

# 澎湖海域湧升流特性分析

徐誌壕<sup>1</sup> 周姿吟<sup>1</sup> 于嘉順<sup>2</sup> 陳琬婷<sup>3</sup> 朱啟豪<sup>3</sup>

<sup>1</sup>國立中山大學海洋環境及工程學系 研究助理

<sup>2</sup>國立中山大學海洋環境及工程學系 助理教授

<sup>3</sup>中央氣象局海象測報中心

## 摘要

湧升流為受到海流及地形變化等影響，導致由底部流向表層之海流，會為表層水體帶來豐富的營養鹽。因此，在湧升流區通常為重要之捕魚區域。在夏季時，澎湖海域周邊觀察到湧升現象，分別位於台灣灘東南外緣及彰雲隆起上方。造成這兩個區域的湧升現象主要為夏季南海海流沿台灣灘外緣進入到台灣海峽中部，受到地形變化影響在台灣灘外緣及彰雲隆起上方產生湧升流。本研究透過MODIS衛星資料分析海表面溫度判斷湧升流所在位置，再以HYCOM海洋模式分析湧升流對垂直水體之影響。

關鍵字：台灣海峽、湧升流、海表面溫度、南海海流

## 一、前言

湧升流受到風、海流及地形影響所產生的流動現象，這種過程會從底層將富營養鹽的水體帶往表層海域。營養鹽會提供表層生物生長所需的物質，使浮游生物及藻類得以生長，增加表層的初級生產力，吸引其他生物在湧升流區生長及繁殖(Reyes-Mendoza et al. 2019)。利用底部水團較冷且含有豐富營養鹽的特性，在湧升流區可以觀察到有較低溫水體分佈以及高濃度的葉綠素。

在台灣周遭有許多湧升流區，澎湖湧升流(Penghu upwelling)及台灣灘湧升流(Taiwan Bank upwelling)為南海海流進入台灣海峽受到地形變化影響，在澎湖上方的彰雲隆起及台灣灘的外緣形成低海表面溫度(Sea Surface Temperature)(Lan et al. 2009)；台灣東北部湧升流(Northeast of Taiwan Upwelling)是夏季黑潮侵入東海陸棚，在台灣東北部產生逆時針的渦流及地形的影響，將底層的水體帶往表層(Wu et al. 2008)。

根據研究顯示，台灣灘湧升流主要出現在夏季。夏季時，台灣海峽內吹拂西南季風，季風驅動南海的

南海海流(South China Sea Current)由中國沿岸延台灣灘外緣進入海峽中部(Hu et al. 2000)。受到台灣灘地形變化的影響，分為兩股流向進而形成湧升流(Lan et al. 2009)。

## 二、研究方法

### (一) 資料蒐集

湧升流可利用觀察海表面溫度及葉綠素分佈進行分析所在位置，可利用衛星資料判斷湧升流。本研究採用裝載於 Aqua 衛星的中尺度解析度成像分光輻射度計(MODIS, Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer)的衛星資料，透過演算法得到海表面溫度及葉綠素濃度(Nechad et al., 2010; Patt et al., 2003)。

海流、溫度及鹽度資料使用 HYCOM(The Hybrid Coordinate Ocean Model)海洋模式，由美國國家海洋夥伴計畫(National Ocean Partnership Program, NOPP)所開發之三維海流模式，作為美國全球海洋數據同化實驗(Global Ocean Data Assimilation Experiment, GODAE)的一部分。每日產出一筆資料，垂直分層分為 40 層，提供水溫、水平流速與鹽度等，模式範圍從 80.48°NS ~80.48°N，網格解析度為 0.08 度。

## (二) 資料計算

本研究使用 MODIS 衛星資料之時間從 2002 年 7 月至 2013 年 9 月，HYCOM 海流模式使用 2002 年 1 月至 2012 年 12 月之資料進行分析，數據範圍從 116~124°E 和 20~28°N。

衛星資料在觀測的過程中，容易受到雲遮的影響，導致會有缺漏值的出現。因此，在分析過程中會利用每年的月平均觀察短時間的變化，而 2002~2013 年之月平均用以分析長時間海域資料的變化。

## (三) 衛星影像處理

湧升流會將下層較冷的水團上升至表層區域，使周邊海域溫度降低，與周邊的海水形成「海表溫度鋒面(Sea Surface Temperature Fronts)」，表示在不同水團間溫度梯度變化較大，藉此辨別不同水團間的邊界 (Shimada et al. 2005)。可利用溫度梯度判斷湧升流的區域、範圍及大小。

梯度計算易受原始資料的影響，故在計算前須透過前處理過濾資料中的「雜訊(Noise)」(Pi and Hu 2010; Shimada et al. 2005)。過濾雜訊採用中值濾波(Median filter)，為可快速應用在移除資料中的雜訊，且保存邊界的特徵(Belkin and O'Reilly 2009)。梯度計算採用 Sobel operator，其特色為放大相鄰的點位之差異，有效增強數位圖像的邊界，以彌補對於斜向梯度的不足 (Belkin and O'Reilly 2009)。

## 三、結果與討論

### (一) 衛星資料結果

本研究分析 2012 年夏季 MODIS 海表面溫度分佈，在台灣海峽中部觀察到有低海表面溫度的現象 (圖 1)。在夏季時，台灣海峽內海表面溫度介於 28~29°C 之間，但海峽中部有兩處海表面溫度較低(約 26~27°C)之區域，分別位於彰雲隆起及台灣灘外緣。湧升流由底層上升過程中，會將豐富的營養鹽傳輸至表層海域，供給浮游生物長及繁殖，增加表層初級生產力。因此，湧升流區通常伴隨著高濃度的葉綠素出現。透過 2012 年夏季 MODIS 葉綠素濃度分布，觀察到高濃度葉綠素出現在台灣灘及彰雲隆起(圖 2)，與低海表面溫度分佈區域大致相同。

儘管衛星資料中有缺漏值，但由長期資料(2002~2013)分析結果可得知，在台灣灘及彰雲隆起上方顯示更完整的湧升流區(圖 3)，且海表面溫度分佈與 2012 年大致相同。表示長時間尺度下，台灣海峽的湧升流是出現在相近區域。

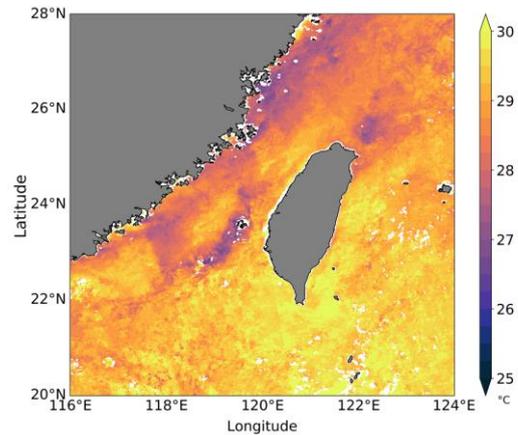


圖 1 2012 年 7 月 MODIS 海表面溫度分佈

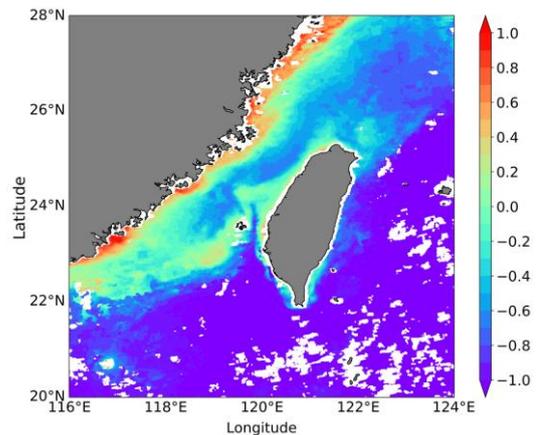


圖 2 2012 年 7 月 MODIS 葉綠素濃度分佈

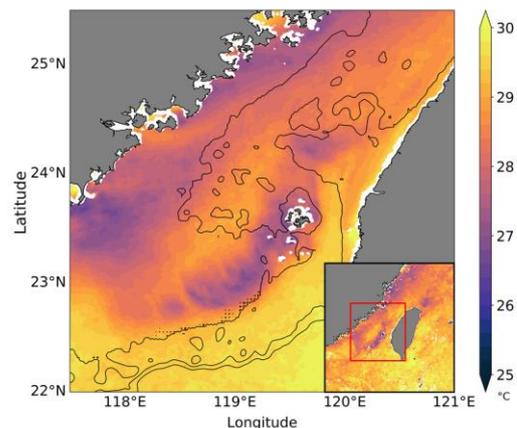


圖 3 2002~2013 年 7 月海表面溫度分佈

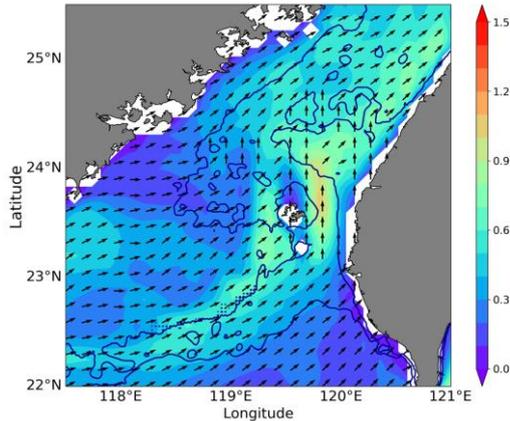


圖 4 2002~2013 年 7 月 HYCOM 平均流速流向

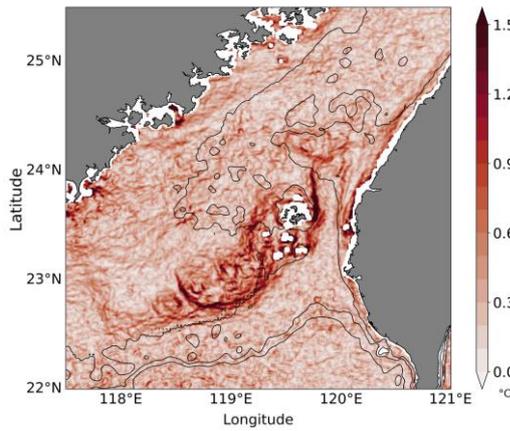


圖 5 2002~2013 年七月 MODIS 海表面溫度梯度  
(二) 台灣海峽流場分析

澎湖海域湧升流主要為地形所引起，次要影響因素為海流(Chai et al. 2011)。夏季，受亞洲季風系統影響，南海及台灣海峽吹拂西南季風，將南海海流驅動向台灣海峽內傳輸(Yang, 2002)。南海海流進入台灣海峽後，沿台灣灘外緣進入海峽中部區域(圖 4)。受到地形變化的影響，是南海海流分為兩股流向，分別為向上湧升至台灣灘上方及進入澎湖水道內。

在湧升到台灣灘的過程中，會將次表層或底層較冷的水團帶往表層，在表層形成溫度較低的海域。透過溫度梯度的分析，可以看到在台灣灘外緣(50 公尺等深線)有較高的溫度梯度分佈，從澎湖南端(23.2°N)至 22.5°N，呈帶狀分佈(圖 5)。

另一股南海海流進入到澎湖水道後，海流的流速增加(圖 4)，且受到水道的地形變化而抬升及彰雲隆起的地形阻隔，使南海海流推送較深的冷水團至彰雲隆起上方。在梯度分佈中，同樣也可以觀察到較高的溫度分佈沿彰雲隆起外圍分佈(圖 5)。

### (三)垂直剖面分析

湧升流為垂直水體傳輸的過程，傳輸過程中會將底層或次表層的低溫高鹽水團輸送至表層海域，改變表層的溫度及鹽度分佈。因此，透過垂直剖面可以更直接的觀察湧升現象。本研究透過兩處垂直剖面分析湧升現象(圖 6)。

由 2002~2013 年 7 月 HYCOM 溫度垂直剖面可觀察到低溫水團佔據在澎湖水道底部，受到湧升現象的影響，低溫水團沿台灣灘外緣湧升至表層海域，使在台灣灘上方有明顯的低海表面溫度現象(圖 7)。在鹽度分佈中，可以由水團特性觀察到南海水團在澎湖水道底部向上湧升至表層海域(圖 8)，證明在台灣灘的湧升現象是由南海海流推送底層冷水團所造成的。

由縱剖面分析澎湖水道內的溫度及鹽度，同樣可觀察到低溫高鹽的水團佔據在澎湖水道內(圖 9、圖 10)。受到南海海流的推送，水團向彰雲隆起傳輸，導致表層海域溫度較低且鹽度增加。

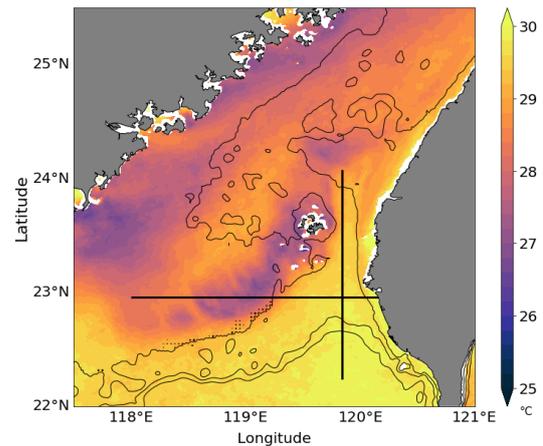


圖 6 2002~2013 年 7 月 MODIS 海表面溫度及垂直剖面位置圖

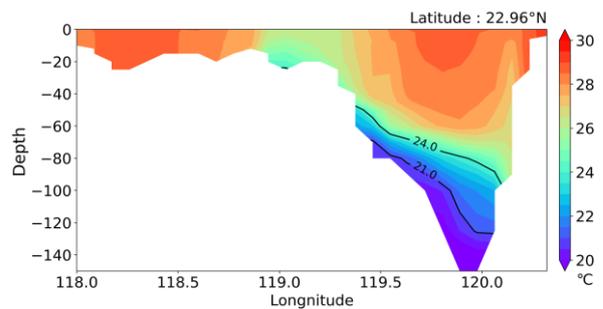


圖 7 2002~2013 年 7 月台灣灘橫剖面水溫分佈

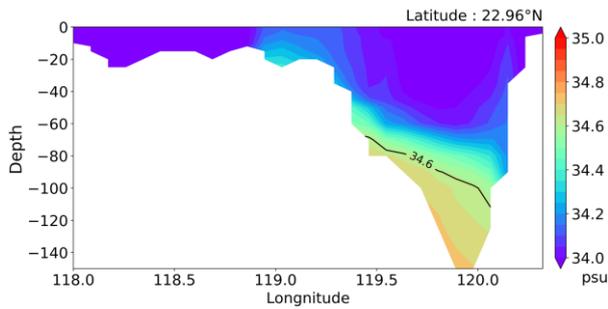


圖 8 2002~2013 年 7 月台灣灘橫剖面鹽度分佈

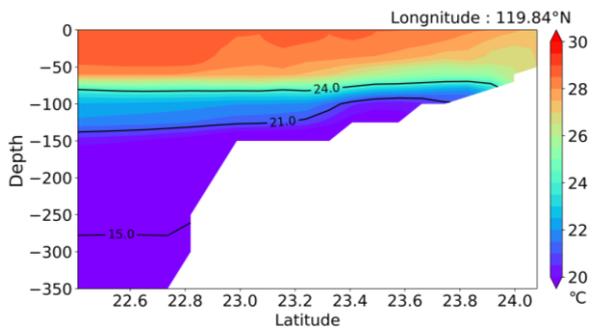


圖 9 2002~2013 年 7 月台灣灘縱剖面鹽度分佈

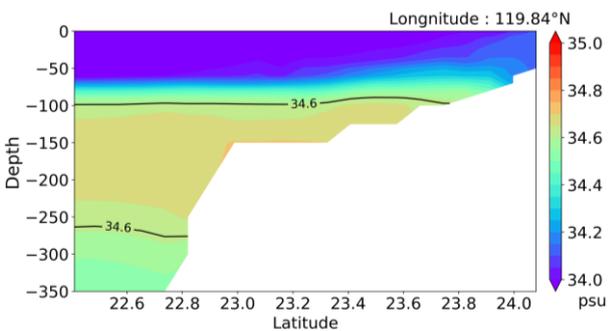


圖 10 2002~2013 年 7 月台灣灘橫剖面鹽度分佈

#### 四、結論

透過 MODIS 衛星資料觀察到台灣海峽內有兩處湧升流區，分別為台灣灘湧升流、澎湖海域湧升流，為常年存在之湧升現象，但存在季節性變化，主要永生季節在夏季(6 ~ 8 月)。

台灣灘湧升流及澎湖海域湧升流為南海海流及地形變化所引起。主要為夏季西南季風導致南海海流進入台灣海峽，並沿台灣灘外緣進入澎湖水道，受地形抬升影響造成湧升現象，在表層海域形成低溫高鹽的區域。

#### 五、參考文獻

- Belkin, Igor M. and John E.O'Reilly. 2009. "An Algorithm for Oceanic Front Detection in Chlorophyll and SST Satellite Imagery." *Journal of Marine Systems*.
- Chai, Fei, Caiyun Zhang, Bangqin Huang, Yiwu Jiang, and Jianyu Hu. 2011. "An Overview of Physical and Biogeochemical Processes and Ecosystem Dynamics in the Taiwan Strait." *Continental Shelf Research* 31(6):S3-12.
- Hu, Jianyu, Hiroshi Kawamura, Huasheng Hong, and Yiquan Qi. 2000. "A Review on the Currents in the South China Sea: Seasonal Circulation, South China Sea Warm Current and Kuroshio Intrusion." *Journal of Oceanography* 56(6):607-24.
- Lan, Kuo-Wei, Hiroshi Kawamura, Ming-An Lee, Yi Chang, Jui-Wen Chan, and Cheng-Hsin Liao. 2009. "Summertime Sea Surface Temperature Fronts Associated with Upwelling around the Taiwan Bank." *Continental Shelf Research* 29(7):903-10.
- Pi, Qingling and Jianyu Hu. 2010. "Analysis of Sea Surface Temperature Fronts in the Taiwan Strait and Its Adjacent Area Using an Advanced Edge Detection Method." *Science China Earth Sciences* 53(7):1008-16.
- Reyes-Mendoza, Oscar, Jorge Herrera-Silveira, Ismael Mariño-Tapia, Cecilia Enriquez, and John L. Largier. 2019. "Phytoplankton Blooms Associated with Upwelling at Cabo Catoche." *Continental Shelf Research*.
- Shimada, Teruhisa, Futoki Sakaida, Hiroshi Kawamura, and Toshiaki Okumura. 2005. "Application of an Edge Detection Method to Satellite Images for Distinguishing Sea Surface

Temperature Fronts near the Japanese Coast.”

*Remote Sensing of Environment* 98(1):21–34.

Wu, Chau Ron, Hung FuLu, Shenn YuChao,

WuChau-Ron, LuHung-Fu, andChaoShenn-Yu.

2008. “A Numerical Study on the Formation of  
Upwelling off Northeast Taiwan.” *Journal of*

*Geophysical Research: Oceans* 113(C8):1–12.

Yang, Haijun. 2002. “A General Circulation

Model Study of the Dynamics of the Upper

Ocean Circulation of the South China Sea.”

*Journal of Geophysical Research*.