

台灣海域多尺度三維海流預報作業模式建置-太平洋及西北太平洋模式

江朕榮¹ 余杏儒¹ 于嘉順² 陳琬婷³ 朱啟豪³ 滕春慈³
國立中山大學海工系博士班¹ 國立中山大學海工系助理教授² 中央氣象局海象測報中心³

摘要

海流預報作業一直是海象(洋)預報作業中最为艱鉅的一項工作，研發多尺度的台灣海域海洋預報作業模式是本研究工作重點。本研究分四個階段進行：(一)台灣海域多尺度三維即時海流預報作業模式建置可行性評估，訂定工作目標與預期成果，收集分析相關文獻與資料(二)建置大範圍(太平洋及西北太平洋尺度，西北太平洋尺度，需涵蓋黑潮及大部分颱風路徑)模式(三)建置台灣沿海及台灣海峽細格點模式(1/60 度解析度)，(四)建立模式接合介面，將各種不同尺度與解析度的模式進行單向巢式接合，提升預報的精度與效率，巢式接合模式平行化作業，並以中央氣象歷年潮位、水溫、氣溫、颱風等紀錄進行分析，長期模擬分析，作業化模式上線參與每日預報作業。目前本研究已進行至第二階段，建置最大尺度的太平洋環流模式及中尺度的西北太平洋環流模式，進行模式接合介面測試，並利用收集到的相關資料進行模式校驗，以提供未來最小尺度的台灣海域海流模式之邊界條件資料。太平洋環流模式模擬範圍為整個太平洋區域，解析度為 1/3 度；西北太平洋環流模式為了將黑潮路徑完整包覆，範圍由東經 90 度 180 度，南緯 20 度至北緯 50 度，解析度為 1/8 度。兩層皆使用 ROMS 進行模擬，垂直分層為 40 層。模式初始條件及邊界條件(溫度、鹽度、SSH 及流場分布)使用 HYCOM 全球模式模擬結果，驅動力(風速、淨熱通量及淨淡水通量)則使用 NCEP 重分析的資料。由於大尺度及中尺度的網格及範圍較大，缺乏充足的實測資料，因此將模式驗證區域聚焦於台灣東部海域及呂宋海峽的黑潮潮流及因其產生的渦旋現象，待收集到更多實測資料後，會進行其他區域的比對驗證。

關鍵字：作業化模式，太平洋環流模式，西北太平洋環流模式

一、前言

台灣海域為東亞航運必經之地，近幾年來的經濟快速開發，台灣對外航運更趨頻繁，尤其是石化工業的興起，油品及化學品的進出口更增加了海域遭受船難與污染的危機，阿瑪斯輪的油污染以及韓籍化學輪三湖兄弟號在新竹外海沈沒所造成的長期影響更是深遠。由於台灣附近海流經過所形成的生態系統豐富，亦是漁產豐盛的海域，近年興起的海面箱網養殖漁業與政府為保護漁業資源在台灣海域投擲大量的人工魚礁，更是易遭受污染的傷害。即時的海流預報作業，不但可以提供航運業者與航管單位即時的海流預報資訊，更可以提供做為早期預警與管理的工具，一旦船難發生時，亦可有立即的海流預報資訊，提供緊急應變單位預測由污染或化學品污染的漂移方向及擴散區域。此外，緊急的海難救助之搜尋工作，亦亟需詳盡的全域三維海流資訊，以提供救難單位即時預測平由搜救對象的可能地點，減低搜尋資源投入的成本，確保搜尋作業時效。

台灣附近海域的海流極為複雜，北太平洋環流「黑潮」流經台灣東部海域，除了強盛的海流亦帶來高溫與高鹽度的海水環境，進入琉球海溝時亦有部分進入台灣北部海域，與來自台灣海峽的海流結合進入東海，每年東北季風期又會阻擾部分的表層洋流而促成黑潮的支流經過台灣南部海域進

入南海北部及台灣海峽的南部。除了黑潮洋流的影響，秋冬的東北季風及夏季的西南季風均對台灣附近的海流有相當的影響。在台灣海峽及東海等大陸棚海域，潮汐又是一個主導海流的動力，季節變動所造成的溫度與可水排放的淡水亦會影響海流的分布，颱風所造成的擾動期間雖然不長，但是可以造成非常劇烈的局部影響，因此，為能夠及時提供台灣海域的海流資訊，一套涵蓋大範圍、多尺度、能夠達成預報時效的海流即時預報模式是海象預報作業極為重要的工作。

海流預報作業一直是海象(洋)預報作業中最为艱鉅的一項工作，亦是近年歐美先進國家中一項積極發展及改進的項目。一方面提供即時預報海流作為航運、遊憩、漁業等公私部門做為規畫管理及作業之參考，另一方面並可隨時提供救難與緊急應變之需。應用現代高速電腦之計算與儲存技術之提高，運用在預報作業的時效與精度，提供有效的即時預警。研發多尺度台灣海域的海洋預報作業模式是急需完成的重點工作。

本研究分四個階段進行：(一)台灣海域即時海流預報作業模式建置可行性評估，訂定未來工作目標與預期成果，並收集分析相關文獻與資料，(二)建立大範圍(太平洋及西北太平洋尺度，西北太平洋尺度需包含黑潮路徑及大部分颱風路徑)模式，(三)建置台灣沿海及台灣海峽細格點模式(預報使用 1/60 度解析度或非正交網格)，(四)建立模式接合介面，將各種不同尺度與解析度的模式進行單向巢式接合，提升預

報的精度與效率，巢式接合模式平行化作業，並以中央氣象歷年潮位、水溫、氣溫、颱風等紀錄之分析，長期模擬分析，作業化模式上線參與每日預報作業。

目前本研究進入到第二階段，因此本文於第一部份敘述研究背景，第二部份說明台灣海流預報系統架構，第三部份展示目前完成的成果，最後為結論及未來仍需努力進行的目標。

二、台灣海流模式預報系統

參考國際海流預報系統，規劃完成的台灣海域海流預報作業化模式系統如圖 1，整個海洋環流預報作業化模式系統架構主要分為兩個部份，一為模式系統，包括太平洋環流模式、西北太平洋模式及台灣海域模式，第二部份則為觀測資料系統，包括衛星資料、測站資料、浮標資料及船測資料，用以讓模式進行資料比對，在未來可與模式進行資料同化，得到更精確的模式結果。

影響海流的因素相當多，各因素的尺度也不同，有全球尺度的大氣因子、洋流及潮流，中尺度的渦流系統，也有受到海岸線及區域地形攪擾的小尺度因子。要將大尺度的影響因素包含進來，模式的模擬範圍需要擴大，而要解析區域變化，網格精度需要增加，如此條件下，計算的網格數會以數十倍甚至數百倍增加，以目前現有的電腦計算架構，利用單一網格系統來模擬是不可能的，折衷的方式是利用巢式網格系統，因此本系統設定了三個階層的網格系統，如圖 2 及圖 3。

第一層太平洋環流模式(OCM1)，利用全球大氣模式作為驅動條件，進行太平洋洋流系統的模擬，使用模式為 ROMS，結果可作為下一層模式的邊界條件。西北太平洋模式(OCM2)則進行更細節的西北太平洋環流模擬，精度提高，並將黑潮的路徑以及大部分的颱風路徑涵蓋在內，由於使用太平洋環流模式的結果當成邊界條件，因此可將洋流的影響包含進西北太平洋模式內，同時因為解析度較高，也可將中尺度的渦流系統包含在內，使用模式為 ROMS。最後一層則是解析度及範圍最小的台灣海域模式(OCM3)，利用西北太平洋模式的結果當成邊界輸入，將洋流及渦流的影響帶進此系統，而解析度小可以解析更細節的海岸線及海底地形，透過此巢式網格的機制，可以得到更精確的台灣海域海流狀況，使用模式為 FVCOM。

台灣海洋環流作業化預報系統建置完成後，最主要的目的便是進行未來的海流預報，不同尺度的模式關注的現象不同，運算的時間也不同，因此配合各模式的特性，目前規劃未來模式的作業化時程如下：

- 太平洋環流模式：每月執行一次，現報過去一個月，預報未來一個月。
- 西北太平洋環流模式：每二週執行一次，配合太平洋環流模式現報過去兩星期，預報未來兩個星期
- 台灣海域模式：每天執行一次，現報 24 小時及預報 72 小時

模式系統建置完成，需要實測資料進行模式效驗及比對，因此海洋環流預報作業化模式系統架構包含了觀測資料系統。由於模式系統涵蓋的範圍從全球範圍到區域範圍，因此所需要的資料量相當龐大，包括衛星資料 (大範圍)、測站資料 (區域)、浮標資料 (區域)及船測資料 (區域)。取得的資料除了進行模式的比對之外，同時也希望建立一套資料同化的方式，以增加模式作業化預報的精確度。

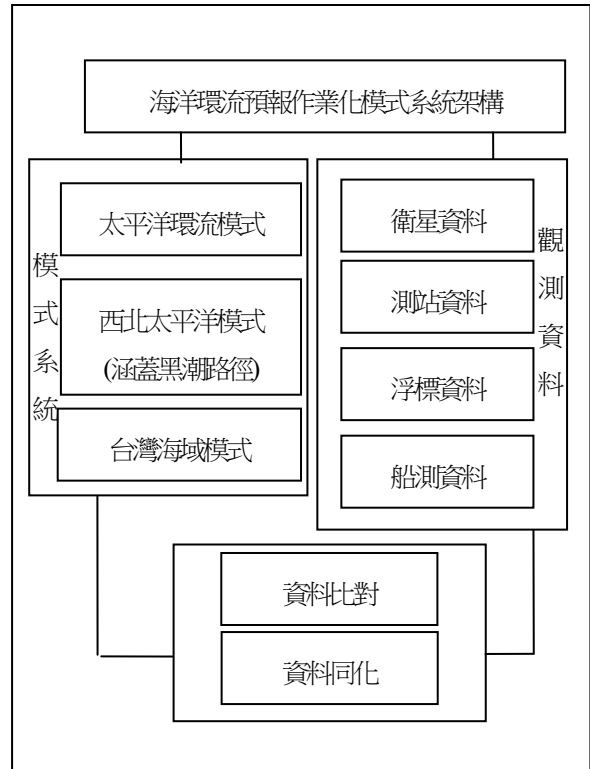


圖 1 台灣海流模式預報系統架構圖

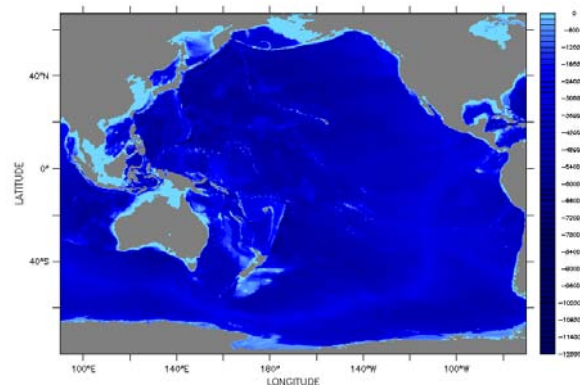


圖 2 海流模式系統模擬範圍示意圖(太平洋環流模式)

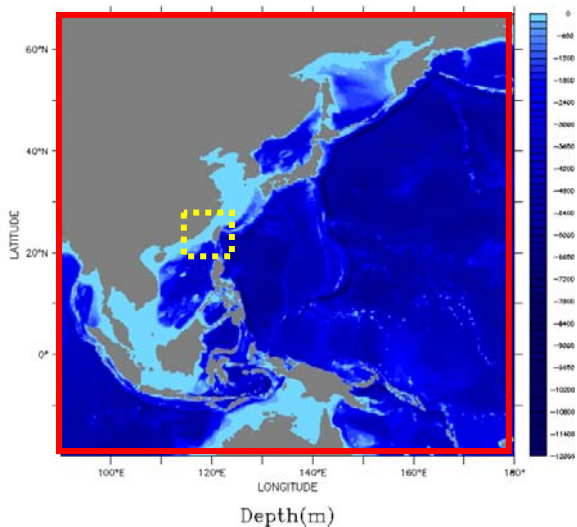


圖3 海流模式系統模擬範圍示意圖(紅框：西北太平洋模式及黃框：預定的台灣海域模式)

三、模式設定

依照前一節海洋環流模式架構，本研究需建置三種不同尺度及範圍的模式，目前完成太平洋(OCM1)及西北太平洋(OCM2)環流模式設置，使用的模式為 ROMS。

3.1 模式範圍網格設定

OCM1 模式範圍需涵蓋整個太平洋海域，因此選定範圍由南緯 80 度至北緯 67 度，東經 90 度至西經 67 度，如圖 4 所示，可將南北太平洋環流及南極環流包含進來，西邊邊界延伸至東經 90 度，可將西邊透過印尼群島間隙的進入太平洋海域的流場影響包含進來。模式地形資料透過 *ctotp5* 全球地形資料擷取出來，由於近岸地區在此模擬範圍對太平洋環流的影響不大，因此最小地形深度設定為 40 公尺。模式網格解析度為 1/3 度，水平網格數為 626(經度方向) x 450(緯度方向)點，經度方向最小網格距離為 6.3 公里，最大網格距離為 36 公里，垂直分層為 40 層，採用 s 座標分層，如此在最淺每層厚度可達到 1 公尺，最大厚度為 480 公尺。

OCM2 模式範圍需涵蓋整個黑潮路徑以及大部分的颱風路徑，因此選定範圍由南緯 20 度至北緯 67 度，東經 90 度至東經 180 度，如圖 6 所示。模式地形資料透過 *topo2* 全球地形資料擷取出來，由於近岸地區在此模擬範圍對黑潮流向及中尺度渦流的影響不大，因此最小地形深度設定為 40 公尺。模式網格解析度為 1/8 度，水平網格數為 722(經度方向) x 706(緯度方向)點，經度方向最小網格距離為 5.4 公里，最大網格距離為 14 公里，垂直分層為 40 層，採用 s 座標分層，如此在最淺每層厚度可達到 1 公尺，最大厚度為 46 公尺。

ROMS 在實際計算點的選擇是透過乾濕點的設置決定，如此可將沒影響(內陸湖白)或影響較小(半封閉海域、海灣)的計算區域排除，節省模式計算時間。圖 5 為太平洋環

流模式計算點(濕點)配置，由於美洲地區五大湖區及墨西哥灣與太平洋海域並無連接點，並不會影響太平洋環流，因此透過乾濕點配置將此區海域設定為非計算點(乾點)；北邊白令海峽連接北極海的北邊界，因為並未有可配合的北極海模式運算，加上此區海流交換影響較小，也將此區設定為非計算點(乾點)。圖 7 為西北太平洋環流模式計算點(濕點)配置，乾濕點變化僅將東北部與白令海峽連接的一小區域設定為乾點，此區僅有一小通道與太平洋連結，因此將其設為乾點也不會影響整體趨勢，同時避免東邊界與陸地點過近，造成模式不穩定。

目前太平洋環流模式(OCM1)使用的 3 維時間步長(time step)為 40 秒，2 維時間步長則為 2 秒。西北太平洋環流模式(OCM2)由於解析度更細，因此在 3 維時間步長(time step)設定為 10 秒，2 維步長設定為 1 秒。

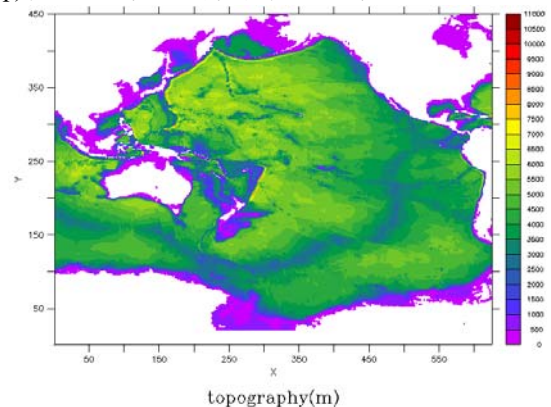


圖4 太平洋環流模式(OCM1)範圍地形圖

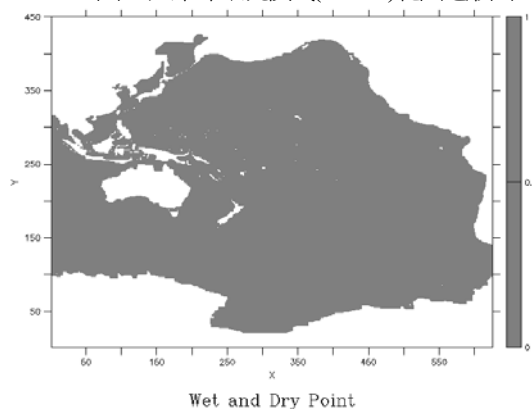


圖5 太平洋環流模式(OCM1)計算點(濕點)配置

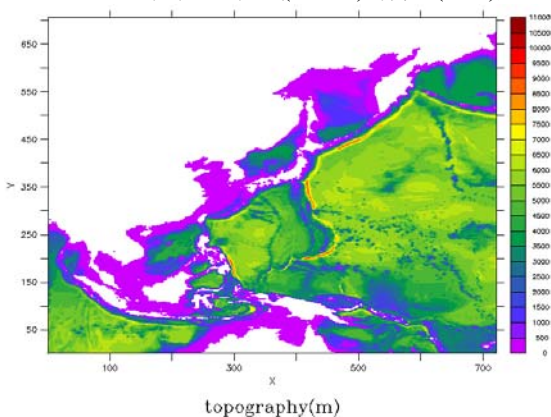
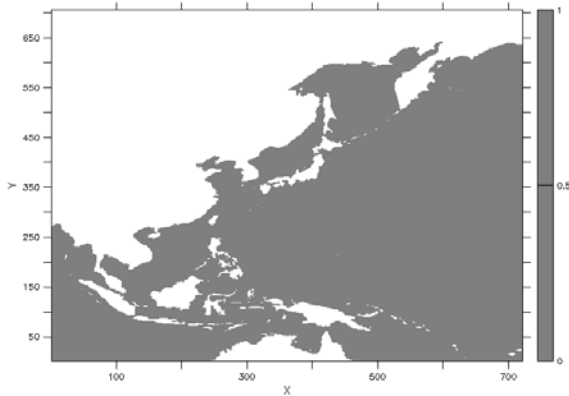


圖6 西北太平洋環流模式(OCM2)範圍地形圖



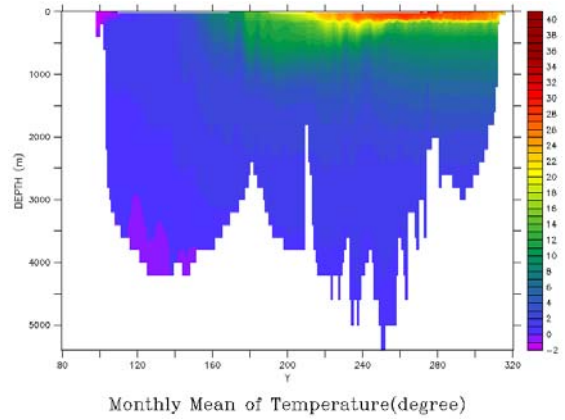
Wet and Dry Point

圖 7 西北太平洋環流模式(OCM2)計算點(濕點)配置

3.2 模式邊界條件、初始條件及驅動力

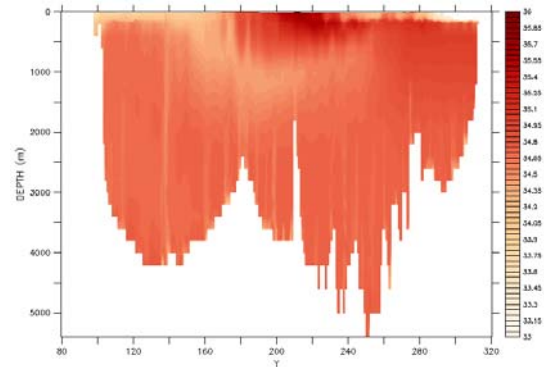
由於太平洋模式範圍相當大，初始條件若從零開始運算，需要相當長的時間才有辦法達到模式穩定，為了加快模式穩定的時間，因此目前使用 HYCOM 全球模式(解析度為 1/12 度)2003 年 1 月 2 日的計算結果作為太平洋環流模式的初始條件，使用資料為水表面高度、三維流速、溫度及鹽度資料。模式邊界條件同樣也使用 HYCOM 模式結果輸入，輸入的項目與初始條件相同，圖 8 及圖 9 為太平洋環流模式(OCM1)邊界溫度及鹽度垂直分佈示意圖。西北太平洋環流模式(OCM2)的模擬範圍為海流預報系統的第二層模式，初始條件預計為接收太平洋環流模式的結果，然目前太平洋環流模式的結果還未經過校驗，因此目前仍同樣暫時使用 HYCOM 全球模式(解析度為 1/12 度)計算結果作為初始條件及邊界條件，待太平洋環流模式結果穩定後，便可引入西北太平洋環流模式進行同步運算，達成巢式網格設定的目的。

ROMS 驅動力輸入可分為兩種形式，第一種為輸入風速、氣壓、雲遮量、相對濕度、降雨量、蒸發量、短波輻射、長波輻射、海表面反射率及海表面氣溫等氣象因子，於模式內自行計算所需使用的變數；第二種則為輸入風剪力、靜熱通量、短波輻射、淨降雨量及海表面溫度等變數資料，直接供模式計算使用。透過氣象資料的收集，取得 2003 年 NCEP 重分析氣象資料(目前取得的資料為月平均值)可直接提供相關變數的數值資料，因此太平洋及西北太平洋環流模式的驅動力設定採用第二種方式，直接將變數值輸入模式計算。圖 10 及圖 11 為 1 月平均熱通量分布圖。



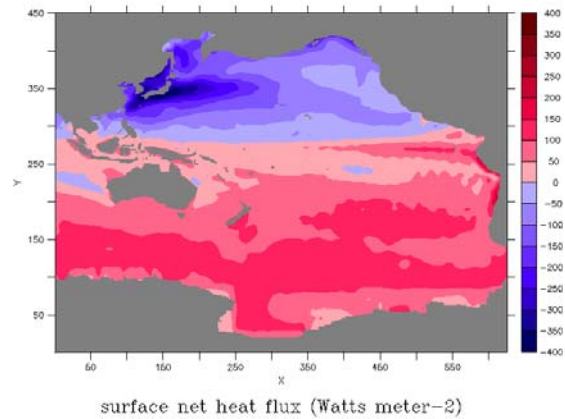
Monthly Mean of Temperature(degree)

圖 8 太平洋環流模式西邊界溫度垂直分佈圖(一月)



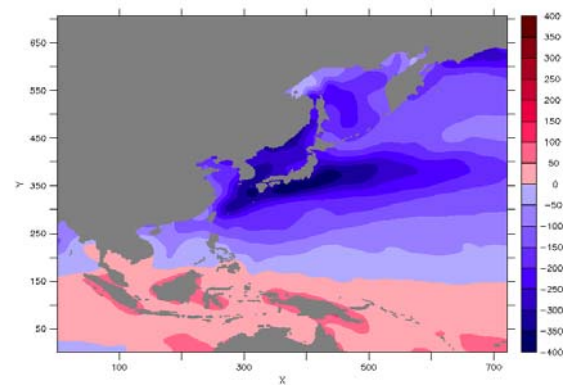
Monthly Mean of Salinity(psu)

圖 9 太平洋環流模式西邊界鹽度垂直分佈圖(一月)



surface net heat flux (Watts meter⁻²)

圖 10 太平洋環流模式範圍熱通量分布圖(一月)



surface net heat flux (Watts meter⁻²)

圖 11 西北太平洋環流模式範圍熱通量分布圖(一月)

3.3 模式初步結果

本階段太平洋環流模式(OCM1)及西北太平洋環流模式(OCM2)建置完成後，目前進行了一個月的模擬，模擬時間為2003年1月，使用的初步比對資料為HYCOM模式結果，時間為月平均資料，比對的資料包括海表面水溫、鹽度，西北太平洋環流模式則針對黑潮範圍進行比對。

圖12至圖15為1月份的模擬比對結果。圖11及圖12為OCM1海表面水溫、鹽度比對。OCM1的海水表層溫度模擬結果與HYCOM的模擬結果大致相同，僅有幾處溫度分佈不同，第一部份為南極區域，OCM1的溫度較HYCOM結果高，第二部份在中太平洋赤道區，OCM1的結果出現小區域較冷的小水團，第三部份為菲律賓與印尼島鍊內，水溫也較HYCOM結果為低，最後一部分則落在模式西邊界北邊，泰國海或附近，OCM1的結果也較HYCOM的結果低。在海水表層鹽度分佈，OCM1模式的結果較水溫結果更接近HYCOM的分佈，鹽度極大值位於東太平洋海或南美洲附近，極小值則分佈於長江口至渤海灣沿岸以及西邊界泰國附近海域。圖13及圖14為OCM2海表面水溫、鹽度比對。OCM2的海水表層溫度模擬結果與HYCOM的模擬結果大致相同，僅在越南、大陸沿岸地區至韓國沿岸區溫度較HYCOM結果高，以及黃海或低溫水團較HYCOM範圍大。在海水表層鹽度分佈，OCM2模式的結果與HYCOM的分佈同樣類似，除了南海海或鹽度較大值區域較HYCOM結果為寬，鹽度極小值落於渤海灣其部份黃海海域。

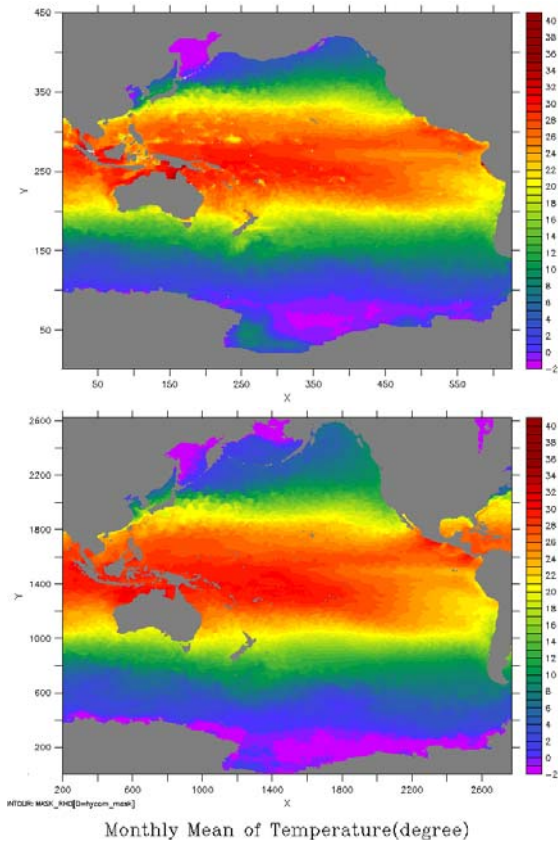


圖12 月平均(1月)表層溫度分布(上:OCM1，下:HYCOM)

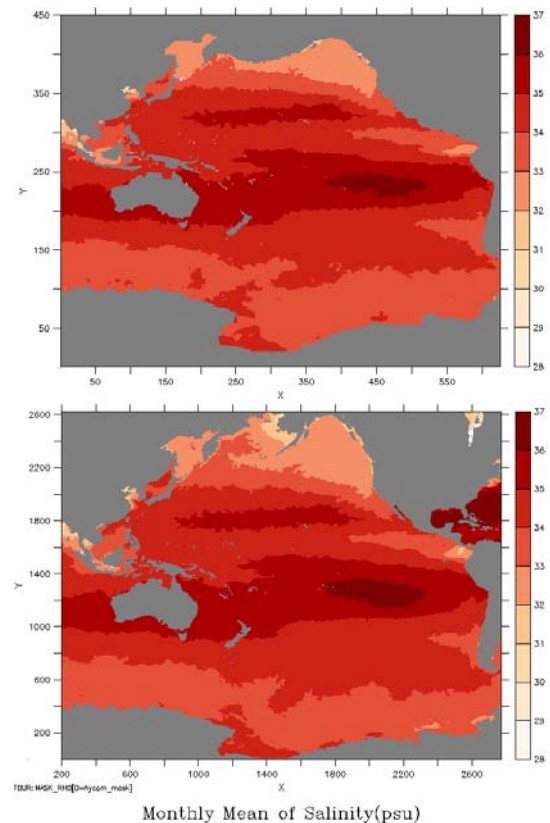


圖13 月平均(1月)表層鹽度分布(上:OCM1，下:HYCOM)

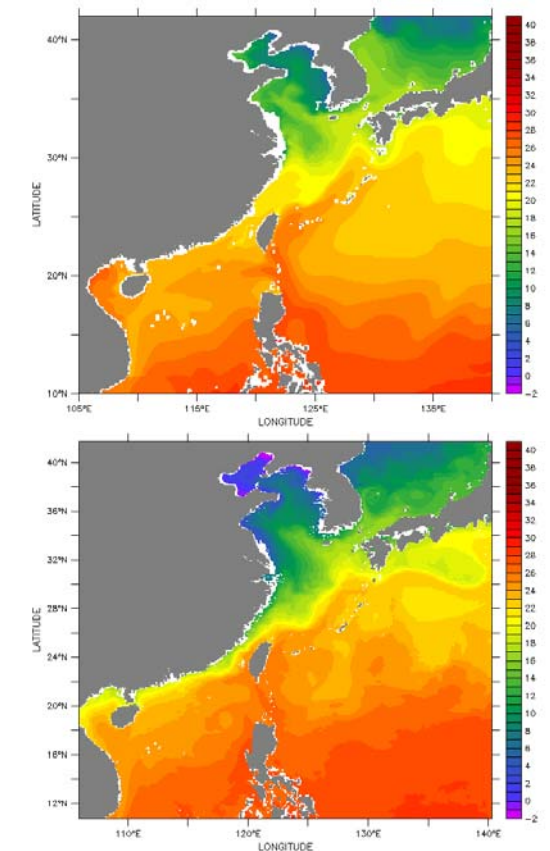


圖14 月平均(1月)表層溫度分布(上:OCM2，下:HYCOM)

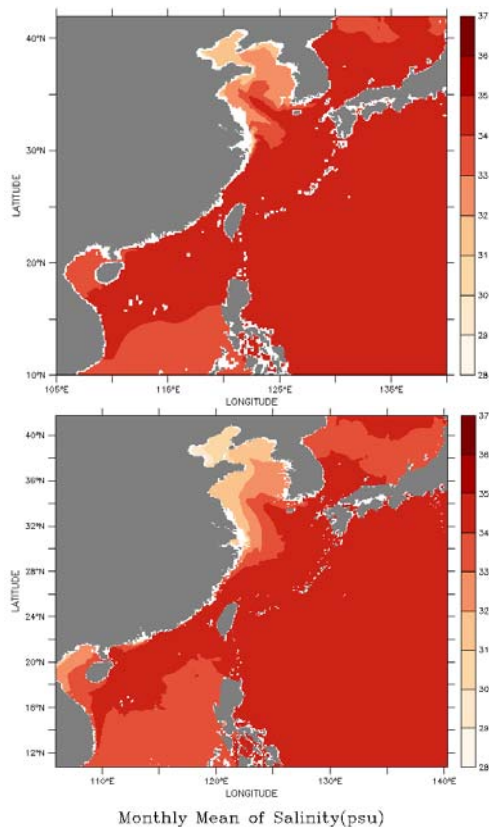


圖15 月平均(1月)表層鹽度分布(上:OCM2, 下:HYCOM)

四、討論

由於建置如此大範圍的模式，涵蓋的地形變化相當大從近岸至深海地區皆包含，初始利用sigma座標進行設定時，會產生第一層厚度差異太大，最薄1米，最厚可達百米以上，這在產生模式初始場及運算過程中會造成模式不穩定，如深海地區的表層因為厚度過大，利用HYCOM進行內差會導致初始場溫度過低，造成與現況不符合的狀況。因此本研究決定使用厚度可變的s座標來解決深水地區表層深層過大的問題，在100公尺以上分割較多層數較薄的垂直分層，較深的海域因為水體特性變化較小，因此可用較少且較厚的垂直分層表示，如此可解決因為單層厚度差異過大產生的不穩定問題。

在發展的過程中，碰到的另一問題則是運算資源的不足，由於原本規劃的預報時程，運算量遠超過原本預估的預報時效，且結果輸出也過於龐大，因此在取得足夠的運算資源及空間的過渡時期，本團隊做了預報時效流程的修正，目前暫時規劃為三日預報，由OCM1開始，計算結果引入OCM2最後帶入台灣海域海流模式，最後得到72小時的海流預報場。

五、結論及未來工作

受制於運算資源(包括計算能力及儲存空間)及預報的邊界條件資料，此過度時期僅能進行三日的短期預報，待未來計算資源及相關資料齊備後，可在將預報時間拉長。

目前進入第二階段，完成太平洋環流模式及西北太平洋環流模式建置，未來持續進行以下工作：

1. 利用實測資料及過去文獻的統計資料進行模式比對修正OCM1及OCM2
2. 建置最小尺度的台灣海域海流模式(OCM3)
3. 完成三層模式的接合介面
4. 進行線上預報作業

誌謝

感謝氣象局專家學者以及日本氣象廳MASA博士提供本研究的各種經驗及建議，以及模式發展過程中所需要得資料。

參考文獻

1. Ezer T., H. Arango and Alexander F. Shchepetkin, (2002) Developments in terrain-following ocean models: intercomparisons of numerical aspects. *Ocean Modelling*, Vol. 4, pp249~267.
2. Haidvogel, D. B., H. Arango, Kate Hedstrom, Aike Beckmann, Paola Malanotte-Rizzoli, and Alexander F. Shchepetkin, (2000) Model evaluation experiment in the North Atlantic Basin: simulation in nonlinear terrain-following coordinate, *Dynamic of Atmospheres and Oceans*, Vol. 32, pp239~281
3. Haidvogel, D.B., H. Arango, W.P. Budgell, B.D. Cornuelle, E. Curchitser, E.Di Lorenzo, K. Fennel, W.R. Geyer, A.J. Hermann, L. Lanerolle, J. Levin, J.C. McWilliams, A.J. Miller, A.M. Moore, T.M. Powell, A.F. Shchepetkin, C.R. Sherwood, R.P. Signell, J.C. Warner and J. Wilkin. (2008) Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Journal of Computational Physics*, Vol. 227, pp3595~3624
4. Hansen, D. V. and Poulain, P. M., (1996) Processing of WOCE/TOGA drifter data, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 13, pp. 900-909
5. Wei, Eugene and Manchun Chen, (2002) NOS EXPERIMENTAL NOWCAST/FORECAST SYSTEM FOR THE PORT OF NEW YORK/NEW JERSEY(NYEFs) : REQUIREMENTS,OVERVIEW, and SKILL ASSESSMENT. NOAA Technical Report NOS OCS 15.