

# 海洋委員會海洋保育署

113 年度海洋污染緊急應變模擬監測計畫

案號：113-E-10

## 成果報告書



委託機關：海洋委員會海洋保育署



執行單位：國立中山大學水資源研究中心

中華民國一一三年十二月

「113 年度海洋污染緊急應變模擬監測計畫」成果報告書基本資料表

委辦機關	海洋委員會海洋保育署		
執行單位	國立中山大學水資源研究中心		
參與計畫人員	張揚祺、莊偉良、邱啓敏、郭柏賢、林才淵、林聖梅		
年度	113	計畫編號	113-E-10
研究性質	<input type="checkbox"/> 基礎研究	<input checked="" type="checkbox"/> 應用研究	<input type="checkbox"/> 技術發展
研究領域	溢油模擬、化學品模擬、海污應變、科技技術偵測油污		
計畫屬性	<input type="checkbox"/> 科技類	<input checked="" type="checkbox"/> 非科技類	
全程期間	113 年 2 月~113 年 12 月		
本期期間	113 年 2 月~113 年 12 月		
本期經費	參佰捌拾肆萬零仟零佰零拾零元整		
關鍵詞	中文	英文	
	油及化學品 海洋污染緊急應變模擬 溢油擴散模擬軟體 化學品擴散模擬軟體 科技技術偵測油污	Oil and Chemical Simulation of emergency responses to marine pollution Oil spill modelling Chemical spill modelling Technology for detecting and monitoring oil spills	

一. 中文計畫名稱：

113 年度海洋污染緊急應變模擬監測計畫

二. 英文計畫名稱

Year 113 Annual Marine Pollution Emergency Response Simulation and Monitoring Project.

三. 計畫編號：

113-E-10

四. 執行單位：

國立中山大學水資源研究中心

五. 計畫主持人：

張揚祺

六. 執行開始時間：

113/02/01

七. 執行結束時間：

113/12/31

八. 成果報告書完成日期：

113/12/30

九. 成果報告書總頁數：

472

十. 使用語文：

中文、英文

十一. 報告電子檔格式：

WORD & PDF



## 十二. 中文關鍵詞

海洋污染緊急應變模擬、溢油擴散模擬軟體、化學品擴散模擬軟體、科技技術偵測油污

## 十三. 英文關鍵詞：

Simulation of emergency responses to marine pollution, Oil spill modelling, Chemical spill modelling, Technology for detecting and monitoring oil spills

## 十四. 中文摘要(簡要版)

今(113)年度「海洋污染緊急應變模擬監測計畫」針對海洋油污染及化學品污染溢洩事件，分別應用油污染擴散數值模式 GNOME 與 SCHISM，以及化學品污染擴散數值模式 CHEMMAP 等軟體，進行海洋油污染與化學品污染擴散之緊急應變以及情境演練的模擬作業，本計畫執行至期末共執行 18 件的油污染緊急應變以及演練的模擬作業，目前仍有二件持續進行應變模擬作業。今(113)年度執行海洋污染擴散模擬件數雖已超過油污染與化學品污染模擬總件數 14 件，但仍持續協助海保署執行油污染緊急應變模擬作業。在科技偵測油污技術以及研析國際上科技偵測油污染等相關技術，分別應用 X-band 雷達執行各 1 次的油污染緊急應變演練與真實油污染事件緊急應變的油污監測作業，以及研析「Pyxis LWIR」與「FLIR K65」等影像偵測技術應用在海洋油污染監測作業，並前往高雄市前鎮漁港測試二種儀器監測海面油污的能力，提供海保署未來建置科技偵測油污染技術之參考。另外，完成更新最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)手冊共計三冊，亦完成撰寫「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式操作手冊，並辦理 3 梯次的教育訓練課程，參加人數共計超過 79 人。上述相關成果已整合至海保署「海洋環境管理平台」，提供海保署擬定海洋污染緊急應變作業計畫以及應變資源配置之參考。

## 十五. 英文摘要(簡要版)

The 2024 'Marine Pollution Emergency Response Simulation and Monitoring Project' focuses on marine oil spills and chemical pollutant leaks. It uses the GNOME and SCHISM numerical models for both oil spill dispersion and the CHEMMAP model for chemical spill diffusion. These tools have been used in emergency response and scenario simulation exercises for both oil and chemical spills. By the end of this fiscal year, the project will have conducted 18 oil spill emergency response drills, with one

incident still ongoing. Although the 14 marine pollution diffusion simulations conducted this year—comprising both oil and chemical spills—have exceeded the initial target, the project team continues to support the Ocean Conservation Administration (OCA) with emergency response simulations. In terms of technological advancements, the project includes one emergency response exercise and a real oil spill emergency monitoring operation, both utilizing X-band radar for oil spill detection. Regarding advance technological capabilities in oil spill detection, this project has evaluated international detection technologies and conducted analyses of relevant techniques. Specifically, X-band radar was utilized in one oil spill emergency response drill and in real-time monitoring of an actual oil spill incident. Additionally, the imaging detection technologies ‘Pyxis LWIR’ and ‘FLIR K65’ were assessed for their applicability to marine oil pollution monitoring. These systems were tested for their oil detection capabilities at Cianjhen Fishing Harbor in Kaohsiung City, providing critical reference data for the OCA’s future integration of advanced oil pollution detection technologies. Furthermore, the project successfully updated three volumes of the latest edition of the International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code. A comprehensive operating manual for the WebGNOME online oil spill diffusion model was also developed, and three training sessions were held, with a total of over 79 participants. The outcomes of these activities have been incorporated into the OCA’s Marine Environmental Management Platform, creating a valuable resource to support the OCA in developing marine pollution emergency response plans and optimizing resource allocation.

本案執行團隊人力分配表

類別	姓名	目前服務單位/職稱	在本計畫中擔任之工作	
主持人	張揚祺	國立中山大學海洋及環境工程學系/教授 國立中山大學水資源研究中心/科資組組長 美國普渡大學土木工程系/博士	計畫綜整與規劃、緊急應變指揮	
協同主持人	莊偉良	國立中山大學海洋及環境工程學系/副教授 國立中山大學海洋科技研究中心/海洋資源探勘與開發組組長 美國德州農工大學土木及環境工程系/博士	計畫綜整與規劃、緊急應變指揮、無人機飛行計畫規劃與指揮、研析影像辨識油污技術	
專任助理	邱啓敏	國立中山大學海洋及環境工程學系/助理研究員 國立成功大學水利及海洋工程學系/博士	協助計畫督導及聯繫、工作整合、緊急應變指揮、管理海洋數值模式及海域油污染及化學品擴散模擬與校驗	
專任助理	郭柏賢	國立中山大學海洋及環境工程學系/研究助理 美國德州南方大學控制工程系/碩士	海域油污及化學品擴散模擬、執行緊急應變計畫、雷達影像辨識油污染擴散範圍	
顧問	楊磊	國立中山大學海洋及環境工程學系/教授 國立中山大學水資源研究中心/主任 美國普渡大學環境工程系/博士	計畫諮詢	
顧問	柳大雄	坤柏海洋油污處理有限公司/經理 國立中山大學海洋及環境工程學系/碩士	計畫諮詢	
顧問	張廣安	美國德州農工大學土木及環境工程系/教授 美國德州農工大學海洋工程系/教授 美國康乃爾大學土木及環境工程系/博士	計畫諮詢	



顧問	黃凱翔	國立高雄科技大學土木工程系/助理教授 國立中興大學土木工程學系/博士	計畫諮詢	
----	-----	---------------------------------------	------	--

## 目 錄

圖 目 錄 .....	ix
表 目 錄 .....	xix
第一章 計畫緣起與目標.....	9
1-1 計畫緣起.....	9
1-2 計畫目標.....	10
1-3 服務項目及工作內容.....	10
1-4 工作進度 .....	13
第二章 計畫工作內容與方法.....	21
2-1 辦理海洋油污染擴散模擬 .....	21
2-2 辦理海洋化學品污染擴散模擬 .....	59
2-3 推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業 .....	75
2-4 運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污染監控作業，並研析其他監控海洋油污染之技術 .....	78
2-5 配合辦理計畫相關行政作業 .....	85
2-6 其他得標廠商應配合事項 .....	86
第三章 計畫執行成果 .....	87
3-1 辦理海洋油污染擴散模擬 .....	87
3-2 辦理海洋化學品污染擴散模擬 .....	155
3-3 推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業 .....	177
3-4 運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污染監控作業，並研析其他可提升海洋油污染監控效能之技術 .....	188
3-5 配合辦理計畫相關行政作業 .....	216

3-6 其他得標廠商應配合事項 .....	216
第四章 結論與建議 .....	219
4-1 結論 .....	219
4-2 建議 .....	220
參考文獻 .....	223
附件一 113 年度油污染緊急應變模擬作業報告 .....	附件 1-1
附件二 「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式操作手冊 .....	附件 2-1
附件三 113 年度「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統教育訓練課程 .....	附件 3-1
附件四 113 年度 X-band 雷達監測油污作業報告 .....	附件 4-1
附件五 113 年度海洋污染緊急應變模擬監測計畫評選委員意見及回覆表 .....	附件 5-1
附件六 113 年度海洋污染緊急應變模擬監測計畫期中審查意見及回覆表 .....	附件 6-1
附件七 113 年度海洋污染緊急應變模擬監測計畫期末審查意見及回覆表 .....	附件 7-1

## 圖 目 錄

圖 2-1-1 Line 即時通訊平台「OCA-NSYSU 海污模擬計畫」 .....	22
圖 2-1-2 SCHISM 三維跨尺度海洋數值模式系統 .....	25
圖 2-1-3 SCHISM 模式臺灣四周海域計算網格系統 .....	28
圖 2-1-4 建置臺灣東北角海域 SCHISM 計算網格與水深地形 .....	29
圖 2-1-5 2019/08 東北角海域海流漲潮時海流的變化趨勢 .....	29
圖 2-1-6 2019/08 東北角海域海流退潮時海流的變化趨勢 .....	30
圖 2-1-7 東北角海域海氣象觀測站地理位置圖 .....	31
圖 2-1-8 2019 年 4 月(春季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	31
圖 2-1-9 2019 年 4 月(春季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	31
圖 2-1-10 2019 年 8 月(夏季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	32
圖 2-1-11 2019 年 8 月(夏季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	32
圖 2-1-12 2019 年 10 月(秋季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	32
圖 2-1-13 2019 年 10 月(秋季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	33
圖 2-1-14 2019 年 1 月(冬季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	33
圖 2-1-15 2019 年 1 月(冬季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對 .....	33
圖 2-1-16 GOODS 線上海洋環境資料庫 .....	36
圖 2-1-17 GOODS 系統提供五種模式所預測之風場資料 .....	36
圖 2-1-18 NCEP Global Forecast System 提供全球 1/2 度預測風場 .....	37
圖 2-1-19 NCEP Global Forecast System 未來二星期預測風場 .....	37
圖 2-1-20 CWA-WRF 臺灣四周海域預測風場 .....	37
圖 2-1-21 CWA-OCM 模擬臺灣四周海域預測海流流場 .....	38
圖 2-1-22 GNOME 模式操作介面 .....	39
圖 2-1-23 GNOME 模擬重油隨時間風化結果 .....	39
圖 2-1-24 石門外海油污擴散模擬範圍與計算網格系統 .....	42

圖 2-1-25 台灣海洋科技研究中心長距離及標準型雷達系統位置及量測範圍圖 .....	42
圖 2-1-26 新北市石門附近海域地裡位置圖 .....	43
圖 2-1-27 SCHISM 預測水位與麟山鼻實測水位比對歷線圖 .....	43
圖 2-1-28 HF Radar 草里測站地理位置及預測與實測海流驗證點.....	45
圖 2-1-29 2016 年 3 月石門外海 C-P2 預測與實測海流徑向流速比對歷線圖 .....	45
圖 2-1-30 X-band 雷達進行偵測「德祥臺北」貨輪漏油情況 .....	46
圖 2-1-31 X-band 雷達進行偵測到「德祥臺北」貨輪油污擴散範圍 .....	46
圖 2-1-32 SCHISM 模式預測的「德翔臺北」溢油 34 天後的油污軌跡 .....	47
圖 2-1-33 富貴角資料浮標 2016 年 3 月 22 日至 31 日三秒陣風時序列圖 .....	47
圖 2-1-34 「德翔臺北」貨輪擋淺溢洩油可能影響範圍 .....	48
圖 2-1-35 「德翔臺北」貨輪漏油事件研究成果發表在國際海洋污染頂尖期刊 「Marine Pollution Bulletin」 .....	48
圖 2-1-36 歐盟海洋污染模式技術手冊引用「德翔臺北」貨輪漏油事件研究成果 .....	49
圖 2-1-37 歐盟海洋污染模式技術手冊介紹「德翔臺北」貨輪漏油事件研究成果 .....	49
圖 2-1-38 情境模擬 2016 年夏季大林外海 2 號卸油浮筒發生原油溢洩 24 小時後 結果 .....	50
圖 2-1-39 CWA-WRF 預測 6 月 22 日 02:00 風場 .....	52
圖 2-1-40 CWA-OCM 預測 6 月 22 日 02:00 海流流場 .....	52
圖 2-1-41 中央氣象署海象環境資訊平台 .....	53
圖 2-1-42 交通部運輸研究所運輸技術研究中心港灣環境資訊網 .....	53
圖 2-1-43 國家海洋研究院 GoOcean 專區 .....	53
圖 2-1-44 民國 110 年至 112 年臺灣四周海域曾發生的海洋污染事件位置 .....	55
圖 2-1-45 民國 110 年至 112 年海洋污染事件級別統計圖 .....	56
圖 2-1-46 油污染緊急應變模擬流程圖 .....	57
圖 2-1-47 海保署「海洋環境管理平台」 .....	58
圖 2-2-1 CHEMMAP 模擬結果可呈現三維可視化的視窗 .....	64
圖 2-2-2 CHEMMAP 軟體模擬苯在海面上瞬間溢漏 10,000 噸的情況 .....	65
圖 2-2-3 CHEMMAP 軟體模擬醋酸乙烯酯於海面上溢漏的情況 .....	65
圖 2-2-4 醋酸乙烯酯隨著時間變化在海水中蒸發及溶解的體積 .....	66
圖 2-2-5 苯溶解於海水中的變化情況 .....	70

圖 2-2-6 芬揮發至大氣中的變化情況 .....	71
圖 2-2-7 芬隨時間變化之質量平衡 .....	71
圖 2-2-8 美國 RPS 公司規劃 CHEMMAP 進階教育訓練課程(08/21) .....	73
圖 2-2-9 介紹 CHEMMAP 模式的理論與功能 .....	73
圖 2-2-10 化學品在大氣與水體中污染擴散之風化過程 .....	73
圖 2-3-1 「WebGNOME」線上視窗化操作介面 .....	75
圖 2-3-2 「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式 .....	76
圖 2-3-3 「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散之設定界面 .....	76
圖 2-4-1 X-band 雷達偵測油污作業系統 .....	79
圖 2-4-2 應用 Mask R-CNN 分析 X-band 雷達影像得到油污染擴散範圍 .....	79
圖 2-4-3 X-band 雷達在旗津海岸進行兵棋推演之油污染監測作業 .....	80
圖 2-4-4 配合 2010 年世界海洋日之活動展示或演練 .....	81
圖 2-4-5 交通部民航局無人機活動區域範圍查詢網站 .....	83
圖 2-4-6 美國 Polaris Sensor Technologies 公司開發影像偵測油污染技術(Pyxis LWIR) .....	84
圖 2-4-7 Pyxis LWIR 於試驗水槽偵測水面上油污染 .....	84
圖 2-4-8 Pyxis LWIR 可掛載於無人機至開放海域偵測水面上油污染 .....	85
圖 2-4-9 Pyxis LWIR 在美國加州海岸偵測海面上油污染(紅色成像) .....	85
圖 2-6-1 112 年度中山大學辦理綠色採購作業及登錄在環境部網頁 .....	86
圖 3-1-1 瑞誠 6 貨輪溢漏油位置示意圖 .....	91
圖 3-1-2 料羅灣潮位預報圖 .....	91
圖 3-1-3 CWA-WRF 預報金門海域風場(04/17 10:00) .....	92
圖 3-1-4 CWA-WRF 預報金門海域風場(04/17 11:00) .....	92
圖 3-1-5 CWA-OCA 預報金門海域海流流場(04/17 10:00) .....	93
圖 3-1-6 CWA-OCA 預報金門海域海流流場(04/17 11:00) .....	93
圖 3-1-7 水利署金門浮標佈放位置 .....	95
圖 3-1-8 金門浮標觀測海流與模式預報海流之海流流速與流向比對 .....	96
圖 3-1-9 金門浮標觀測風與模式預報風之風速與風向比對 .....	96
圖 3-1-10 GNOME 模擬未來 12 小時油污染擴散模擬結果 .....	97
圖 3-1-11 GNOME 模擬未來 24 小時油污染擴散模擬結果 .....	97
圖 3-1-12 GNOME 模擬未來 48 小時油污染擴散模擬結果 .....	97
圖 3-1-13 GNOME 模擬未來 72 小時油污染擴散模擬結果 .....	97

圖 3-1-14	GNOME 模擬退潮期間油污風化隨時間演變結果.....	98
圖 3-1-15	料羅灣潮位預報圖 .....	99
圖 3-1-16	CWA-WRF 預報金門海域風場(04/17 16:00) .....	100
圖 3-1-17	CWA-OCA 預報金門海域海流流場(04/17 16:00) .....	100
圖 3-1-18	GNOME 模擬未來 12 小時油污染擴散模擬結果.....	101
圖 3-1-19	GNOME 模擬未來 24 小時油污染擴散模擬結果.....	101
圖 3-1-20	GNOME 模擬未來 48 小時油污染擴散模擬結果.....	101
圖 3-1-21	GNOME 模擬未來 72 小時油污染擴散模擬結果.....	101
圖 3-1-22	GNOME 模擬漲潮期間油污風化隨時間演變結果.....	101
圖 3-1-23	GNOME 單機版進行油污擴散模擬與呈現海流流場的變化.....	103
圖 3-1-24	GNOME 單機版進行油污擴散模擬與呈現風場的變化.....	103
圖 3-1-25	GNOME 單機版進行油污擴散模擬的結果.....	104
圖 3-1-26	「巴」輪擱淺在蘭嶼龍門港海岸示意圖 .....	107
圖 3-1-27	蘭嶼龍門港海岸預報海溫 .....	107
圖 3-1-28	蘭嶼潮位預報圖 .....	107
圖 3-1-29	強烈颱風山陀兒(KRATHON)於 9 月 27 日至 10 月 3 日之侵臺路徑 .....	108
圖 3-1-30	CWA-WRF 預測 10/04 15:00 的風場.....	108
圖 3-1-31	CWA-OCM 預測 10/04 15:00 的海流流場 .....	109
圖 3-1-32	未來 12 小時油污染擴散模擬結果 .....	109
圖 3-1-33	未來 24 小時油污染擴散模擬結果 .....	110
圖 3-1-34	未來 48 小時油污染擴散模擬結果 .....	110
圖 3-1-35	未來 72 小時油污染擴散模擬結果 .....	111
圖 3-1-36	柴油風化隨時間演變結果 .....	111
圖 3-1-37	低硫燃油風化隨時間演變結果 .....	111
圖 3-1-38	ITOPF 提供 10 月 4 日模擬輕質油污染擴散結果 .....	112
圖 3-1-39	ITOPF 提供 10 月 4 日模擬重油污染擴散結果 .....	113
圖 3-1-40	「鈺」貨輪於基隆港西北方 0.9 浬處發生主機故障之位置 .....	114
圖 3-1-41	基隆港西北方 0.9 浬預報海溫 .....	115
圖 3-1-42	基隆港潮位預報圖 .....	115
圖 3-1-43	強烈颱風康芮(KONG-REY)於 10 月 24 日至 10 月 1 日之侵臺路徑 .....	116
圖 3-1-44	CWA-WRF 預測 10/29 21:00 的風場.....	116
圖 3-1-45	CWA-WRF 預測 11/01 19:00 的風場.....	117

圖 3-1-46 CWA-OCM 預測 10/29 21:00 的海流流場 .....	117
圖 3-1-47 CWA-OCM 預測 11/01 19:00 的海流流場 .....	118
圖 3-1-48 未來 12 小時油污染擴散模擬結果 .....	119
圖 3-1-49 未來 24 小時油污染擴散模擬結果 .....	119
圖 3-1-50 未來 48 小時油污染擴散模擬結果 .....	120
圖 3-1-51 未來 72 小時油污染擴散模擬結果 .....	120
圖 3-1-52 重油風化隨時間演變結果 .....	121
圖 3-1-53 輕油風化隨時間演變結果 .....	121
圖 3-1-54 「鈺」輪於新北市野柳地質公園海岸擋淺之位置 .....	122
圖 3-1-55 「鈺」輪於新北市野柳地質公園海岸擋淺位置預報海溫 .....	123
圖 3-1-56 基隆港潮位預報圖 .....	123
圖 3-1-57 CWA-WRF 預測 11/04 08:00 的風場 .....	124
圖 3-1-58 CWA-OCM 預測 11/04 08:00 的海流流場 .....	124
圖 3-1-59 未來 12 小時油污染擴散模擬結果 .....	126
圖 3-1-60 未來 24 小時油污染擴散模擬結果 .....	126
圖 3-1-61 未來 48 小時油污染擴散模擬結果 .....	127
圖 3-1-62 未來 72 小時油污染擴散模擬結果 .....	127
圖 3-1-63 重油風化隨時間演變結果 .....	128
圖 3-1-64 輕油風化隨時間演變結果 .....	128
圖 3-1-65 東北角海域自然生態敏感資源地理位置 .....	129
圖 3-1-66 東北角海域重要敏感資源地理位置 .....	130
圖 3-1-67 台電核二廠抽水口預防性佈設攔油索 .....	130
圖 3-1-68 新北市野柳漁港預防性佈設攔油索 .....	131
圖 3-1-69 台電協和電廠取水口預防性佈設攔油索 .....	131
圖 3-1-70 基隆市大武崙漁港預防性佈設攔油索 .....	131
圖 3-1-71 氣象署海氣象預報資訊格式介接與格式轉換流程 .....	133
圖 3-1-72 氣象署海流流場接引資料 NetCDF 格式 .....	133
圖 3-1-73 氣象署風場接引資料 grib2 格式 .....	133
圖 3-1-74 氣象署預報海流流場資料的範圍 .....	134
圖 3-1-75 氣象署預報風場資料的範圍 .....	134
圖 3-1-76 CWA-WRF 預測 6 月 22 日 02:00 的風場 .....	136
圖 3-1-77 SCHISM 預測 6 月 22 日 02:00 的流場 .....	137

圖 3-1-78 海保署提供 6 月 23 日 18:00 衛星影像顯示海面上疑似油污分布的範圍	138
圖 3-1-79 GNOME 預測洩油 40 小時後油污染擴散的情況	138
圖 3-1-80 GNOME 預測洩油 40 小時後油污染漂移軌跡的宿命歷程	139
圖 3-1-81 GNOME 預測 72 小時油污染風化變化趨勢	139
圖 3-1-82 GNOME 預測 51 小時後油污染在海面上分布情況	141
圖 3-1-83 GNOME 預測 55 小時後油污染在海面上分布情況	142
圖 3-1-84 空勤總隊直升機空拍屏東海生館附近海域油污染在海面上分布情況	142
圖 3-1-85 GNOME 預測 72 小時後油污染風化之變化趨勢	143
圖 3-1-86 中油公司工作船在海上佈設第一道攔油索防止油污擴散	145
圖 3-1-87 中油公司工作船在海上佈設第二道 U 型攔油索圍堵集中海面油污	145
圖 3-1-88 SCHISM 模擬東北角海域漲潮期間的海流流場	146
圖 3-1-89 SCHISM 模擬東北角海域退潮期間的海流流場	146
圖 3-1-90 NCEP 模擬東北角海域的風場	147
圖 3-1-91 GNOME 模擬德祥臺北漏油 3 天後 (2016/03/29 11:00)	147
圖 3-1-92 GNOME 模式應用在臺灣海域成果發表及刊登在國際期刊	148
圖 3-1-93 SCHISM 模擬未來 12 小時油污染擴散模擬結果	150
圖 3-1-94 SCHISM 模擬未來 24 小時油污染擴散模擬結果	150
圖 3-1-95 SCHISM 模擬未來 48 小時油污染擴散模擬結果	150
圖 3-1-96 SCHISM 模擬未來 72 小時油污染擴散模擬結果	150
圖 3-1-97 SCHISM 模擬未來 72 小時油污風化模擬結果	150
圖 3-1-98 SCHISM 模擬未來 12 小時油污染擴散模擬結果	152
圖 3-1-99 SCHISM 模擬未來 24 小時油污染擴散模擬結果	152
圖 3-1-100 SCHISM 模擬未來 48 小時油污染擴散模擬結果	152
圖 3-1-101 SCHISM 模擬未來 72 小時油污染擴散模擬結果	152
圖 3-1-102 SCHISM 模擬漲潮期間油污風化隨時間演變結果	152
圖 3-1-103 完成上傳「WebGNOME」簡易網路版油污染擴散模式操作手冊	153
圖 3-1-104 完成上傳第 1 件模擬案油污染擴散應變模擬作業報告	154
圖 3-2-1 新竹外海化學輪漂流翻覆至沉沒的軌跡	157
圖 3-2-2 CHEMMAP 更新版之操作介面	158
圖 3-2-3 CHEMMAP 軟體設定苯污染擴散模擬參數介面	158
圖 3-2-4 CHEMMAP 內建 900 種以上的化學品物質	159

圖 3-2-5 CWA-WRF 預測風場(09/25 08:00)輸入至 CHEMMAP .....	159
圖 3-2-6 CWA-OCM 預測海流流場(09/25 08:00)輸入至 CHEMMAP .....	160
圖 3-2-7 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯於海上擴散情況 .....	160
圖 3-2-8 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯於海上漂移軌跡與擴散情況 .....	161
圖 3-2-9 CHEMMAP 模擬未來 72 小時後苯在新竹外海風化的情況 .....	162
圖 3-2-10 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯在新竹外海風化的演變 .....	162
圖 3-2-11 高雄大林外海約 2.1 浬一艘化學輪因事故造成溢洩化學品苯之位置 .....	164
圖 3-2-12 情境模擬未來 12 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況 .....	165
圖 3-2-13 情境模擬未來 12 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況 .....	165
圖 3-2-14 情境模擬未來 24 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況 .....	166
圖 3-2-15 情境模擬未來 24 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況 .....	166
圖 3-2-16 情境模擬未來 48 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況 .....	167
圖 3-2-17 情境模擬未來 48 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況 .....	167
圖 3-2-18 CHEMMAP 模擬未來 48 小時後苯在高雄西南海域風化的情況 .....	168
圖 3-2-19 CHEMMAP 模擬未來 48 小時後苯在高雄西南海域風化的演變 .....	168
圖 3-2-20 高雄西南海域自然生態敏感區 .....	169
圖 3-2-21 高雄西南海域重要資源敏感區 .....	169
圖 3-2-22 IMDG Code 第 41-22 修訂版適用期限 .....	171
圖 3-2-23 2022 年國際海運危險品準則(IMDG Code)第 1 冊 .....	172
圖 3-2-24 2022 年國際海運危險品準則(IMDG Code)第 2 冊 .....	173
圖 3-2-25 2022 年國際海運危險品準則(IMDG Code)補充版 .....	174
圖 3-2-26 臺灣海域船舶動態資訊系統顯示臺灣四周海域航行的化學輪 .....	176
圖 3-3-1 「WebGNOME」模擬參數設定介面 .....	178
圖 3-3-2 National Oceanic and Atmospheric Administration-GOODS 資料庫 .....	178
圖 3-3-3 濫洩油品特性及模擬參數設定 .....	179
圖 3-3-4 ADIOS OIL DATABAS 油品資料庫 .....	180
圖 3-3-5 模擬結果顯示漏油動畫及預測軌跡 .....	180
圖 3-3-6 模擬油污在水面、水體中、以及蒸發至大氣中等風化資訊 .....	181
圖 3-3-7 113 年度海洋油污染擴散模式第一場次教育訓練研習班上課情況 .....	184
圖 3-3-8 第一場次教育訓練海保署長官頒發結業證書(05/03) .....	185
圖 3-3-9 第二場次教育訓練海保署長官頒發結業證書(07/19) .....	186
圖 3-3-10 第三場次教育訓練海保署長官頒發結業證書(08/23) .....	187

圖 3-4-1 X-band 雷達油污偵測系統執行作業情形 .....	189
圖 3-4-2 原始 X-band 雷達訊號影像 .....	189
圖 3-4-3 (a) 2016 年德祥臺北事件 X-band 雷達偵測影像。(b)應用 Mask R-CNN 於該雷達影像之油污影像辨識結果 .....	190
圖 3-4-4 無人機拍攝蒙古籍凱塔雜貨輪擋淺在臺南七股海岸情況(07/30) .....	191
圖 3-4-5 X-band 雷達於 7 月 30 日 18:00 進行油污監測作業 .....	191
圖 3-4-6 X-band 雷達架設位置與凱塔雜貨輪的距離 .....	192
圖 3-4-7 CWA-WRF 預報 113 年 7 月 30 日 20:00 風場 .....	192
圖 3-4-8 CWA-OCM 預報 113 年 7 月 30 日 20:00 流場 .....	193
圖 3-4-9 Mask R-CNN 模型對雷達影像辨識海面物件及油污 .....	193
圖 3-4-10 無人機拍攝凱塔雜貨輪擋淺在臺南七股海岸情況(07/31) .....	194
圖 3-4-11 擷取雷達掃描即時海況與與影像 .....	195
圖 3-4-12 Mask R-CNN 模型對雷達影像上海面物件進行辨識 .....	195
圖 3-4-13 測試不同油層厚度在海水面溫度變化的實驗環境配置 .....	196
圖 3-4-14 水面上油污厚度在日夜的溫度變化情況 (Wang et al., 2023) .....	196
圖 3-4-15 FLIR K65 救災用紅外線熱影像儀 .....	198
圖 3-4-16 測試 FLIR K65 偵測油污的能力 .....	199
圖 3-4-17 FLIR K65 油污偵測結果 .....	199
圖 3-4-18 農業植保用途的 UAV .....	200
圖 3-4-19 代號 H4 多旋翼無人機 .....	201
圖 3-4-20 VX2300 啟航者無人直升定翼機 .....	203
圖 3-4-21 美國 Polaris Sensor Technologies 公司開發之 Pyxis LWIR 油污偵測影 像模組與整合至無人飛行載具之應用範例。 .....	205
圖 3-4-22 Pyxis LWIR 油污偵測實例—在墨西哥灣中距離 New Orleans 東南方約 100 英里處的某油井口，因 2004 Hurricane Ivan 受損而發生原油洩漏， 浮於水面並受風流影響產生之帶狀分布。 .....	206
圖 3-4-23 Pyxis LWIR 油污偵測實例—Santa Barbara, CA 外海偵測不明洩漏油污 .....	206
圖 3-4-24 前鎮漁港水面觀察到明顯的油污 .....	208
圖 3-4-25 Pyxis LWIR 在夜間測試作業情形 .....	208
圖 3-4-26 PVS 軟體顯示 Pyxis LWIR 於夜間偵測之油污(黃框紅色影像區域) .....	208
圖 3-4-27 113/3/20 前鎮漁港測試—於水面上觀察到些微油污 .....	209

圖 3-4-28 113/3/20 前鎮漁港測試—執行 Pyxis LWIR 與 FLIR K65 偵測作業情形	209
圖 3-4-29 4 月 2 日至高雄外海錨區進行油污偵測作業	210
圖 3-4-30 OilWatch-UAS 系統架構	211
圖 3-4-31 海域無人飛行水樣採集系統之設計概念圖與關鍵零組件標示。	213
圖 3-4-32 自主研發之無人飛行採水器於西子灣執行採樣測試的作業情形。	214
圖 3-4-33 Soarability Speedip V2 採水器與其作業情形。	215
圖 3-6-1 綠色採購金額證明文件	217

(本頁空白)

## 表目錄

表 1-4-1	113 年度計畫工作進度規劃與實際執行進度表 .....	14
表 1-4-2	實際進度及查核點說明 .....	17
表 2-1-1	海洋油污事件通報及結束模擬資訊確認單 .....	23
表 2-1-2	GNOME 模式建置之油品資料庫.....	38
表 2-1-3	依據油外洩數量執行的應變層級 .....	55
表 2-2-1	海洋化學品污染事件通報及結束模擬資訊確認單 .....	60
表 2-2-2	苯危害辨識資料 .....	68
表 2-2-3	新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品事件摘要記錄通報表.....	69
表 2-2-4	新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品模擬參數設定.....	70
表 2-4-1	無人機操作分類 .....	82
表 2-4-2	操作證需依無人機重量做分級 .....	82
表 3-1-1	04/17 至 12/16 油污染擴散緊急應變及演練模擬案例及次數統計表 .....	88
表 3-1-2	海洋油污事件通報及結束模擬資訊確認單 .....	89
表 3-1-3	第 1 件案例模擬退潮期間參數表 .....	90
表 3-1-4	第 1 件案例模擬漲潮期間參數表 .....	98
表 3-1-5	第 15 案例於漲潮期間模擬參數表 .....	106
表 3-1-6	第 17 案例於 10 月 29 日退潮期間模擬參數表 .....	114
表 3-1-7	第 17 案例於 11 月 4 日漲潮期間模擬參數表 .....	122
表 3-1-8	東北角海域敏感地圖項目表 .....	129
表 3-1-9	氣象署提供海氣象預報相關資訊 .....	132
表 3-1-10	高雄大林外海漏油初期油污染擴散模擬參數 .....	136
表 3-1-11	滾動式油污染擴散緊急應變模擬參數 .....	140
表 3-1-12	海面上油污體積估算方式 .....	140
表 3-1-13	德祥臺北貨輪油污染擴散模擬參數設定 .....	146
表 3-2-1	海洋化學品污染事件通報及結束模擬資訊確認單 .....	155
表 3-2-2	情境新竹外海化學船洩漏苯之模擬參數 .....	157
表 3-2-3	情境高雄外海化學船洩漏苯之模擬參數 .....	164
表 3-2-4	IMDG Code 第 41-22 修訂版摘要簡介 .....	171
表 3-3-1	113 年度簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統教育訓練課程表 .....	183
表 3-3-2	113 年度簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統教育訓練課程意見回饋 .....	183

表 3-4-1 油品的比熱 .....	198
表 3-4-2 FLIR K65 救災用紅外線熱影像儀規格.....	198
表 3-4-3 代號 H4 多旋翼無人機規格 .....	202
表 3-4-4 VX2300 啟航者無人直升定翼機規格 .....	203
表 3-4-5 無人機代號 H4 和 VX2300 之性能比較.....	204
表 3-4-6 Pyxis LWIR 技術規格 .....	205
表 3-4-7 自主研發無人飛行採水器與 Soarability Speedip V2 採水器之比較 .....	215

## 海洋委員會海洋保育署計畫成果報告書摘要(詳細版)

計畫名稱：113 年度海洋污染緊急應變模擬監測計畫

計畫編號：113-E-10

計畫執行單位：國立中山大學水資源研究中心

計畫主持人：張揚祺 特聘教授

計畫期程：113 年 02 月 01 日至 113 年 12 月 31 日

計畫經費：384 萬元整

### 摘要

今(113)年度「海洋污染緊急應變模擬監測計畫」針對海洋油污染及化學品污染溢洩事件，分別應用油污染擴散數值模式 GNOME 與 SCHISM，以及化學品污染擴散數值模式 CHEMMAP 等軟體，進行海洋油污染與化學品污染擴散之緊急應變以及情境演練的模擬作業，本計畫執行至期末共執行 18 件的油污染緊急應變以及演練的模擬作業，目前仍有二件持續進行應變模擬作業，截至 12 月 31 日共計執行 793 次的油污染緊急應變模擬作業，協助海保署快速規劃油污染緊急應變計畫與應變資材配置。今(113)年度執行海洋污染擴散模擬件數雖已超過油污染與化學品污染模擬總件數 14 件，但仍持續協助海保署執行油污染緊急應變模擬作業。今(113)年度雖未發生實際海洋化學品污染事件，但本案執行團隊持續更新海洋化學品污染擴散模擬軟體 CHEMMAP 的版本，透過美國 RPS 公司的進階版教育訓練課程，掌握 CHEMMAP 最新的功能，並情境模擬新竹外海與高雄大林外海洩漏苯之演練案例，有助於海保署規劃海洋化學品污染緊急應變計畫之參考依據。在科技偵測油污技術以及研析國際上科技偵測油污染等相關技術，分別應用 X-band 雷達執行各 1 次的油污染緊急應變演練與真實油污染事件緊急應變的油污監測作業，以及研析「Pyxis LWIR」與「FLIR K65」等影像偵測技術應用在海洋油污染監測作業，並前往高雄市前鎮漁港測試二種儀器監測海面油污的能力，提供海保署未來建置科技偵測油污染技術之參考。同時，本案執行團隊也研析無人機採水之技術，已初步完成無人機掛載採水瓶的設計與測試，可提供海保署未來在海洋污染緊急應變作業建置無人機採水技術之參考。另外，完成更新最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)手冊共計三冊，亦完成撰寫「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式操作手冊，並辦理 3 梯次的教育訓練課程，參加人數共計超過 79 人。上述相關成果已整合至海保署「海

洋環境管理平台」，提供海保署擬定海洋污染緊急應變作業計畫以及應變資源配置之參考。

## Abstract

The 2024 'Marine Pollution Emergency Response Simulation and Monitoring Project' focuses on marine oil spills and chemical pollutant leaks. It uses the GNOME and SCHISM numerical models for oil spill dispersion and the CHEMMAP model for chemical spill diffusion. These tools have been used in emergency response and scenario simulation exercises for both oil and chemical spills. By the end of this fiscal year, the project will have conducted 18 oil spill emergency response drills, with one incident still ongoing. As of December 31, a total of 793 oil spill emergency response simulations have been conducted, facilitating the OCA in promptly developing oil spill contingency plans and efficiently allocating the required resources and materials. Although the 14 marine pollution diffusion simulations conducted this year—comprising both oil and chemical spills—have exceeded the initial target, the project team continues to support the Ocean Conservation Administration (OCA) with emergency response simulations. Although no actual marine chemical pollution incidents were reported this year, the case execution team continued to update the CHEMMAP marine chemical spill dispersion model. In parallel, the team participated in advanced training courses provided by the U.S. RPS Corps to acquire knowledge of the latest CHEMMAP functionalities. Furthermore, the team conducted benzene spill simulations off the coasts of Hsinchu and Dalin, Kaohsiung, offering valuable reference data to the OCA for enhancing emergency response strategies for marine chemical pollution. In terms of technological advancements, the project included one emergency response exercise and a real oil spill emergency monitoring operation, both utilizing X-band radar for oil spill detection. Regarding advance technological capabilities in oil spill detection, this project has evaluated international detection technologies and conducted analyses of relevant techniques. Specifically, X-band radar was utilized in one oil spill emergency response drill and in real-time monitoring of an actual oil spill incident. Additionally, the imaging detection technologies 'Pyxis LWIR' and 'FLIR K65' were assessed for their applicability to marine oil pollution monitoring. These systems were tested for their oil detection capabilities at Cianjhen Fishing Harbor in Kaohsiung City, providing critical reference data for the OCA's future integration of advanced oil pollution detection technologies. Simultaneously, the execution

team explored drone-based water sampling technology and successfully completed the preliminary design and testing of drone-mounted water collection bottles. This innovation offers a valuable reference for the OCA to enhance future marine pollution emergency response operations. Furthermore, the project successfully updated three volumes of the latest edition of the International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code. A comprehensive operating manual for the WebGNOME online oil spill diffusion model was also developed, and three training sessions were held, with a total of over 79 participants. The outcomes of these activities have been incorporated into the OCA's Marine Environmental Management Platform, creating a valuable resource to support the OCA in developing marine pollution emergency response plans and optimizing resource allocation.

## 前言

行政院 111 年 5 月 17 日院臺交字第 1110174405 號函核定「重大海洋污染緊急應變計畫」，計畫中所稱重大海洋污染緊急事件包括範圍更廣泛，也明確敘述油污染以外之應變、減災預防、整備及復原等各階段作業，其目的是能結合更多新科技與技術，以降低油污染事件對海洋環境與國家社會經濟所造成的衝擊。

今(113)年度計畫目標共有五大項，分別為第一項：辦理海洋油污染擴散模擬；第二項：辦理海洋化學品污染擴散模擬；第三項：推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業；第四項：運用科技技術於海洋污染事件緊急應變油污染監控作業，並研析其他監控海洋油污染之技術；第五項：計畫內相關油污染及化學品污染緊急應變模擬成果、海洋油污染科技監測報告成果，須整合至海保署「海洋環境管理平台(原名稱：海洋污染防治管理系統)」。針對前二項工作內容，本案執行團隊結合中央氣象署海氣象數值模式(CWA-OCM & CWA-WRF)、海洋油污染擴散數值模式(GNOME & SCHISM)與化學品污染擴散數值模式(CHEMMAP)等軟體進行海洋污染緊急應變模擬的作業。第三項工作內容則採用美國海洋大氣總署發展「WebGNOME」作為各單位使用海洋油污染擴散模擬的工具，並規劃教育訓練課程協助各單位學習並應用在海洋污染防治及應變演練及實務作業。第四項：研析海保署提供的無人機與紅外線偵測油污設備，測試監測海面油污之性能，同時也會研析國際相關影像監測海面上油污之設備與測試其性能。第五項：將今(113)年度計畫內相關油污染及化學品污染緊急應變模擬成果、海洋油污染科技監測報告成果，整合至海保署「海洋環境管理平台」。

## 執行方法

本計畫工作內包含工作項目(一)至(五)，說明如下：

(一) 辦理海洋油污擴散模擬：

今(113)年度若有海洋油污事件發生，本案執行團隊會應用美國 NOAA 開發的 GNOME 與美國 VIMS 開發的 SCHISM 等油污擴散數值模式來執行海洋油污擴散緊急應變模擬作業，並將不同延時的油污擴散範圍製作成一種開放型可攜式地理資料檔案 KML，可被 Google Earth 地圖讀取並顯示在地圖上，以建立油污對海岸區域影響之風險地圖，據此可提供海保署研擬油污事件緊急應變的作業方針。

(二) 辦理海洋化學品污染擴散模擬：

今(113)年度若有海洋化學品污染事件發生，本案執行團隊會應用 RPS 公司發展的 CHEMMAP 軟體來執行海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業，並將不同延時的化學品污染擴散範圍製作成一種開放型可攜式地理資料檔案 KML，可被 Google Earth 地圖讀取並顯示在地圖上，以建立化學品污染對海岸區域影響之風險地圖，據此可提供海保署研擬化學品污染事件緊急應變的作業方針。

(三) 推廣各單位使用海洋油污擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業：

第三大項關於推廣各單位使用海洋油污擴散模擬工具的執行方法，今(113)年度採用美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 海洋污染應變與復育中心(Office of Response and Restoration, OR&R)開發的「WebGNOME」簡易網路版油污擴散模式，共辦理 3 梯次的教育訓練課程，協助 19 縣市環保局熟悉「WebGNOME」的操作，並應用在海洋污染防治及應變演練及實務作業。

(四) 運用科技技術於海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他監控海洋油污之技術：

第四大項為海洋污染事件發生時，運用科技技術於監控海面油污染作業的執行方法，若在近岸 3 海浬內的油污事件，會採用 X-band 雷達執行海面油污監控作業。同時也研析其他其他可監控海洋油污染之技術，如影像偵測及辨識油污技術，提供海保署未來建置多元油污監控技術之參考依據。

(五) 計畫內相關油污染及化學品污染緊急應變模擬成果、海洋油污染科技監測報告成果，須整合至海保署「海洋環境管理平台(原名稱：海洋污染防治管理系統)」。

第五大項是將今(113)年度計畫執行成果整合至海保署「海洋環境管理平台」，並配合辦理相關行政作業，此二項工作內容本案執行團會依據計畫要求完成各項作業。

## 結論

(一) 辦理海洋油污染擴散模擬：

今(113)年度計畫已完成中央氣象署海氣象預報資訊自動接引的作業，並轉換成油污染與或化學品污染模式可輸入之資料格式。此期間也執行 18 件的油污染擴散緊急應變與演練模擬案例，截至 12 月 31 日已完成 16 件，目前仍有 2 件持續執行緊急應變模擬。目前 18 件案例共進行 793 次的緊急應變模擬作業，模擬結果也提供海保署進行油污染緊急應變作業之參考。

(二) 辦理海洋化學品污染擴散模擬：

今(113)年度計畫截至期末雖未發生有化學品污染事件發生，但本案執行團隊也情境假設新竹與高雄外海發生化學品苯洩漏的事件，進行模擬苯在空氣中與水體中擴散的情況，並搭配環境部毒性化學物質針對苯所列的物質安全表，提供化學品緊急應變作業之參考。另外，今(113)年度本案執行團隊也更新 CHEMMAP 軟體版本，並參與美國 RPS 公司進階版的教育訓練課程，藉此課程亦掌握 CHEMMAP 最新的功能與相關資訊。

(三) 推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業

今(113)年度計畫採用美國 NOAA 官方採用的「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統，透過網路連線即可進行操作，並無限制上網使用的人數。本案執行團隊共辦理 3 梯次的教育訓練課程，並提供中文版操作手冊，有助於政府各機關熟悉「WebGNOME」的操作與規劃緊急應變演練之情境模擬作業。3 梯次的教育訓練課程報名踴躍，參加人數共計超過 79 人，學員們皆一致肯定課程內容與教學方式，並回饋透過教育訓練課程內容讓大家都獲益良多，更瞭解油污染緊急應變模擬作業以及如何應用在規劃緊急應變計畫。

(四) 運用科技技術於海洋污染事件緊急應變油污染監控作業，並研析其他監控海洋油污染之技術：

今(113)年度 7 月 11 日海保署舉辦一場非海難的實兵演練，模擬中油大林廠 2 號外海卸油浮筒輸油管線破裂導致海洋污染，結合各公私部門及 14 個海洋污染緊急應變作業專業團隊，並動員逾 200 人於第一時間組成污染清除應變團隊，驗證相關應變作業流程，所有團隊也默契的完成海上油污污染應處演習。本案執行團隊也實際參與演練，並執行油污染擴散模擬作業與應用 X-band 雷達、「Pyxis LWIR」與「FLIR K65」等科技工具監測海面油污。此外，強烈颱風凱米造成凱塔(KETA)雜貨輪於臺南七股海岸擱淺案，本案執行團隊也配合海保署緊急應變作業至七股海岸進行油污監測作業。另外，本案執行團隊也研析無人機採水之技術，已初步完成無人機掛載採水瓶的設計與測試，可提供海保署未來在海洋污染緊急應變作業建置無人機採水技術之參考。

- (五) 計畫內相關油污染及化學品污染緊急應變模擬成果、海洋油污染科技監測報告成果，須整合至海保署「海洋環境管理平台(原名稱：海洋污染防治管理系統)」：

今(113)年度計畫執行成果皆已完成上傳至海保署「海洋環境管理平台」，並配合辦理相關行政作業。

## 建議

1. 今(113)年度 7 月凱米颱風侵臺期間在 2 天內共造成 9 艘船擱淺在臺南至屏東海岸，本案執行團隊雖將油污染緊急應變擴散模擬作業程式進行優化，但緊急應變期間隨時因現場狀況變動需滾動式啟動模擬作業。本計畫目前編制 2 位專任助理，由於模擬作業數量多，且模擬條件會依據現場情況做變動須立即再次進行模擬作業，所以需日夜值勤進行模擬作業。未來建議海保署能增加 1 位專任助理，以因應異常氣候變遷造成大量油污染緊急應變模擬作業。
2. 今(113)年度計畫執行至 11 月 12 日雖未發生海洋化學品污染事件，但全球顧問公司預測至 2033 年海洋化學品船運輸量會持續成長 4.5%，而船舶裝載的化學品對海洋環境造成危害，若發生海洋化學品污染事件，對現場緊急應變作業人員會造成生命的威脅。目前開放源海洋化學品污染擴散數值模式尚未發展成熟，CHEMMAP 雖是商業公司 RPS 開發的軟體，但發展已超過 20 年且是一套成熟的海洋化學品污染擴散模式，可做為海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業的重要工具。有鑑於此，建議海保署每年持續訂閱 CHEMMAP 軟體，做為規劃海洋化學品污染緊急應變計畫與應變資材配置之重要參考依據。

3. 今(113)年度推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業具有良好的成效，未來會針對各單位上課之意見與建議，持續修訂「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統的操作說明手冊。
4. 科技研析油污監測作業相關儀器設備皆屬精密儀器，現場作業也需搭配人力、無人機、製作相關硬體設備、以及運輸車輛等，且需透過多次的測試作業才能瞭解科技儀器在不同天候與地形可能遭遇的問題，以利找尋解決的方法，以上因素也導致科技儀器於現場測試作業所需費用較高。由於本計畫是以海洋油污染與海洋化學品污染擴散模擬作業為主，無法支付精密科技儀器之購置或租用費用，建議未來由海保署持續提供可提升海洋油污染監控效能之相關儀器設備，以利研析科技技術應用於重大海洋污染事件緊急應變油污染監控作業之能力，提供海保署未來建置科技技術偵測油污作業之參考依據。

(本頁空白)

## 第一章 計畫緣起與目標

### 1-1 計畫緣起

臺灣四周環海又位居東亞重要航線，且自產能源有限，大部分的石化能源必須仰賴進口，導致臺灣四周海域有發生漏油事件的高風險機率。近二十年來海域油污事件頻仍，除了在冬季常受到強烈東北季風影響而造成船舶在海岸擱淺、以及外海與港口之油管輸送作業發生溢洩等意外可能造成油污擴散，對海域環境與生態都會有不同程度的影響。此外，臺灣西部海域的離岸風電已逐步建置並進行維運，維運期間將會有頻繁的船舶施工作業，也增加油污事件發生的風險。行政院 111 年 5 月 17 日院臺交字第 1110174405 號函核定「重大海洋污染緊急應變計畫」，計畫中所稱重大海洋污染緊急事件包括範圍更廣泛，也明確敘述油污以外之應變、減災預防、整備及復原等各階段作業，其目的是能結合更多新的科技與技術，以降低油污事件對海洋環境與國家社會經濟所造成的衝擊。

臺灣四周海域是全世界重要航道，航行船舶載運貨物並涵蓋油品及化學品，若發生污染事件時，可應用海洋污染擴散數值模式，模擬並預測海面上油品或化學品的污染擴散情況。風與海流是主導海面上油污漂移與擴散的重要因子，拜數值模式與電腦運算效能發展神速之賜，透過高時空解析度之大氣及海洋流體動力數值模式模擬的風與海流，再輸入至海洋污染擴散數值模式，能進一步提升海洋油品或化學品污染擴散模擬的精度。本案執行團隊針對不同類型海洋污染事件會採用不同的模擬應變方式，如在開放海域以及港口發生油污或化學品洩漏事件，在預測模擬的風場可選用氣象模式(中央氣象署的氣象數值模式 CWA-WRF 或美國氣象局的氣象數值模式 NCEP)預報資料，而情境模擬案例如在港口區域，可選用鄰近觀測站紀錄的風資料。海流流場則皆來自中央氣象署的海洋數值模式 CWA-OCM 預報資料。油污擴散數值模式採用美國 NOAA(海洋及大氣總署)開發 GNOME 模式進行模擬油污擴散範圍，若發生化學品洩漏事件則可應用美國 RPS 公司開發的 CHEMMAP 模式進行模擬化學品污染擴散範圍。

此外，海洋油污事件發生後，本計畫在不同延時需進行滾動式的海洋油污緊急應變擴散模擬作業。如油污事件發生在近岸地區離岸約 5 公里內可應用科技遙測技術 X-band 雷達進行監測海面上油污擴散的範圍；若油污事件發生在開放海域(離岸超過 5 公里)，則可應用衛星遙測技術偵測或無人機影像監測海面上油污擴散範圍，提供在不同延時滾動式油污擴散模擬的輸入條件，以提升油污擴散模擬精度。為增加油污緊急應變作業效率，本案執行團隊將油污漂移軌跡及影響範圍模擬結果以 Python

程式語言轉換成 KML 格式，此結果可輸入至海保署「海洋環境管理平台」或跨平台的 Google Earth 所建立之環境敏感地圖，以提出不同延時的油污染風險地圖。據此建置的緊急應變之作業與溝通平台，緊急應變指揮官可快速採用不同作業系統的電腦或行動裝置，查詢最新的油污染風險情資，如發生真實油污染事件可迅速進行緊急應變規劃與處置，並針對不同海域模擬案例結合海保署「海洋環境管理平台」或 Google Earth 等平台，進行規劃各海域所需資材的數量與配置，可實質降低油污染對海洋環境的衝擊。

## 1-2 計畫目標

依據今(113)年度契約書所列之年度計畫目標有以下六大項：

- (一) 辦理海洋油污染擴散模擬。
- (二) 辦理海洋化學品污染擴散模擬。
- (三) 推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業。
- (四) 運用科技技術於海洋污染事件緊急應變油污染監控作業，並研析其他可監控海洋油污染之技術。
- (五) 計畫內相關油污染及化學品污染緊急應變模擬成果、海洋油污染科技監測報告成果，須整合至海保署「海洋環境管理平台(原名稱：海洋污染防治管理系統)」。
- (六) 配合辦理計畫相關行政作業。

## 1-3 服務項目及工作內容

- (一) 辦理海洋油污染擴散模擬。
  1. 辦理海洋油污染擴散模擬。依每一油污染擴散模擬案例填列海洋油污染事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。
  2. 計畫執行期間 24 小時待命，於接獲機關緊急油污染通報後 2 小時內，製作初步油污染擴散模擬報告；並於 24 小時內，依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之油污染擴散模擬報告，

每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。

3. 配合應變作業需求或機關指定地點，以單機版油污染擴散模擬工具，進行 12 件油污染事件擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則；模擬作業內容，至少須涵蓋油品種類、海流、風與海岸型態等影響，倘有水深應一併納入模擬；產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、溢油特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污可能上岸區域與數量、海岸環境敏感區標示等相關資料。
4. 結合跨部會海氣象預報與即時觀測資源，掌握交通部中央氣象局海氣象觀測及預報值資訊，運用於海洋油污染擴散模擬作業，並強化其模擬準確性，提升模擬結果於污染應變實務或演練之決策參考性。
5. 彙整歷年計畫模擬結果，依據氣象因子、油品、區位、油污事件性質等，分析其模式模擬之差異性及限制因子等，並提出完整研析報告，提供各級機關參考。
6. 針對含有燃油或潤滑油之模擬案件應於第一套模擬工具完成模擬成果報告後，於 2 小時內提出第二套模擬工具之模擬成果報告。
7. 油污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台(原名稱：海洋污染防治管理系統)」。

## (二) 辦理海洋化學品污染擴散模擬。

1. 依每一化學品污染擴散模擬案例填列海洋化學品污染事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。
2. 於計畫執行期間 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋化學品污染通報後 2 小時內，製作初步化學品污染擴散模擬報告；並於 24 小時內，依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之化學品污染擴散模擬報告，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。

3. 配合應變作業需求或機關指定之化學品種類，執行 2 件(種)海洋化學品擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則。前述模擬作業內容，至少須涵蓋化學品種類、海流、風與海岸型態等影響。產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、化學品特性分析與隨時間序列之變化、海岸環境敏感區標示等相關資料。
4. 提供最新版國際海運危險品準則 (IMDG Code) 一冊，作為海運化學品洩漏緊急應變參考。
5. 計畫期間未發生化學品污染事件經機關同意得以第(一)項油品方式執行。
6. 化學品污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台(原名稱：海洋污染防治管理系統)」。

(三) 推廣各單位使用海洋油污擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業。

1. 提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」功能，設計簡易操作介面，輸入資訊為油品種類、數量、地點（自動轉換出座標），即可產出模擬結果，同時有下拉式選單可選擇模式預報之風場或流場等資訊，可供各單位線上進行海洋油污擴散模擬操作與呈現動態模擬結果，並提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作說明教學影片供各單位學習。
2. 強化臨海 19 縣市政府之油污擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污擴散模擬作業。
3. 完成至少 30 人次「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作訓練，以強化各單位使用海洋油污擴散模擬應用效能，得標廠商負責訓練場地、講師、研習資料等費用。
4. 修訂「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作手冊。

(四) 運用科技技術於海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他可監控海洋油污染之技術。

1. 執行地點以臺灣本島為原則，廠商經接獲機關通報油污染事件，運用科技

技術進行油污染監測作業；於監測作業期間，每日至少製作一份油污染科技監測報告，作為應變處理參考，持續作業至機關同意結束應變為止。科技監測報告應涵蓋每日油污可能分佈位置、海流、風速、風向等現場狀況相關資訊。(每次監測至多 5 日)

2. 配合應變作業或機關指定配合之活動展示或演練，提供海洋油污染科技工具進行至少 2 次監測、展示或演練作業。
3. 配合科技工具出勤作業期間，使用紅外線熱顯像儀及無人機等工具（得由海保署提供）執行油污監測。
4. 研析其他監控海洋油污染之技術。

(五) 計畫內相關油污染及化學品污染緊急應變模擬成果、海洋油污染科技監測報告成果，須整合至海保署「海洋環境管理平台(原名稱：海洋污染防治管理系統)」。

#### **1-4 工作進度**

今(113)年度計畫整體工作期程自民國 113 年 02 月 01 日起開始執行，至民國 113 年 12 月 31 日止，總計 11 個月，整體工作項目預定進度表與執行進度如 1.4.1 所示，計畫執行期限至民國 113 年 12 月 31 日實際執行進度已達 100%，符合原定預期進度。計畫執行實際進度及契約查核點說明請參見表 1.4.2。

表 1-4-1 113 年度計畫工作進度規劃與實際執行進度表

工作項目	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
一、辦理海洋油污擴散模擬												
1.依每一油污擴散模擬案例填寫海洋油污事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。												
2.計畫執行 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋油污事件通報後 2 小時內，製作初步油污擴散模擬報告；並於 24 小時內、依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之模擬，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。												
3.配合應變作業需求或機關指定地點，以單機版海洋油污擴散模擬工具，進行 12 件油污事件擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則；模擬作業內容，至少須涵蓋油品種類、海流、風與海岸型態等影響，倘有水深應一併納入模擬；產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、溢油特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污可能上岸區域與數量、海岸環境敏感標示等相關資料。												
4.結合跨部會海氣象預報與即時觀測資源，掌握交通部中央氣象局海氣象觀測及預報值資訊，運用於海洋油污擴散模擬作業，並強化其模擬準確性，提升模擬結果於污染應變實務或演練之決策參考性。												
5.彙整歷年計畫模擬結果，依據氣象因子、油品、區位、油污事件性質等，分析其模式模擬之差異性及限制因子，並提出完整研析報告，提供各級機關參考。												
6.針對含有燃油或潤滑油之模擬案件應於第一套模擬工具完成模擬成果報告後，於 2 小時內提出第二套模擬工具之模擬成果報告。												
7.油污緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台(原海洋污染防治管理系統)」。												
二、辦理海洋化學品污染擴散模擬												
1.依每一化學品污染擴散模擬案例填列海洋化學品污染事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。												

工作項目	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2.於計畫執行 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋化學品污染通報後 2 小時內，製作初步化學品污染擴散模擬報告；並於 24 小時內、依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之化學品污染擴散模擬報告，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。												
3.配合應變作業需求或機關指定之化學品種類，執行 2 件(種) 海洋化學品擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則。前述模擬作業內容，至少須涵蓋化學品種類、海流、風與海岸型態等影響。產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、化學品特性分析與隨時間序列之變化、海岸環境敏感標示等相關資料。												
4.提供最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)一冊，作為海運化學品洩漏緊急應變參考。												
5.計畫期間未發生化學品污染事件經機關同意得以第(一)項油品方式執行。												
6.化學品污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台(原海洋污染防治管理系統)」。												
<b>三、推廣各單位使用海洋油污擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業</b>												
1.提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」功能，設計簡易操作介面，輸入資訊為油品種類、數量、地點(自動轉換出座標)，即可產出模擬結果，同時有下拉式選單可選擇模式預報之風場或流場等資訊，可供各單位線上進行海洋油污擴散模擬操作與呈現動態模擬結果，並提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作說明教學影片供各單位學習。												
2.強化臨海 19 縣市政府之油污擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污擴散模擬作業。												
3.完成至少 30 人次簡易網路版海洋油污擴散模擬系統操作訓練，以強化各單位使用海洋油污擴散模擬應用效能，得標廠商負責訓練場地、講師、研習資料等費用。												
4.修訂「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作手冊。												
<b>四、運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他可提升海洋油污監控效能之技術</b>												

工作項目	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.執行地點以臺灣本島為原則，廠商經接獲機關通報油污事件，運用科技技術進行油污監測作業；於監測作業期間，每日至少製作一份油污科技監測報告，作為應變處理報告，持續作業至機關同意結束應變為止。科技監測報告應涵蓋每日油污可能分布位置、海流、風速、風向等現場狀況相關資訊。(每次監測至多5日)													
2.配合應變作業或機關指定配合之活動展示或演練，提供海洋污染科技工具進行至少2次監測、展示或演練作業													
3.配合科技工具出勤作業期間，使用紅外線熱顯像儀及無人機等工具（得由海保署提供）執行油污監測。													
4.研析其他監控海洋油污染之技術。													
五、配合辦理計畫相關行政作業													
六、計畫成果查核點日期													
1.工作計畫書查核	28- ①												
2.期中報告查核						28- ②							
3.期末報告查核											15- ③		
4.成果計畫書查核												25- ④	31- ⑤
執行進度圖例說明	■：預定執行進度						■：實際執行進度						
編號	查核點	預定完成時間						查核點工作說明					
1	履約之日起 30 日內	2 月底前						提送工作計畫書 7 份					
2	6 月 28 日前	6 月 27 日提送						提送期中報告書 10 份					
3	11 月 15 日前	11 月 14 日提送						提送期末報告書 10 份					
4	12 月 25 日前	12 月 25 日提送						提送期末報告書(修正版) 3 份					
5	12 月 31 日前	12 月 31 日提送						提送成果報告書 5 份					

表 1-4-2 實際進度及查核點說明

工作執行項目	實際執行進度
<b>一、辦理海洋油污擴散模擬</b>	
1. 依每一油污擴散模擬案例填寫海洋油污事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。	[完成 100%] 完成通報及結束模擬監測資訊確認表設計，請參閱 p.23。
2. 計畫執行 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋油污事件通報後 2 小時內，製作初步油污擴散模擬報告；並於 24 小時內、依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之模擬，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，本案執行團隊已執行 18 件的油污緊急應變模擬作業，並完成 16 件，目前仍有二件持續進行模擬作業。18 件皆依本工項要求時間內完成油污擴散模擬作業。
3. 配合應變作業需求或機關指定地點，以單機版海洋油污擴散模擬工具，進行 12 件油污事件擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則；模擬作業內容，至少須涵蓋油品種類、海流、風與海岸型態等影響，倘有水深應一併納入模擬；產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、溢油特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污可能上岸區域與數量、海岸環境敏感標示等相關資料。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，本案執行團隊以單機版海洋油污擴散模擬軟體 GNOME 與 SCHISM，共執行 18 件的油污緊急應變演練與真實油污事件之模擬作業，產出模擬報告皆包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、溢油特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污可能上岸區域與數量、海岸環境敏感標示等相關資料。
4. 結合跨部會海氣象預報與即時觀測資源，掌握交通部中央氣象局海氣象觀測及預報值資訊，運用於海洋油污擴散模擬作業，並強化其模擬準確性，提升模擬結果於污染應變實務或演練之決策參考性。	[完成 100%] 本計畫執行至期末階段，已結合跨部會海氣象預報與即時觀測資源，掌握交通部中央氣象署海氣象觀測及預報值資訊，並應用在 18 件油污緊急應變模擬作業，提升模擬結果於污染應變實務或演練之決策參考性。
5. 彙整歷年計畫模擬結果，依據氣象因子、油品、區位、油污事件性質等，分析其模式模擬之差異性及限制因子，並提出完整研析報告，提供各級機關參考。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，完成收集民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林漏油事件相關資訊，並以 GNOME 模式完成油污擴散模擬作業，並提出完整研析報告，提供各級機關參考。
6. 針對含有燃油或潤滑油之模擬案件應於第一套模擬工具完成模擬成果報告後，於 2 小時內提出第二套模擬工具之模擬成果報告。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，在 4 月 17 日金門海域陸籍瑞誠 6 貨輪沉沒洩漏重油事件，已於 2 小時內啟動第 2 套模擬工具 SCHISM 進行油污緊急應變模擬作業，並提出模擬成果報告。
7. 油污緊急應變模擬成果須整合至海保署	[完成 100%]

工作執行項目	實際執行進度
「海洋環境管理平台(原海洋污染防治管理系統)」。	本計畫執行至期末已完成上傳 18 件油污染緊急應變模擬作業成果，至海保署「海洋環境管理平台」系統。
<b>二、辦理海洋化學品污染擴散模擬</b> 1. 依每一化學品污染擴散模擬案例填列海洋化學品污染事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。	[完成 100%] 完成通報及結束模擬監測資訊確認表設計，請參閱 p.60。
2. 於計畫執行 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋化學品污染通報後 2 小時內，製作初步化學品污染擴散模擬報告；並於 24 小時內、依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之化學品污染擴散模擬報告，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。	[完成 100%] 本計畫執行至期末雖未發生海洋化學品污染事件，但本案執行團隊已完成建置海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業程序，並情境新竹外海洩漏化學品苯事件，模擬苯在海水中擴散的情況。計畫執行階段如接獲海保署通知需進行海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業，本案執行團隊可立即配合啓動海洋化學品污染緊急應變模擬作業，並提出模擬報告。 另外，油污染擴散緊急應變模擬作業已達 18 件，得以第(一)項油品方式執行。
3. 配合應變作業需求或機關指定之化學品種類，執行 2 件(種)海洋化學品擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則。前述模擬作業內容，至少須涵蓋化學品種類、海流、風與海岸型態等影響。產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、化學品特性分析與隨時間序列之變化、海岸環境敏感標示等相關資料。	[完成 100%] 本計畫執行至期末雖未發生海洋化學品污染事件，但本案執行團隊情境高雄大林外海洩漏化學品苯事件，模擬苯在海水中擴散的情況。計畫執行階段如接獲海保署通知需進行海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業，本案執行團隊可立即配合啓動海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業，並提出模擬報告。 另外，油污染擴散緊急應變模擬作業已達 18 件，得以第(一)項油品方式執行。
4. 提供最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)一冊，作為海運化學品洩漏緊急應變參考。	[完成 100%] 本計畫執行至期末已完成訂購三冊最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)手冊，作為海運化學品洩漏緊急應變參考。
5. 計畫期間未發生化學品污染事件經機關同意得以第(一)項油品方式執行。	[完成 100%] 本計畫執行至期末已執行 18 件的油污染緊急應變模擬作業，本案執行團隊得以第(一)項油品方式執行。
6. 化學品污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台(原海洋污染防治管理系統)」。	[完成 100%] 本計畫執行至期末雖未發生海洋化學品污染事件，若計畫執行期間有發生海洋化學品污染事件，本案執行團隊會將模擬成果整合至

工作執行項目	實際執行進度
三、推廣各單位使用海洋油污擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業	海保署「海洋環境管理平台」系統。
1. 提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」功能，設計簡易操作介面，輸入資訊為油品種類、數量、地點(自動轉換出座標)，即可產出模擬結果，同時有下拉式選單可選擇模式預報之風場或流場等資訊，可供各單位線上進行海洋油污擴散模擬操作與呈現動態模擬結果，並提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作說明教學影片供各單位學習。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，已完成撰寫「WebGNOME」簡易網路版海洋油污擴散模式的操作手冊，並規劃三場次的教育訓練課程(請參考附件三)，提供各單位學習在網路進行海洋油污擴散模擬操作與呈現動態模擬結果。
2. 強化臨海 19 縣市政府之油污擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污擴散模擬作業。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，完成三場次的教育訓練課程(請參考附件三)，以「WebGNOME」簡易網路版海洋油污擴散模式強化臨海 19 縣市政府之油污擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污擴散模擬作業。並完成 2 次油污擴散模擬之兵棋推演及演練模擬作業。
3. 完成至少 30 人次簡易網路版海洋油污擴散模擬系統操作訓練，以強化各單位使用海洋油污擴散模擬應用效能，得標廠商負責訓練場地、講師、研習資料等費用。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，完成三場次的教育訓練課程(請參考附件三)，上課人數已超過 79 人次。。
4. 修訂「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作手冊。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，以「WebGNOME」網路版海洋油污擴散模式做為修訂「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作手冊之依據，並應用在強化臨海 19 縣市政府之油污擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污擴散模擬作業。
四、運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他可提升海洋油污監控效能之技術	
1. 行地點以臺灣本島為原則，廠商經接獲機關通報油污事件，運用科技技術進行油污監測作業；於監測作業期間，每日至少製作一份油污監測報告，作為應變處理報告，持續執作業至機關同意結束應變為止。科技監測報告應涵蓋每日油污可能分布位置、海流、風速、風向等現場狀況相關資訊。(每次監測至多 5 日)。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，於 7 月 26 日在臺南七股海岸擋淺的「凱塔」雜貨輪，本案執行團隊於 7 月 30 日接獲海保署通知出動 X-band 雷達進行油污監測作業，並製作一份油污監測報告(請參考附件四)，提供海保署緊急應變之參考。
2. 配合應變作業或機關指定配合之活動展示或	[完成 100%]

工作執行項目	實際執行進度
演練，提供海洋污染科技工具進行至少 2 次監測、展示或演練作業。	本計畫執行至期末，本案執行團隊於 7 月 10 日配合海保署緊急應變演練作業與 7 月 30 日的監測作業，已完成海洋污染科技工具 X-band 雷達監控海面上油污 2 次出勤的作業。
3. 配合科技工具出勤作業期間，使用紅外線熱顯像儀及無人機等工具（得由海保署提供）執行油污監測。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，本案執行團隊於 4 月 2 日配合海保署至高雄外海錨區，以紅外線熱顯像儀進行海面上油污偵測。同時也完成研析提供無人機偵測油污的能力。
4. 研析其他監控海洋油污染之技術。	[完成 100%] 本計畫執行至期末，本案執行團隊完成研析美國 Polaris Sensor Technologies 公司一款小型及輕量化的長波紅外線偏振成像儀「Pyxis LWIR」，並驗證「Pyxis LWIR」可偵測輕質油的能力，提供海保署未來建置海洋油污染監控技術之參考。
五、配合辦理計畫相關行政作業	[完成 100%] 本計畫執行至期末，已完成工作計畫書與成果報告相關的行政作業程序。

## 第二章 計畫工作內容與方法

今(113)年度計畫工作內容共有五大項目標，以下分別針對每一項計畫目標的內容與執行方法進行陳述。

### 2-1 辦理海洋油污擴散模擬

本項工作內容分別有 7 項，以下即依據 7 項工作內容分別說明工作執行方法。

1. 依每一油污擴散模擬案例填寫海洋油污事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。

今(113)年度計畫執行期間如發生海洋油污事件，本案執行團隊會依據海保署創立的 Line 即時通訊平台「OCA-NSYSU 海污模擬計畫」傳送的訊息(如圖 2-1-1 所示)，與海保署確認海洋油污事件時間、溢洩漏油品種類及數量、事件發生地點與時間後，隨即啟動油污擴散緊急應變模擬作業。此外，Line 即時通訊平台可能因會議或非工作日時段未能即時收到油污緊急應變模擬通知訊息，因此本案執行團隊會另外提供手機通知方式，以確保能在最短時間內收到訊息並啟動油污緊急應變模擬作業。

依據海洋通報及結束模擬資訊確認單內容(如表 2-1-1 所示)，在完成油污擴散緊急應變模擬作業，並經計畫主持人審核後，本案執行團隊會在 Line 即時通訊平台「OCA-NSYSU 海污模擬計畫」提供包含溢油位置、模擬參數設定、參考之海氣象條件、以及油污擴散模擬結果與油污風險地圖，並將模擬結果簡述回報油污緊急應變指揮官油污於未來 72 小時內漂移軌跡與擴散範圍，作為擬定油污緊急應變計畫與應變能量配置之參考依據。

油污緊急應變隨著時空演變需進行滾動式的模擬，油污在海面上的分布也會隨著擴散與傳輸對海洋環境影響的範圍更廣，因此接續滾動式緊急應變模擬需透過海保署提供其他科技偵測油污的結果，如經由衛星影像分析得出的油污擴散範圍與無人機掛載影像偵測油污擴散範圍，以及空勤總隊直升機與海岸現勘等資訊，可作為滾動式油污緊急應變模擬參數輸入之參考依據，以提升油污擴散模擬精度。

依據今(113)年度工作內容規定，本案執行團隊在接獲海保署緊急油污應變模擬通報後，經確認通報資訊完整後(如表 2-1-1)，需於 2 小時內製作初步油污擴散模擬報告。海保署通知緊急應變結束後惠請承辦人員與科長核示是否

符合合約規定，且需經由承辦人查核及科長複核簽章後，以符合工作規定結束模擬監測資訊確認單予機關審核作業。

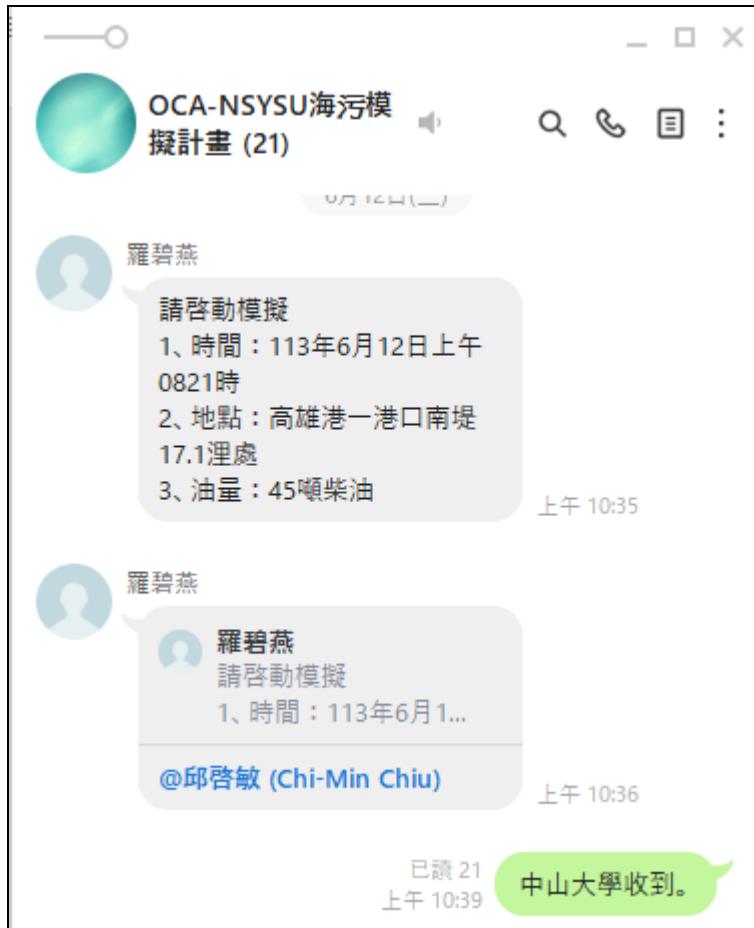


圖 2-1-1 Line 即時通訊平台「OCA-NSYSU 海污模擬計畫」

表 2-1-1 海洋油污事件通報及結束模擬資訊確認單

通報時間	2021 年 6 月 22 日 10 時 00 分		
事件名稱	高雄大林外海卸油浮筒漏油事件		
通報污染物	Medium Crude		
污染物數量	60 公噸		
事件地點(座標)	北緯： 22 度 29 分 46.6 秒 東經： 120 度 16 分 40.5 秒		
通報資訊是否完整	<input checked="" type="checkbox"/> 是，開始模擬時間 2021 年 6 月 22 日 10 時 15 分		
	<input type="checkbox"/> 否，缺少 更新資訊時間 _____ 更新資訊 _____		
初報時間	2021 年 6 月 22 日 11 時 50 分		
符合工作規定 (2 小時內完成初報)	<input checked="" type="checkbox"/> 符合		
	<input type="checkbox"/> 未符合，原因說明 _____		
通報結束應變時間	2021 年 6 月 22 日 11 時 00 分 是否須啟動第 2 套模擬： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
應變成果	共提送 <u>1</u> 份模擬報告 累計 <u>1</u> 天次應變		
承辦人查核及簽章	<input checked="" type="checkbox"/> 符合	<input type="checkbox"/> 未符合	簽章
科長複核及簽章	<input checked="" type="checkbox"/> 符合	<input type="checkbox"/> 未符合	簽章

2. 計畫執行 24 小時待命，於接獲機關緊急油污染通報後 2 小時內，製作初步油污染擴散模擬報告；並於 24 小時內，依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之油污染擴散模擬報告，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。

海流與風是油污染擴散模擬最主要的驅動力，取得可信度高的海流與風之模擬資料，才能提升油污染擴散模擬的精度。本案執行團隊執行油污染擴散模擬作業方式，在預測海流流場資料來自中央氣象署海洋數值預報模式(以下簡稱 CWA-OCM)，此模式是美國維吉尼亞海洋科學研究所(Virginia Institute of Marine Science)開發的三維跨尺度海洋數值模式 SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model)，提供油污擴散模擬海流輸入之動力來源。在預測風場資料則採用中央氣象署區域氣象數值模式 CWA-WRF (Weather Research and Forecasting Model)為主，並以美國國家環境預報中心 (National Centers for Environmental Prediction)氣象預測模式重分析資料 (Climate Forecast System Reanalysis) 模擬的風場為輔，以確保緊急應變模擬作業有穩定的預報風場。油污染擴散模式則採用美國 NOAA 官方採用的油污染擴散模式 GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment)為主；如有重油污染事件，則會啟動第二套油污染擴散模式 SCHISM 的油污軌跡漂流模組。以下即介紹三維跨尺度海洋數值模式 SCHISM 與油污染擴散數值模式 GNOME。

### (1) 三維跨尺度海洋數值模式 SCHISM

海流流場在油污溢洩運動行為的演變期間扮演著重要角色，且海流對溢洩油的動態擴散有最直接的影響，因此海流流場模擬結果將提供油污染擴散模擬油污擴散與漂流軌跡。本案執行團隊採用 SCHISM 模擬海流流場，提供油污擴散模擬輸入之動力來源。SCHISM 為一原始碼開放軟體，由 Zhang 與 Baptista (2008)以 ELCIRC 海洋數值模式基礎修改而成，是一個跨尺度的海洋與河川數值模式(如圖 2-1-2 所示)，其理論為求解三維淺水波方程式(3D shallow-water equations)、靜水壓方程式(Hydrostatic)、包氏近似(Boussinesq approximations)、與鹽度及溫度等傳輸方程式。SCHISM 亦能求解海氣交界自由液面(Free surface)的運動情況，以及水體中三維的流場與鹽度及溫度分布。SCHISM 三維海洋流體動力演算原理如下說明。

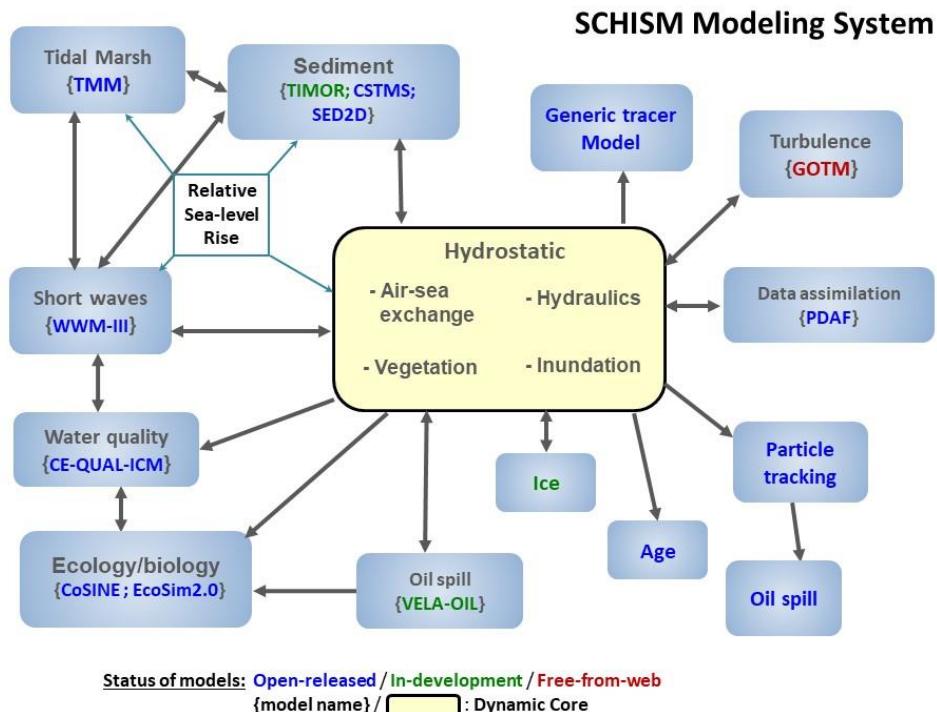


圖 2-1-2 SCHISM 三維跨尺度海洋數值模式系統

SCHISM 的基本控制方程式有連續與動量守恆方程式，為簡化 SCHISM 的方程式，假設流體為不可壓縮，在卡氏座標下水體的連續方程式 (continuity equation)、自由液面運動方程式、及動量方程式可分別寫為：

$$\nabla \cdot \mathbf{u} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2-1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot \int_h^\eta \mathbf{u} dz = 0 \quad (2-2)$$

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = \mathbf{f} - g\nabla\eta + \frac{\partial}{\partial z}\left(\nu \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z}\right) - \frac{l}{\rho_0} \nabla p_A - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \nabla \rho d\zeta + \nabla \cdot (\mu \nabla \mathbf{u}) \quad (2-3)$$

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

鹽度及溫度傳遞擴散方程式可分別寫為：

$$\frac{DS}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z}\left(\kappa \frac{\partial S}{\partial z}\right) + F_s \quad (2-4)$$

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial}{\partial z}\left(\kappa \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{Q}{\rho_0 C_p} + F_h \quad (2-5)$$

以上方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)； $\nabla : (\partial/\partial x, \partial/\partial y)$ ； $\eta(x, y, t)$ ：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  $(u, v)$  ( $m s^{-1}$ )； $w$ ：垂直速度 ( $m s^{-1}$ )； $f$ ：科氏力參數 ( $s^{-1}$ )； $\mathbf{k}$ ： $z$  方向的單位向量； $g$ ：重力加速度 ( $m s^{-2}$ )； $\psi(\varphi, \lambda)$ ：地球潮汐位能 (m)； $\alpha$ ：有效地球彈性因子 ( $= 0.69$ )； $\rho_o$ ：海水密度為  $1,025$  ( $kg m^{-3}$ )； $P_A$ ：自由液面的大氣壓力 ( $N m^{-2}$ )；S：水中鹽度 (practical salinity units, (psu))；T：溫度 ( $^{\circ}C$ )； $\nu$ ：垂直渦流黏滯係數 ( $m^2 s^{-1}$ )； $\mu$ ：水平渦流黏滯係數 ( $m^2 s^{-1}$ )； $\kappa$ ：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 ( $m^2 s^{-1}$ )； $F_s, F_h$ ：水平傳輸方程式； $\square Q$ ：太陽輻射的吸收率 ( $W m^{-2}$ )； $C_p$ ：水的比熱 ( $J kg^{-1} K^{-1}$ )。

SCHISM 的水平網格座標系統可結合非矩型與矩形網格，因應不同計算需求能選用卡式或球面座標系統；垂直網格可採用 SZ 及 LSC<sup>2</sup> 的座標系統，其中陡變地形是許多海洋數值模式一項重要的挑戰，地形陡變會造成壓力梯度變化劇烈，在海洋數值模式計算中會產生偽流 (spurious flow) 的問題 (Zhang et al. 2015)，而 LSC<sup>2</sup> 座標系統即針對水域中地形陡變變化而發展一個新的數值方法，可有效避免因地形陡變產生偽流的計算誤差。紊流閉合模式採用 Umlauf and Burchard (2003) 的 Generic Length Scale (GLS) turbulence closure，其優點為含括了 (Rodi, 1984)、(Wilcox, 1998)、及 Mellor and Yamada (1982) 等紊流閉合模式。SCHISM 在水平座標採用有限元素的非結構性網格設置，對複雜海岸地形變化可做較佳的描述，而垂直座標則採用 SZ 及 LSC<sup>2</sup> 座標系統，尤以 LSC<sup>2</sup> 座標系統可避免因地形變化較大產生之水平壓力梯度不一致性；又 SCHISM 的數值技巧採用隱式法，以確保模式的穩定與精度；此外，SCHISM 可使用較大的時間步長計算，大幅提昇模式計算效率。SCHISM 亦耦合 WWM-III 數值波浪模式 (Roland et al. 2012; Schloen et al. 2017)，在波流交互作用下能較適切描述真實近岸海洋環境的動力現象，將此海流流場模擬結果提供於油污染擴散模式，可提升油污漂移軌跡與擴散範圍的預測。

SCHISM 在河川與海洋應用的研究領域如下：

- 自上游湖泊至河口下游出海口與開放海洋的三維流體動力以及水中溫度與鹽度的物理現象。
- 海嘯災害。
- 颱風期間海岸與河口的溢淹趨勢。

- 海岸漂砂傳輸機制。
- 近岸海域生物化學/生態/水質。
- 油污染漂移軌跡及擴散。
- 波流交互作用。

SCHISM 已成功應用在全世界超過 40 個以上水深地形變化複雜的海岸、潮間帶、河川、以及湖泊等地方，可快速及精確的求解海洋流體動力與物理現象之變化。SCHISM 在全球擁有超過 102 個國家註冊成為用戶 (<https://www.revolvermaps.com/livestats/locations/>)，也正式被美國 EPA 選用在 Chesapeake Bay Program (CBP) 計畫中對水質及生態監控的模式 ([https://www.vims.edu/newsandevents/topstories/2022/schism\\_cbp.php](https://www.vims.edu/newsandevents/topstories/2022/schism_cbp.php))。此外，SCHISM 也是美國 NOAA 與加州水資源部(DWR)、歐盟聯合研究中心(EU's Joint Research Center)、德國 Helmholtz-Zentrum Hereon(HZH)的核心運營模型) 和中華民國中央氣象署 (CWA) 等機關與單位所選用的作業化預報海洋數值模式(Yu, et al., 2024)。SCHISM 應用在海流、波浪、油污染擴散、漂沙與海岸地形變遷、海域水質擴散、海洋生態變遷、颱風暴潮與海岸溢淹、海嘯等不同領域的模擬結果，已發表並刊登在國際上知名的期刊，截至 2024 年 11 月為止在國際上已發表及刊登的期刊數量已超過 224 篇 ([https://ccrm.vims.edu/schismweb/schism\\_pubs.html](https://ccrm.vims.edu/schismweb/schism_pubs.html))，此亦驗證 SCHISM 模式模擬的結果受到全世界政府部門與學術界的肯定。

為得到高解析度及精確的預測海流流場，本案執行團隊建置臺灣四周海域高解析的計算網格，油污擴散模式海流流場之輸入條件，在水平座標系統採用有限元素非結構性三角形網格，東經 115 度到 127 度，北緯 18 度到 28 度，總計共 396,690 個三角元素(如圖 2-1-3 所示)，在垂直座標系統則採用 59 層的 LSC<sup>2</sup> 座標，以避免因地形變化較大產生之水平壓力梯度不一致性。SCHISM 的海流流場模擬是有考慮海氣象的交互作用，SCHISM 計算網格在海象模擬初始條件是蒐集全球海洋數值模式 HYCOM 所預測的表面海水位、以及海洋溫度與鹽度等資料。而在氣象模擬初始條件則是採用國內或國際氣象單位之氣象數值預報模式，如中央氣象署的區域氣象數值模式 WRF (Weather Research and Forecasting Model)與美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)氣象預測模式重分析資料(Climate Forecast System Reanalysis)所提供的海面風場、大氣壓力、溫度等資料做為模擬海流所需的輸入資料。

圖 2-1-4 為建置臺灣東北角海域 SCHISM 計算網格與水深地形，由圖中顯示有限元素非結構性三角形網格系統可精確的描述臺灣東北角複雜彎曲的海岸線，在近岸地區的計算網格可精細至 20 公尺，並能依據需求調整網格大小，在近岸地區亦有助於海岸附近海流變化趨勢的預測；另外，圖中顏色色階表示水深地形的變化，由西太平洋海域超過 1,000 公尺的水深淺化到淡水河海域約 100 公尺，此結果顯示東北角海域水深地形變化非常複雜。圖 2-1-5 與圖 2-1-6 為東北角海域於 2019 年 8 月 20 日漲潮與退潮期間海流流場的變化趨勢，圖中左上方色階為顯示海水位的變化，左下方色階與圖中流矢則顯示海流大小的變化，在圖中紅色線條上方往外海方向，海流約呈現海岸線平行方向流動，但在圖中紅色線條下方往海岸方向，海流則受到海岸彎曲地形影響而產生環流的現象。由此可知，建置高解析度的計算網格可以呈現海岸地區複雜的海流變化趨勢，此模擬結果提供至油污染擴散數值模式可提升油污染擴散模擬的精度。

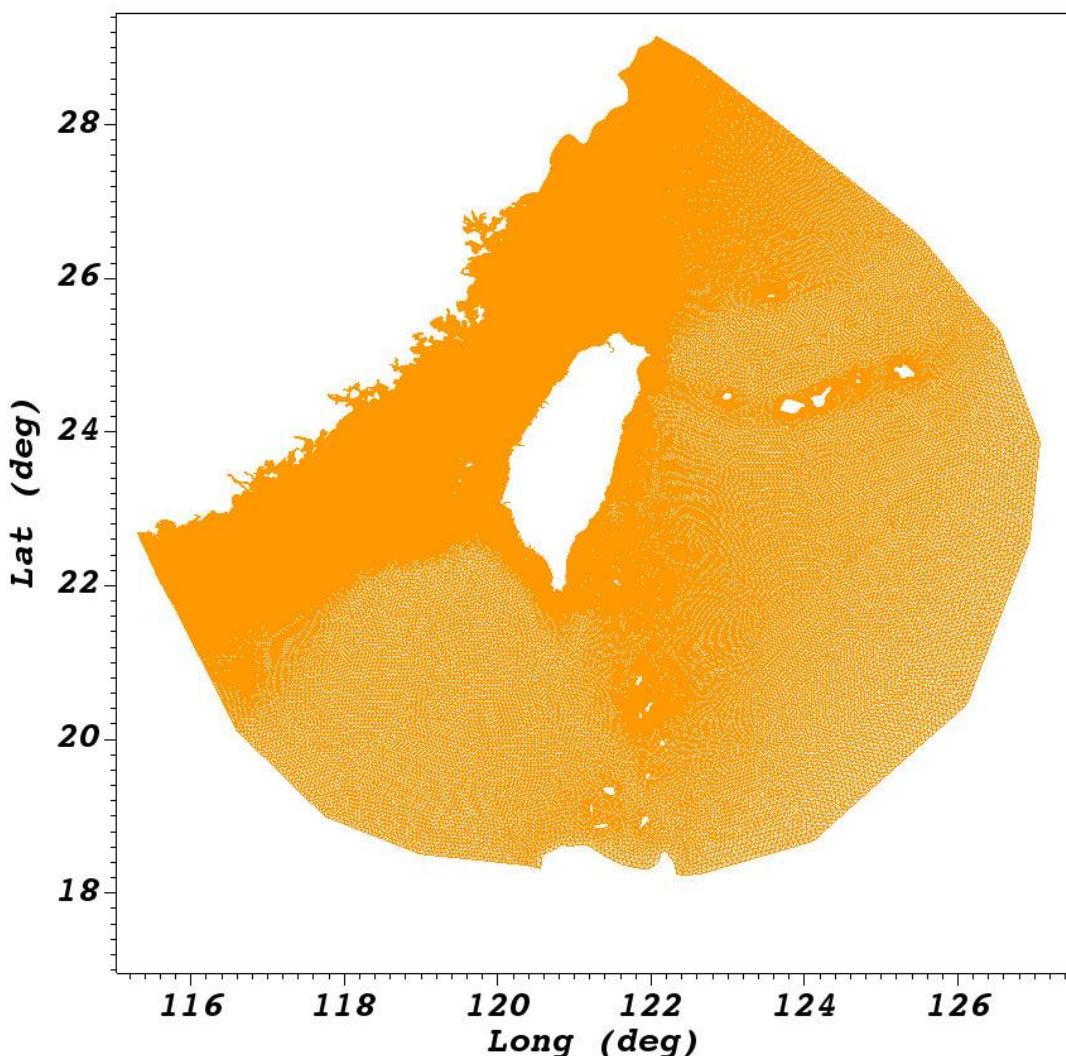


圖 2-1-3 SCHISM 模式臺灣四周海域計算網格系統

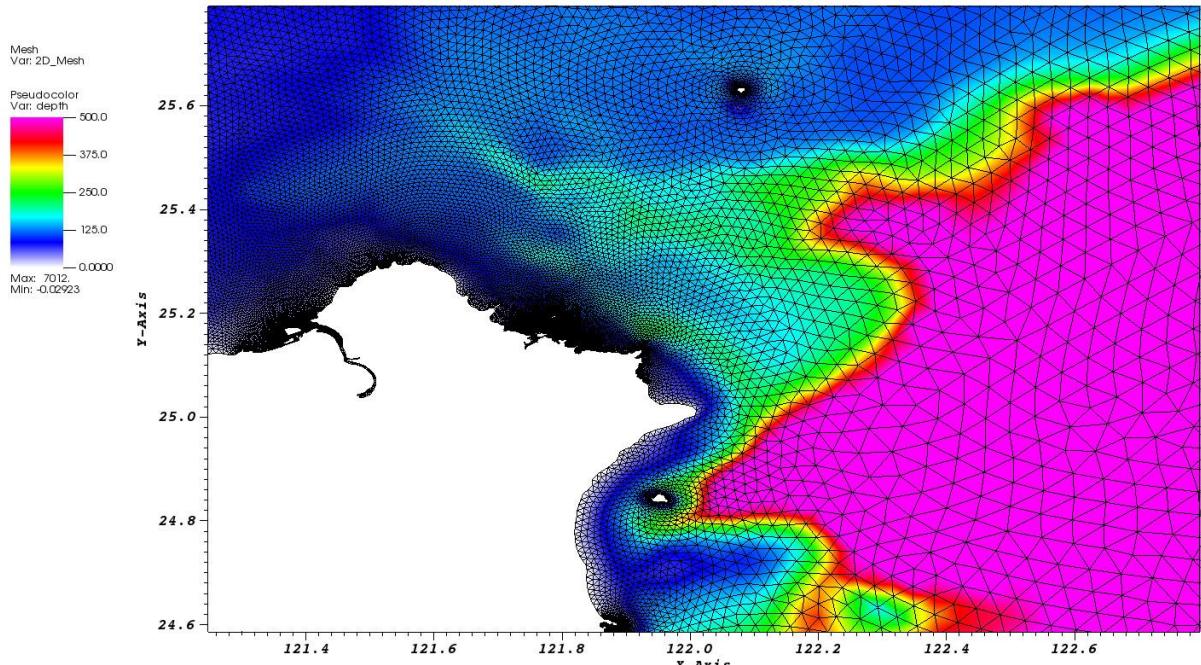


圖 2-1-4 建置臺灣東北角海域 SCHISM 計算網格與水深地形

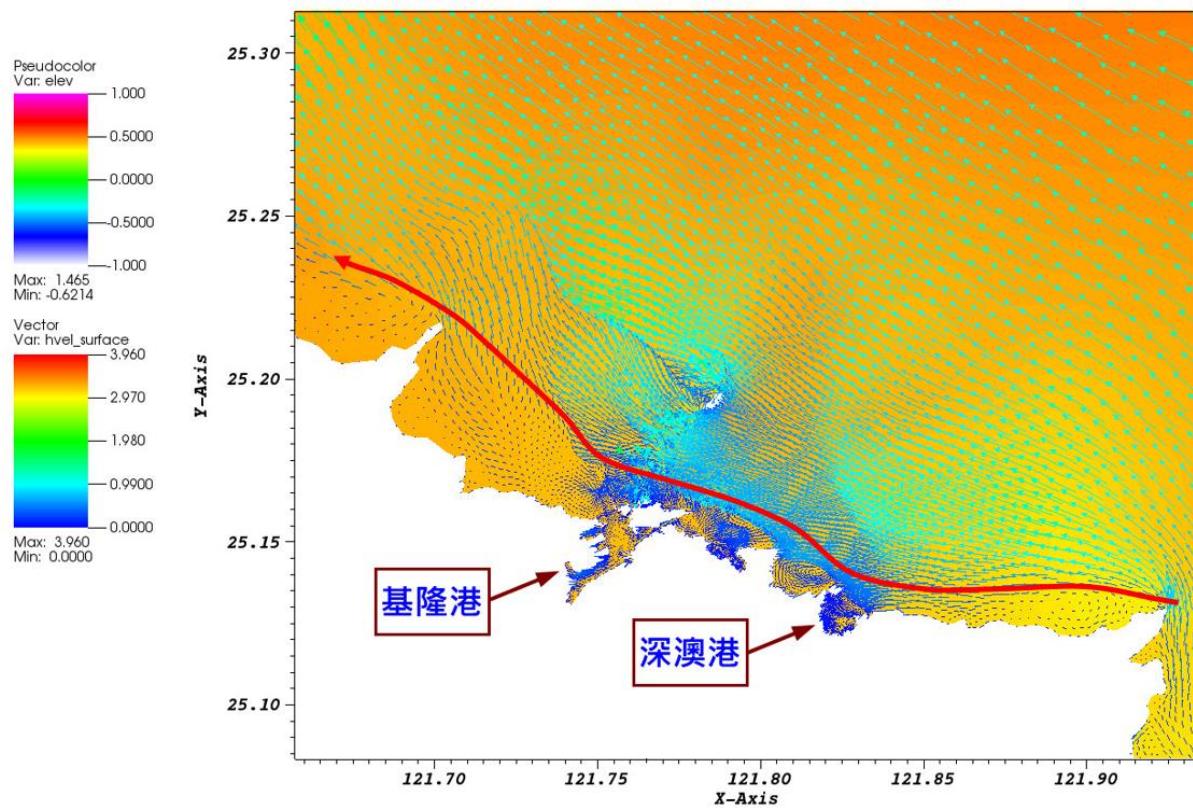


圖 2-1-5 2019/08 東北角海域海流漲潮時海流的變化趨勢

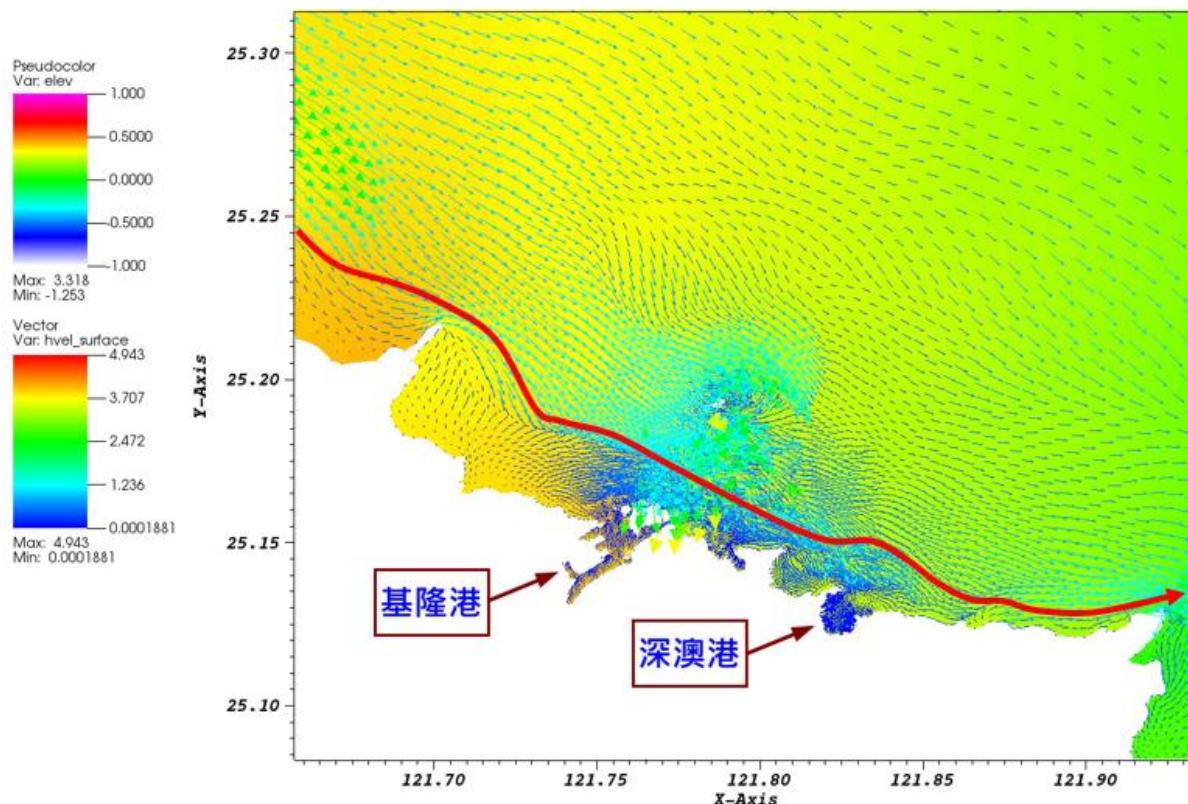


圖 2-1-6 2019/08 東北角海域海流退潮時海流的變化趨勢

圖 2-1-7 為東北角海域海氣象觀測站地理位置圖，以麟山鼻與基隆港潮位測站為例驗證 SCHISM 預測水位。圖 2-1-8 至圖 2-1-15 分別顯示麟山鼻潮位站與基隆港潮位站於 2019 年四季的實測水位與 SCHISM 預測水位之比對，圖中藍色實線為潮位站實測水位資料，紅色點線為 SCHISM 模式預測水位資料。比對結果顯示麟山鼻潮位站與基隆港潮位站實測水位分別與 SCHISM 模式預測水位的變化趨勢非常一致，此亦驗證了 SCHISM 預測水位的精度。另外，圖 2-1-15 顯示實測水位資料自 1 月 25 日起缺損，由前面資料比對可知 SCHISM 模式預測水位足以實際應用在基隆港潮位站水位資料缺損之補遺。

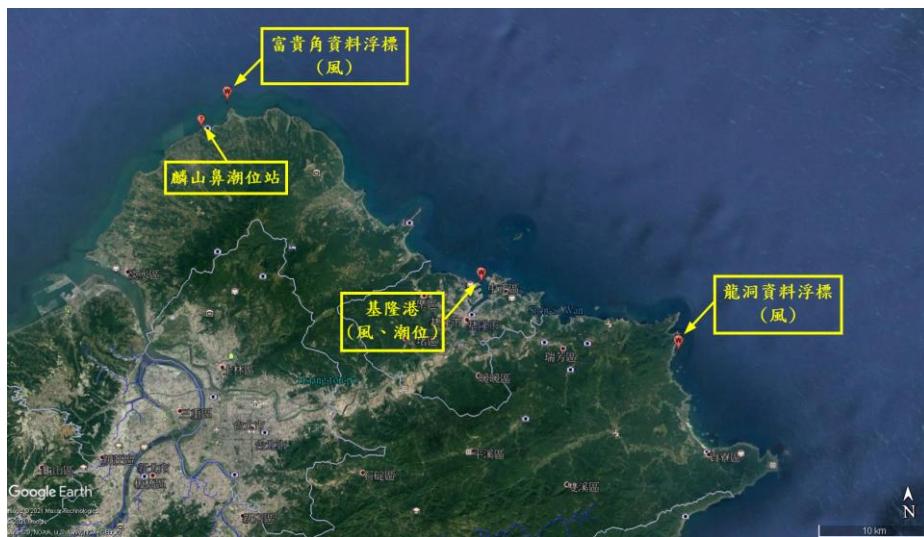


圖 2-1-7 東北角海域海氣象觀測站地理位置圖

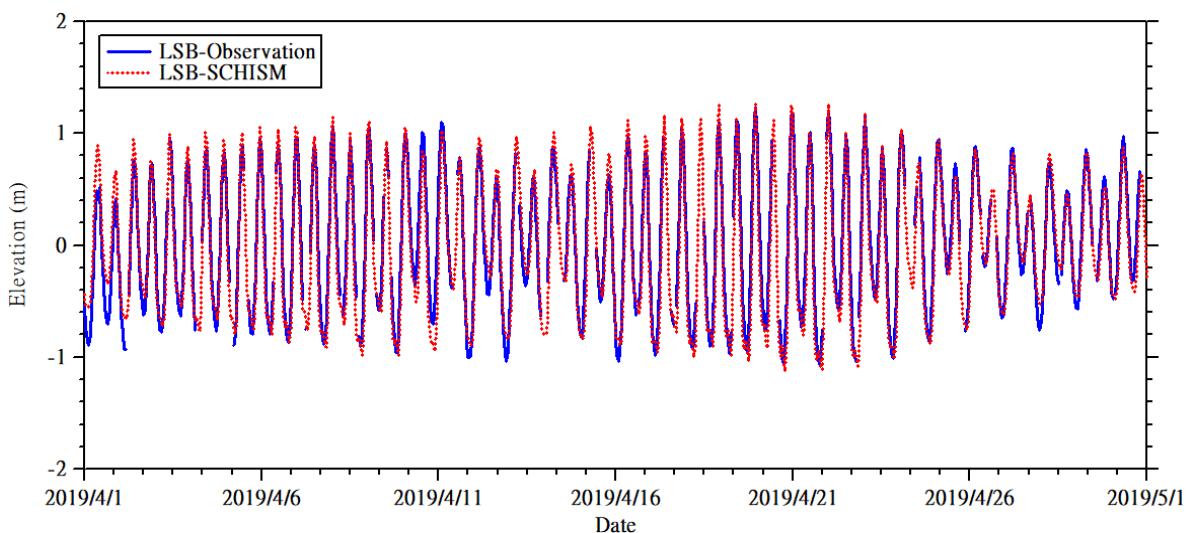


圖 2-1-8 2019 年 4 月(春季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

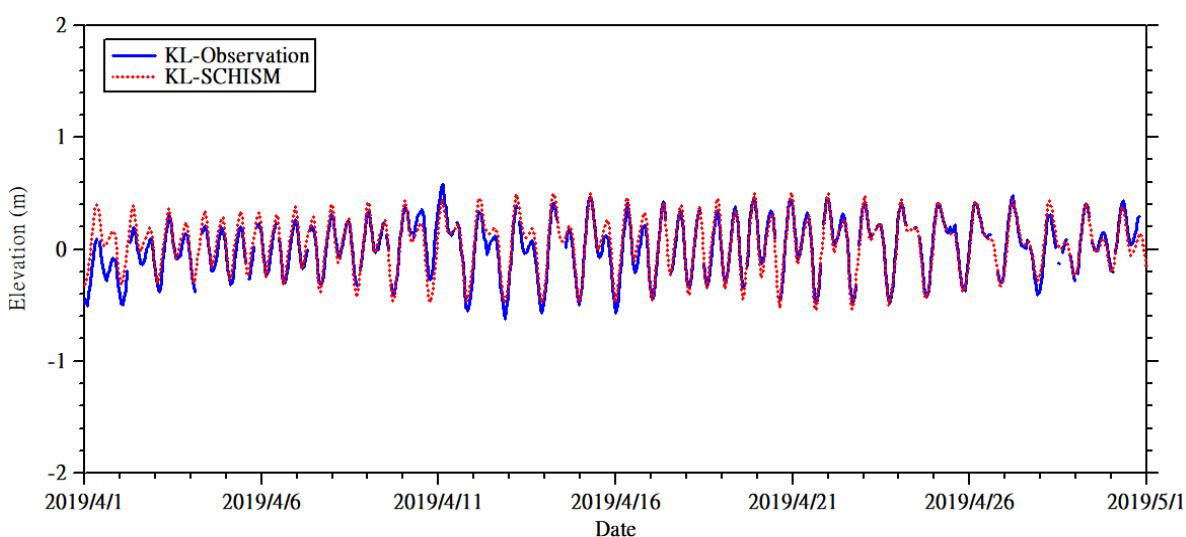


圖 2-1-9 2019 年 4 月(春季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

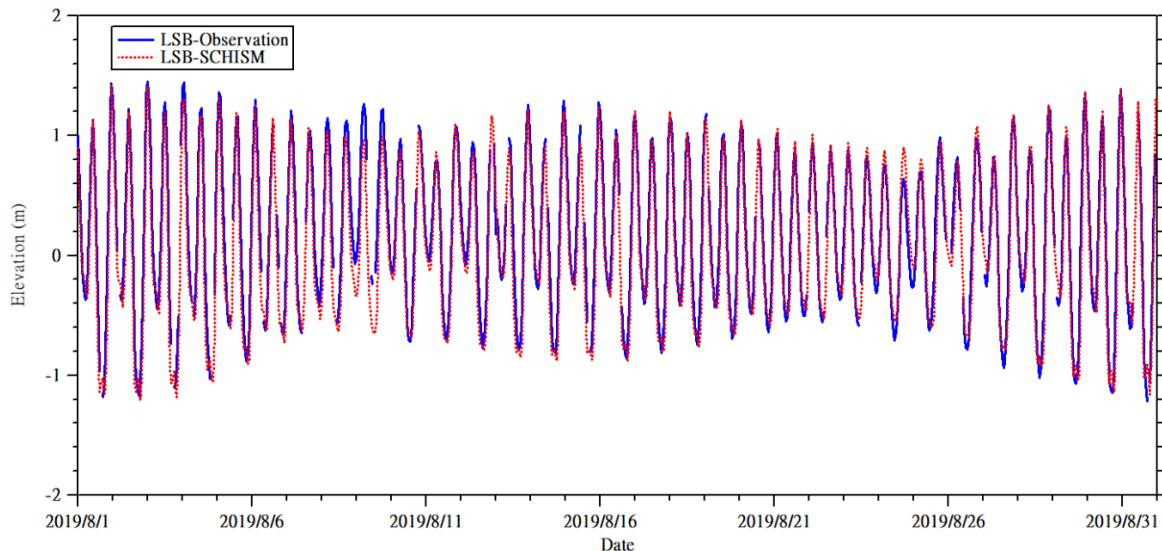


圖 2-1-10 2019 年 8 月(夏季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

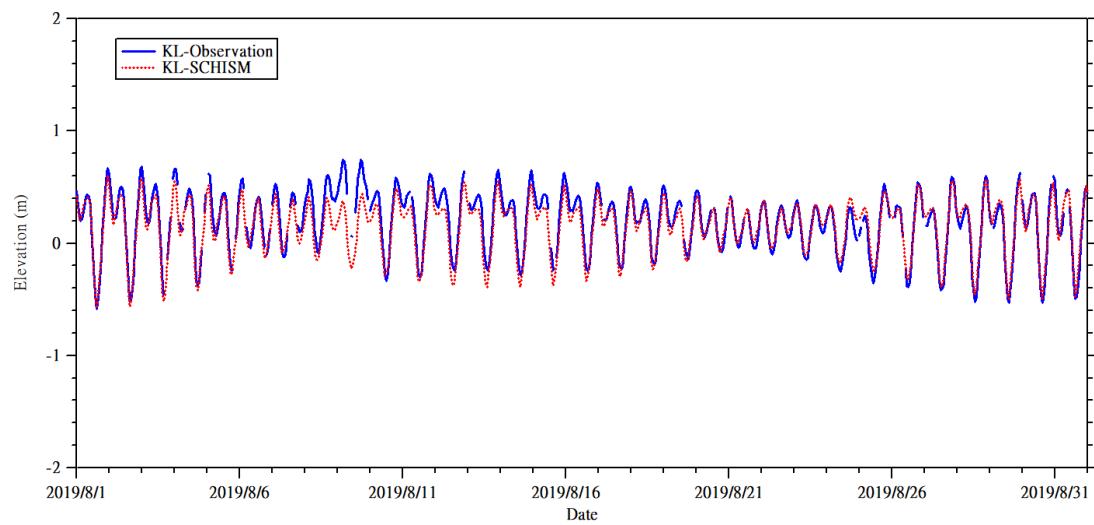


圖 2-1-11 2019 年 8 月(夏季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

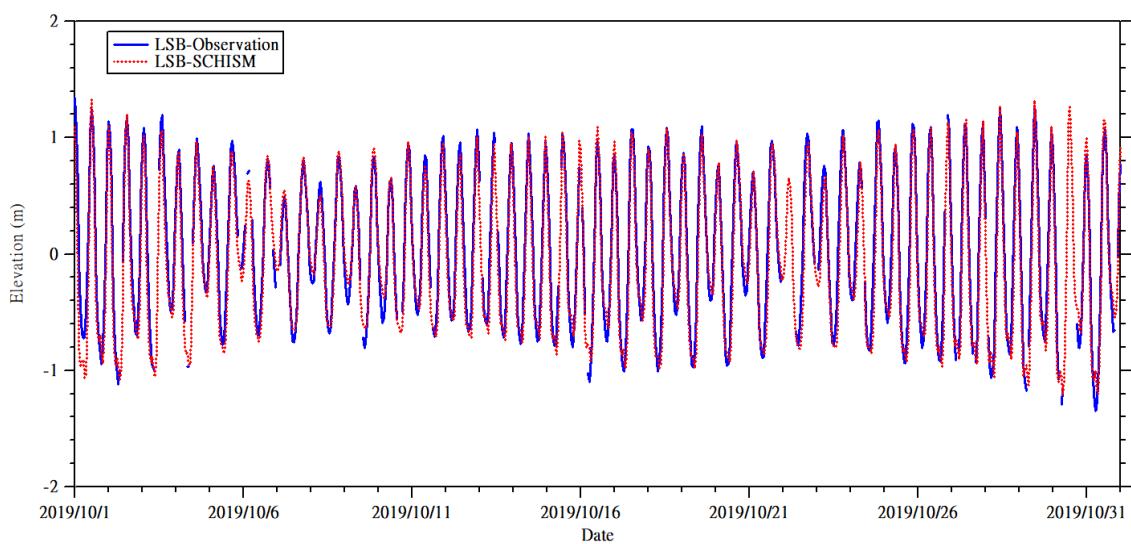


圖 2-1-12 2019 年 10 月(秋季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

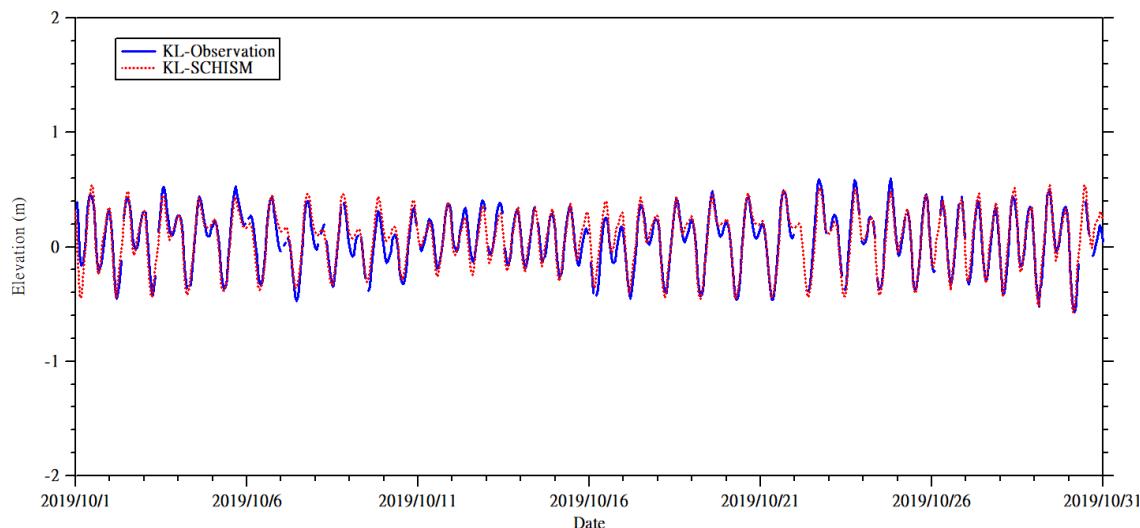


圖 2-1-13 2019 年 10 月(秋季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

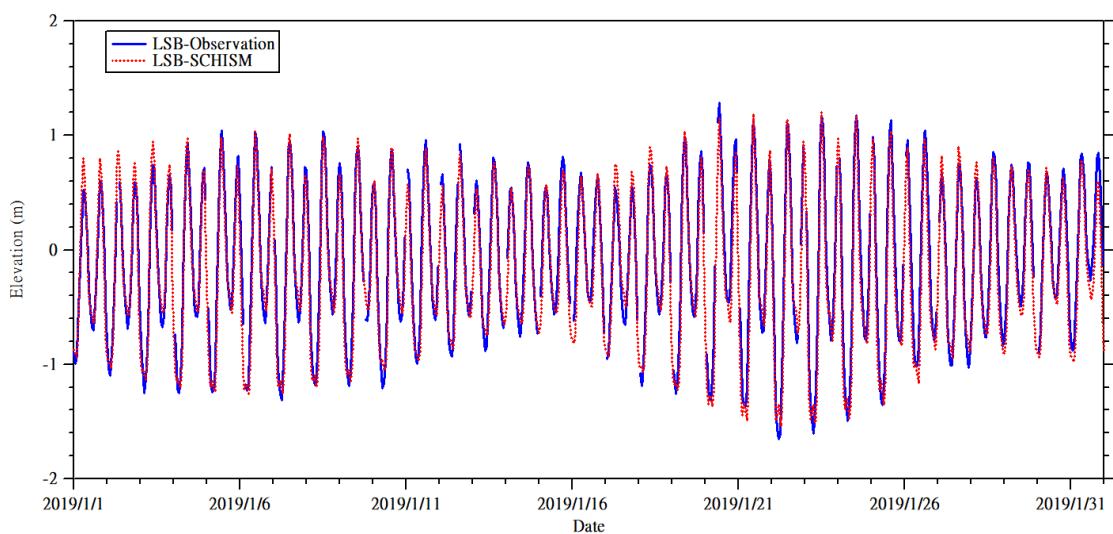


圖 2-1-14 2019 年 1 月(冬季)麟山鼻潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

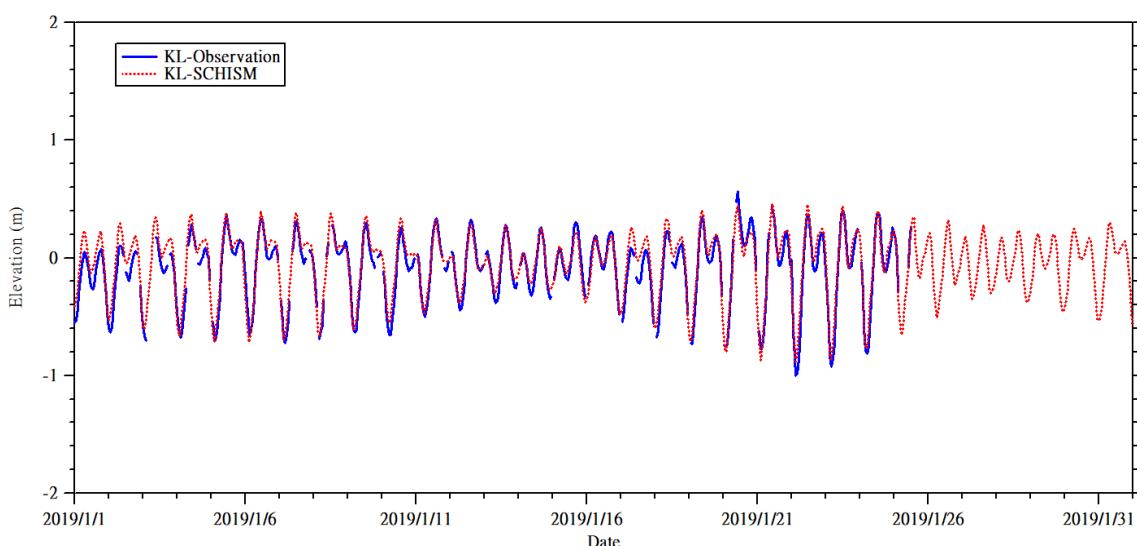


圖 2-1-15 2019 年 1 月(冬季)基隆港潮位站實測水位與 SCHISM 預測水位之比對

## (2) 油污擴散數值模式

本案執行團隊第一套油污擴散模式主要是採用美國 NOAA 開發的海洋油污擴散模式 GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment)，第二套油污擴散模式是採用 SCHISM 模式三維油污擴散模式(參照圖 2-1-2)，進行海面上油污擴散範圍及漂移軌跡之模擬。這二套油污擴散模式都能預測(forward)與回推(backward)油污擴散的情況，以下即介紹二套模式的功能。

### A.GNOME

GNOME 是一套 Eulerian/Lagrangian 的溢油軌跡模式 (Beegle-Krause, 2001)，是 NOAA 架構下有害物質緊急應變組 (Hazardous Materials Response Division, HAZMAT) 所發展的油污擴散數值模式。若油污染事件發生時，美國 NOAA 應用 GNOME 模式的模擬結果作為政府在油污染事件緊急應變處理之重要參考依據。

GNOME 模式基本擴散方程式如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C \quad (2-6)$$

式中  $C$  為油污的濃度； $D$  為擴散係數。(2-6)式在卡式座標中可表示如下：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (2-7)$$

式中  $D_x$  與  $D_y$  分別為在  $x$  與  $y$  方向的純量擴散係數 (scalar diffusion coefficients)。

GNOME 模式也是採用 Random Walk Model 描述油污粒子的漂移軌跡，擴散係數  $D$  會影響 Random Walk Model 的計算， $D$  在 GNOME 模式表示為在水中的水平渦流擴散係數 (horizontal eddy diffusivity)，最低的值為  $0.1 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ ，最高值到  $100 \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$ 。GNOME 模式也有考慮油污在海面上的擴散、蒸發、漂移軌跡、風阻作用 (windage)、黏附岸邊 (Beaching)、以及油污碰觸到海岸線，會因海岸線礁石中不同的孔隙，油污會再浮升並回到海水中的作用 (refloating)。上述油污在海面上不同的風化作用，可以參考 GNOME 模式的說明手冊 (Zelenke et al. 2012)，手冊中有詳細的說明(NOAA, 1992 & 2002)。

GNOME 模式有多項功能：

- 可提供風、氣象、海流等資料，以預測油污在海上擴散範圍與漂移軌跡的變化。

- b. 可輸入實測與預測的風及海流資料，預測海面上油污漂移的軌跡。
- c. GOODS (GNOME Online Oceanographic Data Server) 為一線上海洋資料庫系統，可提供全世界地圖，不同模式預測的風與海流資料，以及各種資料的來源。
- d. 可預測油污暴露在海上風化的演變情況。
- e. 可快速更新資料，重新執行油污擴散模擬，以及儲存有關的資訊。
- f. 提供預測油污漂移軌跡與擴散範圍資訊的輸出，可應用在地理資訊軟體(GIS)展示，讓現場指揮官迅速掌控油污擴散範圍及漂移軌跡的相關地理資訊，做出最佳的決策及應變。

油污在海面上的漂移與擴散，風與海流皆扮演非常重要的角色(Beagle-Krause, 2018)。若海面上發生溢洩油事件，需由多方面途徑蒐集風場資料。風場資料除了可選擇來自氣象模式預測的風場資料，同時也需蒐集發生溢油事件附近海面上浮標站或海岸氣象站所紀錄的風資料，預測與實測的風資料皆可提供海洋油污擴散模式的輸入條件。在上述功能的 GOODS 線上海洋資料庫系統(如圖 2-1-16 所示)可提供全球海流模式 (global ocean current models) 預測的海流資料及風場(winds)等資料之下載。近年來中央氣象署也有提供海氣象預報資料，所以在發生溢洩油事件初期，可透過各種管道取得所需的海氣象資料，如 GOODS 提供的海氣象預報資料，以及中央氣象署海洋數值模式 CWA-OCM 提供的臺灣四周海域海流流場預報資料，與氣象數值模式 CWA-WRF 預報風場資料，可做為海洋油污擴散模式輸入之條件。以下說明 GOODS 各項下載資料與中央氣象署海氣象預測資料的內容。

GOODS 線上資料庫系統提供五種模式所預測之風場資料 (如圖 2-1-17 所示)，其中 NCEP Global Forecast System (GFS) 有提供全球 1/2 度 (如圖 2-1-18 所示)及二星期(如圖 2-1-19 所示)的預測風場，亦可蒐集中央氣象署氣象模式 (CWA-WRF)模擬臺灣四周海域的風場。海流流場則來自 SCHISM 的模擬海流流場。如圖 2-1-20 與圖 2-1-21 分別為中央氣象署(CWA-WRF)預測臺灣四周海域未來 72 小時的風場與海流流場(CWA-OCM)，可提供真實洩油事件緊急應變油污染擴散模擬服務之應用。

表 2-1-2 為 GNOME 模式建置之油品資料庫，由表中資料可知，油品資料皆為海洋溢油事件中常見的溢洩油品，臺灣過去溢油事件發生的溢洩油品都已

含括在內；若有其他未在表列的溢洩油品，也能自行輸入溢洩油品的種類與特性。圖 2-1-22 為 GNOME 模式操作介面，由圖中顯示可知，最上面為功能鍵具有以下功能：開啟及儲存檔案、執行模式、播放油污擴散範圍、及漂移軌跡模擬結果。介面左邊顯示模式設定的參數，包含溢洩油油品特性、海洋環境背景資料、地圖資訊、及模擬參數等設定；右邊則可顯示地圖、溢油位置、海流流場或風場、及油污擴散範圍與漂移軌跡等資訊。如圖 2-1-23 為 GNOME 重油隨時時間風化的結果，由模擬結果可瞭解油污染在海面上漂流、抵達岸邊、以及蒸發等狀態隨時時間的演變情況。

圖 2-1-16 GOODS 線上海洋環境資料庫

- [NCEP North American Mesoscale \(NAM\) model](#)  
Regional mesoscale data assimilation and forecast model system
- [NCEP Global Forecast System \(GFS\)](#)  
Global spectral data assimilation and forecast model system
- [National Data Buoy Center Winds](#)  
Wind data from the National Data Buoy Center
- [National Weather Service Point Forecast Winds](#)  
Point wind forecast from the NWS National Digital Forecast Database
- [National Weather Service Gridded Winds](#)  
Wind forecast for continental US from the NWS National Digital Forecast Database

圖 2-1-17 GOODS 系統提供五種模式所預測之風場資料

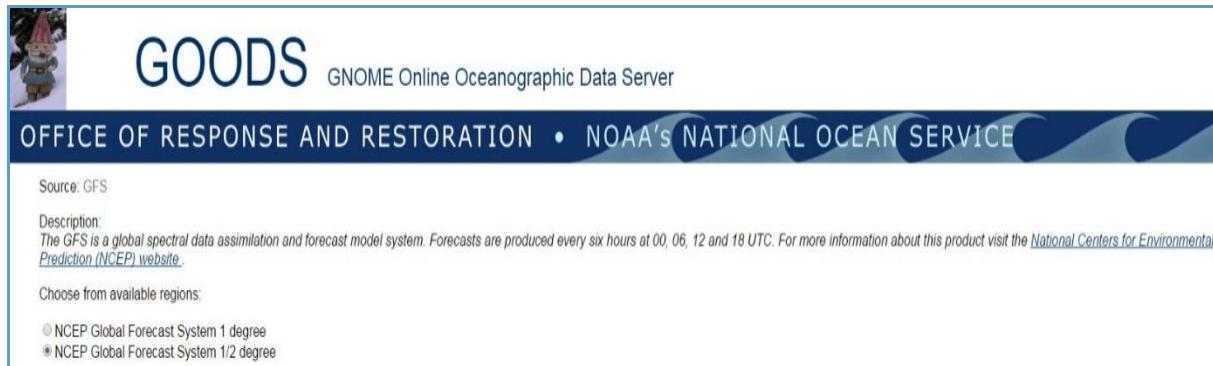


圖 2-1-18 NCEP Global Forecast System 提供全球 1/2 度預測風場

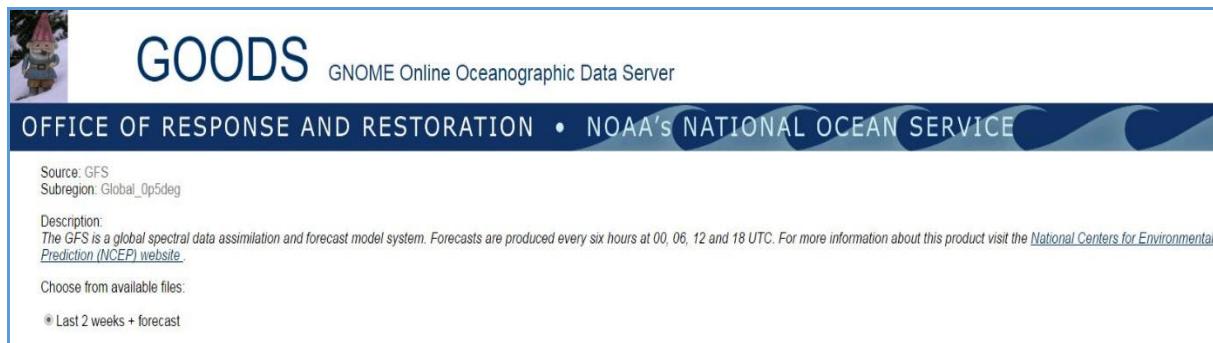


圖 2-1-19 NCEP Global Forecast System 未來二星期預測風場

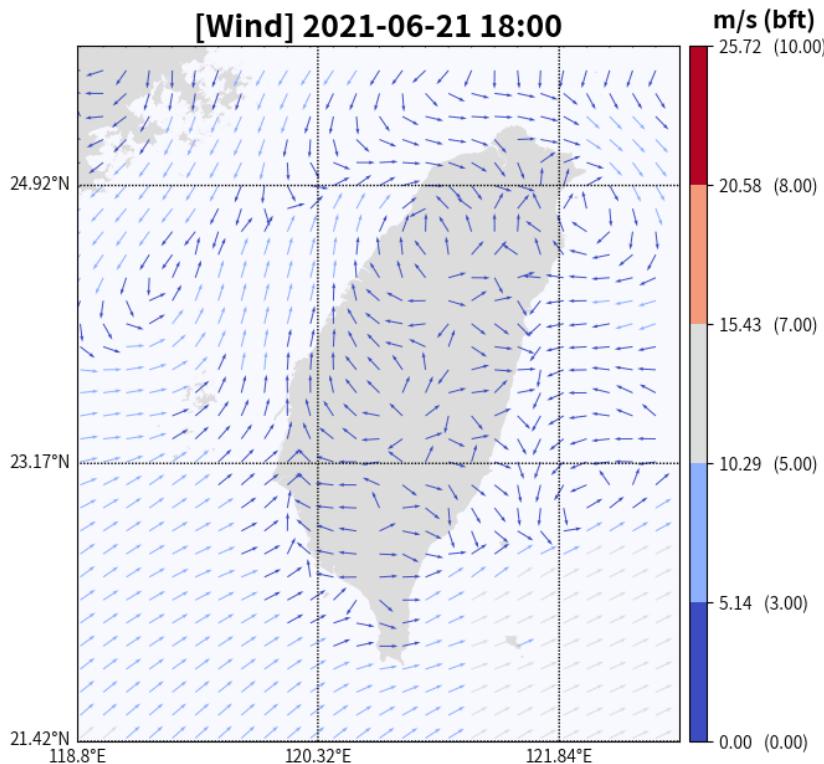


圖 2-1-20 CWA-WRF 臺灣四周海域預測風場

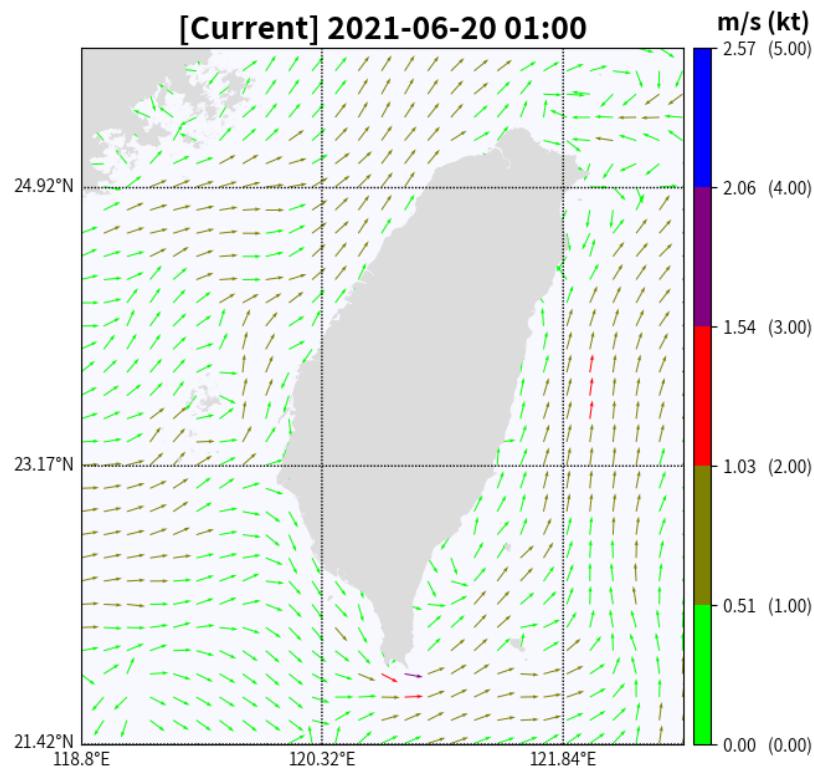


圖 2-1-21 CWA-OCM 模擬臺灣四周海域預測海流流場

表 2-1-2 GNOME 模式建置之油品資料庫

英文名稱	中文名稱
Gasoline	汽油
Kerosene / Jet kerosene	煤油 / 航空煤油
Diesel	柴油
Fuel oil #4	4 號燃料用油
Medium crude	中等比重原油
Fuel oil #6	6 號燃料用油

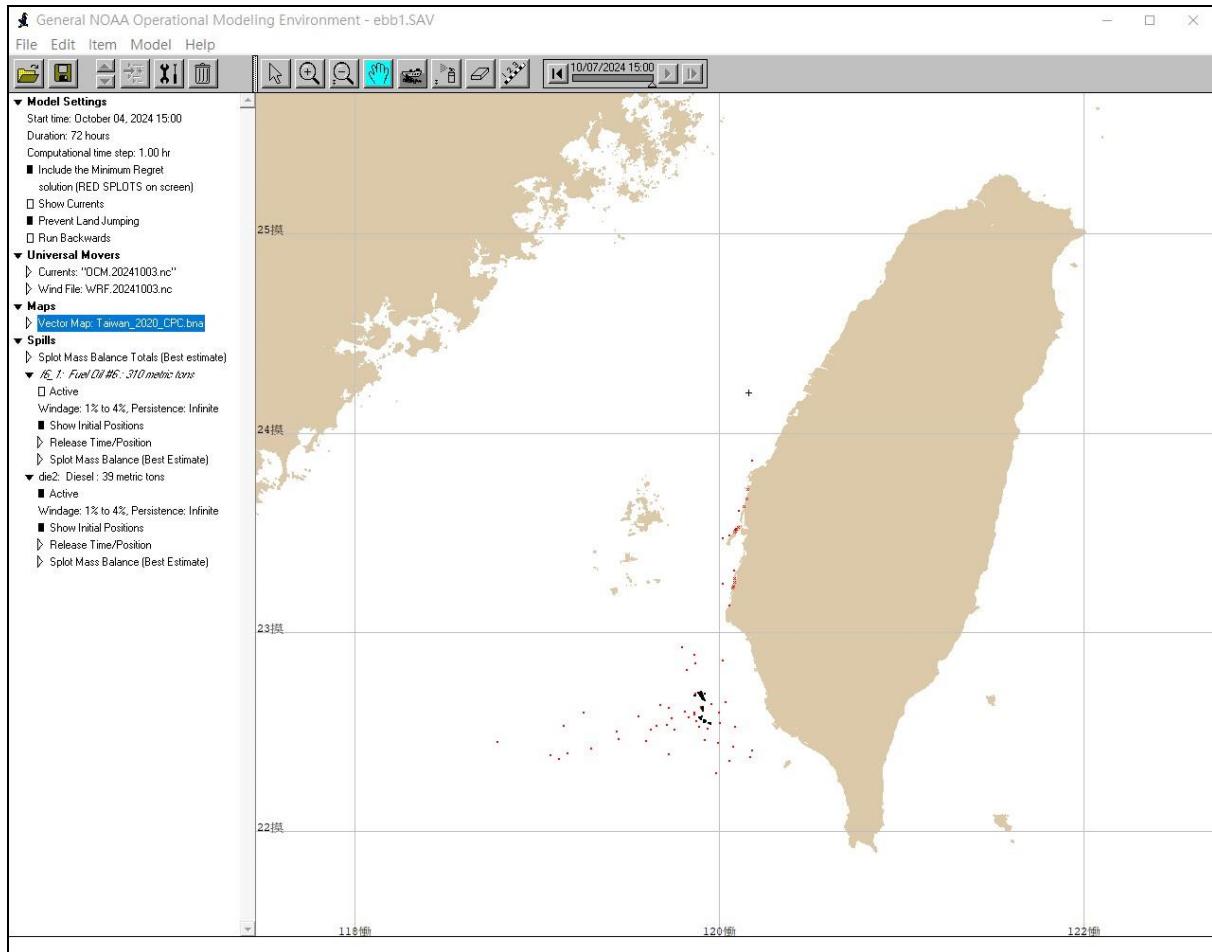


圖 2-1-22 GNOME 模式操作介面

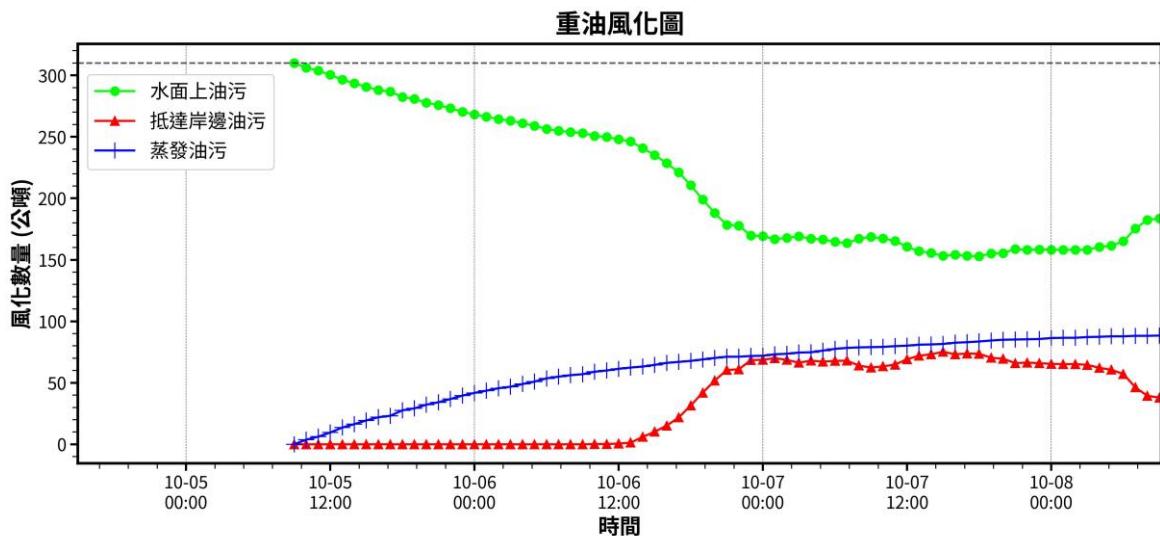


圖 2-1-23 GNOME 模擬重油隨時間風化結果

## B.SCHISM

SCHISM 模式系統的 Lagrangian Particle-Tracking method (如圖 2-1-2 所示)，是美國奧勒岡健康與科學大學 (Oregon Health and Science University) Dr. Yun Jung 所發展，可簡易及快速預測油污的漂移軌跡。

Lagrangian Particle-Tracking method 採用隨機位移模型 (Random Displacement Model, RDM)，與隨機游走模型 (Random Walk Model) 類似，屬於一種數學統計模型 (Visser, 1997; North et al., 2006 and 2011)，它是由一連串的軌跡所組成，其中每一次都是隨機的。此模型可用來表示不規則的變動形式，記錄隨機游走粒子過程，用以描述油污質點在海面上的漂移軌跡。RDM 計算質點移動公式可表示如下：

$$X^{n+1} = X^n + \left( U + W_x + \frac{\partial K_x}{\partial x} \right) \Delta t + R \sqrt{6K_x \cdot \Delta t} \quad (2-8)$$

$$Y^{n+1} = Y^n + \left( V + W_y + \frac{\partial K_y}{\partial y} \right) \Delta t + R \sqrt{6K_y \cdot \Delta t} \quad (2-9)$$

$$Z^{n+1} = Z^n + \left( W + V_r + \frac{\partial K_z}{\partial z} \right) \Delta t + R \sqrt{6K_z \cdot \Delta t} \quad (2-10)$$

方程式中符號標記說明如下：

(U, V, W)：在卡式座標 ( $x, y, z$ ) 中海流的速度分量， $z$  為垂直座標； $n$  是時間步長， $n+1$  是下一個時刻的時間步長； $\Delta t$ ：時間步長的間距； $R$ ：均勻的隨機變數 (uniform random number)，介於 -1 與 1 之間； $K_x, K_y$  與  $K_z$  是  $x, y, z$  方向的紊流擴散係數(turbulent diffusion coefficients)； $W_x$  與  $W_y$  為  $x, y$  方向的風阻力速度(wind dragging speeds)； $W_i = c_d \times W\_vel_i^{10}$  ( $i = x$  or  $y$ )； $c_d$  為阻力係數，通常設定為 0.03； $W\_vel_i^{10}$  為參考海平面上方 10 公尺高的風速； $V_r$  為油污受到水中浮力作用造成的上升速度，可由下列經驗公式求得 (Clift et al., 1978; Zheng and Yapa, 2000)：

$$V_r = \left[ \frac{8}{3} g d_i \left( 1 - \frac{\rho_o}{\rho} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-11)$$

上式中  $g$  為重力加速度； $d_i$ ：油粒子的直徑； $\rho_o$  與  $\rho$  分別為油污與海水的密度。

援引 2016 年「德祥臺北」貨輪因擱淺在新北市石門海岸造成漏油事件，

本案執行團隊曾以 SCHISM 的三維油污染漂流軌跡模式成功應用在「德祥臺北」貨輪漏油事件(Chiu et al. 2018 & 邱等人，2018)，三維油污染漂流軌跡模式的相關理論可參考 Chiu et al. (2018)。圖 2-1-24 為石門外海油污擴散模擬範圍與計算網格系統，以基隆港垂直岸邊往外延伸約 35 公里，水平方向約 70 公里的範圍建置模式計算區域。水平座標系統採用有限元素非結構性三角形網格，最小元素邊長約為 16 公尺，總計共 118,132 個三角元素。SCHISM 模擬海流流場需先給定模擬計算區域在外海開放邊界，水位、流速、海水溫度、海水鹽度等邊界資料；海氣交互作用計算所需的海表面氣象資料之邊界條件，分別有海表面氣壓場、風場、太陽輻射通量 (Radiation flux)、空氣的比濕度 (Specific humidity)、海表面的氣溫場等，皆來自於中央氣象署氣象模式 (CWA-WRF) 模擬計算得到 5 公里解析度的資料。

利用上述海氣象與波浪資料，以 SCHISM 模擬石門附近海域海流時序列的資料，同時蒐集成功大學近海水文中心於「德翔臺北」貨輪發生油污洩漏期間應用 X-Band 波段雷達測得的表面海流，以及國家實驗研究院台灣海洋科技研究中心環岸基海洋雷達測流系統 TOROS (Taiwan Ocean Radar Observing System) 於新北市草里設置的高頻雷達 (High Frequency Radar, 簡稱 HF Radar) 海流測站 (地理位置如圖 2-1-25 所示) 所監測的海表面徑向海流流速 (Radial Velocity) 作為驗證資料。TOROS 的高頻雷達分為長距離及標準型雷達測流兩種系統，如圖 2-1-25 中藍色小方塊表示為長距離雷達站點，綠色小方塊為標準型雷達站。本研究蒐集新北市草里測站為標準型雷達測流系統，在徑向方向相鄰兩點間量測海流資料之距離為 1.75 公里。李(2015)統計高頻雷達和平站、綠野站、小野柳站與旭海站 2013 年整年徑向海流品質空間分布，指出高頻雷達實測資料良率達 80% 的區域約從測站到 100~150 公里的範圍，且距離高頻雷達測站越近資料品質越好，由此得知徑向海流資料能描述實際海流流場的特性。將 SCHISM & WWM-III 波流偶合模擬的海流流場，可提供 SCHISM 模式系統中 Lagrangian Particle-Tracking 方法預測油污染的漂移軌跡。

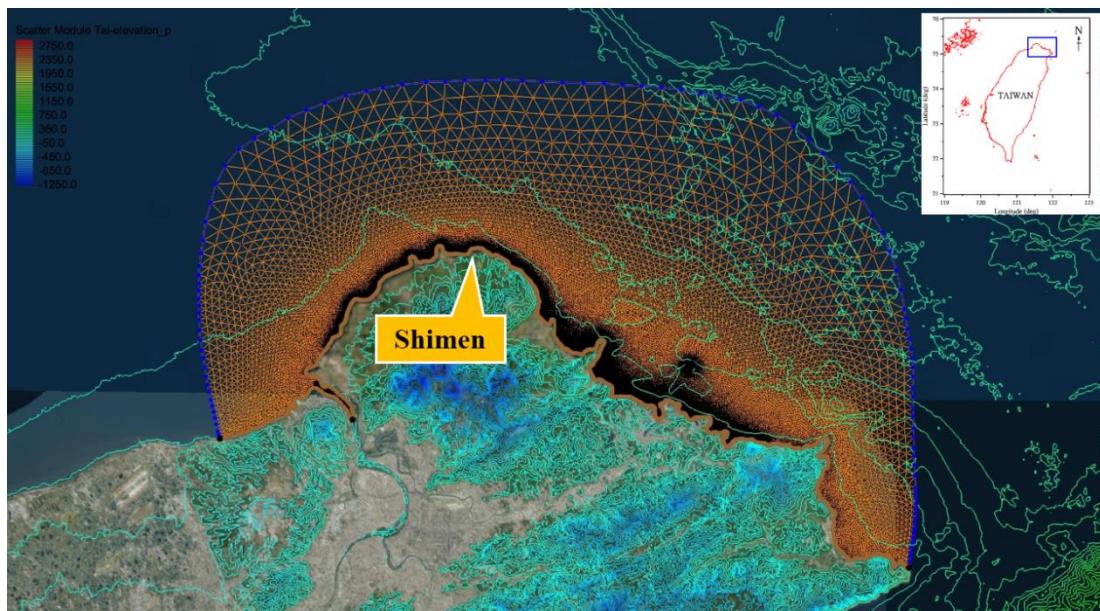
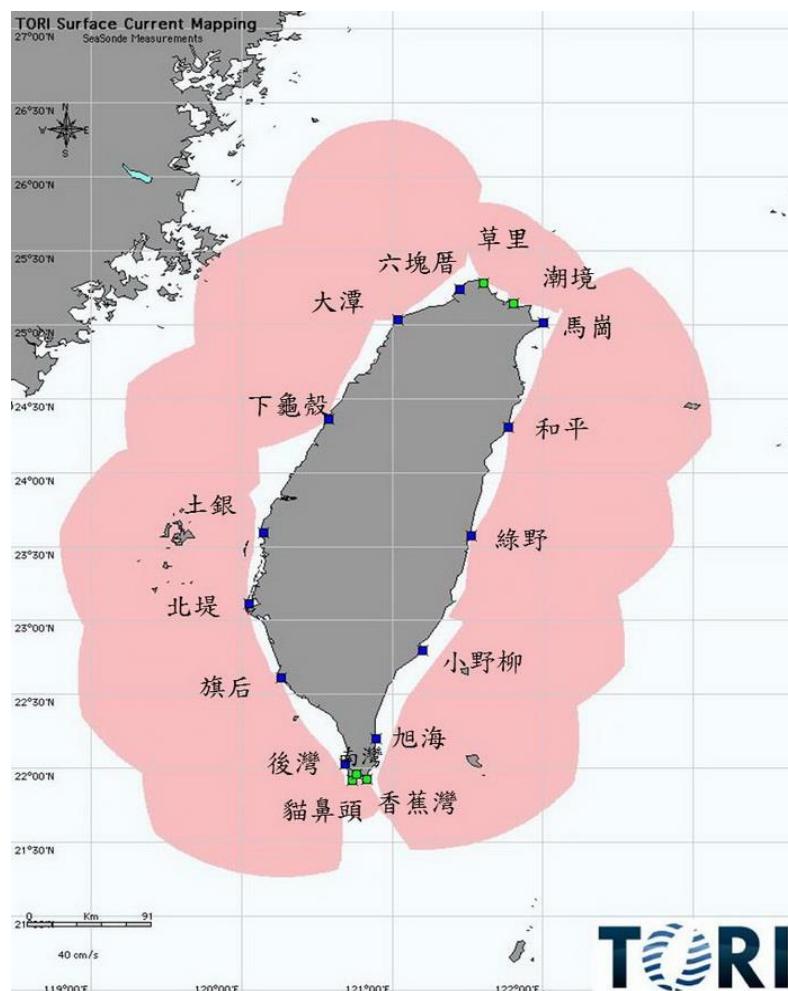


圖 2-1-24 石門外海油污擴散模擬範圍與計算網格系統



<http://med.tori.narlabs.org.tw/TOROS/>

圖 2-1-25 台灣海洋科技研究中心長距離及標準型雷達系統位置及量測範圍圖

圖 2-1-26 為新北市石門附近海域地裡位置圖，依據圖中標示的相關地裡位置得知麟山鼻潮位站（圖中標示的 Linshanbi Tide Station）距「德翔臺北」（圖中標示的 T.S. Taipei）擋淺貨輪約 6.8 公里，富貴角浮標（Fugui Cape Buoy）距「德翔臺北」擋淺貨輪約 4.2 公里，X-band 雷達架設在「德翔臺北」擋淺貨輪擋淺位置的南邊約 1.0 公里，草里（Caoli）高頻雷達測站在「德翔臺北」貨輪擋淺位置的南邊約 3.5 公里。本研究蒐集麟山鼻潮位站量測的水位資料，以及 HF Radar 監測的海流表面徑向海流流速等資料，驗證 SCHISM 模式預測的水位及海流。圖 2-1-27 為 SCHISM 預測水位與麟山鼻實測水位比對歷線圖，比對期間為 2016 年 3 月，圖中紅色虛線為 SCHISM 預測水位，藍色實線為麟山鼻實測水位，由比對結果顯示實測與預測的結果相當一致(Chiu et al. 2018)。

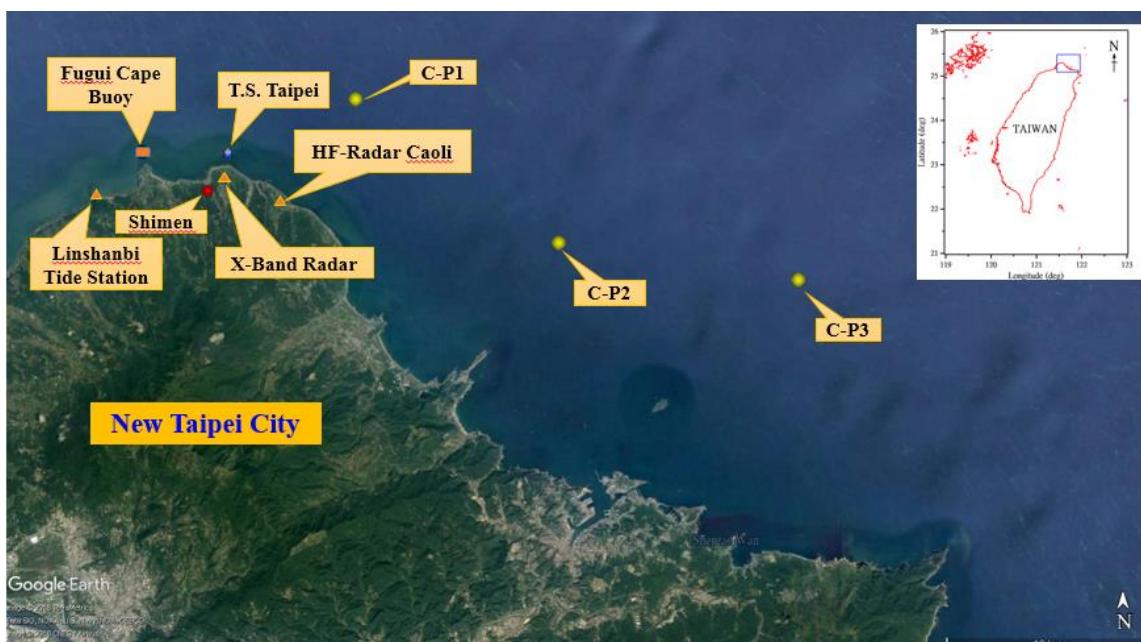


圖 2-1-26 新北市石門附近海域地裡位置圖

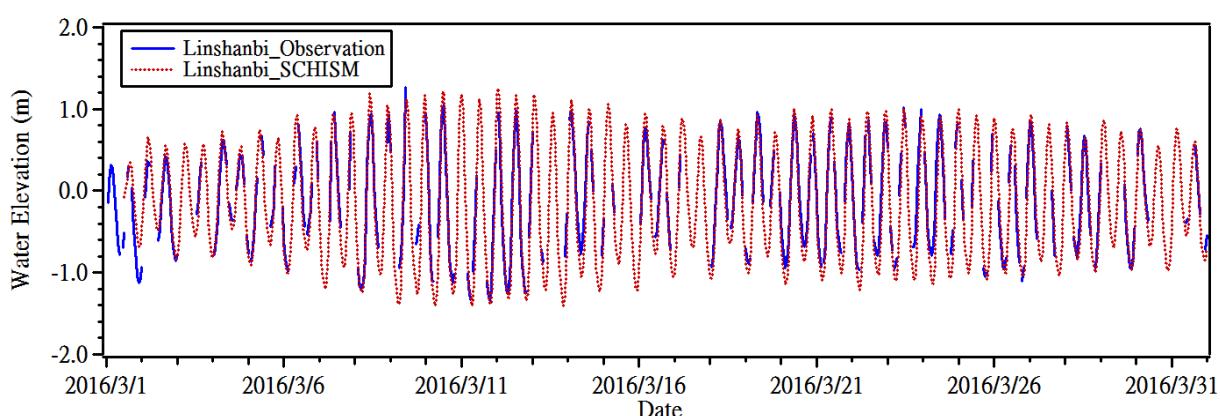


圖 2-1-27 SCHISM 預測水位與麟山鼻實測水位比對歷線圖

另外，圖 2-1-28 為 HF Radar 草里測站地理位置及預測與實測海流的選取位置，圖中紅點為 HF Radar 監測範圍所量測海流資料的位置點，本案執行團隊選取其中 C-P2 位置的海流資料與模式預測海流作比對及驗證。圖 2-1-29 分別為 HF Radar 位於 C-P2 位置於 2016 年 3 月的實測海流徑向流速與 SCHISM 預測海流徑向流速之比對歷線圖，比對期間為 3 月 1 日至 31 日，圖中藍色實線為高頻雷達監測的海流徑向流速，紅色點線為 SCHISM 預測海流轉換成海流徑向流速( $V_R$ )，轉換公式如下式：

$$V_R = u \sin \alpha + v \sin \alpha \quad (2-12)$$

其中  $u$  為 SCHISM 模式預測的東西方向(east-west) 分量， $v$  為 SCHISM 預測的南北方向 (north-south) 分量， $\alpha$  為高頻雷達監測海流資料的徑向方向。圖 2-1-29 中縱座標的徑向海流流速有正負值，此表示徑向海流流向向內（往岸邊方向）為正值，流向向外（離岸邊方向）為負值。由比對結果可知，在 C-P2 比對位置點預測與實測的海流徑向流速隨時間變化趨勢相當一致。

綜合上述結果可知，SCHISM 預測的水位及海流與實際觀測的結果相當一致，因此將海流輸入至 SCHISM 的油污漂移軌跡模組，風場則輸入富貴角浮標測站量測的逐時風速風向。圖 2-1-30 與圖 2-1-31 為「德祥臺北」貨輪發生漏油事件期間應用 X-band 雷達偵測到油污擴散範圍(Chiu et al. 2018)，本案執行團隊將 X-band 雷達偵測到油污染擴散範圍作為 SCHISM 油污擴散模組的初始輸入條件，油品種類為燃料油，油污溢洩時間為 2016 年 3 月 26 日 09:00，油污溢洩量為 50 公秉，並應用 SCHISM 油污擴散模組預測 34 天後的油污漂移軌跡(如圖 2-1-32 示)，圖中紅色線條為油污漂移的軌跡；藍色色階為顯示石門附近海域的水深地形；黑色箭矢長度表示海流流速大小，黑色箭矢方向為表示海流流向。由圖 2-1-32 模擬結果得知油溢洩 34 天後，油污往左方海岸最遠漂移到老梅綠石槽，往右方海岸最遠漂移到草里海岸。同時檢視溢油事件發生位置鄰近富貴角資料浮標的風速資料，圖 2-1-33 為富貴角資料浮標 2016 年 3 月 22 日至 31 日三秒陣風時序列圖，資料顯示於 3 月 26 日期間三秒陣風接近 20 km/h，且風向以東北風為主。在開放的海域，風速大於 20 km/h 時，風會主導油污的擴散 (Fingas, 2014)，依此結果初判油污擴散初期 (1~2 天內) 皆由風所主導。圖 2-1-34 為國家災害防救科技中心（黃等人，2016）自「德翔臺北」擋淺後到 2016 年 5 月 10 日，在石門海岸附近進行調查後所製做的「德翔臺北」貨輪擋淺溢洩油可能影響範圍，圖中標示石門海岸受到油污影響的範圍。由此

可知，SCHISM 所模擬油污影響的海岸範圍與實際調查結果非常相近。

「德祥臺北」貨輪漏油事件的研究成果也成功發表至國際海洋污染頂尖期刊「Marine Pollution Bulletin」(如圖 2-1-35 所示)，另外，2022 年初被歐盟海洋污染技術手冊(Fernandes et al. 2022)所引用(如圖 2-1-36 所示)，並以小節作介紹(如圖 2-1-37 所示)，此結果亦顯示本案執行團隊採用的油污擴散模擬應用在緊急應變之技術備受國際肯定。

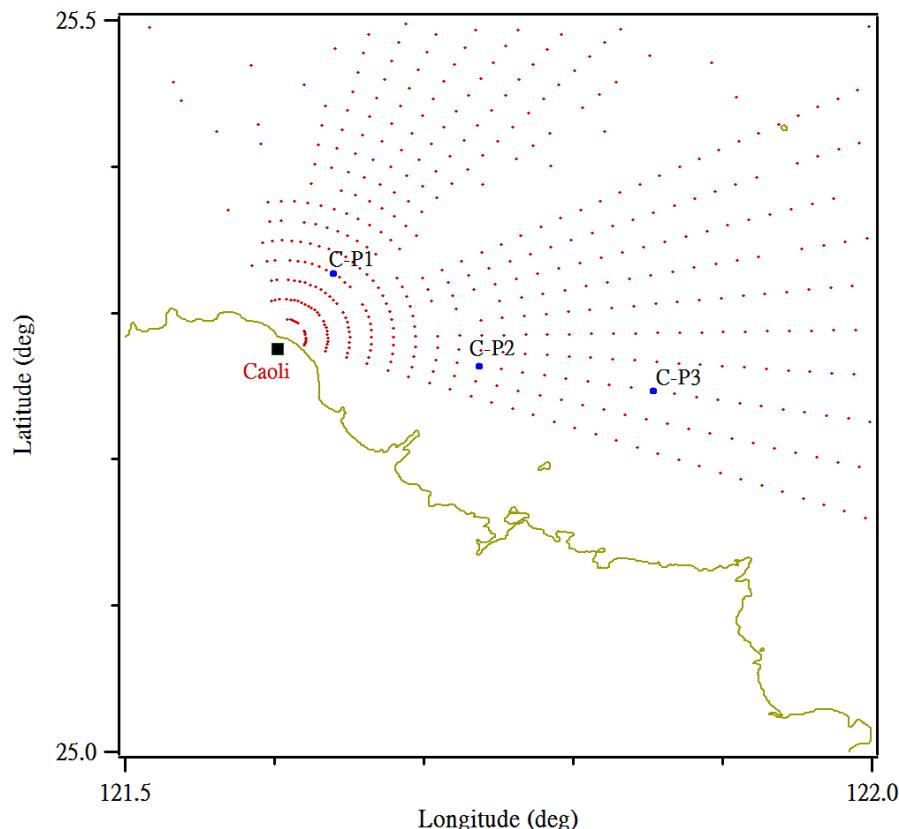


圖 2-1-28 HF Radar 草里測站地理位置及預測與實測海流驗證點

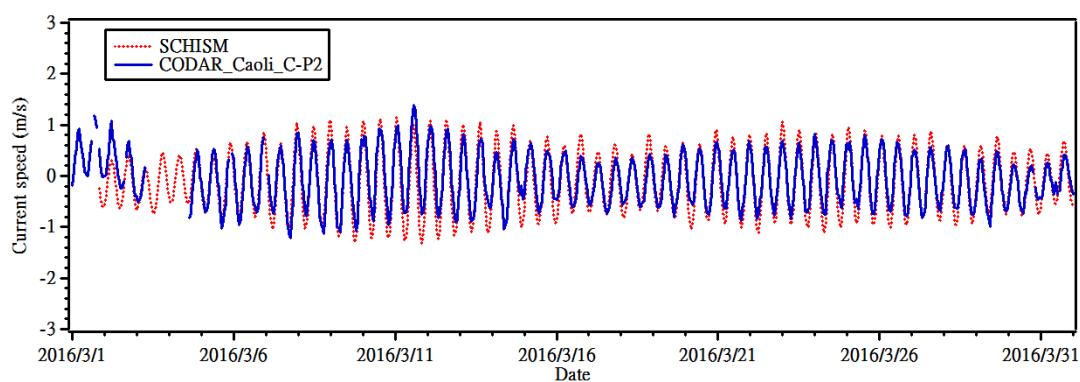
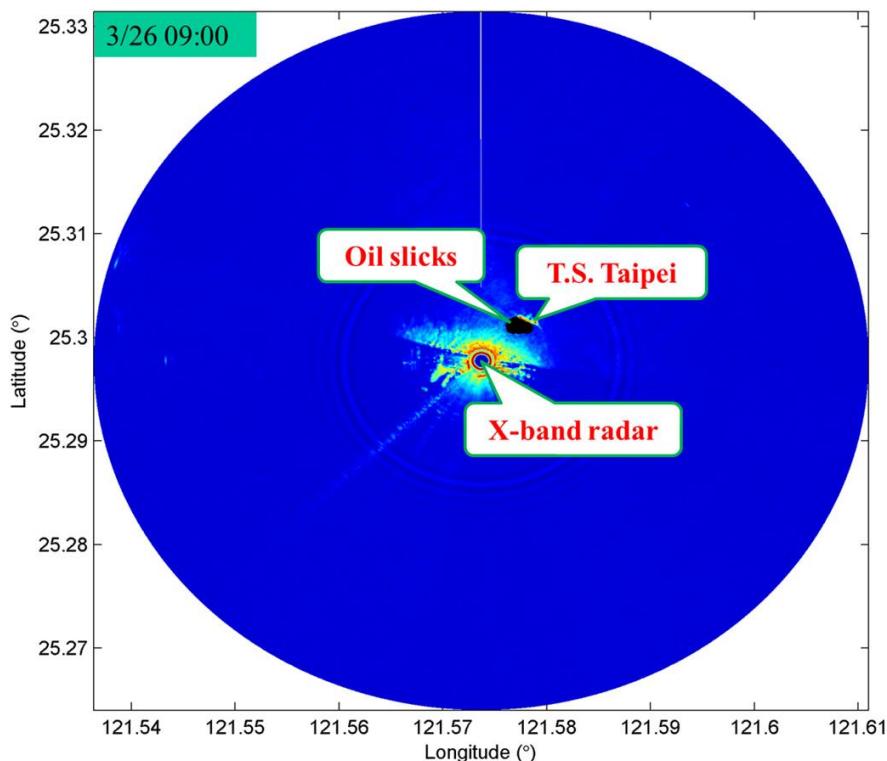


圖 2-1-29 2016 年 3 月石門外海 C-P2 預測與實測海流徑向流速比對歷線圖



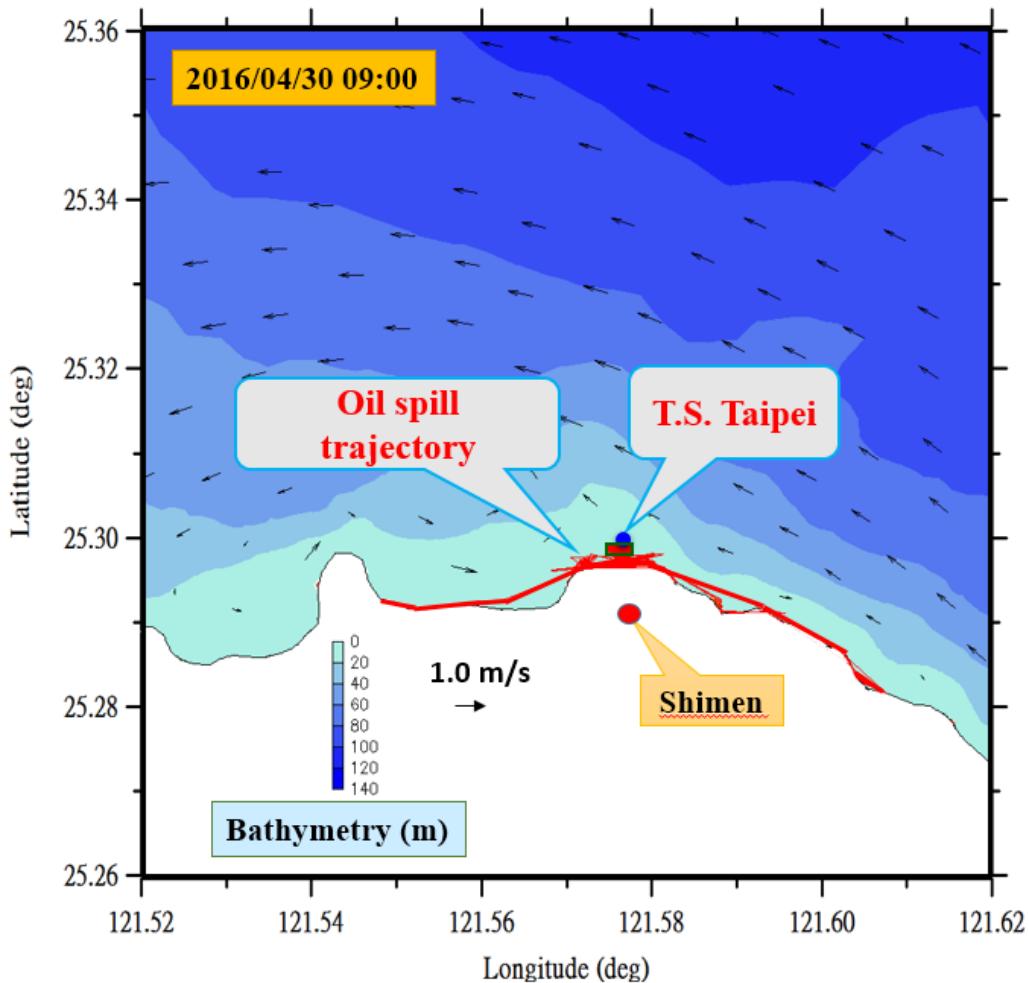
圖摘自 Chiu et al. (2018)

圖 2-1-30 X-band 雷達進行偵測「德祥臺北」貨輪漏油情況



圖摘自 Chiu et al. (2018)

圖 2-1-31 X-band 雷達進行偵測到「德祥臺北」貨輪油污擴散範圍



圖摘自 Chiu et al. (2018)

圖 2-1-32 SCHISM 模式預測的「德翔臺北」溢油 34 天後的油污軌跡

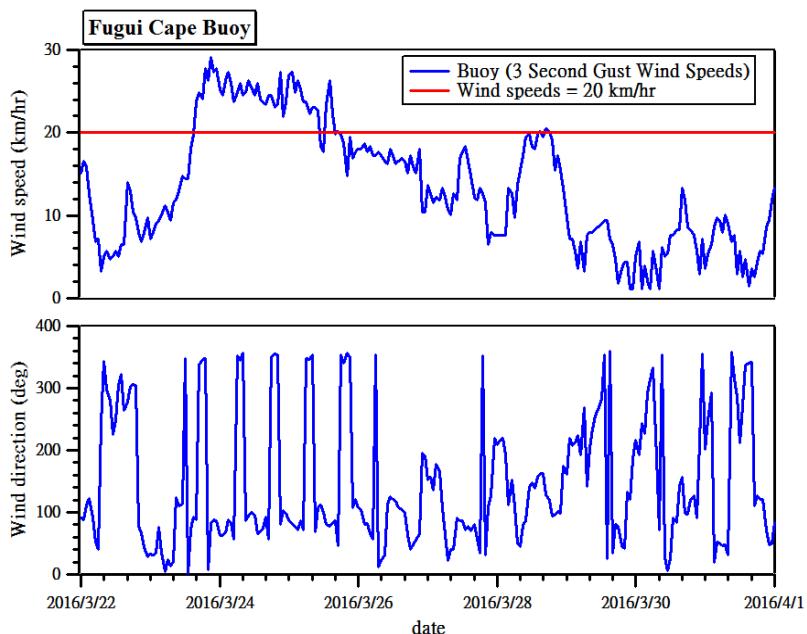
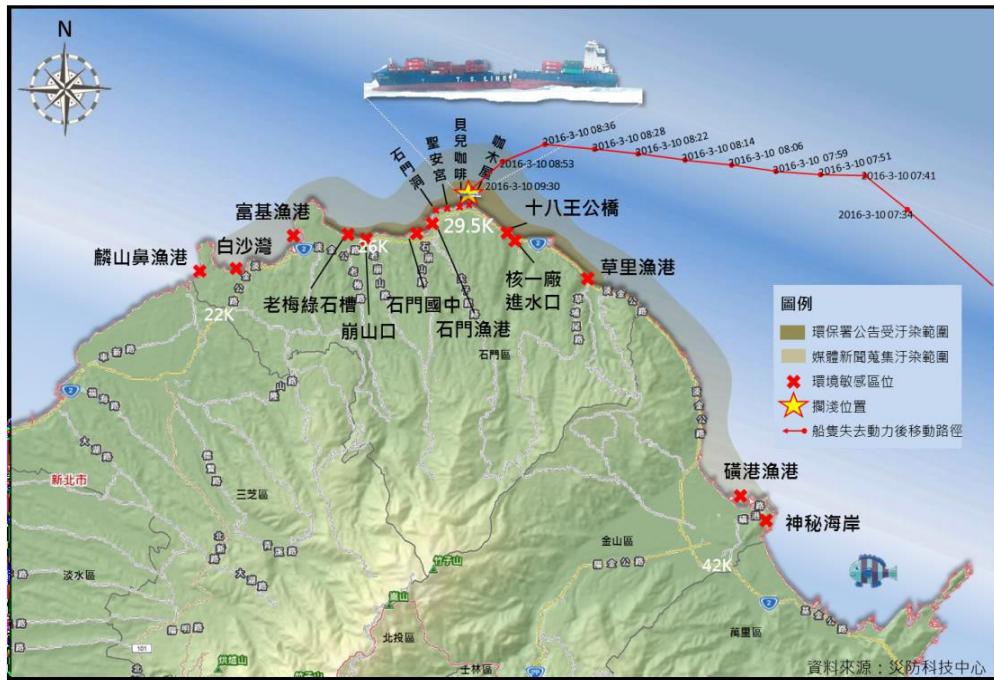


圖 2-1-33 富貴角資料浮標 2016 年 3 月 22 日至 31 日三秒陣風時序列圖



圖來源：黃等人，2016

圖 2-1-34 「德翔臺北」貨輪擱淺溢洩油可能影響範圍

Marine Pollution Bulletin 137 (2018) 566–581

 Contents lists available at ScienceDirect

**Marine Pollution Bulletin**

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/marpolbul](http://www.elsevier.com/locate/marpolbul)



**Forecasting of oil-spill trajectories by using SCHISM and X-band radar**

Chi-Min Chiu<sup>a</sup>, Ching-Jer Huang<sup>a,b,\*</sup>, Li-Chung Wu<sup>b</sup>, Yinglong Joseph Zhang<sup>c</sup>, Laurence Zsu-Hsin Chuang<sup>a</sup>, Yangming Fan<sup>b</sup>, Hao-Cheng Yu<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, No. 1, University Road, Tainan City 70101, Taiwan  
<sup>b</sup> Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University, No. 1, University Road, Tainan City 70101, Taiwan  
<sup>c</sup> Virginia Institute of Marine Science, College of William & Mary, 1375 Great Road, Gloucester Point, VA 23062, USA  
<sup>d</sup> Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-Sen University, 70 Lien-Hai Road, Kaohsiung 80424, Taiwan

---

**ARTICLE INFO**

**Keywords:** Oil spill, SCHISM, X-band radar, Container ship T. S. Taipei, Oil-spill trajectories

**ABSTRACT**

In this study, we propose a two-step strategy for tracking oil-spill trajectories. First, an X-band radar is established to monitor oil spills. Accordingly, we propose a radar image-processing technique for identifying the oil slicks from the nautical radar images. Second, we apply the SCHISM to determine the water surface elevations and currents at the event site and obtain the trajectories of the oil slicks using a Lagrangian particle-tracking method incorporated in the SCHISM. An oil-spill event caused by the container ship T. S. Taipei is used as a case study for testing the capability of the proposed oil-tracking strategy. The SCHISM simulation results for the fouled coastline obtained using the wind data from a nearby data buoy agree quite well with those obtained from field observations. However, the predicted fouled coastline based on the forecasted wind data is unsatisfactory. The reasons for the unsatisfactory prediction are discussed and revealed.

圖 2-1-35 「德翔臺北」貨輪漏油事件研究成果發表在國際海洋污染頂尖期刊「Marine Pollution Bulletin」

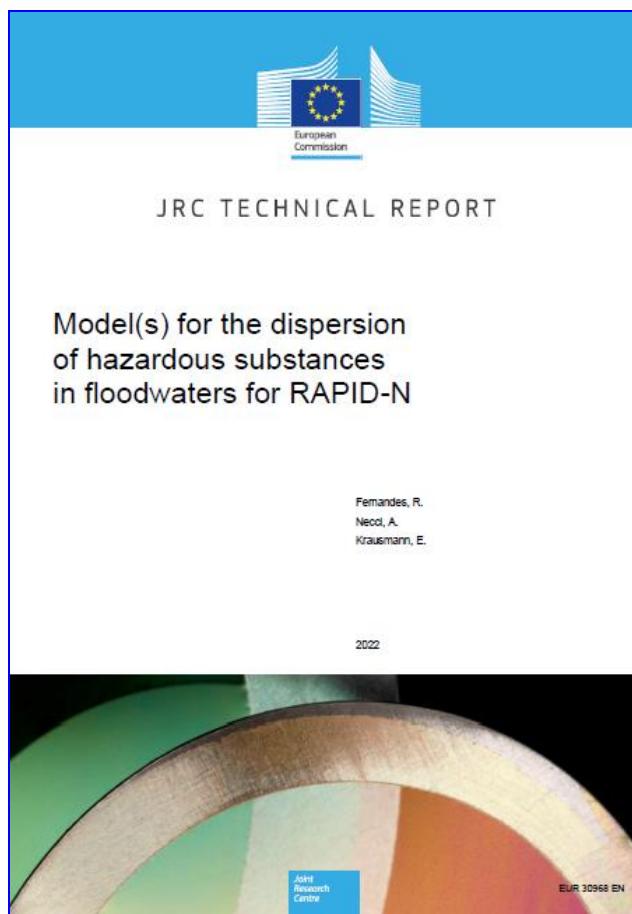


圖 2-1-36 歐盟海洋污染模式技術手冊引用「德翔臺北」貨輪漏油事件研究成果

#### 10.2.16 SCHISM – Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model / Particle tracking module

SCHISM – Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model (Zhang et al., 2016) is an open-source community-supported modelling system based on unstructured grids, designed for seamless simulation of three-dimensional baroclinic circulation across creek-lake-river-estuary-shelf-ocean scales. SCHISM modelling system is a derivative work from the original SELFE model (v3.1dc). SCHISM is developed by VIMS and other developers around the world.

SCHISM uses a semi-implicit finite-element/finite-volume method with the Eulerian-Lagrangian algorithm to solve the Navier-Stokes equations with the hydrostatic and Boussinesq approximations. The horizontal domain is discretized using unstructured grids. The vertical domain can be discretized with sigma coordinates, a hybrid approach combining sigma and z-level coordinates or a LSC<sup>2</sup> grid (Zhang et al., 2015).

SCHISM includes several modules, addressing a wide range of physical and biological processes. Among such modules, the model includes a Lagrangian particle tracking module that can be used to simulate oil spills. The model tracks multiple individual particles. The movement of each particle is governed by advection and diffusion processes, and the random displacement model (RDM) is used to couple the turbulent diffusion effect (Chiu et al., 2018). The advection term involves the effect of current and wind velocities, and the rising velocity of the oil slick due to buoyancy. The module uses decoupled hydrodynamic forcing derived SCHISM circulation model. Regarding the fate processes, the model only considers evaporation. The shoreline retention may also be considered by assuming that a percentage of the particles that reach the land boundary is retained (Chiu et al., 2018).

SCHISM has been successfully applied to oceanic, coastal, intertidal estuarine, river, and lake areas with complex topography and geometry (Chiu et al., 2018). Further information about the oil spill particle tracking model of SCHISM can be found in Chiu et al. (2018) and Jung ([http://ccrm.vims.edu/yinglong/wiki\\_files/Oil\\_spill\\_modeling\\_yunjung.pdf](http://ccrm.vims.edu/yinglong/wiki_files/Oil_spill_modeling_yunjung.pdf), accessed in May 2021). Further details about SCHISM can be found in Zhang et al. (2016).

圖 2-1-37 歐盟海洋污染模式技術手冊介紹「德翔臺北」貨輪漏油事件研究成果

3. 配合應變作業需求或機關指定地點，以單機版油污擴散模擬工具，進行 12 件油污染事件擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則；模擬作業內容，至少須涵蓋油品種類、海流、風與海岸型態等影響，倘有水深應一併納入模擬；產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、溢油特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污可能上岸區域與數量、海岸環境敏感區標示等相關資料。

本項工作會依據前述第 2 項工作之方法，採用單機版油污擴散數值模式 GNOME，並結合中央氣象署氣象海流預報模式 CWA-OCM 以及氣象預報模式 CWA-WRF 與美國氣象署 NCEP 模擬風場等動力來源，配合油污染緊急應變模擬作業需求或機關指定地點，至少進行 12 件油污染事件擴散模擬作業。模擬作業結果會呈現出海象預測海表面海流結果、氣象預測風場結果、溢洩油品特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污染漂流在海面上、抵達岸邊、以及蒸發等數量。另外，本案執行團隊也將油污染擴散模擬結果以 Python 程式語言轉換成 Google Earth 可讀取的 KML(Keyhole Markup Language)檔，緊急應變指揮官可快速透過手機、平板、電腦、筆電等設備，並能在 iOS 與 Android 等不同作業系統開啟，結合海岸環境敏感標示呈現油污染對海洋環境之影響範圍(如圖 3-1-38 所示)，有利緊急應變指揮官快速擬定油污染緊急應變計畫與應變能量之配置，可實質降低油污染對海洋環境的衝擊與影響。

若在計畫執行年度內海保署通報啟動模擬之實際案例或演練數件未達 12 件時，預計執行備案會以執行過去三年(民國 110 年至 112 年)重大案例或假設案例的模擬作業，並將模擬結果呈現在成果報告，以符合計畫工作規定實際案例或演練數件須達 12 件。

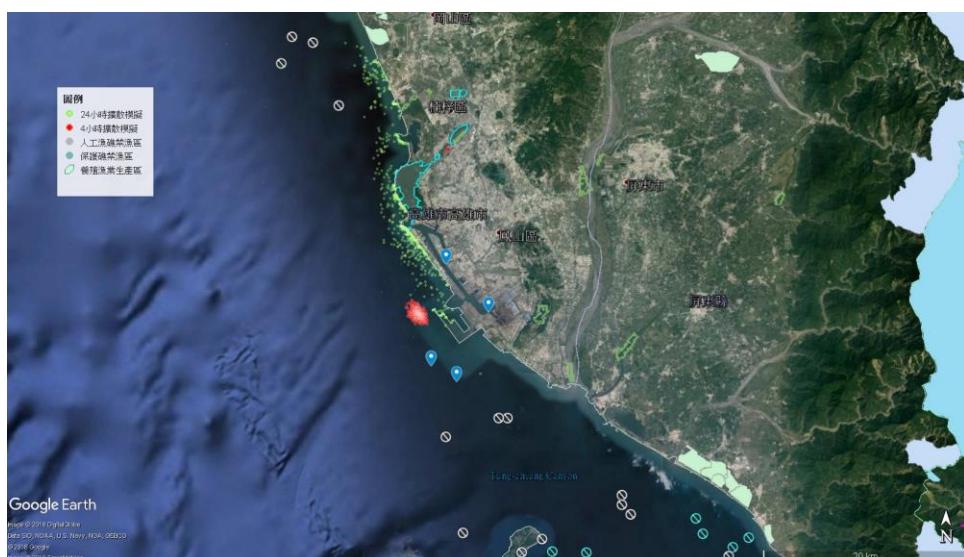


圖 2-1-38 情境模擬 2016 年夏季大林外海 2 號卸油浮筒發生原油溢洩 24 小時後結果

4. 結合跨部會海氣象預報與即時觀測資源，掌握交通部中央氣象局海氣象觀測及預報值資訊，運用於海洋油污擴散模擬作業，並強化其模擬準確性，提升模擬結果於污染應變實務或演練之決策參考性。

本項工作是透過海保署函文申請作業，取得中央氣象局(112 年已改名為中央氣象署，以下簡稱氣象署)海氣象預報值資訊，以及在應變期間持續更新海氣象預報值資訊如風與海流，並向相關單位取得最新的氣象觀測資料，作為油污擴散數值模擬輸入之參考依據。本案執行團隊與氣象署建立海氣象預報值資訊下載的方式，由本案執行團隊建置 Linux 系統的作業電腦，設置特定 IP 位址並自氣象署下載海氣象預報資訊。

若接獲海保署通報需執行海上油污染緊急應變模擬作業，本案執行團隊會先將氣象署氣象預報模式(CWA-WRF)預報之風場資料，進行格式轉換成 GNOME 可輸入的格式，如圖 2-1-39 為高雄大林外海洩油事件在 2021 年 6 月 22 日 02:00 漏油初始時間之 CWA-WRF 預測風場與圖 2-1-40 為 CWA-OCM 預測海流流場，由逐時預測風場與海流流場的變化趨勢，即可進一步推估油污未來漂移方向與擴散範圍。此外，透過區域範圍的海流流場與風場預測結果，亦能提供污染應變實務或演練之決策參考性，如圖 2-1-39 中顯示小琉球附近海域風向約為西南方向，接近高雄外海風向受到陸地影響轉為東南方向，而在屏東縣車城鄉約轉為東方向；而圖 2-1-40 顯示高雄至小琉球附近海域海流流向約為南南東至東南方向，在屏東縣車城鄉外海受到陸地地形影響約轉為東方向。

本案執行團隊亦會蒐集氣象署海象環境資訊平台(如圖 2-1-41 所示)、交通部運輸研究所運輸技術研究中心港灣環境資訊網(如圖 2-1-42 所示)、以及國家海洋研究院 GoOcean 專區(如圖 2-1-43 所示)等跨部會的海氣象預報與即時觀測資訊，作為油污染擴散模擬參數設定之參考依據，以提升油污染模擬結果精度並提供污染應變實務或演練之決策參考性。

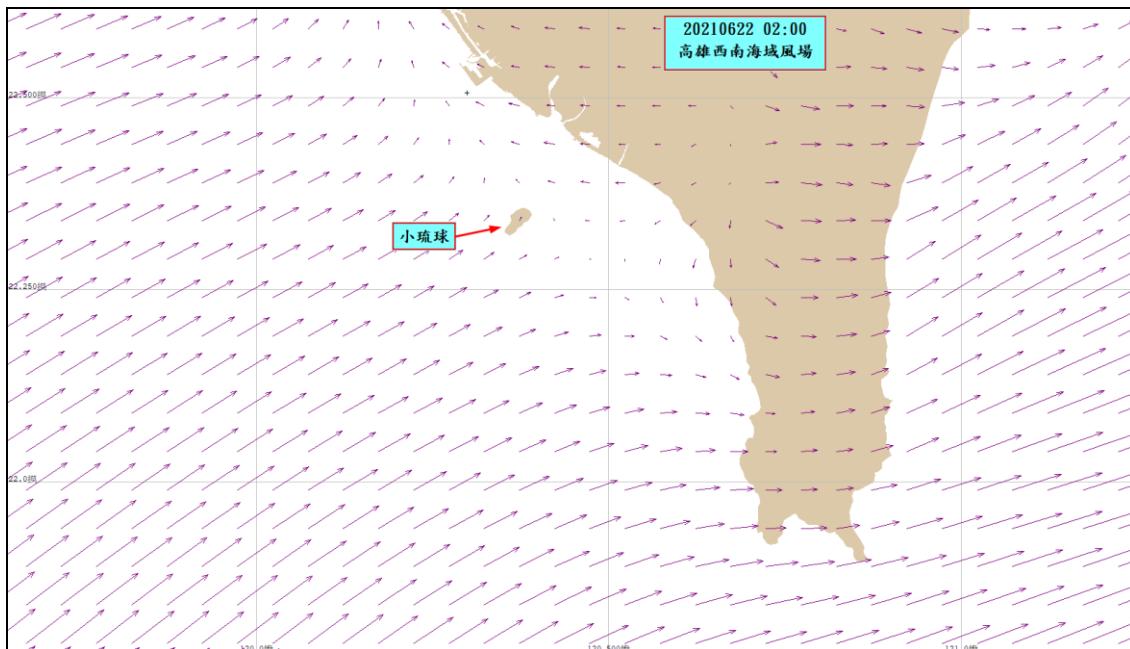


圖 2-1-39 CWA-WRF 預測 6 月 22 日 02:00 風場

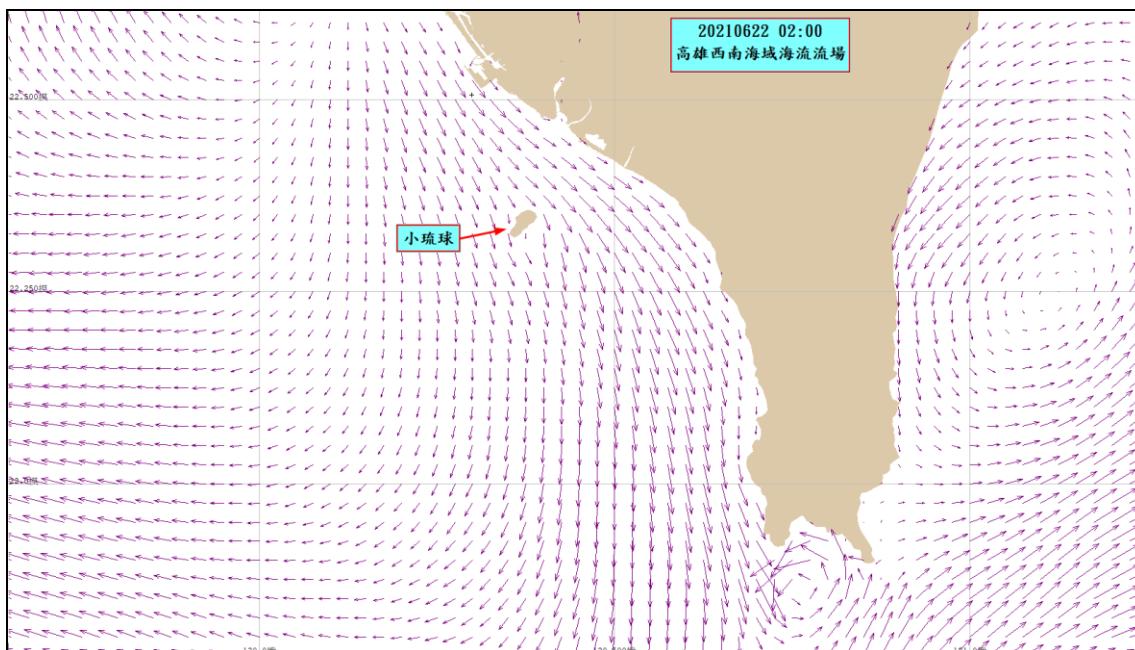


圖 2-1-40 CWA-OCM 預測 6 月 22 日 02:00 海流流場

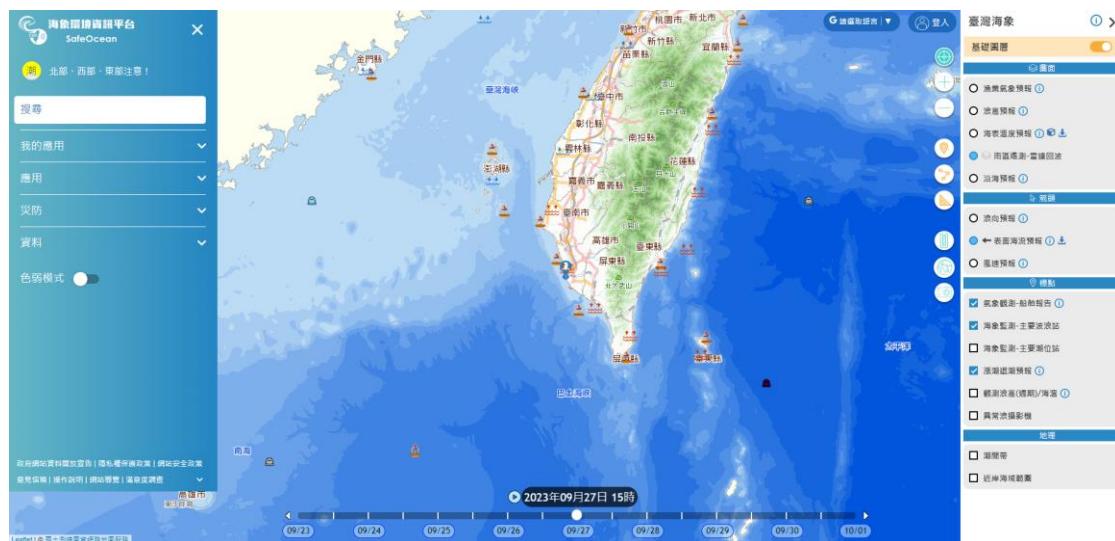


圖 2-1-41 中央氣象署海象環境資訊平台



圖 2-1-42 交通部運輸研究所運輸技術研究中心港灣環境資訊網

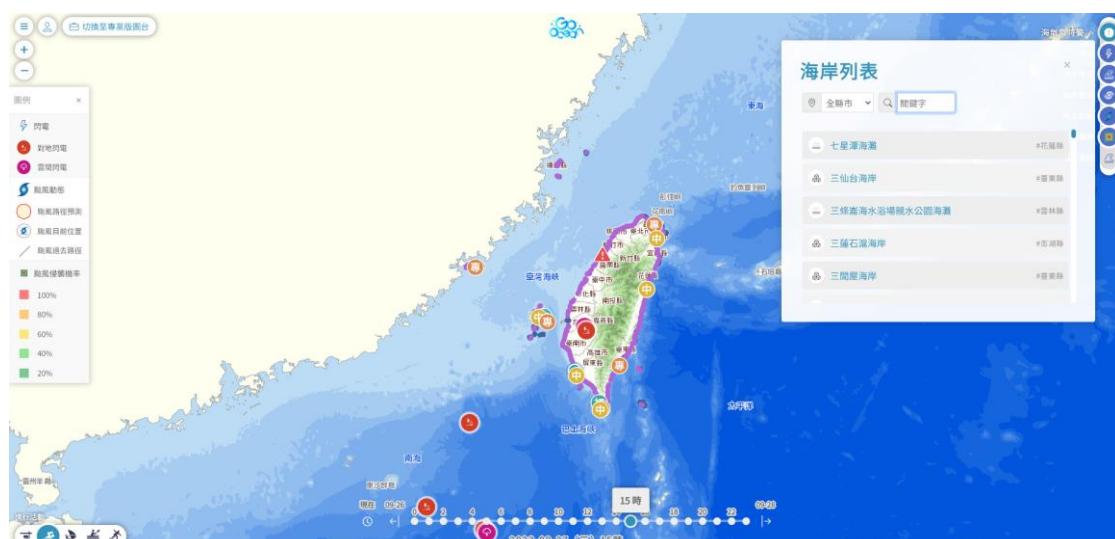


圖 2-1-43 國家海洋研究院 GoOcean 專區

5. 彙整歷年計畫模擬結果，依據氣象因子、油品、區位、油污事件性質等，分析其模式模擬之差異性及限制因子等，並提出完整研析報告，提供各級機關參考。

本項工作會彙整過去三年已發生的油污事件，至少完成一件案例，依據氣象因子、油品、區位、油污事件性質等因素進行評估分析，並探討過去案例模式模擬之差異性及限制因子。情境模擬會依蒐集油污事件期間實測的海氣象觀測資料，並與海氣象數值模擬結果進行比對並探討差異性。據此可應用不同海氣象條件(風與海流)進行情境模擬，並分析油污染對海洋環境及生態的影響。

海洋污染防治法第十條第二項：「為處理重大海洋油污緊急事件，中央主管機關應擬訂海洋油污緊急應變計畫，報請行政院核定之」。針對重大海洋油污緊急事件範圍，依據災害事件發生類別啟動應變作業可分為因「海難」及「非海難」事件導致的海洋污染。海保署「海洋環境管理平台」的子系統「海洋空間整合系統」，可搜尋過去三年(民國 110 年至 112 年)期間曾發生的因「海難」及「非海難」事件導致的海洋污染，如圖 2-1-44 中紅色點為顯示曾發生海洋污染的位置，依據過去三年的紀錄資料得知臺灣四周海域除花蓮縣外，其他縣市都有發生海洋污染事件。表 2-1-3 為依據油外洩數量執行的應變層級進行分類，可分為第一級、第二級、以及第三級等三種層級，各層級的外洩油量可參考表 2-1-3。如因海難事件造成的海洋污染通報，由交通部依據應變層級成立緊急應變中心；而因非海難事件造成的海洋污染通報，由海保署依據應變層級成立緊急應變中心。過去三年因「海難」及「非海難」事件發生的海洋污染通報共有 435 件(如圖 2-1-45 所示)，應變層級含括第一級至第三級，由圖中資料行統計得知第一級發生的海洋污染比例佔過去三年的 91.95%，第二級發生的海洋污染比例佔過去三年的 4.60%，第三級發生的海洋污染比例佔過去三年的 3.45%，由統計結果顯示過去三年以第一級發生的海洋污染通報最多。

過去三年雖有 435 件海洋污染事件的通報，但並不代表有發生真實海洋油污事件。民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林外海發生一件油污洩漏事件，洩漏油量約 50 公秉，但洩漏油品是原油在海面上不易蒸發，且受到海氣象因素影響，導致油污染影響到屏東縣小琉球、國立海洋生物博物館、墾丁國家公園等重要的生態敏感區。有鑑於此，今(113)年度計畫以民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林外海發生油污事件，以 GNOME 模式進行案例模擬與探討，分析油污染對海洋環境及生態的影響。

表 2-1-3 依據油外洩數量執行的應變層級

事件類別	應變層級	洩油類別/洩油量	成立緊急應變中心機關
海難事件/ 非海難事件	第一級	小型外洩/未達一百公噸	交通部/ 海保署
	第二級	中型外洩/達一百至七百公噸	
	第三級	重大外洩/逾七百公噸	

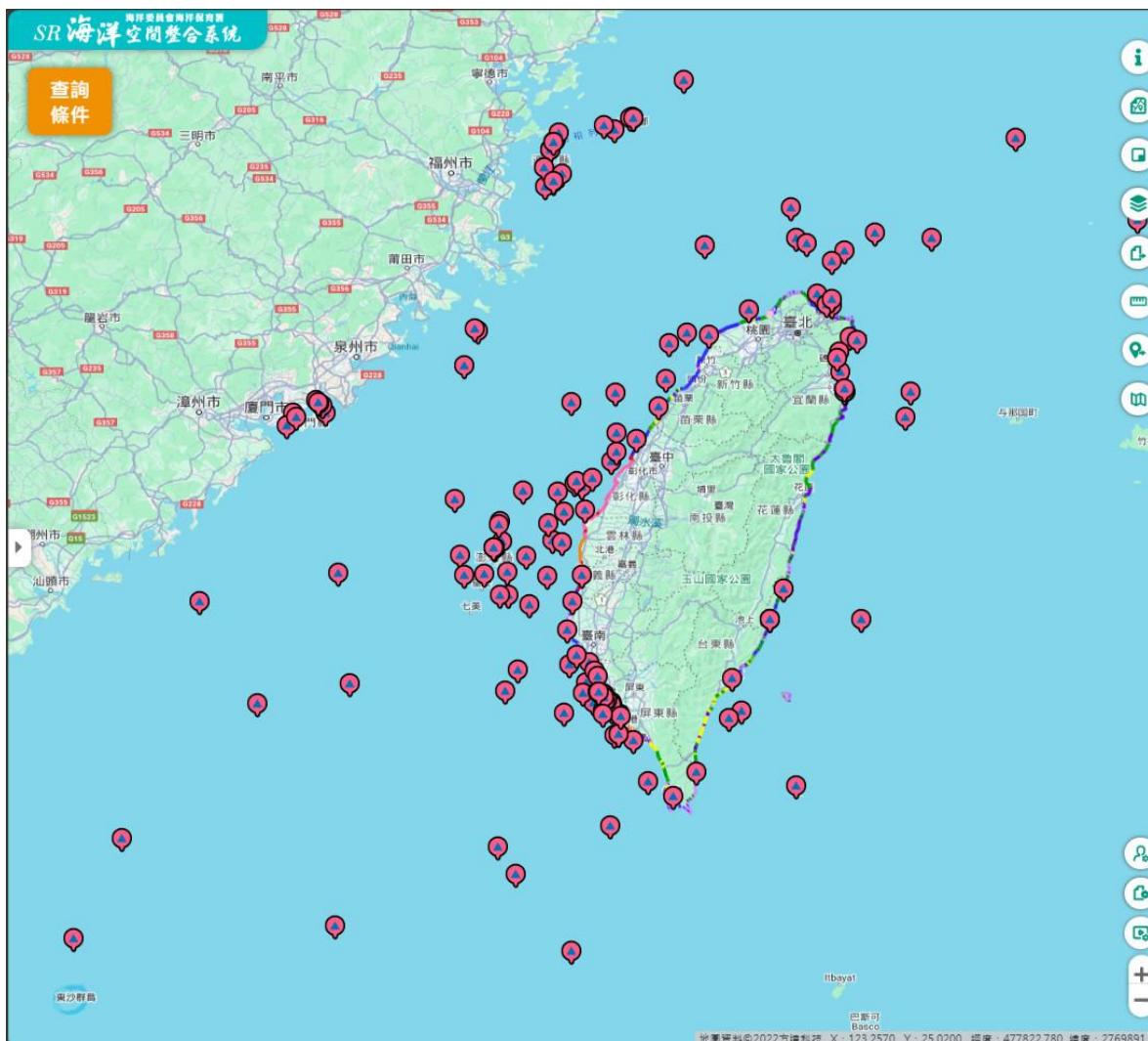


圖 2-1-44 民國 110 年至 112 年臺灣四周海域曾發生的海洋污染事件位置

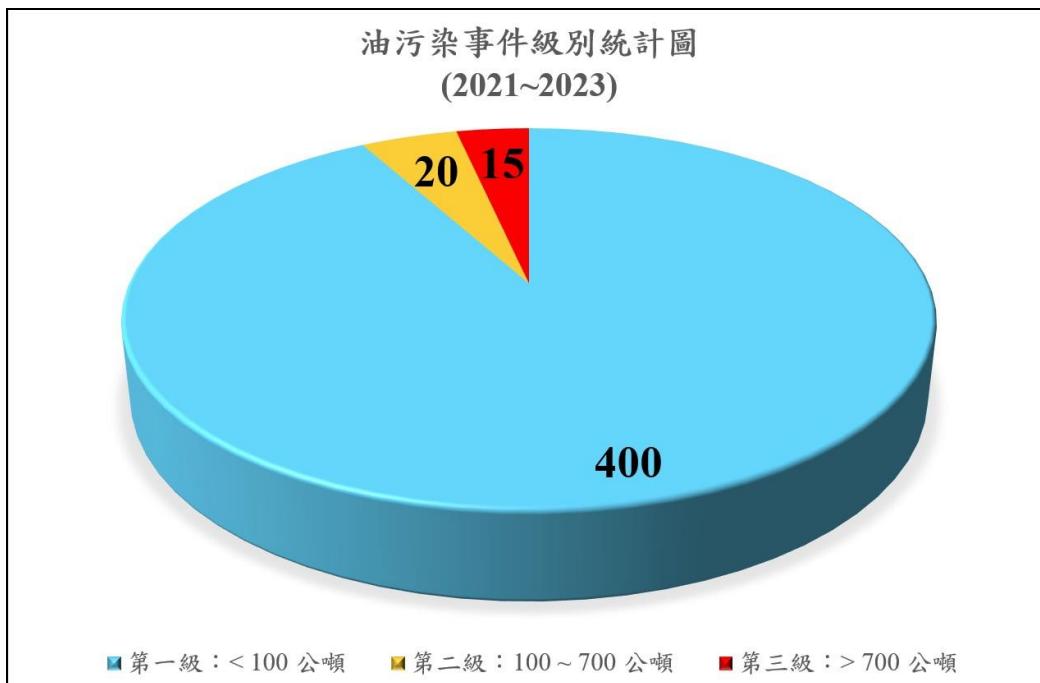


圖 2-1-45 民國 110 年至 112 年海洋污染事件級別統計圖

- 針對含有燃油或潤滑油之模擬案件應於第一套模擬工具完成模擬成果報告後，於 2 小時內提出第二套模擬工具之模擬成果報告。

海流與風是油污染擴散模擬最主要的驅動力，取得可信度高的海流與風之模擬資料，才能提升油污染擴散模擬的精度。本案執行團隊在執行第一套油污染擴散模式 GNOME 進行油污染擴散模擬，預測海流資料採用氣象署海流預報模式 CWA-OCM，預測風場資料則採用氣象署氣象預報模式 CWA-WRF 與美國國家環境預報中心 NCEP 氣象預測模式，提供油污擴散模擬輸入之動力來源。第二套油污染擴散模式則採用 SCHISM 的油污擴散模組 Particle tracking，SCHISM 油污擴散模式在臺灣海域的適用性可參閱 2-1-2 節的說明及驗證。

圖 2-1-46 為油污染緊急應變模擬的流程圖，如接獲海保署啟動緊急應變模擬通知，會先確認溢洩油污的種類、溢洩起始時間、溢洩方式與速率、以及溢洩期間，接續建置油污染擴散模式 GNOME 需要風場與流場，可在 2 小時內完成油污染擴散模擬結果。接續再進行滾動式油污染緊急應變模擬，會依據不同延時的油污染擴散資訊、風場、與流場，亦會在 2 小時內完成油污染擴散模擬結果，提供緊急應變指揮官作為緊急應變計畫擬定與應變能量配置之參考依據。

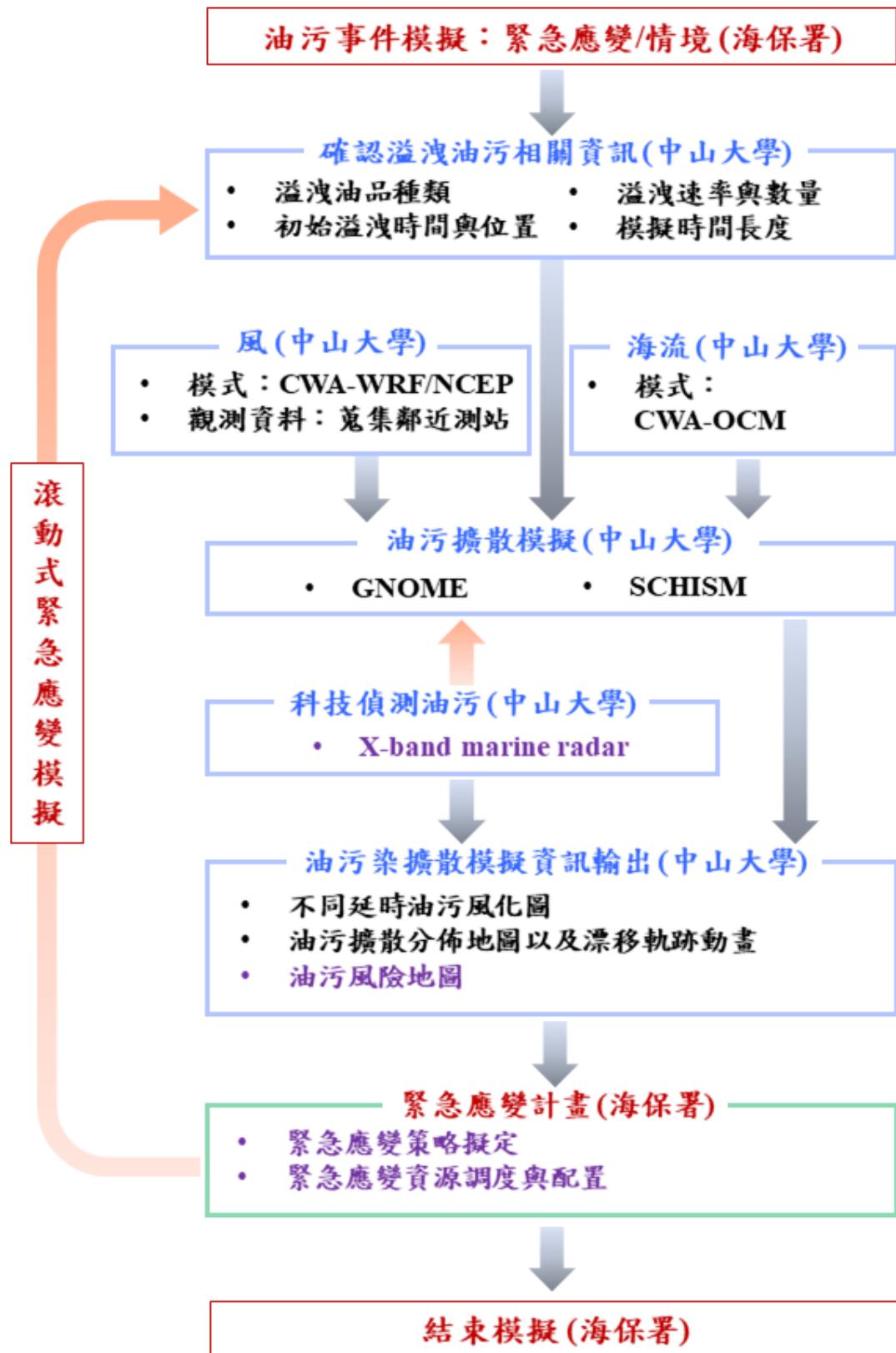


圖 2-1-46 油污染緊急應變模擬流程圖

## 7. 油污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台」。

本項工作會依據海保署「海洋環境管理平台」(如圖 2-1-47 所示)的格式要求，將油污染緊急應變模擬成果彙整至「海洋環境管理平台」。

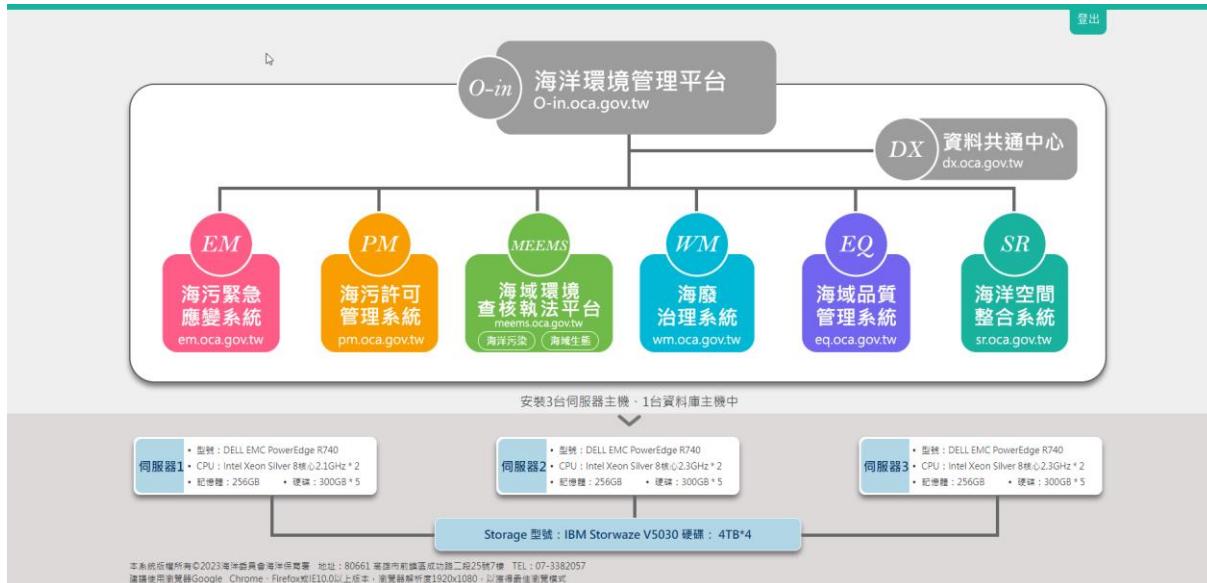


圖 2-1-47 海保署「海洋環境管理平台」

## 2-2 辦理海洋化學品污染擴散模擬

本服務項目與工作內容分別有 6 項，以下即依據 6 項工作表說明各項的工作方法。

1. 依每一化學品污染擴散模擬案例填列海洋化學品污染事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。

本計畫執行期間如發生海洋化學品污染事件，將依據海洋通報及結束模擬資訊確認單內容。以民國 94 年 10 月 10 日在新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品事件為例(如表 2-2-1 示)，如發生海洋化學品與海保署確認海洋化學品污染通報時間、溢洩漏油品種類及數量、事件發生地點與時間後，隨即啟動化學品污染擴散緊急應變模擬作業，並經計畫主持人審核後，藉由電話、行動應用程式、或電子郵件等方式提供包含化學品溢洩位置、模擬參數設定、參考之海氣象條件、以及化學品擴散模擬結果與化學品污染風險地圖，並將模擬結果簡述回報化學品污染緊急應變指揮官，作為擬訂海洋化學品污染緊急應變計畫與應變能量配置之參考依據。

表 2-2-1 海洋化學品污染事件通報及結束模擬資訊確認單

通報時間	94 年 10 月 10 日 10 時 00 分		
事件名稱	新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品事件		
通報污染物	苯		
污染物數量	100 公噸		
事件地點(座標)	北緯： 24 度 59 分 0.0 秒 東經： 120 度 49 分 0.0 秒		
通報資訊是否完整	<input checked="" type="checkbox"/> 是，開始模擬時間 94 年 10 月 10 日 10 時 20 分		
	<input type="checkbox"/> 否，缺少 更新資訊時間 _____ 更新資訊 _____		
初報時間	94 年 10 月 10 日 11 時 55 分		
符合工作規定 (2 小時內完成初報)	<input checked="" type="checkbox"/> 符合		
	<input type="checkbox"/> 未符合，原因說明 _____		
通報結束應變時間	94 年 10 月 10 日 12 時 30 分		
應變成果	共提送 1 份模擬報告 累計 1 天次應變		
承辦人查核及簽章	<input type="checkbox"/> 符合	<input type="checkbox"/> 未符合	簽章
科長複核及簽章	<input type="checkbox"/> 符合	<input type="checkbox"/> 未符合	簽章

2. 於計畫執行期間 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋化學品污染通報後 2 小時內，製作初步化學品污染擴散模擬報告；並於 24 小時內、依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之化學品污染擴散模擬報告，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。

CHEMMAP 是美國 RPS 公司發展一套預測各種化學物在水中洩漏後的三維運動軌跡、宿命演變、以及其對生物影響的電腦數值模式，CHEMMAP 化學品宿命模式可模擬推算化學物質在水面、海岸線、水團、以及在沉積物中的分布情況(以質量和濃度表示)。CHEMMAP 也能分別追蹤海表面薄膜、進入水中之液滴或顆粒型態的純化學物質、吸附(adsorbed)在懸浮顆粒上的化學物質，以及溶解的(dissolved)化學物質。模擬的過程包括擴散(spreading)、傳輸(transport)、分散(dispersion)、蒸發-揮發(evaporation-volatilization)、進入水中(entrainment)、溶解(dissolution)、分配(partitioning)、沉降(sedimentation)和降解(degradation)。另外，CHEMMAP 可模擬純化學品、在親水性或疏水性溶液中的化學品或乳狀液中的化學品（即懸浮在水中的顆粒物混合物）的溢洩情況。CHEMMAP 三維化學品宿命模式可演算以下狀態在空間與時間演變的情況，

(1). 水表面

- a. 水表面化學品覆蓋的區域。
- b. 水表面化學品的影響範圍與厚度。

(2). 水團中

- a. 總濃度。
- b. 純化學液滴或顆粒濃度。
- c. 溶解濃度。
- d. 懸浮沉積物吸附濃度。

(3). 沉積物

- a. 總濃度。
- b. 單位面積的純化學液滴或顆粒質量。
- c. 溶解濃度。

d. 沉積物吸附濃度。

(4). 海岸線

a. 污染的面積和長度。

b. 單位面積質量。

(5). 逸散大氣中

a. 化學品質量揮發到大氣中。

b. 海表面上空氣層濃度。

化學品洩漏初始質量狀態會與洩漏的地點與深度、以及洩漏化學品的物理化學性質有關。如果化學物質在水中是屬於高度溶解，化學質量變化在水團中將呈現溶解狀態。如果化學物質是不溶性液體或氣體，則在水團中質量變化會以二種方式呈現，第一為密度小於或等於水的化學品且洩漏發生在水面或水面以上，在表面薄膜中初始化材料。否則，溢出的質量將在水柱中以溶解化學物質體積定的定義與深度進行初始化。一旦發生溶解，水團中的化學物質會分解為部分吸附在懸浮沉積物顆粒上和部分溶解。假定這些狀態之間的分配是恆定比例的(基於線性平衡理論，使用來自化學數據庫的 Koc)。以顆粒形式溢出的固體會溶解，然後在水柱中使用平衡分配理論在溶解和顆粒之間進行分配。

另外，海上化學和有害物質排放會對環境和人類健康產生潛在的影響，為了評估這些污染造成的後果，需要蒐集釋放材料的數量和特性以及空間和定量等資訊。美國 RPS 公司開發 CHEMMAP 可在個人電腦執行的化學品擴散模擬和決策支援系統，以下列出 CHEMMAP 模式的功能以及可協助解決的相關問題：

(1).化學物質釋放後走向及擴散速度。

(2).化學物質釋放後，推估與預測水和沈積物中的濃度時序列。

(3).受事故影響的特定地點，需注意化學物質濃度是否會超過關注閾值。

(4).針對人類、野生動物和生物在水和沈積物中的潛在暴露影響程度，包含化學品溢漏模型與應變軟體系統，在總體功能與技術功能要求如下：

● 總體功能要求

a. 系統可為評估化學品溢漏後化學品的三維運動軌跡、歸宿等提供詳細

預測；

- b. 軟體應理論基礎清晰，專業程度高；
- c. 可用於評估已發生化學品溢漏事故對自然資源的影響；
- d. 可用於對重要資源的風險性評估；
- e. 可對點源化學品排放進行評估；
- f. 可用於突發性事件應急預案研究；
- g. 軟體適用於世界各地，並已被全世界多國廣泛使用；
- h. 友善的軟體操作界面，有詳細的輔助說明文件；軟體亦有用戶使用手冊；
- i. 軟體可相容海圖與網路地圖；
- j. 軟體供應商應提供專門的軟體應用培訓，有一年的技術支持服務；
- k. 軟體應有清晰的數據結構定義，包含人性化軟體包、模組式結構，方便用戶根據需要購買所需要的模組；

● 技術規格要求

- a. 系統可結合地理資訊系統數據和即時風場、水動力數據模擬化學品溢漏後的三維動向；
- b. 有詳細的化學品物理化學參數資料庫，並可連接化學品安全技術說明書（MSDS）；
- c. 模擬化學品在水面的傳輸、擴散、和溶於水中的情況；
- d. 模擬化學品向大氣的蒸發和揮發；
- e. 模擬溶解態和顆粒態化學品在水中和大氣中的傳輸和擴散；
- f. 模擬化學品在懸浮沉積物上的吸附和溶解；
- g. 模擬化學品的沉澱和再懸浮；
- h. 模擬化學品的自然降解；
- i. 模擬化學品在岸線的吸附；
- j. 模擬結果化學品的水錶面分布和水中濃度可以直觀展示並容易解讀；

- k. 能評估溢油對魚類、貝類、野生動物及各種棲息地的影響；
- l. 有特定區域的環境生物數據可用於世界各地的淡水或鹹水水環境；
- m. 模擬結果能呈現三維可視化的視窗(如圖 2-2-1 所示)。

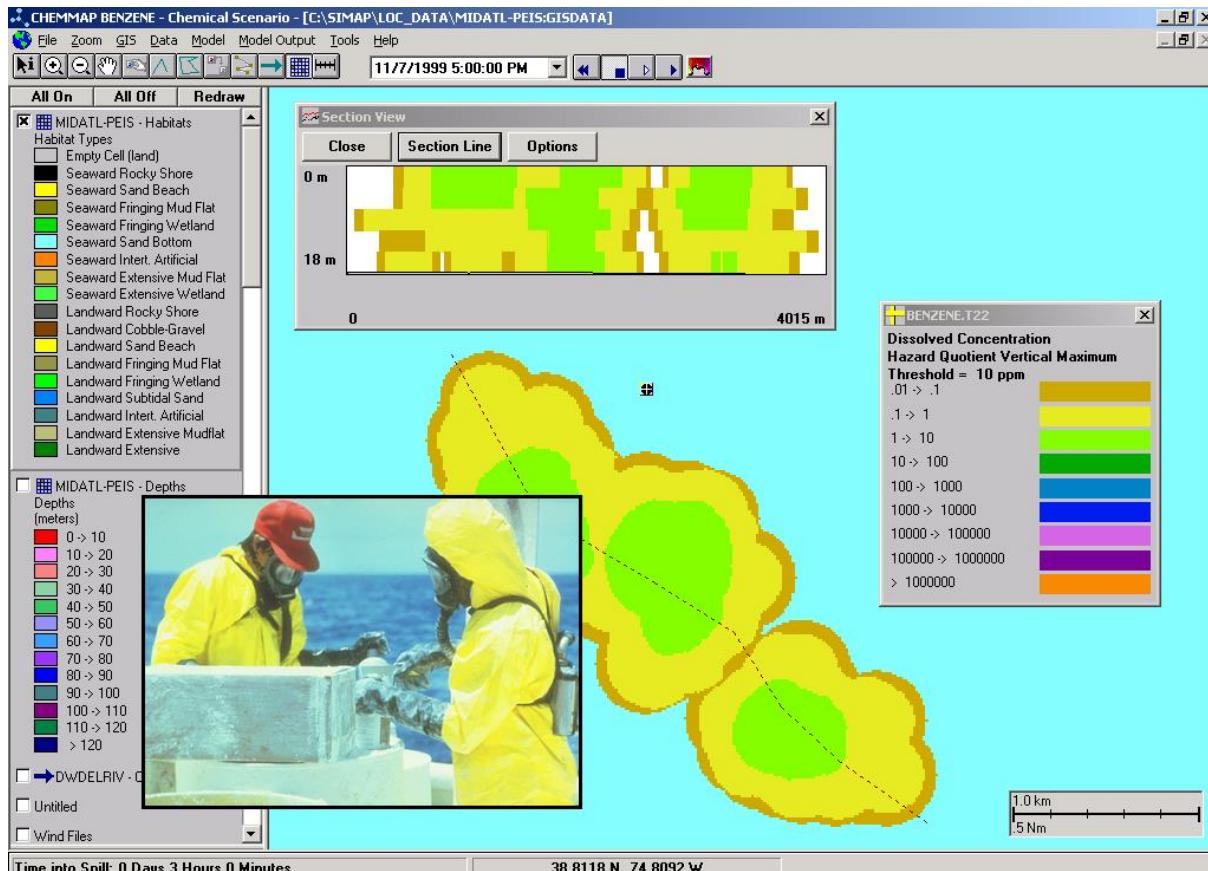


圖 2-2-1 CHEMMAP 模擬結果可呈現三維可視化的視窗

圖 2-2-2 為 CHEMMAP 軟體模擬苯(benzene)在海面上瞬間溢漏的情況，由圖中顯示模擬苯在溢漏 40 小時後在海水中擴散的情況，圖中左下方為顯示苯溶解在海水中影響的範圍，不同的顏色代表不同的濃度；圖中右上方則顯示不同顏色代表的濃度，其濃度範圍在  $1 \text{ mg/m}^3$  至  $10,000 \text{ mg/m}^3$ ；圖中左上方為顯示隨著時間苯在到達水面上(surface)、進入水中(water column)、到達岸邊(ashore)、蒸發(evaporated)、衰減(decayed)、沉澱(sediment)以及被清除(cleaned)等之數量(質量平衡變化)的情況。

圖 2-2-3 為 CHEMMAP 軟體模擬醋酸乙烯酯(vinyl acetate)在海面上溢漏的情況，由圖中顯示醋酸乙烯酯在溢漏 3 小時 20 分後，溢漏面積為  $230 \text{ m} \times 1,818 \text{ m}$ ，而圖 2-2-4 顯示為隨著時間醋酸乙烯酯變化在海水中蒸發及溶解(dissolved)的體積，由模擬結果得知，醋酸乙烯酯蒸發約有  $26 \text{ m}^3$ ，在海水中溶解約有  $4 \text{ m}^3$ 。

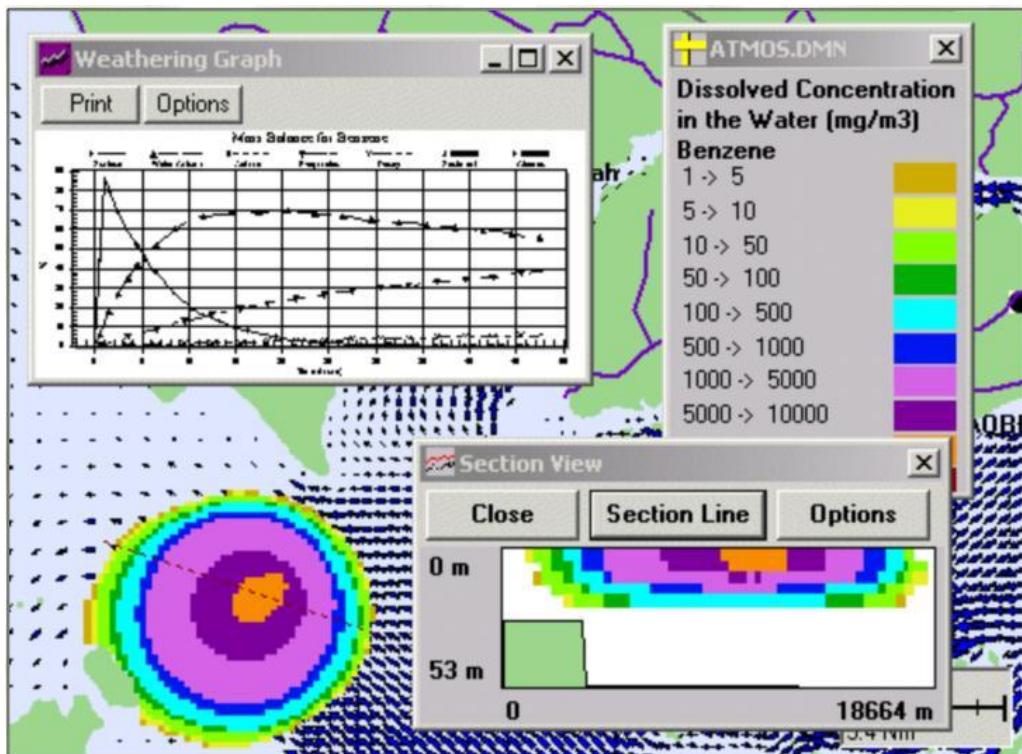


圖 2-2-2 CHEMMAP 軟體模擬苯在海面上瞬間溢漏 10,000 噸的情況

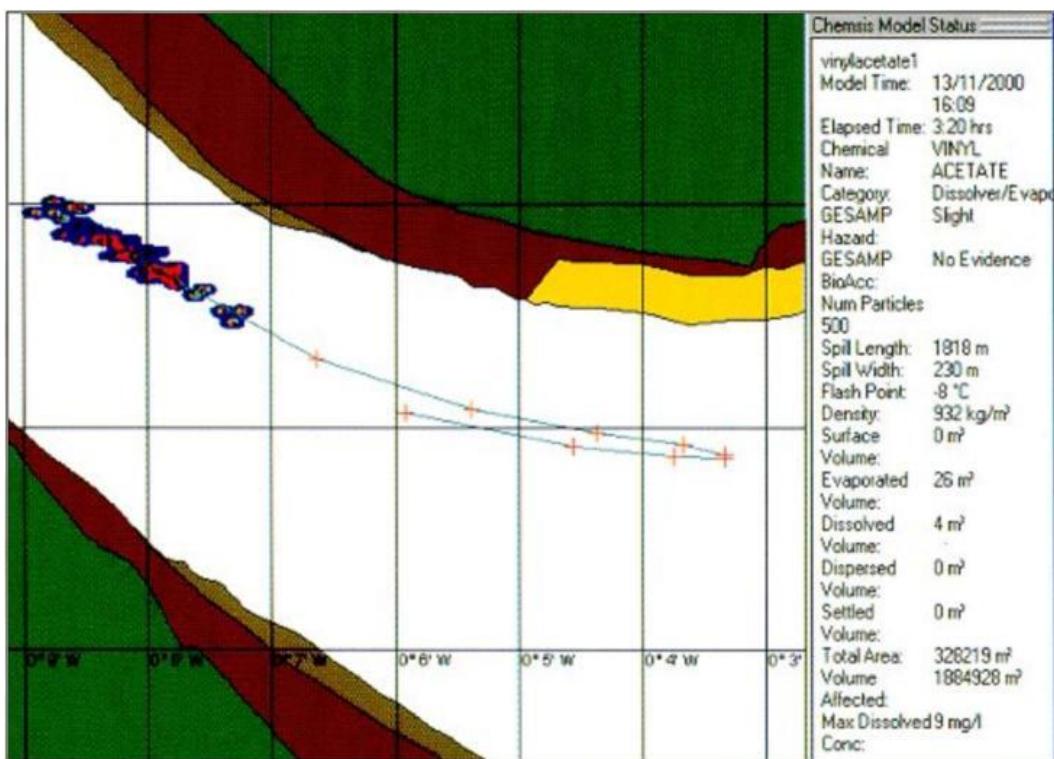


圖 2-2-3 CHEMMAP 軟體模擬醋酸乙烯酯於海面上溢漏的情況

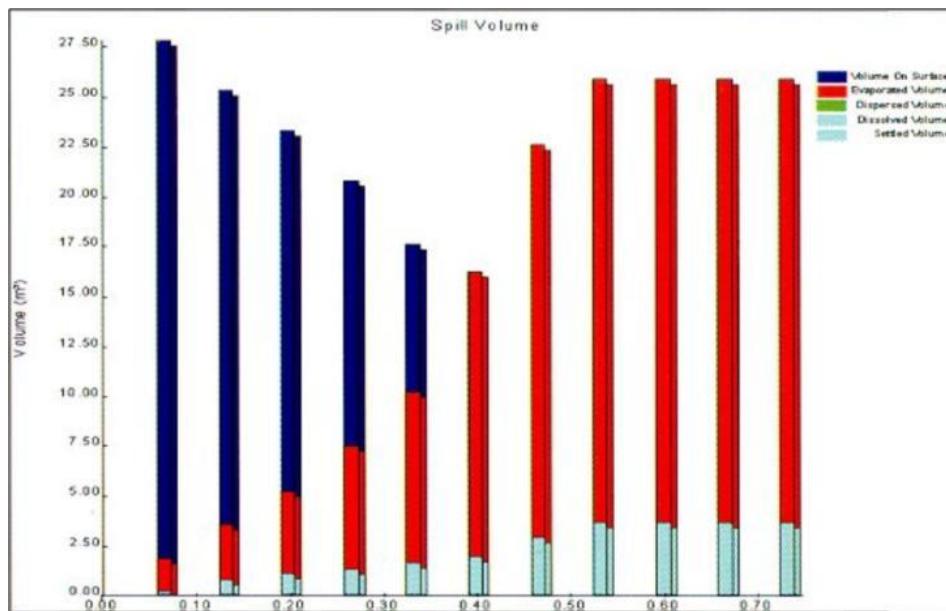


圖 2-2-4 醋酸乙烯酯隨著時間變化在海水中蒸發及溶解的體積

依據海保署海洋重大污染緊急應變系統網站過去曾通報發布的海洋化學品污染事件中，於 2005 年 10 月 10 日凌晨韓國籍三湖兄弟號(Samho Brother)化學輪由韓國航向高雄港，裝載液體苯(Benzene)，航經北緯 24 度 58 分、東經 120 度 48 分，即桃園縣柯殼港外海處，疑似被德翔香港貨櫃輪(T.S.HONG KONG)由船尾追撞破損至傾斜，船員經海巡隊安全獲救上岸，於 10 時發現船體翻覆，船艙內之化學品貨物及油料恐有卸漏污染海域情況發生。本案執行團隊嘗試利用 CHEMMAP 化學品污染擴散預測模式模擬此案列，以瞭解苯在海水表面擴散的情況。由環保署-毒性化學物質災害查詢系統，可得知苯的基本資料，表 2-2-2 為苯危害辨識資料，由表中可瞭解苯的物品危害分類、象徵符號、警示語、危害警示訊息、危害防範措施等項目，詳細內容如表中所示。而苯對人體的危害分別有三項：

- (1).抑制中樞神經系統。
- (2).急性中毒症狀：在誤食之後可能會有口腔黏膜、食道及胃部的燒灼感，也會有噁心、嘔吐、心跳加快、嗜睡、步履蹣跚、意識不清、瞻忘、化學性肺炎、蒼白、臉紅、呼吸困難、胸部緊縮、頭痛、無力、頭暈、興奮、疲勞、昏迷及死亡；吸入到低濃度的蒸氣會有急性中毒的症狀，主要是由於包括一開始的頭暈、心跳加快、頭痛、顫抖、混亂、意識不清、高濃度時造成抽筋、接著麻痺、心律不整、呼吸衰竭及死亡；皮膚接觸會造成紅疹及灼傷，更嚴重者會有水腫甚至起水泡等現象。
- (3).危害效應：長期暴露會造成貧血、血癌之情況，空氣濃度若達 3,000 ppm 以

上則會造成中毒甚至死亡。

由上述資料得知，苯對人體的危害性非常大。以下即以民國 94 年 10 月 10 日在新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品苯事件，以 CHEMMAP 進行模擬並探討苯對新竹海洋環境的影響。表 2-2-3 為新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品事件摘要記錄通報表，由表中資料可知，三湖兄弟號化學輪裝載約 3,000 公噸的苯，雖船已沉沒至新竹南寮漁港外距岸 9 海浬處，船內的苯並未洩漏出來，現場空氣中並未測到苯，海水中苯濃度則需化驗分析。執行單位即利用 CHEMMAP 模擬此案例如果不幸發生洩漏苯在海水中擴散的情況。表 2-2-4 為新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品模擬參數設定，表中初始溢(洩)漏時間為 2008/10/10 10:00，地點為  $24^{\circ} 59' 0.00''$  N 與  $120^{\circ} 49' 0.00''$  E，苯溢(洩)量約 100 噸，持續溢出時間為 4 小時，模擬時間為 48 小時，當時水溫採用新竹浮標站為  $27^{\circ}\text{C}$ ，風場採用新竹浮標站風場資料(風向為東北方向，風速 9.0 m/s)，流場利用 HydroMAP 產生的潮流，化學品擴散模擬計算區域為  $24^{\circ} 23' 22''$  N 至  $25^{\circ} 07' 37''$  N 與  $120^{\circ} 22' 07''$  E 至  $121^{\circ} 07' 51''$  E，計算網格數為 200\*200，網格間距為 385m\*410m。

由模擬結果顯示，圖 2-2-5 為苯溶解於海水中的變化情況，在化學品溢(洩)發生 4 小時後，受到東北季風影響，溶解於海水中苯往西南方向逐漸擴散；化學品溢(洩)發生 12 小時後，持續受到東北季風影響，溶解於海水中的苯仍往西南方向擴散；化學品洩漏發生 24 小時後，仍受到東北季風影響，溶解於海水中的苯持續往西南方向逐漸擴散，已漂移至苗栗縣北部的外海；化學品洩漏發生 48 小時後，溶解於海水中的苯往西南方向擴散，已到達苗栗縣中部的外海。

圖 2-2-6 為苯揮發至大氣中的變化情況，在化學品洩漏發生 4 小時後，受到東北季風影響，苯往西南方向揮發至大氣中，分布在新竹縣的外海；化學品洩漏發生 12 小時後，持續受到東北季風影響，苯仍往西南方向揮發至大氣中，到達新竹縣南部的外海；化學品洩漏發生 24 小時後，苯依舊往西南方向揮發至大氣中，到達苗栗縣北部的外海；化學品洩漏發生 48 小時後，苯揮發至大氣中的量極小，因此無苯的蹤跡。

圖 2-2-7 為苯隨時間變化之質量平衡，由圖中顯示，化學品洩漏發生 48 小時後，苯溶解於水中(64.6%)及揮發至大氣中(33.8%)的百分比較多，衰減(1.5%)的百分比非常小，海水表面、黏附在岸邊、沉澱、以及被清除的百分比皆為 0.0%。

表 2-2-2 芬危害辨識資料

<b>物品危害分類：</b>	1.易燃液體第 2 級 2.急毒性物質第 4 級（吞食） 3.腐蝕／刺激皮膚物質第 2 級 4.嚴重損傷／刺激眼睛物質第 2 級 5.生殖細胞致突變性物質第 1 級 6.致癌物質第 1 級 7.生殖毒性物質第 2 級 8.特定標的器官系統毒性物質～重複暴露第 1 級 9.水環境之危害物質（急毒性）第 3 級 10.吸入性危害物質第 1 級 11.特定標的器官系統毒性物質—單一暴露第 1 級
<b>象徵符號：</b>	
<b>警 示 語：</b>	<b>危險</b>
<b>危害警示訊息：</b>	<p><b>第一類毒性化學物質：</b>化學物質在環境中不易分解或因生物蓄積、生物濃縮、生物轉化等作用，致污染環境或危害人體健康者。</p> <p><b>第二類毒性化學物質：</b>化學物質有致腫瘤、生育能力受損、畸胎、遺傳因子突變或其他慢性疾病等作用者。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1.高度易燃液體和蒸氣</li> <li>2.吞食有害</li> <li>3.造成皮膚刺激</li> <li>4.造成眼睛刺激</li> <li>5.可能造成遺傳性缺陷</li> <li>6.可能致癌</li> <li>7.懷疑對生育能力或胎兒造成傷害</li> <li>8.長期暴露會損害神經系統</li> <li>9.對水生生物有害</li> <li>10.如果吞食並進入呼吸道可能致命</li> <li>11.會對器官造成傷害</li> </ul>
<b>危害防範措施：</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.避免釋放至環境中</li> <li>2.置容器於通風良好的地方</li> <li>3.遠離火源—禁止吸菸</li> <li>4.避免暴露於此物質—需經特殊指示使用</li> <li>5.勿倒入排水溝</li> <li>6.緊蓋容器</li> <li>7.衣服一經污染，立即脫掉</li> <li>8.若與眼睛接觸，立刻以大量的水洗滌後洽詢醫療</li> </ul>

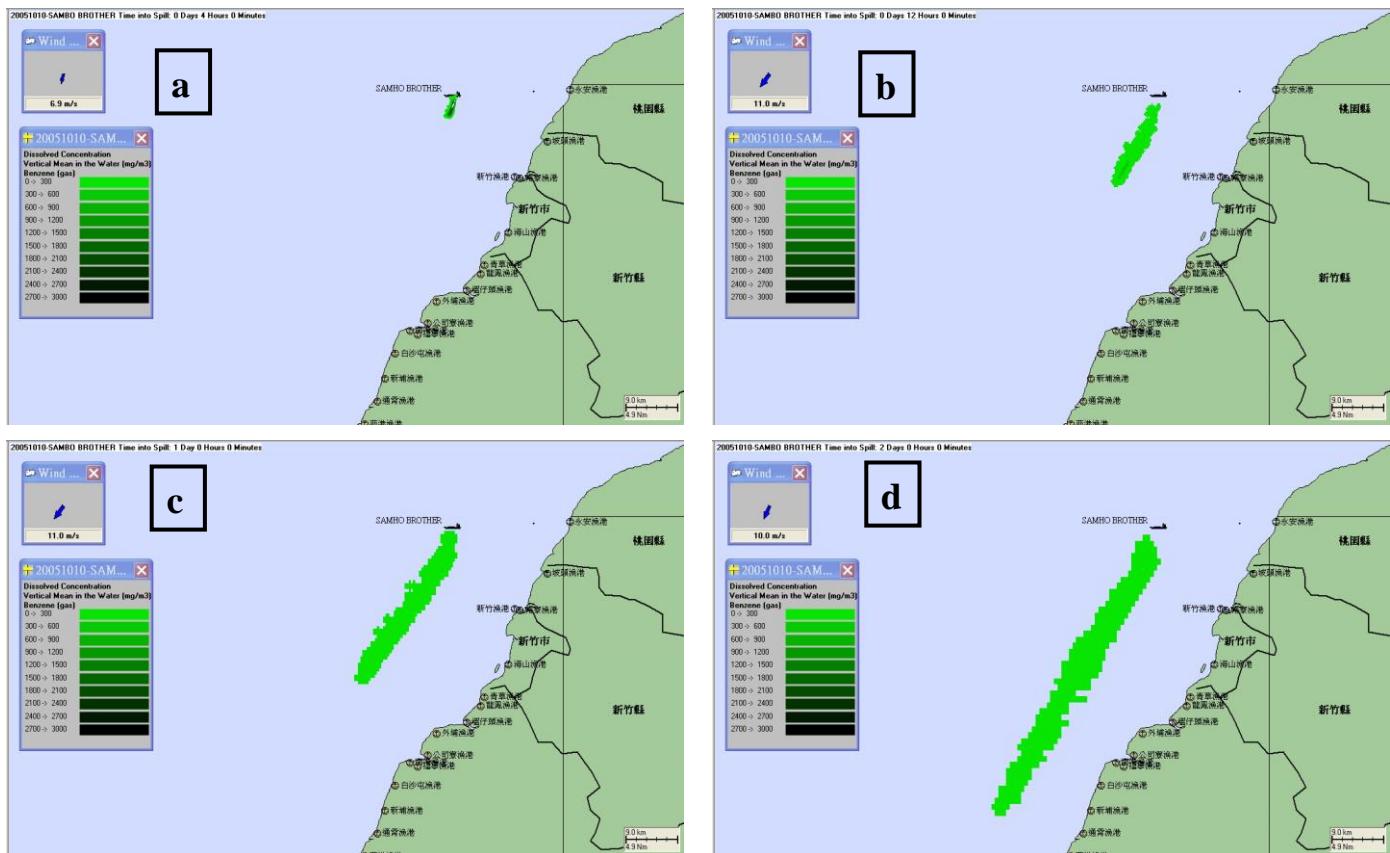
資料來源：環境部毒性化學物質列管編號：052-01(芬)

表 2-2-3 新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品事件摘要記錄通報表

發生時間 (年/月/日)	發生 地點	事故 單位	事件摘要	化學品 名稱	化學品 總量	備註
2005/10/10	新竹 南寮漁 港外海 9 浬處	南韓 籍	<p>2005/10/10 零晨 三湖兄弟號(Samho Brother)化學輪於新竹南寮漁港外海翻覆，船上裝有 300 公噸的苯(BENZENE)，船員經海巡隊安全獲救上岸。</p> <p>2005/10/10 10:00 台中港務局發現船體翻覆，船艙內之貨物及油料恐有卸漏污染海域情況發生，應盡速防範之。</p> <p>2005/10/11 台中港務局派員及備妥吸油棉條等，先租用南寮漁港當地大型漁筏巡視翻覆船體，如有洩漏海面之浮油先行吸除及控制。</p> <p>2005/10/27 經國防部處理後，因船體外殼經炸壞破損後海水持續進入。</p> <p>2005/10/30 環保署商請空中勤務總隊進行 2 次空中勘查後，發現船體已沒入海中。</p> <p>2005/11/02 零晨海洋大學海研 2 號研究船趕赴沉船附近進行探測船體及進行海水、空氣監測，並進行漁業資源調查。經探測結果發現船體倒臥於原沉船位置，約在新竹南寮漁港外距岸 9 浬處，現場空氣中並未測到「苯」，海水中苯濃度則需化驗分析，但現場發現約有 2-3 浬長 15 公尺寬油污，已通知船東代表儘速完成除油作業。</p>	苯	3,000 噸	

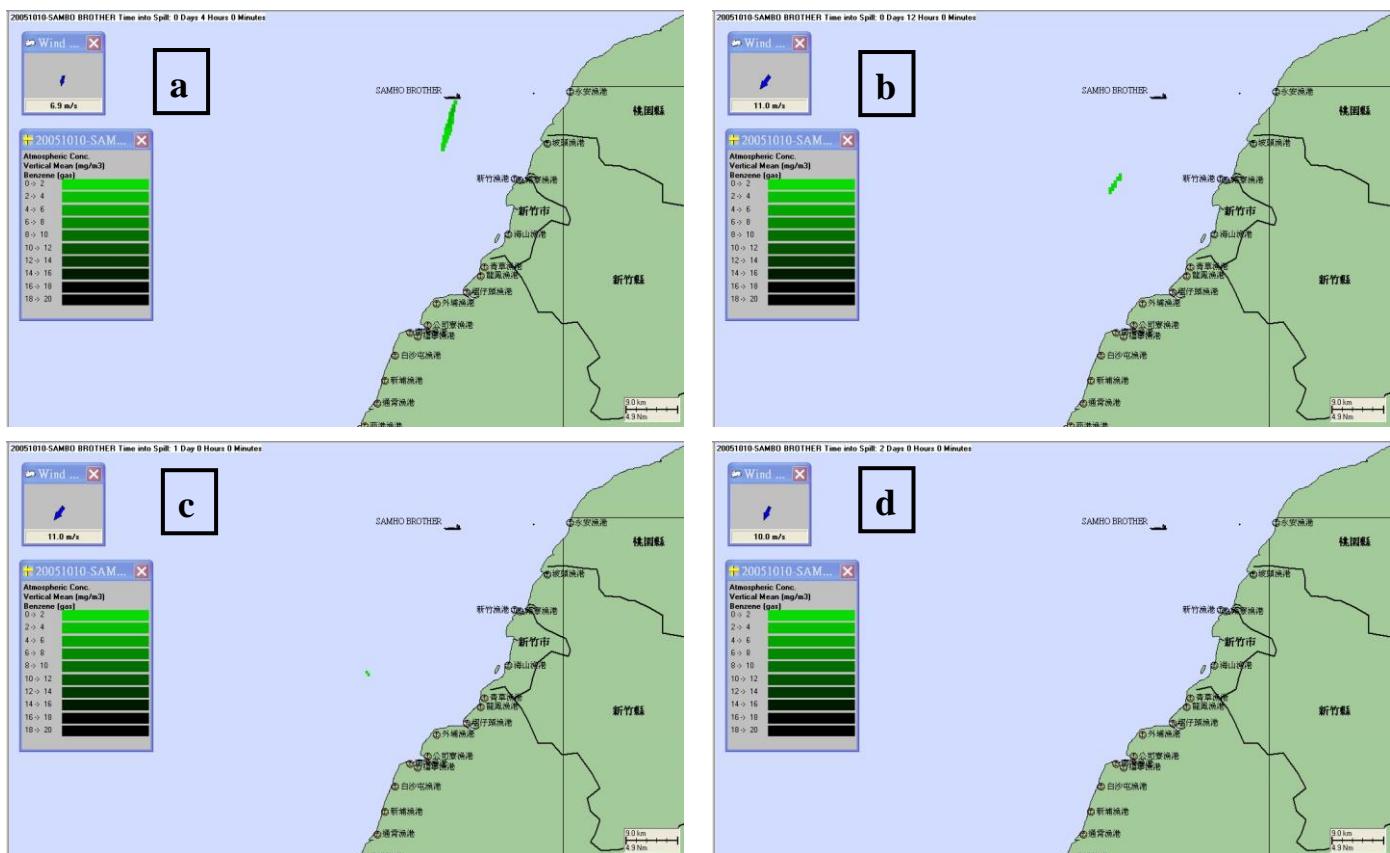
表 2-2-4 新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪溢(洩)化學品模擬參數設定

化學品溢(洩)狀況	模擬參數設定	備註
<p>事件名稱：新竹外海韓國籍三湖兄弟號 化學輪溢(洩)化學品事件 發生時間（年/月/日）：2005/10/10 發生地點：新竹南寮漁港外距岸 9 浬處 事故單位：韓國籍 化學品名稱：苯 化學品溢(洩)總量：100 公噸</p>	<p>開始溢油時間：2008/10/10 10:00 地點：Latitude : <math>24^{\circ} 59' 0.00' N</math> Longitude : <math>120^{\circ} 49' 0.00'' E</math> 溢(洩)量：100 噸 化學品：Benzene 化學品持續溢出時間：4 小時 模擬時間：48 小時 水溫：27 °C 風場：新竹浮標站風場資料(風向為東 北方向，風速為 9.0m/s) 流場：利用 HydroMAP 產生的潮流 化學品溢(洩)模擬計算區域： <math>24^{\circ} 23' 22'' N</math> 至 <math>25^{\circ} 07' 37'' N</math> <math>120^{\circ} 22' 07'' E</math> 至 <math>121^{\circ} 07' 51'' E</math> 計算網格數：200*200 網格間距：385 m*410m</p>	



(a) 發生 4 小時後 (b) 發生 12 小時後 (c) 發生 24 小時後 (d) 發生 48 小時後

圖 2-2-5 莎溶解於海水中的變化情況



(a) 發生 4 小時後 (b) 發生 12 小時後 (c) 發生 24 小時後 (d) 發生 48 小時後

圖 2-2-6 芬揮發至大氣中的變化情況

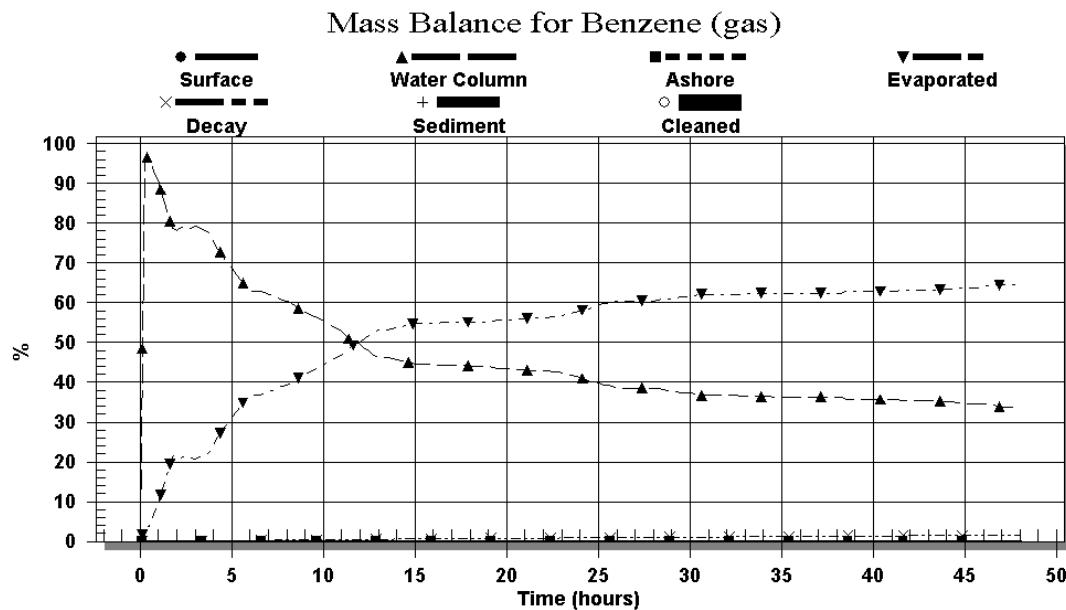


圖 2-2-7 芬隨時間變化之質量平衡

本計畫執行期間如發生海洋化學品污染事件，將依據海洋通報及結束模擬資訊確認單內容(如表 2-2-1)，經與海保署確認海洋化學品污染通報時間、溢洩漏化學品種類及數量、事件發生地點與時間後，隨即啟動 CHEMMAP 化學品污染擴散緊急應變模擬作業，並提供海洋化學品擴散模擬結果與化學品污染風險地圖，提供化學品污染緊急應變指揮官作為擬訂海洋化學品污染緊急應變計畫與應變能量配置之參考依據。

3. 配合應變作業需求或機關指定之化學品種類，執行 2 件(種) 海洋化學品擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則。前述模擬作業內容，至少須涵蓋化學品種類、海流、風與海岸型態等影響。產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、化學品特性分析與隨時間序列之變化、海岸環境敏感區標示等相關資料。

美國 RPS 公司於今(113)年度 8 月 21 日規劃 CHEMMAP 進階教育訓練課程(如圖 2-2-8 所示)。圖 2-2-9 為 RPS 介紹 CHEMMAP 模式的理論與功能，圖 2-2-10 為 RPS 說明化學品在大氣與水體中污染擴散之風化過程。過去本案執行團隊已有 CHEMMAP 模擬海洋化學品污染擴散的經驗，今(113)年度本案執行團隊也更新 CHEMMAP 軟體版本，也透過 RPS 規劃的進階教育訓練課程掌握 CHEMMAP 軟體最新功能與相關資訊，並進一步應用在海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業，提供海保署進行海洋化學品污染擴散緊急應變作業之參考依據。

本項工作會依據前述第 2 項工作之方法，應用海洋化學品污染擴散數值模式 CHEMMAP，並結合氣象署海流預報模式 CWA-OCM 模擬海流與氣象模式 CWA-WRF 模擬風場等動力來源，配合應變作業需求或機關指定地點，至少進行 2 件海洋化學品污染事件擴散模擬作業，若有實際發生污染之案件會優先選為模擬的案例。模擬作業結果會呈現海洋表面流預測模擬、海氣象預測、化學品特性分析與隨時間序列之變化、海岸環境敏感標示等相關資料等相關資料。

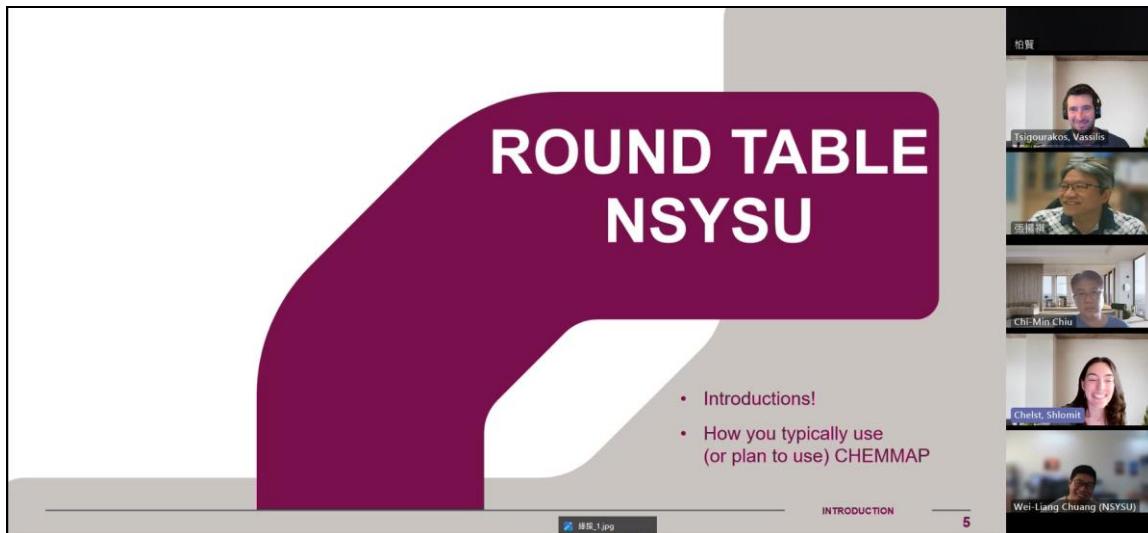


圖 2-2-8 美國 RPS 公司規劃 CHEMMAP 進階教育訓練課程(08/21)

## HOW IT WORKS

- Lagrangian particle model
  - Total mass released is broken into lagrangian elements ("spillets"), then tracked as they move with winds, currents, and natural dispersion. Weathering is calculated on each individual spillet. Results are provided by summing of spillets (each particle has an associated mass, size and age).
- Chemical characteristics and spill conditions classify each individual particle as
  - on the surface (slick)
  - particulate in the water column
  - dissolved in the water column
  - adsorbed to sediment in the water column
  - on bottom sediments
  - stranded on shoreline
- Dispersion/Diffusion Coefficients
  - Natural movement (random in all directions) between units of material. Varies geographical and over time.

12 MODELS

圖 2-2-9 介紹 CHEMMAP 模式的理論與功能

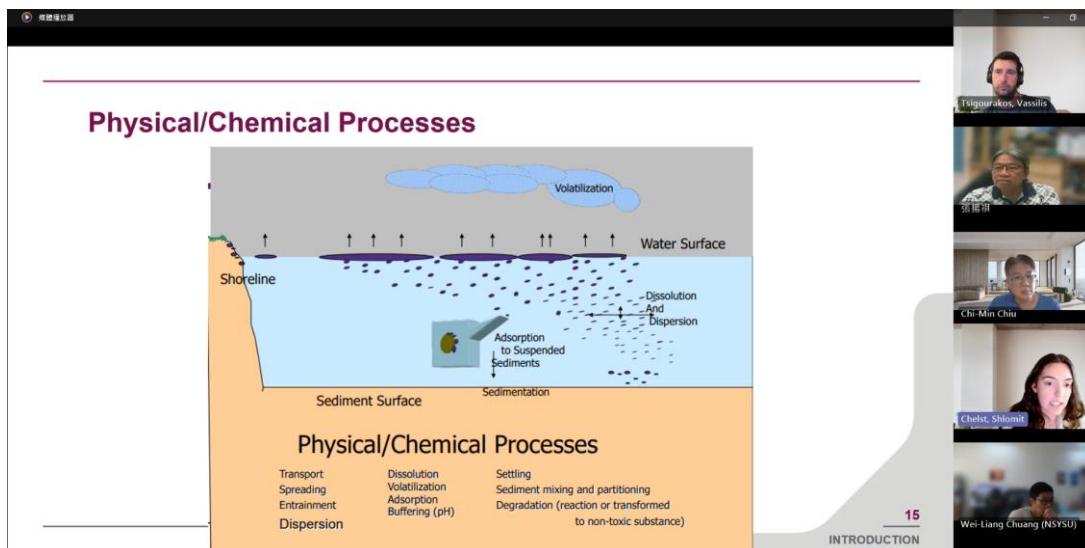


圖 2-2-10 化學品在大氣與水體中污染擴散之風化過程

4. 提供最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)一冊，作為海運化學品洩漏緊急應變參考。

國際海運危險品準則(IMDG Code)是國際海事組織的海上安全委員會(MSC)指派海運危險貨物方面有豐富經驗的國家組成一個專家工作小組，依據「1960 SOLAS」第七章的規定與聯合國危險貨物運輸專家委員會共同編寫，並於 1965 年 9 月 27 日由國際海事組織以 A.81 (IV) 決議通過，以下簡稱 IMDG Code。

IMDG Code 作為全球海洋運輸包裝危險貨物的指導準則，其主要目的是要求数危險貨物運輸包裝需符合準則之規定，否則禁止裝運危險貨物。IMDG Code 準則也能保障船舶載運危險貨物與人命財產安全、防止事故發生、防止海洋污染、使航行更安全與便利等利基。本案執行團隊會計畫工項內容提供最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)一冊，並列出新版 IMDG Code 新增的項目與內容，作為海運化學品洩漏緊急應變參考。

5. 計畫期間未發生化學品污染事件經機關同意得以第(一)項油品方式執行。

如計畫執行期間未發生海洋化學品污染事件，本項工作在取得機關同意後，執行團隊會依據第(一)項海洋油污染緊急應變模擬作業之方式執行。

6. 化學品污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台」。

本項工作會依據海保署「海洋環境管理平台」(如圖 2-1-47)的格式要求，將海洋化學品污染緊急應變模擬成果彙整至「海洋環境管理平台」。

## 2-3 推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業

本服務項目與工作內容分別有 4 項，以下即依據 4 項工作分別說明各項工作的方法。

1. 提供「簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統」功能，設計簡易操作介面，輸入資訊為油品種類、數量、地點(自動轉換出座標)，即可產出模擬結果，同時有下拉式選單可選擇模式預報之風場或流場等資訊，可供各單位線上進行海洋油污染擴散模擬操作與呈現動態模擬結果，並提供「簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統」操作說明教學影片供各單位學習。

「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式有設計簡易的操作介面(如圖 2-3-1 所示)，可提供輸入油品種類、數量、地點(自動轉換出座標)、以及下拉式選單可選擇模式預報之風場或流場等資訊，能供各單位在線上情境設定模擬參數，並進行海洋油污染擴散模擬操作與呈現動態模擬結果。

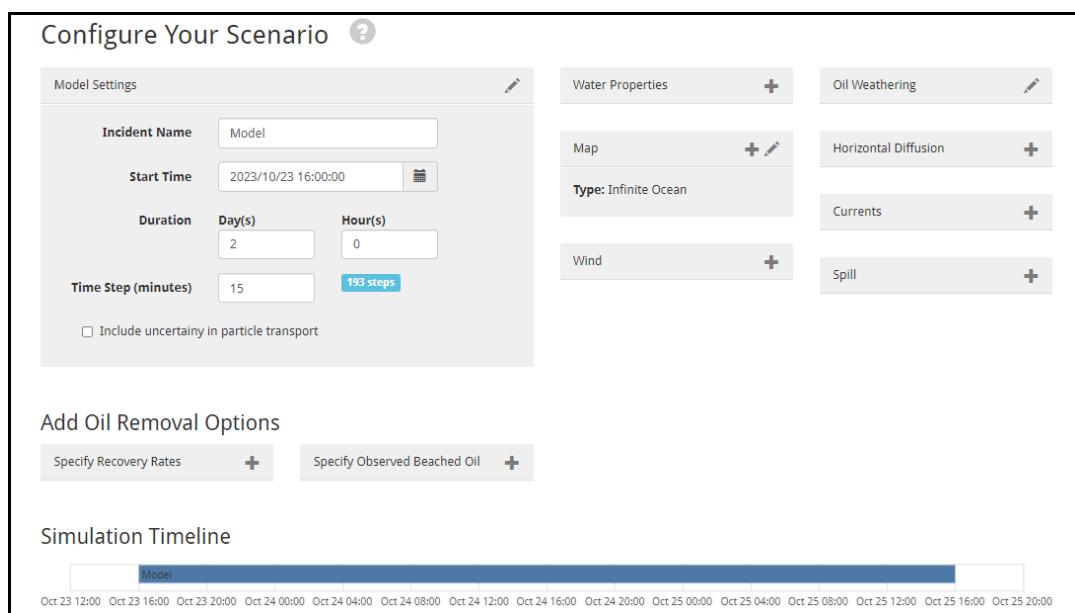


圖 2-3-1 「WebGNOME」線上視窗化操作介面

另外，圖 2-3-2 與圖 2-3-3 為「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統的設定介面，「WebGNOME」也能提供油污染擴散模擬結果。今(113)年度計畫會以「WebGNOME」作為各單位學習「簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統」的教學軟體，並製作操作手冊與教學影片以及規劃教育訓練課程，提供各單位學習及應用「WebGNOME」的線上油污染擴散模擬系統。

The screenshot shows the WebGNOME homepage with several sections:

- About**: Describes WebGNOME as a publicly available oil spill trajectory and fate model developed by NOAA.
- Useful Links**: A list of links related to NOAA's oil spill modeling tools, currents, wind data, Python scripting, and the legacy Desktop GNOME.
- Get Started**: Information on startup modes and the User Manual.
- Location Files**: Information on choosing from 27 location files.
- Use Operational Forecasts**: A section under development for setting up WebGNOME using environmental inputs from NOAA's Operational Forecast Systems (OFS).
- Load**: An option to load a previously saved scenario.
- Custom Location**: Information on creating a custom scenario.
- Weathering Only**: Information on scenarios considering only weathering.
- ADIOS Oil Database**: Information on the database including physical and chemical properties for hundreds of oils.

A note at the bottom states: "The WebGNOME application is a draft working product distributed solely for pre-dissemination peer review under applicable information quality guidelines. It should not be used for any other purpose. It has not been formally released and does not represent, and should not be construed to represent, the official forecast of NOAA on spill behavior. It is under active development, and may be unavailable or unstable at any time."

圖 2-3-2 「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式

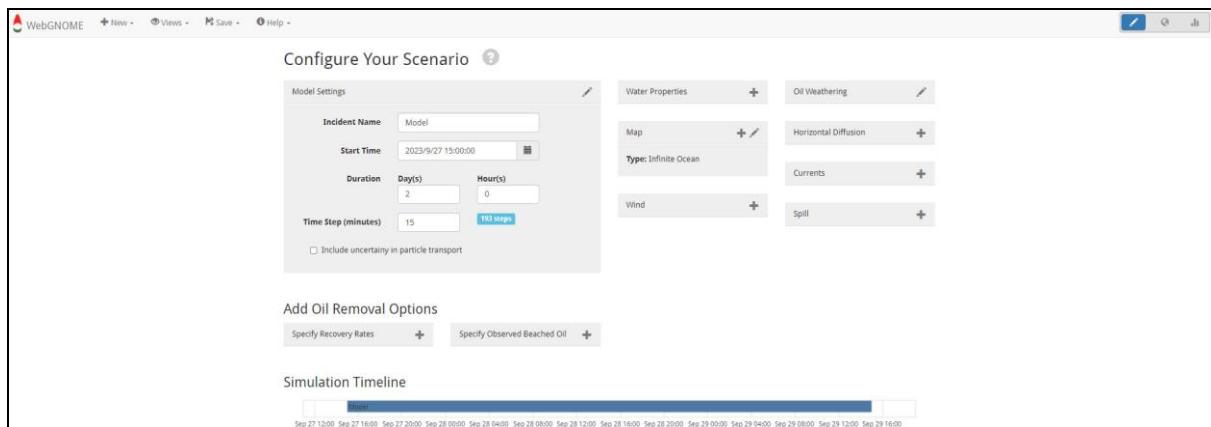


圖 2-3-3 「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散之設定界面

2. 強化臨海 19 縣市政府之油污染擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污染擴散模擬作業。

本案執行團隊會將「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式操作手冊提供臨海 19 縣市政府，並規劃教育訓練課程進行教學，以強化臨海 19 縣市政府之油污染擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污染擴散模擬作業。另外，今(113)年度計畫也會配合海保署指定相關兵棋推演及演練所需之油污染擴散模擬作業，進行油污染擴散模擬作業，其成果會陳述在下一章的計畫執行成果。

3. 完成至少 30 人次簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統操作訓練，以強化各單位使用海洋油污染擴散模擬應用效能，得標廠商負責訓練場地、講師、研習資料等費用。

本項工作會依據「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式設計至少 30 人次簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統操作訓練課程，課程內容包含「WebGNOME」的油污染擴散模式介紹、油污擴散模擬參數設定、以及執行油污擴散模擬與結果產出，以強化各單位使用海洋油污染擴散模擬應用效能。

4. 修訂「簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統」操作手冊。

本項工作會以「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模式建置操作手冊，內容包含「WebGNOME」油污擴散模式介紹、油污擴散模擬參數設定、執行油污擴散模擬與結果產出，並提供海保署與相關機關及單位參考。

## 2-4 運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他監控海洋油污之技術

本服務項目與工作內容分別有 4 項，以下即依據 4 項工作表說明各項的工作方法。

1. 執行地點以臺灣本島為原則，廠商經接獲機關通報油污事件，運用科技技術進行油污監測作業；於監測作業期間，每日至少製作一份油污科技監測報告，作為應變處理報告，持續作業至機關同意結束應變為止。科技監測報告應涵蓋每日油污可能分布位置、海流、風速、風向等現場狀況相關資訊。（每次監測至多 5 日）。

本案執行團隊已建置 X-band 雷達偵測油污作業系統(如圖 2-4-1 所示)，若本計畫執行期間接獲海保署通報油污事件，且油污事件發生在近岸 5 海浬內，在經與海保署共同研判油污事件發生位置的交通路線與相關海岸地形，如決議可出動 X-band 雷達進行油污監測作業，本案執行團隊會盡快將雷達監測油污作業系統備齊，並前往油污事件發生位置進行油污監測作業。油污監測作業期間每日至少製作一份油污科技監測報告，作為油污緊急應變處理及油污擴散數值模擬之參考依據。

挪威 MIROS 公司開發一套商業的 MIROS-OSD 雷達油污監測系統，此系統應用 X-band 雷達進行油污監測作業。MIROS-OSD 雖廣泛應用在北海鑽油平台的油污監測作業，但針對臺灣海岸環境多變的型態，雷達監測油污作業仍需作測試與校正相關參數，且 MIROS-OSD 屬於商業軟體，若遭遇問題皆需透過原廠協助處理，因此花費時間會較長。然而，近十年人工智慧(AI)常被應用在大量影像資料的辨識，在油污影像辨識方面亦有相關應用，如 Mask R-CNN 為一基於深度學習的圖像實例分割方法，可針對目標影像進行檢測和像素級分割(He et al. 2016)。Mask R-CNN 的分析技術曾應用在 2016 年德祥臺北貨輪於新北市石門近岸海域擋淺的漏油事件，如圖 2-4-2 (a)是 X-band 雷達偵測影像，而(b)中紅色框為顯示經由 Mask R-CNN 辨識分析得到的油污擴散範圍。另一方面，由 Mask R-CNN 訓練的模型能在 1 分鐘內辨識海面油污擴散範圍，不只能快速進行油污影響範圍的偵測及分割，更能搭配 GIS 系統呈現油污的資訊，如大小、擴散軌跡與座標等，協助工作人員更有效的判斷油污的處理方式。因此本案執行團隊將 X-band 雷達監測的影像資料，利用深度學習模型 Mask R-CNN 方法進行辨識海面上油污分布範圍。

另外，圖 2-4-3 為 X-band 雷達外業監測作業情況，圖中雷達監測作業的

昇降機以小型貨車即可載運，有利在複雜海岸地形進行架設與監測作業。

X-band 雷達偵測影像分析得出的油污染擴散範圍，主要是提供油污染擴散模式進行滾動式緊急應變模擬之輸入條件。而在油污事件發生後，油污染隨著時空演變擴散影響範圍皆會超過數十公里，此時油污染擴散模擬輸入的海氣象條件需要大範圍海域的流場與風場預報資訊。因此，可由氣象署的海氣象預報結果提供大範圍風場與海流流場(如 2-1 節中圖 2-1-20 與圖 2-1-21)。



圖 2-4-1 X-band 雷達偵測油污作業系統

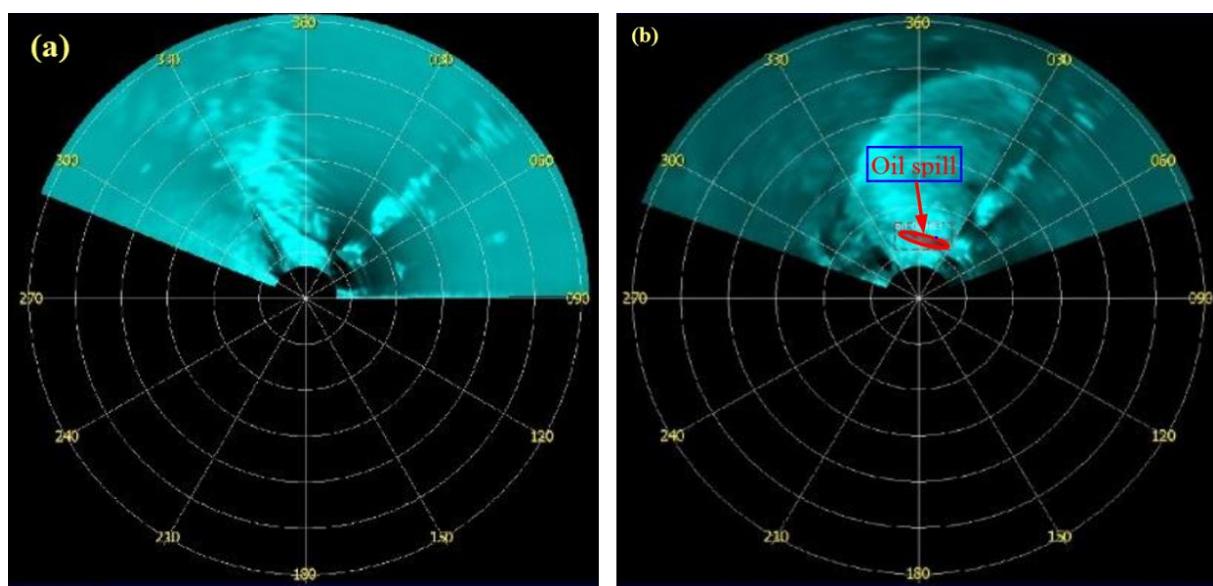


圖 2-4-2 應用 Mask R-CNN 分析 X-band 雷達影像得到油污染擴散範圍



圖 2-4-3 X-band 雷達在旗津海岸進行兵棋推演之油污染監測作業

2. 配合應變作業或機關指定配合之活動展示或演練，提供海洋油污污染科技工具進行至少 2 次監測、展示或演練作業。

本案執行團隊曾多次在世界海洋日配合展示與演練之經驗，圖 2-4-4 為 2010 年環保署指定配合 2010 年世界海洋日之活動，提供海洋污染雷達監測作業車的展示作業，並在活動期間向民眾傳遞海洋油污污染對海岸環境造成的影响與衝擊，有助於提升民眾對海洋油污污染的認知，藉此也能宣傳海洋環境保育的重要性。

本計畫執行期間如海保署指定配合之活動展示(如世界海洋日)或演練，本案執行團隊會配合前往指定的地點，提供海洋污染科技監測作業的展示作業。



圖 2-4-4 配合 2010 年世界海洋日之活動展示或演練

3. 配合科技工具出勤作業期間，使用紅外線熱顯像儀及無人機等工具（得由海保署提供）執行油污監測。

無人機飛行須具備無人機操作證，表 2-4-1 列出 3 種無人機操作證的分類，分別為普通操作證、專業基本級操作證、專業高級操作證等。在專業基本級與高級的操作證可操作的無人機重量可參考表 2-4-2。本案執行團隊已有派人考取專業基本級操作證，可操作 25 公斤以下的無人機。海保署已購置一套紅外線熱顯像儀與無人機等工具執行油污監測，本案執行團隊會盡快針對這些設備進行研析與操作，進一步確認海保署的紅外線熱顯像儀與無人機是否能正常運作。另外，在計畫執行期間如發生油污染事件，本案執行團隊可配合科技工具出勤作業期間，在海保署允許的狀況下使用紅外線熱顯像儀及無人機等工具執行油污監測。

本案執行團隊也與「財團法人金屬工業研究發展中心」(簡稱金屬中心)自主研發的無人載具系統有合作機制，在無人機的使用與操作皆符合投標須知第 16 條第 4 項資安檢測規範。金屬中心未來在無人機飛行操作可提供技術的支援，有利於油污染事件發生期間執行油污的監測作業，有助於取得海面上油污染影響範圍的監測影像。另外，油污染事件發生期間執行油污的監測作業需申請飛行活動的空域(如圖 2-4-5)，申請作業需請海保署協助向交通部民航局辦理。

表 2-4-1 無人機操作分類

普通操作證	專業基本級操作證	專業高級操作證
自然人 僅能操作 2-15 公斤的無人機	自然人&法人 不行操作逾四百呎的飛行	法人 可操作逾四百呎的飛行

表 2-4-2 操作證需依無人機重量做分級

無人機的重量(公斤)	專業基本級操作證	專業高級操作證
2 <	I	I a
2 - 15		I c
15 - 25	II	II c
25 - 150	III	III d
> 150		

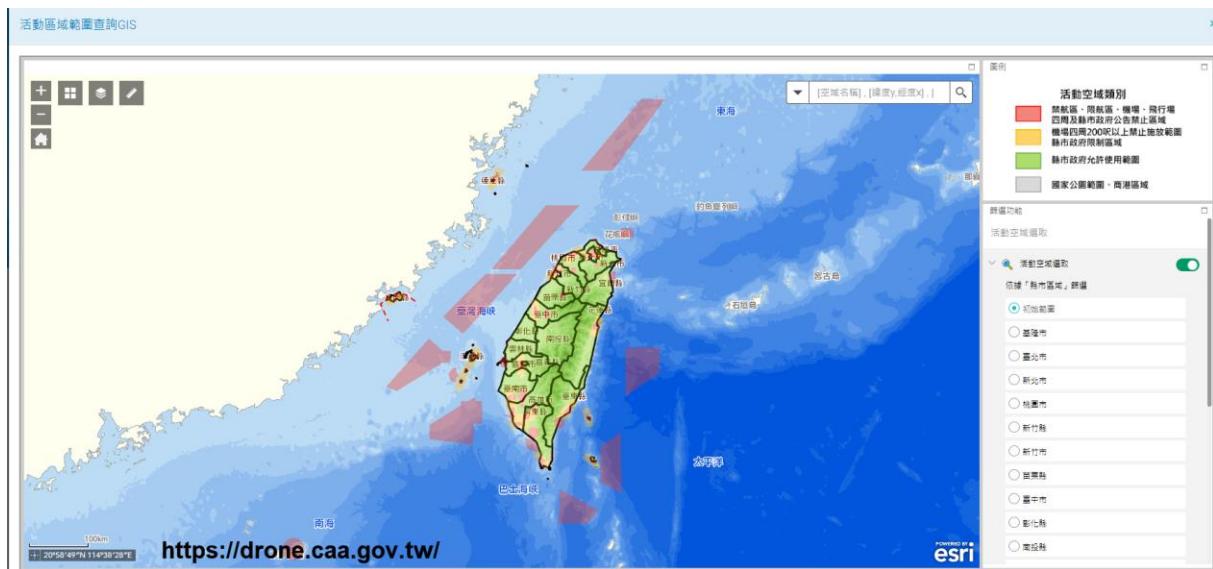


圖 2-4-5 交通部民航局無人機活動區域範圍查詢網站

#### 4. 研析其他監控海洋油污染之技術。

X-band 雷達偵測油污染影響範圍約在 3 至 5 公里，且常受海岸地形限制無法找尋適宜位置架設 X-band 雷達偵測油污染作業系統。為增進海洋油污染監控之效能，本案執行團隊研析影像監測技術應用在油污染偵測作業，如熱感應紅外線影像技術外加偏振式過濾技術進行監測海表面油污，提供海保署建置多元科技偵測油污技術之參考，可互補不同偵測油污技術不足之處。

美國 Polaris Sensor Technologies 公司有應用一款小型及輕量化的長波紅外線偏振成像儀 Pyxis LWIR (如圖 2-4-6 所示)，可測量影像的熱和偏振內容並分析出海表面的油污。圖 2-4-7 是 Pyxis LWIR 於水工試驗水槽進行測試與驗證的結果 (Pyxis – Polaris Sensor Technologies, Inc.)，圖中左上方為可見光拍攝的影像，在經過長波紅外線偏振分析可清楚看見水面上的油污擴散影響範圍(如圖中左下方)，圖中右上方為熱感應偵測的影像，在經過熱和偏振分析可更清楚看見水面上的油污擴散影響範圍(如圖中右下方)。經由水工試驗驗證得知 Pyxis LWIR 可應用監測水面上油污染擴散的影響範圍。另外，Pyxis LWIR 也能掛載在無人機上(如圖 2-4-8)進行海面上油污的監測作業，圖 2-4-9 是 Pyxis LWIR 曾應用在美國加州海岸進行監測油污的成功案例，圖中影像顯示紅色範圍即為油污染擴散的影響範圍。

綜合上述結果，開放海域如發生油污染事件，Pyxis LWIR 可執行油污染擴散的監測作業。在計畫執行期間如發生油污染事件，在可出勤的狀況下，本案執行團隊會攜帶 Pyxis LWIR 至油污事件發生位置進行監測作業，做為研析其

他可提升海洋油污監控技術之參考。



<https://www.polarissensor.com/nvxis/>

圖 2-4-6 美國 Polaris Sensor Technologies 公司開發影像偵測油污技術(Pyxis LWIR)

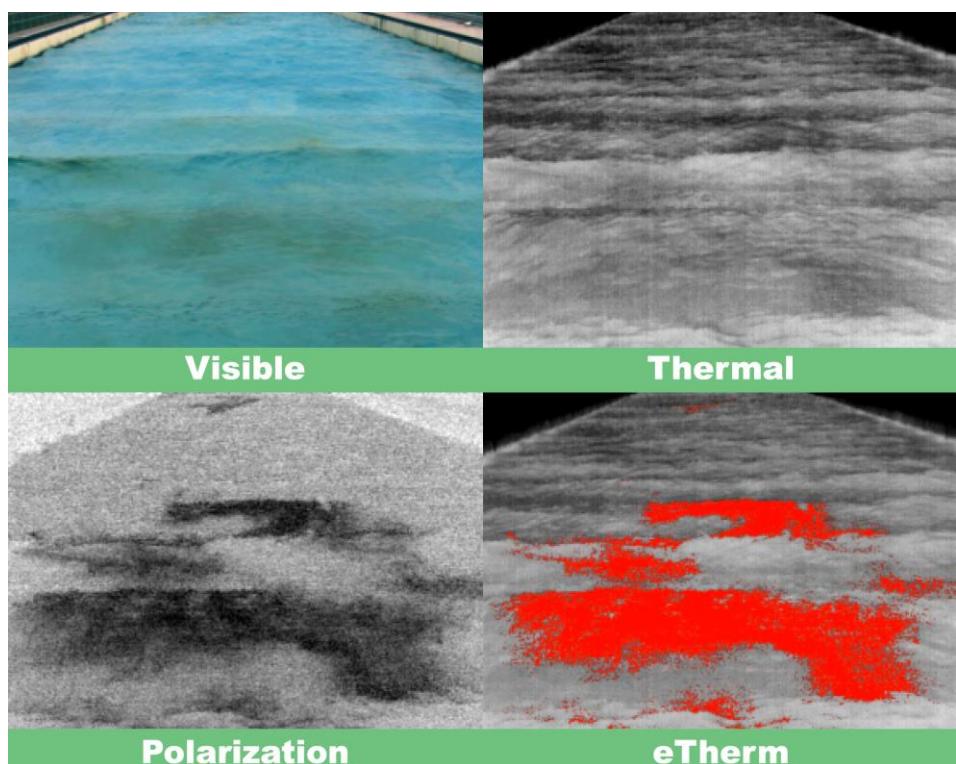


圖 2-4-7 Pyxis LWIR 於試驗水槽偵測水面上油污染



圖 2-4-8 Pyxis LWIR 可掛載於無人機至開放海域偵測水面上油污染

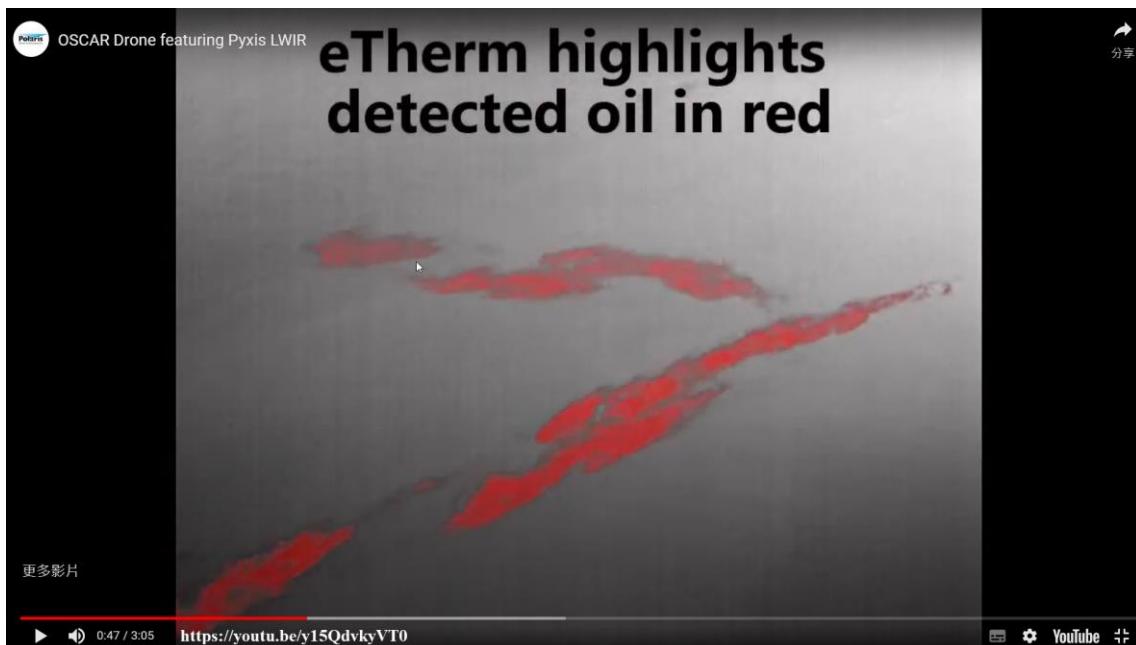


圖 2-4-9 Pyxis LWIR 在美國加州海岸偵測海面上油污染(紅色成像)

## 2-5 配合辦理計畫相關行政作業

本案執行團隊於計畫執行期間會配合辦理計畫相關行政作業。

## 2-6 其他得標廠商應配合事項

113 年度計畫執行期間有關「其他得標廠商應配合事項」共有三項，相關執行內容如下說明。

### 1. 廠商使用無人機部分應符合投標須知第 16 條第 4 項資安檢測規範

本案執行團隊有無人機操作的專業證照，在海保署許可需配合應作業期間進行操作無人機飛行作業，在無人機的使用與操作皆符合投標須知第 16 條第 4 項資安檢測規範。另外，金屬中心未來在無人機飛行操作可提供技術的支援，有利於油污事件發生期間執行油污的監測作業，有助於取得海面上油污染影響範圍的監測影像。

### 2. 辦理綠色採購作業

圖 2-6-1 為 112 年度中山大學辦理綠色採購作業及登錄在環境部網頁。本案執行團隊於計畫執行期間會配合辦理綠色採購作業。

The screenshot shows the 'Green Living Information Platform' (綠色生活資訊網) homepage. At the top, there's a banner with mountains and birds. Below it, a navigation bar includes links for '首頁' (Home), '專區首頁' (Special Zone Home), and '綠色採購機關' (Green Procurement Agency). On the left, there's a sidebar with links for '帳號登入' (Account Login), '系統使用意見回饋' (System Usage Feedback), '綠色辦公響應' (Green Office Response), '當年度評核辦法' (Annual Evaluation Method), '機關採購「指定採購項目」因質地規定期數無法採購環保標章產品之政府採購法參考機制' (Procurement Reference Mechanism for Government Procurement Law regarding designated procurement items due to quality specification period), '系統教學影片' (System Instructional Videos), '常用功能' (Common Functions), '1. 資料維護' (Data Maintenance), and '帳號資料與密碼維護' (Account Data and Password Maintenance). The main content area displays a table titled '112 年度 機關評核績效一覽表' (Summary Table of Agency Performance Evaluation for 112). The table shows the following data:

機關名稱：	清工系-齊心心	【查看管理員資訊】
3.9.28-60 本帳號總數：	1 個	【查看所屬單位】
有採購的帳號總數：	1 個	【檢視採購明細】
指定項目綠色採購比率未達 95% 的所屬單位帳號數：	0 個	【檢視明細】

Below the table, there's a section titled '機關綠色採購成果分析 (統計至 2023/11/22 23:59)' (Analysis of Agency Green Procurement Results (Statistics截至 2023/11/22 23:59)). It includes a table with the following data:

原始分數	加分	減分	總分
附表1所有項目採購環保標章產品總金額：58,797.0	機關綠色採購指定採購項目達成度：100.00%	85.0	<b>85.0 2.9 0.0 87.9</b>
附表1所有項目採購總金額：58,797.0	備註：此成績僅供參考，最後評核成績與評分等第級距，以環境部最後公告為準		加分項目總分 = 加分項目之得分 × $\frac{19}{13}$

圖 2-6-1 112 年度中山大學辦理綠色採購作業及登錄在環境部網頁

### 3. 減少使用免洗餐具及包裝飲用水等一次用產品

本案執行團隊於計畫執行期間辦理會議、訓練及活動時，會配合政府推動減少使用免洗餐具及包裝飲用水等一次用品等相關政策。

## 第三章 計畫執行成果

本章節依據年度工作規劃時程執行至期末 12 月已有許多相關的成果，依序以六大項目標說明執行成果。

### 3-1 辦理海洋油污染擴散模擬

本服務項目與工作內容分別有 6 項，以下即依據 6 項工作分別說明各項工作執行的成果。

1. 依每一油污染擴散模擬案例填寫海洋油污染事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。

依據海保署通報需進行緊急應變與演練的案例，本案執行團隊至 12 月 31 日已完成 18 件油污擴散緊急應變及演練的模擬作業，以及另 2 件仍在執行中的油污擴散緊急應變模擬作業。表 3-1-1 列出 18 件模擬案例的日期與事件名稱等相關資訊，截至 12 月 31 日共進行 18 艘船次與 793 次的緊急應變模擬作業，模擬的油品分別有原油、重油、重硫燃油、低硫燃油、輕油、柴油、船用柴油等不同的油品。以第 1 件模擬案例作說明，表 3-1-2 為本案執行團隊於接獲海保署緊急油污染應變模擬通報，在結束並於確認通報資訊完整後，於 2 小時內製作初步油污染擴散模擬報告，並經由承辦人查核及科長複核簽章後，最後惠請承辦人員與科長核示是否符合合約規定，以符合工作規定結束模擬監測資訊確認單予機關審核作業。其他 16 件案例皆已完成模擬作業，並請承辦人查核及科長複核簽章等作業流程。

表 3-1-1 04/17 至 12/31 油污染擴散緊急應變及演練模擬案例及次數統計表

案例	油污事件	模擬期間 (天數)	油品	啓動模式	模擬次數
1	金門海域陸籍瑞誠 6 貨輪沉沒案	04/17~04/19 (3 天)	重油	2 套	12
2	113 年基隆港大型客船與港口災害防救演習	04/15 (1 天)	重燃料油	1 套	1
3	雲林外海允能風電油污緊急應變演練	04/29~04/29 (1 天)	船用柴油	1 套	1
4	113 年中油大林廠外海浮筒漏油緊急應變實兵演練	07/10 (1 天)	原油	1 套	2
5	高雄港一港口南堤 17.1 浬處發生洩漏柴油事件	06/12~06/13 (2 天)	柴油	2 套	8
6	臺南安平港蘇菲亞貨輪擱淺案	07/24~07/28 (5 天)	重油	2 套	26
7	屏東大鵬灣海岸巴西亞貨輪擱淺案	07/25~07/29 (5 天)	柴油	1 套	11
8	屏東大鵬灣海岸吉娜貨輪擱淺案	07/25~09/14 (52 天)	柴油	1 套	104
9	屏東枋寮海岸伊莉安娜貨輪擱淺案	07/24~08/03 (11 天)	低硫燃油	2 套	40
10	高雄一港口外海福順貨輪沉沒案	07/25~09/01 (39 天)	柴油	1 套	80
11	臺南七股海岸多芬貨輪擱淺案	07/25~08/08 (15 天)	柴油	1 套	30
12	高雄興達港口鴻盛 88 貨輪擱淺案	07/25~08/01 (8 天)	柴油	1 套	20
13	高雄茄萣海岸新利貨輪擱淺案	07/25~07/31 (7 天)	重油&柴油	2 套	18
14	臺南七股海岸凱塔雜貨輪擱淺案	07/26~08/08 (14 天)	柴油	2 套	30
15	蘭嶼巴貝多籍貨輪擱淺案	10/01~10/13 (13 天)	低硫燃油&柴油	2 套	54
16	臺中港外海達和貨輪主機故障案	10/04~10/05 (2 天)	重油&輕油	2 套	6
17	新北市野柳鈺洲啟航貨輪擱淺案	10/29~12/23 (56 天)	重油&輕油	2 套	254
18	臺中港南堤液態寶石貨輪擱淺案	12/08~12/23 (16 天)	重油&輕油	2 套	96
總計					793

註：4 月 17 日至 12 月 31 日共執行 18 艘船與 793 次油污染緊急應變模擬作業。

表 3-1-2 海洋油污事件通報及結束模擬資訊確認單

113 年基隆港大型客船與港口災害防救演習兵推暨實兵演習 通報及結束模擬資訊確認單	
通報時間	2024 年 4 月 15 日 10 時 00 分
事件名稱	113 基隆港大型客船與港口災害防救演習兵推暨實兵演習腳本之油污染擴散緊急應變模擬
通報污染物	重燃料油
污染物數量	15 公噸
事件地點(座標)	<p>基隆港嘴口外海面如下圖。</p>
通報資訊是否完整	<p><input checked="" type="checkbox"/> 是，開始模擬時間 2024 年 4 月 15 日 10 時 10 分</p> <p><input type="checkbox"/> 否，缺少 更新資訊時間 _____ 更新資訊 _____</p>
初報時間	2024 年 4 月 15 日 12 時 00 分
符合工作規定 (2 小時內完成初報)	<p><input checked="" type="checkbox"/> 符合</p> <p><input type="checkbox"/> 未符合，原因說明 _____</p>
通報結束應變時間	2024 年 4 月 15 日 14 時 00 分
	是否須啟動第 2 套模擬： <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否
應變成果	共提送 <u>2</u> 份模擬報告 累計 <u>1</u> 天次應變
承辦人查核及簽章	<input checked="" type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 未符合 簽章
科長複核及簽章	<input checked="" type="checkbox"/> 符合 <input type="checkbox"/> 未符合 簽章

2. 計畫執行 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋油污事件通報後 2 小時內，製作初步油污染擴散模擬報告；並於 24 小時內、依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以

上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之模擬，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。

依據表 3-1-1 所列的第 1 件案例說明執行緊急應變模擬過程與製作緊急應變報告，其他 18 件案例完成的緊急應變模擬報告，以第 1 件至第 18 件的緊急應變模擬報告呈現在附件一供參考。113 年 4 月 17 日 10:35 接獲海保署通報在金門海域陸籍「瑞誠 6」貨輪進水救援案，最後船沉沒在金門料羅灣西南方約 7.3 浬處，船上有重油約 7 公噸，且有洩漏油污之風險。本案執行團隊於 113 年 4 月 17 日 11:40 接獲海保署通知，隨即以 GNOME 模式進行模擬未來 72 小時油污擴散結果。表 3-1-3 為執行 72 小時溢油擴散情境模擬參數，表中說明油污溢漏地點、時間、數量，以及海氣象模擬參數等資訊，由表中資料顯示油污擴散模擬起始時間正值退潮期間，海氣象預報資料來自氣象署。

表 3-1-3 第 1 件案例模擬退潮期間參數表

項目	參數
溢漏地點	N : 24.174530° E : 118.21910° 金門料羅灣西南方 7.3 浬 (如圖 3-1-1)
溢漏時間	113 年 4 月 17 日 10:35
油品	重油
溢漏油量	7 公噸
溢漏時長	1 小時
風場	CWA-WRF
流場	CWA-OCM
海溫	19°C
潮汐	漏油期間正值退潮期間 (如圖 3-1-2)
模擬時長	72 小時



圖 3-1-1 瑞誠 6 貨輪溢漏油位置示意圖

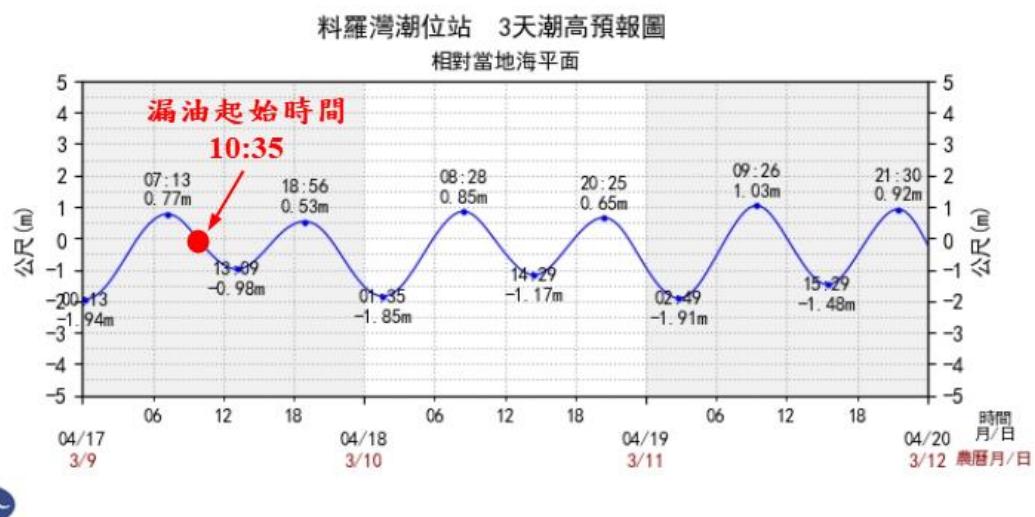


圖 3-1-2 料羅灣潮位預報圖

圖 3-1-3 與圖 3-1-4 為氣象署氣象預報模式 CWA-WRF 預測 6 月 17 日 10 時至 11 時金門海域風場的變化趨勢，圖中箭羽表示風的來向，箭羽顏色表示風速的大小，風速大小可參考右邊不同色階的顯示，紅色星號「★」表示漏油位置，由 CWA-WRF 預測風場顯示在油污溢漏期間的風向皆為西南方向。另外，圖 3-1-5 與圖 3-1-6 為氣象署海流預報模式 CWA-OCM 預測 6 月 17 日 10 時至 11 時金門海域海流流場的變化趨勢，圖中流矢箭頭表示流的去向，流速大小可參照右邊的不同色階的顯示，由 CWA-OCM 預測海流流場顯示在油污溢漏期間的流向皆往西至西南向流動。

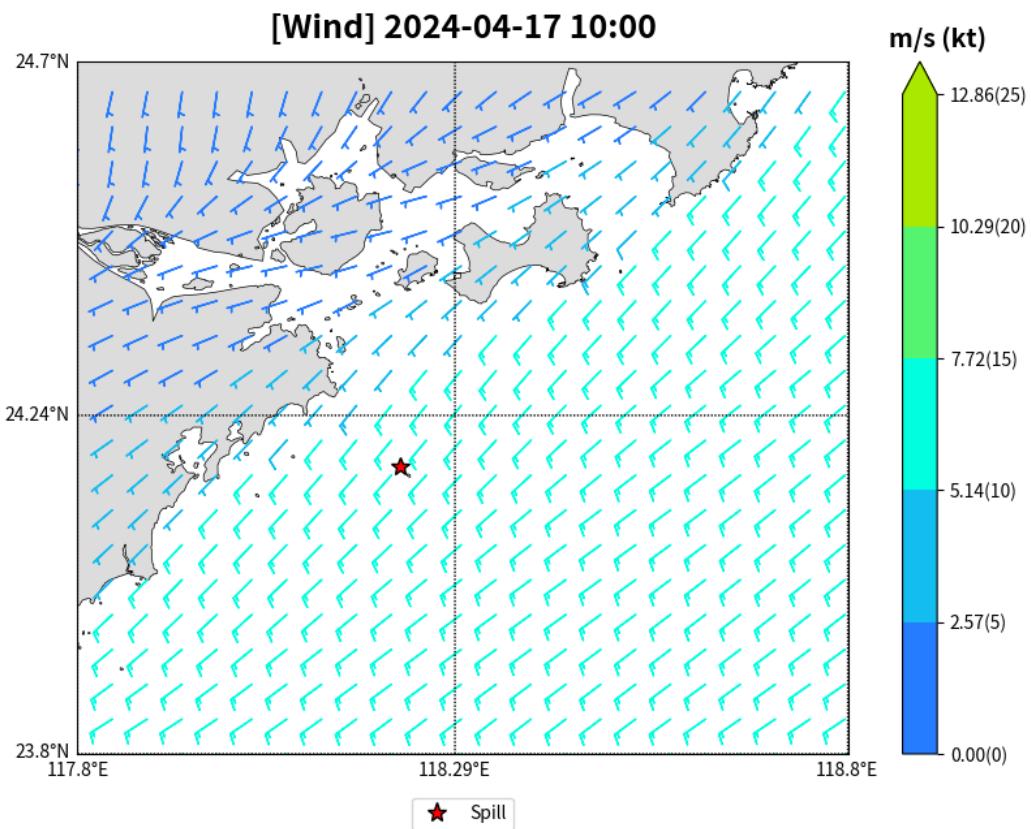


圖 3-1-3 CWA-WRF 預報金門海域風場(04/17 10:00)

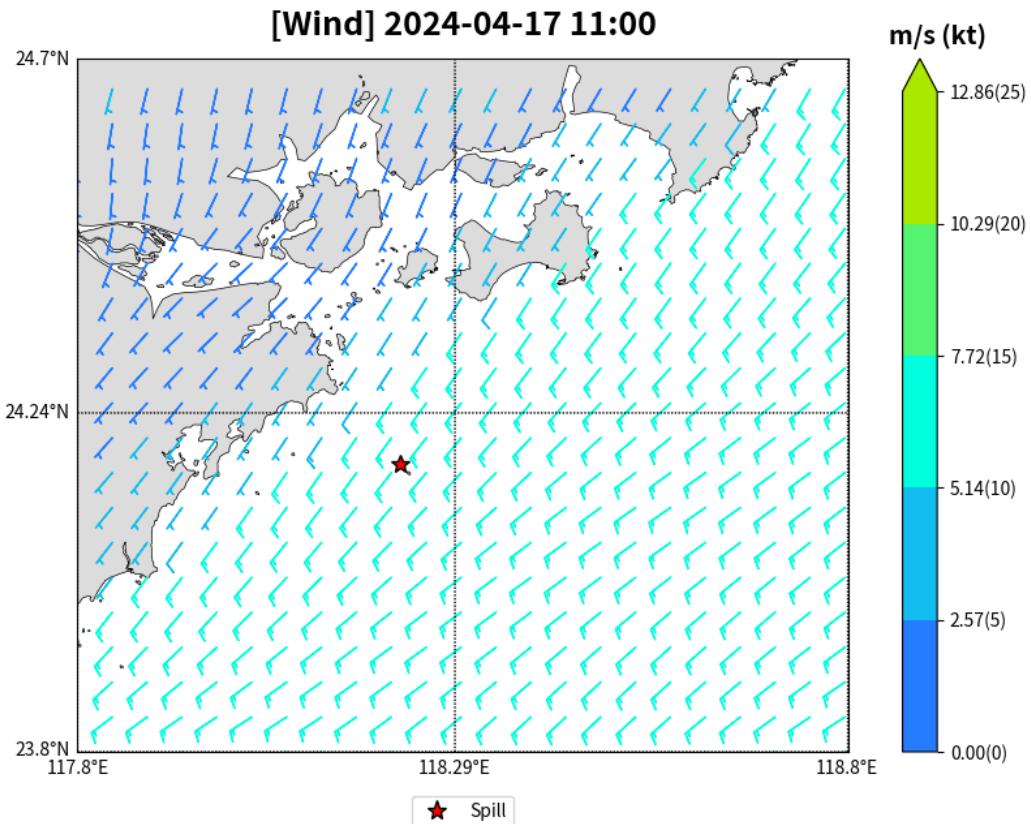


圖 3-1-4 CWA-WRF 預報金門海域風場(04/17 11:00)

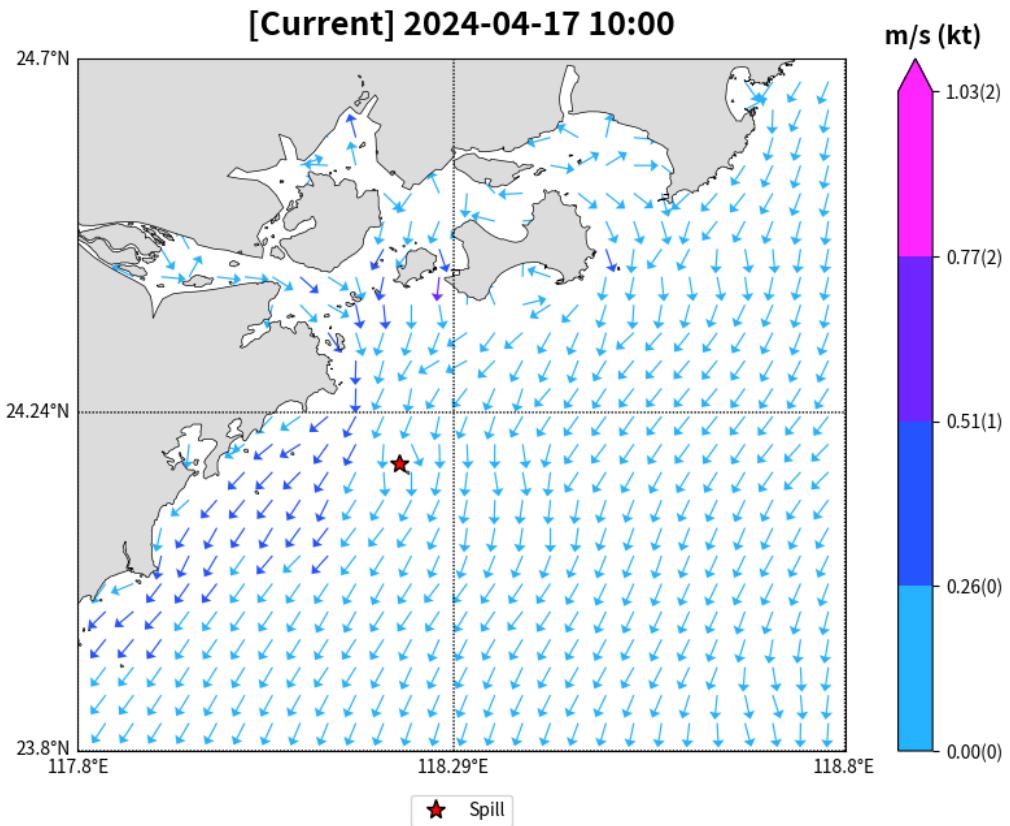


圖 3-1-5 CWA-OCA 預報金門海域海流流場(04/17 10:00)

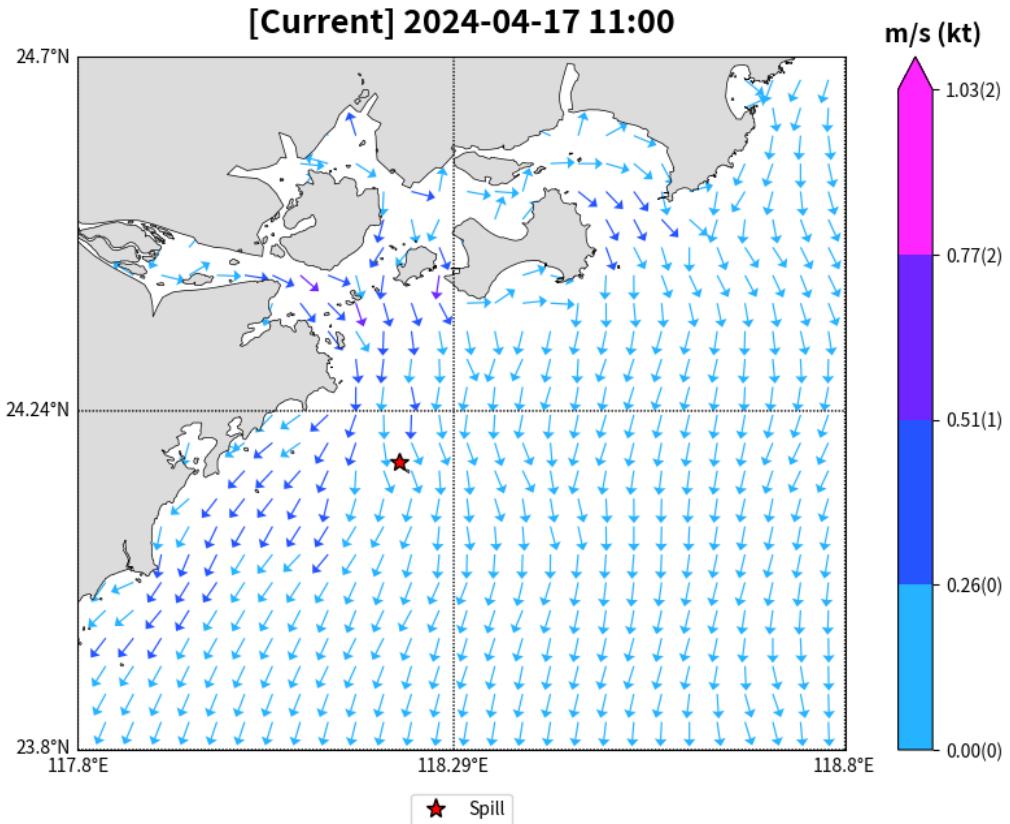


圖 3-1-6 CWA-OCA 預報金門海域海流流場(04/17 11:00)

圖 3-1-7 是水利署金門浮標佈放位置，金門浮標距漏油位置非常近，故收集金門浮標在模擬期間觀測的海流資料與海流模式預報資料進行比對。圖 3-1-8 為金門浮標觀測海流(紅色十字表示觀測資料)與模式預報海流(藍色圓點表示預報資料)之流速與流向比對結果，上方圖為海流流速的比對，下方圖為海流流向的比對，由比對結果顯示海流流速不大都在 1 節(0.5m/s)以下，可能受到金門南邊料羅灣灣區遮蔽影響，但觀測與預報海流流向皆呈現一致的變化趨勢。

另外，收集金門浮標在模擬期間觀測的風速與風向資料與氣象模式預報資料進行比對。圖 3-1-9 為金門浮標觀測風(紅色十字表示觀測資料)與模式預報風(藍色圓點表示預報資料)之風速與風向比對結果，上方圖為風速的比對，下方圖為風向的比對，由比對結果顯示風速呈現多變介於 5m/s 至 15m/s 間，風向變化由南南西向至東北向，且觀測與預報風速與風向呈現一致的變化趨勢。

由上述比對結果顯示，油污擴散模式輸入的預報海流與風與觀測資料都呈現一致變化趨勢，據此動力參數模擬得到的油污染擴散模擬結果具有可靠的參考價值。

依據表 3-1-3 模擬參數以 GNOME 執行未來 72 小時油污染擴散模擬，且將模擬結果製作 Google Earth 地圖可讀取的 KML 格式，以下分別說明未來 12、24、48、72 小時等時段的油污擴散模擬結果，呈現在 Google Earth 地圖上分布的情況，可協助指揮官快速擬定油污緊急應變計畫與應變資源配置之參考依據。

如圖 3-1-10 所示，GNOME 模擬未來 12 小時(4/17 22:35)油污染擴散模擬結果，圖中紅色質點表示抵達岸邊的油污，綠色質點表示在海面上的油污，此時受到南南西風以及潮流影響，油污往北北東方向漂移及擴散，海面上油污距料羅灣僅有 0.8 公里。

如圖 3-1-11 所示，GNOME 模擬未來 24 小時(4/18 10:35)油污染擴散模擬結果，持續受到南南西風以及潮流影響，油污持續往北北東方向漂移及擴散，部分油污抵達料羅灣港外及東邊的海岸。

如圖 3-1-12 所示，GNOME 模擬未來 48 小時(4/19 10:35)油污染擴散模擬結果，此期間受到東北風以及潮流影響，除部分油污停留料羅灣港外及東邊的海岸，海面上的油污往西南方向漂移及擴散，海面上油污分布在陸籍「瑞誠

### 6(RUICHENG6) 貨輪周圍海域。

如圖 3-1-13 所示，GNOME 模擬未來 72 小時(4/20 10:35)油污擴散模擬結果顯示，受到風向逐漸轉變至西南風以及潮流影響，海面上油污往東北方向漂移及擴散，部分油污到達龍教灣的海岸。

如圖 3-1-14 所示，GNOME 模擬未來 72 小時油污風化模擬結果，在海面上油污剩餘 7.90 公噸，抵達岸邊油污有 0.38 公噸，蒸發油污有 1.72 公噸。

油污模擬預測結果會受預報時之海流與風的影響，不同模擬期間若海流與風的條件改變，溢油在海洋中擴散漂移路徑及影響範圍可能與模擬結果不同

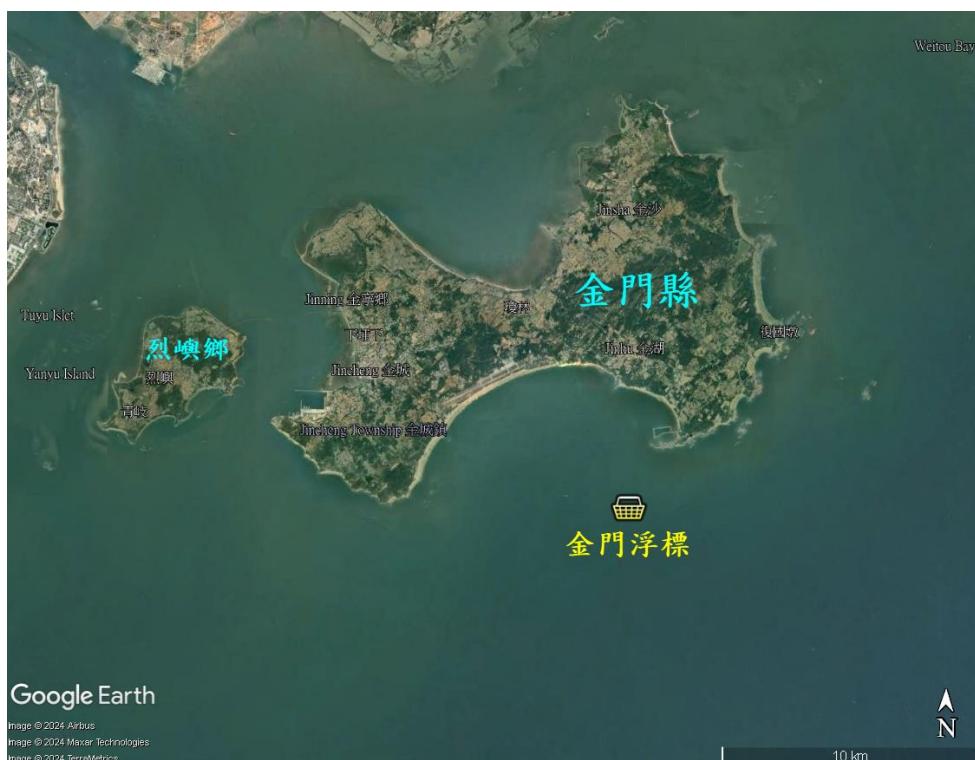


圖 3-1-7 水利署金門浮標佈放位置

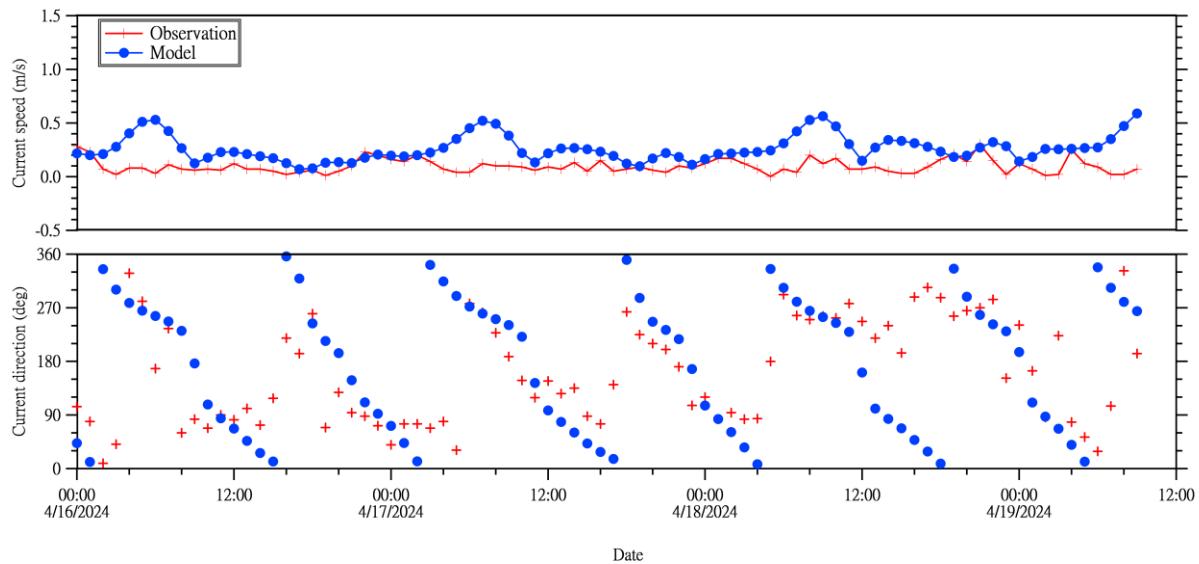


圖 3-1-8 金門浮標觀測海流與模式預報海流之海流流速與流向比對

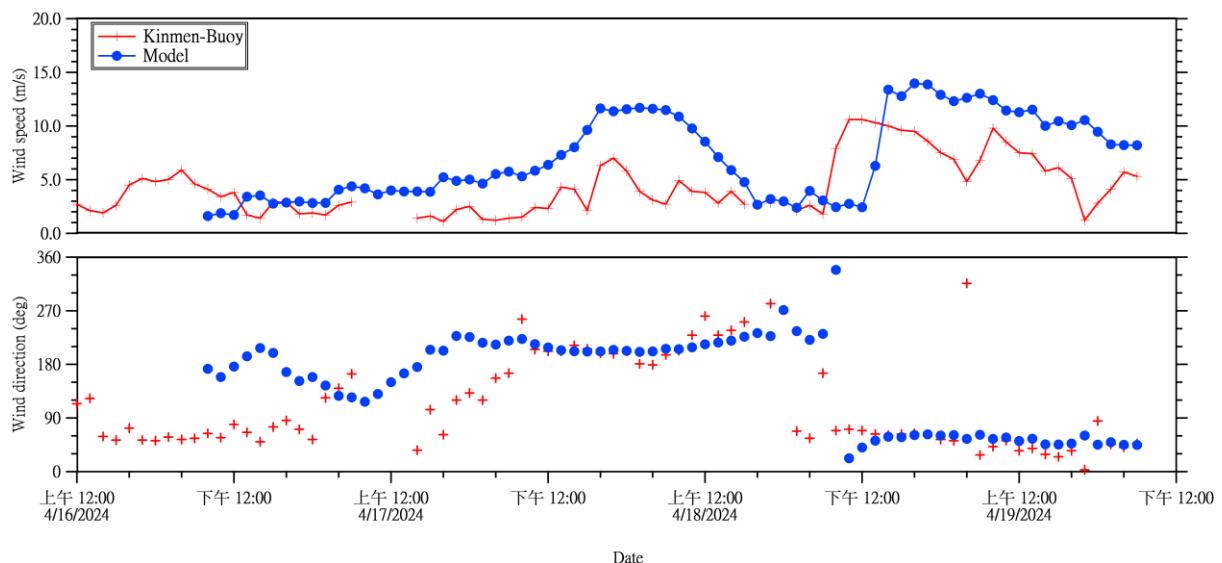


圖 3-1-9 金門浮標觀測風與模式預報風之風速與風向比對

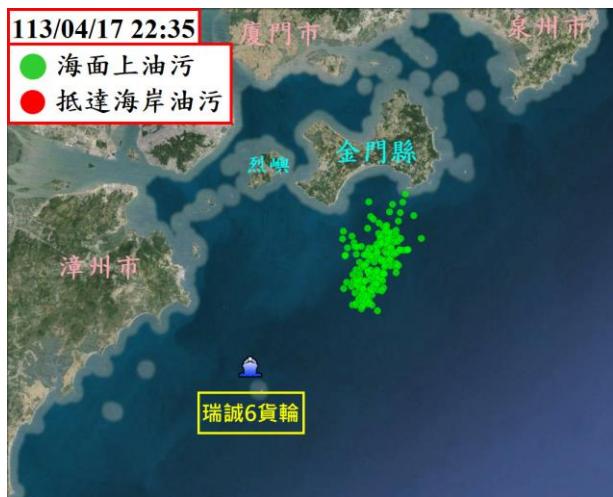


圖 3-1-10 GNOME 模擬未來 12 小時油污染擴散模擬結果

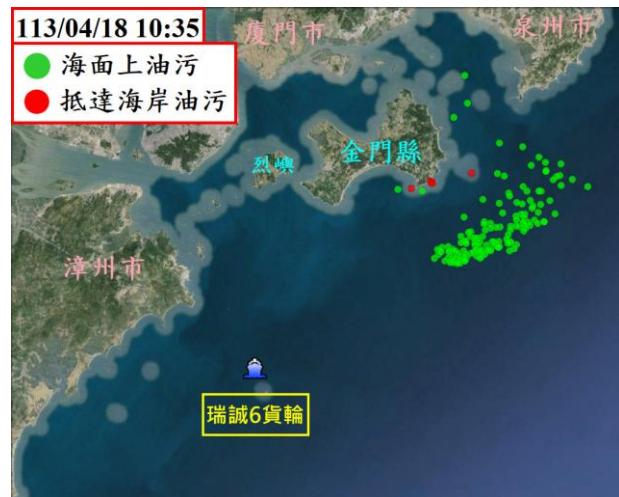


圖 3-1-11 GNOME 模擬未來 24 小時油污染擴散模擬結果

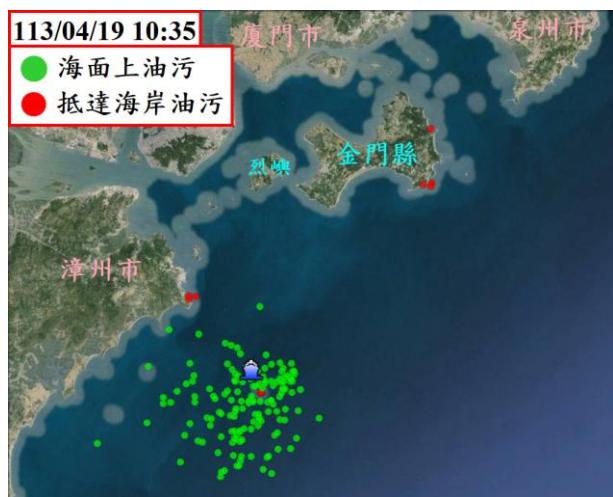


圖 3-1-12 GNOME 模擬未來 48 小時油污染擴散模擬結果

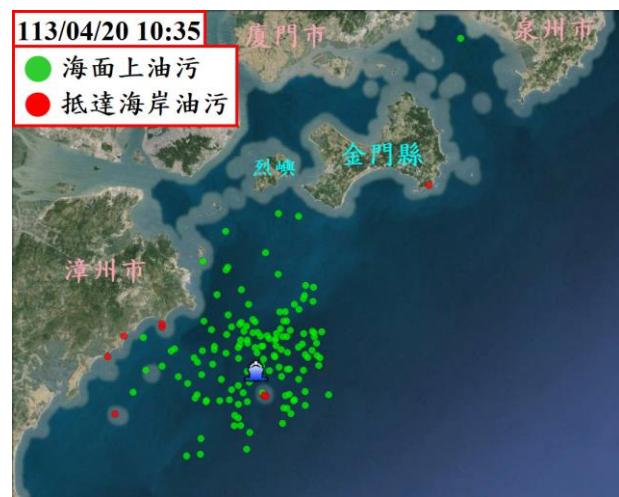


圖 3-1-13 GNOME 模擬未來 72 小時油污染擴散模擬結果

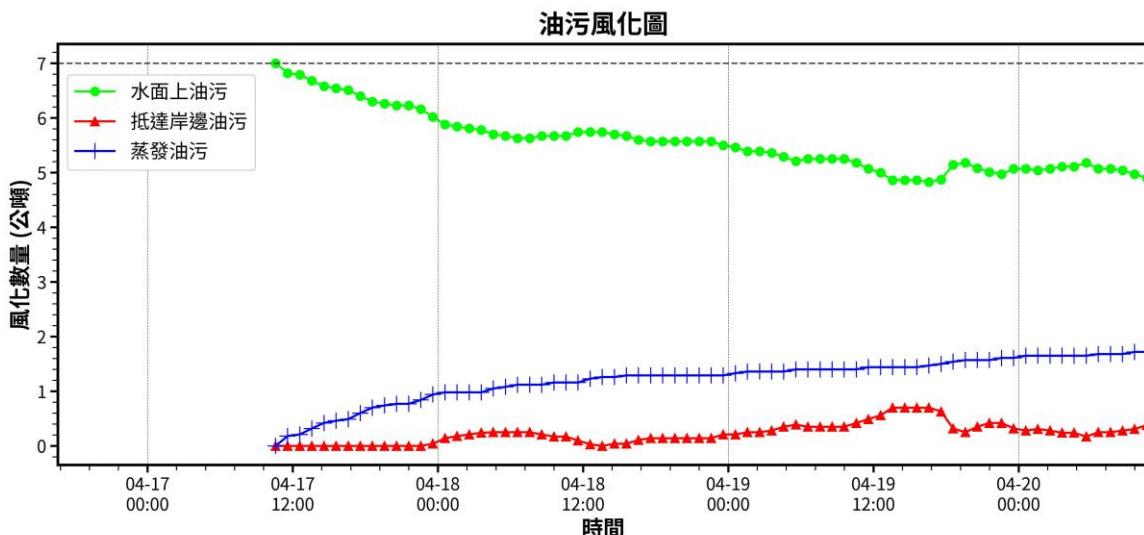


圖 3-1-14 GNOME 模擬退潮期間油污風化隨時間演變結果

表 3-1-4 為執行 72 小時溢油擴散情境模擬參數，表中說明油污溢漏地點、時間、數量，以及海氣象等參數，依據 GNOME 模式模擬漲潮期間油污染擴散的情況。

表 3-1-4 第 1 件案例模擬漲潮期間參數表

項目	參數
溢漏地點	N : 24.174530 ° E : 118.21910 ° 金門料羅西南方7.3浬（如圖3-1-1）
溢漏時間	113年 4月 17日 16:35
油品	重油
溢漏油量	7公噸
溢漏時長	1小時
風場	CWA-WRF
流場	CWA-OCM
海溫	19°C
潮汐	漏油期間正值漲潮期間（如圖3-1-15）
模擬時長	72小時

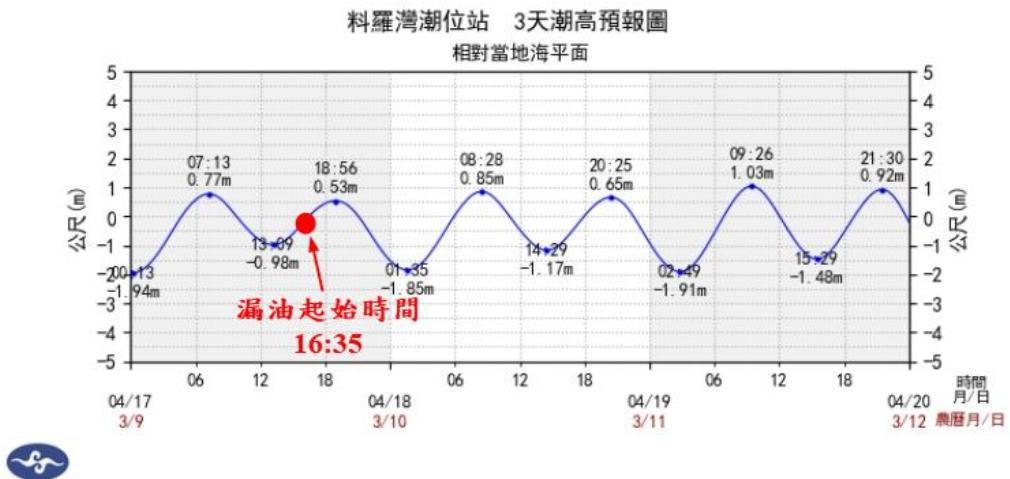


圖 3-1-15 料羅灣潮位預報圖

圖 3-1-16 為氣象署氣象預報模式 CWA-WRF 預測 6 月 17 日 16 時金門海域風場的變化趨勢，圖中箭羽表示風的來向，箭羽顏色表示風的大小，風速大小可參考右邊不同色階的顯示，紅色星號「★」表示漏油位置，由 CWA-WRF 預測風場顯示在油污溢漏期間的風向為西南向。另外，圖 3-1-17 為氣象署海流預報模式 CWA-OCM 預測 6 月 17 日 16 時金門海域海流流場的變化趨勢，圖中流矢箭頭表示流的去向，流速大小可參照右邊的不同色階的顯示，由 CWA-OCM 預測海流流場顯示在油污溢漏期間的流向是西南向。

依據表 3-1-4 模擬參數以 GNOME 執行未來 72 小時油污擴散模擬，且將模擬結果製作 Google Earth 地圖可讀取的 KML 格式，以下分別說明未來 12、24、48、72 小時等時段的油污擴散模擬結果，呈現在 Google Earth 地圖上分布的情況，可協助指揮官擬定油污緊急應變計畫與應變資源配置之參考依據。

如圖 3-1-18 所示，GNOME 模擬未來 12 小時(4/18 04:35)油污擴散模擬結果，受到南南西風以及潮流影響，油污往北北東方向漂移及擴散，海面上油污距料羅灣約 3.8 公里，並未有油污抵達金門海岸。

如圖 3-1-19 所示，GNOME 模擬未來 24 小時(4/18 16:35)油污擴散模擬結果，受到風向由南南西風轉東北風以及潮流影響，油污逐漸往西南方向漂移及擴散，並未有油污抵達金門海岸。

如圖 3-1-20 所示，GNOME 模擬未來 48 小時(4/19 16:35)油污擴散模擬結果，受到風向由北北東轉東風以及潮流影響，油污往西南方向漂移及擴散，並未有油污抵達金門海岸。

如圖 3-1-21 所示，GNOME 模擬未來 72 小時(4/20 16:35)油污擴散模擬

結果，受到風向逐漸轉變至西南風以及潮流影響，海面上油污往東北方向漂移及擴散，油污抵達中國大陸的海岸，也有少許油污漂移至金門「后湖濱海公園」鄰近的海域。

如圖 3-1-22 所示，GNOME 模擬未來 72 小時油污風化模擬結果顯示，在海面上油污剩餘 4.34 公噸，抵達岸邊油污有 0.94 公噸，蒸發油污有 1.72 公噸。

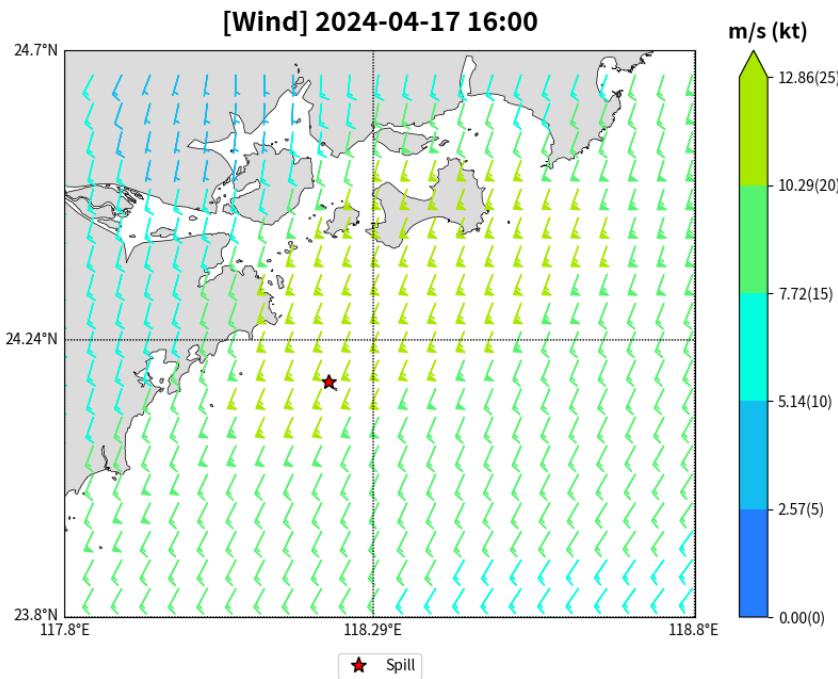


圖 3-1-16 CWA-WRF 預報金門海域風場(04/17 16:00)

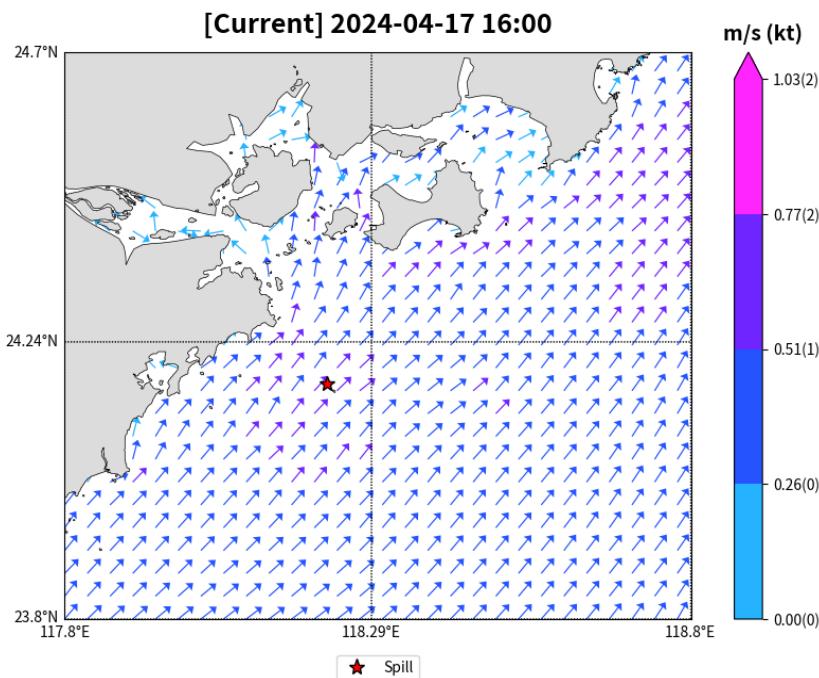


圖 3-1-17 CWA-OCA 預報金門海域海流流場(04/17 16:00)

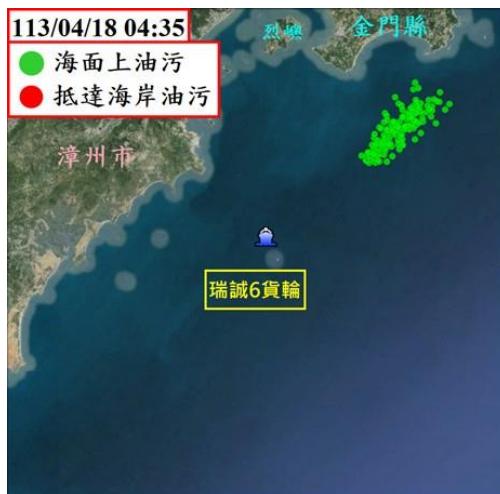


圖 3-1-18 GNOME 模擬未來 12 小時油污擴散模擬結果



圖 3-1-19 GNOME 模擬未來 24 小時油污擴散模擬結果

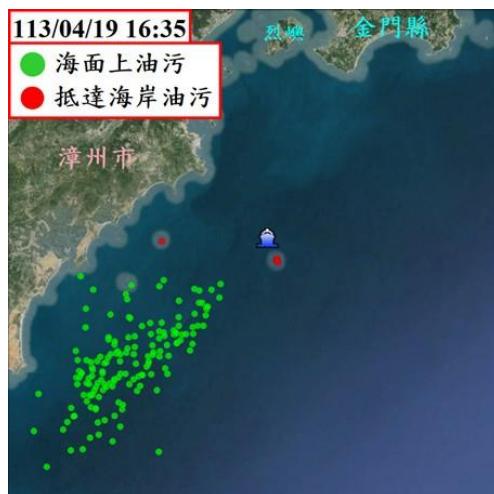


圖 3-1-20 GNOME 模擬未來 48 小時油污擴散模擬結果

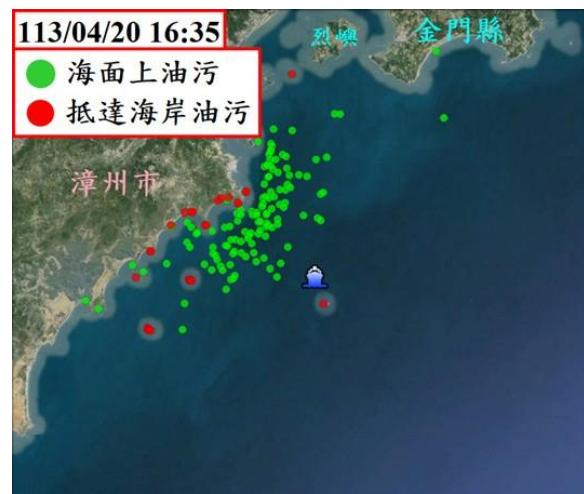


圖 3-1-21 GNOME 模擬未來 72 小時油污擴散模擬結果

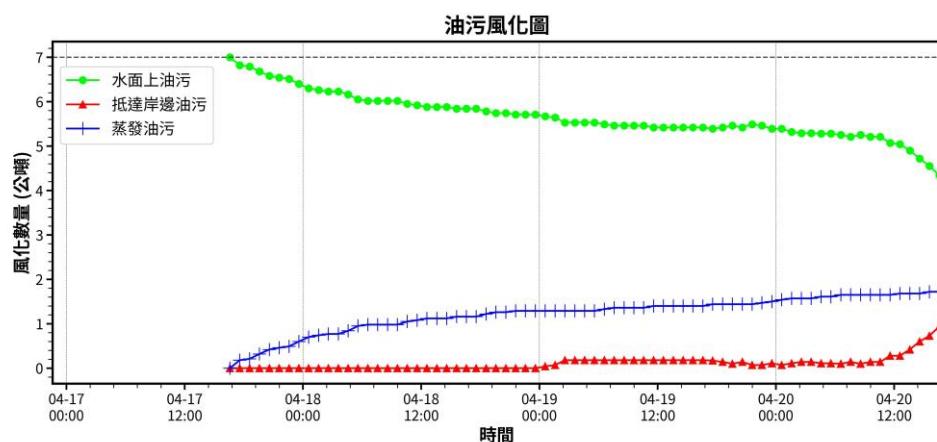


圖 3-1-22 GNOME 模擬漲潮期間油污風化隨時間演變結果

3. 配合應變作業需求或機關指定地點，以單機版海洋油污染擴散模擬工具，進行 12 件油污染事件擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則；模擬作業內容，至少須涵蓋油品種類、海流、風與海岸型態等影響，倘有水深應一併納入模擬；產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、溢油特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污可能上岸區域與數量、海岸環境敏感標示等相關資料。

本項工作依據前述第 2 項工作之方法，採用單機版油污染擴散數值模式 GNOME，並結合氣象署海氣象預報模式產出的海流流場與風場，配合緊急應變作業需求或機關指定地點，至少進行 12 件油污染事件擴散模擬作業。圖 3-1-23 與圖 3-1-24 分別為 GNOME 單機版進行模擬油污染擴散與海流流場及風場變化的情況。圖 3-1-25 為 GNOME 單機版呈現油污染擴散模擬結果，圖中紅色質點顯示油污擴散有考慮風與海流不確定性因素的模擬結果，黑色質點表示未考慮風與海流不確定性因素的模擬結果。GNOME 單機版模擬作業結果雖有呈現海洋表面流預測模擬、海氣象預測、溢油特性分析、依時間序列評估溢油上岸可能性及油污可能上岸區域與數量等特性，但展示介面呈現較簡易。為將模擬結果的呈現讓緊急應變指揮官更容易判讀與辨識，依據上一節第 1 件案例模擬的結果，將海流流場、風場、油污擴散模擬結果採用 Python 程式語言產製成動畫及 KML 檔案。油污擴散模擬結果產製 KML 檔案有以下 3 項的優點：

- a. 不須建置專屬的 GIS 平台呈現油污擴散模擬結果。
- b. 在個人電腦與手機、平板等裝置設備與不同作業系統(Windows、MacOS、Android、iOS)皆可快速開啟油污擴散模擬結果，並呈現在 Google Earth 地圖上。
- c. 緊急應變指揮官透過 Google Earth 地圖可快速得知油污擴散影響範圍以及到達海岸與海岸環境敏感區的距離，有利規劃油污染緊急應變計畫，並降低油污染對海洋環境的衝擊。

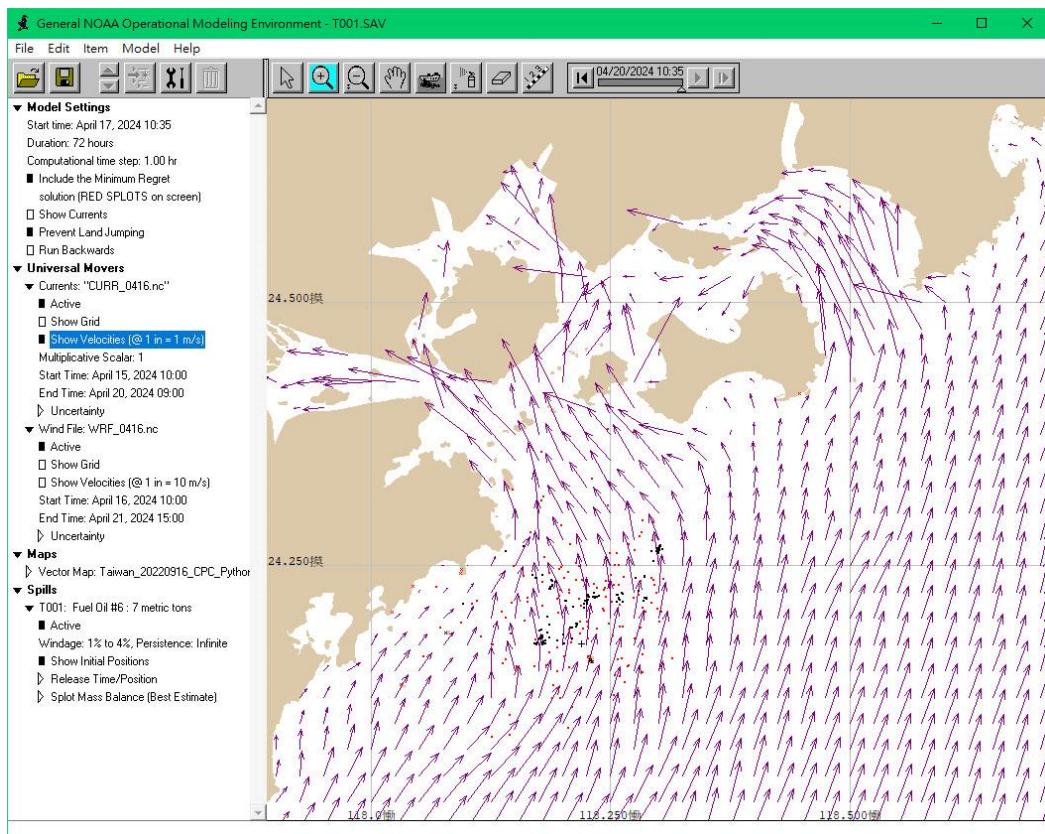


圖 3-1-23 GNOME 單機版進行油污擴散模擬與呈現海流流場的變化

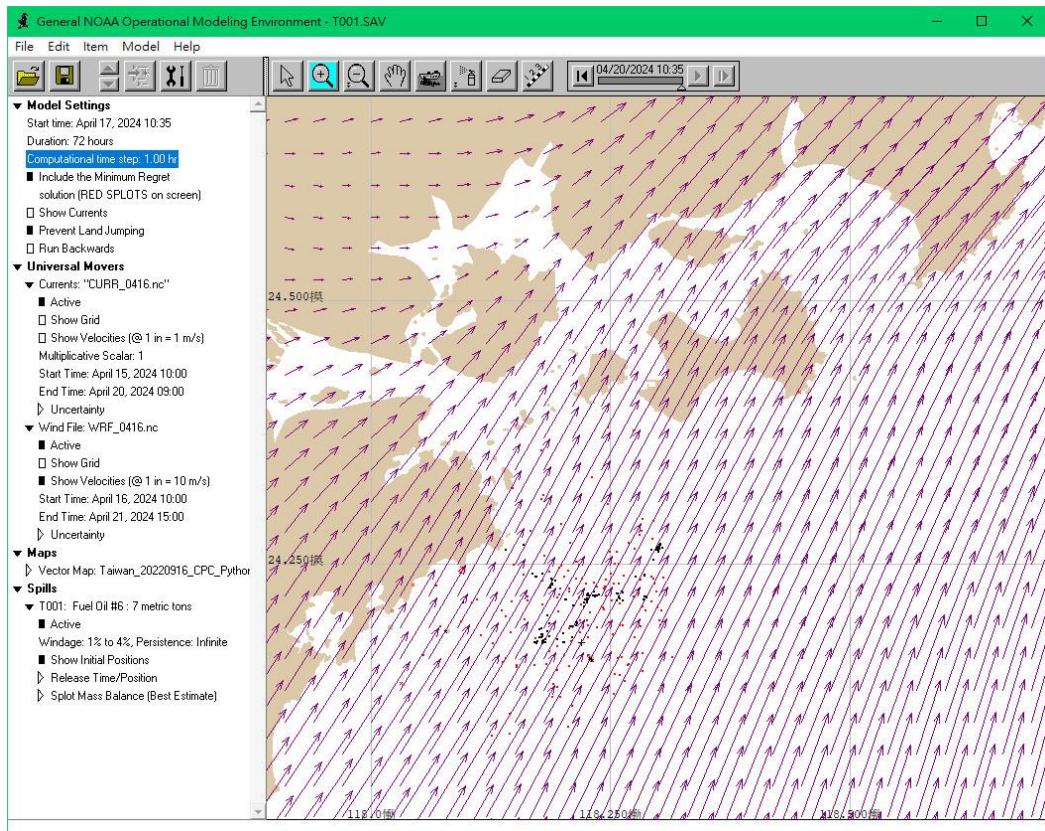


圖 3-1-24 GNOME 單機版進行油污擴散模擬與呈現風場的變化

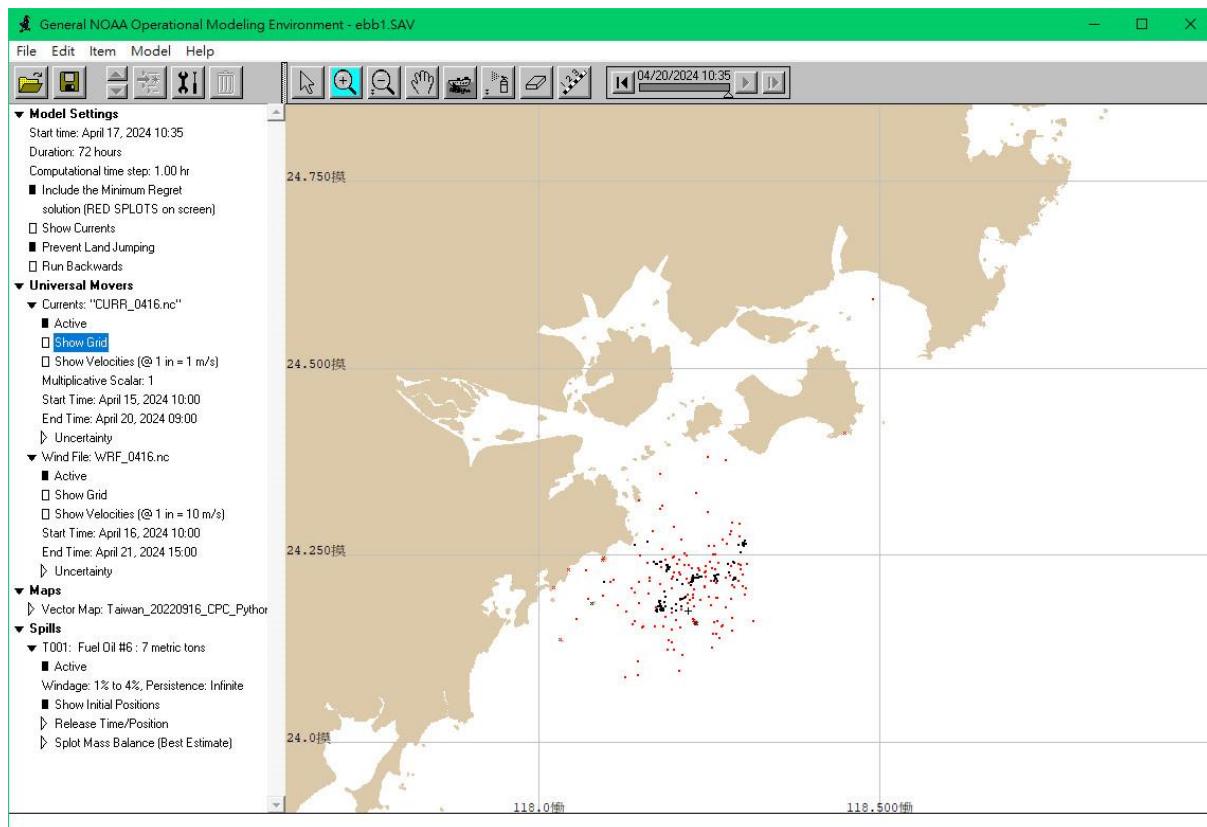


圖 3-1-25 GNOME 單機版進行油污擴散模擬的結果

今(113)年度截至 12 月中共進行 18 件油污染擴散緊急應變與演練模擬作業(如表 3-1-1)，其中第 15 件於 10 月 1 日在蘭嶼龍門港海岸擱淺之巴貝多籍貨輪與第 17 件於 10 月 29 日在新北市野柳海岸擱淺之中國籍「鈺洲啟航」貨輪都是位於重要生態與漁業資源敏感區，且第 17 件擱淺位置也接近重要資源敏感區(仍持續進行緊急應變模擬作業中)。本項工作即以第 15 件與第 17 案例說明應用 GNOME 單機版執行海洋油污染擴散模擬作業。

#### a. 第 15 件巴貝多籍貨輪於蘭嶼龍門港海岸擱淺事件

第 15 件案例為巴貝多籍貨輪(以下簡稱「巴」輪)航行在蘭嶼南方海域，受到強烈颱風山陀兒影響，於 10 月 1 日清晨於蘭嶼西南方 18 浬因機艙進水失去動力，最後受海氣象因素漂流至蘭嶼龍門港海岸並擱淺，若發生油污洩漏事件，將會對蘭嶼的海洋環境生態與漁業資源造成重大的影響。本案執行團隊於 10 月 1 日清晨 05:50 接獲海保署通知，隨即啟動油污染擴散緊急應變模擬作業，每天需模擬漲退潮期間的油污擴散情況提供海保署進行緊急應變之參考。本件案例自啟動(10/01)至結束(10/13)共計執行 13 天與 54 次的緊急應變模擬作業，ITOPF(國際油輪船東協會)也在緊急應變期間 10 月 4 日派油污染緊急應變專家到蘭嶼勘查船舶擱淺的情況，並提供油污染擴散模擬結果。ITOPF 也是應

用美國 NOAA 開發的 WebGNOME 進行油污擴散模擬作業，而 WebGNOME 與本計畫應用的 GNOME 單機版皆是美國 NOAA 開發之油污擴散模擬軟體，並採用相同的油污風化理論進行油污漂移及擴散的演算，唯 WebGNOME 透過網路即可執行油污擴散模擬作業，不需要安裝在個人電腦。有鑑於此，本案執行團隊以 10 月 4 日的油污擴散緊急應變模擬作業結果與 ITOPF 模擬的油污擴散結果作探討，比較二個模擬結果的差異性。

表 3-1-5 為本案執行團隊於 10 月 4 日進行第 15 案例「巴」輪於漲潮期間緊急應變模擬作業的模擬參數，由表中資料顯示「巴」輪在蘭嶼龍門港海岸擱淺(如圖 3-1-26 所示)，船上油帳資料顯示有裝載柴油與低硫燃油，數量分別為 39.52 與 250.40 公噸，海氣象預報的海流流場與風場資料來自氣象署的 CWA-OCM 與 CWA-WRF，情境模擬油污洩漏時間為 10 月 4 日 15:00，正值漲潮期間(如圖 3-1-28)，並以 GNOME 同時進行柴油與低硫燃油的油污擴散模擬作業，預測未來 72 小時油污漂移及擴散情況，模擬結果說明如下。

圖 3-1-29 為強烈颱風山陀兒(KRATHON)於 9 月 27 日至 10 月 3 日之侵臺路徑(資料來源：氣象署)，氣象署於 9 月 29 日 8 時 30 發布海上颱風警報。9 月 30 日 2 時 30 分暴風圈逐漸接近巴士海峽，對臺東、恆春半島構成威脅，發布陸上颱風警報。圖 3-1-30 為 CWA-WRF 預測 10 月 4 日 15:00 的風場，圖中紅色星號標記顯示「巴」輪擱淺位置，由預測風場顯示受強烈颱風山陀兒影響，在東部海域的風向呈現多變的情況。圖 3-1-31 為 CWA-OCM 預測 10 月 4 日 15:00 的海流流場，圖中紅色星號標記顯示「巴」輪擱淺位置，由預測海流流場顯示海流受到黑潮影響往北方向流動。

如圖 3-1-32 所示，未來 12 小時(10/05 03:00)油污擴散模擬結果顯示，受到東北風與東風以及潮流影響，分布在蘭嶼西部近岸海域。抵達海岸油污分布在蘭嶼南部海岸，油污分布在海岸範圍約有 6.1 公里。

如圖 3-1-33 所示，未來 24 小時(10/05 15:00)油污擴散模擬結果顯示，受到東北風與東風以及潮流影響，分布在蘭嶼四周至臺東近岸海域。抵達海岸油污分布在蘭嶼南部海岸，油污分布在海岸範圍約有 7.5 公里，亦有部分油污抵達綠島南部海岸。

如圖 3-1-34 所示，未來 48 小時(10/06 15:00)油污擴散模擬結果顯示，受到東風與北風以及潮流影響，分布在蘭嶼南四周至花蓮外海海域。抵達海岸油

污主要分布在蘭嶼海岸，油污分布在海岸範圍約有 22.2 公里，亦有部分油污抵達綠島南部海岸。

如圖 3-1-35 所示，未來 72 小時(10/07 15:00)油污染擴散模擬結果顯示，受到東北風以及潮流影響，海面上油污分布在蘭嶼四周至宜蘭外海海域，往西北方向漂移及擴散，油污染距臺東東河鄉海岸約 15.1 公里、距花蓮豐濱鄉海岸約 20.4 公里。抵達海岸油污主要分布在蘭嶼東部至北部海岸，油污分布在海岸範圍約有 19.7 公里，亦有部分油污抵達綠島海岸。

如圖 3-1-36 所示，未來 72 小時柴油風化模擬結果顯示，在海面上油污剩餘 8.39 公噸，抵達岸邊油污 6.58 公噸，蒸發油污有 24.55 公噸。

如圖 3-1-37 所示，未來 72 小時低硫燃油風化模擬結果顯示，在海面上油污剩餘 80.60 公噸，抵達岸邊油污 51.80 公噸，蒸發油污有 118.00 公噸。

表 3-1-5 第 15 案例於漲潮期間模擬參數表

項目	參數
溢漏地點	N： 22.001774° E： 121.586226° 蘭嶼龍門港海岸擋淺(如圖3-1-26)
溢漏時間	113年10月4日 15:00
油品	柴油與低硫燃油
溢漏油量	39.52與250.40公噸
溢漏時長	1小時
風場	CWA-WRF
流場	CWA-OCM
海溫	26.9 °C (如圖3-1-27)
潮汐	漏油期間正值漲潮期間 (如圖3-1-28)
模擬時長	72小時

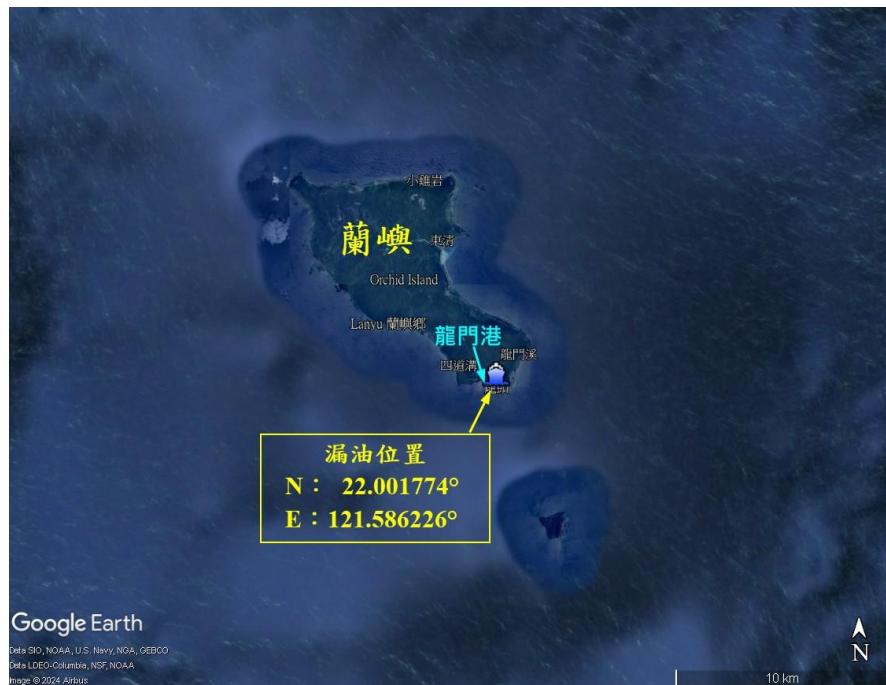


圖 3-1-26 「巴」輪擋淺在蘭嶼龍門港海岸示意圖

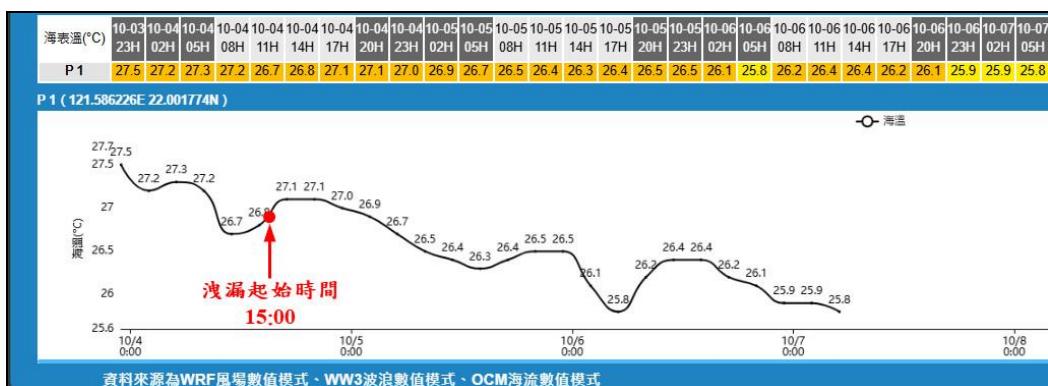


圖 3-1-27 蘭嶼龍門港海岸預報海溫

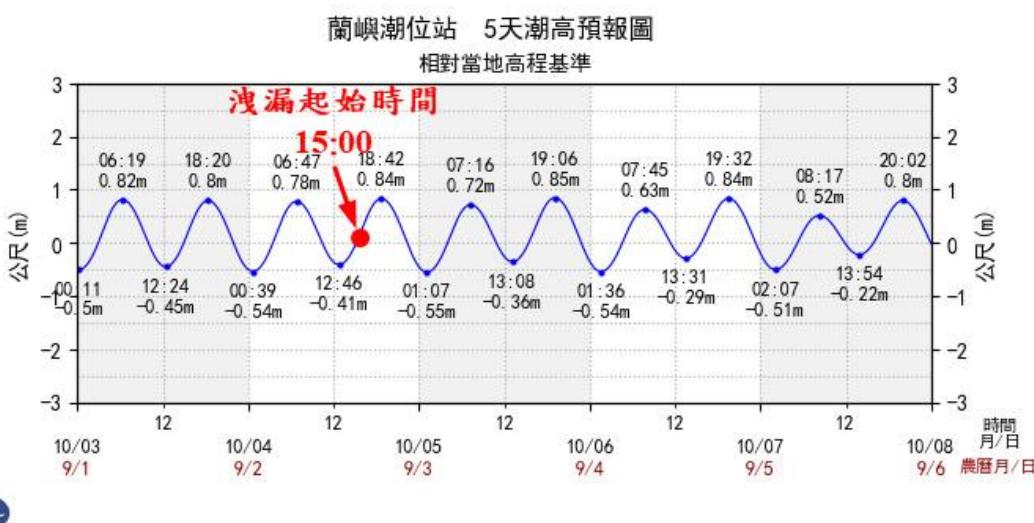


圖 3-1-28 蘭嶼潮位預報圖

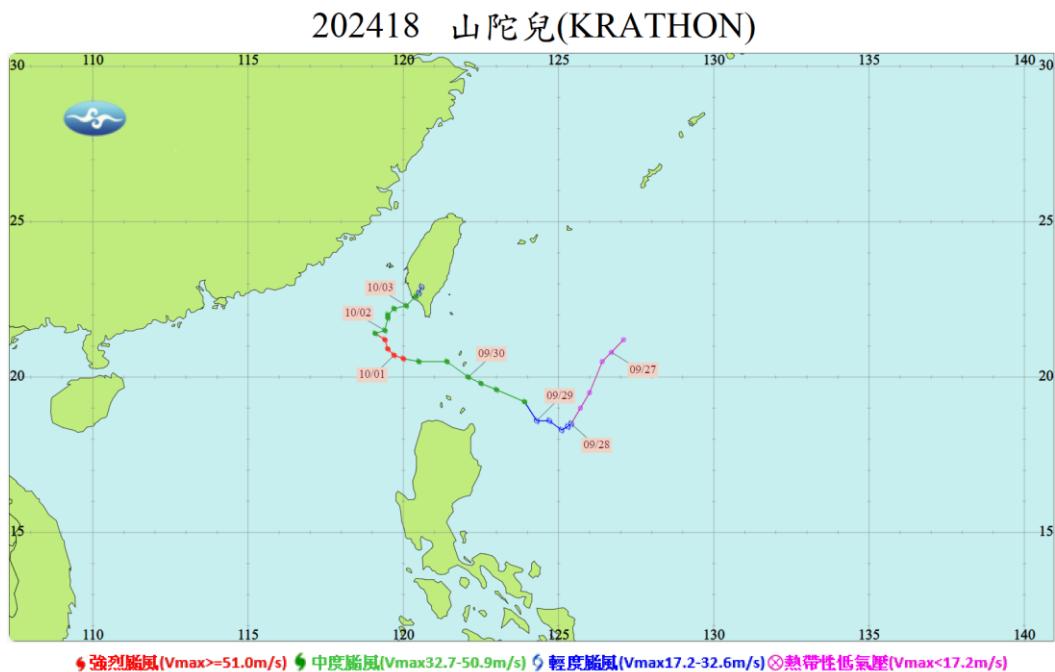


圖 3-1-29 強烈颱風山陀兒(KRATHON)於 9 月 27 日至 10 月 3 日之侵臺路徑

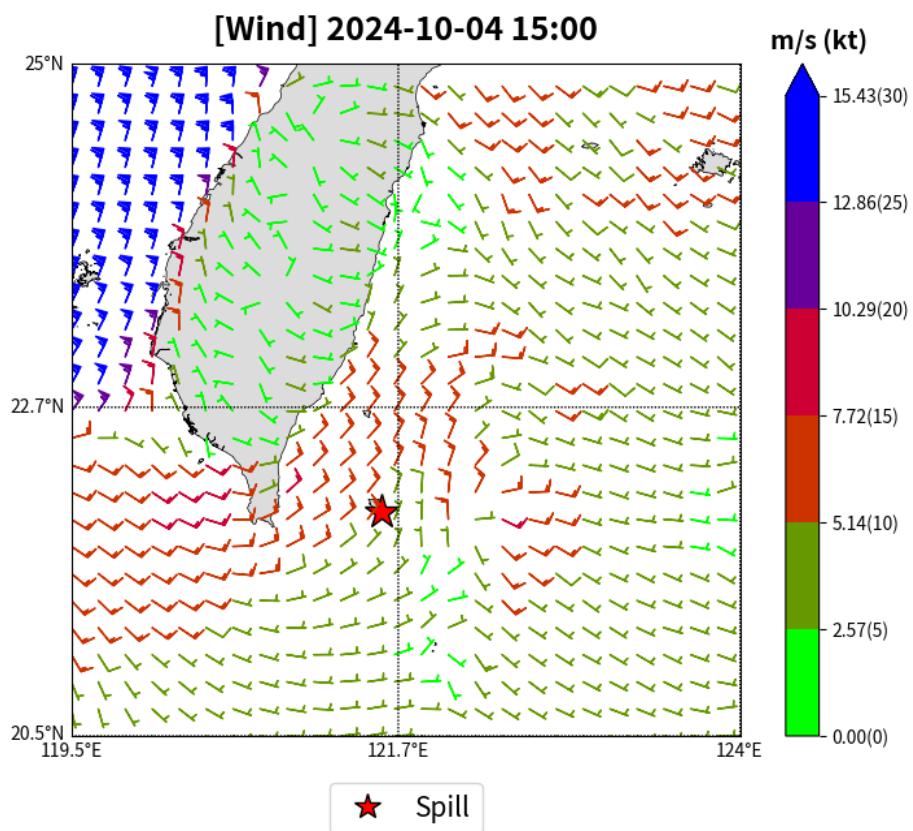


圖 3-1-30 CWA-WRF 預測 10/04 15:00 的風場

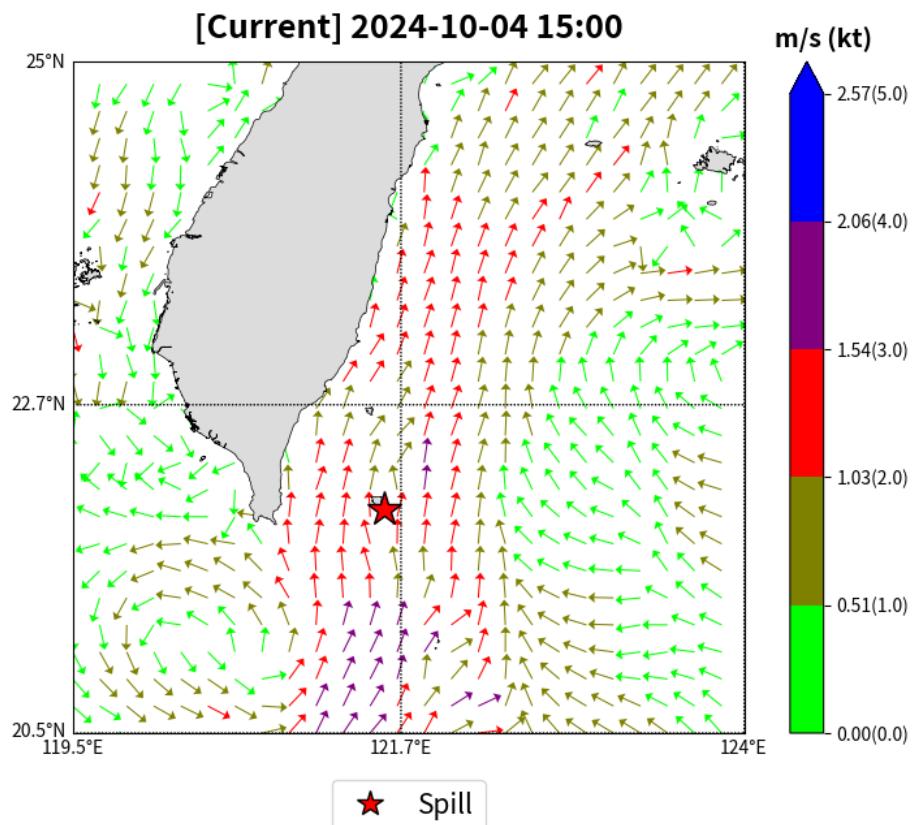


圖 3-1-31 CWA-OCM 預測 10/04 15:00 的海流流場

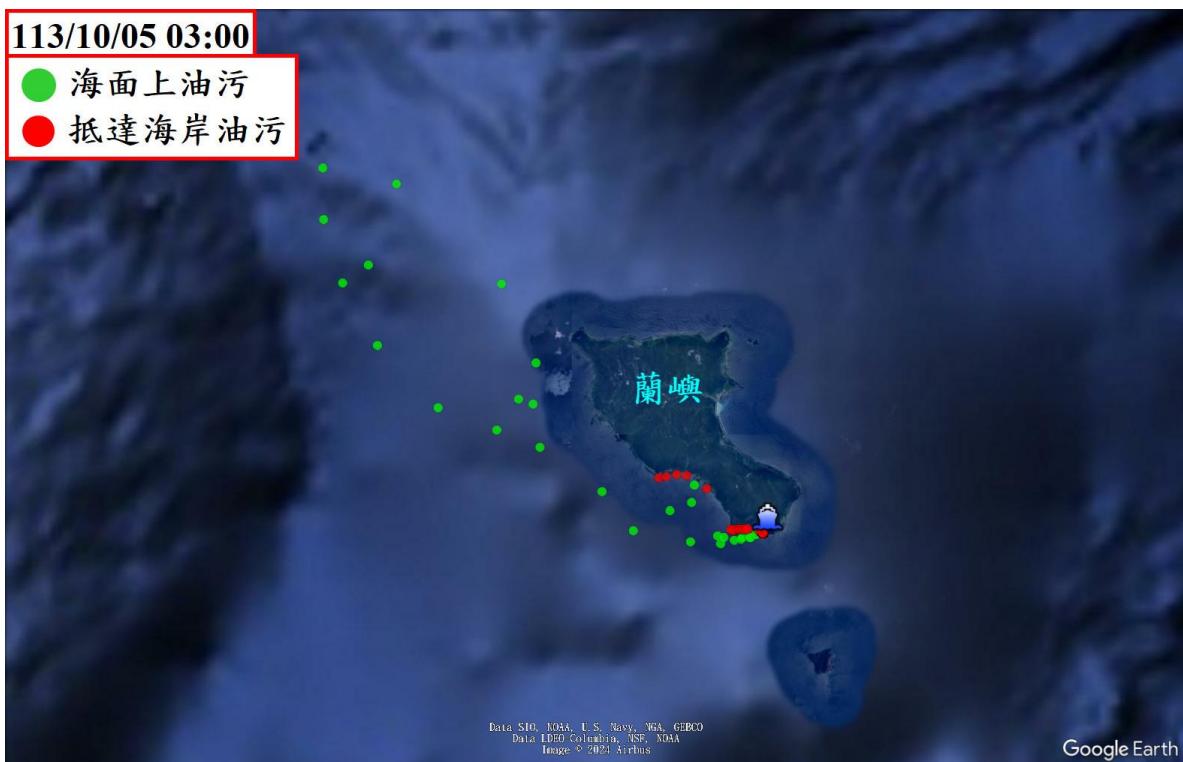
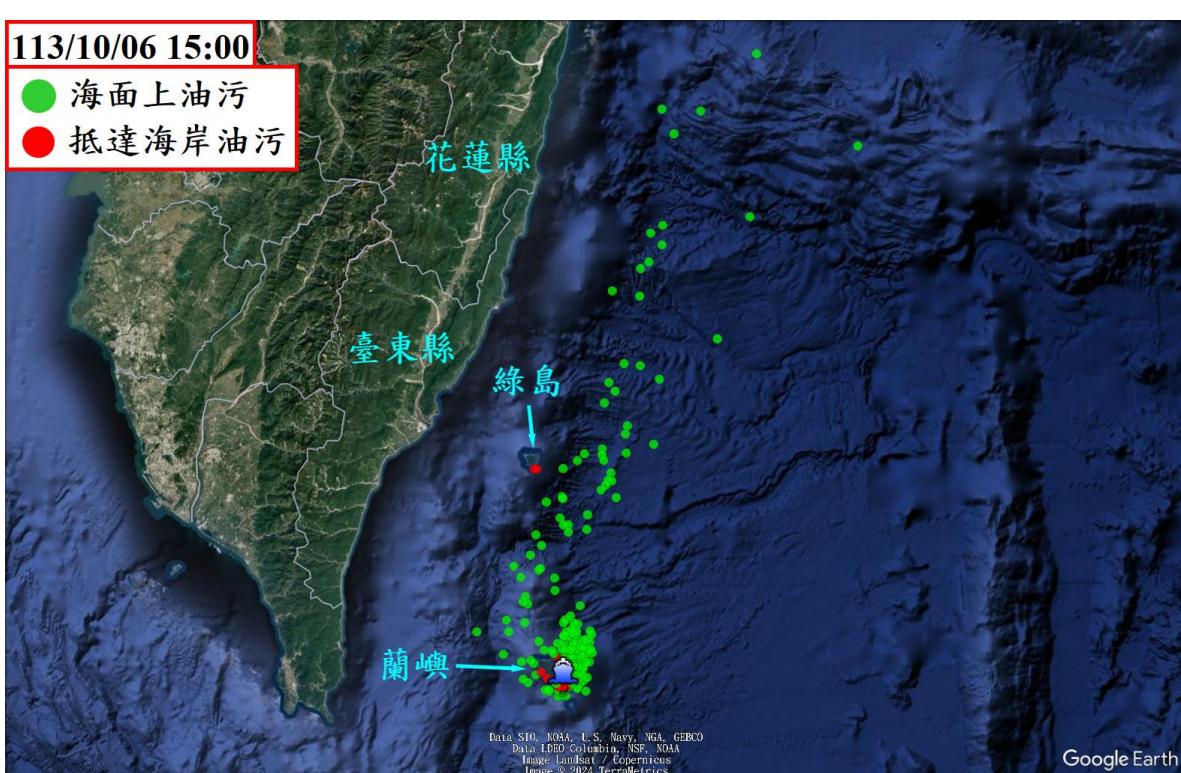
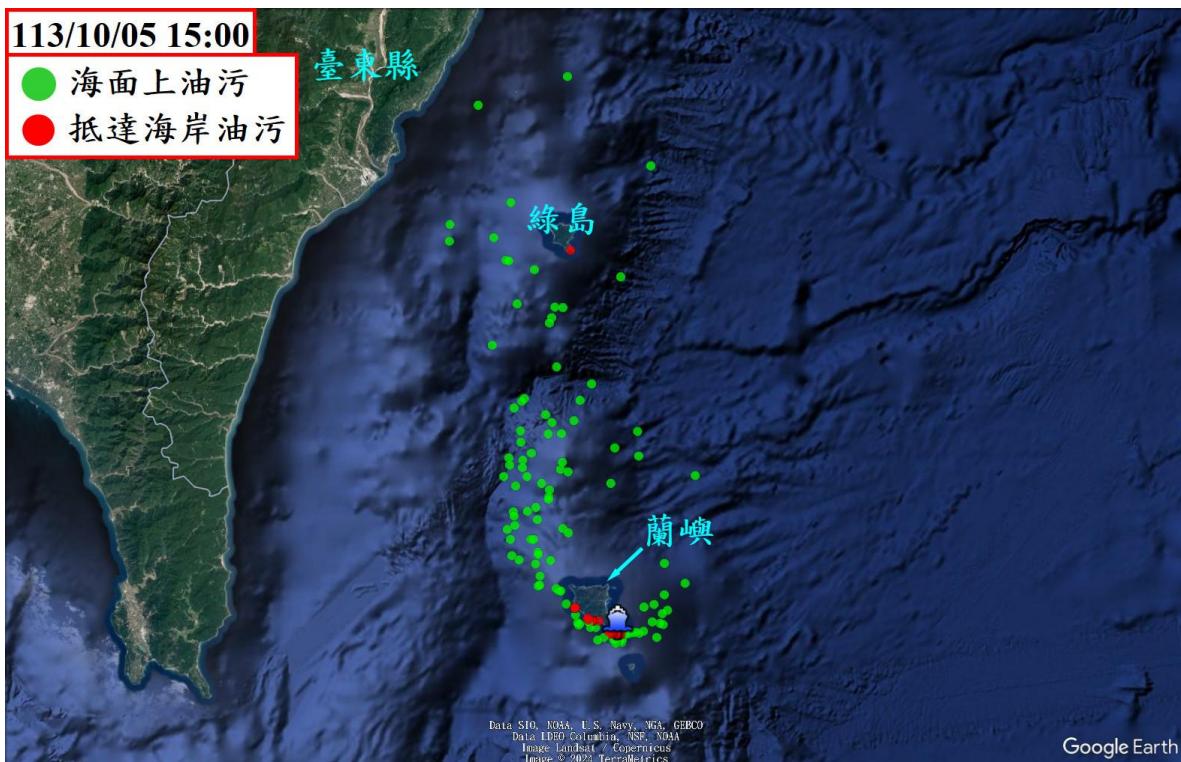


圖 3-1-32 未來 12 小時油污染擴散模擬結果



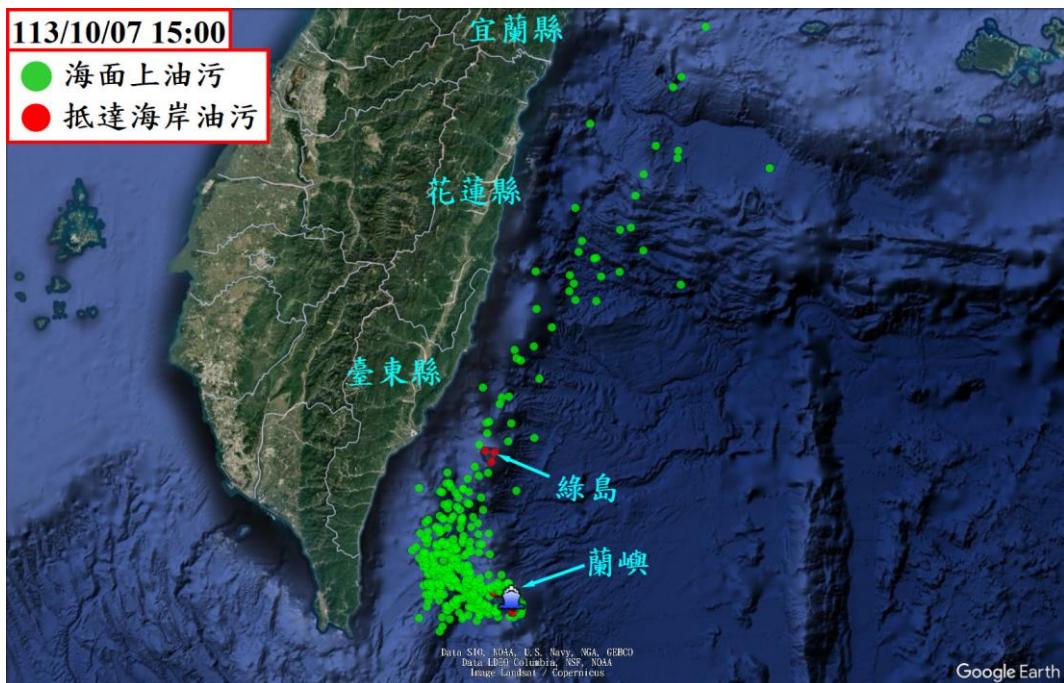


圖 3-1-35 未來 72 小時油污染擴散模擬結果

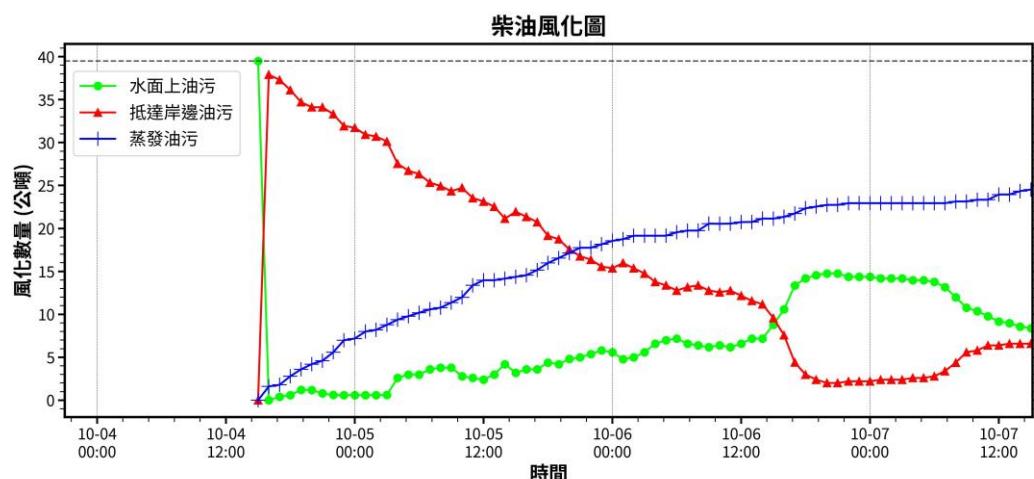


圖 3-1-36 柴油風化隨時間演變結果

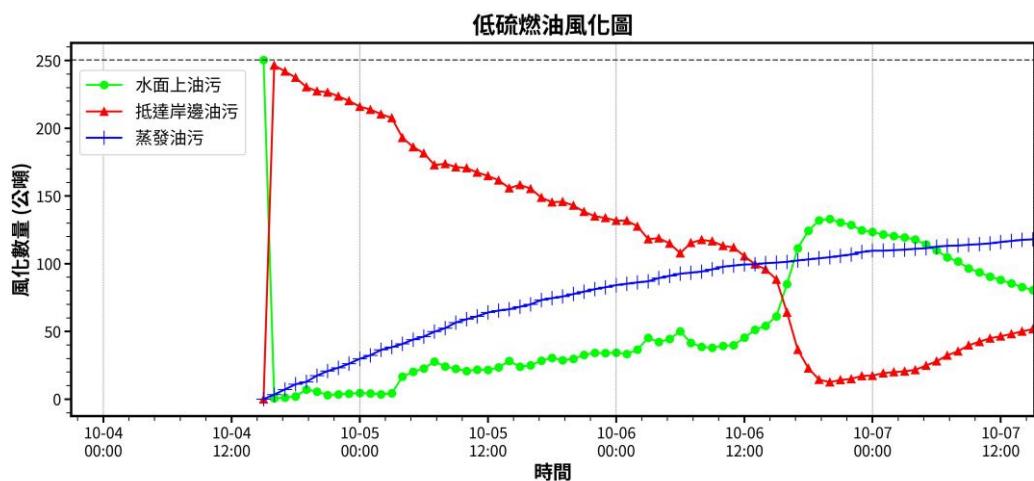


圖 3-1-37 低硫燃油風化隨時間演變結果

圖 3-1-38 為 ITOPF 提供 10 月 4 日模擬輕質油污染擴散結果，圖 3-1-39 則為 ITOPF 提供 10 月 4 日模擬重油污染擴散結果，圖中黑色質點表示油污染。由輕質油模擬結果顯示油污大部分在海面上揮發逸散至空氣中，存在海面上的油污染數量明顯減少；而重油污染擴散結果則顯示大部分油污仍在海面上，且往北方向漂移並影響到綠島南部海岸。ITOPF 提供 10 月 4 日輕質油與重油的模擬結果顯示油污在初始洩漏時往蘭嶼東岸方向漂移及擴散，接續隨即往北方向漂移及擴散，而本案執行團隊在柴油與低硫燃油的模擬結果顯示油污在初始洩漏時往蘭嶼西岸方向漂移及擴散，接續隨即往北方向漂移及擴散。ITOPF 提供 10 月 4 日初始洩漏時模擬油污漂移方向與本案執行團隊雖呈現不一致方向，但後續 ITOPF 與本案執行團隊模擬結果皆顯示油污往北方向漂移及擴散。由於 ITOPF 並未列出 10 月 4 日模擬油品種類、油污溢洩起始時間、潮汐漲退時間、洩漏數量、海流流場與風場等相關參數的設定資訊，所以初始洩漏時模擬油污漂移方向與本案執行團隊會有所不同，但油污一旦繞過蘭嶼南部海域後，本案執行團與 ITOPF 模擬油污在東部海域皆會受到黑潮影響皆往北方向漂移及擴散，有可能對綠島與臺灣東部海岸造成影響。由上述 ITOPF 與本案執行團隊針對 10 月 4 日的油污擴散模擬結果得知，在蘭嶼南部海岸若發生油污染事件，油污染會受到黑潮帶往北方向漂移及擴散。

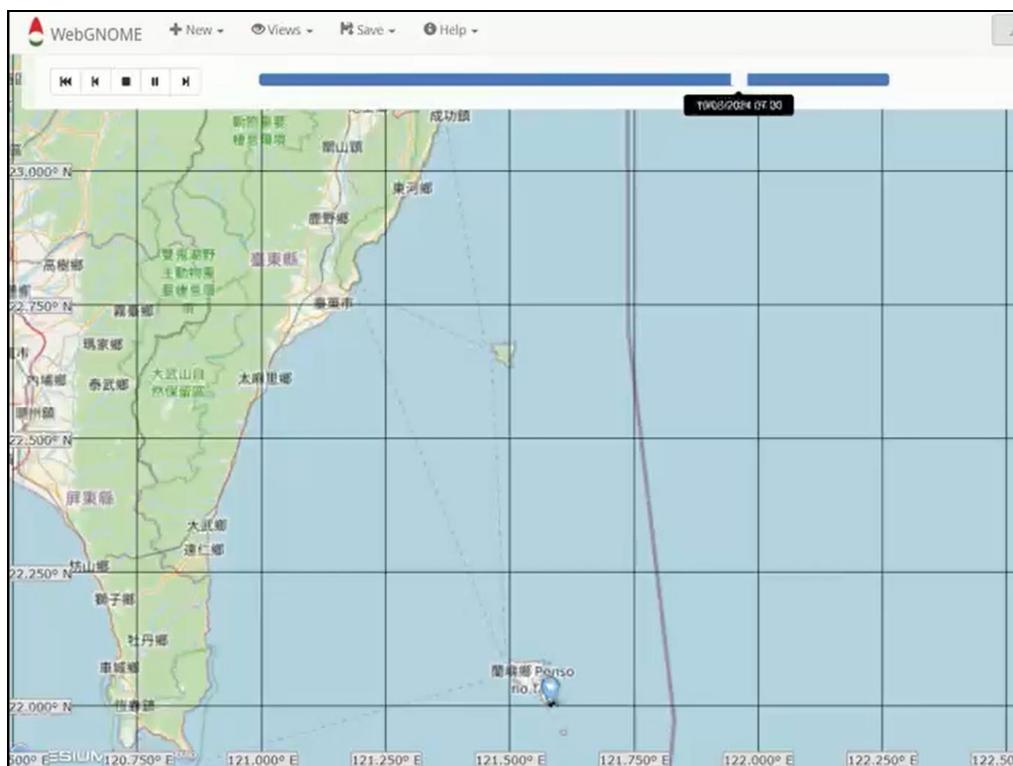


圖 3-1-38 ITOPF 提供 10 月 4 日模擬輕質油污染擴散結果

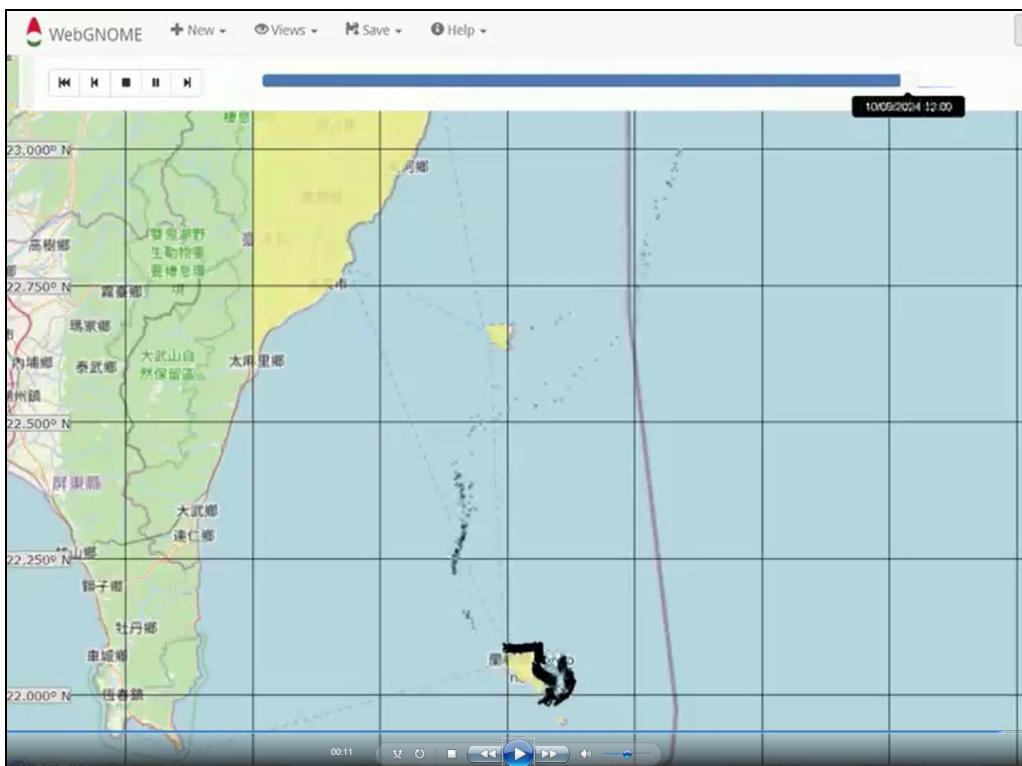


圖 3-1-39 ITOPF 提供 10 月 4 日模擬重油污染擴散結果

b. 第 17 件中國大陸籍「鈺洲啟航」貨輪於新北市野柳海岸擋淺事件

第 17 件案例為中國大陸籍「鈺洲啟航」貨輪(以下簡稱「鈺」輪)10 月 29 日航行至野柳岬 0.6 浬近海，由於強烈颱風康芮外圍環流造成巨大風浪失去動力後下雙錨棄船，並於 10 月 30 日在新北市野柳公園海岸擋淺，由於颱風康芮造成風浪大，船上已有一部橋式起重機倒塌，外界擔心「鈺」輪船體受損，導致重油洩漏，造成東北角海洋嚴重污染。本案執行團隊於 10 月 29 日晚上 21:02 接獲海保署通知，隨即啟動油污染擴散緊急應變模擬作業，由於「鈺」輪油帳資料顯示船上裝載重油與輕油 2 種油品，所以每天需進行 2 套油污染擴散模式(GNOME 與 SCHISM)及模擬漲退潮期間的油污擴散情況，提供海保署進行緊急應變作業之參考。本件案例目前仍在進行緊急應變模擬作業，以下即以 GNOME 單機版執行 10 月 29 日與 11 月 5 日的油污擴散模擬結果為例，說明颱風期間與颱風遠離後油污染擴散模擬結果的差異，以及提供海保署應用在油污染緊急應變計畫之作業情況。

表 3-1-6 為本案執行團隊於 10 月 29 日進行第 17 案例「鈺」輪於退潮期間緊急應變模擬作業的模擬參數，由表中資料顯示「鈺」輪在新北市野柳岬 0.6 浬近海下錨等待救援(如圖 3-1-40 所示)，船上油帳資料顯示有裝載重油與輕

油，數量分別為 247 與 37 公噸，海氣象預報的海流流場與風場資料來自氣象署的 CWA-OCM 與 CWA-WRF，情境模擬油污洩漏時間為 10 月 29 日 21:10，正值退潮期間(如圖 3-1-42)，並以 GNOME 同時執行重油與輕油的油污染擴散模擬作業，預測未來 72 小時油污漂移及擴散情況，模擬結果說明如下。

表 3-1-6 第 17 案例於 10 月 29 日退潮期間模擬參數表

項目	參數
溢漏地點	N : 25.232985° E : 121.704567° 基隆港西北方 0.9 浬 (如圖 3-1-40)
溢漏時間	113 年 10 月 29 日 21:10
油品	重油與輕油
溢漏油量	247 與 37 公噸
溢漏時長	1 小時
風場	CWA-WRF
流場	CWA-OCM
海溫	27.1 °C (如圖 3-1-41)
潮汐	漏油期間正值退潮期間 (如圖 3-1-42)
模擬時長	72 小時

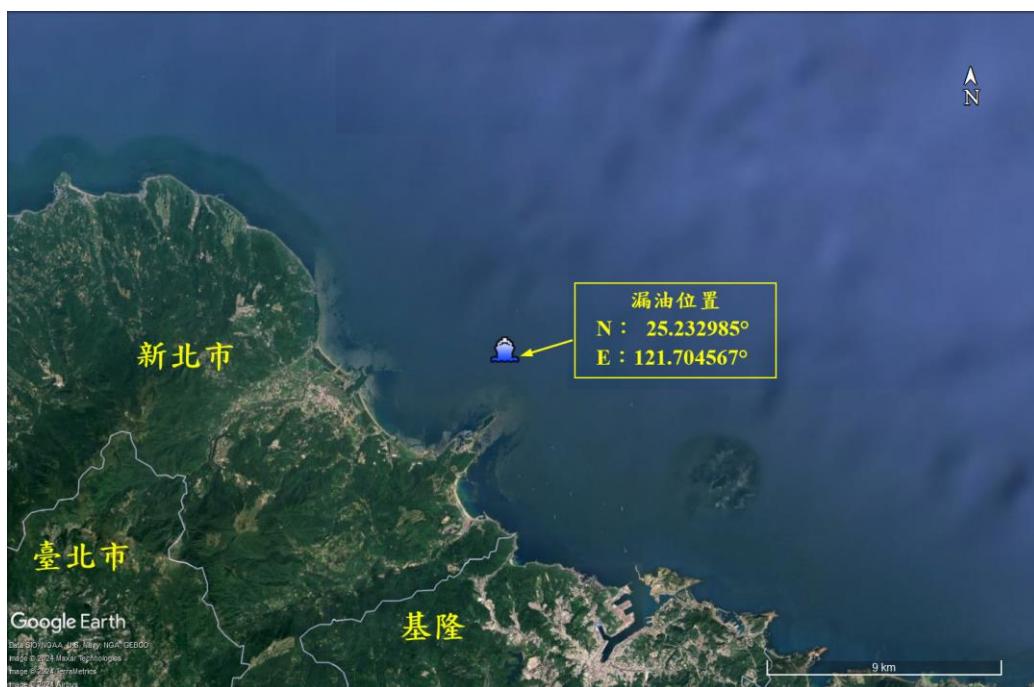


圖 3-1-40 「鈺」貨輪於基隆港西北方 0.9 浬處發生主機故障之位置

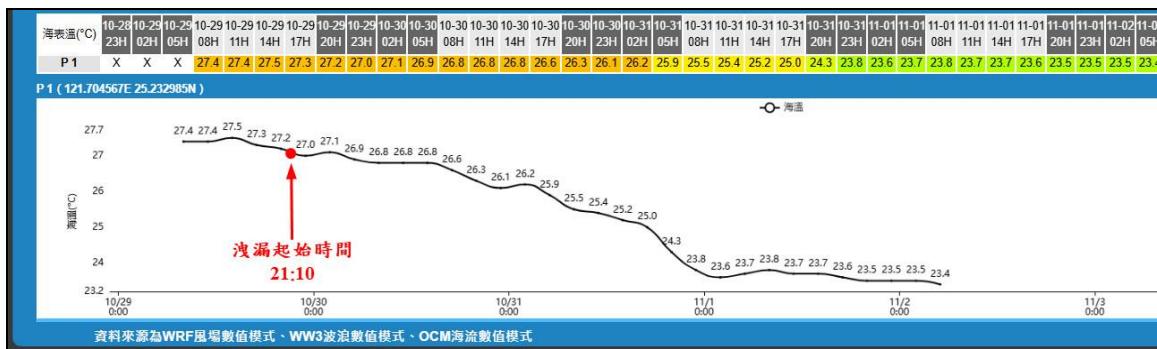


圖 3-1-41 基隆港西北方 0.9 浬預報海溫

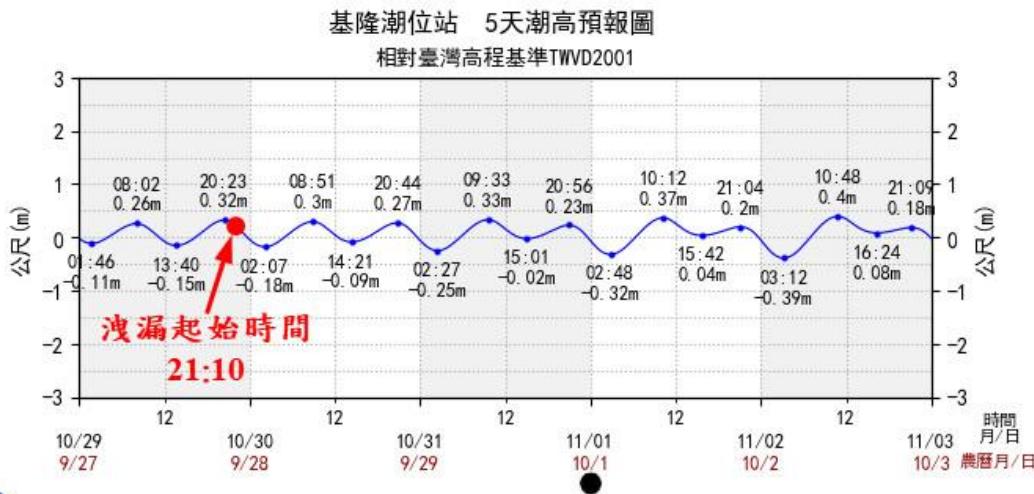


圖 3-1-42 基隆港潮位預報圖

圖 3-1-43 為強烈颱風康芮(KONG-REY)於 10 月 24 日至 10 月 1 日之侵臺路徑(資料來源：氣象署)，氣象署於 10 月 29 日 17 時 30 發布海上颱風警報。暴風圈逐漸接近巴士海峽，對臺灣東南部海面構成威脅，並於 10 月 31 日 14:30 在臺東縣成功附近登陸。圖 3-1-44 為 CWA-WRF 預測 10 月 29 日 21:00 的風場，圖中紅色星號標記顯示「鈺」輪在新北市野柳外海下錨位置，由預測風場顯示受在新北市野柳海域的風向呈現東北方向。圖 3-1-45 為 CWA-WRF 預測 11 月 1 日 19:00 的風場，由預測風場顯示受強烈颱風康芮(KONG-REY)影響，在新北市野柳海域的風向由東北方向轉為往西方向。圖 3-1-46 為 CWA-OCM 預測 10 月 29 日 21:00 的海流流場，圖中紅色星號標記顯示「鈺」輪在新北市野柳外海 0.9 海浬下錨位置，由預測海流流場顯示海流由漲潮剛轉變至退潮期間，新北市野柳外海海域海流仍往臺灣海峽方向流動；圖 3-1-47 為 CWA-OCM 預測 11 月 1 日 19:00 的海流流場，此時新北市野柳海域海流往岸邊方向流動。由風場預報資料顯示颱風期間的風向呈現多變的情況，而海流在東北角外海海域雖呈現漲退潮流動的變化趨勢，但接近極近岸地區受到東北角海岸彎曲地形影

響，海流會呈現環流或向岸方向流動的現象。

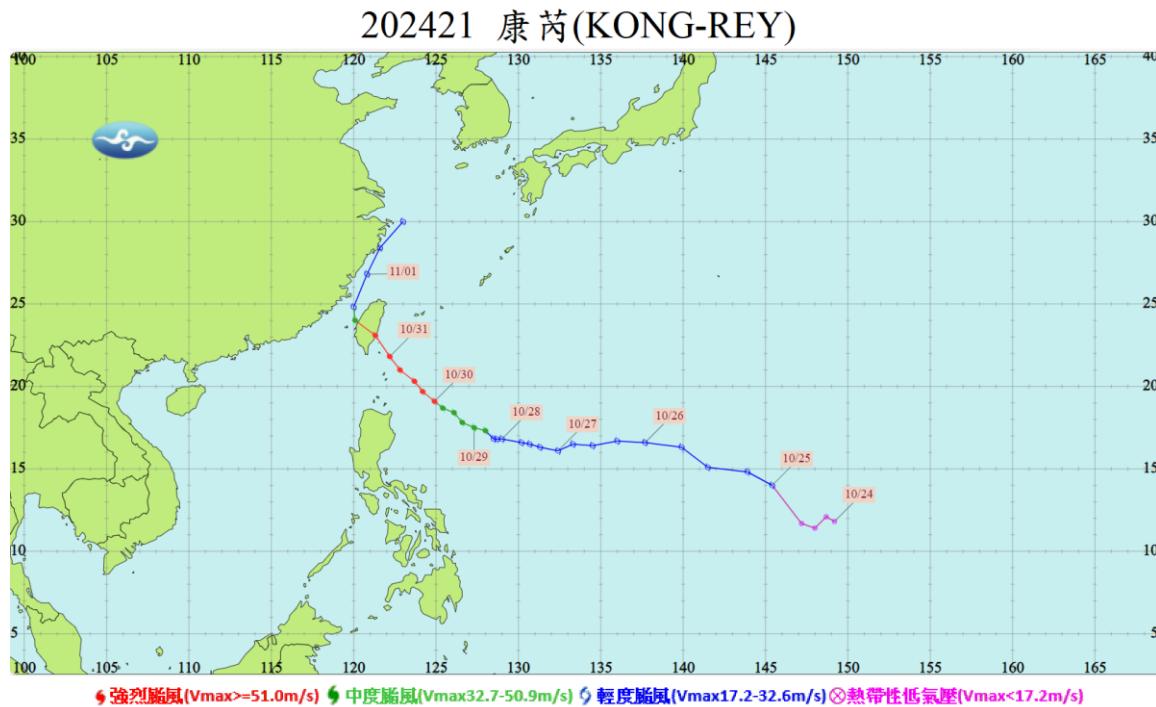


圖 3-1-43 強烈颱風康芮(KONG-REY)於 10 月 24 日至 10 月 1 日之侵臺路徑

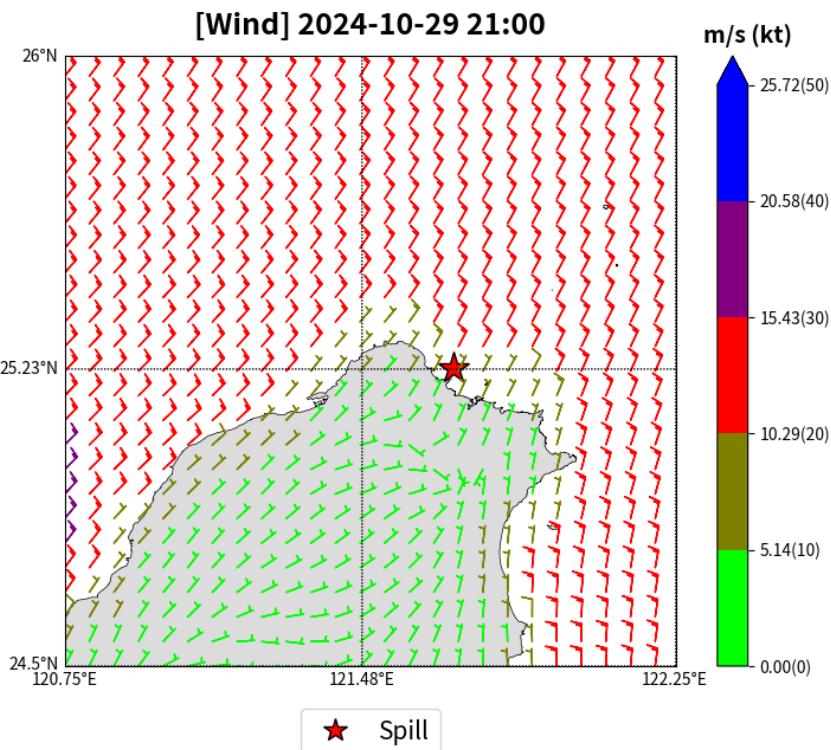


圖 3-1-44 CWA-WRF 預測 10/29 21:00 的風場

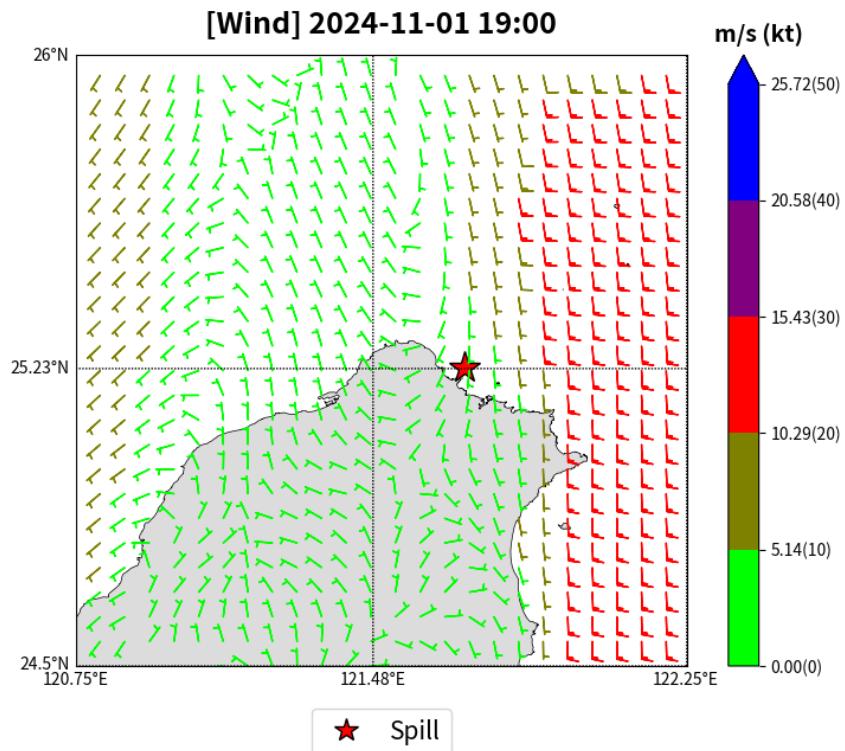


圖 3-1-45 CWA-WRF 預測 11/01 19:00 的風場

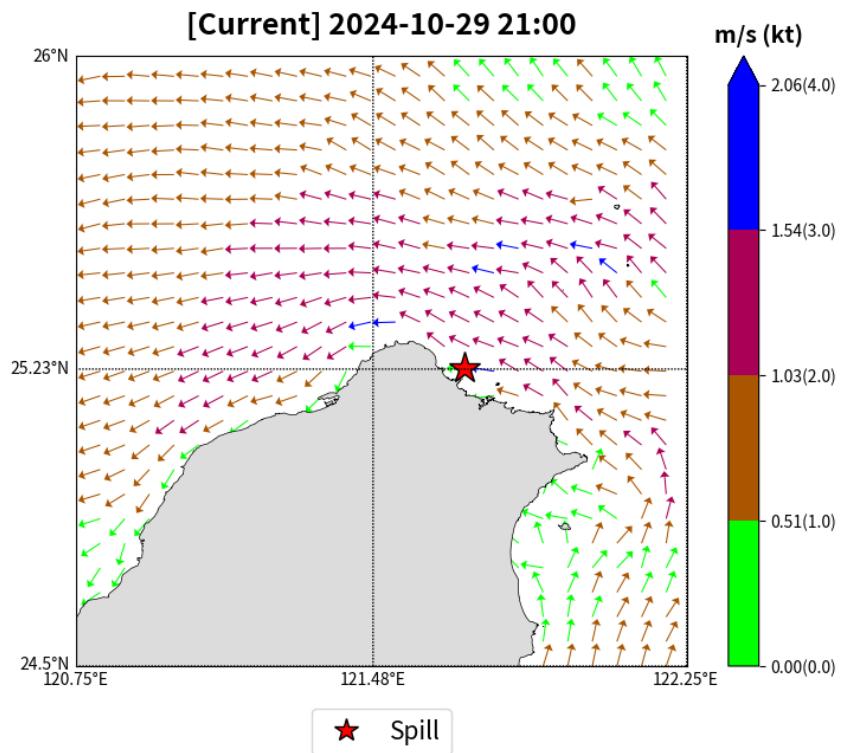


圖 3-1-46 CWA-OCM 預測 10/29 21:00 的海流流場

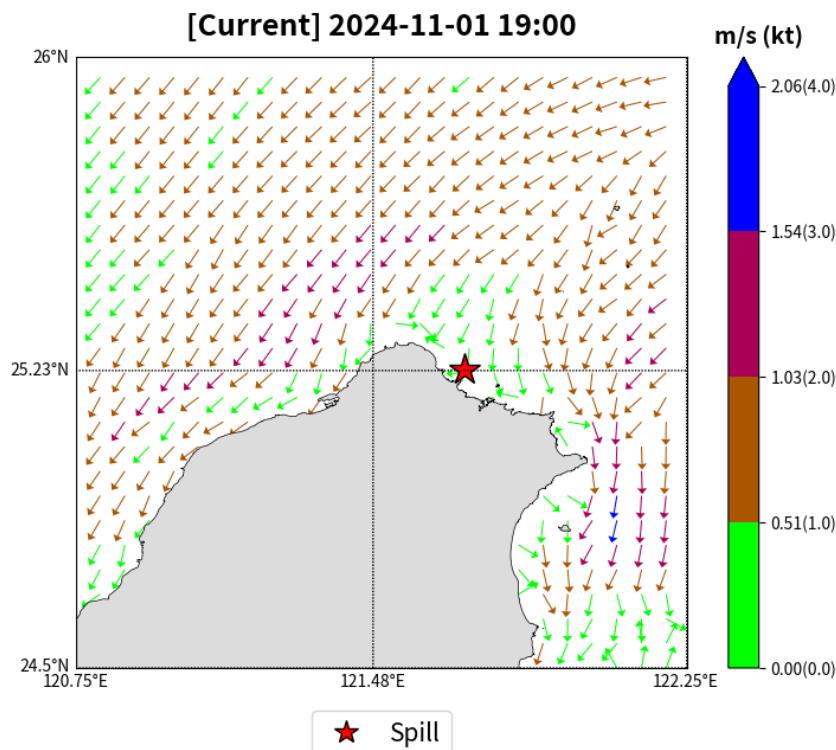


圖 3-1-47 CWA-OCM 預測 11/01 19:00 的海流流場

如圖 3-1-48 所示，未來 12 小時(10/30 09:10)油污染擴散模擬結果顯示，受到北風以及潮流影響，油污往南方向漂移及擴散，海面上油污分布在新北市金山區至基隆市中正區近岸海域。抵達海岸油污分布在新北市金山區至基隆市中正區海岸，油污分布在海岸範圍約有 18.7 公里。

如圖 3-1-49 所示，未來 24 小時(10/30 21:10)油污染擴散模擬結果顯示，受到北風與東北風以及潮流影響，海面上油污分布在新北市金山區至基隆市中正區近岸海域。抵達海岸油污分布在新北市金山區至基隆市中正區海岸，油污分布在海岸範圍約有 19.8 公里。

如圖 3-1-50 所示，未來 48 小時(10/31 21:10)油污染擴散模擬結果顯示，受到東北風與東風以及潮流影響，海面上油污分布在新北市金山區至基隆市中正區近岸海域。抵達海岸油污分布在新北市金山區至基隆市中正區海岸，油污分布在海岸範圍約有 19.4 公里。

如圖 3-1-51 所示，未來 72 小時(11/01 21:10)油污染擴散模擬結果顯示，受到風向多變以及潮流影響，海面上油污分布在新北市三芝區至基隆市中正區近岸海域。抵達海岸油污分布在新北市磺港、龜頭山、東澳、基隆市桶盤嶼以及基隆嶼。

如圖 3-1-52 所示，未來 72 小時重油風化模擬結果顯示，在海面上油污剩餘 143.20 公噸，抵達岸邊油污 38.20 公噸，蒸發油污有 65.60 公噸。

如圖 3-1-53 所示，未來 72 小時輕油風化模擬結果顯示，在海面上油污剩餘 12.00 公噸，抵達岸邊油污 3.00 公噸，蒸發油污有 22.00 公噸。

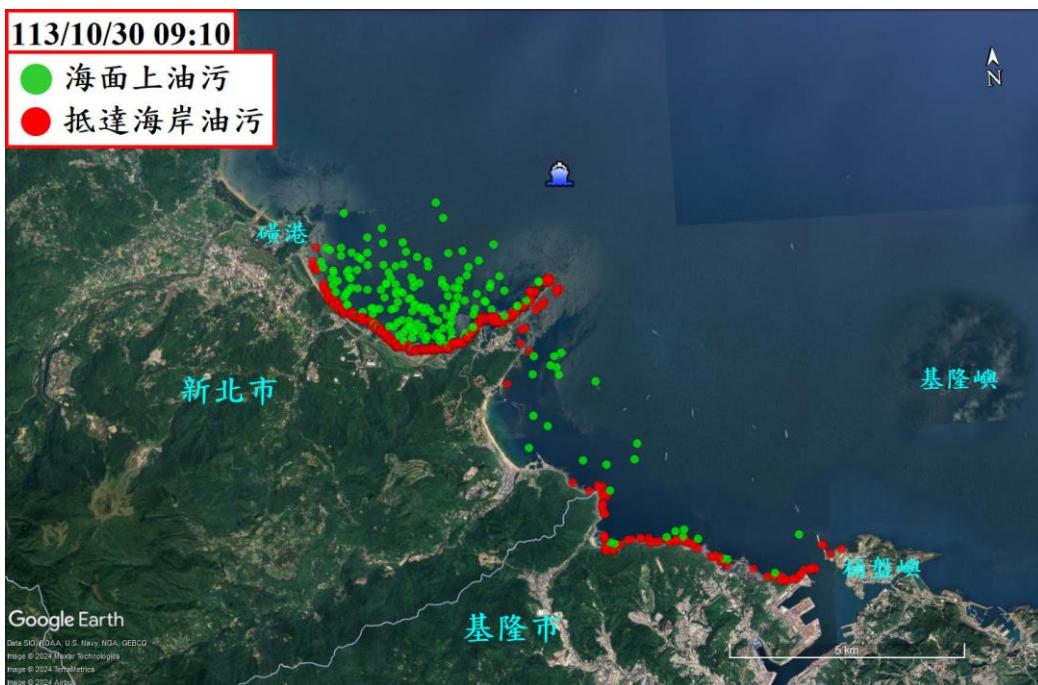


圖 3-1-48 未來 12 小時油污染擴散模擬結果

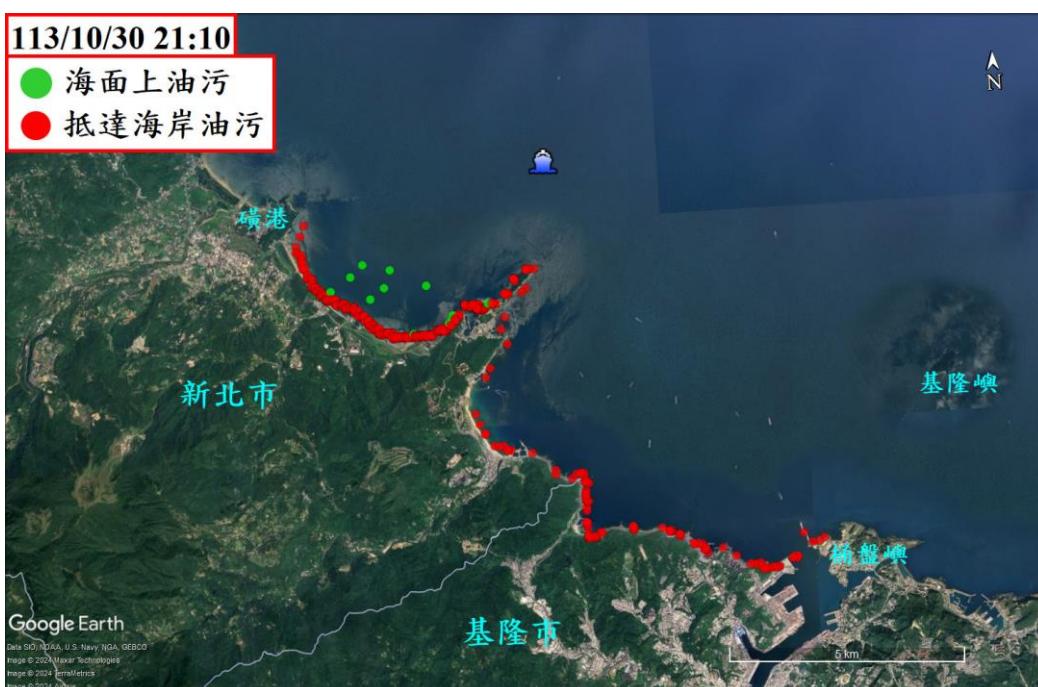


圖 3-1-49 未來 24 小時油污染擴散模擬結果

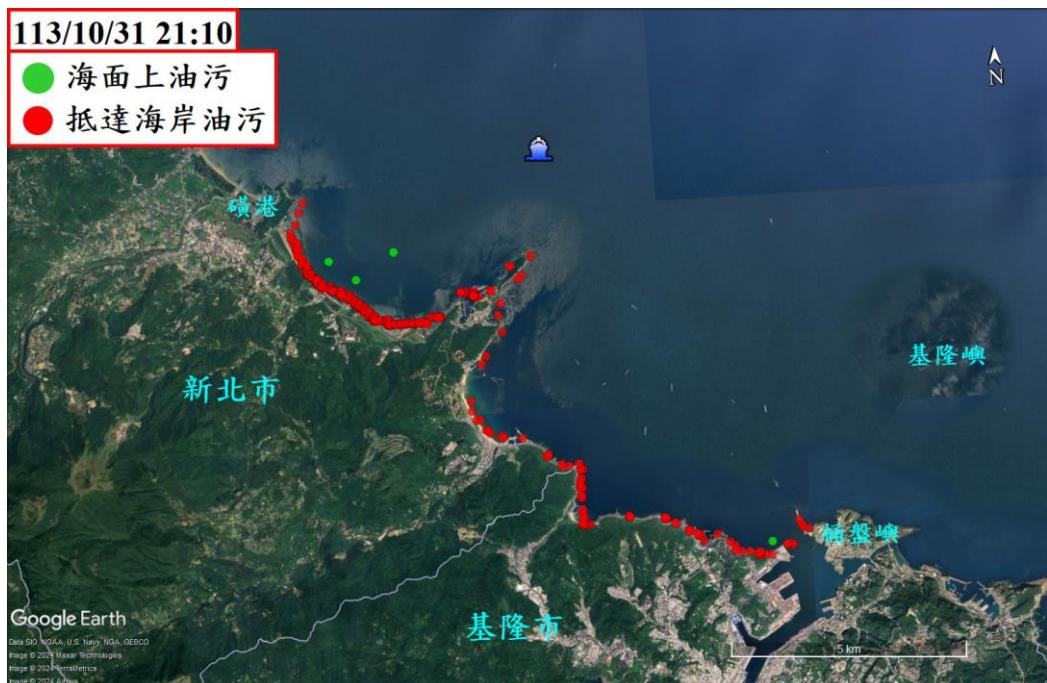


圖 3-1-50 未來 48 小時油污染擴散模擬結果

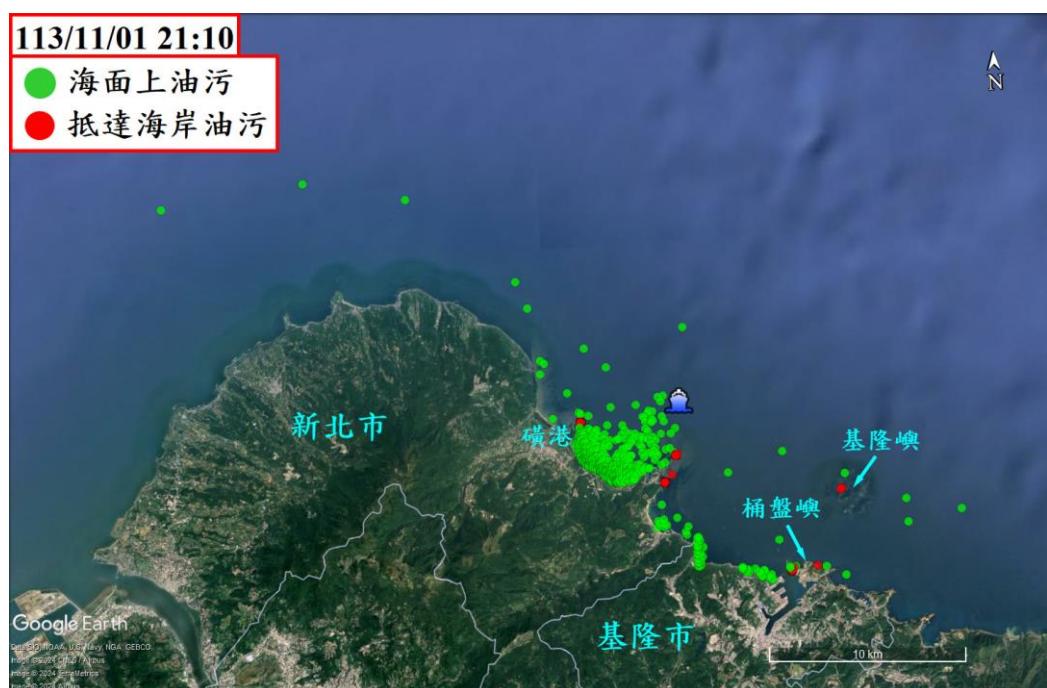


圖 3-1-51 未來 72 小時油污染擴散模擬結果

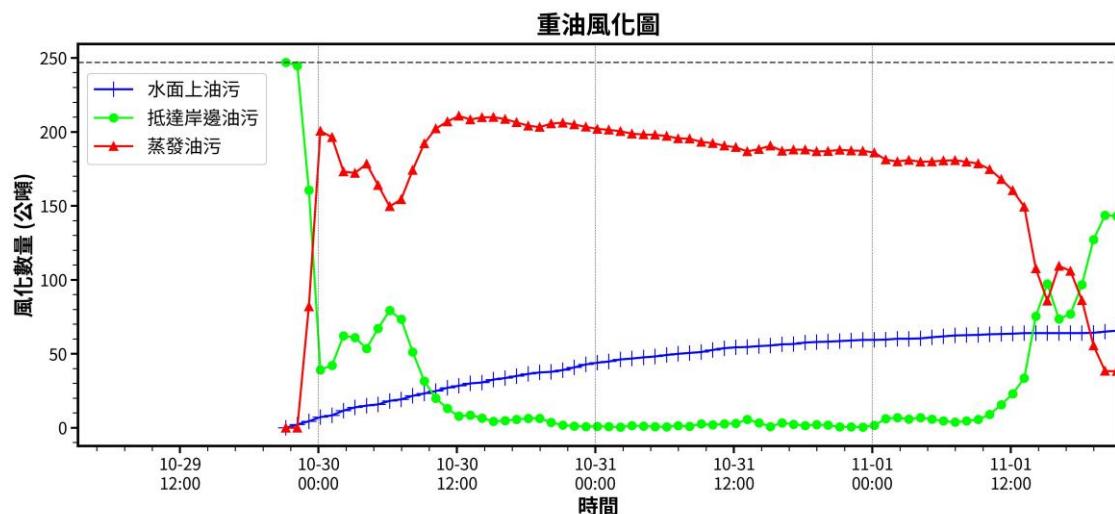


圖 3-1-52 重油風化隨時間演變結果

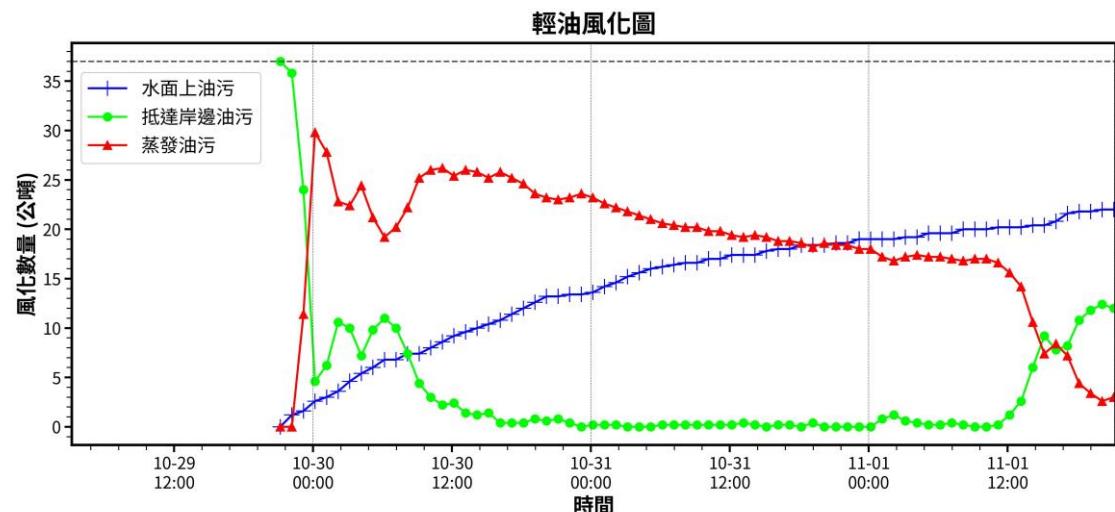


圖 3-1-53 輕油風化隨時間演變結果

表 3-1-7 為本案執行團隊於 11 月 4 日進行第 17 案例「鈺」輪於漲潮期間緊急應變模擬作業的模擬參數，由表中資料顯示「鈺」輪已擱淺在新北市野柳地質公園的海岸(如圖 3-1-54 所示)，船上油帳資料顯示有裝載重油與輕油，數量分別為 247 與 37 公噸，海氣象預報的海流流場與風場資料來自氣象署的 CWA-OCM 與 CWA-WRF，情境模擬油污洩漏時間為 11 月 4 日 21:10，正值退潮期間(如圖 3-1-56)，並以 GNOME 同時執行重油與輕油的油污染擴散模擬作業，預測未來 72 小時油污漂移及擴散情況，模擬結果說明如下。

表 3-1-7 第 17 案例於 11 月 4 日漲潮期間模擬參數表

項目	參數
溢漏地點	N : $25^{\circ} 12.969'$ E : $121^{\circ} 41.913'$ 新北市野柳地質公園海岸 (如圖 3-1-54)
溢漏時間	113 年 11 月 4 日 08:00
油品	重油與輕油
溢漏油量	247 與 37 公噸
溢漏時長	1 小時
風場	CWA-WRF
流場	CWA-OCM
海溫	26.8 °C (如圖 3-1-55)
潮汐	漏油期間正值漲潮期間 (如圖 3-1-56)
模擬時長	72 小時

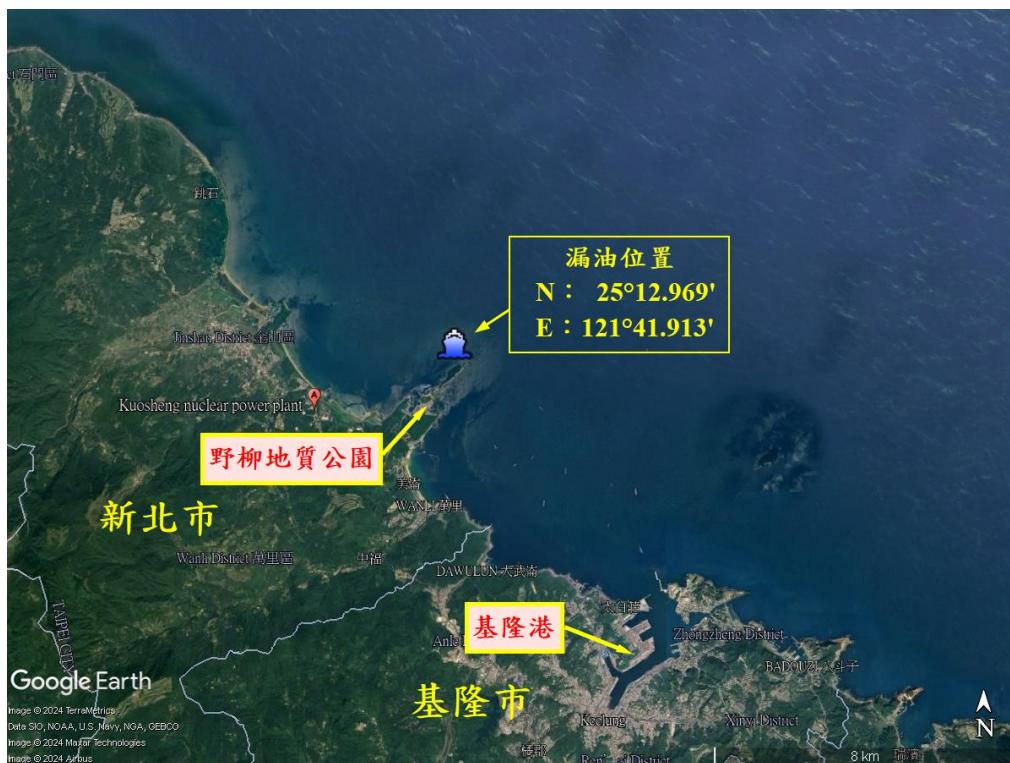


圖 3-1-54 「鈺」輪於新北市野柳地質公園海岸擱淺之位置

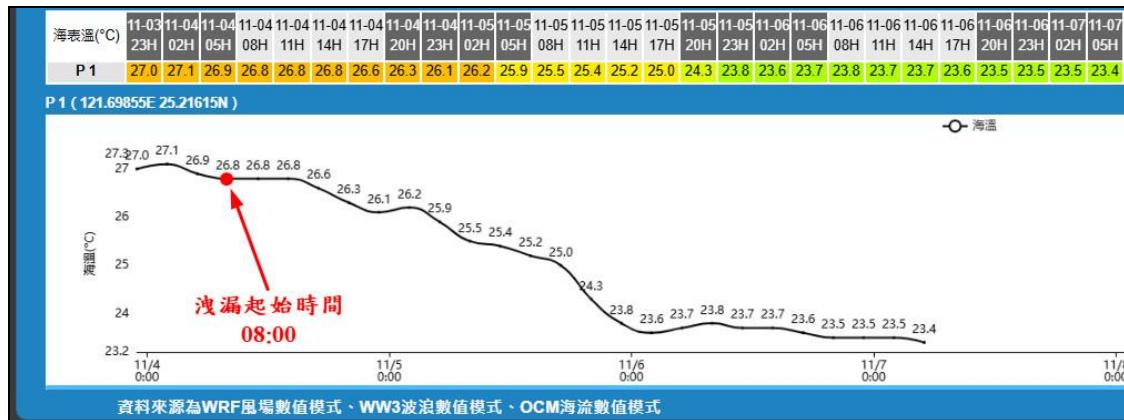


圖 3-1-55 「鈺」輪於新北市野柳地質公園海岸擱淺位置預報海溫

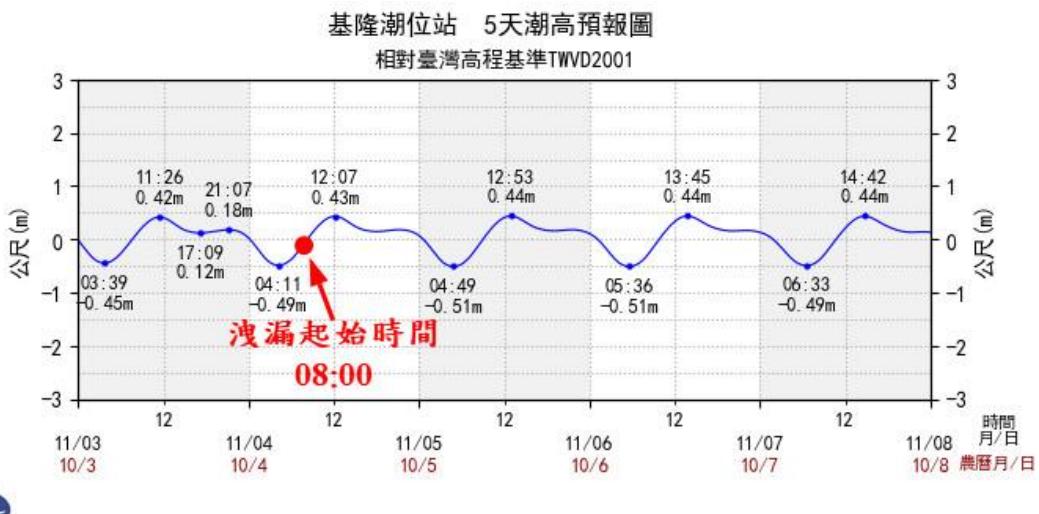


圖 3-1-56 基隆港潮位預報圖

圖 3-1-57 為 CWA-WRF 預測 11 月 4 日 08:00 的風場，圖中紅色星號標記顯示「鈺」輪在新北市野柳地質公園擱淺位置，由預測風場顯示受在新北市野柳海域的風向呈現東北方向。圖 3-1-58 為 CWA-OCM 預測 11 月 4 日 08:00 的海流流場，圖中紅色星號標記顯示「鈺」輪在新北市野柳地質公園擱淺位置，由預測海流流場顯示漲潮期間海流往臺灣海峽方向流動。由風場預報資料顯示強烈颱風康芮(KONG-REY)遠離後，東北角海域風場轉變為東北季風的型態，風向呈現東北方向。

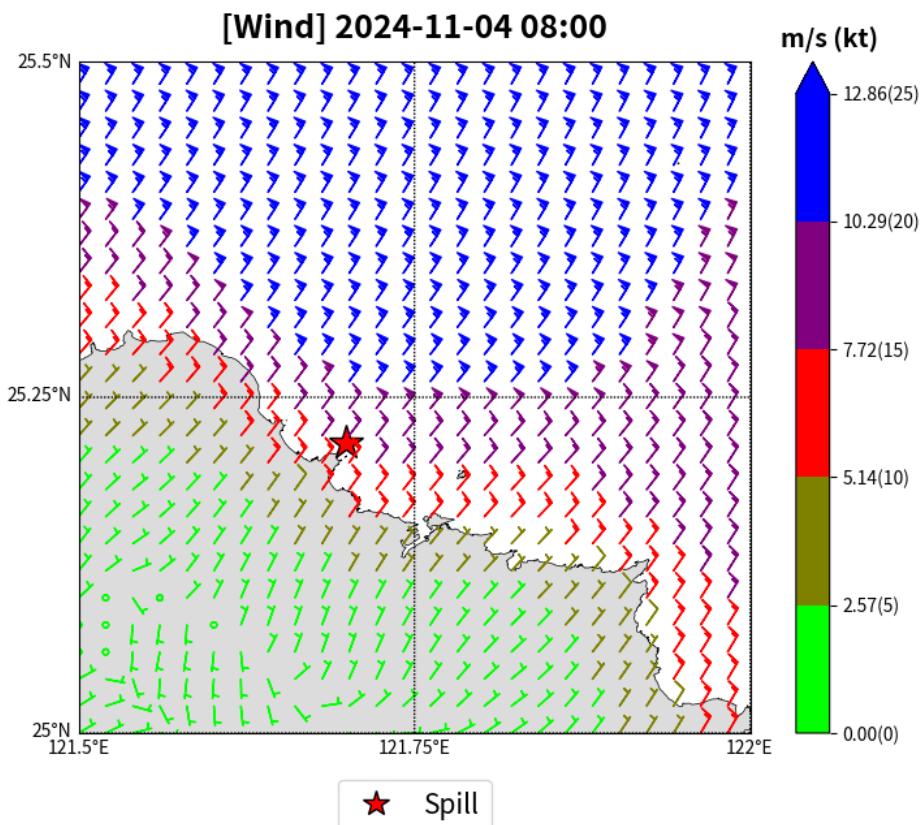


圖 3-1-57 CWA-WRF 預測 11/04 08:00 的風場

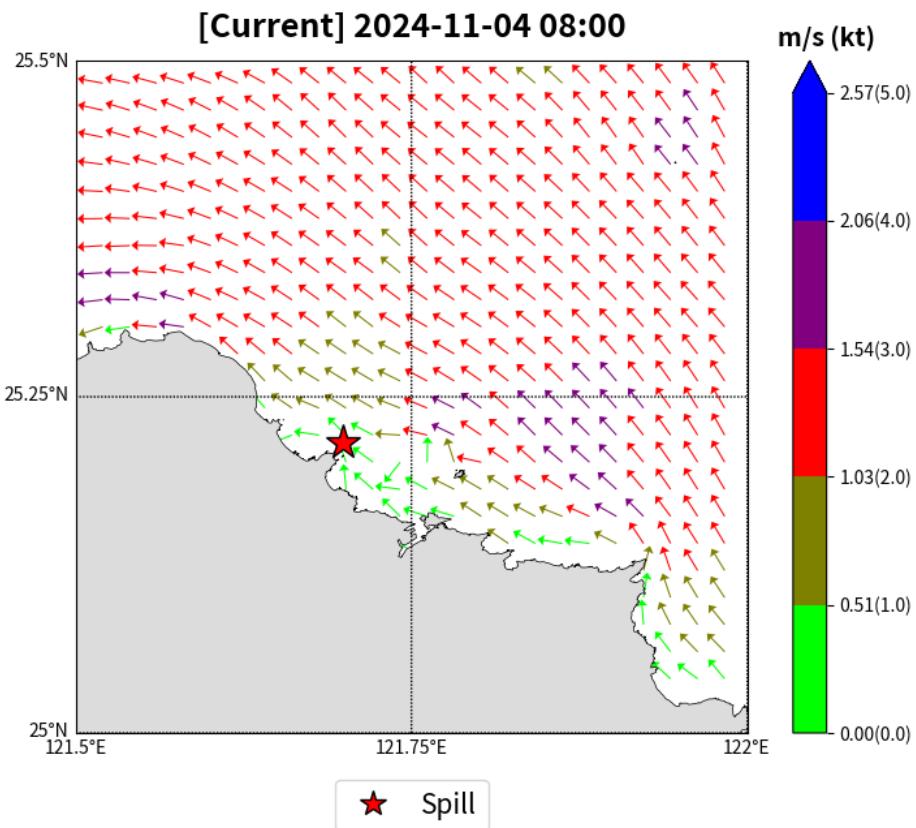


圖 3-1-58 CWA-OCM 預測 11/04 08:00 的海流流場

如圖 3-1-59 所示，未來 12 小時(11/04 20:00) 油污染擴散模擬結果顯示，受到東北風與北風以及潮流影響，海面上油污往西方向漂移及擴散，海面上油污分布在新北市金山區至萬里區近岸海域。抵達海岸油污分布在新北市萬里區海岸，油污分布在海岸範圍約 5.5 公里。此外，油污也會抵達野柳地質公園、核二廠海岸，而野柳地質公園為重要的生態保護區以及電廠屬於重要資源敏感區，建議需先配置應變資材。

如圖 3-1-60 所示，未來 24 小時(11/05 08:00) 油污染擴散模擬結果顯示，受到北風與東北風以及潮流影響，海面上油污分布在新北市萬里區近岸海域。抵達海岸油污分布在新北市金山區至萬里區海岸，油污分布在海岸範圍約 5.5 公里。此外，油污也會抵達野柳地質公園、核二廠海岸，而野柳地質公園為重要的生態保護區以及電廠屬於重要資源敏感區，建議需先配置應變資材。

如圖 3-1-61 所示，未來 48 小時(11/06 08:00) 油污染擴散模擬結果顯示，受到東北風以及潮流影響，海面上油污分布在新北市萬里區近岸海域。抵達海岸油污分布在海岸範圍約 5.4 公里。此外，油污也會抵達野柳地質公園、核二廠海岸，而野柳地質公園為重要的生態保護區以及電廠屬於重要資源敏感區，建議需先配置應變資材。

如圖 3-1-62 所示，未來 72 小時(11/07 08:00) 油污染擴散模擬結果顯示，受到東北風以及潮流影響，海面上油污分布在新北市萬里區近岸海域。抵達海岸油污分布在海岸範圍約 5.5 公里。此外，油污也會抵達野柳地質公園、核二廠海岸，而野柳地質公園為重要的生態保護區以及電廠屬於重要資源敏感區，建議需先配置應變資材。

如圖 3-1-63 所示，未來 72 小時重油風化模擬結果顯示，在海面上油污剩餘 0.80 公噸，抵達岸邊油污 180.60 公噸，蒸發油污有 65.60 公噸。

如圖 3-1-64 所示，未來 72 小時輕油風化模擬結果顯示，在海面上油污剩餘 0.00 公噸，抵達岸邊油污 15.00 公噸，蒸發油污有 22.00 公噸。

受到全球氣候變遷影響造成颱風強度逐漸增強，今(113)年度 7 月至 11 月期間共有 3 個強烈颱風侵襲臺灣，造成臺灣四周海域發生多達 17 件船舶擋淺或沉沒事件，長期以來海保署已建置完善的油污染緊急應變作業能力，才能在短時間內可整合各種應變能量，快速掌握及控制事故船舶的狀況，在尚未發生漏油事件前即將船舶裝載的油品抽出，防止油污染對海洋環境的衝擊與影響。

另外，今年 7 月 22 日強烈颱風凱米侵襲臺灣時，一個夜晚即造成臺南至屏東海岸多達 9 艘的貨輪擱淺在海岸，9 艘擱淺船舶裝載著不同的油品，本案執行團隊接獲海保署通報進行油污染擴散緊急應變模擬作業時，可在短時間完成大量的油污擴散模擬案例，主要是 GNOME 及 SCHISM 油污染擴散模式都屬於開放源軟體，能自行撰寫自動化的海氣象資料收集與模擬結果的後處理程式，才能應付大量的油污染擴散緊急應變模擬作業與提升模擬效率。

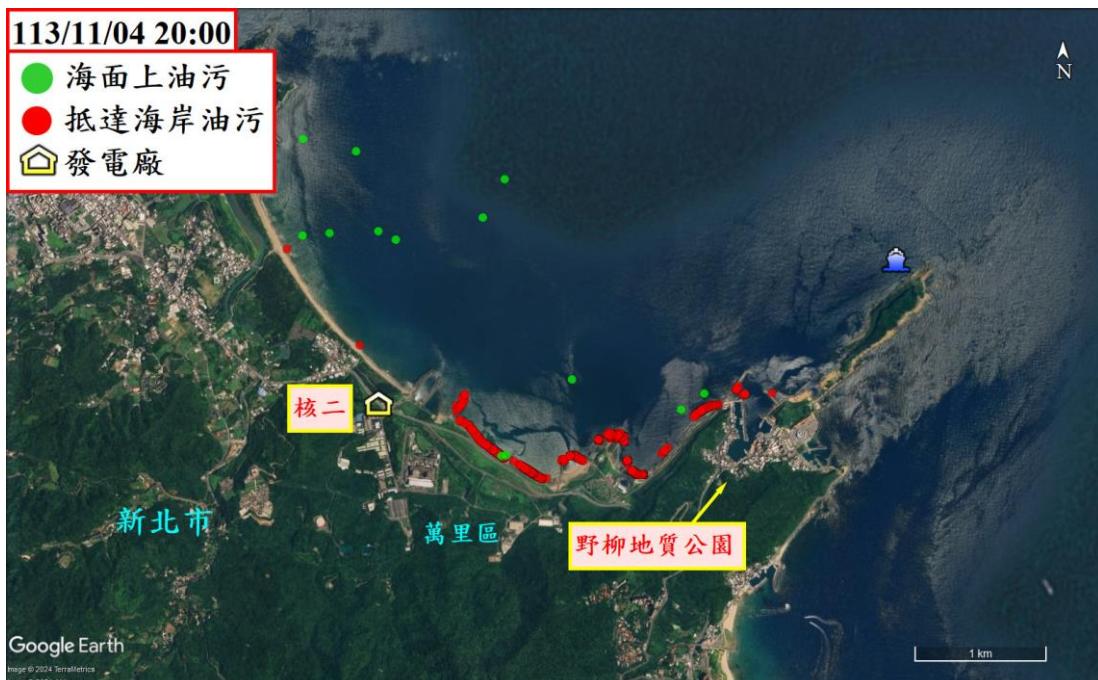


圖 3-1-59 未來 12 小時油污染擴散模擬結果



圖 3-1-60 未來 24 小時油污染擴散模擬結果

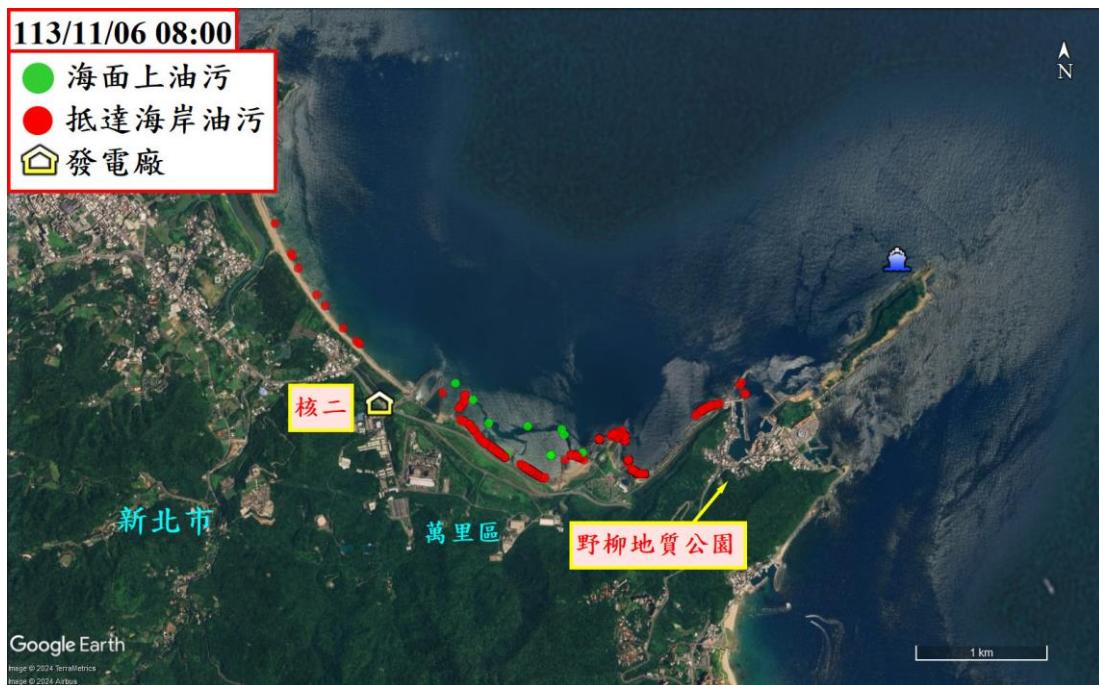


圖 3-1-61 未來 48 小時油污染擴散模擬結果

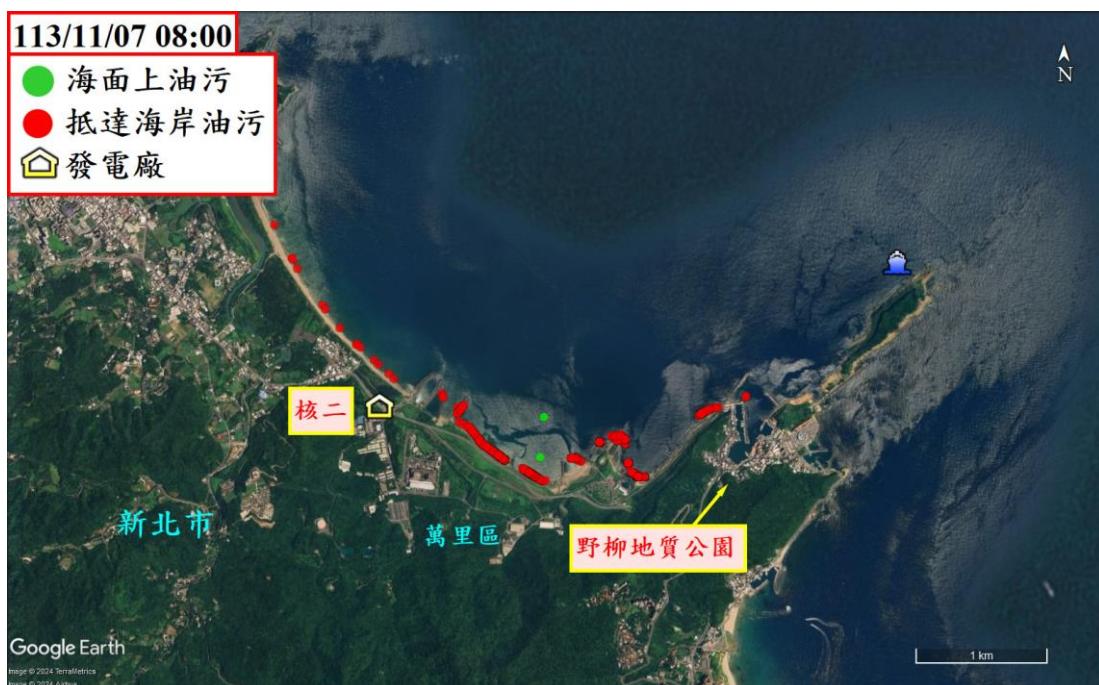


圖 3-1-62 未來 72 小時油污染擴散模擬結果

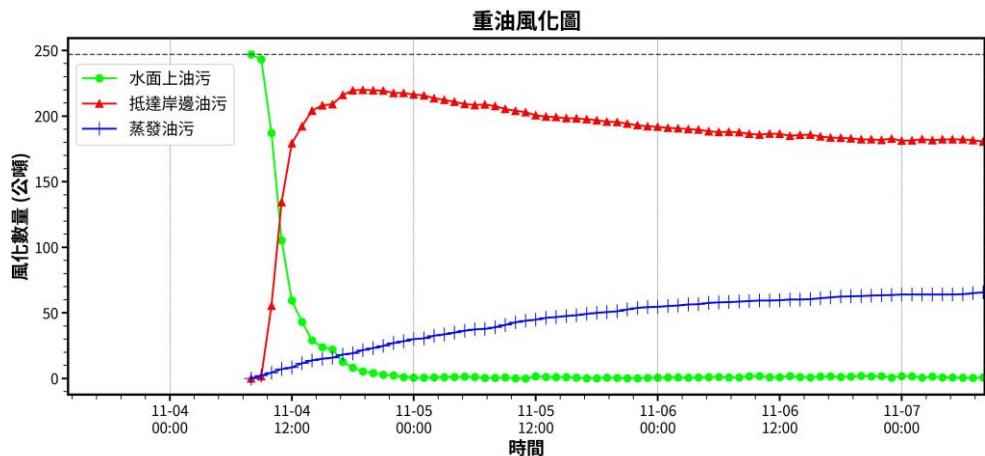


圖 3-1-63 重油風化隨時間演變結果

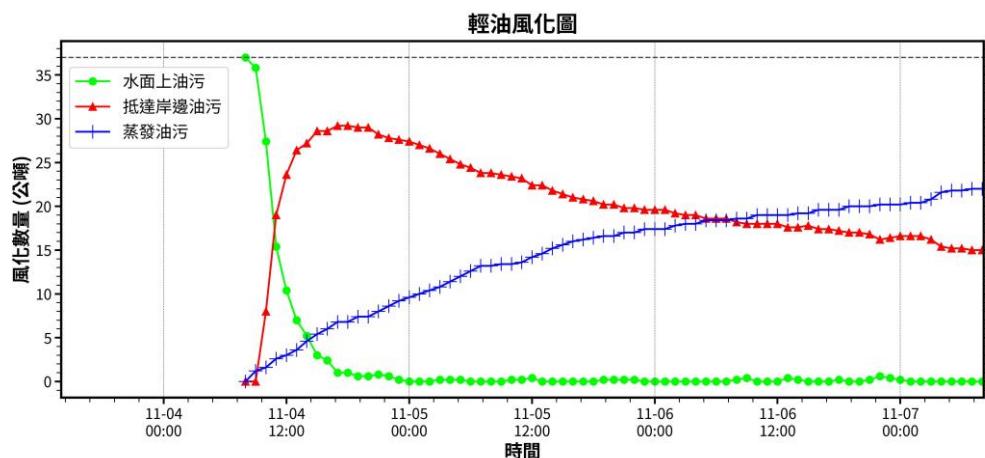


圖 3-1-64 輕油風化隨時間演變結果

綜合上述第 17 件案例的模擬結果顯示，颱風期間海氣象呈現多變的情況，導致油污擴散緊急應變模擬結果也會隨著海氣象條件改變而呈現不一樣的變化情況，如 11 月 1 日 19:00 風向轉變為西風時，油污染會被吹往外海方向，若在漲潮期間海流往臺灣海峽流動，油污染會被帶往臺灣海峽，將對臺灣西部海域造成影響。當油污事件發生時，透過每日漲退潮期間的油污染擴散緊急應變模擬作業，可瞭解油污染對海洋環境影響的程度與範圍，並提供海保署進行緊急應變作業之參考依據。

### c. 第 17 件案例模擬結果提供海保署進行油污染緊急應變作業

表 3-1-8 是依據海保署「海洋環境管理平台」列出自然生態敏感資源共有 8 項，重要敏感資源共有 4 項。圖 3-1-65 為顯示東北角海域自然生態敏感資源地理位置，圖 3-1-66 為顯示東北角海域重要敏感資源地理位置。如第 17 件案例的「鈺」輪於新北市野柳地質公園海岸擋淺，東北角海域有豐富的自然生態資源與重要敏感資源，一旦有油污洩漏勢必會衝擊東北角海洋環境自然生態與民生經濟。

本案執行團隊於 10 月 29 日提供的油污染擴散緊急應變模擬結果，海保署與相關機關也依據模擬結果針對自然生態資源與重要敏感資源進行預防性的應變處置，如圖 3-1-67 顯示在台電核二廠抽水口預防性佈設攔油索，圖 3-1-68 在新北市野柳漁港預防性佈設攔油索，圖 3-1-69 在台電協和電廠取水口預防性佈設攔油索，圖 3-1-70 在基隆市大武崙漁港預防性佈設攔油索。在上述重要敏感資源區域預防性佈設攔油索，將有效降低油污染對重要敏感資源區的衝擊與影響。

表 3-1-8 東北角海域敏感地圖項目表

分類	項目
自然生態敏感資源	1.自然保留區
	2.野生動物保護區
	3.野生動物重要棲息環境
	4.人工魚礁區
	5.保護魚礁區
	6.國家重要濕地
	7.珊瑚礁
	8.台灣沿海保護區
	9.海鷗
	10.海口/海洋魚類
重要敏感資源	1.漁港
	2.商港
	3.發電廠
	4.其他使用取水口

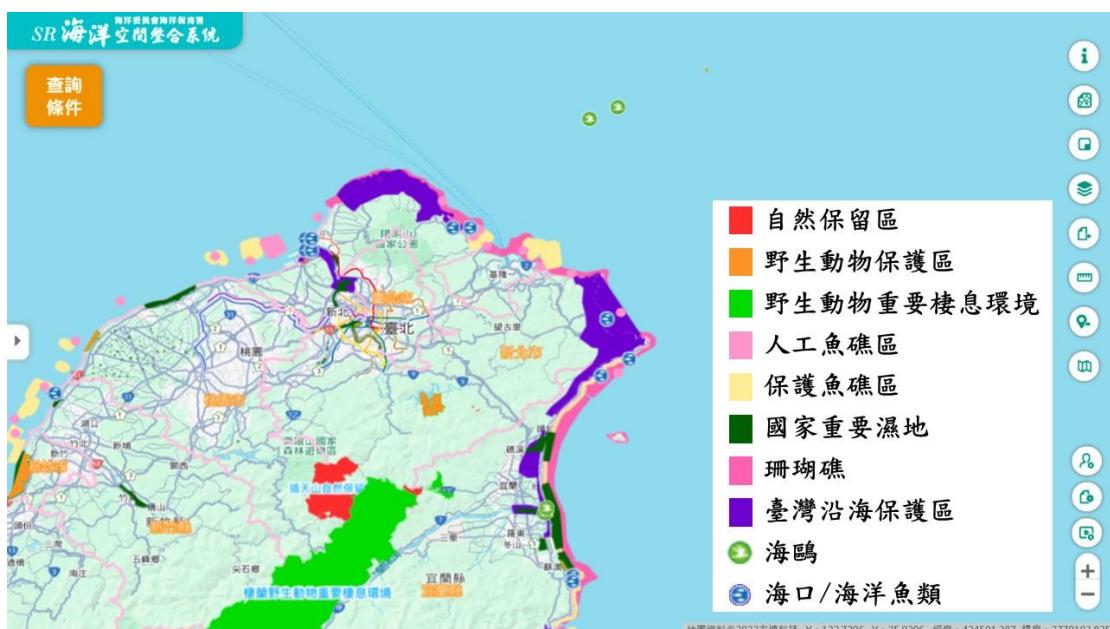


圖 3-1-65 東北角海域自然生態敏感資源地理位置



圖 3-1-66 東北角海域重要敏感資源地理位置

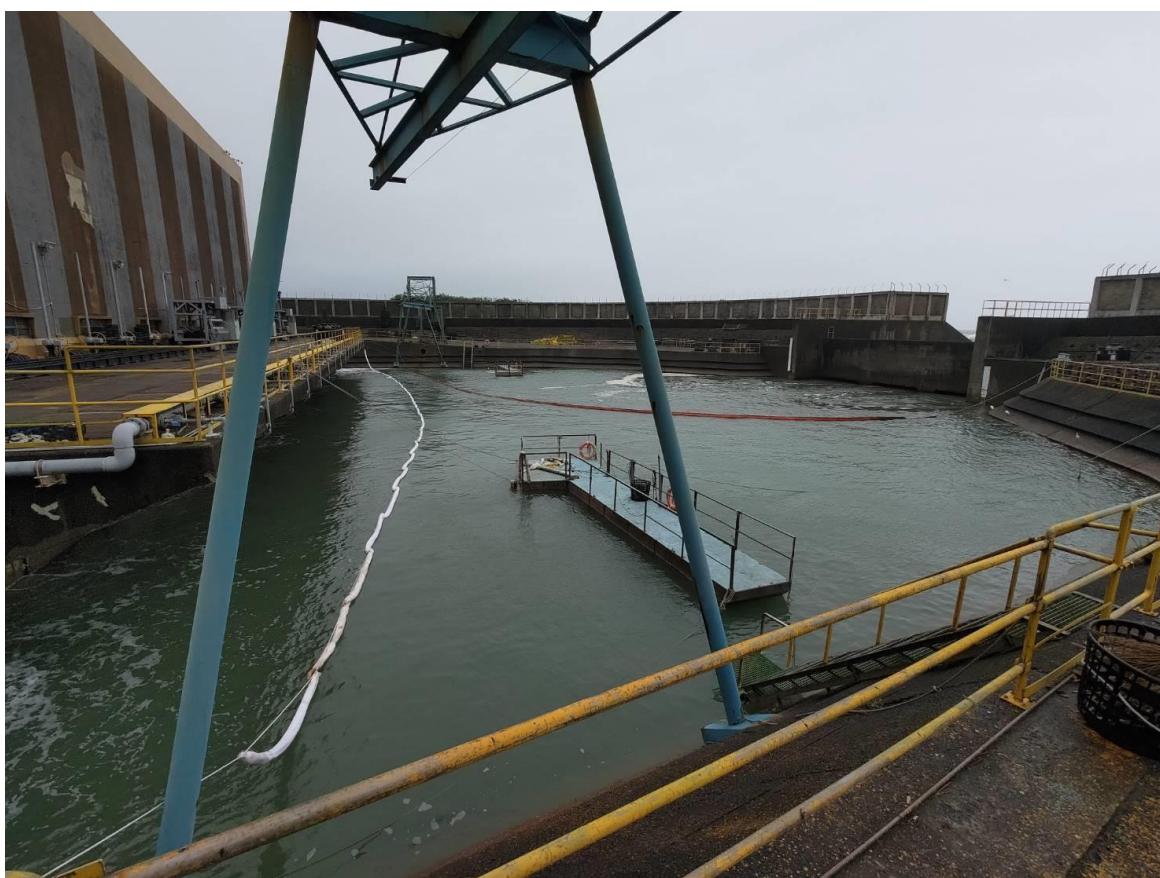


圖 3-1-67 台電核二廠抽水口預防性佈設攔油索

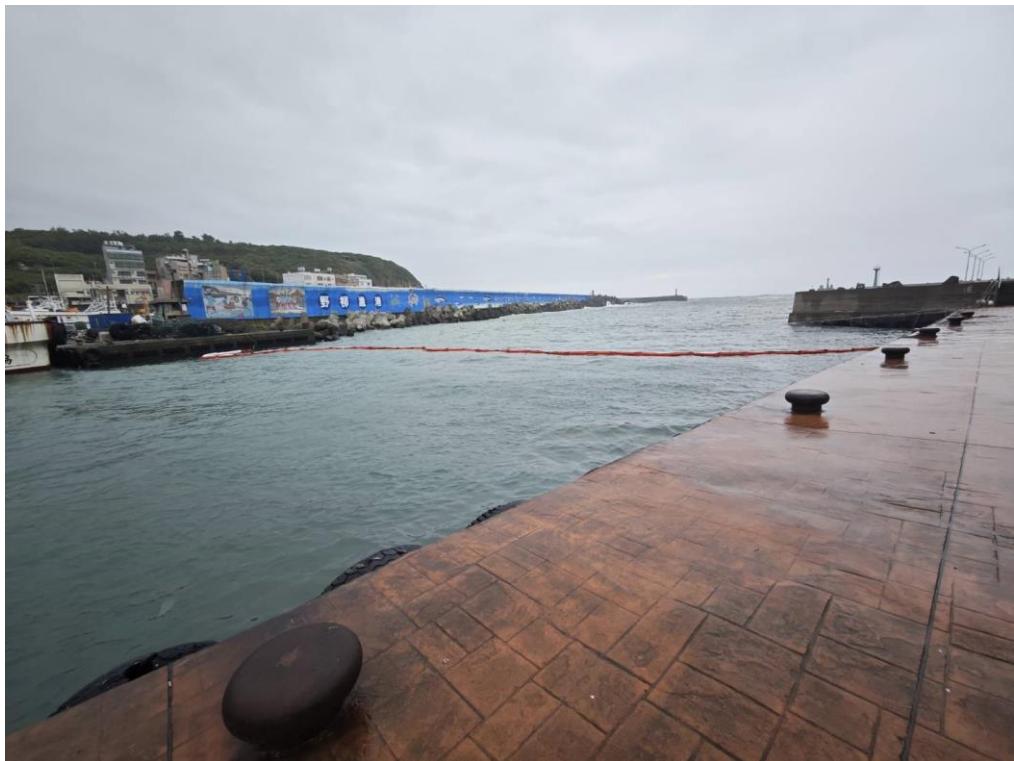


圖 3-1-68 新北市野柳漁港預防性佈設攔油索



圖 3-1-69 台電協和電廠取水口預防性佈設攔油索

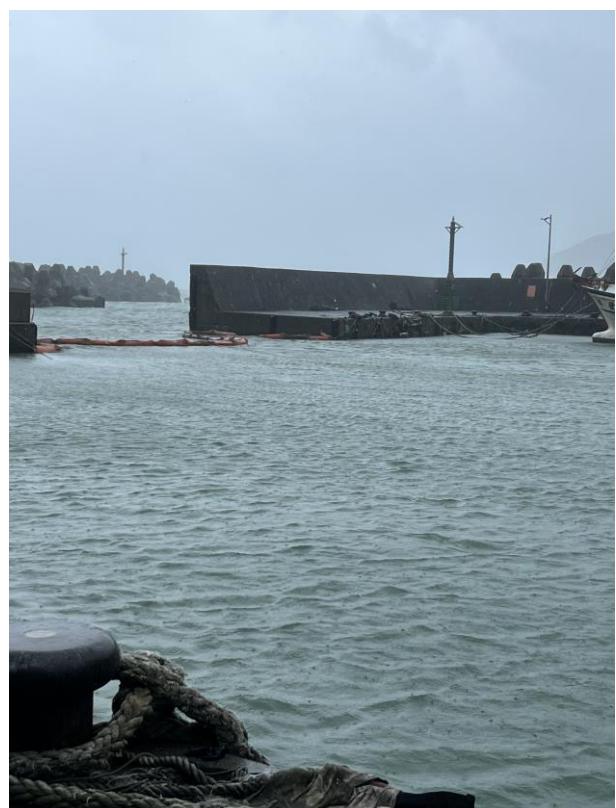


圖 3-1-70 基隆市大武崙漁港預防性佈設攔油索

4. 結合跨部會海氣象預報與即時觀測資源，掌握交通部中央氣象局海氣象觀測及預報值資訊，運用於海洋油污擴散模擬作業，並強化其模擬準確性，提升模擬結果於污染應變實務或演練之決策參考性。

本項工作透過海保署自氣象署申請海氣象模式預報之海流流場與風場的資訊，表 3-1-9 列出申請資料項目的預報長度與範圍，其中最南邊太平島座標位置在北緯 10.377103 度，東經 114.366084 度，由表中資料顯示可知自氣象署申請海氣象模式預報範圍有含括太平島，亦表示油污擴散模擬作業可涵蓋中華民國管轄的海域。

NetCDF 格式最早是由美國大學大氣研究聯盟(UCAR)研發用來儲存大氣科學相關的網格資料，現在也被廣泛應用在海洋、地球物理、水文等領域。本計畫採用的油污擴散模式(GNOME & SCHISM) 與化學品污染擴散數值模式(CHEMMAP)，皆以 NetCDF 格式進行運算作業。依據圖 3-1-71 是氣象署海氣象預報資訊格式介接與格式轉換流程，可分別產出氣象署海流流場接引資料 NetCDF 格式(如圖 3-1-72 所示)與氣象署風場接引資料 grib2 格式(如圖 3-1-73 所示)，圖 3-1-71 中也顯示自氣象署(CWA)申請及透過本案執行團隊的固定 IP 取得海氣象模式預報資訊，需經撰寫程式轉換成油污擴散模式(GNOME & SCHISM) 與化學品污染擴散數值模式可讀取的 NetCDF 格式。

本案執行團隊已完成介接氣象署海氣象預報資訊，如圖 3-1-74 與圖 3-1-75 分別顯示氣象署預報海流流場與風場資料的範圍，可運用於海洋油污擴散與化學品污染擴散緊急應變模擬作業，以提升模擬結果準確性及實質應用於海洋油污擴散與化學品污染的緊急應變之實務或演練決策作業。

表 3-1-9 氣象署提供海氣象預報相關資訊

項目	檔案格式	預報長度(hrs)	北緯(度)		東經(度)	
			最小值	最大值	最小值	最大值
海流	NetCDF	96	7	36	110	126
海流	NetCDF	96	7	39	109	129
風場	Grib2	84	13.63	33.49	102.82	140.9
風場	Grib2	84	-5.69	52.69	56.63	180.42

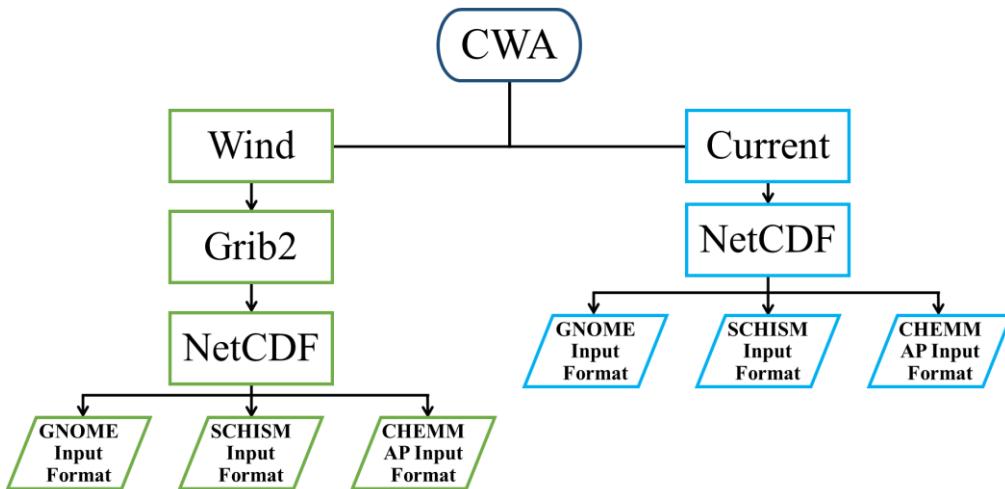


圖 3-1-71 氣象署海氣象預報資訊格式介接與格式轉換流程

圖 3-1-72 氣象署海流流場接引資料 NetCDF 格式

圖 3-1-73 氣象署風場接引資料 grib2 格式

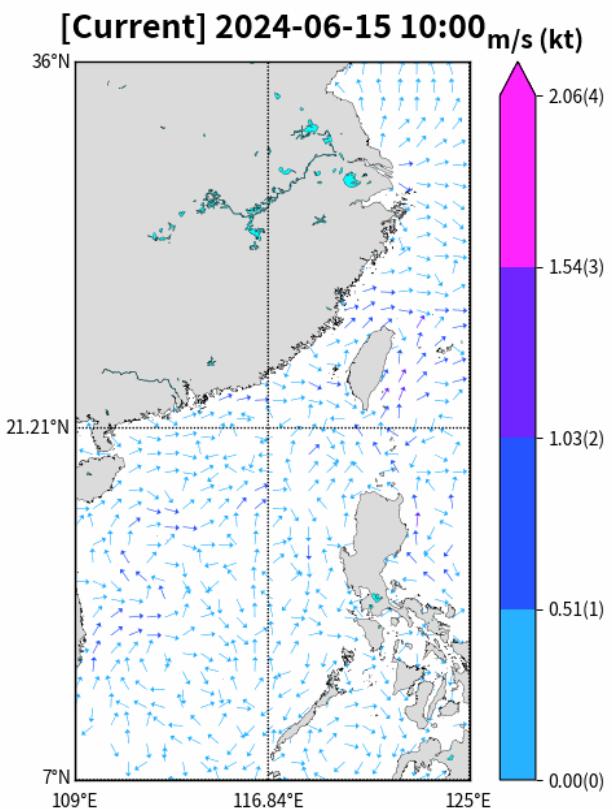


圖 3-1-74 氣象署預報海流流場資料的範圍

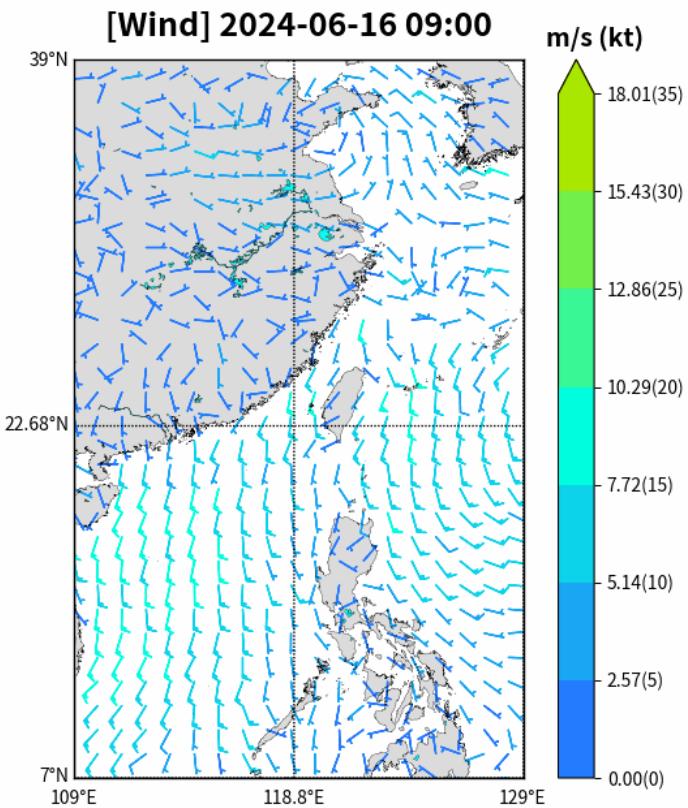


圖 3-1-75 氣象署預報風場資料的範圍

5. 彙整歷年計畫模擬結果，依據氣象因子、油品、區位、油污事件性質等，分析其模式模擬之差異性及限制因子，並提出完整研析報告，提供各級機關參考。

依據 2-1-5 節提及民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林外海發生原油的漏油事件，油污染漂移及擴散至屏東縣小琉球以及車城至恆春海岸，影響的範圍非常廣泛。針對開放海域的油污染事件，油污染緊急應變模擬作業需結合許多現場觀測及調查資料，進行滾動式的油污染緊急應變模擬作業，以下即選用民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林外海發生原油的漏油事件，說明初期漏油緊急應變擴散模擬作業與後期滾動式油污染緊急應變模擬作業的過程以及相關的分析，作為各級機關未來擬定油污染緊急應變計畫之參考依據。

#### a. 初期漏油油污染緊急應變擴散模擬作業

依據海保署及媒體資訊得知中油公司大林煉油廠外海 2 號浮筒約於 2021 年 6 月 22 日凌晨 2 時 18 分因賴比瑞亞籍「NISSOS RHENIA」油輪進行油輸送作業時，因內串蛇管第七節破裂發生油污洩漏，中油公司立即停止油輸送，也隨即出動多艘工作船進行現場處理(海保署網頁)，預估最大洩漏油量約 50 公秉。在油污染事件剛發時，油污染是屬於一個點源的油污洩漏情況，表 3-1-10 為針對高雄大林外海漏油初期油污染擴散模擬參數的設定，由表中資料可知溢洩地點為北緯  $22^{\circ} 29' 46.6''$  及東經  $120^{\circ} 16' 40.5''$ ；初始溢洩油時間為 2021 年 6 月 22 日 02:00；油品為 Medium Crude；總洩油量為 50 公秉；溢洩方式為持續溢洩 30 分鐘；模擬時長為 72 小時；預測風場來自中央氣象署氣象預報模式(CWA-WRF)；預測流場來自 SCHISM 模式(邱等人，2021)。

圖 3-1-76 為 CWA-WRF 模式預測 6 月 22 日 02:00 臺灣西南海域的風場，圖中流矢表示風向，流矢顏色表示風速大小，由預測結果顯示小琉球附近海域風向約為西南方向，接近高雄外海風向受到陸地影響轉為東南方向，而在屏東縣車城鄉約轉為東方向。圖 3-1-77 為 SCHISM 模式預測 6 月 22 日 02:00 臺灣西南海域的海流流場，圖中流矢表示海流流向，流矢顏色表示海流流速大小，由預測結果顯示高雄至小琉球附近海域海流流向約為南南東至東南方向，在屏東縣車城鄉外海受到陸地地形影響約轉為東方向。

表 3-1-10 高雄大林外海漏油初期油污擴散模擬參數

參數名稱	參數設定
溢洩位置	N : 22° 29' 46.6" E : 20° 16' 40.5"
初始溢洩時間	2021/06/22 02:00
溢洩油品	原油 (Medium Crude)
總洩油量	50 公秉
溢洩方式	持續溢洩 30 分鐘
預測風場	CWA-WRF
預測流場	SCHISM
模擬時長	72 小時

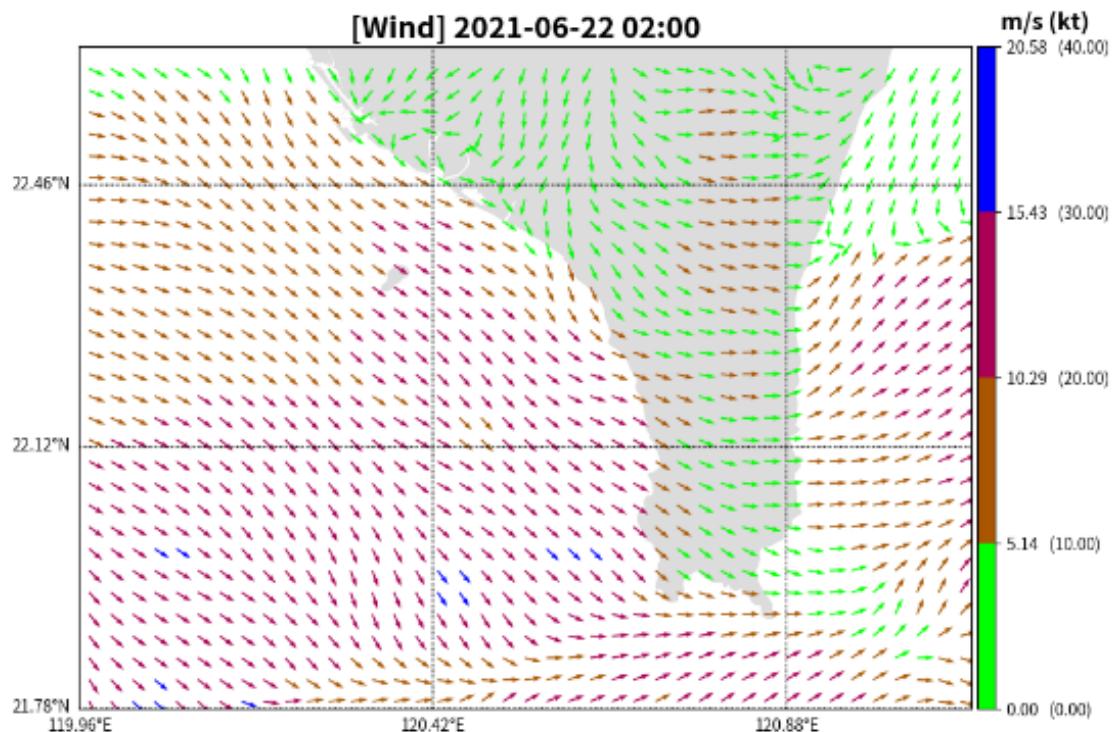


圖 3-1-76 CWA-WRF 預測 6 月 22 日 02:00 的風場

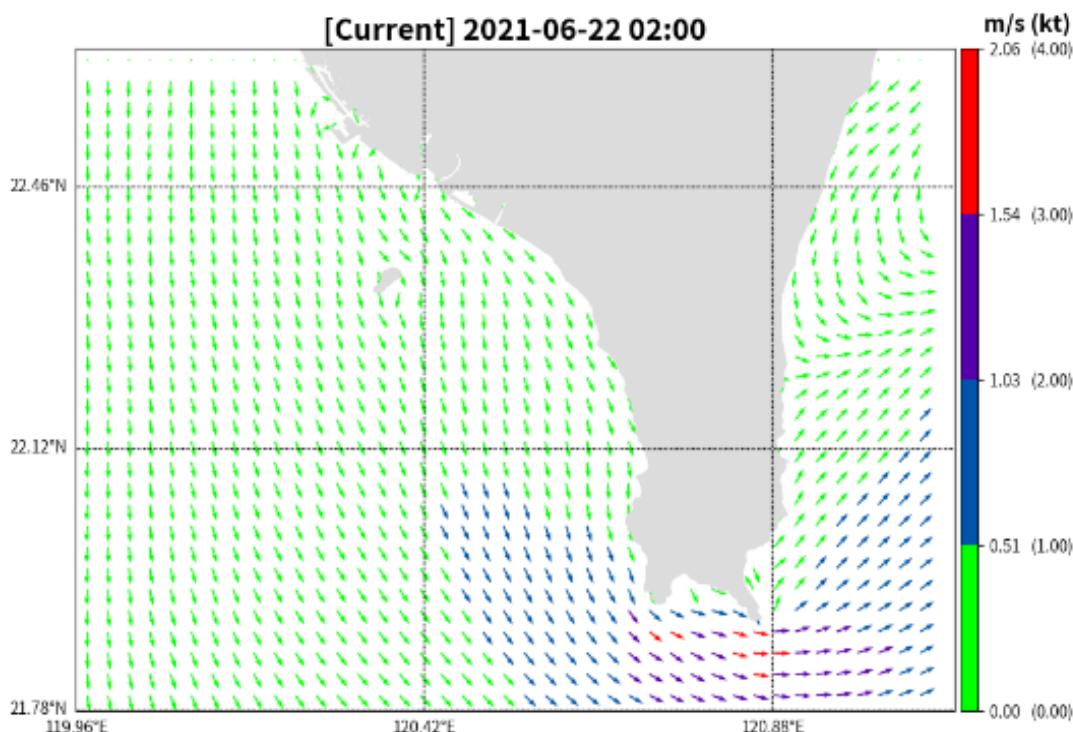


圖 3-1-77 SCHISM 預測 6 月 22 日 02:00 的流場

圖 3-1-78 為海保署提供 6 月 23 日 18:00 由衛星影像偵測海面上油污染分布情況，由圖中可知油污染影響範圍在小琉球南方至屏東車城外海海域，估算油污染在海面上分布的面積約有 290 平方公里。圖 3-1-79 為 GNOME 預測洩油 40 小時後油污染擴散的範圍，圖中綠色圓點為顯示在海面上的油污，紅色圓點為顯示抵達岸邊的油污，紅色線條圈選出的不規則範圍是來自圖 3-1-78 中衛星偵測疑似油污範圍的邊界線。依據圖 3-1-79 的模擬結果顯示油污染除了影響小琉球北邊漁福漁港至烏鬼洞的海岸，海面上油污染擴散範圍也往南邊海域漂移及擴散至屏東縣枋山鄉外海，此模擬結果也與海保署應用衛星科技偵測的油污染擴散範圍有吻合之趨勢。

圖 3-1-80 為自開始洩油經歷 40 小時後將油污染質點的漂移軌跡連線得到油污宿命歷程，由此結果顯示油污在開始溢洩時受到風與海流作用往小琉球方向漂移及擴散，並未往高雄海岸方向漂移及擴散，油污染約在 6 月 22 日 15:00 抵達小琉球北邊的海岸，經由油污染漂移軌跡也顯示出油污繞過小琉球右邊海岸繼續往東南方漂移。

圖 3-1-81 為 GNOME 預測洩油後 72 小時後油污染風化的變化趨勢，圖中綠色點線表示水面上油污數量，紅色點線顯示抵達岸邊油污數量，藍色點線表示蒸發與擴散的油污數量，由圖中水面上油污與抵達岸邊油污的變化趨勢顯

示，油污約在 6 月 22 日 16:00 至 6 月 23 日 10:00 抵達小琉球周圍海岸且數量明顯增加，此表示油污染在這段期間陸續抵達小琉球海岸。另外，由 GNOME 預測洩油後 72 小時後油污染風化的變化趨勢，顯示水面上油污數量自初始溢洩的 50 公秉至剩下至 26 公秉；抵達岸邊油污數量雖在影響小琉球期間最多有增加至 24.5 公秉，但受到海流與風的作用下導致油污再返回海上，所以僅剩 4.5 公秉；蒸發與分散的油污數量則有 19.4 公秉。

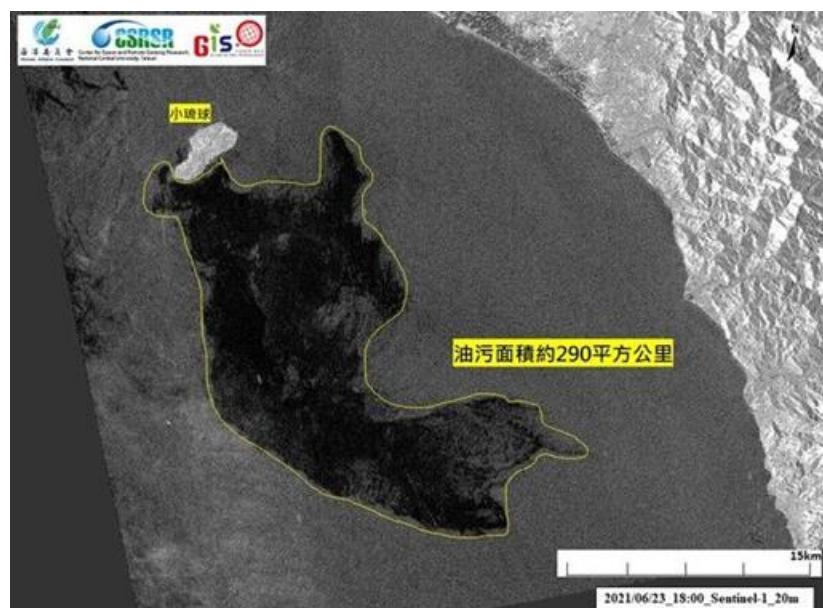


圖 3-1-78 海保署提供 6 月 23 日 18:00 衛星影像顯示海面上疑似油污分布的範圍

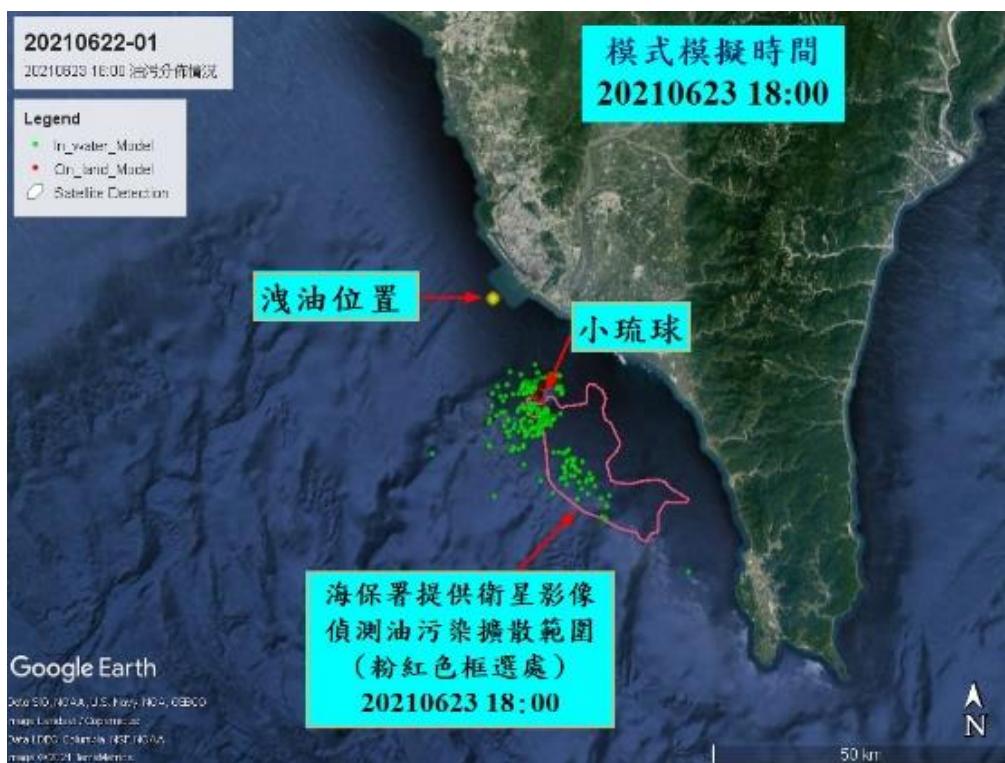


圖 3-1-79 GNOME 預測洩油 40 小時後油污染擴散的情況

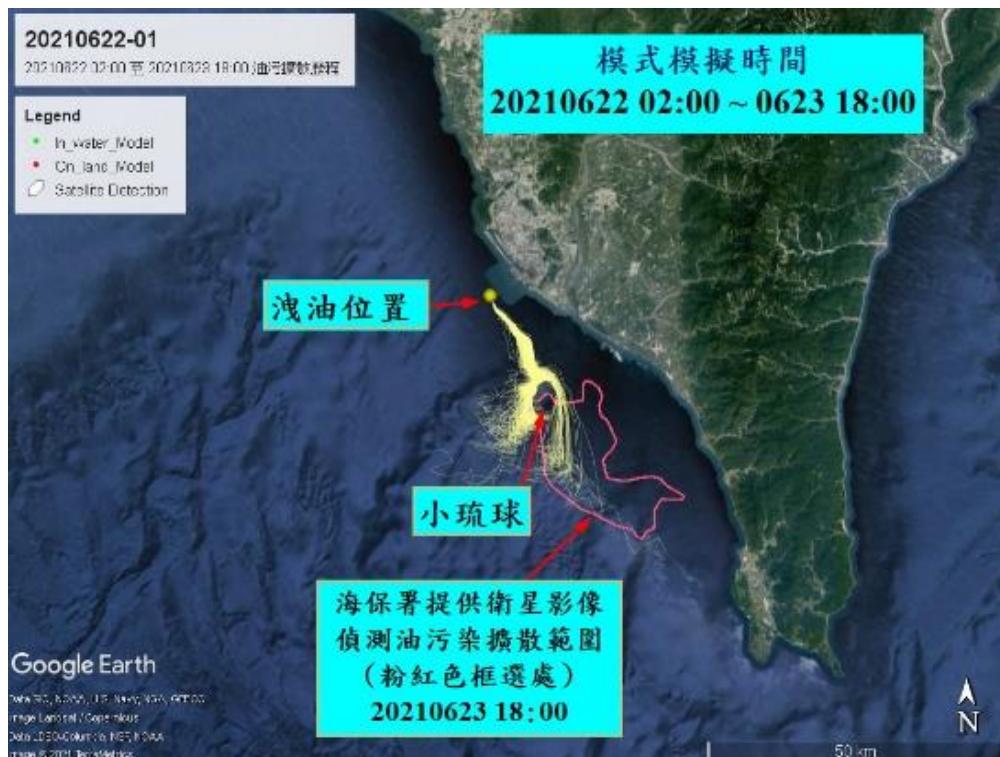


圖 3-1-80 GNOME 預測洩油 40 小時後油污染漂移軌跡的宿命歷程

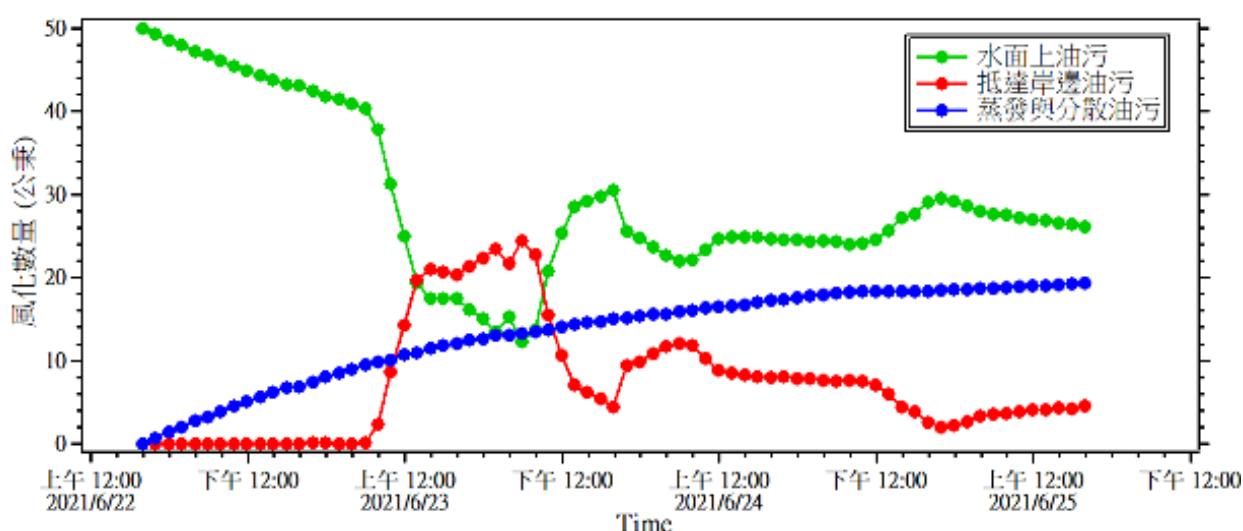


圖 3-1-81 GNOME 預測 72 小時油污染風化變化趨勢

### b. 後期滾動式油污染緊急應變擴散模擬作業

高雄大林外海漏油事件發生初期是屬於單一點源油污洩漏的狀態，但隨著時空變化，油污染會逐漸擴散成一個範圍，需滾動式進行油污染擴散緊急應變模擬作業，此時漏油位置資訊需依據當時油污染擴散範圍作輸入之設定。另外，在高雄大林外海發生漏油事件期間，海保署應用各種科技方法如衛星、直昇機、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)無人機等，分別在不同時間進行偵測海面上油污染擴散範圍，掌握油污染對海域的影響範圍。本案執行團隊亦應用這

些資訊進行高雄大林外海油污事件的滾動式油污擴散緊急應變模擬作業，再收集海氣象數值模式預測最新的風場與海流流場，可提升油污漂移軌跡與擴散範圍預測的精度。以下即針對高雄大林外海發生洩油事件發生期間，如何進行滾動式的油污擴散緊急應變模擬作說明。

滾動式油污擴散緊急應變模擬作業輸入油污範圍是依據海保署提供衛星影像所辨識的海面上油污分布範圍做為設定條件，海氣象資料持續蒐集氣象署最新的預測資料，相關模擬參數設定如表 3-1-11 滾動式油污擴散緊急應變模擬參數，洩油位置是依據圖 3-1-78 的海面上油污擴散分布範圍；洩油時間為 2021 年 6 月 23 日 18:00；油品為原油(Medium Crude)。

表 3-1-12 海面上油污體積估算方式為 ITOPF 估算海面上油污體積方式，透過海面上油污的顏色可估算油污的體積，經蒐集海保署及媒體資訊顯示在小琉球附近海面上油污顏色大部分為彩虹色，而 Medium Crude 原油的比重約 0.85，再經由衛星影像分析得出的油污擴散範圍，可概估海面上油污數量約有 60 公秉；溢洩方式為瞬間，模擬時長為 72 小時，預測風場來自中央氣象署氣象預報模式 CWA-WRF，預測海流流場來自 SCHISM 模式。

表 3-1-11 滾動式油污擴散緊急應變模擬參數

參數名稱	參數設定
溢洩位置	依據圖 3-1-78 衛星影像偵測海面上油污擴散分布範圍
初始溢洩時間	20210623-18:00
溢洩油品	原油(Medium Crude)
總溢油量	60 公秉
溢洩方式	瞬間
預測風場	CWB-WRF
預測流場	SCHISM
模擬時長	72 小時

表 3-1-12 海面上油污體積估算方式

顏色	大約厚度 (mm)	大約體積( $m^3/km^2$ )
銀色	>0.0001	0.1
彩虹色	>0.0003	0.3
黑色/暗棕	>0.1	100
棕色/橘色	>1.0	1000

資料來源：ITOPF-TIP-01(2014)

GNOME 模式進行滾動式油污擴散緊急應變模擬結果如圖 3-1-82 為預測 51 小時後(06/26 06:00)油污染在海面上分布情況，其結果顯示車城鄉外海有油污染的分布，且油污染已抵達屏東縣車城鄉海生館附近海岸；另外，圖中橘色框選處為國家海洋研究院提供的衛星影像偵測油污染擴散分布範圍，此結果亦驗證 GNOME 模式預測油污染漂移方向及抵達位置與衛星影像偵查結果是吻合的。

圖 3-1-83 為顯示 GNOME 模式預測 55 小時後(06/26 10:00)油污染在海面上分布情況，由模擬結果顯示油污染影響範圍逐漸擴大，已有油污染抵達車城鄉與恆春鎮的海岸，並有少許油污染抵達鵝鑾鼻的海岸。圖 3-1-84 為空勤總隊直升機在海生館附近海域勘查海面上油污染分布的情況，由空拍照片顯示車城鄉近岸海面上有發現油污染，由此可驗證圖 3-1-84 預測油污染漂移方向與空勤總隊直升機實際勘查結果也是相符的。

圖 3-1-85 為 GNOME 預測 72 小時後油污染風化之變化趨勢，在經歷 72 小時後，海面上油汙數量剩下 16.3 公秉；抵達屏東車城鄉至恆春鎮岸邊的油汙數量約 20.3 公秉；蒸發與分散的油汙數量共用 23.3 公秉。

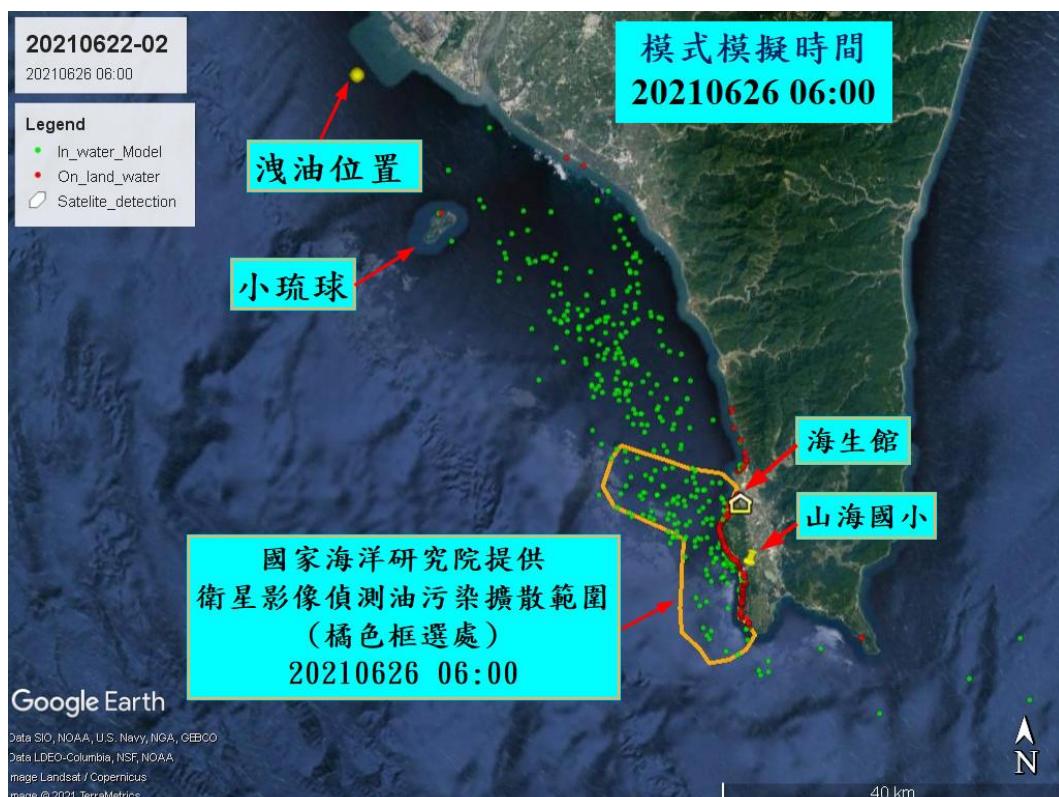


圖 3-1-82 GNOME 預測 51 小時後油污染在海面上分布情況

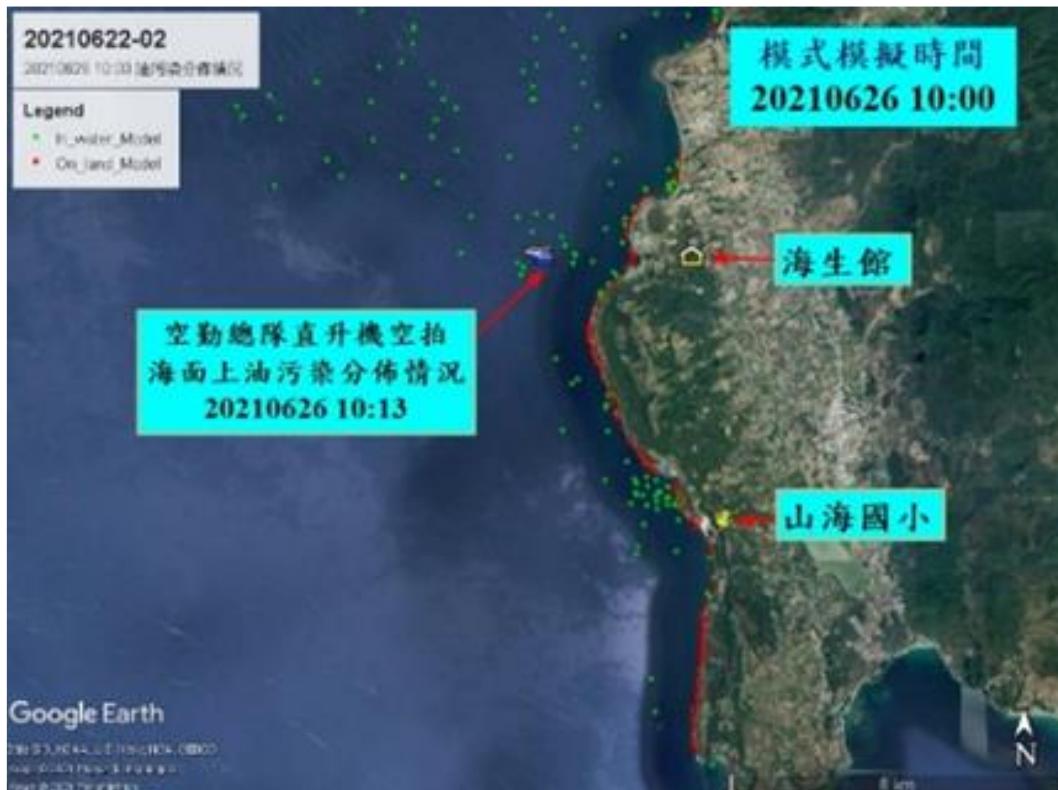


圖 3-1-83 GNOME 預測 55 小時後油污染在海面上分布情況



圖 3-1-84 空勤總隊直升機空拍屏東海生館附近海域油污染在海面上分布情況

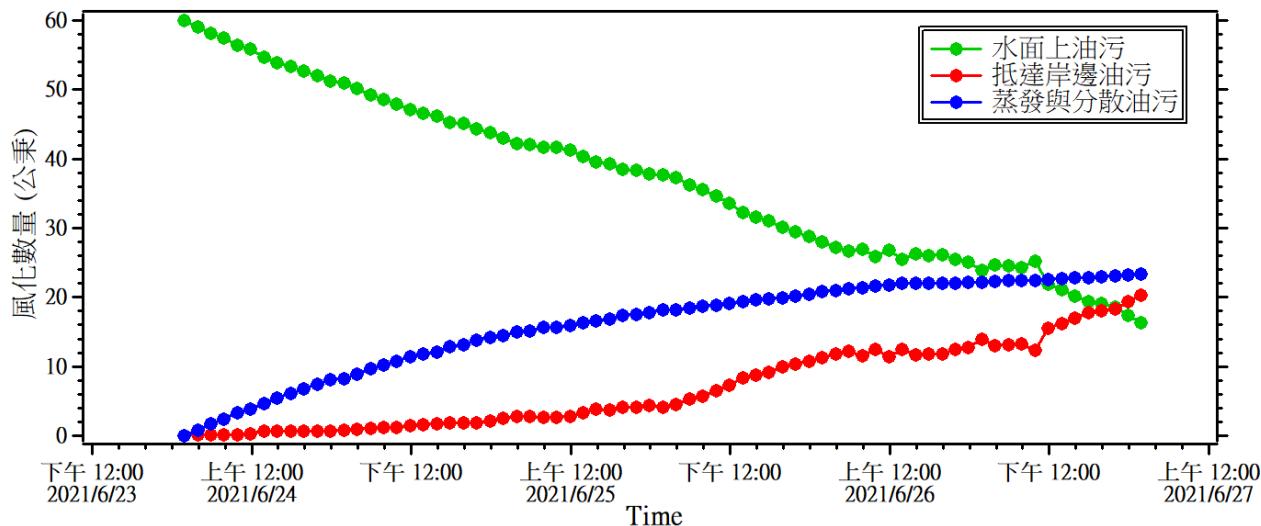


圖 3-1-85 GNOME 預測 72 小時後油污染風化之變化趨勢

真實油污染事件發生後對海洋環境影響時間的長短需視海氣象狀況外，仍需依賴政府機關的緊急應變計畫的決策作業。海保署油污染緊急應變作業已累積 20 年以上的經驗，並建置各種科技方式如衛星、X-band 雷達、無人機、空勤總隊直升機等設備與技術偵測海面上油污染擴散資訊，也搭配油污染擴散數值模式預測油污染漂移及擴散的情況，近年來在遭遇真實油污染事件皆能快速進行應變作業以及有效防止油污外洩至海洋中。此外，本案執行團隊持續提升油污染擴散模擬的精度，將各種科技技術偵測油污結果整合至油污染擴散模式，並應用油污染在海洋的變化特性，進行滾動式油污染擴散緊急應變模擬作業，並提供現場指揮官做緊急應變計畫擬定與應變能量調度及配置之參考，得以在最短的時間控制油污染影響範圍，減緩油污染對海洋環境與生態的衝擊。

今(113)年度 7 月 11 日海保署舉辦一場非海難的實兵演練，模擬中油大林廠 2 號外海卸油浮筒輸油管線破裂導致海洋污染，結合各公私部門及 14 個海洋污染緊急應變作業專業團隊，於第一時間組成污染清除應變團隊，驗證相關應變作業流程，所有團隊也默契的完成海上油污染應處演習。圖 3-1-86 為演習期間中油公司熟練的佈設第一道攔油索避免油污擴散範圍增加，圖 3-1-87 則佈放二道 U 型攔油索圍堵集中海面。演習期間包含內政部空中勤務總隊、內政部國家公園署墾丁國家公園管理處、交通部觀光署大鵬灣國家風景區管理處、海洋委員會、海洋保育署、海巡署、高雄市政府、屏東縣政府、中油公司煉製事業部大林煉油廠、台灣電力公司第三核能發電廠、海歷企業有限公司、高雄區漁會、國立中山大學與中華民國航空測量及遙感探測學會等，動員拖船、工作

船及漁船等 14 艘船艇、AS365 海豚直升機、Dual 640T V3 無人機各 1 架及逾 200 人參與實兵演習。本案執行團隊(國立中山大學)在這次的實兵演練也執行油污染擴散模擬作業與應用「Pyxis LWIR」與「FLIR K65」監測海面油污，藉由這次的實兵演練可驗證各種油污染預警與防治工具應用在真實海洋環境可能遭遇的問題，並能及時發現問題與進行修正，未來若發生油污染事件將可快速控制油污染對海洋環境的衝擊。

海保署經歷 7 月 11 日非海難的實兵演練作業，提高應對突發情況的能力和技能，能使各應變單位真正合作無間融為一體。因此，針對今(113)年度發生船舶擱淺海岸事件海保署皆能在最短時間擬定緊急應變計畫，本案執行團隊執行油污染緊急應變模擬結果也作為應變能量配置之參考依據，這些作為助於防止海上漏油污染對海洋環境的衝擊。

另外，以 2016 年在新北市石門地區發生德祥臺北貨輪擱淺漏油事件為例，表 3-1-13 為德祥臺北貨輪油污染擴散模擬參數設定。圖 3-1-88 為 SCHISM 模擬東北角海域漲潮期間的海流流場，圖中流矢方向顯示海流流動的方向，海流流動速度可參照右下方色階的顯示，而左下方色階則顯示海表面水位的變化趨勢，由圖中顯示可知東北角外海的海流由西太平洋往臺灣海峽方向流動，圖 3-1-89 為 SCHISM 模擬東北角海域退潮期間的海流流場，由圖中顯示東北角外海的海流由臺灣海峽往西太平洋方向流動。另外，在接近海岸地區受到彎曲地形影響，在漲潮期間海流呈現逆時針的環流現象(如圖 3-1-88 所示)，而在退潮期間海流呈現順時針的環流現象(如圖 3-1-89 所示)，環流現象會讓油污在海岸地區滯留較久，有益於油污染控制與清除油污，但可能對近岸地區生態有相當大的影響。在風場的部分可採用美國 NCEP 或氣象署的預測風場，如圖 3-1-90 為美國 NCEP 預測的風場，圖中流矢方向顯示風的方向，顏色為顯示風速的大小，可參照右邊色階得知風速的大小，由圖中風場變化得知油污染擴散模擬初期的風場主要受到東北風的影響。圖 3-1-91 為 GNOME 模擬德祥臺北貨輪漏油 72 小時後油污染漂移及擴散的情況，由模擬結果顯示油污如受到漲潮影響會漂往臺灣海峽。本案執行團隊也將 GNOME 模式應用在德祥臺北貨輪與其他地區油污染擴散模擬的成果發表在國內外的期刊(Chiu et al., 2023(如圖 3-1-92 所示)；Chuang et al., 2021)，以驗證 GNOME 模擬結果可提供臺灣四周海域油污染緊急應變計畫擬定的重要參考依據。



圖 3-1-86 中油公司工作船在海上佈設第一道攔油索防止油污擴散



圖 3-1-87 中油公司工作船在海上佈設第二道 U 型攔油索圍堵集中海面油污

表 3-1-13 德祥臺北貨輪油污擴散模擬參數設定

參數名稱	參數設定
油品種類	燃料油
溢洩油面積	約 $1 \text{ km}^2$
溢洩總量	60 公噸
開始溢洩時間	2016/03/26 11:00
持續溢洩時間	0 小時
海流	SCHISM
風	NCEP
模擬時長	72 小時

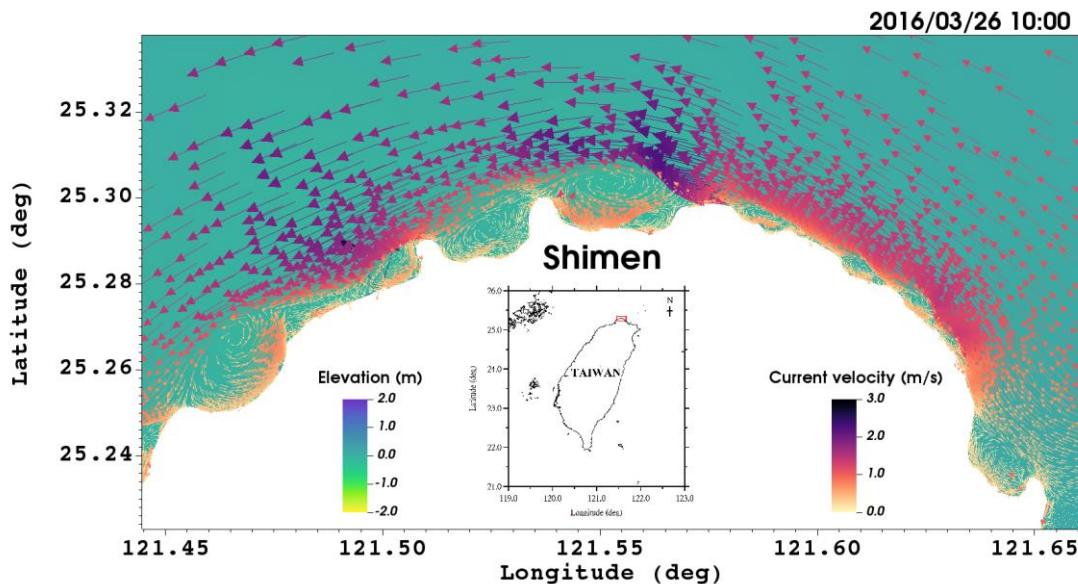


圖 3-1-88 SCHISM 模擬東北角海域漲潮期間的海流流場

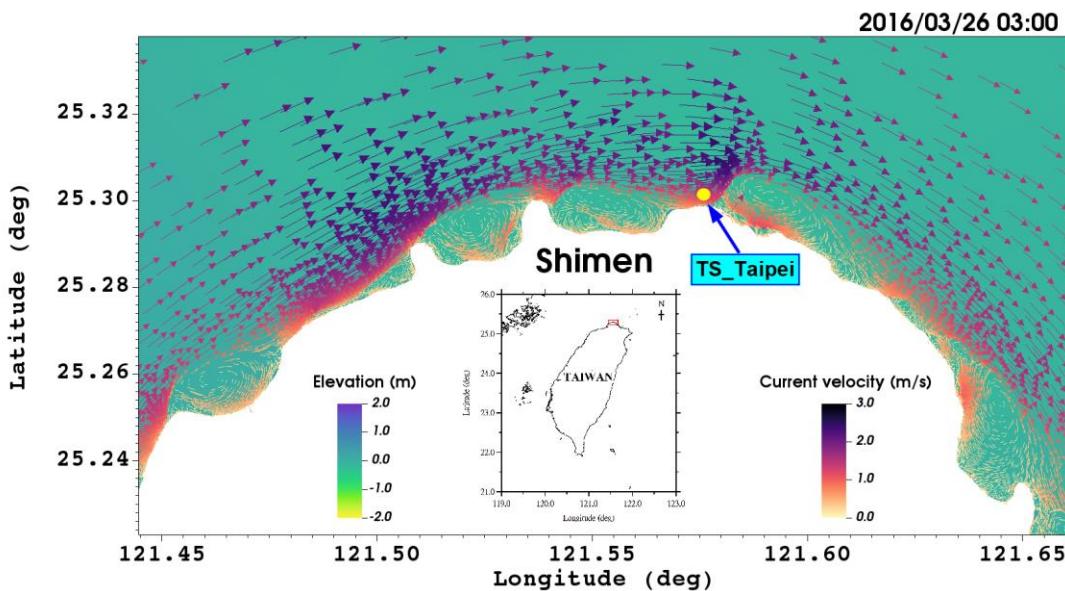


圖 3-1-89 SCHISM 模擬東北角海域退潮期間的海流流場

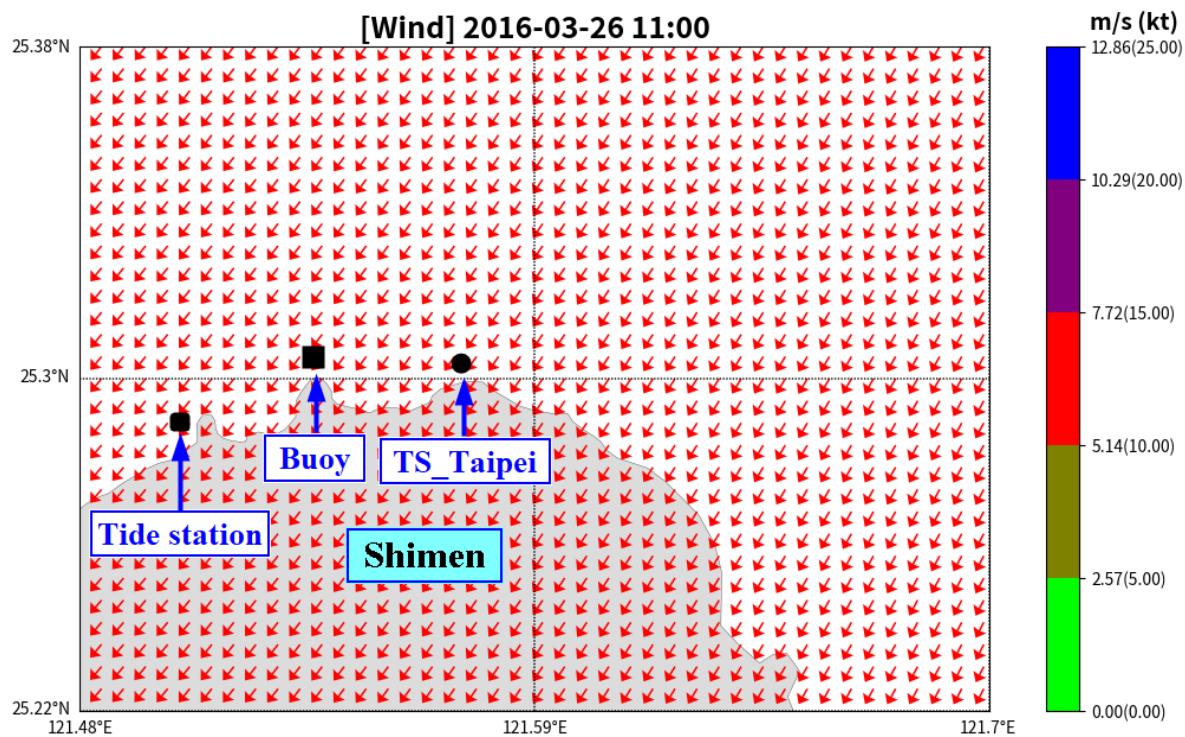


圖 3-1-90 NCEP 模擬東北角海域的風場

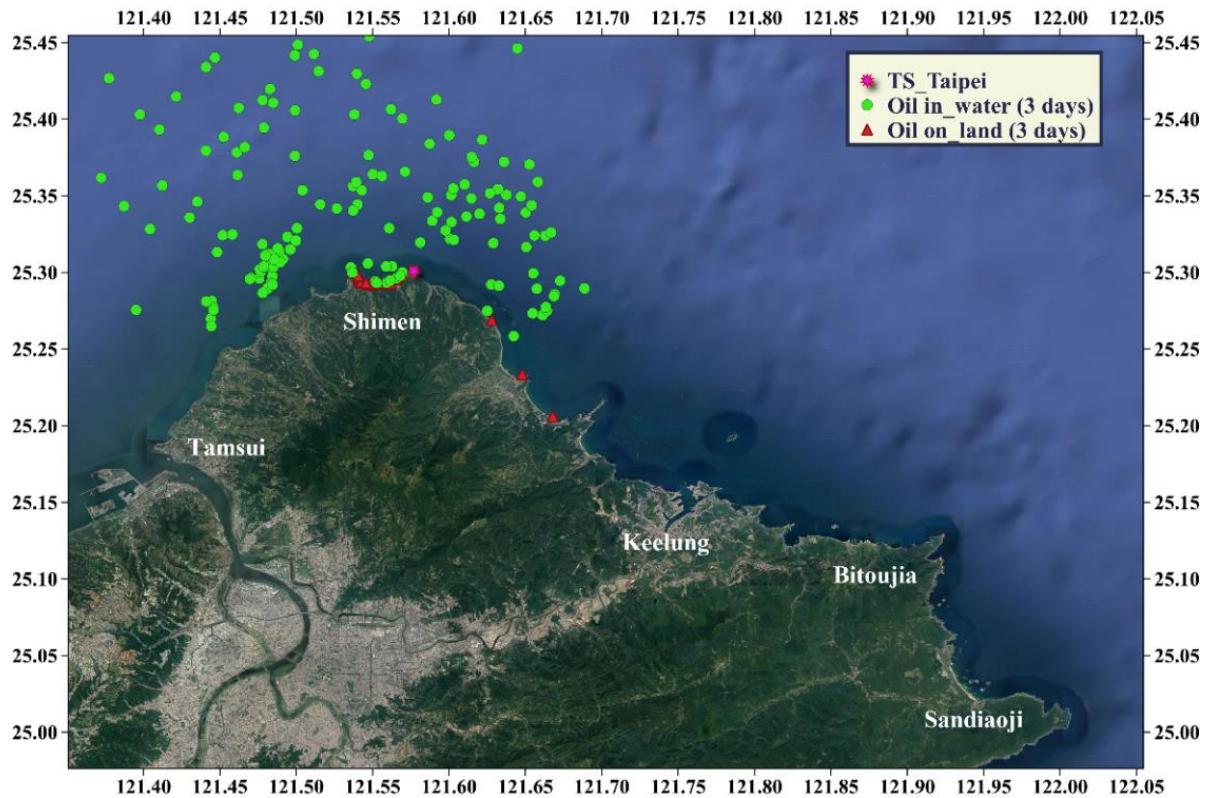
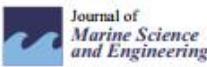


圖 3-1-91 GNOME 模擬德祥臺北漏油 3 天後 (2016/03/29 11:00)

*Article*

## Utilizing Numerical Models and GIS to Enhance Information Management for Oil Spill Emergency Response and Resource Allocation in the Taiwan Waters

Chi-Min Chiu <sup>1</sup>, Laurence Zsu-Hsin Chuang <sup>2</sup>, Wei-Liang Chuang <sup>1,\*</sup>, Li-Chung Wu <sup>3</sup>, Ching-Jer Huang <sup>4</sup> and Yinglong Joseph Zhang <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung 80424, Taiwan  
<sup>2</sup> Institute of Ocean Technology and Marine Affairs, National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan  
<sup>3</sup> Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University, Tainan 701401, Taiwan  
<sup>4</sup> Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University, Tainan 70101, Taiwan  
<sup>5</sup> Center for Coastal Resource Management, Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, VA 23062, USA  
\* Correspondence: wlchuang@mail.nsysu.edu.tw



**Citation:** Chiu, C.-M.; Chuang, L.Z.-H.; Chuang, W.-L.; Wu, L.-C.; Huang, C.-J.; Zhang, Y.J. Utilizing Numerical Models and GIS to Enhance Information Management for Oil Spill Emergency Response and Resource Allocation in the Taiwan Waters. *J. Mar. Sci. Eng.* **2023**, *11*, 2094. <https://doi.org/10.3390/jmse1112094>

**Academic Editors:** Giorgio Anfuso, Carlo Lo Re, Giorgio Manzo, Rosa Molina and Francisco Asensio-Montesinos

Received: 23 September 2023 / Revised: 23 October 2023 / Accepted: 27 October 2023 / Published: 31 October 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstract:** This study aims to establish a comprehensive workflow for developing emergency response plans for both actual and scenario oil spill incidents in the Taiwan waters while addressing the resource allocation for oil spill containment as well. This workflow comprises two vital components. The first component involves the integration of numerical tools and observational data, which includes the incorporation of wind data from sources such as the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) or meteorological stations. Additionally, it incorporates ocean current data simulated by the semi-implicit cross-scale hydroscience integrated system model (SCHISM) into the general NOAA operational modeling environment (GNOME) model, which is a new approach for this purpose. In order to assess the efficacy of this component, two distinct case studies were conducted. The first case study focused on an incident in a northern coastal area of Taiwan under open sea conditions, whereas the second case study examined an incident within a major commercial harbor in central Taiwan. The second component of this workflow involves creating oil risk maps by integrating the results from the first component with specific geographical factors into Google Earth. These oil risk maps serve multiple purposes. They offer real-time information to emergency response commanders regarding oil spill hazard prediction, and they also enable the effective development of emergency response strategies and disposal plans for potential oil spill incidents. This is achieved by generating risk maps for various scenarios using the approach outlined in the first component. Additionally, these maps assist in the assessment and planning of resource allocation for oil containment.

**Keywords:** oil spill; SCHISM; GNOME; GIS; risk map; emergency response

---

### 1. Introduction

Taiwan, located along significant shipping routes in East Asia, faces a high risk of oil spill incidents. Adverse weather conditions often contribute to ship collisions, groundings, or accidental spills during oil transportation operations, resulting in oil spill incidents in open sea areas. In order to address such incidents, Taiwan enacted the Marine Pollution Control Act in 1990 and has continuously enhanced its emergency response mechanisms for oil spills over the past two decades, keeping pace with technological advancements.

In the context of oil spill response, the timely dispatch and allocation of pollution control materials are crucial. However, the circumstances and extent of oil spill incidents vary and are subject to constant change. Allocating limited emergency materials effectively, in terms of location and quantity, requires the consideration of various factors such as local

*J. Mar. Sci. Eng.* **2023**, *11*, 2094. <https://doi.org/10.3390/jmse1112094> <https://www.mdpi.com/journal/jmse>

圖 3-1-92 GNOME 模式應用在臺灣海域成果發表及刊登在國際期刊

6. 針對含有燃油或潤滑油之模擬案件應於第一套模擬工具完成模擬成果報告後，於 2 小時內提出第二套模擬工具之模擬成果報告。

海保署要求第 1 件案例需啟動第二套油污擴散數值模式 SCHISM，因此依據表 3-1-3 與表 3-1-4 模擬參數進行退潮與漲潮期間的油污擴散緊急應變模擬作業，並以 SCHISM 進行退潮與漲潮期間未來 72 小時油污擴散模擬，且將模擬結果製作 Google Earth 地圖可讀取的 KML 格式，以下分別說明未來 12、24、48、72 小時等時段的油污擴散模擬結果，呈現在 Google Earth 地圖上分布的情況，可協助指揮官擬定油污緊急應變計畫與應變資源配置之參考依據。

如圖 3-1-93 所示，SCHISM 模擬未來 12 小時(4/17 22:35)油污擴散模擬結果，受到南南西風以及潮流影響，油污往北北東方向漂移及擴散，有少許抵達料羅灣港外堤防。

如圖 3-1-94 所示，SCHISM 模擬未來 24 小時(4/18 10:35)油污擴散模擬結果，持續受到南南西風以及潮流影響，油污持續往北北東方向漂移及擴散，部分油污抵達料羅灣港外堤防。

如圖 3-1-95 所示，SCHISM 模擬未來 48 小時(4/19 10:35)油污擴散模擬結果，此期間受到東北風以及潮流影響，少許油污抵達金門東邊海岸，海面上的油污往西南方向漂移及擴散，海面上油污分布在陸籍「瑞誠 6(RUICHENG6)」貨輪周圍海域，也有油污抵達中國大陸漳州市鄰近的海岸。

如圖 3-1-96 所示，SCHISM 模擬未來 72 小時(4/20 10:35)油污擴散模擬結果，受到風向逐漸轉變至西南風以及潮流影響，海面上油污往東北方向漂移及擴散，油污到達中國大陸漳州市鄰近海岸數量略有增加。

如圖 3-1-97 所示，SCHISM 模擬未來 72 小時油污風化模擬結果，在海面上油污剩餘 4.51 公噸，抵達岸邊油污有 0.77 公噸，蒸發油污有 1.72 公噸。



圖 3-1-93 SCHISM 模擬未來 12 小時油污染擴散模擬結果

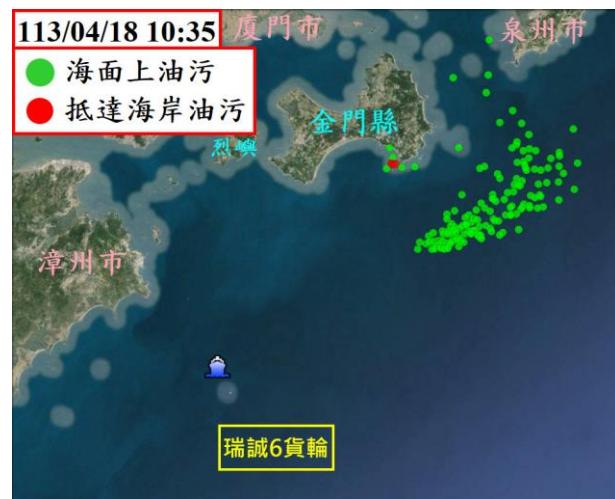


圖 3-1-94 SCHISM 模擬未來 24 小時油污染擴散模擬結果



圖 3-1-95 SCHISM 模擬未來 48 小時油污染擴散模擬結果

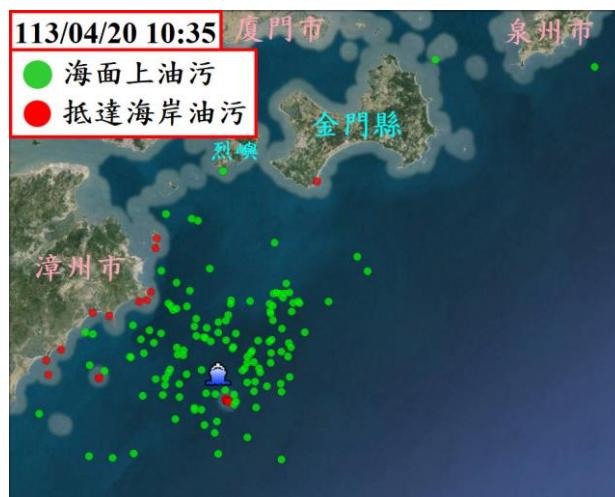


圖 3-1-96 SCHISM 模擬未來 72 小時油污染擴散模擬結果

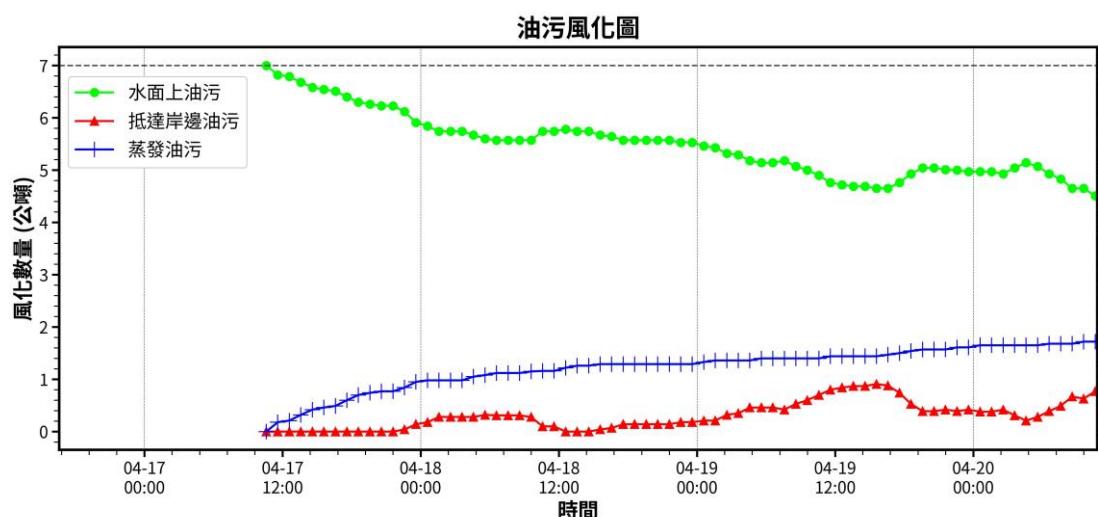


圖 3-1-97 SCHISM 模擬未來 72 小時油污風化模擬結果

以表 3-1-4 模擬參數應用 SCHISM 進行漲潮期間模擬未來 72 小時油污擴散情況，並將模擬結果製作 Google Earth 地圖可讀取的 KML 格式，以下分別說明未來 12、24、48、72 小時等油污擴散模擬結果，並呈現在 Google Earth 地圖上，可協助指揮官擬定油污緊急應變計畫與應變資源配置之參考依據。

如圖 3-1-98 所示，SCHISM 模擬未來 12 小時(4/18 04:35)油污擴散模擬結果，受到南南西風以及潮流影響，油污往北北東方向漂移及擴散，海面上油污距料羅灣約 3.0 公里，並未有油污抵達金門海岸。

如圖 3-1-99 所示，SCHISM 模擬未來 24 小時(04/18 16:35)油污擴散模擬結果，受到風向由南南西風轉東北風以及潮流影響，油污逐漸往西南方向漂移及擴散，並未有油污抵達金門海岸。

如圖 3-1-100 所示，SCHISM 模擬未來 48 小時(04/19 16:35)油污擴散模擬結果，受到風向由北北東轉東風以及潮流影響，油污往西南方向漂移及擴散，並未有油污抵達金門海岸。

如圖 3-1-101 所示，SCHISM 模擬未來 72 小時(04/20 16:35)油污擴散模擬結果，受到風向逐漸轉變至西南風以及潮流影響，海面上油污往東北方向漂移及擴散，油污抵達中國大陸的海岸，並未有油污抵達金門海岸。

如圖 3-1-102 所示，SCHISM 模擬未來 72 小時油污風化模擬結果，在海面上油污剩餘 4.41 公噸，抵達岸邊油污有 0.87 公噸，蒸發油污有 1.72 公噸。

綜合上述第 1 件案例以 GNOEM 與 SCHISM 模擬油污擴散所輸入的動力來源(海流流場與風場)皆相同，所以模擬油污擴散分布情況皆呈現相似的變化趨勢。另外，GNOEM 與 SCHISM 都屬於開源軟體，模擬結果需透過後處理方式呈現。為將模擬結果可以視覺化呈現與可結合 Google Earth 平台呈現油污擴散分布情況，透過 Google Earth 的量測工具可估計出油污粒子分布的範圍，再搭配油污風化結果顯示油污在不同延時的模擬重量，經換算的得出海面上油污的面積與厚度。

另外，上述海流流場、風場、油污擴散模擬結果產製成動畫及 KML 檔案，本案執行團隊皆以 Python 程式語言進行撰寫並呈現一致的方式，有利緊急應變指揮官可快速讀取資訊，進一步規劃緊急應變計畫的擬定與應變能量的配置。

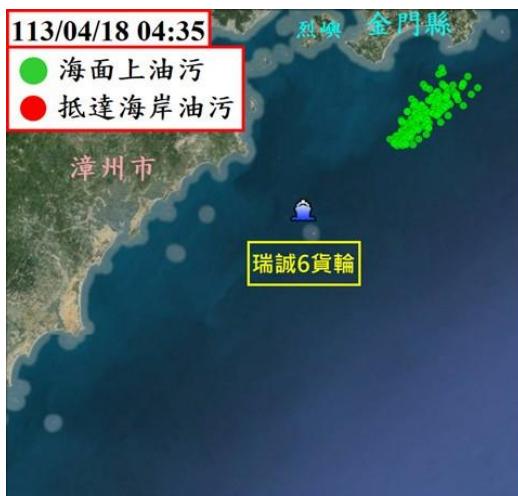


圖 3-1-98 SCHISM 模擬未來 12 小時油污染擴散模擬結果

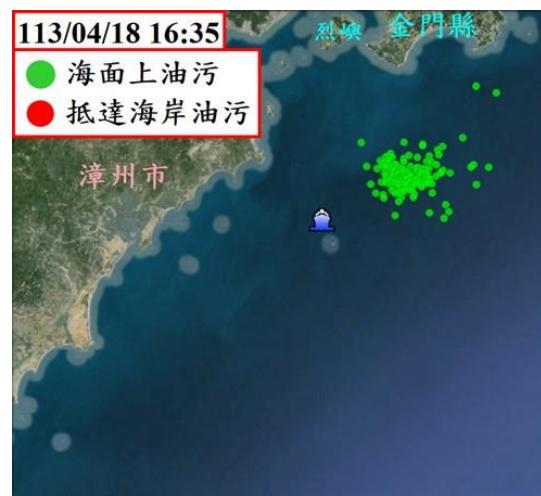


圖 3-1-99 SCHISM 模擬未來 24 小時油污染擴散模擬結果



圖 3-1-100 SCHISM 模擬未來 48 小時油污染擴散模擬結果

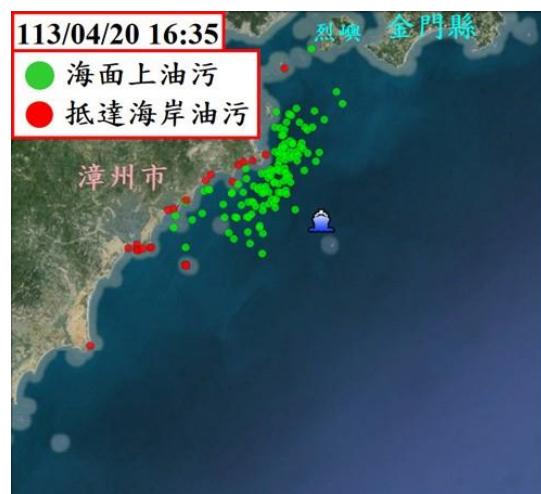


圖 3-1-101 SCHISM 模擬未來 72 小時油污染擴散模擬結果

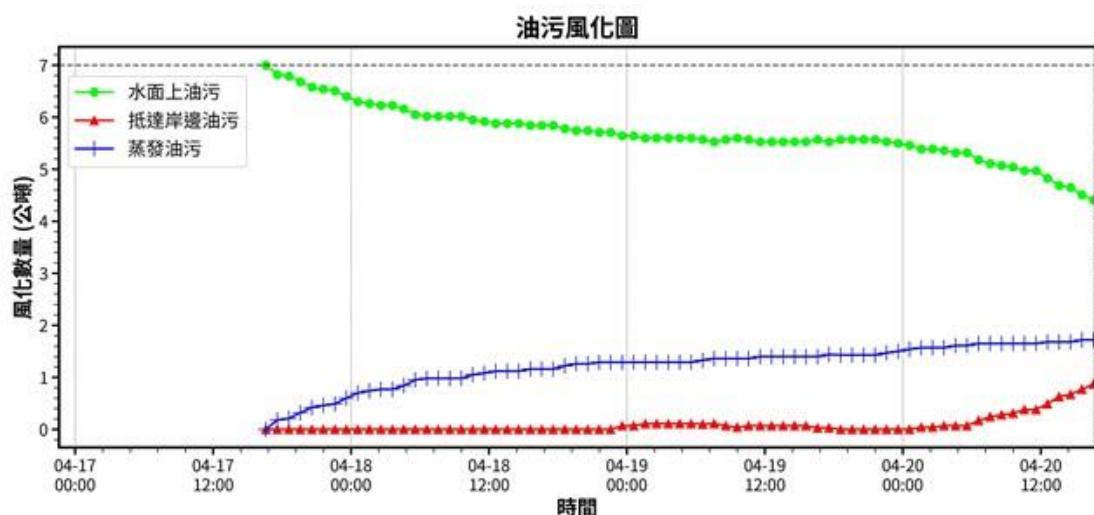


圖 3-1-102 SCHISM 模擬漲潮期間油污風化隨時間演變結果

## 7. 油污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台」。

本項工作會依據海保署「海洋環境管理平台」(如圖 2-1-47 所示)的格式要求，已完成上傳「WebGNOME」簡易網路版油污染擴散模式操作手冊(如圖 3-1-103 所示)，表 3-1-1 列出 17 件的油污染擴散應變模擬作業，除第 17 與第 18 案例仍在進行緊急應變模擬作業外，其他 16 件的緊急應變與演練等模擬作業成果皆已上傳至「海洋環境管理平台」，如圖 3-1-104 為顯示完成上傳第 1 件模擬案油污染擴散應變模擬作業報告。

EM 海污緊急應變系統

內容描述  
113年度網路版海洋污染擴散模擬教育訓練第一梯次

檔案上傳-計畫書&規劃書  
上傳檔案必須是 Word、Excel 格式  
選擇檔案 沒有選擇檔案  
上傳檔案必須是 ODF、ODT、ODS、PDF 格式 113年度網路版海洋污染擴散模擬教育訓練\_20240503.pdf [刪除文件](#)

檔案上傳-成果報告&核定版  
上傳檔案必須是 Word、Excel 格式  
選擇檔案 沒有選擇檔案  
上傳檔案必須是 ODF、ODT、ODS、PDF 格式 OCA\_簡易網路版海洋油污擴散模擬系統操作手冊.pdf [刪除文件](#)

一、請確認單位網路傳輸品質，若網路緩慢者請一次上傳一、兩個檔案。  
二、欲上傳的檔案很大時，建議單獨上傳，以防傳輸失敗。  
三、上傳檔案大小限制10Mb以內，若超過請壓縮檔案，或另與系統管理者聯繫。

儲存 取消返回

圖 3-1-103 完成上傳「WebGNOME」簡易網路版油污染擴散模式操作手冊

民間單位\國立中山大學 您好 | 操作影音 | 提醒訊息 | 返回O-in首頁

**EM 海污緊急應變系統**

首頁 / 污染事件 / 污染事件通報

### 污染事件通報

**通報聯絡人員**

通報日期與時間	2024-06-12 17:39	(系統自動帶日期時間)	
通報人員 *	海污監測專案小組	通報機關 *	海洋委員會\海洋保育署
備註：系統自動帶入帳號資訊，可再進行修改		備註：系統會自動帶入通報單位，僅部分中央權限才可選擇其他單位通報	
聯絡電話 *	07-3380196	傳真號碼 *	07-3381755

**通報資料建置**

1. 污染事件
2. 船舶資料
3. 事故情形
4. 備註資料

**備註資料**

參與應變相關單位 \*

環保單位  交通單位  漁業單位  P&I代表  中油公司  
 海巡單位  消防單位  船東代表  
 民間海事公司   
 其它

事故之其他說明

氣象  颱風期間  非颱風期間  
 執法  告發  罰款  求償  其它   
 覓證  拍照  衛星資料  當場單發  採樣  其它   
 其他

處理前照片 選擇檔案 尚未選取檔案

處理中照片 選擇檔案 尚未選取檔案

處理後照片 選擇檔案 尚未選取檔案

處理前影片 選擇影片 尚未上傳檔案

**油污擴散模擬專區**

選擇檔案 選擇檔案 已上傳的檔案 : 05\_高雄港一港口南堤17.1哩處.zip 刪除

選擇圖片 選擇檔案 尚未選取檔案

說明

上傳

取消

圖 3-1-104 完成上傳第 1 件模擬案油污染擴散應變模擬作業報告

### 3-2 辦理海洋化學品污染擴散模擬

本服務項目與工作內容分別有 6 項，以下即依據 6 項工作表說明各項的工作方法。

- 依每一化學品污染擴散模擬案例填列海洋化學品污染事件通報及結束模擬監測資訊確認單予機關審核，並視執行情形滾動式修訂確認單。

本計畫執行至 12 月中尚未發生海洋化學品污染事件，因此選用民國 94 年 10 月 10 日在新竹外海韓國籍三湖兄弟號化學輪真實溢(洩)化學品事件為例，情境假設於民國 113 年 9 月 25 日 08:00 海洋通報及結束模擬資訊確認單內容(表 3-2-1)，依據情境海洋化學品污染通報時間、溢洩漏油品種類及數量、事件發生地點與時間等參數，隨即啟動化學品污染擴散緊急應變模擬作業，提供化學品擴散模擬結果與化學品污染風險地圖，並將模擬結果簡述並回報化學品污染緊急應變指揮官，作為擬訂化學品污染緊急應變計畫與應變能量配置之參考依據。

表 3-2-1 海洋化學品污染事件通報及結束模擬資訊確認單

通報時間	113 年 9 月 25 日 08 時 00 分	
事件名稱	新竹外海化學輪溢(洩)化學品事件	
通報污染物	苯	
污染物數量	100 公噸	
事件地點(座標)	起始漂流位置	北緯： 24 度 58 分 43.8 秒 東經：120 度 48 分 30.39 秒
	沉沒位置	北緯： 24 度 59 分 0.0 秒 東經：120 度 49 分 0.0 秒
通報資訊是否完整	<input checked="" type="checkbox"/> 是，開始模擬時間 113 年 9 月 25 日 08 時 00 分	
	<input type="checkbox"/> 否，缺少 更新資訊時間 _____ 更新資訊 _____	
初報時間	113 年 9 月 25 日 09 時 50 分	
符合工作規定 (2 小時內完成初報)	<input checked="" type="checkbox"/> 符合	
	<input type="checkbox"/> 未符合，原因說明 _____	
通報結束應變時間	113 年 9 月 25 日 12 時 00 分	
應變成果	共提送 <u>1</u> 份模擬報告 累計 <u>1</u> 天次應變	
承辦人查核及簽章	<input type="checkbox"/> 符合	<input type="checkbox"/> 未符合 簽章
科長複核及簽章	<input type="checkbox"/> 符合	<input type="checkbox"/> 未符合 簽章

2. 於計畫執行 24 小時待命，於接獲機關緊急海洋化學品污染通報後 2 小時內，製作初步化學品污染擴散模擬報告；並於 24 小時內、依現場狀況及機關需求每日製作 2 次以上續報，包含 1 次漲潮及 1 次退潮期間之化學品污染擴散模擬報告，每一通報案件其件數計算原則如下：通報當月之日曆天數為第 1 件之模擬日數上限，模擬天數達上限後以另 1 件次計數，另 1 件起始日當月之日曆天數為該次模擬日數上限，依此類推。

今(113)年度計畫執行至 12 月尚未接獲海保署通知進行海洋化學品污染擴散緊急應變模作業，本小節依據表 3-2-1 之案例情境改變化學品苯洩漏時間，假設在民國 113 年 9 月 25 日在新竹外海約 10 海浬發生化學輪溢(洩)化學品事件，在接獲海保署通知進行化學品擴散緊急應變模作業，本案執行團隊應用 CHEMMAP 進行情境海洋化學品污染擴散緊急應變模作業。依據情境假設模擬條件，有一艘化學輪因事故造成洩漏 100 噸的苯，情境緊急應變模擬參數詳列在表 3-2-2，表中列出化學品洩漏位置、時間、數量，以及海氣象模擬期間等參數，由表中資料顯示化學輪因事故導致翻覆，在海上漂流約 1 公里後沉沒，起始漂流位置至沉沒的座標如表 3-2-2 與圖 3-2-1，苯在化學輪漂流期間皆有洩漏的情況，本案執行團隊隨即以 CHEMMAP 進行情境模擬未來 72 小時苯擴散結果。

圖 3-2-2 為今(113)年度更新 CHEMMAP 之操作介面，圖 3-2-3 為 CHEMMAP 軟體設定苯污染擴散模擬參數介面，圖中上方顯示分別有設定化學品溢洩參數(Spill)、輸入風場(Winds)、輸入海流流場(Currents)、輸入海水溫鹽與擴散係數(Water)、輸入空氣氣溫與擴散係數(Air)、檢視設定參數(Review)等功能，圖中間紅框處可設定船漂流至沉沒的座標位置。圖 3-2-4 為 CHEMMAP 內建 900 種以上的化學品物質，可針對不同的化學品進行緊急應變模擬作業。圖 3-2-5 為 CWA-WRF 預報的風場，圖中箭羽表示風的來向，箭羽顯示的數字表示風速大小，單位是節(knot)，圖中為 9 月 25 日 08:00 的預測風場，風向為東北風。圖 3-2-6 為 CWA-OCM 預報的海流流場，圖中流矢表示海流的去向，圖中為 9 月 25 日 08:00 的預測海流流場，由圖中流場顯示正值退潮期間，海流往東北方向流動。

圖 3-2-7 為 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯於海上擴散的情況，圖中深藍色質點顯示苯在海上分布的範圍，模擬結果顯示苯主要受到退潮期間海流的影響往東北方向漂移至淡水河外海約西北方 36 公里處。圖 3-2-8 為 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯於海上漂移軌跡與擴散的情況，圖中淺藍色為顯示模擬期

間苯在海上漂移軌跡，深藍色質點為顯示苯在海上分布的範圍，藉由苯在海面上漂移軌跡的路徑與範圍，有助於海保署擬定海洋化學品污染緊急應變計畫與應變資材的配置。

表 3-2-2 情境新竹外海化學船洩漏苯之模擬參數

參數名稱	參數設定	
洩漏位置	起始漂流位置	N : 24.978833° E : 120.808442°
	沉沒位置	N : 24.983333° E : 120.816667°
洩漏時間	113年9月25日 08:00	
化學品	苯(benzene)	
溢漏量	100 噸	
溢漏時長	1 小時	
風場	CWA-WRF	
流場	CWA-OCM	
海溫	20 °C	
潮汐	化學品溢漏期間正值退潮期間	
模擬時長	72 小時	



圖 3-2-1 新竹外海化學輪漂流翻覆至沉沒的軌跡

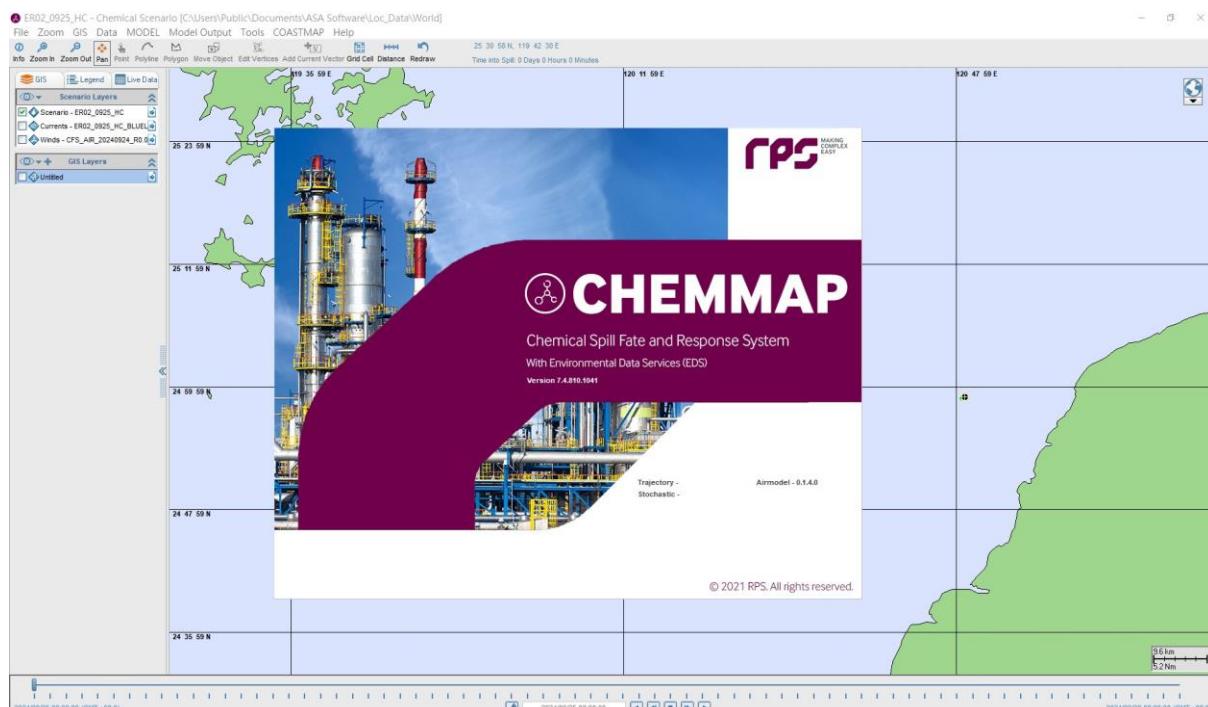


圖 3-2-2 CHEMMAP 更新版之操作介面

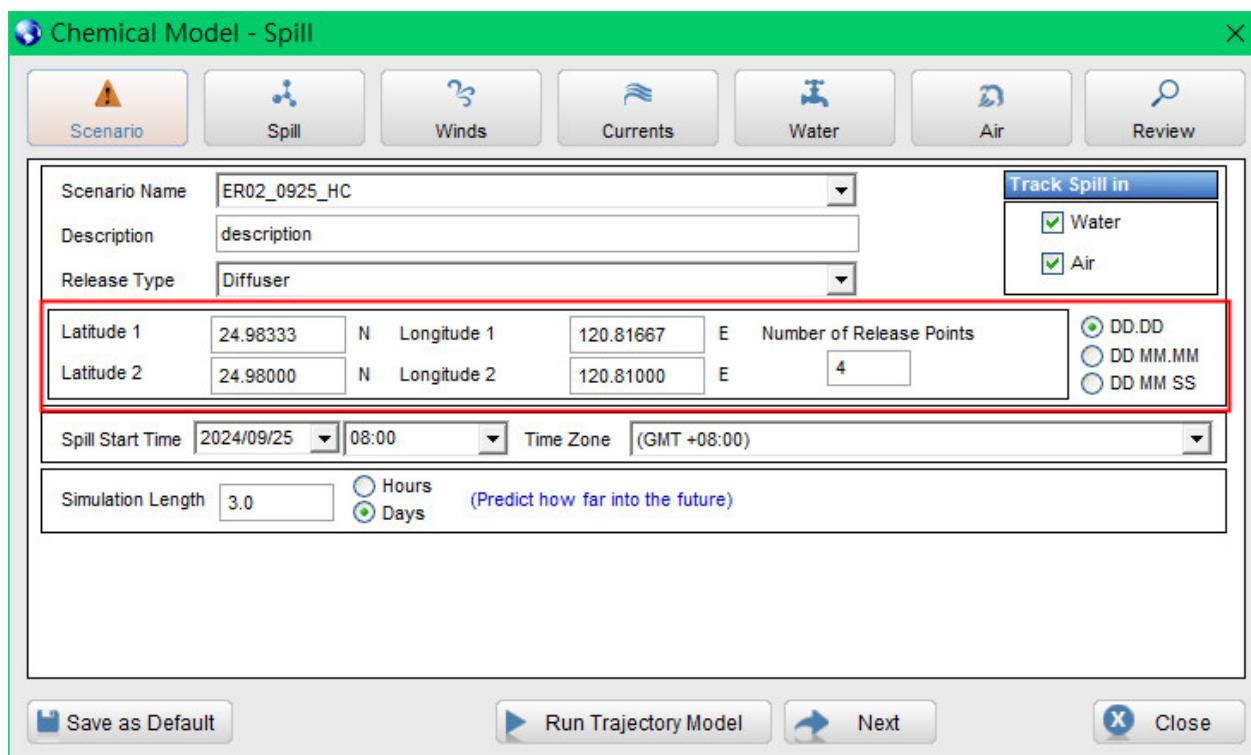


圖 3-2-3 CHEMMAP 軟體設定苯污染擴散模擬參數介面

**Chemical Search**

Where: Chemname is like:  Search  
 AND  OR  is like:  Match Any Part of Field  
 AND  OR  is like:

Chemname	Synonyms	Cas1	Cas2	Cas3	UnNo
1,1,1,2-Tetrachloroethane		630	20	6	1702
1,1,1-trichloroethane	methyl chloroform; chlorotene; Genklene; Baltar	71	55	6	2831
1,1,2,2-Tetrachloroethane	sym-tetrachloroethane; acetylene tetrachloride;	79	34	5	1702
1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane	freon 113; 1,2,2-trifluoro-1,1,2-trichloroethane;.	76	13	1	8027
1,1,2-Trichloroethane	vinyl trichloride;	79	00	5	8027
1,1,3-trimethylcyclohexane		3073	66	3	-999999
1,1,3-trimethylcyclopentane		4516	69	2	-999999
1,1-Dichloroethane	ethylidene chloride; ethylidene dichloride;	75	34	3	2362
1,1-dichloroethene	vinylidene chloride; vinylidine chloride; 1,1-DCE	75	35	4	1303

圖 3-2-4 CHEMMAP 內建 900 種以上的化學品物質

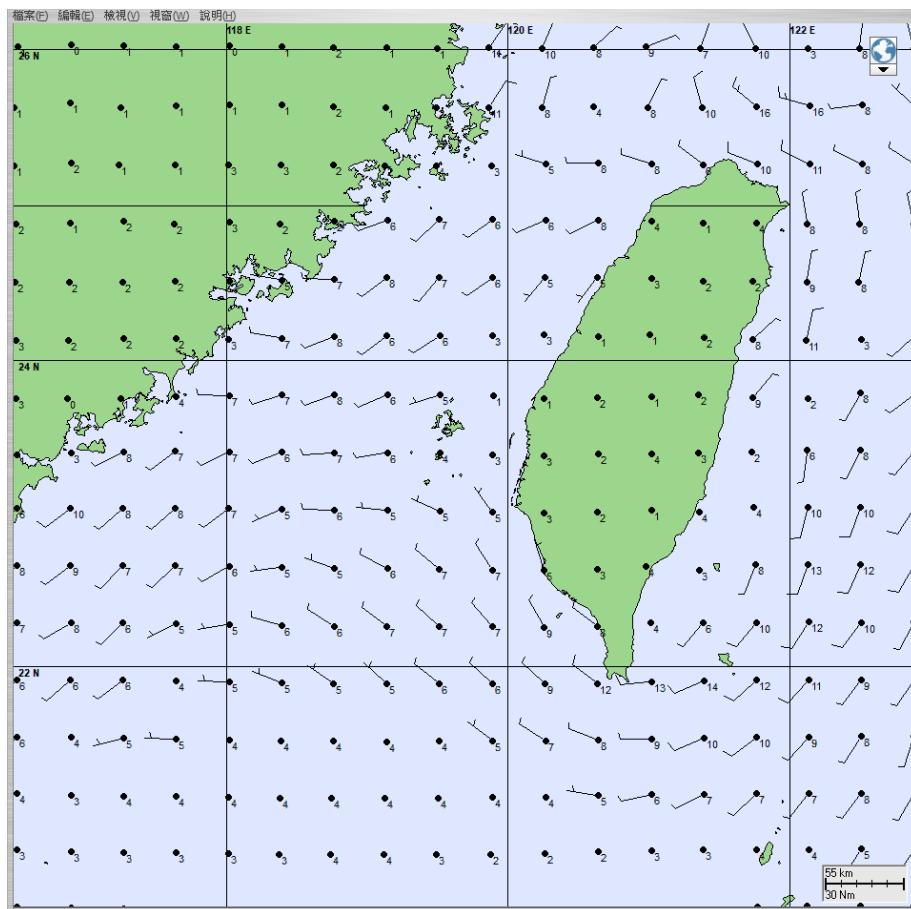


圖 3-2-5 CWA-WRF 預測風場(09/25 08:00)輸入至 CHEMMAP

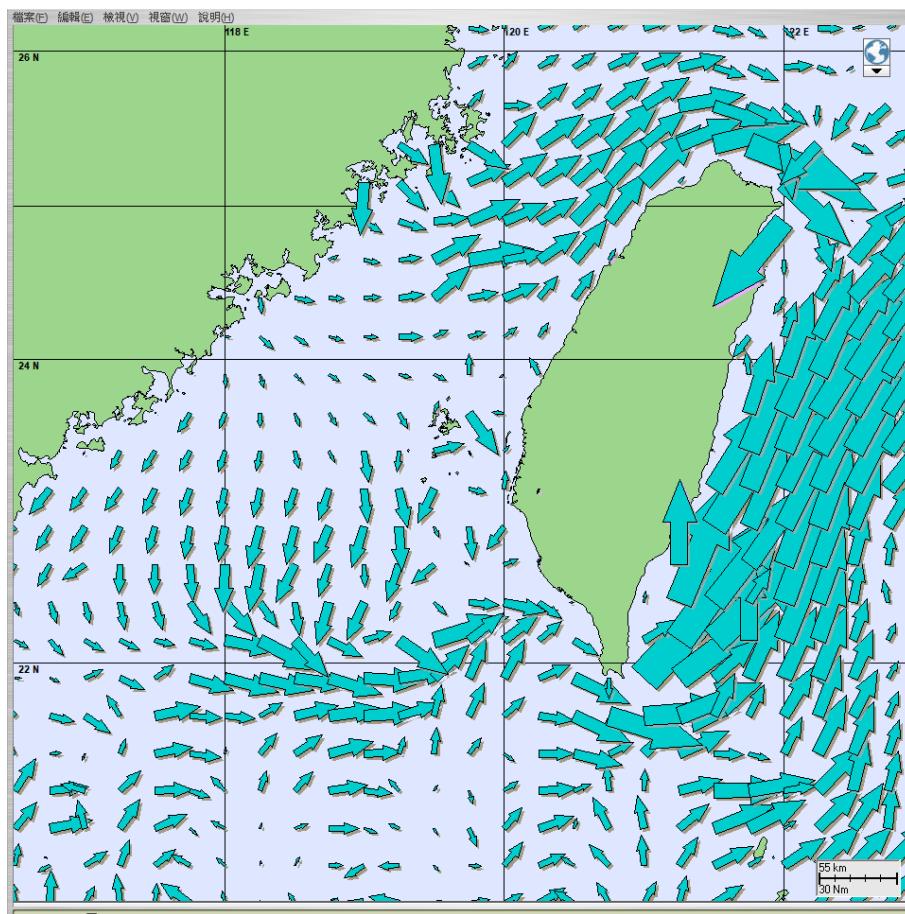


圖 3-2-6 CWA-OCM 預測海流流場(09/25 08:00)輸入至 CHEMMAP

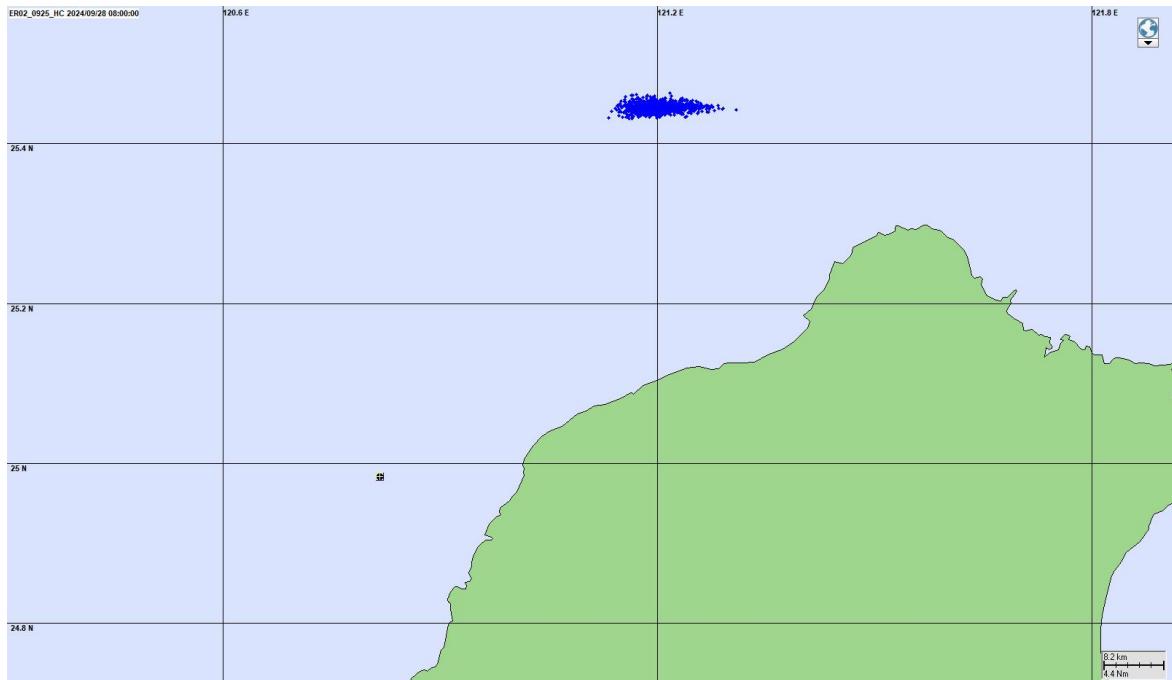


圖 3-2-7 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯於海上擴散情況

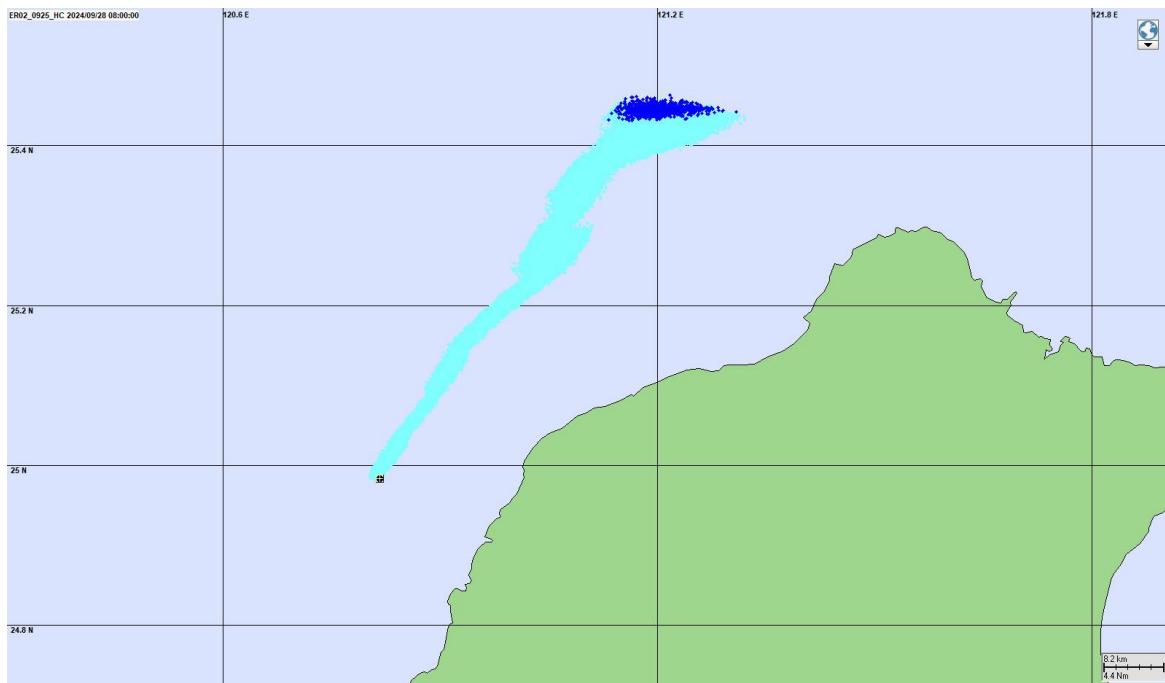


圖 3-2-8 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯於海上漂移軌跡與擴散情況

圖 3-2-9 為 CHEMMAP 模擬未來 72 小時後苯在新竹外海風化的情況，圖中顯示苯仍有 51.634% 的數量溶於水體中(Wtaer Column)，有 19.553% 的數量蒸發(Evaporated)，有 28.813% 的數量衰減(Decayed)。圖 3-2-10 為 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯在新竹外海風化的演變，圖中顯示苯在洩漏 2 小時後溶於水體中的數量隨著時間增加而下降，蒸發與衰減的數量則隨著時間增加而上升。

綜合上述結果顯示，透過情境新竹外海化學船洩漏苯事件之模擬演練，未來若發生海洋化學品污染事件，本案執行團隊可針對不同海洋化學品污染事件執行緊急應變模擬作業，提供海保署進行海洋化學品緊急應變作業之參考依據。

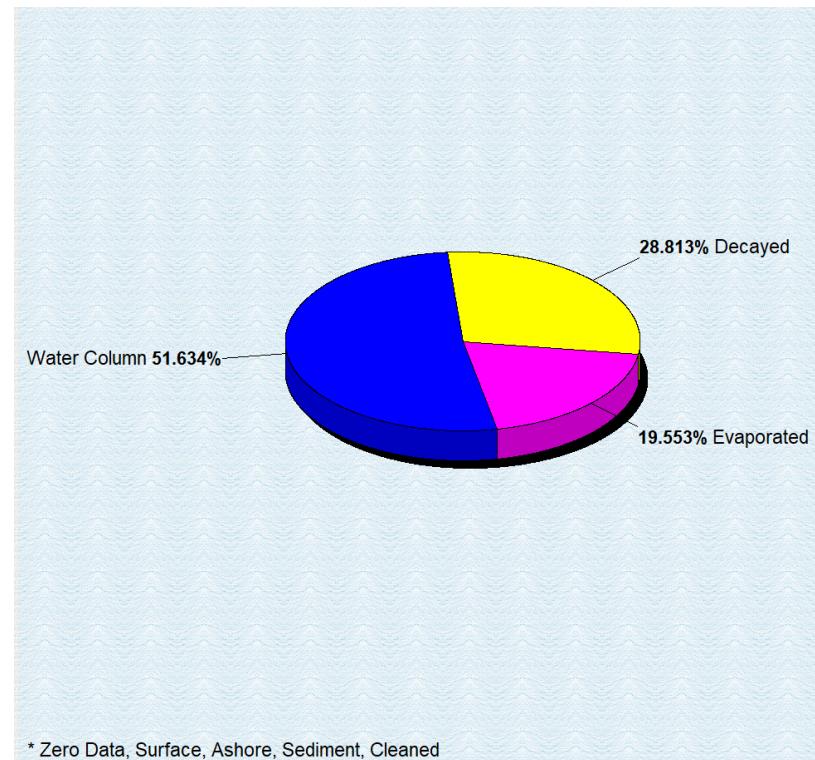


圖 3-2-9 CHEMMAP 模擬未來 72 小時後苯在新竹外海風化的情況

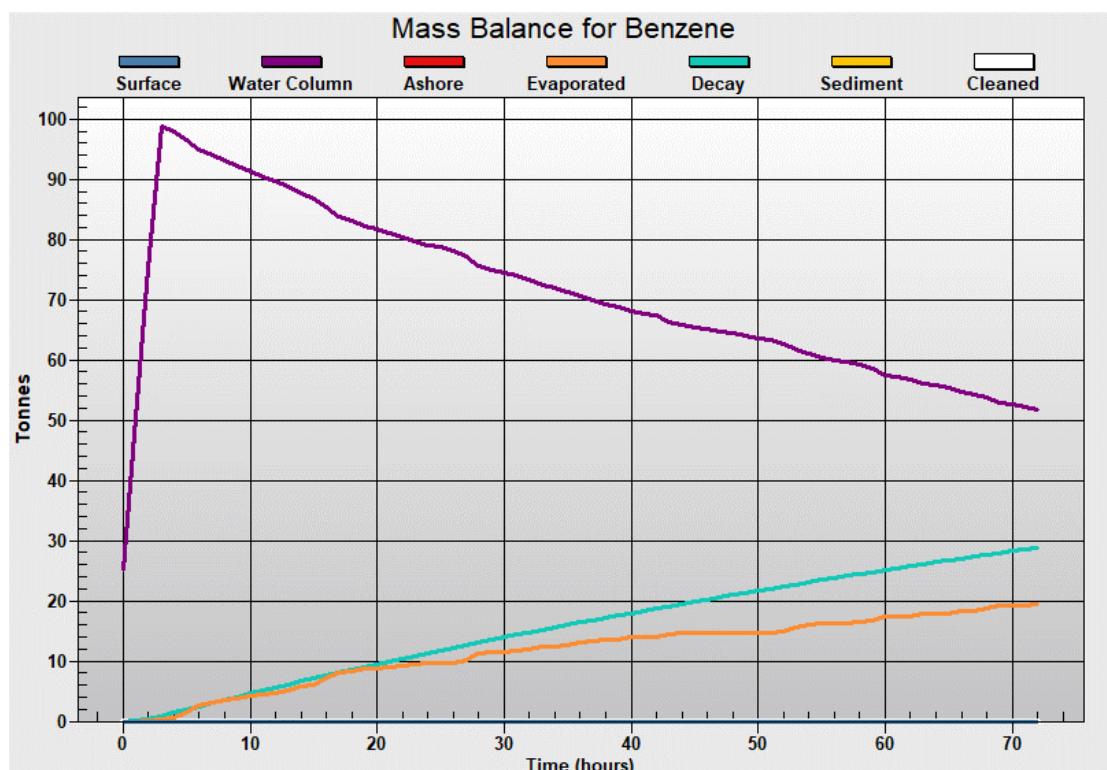


圖 3-2-10 CHEMMAP 模擬未來 72 小時苯在新竹外海風化的演變

3. 配合應變作業需求或機關指定之化學品種類，執行 2 件(種) 海洋化學品擴散模擬作業，以實際發生污染之案件進行模擬為原則。前述模擬作業內容，至少須涵蓋化學品種類、海流、風與海岸型態等影響。產出之模擬報告，須包含海洋表面流預測模擬、海氣象預測、化學品特性分析與隨時間序列之變化、海岸環境敏感標示等相關資料。

今(113)年度計畫執行至 12 月尚未接獲海保署通知進行海洋化學品擴散緊急應變模擬作業，本小節依據民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林發生洩漏原油事件之位置，情境假設在民國 110 年 6 月 22 日高雄大林外海約 2.1 浬一艘化學輪因事故造成溢洩化學品苯的事件，洩漏位置如圖 3-2-11 所示，本案執行團隊應用 CHEMMAP 進行情境海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業。情境假設高雄大林外海約 2.1 浬處，有一艘化學輪因事故造成洩漏 100 噸的苯，情境緊急應變模擬參數詳列在表 3-2-3，表中列出化學品洩漏位置、時間、數量，以及海氣象模擬期間等參數，由表中資料顯示海洋化學品污染洩漏模擬起始時間正值漲潮期間，本案執行團隊隨即以 CHEMMAP 進行情境模擬未來 48 小時化學品苯擴散結果。

圖 3-2-12 為 CHEMMAP 模擬 (benzene) 在未來 12 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況，圖中淺藍色為顯示模擬期間苯在海上漂移軌跡，深藍色質點為顯示苯在海上分布的範圍，圖中顯示風向呈現北方向；圖 3-2-13 為 CHEMMAP 模擬 (benzene) 在未來 12 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況，圖中淺藍色為顯示模擬期間苯在海上漂移軌跡，深藍色質點為顯示苯在海上分布的範圍，圖中顯示海流流向為南南西方向；由圖 3-2-12 與圖 3-2-13 的模擬結果顯示，苯受到風與海流作用往南南西方向漂移及擴散，接近屏東縣小琉球的海岸。

圖 3-2-14 為 CHEMMAP 模擬 (benzene) 在未來 24 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況，圖中顯示風向呈現北北東方向；圖 3-2-15 為 CHEMMAP 模擬 (benzene) 在未來 24 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況，圖中顯示海流流向為南南西方向；由圖 3-2-14 與圖 3-2-15 的模擬結果顯示，苯受到風與海流作用持續往南南西方向漂移及擴散，並抵達屏東縣小琉球北部的海岸。

圖 3-2-16 為 CHEMMAP 模擬 (benzene) 在未來 48 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況，圖中顯示風向呈現北北東方向；圖 3-2-17 為 CHEMMAP 模擬 (benzene) 在未來 48 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流

場分布情況，圖中顯示海流流向為南南西方向；由圖 3-2-16 與圖 3-2-17 的模擬結果顯示，苯受到風與海流作用持續往西南方向漂移及擴散，苯抵達屏東縣小琉球海岸範圍增大。

表 3-2-3 情境高雄外海化學船洩漏苯之模擬參數

項目	參數
洩漏位置	N : 22.49627° E : 120.27791°
洩漏時間	110 年 6 月 22 日 02:00
化學品	苯(benzene)
溢漏量	100 噸
溢漏時長	1 小時
風場	CWA-WRF
流場	CWA-OCM
海溫	20 °C
潮汐	化學品溢漏期間正值漲潮期間
模擬時長	48 小時

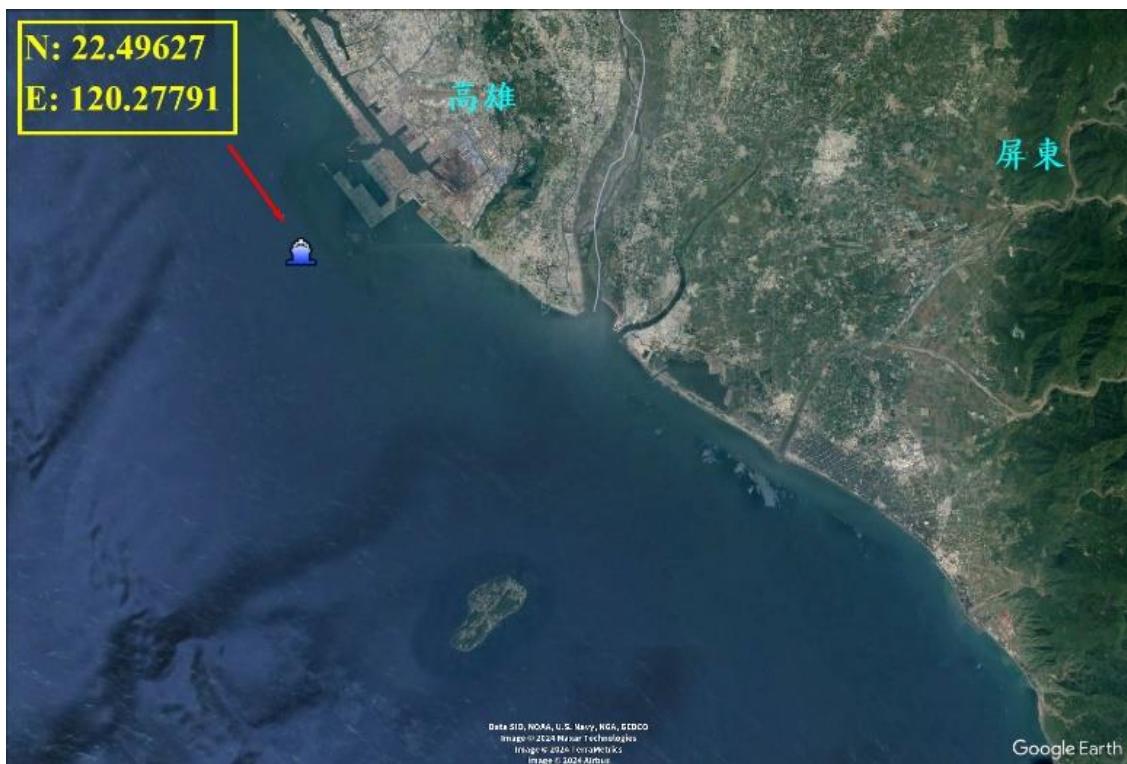


圖 3-2-11 高雄大林外海約 2.1 浬一艘化學輪因事故造成溢洩化學品苯之位置

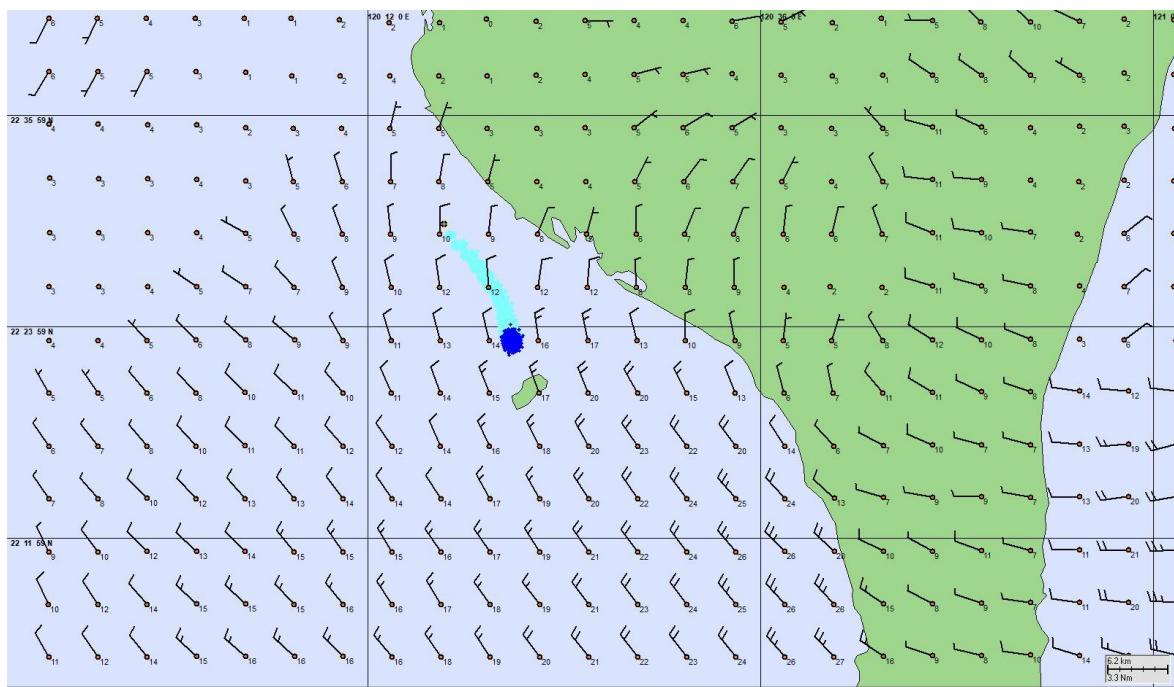


圖 3-2-12 情境模擬未來 12 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況

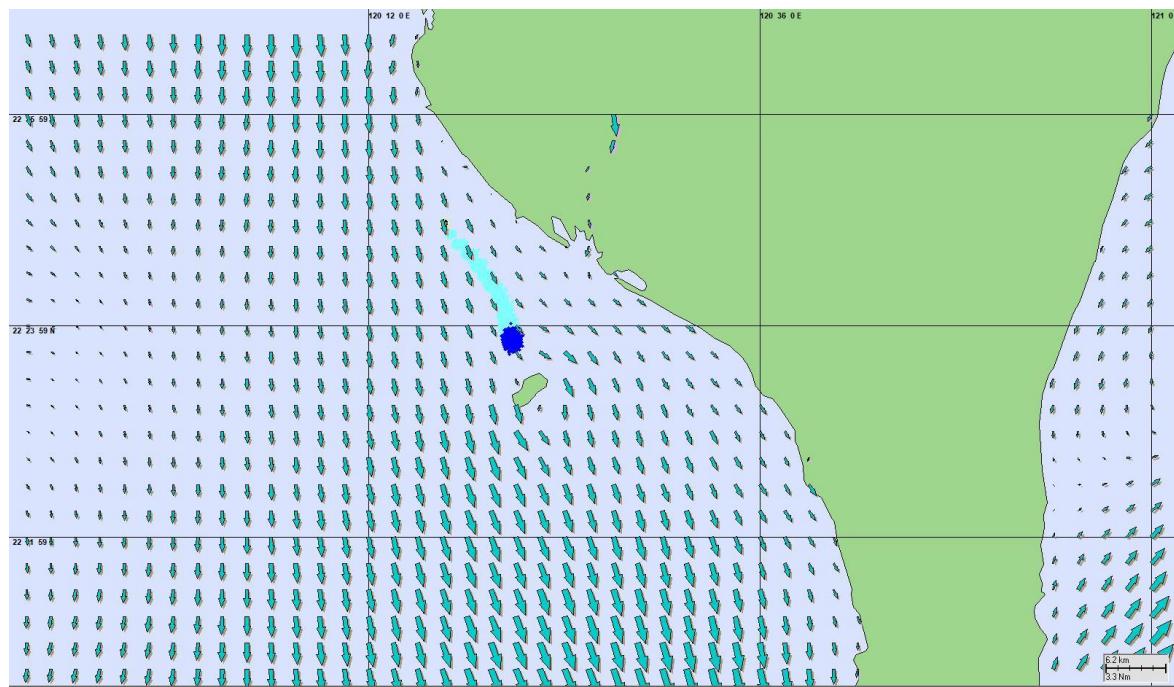


圖 3-2-13 情境模擬未來 12 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況

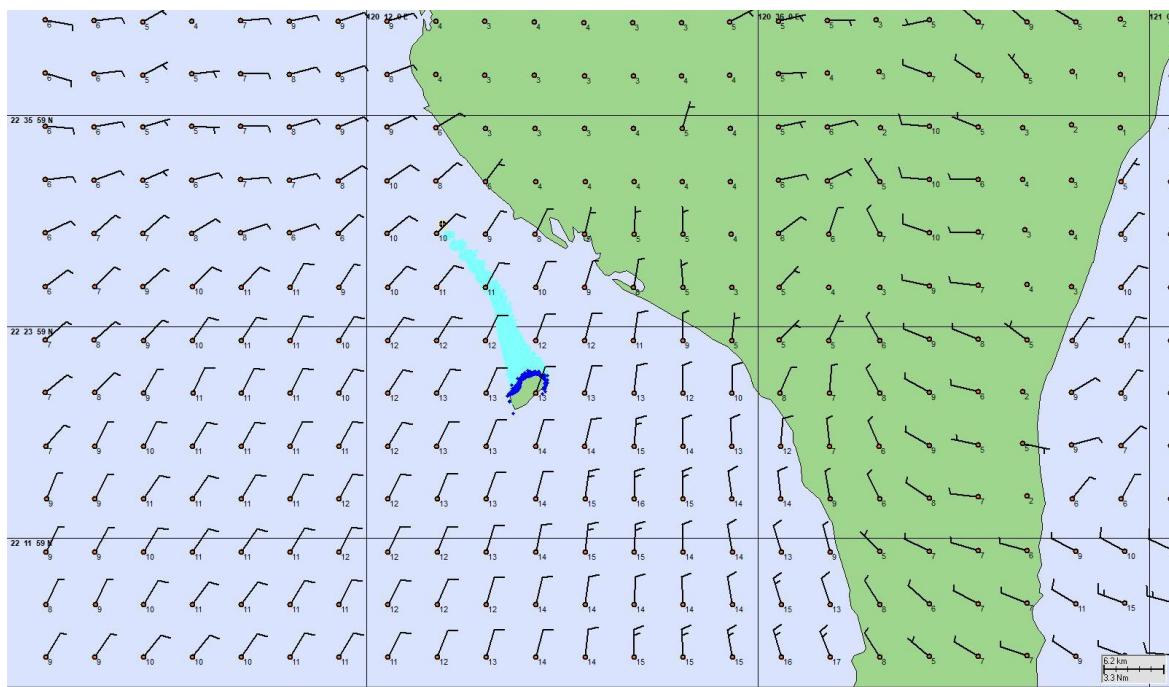


圖 3-2-14 情境模擬未來 24 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況

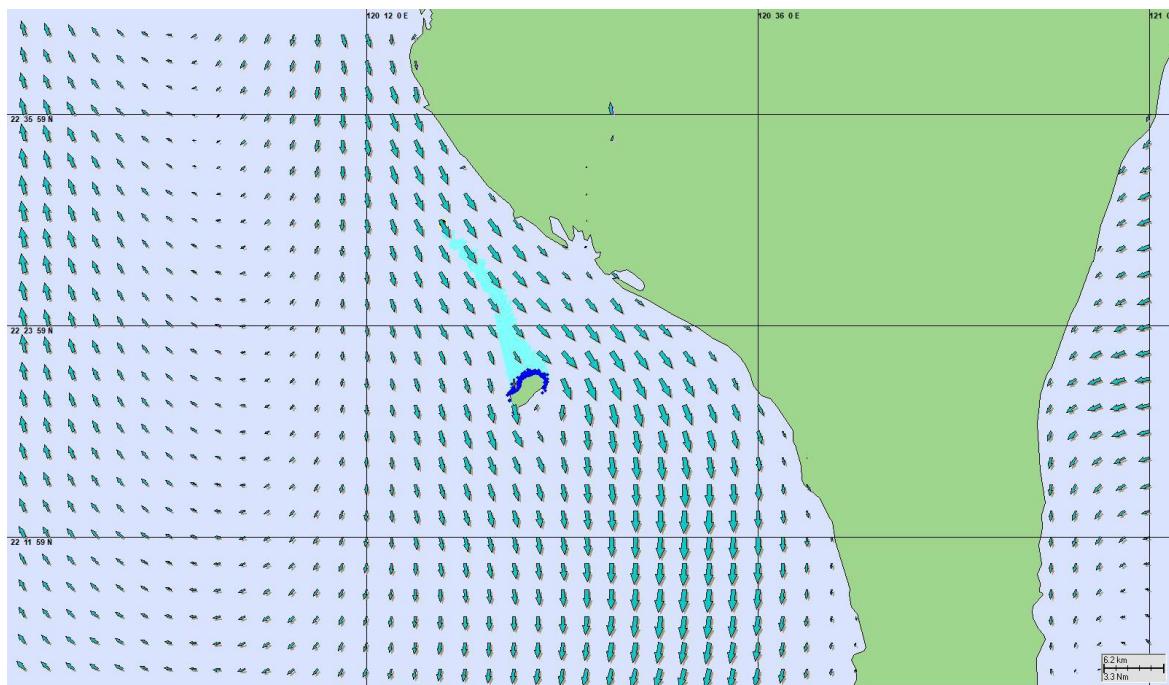


圖 3-2-15 情境模擬未來 24 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況

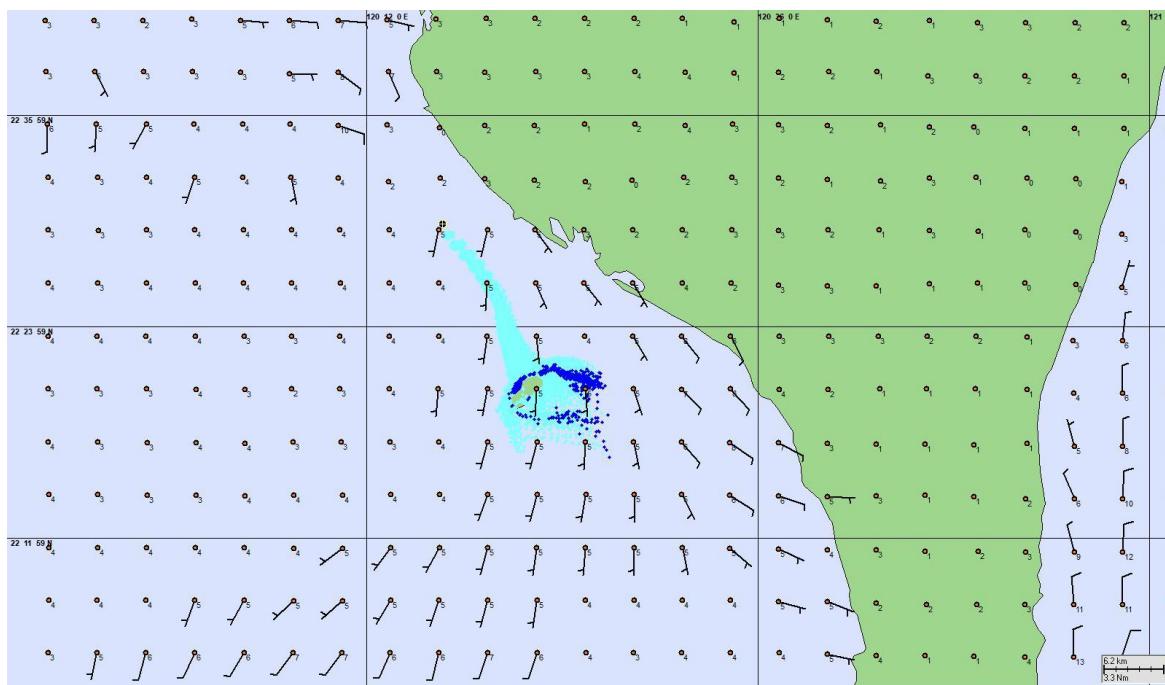


圖 3-2-16 情境模擬未來 48 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及風場分布情況

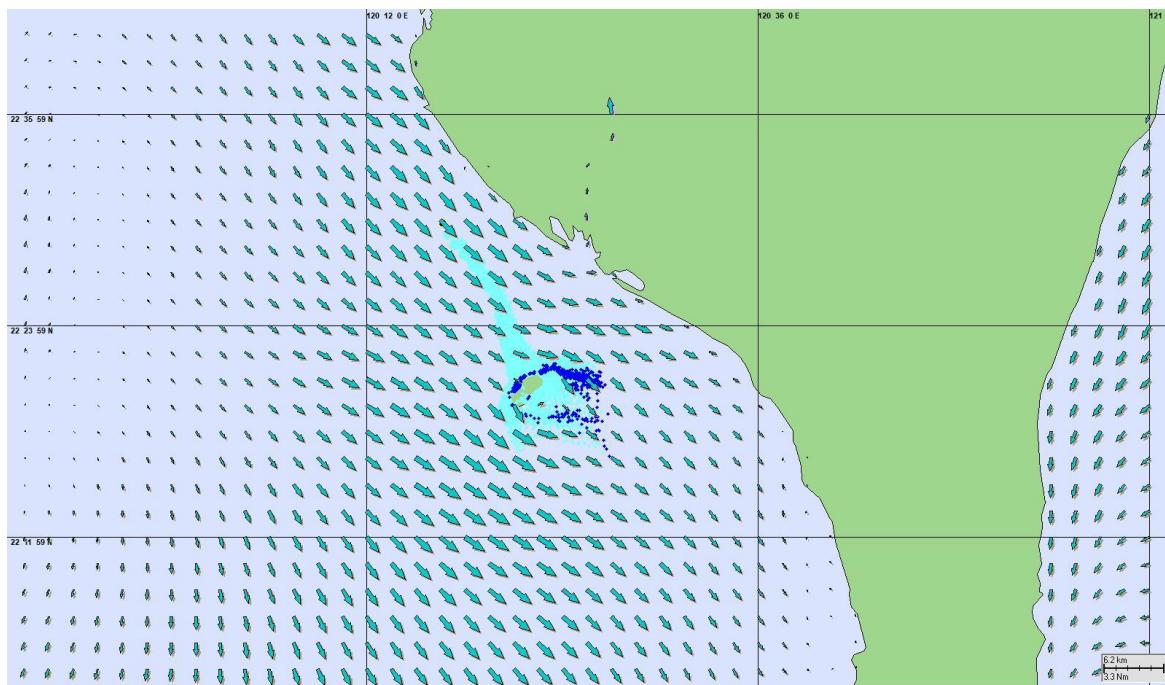


圖 3-2-17 情境模擬未來 48 小時苯漂移軌跡與擴散範圍以及海流流場分布情況

圖 3-2-18 為 CHEMMAP 模擬未來 48 小時後苯在高雄西南海域風化的情況，圖中顯示苯仍有 76.902% 的數量溶於水體中(Wtaer Column)，有 13.338% 的數量蒸發(Evaporated)，有 9.760% 的數量衰減(Decayed)。圖 3-2-19 為 CHEMMAP 模擬未來 48 小時苯在高雄西南海域風化的演變，圖中左下方顯示苯在洩漏 2 小時後溶於水體中的數量隨著時間增加而下降，蒸發與衰減的數量則隨著時間增加而上升；圖中左上方色階為顯示苯在水中濃度的變化量，圖中

抵達小琉球的苯呈現暗黃色，參照色階分級顯示濃度介於 1.0 至 10.0 ppm；右下方圖則顯示在小琉球左方虛線處苯在水體中濃度的變化，由右下方圖中可知苯可影響到水深 10 公尺的地方。另外，依據環境部毒性化學物質列管編號：052-01 之說明，苯會溶於水，物理外觀為透明無色之澄清狀液體，不易黏附在海岸，所以圖 3-2-19 中之化學品風化圖未顯示苯有上岸的情況。

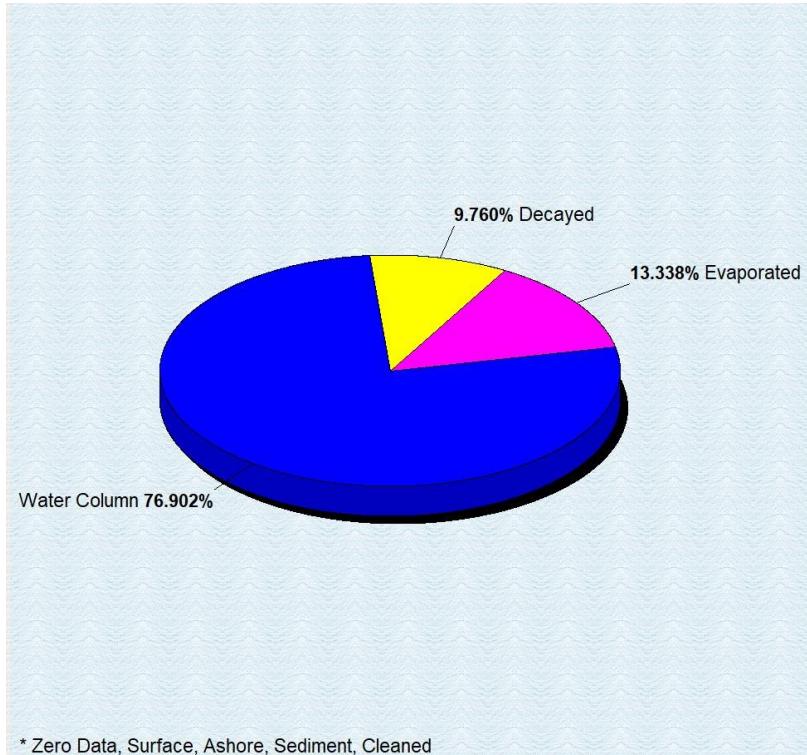


圖 3-2-18 CHEMMAP 模擬未來 48 小時後苯在高雄西南海域風化的情況

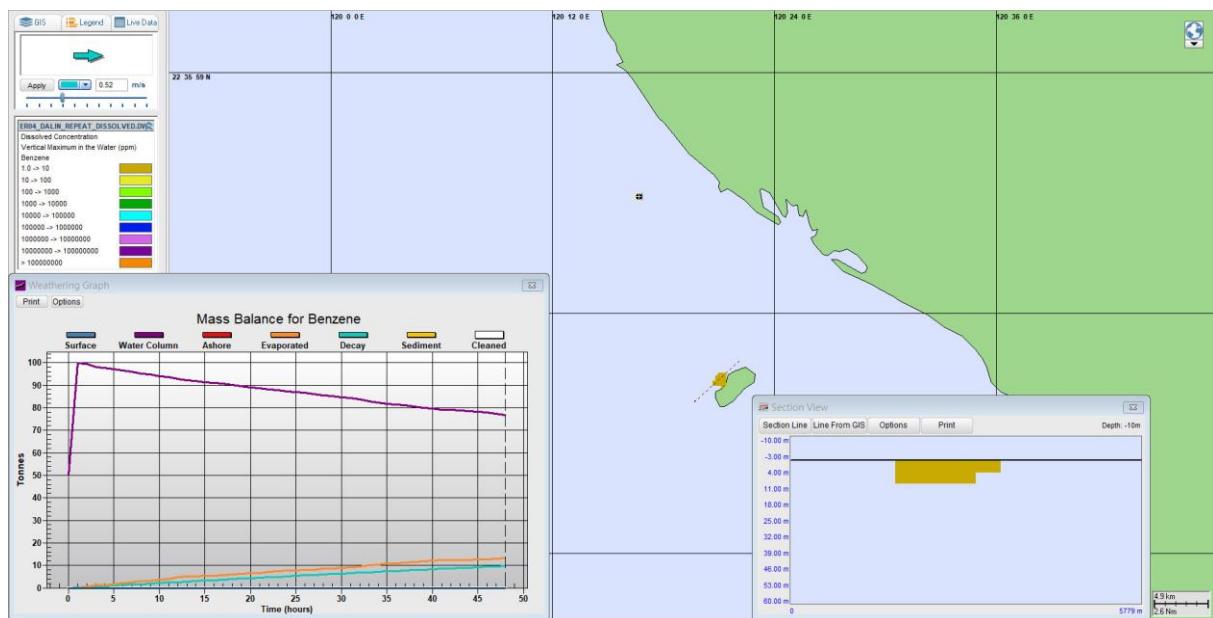


圖 3-2-19 CHEMMAP 模擬未來 48 小時後苯在高雄西南海域風化的演變

圖 3-2-20 為高雄西南海域自然生態敏感區，圖 3-2-21 為高雄西南海域重要資源敏感區，由 CHEMMAP 模擬未來 48 小時後苯擴散的情況，會對小琉球的自然保留區、人工魚礁區、保護魚礁區、珊瑚礁區、漁港等地區造成影響。針對被影響的敏感資源區在緊急應變作業，須優先擬定適合的緊急應變計畫方案，以降低苯對小琉球海域生態環境的影響。

另外，環境部毒性化學物質針對苯的列管編號為「052-01」，依據苯的危險辨識資料相關內容列於表 2-2-2，亦能提供化學品污染擴散緊急應變作業之參考。



圖 3-2-20 高雄西南海域自然生態敏感區



圖 3-2-21 高雄西南海域重要資源敏感區

情境高雄大林外海洩漏苯事件應用 CHEMMAP 模擬化學品擴散作業，其風場與海流流場是來自民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林外海洩漏原油事件應用 GNOME 模擬作業輸入的條件，CHEMMAP 與 GNOME 皆採用質點追蹤方法(Lagrangian particle tracking method) 描述質點運動的特性，需透過風與海流的驅動力讓質點產生運動狀況，雖 CHEMMAP 與 GNOME 模擬的物質不同，但在同樣的動力條件下，質點運動的方向與軌跡會呈現相似的情況，此結果也在本計畫的模擬案例得到驗證。

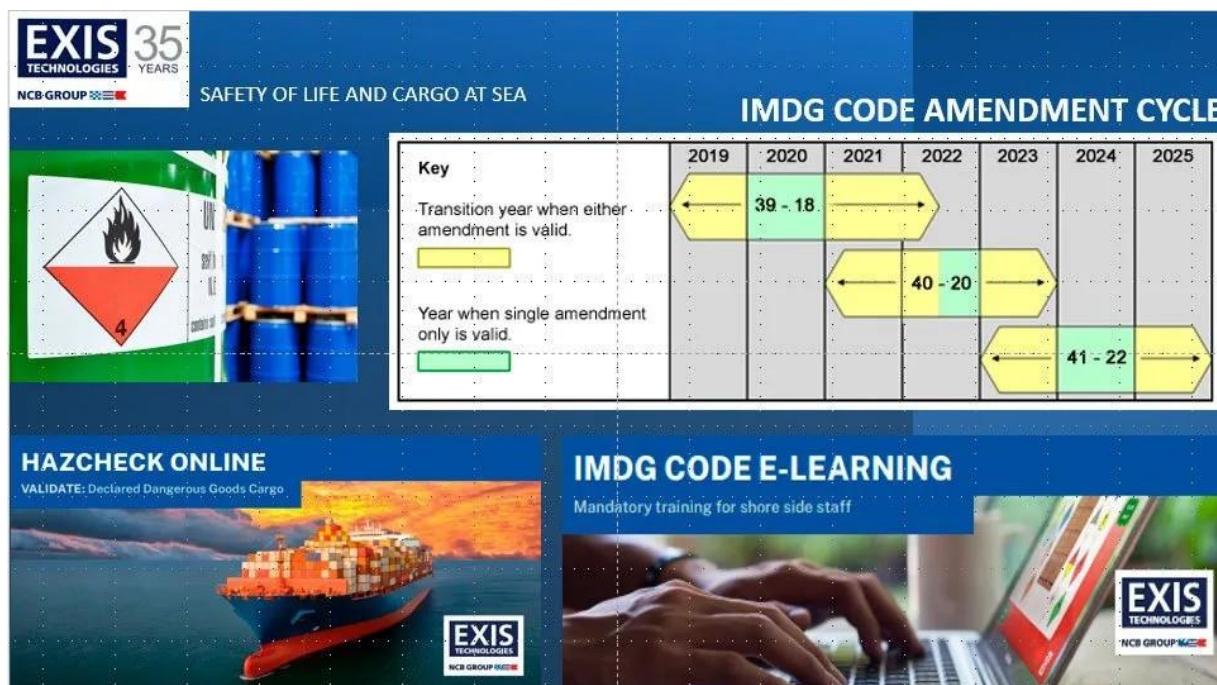
CHEMMAP 是 RPS 公司開發海洋化學品污染擴散模擬軟體，而過去海保署曾應用 OILMAP 進行油污染擴散模擬作業，OILMAP 也是 RPS 公司開發的軟體，二套模式皆採用質點追蹤方法(Lagrangian particle tracking method) 描述質點運動的特性。據此推測若應用 OILMAP 進行民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林外海洩漏原油事件之油污染擴散模擬作業，其模擬結果應該也會與 GNOME 模擬結果相似。未來若取得 OILMAP 油污染擴散模擬軟體，可輸入同樣的風與海流驗證民國 110 年 6 月 22 日在高雄大林外海洩漏原油事件之模擬結果。

4. 提供最新版國際海運危險品準則(IMDG Code)一冊，作為海運化學品洩漏緊急應變參考。

國際海運危險品準則(IMDG Code)是國際海事組織的海上安全委員會(MSC)指派海運危險貨物方面有豐富經驗的國家組成一個專家工作小組，依據「1960 SOLAS」第七章的規定與聯合國危險貨物運輸專家委員會共同編寫，並於 1965 年 9 月 27 日由國際海事組織以 A.81 (IV)決議通過，以下簡稱 IMDG Code。表 3-2-4 列出針對 IMDG Code 第 41-22 修訂版部分之更新內容，圖 3-2-22 為顯示 IMDG Code 第 41-22 修訂版可適用於 2023 年至 2025 年。IMDG Code 作為全球海洋運輸包裝危險貨物的指導準則，其主要目的是要求危險貨物運輸包裝需符合準則之規定，否則禁止裝運危險貨物。IMDG Code 準則也能保障船舶載運危險貨物與人命財產安全、防止事故發生、防止海洋污染、使航行更安全與便利等利基。本案執行團隊已購置最新版 2022 年國際海運危險品準則 IMDG Code 第 41-22 修訂版共三冊(如圖 3-2-23 至圖 3-2-25)，可提供海保署作為海運化學品洩漏緊急應變參考。

表 3-2-4 IMDG Code 第 41-22 修訂版摘要簡介

修訂章節	修訂內容
第 2 章「定義」	對現有條目進行多項修改，包含新增定義「IAEA 規約」、「內容器 Inner Vessel」和「壓力貯存器外殼 Pressure Receptacle Shell」和「服務裝置 Service Equipment」。
第 2 部分「分類」	第 4 和 2.5 章中，新增列一種自反應物質和三種有機過氧化物的新技術名稱
第 3 部分「DGL」	新增「UN3550 COBALT DIHYDROXIDE POWDER, containing not less than 10% respirable particles, class 6.1」
第 3 章「特殊規定」	新增多項特殊規定，針對 UN 3538 ARTICLES CONTAINING NON-FLAMMABLE, NON-TOXIC GAS, N.O.S.新增 SP396、針對 UN1003 AIR, COMPRESSED 新增 SP397 與針對 UN1012 BUTYLENE 新增 SP398。SP188 和 SP255 也修訂些微的文字內容
第 1 章「包裝規定」	在多個包裝指引中增加各種註解，用因應執行 4.1.3.3 內新增的內容，並澄清，當使用聯合國包裝以外的物品時，不受到 400 公斤限制
第 5 部分「託運程序」	取消鋰電池標記上需要顯示電話號碼的要求，其過渡期至 2026 年底
第 6 部分「包裝的構造和測試」	第 6 部分對包裝、中型散裝容器、罐櫃等的設計、構造和測試進行大量更改，這些更改主要是闡明其規定的含義和所使用的術語。在第 2 章中進行廣泛的修訂，並添加全新的第 6.10 章，涵蓋由纖維增強塑料 (FRP) 材料製成外殼的可移動罐櫃的設計、構造、檢查和測試
第 2 章「隔離」	由於刪除「強酸」和「酸」的區別，移除隔離代碼“SG75”



<https://hazcheck.com/media-coverage/are-you-up-to-date-imdg-code-amendment-40-20-came-into-force-from-1-june-2022/>

圖 3-2-22 IMDG Code 第 41-22 修訂版適用期限

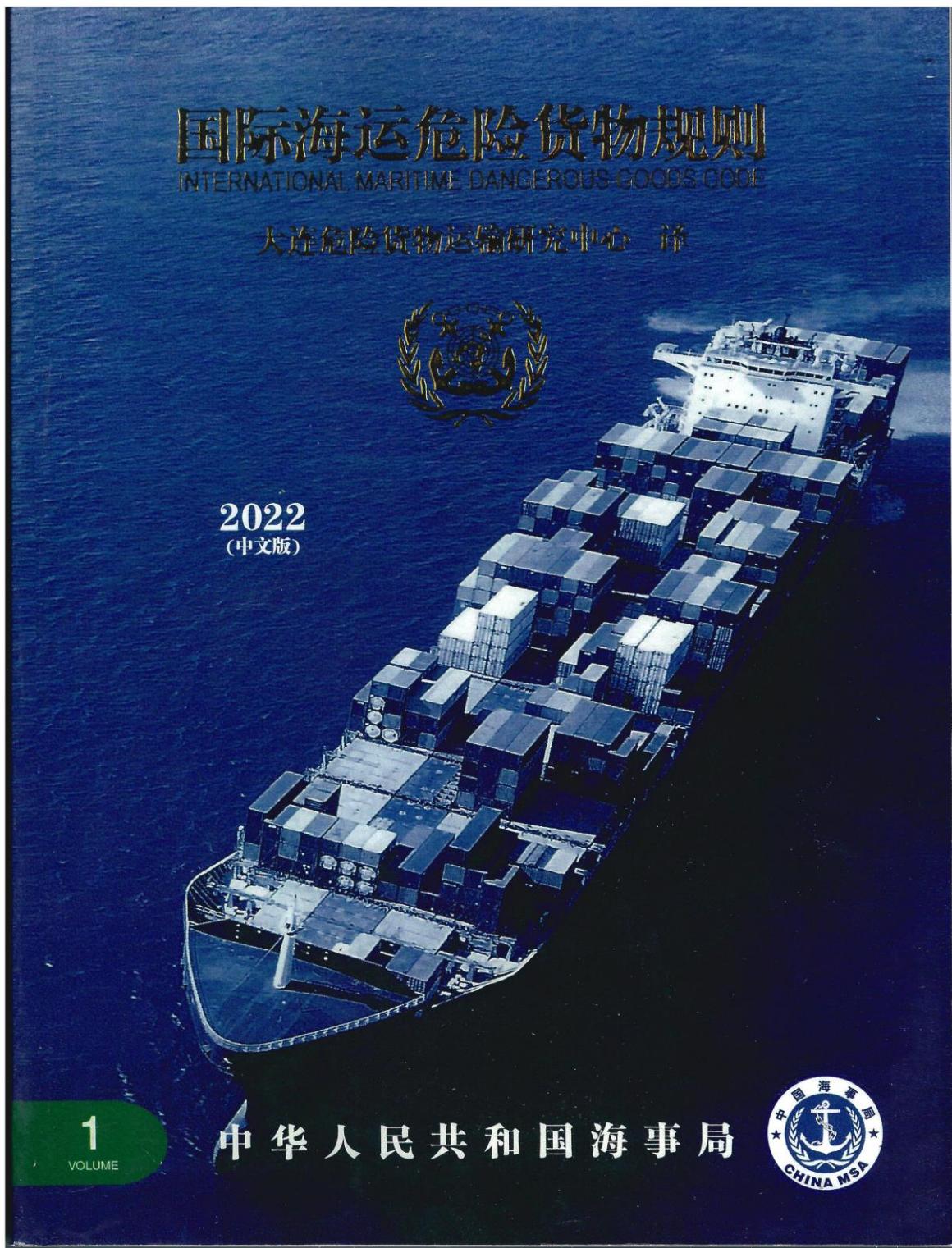


圖 3-2-23 2022 年國際海運危險品準則(IMDG Code)第 1 冊

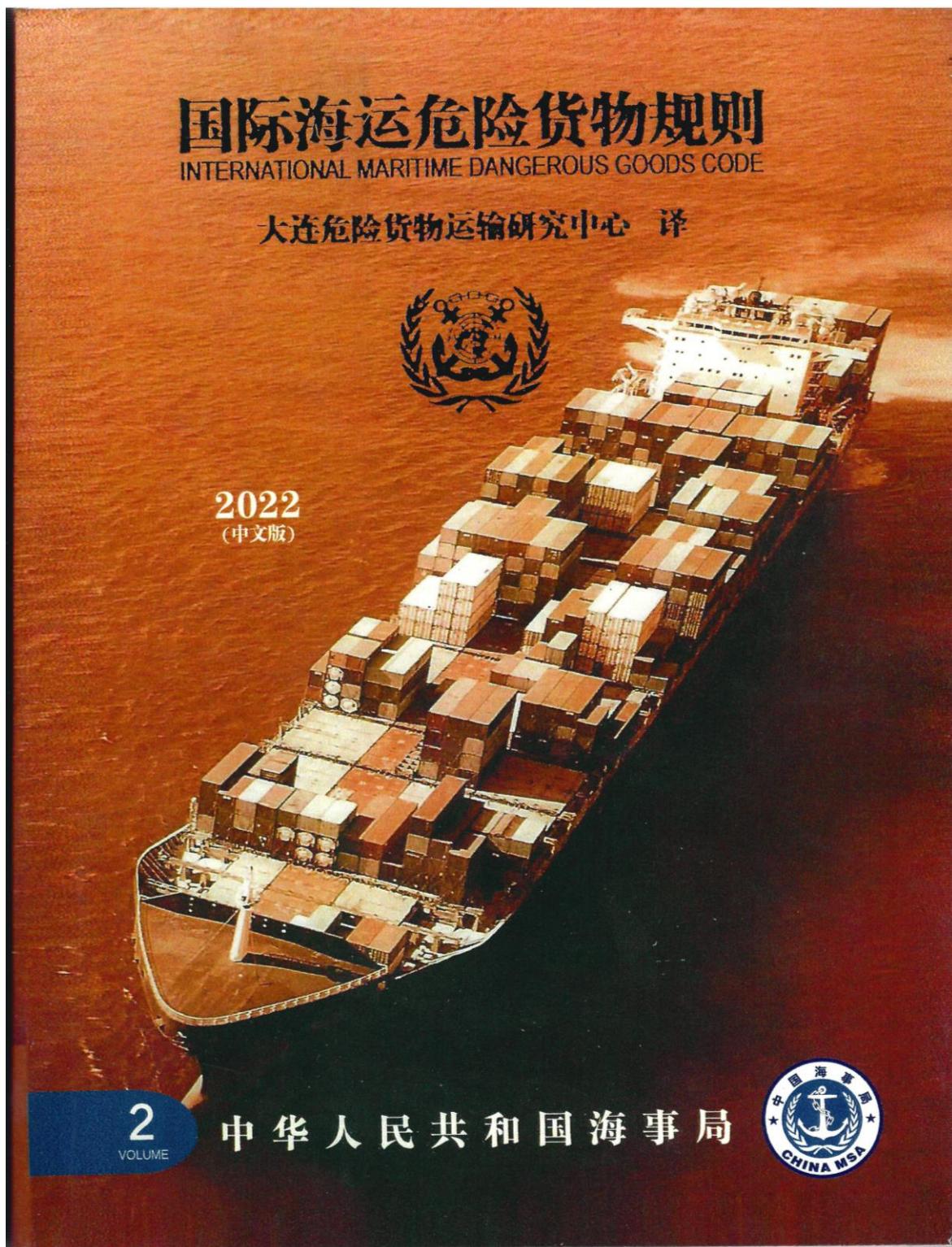


圖 3-2-24 2022 年國際海運危險品準則(IMDG Code)第 2 冊

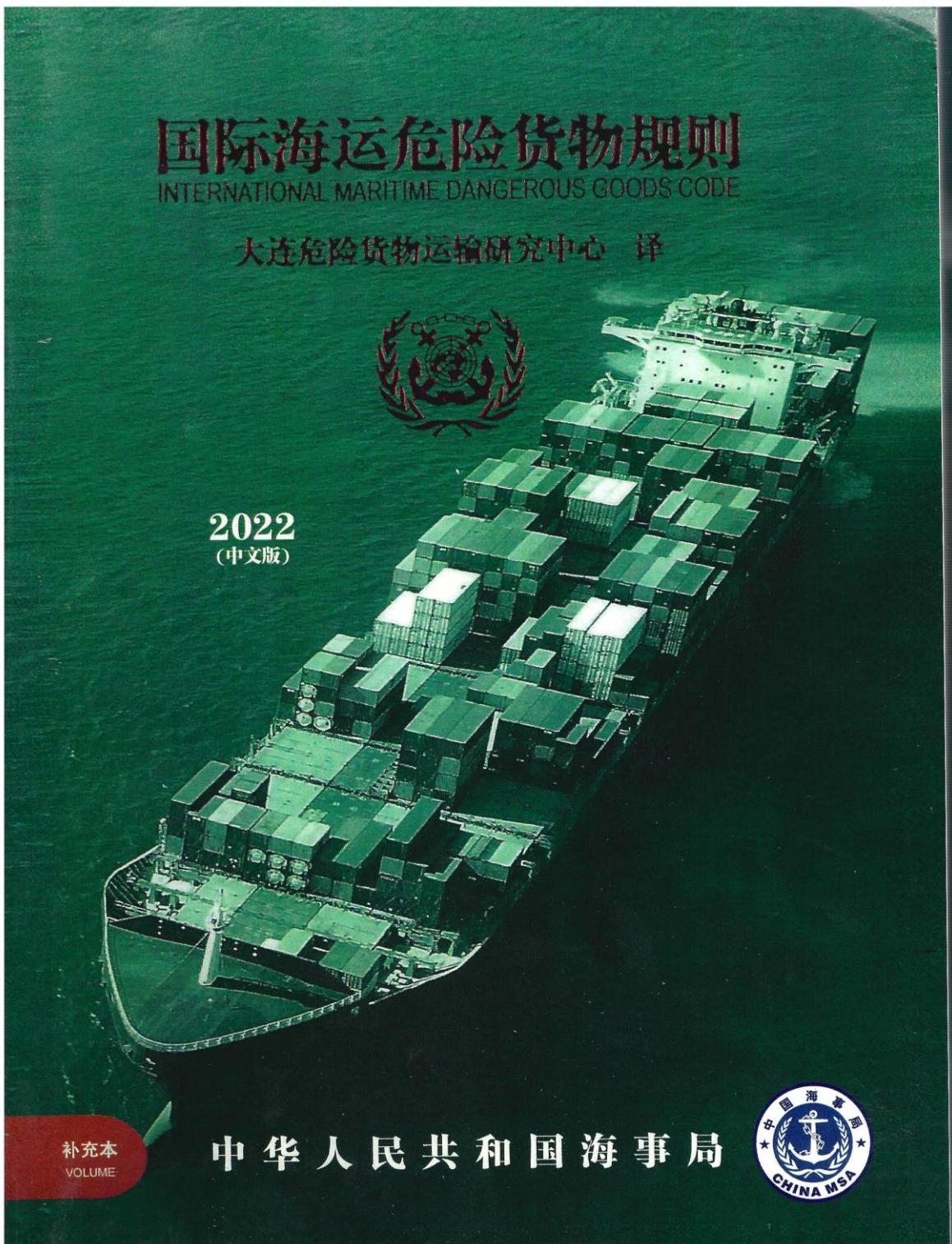


圖 3-2-25 2022 年國際海運危險品準則(IMDG Code)補充版

化學品船已從過去 50 年用桶裝運輸化學品的散裝貨船，發展至今為提升其安全性重新設計建造更安全的化學品運輸船舶。新一代化學品船設計用源自於運輸各種貨物，並依據化學品造成的危險而具有嚴格的要求。化學品船的建造也須符合嚴格的安全和環境法律，確保其貨物在國際和當地航線上安全運輸。然而，全球化學品油輪市場規模來自不同產品類型（有機化學品、無機化學品、植物油）；船隊類型（IMO 1、IMO 2、IMO 3），船隊規模（內陸化學品油輪(1000-4999 DWT)、沿海化學品油輪(5000-9999 DWT) 和深海化學品油輪 ( 10,000-50,000 DWT )），以及不同地區（北美、歐洲、亞太地區、拉丁美洲、中東和非洲）等。多家全球顧問公司如 Spherical Insights & Consulting, Research Nester, Cognitive Market Research 等研究報告指出，全球化學品船市場規模預估至 2033 年都呈現增長的趨勢，其中又以有機化學品領域將佔據最大的市場 (<https://www.globenewswire.com/news-release/2024/07/11/2911546/0/en/Global-Chemical-Tankers-Market-Size-To-Worth-USD-52-90-Billion-By-2033-CAGR-of-4-40.html>)。另外，圖 3-2-26 為航港局的臺灣海域船舶動態資訊系統，圖中紅色箭頭表示 113 年 11 月 11 日 22：02 航行在臺灣四周海域的油輪及化學輪，其中船名「FPMC S EMERALD」標示載運的是危險貨物。由此可見，油輪及化學輪常航行於臺灣四周海域，而受到全球氣候變遷之影響，颱風或東北風期間造成海氣象條件惡劣，也提升海洋化學品污染事件發生的風險。

有鑑於此，海洋化學品擴散模式扮演重要的角色，若有海洋化學品污染事件發生，CHEMMAP 是海洋化學品緊急應變計畫中最重要的一環，且本案執行團隊能快速應用 CHEMMAP 執行海洋化學品擴散緊急應變模擬作業，提供海保署擬定海洋化學品緊急應變計畫之重要參考依據。

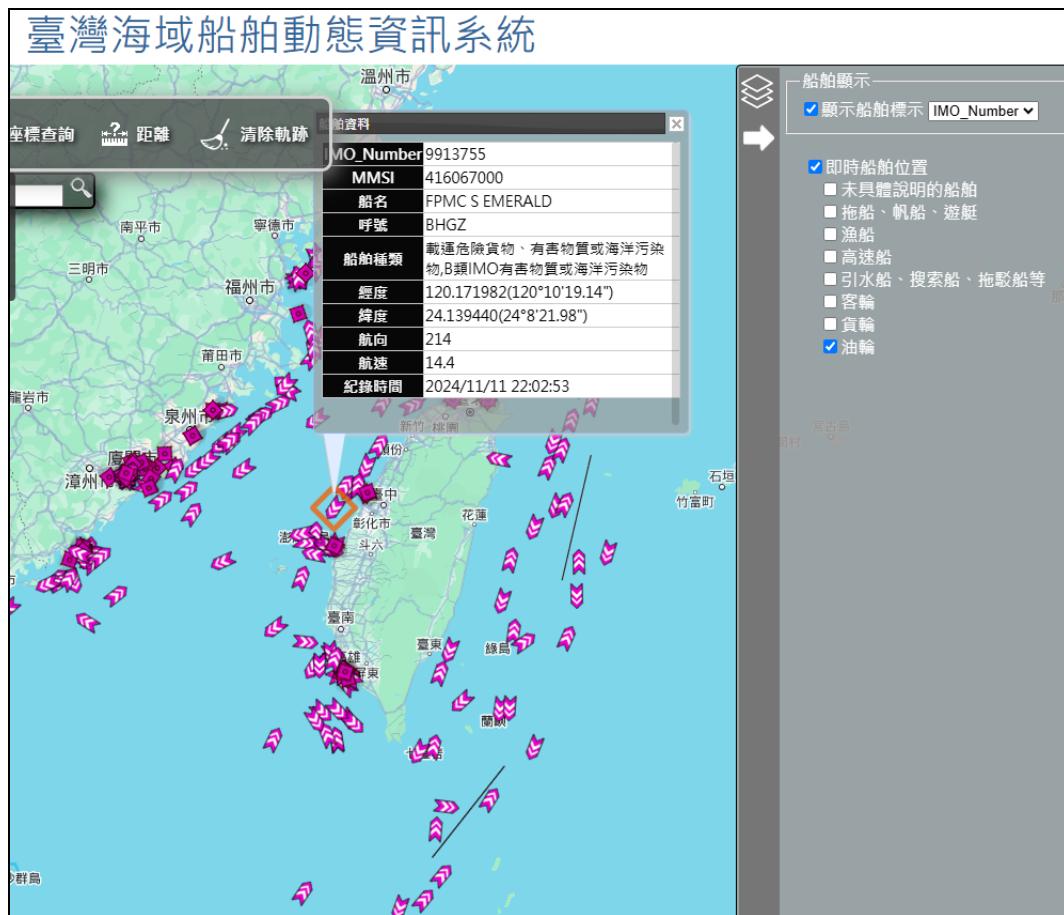


圖 3-2-26 臺灣海域船舶動態資訊系統顯示臺灣四周海域航行的化學輪

##### 5. 計畫期間未發生化學品污染事件經機關同意得以第一項油品方式執行。

今(113)年度計畫執行至 12 月，已進行 18 件的油污染擴散緊急應變與演練的模擬作業，如計畫執行期間未發生化學品污染事件，可將 2 件海洋化學品污染擴散模擬作業用第一項油品方式案例模擬件數取代。

##### 6. 化學品污染緊急應變模擬成果須整合至海保署「海洋環境管理平台」。

本項工作會依據海保署「海洋環境管理平台」的格式要求，將海洋化學品污染緊急應變模擬成果彙整至「海洋環境管理平台」。

### 3-3 推廣各單位使用海洋油污擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業

本服務項目與工作內容分別有 4 項，以下即依據 4 項工作分別說明各項工作的方法。

1. 提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」功能，設計簡易操作介面，輸入資訊為油品種類、數量、地點(自動轉換出座標)，即可產出模擬結果，同時有下拉式選單可選擇模式預報之風場或流場等資訊，可供各單位線上進行海洋油污擴散模擬操作與呈現動態模擬結果，並提供「簡易網路版海洋油污擴散模擬系統」操作說明教學影片供各單位學習。

本計畫簡易網路版海洋油污擴散模擬系統是採用美國海洋大氣總署 NOAA 發展的「WebGNOME」提供各單位學習及使用，「WebGNOME」是基於單機版「GNOME」修改成網路介面，並開放大家免費應用的油污擴散數值模式，可輸入預測風場與海流流場等動力條件，預測油污漂移軌跡和擴散範圍，以及海面上油污漂移及擴散期間所發生的化學與物理變化之油污風化過程。使用者可以透過其系統所設計的簡易操作介面(如圖 3-3-1)，可在網頁中輸入即時海況資訊，以及上傳包含海流、風和海岸線等資訊做為溢油擴散模擬運算與展示介面之依據。「WebGNOME」網頁操作介面有 9 大項的模擬參數設定如下：

- (1) 建置情境模擬案例設定 (Configure Your Scenario)
- (2) 海水特性 (Water Properties)
- (3) 建置地圖 (Map)
- (4) 輸入動力來源風 (Wind)
- (5) 油污風化演算 (Oil Weathering)
- (6) 水平擴散係數 (Horizontal Diffusion)
- (7) 輸入動力來源海流 (Currents)
- (8) 溢洩油品特性及模擬參數設定 (Spill)
- (9) 增加除油設備選項 (Add Oil Removal Options)

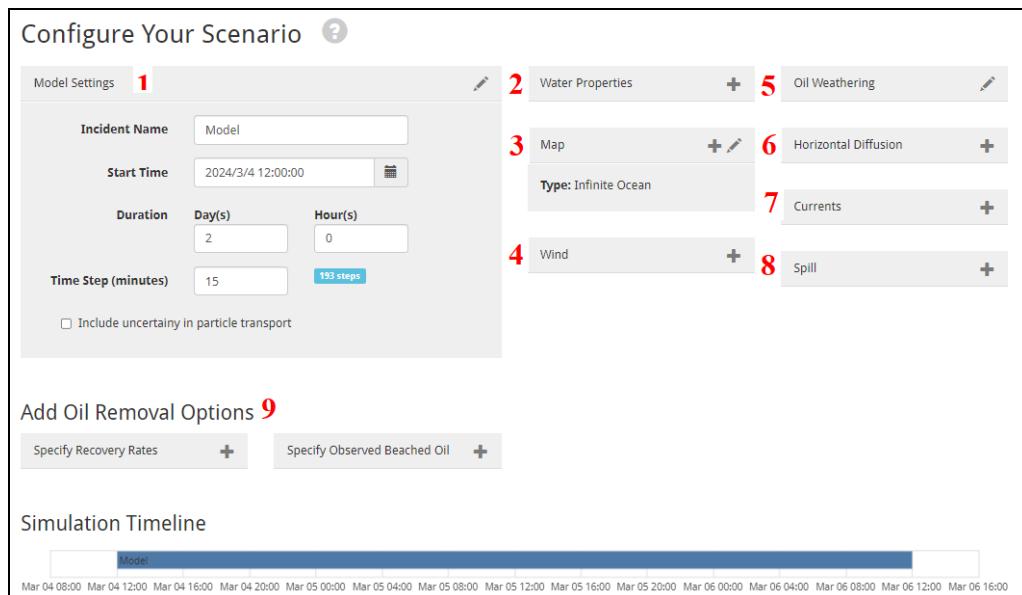


圖 3-3-1 「WebGNOME」模擬參數設定介面

「WebGNOME」所有參數皆可直行輸入設定，如圖 3-3-1 中編號[3]處建置地圖(Map)、編號[4]處輸入動力來源風(Wind)，以及編號[7]處輸入動力來源海流(Currents)。除了直行輸入參數外，亦可使用 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 內建立的 GNOME Online Oceanographic Data Server (GOODS) 資料庫內所提供的海氣象預報數據（如圖 3-3-2），下載所需要地區範圍資料並上傳至「WebGNOME」。

圖 3-3-2 National Oceanic and Atmospheric Administration-GOODS 資料庫

圖 3-3-1 中編號[8]處有關溢洩油品特性及模擬參數 (Spill) 內容包含溢油地點、時間、及油品資料(如圖 3-3-3)。洩漏油品的特性可以從 ADIOS 油品資料庫中搜尋特定的油品，提供溢油油品 API 值設定的參考(如圖 3-3-4)。ADIOS 油品資料庫資包含 1000 多種不同的原油和精煉油的相關產品，可滿足大多數油品資訊亦增加油污擴散模擬的精度。

Point or Line Release

Name: Spill #1

Time of Release: 2024/2/16 11:00

Release Duration: Day(s) 0 Hour(s) 1

Amount Released: 100 barrels

Release Rate: 100 barrels/hr

Number of Particles: 1000 ~1000 per timestep

Substance/Oil

Name: ARABIAN HEAVY, EXXON  
API: 27.382  
Pour Point: -49.0 °F | (-45.0 °C)  
Emulsification Onset After: Reset 8 % evaporated  
Delete Oil Load New Oil  
🔗 ADIOS Oil Database

Position

Place on Map

Latitude: 22.431017 Longitude: 120.342735  
Add Endpoint

Windage

1 to 4 %  
Persistence: Infinite

Advanced Settings - gnome.spills.spill.Spill

Cancel Save

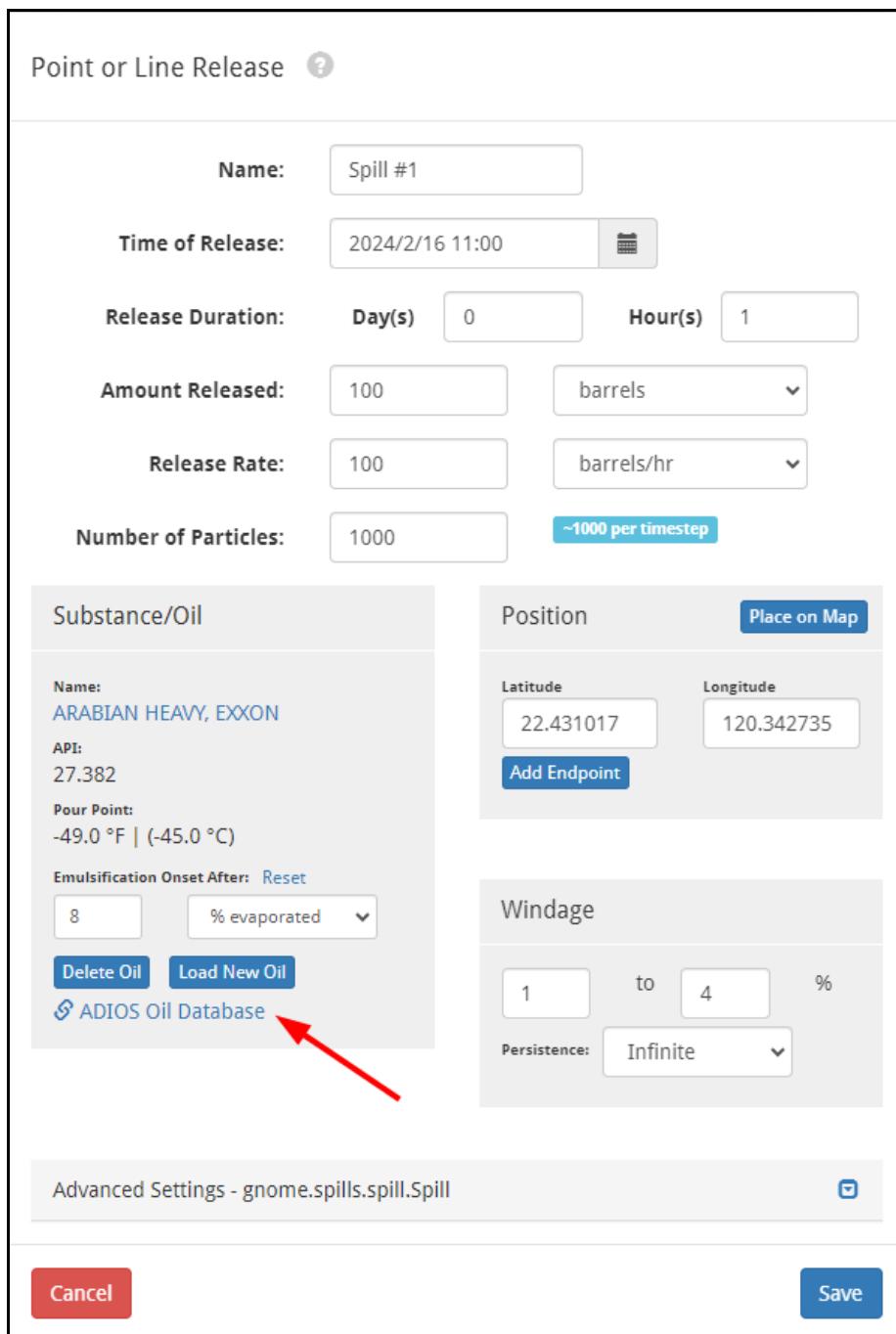


圖 3-3-3 溢洩油品特性及模擬參數設定

The image shows two screenshots of the ADIOS Oil Database. The top screenshot displays a search results page with a list of oil entries. The bottom screenshot shows a detailed view for the oil sample 'BACHAQUERO 17, EXXON'.

**Search Results Page:**

- Search bar: Search ID, Name, or Location
- API slider: 0 to 100
- Type dropdown: unspecified
- Labels dropdown: unspecified
- Total results: 5453
- Table columns: Status, ID, Name, Location, Product Type, API
- Sample list includes: EC00501, AD00245, AD00908, EI00801, AD00532, AD01983, AD00005, AD00194, AD00070, AD00185, AD00548, AD01853, AD01866, AD00002, AD00198, AD001982, AD001983, AD001987, AD001988.

**Detailed View for BACHAQUERO 17, EXXON:**

- Basic Info: Status: Warning, ID: AD00099, Source ID: AD00099, API: 16.1, GNOme Compatible: Yes, Labels: Crude Oil / Heavy Crude, Alternative Names: None.
- Location: Venezuela, Product Type: Crude Oil NOS, Completeness: 40.
- Reference: Dervish, S., 1991. EXXON Company, USA, Operations Support Department, Technical Division, Bayway Refinery, Letter to Debra Simeone-Bisley, NOAA.
- Download and Report buttons.
- Sample Received Date: None, Reference Year: 1991.
- Sample Type: Fresh Oil Sample.
- Physical Properties: Pour Point: -10 °C, Flash Point: No Data.
- Temperature: Density: 0.956 g/cm³, Temperature: 15.61 °C.
- Viscosity: Kinematic Viscosity: 407 cSt, Temperature: 38 °C, Shear Rate: No Data.
- Dynamic Viscosity: Viscosity: No Data, Temperature: No Data, Shear Rate: No Data.
- Interface Tension: Interface: No Data, Tension: No Data, Temperature: No Data.

圖 3-3-4 ADIOS OIL DATABASE 油品資料庫

「WebGNOME」可將油污擴散模擬結果輸出及顯示漏油的動畫影片，如圖 3-3-5 顯示預測油污的漂移軌跡。「WebGNOME」亦能輸出包含油污在水面、水體中、以及蒸發至大氣中的風化資訊之模擬結果，可即時掌握隨著時間油污漂移軌跡的演變特性(如圖 3-3-6)，有助於油污染緊急應變計畫擬定與應變能量配置之參考依據。

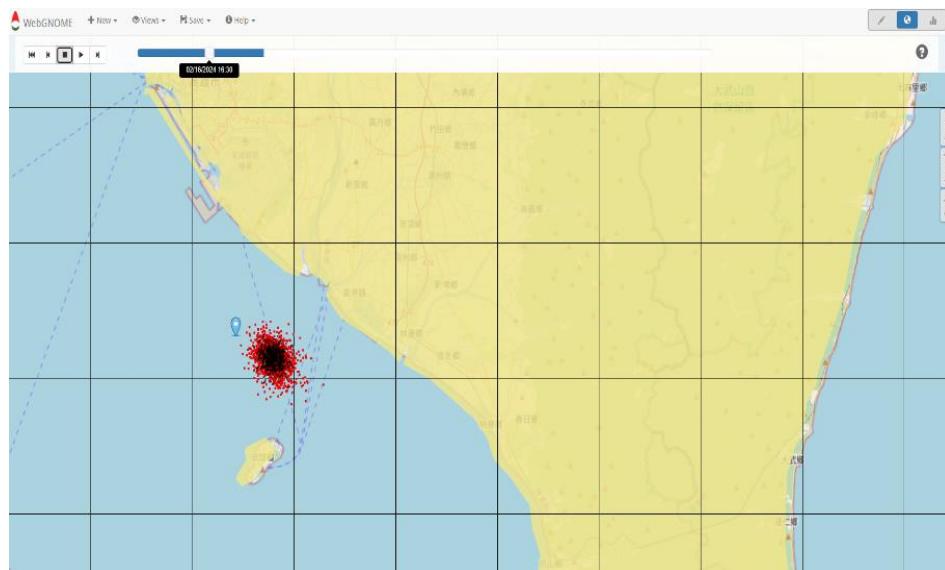


圖 3-3-5 模擬結果顯示漏油動畫及預測軌跡

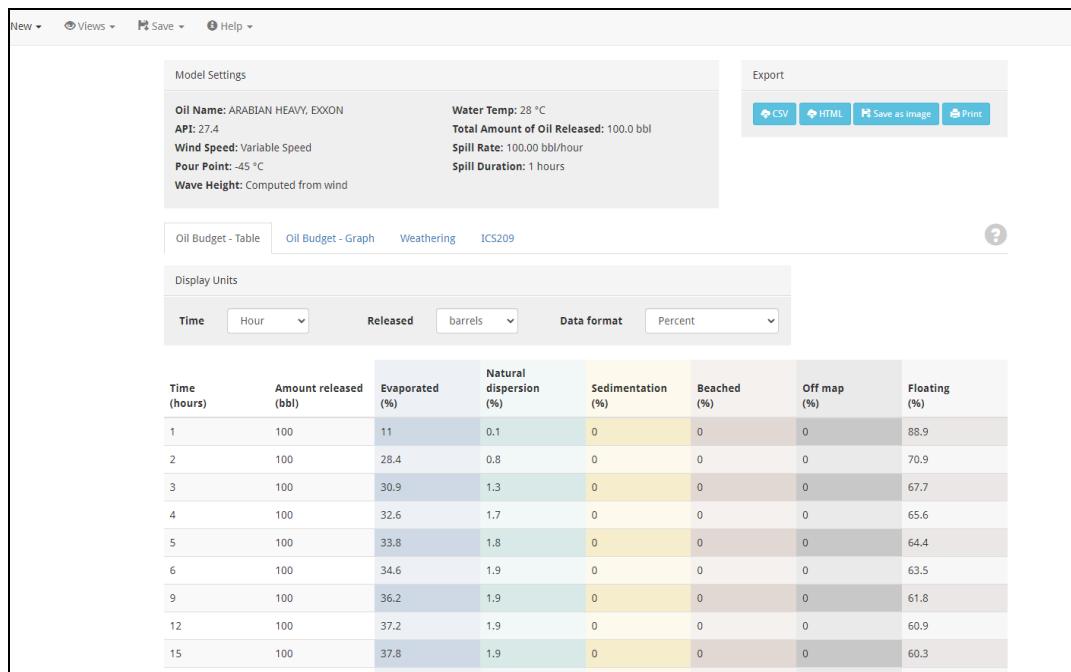


圖 3-3-6 模擬油污在水面、水體中、以及蒸發至大氣中等風化資訊

本案執行團隊已完成「WebGNOME」簡易網路版海洋油污擴散模擬系統的操作說明手冊，並以圖例與情境案例做說明，讓各單位可以快速了解及習得「WebGNOME」的操作方式，操作手冊的內容請參考附件二。

2. 強化臨海 19 縣市政府之油污染擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污染擴散模擬作業。

為推廣及強化臨海 19 縣市政府使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業之能力，以期平時能妥適規劃防治措施，並於事故發生時能掌握先機緊急應變。本案執行團隊已完成「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統的操作說明手冊(如附件二)，並規劃教育訓練課程，以配合本項工作強化臨海 19 縣市政府之油污染擴散模擬之兵棋推演及演練所需之油污染擴散模擬作業。

今(113)年度計畫本案執行團隊配合海保署指定分別進行三場的油污染擴散緊急應變演練之模擬作業，如表 3-1-14 所列第 2 件的 113 年基隆港大型客船與港口災害防救演習、第 3 件的雲林外海允能風電油污緊急應變演練、以及第 4 件的 113 年中油大林廠外海浮筒漏油緊急應變實兵演練等模擬案例，其模擬結果報告請參考附件一。

3. 完成至少 30 人次簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統操作訓練，以強化各單位使用海洋油污染擴散模擬應用效能，得標廠商負責訓練場地、講師、研習資料等費用。

今(113)年度計畫至少需完成 30 人次簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統操作訓練，課程內容依據「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統做規劃。今(113)年度原規劃辦理二場次的教育訓練課程，並透過網路讓各單位的學員報名，報名相關資訊以及學員上課簽到表詳列於附件三。第一場次教育訓練已於 5 月 3 日完成，由於參加第一場次教育訓練研習班報名踴躍，因研習班場地限制僅提供 30 人上限的電腦作教育學習，所以有許多機關單位未能參加第一次的教育訓練研習班。有鑑於此，海保署請本案執行團隊再加辦一場次，因此今(113)年度共舉辦三場次的教育訓練研習班，教育訓練課程表規劃如表 3-3-1。

圖 3-3-8 為 5 月 3 日在高雄舉辦第一場次「113 年度網路版海洋污染擴散模擬系統教育訓練研習班」上課情況，上課期間也請學員自行攜帶保溫瓶，以配合計畫規定不使用一次性水杯。學員完成研習課程的學習與通過測驗後，海保署長官 李筱霞副署長也特地前來頒發結業證書。

圖 3-3-9 為 7 月 19 日在高雄舉辦第二場次「113 年度網路版海洋污染擴散模擬系統教育訓練研習班」上課情況，學員完成研習課程的學習與通過測驗

後，海保署長官 馬振耀組長也特地前來頒發結業證書。

圖 3-3-10 為 8 月 23 日在高雄舉辦第三場次「113 年度網路版海洋污染擴散模擬系統教育訓練研習班」上課情況，學員完成研習課程的學習與通過測驗後，海保署長官 馬振耀組長也特地前來頒發結業證書。本年度舉辦三場次的教育訓練課程參加人數共有 79 人次，已完成計畫要求至少完成 30 人次的簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統操作訓練。另外，表 3-3-2 為統整三場次教育訓練課程學員回饋意見，感謝學員肯定本案執行團隊規劃的教育訓練課程，有關學員的意見與建議也會在未來進行改善。

表 3-3-1 113 年度簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統教育訓練課程表

日期	授課時間	時數	課程內容	授課講師
5 月 3 日 (星期五) & 7 月 19 日 (星期五) & 8 月 23 日 (星期五)	09:00-09:20	0.5	報到	中山大學
	09:20-09:30		引言	張揚祺 特聘教授
	09:30-11:00	1.5	海洋油污染擴散模擬與風險評估	邱啓敏
	11:00-12:00	1.0	WebGNOME 網路版油污染擴散模擬系統操作教學	郭柏賢
	12:00-13:00	1.0	午餐	
	13:00-14:00	1.0	WebGNOME 網路版油污染擴散模擬系統操作練習 (Q&A)	邱啓敏 郭柏賢
	14:00-15:00	1.0	情境模擬油污擴散案例測驗	郭柏賢
	15:00-15:30	0.5	頒發結業證書	海保署
	15:30 ~		賦歸	

表 3-3-2 113 年度簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統教育訓練課程意見回饋

NO	學員意見	本案執行團隊回覆
1.	講程內容很詳細	感謝肯定。
2	上課人數很多，投影上課內容建議分享到同學電腦螢幕會看得更清楚，謝謝您們，辛苦了！	感謝建議。 未來會請視聽教室先作調整投影上課內容可分享到同學電腦螢幕。
3	這次污染擴散模擬學習，配合手冊練習更熟悉了。	感謝肯定。
4	教室電腦播放的音效，可以事先準備好。	感謝意見。 未來會請視聽教室先測試好教室電腦播放的音效。
5	講師講課非常清楚，很有收穫。	感謝肯定。

#### 4. 修訂「簡易網路版海洋油污擴散模式」操作手冊。

本項工作已完成修訂「簡易網路版海洋油污擴散模式」，以 NOAA 的「WebGNOME」網路版油污擴散模式做為修訂與建置之依據，內容包含油污擴散模式介紹、油污擴散模擬參數設定、執行油污擴散模擬與結果產出，並提供海保署與各機關及相關單位參考。



圖 3-3-7 113 年度海洋油污擴散模式第一場次教育訓練研習班上課情況



圖 3-3-8 第一場次教育訓練海保署長官頒發結業證書(05/03)



圖 3-3-9 第二場次教育訓練海保署長官頒發結業證書(07/19)



圖 3-3-10 第三場次教育訓練海保署長官頒發結業證書(08/23)

### 3-4 運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他可提升海洋油污監控效能之技術

本服務項目與工作內容分別有 3 項，以下即依據 3 項工作表說明各項的工作方法。

1. 執行地點以臺灣本島為原則，廠商經接獲機關通報油污事件，運用科技技術進行油污監測作業；於監測作業期間，每日至少製作一份油污科技監測報告，作為應變處理報告，持續作業至機關同意結束應變為止。科技監測報告應涵蓋每日油污可能分布位置、海流、風速、風向等現場狀況相關資訊。（每次監測至多 5 日）。

本案執行團隊以 X-band 雷達油污偵測系統執行運用科技技術進行油污監測作業，本團隊也建置 X-band 雷達油污偵測系統（如圖 3-4-1 與圖 3-4-2）、相關外業後勤、人員訓練與相關標準作業規則，其中偵測系統除 X-band 雷達主要設備外，亦整合數據訊號取樣模組、訊號影像轉換模組、資料後處理模組與基於人工智慧(artificial intelligence, AI)應用之油污影像辨識模組。如圖 3-4-1 所示，X-band 雷達以升降支架在現地進行架設作業，相較於架設於輪車上，有更好的機動性及適應臺灣沿岸的複雜地形，並能充分利用人工結構物，如提防或觀景台，增加偵測覆蓋範圍的優勢。

前述油污偵測系統中的各項模組皆為自主開發建置，並以 MATLAB 程式語言開發，相較於使用如 MIROS-OSD 等商業軟體，除成本大為降低外，主要優勢為能取得原始雷達訊號，供後續研發更精確之辨識演算法，並可隨時將新功能、延伸應用或特定需求直接整合於系統中，更重要的是能避免在緊急應變中，當需因應海氣象環境調校相關參數時，若有參數遭鎖定，得需與原廠聯繫討論，導致監測作業延宕。

近年來應用 AI 於特定影像辨識之研究與實務應用發展蓬勃，而在海面油污影像辨識方面，Mask R-CNN 為當前可靠度較高的方法之一。Mask R-CNN 為一基於深度學習(deep learning)的影像實例分割(instance segmentation)方法，典型應用流程為先標定目標影像，再對目標影像進行檢測與建模，最後即可應用建立之模型於新影像中進行自動判斷與標記(He et al. 2016)。圖 3-4-3 為應用 Mask R-CNN 於 X-band 雷達偵測影像辨識油污之實例，該海面上的油污為 2016 年德祥臺北貨輪於新北市石門近岸海域擱淺時，船體破損造成之漏油事件。圖 3-4-3 結果顯示 Mask R-CNN 不僅在辨識海面油污擴散範圍相當準確，提供關鍵量化資訊如範圍大小、擴散軌跡與座標，協助人員有效判斷海面油污擴散情形，其辨識完全自動化且在 1 分鐘內即可完成，滿足緊急應變期間分秒必爭的

要求。



圖 3-4-1 X-band 雷達油污偵測系統執行作業情形

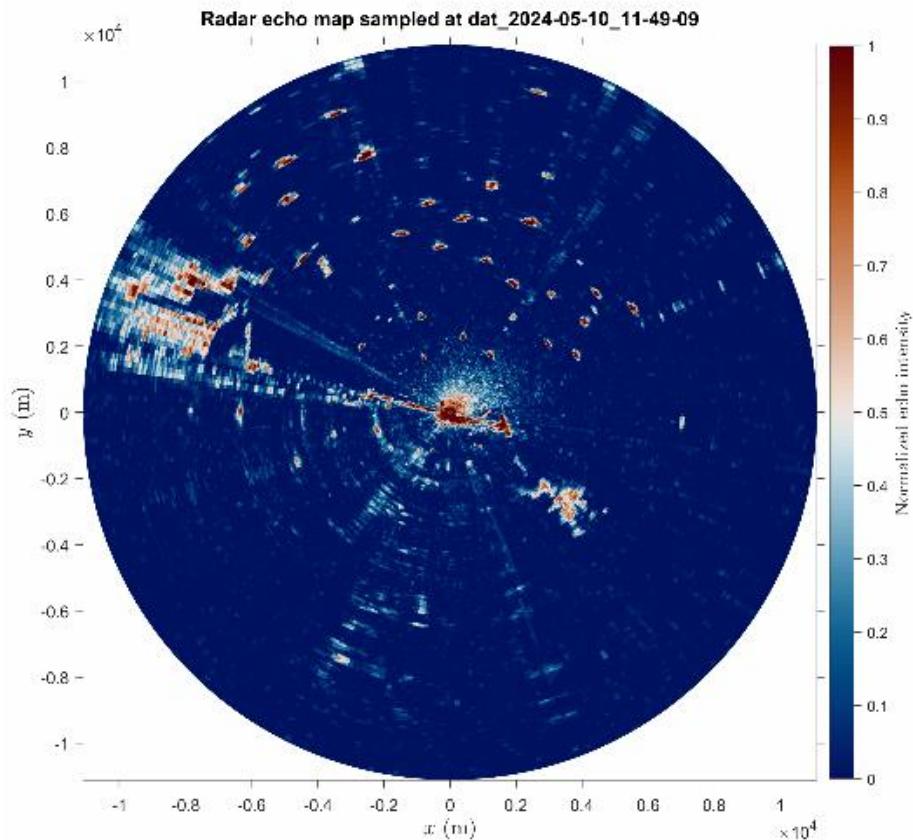


圖 3-4-2 原始 X-band 雷達訊號影像

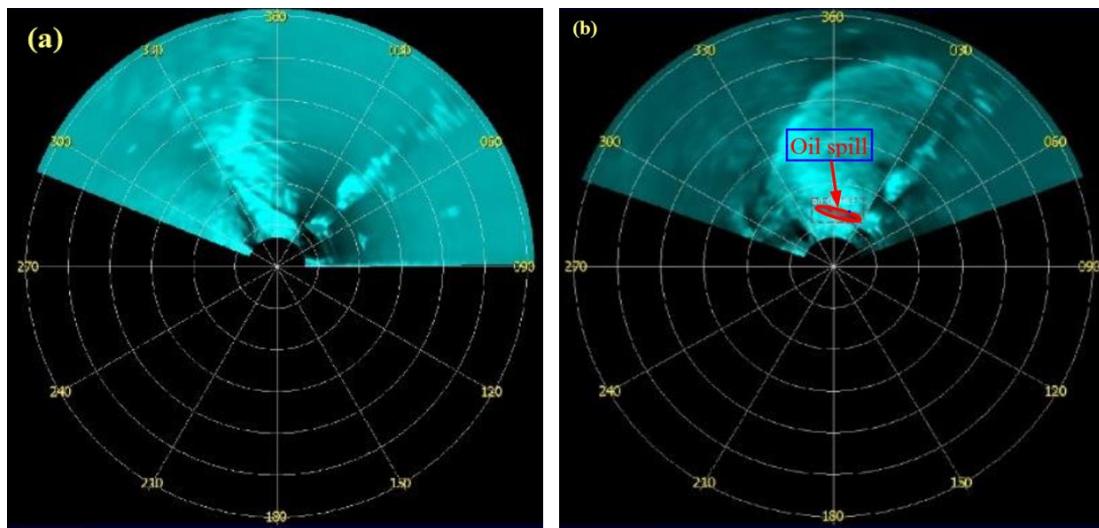


圖 3-4-3 (a) 2016 年德祥臺北事件 X-band 雷達偵測影像。(b)應用 Mask R-CNN 於該雷達影像之油污影像辨識結果

今(113)年度強烈颱風凱米於 7 月 22 日至 26 日影響臺灣期間，造成西南海域多達 9 艘船擋淺在臺南至屏東的海岸，此期間本案執行團隊於 7 月 30 日下午接獲海保署通知，前往臺南七股海岸進行監測第 14 案例凱塔雜貨輪擋淺是否有油污染洩漏的情況。本案執行團隊於 7 月 30 日傍晚以無人機飛至凱塔雜貨輪上空拍攝船擋淺的狀況(如圖 3-4-4 所示)，由拍攝照片顯示海面上未發現有油污染擴散至海面情況。圖 3-4-5 為顯示 X-band 雷達於 7 月 30 日 18:00 完成架設作業並進行油污監測作業。

X-band 雷達於 7 月 30 日進行監測作業期間，同時也產製中央氣象署預報之海氣象資料，如圖 3-4-7 為 CWA-WRF 預報 113 年 7 月 30 日 20:00 風場，圖中的箭羽表示風的來向，右邊色皆顯示風速大小，由圖中模擬結果顯示凱塔雜貨輪擋淺位置的風向是南南東風。圖 3-4-8 為 CWA-OCM 預報 113 年 7 月 30 日 20:00 海流流場，圖中的流矢表示海流的去向，右邊色皆顯示海流流速大小，由圖中模擬結果顯示凱塔雜貨輪擋淺位置的海流流向受到地形呈現環流的特性。

X-band 雷達監測海面油污作業期間，將錄製之 X-band 雷達影像以 Mask R-CNN 模型對雷達影像上海面物件及油污進行辨識，在 2024 年 7 月 30 日監測期間共取得 184 張影像雷達影像，並隨機挑選其中 30 張影像作訓練，包括海上載具的空間資訊、光譜反射值、幾何形狀與紋理等特徵。其後將上述影像輸入至 Mask R-CNN 模型作訓練，依據 7 月 30 日 21:01 訓練學習結果顯示，凱塔雜貨輪可被辨識出(如圖 3-4-9 中標示的擋淺船隻)，但未辨識出海面上有油污

擴散及分布的情況。另外 X-band 雷達可偵測離岸 5 至 8 公里的近岸油污，由圖 3-4-9 顯示 X-band 可偵測到凱塔雜貨輪擱淺位置，在雷達偵測的範圍內。本案執行團隊於 7 月 31 日早上應用無人機飛至凱塔雜貨輪上空拍攝海面的狀況(如圖 3-4-10)，由拍攝照片顯示海面上無油污分布。本次雷達監測油污作業報告請參考附件四。



圖 3-4-4 無人機拍攝蒙古籍凱塔雜貨輪擱淺在臺南七股海岸情況(07/30)



圖 3-4-5 X-band 雷達於 7 月 30 日 18:00 進行油污監測作業

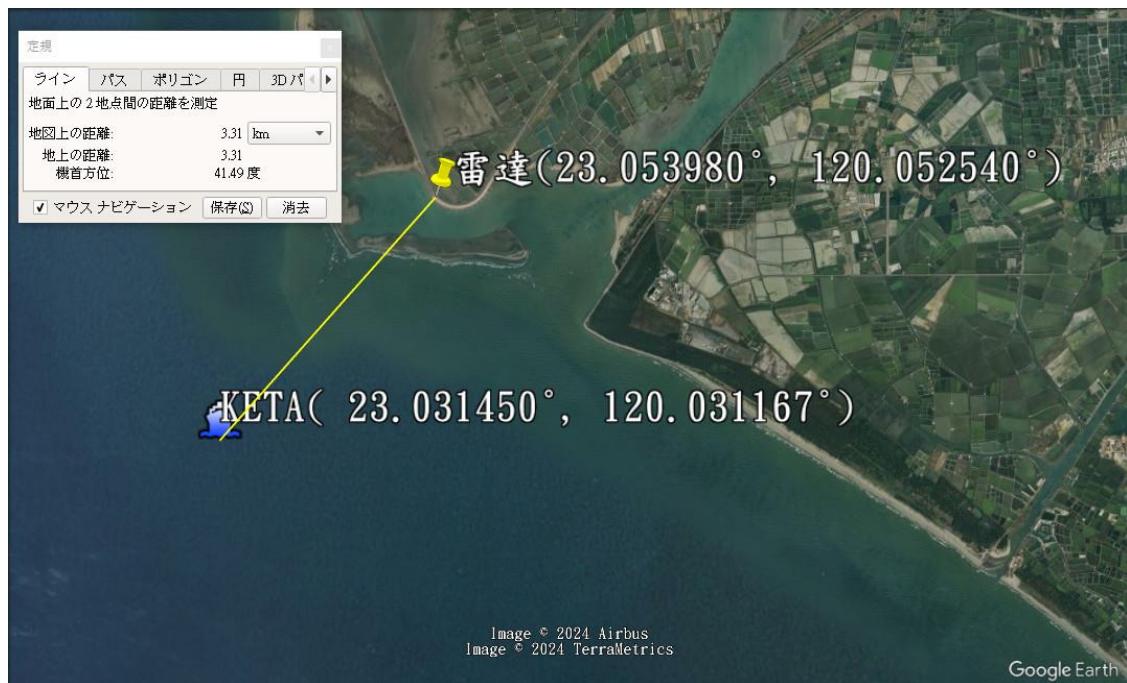


圖 3-4-6 X-band 雷達架設位置與凱塔雜貨輪的距離

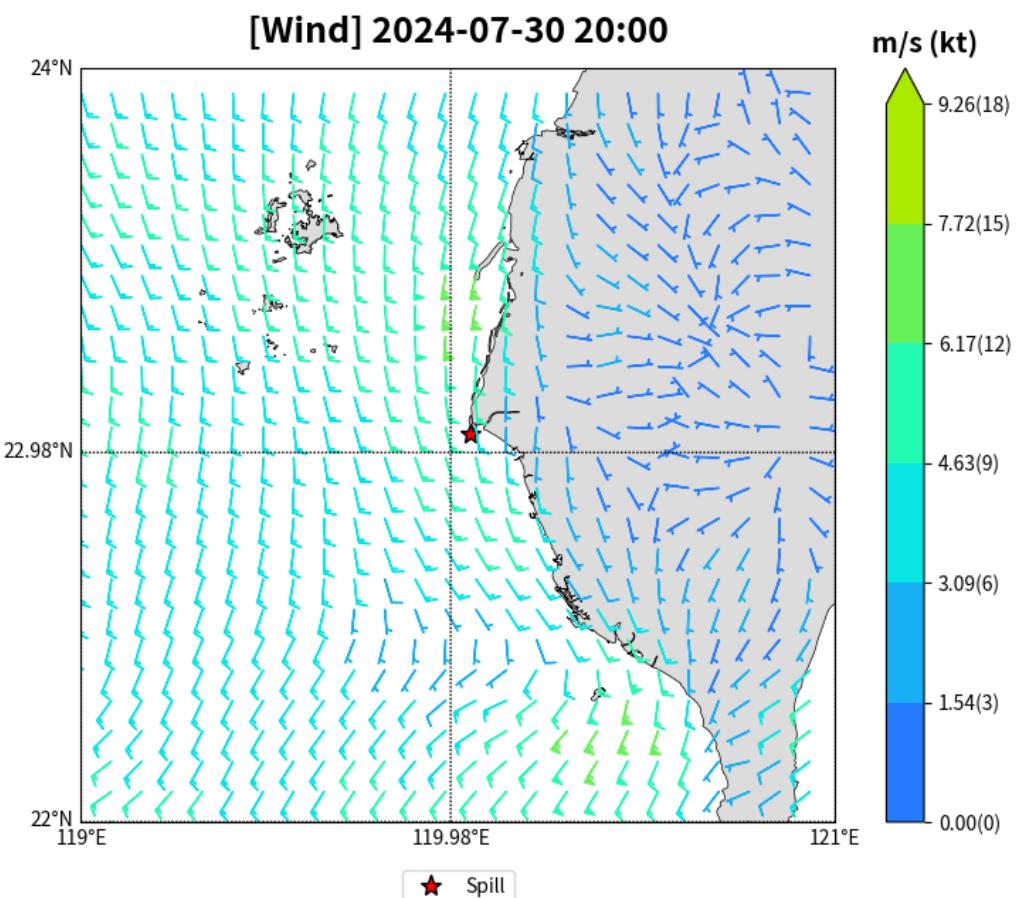


圖 3-4-7 CWA-WRF 預報 113 年 7 月 30 日 20:00 風場

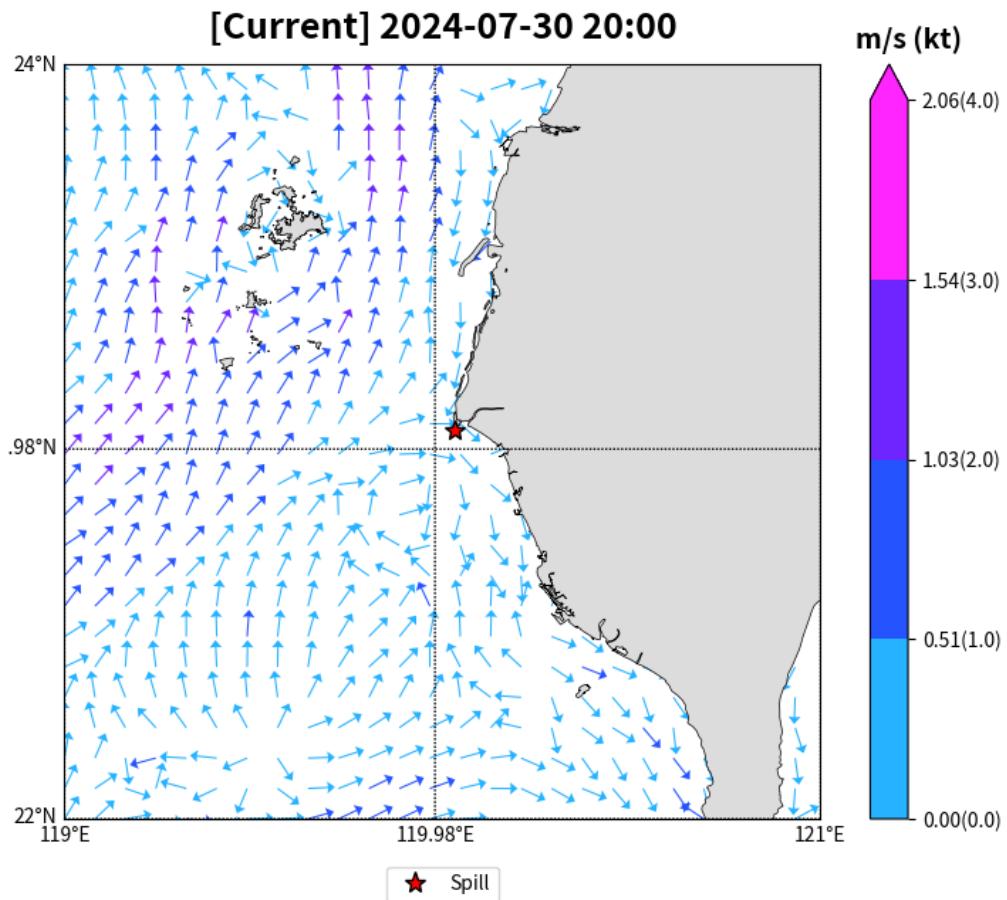


圖 3-4-8 CWA-OCM 預報 113 年 7 月 30 日 20:00 流場

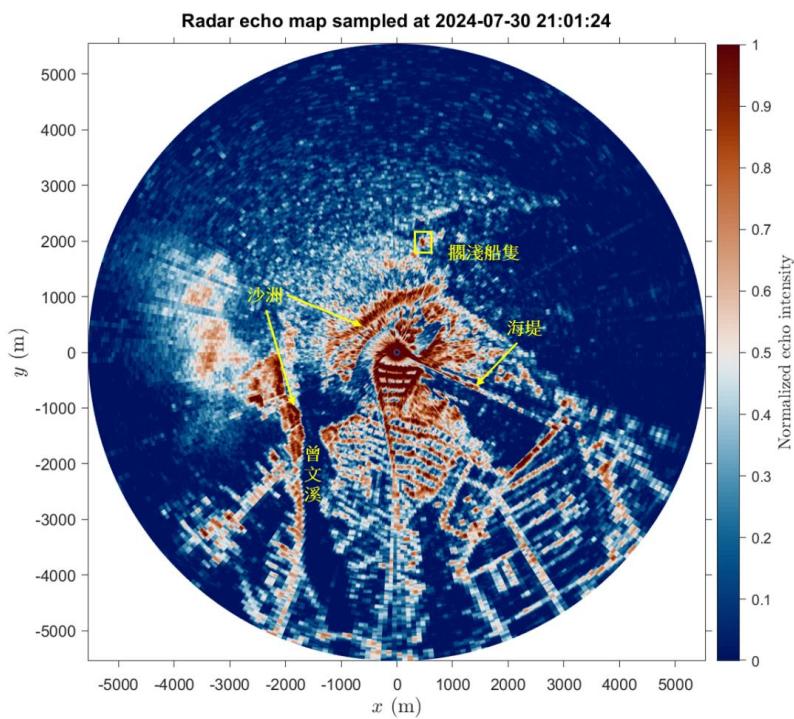


圖 3-4-9 Mask R-CNN 模型對雷達影像辨識海面物件及油污



圖 3-4-10 無人機拍攝凱塔雜貨輪擱淺在臺南七股海岸情況(07/31)

2. 配合應變作業或機關指定配合之活動展示或演練，提供海洋污染科技工具進行至少 2 次監測、展示或演練作業。

今(113)年度配合海保署於 7 月 10 日舉辦的「113 年中油大林廠外海浮筒漏油緊急應變實兵演習」的演練作業，本案執行團隊至旗津貝殼館海岸，以 X-band 雷達偵測油污作業系統進行油污偵測演練作業(如圖 3-4-1)。透過 AVerMedia 影像擷取裝置連接電腦端與雷達主機，可由 DVI 端子輸出雷達掃描影像，將影像利用螢幕錄影程式進行錄製與擷取即時雷達影像(如圖 3-4-11)，並進一步上傳雲端與分析資料。如圖 3-4-12 為顯示訓練成果，經訓練後的 Mask R-CNN 模型能有效對海上載具進行辨識，並對其外形進行分割，以描繪海上載具的外形。由於本次演練作業海面上並未有油污，故先以示範進行海上船舶的辨識作業「113 年中油大林廠外海浮筒漏油緊急應變實兵演習」演練作業以雷達偵測油污作業期間共取得 141 張雷達影像，隨機挑選其中 85 張影像作訓練，其中包括了超過 1,000 個註記資訊，包括海上船舶的空間資訊、光譜反射值、幾何形狀與紋理等特徵，剩餘 28 張驗證以及 28 張測試。其後將上述影像輸入至 Mask R-CNN 模型作訓練，訓練次數為 15 次，每次訓練包含 100 個 step，其後分別以 rpn\_loss、mask\_loss 與 class\_loss 三個指標作 loss function 以調整模型學習表現，由學習成果顯示影像中大型船隻已可準確辨識，如圖

3-4-12 中以號碼標示大型船隻的地理位置。

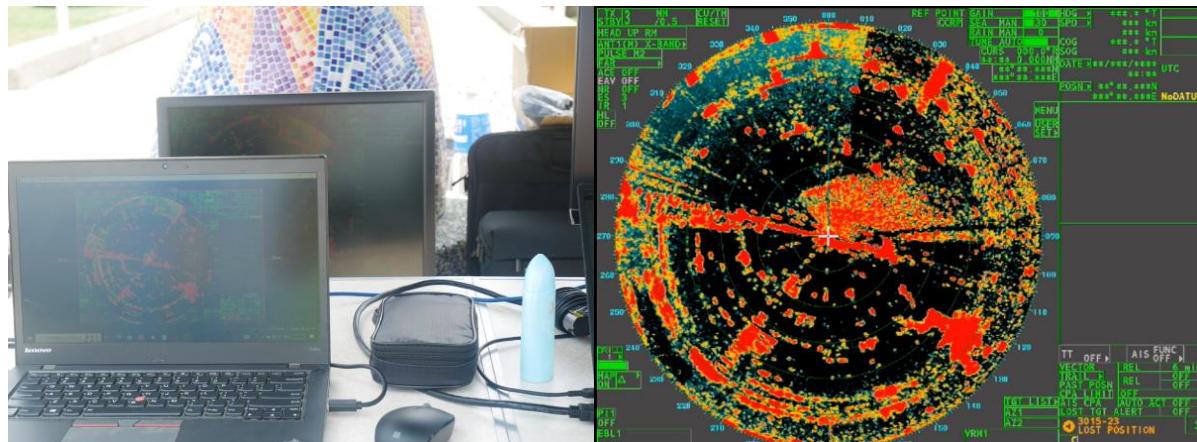


圖 3-4-11 撷取雷達掃描即時海況與與影像

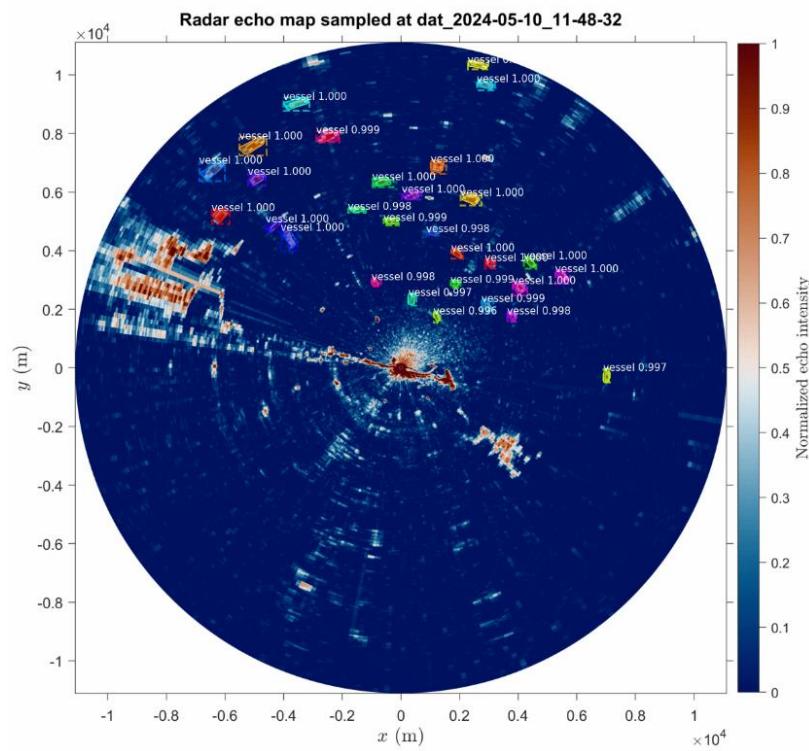


圖 3-4-12 Mask R-CNN 模型對雷達影像上海面物件進行辨識

今(113)年度計畫執行期間，本案執行團隊已完成 2 次海洋污染科技工具監測油污的作業，分別在 7 月 10 日「113 年中油大林廠外海浮筒漏油緊急應變官兵演習」演練作業與 7 月 30 日凱塔雜貨輪擱淺事件進行海面上油污監測作業，已符合本項工作之要求。

3. 配合科技工具出勤作業期間，使用紅外線熱顯像儀及無人機等工具（得由海保署提供）執行油污監測。

#### (1) 紅外線熱顯像儀

Wang et al.(2023)曾設計一個實驗測試不同油層厚度在水面的溫度變化情況，實驗方式為將裝滿海水的箱子放置室外，並在海水表面漂浮 18 個小容器，並分別滴入不同厚度的油，平均鋪滿小容器的表面，油膜厚度為 0~3.04 mm，實驗環境配置如圖 3-4-13 所示，並以熱顯像儀（型號；Testo 890-2 portable thermal infrared imager）進行偵測不同油層在白晝與黑夜的變化情況。圖 3-4-14 為實驗的結果，由圖中顯示油層厚度在 0.4mm 以上，白天期間水與油的溫差會大 6 度以上，晚上期間水與油的溫差會低 0.3 度。由此實驗結果顯示油層厚度愈厚，在白天期間受到太陽熱源供給油溫會上升較快；而在晚上期間未受到太陽熱源供給油溫下降快速，與水的溫度差異不大。此實驗結果亦說明在白天期間會提升熱顯像儀偵測油污的能力。

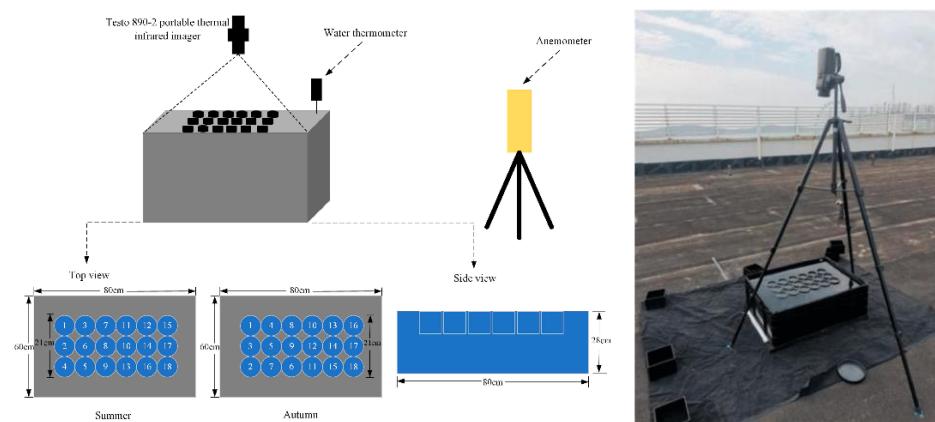


圖 3-4-13 測試不同油層厚度在海水面溫度變化的實驗環境配置

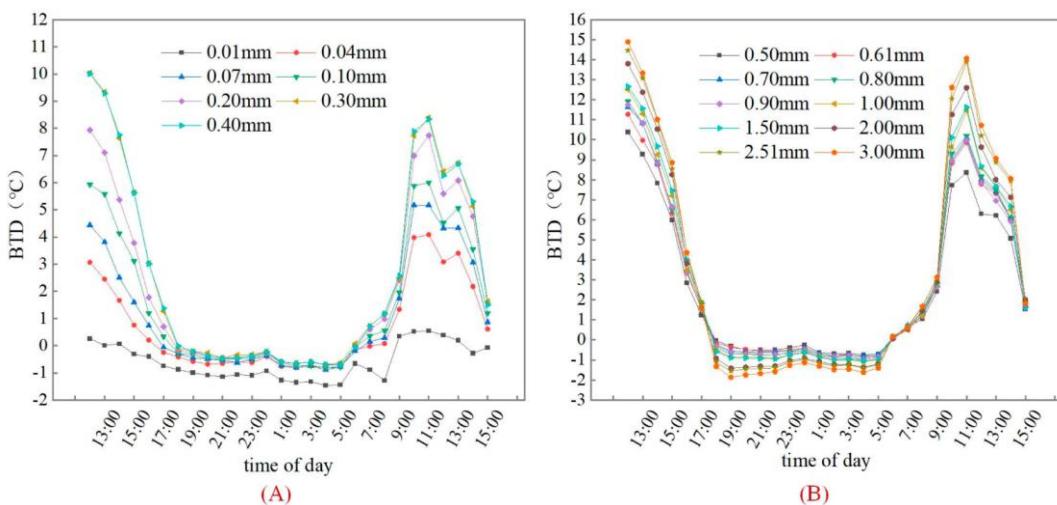


圖 3-4-14 水面上油污厚度在日夜的溫度變化情況 (Wang et al., 2023)

海洋油污受日夜不同方式熱源供給呈現不同的變化，白天受到太陽日照有升溫特性，晚上無太陽日照則呈現降溫的特性。又因海水與油的比熱之不同，使得海水與油有不同的溫度，若以比熱單位(J/kg.K)來看，每公斤物質溫度變化 $1^{\circ}\text{K}$ 所需的能量變化增多，表示比熱越大。水的比熱為 4200 J/kg.K，海水的比熱則受海水鹽度影響，鹽度越高，比熱越低，約介於 3968~4182 J/kg.K 之間。油的比熱較小，受環境溫度的影響較快，因此在相同環境下之溫度變化，油之溫度變化會比海水大且快速。

油品又可依比重大小區分為輕質油、中質油和重質油，汽油屬於輕質油，有高流動性、高揮發性的特性，比熱較中質油、重質油高，重質油則像是船用燃料油，黏度高，近乎不流動，比熱也最低，油品的比熱，如表 3-4-1 所示，表中顯示重質油比熱較小，所以在白天受太陽熱源供給溫度上升會較快。

海保署提供一套美國 Teledyne FLIR 公司旗下產品「FLIR K65」紅外線熱影像儀(如圖 3-4-15 所示)，其規格如表 3-4-2，經查詢是應用在消防救災作業居多。紅外線熱影像儀 (Thermal Infrared Camera) 常被消防單位用於火災事件的人員救援作業，火災現場的溫度大多高於 100 度，所以紅外線熱影像儀可快速獲取物質所反射或散發的短波紅外線，進而得知火場環境溫度的分布情況。

為測試「FLIR K65」紅外線熱影像儀是否可用於海面上油污監測作業，本案執行團隊於 3 月 20 日前往前鎮漁港測試其用於油污偵測的能力，測試作業當時水面上有少量的油污(如圖 3-4-16)，海面上的溫度並無明顯的變化。「FLIR K65」主要被應用在消防救災作業，對於溫度小於 100 之區域只會以灰階成像，不會呈現強烈的顏色對比。如圖 3-4-17 為「FLIR K65」紅外線熱影像儀偵測前鎮漁港水面的情況，圖中左邊為儀器偵測的影像，透過肉眼也難以輕易辨識海面上是否有油污；圖中右邊為手機拍攝的照片，透過肉眼可辨識有少量的油污(如紅框標示處)，雖對照圖中左邊經「FLIR K65」紅外線熱影像儀成像得到照片，有類似油污的形狀(如紅框標示處)，但儀器並未呈現明顯溫度的變化特性。經由前鎮漁港測試作業結果，初步研判「FLIR K65」紅外線熱影像儀不適用於海面上油污監測作業。

表 3-4-1 油品的比熱

黏度等級	輕質油	中質油	重質油
油品	汽油	煤油	燃料油
比熱(J/kg.K)	2200	2010	1670~2090

(資料來源：[www.engineeringtoolbox.com](http://www.engineeringtoolbox.com))

表 3-4-2 FLIR K65 救災用紅外線熱影像儀規格

頻譜範圍	7 ~ 14 $\mu\text{m}$ (近紅外線)	
靈敏度	0.03 $^{\circ}\text{C}$ at 30 $^{\circ}\text{C}$	
測溫範圍	高靈敏度	-20 ~ 150 $^{\circ}\text{C}$
	低靈敏度	0 ~ 650 $^{\circ}\text{C}$



圖 3-4-15 FLIR K65 救災用紅外線熱影像儀



圖 3-4-16 測試 FLIR K65 偵測油污的能力

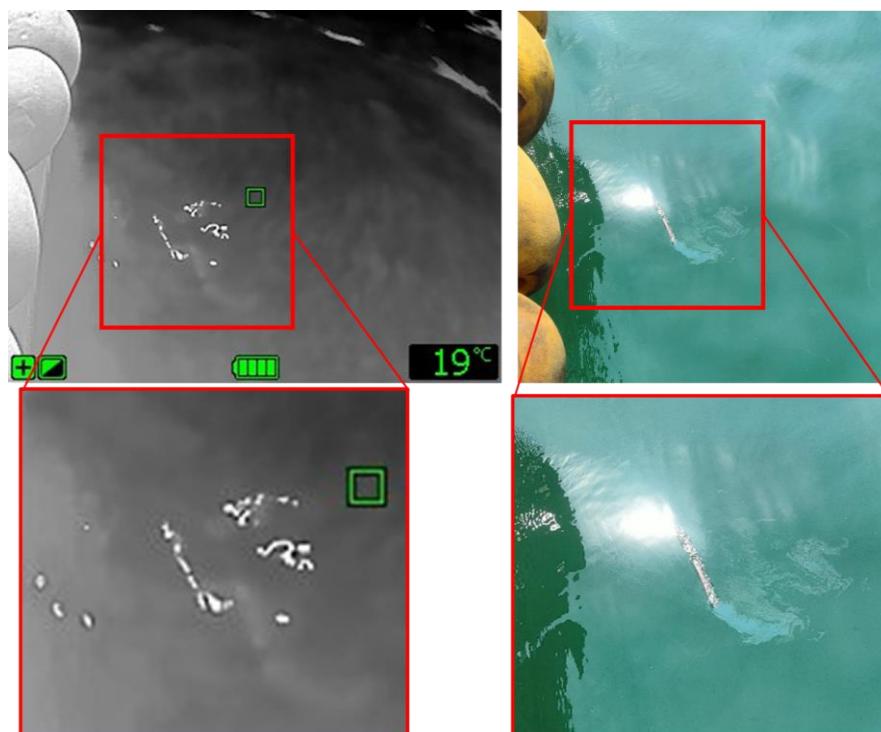


圖 3-4-17 FLIR K65 油污偵測結果

綜合上述測試結果，配合科技工具出勤作業期間，本案執行團隊借用海保署購置之紅外線熱顯像儀與無人機，嘗試將該熱顯像儀整合於該無人機上，以利增加油污監測之機動性。然而，熱顯像儀經在前鎮漁港測試後，評析無法應用於辨識油污及投入油污監測作業。

## (2)無人機

圖 3-4-18 為海保署提供之無人飛行載具(unmanned aerial vehicle, UAV)，因

其兩組電池可能因長期為使用，導致無法進電而損壞，故無從確認其飛控能力。透過國外商用 UAV 資訊與其模組及接線判斷，此 UAV 主要設定用途為農業植保應用，但機體並無衛星導航系統(GNSS, Global Navigation Satellite System)，故無法設定自動飛行任務，僅能在視距內進行手動飛行，若在觀測設備協助下，覆蓋範圍至多直徑 1000 公尺，低於海洋油污監測需求(至少 5 公里)，且風險極高。其次，機體亦無數據圖傳系統，無法即時傳輸影像資訊。綜上所述，建議諮詢該 UAV 之製造廠商是否能針對油污監測的需求，進行對應升級的可能，或者另尋其他適合的 UAV 機型。

據海洋油污監測與搭載油污偵測酬載之需求，本案執行團隊建議考慮金屬工業研究發展中心智慧載具實驗室(intelligent vehicle center, IVC)開發之代號為 H4 的四旋翼無人機(如圖 3-4-19)，除可根據用途需求客製性能外，同時避免零組件管制問題，表 3-4-3 為 H4 四旋翼 UAV 主要規格。



圖 3-4-18 農業植保用途的 UAV



圖 3-4-19 代號 H4 多旋翼無人機

本案執行團隊亦探尋其它適用之 UAV 機型，當前最佳選擇為國內廠商自強工程顧問與通天國際共同開發之 VX2300 啟航者(如所示，由毅龍三維科技銷售與維修)，其主要規格如表 2 所示。VX2300 動力來源為四組可轉向之旋翼系統，其升空降落皆與一般多旋翼 UAV 相同，而其定翼結構可形成滑翔效應，大幅增加續航里程可至 120 公里，與大幅提升滯空時間至多 2 小時，猶記一般多旋翼 UAV 約在 20 至 40 分鐘，據此性能，適合應用於長距離特定區域之油污偵測巡邏作業。VX2300 酬載能力適用於搭載被動式光學偵測模組，故整合如下一章節介紹之 Pyxis 之油污監測技術，為效益最大之研發方向。

另外，在 UAV 部分，國內廠商通天國際所開發之 VX2300 啟航者(如圖 3-4-21 所示)為極具潛力之無人直升定翼機，其主要規格請參考表 3-4-4。VX2300 飛行時僅需使用兩組馬達，並且運用空氣浮力達成節能設計，具備最大續航里程至少 120 公里與滯空時間 1.5 到 2 小時之間，若能結合有效的油污影像辨識設備，將可能取代雷達監測技術，更進一步可能建置全天候沿重點區域之油污巡邏作業。此 UAV 可能為油污監測技術在時空上提供巨大突破，本案執行團隊將投入心力研析如何以此 UAV 平台建立監測技術，並用以強化模擬精度。

由表 3-4-5 之代號 H4 和 VX2300 之比較可瞭解，VX2300 直升定翼型無人機，定翼型無人機有著抗風性較多旋翼型高之優勢，且 VX2300 之飛行時間也較代號 H4 持久。而代號 H4 則因其是 IVC 團隊所自製，因此在酬載客製化更改上有著較大的靈活性。

本案執行團隊雷達作業執行成員已有兩人取得由交通部民用航空局(以下簡稱民航局)所核發之專業基本級操作證，依法規國立大學視為法人單位，可執飛 25 公斤以下非特種無人機，操作高度不超過 400 英呎(約 122 公尺)，今(113)年度預計增派兩位本案執行成員取得該操作證。

在科技工具出勤作業期間，本案執行團隊將攜帶無人航拍機 Autel Robotics EVO II PRO 6K V2，在取得海保署同意與空域毋須特別申請(如圖 2-4-10 所示)的狀況下，逕行飛往目標區域拍攝高解析空拍影像，確認是否有油污洩漏或協助判斷油污影響範圍。若目標區域為限制飛行活動空域，依法規應由海保署協助向民航局或空域主管機關申請。

表 3-4-3 代號 H4 多旋翼無人機規格

項目	規格內容
機體	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 主體採碳纖材材質，符合高強度輕量化需求</li> <li>● 動力源:24V(6S)鋰聚合物電池</li> <li>● 21 吋碳纖葉片</li> <li>● 模組化設計可快速更換酬載</li> <li>● 最大起飛重量 10kg</li> </ul>
飛行性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 空機至少 30 分鐘；含最大酬載至少 20 分鐘</li> <li>● 最大速度每小時 40 公里(含)以上</li> </ul>
圖傳距離	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 通訊有效距離 5 公里(無遮蔽、無訊號干擾)</li> <li>● 支援地面站系統</li> </ul>
自動飛行功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 具備自動起降、航點設定、低電壓/斷訊自動返航降落</li> </ul>
飛具精度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 定位精度為半徑 1.5 公尺(含)以內</li> </ul>
酬載	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最大重量 5 公斤，並可客製化整改</li> </ul>
造價	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 50-80 萬，視客製功能決定</li> </ul>



圖 3-4-20 VX2300 啟航者無人直升定翼機

表 3-4-4 VX2300 啟航者無人直升定翼機規格

項目	規格內容
機體	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 機長：1080mm；翼展：2300mm；高度：508mm</li> <li>● 最大起飛重量：7.1 公斤</li> <li>● 機體重量：3.8 公斤(未含電池)</li> <li>● 電池重量：2.3 公斤</li> <li>● 有效酬載：1.0 公斤</li> </ul>
飛行性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最長滯空時間：2 小時</li> <li>● 最大續航里程：120 公里</li> </ul>
飛行速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最大安全空速：每小時 126 公里</li> <li>● 經濟航速：每小時 57.6 公里</li> </ul>
飛行/地面站/ 圖傳距離	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最高作業高度：4000 公尺</li> <li>● 最大圖傳距離未知</li> <li>● 支援地面站系統</li> </ul>
自動飛行	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 具備自動起降、航點設定</li> </ul>
造價	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 80 萬起，不含客製功能</li> </ul>

表 3-4-5 無人機代號 H4 和 VX2300 之性能比較

	代號 H4	VX2300
無人機類型	多旋翼型	直升定翼型
飛行時間(無酬載)	30 分鐘(含)以上	1.5~2 小時
最大起飛重量	10kg	7.1kg
最大飛行速度	每小時 40 公里	每小時 126 公里

#### 4. 研析其他監控海洋油污染之技術。

X-band 雷達偵測油污染影響範圍約在 3 至 5 公里，且常受海岸地形限制而無法找尋適宜位置架設 X-band 雷達偵測油污染作業系統。為增進海洋油污染監控之效能，本案執行團隊研析影像監測技術應用在油污染偵測作業，如熱感應紅外線影像技術外加偏振式過濾技術，並應用無人飛行載具(unmanned aerial vehicle, UAV)為當前最具潛力的科技工具，可突破 X-band 雷達偵測之空間限制，以達到即時監控監測海表面油污的目的。另外，本案執行團隊也研析與發展無人機採水技術，有助於海洋染事件發生時快速抵達現場進行採集水樣，可在短時間內取得污染事件發生位置周圍水體受污染的情況。以下即分別說明「長波紅外光偏振成像油污偵測技術」與「無人飛行水樣採集器」的研析成果。

##### (1) 長波紅外光偏振成像油污偵測技術

對於搭載於 UAV 之油污偵測技術，近年研究歸納如下(Asadzadeh et al. 2022)：

- 被動式技術—偵測由油污自然反射之電磁波特性，主要技術包括可見光、長波紅外光(longwave infrared, LWIR)與高光譜(hyperspectral)。
- 主動式技術—投射特殊光源於目標範圍，偵測由油污反射之電磁波特性，主要技術包括雷射誘導螢光(laser fluorosensor)、光達(laser imaging detection and ranging, Lidar)與合成孔徑雷達(synthetic aperture radar, SAR)。

主動式技術由於需搭載特殊光源設備並支援供電，對 UAV 酬載需求高且影響續航能力，同時設備較為精密，故整體建置成本高。受限於量測原理，主動式技術大多為點源或測線偵測，難以達到監控即時油污染範圍的需求，但其

光學分析結果能應用於判讀油污特性，且幾乎不受晝夜影響，因此主動式技術主要適用於長期定點監測、小範圍油污偵測與快速油品鑑識之相關實務應用。

相較於主動式技術，被動式技術即時偵測範圍大，且設備量體小，降低 UAV 建置成本，而其主要缺點為可能受晝夜影響及辨識能力弱於主動式技術。近年美國 Polaris Sensor Technologies 公司所推出的「Pyxis LWIR」影像模組，為當前最佳的被動式油污偵測技術(Asadzadeh et al. 2022)，為其主要技術規格。如表 3-4-6 所示，「Pyxis LWIR」寸小，且搭載空拍常用之短焦鏡時的重量約為 160 克，除適合搭載於 UAV 外，亦可與可見光模組整合，提供全面的油污染監測資訊。根據水工模型試驗(如 2-4-4 節圖 2-4-11 所示)及實海域實務應用(如圖 3-4-22 與圖 3-4-23 所示)，皆顯示其對任何油品之辨識能力與各主動式技術相當，且幾乎不受晝夜影響。

表 3-4-6 Pyxis LWIR 技術規格

項目	規格	項目	規格
定焦鏡頭	20mm f/0.85	操作溫度	0°C to 70°C
解析度	648×512 pixels	取樣頻率	7.5 Hz
視野範圍	36.4°×29.2°	供電	5VDC or POE
波段	7.5μm–13.5μm	資料傳輸	Ethernet
尺寸	70x55x60 mm	重量	156 g



圖 3-4-21 美國 Polaris Sensor Technologies 公司開發之 Pyxis LWIR 油污偵測影像模組與整合至無人飛行載具之應用範例。

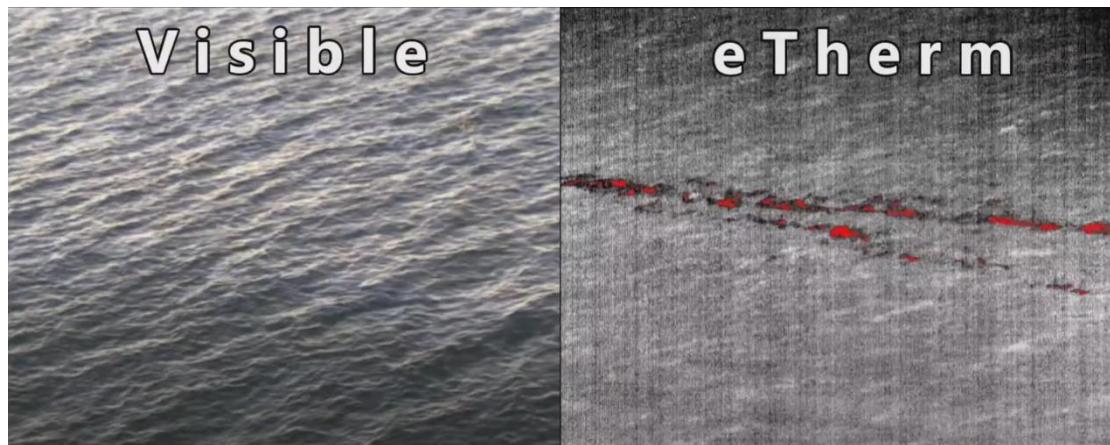


圖 3-4-22 Pyxis LWIR 油污偵測實例—在墨西哥灣中距離 New Orleans 東南方約 100 英里處的某油井口，因 2004 Hurricane Ivan 受損而發生原油洩漏，浮於水面並受風流影響產生之帶狀分布。

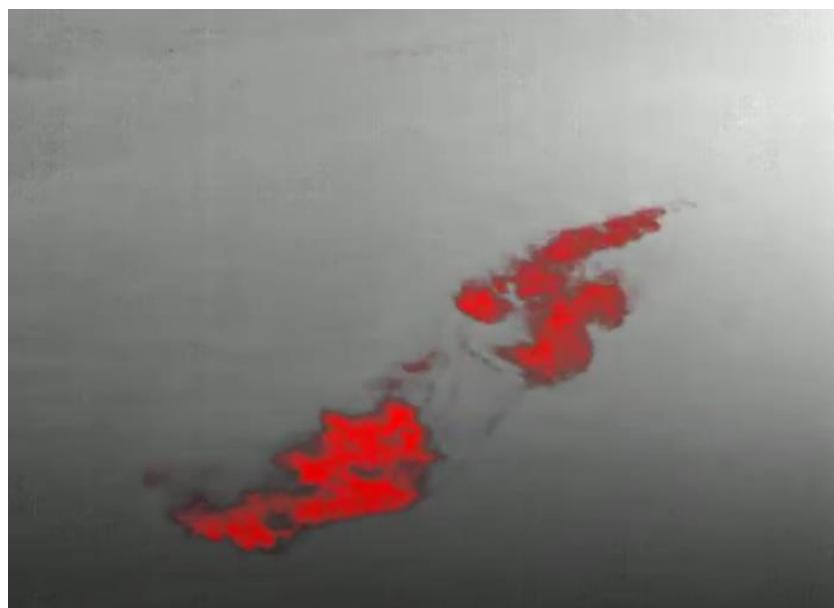


圖 3-4-23 Pyxis LWIR 油污偵測實例—Santa Barbara, CA 外海偵測不明洩漏油污

「Pyxis LWIR」技術原理以 LWIR 為基礎，並導入四個不同角度的偏振鏡片進行成像，偏振成像結果強化油污影像與背景影像的對比，再由影像處理分割油污輪廓，即可獲得油污分佈範圍，並估算其面積。為充分了解「Pyxis LWIR」性能與操作規則，本案執行團隊於 112 年 11 月 9 日至前鎮漁港，特別針對其夜間偵測能力進行首次測試。當日下午抵達測試地點時，即觀察到水面上有些許油污，如圖 3-4-24 所示，其顏色呈顯彩虹色，依據氣味研判可能為柴油。圖 3-4-25 為傍晚期間測試情形，環境光線昏暗，主要光源來自於路燈。圖 3-4-26 為 Pyxis 偵測顯示於處理軟體(Pyxis video science, PVS)中的結果，其中紅色區域為偵測油污影像，符合現場觀察結果，驗證「Pyxis LWIR」在夜間具備偵測薄油膜柴油的能力，對應用於一般海洋油污事件情境，應相當可靠。

113 年 3 月 20 日再次攜帶「Pyxis LWIR」與「FLIR K65」手持式紅外線熱影像儀至前鎮漁港測試，主要目的為瞭解「FLIR K65」是否可用於偵測油污。測試當日於水面上觀察到些微油污(圖 3-4-27)，圖 3-4-28 為兩儀器同時進行測試的情況。當日測試結果在 Pyxis 部分，偵測到油污浮於水面(未拍攝螢幕畫面)，而「FLIR K65」並未偵測到任何特徵影像(圖 3-4-28)，初判「FLIR K65」主要用途設定為人員或火源辨識為因素之一，其次為偏振成像技術確為提升油污辨識能力之關鍵。

113 年 3 月 27 日至 4 月 3 日期間，陸續於旗津貝殼館海岸發現零星油塊，為追查可能油污來源，本團隊配合海保署的規劃，於 4 月 2 日自旗津第五海巡隊搭乘海巡艦艇至高雄外海錨區，航行期間同時部署「Pyxis LWIR」與「FLIR K65」執行偵測油污作業(圖 3-4-29)，執行期間並未發現油污，儀器亦無偵測油污發生。

當前本案執行團隊盡力配合海保署需求，部署 Pyxis 執行海上油污偵測或監測作業。考量機動性、資訊分析、即時圖資呈現與功能擴充之需求，而目前國內外尚未有符合此需求之商用設備，本案執行團隊研擬 OilWatch-UAS 系統之開發構想，以「Pyxis LWIR」為核心，整合無人飛行系統(unmanned aircraft system, UAS)、地面控制系統(ground control system, GCS)與 OilWatch 系統，OilWatch-UAS 系統架構如圖 3-4-30 所示。

無人飛行系統包含 UAV、「Pyxis LWIR」、定位功能與數據圖像傳輸功能之整合，當前 UAV 的飛航距離與傳輸能力普遍可超過半徑 10 公里，且起降地點較無限制，彌補 X-band 雷達之不足。「Pyxis LWIR」油污偵測能力受晝夜影響不顯著，加上防水盒與搭配 IP65 等級(含)以上之 UAV，此無人飛行系統幾乎可達全天候運作。地面控制系統主導數據圖像傳輸與自動飛行任務功能，需與 UAV 同步開發、整合及測試。

「Pyxis LWIR」須搭配 PVS 軟體進行即時油污辨識與影像調校，但此軟體除無法滿足海洋油污染資訊需求外，難以與主流程式語言如 Python 或 MATLAB 整合，限制其擴充性。針對此問題，本案執行團隊建議根據實務應用主要需求，以主流程式語言自主開發 OilWatch 系統，整合 UAS 數據接收、Pyxis 訊號擷取處理、油污辨識技術、油污幾何資訊、油污地理圖資與資料視覺化等功能，滿足擴充需求與導入未來研究成果的彈性。藉由完全掌握技術的優勢，OilWatch 系統不僅能與各形式型號的 UAV 進行整合，滿足特殊監測任

務需求，亦可架設於船艇或岸基固定點執行巡查，更可擴充連接多個 Pyxis 覆蓋港區或特定水域，執行全天候油污監測任務。

自今(113)年度 8 月開始，本案執行團隊已啟動 OilWatch 系統之開發，並與 IVC 合作開發滿足海洋油污監測需求並整合 Pyxis 與可見光模組之 UAS，希冀明年度能進入實海域測試，在安全無虞的前提下，儘快「投入海洋油污監測的科技工具行列。



圖 3-4-24 前鎮漁港水面觀察到明顯的油污



圖 3-4-25 Pyxis LWIR 在夜間測試作業情形



圖 3-4-26 PVS 軟體顯示 Pyxis LWIR 於夜間偵測之油污(黃框紅色影像區域)



圖 3-4-27 113/3/20 前鎮漁港測試—於水面上觀察到些微油污



圖 3-4-28 113/3/20 前鎮漁港測試—執行 Pyxis LWIR 與 FLIR K65 偵測作業情形



圖 3-4-29 4 月 2 日至高雄外海锚區進行油污偵測作業

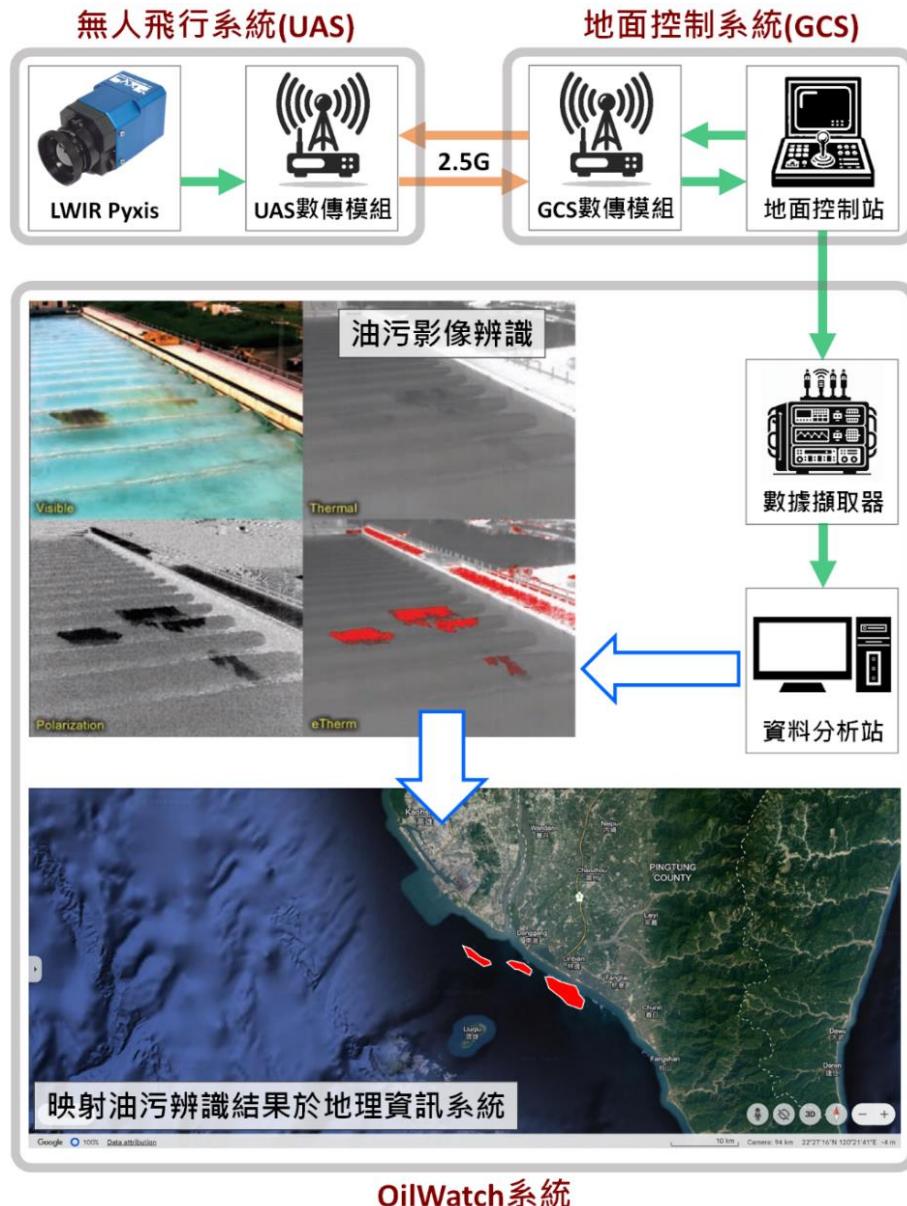


圖 3-4-30 OilWatch-UAS 系統架構

## (2) 無人飛行水樣採集器

水樣採集為海洋油污監測相當重要的一環，除檢測水質以評估環境影響程度外，判定是否發生漏油與鑑識油品種類亦為主要目的之一。當前主要採樣方式依賴人工操船至目標測點進行採樣，然而海氣象條件經常導致人員無法出航或者威脅執行作業人員的安全，特別在東北季風與西南湧期間。在近岸水深較淺處執行採樣作業時，波浪淺化造成較大波高與缺乏水深地形資訊的不利因素下，可能造成船艇擋淺或碰觸礁石及人工結構物(如潛堤、消波塊、放流設施等)，對船艇與人員造成風險。最後，行船時間、船期安排、船艇運送、前置作業時間、人員訓練成本與人員安全成本等因素，除導致採樣成本居高不下外，機動性不足導致採樣頻率低，提供於緊急應變決策支援之資訊有限。

UAV 的應用或為解決上述問題的最佳選項之一。在文獻中，已有應用 UAS 於水樣採集的相關成果(如 Ore et al. 2015; Koparan and Bulent Koc 2016; Song et al. 2017; Terada et al. 2018; Koparan et al. 2018; Benson et al. 2019; Castendyk et al. 2020; Ryu 2022; Horricks et al. 2022; 張等人 2022)，然而這些應用僅有 Horricks et al. (2022)考慮近岸海域，而其它以水庫、湖泊、池塘、河川等陸域水體為主，故應用 UAV 在海域水樣採集之應用經驗仍相當缺乏。此外，上述研究大多採用傳統採水器，如范多恩(Van Dorn)或甘末爾(Kemmerer)採水器，直接吊掛於 UAV 下方，載運至測點，執行與船艇水樣採集一致的方法。當以此形式於海域執行水樣採集任務時，水樣加上採水器的重量通常與 UAV 的重量相近，同時在海面上飛行與懸浮的過程中，可能受陣風、海流與波浪的影響，對 UAV 本身形成額外的不穩定力矩，使 UAV 必須耗費額外電量穩定姿態，降低續航時間，進而影響航程較遠的採樣任務。此外，考慮海表面紊流邊界層效應與異常波浪，UAV 在採樣時，應維持數公尺的懸浮高度，此懸掛長度(力臂)在風波流影響下，可能增加不穩定力矩一甚至數個量級，造成姿態更不穩定，消耗更多電量，甚至提高 UAV 落海墜毀的機率。再者，在淺水區域作業時，採水器或纜繩可能被礁岩、人工結構、人為物等物體纏綁住，若 UAS 無法脫困，最終將因電量耗盡而墜毀。綜上所述，對於應用 UAV 於海域執行水樣採集任務，應避免與傳統採水器類似之水樣採集器，以確保 UAV 之飛航安全。

在 Song et al. (2017)的 UAV 水樣採集應用研究中，採用抽水採樣的概念，在 UAV 正下方掛載採樣容器與蠕動泵，並連接一管路自然下垂，控制 UAV

懸浮高度，使管路下方末端沒入水中至設定深度，接著啟動蠕動泵，將水樣抽至採樣容器。此一設計將採水器量體直接佈於 UAV 正下方，完全前述海域環境營力可能造成的額外力矩問題。受此研究啟發，本案執行團隊已於今(113)年度 2 月開始研發抽水採樣概念的海域無人飛行水樣採集系統，建立自動化採集功能，同時加入安全機制，當管路遭纏拌而經嘗試後仍無法脫困時，能夠斷開管路，以最小成本確保 UAV 與其關鍵酬載的安全。圖 3-4-31 為該系統之設計概念圖與關鍵零組件標示，圖 3-4-32 為原型水樣採集器分別於實驗室與西子灣採樣測試作業情形。當前研發階段已進入整合於現有六軸多旋翼 UAV 與初步測試階段，預計明年度將整合於 IVC H4 UAV，並到不同形式之近岸海域進行實海域測試，屆時將能投入協助海洋油污監測。

除自主研發之水樣採集器外，本案執行團隊亦在搜尋其它適用於海域水樣採集的採水器，而當前最佳選項為 Soarability Speedip V2，圖 3-4-33 為其外觀與實際作業情形。此採水器在飛航過程中能確保質量集中於 UAV 本體，避免前述風流產生力矩影響 UAV 姿態穩定的問題。表 2 列出 Soarability Speedip V2 與自主研發採水器之比較。然而採樣過程中，仍須將容器下放於水中，受到波流影響，故其於海域採樣的適用性仍待評估。

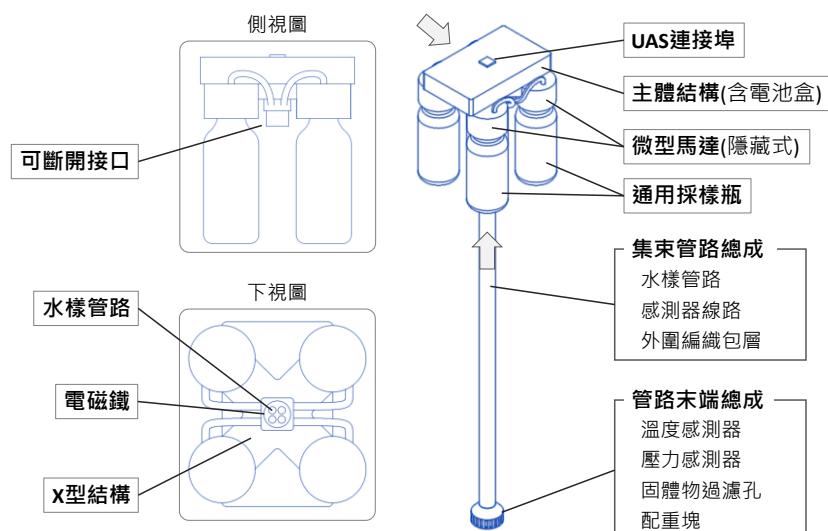


圖 3-4-31 海域無人飛行水樣採集系統之設計概念圖與關鍵零組件標示。

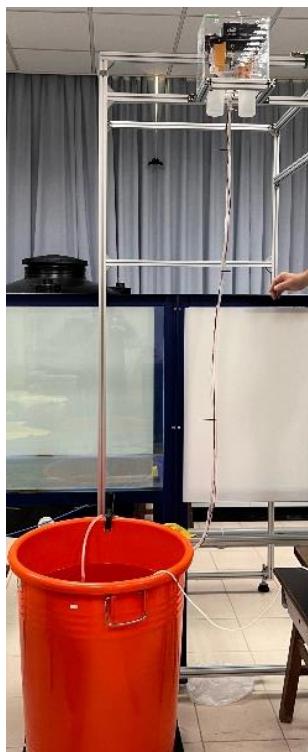
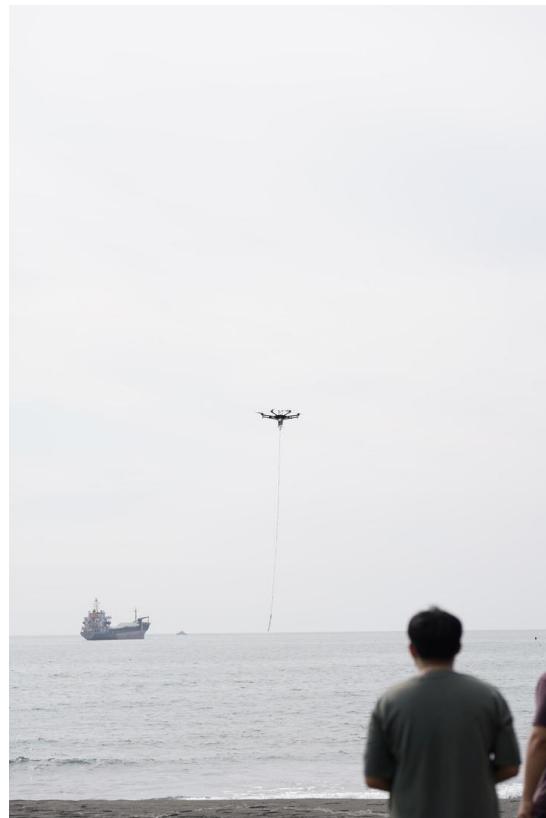


圖 3-4-32 自主研發之無人飛行採水器於西子灣執行採樣測試的作業情形。



圖 3-4-33 Soarability Speedip V2 採水器與其作業情形。

表 3-4-7 自主研發無人飛行採水器與 Soarability Speedip V2 採水器之比較

項目	無人飛行採水器	Soarability Speedip V2 採水器
採水形式	雙馬達各自獨立抽水	藉水壓差被動汲取
容器形式	通用採樣廣口瓶	特殊形式單一容器
採水量	單次至少 1 公升，可依 UAV 酬載能力擴充至 10 公升	單次最大 2 公升
指定深度感測	有	無
採水量感測	有	無
斷尾保護機制	有	有

綜合上述研析科技技術應用在監測油污之作業，相關儀器設備皆屬精密儀器，現場作業也需搭配人力、無人機、製作相關硬體設備、以及運輸車輛等，且需透過多次的測試作業才能瞭解科技儀器在不同天候與地形可能遭遇的問題，以利找尋解決的方法，以上因素也導致科技儀器於現場測試作業所需費用較高。由於本計畫是以海洋油污與海洋化學品污染擴散模擬作業為主，無法支付精密科技儀器之購置或租用費用，建議未來由海保署持續提供可提升海洋油污監控效能之相關儀器設備，以利研析科技技術應用於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業之能力，提供海保署未來建置科技技術偵測油污作業之參考依據。

### 3-5 配合辦理計畫相關行政作業

本案執行團隊於計畫執行期間會配合辦理計畫相關行政作業。

### 3-6 其他得標廠商應配合事項

113 年度計畫執行期間有關「其他得標廠商應配合事項」共有三項，相關執行內容如下說明。

#### 1. 廠商使用無人機部分應符合投標須知第 16 條第 4 項資安檢測規範

本案執行團隊有無人機操作的專業證照，在海保署許可需配合應作業期間進行操作無人機飛行作業，在無人機的使用與操作皆符合投標須知第 16 條第 4 項資安檢測規範。另外，金屬中心在無人機飛行操作可提供技術的支援，有利於油污染事件發生期間執行油污的監測作業，有助於取得海面上油污染影響範圍的監測影像。

#### 2. 辦理綠色採購作業

今(113)年度本案執行團隊於計畫執行期間配合辦理綠色採購作業，已完成總計 38,514 元的綠色採購，已達契約要求綠色採購約佔計畫執行總經費的 1%，圖 3-6-1 為經環境部核准製作的綠色採購證明。

#### 3. 減少使用免洗餐具及包裝飲用水等一次用產品

本案執行團隊已於 5 月 3 日、7 月 19 日、8 月 23 日在高雄辦理三場次的教育訓練研習課程，皆配合政府推動減少使用免洗餐具及包裝飲用水等一次用品等相關政策。

國立中山大學  
**113 年政府機關勞務/工程採購案  
綠色採購金額證明文件**

國立中山大學  
(機關代碼： 3.9.28-205)

承攬海洋委員會海洋保育署(A.47.2-0) - 「113年度海洋  
污染緊急應變模擬監測計畫」之綠色採購金額共計  
38,514.0 元，以茲證明。

- 下載日期： 113 年 11 月 8 日
- 招標單位可至「政府綠色採購網路申報系統」查詢申報  
單位申報成果

序號：DMU3QJX0TMLS

圖 3-6-1 綠色採購金額證明文件

(本頁空白)

## 第四章 結論與建議

### 4-1 結論

#### 1. 辦理海洋油污擴散模擬

今(113)年度計畫截至期末已完成氣象署海氣象預報資訊自動接引的作業，並轉換成油污染與或化學品污染模式可輸入之資料格式，此期間也執行 18 件的油污染擴散緊急應變與演練模擬案例。截至 12 月 31 日已完成 16 件，仍有 2 件持續執行緊急應變模擬。18 件案例截至 12 月 31 日共進行 793 次的緊急應變模擬作業，模擬結果也提供海保署進行油污染緊急應變作業之參考。

#### 2. 辦理海洋化學品污染擴散模擬

今(113)年度計畫截至期末雖未發生有化學品污染事件發生，但本案執行團隊也情境假設新竹與高雄外海發生化學品苯洩漏的事件，進行模擬苯在空氣中與水體中擴散的情況，並搭配環境部毒性化學物質針對苯所列的物質安全表，提供化學品緊急應變作業之參考。另外，今(113)年度本案執行團隊進行更新 CHEMMAP 軟體版本，並參與美國 RPS 公司進階版的教育訓練課程，藉此課程亦掌握 CHEMMAP 最新的功能與相關資訊。

#### 3. 推廣各單位使用海洋油污擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業

今(113)年度計畫採用美國 NOAA 官方採用的「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統，透過網路連線即可進行操作，並無限制上網使用的人數。本案執行團隊共辦理 3 梯次的教育訓練課程，並提供中文版操作手冊，有助於政府各機關熟悉「WebGNOME」的操作與規劃緊急應變演練之情境模擬作業。3 梯次的教育訓練課程報名踴躍，參加人數共計超過 79 人，學員們皆一致肯定課程內容與教學方式，並回饋透過教育訓練課程內容讓大家都獲益良多，更瞭解油污染緊急應變模擬作業以及如何應用在規劃緊急應變計畫。

#### 4. 運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他可提升海洋油污監控效能之技術

今(113)年度 7 月 11 日海保署舉辦一場非海難的實兵演練，模擬中油大林廠 2 號外海卸油浮筒輸油管線破裂導致海洋污染，結合各公私部門及 14 個海洋污染緊急應變作業專業團隊，並動員逾 200 人於第一時間組成污染清除應變團隊，驗證相關應變作業流程，所有團隊也默契的完成海上油污染應處演習。本案執行團隊也實際餐

與演練，並執行油污染擴散模擬作業與應用 X-band 雷達、「Pyxis LWIR」與「FLIR K65」等科技工具監測海面油污。此外，強烈颱風凱米造成凱塔(KETA)雜貨輪於臺南七股海岸擱淺案，本案執行團隊也配合海保署緊急應變作業至七股海岸進行油污監測作業。另外，本案執行團隊也研析無人機採水之技術，已初步完成無人機掛載採水瓶的設計與測試，可提供海保署未來在海洋污染緊急應變作業建置無人機採水技術之參考。

## 4-2 建議

### 1. 辦理海洋油污染擴散模擬

今(113)年度 7 月凱米颱風侵臺期間在 2 天內共造成 9 艘船擱淺在臺南至屏東海岸，本案執行團隊雖將油污染緊急應變擴散模擬作業程式進行優化，但緊急應變期間隨時因現場狀況變動需滾動式啟動模擬作業。本計畫目前編制 2 位專任助理，由於模擬作業數量多，且模擬條件會依據現場情況做變動須立即再次進行模擬作業，所以需日夜值勤進行模擬作業。未來建議海保署能增加 1 位專任助理，以因應異常氣候變遷造成大量油污染緊急應變模擬作業。

### 2. 辦理海洋化學品污染擴散模擬

今(113)年度計畫執行至 11 月 12 日雖未發生海洋化學品污染事件，但全球顧問公司預測至 2033 年海洋化學品船運輸量會持續成長 4.5%，而船舶裝載的化學品對海洋環境造成危害，若發生海洋化學品污染事件，對現場緊急應變作業人員會造成生命的威脅。目前開放源海洋化學品污染擴散數值模式尚未發展成熟，CHEMMAP 雖是商業公司 RPS 開發的軟體，但發展已超過 20 年且是一套成熟的海洋化學品污染擴散模式，可做為海洋化學品污染擴散緊急應變模擬作業的重要工具。有鑑於此，建議海保署每年持續訂閱 CHEMMAP 軟體，做為規劃海洋化學品污染緊急應變計畫與應變資材配置之重要參考依據。

### 3. 推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業

今(113)年度推廣各單位使用海洋油污染擴散模擬工具於海洋污染防治及應變演練及實務作業具有良好的成效，未來會針對各單位上課之意見與建議，持續修訂「WebGNOME」簡易網路版海洋油污染擴散模擬系統的操作說明手冊。

#### 4. 運用科技技術於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業，並研析其他可提升海洋油污監控效能之技術

科技研析油污監測作業相關儀器設備皆屬精密儀器，現場作業也需搭配人力、無人機、製作相關硬體設備、以及運輸車輛等，且需透過多次的測試作業才能瞭解科技儀器在不同天候與地形可能遭遇的問題，以利找尋解決的方法，以上因素也導致科技儀器於現場測試作業所需費用較高。由於本計畫是以海洋油污染與海洋化學品污染擴散模擬作業為主，無法支付精密科技儀器之購置或租用費用，建議未來由海保署持續提供可提升海洋油污染監控效能之相關儀器設備，以利研析科技技術應用於重大海洋污染事件緊急應變油污監控作業之能力，提供海保署未來建置科技技術偵測油污作業之參考依據。

(本頁空白)

## 參考文獻

1. Asadzadeh, S., de Oliveira, W. J., and de Souza Filho, C. R. (2022). UAV-based remote sensing for the petroleum industry and environmental monitoring: State-of-the-art and perspectives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, 109633.
2. Beegle-Krause, C. J. (2001). General NOAA oil modelling environment (GNOME): A new spill trajectory model, in *Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference*, 2, 865-871.
3. Benson, J., Hanlon, R., Seifried, T. M., Baloh, P., Powers, C. W., Grothe, H., & Scgmale, D. G. (2019). Microorganisms collected from the surface of freshwater lakes using a Drone Water Sampling System (DOWSE). *Water*, 11(1).
4. Beegle-Krause, C. J. (2018). Challenges and mysteries in oil spill fate and transport modeling, *Oil Spill Environmental Forensics Case Studies*, 187-199.
5. Castendyk, D., Voorhis, J., & Kucera, B. (2020). A validated method for pit lake water sampling using aerial drones and sampling devices. *Mine Water and the Environment*, 10.1007.
6. Chiu, C.M., Huang, C.J., Wu, L.C., Zhang, Y.J., Chuang, L.Z., Fan, Y.M., Yu, H.C. (2018). Forecasting of oil-spill trajectories by using SCHISM and X-band 雷達, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 137, pp. 566-581.
7. Chiu, C. M., Chuang, L. Z. H., Chuang, W. L., Wu, L. C., Huang, C. J., & Zhang, Y. J. (2023). Utilizing Numerical Models and GIS to Enhance Information Management for Oil Spill Emergency Response and Resource Allocation in the Taiwan Waters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(11), 2094.
8. Chuang, L. Z. H., Chiu, C. M., Doong, D. J., Huang, C. C., Wu, L. C., Fan, Y. M., ... & Zhang, Y. J. (2021). Risk Assessment and Emergency Response Strategy of Oil Spills in Waters around Taiwan, *Marine Research*, 1(1), 87-100.
9. Fernandes, R., Necci, A., & Krausmann, E. (2022). of hazardous substances in floodwaters for RAPID-N.
10. Fingas, Merv, ed. (2014). *Handbook of oil spill science and technology*, John Wiley & Sons, Inc.

11. He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J., (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition, 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 770-778.
12. Horricks, R. A., Bannister, C., Lewis-McCrea, L. M., Hicks, J., Watson, K., & Reid, G. K. (2022). Comparison of drone and vessel-based collection of microbiological water samples in marine environments. Environmental Monitoring and Assessment, 194(439).
13. ITOPF. (2014). TIP 01: Aerial Observation of Marine Oil Spills, Technical Information Paper.
14. ITOPF. (2014). TIP 02: Fate of Marine Oil Spills, Technical Information Paper.
15. Mellor, G.L., Yamada, T. (1982). Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, Reviews of Geophysics, 20, pp. 851-875.
16. NOAA (1992). Shoreline Countermeasures Manuals - temperate coastal environment, Hazardous Materials Response & Assessment Division.
17. NOAA, (2002). GNOME User's Manual, NOAA's Office of Response and Restoration (OR&R).
18. North, E.W., Hood, R.R., Chao, S.Y., and Sanford, L.P. (2006). Using a random displacement model to simulate turbulent particle motion in a baroclinic frontal zone: A new implementation scheme and model performance tests, Journal of Marine Systems, 60, pp. 365-380.
19. North, E.W., Adams, E.E., Schlag, Z., Sherwood, C.R., He, R., Hyun, K. H., and Socolofsky, S.A. (2011). Simulating oil droplet dispersal from the Deepwater Horizon Spill with a Lagrangian approach, Monitoring and Modeling the Deepwater Horizon Oil Spill: A Record-Breaking Enterprise, pp. 217-226.
20. Chuang, L. Z.-H., Chiu, C.M., Doong, D.-J.. Huang, C.-C., Wu, L.-C., Fan, Y.-M., Huang, C.J., Zhang, Y. J. (2021). Risk Assessment and Emergency Response Strategy of Oil Spills in Waters around Taiwan, Marine Research 2021/12, Vol.1. Iss.1, 87-100, DOI: 10.29677/MR.202112\_(1).0005.
21. Koparan, C., & Koc, A. B. (2016). Unmanned aerial vehicle (UAV) assisted water sampling. 2016 ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers) Meeting, 162461157.

22. Koparan, C., Koc, A. B., Privette, C. V., Sawyer, C. B., & Sharp, J. L. (2018). Evaluation of a UAV-assisted autonomous water sampling. *Water*, 10(5).
23. Lau, T. K., & Huang, K. H. (2024). A timely and accurate approach to nearshore oil spill monitoring using deep learning and GIS. *Science of The Total Environment*, 912, 169500.
24. Ore, J.-P., Elbaum, S., Burgin, A., & Detweiler, C. (2015). Autonomous aerial water sampling. *Field and Service Robotics*, 32(8), 1095-1113.
25. Rodi, W. (1984). Turbulence models and their applications in hydraulics: a state of the art review, International Association for Hydraulics Research, Delft, The Netherlands.
26. Roland, A.; Zhang, Y.J.; Wang, H.V.; Meng, Y.; Teng, Y.-C.; Maderich, V.; Brovchenko, I.; Dutour-Sikiric, M.; Zanke, U. (2012). A fully coupled 3d wave-current interaction model on unstructured meshes. *J. Geophys. Res.: Oceans*, 117(C11), pp. 1–18.
27. Ryu, J. H. (2022). UAS-based real-time water quality monitoring, sampling, and visualization platform (UASWQP). *HardwareX*, 11, e00277.
28. Schloen, J.; Stanev, E. V.; Grashorn, S. (2017). Wave-current interactions in the southern North Sea: The impact on salinity, *Ocean Modelling*, 111, pp. 19-37.
29. Song, K., Brewer, A., Ahmadian, S., Shankar, A., Detweiler, C., & Burgin, A. J. (2017). Using unmanned aerial vehicles to sample aquatic ecosystems. *ASLO Limnology and Oceanography*, 15(12), 1021-1030.
30. Terada, A., Morita, Y., Hashimoto, T., Mori, T., Ohba, T., Yaguchi, M., & Kanda, W. (2018). Water sampling using a drone at Yugama crater lake, Kusatsu-Shirane volcano, Japan. *Earth Planets Space*, 70(64).
31. Umlauf, L., Burchard, H. (2003). A generic length-scale equation for geophysical turbulence models, *Journal of Marine Research*, 6, pp. 235-265.
32. Visser, A.W. (1997). Using random walk models to simulate the vertical distribution of particles in a turbulent water column, *Marine Ecology Progress Series*, 158, pp. 275-281.
33. Wang, M., Yang, J., Liu, S., Zhang, J., Ma, Y., & Wan, J. (2023) Quantitative Inversion Ability Analysis of Oil Film Thickness Using Bright Temperature Difference Based on Thermal Infrared Remote Sensing: A Ground-Based Simulation Experiment of Marine Oil Spill, *Remote Sensing*, 15(8), pp. 2018.

34. Wilcox, D.C. (1998). Reassessment of scale determining equation for advance turbulence models, AIAA Journal, 26, pp. 1299-1310.
35. Yu, H. C., Zhang, Y. J., Jan, S., Yu, J. C., Chu, C. H., Terng, C. T., & Chiu, C. M. (2024). Internal Tides Reverse Tidal Currents Around Southern Taiwan. Journal of Geophysical Research: Oceans, 129(8), e2024JC020897.
36. Zelenke, B., O'Connor, C., Barker, C. H., Beegle-Krause, C. J., & Eclipse, L. (2012). General NOAA operational modeling environment (GNOME) technical documentation.
37. Zhang, Y.J., Baptista, A.M., (2008). SELFE: a semi-implicit Eulerian–Lagrangian finite element model for cross-scale ocean circulation. Ocean Model 21, pp. 71–96.
38. Zhang, Y.J., Ateljevich E., Yu H.C., Wu C.H., Yu J.C.S. (2015). A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model, Ocean Modelling, 85, pp. 16-31.
39. 李啓瑞，2017，應用 SCHISM 模式探討臺灣近岸海流之特性，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。
40. 邱啓敏、黃清哲、莊士賢、范揚洺、吳立中，2018，SCHISM 及 GNOME 油污擴散模式應用於臺灣近岸海域油污染的預測，海洋工程學刊，第 18 卷，第 2 期，第 87-119 頁。
41. 邱啓敏、莊士賢、董東璟、吳立中、范揚洺、黃清哲，2021，應用衛星與航空偵測油污技術滾動式預測海域油污擴散，第 43 屆海洋工程研討會論文集，第 268 頁-第 273 頁。
42. 黃暄穎、張君名、張志新，(2016) ，船舶擋淺引致近岸油汙染衝擊評估 -以德翔台北事件為例，105 年天氣分析與預報研討會，A5-9，交通部中央氣象署。
43. 張智華、李念勳、姜昀瑄 (2022)，以無人載具探討應用於水環境監測採樣之適法性研究，科技部補助產學合作研究計畫精簡報告，計畫編號：111-2622-E-006-016.