

複雜地形變化對海面漂流物軌跡之影響 - 島尾流

鄭宇昕¹ 葉祐瑜² 劉治綸¹ 張明輝¹
國立臺灣大學海洋研究所¹ 國立臺灣大學大氣科學系²

摘要

本研究使用高解析度數值模式MITgcm，空間水平解析度為1 km × 1 km的網格流場資料推算海面漂流物移動軌跡，分析區域複雜地形對海上漂流物漂流軌跡推估之影響。此研究先以2017年3月船舶在臺灣東部外海非法排放廢油事件為目標案例，透過統計方法比對數值計算結果與油污在綠島海岸實際空間分布情形，探討綠島島尾渦流在該次廢油污染事件中可能造成的影響。在前推軌跡方法與逆推軌跡方法，兩種方法的比對下，結果顯示，距離綠島西南方約10-15公里之海域是最有可能的廢油排放地點，油污起初應該是受黑潮影響而往北移動，接著再被島尾渦流捲進綠島背流側，最後冷卻凝固在綠島北部海岸。

關鍵字：高解析度數值模型、島尾流、漂流軌跡

一、前言

因地形所引起的流場變動往往能從較大尺度的水體運動中擷取能量，轉為較小尺度的運動，並且隨之進而產生紊流混合，加強水體中的物質擴散。這些能與海流產生交互作用的複雜的地形包括了，大陸棚、

大陸坡、海岬與島嶼。而臺灣的東部海域就佈滿上述這些複雜的地形，例如地形陡峭的花東沿海、綠島、蘭嶼與鵝鑾鼻海岬...等，再加上常年強勁的西方邊界流-黑潮，流經於此，因此黑潮與地形之間產生許多不同尺度的交互作用，進而造成臺灣東部相當複雜多變的區域性變動流場，相關的研究也在過去的臺灣海洋

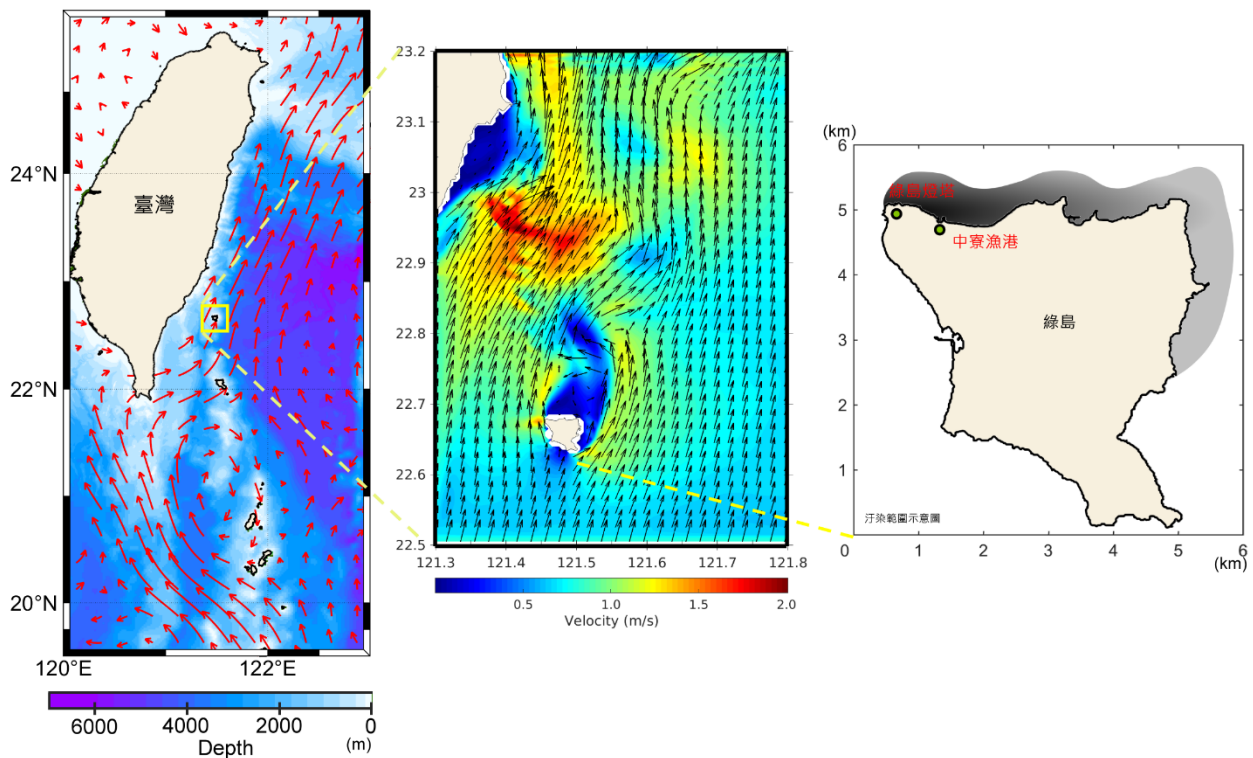


圖 1、臺灣周遭地形與流場空間分布圖(左)，紅色箭頭代表 2017 年 3 月 7 日至 3 月 13 日之衛星觀測平均流場，資料由 Copernicus Marine Environment Monitoring Service 所提供。MIT General Circulation Model (MITgcm)數值模擬之綠島區域性變動流場(中)。2017 年 3 月 10 日綠島油污事件示意圖(右)，灰階底色為油污分布示意範圍。

研究裡陸續被指出與深入的探討(如: Chang et al., 2013; Liu et al., 2018...等)。

黑潮是北太平洋裡將低緯度溫暖海水往北傳送的重要海流，它沿途流經呂宋海峽，然後隨著臺灣東部海岸一路北上(圖1)。它的流幅約100公里至150公里寬，平均流速約落在1-1.5 m/s。而綠島距離臺灣東部海岸約50公里，大致座落於黑潮流軸之上，此天然條件之下，也使該海域形成天然的流體實驗場。Chang et al. (2013)進行了一系列的現場觀測實驗來探討此處島尾流的特性，Liu and Chang (2018)進一步利用高空間解析度數值模擬，探討尾流的時空變動，其結果皆指出，黑潮流經該島嶼後，會受到地形嚴重的影響並造成流場擾動，在綠島後方形形成回流區(recirculating flow)，而該區域的大小約莫與島嶼面積大小相當，下一階段將會在距離島後方約14公里處形成渦流，並以正反渦交替出現的方式，依序往北傳遞。

2017年3月10日，綠島北方海岸被發現長達7公里左右的海岸線被廢棄油品嚴重汙染，根據當地居民的描述，這些油汙主要集中在綠島燈塔與中寮漁港之間的海岸(圖1)，些許則零星分布於北部與東北部海岸。這些廢油從哪裡來？初步推測，可能是行經綠島附近海域的船舶所排放，而這些廢油隨著當地海流帶動，進而污染了綠島的海岸。本研究為了解析這事件中，油可能的漂流過程，與島尾流在此事件中可能扮演的角色，因此運用了高解析度海流數值模型，來幫助我們重返案發經過，探討這些油汙是如何被帶到綠島北邊海岸，為何其它三面海岸卻沒有受到汙染，最後利用數值模擬的結果，找出油汙可能被排放的位置。

二、資料與方法

(一) 數值模式資料

本研究使用 MIT General Circulation Model (MITgcm)進行該海域流場模擬，模式空間設定範圍為22.51-23.3°N、121.21-122°E，水平網格解析度為1km×1km，垂直網格共有30層(z level)，本文後續研究只取用近表層1公尺之流速進行討論。詳細模式設定請參考Liu and Chang (2018)。

(二) 軌跡推算演算法

本文使用了兩種軌跡推算方式進行探討，前推軌跡使用explicit Euler method進行推算(圖2a)，其下一個時刻位置可以 $\overline{P(x, y)_{t+1}} = \overline{P_t} + \overline{V_{P_t}} \times \Delta t$ 表示，其中 P_t 為起始的位置， V_{P_t} 為起始位置的流速。另一個為逆推軌跡，由於計算時無法準確知道該參考點來自前一時刻哪一個位置，因此本研究使用backward

Euler using explicit modified Euler algorithm來降低推估的誤差(圖2b)，此方法會先推算出一個前一時刻可能的位置當作參考位置 $\overline{P_e} = \overline{P_t} - \overline{V_{P_t}} \times \Delta t$ ，再利用 $\overline{P_e}$ 之流速與 $\overline{P_t}$ 之流速，來近似前一時刻真實之流速 $\overline{V_{P_{t-1}}} = (\overline{V_{P_t}} + \overline{V_{P_e}})/2$ ，接著就可利用該流速來推估

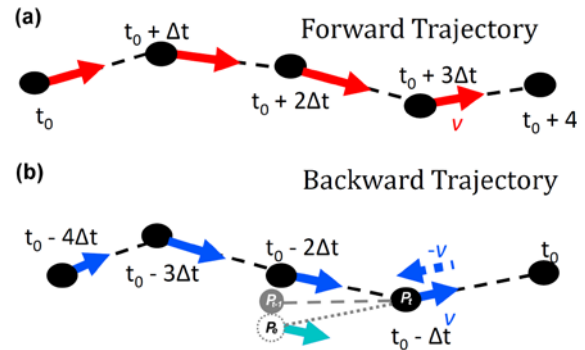


圖 2、前推軌跡演算法(a)與逆推軌跡演算法(b)示意圖。

出前一時刻的可能位置 $\overline{P_{t-1}} = \overline{P_t} - \overline{V_{P_{t-1}}} \times \Delta t$ 。

三、結果與討論

(一) 風場

綜觀之下，每年十月至隔年三月東亞地區的盛行風向皆為北風，但由於綠島氣象站的觀測資料得知，2017年三月綠島地區的平均風向為西風至西南西風(圖3上)，在油汙被發現的前幾日(3/7~3/10)更是以吹西南西風為主(圖3下)，因此初步推斷，主要擱淺在綠島北方的油汙，並非由強風帶到岸邊推積所導致，在此案例中，由風所牽引這可能性先被初步排除，另外，一般而言，風場對海表浮油的影響不及海流顯著。

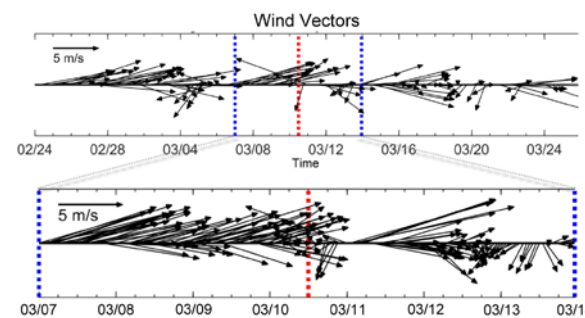


圖 3、2017 年三月綠島氣象站風速時序列。下圖為 03/07-03/14 時序列放大圖。

(二) 流場

流場部分，我們進行了一理想實驗，假設黑潮由南方邊界穩定流入，北邊界與東邊界為開放邊界，讓水體自行消散，穩定之後，我們運用該MITgcm所

模擬出的海流，進行漂流物體軌跡的推估與模擬實驗。

首先我們將綠島海岸分為北岸、東岸與西南岸三個區段(圖4中Region1~3)，再把綠島周圍海域分成數個區域(圖4中A~N)，模擬廢油可能的排放位置，將每個區域內個別投放400個浮子，利用模式海流流場進行前推軌跡估算，並計算這些區域所放下的浮子會碰到綠島三個海岸的比例，藉由這實驗我們可以得知在哪個區域所排放的廢油，最有可能只會堆積在綠島的北岸與東岸海域，進而協助我們推估2017年事件的可能排放海域。

分析結果顯示當廢油排放區域在綠島西南方海面時，油汙最有可能到達綠島海岸(圖4左)，其中較有機會飄到綠島北岸與東岸的區域為B、F、G和K(圖4中)。針對2017年三月油汙事件，油汙主要集中在綠島北岸和東岸，且並未在綠島西南海岸發現任何油汙，所以可以把會擱淺在西南海岸(R3)的排放區域盡量排除，把會擱淺在北岸與東岸的比例最大化，由圖4右(R1+R2)/R3的比率分布圖就可清楚看出，從B、D、F和H區域排放然後只會擱淺在綠島北岸與東岸的機率較高，其中又以F區域的可能性最大，因為其他B、D和H只會擱淺在北岸，詳細的排放區域與擱淺海岸的比率關係，羅列在表1中。

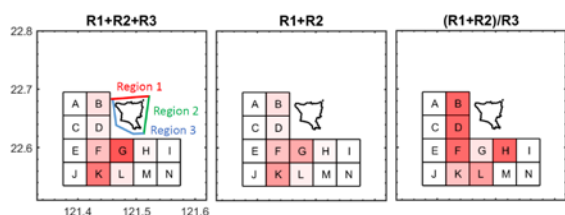


圖4、漂流物廢棄位置與擱淺位置比率分布圖。由左至右分別是擱淺在三個海岸的總比率(左)、擱淺在北岸與東岸的總比率(中)和擱淺在北岸和東岸最大化的比率(右)。Region1(R1)、Region2(R2)與 Region3(R3)分別代表綠島的北岸、東岸與西南岸。紅色深淺色階代表比率高低。

根據前人研究結果顯示，綠島島尾流會交替出現氣旋與反氣旋式的回流，且其交替週期為12小時，接近當地的半日潮週期(Chang et al., 2013; Liu and Chang, 2018)。為了檢視島尾回流週期性的變動對我們前面的分析結果是否會有嚴重的影響，所以接下來的分析，將200個漂流浮子投放在本次油汙事件中汙染最嚴重的北岸，進行漂流軌跡的逆向追蹤。我們分別在不同時間點($t_0=1、4、7、10$)投放浮子，進行12小時的軌跡逆追蹤。其結果顯示，200個浮子在空間分布上雖然列有不同，但大致的軌跡趨勢都是往綠島西南方海域回溯(圖5)，此一結果告訴我們，即使無法得知油汙事件發生當下綠島附近的確切流場資

	Region 1	Region 2	Region 3
A	0 %	0 %	0 %
B	9.75 %	0 %	0 %
C	0 %	0 %	0 %
D	1.75 %	0 %	0 %
E	0 %	0 %	0 %
F	15.25 %	4.75 %	0.5 %
G	18.25 %	12 %	25 %
H	0.25 %	0 %	0 %
I	0 %	0 %	0 %
J	0 %	0 %	0 %
K	18.75 %	8.75 %	16.75 %
L	1.5 %	3.75 %	2 %
M	0 %	0 %	0 %
N	0 %	0 %	0 %

表1、排放位置與擱淺位置機率表。

訊，但對我們的前面的分析結果影響並不大，也就是說，不管廢油是在哪個時間點在綠島附近被排放，其結果都是顯示，廢油最有可能是在綠島西南方被排放，然後隨著黑潮與當地的區域性流場(尾流)所帶動，

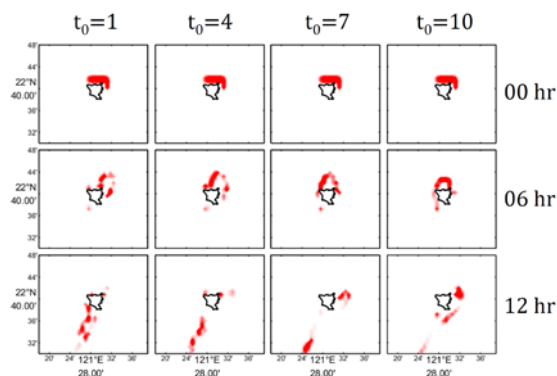


圖5、不同時間點浮子之逆推軌跡圖。由左至右分別為下放時間點 $t_0=1、4、7、10$ 。由上至下分別為回推時間00時、06時與12時。

最後在綠島北岸與東岸堆積。

四、總結

2017年三月綠島油汙事件中，受影響的區域為北部與東部海岸，其中又以北岸最為嚴重。當地風場資料及背景流場分析結果顯示，中小尺度的島尾渦流最為可能是導致油汙出現在綠島北岸的主要原因。漂流軌跡推估結果顯示，倘若有船隻在綠島周遭海域排放廢油，大部分油汙會直接被黑潮帶向北方，不會碰觸到綠島海岸，如果要對綠島海岸造成影響，最有可能的廢油排放位置為距離綠島西南方約6公里至11公里的海域。而島尾渦流流向的週期性變動，並不會對分析結果造成太大的影響。無法得知確切的油汙排放時間是本次研究的一大挑戰，除了本研究以外，在許多油汙的相關研究中，對於預測油汙可

能的擴散與移動路徑，最大的局限與挑戰都是缺乏實際風場與流場資訊。本次模式模擬為一理想實驗，且使用的初始上游黑潮流場資訊並非油汙事件發生當時的實際情況，因此可能會使分析結果與真情況有所偏差。後續研究將會把海面風、海流與油品種類進行綜合考量，或許可讓結果更接近真實情況，並將船隻AIS資料與分析結果進行比對，加強結果的可信度。

參考文獻

- Chang, M.-H., Tang, T. Y., Ho, C.-R., and Chao, S.-Y. (2013), Kuroshio-induced wake in the lee of Green Island off Taiwan, *J. Geophys. Res. Oceans*, 118, 1508–1519, doi:10.1002/jgrc.20151.
- Liu, C.-L., & Chang, M.-H. (2018). Numerical studies of submesoscale island wakes in the Kuroshio. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123, 5669–5687. <https://doi.org/10.1029/2017JC013501>