

東海溢油模擬與案例分析

The Oil Spill Simulation and a Case Study in East China Sea

周琬琰 (Chou Wan Rong)^①、蕭士俊 (Shih-Chun Hsiao)^②、阮氏紅章 (Thi-Hong-Hanh Nguyen)^③、蔡加正 (Chia-Cheng Tsai)^{④*}、侯典轟 (Tien-Hung Hou)^⑤

摘要

海上漏油事件的發生對海洋生態來說無疑是一場浩劫，除了對海洋生物造成災難性的傷害，也伴隨著對社會和經濟方面的損失。因此運用數值模式的計算，可以在緊急情況下提供適當的決策或措施，這使得數值模擬成為有用且必要的工具。本文研究主要係以開發一個整合的數值模式，以普林斯頓海洋模式 (POM) 來計算出海水的流速、鹽度與溫度，再以 OpenOil 模式計算溢油的軌跡與其宿命。本文模擬 2018 年 1 月一艘伊朗籍的桑吉號油輪 (Sanchi) 之漏油事件，本研究透過數值模式測試與驗證，以及與衛星資料比對結果顯示，預測油污軌跡擴散結果與實際油污時間與空間分布吻合。往後油污事件發生時，本模式將可提供即時污染擴散分布及資料調度之參考資訊。

關鍵字：溢油模式、桑吉輪、普林斯頓海洋模式

Abstract

The occurrence of the oil spill at sea is undoubtedly a catastrophe for marine ecology, not only to the catastrophic damage to marine life, but also with social

① 國立成功大學，水利及海洋工程學系博士生。

② 國立成功大學，水利及海洋工程學系教授。

③ 國立高雄科技大學，海事學院海事科技產學合作博士班博士。

④* 通訊作者，國立高雄科技大學，海洋環境工程系教授；聯絡地址：811 高雄市楠梓區海專路 142 號，國立高雄科技大學海洋環境工程系；E-mail: tsaiachiacheng@gmail.com。

⑤ 國立高雄科技大學，海洋環境工程系博士後研究員。

and economic losses. Therefore, the calculations of numerical model can provide appropriate decisions or measures in emergency situations, which makes it a useful and necessary tool. The main objective of this work is to develop an integrated model in which we apply the Princeton Ocean Model (POM) to determine the current data including seawater velocity, salinity, and temperature and obtain the fate and trajectory of spilled oil using OpenOil. The oil spill of an Iranian tanker (Sanchi) in January 2018 was simulated, and the numerical model of this study was tested and verified. The comparison results show that the predicted oil trajectory diffusion results agree with the actual oil pollution time and space distribution. When an oil pollution event is expected in the future, this integrated model can provide accurate real-time pollution diffusion distribution and data scheduling information.

Keywords: Oil spill mode, Sanchi, Princeton Ocean Model (POM)

壹、前言

1.1 研究動機

隨著全球化的發展，海運也成為經濟發展中最頻繁的運輸工具，依據聯合國貿易及發展委員會 (United Nations Conference on Trade and Development, UNCTAD) 之統計，從 1990 到 2012 年，全球 GDP 成長近 2 倍，其中全球海運貨載重量則成長了 2.3 倍，與此同時，造成的海洋污染也日益增加 (如下表 1)，因此國際間日益重視這個問題，並於 1973 年制定出「防止船舶國際污染國際公約」(International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL)，該公約是國際海事組織針對海上船舶因例行作業產生之故意

性油類物質污染行為，並設法減少船舶因意外事故或操作疏失所形成之偶發性污染行為所制定之國際公約。在各種國際公約的約制上的確大幅降低了船舶油污染的事件，但是隨著科技的發展，船舶的噸位也越來越大，所能裝載的燃油或原油也相對提高，因此只要偶發一次疏漏，對環境與生態造成的傷害是短時間無法恢復的，因此減少意外的發生以及意外發生後的即時救援成為近日船舶溢油事件的重要課題。

1.2 研究目的

在過去的三十年有許多溢油模式的演變及其在支持溢油應急反應和影響評估的應用程序被提出 Spaulding (2017)。早期大部分的模型都是二維的，可以模擬出一些簡易的步驟 (Reed et al., 1999)。這些

表 1 重大海洋油污染事件綜整表

項次	日期	事故名稱	油品	油量 (噸)
1	1967 年 3 月	托雷峽谷油輪觸礁漏油事故	原油	12 萬
2	1978 年 3 月	阿莫科 - 卡迪茲油輪觸礁漏油事故	原油	23 萬
3	1979 年 7 月	大西洋女皇號和愛琴海船長號相撞漏油事故	原油	28.7 萬噸
4	1988 年 11 月	油輪奧德賽號遭遇風暴，船身斷裂	原油	13.2 萬噸
5	1989 年 3 月	瓦爾德斯號油輪擱淺漏油事故	原油	5 萬噸
6	1996 年 2 月	海上女王號觸礁漏油事故	輕原油	6.5 萬噸
7	2002 年 11 月	威望號油輪遇風暴船體破裂	原油	2.5 萬噸
8	2005 年 4 月	阿提哥油輪觸礁擱淺，底部破損	原油	12 萬噸
9	2010 年 4 月	神能一號於昆士蘭海域擱淺	重油	950 噸
10	2018 年 1 月	桑吉輪與長峰水晶號相撞	燃油	2 萬噸

通常是簡單但不太精確的方法。然而近幾年，我們對石油的運輸和溢油的情形有更多的瞭解，因此在大氣和海洋模式，其提供了溢油模型更精確的模型輸入的改進以及計算機的發展使洩漏模式能夠有效地產生複雜的模擬。當前溢油模型的實例包括 ADIOS, GNOME, SLROSM, GULFSPILL, MOTHY, OILMAP (also with SARMAP), SIMAP, OSCAR, MEDSLIK, MEDSLIK-II, POSEIDON-OSM, OILTRANS, SEATRACK WEB。它們大多是商業軟件，因此用戶端視無法做修改或是更動原始的程式部分，因此本研究透過結合現有的資料包括風場、潮流、油的物理及化學性質分析等數據，發展出一組開源程式碼的整合模式，以期在使用上面能更彈性及便利。

1.3 文獻回顧

溢油擴散預測模中，主要的機制需

考慮到海面上溢油之油品特性，受到海流與風於海水中傳輸、擴散、擴展、蒸發、捲吸、乳化以及水陸交界的黏附與回刷等物理、化學過程 (ASA, 1997)，藉由使用者輸入洩油發生時間與地點，洩油時間以及油品相關參數，來計算出相對應的結果，早期所開發的溢油模式僅能簡單的模擬油團移動的過程，近代發展出多元分子軌跡及三維空間計算，大幅增加計算的精確性。Shiau and Tsai (1994) 與 Shiau et al. (1998) 應用拉格朗離散方法 (Lagrangian discrete parcel method) 發展海面溢油模式，模擬水面上各個小油塊經過擴展作用 (spreading)、風導流及潮導流及擾流 (turbulent drift velocity) 影響、揮發及溶解作用與海岸的交互作用等關係條件，以得知海面油塊的行進方向。劉正琪等人 (2003) 針對基隆海域之海、氣象特性建立一個結合海域水動力及溢油擴散模

擬之數值模擬系統，且能準確且有效地模擬基隆海域溢油污染之流向及擴散範圍。Chao et al. (2001) 則發展三維溢油模式來計算模擬海面浮油的移動軌跡與水體中油粒子分布的濃度，並實際應用於新加坡海域溢油擴散的模擬，其溢油機制主要考慮擴展 (spreading)，驅動力來自重力、慣性力、黏滯力與表面張力、對流與水平擾動擴散 (advection and horizontal turbulent diffusion)，驅動力來自風導流與潮導流、揮發與溶解作用及垂直擴散 (vertical dispersion，來自海面碎波與水下擾動因素)，此外，當浮油漂移到岸邊時，岸邊沉積與再洗入作用 (re-entrainment) 亦均被考慮於模式中。

貳、模式介紹

2.1 普林斯頓海洋模式

本文使用的海流模式為普林斯頓海洋模式 (Princeton Ocean Model, POM)，該模式自 Blumberg and Mellor (1980) 提出該海洋模型以來，發展至今，歷經多年諸多學者的改良與精進，能夠描述三維的海洋變化物理現象。

POM 模式物理機制包含紊流閉合模式，可較合理地考慮斜壓海洋的混和作用與熱動力學理論，亦可計算熱含量與熱通量等作用，該模式主要特點如下：

1. POM 模式除了紊動能方程外，亦包括二階紊流模式，用於處理垂直方向的混合作用。
2. 垂直座標採用 Sigma 座標，更能解析水深地形梯度變化大的區域。
3. 水平網格可採用正交曲線座標系統與有限差分的蛙跳法，差分部分則使用 Arakawa C-grid 之網格系統。
4. POM 模式可以分為內模模式 (Internal mode) 與外模模式 (External mode) 兩個模式，採用切割 (mode-splitting) 法，運用該方法可使模式相較於全三維數值模式，在計算上更能節省大量計算量與計算時間。
5. 內模初始計算時，採用顯式法計算對流與水平擴散，然後用隱式法計算垂直方向之擴散。
6. 模式包含溫鹽效應，屬斜壓水理模式。

然而，POM 模式的基本控制方程式為質量守恆和動量守恆方程式，採用了兩個假設，假設一為流體為不可壓縮，假設二則是以布氏近似 (Boussinesq approximation) 來簡化流體的動力方程式。垂直方向由卡式座標系統轉換至 Sigma 座標系統，該做法是將垂直方向之範圍將由 $z = \eta$ (水面) 至 $z = -H$ (水底) 轉變為 $\sigma = 0$ 至 $\sigma = -1$ 。座標轉換後方程式如下所示 (Blumberg and Mellor, 1980; Mellor, 1998)：

1. 連續方程式

$$\frac{\partial DU}{\partial x^*} + \frac{\partial DV}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

2. 動量守恆方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial UD}{\partial t^*} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x^*} + \frac{\partial UV D}{\partial y^*} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x^*} \\ & + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial x^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right) + DF_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial VD}{\partial t^*} + \frac{\partial UV D}{\partial x^*} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y^*} + \frac{\partial V \omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y^*} \\ & + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho}{\partial y^*} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y^*} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right] d\sigma \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right) + DF_y \end{aligned} \quad (3)$$

3. 溫度與鹽度守恆方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta D}{\partial t^*} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x^*} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y^*} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right) + DF_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial SD}{\partial t^*} + \frac{\partial SUD}{\partial x^*} + \frac{\partial SVD}{\partial y^*} + \frac{\partial S \omega}{\partial \sigma} \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right) + DF_S \end{aligned} \quad (5)$$

4. 紊流守恆方程式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q^2 D}{\partial t^*} + \frac{\partial q^2 UD}{\partial x^*} + \frac{\partial q^2 VD}{\partial y^*} + \frac{\partial q^2 \omega}{\partial \sigma} \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial q^2}{\partial \sigma} \right) + \frac{2K_M}{D} \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \\ & + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{2q^3 D}{B_1 l} + DF_q \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q^2 l D}{\partial t^*} + \frac{\partial U q^2 l D}{\partial x^*} + \frac{\partial V q^2 l D}{\partial y^*} + \frac{\partial \omega q^2 l}{\partial \sigma} \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_q}{D} \frac{\partial (q^2 l)}{\partial \sigma} \right) + \frac{E_1 l}{D} \left\{ K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial \sigma} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)^2 \right] \right\} \\ & + \frac{E_3 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} - \frac{q^3 D}{B_1} \bar{W} + DF_l \end{aligned} \quad (7)$$

式中， U 、 V 與 ω 分別為 x^* 、 y^* 與 σ 座標方向之流速。

2.2 溢油模式

數值模式的應用對於應急事故中扮演重要的角色，本研究使用挪威氣象研究單位所開發的模式 OpenDrift，該模式使用 Python 編程，在 OpenDrift 中有許多類型的模板，包括油污擴散、大氣飄移、魚卵漂流等，為了模擬出桑吉號貨輪溢油的情況本研究選用了其中的 OpenOil 模組，該模組主要方法基於拉格朗粒子的方法，將洩漏的油視為等質量的粒子，如此一來，

不僅模式可以適當的表現出溢油在時間和空間上的變化，也能對模擬的粒子數量與結果做敏感性的測試，本模式也考慮加入風、水流和波浪的數據，這些數據也是評估海上環境的重要參數。且 OpenOil 同時具有 2D 和 3D 的模擬。

在拉格朗日軌跡模型中，在海洋和大氣環流的速度場影響下，海面溢油被計算為大量小的等質量粒子。可以如下計算油粒的座標 X, Y 和 Z (Wang et al., 2008)：

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= u + u', \quad \frac{dY}{dt} = v + v', \\ \frac{dZ}{dt} &= w + w' + u_L \end{aligned} \quad (8)$$

其中 $\langle u(x, y, z, t) \rangle, \langle v(x, y, z, t) \rangle, \langle w(x, y, z, t) \rangle$ 和 $\langle w'(x, y, z, t) \rangle$ 是油粒的漂移速度，代表了風、流和波浪不僅在表層而且在水柱中的綜合作用引起的漂移； $\langle u'(x, y, z, t) \rangle, \langle v'(x, y, z, t) \rangle$ 和 $\langle w'(x, y, z, t) \rangle$ 是紊流速度，模擬油污的紊流擴散； u_L 是油污的浮力速度。

若考慮風和波浪共同作用，溢出的石油在地面上漂移的結果基於 Zhang et al. (1991)，其漂移速度可以寫為：

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} &= \alpha_w D \begin{Bmatrix} u_w \\ v_w \end{Bmatrix} + \alpha_c \begin{Bmatrix} u_c \\ v_c \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} u_{wave} \\ v_{wave} \end{Bmatrix}, \\ w &= w_c \end{aligned} \quad (9)$$

其中 u_w 和 v_w 是在水面以上 10 m 處的風速， u_c, v_c 以及 w_c 是可從 POM 獲得的地表水流速度； u_{wave} 是波浪感應的速

度， α_w 是風的漂移因子，通常取為 0.03 (Stolzenbach et al., 1977)； α_c 是影響電流導致浮油在水面上漂移的因素， D 是允許引入偏角的變換矩陣 (Zhang et al., 1991)。

$$D = \begin{Bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{Bmatrix} \quad (10)$$

其中 $\theta = 40^\circ - 8\sqrt{u_w^2 + v_w^2}$ $\theta = 40^\circ - 8\sqrt{u_w^2 + v_w^2}$

設 $0 \leq \sqrt{u_w^2 + v_w^2} \leq 25$ ， $\theta = 0^\circ$

設 $\sqrt{u_w^2 + v_w^2} \geq 25$ m/s。

參、案例分析

3.1 事件描述

桑吉輪漏油事件發生於 2018 年 1 月 6 號，由伊朗國家運輸公司所經營的桑吉輪載運 13.6 萬噸的凝析油 (condensate gasoline) 另有船用重質燃料油 1,900 公噸。在上海長江口以東約 160 海浬與香港籍散貨船長峰水晶號發生嚴重碰撞並且造成該油輪燃燒與爆炸，此次船難造成桑吉輪 32 名船員全數罹難。事件發生 8 天後即 2018 年 1 月 14 日，在桑吉輪沉沒地點處距離發生碰撞約 115 海浬的地方發現大約有 19,000 噸的燃油溢出。碰撞最初發生在黃海和東海之間的邊界處，附近海流複雜、強烈且變化很大，該地點接近東海邊緣該地區有黑潮洋流經過 (NOC, 2018)，位置示意圖如圖 1。溢油情境參數包括溢



圖 1 桑吉輪發生地點

油座標位置、溢油時間、模擬天數、油產品項及溢油總量等參數，詳見表 2。

3.2 風場模擬

本研究以 WRF 模式模擬海表面風場之變化，此模式為一可壓縮流的非靜水模型，採用三層的漸近巢狀網格配置，得以

表 2 模擬桑吉輪的相關參數

參數名稱	數值
溢油座標 (經緯度)	28° 22'30"N 126° 6'30"E
開始時間 (溢油時間)	2018/01/14 07:00 UTC
模擬天數	6 天
原油類型	重燃油
溢油總量	1900 公噸
模型時間間隔	30 分鐘
輸出時間間隔	1 小時
粒子數	190,000
風影響係數	3.5 %

獲得高網格解析度的模擬結果，嵌套的第一層為粗網格 (約 0.15 度) 主要模擬整個東海海域。接著，我們設計了具有較高網格分辨率 (約 0.05 度) 的第二層與最高網格解析度 (約 0.02 度) 的第三層嵌套區域，由低解析度區域嵌套到高解析度區域，其詳細配置與範圍如表 3 所示。圖 2 則顯示了本研究中使用的巢狀網格的範圍。圖 3 顯示了從 2018 年 1 月 14 日到 20 日的 7 天內平均風場變化圖，其中藍色風桿的方向表示風向，風桿的末端代表風的大小，半根風標表示 2.5 ms^{-1} ，一根風標表示 5 ms^{-1} ，紅色線代表風的大小。

表 3 WRF_ARW 模型的配置

場域	範圍	網格尺寸	解析度 (度)
場域 1	20.51°N ~ 38.66°N 115.23°E ~ 139.78°E	140 × 120	0.15
場域 2	25.02°N ~ 34.02°N 120.11°E ~ 135.59°E	264 × 177	0.05
場域 3	26.64°N ~ 31.21°N 121.92°E ~ 128.31°E	201 × 201	0.02

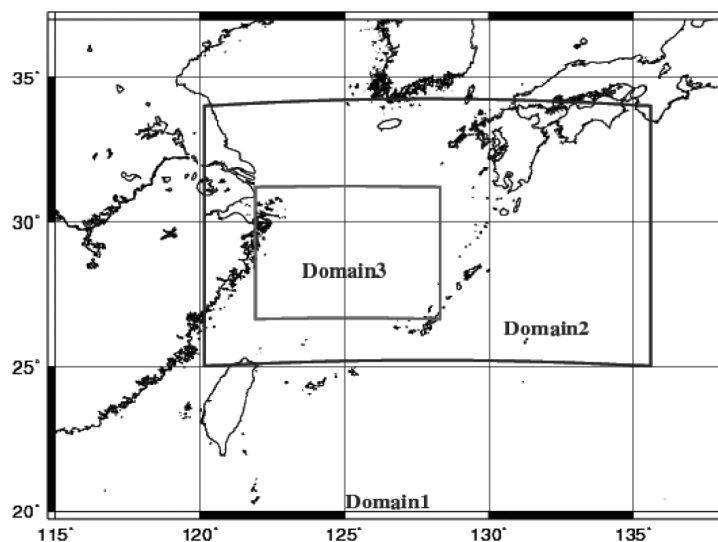


圖 2 WRF 模式模擬嵌套範圍

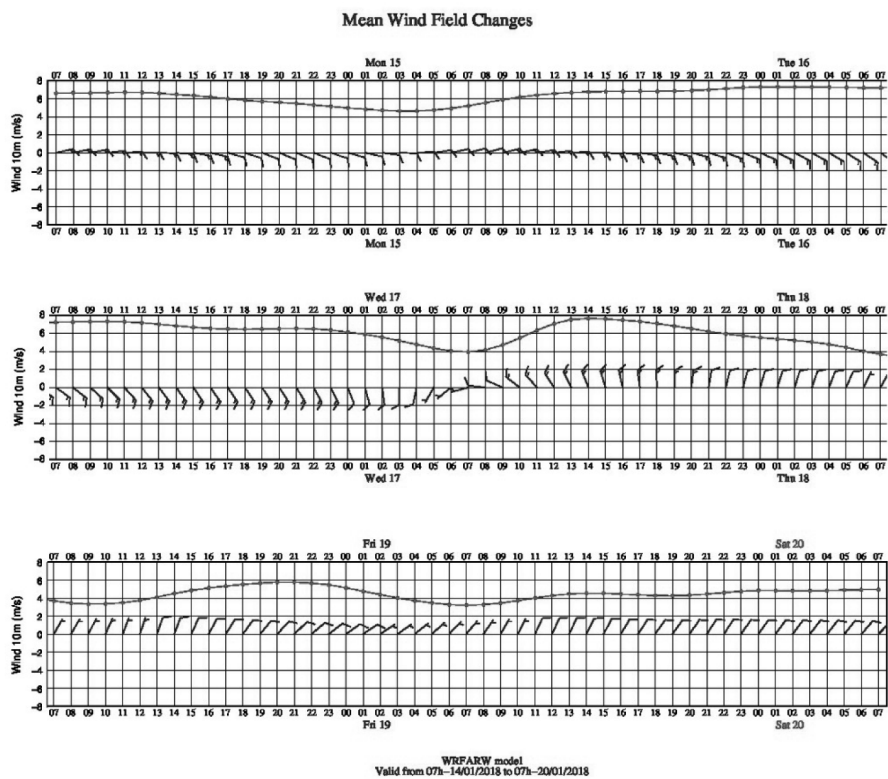


圖 3 平均風場從 1 月 14 日 07:00 到 1 月 20 日 07:00 的變化

3.3 洋流模擬

本文以 POM 模式來模擬東海之流場，水平網格解析度為 4 公里，其範圍為東經 124 至 140 度，北緯 26 至 35 度，如圖 4 所示。水深數據的來源自美國國家海洋暨大氣總署之國家地球物理數據中心 (National Geographical Data Center, NOAA) (Amante and Eakins, 2009) 的水深資料，其解析度為 1 弧分分辨率 (即 ETOPO1)，本文研究水深範圍介於 10 公尺至 5,500 公尺之間。圖 5 則為 POM 模式模擬溢油附近之流場，由圖 5 可明顯看見，溢油處附近與高流速區之黑潮流幅接近。

3.4 溢油模擬結果

本研究分為兩種不同模擬的時間長度做分析，短時間後報計算主要是將模擬結

果與衛星影像做比對；長時間後報計算則是模擬 30 天之溢油的方向與影響範圍。本文溢油模擬主要以 OpenOil 來模擬一整個月桑吉輪油污擴散的情形，輸入大氣與水文條件則以 POM 和 WRF-ARW 的輸出結果為條件。油模擬結果顯示，大部分的油污被帶往沉船處的東北方向，並隨著黑潮洋流的方向漂移。圖 6，在 2008 年 01 月 17 日上午 3 點時，可以發現模擬結果油污往東北方擴散，此結果與衛星 SPOT-6 號的衛星圖像非常相似。

本研究依據不同來源之時間與空間解析度的流場及風場，一共測試了 6 組對照組如表 4，其參數設定分為 HYCOM 和 POM 的水文結果，以及 NCEP 和 WRF-ARW 的風場的影響，並考慮不同的風應力影響係數，例如第 1、3、4、6 組的風

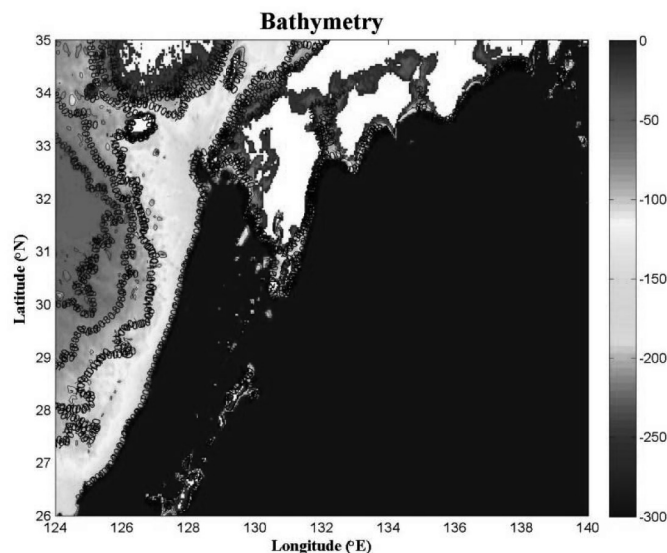


圖 4 為海流模擬之模擬範圍

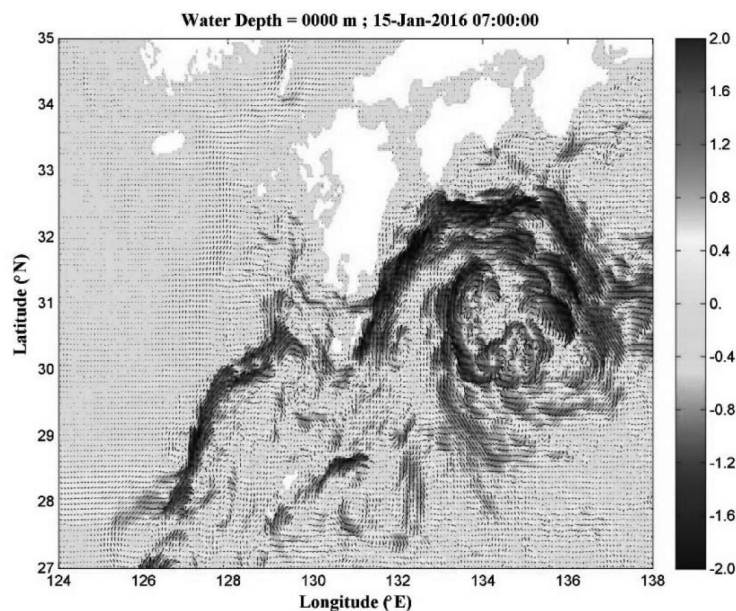


圖 5 東海流場模擬 (2018 年 1 月 15 日 7 時)

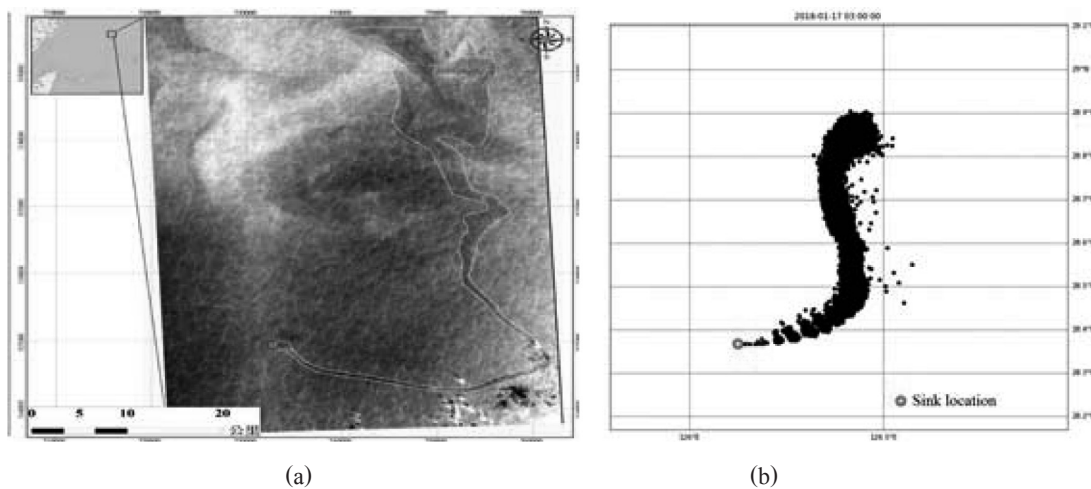


圖 6 (a) SPOT-6 號衛星圖像 (時間— 1 月 17 日上午 2 點 30 分) ; (b) 本研究模擬結果 (時間— 1 月 17 日上午 3 點)

應力參數固定為 3%，第 2 和 5 組的風應力參數固定為 0% (0% 即無風的影響)。

本文比較了 2 個時間點的變化，分別為 01 月 17 日的早上 3 點 (與衛星圖比

較) 和模擬結束的時間，圖 7 和 8 顯示了油污擴散 6 天後的結果，其中實驗組第 3、4、5 組使用 HYCOM 的流場和 1、2、6 組使用 POM 的流場，從圖中可以看出

表 4 短時間後報之六個不同試驗

	流場			風場			風應力影響係數
	來源	時變	解析度	來源	時變	解析度	
試驗 1	POM	hourly	0.04°	WRF_ARW	hourly	0.02°	3%
試驗 2	POM	hourly	0.04°	WRF_ARW	hourly	0.02°	0%
試驗 3	HYCOM	daily	0.08°	NCEP	hourly	0.5°	3%
試驗 4	HYCOM	daily	0.08°	WRF_ARW	hourly	0.02°	3%
試驗 5	HYCOM	daily	0.08°	WRF_ARW	hourly	0.02°	0%
試驗 6	POM	hourly	0.04°	NCEP	hourly	0.5°	3%

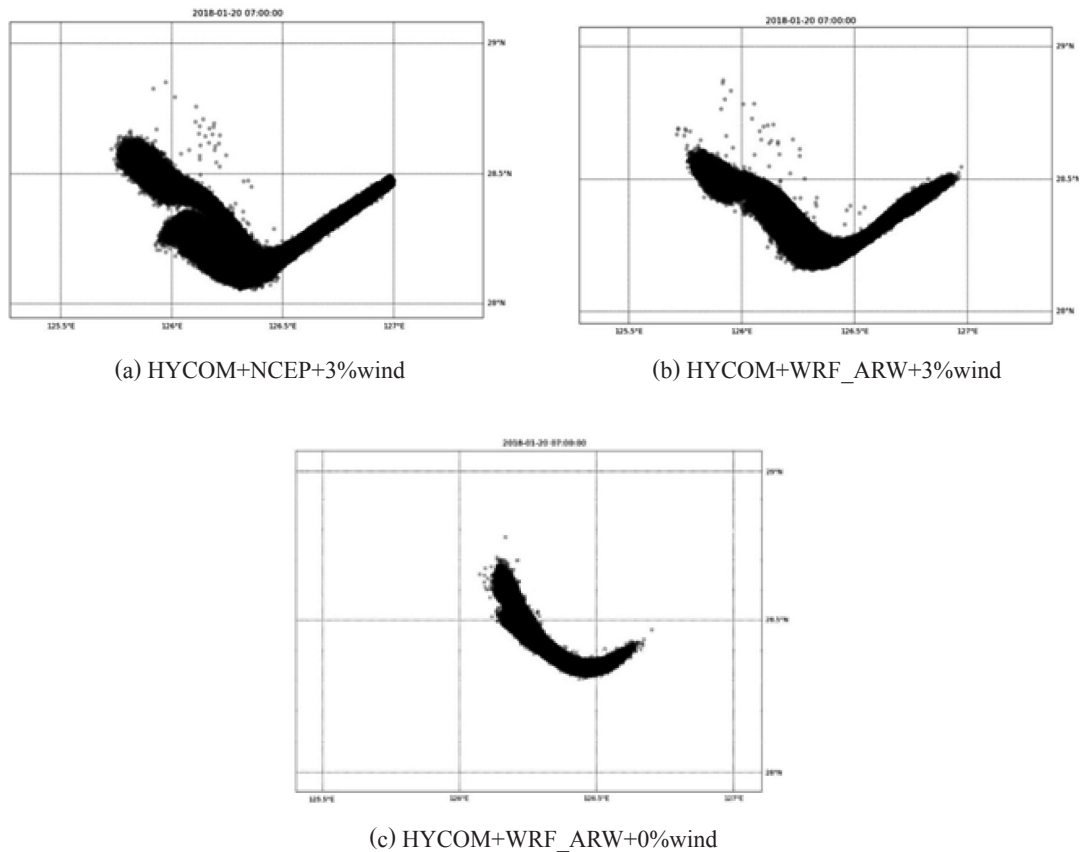


圖 7 在 2008 年 01 月 20 日 07 時，試驗 3、試驗 4 與試驗 5 之油污擴散範圍之比較

來兩種不同風場的模型圖 7(a) 與圖 7 (b) 非常相似，除此之外，我們不考慮風場時，結果也得到適度的變化 (圖 7(c))，因

此由結果可以清楚分辨出 NCEP 與 WRF 的風場結果對油污漂移的影響甚微，但風應力卻是不可或缺的參考因素，如圖 7(b)

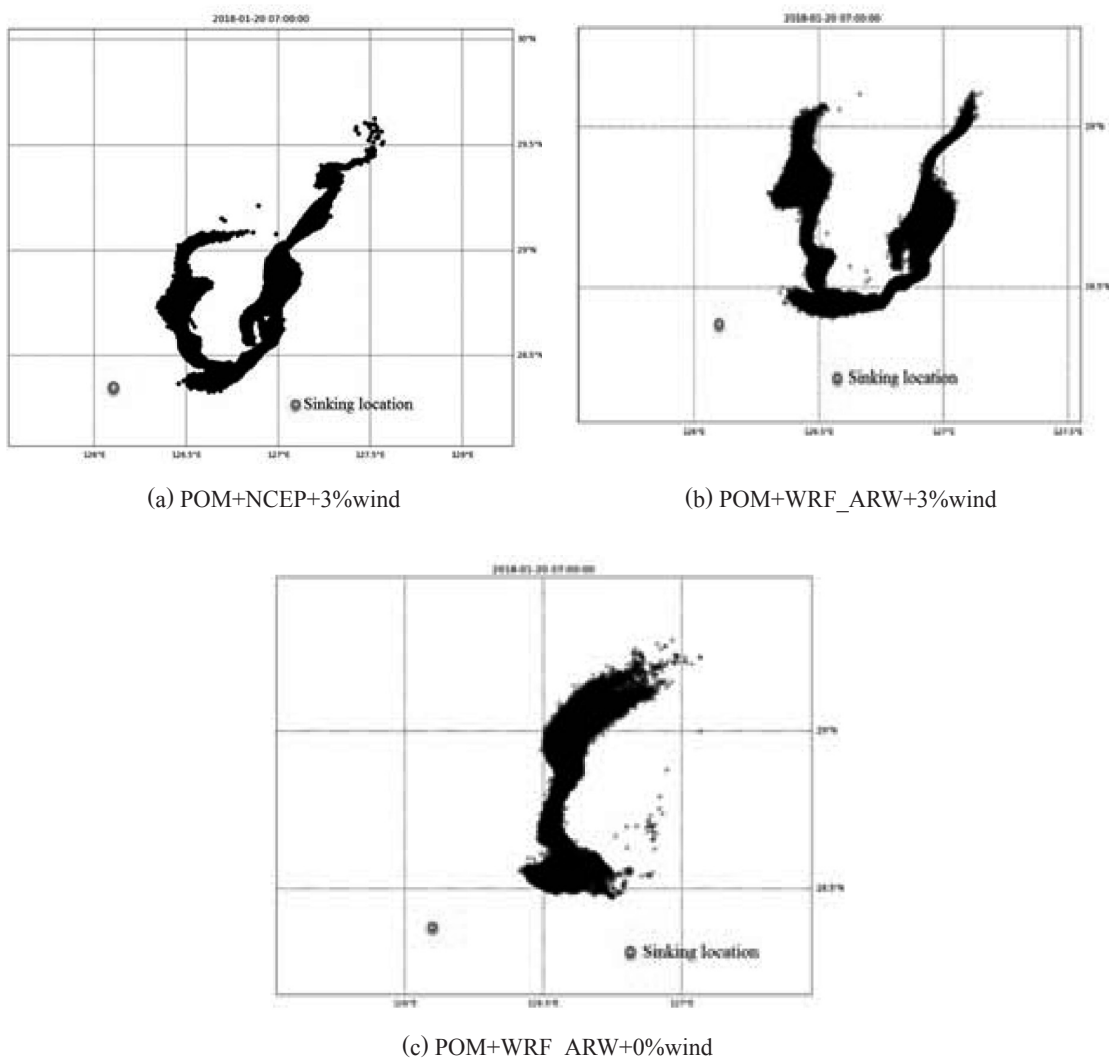


圖 8 在 2008 年 01 月 20 日 07 時，試驗 6、試驗 1 與試驗 2 之油污擴散範圍之比較

與圖 7(c)。

圖 9 則模擬不同流場與衛星圖的比較，結果顯示只有第一組 (POM & WRF_ARW with 3% wind) 所模擬的結果 (圖 9(b)) 油污偏向東北方向並與衛星圖 (9-a) 的結果相似，而第 3 組 (HYCOM & NCEP with 3% wind) 所顯示的結果油污往西北方向擴散 (9-c)。而第 2 組 (POM & WRF_

ARW without wind drift factor) 顯示油污往東移動接著往北漂移 (9-d)，這種差異更突顯出風應力係數的重要性。

長時間後報計算主要是模擬一個月桑吉輪油污擴散的情形，在完整的 30 天模擬中 (圖 10) 顯示出大部分的油污被帶往沉船處的東北方向，隨著黑潮洋流的方向漂移，除此之外，少量的油污往日本海擴

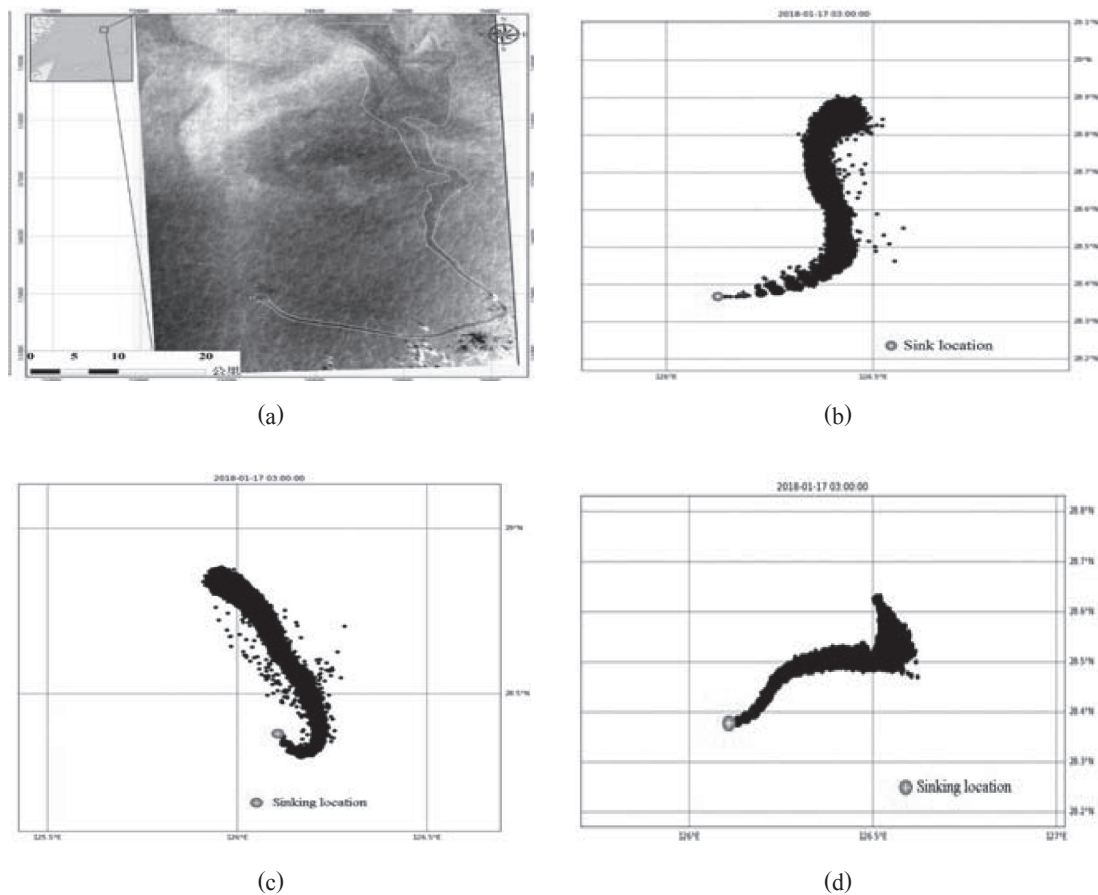


圖 9 (a) 衛星 SPOT-6 號 (時間 01 月 17 日 上午 2 點 30 分) ; (b) 實驗第一組 (POM & WRF_ARW with 3% wind) ; (c) 實驗第 3 組 (HYCOM & NCEP with 3% wind) ; (d) 實驗第 2 組 (POM & WRF_ARW without wind drift factor) (時間 1 月 17 日上午 3 點)

散。兩條路線均與某些魚類的重要產卵場和遷徙的路線，經過一個月後日本西南部大約有 15 處島嶼和沿岸生態系統受到影響，此次的油污洩漏意外造成嚴重的生態浩劫。

肆、結論與建議

這項研究成功地證明了像 OpenOil 這

樣的開源漏油模型可以用來預測漏油的方向和擴散範圍。POM 和 OpenOil 的整合正確地預測了在東海發生的漏油軌跡，不僅是短期（幾天），而且是長期（桑吉輪一整個月的觀測）。因此該綜合模型可用於對台灣沿海水域的危險域進行分類。這些結果可為當局提供正確的方向，方可制定出有效的計畫步驟，期望能將漏油事件的影響降至最低程度，除此之外對於該區域航運之航行也可加以改進。這項研究得出

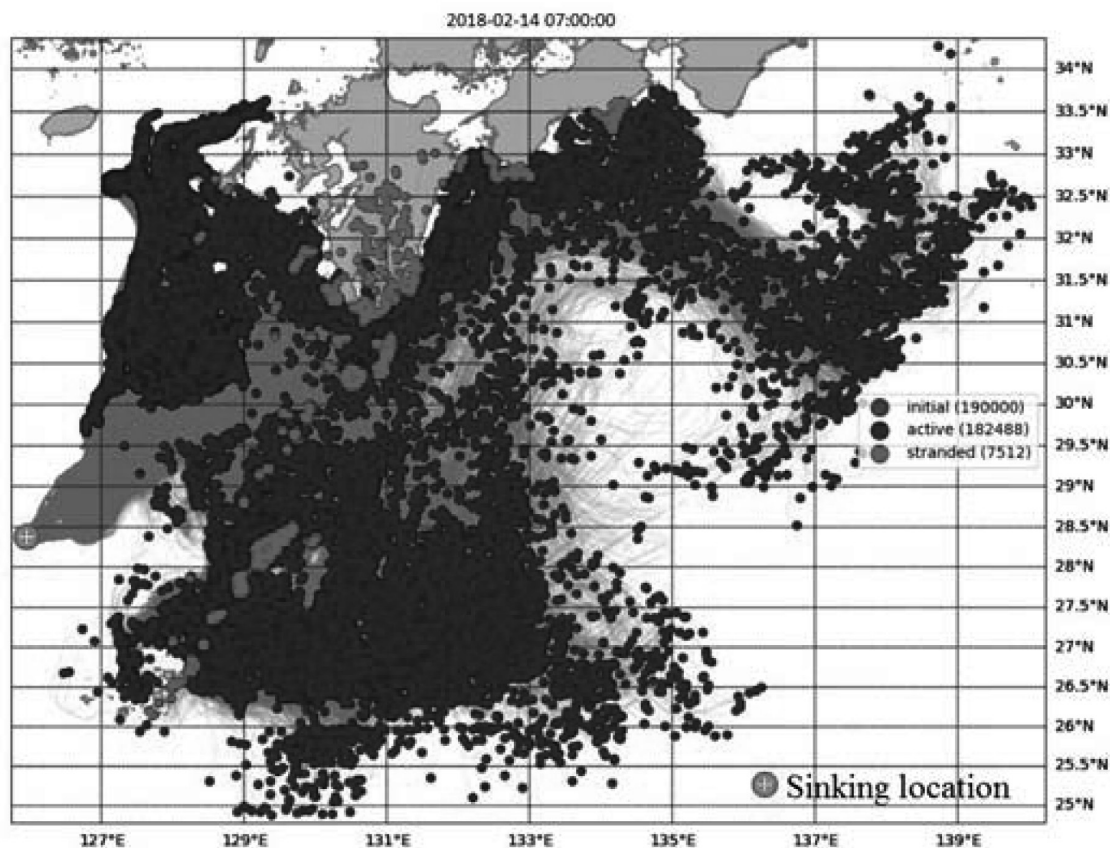


圖 10 時間 2 月 14 日上午 10 點溢油位置

以下結論和建議：

1. 綜觀目前市面上所使用的商業軟體大多無法做更細部的程式修改，而本研究透過 POM 水動力模式與 OpenOil 所結的泛型組合能更有效率的預測漏油的方向和溢油的情況。
2. 本研究成功模擬出桑吉輪的溢油情形，已證實本模式的適用性，該事件為近 30 年亞洲附近最大的洩油情形之一。
3. 對於桑吉輪事件的模擬中，將 WRF_ARW 應用於結合了 POM 和 OpenOil 的氣象預報。在實驗數據中的發現為了保證結果的準確性，需要使用高頻（小時）和高空間分辨率的輸入數據模型，並且必須將風校正因子考慮在其中。
4. 為了增加對沿海漏油事件的瞭解，高分辨率測深數據可能會提高預測的沿海水流的模型精度，並加深對由彎曲的沿海地形引起的沿海水流特徵變化的瞭解。
5. 可以使用模擬的浮油撞擊海岸和敏感資源的頻率來繪製溢油下的「敏感性圖」當然，還需要更多與該國海岸線相關的

數據，例如，港口的數量，過去發生的漏油事故的頻率，船隻的數量，沿海居民點；可以使用具有足夠信息的風險圖來進行季節性調整後的應對措施，並改善本地和區域海域的航運導航規則。

參考文獻

- 劉正琪、邱慶誠、劉景毅，2003，基隆海域溢油污染擴散之建議與模擬，第25屆海洋工程研討會論文。
- Amante, C. and Eakins, B.W., 2009. ETOPO1 1 arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, National Geophysical Data Center, Marine Geology and Geophysics Division Colorado.
- ASA., 1997. *Technical Manual OILmap for Windows*, Applied Science Associates, Inc.: Narragansett.
- Blumberg, A.F. and Mellor, G.L., 1980. A coastal ocean numerical model. In: Sündermann J., Holz KP. (eds), *Mathematical Modelling of Estuarine Physics*. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, vol 1. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46416-4_16 Springer: 203-219.
- Chao, X., Shankar, N.J. and Cheong, H.F., 2001. Two-and three-dimensional oil spill model for coastal waters. *Ocean Engineering*, 28, 1557-1573
- Mellor, G.L., 1998. *Users Guide for a Three Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model*, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University Princeton, NJ 08544-0710.
- NOC (National Oceanography Centre), 2018. Sanchi oil spill contamination could reach Japan within a month (update). <https://noc.ac.uk/news/sanchi-oil-spill-contamination-could-reach-japan-within-month-update> (accessed on 2018.12.31).
- Reed, M., Johansen, Ø., Brandvik, P.J., Daling, P., Lewis, A., Fiocco, R., Mackay, D. and Prentki, R., 1999. Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state of the art. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5, 3-16.
- Shiau, B.S. and Tsai, R.S., 1994. A numerical simulation of oil spill spreading on the coastal waters. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 17(4), 473-484.
- Shiau, B.S., Chen, T.C., Ko, Y.P. and Tsai, R.S., 1998. A numerical investigation on the oil spill on the coastal waters. In *Proceedings of the 20th Ocean Engineer Conference*, National Taiwan Ocean University, Taiwan.
- Spaulding, M.L., 2017. State of the art review and future directions in oil spill modeling.

Marine Pollution Bulletin, 115, 7-19.

Stolzenbach, K.D., Madsen, O.S., Adams, E.E., Pollack, A.M. and Cooper, C.K., 1977. *A Review and Evaluation of Basic Techniques for Predicting the Behavior of Surface Oil Slicks*, Ralph M. Parsons Laboratory, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA Report No. 222.

Wang, S.D., Shen, Y.M., Guo, Y.K. and Tang, J., 2008. Three-dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, 35, 503-510.

Zhang, B., Zhang, C.Z. and Ozer, J., 1991. SURF-a simulation model for the behavior of oil slicks at sea. In *Proceedings of The OPERA Workshop*, Dalian, China, 61-85.