

新西北太平洋作業化海流模式之發展與更新

尤皓正¹ 于嘉順¹ 陳維翔² 陳琬婷² 朱啟豪² 滕春慈²
國立中山大學海洋環境及工程系¹ 中央氣象局海象測報中心³

摘要

中央氣象局於101年發展了西北太平洋作業化海流預報模式子系統，該系統為改善原有以ROMS發展之西北太平洋子系統效率，同時提供台灣海域子系統之邊界條件而建構。在使用非結構性網格模式SCHISM的特點下，並配合高速電腦的計算效率，發展了新西北太平洋作業化海流模式系統，該系統包含原有西太平洋範圍，並維持台灣鄰近海域模式之網格解析度，除海流外亦納入潮汐之影響，分別以不同季節模擬，利用HYCOM分析場資料作為初始場與邊界場，配合CFSR與氣象局WRF分析場作為氣象輸入計算，模式結果以衛星海面高度與海表溫進行比對，並利用Argo溫鹽浮標與氣象局浮標資料進行校驗，模式結果顯示，在120天的模擬時間內，新子系統的計算結果與使用資料同化HYCOM模式之結果大致相符，雖其技巧得分(Skill)略遜於HYCOM，但於模擬最後30天之結果仍有相關係數0.9以上之表現，無論在海平面高度比對或海表溫比對上，表示該系統在實際應用上，可作為短期作業化預報之系統應用。

關鍵字：西北太平洋、黑潮、非結構性網格、作業化模式

一、前言

海流系統的建立，在執行效率與儲存空間的考量下，以不同子系統分別在不同解析度下模擬不同範圍之海域，以達到作業化預報之目的，中央氣象局於101年發展了西北太平洋作業化海流預報模式子系統OCM2-SCHISM，該系統為改善原有以ROMS發展之西北太平洋子系統效率，同時提供台灣海域子系統OCM3之邊界條件而建構。SCHISM海流模式之網格特點為三角形非結構性網格，透過此特點，現有之OCM2-SCHISM與OCM3可加以合併，在OCM3範圍內之近岸區域以解析度1弧分規畫網格，並以適當的解析度接合至OCM2-SCHISM的範圍內，即可合併兩者並保有台灣鄰近海域之高解析需求，以發展新西北太平洋作業化海流模式子系統OCM2-NEW，該系統之建置，可簡化現行作業化時需同時維護兩子系統之例行工作，本文將針對該新系統之發展現況與更新進行說明。

二、模式介紹與設定

現有OCM2-SCHISM與OCM3作業化海流系統，為利用SCHISM模式(Zheng et al., 2016)進行構建，該模式是原有SELFE模式(Zhang & Baptista, 2008)之主要發展分支，包含了原有模式特性外，亦增加了許多新的功能與特點，該模式是為了更容易解析海洋中內陸少洲及河口、港灣及潟湖等不規則陸地形狀，而發展的三維水理模式。由於此模式的計算

直接採用三維計算，並不利用Mode splitting的方式分開計算來加速，而是藉由Eulerian-Lagrangian方式計算動量方程式之對流項，可提高其計算步長，得以確保計算的效率。

新子系統範圍，納入了日本海與南海範圍，並於太平洋延伸較遠區域，並增加台灣領土海域與台灣海峽內之近岸區域解析，包含台灣海峽內之大陸沿岸、東沙、南沙群島等(圖1)，以達到未來局內精緻化預報之需求。其水平網格大小除依水深分布控制外，於西太平洋、南海與日本海區域加密，亦即是高解析度至約8公里以下，最終產出網格節點數目約為50萬點。

模式之地形資料以2015年3月釋出之最新GEBCO-2014(Becker et al., 2009)作為背景水深，其解析度為0.5分，較ETOPO1 (Amante and Eakins, 2009)更為精細，再配合科技部海洋資料庫3種不同解析度(1000公尺、500公尺、200公尺)之水深資料進行套疊，該資料為國內研究船收集之EK500資料，搭配國外NGDC、ETOPO等水深資料，而產出解析度較高之水深。由於近岸之水深資料對於模式結果影響較大，因此亦參考原有OCM3之模式水深設定，適度調整新子系統之水深設定。

垂直網格之部分，則利用LSC2垂直網格進行測試，其分布如圖2所示，目前LSC2垂直網格之主網格設定為42層，由於LSC2容許每一計算點之垂直網格層數不同，目前設定之平均垂直層數約為29層左右，可避免S-Z網格於水深變化較大時較易產生壓力梯度變化之錯誤(Pressure gradient error)(Zhang et al., 2015)。

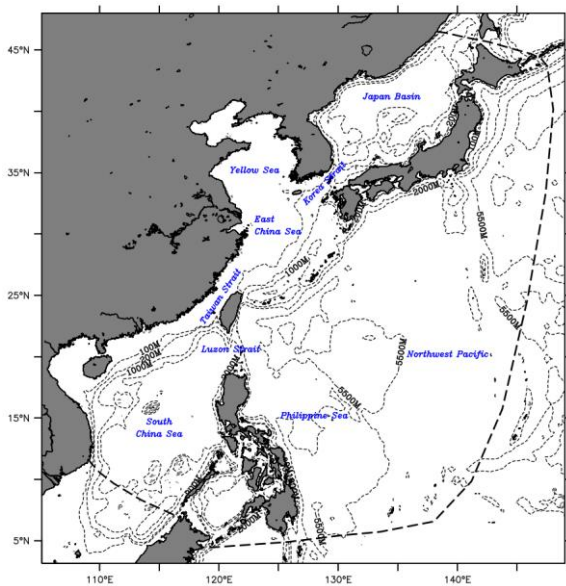


圖1 新子系統OCM2-NEW調整後範圍及其水深分布

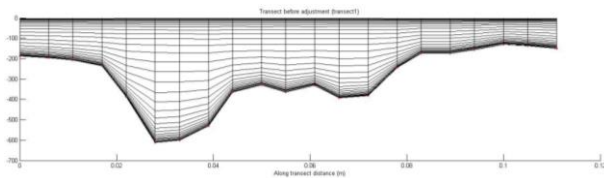


圖2 新子系統垂直LSC2網格分布範例

三、模式設定與案例建置

由於海流模式SCHISM為半隱式去進行解析計算，時間步長僅需符合CFL大於0.4之條件，目前之網格設定下，計算時間步長設定為150秒即可符合其要件，其時間步長較一般常見海洋模式為大，因此其計算效率亦較高。針對新子系統OCM2-NEW，分別設計了夏季與冬季案例，各進行120日之模擬，了解不同季節下OCM2-NEW的模擬能力。模式利用HYCOM之分析場資料作為初始場，並擷取於OCM2-NEW之邊界點資料作為邊界輸入，包含水位、溫度、鹽度與流速剖面，氣象場部分則以CFSR重分析場作為輸入，除風速與氣壓外，亦包含長短波輻射通量進行計算。夏季案例時間由2013/4/1開始，冬季案例則為2013/12/1開始，在擷取上述相關資料設定後，分別進行120日(4個月)之計算。

校驗部分將分別由海平面、垂直剖面、單點時序進行比對，海平面利用衛星資料為主要比對基準，過去海流系統校驗亦使用衛星資料為主，主要因為該資料可包含較大範圍，可提供較為完整之比對訊息，資料包含海平面高度與海表面水溫。

另外，垂直剖面的部份則利用ARGO浮標資料進行比對，該資料為隨機分布，提供在某一時間下之垂直溫鹽剖面

資料，相關介紹亦可參考第五章，在此以最後30日之模擬結果進行比對。同時，亦透過局內大型固定浮標之水溫資料作為固定點位之時序比對。

比對除以模擬結果進行外，同時納入HYCOM分析場結果，HYCOM分析場為利用所有蒐集到之海洋資料同化後進行計算，因此可預期現有OCM2-NEW在無任何同化設定下，在120天之模式結果將遜於HYCOM，但兩者之比對結果可作為未來作業化之評估，了解現有系統設定下之計算表現。模式結果比對均以均方根誤差(RMSE)為主要比對基準(Skill)，在可能的情况下，可納入平均偏差(Bias)與相關係數之計算。

四、夏季案例

夏季案例結果顯示，海表水位分布與HYCOM分布類似，於模擬期間內之相關比對基準並無隨模擬時間而有下降之趨勢(圖3)，無論平均偏差(Bias)與均方根誤差(RMSE)皆與HYCOM類似，相關係數則較遜於HYCOM，但仍有0.9以上之表現，模擬第120日之平面分布比對如圖4至圖6，OCM2-NEW之水位分布雖類似於AVISO衛星資料，但無法如使用同化功能之HYCOM分析結果更加符合，為可預期之結果，如由比對基準來看，OCM2-NEW之水位模擬結果表現不差。

海表溫比對結果亦顯示類似之趨勢，在120日之模擬內，平均偏差(Bias)與均方根誤差(RMSE)皆與HYCOM類似，但相關係數則隨著模擬時間而逐漸降低，但仍有0.94以上之水準。如以模擬第120日之平面分布比對，OCM2-NEW較GHRSSST衛星資料為高，但整體趨勢大致相同，HYCOM則與GHRSSST衛星較為符合，但於台灣東部海域與巴士海峽較為低估，由比對基準之表現，OCM2-NEW於夏季水溫之模擬結果良好。

由垂直剖面比對可以補足僅於表層比對之缺點，但其資料無法如衛星資料分布較廣且密，其資料在平面分布上較為鬆散，因此分別在模式範圍內挑取不同海域進行展示，分別為日本海、日本南部黑潮主軸區、西太平洋中部、菲律賓東側、與南海中部，以了解不同海域之表現，同時為了解於模擬後期模式飄移的程度，以模擬期間最後30日內(第91~120日)之ARGO浮標資料進行比對，由模式結果顯示，OCM2-NEW於不同海域之表現與HYCOM類似，如以最後30日內之全部ARGO浮標資料(共936筆)進行比對，OCM2-NEW在溫度剖面的表現約為0.8度C，較HYCOM大一倍(約0.4度C)，但鹽度剖面則兩者相差不大，顯示在垂直層方面，OCM2-NEW可得到不錯之模擬結果。

如由局內佈放之大型浮標比對單點時序，於夏季模擬期間共有6組浮標資料可供比對，分別為龍洞、新竹、鵝鑾鼻、台東外洋、東沙與馬祖，由比對結果顯示，OCM2-NEW大致上與浮標海溫趨勢相符，最佳結果為新竹測站(圖7)，台東外洋測站顯示固定之高估偏差值，龍洞與

鵝鑾鼻測站則隨著模擬時間而逐漸些微高估，東沙與馬祖測站則一開始顯示較為高估，隨著模擬時間往後而有較為低估之趨勢，如與HYCOM結果分別比較其誤差，新竹、東沙與馬祖顯示OCM2-NEW之結果較HYCOM為佳，其餘測站大致與HYCOM結果類似，無論OCM2-NEW或使用同化的HYCOM皆可達到與浮標相同之趨勢，顯示OCM2-NEW可適當的模擬出浮標測站之海溫時序。

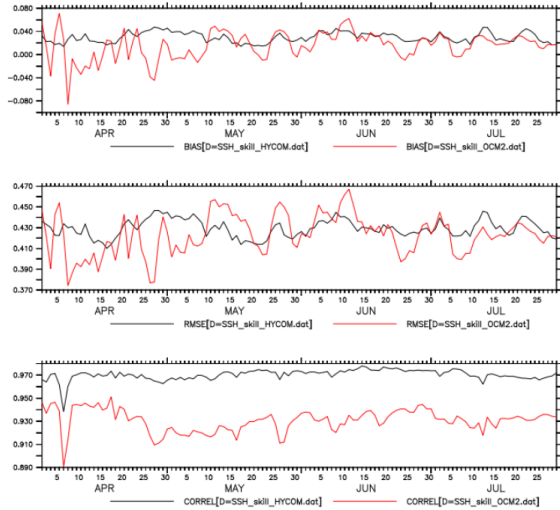


圖3 夏季案例中OCM2-NEW(紅線)與HYCOM(黑線)分別與AVISO衛星資料之比對，上圖為平均偏差(Bias)、中圖為均方根誤差(RMSE)、下圖為相關係數

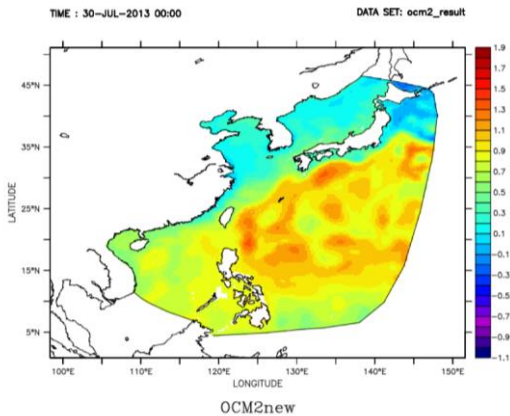


圖4 夏季案例中OCM2-NEW模擬之第120日水位分布

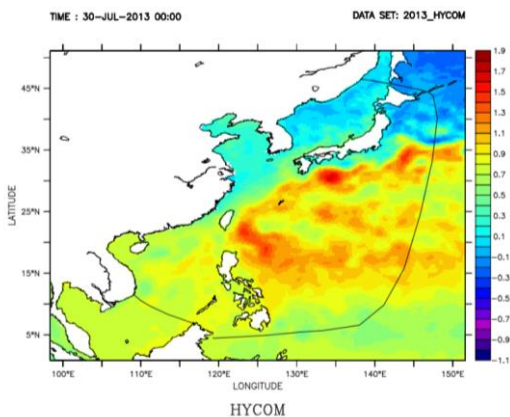


圖5 夏季案例中HYCOM之分析場於模擬第120日水位分布

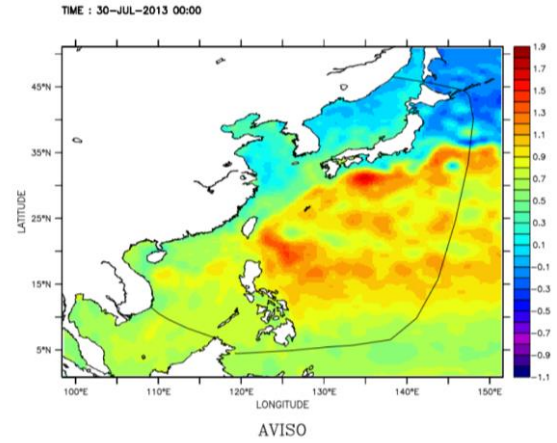


圖6 夏季案例中AVISO衛星資料於模擬第120日之水位分布



圖7 夏季案例中OCM2-NEW(黑線)、HYCOM(綠線)與新竹浮標(紅點)海溫時序資料比對

五、冬季案例

冬季案例的比對，海表水位分布與HYCOM分布類似，於模擬時間內之相關比對基準並無隨模擬時間而有下降之趨勢(圖8)，無論平均偏差(Bias)與均方根誤差(RMSE)皆與HYCOM類似，相關係數則僅交遜於HYCOM，但仍有0.9以上之表現，模擬第120日之水位平面分布比對，OCM2-NEW之水位分布雖類似於AVISO衛星資料，但無法如使用同化功能之HYCOM分析結果更加符合，為可預期之結果，如由比對基準來看，OCM2-NEW之水位模擬結果與夏季結果有類似之表現。

海表溫比對結果亦顯示類似之趨勢，在120日之模擬內，平均偏差(Bias)、均方根誤差(RMSE)與相關係數皆與HYCOM類似，相關係數有0.98以上之水準。如以模擬第120日之平面分布比對，OCM2-NEW與GHRSSST衛星資料分布大致相符，惟琉球海溝至日本南側之黑潮主軸內溫度較高，HYCOM與GHRSSST衛星較為符合，由比對基準之表現，OCM2-NEW於冬季水溫之模擬結果較夏季為佳。

冬季ARGO垂直剖面比對，同樣挑選不同海域進行展示，並以模擬時間最後30日內(第91~120日)之ARGO浮標資料進行比對，由模式結果顯示，OCM2-NEW於不同海域之表現與HYCOM類似(圖9)，惟日本海之表層海溫較為高估，如以最後30日內之全部ARGO浮標資料(共863筆)進行比對，OCM2-NEW在溫度剖面的表現約為0.82度C，較HYCOM大一倍(約0.47度C)，但鹽度剖面則兩者相差不大，與夏季之模擬結果有類似之表現，但無論OCM2-NEW或HYCOM，其鹽度剖面表現較夏季為差。

如由局內佈放之大型浮標比對單點海溫時序，於冬季模擬期間則有5組浮標資料可供比對，分別為龍洞、新竹、鵝鑾鼻、東沙與馬祖，同時，資料缺失的狀況較為嚴重，以東沙最差，馬祖最佳，其於測站則有低估之趨勢，新竹測站之趨勢大致相符，但低估其最高溫值，鵝鑾鼻測站之比對，無論OCM2-NEW或HYCOM都無類似趨勢，且其資料缺失較多，東沙則因比對資料過少，OCM2-NEW結果較HYCOM為高。如與HYCOM結果分別比較其誤差，馬祖與新竹結果顯示OCM2-NEW之結果較HYCOM為佳，其餘測站受到資料缺失影響較大，較無法作為比對之基準，由比對結果顯示OCM2-NEW可達到與浮標相同之趨勢，與夏季結果類似。

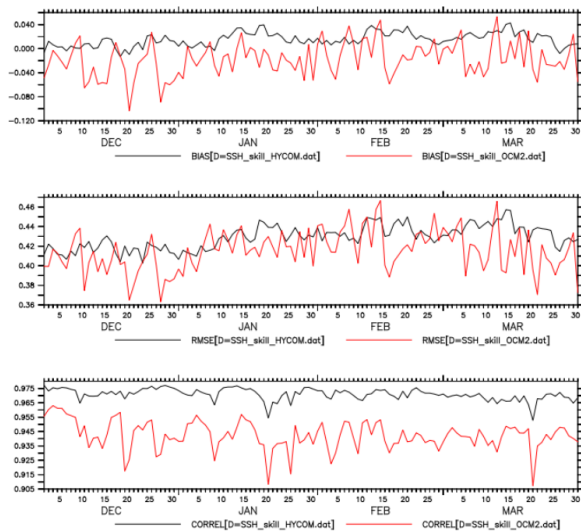


圖8 冬季案例中OCM2-NEW(紅線)與HYCOM(黑線)分別與AVISO衛星資料之比對，上圖為平均偏差(Bias)、中圖為均方根誤差(RMSE)、下圖為相關係數

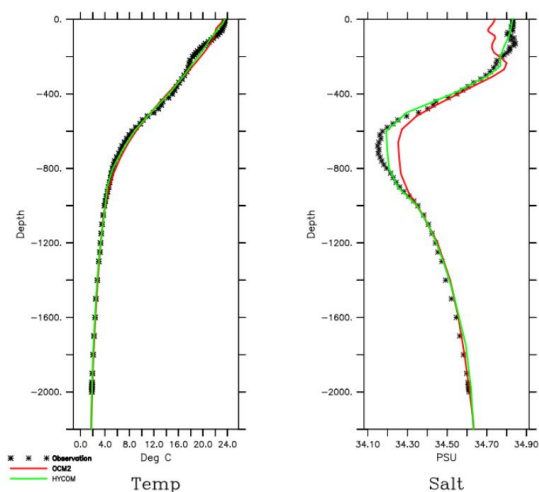


圖9 冬季案例中OCM2-NEW(紅線)、HYCOM(綠線)與ARGO剖面溫鹽資料(黑點)比對(浮標資料為nodc_R2902502_016，於西北太平洋中部)

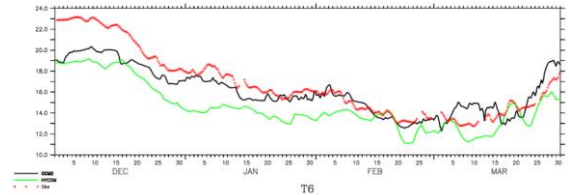


圖10 冬季案例中OCM2-NEW(黑線)、HYCOM(綠線)與馬祖浮標(紅點)海溫時序資料比對

六、結論

新子系統OCM2-NEW的發展，包含了重新規畫範圍與其解析度，分別建置不同季節之案例，並以衛星資料、Argo垂直剖面溫鹽資料與局內浮標海溫時序資料進行模擬結果驗證，同時並與HYCOM分析場進行比對，模擬結果顯示現有設定下，可達到與HYCOM類似之分布，無論每表水溫或海平面高度，在120日之模擬後，其相關係數仍可達0.9以上，垂直剖面溫鹽之比對亦顯示不錯之結果，浮標海溫時序之比對，OCM2-NEW在某些測站結果甚至優於HYCOM，顯示目前之新子系統可達到作業化預報之目的。

七、參考文獻

- Amante, C. and B. W. Eakins, March. (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp.
- Becker, J. J., D. T. Sandwell, W. H. F. Smith, J. Braud, B. Binder, J. Depner, D. Fabre, J. Factor, S. Ingalls, S-H. Kim, R. Ladner, K. Marks, S. Nelson, A. Pharaoh, R. Trimmer, J. Von Rosenberg, G. Wallace, P. Weatherall. (2009) Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS, Marine Geodesy, 32:4, 355-371, DOI: 10.1080/01490410903297766
- Zhang, Y., and Baptista, A.M. (2008) SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation, *Ocean Modelling*, 21(3-4), 71-96.
- Zhang Yinglong J., Eli Ateljevich, Hao-Cheng Yu, Chin H. Wu, Jason C.S. Yu (2015) A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model, *Ocean Modelling*, Vol. 85, 16-31.
- Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016). Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, 64-81.

