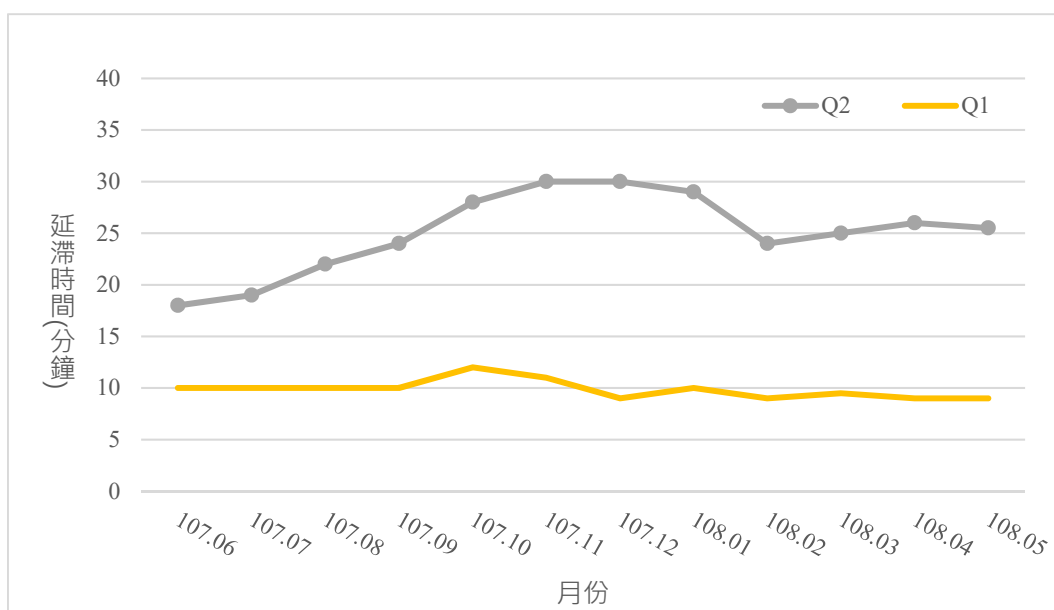


圖 4.15 進港各月預報等候時間之統計值

b. 出港預報等候時間實際值

圖 4.16 呈現各月份出港平均預報等候時間，可看出民國 107 下半年度(夏季)之平均預報等候時間均高於 108 上半年(冬季)，其中於 107 年 7、8、10 月之平均預報等候時間更為突出，本團隊推論可能原因為夏季颱風的影響，導致原本在港內之船舶無法遵循原本預計之出港時間，因而產生較大的出港預報等候時間；此外，出港平均預報等候時間相較於進港平均預報等候時間高出許多。觀察各月出港預報等候時間之中位數(Q2)、第 25 百分位數(Q1)與第 75 百分位數(Q3)可發現，各月出港預報等候時間之中位數均小於 200 分鐘，但第 75 百分位數之起伏較大，約介於 150 分鐘至 900 分鐘之間，但隨著時間有下降之趨勢。

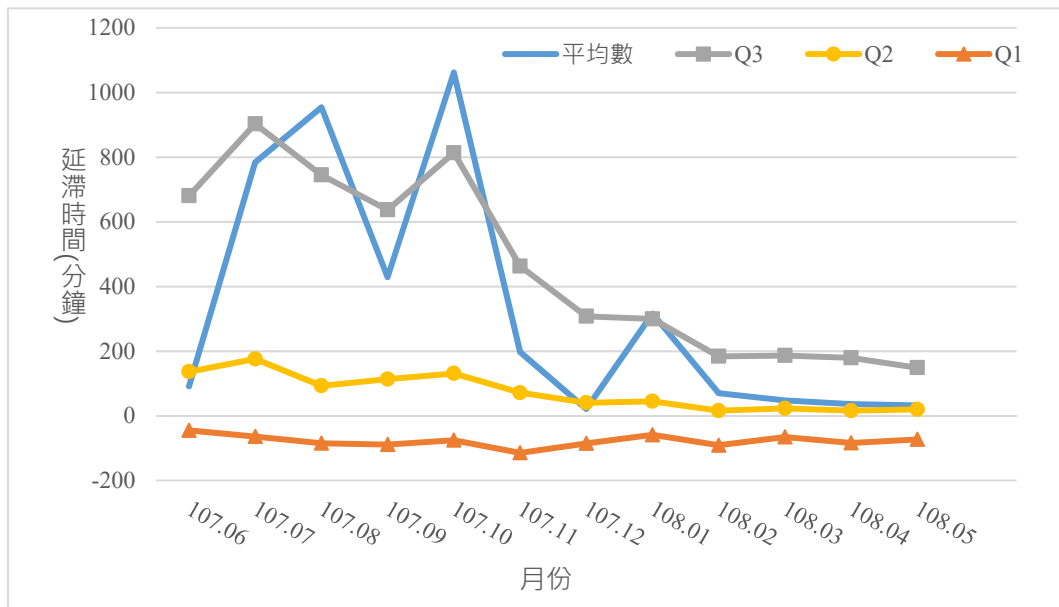


圖 4.16 出港各月等候之統計值

(2)預報等候時間實際值之標準差

如圖 4.17，觀察各月份之預報等候時間標準差可以發現，若將進出港預報等候時間一併分析，其標準差大致呈現平穩之趨勢，大約在 3000 分鐘上下。但若將進出港預報等候時間分開分析，則會發現有趣之現象：進港預報等候時間之標準差有上升之趨勢；相反地，出港預報等候時間之標準差則有下降之趨勢；亦即可能表示隨時間之演進，各船隻之進港預報等候時間差異變大、出港預報等候時間差異變小。

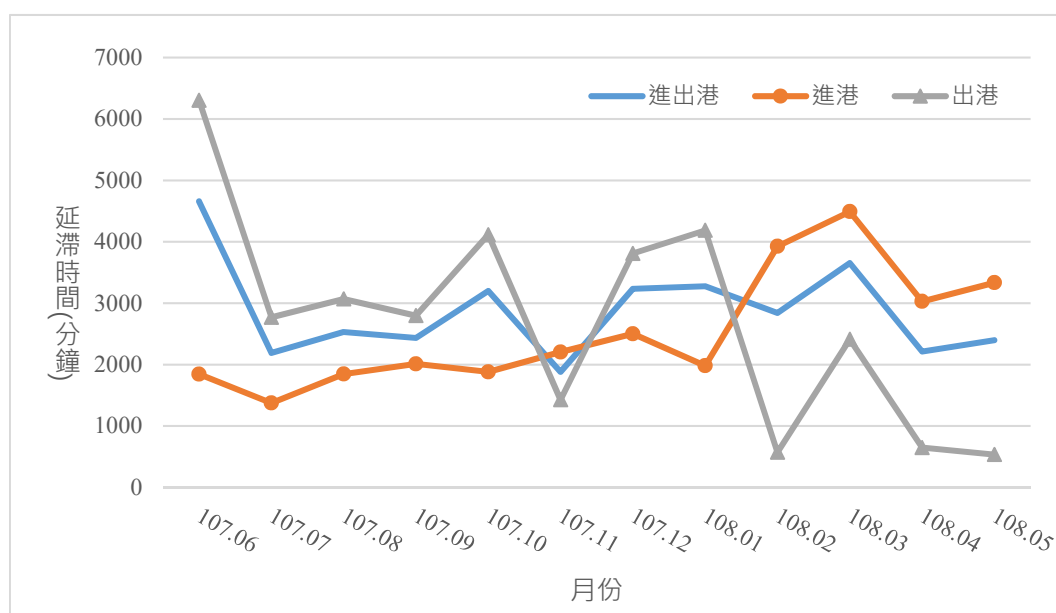


圖 4.17 各月預報等候時間之標準差

為探究標準差變化趨勢之可能原因，本計畫將資料的 12 個月按順序分成四個季度，定義第一季為 107 年 6、7、8 月，第二季為 107 年 9、10、11 月，第三季為 107 年 12 月、108 年 1、2 月，第四季為 108 年 3、4、5 月。如圖 4.18，可發現四個季度之出港預報等候時間累積曲線大致相符，表示多數船隻之預報等候時間並不隨時間有差異變小之情況，故進港與出港預報等候時間標準差之時間趨勢主要是受到少數極端值之影響。

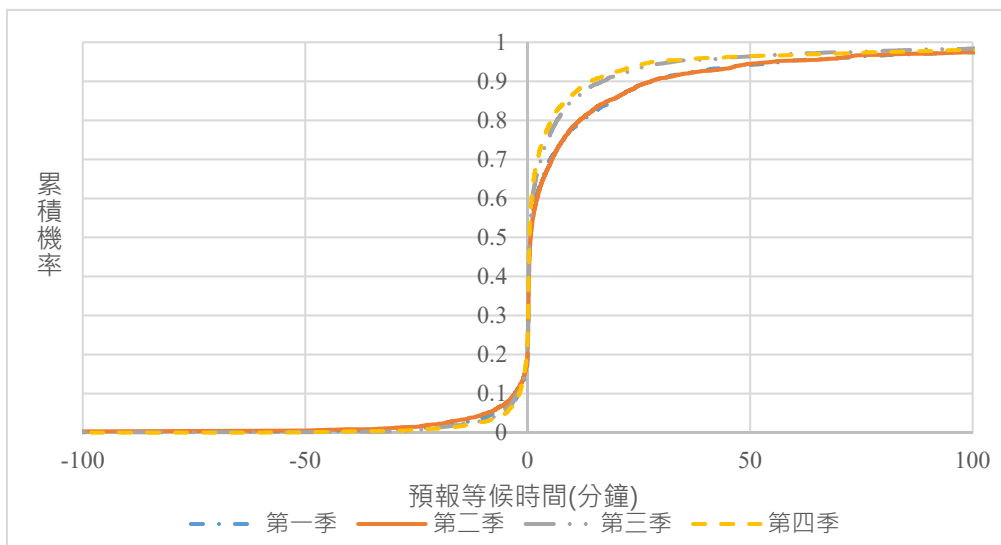


圖 4.18 各月出港預報等候時間累積分佈圖

若以各月份出港預報等候時間各百分位數觀察(如表 4-6 所示)，大致可發現各月預報等候時間在小於 5%與大於 95%有較大差異，而中間約 90%大致相同，表示各月份之預報等候時間分佈大致相同，較沒有受到季節性因子的影響，此結論亦與圖 4.18 相符，另外，在表 4-6 中時間為負值表示船舶比預定出港時間提早離開港口。

表 4-6 各月出港預報等候時間分佈

單位：分鐘

年份	月份	百分位數						
		5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
2018	六月	-1118	-332	-45	137	682	1834	3527
	七月	-788	-367	-64	176	907	1856	2940
	八月	-853	-494	-85	93	747	2480	7663
	九月	-1044	-594	-89	114	638	1656	3279
	十月	-1261	-567	-76	131	817	2780	4390
	十一月	-1124	-561	-116	72	463	1191	2016
	十二月	-851	-394	-86	41	311	825	1487
2019	一月	-720	-316	-61	42	300	857	1386
	二月	-811	-378	-96	16	185	568	1026
	三月	-528	-230	-65	24	190	586	906
	四月	-854	-373	-85	16	180	517	978
	五月	-568	-301	-71	20	149	437	839

4.2 船舶運行安全分析

4.2.1 船舶運行安全相關文獻回顧

船舶航行風險評估始終是海運中相當重視的議題，近年來由於船載 AIS 設備趨於普遍，各項應用 AIS 資料計算所得之指標相繼提出，以期持續改善海運之安全系統。

在過往文獻中，Mou et al(2010)提出以線性迴歸模型建立危險指標，探討兩船的最近距離(Closest Point of Approach, CPA)與船舶的大小、速度和航向的相關性。Zaman et al(2015)則更進一步提出以船載 AIS 設備求取兩船的「最近距離」(CPA)和「最近距離點時間」(Time of CPA, TCPA)，判斷碰撞風險，找出生成風險值。張淑淨等人(2015)則以臺灣西部海域 AIS 資料為基礎，利用 IWRAP 軟體建立航路與船舶交通評估模型，計算碰撞頻度，以機率統計方式比較採用航道規劃前後船舶之間的碰撞風險差異。由 Fujii and Tanaka(1971)提出之船舶領域的概念，以船舶長度為單位，分別討論迎艏正遇與交叉相遇等情況，以中心船舶附近船舶密度達到局部最大值的距離為邊界，畫出橢圓船舶領域。茲彙整船舶安全相關文獻如表 4-7 所示。

表 4-7 船舶運行安全相關文獻統整表

作者 (年份)	篇名	方法	主要結論
張淑淨 等人 (2015)	AIS 於海域空間規劃及離岸風場開發航行風險評估之應用研究	水道航行風險評估工具 IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Program)	分道航行航道規劃可降低船舶碰撞風險，助於離岸風電場開發。
陳冠寧 (2010)	基於 AIS 之航路分析與應用研究	Douglas-Peucker 演算法 DBSCAN 演算法、格子基礎密度演算法(Grid-Based Density Algorithm)	繪出各航道中心線提供各船舶航行路線參考，最後規劃船舶模擬航道，並套用實際之 AIS 資料。
Zhang et	Big AIS data based	船舶 OD 矩陣演算法	使用 AIS 數據分析船舶

作者 (年份)	篇名	方法	主要結論
al(2017)	spatial-temporal analyses of ship traffic in Singapore port waters	船舶交通狀態空間動態模型	交通需求和港口水域船舶交通的時空動態。
Mou et al(2010)	Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data	SAMSON 動態方法	以線性回歸模型建立危險指標，如 CPA 與船舶的大小、速度和航向的相關性，並使用 AIS 數據對涉及船舶的碰撞進行統計分析。
張淑淨 等人 (2014)	軌跡探勘於航港效率與安全指標之應用研究，結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫	內插法:設定內插間隔後，取時間最接近該內插時間前後的動態報告資料進行線性內插，取得同一時間點的 AIS 船舶動態資訊。	在模型中界定船舶領域大小，以中心船舶附近船舶密度達到局部最大值的距離為邊界(以離開中心船一定距離的他船數量建立分佈曲線)。
Zaman et al(2015)	Development of Risk Based Collision (RBC) Model for Tanker Ship Using AIS Data in the Malacca Straits	以 AIS 獲得之 CPA(最近點方法)和 TCPA(最近點時間方法)，找出生成風險值。	船舶碰撞分析對於在海上運輸領域建立非常重要，特別是在風險較高的地區。馬六甲海峽是具有高度風險的國際航運。在這些地區，油輪具有高度發生事故的可能性。基於 AIS 自動識別系統，油輪的交通密度最高，每天達到約 50%，因此了解風險的價值後，必須採取措施避免海上運輸事故。

本計畫根據上述基礎概念，進行臺中港海域內之船舶航行風險評估、界定 Near-miss 事件，透過 AIS 及海洋陣列雷達系統所提供之資料進行分析，以期有效提升海事安全。

4.2.2 船舶運行安全分析

降低船舶運行風險、提升安全性，是航港最基本之要務。本計畫預計利用 AIS 及海洋陣列雷達系統所彙整之實際資料，進行航港運作之安全分析，並研擬安全評估指標(例如：船舶間彼此在時間與空間上之接近程度)，透過蒐集之資訊計算出所擬指標值，藉以判斷不同情境下之安全性(風險)差異。首先以 AIS 資料計算出每分鐘內所有船舶之最小距離，分析在原有 AIS 資料上各船舶間最小距離之分布，再進一步討論加入海洋陣列雷達系統所偵測、辨識到之船舶資訊(缺乏 AIS 資訊之船舶)，期望透過兩者之比對，探討加入陣列雷達系統之船舶(盡可能捕捉海上之運行船隻資訊)後，能更加貼近反應真實海上安全情況。

1. 資料篩選與運算方法

本計畫研究範圍為臺中港附近海域、海洋陣列雷達資料所能涵蓋之範圍，實際採用東經 120 度與 120.75 度之間、北緯 24 度與 24.75 度之間的海域範圍。分析 AIS 資料期間為 2019 年 6 月、7 月與 8 月，AIS 所使用資料包含船舶經度 (Lon(E))、船舶緯度 (Lat(N))、船舶編號 (MMSI)、船舶回報時間 (Time(UTC))、船速 (SOG(Knot)) 等；海洋陣列雷達資料則有 2019 年 7 月之辨識船舶資料，取用船舶所在位置之經緯度及時間。

先將船舶經緯度不屬於本研究範圍、船速不合理之資料刪除，如緯度 91 度、船速 999 節之資料刪除，如圖 4.19，並將時間劃分為每一分鐘為單位，進行排序，再計算每分鐘內所有船舶間之距離。由於靜止之船舶不會主動與他船產生碰撞，反之，動船則可能主動碰撞他船，因此本計畫將船速小於 0.1 節之船舶視為靜止之船舶，當船速小於 0.1 節時，則無需計算與其他船舶之距離；當船速大於 0.1 節時，則以該船為基準船，計算該分鐘下該船與所有船舶之距離(包含船速小於 0.1 節之船舶)，然後確認該分鐘內與基準船最近之船舶及兩船間距離，如圖 4.20。

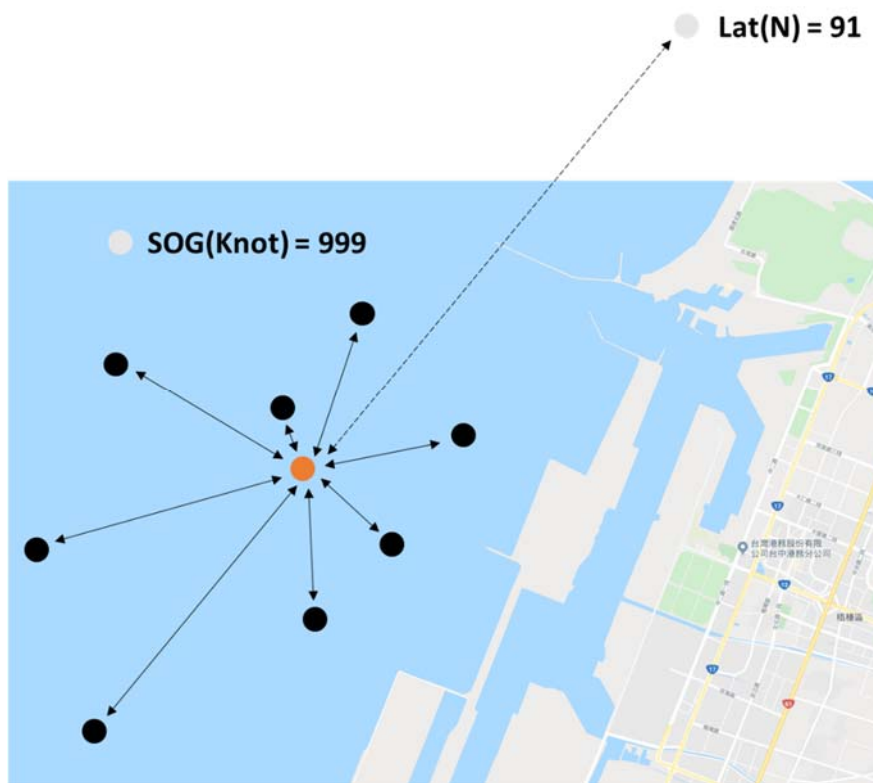


圖 4.19 船舶資料篩選示意圖之 1

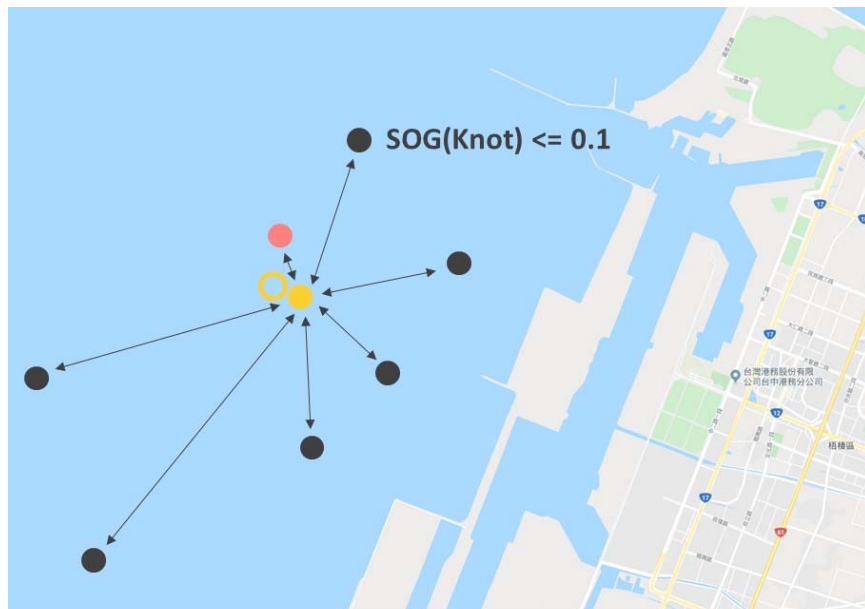


圖 4.20 船舶資料篩選示意圖之 2

此外，在計算每分鐘船舶間之距離時，應避免誤算相同船舶(船舶編號相同)自身距離；最後為了將經緯度轉換為以海里為單位之距離，本計畫選用之距離公式如式(4.1)：

$$d = \frac{6378.137}{1.852} * 2 \arcsin \sqrt{\sin^2(\frac{a}{2} * c) + \cos(\text{Lat1} * c) * \cos(\text{Lat2} * c) * \sin^2(\frac{b}{2} * c)} \dots\dots\dots (4.1)$$

d： 每分鐘每艘船與他船之距離(distance)

a： 兩艘船舶緯度之差距(*a*=*Lat1*-*Lat2*)

b： 兩艘船舶經度之差距(*b*=*Lon1*-*Lon2*)

c： 轉換為弧度($c = \frac{\pi}{180}$)

Lat1: 該分鐘基準船舶之緯度

Lat2： 該分鐘其他船舶之緯度

Lon1： 該分鐘基準船舶之經度

Lon2： 該分鐘其他船舶之經度

6378.137： 地球半徑(單位：公里)

1.852： 距離換算(1 海里=1.852 公里)

以下分別利用 AIS 與加入海洋陣列雷達之資料，進行上述之篩選與計算方法，選取每分鐘、每艘船舶間之最小距離進行分析，並比較加入海洋陣列雷達資料後，對於船舶間最小距離(安全指標)之影響。

(1) AIS 資料之安全距離分析

以 6、7、8 月臺中港 AIS 資料為例，圖 4.21 繪製出船舶間最小距離之累積分布狀況：由圖可知，平均來說，船舶最小距離至少大於 2.4 海里，但仍有 30% 之船舶最小距離小於 1 海里，可能存在安全的疑慮，進而導致 Near-miss 事件的發生。表 4-8 統計各月份船舶間距離之平均數、標準差與中位數，由表中可觀察到 6、7、8 月之船舶距離分佈類似，平均數介於 2~3 海里之間，標準差亦大致介於 2.7~3 之間，但值得注意的是隨時間推移，船舶間最小距離有變小之趨勢，尤其 8 月之平均數與 6、7 月之差距較大，可能增加船舶事故風險，惟三個月之資料分析恐非長期趨勢，建議後續持續追蹤分析。

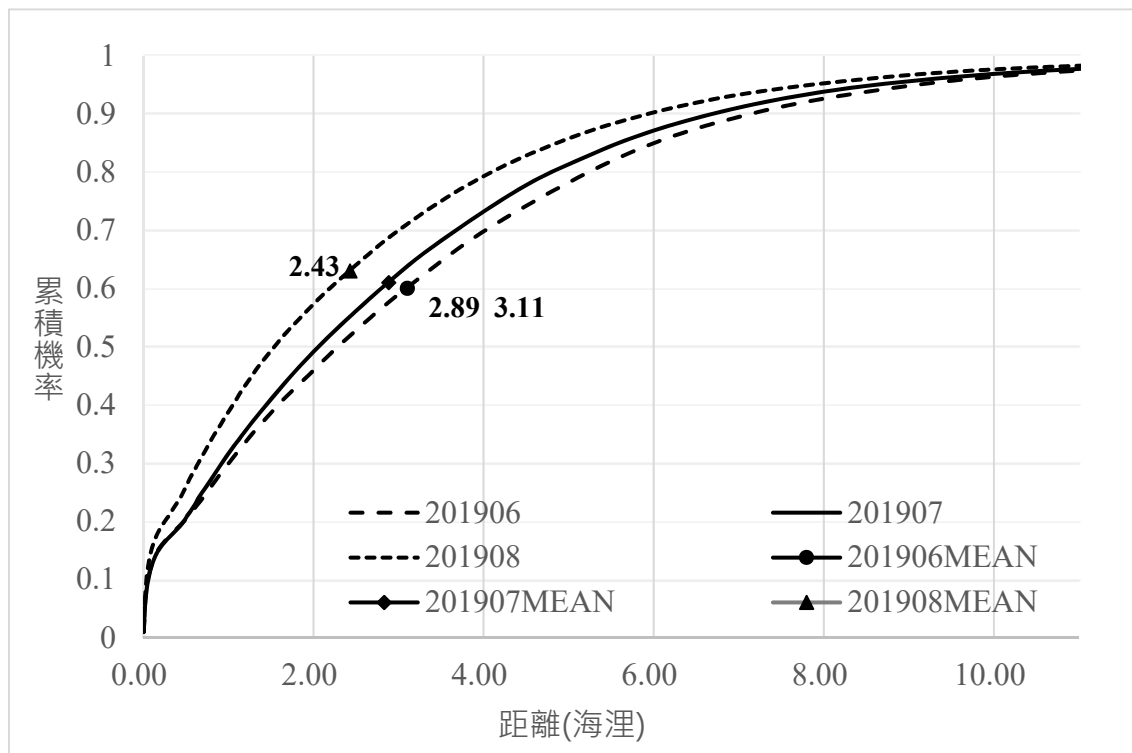


圖 4.21 船舶距離累積分佈圖

表 4-8 各月船舶距離統計表

月份	平均數(海里)	標準差	中位數
6	3.11	3.09	2.29
7	2.89	2.95	2.06
8	2.43	2.74	1.54

(2) AIS 與海洋陣列雷達資料之安全距離分析

本研究進一步以 2019 年 7 月份臺中港 AIS 及海洋陣列雷達資料為例，探討加入海洋陣列雷達資訊所辨識出之船舶資訊，是否會影響最小船舶距離之分布，進而探究其對事故風險估算之影響。由於陣列雷達所辨識之船舶並無船舶編號，本計畫必須排除雷達所辨識之船舶與 AIS 船舶重複之狀況，採用之方式乃以同一分鐘內，雷達辨識船舶若與最接近之 AIS 船舶距離小於 0.5 海里，則界定為與 AIS 資訊相同之船舶，不重覆計算。然後將排除重複之雷達辨識船舶加入分析資料庫，計算同一分鐘內所有船舶之距離，方法同上一節所述。

分別統計與計算「僅 AIS 船舶」及「AIS 加入雷達辨識船舶」之船舶間最小距離累積分布狀況，如圖 4.22 與表 4-9 所示。整體而言，船舶間最小距離在加入雷達辨識船舶後縮小了(加入雷達之累積分布線均在僅 AIS 船舶線之左上方)，平均距離由 2.89 海里降低為 2.28 海里、中位數則由 2.06 海里減為 1.39 海里，表示加入辨識出之船舶，事故風險有增加之現象；亦即，由於部分船舶沒有傳送 AIS 資訊，讓原本僅利用 AIS 資訊所計算之風險指標有所低估，加入雷達辨識船舶後，能較真實地反應事故風險。例如於未加入海洋陣列雷達船舶資料前，約僅有 30%之船舶最小距離小於 1 海里，然當加入海洋陣列雷達資料，則會有 40%之船舶最小距離小於 1 海里。由此可知，加入海洋陣列雷達資料，可更精確掌握各船舶位置，有助於促進海事安全。

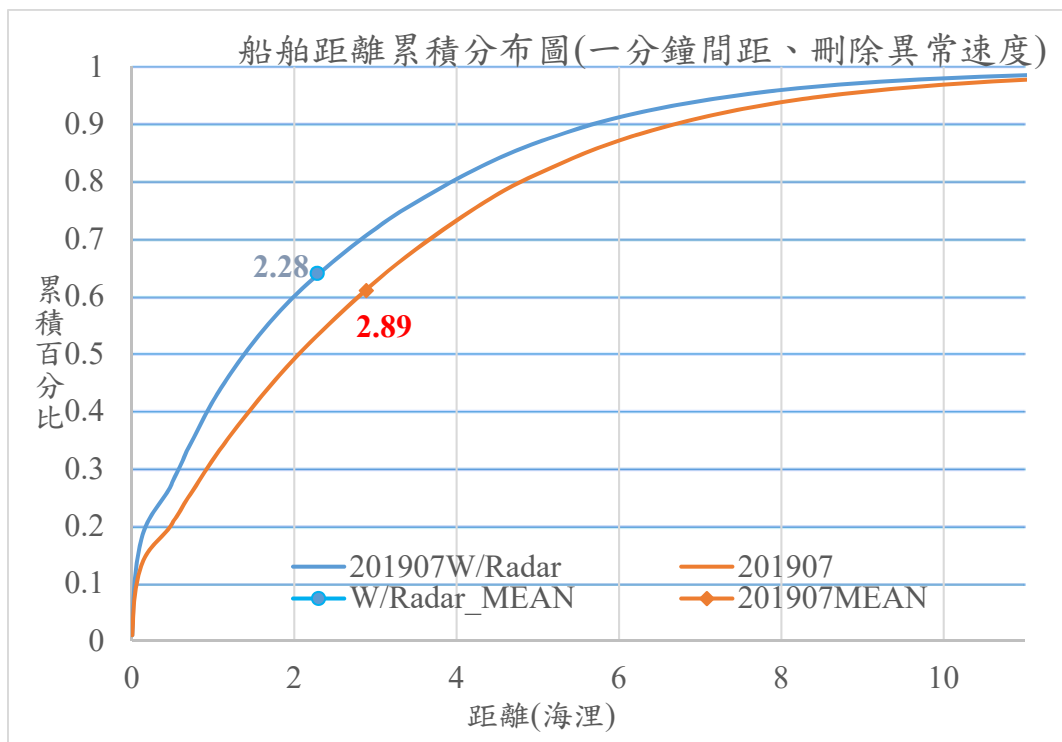


圖 4.22 船舶距離累積分佈圖

表 4-9 7 月船舶距離統計表

資料	平均數(海里)	標準差	中位數
AIS	2.89	2.95	2.06
AIS+雷達	2.28	2.62	1.39

4.3 碼頭利用效率分析

4.3.1 碼頭利用效率相關文獻回顧

除了航道資源有效運用外，碼頭營運效率亦為航港機關重視之議題。本所(2006)研究計畫「國內各國際港埠船舶進出港操作效率比較分析」中提出港灣指標、裝卸指標與船舶壅塞指數等多種指標計算方法，以衡量各個不同港口的營運績效。另外，本所(2018)研究計畫「離岸風電區之船舶監控及急難救助」探討因應架設離岸風機及後續維護作業時，增加航行於臺中港之大型船舶種類與數量，包括 LNG、貨船、郵輪及離岸風機工作船，分析各類船舶進出港作業時程，規劃最佳進出航線及時程與碼頭使用，以促使港內航行最佳化。

本計畫利用實際可得資料，計算各碼頭之使用率：包含時間與空間之利用率，例如各碼頭之時間利用率、總使用延時、平均使用延時等時間相關、跨碼頭之空間利用率等。上述指標均可用以評估碼頭之使用效率，唯須注意的是：(1)碼頭之使用率可能受限於船舶進港需求；(2)碼頭之使用率亦可能受限於航道之容量限制，亦即有時並非碼頭無法提供服務，而是航道擁擠造成碼頭利用率低；當然，相反的情況亦可能發生，因為碼頭容量限制，造成航道使用效率不佳；(3)不同之船舶類型(危險貨品船、貨櫃船等)僅能停靠特定碼頭，故各類碼頭之使用率可能差異頗大且無法互補；(4)停泊在碼頭之船舶，可能是執行特定工作(例如上下貨)或者單純靠泊本港等候下次任務，其對碼頭需求類型可能不同。

4.3.2 碼頭利用效率分析

本計畫原本擬透過臺灣港棧服務網(Taiwan Port NET, TPNET)蒐集一年期資料(2018/06/01 至 2019/05/31)進行碼頭利用效率分析，惟實際下載後發現該資料庫從 2018 年末才開始紀錄使用碼頭之資訊。因此，碼頭利用效率分析部分採用的資料為半年期(六個月)資料，從 2018 年 12 月 1 日起至 2019 年 5 月 31 日止。

1. 碼頭利用率

根據查詢臺中港港灣設施資訊，可得知目前共有 65 座碼頭使用中，未來將有離岸風電碼頭加入，而此 65 座碼頭可分為五類，分別為散雜貨碼頭、貨櫃碼頭、客貨碼頭、重件與散雜貨碼頭以及其他碼頭，其中以散雜貨碼頭為主，共有 47 座。根據此 5 種分類，分別計算該種類船舶佔用碼頭總時間，並將該值除以一個月內該種類碼頭能提供之靠泊時數作為碼頭效率指標，以期探討在不同月份下，各種類碼頭的使用效率。計算公式如(4.2)所示：

$$U_{im} = \frac{\sum_j \sum_t^{1440} T_{ijmt}}{24*60*D_m*j}, \forall i,m \dots\dots\dots (4.2)$$

U_{im} ：第 i 類碼頭在第 m 月的使用效率(Utility)；

T_{ijmt} ：為虛擬變數，當第 i 類、第 j 座碼頭在第 m 月之第 t 分鐘有船停泊時為 1，否則為 0；

D_m ：第 m 月之總天數；

m ：第 m 月($m=12、1、2、3、4$ 及 5 月)；

i : 第 i 類碼頭(i =散雜貨碼頭、貨櫃碼頭、客貨碼頭、重件與散雜貨碼頭以及其他碼頭)；

j : 屬於第 i 類碼頭之第 j 座碼頭($j=1, 2, 3, \dots, J$)，共有 J 座碼頭。

J : 第 i 類碼頭之數量(J 座)；

計算結果如圖 4.23 所示，整體之碼頭利用率平均而言介於 40%~50%之間，此統計結果與臺中港所提供之相關資訊相符，而若分別比較各種類碼頭之碼頭利用率，在不考慮其他類碼頭之情況下，碼頭利用率由高至低依序是客貨碼頭、貨櫃碼頭、散雜貨碼頭、重件與散雜貨碼頭。其中，貨櫃碼頭與散雜貨碼頭利用率呈現穩定之狀況，但有微微下降之趨勢；客貨碼頭與重件與散雜貨碼頭則較有高低起伏不穩定之現象。但由於本研究之觀察期間較短，此趨勢僅供參考。

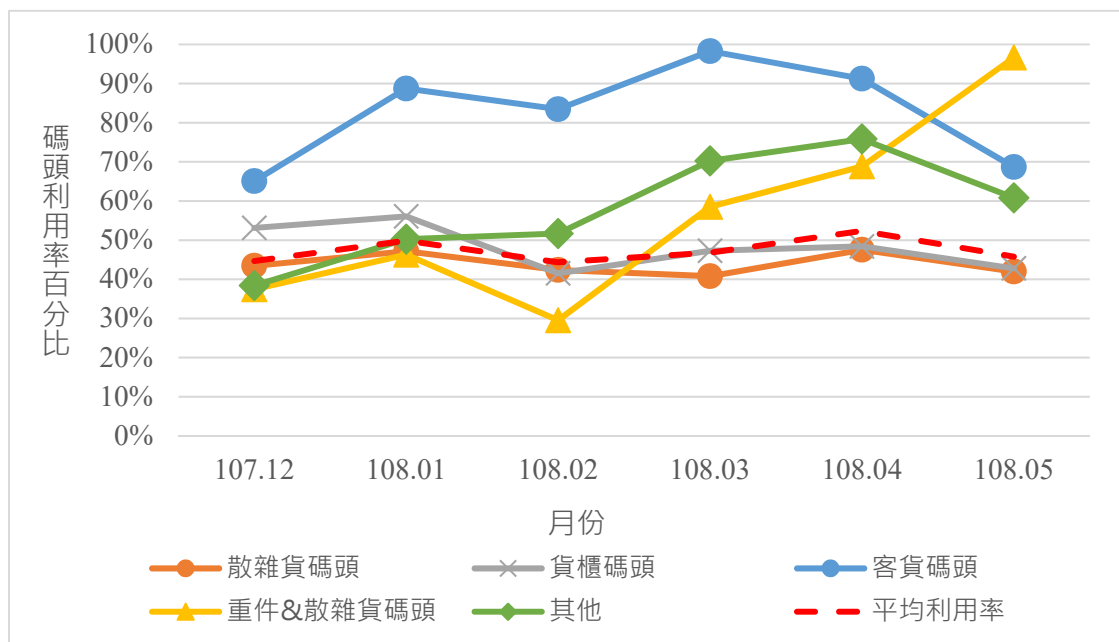


圖 4.23 各月份各種類碼頭利用率比較圖

2. 靠泊碼頭時間

根據交通部交通統計名詞定義靠泊碼頭時間為「船舶靠泊碼頭所停靠之時間」，即解纜時間減繫纜時間，本計畫以資料上的「出港離泊時間」與「進港靠泊時間」作為解纜時間和繫纜時間，其相差值即代表實際靠泊碼頭時間。

圖 4.24 顯示各月份船舶停泊時間平均值、第 25 百分位數、第 50 百分位數、第 75 百分位數。由圖 4.24 可觀察到每月平均停泊時間皆不超過 50 小時，且整體大致呈現穩定狀況，介於 41 至 50 小時之間。從百分位數來看，發現平均靠泊時間之所以會高，應是極端值所致(少數船舶靠泊時間很長)：中位數(12 至 15 小時)遠低於平均數、大多數 75 百分位數仍小於平均數。另外，由於資料上的限制，若能蒐集到一年份完整的資料，也許較能看出一年四季之週期性變化。

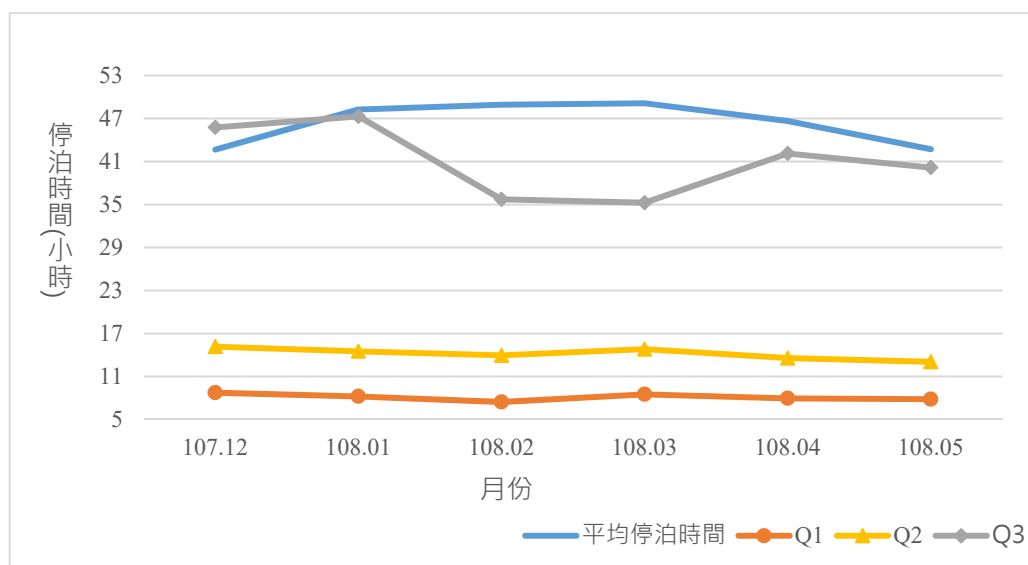


圖 4.24 各月平均靠泊碼頭時間統計值

進一步分析各種碼頭之靠泊時間統計值，計算其平均數、標準差、第 25 百分位數、第 50 百分位數、第 75 百分位數，如表 4-10 所示，在排除其他碼頭之條件下，可發現靠泊時間平均數由高到低依序為重件與散雜貨碼頭、客貨碼頭、散雜貨碼頭、貨櫃碼頭，推測重件與散雜貨碼頭裝卸大型載具需要較多的時間；而貨櫃碼頭之平均數與標準

差均最小，顯見此類碼頭運作之特性其他類碼頭不同：相較於其他類碼頭，貨櫃碼頭之船舶平均靠泊時間較短(轉換率較高)，且不同貨櫃船之靠泊時間差異(變異)也較小。

表 4-10 靠泊碼頭時間統計值

單位：小時

	平均數	標準差	第 25 百分位數	第 50 百分位數	第 75 百分位數
散雜貨碼頭	56.09	87.97	16.72	32.58	63.18
貨櫃碼頭	14.25	45.03	6.35	8.70	11.84
客貨碼頭	88.49	216.22	2.36	12.33	52.58
重件與散雜貨碼頭	92.09	127.52	39.88	52.90	101.21
其他碼頭	389.90	661.57	45.10	131.30	313.50

4.4 航道與碼頭管理建議

本節根據前述船舶運行效率與安全分析、碼頭利用效率分析之結果，研議航道與碼頭管理建議。由於目前之安全績效良好、碼頭利用率尚未過高，故管理建議之分析著重於船舶之航道運行效率。透過模擬港口在需求量增加之的情況下(主要因為風力發電工作船)，據以研議管理策略。

4.4.1 模擬加入風力發電工作船之前後差異分析

本計畫利用等候理論(如圖 4.1)為架構，建構臺中港進出窄口之等候理論模型：以現有資料建立基準需求機率分布，再加入風力發電工作船(不同情境、不同管理策略)，觀察在各情境下不同管理策略所導致之總預報等候時間、每艘船之平均預報等候時間之變化。並據以提出相關運作建議。

1. 基準計算方式

本計畫於進、出港船舶運行時間資料均由臺灣港棧服務網(Taiwan Port NET, TPNET)取得，選用一年期的資料(2018 年 6 月 1 日至 2019 年 5 月 31 日)進行分析，本計畫從一年期中隨機抽取 100 天，以此 100 天當作基準需求量進行模擬。

2. 需求情境與管理策略模擬說明

根據船舶運行效率分析，本計畫將窄口容量設定為 6 或 8 艘船；而在船舶運行需求方面，以隨機抽取之船舶需求為基準，再加上風力發電工作船之需求，其中根據歷史資料，每日進出臺中港之船舶數量平均約為 47 艘，據此，本計畫假設工作船有三種需求情境：(1)增加的工作船數量分別乘以較低比例之 5%、(2)適中比例之 10%，以及(3)較高比例之 15%，得出增加的工作船數約為 3 艘、5 艘、8 艘，再將每種數量

的工作船以 2 至 3 艘進行編組(假設工作船一次任務需要二或三艘同時執行任務)，模擬指派至特定時段。

在指派風力發電工作船至不同時段時，考量三種管理策略：隨機指派、尖峰時段指派與離峰時段指派。由於多數船舶為避免夜間加成收費，而較少選擇於夜間加成時段(18 點至隔日 7 點)進出港，故本計畫之隨機指派定義為自 7 點至 18 點間，隨機抽取任意某時段(以小時為單位)，指派加入工作船；尖峰時段指派乃為模擬若風力發電工作船與原本船舶需求時段高度重疊時，會有甚麼影響，根據歷史資料，將尖峰時段設定為 7-8 時、17-18 時、23-24 時，並隨機抽取這幾個最壅塞的時段加入工作船；而離峰時段指派則是與尖峰相反，探討若透過管理策略，將風力發電工作船指派至離峰時段進出港，觀察其對系統績效之影響。

結合上述三種不同的指派方式及三種增加工作船數量之需求情境，每一窄口容量將有九種模擬情境，每種情況皆模擬 100 次，再計算預計等候時間之平均數與標準差；另外，透過比較不同情境與基礎情境(未加入工作船)之差異，探究不同指派方式之系統績效差異。

3. 模擬結果

模擬結果如表 4-11 與表 4-12 所示。觀察發現在容量為每小時 6 艘船的情況下，在尖峰時段加入工作船對於預報等候時間的影響最大，尤其在加入 8 艘編組工作船後，每日總預報等候時間之平均數高達 215.1 分鐘，而平均每艘船預報等候時間為 17.4 分鐘；影響其次的是隨機指派時段，若加入 8 艘工作船，總預報等候時間平均數為 100.8 分鐘，平均每艘船預報等候時間為 9.25 分鐘；而在離峰時段加入工作船的影響最小，即使加入 8 艘工作船也僅致使總等候時間之平均數為 70.5 分鐘。若容量提高至每小時 8 艘船(表 4-12)，三種指派時段的預報等候時間都明顯下降，只有加入 8 艘工作船於尖峰時段的平均預報等候時間 6.7 分鐘較長，與容量每小時 6 艘船相比減少了 10.7 分鐘，其它工作船需求水準與指派時段均小於 2 分鐘，不會造成明顯問題，例如離峰時段即

使加入 8 艘編組工作船平均預報等候時間仍不到 1 分鐘，代表隨時都能進港不需要等待。

表 4-11 窄口容量 6 的情境模擬結果

單位：分鐘

指派時段	衡量指標	情境模擬：增加工作船數量（每日）					
		3 艘		5 艘		8 艘	
		平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
隨機	總預報等候時間	58.5	97.18	72.9	110.39	100.8	131.68
	需等候船隻之平均預報等候時間	5.55	8.77	6.93	10.17	9.25	11.52
尖峰	總預報等候時間	83.4	107.92	105.9	113.77	215.1	163.49
	需等候船隻之平均預報等候時間	7.37	9.08	9.96	9.59	17.40	11.75
離峰	總預報等候時間	43.5	69.59	51.9	82.89	70.5	85.43
	需等候船隻之平均預報等候時間	4.14	6.37	5.06	7.74	6.80	7.75

表 4-12 窄口容量 8 的情境模擬結果

單位：分鐘

指派時段	衡量指標	情境模擬：增加工作船數量（每日）					
		3 艘		5 艘		8 艘	
		平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
隨機	總預報等候時間	12	37.90	13.8	44	23.4	57.93
	需等候船隻之平均預報等候時間	0.94	2.85	1.06	3.24	1.77	4.25
尖峰	總預報等候時間	24.3	50.76	26.7	52.38	91.5	107.73
	需等候船隻之平均預報等候時間	1.92	3.81	2.24	4.07	6.70	7.19
離峰	總預報等候時間	3.6	16.11	5.4	18.77	8.4	25.26
	需等候船隻之平均預報等候時間	0.31	1.31	0.47	1.56	0.73	2.15

4. 情境模擬比較與分析

本節比較不同情境與基準情境(模擬之基礎需求、沒有風力發電工作船)之差異，分析不同風力發電工作船需求與指派策略所增加之預報等候時間，如表 4-13 與表 4-14 所示。表 4-13 呈現容量為每小時 6 艘船時會增加之等候時間，基準情境之每日總預報等候時間平均值為 32.7 分鐘，標準差為 64.96 分鐘；需等候船隻之平均預報等候時間為 3.25 分鐘，標準差為 6.3 分鐘。與模擬新增 3 艘工作船相比，各指派時段預報等候時間增加的幅度不大；新增 8 艘編組工作船於尖峰時段則明顯增加許多預報等候時間(最多高達每日 182.4 分鐘)。表 4-14 則為容量為每小時 8 艘船時會增加之等候時間，基準情境之每日總預報等候時間平均值為 3.6 分鐘，標準差為 16.11 分鐘；需等候船隻之平均預報等候時間為 0.31 分鐘，標準差為 1.31 分鐘；整體而言，於容量 8 艘船時，加入工作船對於預報等候時間之影響幅度小於容量為 6 艘船的情況，例如比較在尖峰時段加入 3 艘船和 8 艘船，容量 6 艘的增加預報等候時間的增幅約為 3 倍，而容量 8 僅增加約 2 倍。

表 4-13 窄口容量 6 的模擬比較

指派 時段	衡量指標	情境模擬： 增加工作船數量（每日）		
		3 艘	5 艘	8 艘
隨機	增加總預報等候時間(分鐘)	25.8 (79%)	40.2 (122%)	68.1 (208%)
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	2.3 (71%)	3.68 (113%)	6 (185%)
尖峰	增加總預報等候時間(分鐘)	50.7 (155%)	73.2 (224%)	182.4 (558%)
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	4.12 (127%)	6.71 (206%)	14.15 (435%)
離峰	增加總預報等候時間(分鐘)	10.8 (33%)	19.2 (59%)	37.8 (116%)
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	0.89 (27%)	1.81 (56%)	3.55 (109%)

表 4-14 窄口容量 8 的模擬比較

指派 時段	衡量指標	情境模擬： 增加工作船數量（每日）		
		3 艘	5 艘	8 艘
隨機	增加總預報等候時間(分鐘)	8.4 (233%)	10.2 (283%)	19.8 (550%)
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	0.63 (203%)	0.75 (242%)	1.46 (471%)
尖峰	增加總預報等候時間(分鐘)	20.7 (575%)	23.1 (642%)	87.9 (2441%)
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	1.61 (519%)	1.93 (623%)	6.39 (2061%)
離峰	增加總預報等候時間(分鐘)	0	1.8 (50%)	4.8 (133%)
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	0	0.16 (52%)	0.42 (135%)

4.4.2 管理建議

根據不同需求水準與指派方式之情境組合模擬結果得知，除了窄口容量為每小時 8 艘船時，於離峰時段每日新增 3 艘風力發電工作船之預報等候時間為 0 分鐘，顯示臺中港容量足以負荷該情境，因此無需針對風力發電船之加入採取特別之管制或管理措施。而在其他情境加入不同數量之風力發電工作船，對航道使用效率均產生明顯影響，如無論窄口容量為 6 或 8 艘船時，於尖峰時段加入工作船會對港口產生劇烈影響，尤其在窄口容量為每小時 6 艘船時，於尖峰時段每日新增 8 艘船，總預報等候時間會增加為原本的 6.58 倍，因此當風力發電船數量較多且集中於尖峰時段使用時，宜採取相當管制或管理措施。

本計畫建議未來在管理船舶進出港口的時段需要有效率且公平的策略，如在不受影響之時段讓各風力發電工作船的廠商自由運用；而在受影響時段則須採取進出數量管制之措施或者於尖峰時段採取尖峰定價之收費制度，以期提升船舶運行效率。

進出數量管制乃根據容量排定預計進出港之船舶數量及其時段(類似機場之時間帶管制策略)，以降低各船舶之等候時間，實際運作則可透過各使用者間協調及管理者意見之參採，來達成多贏之局面。尖峰定價之收費制度乃針對不同時段與不同船舶種類可能收取不同費率(類似現行日夜間收費有所差異)，透過市場機制來決定哪些船隻優先使用有限之容量資源，利用時間之差別訂價，驅使部分船隻自願改到離峰使間進出港口，以達成降總體等候時間之目的，而實施細節仍需配合實務操作之可行性訂定相關規範，以期達成改變使用者行為之目的。

另外，若未來風力發電工作船需求較確定後，亦可針對該需求水準再進行模擬，探究不同管理策略可能之績效影響。

第五章 結論與建議

為因應離岸風電設置所衍生海上船舶交通量增加及航道改變之風險，本計畫以離岸風電海域及臺中港與之間通聯潛力場址海域、航道做為系統研發之研究海域，利用本所於臺中港北防沙堤附近所建置之陣列雷達觀測系統，開發船艦偵測技術，並整合航港局船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)，強化海域船舶預警監控，提升航行安全。

本計畫完成結合雷達主動式船舶偵測與被動式 AIS 船舶動態系統之資訊，開發電子海圖整合展示系統並建置資料庫，可提升監控海域之船隻動態監測，利用所得資訊進行船舶運行及碼頭利用之效率與安全相關分析，可提供港務相關單位航運管理策略制定之參考依據。本計畫具體研究結論與建議及後續應用效益彙整如下：

5.1 結論

1. 本計畫使用臺中港北防沙堤附近建置之海洋高頻陣列雷達系統觀測訊號研發辨識船舶的演算法。演算法主要使用調適性偵測法與調適性船舶偵測法，兩種偵測法辨識結果並非完全一致，為確保所有船舶訊號皆被偵測，兩種偵測法之結果合併留存。
2. 使用固定錯誤警報率過濾法中的最大平均固定錯誤警報率以及雜訊測試，從第一步偵測法的結果中找出更正確的船舶位置，過濾結果良好。船舶軌跡辨識使用統計距離門計算，結果易受雜訊干擾及資料缺漏而影響呈現品質。
3. 根據高頻雷達比較 AIS 之不同距離之觀測成功率統計，目前雷達在近岸 4 公里內之海面雜訊干擾較強以及超過 30 公里、回波訊號較弱的地方不易準確偵測船舶，觀測距離 4~30 公里之觀測成功率呈

現平穩的趨勢，成功率約為 60%，成功率尚佳。高頻雷達偵測船舶位置與 AIS 位置距離差少於 2 公里之機率佔 35%，4 公里之機率佔 60%，此初步分析結果尚佳而存在進步的空間，若撇除上述訊號干擾過強的部分，其船舶偵測結果良好。

4. 船舶鏡面反射與波浪布拉格散射訊號強度比較，波浪訊號強度低於船舶回波訊號，但在強波浪情形下，會有部分尤其較小尺寸船舶會受到波浪訊號干擾而難以辨識。高頻雷達比較 AIS 之不同船舶尺寸觀測成功率之統計結果呈現約為 50~60%，且高頻雷達觀測並無明顯受到船舶尺寸而影響成功率，背景環境雜訊干擾還是主要影響觀測成功率的關鍵。船艏向和船舶行進方向面向或背向雷達，其觀測成功率相較於平行海岸線方向較高。
5. 透過微波雷達與 AIS 比對，發現 AIS 有未紀錄到船舶的情形出現，原因為船家未主動進行回報或未裝載 AIS 發報器。
6. 展示系統主要負責接收動態船舶資訊船位報告與雷達解算出之船位報進行轉檔後匯入地理資訊伺服軟體 QGIS，包含開放源代碼之海洋底圖圖層及數據圖層疊合展示，並以 QGIS 使用自由外掛軟體 qgis2web，匯出後產出 Web-base 頁面，匯入網頁伺服器中，並設定於內網環境下可使用瀏覽器進行連結開啟，資料更新則透過以 Python 程式開發之轉檔程式定期將數據檔更新。
7. 於港航操船作業規劃成果方面，根據不同需求水準與指派方式之情境組合模擬結果得知，除了窄口容量為每小時 8 艘船時，於離峰時段每日新增 3 艘風力發電工作船之預報等候時間為 0 分鐘，顯示臺中港容量足以負荷該情境，因此無需針對風力發電船之加入採取特別之管制或管理措施。而在其他情境加入不同數量之風力發電工作船，對航道使用效率均產生明顯影響，如無論窄口容量為 6 或 8 艘船時，於尖峰時段加入工作船會對港口產生劇烈影響，尤其在窄口容量為每小時 6 艘船時，於尖峰時段每日新增 8 艘船，總預報等候

時間會增加為原本的 6.58 倍，因此當風力發電船數量較多且集中於尖峰時段使用時，宜採取相當管制或管理措施。

8. 尖峰定價之收費制度乃針對不同時段與不同船舶種類可能收取不同費率(類似現行日夜間收費有所差異)，透過市場機制來決定哪些船隻優先使用有限之容量資源，利用時間之差別訂價，驅使部分船隻自願改到離峰使間進出港口，以達成降總體等候時間之目的，而實施細節仍需配合實務操作之可行性訂定相關規範，以期達成改變使用者行為之目的。

5.2 建議

1. 本計畫已建立高頻陣列雷達訊號辨識船舶演算法之研發基礎，建議後續可進一步應用於不同地區之高頻陣列雷達，並可再精進辨識法，提升雜訊過濾準確性，建立完整之雷達船舶偵測系統，提升船舶航行安全與事故防範。
2. 為分析高頻雷達辨識船舶雜訊特徵，本計畫研究過程中利用鄰近區域之海氣象觀測資料與本計畫使用的雷達觀測資料進行比對，意外發現高頻雷達在波流觀測具有高度準確性，未來可進一步研究及解析。
3. 囿於臺中港僅設置 1 站高頻陣列雷達，因盲區或解析度問題，尚有改進空間，建議未來經費許可，可於臺中港南邊設置第 2 雷達站，可增加離岸風場區域雷達覆蓋之完整性及觀測準確性。
4. 本計畫完成臺中港之船舶進出港容量分析，建議未來在管理船舶進出港口的時段需要有效率且公平的策略，如在不受影響之時段讓各風力發電工作船的廠商自由運用；而在受影響時段則須採取進出數量管制之措施或者於尖峰時段採取尖峰定價之收費制度，以期提升船舶運行效率。進出數量管制乃根據容量排定預計進出港之船舶數量及其時段(類似機場之時間帶管制策略)，以降低各船舶之等候時

間，實際運作則可透過各使用者間協調及管理者意見之參採，來達成多贏之局面。

5.3 成果效益及應用情形

1. 雜訊特徵研究中包含雷達觀測之背景訊號特徵探討，相關風波流觀測過程及成果，可提供臺中港作為環境背景調查參考，未來可應用高頻陣列雷達於長時間之海岸環境調查與監測，作為近岸災害防治作業之參考依據，提升海岸環境保護與永續發展。
2. 本計畫開發之陣列雷達之船艦偵測及多重船舶資訊整合資料庫與展示介面，將可望提供監測區內更完整之船舶航行資訊。未來若進一步整合相關資料，輔以航行安全及監測區的航行交通狀態的統計分析與程式開發，透過資料庫檢索工具程式的開發，提供船舶航跡追蹤、偏離航道警示、誤駛入離岸風電限/禁航區警示、天氣海象狀況(導入氣象局開放資料)等。
3. 本計畫運用等候理論建立船舶運行效率之分析分析與預測方法，提供臺中港(或其他港口亦可適用)進行更深入之重要基礎，未來若研議不同管理策略或有不同運作情境(例如風力發電工作船之增加)，可利用此方法進行分析與預測，以供策略與情境評估運用，據以選定最佳因應策略。
4. 本計畫充分利用 AIS 與雷達資訊進行船舶運行安全分析，有利於更準確掌握船舶位置、更精準評估船舶運行風險。所研議之方法，在更多、更精確資訊(例如更精準之雷達資訊)可得後，亦可採用相同方法進行船舶運行風險分析，以期有效了解特定區域之船舶運行安全狀況。

參考文獻

1. A. Dzvonkovskaya, K.W. Grugel, H. Rohling and T. Schlick, HF radar WERA application for ship detection and tracking, *European Journal of Navigation*, Vol. 7, No. 13, pp. 18-25, 2009.
2. A study of CFAR implementation cost and performance tradeoffs in heterogeneous environments.” A master Thesis Presented to the Faculty of California.
3. Chuang, L.Z.H., Chung, Y.J., & Tang, S.T. (2015). A Simple Ship Echo Identification Procedure With SeaSonde HF Radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12, 2491-2495.
4. Dzvonkovskaya, A.L., Gurgel, K.W., Rohling, H., & Schlick, T. (2010). HF Radar WERA Application for Ship Detection and Tracking. *European Journal of Navigation*, 7, 18-25.
5. Dzvonkovskaya, A.L., & Rohling, H. (2006). Target Detection with Adaptive Power Regression Thresholding for HF Radar. In, *2006 CIE International Conference on Radar* (pp. 1-4).
6. Dzvonkovskaya, A.L., & Rohling, H. (2007). HF radar ship detection and tracking using WERA system. In, *2007 IET International Conference on Radar Systems* (pp. 1-5).
7. Fernandez, D.M., Vesecky, J.F., Barrick, D., Teague, C.C., Plume, M.M., & Whelan, C. (2001). Detection of ships with multi-frequency and CODAR SeaSonde HF radar systems. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27, 277-290.
8. Fiorini, M., Capata, A., & Bloisi, D. D. (2016). AIS data visualization for Maritime Spatial Planning (MSP). *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 5, 45-60.
9. Fujii, Y., & Tanaka, K. (1971). Traffic capacity. *The Journal of navigation*, 24(4), 543-552.

10. H. J. Roarty, D.E. Barrick, J.T. Kohut and S.M. Glenn, Dual-use of compact HF radar for the detection of mid- and large-size vessels, *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, Vol 18, No 3, 2010.
11. Hansen, M., & Hsiao, C. Y. (2005). Going south? Econometric analysis of US airline flight delays from 2000 to 2004. *Transportation research record*, 1915(1), 85-94.
12. Hsiao, C. Y., & Hansen, M. (2006). Econometric analysis of US airline flight delays with time-of-day effects. *Transportation research record*, 1951(1), 104-112.
13. James, M., Mendo, T., Jones, E. L., Orr, K., McKnight, A., & Thompson, J. (2018). AIS data to inform small scale fisheries management and marine spatial planning. *Marine Policy*, 91, 113-121.
14. Jen, J. J. (2011). A study of CFAR implementation cost and performance tradeoffs in heterogeneous environments (Doctoral dissertation, California State Polytechnic University, Pomona).
15. K. Laws, J.F. Vesecky and J.D Paduan, Using HF surface wave radar and the ship automatic identification system (AIS) to monitor coastal vessels, IGARSS 2009, *IEEE Press*, Cape Town, South Africa, USA, 2009.
16. Kendall, M.G., & Stuart, A. (1967). *The advanced theory of statistics*. London: Charles Griffin and Company Ltd.
17. Laws, K., Vesecky, J., & Paduan, J. (2011a). Monitoring coastal vessels for environmental applications: Application of Kalman filtering. In, *2011 IEEE/OES 10th Current, Waves and Turbulence Measurements (CWTM)* (pp. 39-46).
18. Laws, K., Vesecky, J., & Paduan, J. (2011b). Predicting the capabilities of ship monitoring by HF radar in coastal regions. In, *OCEANS'11 MTS/IEEE KONA* (pp. 1-5).
19. L.Z.H. Chung, Y.J. Chung and S.T Tang, A simple ship echo

- identification procedure with seasonal HF radar, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 12, No. 12, 2015.
20. Mou, J. M., Van Der Tak, C., & Ligteringen, H. (2010). Study on collision avoidance in busy waterways by using AIS data. *Ocean Engineering*, 37(5-6), 483-490.
 21. Newell, G. F. (1987). The morning commute for nonidentical travelers. *Transportation Science*, 21(2), 74-88.
 22. Orfanidis, S.J. (1996). *Introduction to Signal Processing*. (4th ed.). Prentice-Hall.
 23. Ponsford, A.M. (1984). 1984 Feasibility Study of HF Ground-Wave Radar for Tracking of Ships. In. Final Report British Admiralty by University of Birmingham.
 24. Ponsford, A.M. (2001). Surveillance of the 200 Nautical Mile Exclusive Economic Zone (EEZ) Using High Frequency Surface Wave Radar (HFSWR). *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27, 354-360.
 25. Ponsford, A.M., & Wang, J. (2010). A review of High Frequency Surface Wave Radar for detection and tracking of ships. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 18.
 26. Roarty, H., Barrick, D., Kohut, J., & Glenn, S. (2010). Dual-use of compact HF radars for the detection of mid-and large-size vessels. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 18.
 27. Sid-Ahmed, M.A. (1994). *Image processing, theory, algorithms and architectures*. McGraw-Hill.
 28. Wang, W., Peng, Y., Tian, Q., & Song, X. (2017). Key influencing factors on improving the waterway through capacity of coastal ports. *Ocean Engineering*, 137, 382-393.
 29. Zaman, M. B., Kobayashi, E., Wakabayashi, N., & Maimun, A. (2015). Development of risk based collision (rbc) model for tanker ship using ais data in the malacca straits. *Procedia Earth and Planetary Science*,

- 14, 128-135.
30. Zhang, L., Meng, Q., & Fwa, T. F. (2017). Big AIS data based spatial-temporal analyses of ship traffic in Singapore port waters. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*.
31. 邱永芳、黃茂信、向淳暉、鄒旻珊、翁健二，(2018)，離岸風電區船舶監控系統，第 40 屆海洋工程研討會論文集，2018 年 11 月。
32. 陳彥宏，(2019)，離岸風場的海上航行風險與因應機制，*Journal of Taiwan Maritime Safety and Security Studies* Vol 10, No 3。
33. 顏厥正、張恆文，(2016)，離岸施工運維決策支援系統建置，臺灣風能協會會員大會暨學術研討會，2016 年 12 月。
34. 邱永芳、黃茂信、向淳暉、鄒旻珊、翁健二，(2018)，離岸風電區船舶監控系統，第 40 屆海洋工程研討會論文集。
35. 交通部運輸研究所(2006)，95 年度研究計畫-「國內各國際港埠船舶進出港操作效率比較分析」成果報告。
36. 交通部運輸研究所(2017)，12 港域海氣象觀測資料年報。
37. 交通部運輸研究所(2018)，107 年度研究計畫-「離岸風電區之船舶監控及急難救助」成果報告。
38. 交通部運輸研究所(2014)，103 年度研究計畫-「結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫(1/4)」成果報告。
39. 許哲英(2013)，AIS 在港口管理及船舶避碰之系統設計，國立高雄海洋科技大學碩士論文。
40. 張淑淨、葉冠宏、連永順、胡斯遠、張時銘、彭冠敦、任奕翰(2015)，AIS 於海域空間規劃及離岸風場開發航行風險評估之應用研究，2015 臺灣風能學術研討會暨 NEP-II 離岸風力及海洋能源主軸中心成果發表會。

41. 張淑淨、張時銘、蕭登騰、王暉智、胡曉菁(2014)，軌跡探勘於航
港效率與安全指標之應用研究，*港灣季刊*，第九十七期，頁 30～39。
42. 陳冠寧(2010)，基於 AIS 之航路分析與應用研究，國立臺灣海洋大
學碩士論文。

附錄一

訪談紀要

【整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估】訪談紀要

委託單位：交通部運輸研究所

研究單位：國立交通大學、國立中央大學

時間：民國 108 年 8 月 21 日

討論紀要：

一、船舶運行與統計資料分析

1. 港口操作程序之詳細定義，如 VHF、船長報到 ETA、進港通過 5 哩時間等。

VHF 為手動紀錄資料，紀錄船長報到 ETA 當下的時間；船長報到 ETA 為手動紀錄資料，為船長通報預計進港之時間；進港通過 5 哩時間為船舶通過南防波堤 5 哩之自動記錄資料。

2. 期中審查鍾委員建議船舶航行效率應以到港時間(進入距離南防波堤燈塔半徑 5 哩)至通過外防波堤時間(不包含下錨船舶)，計算進入主航道進港船舶等待時間。

惟發現若以進港通過 5 哩時間之相關指標計算：(1)資料缺漏(僅少數月份、部分船隻)，暫無法進行運行效率分析；(2)另根據臺中港對港外錨泊區定義為南防波堤西南方 1 至 4 哩處，故推論「進港通過 5 哩時間」可能存在自願性等候問題，導致錯估實際延誤時間。

船舶效率分析中所定義的船舶「等候時間」是為了排除自願性等候，計算船舶因為港內繁忙暫無法進港作業之等候時間，用船長報到 ETA 時間與實際通過南防波堤時間差，亦即船舶希望進港的時間與實際進港之時間差。而臺中港務公司所定義之「等候時間」為船舶於錨泊區下錨至起錨時間之時間差，兩者不同，故本團隊將船舶效率分析中之名稱更改為「預報等候時間」，避免與臺中港務公司所定義之「等候時間」混淆。

3. 是否有船舶進出港容量估算之相關資訊。

目前沒有船舶進出港口之容量估算資料，僅能從歷史資料推估。

4. 了解船舶進出港口排序、間距、時間、空間之安排是否有相關現行規範。進港順序為先進先靠，若兩船進港時間差距不大則會考慮停靠之碼頭以增進港口效率，其餘則根據船種而有不同規範。

二、碼頭營運與統計資料分析

1. 臺中港區碼頭與船席之定義？各碼頭船席數量是否固定？

臺中港務公司定義之碼頭即船席，碼頭的數量固定但停靠船舶的數量不固定，視船舶大小而定。

2. 現行之碼頭利用率計算方式與資料可得性。

已取得碼頭利用率之統計公式，由於皆為內部資料，將參閱臺中港務公司歷年的月報及年報。

三、離岸風電工作船相關資訊

1. 離岸風電工作船之相關資訊，如船型與流量、使用時間與相關案例。
與臺灣港務股份有限公司新創事業處進行會談，得知工作船種類及臺中港重件碼頭之概略規劃，但因承包廠商眾多且各自考量成本及船隻調度工作，因此資訊整合十分困難，惟使用已確定的歷史資料推估相關的工作船進出台中港之流量，後續將聯繫各廠商以期獲得更精確的資訊。
2. 其他特殊船舶之航行條件及相關規定，如潮汐、風速、與其他船舶之安全距離。
臺中港務分公司表示實務上船舶間距至少 1 海浬，而特殊船舶如風力發電相關工作船目前已擬定一份航行規則。

四、參訪紀錄



附錄二、期中審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

☒期中☐期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估

執行單位：國立中央大學

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
(一)國立成功大學水工試驗所 江文山副所長		
1. 本計畫之主要工項之一為利用雷達系統偵測船舶，報告中對於雷達系統已有詳細說明，建議對於目標物即船舶的雷達回波基本特性補充說明。	於 2.3 節增加雷達回波對於船舶之基本特性說明，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
2. 目標物偵測的前置作業主要是背景訊號的掌握，建議補充說明計畫海域背景訊號的時間與空間特性，尤其是長期資料分析部分。	於 2.3.2 節補充增加說明雷達背景雜訊時空間特性，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
3. 展示介面的設計與建置請考量與預留跟中心既有海情資訊系統整合的設計。	經與港研中心海情資訊系統承辦人員討論，建議本計畫暫時先由海情資訊系統擷取所需資料，另外建置新圖資展示網頁。後續會與主辦單位就資訊整合與計畫需求，盡可能提供方便合宜的展示介面。	同意
4. 港航操航規劃中進行關於等候時間…等相關統計，建議與航港局、港務公司等溝通確認需求，作為後續研究分析之參考。	感謝委員建議，本團隊擬訂於八月下旬與航港局、港務公司訪談，以確認相關需求，並納入研究修正。	依處理情形辦理
5. 各項分析建議補充流程圖，以利閱讀與清楚了解，另外儘可能各項分析的文字敘述能配合數學公式會更	補充各項分析之流程圖及文字配合公式說明，謝謝委員指導。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
明確。		
6. P2-2 系統設定時間間隔為 30 分鐘，對於船隻偵測妥適性？	目前設定觀測時距為每 30 分鐘觀測一次，此觀測時距是可以因應需求而調整，由於此高頻雷達現階段因同時有波流觀測研究之所需，故設定為 30 分鐘，若為船隻偵測妥適性，則亦可調整為 1 分鐘。	依處理情形辦理
7. P2-11”推估…風機影響”，請進一步確認，若可行的話。	2.3.1 節推估各種可能影響雷達訊號之雜訊成因，逐一釐清各項成因需要以多項實驗加以確認。目前處理方式先以不同演算法分析方式撇除各項雜訊之影響，以確認高頻雷達辨識船舶之可行性，謝謝委員建議。	同意
8. P2-19 相關分析的敘述請更明確化避免誤解。	二維移動平均、標準偏差部分加強分析說明，謝謝委員指導。	依處理情形辦理
9. 計畫執行內容成果，請與目的互相檢視，確認達成預期的情況。	執行成果會與目的相互檢視，以確保計畫達成預期目標，謝謝委員指導。	同意
(二) 國立成功大學 莊士賢教授		
1. 本案包含觀測技術研發、資料品管、資料庫建立、資訊整合與應用，原本應是多年期計畫的工作量，但要在一年內完成，工作量相當大，雖可在短期即呈現計畫成果，但因各工作項需同時開發，未來在不同系統間的整合猶待努力。	會於計畫執行後半期間加強各工作項目之連結與整合，謝謝委員指導。	同意
2. 本雷達系統的盲區約多少距離，是否會造成船舶接近港口時無法被雷達看到，而無法有效監控。	盲區約 2 公里，盲區內之港口區域無法有效監控，若未來於臺中港南方增設第二雷達站，可增加離岸風場區域雷達覆蓋之完整性及觀測準確性，於 2.1 增加說明。	依處理情形辦理
3. 雷達辨識出船舶訊號	目前可行的方法為透過後續分析辨	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
後，如何決定船艏向，請補充說明。特別是船隻進出港期間，船的行進方向接近雷達徑向，會有 RCS 不足的問題，請舉例分析說明此狀況下雷達的辨識能力。	識船隻移動方向來辨別船艏向。RCS 部分於期末報告 2.4.2 節補充說明，雖然沒出現 RCS 不足的問題，然而樣本數需更多及完整測試。若有第二雷達系統則可獲得即時船舶移動方向得知船艏向，亦能改善 RCS 不足的可能性。	
4. 港研中心已開發有 AIS 資料庫與操作介面，本案另開發資料庫與展示介面功能上有何差異？如何整合？	本案介面主要在整合既有 AIS 資訊與本案新研發之雷達船艦偵測資訊，提供監測海域非合作船隻（即不主動提供航行狀態資訊）的警示訊息，經與主辦單位討論，本年度暫時由海情資訊系統擷取 AIS 資訊，另行開發展示、比對、警示頁面連結。未來，若主辦單位認為有需要，可考慮讓修改海情資訊系統整合介面匯入本案研發之雷達船艦偵測資訊，並提供比對非合作船隻功能。	同意
5. 本案另建有電子海圖資訊系統，這是有國際標準須嚴格遵守，且內政部已建有電子海圖，故在資料格式上是否一致？目前暫用其他海圖資訊做資訊系統開發，未來是否會有整合問題？	在內政部尚未正式開放新版電子海圖前，計畫將以其他開源海圖資訊做為展示系統開發底圖。目前已接洽內政部，將在資料庫預留檔案與資料格式設計，以利未來電子海圖釋出時納入擴充。	同意
(三) 臺灣港務股份有限公司 鍾英鳳業務副總經理		
1. P3-1 圖 3.1 海事案件建議分港區內及外海，因二者之現象及所代表之意義不同。	謝謝委員提醒。將在進一步由海事案件資訊中細分統計。	同意
2. P3-2 第三行~”府好不容易~”府”是何意。	感謝委員指正。經查為「政府」一詞漏字。	同意
3. 三大工作目標中港船操船作業，建議是船	感謝委員建議，本團隊擬訂於八月下旬與港務公司訪談，以確認相關	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
舶自動排船，進出港口安全管制模式，其以船舶進出港口排序、間距、時間、空間之安排為主，碼頭之部分應以使用率為主。	建議與資料可得性，並納入研究修正。	
4. VHF 在 P3-3 有效距離 20 海浬，P3-5 又寫 30 海浬請檢核。	無線電通訊距離，特別是 VHF 頻段的通訊距離，與功率、天線高、大氣逆溫層現象等有顯著關係，根據目前 TOROS AIS 接收站的資料顯示，約在 20~30 浬里間。後續將改進，使描述統一。	同意
5. P3-5 A 類 B 類船是什麼？請先定義。	依照 IMO 的規定，A 類 AIS 設備需按照 IMO 有關 AIS 配備的必要條件，可以接收和發射有關安全之類的短消息包括重要的航行資訊和重要的氣象分析警告之類的航行資訊。而 B 類 AIS 設備則僅提供簡易的、不需滿足 IMO 有關 AIS 配備的必要條件，只需可以接收有關安全之類的短消息。因此一般而言，A 類船舶主要是跨國航行或公海航行船隻為主，如貨輪、郵輪等，而 B 類船舶則以近岸船隻為主，在台灣則多為近岸作業漁船等。相關分類資訊，後續將在全文中補正。	依處理情形辦理
6. P3-9 與前後內容無法連結。	P3-9 有關離岸風電海域安全航道規劃之引述，原意欲補充說明本案台中港周遭海域的船舶航行動態及相關規劃，後續將再調整段落，使相關論述更清楚易懂。	依處理情形辦理
7. P3-13 之圖要表示什麼未作說明。	P3-13 頁，圖 3.10.2 與圖 3.10.3 為接續圖 3.10.1，旨在將所接收的 AIS 船舶位置資訊，分別自由內容海圖圖層。為使圖文結構清楚易讀，將再依委員意見進一步調整。	依處理情形辦理
8. P4-3 之圖建議底圖應以台中港港型為底。P4-2 圖 4-1 用 Q=30，	P4-3 之圖為引用其他單位之研究成果，本研究並無原始資料可供修改，不過將試著利用套圖層方式來	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
T=3hour 如何而來。	套入台中港港型。圖 4-1 僅是等候理論之概念闡述圖，Q 與 T 分別為該需求與容量水準下所造成等候長度與有延誤之時間長度，本團隊已增加該圖之說明，以利讀者理解。	
9. 船舶運行效應中有許多與目前港口操作之程序觀念不同，建議訪談台中港同仁，重新釐清，以免產生平均值過大之問題。	感謝委員建議，本團隊擬訂於八月下旬與港務公司訪談，以確認相關建議與資料可得性，並納入研究修正。	依處理情形辦理
10. 碼頭利用效率，應是碼頭使用率，即碼頭一年或一個月靠船之時間，其與港口來船數、貨量、裝卸效率、裝卸機具及有幾個碼頭有關。不同種類之碼頭有不同之使用率、建議可分開處理再整合，因有些不同使用類型可能是少數，但少數卻拉高平均值似乎不妥，應以全港區碼頭可使用時數去分析應可得到較合理之圖表。	感謝委員建議，已修正碼頭使用率計算方式，新公式可按碼頭類型計算使用率，亦可依據碼頭數量加權計算整體使用率，本團隊擬訂於八月下旬與港務公司訪談，再次確認相關結果，並納入研究修正。	依處理情形辦理
11. 本案是針對臺中-麥寮中之南北航道，或臺中港之航道。	本計畫目標為整合 AIS 與陣列雷達之應用與評估，未來若針對臺中-麥寮或臺中港航道，需增設陣列雷達以確保目標區域之覆蓋完整性。	同意
12. 未來船舶航行臺中-麥寮間之航道將束縮，單位長度之流量將大增，如何提昇安全航行是目前之重點，如何利用此一系統來作智慧管理是未來重要的課題。	感謝委員指證，本研究將依據研究結論研擬相關管理策略。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
13. 簡報船舶進出港時間軸建議再深入分析，取得實際之進出港等待時間。	感謝委員建議，本團隊擬訂於八月下旬與港務公司訪談，以確認相關建議與資料可得性，並納入研究修正。	依處理情形辦理
14. 離岸風電工作船目前已有一些實例，建議可參考及修正相關之數據。	感謝委員建議，本團隊擬訂於八月下旬與港務公司訪談，以確認相關建議與資料可得性，並納入研究修正。	依處理情形辦理
15. 進港中龍礦砂船要候潮，中油 LNG 船要視風速而進出港。	感謝委員建議，本團隊擬訂於八月下旬與港務公司訪談，以確認相關建議與資料可得性，並納入研究修正。	依處理情形辦理
(四) 海軍軍官學校 鍾育仁助理教授		
1. 本計畫預期完成基於 AIS 及高頻雷達之離岸風電所在海域即時船舶動態監視系統，此資訊非常有實用價值，可有效提供航運管理策略制定之參據。	謝謝委員指教。	同意
2. 計畫執行單位能結合既有的被動的 AIS 結合高頻雷達所辨識出目標資訊進行整合，已初步具備港口整合式海域監控系統(IMS)之雛形，相信對 MDA(Maritime Domain Awareness)概念的逐步實現將有極大助益，初步歸納以下幾點建議，以供參考：	謝謝委員指教。	同意
3. P2-11 頁 2.3.1 提到每天白天固定約有 6 小時因日照致電離層游離反射雷達本身訊號造成背景雜訊提高，	2.3.1 中提到受電離層、風機葉扇或其他電磁波干擾對於船舶訊號辨識有影響，至於影響機制的釐清與影響程度，要以多項實驗加以確認。目前處理方式先以多種數據分析方	同意

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
或是扇葉相對運動造成等之雜訊，對船舶訊號的識別有無影響，請簡單說明。	式撇除各項雜訊之影響，以確認高頻雷達辨識船舶之可行性。	
4. P2-3 表 2-1 提到本系統角度解析度為 5 度，對執行船舶偵測的 DOA 解算似乎較大，有無可能影響與 AIS 資料比對，還是有其他演算法對 beam-forming 演算法進行方位解算精度加強，請簡單說明。	目前此系統解析度為 5 度，較遠距離之偵測確實有進步的空間，未來亦可使用多重訊號分類演算法 (Multiple Signal Classification, MUSIC) 增加方位解算精度，謝謝委員指教。	同意
5. P2-21 頁 2.3.2.2 提到本案選擇依 Roarty et al.(2010) 所提 CFAR 概念為基礎發展演算法，其中比例因子 α 的決定重要參數為錯誤警報率 (Pfa)，請簡要說明如何決定誤警率。	錯誤警報率為常數，而錯誤警報率的決定依據過濾效果可調整以達到過濾最佳效果，根據 Dzvonskovskaya and Rohling(2006)，GOCA-CFAR 為此案過濾合適之方法。此部分於期末報告 2.4.1 補充說明，謝謝委員。	依處理情形辦理
6. 本案主要實現更完整的區域船舶動態監控作業，若能有效過濾出監控區內之非合作船舶 (non-cooperative vessel)，並進行追蹤識別，將極有價值。其中，P4-26 頁 4.2 提到船舶運行安全分析，提到透過 AIS 進行 CPA 或 TCPA 解算等文獻；未來規劃以何種方法將融合的主動的雷情資訊與被動的 AIS 資料納入航安風險評估，請簡單說明。	感謝委員建議，本研究將融合兩個資訊來源，以確認船舶位置與船舶相對距離，建立風險評估指標，以期降低事故風險，將於報告書中加以說明實際操作方式。	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
7. 本案除擬針對船舶運行安全進行分析外，亦針對如船舶運行效率、碼頭利用效率等進行分析，是以 AIS 資訊或是雷情資訊進行分析，請簡單說明。	本案船舶運行安全分析部分乃以 AIS 資訊或是雷情資訊進行分析，其他部分則採用台中港分公司與港務局相關資訊進行分析。	依處理情形辦理
8. 附錄 -12 頁上方“CD-CFAR”應為誤植，請修正為“CA-CFAR”。	已修正，謝謝委員指正。	同意
(五) 本所港研中心 蔡立宏科長		
1. 文中第一次提到之英文縮寫，請附全名及中文。	已修正，謝謝委員指正。	同意
2. 建議增加雷達觀測之相關理論及流程圖。	於期末報告補充說明雷達相關理論與流程圖，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
3. 附錄圖形請增加圖說明。	於期末報告補充附錄圖形說明，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
4. 船舶運行效率中，不同時間變化較大之月份其原因為何？如出港等候時間 107 下半年大於 108 上半年。	感謝委員建議，本團隊於報告書中加強說明與討論。	依處理情形辦理
5. 研究中所使用軟體，請再確認使用的合法性，是否免費使用。	分兩部分說明： 一、GIS 伺服器軟體部分： MapServer:為開放源代碼平台(open source platform)，提供將空間數據和交互式地圖繪製應用程序發佈到 Web； 二、圖資部分： (1) OpenStreetMap:根據其版權與授權條款說明，其為開放性資料(open data)，使用者可以自由地複製、散布、傳輸及修改我們的資料，前提是須標明作者為 OpenStreetMap 及其貢獻者。 (2) Harvard WorldMap:亦為開放源代碼繪圖平台(Open Source mapping)	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
	platform), 但其開發用途適用於學術研究範疇; (3) Esri' s World Ocean Basemap 則屬商業使用, 使用者使用圖資需在 Esri 主要契約授權下使用 (Master License Agreement), 其主要契約為購買其網站所列之相關製圖應用軟體, 其商品價格高昂須與其銷售人員接洽方可獲取。	
6. 雷達雜訊是否有時間差異。	雷達雜訊根據不同雜訊來源與成因存在時間上的差異, 如日照影響電離層游離化, 造成雷達訊號經電離層折射後所造成雜訊增加, 因而使不同時間下(日夜)雜訊影響程度不同。	同意
(六) 本所港研中心 李政達副研究員		
1. 本報告 P2-3 中表 2-1 徑向解析度為 5°, 建議配合修正為 8°。	由於 16 支天線元的陣列, 方位角的解析度約為 8°, 經計算調整方位解析度為 5°, 其調整不影響後續資料處理結果, 亦增加後續運算之便利性, 於未來會嘗試修正為 8°, 謝謝委員建議。	依處理情形辦理
2. 本報告 P4-25 各月出港等候時間分佈, 表中時間負值應表提前進入港區, 但文中並未討論與說明, 建議補充。	感謝委員建議, 本團隊已於報告書中加強說明與討論。	依處理情形辦理
3. 臺中雷達系統觀測範圍雖可達 120°, 但主要的觀測範圍仍在雷達核心場型中, 如遇船舶於徑向方向上或於場型之外將有一定機率造成船舶追蹤紀錄中斷, 請問執行單位是否有其他解決對策或建議可以供主辦機關參考。	雷達觀測範圍視需求有增加的空間, 未來亦可於臺中港南方增設第二雷達站, 可增加離岸風場區域雷達覆蓋、偵測之完整性及準確性。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
4. 從本雷達波流資料的分析結果看來，比對的相關性(R)與方均根誤差(RMSE)均與現場波流儀及新竹浮標有良好的相關性成效卓著，但船舶辨識追蹤方面未來是否有可能將雷達的軌跡資料與船舶自動識別系統(AIS)的軌跡資料進行分析，以利判讀了解。	於期末報告 2.4.2 節補充說明，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
5. 有關工作項目二，建置雷達資料格式情形在本報告中說明篇幅較少，格式是否僅為簡報 P14 頁中格式(年日時分)，能否進一步說明。	預期海洋雷達可偵測海面船舶所在的距離單元、方位角與移動徑向速度，因此預定建置之雷達偵測船舶資料包含時間資訊、船舶座標位置資訊與船舶移動速度資訊，即年、月、日、時、分、經度、緯度、距離單元、方位角、船舶移動速度的雷達方向徑向投影速度等十個欄位。另一方面，我們亦將由 AIS 資訊萃取與轉換出對應的十個資訊，並增加船舶的尺寸資訊或雷達反射截面積資訊(RCS)，如船舶長度、寬度等，以利後續船舶識別技術的研發。	依處理情形辦理
(七) 本所港研中心 許義宏副研究員		
1. 為瞭解海洋雷達在船舶辨識之適用性，建議與 AIS 訊號比對可辨識之船舶屬於哪些種類、船舶大小及狀態(如船艏向、速度)。	於 2.4.2 補充說明，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
2. 第 3.3 節除空間密度分析外，建議可進一步分析不同時間之船舶密度變化。	感謝委員建議。除了期中報告前以 TOROS AIS 今年在台中下龜殼海岸所接收的船舶動態資訊，並開發相關程式，分析船舶在台中港周遭的航路與船舶空間密度分佈外，目前已取得港研中心、航港局 2015 年至	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
	今三年多的船舶資訊，後續將進一步分析不同類型船舶的早、中、晚海域船舶密度分佈情形，以利瞭解台中港海域各類船舶之作業習性與動態差異。	
3. 圖 4.14 進港等候時間平均數較大，時間分布呈現出明顯正偏，其原因為何？是否可進一步分析，或者是離群值的影響。	感謝委員建議，本團隊於報告書中加強說明與討論，根據分析，主要為離群值(部分船隻等候過久)之影響。	依處理情形辦理
4. 從進港及出港各月份等候時間統計，約略可以發現進港船舶在冬季等候時間較長，而出港則是在夏季，是否可進一步探討原因。	感謝委員建議，本團隊於報告書中加強說明與討論。	依處理情形辦理
5. 為分析船舶進出港最大流量，建議可嘗試分析進出港嘴(窄口)附近之船舶平均速度，甚至蒐集引水船及拖船的數量，進行關聯性分析。	感謝委員建議，此為相當有意義之分析，惟受限於計畫時程與資料可得性，本團隊建議於將來其他後續研究中進行。	同意
(八) 交通部航港局		
無意見	敬悉。	同意
(九) 臺灣港務股份有限公司		
1. 臺中港船的等候時間統計，以船舶航行效率來看，應以到港時間(進入距離南防波堤燈塔半徑 5 哩)至通過外防波堤時間(不包含下錨船舶)，計算進入主航道進港船舶等待時間。另如果要延伸研究可就船舶進港到 5 哩，進入進港航行巷	感謝委員建議，本團隊已依據審查建議，嘗試執行基於「進港通過 5 哩時間」之相關指標計算，惟發現：(1)資料缺漏(僅少數月份、部分船隻)，暫無法進行運行效率分析；(2)另根據臺中港對港外錨泊區定義為南防波堤西南方 1 至 4 哩處，故推論「進港通過 5 哩時間」可能存在自願性等候問題，導致錯估實際延誤時間。擬訂於八月下旬與港務公司訪談，以確認相關建議與資料可	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
道，再航行至南防波堤，南防波堤至各泊靠碼頭與各段航程平均航行時間，還有至碼頭泊靠時間...等。	得性，並納入研究修正。	
2. 建議港研中心為利後續研究案推動，購置能載入 S63 ENC 之 ECDIS。	謝謝委員建議。	同意
3. 離岸風電彰化風場南北航道航安刻正由航港局委顧問公司進行規劃設計，未來將由該局主掌南北航道 VTS 執行。	謝謝委員指教。	同意
(十) 海洋委員會		
1. 海面上的目標偵測方式包含衛星遙測、岸基雷達、船舶雷達及目視等方式，其中以岸基雷達、與船舶上雷達為最常用的方式。本計畫利用高頻陣列雷達來監測船艦具有架設成本低廉優勢，但雜訊辨識若無法有其他雷達資料來進行比對，不易進行船舶辨識處理。	謝謝委員指導，會評估使用岸基微波雷達之比對可行性，以提升雷達辨識船舶之準確性。	同意
2. 現今商用船舶與遠洋作業用漁船多裝有 AIS 系統，雷達設備也多有兼容 AIS、ECDIS 等疊圖顯示模式，該設備雷達設備已具波浪、雨水的雜訊濾波，以利海上目標辨別、船舶航路規劃、航行避碰與緊急通聯	謝謝委員指導。	同意

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
之用；具備 ARPA 功能之雷達也能依使用者設定，在特定區域劃設警告區，當目標進入或離開警告區時即發行音響警報。		
3. 海巡的雷情系統對於海上目標的監測，已整合 ECDIS、海巡岸際雷達、巡防艦艇船位自動回報系統、漁業署漁船船位監控系統（VMS）、及船舶自動辨識系統（AIS），對於近岸海上目標已有完整且即時的監控，對於可疑目標回跡(不確定目標)還可藉由線上巡防艦艇與岸際人員協助辨識。	謝謝委員指導。	同意
4. 建議參考國外案例，針對未來離岸風電區可能發生之災難或突發事件研擬具體態樣及狀況想定，據以完成相關安全評估指標，供航政單位及風機業者訂定緊急應處標準作業程序參考。	感謝委員建議，此應為港公司相當關心之課題。惟受限於計畫時程與研究範圍，本團隊建議於將來其他後續研究中進行。	同意
5. 未來運研所 AIS 與海洋陣列雷達系統運用相關資訊及案內研究成果，可提供本會參考，俾利本會海巡署雷達訊號之船舶辨識，及針對異常態樣即時應處運用。	謝謝委員指導。	同意

附錄三、期末審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

☐期中☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：整合 AIS 與海洋陣列雷達系統之航安應用評估

執行單位：國立中央大學

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
(一)交通部中央氣象局 林燕璋副主任		
1. 本計畫利用陣列雷達除測波流外，發展偵測航船技術，擴充系統投資應用價值，對於可補充其他航安偵測系統之可能遺漏，有潛在發展價值。惟目前因盲區或解析度問題，尚有很大的進步空間，加強精進後，對於有效提升航安及航管效率有相當助益。	盲區可以透過建立第二個雷達站改善，空間解析度則為此高頻雷達之特性，於偵測船舶位置之精準度上有可進步之空間，感謝委員指教。	同意
2. 目前陣列雷達系統空間及時間解析度仍粗，尤其是時間解析度 30 分鐘對於移動船隻之掌握是否充足？又船隻進出港口區域恰位於本系統之盲區附近，影響偵測結果，如能調整或增設測點，可能對結果會有改善。	目前設定觀測時距為每 30 分鐘觀測一次，此觀測時距是可以因應需求而調整，由於此高頻雷達現階段因同時有波流觀測研究之所需，故設定為 30 分鐘，若為船隻偵測妥適性，則亦可調整為 1 分鐘。本研究有將每筆 30 分鐘之雷達觀測資料以每分鐘去做船舶分析，時間解析度是適用船舶偵測。盲區可以透過建立第二個雷達站增加觀測覆蓋區域以改善(增設測點)。	同意
3. 報告中有部分結論所提論述稍簡，例如 P2-13 背景雜訊之特徵原因，P2-15 比對測站均位於偵測盲區附近，P2-16 CODAR LERA 比較差異原因、P2-18	已於 2.3.1 增加論述與說明，謝謝委員指教。	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
新竹比臺中港浪小之推論，建議可加強說明。		
4. 建議增加測點，如能使電波訊號交錯可能有助提升辨識結果，改善目前與 AIS 比對結果，在納入航安管理系统時更具參考價值。	增加測點確實有助提升辨識結果，會與港研中心提出與討論此建議，感謝委員建議。	同意
(二) 國立成功大學水工試驗所 江文山副所長		
1. 計畫背景的風場資訊，請更新。	更新計畫背景之風場資訊，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
2. 系統的空間解析度 500m，時間 29.5 分鐘觀測一組數據，其對於行動中船隻辨識的能力與限制，請考量更完整敘述，以利瞭解。	本研究有將每筆 30 分鐘之雷達觀測資料以每分鐘去做船舶分析，時間解析度是適用船舶偵測，此部分之論述補充於期末修訂稿中，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
3. 第二章案例分析中所使用的參數，其代表性如何，請考量增加說明。建議以案例演示分析流程確認之後，應據以進行全面分析，並統計分析結果的可靠度與誤差。	於 2.4.2 增加說明辨識方法之可靠度與誤差，包括高頻雷達與 AIS 船舶位置距離誤差、不同觀測距離、船舶尺寸之觀測成功率，感謝委員指教。	依處理情形辦理
4. 建議於報告中舉例說明，船的反射強度與波的效應，造成訊號強度的比較。	於 2.4.2 節補充說明船舶訊號反射強度與波浪散射之訊號強度分析與比較結果，分析結果顯示，一般而言波浪訊號強度是低於船舶回波訊號，但在強波浪情形下，會有部分尤其較小尺寸船舶會受到波浪訊號干擾而難以辨識。感謝委員建議。	依處理情形辦理
5. 部分途中的圖例缺乏物理量說明，請補充。例如 P2-8~P2-10 的圖。	補充圖 2.4~2.6 之物理量與訊號相關說明，謝謝委員建議。	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
6. 目前偵測方法著重於點的辨識，考慮船隻運動狀態，若加入軌跡連續的考量，效果是否可以改善，可加入探討。	於 2.4.2 增加說明統計距離門軌跡辨識計算，加入軌跡連續的考量，其結果發現大部分軌跡辨識呈現品質受雜訊干擾程度影響大，結果仍有進步與改善的空間。	依處理情形辦理
7. 資料庫與展示介面部分的成果，在船隻避碰的應用，請補充說明。	本年度計畫旨在整合 AIS 與雷達船艦動態資訊，並建置可套疊海圖之動態展示介面，彌補單一海情資訊可能的缺漏。未來可以此為基礎，導入包含船隻距離檢查與危險操船行為的自動化檢測機制，標定具碰撞風險的船舶。將在期末報告中增加「成果之未來應用及開發」篇章補充說明。	同意
(三) 海軍軍官學校 鍾育仁助理教授		
1. 本案需要整合許多工作分項，工作量相當龐大，執行團隊也投入相當多努力，初步看來本案已有一定的成果。	謝謝委員。	同意
2. 本案由三大工作主軸貫穿整個計畫，各分項都很重要，然囿於計畫執行時限，需同時執行各分項，建議加強敘述各工作分項關聯性與整合，以利閱讀。	於第一章補充敘述計畫之三大工作之關聯性與整合，感謝委員建議。	依處理情形辦理
3. 建議本案可以補充架構圖或流程圖，會更明確且易於了解。	於第一章增加架構圖，補充說明計畫分工與工作流程，感謝委員建議。	依處理情形辦理
4. 本案第三章標題為「整合雷達船舶資料與 AIS 資料庫及展示介面」，內容僅見船舶密度的成果，未見與	根據本研究開發之雷達船艦偵測演算法，所分析之台中港北防波堤陣列雷達之資料長度為 108 年 8 月 30 日至 9 月 3 日共計 5 天。由於雷達僅偵測疑似船舶訊號，無法辨識船舶 MMSI 等船籍資訊，無法按照船	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
雷情資料之整合，建議加強敘述。	船舶密度分析方法進行統計，已於期末報告補充描述雷達偵測之船舶空間分佈。	
5. 本案整合三種船舶偵測演算法，並使用統計距離門進行軌跡辨識，如何定義觀測成功率是關鍵，請加強敘述。	高頻陣列雷達與 AIS 比對之觀測成功率定義為 AIS 紀錄資料中之船舶有被高頻雷達觀測到即表示為成功，反之若沒被高頻雷達觀測到則視為失敗，若高頻雷達有偵測到船舶訊號卻沒有被 AIS 所紀錄，則暫不列入此觀測成功率之統計中，於 2.4.2 補充描述，感謝委員指教。	依處理情形辦理
(四) 臺灣港務股份有限公司 鍾英鳳業務副總經理 (書面意見)		
1. P4-41 管理建議中建議尖峰定價之收費機制似乎與港口操作不同，一般港口進出主要定有優先靠泊及其有排船之機制，很難用定價方式處理。	感謝委員建議，本團隊已於報告書中加強說明與討論，說明重點為所謂尖峰定價策略，乃針對不同時段與不同船舶可能收取不同費率(類似現行日夜間收費有所差異)；另補充說明實施細節仍需配合實務操作可行性訂定相關規範。	依處理情形辦理
2. 結論與建議部分，建議用條列式方式表達。	感謝委員建議，修正與增加條列式方式表達。	依處理情形辦理
3. P4-36 靠泊碼頭時間中最大值不具意義，其非正常作業之船舶所致，建議不列最大值、最小值。	感謝委員建議，本團隊已於報告書中依建議刪除相關統計值。	依處理情形辦理
4. P4-14 描述 3 艘、4 艘與圖 4.12 中 6 艘、8 艘不同，請檢核。	感謝委員指正，本團隊已重新檢核並於報告書中進行修正。	依處理情形辦理
5. 本報告內容詳實，但對港航操船作業規畫與現有港口實際面有差異，離岸風電船舶進出港會訂有規範建立可參議。	感謝委員指正，本團隊為使規畫更加貼近實務層面，曾於研究期間與台中港務公司及其新創事業處進行訪談(訪談記錄如附件)，主要訪談內容即為了解現行作業方式、統計方法與相關數據取得。訪談獲益良多，而本報告規劃內容為依據現有可得資訊下(相關單位提供)所擬之相關建議。	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
(五) 本所港研中心 蘇青和科長		
1. 簡報補充較完整的部分，請納入正式報告。	將簡報內容納入正式報告，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
2. 請加強本研究三個主要研究成果之整合論述。	於第五章加強計畫之三大工作之成果整合論述，感謝委員建議。	依處理情形辦理
3. 建議將重要研究成果製作成影片或簡報檔。	將研究成果整理為簡報檔，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
(六) 本所港研中心 黃茂信研究員		
1. 無 AIS 設備之船舶，系統如何驗證判別。其與微波雷達比較部分應增加說明。	於 2.4.2 增加說明 AIS 與微波雷達之間的比較說明，藉由微波雷達說明 AIS 缺漏之船舶訊號，謝謝委員建議。	依處理情形辦理
2. 報告無中英摘要及第五章請增加後續應用效益，依本所報告格式修正。	依報告格式修正及補充中英文摘要及後續應用效益，感謝委員指正。	依處理情形辦理
3. P3-18 AIS 船舶密度使用資料是 2018 或 2019，提供單位不同，請確認。	港研中心 AIS 資料連結與匯出在計畫執行期間因資安問題影響資料使用，故本團隊使用航港局提供之 2018 年 1 月 AIS 資料進行分析，以了解台中港周遭海域之船舶密度特性。在克服資訊連結問題後，資料展示介面皆以港研中心之 AIS 資料庫進行展示。	依處理情形辦理
4. P3-2、P3-7、P3-9、P3-11 排版須修正。	依排版規定修正，謝謝委員。	依處理情形辦理
5. P2-8、P2-9、P2-10、P2-11 圖示說明須修正。	修正圖示之說明，謝謝委員。	依處理情形辦理
6. 各章節之連貫性需加強敘明。不一定需使用工作目標為章節。	於第一章加強計畫之三大工作之關聯性與整合，感謝委員建議。	依處理情形辦理
7. P4-4、P4-6、P4-8、P4-10、P4-12、P4-14、P4-16 等修正標題格式。	依排版規定修正，謝謝委員。	依處理情形辦理
(七) 本所港研中心 李政達副研究員		
1. P3-16 圖 3.11「網頁介面功能可顯示貨不顯	感謝委員指正，已於期末報告中修正。	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
示圖層」，貨為錯別字，請予改正。		
2. P3-18 其中貨輪 5,528 艘(30%)、油輪 1,481 艘(81%)…，為什麼油輪數量較少，百分比較高。	謝謝委員指正，經查為數值 8.1%誤植為 81%，已於期末報告修正。	依處理情形辦理
3. 採用尖峰定價策略來提升船舶運行效率是否會有反效果，進港的船舶已經需付費予港公司，再收取額外費用，如同剝了二層皮，是否會造成反效果？	感謝委員建議，本團隊已於報告書中加強說明與討論，說明重點為所謂尖峰定價策略，乃針對不同時段與不同船舶可能收取不同費率(類似現行日夜間收費有所差異)，故無重複收取、額外費用之問題；另補充說明實施細節仍需配合實務操作可行性訂定相關規範。	依處理情形辦理
4. P4-16 何謂增加平均之值，文章中並沒有明確說明，建議文章中有所說明。	感謝委員指正，本團隊已重新檢核並於報告書中進行修正。	依處理情形辦理
5. 本報告格式尚缺中英文摘要、結論與建議應分開撰寫，另外請增列一節「成果效益及後續應用情形」。	依報告格式修正及補充中英文摘要及後續應用效益，感謝委員指正。	依處理情形辦理
6. 報告第 4 章(P4-27)資料篩選與運算方法，如能搭配簡報中的示意圖將使內容更易理解運算方法。	感謝委員建議，本團隊於報告書中新增示意圖及其相關說明。	依處理情形辦理
7. 結論中可補充說明現有船舶辨識的尺寸可達多少精度的尺寸，以呈現研究亮點。	於 2.4.2 增加船舶相關資訊之辨識成果說明，並於結論增加描述，感謝委員建議。	依處理情形辦理
(八) 海洋委員會 (書面意見)		
1. AIS 可透過 VHF 進行船舶動態訊息的傳遞，達到接收站數十公里範圍內監控海域之船舶種類識別、航	感謝委員建議，於 2.4.2 增加船舶相關資訊之辨識成果說明，了解船舶資訊與船舶偵測成果之相關性，高頻雷達比較 AIS 之不同船舶尺寸觀測成功率之統計結果呈現約為	依處理情形辦理

參與審查人員 及其所提之意見	執行單位說明	本所計畫執行單位 審查意見
行動態等訊息，目前計畫成果展現海洋陣列雷達可以輔助用作船艦偵測，是否能進一步說明其偵測性能，如船隻大小、船舶種類、船隻材質、與雷達的距離等之效果？	50~60%，且高頻雷達觀測並無明顯受到船舶尺寸而影響成功率，船舶向和船舶行進方向面向或背向雷達，其觀測成功率相較於平行海岸線方向較高，觀測距離 4~30 公里之觀測成功率呈現平穩的趨勢，成功率約為 60%，成功率尚佳。	
2. 風機葉片旋轉似乎導致對海洋雷達似乎產生干擾，計畫中是否說明其機制及濾除的可能性，避免後續波浪、海流和船舶訊號的誤判？	雷達訊號 2-4 公里推估風機為雜訊來源，後續過濾法門檻之選擇、辨識成效的好壞也會以此雜訊做為參考與評估依據之一。本計畫濾除雜訊成果尚佳，在許多細節仍還有再精進的空間，於 2.4.2 說明辨識成果，感謝委員建議。	依處理情形辦理
3. 我國海域 AIS 船舶動態資訊接收系統，曾經由港研中心投入建置，目前據聞改由航港局為主要運作單位，資訊整合情形如何？交通部以外單位應用情形如何？	有關 AIS 的發展以及資料共享情形，計畫團隊涉入不深，建議由港研中心或航港局回覆較為妥適正確，還請委員諒察。	同意
4. 海洋陣列雷達對於同時掌握二維平面波浪及海流的特性，具有其特殊性 (Unique)，若在德祥台北號事故的案例中希望監測，動員到建置大約需要多久可以提供波浪場和流場資訊？	此高頻雷達建置需經過國家通訊傳播委員會申請頻段及架站許可，再依序進行設備、架設等相關工程，建置時間相當長，不適用於事故後之臨時動員，較適合於長期監測與事故防範。	同意

附錄四

期末簡報

「整合AIS與海洋陣列雷達系統 之航安應用評估」

期末審查簡報

採購案編號：MOTC-IOT-108-H2DB004

委託單位：交通部運輸研究所

計畫主持人：錢樺、賴堅戊、蕭傑諭

背景一、需求

• 106年-離岸風能建置與航安技術發展

- 蒐集與分析國外對於離岸風電與海上航安相關資訊
- 針對臺灣離岸風電區與海上航安管理的安全機制、航路安全規劃，建置一船舶交通流量分析與監測應用系統。

• 107年-離岸風電區之船舶監控及急難救助

- 規劃整合AIS系統及電子海圖資訊
- 資訊匯整於臺灣海域船舶動態資訊系統，進行船舶航行的動態監測，當系統偵測到船舶誤駛入離岸風電禁航區時，能即時做出預警通知。

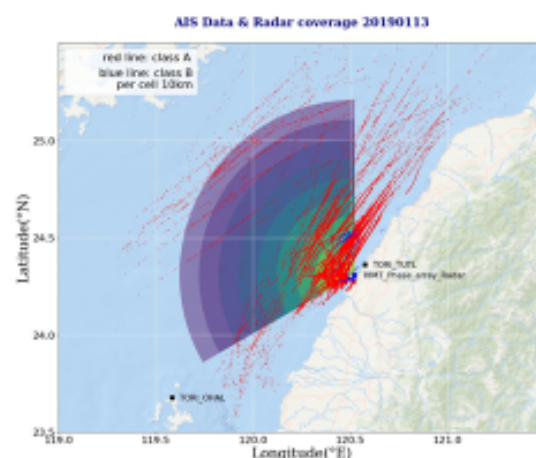


背景二、新建置完成的超視距高頻雷達



計畫目的

- 以離岸風電基地臺中港做為系統研發之目標研究區，結合船舶自動識別系統、電子海圖與陣列雷達觀測系統，強化船舶航行的多重監測。



三大工作目標

1. 研發高頻陣列雷達訊號辨識船舶的演算法

- 於本中心海洋陣列雷達系統架設完成後，針對海洋陣列雷達系統之回傳訊號，研發船舶辨識之資料格式模組與既有之AIS訊號格式進行比對，並撰寫軟體演算法進行系統資料格式轉換，完成資料庫建置規劃。

2. 整合雷達船舶資料與AIS資料庫及展示介面

- 建置臺中港區與離岸風電海域AIS、海洋陣列雷達顯示介面；
- 依據上述所建置AIS與海洋陣列雷達資料庫進行AIS與海洋陣列雷達設計顯示介面系統。

3. 港航操船作業規劃

- 結合大數據分析技術，蒐集包含離岸風電作業等各船舶進出港作業時間做為大數據分析資料源，提出最佳化的船舶進出港航線、進出時程與碼頭使用率的規劃。

三大工作連結



分項一、 研發高頻陣列雷達訊號辨識船舶演算法

- 臺中港陣列雷達現況與雷達觀測產品
- 雜訊特徵研究
- 船舶辨識方法與測試成果

臺中港雷達真實原始數據

Frequency = 27.75 Mhz

NANT = 8

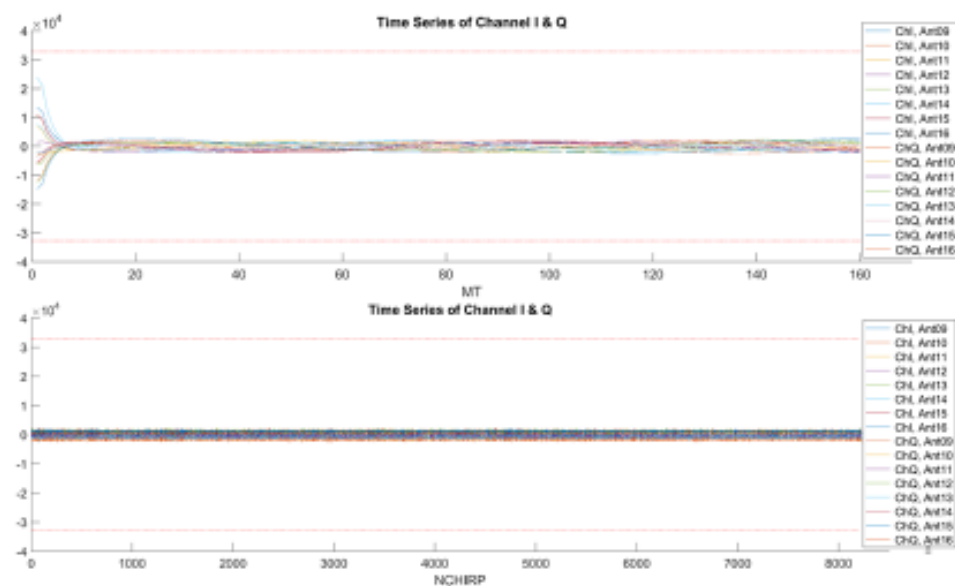
NCHIRP = 8192

Chirp length = 0.216766 sec → MT = 1280

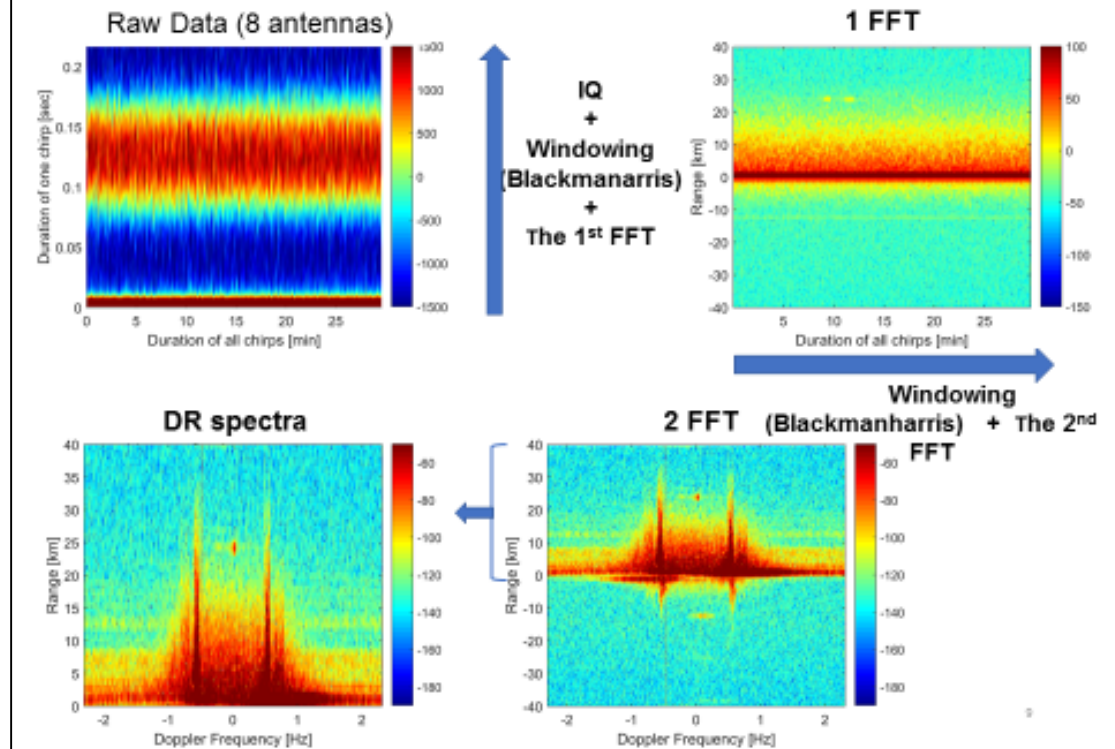
Bearing = 296 deg

Year, Day in Year, Hour, Minutes, Radar_site

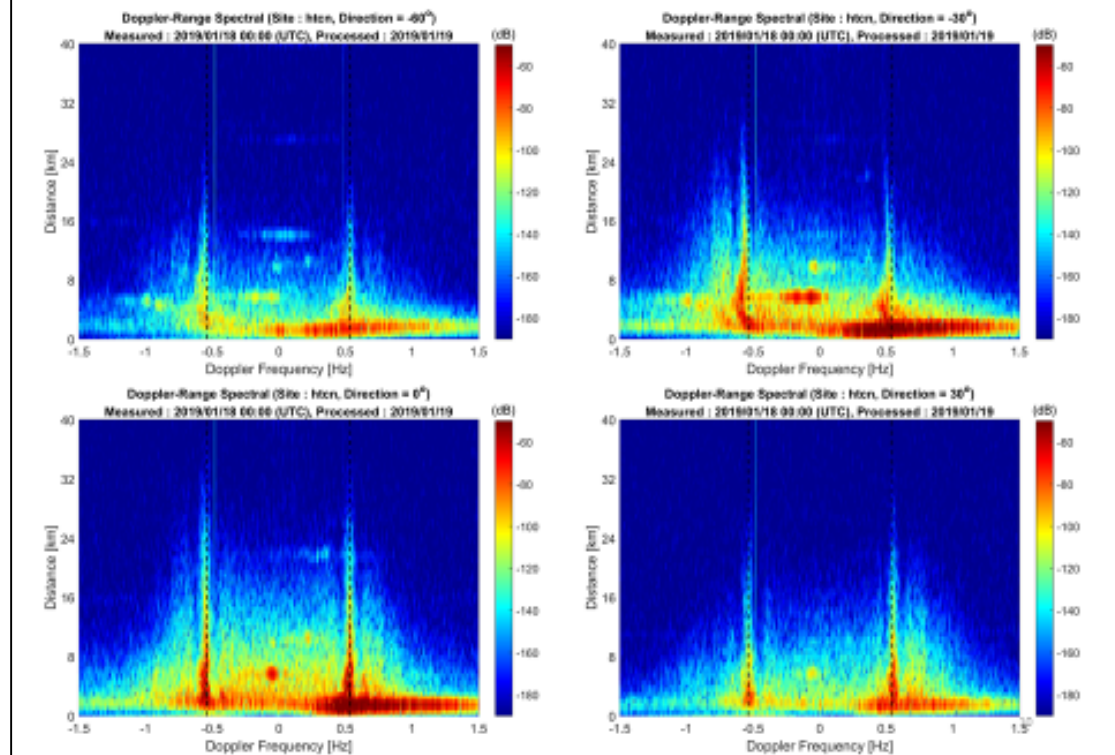
filein = '20190180000_htcn.mat';



都卜勒距離譜



波束集成獲得各方位角的都卜勒距離譜



雷達方程式-從海洋背景中找出船舶訊號

+ The mean ship-echo-power received (P_r) is given by (Fernandez et al., 2001; Shearman, 1983) :

$$P_r = (P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma L_p L_s) / (4 \pi^3 r^4)$$

P_t : average transmit power (W), σ : ship radar cross section (m^2)

G_t : transmit antenna gain,

$L_p(r)$: propagation loss due to surface wave propagation,

G_r : receive antenna gain,

$$L_p(r) \approx 1.234 \times 10^{-4} r - 7.397 \times 10^{-12} r^2 + 2.620 \times 10^{-17} r^3$$

λ : wavelength (m),

L_s : all system losses (cables, connectors)

r : range (m).

+ The estimated background noise P_n : $P_n \approx F_a k T_o B$

$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/degK}$, $T_o = 290 \text{ K}$,

$B = 1/\text{CIT}$ (CIT is the coherent integration time),

F_a is a factor that relates the thermal noise (kTB) to the atmospheric noise level actually observed

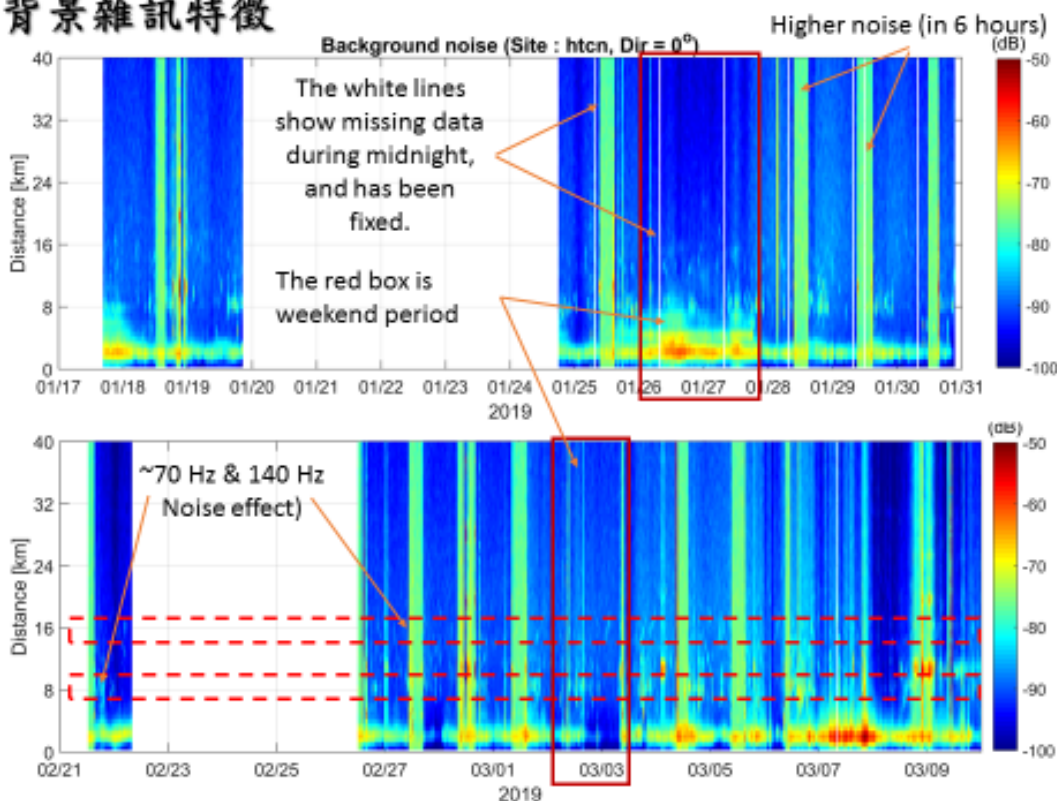
$$F_a \approx 75 - 27.5 \times \text{Log}_{10}(f \text{ in MHz}) \quad (\text{Barrick's report})$$

+ The signal to noise ratio (SNR) :

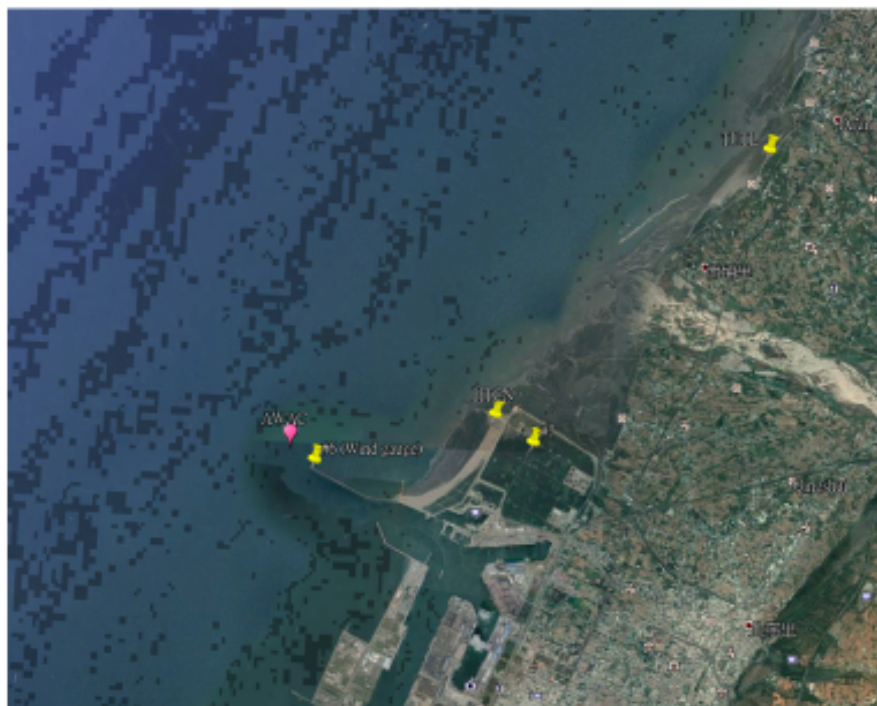
$$\text{SNR (in dB)} = 10 \text{ Log}_{10} (P_r/P_n).$$

This is for the figure of merit for radar performance. It drives the estimation of other performance metrics, such as probability of detection P_d and false alarm rate FAR.

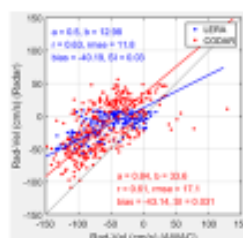
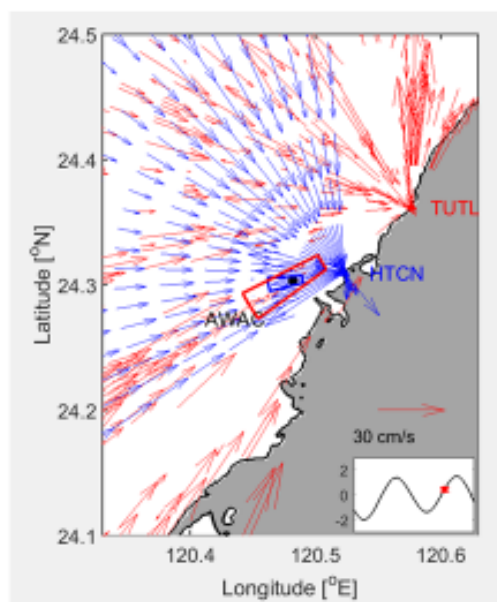
背景雜訊特徵



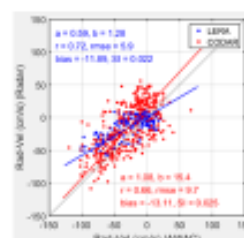
臺中港之觀測儀器位置



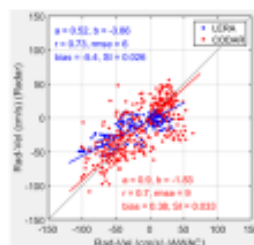
AWAC與高頻雷達之 流速觀測比較



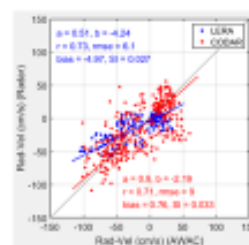
Top layer of sea
surface (0 ~ -2 m
depth)



-2 ~ -4m depth
from water
surface

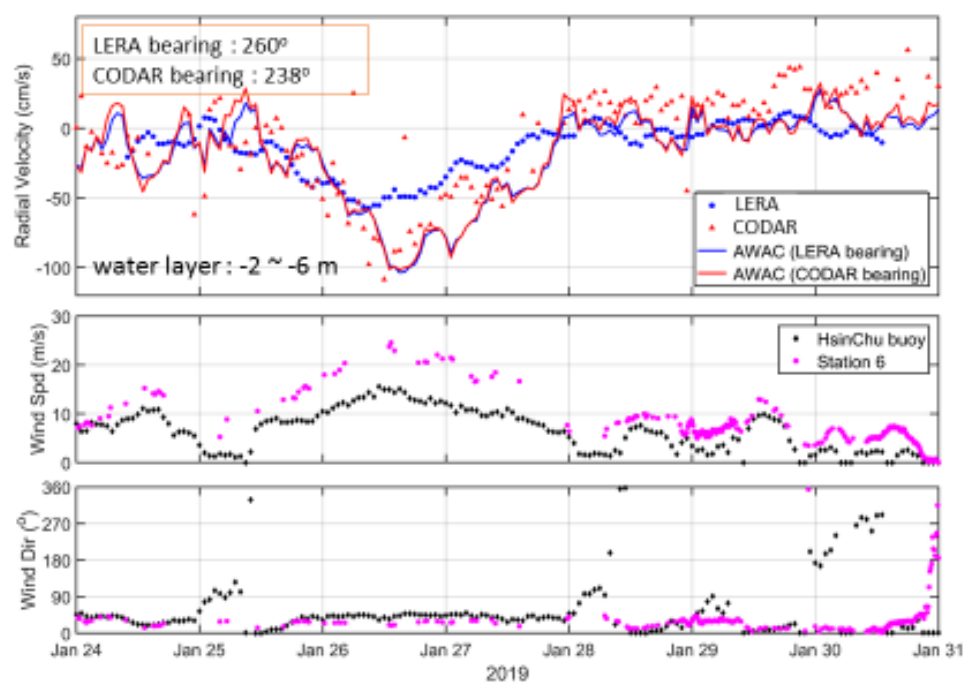


-4 ~ -6m depth
from water
surface

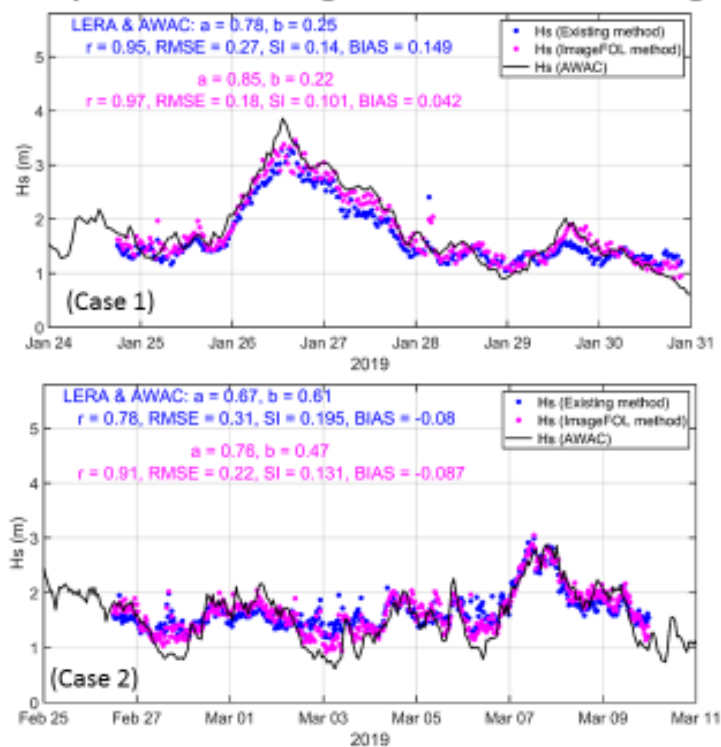


-6 ~ -8m depth
from water
surface

AWAC與高頻雷達之流速觀測比較(2)

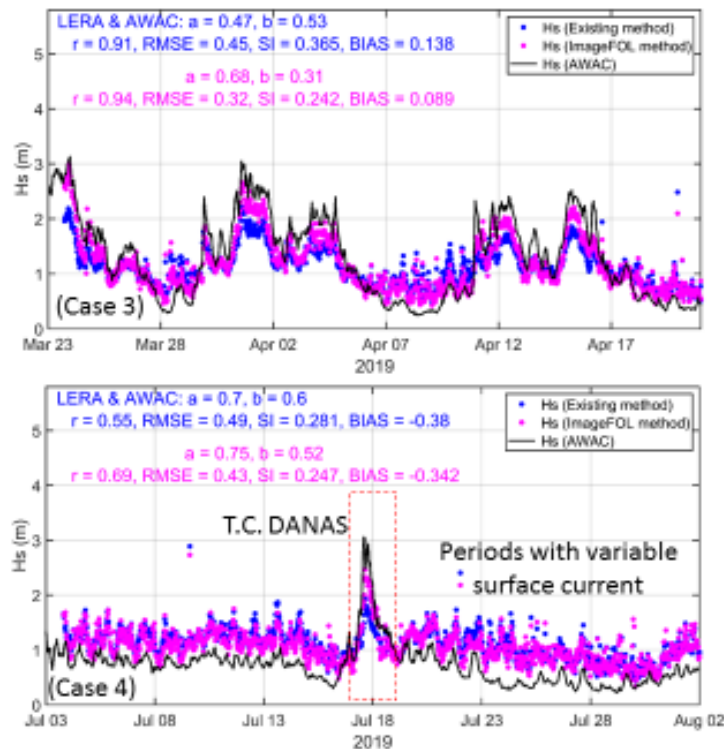


Comparison of Significant Wave height Estimation



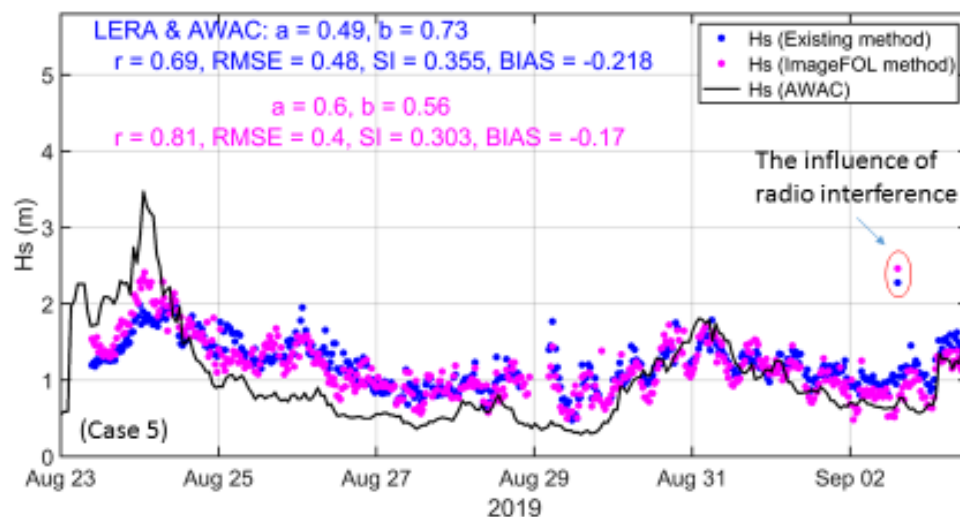
+ Under winter monsoon condition and simple current, error indexes of H_s from new method are slightly lower than those of H_s from the existing method.

Comparison of Significant Wave height Estimation

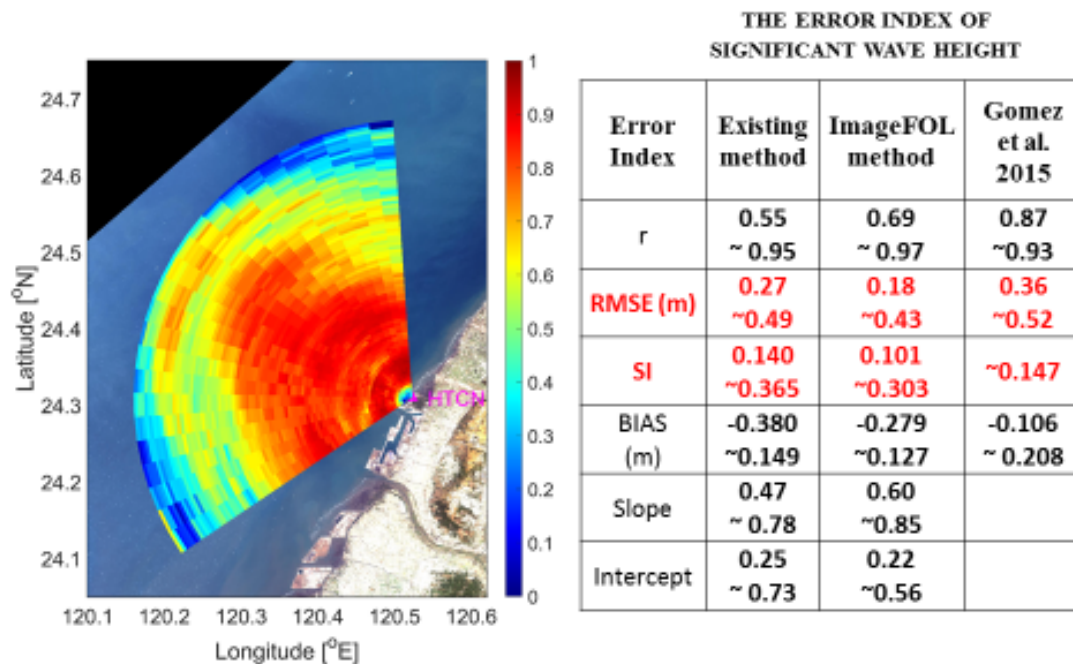


+ Under the condition of highly variable surface current, uncertainty of H_s from new method are better than those of H_s from the existing method, in term of error indexes.

Comparison of Significant Wave height Estimation



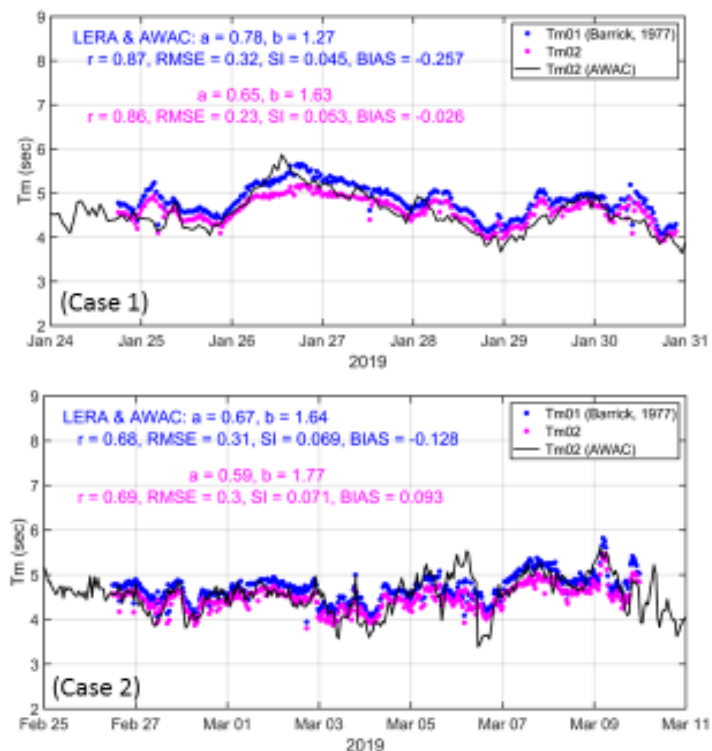
The Error Indexes of Hs



Comparison of Mean Period

+ The estimated results of period is well agreement with those of in-situ data recorded by an AWAC.

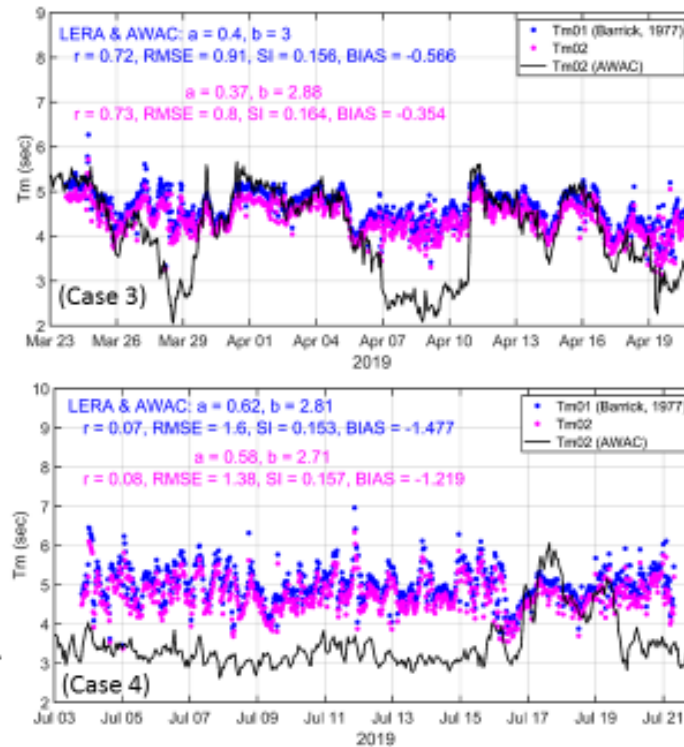
+ There is a slightly shift value between estimated Tm01 and Tm02. Based on the comparison result, the error indexes of Tm02 is reduced.



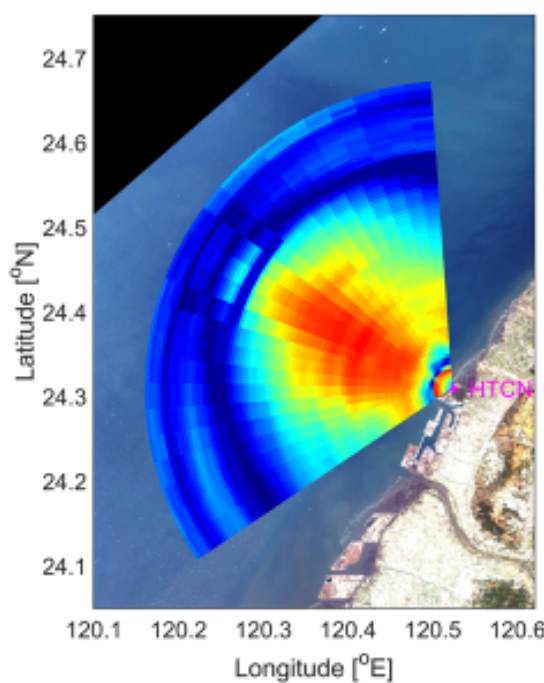
Comparison of Mean Period

+ The mean period, which is lower than 3.5 secs, was not estimated from HF radar sea-echo.

+ The estimation results of mean period is sensitive with the range of Ocean wave frequencies. It also indicated that the range of ocean frequencies should be carefully selected before processing data.



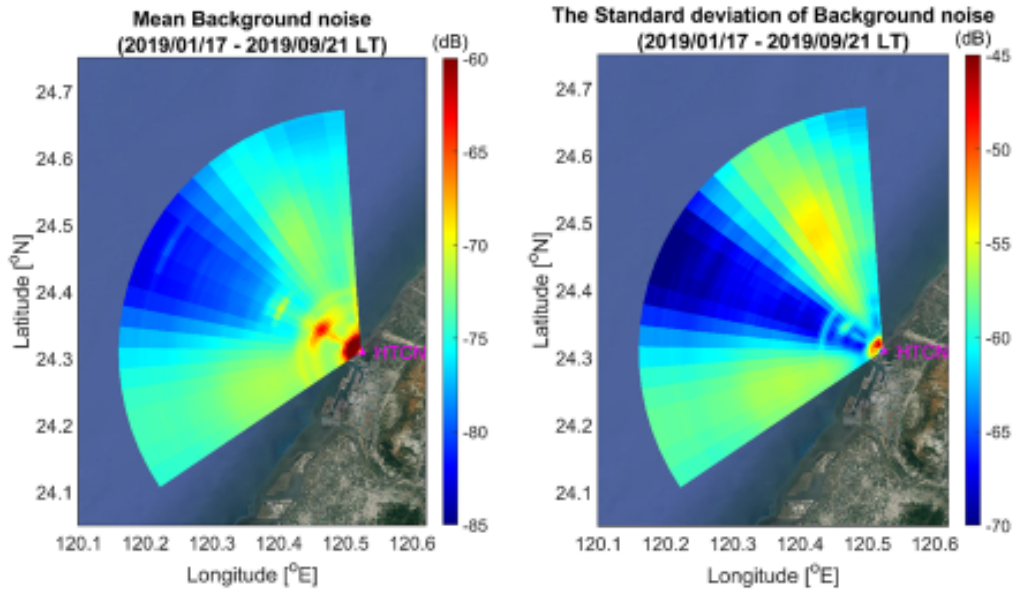
The Error Indexes of Tm



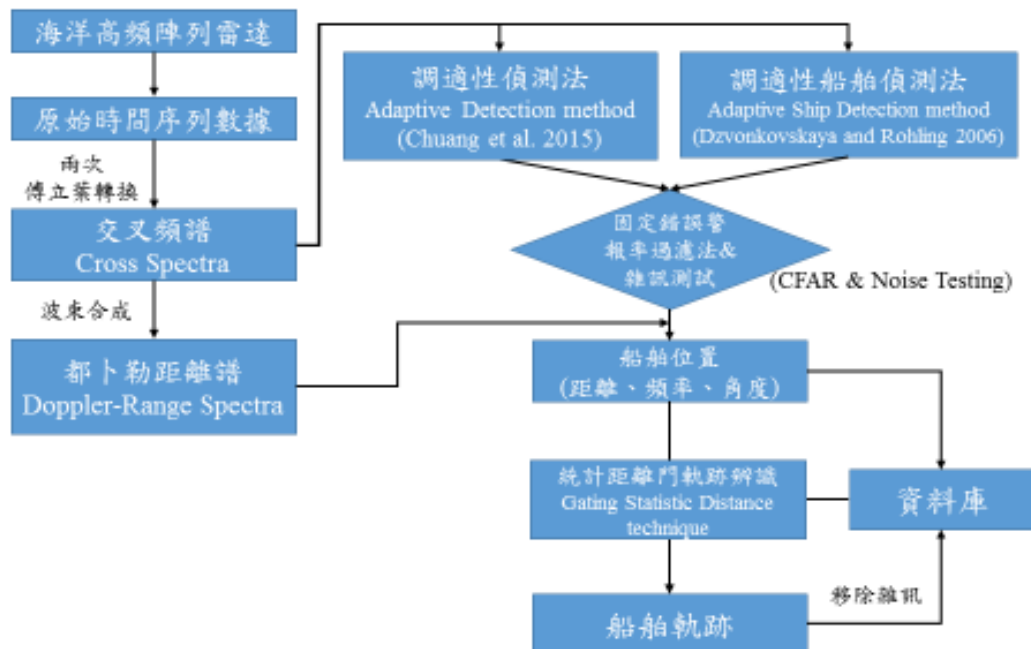
THE ERROR INDEX OF
MEAN PERIOD

Error Index	Tm01 (Barrick, 1977)	Tm02
r	0.68 ~ 0.87	0.69 ~ 0.86
RMSE (s)	0.31 ~0.91	0.23 ~ 0.80
SI	0.045 ~0.156	0.053 ~0.164
BIAS (s)	-0.556 ~-0.128	-0.354 ~-0.093
Slope	0.4~0.78	0.37~0.65
Intercept	1.27~3.0	1.63~2.88

高頻雷達背景雜訊之平均與標準偏差



船舶辨識演算流程



調適性偵測法 Adaptive Detection method

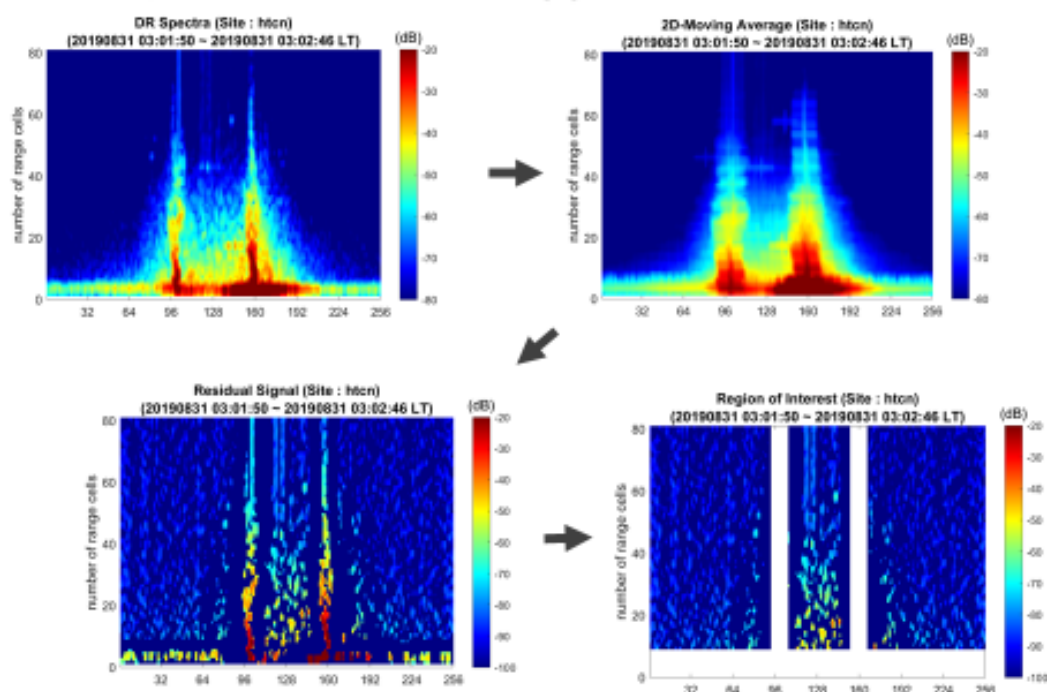
參考Chuang et al.(2015)，將多幅交叉頻譜使用二維移動平均(2D moving average)，再將頻譜扣除二維移動平均之頻譜，求得殘餘訊號(Residual signal)，二維移動平均公式如下所示：

$$y(i, j) = \frac{1}{m \times n} \sum_{k=-(m-1)/2}^{(m-1)/2} \sum_{l=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} x(i+k, j+l)$$

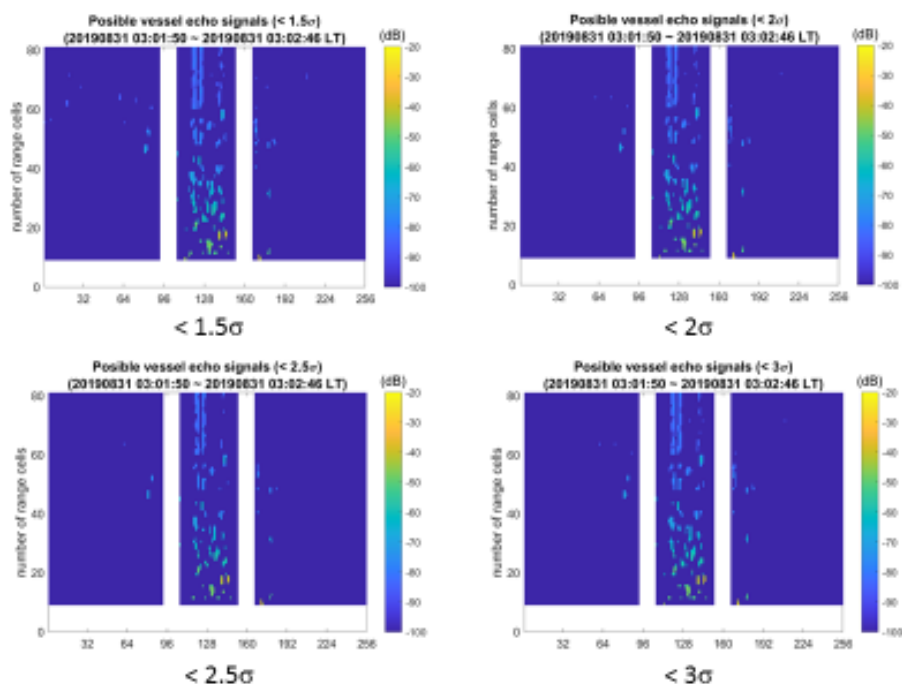
i : 都卜勒頻偏
 j : 距離單元
 $x(i+k, j+l)$: 原始交叉頻譜強度值
 $m \times n$: 計算之二維移動窗(2D moving window)範圍。

求得殘餘訊號後，使用不同倍數的標準偏差值加上平均值做為門檻加以過濾，分別以1.5、2、2.5、3倍標準偏差做為調適門檻(Adaptive threshold)嘗試過濾雜訊影響。

調適性偵測法測試結果(1)



調適性偵測法測試結果(2)



調適性船舶偵測法 Adaptive Ship Detection method

參考Kendall et al.(1967)與Dzvonkovskaya et al.(2006、2007、2010)，此方法適用於船舶偵測環境位於由一階海面背向散射主導之強雜訊環境。

調適門檻公式如下：

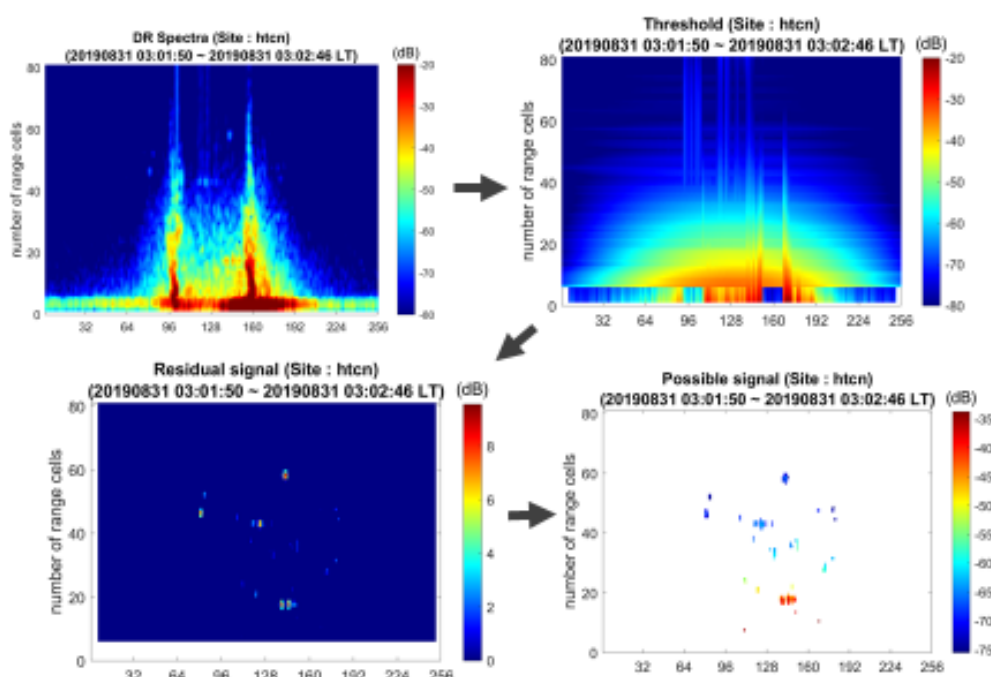
$$T = \max\{T_{\alpha,R}, T_{\alpha,D}\}$$

$T_{\alpha,R}$ ：距離域中曲線回歸(Curvilinear regression)之信賴上界值(Upper confidence bound value)100(1- α)%

$T_{\alpha,D}$ ：為頻率域曲線回歸之信賴上界值100(1- α)%

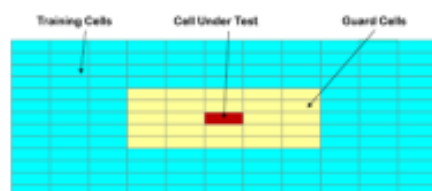
此研究分析中所使用之 α 為0.05，使信賴上界值為95%，此為普遍認定之可信度(Confident level)，確保以此標準所取得之結果良好。

調適性船舶偵測法測試結果



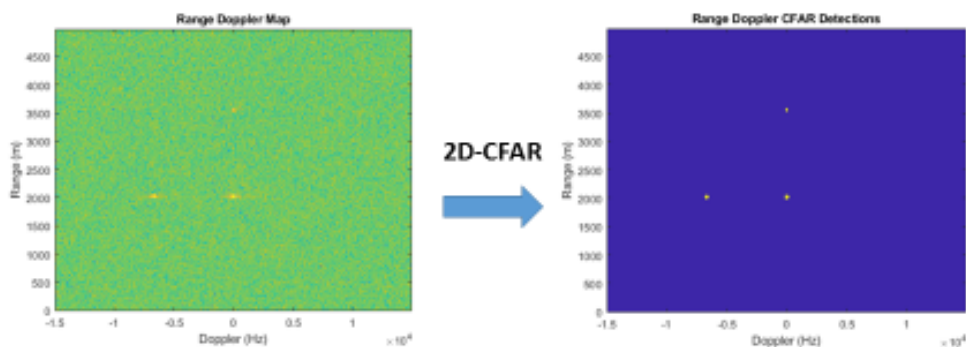
固定錯誤警報率過濾法 Constant False-Alarm-Rate, CFAR

The goal of CFAR algorithms is to set thresholds high enough to limit false alarms to a tolerable rate, but low enough to allow target detection (James J. Jen, 2011).



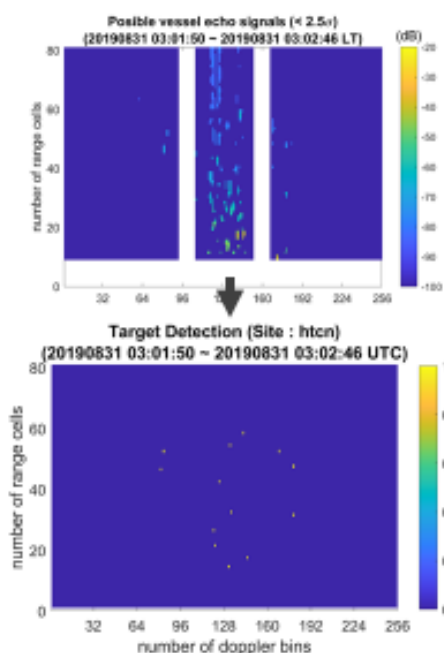
the guard band size is [2 2] ;
the training band size is [4 3].

<https://www.mathworks.com/help/phased/examples/constant-false-alarm-rate-cfar-detection.html>

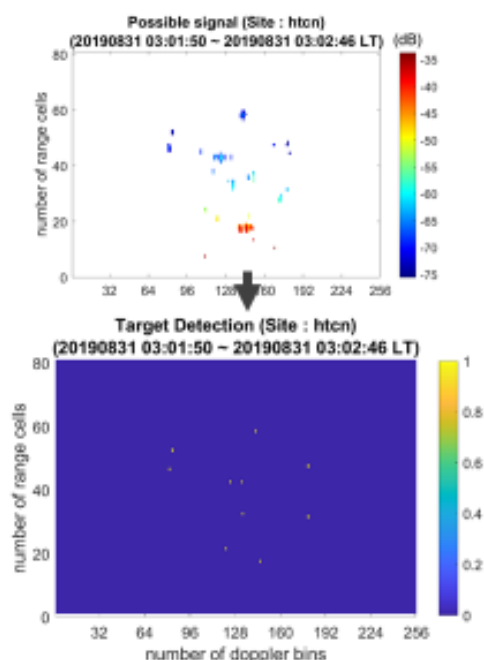


固定錯誤警報率過濾法測試結果

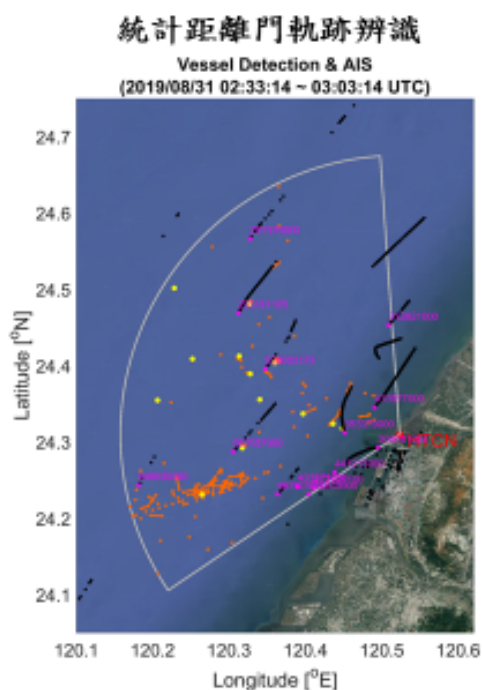
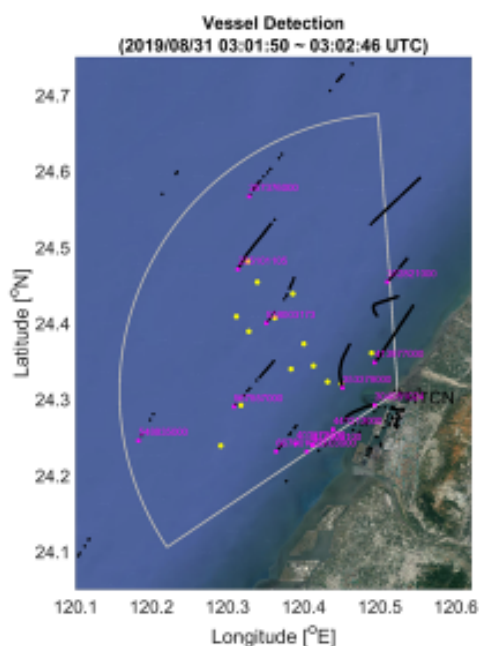
調適性偵測法



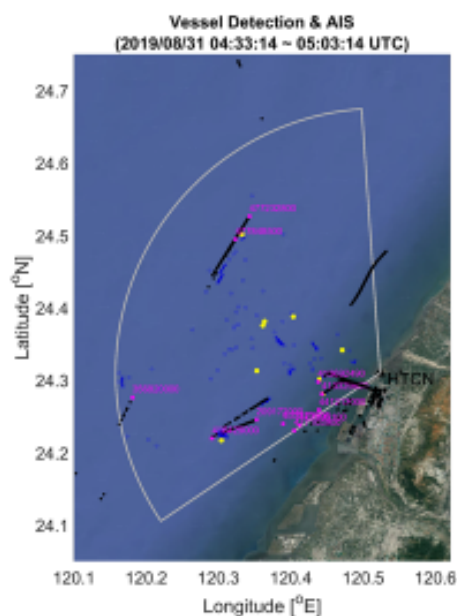
調適性船舶偵測法



船舶偵測法與AIS比對結果



統計距離門軌跡辨識與AIS比對結果



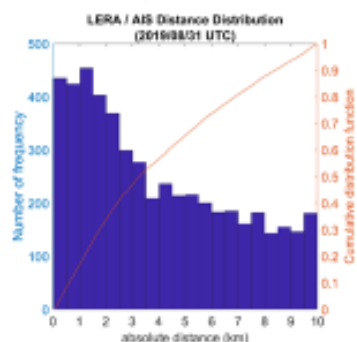
現階段影響辨識品質因素：

1. 雜訊干擾

- 近岸海面雜訊強
- 遠距離回波訊號較弱
- 觀測範圍兩側強干擾

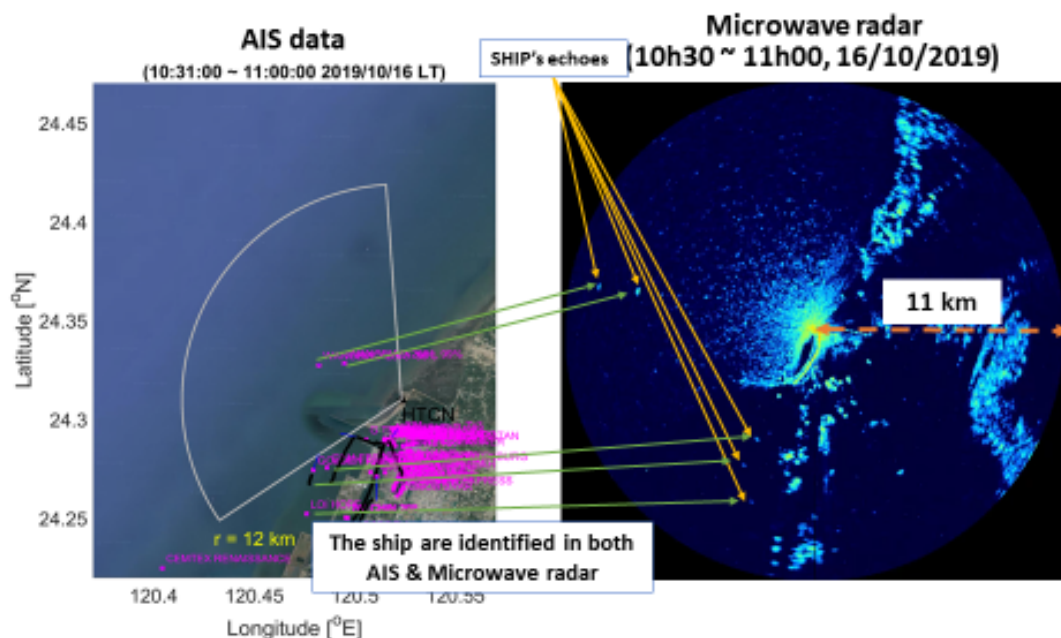
2. 資料缺漏

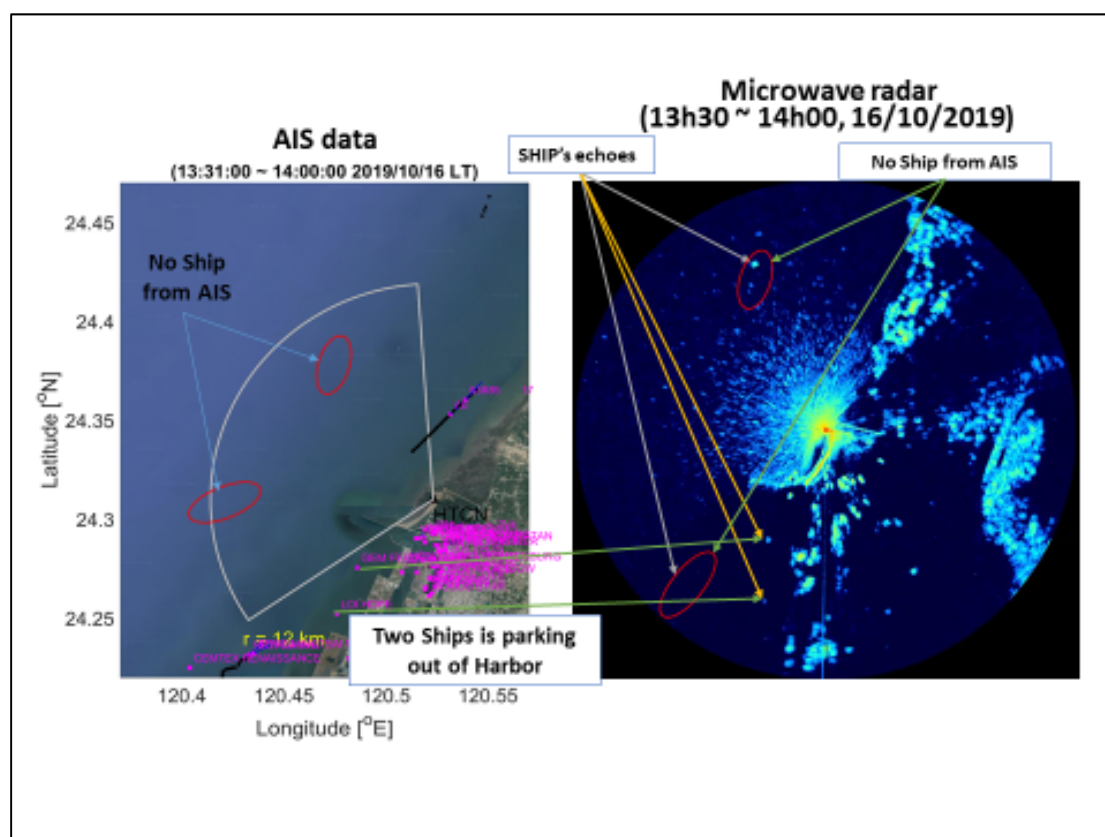
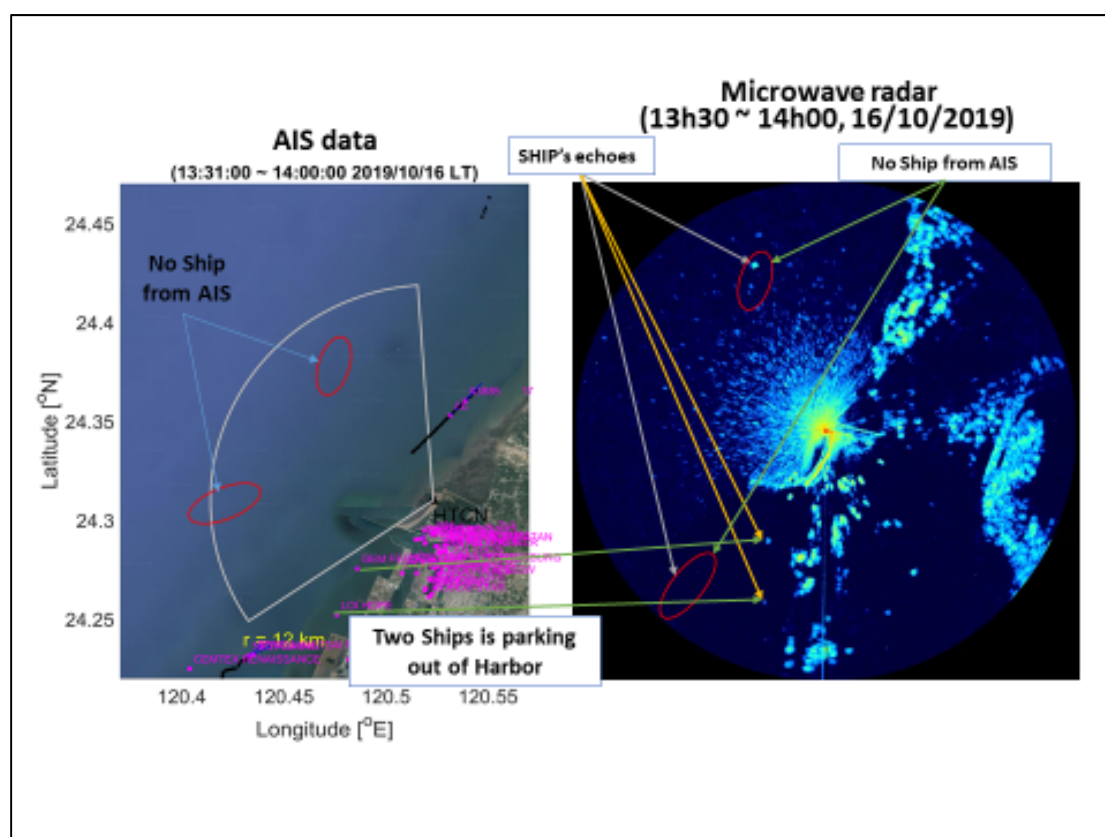
- 雷達電力、網路穩定性
- AIS回報缺漏

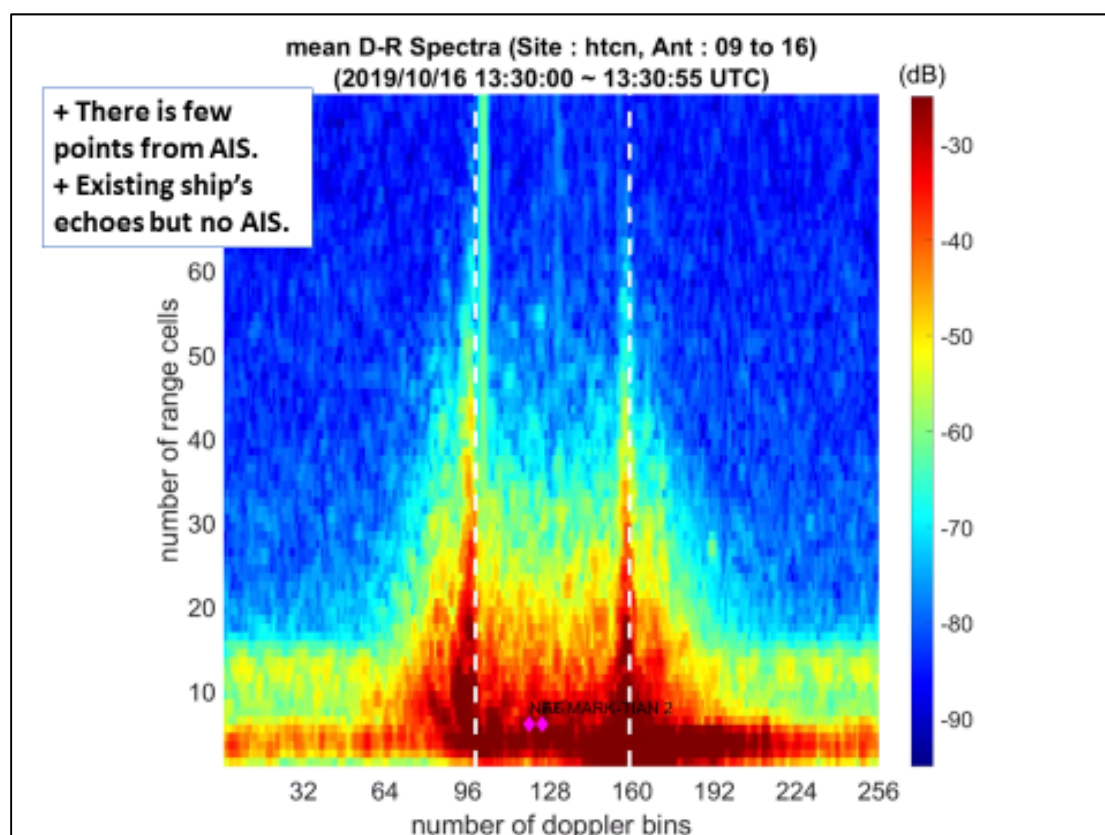
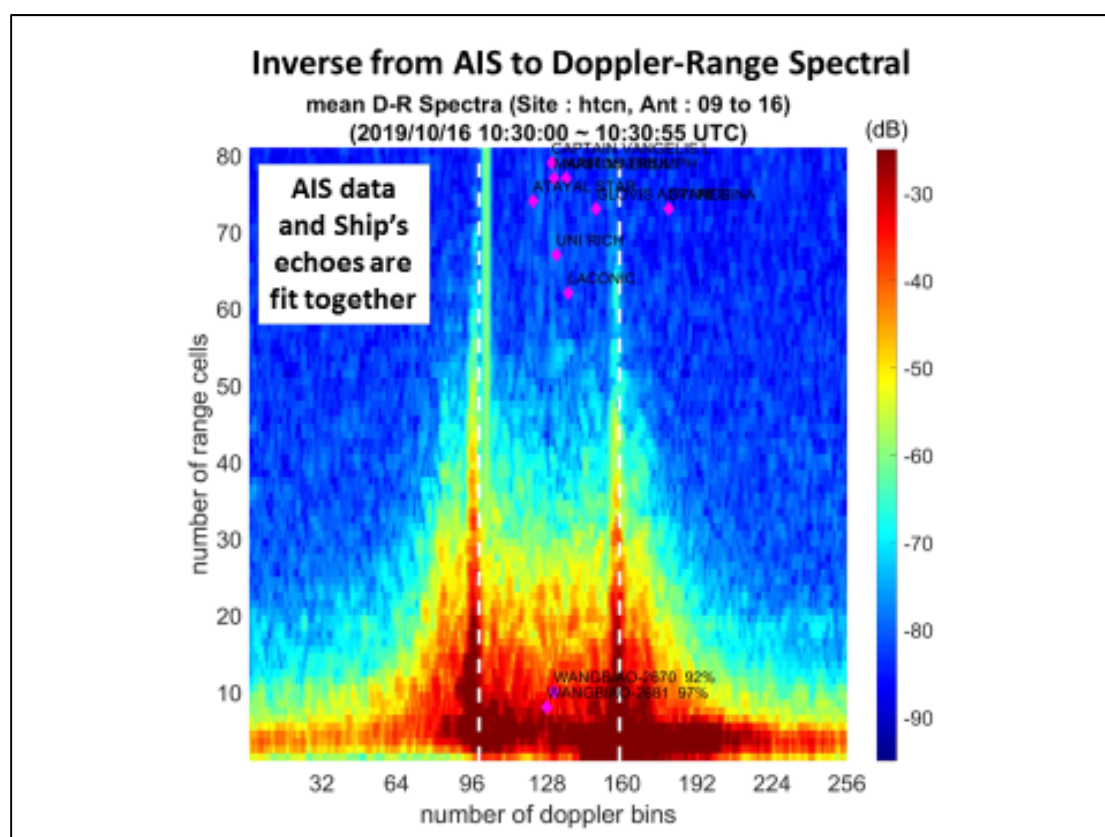


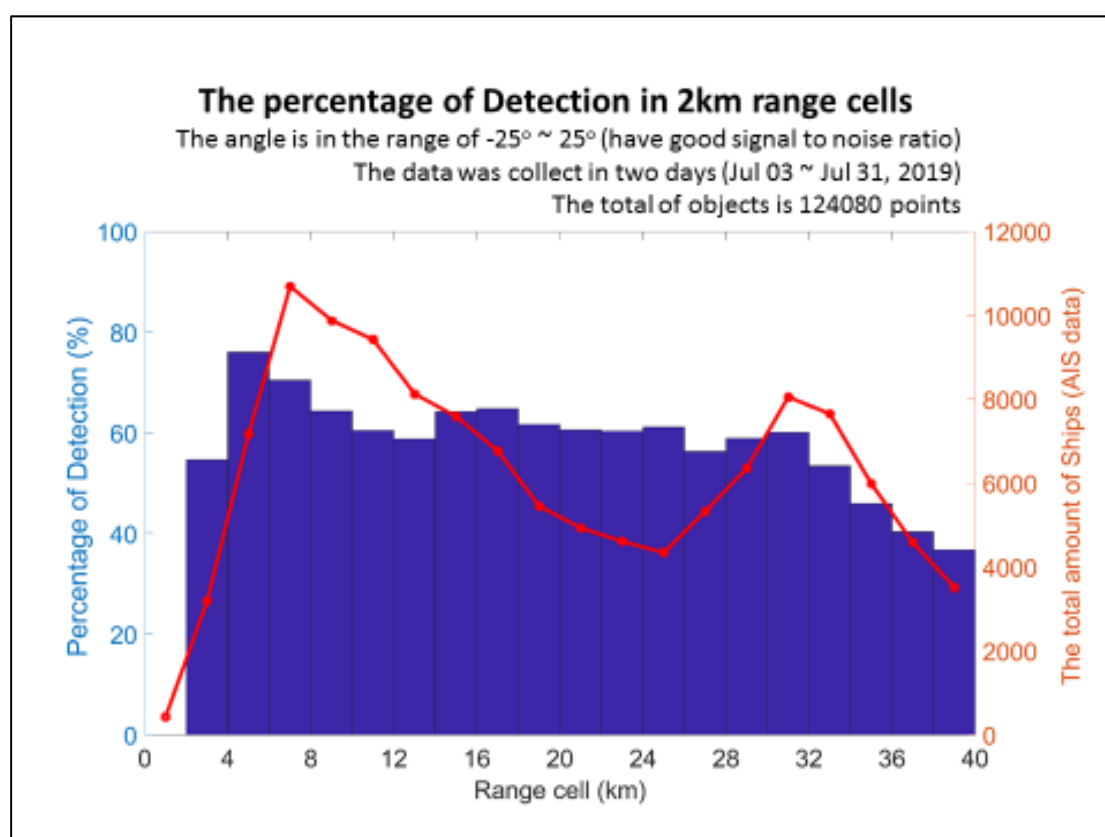
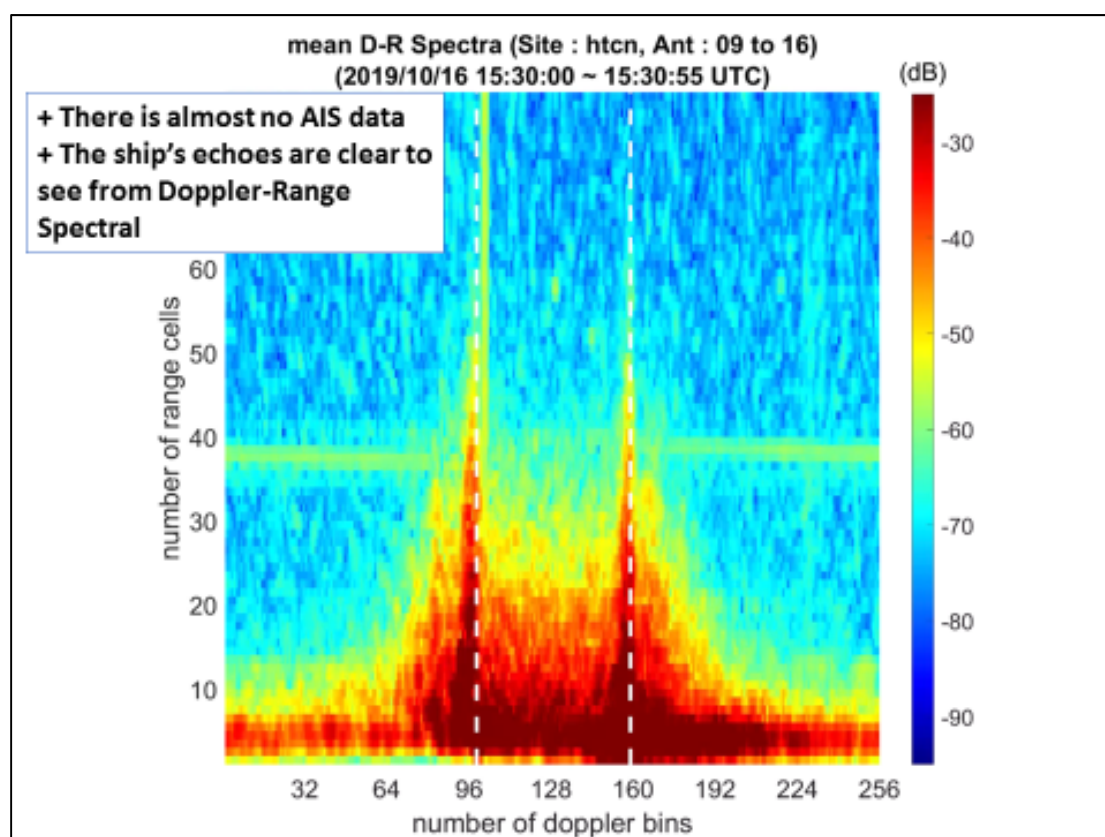
船舶偵測法與AIS距離比對

AIS與微波雷達比較







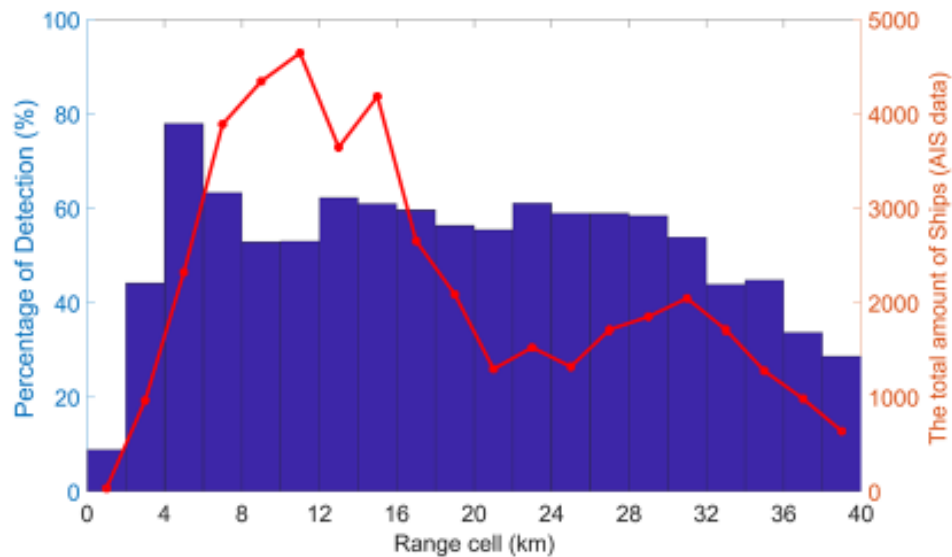


The percentage of Detection in 2km range cells

The angle is in the range of $-25^{\circ} \sim 25^{\circ}$ (have good signal to noise ratio)

The data was collect in two days (Aug 23 ~ Aug 31, 2019)

The total of objects is 9019 points

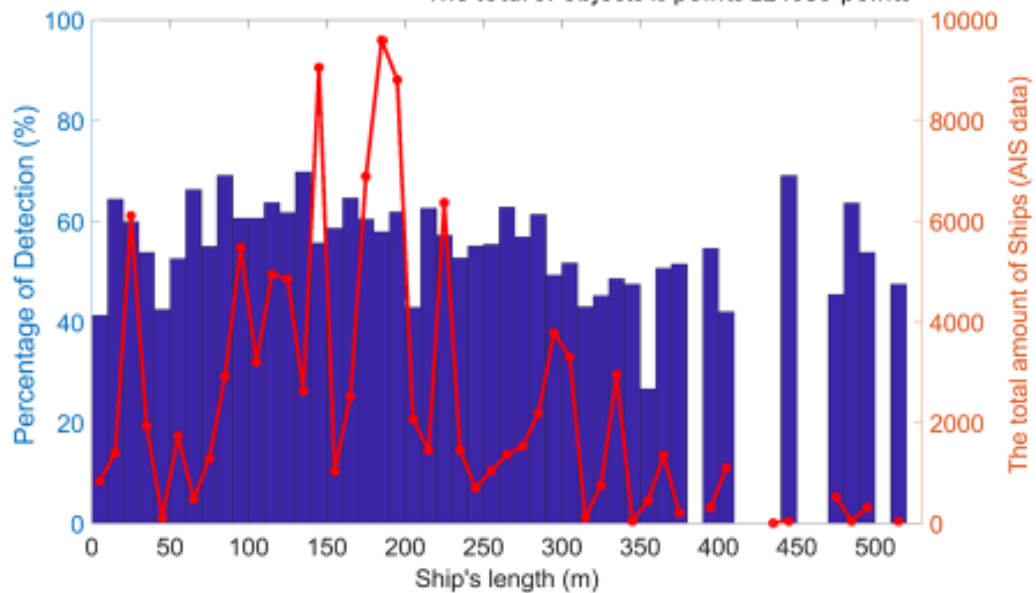


The percentage of Detection in term of Ship's length

The angle is in the range of $-25^{\circ} \sim 25^{\circ}$ (have good signal to noise ratio)

The data was collect in two days (Aug 30 ~ Aug 31, 2019)

The total of objects is points 124080 points

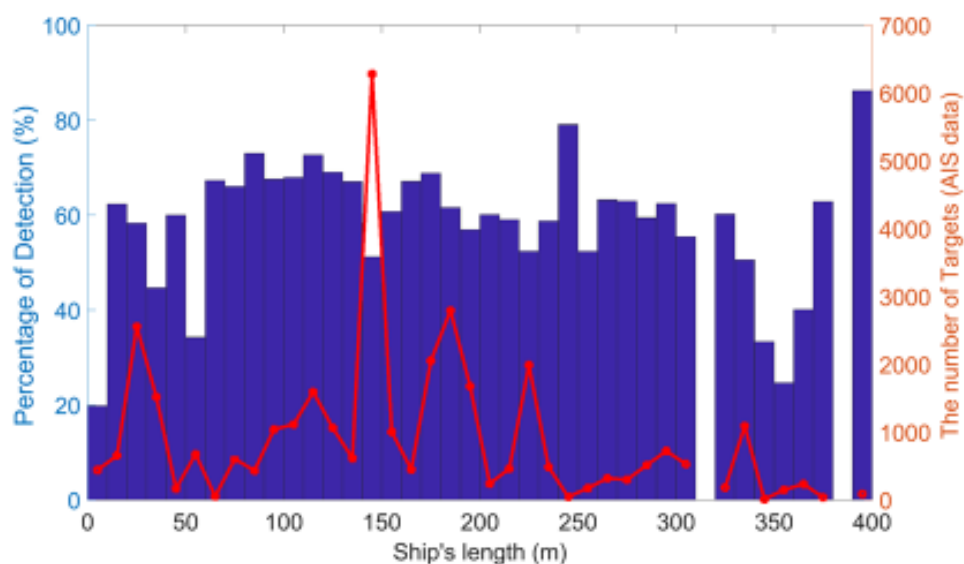


The percentage of Detection in term of Ship's length

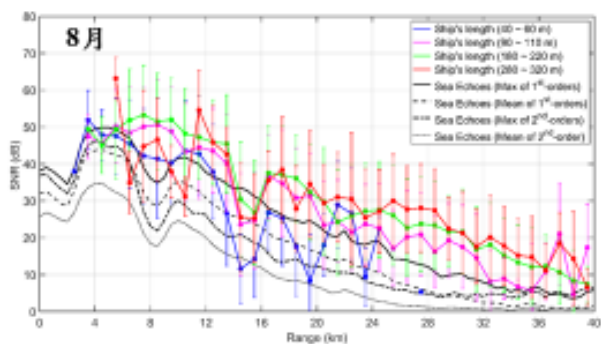
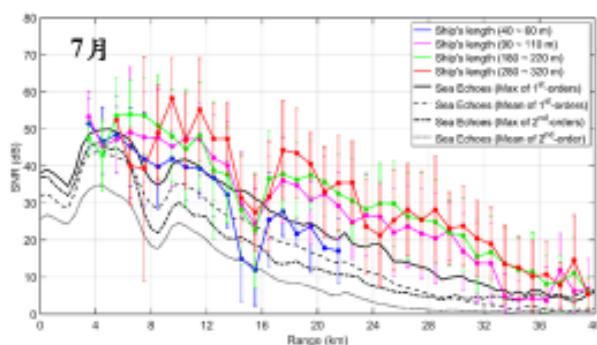
The angle is in the range of $-25^{\circ} \sim 25^{\circ}$ (have good signal to noise ratio)

The data was collect in two days (Aug 23 ~ Aug 31, 2019)

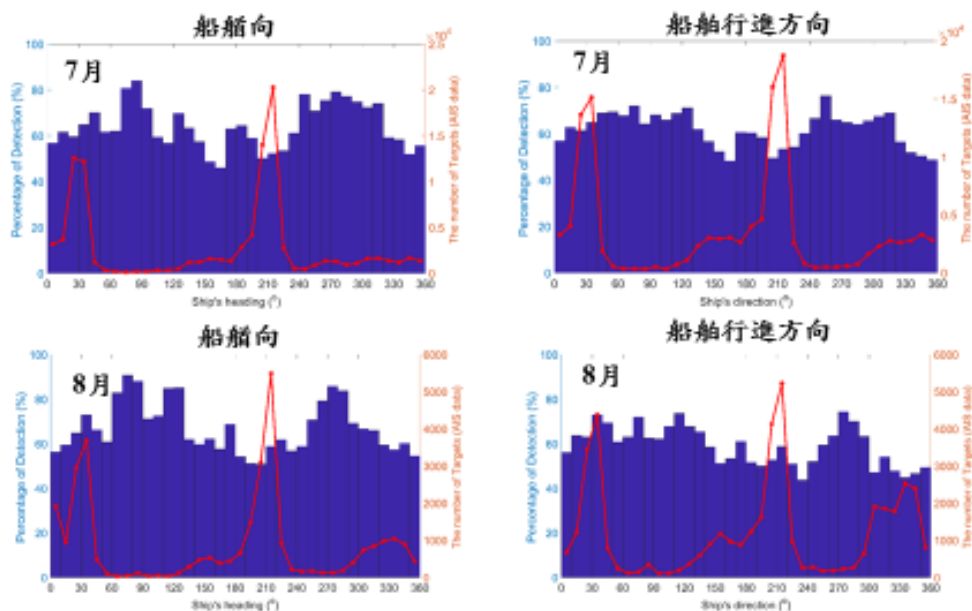
The total of objects is 9019 points



高頻陣列雷達於不同船舶尺寸 與一、二階海面回波訊號強度比較



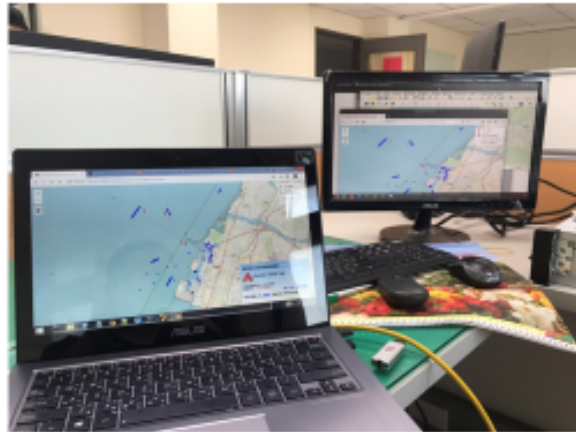
頻陣列雷達於 船舶向與行進方向之觀測成功率



分項二、 整合雷達船舶資料與AIS資料庫及展示介面

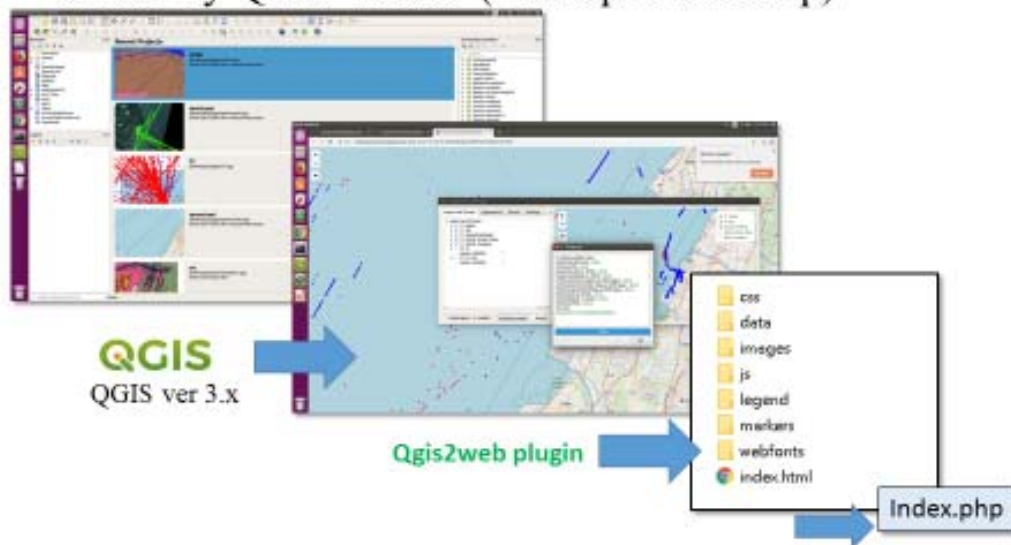
資料展示介面

- Web template
- Basemap
- Data & schedule update

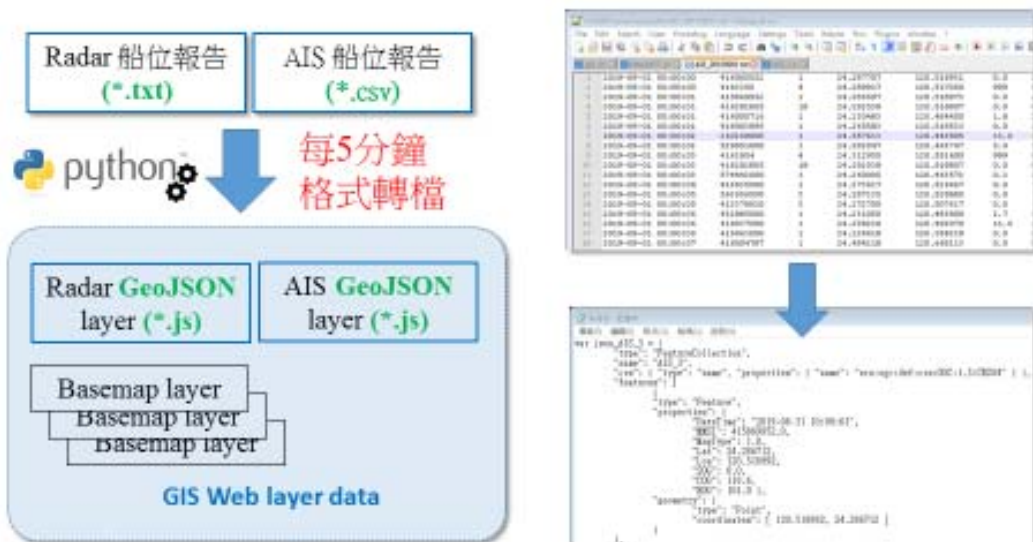


Web template

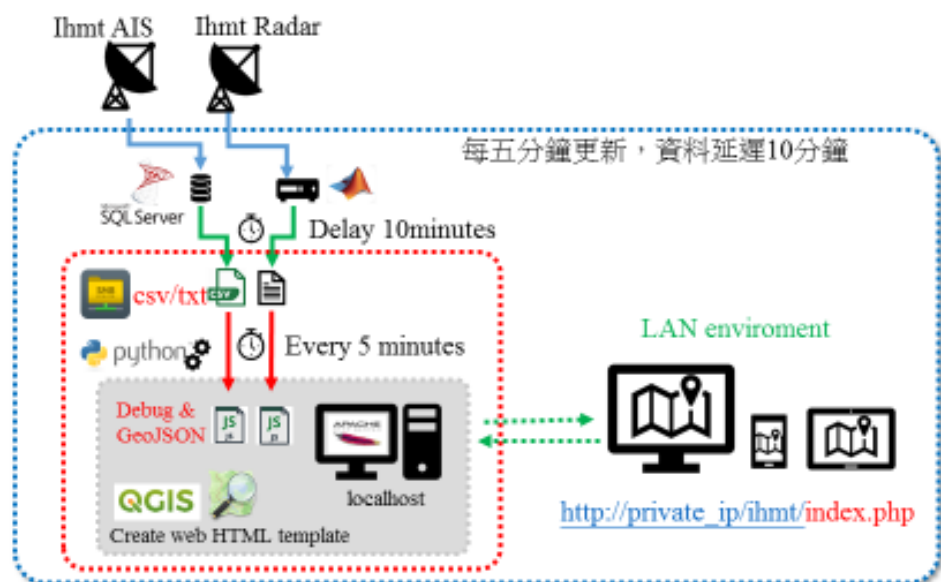
- Create by QGIS ver3.x (with open basemap)



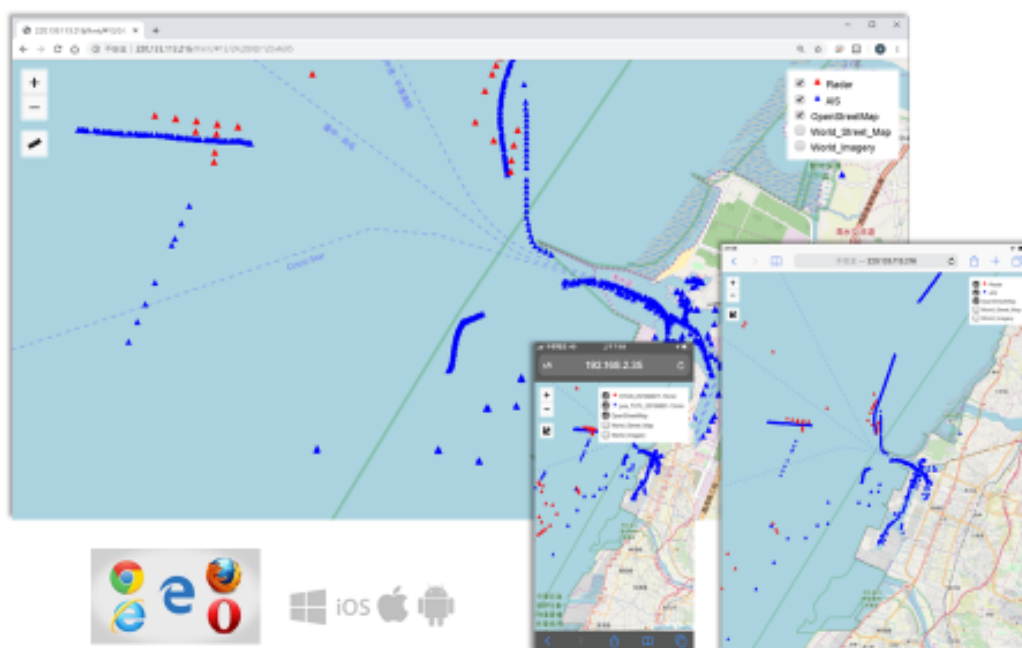
Data format 轉換



網路及運行架構



跨平臺支援



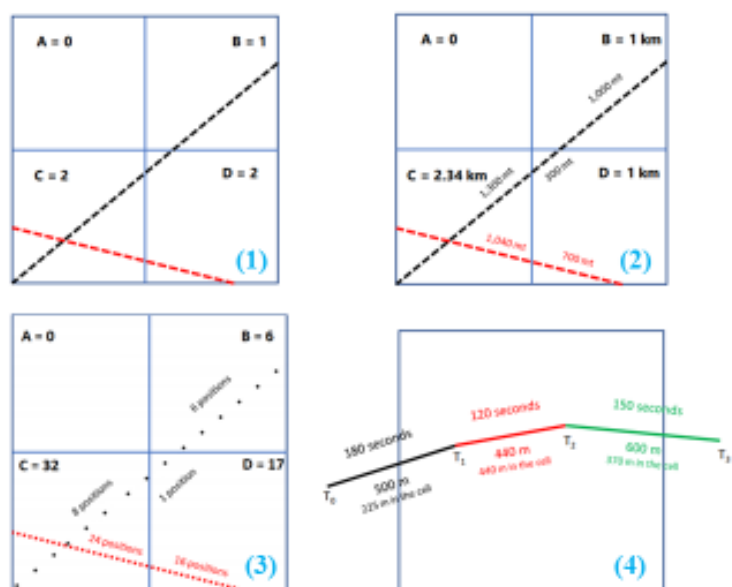
Open basemap



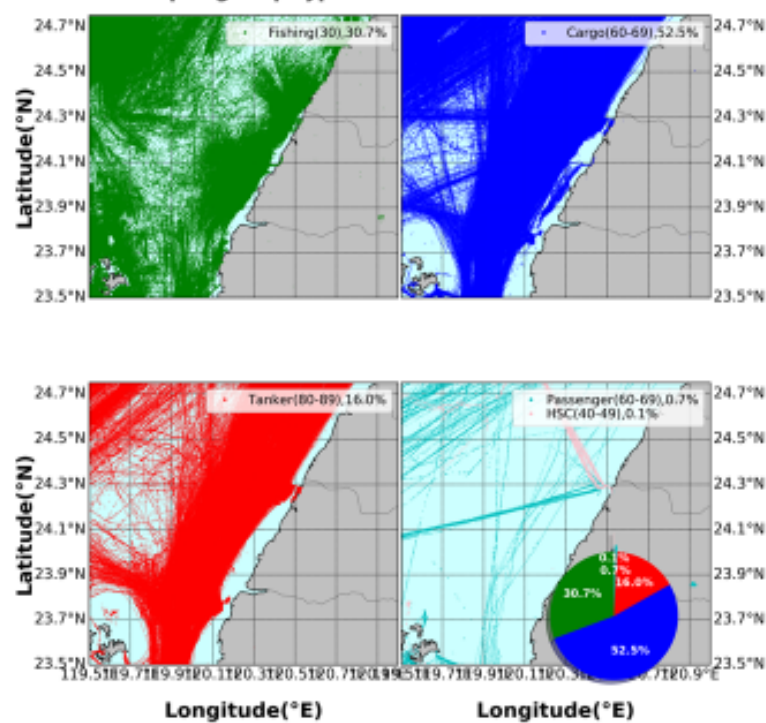
船舶密度技術開發

- 方法
- 資料來源
- 海域船舶種類分佈
- 海域船舶密度

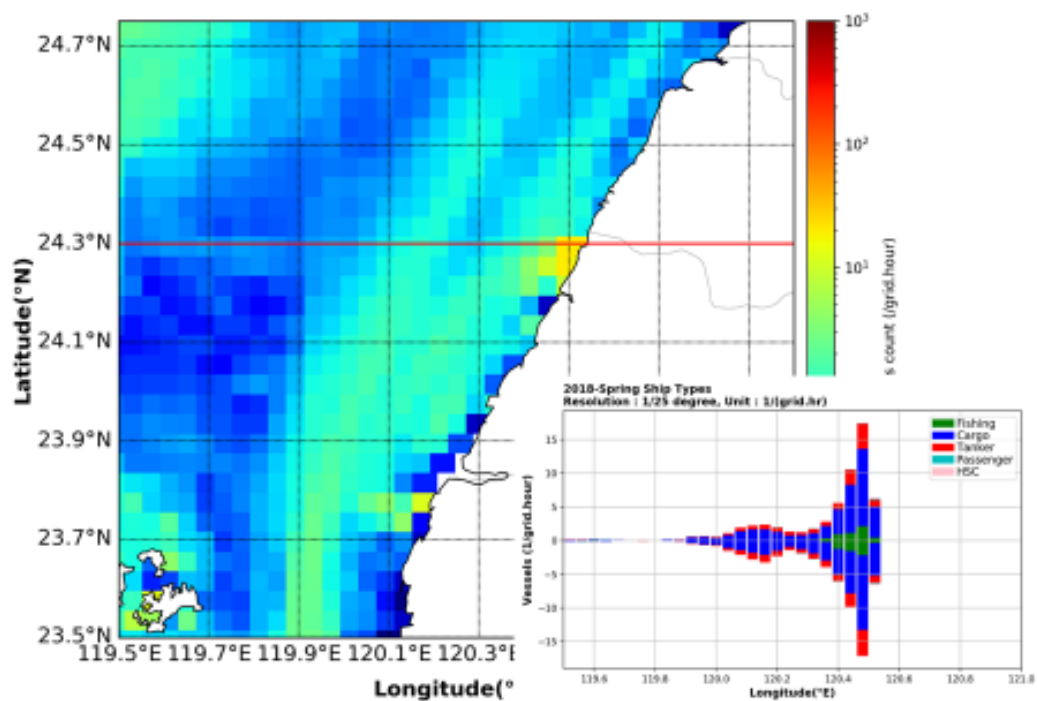
歐盟(EMODnet)計算船舶密度的方法



2018-Spring Ship types tracker



2018-Spring Vessel Density
Resolution : 1/25 degree, Unit : 1/(grid.hr)



分項三、 港航操船作業規劃

大綱

- 一. 船舶運行效率分析（期中報告，按審查意見修正）
- 二. 船舶運行安全分析
- 三. 碼頭利用效率分析（期中報告，按審查意見修正）
- 四. 航道與碼頭管理建議

一、船舶運行效率分析

- 資料來源
 - ✓ 選取臺灣港棧服務網(Taiwan Port NET, TPNET)一年期(十二個月)資料，
 - ✓ 自2018年6月1日起至2019年5月31日止。
- 分析進出港預報等候時間實際值與理論值
 - ✓ 預報等候時間變異大
 - ✓ 平均預報等候時間受極端值影響大

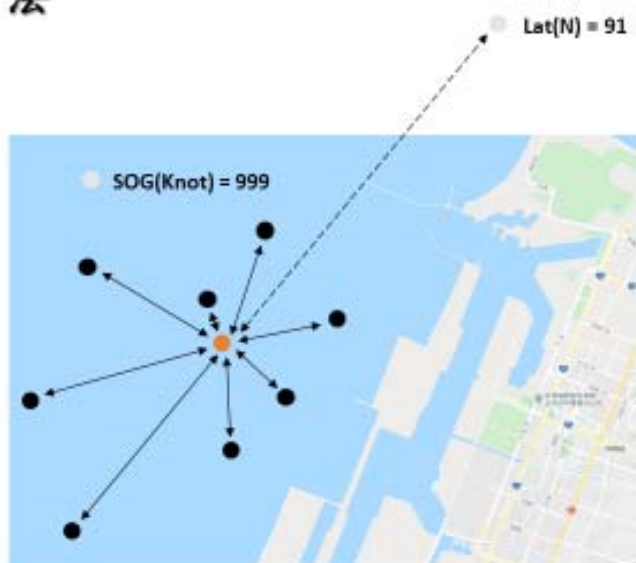
二、船舶運行安全分析

- 資料來源
 - ✓ AIS資料分析：2019.06至2019.08之AIS資料。
 - ✓ AIS與雷達資料分析：2019.07之AIS與海洋陣列雷達資料。

資料篩選與運算方法

➤資料篩選

- ✓海域範圍為東經120度與120.75度之間、北緯24度與24.75度之間
- ✓將船舶經緯度不屬於本研究範圍、船速不合理之資料刪除，如緯度91度、船速999節之資料刪除



資料篩選與運算方法

➤運算方法

- ✓時間劃分：每一分鐘為單位
- ✓計算每分鐘內所有船舶間之距離(排除相同船舶)
- ✓找出該分鐘內與基準船最近之船舶
- ✓除船速 ≤ 0.1 節者，該分鐘內所有船舶皆會成為基準船



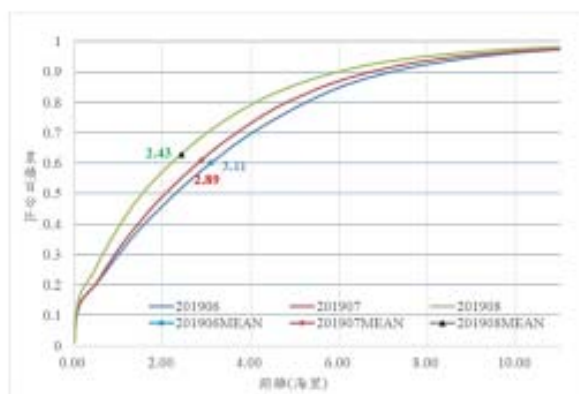
資料篩選與運算方法

► 依據船舶之經緯度位置，轉換為船與船間之距離，採用以下公式：

$$d = \frac{6378.137}{1.852} * 2 * \arcsin \sqrt{\sin^2\left(\frac{a}{2} * c\right) + \cos(Lat1 * c) * \cos(Lat2 * c) * \sin^2\left(\frac{b}{2} * c\right)}$$

d	每分鐘每艘船與他船之距離(distance)
a	兩艘船舶緯度之差距(a=Lat1-Lat2)
b	兩艘船舶經度之差距(b=Lon1-Lon2)
c	轉換為弧度(c = $\pi/180$)
Lat1	該分鐘基準船舶之緯度
Lat2	該分鐘其他船舶之緯度
Lon1	該分鐘基準船舶之經度
Lon2	該分鐘其他船舶之經度
6378.137	地球半徑(單位：公里)
1.852	距離換算(1海里=1.852公里)

AIS資料之安全距離分析



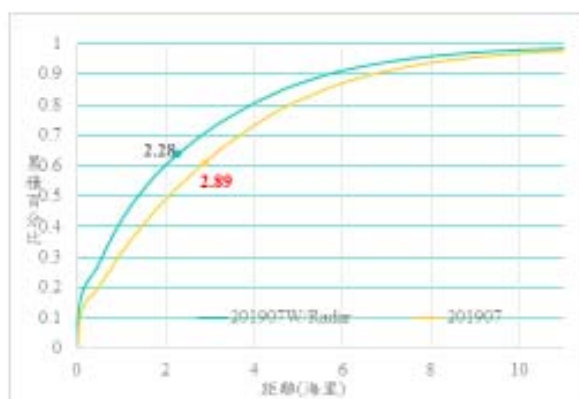
船舶距離累積分佈圖

- 船舶平均最小距離>=2.4海里
- 仍有30%之船舶最小距離<1海里
- 隨時間推移，船舶間最小距離有變小之趨勢，可能增加船舶事故風險
- 三個月之資料分析恐非長期趨勢，建議後續持續追蹤分析

月份	平均數(海里)	標準差	中位數
6	3.11	3.09	2.29
7	2.89	2.95	2.06
8	2.43	2.74	1.54

各月船舶距離統計表

AIS與海洋陣列雷達資料之安全距離分析



船舶距離累積分佈圖
(一分鐘間距、刪除異常速度)

- 船舶間最小距離在加入雷達辨識船舶後縮小了(加入雷達之累積分布線均在僅AIS船舶線之左上方)
- 平均距離降為2.28海里
- 中位數降為1.39海里

資料	平均數(海里)	標準差	中位數
AIS	2.89	2.95	2.06
AIS+雷達	2.28	2.62	1.39

7月船舶距離統計表

三、碼頭利用效率分析

➤ 資料來源

- ✓ 選取臺灣港棧服務網(Taiwan Port NET, TPNET)
- ✓ 半年期資料：自2018年12月1日起至2019年5月31日止。

碼頭利用率公式

依據不同的碼頭種類，計算該種類船舶佔用碼頭總時間除以一個月內該種類碼頭能提供之靠泊時數之數值作為碼頭效率指標。

$$U_{im} = \frac{\sum_j \sum_t^{1440} T_{ijmt}}{24 * 60 * D_m * J}, \forall i, m$$

U_{im} ：第*i*類碼頭在第*m*月的使用效率(Utility)；

T_{ijmt} ：為虛擬變數，當第*i*類、第*j*座碼頭在第*m*月之第*t*分鐘有船停泊時為1，否則為0；

D_m ：第*m*月之總天數；

m ：第*m*月($m=12、1、2、3、4$ 及5月)；

i ：第*i*類碼頭(i =散雜貨碼頭、貨櫃碼頭、客貨碼頭、重件與散雜貨碼頭以及其他碼頭)；

j ：屬於第*i*類碼頭之第*j*座碼頭($j=1, 2, 3, \dots, J$)，共有*J*座碼頭。

J ：第*i*類碼頭之數量(*J*座)；



各月份各種類碼頭利用率比較圖

四、航道與碼頭管理建議

- 以現有資料建立基準需求機率分布
- 加入風力發電工作船
 - ✓ 不同需求情境(低、中、高)
 - ✓ 不同管理策略(隨機、尖峰、離峰)
- 觀察在各情境下不同管理策略所導致之總預報等候時間、每艘船之平均預報等候時間之變化。

基準情境計算方式

- 資料來源：臺灣港棧服務網(Taiwan Port NET, TPNET)
- 時間：2018年6月1日至2019年5月31日
- 模擬樣本數：隨機抽取100次，以模擬進出港船數與其相對應進出港時間，以此當作基準需求量進行模擬。

工作船之三需求情境

➤根據歷史資料，每日進出臺中港之船舶數量平均約為47艘

➤工作船之情境假設如下：

	低比例之5%	適中比例之10%	較高比例之15%
工作船數(艘)	3	5	8

➤以2至3艘進行船隻編組(假設工作船一次任務需要二或三艘同時執行任務)

情境模擬（容量6）

窄口容量6的情境模擬結果

指涉時段	衡量指標	情境模擬：增加工作船數量（每日）					
		3艘		5艘		8艘	
		平均數 (分鐘)	標準差	平均數 (分鐘)	標準差	平均數 (分鐘)	標準差
隨機	總預報等候時間	9.6	0.45	18	0.62	41.4	1.08
	需等候船隻之平均預報等候時間	1.2	0.04	1.2	0.05	4.2	0.10
尖峰	總預報等候時間	36.6	0.74	70.8	1.25	163.8	1.78
	需等候船隻之平均預報等候時間	3.6	0.06	7.8	0.16	14.4	0.14
離峰	總預報等候時間	3.6	0.25	4.8	0.35	11.4	0.46
	需等候船隻之平均預報等候時間	0.24	0.02	0.48	0.03	1.8	0.09

- 影響最大：於尖峰時段加入8艘工作船
 - 1) 每日總預報等候時間之平均數：163.8分
 - 2) 平均每艘船預報等候時間：14.4分鐘

情境模擬比較與分析（容量6）

窄口容量6的模擬比較

指派時段	衡量指標	情境模擬：增加工作船數量（每日）		
		3艘	5艘	8艘
隨機	增加總預報等候時間(分鐘)	8.4	16.8	40.2
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	1.08	1.08	4.08
尖峰	增加總預報等候時間(分鐘)	35.4	69.6	162.6
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	3.48	7.68	14.28
離峰	增加總預報等候時間(分鐘)	2.4	3.6	10.2
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	0.12	0.36	1.68

情境模擬（容量8）

窄口容量8的情境模擬結果

指派時段	衡量指標	情境模擬：增加工作船數量（每日）					
		3艘		5艘		8艘	
		平均數 (分鐘)	標準差	平均數 (分鐘)	標準差	平均數 (分鐘)	標準差
隨機	總預報等候時間	0.18	0.03	0.48	0.08	6	0.38
	需等候船隻之平均預報等候時間	0.018	0.002	0.03	0.004	0.48	0.03
尖峰	總預報等候時間	2.4	0.21	13.8	0.52	55.8	1.15
	需等候船隻之平均預報等候時間	0.18	0.01	1.2	0.04	4.2	0.08
離峰	總預報等候時間	0	0	0.3	0.05	0.42	0.07
	需等候船隻之平均預報等候時間	0	0	0.024	0.004	0.042	0.007

- 影響最大：於尖峰時段加入8艘工作船
- 總預報等候時間平均為55.8分鐘
- 當工作船預報等候時間為0時，代表隨時都能進港不需要等待

情境模擬比較與分析（容量8）

窄口容量8的模擬比較

指派時段	衡量指標	情境模擬： 增加工作船數量（每日）		
		3艘	5艘	8艘
隨機	增加總預報等候時間(分鐘)	0.18	0.48	6
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	0.02	0.03	0.48
尖峰	增加總預報等候時間(分鐘)	2.4	13.8	55.8
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	0.18	1.2	4.2
離峰	增加總預報等候時間(分鐘)	0	0.3	0.42
	需等候船隻之增加平均預報等候時間(分鐘)	0	0.02	0.04

航道與碼頭管理建議

➤若窄口容量為每小時8艘船

- ✓每日新增8艘以內之風力發電工作船，預報等候時間尚在可接受範圍內，臺中港容量足以負荷，無需針對風力發電船之加入採取特別之管制或管理措施。

➤若窄口容量降至每小時6艘船

- ✓加入風力發電工作船可能對航道使用效率產生明顯影響，可在不同條件下採取不同之因應措施：

- 離峰時段→讓各風力發電工作船的廠商自由運用
- 尖峰時段→採取遞出數量管制之措施或者採取尖峰定價之收費制度

結論與建議

1. 完成建立高頻陣列雷達訊號辨識船舶演算法，演算測試結果良好，可偵測到未出現於AIS資料之船舶。
2. 完成展示系統，接收動態船舶資訊船位報告與雷達解算出之船位報進行轉檔後匯入地理資訊伺服軟體QGIS，並能於內網環境下可使用瀏覽器進行連結開啟。
3. 管理船舶進出港口方面，建議在離峰時段讓各風力發電工作船的廠商自由運用；而在尖峰時段則須採取進出數量管制之措施或者採取尖峰定價之收費制度，以期提升船舶運行效率。