

中央氣象局 107 年天氣分析與預報研討會

臺灣海域湧升流分析

周姿吟¹ 徐誌壕¹ 尤皓正¹ 于嘉順¹ 陳琬婷² 朱啟豪² 滕春慈²
國立中山大學海洋環境及工程學系¹ 中央氣象局海象測報中心²

摘要

湧升流通常位於大陸邊緣及海底地形變化較大之海域，當沿岸風往海洋吹，表層風驅動表層海水往離岸方向流動，底層的冷水團上升遞補，將底層沉積或懸浮的營養鹽帶進光照充足的表層，為海洋生物帶來生長所需的營養，帶動初級生產力。此冷水團上升，影響海洋表層及混和層之水温與鹽度的分布，因此可依海流或海表面溫度判斷湧升流海域。台灣鄰近海域之潛勢湧升流系統，分佈在墾丁南灣、東北角海域、台灣灘及澎湖週邊海域，墾丁南灣及東北角海域湧升流由季風及潮汐主導，而台灣灘及澎湖週邊海域是因為流場及地形變化驅動湧升流形成。

本研究蒐集海表面溫度衛星資料，包含GHRSSST及MODIS，分析湧升流潛勢海域之海表面溫度月變化機制，與地形、流場交叉比對。建立台灣鄰近之潛勢湧升流海域位置及其機制，提供台灣海洋環境及漁業相關應用。

關鍵字：台灣週邊海域、湧升流、海表溫度

一、前言

臺灣四面環海，先天的地理環境優勢，人民仰賴漁業為生。冬季季風驅動中國沿岸流南下，在臺灣海峽中部和北上的黑潮於澎湖水道會合，季風驅動臺灣海峽表層之海水，帶動西岸大陸棚營養鹽循環，形成一溫床提供魚類孕育，發展豐富的漁業資源。如黑潮暖流吸引烏魚在冬季來台灣海峽南部產卵。

湧升流區域通常位於大陸邊緣及海底地形變化較大的區域，當沿岸風往海洋吹，表層風驅動表層海水往離岸方向流動，底層的冷水團上升遞補形成湧升流，將底層沉積或懸浮的營養鹽帶進光照充足的表層，提供充足養分給浮游生物生長、繁殖，例如藻類、磷蝦、橈足類等，增加海洋表層的基礎生產力及生態多樣性。湧升流會影響海洋表層及混和層之水温與鹽度的分布，進而提升海洋初級生產力(Escribano, Bustos-Ríos, Hidalgo, & Morales, 2016)。當大量的浮游動物生長之後，吸引魚類的生長、繁殖以及群聚，漸漸地的形成一個湧升流生態系統(Upwelling Ecosystems)。

台灣週邊之湧升流海域可分為澎湖水道海域、台灣灘海域、東北角海域、墾丁南灣海域(Hu et al., 2003; Wu et al, 2008; Lee et al., 1999; 陳聖詒, 2011; 盧鴻復, 2007)，及短期現象為颱風行經後，於路徑之海表面有冷水團現象(Lin et al., 2003)。台灣灘及澎湖水道湧升流海域形成主因則是因為地形變化導致，東北角海域及墾丁南灣是因黑潮潮流冬夏季變化有明顯強弱差

異。

澎湖週邊海域之湧升流現象，以低表層海溫海域為指標，形成主因為受到台灣海峽內冬夏兩季潮流及季風，與澎湖北部彰雲隆起及南部澎湖水道之地形梯度變化之交互作用。於澎湖東北方的湧升流海域，因黑潮支流通過澎湖水道進入到台灣海峽中部區域，隨著澎湖水道之地形抬升，使得下層較冷且營養鹽的海水被往上，並往北帶到澎湖群島的西北方，形成湧升流，促進形成豐富的魚類生態系(Lan et al., 2009)。

台灣灘湧升流海域，是一冷水區域，呈「香蕉」狀圍繞台灣灘東南緣(Tang et al., 2002)。觀察台灣灘東南緣衛星海表面溫度之梯度變化，當 6 月至 9 月西南季風漸漸減弱時，溫度梯度變化漸小，表示湧升流的強度下降(Tang et al., 2004; Hong et al., 2009; Lin et al., 2016)。

東北角海域之低溫水團隨季風及黑潮冬夏季變化而有強弱差異，在 1999/4/24~5/10 模式結果，於東北角海域 200 米等深線之渦流處有一冷水團，而此渦流隨著黑潮流向逐漸消散且冷水團區域變小(盧鴻復, 2007; Wu et al., 2008)。

墾丁南灣海域為季風及潮汐主導海流方向，夏季時受西南季風影響，冬季受東北季風影響，當東北季風越過山脊後形成落山風，風速最大可達 20 m/s，影響南灣表層海水向離岸方向流動，帶動下層海水向上補充，進而形成湧升流現象(汪凱勛, 2012)。且因漲退潮不同方向，形成渦流帶動底層水團向上，而溫度驟降的情況。漲潮時潮流沿海岸線進入灣內，在灣內東側形成一順時針流向；退潮時水團隨潮流向離岸方

向流，灣內逆時針流向驅動底部的冷水團往表層送，進而形成湧升流(Lee et al., 1999)。

綜合以上所述，台灣週邊海域湧升流系統由分析海表面溫度之變化，確定其位置區域，瞭解形成湧升流系統之主因。

二、研究方法

本研究範圍：東經 116 度至 124 度及北緯 20 度至 28 度。透過海表面溫度衛星資料分析台灣週邊海域之海表面溫度變化，資料包含

(一)GHRSSST(the Group for High Resolution Sea Surface Temperature 高解析之海表層溫度)，屬 NASA Jet Propulsion Laboratory(JPL)，使用多種感測器蒐集海表層溫度，經衛星傳輸，由 JPL OurOcean group 團隊使用多尺度二維變分演算法(Multi-Scale-2DVAR)分析，產出每日全球海表層溫度資料，自 2010 至今(Chao et al, 2009)。此資料為全球全面性，相較其他衛星資料完整，無缺值。

(二)MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer 中尺度影像光譜儀)，每兩天可觀看地球整個表面，透過 NASA Terra 及 Aqua 衛星傳送測得之海洋光譜資料。根據研究 Nechad et al.(2010)及 Patt et al.(2003)之演算法計算海表層溫度、葉綠素濃度、懸浮沈積物濃度等，自 2002 年 7 月至 2013 年 9 月，每日一筆。MODIS 資料受到氣象影響較大，雲遮量高時則收到的光譜資料相對較少，為修正資料之不完善，需透過有效筆數之月平均分析海表面溫度之變化。

以靜態衛星觀測資料分析湧升流潛勢海域之海表面溫度，透過 MODIS 衛星資料及 GHRSSST 高解析之海表面溫度，分析湧升流潛勢海域之海表面溫度之月變化。並與地形、HYCOM 全球重分析場資料(Cummings, 2005; Cummings & Smedstad, 2013; Fox et al., 2002)交叉比對，分析海表面流速與溫度之相關性。

三、結果與討論

(一)海表面溫度分布

初步分析 MODIS 2002 年至 2013 年之十年月平均海表面溫度之衛星資料，夏季時，西南季風驅動台灣海峽大陸棚底層低溫水團向上，低海表面溫度於台灣灘及澎湖水道以 6 月至 9 月最為明顯(圖 1~4)。而東北角海域低溫區以 6 月及 7 月最為明顯，如圖 1~2 紅色箭頭處。於特定時間及特定區域顯示低海表面溫度之現象，同湧升流海域之特徵，推測台灣灘、澎湖水道及東北角海域為湧升流潛勢海域。

再者，GHRSSST 耦合多個資料庫之海表面溫度，資料密度高且完整，則以此資料與 HYCOM 重分析流場與文獻比對，以 2011 年 6 至 9 月平均海表溫度為例，如圖 5~8，低溫水團分布於澎湖週邊海域，同

Lan et al.(2009)研究，夏季 6~9 月時，澎湖群島的東北方有一冷水團。夏季盛行南中國海暖流，高溫低鹽水團進入臺灣海峽中部，澎湖週邊海域之海表面溫度應受此暖流水團影響海溫較高，但衛星海表面溫度資料仍呈現較低溫，再次確認此為一湧升流潛勢海域。另一處，台灣灘東南緣亦有一冷水區域，呈「香蕉」狀圍繞台灣灘，同 Tang et al.(2002)研究。於 6~8 月較明顯，9 月之後因西南季風減弱，轉風向，流場流速較小，則海表面低溫不明顯。

(二)海表面溫度鋒面

根據 Belkin and O'Reilly(2009)研究，利用 Sobel operator，以該點為中心計算 3*3 矩陣之 G_x 及 G_y ，計算溫度梯度，稱之為鋒面值(GM)，公式如下

$$G_x = G_x * A \text{ and } G_y = G_y * A$$

$$GM = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

GX			GY		
-1	0	1	1	2	1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	-1	-2	-1

高鋒面值表示溫度變化較大，分析 2011 年 6 月至 9 月 GHRSSST 海表面溫度鋒面值(圖 9~12)，於湧升流潛勢海域之台灣灘及澎湖水道發現較高鋒面值，表示此區域海表面溫度變化劇烈。夏季 6、7 月盛行西南季風帶動南中國海暖流北上，但不因此影響湧升流區域之冷水團，更確立此湧升流海域位置。到了 8、9 月開始台灣東部黑潮北上流速增強，此時東北角海域鋒面值漸漸增高，海表面溫度變化大。越接近冬季黑潮增強時期，東北角海域的低海表面溫度變化越明顯。

四、結論

根據前人研究得知墾丁南灣、東北角海域、台灣灘及澎湖水道為湧升流潛勢海域，此現象需透過海表面溫度與地形、海流比對分析，除了墾丁南灣尚未有明確的資料顯示，其他三區域皆位於大陸棚且發生低海表面溫度之現象，加上季風及海流驅動，易發生湧升流現象。

本研究以 MODIS 及 GHRSSST 衛星資料，分析台灣週邊海域之海表面溫度低溫現象，6 月至 9 月期間，台灣灘及澎湖水道因地形較淺，於盛行西南季風時，易驅動底層冷水團上升，則海表面溫度較低。而東北角海域於 8、9 月接近冬季時，當黑潮經過且流速漸強，驅動此區域底層冷水團上升。於 Sobel operator 鋒面值研究更為明顯，海表面溫度變化大處，則鋒面值高，不管在東北角海域，或是台灣灘及澎湖水道都極明顯。未來使用高鋒面值分析湧升流區域，確立湧升流潛勢區域之機制，提供漁業相關應用。

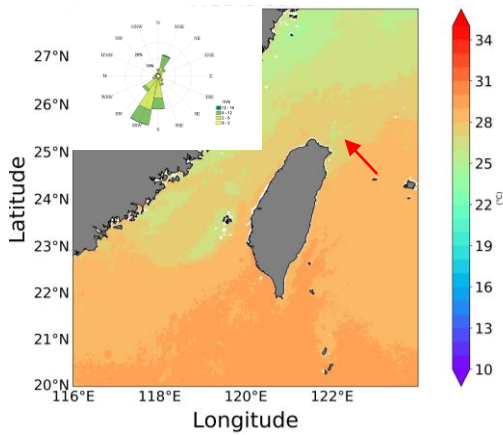


圖 1 MODIS 十年月平均海表面溫度及風玫瑰圖—6月

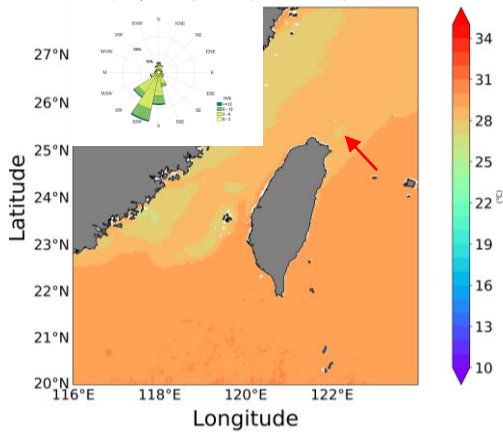


圖 2 MODIS 十年月平均海表面溫度及風玫瑰圖—7月

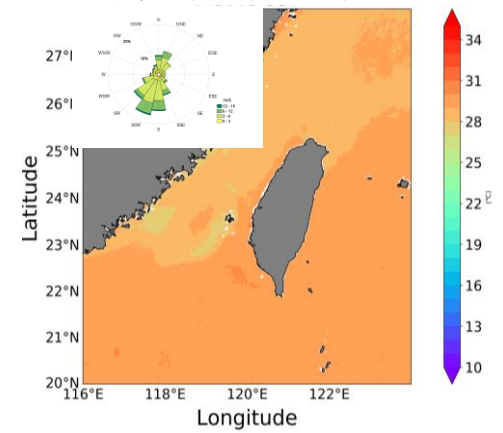


圖 3 MODIS 十年月平均海表面溫度及風玫瑰圖—8月

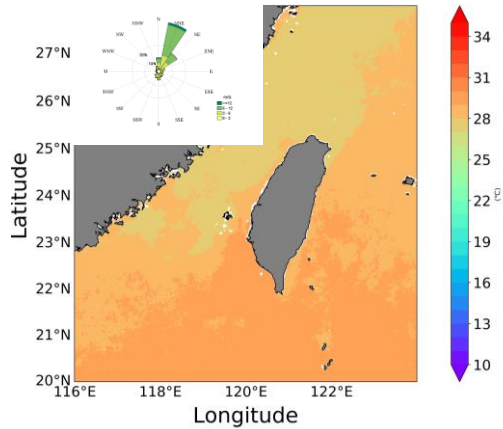


圖 4 MODIS 十年月平均海表面溫度及風玫瑰圖—9月

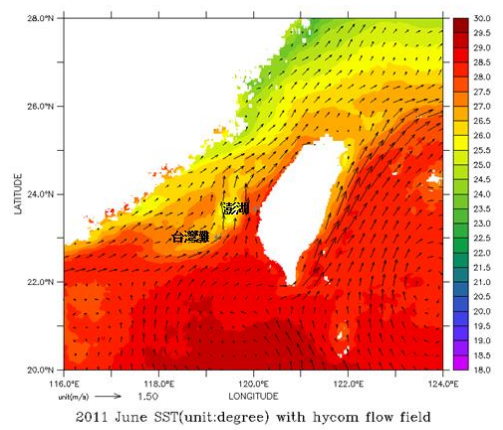


圖 5 2011/6 GHRSSST 月平均海表面溫度及流速圖

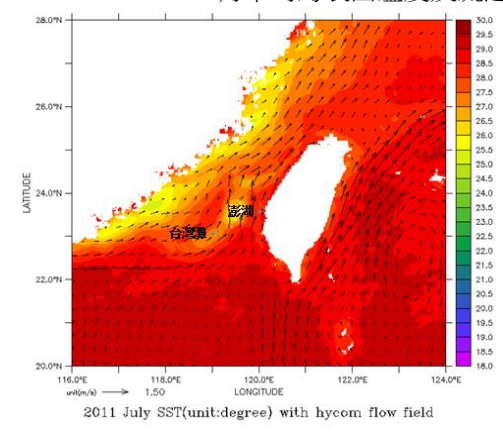


圖 6 2011/7 GHRSSST 月平均海表面溫度及流速圖

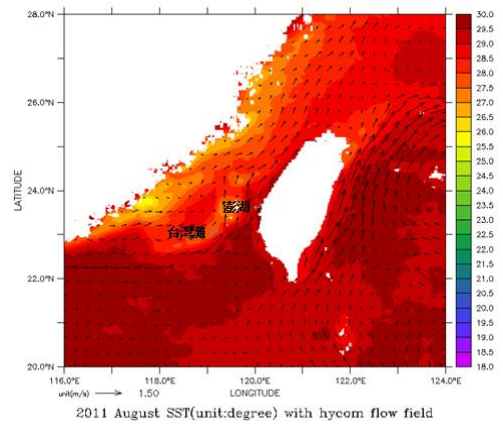


圖 7 2011/8 GHRSSST 月平均海表面溫度及流速圖

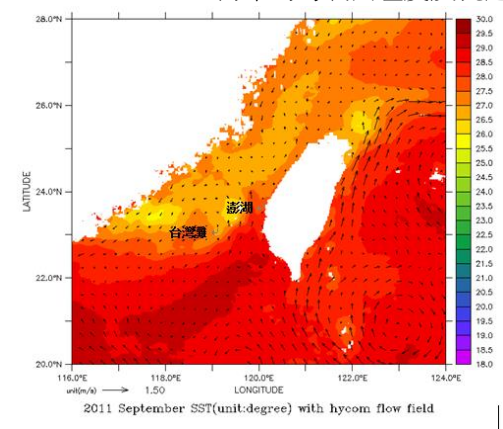


圖 8 2011/9 GHRSSST 月平均海表面溫度及流速圖

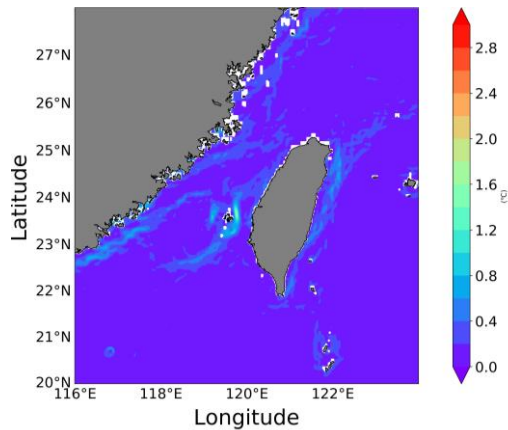


圖 9 2011/6 GHRSSST 月平均海表面溫度鋒面值

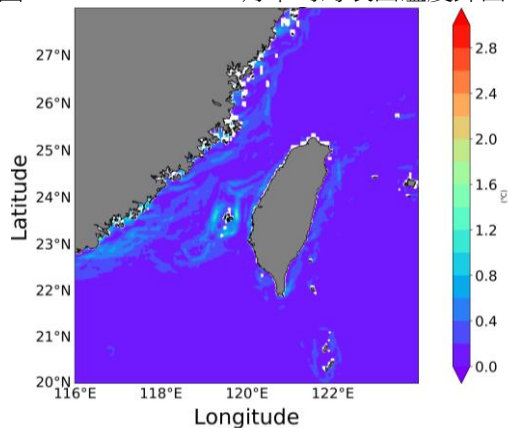


圖 10 2011/7 GHRSSST 月平均海表面溫度鋒面值

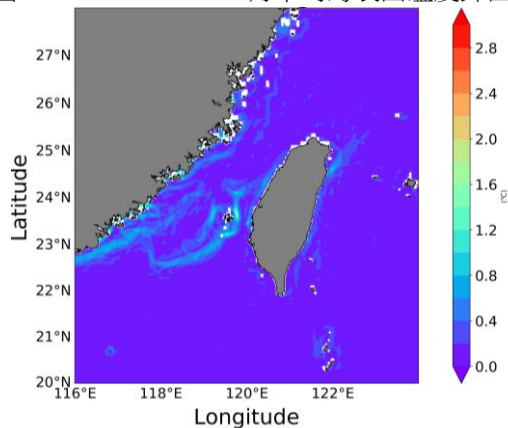


圖 11 2011/8 GHRSSST 月平均海表面溫度鋒面值

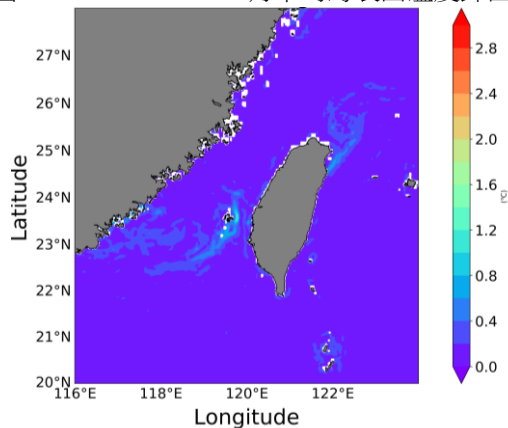


圖 12 2011/9 GHRSSST 月平均海表面溫度鋒面值

參考文獻

汪凱勛(2012)，落山風與南灣冷水湧生之交互作用。國立臺灣海洋大學海洋環境資訊學系碩士論文。

陳聖詒(2012)：利用 POM 模式探討南灣冷水出現之機制。國立成功大學水利及海洋工程學系碩博士班碩士論文。

盧鴻復(2007)：台灣東北海域湧升流之時空變化。國立臺灣師範大學海洋環境科技研究所教師著作。

Belkin, I. M., & O'Reilly, J. E. (2009). An algorithm for oceanic front detection in chlorophyll and SST satellite imagery. *Journal of Marine Systems*, 78(3), 319-326.

Chao, Y., Z. Li, J. D. Farrara, and P. Huang: Blended sea surface temperatures from multiple satellites and in-situ observations for coastal oceans, 2009: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 26 (7), 1435-1446, 10.1175/2009JTECHO592.1

Cummings, J. A. (2005). Operational multivariate ocean data assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131(613), 3583-3604.

Cummings, J. A., & Smedstad, O. M. (2013). Variational data assimilation for the global ocean Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications (Vol. II) (pp. 303-343): Springer.

Escribano, R., Bustos-Ríos, E., Hidalgo, P., & Morales, C. E. (2016). Non-limiting food conditions for growth and production of the copepod community in a highly productive upwelling zone. *Continental Shelf Research*, 126, 1-14.

<http://doi.org/10.1016/J.CSR.2016.07.018>

Fox, D., Teague, W., Barron, C., Carnes, M., & Lee, C. (2002). The Modular Ocean Data Assimilation System (MODAS)*. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2), 240-252.

Hong, H., Zhang, C., Shang, S., Huang, B., Li, Y., Li, X., & Zhang, S. (2009). Interannual variability of summer coastal upwelling in the Taiwan Strait. *Continental Shelf Research*, 29(2), 479-484. doi: 10.1016/j.csr.2008.11.007

Hu, J., Kawamura, H., Hong, H., & Pan, W. (2003). A Review of Research on the Upwelling In the Taiwan Strait. *Bulletin of Marine Science*. Retrieved from <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2003/00000073/00000003/art00006>

JPL OurOcean Project. 2010. GHRSSST Level 4 G1SST Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis. Ver. 1. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [YYYY-MM-DD] at <http://dx.doi.org/10.5067/GHG1S-4FP01>.

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.

<http://doi.org/10.1016/J.CSR.2009.01.015>

Lee, H. J., Chao, S. Y., Fan, K. L., & Kuo, T. Y. (1999). Tide-induced eddies and upwelling in a semi-enclosed basin: Nan Wan. *Estuarine, Coastal and*

Shelf Science, 49(6), 775-787.

Lin, I. I., Liu, W. T., Wu, C. C., Chiang, J. C., & Sui, C. H. (2003). Satellite observations of modulation of surface winds by typhoon-induced upper ocean cooling. *Geophysical research letters*, 30(3).

Lin, X., Yan, X.-H., Jiang, Y., & Zhang, Z. (2016). Performance assessment for an operational ocean model of the Taiwan Strait. *Ocean Modelling*, 102, 27–44. <http://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.04.006>

Nechad, B., Ruddick, K. G., & Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 114(4), 854-866. doi:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>

Patt, F., Barnes, R., Eplee, R., Franz, B., & Robinson, W. (2003). Algorithm updates for the fourth SeaWiFS data reprocessing. NASA

Tang, D., 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.

[http://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00062-7](http://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00062-7)

Tang, D. L., Kawamura, H., & Guan, L. (2004). Long-time observation of annual variation of Taiwan Strait upwelling in summer season. *Advances in Space Research*, 33(3), 307–312.

[http://doi.org/10.1016/S0273-1177\(03\)00477-0](http://doi.org/10.1016/S0273-1177(03)00477-0)

Technical Memorandum 22.

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*, 113(C8).