

113-023-7D62
MOTC-IOT-112- H2CA001g

臺中港海洋陣列雷達訊號應用 分析(1/3)-表面流觀測分析



交通部運輸研究所
中華民國 113 年 3 月

113-023-7D62
MOTC-IOT-112- H2CA001g

臺中港海洋陣列雷達訊號應用 分析(1/3)-表面流觀測分析

著者：李政達、林受勳、羅冠顯、李俊穎、
李江澤、陳天時

交通部運輸研究所
中華民國 113 年 3 月

112

臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析
(1/3) 表面流觀測分析

交通部運輸研究所

GPN : 1011300259

定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析.(1/3)-表面流觀測分析 / 李政達, 林受勳, 羅冠顯, 李俊穎, 李江澤, 陳天時著.
-- 臺北市: 交通部運輸研究所, 民 113.03

面; 公分

ISBN 978-986-531-578-8(平裝)

1.CST: 海洋氣象 2.CST: 海流 3.CST: 雷達

444.94

113001890

臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-海流觀測分析

著 者: 李政達、林受勳、羅冠顯、李俊穎、李江澤、陳天時

出版機關: 交通部運輸研究所

地 址: 105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址: www.iot.gov.tw(中文版>數位典藏>本所出版品)

電 話: (04)2658-7200

出版年月: 中華民國 113 年 3 月

印 刷 者: 綠凌興業社

版(刷)次冊數: 初版一刷 50 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

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: 104472 臺北市中山區松江路 209 號•電話: (02) 25180207

五南文化廣場: 400002 臺中市區中山路 6 號•電話: (04)22260330

GPN: 1011300259

ISBN: 978-986-531-578-8 (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。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-531-578-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1011300259	運輸研究所出版品編號 113-023-7D62	計畫編號 MOTC-IOT-112-H2CA001g
本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：李政達 研究人員：林受勳、羅冠顯、李俊穎、李江澤、陳天時 聯絡電話：(04)2658-7127 傳真號碼：(04)2656-0661			研究期間 自112年1月 至112年12月
關鍵詞：表面海流、陣列雷達、波束合成			
摘要： 海陸交通是行政院交通部施政重點，特別強調實現「建構安全交通環境，落實運輸風險管理」的政策目標。交通部運輸研究所(以下簡稱本所)致力於建立陸運與港灣設施的防災資料數據，加強智慧環境監測，並推動智慧防災技術的發展，以滿足部屬機構的防災需求，基此，為確保海氣象服務的穩定性與可靠度，本所發展海洋陣列雷達技術與應用，以獲得海洋表面遠近交織的海洋參數。 本計畫以臺中港海洋陣列雷達站調查港區與觀測鄰近海域的海象，為維持與改進雷達觀測產品之品質，目前已實施 netCDF 第 4 版做為雷達格式標準，並以美國品管(QARTOD)手冊將 Test 201 與 Test 203 納入雷達演算與品管處理程序中，提供港區海流觀測資料；此外，本計畫透過近期文獻確立，利用機器學習之深度學習自動提取數據已獲得更可靠之雷達品管數據，不論使用卷積神經網路、遞歸神經網路與長期記憶模型確實已引起廣泛的使用，能有效減少人為干預可能造成之錯誤，從而改善數據品質，為後續技術改進之研究方向。 本所建置的海洋陣列雷達站已經超過 3 年，為持續掌握雷達站狀態，本計畫執行雷達天線狀態健檢、波束合成校準等校正程序，使雷達觀測品質獲得提升，由結果顯示，本計畫所採用不同雷達分析方式的觀測結果，除小犬颱風分析案例以外，其他 2 場(杜蘇芮與海葵)颱風情境雷達數據之相關性均獲得相當高的一致性。本計畫持續觀測海洋表面流，相關研究成果可為航行管理單位與港務公司船舶航行與進出港區營運管理應用。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
113 年 3 月	174	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。
備註：1.本研究計畫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: Taichung Port High-Frequency Radar Signal Application Analysis (1/3) – Surface Current Observation Analysis			
ISBN(OR ISSN) 978-986-531-578-8(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011300259	IOT SERIAL NUMBER 113-023-7D62	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-112-H2CA001g
DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng-Da Lee PROJECT STAFF: Shou-Shiun Lin, Guan-Sian Luo, Chun-Ying Lee, Chiang-Tse Lee, Tian-Shih Chen PHONE: 886-4-2658-7127 FAX: 886-4-2656-0661			PROJECT PERIOD FROM January 2023 TO December 2023
KEY WORDS: Surface currents, Radar array, Beamforming			
ABSTRACT : Maritime and land transportation is a focus of the Executive Yuan's Ministry of Transportation, which particularly emphasizes the policy goal of "constructing a safe transportation environment and implementing transportation risk management." The Institute of transportation, MOTC (referred to as "The Institute") is committed to establishing disaster prevention data for land transport and port facilities, strengthening intelligent environmental monitoring, and promoting the development of smart disaster prevention technologies to meet the disaster prevention. Therefore, to ensure the stability and reliability of marine meteorological services, the Institute is developing marine array radar technology and applications to obtain marine parameters from the interwoven ocean surface. This project investigates the marine conditions in the port area and adjacent waters of Taichung Port using marine array radar stations. In order to maintain and improve the quality of radar observation products, the netCDF version 4 has been implemented as the radar format standard. And used the US Quality Assurance of Real-Time Oceanographic Data (QARTOD) manual to provide quality control procedures and harbor current observation data. Additionally, through recent literature review, this project has established that using machine learning, particularly deep learning, to automatically extract data has yielded more reliable radar quality control data. The use of CNN, RNN, and LSTM models has indeed gained widespread adoption, effectively reducing errors that may result , thereby improving data quality, and providing a direction for technical improvements. The array radar stations established by the Institute have been operational for over three years. In order to continuously monitor the status of the radar stations, this project has implemented calibration procedures such as radar antenna status checks and beam synthesis calibration, resulting in improved radar observation quality. The results show that the observation results using different radar analysis methods in this project, except for the case of Typhoon KoiNu, have achieved high consistency in radar data for the other two typhoon scenarios (DokSuRi and HaiKui). Continuous observation of ocean surface currents in this project can provide valuable research outcomes for navigation management units and port companies for vessel navigation and port operation management applications			
DATE OF PUBLICATION March 2024		NUMBER OF PAGES 174	PRICE 200
1. The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

第一章 前言	1-1
1.1 計畫背景與目的	1-1
1.2 計畫範圍與對象	1-7
1.3 研究項目	1-9
1.4 研究架構	1-10
1.5 預期成果	1-11
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 歷年成果說明	2-1
2.2 其他文獻回顧	2-3
第三章 海流監測資料品管與檢核	3-1
3.1 雷達資料 netCDF 與 CF 約定	3-2
3.2 品管標準探討	3-5
3.3 品管成效探討	3-20
3.4 其他品管作為	3-22
第四章 海流監測資料分析與交互驗證	4-1
4.1 研究方法	4-1
4.2 觀測情形與資料驗證	4-5
第五章 研究分析與探討	5-1
5.1 統計分析	5-2
5.2 杜蘇芮(DokSuRi)颱風	5-3
5.3 海葵(HaiKui)颱風	5-6
5.4 小犬(KoiNu)颱風	5-10
第六章 結論與建議	6-1
6.1 結論	6-1

6.2 建議	6-2
6.3 成果效益與後續應用情形	6-3
參考文獻	參-1

附 錄

附錄一、期末審查意見及辦理情形說明表	附錄 1-1
附錄二、期末簡報資料	附錄 2-1
附錄三、QARTOD 手冊 (指標名稱)與各項雷達資料品管對照	附錄 3-1
附錄四、專家學者座談會議紀錄	附錄 4-1
附錄五、工作會議紀要	附錄 5-1

..

圖目錄

圖 1.1 臺灣海域海岸帶分區使用情形	1-1
圖 1.2 臺灣運作中、興建中與規劃中天然氣接收站分布圖	1-4
圖 1.3 彰化風場航道船舶交通流量分布圖	1-5
圖 1.4 臺灣海洋雷達監測網絡圖	1-6
圖 1.5 彰化風場航道與雷達觀測範圍示意圖	1-8
圖 2.1 臺灣首座海洋陣列雷達(臺中港雷達站).....	2-1
圖 2.2 108 年開發海洋雷達觀測之船艦偵測技術	2-2
圖 2.3 110 年雷達品管研究之初步成果.....	2-2
圖 2.4 南海北域海洋雷達建置情形	2-3
圖 2.5 雷達數據異常檢測流程圖	2-4
圖 2.6 珠江出海口川島(左島)與萬山島(右島)高頻雷達.....	2-6
圖 2.7 台灣海洋科技研究中心海洋雷達觀測系統(TOROS)	2-7
圖 2.8 海洋雷達測流資料與 LSTM 模型預測驗證短時流場流程圖..	2-8
圖 3.1 政府開放資料(Open data)架構	3-1
圖 3.2 網路通用數據格式 netCDF.....	3-2
圖 3.3 美國 NOAA 海洋陣列雷達海表面流資料庫	3-3
圖 3.4 CF Standard Name Table 查詢頁面.....	3-4
圖 3.5 海洋陣列雷達 0 級品管流程圖.....	3-7
圖 3.6 海洋陣列雷達 1a 級品管流程圖	3-8
圖 3.7 海洋陣列雷達都卜勒譜	3-9
圖 3.8 海洋陣列雷達 1b 級品管流程圖.....	3-11
圖 3.9 美國 QARTOD 品管手冊建議的品管旗標分類.....	3-12
圖 3.10 都卜勒譜船舶回波干擾圖	3-13
圖 3.11 船舶訊號品管流程圖	3-14

圖 3.12 臺中港高頻雷達 GDOP 空間分佈範圍.....	3-20
圖 3.13 一階峰訊號品管情形	3-21
圖 3.14 二階峰訊號品管情形(左圖品管前，右圖品管後).....	3-22
圖 3.15 夏威夷歐胡島可可角(Koko Head)雷達校正情形	3-22
圖 3.16 美國夏威夷雷達利用船舶校正主波向的情形	3-23
圖 3.17 駐波比與反射及傳輸功率關係圖	3-24
圖 3.18 船舶校準路徑規劃	3-26
圖 4.1 雙雷達系統空間網格分布圖	4-1
圖 4.2 一階布拉格散射機制(R. Shahidi 2000).....	4-2
圖 4.3 一階峰受海流相對速度影響的都卜勒頻偏現象	4-2
圖 4.4 天線場型與波束合成技術的幾何原理	4-3
圖 4.5 Seaview Sensing 軟體第 716 號儲存格位置	4-5
圖 4.6 臺中港觀測儀器位置圖	4-6
圖 4.7 112 年 5~10 月臺中港海表面流監測與波流儀比較與潮位圖 .	4-8
圖 4.8 漂流浮標驗證與施放軌跡情形	4-9
圖 4.9 漂流浮標與海洋陣列雷達觀測比較驗證結果	4-10
圖 5.1 本所與國立中央大學開發的 Matlab 處理程序示意圖	5-1
圖 5.2 杜蘇芮颱風路徑圖(第 5 號颱風).....	5-4
圖 5.3 杜蘇芮颱風雷達系統與底碇式儀器觀測結果比較圖	5-5
圖 5.4 杜蘇芮颱風雷達系統與氣象署浮標觀測結果比較圖	5-5
圖 5.5 杜蘇芮颱風 2 種不同演算與品管處理程序結果比較圖	5-6
圖 5.6 海葵颱風路徑圖(第 11 號颱風).....	5-7
圖 5.7 海葵颱風雷達系統與底碇式儀器觀測結果比較圖	5-8
圖 5.8 海葵颱風雷達系統與氣象署浮標觀測結果比較圖	5-9
圖 5.9 海葵颱風 2 種不同演算與品管處理程序結果比較圖	5-10

圖 5.10 小犬颱風路徑圖(第 14 號颱風).....	5-11
圖 5.11 小犬颱風雷達系統與底碇式儀器觀測結果比較圖	5-12
圖 5.12 小犬颱風 2 種不同演算與品管處理程序結果比較圖	5-13

表 目 錄

表 1.1 臺中港海洋雷達系統規格表.....	1-8
表 2.1 陣列雷達應用人工智慧方法彙整表.....	2-8
表 3.1 各國參與 netCDF 情形表	3-3
表 3.2 雷達資料 netCDF 與 CF 約定格式(截錄).....	3-5
表 3.3 資料品管建議門檻值	3-12
表 3.4 格式正確性(Test 201).....	3-15
表 3.5 徑向流速最大閾值(Test 202).....	3-16
表 3.6 有效位置標記.....	3-16
表 3.7 徑向觀測數量檢查.....	3-16
表 3.8 空間中值速度值檢查(不適用).....	3-17
表 3.9 徑向流速時間變化量檢查	3-17
表 3.10 平均徑向輻射方向檢查(不適用).....	3-18
表 3.11 徑向速度與合成速度差絕對值檢查	3-18
表 3.12 徑向速度停滯值檢查	3-18
表 3.13 相位檢查表.....	3-19

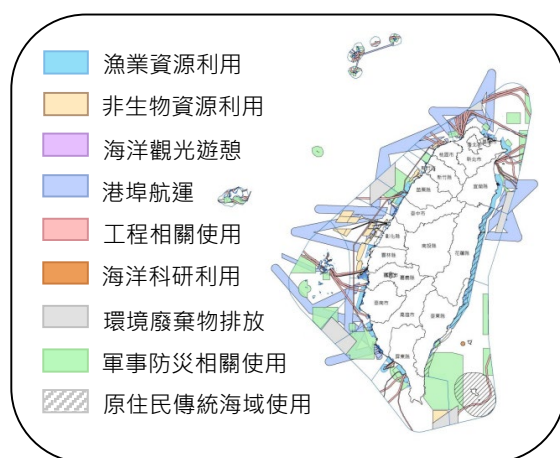
第一章 前言

1.1 計畫背景與目的

位於臺灣島嶼中央的臺中港，為海陸運輸交通的樞紐，是國家自行設計與開發的國際商港，港埠周邊發展工業區，提供企業腹地與基礎設施，在貿易、物流與經濟發展中扮演著重要的角色，本所運輸技術研究中心亦座落於臺中港港埠之內，並以海陸運防災技術、智慧港埠及維護管理為核心理念之研究單位，以下是有關研究背景與目的的說明，包括海域環境、國家能源政策、離岸風電發展對臺中港的影響以及國家海洋雷達發展的近況。

(一)海域環境：

現代化與高效運輸系統是支撐國家繁榮與發展之基石，交通不僅促進人們彼此間的文化交流，對於兩地資源交換與產業發展更是至關重要，因此，運輸自古以來已成為衡量國家盛衰的象徵與標準，以及反映國家經濟前景指標(波羅的海指數或出口集裝箱運價指數)，符合內政部國土管理署於臺灣國土計畫調查海岸帶統計資料，該資料將臺灣海域分成 9 大使用區域，概分為(1)漁業資源利用、(2)非生物資源利用、(3)海洋光觀遊憩、(4)港埠航運、(5)工程相關使用、(6)海洋科研利用、(7)環境廢棄物排放、(8)軍事防災相關使用、(9)原住民傳統海域使用，如圖 1.1 所示。



資料來源：內政部國土管理署

圖 1.1 臺灣海域海岸帶分區使用情形

- (1)漁業資源利用：臺灣西半部沿海屬於陸棚地勢較為平坦，且沙洲、潟湖與潮間帶範圍廣闊，海域適合魚類生長，漁民逐漸於沿岸形成漁村聚落，經內政部營建署調查統計漁業權範圍與漁業設施設置範圍，該海域使用總面積為 2,731.62km²，佔比約 5.96%。
- (2)非生物資源利用：係指海洋生物以外的各種資源，此類資源包括但不限於海底礦產(銅、鈷、錳等金屬)、石油與天然氣資源，風能、潮汐能、波浪能等均屬於非生物資源，參考圖 1.1 圖例所示，該非生物資源之一意指離岸風區之風力開發，利用不同的產業與技術，提供能源與礦產等方面之經濟價值，經內政部營建署調查統計風力發電、海流發電、土石採集、採礦與海洋深層水資源等，該海域使用總面積為 1,648.74km²，佔比約 3.60%。
- (3)海洋光觀遊憩：海洋遊憩活動常見於海灘渡假、休閒潛水、遊艇賞鯨與海岸線古道健走等活動，海洋光觀遊憩可促進民眾對海洋生態系統認識與提高海洋環境保育意識，經內政部營建署調查統計水域遊憩活動與海上平台，該海域使用總面積為 7.05km²，佔比約 0.02%。
- (4)港埠航運：明確而言泛指港埠(國際航線與國內漁港)出入的海運交通，不論客貨與捕撈作業的運輸均為交通中不可或缺的部分，經內政部營建署調查統計航道、疏濬、錨地與港區，該海域使用總面積為 17,438.9km²，佔比約 38.08%，為海岸帶使用比率最高的區域。
- (5)工程相關使用：海岸工程因應能源政策，近期為臺灣周遭海域的重點工程，例如：液化石油氣接收站新建，總規劃西半部海域建設 7 處接收站，現階段已正使用的接收站共有 2 站，後續尚有規劃中、環評中與新建中的接收站共五站，經內政部營建署調查統計海底纜線、管道、海堤區域、資料浮標站、海上觀測設施、底碇式儀器、海域石油礦探、跨海橋梁與其他工程，目前相關海域使用總面積為 3,766.75km²，佔比約 8.22%。
- (6)海洋科研利用：相關海洋科學研究，諸如海洋生態學研究、海洋

地質、地球科學、海洋氣象學、海洋物理與化學等，提供基礎資訊，做為預報等研究應用，經內政部營建署調查統計海洋科學與水下文化資產研究活動設施，該海域使用總面積為 24.24km²，佔比約 0.05%。

(7)環境廢棄物排放：為海洋棄置指定海域範圍，經內政部營建署調查統計海放管排洩範圍與海洋棄置指定海域，該海域使用總面積為 3,310km²，佔比約 7.23%。

(8)軍事防災相關使用：經內政部營建署調查統計軍事與防救災區域，該海域使用總面積為 12,860.1km²，佔比約 28.08%，為海岸帶使用比率次高的區域。

(9)原住民傳統海域使用：經內政部營建署調查統計原住民族傳統海域使用，例如蘭嶼原住民海域使用等，該海域使用總面積為 4,009.57km²，佔比約 8.75%。

總括來說，如果以海域使用面積劃分，沿海的港埠航運(38.08%)與軍事防災(28.08%)係海域土地使用最頻繁的區域，因此，維持船舶航行安全與商港繁榮是交通部重要的職責。

(二)國家能源政策背景：

面對全世界劇烈的氣候變遷威脅，聯合國最早於 1992 年通過聯合國氣候變遷綱要公約，歷年重要會議紀要為締約國 1997 年於日本京都舉行第 3 次締約國會議，並通過京都議定書，2015 年於法國巴黎舉行第 21 次締約國會議，簽署制定巴黎協定，2021 年於蘇格蘭格拉斯哥舉行第 26 次的締約國會議，呼籲各國提高減排目標與加強氣候管制行動，並提出碳邊境機制及碳定價目標，期望透過貿易外交方式加強氣候治理強度，至今為止，已超過 130 個國家宣示與承諾「2050 淨零排放」之目標。基此，臺灣於 2022 年由行政院國家發展委員會公布「2050 淨零排放路徑及策略總說明」揭示於能源、產業、生活與社會等面向轉型，接續提出 12 項關鍵戰略，其中近半數為能源轉型策略，故交通部為配合國家能源轉型政策之目標，協同經濟部跨部門合作，由臺灣港務股份有限公司、臺灣電力公司與中

國石油公司合作規劃 7 處天然氣接收站，如圖 1.2 所示，迅速發展以商港及工業港做為接收起點之重大建設計畫，目前已經投入燃氣發電運轉之接收站，分別為高雄地區永安港第一接收站，以及臺中地區臺中港第二接收站。



資料來源：太報 TaiSound news

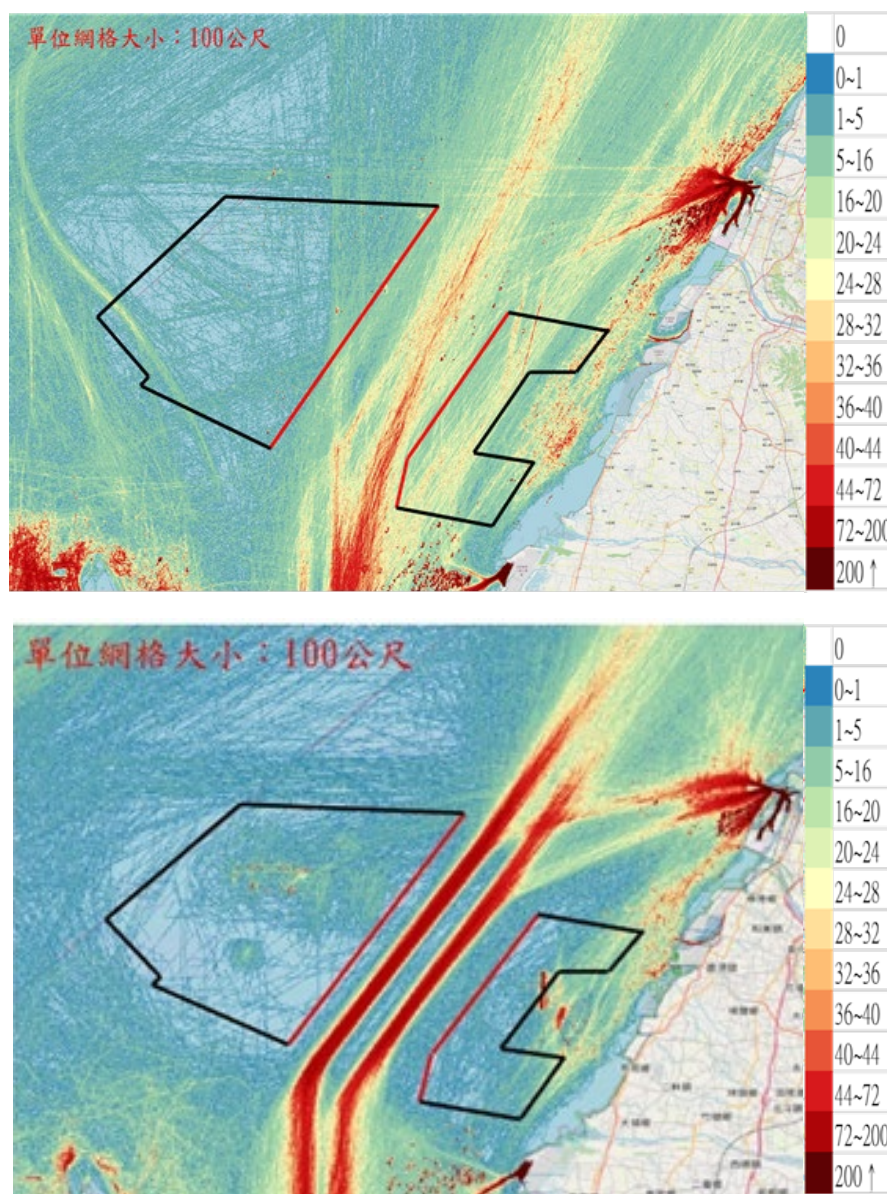
圖 1.2 臺灣運作中、興建中與規劃中天然氣接收站分布圖

(三)離岸風電發展對臺中港影響：

關於政府風力發電之能源政策，行政院所推動的「風力發電4年推動計畫」預計114年達到再生能源占比的百分之二十，離岸風電累計設置量短程規劃於109年達成976 MW、114年長程規劃累計裝置容量達成5.6GW的政策目標，執行現況已完成第1階段為示範獎勵任務，並確認我國開發離岸風電技術面、法制與財務之可行性，後續示範補助吸引先導業者投入離岸風電市場開發亦相當成功；第2階段為潛力場址設置，經濟部已於107年分別核配5.5GW容量，並規劃於110至114年陸續完成離岸風電之商轉，其中3GW遴選業者需肩負國產化任務，提供本土技術能量及帶動在地供應鏈發展；第3階段為區塊開發，以第2階段潛力場址所創造之本土供應鏈基礎，逐步建立本土離岸風電長期之發展。

因此，為追蹤臺中港離岸風電對於航道影響情況，本所利用介接航港局AIS動態資訊，及本所歷年開發之AIS應用模組，計算分析臺灣周圍相關海域及港口其船舶種類與交通流量，統計臺中港與彰化離岸風場航道的船舶數據，經觀察彰化風場航道船舶交通流量於

109 年 1~3 月與 111 年 1~3 月船舶交通流航跡密度分布圖比較，如圖 1.3 所示，顯示於彰化風場航道船舶數量明顯增加，其中以貨櫃船、海上作業船舶及漁船佔比最大，進出臺中港船舶數亦同明顯增加，伴隨潛在風險性亦提高，因此，如果有一種設備獲取海平面觀測數據，將有助於提高航行安全，普遍而言，海洋雷達是個能夠對海平面實現觀測並獲得數據之系統，它能利用電磁波與海面的交互作用，通過分析回波數據而獲得海表面的波浪流數據，實現平面觀測的目標。



上圖為 109 年統計資料，下圖為 111 年統計資料

圖 1.3 彰化風場航道船舶交通流量分布圖

(四)國家海洋雷達發展近況：

回顧我國海洋雷達歷史，經過初創嘗試、醞釀與辯證、作業化觀測等階段，已逐漸掌握海洋雷達之硬體、軟體及應用等面向之關鍵技術，截至目前為止，交通部運輸研究所、交通部中央氣象署(簡稱氣象署)、行政院國家科學，以及技術委員會及海洋委員會國家海洋研究院(簡稱為國海院)等所屬各涉海單位，依據自身業務職掌陸續建置海洋雷達，包括：陣列高頻與特高頻雷達站 22 座、集成式高頻雷達 19 座、微波雷達站 20 座與機動雷達系統 4 套，已構築臺灣周遭經濟海域及沿近海遠近交織之海氣邊界層環境特性海洋雷達監測網絡，如圖 1.4 所示，其中 HF 為本所建置的雷達站 2 座、VHF 為氣象署與國海院建置的雷達站共 20 座，底圖顏色 TOROS 表示為國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中心建置的集成式高頻雷達 19 座觀測之覆蓋範圍。

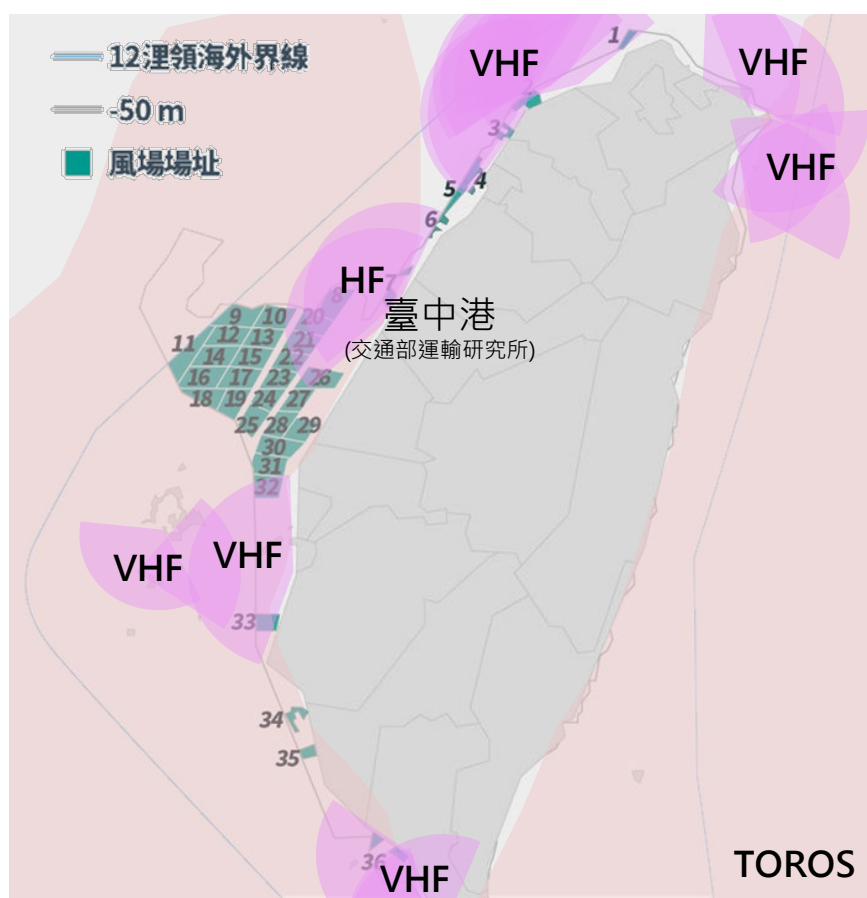


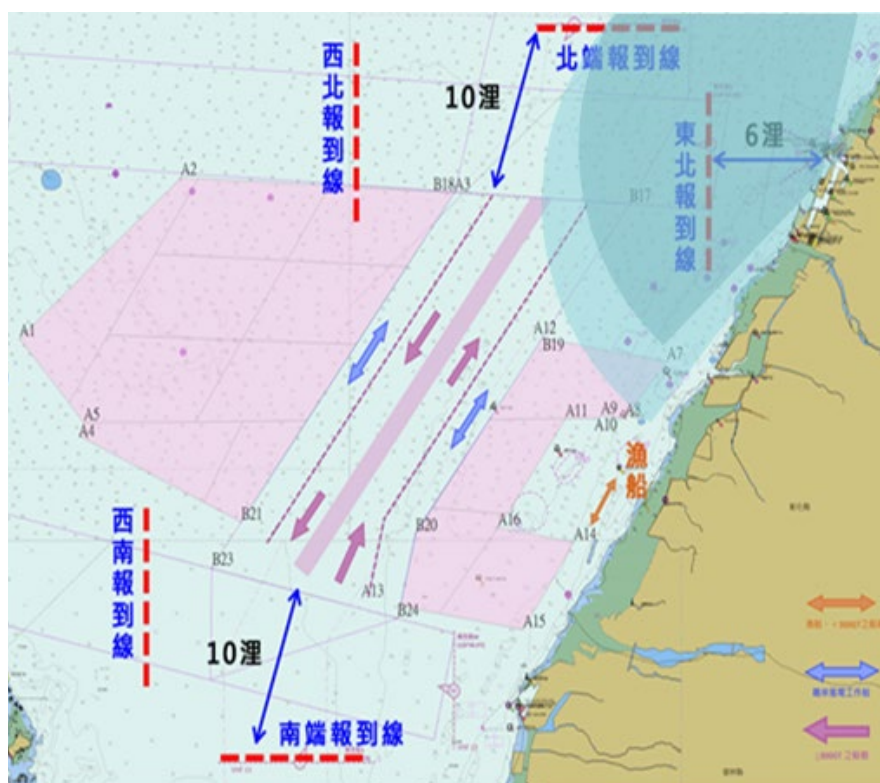
圖 1.4 臺灣海洋雷達監測網絡圖

交通是行政院交通部施政重點的一環，特別注重實現「建構安全交通環境，落實運輸風險管理」的政策目標。本所致力於建立陸運與港灣設施的防災資料數據，加強智慧環境監測，並推動智慧防災技術的發展，以滿足部屬機構的防災需求，同時滿足海事安全與經濟發展的需求。

1.2 計畫範圍與對象

商港地點通常位於海岸線交通繁忙之樞紐位置，由於商港空間與基礎設施充足，如碼頭、倉庫等，可支援風力發電場的建設與運營，特別是臺中港地理位置鄰近風電開發區域，具備建設離岸風電場的交通潛力，為我國發展離岸風電場的首選之地，故維持交通運輸與海氣象服務穩定是未來趨勢。雖然保障海上任務持續進行，以及海域船舶航行安全係交通部重要的施政重點，但隨著全球氣候變化的影響，海洋氣候事件發生頻率與強度與日俱增，海洋環境變得更加不穩定與複雜，因此，確保海氣象服務的穩定性與可靠性至關重要，極需要先進的氣象監測技術、數據收集和分析能力，提供即時、大範圍和連續的海氣象監測，以建立健全的預警系統和風險管理機制，海洋陣列雷達已成為海洋觀測中的革命性工具，不僅能捕捉海洋表面微小變化，亦能獲取各種海洋參數。

本計畫應用 107 年 12 月於臺中港北側建置陣列式高頻海洋雷達與 110 年 9 月建置於臺中港南側建置陣列式高頻海洋雷達(以下簡稱海洋陣列雷達)，調查觀測臺中港區鄰近周邊海域海氣象，海洋陣列雷達觀測範圍 40 公里半徑遠，扇形 120°的空間平面，提供空間解析度為 500 公尺與方向角解析度 5°之波浪與海流觀測資訊，並靠近彰化風場航道之觀測範圍，如圖 1.5 所示。交通部致力優化港灣海氣象之觀測技術，提升觀測技術智慧升級，提供港灣跨域協作平台，以及部屬機關技術支援，特別係災害預警與防災支援，所建構的商港港埠與海域水文環境之基礎調查，能做為相關單位做為港灣設計規劃、海事工程、海岸防護、海洋資源開發、海洋污染防治、海洋遊憩、海洋防災應用、協助船舶急難救災與維持商港船舶航行安全之重要參據。



資料來源：交通部航港局

圖 1.5 彰化風場航道與雷達觀測範圍示意圖

本雷達系統包含許多理論與技術，例如：射頻技術、相控陣原理、布拉格反射、都卜勒效應與波束合成等，硬體規格整理，如表 1.1 所示。

表 1.1 臺中港海洋雷達系統規格表

雷達參數	參數值	單位	備註
觀測時距	30	分鐘	
雷達頻率	27.75	MHz	高頻
頻寬	300	KHz	
發射天線數量	4	支	
接收天線數量	16	支	陣列式
方位角	296	度	發射方位角
觀測距離	40	公里	
距離解析度	500	公尺	

方位解析度	8	度	
線性調頻發射週期	0.216666	秒	
A/DC 取樣頻率	740	Hz	類比數位轉換
最小線性調頻數量	8,192	個	最小啁啾數

1.3 研究項目

本計畫 5 個研究項目包含：文獻蒐集與回顧、海流監測資料品管與檢核工作、海流監測資料分析與交互驗證工作、建立海洋陣列雷達 netCDF 資料檔案格式、海洋陣列雷達設備維護與校正作業及探討雙雷達系統平面海流之觀測特性等 6 項，各項目工作要點分述如下：

1. 文獻蒐集與回顧。

近來應用機器學習海洋陣列雷達觀測相關方法與研究，例如：卷積神經網路（convolutional neural networks, CNN）、遞歸神經網路（recurrent neural networks, RNN）與長短期記憶模型（long short-term memory, LSTM）已引起應用性研究廣泛的使用。本計畫將蒐集國內海洋陣列雷達觀測技術之相關研究與技術論文，並彙整相關應用情形與技術發展狀況。

2. 海流監測資料品管與檢核工作

本計畫利用本所短期海流觀測與海洋陣列雷達觀測資料，透過美國海洋綜合觀測系統海洋數據質量保證與質量控制手冊 (QARTOD Manual) 進行資料品管之前處理工作，檢核日、月歷線圖，篩選海流觀測資料離群值，完成資料清洗，改善現場觀測資料。

3. 海流監測資料分析與交互驗證工作

本計畫資料分析係以海洋陣列雷達品管後海流觀測資料，結合鄰近短天期氣候變化與觀測環境之海流觀測數據，進行海流觀測之潮時分析，與海洋陣列雷達海流觀測資料同化，藉以驗證資料之相關係數 r 、均方根 RMSE、偏誤分析 bias、散點因子 SI 等關係。

4.建立海洋陣列雷達 netCDF 資料檔案格式

為滿足日後國內與國際資料交換需求與政府開放資料趨勢，避免跨單位資料交換時，因資料檔案格式，例如：欄位、變數名稱與單位等不同，造成資料交換後需進行人工判讀調整，本計畫規劃建立符合 CF(Climate and Forecast)約定之 netCDF 檔案雷達資料格式。目前 netCDF 資料檔案格式最新版本為第 4 版，此格式係由 UCAR(University Corporation for Atmospheric Research)組織進行開發及維護，目前已廣泛應用於各國海洋、大氣、地球科學等領域數位化離散網格資料之儲存及交換，例如：美國 NOAA 與 NASA、法國 AVISO、德國 BAW、澳洲 CSIRO 等機構。

5.海洋陣列雷達設備維護與校正作業

鑑於海洋陣列雷達天線受日照曝曬老化，將造成每支發射與接收天線增益變化與訊號品質改變，使天線訊號背離原始設計之發射場型與接收訊號之相位差，故需對其進行量測與調校。本工作需使用固定功率定頻發報器，以及全球定位系統接收機，利用 Beamforming 演算法解算已知目標與海洋陣列雷達觀測接收訊號之相位差異，並依據此差異進行系統調整、天線相位校正與強度補償工作。

6.探討雙雷達系統平面海流之觀測特性

本計畫利用本所與國立中央大學共同開發的 Matlab 處理程序進行分析，並與 Seaview sensing 演算成果比較分析，以及評估單雷達觀測與雙雷達觀測間資料與氣候變化(Climate in talmage)情形，探討平面海流之觀測特性，以及單點與平面海流觀測差異分析，繪製成圖表並出版報告書，提供港務單位港區配置規劃與港灣結構物設計，以及部屬機關(構)防災與產官學研各界等應用參考。

1.4 研究架構

本計畫架構係簡要說明如下：

第一章：前言部分先就計畫背景回顧進行概述、並對研究目的、研究

項目、研究方向、研究範圍與對象、研究方法、與臺灣海域海岸帶使用情形與現況加以闡述。

第二章：文獻回顧，回顧歷年研究成果，說明本所過去海洋陣列雷達發展的演算法及解算技術與品管作業流程等、並回顧其他雷達相關文獻，做為後續研究與檢討改進的參考等內容。

第三章：海流監測資料品管與檢核工作，探討現在國際間推動的通用 NetCDF 格式，以及本所雷達辦理情形；研究美國 IOOS 發行的 QARTOD 陣列雷達品管手冊的品管方法，與本計畫雷達品管作業之原則；討論本計畫其他品管作為方式，與目前執行情形，彙整現況並進行綜合討論。

第四章：海流監測資料分析與交互驗證工作，本計畫說明海洋陣列雷達進行海流觀測的理論，並蒐集臺中港海洋陣列雷達雙雷達站資料，以及探討雷達海流觀測的品管作為，另利用海洋陣列雷達海流的觀測成果與本所臺中港設置的底碇式潮波流儀進行觀測成果討論與研究。

第五章：綜合討論 112 年 3 場重要颱風影響臺灣本島的案例，7 月份杜蘇芮颱風、9 月份海葵颱風與 10 月份小犬颱風，並於本章進行統計分析比較與平面海流特性探討。

第六章：結論與建議，綜上研究成果提出結論與建議，做為後續研究應用參考依據。

1.5 預期成果

- (一)本計畫連續定時觀測海洋表面流，提供航行管理單位與港務公司港區海流觀測資料，做為航行規劃應用參據。
- (二)持續發展海洋陣列雷達監測技術，透過建立跨域研究機制，與各單位資料共享、技術與應用合作能更加切實交流合作。
- (三)提升海洋陣列雷達觀測成效，穩定產出平面海流觀測資訊方面，實現廣泛蒐集海洋環境資訊。
- (四)本計畫透過相關文獻回顧與討論，確立本所海洋陣列雷達精進研

究之方向。

第二章 文獻回顧

本計畫延續 108 年與 110 年相關研究成果，主要探討臺中港鄰近海域的海氣象觀測技術。本所前期相關研究計畫，已建置臺中港海洋陣列雷達系統，並利用巴里克(Barrick)1972 年於美國 NOAA 電波傳播實驗室研究提出中頻(MF)、高頻(HF)與甚高頻(VHF)雷達之海面散射理論與分析原理，以及船舶訊號反射電磁波訊號探討海流、波浪與船艦等偵測技術，歷年成果說明及相關文獻回顧整理如下。

2.1 歷年成果說明

本所於 107 年引進全臺灣首座海洋陣列雷達，並於臺中港設置完成，如圖 2.1 所示。108 年初步發展海表面波浪與海流之解析技術，囿於陣列雷達係由國外引進的草創時期，因此，對雷達運作狀況與掌握仍相當有限，故先著重探討雷達硬體建置與功能，以及系統運行的要領。隨著時間推移，逐漸熟稔操作機制，當雷達向海面發射電磁訊號後，這些訊號與海水表面交互作用後產生反射訊號，再經由接收，將外部雷達反射訊號蒐集進入系統處理，利用雷達演算法與雷達訊號之分析，從而獲得海氣象數據資訊之研究成果，以及摸索陣列雷達船舶辨識之先導技術，並利用船舶自動識別系統(Automatic Identification System，簡稱 AIS)加以驗證，如圖 2.2 所示。



圖 2.1 臺灣首座海洋陣列雷達(臺中港雷達站)

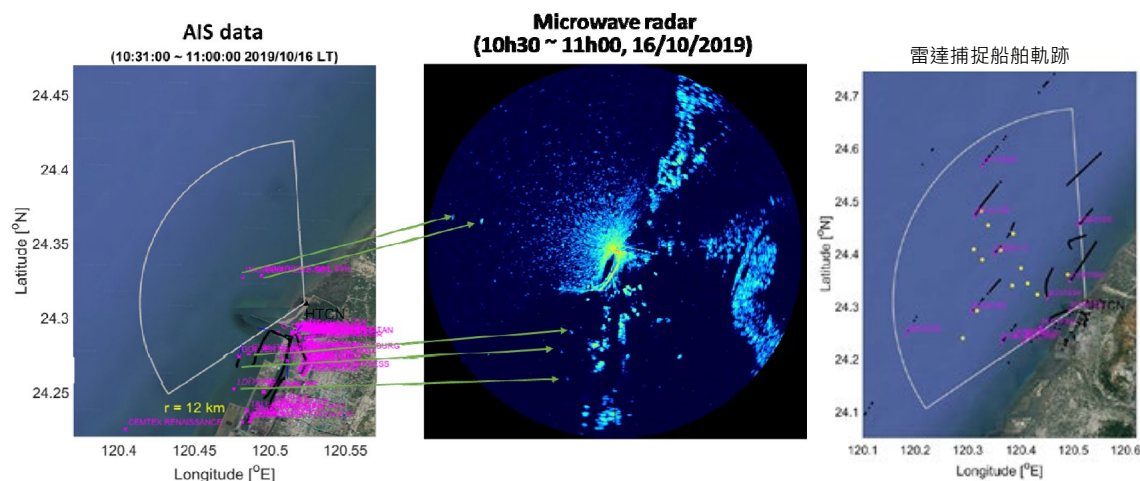


圖 2.2 108 年開發海洋雷達觀測之船艦偵測技術

初步探討多重監測系統對海域船舶的動態監控，以確保海上航道的安全並提升港埠使用效能。後續接著開發電子海圖整合展示系統，同時建立了資料庫。進一步，本所進行了船舶分類統計與管理功能之研發，期望提高港埠與航運的效率。然而，於當時研究中存在一些不足之處，特別係雷達訊號的品管制度尚未完善。因此，對於雷達觀測作業化程度仍有待加強。基此，後續研究賡續精進發展雷達觀測作業化。110 年並沿用前期成果，以獲得更好之海氣象觀測資訊，嘗試消除雷達的船舶訊號對海氣象觀測的干擾。此外，參考美國 IOOS 提出的 QARTOD 陣列雷達品管手冊，將海洋陣列雷達系統的產品與品管分為 0 到 3 個等級，具體細節如圖 2.3 所示。然而，由於品管建議項目眾多，無法在該年度實現，因此，後續研究仍需持續努力改進與完善。

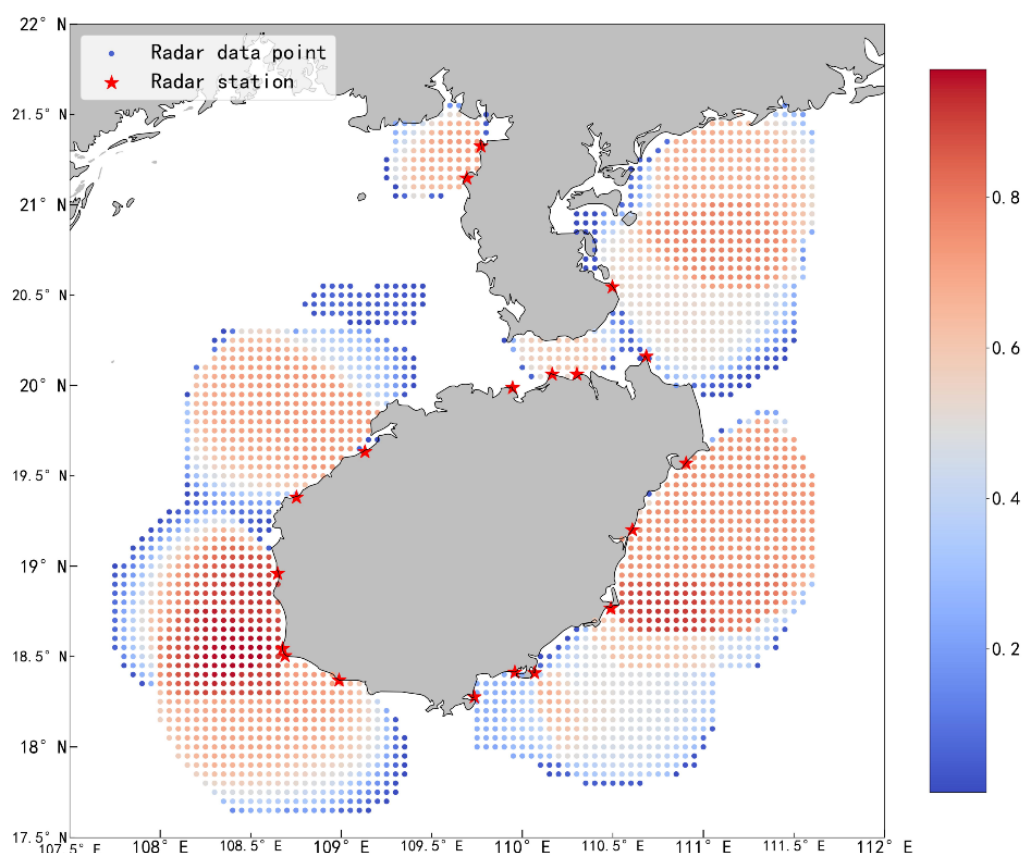
 Manual for Real-Time Quality Control of High Frequency Radar Surface Current Data A Guide to Quality Control and Quality Assurance for High Frequency Radar Surface Current Observations Version 2.0 June 2022	產品劃分	品管內容
	Level 0	單雷達站/原始(IQ)資料品管
	Level 1	單雷達站/都卜勒距離譜(DRS)品管
	Level 2	單雷達站/徑向波浪、流速品管
	Level 3	雙雷達站/空間波浪、流速品管

圖 2.3 110 年雷達品管研究之初步成果

2.2 其他文獻回顧

(一)Zhou, C., Wei, C., Yang, F., & Wei, J. (2023) A Quality Control Method for High Frequency Radar Data Based on Machine Learning Neural Networks.

中國大陸中山大學大氣科學學院使用由武漢大學自主研發的集成式高頻雷達（型號為 OSMAR-S100），工作頻率範圍為 13 至 16MHz。這些雷達總設置於南海北域，總數 19 座，其中於海南島佈署了 16 座，其餘雷達設置於雷州半島，如圖 2.4 所示。

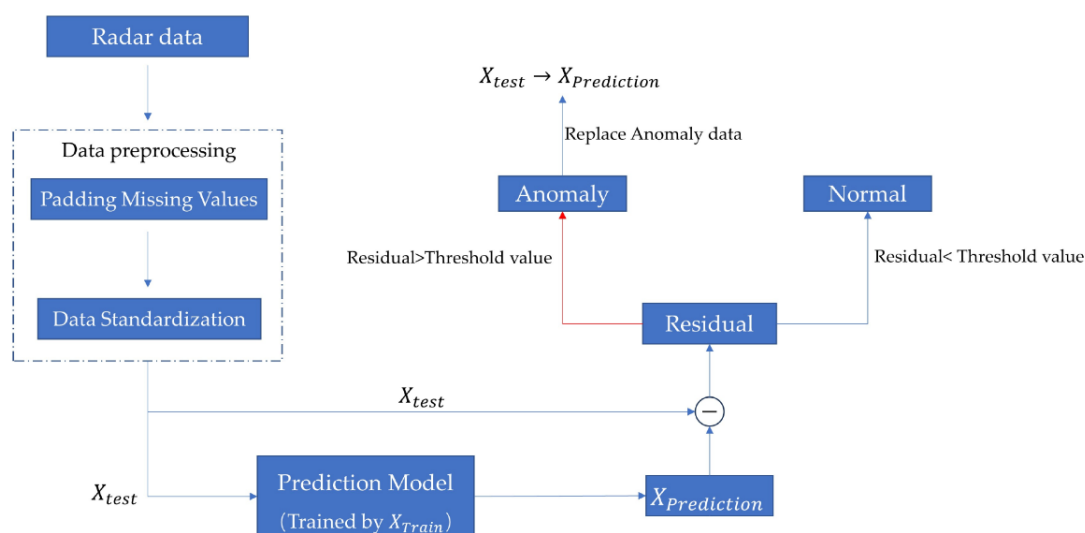


資料來源：Zhou, C. 2023

圖 2.4 南海北域海洋雷達建置情形

為了合成觀測海域的流場，研究人員通常使用數學方法將徑向速度數據轉換成流場，並經常運用逆差值技術，即利用雷達站之間的距離與角度差異來估算空間網格點的速度值，或者使用最小二乘原理進行優化，以擬合不同雷達站的數據。然而，由於雷達電磁訊號易受到干擾而丟失數據，或者由於合併算法的限制，

導致合成數據之不準確性，因此，合成過程中可能會產生異常的向量數據。為此改善數據品質，有 4 種常見方法：(1) 訊噪比控制，使用訊噪比做為品質控制之指標，並設定為閾值以過濾與校正雷達數據；(2) 空間分析，通過檢查逕向速度的緯度、經度與平均徑向速度，評估數據的品質，並將觀測的徑向速度與理論值進行比較，做為徑向控制的標準；(3) 參數監測，利用參數進行數值量控制，以提高雷達觀測數據品質；(4) 實時監測，通過於雷達區域的浮標並安裝監測設備，即時診斷與回饋雷達數據，為研究人員提供調整觀測質量控制策略之即時訊息。因此，提出一種機器學習神經網路與品管雷達數據之方法，以提高數據品質。該研究建議採用雙向長短期記憶模型（Bi-LSTM）進行雷達合成海流向量速度的數據，利用機器學習之深度學習自動提取數據，對於殘差進行異常檢測，減少人為干預可能造成之錯誤，改善數據品質，並簡化品管流程，如圖 2.5 所示。簡言之，首先對雷達數據的時間序列進行時戳檢查，確保時間序列數據點與時間間隔保持一致，然後透過 Bi-LSTM 預測值與未處理實測值相減，獲得殘差，再比較殘差與閾值，如果殘差小於閾值，則保留實測值，如果殘差大於閾值，則保留 Bi-LSTM 預測值，從而提供更一致和可靠的雷達數據品管結果。



資料來源：Zhou, C. 2023

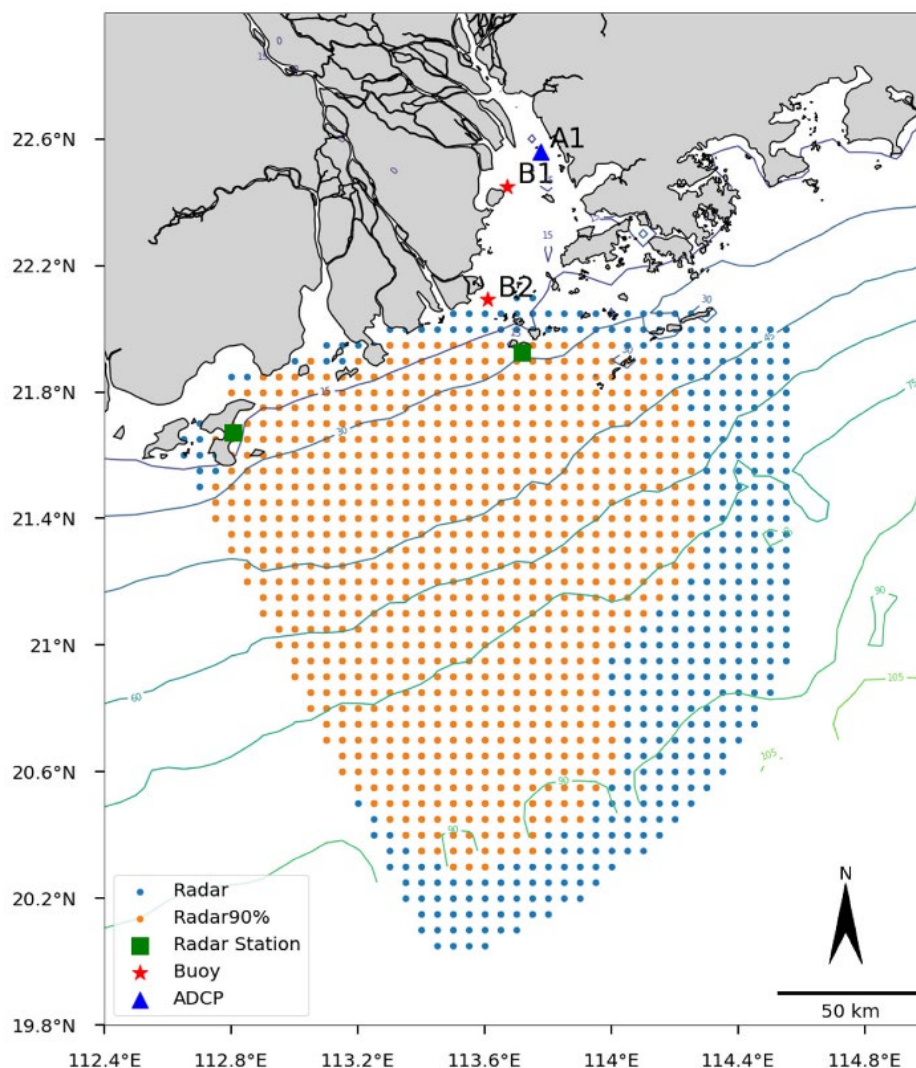
圖 2.5 雷達數據異常檢測流程圖

(二)Yang, Y., Wei, C. and Yang, F. et al. (2022) A Machine Learning-Based Correction Method for High-Frequency Surface Wave Radar Current Measurements.

傳統的陣列雷達估算海表流速是透過推導與演算電磁回波訊號獲得關注的資訊。為改善觀測品質與持續追求進步，研究人員近年來越來越注重機器學習方法的應用，這些方法於非線性學習方面取得了顯著進展，並已在海洋學等多個領域得到廣泛應用。

Fan 等人(2020)與 Christoph 等人(2021)使用長短期記憶模型(LSTM)提高於近岸淺水區波高預測的準確性、Zheng 等人(2017)亦使用反向傳播演算法網絡進行波浪估計，以提高準確度、Wen 等人(2019)利用反向傳播網絡與反演算高頻雷達的波高、Thongniran 等人(2019)使用卷積神經網絡與閘控循環單元於高頻雷達的流速預測中，亦取得良好結果、Huang 等人(2019)將反向傳播演算法應用於高頻雷達流場的內插方法。Hardman 和 Wyatt(2019)應用神經網絡從高頻雷達都卜勒頻譜中推斷方向性海洋譜、Shen 等人(2012)通過使用人工神經網絡於高頻雷達都卜勒頻譜一階峰頂峰能量估計風速、Wyatt(2022)亦使用機器學習來測量高頻雷達的風速。此外，機器學習還被應用於壓制雷達海表面雜訊波動、角度估算以及目標檢測。還有一些研究利用 X 波段雷達數據，通過時間卷積網絡估計海表波高。

該研究使用由武漢大學自主研發的高頻雷達，型號為 OSMAR-071G，部署於珠江出海口的上川島與萬山島，如圖 2.6 所示。該雷達頻率為 9.355 MHz，時間間隔為 10 分鐘，空間解析度為 5 公里。該研究採用機器學習之修正方法，修正高頻雷達對於流速之測量。該研究將海面風與潮汐納入長短期記憶模型（LSTM）的機器學習模式算法中，以減小高頻雷達對海表面波浪流速測量的誤差，從而達到改善雷達數據的目標。



資料來源：Yang, Y., Wei 2022

圖 2.6 珠江出海口川島(左島)與萬山島(右島)高頻雷達

(三)呂宜潔、賴堅戊、莊士賢(2022) 長短期記憶(LSTM)模型以海洋雷達測流資料預測短時流場。

近年來，機器學習已在多個領域取得廣泛應用，不僅解決了機器製造、醫療保健、電子商務和經營決策等問題，而且被視為未來極具發展前景的技術。深度學習做為機器學習的一個分支，包括：常見的神經網路架構，如卷積神經網路(CNN)、循環神經網路(RNN)與長短期記憶模型(LSTM)。

於傳統的機器視覺技術中，需要結合多種演算法，而卷積神經網路擅長處理圖像與視覺分析，允許直接學習影像特徵，顯著改變影像辨識的方法。卷積層是卷積神經網路的核心，能夠有效

地捕捉圖像之局部特徵，通過運算卷積於圖像滑動以學習多尺度的特徵。另外，循環神經網絡具有記憶與處理序列數據之功能，適用於處理時間相關之問題，如語言翻譯與語音識別。LSTM 是循環神經網絡的另一種分支，專門用於進行短時預測，解決處理長時間序列數據時之計算問題。

於未來改善海難搜救與勤務規劃的應用方面，國海院採用了來自台灣海洋科技研究中心(TORI)所架設的臺灣岸基海洋雷達觀測系統(TOROS)。該系統使用美國 CODAR SeaSonde 的集成式高頻雷達系統，如圖 2.7 所示。

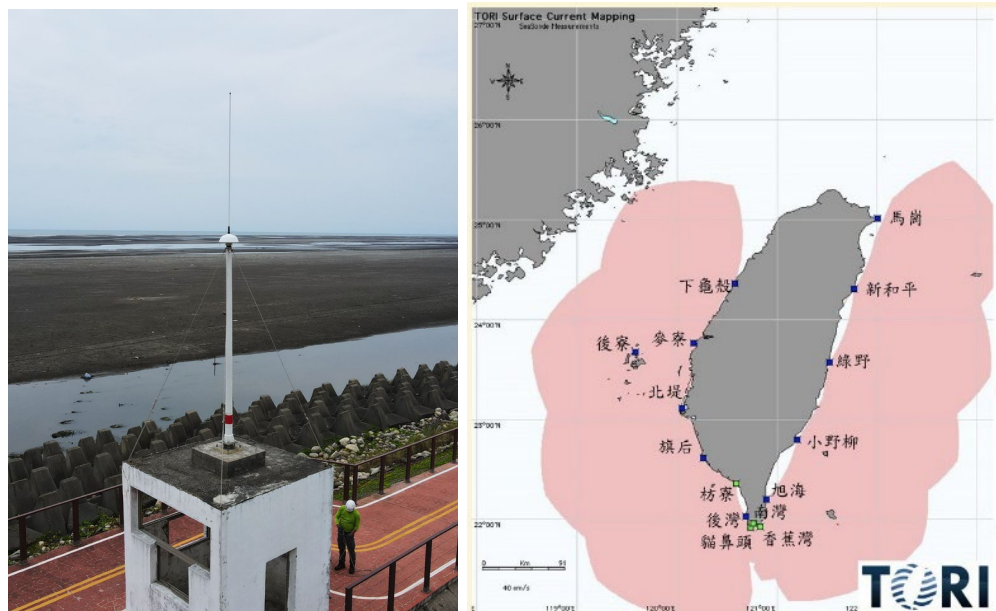


圖 2.7 台灣海洋科技研究中心海洋雷達觀測系統(TOROS)

同時，該研究嘗試使用長短期記憶模型(LSTM)的機器學習模式，進行海洋雷達測流流場與發展 12 小時後流場的短時預報。這項研究的目的是為未來的搜救系統和搜救勤務規劃體系提供支援，提高漂流追蹤模擬中的準確度。整個研究流程分為 4 個階段，包括：資料收集、資料品管與前處理、LSTM 機器學習，以及海流模擬結果，流程圖如圖 2.8 所示。此外，此研究方法已被應用於海氣象觀測，例如：示性波高、颱風風速以及水位變化等應用推算。

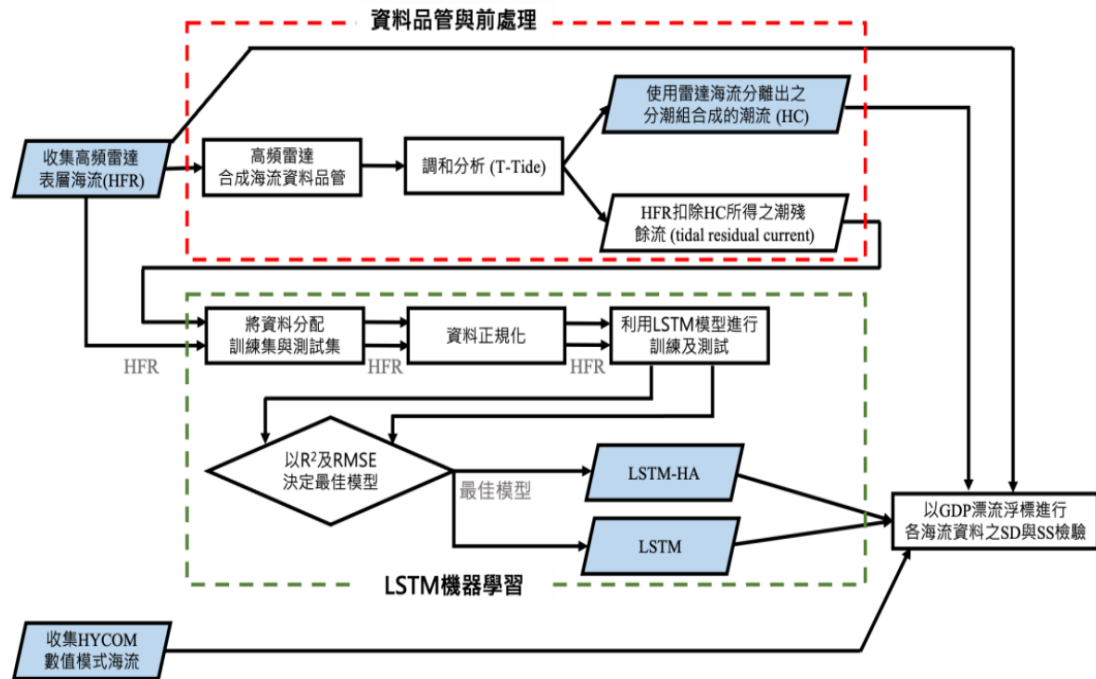


圖 2.8 海洋雷達測流資料與 LSTM 模型預測驗證短時流場流程圖

關於人工智慧的應用應用於陣列雷達，為利瞭解差異與適用性，各方法、原理與優點及缺點等分類整理，如表 2.1 所示。

表 2.1 陣列雷達應用人工智慧方法彙整表

方法	原理	優點/特色	缺點/限制
雙向長短期記憶模型 (Bi-LSTM)	利用機器學習之深度學習自動提取數據，學習異常檢測，從而改善數據品質。	能與其他深度學習架構結合，減少人為干預，降低可能錯誤，並加入時戳，增加對時間的敏感度，與簡化品管流程。	雙向長短期記憶模型需要大量記憶體，計算成本較高，運算易有過度擬合問題，特別是於資料集較小情況。
	Zhou, C., Wei, C., Yang, F., & Wei, J. (2023) A Quality Control Method for High Frequency Radar Data Based on Machine Learning Neural Networks.		
長短期記憶模型 (LSTM)	利用機器學習模式，學習殘差數據並判斷正確數據，剔除誤差數據，達到改善數據判斷成效。	能處理不定時間長度的數值，並能判斷是否需要保留判斷後的數據。	循環神經網絡較為簡單，並不靠考慮後續發展，運算易有過度擬合問題。

	Yang, Y., Wei, C. and Yang, F. et al. (2022) A Machine Learning-Based Correction Method for High-Frequency Surface Wave Radar Current Measurements.		
	為循環神經網絡分之，具有記憶與處理序列數據之功能，適用於處理時間相關之問題。	專門用於進行短時預測，解決處理長時間序列數據時之計算問題。	使用 LSTM 訓練過程，容易出現數據過度運算情況，導致與實際情況有所差異
	呂宜潔、賴堅戊、莊士賢(2022) 長短期記憶(LSTM)模型以海洋雷達測流資料預測短時流場。		

第三章 海流監測資料品管與檢核

為因應全球面臨的各種衍生性問題，特別是在巨量資料急劇成長的情況下，政府積極推動大數據理念，並推行開放資料政策，強調「開放授權、方便近用、開放格式」的原則。這項政策意旨在促進民眾參與資料加值應用，提供透明且可靠的資訊。開放資料的理念要求數據資料能夠被任何人自由存取、使用、修改和分享，有助於資料分析者透過歷史資料統計、創新思維與工具，創造解決問題之環境，並突破各種困境。然而，每位資料分析者或研究人員於審視資料的角度與分析資料的標準上可能存在人為差異，因而涉及許多細節不同。基於這點，本計畫期望海洋雷達資料能夠秉持公開提供，與符合品管檢驗標準的程序。如此，做法有助於為後續的資料分析、整理以及展示查詢提供可信賴的基礎。



資料來源：左圖政府資料開放平台，右圖麥肯錫報告

圖 3.1 政府開放資料(Open data)架構

承上，本計畫為逐步開放海洋陣列雷達各級觀測資料，品管基礎建立於美國 IOOS 提出的 QARTOD 陣列雷達品管手冊以及 110 年度的研究成果。遵循實務品管制度與經驗判斷，進一步改善與精進，以確保各項雷達觀測資料之可用性與準確性。同時，以此做為發展基礎，本計畫制定海洋陣列雷達海象觀測之基準，並明確判斷資料是否達到開放的標準。於品管標準的探討與資料驗證方面，本計畫將海洋陣列雷達產品分為 0 到 3 級，依次進行獨立處理。第 0 級產品指的是對雷達原始背向散射 IQ 原始訊號進行品管，第 1 級產品則是經過處理後的背向散射轉換成都卜勒譜與都卜勒距離譜。至於第 2 級產品，則是經過演算法處理後產品的品管，而第 3 級產品是指雙雷達進行空間合成的結果，例如：合成

波浪與合成海流，但這些過程都需要遵循科學界已公認的數據標準，後續將更進一步詳細說明。

3.1 雷達資料 netCDF 與 CF 約定

netCDF(Network Common Data Form)是一種網路通用數據格式，如圖 3.2 所示。這種格式具有可自述性、易用性、可追加性與陣列特性，適用於網路共享與數據交換，其檔案副檔名為「.nc」。最早由美國大氣科學及相關科學研究的 100 多所大學與培訓學院組成的非營利聯盟提出，該聯盟名為大氣科學研究大學聯盟(University Corporation for Atmospheric Research, UCAR)，用於儲存大氣科學研究相關的網格資料。netCDF 數據以特殊編碼方式儲存，包括變數的描述(名稱、維度、單位、物理意義)，與變數於網格點上的數值(時間、站點名稱、經緯度等)。

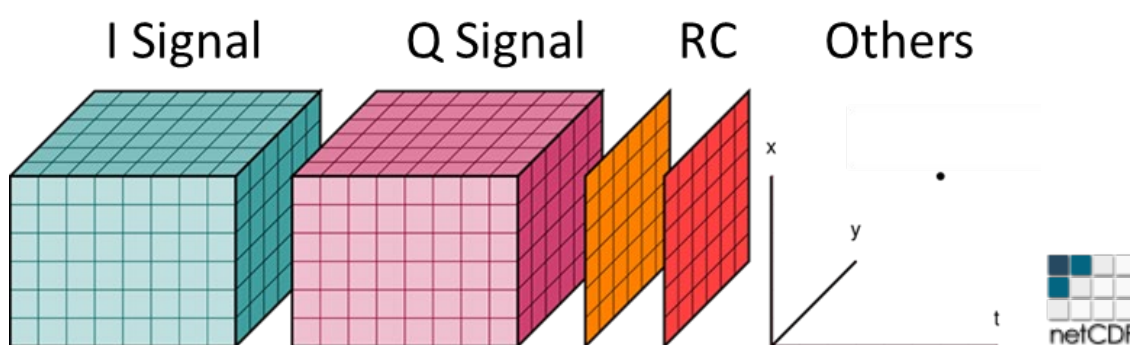


圖 3.2 網路通用數據格式 netCDF

這種數據格式已經廣泛應用於大氣科學、海洋學、地質環境與地球科學等領域。任何使用者可以自由操作、使用與管理數據資料，netCDF 逐漸成為美國 NOAA 氣候數據中心發布的海洋與大氣綜合資料(International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data, 簡稱 ICOAD)以及其他組織之標準，如圖 3.3 所示，除此之外，天氣研究與預報模式(WRF)輸出的結果、澳大利亞 CSIRO 海洋與大氣研究、德國航空太空中心(DLR)與法國海洋開發研究所(Ifremer)。這種數據標準於科學界廣泛得到接受，各國也積極參與，具體情況整理，如表 3.1 所示。netCDF 數據，憑藉其在全球著名機構的廣泛應用，已經發展出多種程式語言的支援，包括：Matlab、Python、C++、Java 與 Fortran。這些程式語言可以通過指令進行數據的創建、修改與讀寫操作。截至目前，netCDF 的版本已經發

展到第四版(netCDF version 4)，並持續引領科學數據管理與分析，促進通用資料的儲存與交換。netCDF 數據具有易讀寫效率高、可操作性強、且支援跨平台程式語言的廣泛優點。然而，缺點係使用者需要具備相當的程式語言編寫基礎。

 **Catalog** <https://dods.ndbc.noaa.gov/thredds/catalog/hfradar/catalog.html>

Dataset	Size	Last Modified
 NDBC HF Radar Data - Individual Hourly RTV Files		--
202311281400 hfr glna 500m rtv uwls NDBC.nc	72.11 Kbytes	2023-11-28T15:09:12.560Z
202311281400 hfr glna 2km rtv uwls NDBC.nc	71.36 Kbytes	2023-11-28T15:13:12.909Z
202311281400 hfr glna 1km rtv uwls NDBC.nc	71.36 Kbytes	2023-11-28T15:11:12.660Z
202311281300 hfr uswc 6km rtv uwls NDBC.nc	98.38 Kbytes	2023-11-28T14:52:39.978Z
202311281300 hfr uswc 500m rtv uwls NDBC.nc	75.11 Kbytes	2023-11-28T14:17:15.642Z
202311281300 hfr uswc 2km rtv uwls NDBC.nc	209.5 Kbytes	2023-11-28T14:50:32.519Z
202311281300 hfr uswc 1km rtv uwls NDBC.nc	311.5 Kbytes	2023-11-28T14:48:31.662Z
202311281300 hfr usegc 6km rtv uwls NDBC.nc	114.6 Kbytes	2023-11-28T14:53:40.283Z
202311281300 hfr usegc 2km rtv uwls NDBC.nc	318.2 Kbytes	2023-11-28T14:51:36.320Z
202311281300 hfr usegc 1km rtv uwls NDBC.nc	767.3 Kbytes	2023-11-28T14:49:47.868Z
202311281300 hfr prvi 6km rtv uwls NDBC.nc	73.07 Kbytes	2023-11-28T14:25:16.719Z
202311281300 hfr prvi 2km rtv uwls NDBC.nc	86.77 Kbytes	2023-11-28T14:24:15.801Z
202311281300 hfr glna 6km rtv uwls NDBC.nc	71.35 Kbytes	2023-11-28T14:45:12.358Z
202311281300 hfr glna 500m rtv uwls NDBC.nc	72.11 Kbytes	2023-11-28T14:39:12.469Z
202311281300 hfr glna 2km rtv uwls NDBC.nc	71.35 Kbytes	2023-11-28T14:43:12.267Z
202311281300 hfr glna 1km rtv uwls NDBC.nc	71.36 Kbytes	2023-11-28T14:41:12.332Z
202311281300 hfr gak 6km rtv uwls NDBC.nc	76.73 Kbytes	2023-11-28T14:29:14.725Z

(資料來源：<https://dods.ndbc.noaa.gov/thredds/catalog/hfradar/catalog.html>)

圖 3.3 美國 NOAA 海洋陣列雷達海表面流資料庫

表 3.1 各國參與 netCDF 情形表

國家	機構	縮寫
美國	國家海洋和大氣管理局	NOAA
澳大利亞	聯邦科學與工業研究組織海洋與大氣	CSIRO
澳大利亞	天氣與氣候研究中心	AVISO
法國	海洋開發研究所	IFREMER
德國	航空太空中心	DLR
義大利	國際理論物理中心	ICTP
韓國	首爾國立大學	SNU
荷蘭	Cabauw 大氣研究實驗場	CESAR

氣候與預報(Climatology and Forecast, CF)是由大氣科學研究大學聯盟(UCAR)於 2003 年在建立 unidata 項目中 netCDF 分支所制定的一種資料約定。CF 約定的檔案設立使得數據資料更加制度化。為確保數據之間的可比性，描述方式需要使用約定中所規範之標準名稱(使用者可透過 CF Standard Name Table 進行查詢)，以精確地描述變量並進行定義。

於本計畫的雷達階段性產品中，試圖採用 netCDF 格式進行儲存，並遵循 CF 約定，設定資料屬性與標準變數。然而，由於標準名稱資料庫尚未完備，CF 約定未包含的參數與其意義，未來建議能夠向大氣科學研究大學聯盟的管理組織提出建議。有關產品輸出檔案的命名規則，建議可以查詢 CF Standard Name Table 頁面，如圖 3.4 所示。該檔案名稱應包含資料測站各階段、資料開始至結束的日期與時間。建議的命名格式可能是：[階段][測站簡稱][年年年年月月日日十十分分秒秒(開始)][年年年年月月日日十十分分秒秒(結束)].nc。實際應用範例情況可以參考本計畫雷達檔案 L0_htcn_20230601000000_20230601003000，至於第 0 級與第 1 級參數型態與定義，如表 3.2 所示，而其他參數型態與定義可參考附錄一。

CF Standard Name Table

Version 79, 19 March 2022

Refer to the [Guidelines for Construction of CF Standard Names](#) for information on how the names are constructed and interpreted, and how new names could be derived.

A note about units

The canonical units associated with each standard name are usually the SI units for the quantity. [Section 3.3 of the CF conventions](#) states: "Unless it is dimensionless, a variable with a standard_name attribute must have units which are physically equivalent (not necessarily identical) to the canonical units, possibly modified by an operation specified by either the standard_name modifier ... or by the cell_methods attribute." Furthermore, [Section 3.3 of the CF conventions](#) states: "The values of the units attributes are character strings that are recognized by UNIDATA's Uunits package (UUNITS), (with exceptions allowed as discussed in Section 3.1, "Units")." For example, a variable with the standard name of "air_temperature" may have a units attribute of "degree_Celsius" because Celsius can be converted to Kelvin by Uunits. For the full range of supported units, refer to the [Uunits documentation](#). Refer to the [CF conventions](#) for full details of the units attribute.

Search

eastward_sea_water_velocity radial_sea_water_v

Search Standard Names Show All Standard Names

AND OR (separate search terms with spaces)

Also search help text

Found 14 standard names matching query: eastward_sea_water_velocity radial_sea_water_velocity toward_instrument

View by Category

Atmospheric Chemistry

Atmospheric Dynamics

Carbon Cycle

Cloud

Hydrology

Ocean Dynamics

Radiation

Sea Ice

Surface

Standard Name	Canonical Units	AMIP	GRIB
barotropic eastward sea water velocity	m s-1		
barotropic eastward sea water velocity	m s-1		
eastward sea water velocity	m s-1	49	
eastward sea water velocity assuming no tide	m s-1		
eastward sea water velocity at sea floor	m s-1		
eastward sea water velocity due to parameterized mesoscale eddies	m s-1		
altim: bolus eastward sea water velocity	m s-1		
eastward sea water velocity due to tides	m s-1		
geostrophic eastward sea water velocity	m s-1		
product of eastward sea water velocity and salinity	m s-1		
product of eastward sea water velocity and temperature	K m s-1		
radial_sea_water_velocity_toward_instrument	m s-1		
surface eastward sea water velocity	m s-1		
surface geostrophic eastward sea water velocity	m s-1		
altim: surface eastward geostrophic sea water velocity	m s-1		
surface geostrophic eastward sea water velocity assuming mean sea level for geoid	m s-1		
altim: surface geostrophic eastward sea water velocity assuming sea level for geoid	m s-1		
altim: surface eastward geostrophic sea water velocity assuming sea level for geoid	m s-1		

圖 3.4 CF Standard Name Table 查詢頁面

表 3.2 雷達資料 netCDF 與 CF 約定格式(截錄)

(a) Level0 參數型態與定義

參數名稱	維度	大小	型態	單位	填充值	標準名稱
datacomp I	chirps antenna samplecomp	[16 8218160]	int16	1	-32767	-
定義	海洋陣列雷達 I 訊號的全面擷取與壓縮。					
datacomp Q	chirps antenna samplecomp	[16 8218160]	int16	1	-32767	-
定義	海洋陣列雷達 Q 訊號的全面擷取與壓縮。					

(b)Level1 參數型態與定義

參數名稱	維度	大小	型態	單位	填充值	標準名稱
DR_Spectrum	thetavec range dopfreq	[25 80 1024]	double	dB	9.97E+36	-
定義	多普勒距離譜顯示來自海面的背向散射的無線電波訊號，該訊號根據 IQ 訊號於線性調頻與取樣補償 2 個維度上進行 FFT 計算出來。					

3.2 品管標準探討

在討論品管標準之前，需要事先釐清海洋陣列雷達的海氣象觀測中，哪些部分是可以品管，哪些部份是屬於不可品管。具體而言，表層海面包含許多的海洋物理現象，例如：海洋鋒面與海表面起伏的特徵等。海洋陣列雷達觀察這些物理特徵，受到雷達條件限制的影響，這種影響基於圍擾法與微小參數。舉例來說，雷達的電磁波頻率較低時，可以增加對波浪波高的觀測，反之亦然。例如：5MHz 的雷達頻率約可觀測 12m 高的波浪，而 10MHz 則約可觀測 5-6m 高的波浪，20MHz 則約可

觀測3-4m高的波浪。這係由雷達先天設計的限制，無法透過品管改善，需要通過改變雷達的頻率條件來調整。

因此，本計畫品管標準的討論，以不牽涉雷達設計的限制、科學理論與量測環境條件等方面，也就是海洋與雷達電磁環境之自然時空變異與內外在人為電磁干擾以外，僅專注於討論海洋陣列雷達的資料品管。根據美國 QARTOD 品管手冊中 Bushnell(2005)的觀點，品質控制(Quality control, QC)是一系列運用科學理論基礎和統計特性建立的標準，旨在濾除各種干擾，以實現從大量數據中獲得高品質資料的自動化或人工檢查步驟。這些步驟包括資料完整性檢查(資料格式核對與資料時戳檢驗等)、數據檢查(閾值檢查、最小與最大變化率檢查)、相鄰值檢查、訊噪比、數據註記等。本計畫中，海洋陣列雷達資料的品管包括時間距離譜(自譜)、都卜勒譜，以及都卜勒距離譜(Doppler Range Spectrum, DRS)，具體內容如下：

(一) 0 級品管

本品管程序為當前雷達系統接收海面雷達的背向散射訊號，訊號尚未進行處理之前，對於雷達訊號所進行最前端的品管程序，當 IQ 接收訊號振幅位於範圍值之內，標示為通過(flag=1)，若 IQ 接收訊號小於最小接收振幅的範圍，則標示為錯誤(flag=4)；尋找啁啾(chirp)的標準頻寬，若其他接收天線的最大值與最小值差值符合標準頻寬的範圍之內，標示為通過(flag=1)，若其他接收天線的差值大於標準頻寬的範圍，則標示為錯誤(flag=4)。此程序反映海洋陣列雷達硬體健康程度，資料品質越好，顯示雷達周遭環境變異較小，硬體無老舊劣化情況，故建站初期需確認硬體規格與環境背噪是否滿足架站時期設定的觀測條件，並將當時建造的雷達訊號建檔，以做為後續 0 級品管的比對參考，若不符合條件，可於硬體系統加入降低雜訊或濾除雜訊的過濾器，以確保雷達收發天線之增益值，確認滿足品管程序的 IQ 訊號，整理為 netCDF 格式，做為後續分析與資料交換使用準備，0 級品管流程，如圖 3.5 所示。

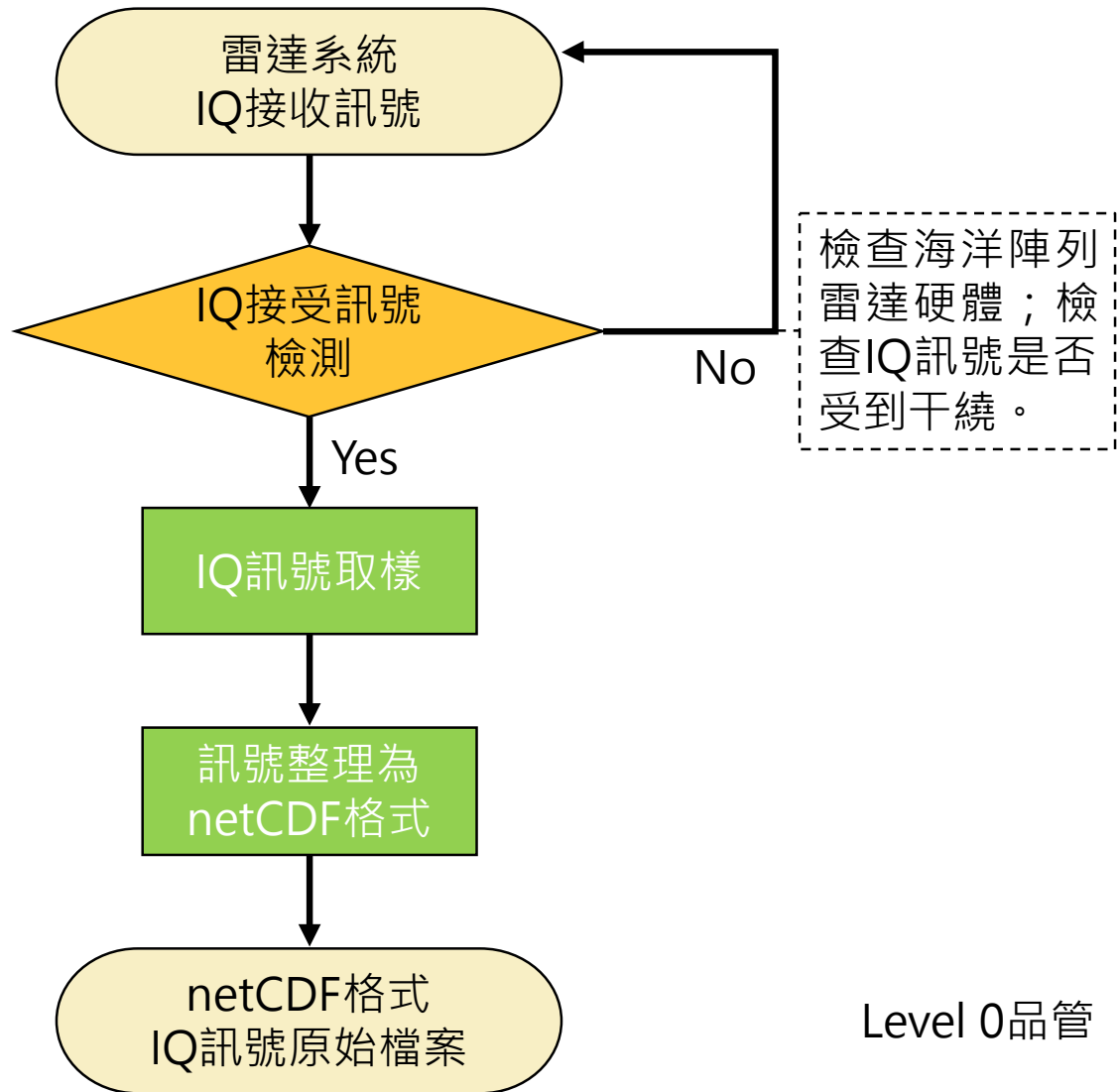


圖 3.5 海洋陣列雷達 0 級品管流程圖

(二) 1a 級品管

由於天線受外在環境的劣化，使接收成效降低，為掌握天線狀態須進行第 1a 級品管，本級品管是針對天線接收的時間距離譜進行品管程序，或稱為自譜的品管程序，當全部接收天線增益值大於 0.5 時，標示為通過(flag=1)，若接收天線增益值小於 0.5 表示某天線發生異常，需要進一步檢查，若異常天線數量小於 4 支且中段異常天線數量小於 2 支，演算軟體的對策可將異常天線給予零值繼續項下計算，但全部接收天線增益值小於 0.5 範圍時，則標示為錯誤(flag=4)，表示天線異常情形已經影響雷達系統觀測，需要立即安排人員檢修。

接收天線增益值定義為各天線的功率譜的均方根值，除以同時所有天線的平均值，即得到該天線與所有天線中的能量比值，也就是透過天線增益值檢查各天線的訊號強度之偏離情形，從而協助管理人員掌握天線狀態，按照近年雷達維護經驗，觀測的不確定度絕大部分來自於異常天線，以及部分雷達系統故障或連接線路發生短路等原因，訂定天線增益值 0.5 為容許下限，若低於容許值下限，能清楚判斷異常天線的編號，並加以標註，做為後續維修的安排，1a 級品管流程，如圖 3.6 所示。

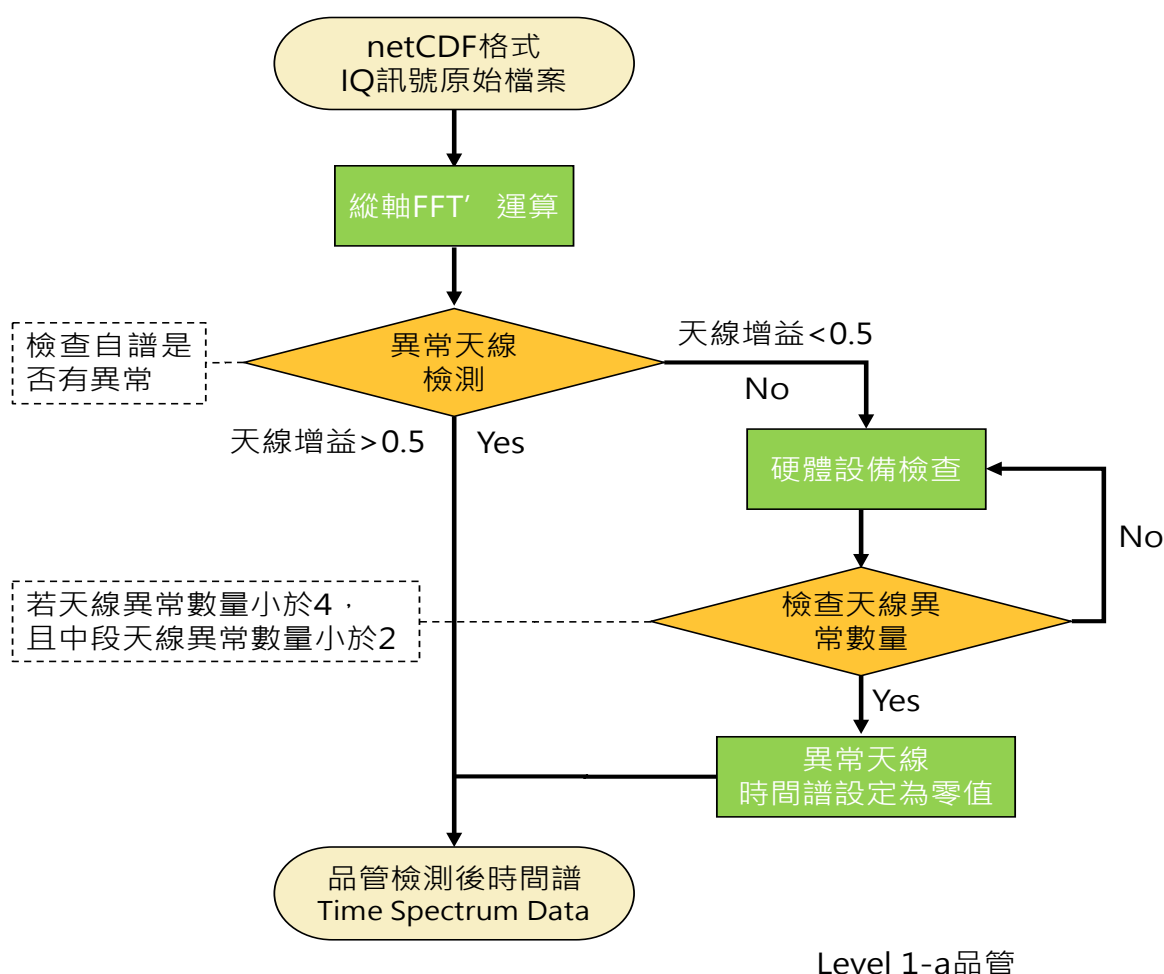


圖 3.6 海洋陣列雷達 1a 級品管流程圖

(三) 1b 級品管

第 1b 級品管為都卜勒譜的品管，概分為兩類品管，第 1 類為都卜勒譜峰品管，第 2 類為都卜勒譜船舶訊號濾除。其中海洋陣列雷達的背向散射訊號之譜峰與海洋表面的海流、波浪與風的特

微密切相關，透過演算法推算海洋表面的物理特徵，需要獲取都卜勒頻譜充足的譜峰能量。都卜勒譜做為海洋陣列雷達的重要產品之一，如圖 3.7 所示，圖譜記錄著雷達背向散射訊號與海表面的重要訊息，橫軸表示為都卜勒頻率，縱軸表示相對功率譜的密度，都卜勒譜記錄著雷達雜訊與一階峰與二階峰的特性，其中一階峰與海流與風向參數相關，二階峰與波浪、波向與風參數相關，橫軸正頻表示參數向雷達站靠近，負頻表示參數遠離雷達站。

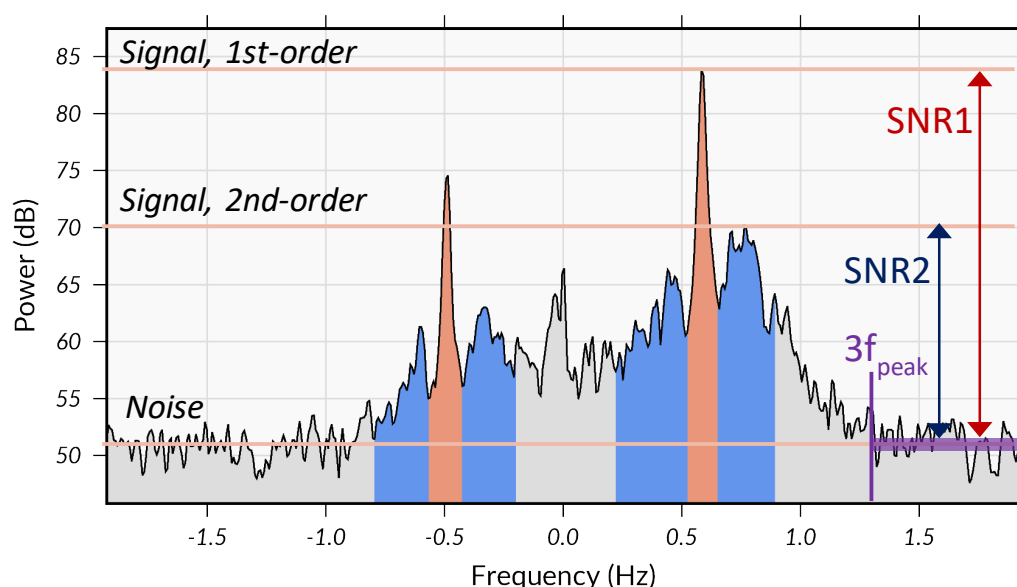


圖 3.7 海洋陣列雷達都卜勒譜

由圖 3.7 都卜勒譜雜訊值定義為 3 倍都卜勒譜一階峰頻率以外的區間，取 1.5 Hz($=0.5\text{Hz} \times 3$)以外的訊號區間之平均值做為雜訊值，進而得到一階峰訊噪比(SNR1)、二階峰訊噪比(SNR2)，至於出判定門檻值定義，接續說明如下。

- (1)一階峰辨識原理根據巴里克(Barrick 2005a)研究，由雷達背向散射訊號演算表面海流，若採用多重訊號分類(MUSIC)演算法運算，一階峰訊噪比(SNR1)必須超過 13dB，但若使用波束合成(Beamforming)演算法運算，由 Wang 與 Gill(2016)研究亦建議最小一階峰訊噪比(Minimum SNR1)為 10dB，一階峰值訊噪比若高於 15dB，則波束合成(採用 Bartlett 演算方式)演算的誤差類似隨機誤差，且訊噪比或雷達發射頻率似乎並不明顯，因

此，建議一階峰訊噪比(SNR1) 採用 15dB 做為門檻值，藉以分離雜訊值與識別一階峰能量的標準。

(2)二階峰辨識原理係利用雷達二次背向散射訊號與波浪、風成份的關係，故需評估二階峰訊噪比(SNR2)的門檻值，以分離出二階峰值，從文獻回顧 Ramos(2009)建議二階峰訊噪比(SNR2)至少需要 11dB，則可計算波浪參數，對此 Wyatt(2005)研究文獻建議二階峰訊噪比(SNR2)若當作門檻值至少需要為 10dB；此外，Wyatt(2000)研究文獻又提到二階峰的訊噪比大於 15dB 時，則可計算方向波譜。綜上所述，為同時滿足計算波浪與方向波譜條件，建議二階峰訊噪比(SNR2)採用 15dB 做為門檻值，藉以分離雜訊值與識別二階峰能量的標準。

(3)平均二階峰比值影響示性波高的訊號，從文獻回顧 Alattabi 等人(2019)、Chen(2013)與 Lopez(2016)皆採用 10dB 做為門檻值，但蔡(2019)研究文獻建議以 5dB 做為預定門檻值來判斷輸出資料是否有效性，綜上所述，建議平均二階峰比值以 5dB 做為品管標準，兩比值在 5dB 以內波高訊號品質較佳。

(4)一階峰比值影響風向估計，從文獻回顧 Fernandez 等人(1997)與 Wyatt(2018)研究表示兩個一階峰值比值可用於風向估計，但仍無法應用於作業化，回顧更早時期 Long 與 Trizna(1973)、Lipa 與 Barrick(1986a)率先將布拉格波擴散函數假設為心形模型(cardioid model)，因此，一階峰比值於 0 到無窮大的範圍內，但後續 Huang 等人(2012)研究認為此比值應於 0 至 25dB 的範圍內，截至目前為止，國內累積的研究經驗，測試一階峰比值若以 10dB 做為品管標準，則兩比值在 10dB 以內風速結果較佳。

總括來說，第 1 類為都卜勒譜峰 1b 級品管流程，如圖 3.8 所示，先處理一階峰訊噪比品管，再進行二階峰訊噪比品管，討論平均二階峰比值，再處理一階峰比值。

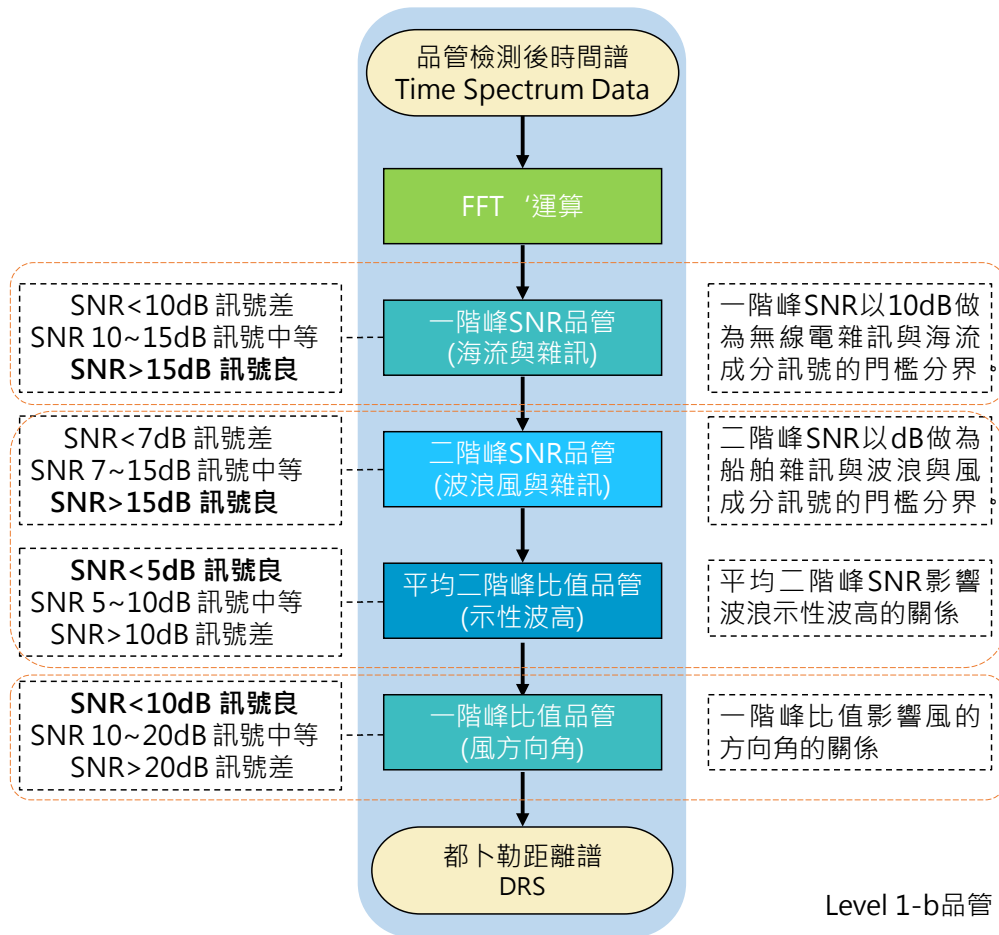


圖 3.8 海洋陣列雷達 1b 級品管流程圖

(四) 美國 QARTOD 品管標準

依據美國 QARTOD 品管手冊建議與文獻回顧的品管門檻值，建立本計畫品管標準，評估都卜勒譜一階峰訊噪比(SNR1)、二階峰訊噪比(SNR2)的品管等級，品管後旗標分類為 1、2、3、4、9 類，數據已通過品管的訊息，標示為通過(flag=1)，數據尚未經過 QC 測試，或質量訊息不可用，標示為未評估(flag=2)，可疑資料或研究者感興趣資料，標示為特殊資訊(flag=3)，數據未通過品管的資料，標示為錯誤資料(flag=4)，數據缺失，標示佔位符號(flag=9)，如圖 3.9 所示，資料品質高低分為良好、中等、差勁 3 種不同的等級，如表 3.3 所示。標示良好的資料數據，對於海氣象波浪、海流與風參數演算更加信賴，標示差勁的資料數據，資料可靠性低，屬於未通過品管的資料，建議剔除，並不予計算。

Flag	Description
Pass=1	Data have passed critical real-time quality control tests and are deemed adequate for use as preliminary data.
Not evaluated=2	Data have not been QC-tested, or the information on quality is not available.
Suspect or Of High Interest=3	Data are considered to be either suspect or of high interest to data providers and users. They are flagged suspect to draw further attention to them by operators.
Fail=4	Data are considered to have failed one or more critical real-time QC checks. If they are disseminated at all, it should be readily apparent that they are not of acceptable quality.
Missing data=9	Data are missing; used as a placeholder.

圖 3.9 美國 QARTOD 品管手冊建議的品管旗標分類

表 3.3 資料品管建議門檻值

旗標	1	2	3	4	9
說明	通過品管(良)	未品管	可疑資料(中)	未通過品管(差)	數據缺失
都卜勒譜 SNR1 品管	>15dB	△	10~15dB	<10dB	◎
都卜勒譜 SNR2 品管	>15dB	△	7~15dB	<7dB	◎
平均 SNR2 比值品管	<5dB	△	5~10dB	>10dB	◎
SNR1 比值品管	<10dB	△	10~20dB	>20dB	◎

(五) 船舶訊號品管

當雷達系統接收海面雷達的背向散射訊號，除接收到電磁波與海表面海流與海表面波浪之共振訊號，電磁波的反射船舶船體的電磁波(又稱為船舶回波)亦會被雷達系統紀錄到，船舶訊號之討論往昔學者共提出幾種不同方法解決，例如 Dzvonkovskaya 與 Rohling(2006)的回歸法、Jangal 等人(2008)的小波變換分解法、Chuang(2015)的二維移動平均法與平滑技術。回顧 Wyatt 等人(2011)於作業化海洋學期刊，觀察英國利物浦灣海洋陣列雷達與 ADCP 現場觀測 2 年的研究結果討論，發現都卜勒譜的二階峰通常較一階峰能量低約 20-30dB，若存在大於二階分量的能量，肯定係船舶回波或其他干擾源所引發二階峰能量突然增大之異常情形，如圖 3.10 所示(紅圈起處)。一般情況的小型船隻或漁船反射

雷達訊號的船舶回波訊號較小，對於都卜勒譜影響較小，因此通常可以忽略不計，然而，臺中港係國際商港，無法避免動輒數百公尺長之散裝貨輪或油輪進出港區，儘管船舶距離港口尚距 30 公里遠，但船舶產生的回波訊號仍然不可忽略不計，顯示消除船舶回波是減低干擾是或獲取良好觀測數據所必要的。

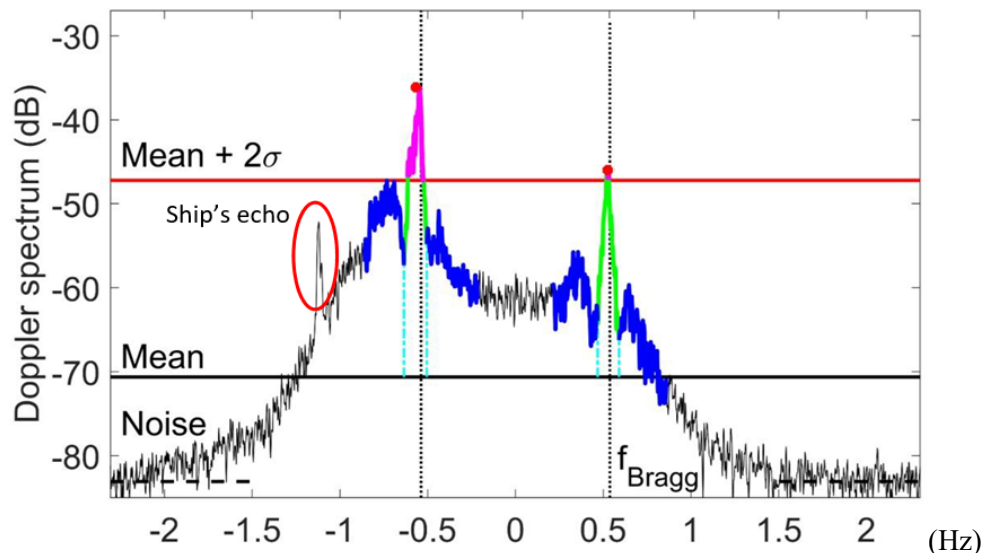


圖 3.10 都卜勒譜船舶回波干擾圖

本計畫具體採用 Chuang(2015)的二維移動平均法處理船舶訊號，使用 12 種不同尺寸的平滑窗(window)於交叉頻譜訊號，並使用二維移動平均(2D moving average)過濾雷達頻譜訊號，再將兩者相減(即交叉頻譜訊號扣除二維移動平均後的頻譜訊號)獲得殘餘訊號，再使用平均值加上 2 倍至 3 倍標準偏差值當做門檻值，若殘餘值大於所設定的門檻值，則辨識為船舶的回波訊號，這種使用不同尺寸的平滑窗的分析方法，又可稱為調適性偵測法(Adaptive Detection method)；

本計畫具體採用 Chuang(2015)於 SeaSonde 雷達的二維移動平均與處理船舶訊號的原理進行分析，所謂調適性偵測法係指訊號偵測過程使用種不同尺寸的平滑窗(window)於交叉頻譜訊號分析，Chuang(2015)使用 12 種不同尺寸的平滑窗，並使用二維移動平均(2-D moving average)過濾雷達頻譜訊號，再將兩者相減(即交叉頻譜訊號扣除二維移動平均後的頻譜訊號)獲得殘餘訊號，再使用平均值加上 2 至 3 倍標準偏差值當做門檻值，若殘餘值大於

所設定的門檻值，則辨識為船舶回波訊號；本計畫根據統計結果選擇 10×40 窗做為二維移動平均濾波窗，標準差為 2 倍做為調適性門檻值，以檢測不同方位角中都卜勒距離譜的船舶，若任何峰值的殘餘值高於門檻值，船舶回波訊號與能量將予刪除，並恢復一階區域的原始值頻譜的功率，予填補都卜勒距離譜的空白區域，以二維移動平均法進行插值處理，最後完成新都卜勒距離譜的儲存，船舶訊號品管流程圖，如圖 3.11 所示。

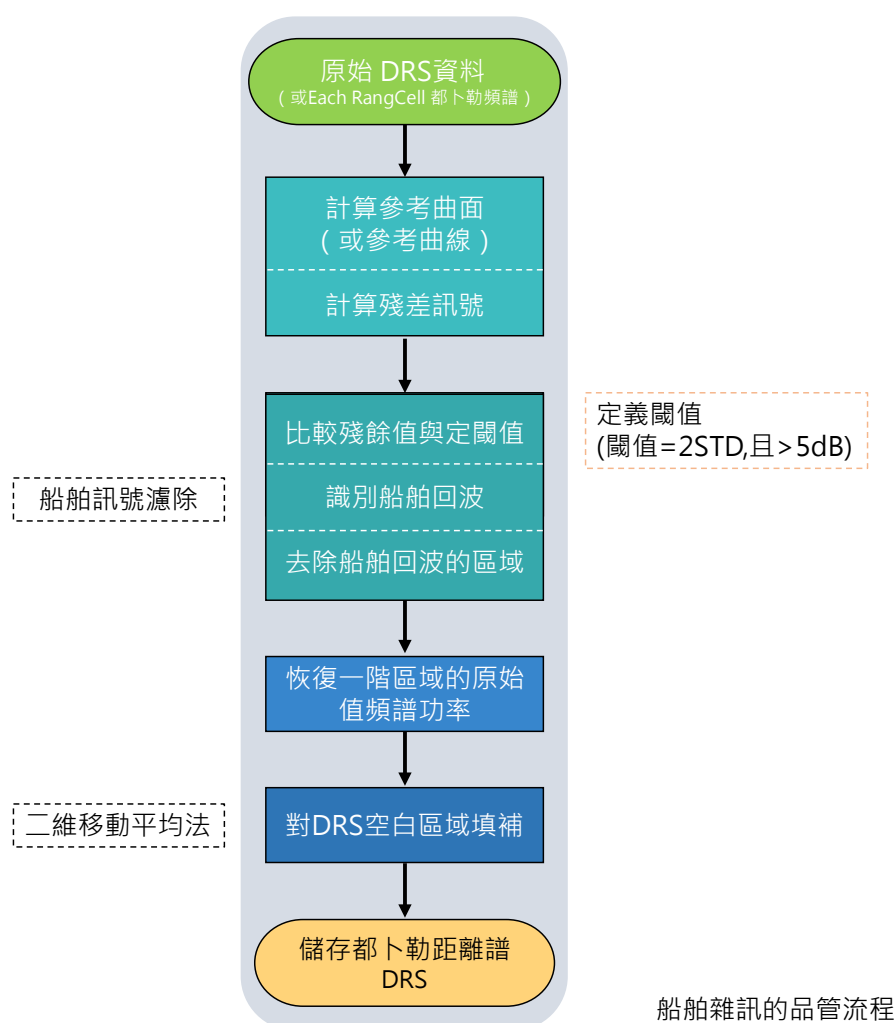


圖 3.11 船舶訊號品管流程圖

(六) 2 級產品品管：徑向流速品管

根據本中心臺中港(截至 2021 年)歷年海流觀測統計資料，歷年四季平均流速統計範圍於 $34.2\text{cm/sec} \sim 45.7\text{cm/sec}$ 之間，其中歷年冬季為 45.7cm/sec 、歷年春季為 34.2cm/sec 、歷年夏季為 38.4cm/sec 、歷年秋季為 37.9cm/sec ，歷年臺中港平均流速值約為

39cm/sec，本中心所記錄的表層海流資料絕大部分小於100cm/sec。根據 Kirincich(2017)、Mantovani 等(2020)研究表示，海洋陣列雷達觀測海洋表面的速度，最大海流速度取決於雷達電磁波的頻率，若以 25.5MHz 為主要頻率，其海洋陣列雷達觀測的徑向海流速的最大門檻為 100cm/sec。此門檻值亦參考美國加州的海岸觀測研究發展中 (Coastal Observing Research and Development Center, 簡稱 CORDC)手冊高頻雷達即時徑向流(Real-time Velocity, 簡稱 RTV)處理及品管，與 Lipa, B. and D. Barrick(1983)建議門檻值需經由 3 個月以上之經驗校正，本計畫建議採用 100 cm/sec 做為門檻值，以限制與過濾一階峰值區域計算徑向速度之異常值。參考美國 IOOS 系統 QARTOD 高頻雷達表面海流觀測手冊，進行下列 2 級品管項目如下：

(1)格式正確性檢查 Syntax (Test 201/本計畫已開發)

本項品管為確保徑向海流檔案件欄位的格式是否正確的品管指標，判斷資料檔案的標頭(header)與輸入檔案各項目是否符合要求，需要判斷檔案名稱時間戳記是否與為正確的時戳，徑向海流資料表(經緯度座標、水平與垂直速度)不得為空白資料，如表 3.4 所示。

表 3.4 格式正確性(Test 201)

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/檔案內標頭(header)完全符合	-
4	差/檔案內標頭未完全符合	-
3	可疑資料	-
9	遺失資料	-

(2)徑向流速最大閾值(上限標準 Test 202/本計畫已開發)

最大徑向速度閾值表示給定最大合理表面徑向速度，以確保海表面徑向流速度不會過高，本項測試規範建議由研究人員因地制宜而定，例如：美國西岸最大徑向流速度閾值為 100cm/s，美國東部墨西哥灣地區最大徑向流速度閾值為 3m/s，如表 3.5 所示。

表 3.5 徑向流速最大閾值(Test 202)

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/流速小於或等於 100cm/s	Value $\leq$ 100 (cm/s)
4	差/流速大於 100cm/s	Value $>$ 100 (cm/s)
3	可疑資料	-
9	遺失資料	-

(3)位置合理性檢查(Test 203/本計畫已開發)

本項品管為檢查徑向海流的有效位置(Test 203)，為各項海表參數計算必要的品管指標，此向品管係事前移除觀測範圍內不可測量區域網格的徑向流速度，例如某些區域為小島、遮蔽或覆蓋區域(Areas flagged with a code, 又稱為 FLOC)，這些無法觀測的地點預先標記位置與地理環境，並加以排除，如表 3.6 所示。

表 3.6 有效位置標記

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/各站流資料非出現於陸地或遮蔽區域	FLOC=0
4	差/陸地或會被遮蔽區域	FLOC=1
3	可疑資料	-
9	遺失資料	-

(4)徑向觀測數量檢查(Test 204/不適用)

本項品管排除徑向觀測數量較低的檔案(即徑向覆蓋率較差)，查看徑向檔案的觀測數量(RCNT)，檔案觀測數量必須高於閾值(RCNT_MIN)以通過測試，如果徑向觀測數量低於最低觀測資料數量水平，則表示資料收集率有問題，在此情況應排除後續運算，美國 IOOS 系統 QARTOD 高頻雷達表面海流觀測手冊建議此項品管不適用於波束合成雷達，僅限於集成式雷達，如表 3.7 所示。

表 3.7 徑向觀測數量檢查

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/徑向觀測數量大於 RC_LOW	RCNT $>$ RC_LOW
4	差/徑向觀測數量小於 RC_MIN	RCNT $<$ RC_MIN
3	可疑資料/RC_MIN $\leq$ RCNT $\leq$ RC_LOW	-
9	遺失資料	-

(5)空間中值速度值檢查(Test 205/不適用)

對於每個徑向來源的徑向速度向量/不適用，計算範圍長度(km)內以與方位角角度內的所有速度的中位數，除非徑向速度向量與中值速度之差大於流速限度排除該徑向速度，否則繼續使用中位數徑向速度，美國 IOOS 系統 QARTOD 高頻雷達表面海流觀測手冊建議此項品管不適用於波束合成雷達，僅限於集成式雷達，如表 3.8 所示。

表 3.8 空間中值速度值檢查(不適用)

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/徑向速度與中位數速度差值小於或等於閾值	RV 中位數 $\leq$ 閾值
4	差/徑向速度與中位數速度差值大於閾值	RV 中位數 $>$ 閾值
3	可疑資料	-
9	遺失資料	-

(6)徑向流速時間變化量檢查(時間梯度合理性 Test 206/未開發)

本項品管檢查特定範圍內連續徑向速度測量值的差值的變化率 $\text{GRADIENT_TEMP} = |R_{t-1} - R_t|$ 是否於可接受的範圍之內，本項測試規範建議由研究人員制定，本計畫尚未開發建議未來納入，如表 3.9 所示。

表 3.9 徑向流速時間變化量檢查

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/徑向流速時間變化量小於警告值	$< 36 \text{ cm/s*hr}$
4	差/徑向流速時間變化量大於或等於錯誤值	$\geq 54 \text{ cm/s*hr}$
3	可疑資料/警告值 $<$ 徑向流速時間變化量 $\leq$ 錯誤值	-
9	遺失資料	-

(7)平均徑向輻射方向檢查(Test 207/不適用)

檢查採樣間隔(例如：間格 1 小時)平均徑向輻射方向是否保持相對固定 Roarty 等人(2012)，間隔內平均徑向輻射方向是否接近參考方向，當變化量差值超過閾值顯示警告或故障，例外情況隨著觀測方位角的增加，測試的作用逐漸減弱，需特別注意全向性站點使用，本項品管檢查不適用於波束合成雷達，僅限於集成式雷達，本項測試規範建議由研究人員制定，如表 3.10 所示。

表 3.10 平均徑向輻射方向檢查(不適用)

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/平均徑向軸承與參考軸承間絕對差異小於警告閾值	$<15^{\circ}$
4	差/平均徑向軸承與參考軸承間絕對差異超過故障閾值	$\geq 30^{\circ}$
3	可疑資料	-
9	遺失資料	-

(8)徑向速度與合成速度差絕對值檢查(Test 208/未開發)

本項品管檢查實際徑向速度與合成速度之間的差異，透過兩個以上或多數個雷達站的合成，並將合成速度(Synthetic Radial velocity, RA)與單雷達站實際徑向速度(Actual Radial velocity, RA)進行比較，例外情況，除非雷達站提供足夠具有重疊覆蓋的徑向分量，否則本項品管無法進行檢查，如表 3.11 所示。

表 3.11 徑向速度與合成速度差絕對值檢查

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/合成速度與實際徑向速度間絕對差值小於閾值	$\leq 15\text{cm/s}$
4	差/合成速度與實際徑向速度間絕對差值超過閾值	$> 25\text{cm/s}$
3	可疑資料	-
9	遺失資料	-

(9)徑向速度停滯值檢查(Test 209/未開發)

本項品管檢查某特定位置的徑向時間序列中徑向速度的重複值，若連續徑向速度之間的時間變化尚未超過個連續數個時間間格的觀測解析度，評估該徑向速度被視為固定值，建議剔除，本項測試規範建議由研究人員制定，如表 3.12 所示。

表 3.12 徑向速度停滯值檢查

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/連續觀測徑向速度變化 大於超出數個連續值的觀測解析度	$> \text{觀測解析度}$
4	差/連續觀測徑向速度變化 未超過數個連續值的觀測解析度	$\leq \text{觀測解析度}$
3	可疑資料	-
9	遺失資料	-

(10)相位檢查(Test 210/已開發)

本項品管檢查確保預期天線相位正確朝向設計方向，意即檢

查徑向檔案的相位之間的絕對差須小於檢測條件，如表 3.13 所示。

表 3.13 相位檢查表

旗標	資料品質/狀態	資料數值條件
1	良/相位差的絕對值小於檢測條件，標示為通過	$<3^{\circ}$
4	差/相位差的絕對值大於等於閾值或公差	$\geq 5^{\circ}$
3	可疑資料/檢測條件 $<$ 相位差的絕對值 $\leq$ 閾值	-
9	遺失資料	-

(七) 3 級產品品管：流場品管

海洋陣列雷達 3 級產品係指兩座以上雷達站，其兩個以上不同的 2 級產品的合成品，因此誤差量受到不同產品等級的累積誤差，以及產品合成時的幾何條件之影響。合成海流原理為合成不同雷達測站徑向海流資料，需要將兩處的徑向速度分解成 u 和 v 分量，並加以合成，為評估流場量測向量的不確定性影響，因此 Barrick(2005b)與 Chapman 等人(1997)建議研究人員關注幾何精度衰減因子(GDOP)的變化，所謂幾何精度衰減因子係利用兩個雷達測站掃測區域位置的交角，計算水平(u)與垂直(v)的幾何精度衰減因子，本計畫參考 Chapman 等(1997)，GDOP 值(3.1)公式，如下所示：

$$GDOP = \sqrt{\frac{2}{\sin^2(\theta)}} \quad (3.1)$$

θ 為 2 個雷達站電磁波掃描區域位置的交角(即 $\theta = \theta_1 - \theta_2$)，Wyatt 等人(2018)假設所建立的 2 個雷達誤差相同的($\sigma_{1a} = \sigma_{2a}$)為前提，故 GDOP 值公式並不精確，但卻提供另一個可能的誤差分析指標。臺中港附近高頻雷達的 GDOP 空間分佈，如圖 3.12 所示，在該圖中，藍色實線表示 $GDOP \leq 3.5$ 的位置($23.8^{\circ} \leq \theta \leq 156.2^{\circ}$)，藍色虛線表示 $GDOP \leq 5.0$ 的位置($16.4^{\circ} \leq \theta \leq 163.6^{\circ}$)，臺中港雷達北站(HTCN)與雷達南站(HTCS)，兩站間距離很短約為 12 公里，本計畫選擇 $GDOP=5$ 被用來做為判斷資料品質良好的門檻值，以確定流場測量區域邊界的最大範圍，此時，地球徑度 0.01×0.01 度的網格間距(網格約 1.1 公里)將被用來表示流場。

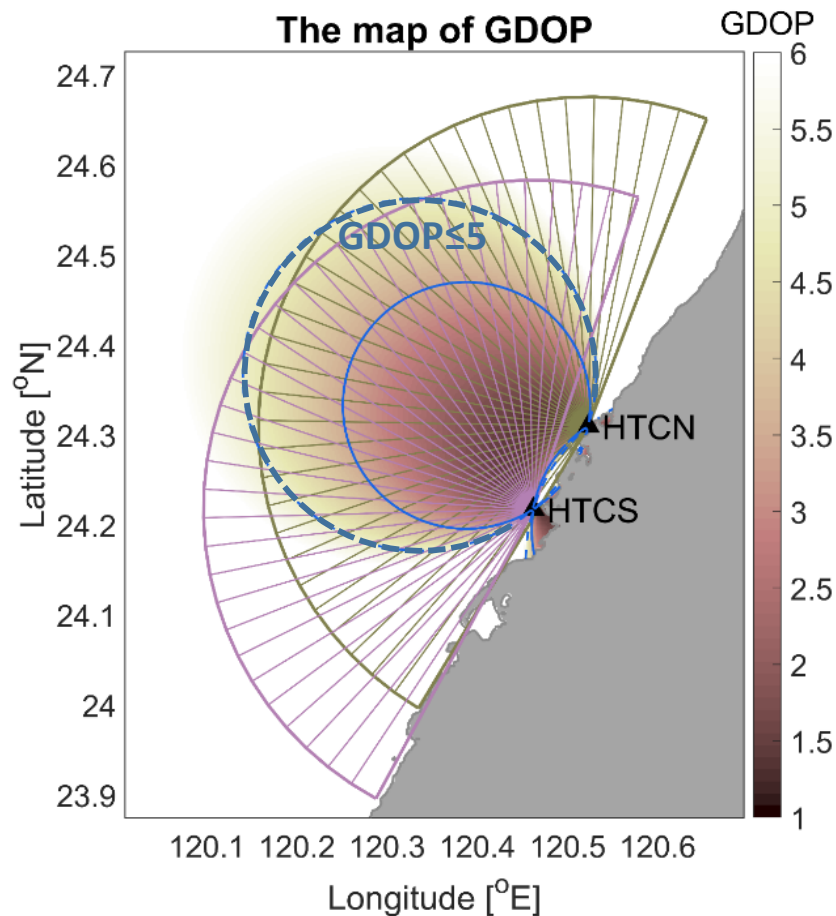
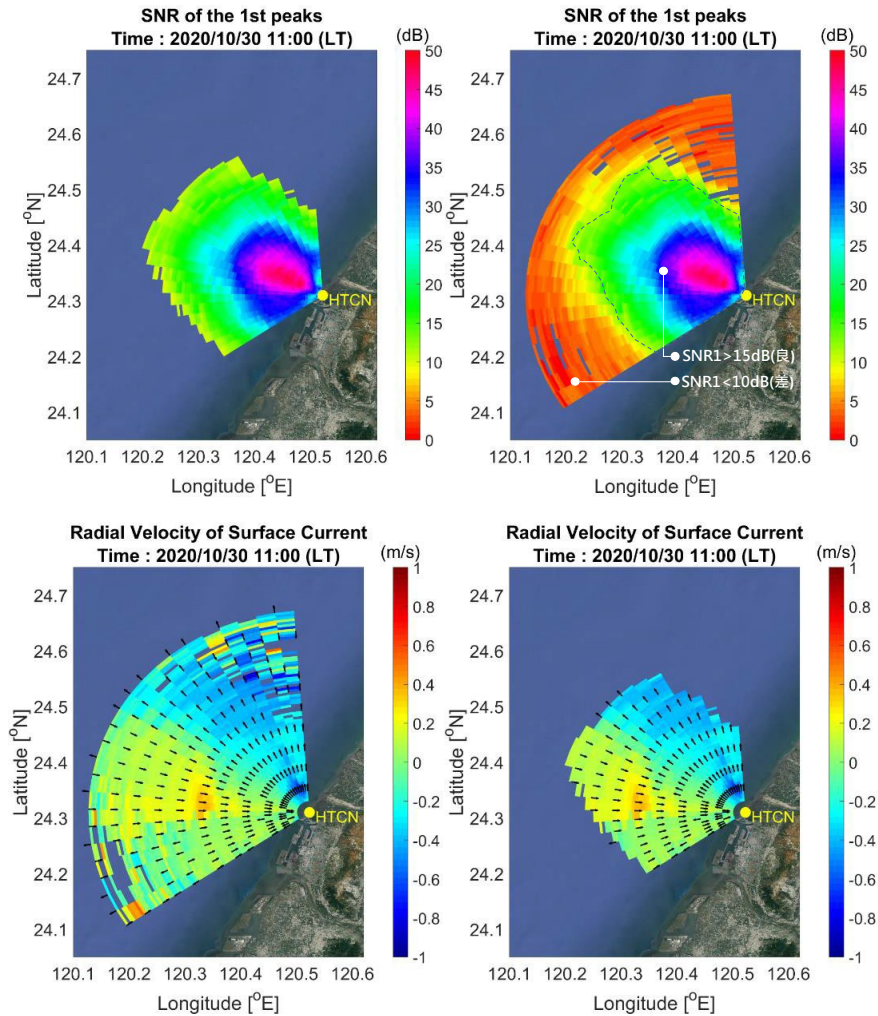


圖 3.12 臺中港高頻雷達 GDOP 空間分佈範圍

3.3 品管成效探討

由圖 3.13 評估一階峰訊號品質，係以一階峰訊噪比(SNR1)大於 15dB 的區域為標準，例如，以臺中港雷達北站 2020 年 10 月 30 日蒐集的資料分析為例，一階峰訊號品質於較靠近雷達站中心範圍的情況下訊號表現較佳，大約係由雷達站中心朝垂直海岸線向外擴展距離雷達站約 30 公里遠範圍，但扇形範圍左右兩側訊噪比低於 10dB，顯示兩側一階峰較不明顯，研判雷達訊號可能遭受旁瓣干擾之影響，儘管大部分雷達發射訊號的電磁波束已相當集中(主要電磁波束稱為主波束，或稱主瓣)，但仍有少量的電磁波會由集中波束中洩漏產生干擾，這種由主要電磁波束洩漏電磁波的現象一般稱為旁波束(Sidelobe)或稱旁瓣，雖然這些洩漏的訊號能量較低，但其產生的背向散射訊號仍可能會產生足以干擾主瓣訊號的情況，造成雷達訊號的可信度降低。



(a)左上/一階峰未品管前；(b)右上/一階峰品管後
(c)左下/徑向流未品管前；(d)右下/徑向流品管後

圖 3.13 一階峰訊號品管情形

由圖 3.14 評估平均二階峰訊號品質，係以平均二階峰訊噪比(SNR2)大於 10dB 的區域為標準，同樣以臺中港雷達北站 2020 年 10 月 30 日蒐集的資料分析為例，平均二階峰訊號品質與一階峰訊號相同，於較靠近雷達站中心範圍附近訊號品質表現較佳，但相較於一階峰訊號，平均二階峰訊號品質的範圍較小，這係因雷達訊號於經過第一次布拉格散射後，於海水表面再次引發第二次布拉格散射，這種複層次結構的布拉格散射過程被稱為雙反射(double-bounce)現象；因此，平均二階峰訊號之所以對於海洋陣列雷達如此重要，係因與海水表面的波浪訊息相關，儘管相對於一階峰訊號為弱，然而當雷達的靈敏度足夠高時，仍可以確保有效地接收海面的二次反射訊號。

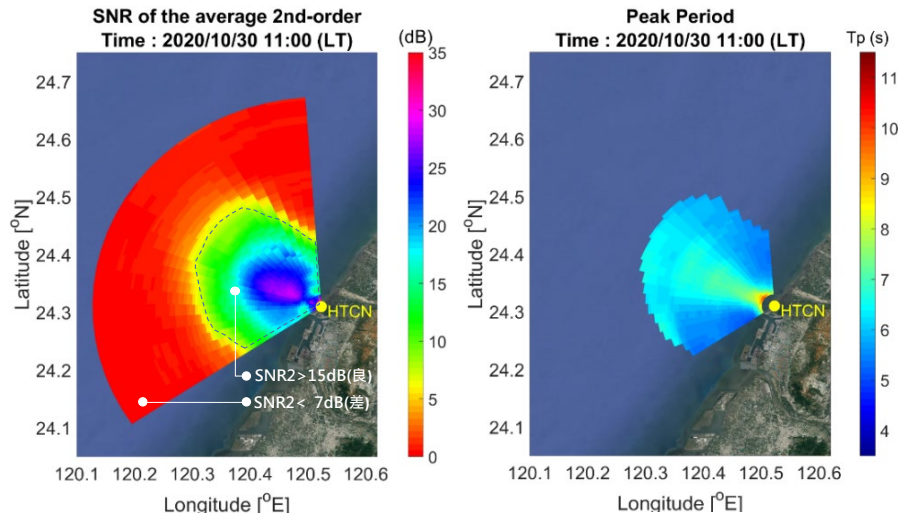


圖 3.14 二階峰訊號品管情形(左圖品管前，右圖品管後)

3.4 其他品管作為

儘管理想化的雷達時間與數位訊號產生器不產生任何誤差，以及空間解析度忽略不計，但海洋陣列雷達利用波束合成方位角校準問題卻無法忽略不計，具體來說，原因可能來自於雷達系統內部(濾波器的相位誤差、電纜長度、天線調諧)產生接收反射訊號的波相位誤差，又或者雷達系統外部的地球物理原故，包括周遭環境的駐波、傳播與折射異常等情形，因此，可能導致 2 個問題，方位角偏差與波束合成旁瓣引起的都卜勒訊號模糊需要被校正，依據美國夏威夷大學 Pierre Flament 教授過去夏威夷島的校正經驗，係利用搭載 GPS 的船隻與連續多頻發射機，於雷達視野範圍內的，透過 GPS 追蹤船舶的主動回波，雷達接收方位需與船舶所在位置一致，達到雷達接收方位校準的目標，藉此改善未知的干擾，如圖 3.15 所示。



圖 3.15 夏威夷歐胡島可可角(Koko Head)雷達校正情形

美國案例係利用美國海岸巡防隊船舶攜帶固定良好的訊號，設置一單極天線加上訊號產生器，船舶攜帶的雷達頻率為 16.30MHz，並於觀測範圍內以恆定速度精確移動，將帶通濾波器與接收器的內部輸入參數，校準相位後，旁瓣比主瓣低 15-20 dB，確認天線接收的訊號其增益與相位符合預期，而且波瓣與陣列法線夾角已高達 45°，波束合成圖形變得非常好，如圖 3.16 所示。

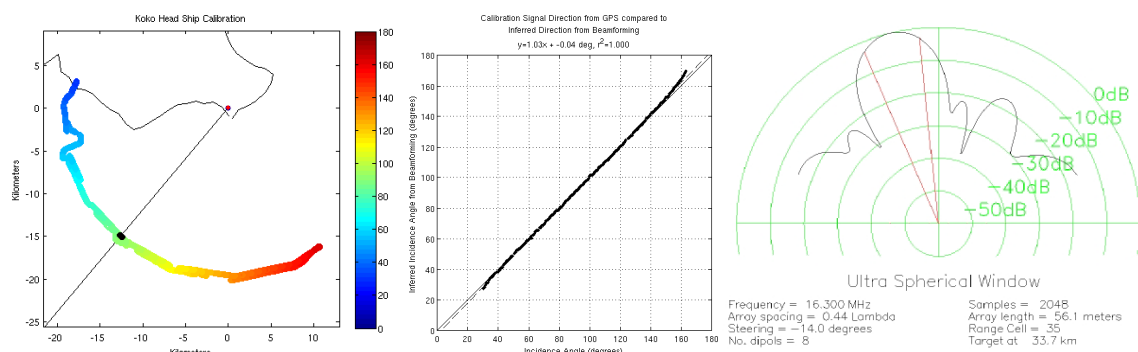


圖 3.16 美國夏威夷雷達利用船舶校正主波向的情形

接收天線特性與電容及電感比值(L/C)有關，理想的接收天線應該是接收範圍廣且訊號能被良好控制，訊號穩定持續接收，而非產生過大的隨機變化，然後受天候影響與長時間使用的自然磨損，導致包覆銅線的外絕緣破損，以致於海水氣入侵鏽蝕導致天線傳導的阻抗發生改變，鑑此，若發射與接收天線訊號異常或超出預定範圍數據時，雷達訊號因而背離原始設計，造成觀測誤差，故本所臺中港建置的雙雷達系統於 111 年委託流浪者科技有限公司進行工程技術方面的品管工作，辦理(一)發射天線的健檢、(二)接收天線的健檢與(三)波束合成的校準，分別說明如下：

(一)發射天線的健檢

駐波比與阻抗不匹配檢查，駐波比(Standing Wave Ratio，簡稱 SWR)，以無線電與電信工程而言，係探討無線電波經由不同傳導介質所產生之反射波，這種反射波稱為駐波，理想狀態的駐波比值(入射波功率除以反射波功率的比值)為 1，表示無線電波能量完全傳導，表示發射阻抗相等於線路阻抗，但是幾乎不可能達到理想狀態，但現實狀況是，當發射輸出阻抗、線路阻抗或負

載阻抗不相等時，將會導致阻抗不匹配情況，意味發射訊號產生多餘能量回衝致使訊號產生變形，而發生訊號錯誤，駐波比量測情形，如圖 3.17 所示，建議海洋陣列雷達發射天線阻抗調整為 50ohm、駐波比低於 1.5 以下為宜

雷達天線交叉測試，選擇一支距離原發射天線 10 個波長以上的接收天線(建議不超過 15 個波長)，將接收模式調整為發射模式，做為臨時性訊號來源，以固定頻率發射正弦波，模擬遠距訊號，再將原發射天線的模式調整為接收模式，並連接示波器讀取相位訊號與增益值之情形，交叉測試蒐集資訊評估後，做為調整相位電纜相位差(增加減電纜的長度)，以及調整天線增益強度(增加減天線纏繞的間距)之依據，使其功能恢復正常。

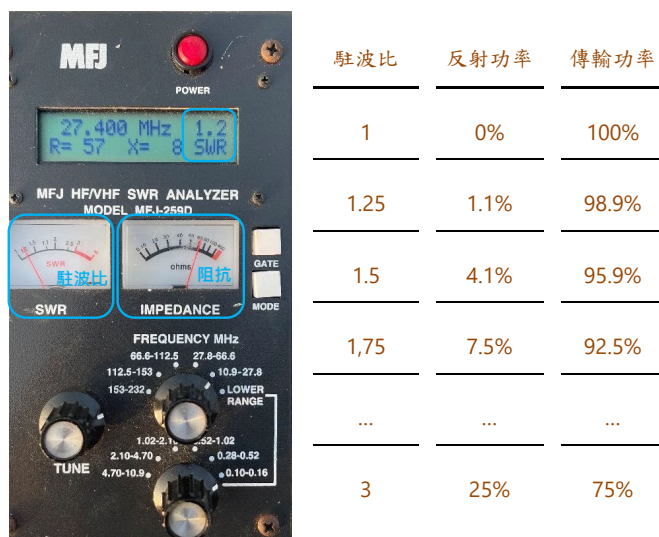


圖 3.17 駐波比與反射及傳輸功率關係圖

(二)接收天線的健檢

相位檢查，海洋陣列雷達為利用波束合成技術探測訊號方位，接收天線設置時會確保相位狀態的一致，理當不存在相位差，但隨著設置時間越久，接收天線發生相位的變化，導致方位探測存在誤差，因此，接收天線的相位檢測是雷達維運中極其重要的工作，為解決問題接收天線亦需要適時調整相位訊號與增益值，以維持系統的準確度與可靠度，確保雷達訊號能正確無誤地被接收與處理。

具體作法，由發射天線選擇最短的纜線當作標準纜線(目標

天線會於示波器呈現最高的反射頻率，將視為參考的標準纜線)，並將該天線由接收模式調整為發射模式，並連接示波器觀察訊號波形，並調整該天線的發射訊號的頻率，使發射訊號與反射訊號重合。使用訊號產生器產生與標準纜線相同固定頻率之訊號，再透過雙向耦合器連結傳輸至待測纜線，待測纜線長度差異會導致相位差的變化，觀察與記錄相位差，由於相位差來自於纜線長短不同，導致無線電於纜線傳導之時間不同，透過相位差計算能確定纜線增加減長度的依據。

(三)波束合成的校準

本計畫引進美國夏威夷案例，同樣利用船舶於海面發射已知位置與方位訊號，再由 2 支接收天線，以波束合成演算法求解訊號來源的角度，透過比較實際方位與解算方位之差異，獲得後續處理演算的微調參數，並以此優化方位辨識的準確性，本所已於今(112)年 5 月 17 日校準臺中港雷達南站，5 月 25 日校準臺中港雷達北站，具體作法如下：

第 1 步：選擇接收天線中央的 2 支天線，以臺中港雷達北站為例，選擇陣列天線中心座標為 N：24.309854°，E：120.523154°的第 8 號與第 9 號天線，做為波束合成演算法求解的基準。

第 2 步：規劃船舶校準的路徑，根據美國夏威夷大學 Pierre Flament 教授建議，規劃校準的半徑應為陣列接收天線頭尾全長之整數倍，本所海洋陣列雷達接收天線間距為 5 公尺(為發射電磁波波長的一半)，16 支接收天線全長為 75 公尺，因此，建議規劃 1,500 公尺與 3,000 公尺為半徑的航線，如圖 3.18 所示。

第 3 步：船舶上安置單極(monopole)天線，於雷達觀測範圍內依照規劃航線航行，並以固定頻率與功率發報器發送訊號，校準過程以全球定位系統接收機記錄 GPS 座標資訊，校準期間雷達發射天線暫不運作，僅接收船舶發射的固定訊號，擷取段時間至少 256 筆啁啾(後續演算

法計算需要)。

第 4 步：利用波束合成技術估算電磁波到達方向，透過比較實際方位與解算方位之偏差，並獲得微調參數。

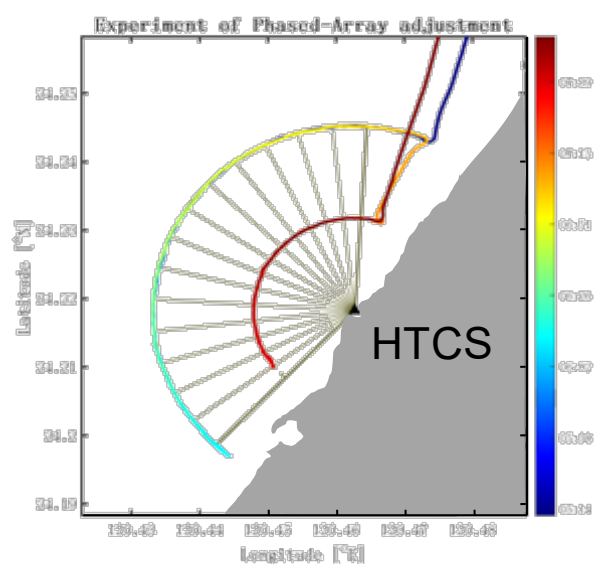
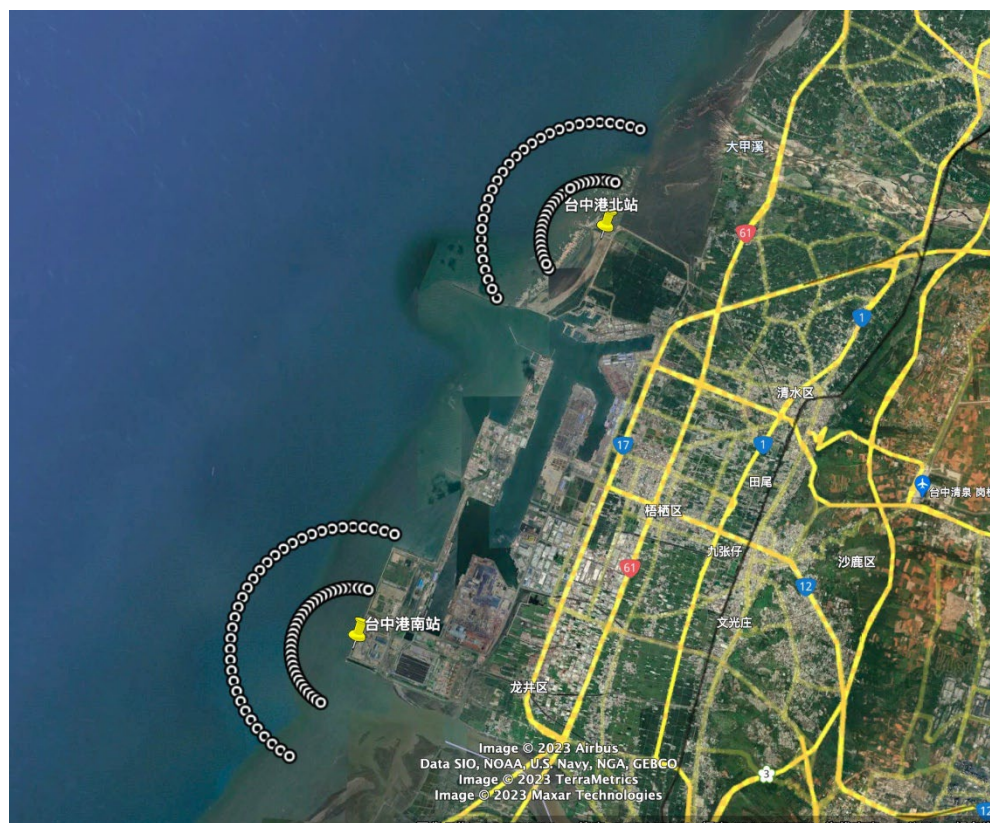


圖 3.18 船舶校準路徑規劃

第四章 海流監測資料分析與交互驗證

海洋陣列雷達是一種經濟高效的觀測工具，隨著雷達設置頻率的高低，最遠能監測 200 公里或更遠範圍內的沿海地區，是近代監測沿海地區最具潛力的觀測設備；本計畫雙雷達系統使用頻率是 27.75MHz，資料分析採用英國雪菲爾大學開發的作業化軟體，稱為 Seaview Sensing 該軟體規劃的空間網格總數為 721 個儲存格(Range Cell)，南北距離範圍為 33.89Km，東西距離範圍為 22.17Km，如圖 4.1 所示，本章節說明今(112)年度資料監測情形、資料比較分析與交互驗證工作等內容。

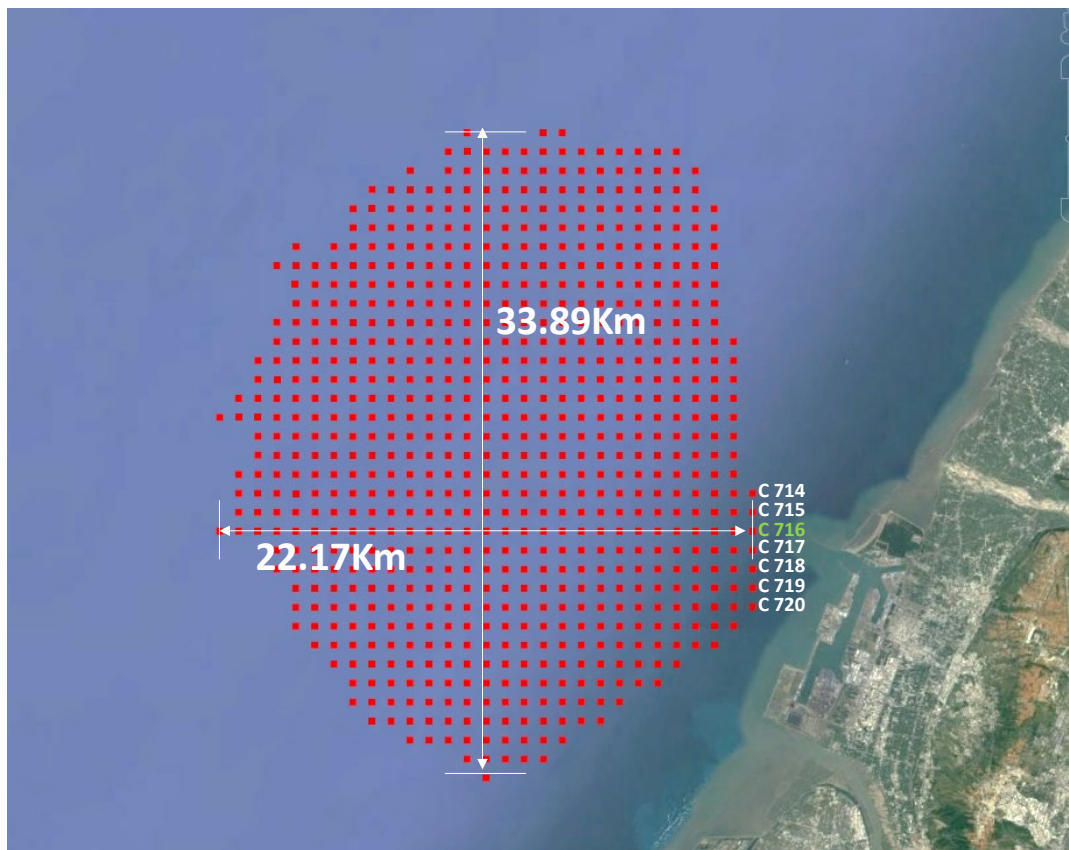


圖 4.1 雙雷達系統空間網格分布圖

4.1 研究方法

眾所周知海洋陣列雷達獲得海洋表面參數係利用無線電磁波入射海洋表面產生布拉格共振作用(Crombie 1955)，當電磁波波長是海表面波浪 2 倍時，電磁波與海表面波浪將發生一階布拉格散射機制，並能藉此獲得表面海流的速度資訊，如圖 4.2 所示。

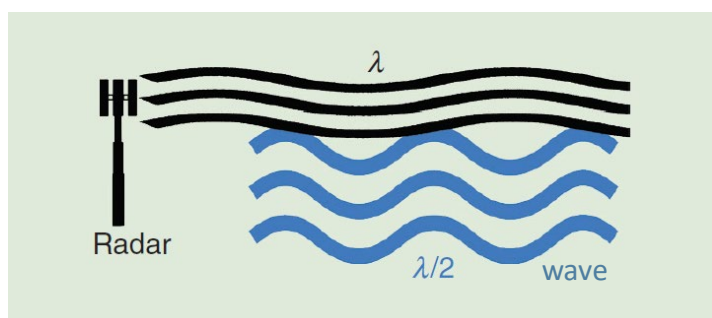


圖 4.2 一階布拉格散射機制(R. Shahidi 2000)

因此，為獲取表面海流的速度資訊，需要計算雷達背向散射的都卜勒譜，計算雜訊(noise)的平均值與雜訊能量的標準差，再追蹤一階峰頻率(f_{peak})，以及理論布拉格的頻率，雷達波與海流相對速度造成的理論布拉格頻率與第一階峰頻率產生都卜勒頻偏，如圖 4.3 所示。

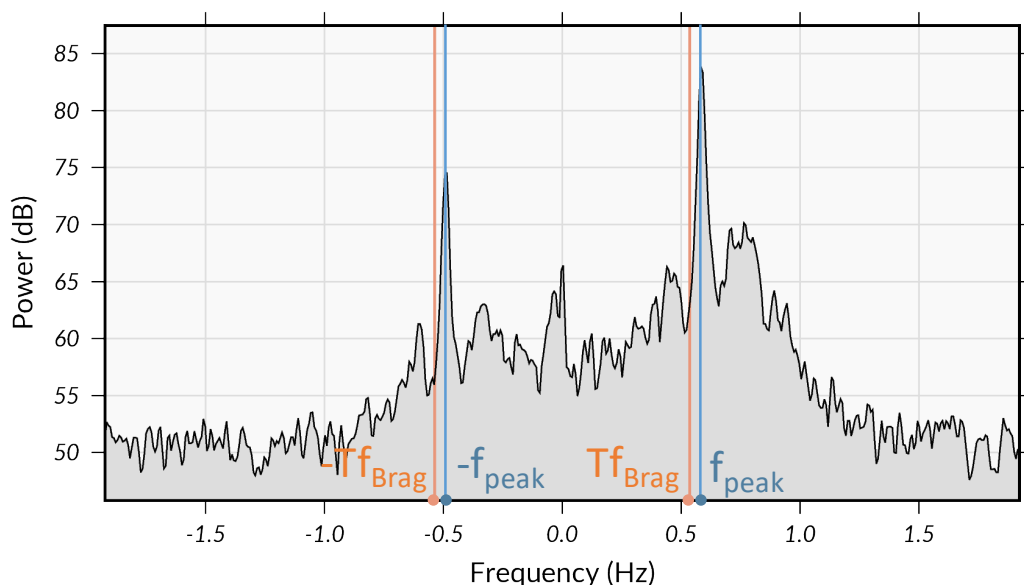


圖 4.3 一階峰受海流相對速度影響的都卜勒頻偏現象

若海洋表面靜止則理論布拉格頻率(Theoretical bragg frequency，簡寫為 Tf_{Brag})與將一階峰頻率(Bragg peak frequency，簡寫為 f_{peak})相同， g 為 9.81m/s^2 ， F_r 為雷達的頻率， C 為潮濕空氣的熱帶地區電磁波速度約為光速的 0.9997 倍，理論布拉格頻率(4.1)公式如下：

$$Tf_{\text{Brag}} = \sqrt{(g \times F_r)/(C \times \pi)} \quad (4.1)$$

但海洋表面海流受制於風與潮汐等營力影響，使電磁波與海流發生相對速度的影響，造成一階峰速度(V_p)、布拉格速度(V_B)與逕向海流速度

(V_c)之關係變化，整理得(4.2)~(4.4)公式如下：

$$V_p = V_B + V_c \quad (4.2)$$

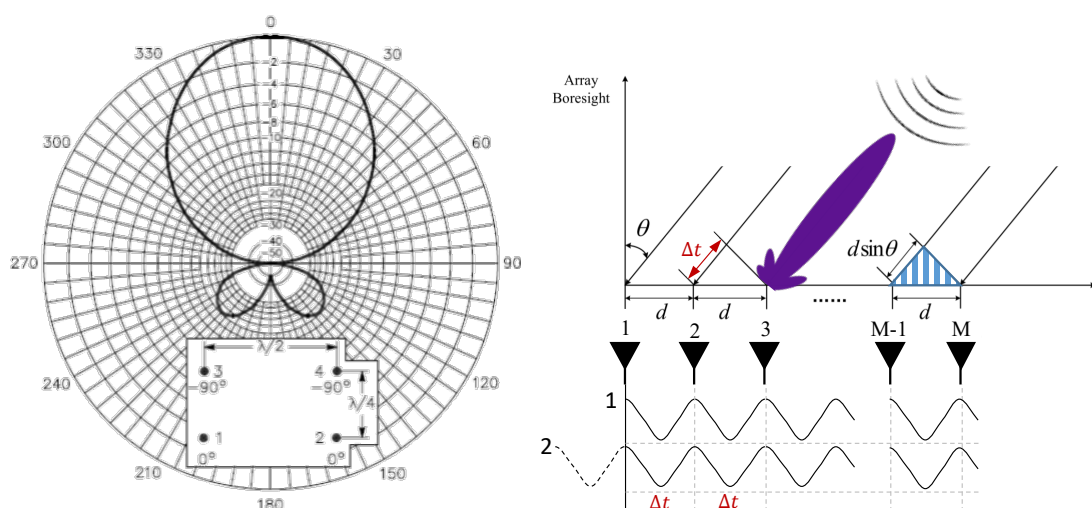
$$V_c = V_p - V_B \quad (4.3)$$

$$V_c = (\lambda \times f_{\text{peak}}/2) - (\lambda \times T_{f_{\text{Brag}}}/2) \quad (4.4)$$

再利用逕向海流速度與雷達電磁波長(λ)與發生共振時的頻率關係，整理(4.5)公式如下：

$$V_c = (f_{\text{peak}} - T_{f_{\text{Brag}}}) \times \lambda/2 = \Delta f \times \lambda/2 \quad (4.5)$$

海洋陣列雷達方位辨別係使用波束合成(Beamforming)技術，此演算技術發展經歷 Teague (1986)、Helzel 等人(2006)與 Bhuiya 等人(2012)幾位學者之研究，相繼提出完善的方向定位方法，以下對於波束合成技術進行說明，原理係利用電磁波的破壞性干涉與建設性干涉影響，對於接收訊號產生加成與相消，為達成此目標，雷達的接收天線被設計以線性排列，並組成海洋陣列雷達的接收系統。陣列天線的排列型式係以相同距離為間隔，等間距排列，其用意係為使天線接受來自海面的布拉格反射訊號時，能透過不同的陣列天線對於接收訊號產生建設性干涉，達到訊號加強的效果，陣列天線排列型式，如圖 4.4 所示。



(資料來源：Antenna Book Vol. 7)

圖 4.4 天線場型與波束合成技術的幾何原理

由於接收天線係以全向性接收訊號的方式接收訊號，訊號能成為空間域的頻圖譜， d 是每個接收天線的間距， d 為被限制的電磁波半波長

(以臺中港雷達站為例 27.75MHz 波長為 10m，半波長為 5m 是固定的)， θ_i 為來自訊號 i 的入射角，根據天線間距與訊號入射角的幾何關係，假設第二支天線距離第一支天線更接近訊號來源，當第二支天線接收到訊號時，第一支天線尚未接收到海面的反射訊號，由於陣列天線的間距是被設計為固定距離，第二支天線將相較於第一支天線提前於 $d \sin \theta$ 距離的時間接收到訊號，但如此無法達到訊號加强的目的，爰此，第二支天線會設計一延遲接收器，強迫第二支天線延遲 $d \sin \theta$ 距離的時間後再進行接收，如此一來，時間差所導致的相位移動，會使來自特定方向的訊號於第二支與第一支天線接收到同相位的海面訊號，使海面的接收訊號得到疊加，來自其他方向的訊號相消，以此類推，當陣列天線數量越多，接收獲得的訊號加強次數越多，都卜勒譜的雜訊與峰值訊號將更加突顯不同。假設入射訊號以傳播速度 c 傳播於入射距離 D 上，訊號源 $S_i(t)$ ， $1 \leq i \leq d$ ，故 Bhuiya 等人(2012)提出第 M 支天線於時間 t 收到的所有訊號可以表示為(4.6)公式所示：

$$x_m(t) = S_i(t) \sum_{i=1}^d e^{(M-1)u_i} + n_M(t), \text{ for } M = 1 \quad (4.6)$$

公式經簡化後表示為(4.7)公式所示：

$$x = AS(t) + n(t) \quad (4.7)$$

總括來說，變數 x 可視為擷取訊號的總合， S 為陣列天線之資料列向量， n 可視為接收的雜訊， A 為導引矩陣，反應陣列天線於特定方向之導引向量，當陣列天線於某段時間內接收訊號，去追蹤量測某特定方向之能量，若導引方向與回波訊號的方位一致時，將能量測到最大能量，藉此估算電磁波到達方向(Direction Of Arrival，簡稱 DOA)。因此，高頻雷達陣列系統可被視為電子陣列，故可設計出權重向量 w ，以接收天線接收到的資料進行線性組合其式簡化，輸出訊號 $Y(t)$ 如(4.7)公式所示：

$$Y(t) = \sum_{i=1}^M w_i^* x_i(t) + w^H X(t) \quad (4.8)$$

其中陣列系統之總平均輸出能量以 K 取樣數擷取，能量方程式表示如(4.8)公式所示下：

$$P(w) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |Y(t_k)|^2 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w^H X(t_k) X(t_k)^H w \quad (4.9)$$

其中 w_i 為 i 個反射訊號源之權重， $*$ 表示共軛複數， H 為向量之共軛

轉置矩陣，導引向量 $A(\theta)$ 做為權重向量， θ 為掃描角，權重可表示為(4.9)公式所示：

$$w = A(\theta) \quad (4.10)$$

因此，即可解算(4.10)公式，獲得產生最大輸出能量之方位，並藉此求得訊號來源的方向 θ ，其中 R 為輸入訊號之協方差矩陣。

$$P(\theta)_{BF} = A(\theta)R_{xx}A(\theta)^H \quad (4.11)$$

4.2 觀測情形與資料驗證

本計畫資料監測情形與交互驗證，使用英國雪菲爾大學開發的 Seaview Sensing 軟體，該軟體雷達站空間點位選用與臺中港佈署的底碇式波流儀較為接近的第 716 號儲存格(Range Cell)，如圖 4.5 所示。

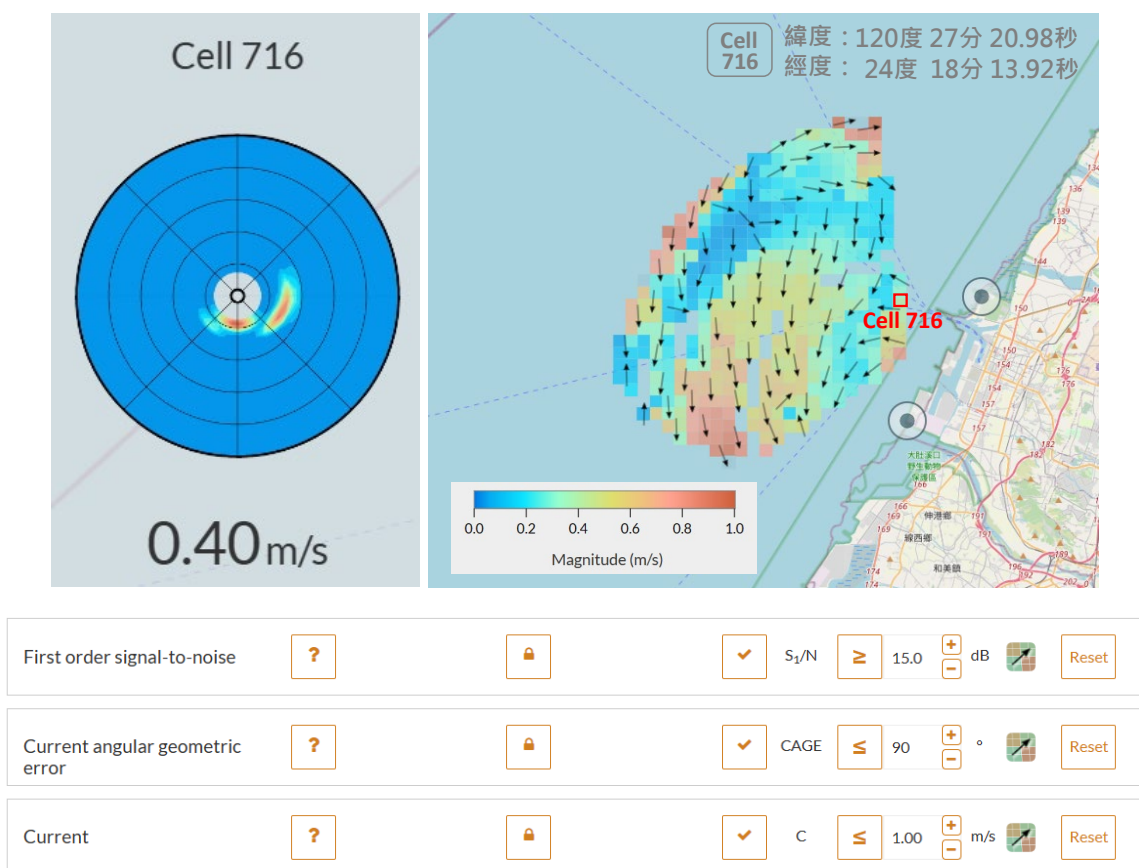


圖 4.5 Seaview Sensing 軟體第 716 號儲存格位置

本計畫使用的波流儀(#5)為 2003 年 5 月於臺中港北防波堤延長工程完成之後兩個月於 2003 年 7 月 5 日設置完成，距離北防波堤堤頭約 150 m、設置水深約 25 m 處，蒐集逐時海表流速。潮汐觀測(#5)為 2009 年 9

月於港區設置之壓力式潮位計，後於 2019 年港內增設即時水深潮位站(#61)，潮位資料自 2020 年為每 6 分鐘資料之平均水位變化，基準並引測 TWVD2001，交通部中央氣象署浮標於臺中港西南方海域 2019 年 8 月布放至今，水深約 20 公尺處，相關觀測儀器位置圖，如圖 4.6 所示。

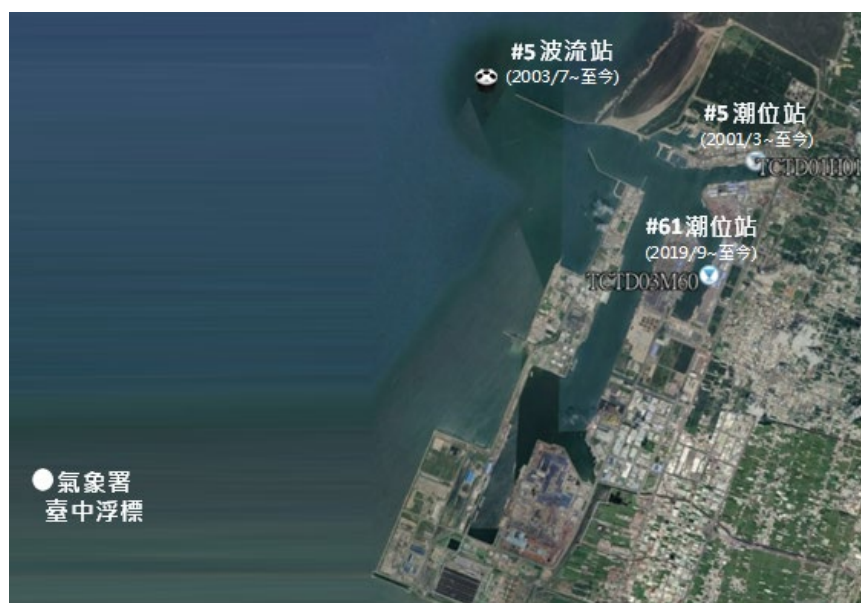
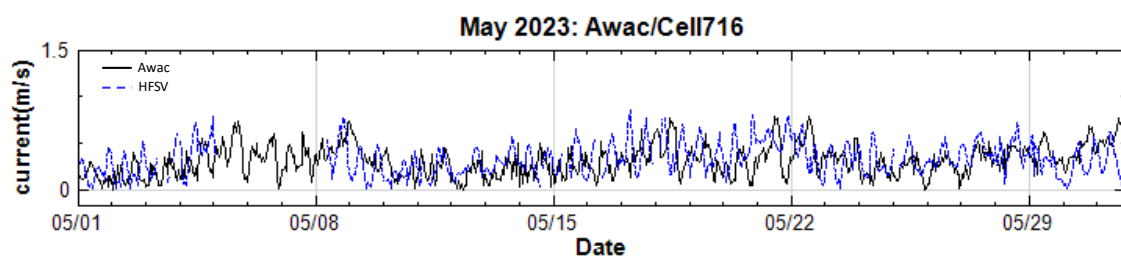
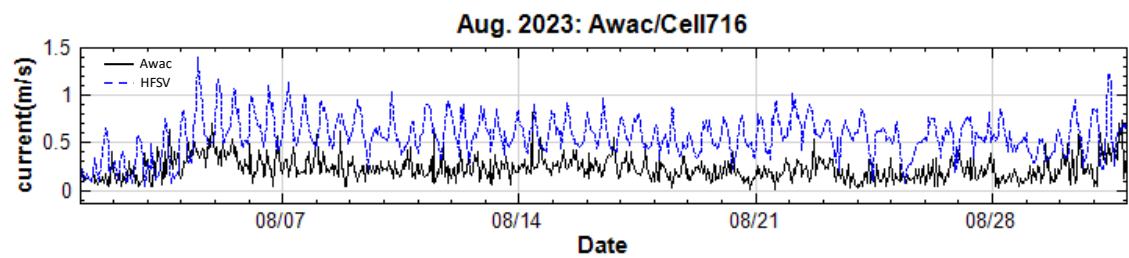
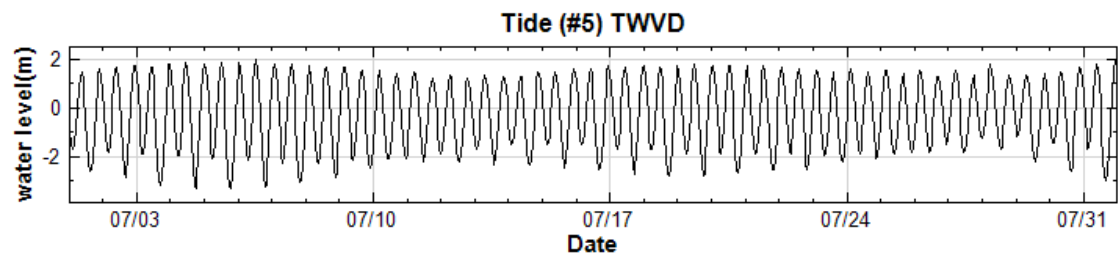
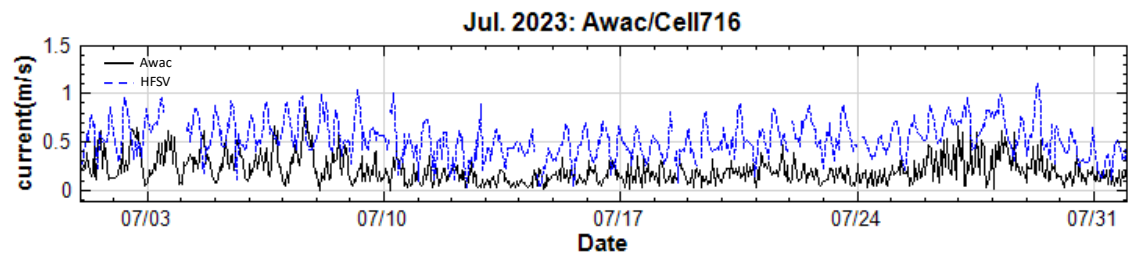
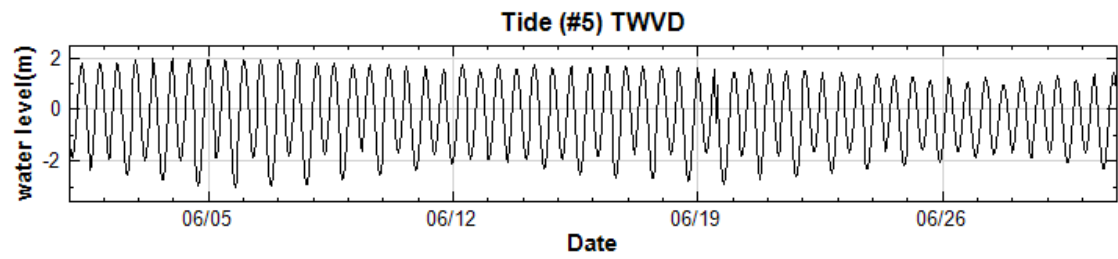
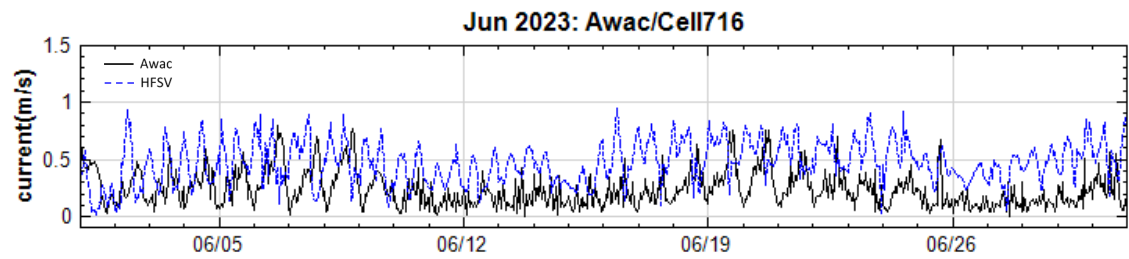
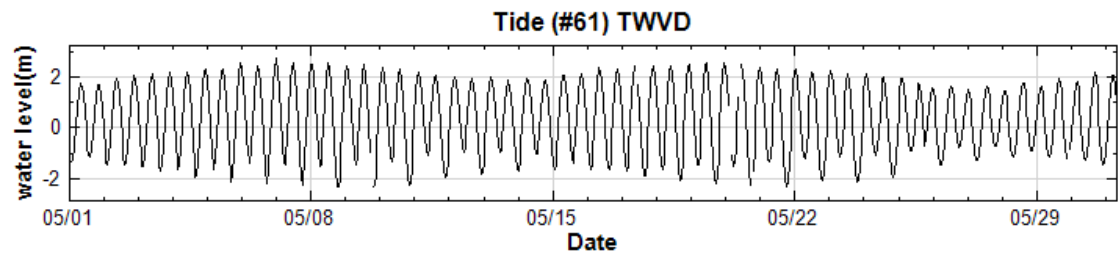


圖 4.6 臺中港觀測儀器位置圖

選擇 112 年 5 月至 10 月臺中港海表面流監測與波流儀比較圖與潮位圖，本所潮汐資料，採用內政部 2001 臺灣高程基準(TaiWan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD 2001)，如圖 4.7 所示。英國解算軟體的表面流相較於波流儀大多情況為正偏差，海洋陣列雷達成功觀測 3 場重要影響臺灣的颱風，包括：7 月份杜蘇芮颱風、9 月份海葵颱風、10 月份小犬颱風，將於後續第 5 章分別探討。





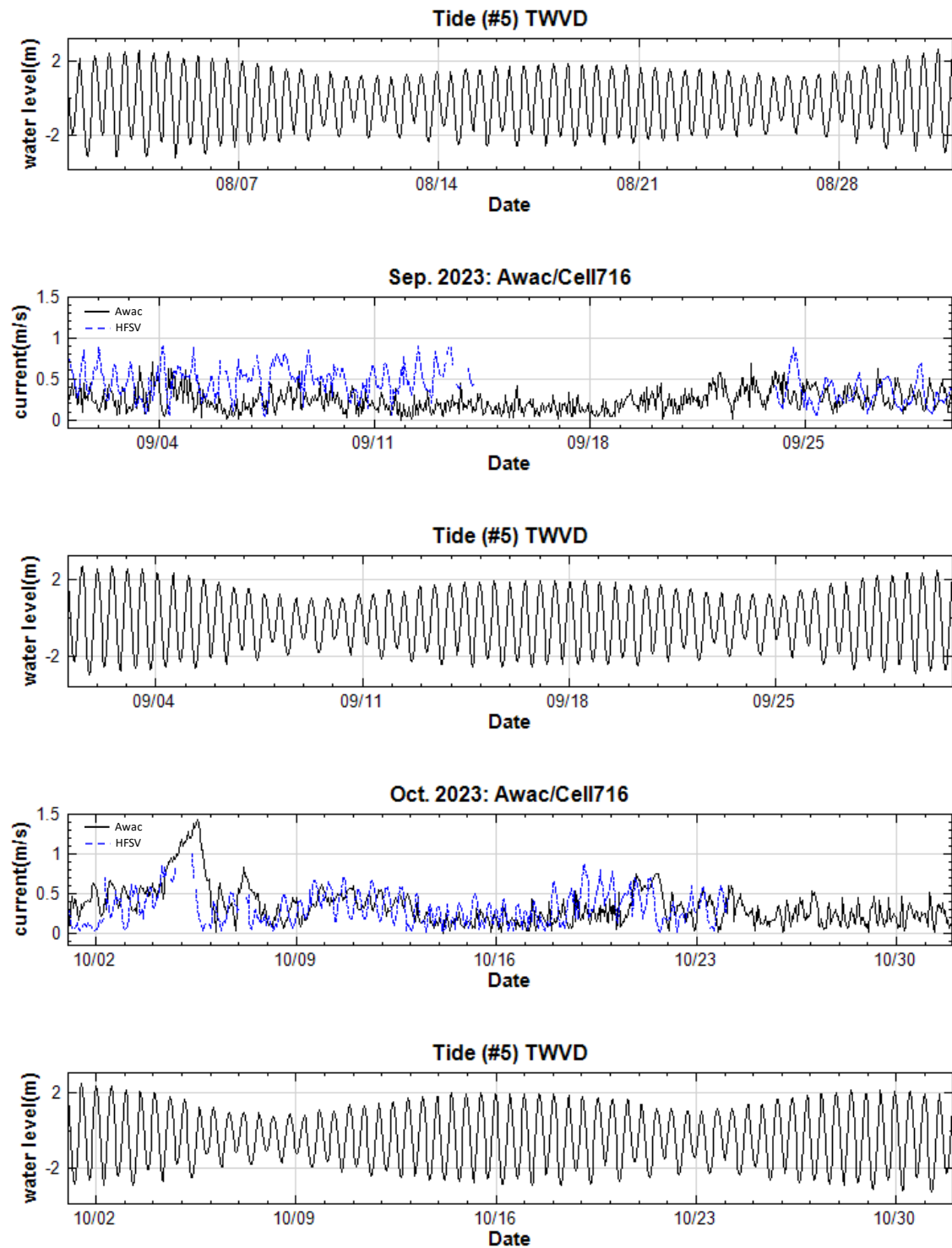


圖 4.7 112 年 5~10 月臺中港海表面流監測與波流儀比較與潮位圖

除此之外，本計畫以漂流浮標實施短期驗證，112 年 6 月 14 日上午 10 點，於臺中港海洋陣列雷達雙系統重疊的觀測範圍內，分別位於北緯 24.241 度、東經 120.407 度，以及北緯 24.336 度、東經 120.469 度兩處，成功投放 2 顆漂流觀測浮標進行資料驗證，如圖 4.8 所示。此漂流浮標搭

載慣性測量單元(Inertial Measurement Unit，簡稱 IMU)，能夠測量，並記錄水面上下起伏的加速度與角速度變化。這些漂流浮標驗證之前，已經過送往成大水工試驗所進行嚴謹的驗證後，可提供精確的波浪參數，包括：示性波高、平均週期和尖峰週期等。同時，亦透過全球定位系統，可以獲得浮標的精確位置，並計算出海流的流速。

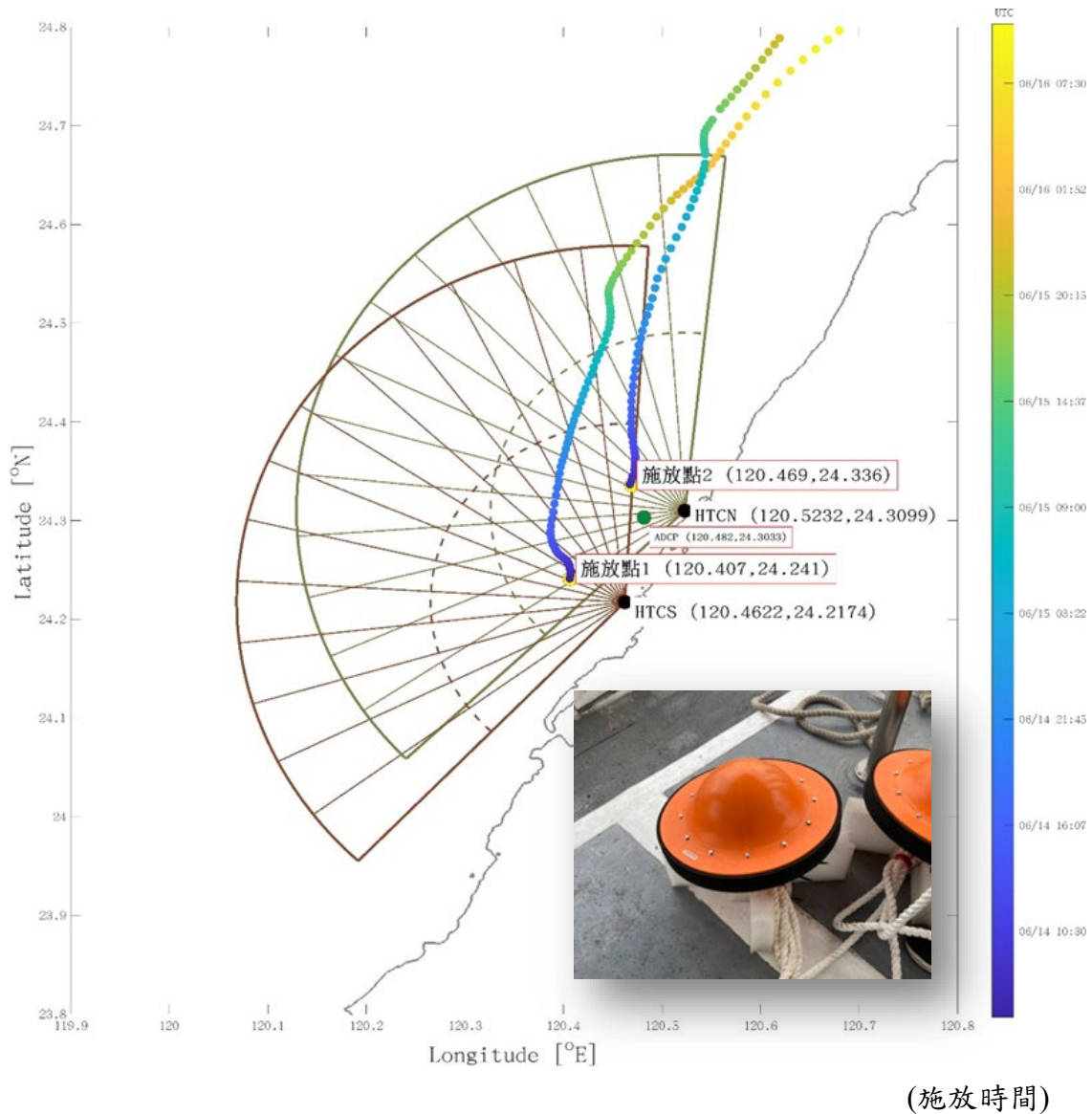


圖 4.8 漂流浮標驗證與施放軌跡情形

回收取得於 2023 年 6 月 14 日至 6 月 16 日期間佈放的漂流浮標資料，與雷達站進行海流時序(含移動平均)差異比較，以及利用相關係數 r 、均方根差 RMSD、偏誤分析 bias、散點因子 SI 統計分析，如圖 4.9 所示；分析結果漂流浮標東西方向海流(U 向東為正)與採用國內自主開發的雷達演算法趨勢較為接近，但漂流浮標南北方向海流(V 向北為正)，

由驗證結果顯示縱然採用移動平均進行比較分析，雷達與漂流浮標觀測相關性仍存在改善空間。

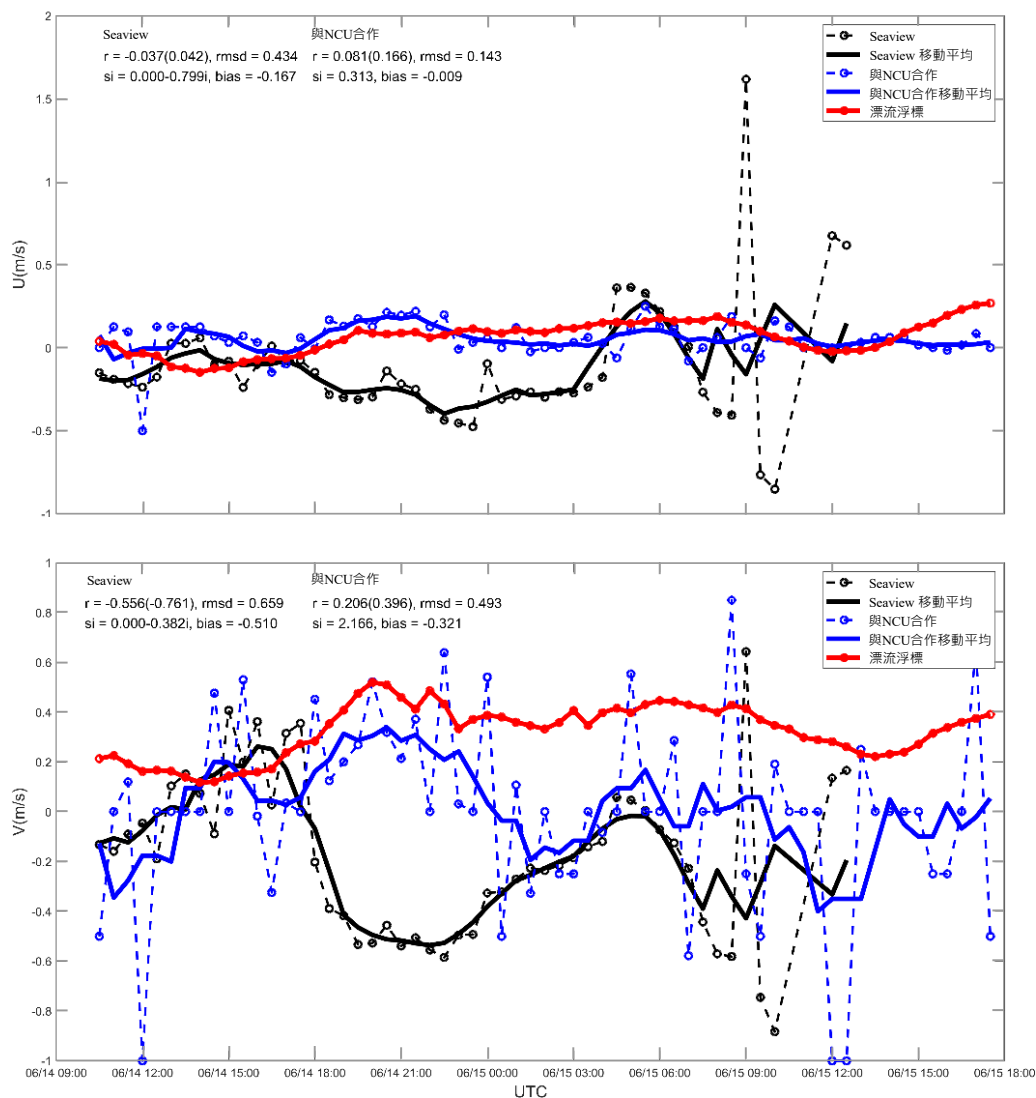


圖 4.9 漂流浮標與海洋陣列雷達觀測比較驗證結果

第五章 研究分析與探討

本計畫除使用英國雪菲爾大學開發的 Seaview Sensing 軟體，亦使用國內與國立中央大學水文與海洋科學研究所 Matlab 程式語言平台開發的處理程序進行分析，該程序空間網格點為 1185 個格點，南北向垂直距離約為 34.04 公里，東西向水平距離約為 28.23 公里，比較分析亦選擇與臺中港佈署的底碇式波流儀較為接近的第 1012 號儲存格(Range Cell)，空間示意圖，如圖 5.1 所示。

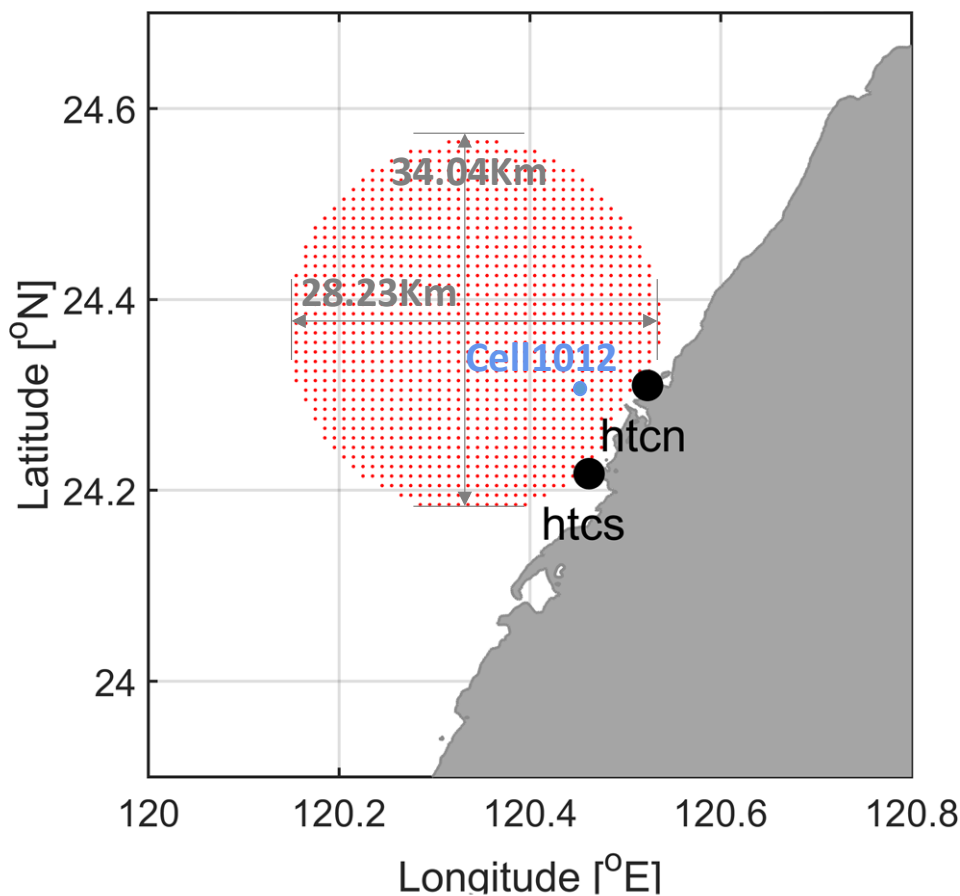


圖 5.1 本所與國立中央大學開發的 Matlab 處理程序示意圖

根據中央氣象署過去颱風資料統計，臺灣最多登陸紀錄曾經發生於 50 年的 5 個颱風登陸，包括貝蒂(強颱)、裘恩(中颱)、勞娜(強颱)、波密拉(強颱)、沙莉(中颱)，106 年僅發生 2 個颱風登陸，以 80~109 年統計平均，每年約 1.8 個颱風登陸，近 5 年 107~111 年統計平均值，每年約 0.2 個颱風登陸，顯示近幾年颱風路徑改變，登陸臺灣本島次數不斷下

降，但 112 年卻發生 2 次颱風登陸，為近 5 年來的最高紀錄。

本章節討論 112 年 2 場登陸臺灣本島的颱風與 1 場路徑影響本島較大的颱風進行比較分析，第 1 場為杜蘇芮(DokSuRi) 比較分析選用颱風警報發佈時間內，由 7 月 25 日 00:00 到 7 月 28 日 23:00 止，第 2 場為海葵(HaiKui) 比較分析選用颱風警報發佈時間內，由 9 月 1 日 00:00 到 9 月 5 日 23:00 止、第 3 場為小犬(KoiNu) 比較分析選用颱風警報發佈時間內，由 10 月 2 日 00:00 到 10 月 6 日 23:00 止，

5.1 統計分析

時序列統計分析採用美國兵工團(United States Army Corps of Engineers, 簡稱 USACE)波浪資訊研究計算的評估統計數據方法，本計畫按照四種常用統計參數進行討論，分別為相關係數(Correlation coefficient)、均方根誤差(Root-mean-square error, RMSE)、散點因子(Scatter Index, SI)與偏誤(Bias)，原理與意義說明如下：

(一)相關係數(Correlation coefficient)

相關性是衡量時序列數據或兩個不同變量的統計方法，具體有 3 種類別，分別為皮爾森(Pearson)相關係數、肯德爾(Kendall)相關係數與斯皮爾曼(Spearman)相關係數，最廣泛應用的相關係數是皮爾森(Pearson)相關係數，又簡稱為 R 值，該相關係數位於 ± 1 之間，數值高低表示資料數據的關聯程度，正值表示數據變量呈現正相關，負值表示數據變量呈現負相關，R 值絕對值數值越高表示兩數據彼此關聯程度越高，數值等於 1 表示完全相關，這種情況相當少見，若數值能介於 0.7~0.99 稱為高度相關，0.4~0.69 稱為中度相關，0.1~0.39 稱為低度相關、0.01~0.09 稱為弱相關、等於 0 表示無相關。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.1)$$

(二)均方根誤差(RMSE)

所謂誤差為兩數據(例如：實際值 y 與量測值 $\hat{y}$)的差值，因此，均方根誤差為誤差平方和除以誤差數量後再開平方根的統計

數差，意指兩數據資料距離的遠近，也代表數據的集中情況，均方根誤差越高，顯示兩數據間距離越遠，表示兩數據越不相近。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (5.2)$$

(三)散點因子(SI)

散點因子為均方根誤差與數據平均值(實際值 $\bar{y}$)的比值，亦屬於統計學誤差評估的另種方式，可視為誤差相較數據平均值之占比，散點因子越低，顯示數據誤差程度越小，數據若為觀測資料，表示觀測品質越好，散點因子恰為 0 值，表示兩數據資料完全一致。

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad (5.3)$$

(四)偏誤(Bias)

偏誤是統計學中探討抽樣準確性的概念，進一步探討抽樣統計與實際母體狀況的偏差情形稱為偏誤，常被應用於探討長期性的兩組數據間的偏差程度，正值表示數據呈現高估狀況，負值表示數據呈現低估狀況；若數據為觀測資料，偏誤越小顯示兩數據彼此之間越為相近，資料數量太少，偏誤可能造成偏大情況。

$$Bias = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i) \quad (5.4)$$

5.2 杜蘇芮(DokSuRi)颱風

杜蘇芮颱風於關島西南方海面生成，根據中央氣象署颱風警報單整理杜蘇芮侵臺期間 7 級風最大暴風半徑為 300 公里，颱風雖未登陸，但於 7 月 26 日 15 時 15 分暴風圈已接觸臺灣南端陸地，並於 7 月 28 日 11 時 30 分暴風圈脫離臺灣本島，如圖 5.2 所示。

202305 杜蘇芮(DOKSURI)

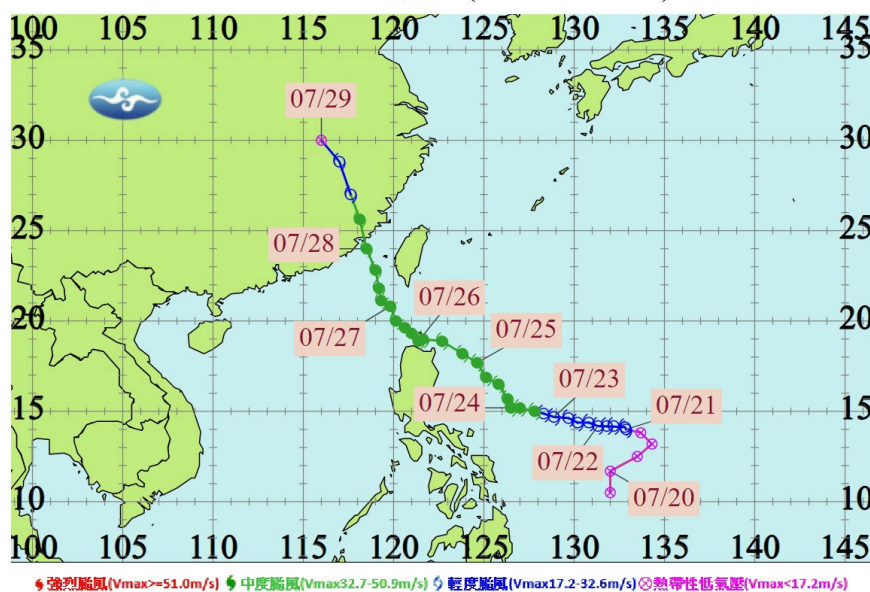
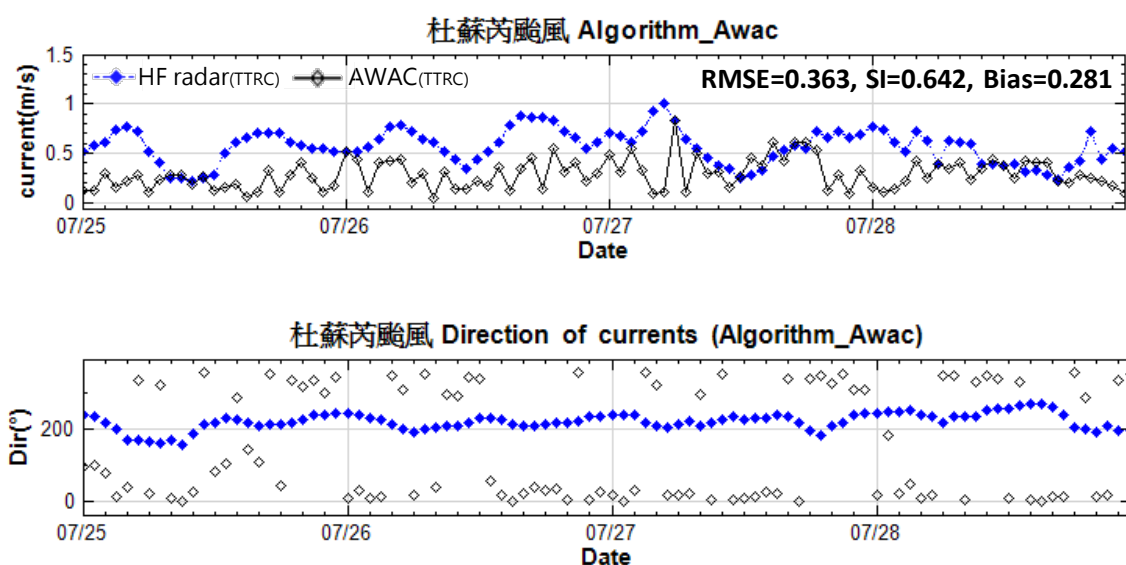
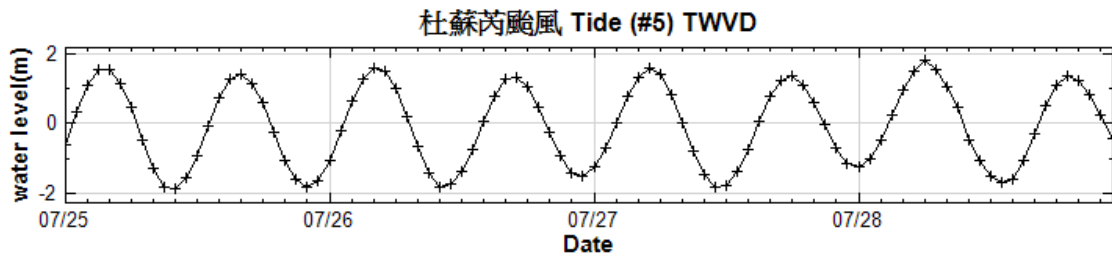


圖 5.2 杜蘇芮颱風路徑圖(第 5 號颱風)

將雷達系統與底碇式儀器的海表流速觀測結果於今(112)年度 7 月 25 日 00:00 到 7 月 28 日 23:00 進行比較，觀察發現雷達時序序列相關係數於 0.01~0.09 之間呈現弱度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.363，顯示雷達觀測與實際量測數據存在差距。散點因子(SI)為 0.642 偏高，表明雷達觀測數據較為分散，數據品質較差。偏誤(Bias)為 0.281，顯示本計畫演算模式於杜蘇芮颱風觀測分析較底碇式略有高估情況，分析結果如圖 5.3 所示，惟流向部分並無潮汐圖明顯半日潮汐變化，應再進一步檢討改善流向的情況。

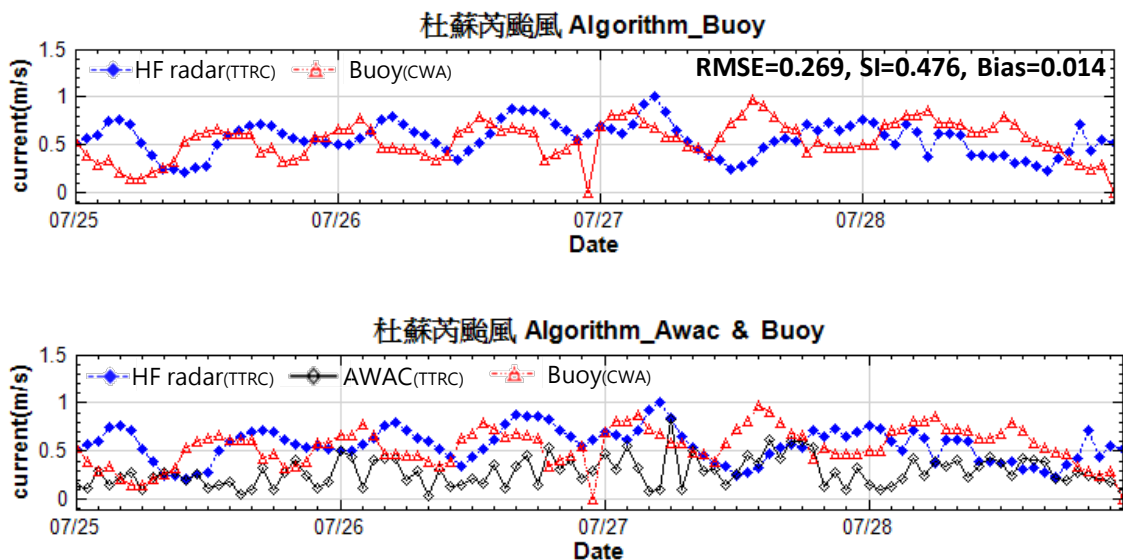




(上圖為流速比較圖，中間為流向比較圖，下圖為潮汐圖)

圖 5.3 杜蘇芮颱風雷達系統與底碇式儀器觀測結果比較圖

將雷達系統與中央氣象署浮標(Buoy)的海表流速觀測結果進行比較，觀察發現雷達時序列相關係數於 0.01~0.09 之間呈現弱度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.269，相較於底碇式觀測儀器更低，顯示雷達觀測與氣象署浮標觀測數據更惟接近。散點因子(SI)為 0.476，亦相較於底碇式觀測儀器更低，數據品質仍差。偏誤(Bias)為 0.014，顯示本計畫演算模式於杜蘇芮颱風觀測分析較浮標稍微有高估情況，判斷較無抽樣準確性的偏差，分析結果如圖 5.4 所示。

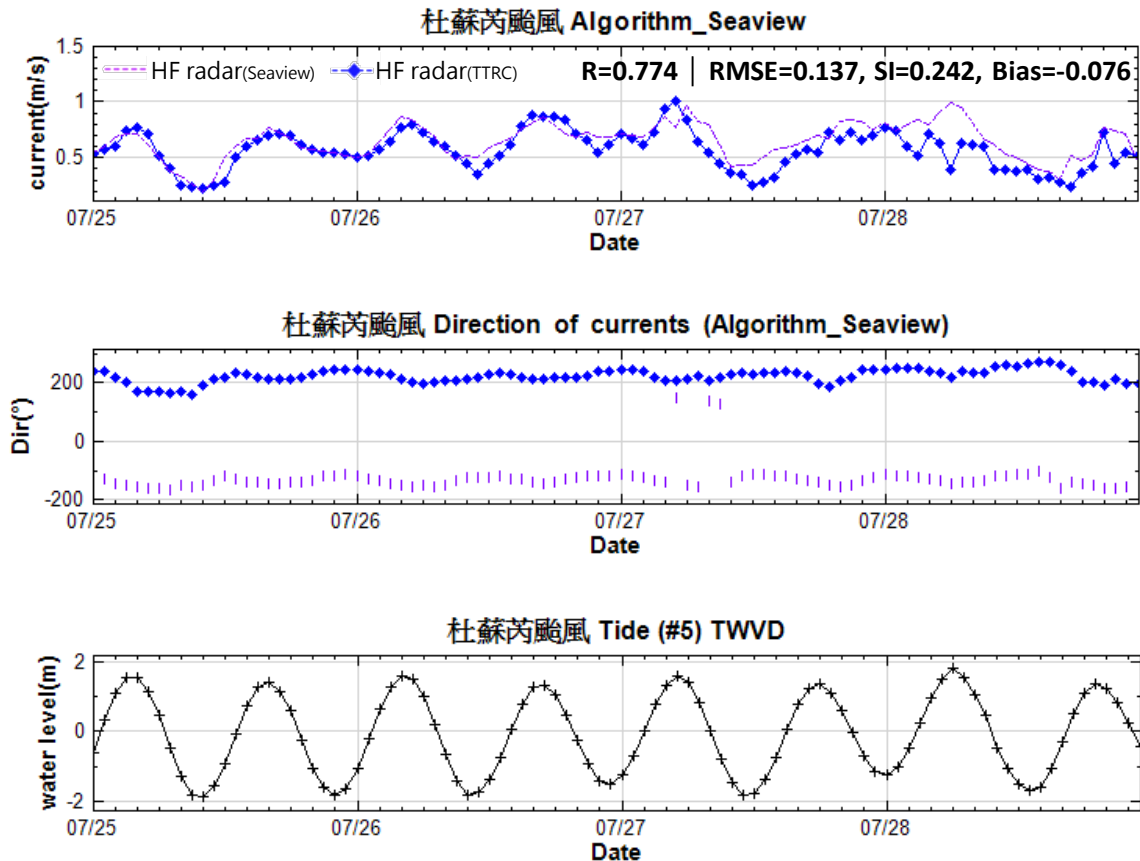


(上圖為雷達與氣象署浮標比較圖，下圖為 3 種不同觀測儀器流速比較)

圖 5.4 杜蘇芮颱風雷達系統與氣象署浮標觀測結果比較圖

若將雷達系統的海面觀測訊號使用英國雪菲爾大學開發的 Seaview Sensing 軟體進行分析，並與本計畫的演算處理程序進行比較。觀察發現兩者於時序列的漲落趨勢呈現一致性，兩者相關係數達到 0.774，呈現高度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.137，顯示兩者雖使用不同品管

分析，但兩者分析結果數據接近，且散點因子(SI)為 0.242，亦表示兩者於雷達數據分析，資料數據一致性表現良好。偏誤(Bias)為-0.076，負數顯示本計畫在雷達數據分析稍微低估於 Seaview 的演算結果，但兩者分析結果趨勢相同，分析結果如圖 5.5 所示，惟雷達觀測流向部分，不論兩種方法分析為何，流向變化均無潮汐圖明顯半日潮汐起伏與轉向變化，顯示雷達流向評估尚需精進，亦應納入檢討改善。



(上圖為 2 種方法比較，中間為流向比較圖，下圖為潮汐圖)

圖 5.5 杜蘇芮颱風 2 種不同演算與品管處理程序結果比較圖

5.3 海葵(HaiKui)颱風

海葵颱風於關島西北方海面生成後，根據中央氣象署颱風警報單整理海葵颱風侵臺期間 7 級風最大暴風半徑為 180 公里，於 9 月 3 日 15 時 40 分於臺東東河鄉登陸，並於 9 月 3 日 20 時於高雄梓官區出海，出海後於西部海岸緩慢前行，因此，造成農業網室、畜禽舍倒塌、漁船筏與漁具、養殖設備等農漁牧設施損失不計其數，如圖 5.6 所示。

202311 海葵(HAIKUI)

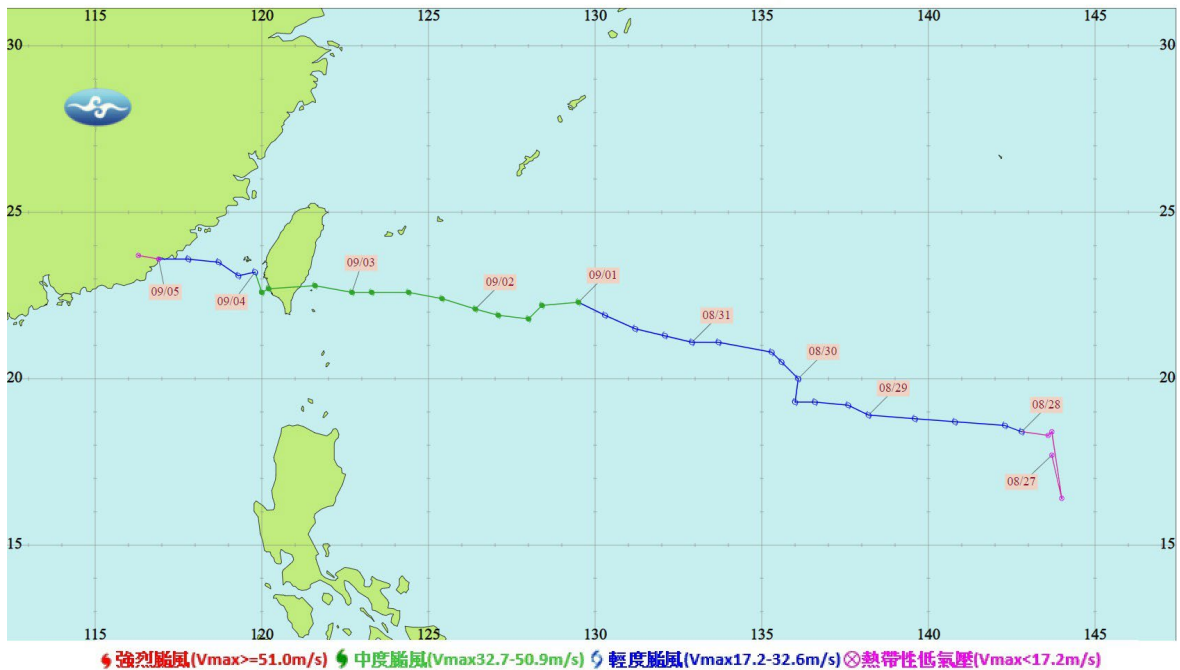
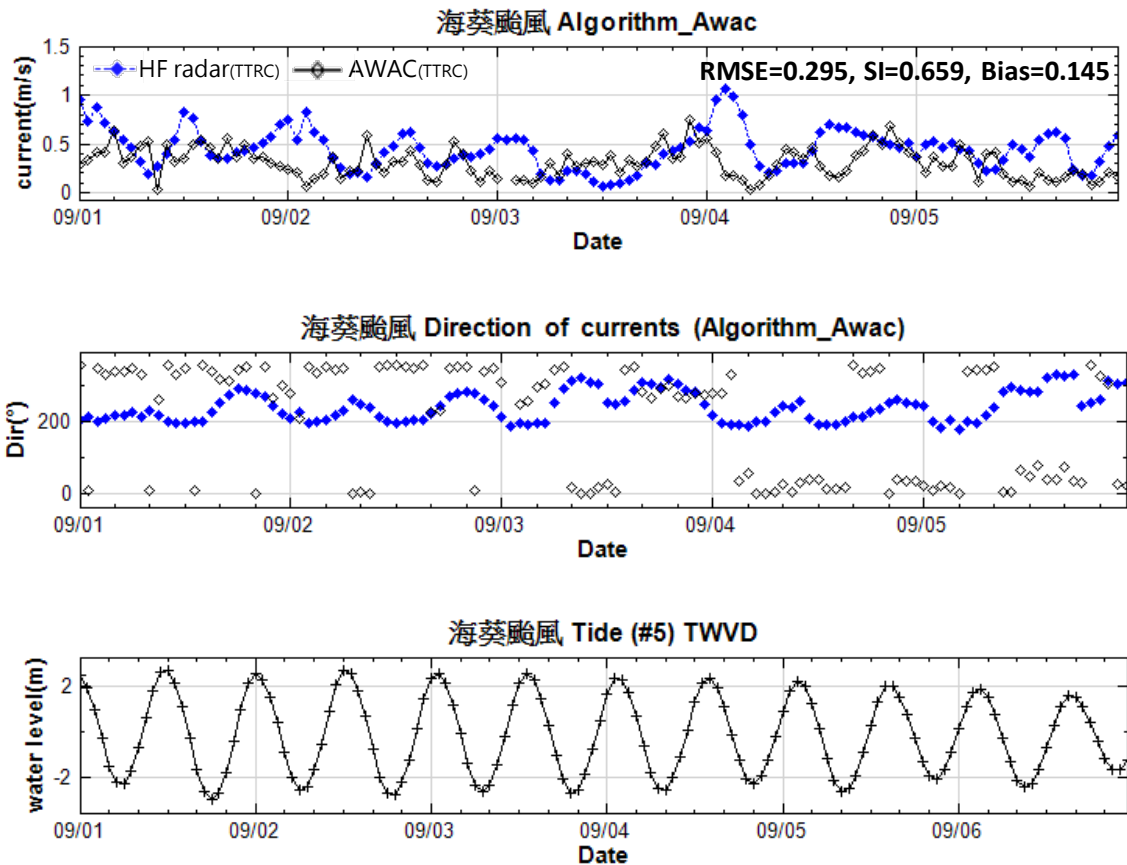


圖 5.6 海葵颱風路徑圖(第 11 號颱風)

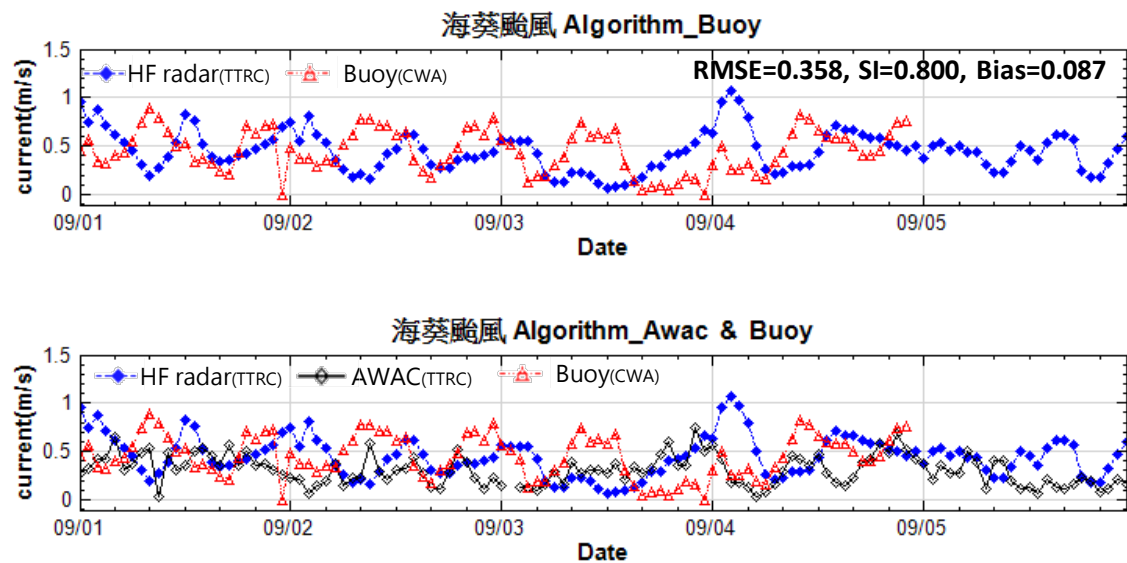
將雷達系統與底碇式儀器的海表流速觀測結果於今(112)年度 9 月 1 日 00:00 到 9 月 6 日 23:00 進行比較，觀察發現雷達時序列相關係數於 0.01~0.09 之間呈現弱度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.295，顯示雷達觀測與底碇式觀測數據存在微小差距。散點因子(SI)為 0.659 偏高，表明雷達觀測數據較為分散，數據品質較差。偏誤(Bias)為 0.145，顯示本計畫演算模式於海葵颱風分析略有高估，雷達觀測分析稍微有偏差情況，分析結果如圖 5.7 所示，惟雷達流向變化部分，並無明顯半日潮汐變化，颱風登陸期間潮差變化較大，當颱風遠離臺灣越遠，潮汐變化轉小，但不論潮汐起伏如何變化，雷達觀測海表面流流向趨勢與潮汐均無明顯關聯，建議再進一步檢討改善。



(上圖為流速比較圖，中間為流向比較圖，下圖為潮汐圖)

圖 5.7 海葵颱風雷達系統與底碇式儀器觀測結果比較圖

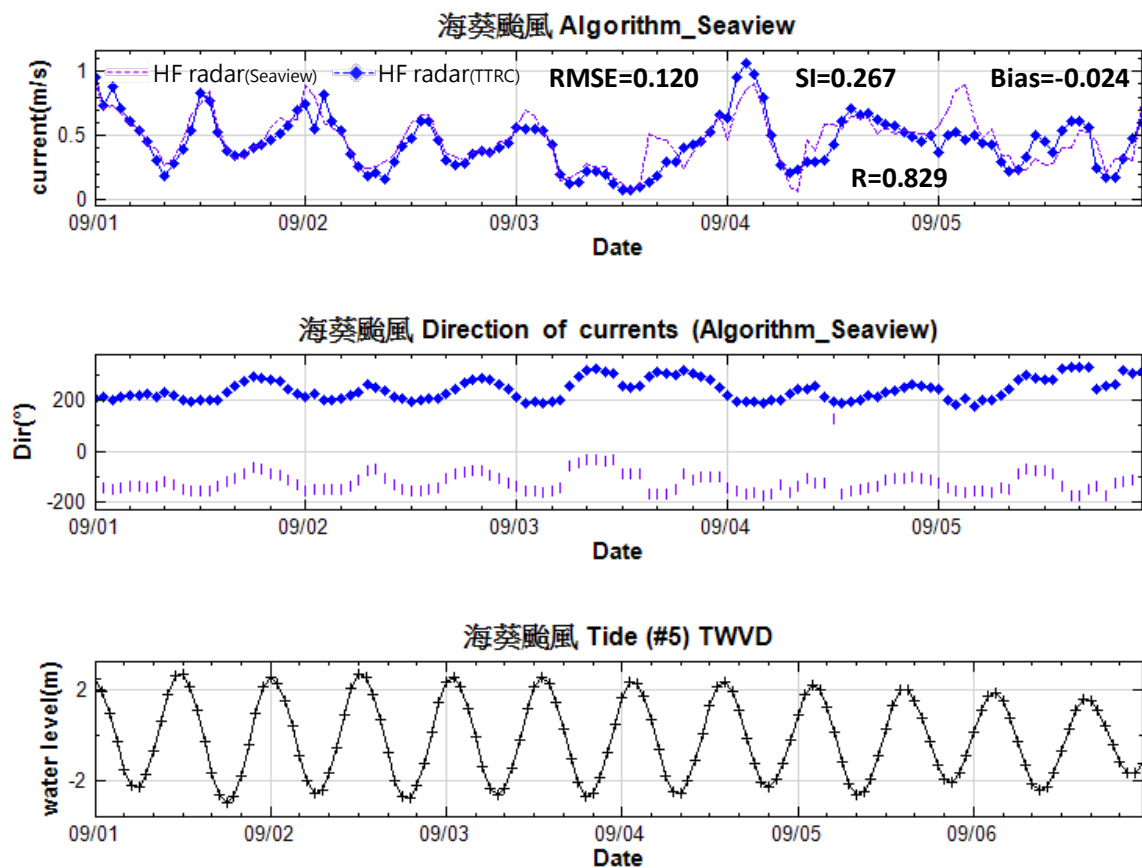
若將雷達系統與中央氣象署浮標(Buoy)的海表流速觀測結果進行比較，觀察發現雷達時序列相關係數於 0.01~0.09 之間呈現弱度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.358，顯示雷達觀測與浮標觀測數據之間的差距相對較底碇式的均方根誤差大。散點因子(SI)為 0.8 偏高，表示雷達觀測與浮標比較兩者誤差較大，兩數據相比更佳分散。偏誤(Bias)為 0.087，顯示本計畫演算模式於海葵颱風分析，雖然兩數據比較為分散，但抽樣準確性較無明顯的取樣偏差情況，如圖 5.8 所示。氣象署浮標在 9 月 6 日 23:00 後資料中斷，因此無法提供相關資料。綜觀而言，3 種不同觀測儀器流速相互比較，儀器相互之間的相關趨勢並不明顯，部分情況底碇式海流觀測與雷達觀測相近，而在某些情況下底碇式海流觀測與氣象署浮標觀測相近。總體而言，不論如何雷達觀測似乎較其他 2 種觀測方式略有高估情形。



(上圖為雷達與氣象署浮標比較圖，下圖為3種不同觀測儀器流速比較)

圖 5.8 海葵颱風雷達系統與氣象署浮標觀測結果比較圖

若將雷達系統的海面觀測訊號使用英國雪菲爾大學開發的 Seaview Sensing 軟體進行分析，並與本計畫演算處理程序進行比較。觀察發現兩者於時序列的漲落趨勢呈現一致性，兩者相關係數達到 0.829，呈現高度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.120，顯示兩者雖使用不同品管分析，但兩者分析結果數據相近，且散點因子(SI)為 0.267，亦表示兩者分析的雷達數據資料一致性方面表現良好，且誤差小。偏誤(Bias)為 -0.024，負數顯示本計畫演算分析的雷達數據稍微低估於 Seaview 的演算結果，但兩者的準確性都很高，詳細分析結果，如圖 5.9 所示，惟雷達流向部分探討，不論 2 種方法分析為何，海葵颱風期間 2 種雷達觀測的流向變化 9 月 3 日前略有半日潮汐變化，但之後較無明顯半日潮起伏，建議亦應納入檢討改善。



(上圖為 2 種方法比較，中間為流向比較圖，下圖為潮汐圖)

圖 5.9 海葵颱風 2 種不同演算與品管處理程序結果比較圖

5.4 小犬(KoiNu)颱風

小犬颱風於關島西方海面生成後，根據中央氣象署新聞資料整，小犬颱風侵臺期間 7 級風最大暴風半徑為 250 公里，於 10 月 5 日 8 時 20 分於屏東鵝鑾鼻登陸，小犬颱風於 10 月 5 日 8 時 30 分已經出海，雷達掃描圖顯示颱風登陸恆春半島後短暫停留後通過臺灣，如圖 5.10 所示。

202314 小犬(KOINU)

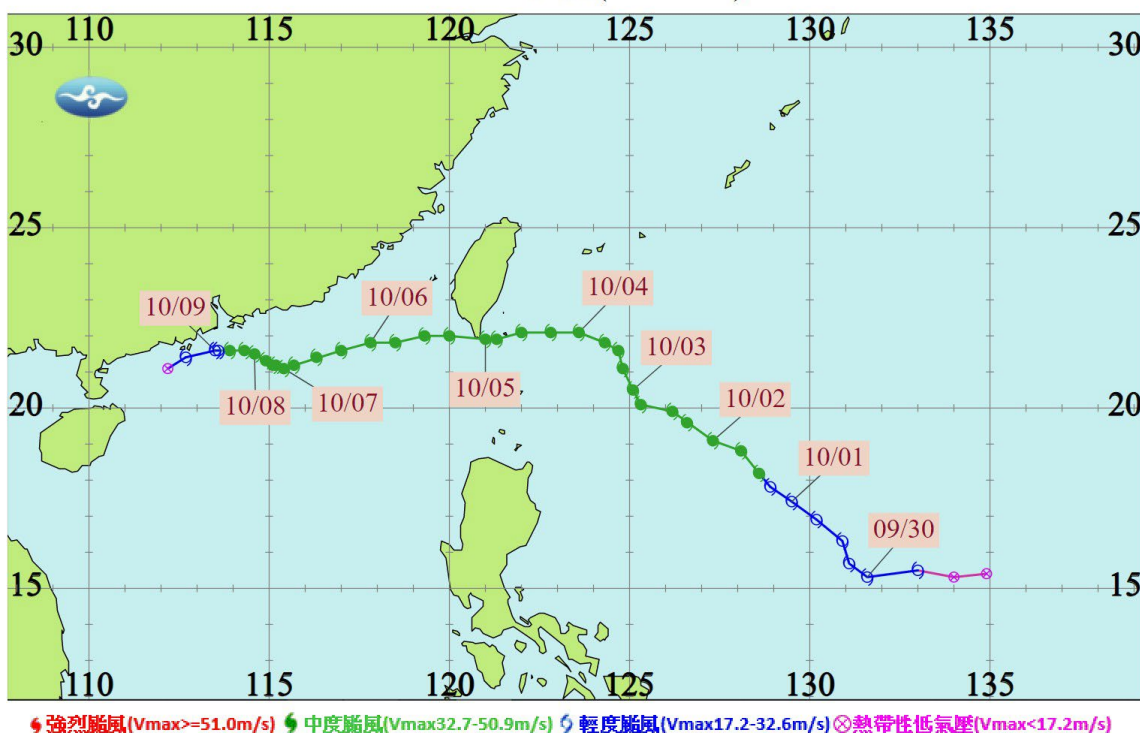
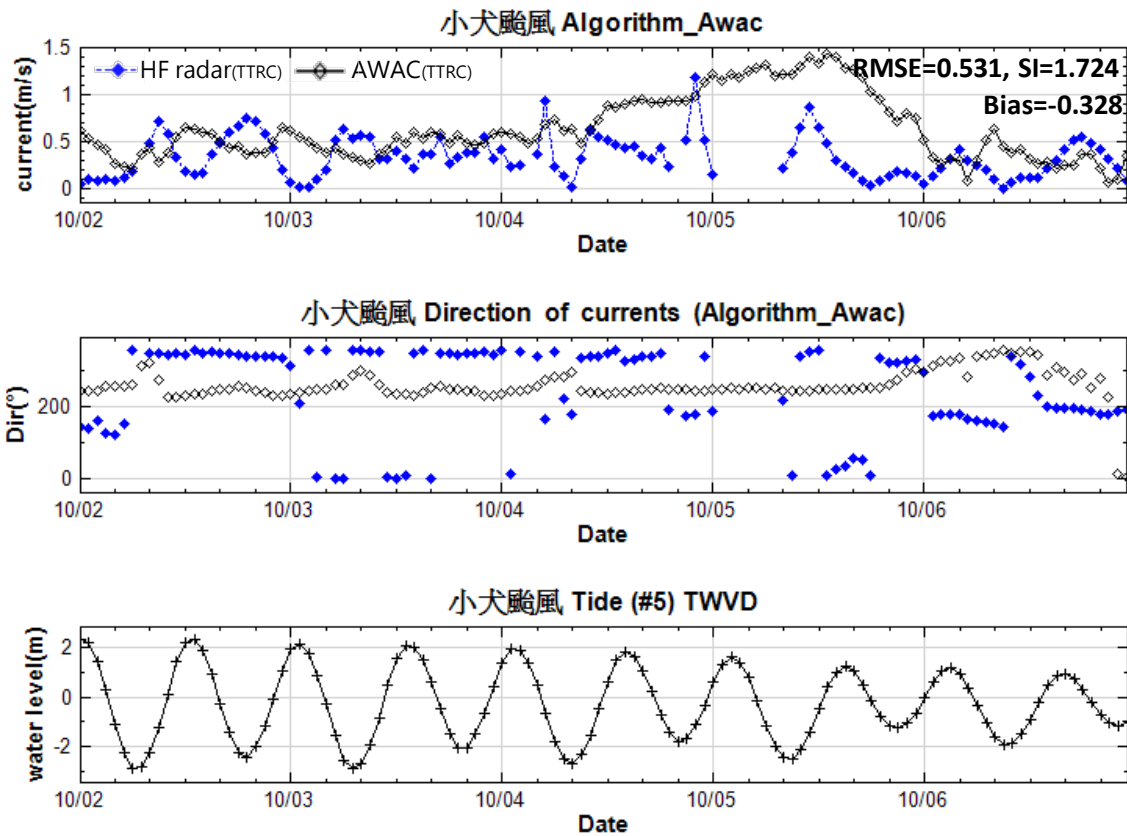


圖 5.10 小犬颱風路徑圖(第 14 號颱風)

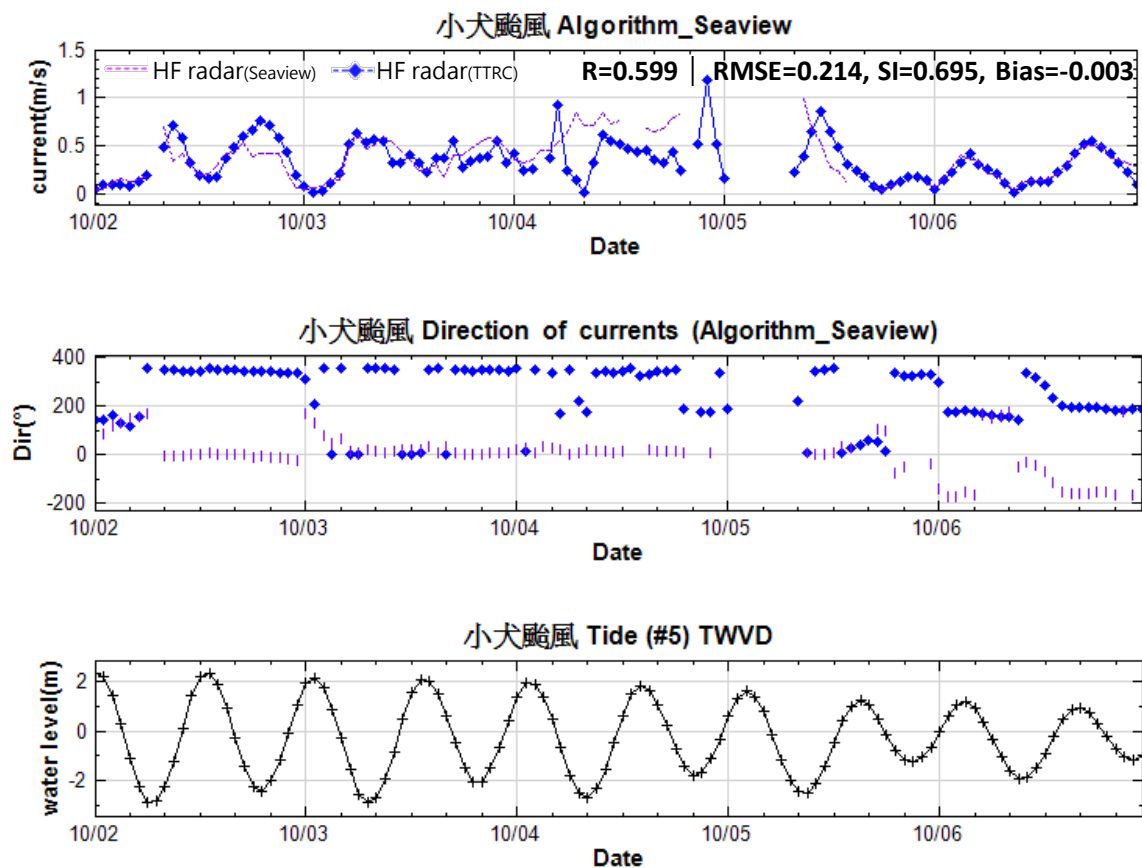
將雷達系統與底碇式儀器的海表流速觀測結果於今(112)年度 10 月 2 日 00:00 到 10 月 6 日 23:00 進行比較，觀察發現雷達時序列相關係數於 0.01~0.09 之間呈現弱度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.531，為 3 場颱風當中最大均方根誤差，顯示雷達觀測與底碇式觀測數據差距最大。散點因子(SI)為 1.724 極度高，表明雷達觀測數據的誤差遠高於觀測水平，數據品質極差。偏誤(Bias)為-0.328，顯示本計畫演算模式在小犬颱風分析中，負數顯示本計畫演算分析的雷達數據低估，並有明顯準確性偏差情況，分析結果，如圖 5.11 所示，惟雷達流向變化部分並無明顯半日潮汐變化，應再進一步檢討改善，此段期間因中央氣象署浮標無資料，故無法進行雷達與浮標表面流觀測之結果比較。



(上圖為流速比較圖，中間為流向比較圖，下圖為潮汐圖)

圖 5.11 小犬颱風雷達系統與底碇式儀器觀測結果比較圖

若將雷達系統的海面觀測訊號使用英國雪菲爾大學開發的 Seaview Sensing 軟體進行分析，並與本計畫的演算處理程序進行比較。觀察發現兩者於時序列的漲落趨勢呈現一致性，兩者相關係數達到 0.599，呈現中度相關。統計的均方根誤差(RMSE)為 0.214，顯示兩者雖使用不同品管分析，但兩者分析結果數據相近，且散點因子(SI)為 0.695，亦表示兩者於雷達數據資料分散情形略高。偏誤(Bias)為-0.003，負數顯示本計畫在雷達數據分析中略低估於 Seaview 的演算結果，但兩者的準確性都很高，詳細分析結果見圖 5.12 所示，惟流向部分，不論 2 種方法分析，均無潮汐圖明顯半日潮汐變化，此外，使用同樣的雷達海面觀測訊號，Seaview Sensing 軟體分析後品管後數據剔除較多，數據量較少，未來亦應納入研究與檢討改善兩種品管方式之差異。



(上圖為 2 種方法比較，中間為流向比較圖，下圖為潮汐圖)

圖 5.12 小犬颱風 2 種不同演算與品管處理程序結果比較圖

整體上，3 場颱風侵臺期間均屬於中度颱風，觀測數據上小犬颱風觀測尚有最大均方根誤差(RMSE)，與最大散點因子(SI)，也具有最大偏誤(Bias)，造成此原因的最主要情況可能與颱風路徑有關，以及雷達流速品管已超過第三章品管最大流速門檻值 1m/sec 上限有關，未來可再檢討門檻值的合理性。另一方面，本計畫所採用雷達分析方式的觀測結果，除小犬颱風分析案例，2 種分析演算方法的相關性較差，其他兩場颱風中，本計畫的分析方式與英國的 Seaview Sensing 分析雷達數據的相關性均已取得相當高的一致性。

第六章 結論與建議

聯合國 2019 年於丹麥哥本哈根舉辦了第一次全球規劃會議，旨在為未來十年的海洋科學十年做好準備。此次會議邀請了來自科學界、政府、非政府組織、學術界和企業界的約 200 多名專家學者，共同討論如何通過廣泛的行動和夥伴關係來奠定未來十年的基礎，推動海洋科學的進步並促進全球可持續發展。會議的主要重點包括以下六大主題：安全海洋、持續多產海洋、透明可親海洋、乾淨海洋、健康海洋、可預測海洋。這些主題與未來發展環環相扣，至關重要。面對全球氣候變遷、極端氣候與複合型災害發生機率增加的影響，如何強化運輸系統的抗災能力成為當前的重點課題。通過加強合作與制定有效的行動計劃，能更好地應對環境變化的挑戰，促進海洋科學的發展，實現全球可持續發展之目標。對此，本計畫意旨於維持與改進臺中港海洋陣列雷達產品的品質，綜整結論與建議如下：

6.1 結論

- (一)透過近期文獻呈現，利用機器學習之深度學習自動提取數據已獲得更可靠的雷達品管數據，不論使用卷積神經網路、遞歸神經網路與長短期記憶模型確實已引起實用性的使用，能有效減少人為干預可能造成之錯誤，改善數據品質，確立海洋陣列雷達改進之研究方向。
- (二)國際間使用通用 netCDF 格式已經有許多國家與單位配合與響應，以及利用美國 IOOS 發行的 QARTOD 陣列雷達品管手冊的品管雷達數據，對於本所發展品管程序至關重要，基此，本計畫雷達觀測系統目前已初步實施 netCDF 第 4 版做為雷達格式標準，並依據美國品管手冊已將 Test 201 與 Test 203 納入雷達演算與品管處理程序中。
- (三)雷達資料品質取決於環境訊號品質及硬體健康程度，本計畫進行天線狀態健檢與利用船舶波束合成校準，對於雷達品質檢核成果之提升，與增加目標物識別方位精確度，並減少方位誤差。
- (四)本計畫進行 3 場颱風期間的觀測分析，致獲以結論，觀測數據以小犬颱風觀測具最大均方根誤差(RMSE)、最大散點因子(SI)、最大偏

誤(Bias)，造成此原因的最主要情況可能與颱風路徑有關，另外，底碇式海流儀施測流速已經超過雷達流速品管最大流速門檻值上限，造成海流數據經品管程序剔除。本計畫所採用不同雷達分析方式的觀測結果，除小犬颱風分析案例以外，其他 2 場颱風情境雷達數據之相關性均獲得相當高的一致性。

6.2 建議

- (一)關於雷達合成海流向量速度的數據，本計畫已利用訊噪比控制做為品質控制之指標，並設定閾值過濾與校正雷達數據，但現階段利用機器學習之深度學習自動提取數據已獲得更可靠的雷達品管方式，建議未來能考慮使用雙向長短期記憶模型(Bi-LSTM)，協助改善雷達數據。
- (二)未來持續追蹤 netCDF 格式更新情形，並調整納入至雷達處理程序當中，另建議日後雷達品管的精進，能依據美國發行的 QARTOD 陣列雷達品管手冊新增 Test 208 與 Test 209 標準於雷達演算與品管處理程序。
- (三)海洋陣列雷達資料不確定性，屏除雷達設計的硬體限制，尚需考慮海況與電磁環境之自然時空變異，雷達硬體健康程度與內外在人為電磁干擾，建議持續完善各項品管措施之檢測，以掌握長期追蹤系統性的偏移或變化，最大確保硬體健康程度。
- (四)有關海洋雷達發射場型進階校正立體化電磁波發射場，調校發射天線的振幅與相位，除了採用人力檢測以外，國外目前已有應用無人機進行波束合成校準之案例，建議未來可以朝向此方向檢修與校正海洋陣列雷達。
- (五)本計畫經由 112 年度觀測分析，建議有關雷達流速品管最大流速門檻值上限，未來可持續檢討門檻值之合理性，並持續檢討改善流向觀測數據的結果。
- (六)本計畫提出使用時間連續性方法來驗證資料的連續性。然而，本計畫中並無足夠時間長度的雷達資料進行連續性以及雷達資料開放標準的釐訂。若未來資料長度足夠，本計畫的規劃將有助於建立海象

觀測的基準並提出釐訂建議，並判斷資料是否達到開放的標準。

- (七)海洋陣列雷達發射場場型其實為一立體化的電磁波場，利用人力檢校費時，且利用船舶於海上進行校正作業，容易受到潮流與風力影響產生誤差，且目前雷達校正僅考慮平面校正，尚未考慮垂直地面方向的發射訊號校正。

6.3 成果效益與後續應用情形

- (一)本計畫致力於不斷改進，持續進行定時觀測海洋表面流，以提供港區海流觀測資料，為航行管理單位和港務公司的應用規劃提供參考。
- (二)持續發展海洋陣列雷達監測技術，透過建立跨領域研究機制，促進各單位間資料共享、技術合作和應用合作，以更實質地促進交流，有助於推動海洋陣列雷達領域研究，促進資料共享與應用。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，2003～2020，「臺灣海氣地象觀測資料年報」報告書(波浪、海流、潮汐等部分)，臺灣技術研究中心(研究報告)。
2. 呂宜潔、賴堅戎、莊士賢，「長短期記憶(LSTM)模型以海洋雷達測流資料預測短時流場」，第44屆海洋工程研討會，2022年，141-146頁。
3. Alattabi, Z.R., Cahl, D., & Voulgaris, G., “Swell and Wind Wave Inversion Using a Single Very High Frequency (VHF) Radar.”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36, 2019, pp.987-1013.
4. Atanga, J. N. and L. R. Wyatt, “Comparison of Inversion Algorithms for HF Radar Wave Measurements.”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 22(4), 1997, pp.593-603.
5. Barrick, D. E., “Remote Sensing of Sea State by Radar”, *Ocean 72 - IEEE International Conference on Engineering in the Ocean Environment*, 1972.
6. Barrick, D. E. and B. Lipa, “Evolution of Bearing Determination in HF Current Mapping Radars”, *Oceanography* 10, 1997.
7. Barrick, D. E., “First-order Theory and Analysis of MF/HF/VHF Scatter from The Sea”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 20(1), 1971, pp.2-10.
8. Barrick, D. E., “Remote Sensing of Sea State by Radar”, *Ocean 72 - IEEE International Conference on Engineering in the Ocean Environment*, 1972.
9. Barrick, D. E., “Extraction of Wave Parameters from Measured HF Radar Sea-echo Doppler Spectra”, *Radio Science* 12(3), 1977, pp.415-424.
10. Barrick, D. E., “SeaSonde Power to Range”, In. CODAR reference document., 2005a.
11. Barrick, D.E., “Geometrical Dilution of Statistical Accuracy (gdosa) in Multi-static HF Radar Networks”, In. CODAR reference document., 2005b.
12. Bhuiya, S. N., F. Islam and M. Matin, “Analysis of Direction of Arrival Techniques Using Uniform Linear Array”, *International Journal of Computer Theory and Engineering* 4, 2012, pp.931-934.
13. Cai, L., Shang, S., Wei, G., He, Z., Xie, Y., Liu, K., Zhou, T., Chen, J., Zhang, F., & Li, Y., “Assessment of Significant Wave Height in the Taiwan Strait Measured by a Single HF Radar System”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 36, 2019, pp.1419-1432.

14. Capon, J., "High-resolution Frequency-wavenumber Spectrum analysis", Proceedings of the IEEE 57(8), 1969, pp.1408-1418.
15. Chapman, R., Shay, L., Graber, H., Edson, J., Karachintsev, A., Trump, C., & Ross, D., "On the Accuracy of HF Radar Surface Current measurements: Intercomparisons with Ship-based Sensors", Journal of Geophysical Research, 1021, 1997, pp.18737-18748.
16. Chen, Z., Zezong, C., Yanni, J., Lingang, F., Gengfei, Z., "Exploration and Validation of Wave-Height Measurement Using Multifrequency HF Radar", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 30, 2013, pp.2189-2202.
17. Chuang, L., Chung, Y.-J., & Tang, S., "A Simple Ship Echo Identification Procedure With SeaSonde HF Radar", IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 12, 2015, pp.1-5.
18. Cook, T. M. and L. K. Shay, "Surface M2 Tidal Currents along the North Carolina Shelf Observed with a High-frequency Radar", Journal of Geophysical Research: Oceans 107(C12), 2002, pp.15-11 - 15-12.
19. Crombie, D. D., "Doppler Spectrum of Sea Echo at 13.56 Mc./s", Nature 175, 1955, p.681.
20. Dao, D.-T., H. Chien, J.-W. Lai, Y.-H. Huang and P. Flament, "Evaluation of HF radar in Mapping Surface Wave Field in Taiwan Strait under Winter Monsoon", OCEAN's 2019-Marseille, 2019, pp.1-7.
21. De Paolo, T., & Terrill, E., "Skill Assessment of Resolving Ocean Surface Current Structure Using Compact-Antenna-Style HF Radar and the MUSIC Direction-Finding Algorithm", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology - J ATMOS OCEAN TECHNOL, 24, 2007.
22. Dzvonkovskaya, A., Gurgel, K., Rohling, H., & Schlick, T., "Low power High Frequency Surface Wave Radar Application For Ship Detection and Tracking", In 2008 International Conference on Radar, 2008, pp.627-632.
23. Dzvonkovskaya, A., Rohling, H., "Target Detection with Adaptive Power Regression Thresholding for HF Radar", 2006.
24. Dzvonkovskaya, A.L., & Rohling, H., "HF Radar Ship Detection and Tracking Using WERA system", In 2007 IET International Conference on Radar Systems, 2007, pp. 1-5.
25. Essen, H. H., K. W. Gurgel and T. Schlick, "Measurement of Ocean Wave Height and Direction by Means of HF Radar: An Empirical Approach", Deutsche Hydrografische Zeitschrift 51(4), 1999, pp.369-383.

26. Fujii, S., M. L. Heron, K. Kim, J. W. Lai, S. H. Lee, X. Wu, X. Wu, L. R. Wyatt and W. C. Yang, "An Overview of Developments and Applications of Oceanographic Radar Networks in Asia and Oceania Countries", *Ocean Science Journal* 48(1), 2013, pp.69-97.
27. Gill, E. W. and E. J. Walsh, "High-frequency Bistatic Cross Sections of The Ocean Surface", *Radio Science* 36(6), 2001, pp.1459-1475.
28. Godara, L. C., "Application of Antenna Arrays to Mobile Communications. II. Beam-forming and Direction-of-arrival Considerations", *Proceedings of the IEEE* 85(8), 1997, pp.1195-1245.
29. Gurgel, K., "Shipborne Measurement of Surface Current Fields by HF Radar", *IEEE in Proceedings of OCEANS'94*, Vol. 3, 1994, pp.III-23.
30. Gurgel, K. W., G. Antonischki, H. H. Essen and T. Schlick, "Wellen Radar (WERA): a new ground-wave HF radar for Ocean Remote Sensing", *Coastal Engineering* 37(3), 1999, pp.219-234.
31. Gurgel, K. W., H. H. Essen and S. P. Kingsley, "High-frequency Radars: Physical Limitations and Recent Developments", *Coastal Engineering* 37(3), 1999, pp.201-218.
32. Gurgel, K. W., H. H. Essen and T. Schlick, "An Empirical Method to Derive Ocean Waves From Second-Order Bragg Scattering: Prospects and Limitations", *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 31(4), 2006, pp.804-811.
33. Gurgel, A.D.I.K.-W., and Schlick, T., "HF Radar WERA Application for Ship Detection and Tracking 1", 2010.
34. Hardman, R. L., L. R. Wyatt and C. C. Engleback, "Measuring the Directional Ocean Spectrum from Simulated Bistatic HF Radar Data", *Remote Sensing* 12(2), 2020.
35. Hashimoto, N. and M. Tokuda, "A Bayesian Approach for Estimation of Directional Wave Spectra with HF Radar", *Coastal Engineering Journal* 41(2), 1999, pp.137-149.
36. Hashimoto, N., L. R. Wyatt and S. Kojima, "Verification of a Bayesian Method for Estimating Directional Spectra from HF Radar Surface Backscatter", *Coastal Engineering Journal* 45(2), 2003, pp.255-274.
37. Hasselmann, K., "Determination of Ocean Wave Spectra from Doppler Radio Return from the Sea Surface", *Nature Physical Science* 229, 1971, p.16.
38. Helzel, T., M. Kniephoff and L. Petersen, "WERA : Remote Ocean Sensing for Current, Wave and Wind Direction", *IEEE US/EU Baltic International Symposium*, 2006.

39. Heron, M. L., P. E. Dexter and B. T. McGann, "Parameters of the Air-sea Interface by High-frequency Ground-wave Doppler Radar", *Marine and Freshwater Research* 36(5), 1985, pp.655-670.
40. Heron, S. and M. L. Heron, "A Comparison of Algorithms for Extracting Significant Wave Height from HF Radar Ocean Backscatter Spectra", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology - J ATMOS OCEAN TECHNOL* 15, 1998.
41. Heron, S. F. and M. L. Heron, "A Comparison of Algorithms for Extracting Significant Wave Height from HF Radar Ocean Backscatter Spectra", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 15(5), 1998, pp.1157-1163.
42. Hilmer, T., "Radar Sensing of Ocean Wave Heights", Master, 2010.
43. Hisaki, Y., "Nonlinear Inversion of the Integral Equation to Estimate Ocean Wave Spectra from HF radar", *Radio Science* 31(1), 1996, pp.25-39.
44. Howell, R. and E. J. Walsh, "Measurement of Ocean Wave Spectra Using Narrow-Beam HF Radar", *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 18(3), 1993, pp.296-305.
45. Howell, R. K., "An Algorithm for the Extraction of Ocean Wave Spectra from Narrow Beam HF Radar Backscatter", Masters Thesis (Masters), Memorial University of Newfoundland, 1990.
46. Jangal, F., Saillant, S., & Helier, M., "Wavelet Contribution to Remote Sensing of the Sea and Target Detection for a High-Frequency Surface Wave Radar", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5, 2008, pp.552-556.
47. Kendall, M.G., A. Stuart and J. K. Ord, "The Advanced Theory of Statistics", London: Charles Griffin and Company Ltd , 1967.
48. Kirincich, A. R., T. de Paolo and E. Terrill, "Improving HF Radar Estimates of Surface Currents Using Signal Quality Metrics, with Application to the MVCO High-Resolution Radar System", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 29(9), 2012, pp.1377-1390.
49. Kirincich, A., "Improved Detection of the First-Order Region for Direction-Finding HF Radars Using Image Processing Techniques", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34, 2017, pp.1679-1691.
50. Lipa, B. and Barrick, D. E., "Least-squares Methods for the Extraction of Surface Currents from CODAR crossed-loop data : Application at ARSLOE", *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 8(4), 1983, pp.226-253.
51. Lipa, B. and Barrick, D. E., "Extraction of sea state from HF Radar Sea Echo: Mathematical Theory and Modeling", *Radio Science* 21(1), 1986, pp.81-100.

52. Lipa, B. and B. Nyden, "Directional Wave Information from the SeaSonde", IEEE Journal of Oceanic Engineering 30(1), 2005, pp.221-231.
53. Lipa, B. J. and Barrick, D. E., "Analysis Methods for Narrow-beam High-Frequency Radar Sea Echo", Vol. 82, No.252123, US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Research Laboratories., 1982.
54. Lipa, B. J. and D. E. Barrick, "Extraction of Sea State from HF Radar Sea Echo:Mathematical Theory and Modeling", Radio Science 21(1), 1986, pp.81-100.
55. Longuet-Higgins, M., D. E. Cartwright and N. D. Smith, "Observations of the Directional Spectrum of Sea Waves Using the Motions of a Floating Buoy", Ocean Wave Spectra, proceedings of a conference, Easton, Maryland, Prentice-Hall, 1963.
56. Lopez, G., Conley, D. C., & Greaves, D. Calibration, "Validation, and Analysis of an Empirical Algorithm for the Retrieval of Wave Spectra from HF Radar Sea Echo", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 33, 2016, pp.245-261.
57. Lukijanto, L., N. Hashimoto and M. Yamashiro, "Verification of a Modified Bayesian Method for Estimating Directional Wave Spectra from HF Radar", Coastal Engineering Proceedings 1(32), 2011.
58. Mantovani, C., Corgnati, L., Horstmann, J., Rubio, A., Reyes, E., Quentin, C., Cosoli, S., Asensio, J.L., Mader, J., & Griffa, A., "Best Practices on High Frequency Radar Deployment and Operation for Ocean Current Measurement", Frontiers in Marine Science, 7, 2020.
59. Maresca, J. W. and T. M. Georges, "Measuring Rms Wave Height and the Scalar Ocean Wave Spectrum with HF Skywave Radar", JGR Oceans 85, 1980, pp.2759-2772.
60. N. Bhuiya, S., Islam, F., & Matin, M., "Analysis of Direction of Arrival Techniques Using Uniform Linear Array", International Journal of Computer Theory and Engineering, 4, 2012, pp.931-934.
61. Paduan, J. D., R. Delgado, J. F. Vesecky, Y. Fernandez, J. Daida and C. Teague, "Mapping coastal winds with HF radar", Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement (Cat. No.99CH36331), 1999.
62. Paduan, J. D. and L. Washburn, "High-frequency Radar Observations of Ocean Surface Currents", Ann Rev Mar Sci 5, 2013, pp.115-136.
63. Ramos, R.J., Graber, H. C., & Haus, B. K, "Observation of Wave Energy Evolution in Coastal Areas Using HF Radar", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 26, 2009, pp.1891-1909.

64. Rice, S. O., “Reflection of Electromagnetic Waves From Slightly Rough Surfaces”, *Communications on Pure and Applied Mathematics* 4(2-3), 1951, pp.351-378.
65. Roarty, H., T. Cook, L. Hazard, D. George, J. Harlan, S. Cosoli, L. Wyatt, E. Alvarez Fanjul, E. Terrill, M. Otero, J. Largier, S. Glenn, N. Ebuchi, B. Whitehouse, K. Bartlett, J. Mader, A. Rubio, L. Corgnati, C. Mantovani, A. Griffa, E. Reyes, P. Lorente, X. Flores-Vidal, K. J. Saavedra-Matta, P. Rogowski, S. Prukpitikul, S.-H. Lee, J.-W. Lai, C.-A. Guerin, J. Sanchez, B. Hansen and S. Grilli, “The Global High Frequency Radar Network”, *Frontiers in Marine Science* 6(164), 2019.
66. Robinson, A. M., L. R. Wyatt and M. J. Howarth, “A Two Year Comparison between HF Radar and ADCP Current Measurements in Liverpool Bay”, *Journal of Operational Oceanography* 4(1), 2011, pp.33-45.
67. Rubio, A., J. Mader, L. Corgnati, C. Mantovani, A. Griffa, A. Novellino, C. Quentin, L. Wyatt, J. S.-S., J. Horstmann, P. Lorente, E. Zambianchi, M. Hartnett, C. Fernandes, V. Zervakis, P. Gorringer, A. Melet and I. Puillat, “HF Radar Activity in European Coastal Seas: Next Steps toward a Pan-European HF Radar Network”, *Frontiers in Marine Science* 4(8), 2017, pp.1-20.
68. Schmidt, R., “Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 34, 1986, pp.276-280.
69. Shahidi, R. and E. Gill, “A New Automatic Nonlinear Optimization-Based Method for Directional Ocean Wave Spectrum Extraction From Monostatic HF-Radar Data”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2020, pp.1-19.
70. Shay, L. K., J. Martinez-Pedraja, T. M. Cook, B. K. Haus and R. H. Weisberg, “High-Frequency Radar Mapping of Surface Currents Using WERA”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 24(3), 2007, pp.484-503.
71. Shen, W., K.-W. Gurgel, G. Voulgaris, T. Schlick and D. Stammer, “Wind-speed Inversion from HF Radar First-order Backscatter signal”, *Ocean Dynamics* 62(1), 2012, pp.105-121.
72. Stewart, R. H. and J. R. Barnum, “Radio Measurements of Oceanic Winds at Long Ranges: An evaluation”, *Radio Science* 10(10), 1975, pp.853-857.
73. Teague, C., “Multifrequency HF Radar Observations of Currents and Current shears”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 11(2), 1986, pp.258-269.
74. Tian, Y., Tian, Z., Zhao, J., Wen, B., & Huang, W., “Wave Height Field Extraction From First-Order Doppler Spectra of a Dual-Frequency Wide-Beam High-Frequency Surface Wave Radar”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58, 2020, pp.1017-1029.

75. Tian, Y., Wen, B., Tan, J., & Li, Z., “Study on Pattern Distortion and DOA Estimation Performance of Crossed-Loop/Monopole Antenna in HF Radar”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65, 2017, pp.6095-6106.
76. Voronovich, A. G. and V. U. Zavorotny, “Measurement of Ocean Wave Directional Spectra Using Airborne HF/VHF Synthetic Aperture Radar: A Theoretical Evaluation”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 55(6), 2017, pp.3169-3176.
77. Wang, W., & Gill, E.W., “Evaluation of Beamforming and Direction Finding for a Phased Array HF Ocean Current Radar”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 33, 2016, pp.2599-2613.
78. Wyatt, L. R., “A Relaxation Method for Integral Inversion Applied to HF Radar Measurement of the Ocean Wave Directional Spectrum”, *International Journal of Remote Sensing* 11(8), 1990, pp.1481-1494.
79. Wyatt, L. R., B. W. Green, A. Middleditch, M. D. Moorhead, J. Howarth, M. Holt and S. Keogh, “Operational Wave, Current, and Wind Measurements With the Pisces HF Radar”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 31(4), 2006, pp.819-834.
80. Wyatt, L. R., J. Venn, G. Burrows, A. Ponsford, M. Moorhead and J. V. Heteren, “HF Radar Measurements of Ocean Wave Parameters During NURWEC”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 11(2), 1986, pp.219-234.
81. Wyatt, L. R., “High Order Nonlinearities in HF Radar Backscatter From the Ocean Surface”, *IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation* 142(6), 1995, pp.293-300.
82. Wyatt, L.R., Liakhovetski, G., Graber, H. C., & Haus, B. K., “Factors Affecting the Accuracy of SHOWEX HF Radar Wave Measurements”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 22, 2005, pp.847-859.
83. Wyatt, L. R., A. Mantovanelli, M. L. Heron, M. Roughan and C. R. Steinberg, “Assess-ment of Surface Currents Measured With High-Frequency Phased-Array Radars in Two Regions of Complex Circulation”, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 43(2), 2018, pp.484-505.
84. Wyatt, L. R., “Measuring the Ocean Wave Directional Spectrum 'First Five' with HF radar”, *Ocean Dynamics* 69(1), 2019, pp.123-144.
85. Wyatt, L. R., J. J. Green and A. Middleditch, “HF Radar Data Quality Requirements for Wave Measurement”, *Coastal Engineering* 58(4), 2011, pp.327-336.
86. Young, I. R., “The Determination of Confidence Limits Associated with Estimates of The Spectral Peak Frequency”, *Ocean Engineering* 22(7), 1995, pp.669-686.

87. Young, I. R. and L. A. Verhagen, “The Growth of Fetch Limited Waves in Water of Finite Depth. Part 1. Total Energy and Peak Frequency”, *Coastal Engineering* 29(1), 1996, pp.47-78.
88. Zhou, H., C. Wang, J. Yang, Y. Tian and B. Wen, “Wind and Current Dependence of the First-Order Bragg Scattering Power in High-Frequency Radar Sea Echoes”, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2017, pp.1-5.
89. R. Shahidi, W. Huang, Eric W. Gill, “High-Frequency-Radar Ocean Remote Sensing on the Atlantic's Edge”, *IEEE Canadian Review*, 2020, pp.18-20.
90. Yang, Y., Wei, C., Yang, F., Lu, T., Zhu, L., & Wei, J., “A Machine Learning-Based Correction Method for High-Frequency Surface Wave Radar Current Measurements”, *Applied Sciences*, 12(24), 2022, p.12980.
91. Zhou, C., Wei, C., Yang, F., & Wei, J., “A Quality Control Method for High Frequency Radar Data Based on Machine Learning Neural Networks”, *Applied Sciences*, 13(21), 2023, p.11826.
92. Zhu, L., Lu, T., Yang, F., Liu, B., Wu, L., & Wei, J., “Comparisons of Tidal Currents in the Pearl River Estuary between High-Frequency Radar Data and Model Simulations”, *Applied Sciences*, 12(13), 2022, p.6509.

附錄一

期末審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所自辦研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：MOTC-IOT-112-H2CA001g 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

執行單位：交通部運輸研究所運輸技術研究中心第二科

參與審查人員及其所提之意見	執行單位處理情形
(一)臺灣港務股份有限公司張欽聰委員：	
1.報告第3-15頁，內文提及臺中港徑向海流以cm/sec為單位，建議徑向流速門檻值為100cm/sec，但提及美國最大徑向流速時單位為m/s，建議將單位表示統一。	感謝委員建議，有關本計畫流速單位的表示方式，為利報告書的完整性，規範為cm/sec，如報告第3-15頁所示。
2.報告第3-19頁，相位檢查為貴所已開發項目，表3-13資料數值條件一欄，是否有固定標準值，請釐清。	本計畫相位檢查，係依照使用電纜傳播速度比為0.69設定標準值，1度的相位差目前須裁減電纜線2.18公分，故目前標準值採用3度、5度做為品管標準，若相位差大於5度時，視為相位不良，須及時安排人員改善，標準值已酌予修訂，如報告第3-19頁。
3.報告第3-22~第3-26頁，其他品管作為部分，提及天線的健檢跟校正，造成天線需校正的原因有哪些？如何得知信號收發已不準確，須於何時開始校正？或有建議之定期校正頻率等，請補充說明。	造成天線需要校正原因，包括：天候影響、長時間使用的自然磨損，導致包覆銅線的外絕緣破損，水氣與腐蝕造成阻抗改變，影響電容及電感比值(L/C)。為得知訊號發射與接收是否不準確，需經常觀察都卜勒自譜瞭解訊號改變的情形，以及採用定期天線檢查方式，檢測信號強度、接收與發送功率等，當發現異常或超出預定範圍的數據時，便啟動校正程序，並視需要進行調整，修訂新增內容，如報告第3-23頁。
4.將觀測之海流資料提供航行管理單位與港務公司規劃應用對於航行安全與管理頗有助益，立意甚佳，惟未見說明相關資料如何提供。	陣列雷達是海象監測的重要方法，具有空間場域辨識海象分佈之優點，對於航行安全與管理有卓著助益，本計畫陣列雷達觀測的海流資料立意提供給航行管理單位與港務公司應用，預計於下年度整合波浪資訊後，具體與應用單位說明提供海象資料的方法、頻率與格式等各項細節後提供。

5. 颱風比較雷達陣列、底碇式儀器與中央氣象署浮標觀測結果在流向與潮汐變化仍有改善空間，後續改善方向是否納入其他觀測方式用以多方驗證。	關於颱風觀測的數據比較，採用底碇式儀器與中央氣象署浮標驗證，為更全面驗證與提高觀測成效，後續研究確實考慮其他觀測方式，可能包括但不限於衛星觀測、微波雷達或其他現代化技術，以加強我們對於海流流向與潮汐變化的理解。
(二)國立海洋大學 楊智傑委員：	
1. 報告內容清楚交代臺中港鄰近海域海流之重要性，詳細回顧所內歷年成果及人工智慧方法相關研究，並完整呈現海流監測、品管、分析與驗證之結果，整體而言，內容豐富，具有價值。	本計畫重點工作於臺中港海域今年與歷年之研究成果，包括：海流監測、資料品管、比較驗證與分析，致力於報告書完整呈現，此外，為後續研究準備，本計畫回顧人工智慧於陣列雷達之相關研究，感謝委員肯定。
2. 在建議部分，本委員提出幾點意見供未來研究參考，報告內容文獻回顧及未來方向部分，提及人工智慧方法的應用。此為一可行方向，但建議瞭解各方法的理論基礎及適用性。相較於人工智慧方法，資料時間變化的不連續性(或是突然的驟變)是更為直觀且合理的方法。	感謝委員建議，關於人工智慧的應用，確實為後續年度重要的研究方向，委員所提各種人工智慧的理論基礎及適用性，應製表比較優劣，方能選擇最符合現況的方法，以增加陣列雷達觀測之準確性，如報告第2-8頁。另外，委員建議有關資料時間變化的不連續性檢討，未來值得研究，將納入後續研究主題，以更好地應對資料驟變情形。
3. 在海流驗證部份，建議未來研究工作可以持續加以精進。需要加以關注的部份包含，海流推估結果於其量值上的差異，潮汐漲退下潮流(海流)的流向，以及國外軟體與國內自主研發演算法的差異。	對於海流推估結果量值上的差異，以及潮汐漲退與潮流流場的變化，下期研究將採取更精進的驗證方法，以確保準確性。至於國外軟體與國內自主研發的演算法之差異，考慮借鑑國外經驗，後續將行比對與分析研究，以提升我們自身的演算法效能。
(三)國立成功大學 董東璟委員	
1. 研究分析詳盡，予以肯定。	本計畫致力提供詳盡研究成果，以確保報告的完整與價值，感謝委員肯定。
2. 建議宜有長期比較驗證，非僅關注颱風期間。	相較短期比較驗證無法代表現況，須詳加探討長期情況更為重要，本計畫今年度僅關注颱風期間略顯不足，未來將擴大觀測時程與討論範圍，以評估更長期的海流變化情形。

3.為何兩站之交錯流場範圍為圓形區域。	關於兩站交錯流場範圍呈現圓形的原因，係以評估流場的幾何精度衰減因子(GDOP)與訊噪比(SNR)做為標準所引致；本計畫選擇GDOP ≤ 5 範圍，做為判斷資料品質良好的門檻，有更大的交錯範圍，如報告第3-20頁。
4.本年度研究成果是否已滿足滿意，因第二年第三年似乎研究重點已轉移至波浪、船舶。	對於研究方向的調整，係因海洋陣列雷達應用終究須回歸交通部掌管維持航安之目的，並非已經滿足現階段之研究結果，後續研究仍將持續進行海氣象與船舶觀測。
5.為報告之完整性，未來報告建議仍應有專章或專節介紹本計畫使用之雷達系統，包含規格與分析方法。	有關本計畫使用的雷達系統、規格，已酌予修訂，新增表1.1，如報告第1-8頁，至於分析方法篇幅較長，須參考本所108年出版品「離岸風電海下工程技術研發(3/4)-海洋雷達應用於海象觀測之探討-觀測研究分析」第四章節介紹。
6.分析詳細，探討深入，研究成果豐碩，高頻雷達觀測海流應持續研究探討。	感謝委員肯定，本計畫下個年度將繼續探討陣列雷達觀測波流場變化等議題，以提升應用單位對於臺中港鄰近海域之理解。
(四)本所運輸技術研究中心賴俊呈助理研究員	
1.本計畫計畫旨在維持與改善建置超過3年的臺中港海洋陣列雷達產品品質，其中探討海流監測資料品管、檢核、分析及交互驗證工作，也以今(112)年3場(杜蘇芮、海葵及小犬)颱風的觀測數據進行統計分析及平面海流特性探討，相關研究成果除了可以提供船舶航行與進出港區應用參考外，更建立跨領域研究機制，促進各單位間資料的共享，值得肯定。	感謝委員肯定，本計畫為臺中港海洋陣列雷達觀測多年期計畫之第1年，計畫目標除維持與改善產品的品質與完善資料分析演算流程以外，仍有其他目的，例如瞭解海流訊號，以做為後續波浪分析、船舶訊號分離等研究的基礎，以持續精進各項資訊(觀測方法、雷達系統規格與資料格式等細節)，並提供航行管理單位與港務公司更完善具體的服務與資料品質。
2.本計畫計畫的文獻回顧，探討機器學習神經網路與品管雷達數據之方法，以提高數據品質，其中研究建議採用雙向長短記憶模型(Bi-LSTM)進行雷達合成海流向量速度的數據，以減少人為干預可能造成之錯誤，改善數據品質，期待後續的研究可以朝向這方面進行。	本計畫回顧人工智慧應用情形，係期望借鑑國外經驗，以機器學習神經網路，並應用於雷達數據品管方面，降低人為的誤差，從而改善數據品質，達到提升數據之準確性；因此，關於人工智慧的應用，確實為後續研究方向之一，感謝委員肯定。

3.海洋陣列雷達與透地雷達一樣是使用電磁波進行探測(觀測)，依據電磁波特性，發射的頻率低，在透地雷達可以探測較深的地層，而於海洋陣列雷達可以觀測較高的波浪波高，但是使用較低的頻率，在透地雷達所顯示的訊號圖像解析度就比較差，請問在海洋陣列雷達使用頻率低雖可觀測較高的波浪波高，其所得的訊號圖像解析度應該也是會較差，是否對於分析有所影響？	儘管海洋陣列雷達與透地雷達同樣採用電磁波觀測，但兩者工作原理不同，透地雷達使用低頻率係為獲得更大的波長，更強的訊號穿透力，從而獲得目標物所在深度更深的反射距離，但海洋陣列雷達使用低頻率觀測，優點能獲得更遠的觀測距離，降低雨滴或氣膠等大氣因子影響，缺點導致平面空間的解析度變差，因此，雷達觀測頻率為雷達系統內需要考慮的重中之重，如何選擇適當頻率，須要審慎考慮。
4.報告第1-3頁，「維繫」船舶航行安全...，第1-7頁「維持」商港船舶航行安全...，是否統一用詞，請參酌。	感謝委員建議，有關報告書內「維繫」船舶航行安全...，已酌予修訂為「維持」，如報告第1-3頁。
5.報告第2-1頁，2.1歷年成果說明，「另個」研究重點，...，「另個」是否有誤，請確認。	感謝委員建議，有關報告書內2.1歷年成果說明，「另個研究重點」，...，文字已酌予修訂刪除，如報告第2-1頁。
(五)本所運輸技術研究中心傅怡釗副研究員	
1.請問雷達量測海流的位置與AWAC、Buoy量測位置相近？3套系統計算流速 V_c 公式有一樣？	關於3項觀測儀器位置，海洋陣列雷達北站與臺中港底碇式觀測主站較為接近，而雷達南站則與氣象署浮標較為接近。至於流速公式部分，3系統原理皆採用都卜勒頻移，但不同點在於陣列雷達載體為電磁波，以電磁波都卜勒頻移計算，其流速公式如報告第4-3頁式(4.5)，而AWAC與Buoy載體為聲音，其流速公式為 $F_D=2F_s(V_c/C)\cos(\theta)$ ， F_D 為AWAC與Buoy之於水團的都卜勒頻移， F_s 為AWAC與Buoy為原聲波頻率， V_c 為海流流速、 C 為聲速、 θ 為散射角度，係數2倍表示反射，爰此，計算公式並不相同。
2.報告第4-9頁，漂流浮標施放後，沒有驗證結果。	關於報告漂流浮標施放後缺乏驗證結果，係其為校正海洋陣列雷達的觀測細節，惟鑑於委員提示，爰酌予新增比較驗證結果，如圖4.9報告第4-10頁。
3.本報告書內容豐富，值得肯定，惟英文及數字格式，請依本所規定格式修訂。	有關英文及數字格式，已依據本所的規定進行修訂，以確保整體報告的一致性與符合標準。

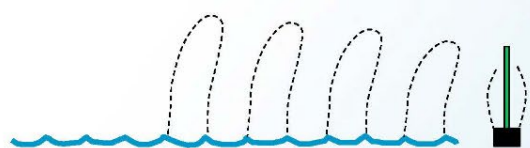
(六)本所運輸技術研究中心李俊穎副研究員	
1. 本年度測站亦有多次維護作業，建議可在報告內補述做為後續測站維護參考。	有關本年度測站維護作業，對於長期穩定的運作至關重要，後續報告將增加測站維護等相關資訊，以提供後續測站維護應用參考。
2. 報告圖5.5、圖5.9及圖5.12流速方向明顯不同原因為何？	關於演算法流向潮汐現象並不明顯，以及流向仍有改善空間，經由探討東西流向(U)與南北流向(V)解算過程，發現南北流向計算差異較大，係誤差主要來源，須檢查訊噪比與資料是否有過度平滑等處理問題，建議持續探討與修正。
3. 雷達觀測與現場AWAC及浮標觀測之流場差異頗大，是否為受到在雷達觀測邊緣所影響？流場比對有無其他方式可再考量進行討論。	本計畫流場評估係以幾何精度衰減因子(GDOP)與訊噪比(SNR)決定，目前流場選定的位置，亦為 $GDOP \leq 5$ 範圍之內，尚無證據顯示雷達觀測受邊緣所影響，但仍未能排除有此可能性，建議後續流場比對，能考慮其他驗證方式，再行綜合討論。
4. 報告第5-2頁及第5-3頁，相關方程式建議還是有方程式編號。	關於第五章方程式編號部分已酌予修訂，如報告第5-2頁及第5-3頁。

附錄二

期末簡報資料

交通部運輸研究所運輸技術研究中心

臺中港高頻雷達訊號應用分析(1/3)- 表面流觀測分析



報告人：李政達

中華民國112年12月27日



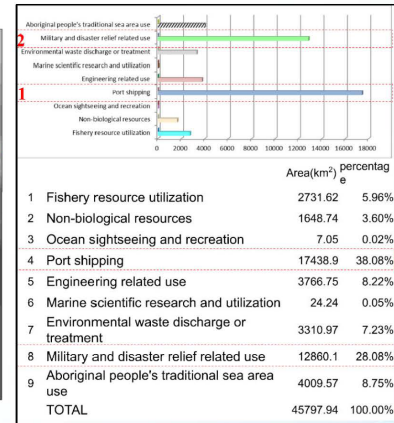
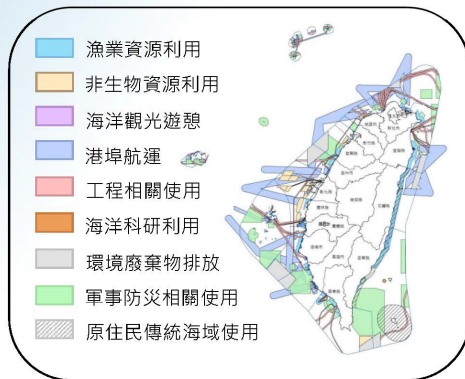
大綱

- 一、前言
- 二、文獻回顧
- 三、海流監測資料品管與檢核工作
- 四、海流監測資料分析與交互驗證工作
- 五、研究比較分析
- 六、結論與建議

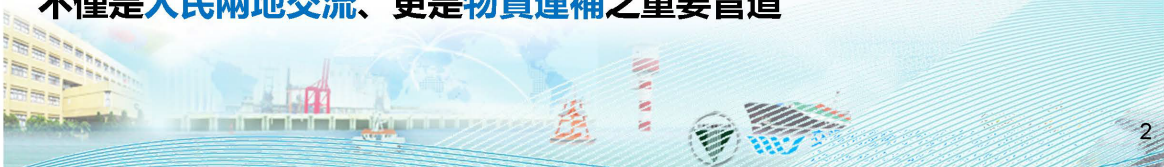


一、前言(1/6)：研究緣起與目的

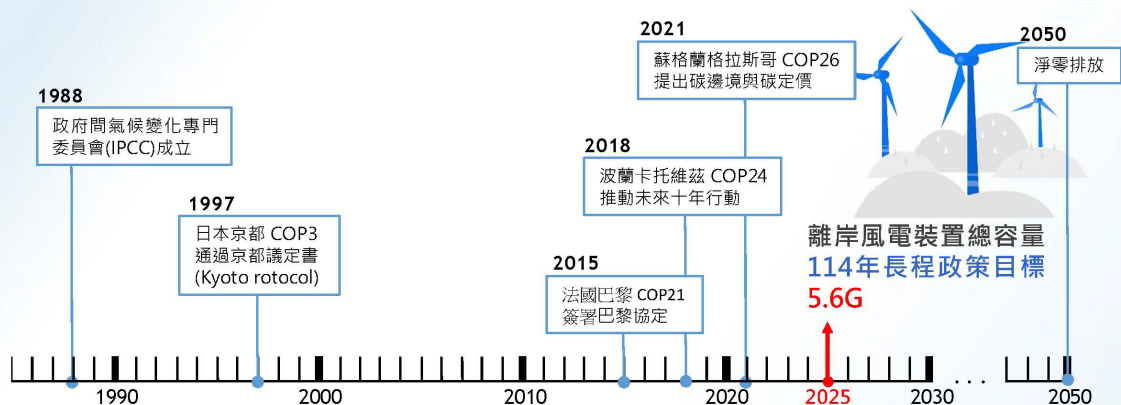
臺中港係臺灣海峽中部重要的航運路線



運輸是自古以來為國力盛衰的重要象徵，
不僅是人民兩地交流、更是物資運補之重要管道



一、前言(2/6)：研究緣起與目的



- 巴黎協定全球需要在本(21)世紀中期實現淨零排放，以確保全球氣溫上升不超過2°C的上限。

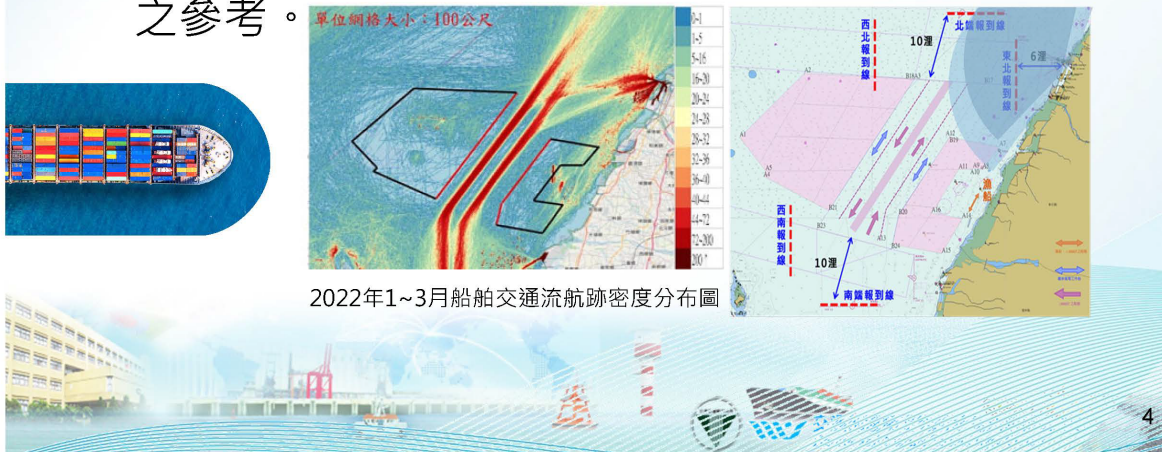
能源政策 淨零排放

- 截止調查為止，歐盟、英國與加拿大已經訂定2050年達成淨零排放之目標，中國訂定2050年達成碳中和目標，美國與澳洲尚未設定確切目標。



一、前言(3/6)：研究緣起與目的

- ① 研究範圍：臺中港沿海近岸、彰化風場道北航道。
- ② 應用單位：航港單位船舶出入口管理、臺灣港務股份有限公司臺中港分公司碼頭作業與港灣發展之參考。

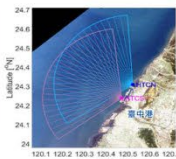
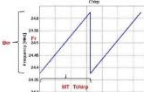


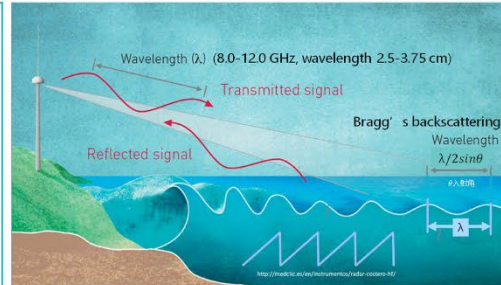
一、前言(4/6)：研究緣起與目的

- ① 基於交通部掌管陸海空交通安全及維持航行安全之必要。
- ② 本計畫接續海洋陣列雷達觀測研究，精進觀測技術，以獲得的海流資訊可做為船舶進出港區、相關單位做為港灣設計規劃、海事工程、海岸防護之重要參據



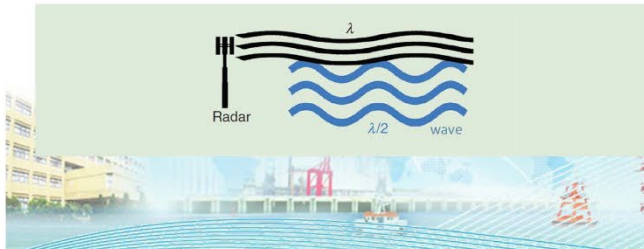
一、前言(5/6)：研究緣起與目的

研究範圍 ■ 臺中港鄰近海域之海象觀測 ■ 觀測半徑約40公里，120°以內之扇形區域 	建置時間 ■ 雷達北站 2018.12 ■ 雷達南站 2021.09	雷達基本資料 ■ 陣列式 ■ 中心頻率27.75MHz ■ 頻寬300KHz ■ 方向解析度5° ■ 空間解析度500m ■ 量測間隔30分鐘 
天線 ■ 4 支發射 ■ 16 支接收		



<http://medclit.es/en/instrumentos/radar-costero-hf/>

遙測廣義係以間接方式獲取目標訊息的方法，常見於人造衛星或飛機對地面或海面觀測，**運技中心採用線性陣列式高頻雷達**，做為觀測海面波浪、海流與風速的工具，透過電磁波的傳播與接收，感知目標的特性，並加以分析的觀測技術。



6

一、前言(6/6)：研究緣起與目的

主要研究人員

主要研究人員

- 李政達/研究員，計畫管理、報告書編撰及海洋雷達觀測系統維運、資料庫規劃、品管機制精進研擬、出版報告書及投稿。

其他研究人員

協助品管作業

- 劉明鑫/副研究員
- 林受勳/助理研究員

現場維運工作

- 陳天時/技工
- 李江澤/技工



7

二、文獻回顧(1/6)：本所歷年成果

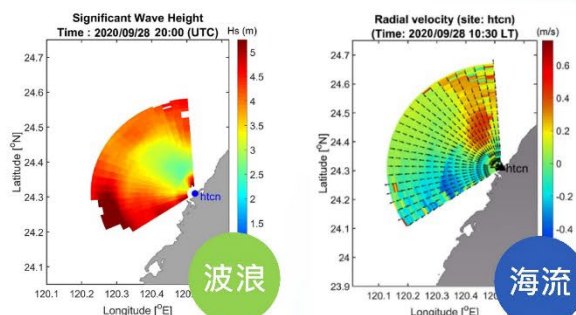


二、文獻回顧(2/6)：本所歷年成果

- ① 為提升臺中港域船舶進出港及海上作業安全，107年完成臺中港陣列雷達(北站)建置，發展海表面之區域波浪及海流解析技術。

107年

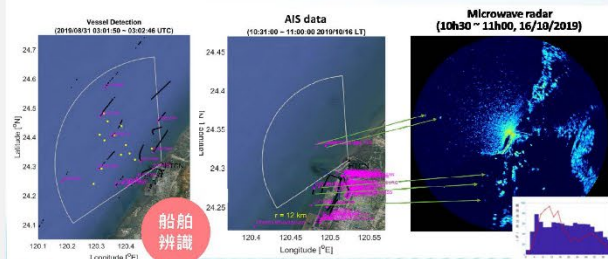
單站徑向



- ② 112年完成海洋雷達觀測系統開發船艦偵測技術(初探)，整合航港局AIS，成功辨識船舶，初步達成海域船舶監控目標。

108年

單站徑向+船舶辨識

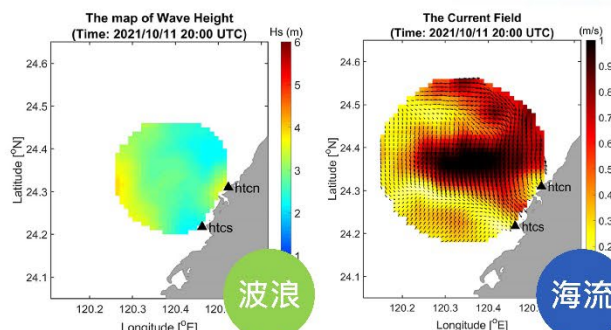


二、文獻回顧(3/6)：本所歷年成果

- ③ 110年完成陣列雷達(南站)建置，改善觀測的不確定性及精進觀測品質，以及南北雙站聯立方式，解析空間波流場

110年

雙站合成+QARTOD



波浪

海流

- ④ 今年完成QARTOD品管精進與其他品管作為，整合航港局AIS，成功辨識船舶，初步達成海域船舶監控目標。

112年

雙站合成+品管精進

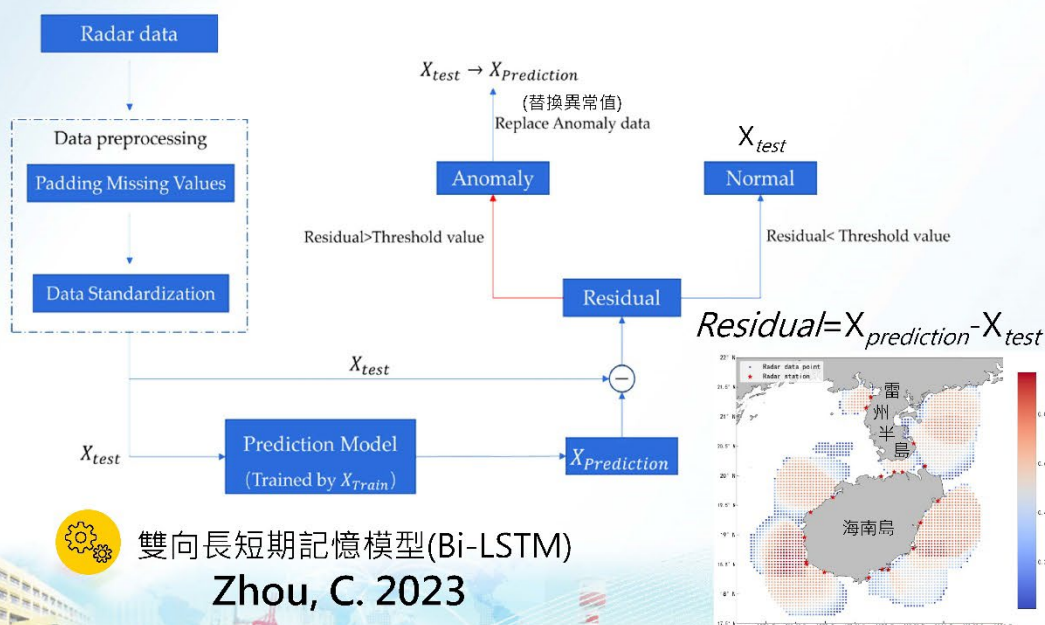


Manual for
Real-Time Quality Control of
High Frequency Radar Surface
Current Data
A Guide to Quality Control and Quality Assurance for
High Frequency Radar Surface Current Observations
Version 2.0
June 2022

產品劃分	品管內容
Level 0	單雷達站/原始(IQ)資料品管
Level 1	單雷達站/都卜勒距離謬誤(DRS)品管
Level 2	單雷達站/徑向波浪、流速品管
Level 3	雙雷達站/空間波浪、流速品管

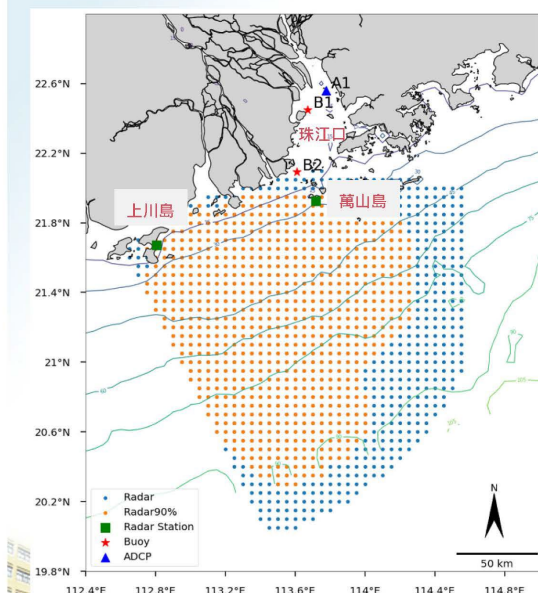
10

二、文獻回顧(4/6)：其他文獻回顧



11

二、文獻回顧(5/6)：其他文獻回顧

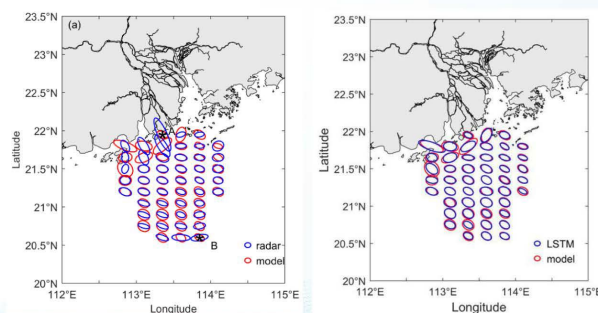


Yang, Y., Wei 2022



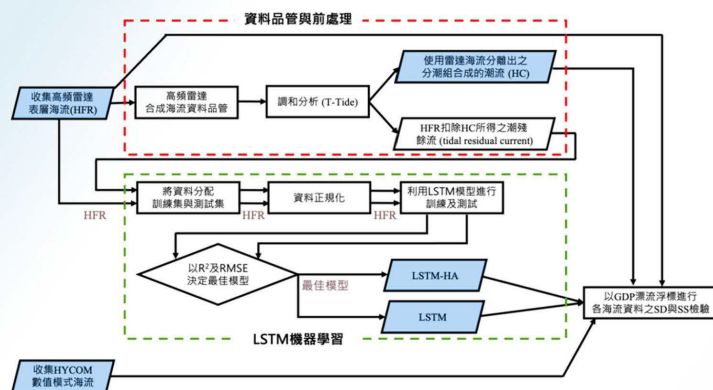
海面風+潮汐+LSTM

達到減小HF雷達對於海表流速誤差

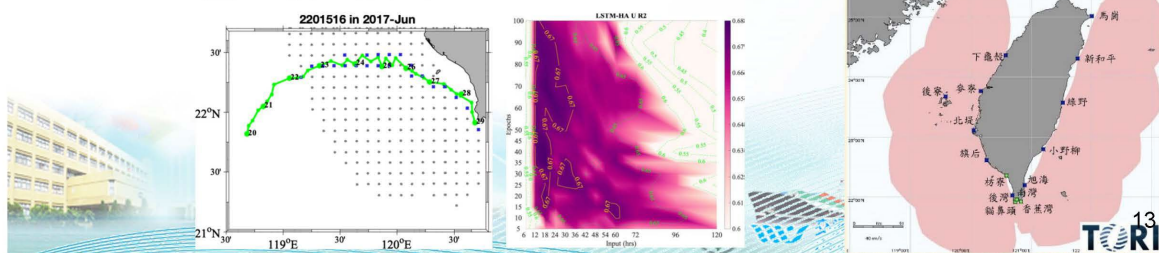


12

二、文獻回顧(6/6)：其他文獻回顧



長短期記憶模型(LSTM)模擬12小時流場
呂、賴、莊2022



三、海流監測資料品管與檢核工作

雷達產品劃分	品管內容	品管描述
Level 0	單雷達站原始(IQ)資料品管	(1)確認硬體規格符合架站之環境(噪音)條件。 (2)硬體系統加入降低與濾除雜訊之過濾器。
Level 1	單雷達都卜勒距離譜(DRS)資料品管	(1)計算都卜勒距離譜一階及二階部分的訊噪比 (SNR) (2)從海面回波資料中識別和刪除船舶回波。
Level 2	單雷達徑向速度、波浪海表資料品管	
Level 3 (mesh grid)	雙站網格化海表資料品管	

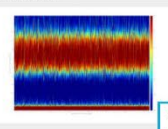
IQ訊號 + Blackmanharris窗函數 + The 1st FFT

數位取樣(台中港高頻雷達設定)

Chip:每0.2166秒取樣,共8192筆
740Hz取樣
160個時序離散樣本

I/Q Signal

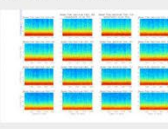
I: 電磁場I
Q: 電磁場Q



HTCN
ANT01 I

距離譜與自譜 L0

縱軸進行第1次FFT
(時間>頻率>距離)



三、海流監測資料品管與檢核工作

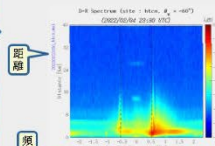
雷達產品劃分	品管內容	品管描述
Level 0	單雷達站原始(IQ)資料品管	(1)確認硬體規格符合架站之環境(噪音)條件。 (2)硬體系統加入降低與濾除雜訊之過濾器。
Level 1	單雷達都卜勒距離譜(DRS)資料品管	(1)計算都卜勒距離譜一階及二階部分的訊噪比 (SNR) (2)從海面回波資料中識別和刪除船舶回波。
Level 2	單雷達徑向速度、波浪海表資料品管	
Level 3 (mesh grid)	雙站網格化海表資料品管	

The 1st FFT + Blackmanharris窗函數 + The 2nd FFT

The 2nd FFT + Hamming窗函數 + Beamforming波束成形

都卜勒距離譜

橫軸進行第2次FFT (時間>頻率)
得到都卜勒距離譜圖(D-R Spectrum)



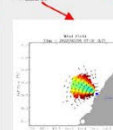
- 一、二階峰訊噪比 (SNR) 品管
- 一、二階峰左右比值
- 船舶訊號移除品管

徑向速度

Radial Velocity

Wave(Hs, Tm, Tp)

Wind

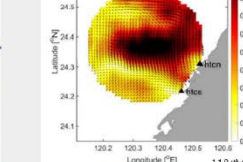


- 徑向流速、波浪參數、風合理性品管
- 位置合理性品管

兩站合成網格流

The Current Field

(Time: 2021/10/11 20:30 UTC)



- GDOP品管
- 表面海流流速合理性品管(移除>1.2(m/s))

三、海流監測資料品管與檢核工作



Manual for Real-Time Quality Control of High Frequency Radar Surface Current Data

A Guide to Quality Control and Quality Assurance for
High Frequency Radar Surface Current Observations

Version 2.0:
June 2022

Flag	Description
Pass=1	Data have passed critical real-time quality control tests and are deemed adequate for use as preliminary data.
Not evaluated=2	Data have not been QC-tested, or the information on quality is not available.
Suspect or Of High Interest=3	Data are considered to be either suspect or of high interest to data providers and users. They are flagged suspect to draw further attention to them by operators.
Fail=4	Data are considered to have failed one or more critical real-time QC checks. If they are disseminated at all, it should be readily apparent that they are not of acceptable quality.
Missing data=9	Data are missing; used as a placeholder.

16

三、海流監測資料品管與檢核工作

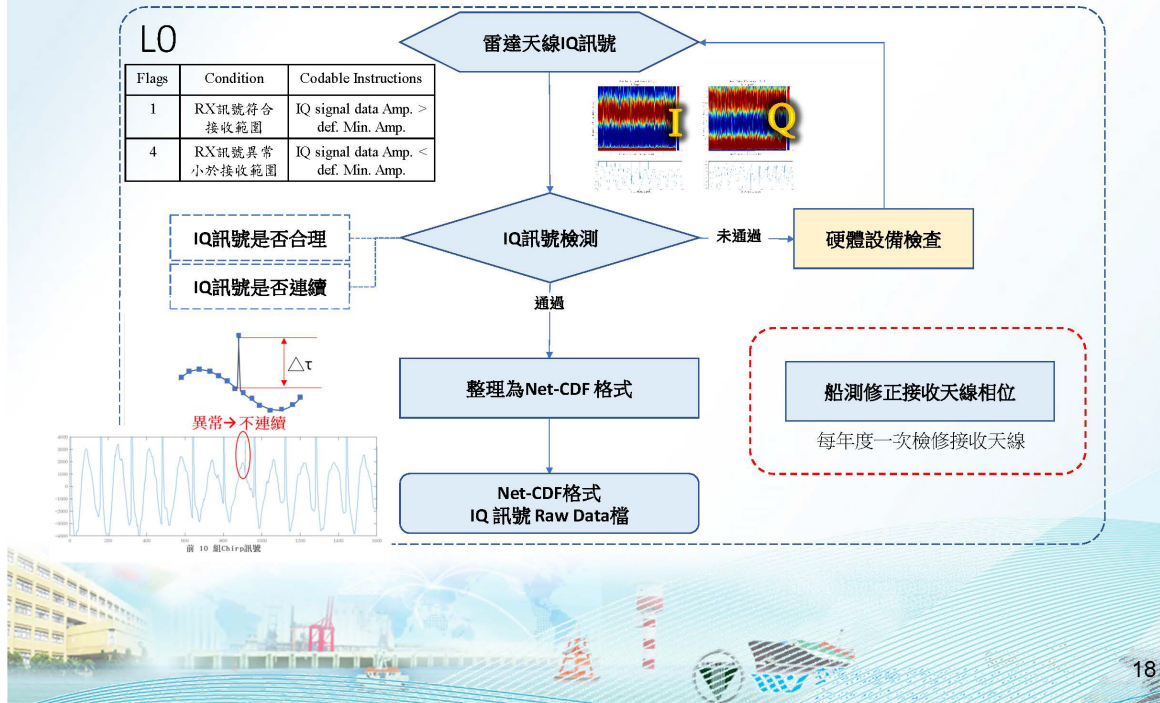
Test Type	Test Name	Status	Test Control
Signal (or Spectral) Processing	Signal-to-Noise Ratio (SNR) for Each Antenna (Test 101)	Required	Embedded
	Cross Spectra Covariance Matrix Eigenvalues* (Test 102)	Suggested	Embedded
	Direction of Arrival (DOA) Metric* (magnitude) (Test 103)	Suggested	Embedded
	Direction of Arrival (DOA) Function Width* (3 dB) (Test 104)	Suggested	Embedded
	Positive Definiteness of 2x2 Signal Matrix* (Test 105)	Required	Embedded
	Synthesize (Test 201)	Required	National
Radial Components	Max Threshold (Test 202)	Required	Local and National
	Valid Location (Test 203)	Required	Local and National
	Radial Count (Test 204)	Suggested	Local and National
	Spatial Median Filter (Test 205)	Suggested	Local and National
	Temporal Gradient (Test 206)	Suggested	Local and National
	Average Radial Bearing (Test 207)	Suggested	Local and National
	Synthetic Radial (Test 208)	In development	Local and National
	Radial Stick Value (Test 209)	In development	Local and National
Total Vectors	Data Density Threshold* (Test 301)	Required	Local and National
	GDOP Threshold** (Test 302)	Required	Local and National
	Max Speed Threshold (Test 303)	Required	Local and National
	Spatial Median Comparison (Test 304)	Suggested	Local and National
	Valid Location (Test 305)	Suggested	Local
	U Component Uncertainty** (Test 306)	Required	Local
	V Component Uncertainty** (Test 307)	Required	Local

數據處理階段	現有品管	說明
L0	Test 101-Signal-to-Noise Ratio (SNR) for Each Antenna (建議)各天線訊噪比品管	} 本次範圍
L1a Power Spectra 處理	天線狀態檢查	
L1b DR 處理	一、二階峰值噪比 (SNR) 品管 船舶訊號移除品管	
L2 指向流計算	Test 201-Synthesize (必要) 檔案結構品管 (Net-CDF) Test 202-Max Threshold (必要)最大指向速度品管 Test 203-Valid Location (必要)可用位置品管 Test 204-Radial Count (建議)指向流速頻率品管 Test 205-Spatial Median Filter (建議) Test 206-Temporal Gradient (建議) Test 207-Average Radial Bearing (建議) Test 208-Baseline and Synthetic Radial (建議) Test 209-Radial Stick Value (建議)重複值品管 Test 210-Phases (建議)相位品管	
L3 表面海流合成	Test 301-Data Density Threshold* (必要) Test 302-GDOP Threshold** (必要) Test 303-Max Speed Threshold (必要) Test 304-Spatial Median Comparison (建議) Test 305-Valid Location (建議) Test 306-U Component Uncertainty** (必要) Test 307-V Component Uncertainty** (必要)	表面海流合成品管 海流 GDOP 及波浪、風參數 GDOP 表面海流流速合理性品管 位置合理性品管、與 Valid Location (Test 203)一致 U 分量/方向不確定性品管 V 分量/方向不確定性品管

本研究品管

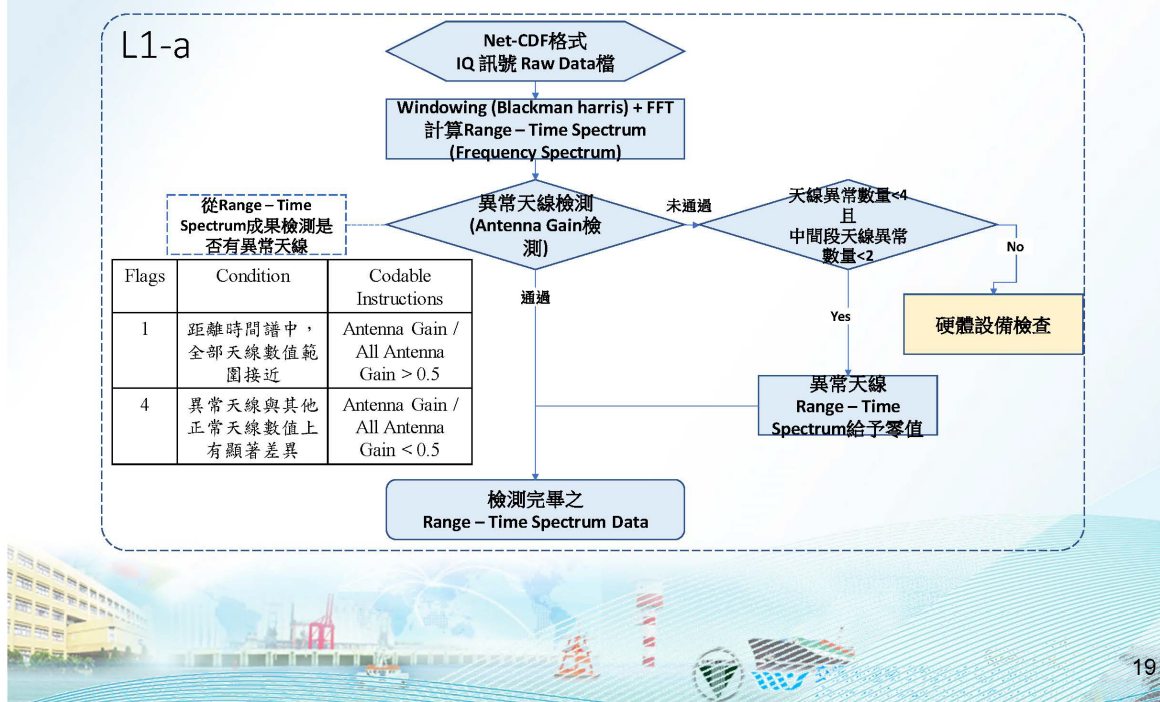
17

三、海流監測資料品管與檢核工作



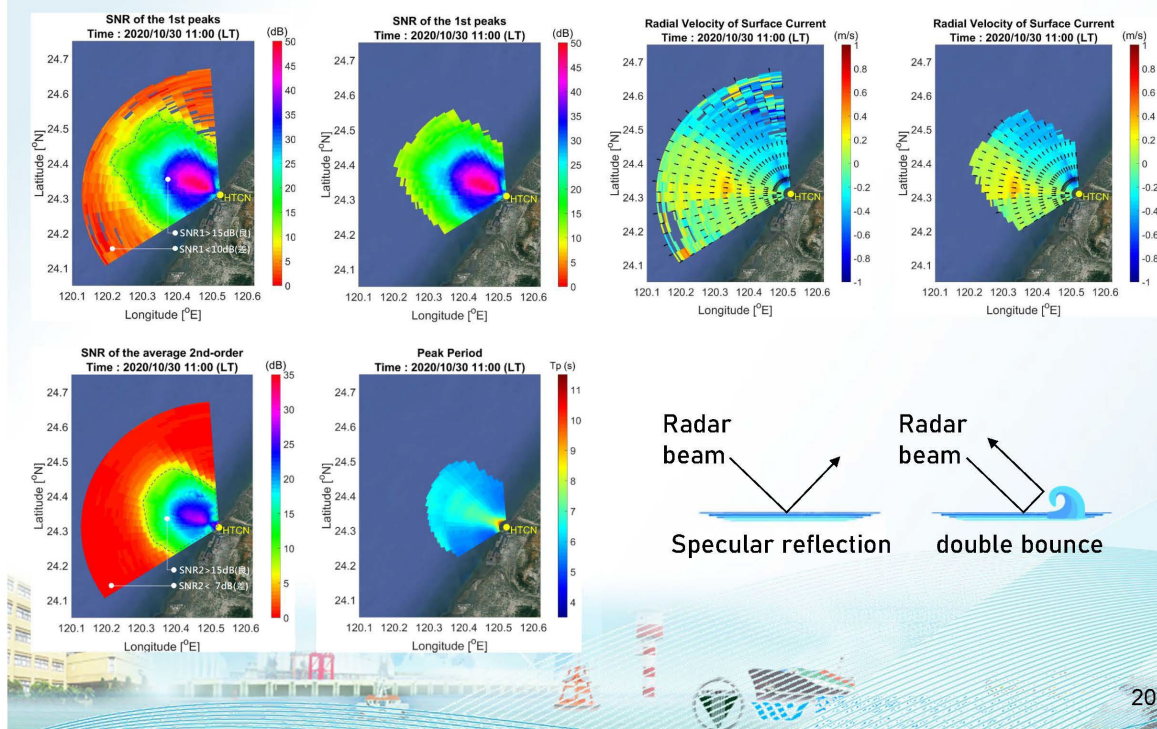
18

三、海流監測資料品管與檢核工作



19

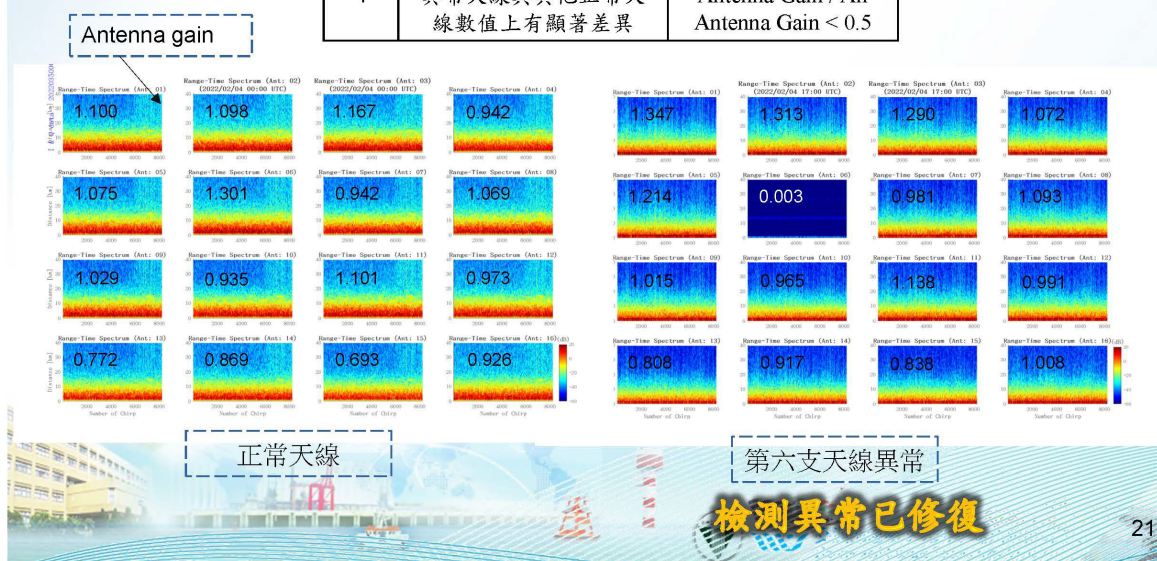
三、海流監測資料品管與檢核工作



20

三、海流監測資料品管與檢核工作

Flags	Condition	Codable Instructions
1	距離時間譜中，全部天線數值範圍接近	Antenna Gain / All Antenna Gain > 0.5
4	異常天線與其他正常天線數值上有顯著差異	Antenna Gain / All Antenna Gain < 0.5



21

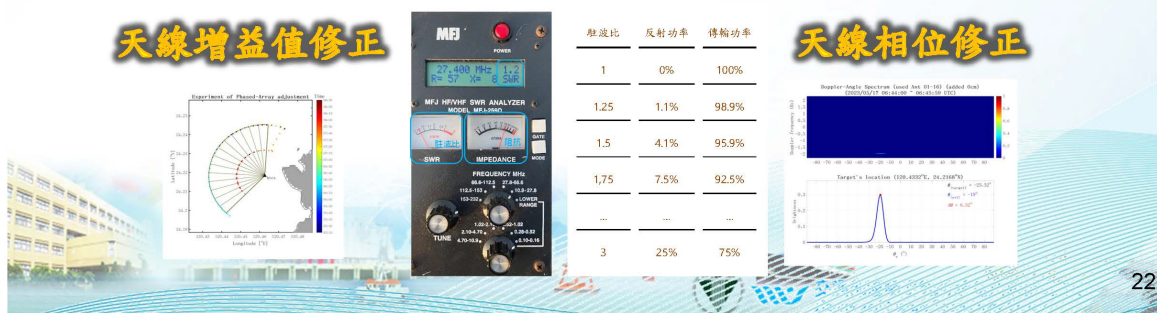
三、海流監測資料品管與檢核工作

16支天線D-R譜即可計算各天線增益(北站)

天線	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
增益修正	1.07	1.07	0.98	1.17	1.07	0.97	1.07	0.77	1.09	1.12	0.93	0.88	1.02	0.79	0.97	1.04

模擬相位最亮點位置與船舶GPS座標比較，取得最佳電纜修正參數(北站)

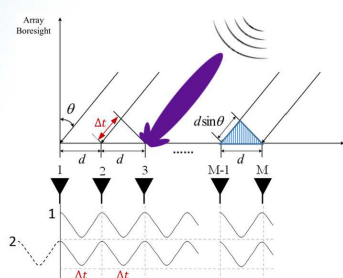
天線	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
cable修正(m)	-1.4	-1.15	-1.2	-1.05	-0.8	-0.65	-0.45	-0.6	-0.75	-0.5	-0.4	-0.25	0	0.25	0.35	0.15



22

三、海流監測資料品管與檢核工作

- 海洋雷達訊號處理，採用Bhuiya (2012)等人，波束合成技術。
- 利用電磁波方向到達方法(DOA)，找到海面能量最大位置。



電磁波方向到達
接收天線的示意圖

波束合成
(Beamforming)

$$x_m(t) = S_i(t) \sum_{i=1}^d e^{j(M-1)\mu_i} + n_M(t), \text{ for } M = 1$$

$$x = AS(t) + n(t)$$

$$Y(t) = \sum_{i=1}^M w_i^* x_i(t) = w^H X(t)$$

$$P(w) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |Y(t_k)|^2 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w^H X(t_k) X(t_k)^H w$$

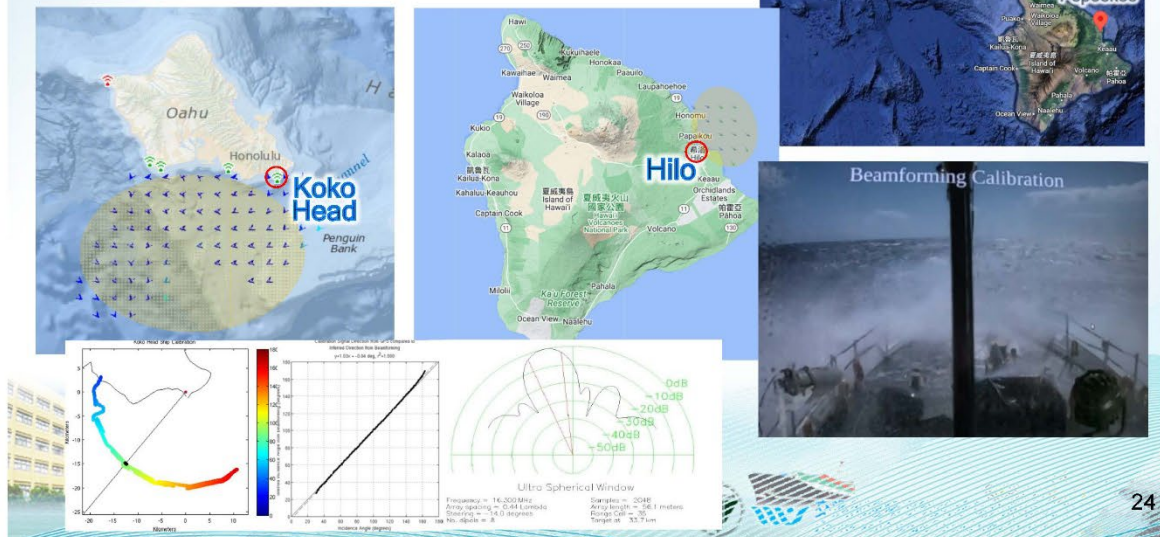
$$w = A(\theta)$$

$$P(\theta)_{BF} = A(\theta) R_{xx} A(\theta)^H$$

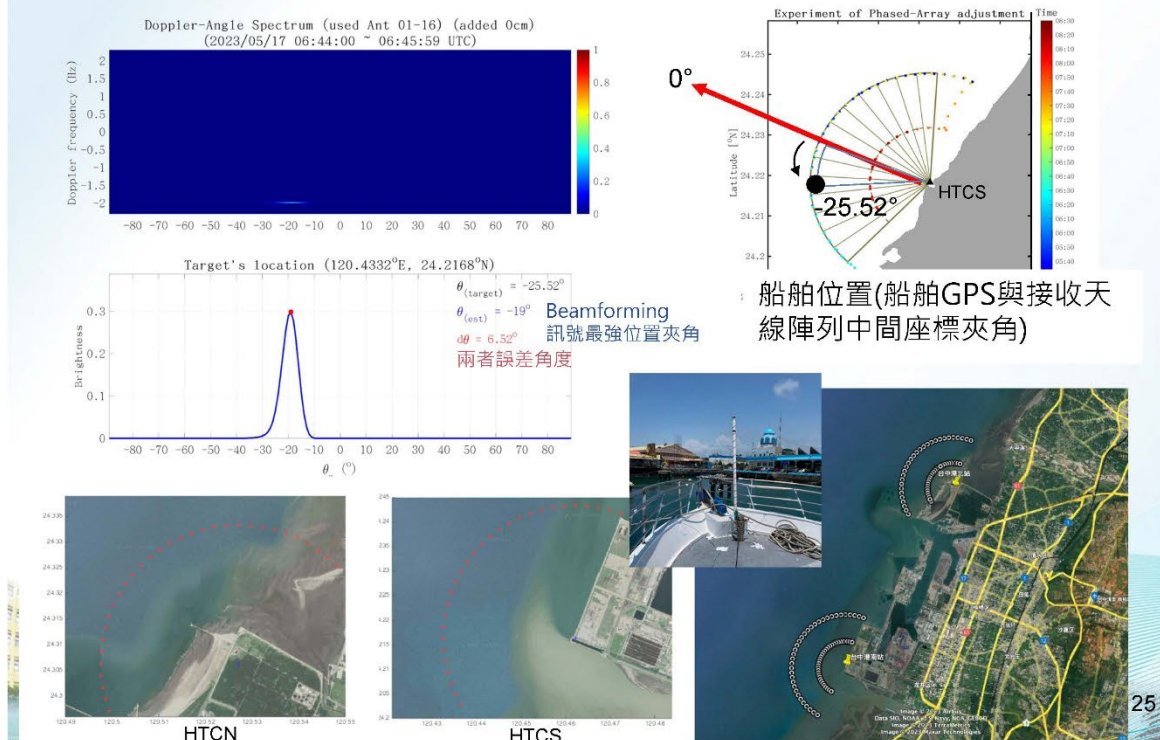
23

三、海流監測資料品管與檢核工作

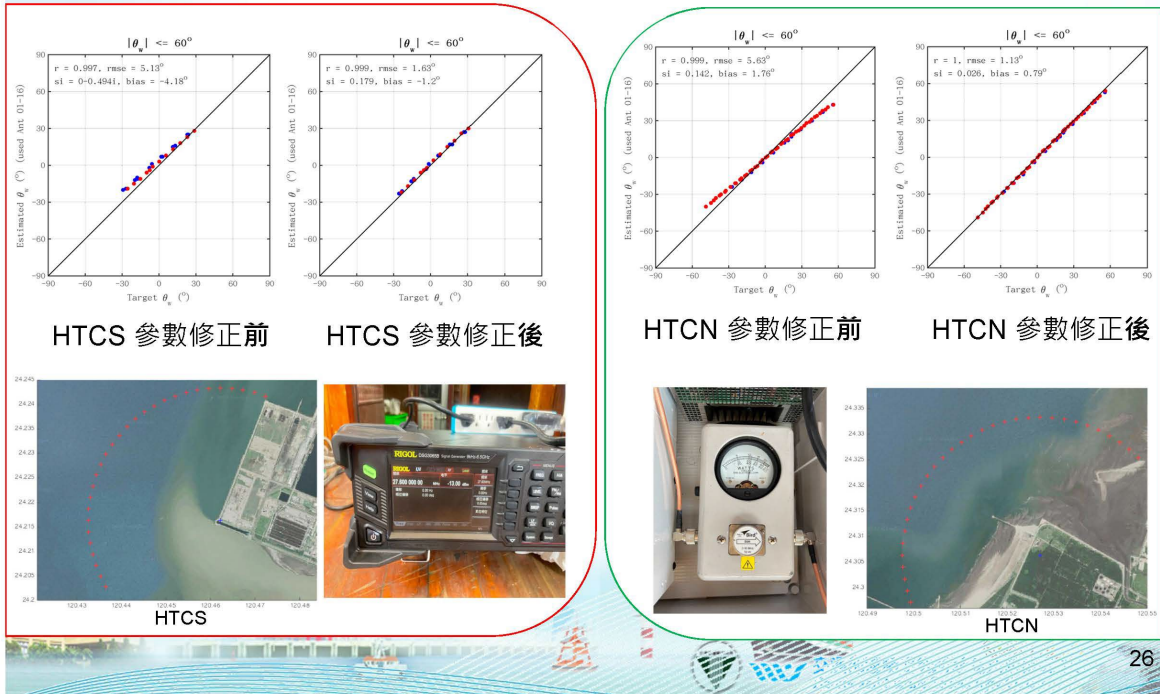
- 夏威夷海洋雷達已納入IOOS觀測系統。
- Koko head案例、Pepeekeo案例。
- 美國海岸巡防隊協助校正。



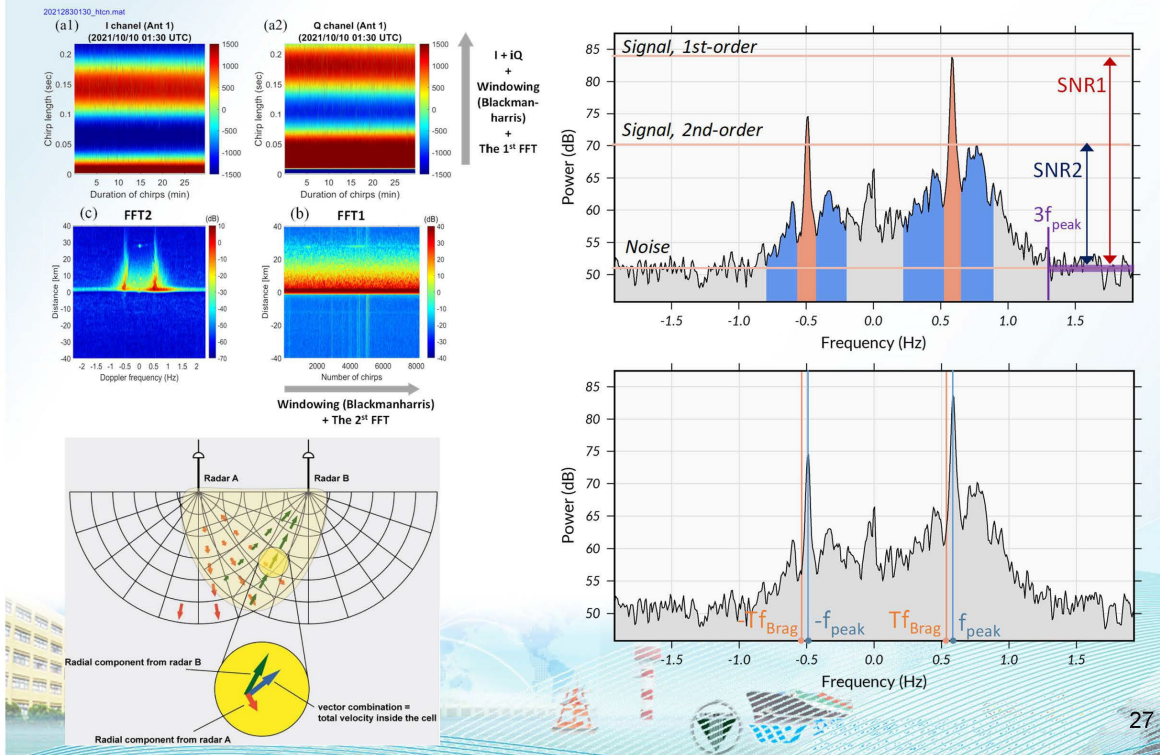
三、海流監測資料品管與檢核工作



三、海流監測資料品管與檢核工作



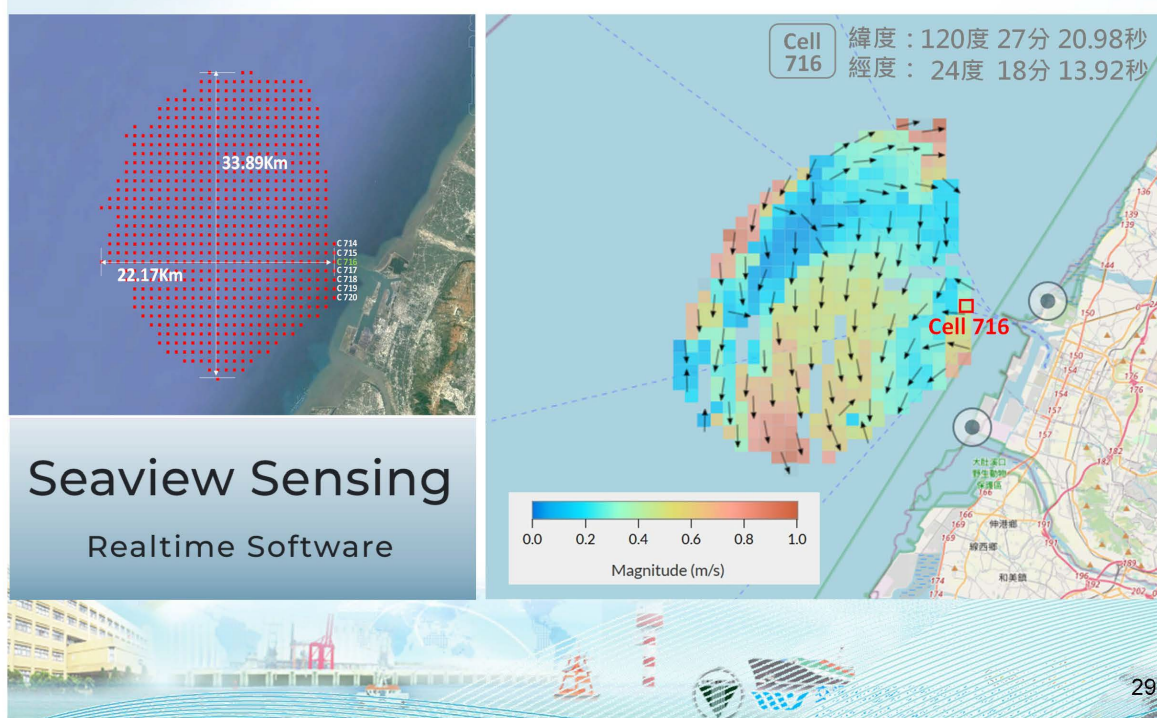
四、海流監測資料分析與交互驗證工作



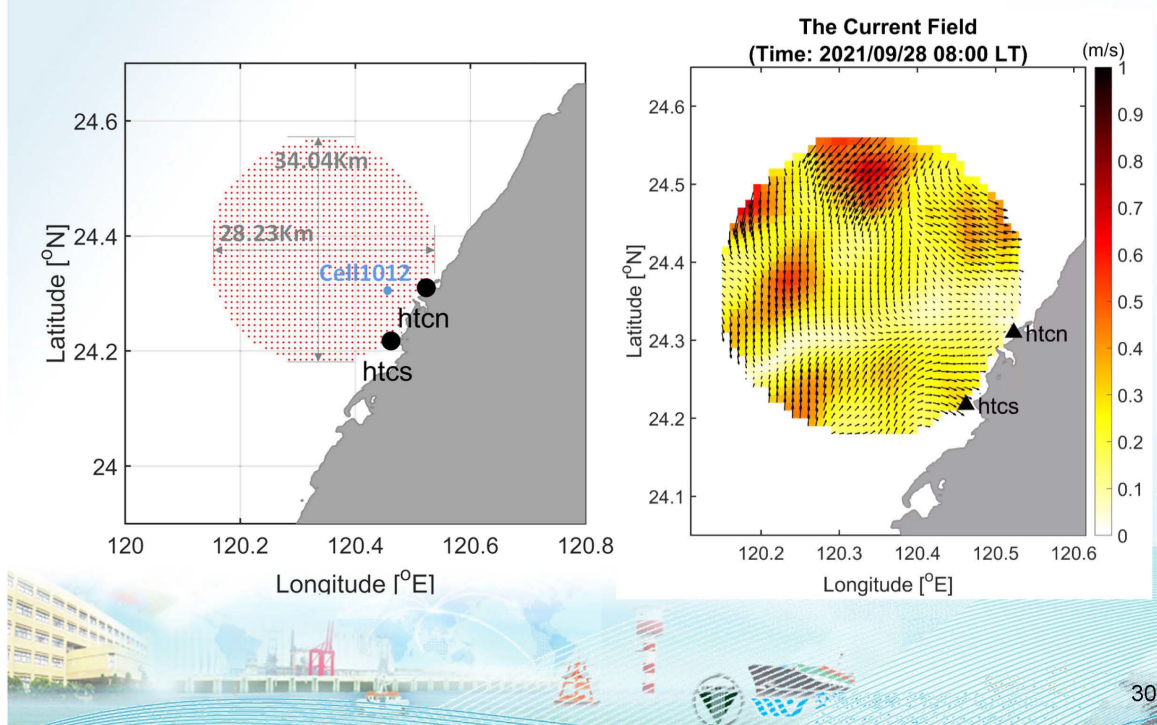
四、海流監測資料分析與交互驗證工作



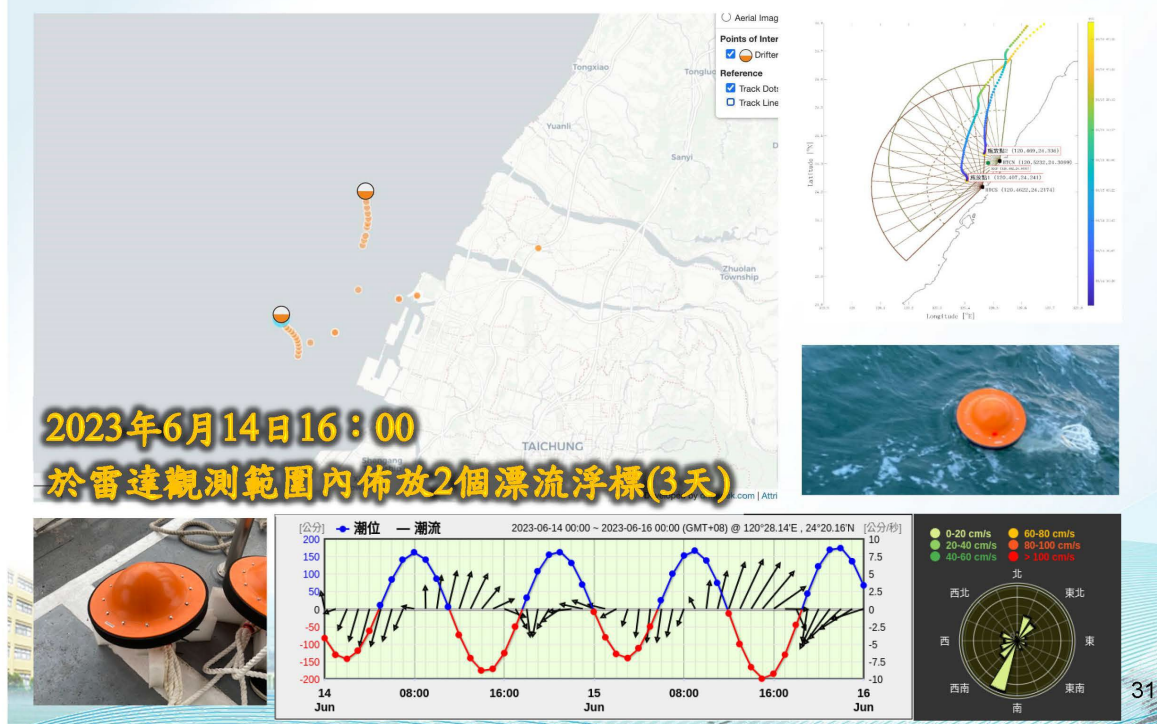
四、海流監測資料分析與交互驗證工作



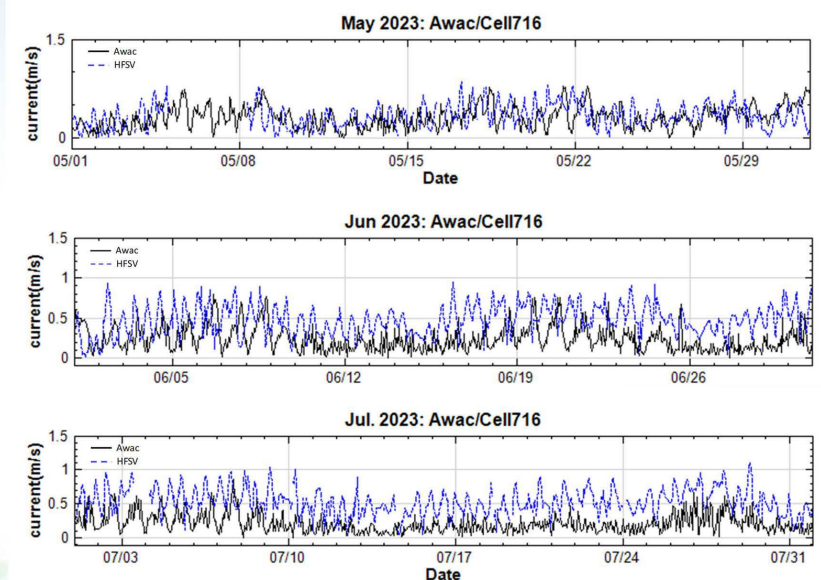
四、海流監測資料分析與交互驗證工作



四、海流監測資料分析與交互驗證工作

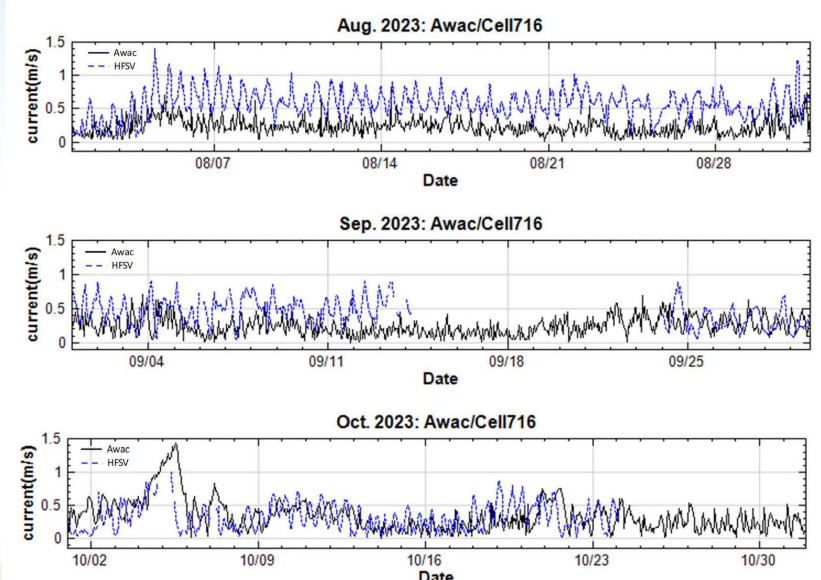


四、海流監測資料分析與交互驗證工作



32

四、海流監測資料分析與交互驗證工作



33

五、研究比較分析



US Army Corps
of Engineers®

ERDC/CHL CHETN-I-91
July 2016

**Evaluation Statistics Computed for the
Wave Information Studies (WIS)**

by Mary A. Bryant, Tyler J. Hesser, and Robert E. Jensen

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

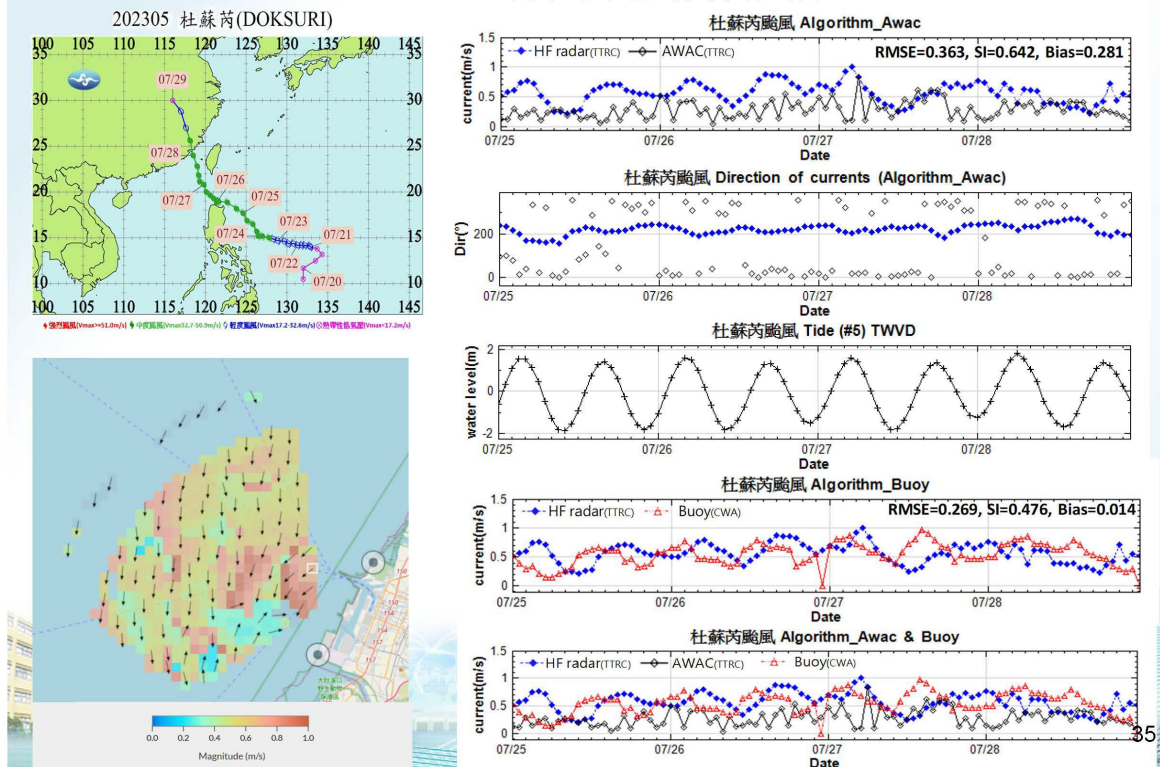
$$SI = \frac{RMSE}{\bar{y}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

$$Bias = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i)$$

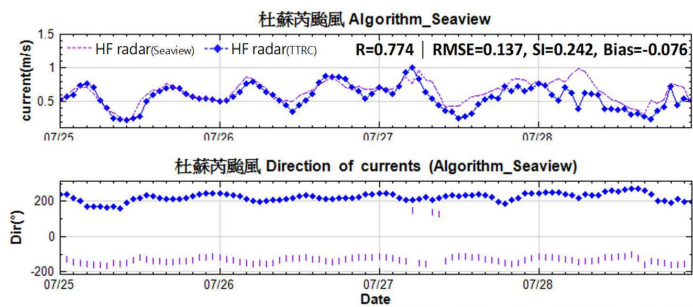
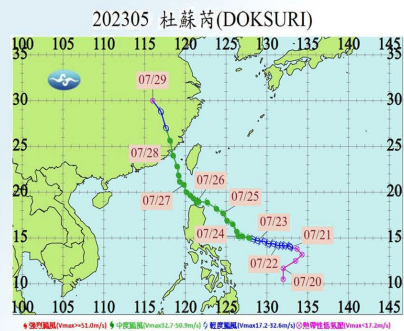
34

五、研究比較分析



35

五、研究比較分析

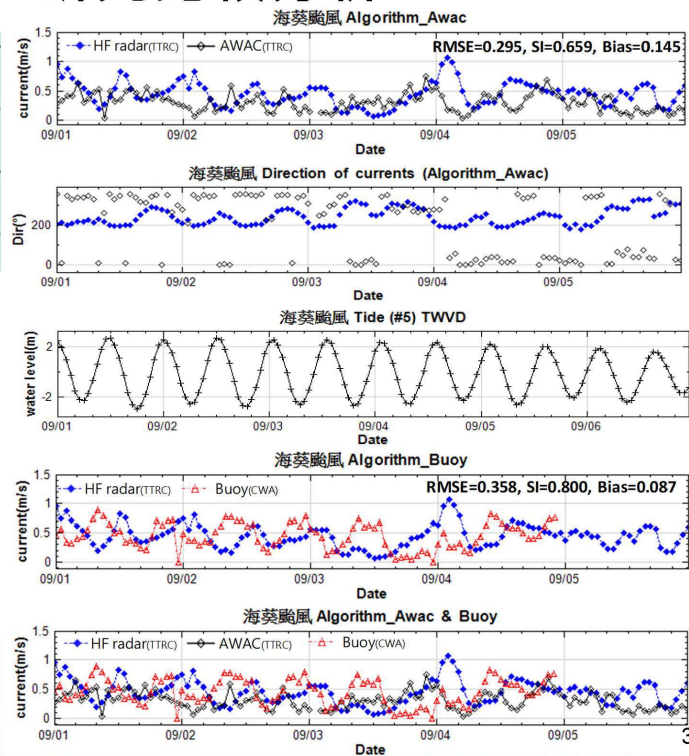
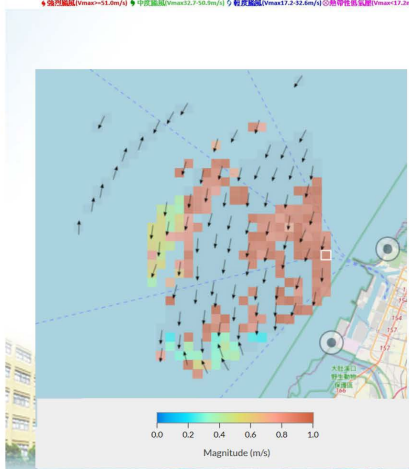


杜蘇芮颱風期間	相關係數r	均方根差 RMSE	散點因子 SI	偏誤分析 bias
高頻雷達與 Awac比較	-	0.363	0.642	0.281
高頻雷達與 Buoy比較	-	0.269	0.476	0.014
高頻雷達(SV)與 運計中心(TTRC)比較	0.774	0.137	0.242	0.076



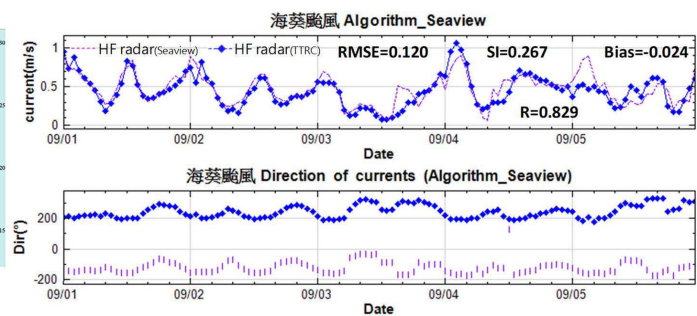
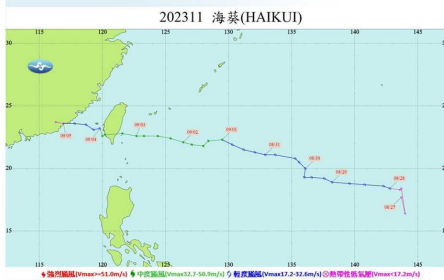
36

五、研究比較分析



37

五、研究比較分析

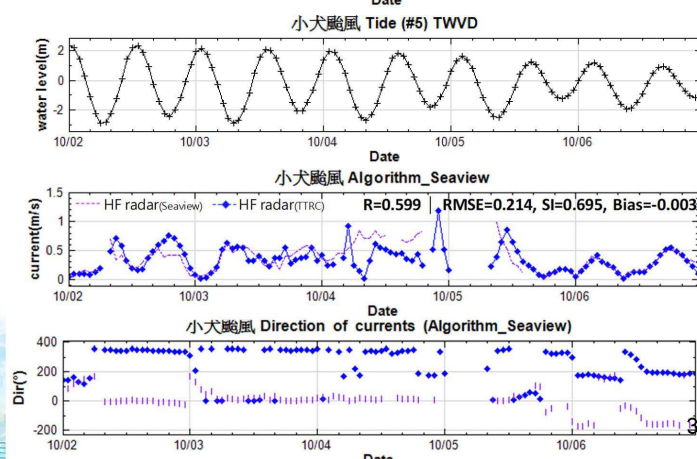
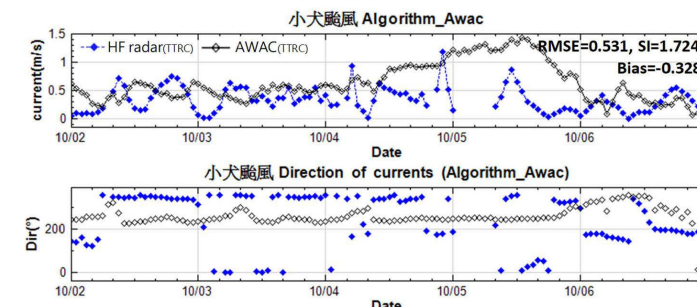
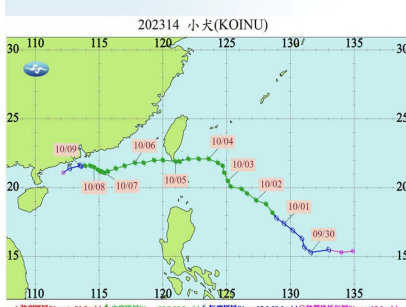


海葵颱風期間	相關係數r	均方根差 RMSE	散點因子 SI	偏誤分析 bias
高頻雷達與 Awac比較	-	0.295	0.659	0.145
高頻雷達與 Buoy比較	-	0.358	0.800	0.087
高頻雷達(SV)與 運計中心(TTTC)比較	0.829	0.120	0.267	-0.024



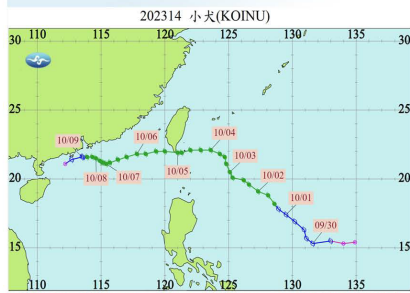
38

五、研究比較分析

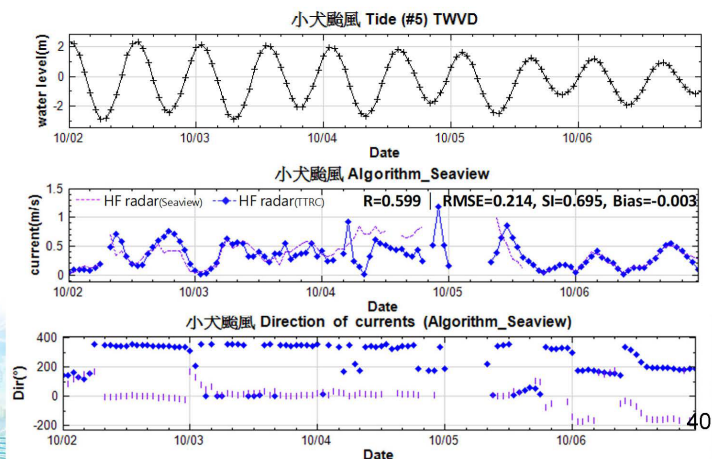
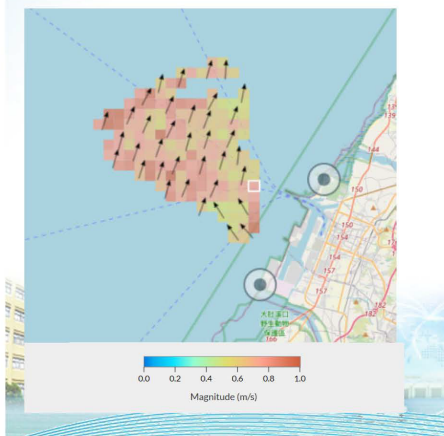


39

五、研究比較分析



海葵颱風期間	相關係數r	均方根差 RMSD	散點因子 SI	偏誤分析 bias
高頻雷達與 Awac比較	-	0.531	1.724	-0.328
高頻雷達與 Buoy比較	-	-	-	-
高頻雷達(SV)與 運計中心(TTRC)比較	0.559	0.214	0.695	-0.003



六、結論與建議

結論

- 關於回顧文獻，利用機器學習之深度學習自動提取數據已獲得更可靠的雷達品質數據，不論使用卷積神經網路、遞歸神經網路與長短期記憶模型確實已引起實用性的使用，能有效減少人為干預可能造成之錯誤，改善數據品質。透過相關文獻的回顧與討論，確立海洋陣列雷達改進之研究方向。



六、結論與建議

結論

- ② 國際間使用通用netCDF格式已經有許多國家與單位配合與響應，以及利用美國 IOOS 發行的 QARTOD陣列雷達品管手冊的品管雷達數據，對於本所發展品管程序至關重要，基此，本研究雷達觀測系統目前已初步實施netCDF第4版做為雷達格式標準，並依據美國品管手冊已將Test 201與Test 203納入雷達演算與品管處理程序中。

42

六、結論與建議

結論

- ③ 雷達資料品質取決於環境訊號品質及硬體健康程度，本研究進行天線狀態健檢與利用船舶波束合成校準，對於雷達品質提升，與增加目標物識別方位精確度，並減少方位誤差。
- ④ 海洋陣列雷達發射場場型其實為一立體化的電磁波場，利用人力檢校費時，且利用船舶於海上進行校正作業，容易受到潮流與風力影響產生誤差，且目前雷達校正僅考慮平面校正，尚未考慮垂直地面方向的發射訊號校正。

43

六、結論與建議

結論

- ⑤ 本研究進行3場颱風期間的觀測分析，致獲以結論，觀測數據以小犬颱風觀測具最大均方根誤差(RMSE)、最大散點因子(SI)、最大偏誤(Bias)，造成此原因的最主要情況可能與颱風路徑有關，另外，底碇式海流儀施測流速已經超過雷達流速品管最大流速門檻值上限，造成海流數據經品管程序剔除。本研究所採用不同雷達分析方式的觀測結果，除小犬颱風分析案例以外，其他兩場颱風情境雷達數據之相關性均獲得相當高的一致性。

44

六、結論與建議

建議

- ① 關於雷達合成海流向量速度的數據，本研究已利用訊噪比控制做為品質控制之指標，並設定閾值過濾與校正雷達數據，但現階段利用機器學習之深度學習自動提取數據已獲得更可靠的雷達品管方式，建議未來能考慮使用雙向長短期記憶模型(Bi-LSTM)，協助改善雷達數據。

45

六、結論與建議

建議

- ② 未來持續追蹤netCDF格式更新情形，並調整納入至雷達處理程序當中，另建議日後雷達品管的精進，能依據美國發行的QARTOD陣列雷達品管手冊新增Test 208與Test 209標準於雷達演算與品管處理程序。

46

六、結論與建議

建議

- ③ 海洋陣列雷達資料不確定性，屏除雷達設計的硬體限制，尚需考慮海況與電磁環境之自然時空變異，雷達硬體健康程度與內外在人為電磁干擾，建議持續完善各項品管措施之檢測，以掌握長期追蹤系統性的偏移或變化，最大確保硬體健康程度。

47

六、結論與建議

建議

- ④ 有關海洋雷達發射場型進階校正立體化電磁波發射場，調校發射天線的振幅與相位，除了採用人力檢測以外，國外目前已有應用無人機進行波束合成校準之案例，建議未來可以朝向此方向檢修與校正海洋陣列雷達。

48

六、結論與建議

建議

- ⑤ 本研究經由112年度觀測分析，建議有關雷達流速品管最大流速門檻值上限，未來可持續檢討門檻值之合理性，並持續檢討改善流向觀測數據的結果。
- ⑥ 本計畫中並無足夠時間長度的雷達資料進行連續性以及雷達資料開放標準的釐訂。若未來資料長度足夠，本計畫的規畫將有助於建立海象觀測的基準並提出釐訂建議，並判斷資料是否達到開放的標準。

49

感謝聆聽 敬請指教



50

附錄三

QARTOD 手冊 (指標名稱)與各項雷達資
料品管對照

QARTOD 手冊 (指標名稱)與各項雷達資料品管對照

雷達資料品管	指標名稱	對應現有品管	指標優先等級	現況
L0	Test 101 : Signal-to-Noise Ratio (SNR) for Each Antenna		建議	
L1a 能量譜品管		天線狀態檢查		
L1b 都卜勒距離譜品管		1、2階峰訊噪比(SNR)品管		
		船舶訊號移除品管		
L2 徑向流速計算	Test 201 : Syntax	檔案格式正確性		
	Test 202 : Max Threshold	徑向流速合理性品管		
	Test 203 : Valid Location	位置合理性品管		
	Test 205 : Spatial Median Filter			
	Test 206 : Temporal Gradient			
	Test 207 : Average Radial Bearing			
	Test 208 : Baseline and Synthetic Radial			
	Test 209 : Radial Stuck Value			
	Test 210 : Phases	系統標準品比對檢查		
L3 表面海流合成	Test 301 : Data Density Threshold*			
	Test 302 : GDOP Threshold**	GDOP		
	Max Speed Threshold (Test 303)	表面海流流速合理性品管，與Valid Location (Test 203)一致		
	Test 304 : Spatial Median Comparison			
	Test 305 : Valid Location	位置合理性品管	建議	
	Test 306 : U Component Uncertainty**			
	Test 307 : V Component Uncertainty**			

Level0 參數型態與定義

Name 參數名稱	Dimensions 維度	Size 大小	Datatype 型態	Units 單位	Fill Value 填充值	Standard name 標準名稱
datacomp I	chirps antenna samplecomp	[16 8218160]	int16	1	-32767	-
定義	Full acquisition and compressed of HF radar I signal.					
datacomp Q	chirps antenna samplecomp	[16 8218160]	int16	1	-32767	-
定義	Full acquisition and compressed of HF radar Q signal.					

Level1 參數型態與定義

Name 參數名稱	Dimensions 維度	Size 大小	Datatype 型態	Units 單位	Fill Value 填充值	Standard name 標準名稱
DR_Spectrum	thetavec range dopfreq	[25 80 1024]	double	dB	9.97E+36	-
定義	Doppler-Range spectrum, shows the backscattered radio wave signal from the sea surface, which is calculate from IQ signal doing FFT on both dimension of chirp and samplecomp.					

Level2 參數型態與定義

Name 參數名稱	Dimensions 維度	Size 大小	Datatype 型態	Units 單位	Fill Value 填充值	Standard name 標準名稱
noise_level_mean	range theta time	[135,25,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	The background noise level derived from the both side of the DR- spectrum.					
noise_level_left	range theta time	[135,25,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	The background noise level derived from the left side of the DR- spectrum.					
noise_level_right	range theta time	[135,25,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	The background noise level derived from the right side of the DR- spectrum.					
SNR1L	range theta time	[135,25,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	Signal to noise Ratio of the left first order peak.					
SNR1R	range theta time	[135,25,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	Signal to noise Ratio of the right first order peak.					
SNR1Value	range theta time	[135,25,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	Signal to noise Ratio of the first order peak.					
radial_velocity_left	range theta time	[135,25,1]	single	m/s	9.97E+36	radial_sea_water_velocity_toward_instrument
定義	A velocity is a vector quantity. "Radial velocity toward instrument" means the component of the velocity along the line of sight of the instrument where positive implies movement toward the instrument (i.e. inward). The "instrument" (examples are radar and lidar) is the device used to make an observation. <CF Standard Definition>					
radial_velocity_right	range theta time	[135,25,1]	single	m/s	9.97E+36	radial_sea_water_velocity_toward

						instrument
定義	同上					
radial_velocity_mean	range theta time	[135,25,1]	single	m/s	9.97E+36	radial_sea_ water_ velocity_ toward_ instrument
Definition 定義	同上					
radial_direction_left	range theta time	[135,25,1]	single	degree	9.97E+36	-
定義	Radial direction of the radial velocity towards or away from instrument					
radial_direction_right'	range theta time	[135,25,1]	single	degree	9.97E+36	-
定義	同上					
radial_direction_mean	range theta time	[135,25,1]	single	degree	9.97E+36	-
定義	同上					
noise_level_mean	range theta time	[135,25,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	The background noise level derived from the both side of the DR- spectrum.					
Hs	range theta time	[135,25,1]	single	m	9.97E+36	sea_surface_ wave_ significant_ height
定義	Significant wave height is a statistic computed from wave measurements and corresponds to the average height of the highest one third of the waves, where the height is defined as the vertical distance from a wave trough to the following wave crest.					
Tm	range theta time	[135,25,1]	single	sec	9.97E+36	sea_surface_ wave_mean_ period
定義	A period is an interval of time, or the time-period of an oscillation. Wave period is the interval of time between repeated features on the waveform such as crests, troughs or upward passes through the mean level. Wave mean period is the mean period measured over the observation duration.					
Tp	range theta time	[135,25,1]	single	sec	9.97E+36	sea_surface_ wave_ maximum_

						period
定義	The maximum wave period is the longest wave period measured during the observation period. A period is an interval of time, or the time-period of an oscillation. Wave period is the interval of time between repeated features on the waveform such as crests, troughs or upward passes through the mean level.					
Wind_Spee d1	range theta time	[135,25,1]	single	m/s	9.97E+36	wind_speed
定義	Speed is the magnitude of velocity. Wind is defined as a two- dimensional (horizontal) air velocity vector, with no vertical component. (Vertical motion in the atmosphere has the standard name upward_air_velocity.) The wind speed is the magnitude of the wind velocity.					
Wind_Dir1	range theta time	[135,25,1]	single	degree	9.97E+36	wind_to_ direction
定義	In meteorological reports, the direction of the wind vector is usually (but not always) given as the direction from which it is blowing (wind_from_direction) (westerly, northerly, etc.). In other contexts, such as atmospheric modelling, it is often natural to give the direction in the usual manner of vectors as the heading or the direction to which it is blowing (wind_to_direction) (eastward, southward, etc.) "to_direction" is used in the construction X_to_direction and indicates the direction towards which the velocity vector of X is headed. The direction is a bearing in the usual geographical sense, measured positive clockwise from due north.					
Wind_Spee d2	range theta time	[135,25,1]	single	m/s	9.97E+36	wind_speed
定義	同上					
Wind_Dir2	range theta time	[135,25,1]	single	degree	9.97E+36	wind_to_ direction
定義	同上					

Level3 參數型態與定義

Name 參數名稱	Dimensions 維度	Size 大小	Datatype 型態	Units 單位	Fill Value 填充值	Standard name 標準名稱
Direction	lon lat time	[46,41,1]	single	degree	9.97E+36	-
定義	Sea water to direction of composite vectors from two HF radar station.					
Magnitude	lon lat time	[46,41,1]	single	m/s	9.97E+36	-
定義	Sea water velocity of composite vectors from two HF radar station.					
U	lon lat time	[46,41,1]	single	m/s	9.97E+36	surface_ northward_sea_ water_velocity
定義	The surface called "surface" means the lower boundary of the atmosphere. A velocity is a vector quantity. "Northward" indicates a vector component which is positive when directed northward (negative southward).					
V	lon lat time	[46,41,1]	single	m/s	9.97E+36	surface_ eastward_sea_ water_velocity
定義	The surface called "surface" means the lower boundary of the atmosphere. A velocity is a vector quantity. "Eastward" indicates a vector component which is positive when directed eastward (negative westward).					
GDOP	lon lat time	[46,41,1]	single	1	9.97E+36	-
定義	Geometric Dilution of Precision, the quantitative calculation from geometry of the intersection angles of the HFR radial vectors.					
datacomp I	chirps antenna samplecomp	[16 8218160]	int16	1	-32767	-
定義	Full acquisition and compressed of HF radar I signal.					
datacomp Q	chirps antenna samplecomp	[16 8218160]	int16	1	-32767	-
定義	Full acquisition and compressed of HF radar Q signal.					

附錄四

專家學者座談會議紀錄

交通部運輸研究所港灣技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：交通部運輸研究所港灣技術研究中心第二科與第三科自行
研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：112 年 4 月 28 日(星期五)上午 10 時

參、地點：本所港灣技術研究中心 2 樓會議室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：蔡金吉、蔡世璿

伍、出單位及人員：如後附簽到表

陸、委員意見：

一、臺灣港務股份有限公司鍾英鳳副總經理(退休)

- (一)計畫建議將維護資料庫列入，並進行品管作業、資料整合分析及成果繪製，及統計分析均納入。
- (二)臺北、臺中、高雄因近年來有繼續擴建，對波、潮、流及漂沙之影響程度為何？建議納入研究範圍內，作為未來港口擴建造成之影響探討。
- (三)蘇澳、高雄、安平波浪站更新，以及基隆港遷移，是否造成資料中斷不連續，建議可敘明及分析變動情形。
- (四)相關之原始數據(Raw Data)建議可開放外界使用，並將資料整合以利各方應用及驗證模式之參考。
- (五)海流之觀測主要在港外且屬垂直剖面，目前港口對於海象氣象之需求甚殷，對未來發展智慧港口甚為重要；建議可否整理出上、中、下層海流之實際觀測值，配合數值模擬場域之流速比對。
- (六)商港潮位觀測統計分析，基於資料顯示部分港口潮位資料不連續，建議潮位計高程應定期檢測。
- (七)智慧港口之海氣象觀測之應用分析內容非在港口，建議考量修正成港口周邊之船舶航道及海氣象，即第二年著重在港口，第三年近海航道（包括離岸風場之影響、漁港），第四年為 AI 運用於船舶安全、操航、廢氣排放。本計畫四年中，其中第 1、2、3 項每年均同建議可調整。
- (八)港區巡查只是初步的作為，但水下巡查涉及效率、能見度，及水下載具目前之功能及可做項目，來設定各年之工作項目，建議第一年

須了解水下巡查可做及需做之項目，及目前水下載具之功能。

(九)花蓮港湧浪遮蔽及長週期波斷面模型試驗，其中湧浪遮蔽試驗，又含消能措施規劃，二者並不一致，遮蔽試驗通常常以防波堤、擋浪堤為主，以平面佈置為主，而消能措施則以斷面→如消波塊、消能池、緩波、沙灘、消波碼頭，建議是否以平面布置作為花蓮港湧浪遮蔽試驗，長週期波斷面模型試驗則建議以斷面消能為主。

(十)海氣象觀測作業數位管理規劃時，建議確認為儀器設備管理或資料庫管理。儀器設備管理主要在設備之維護更新、使用效能、維護費，而資料庫管理亦有不同之思維。

(十一)離岸堤出水高度計畫，因其與不同之波向、波流、風向、地形、漂砂方向等有關，建議可先設定研究案例。

(十二)商港海氣象風力及波浪示警機制，未來建議考量預報示警。

二、臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司港務處羅偉佑處長

(一)海象觀測設備應定期校正避免數據誤差，而影響後續分析結果，如遇實際環境改變，應注意觀測數據的使用。

(二)觀測結果建議網頁可提供簡易報表，供相關單位決策參考。

(三)有關港池共振改善研究建議將花蓮港形狀因素納入研究分析。

三、國立成功大學水利及海洋工程學系董東璟教授

(一)建議在海氣象觀測方法、儀器、取樣頻率檢校、品管方法、資料庫等宜與國內相關夥伴單位，如中央氣象局、國家海洋研究院有定期研討及整合，促使觀測資料品質趨於一致。

(二)可以考慮推動船舶上的海氣象觀測(長期)，短期可考慮蒐集各港域船舶已有海氣象觀測數據以充實港域海氣象資料庫。

(三)所有觀測儀器之檢校、品管宜有完整之文件紀錄。

(四)港區風力、波浪示警研究工作目標設定宜仔細思考，因此議題影響因子太多如船舶型態、港域特性，不易有很綜整的結果，另因子間的聯合效應如風、浪關係也可納入考量，港域海氣象時空變化快，參考何種資料(現場即時或未來模擬資料)也需討論，若是參考現場資料，何點位資料也需討論。

(五)發展 AI 技術如第 4 案使用倒傳遞類神經網路預測波高是未來方向予以支持，但要注意是否有足夠資料可以訓練模式，另，利用非物

理模式針對非常小點位(9、17、25 號碼頭)進行預測，是否合宜值得多加探究。

四、交通部航港局中部航務中心張家豪主任

(一) 商港風力、潮位、波浪、海流觀測與統計分析

1. 金門港之潮位、波浪、海流(運研所有觀測)是否能公開於港灣環境資訊網?
2. 第 1 頁，金門港是否考慮增設風力觀測工作?
3. 第 2 頁，風力觀測系統 112 年預計汰換 10 站，汰換標準(頻率)為何? 第 7 頁，經費概估未計算汰換以及緊急搶修費用。
4. 第 3 頁，甘特圖所示應共計 12 個月(11 個月應為誤植)。
5. 本中心去年研議臺中港船舶進港風力管制標準時參考港研中心提供之歷年風力觀測資料，發現 110 年底至 111 年初臺中港北堤測站因設備故障致該段期間無相關風力觀測資料，建議應提升設備之巡查頻率及即時修復能力。
6. 統計分析作業(公開的年報)似乎停滯於 2019 年，港灣環境資訊網海氣象觀測資料年報會重新發布 2022、2023 年版本嗎?
7. 潮位(臺中港暴潮特性)、波浪(水下無聲傳輸技術可行性及洲際二期港內波浪特性)、海流(臺北港海流特性)除維運及統計年報工作項目外，皆有規劃 1 個研究主題，風力是否增加其他研究主題，例如：臺中港各測站風力特性分析，可供臺中港船舶進港風力管制標準改採單一測站之參酌。
8. 第 11 頁，表示將分析近幾年臺中港潮位資料，探討颱風發生時實際潮位資料與天文潮預測潮位差異，但近幾年實際侵襲臺灣的颱風很少，是否會影響分析作業?
9. 第 16 頁，欲瞭解基隆港既有底碇式波浪觀測站遷移原因。

(二) 智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 第 30 頁，本計畫主要利用 AIS 船舶動態資訊分析之交通流量與海氣象資訊及海事案件之關係，111 年度-海氣象資訊與船舶海事案件關係探討的結果為何?
2. 第 31 頁，依據 112 年工作計畫包含分析臺灣周圍海域與主要港埠航道交通流量，因此研究範圍應該有包括各商港港區範圍外之

海域(包含彰化風場)，由於彰化風場目前已公告設有南北向航道，並由本局成立彰化航道 VTS 中心管理該航道，研究單位希望本研究成果可以提供管理單位分散航線的評估，以減少碰撞事故發生機率，可否更具體說明如何分散航線。

3. 第 31~32 頁，比對 2022-2024 年的船舶分布軌跡，預期可以得到什麼樣的成果？
4. 第 33 頁，海氣象資訊於船舶監控預警系統將如何運用？如船舶即將進入 10 級風範圍前先預警(SOLAS/V/5-9 鼓勵船長通知鄰近船舶及岸台)？結合 AI 技術於船舶航行安全整合系統的初步規劃內容為何？其優於現行 NAVTEX 或其他傳遞海氣象資訊設備的功能為何？

(三) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析

1. 第 44 頁，相關設施自 109 年即建置，建議先說明先前已完成的工作項目，例如是否已完成海洋陣列雷達與現行觀測儀器的差異分析(是否會較一般儀器精確)？另陣列雷達是否受天候或其他因素影響？
2. 第 46~47 頁本次主要探討單雷達與雙雷達差異分析，故原始資料是否會有 109 年單站雷達、110 年南側雷達，以及雙雷達共同調查分析的資料？那單站及南側雷達是否有差異？

(四) 應用微波雷達於臺北港域環境監測

臺中港選擇海洋陣列雷達、臺北港選擇微波雷達有無特別考量？

(五) 港區水下巡查技術

1. 工作計畫未說明水下無人載具將採用哪一類 ROV/AUV 來測試？
2. 計畫緣起為以機器替代潛水員進行水下巡查可行性，文內提及兩大類操作技術似乎已是既有技術，故本研究結論倘分析不具可行性的原因可能為何？另本案欲得到的結論為何(怎樣的巡查成果可稱之為可行、是否涉及成本效益分析)？
3. 本研究如具可行性，未來可以水下無人載具作為港區水下設施巡查作業之應用，相同的，因港區內易會發生船與船或船與固定設施碰撞事件，亦可利用 ROV/AUV 進行船底水下檢查船舶損壞情形。

(六) 花蓮港湧浪遮蔽試驗、長週期波斷面模型試驗

第 85 頁，第 10 案長週期波浪之研究亦提及「將研擬適用於花蓮港消減長週期波浪的結構物斷面或設施型式」，此研究成果與第九案湧浪消能措施是否會互相衝突？

(七) 海氣象觀測作業數位管理規劃

計畫緣起提及儀器、資材、通訊資源之維護、稽查、紀錄等，成果卻未提及這一方面的內容。另目前觀測數位管理所遭遇之難題為何？各觀測站的統計整理方式會有不同嗎？

(八) 離岸堤出水高度對堤後淤沙效能之影響評估

本案規劃運用 Youtube 影片進行研究，是否已掌握相關資源？

(九) 商港風力、波浪示警機制

應用面上風力示警燈號未來可否運用在各港之船舶進港管制標準上，供使用者標準判別更為淺顯易懂。

(十) 倒傳遞類神經網路建置花蓮港波高預測模式、花蓮港風浪模組模擬參數條校探討

第 15 案應用 TaiCOMS2.0 預測碼頭波高，第 16 案則欲精進 TaiCOMS 正確性，兩案之間會相互配合嗎？

(十一) 風力及波浪準確度分析

比對模擬資料與觀測資料的準確度，並展示於港灣環境資訊網的意圖為何？準確度的定義是什麼？預計未來的參考應用方向是什麼？

五、國立中山大學海洋科學系陳冠宇教授

(一) 風波潮流的即時觀測與分析多年來已經累積大量成果，持續的進行資料蒐集十分重要，也值得肯定。這些資料取得主要在計畫一～四，配合計畫十七、十八進行近一步的分析與品管，構成完整的資料系統。

(二) 除了傳統的單點觀測，計畫九、十以及與計畫十六相關的數值模式，都可以提供面的，甚至 3-D 的資訊，點和面的資料可以相互印證。

(三) 資料的加值運用，如計畫五、十一、十三～十五，和以上的資料取得與品管的計畫相互呼應，顯示第 2 科與第 3 科的合作。

(四)針對實際的海岸與港灣工程問題的研究很有意義，惟一般人不易了解其詳細沿革，建議多強調這些計畫之創新性。

六、海洋委員會國家海洋研究院翁健二主任秘書

(一)第 2 頁，商港風力觀測編列經費是否有包含設備更換？

(二)商港波浪觀測與海流工作項目相似。

(三)第 18 頁，商港波浪觀測，水下無線傳輸系統測試，有無評估通訊距離、速率？通訊方式？

(四)雷達表面流觀測，如何驗證觀測資料正確性？

(五)陣列雷達表面流觀測編列經費是否包含維運經費？

(六)陣列雷達觀測數據如何呈現以提供相關單位參考依據？

(七)第 54 頁，陣列雷達維運是否同仁自行維運？

(八)臺北港雷達站，觀測數據如何驗證？

(九)第 55 頁，陣列雷達解析度 500m，如何進行船舶觀測分析？

(十)第 122 頁，花蓮港碼頭波高預測使用 LSTM 預測解析度？另硬體設備是否有相關配套措施？

(十一)港區水下巡查技術初探這港公司已有計畫在執行。

柒、結論：

感謝委員提供本所自行研究計畫之專業建議，請案關同仁將委員意見納為執行計畫重要參採依據，俾以達到成果實際應用目的，以及提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：上午 12 時 45 分

會議簽到表

會議名稱：交通部運輸研究所港灣技術研究中心第二科與第三科自行研究
計畫專家學者座談會議

時間：112 年 4 月 28 日(星期五)上午 10 時

地點：本所港研中心2樓會議室

主持人：蔡立宏主任 蔡立宏

專家學者：

專家學者	簽名
鍾英鳳 委員	鍾英鳳
羅偉佑 委員	羅偉佑
董東璟 委員	董東璟
張家豪 委員	張家豪
陳冠宇 委員	陳冠宇
翁健二 委員	翁健二

出席單位及人員：

出席單位	職稱	簽名
交通部運輸研究所 港灣技術研究中心	科長	李信穎
	科長	賴瑞蓮
	科長	林雅雯

單位	簽名
交通部運輸研究所 港灣技術研究中心	黃茂信 李政立 羅冠顯 陳釗亮 洪維屏 陳智恆 劉淑敏 許義宏 林有騰 郭文傑 邱元亮 郭漢芳 傅怡釗 蔣敏玲 蔡金吉 曹勝山 蔡世瑞 劉清玲 劉明義
	顏碩香 謝榮基 劉煥明

附錄五

工作會議紀要

112 年 6 月工作會議紀要

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年自行研究計畫第 1 次工作會議

時間：112 年 06 月 28 日(星期三)下午 02 時 00 分至 04 時 30 分(第 1 場次)

112 年 06 月 29 日(星期四)上午 09 時 30 分至 12 時 30 分(第 2 場次)

112 年 07 月 12 日(星期三)上午 10 時 00 分至 11 時 30 分(第 3 場次)

地點：本所港灣技術研究中心 3 樓會議室

主持人：李俊穎科長

彙整：許師瑜

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測系統維運作業情形摘要說明。
2. 風力觀測資料庫整合及更新進度。
3. 風力觀測資料品管作業精進及方法導入情形。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 整理與彙整主要商港潮位觀測資料。
2. 彙整 2011 至 2020 台中港潮位觀測資料及侵臺颱風資料。
3. 蒐集國內外相關暴潮研究文獻。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 底碇式波浪觀測系統更新、遷移及海氣象資料浮標建置。
2. 無線式水下波流觀測系統可行性評估。
3. 高雄港洲際二期港內波浪資料特性分析。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 商港海流觀測系統維運作業情形說明。
2. 臺北港潮流特性分析初步成果報告。
3. 年度研究報告章節編排討論。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測
應用分析

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 臺灣周圍海域與主要港埠航道交通流量。
3. 彙整高雄港和基隆港之海氣象觀測資料。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 海洋雷達觀測應用相關文獻回顧。
2. 海洋雷達設備維護與校正作業摘要說明
3. 海流監測資料分析與交互驗證工作情形。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象
監測技術優化

1. 臺北港域背景觀測資料蒐集情形說明(包含底錠式波流儀、資料浮標、微波雷達)。
2. 臺北港微波雷達測站現況說明。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 完成港區水下設施巡查項目初步盤點。
2. 港區水下設施巡查方式探討。
3. 蒐集國外水下無人載具應用相關文獻。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 第二試驗廠棚修繕工程進度說明。
2. 花蓮港海氣象資料初步彙整。
3. 模型比尺及試驗條件初步規劃。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 蒐集研讀國內長週期波及花蓮港相關研究文獻。
2. 可能致災的波浪定義與分析。
3. 熟悉斷面水槽目前配置、新增設備及後續研究規劃。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 海氣象觀測儀器盤點情形說明。

2. 各觀測儀器系統架構、維護流程、資料流向、品管方法之彙整。
3. 報告書章節之規劃。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 風力觀測資料庫系統之數據傳輸方式及資安管理作業。
2. 臺灣港務股份有限公司海氣象觀測資料庫(臺中 IDC 機房)與本所港研中心之異地備援機制及資料庫整合工作。
3. 利用紊流強度分析觀測站受鄰近結構物之影響。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 潮位觀測年報內容討論。
2. 潮汐分潮研議。
3. 颱風路徑與暴潮分析交換意見。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 商港波浪觀測站建置概況及本年度觀測系統現場相關作業期程。
2. 無線式水下波流觀測系統水下實測期程規劃。
3. 高雄港洲際二期 S03 及 S13 碼頭靜穩度觀測站建置進度。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 剔除極端氣候(如颱風)影響期間觀測資料之潮流特性分析可行性討論。
2. 垂直剖面流分析方法及成果呈現方式討論。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 彙整國內外特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 分析彰化風場航道與離岸風電浮動式風場(苗栗及墾丁外海)各類船舶往(來)及返(回)的交通流統計量與航跡密度。
3. 針對高雄港和基隆港之海事事故，彙整船舶航行軌跡與海氣象狀況。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 雷達電力系統改善與海洋雷達天線劣化汰舊更新。
 2. 針對 6 月 15 日表面海流監測資料進行分析與驗證討論
 3. 討論期末報告章節規劃與後續工作檢討
- (七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化
1. 臺北港底錠式波流儀資料蒐集情形討論。
 2. 臺北港資料浮標觀測資料蒐集情形討論。
 3. 臺北港微波雷達觀測資料蒐集情形討論。
- (八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討
1. 港區水下檢測項目之判定標準討論。
 2. 港區水下設施巡查方式說明。
 3. 國外水下無人載具應用案例分析。
- (九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置
1. 花蓮港季風及颱風波浪資料呈現方式。
 2. 水工模型規劃及相關試驗設備材料需求評估。
 3. 花蓮港湧浪型態探討。
- (十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討
1. 更新造波機測試過程內容，建議於報告書定稿前彙整進報告書。
 2. 考量斷面水槽的尺寸及造波機效能，週期縮尺最大僅能模擬原型 36 秒的波浪，後續再評估是否以數值方法，模擬更長週期的波浪。
 3. 應針對花蓮港的現況及破壞紀錄多加探討，以研擬出適用花蓮港內消減長週期波能的結構物斷面或設施型式。
- (十一)海象觀測作業數位管理規劃
1. 儀器盤點需補充說明處之討論。
 2. 各系統維護程序及資料流向需補充說明處之討論。
 3. 報告書文獻回顧可加強處之討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 目前風力年報已利用 Python 重新編程，並透過公用區分享程式碼，相關研究同仁可參考交流，以精進工作職能。
2. 112 年度海洋工程研討會預定 9 月開始徵稿，階段性研究成果可適時投稿。
3. 建議補充紊流強度之數學定義，以及測站位置與現場圖片，以利瞭解測站與結構物之相對位置。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 彙整潮位觀測資料進行統計分析，繪製成圖表並出版統計年報，年報內容擇期再討論。
2. 優先擇取經過臺中港的歷史颱風做暴潮分析。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 請依規劃期程督導廠商，使本年度波浪觀測系統現場相關作業能如期如質完成。
2. 無線通訊數據機目前已可與 AWAC 溝通，後續將至國立成功大學水工試驗所斷面水槽實際測試，建議測試期間同步實施造浪，模擬未來應用於港區執行監測作業之情境。
3. 高雄港洲際二期 S03 及 S13 碼頭靜穩度觀測站已建置完成，後續請持續掌握觀測站運作情形，並可著手分析船席遮蔽係數。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 建議於年度研究報告內增加資料浮標之流速剖面儀設備說明。
2. 潮流特性分析建議延長分析期間，確保分析結果之正確性。
3. 垂直剖面流建議採完整斷面呈現，可擷取年度最大潮或最小潮之觀測資料進行分析，期能獲得具代表性之成果。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 針對目前 AIS 所蒐集的船舶資訊與 VDES 系統蒐集資料，是否進行相關資料比對。
2. VDES 系統編碼不同，又可透過衛星傳輸，後續是否可導入海氣

象傳輸。

3. 建議「彙整特定港口之海氣象觀測資料」與「船舶動態與海氣象資訊應用分析」，兩章節內容要互相連動整合。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 本案表面流觀測資料量龐大且時程緊迫，工作量繁重，請相關研究人力與工作安排須合理進行。建議本案未來海流資料提供予應用單位時，須確定資料提供標準與項目，以保海氣象資料之正確性。
2. 有關本所與國海院、氣象局及大氣海洋局規劃合作辦理 114-117 跨部會案件，後續工作項目是否需於後續年度適時調整，建議研究人員納入考量。
3. 有關高頻雷達訊號應用文獻回顧部分，請研究人員盤點過去相關研究成果，以利瞭解過去研究發展階段情形。
4. 有關表面流觀測資料的統計與比較分析，建議參考氣象局於臺中港南側佈放的浮標資料進行比較分析與討論，特別是冬季東北季風期間特性，以及大潮與小潮時段的特性，建議納入分析探討。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底錠式波流儀資料完成蒐集至 112 年 3 月份。
2. 臺北港資料浮標觀測資料完成蒐集至 112 年 6 月份。
3. 臺北港微波雷達觀測資料持續進行蒐集中。
4. 自辦計畫報告中，有關微波雷達測站之位置平面圖應再詳盡，建議可用海圖套繪。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 目前已蒐集國外水下無人載具應用相關案例，建議可針對國內新興技術應用於港區水下巡查作業之相關文獻，進行補充。
2. 水下無人載具應用於港區發展之架構可再進行補述。
3. 水下無人載具之影像取得及定位測試，預計納入明年計畫辦理。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 花蓮港季風波浪及颱風波浪資料建議妥善整理。
2. 請評估本案所需相關試驗設備材料。
3. 俟水工模型規劃完成及確認試驗條件後，加強敘述相關過程。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 更新造波機設備的到貨及測試時程，應確實掌握進度，朝向提前完成的目標執行。
2. 針對造波機效能的測試內容，需先提出斷面配置規劃，以利設置斷面的測試設施。
3. 研究過程及報告書撰寫期間若遇困難，應及時提出，再一同進行討論。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 本案原工作計畫書階段有納入岸基高頻雷達 2 站及微波雷達 1 站之規劃，惟考量雷達站目前皆委外維護管理，資料尚無回傳中心資料庫，相關架構及程序尚待後續研究擬定，故本案有關雷達站部分先不予規劃。
2. 各種儀器之資料定義、各系統維護頻率及資料流向未列部分，建議再補充說明。
3. 報告書之文獻回顧章節，建議可參考儀器之說明文件，及測站維護與資料品管計畫之參考文獻與投稿文章等。

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 1 次工作會議(第 1 場次)

時間：112 年 6 月 28 日(星期三)下午 2 時

地點：本所港研中心 3 樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名
第一科科長	賴瑞博
第三科科長	林雅雯
第二科	
	柯瑞平
	許義宏
	陳孟宏
	周朋宏
	曹勝山
	李江河
	陳智恆
	林學文
	洪維南
	羅冠翹
	孫道福
	王公亮
	許師瑜

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 1 次工作會議(第 2 場次)

時間：112 年 6 月 29 日(星期四)上午 9 時 30 分

地點：本所港研中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞輝	
第三科科長	林雅雯	
第二科		
		陳惠珍
	孫廷廷	劉朋豪
	林昭卿	謝佳毓
	陳宜銘	陳子健
	劉淑敏	許義宏
	鄭偉芳	柯振宇
	顏所香	蔡麗娟
	林文子	陳孟宏
	李沁洋	陳冠宇
	陳智恒	曹勝江
	羅冠翹	洪維爵
	邱志玄	許師瑜

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 1 次工作會議(第 3 場次)

時間：112 年 7 月 12 日(星期三)上午 10 時 00 分

地點：本所港研中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞尊	
第三科科長	林雅雯	
第二科	黃民信	
		孫孟遠
		李政達
	林文心	柯拓宇
	劉明志	陳智恆
	陳孟宏	曹騰陞
	洪維廣	羅冠穎
	邱金堂	許師誦

112 年 8 月工作會議紀要

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：112 年 08 月 31 日(星期四)上午 09 時 30 分至 16 時 30 分

地點：本所港灣技術研究中心 3 樓會議室

主持人：李俊穎科長

彙整：許師瑜

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所港灣技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測系統維運作業情形摘要說明。
2. 風力觀測資料庫整合及更新進度。
3. 風力觀測資料品管作業精進及方法導入情形。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 彙整並分析主要商港潮位觀測資料。
2. 彙整 2011 至 2020 台中港潮位觀測資料及侵臺颱風資料。
3. 期末報告初稿大綱說明。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 底碇式波浪觀測系統更新、遷移及海氣象資料浮標建置。
2. 無線式水下波流觀測系統可行性評估。
3. 高雄港洲際二期港內波浪資料特性分析。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 商港海流觀測系統維運作業情形說明。
2. 臺北港海流垂直剖面流分析方式討論。
3. 年度研究報告章節編排檢討。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 風電工作船軌跡與主要港埠航道交通流量。
3. 彙整高雄港海事案件資料。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 進行海洋雷達觀測應用相關文獻回顧，並完成期刊研討。
2. 報告海洋雷達設備維護與校正作業情形。
3. 報告海流監測資料品管與檢核工作。
4. 討論海流資料分析驗證情形。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港域背景觀測資料蒐集情形說明(包含底錠式波流儀、資料浮標、微波雷達)。
2. 臺北港微波雷達測站現況說明。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 完成水下遙控載具(ROV)功能分析比較。
2. 完成港區水下巡查設施項目盤點及巡查方式探討。
3. 持續蒐集國外水下無人載具應用相關文獻。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 第二試驗廠棚修繕工程及本計畫材料採購進度說明。
2. 花蓮港海氣象資料彙整。
3. 水工模型平面配置及消波設施配置。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 彙整國內外長週期波及花蓮港相關研究文獻。
2. 選定可能致災的長週期波浪類型，供後續進行分析討論。
3. 規劃測試新設造波機的斷面水槽配置。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 海氣象觀測儀器盤點系統架構之補充說明。
2. 各觀測儀器維護流程、資料流向補充說明，自主檢查表之彙整。

3. 報告書撰寫進度說明。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 風力觀測資料品管機制及整合資料庫系統架構。
2. 商港風力觀測統計年報辦理進度。
3. 商港強風延時統計程式計算結果。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 潮位觀測年報出版研議。
2. 調和常數採用 6 個潮汐分潮。
3. 侵臺颱風路徑分析。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 蘇澳港測站更新、基隆港測站遷移與海氣象資料浮標建置進度。
2. 無線式水下波流觀測系統水下實測進度。
3. 高雄港洲際二期瑪娃颱風港內靜穩度分析成果探討。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 臺北港潮流恆流特性分析成果討論。
2. 垂直剖面流資料蒐集、分析方法及成果呈現方式探討。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 彙整國內外特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 繪製 112 年 12 月 31 日前，航港局核可之非本國籍從事離岸風電工作船舶之許可，及已入級驗船中心(CR)之風電工作船軌跡。
3. 彙整高雄港之海事事故船舶航行軌跡。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 討論雷達天線間距量測與卡努颱風後雷達南站自譜與雷達地網情形。
2. 討論雷達資料(L0 級產品)品管與檢核工作。
3. 針對雷達表面海流觀測與其他觀測資料進行分析與驗證。

4. 討論雷達表面海流流向之正確性。與後續工作檢討

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底錠式波流儀資料蒐集情形討論。
2. 臺北港資料浮標觀測資料蒐集情形討論。
3. 臺北港微波雷達觀測資料蒐集情形討論。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 水下遙控載具(ROV)功能分析說明。
2. 港區水下設施巡查項目及方式討論。
3. 國內外水下無人載具應用案例分析。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型平面配置調整。
2. 水工模型消能設施佈設方式。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 抵禦長週期波斷面水工模型試驗的成果，建議未來可提供給平面遮蔽試驗做為結構物配置參考。
2. 建議未來可考量進行防波堤的港內外兩側斷面水工模型試驗，針對同一防波堤斷面討論港內外的消波情況。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 系統架構及資料流向補充處之討論。
2. 現有管理模式及自檢表之討論。
3. 儀器資料格式及欄位之討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 風力觀測資料品管方法尚屬妥適，原則同意納入港務公司之海氣象即時應變系統，並請將品管詳細流程納入期末報告初稿。
2. 風力觀測品管資料之可疑數據處理，建議強化人工品管檢核及回補機制，以避免資料誤刪。

3. 風力觀測統計年報資料，請於 9 月底前將報告初稿送主管核閱。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 依中央氣象局侵臺颱風路徑分析。
2. 颱風路徑對臺中港潮位影響討論。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 本年度已完成更新、遷移及建置之測站，請持續留意傳輸狀況，颱風期間各測站即時通訊情形亦需加強注意。
2. 水下無線通訊數據機通訊品質易受水面及固體邊界影響，後續觀測儀器架設計需將此因素納入考量。
3. 持續蒐集分析本年度颱風及季風期間之監測數據，測站即時系統運作情形請持續留意。
4. 高雄港洲際二期港內靜穩度請持續掌握冬季季風觀測資料，做為重點分析成果，期能獲得具代表性之成果。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 請盡速完成海流統計年報初稿。
2. 針對垂直剖面流所蒐集底碇式波流儀及資料浮標等測站資料，建議進行相關資料比對工作。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 針對高雄港海事事故發生案件，建議增加船舶 AIS 航行軌跡。
2. 有關利用 AIS 傳發海氣象觀測資料，建議可參考目前氣象局相關研究報告。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 雷達表面流觀測工作量繁重，有關高頻雷達資料品管與檢核部分，建議持續辦理品管作業，對於海流方向部分請與 SeaView 原廠討論可能造成此問題的原因，並予以排除，須確保資料演算標準與項目規範，以維持海氣象資料之正確性。
2. 本年度雷達站於今(112)年 4 月份進行調整，關於海流觀測資料分析，建議探討雷達調整前後表面海流觀測差異。

3. 關於本案主要研究項目內容，建議持續檢討，異常部分請納入分析檢討，並安排後續工作，以確保數據與期末報告之品質。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底錠式波流儀資料完成蒐集至 112 年 3 月份。
2. 臺北港資料浮標觀測資料完成蒐集至 112 年 8 月份。
3. 自辦計畫報告中第二章及第三章建議可以合併。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 目前已蒐集國內外水下無人載具應用相關案例，建議可針對應用於港區水下巡查之案例進行分析比較。
2. 本年度計畫成果可進行彙整，並投稿相關期刊。
3. 水下無人載具之影像取得及定位測試可進行規劃，以利明年計畫進行。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型配置，建議後續可與花蓮港務分公司相關單位討論。
2. 俟水工模型規劃完成及確認試驗條件後，加強敘述相關過程。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 依照報告書章節規劃，開始依序撰寫報告書內容。
2. 分析長週期波作用機制，以構思抵禦長週期波結構物方案。
3. 針對新設造波機部分，持續跟進並調整測試規劃。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 文獻及後續規劃可參考本所港灣構造物維護管理系統及港灣環境資訊網維護之相關規劃。
2. 本中心既有設備管理 E 化系統可供參考，惟現場維護介面建議簡化並留下重要維管資訊。
3. 架構方面，需考量儀器產出原始資料保存之規劃。

會議簽到表

會議名稱：本所港灣技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 2 次工作會議

時間：112 年 8 月 31 日(星期四)上午 9 時 30 分

地點：本所港研中心 3樓會議室

主持人：李俊穎科長 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞雄	
第三科科長	林雅雯	
第二科		
	陳子傳	郭俊芳
	劉淑敏	陳智恒
	黃民信	許義宏
	劉明基	柯達達
	林宇良	柯拓宇
	羅冠勳	曹勝陽
	李政廷	陳天時
	李仁澤	陳孟宏
	許張芝	許師瑜
		顏麗香

112 年 10 月工作會議紀要

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 112 年自行研究計畫第 3 次工作會議

時間：112 年 10 月 30 日(星期一)上午 09 時 30 分至 16 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心 3 樓會議室

主持人：李俊穎 副研究員

彙整：許師瑜

出席者：如後附簽到表

主/協辦單位：本所運輸技術研究中心第二科

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測系統維運作業情形摘要說明。
2. 風力觀測資料分析結果說明。
3. 期末報告撰寫進度。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 完成主要商港潮位資料統計分析。
2. 完成 2011 至 2020 臺中港潮位觀測資料及侵臺颱風資料分析。
3. 期末報告初稿大綱概述。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 波浪觀測系統更新、遷移及海氣象資料浮標建置。
2. 水下無線傳輸技術應用於底碇式波流觀測系統可行性評估。
3. 高雄港洲際二期港內波浪資料特性分析。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 臺北港海流垂直剖面流分析方式討論。
2. 年度研究報告章節編排檢討及撰寫進度說明。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。

2. 船舶動態與海氣象資訊應用分析。

3. 彙整海事案件資料。

(六) 臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 進行海洋雷達觀測應用相關文獻回顧。

2. 辦理南站雷達天線組更換，報告海洋雷達設備維護與校正作業情形。

3. 報告海流監測資料品質管與檢核工作。

4. 與國外教授探討海流資料比對結果，討論海流資料分析驗證情形。

(七) 應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港域背景觀測資料蒐集情形說明(包含底碇式波流儀、資料浮標、微波雷達)。

2. 臺北港微波雷達測站現況說明。

(八) 港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 完成港區水下巡查設施項目盤點及巡查方式探討。

2. 完成水下遙控載具(ROV)功能分析比較及國內外文獻回顧。

3. 進行水下遙控載具定位試驗之初步規劃。

(九) 花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 第二試驗廠棚修繕工程及本計畫材料採購進度說明。

2. 花蓮港海氣象資料彙整。

3. 水工模型平面配置及消波設施配置。

(十) 長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 彙整長週期波致災案例及分析破壞機制。

2. 研提長週期波消能結構物方案及未來研究方向。

3. 期末報告書撰寫。

(十一) 海象觀測作業數位管理規劃

1. 本所海氣象觀測既有管理模式風險之說明。

2. 海氣象觀測數位化管理系統架構規劃說明。
3. 海氣象觀測資料庫管理規劃說明。
4. 報告書撰寫進度說明。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 商港風力觀測特性及強陣風分析結果。
2. 商港颱風分析內容及產出項目。
3. 期末報告章節編排。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 侵臺颱風路徑分析。
2. 侵臺颱風路徑對臺中港潮位影響分析探討。
3. 年度研究報告章節編排檢討。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 商港波浪觀測站運作情形及海氣象資料浮標建置進度。
2. 無線式水下波流觀測系統於大型斷面水槽測試結果。
3. 高雄港洲際二期港內靜穩度分析成果探討。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 臺北港潮流特性分析成果討論。
2. 垂直剖面流資料蒐集、分析方法及成果呈現方式探討。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 彙整國內外特高頻資料交換系統 (VDES)發展現況。
2. 繪製航港局核可之非本國籍從事離岸風電工作船舶之許可，及已入級驗船中心(CR)之風電工作船軌跡，並針對軌跡異常船舶進行說明。
3. 分析船舶動態與當日海氣象狀況。
3. 彙整高雄港之海事事故船舶航行軌跡。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 辦理南側雷達站資料品管與檢核工作
2. 於 10 月 5-6 日第 45 屆海洋工程研討會辦理發表研究成果。
3. 本所與國家海洋研究院、交通部中央氣象署、國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中心與國立成功大學近海水文中心，共同舉辦 2023 年海洋達人工作坊，進行臺灣海洋雷達遙測發展與技術交流。
4. 討論雷達表面海流流向之正確性。與後續數據追算工作。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底碇式波流儀資料蒐集情形討論。
2. 臺北港資料浮標觀測資料蒐集情形討論。
3. 臺北港微波雷達觀測資料蒐集情形討論。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 水下遙控載具(ROV)功能分析說明。
2. 港區水下設施巡查項目及方式討論。
3. 國內外水下無人載具應用案例分析及定位測試之初步規劃。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型消能設施形式之構思。
2. 花蓮港未來觀光發展議題及港內構造物改善。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 針對花蓮港的現況，討論消減長週期波能的結構物或設施配置方式。
2. 討論於花蓮港內，設置抵禦長週期波結構物或設施的之可行性。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 海氣象觀測數位化管理系統架構規劃之討論。
2. 海氣象觀測資料庫管理規劃之討論。
3. 後續工作事項及報告書撰寫之討論。
4. 113 年度工作規劃及委外事項之討論。

貳、重點紀要/主要結論

(一)商港風力觀測與統計分析

1. 本計畫原則符合工作計畫書之各項進度，請依限完成期末報告撰擬，並於 12 月中旬召開期末報告審查。
2. 同一港區不同測站之風力資料比對是否存在時間位相差，建議可進一步檢查。

(二)商港潮位觀測與統計分析

1. 颱風路徑對臺中港潮位影響討論。
2. 自辦計畫報告書於 11 月底初稿完成。

(三)商港波浪觀測及統計分析

1. 已建置完成之資料浮標測站，請留意系統運作情形，霧燈及夜間警示燈須確保正常運作。
2. 大型斷面水槽測試結果顯示，已可透過水下聲學數據機與 AWAC 溝通，但隨著通訊距離拉長，訊號傳遞呈現不穩定情形，本年度獲取之相關數據，可做為後續開放海域實測應用參考。

(四)商港海流觀測及統計分析

1. 請盡速完成年度研究報告初稿。
2. 針對垂直剖面流所蒐集底碇式波流儀及資料浮標等測站資料，建議進行相關資料比對工作。

(五)智慧航安與海氣象資訊應用探討(2/4)-智慧港口之海氣象觀測應用分析

1. 針對電子海圖顯示與資訊系統目前使用中心舊版 S-57 海圖，建議可向國土測會中心購置新版海圖。
2. 有關利用蘇澳港漁船及漁具濫用 AIS，建議可移除不列入考量，避免誤解。

(六)臺中港海洋陣列雷達訊號應用分析(1/3)-表面流觀測分析

1. 有關高頻雷達資料品管與檢核部分，建議持續辦理品管作業，並盡快完成 SeaView 資料演算工作，以維持海氣象資料之正確性。

2. 本年度報告書建議將原機關單位名稱，修改為組改過後名稱，以免發生名稱錯植與其他誤會。
3. 關於本案主要研究項目內容，建議持續檢討，並盡快完成報告書初稿撰寫工作，以確保期末報告之品質。

(七)應用微波雷達於臺北港域環境監測之研究(2/4)-微波雷達海象監測技術優化

1. 臺北港底碇式波流儀資料完成蒐集至 112 年 3 月份。
2. 臺北港資料浮標觀測資料完成蒐集至 112 年 10 月份。
3. 波向資料異常，可能為匯出資料時之設定問題，應再檢視。

(八)港區水下巡查技術初探(1/3)-水下巡查技術分析探討

1. 就目前已蒐集之港區水下巡查設施及方式，再進行分類及探討，研擬可優先適用於水下無人載具巡查之物件。
2. 本年度計畫成果可進行彙整，並投稿相關期刊。
3. 建議針對目前盤點之港區水下巡查標的物，蒐集合適作業之水下無人載具，以利進行明年定位試驗。

(九)花蓮港湧浪遮蔽試驗(1/3)-試驗規劃及建置

1. 水工模型配置，預計於 12 月中旬與花蓮港務分公司相關單位討論。
2. 俟水工模型規劃完成及確認試驗條件後，加強敘述相關過程。
3. 請妥善彙整過往相關研究。

(十)長週期波斷面模型試驗(1/3)-長週期波水工模型試驗探討

1. 依照報告書章節規劃，於期程內完成報告書撰寫。
2. 再深入探討長週期波作用機制，加強抵禦長週期波結構物方案內容。
3. 針對新設造波機部分，持續跟進並確認測試規劃。

(十一)海象觀測作業數位管理規劃

1. 有關時序列資料及 RAW 檔資料上傳及下載連結，規劃須考量該網址或路徑變更時系統如何管理維護。
2. 後續年度之實施計畫，基礎資料建置為重要步驟，建議強化匯

入功能，將既有基本資料表單直接匯入以減少人力負擔；另考慮強化資料匯出功能，將本所需產出資料簡便匯出。系統便易性及其他擴充功能期於後續透過使用者回饋精進。

3. 所內人員訪談請接續進行，並建議邀請測站目前維護廠商進行訪談，討論實際需要及規劃架構是否有其他問題。

會議簽到表

會議名稱：本所運輸技術研究中心第二科 112 年度自行研究計畫第 3 次工作會議

時間：112 年 10 月 30 日(星期一)上午 9 時 30 分

地點：本所運技中心 3樓會議室

主持人：李俊穎副研究員 李俊穎

出席單位	簽名	
第一科科長	賴瑞惠	
第三科科長	林雅雯	
第二科		
	王喬莉	陳子健
	劉月如	郭淑芳
	劉淑敏	陳智恒
	柯振亨	陳亞宏
	洪維南	黃武信
	曹勝弘	許義宏
	羅冠毅	李政達
	林文山	孫達達
	邱政宏	許師瑜
	陳天時	李仁澤