

# 以表層通量敏感度分析精進 台灣海域三維海流作業化預報模式

## The sensitivity analysis of the surface flux for developing three-dimensional operational ocean current model in Taiwan

周姿吟<sup>1</sup> (T.-Y. Chou) 于嘉順<sup>1</sup> (Jason C.-S. Yu) 陳維翔<sup>2</sup> (W.-S. Chen) 林芳如<sup>2</sup> (F.-R. Lin)  
滕春慈<sup>2</sup> (C.-T. Terng)

<sup>1</sup>國立中山大學海洋環境及工程學系 <sup>2</sup>中央氣象局海象測報中心

<sup>1</sup>National Sun Yat-Sen University, Department of Marine Environment and Engineering

<sup>2</sup>Marine Meteorological Center, Central Weather Bureau

### 摘 要

應用與中央氣象局合作發展之台灣海域三維海流作業化預報模式(CWB-OCM)，每日產出海流預報資料，提供中央氣象局及各需求單位海流、海溫、海高等產品。CWB-OCM校驗使用衛星資料GHRSSST及漂流浮標ARGO，分析溫度及鹽度差異，發現漂流浮標之溫鹽垂直剖面與模式趨勢相同，且溫躍層與CWB-OCM相近。溫度均方根誤差RMSE平均約1°C，鹽度約0.2psu，且表層海溫及鹽度差異最明顯。考慮模式表層溫鹽受氣象場影響較多，如氣壓、氣溫、濕度、降雨、10米風、向上長波輻射-向下長波輻射，過去嘗試分析降雨對模式之影響，發現降雨影響鹽度較大，同時提高RMSE，其總表層通量中的感熱通量(Sensible heat flux)及潛熱通量(Latent heat flux)影響最為明顯。分析海流模式動量方程式中表層通量(Surface flux)之相互關係，發現感熱通量及潛熱通量與氣溫及濕度有關。本研究將設計案例模擬，藉由氣象場氣溫及濕度的敏感度分析測試其對模式表層溫鹽之影響，及與觀測資料之差異，分析其特性，以精進作業化海流模式預報，提高預報精確度，提供後續各相關單位參考及各類型產品之應用。

**關鍵字：**台灣海域三維海流作業化預報模式、表層通量、敏感度分析

### Abstract

The study applies an operational forecast current model in Taiwan (CWB-OCM) which collaborate with the Central Weather Bureau (CWB), Taiwan. CWB-OCM is based on SCHISM and implemented for daily prediction of ocean current providing CWB and the concerned department with the customized-product, current velocity, sea temperature, sea surface height etc. The calibrations with the satellite data(GHRSSST) and ARGO S/T profile show the trend of the S/T profile is familiar, also the thermocline. The average RMSE of the temperature is about 1°C and the salinity is about 0.2 psu. Obviously, it is distinguished from the surface of the S/T and are probably affected by the surface flux of the meteorological field, for example, SLP, air temperature, specific humidity, precipitation, 10m AGL eastward/northward air velocity, downward long/short-wave radiation flux. The previous study show the precipitation not only has a great effect on the salinity, but also increase RMSE. Further, the most part of the total flux are the sensible heat flux and latent heat flux. This may be related to the air temperature and the specific humidity in the momentum equation. The study will do several sensitivity analysis cases about the interaction between CWB-OCM and surface flux, the air temperature and specific humidity. Thus, enhance the accuracy of the CWB-OCM forecasting and provide/apply more accurate and more type production to the concerned department

**Key words:** CWB-OCM; surface flux; sensitivity analysis

## 一、前言

台灣海域三維海流作業化預報模式 CWB-OCM 是與中央氣象局合作發展之作業化模式系統，每日作業化產出官網預報四日資訊，包含各場域之潮汐水位、海溫、鹽度、海流。CWB-OCM 初始場及邊界場使用 RTOFS 及 HYCOM 全球預報模式，類資料同化方式每日修正模式，且使用衛星資料 GHRSSST 及漂流浮標 ARGO 校驗模式，分析溫度及鹽度得知溫鹽垂直剖面的趨勢與 CWB-OCM 相同，溫躍層也相近。然而在表層溫鹽因海域特性不同、時空背景不同，仍有些許差異。

本文將探討表層通量對表層溫鹽之影響，過去文獻顯示降雨量對鹽度影響較大，提高均方根 RMSE(周姿吟等人, 2020)。且從總表層通量的計算方程式推論，感熱通量(Sensible heat flux)及潛熱通量(Latent heat flux)受氣溫及濕度影響最大(Zeng et al., 1998)。利用氣象場的相關表層通量參數案例測試，了解其對表層溫鹽之影響及特性，提供未來精進 CWB-OCM 預報能力之參考。

## 二、研究方法

CWB-OCM 使用 SCHISM 模式 (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model, Zhang et al., 2016)，納入洋流、渦流及潮汐的影響，為非結構式網格，其特點為利用水深分布及近岸複雜地形控制網格大小，得到臺灣海域更精確的海流狀況。由於SCHISM為半隱式法求解，可以加大時間步長進行計算，有效加速計算，提昇預報時效並縮減檔案大小。CWB-OCM範圍東經105°至148°，北緯4°至47°，包含臺灣海峽、西太平洋、巴士海峽、南海與東海，示意如圖1。使用美國國家物理資料中心(National Geophysical Data Center, NGDC)資料庫解析度一分的ETOPO1及來自科技部海洋資料庫臺灣周圍海域之水深地形，製作模式水平網格，解析度500公尺至8公里，約50萬個節點及100萬個元素。垂直網格使用LSC2方法進行垂直分層，表層利用S網格多層加密，而底層利用Z網格分層，避免在陡坡處因水平流造成異常的垂直流影響溫度與鹽度的變化(Zhang et al., 2015)。

初始場與邊界場使用 RTOFS 資料及 HYCOM 資料作為，並以中央氣象局 WRF 氣象場(CWB-WRF)作為氣象場驅動輸入模式，產出相關預報資料，與漂流浮標 ARGO 比對分析。ARGO 為全球國際合作之觀測計畫其隨海流移動，靠著浮標內的氣閥調整而潛入水下，如圖 2，有一固定週期時間約 10 天，將浮標感測器量測位置經緯度、時間、深度、溫度及鹽度。



圖 1 CWB-OCM 範圍圖

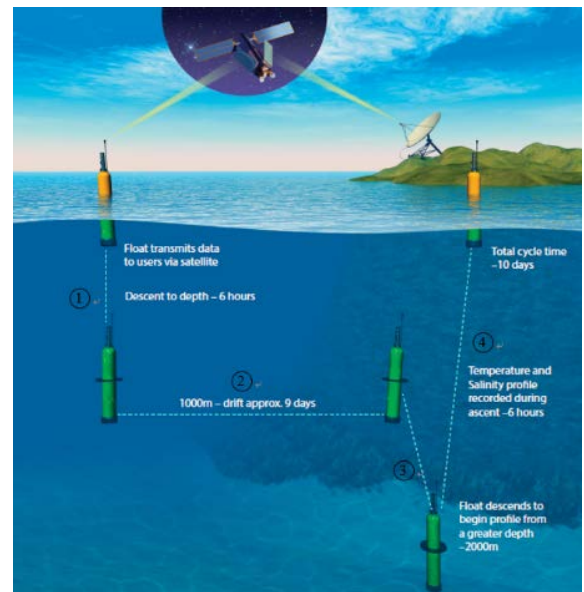


圖 2 ARGO 浮標量測示意圖(註:本文整理，來源：[http://www.argo.ucsd.edu/How\\_ARGO\\_floats.html](http://www.argo.ucsd.edu/How_ARGO_floats.html))①沈入海底 1000 米、②於水深 1000 米位置停留九天、③再下降至水深 2000 米、④上升至海表層上傳資料至衛星。

## 三、案例分析

Zeng et al.(1998)研究，表層通量動量方程式：

$$SH = -\rho_a C_{pa} u_* \theta_*$$

$$LH = -\rho_a L_e u_* q_*$$

$\rho_a$  空氣密度,  $C_{pa}$  空氣比熱,  $L_e$  汽化潛熱,  $\theta_*$  氣溫,  $q_*$  表層濕度,  $u_*$  摩擦速度。

於模式中，總熱通量、感熱通量及潛熱通量。總通量

為感熱通量 - 潛熱通量 - (向上長波輻射 - 向下長波輻射)。又方程式中影響感熱通量及潛熱通量之參數，可由相關性較高之濕度及氣溫進行敏感度分析。模式期間 2021/08/05 至 08/09，案例如下說明：

1. 表層濕度乘 2 倍
2. 表層濕度乘 10 倍
3. 氣溫降低 10°C

分析氣象場與模式結果，比對總通量、感熱通量、潛熱通量、溫度、鹽度，及 ARGO 溫鹽剖面。第二天(2021/08/06)降雨分布在臺灣海峽內，而表層濕度平均約 0.02(圖 3)。

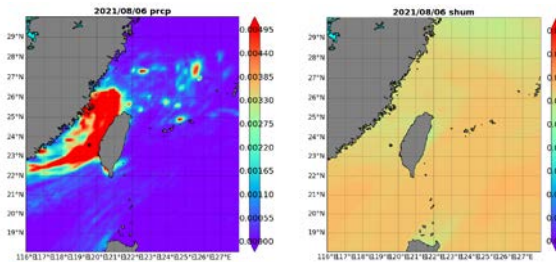


圖 3 CWB-WRF 分布圖  
(左：降雨量，右：表層濕度)

#### 四、結果與討論

藉由 CWB-OCM 模式，進行氣象場之表層通量敏感度分析。如圖 4(2021/08/06)，發現案例一、案例二將表層濕度放大乘 2、10 倍，發現表層海溫及鹽度隨著表層濕度增加，明顯上升。總通量及感熱通量亦同，與原氣象場之模擬結果比較，明顯增加，但案例一及案例二差異不大。而潛熱通量與原氣象場之模擬結果比較，明顯減少，從正值變負值。如圖 5 ARGO 溫鹽剖面，原模式結果與案例的 RMSE 差異從 0.01°C、psu 至 0.2°C 及 0.06psu，以案例三的表層溫鹽變化最為明顯。

另案例三探討氣溫對表層通量影響，將氣溫降低 10°C，比對模式第三天(2021/08/07)之結果(圖 6)，發現表層海溫與鹽度差異不大，但是因為溫度變化與案例一及案例二不同，表層通量的趨勢不同。感熱通量及潛熱通量隨著氣溫降低而增加，總通量則降低，從正值變負值。如圖 7 ARGO 溫鹽剖面，原模式結果與案例的趨勢大致相同，且 RMSE 差異不大。

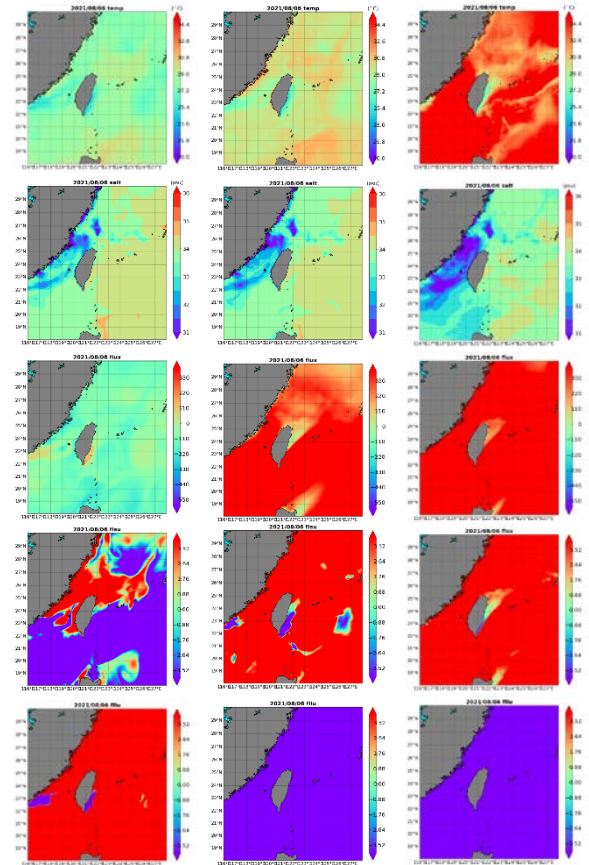


圖 4 CWB-OCM 模式結果分布圖  
(左：原模式結果，中：案例一，右：案例二，由上至下依序溫度、鹽度、總通量、感熱通量、潛熱通量)

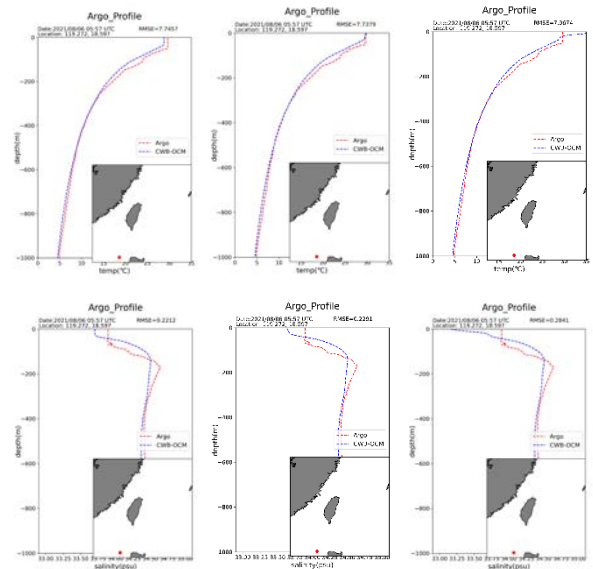


圖 5 CWB-OCM(藍)與 ARGO(紅)R2902711  
2021/08/06 溫鹽剖面圖(左：原模式結果，中：案例一，右：案例二，上：溫度，下：鹽度)

## 五、結論與未來展望

從前人文獻得知表層濕度及氣溫影響感熱通量及潛熱通量，又於 ARGO 溫鹽剖面比對結果其表層差異。根據研究結果，表層濕度與感熱通量正相關，而與潛熱通量負相關，計算總通量後是增加。模式結果於表層海溫及鹽度有明顯變化。另氣溫與感熱通量及潛熱通量同為正相關，計算總通量後是降低。模式結果於表層海溫及鹽度則差異不大。

總結上述，表層濕度及氣溫同影響表層通量，則以表層濕度影響較明顯，可依此結果調整氣象場中表層濕度參數之輸入值，透過校驗以精進海流預報模式，增加其可靠性，以提供後續各相關單位參考及各類型產品應用之使用。

## 六、參考文獻

周姿吟、于嘉順、陳維羽、陳婉婷、滕春慈(2020) 台灣海域三維海流作業化預報模式降雨對表層溫度之敏感度分析,第 42 屆海洋工程研討會,2020 年 11 月 19-20 日,國立臺灣海洋大學,基隆。

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, 16–31. <https://doi.org/10.1016/j.oceanmod.2014.10.003>

Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016) Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, 64-81.

Zeng, X., Zhao, M., & Dickinson, R. E. (1998). Intercomparison of Bulk Aerodynamic Algorithms for the Computation of Sea Surface Fluxes Using TOGA COARE and TAO Data, *Journal of Climate*, 11(10), 2628-2644.

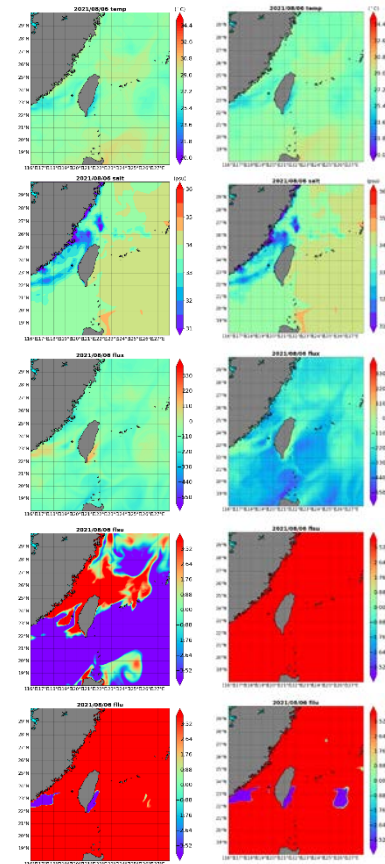


圖 6 CWB-OCM 模式結果分布圖  
(左：原模式結果，右：案例三，由上至下依序溫度、鹽度、總通量、感熱通量、潛熱通量)

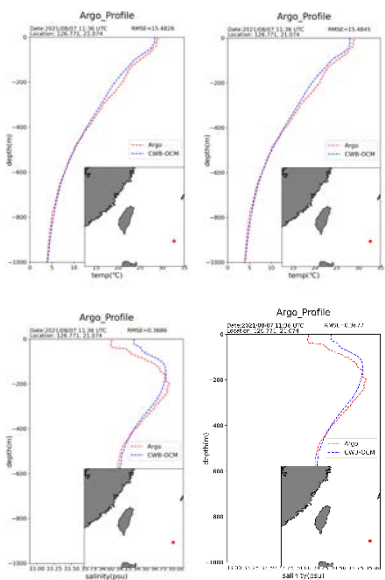


圖 7 CWB-OCM(藍)與 ARGO(紅)R2902718  
2021/08/07 溫鹽剖面圖(左：原模式結果，右：案例三，上：溫度，下：鹽度)