

台灣周邊湧升流預報系統發展與校驗

The Development and Validation of Upwelling Prediction System around Taiwan

徐誌壕¹(Chih-Hao Hsu) 于嘉順¹(Jason C.S. Yu) 陳琬婷²(Wan-Ting Chen)

¹國立中山大學 ²中央氣象局海象測報中心

¹National Sun Yet-Sen University

²Marine Meteorology Center, Central Weather Bureau

摘 要

- 湧升流區為重要的漁業資源區域。湧升現象為水體由下層或底層區域上升至表層區域，會對表層海域注入豐富的營養鹽，提供藻類生長所需的資源，進而吸引魚群來此。由於水體是由底部上升至表層區域，底部水體水溫較低，會使表層區域的水溫下降，形成明顯的低溫區域。因此，可透過湧升流指標觀察表層區域的水溫變化，判斷湧升現象的發生。然而，當表層水溫出現明顯下降時，往往都是湧升現象已經發生的時候。為了提早預測湧升現象出現的時間，本研究透過混合層深度判斷垂直水體的變化。透過相關性分析得湧升流指表與混合層深度的相關性為0.372，以此作為預報系統內之權重。以2021年5月預報結果與同月份之葉綠素濃度比較，在大陸沿岸可觀察兩處到較高的湧升機率。分別為汕頭市(約117°N、23°N)及東山(約119°N、24°N)，是因南海海流與夏季季風形成湧升現象造成，同樣在葉綠素也可觀察到相同趨勢分布；此外，在台灣灘上方的葉綠素濃度出現濃度較高的區域，在預報結果中同樣可觀察到。

關鍵字：湧升流、台灣海峽、混合層、湧升流指標

Abstract

Upwelling zones are well-known for their fishery productivity. The upwelling phenomenon is the water moves from the bottom layer to the surface layer, which provides phytoplankton with abundant nutrients and growing resources. Because of upwelling movement, the colder water uplifts to the surface layer, which results in sea surface temperature(SST) is decreased and then forming the lower temperature region. Therefore, the variations of temperature are detected by the Upwelling Index, which is the latitudinous temperature average value. Nevertheless, while SST is decreased significantly, the upwelling phenomenon had already happened. To detect the upwelling phenomenon earlier, the study used Mixing Layer Depths(MLDs) to determine the changes in the vertical water column. According to the correlation analysis, the correlation factor was 0.372, and the study used the correlation factor as the weight in the prediction system. Based on the validation of prediction results and satellite chlorophyll data in May 2021, a higher possibility of forming upwelling showed up along the china coastal area, where are the DongShang(117°N·23°N) and the Shantou(119°N·24°N) respectively. Those two upwelling regions are induced by the summertime southwestern monsoon. The high concentration of chlorophyll was observed in the same area simultaneously. Besides, in Taiwan Strait, Taiwan Bank is another high concentration area of chlorophyll, and there could be observed the higher possibility of forming upwelling as well.

Key words: Upwelling, Taiwan Strait, Mixing Layer Depths, Upwelling Index

一、前言

湧升流區為重要的漁業資源區域，全球海洋魚類的捕撈量約有 20% 是來自湧升流海域，但湧升流海域僅占海洋總面積的 5% (Lopez-Lopez et al., 2017)。湧升現象為水體由下層或底層區域上升至表層區域，會對表層海域注入豐富的營養鹽，提供藻類生長所需的資源，進而吸引魚群來此(Escribano et al., 2016)。過去研究顯示，在台灣周邊有許多湧升流形成，分別在台灣海峽的西南岸、西北岸、台灣灘以及澎湖北方等有湧升流區的出現(Hu et al., 2003)(圖 1)。

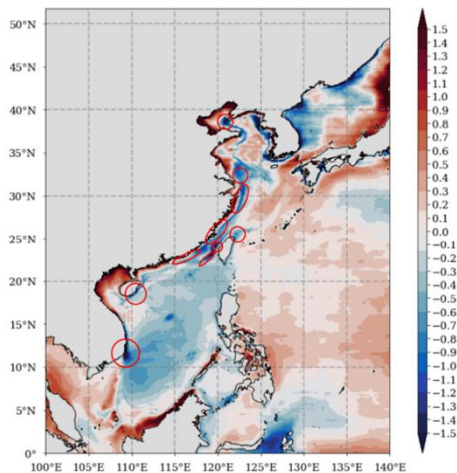


圖 1 台灣週邊湧升流分布圖，色階為 2001~2018 年 HYCOM 海洋模式計算之湧升流指標，溫度低於 1 °C 區域為湧升流可能發生區域

湧升流是以水體由底部上升至表層區域為特色(Sverdrup et al., 1942)。海洋底部水體水溫較低，上升至表層後，使表層水體的溫度下降，形成明顯的低溫區域。因此，可透過湧升流指標觀察表層區域的水溫變化，判斷湧升現象的發生(Benazzouz et al., 2014)。然而，當表層水溫出現明顯下降時，往往都是湧升現象已經發生的時候。為了提早預測湧升現象出現的時間，本研究透過混合層深度判斷垂直水體的變化(Holte & Talley, 2009)。

徐誌壕等(2020)在過去使用湧升流指標(Upwelling Index)與混合層深度(Mixing Layer depth)，建立湧升流預報系統。儘管在湧升流區有良好的數值表現，但是在其他區域有較不符合湧升現象發生的數值出現。因此，本研究為了改善湧升流預報系統，透過相關性分析，以及相關性分布，分析湧升流與混合層深度之關係，並提出解決方案，達到較好且較高的預報精度。

二、研究方法

1. 研究資料

本研究透過，蒐集 2001~2018 年 HYCOM 全球海流模式的溫度資料，建立歷年海溫資料庫。HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model)為全球三為海洋模式，模式產出結果每日一筆，資料結果包含溫度、鹽度以及流速等。HYCOM 之垂直網格為固定網格，在表層海域有良好的解析度。

以 CWB-OCM 作為每日之基礎資料，加入湧升流預報系統的計算。CWB-OCM 為氣象局合作開發之三維海流作業化預報系統，可預報水位、流速、溫度以及鹽度等海洋資訊。格點計算為非結構網格計算，可更有效的貼合複雜的岸線，達更精準的計算。垂直分層採用 LSC² 垂直網格計算方式，在最小水深區域亦有五層分層，在地形複雜的區域也可以有良好的解析度。

2. 混合層深度計算

混合層存在於海洋表層海域，因為受到日照、風及波浪的影響，在表層海域的水體物理性質(如溫度、鹽度等)差異較不明顯。本研究採用 Holte & Talley (2009)所提出之混合層深度(Mixed Layer Depths)計算公式。計算方式主要分為兩種，分別為溫度差異(Temperature Threshold)及溫度梯度(Temperature gradient)(圖 2)。溫度差異為水體溫度與參考點之溫度差異達到 0.8°C，即為混合層深度所在之深度。溫度梯度為每公尺水溫下降之溫度達到 0.025°C/m 時，即為混合層所在之深度。再透過深度篩選，選擇合適之混合層深度。

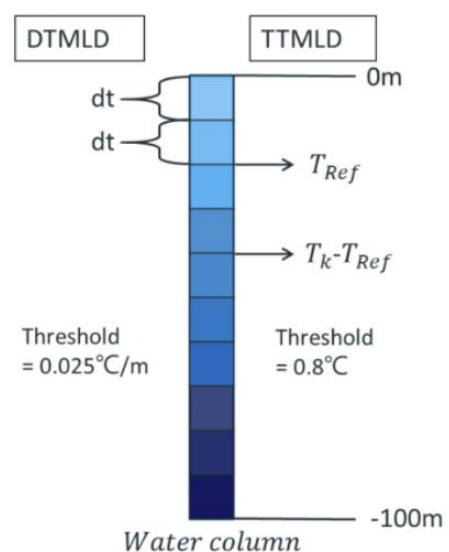


圖 2 混合層計算方式示意圖

3. 湧升流指標計算

本研究修改 Benazzouz et al. (2014)提出湧升流指標計算方式，修正後之計算方式是利用相同緯度的溫度平均表示該緯度的平均海表面溫度，以相減的方式表示該區域的湧升流指數。計算方式如下：

$$UI = T_{ij} - T_{latitude,average} \quad (\text{式 1})$$

T_{ij} 為計算區域之海表面溫度； $T_{latitude,average}$ 為相同緯度之平均溫度。透過湧升流指數可用來分析湧升流的強度。

4. 湧升流預報系統

湧升流預報系統是由混和層深度以及湧升流指標共同組成。在計算湧升流預報資訊(IndexUI 及 IndexMLD)，因為因子所代表的分析方向不同(水平與垂直方向)，分別採用不同的計算方式。

A. 混合層指標參數計算

混合層預報資訊是計算垂直湧升判定機制。本研究利用 2002~2018 年 HYCOM 水溫資料計算混合層深度(MLD)之平均值(MLD_{ave})、最小值(MLD_{min})做為參考資料，並與當日資訊(MLD 由 CWB-OCM 計算得出)比較其差異，計算公式如下：

$$Index_{MLD} = 1 - \frac{MLD - MLD_{min}}{MLD_{ave} - MLD_{min}}$$

當混合層深度越薄，表示該區域可能受湧升流的影響越大；因此當該年度之混合層深度與歷年最小值差異越小時，表示該區域湧升流發生機率越高。

B. 湧升流指標參數

透過湧升流指標對於混合層深度之相關性(相關係數為 0.372)，對湧升流預報系統之權重進行參數修正。此外，根據圖 4.4-7 數值相關性分佈(濾除平均溫度以上)，溫度分佈在-0.5~0°C 區間，此溫度區間判斷為無湧升現象發生；在-1.5~-0.5°C 區間，則可觀察到兩種情況：低溫混合層深度較淺，為混合層受湧升流抬升至表層區域；低溫混合層深度較深，為湧升流衝破的現象，造成垂直混合均勻之現象。

本研究將這兩種情況做為修正湧升流指標參數計算方式之依據，修正位於湧升流架構內 A 的計算邏輯式(圖 4.4-8A)，修正示意圖如圖 4.4-9 所示：

- 若 [湧升強度於平均值]，則回傳 IndexUI 值等於 1
- 若 [湧升強度小於最小值]，則回傳 IndexUI 值等於 0，表無湧升現象發生

- 若 [湧升強度位於平均值及最小值區間]，則回傳計算 0~1 區間權重，權重計算方式為計算湧升強度在平均值與最小值間之比例

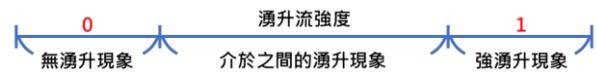


圖3 湧升流指標參數計算示意圖

三、結果與討論

研究透過相關性分析湧升流相關因子，尋找對湧升流影響顯著的因素。本研究分析表層水溫、湧升流指標以及混合層深度，表層水溫以及湧升流指標為水平水溫判斷系統，而混合層深度則為垂直水溫判斷系統。透過分析表層水溫對於混合層深度之相關性，得知其相關係數約為 0.60；分析湧升流指標對於混合層深度之相關性，得知其相關係數約為 0.372。

此次分析結果在湧升流指標對於混合層深度之相關性與去年度提供之分析結果略有差異，其差異約為 0.05。此差異為本次相關性分析有濾除表層水溫較高的部分，僅保留平均溫度下的湧升流指標做為分析群體。此用此分析方式是因為再判定湧升現象時，是透過湧升流指標做為主要判定因子，透過濾除非湧升現象之湧升流指標及混合層深度，可以較明確的觀察到湧升現象發生。

本研究本研究分析以 2021 年 8 月的平均預報結果，在結果中可觀察到有明顯的溫度梯度出現在中國沿岸和台灣海峽之內(圖 4)。透過 CWB-OCM (每日預報)與 HYCOM (歷年資料)比較之後再經計算得知的湧升流預報結果，可發現湧升機率較高的區域主要在陸棚區，又以台灣海峽內部出現的機率最高(圖 4)。其中，在大陸沿岸的汕頭市(約 117°N、23°N)所觀察到的較高湧升機率是因為南海海流在此區域受到了地形抬升的影響，而在東山(約 119°N、24°N)附近區域也有較高的數值，這是因為季風所導致的沿岸湧升現象。

以 MODIS 衛星資料來驗證，在中國沿岸出現高濃度葉綠素的現象與預報的結果相符(圖 5)；此外，在預報結果中同樣可觀察到台灣灘上方出現葉綠素濃度較高的區域。然而，在台灣海峽內部卻可觀察到大範圍的高湧升機率區域，其中的原因可能是 HYCOM 與 CWB-OCM 計算差異，CWB-OCM 在計算過程中有包含潮汐的影響，而 HYCOM 則無納入潮汐計算。未來將修正兩模式之間的可能差異，如

表層溫度，以求更準確的預測湧升流出現的區域。

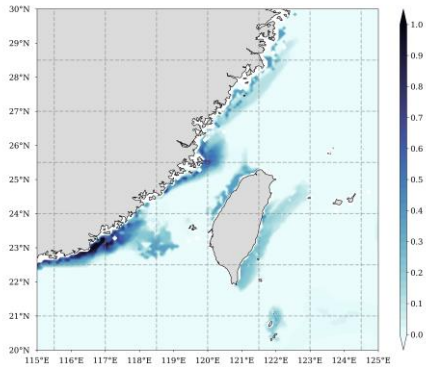


圖 4 2021 年 8 月湧升流預報模式結果

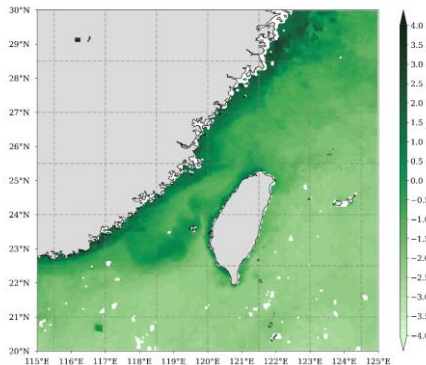


圖 2021 年 8 月平均台灣周邊葉綠素(log)分布
($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)

四、結論

過去研究指出，夏季在台灣周邊有許多湧升現象，分別在台灣灘、彰雲隆起以及台灣東北部(Tang et al., 2002; Wu et al., 2008)。湧升的過程中會使表層的水溫下降以及改變水體的垂直分層現象。因此，本研究建立長期(2002~2018 年)的模式資料做為基礎資料，並利用表層海溫以及混合層深度的變化，做為預報基準，建立預報模式，並且改善模式的計算方式以達較精確的預報結果。以 2021 年 8 月平均結果比對葉綠素資料，根據比對結果顯示，在中國沿岸可觀察到較高的湧升機率，而同樣在葉綠素分布結果也可以觀察到有較高的葉綠素濃度在中國沿岸，尤其是在汕頭以及東山。在台灣灘區域亦可觀察到有較高的葉綠素濃度，同時在湧升機率的分布也較高。然而，在台灣東部海岸觀察到有較大的湧升機率，葉綠素濃度卻沒有觀察到較高的數值，推測是相較於過去湧升的影響未達表層海域，但在整體的預報結果能可接受。未來會在透過分析 HYCOM 與 CWB-OCM 的模式差異，精進湧升流

預報系統的預報能力，以達較高的預報精度，為台灣的漁業做出貢獻。

五、參考文獻

徐誌壕、于嘉順(2020)「台灣周邊湧升流預測系統之應用及開發」，109年天氣分析與預報研討會。

Tang, D. L., Kester, D. R., Ni, I. H., Kawamura, H., & Hong, H. (2002). Upwelling in the Taiwan Strait during the summer monsoon detected by satellite and shipboard measurements. *Remote Sensing of Environment*, 83(3), 457–471. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00062-7)

Wu, C. R., Lu, H. F., & Chao, S. Y. (2008). A numerical study on the formation of upwelling off northeast Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2007JC004697>

Benazzouz, A., Mordane, S., Orbi, A., Chagdali, M., Hilmi, K., Atillah, A., et al. (2014). An improved coastal upwelling index from sea surface temperature using satellite-based approach – The case of the Canary Current upwelling system. *Continental Shelf Research*, 81, 38–54. <https://doi.org/10.1016/J.CSR.2014.03.012>

Holte, J., & Talley, L. (2009). A new algorithm for finding mixed layer depths with applications to argo data and subantarctic mode water formation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26(9), 1920–1939. <https://doi.org/10.1175/2009JTECHO543.1>