

北台灣海峽數值模擬研究

張育綾¹ 吳朝榮² 李忠潘³

¹ 國立台灣師範大學地球科學系博士生

² 國立台灣師範大學地球科學系副教授

³ 國立中山大學海洋環境及工程學系教授

摘要

本研究利用一個高解析度的台灣海峽數值模式，根據其海溫、海水流速流向、風向風速等，分析台灣海峽的海水流況，並利用數值模式時間及空間連續的特點，了解台灣海峽流況之年際與季節變化，並根據年際及季節變化中呈現的特殊暖水現象做進一步的分析及研究。台灣西北海域在春季出現的暖水區域具有年際變化，而暖水的成因為東來的黑潮水與台灣海峽水輻合所致，1999 與 2000 年春季為反聖嬰年，輻合較強，故有局部暖水出現，而 2001、2002、2003 年春季為正常年，輻合較弱，故沒有局部暖水出現。另外分析模式資料也發現台灣東北海域之冷渦現象亦具有年際變化，並且在北台灣海峽與暖水區域形成有趣的一暖一冷現象。

關鍵字：黑潮、台灣海峽

A Numerical Study in the Northern Taiwan Strait

Yu-Lin Chang* Chau-Ron Wu Chung-Pan Lee

* Ph. D student, Department of earth sciences, National Taiwan Normal University

ABSTRACT

The present study used a fine resolution numerical model to analyze the temperature and flow pattern in the northern Taiwan Strait. An isolated warm water usually appeared in the northern Taiwan Strait in spring during the period from 1999 to 2003. This warm water is not simply from the southern Taiwan Strait, instead of being caused by the convergence of Kuroshio and Taiwan Strait water in spring. Beyond the seasonal time scale, the warm water demonstrated an inter-annual variation related to El Niño/Southern Oscillation (ENSO). The model data also showed an interesting dipole structure in the northern Taiwan Strait.

Key words: Kuroshio; Taiwan Strait

一、前言

台灣四面環海，西臨台灣海峽，東邊有強烈的暖流—黑潮經過，南邊的呂宋海峽是太平洋深層海水進入南海的唯一通道，其中台灣海峽的東西寬約 180 公里，南北長約 300 公里，平均水深約 60 公尺，其地理位置北銜東海，南臨南海，介於中國大陸與台灣之間，無論在經濟、民生、軍事上都扮演著舉足輕重

的關係。在台灣東邊的黑潮是北太平洋的西方邊界流，終年高速向北流動，將高溫高鹽海水由低緯度地區運送至高緯度地區，部分黑潮的支流入侵台灣北方的東海陸棚，而黑潮主流則沿陸棚邊緣上達日本；黑潮主軸的位置會隨著季節的變化而產生擺盪的現象（Sun, 1987）。黑潮主軸的季節性擺盪對於黑潮入侵東海陸棚的位置以及台灣東北海域冷渦流場變化有著極大的影響，而黑潮主軸的擺盪牽引著其西南方的冷渦流場，連帶也影響了台灣海峽外流水與東海南部

陸棚的流場分布 (Tang et al., 2000)。

近數十年來，我國對台灣附近海域的研究不遺餘力，持續多年利用海洋探測儀器在台灣附近海域現場探測，使我們對於台灣附近海域的水文及流場了解與日俱增，並使海洋科學知識快速躍進。然而受限於現場觀測時空上的限制，往往只能做小區域或定點式的觀測，無法同時觀測大範圍區域並取得水文及流場資料，時至今日，我們對於台灣附近海域的認識仍建構於片段的觀測資料上，仍不足以滿足我們對於研究上的需求，故針對台灣附近海域若欲有更全面、透徹的了解，在現場觀測資料之外，我們仍必須尋求其他的方法及技術，以提升台灣附近海域的研究。

海洋數值模式是利用海洋動力方程式及數值演算建構而成，具有時間及空間連續性的優點，可提供連續性的水文及流場資料，並搭配現場觀測資料來解釋並研究複雜及多變的海洋物理現象，藉此對於台灣海峽的各種運動及變化有更全面性的了解。

本研究利用數值模式在時間及空間上連續的優點，對於台灣海峽海洋物理現象的年際變化作深入的分析，並對台灣海峽區域特殊現象做詳細探討。

二、方法

本研究使用一個高解析度的海洋數值模式輸出之海流及水文資料，來分析台灣海峽海域流況的空間分佈以及其季節與年際變化。我們所使用的資料為台灣海峽數值模式，台灣海峽模式是由 Princeton Ocean Model (POM)開發建構而成，POM 屬於三維動力海洋模式，台灣海峽模式的範圍由北緯 21.5 度到北緯 27.5 度，及東經 115 度到東經 122 度，水平解析度為 3 到 10 公里，垂直方向採用 σ 座標，共有 26 層，水平方向使用「正交曲線座標」網格配置，開口邊界條件由 East Asian Marginal Seas (EAMS) 提供(Wu and Hsin, 2005)，關於台灣海峽模式的簡介與驗證，在 Wu et al. (2007)中有詳細的介紹。

三、結果與討論

1999~2003 年的夏季於台灣西北角海域水深 20 米處均會出現局部暖水(圖 1)，而在春季只有 1999

及 2000 年有出現局部暖水(圖 2)，其他年度以及季節則沒有這個現象。

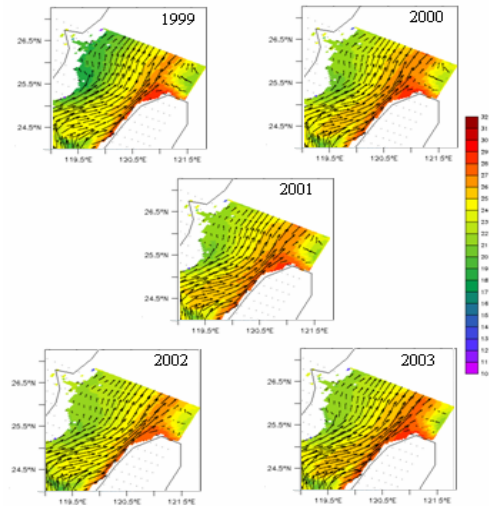


圖 1 台灣海峽夏季水深 20 米海水溫度流場圖

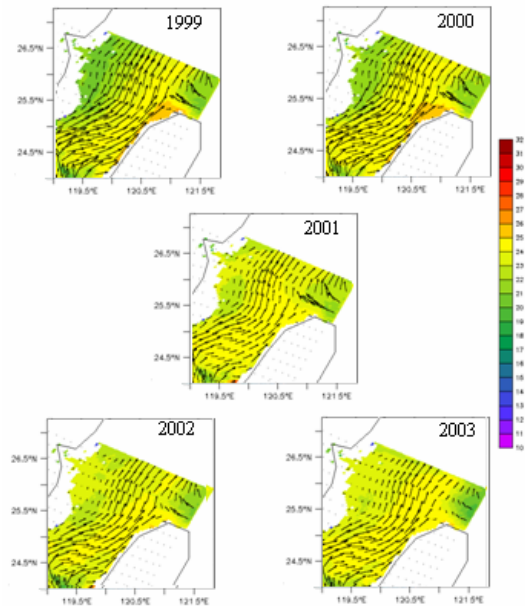


圖 2 台灣海峽春季水深 20m 海水溫度流場圖

在圖中我們可以看到，春季暖水在同一深度中僅出現於台灣西北角海域，並非呈帶狀連續分布，所以其來源應該是由表層水下沉而來的，夏季時，台灣海峽盛行西南季風，在北半球由於艾克曼作用，表層水受西南季風吹拂，向台灣西岸堆高並將表層暖水帶至次表層，而形成區域暖水；春季時，

台灣海峽盛行東北季風，不符合艾克曼定理，所以春季台灣西北角海域的暖水並不適用於此一推論。1999~2003年中，只有1999、2000年在台灣西北角海域出現局部暖水，由NOAA在Niño 3.4 region所測得的海表面溫度中，定義距平值 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 為正常年，其中1999年至2003年在此區域的春季海水面平均距平值的溫度分別為 -0.738°C 、 -0.6°C 、 0.089°C 、 0.38°C 、 -0.078°C ，根據定義，1999、2000年的春季為反聖嬰年，2001、2002、2003年春季則為正常年，因此，於台灣西北角出現局部暖水的1999及2000年為反聖嬰年，而2001、2002、2003沒有出現暖水的年份為正常年。

根據潘(1997)提到，菲律賓以東的黑潮流量在ENSO期間減弱，ENSO消失後增強，所以我們推測春季區域暖水的來源是由台灣東北角黑潮入侵而形成的，由於1999、2000年為反聖嬰年，所以應有較明顯的暖水，本研究在暖水區周圍作了四條測線(圖3)，測線1位於東經121度、北緯25度~25.5度，測線2位於東經121.5度、北緯25.3度~25.5度，測線3位於北緯25.15度、東經121度~121.3度，測線4位於北緯25.5度、東經121度~121.5度，對此四條測線分別作流速剖面圖，在流速剖面圖中，測線1及測線2的流速是取與測線垂直的u方向流速，而測線3及測線4則是取與測線垂直的v方向流速。

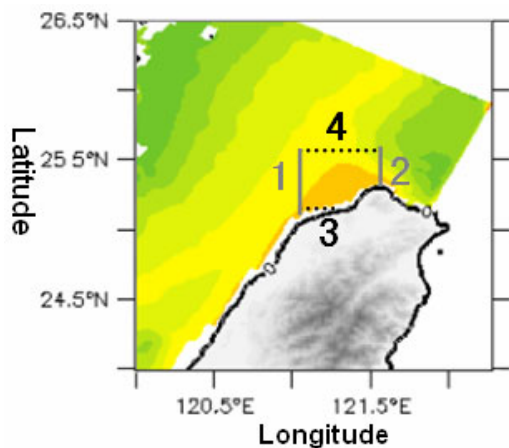


圖3 測線分布圖

由1999至2003年，在測線1的流速流向剖面圖中，其流向皆往東流出台灣海峽，在測線2的流

速流向剖面圖中，其流向皆向西流入台灣海峽，但其強度各不相同，由測線1與測線2流速流向剖面年際對照圖(圖4)看見兩條測線上的水呈現如同輻合的狀態，而在暖水區下方測線3之流速流向剖面圖皆向北方流，搭配上測線4，將此四條圍繞在暖水的西方、東方、南方及北方的測線計算出距平值並繪製成圖，由圖5中我們便可以得知1999與2000年在反聖嬰年中區域暖水出現的機制為輻合(convergence)較強的年度，距平值為正，並且有局部暖水出現，而在正常年2001、2002、2003年中，距平值為負，沒有局部暖水出現。

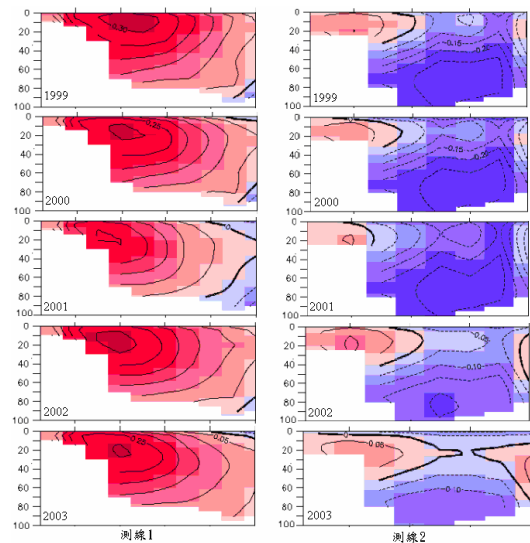


圖4 測線1與測線2之春季平均流速流向(u方向)分布圖，由上至下為1999~2003年，其中紅色為正，藍色為負。

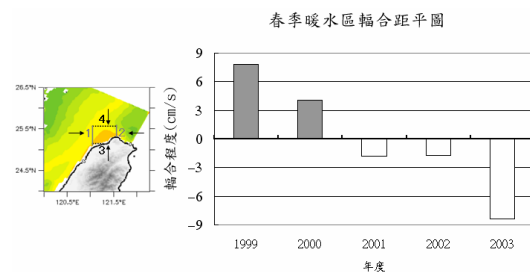


圖5 暖水區輻合距平圖，箭頭為各測線上定義正號的方向。

由台灣西北角春季局部暖水區東側及南側的測線2及測線3取相同距離作傳輸量(transport)及熱傳輸量(heat flux)圖(圖6)，由年際傳輸量變化圖中可以看到各測線上水流入台灣海峽的情形，由傳輸量

中得知測線 3 皆向北流出台灣海峽，而測線 2 上的水確實向西流入台灣海峽，與推測相符，但年際之間的強弱有所差異，從熱傳輸量來看，測線 2 與測線 3 皆以 1999 及 2000 年的反聖嬰年較大，2001、2002、2003 年的正常年較小，暖水出現的 1999 及 2000 年與周圍海溫溫差大，凸顯出暖水的位置(圖 2)，而 2001、2002、2003 年除了熱傳輸量變小之外，與周圍海溫溫差也較小(圖 2)。

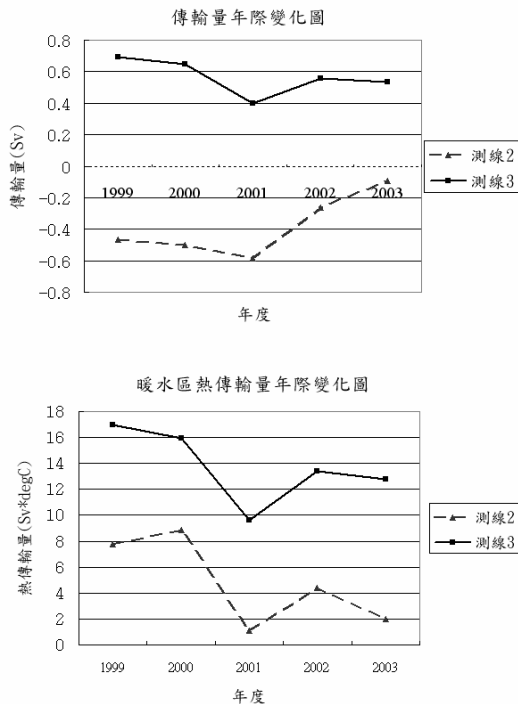


圖 6 測線 2 與測線 3 春季平均年際傳輸量與熱傳輸量圖，同圖 5 之圖示，箭頭為定義正號方向。

圖 7 為 1999 與 2000 年春季平均海表面溫度圖，將其配合著圖 6 的傳輸量與熱通量來看，在同為反聖嬰年的 1999 與 2000 年中仍存在著差異，在同為反聖嬰年的 1999 與 2000 年中，1999 年的暖水區周圍海溫較 2000 年為低，但是暖水區則受黑潮與台灣海峽水影響，1999 年較 2000 年明顯，表 1 中 NOAA 的 Niño index 中看到在 1999 年的值都小於 2000 年，且 1999 年中不論哪一個區域指標都為反聖嬰，說明 1999 年的反聖嬰現象較 2000 年為強烈，所以大範圍海表面溫度低於 2000 年。

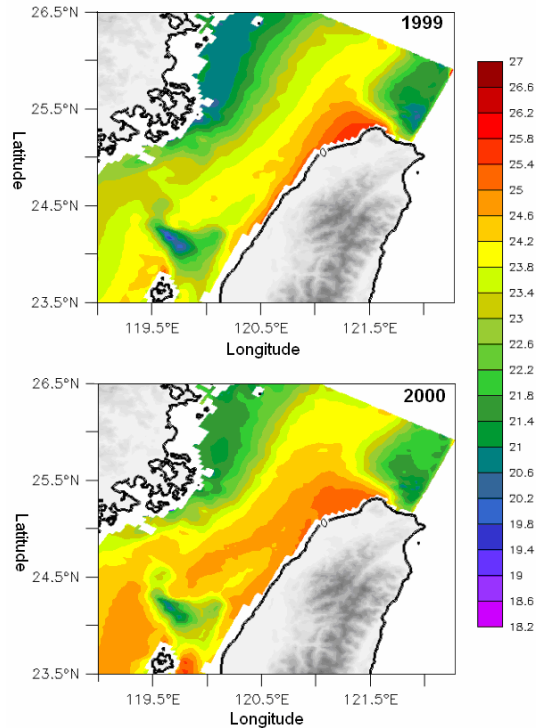


圖 7 1999 與 2000 年春季平均水深 20 米溫度圖

表 1 NOAA Niño index 春季平均年際變化， ± 0.5 之間為正常年，大於 0.5 為聖嬰年，小於 -0.5 為反聖嬰年

年 \ 區域	Region1+2	Region3	Region3.4	Region4
1999	-0.94	-0.61	-0.74	-0.91
2000	-0.01	-0.06	-0.60	-0.9
2001	0.20	0.02	0.09	-0.10
2002	0.75	0.23	0.34	0.77
2003	-1.32	-0.52	-0.08	0.43

在 1999 至 2003 年中，台灣西北海域暖水僅出現於每年的夏季，而春季僅出現於 1999 及 2000 年，以 1999 年為例，在臺灣西北海域的春、夏季皆有出現暖水，春季由於上述的輻合效應使暖水區域出現，夏季由於盛行西南季風，受艾克曼作用影響而使表層暖水下沉，同一時間在台灣東北海域則有冷渦存在，冷水是來自受東海陸棚地形阻擋而湧升的黑潮次表層水(Chern and Wang, 1989)，台灣西北海域暖水會受冷渦影響被擠在西邊，形成一暖一冷的現象，如圖 8a 的春季海溫圖與圖 8b 的夏季海溫圖所示；由春季平均水深 20 米的海溫圖中可以發現台

灣東北海域冷渦存在著年際變化，以圖 9a 的 1999 年的反聖嬰年為例，在海溫圖中，其冷渦較圖 9b 的 2001 年的正常年明顯，而 1999 年台灣西北海域暖水恰巧也較 2001 年(圖 9b)明顯，在台灣北部海域形成有趣的一暖一冷現象。

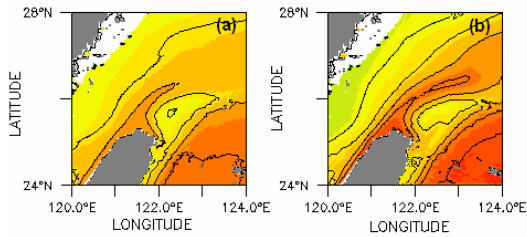


圖 8 1999 年春夏季海溫圖，(a)為春季海溫圖，(b)為夏季海溫圖。

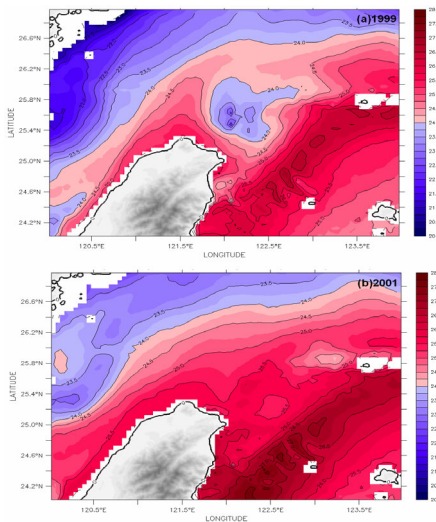


圖 9 1999、2001 年春季平均海溫，(a)為 1999 年春季平均海溫圖，(b)為 2001 年春季平均海溫圖。

四、結論

台灣西北海域在 1999 及 2000 年的春季平均海溫圖中看到有一暖水區域出現，2001、2002、2003 年則沒有，而暖水的成因為東來的黑潮水與台灣海峽水輻合所致，1999 與 2000 年春季為反聖嬰年，輻合較強，故有局部暖水出現，而 2001、2002、2003 年春季為正常年，輻合較弱，故沒有局部暖水出現。由 AVHRR 的春季平均海表面溫度圖顯示，在同為反聖嬰年的 1999 與 2000 年以及同為 2001、2002、2003 年的正常年中，海溫仍存在著差異，由於 1999 年春季反聖嬰強度大於 2000 年春季，所以 1999 年

平均海溫便低於 2000 年；受風場影響，v 方向風最強的 2001 年海表面溫度較低，而 u、v 方向風場皆較小的 2002 年，海溫則較高。

在 1999 年的春季與夏季，在台灣西北海域 20m 深處有一暖水出現，春季暖水的成因是輻合所致，而夏季由於盛行西南季風，受艾克曼作用影響而使表層暖水下沉，同一時間在台灣東北海域有一冷渦存在，而冷水是來自受東海陸棚地形阻擋的湧升黑潮次表層水，如此在台灣北部海域形成有趣的一暖一冷現象；海溫圖中可以發現台灣東北海域冷渦存在著年際變化，1999 年的反聖嬰年在海溫圖中冷渦較圖 2001 年的正常年明顯，而 1999 年台灣西北海域暖水恰巧也較 2001 年明顯。

參考文獻

1. 潘家禕, 袁業立, 鄭全安, (1997) 「用 Geosat 高度技數據觀測黑潮流系的低頻變化 II. 季節及年際變化分析」, 海洋學報, 19 卷, 4 期, 第 51-62 頁。
2. Chern, C.S., and Wang, J. (1990) "On the Kuroshio branch current north of Taiwan," *Acta Oceanogra. Taiwanica*, 25, 55-64.
3. Sun, X. (1987) *Analysis of the surface path of the Kuroshio in the East China Sea. In Essay on Investigation of Kuroshio*, ed. by X. Sun, China Ocean Press, Beijing, 1-14.
4. Tang, T.Y., Tai, J.H. and Yang, Y.J. (2000) "The Flow Pattern north of Taiwan and the migration of the Kuroshio," *Continental Shelf Research*, 20, 349-371.
5. Wu, C.R. and Hsin, Y.C. (2005) "Volume transport through the Taiwan Strait: A Numerical Study," *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, Vol. 16, No. 2, 377-391.
6. Wu, C.R., Chao, S.Y. and Hsu, C. (2007) "Transient, seasonal and interannual variability of the Taiwan Strait current," *Journal of Oceanography*, 63, 821-833.