

台灣周邊湧升流預測系統之應用及開發

徐誌壕¹, 于嘉順²

¹國立中山大學海洋環境及工程學系研究助理

²國立中山大學海洋環境及工程學系助理教授

摘 要

海洋中，湧升流以冷水及富營養鹽為特色。先前研究主要著重於表層海水體的變化，如水溫、鹽度及葉綠素。然而，湧升流為垂直水體變化之海流，其流動由下至上。因此在表層觀察之湧升現象有延滯性。本研究以混合層深度觀察及分析湧升流變化。透過分析 2002-2018 年 HYCOM 水溫，並以開發之混合層深度計算方式分析湧升流變化。以台灣灘湧升流區為例，以長期平均值作為標準。得知在 2015 年的混合層分布中，夏季有某些時間超越平均值，表示該區域已發生湧升現象。

關鍵字: 湧升流, 混合層深度, 台灣

A development of prediction method applies in coastal upwelling around Taiwan

Chih-Hao Hsu¹, Jason C.S. Yu²

¹Research Assistant, marine environment and engineering, National Sun Yet-San university

²Assistant Professor, marine environment and engineering, National Sun Yet-San university

Abstract

Ocean upwelling is characteristic as cold and nutritious water. Previous studies usually focused on the variation such as temperature, salinity, and chlorophyll around the surface layer. However, ocean upwelling is a process bringing the cold and nutritious water from bottom layer to surface layer, and result in the physical variation of vertical water column. Therefore, by using model data, we could fully recognize the movement of upwellings and its variations. The study uses HYCOM model data, from 2002 to 2018, to obtain the long-term mixing layer depths (MLDs) as the climatology around Taiwan. According to the climatology, we could comprehensively understand the rudimentary information and distribution of upwelling, which could use as the reference for comparing with real-time data, around Taiwan. The study use 2015 for test case. The results of difference between climatology and real-time data show the intensity of upwelling varies from day to day because of the variation of current strength. Moreover, when the current is strong enough, the intensity of upwelling even surpasses the climatology then forming the stronger upwelling in sometimes. To obtain more accurate prediction method, the study uses the 5-day moving average to include the forecast data. This step could allow data to act before the upwelling become intensification. As a result, the tendency of the upwelling shows signal is advance of variation of temperature. More important, the “noise”, induced by the daily fluctuations, is removed that makes easier to estimate the trend of upwelling.

Keyword: upwelling, mixing layer depths, Taiwan

1. 文獻回顧

湧升流為一海流由下往上的水體運動，並為表層帶來較冷且富營養鹽的水體(Wang et al., 2014)。早期研究透過研究衛星影像之海表面溫度及葉綠素觀察湧升流(Chavez & Messié, 2009)。湧升流的生成可分為海底地形影響湧升(Lan et al., 2009)、表層風吹所造成之沿岸湧升，及潮汐變化(Lü et al., 2006)等。台灣位於大陸棚邊緣，受地形變化的影響而形成湧升流，例如：台灣灘湧升流、澎湖湧升流及台灣東北部湧升流。台灣灘湧升流為夏季南海海流受西南季風驅動進入台灣海峽，受台灣灘的地形變化而形成之湧升流(Lan et al., 2009; Yang, 2002)。除了部分受地形影響形成台灣灘湧升流，剩餘的南海海流進入澎湖水道並隨著其地形變化再彰雲隆起形成澎湖湧升流(Lan et al., 2009)。台灣東北部之湧升流區因夏季黑潮碰撞東海陸棚，沿北棉花峽谷進入陸棚區，並在入侵流的下方形成湧升流區。

湧升流會影響海洋表層水溫、鹽度的分佈，以及其生態系統的組成，因冷水團的上升，會混合層變得較薄而影響該區的生態系(Wang et al., 2014)。因此，可透過混合層的深度變化判斷湧升現象的強度及位置。

2. 文獻回顧

2.1 HYCOM(Hybrid Coordinate Ocean Model)

本研究使用 HYCOM 重分析場(reanalysis)作為研究資料。HYCOM 重分析場提供以解析度 0.08°之海表面高度、溫度、鹽度以及流速(X 方向與 Y 方向)。HYCOM 的特色為混合之垂直結構，透過混合使用 Z 垂直分層、S 垂直分層，使其在表層有良好的解析度。良好的表層解析度可使有效的保存海洋分層的特色，可使在計算混合層深度有較高的準確率

本研究主要研究資料為海溫，研究區域著重於 100~150°E 及 0~50°N，時間為 2002~2018 年。

2.2 混合層演算法

本研究採用 Holte & Talley (2009)所提出之混合層深度(Mixed Layer Depths)計算公式。混合層深度計算方式如下(圖 1):

- (a) TTMLD(Temperature Threshold MLD)
TTMLD 之計算是利用參考點溫度與各點溫度之差異，並以閾值(Threshold)做為控制，找出 MLD 之方式。首先，設定參考點深度，設定此深度之目的是為了排除利用表層的水溫會受到日照所影響溫度過高，而造成無法找出 MLD。隨後計算參考點與各點之溫度差異，從參考點向下尋找閾值溫差所在之深度(Montégut et al., 2004; Courtois et al., 2017)。
- (b) DTMLD(Temperature gradient MLD)
DTMLD 計算方式為在垂直層中，相鄰兩點之溫度差異，亦有設定溫度閾值，作為控制混合層深度(Montégut et al., 2004; Courtois et al., 2017)。
- (c) MLD 判定
TTMLD 與 DTMLD 計算完成後，本研究將兩者進行比較，若 TTMLD 之深度較大，則回傳之；反之亦然。這個步驟是為了避免混合層深度過度估算。
- (d) 特殊情況
海洋中，在淺水區域受風浪及日照的影響，導致水體混合均勻。因此，本研究設定在 30 公尺以下之深度為均勻混合。

2.3 Parameter

本研究透過 ARGO 資料計算與比對及參數敏感度分析，將溫度差異(TTMLD)之閾值設定為 0.5°C。而溫度梯度(DTMLD)之閾值設定為 0.02 (°C/m)。

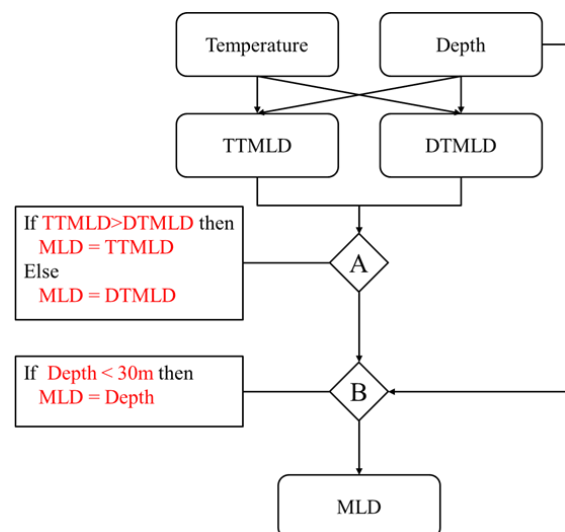


圖 1 混合層計算步驟

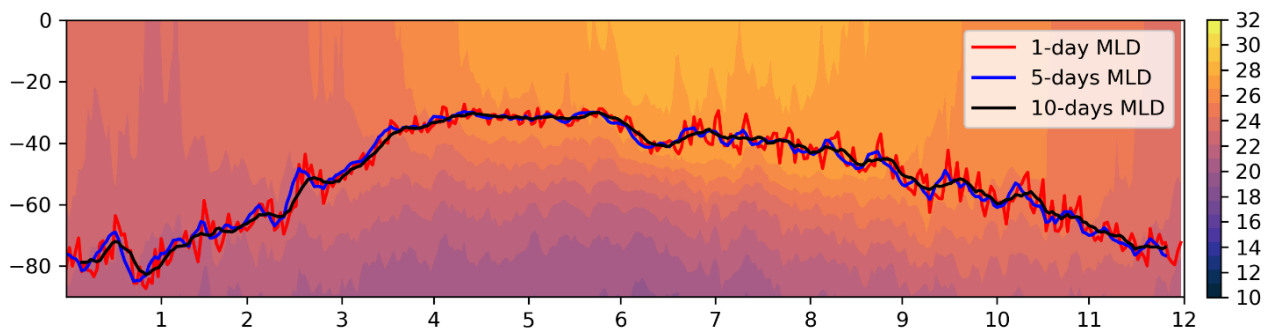


圖 2 色階部分為 2002-2018 年台灣灘外緣(118.56°N, 22.40°E)垂直水層之海水溫度；趨勢線分別為一日、五日及十日移動平均之混合層深度

2.4 移動平均

為了實現預測之目的，本研究測試移動平均對於預測之敏感度，分別使用一日、五日及十日作為基準(圖 2)。結果顯示，一日移動平均受到當日水層分布影響，會有較多的變動。五日平均因包含當日及未來四日之水溫變動資訊，因此可達到有預測的效果，提前反應水溫變化在混合層深度。十日平均包含過去及未來的溫度資訊，但因平均時間較長，而導致在某些溫度變化的轉折點會過度平滑，使預測效果較為不佳。因此，本研究選定五日平均為預測標準。

3. 結果與討論

3.1 長期混合層分佈

透過 2.2 節提到之混合層公式的到長期之混合層分佈，分別以四季呈現(春季:3-5 月，夏季:6-8，秋季:9-11，冬季:12-2)(圖 3)。在大陸沿岸，因近岸水深較淺，四季大多為均勻混合的狀態。在春冬兩季，東海陸棚因受到強勁的中國沿岸流(China Coastal Current)及風浪的影響，水體混合均勻，混合層深度較深。在夏秋兩季，表層海水吸收熱輻射而使溫度增加，分層效果明顯，因此混合層深度較淺。值得注意的是在台灣灘海域，混合層深度近乎接近表層。夏季因南海海流的影響，使在台灣灘外緣有湧升流的現象。儘管在台灣灘水深約為 40-50 公尺，仍有明顯的分層現象。因此，該區域在夏季時有較淺的混合層深度。

除此之外，夏季時的台灣東北部亦有明顯較淺的混合層分佈，由黑潮的入侵流產生。黑潮常年流經台灣東部(Hsin et al., 2008)，夏季流速約為 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Hsin et al., 2008)，冬季約為 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Rudnick et al.,

2011)。夏季時強勁的黑潮在台灣東部產生沿岸湧升現象(Jan et al., 2015)，使東部海岸有較淺的混合層深度。此外，黑潮與東海陸棚碰撞後，由北棉花峽谷產生入侵流進入東海陸棚，並且在入侵流下方產生渦流，進而形成湧升現象，使混合層變得較淺。在太平洋區，夏季混合層深度約為 30-50 公尺，冬季約為 100 公尺深。

3.2 單點湧升現象預測

在計算出長期平均混合層深度之後，可將此結果作為參考基準，並以此與其他年份比較差異。本研究以 2015 年為例，並以 2.4 節測試結果之五日移動平均作為計算方式，與長期平均比較(圖 4)，比較的地點為台灣灘外緣(118.56°N, 22.40°E)。南海海流進入台灣海峽後與大陸棚(台灣灘)碰撞，分為兩股流向。一股沿大陸棚邊坡向上湧升至大陸棚(台灣灘)上方，形成台灣灘湧升流區；另外一股海流進入澎湖水道，受到澎湖水道地形抬升的影響，冷水團亦被南海海流推送向上，在彰雲隆起上方形成湧升流。此外，混合層深度包含水體垂直結構分布資訊，如水體分層現象，因此以混合層可以有效地觀察湧升流的變化。

由結果得知(圖 4a)，冬季時混合均勻，因此混合層深度接近底層，約 90-100 公尺。夏季受日照影響表層水溫上升，底層水體因受到南海海流的推送，使底部冷水團向上湧升。此時，亦可觀察到混合層深度上升之趨勢，表示表層之混合層受到下方湧升現象的擠壓而逐漸變薄。除了在四月及七月的某些時段有下降的現象，其餘時間之混合層深度約維持在 20-40 公尺。

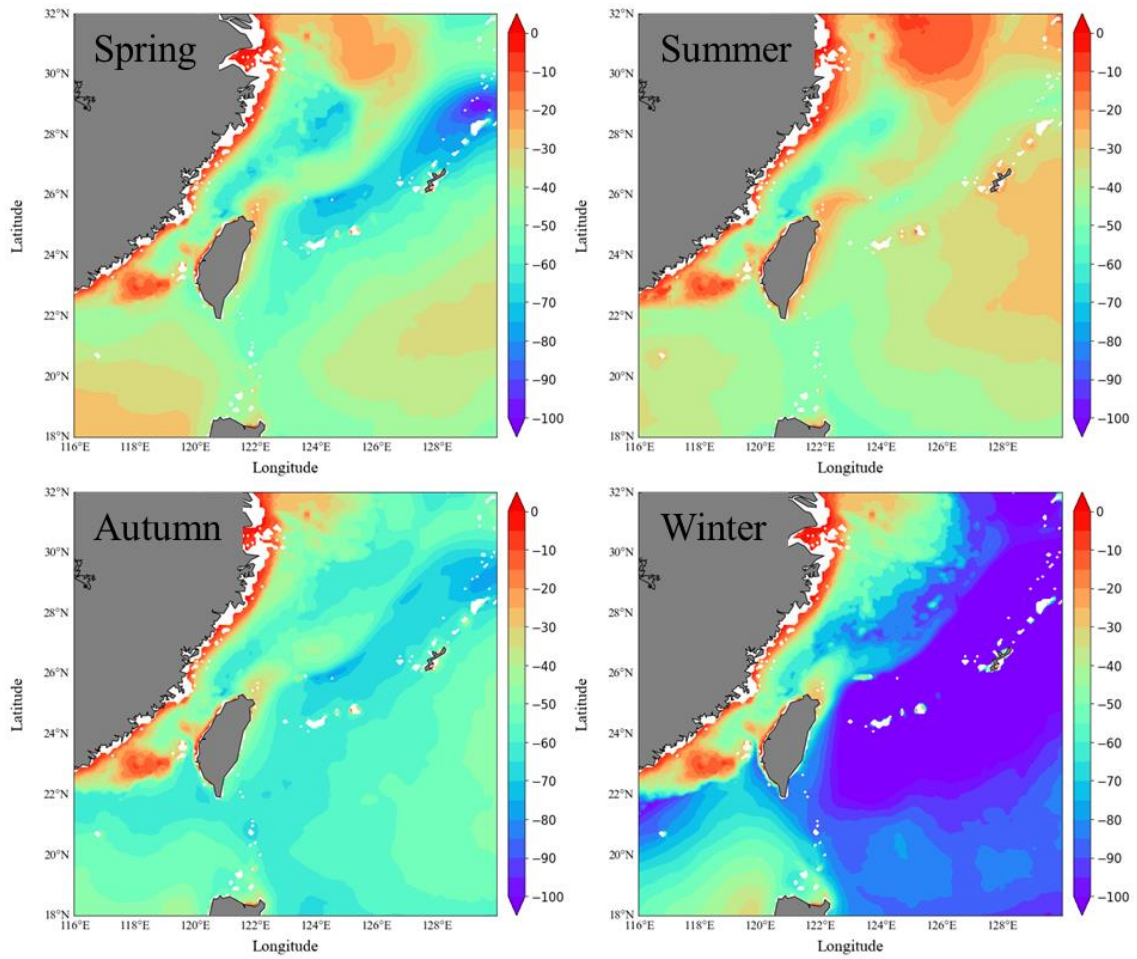


圖 3 The average of MLD result from 2002 to 2018 in spring, summer, autumn, winter, respectively.

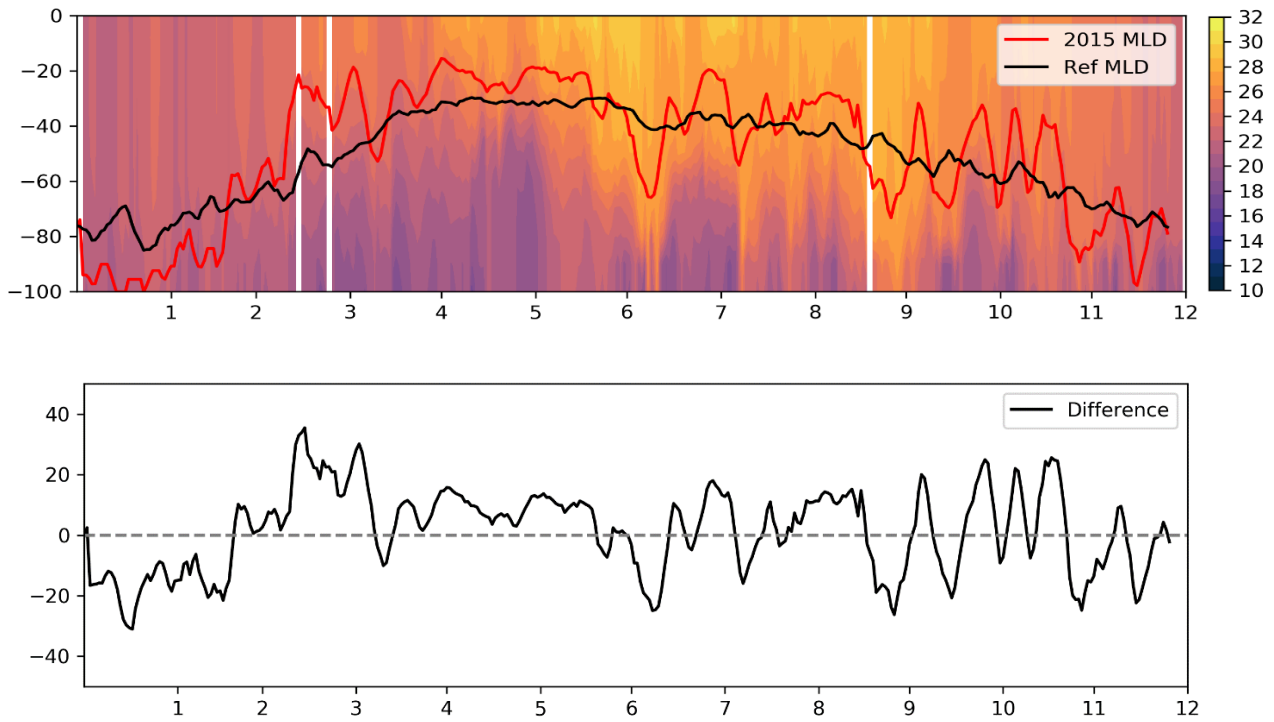


圖 4 (a) Contour figure is represented to temperature(2015) in edge of Taiwan Bank (118.56°N , 22.40°E); lines are represented to reference MLD(black line) and the annual MLD of 2015(red line); (b) the difference between reference MLD and the annual MLD of 2015.

為了實現預測之效果，透過與參考基準比較(圖4b)，可得知湧升現象的變化。長期平均之混合層深度為湧升現象影響混合層深度之平均值，以此為基準之差異若大於此標準，則可判斷此海域之湧升現象正在發生。若是小於此標準則可視為湧升現象小於平均值，甚至可視為未發生。由此可知，在2015年的湧升現象，在春季3月時開始，僅有先前提到混合層下降之時間點未符合，其餘時間可看出湧升現象有發生且，比歷年之平均值高。

4. 結論

湧升流的形成會導致垂直水體的物理性質改變，尤其是溫度。而混合層深度可有效地將垂直水體的結構展現，因此當湧升流發生時，會改變混合層深度的分布。若當湧升流足夠強勁時，甚至可以到達表層。

本研究透過混合層深度的分布以及對於歷史資料的差異進行分析及判斷。結果顯示，在2015年的混合層分布中，夏季有某些時間超越平均值，表示該區域已發生湧升現象。

5. 參考文獻

deBoyer Montégut, C., Madec, G., Fischer, A. S., Lazar, A., &Iudicone, D. (2004). Mixed layer depth over the global ocean: An examination of profile data and a profile-based climatology. *Journal of Geophysical Research* C: Oceans. <https://doi.org/10.1029/2004JC002378>

Chavez, F. P., &Messié, M. (2009). A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1-4), 80-96. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2009.07.032>

Courtois, P., Hu, X., Pennelly, C., Spence, P., &Myers, P. G. (2017). Mixed layer depth calculation in deep convection regions in ocean numerical models. *Ocean Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.10.007>

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>

Hsin, Y. C., Wu, C. R., &Shaw, P. T. (2008). Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan 1982-2005: A numerical study. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2007JC004485>

Jan, S., Yang, Y. J., Wang, J., Mensah, V., Kuo, T. H., Chiou, M.Da, et al. (2015). Large variability of the Kuroshio at 23.75°N east of Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1002/2014JC010614>

Lan, K.-W., Kawamura, H., Lee, M.-A., Chang, Y., Chan, J.-W., &Liao, C.-H. (2009). Summertime sea surface temperature fronts associated with upwelling around the Taiwan Bank. *Continental Shelf Research*, 29(7), 903-910. <https://doi.org/10.1016/J.CSR.2009.01.015>

Lü, X., Qiao, F., Xia, C., Zhu, J., &Yuan, Y. (2006). Upwelling off Yangtze River estuary in summer. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1029/2005JC003250>

Rudnick, D. L., Jan, S., Centurioni, L., Lee, C. M., Lien, R. C., Wang, J., et al. (2011). Seasonal and mesoscale variability of the Kuroshio near its origin. *Oceanography*. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2011.94>

Wang, D., Shu, Y., Xue, H., Hu, J., Chen, J., Zhuang, W., et al. (2014). Relative contributions of local wind and topography to the coastal upwelling intensity in the northern South China Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. <https://doi.org/10.1002/2013JC009172>

Yang, H. (2002). A general circulation model study of the dynamics of the upper ocean circulation of the South China Sea. *Journal of Geophysical Research*. <https://doi.org/10.1029/2001JC001084>