

應用衛星與航空偵測油污技術滾動式預測 海域油污擴散

邱啓敏^{1*} 莊士賢² 董東璟³ 吳立中⁴ 范揚洺⁵ 黃清哲⁶

^{1*}國立成功大學近海水文中心博士後研究

²國立成功大學海洋科技與事務研究所副教授

³國立成功大學水利及海洋工程學系教授暨近海水文中心主任

⁴國立成功大學近海水文中心副研究員

⁵國立成功大學近海水文中心計畫經理

⁶國立成功大學水利及海洋工程學系教授

摘要

開放海域若發生油污污染事件，油污擴散範圍受到風與海流的作用力會快速擴散，為了全面監控海面上油污污染擴散範圍，需藉由衛星影像以及航空偵測油污技術取得海面上大範圍的油污污染分佈狀況，再透過海洋流體動力數值模式、氣象數值模式、油污污染擴散數值模式滾動式進行預測未來油污漂移軌跡與擴散範圍。本文以 2021 年 6 月 22 日高雄大林外海洩油事件為例，收集海洋保育署提供的衛星影像以及航空偵測油污污染擴散範圍，輸入至油污污染擴散數值模式做為模擬之初始條件，再以中央氣象局預報的海氣象資料，滾動式進行預測油污污染未來在時空擴散的情況，其模擬結果皆與海洋保育署現地調查結果相符。油污污染發生初期之緊急應變計畫需結合不同科技技術與工具，才能較精確的掌握油污污染擴散的動向，以期能在最短時間內動員各種工具來控制油污污染的擴散，可減少油污污染對海洋環境的衝擊。本文的研究結果可提供政府機關或相關單位在進行油污污染緊急應變計畫與策略調整之參考。

關鍵詞：油污偵測、衛星、飛機、數值模式、滾動式預測

Application of Remote Sensing in Detection and Rolling Forecast of Marine Oil Spills

Chi-Min Chiu^{*} Laurence Z.H. Chuang Dong-Jiing Doong Li-Chung Wu
Yang-Ming Fan Ching-Jer Huang

^{*} Postdoctoral, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

ABSTRACT

The oil spill diffusion will be faster under the force of wind and ocean currents when the oil spill event occurred in the open sea. In order to comprehensively monitor the diffusion of spilled oil on the sea surface, satellite and aerial remote sensing can be used to detect the diffusion area of spilled oil. In addition, rolling forecasts the oil spill trajectory and diffusion using numerical models of ocean hydrodynamic, meteorological, and oil spill. This study adopted the oil spill event off the Kaohsiung coast on June 22, 2021 as a case study. In this study, oil-spill diffusion area was detected by the satellite images and the aerial photography that provided by the Ocean Conservation Administration. Forecasting of ocean current and wind were provided by the Central Weather Bureau. This data can be used as inputs to the oil spill model for rolling forecast the diffusion of spilled oil in future. The forecast results are also consistent with the on-site survey results of the Marine Conservation Administration. Emergency response plans in the early stage of oil spill require a combination of different technologies

and tools in order to accurately forecast the diffusion area of oil spill for reducing the impact of oil spills on the marine environment. Consequently, the result of this study can provide as a reference for government agencies or related units to plan and respond for effective oil spill emergency response plans and strategic adjustments.

Keywords: Oil spill detection; Satellite; Aircraft; Numerical model; Rolling forecast

一、前言

臺灣自民國 89 年開始施行海洋污染防治法後，二十年來本國海域歷經多次的油污染事件，環保署與各機關持續改進油污染的相關應變處理機制，目前已臻完備。在法制面也進行過多次的調整與修正，譬如：民國 106 年 1 月 3 日修訂「重大海洋油污染緊急應變計畫」（簡稱應變計畫），內容提及因海難事件導致海洋污染發生，由交通部開設海難災害應變中心，統籌應變處理及執行油污染應變；而非因海難事件導致海洋污染發生，則由行政院環境保護署（簡稱環保署）依應變計畫內容執行應變。民國 107 年 4 月 28 日又因海洋委員會及所屬機關海洋保育署（簡稱海保署）成立，於民國 109 年 6 月 29 日海洋污染防治管轄權由環保署改為海洋委員會（海保署網頁）。

依據應變計畫中洩油量的分類共有三種，如洩油量未達一百公噸屬於第一級的小型外洩事件，洩油量達一百公噸至七百公噸屬於第二級的中等程度外洩事件，洩油量逾七百公噸屬於第三級的重大外洩事件。如發生任一種洩油量之洩油事件，皆會依據不同層級成立「油污染緊急應變中心」，由海委會招集相關部會進行緊急應變，以及時有效獲得各項人力與設備資源。近十年來在環保署與海保署的努力之下，已建立一套完整海域油污染緊急應變計畫，計畫中也建置衛星與航空等科相關技方式進行偵測海面上油污染擴散範圍，偵測結果可以提供電腦數值模式滾動式的進行預測油污染漂移軌跡與擴散範圍，可提供緊急應變策略調整之參考，希望能在最短時間控制海域油污染的影響範圍，以減少對海域環境的衝擊與影響。

今 110(2021)年 6 月 22 日高雄大林外海發生洩油事件，油污染漂移擴散至小琉球與與恆春地區，在油污染事件發生初期，海保署即應用如衛星、直昇機、UAV 無人機等各種科技方法，分別在不同時間進行偵測海面上油污染擴散範圍，以掌握油污染

對海域的影響範圍。如將海保署應用科技方法偵測到的油污染擴散範圍輸入油污染擴散數值模式，做為油污染擴散模擬的初始洩油條件，再搭配海氣象數值模式預測的風與海流，即可提升油污染漂移軌跡與擴散範圍預測的精度。

有鑒於此，本文即以海保署在高雄大林外洩油事件應用科技追查方法偵測的油污染擴散範圍，作為的油污染擴散模式輸入的洩油初始條件，油污染漂移擴散的驅動力則以中央氣象局海氣象數值模式預測的海氣象資料做為輸入條件，透過模擬可得知油污染在海面上擴散的影響範圍，模擬結果可提供油污染緊急應變策略調整之參考依據，以期未來若發生油污染事件時能將油污染的災害降至最小。

二、研究方法

本文在油污染擴散數值模式則採用美國 NOAA 的油污擴散模式 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) 所發展的油污擴散模式。GNOME 模式也常被全世界應用在實際海域油污染擴散模擬及油污染相關學術研究上，邱等人(2018)曾應用 GNOME 預測臺灣近岸海域油污染的擴散。

海面上油污染擴散及漂移的驅動力主要是風與海流，因此掌握風與海流的變化趨勢才能進一步模擬油污染擴散及漂移方向。本文研究案例採用的海氣象預測資料是來自中央氣象局，在氣象模式是採用新一代的中尺度數值天氣預報系統 WRF(Weather Research and Forecasting) (Hong et al., 2020)，海流模式是採用美國 VIMS(Virginia Institute of Marine Science)發展的 SCHISM(Semi-implicit Cross-scale Hydrosience Integrated System Model)三維跨尺度海洋數值模式(Zhang et al., 2015)。SCHISM 模式也成功應用在 2016 年「德翔台北」油污事件(Chiu et al., 2018)。

本文研究案例即結合油污擴散數值模式 GNOME、氣象數值模式 WRF、海流數值模式 SCHISM 等模式進行初始洩油的油污擴散模擬，之後再以海保署應用科技追查方法偵測得到的海面上油污擴散範圍，滾動式輸入至 GNOME 模式做為初始洩油的條件，並更新海氣象預測條件進行二次的油污擴散模擬。藉由本文的方法可進一步探討如何提升海域油污擴散模擬的精度，以提供油污污染緊急應變策略調整之依據。

三、油污擴散模擬結果與討論

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。

本文依據上述資訊，以及海保署以遙測科技方法追查到的油污擴散範圍等資訊，來設定數值模擬參數，並進行二次的油污擴散模擬。第一個案例(0622-1)的初始溢洩油模擬參數設定如表 1，溢洩油地點為北緯 22° 29' 46.6" 及東經 120° 16' 40.5"；初始溢洩油時間為 2021 年 6 月 22 日 02:00；油品為 Medium Crude；總洩油量为 50 公秉；溢洩方式為持續溢洩 30 分鐘；模擬時間為 72 小時；預測風場來自中央氣象局 WRF 模式；預測流場來自中央氣象局 SCHISM 模式。

圖 1 為洩油事件初始時間 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 2 為洩油事件初始時間 SCHISM 模式預測 6 月 22 日 02:00 臺灣西南海域的流場，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。

圖 3 為海保署提供 6 月 23 日 18:00 由衛星影像偵測海面上油污擴散分佈情況，由圖中可知油污污染影響範圍在小琉球南方至屏東車城外海海域，估

算油污污染在海面上分佈的面積約有 290 平方公里。圖 4 為 GNOME 模式預測溢洩油發生後 40 小時後油污擴散的範圍，圖中綠色圓點為顯示漂浮在海面上的油污，紅色圓點為顯示黏附在岸邊的油污，紅色線條圈選出的不規則範圍是來自圖 3 中疑似油污的邊界線。模擬結果顯示油污除了影響小琉球北邊漁福漁港至烏鬼洞的海岸，海面上油污擴散範圍也繼續往南邊海域擴散漂移至屏東縣枋山鄉外海離岸約 20 公里處。此影響範圍與海保署應用衛星科技追查到的油污擴散範圍(圖 3)之比較，顯示油污污染皆有分布在小琉球以南至屏東縣車城外海的海域，但數值模式預測的污染範圍更接近位於北方的污染源，且預測的污染範圍比衛星所辨識出的範圍略小。

表 1 0622-1 高雄大林外海溢洩油事件模擬參數

參數名稱	參數設定
溢洩位置	Latitude: 22° 29' 46.6" N Longitude: 120° 16' 40.5" E
初始溢洩時間	2021/06/22 02:00
溢洩油品	Medium Crude
總洩油量	50 公秉
溢洩方式	持續溢洩 30 分鐘
預測風場	CWB-WRF
預測流場	CWB-SCHISM
模擬時間	72 小時

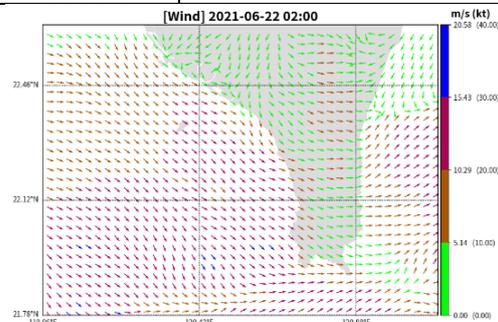


圖 1 CWB-WRF 預測 6 月 22 日 02:00 的風場

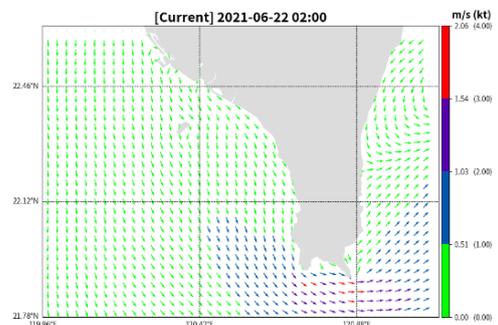


圖 2 CWB-SCHISM 預測 6 月 22 日 02:00 的流場

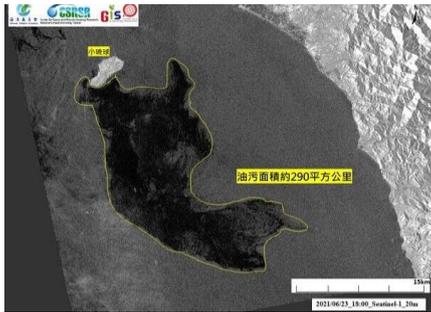


圖 3 海保署提供 6 月 23 日 18:00 衛星影像顯示海面上疑似油污的擴散分佈範圍

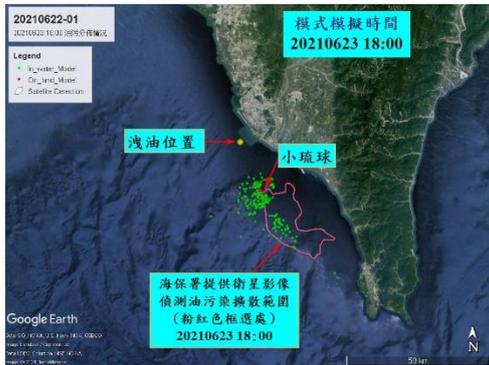


圖 4 0622-01 案例發生洩油 40 小時後油污染在海面上分佈情況

圖 5 為自開始溢洩油後經歷 40 小時的油污染漂移軌跡歷程，由模擬結果得知油污在開始溢洩時受到風與海流左作用即往小琉球方向漂移，並未往高雄海岸漂移擴散，油污約在 6 月 22 日 15:00 碰觸到小琉球北邊的海岸；由圖 5 的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。

表 1 之洩溢油初始發生時間是在凌晨 02:00，有可能油污被發現前就已洩漏，因此洩溢油真正開始時間是有可能更早。據此我們認為更長的持續溢洩時間會導致更多洩溢油量，因此我們的油污模擬結果應會更往東南方漂移擴散，污染範圍也會更大，而與衛星影像辨識出的範圍會更相符合。

圖 6 為第一個案例發生洩油後 72 小時期間油污風化數量的變化趨勢，圖中綠色點線表示水面上油污，紅色點線顯示抵達岸邊油污，藍色點線表示蒸發與分散的油污。圖中水面上油污與抵達岸邊油污的變化趨勢顯示，油污染約在 6 月 22 日 16:00 至 6 月 23 日 10:00 抵達小琉球周圍海岸的數量明顯增加，此結果表示油污染在這段期間會影響到小琉球的海岸。在模擬經歷 72 小時後的油污數量變化趨

勢來看，水面上油污數量自初始溢洩的 50 公秉至模擬結束剩下 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，但最後僅剩 4.5 公秉；蒸發與分散的油污數量共 19.4 公秉。

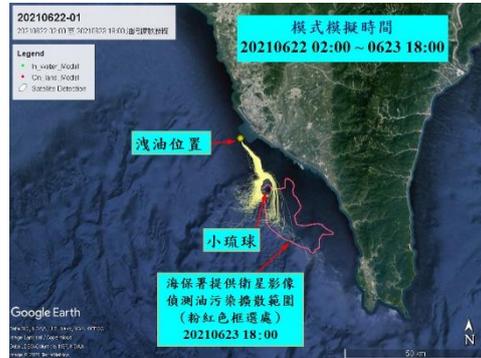


圖 5 0622-01 案例發生洩油 40 小時後油污染在海面上漂移軌跡的歷程

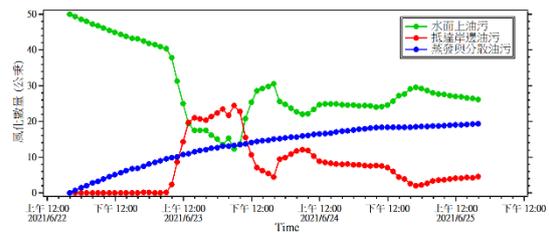
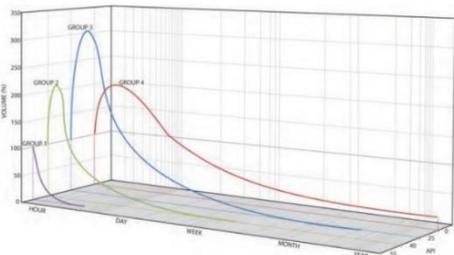


圖 6 0622-01 案例發生洩油 72 小時後油污染風化數量變化趨勢

真實溢洩油事件需要即時更新各項資料，並依據更新資料滾動式進行預測未來油污污染擴散的情況。有鑑於此，第二個案例即依據海保署提供的衛星影像所辨識出的海面上油污染分佈範圍做為初始模擬的條件，海氣象資料也持續收集及更新中央氣象局最新的預測資料。第二個案例(0622-2)之模擬參數設定如表 2，洩油位置是依據圖 3 的海面上油污染擴散分佈範圍；洩油時間為 2021 年 6 月 23 日 18:00；油品為 Medium Crude。

圖 7 為 ITOPF(2014) 研究不同油品在海面上經乳化作用後體積變化率的結果，此次洩油油品較偏向"Group 3"的油品特性，此類型油污如溢洩在海面上，受到波浪作用會在幾小時內經乳化作用後海面上產生的油污體積會較原溢油量增加為 3 倍，但在二星期後海面油污體積會降至原溢油量的 50% 以下。表 3 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，經收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

為彩虹色且呈現分散的情況，而 Medium Crude 原油的比重約 0.85，因此依據衛星影像分析得出的油污染擴散範圍，初略估算總洩油數量約有 60 公秉；溢洩方式為瞬間，模擬時間為 72 小時，預測風場來自中央氣象局 WRF 模式，預測流場來自中央氣象局 SCHISM 模式。



資料來源：ITOPF-TIP-02(2014)

圖 7 不同油品在海面上經乳化作用後體積變化率

表 2 0622-2 高雄大林外海洩油事件模擬參數

參數名稱	參數設定
溢洩位置	依據圖 3 衛星影像偵測海面上油污染擴散分佈範圍
初始溢洩時間	20210623-18:00
溢洩油品	Medium Crude
總洩油量	60 公秉
溢洩方式	瞬間
預測風場	CWB-WRF
預測流場	CWB-SCHISM
模擬時間	72 小時

表 3 海面上油污體積估算方式

顏色	大約厚度(mm)	大約體積(m³/km²)
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-01(2014)

以 GNOME 模式滾動式進行第 2 次油污染擴散模擬，圖 8 為模擬洩油 51 小時後(6 月 26 日 06:00)油污染在海面上分佈情況，模擬結果顯示油污染已抵達屏東縣車城鄉海生館附近的海岸，且車城鄉外海仍有油污的分佈；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到的油污染擴散分佈範圍，此結果亦驗證模擬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 9 為顯示模擬在洩油 55 小時後(6 月 26 日 10:00)油污染在海面上分佈情況，由模擬結果顯示油污染影響範圍更廣，已抵達車城鄉與恆春鎮的海岸，並沿著海岸擴散至恆春鎮貓鼻頭海岸，有少許油污染抵達鵝鑾鼻的海

岸。圖 10 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佈的情況，由空拍照片顯示海面上有分散的油污染漂浮在海面上，由此可驗證圖 9 模擬油污染漂移方向與實際勘查結果也是吻合的。

圖 11 為第二個案例發生洩油後油污染風化數量之變化趨勢，在模擬經歷 72 小時後，水面上油污數量自開始溢洩的 60 公秉至模擬結束剩下 16.3 公秉；抵達屏東車城鄉至恆春鎮岸邊的油污數量約 20.3 公秉；蒸發與分散的油污數量共用 23.3 公秉。

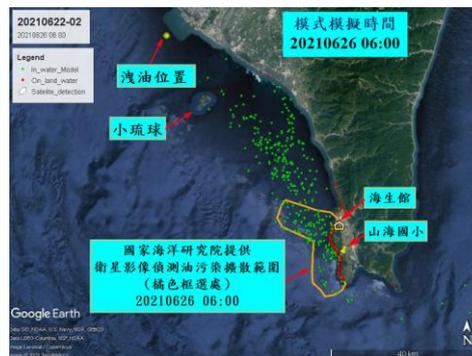


圖 8 0622-2 案例發生洩油 51 小時後油污染在海面上分佈情況

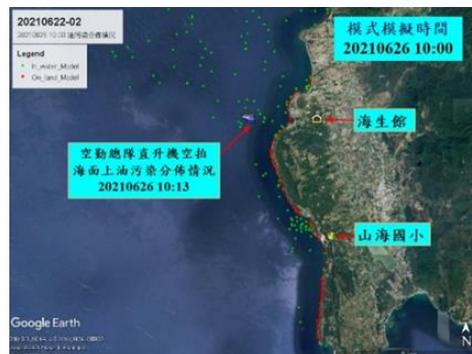


圖 9 0622-2 案例發生洩油 55 小時後油污染在海面上分佈情況



圖 10 海保署提供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佈情況

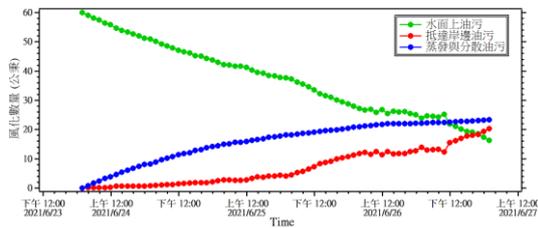


圖 11 0622-2 案例發生洩油 72 小時後油污染風化數量變化趨勢

四、結論與建議

6 月 22 日高雄大林外海洩油事件發生時間是在凌晨，在夜晚漆黑的大海上無法像白晝一樣能在最短的時間內確認油品溢洩出海面上之面積與時間，所以第一次油污染模擬條件的溢洩油位置是輸入單一洩油點；但在經歷一段時間受到風與海流的作用，油污染即快速擴散演變成一個範圍，後續需滾動式修正油污染模擬條件，如洩油位置則需輸入一個範圍的油污染面積。

本文第一個案例初始洩油量與發生時間是依據海保署及媒體資訊來作為油污擴散模擬的輸入條件，可能與實際數值有所不同，因此模擬結果與衛星影像中的油污分佈範圍會有差異，但油污漂移方向相當一致。第二個案例本文依據衛星影像辨識的油污分佈範圍為起始條件，進行油污擴散模擬，漂移方向及分布範圍的預測結果雖與國海院應用遙測科技勘查到油污結果相符；但經由海保署空拍照片顯示油污染在屏東縣車城鄉至恆春鎮海域的油污染面積與第二次模擬結果會有差異，此結果可由圖 3 衛星影像標示油污染範圍內顏色有深淺之差異，可能是洩油事件發生期間正值梅雨鋒面通過導致天候狀況不佳，所以可能會影響衛星影像偵測的結果，因此若依據衛星影像辨識的油污擴散範圍滾動式進行模擬，就會造成海面上油污擴散影響的範圍較大。

本文研究模擬油污染擴散範圍結果雖與海保署現地勘查實際情況有些許差異，但油污漂移方向是吻合的。藉由本文研究成果可知，透過海委會所屬單位應用各種科技方式偵測到的海面上油污染擴散資訊，可輸入至油污擴散數值模式，滾動式地進行油污染未來漂移方向與擴散範圍之預測，確實可有效提升預測結果的精度，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，得以在最短的時間將油污染影響範圍控制住，以減少油污染對海洋環境與生態的衝擊。

謝誌

本文的油污染(影像)資訊來源係海委會所屬的海保署及國海院在 6 月 22 日高雄大林洩油事件期間應用多種科技方式取得的現場實際油污染相關資訊；油污染擴散模擬所需的流場與風場則來自中央氣象局提供之海氣象預報資料，承蒙海委會與中央氣象局提供之資訊使本研究結果更臻完善，謹致謝忱。

參考文獻

1. 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.
2. Chiu, C. M., Huang, C. J., Wu, L. C., Zhang, J. Y. L., Chang, L. Z. H., Fan, Y. M., Yu, H. C. (2018) Forecasting of oil-spill trajectories by using SCHISM and X-band radar, *Marine Pollution Bulletin*, 137, 566-581.
3. Hong, J. S., Chen, W. J., Chen, Y. J., Jiang, S. Y., & Fong, C. T. (2020) Impact of FORMOSAT-7/COSMIC-2 RO on High-Resolution Hybrid 3DnVar System at Central Weather Bureau of Taiwan, In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 4161.
4. ITOPF. (2014) Aerial Observation of Marine Oil Spills, *Technical Information Paper-01*.
5. ITOPF. (2014) Fate of Marine Oil Spills, *Technical Information Paper-02*.
6. Zhang, Y., Ateljevich, E., Yu, H.C., Wu, C.H., and Yu, J.C.S. (2015). A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model. *Ocean Modelling*, 85, 16-31.
7. 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。