

臺灣周邊海域三維海洋數值模式與海表面溫度觀測之驗證與分析

彭信碩¹ 王玉懷¹ 黃文龍¹ 李逸環² 毛正氣³ 崔怡楓⁴
國立中山大學海洋科學系¹ 國立中山大學海洋環境及工程學系²
國立中山大學亞太海洋研究中心³ 海軍大氣海洋局⁴

摘要

為探討全球海洋數值模式應用於臺灣周邊海域的成效，本研究針對美國海軍實驗室(Naval Research Laboratory, NRL)所發展的全球海軍近岸海洋模式(1/8° Global Navy Coastal Ocean Model, GNCOM)以及全球混合座標海洋模式(1/12° Global HYbrid Coordinate Ocean Model, G-HYCOM, 以下簡稱HYCOM)於2012年所模擬的海表面溫度(Sea Surface Temperature, SST)結果進行分析，並將2種模式所模擬之SST資料與高解析度海表面溫度(Group for High Resolution SST, GHRSST)的衛星遙測資料以及中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)的浮標SST資料相互驗證比較。研究區域選定為臺灣周邊海域(15~30°N; 115~130°E)，第一步運用CWB之浮標SST資料來驗證GHRSST所提供之衛星SST資料的準確度，經分析後，兩者之間的均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)皆在2 °C以內，而相關係數(Correlation Coefficient, R)皆可達0.88以上，由此確認GHRSST所提供之衛星SST資料於臺灣周邊海域具有一定的可信度。第二步以GHRSST之衛星SST資料作為正確的實測值，來驗證GNCOM及HYCOM所模擬之SST，結果顯示於淺水區域有較明顯之誤差。為找出淺水區域誤差的來源，本研究將GNCOM、HYCOM及GHRSST之SST資料區分為4個時段進行再分析，結果顯示於2012年1~3月期間，臺灣海峽及臺灣東北海域一帶之RMSE最為顯著。1~3月主要為冬季東北季風時期，於此期間有大陸沿岸流(低溫、低鹽度)流經臺灣海峽西側，故而使得SST降低，但模式未能準確掌握大陸沿岸流的趨勢，以致於產生較大的誤差。此外針對臺灣東北海域一帶，冷水來源主要為地形湧升流，模式亦未能準確掌握地形湧升流的趨勢，致使有較大的誤差產生。透過模式及衛星遙測資料分析比較後，得知於2012年期間針對研究區域，GNCOM及HYCOM所模擬之SST於深水區域具有一定的可信度，而於淺水區域(例如臺灣海峽、臺灣東北海域)則是有著較顯著的誤差。

關鍵字：海洋數值模式、海表面溫度、平均差、均方根誤差、相關係數

一、前言

臺灣位於東亞大陸棚邊緣上，地理位置相當特殊，周圍的海洋環境多元，氣候上跨越熱帶及副熱帶，季節性的氣象變化明顯。多變的海洋與氣象環境，時刻牽動著臺灣各層面之面相，大者可影響政府決策，小者可影響人民的生活細節，因此針對氣象與海洋準確預報的需求日益增加。多年以來，我國對於臺灣周邊海域的海洋研究不遺餘力，長期利用海洋探測儀器進行現場探測，以獲取珍貴的研究數據，持續多年的觀測作業使我們對於臺灣附近海域的水文及流場有了更進一步的了解，並使海洋科學知識快速躍進。然而船舶量測及浮標觀測等作法，並無法取得空間上全面性的水文及流場資料，因此想要更全面、透徹地了解臺灣周邊海域的海洋資訊，除了運用現場觀測資料外，必須尋求其他的方法及技術，以提升臺灣附近海域的研究。過去十幾年來海洋數值模式隨著海上及衛星觀測資料量的增加，模式的準確度也逐漸改善中，多種數值模式也隨之發展，綜合相關海洋模式文獻回顧所述，國

內外學者及相關研究機構利用海洋數值模式研究了深海大洋地區及沿海近岸地區等不同區域的水文特性，並做了很多前瞻性的工作，這使得海洋數值模式成為了全方位了解海洋的方法之一。本研究希望藉由分析GNCOM及HYCOM之2012年SST資料，來找出於近岸水深較淺處模式模擬之誤差來源，作為改進臺灣周邊海域三維海洋模式之參考，期望能夠精進海洋分層海流、溫鹽水文剖面及大範圍海水表面溫度等海洋環境參數之預報精準度。

二、研究資料簡介

(一)、模式模擬資料

1. Global Navy Coastal Ocean Model (GNCOM)

GNCOM為三維的海洋數值模式，由NRL所研究發展，主要應用於支援海軍各類型任務需求。模式修改自普林斯頓海洋模式(Princeton Ocean Model, POM) (Blumberg & Mellor, 1987)，大部份的物理特性與數值技巧與POM相同，此外部分特點採用Sigma/Z-level Model(SZM) (Martin, 2000)。SZM在垂

直方向採用Sigma/Z混合式網格，在上層採用與POM相同之sigma座標，下層則使用Z座標，如此可以避免採用sigma座標因底床陡峭所產生的壓力梯度估算誤差。有關於GNCOM的簡介與驗證，在Barron et al. (2006)中有詳細的介紹。本研究所使用的GNCOM輸出結果取自於美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)網站 (<http://ecowatch.ncddc.noaa.gov/global-ncom/>)，資料時間長度自2010年5月1日至2013年3月19日，並區分為13個區域(Region 1 ~ Region 13) (如圖1)，資料格式為NetCDF(Network Common Data Format)檔案。有鑑於本研究主要著重於臺灣周邊海域之SST探討，因此經過篩選後，決定選取區域5(Region 5)的模式輸出結果作為研究數據，此外由於NOAA網站所提供之模式輸出結果於2010年、2011年以及2013年有較多缺值，為了能夠客觀分析資料，因此決定擷取2012年00Z的資料進行研究，資料時間解析度為1天1筆。

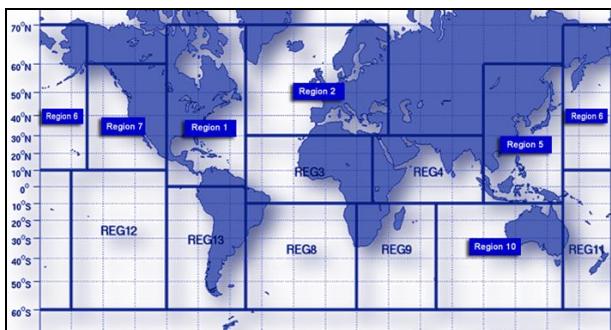


圖1 GNCOM輸出結果分區顯示圖(取自於NOAA)
(<http://ecowatch.ncddc.noaa.gov/global-ncom/>)

2. HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM)

HYCOM同樣為三維的海洋數值模式，由美國海軍海洋局(Naval Oceanographic Office)所運作，除了能夠提供未來7日海洋預報資訊支援美國海軍各項任務需求外，同時可作為更高解析區域模式(regional model)的邊界條件來源。模式修改自邁阿密等密度座標海洋模式(Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model, MICOM) (Bleck & Smith, 1990)。垂直方向採用混合座標(包含等密度座標、sigma座標以及Z座標)。混合座標的優勢在於突破傳統的等密度坐標海洋模式的應用範圍，進而彌補了MICOM在淺海區域垂直分層不足的缺點，使得模式的模擬能力更好。有關於HYCOM的簡介與驗證，在Bleck (2002)中有詳細的介紹。本研究所使用的HYCOM輸出結果取自於 HYCOM 網站 (<https://hycom.org/>)，資料格式為NetCDF(Network Common Data Format)檔案。同時為了配合GNCOM輸出結果的時間長度與解析度，因此擷取2012年00Z HYCOM + NCODA Global 1/12° Reanalysis data進行研究，資料時間解析度為1天1筆。

(二)、衛星遙測資料 (GHRSSST)

全球海洋資料同化實驗(Global Ocean Data Assimilation Experiment, GODAE)始於1997年，其中所提供之高解析度SST資料(GHRSST)是透過衛星遙測資料與現場觀測資料(*in situ* data)內插計算而得，為無空隙(No gaps)之產品。本研究所使用的GHRSST資料取自於GODAE網站(<http://199.9.2.160/>)，資料格式為二進位(binary)檔案。為大範圍的實際遙測資料，主要用於模式驗證。同時為了配合GNCOM輸出結果的時間長度與解析度，因此擷取2012年00Z GHRSST data進行研究，資料時間解析度為1天1筆。

(三)、CWB浮標資料

本研究所使用的浮標SST資料是由CWB所提供之浮標SST資料，資料格式為文字檔(.txt)檔案。為了配合GNCOM輸出結果的時間長度與解析度，因此擷取2012年00Z浮標SST data進行研究，資料時間解析度為1天1筆。有關各浮標簡介如表1所示：

表1 海氣象資料浮標站簡介(資料引用自CWB)

測站名稱	所屬海域	位置描述
馬祖浮標	臺灣海峽北部	連江縣東引島東方約3.5 km，該處水深約58 m。
新竹浮標	臺灣海峽北部	海上漁港外海，離岸約3.5 km，該處水深約24.5 m。
小琉球浮標	枋寮恆春沿海	小琉球海子口西南方外海約4 km，該處水深約82 m。
東沙島浮標	東沙島海面	臺灣西南外海距高雄西南方230 km，該處水深 2618 m，活動半徑3000 m。
臺東外洋浮標	臺灣東南部海面	蘭嶼東方 210 km 處，該處水深 5522 m。

三、分析步驟及方法

(一)、分析步驟

本研究主要目的為驗證 2012 年 GNCOM 及 HYCOM 於臺灣周邊海域所模擬之 SST 的準確度，並找出造成淺水區域誤差之原因，分析步驟如下：

1. GHRSST衛星資料準確度之驗證。
 2. GHRSST與模式結果比較。
 3. 濕水區域誤差來源探討。

(二)、分析方法

- ### 1. 内插法

內插法就是在有限的已知量測數據中，預估特定自變量在該趨勢中所對應之應變量值，因此內插方法的好壞除了以精確度來判斷外，亦須考慮是否具有一般化特性以應付各種幾何條件、能否有效率執行、是否容易執行等特性。本研究採用MATLAB軟體作為分析工具，並使用interp1.m(一維線性內插法)及interp2.m(雙線性內插法)等指令進行資料內插。

2. 驗證指標

本研究主要採用5個驗證指標(如下所述)來評估GNCOM及HYCOM於2012年臺灣周邊海域SST模擬之能力。

- (1) 算術平均數(Arithmetic mean)
- (2) 標準差(Standard Deviation, S)
- (3) 平均差(Mean Error, ME)
- (4) 均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)
- (5) 相關係數(Correlation Coefficient, R)

四、分析結果與討論

(一) GHRSSST衛星資料準確度之驗證

由於GHRSSST為衛星遙測資料，為了能夠使用衛星SST資料與模式SST資料進行相互驗證，首先第一步必須確認GHRSSST所提供之衛星SST資料的可信度。於此階段主要是以CWB的浮標SST資料作為正確的實際觀測值，用以驗證GHRSSST之準確度。

本研究利用2維線性內插方法將GHRSSST所提供之2012年衛星SST資料內插到CWB的浮標點位，並將內插後的結果分別對馬祖、新竹、小琉球、東沙島以及臺東外洋等5個浮標SST資料進行比較。根據各浮標點位2012年SST時序圖(如圖2)顯示，GHRSSST與各浮標的SST趨勢大致相似，此外透過驗證指標(如表2)分析後，發現衛星遙測之SST於淺水區域有較大的觀測誤差，以馬祖浮標和東沙島浮標為例，馬祖浮標位於連江縣東引島東方約3.5 km，該處水深約58 m，而東沙島浮標位於臺灣西南外海，距高雄西南方230 km，該處水深2618 m，此兩處水深有明顯差異，而驗證結果顯示，GHRSSST與馬祖浮標之RMSE為1.27 °C，而GHRSSST與東沙島浮標之RMSE為0.71 °C，就RMSE而言，兩者相差0.56 °C，由此顯示出GHRSSST遙測之SST於淺水區域有較大的觀測誤差。

針對此階段之驗證結果而言，於5個浮標點位處兩者之間的RMSE在2 °C以內，而R值皆可達0.88以上，由此確認GHRSSST所提供之衛星SST資料於臺灣周邊海域具有一定的準確度。

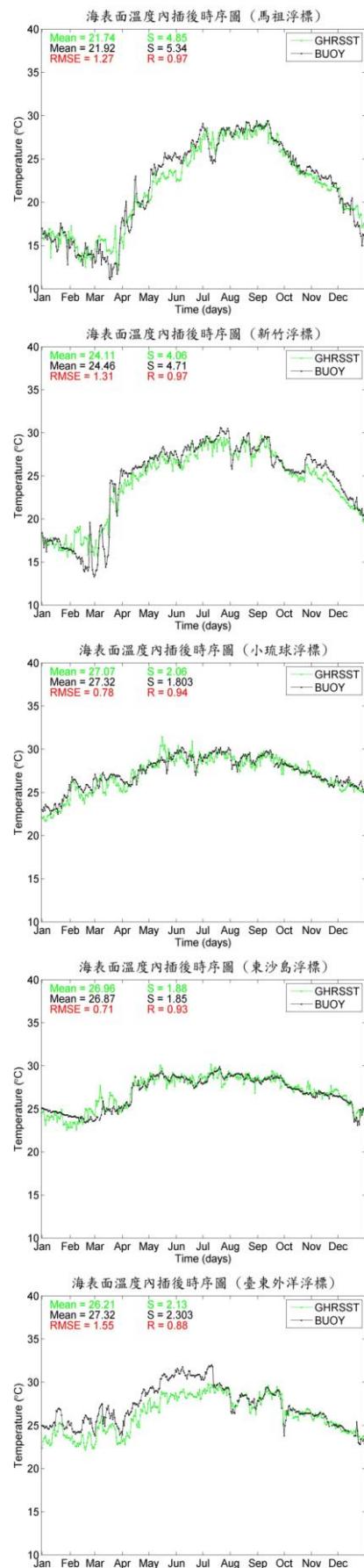


圖2 各浮標點位海表面溫度內插後時序圖(2012年)

表2 海表面溫度驗證指標分類表(2012年)

馬祖浮標點位			
驗證指標 名稱	標準差 (S)	均方根誤差 (RMSE)	相關係數 (R)
馬祖浮標	5.34		
GHRSSST	4.85	1.27	0.97
新竹浮標點位			
新竹浮標	4.71		
GHRSSST	4.06	1.31	0.97
小琉球浮標點位			
小琉球浮標	1.80		
GHRSSST	2.06	0.78	0.94
東沙島浮標點位			
東沙島浮標	1.85		
GHRSSST	1.88	0.71	0.93
臺東外洋浮標點位			
臺東外洋浮標	2.30		
GHRSSST	2.13	1.55	0.88

(二)、GHRSSST與模式結果比較

於確認GHRSSST所提供之衛星SST資料於臺灣周邊海域具有一定的準確度後，第二步則是進行臺灣周邊海域之SST比較。針對研究區域，以GHRSSST內插後的資料作為正確的實際觀測值，分別對GNCOM及HYCOM進行SST驗證。透過驗證指標分析後，將結果圖像化(如圖3)，發現於大部分的研究區域內，衛星(GHRSSST)與模式(GNCOM及HYCOM)之間的R值可達0.9以上，顯示出2個模式所模擬之SST與衛星所遙測到的SST趨勢相近，惟位於淺水區域(例如臺灣海峽、臺灣東北海域)內，其RMSE都較深水區域來得明顯。此外根據年平均海表溫差值示意圖(如圖4)分析，同樣地發現於淺水區域有較大差異，於本研究所設定之臺灣海峽一帶，GNCOM所模擬之年平均SST大多高於GHRSSST的遙測值，而HYCOM所模擬之年平均SST於大部分區域則是較低於GHRSSST的遙測值，而於本研究所設定之臺灣東北海域一帶，GNCOM及HYCOM所模擬之年平均SST大多高於GHRSSST的遙測值，此現象意味著模式未能掌握冷水來源，以致於有較大誤差產生。

根據分析結果，本研究認為造成淺水區域誤差的主要原因可能是來自於資料同化，為了確認此假設，選定馬祖浮標與小琉球浮標的分析結果作為驗證依據，來探討誤差來源是否源自於同化的衛星SST資料。

(三)、淺水區域誤差來源探討

1. 資料同化檢驗

馬祖浮標位於連江縣東引島東方約3.5 km，該處水深約58 m；而小琉球浮標位於小琉球海子口西南

方外海約4 km，該處水深約82 m，兩者之間水深相差24 m並無太大差異，理論上資料同化後的結果應該要類似(例如馬祖浮標點位之RMSE大，小琉球浮標點位之RMSE也應該要大)，但是根據驗證指標(如表3)顯示，於小琉球浮標點位的RMSE明顯低於馬祖浮標點位的RMSE。此結果顯示出造成淺水區域誤差的主因似乎並非來自於資料同化，而是受到其他因素影響，為了找出造成淺水區域誤差的主要原因，本研究將馬祖浮標點位各自的SST資料(包含GNCOM, HYCOM, GHRSSST以及馬祖浮標)區分為2個時段進行再分析，其中時段1為2012年1~3月，時段2為2012年4~12月。再分析結果如表3所示。

根據再分析結果顯示，於時段1(2012年1~3月)期間，模式同化衛星資料後所得到之SST與衛星所遙測的SST有明顯差異，顯示出於2012年1~3月期間同化衛星SST資料後模式所模擬之結果並不佳；而於時段2(2012年4~12月)期間，模式同化衛星資料後所得到之SST與衛星所遙測的SST趨勢相似，顯示出於2012年4~12月期間同化衛星SST資料後，模式所模擬之SST接近衛星所遙測的SST。因此針對馬祖浮標點位2012年模式SST輸出結果而言，同化衛星SST資料未能顯示出是造成淺水區域誤差的主要原因，而經過再分析後，得知2012年1~3月期間為誤差較大之時期，本研究認為這可能是因為GNCOM及HYCOM均未能掌握淺水區域冷水來源，以致於有較大的誤差產生。

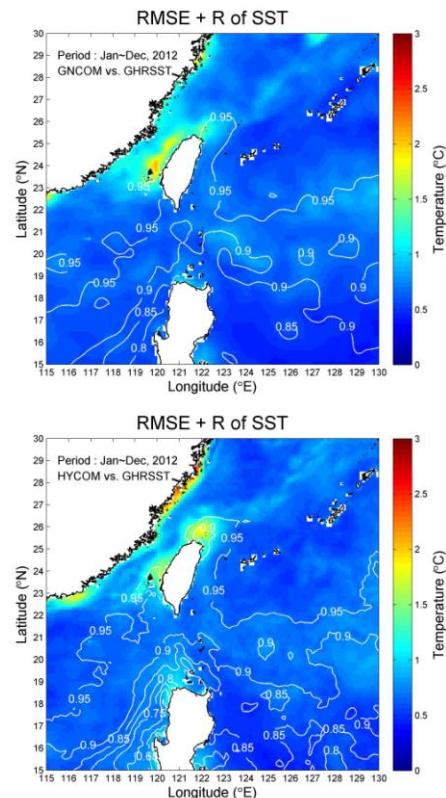


圖3 模式與衛星之RMSE及R示意圖(2012年)

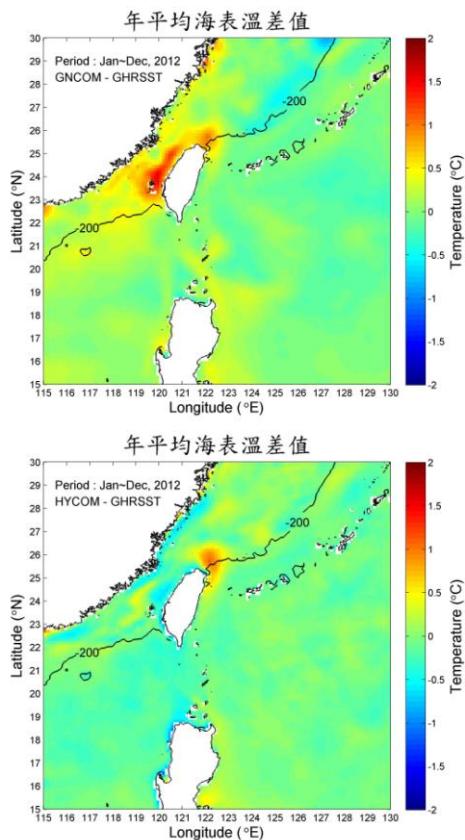


圖4 年平均海表溫差值示意圖(2012年)

表3 海表面溫度各數據統計指標分類表

時段1(2012年1~3月)			
驗證指標 名稱	標準差 (S)	均方根誤差 (RMSE)	相關係數 (R)
馬祖浮標	1.53		
GNCOM	0.40	2.43	0.26
HYCOM	0.89	1.17	0.65
GHRSST	1.17	1.43	0.57
時段2(2012年4~12月)			
馬祖浮標	3.61		
GNCOM	3.27	1.13	0.96
HYCOM	3.31	1.41	0.94
GHRSST	3.43	1.21	0.95
全年(2012年)			
馬祖浮標	5.34		
GNCOM	4.29	1.57	0.97
HYCOM	4.82	1.36	0.97
GHRSST	4.85	1.27	0.97

2. 臺灣周邊海域冷水來源探討

為了進一步探討2個模式(GNCOM及HYCOM)對冷水來源的掌握程度，本研究將2012年模式及衛星之SST資料細分為4個時段進行比較，其中時段1為2012年1~3月，時段2為2012年4~6月，時段3為2012年7~9月，時段4為2012年10~12月。於此階段以GHRSST內插後的資料作為正確的實際觀測值，分別對GNCOM及HYCOM進行各時段之RMSE再分析，其中時段1的分析結果如圖5所示。

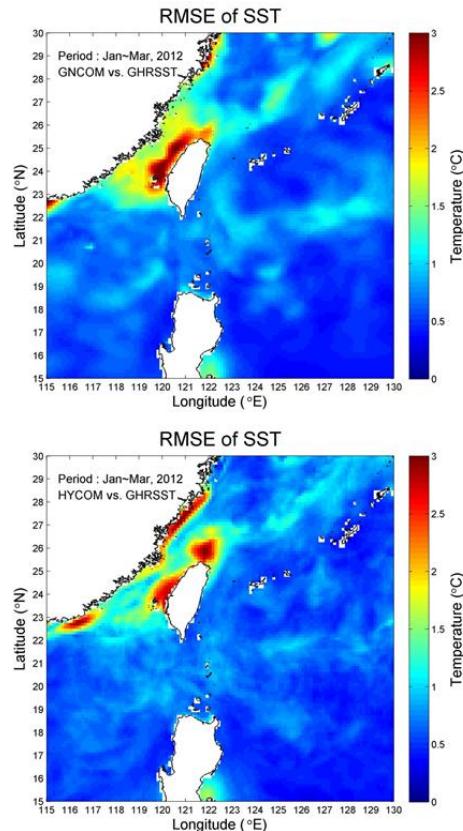


圖5 模式與衛星之RMSE示意圖(2012年1~3月)

經過4個時段的比較後，發現於時段1，模式與衛星之間的RMSE於淺水區域皆較其他3個時段來得明顯，此現象與單一點位(馬祖浮標)之比較結果相似，因此本研究針對此2個區域進行2012年1~3月SST再分析，其結果如圖6及圖7所示，於此期間GNCOM及HYCOM所模擬之SST與GHRSST所遙測之SST有著較明顯之差異。根據CWB颱風資料庫，於2012年1~3月並無颱風侵襲至臺灣周邊海域，因此造成臺灣海峽及臺灣東北海域SST降低之原因，推斷並不是因為受到颱風湧升流的影響。依分析結果研判，1~3月主要為冬季東北季風時期，而大陸沿岸流流經臺灣海峽西側，使得SST降低，模式未能準確掌握其趨勢，以致於產生較大的誤差。至於臺灣東北海域，冷水來源主要為地形湧升流，模式亦未能準確掌握地形湧升流的趨勢，而有較明顯之誤差產生。

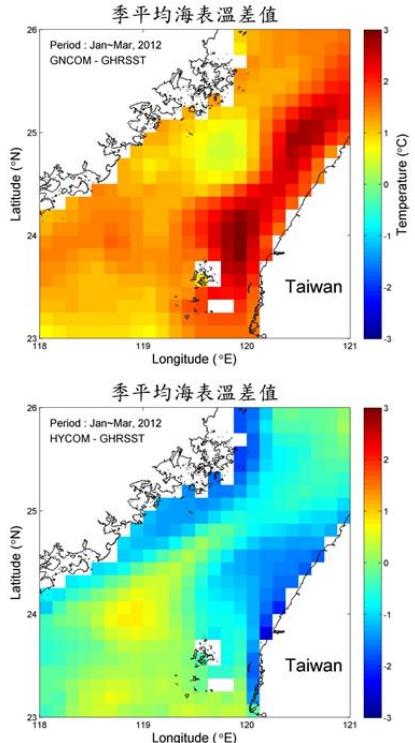


圖6 臺灣海峽季平均海表溫差值示意圖

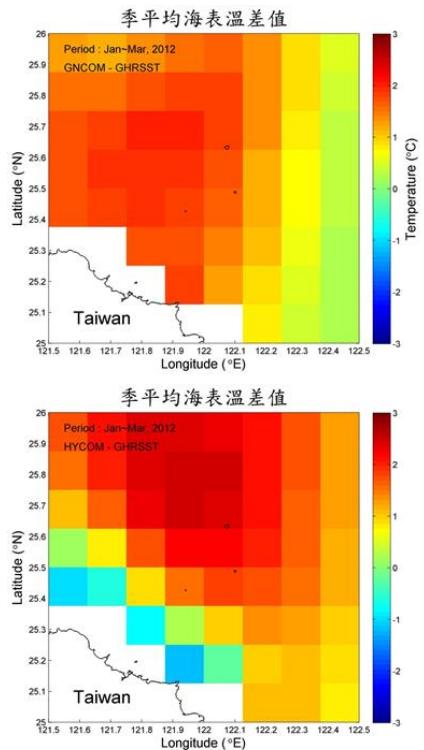


圖7 臺灣東北海域季平均海表溫差值示意圖

五、結論

本研究以GNCOM、HYCOM、GHRSST衛星遙測及CWB浮標等資料作為研究數據，針對2012年臺灣周邊海域之SST進行探討，第一步藉由CWB浮標

資料確認GHRSST所提供之衛星遙測資料具有一定的可信度後，接下來透過驗證指標分析，發現於大部分的研究區域內，衛星與模式之間的R值可達0.9以上，顯示於2012年GNCOM及HYCOM所模擬之SST與GHRSST所遙測之SST趨勢相近，惟位於淺水區域，其RMSE較深水區域來得明顯，其中又以2012年1~3月期間為RMSE變化較大之時期。此外經過資料同化檢驗後，發現造成誤差的主因並非源自於同化衛星SST資料，而是由於模式未能正確地掌握冷水來源，以致於有較大的誤差產生，本研究推斷這可能是因為模式的網格與水深地形解析度較差的關係所造成，惟未獲得更高解析度之海洋數值模式，所以無法針對此假設進行討論。

透過以上驗證與分析，本研究認為於2012年期間模式所模擬之SST於深水區域具有一定的可信度，而於淺水區域則是有著較顯著的誤差，因此應用全球範圍的海洋數值模式來預報近岸的SST仍有許多待改善的空間，未來可將此研究結果作為精進臺灣周邊海域三維海洋數值模式之參考。

六、誌謝

感謝中央氣象局提供寶貴的浮標資料，使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

七、參考文獻

- Barron, C. N., Kara, A. B., Martin, P. J., Rhodes, R. C., & Smedstad, L. F. (2006). Formulation, implementation and examination of vertical coordinate choices in the Global Navy Coastal Ocean Model (NCOM). *Ocean Modelling*, 11(3), 347-375.
- Bleck, R. (2002). An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. *Ocean modelling*, 4(1), 55-88.
- Bleck, R., & Smith, L. T. (1990). A wind- driven isopycnic coordinate model of the north and equatorial Atlantic Ocean: 1. Model development and supporting experiments. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 95(C3), 3273-3285.
- Blumberg, A. F., & Mellor, G. L. (1987). A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. *Three-dimensional coastal ocean models*, 1-16.
- Martin, P. J. (2000). Description of the navy coastal ocean model version 1.0 (No. NRL/FR/7322-00-9962). NAVAL RESEARCH LAB STENNIS SPACE CENTER MS.