

105-021-7861

MOTC-IOT-104-H3DB002b

# 海域油污監測與擴散模擬技術 研發(2/3)



交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月

105-021-7861

MOTC-IOT-104-H3DB002b

# 海域油污監測與擴散模擬技術 研發(2/3)

著者：莊士賢、吳立中、范揚洺、簡仲璟、李俊穎、余孟娟  
陳家銘、饒國清、邱啟敏、林清睿、黃瓊珠

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 3 月

105

海域油污監測與擴散模擬技術研發  
(2/3)

交通部運輸研究所

GPN: 1010500320  
定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

海域油污監測與擴散模擬技術研發. (2/3) / 莊士賢  
等著.-- 初版.-- 臺北市：交通部運研所，民 105.03  
面；公分  
ISBN 978-986-04-8216-4(平裝)

1.海洋汙染 2.油汙染 3.環境監測

445.9

105004032

海域油污監測與擴散模擬技術研發 ( 2/3 )

著 者：莊士賢、吳立中、范揚洛、簡仲璟、李俊穎、余孟娟、  
陳家銘、饒國清、邱啟敏、林清睿、黃瓊珠

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 105 年 3 月

印 刷 者：禾泰印刷設計有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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

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

GPN：1010500320

ISBN：978-986-04-8216-4 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：海域油污監測與擴散模擬技術研發（2/3）			
國際標準書號 ISBN: 978-986-04-8216-4 (平裝)	政府出版品統一編號 1010500320	運輸研究所出版品編號 105-021-7861	計畫編號 104-H3DB002b
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：簡仲璟 研究人員：李俊穎 參與人員：錢爾潔、馬維倫 陳正義、張麗瓊 聯絡電話：04-26587132 傳真號碼：04-26564415	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：莊士賢 研究人員：吳立中、范揚泓、余孟娟、 陳家銘、饒國清、邱啟敏、 林清睿、黃瓊珠 地址：70101 臺南市大學路 1 號 聯絡電話：06-2744058	研究期間 自 104 年 1 月 至 104 年 12 月	
關鍵詞：雷達監測、油污擴散、數值模式			
<p>摘要：</p> <p>港口地區的大型油污不但會對海洋生態及經濟活動造成嚴重衝擊，也影響到一個國家的門面。掌握油污發生區域與運動特徵，將能更有效地進行油污災情控制與清理工作。本研究計畫之目的為發展以X-Band雷達為基礎的海洋油污污染監控技術，同時建立油污擴散預報系統，透過監控與預報技術的整合，可以協助有關單位掌握油污染在時空中的變化情況。</p> <p>本研究計畫之工作期為三年，第一年(103年)已完成航海雷達遙測技術應用於海氣象特徵與海面油污監測之評估測試，評估適用於油污擴散模擬臺灣海流作業化海流預測模式等工作。本年度(104年)已完成工作分為三部分：第一部分油污監測方面以Cross Teager Kaiser Operator (CTKO)理論為基礎，建立雷達影像分析技術，提取出影像中所隱含的特徵資訊，並分別於安平港與臺北港進行航海雷達系統現場測試工作，測試重點聚焦於現場海面回波訊號之檢測以及雷達影像分析結果檢討。第二部分油污擴散模擬方面，完成臺北港與安平港三角網格建置，並以SMS軟體完成品質檢測，與完成臺北港與安平港的海潮流模擬測試，定性比對上符合潮汐一天兩次漲退潮的現象。並使用不同的初始與邊界條件作為潮汐常數輸入模擬海潮流，由統計分析比對實測資料結果顯示以(國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系)海岸模式應用研究室提供的臺灣附近海域潮汐水位模擬海潮流較佳。第三部分WERA方面，完成研究WERA系統原始資料的結構，解算出原始資料時序列，並從原始資料分析所得都卜勒能譜結果初步確認資料解算流程的正確性。</p> <p>本研究成果可提供本所後續計畫應用，後續將進行現場較長期實務操作測試，校驗海流模擬模式與油污擴散模擬模式以及系統之整合測試與實務操作。預期可獲得一套海洋油污污染監控與擴散模擬之技術，除可用於港域的環境安全維護與管理之工作，也能有效提升我國自主科技之水平。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
105年3月	170	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。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>(解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

<b>TITLE: Development of the Technology on Oil Spill Monitoring and Simulation (2/3)</b>			
ISBN 978-986-04-8216-4 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010500320	IOT SERIAL NUMBER 105-021-7861	PROJECT NUMBER 104-H3DB002b
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chien Chung-Ching PROJECT STAFF: Lee Chun-Ying PARTICIPATOR: Chien Er-Jier, Ma Wei-Lun, Chen Cheng-Yi, Chang Lee-Chung PHONE: 04-26587132 FAX: 04-26564415			<b>PROJECT PERIOD</b> FROM January 2015 TO December 2015
RESEARCH AGENCY: NCKU Research and Development Foundation PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chuang Laurence Zsu-Hsin PROJECT STAFF: Wu Li-Chung, Fan Yang-Ming, Yu Meng-Jiuan, Chen Chia-Ming, Jao Kuo-Ching, Chiu Chi-Min, Lin Ching-Jui, Huang Chiung-Chu ADDRESS: No. 1, University Road, Tainan, Taiwan 70101, R.O.C. PHONE: (06) 2744058			
<b>KEY WORDS: X-band Radar, Oil spill, SCHISM modeling</b>			
<b>ABSTRACT:</b>  <p>Oil spills in the ocean often have serious impacts on marine ecosystems and economic activity; however, oil spills can be effectively controlled and cleaned up if their temporal and spatial variations are well known. Due to the large scale detection capability in the space domain, remotely sensed images are often applied to detect the oil spills. Marine X-band radar, which was first used for navigation, is one of the most useful devices to detect the spatio-temporal variations of oil spill. In addition to oil spill detection, accurately forecasting oil spill movement is essential for planning and emergency decision making. The objectives of this project are to develop an oil spill detection technology based on marine X-band radar and to build up an oil spill forecasting system. The study will be performed in three phases. The first phase will propose the prototype of oil spill sensing technology based on the marine X-band radar and develop the numerical model for tracking oil spills. The second phase will test the radar system, ocean modeling and oil spill modeling. The final phase will integrate remote sensed data in the oil spill modeling. The results of this study can be used not only to assist authorities on the maintenance and management of environment safety, but also to improve technology for tracking the oil spills.</p> <p>The completed work in this year can be divided into three parts: The first part is oil spill monitoring. The image processing based on the algorithm of Cross Teager Kaiser Operator (CTKO) has been discussed and tested using simulated oil spill images. In the second part of the oil spill simulation: the high resolution triangular meshes have been built in Anping Harbor and Taipei Harbor. And then the ocean modeling and oil spill modeling have been build up and test. The qualitative analysis and quantitative analysis show that the simulation results are reasonable, especially tide current direction. It's worth noting that the resolution of partial tides as boundary condition has impact to tide current simulation. For the third part of this project, this study decoded and analyzed the data observed from WERA high frequency radar system, so as to obtain the sea surface velocity information.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2016	NUMBER OF PAGES 172	PRICE 200	<b>CLASSIFICATION</b> <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 海域油污監測與擴散模擬技術研發(2/3)

## 目 錄

摘 要 .....	I
目 錄 .....	III
表目錄 .....	IV
圖目錄 .....	V
第一章 計畫背景分析 .....	1-1
1.1 研究動機 .....	1-1
1.2 研究目的 .....	1-5
1.3 研究範圍與對象 .....	1-5
1.4 計畫工作項目 .....	1-5
1.5 工作執行進度 .....	1-6
第二章 海域油污遙測技術之建立 .....	2-1
2.1 上一年度(103 年度)研究成果彙整 .....	2-1
2.1.1 現有海域油污監測技術之檢討 .....	2-1
2.1.2 航海雷達偵測油污技術之檢討 .....	2-2
2.1.3 雷達監測技術之軟硬體規劃及設計 .....	2-3
2.1.4 海岸現場雷達監測作業之檢討 .....	2-4
2.1.5 海面回波影像處理之研究 .....	2-4

2.1.6	航海雷達之改裝及測試.....	2-5
2.2	航海雷達遙測技術發展現況的持續檢討 .....	2-5
2.2.1	現有海域油污遙測技術的持續檢討.....	2-6
2.2.2	航海雷達觀測波流技術的持續檢討.....	2-8
2.3	航海雷達影像分析方法之研究 .....	2-9
2.3.1	影像中特徵物辨識方法之持續研究.....	2-9
2.3.2	航海雷達觀測波流技術之建立.....	2-11
2.4	雷達系統之測試 .....	2-19
2.4.1	現場測試說明.....	2-19
2.4.2	海面特徵物偵測之測試.....	2-24
2.4.3	海面波流觀測功能之測試.....	2-35
2.5	雷達系統觀測流程之規劃 .....	2-43
2.6	作業化雷達觀測站之評估 .....	2-44
2.7	WERA 雷達資料分析及初步探討.....	2-51
第三章	海域油污擴散數值模擬.....	3-1
3.1	103 年度研究成果彙整 .....	3-1
3.2	數值模式介紹 .....	3-2
3.2.1	SCHISM 海洋模式物理公式.....	3-2
3.2.2	VOILS 溢油傳輸擴散模式.....	3-5
3.3	數值計算網格建置 .....	3-9
3.4	初始條件、邊界條件、及驅動力 .....	3-13

3.5 安平港潮流模擬 .....	3-18
3.5.1 海洋模式執行環境建置.....	3-18
3.5.2 模擬結果分析.....	3-21
3.6 油污擴散模式建置與案例蒐集 .....	3-25
3.6.1 油污擴散模式建置.....	3-26
3.6.2 基隆大武崙外海巴拿馬籍砂石船 瑞興輪觸礁溢油事件 .....	3-27
3.6.3 澎湖外海泰籍歐倍隆貨船擱淺溢油事件 .....	3-29
第四章 整合系統實務操作規劃.....	4-1
4.1 雷達與模式獲得結果之比對 .....	4-1
4.2 雷達與模式整合之規劃 .....	4-3
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-1
5.2 建議.....	5-3
參考文獻.....	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形答覆表.....	附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形答覆表.....	附 2-1
附錄三 期末簡報.....	附 3-1

## 表目錄

表 1-1 本計畫與環保署所權責海域油污監測工作之差異 .....	1-3
表 1-2 海面油污遙測載具之比較 .....	1-4
表 1-3 本計畫 104 年度工作進度甘特圖 .....	1-7
表 2-1 現行常見的各種油污遙測設備 .....	2-6
表 2-2 近幾年國際間所提出的航海雷達觀測波流技術 .....	2-9
表 2-3 本計畫雷達觀測所使用之參數 .....	2-13
表 2-4 安平漁港雷達與 AWAC 同步觀測結果之絕對差值 .....	2-37
表 2-5 臺北港雷達與富貴角浮標同步觀測結果之絕對差值 .....	2-41
表 2-6 富貴角浮標之風速風向觀測結果 .....	2-41
表 2-7 建置長期作業化雷達觀測站之評估 .....	2-45
表 2-8 港區內架設雷達適當位置之評估 .....	2-48
表 3-1 模擬結果與實測資料之統計分析 .....	3-25

## 圖目錄

圖 2.1 雷達監測技術建立之發展規劃.....	2-1
圖 2.2 雷達監測系統架構.....	2-4
圖 2.3 從衛星影像判斷油污的基本流程.....	2-8
圖 2.4 Cross Teager Kaiser Operator(CTKO)的影像測試 .....	2-11
圖 2.5 從雷達影像分析波浪與海流資訊之流程.....	2-14
圖 2.6 海面風與海流對油污漂移與擴散之影響.....	2-18
圖 2.7 海流與水深對波浪分散關係之影響.....	2-18
圖 2.8 臺南安平漁港現場測試之雷達系統架設位置 .....	2-20
圖 2.9 臺南安平漁港現場測試情形.....	2-21
圖 2.10 臺南安平商港現場測試之雷達系統架設位置 .....	2-21
圖 2.11 臺南安平商港南堤現場測試情形.....	2-22
圖 2.12 臺北港測試期間雷達觀測範圍與其他測站相對位置 .....	2-22
圖 2.13 本計畫團隊於臺北港進行臨時雷達站之架設 .....	2-23
圖 2.14 臺北港之雷達系統現場測試情形.....	2-23
圖 2.15 臺南安平港附近海域之蚵架.....	2-26
圖 2.16 臺南安平漁港現場測試取得之海面雷達回波影像 .....	2-27
圖 2.17 前圖(圖 2.16)影像經 CTKO 演算後之結果.....	2-27
圖 2.18 臺南安平商港現場測試取得之海面雷達回波影像 .....	2-28
圖 2.19 前圖(圖 2.18)影像經 CTKO 演算後之結果.....	2-28

圖 2.20	雷達觀測期間同步進行海面空拍試驗.....	2-29
圖 2.21	空拍機攝影並校正後所獲得之海面正射影像 .....	2-29
圖 2.22	空拍正射影像之局部影像特徵.....	2-30
圖 2.23	局部區域之海面正射影像.....	2-30
圖 2.24	前圖同一區域之雷達觀測影像.....	2-31
圖 2.25	空拍影像與雷達影像套疊之結果.....	2-31
圖 2.26	含有回波微弱區塊之臺北港雷達測試影像 .....	2-32
圖 2.27	前圖(圖 2.26)影像經 CTKO 演算後之結果.....	2-32
圖 2.28	前圖(圖 2.26)影像經二值圖像轉換後之結果.....	2-33
圖 2.29	影像經 CTKO 演算與二值圖像(圖 2.28)相乘之結果.....	2-33
圖 2.30	含有回波微弱區塊之臺北港雷達測試影像 .....	2-34
圖 2.31	前圖(圖 2.30)影像經 CTKO 演算與雜訊濾除後之結果.....	2-34
圖 2.32	模擬油污區域雷達回波衰減比例與 油污影像辨識效率之關係.....	2-35
圖 2.33	安平漁港現場測試取得之海面波紋雷達影像 .....	2-38
圖 2.34	港灣環境資訊網所提供 72 小時之觀測數據 .....	2-38
圖 2.35	安平漁港雷達與 AWAC 波浪觀測結果之比對 .....	2-39
圖 2.36	安平漁港雷達與 AWAC 流場觀測結果之比對 .....	2-39
圖 2.37	臺北港雷達與富貴角浮標波浪觀測結果之比對 .....	2-42
圖 2.38	臺北港雷達測得之一維海面能譜案例.....	2-42

圖 2.39	臺北港雷達測得之海面二維波數譜案例.....	2-43
圖 2.40	雷達系統觀測與演算流程.....	2-44
圖 2.41	安平商港附近之現場照片.....	2-46
圖 2.42	本計畫執行團隊拜會海巡單位.....	2-46
圖 2.43	臺北港區內鄰近防波堤之大樓.....	2-47
圖 2.44	高雄港區架設雷達之適當位置.....	2-49
圖 2.45	基隆港區架設雷達之適當位置.....	2-49
圖 2.46	花蓮港區架設雷達之適當位置.....	2-50
圖 2.47	臺中港區架設雷達之適當位置.....	2-50
圖 2.48	高頻雷達測得之都卜勒能譜範例.....	2-53
圖 2.49	WERA 系統之硬體架構.....	2-53
圖 2.50	臺北港 WERA 高頻雷達觀測系統天線.....	2-54
圖 2.51	WERA 高頻雷達天線回波原始資料內容.....	2-54
圖 2.52	WERA 高頻雷達天線回波原始資料之結構.....	2-54
圖 2.53	本計畫所解算出 WERA 雷達回波原始資料時序列.....	2-55
圖 2.54	單一距離單元之雷達回波都卜勒能譜.....	2-55
圖 2.55	不同距離單元之雷達回波都卜勒能譜.....	2-56
圖 2.56	陣列天線接收訊號之示意圖.....	2-58
圖 2.57	透過 Beam Forming 方法解算出之結果.....	2-59
圖 2.58	從陣列天線解算出徑向流速之結果.....	2-59

圖 3.1 油污擴散模擬技術之發展規劃.....	3-1
圖 3.2 SCHISM 海洋模式垂直座標系統.....	3-5
圖 3.3 油污擴散模擬流程圖.....	3-6
圖 3.4 港灣技術研究中心提供的地形水深資料圖.....	3-9
圖 3.5 水深地形資料匯入 SMS 軟體.....	3-10
圖 3.6 定義計算區域之陸地與海域邊界.....	3-11
圖 3.7 建置之三角形網格.....	3-11
圖 3.8 檢查三角網格品質.....	3-12
圖 3.9 安平港模擬範圍與計算網格圖.....	3-12
圖 3.10 FES2004 潮汐模式模擬 M2 分潮於全球分佈的情形.....	3-13
圖 3.11 海岸模式應用研究室提供的八個分潮.....	3-14
圖 3.12 NODC/WOA 1 度解析度之全球溫度分佈圖.....	3-15
圖 3.13 NODC/WOA 1 度解析度之全球鹽度分佈圖.....	3-15
圖 3.14 45 公里解析之 WRF 區域數值預報模式計算範圍.....	3-16
圖 3.15 15 公里解析之 WRF 區域數值預報模式計算範圍.....	3-17
圖 3.16 5 公里解析之 WRF 區域數值預報模式計算範圍.....	3-17
圖 3.17 SCHISM 海洋模式建置流程圖.....	3-20
圖 3.18 以海岸模式應用研究室提供之潮汐常數模擬 安平商港及附近海域海潮流結果.....	3-22
圖 3.19 以 FES2004 提供之潮汐常數模擬 安平商港及附近海域海潮流結果.....	3-23

圖 3.20 不同潮汐常數之模擬流速與 安平港實測流速比對時序列圖 .....	3-25
圖 3.21 不同潮汐常數之模擬流向與 安平港實測流速比對時序列圖 .....	3-25
圖 3.22 油污擴散模式建置流程圖 .....	3-26
圖 3.23 瑞興輪擱淺與油污情況.....	3-27
圖 3.24 瑞興輪大量重油外洩造成嚴重污染， 新北市環保局派員在岸邊鋪設攔油索 .....	3-28
圖 3.25 瑞興輪大量重油外洩造成岸邊礁石嚴重污染 .....	3-28
圖 3.26 溢油實際影響海岸地點.....	3-29
圖 4.1 臺南安平港雷達與模式所求得流場結果之比對 .....	4-2
圖 4.2 臺北港雷達與模式所求得流場結果之比對.....	4-2
圖 4.3 雷達與模式整合系統之流程.....	4-3
圖 4.4 極座標系統之雷達影像.....	4-4
圖 4.5 轉換為地理座標系統後之雷達影像.....	4-5
圖 4.6 雷達影像經油污辨識後所決定出的質點.....	4-6
圖 4.7 本計畫所規劃由雷達提供給模式的資料範例 .....	4-7
圖 4.8 機動式雷達站因應海域油污之作業流程.....	4-8
圖 4.9 固定式雷達站因應海域油污之作業流程.....	4-9

# 第一章 計畫背景分析

## 1.1 研究動機

東亞島弧位居全球最大陸地與最大洋之間，其地理位置極具經貿價值。臺灣位處東亞島弧中樞，西邊隔著臺灣海峽與中國大陸此一龐大消費市場相鄰；向北可連結日本與韓國等貿易大國；向南則可通往新興東協市場。由於臺灣本身地理條件之優勢，造就了環島多個國際商港的蓬勃發展，也使航運貿易成為我國主要的經濟活動之一。有鑒於港口是一個國家的門面，港口區域的環境品質可說是代表了國家的管理能力，斷不可輕忽。由於港岸區域為海水與人工結構物的交界區，受到海域地形與人工防波堤等影響，加上船艦進出頻繁，致使水文條件極為複雜，一旦船艦不慎發生漏油事件，將對船艦進出港與停泊的安全、港岸區域的環境生態造成嚴重影響。

船艦在航行、裝卸、排洩、修理、打撈、拆解與清艙等過程皆有可能造成污染，其發生的原因可分為意外造成的污染與故意或操作性的污染。隨著全球海運業務的蓬勃發展與環保意識的抬頭，在海洋環境法公約中相當重視船舶污染，歷年防止船舶油污或其他污染相關之國際公約如下(交通部，2013)：

- (1) 1954 海洋油污防止國際公約；
- (2) 1958 公海公約；
- (3) 1969 對於公海油污意外事件行使介入權國際公約；
- (4) 1973 船舶污染防治公約；
- (5) 1978 船舶污染防治公約 1978 議定書；
- (6) 1982 聯合國海洋法公約；
- (7) 2004 國際船舶壓載水和沉積物控制與管理公約草案。

依 1982 年海洋法公約所界定之海上污染，認定來自船舶的污染物是海洋污染的主要來源之一。根據統計，海上油污的污染來源有 48% 來自於燃油、29% 則來自於原油(Fingas, 2000)。海上運輸工具所載運之

油料洩漏、或污水傾倒注入海洋後，海域被這些物質污染，進而影響生物之生態平衡，並造成水產資源的嚴重損失。根據北海行動論壇全球協會(Bremer Umweltvereins Aktionskonferenz Nordsee)公佈的資料顯示，全球海域每年大約有超過 300 萬噸的廢油漂流於海上，其中有 13% 是來自於船難漏油。尤其臺灣海域為東亞航運之重要航路，經濟快速發展使得臺灣對外的航運更趨頻繁，尤其是石化工業的興起，油品及化學品的進出口更增加了港岸環境管理的不確定性，例如民國 97 年 11 月 10 日巴拿馬籍 Morning Sun(晨曦號)汽車貨輪擱淺臺北縣石門鄉外海，即造成海洋油污污染。

油污洩漏後，會產生各種風化過程，除了隨水流、潮流和風向造成水平擴散之外，部分會蒸發；還會與垃圾漂浮物混合，或是與沉澱物結合而成垂直擴散，或是滲入沙灘；還會被海中生物分解後，再被魚蝦等生物攝食。因此若能在事發現場**即時掌握油污擴散範圍**，並有效**掌握未來的油污擴散方向**，將可有效降低對自然環境的衝擊。為能控制海上油污，目前常見的方法是透過攔油索控制油污的擴散，但若無法事先掌握海流的運動特性，從中預測出油污的漂移路徑，則無法有效地透過攔油索控制海上油污。

根據我國海洋污染防治法(103 年 6 月 4 日修正)之規定，行政院環境保護署(簡稱環保署)為海洋污染防治的主管機關。為防治海洋污染、保護海洋環境、維護海洋生態，以確保國民健康及永續利用海洋資源，環保署已發展出利用無人飛機、衛星、及 X-band 雷達等平臺為基礎的監測技術。根據海洋污染防治法第二條之規定，該法適用範圍(亦即環保署針對海域油污之權責監控範圍)包括了中華民國管轄之潮間帶、內水、領海、鄰接區、專屬經濟海域、及大陸礁層上覆水域。相較於環保署之執掌，我國海洋污染防治法第十一條也規定：各類港口管理機關應依該法及其他相關規定採取措施，以防止、排除或減輕所轄港區之污染。據此，各類港口管理機關仍應對其所轄區域內之油污染，建立必要的監控與處理能力，以避免污染擴散至轄區範圍以外區域。本案與環保署就海域油污監測工作之差異整理如表 1-1。此外，交通部運

輸政策白皮書(海運)的政策四之策略 16 明訂其中一項行動方案為「強化商港區域油污污染防治能力」。

**表 1-1 本計畫與環保署所權責海域油污監測工作之差異**

差異項目	行政院環境保護署	本計畫
目的	管轄海域污染防治	確保港口附近水域之環境品質
觀測設備	空拍機、衛星、X-band 雷達	X-band 雷達
雷達觀測技術來源	商業化產品	自主研發技術
監控範圍	我國之內水、領海、經濟海域、大陸礁層上覆之水域	港口附近水域

傳統的污染偵測大都以現地採樣實測為主，但考慮海域油污問題之複雜性、突發性、和影響範圍，傳統的現地檢測方法有其實際作業的困難與限制，且常無法在空間與時間上取得有效的資訊。二戰後，隨著遙測(remote sensing)技術的蓬勃發展，「海洋遙測」已成為海洋相關學科研究領域探索各種海洋現象的重要工具。相較於現場(in-situ)量測技術可獲取準確客觀的時間域數據，且具有高度自動化與作業化之優勢；遙測技術則以感測器可隔空探測目標，且具有「廣景覽要」之優勢見長。港灣附近海域的海洋遙測是目前在國外積極著手研究之課題，我國在此時開始為時並不算晚。表 1-2 為目前常見的三種不同海面油污遙測載具之優勢比較。利用無人飛機攝影可取得光學影像，相對易於目測辨識，提供相對較為直接的海面油污證據。衛星微波遙測及岸邊 X-band 雷達遙測則是依據電磁波在乾淨海面與油污覆蓋海面之間所產生回波強度的差異，藉以辨識油污覆蓋之範圍。由於衛星居高臨下，可取得及大範圍的海面影像，一般而言，影像大小可達百公里乘百公里的範圍，且可取得遠洋的海面影像。但大多數的觀測衛星都屬於軌道衛星，要透過衛星對相同的海域進行連續監測，必須考慮到衛星的再訪率。岸邊 X-band 雷達遙測則可進行固定海域的連續監控，且雷達微波不受夜間能見度不佳之限制，可進行不間斷的海面監控。針對港灣附近水域的油污監控，較適合使用近岸高解析度的不間斷監

測技術。經綜合評估，岸邊 X-band 雷達遙測為監控港灣附近水域油污特徵的適合工具。

表 1-2 海面油污遙測載具之比較

	技術優勢
空拍機攝影	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 機動性高</li> <li>(2) 光學影像相對較易於目測辨識</li> <li>(3) 監測成本低</li> <li>(4) 減少到海上工作之危險性</li> </ul>
衛星微波遙測	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 觀測範圍大</li> <li>(2) 可取得遠洋的海面影像</li> <li>(3) 不受日夜與能見度之影響</li> <li>(4) 不受雲雨影響</li> <li>(5) 減少到海上工作之危險性</li> </ul>
岸邊 X-band 雷達遙測	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 可進行定點連續監控</li> <li>(2) 不受日夜與能見度之影響</li> <li>(3) 觀測範圍可達數公里</li> <li>(4) 縮短維護時間，減少資料漏失率</li> <li>(5) 監測成本低</li> <li>(6) 減少到海上工作之危險性</li> </ul>

針對海面油污漂移資訊的取得，目前國內外主要都是依靠海域環境監控或是電腦數值模擬這兩種方法進行之。其中應用遙測科技於海洋油污染監測可以有效協助掌握污染在時間與空間上的變化情況；而結合模擬海潮流運動之三維水動力模式及預測洩油漂移軌跡之數值模式，則能準確地預測外洩油污之漂移軌跡及其擴散範圍。隨著海洋污染法的通過與實施，一套有效的監測、預警與決策整合系統之建立是港口管理單位迫切需要的，尤其是面對複合性災害，整合性之資訊更是必需的。根據本研究計畫所規畫的三年期工作項目的預期相關成果必可有效協助權責單位進行港域的環境安全維護與管理的工作。

## 1.2 研究目的

本研究計畫之目的為以遙測技術為基礎，開發海域油污監測技術，同時建立海域油污擴散預測系統，協助掌握污染在時間與空間上的變化情況。透過海域油污的即時監測與擴散模擬，提供作為早期預警與管理的工具；一旦船難發生時，亦可立即依據油污即時監測與油污擴散預測系統，提供緊急應變單位預測油污染的漂移方向及擴散範圍。此外，緊急的海難救助之搜尋工作，亦亟需詳盡的全域三維海流資訊，以提供救難單位即時預測評估搜救對象的可能地點，減低搜尋資源投入的成本，確保搜尋作業時效。

## 1.3 研究範圍與對象

本研究計畫將研究範圍聚焦於港灣附近之小尺度(數公里內)水域，研究對象為油污監測與油污擴散預測之自主技術研發。

## 1.4 計畫工作項目

本年度(104年)為計畫第2年，依據103年度航海雷達改裝及實驗室測試與模式評估測試後，本年度對於觀測準確度需持續深入瞭解，進行現場測試及驗證，以及建置海流模式預報和油污擴散預報模式。進行之工作項目如下：

1. 蒐集目前航海雷達遙測技術分析與海流預報模式的發展現況，進而引入分析方法、模式發展、作業策略、資料需求、預報能力、及軟體相關技術等項目。
2. 航海雷達遙測資料分析方法之研發與驗證：進行實驗室及港灣區域之現場測試，以及遙測資料分析方法之研發與驗證，評估波浪及油污即時監測準確度，並對航海雷達應用於區域流場進行分析評估。研擬各主要商港適當觀測點，並選定「臺北港」及「安平港」，進行測試。
3. 臺灣海域海流預報模式之建置與測試：訂定率定與驗證年份，並收集相關資料以資校驗，進而建置及測試臺灣海域港灣細格

點模式，評估主要商港「臺北港」及「安平港」，進行驗證海流模式。

4. 油污擴散預報模式之建置與測試：蒐集油污擴散案例以資校驗，進而建置及測試臺灣海域港灣細格點模式。
5. 進行航海雷達遙測作業化及油污擴散預報系統作業化整合系統實務操作規劃。
6. 交通部運輸研究所臺北港 WERA 雷達資料分析及初步探討。

## 1.5 工作執行進度

本計畫為三年期(103~105 年)計畫，本年度 (104 年度) 工作之執行進度如表 1-3 所示。

表 1-3 本計畫 104 年度工作進度甘特圖

工作項目	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
蒐集目前航海雷達遙測技術分析	■	■	■						
蒐集海流預報模式的發展現況	■	■	■						
航海雷達遙測資料分析方法之研發與驗證			■	■	■	■	■	■	
臺灣海域海流預報模式之建置與測試	■	■	■	■	■	■	■	■	■
油污擴散預報模式之建置與測試	■	■	■	■	■	■	■	■	■
交付期中報告					■				
臺北港 WERA 雷達資料分析及初步探討				■	■	■	■	■	■
整合系統實務操作規劃								■	■
交付期末報告									■
工作進度估計百分比(累積數)	10%	20%	30%	40%	55%	65%	75%	85%	100%
預定查核點	第 1 季: 蒐集航海雷達遙測技術與海流預報模式的發展現況。 第 2 季: 航海雷達遙測資料分析方法之建置與臺灣海域海流預報模式與油污擴散預報模式之建置。 第 3 季: 臺北港 WERA 雷達資料分析及初步探討結果呈現。 第 4 季: 臺灣海域海流預報模式與油污擴散預報模式之測試。整合系統實務操作規劃。								
說明:(1)工作項目視計畫性質及需要或依研究計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示起訖日期。 (2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需,累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。 (3)每季之「預定查核點」,請在條形圖上標明※號,並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。									

■：規劃進度      ■：完成進度

## 第二章 海域油污遙測技術之建立

海域油污遙測技術為本研究計畫的兩大工作重點之一。圖 2.1 為本研究計畫針對雷達監測技術之三年整體發展規劃，計畫第一年之重點為技術之研發；第二年則著重於系統之現場試驗與檢討；第三年則將聚焦於監測技術與數值模擬結果之整合工作。本研究計畫第二年之雷達監測技術之研究方法及進行步驟請參見本節以下說明。

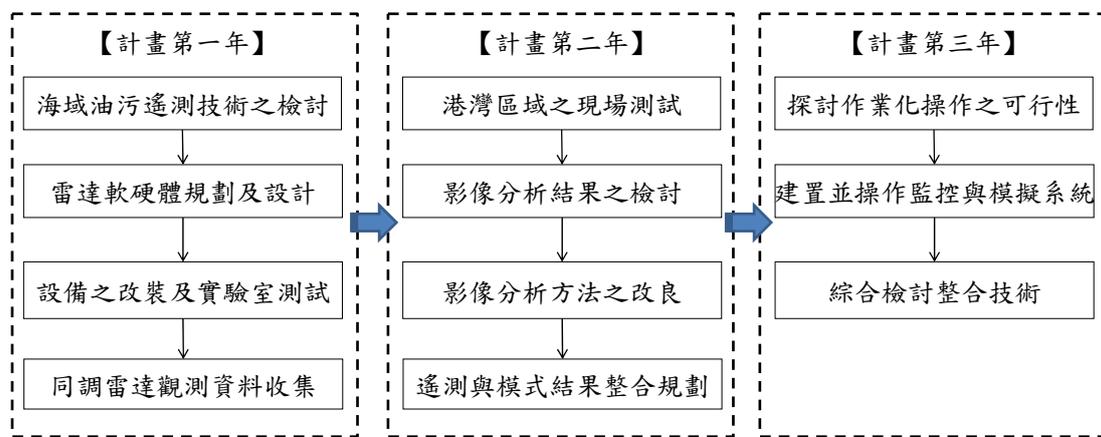


圖 2.1 雷達監測技術建立之發展規劃

### 2.1 上一年度(103 年度)研究成果彙整

本研究計畫為三年期計畫，為能在前一年的基礎下持續發展相關之技術，本研究計畫彙整上(103)年度的執行成果敘述如下：

#### 2.1.1 現有海域油污監測技術之檢討

非接觸式海洋遙測技術已受到相當重視且廣泛應用，如利用光學攝影或是雷達感測的方式，取得廣大海面資訊。其中衛星及航空方式搭載雷達進行海洋遙測的技術發展已有超過三十年的發展歷史，且已發展出從衛星攝得之海洋波場影像中取出海洋環境資訊的方法(Doong et al., 2003)。衛星遙感在大尺度、時變性低的海洋環境現場研究上具有相當大的優勢，自 1990 年代初期就有學者利用衛星影像進行油污監測

之工作(Bern et al., 1993)。由於可全天候進行大型空間尺度範圍之偵測，許多研究針對衛星所搭載之合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR)所測得之海面影像發展不同的影像演算法，並透過衛星影像分析，從中判讀海面油污之特徵。然而由於軌道運行之特性，一般非同步衛星 (asynchronous satellite) 之再訪率較長，有時為一天，有時達數天，不易達到作業化油污連續監測之目的。

由於海面油污事件並非規律發生，為能隨時進行應變，國際間已發展出在岸上或是船載儀器，對海面進行監測的技術。本計畫彙整出現有之油污監測技術，包括：

1. 透過目視或是攝影機等光學技術進行海面監測；
2. 透過紅外線掃瞄的方式偵測海面油污；
3. 透過雷射螢光計偵測海面油污；
4. 透過輻射計偵測海面油污；
5. 透過微波雷達技術偵測海面油污。

### 2.1.2 航海雷達偵測油污技術之檢討

應用船用 X-band 雷達發展海面油污監測技術具有極大之潛力。相較於以衛星、飛機或是船艦作為載臺之方式，X-Band 雷達也可固定架設於岸邊，只要提供穩定電力即可在時間上持續觀測大範圍空間面上的海面狀況，屬於一種兼具時間與空間海象資訊的三維度觀測技術。此外，X-Band 航海雷達可隨海域漏油事件發生地點機動設置且可連續監測，在油污擴散之時空掌握上岸邊或港邊的雷達監測較符合應用需求。有關雷達油污監測是國際間所積極著手研究之課題。在 1990 年代已有學者透過實驗證實 X-band 電磁波在油污監測應用之效果較 L-band 與 C-band 更理想(Fingas and Brown, 1997)。此外，針對油污監測之應用，早期有 Tennyson (1985)評估航海雷達應用於海面油污監測之可行性，並成功偵測到距離雷達天線 8km 之海面油污特徵。後期則有挪威的團隊投入此一領域之研究，並推出以航海雷達為技術核心的商業化監測系統(Egset and Nøst, 2007)。

利用雷達電磁波偵測海面油污之原理是立基於電磁波接觸到乾淨海面與油污所覆蓋海面會產生不同的回波效果。航海雷達雖具有監測海面油污之能力，但每一項觀測設備都有其使用之限制，航海雷達也有其適用之環境條件。本計畫彙整出影響雷達監測油污之條件包括：

1. 風速：較適合雷達監測油污之風速條件約介於 2~14m/sec 之間。
2. 波浪：須進行連續影像序列對其時間域進行平均，藉以將海面影像的重力波特徵移除。
3. 降雨：降雨強度愈強以及電磁波長愈短時，電磁波隨距離之衰減效應會越明顯。
4. 海面湧升流：湧升流可能會造成海面黏滯性的改變，進而影響雷達在海面產生的回波強度。

### 2.1.3 雷達監測技術之軟硬體規劃及設計

本計畫所規劃之雷達觀測系統的作業架構如圖 2.2 所示。為能達到油污監測之目標，需整合下列三項關鍵技術，作為雷達遙測技術之核心：

1. 雷達硬體技術：為能將商用雷達設備應用於油污監測，有必要進行部分硬體與功能之確認。因雷達的各種技術參數必須選擇得當，本計畫檢討各參數對雷達系統監測油污的影響。
2. 高速訊號取樣技術：本計畫針對雷達訊號採用高速取樣頻率，以 20MHz 的取樣頻率擷取雷達訊號，可取得之雷達影像空間解析度為 7.5m/pixel，以確保失真情形不易發生。
3. 影像分析技術：影像分析技術是從海面雷達回波影像獲得油污資訊的核心。本計畫建立一套影像時序列的分析方法，藉以從三維度的海面回波影像資料中求取出所需資訊。



圖 2.2 雷達監測系統架構

#### 2.1.4 海岸現場雷達監測作業之檢討

雷達系統設置於岸邊，雖可少去在海上工作之危險性，但並非岸上任何地點均適合架設雷達天線，測站設置處必須考量諸多因素，包含架設位置、電力供給、系統安裝的困難度等。本計畫針對雷達觀測站的上述因素進行檢討與評估，藉以作為未來進行海面監測作業之參考。

1. 雷達架設位置：雷達觀測範圍與天線架設高度有關，雷達架站的優先選擇為附近海岸地區的制高點。除天然之地勢之外，在現場還可考慮建築物頂樓進行雷達架設的可行性。
2. 雷達系統的電力供給：在海岸現場沒有穩定市電的條件下，使用 2000W 之汽油發電機已足夠負荷整個系統運作 8 小時所需電力。
3. 現場系統組裝：本計畫所設計之雷達觀測系統元件包含有雷達天線本體、天線支架、電腦系統、發電機、無線網路通訊設備等。上述設備利用一般休旅車即可裝載，到現場之後理論上在半小時之內即可完成系統組裝，並啟動監測作業。

#### 2.1.5 海面回波影像處理之研究

由於雷達觀測屬於間接式的遙測技術，在觀測過程當中，外在環境會對觀測結果造成一定程度之影響。在觀測區域的雷達影像訊號中，一些會影響到海面回波訊號偵測的電磁回波，皆視為雜訊。為能

更完整的取得研究所需之回波資訊，本計畫於雷達影像分析過程的前期進行影像訊號減噪的研究。本計畫進行不同影像處理以及演算法之研究：

1. 影像濾波方法：影像訊號減噪最直接的做法就是進行濾波 (filtering)。本計畫發展各種具有潛力的油污影像處理方法，一旦取得實際油污影像就可深入檢討各種影像處理方法的實際效果，並檢討結合不同影像處理方法的可行性。
2. 影像特徵成分拆解演算法：本計畫引入具有分析非均勻訊號的高維度系集經驗模態法作為解析影像局部特徵的基礎。
3. 影像特徵辨識演算法：本計畫研究影像特徵邊緣偵測演算法，藉以協助界定出油污分布範圍。

### 2.1.6 航海雷達之改裝及測試

本計畫於系統架設前先於實驗室進行雷達訊號之檢驗與確認。透過實驗室訊號測試與確認之後，本計畫進一步前往海岸現場進行雷達系統之測試。由於海面油污染為偶發事件，在等待實際油污事件發生時以進行現場測試前，本計畫先透過偵測海面上特殊之特徵作為前期測試。為明確掌握本計畫所建置雷達系統之實用性，本計畫進行三次航海雷達系統的海岸現場測試工作。測試地點為臺南安平漁海域，測試重點聚焦於現場海面回波訊號之檢測與雷達影像分析結果之檢討。本計畫利用影像演算法進行現場海面回波影像之分析，結果顯示影像演算法能界定出海面蚵架之分布範圍。未來在取得海面油污影像之後，本計畫將依照此一影像處理方法進行油污分布範圍之界定。

## 2.2 航海雷達遙測技術發展現況的持續檢討

本研究計畫於第一年度已針對航海雷達遙測技術的發展現況進行文獻收集與檢討。本年度持續收集相關文獻，針對現有海域油污遙測技術與航海雷達偵測波流技術等重要議題進行持續檢討。

### 2.2.1 現有海域油污遙測技術的持續檢討

由於遙測具有廣景覽要的優勢，國際間已發展出不同的油污遙測技術。Jha et al. (2008) 檢討過現行所使用的各種油污遙測設備，包括：可見光感測器(Visible Sensors)、紅外線感測器(Infrared Sensors)、紫外線感測器(Ultraviolet Sensors)、雷達(Radar)、輻射計(Microwave Radiometer)、雷射螢光計(Laser Fluorosensor)、油污厚度感測計(Laser-acoustic Oil Thickness sensor)等，本計畫將相關技術說明綜整於表 2-1。相關感測器搭載於不同載具則能產生不同的監測效果，其中衛星具有極大範圍的監測優勢，國際間已大量使用衛星作為油污遙測的重要工具(Bern et al., 1993)。國內也有發展利用光學(SPOT)以及雷達(ERS-1,2/SAR)衛星影像進行油污監測之研究(國立中央大學太空及遙測研究中心，2000)。

表 2-1 現行常見的各種油污遙測設備

設備名稱	觀測原理	特性說明	相關研究文獻
可見光感測器	光學偵測	成本較低且易於操作，適用於能見度佳之海域。	Wadsworth (1992)
紅外線感測器	偵測油污的熱能	屬於被動感測設備 (passive sensors)，適用於偵測厚度較厚的油膜。	Salisbury et al. (1993)
紫外線感測器	偵測油污的紫外光輻射	可偵測很薄的油膜，但不適用於夜間觀測。	Grüner (1991)
雷達	偵測油污與乾淨海面電磁回波之間的差異	有適用風速之限制	Jones (2001)
輻射計	偵測油污所產生較強烈的輻射	具有量測油污厚度的潛力	Brown and Fingas (1997)
雷射螢光計	偵測油污因吸收紫外光後產生的螢光(電子被激發)	夜間適合近距離觀測	Goodman (1994)
油污厚度感測計	利用超音波進行感測	屬於主動感測設備，日夜皆可監測，但須能見度佳。	Brown et al. (2006)

衛星所搭載雷達偵測海面油污的物理基礎與岸基雷達相似，是基於雷達回波散射強度會因為油污產生之阻尼現象(抑制表面之毛細波振幅)而降低。當毛細波在一有黏性薄膜(海面油污)水面傳播時，造成薄膜的局部幅聚(convergent)與幅散(divergent)面會產生 Marangoni 波。海面油膜對短波長重力波和毛細波具有一定的抑制作用，稱為 Marangoni damping (Wismann and Theis et al., 1993; Lombardini and Piazzese et al., 1982)。Marangoni damping 指的是海面短重力波被黏性表面薄膜抑制的現象(Alpers and Hühnerfuss, 1988)。這是由於表面張力不同的二種液體(海水與油污)介面存在表面張力梯度。表面張力大的液體對其周圍表面張力小的液體的拉力強，產生表面張力梯度，致使液體從表面張力低向張力高的方向流動。海水的表面張力約為 60~65 mN/m；油類的表面張力值根據構成情況有所不同，但通常約為 20 mN/m (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited, 2012)。Marangoni 於 1870 年代提出一系列研究結果，指出表面張力梯度會造成兩流體介面間的不穩定現象，後續 Lucassen Reynders 則使用 Marangoni wave 或 Longitudinal wave(縱波)描述這種介面間的震盪現象(Lombardini et al., 1982)。Alpers and Hühnerfuss(1988)指出 Marangoni wave 會明顯受到黏性消散(viscous dissipation)的影響而被抑制。當海面的毛細波與 Marangoni wave 產生共振，海面毛細波會隨之被抑制住。因油污黏滯性的影響，抑制了海面的布拉格波(可造成雷達電磁波產生布拉格散射之海面波浪條件，也就是海面的毛細波)，進而影響海面電磁波布拉格散射的效應。此一機制是從雷達影像中區分油污與一般乾淨海面之間差異的重要物理基礎。

不論是光學影像亦或雷達影像，都有可能出現誤判油污事件的情況發生。例如海面產生懸浮生物膜(biogenic slicks)會造成黏滯性的改變，因而抑制了海面的毛細波，可能進而造成影像資訊的誤判。此外，陸地對風域的遮蔽也會減少海面毛細波的發生，進而影響海面雷達影像之回波強度。有鑑於此，如何辨別真實海面油污遙測影像與疑似(look-alikes)油污之影像，是海上油污控管的重要關鍵。國際間針對遙測影像的後端分析提出不同的影像分類或是辨識方法，例如 Topouzelis

(2008)就曾針對衛星影像資料判斷油污資訊的基本流程進行檢討，如圖 2.3 所示。然而人工判釋需要耗費極大的人物力，Del Frate et al. (2000) 則提出利用類神經網路自動判斷衛星影像資料的油污資訊，可大幅減少人力的投入。

考慮到衛星再訪率的限制，國外有研究團隊藉由航海雷達具有短時間內連續偵測海面的優勢，發展航海雷達油污監測技術，並已透過實際出海測試確認其可行性(Noest and Egset, 2006)。本計畫則嘗試透過前端雷達硬體設備的整合與後端影像辨識演算法之建立，建立國內完全自主的航海雷達油污監測技術。

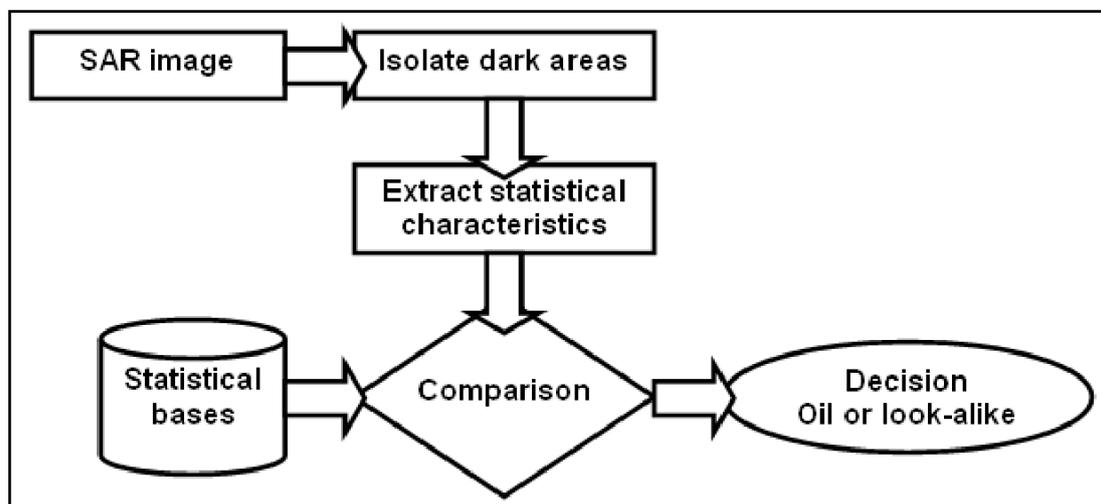


圖 2.3 從衛星影像判斷油污的基本流程  
(資料來源：Topouzelis, 2008)

### 2.2.2 航海雷達觀測波流技術的持續檢討

將航海雷達應用於海象觀測的學理基礎雖然於 1980 年代就已被提出(Young et al., 1985)，但近年來仍陸續有學者提出新的改進技術。如表 2-2 所示，Chen et al. (2014)就提出利用經驗正交函數(empirical orthogonal function) 求取雷達影像序列的主成分(principal components)，再從中計算出海面波高值。Huang and An (2014)則提出利用最小平方法(iterative least-squares)求解海面流場。Ludeno et al.

(2014)根據正規化的純量積(normalized scalar product method)分析雷達影像，並求取波浪譜參數。本計畫將持續掌握最新的航海雷達影像分析技術，並評估應用於我國港口附近水域波流觀測的可行性。

**表 2-2 近幾年國際間所提出的航海雷達觀測波流技術**

演算技術核心	分析項目	相關研究文獻
經驗正交函數	波高	Chen et al. (2014)
最小平方法	海面流場	Huang and An (2014)
正規化的純量積	波浪譜	Ludeno et al. (2014)

## 2.3 航海雷達影像分析方法之研究

### 2.3.1 影像中特徵物辨識方法之持續研究

為能更有效從 X-band 雷達回波影像中提取出海面油污特徵，本研究計畫是透過影像處理來進行影像特徵強化。由於雷達觀測屬於間接式的遙測技術，在觀測過程當中，外在環境或多或少會對觀測結果造成一定程度之影響。在觀測區域的雷達影像訊號中，一些會影響到海面回波訊號偵測的電磁回波，皆視為雜訊。由於 X-band 之電磁波對於海面之重力波(風浪)會產生較為強烈之回波，而這些重力波之波紋會影響油污目標物之判讀，因此可透過影像訊號減噪來弱化其影響，其中最直接的做法就是進行濾波(filtering)。濾波程序雖可能會影響後續的影像特徵邊緣偵測的結果，然而本研究計畫前期工作的重點為發展各種具有潛力的油污影像處理方法，一旦取得實際油污影像就可深入檢討各種影像處理方法的實際效果，並檢討結合不同影像處理方法的可行性。此外，一些海面船艦所造成的強烈回波，也有可能影響到海面回波訊號之識別。為能更完整、有效地取得所需之回波資訊，本計畫於第一年的雷達影像分析技術開發中已進行影像訊號減噪的研究，也進行影像特徵邊緣偵測演算方法的研究，藉以協助界定出油污分布範圍。影像邊緣檢測的數學方法是利用回波影像的梯度值(gradient)變化來找出回波影像強度值有劇烈變化或是有突然改變的邊界位置，包

括一階梯度值和二階梯度值都是判斷影像邊界的重要工具。本年度以第一年度已研發的影像減噪及邊緣偵測之演算方法為基礎，本年度引入一套影像邊緣特徵強化之方法 — 2D Cross Teager Kaiser Operator (CTKO)，該法的理論基礎是根據牛頓運動定律所推導出的 Teager transform (Kaiser, 1990)，優勢為具有分析非線性影像訊號之特徵。往昔 Teager transform 主要被應用於一維時序列訊號的瞬時(instantaneous)能量分析，經由多位學者的努力，現已將原有的 Teager transform 拓展為高維度資料的分析(Yu et al., 1991)，並已成功應用至影像特徵的強化 (Cexus et al., 2010)。假設被分析的空間影像為  $I(x, y)$ ，其二維度的 Teager Kaiser Operator 可定義為：

$$\Psi_R(I) = (\nabla I)^2 - I\Delta I \dots\dots\dots (2-1)$$

上式中  $\nabla$  與  $\Delta$  分別為空間影像的梯度(gradient)與 Laplacian 運算元。有學者基於上述理論基礎，更進一步提出 Cross Teager Kaiser Operator 的影像分析方法，其原理在於比較兩張特徵相近的影像，並將兩張影像中共有的邊緣特徵強化出來。假設被分析的兩張空間影像分別為  $I(x, y)$  與  $J(x, y)$ ，其 Cross Teager Kaiser Operator 可定義為：

$$\Psi(I, J) = \frac{1}{2}[\nabla I^* \nabla J + \nabla I \nabla J^*] - \frac{1}{4}[I\Delta J^* + I^* \Delta J + J\Delta I^* + J^* \Delta I] \dots\dots\dots (2-2)$$

上式中 \* 代表函數的共軛複數。圖 2.4 為相關研究文獻針對 Cross Teager Kaiser Operator (CTKO)的影像測試結果，從分析結果確認兩張空間影像中共有的特徵將可被強化並求取出其特徵之邊緣，而僅出現於單張影像的特徵再經由 Cross Teager Kaiser Operator 分析後，其影像特徵可以被有效移除。

針對雷達影像所呈現的海面特徵，可將其分類為三類：第一種為在短時間(數秒鐘到數分鐘)內就會移動的特徵(如海面波紋、移動中的船艦回波等)；第二種為需要較長的時間(數分鐘到數小時)才能偵測到其移動的特徵(如油污、蚵架等)；第三種是幾乎長時間恆定不動的(如港口防坡堤、岸邊結構物等回波)。因本計畫針對雷達系統作業化的規

劃為系統逐時或每小時進行兩次觀測，而每次啟動時(如整點或每半小時)會進行連續 128 張回波影像資料的擷取，然後透過 Cross Teager Kaiser Operator 的技術，應可針對不同類型的影像特徵進行篩選，進而能更有效將油污特徵資訊取出。

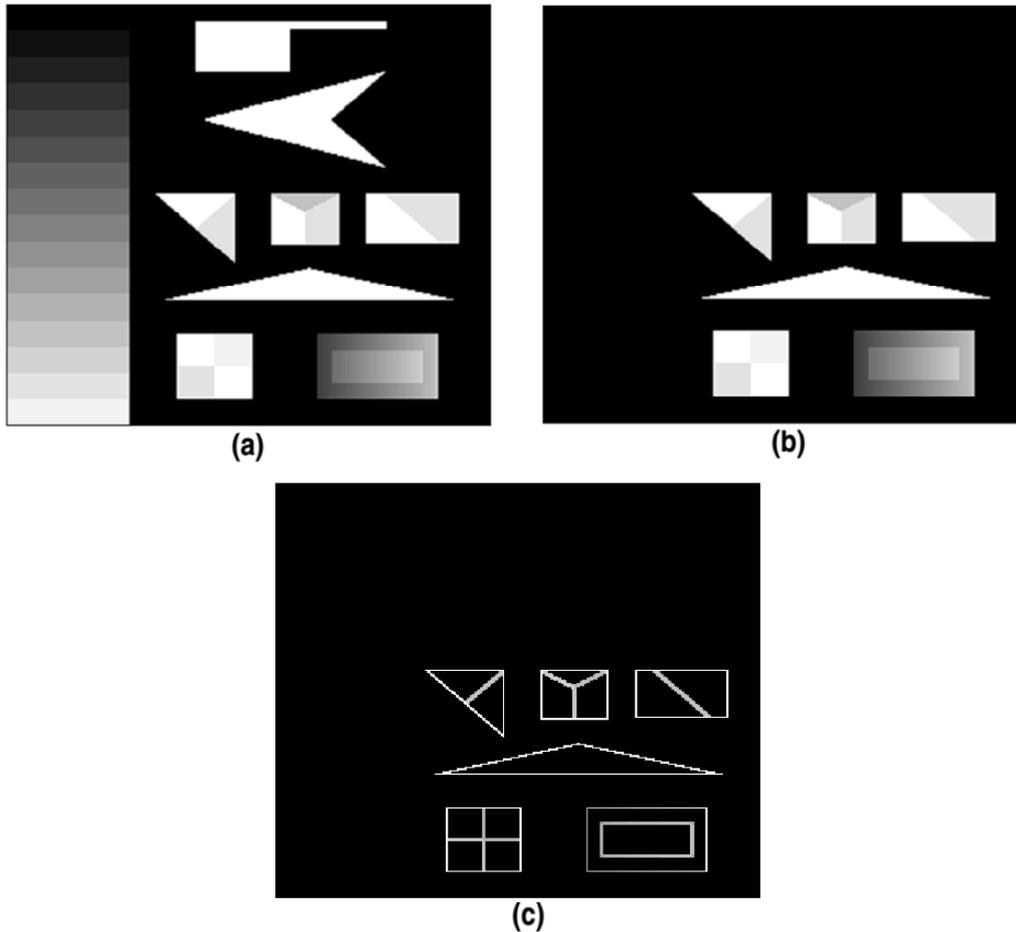


圖 2.4 Cross Teager Kaiser Operator(CTKO)的影像測試：  
(a)與(b)分別為兩張影像案例；(c)為 CTKO 分析結果。  
(資料來源：Cexus et al., 2010)

### 2.3.2 航海雷達觀測波流技術之建立

航海雷達除了可監控油污之外，也可應用於估算海面波浪與海流資訊，而波浪與海流資訊皆有助於評估油污之運動特徵，包括：油污漂移與擴散等。航海雷達影像具有描述海面特徵在空間變化之能力，海面的相關資訊皆隱藏在影像灰度值矩陣中，形同無數個單點觀測儀

器同時進行觀測，各自取得不同位置點之海洋特徵，對於描述非均勻海域之特性，是一項有利之工具。一般而言，為取得足夠之統計代表性，往昔單點觀測是建議在每次的觀測期間要記錄到至少 100 組波形的波浪數據(郭，2001)。針對航海雷達觀測技術，每次觀測期間會擷取 128 張連續海面影像時序列，觀測每張影像所需時間與航海雷達天線轉速有關，本計畫所使用的雷達天線轉速為 42rpm(參見表 2-3)，因此擷取 128 張連續海面影像所需時間約 3 分鐘。倘若海面波浪週期為 7 sec，3 分鐘內所能記錄到的波浪數量約為 25 組，若僅考慮時序列的波浪資訊恐有不足。然而如前所述，航海雷達影像具有描述海面特徵在空間變化之能力。本計畫的雷達系統於空間域的擷取範圍為 256pixels\*256pixels，雷達影像的空間解析度為 7.5m/pixel，換算可得雷達子影像的擷取範圍約為 1.9km\*1.9km。影像計算範圍愈大，與有可能取得足夠的波浪資訊進行能譜分析，但相對可能會造成非均勻之結果。影像分析區域與靠近陸地，波場特徵的非均勻特徵則愈明顯。根據線性波理論，7 sec 波浪的波長應不會超過 80m，換言之，雷達子影像範圍內應可記錄到至少有 23 組。整合雷達影像所記錄到的時域(25 組)與空域(23 組)波浪資訊應可獲取足夠的統計代表性之波浪資訊，在國際間許多研究文獻都已確認這樣資料取樣方式的可行性(Nieto Borge and Guedes Soares, 2000)。有鑑於此，本計畫所建立的觀測技術會依據表 2-3 的參數進行設定。其中雷達回波訊號的擷取是透過高速取樣的資料擷取設備進行雷達訊號的數位化，取樣頻率( $S_r$ )決定了雷達影像徑向的空間解析度( $\Delta_r$ )：

$$\Delta_r = \frac{V_e}{2S_r} \dots\dots\dots (2-3)$$

上式中， $V_e$  為電磁波的行進速度。根據上式可推算出，使用取樣頻率為 20 MHz 的資料擷取卡擷取雷達訊號時，雷達影像之徑向的空間解析度為 7.5m/pixel。至於雷達影像側向的空間解析度( $\Delta_s$ )則受到雷達硬體規格的影响：

$$\Delta_s = \frac{2\pi R}{PT_r} \dots\dots\dots (2-4)$$

上式中  $P$  為雷達的脈衝波發射頻率(Hz)， $T_r$  為雷達天線旋轉一圈所需時間(sec)， $R$  為雷達的觀測範圍，亦即雷達的觀測半徑(m)，若所使用之雷達脈衝波發射頻率為 3000 Hz，天線轉速為 42 R.P.M.時，由上述之數學式可計算出雷達影像中距離雷達 3 km 處任一位置點之側向的空間解析度約為 5 m/pixel。由於後續的影像譜分析方法是架構在卡氏座標的架構下，本研究利用座標轉換以及空間線性內插的方法，將原始極座標的雷達影像轉換成以卡式座標所建構出的影像矩陣，內插後的卡式座標雷達影像解析度則設定與雷達影像的徑向空間解析度一致，為 7.5 m/pixel。根據 Nyquist 定律，7.5m/pixel 空間解析度的雷達影像，其所能解析出的最短波長不能超過 15m。再透過 Dispersion relation 可換算得所能解析出的最短週期不能超過約 3sec。

**表 2-3 本計畫雷達觀測所使用之參數**

雷達參數	設定值	說明
天線轉速	42 rpm	轉速愈快，對波浪的時間解析度愈佳。
連續影像擷取數量	128 張	數量愈多，觀測期間能記錄到愈多波浪數量。
子影像尺寸	256pixels *256 pixels	尺寸愈大，子影像中能記錄到愈多波浪數量。
雷達影像 徑向解析度	7.5m/pixel	解析度愈佳，愈能解析出短週期波浪特徵。

海面回波影像當中雖含有波浪資訊於其中，但需要先經由適當的影像處理方法從中求得觀測區域之波浪值。為了從三維度的海面回波影像資料中求取出所需資訊，必須建立一套影像時序列的分析方法。如圖 2.5 所示，為從雷達影像分析波浪與海流資訊之流程。因海浪中波長與波向等資訊可經由波浪譜(wave spectrum)計算求得，而波浪譜又可藉由回波影像的影像譜(image spectrum)分析得到，因此如何正確計算影像譜是從事波浪遙測的重要工作之一。

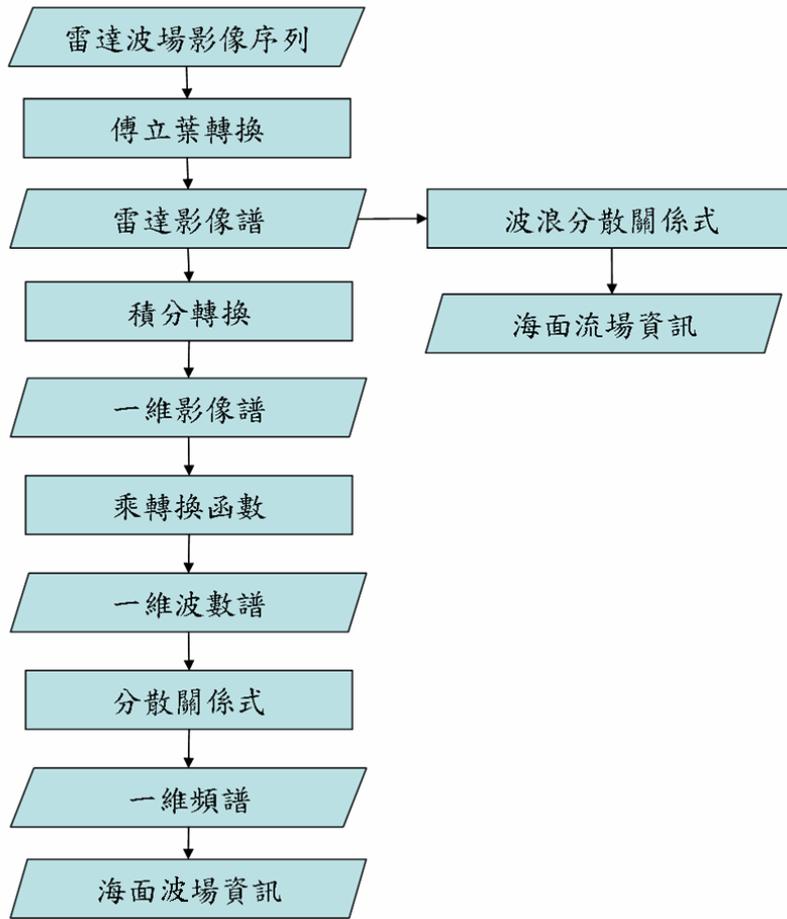


圖 2.5 從雷達影像分析波浪與海流資訊之流程

影像譜的計算方法可利用如下式之三維快速傅立葉轉換求得影像時序列的傅立葉係數，其為一複數函數，取其絕對值平方可得到雷達影像之影像譜，然後可進而推求波浪特性。

$$S^{(3)}(k_x, k_y, \omega) = \iiint g(x, y, t) e^{-i(k_x x + k_y y - \omega t)} dt dx dy \dots\dots\dots (2-5)$$

上式中  $S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  為影像譜，為方便理解，影像譜的上標<sup>(N)</sup>代表 N 維度的能譜資料； $g(x, y, t)$  代表海面雷達影像時序列函數，含有時間與空間資訊於其中； $k_x, k_y$  為雷達影像中成分波之波數(wave number)； $\omega$  為影像時序列之角頻率。

關於影像中波浪資訊的求取，Borge et al.(1999)曾針對  $S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$

與波浪參數(波譜、波高、週期等)之間的關係進行詳盡之介紹與討論。首先針對  $S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  的正頻部分進行積分，可求取二維度的影像波數譜  $S^{(2)}(k_x, k_y)$ ：

$$S^{(2)}(k_x, k_y) = 2 \int_{\omega > 0} S^{(3)}(k_x, k_y, \omega) d\omega \dots\dots\dots (2-6)$$

透過卡氏座標與極座標波數譜之間的數學關係，可求取極座標影像波數譜  $\tilde{S}^{(2)}(k, \theta)$ ：

$$\tilde{S}^{(2)}(k, \theta) = S^{(2)}(\bar{k}(k, \theta))k \dots\dots\dots (2-7)$$

再藉由線性波理論所描述的波數與頻率之間的數學關係，可將影像波數譜轉換為影像方向譜  $E^{(2)}(\omega, \theta)$ ：

$$E^{(2)}(\omega, \theta) = \tilde{S}^{(2)}(k(\omega), \theta) \frac{dk}{d\omega} \dots\dots\dots (2-8)$$

如對影像方向譜的方向域進行積分，可求得一維度的海面回波影像能譜  $S^{(1)}(\omega)$ ：

$$S^{(1)}(\omega) = \int_{-\pi}^{\pi} E^{(2)}(\omega, \theta) d\theta \dots\dots\dots (2-9)$$

由於雷達並非直接接觸海面作量測，透過雷達所得之  $g(x, y, t)$  為觀測範圍內雷達回波之強弱，並非實際海面水位之變化，因此分析雷達影像所獲得之影像譜並不直接等同於實際海面之波譜，但兩者之間可互相轉換。Alpers(1983)曾利用下式 Modulation Transfer Function (MTF) 將影像譜  $S(k)$  轉換成實際海況之波數譜  $S'(k)$ ：

$$S(k) = k^{-\beta} \times S'(k) \dots\dots\dots (2-10)$$

上式中  $\beta$  為率定係數，可透過與現場觀測資料進行同步率定。海面回波影像經由上述轉換後，可獲得波浪於頻率域(frequency domain)與波數域(wave number domain)的能量分布。此一能量分布已被前人推導出數學關係：

$$\omega = \sqrt{g|\bar{k}| \tanh(\bar{k}d)} + \bar{k} \cdot \bar{U} \dots\dots\dots (2-11)$$

上式為波浪之分散關係式，其中  $d$  為水深， $\bar{U}$  為流場。

海面風與海流對油污漂移與擴散之影響可示意性的表示如圖 2.6 (Nunavut Planning Commission, 2014)，一般認定海面風速轉移到海表面驅動油污的速度約為風速值的 3%，相較於風速的影響，海流的流速則會完全驅動油污的運動。因此為能精準掌握海面油污的運動資訊，必須要有準確的流場資訊作為評估依據。圖 2.7 描述了分散關係式中不同海洋參數間的關係，由圖中可看出波浪於頻率域與波數域之能量會受到海面流場與水深之影響。圖 2.7(a) 為深水且無海流影響的波浪分散關係，可看出其能量分布於  $k_x$  與  $k_y$  方向呈現對稱之分布。當波浪與海流之間交互作用的情況下，如圖 2.7(b) 所示，海流會影響波浪高頻之能量分布，若是單一方向的海流，將造成波浪於  $k_x$  與  $k_y$  方向的能量分布不對稱。至於水深的影響，乃是淺水條件下，海底床摩擦力對波浪能量的影響變得不可忽略。從圖 2.7(c) 可看出，水深會影響波浪低頻之能量分布。透過計算不同流速條件下的波數理論分布與雷達影像實際測得之波數譜能量分布，可求取出與實際測得之波數譜能量分布最契合的波數理論分布與其所對應的流速條件。Serafino et al. (2010) 提出利用 normalized scalar product 的方法，能有效改進流場計算的準確度。此法是依據濾波後影像譜與其特徵函數之間的乘積關係來求解海面流場，其作法是先給定不同的海面流速條件，藉以計算出特徵函數  $G(\bar{k}, \omega, \bar{U})$ ：

$$G(\bar{k}, \omega, \bar{U}) = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| \sqrt{g|\bar{k}| \tanh(\bar{k}d)} + \bar{k} \cdot \bar{U} - \omega(\bar{k}) \right| \leq \Delta\omega/2 \dots\dots\dots (2-12) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$V(\bar{U}) = \frac{\langle |S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)|, G(\bar{k}, \omega, \bar{U}) \rangle}{\sqrt{P_s \cdot P_G}} \dots\dots\dots (2-13)$$

上式中  $P_s$  與  $P_G$  分別為影像譜  $S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  與特徵函數  $G(\bar{k}, \omega, \bar{U})$  的能量， $\langle \rangle$  則代表純量積(內積)演算。透過  $V(\bar{U})$  最大值所對應的流速條件  $\bar{U}$  作為所

求解之海面流速值。

雷達回波包含波浪訊息與背景雜訊，而其中的示性波高與雷達影像的訊噪比(signal to noise ratio, SNR)存在相關性，Borge et al.(1999)研究結果顯示實際作業時，可藉由雷達系統與資料浮標等系統進行同步觀測以率定兩者間之係數(下式的 A 與 B)，爾後利用雷達影像之訊噪比 (Signal to Noise Ratio, SNR)即可計算浪高：

$$H_s = A + B\sqrt{SNR} \dots\dots\dots (2-14)$$

$$SNR = \frac{\int S_{sig}^{(3)}(k_x, k_y, \omega) d^2 k d\omega}{\int S_{bgn}^{(3)}(k_x, k_y, \omega) d^2 k d\omega} \dots\dots\dots (2-15)$$

上式的  $S_{sig}^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  與  $S_{bgn}^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  分別為三維影像譜  $S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  的訊號與雜訊能量。以式(2-9)波浪分散關係式為依據， $S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  中符合分散關係式的能量分布定義為  $S_{sig}^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$ ； $S^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$  中與分散關係式曲線不一致的能量分布則定義為  $S_{bgn}^{(3)}(k_x, k_y, \omega)$ 。波浪尖峰週期  $T_p$  則可藉由式(2-7)一維能譜所對應尖峰頻率  $\omega_p$  的倒數求得；主波向  $\theta_p$  則是透過式(2-4)二維度波數譜中能量尖峰所對應之波數( $k_{xp}$  與  $k_{yp}$ )的數學三角函數關係求得：

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega_p} \dots\dots\dots (2-16)$$

$$\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{k_{yp}}{k_{xp}}\right) \dots\dots\dots (2-17)$$

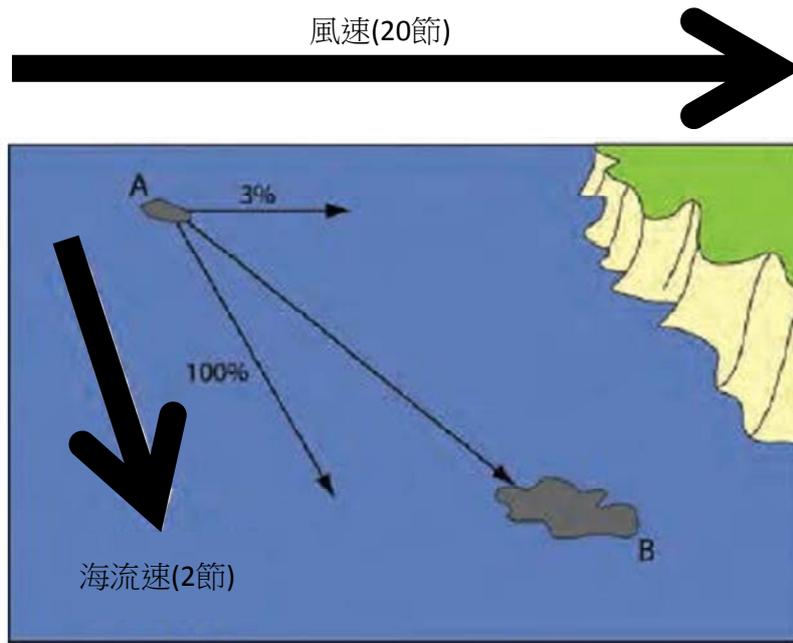


圖 2.6 海面風與海流對油污漂移與擴散之影響  
(資料來源：Nunavut Planning Commission, 2014)

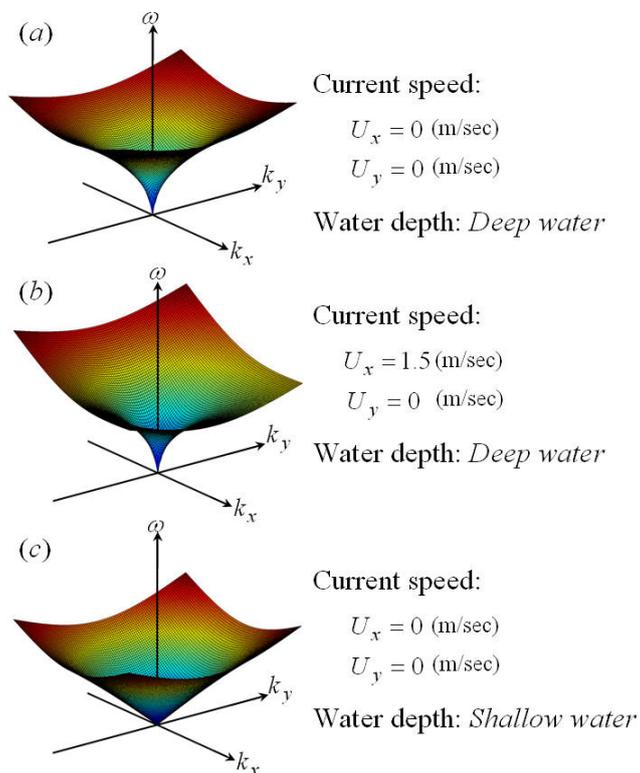


圖 2.7 海流與水深對波浪分散關係之影響

## 2.4 雷達系統之測試

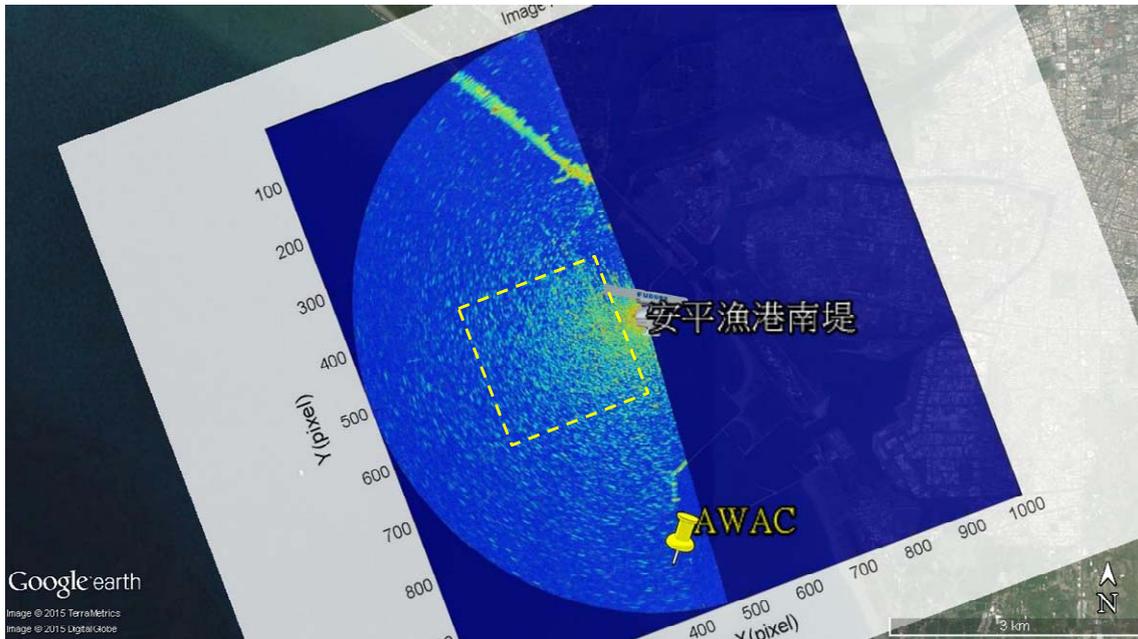
為瞭解雷達影像分析能力，以及雷達系統監測海面波浪、流場、與油污特徵的可行性，系統的現場測試與校驗是必要之手段。因此本年度會在港區進行現場測試，藉以確認 X-band 雷達之海面特徵物偵測、測波、與測流的準確性。一旦臺灣海域發生海面油污事件，本研究團隊將隨即前往並進行監測。

### 2.4.1 現場測試說明

本計畫今年度的測試地點之一為安平港附近之水域，此一水域上有兩處港口，分別為安平漁港與距漁港南側約 2km 處的安平商港(圖 2.8)。安平商港為高雄港之輔助港，屬於國際商港，其主航道水深約為 -7.5m，可通行 6,000 噸級船舶。近年來，安平港貨物裝卸量持續成長，並於 95 年的年裝卸量突破 1,114 萬噸(資料來源：臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司)。本計畫於計畫執行期間共進行兩次的安平港雷達現場測試工作。第一次是在距安平商港北邊約 2 公里處的安平漁港南堤進行雷達觀測系統之架設，現場測試情形如圖 2.9 所示，測試時間為 2015 年 6 月 15 日的 9 時至 16 時。第二次測試則是直接進入安平商港南堤進行雷達觀測系統之架設(圖 2.10)，現場測試情形如圖 2.11 所示，測試時間為 2015 年 11 月 10 日的 9 時至 15 時。

本計畫今年度的另一現場測試地點為臺北港附近之水域，臺北港是位於新北市八里區的國際商港，該港口位於淡水河出海口的西南側，為北部地區風力、海流、波浪、潮差等海氣象環境較為和緩之海域，且海床平緩、水深適中，航道及迴船池設計水深-15.5m~-17m，為闢建大型港灣之合適地點。臺北港的港區範圍約為基隆港的五倍，根據相關單位的規劃，未來臺北港可進泊 10,000TEU 貨櫃輪及 80,000DWT 散裝貨輪。106 年以後，則可進泊 15,000TEU 貨櫃輪及 150,000DWT 散裝貨輪(資料來源：臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司臺北港全球資訊網)。由於未來大型貨輪的進出港業務頻繁，確有

必要針對該港區的油污與海氣象監測建測進行測試與評估作業。本計畫的臺北港測試期間為 10 月 7 日的 9 時至 18 時，測試期間雷達觀測範圍與其他測站相對位置如圖 2.12 所示，圖 2.13 為臨時雷達站之架設情形，圖 2.14 為雷達系統在臺北港之現場測試情形。



**圖 2.8 臺南安平漁港現場測試之雷達系統架設位置  
(底圖來源：Google Earth)**



圖 2.9 臺南安平漁港現場測試情形

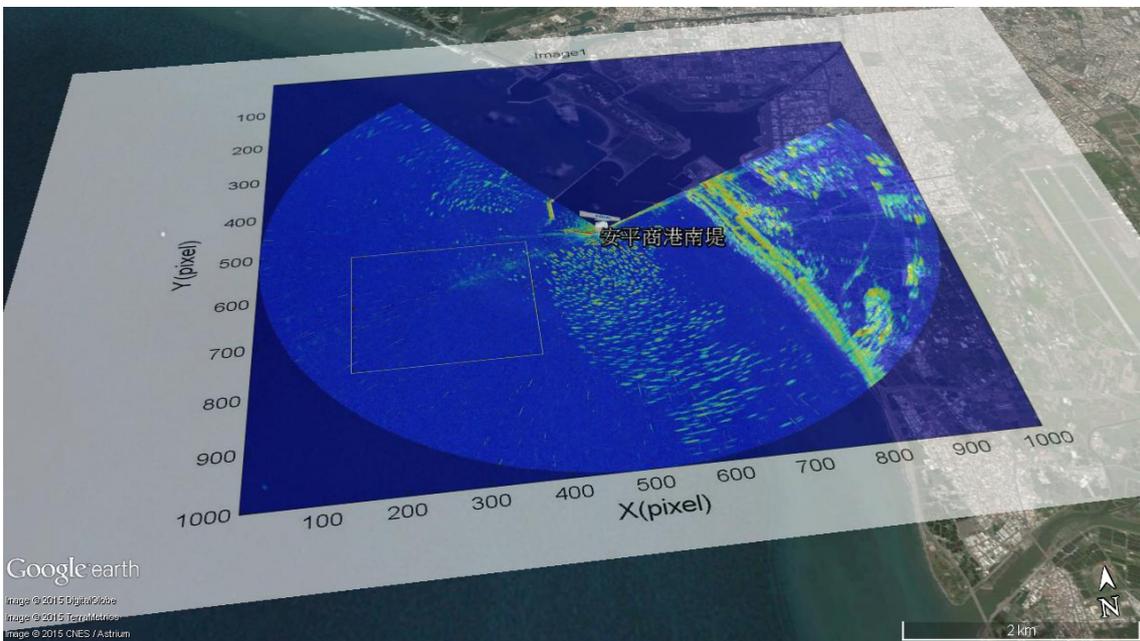


圖 2.10 臺南安平商港現場測試之雷達系統架設位置  
(底圖來源：Google Earth)



圖 2.11 臺南安平商港南堤現場測試情形

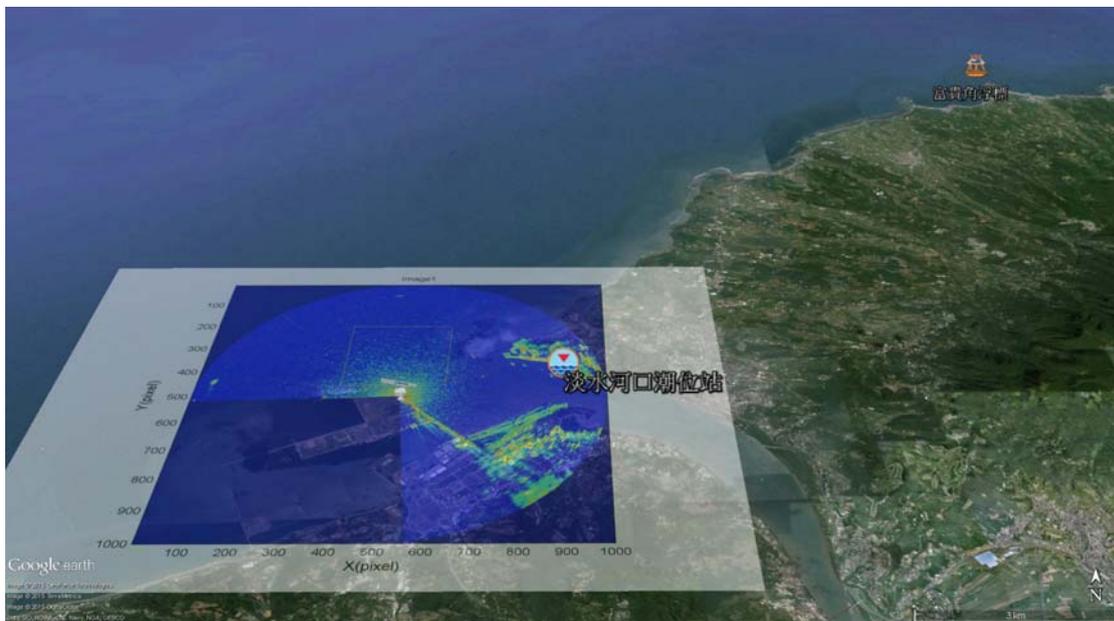


圖 2.12 臺北港測試期間雷達觀測範圍與其他測站相對位置  
(底圖來源：Google Earth)



圖 2.13 本計畫團隊於臺北港進行臨時雷達站之架設

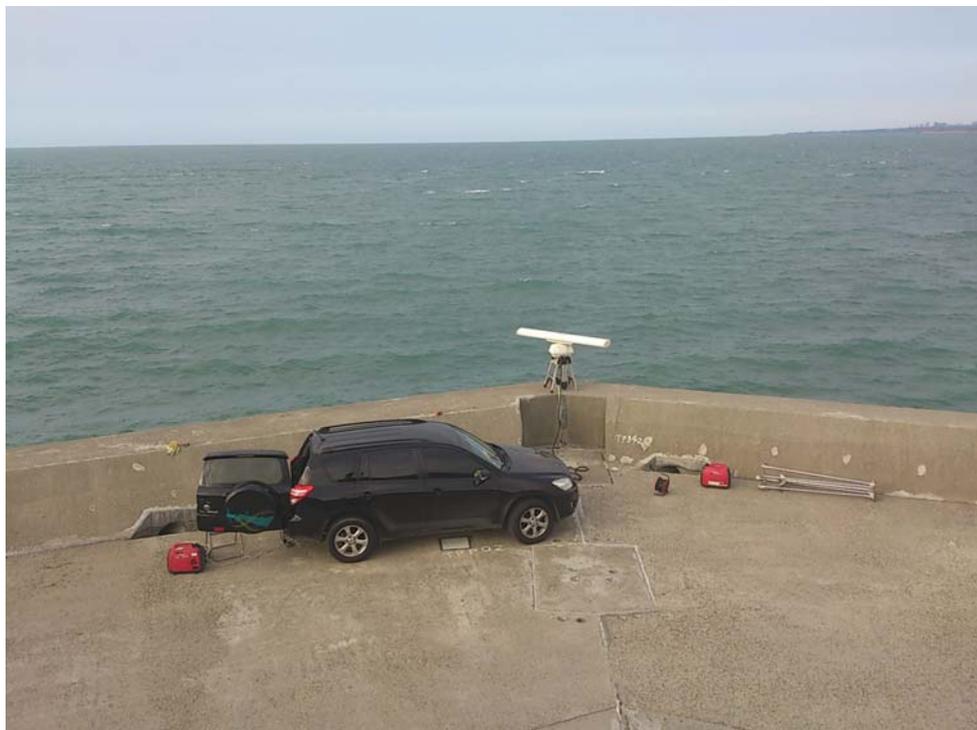


圖 2.14 臺北港之雷達系統現場測試情形

## 2.4.2 海面特徵物偵測之測試

針對前述研究方法所建立之雷達影像分析技術，本研究將透過現場測試評估未來進行油污監測之可行性，臺南安平漁港測試現場的海面設置有大量之蚵架(圖 2.15)，可做為初步確認雷達偵測海面特徵之用。圖 2.16 之影像為連續雷達影像時序列對時間域平均後之結果，可發現海面上有明顯斑點狀之強烈回波。本計畫雷達天線的架設位置雖然是在安平漁港南堤，但其影像之掃瞄範圍包括了安平商港堤頭附近之水域，有助於確認雷達系統應用於安平港附近大範圍水域監測的實用性。將圖 2.16 經過前述 CTKO 的演算分析之後，原有影像的斑點狀回波確實可被強化，如圖 2.17 所示。本計畫也針對 2015 年 11 月 10 日的安平商港測試案例進行海面特徵分析，分析結果如圖 2.18 與圖 2.19 所示，顯示經過 CTKO 的演算分析之後的安平商港雷達影像確實也能夠將海面蚵架特徵圈選出。

為能確認雷達觀測所得之海面特徵是否確實就是蚵架所造成的回波，本計畫於 11 月 10 日的安平商港雷達測試當天委託專業團隊協助進行空拍攝影。現場空拍試驗之情形如圖 2.20 所示，圖中空拍機後方的背景為安平商港的南堤。本計畫所規劃的空拍範圍如圖 2.21 所示，從安平商港南堤往南，南北向的範圍約 2km；東西向的範圍約 1km。所有的空拍試驗於 4 小時內完成。為能精確地將雷達影像與空拍光學影像進行交互比對，空拍之原影像已經過幾何校正為正射影像，其影像內容如圖 2.21 所示。從圖 2.22 的空拍正射影像之局部影像特徵可辨識出蚵架的竹竿與提供蚵架浮力用的保麗龍，可確認圖 2.21 影像中的白色斑點狀特徵為蚵架。圖 2.23 與圖 2.24 為安平商港南堤往南同一區域範圍的空拍正射影像與雷達影像。可確認雷達影像所呈現的斑點狀位置與正射影像中的蚵架位置一致。從圖 2.25 空拍影像與雷達影像套疊之結果可更明確的確認兩者之間的一致性，並進而確認利用航海雷達偵測海面特徵物的可行性。

除安平港的案例之外，本計畫也針對臺北港所測得之影像案例進

行分析與檢討，圖 2.26 為本計畫於臺北港測試期間所取得之雷達影像。考慮到海面油污是造成雷達回波的衰減，與蚵架或是其他結構物的雷達回波特徵仍有所差異，本計畫利用臺北港的雷達影像中選取出一小塊區域模擬海面油污所造成的回波衰減，作法是將該區塊原有的回波強度乘 70%(文後將會檢討不同回波衰減比例對偵測油污影像之效率)，其結果如圖 2.26 中的圓形區域所示。圖 2.26 中除了人工模擬的回波微弱區塊之外，影像左側還有一塊區域的海面回波相對較為強烈，經現場確認，此一強烈回波區塊是停泊於港外水域的船艦所造成之回波特徵。本計畫嘗試使用此一包含回波微弱區塊與回波強烈區塊進行影像辨識，從中確認辨識疑似油污區域的可能性。將圖 2.26 影像經 CTKO 演算後之結果如圖 2.27 所示，可發現回波衰減區域被明確的圈定出，然而分析結果也顯示出影像中強烈回波區塊也會被圈定出，這是因為無論是回波微弱區塊與回波強烈區塊都與背景影像的回波(一般海面回波)有明顯差異，因此經 CTKO 演算後都會被圈定出。

為能有效從 CTKO 演算結果辨識出可能的油污特徵，必須搭配其他的判斷條件進行確認。考慮到油污區域的海面回波相對會較海面更為微弱，本計畫透過圖 2.26 海面影像區域之回波能量進行平均，並將該平均值作為一門檻值，進一步進行二值圖像轉換。轉換後的結果如圖 2.28 所示，可發現影像已被區分為兩類，分別為回波相對較弱與回波(另其影像灰度值為 1)相對較強(另其影像灰度值為 0)的區域。將 CTKO 演算結果與前述之回波二值影像相乘，即可有效將海面回波微弱的區域圈選出，結果如圖 2.29 所示，圖中雖然還存在少許不屬於回波微弱區域的雜訊，但已有效改善 CTKO 之演算結果。

考慮到海面油污會受到海流的驅動而產生漂移與擴散的現象，本計畫進一步模擬油污漂移與擴散後的雷達影像，如圖 2.30 所示。相較於圖 2.26 油污模擬區域，圖 2.30 的油污模擬區域相對較大，並呈現出一帶狀的漂移路徑。透過前述的演算流程，其影像分析結果如圖 2.31 所示，油污擴散後油污特徵依然能明確的被圈定出，說明了本計畫所採用演算流程的可行性。

為能對上述的雷達影像油污辨識結果進行量化評估，本計畫嘗試提出評估指標來證實方法的可靠度，本計畫定義油污影像辨識效率 $I_o$ 為：

$$I_o = \frac{A_E}{A_T} \times 100\% \dots\dots\dots (2-18)$$

上式中， $A_T$ 為實際的油污面積； $A_E$ 則為經影像辨識後所圈定的油污面積。當 $I_o$ 越接近 100%，則代表雷達影像中油污偵測的效果愈好。

為能針對油污影像辨識效率進行測試，本計畫嘗試模擬不同雷達回波衰減比例的油污區域，從中檢討雷達影像辨識油污區域的效率。如圖 2.32 所示，為模擬油污區域雷達回波衰減比例與油污影像辨識效率之關係。圖中橫軸的雷達回波衰減比例 100%代表影像的模擬油污區域中並無任何回波衰減，也就是其回波強度與乾淨的海表面回波強度一致。從圖 2.32 的結果可發現，本計畫所使用的影像分析演算法較適用於油污所造成的回波衰減比例小於 90%的條件，回波衰減比例大於 90%時，影像辨識效率並不理想。



圖 2.15 臺南安平港附近海域之蚵架

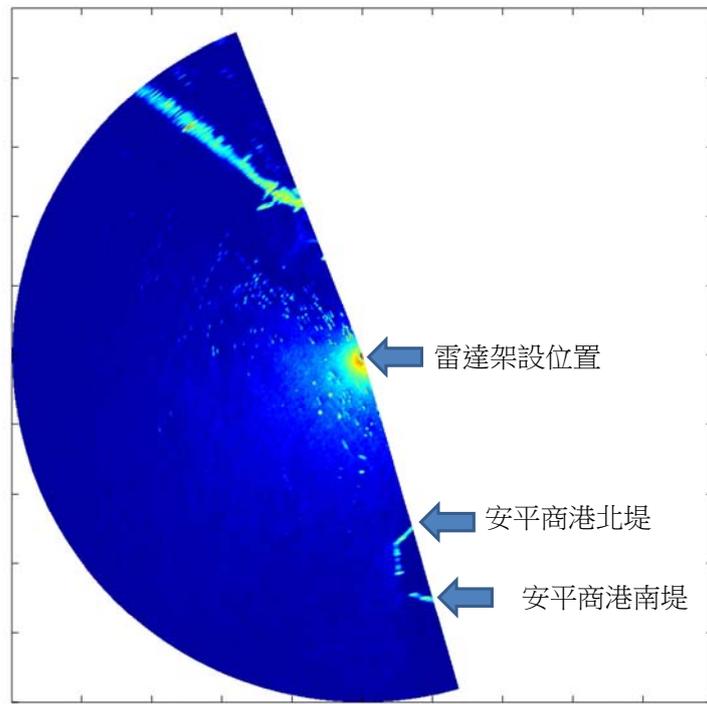


圖 2.16 臺南安平漁港現場測試取得之海面雷達回波影像

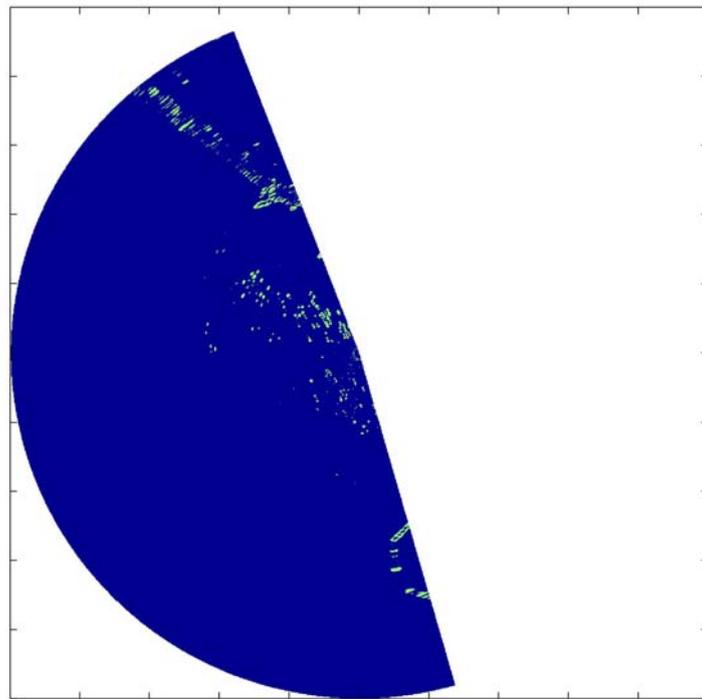


圖 2.17 前圖(圖 2.16)影像經 CTKO 演算後之結果

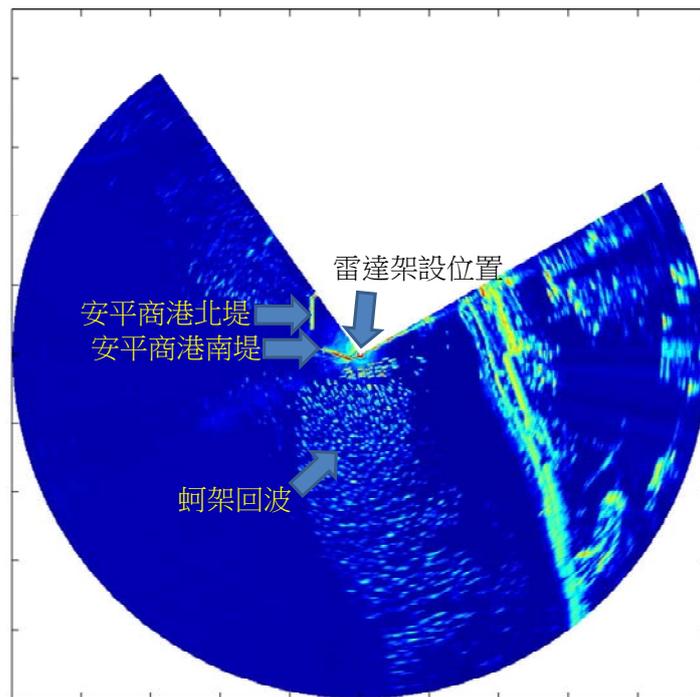


圖 2.18 臺南安平商港現場測試取得之海面雷達回波影像

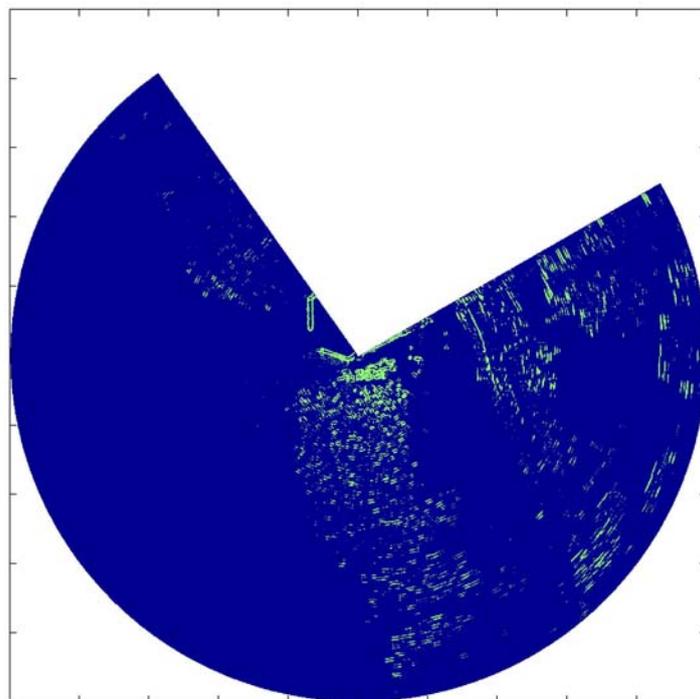


圖 2.19 前圖(圖 2.18)影像經 CTKO 演算後之結果



圖 2.20 雷達觀測期間同步進行海面空拍試驗

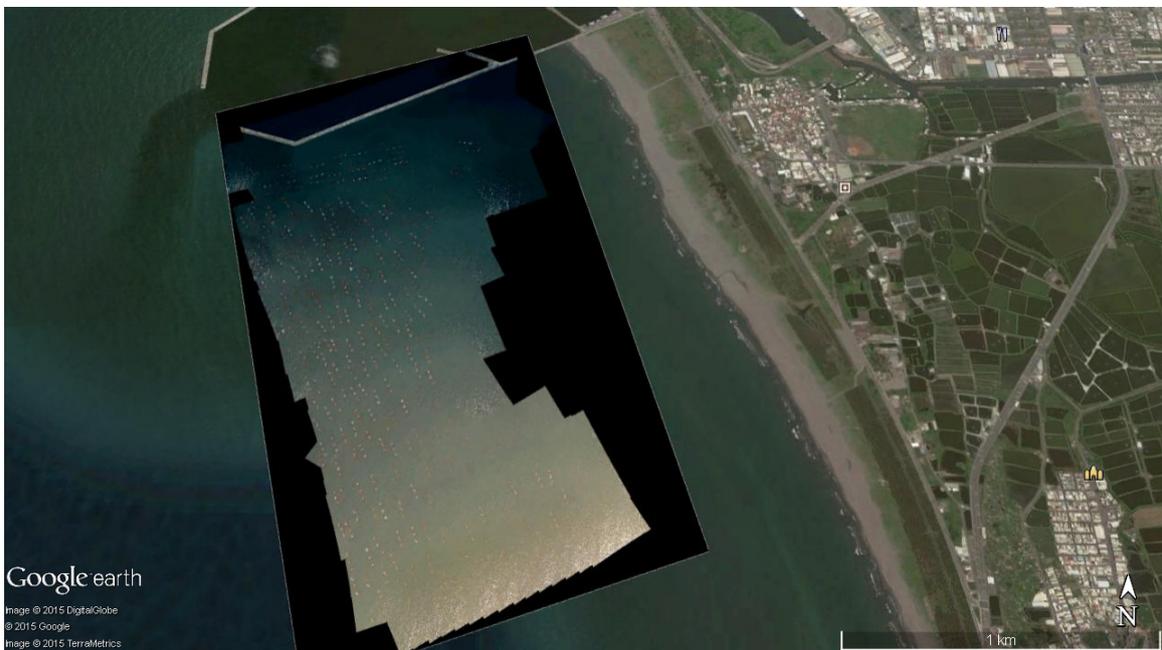


圖 2.21 空拍機攝影並校正後所獲得之海面正射影像  
(底圖來源：Google Earth)



圖 2.22 空拍正射影像之局部影像特徵

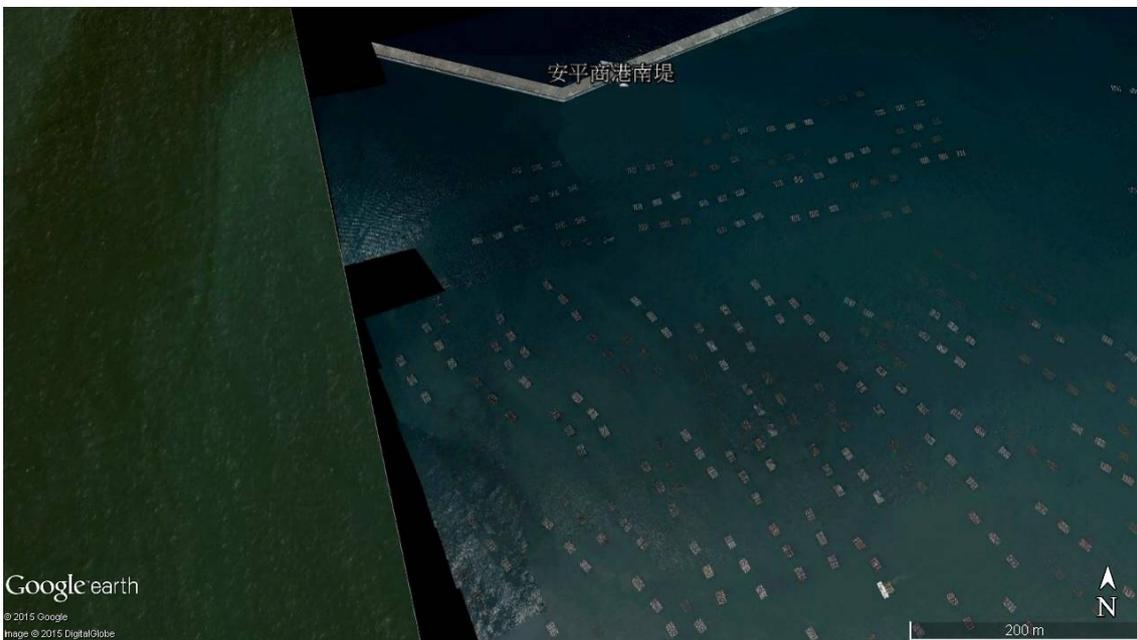


圖 2.23 局部區域之海面正射影像  
(底圖來源：Google Earth)

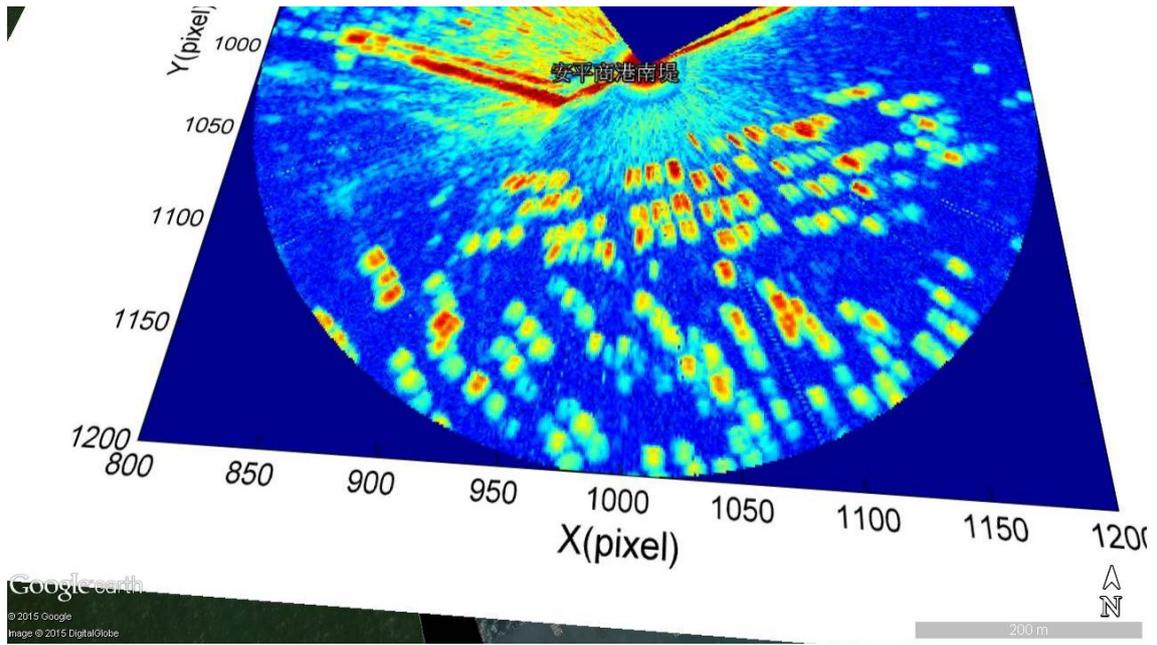


圖 2.24 前圖同一區域之雷達觀測影像  
(底圖來源：Google Earth)

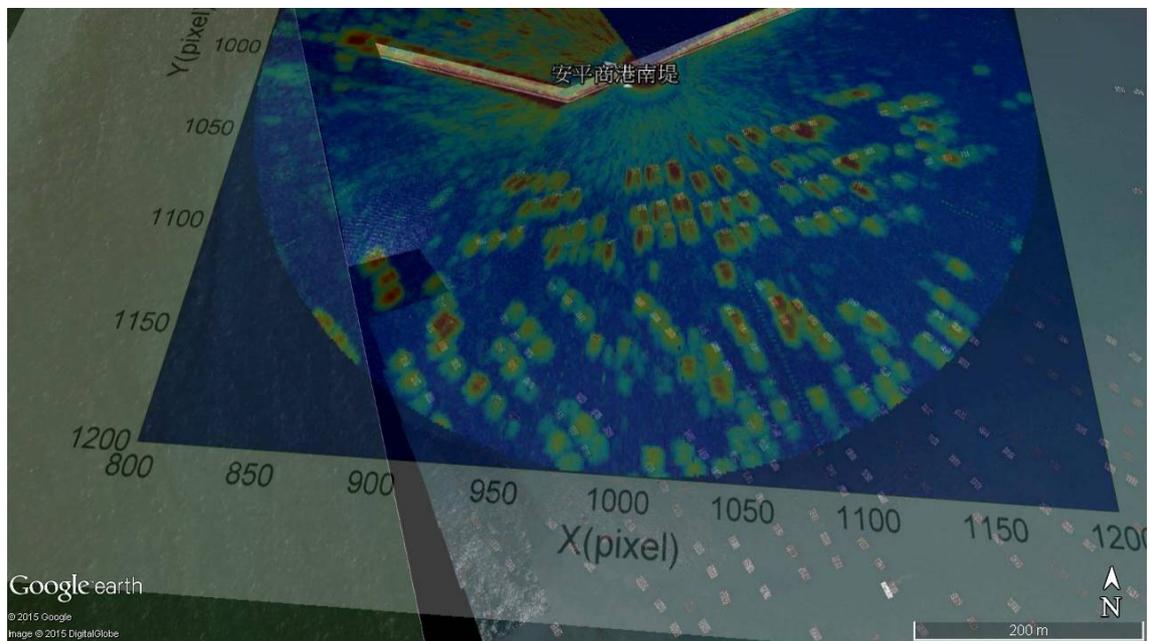


圖 2.25 空拍影像與雷達影像套疊之結果  
(底圖來源：Google Earth)

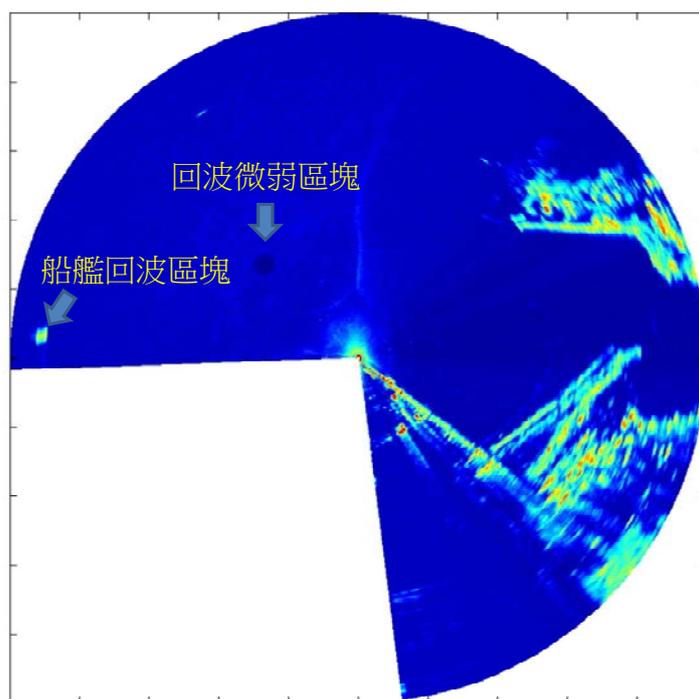


圖 2.26 含有回波微弱區塊之臺北港雷達測試影像

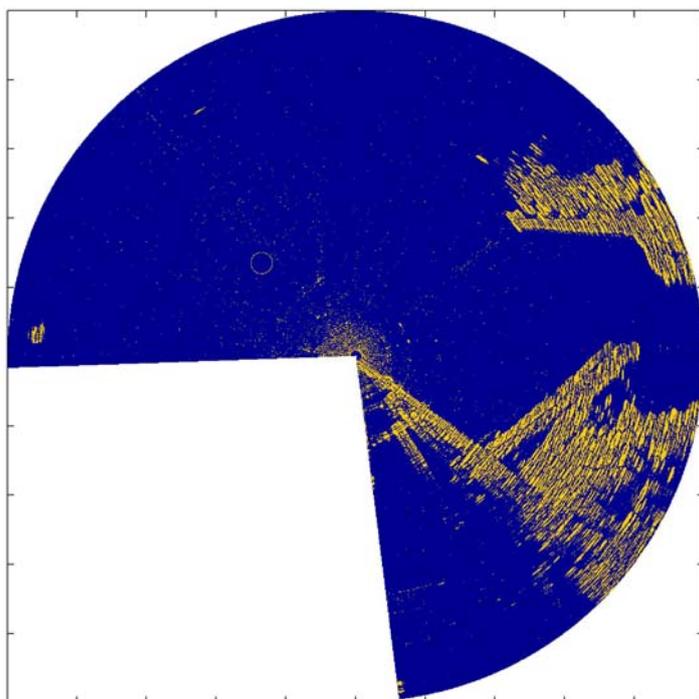


圖 2.27 前圖(圖 2.26)影像經 CTKO 演算後之結果

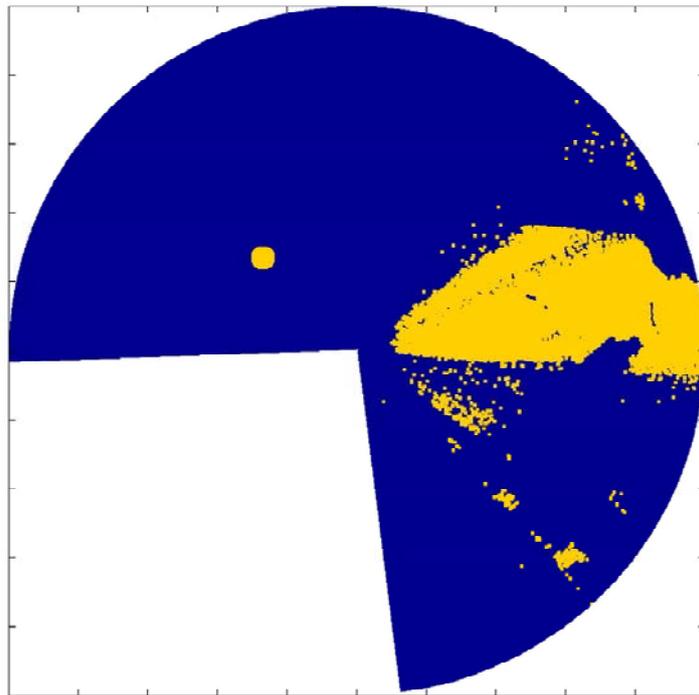


圖 2.28 前圖(圖 2.26)影像經二值圖像轉換後之結果

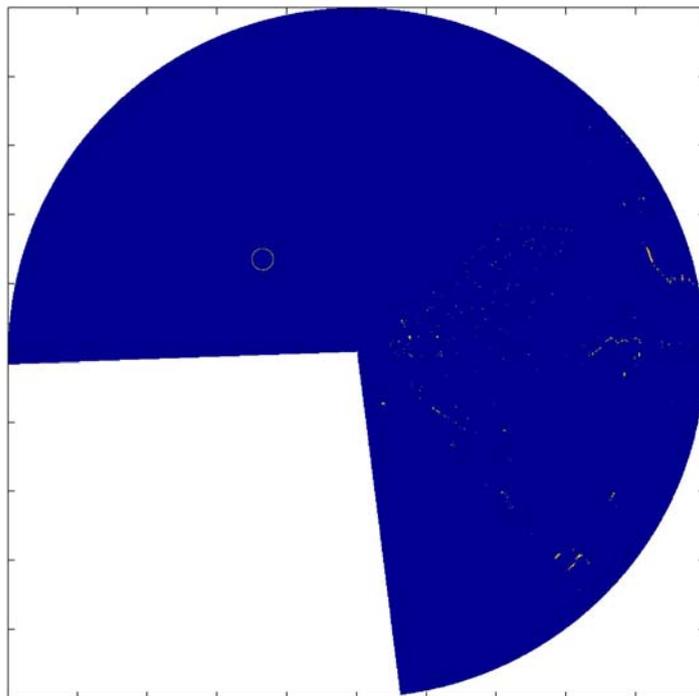


圖 2.29 影像經 CTKO 演算與二值圖像(圖 2.28)相乘之結果

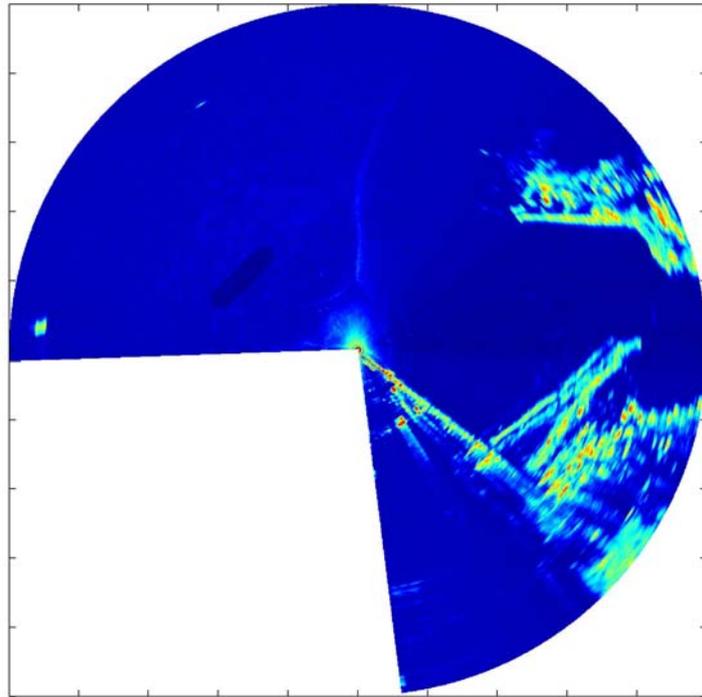


圖 2.30 含有回波微弱區塊之臺北港雷達測試影像

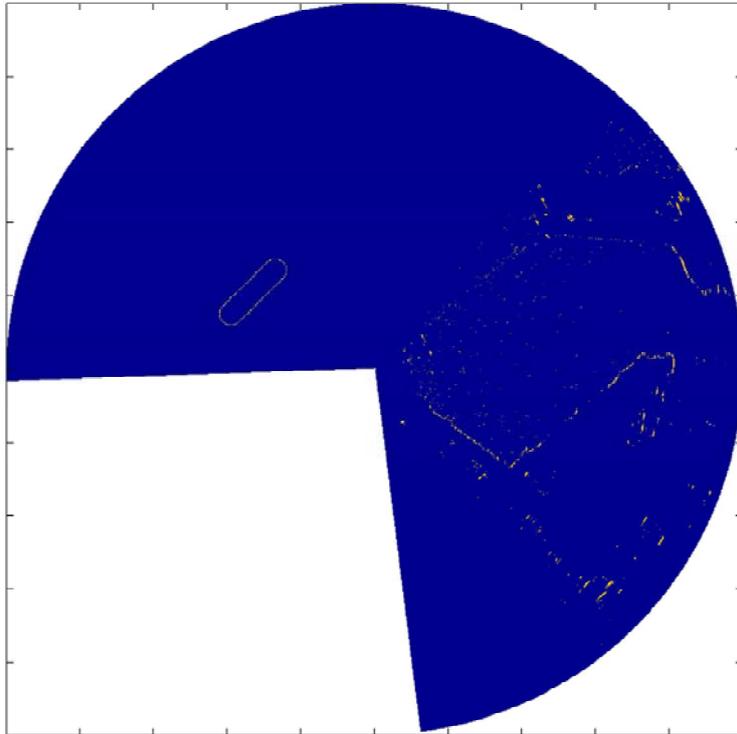


圖 2.31 前圖(圖 2.30)影像經 CTKO 演算與雜訊濾除後之結果

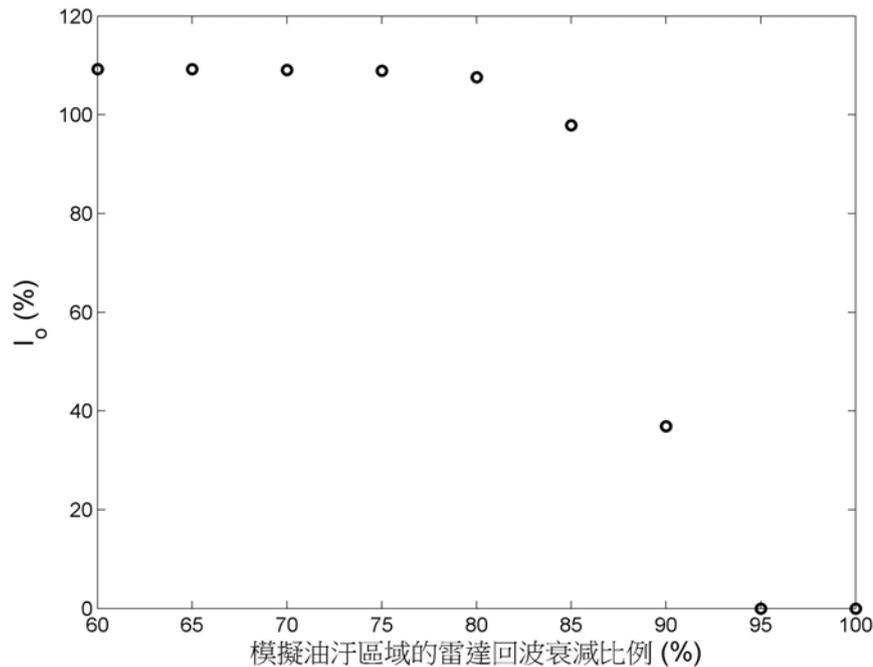


圖 2.32 模擬油污區域雷達回波衰減比例與油污影像辨識效率之關係

### 2.4.3 海面波流觀測功能之測試

除了偵測海面特徵之外，本計畫進一步透過雷達系統進行波浪與海流觀測之測試，圖 2.33 為本計畫於臺南安平港現場測試期間所取得之海面波紋雷達影像。為確認雷達觀測波流結果的準確度，本計畫透過港灣技術研究中心於安平港南堤堤頭附近所進行的現場觀測資料進行比對，此一現場測站是採用底碇式的 AWAC 進行波流觀測，觀測資料會彙整至港灣環境資訊網(<http://isohe.ihmt.gov.tw/>)，如圖 2.34 所示。

安平港測試期間是 6 月 15 日 9 時~16 時，經過雷達影像分析以求取出波流資訊後，與 AWAC 同步觀測資料進行比對之結果如表 2-4、圖 2.35、與圖 2.36 所示。從波浪之分析結果顯示，雷達與 AWAC 所測得之波高與週期具有相近之結果，但兩者之波向結果有較明顯差異。判斷造成這樣現象的原因在於雷達影像分析位置與 AWAC 所在位置仍有一定之差異。雷達系統分析波流的關鍵為海面影像波紋特徵是否足夠，本計畫為確保被分析影像含有明顯的波紋特徵，因此所分析雷達

子影像的位置是離雷達天線較近的海面區域(圖 2.33 的虛線方框處)。在近岸海域受到地形與堤防等結構物之影響，易造成波向具有較強烈之非均勻性(non-homogeneity)，判斷主要受到上述原因之影響，造成雷達與 AWAC 所測得波向結果之差異偏大。此外，海象資訊的解算結果會受到雷達影像空間解析度的影響。如前所述，本計畫所使用的雷達影像解析度為 7.5m/pixel。根據 Nyquist 定律，7.5m/pixel 空間解析度的雷達影像，其所能解析出的最短波長不能超過 15m。根據 Dispersion relation 可進一步換算得所能解析出的最短週期不能超過約 3sec。因此海面週期條件太短，確實會影響雷達解算波浪資訊之結果。

針對流場觀測結果之比對，從圖 2.36 可看出雷達與 AWAC 所測得流速漲落之趨勢相近，但在數值上仍有所差異。雷達測得流速普遍比 AWAC 結果為大，兩者最大差值可達 0.21m/sec(表 2-4)。針對流向結果之比對，發現 14 時之後的流向偏差明顯，最大可達 66°。判斷造成這樣現象的原因除了前述的水平觀測位置差異之外，垂直觀測位置也是一大關鍵。根據觀測原理，底碇式 AWAC 所測得之海流為「近表層」之流速；航海雷達則是因其電磁波段(X-band)之特性，其量測海水表層的流場。在海水表層區域，流場除潮流之外，也容易受到風趨流之影響。根據前人之研究，純表面的風趨流約為海面 10m 風速的 3% (Trizna 1985)，因此雷達所測得之流場會含有風趨流之成分，因而造成雷達與 AWAC 所測得流場存在一定程度之差異。

表 2-4 安平漁港雷達與 AWAC 同步觀測結果之絕對差值

	9 時	10 時	11 時	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時
雷達測得 示性波高(m)	0.86	0.98	1.09	1.08	0.98	0.92	0.86	0.84
AWAC 測得 示性波高(m)	0.95	1.19	1.06	1.05	0.94	0.95	0.91	0.88
兩者示性波高 絕對差值(m)	0.09	0.21	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04
雷達測得 尖峰週期(sec)	4.59	4.68	4.77	4.68	4.59	4.41	4.05	4.05
AWAC 測得 尖峰週期(sec)	5.00	5.00	4.90	4.80	4.80	4.50	4.30	3.80
兩者尖峰週期 絕對差值(sec)	0.4	0.32	0.13	0.12	0.21	0.09	0.25	0.25
雷達測得 主波向(°)	188	185	198	183	193	207	229	229
AWAC 測得 主波向(°)	173	171	165	150	150	167	175	184
兩者主波向 絕對差值(°)	15	14	33	33	43	40	54	45
雷達測得 流速(m/sec)	0.33	0.47	0.48	0.45	0.27	0.31	0.46	0.77
AWAC 測得 流速(m/sec)	0.19	0.46	0.43	0.31	0.15	0.11	0.31	0.56
兩者流速 絕對差值(m/sec)	0.14	0.01	0.05	0.14	0.12	0.20	0.15	0.21
雷達測得 流向(°)	192	166	151	168	192	215	251	260
AWAC 測得 流向(°)	175	171	171	184	199	271	305	326
兩者流向 絕對差值(°)	17	5	20	16	7	56	54	66

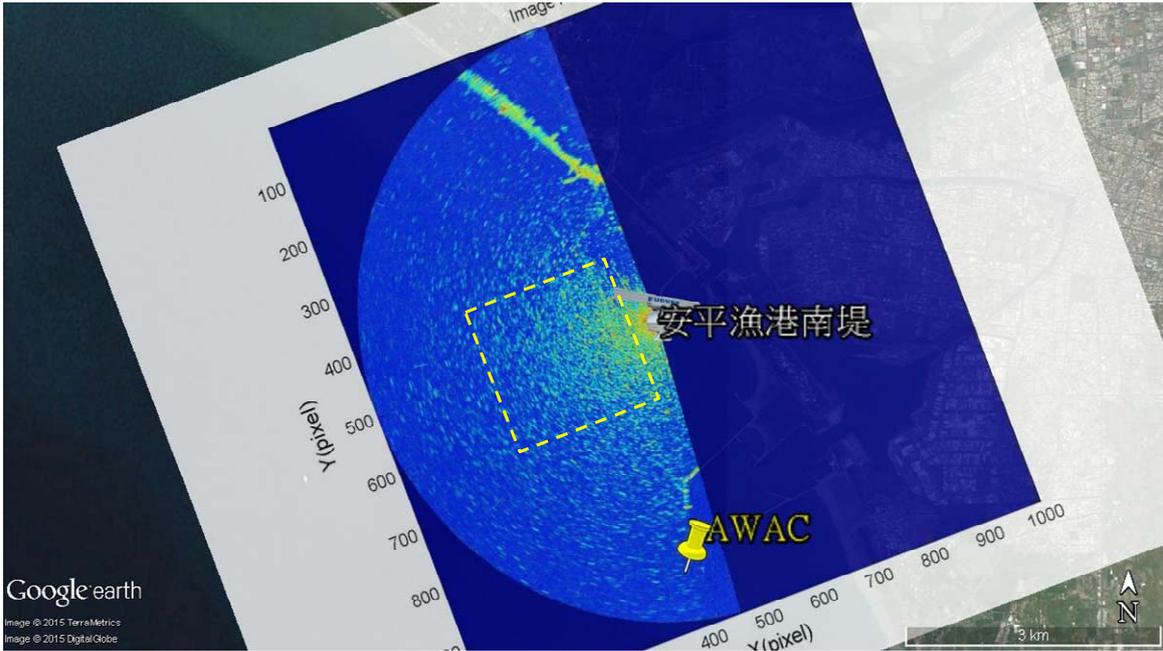


圖 2.33 安平漁港現場測試取得之海面波紋雷達影像

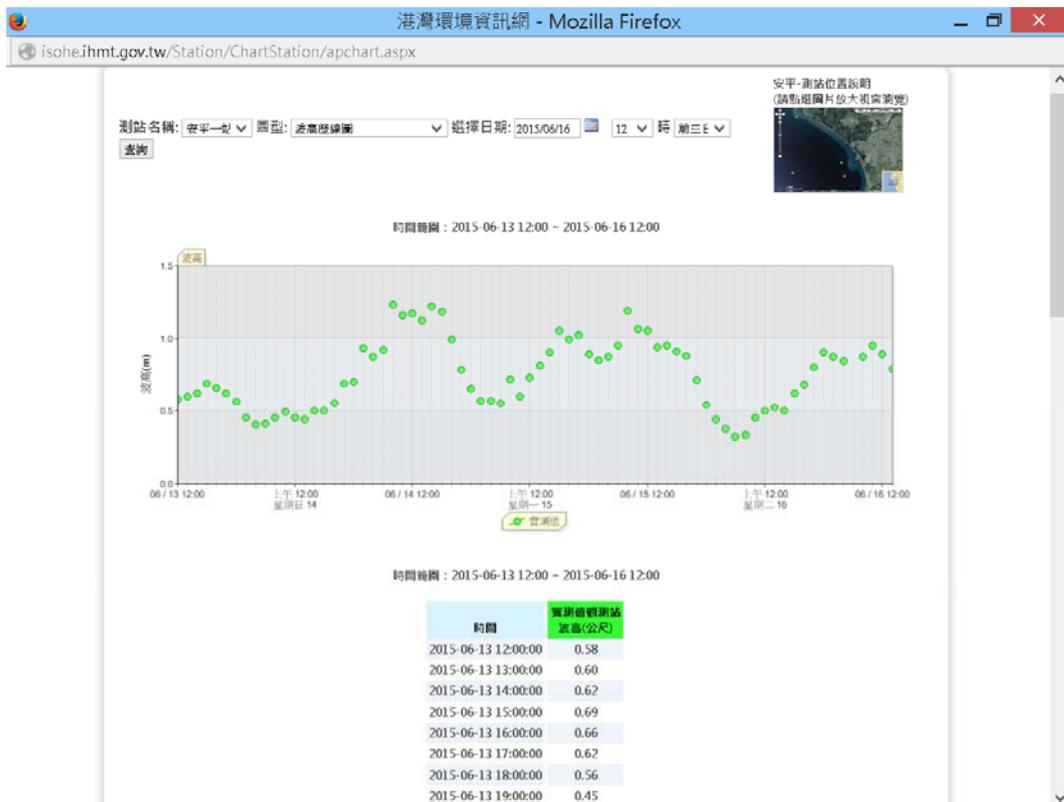


圖 2.34 港灣環境資訊網所提供 72 小時之觀測數據

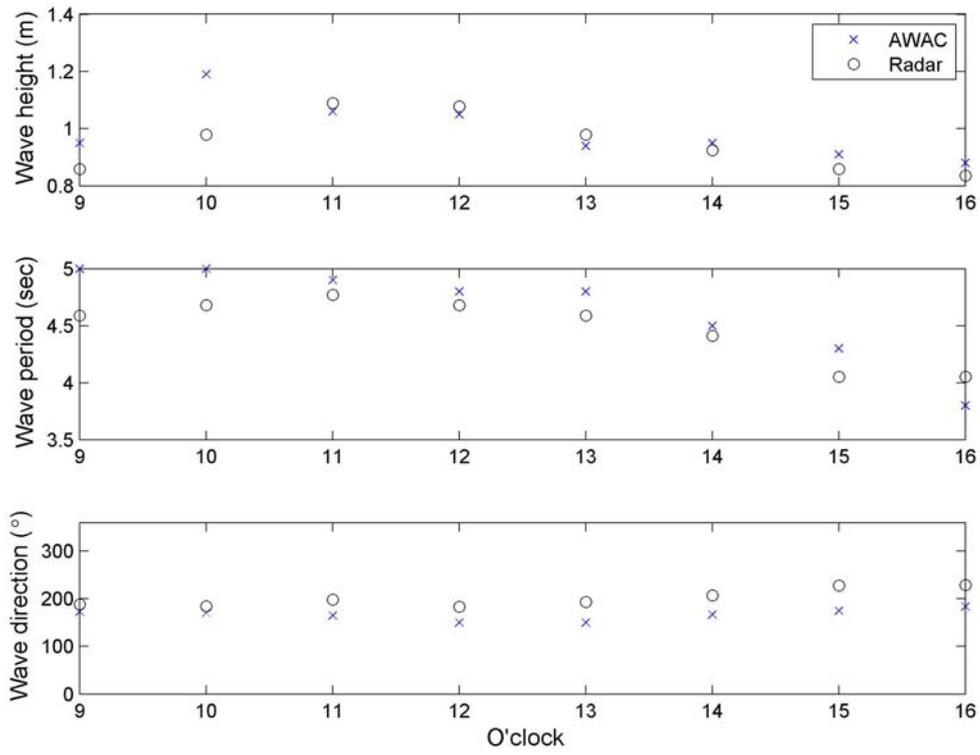


圖 2.35 安平漁港雷達與 AWAC 波浪觀測結果之比對

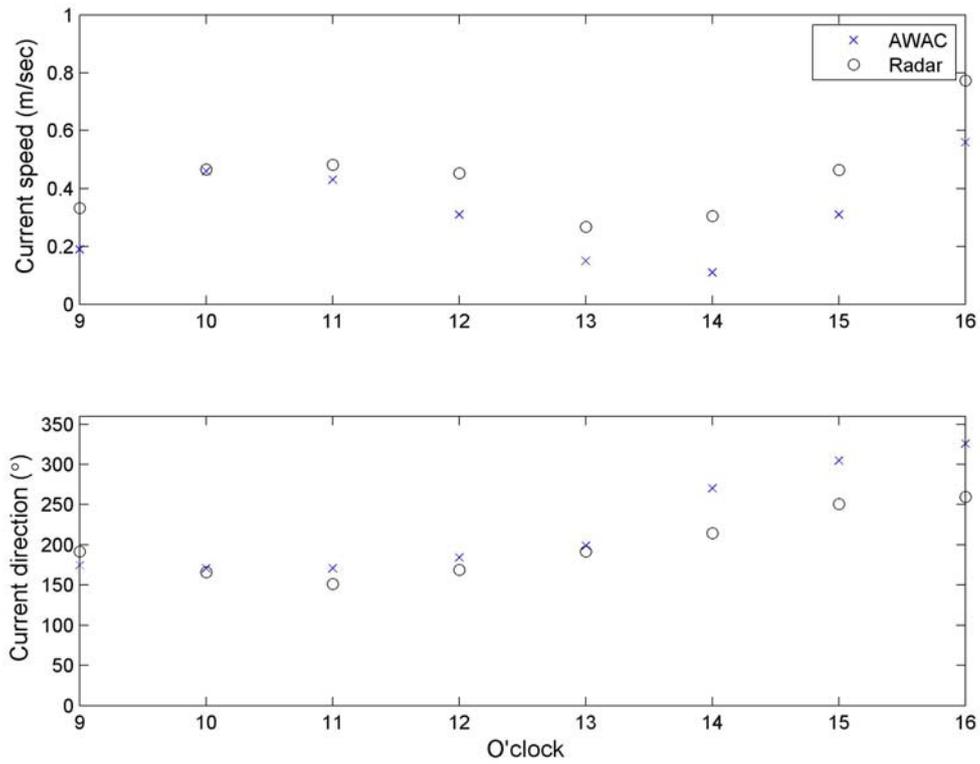


圖 2.36 安平漁港雷達與 AWAC 流場觀測結果之比對

除了安平港的觀測結果比對之外，本計畫進一步針對臺北港的波流觀測結果進行檢討，圖 2.37 為本計畫於臺北港現場測試期間所求得之波浪觀測結果與中央氣象局富貴角資料浮標波浪觀測結果之比對圖，其比對之量化結果則如表 2-5 所示。由比對結果可發現，大部分時間雷達所測得之波高與週期與資料浮標的觀測結果相近，但 10 月 7 日 18 時雷達與資料浮標的同步觀測結果差異極大。從表 2-6 的富貴角資料浮標風速風向觀測結果可發現，10 月 7 日 18 時當地海域的風向為陸地吹向海面。因臺北港與富貴角距離約 20 公里，當風向為陸地吹向海面時，海象受到陸域地形效應的影響更為明顯，因而造成臺北港與富貴角波浪觀測結果的差異明顯。此外，雷達觀測海域的東側為陸地(如圖 2.12 所示)，觀測區域並不易產生從東側傳遞而來的波浪。相較於雷達觀測區域，富貴角資料浮標所在位置的東側仍為海域，因此仍能測得從東側傳遞而來的波浪。因為上述地理條件上的差異，造成雷達與資料浮標所測得波向有較明顯之差異。

除海面浪高、週期與波向之外，透過雷達所測得之海面回波資訊也能求取海面能譜資訊。因海面上的不規則波可假設為許多不同頻率、不同振幅與不同相位條件的餘弦波所線性疊加而成。從海面能譜能掌握海浪內部能量相對於頻率的分佈，是研究波浪現象的重要工具。圖 2.38 為本計畫於臺北港測試期間所測得之海面一維能譜案例，圖中顯示有兩組能量尖峰區域，亦即此一案例海面波浪的組成是由兩種不同頻率條件的成分波所組成，從雷達影像分析所得之二維波數譜(圖 2.39)也可確認相同之能量分布特徵。

表 2-5 臺北港雷達與富貴角浮標同步觀測結果之絕對差值

	9 時	10 時	11 時	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時	17 時	18 時
雷達測得 示性波高(m)	0.55	0.60	0.86	1.05	1.02	0.99	0.92	0.93	0.74	0.45
資料浮標測得 示性波高(m)	0.63	0.78	0.84	0.90	0.90	0.80	0.75	0.87	0.95	0.86
兩者示性波高 絕對差值(m)	0.08	0.18	0.02	0.15	0.12	0.19	0.17	0.06	0.21	0.41
雷達測得 尖峰週期(sec)	4.0	7.5	7.2	7.2	6.9	6.9	6.9	7.2	7.5	3.4
資料浮標測得 尖峰週期(sec)	4.9	5.0	5.3	5.0	4.6	4.9	5.0	5.4	5.8	5.6
兩者尖峰週期 絕對差值(sec)	2.4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.0	0.4	0.0	0.3	3.8
雷達測得 主波向(°)	5	0	9	3	6	8	4	4	0	167
資料浮標測得 主波向(°)	78	67	56	45	22	22	11	22	56	56
兩者主波向 絕對差值(°)	73	67	47	42	16	14	7	18	56	111

表 2-6 富貴角浮標之風速風向觀測結果

	9 時	10 時	11 時	12 時	13 時	14 時	15 時	16 時	17 時	18 時
風速 (m/sec)	3.6	3.8	3.7	3.5	3.5	3.4	3.4	3.8	3.5	3.5
風向(°)	115	107	88	72	70	72	67	90	116	123

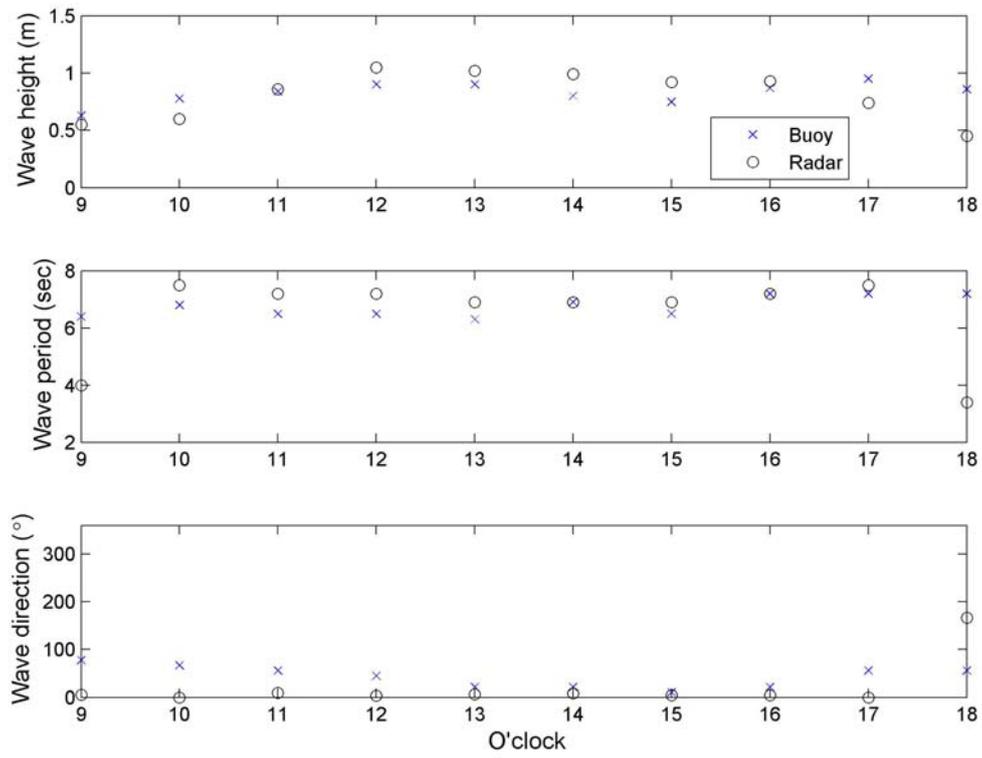


圖 2.37 臺北港雷達與富貴角浮標波浪觀測結果之比對

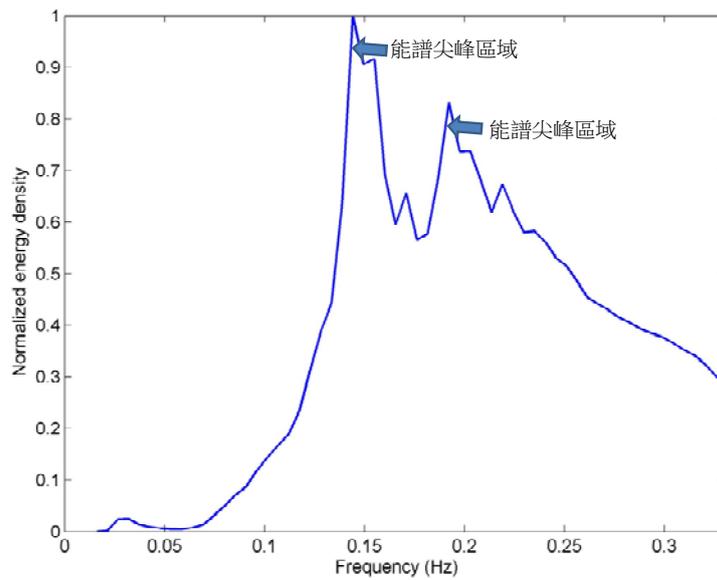


圖 2.38 臺北港雷達測得之一維海面能譜案例

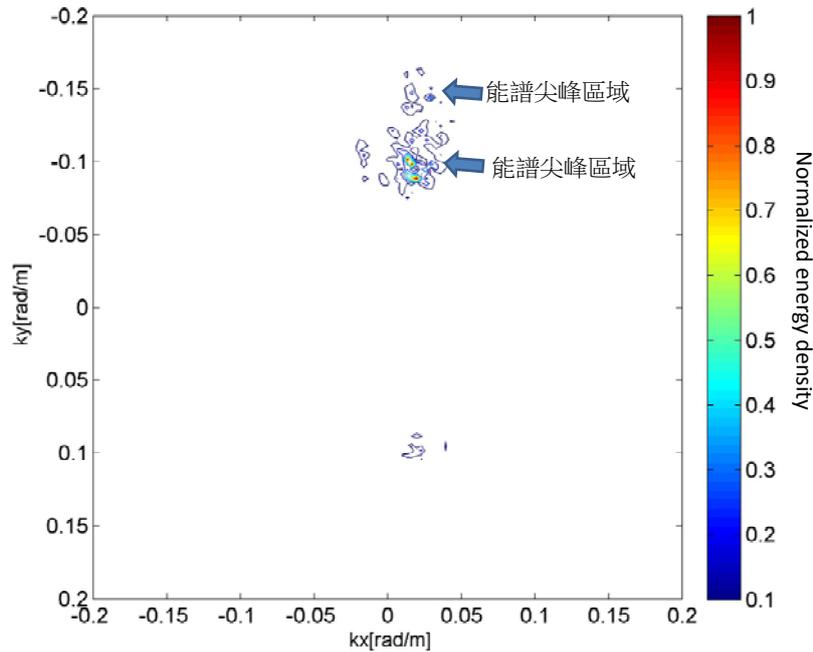


圖 2.39 臺北港雷達測得之海面二維波數譜案例

## 2.5 雷達系統觀測流程之規劃

本計畫透過前述章節評估雷達系統進行海面特徵物與波流監測的效果，考慮到未來除了短期間(為期數天)的任務需求之外，可能需要進行長期的作業化監測，因此有必要針對雷達系統的觀測流程進行整體之規劃，圖 2.40 為本計畫所規劃之雷達系統觀測與演算流程。

觀測系統可分為雷達本體與電腦控制系統兩大部分，假設電腦系統於整點啟動，約 3 分鐘可進入作業程式，進而啟動雷達主機。為使雷達磁控管發揮功用，則需要約 4 分鐘的暖機時間。待雷達主機暖機完成之後，電腦系統會控制驅動雷達天線之轉動與電磁波發送接收，此時，電腦系統會連續擷取 128 張雷達影像的原始訊號。待原始訊號接收並儲存完畢之後，電腦系統會進行訊號的解算，將原始訊號轉換為三維度的影像序列資料，並進行影像處理、特徵辨識與波流分析等演算，最後將演算結果彙整產出。整個觀測與演算流程約可在半小時內完成，因此未來若進行作業化觀測時，理論上雷達系統每小時可以

進行兩次觀測。

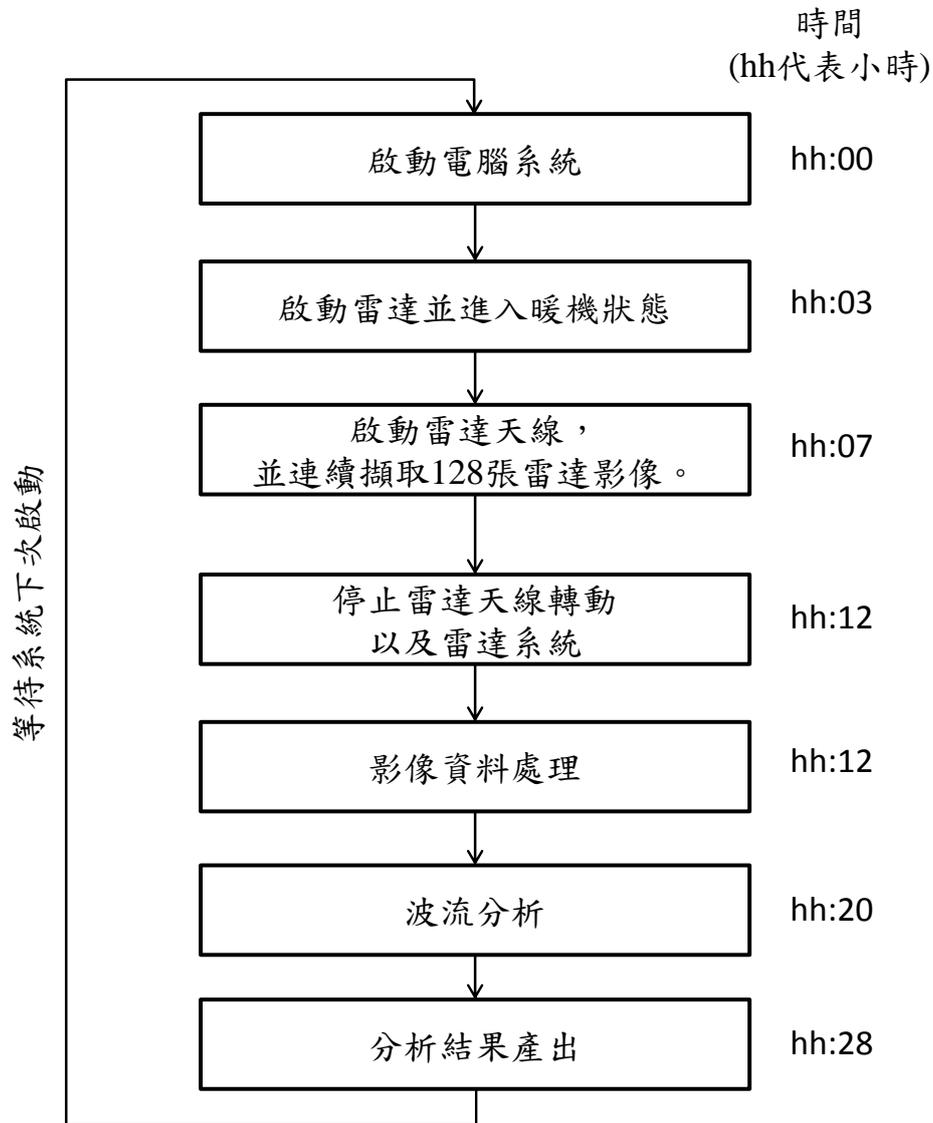


圖 2.40 雷達系統觀測與演算流程

## 2.6 作業化雷達觀測站之評估

上述現場測試以確認海面特徵辨識與波流觀測效果之主要目的之一，是針對港口區域建置作業化雷達觀測站的可行性進行評估，為確保現場觀測作業啟動之後，系統能完整取得觀測資料，且能長時間穩定作業，適合的觀測位置與架站條件是重要關鍵，因此本計畫針對現場測站之評估項目整理如表 2-7 所示。

表 2-7 建置長期作業化雷達觀測站之評估

評估項目	基本需求
天線架設高度	架設高度需高於海平面 10m
天線架設位置	天線與觀測水域間需有效避開障礙物之影響
電源供應	穩定 110V 電源
網路連線	穩定之網路連線品質
設備保全性	非一般民眾可任意進出之區域，且可提供室內空間放置電腦系統。
現場緊急支援	有專人可協助現場緊急支援

根據雷達電磁波與海水面的交互作用機制，雷達天線架設高度愈高，觀測掠角就愈大，也愈有利於海面回波解算，亦即愈有利於雷達監測之效果；此外，較高的雷達天線也能有效避開附近其他建物的遮蔽影響，有利於雷達的觀測範圍。穩定的電力來源以及數據通訊網路也是建置雷達測站之必要條件，具有穩定之電源供應以及網路連結，將有利於長時間作業。考慮到現場測站的設備保全，可考慮有人定期巡守或是可協助現場緊急支援，藉以確保觀測設備之安全性。圖 2.41 為本計畫團隊於臺南安平商港附近區域勘查之結果，發現商港附近確實有高度較高的政府單位建築物。本計畫執行團隊於 2015 年 8 月份已前往臺南安平港拜會海巡單位(圖 2.42)，說明並討論未來借用其建築物頂樓架設雷達觀測站的可行性。未來若需要架設作業化長期測站，則需透過行政流程提出借用或是租用場地之申請。

除安平港的評估之外，本計畫也針對臺北港區內可能作為設置作業化雷達觀測站之地點進行評估與檢討。如圖 2.43 所示，臺北港區內鄰近防波堤處設有一大樓。經本計畫評估，該大樓之樓頂確實能符合表 2-7 所列之評估項目之需求。然而自民國 101 年 3 月臺灣港務股份有限公司成立，臺北港已由「臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司臺

北港營運處」進行營運管理，相關建置雷達觀測站所需用地之取得可能較為困難。



圖 2.41 安平商港附近之現場照片



圖 2.42 本計畫執行團隊拜會海巡單位



圖 2.43 臺北港區內鄰近防波堤之大樓

除臺南安平港與臺北港之外，本計畫也針對國內四大國際商港進行建置作業化雷達觀測站之可行性進行檢討(表 2-8)，藉以作為未來建置港區油污監測系統之評估。如前所述，雷達架設位置之高度、電源供應、網路連線、設備保全與現場緊急支援等都是評估適當的雷達站設置位置所必須考量的。

圖 2.44 為高雄港區的空照圖，港區內的旗後燈塔位於高雄市旗津區旗後山頂，其地理條件屬附近區域的制高點，再加上燈塔旁設有建物，有利於電源提供與設備保全，適合作為雷達監測油污的監測站位置。旗後燈塔屬於交通部航管局所管轄，未來若規劃要在此建置雷達監測站，則需進一步透過行政程序進行申請。

圖 2.45 為基隆港區的空照圖，該港區附近的和平島上設置有交通部船舶交通管制組，該處設有瞭望塔，屬於附近區域的制高點，有利於監測附近海面之特徵，是基隆港區內適合作為雷達監測油污的監測站位置。

圖 2.46 為花蓮港區的空照圖，由於港區附近較無明顯的至高點，因此較為適合之雷達架設位置為花蓮港東防波堤燈杆旁，但燈杆室內空間相對較為有限，且由於此一位置位於堤頭，颱風期間可能會受到巨浪或長浪越堤的影響，相關設備之保全相對較為困難。

臺中港區內較無明顯的制高點，因此較為適合之雷達架設位置為北防坡堤上的小型哨所，如圖 2.47 內之照片所示，但哨所室內空間相對較為有限，且室內電腦系統的防水可能會較為困難。

**表 2-8 港區內架設雷達適當位置之評估**

商港名稱 評估項目	高雄港	基隆港	花蓮港	臺中港
架設位置	旗後燈塔旁	交通部船舶交通管制組瞭望塔	花蓮港東防波堤燈杆旁	北防坡堤之哨所
相關管理單位	交通部航管局	交通部船舶交通管制組	臺灣港務股份有限公司花蓮港務分公司	—
電力供給	應可商借或申請市電	應可商借或申請市電	應可商借或申請市電	應可商借或申請市電
通訊傳輸	建議使用 3G 或 4G 無線通訊	應可申裝 ADSL	建議使用 3G 或 4G 無線通訊	建議使用 3G 或 4G 無線通訊
儀器保全	置於建物頂樓安全性高	置於建物頂樓安全性高	無專人看守	無專人看守
可能遭遇問題	場地申借	場地申借	1.儀器保全 2.室內空間較為有限 3.可能會受到巨浪之破壞	1.儀器保全 2.室內電腦系統的防水



圖 2.44 高雄港區架設雷達之適當位置  
(圖片來源：Google Earth)



圖 2.45 基隆港區架設雷達之適當位置  
(圖片來源：Google Earth)

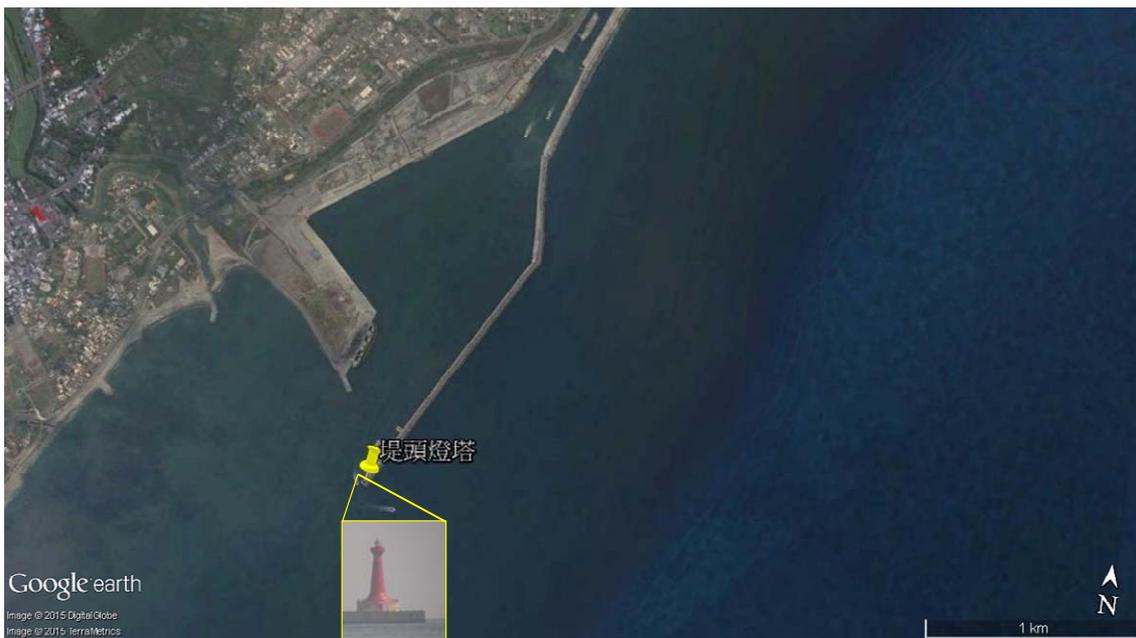


圖 2.46 花蓮港區架設雷達之適當位置  
(圖片來源：Google Earth)



圖 2.47 臺中港區架設雷達之適當位置  
(圖片來源：Google Earth)

## 2.7 WERA 雷達資料分析及初步探討

雷達解算之海流資訊不僅為海洋物理研究上的重要參數，同時在實務應用上，也對海上救難支援、海洋污染事件處理、及政府海洋政策之制定等均有相當之貢獻。現今前瞻性之海流觀測必須達到空間域上的全面性，以及時間域上的即時性；此外，海流資料品質與準確度也關乎了海流觀測資料之可利用性與價值。因此，如何確保海流資料的高品質，對海流觀測實為必要的程序。在各種海面流場的遙感探測技術中，頻率在 3-30MHz 之高頻雷達測流技術因可較不受到日夜變化以及降雨影響的限制，且能進行大範圍海域的觀測，是目前國際間使用的主流技術之一。

高頻雷達測流理論之發展起源於 Crombie (1955) 的研究，Barrick et al. (1977) 則採用此一理論發展出第一套雷達遠端遙測系統。高頻雷達的測流原理是透過回波訊號的布拉格效應(Bragg Effect)進行海表面速度量之解算，根據線性波理論，海面的波浪可視為不同頻率以及方向的成分波所疊加而成之不規則波面。海面波動中，波長為雷達波長一半之成分波(布拉格波，Bragg waves)是造成海面強烈散射回波之主因，雷達回波訊號經能譜轉換之後可取得都卜勒(Doppler)能譜，能譜中隱含有海面速度資訊於其中。圖 2.48 為高頻雷達測得之都卜勒能譜之範例，都卜勒能譜中頻率正值之物理意義為觀測區域的目標，也就是布拉格波朝接近雷達天線的方向移動(targets moving towards antennas)；頻率負值之物理意義為觀測區域的布拉格波朝遠離雷達天線的方向移動(targets moving away from antennas)。當海面沒有流速的影響下，都卜勒能譜的兩組能量尖峰將集中於圖中的兩條垂直線，其對應頻率位置可反算出無流速條件下的布拉格波相位速度；當有流速之影響下，兩組能量尖峰將偏離圖中的兩條垂直線，透過頻率偏移量搭配相關數學理論，即可反算出海面流場資訊。

目前市面上常見的作業化高頻雷達測流系統主要有兩套，其中一套為美國的 SeaSonde 系統；另一套則為德國的 WERA(WavE RADar)

系統，比較 SeaSonde 系統與 WERA 系統之差別，主要是在於訊號方向解算之差異。SeaSonde 系統是透過三組共位天線同步接收來自於周圍不同方向的回波能量，每一組天線都可求取出都卜勒自譜以及與另外兩組天線之間的交錯譜(cross spectra)。透過這些自譜與交錯譜的資訊再搭配適當的演算法進行不同方向回波訊號的分離，SeaSonde 系統所使用的方向分辨技術為 MUSIC(MULTiple Signal Classification)演算法，此一技術的原理在於都卜勒自譜與交錯譜搭配雷達站周圍區域所測得之天線場型矩陣，進而界定出不同方向所接收到的速度資訊。圖 2.49 是 WERA 系統之硬體架構，透過陣列天線搭配 Beam forming 演算法，可解算訊號中來自不同方向之成分，其原理是透過某一方向的海面回波抵達不同天線的時間不同(相位差)，透過數學三角函數關係解算不同天線的相位差，即可反算出訊號的方向資訊。

本計畫除針對航海雷達的觀測能力進行研究之外，也針對交通部運輸研究所於臺北港所測得之 WERA 高頻雷達觀測資料進行分析與初步探討。圖 2.50 是本計畫團隊於計畫執行期間前往臺北港實地勘查 WERA 高頻雷達系統，藉以掌握 WERA 高頻雷達系統的觀測環境條件。WERA 高頻雷達天線回波原始資料之檔案內容除了檔頭的資訊之外，其餘都是以二進位資料格式進行儲存(圖 2.51)。二進位資料格式的優點為資料儲存量僅需 ASCII 格式的四分之一；但相對編碼方式複雜，必須掌握其檔案結構才有可能順利將資料檔解讀出。本計畫研究 WERA 系統原始資料的結構(圖 2.52)，並從中將原始資料解算出，圖 2.53 即為解算出的臺北港其中一組天線所測得之 WERA 高頻雷達原始觀測時序列資料，此一資料為雷達從海面所接收到的電磁回波時序列，其訊號取樣頻率約為 4.6Hz。將上述時序列經由譜轉換後可求得雷達回波都卜勒能譜，如圖 2.54 所示，分析所得都卜勒能譜的能量尖峰位置與其布拉格波的都卜勒頻率相近，初步確認資料解算流程的正確性。再經由整合不同距離單元之雷達回波都卜勒能譜，則可獲得圖 2.55 之結果。

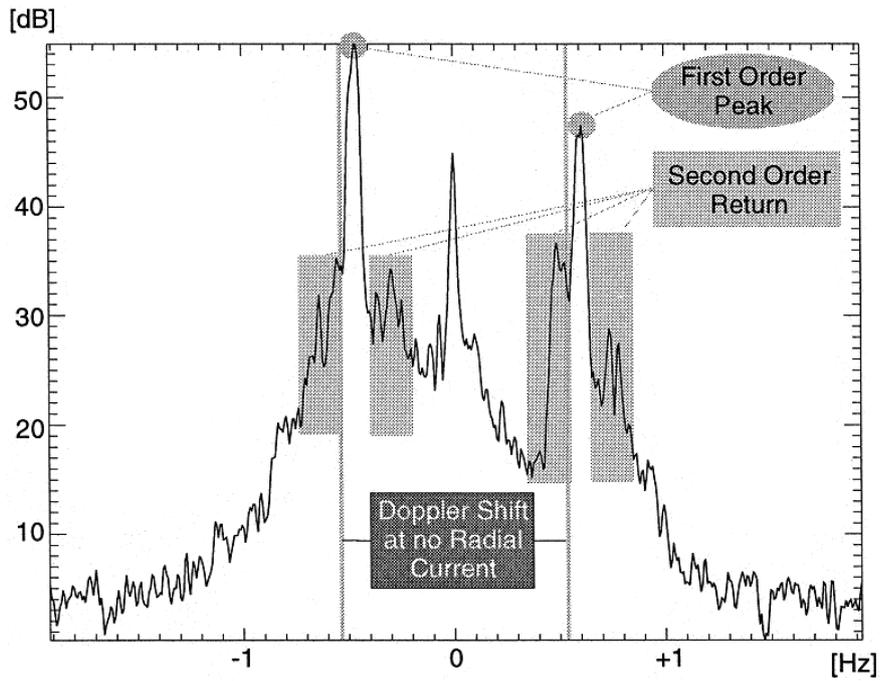


圖 2.48 高頻雷達測得之都卜勒能譜範例  
(資料來源：Gurgel et al., 1999)

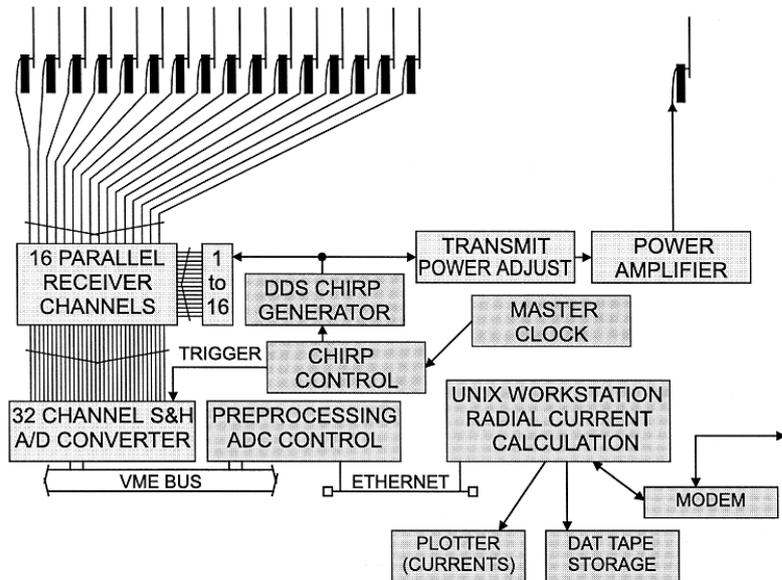


圖 2.49 WERA 系統之硬體架構  
(資料來源：Gurgel et al., 1999)



圖 2.50 臺北港 WERA 高頻雷達觀測系統天線(箭頭處)

```

00000000h: 2 30 34 38 20 53 41 4D 50 4C 45 53 20 20 20 31 ; 048 SAMPLES 1
00000010h: 36 2D 4D 41 59 2D 31 35 20 30 30 3A 30 30 20 55 ; 6-MAY-15 00:00 U
00000020h: 54 43 20 20 53 6F 75 74 68 5F 74 77 32 20 20 20 ; TC South_tw2
00000030h: 46 4D 53 4F 43 4F 20 46 52 45 51 55 45 4E 5A 20 ; FMSOCO FREQUENZ
00000040h: 20 33 38 2E 35 33 31 4D 48 5A 20 59 45 41 52 20 ; 38.531MHZ YEAR
00000050h: 32 30 31 35 20 20 20 20 20 52 41 4E 47 45 3A 20 ; 2015 RANGE:
00000060h: 20 30 2E 33 34 33 30 20 4B 4D 2C 54 52 55 45 4E ; 0.3430 KM,TRUEN
00000070h: 4F 52 54 48 3A 20 36 39 20 47 52 41 44 2C 52 41 ; ORTH: 69 GRAD,RA
00000080h: 54 45 3A 30 2E 32 31 36 36 39 30 53 2C 4E 52 52 ; TE:0.216690S,NRR
00000090h: 41 4E 47 45 53 3A 20 33 37 20 30 30 30 30 30 30 ; ANGES: 37 000000
000000a0h: 30 20 4C 41 45 4E 47 45 3A 31 32 31 2D 32 32 2D ; 0 LAENGE:121-22-
000000b0h: 30 34 20 45 42 52 45 49 54 45 3A 20 32 35 2D 30 ; 04 EBREITE: 25-0
000000c0h: 38 2D 31 33 20 4E 20 4D 54 3A 20 20 31 32 38 30 ; 8-13 N MT: 1280
000000d0h: 20 50 57 52 3A 20 34 30 39 35 20 41 4E 54 3A 20 ; PWR: 4095 ANT:
000000e0h: 38 20 4D 44 3A 30 33 39 20 4F 46 46 53 45 54 3A ; 8 MD:039 OFFSET:
000000f0h: 30 2E 38 20 52 58 4F 46 46 53 45 54 3A 20 20 20 ; 0.8 RXOFFSET:
00000100h: 20 20 20 20 20 20 30 53 53 20 30 2E 30 30 30 30 ; OSS 0.0000
00000110h: 30 30 20 48 44 3A 30 30 31 20 20 20 20 20 20 20 ; 00 HD:001
00000120h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 ;
00000130h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 ;
00000140h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 ;
00000150h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 ;
00000160h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 ;
00000170h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 ;
00000180h: 30 30 30 30 30 30 30 20 2D 30 34 35 30 39 39 20 ; 00000000 -045099
00000190h: 2D 30 35 32 35 36 32 20 2D 30 33 37 32 35 31 20 ; -052562 -037251

```

圖 2.51 WERA 高頻雷達天線回波原始資料內容



圖 2.52 WERA 高頻雷達天線回波原始資料之結構

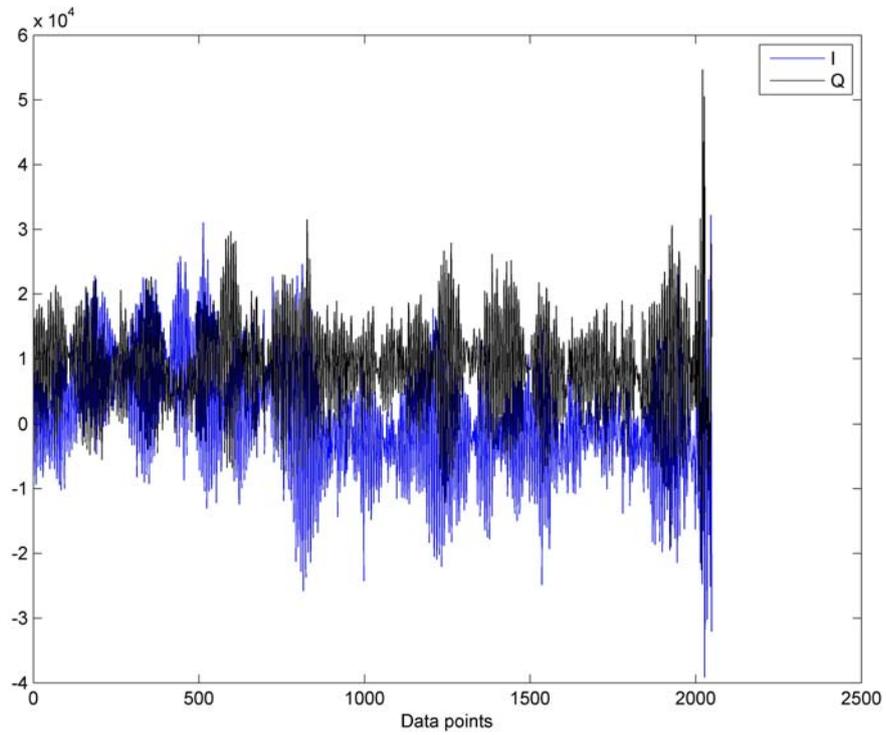


圖 2.53 本計畫所解算出 WERA 雷達回波原始資料時序列

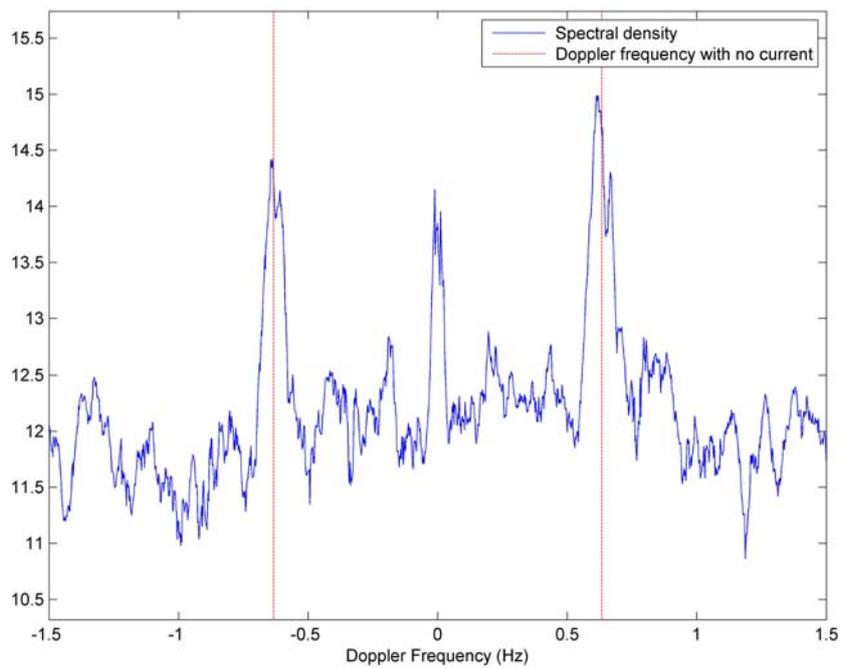


圖 2.54 單一距離單元之雷達回波都卜勒能譜

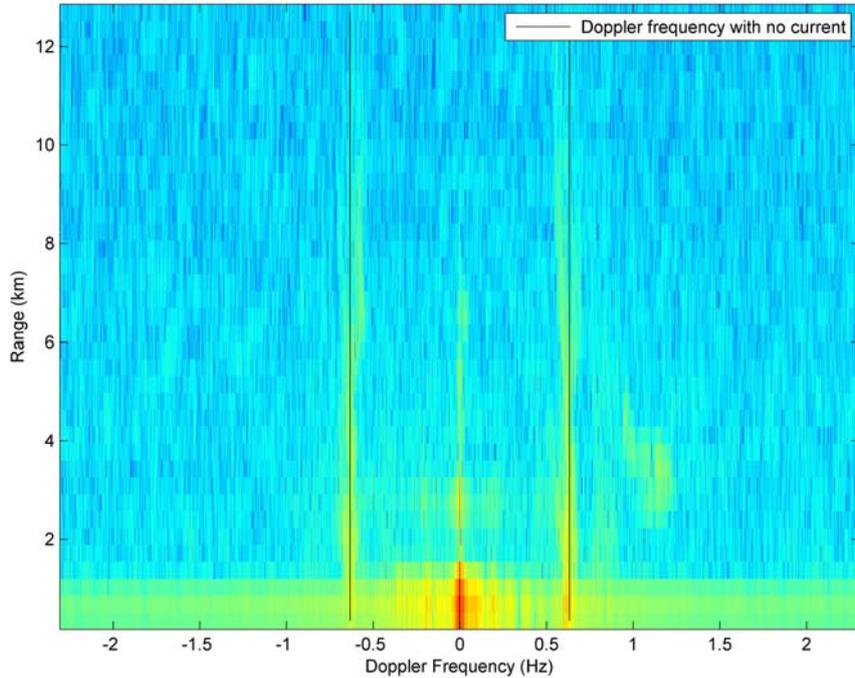


圖 2.55 不同距離單元之雷達回波都卜勒能譜

由於高頻雷達系統是使用全向性之天線，理論上所接收到的回波訊號包含了來自四面八方的海面回波於其中，透過單一天線並無法有效辨析出訊號的實際來源方向。現有高頻雷達辨識訊號的其中一項技術是解算多組(一般至少需要 4 組天線)天線進行海面回波訊號的接收，再透過陣列天線中不同天線組收到同步訊號之間的相位差解算訊號的方位角，如圖 2.56 所示。根據數學幾何關係，可透過下式進行來源訊號方位角  $\theta$  的解算：

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\Delta\phi\lambda_r}{2\pi d}\right) \dots\dots\dots (2-19)$$

上式中， $\Delta\phi$  為不同天線所接收到回波訊號的相位差； $d$  為天線之間的距離。由於來自不同方向的一階布拉格回波訊號會疊加於相對較微弱的二階回波訊號，會導致上式無法有效解算出含有二階回波訊號之方向特徵(Gurgel et al., 2001)。為能有效解算出都卜勒能譜中的回波訊號特徵，可透過 Beam Forming 的解算技術。為方便數學運算，可將不同陣

列天線所接收到的訊號  $x[n]$  透過矩陣型式表示之：

$$\begin{bmatrix} x_0[n] \\ x_1[n] \\ \vdots \\ x_{N-1}[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0(\theta_0) & a_0(\theta_1) & \dots & a_0(\theta_{r-1}) \\ a_1(\theta_0) & a_1(\theta_1) & \dots & a_1(\theta_{r-1}) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{N-1}(\theta_0) & a_{N-1}(\theta_1) & \dots & a_{N-1}(\theta_{r-1}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} s_0[n] \\ s_1[n] \\ \vdots \\ s_{N-1}[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_0[n] \\ v_1[n] \\ \vdots \\ v_{N-1}[n] \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2-20)$$

$$a(\theta) = [1 \quad e^{-i\omega} \quad e^{-i2\omega} \quad \dots \quad e^{-i(N-1)\omega}]^T \quad \dots\dots\dots (2-21)$$

上述方程式中， $s[n]$  為海面所傳遞至陣列天線的訊號源； $a(\theta)$  為  $s[n]$  的導引向量(Steering vector)； $v[n]$  則為雜訊； $[n]$  代表有  $n$  離散點之時序列； $^T$  代表轉置矩陣。透過不同天線的時域訊號中加入權重函數  $w_k$ ，可抑制訊號束(beam)的側瓣(Side lobe)，並獲得一整合後之時序列訊號(Beamformer output)：

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} w_k x_k[n] \quad \dots\dots\dots (2-22)$$

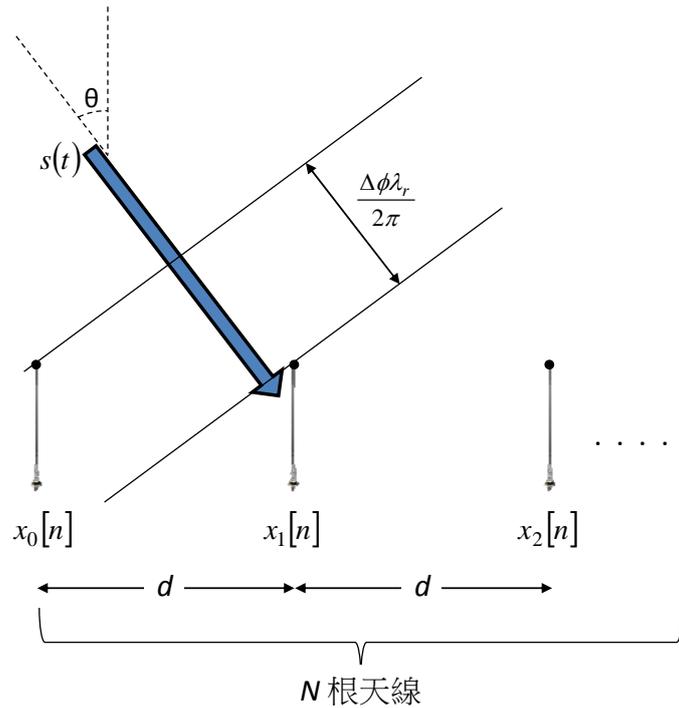


圖 2.56 陣列天線接收訊號之示意圖

根據 Beam Forming 的理論，特定方向的 Beamformer 能量可透過此一方向形成一訊號集束(Forming a beam)，並令權重等於此一方向的導引向量來估算之。基於此一理論，Beamformer 的能量增益(Gain)可透過下式表示之：

$$\begin{aligned}
 P(\theta) &= E[y[n]^H y[n]] = E[w[n]^H x[n]]^2 \dots\dots\dots (2-23) \\
 &= E[a(\theta)^H x[n]]^2 = a(\theta)^H R_{xx} a(\theta)
 \end{aligned}$$

$$R_{xx} = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} x[i]x[i]^H \dots\dots\dots (2-24)$$

上式中，<sup>H</sup> 代表 Hermitian 矩陣。透過上述之數學關係即可估算不同方向的訊號集束，並透過找尋能量增益最強的訊號集束來決定訊號的來源方向。

本研究進一步依據前述之陣列天線訊號解算理論進行實測高頻雷達訊號之分析，藉以從中解算出海面流速之方向，圖 2.57 為透過 Beam

Forming 的解算技術所求解出的結果，圖中能量增益值尖峰所對應之方向即為陣列天線所辨識出海面訊號相對於雷達陣列天線之方位角。透過不同速度與不同觀測距離的雷達訊號解算，可求得如圖 2.58 中扇形區域之空間徑向流場分析結果，其中正值流速代表徑向流朝接近雷達天線的方向移動；負值流速則代表徑向流朝遠離雷達天線的方向移動。從圖 2.58 可發現，扇形區域左半區域與右半區域的徑向流向大致相反，說明了在陣列天線的左前方與右前方可分別觀測到朝雷達天線接近與遠離雷達天線的流場。

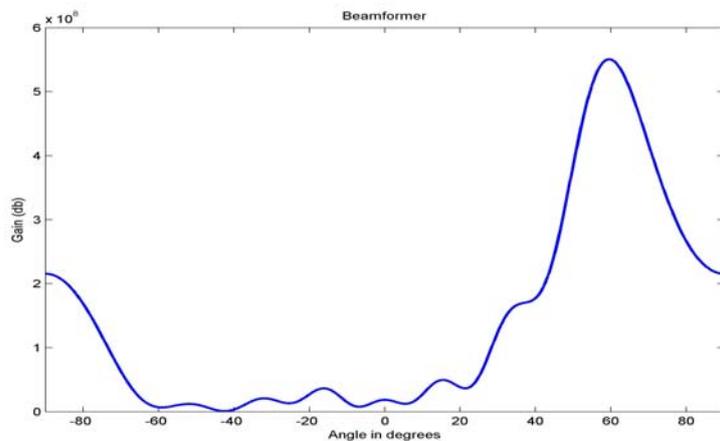


圖 2.57 透過 Beam Forming 方法解算出之結果

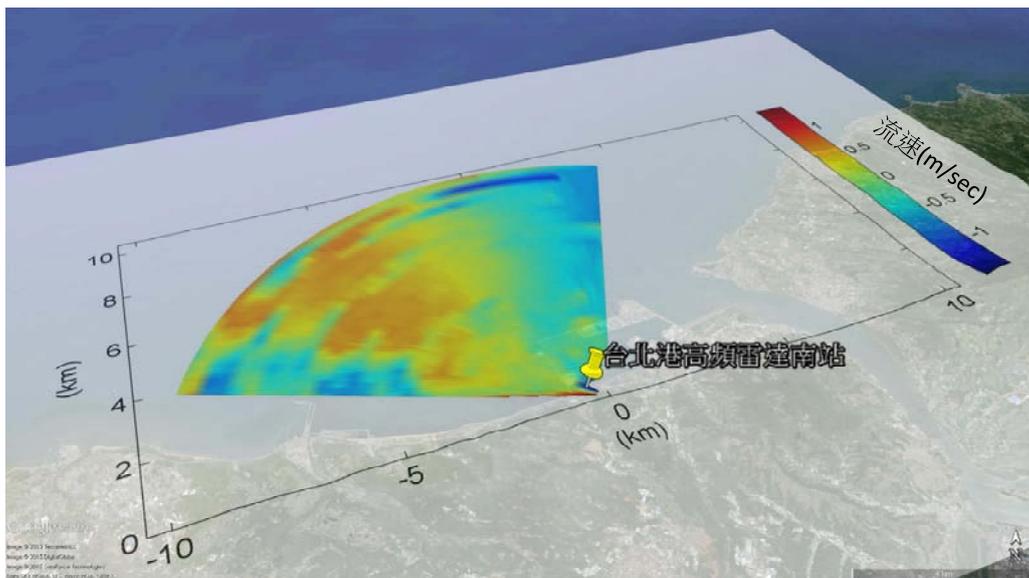


圖 2.58 從陣列天線解算出徑向流速之結果

### 第三章 海域油污擴散數值模擬

海域油污擴散模擬技術為本研究計畫的兩大工作重點之一。圖 3.1 為本研究計畫針對油污擴散模擬技術之三年整體發展規劃，計畫第一一年之重點為技術評估與規劃；第二年(本年度)著重於數值模式之建置與測試；第三年則將聚焦於監測技術與數值模擬結果之整合工作。本年度之「油污擴散模擬技術之研發」工作成果請參見本章以下各節說明。

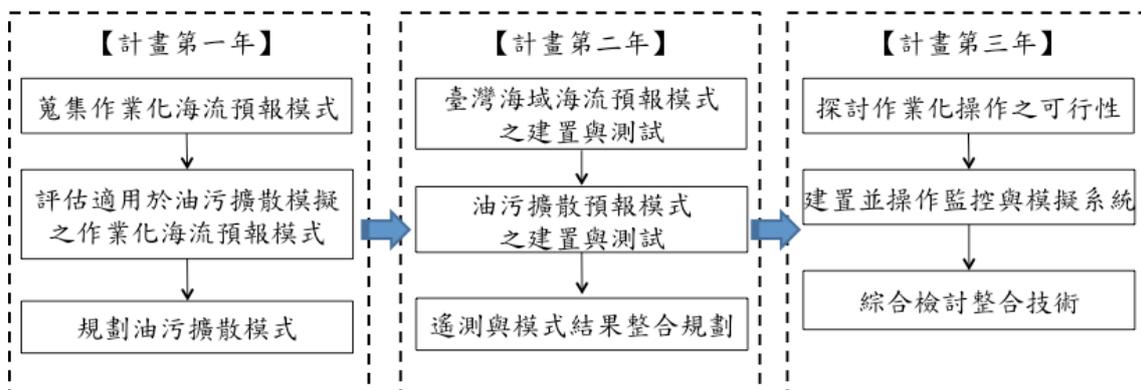


圖 3.1 油污擴散模擬技術之發展規劃

#### 3.1 103 年度研究成果彙整

為了解目前世界各國作業化海流模式的發展現況，完成世界各國作業化海流模式的蒐集與綜整，並評估適用於港區油污擴散之海流模式。SCHISM 海洋模式採用有限元素的非結構性網格設置，垂直網格結合 S 與 Z 座標可提高表底層之解析度，並避免因地形變化較大產生之水平壓力梯度的不一致性。又 SCHISM 海洋模式利用半隱式法求解，可使用較大的時間步長計算，並確保模式的穩定與精度，因此本研究計畫採用 SCHISM 海洋模式做為油污擴散模擬之海潮流資料來源。

在海流預報模式建置方面，完成計算設備與作業系統環境的設定，且完成模式後置處理的規劃。同時收集模式使用相關資料，如初始條件、邊界條件、及驅動力。溢油污染擴散模擬除需結合海洋流體

動力數值模式，亦需加入地形、氣象、波浪、潮流、及油品特性等條件。本研究計畫完成比較 SCHISM-Oil spill model 與 OILMAP 差異，擬選用的 SCHISM-Oil spill model 結合數值波浪模式，可輸入區域波浪場的資料，相較於商業用軟體 OILMAP 僅輸入單點的波浪資料更能完整描述溢油在海面上受到波浪的影響。

## 3.2 數值模式介紹

本研究計畫建構海域油污擴散模擬系統的主要組成有二：(1)海域海潮流運動之模擬；(2)溢油污染擴散之模擬。海潮流運動模擬結果將提供溢油污染擴散模擬所需之流場資料，而溢油污染擴散模擬考慮的機制以延展、水平傳遞和垂直擴散(horizontal advection and vertical diffusion)、蒸發(evaporation)、及溶解(dissolution)等為主。模式的基本理論如下。

### 3.2.1 SCHISM 海洋模式物理公式

SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model, <http://ccrm.vims.edu/schism/>)海洋模式 (2014 年 12 月 13 日前為 SELFE) 是由 Zhang 與 Baptista 以 ELCIRC 模式基礎修改而成，是一個求解三維淺水波方程 (3D shallow-water equations)、靜水壓方程 (Hydrostatic)、包氏近似 (Boussinesq approximations)、與鹽度及溫度的傳輸方程的海洋流體動力數值模式。SCHISM 海洋模式主要求解海氣交界自由液面 (Free surface) 的運動情況、水體中三維的流場與鹽度及溫度分佈。

SCHISM 海洋模式的基本控制方程式有連續與動量守恆方程式，為簡化 SCHISM 海洋模式的方程式，第一個假設為不可壓縮流體運動，則在卡氏座標下描述水體的連續方程式 (continuity equation) 可寫為：

$$\nabla \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (3-1)$$

為描述自由液面  $\eta(x, y, t)$  隨著流場演變，本模式求解下式：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \int_{-h}^{\eta} \mathbf{u} dz = 0 \dots\dots\dots (3-2)$$

第二個假設則是使用近似的方法簡化流體的動力方程式，引用包氏近似 (Boussinesq approximations)，因此求解三維的動量方程 (3D momentum equations)，寫作：

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \mathbf{f} - g\nabla\eta + \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z} \right) - \frac{1}{\rho_0} \nabla p_A - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\eta} \nabla \rho d\zeta + \nabla \cdot (\mu \nabla \mathbf{u}) \quad (3-3)$$

其中， $\mathbf{f} = -f \mathbf{k} \times \mathbf{u} + \alpha g \nabla \psi$ 。

鹽度傳遞擴散傳輸方程 (salt advection-diffusion-reaction)，寫作：

$$\frac{DS}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_s \dots\dots\dots (3-4)$$

溫度傳遞擴散傳輸方程 (temperature advection-diffusion -reaction)，寫作：

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{Q}{\rho_0 C_p} + F_h \dots\dots\dots (3-5)$$

以上程式中符號標記說明如下：

$(x, y)$ ：水平卡式座標(m)； $z$ ：垂直座標，向上為正(m)； $\nabla$ ： $\left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$ ；  
 $\eta(x, y, t)$ ：自由液面高度(m)； $h(x, y)$ ：水深(m)； $\mathbf{u}(x, y, z, t)$ ：水平速度向量，於卡式座標速度分量為  $(u, v)$  ( $\text{m s}^{-1}$ )； $w$ ：垂直速度(m/s)； $f$ ：科氏因子( $\text{s}^{-1}$ )； $g$ ：重力加速度( $\text{m s}^{-2}$ )； $\hat{\psi}(\phi, \lambda)$ ：地球潮汐位能(m)；

$\alpha$  : 有效地球彈性因子(= 0.69) (Schwidorski, 1980);  $\rho(\mathbf{x}, t)$  : 水密度,  $\rho_0$  唯一常數,  $1025 \text{ kg m}^{-3}$ ;  $\rho_A(x, y, t)$  : 自由液面的大氣壓力 ( $\text{N m}^{-2}$ );  $S, T$  : 水體中鹽度 (practical salinity units, (psu)) 與溫度 ( $\text{N m}^{-2}$ );  $\nu$  : 垂直渦流黏滯係數, ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ );  $\mu$  : 水平渦流黏滯係數 ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ );  $\kappa$  : 鹽度與熱通量垂直渦流擴散係數或熱通量垂直渦流擴散係數 ( $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ );  $F_s, F_h$  : 擴散作用造成的側向應力 (在 SCHISM 海洋模式中予以忽略);  $\dot{Q}$  : 太陽輻射的吸收率 ( $\text{W m}^2$ );  $C_p$  : 水的比熱 ( $\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )。

值得一提的是, SCHISM 海洋模式採用非結構三角形網格 (unstructured triangular grids) 使用在水平方向, 而垂直方向則結合隨地形變化 (terrain-following) 的 S 與 Z 座標系統, 如圖 3.2, 垂直座標 (z-axis) 起始點在平均水位 (mean sea level, MSL)。S 座標 (Song and Haidvogel, 1994) 放置於 Z 座標的上層 (如圖 3.2 中 a 及 b), S 與 Z 座標的區分線 (demarcation line) 在  $k^z = -h_s$  處, 意即  $h_s$  在 S 垂直座標上隨最高水面位至改變而變動。底部邊界線  $k^b$  在 Z 座標上會如圖 3.2 中呈現階梯式的變化。SCHISM 海洋模式在垂直座標結合 S 與 Z 座標系統, S 座標區域計算的層數皆使用在淺水區 ( $h \leq h_s$ ); 為解決底部效率則在深水區 ( $h \geq h_s$ ) 使用 Z 座標。

綜合上述結果, S 座標可隨著自由液面的曲線變動, 且可在自由液面下計算網格作局部加密, 以求得精度更佳的自由液面下各項物理量的演變情況。另 Z 座標於底床處以階梯式方法處理, 更能描述複雜海底地形的變化情形。

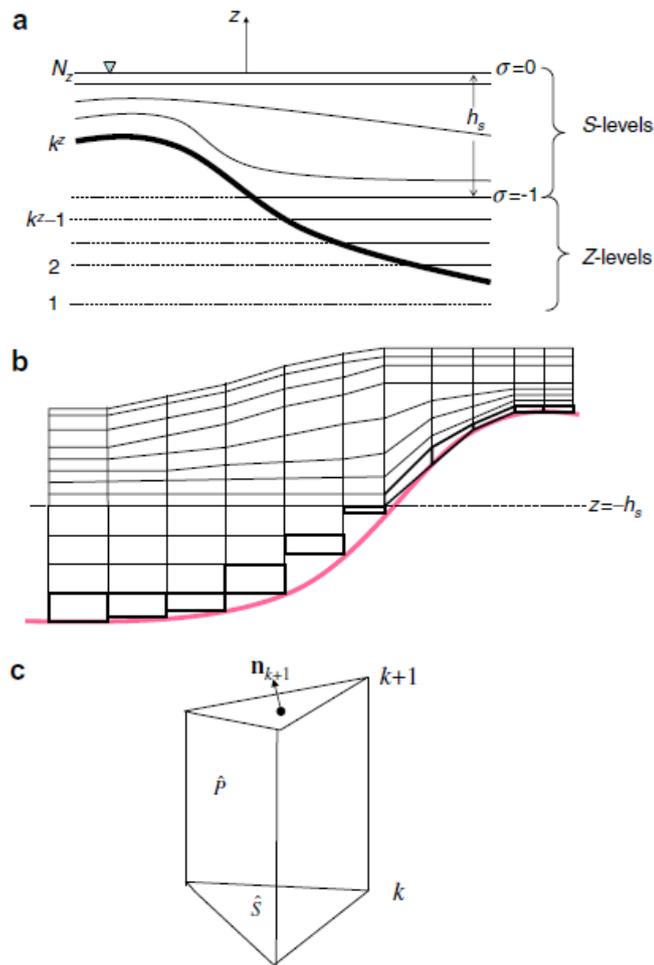


圖 3.2 SCHISM 海洋模式垂直座標系統  
(資料來源：Zhang and M. Baptista, 2008)

### 3.2.2 VOILS 溢油傳輸擴散模式

上述海洋模式除基本水動力系統外，也包括了油污擴散模組、波浪模組、生態系統模組、資料同化模組、水質模組、及漂砂模組，是一套可應用於多方面的模式系統。本研究計畫將於下半年整合納入油污擴散模組於 SCHISM 海洋模式，油污擴散模組簡述如下：

溢油擴散模擬可描述海水表層浮油與沉入水團之油污的傳輸過程(如圖 3.3)，在海水表層浮油描述採用二維溢油傳輸擴散模式(2D-VOILS)，而沉入水團之油污則採用三維溢油傳輸擴散模式(3D-VOILS) (Azevedo et al., 2014)。二維與三維溢油擴散模式需要水深

地形、全球或區域潮流模式、氣象資料、大氣作用力、波浪、溢油特性、及油品成份等輸入資料與模式的結合，來描述油污在海上傳輸與擴散的過程。在流體動力模式中採用 SCHISM 海洋模式來提供水位、流速、溫度、及鹽度等資料。

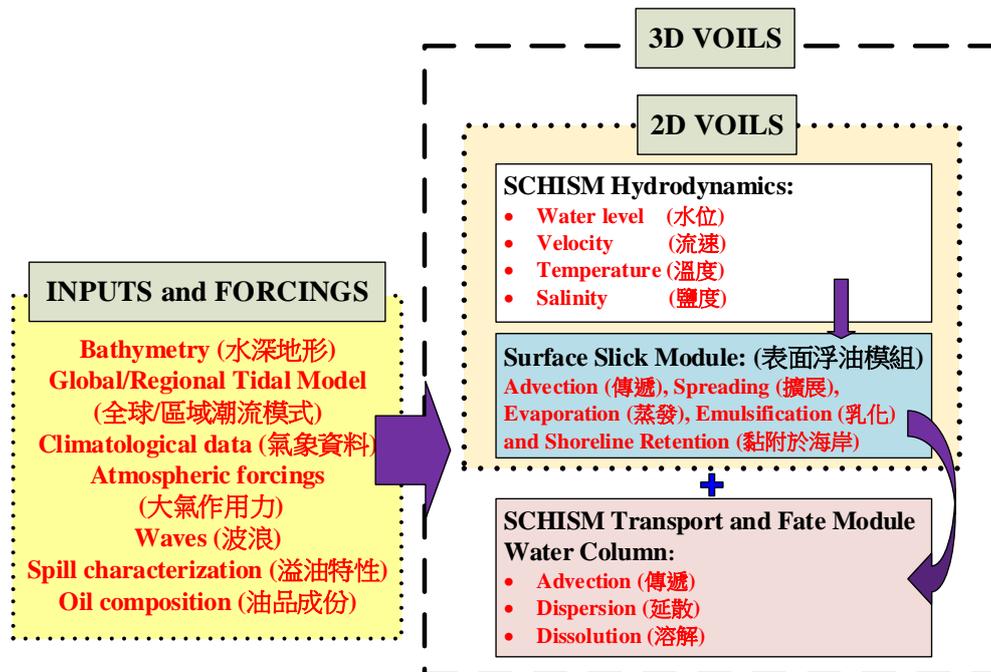


圖 3.3 油污擴散模擬流程圖(Tkalich, 2006)

二維與三維溢油擴散模組分別說明如下：

1. 油污的擴散與初始溢油面積 (spreading and initial area of the slick)

油污在海面上擴散可由重力 (gravitational)、慣性力 (inertial)、黏滯力(viscous forces)、表面張力 (interfacial tension stresses)之間的平衡關係來描述，海水表層浮油範圍與厚度在溢油模式中是很重要的參數 (Lehr, 2001)。溢油在海上的傳輸擴散過程非常複雜，需考慮油污的物理特性與海水表面的環境條件，特別是海水表面與水團中的紊流現象。

2. 二維油污模式 (the 2D oil spill model)

在二維溢油傳輸擴散模式 (2D-VOILS) 中，油污初始溢油面積可定義 (Lehr et al., 1984; Lehr, 2001)如下式：

$$A_{ini} = 2.27(\Delta_w V)^{\frac{2}{3}} t^{\frac{1}{2}} + 0.04(\Delta_w V U_{10}^4) t \dots\dots\dots (3-6)$$

$$A_{ini} = 3.4\pi \left( \frac{\Delta_w V^5}{\nu^2} \right)^{\frac{1}{6}} \dots\dots\dots (3-7)$$

其中  $A_{ini}$  為初始溢油面積； $\Delta_w = (\rho_w - \rho_o) / \rho_w$  為油與水密度差； $\rho_w$  為水的密度； $\rho_o$  為油的密度； $V$  為初始溢油體積； $t$  為溢油後時間； $U_{10}$  為水面上 10 m 處之風速； $\nu$  為水的運動黏滯係數。

海水表層浮油採用二維油污模式 (2D-VOILS) (Oliveira et al., 2000; Oliveira and Fortunato, 2002)，以歐拉-拉格朗日方法 (Eulerian-Lagrangian scheme) 求解油污在海水表層的傳輸過程現象。模擬海水表層油污傳輸過程，有蒸發、乳化、及黏附於海岸邊等物理化學現象，可由式(3-6)對流-擴散方程來求解。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (h u_i) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_s \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) = R_{h\_2D} \dots\dots\dots (3-8)$$

$$R_{h\_2D} = -Evap + Emul - ShoreRetention \dots\dots\dots (3-9)$$

其中  $t$ ：時間； $h$ ：表層浮油厚度； $x_i$ ：水平卡式坐標系統； $R_{h\_2D}$ ：表示油污的風化過程，即表層浮油的來源與沉降以及與水團的交互作用，有蒸發 (evaporation)、乳化 (emulsification)、黏附海岸邊 (shoreline retention) 等物理化學現象。

$$\text{油污擴散係數 } D_s = gh^2 (\rho_w - \rho_o) \frac{\rho_o}{\rho_w C_f} \dots\dots\dots (3-10)$$

其中  $C_f = 0.02 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  為水表面浮油阻力係數。

(3-8)式的二維油污風化過程可分成四個部份來描述，分別如下：

表層浮油對流速度：

$$u_i = \frac{\partial x_i}{\partial t} \dots\dots\dots (3-11)$$

沿著特徵線的水平速度梯度：

$$\frac{Dh}{Dt} = -\frac{\partial u_i}{\partial x_i} h \dots\dots\dots (3-12)$$

特徵線底部的源流項 (sources) 與沉流項 (sinks)：

$$\frac{Dh}{Dt} = R_{h\_2D} \dots\dots\dots (3-13)$$

擴散方程則利用有限體積法求解，如下式：

$$\frac{Dh}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_s \frac{\partial h}{\partial x_i} \right) \dots\dots\dots (3-14)$$

### 3. 三維油污模式 (The 3D oil spill model)

沉入水團之油污採用三維油污模式 (3D-VOILS)，求解油污在水團中的延散 (dispersed) 與溶解 (dissolved) 的傳輸與擴散如下式：

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \kappa \frac{\partial C}{\partial z} \right) + Fc + R_{h\_3D} \dots\dots\dots (3-15)$$

其中  $C$  為一般的追蹤者 (generic tracer)； $u, v, w$  分別為  $x, y, z$  方向速度分量； $\kappa$ ：垂直渦流擴散係數 (vertical eddy diffusivity)； $Fc$ ：水平擴散項； $R_{h\_3D}$  為水團中油污的源流與沉流 (sources and sinks)，定義如下式：

$$R_{h\_3D} = -Dispersion - Dissolution \dots\dots\dots (3-16)$$

其中 Dispersion 表示油污在水團中延散過程；Dissolution 表示溶解過程。

綜合上述二維與三維油污模式可知，海水表層油污風化過程可由式(3-9)來表示，其演變過程有油包水(water-in oil)的蒸發與乳化，處理黏附海岸邊有源流與沉流 (sources and sinks)。另在水團中的風化過程則以式(3-16)來描述，分別有分散與溶解過程，下式則可表示整個油污在海上的傳輸與擴散之物理化學現象。

$$R_h = R_{h\_2D} + R_{h\_3D} \dots\dots\dots (3-17)$$

### 3.3 數值計算網格建置

為了提升海流模擬準確度，地形水深資料的空間解析度是影響因素之一，因此以交通部運輸研究所港灣技術研究中心（以下簡稱港灣技術研究中心）於主要商港量測的地形水深資料建置高解析的網格資料，圖 3.4 為安平商港至高雄工商港第一港口的地形水深資料，離岸最遠達 30 公里，水深最深達 500 公尺。

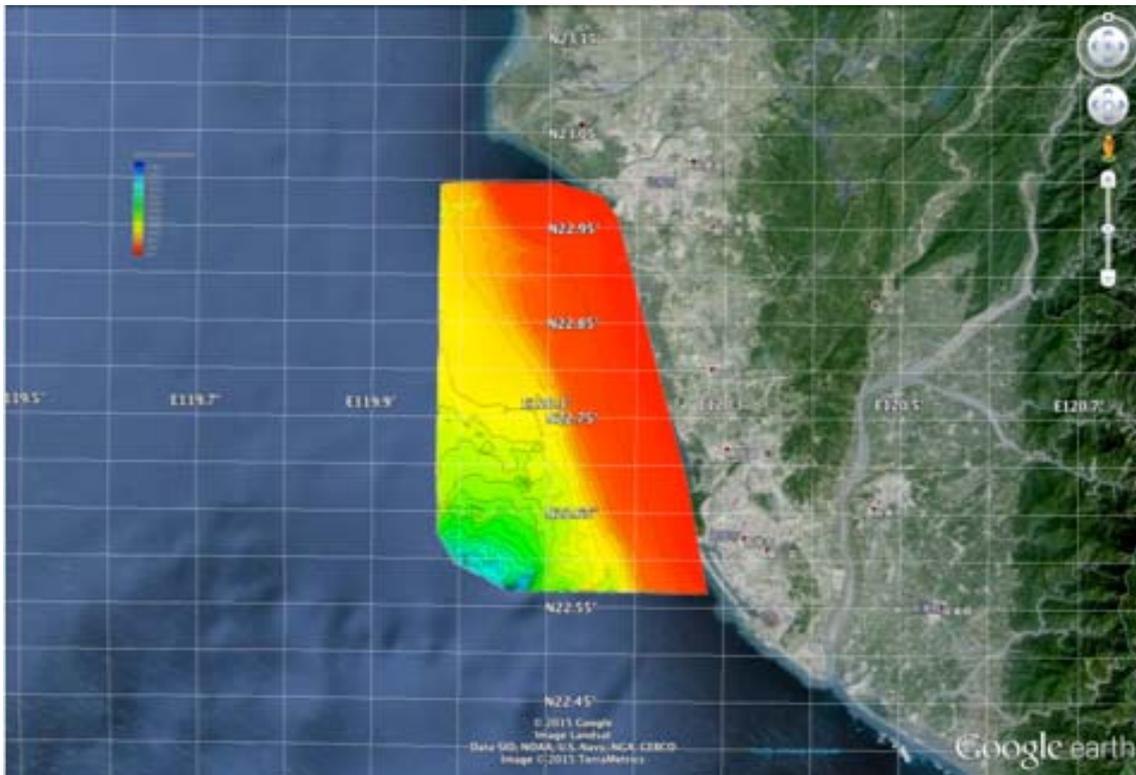


圖 3.4 港灣技術研究中心提供的地形水深資料圖

美國 AQUAVEO 公司所發展的 Surface-water Modeling System (SMS) 商用軟體，是一套可計算海岸到河川之水表面動力現象的數值模式，同時亦能建置流體動力數值模式計算區域所需的網格系統，包含矩形網格 (structured mesh) 與非矩形網格 (unstructured mesh)。本研究計畫使用的 SCHISM 海洋模式之數值方法為有限元素法，計算網格系統為三角形網格 (Triangular mesh)，其網格系統以 SMS 軟體建置。SMS 軟體建置三角形網格過程如圖 3.5~圖 3.8，匯入地形水深資料後，分別定義計算區域之陸地與海域邊界，三角形網格網格建置完成後，必需再檢查網格的品質，如三角形每個內角需等於或大於 30 度。

利用上述地形水深資料，以安平港往外海延伸約 10.5 公里，建置三角形網格系統，由 SMS 軟體產出之安平港的網格節點數為 9897 個，三角元素為 18944 個，其中元素最小邊長約為 14m，元素最大邊長 370m (如圖 3.9)。

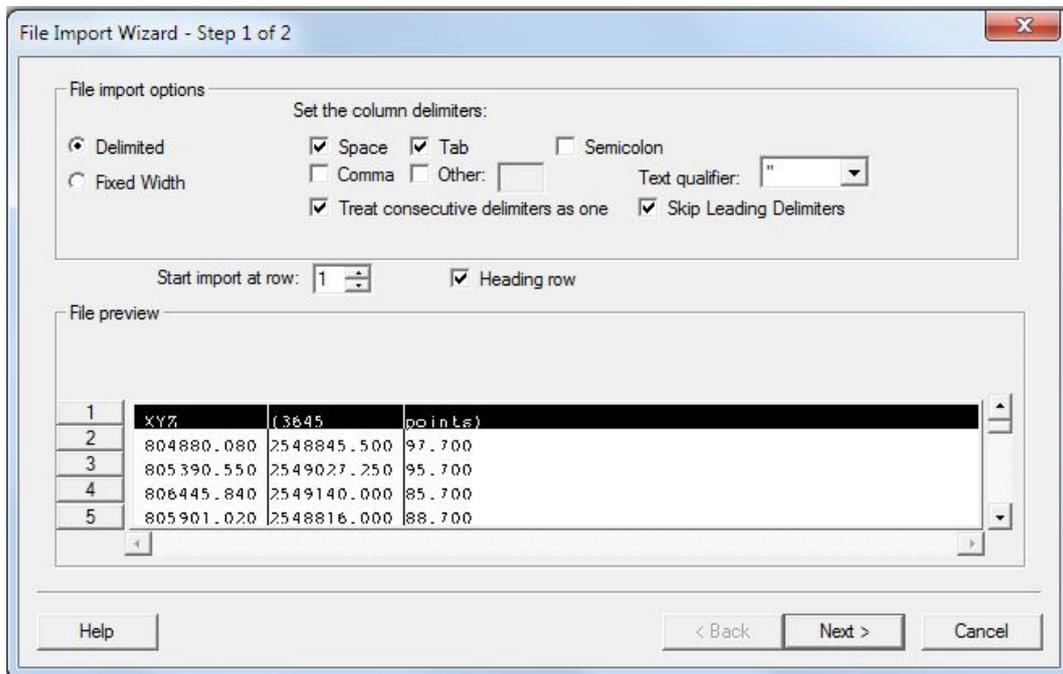


圖 3.5 水深地形資料匯入 SMS 軟體

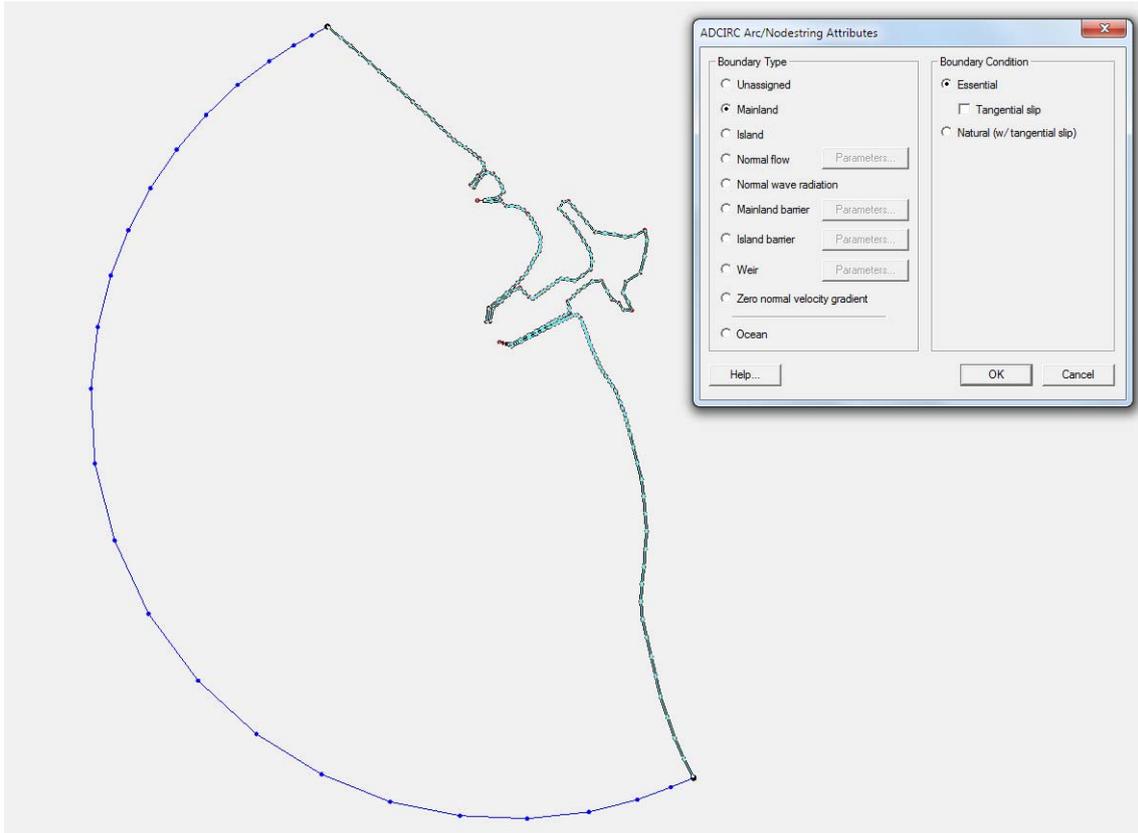


圖 3.6 定義計算區域之陸地與海域邊界

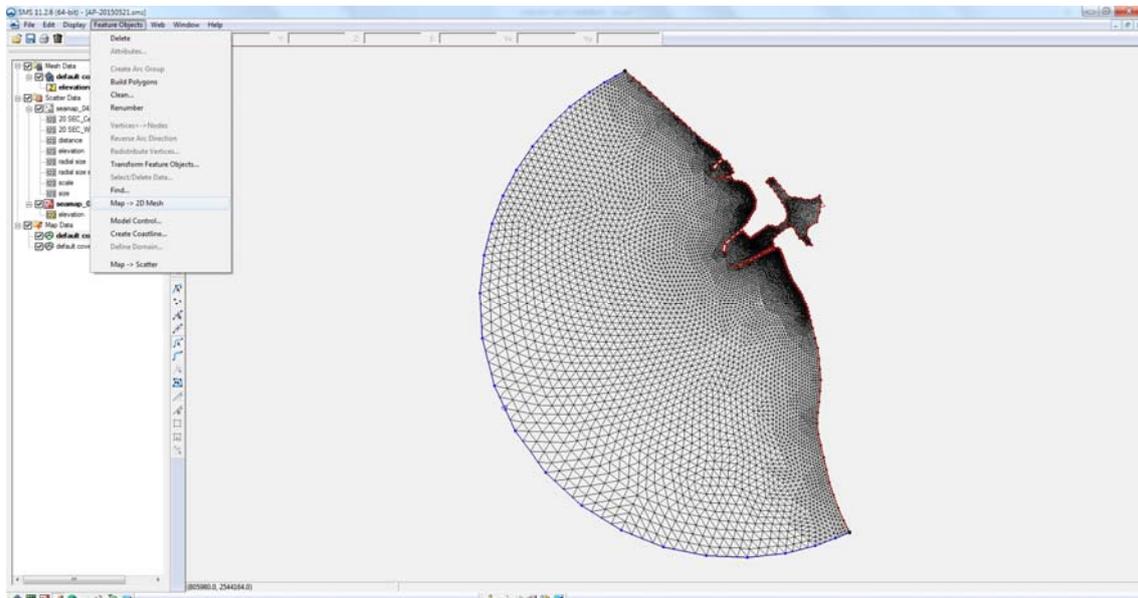


圖 3.7 建置之三角形網格

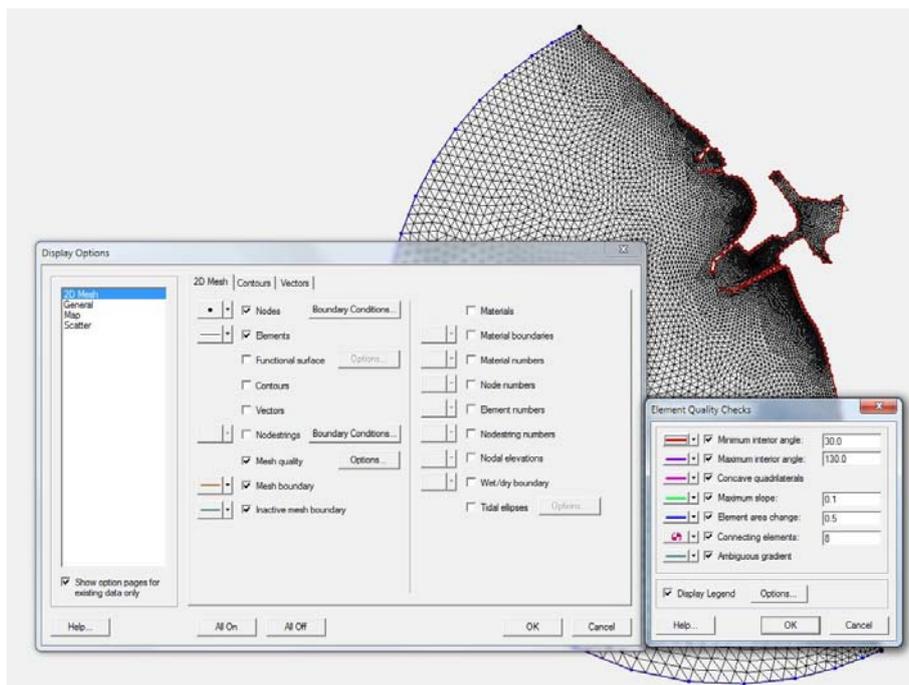


圖 3.8 檢查三角網格品質

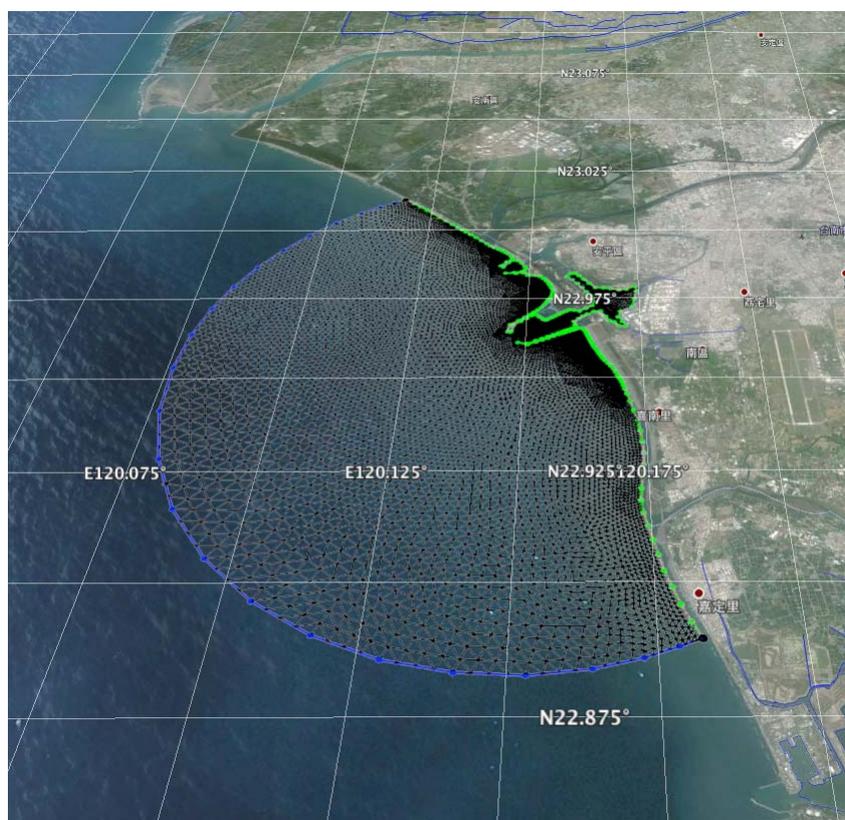


圖 3.9 安平港模擬範圍與計算網格圖

### 3.4 初始條件、邊界條件、及驅動力

初始條件若從零開始運算，需要相當長的時間才有辦法達到模式穩定，為了加快海洋模式穩定的時間，使用的初始條件包括潮位、海面溫度與鹽度資料。邊界條件的輸入項目與初始條件相同。

潮汐初始條件可由海洋模式內建的 FES2004 (Lyard et al., 2006) 全球潮汐常數資料庫取得，該資料解析度為 1/8 度，輸入之調和常數包括 4 個半日潮 (M2、S2、N2、K2) 與 4 個全日潮 (K1、O1、P1、Q1)，圖 3.10 為 M2 分潮於全球分佈的情形。此外，國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系海岸模式應用研究室 (以下簡稱海岸模式應用研究室) 利用 OSU Tidal Model Driver 所提供 2 分解析度之調和常數為邊界，在 MIKE21 HD 模式下以 810 公尺網格解析度計算所得之 M2、S2、N2、K2、K1、O1、P1、Q1 等八個分潮，如圖 3.11。由於潮汐分潮的資料來源管道很多，且解析度不同，因此本研究計畫比較上述兩種不同解析度的潮汐分潮對海潮流模擬結果影響，詳如 3.5.2 小節。

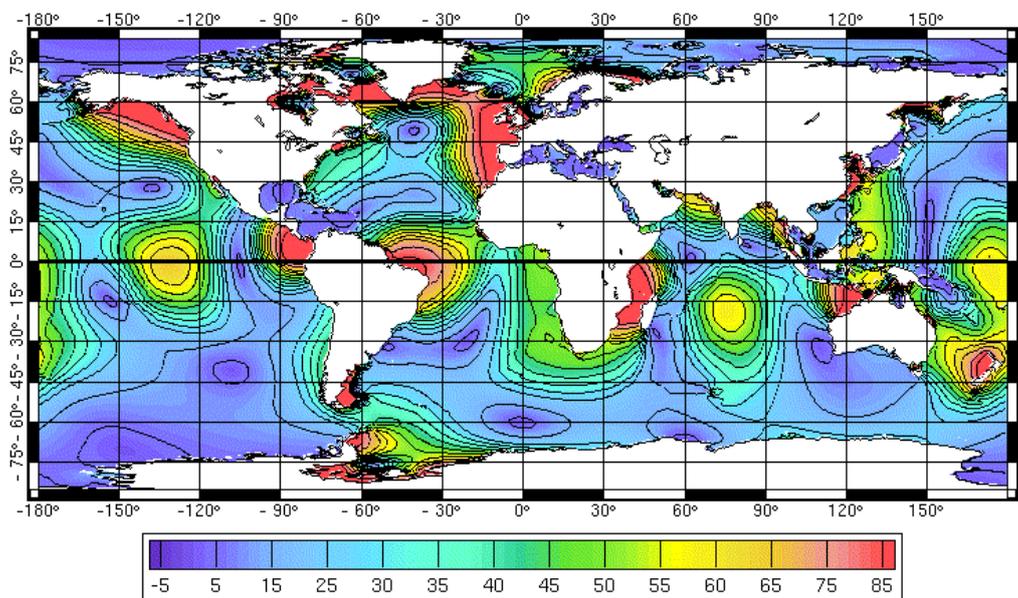


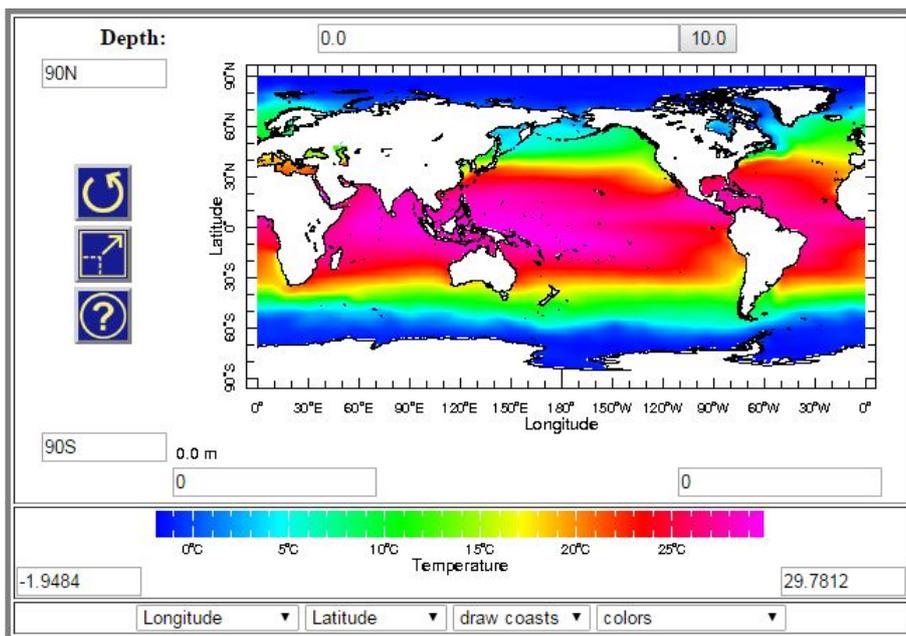
圖 3.10 FES2004 潮汐模式模擬 M2 分潮於全球分佈的情形



圖 3.11 海岸模式應用研究室提供的八個分潮

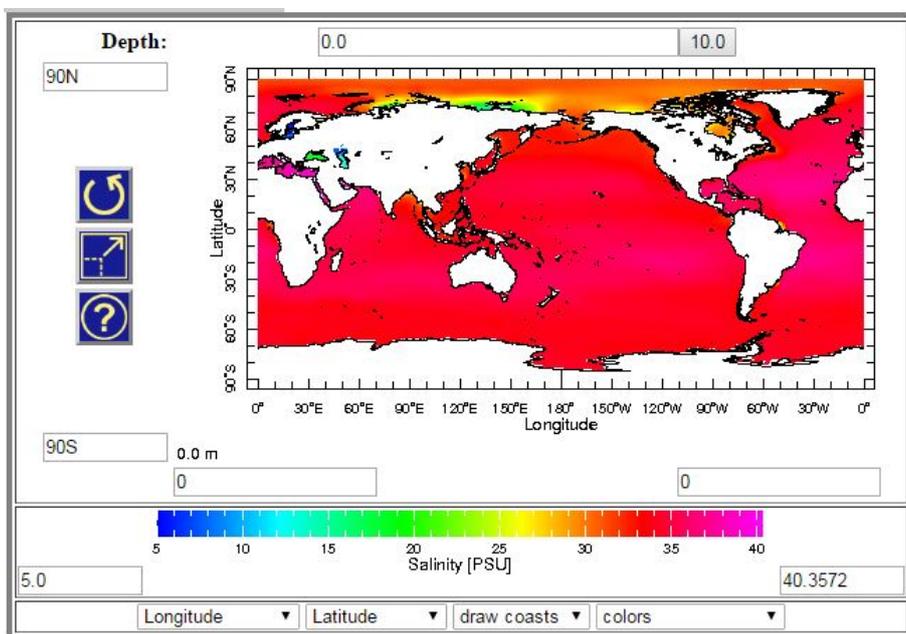
關於海洋溫度與鹽度，本研究計畫蒐集 NODC (National Oceanographic Data Center)的 WOA (World Ocean Atlas)海洋水文資料庫，其分析場資料包含海洋溫度、鹽度、溶氧、磷酸鹽、矽酸鹽等資料，資料時間為 2005 年，水平空間解析度為 1.0 度，垂直方向的分層則依據分析場資料與統計值類型(年平均、季平均、季平均)而有所不同，最多分層達 33 層，分別是 0、10、20、30、50、75、100、125、150、200、250、300、400、500、600、700、800、900、1000、1100、1200、1300、1400、1500、1750、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000 與 5500 公尺，其資料範圍涵蓋全球，資料網址為 [http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr\\_woa05.html](http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA05/pr_woa05.html)，本研究計畫採用月平均值的海洋溫度與鹽度為初始條件。

圖 3.12 與圖 3.13 分別為從 WOA 海洋水文資料庫下載之全球溫鹽的分佈圖，由圖中介面可知，使用者可自行選擇資料欲下載的區域範圍，取得海洋的溫度與鹽度資料，以提供 SCHISM 海洋模式作為初始條件。



<b>Get Data</b>	<a href="#">Entire Dataset</a>	data in view	<b>Export</b>		<b>Edit</b> plot
<b>Page Formats</b>	documented page	plain page	linked pdf	cut and paste link	more options

圖 3.12 NODC/WOA 1 度解析度之全球溫度分佈圖



<b>Get Data</b>	<a href="#">Entire Dataset</a>	data in view	<b>Export</b>		<b>Edit</b> plot
<b>Page Formats</b>	documented page	plain page	linked pdf	cut and paste link	more options

圖 3.13 NODC/WOA 1 度解析度之全球鹽度分佈圖

驅動力包括風與大氣壓力，驅動模式所需之外力資料來自於中央氣象局，中央氣象局引進由國家大氣研究中心(NCAR)、國家海洋與大氣管理局(國家環境預報中心(NCEP)及預報系統實驗室(FSL)、空軍氣象局(AFWA)、海軍研究實驗室、奧克拉荷馬大學及聯邦航空管理局(FAA))共同合作努力開發的區域數值預報模式 (Weather Research and Forecast, WRF)並針對台灣區域氣象進行測試及改善所建構的中尺度數值天氣資料同化系統。所產出的氣象資料空間解析度分別為 45、15 及 5 公里，格點數分別為 221x127、181x193 與 148x178，涵蓋範圍如圖 3.14 至圖 3.16。時間解析度為 1 小時，預報長度為 84 小時，預報頻率為每日 4 次。本研究計畫採用 5 公里解析之風與大氣壓力做為驅動力。

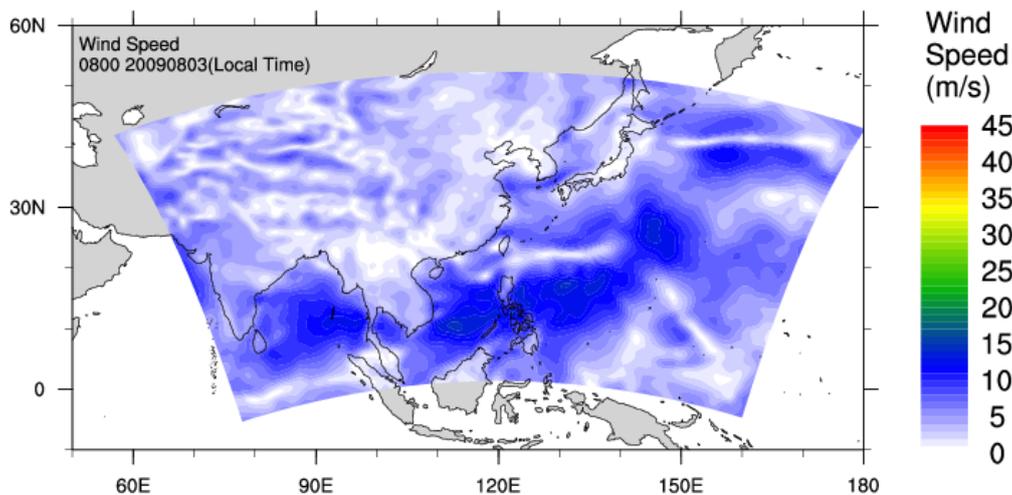


圖 3.14 45 公里解析之 WRF 區域數值預報模式計算範圍

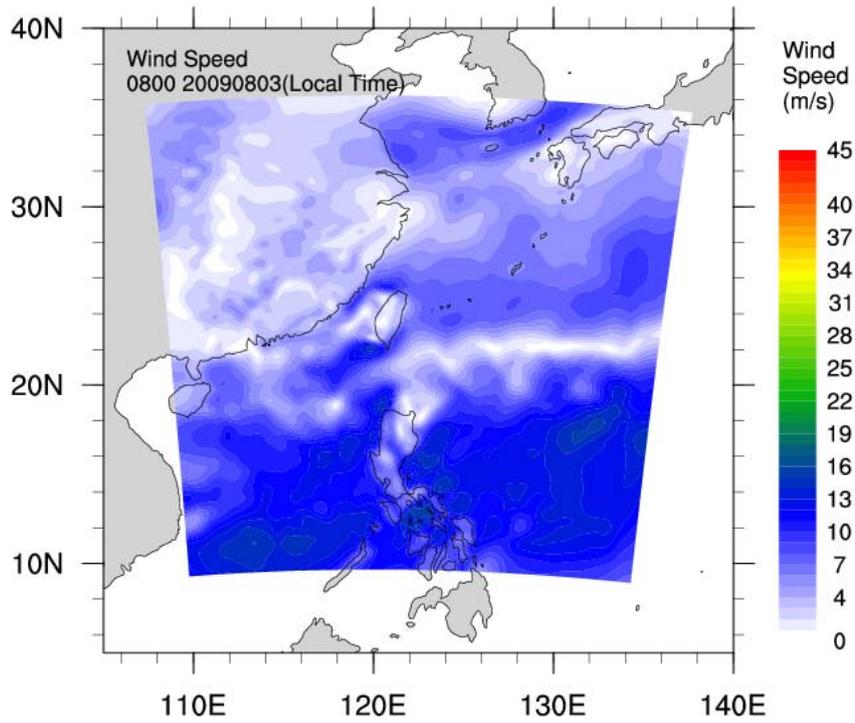


圖 3.15 15 公里解析之 WRF 區域數值預報模式計算範圍

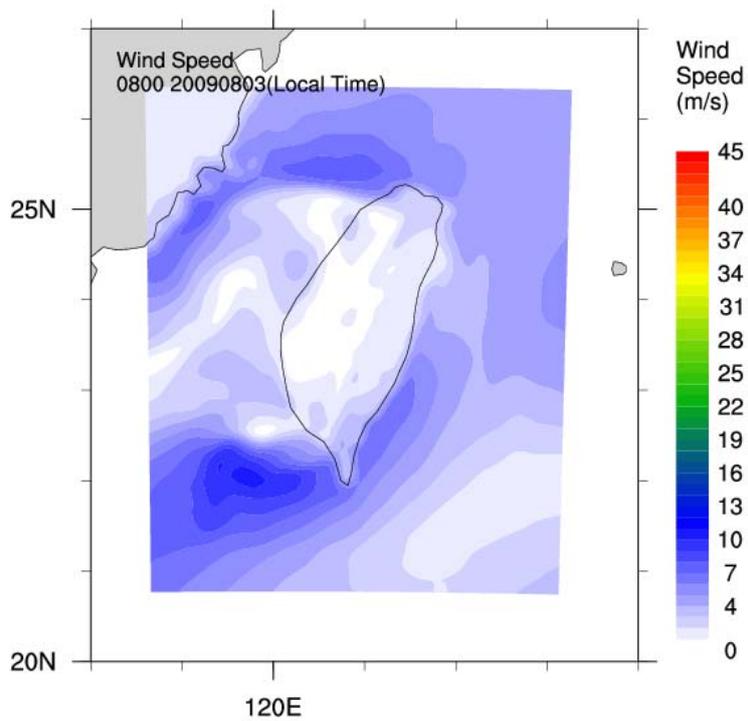


圖 3.16 5 公里解析之 WRF 區域數值預報模式計算範圍

## 3.5 安平港潮流模擬

### 3.5.1 海洋模式執行環境建置

本研究計畫利用 SCHISM 海洋模式建立臺灣海域之三維海流模式，透過模式建立使其能應用於海潮流運動與溢油污染擴散之模擬，並發展前置與後置處理軟體與流程，簡化處理數值模式所產生大量數據的流程，以期模式計算結果能完整的呈現。為了有效落實計畫執行目的，本節將描述模式建置過程與所需要的軟硬體設備。

在 SCHISM 海洋模式建置方面，是由官方網站([http://www.stccmop.org/knowledge\\_transfer/software/selfe](http://www.stccmop.org/knowledge_transfer/software/selfe))下載的程式來建立本研究計畫所使用的 SCHISM 海洋模式。資料經由前置處理程式將海面與側向邊界資料透過內插法內插至 SCHISM 海洋模式格網上，透過 SCHISM 海洋模式進行模擬，之後輸出格網上流速、鹽度、溫度、密度等變數資料，再經由後置處理程式分析各種變量之變化趨勢並繪製圖表。

由於 SCHISM 海洋模式為三維海洋模式，雖然其需要高速的計算能量與龐大的輸入出資料儲存空間，為了計畫結束後可順利移轉模式，本研究計畫於進行格網建置時亦考量個人電腦上可執行之環境。但本研究計畫執行時之硬體設備為 Intel(R) Core(TM) i7-920 2.66 GHz 處理器與 6GB 主記憶體，並採用 OpenMP 平行化技術提升 SCHISM 模式執行效率，使其可以充分利用八核心進行運算。在作業系統方面，SCHISM 海洋模式並未限制模式執行環境，考量未來擴充性與降低模式發展、執行時所遭遇的阻礙，本研究計畫以來自於 Red Hat Enterprise Linux 依照開放原始碼規定釋出的原始碼所編譯而成 CentOS Linux 套件作為主要的系統環境，其具有系統穩定及支援性強的特性。由於 Linux 作業系統近幾年來發展迅速，不論是伺服器或桌面應用上都有相當數量的開放性源碼(open source)軟體可供選擇，尤其在科學運算與數據處理上更是有許多自由軟體(freeware)可供應用，如此可大大降低軟體購置費用與增加系統擴充性。

而 SCHISM 海洋模式為一原始碼開放軟體，其利用標準 Fortran 程式語言開發，故需要 Fortran 編譯器才可編譯程式。為了程式執行與開發，本研究計畫以 Intel Fortran for Linux 來解決編譯程式的問題。而 Intel Fortran for Linux 具有標準 FORTRAN 77、90 與 95 的編譯能力，有卓越的浮點計算能力、最佳化的執行速度、多執行緒程式的編譯能力與支援 64 位元作業系統等特點，唯一要注意的一點是，Intel Fortran for Linux 原本是免費的編譯軟體，現以改成要付費購買方能使用。

除了編譯器的設定外，由於 SCHISM 海洋模式需要 NetCDF 程式庫的支援，而 NetCDF (network Common Data Format)最早是由美國國家科學委員會資助之 Unidata 計畫所發展，其用意是提供一種通用的資料存取方式，資料的內容可以包括單點的觀測值、時間序列、規則排列的網格、以及人造衛星或雷達之影像檔案。其資料格式廣泛應用於大氣與海洋研究中，其為一自我描述資料的格式、並且可以跨越平台和機器的限制，現有之 NetCDF 程式庫可提供 C、Fortran、C++、Perl、或其他語言的聯結，以讓程式發展者可以快速的讀寫資料檔案。NetCDF 亦為開放源碼軟體，使用者可自由下載，其官方網站為 <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>。SCHISM 所讀寫資料都必須透過 NetCDF 程式庫來完成，模式建置時亦須同時安裝此程式庫。

後置繪圖與資料處理方面，本研究計畫亦採用開放源碼軟體為主，如以自由軟體 NCL(NCAR Command Language)來進行圖形的繪製，透過命令腳本方式呼叫 NCL 軟體繪製分析展示所需的圖形。

SCHISM 海洋模式的建置作業流程如圖 3.17，首先建置 Linux 系統之作業環境，然後由 SCHISM 網站下載原始檔後解壓縮至使用者建立的工作目錄。為了編譯產生執行檔，須先編譯 Par-METIS 函式庫、設定 Makefile，程式內有預先定義好之模組，依不同計算案例決定開啟所需之模組，並由 CPP 前處理程式產生程式碼進行編譯，以設定 fortran 編譯器，即可產生執行檔。海潮流模擬時依據當時情況修正參數檔 param.in，以控制 SCHISM 計算之各項參數，如時間步長與輸入等控

制，最後透過 mpich 平行運算進行模式運算，產出水位、水平方向流速流向、垂直方向流速流向、鹽度、溫度、導電度等資料。

SCHISM 海洋模式預設輸出檔所在位置為該工作目錄下之 outputs 資料夾，輸出結果包含 binary 或 netcdf 檔案之格式。

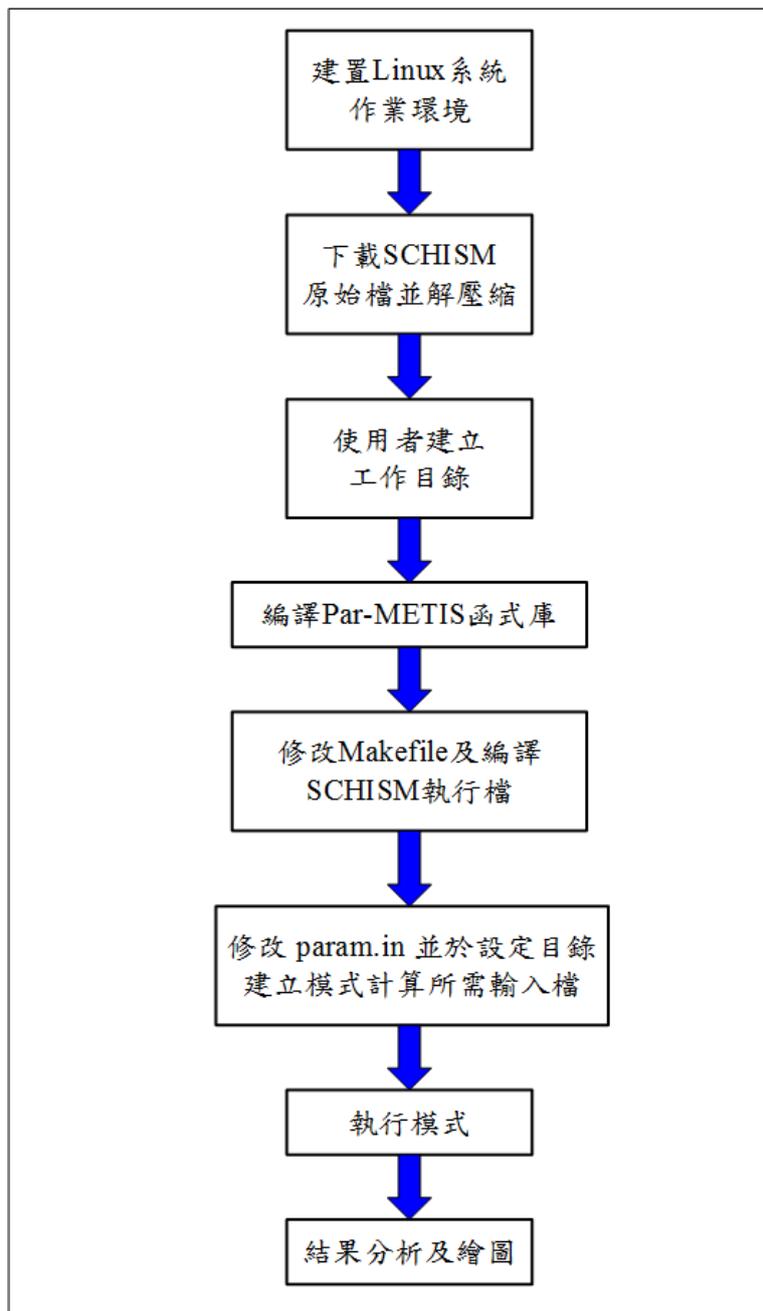


圖 3.17 SCHISM 海洋模式建置流程圖

### 3.5.2 模擬結果分析

為了解安平港周圍海域潮流的變化趨勢，模式範圍採用港灣技術研究中心所提供的港內外之高解析水深地形資料，再以 SMS 軟體進行網格建置。又由於 SCHISM 海洋模式於垂直方向結合隨地形變化的 S 與 Z 座標系統，因此於垂直方向共分為 21 層。

在 SCHISM 海洋模式外海開放邊界，海水面高程使用於不同之邊界網格輸入不同振幅與相位角來模擬海水面高程，以其產生之合成潮位來驅動模式之運算。在邊界條件設定目前僅考慮潮汐的影響，氣象的部份（風及氣壓）則於未來納入，潮汐常數資料來源分別為 FES2004 (Lyard et al., 2006) 全球潮汐常數資料庫與海岸模式應用研究室。兩種不同解析度的潮汐分潮做為初始與邊界條件模擬今年(104 年)6 月 1 日至 6 月 30 日臺南安平港的海潮流場，以 6 月 15 日流場為例，如圖 3.18 與圖 3.19。圖中由箭頭的長度顯示海岸模式應用研究室的模擬流速大於 FES2004 的模擬流速，流向變化方面，兩種模擬結果皆符合潮汐一天兩次漲退潮的現象。

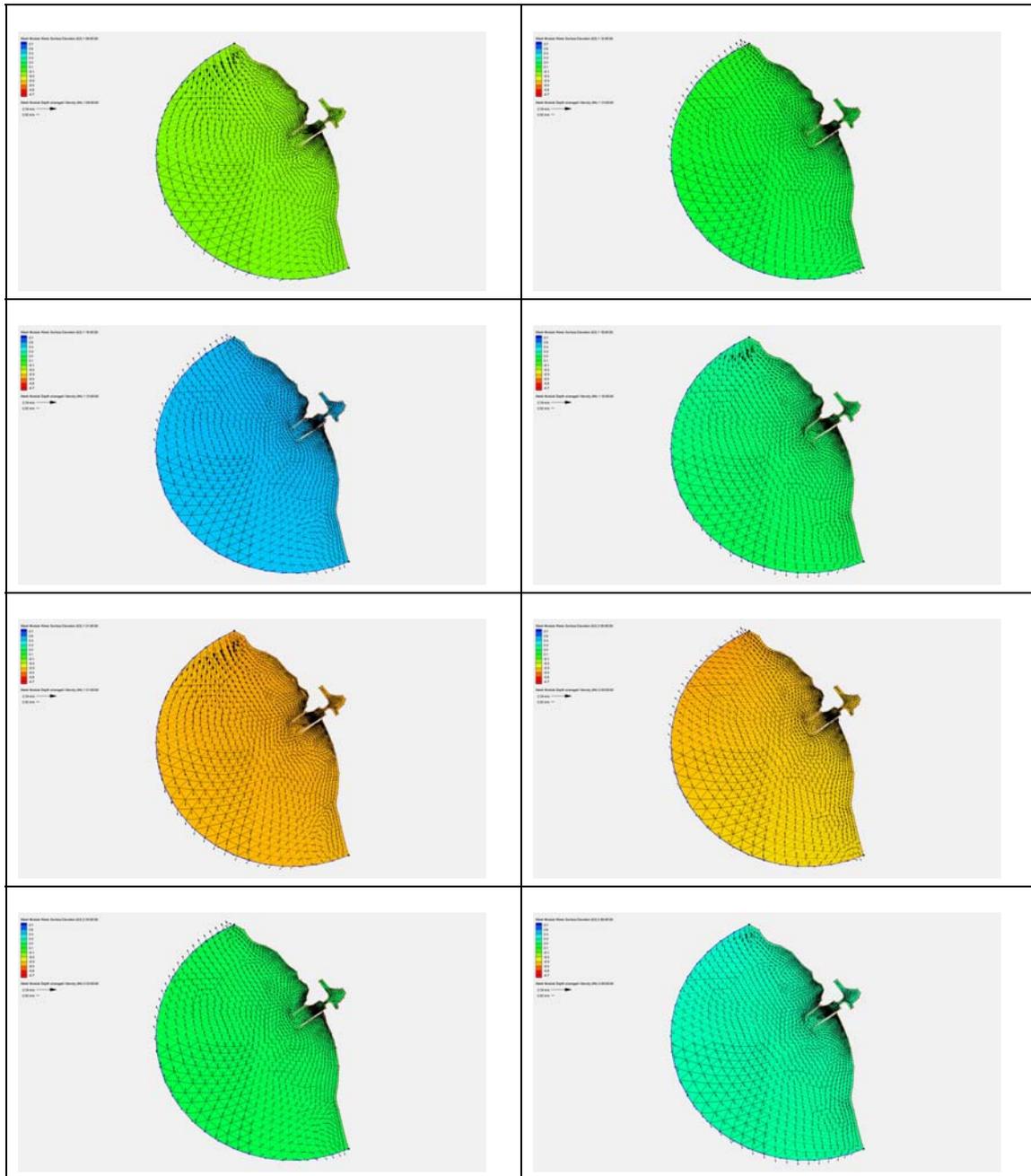


圖 3.18 以海岸模式應用研究室提供之潮汐常數模擬安平商港及附近海域海潮流結果(時間為 2015 年 06 月 15 日，時間間隔為 3 小時，依序為先由左往右，再由上往下)

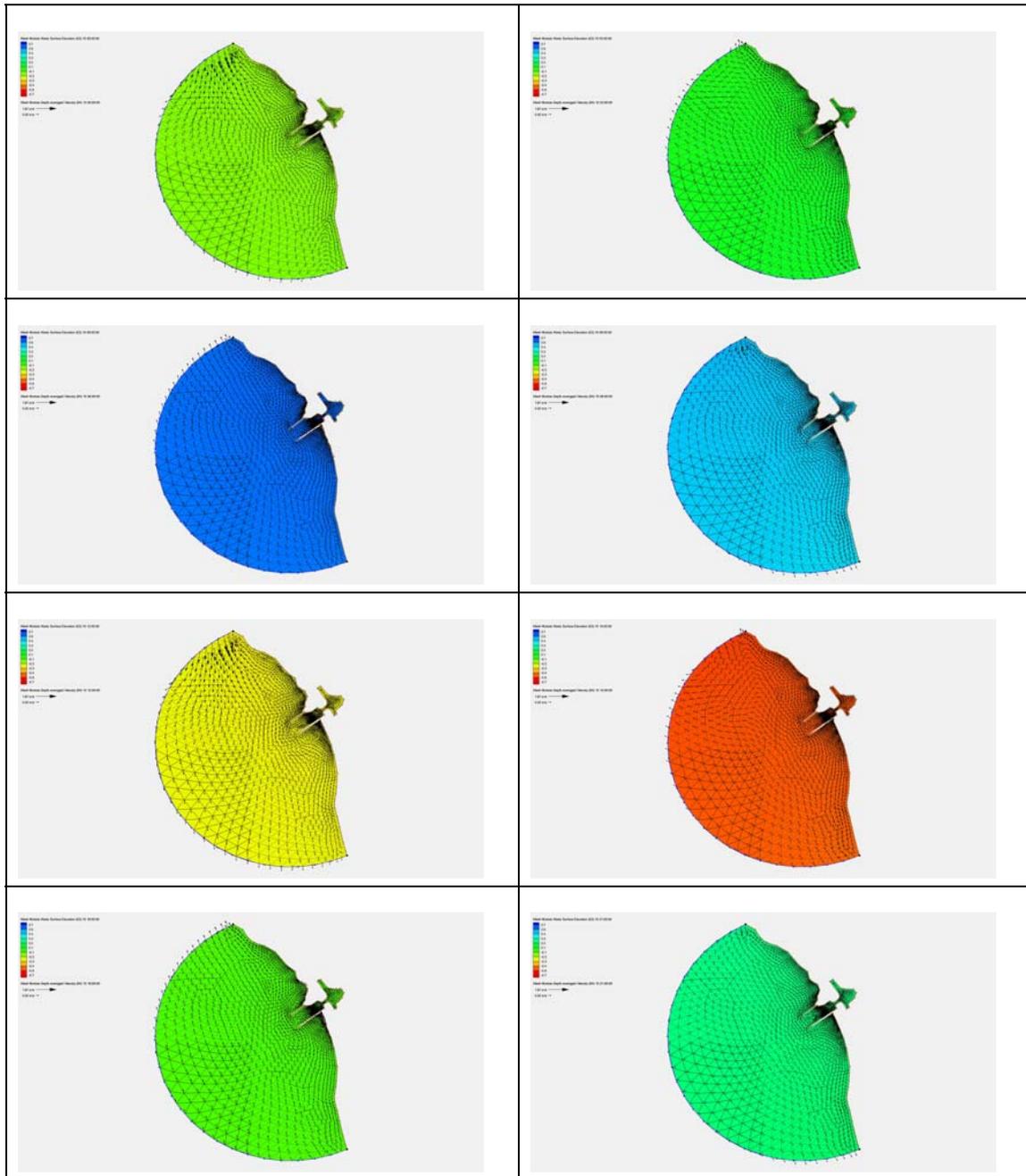


圖 3.19 以 FES2004 提供之潮汐常數模擬安平商港及附近海域海潮流結果(時間為 2015 年 06 月 15 日，時間間隔為 3 小時，依序為先由左往右，再由上往下)

將模擬流場資料輸出最接近臺南安平港測站的網格點，比對流速流向時序列，如圖 3.20 與圖 3.21，圖中紅色實線為以海岸模式應用研究室的潮汐分潮做為初始與邊界條件的模擬海潮流結果，藍色實線為以 FES2004 的潮汐分潮做為初始與邊界條件的模擬海潮流結果，圖 3.20 顯示以海岸模式應用研究室的潮汐分潮做為初始與邊界條件的模擬海潮流結果較為接近實測資料，下年度(105 年)將對模式進行校驗，以提高模擬準確度。圖 3.21 顯示模擬的流向整體趨勢符合實測流向。

進一步以統計方法對模擬流速與安平港實測流速資料進行量化評估測試，統計方法的定義如下：

(1) 平均偏差 (BIAS: the mean bias error)

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i)$$

(2) 均方差 (RMS: root mean square error)

$$RMS = \left\{ \frac{1}{N} \sum (P_i - O_i)^2 \right\}^{1/2}$$

(3) 散射指數 (SI: scatter index)

$$SI = \frac{RMS}{\bar{O}}$$

其中， $N$  是資料筆數， $\bar{P}$  是模擬值  $P_i$  的平均值， $\bar{O}$  是觀測資料  $O_i$  的平均值。

由統計結果顯示以海岸模式應用研究室的潮汐分潮做為初始與邊界條件的模擬流速與實測流速之間的平均偏差 -0.05m/s、均方差 0.03m/s、散射指數 0.15，此統計結果明顯優於以 FES2004 的潮汐分潮做為初始與邊界條件的模擬流速統計結果。

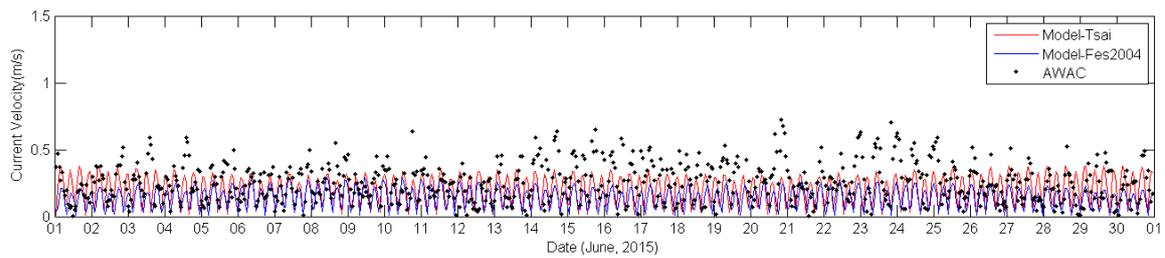


圖 3.20 不同潮汐常數之模擬流速與安平港實測流速比對時序列圖

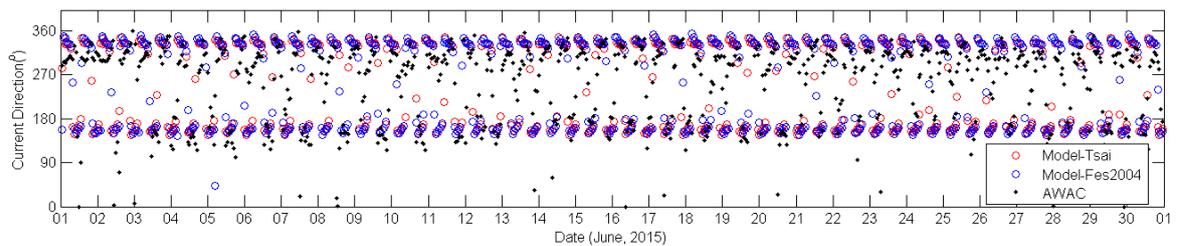


圖 3.21 不同潮汐常數之模擬流向與安平港實測流速比對時序列圖

表 3-1 模擬流速與實測流速之統計分析

統計值	BIAS (m/s)	RMS (m/s)	SI
海岸模式應用研究室	-0.05	0.03	0.15
FES2004	-0.12	0.19	0.73

### 3.6 油污擴散模式建置與案例蒐集

油污擴散模式已完成建置，為了下年度(105 年)探討油污擴散模擬校驗，本研究計劃蒐集臺灣海域近 5 年來重大溢油事件，包括 100 年 10 月 3 日基隆大武崙外海巴拿馬籍砂石船瑞興輪觸礁溢油事件與 101 年 2 月 19 日澎湖外海泰籍歐倍隆貨船擱淺溢油事件。蒐集溢油事件的資料包括溢油事件相關資料(如油品種類、溢油總量等)，再依據事件發生時間與位置計算海潮流資料，方可模擬溢油發生後之擴散變化，預測溢油在水體表面移動軌跡及污染程度，包括不同時間情形下，溢油在海洋表面運動的路徑、影響範圍、曾經影響區域、在水體中及進入空氣中的數量、到達及黏附在海岸地區的數量，以及在某一特定區域

內的溢油量等。

### 3.6.1 油污擴散模式建置

SCHISM 海洋模式內油污擴散模組的建置作業流程如圖 3.22，在 SCHISM 海洋模式內油污擴散模組內建立使用者工作目錄後，再編譯 oil-spill-v2.f90 之 fortran 程式以產生執行檔。油污擴散模擬前須依據當時情況修正參數檔 spill.in，以控制油污擴散計算之各項參數，如油污溢漏位置、啟始時間、油品特性等，並讀取經 SCHISM 海洋模式模擬計算產出的水位資料、3 維之流場、風場、與紊流擴散係數等，完成相關設定後即可產出 spill.out 之輸出檔。

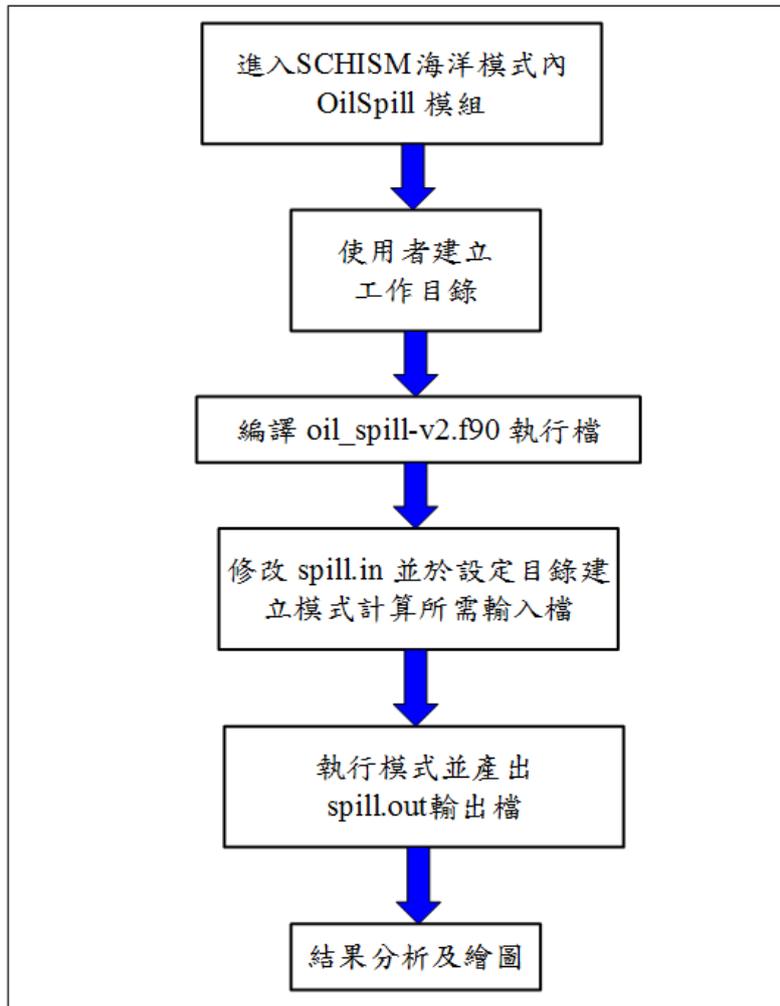


圖 3.22 油污擴散模式建置流程圖

### 3.6.2 基隆大武崙外海巴拿馬籍砂石船瑞興輪觸礁溢油事件

100年10月3日清晨，巴拿馬籍砂石船瑞興輪在基隆大武崙外海185.2m處觸礁事件船身斷為兩截，依據環保署統計，瑞興輪載有柴油81公噸、燃油218公噸及潤滑油13.5公噸，共計312.5公噸，這些油料部分已經外洩，並隨著海浪與潮汐污染海面與岸上，自北海岸獅子公園經大武崙漁港往東約3km為嚴重污染範圍，往海洋延伸污染區域最大寬度可達1km，隨著風向一路往2至3km距離的外木山漁港方向擴散，污染範圍緊鄰台電核一、核二廠取水口、萬里漁港、白宮行館沙灘、萬里橋等區域設施，如圖3.23至圖3.25所示。



圖 3.23 瑞興輪擱淺與油污情況(圖片來源：自由日報)



圖 3.24 瑞興輪大量重油外洩造成嚴重污染，新北市環保局派員在岸邊鋪設攔油索(圖片來源：自由日報)



圖 3.25 瑞興輪大量重油外洩造成岸邊礁石嚴重污染  
(圖片來源：自由日報)

### 3.6.3 澎湖外海泰籍歐倍隆貨船擱淺溢油事件

101 年 2 月 19 日，泰國籍歐倍隆(OBERON)貨輪在凌晨從台中出發返泰國途中，疑因距岸過近，加上誤判澎湖東北季風威力，在吉貝外海目斗嶼附近的關帝爺礁觸礁擱淺，由於船艙破裂漏油，45 公噸重油全數洩出，西嶼沿岸出現大量油污，如圖 3.26 所示。



圖 3.26 溢油實際影響海岸地點  
(圖片來源：行政院環保署)

## 第四章 整合系統實務操作規劃

針對油污的監測與預測，本計畫分別發展岸基雷達遙測技術與油污擴散模式預測技術，目標是要將上述的遙測與預測技術進行系統整合，藉以完整掌握油污的運動資訊。本章針對兩技術之整合規劃進行研擬與討論如下。

### 4.1 雷達與模式獲得結果之比對

在進行雷達偵測與油污擴散模式模擬結果整合之前，本計畫先針對兩種技術的產出結果進行比對與檢討。圖 4.1 為本計畫今年度針對安平港測試期間的結果比對，流場資料比對時間為 2015 年 6 月 15 日的 9 時至 16 時。為釐清流速與潮汐之關聯性，圖中也展示現場水位觀測結果；此外，圖中也包含安平港所設置現場海流觀測儀器(AWAC)的同步海流觀測結果。結果顯示雖然 SCHISM 海洋模式的海潮流流速模擬結果明顯低於海流觀測值，但變化趨勢大致相同，判斷是因為模式所考慮的海潮流驅動力為潮汐水位，且網格節點上的振幅與相位角是由單一個網格點的分潮值內差與外差得到，而觀測之海流除潮流之外，還包含有風趨流與波浪所產生的水粒子運動等速度量。針對流向之結果，可發現模擬與觀測結果之趨勢大致還算一致，但 14~15 時的流向模擬結果與現場測得流向之差異較大。圖 4.2 是針對臺北港雷達與模式所求得流場結果之比對，流場資料比對時間為 10 月 7 日的 9 時至 18 時，SCHISM 海洋模式的海潮流流速模擬結果雖然也明顯低於雷達所測得之觀測值，但變化趨勢一致，而流向模擬與觀測結果之趨勢則大致還算相近。

針對上述之比對結果發現，SCHISM 海洋模式的流速模擬結果雖然明顯低於實際觀測所得之流速值，但變化趨勢一致。為確保油污擴散模式的模擬結果能更有效預測油污的運動，本計畫規劃整合雷達與模式之觀測結果，並透過雷達觀測結果修正模式之參數。

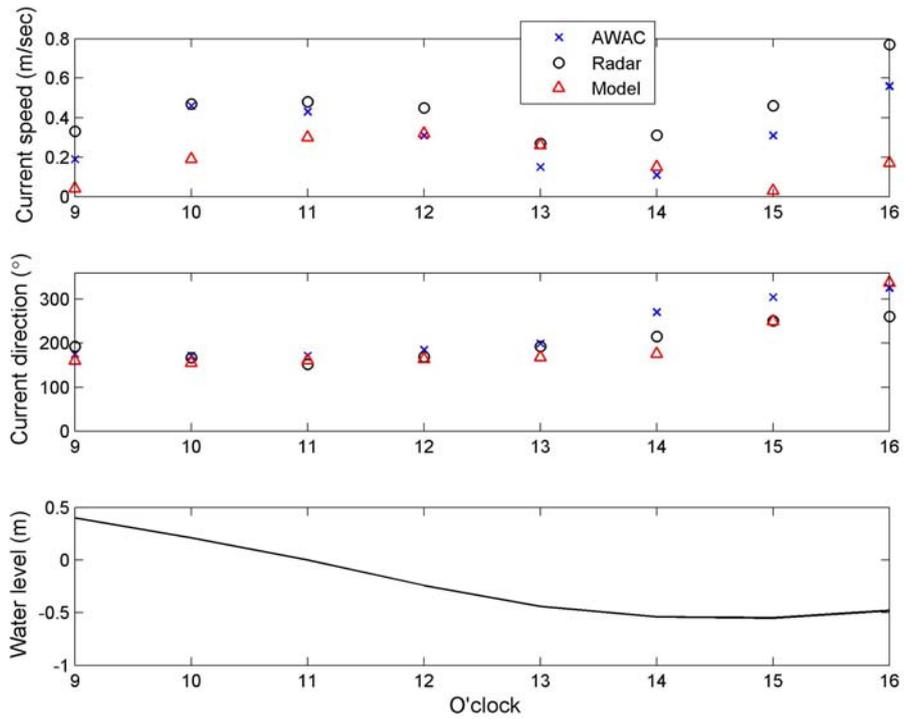


圖 4.1 臺南安平港雷達與模式所求得流場結果之比對

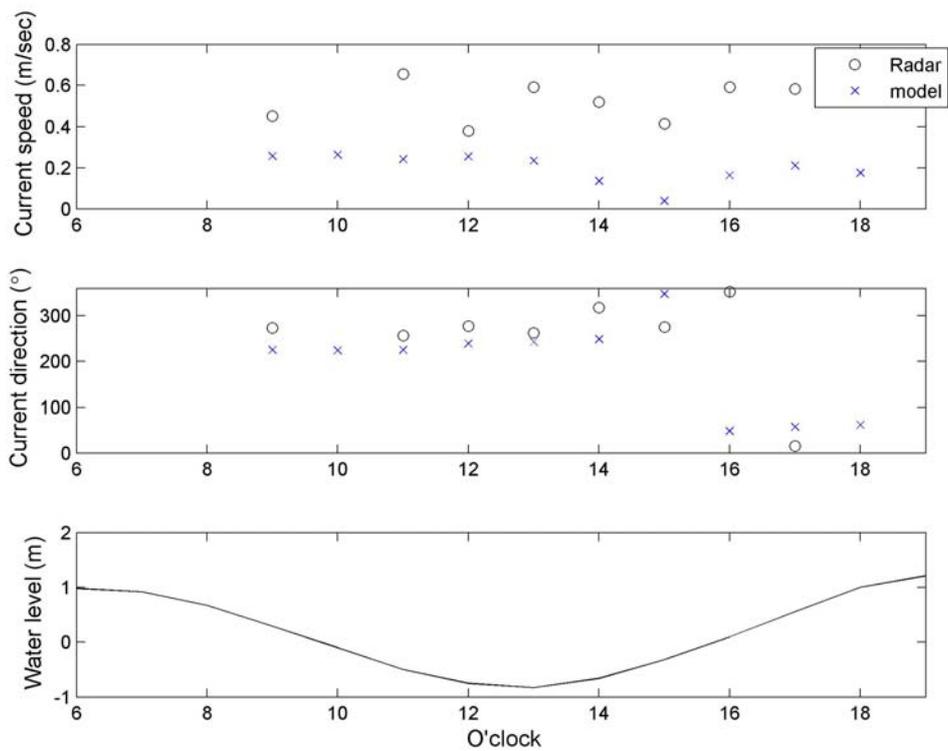


圖 4.2 臺北港雷達與模式所求得流場結果之比對

## 4.2 雷達與模式整合之規劃

針對雷達與模式系統之整合，本計畫規劃透過雷達系統進行海面監測，從中取得油污與海象資訊，並將海象資訊提供給油污擴散模式作為油污模擬的輸入參數，進一步針對油污模擬結果與雷達偵測所得油污特徵(包含油污面積與位置等)進行交互比對，確認所取得油污資訊的正確性，相關系統整合之流程如圖 4.3 所示。

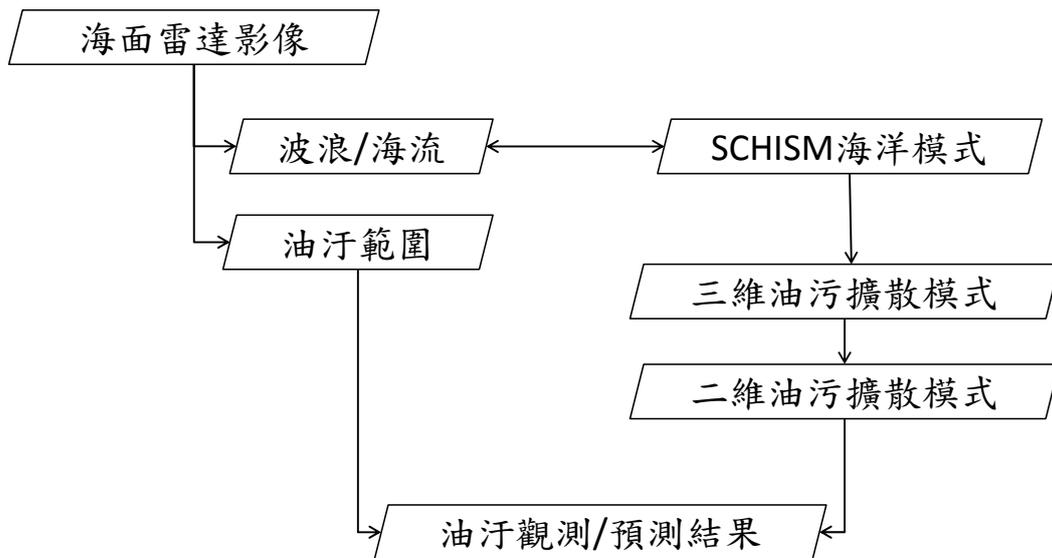


圖 4.3 雷達與模式整合系統之流程

由於雷達影像的分析過程，包括影像辨識與海象分析，主要都是將影像數據視為一數學矩陣進行演算分析，其影像矩陣分析結果並無地理資訊(油污所在區域的經緯度位置)於其中。為能確保雷達觀測結果與油污擴散模式的模擬結果能交互使用，必須確保兩者所產出的資料具有相同的格式。有鑑於此，須建立雷達觀測影像矩陣位置與實際地理座標之間的關係。由雷達回波訊號時序列中，每一脈衝波代表著空間中雷達天線所指向的每一個方位角(Azimuth)。而相鄰脈衝波之間的訊號則代表著在空間中某一方位上，距離雷達不同遠近之位置所返回的回波強度。這些雷達訊號可透過極座標系統之雷達影像呈現，如圖 4.4 所示。該圖在某一段方位角範圍內並無回波資訊，這是因為這段方位角範圍內為陸地區域的雷達回波，於本計畫中並無使用。為節省資

料儲存空間，本計畫並不針對這段僅包含陸地區域雷達回波範圍的資料進行接收與儲存。雷達回波訊號的擷取是透過高速取樣的資料擷取設備進行雷達訊號的數位化，取樣頻率( $S_r$ )決定了雷達影像徑向的空間解析度( $\Delta_r$ )：

$$\Delta_r = \frac{V_e}{2 \cdot S_r} \dots\dots\dots (4-1)$$

上式中， $V_e$ 為電磁波的行進速度。根據式(4-1)可推算出，使用取樣頻率為 20 MHz 的資料擷取卡擷取雷達訊號時，雷達影像之徑向的空間解析度為 0.0075km/pixel，也就是雷達影像矩陣內相鄰元素位置之間的距離為 0.0075km。

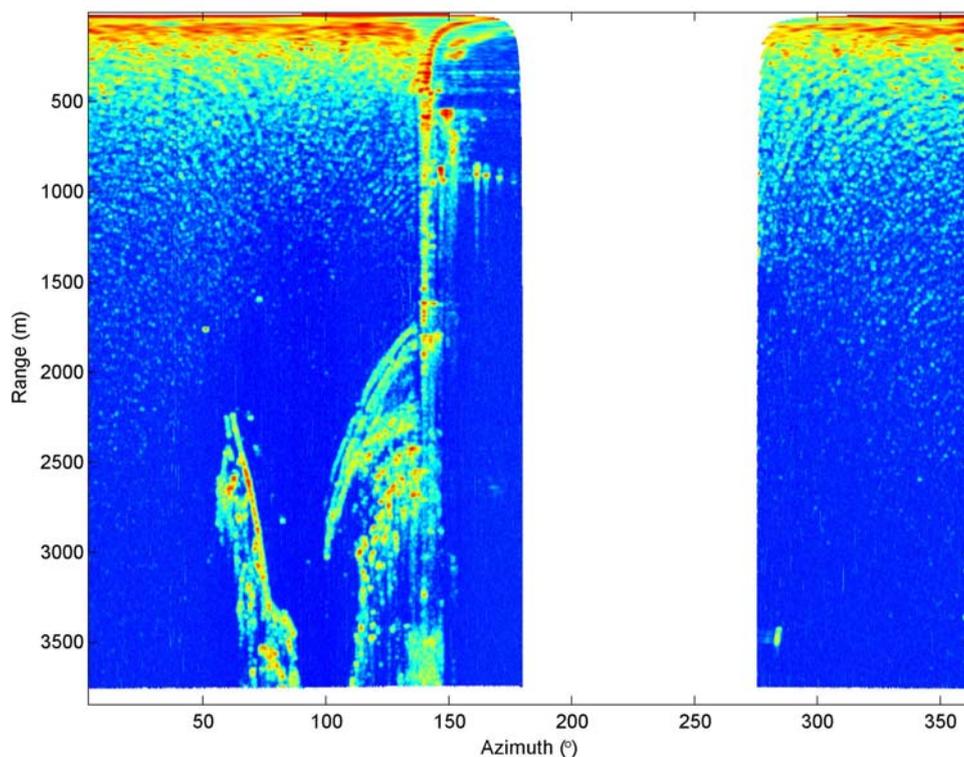


圖 4.4 極座標系統之雷達影像

為能求取雷達影像矩陣內所有元素位置的實際地理座標，需先確認雷達天線的所在位置，並透過此一參考位置點還算出影像內不同元素位置的實際地理座標，以本計畫於臺北港的測試為案例，雷達天線

設置之位置為(121.386582°E, 25.171585°N)。由於地球本身球體曲率以及經緯度定義的影響，在不同緯度條件下的公制單位距離與經度或緯度間的距離並不相同，理論上緯度越高的區域，其經度 1°所對應的公制單位距離會愈小。以本計畫於臺北港測試期間的雷達天線所在位置為例，沿東西向移動 1km 距離所對應的經度移動量約為 0.0099°；沿南北向移動 1km 距離所對應的緯度移動量則約為 0.0090°。透過雷達天線所在位置、觀測方位角與前述公制單位距離與經度或緯度間的距離關係，再搭配三角函數的數學關係，可將雷達影像矩陣資訊轉換為實際的經緯度座標系統，圖 4.5 即為本計畫於臺北港測試期間轉換為地理座標系統後之雷達影像。

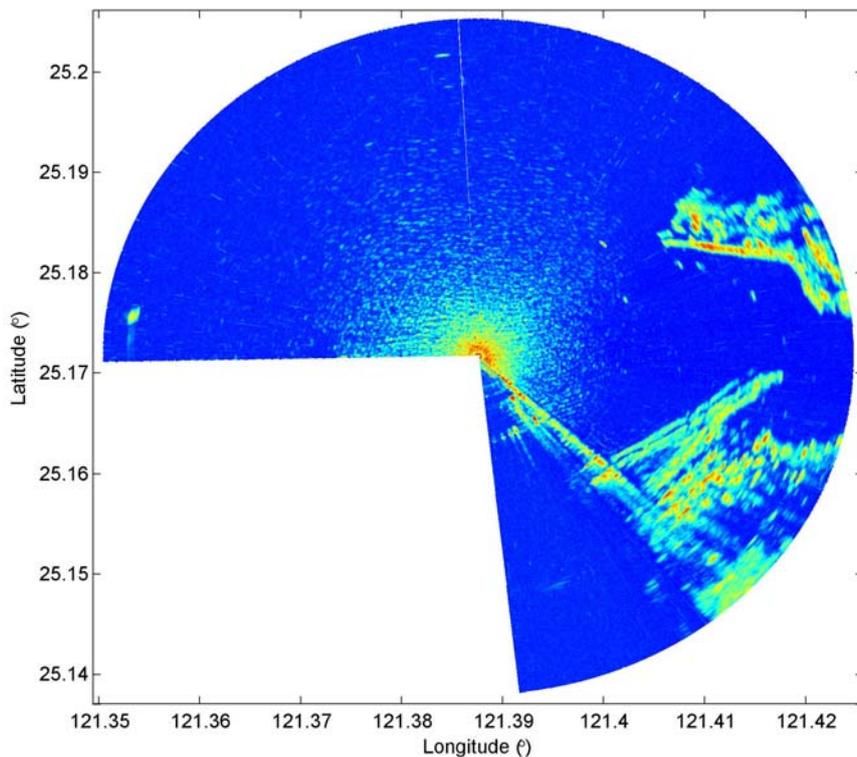


圖 4.5 轉換為地理座標系統後之雷達影像

進一步需將雷達所測得疑似油污的資訊透過地理座標紀錄，才能有效掌握油污的運動軌跡。圖 4.6 為本計畫經由前述章節所模擬雷達影像經油污辨識後所界定出的疑似油污區域(圖中的紅色區域)，考慮到後續與油污擴散模式的整合，本計畫以雷達影像的像素解析度作為基本

單位，將疑似油污區域拆解為質點，如圖 4.6 所標示的 o 標記，每一標記所在位置的經緯度資訊進而都能被明確計算出。

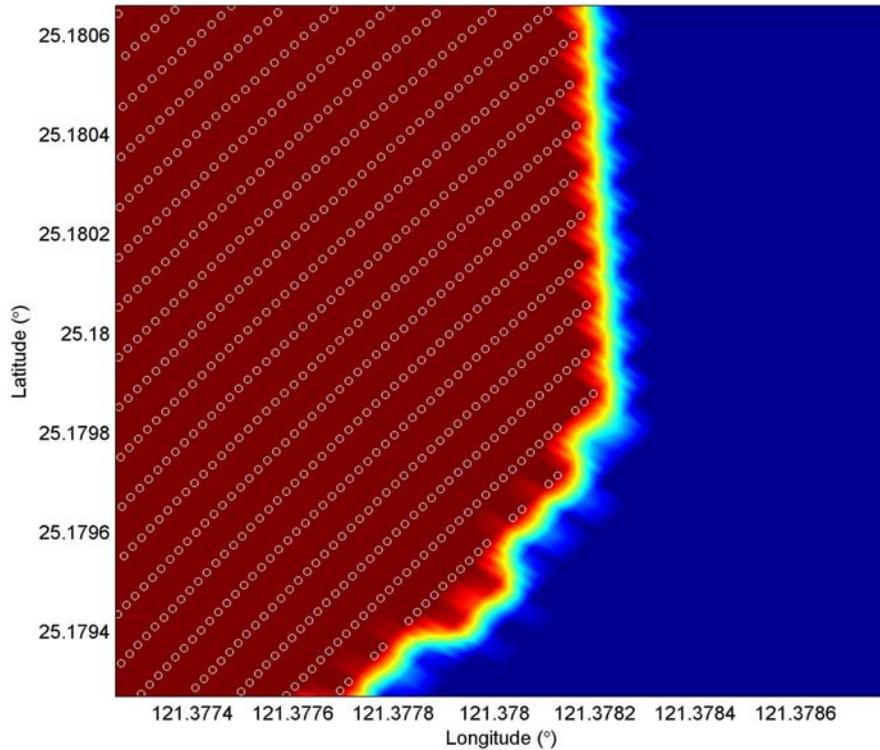


圖 4.6 雷達影像經油污辨識後所決定出的質點(圖中的 o 標記)

透過前述的影像資料轉換，雷達觀測結果與油污擴散模式預測結果之間能透過地理座標系統進行整合，圖 4.7 為目前初步規劃由雷達系統觀測完成之後提供給模式的格式化資料檔範例，檔案之中除包含有雷達觀測所得之流速、流向之外，還提供影像辨識後計算所得之疑似油污區域的面積。此外，本計畫進一步針對將疑似油污區域內所拆解成的質點經緯度位置依序輸出於檔案之中。

```
oil_1510071008.txt - 記事本
檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)
Current speed= 0.592 (m/s)
Current direction= 225 (degree)
Suspected oil size= 538313 (square meters)
Locations [Longitude (degree), Latitude(degree) ] of suspected oil spill:
[121.377872 , 25.181097]
[121.377821 , 25.181146]
[121.378054 , 25.180882]
[121.377902 , 25.181030]
[121.377851 , 25.181079]
[121.377800 , 25.181129]
[121.378135 , 25.180766]
[121.378033 , 25.180865]
[121.377982 , 25.180914]
[121.377932 , 25.180963]
[121.377881 , 25.181013]
[121.377830 , 25.181062]
[121.377779 , 25.181111]
[121.377729 , 25.181161]
[121.378115 , 25.180749]
[121.378064 , 25.180798]
[121.378013 , 25.180847]
[121.377962 , 25.180897]
[121.377911 , 25.180946]
[121.377860 , 25.180995]
[121.377809 , 25.181045]
[121.377759 , 25.181094]
[121.377708 , 25.181143]
[121.377657 , 25.181192]
[121.377555 , 25.181291]
[121.378146 , 25.180683]
[121.378095 , 25.180732]
[121.378044 , 25.180781]
[121.377993 , 25.180830]
[121.377942 , 25.180880]
[121.377891 , 25.180929]
[121.377840 , 25.180978]
[121.377789 , 25.181027]
[121.377738 , 25.181076]
```

圖 4.7 本計畫所規劃由雷達提供給模式的資料範例

雷達遙測與油污擴散模式預測系統整合之目的是讓兩項工具所產出的資訊能交互使用，藉以從中確認油污資訊。有鑑於此，本計畫規劃因應海域油污之作業流程如圖 4.8 所示。一旦接獲海域油污情資，需在半小時內確認油污所在區域的地理環境資訊，藉以確保雷達架設位置能有效監測到海面油污與提供準確的模式所需輸入資料。雷達系統也須於半小時內完成裝置整備工作，並規劃出最理想的雷達現場架設位置。在抵達油污發生地點的海岸之後，需在半小時內架設完成臨時雷達站，並隨即啟動觀測作業。觀測作業啟動後，理論上在半小時內即可獲得第一筆的油污位置、範圍、及海面波浪與流速等資訊。為確保雷達觀測結果的正確性，需與外部資訊(包括最新的政府公告訊息與媒體報導)交互比對。待油污資訊確認無誤之後，隨即在現場透過 3G 或 4G 無線通訊設備將雷達觀測結果(如圖 4.7 之檔案格式)提供予油污擴散模式系統。為能持續監控油污的動向，應持續進行雷達觀測至少 24 小時。模式經預測後的油污資訊提供現場雷達團隊，藉以進行交互比對，確認模式預測結果的準確性，再進一步提供現場油污結果予模



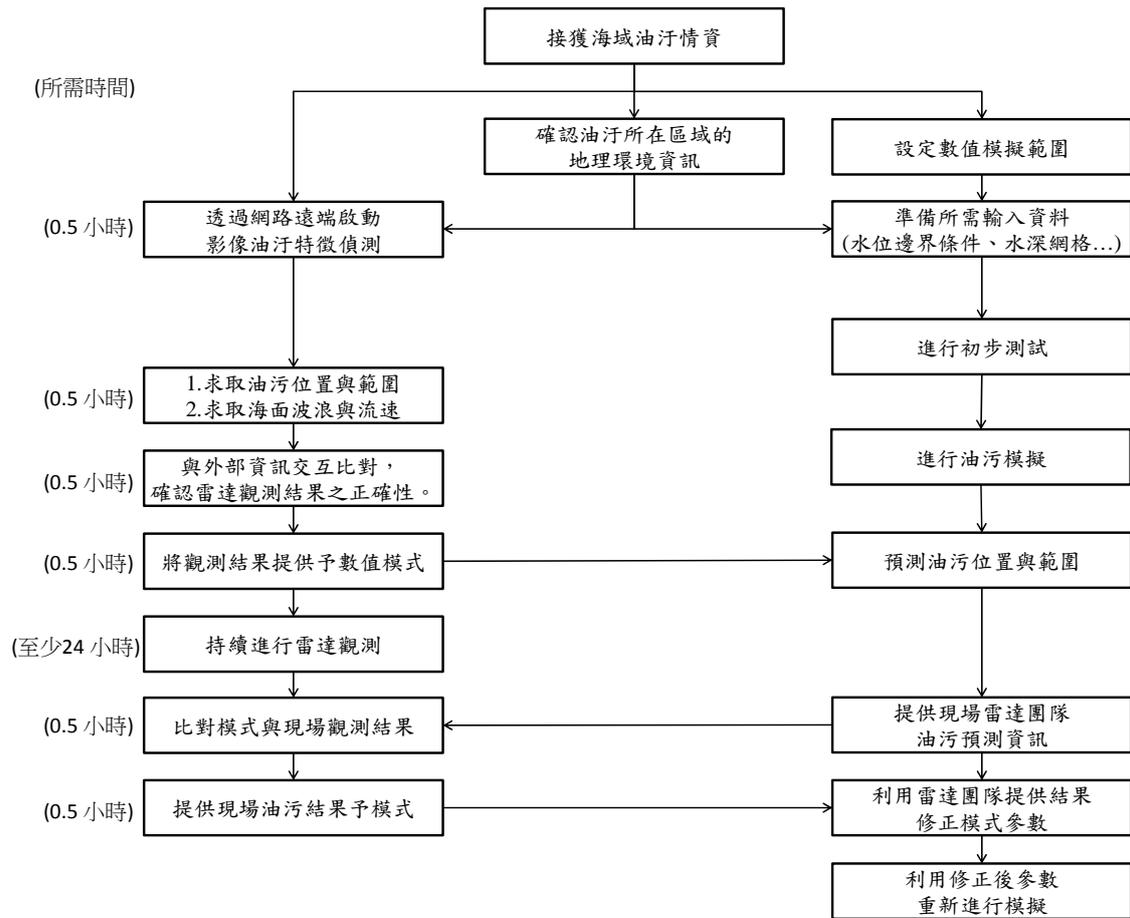


圖 4.9 固定式雷達站因應海域油污之作業流程

## 第五章 結論與建議

本研究計畫之目的為透過雷達遙測技術為基礎，進一步開發其海洋油污染偵測之技術，同時建立油污擴散預報系統，藉以協助掌握污染在空間與時間上的變化情況。所有的研究工作預計分三年期完成，本(104)年度計畫已完成「蒐集目前航海雷達遙測技術分析」、「蒐集海流預報模式的發展現況」、「航海雷達遙測資料分析方法之研發與驗證」、「臺灣海域海流預報模式之建置與測試」、「油污擴散預報模式之建置與測試」、「臺北港 WERA 雷達資料分析及初步探討」、及「整合系統實務操作規劃」等工作。

雷達系統之軟硬體開發成果已完成海岸現場進行測試工作，並確認雷達觀測系統成功應用於海面目標偵測的效果。海流預報模式與油污擴散數值模式已完成建置與測試，並完成整合監測與模擬相關技術的規劃，可提供本所後續計畫中應用。本計畫詳細的結論與建議說明如下。

### 5.1 結論

1. 透過收集相關文獻，針對現有海域油污遙測技術與航海雷達偵測波流技術等議題進行持續檢討，已確認航海雷達應用於油污偵測與海象觀測的可行性。
2. 以 Cross Teager Kaiser Operator (CTKO)理論為基礎，建立雷達影像分析技術，可有效將影像中所隱含的特徵資訊提取出。
3. 透過於臺南安平港與臺北港進行航海雷達系統的海岸現場測試工作，獲得下列結果：

- (a) 利用影像演算法進行現場海面回波影像之分析，結果顯示經過 CTKO 的演算分析之後，海面之蚵架回波特徵確實可被強化。
  - (b) 模擬海面油污所造成的回波衰減特徵，再透過 CTKO 進行影像的特徵辨識，其結果初步確認了 CTKO 演算法應用於回波衰減區域辨識的可行性。
  - (c) 透過臺南安平港南堤堤頭附近的 AWAC 現場波流觀測資料進行比對，也透過臺北港雷達系統測試所獲得之海象觀測資料與鄰近的海氣象資料浮標觀測數進行比對。結果顯示，雷達遙測與現場觀測結果之定性特徵相近，但在定量結果仍有一定之差異。判斷造成差異的主要原因為觀測位置的差異。
4. 研究 WERA 系統原始資料的結構，從中將原始資料時序列解算出，並從原始資料分析所得都卜勒能譜結果初步確認資料解算流程的正確性。
  5. 完成臺北港與安平港高解析之三角網格系統建置，並以 SMS 軟體完成三角網格的品質檢測。
  6. 完成臺北港與安平港的海潮流模擬測試，定性比對上符合潮汐一天兩次漲退潮的現象，其中安平港潮流模擬結果實測潮位資料的定量性比對結果顯示誤差在合理範圍內。
  7. 使用不同的初始與邊界條件作為潮汐常數輸入模擬海潮流，由統計分析比對實測資料結果顯示以(國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系)海岸模式應用研究室提供的臺灣附近海域潮汐水位模擬海潮流較佳。

## 5.2 建議

1. 為了提升波浪、海流及油污監測的準確度，建議航海雷達遙測系統之現場實務操作與校驗應持續進行(一季以上)，同時改善遙測資料分析方法，進而並研擬航海雷達的作業化監測技術。
2. 由於風驅流對海流模擬有一定程度的影響，建議將氣象條件列為驅動力之一，並以合適的校驗方法進行臺灣海域海流模擬模式校驗。
3. 為了了解油污擴散模擬準確度，建議以模擬重大油污擴散案例進行評估。
4. 為了掌握 WERA 高頻雷達系統的流場觀測能量，建議持續針對 WERA 高頻雷達天線回波原始資料進行更進一步的分析與解讀。

## 參考文獻

1. 郭一羽(主編)，海岸工程學，文山出版社，2001。
2. 國立中央大學太空及遙測研究中心，應用遙測技術於目標導向油污染監測系統之建立，行政院環境保護署委託計畫，2000。
3. 交通部，運輸政策白皮書(海運)，2013。
4. The International Tanker Owners Pollution Federation Limited，油類洩漏應對措施中的吸附劑材料應用，技術資料論文，2012。
5. Alpers, Werner, and Heinrich Hühnerfuss, 1988, Radar signatures of oil films floating on the sea surface and the Marangoni effect. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Vol. 93 (C4), pp. 3642-8.
6. Azevedo, A., Oliveira, A., Fortunato, A.B., Zhang, J., and Baptista, A.M., 2014, A cross-scale numerical modeling system for management support of oil spill accidents, *Marine pollution bulletin*, Vol. 80, No. 1-2, pp. 132-147.
7. Barrick, D. E., Evans, M. W., & Weber, B. L., 1977, Ocean surface currents mapped by radar. *Science (New York, N.Y.)*, Vol. 198(4313), pp. 138-144.
8. Bern, T.I., Wahl, T., Andersen, T., Olsen, R., 1993. Oil spill detection using satellite based SAR - Experience from a field experiment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 59, pp. 423-428.
9. Brown, C.; Fingas, M. Review of Oil Spill Remote Sensing. *Spill Science & Technology Bulletin* 1997, 4.4, 199-208.

10. Brown, C.; Fingas, M.; Monchalin, J.; Neron, C.; Padioleau, C.; Airborne measurement of oil slick thickness. In Proc. 29th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Tech. Seminar Vancouver, Canada, Jun. 6–8, 2006a, 911-919.
11. Cexus, J.-C., A. Boudraa, A. Baussard, F. Ardeyeh, and E. Diop, 2D Cross- $\Psi$  B-Energy Operator for images analysis, in Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP), 2010 4th International Symposium on, 2010, pp. 1-4.
12. Chen, Zhongbiao, He Yijun, Zhang Biao, Qiu Zhongfeng, and Yin Baoshu. 2014. A New Algorithm to Retrieve Wave Parameters From Marine X-Band Radar Image Sequences. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 52 (7):4083-91.
13. Crombie, D.D., 1955, Doppler Spectrum of Sea Echo at 13.56 Mc./s. [10.1038/175681a0]. *Nature*, 175(4459), pp. 681-682.
14. Del Frate, F., A. Petrocchi, J. Lichtenegger, and G. Calabresi. 2000. Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on* 38 (5):2282-7.
15. Doong, D.J., Kao, C.C., Chuang, Laurence Z.H., Lin, H.P., 2003. Nearshore Wave Field Analysis Using SAR Images, *China Ocean Engineering*, Vol. 17, No. 1, pp. 45-60.
16. Egbert, G.D., A.F. Bennett and M.G.G. Foreman, 1994, TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model, *Journal of Geophys. Res.*, 99, 24,821-24,852.

17. Egbert, G.D., and S.Y. Erofeeva, 2002, Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19(2), 183-204.
18. Egset, C.E., Nøst, E., 2007, Oil Spill Detection System Based on Marine X-band Radar, *Sea Technology*, Apr 2007.
19. Fingas, M.F., Brown, C.E., 1997. Review of oil spill remote sensing. *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 4, pp. 199-208.
20. Fingas, M. 2002. *The Basics of Oil Spill Cleanup, Second Edition*: Taylor & Francis.
21. Goodman, R. Overview and Future Trends in Oil Spill Remote Sensing. *Spill Science & Technology Bulletin* 1994, 1.1, 11-21.
22. Gurgel, K.W., Essen, H.H., Kingsley, S.P., 1999, High-frequency radars: physical limitations and recent developments. *Coastal Engineering*, 3 Vol. 7(3-4), pp. 201-218.
23. Grüner, K.; Reuter, R.; Smid, H.A A New Sensor System for Airborne Measurements of Maritime Pollution and of Hydrographic Parameters. *Geojournal* 1991, 24.1103-117.
24. Jones, B. A comparison of visual observations of surface oil with Synthetic Aperture Radar imagery of the Sea Empress oil spill. *International Journal of Remote Sensing* 2001, 22.9, 1619 – 1638.
25. Jha, Maya, Jason Levy, and Yang Gao. 2008. *Advances in Remote Sensing for Oil Spill Disaster Management: State-of-the-Art Sensors Technology for Oil Spill Surveillance*.
26. Kaiser, J.F., Some useful properties of Teager's energy operators, in *Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1993. ICASSP-93., 1993 IEEE International Conference on, 1993, pp. 149-152 vol.3.

27. Lehr, W.J., 2001, Review of modeling procedures for oil spill weathering behavior, *Oil Spill Modeling and Processes*, WIT Press, pp. 51-90.
28. Lehr, W.J., Fraga, R.J., Belen, M.S., and Cekirge, H.M., 1984, A new technique to estimate initial spill size using a modified Fay-type spreading formula, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 15, pp. 326-329.
29. Lombardini, P. P., F. Piazzese, et al., 1982, The Marangoni wave in ripples on an air-water interface covered by a spreading film, *Il Nuovo Cimento C* 5(2): 256-263.
30. Ludeno, G., C. Brandini, C. Lugni, D. Arturi, A. Natale, F. Soldovieri, B. Gozzini, and F. Serafino. 2014. Remocean System for the Detection of the Reflected Waves from the Costa Concordia Ship Wreck. *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, IEEE Journal of 7 (7):3011-8.
31. Lucassen Reynders, E.H., 1981, *Anionic Surfactants*, edited by J. Lucassen, Vol. 11, New York.
32. Noest, E., and C. N. Egset. 2006. Oil spill detection system - results from field trials. Paper presented at the OCEANS 2006, 18-21 Sept. 2006.
33. Nunavut Planning Commission, *Oil Spill Detection and Modeling in the Hudson and Davis Straits*, LOOKNorth Final Report R-13-087-1096, 2014.
34. Oliveira, A., Fortunato, A.B., 2002, Towards an oscillation-free, mass conservative, Eulerian–Lagrangian transport model. *J. Comput. Phys.* 183 (1), 142–164.

35. Oliveira, A., Fortunato, A.B., Baptista, A.M., 2000, Mass conservation in Eulerian–Lagrangian simulations of transport in estuaries. *ASCE J. Hydraul. Eng.* 126 (8), 605–614.
36. Salisbury, J.; D'aria, D.; Sabins, F. Thermal Infrared Remote Sensing of Crude Oil Slicks. *Remote Sensing of Environment* 1993, 45,225-231.
37. Song, Y.T., and D.B. Haidvogel, 1994, A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography following coordinate system, *Journal of Computational Physics*, Vol. 115, pp. 228-248
38. Tennyson, E. J., 1985. Shipborne radar as an oil spill tracking tool. In: *Proceedings of the Eleventh Arctic and Marine Oil spill Program Technical Seminar*. Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 385-390.
39. Topouzelis, Konstantinos. 2008. Oil Spill Detection by SAR Images: Dark Formation Detection, Feature Extraction and Classification Algorithms. *Sensors* 8 (10):6642-59.
40. Trizna, Dennis B. 1985. "MODEL FOR DOPPLER PEAK SPECTRAL SHIFT FOR LOW GRAZING ANGLE SEA SCATTER." *Ieee Journal of Oceanic Engineering* OE-10 (4):368-75. doi: 10.1109/joe.1985.1145132.
41. Wadsworth, A.; Looyen, W. J.; Reuter, R.; Petit; M. Aircraft experiments with visible and infrared sensors. *International Journal of Remote Sensing* 1992, 13.6, 1175 – 1199.

42. Weimin, Huang, E. Gill, and An Jiaqi. 2014. Iterative least-squares-based wave measurement using X-band nautical radar. *Radar, Sonar & Navigation, IET* 8 (8):853-63.
43. Wismann, V., Theis, R., Alpers, W., Hühnerfuss, H., The damping of short gravity capillary waves by experimental sea slicks measured by a multifrequency microwave scatterometer, in *Proc. OCEAN*, vol. II, Victoria, Canada, 1993, pp. 342–347.
44. Yu, T.-H., S. K. Mitra, and J. F. Kaiser, Novel nonlinear filter for image enhancement, 1991, pp. 303-309.

**交通部運輸研究所合作研究計畫  
期中報告審查意見處理情形答覆表**

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>一. 蔡政翰委員</p> <p>1. 第三章之油污擴散模式中所需之水位邊界條件，目前報告中所使用的是 Oregon State University 的全球潮汐模式之結果，不過其網格大小為 1/4 度約 27 公里，因此報告之模擬範圍僅約 10.5 公里，顯然需要網格更小的邊界條件，研究團隊可用 (1)OSU 之 yellow sea model 其網格 1/30 度約 3.6 公里。(2)用我實驗室發展出來的臺灣海域 810 公尺網格資料。這些資料科在 140.121.165.75 免費下載，只要輸入 WGS84 之經緯度就可下載該點位 8 個分潮之振福與遲角，也可以下載任何時間範圍內之點位之每小時潮汐水位。</p>	<p>1. 感謝委員建議。</p>	<p>1. 同意合作單位說明</p>
<p>二. 張憲國委員</p> <p>1. 本報告編輯請依港研格式規定，圖表格式請依科技報告方式(如坐標軸的抬頭及單位等)。</p> <p>2. 本計畫的主要工作項目「以雷達遙測資料分析及驗證」，圖 2-10 至圖 2-13 說明以安平港蚵架的存在來驗證 CTKO 方法的可行，建議執行單位能提供評估指</p>	<p>1. 感謝委員建議，已於期末報告完成修改。</p> <p>2. 感謝委員建議，本計畫團隊將會進行評估指標之研擬。</p> <p>3. (1)感謝委員提醒。誠如委員所言，波浪及海流同時具有時空變化特性。因此在比較時，必須假設所觀測</p>	<p>1. 同意合作單位說明</p> <p>2 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>3 (1). 同意合作單位說明及處理情形</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>標來證實方法的可靠度。</p> <p>3. 第 2.4-3 節驗證雷達遙測資料分析海象特性，因為實測波浪及海流為單點時序列，而此方法為固定時間的空間資訊。比較結果有下述問題</p> <p>(1) 因為波浪及海流同時具有時空變化特性，如何比較單筆的時間與空間的資料分析？</p> <p>(2) 在期末報告能提供雷達遙測資料的能譜等相關結果。</p> <p>(3) 請詳述比對項目的定義，比如波高是否指由波譜轉換的示性波高，週期是否為波譜的主峰週期還是平均週期等。</p> <p>(4) 有些時間的波向及流向比較有很大的差異，其原因是方法必然的結果還是特殊機制，若有這樣大的差異，那未來建置的監測系統的可信度就會受到質疑。</p> <p>(5) 請提供比對時間的海象資料的實測值，以瞭解誤差精度。</p> <p>4. 第 3 章的數模分析部份：</p> <p>(1) 因為本研究為實務工程探討而非學術研究，數值模擬時應以實際潮汐為主。</p> <p>(2) 因為計算範圍只用小區域範圍，即使使用</p>	<p>之波浪與流場具有相當程度之定常性(stationary)與均勻性(homogeneous)。這樣的做法，在國際間學界已普遍被認同。如國外就曾利用航海雷達測得波高與現場單點浮標測得波高進行比較。也有研究使用高頻雷達測流資料與 ADCP 觀測結果進行比較。</p> <p>(2) 感謝委員提醒，於期末報告提供雷達遙測能譜的結果。</p> <p>(3) 感謝委員提醒。從航海雷達觀測波高的方式並非傳統透過波譜法所解算之結果。於期末報告補充說明。</p> <p>(4) 感謝委員提醒。從航海雷達觀測波向的方式與衛星偵測波向的方法相近。於期末報告補充說明。</p> <p>(5) 感謝委員提醒，於期末報告補充海象資料的實測值。</p> <p>4.</p> <p>(1) 感謝委員提醒，本計畫數值模擬確實模擬實際潮汐變化。</p> <p>(2) 本計畫範圍聚焦於港灣附近之小尺度(數公</p>	<p>(2). 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>(3). 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>(4). 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>(5). 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>4</p> <p>(1). 同意合作單位說明</p> <p>(2). 同意合作單位說明</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>WRF5km，其空間解析度是否可以驅使出應有的潮汐，波動及潮流。</p> <p>(3)模式模擬結果，應定義模式評估指標來說明模式的準確性。</p>	<p>里內)水域，此範圍主要是潮流。而風是油污擴散模擬的影響因子之一，因此採用5公里高解析之WRF大氣資料。</p> <p>(3) 感謝委員建議，本計畫團隊將會進行評估指標之研擬，於期末報告提出其結果。</p>	<p>(3).同意合作單位說明</p>
<p>三. 梁乃匡委員</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已按預定規劃工作內容進行。</li> <li>2. 有關 2.2.1 內提到 Marangoni 請加註說明。</li> <li>3. 有關 2-1 式是否為純量或向量？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員肯定。</li> <li>2. 感謝委員提醒。Marangoni effect 是指在兩種不同流體之間的介面會因為表面張力梯度而造成的傳質現象。將在期末報告補充說明。</li> <li>3. 2-1 式之結果為純量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.同意合作單位說明</li> <li>2.同意合作單位說明</li> <li>3.同意合作單位說明</li> </ol>
<p>四. 簡仲璟委員</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 選用 CTKO 作為油污影像邊緣辨識與其他辨識方法有何優點？</li> <li>2. 雷達測波流計算範圍及選用對結果之影響，並加強說明計算方法、流程及成果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝委員提醒。CTKO 的優勢為具有分析非線性影像訊號之特徵。將於期末報告增加說明。</li> <li>2. 感謝委員提醒。影像計算範圍愈大，與有可能取得足夠的波浪資訊進行能譜分析，但相對可能會造成非均勻之結果。影像分析區域與靠近陸地，波場特徵的非均勻特徵則愈明顯。於期末報告補充說明計算方法、流程及成果。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.同意合作單位說明及處理情形</li> <li>2.同意合作單位說明及處理情形</li> </ol>

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
<p>3. 圖 2-16 與 2-17 之比較結果還不錯，希望增加測試次數與時間。</p> <p>4. 報告內圖上座標請加強說明</p> <p>5. 建議就流場模擬與雷達測流之結果進行比對。</p> <p>6. 於潮流模擬分佈圖請加上潮位變化圖以明瞭是漲潮或退潮時段。</p> <p>7. WREA 資料分析已有初步結果請再持續加強辦理。</p>	<p>3. 感謝委員肯定。若情況允許，本計畫團隊會進行更多次的現場測試。</p> <p>4. 感謝委員提醒。</p> <p>5. 感謝委員建議，於期末報告增加說明。</p> <p>6. 感謝委員建議，於期末報告補充說明。</p> <p>7. 感謝委員肯定</p>	<p>3.同意合作單位說明及處理情形</p> <p>4.同意合作單位說明</p> <p>5.同意合作單位說明</p> <p>6.同意合作單位說明</p> <p>7.同意合作單位說明</p>

**交通部運輸研究所合作研究計畫  
期末報告審查意見處理情形答覆表**

參與審查人員 及其所提之意見	合作單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>一. 蔡政翰委員</p> <p>1. 海上有油污的機會不多，因此要實際以本計畫之雷達測試其偵測海上油污的效果實屬不易，看來還是要繼續保持機動以便有機會時就可到現場做油污偵測。</p> <p>2. 2-23 頁用回波強度 70% 模擬油污。文獻上是否有當海面有油污時雷達回波衰減率是多少？</p> <p>3. 2.4.3 節之雷達觀測波流測試皆在波高約 1 米時的結果，下年度可考慮做其他不同海象時的比對。</p> <p>4. 3-25 頁表 3-1 並沒明確指出這是水位比對的結果，還有 RMS 是有單位的。</p> <p>5. 3-25 頁可加上實測與模擬之水位時序比對圖。</p>	<p>1. 感謝委員建議。不論是否在計畫執行期限內，本計畫團隊確實都會持續保持機動以便有機會時就可到現場做油污偵測。</p> <p>2. 雷達回波強度與海面油污種類以及油污厚度都有相關，因此目前尚無量化的結果。但本計畫團隊於前一年度(103 年)已針對不同油污種類對雷達電磁回波之影響進行過文獻回顧檢討。</p> <p>3. 感謝委員建議。本計畫預期下年將進行長期間的雷達監測作業。預期能更完整掌握不同海象條件的雷達觀測波流結果。</p> <p>4. 已依照委員建議完成修改。</p> <p>5. 已依照委員建議完成修改，請參閱圖 3-20 與圖 3-21。</p>	<p>1. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>2. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>3. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>4. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>5. 同意合作單位說明及處理情形</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>二. 張憲國委員</p> <p>1. 雷達影像空間解析度為 7.5m/pixel，分析結果(如週期，波高等)受此空間解析度影響為何?</p> <p>2. 雷達影像反推海象特性須要率定 SNR 的係數，此研究的結果(表 2-4 及表 2-5)是否為率定的結果或者是驗證結果，請在報告詳述率定 SNR 係數的步驟，若相似圖表太多可以放於附錄以便閱讀。</p> <p>3. 雷達影像為空間資訊，若比較單點實測為時序訊號，轉換時空問題須借由分散關係(式 2-9)，港研波浪測量上為整點約 20 分之內的結果，但此方法為瞬間的空間結果，此研究是否引用多樣</p>	<p>1. 感謝委員提醒。誠如委員所言，海象資訊的解算結果會受到雷達影像空間解析度的影響。根據 Nyquist 定律，7.5m/pixel 空間解析度的雷達影像，其所能解析出的最短波長不能超過 15m。再透過 Dispersion relation 可換算得所能解析出的最短週期不能超過約 3sec。因此現場海面週期條件若太短，確實會影響雷達解算波浪資訊之結果。本計畫已於期末正式報告中 2-13 頁進行說明。</p> <p>2. 誠如委員所言，從雷達影像解算波高需要進行率定。有學者已指出，可藉由雷達系統與資料浮標等系統進行同步觀測，從中率定兩者間之量化關係，爾後利用雷達影像之訊噪比(SNR)即可計算浪高。表 2-4 及表 2-5 為驗證結果，而非率定結果。率定的方法已補充於期末正式報告的 2-17 頁。</p> <p>3. 感謝委員提醒。針對航海雷達觀測技術，每次觀測期間會擷取 128 張連續海面影像時序列，並非僅使用單張影像。針對海象分析目的所使用的演算法是基於三維度的傅立葉轉換，將含有時間</p>	<p>1. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>2. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>2. 同意合作單位說明及處理情形</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
<p>本的統計當為比較的標準或者只是單張的分析結果，須在報告說明。另外，影像直接推算流速及周波數的精度會影響推算主峰週期，由表 2-4 及 2-5 的流速估算誤差是否會造成相對應的主峰週期誤差，應要做學理上的探討。</p> <p>4. 此研究以安平及臺北港為例說明此研究方法可行，但從圖 2-15 至 2-25 似乎看不出其辨識結果，請研究單位評估各推估值的精度。</p> <p>5. 本數模的水位使用海洋大學及 FES2004 的結果當為邊界，請研究單位直接比對安平潮汐及潮流結果來驗證模式的可行性。另外，模式計算長度超過 15 日以上比較能確定模擬潮流的精度。</p> <p>6. 本計畫特別考慮風速影響波浪及流速，以目前輸入的風場資料足能否測試出風吹流在流速的比例為何？</p>	<p>域與空間域的影像時序列轉換至頻率域與波數域。這樣的雷達觀測海象方法也已於國際學界廣泛被應用。相關說明已補充於期末正式報告的 2-13 與 2-14 頁。此外，由於雷達觀測資料為影像時序列，包含有時間域的資訊，因此可直接從能譜中求取週期資訊。因此可避免流速及周波數精度所造成的影響。</p> <p>4. 感謝委員提醒。本計畫已於期末正式報告中補充海岸現場蚵架之空拍與雷達監測結果比對之研究，從中確認雷達辨識結果的正確性。</p> <p>5. 本計畫今年已完成海洋模式測試，請參閱 3.5.2 節所述。</p> <p>6. SCHISM 海洋模式求解水體中的三維流場，並未分離風吹流、潮流及洋流等流速成份。</p>	<p>4. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>5. 同意合作單位說明</p> <p>6. 同意合作單位說明及處理情形</p>
<p>三. 梁乃匡委員</p> <p>1. 自行引進國外技術在國內生根，承辦單位值得鼓勵。</p>	<p>1. 感謝委員的肯定與鼓勵。</p>	<p>1. 同意合作單位說明</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>四. 翁文凱委員</p> <p>1. 以船用雷達監測油污其實際應用案例為何？本計劃執行至目前為止，是否有以船用雷達監測油污之案例。</p> <p>2. 海面覆蓋油污後，回波訊號較弱，但如何判別回波訊號較弱即為油污？</p> <p>3. 油污發生於大洋中，以船用雷達監測範圍是否能完全涵蓋其漂移、擴散範圍，又移向岸邊，如何監測？</p> <p>4. 油污在漂移過程中引起化學變化，或沉澱、乳化或黏著，在模擬過程中是否考慮此化學變化。</p> <p>5. 漏油事件甚多發生於颱風或海難時，如何準確應用本</p>	<p>1. 感謝委員提醒。在國外已有利用 X-band 雷達偵測海面油污之案例；但在國內尚無實際案例。未來不論是否是在計畫執行期限內，本計畫團隊都會持續保持機動，以便有機會時就可到現場做油污偵測。</p> <p>2. 感謝委員提醒。事實上，不僅海上油污，從航海雷達中還可辨識出許多不同的特徵物。雷達回波訊號較弱並不能斷定就一定是油污。因此本計畫團隊目前持續在發展空拍自主技術，未來一旦有發現疑似油污特徵之影像，將透過空拍機前往確認。</p> <p>3. 感謝委員提醒。船用雷達是能否涵蓋其範圍與雷達所觀測之範圍有關。往昔曾有學者成功偵測到距離雷達天線 8km 之海面油污特徵。委員所提的油污飄移、擴散等運動，則可透過解析逐時的影像資料來求取油污運動資訊。</p> <p>4. 溢油傳輸擴散模式有考慮這些化學變化，詳細描述請參閱 3.2.2 節所述。</p> <p>5. 誠如委員所言，颱風期間的雷達影像包含太過複雜的</p>	<p>1. 同意合作單位說明</p> <p>2. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>3. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>4. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>5. 同意合作單位說明及處理情形</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>項技術於實際油污監測及擴散模擬。</p> <p>6. 表 2-5 臺北港雷達與富貴角浮標同步觀測結果，此兩地差異近 20 公里，地理環境不同，比較之合理性為何？</p>	<p>海面訊息，並不易從中辨識油污特徵。但颱風影響同一海域的時間通常不會超過 2 天，且颱風期間船艦也無法出海布置攔油設備。一旦颱風影響變小，雷達即可發揮其功用，並提供油污資訊給有關作業單位進行決策使用。</p> <p>6. 感謝委員提醒。臺北港雷達與富貴角浮標兩地差異近 20 公里，地理環境確實有所不同。但富貴角浮標已是當時最鄰近臺北港的現場觀測站。</p>	<p>形</p> <p>6. 同意合作單位說明及處理情形</p>
<p>五. 蘇青和委員</p> <p>1. 雷達系統測試部分，期末簡報中蚵架之空拍與雷達監測結果比對，為重要成果，應納入正式報告。海上油污實地監測比對實屬不易，建議加強與相關主管機關保持聯繫，以掌控重要契機！</p> <p>2. 有關海域油污擴散模式，簡報中安平港模式計算與現場觀測流速與流向比對，為重要成果，應納入正式報告。比對檢核部分時段之誤差甚明顯，近岸風力及波浪效應建議要納入考量。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。本計畫將於期末正式報告中補充蚵架之空拍與雷達監測結果比對之研究。本計畫團隊今年已拜會過台南與高雄的相關權責單位，並建立聯繫管道。這些單位也已口頭同意，未來一旦有油污事件發生，會立刻通知本計畫團隊。</p> <p>2. 已依照委員建議完成修改，請參閱圖 3-20 與圖 3-21。為了考慮風吹流影響，已規劃下一年度輸入大氣風場，而波浪效應則將列入評估考量。</p>	<p>1. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>2. 同意合作單位說明及處理情形</p>

參與審查人員 及其所提之意見	合作單位 處理情形	本所計畫承辦單 位審查意見
<p>3. 雷達系統遙測技術與擴散模式整合，將可有效預測油污擴散情形，達到掌握獲或控制災害之目標，即時海氣象條件迅速獲得為關鍵條件。雷達監測安平港場與現場觀測流速與流向比對，成果尚佳，但台北港部分誤差甚大，原因為何？</p> <p>4. 報告撰寫內容請依本所規定，期末報告增加納入英文摘要。</p>	<p>3. 感謝委員提醒。因雷達測試期間並無現場流速與流向資料可供比對，因此本計畫針對雷達與模式之同步結果進行比對。因目前模式的模擬過程尚未考慮到風趨流的影響，因此與雷達觀測之流場結果存在較大之差異。</p> <p>4. 已依照委員指示增加英文摘要。</p>	<p>3. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>4. 同意合作單位說明及處理情形</p>
<p>六. 陳明宗委員</p> <p>1. 期末報告請依本所正式報告格式繕寫，如加上英文摘要，文末要有結論及建議。</p> <p>2. 目錄中第五章之頁碼有誤，p4-3 最末段文詞有誤，請更正。</p> <p>3. 表 2-3 影像解析度是否與雷達距離有關？如果有，建議說明解析度變化範圍。</p> <p>4. 請增加 3.5.2 節內之位、流速、流向歷線比對。</p> <p>5. 油污擴散模式建置建議考量進行簡易模擬測試。</p>	<p>1. 感謝委員提醒。本計畫將於期末正式報告中補充。</p> <p>2. 感謝委員指正。已依照委員建議完成修改。</p> <p>3. 感謝委員提醒。雷達影像的側向解析度與雷達觀測之距離有關，距離愈遠，其解析度會愈粗。相關說明已補充於期末正式報告的 2-12 與 2-13 頁。</p> <p>4. 已依照委員建議完成修改，請參閱圖 3-20 與圖 3-21。</p> <p>5. 感謝委員建議。本計畫建議於下一年度進行歷史溢油事件模擬。</p>	<p>1. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>2. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>3. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>4. 同意合作單位說明及處理情形</p> <p>5. 同意合作單位說明及處理情形</p>

## 附錄三 期末簡報



# 交通部運輸研究所

## 海域油污監測與擴散模擬技術研發(2/3)

### 期末簡報

莊士賢、吳立中、范揚洺

執行單位：財團法人成大研究發展基金會

成功大學近海水文中心

中華民國104年11月24日

## 海域油污對管理之衝擊

2014-1-3 字型： | 發言 | 列印 | 轉寄

### 梧棲港外現油污 漁網沾染受損

Ads by Google  
【虹源翻譯社】 www.hong-yan.com.tw/  
專注於多國語言翻譯，口譯，公證等，品質優價格低

〔記者張軒哲 / 清水報導〕梧棲漁港外海日前出現油污情況，有多艘漁船漁網遭到污染，現值補撈烏魚旺季，漁民漁網受損，抱怨影響烏魚季作業，直呼損失慘重，懷疑是商船亂排廢油導致。環保局與海巡隊追查污染源，卻查無油污，環保局將持續調查。

近日正值海線漁民捕撈烏魚季尾聲，漁民拉起漁網全部嚇一跳，漁網沾染一層黑色油污，漁網要費時清洗，還有幾天的烏魚季，因無法出海捕撈，損失不少漁獲。漁民楊貴雄表示，這幾天忙著捕撈烏魚，現在卻無漁網可補。

漁民指出，前兩天從苗栗苑裡到彰化王功一帶部分海域，海面漂浮不明油污，眾人依沾染在漁網上的污漬推斷，懷疑是有商船任意在外海排放油污，近日正值烏魚汛期，漁民夜間作業，因視線不佳，沒見到油污，等到起網時，驚覺黑色漁網，又氣又無奈。

漁民向市府海洋資源漁業發展所通報，環保局與海巡隊追查污染源。環保局水質及土壤保護科科長江明山說，派員巡視大肚溪沿岸，並無發現河川與出海口被黑油污染，排除污染源從河川排入海域。海巡隊有派員至外海巡視，並未發現海面有油污，將持續追查。



### 台中港海面油污污染疑煤炭輪肇禍

f Share 0 | Tweet 0 | Share 0 | G+1 0 | Like 0 文字大小

摘錄自2009年1月4日中廣新聞網報導

台中港「24號碼頭」3日傍晚發生油料污染，第三海岸巡防總隊發現，立即出動人員，以攔油索及除油棉緊急攔截油污，4日上午，油污已經全部被吸附，初步瞭解，污染面積約200公尺長，寬度約4到5公尺。第三海岸巡防總隊表示，到4日上午，海面油污已經處理完畢。

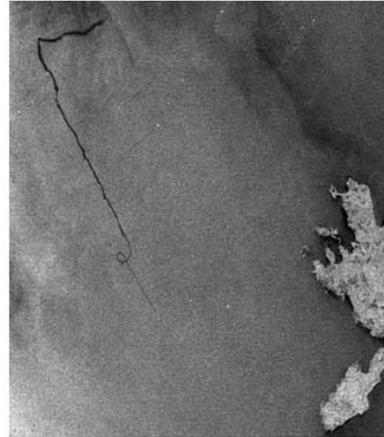
由於台中港24號碼頭正好停泊一艘巴拿馬籍的煤炭輪，油污就在煤炭輪附近海面，環保單位已經採取油污樣本比對，如果證實是這艘煤炭輪造成污染，將依法開罰。

依1982年海洋公約法認定來自船舶的污染物是海洋污染的主要來源之一。



## 當前面臨之課題

- 全球海域每年大約有超過300萬噸的廢油漂流於海上，其中有13%是來自於船難漏油。
- 若能在事發現場**即時掌握**油污擴散範圍，並有效掌握未來的油污擴散方向，將可有效降低對自然環境的衝擊。
- 商港大多位於都會區旁，油污對港灣的環境生態與民眾生活品質產生相當程度的影響，且作為一個國家的門面，港灣區域之油污議題不可輕忽。



圖片來源：Use and analyse of satellite SAR images for oil spills detection (2007)

3



## 計畫目標

- 以遙測技術為基礎，**開發海域油污監測技術**；
- **建立海域油污擴散預測系統**，協助掌握污染在時空上的變化情況。

## 研究範圍與對象

研究範圍聚焦於港灣附近之小尺度(數公里內)水域，研究對象為油污監測以及油污擴散預測之自主技術研發。

4



## 研究內容

### ➤ 103年度

以航海雷達為基礎進行系統研發及實驗室測試。蒐集分析目前世界各國作業海流預報模式的發展現況，進而評估及比較適用於油污擴散模擬之臺灣海域作業化海流預報模式。規劃油污擴散數值模式發展策略。

### ➤ 104年度(本年度)

監測系統於港灣區域之現場整合測試及遙測資料分析方法之研發與驗證。將進行遙測資料與模式預測結果之初步整合，評估觀測準確度。

### ➤ 105年度

探討將整體技術進行作業化操作之可行性，將海況環境資訊提供給後端使用者，以便進行各種狀況之應變。

5



## 本年度工作項目

- 蒐集目前航海雷達遙測技術分析與海流預報模式的發展現況，進而引入分析方法、模式發展、作業策略、資料需求、預報能力、及軟硬體相關技術等項目。
- 航海雷達遙測資料分析方法之研發與驗證：進行實驗室及港灣區域之現場測試，以及遙測資料分析方法之研發與驗證，評估波浪及油污即時監測準確度，並對航海雷達應用於區域流場進行分析評估。研擬各主要商港適當觀測點，並選定「臺北港」及「安平港」，進行測試。
- 臺灣海域海流預報模式之建置與測試：訂定率定與驗證年份，並收集相關資料以資校驗，進而建置及測試臺灣海域港灣細格點模式，評估主要商港「臺北港」及「安平港」，進行驗證海流模式。
- 油污擴散預報模式之建置與測試：蒐集油污擴散案例以資校驗，進而建置及測試臺灣海域港灣細格點模式。
- 進行航海雷達遙測作業化及油污擴散預報系統作業化整合系統實務操作規劃。
- 交通部運輸研究所臺北港WERA雷達資料分析及初步探討。

6

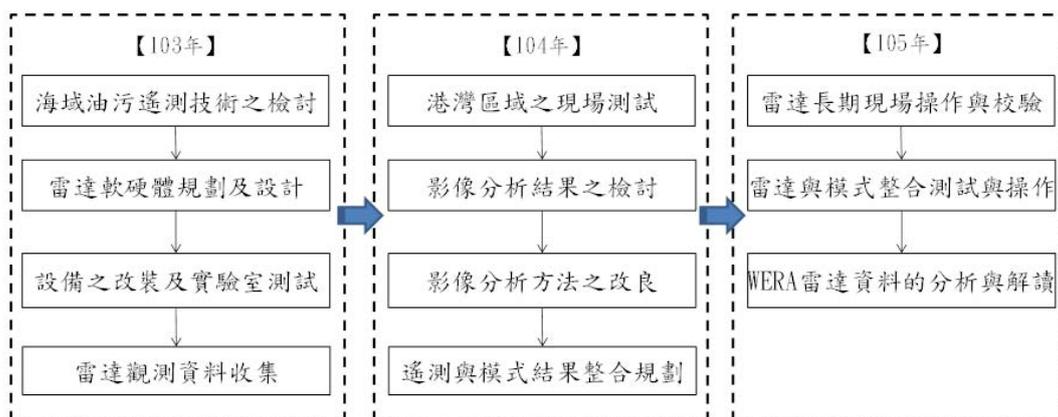


## 海域油污監測技術之研發

7



## 雷達監測技術建立之發展規劃



8



## 現有油污偵測技術之發展現況

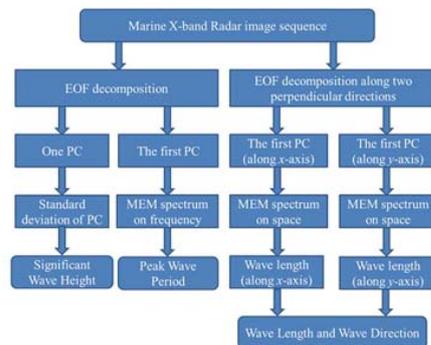
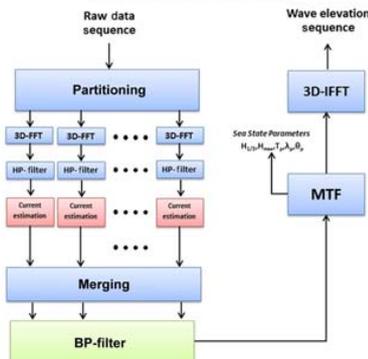
設備名稱	觀測原理	特性說明
可見光感測器	光學偵測	成本較低且易於操作，適用於能見度佳之海域。
紅外線感測器	偵測油污的熱能	屬於被動感測設備，適用於偵測厚度較厚的油膜。
紫外線感測器	偵測油污的紫外光輻射	可偵測很薄的油膜，但不適用於夜間觀測。
雷達	偵測油污與乾淨海面電磁回波之間的差異	有適用風速之限制
輻射計	偵測油污所產生較強烈的輻射	具有量測油污厚度的潛力
雷射螢光計	偵測油污因吸收紫外光後產生的螢光(電子被激發)	夜間適合近距離觀測
油污厚度感測計	利用超音波進行感測	屬於主動感測設備，日夜皆可監測，但須能見度佳。

9



## 航海雷達觀測波流技術的持續檢討

演算技術核心	分析項目	相關研究文獻
經驗正交函數	波高	Chen et al. (2014)
最小平方法	海面流場	Huang and An (2014)
正規化的純量積	波浪譜	Ludeno et al. (2014)



10

利用正規化純量積演算波浪資訊之流程      利用經驗正交函數演算波浪資訊之流程



## 雷達影像中特徵物辨識方法之持續研究

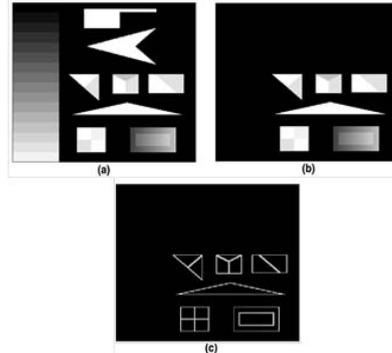
本年度發展之特徵偵測方法：2D Cross Teager Kaiser Operator (CTKO)

$$\Psi_R(I) = (\nabla I)^2 - I\Delta I$$

$$\Psi(I, J) = \frac{1}{2}[\nabla I^* \nabla J + \nabla I \nabla J^*] - \frac{1}{4}[I\Delta J^* + I^*\Delta J + J\Delta I^* + J^*\Delta I]$$

$\nabla$  : 空間影像的梯度(gradient)

$\Delta$  : Laplacian運算元

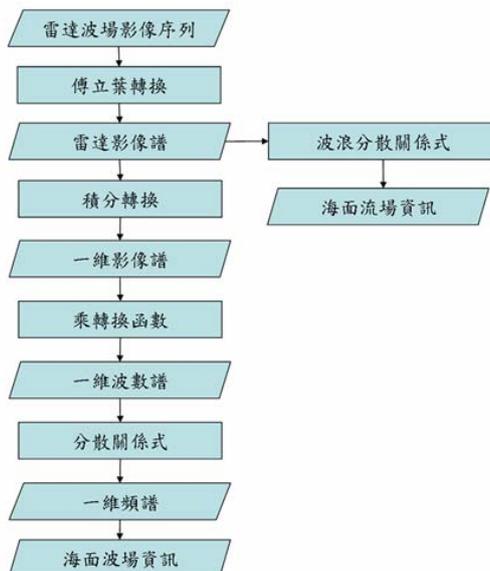


CTKO的影像測試 (Cexus et al. 2010)

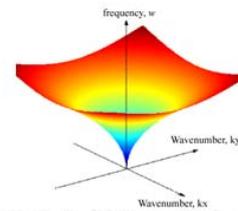
11



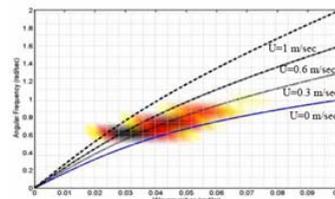
## 航海雷達觀測波流技術之研究



Wave Energy - Wavenumber - frequency



波浪分散關係之理論分布



雷達影像譜與分散關係之關聯

12



## 雷達之海岸現場觀測試驗

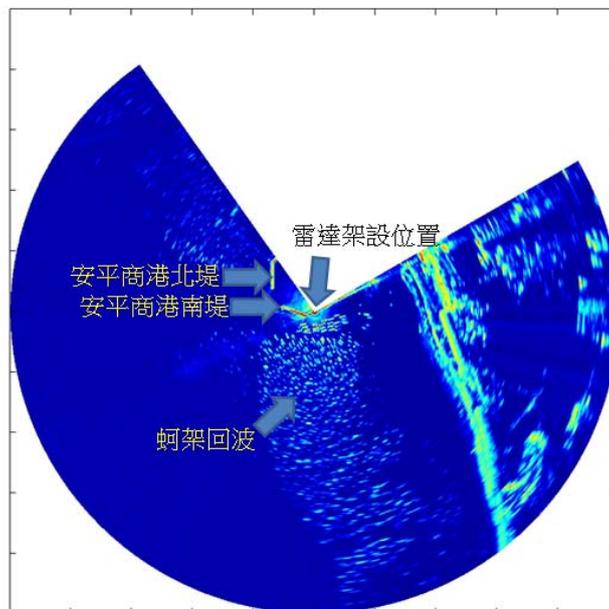
測試案例	測試時間	雷達天線架設位置
1	6月04日	鹿耳門溪北側、鹿耳門溪南側、四草大橋、黃金海岸
2	6月11日	鹿耳門溪南側、安平漁港南堤、四草大橋、黃金海岸
3	6月15日	安平漁港南堤
4	10月7日	台北港
5	11月10日	安平商港南堤



13



## 蚵架之雷達遙測結果



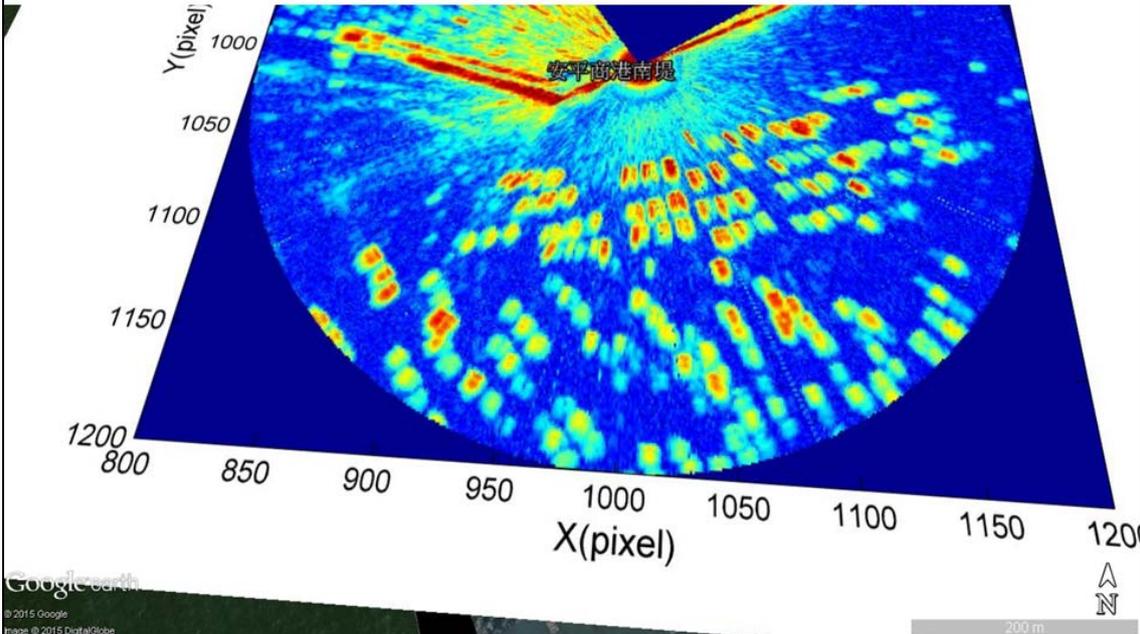
14



## 蚵架之空拍結果

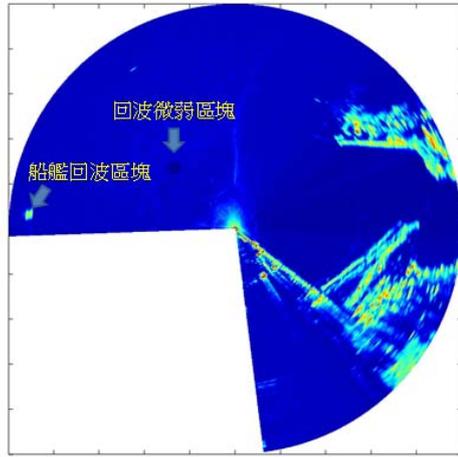


## 空拍與雷達監測結果之比對

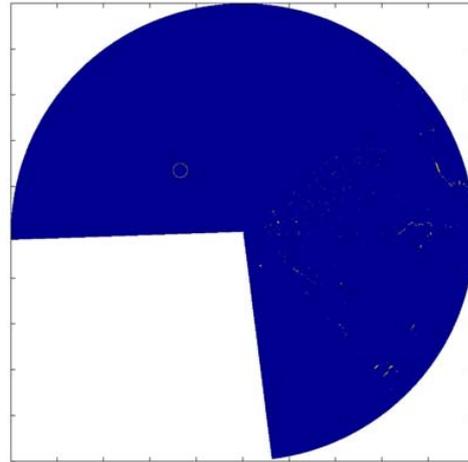




## 影像特徵邊緣偵測\_模擬油汙案例1



含有回波微弱區塊之雷達影像

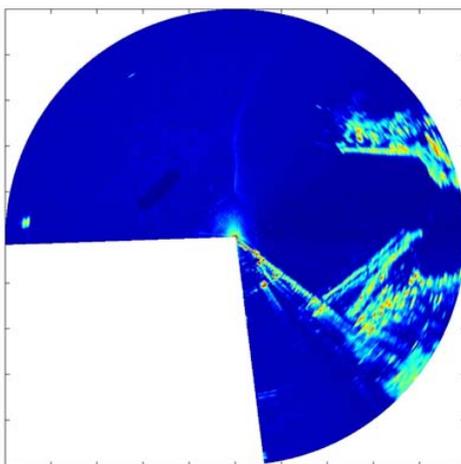


影像特徵邊緣偵測結果

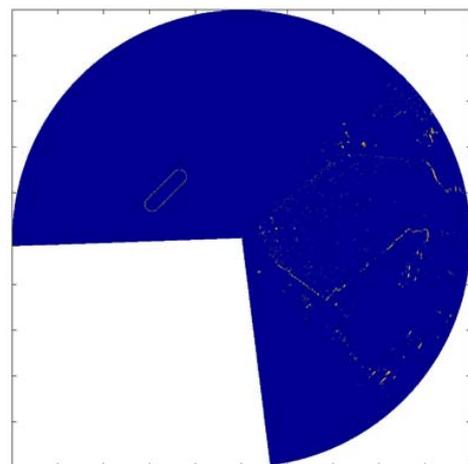
17



## 影像特徵邊緣偵測\_模擬油汙案例2



含有回波微弱區塊之雷達影像



影像特徵邊緣偵測結果

18

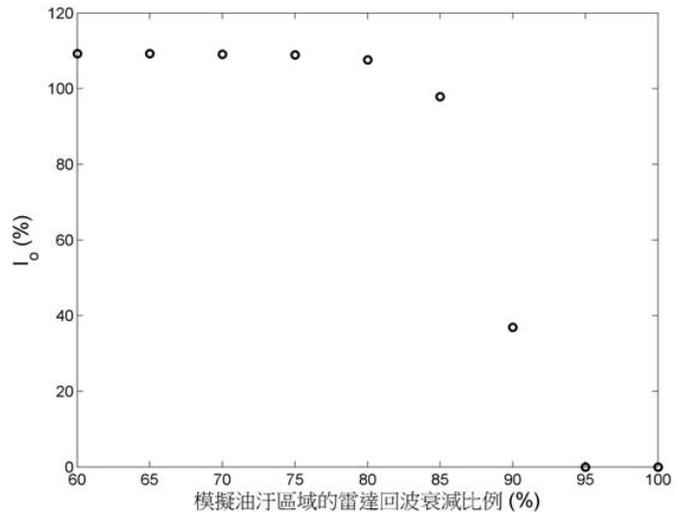


## 油污影像辨識效率指標之檢討

$$I_o = \frac{A_E}{A_T} \times 100\%$$

$A_T$  : 實際的油污面積

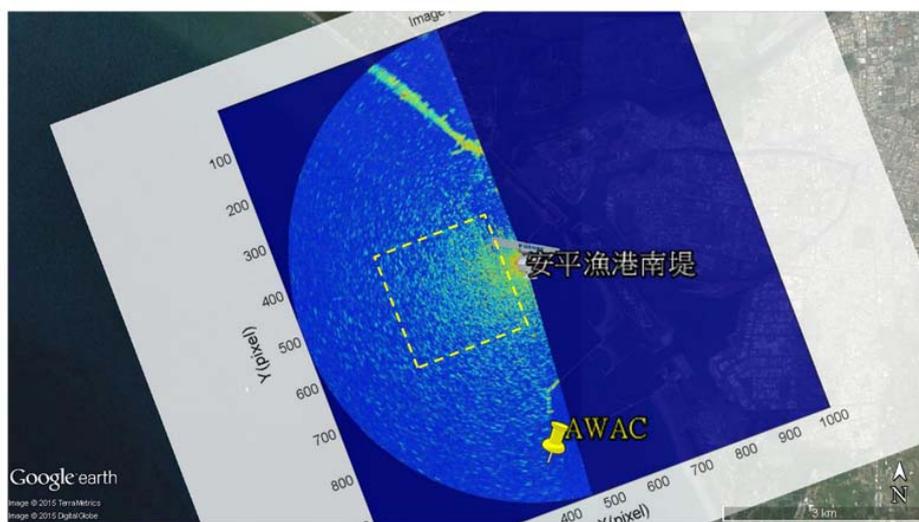
$A_E$  : 經影像辨識後所圈定的油污面積



19



## 海面波流觀測功能之測試

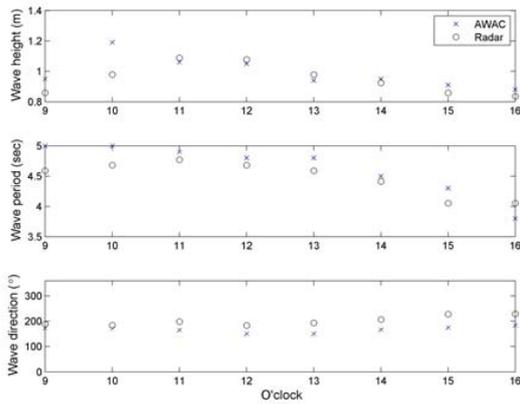


雷達所測得之海面波紋影像

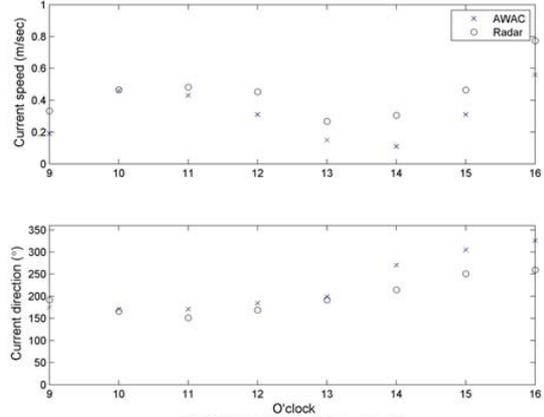
20



## 海面波流觀測功能之測試-臺南安平港



波浪觀測結果之比對

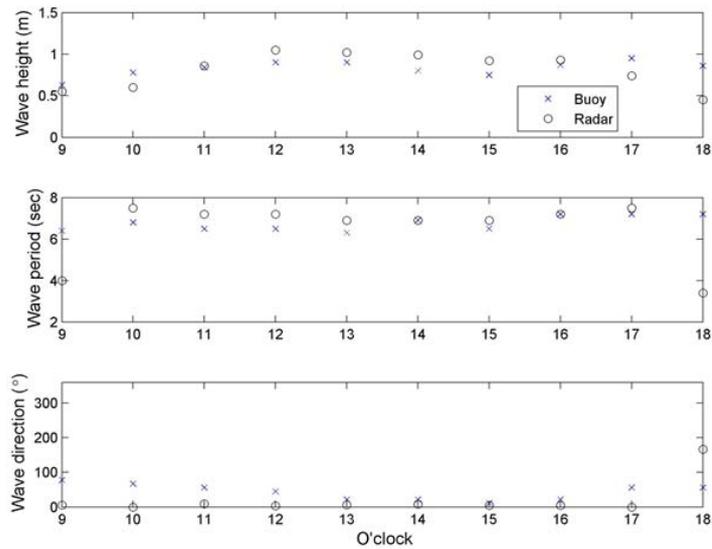


流場觀測結果之比對

21



## 海面波流觀測功能之測試-臺北港

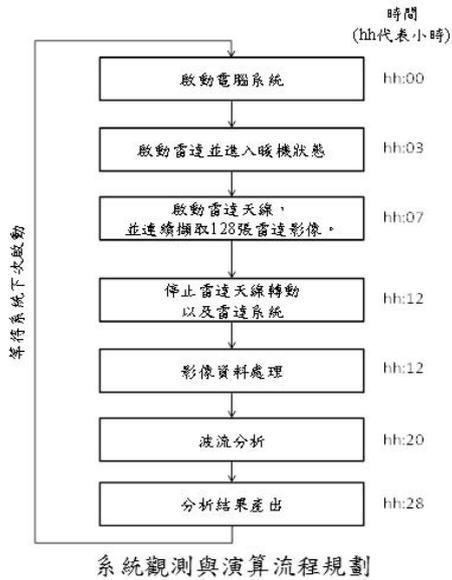


波浪觀測結果之比對

22



## 雷達系統之作業化規劃



評估項目	基本需求
天線架設高度	架設高度需高於海平面 10m
天線架設位置	天線與觀測水域間需有效避開障礙物之影響
電源供應	穩定 110V 電源
網路連線	穩定之網路連線品質
設備保全性	非一般民眾可任意進出之區域，且可提供室內空間放置電腦系統。
現場緊急支援	有專人可協助現場緊急支援

建置長期作業化雷達觀測站之評估

23



## WERA雷達資料分析及初步探討

```

00000000h: 30 34 38 20 53 41 4D 50 4C 45 53 20 20 20 31 : 0048 SAMPLES 1
0000010h: 36 2D 4D 41 59 2D 31 35 20 30 30 3A 30 30 20 55 : 6-MAY-15 00:00 U
0000020h: 54 43 20 20 53 6F 75 74 68 5F 74 77 32 20 20 20 : TC South_tw2
0000030h: 46 4D 53 4F 43 4F 20 46 52 45 51 55 45 4E 5A 20 : FMSOCO FREQUENZ
0000040h: 20 33 38 2E 35 33 31 4D 48 5A 20 59 45 41 52 20 : 38.531MHZ YEAR
0000050h: 32 30 31 35 20 20 20 20 52 41 4E 47 45 3A 20 : 2015 RANGE:
0000060h: 20 30 2E 39 34 33 30 20 48 4D 2C 54 52 55 45 4E : 0.3430 RM.TRUEH
0000070h: 4F 52 54 48 3A 20 36 39 20 47 52 41 44 2C 52 41 : ORTH: 69 GRAD,RA
0000080h: 54 45 3A 30 2E 32 31 36 36 39 30 53 2C 4E 52 52 : TE:0.216690S,NRR
0000090h: 41 4E 47 45 53 3A 20 33 37 20 30 30 30 30 30 30 : ANGES: 37 000000
00000a0h: 30 20 4C 41 45 4E 47 45 3A 31 32 31 2D 32 32 2D : 0 LAENGE:121-22-
00000b0h: 30 34 20 45 42 52 45 49 54 45 3A 20 32 35 20 30 : 04 EBREITE: 25-0
00000c0h: 38 2D 31 35 20 4E 20 4D 54 3A 20 20 31 32 38 30 : 8-13 30 MT: 1280
00000d0h: 20 50 57 52 3A 20 34 30 39 35 20 41 4E 54 3A 20 : FWR: 4095 ANTI:
00000e0h: 38 20 4D 44 3A 30 33 39 20 4F 46 46 53 45 54 3A : 8 MD:039 OFFSET:
00000f0h: 30 2E 38 20 52 58 4F 46 46 53 45 54 3A 20 20 20 : 0.8 RKOFFSET:
0000100h: 20 20 20 20 20 20 30 53 20 30 2E 30 30 30 30 : OSS 0.0000
0000110h: 30 30 20 48 44 3A 30 30 31 20 20 20 20 20 20 20 : 00 HD:001
0000120h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 :
0000130h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 :
0000140h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 :
0000150h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 :
0000160h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 :
0000170h: 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 :
0000180h: 30 30 30 30 30 30 30 2D 30 34 35 30 39 39 20 : 00000000 -045099
0000190h: 2D 30 35 32 35 36 32 20 2D 30 33 37 32 35 31 20 : -052562 -037251
  
```

WERA高頻雷達天線回波原始資料內容

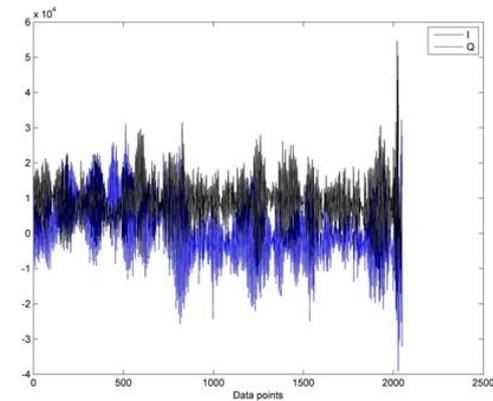


WERA高頻雷達天線回波原始資料之結構

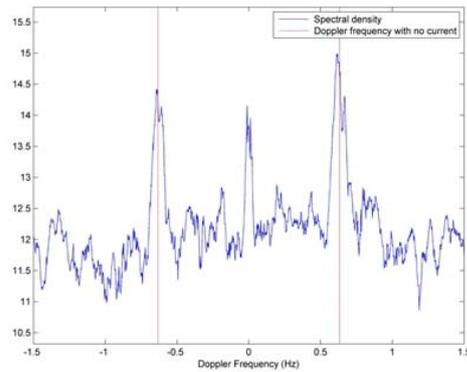
24



## WERA雷達資料分析及探討



解算出WERA雷達回波原始資料時序列

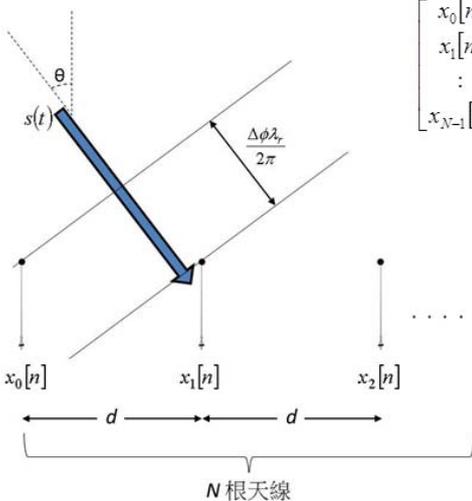


高頻雷達回波都卜勒能譜

25



## WERA雷達資料分析及探討



$$\begin{bmatrix} x_0[n] \\ x_1[n] \\ \vdots \\ x_{N-1}[n] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0(\theta) & a_0(\theta_1) & \dots & a_0(\theta_{r-1}) \\ a_1(\theta) & a_1(\theta_1) & \dots & a_1(\theta_{r-1}) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{N-1}(\theta) & a_{N-1}(\theta_1) & \dots & a_{N-1}(\theta_{r-1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0[n] \\ s_1[n] \\ \vdots \\ s_{N-1}[n] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_0[n] \\ v_1[n] \\ \vdots \\ v_{N-1}[n] \end{bmatrix}$$

$$a(\theta) = [1 \quad e^{-i\omega} \quad e^{-i2\omega} \quad \dots \quad e^{-i(N-1)\omega}]^T$$

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} w_k x_k[n]$$

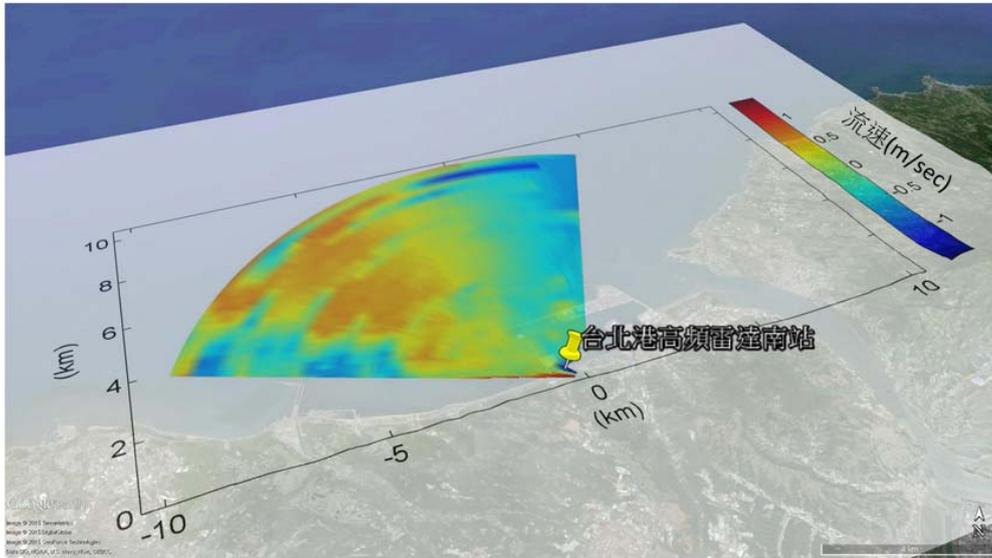
$$\begin{aligned} P(\theta) &= E[y[n]^H y[n]] = E[w[n]^H x[n]]^2 \\ &= E[a(\theta)^H x[n]]^2 = a(\theta)^H R_{xx} a(\theta) \end{aligned}$$

$$R_{xx} = \frac{1}{K} \sum_{i=0}^{K-1} x[i] x[i]^H$$

26



## WERA雷達資料分析及探討

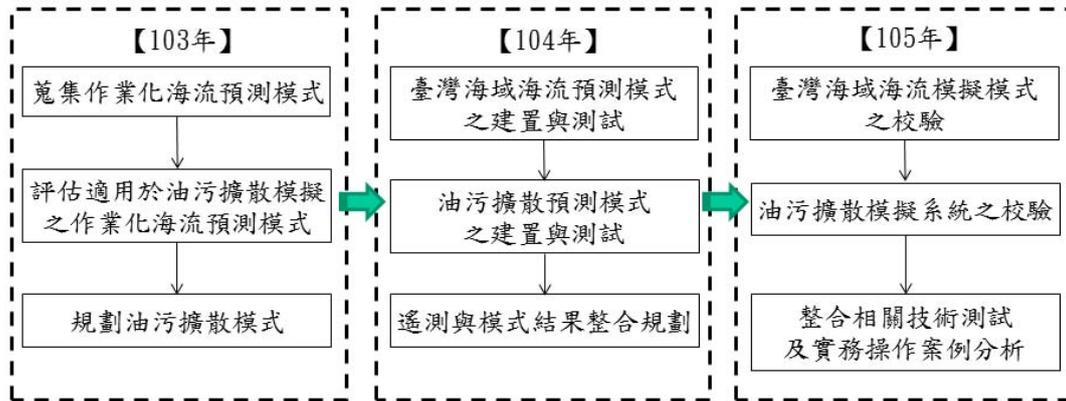


27



## 海域油污擴散模擬之發展

28

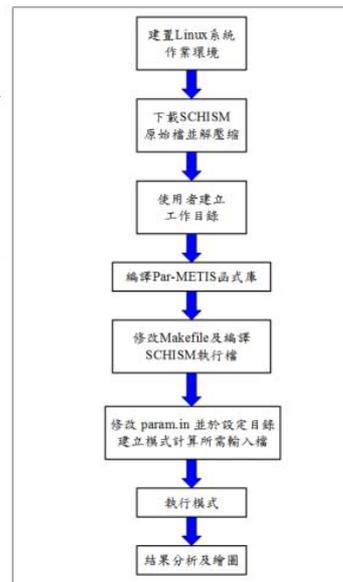


29



## SCHISM海洋模式建置流程

- 參數檔 param.in
  - ✓ 控制 SCHISM 計算之各項參數，如時間步長與輸入等控制。
- 產出
  - ✓ 水位、水平方向流速流向、垂直方向流速流向、鹽度、溫度、導電度等資料。



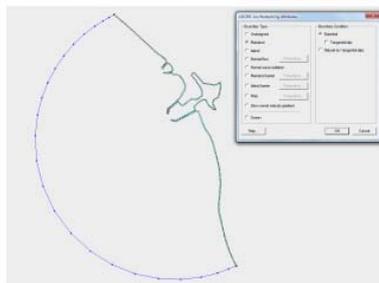
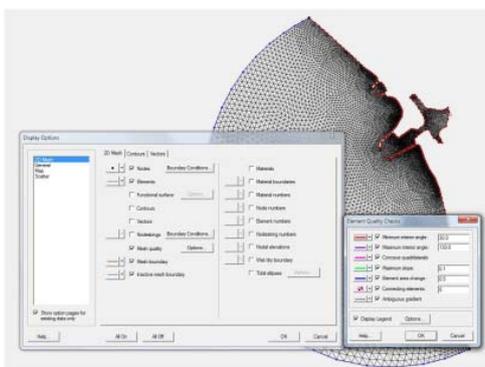
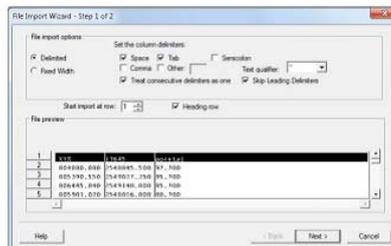
30



## 數值計算網格建置

### ➤ SMS軟體建置三角形網格

- ✓ 匯入地形水深資料
- ✓ 定義計算區域之陸地與海域邊界
- ✓ 檢查三角網格品質

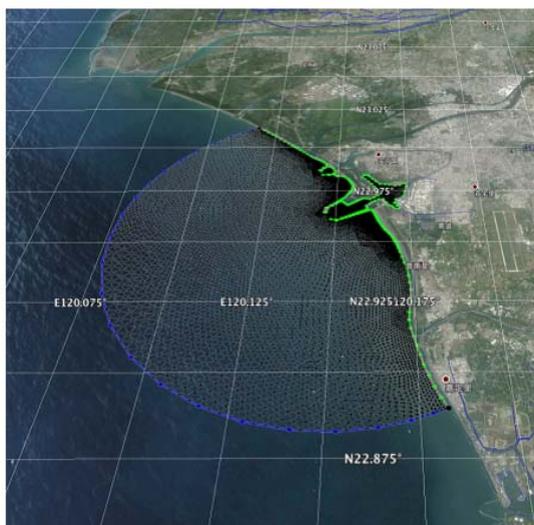


31



## 數值計算網格建置-安平港

- 完成安平港地形之非結構三角形網格建置
  - ❑ 地形水深資料來源：交通部運輸研究所於安平港量測
  - ❑ 網格節點數為9897個，三角元素為18944個，其中元素最小邊長約為14m，元素最大邊長370m。

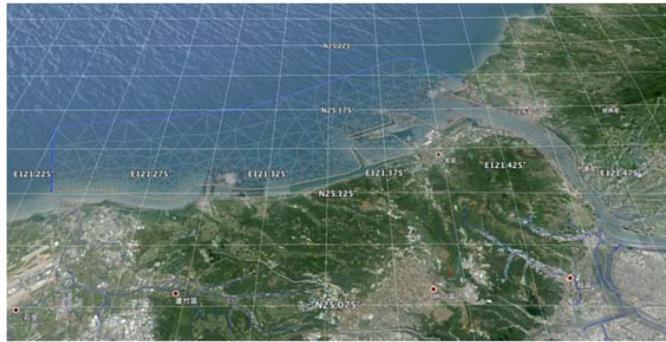


32



## 數值計算網格建置-臺北港

- 完成臺北港地形之非結構三角形網格建置
  - ▣ 地形水深資料來源：交通部運輸研究所於安平港量測
  - ▣ 網格節點數為1624個，三角元素為944個，其中元素最小邊長約為60m，元素最大邊長1900m。

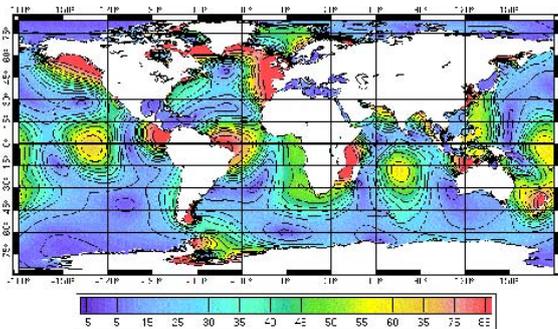


33



## 潮汐常數對海潮流模擬的影響

- 資料來源
  - ✓ FES2004 (Lyard et al., 2006) 全球潮汐常數資料庫
  - ✓ 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系海岸模式應用研究室

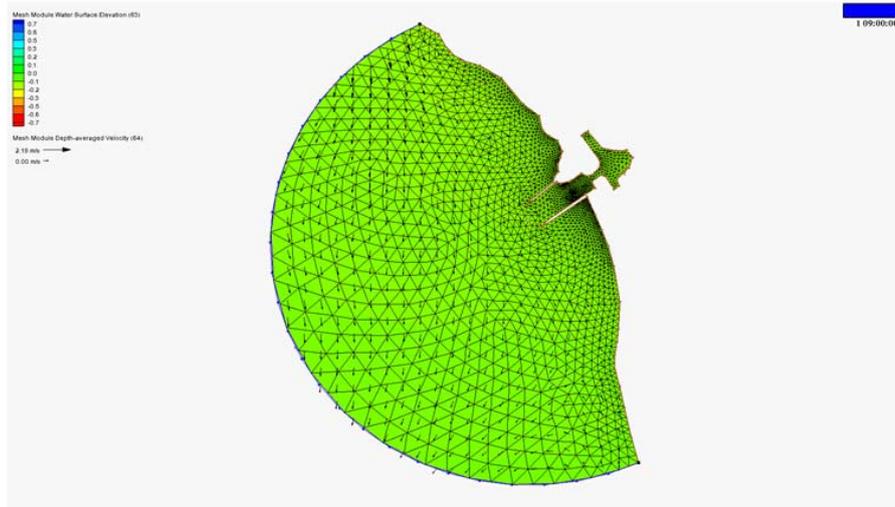


34



## 安平港海潮流模擬

✓ FES2004 (Lyard et al., 2006) 全球潮汐常數資料庫

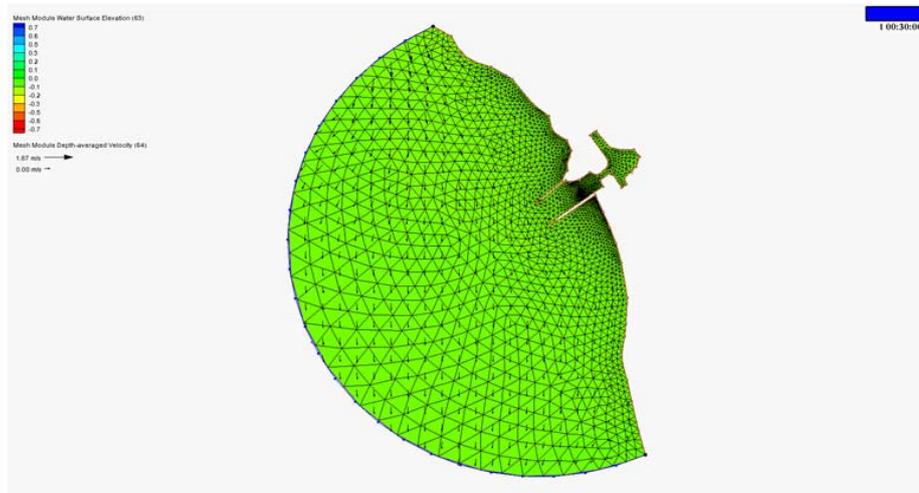


35



## 安平港海潮流模擬

✓ 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系海岸模式應用研究室

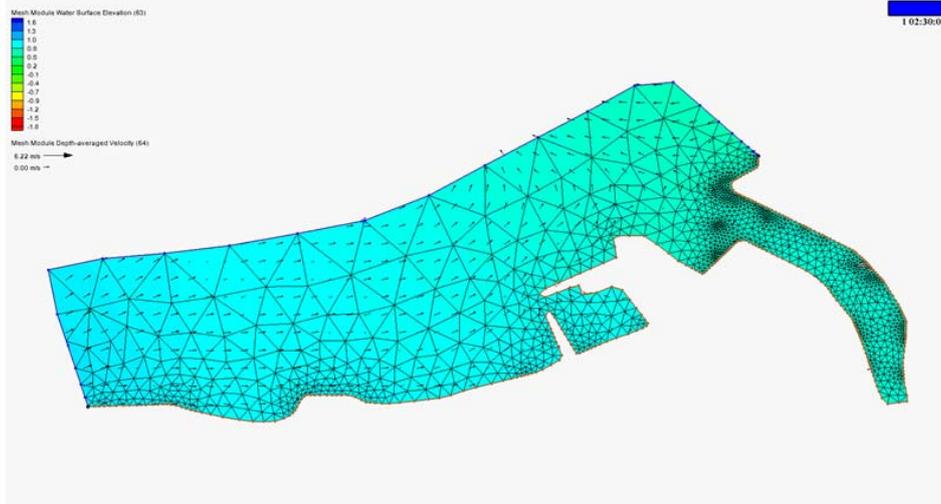


36



## 臺北港海潮流模擬

✓ FES2004 (Lyard et al., 2006) 全球潮汐常數資料庫

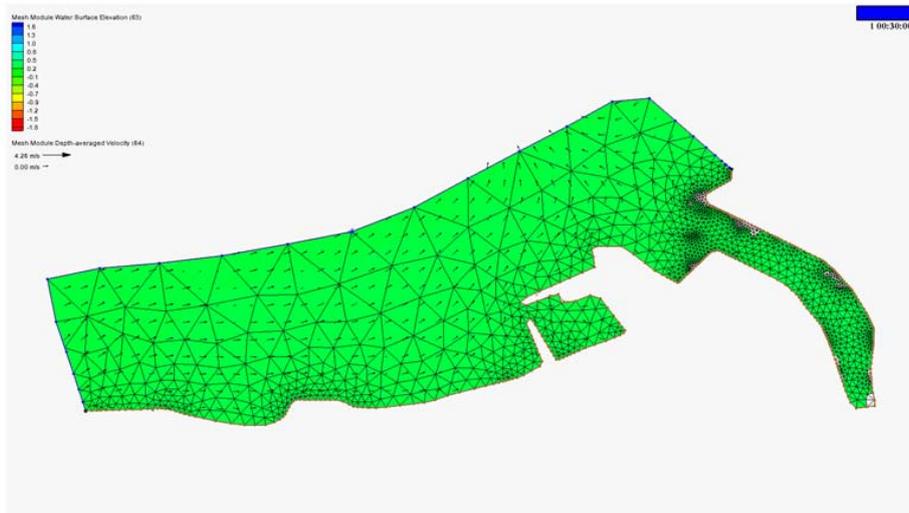


37



## 臺北港海潮流模擬

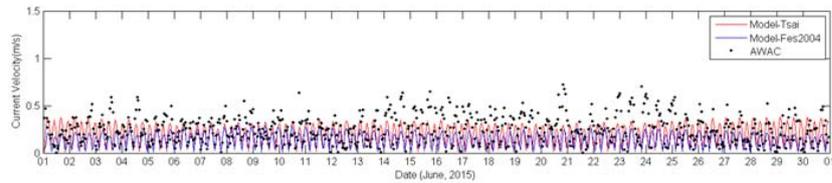
✓ 國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系海岸模式應用研究室



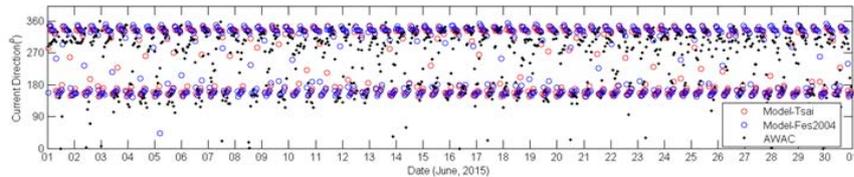
38



## 潮汐常數對海潮流模擬的影響 – 比對安平港實測資料



統計值	BIAS	RMS	SI
潮汐常數			
海岸模式應用研究室	-0.05	0.03	0.15
FES2004	-0.12	0.19	0.73

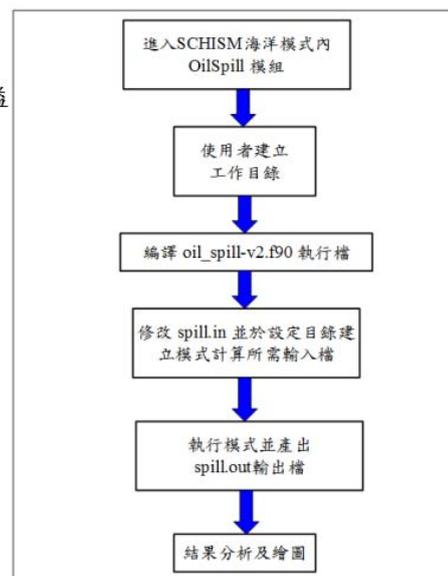


39



## 油污擴散模式建置流程

- 參數檔 spill.in
  - ✓ 控制油污擴散計算之各項參數，如油污溢漏位置、啟始時間、油品特性等。
- 輸入資料
  - ✓ SCHISM海洋模式模擬計算產出的水位資料、3維之流場、風場、與紊流擴散係數。



40



## 油污擴散模式建置流程

```

[Chiu@localhost src]$ ls
AP flux.dat OilSpill-Jung Sed2d updateGIT.sh
bctides.in.sample fort.11 outputs Sediment Utility
beta_notes gfortran_notes param.in source_sink.in.vgrid.in.ivcor=1
CMakeLists.txt hydraulics.in.sample param.in.sample vgrid.in.S
Core Hydro ParMetis-3.1-Sep2010 vgrid.in.SZ
delete_cmake.sh Makefile pschism.svn.centos.intel.mpich.ex tmp vsink.th
depend.out mirror.out pschism_WHIRLWIND_GOTM_ICM total.dat vsource.th
Driver o pschism_WHIRLWIND_ICM total_ST.dat wminput.nml.ref
EcoSim 0 readme total_TR.dat
[Chiu@localhost src]$

[Chiu@localhost OilSpill-Jung]$ ls -lt
總計 4164
-rw-rw-r--. 1 Chiu Chiu 22010 10月 15 16:31 spill_AP.in
drwxrwxr-x. 2 Chiu Chiu 4096 10月 15 16:15 input
drwxrwxr-x. 2 Chiu Chiu 67 10月 15 16:14 model
drwxrwxr-x. 2 Chiu Chiu 56 9月 17 23:07 run
drwxrwxr-x. 2 Chiu Chiu 40 6月 17 13:22 plot
-rw-rw-r--. 1 Chiu Chiu 4206080 12月 23 2014 Oil_spill_modeling_yunjung.ptt
-rw-rw-r--. 1 Chiu Chiu 219 12月 23 2014 README
-rw-rw-r--. 1 Chiu Chiu 22011 12月 23 2014 spill.in.sample
[Chiu@localhost OilSpill-Jung]$
  
```

41



## 油污擴散模式建置流程

```

Oil spill simulation in Anping Harbor
1 !nscreen
0 !istiff
2 120.13 22.96 !ics,slam0,sfea0
0.1 1.0 90 10 960 10 !h0,rnday,dtm,nspool,ihfskip,ndeltp
1 3.0 0.2 !ihdf,hdc,horcon
1 0 !ibuoy,iwind
20.0 !pbeach

500 !# of particles
1 0 120.1349 22.9590 -5.00
2 0 120.1349 22.9590 -5.00
3 0 120.1349 22.9590 -5.00
4 0 120.1349 22.9590 -5.00
5 0 120.1349 22.9590 -5.00
6 0 120.1349 22.9590 -5.00
7 0 120.1349 22.9590 -5.00
8 0 120.1349 22.9590 -5.00
  
```

17,42 頂端

42



## 油污擴散案例蒐集

- 目的
  - ✓ 為了下年度探討油污擴散模擬校驗，蒐集臺灣海域近5年來重大溢油事件。
- 蒐集資訊
  - ✓ 蒐集溢油事件相關資料(如油品種類、溢油總量等)、事件發生時間與位置。
- 預計模擬資訊
  - ✓ 計算海潮流資料後，模擬溢油發生後之擴散變化，預測溢油在水體表面移動軌跡及污染程度，包括不同時間情形下，溢油在海洋表面運動的路徑、影響範圍、曾經影響區域、在水體中及進入空氣中的數量、到達及黏附在海岸地區的數量，以及在某一特定區域內的溢油量等。

### 台灣海域 近10年重大海洋污染事件表

<b>90/1/14 希臘貨輪阿瑪斯號</b>
▶ 因為海象惡劣在屏東鵝鑾鼻外海觸礁擱淺，1000多噸油料污染珊瑚礁，造成墾丁海洋浩劫
賠償或罰鍰船東支付清除處理費、漁業損失、船舶移除費用、林木復育費、漁外和解金及行政罰款。合計3億1,200餘萬台幣
<b>94/10/10 南韓化學輪三湖兄弟號</b>
▶ 載運3100噸「苯」行經核四外海，疑遭連環香港輪追撞，翻覆沉沒於新竹南寮漁港外海，花費4年時間清除污染
賠償或罰鍰環保署罰鍰7950萬元，但船公司拖欠6456萬罰鍰不繳。環保署今年2月在麥寮港扣押同公司三湖瑪瓏號，拍賣1.38億元償還
<b>95/12/24 馬爾他籍吉尼號散貨輪</b>
▶ 於蘇澳港南方約2-3哩處擱淺，油輪破裂，所載100多公噸燃油外洩
賠償或罰鍰船公司繳交150萬罰鍰、行政支出272萬元、漁民損失1500萬元、漁業署調查費600萬元後達成和解
<b>97/11/10 巴拿馬籍瑞興輪散貨輪</b>
▶ 石門壩第一廠出水口西北方，距離岸邊300公尺處船輪破裂擱淺，洩漏重油約100公噸，造成十八王公廟以西沿岸約3公里海岸污染
賠償或罰鍰我方求償470萬台幣，民間漁業損失求償雙方歧見太大，仍在訴訟中
<b>100/10/3 巴拿馬籍砂石船瑞興輪</b>
▶ 在基隆大武崙外海0.1海里船身斷為兩截；載油312.5公噸，污染3公里海岸
賠償或罰鍰環保署先緊急移除油污，未來向船東求償清除費用

資料來源：環保署、自由時報

43



## 油污擴散案例蒐集

- 100年10月3日基隆大武崙外海巴拿馬籍砂石船瑞興輪觸礁溢油事件
  - ✓ 100年10月3日零時十分，巴拿馬籍砂石船瑞興輪在基隆大武崙外海185.2m處觸礁事件船身斷為兩截。
  - ✓ 依據環保署統計，瑞興輪載有柴油81公噸、燃油218公噸及潤滑油13.5公噸，共計312.5公噸。
  - ✓ 自北海岸獅子公園經大武崙漁港往東約3km為嚴重污染範圍，往海洋延伸污染區域最大寬度可達1km，隨著風向一路往2至3km距離的外木山漁港方向擴散。



44



## 油污擴散案例蒐集

- 101年2月19日澎湖外海泰籍歐倍隆貨船擱淺溢油事件
  - ✓ 101年2月19日凌晨3時30分，泰國籍歐倍隆貨船於東經119度35分、北緯23度47分，吉貝外海目斗嶼附近的關帝爺礁觸礁擱淺。
  - ✓ 船上載有丁烯1,061噸、重油燃油45噸、柴油10噸及滑油2噸，船上重油燃油外洩，外洩面積有300,000平方公尺。
  - ✓ 西嶼沿岸出現大量油污。



45

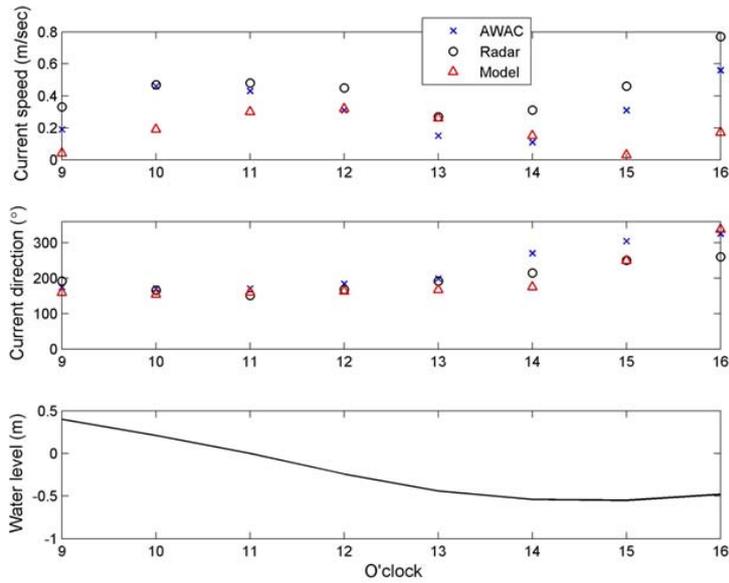


## 整合系統實務操作規劃

46



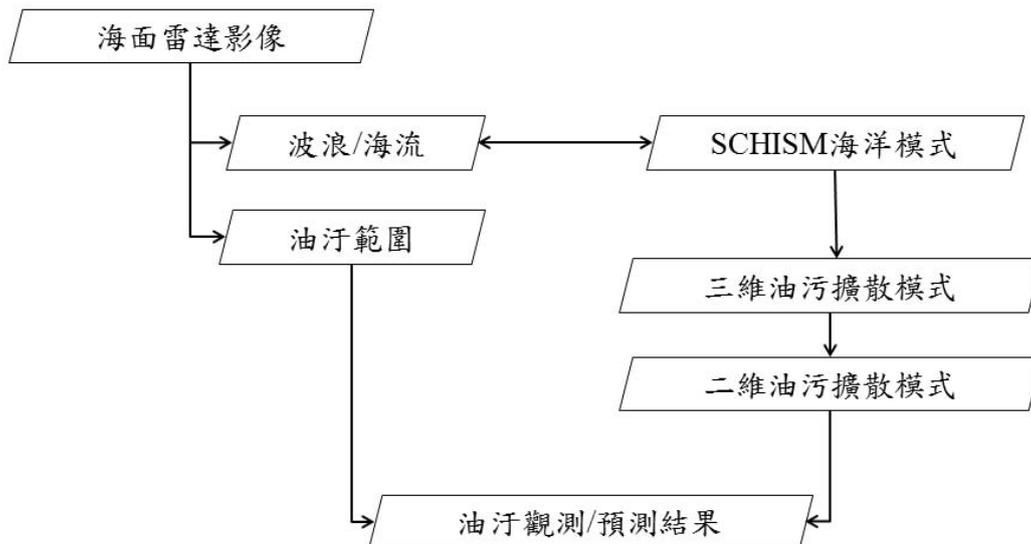
## 雷達與模式獲得結果之比對 - 安平港



47



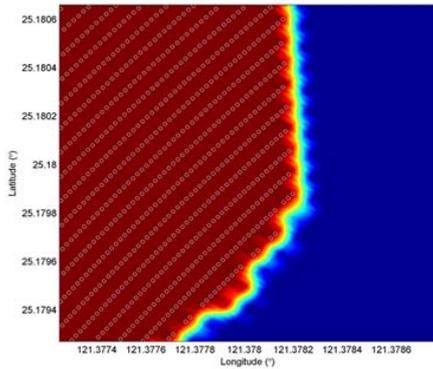
## 雷達與模式整合系統之流程



48



## 規劃由雷達提供給模式的資料範例



```

oil_1510071008.txt
檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)
Current speed= 0.592 (m/s)
Current direction= 225 (degree)
Suspected oil sizes= 538313 (square meters)
Locations [Longitude (degree), Latitude(degree) ] of suspected oil spill:
[121.377872, 25.181097]
[121.377821, 25.181146]
[121.378054, 25.180882]
[121.377902, 25.181030]
[121.377851, 25.181079]
[121.377800, 25.181129]
[121.378135, 25.180766]
[121.378033, 25.180865]
[121.377982, 25.180914]
[121.377932, 25.180963]
[121.377881, 25.181013]
[121.377830, 25.181062]
[121.377779, 25.181111]
[121.377729, 25.181161]
[121.378115, 25.180749]
[121.378064, 25.180798]
[121.378013, 25.180847]
[121.377962, 25.180897]
[121.377911, 25.180946]
[121.377860, 25.180995]
[121.377809, 25.181045]
[121.377759, 25.181094]
[121.377708, 25.181143]
[121.377657, 25.181192]
[121.377555, 25.181291]
[121.378146, 25.180683]
[121.378095, 25.180732]
[121.378044, 25.180781]
[121.377993, 25.180830]
[121.377942, 25.180880]
[121.377891, 25.180929]
[121.377840, 25.180978]
[121.377789, 25.181027]
[121.377738, 25.181076]
    
```

49



## 因應海域油污之作業流程



50



## 本年度計畫執行成果

- 持續收集相關文獻，針對現有海域油污遙測技術與航海雷達偵測波流技術等議題進行持續檢討。
- 以Cross Teager Kaiser Operator (CTKO)理論為基礎，已建立雷達影像分析技術，藉以將影像中所隱含的特徵資訊提取出。

51



## 本年度計畫執行成果

- 已分別於臺南安平港與臺北港進行航海雷達系統的海岸現場測試工作，測試重點聚焦於現場海面回波訊號之檢測以及雷達影像分析結果之檢討。
  - ❑ 利用影像演算法進行現場海面回波影像之分析，結果顯示經過CTKO的演算分析之後，海面之蚵架回波特徵確實可被強化。
  - ❑ 模擬海面油污所造成的回波衰減特徵，再透過CTKO進行影像的特徵辨識，其結果初步確認了CTKO演算法應用於回波衰減區域辨識的可行性。
  - ❑ 透過臺南安平港南堤堤頭附近的AWAC現場波流觀測資料進行比對，也透過臺北港雷達系統測試所獲得之海象觀測資料與鄰近的海氣象資料浮標觀測數進行比對。結果顯示，雷達遙測與現場觀測結果之定性特徵相近，但在定量結果仍有一定之差異。判斷造成差異的主要原因為觀測位置的差異。

52



## 本年度計畫執行成果

- 研究WERA系統原始資料的結構，從中將原始資料時序列解算出，並從原始資料分析所得都卜勒能譜結果初步確認資料解算流程的正確性。
- 完成臺北港與安平港高解析之三角網格系統建置，並以SMS軟體完成三角網格的品質檢測。
- 完成臺北港與安平港的海潮流模擬測試，定性比對上符合潮汐一天兩次漲退潮的現象，其中安平港潮流模擬結果實測潮位資料的定量性比對結果顯示誤差在合理範圍內。
- 使用不同的初始與邊界條件作為潮汐常數輸入模擬海潮流，由統計分析比對實測資料結果顯示以(國立臺灣海洋大學海洋環境資訊系)海岸模式應用研究室提供的臺灣附近海域潮汐水位模擬海潮流較佳。

53



## 下年度工作重點

- 航海雷達遙測系統之現場實務操作與校驗：持續進行(一季以上)港灣區域之現場實務操作測試與驗證，以及遙測資料分析方法之改善，進而提升波浪、海流及油污監測的準確度，並研擬航海雷達的作業化監測技術。
- 臺灣海域海流模擬模式之校驗：提出校驗方法，針對主要商港「臺北港」及「安平港」進行臺灣海域海流模擬模式校驗。
- 為了考慮風驅流的影響，SCHISM海洋模式將匯入驅動力—氣象條件來模擬海潮流。

54



## 下年度工作重點

- 油污擴散模擬模式之校驗：模擬重大油污擴散案例，探討油污擴散模擬準確度。
- 進行航海雷達遙測系統及油污擴散模擬系統之整合測試與實務操作。
- 持續針對WERA高頻雷達天線回波原始資料進行更進一步的分析與解讀，藉以從中掌握該系統的流場觀測能量。

55



敬請指教

56