

NAMR-S-111010（自行研究報告）

探討(反)聖嬰現象對臺灣周遭海洋狀態的影響

（正式報告）

主辦單位：本院海洋產業及工程研究中心

研究人員：陳沛宏、廖建明

研究期程：中華民國111年1月至111年12月

NAMR-S-111010（自行研究報告）

探討(反)聖嬰現象對臺灣周遭海洋狀態的影響

（正式報告）

主辦單位：本院海洋產業及工程研究中心

研究人員：陳沛宏、廖建明

研究期程：中華民國111年1月至111年12月

研究經費：新臺幣0萬元

中華民國 111年12月

「本研究報告絕無侵害他人智慧財產權之情事，如有違背願自負
民、刑事責任。」

NAMR-S-111010

探討(反)聖嬰現象對臺灣周遭海洋狀態的影響

正式報告

國家海洋研究院

目錄

目錄.....	i
表目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
摘要.....	4
第一章 前言	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 文獻回顧	1
第三節 預期成果	4
第二章 模式概述	5
第一節 基本方程式	5
第二節 模式設定	7
第三章 研究成果	9
第一節 格網解析度討論	9
第二節 模擬討論	10
第四章 結論與建議	12
第一節 結論	12
第二節 建議	12
參考文獻.....	14

表目錄

表 2-1 HYCOM 格網設定表	7
表 2-2 本研究模擬所使用之大氣資料庫一覽表	8

圖目錄

圖 1-1 赤道中太平洋海域海溫異常值分布	3
圖 2-1 GLBt0.72 格網範圍與地形水深圖	8
圖 2-2 TWPb0.08 格網範圍與地形水深圖	8
圖 3-1 1950 至 2021 年之 ONI 指數變化(資料來源：NOAA)	10
圖 3-2 不同格網解析度下之 1994 至 2020 年一月平均西北太平洋及臺灣周遭海域範圍 之模擬分布圖(上排:0.72 度格網解析度，下排 0.08 格網度解析度；從左至右海 溫、海表面鹽度、海面高及海表面流速及流向).....	10

摘要

關鍵詞：三維海洋模式、聖嬰現象、反聖嬰現象

本研究以三維海洋數值模式(HYCOM, HYbird Coordinate Ocean Model)應用於西北太平洋模擬，以大氣再分析資料驅動海洋模式進行長期追報模擬，分析與探討西北太平洋與臺灣附近海域於聖嬰與反聖嬰現象條件下之海洋變動特性。這些長期模擬結果日後將可進一步作為臺灣海域海洋變動特性如何影響海洋產業及能源，以及未來如何因應聖嬰與反聖嬰現象的可能調適作為之研究。

Abstract

Keywords : Three-dimensional Ocean Model, El Nino, La Nina

In this study, HYCOM (HYbird Coordinate Ocean Model), the three-dimensional ocean numerical model was applied to the simulation of the Northwest Pacific Ocean. The ocean model was driven by atmospheric reanalysis data to carry out the long-term hindcast simulation used to analyze and discuss characteristics of ocean changes in the Northwest Pacific Ocean and the waters near Taiwan during the El Niño and La Niña. These long-term simulations will be further used as research on how these change characteristics affect the Taiwan marine industry and energy, and how to respond to the El Nino and anti-El Nino phenomena in the future.

第一章 前言

第一節 研究緣起與背景

發源於東太平洋的聖嬰現象(El Niño, 簡稱EN)為海氣相互交互作用下的產物, 是大尺度的自然年際變化, 頻率約2~7年, 太平洋海域的海表面溫度、湧升流及生物生產力皆受到聖嬰現象而產生顯著的變化。臺灣位於西北太平洋邊陲, 其附近海域受到南海、黑潮及其支流與大陸沿岸流的影響, 再加上季風與地形的影響, 使得附近海域的水文特性呈現不同的季節變化; 在聖嬰與反聖嬰事件時期, 更易產生不規則的劇烈變化。據此, 本研究採用三維海洋數值模式(HYCOM, HYbird Coordinate Ocean Model)模擬西北太平洋範圍在過去27年(1993-2020)海洋狀態, 探討臺灣附近海域於聖嬰與反聖嬰時期在四周洋流及沿岸流影響下的海洋變動特性。本研究的研究項目包含:

- (一) 聖嬰與反聖嬰之相關研究回顧與分析。
- (二) 三維海洋數值模式(HYCOM)應用於西北太平洋之模式建置與相關環境條件設定。
- (三) 長期西北太平洋與臺灣附近海域海洋狀態之模擬。
- (四) 模擬結果的驗證、比對與資料分析。
- (五) 分析與探討西北太平洋與臺灣附近海域於聖嬰與反聖嬰現象條件下之海洋變動特性。
- (六) 探討HYCOM模式應用於(反)聖嬰現象期間臺灣周遭海洋模擬之合理性。

第二節 文獻回顧

科學家原本以為聖嬰現象只發生於南美洲太平洋沿岸的區域現象, 直到1960年代, 海洋學家觀測1957-1958年聖嬰現象, 發現異常增溫的海水由東太平洋往西太平洋綿延數千公里, 才瞭解聖嬰現象的影響範圍遍及整個赤道太平洋, 如圖1-1(a)。在此同時氣象學家亦發現, 聖嬰現象與大氣中的南方振盪(Southern Oscillation)在時間變化上有高度的相似性。南方振盪代表熱帶東太平洋和西太平洋之間的氣壓差異變化, 說明聖嬰不只有海溫的變化, 更影響到許多地區的天氣與氣候。科學家借用秘魯等地漁民的說法, 把這種每隔數年(2-7年)發生在赤道東太平洋海水異常增溫、影響全球氣候的現象, 通稱為「聖嬰」。由於聖嬰同時存在海洋與大氣之中, 亦命名為El Niño Southern Oscillation, 一般簡稱為ENSO。

赤道東太平洋海溫除了會異常變暖, 有時候也會變得很冷, 如圖1-1(b), 對全球氣候的影響亦差不多與聖嬰現象相反。這一個赤道東太平洋海溫異常偏冷的現象即是「反聖嬰」(La Niña)。聖嬰現象的發展一般約由春末至初夏開始,

秋冬季緩步加強，多數在隆冬達到高峰，最後約於隔一年春季逐漸減弱，但聖嬰個案之間還是有許多的差異。聖嬰與反聖嬰並非完全反對稱，兩者最大的不同在於聖嬰海溫異常的程度較大；其次，強聖嬰個案最大海溫異常海域位於赤道東太平洋，但強反聖嬰個案最強冷海溫異常則是接近赤道中太平洋；再者，反聖嬰持續時間較聖嬰長，有時甚至長達2、3年(以上文字摘錄於中央氣象局網頁)。

風速是影響海表面潛熱通量交換量最主要因素，而海表面潛熱通量是影響海表面海氣淨熱交換量最主要因素，聖嬰期間海表面淨熱交換量因而變小；而反聖嬰期間風速變大，海表面淨熱交換量也跟著變大。從黃玉華(2005)研究可知，臺灣附近海域風場於1998/1999年及1999/2000年反聖嬰期間，風速異常的情形冬季皆較夏季明顯，海表面熱通量受影響的情形，冬季也較夏季明顯。冬季與夏季的海表面風速皆有明顯的增強，冬季海表面風速受影響而增強較夏季來的明顯。Kuo and Ho (2004)利用1996年4月至2000年12月衛星遙測資料，以經驗正交函數分析顯示，臺灣海峽風場受ENSO影響，在整個聖嬰年較反聖嬰年期間為弱；又因風場調節海表面溫度，使得海表面溫度的年際變化發生改變，夏季時的海表面溫度於聖嬰年較反聖嬰年期間低，而冬季表面海度於聖嬰年較反聖嬰年期間高。黃玉華(2005)分析COADS Long Marine Report Fixed Length Format (LMRF)船測資料，顯示在1997/1998聖嬰期間冬季風速變小，使得海表面溫度較高，潛熱通量交換量變小；但在1998/1999及1999/2000年反聖嬰期間冬季風速變大，使得海表面溫度較低，潛熱通量交換量變大。此外，在黑潮流經的區域因水溫較高的關係，造成較大的比濕差值，使得海表面潛熱通量交換量相對的較其他區域大。Lee等人(2011)分析1996年至2008年期間臺灣海峽的衛星遙測資料得到與Kuo and Ho (2004)相同的結果：在反聖嬰期間冬季時期，氣候變遷下的風應力會導致臺灣海峽的海表面溫度降低，使得反聖嬰冬季期間的海表面溫度低於聖嬰期間冬季，但反聖嬰冬季的風速較聖嬰冬季強勁。

Lee等人(2011)指出在2008年冬季發生的反聖嬰事件所引發強勁而持續的東北季風，推動寒冷的大陸沿岸流往南入侵到雲彰隆起以北臺灣海峽南部，部分冷水向東入侵到澎湖群島以南，導致超過73m珊瑚礁、常棲魚類及箱網養殖魚類的死亡。冷水的異常入侵對沿海漁業產生負面影響，但也將一些洄游物種從東海帶往南沙，如分布於東海的底棲白帶魚。非洄游物種中國蟹(Chinese horseshoe crab)是亞潮帶底棲魚類，游泳能力較白帶魚較差，但對水溫卻較為敏感(Ehlinger and Tankersley, 2004)；在2006年和2007年海溫較高時，中國蟹的捕撈量亦增加，但在2008年海溫變冷期間消失。從2008年冷水異常事件可知，冷水的入侵可能會降低白帶魚的攝食效率和游泳能力，並迫使其遷移到較溫暖的南方水域，但像中國蟹這種游泳能力較低的物種卻因冷水入侵影響而消失。

澎湖水道的水文特性也隨著季節及聖嬰與反聖嬰事件而變化，反映出熱帶太平洋的海洋-大氣系統的振盪現象。Huang等人(2015)分析2000年6月至2011年10月船測CTD資料顯示，澎湖水道的水鹽度在聖嬰事件期間最高，比月Nino3.4指數(monthly Niño 3.4 index)延遲7個月，在反聖嬰期間最低，一樣與月聖嬰3.4指數延遲7個月。在反聖嬰事件後的7個月間，夏季營養鹽濃度的最大值明顯過高過其他季節。在聖嬰期間時的每個季節黑潮分支比例皆高於反聖嬰事件)時期，這種現象可能是由於流經呂宋海峽的西菲律賓海(West Philippine Sea,

WPS)水團變化及臺灣海峽周圍突變的局部風效應所致。

Hong等人(2001)使用1950-1998年日本氣象廳資料庫中，利用船測、浮球等實測海表溫資料，研究日本海的海表溫與聖嬰現象的關係，發現聖嬰年夏季的海表面溫度較前一年夏季為低，稱為冷夏(cold summer)；反之，聖嬰年冬季海表面溫度則較前一年冬季為高，稱之為暖冬(warm winter)，反聖嬰年的情況則恰好相反。Pan等人(2003)則利用經驗正交函數分析西北太平洋海面風場，指出其研究區域的風場變化較1997/1998南方震盪指數延遲約半年左右，且ENSO造成此區域於夏季的風力增強，冬季的風力減弱。

Kashino等人(2009)以2006年12月及2008年1月兩個航次所得到的數據討論聖嬰現象(2006年7月)和反聖嬰(2007年8月)事件對於北赤道洋流(North Equatorial Current)、民答那峨洋流(Mindanao Current)及黑潮的影響，黑潮的流速較聖嬰事件發生時的流速快。臺灣東南海域的黑潮傳輸量的變化可能發生在聖嬰和反聖嬰事件前9-10個月，海表面溫度的異常發生則在聖嬰和反聖嬰事件後3-6個月(Lin et al., 2011；Qu et al., 2005；Tozuka et al., 2009；Wu, 2013；Wu and Chang, 2005；Xie et al., 2003)。這些年際傳輸變化與北赤道洋流分叉緯度(North Equatorial Current Bifurcation Latitude, NECBL)的波動(Kashino et al., 2009；Kim et al., 2004)及區域風速的年際變化(Kuo and Ho, 2004)等現象有關。

綜合上述文獻可知，在聖嬰期間，西太平洋海域的西南季風及東北季風減弱，且冬季東北季風減弱的情形較夏季明顯，導致聖嬰期間海表面溫度有暖冬冷夏的現象，因表面風速減弱的影響，也造成海表面潛熱交換量變小(Chao, 1996)。而反聖嬰期間，冬季風速變大，使得海表面溫度較低，潛熱通量交換量變大。

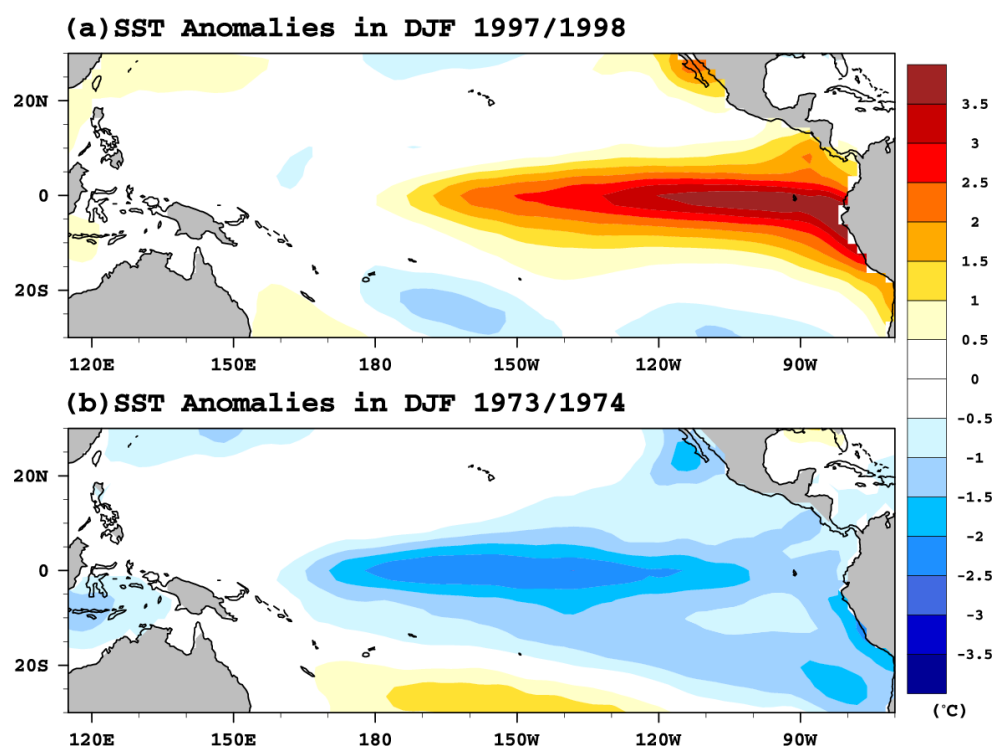


圖 1-1 赤道中太平洋海域海溫異常值分布

第三節 預期成果

本研究以HYCOM三維海洋數值模式分析及探討西北太平洋與臺灣附近海域於聖嬰與反聖嬰現象條件下之海洋變動特性，預計成果包括：

- (一) 完成HYCOM三維海洋數值模式應用於西北太平洋之模式建置與相關環境條件設定。
- (二) 完成長期西北太平洋與臺灣附近海域海洋狀態之模擬、驗證與比對。
- (三) (反)聖嬰現象與臺灣周遭海洋狀態之相關性探討。
- (四) 完成HYCOM模式應用於(反)聖嬰現象期間臺灣周遭海洋模擬合理性之探討。

第二章 模式概述

本研究所使用的HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model)為三維海洋數值模式，由美國海軍海洋局所運作，修改自邁阿密等密度座標海洋模式 (Miami Isopycnic Coordinate Ocean Model, MICOM) (Bleck和Smith, 1990)。傳統上，海洋模式中的垂直座標可分為 z 座標、 σ 座標(地形座標)及等密度座標，每種垂直座標系統都有其優勢與限制，但理想的海洋環流模式(OGCM)應具備(1)保持水體特性(等密度座標特徵)、(2)在表面混合層有較高的垂直解析度(Z 座標特徵)，以適當反應熱力學及生化過程、(3)在海洋非分層區或弱分層區域仍保持足夠的垂直解析度、以及(4)在沿海地區具有較高的垂直解析度(σ 座標特徵)。

為使得海洋環流模式在計算上能夠從開放海域平穩地過度到近海表面，HYCOM模式之垂直方向採用混合座標(hybrid coordinate)的演算法。混合座標的理論基礎最早是由Bleck和Boudra(1981)以及Bleck和Benjamin(1993)所提出，Bleck(2002)闡述HYCOM的架構與初步驗證結果，Halliwell (2004)隨後對其進行更進一步的開發。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。HYCOM的混合座標是指在開放的分層海洋中使用等密度座標，但在淺海沿岸地區平滑地轉換為 σ 座標，在混合層和/或未分層的海洋中平滑轉換為 z 座標。由於HYCOM垂直網格的靈活度，使其在模擬強垂直分層時，以等密度座標進行模擬時仍能保持水體特性，在分層較弱區域(如表面混合層)中，亦可提供足夠的垂直解析度。由於混合座標模型結合不同類型座標的優勢，可對沿海和遠洋的環流特徵進行最佳化的模擬。

第一節 基本方程式

HYCOM模式求解基本方程模式(primitive equation model)，其中包含5個預測方程，包括兩個水平速度分量，一個質量連續性或層厚趨勢方程(layer thickness tendency equation)以及一對熱力學通量(如鹽度和溫度或鹽度和密度)的守恒方程式。方程式以 (x, y, s) 座標表示之，其中 s 是任一垂直座標系，其控制方程式如下：

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t_s} + \nabla_s \cdot \frac{\mathbf{v}^2}{2} + (\zeta + f) \mathbf{k} \times \mathbf{v} + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right) \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial p} + \nabla_s M - p \nabla_s \alpha = -g \frac{\partial \tau}{\partial p} + \left(\frac{\partial p}{\partial s} \right)^{-1} \nabla_s \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial s} \nabla_s \mathbf{v} \right) \quad (2-1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \left(\frac{\partial p}{\partial s} \right) + \nabla_s \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right) = 0 \quad (2-2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \left(\frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) + \nabla_s \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) = \nabla_s \cdot \left(\mathbf{v} \frac{\partial p}{\partial s} \nabla_s \theta \right) + \mathcal{H}_\theta \quad (2-3)$$

其中， $\mathbf{v} = (u, v)$ 為水平速度分量。 p 為壓力。 θ 為模式中任一熱變量。 $\alpha = \rho_{pot}^{-1}$ 為潛勢比容(potential specific volume)。 $\zeta \equiv \partial v / \partial x_s - \partial u / \partial y_s$ ，為相對渦度。 $M \equiv gz + pa$ ，為蒙哥馬利勢能(Montgomery potential)。 $gz \equiv \phi$ ，為重力位勢(geopotential)。 f 為科氏參數(Coriolis parameter)。 $\mathbf{k}$ 為垂直單位向量。 v 為可變的

渦流黏度/擴散係數。 τ 為風或底床拖曳引致的剪應力向量。 $\mathcal{H}_\theta$ 代表作用於 θ 的非絕熱項的總和，亦包括非絕熱項的混合。下標代表該變量在偏微分時為常數(constant)。 x 與 y 方向的距離及其時間導數(u 與 v)都是投影到水平面上而求得，這種做法造成座標系在三維空間中為非正交，但可消除與 s 表面斜率有關的度量項(metric term)。

在非卡式網格(如球面座標)中，向量乘積(∇)所產生的其他度量項，可在式(2-1)至式(2-3)中之渦度和水平通量散度的計算中，當成單個網格的線積分而被納入主項中計算。若將 ∇ 應用於純量，如式(2-1)的 $v^2/2$ ，則不會產生度量項。

在以 s_{top} 、 s_{bot} (海表面、海底床和所有內層交界面都是 s 表面)兩個表面為界的座標層上進行垂直積分後，連續性方程(2-2)就成為單位面積的層權重(layer weight)之預測方程式， $\nabla p = p_{bot} - p_{top}$ ：

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \nabla p + \nabla_s \cdot (v \nabla p) + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)_{bot} - \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)_{top} = 0 \quad (2-4)$$

其中， $(\dot{s} \partial p / \partial s)$ 代表通過 s 表面的垂直質量通量， $+p$ (向下)方向為正。將式(3-1)乘上 $(\partial p / \partial s)$ 並對整個區間 (s_{top}, s_{bot}) 積分，接著除以 $\Delta p / \Delta s$ ，並將式(2-1)的剪應項變更為：

$$\frac{g}{\Delta p} (\tau_{top} - \tau_{bot})$$

而側邊動量混合項積分後可得，

$$(\Delta p)^{-1} \nabla_s \cdot (v \Delta p \nabla_s v) \quad (2-5)$$

在式(2-1)中的其他項都維持原樣。

風應力和底床應力在座標層間的變化是按比例分配的，假設它們在有限水深範圍內(約10m左右)做線性變化，則式(2-3)層積分描述為，

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \theta \Delta p + \nabla_s \cdot (v \theta \Delta p) + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right)_{bot} - \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right)_{top} \\ & = \nabla_s \cdot (v \Delta p \nabla_s \theta) + \mathcal{H}_\theta \end{aligned} \quad (2-6)$$

上述方程將搭配幾個診斷方程，包括：

1. 流體靜力方程

$$\frac{\partial M}{\partial \alpha} = p \quad (2-7)$$

2. 將位溫 T 、鹽度 S 與壓力 p 關連到 $\alpha^{-1} = \rho_{pot}$ 的狀態方程，以及

3. 描述垂直質量通量 $(\dot{s} \partial p / \partial s)$ 通過 s 表面的方程。

第3項所述的方程式控制了層交界面的間距和運動，故包含混合座標模擬的本質，以此方程建構的演算法稱為“網格生成器(grid generator)”。在式(2-1)中的水平壓力梯度項 $\nabla_s M - p \nabla_s \alpha = \alpha \nabla_z p$ 必須被制定，以正確在水體中上下傳遞交界面的壓力扭矩(pressure torques)。此外，式(2-7)中的潛勢比容與 M 之定義可用類似Sun等人(1999)的論點來證明。

第二節 模式設定

長期追報模擬的目的在於利用長期模擬過程，分析模式設定的流程與參數是否可以合理重現歷史海洋變動，利用分析或觀測數據進行模式驗證，找出模式設定可能的錯誤或調整模式參數。為測試模式建置與資料流程是否能合理的模擬海洋中尺度的時空變化，並合理的模擬聖嬰與反聖嬰期間臺灣周遭海域的水文特性，本研究利用兩種不同範圍來測試模式的合理性，一為解析度0.72度之全球tripolar Arakawa C-grid格網(GLBt0.72)，水平解析度為經度500格點、緯度382格點，垂直方向為混合格網41格點，其地形利用NAVO/Naval Research Laboratory之DBDB2之全球2分解析度資料庫內差而成，其格網詳細資訊如表2-1中所述，其計算範圍與地形水深圖如圖2-1中所示。另一為0.08°高解析度(TWPb0.08)之西北太平洋模式，圖2-2為格網範圍與地形水深圖，垂直方向為41層之混合格網。

本研究利用NCEP CFSR (NCEP Climate Forecast System Reanalysis) (Saha et al., 2010、2014)大氣資料庫來提供HYCOM海面邊界條件，其涵蓋全球範圍、空間解析度約為0.3125度、使用的時間解析度為每6小時。因CFSR涵蓋時間僅至2010年，故同時收集NCEP CFSv2 (NCEP Climate Forecast System Version 2)之資料庫，本研究模擬所使用之海面邊界大氣資料細節如表2-2中。溫鹽氣候值採用World Ocean Atlas 2013月平均資料，做為模式溫鹽之起始值，利用HYCOM工具程式處理內插至模式範圍做為模式溫鹽之起始值，並於模擬計算中進行relaxation，避免長期模擬造成溫鹽氣候值造成偏差。

本研究模擬起始時間為1993/11/01 00:00模擬至2021/01/01 00:00，扣除1993/11/01至1994/01/01之1年冷啟動後不穩定資料不分析外，共計模擬時間長度為27年(1994/01/01~2020/12/31)。模擬時採用時間連續而模式中斷之方式，每次模擬間距為1個月，以利後續資料分析處理。

表 2-1 HYCOM 格網設定表

模式	GLBt0.72	TWPb0.08
範圍	Global tripolar Arakawa C-grid	98.95~148.88E 1.99~40.94N
解析度(度)	0.72	0.08
格網數	500x382x41	625x538x41
地形資料	DBDB2	GLBb0.08
溫鹽氣候資料	WOA13	WOA13
邊界條件資料	無	GLBb0.08

表 2-2 本研究模擬所使用之大氣資料庫一覽表

資料庫	CFSR	CFSv2	NCEP/NCAR Reanalysis2
範圍	全球	全球	全球
空間解析度(度)	0.3125	0.2045	1.87
格網數	1152x576	1760x880	192x84
涵蓋時間	1979/01~2010/12	2011/03~2021/06	1979/01~2021/05
時間解析度	6 hourly	6 hourly	6 hourly

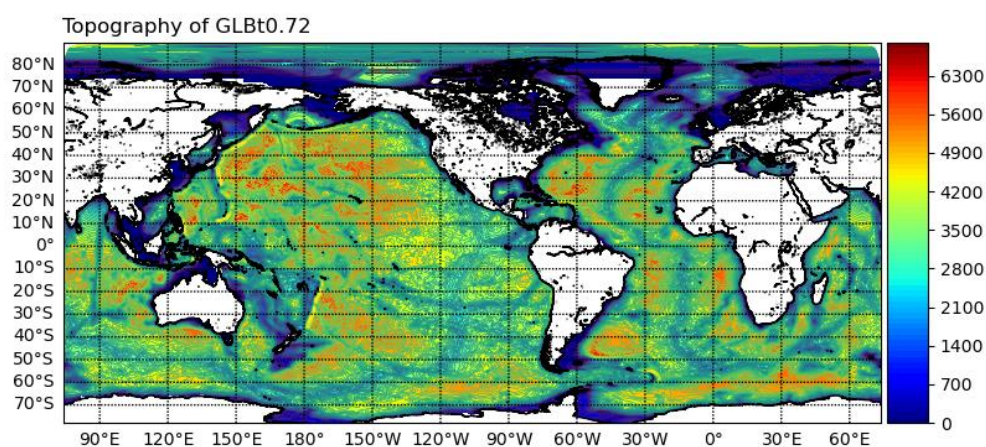


圖 2-1 GLBt0.72 格網範圍與地形水深圖

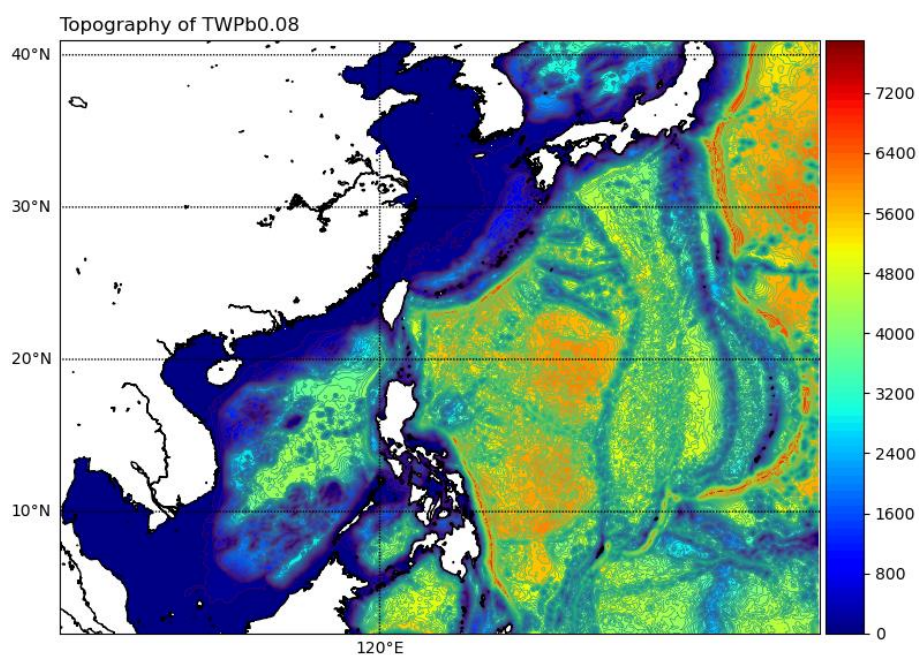


圖 2-2 TWPb0.08 格網範圍與地形水深圖

第三章 研究成果

第一節 格網解析度討論

為監測聖嬰現象，科學家發明許多指標，最常用的是 ONI (Oceanic Nino Index)與尼諾 3.4 指數(Niño 3.4)。ONI 指數用於監測熱帶太平洋，其指數均基於給定區域的平均海溫異常值，通常異常值是相對於 30 年的基期計算的。根據 NOAA 的定義，ONI 指數定義範圍為 5°N-5°S、170°W-120°W 間的平均海溫，ONI 使用 3 個月的運行平均值，若要被歸類為聖嬰或反聖嬰現象，其異常值必須至少連續五個月超過正負 0.5°C。尼諾 3.4 指數(NINO3.4)與 ONI 使用相同的區域，尼諾 3.4 指數異常可能被認為代表了太平洋從換日線到南美海岸的平均赤道海溫。尼諾 3.4 指數通常使用 5 個月的運行平均值，當尼諾 3.4 指數超過正負 0.4°C 持續 6 個月或更長時間時可定義聖嬰或反聖嬰事件。圖 3-1 為 1950 至 2021 年之 ONI 指數變化，由 ONI 時序列資料中可知，在長期追報模擬時間範圍內較強的聖嬰現象為 1997、2015 年，反聖嬰現象出現在 1998~2000、2008 及 2010 年，故本研究選擇 1997/06 至 1998/05 做為聖嬰現象案例、2007/06 至 2008/05 做為反聖嬰現象案例、而 2005/06 至 2006/05 代表正常年案例，據此進行後續討論與分析。

為了解本研究所使用的 HYCOM 模式是否足以分析聖嬰及反聖嬰期間的海洋狀況，利用 GLBt0.72 模式之 1993 至 2020 年輸出海面溫度進行 ONI 指數計算(圖 3-1 綠色虛線)，其趨勢與 Trenberth, Kevin & National Center for Atmospheric Research Staff (2020)所提供尼諾 3.4 指數具有一致性，在指數大於正負 0.5 事件皆可合理模擬，而指數大於正負 1.5 以上之強聖嬰與反聖嬰事件皆可準確模擬，顯示 GLBt0.72 模式結果海面溫度模擬即具有合理與準確性。

本研究進一步分析兩種解析度的模擬準確度，整體而言，兩者具有一致性，但由於黑潮流動所造成的差異，如日本南方、南海北部之溫度、鹽度、海面高度及流速之差異較為明顯(圖 3-2)。比較兩種解析度之海面高度模擬結果可知，在巴士海峽東側海面高度局部較高現象兩者是一致的，而冬季黑潮入侵南海北側之現象兩者亦相同呈現，海面溫度與鹽度之分布平均來說兩者亦呈現相同趨勢與分布。而 TWPb0.08 格網由於解析度較高所產生的模擬細節亦可明顯的呈現，如 TWPb0.08 在西北太平洋中產生的局部偏高或偏低之渦流現象較為明顯、黑潮主流溫度與鹽度較高現象亦可合理的呈現、南海鹽度較低與渦流產生的溫度與鹽度變化亦較 GLBt0.72 明顯，顯示格網解析度較高之 TWPb0.08 可解析的海洋變動局部現象應較 GLBt0.72 更佳。因此，本研究以 TWPb0.08 解析度來探討聖嬰與反聖嬰期間的海洋狀態。

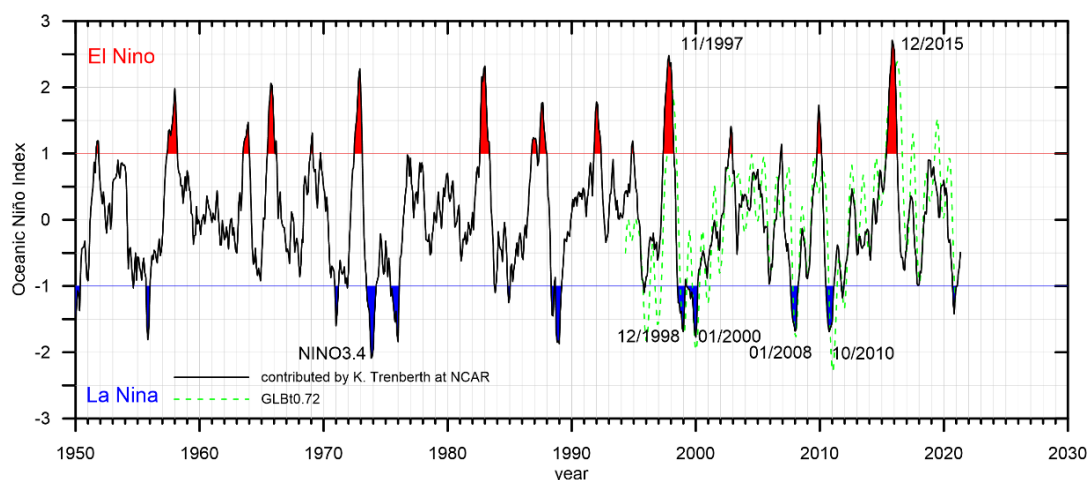


圖 3-1 1950 至 2021 年之 ONI 指數變化(資料來源：NOAA)

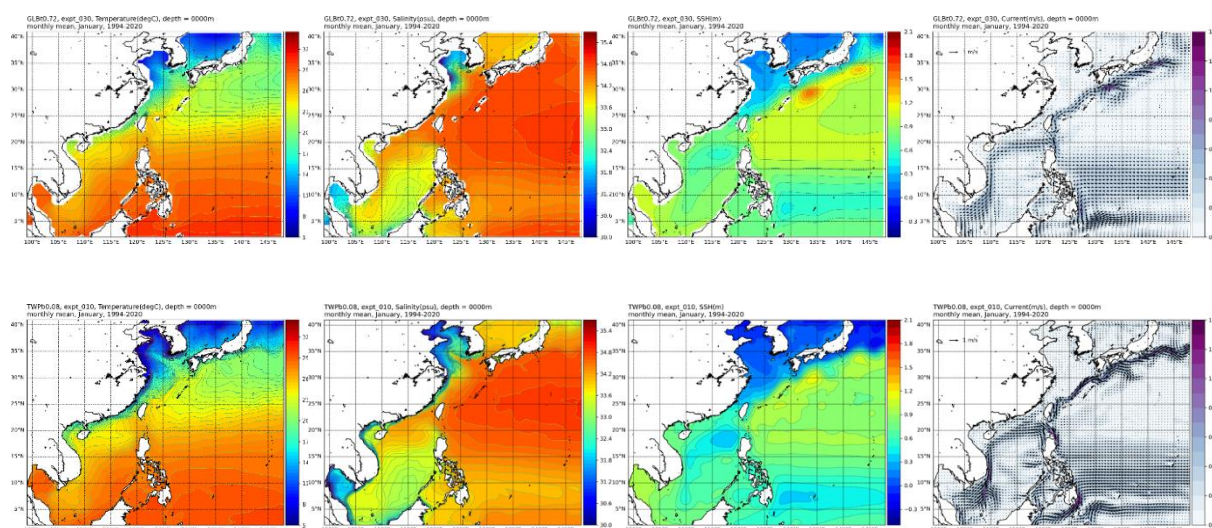


圖 3-2 不同格網解析度下之 1994 至 2020 年之 1 月平均西北太平洋及臺灣周遭海域範圍之模擬分布圖(上排:0.72 度, 下排 0.08 格網度解析度; 從左至右為海面溫度、海面鹽度、海面高及海表面流速及流向)

第二節 模擬討論

為了討論 HYCOM 長期追報模擬的合理性，利用 HYCOM 模式是否能合理的反應海面大氣變動所造成的影響，利用在大氣海洋長期變動中有幾個比較明顯的特徵來進行探討，而聖嬰現象就是其中之一。由於聖嬰現象的發展一般約由春末至初夏開始，秋冬季緩步加強，多數在隆冬達到高峰，最後約於隔年春季逐漸減弱，本研究以 6 月開始至隔年 5 月一整年期間，選擇 1997/06 至 1998/05 做為聖嬰現象案例、2007/06 至 2008/05 做為反聖嬰現象案例、而 2005/06 至 2006/05 代表正常年案例，並以 1994 至 2020 之月平均值做為各項海洋參數異常值之基準。探討的海洋參數包含 2 公尺高大氣溫、2 公尺高比濕、海面溫度、降水率、海面鹽度、海面大氣壓力、海面高度、10 公尺高風速風向、海面流速流向等項目。另由上節可知，TWPb0.08 解析度可更精細的描述聖嬰與反聖嬰期間的海洋狀態。

依據 HYCOM 之 TWPb0.08 區域模式之長期追報模擬結果，於聖嬰年冬季

至隔年春季(1997/12~1998/05)在台灣附近海域至南海之海面溫度異常值偏高，而反聖嬰年冬季之大陸至越南沿岸海域海面溫度異常值偏低，其與 CFSR 大氣資料所分析的結果一致。而降水率偏高區域其海面鹽度則偏低，如聖嬰年於北緯 10 度附近之降水率偏低則海面鹽度偏高。而海面高度異常值偏高處在反聖嬰年時出現在北緯 10 度左右，正常年則往北移動至北緯 15 度左右，而聖嬰年向南移動至北緯 5 度左右。由聖嬰年之海面流速流向異常值分布來看，西北太平洋環流流速降低(北緯 10 至 15 度區域)，但南側西北太平洋反流流速增強、北側亦有流速增強現象；在反聖嬰代表年之冬季台灣東側向北之黑潮主流流速偏低、入侵南海之黑潮支流偏高，聖嬰代表年之則反之。而反聖嬰年比較顯著的是東北季風增強，故大陸沿岸流流速亦增強。由以上定性的分析，海洋變動可合理的反應海面大氣資料的變化特性，後續將針對定量的特性進行分析。

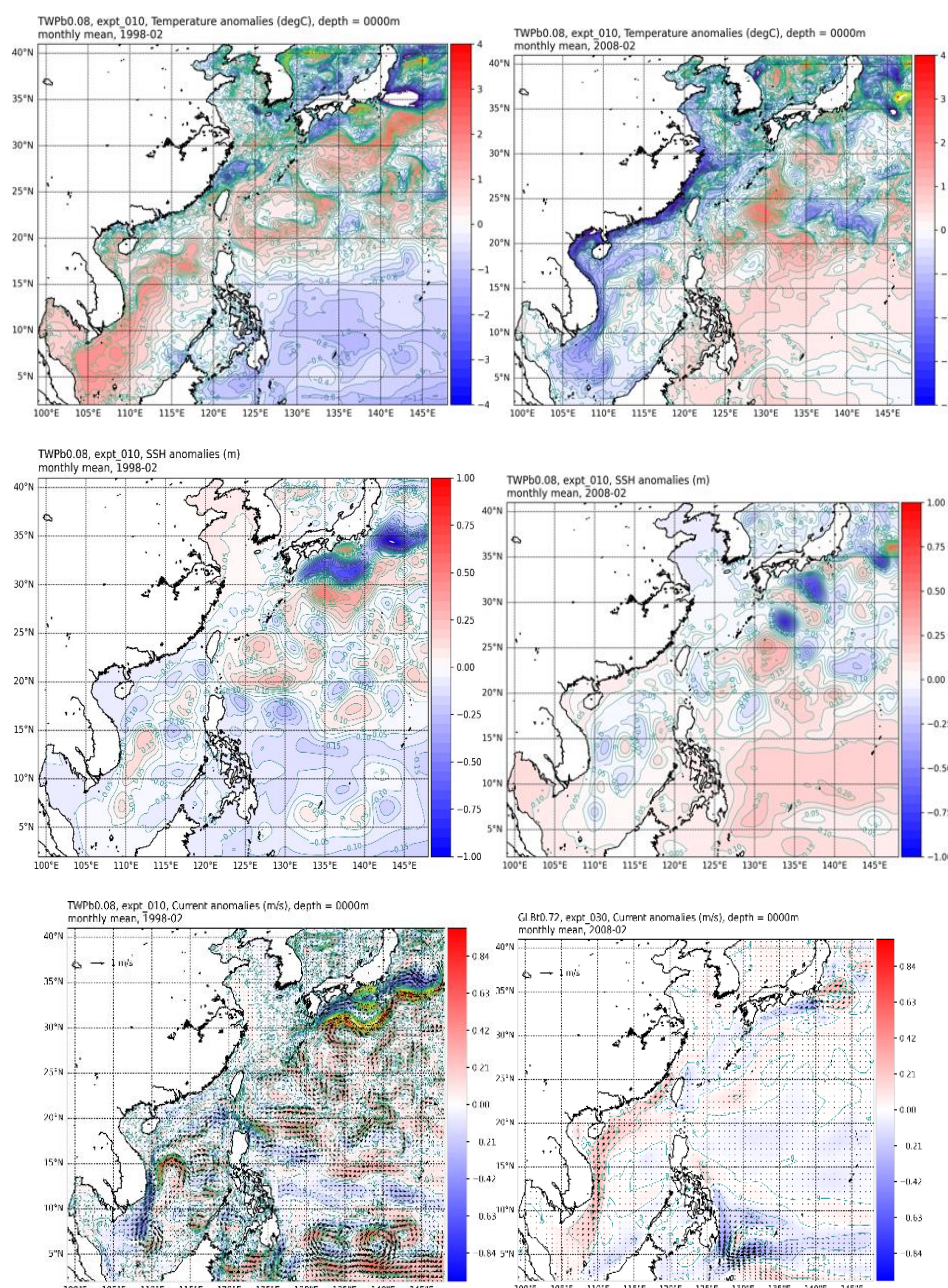


圖 3-3 聖嬰(左)與反聖嬰(右)期間冬之海面溫度異常值、海面高度異常值及海面流速異常值(從上至下)

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究採用 HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) 海洋模式進行西北太平洋及臺灣周遭海域之海洋狀態模擬，分析臺灣附近海域於聖嬰與反聖嬰現象條件下海洋變動特性，探討大氣與海洋交互反應之合理性。依據本研究模擬結果獲得以下結論：

1. 本研究採用兩種格網解析度 GLBt0.72 與 TWPb0.08 進行模擬，整體而言大範圍趨勢兩者具有一致性，但解析度提高造成局部極大值較大的現象更為明顯。
2. TWPb0.08 格網解析度更能合理描述由黑潮流動所造成局部變化，如冬季呂宋島西北方冷渦反映了黑潮冬季入侵南海之現象形成海面高反應。
3. 於聖嬰年冬季至隔年春季(1997/12~1998/05)在臺灣附近海域至南海之海面溫度異常值偏高，而反聖嬰年冬季之大陸至越南沿岸海域海面溫度異常值偏低，其與 CFSR 大氣資料所分析的結果一致。
4. 而降水率偏高區域其海面鹽度則偏低，如聖嬰年於北緯 10 度附近之降水率偏低則海面鹽度偏高。
5. 而海面高度異常值偏高處在反聖嬰年時出現在北緯 10 度左右，正常年則往北移動至北緯 15 度左右，而聖嬰年向南移動至北緯 5 度左右。
6. 由聖嬰年之海面流速流向異常值分布來看，西北太平洋環流流速降低(北緯 10 至 15 度區域)，但南側西北太平洋反流流速增強、北側亦有流速增強現象，而反聖嬰年比較顯著的是東北季風增強，故大陸沿岸流流速亦增強。

第二節 建議

本研究採用兩種格網解析度 GLBt0.72 與 TWPb0.08 進行模擬，整體而言大範圍趨勢兩者具有一致性。在定性分析可知，採用 TWPb0.08 格網度解析度模擬海洋變動，更可合理的反應海面大氣資料的變化特性。提高解析度後，有明顯解決黑潮蜿蜒區的問題，但黑潮有較強的現象。未來將與實測比對，針對定量的特性進行分析，了解模式對於聖嬰現象的敏感度。

另一方面，由於(反)聖嬰現象是發生頻率 2~7 年大尺度的自然年際變化，受到氣候變遷影響，其影響強度更將劇烈；如 1999 年受到反聖嬰現象的影響，鮪類魚場往大西洋集中；2008 年，澎湖海域養殖漁業因反聖嬰引致的寒害，損失高達新臺幣 1 億；美國在 2015 年聖嬰年期間，因氣流創 40 年最弱，造成風力發電產能大減 6%。在近期研究中指出，相較前上個世紀，黑潮的暖化速度已增快 2 倍左右，延伸至東海的主流流軸逐漸向陸地移動，證明西北太平洋的海洋環流

模型在過去數十年間已開始改變，也造成大洋性洄游魚類(包含日本鰻)分布、洄游路徑與來游量多寡的變動。此外，臺灣周邊海域海面水溫在過去 20 年的上升速度高於世界平均 2 倍，也造成臺灣周邊海域魚場環境及漁業資源如鎖管、櫻花蝦及烏魚等漁場位置或漁期的變動。

由此可知，(反)聖嬰現象與氣候變遷，將會造成臺灣周遭海洋狀態如海溫、環流模型以及海面風場的改變，進而影響海洋產業及能源的發展路徑。然而，目前國內尚未針對臺灣周遭海域受(反)聖嬰現象影響的長時間尺度模擬研究，亦無針對其對臺灣海洋產業及能源影響分析。因此，本研究未來也將拉長時間尺度，重建過去 40 年(1981-2021)臺灣周遭海域之海洋資料，探討在(反)聖嬰現象及氣候變遷下，影響臺灣海洋產業與能源的主要海洋物理因子以及其影響的動力機制，作為海洋產業與能源因應(反)聖嬰現象及氣候變遷可能調適與減緩作為之分析研究。

參考文獻

1. 黃玉華(2005)。聖嬰現象對臺灣附近海域海氣象影響之研究(未出版之碩士論文)。國立中山大學海洋資源研究所。
2. 交通部中央氣象局網站 <https://www.cwb.gov.tw>。
3. 美國氣象預報中心網站 <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>。
4. Bleck, R. (2002). An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic–Cartesian coordinates, *Ocean Modelling*, 4(1), 55-88.
5. Bleck, R., & Boudra, D. (1981). Initial testing of a numerical ncean circulation model using a hybrid (quasi-isopycnic) vertical coordinate, *Journal of Physical Oceanography*, 11, 755-770.
6. Bleck, R. & Smith, L. (1990). A wind-driven isopycnic coordinate model of the north and equatorial Atlantic Ocean. 1. Model development and supporting experiments, *Journal of Geophysical Research*, 95C, 3273-3285.
7. Bleck, R., & Benjamin, S. (1993). Regional weather prediction with a model combining terrain-following and isentropic coordinates. Part I: Model description, *Monthly Weather Review*, 121, 1770-1785.
8. Chao, S.Y., Shaw, P. T., & Wu, S. Y. (1996). EI Nino modulation of the South China Sea circulation, *Prog. Oceanog*, 38, 51-59.
9. Hong C. H., Cho, K.D., & Kim, J. H. (2001). The relationship between ENSO events and sea surface temperature in the East (Japan) Sea, *Prog. Oceanog*, 49, 21-40.
10. Hung, T. H., Chen, C. T. A., Zhang, W. Z., & Zhuang, X. F. (2015). Varying intensity of Kuroshio intrusion into Southeast Taiwan Strait during ENSO events, *Continental Shelf Research*, 103(15), 79-87.
11. Kashino Y., España, N., Syamsudin, F., Richards, K. J., Jensen, T., Dutrieux, P., & Ishida, A. (2009). Observation of the North Equatorial current, Mindanao current, and Kursohio current system during 206/07 EI Niño and 2007/08 La Niña, *Journal of Oceanography*, 65, 325-333.
12. Kuo, N. J., & Ho, C. R. (2004). ENSO effect on the sea surface wind and sea surface temperature in theTaiwan Strait, *Geophys. Res. Lett.*, 31, doi:10.1029/2004GL020303.
13. Lee, M. A., Chang, Y., Lan, K. W., Chan, J. W., & Hsieh, W. J. (2011). Satellite Observation on the Exceptional Intrusion of Cold Water and Its Impact on Coastal Fisheries Around Peng-Hu Islands, Taiwan Strai, *Remote Sensing of the Changing Oceans*, 281-292.
14. Lin, C. Y., Ho, C.R., Zheng, Q., Huang, S. J., & Kuo, N. J. (2011). Variability of sea surface temperature and warm pool area in the South China Sea and its relationship to the western Pacific warm pool, *Journal of Oceanography*,. 67, 719–724.
15. Pan, J., Yan, X. H., Zheng, Q., Liu, W. T., & Klemas, V. V. (2003). Interpretation pf scatterometer ocean surface wind vector EOFs over the Northwestern Pacific, *Remote Sensing of Environment*, 84, 53-68.
16. Qu, T., Du, Y., Meyers, G., Ishida, A., & Wang, D. (2005), Connecting the tropical Pacific with Indian Ocean through South China Sea, *Geophysical Research Letters*, 32, L24609.
17. Sun, S., Bleck, R., Rooth, C., Dukowicz, J., Chassignet, E. & Killworth, P. (1999).

- Inclusion of thermobaricity in isopycnic-coordinate ocean models, *Journal of Physical Oceanography*, 29, 2719-2729.
18. Tozuka, T., Qu, T., Masumoto, Y., & Yamagata, T. (2009). Impacts of the South China Sea Throughflow on seasonal and interannual variations of the Indonesian Throughflow, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 47, 73–85.
 19. Wu, C. R. (2013). Interannual modulation of the Pacific Decadal Oscillation (PDO) on the low-latitude western North Pacific, *Progress in Oceanography*, 110, 49–58.
 20. Wu, C. R., & Chang, C.W.J. (2005). Interannual variability of the South China Sea in a data assimilation model, *Geophysical Research Letters*, 32, L17611.
 21. Xie, S.P., Xie, Q., Wang, D., & Liu, W. T. (2003). Summer upwelling in the South China Sea and its role in regional climate variations, *Journal of Geophysical Research*, 108, 3261.