

# 冬季澎湖海域異常低溫海水之形成機制探討

蔡婕媛 張明輝 鄭宇昕

國立臺灣大學海洋研究所

## 摘要

澎湖海域於2008及2011年冬季皆發生野生及養殖魚類異常死亡事件，另外2000及2018年亦有類似事件發生，惟損失較少，此四年之共通點皆為強反聖嬰年，且事件發生前台灣海峽皆受強烈東北季風吹拂一段時間，兩者如何影響澎湖海洋環境條件而致使魚類死亡，為本研究主要探討的主題。本研究藉由分析中央氣象局所提供的臺灣海峽風速、海表溫及水位觀測資料並結合衛星遙測資料，針對2008及2011年的異常低溫海水事件進行分析，結果顯示，2008及2011年冬季東北季風尚未增強時，臺灣海峽東側大部分被暖水所覆蓋，一旦東北季風增強一段時間，因艾克曼效應，海水往中國沿岸堆積，加大海峽東西兩側之水位差；待風速開始減弱，堆積的海水失去加強之外力，再加上中國沿岸流的偏轉現象下，此低溫海水容易被帶往至澎湖北部與西部海域，此外在強盛東北季風吹拂下，加強冷空氣與海水的混合作用，也會促使海溫下降，此兩因素應為致使魚類凍斃之主因；當風速持續減小時，因缺乏強風的阻力，使黑潮支流得以沿澎湖水道往澎湖北面方向擴展，將溫暖海水帶至澎湖海域，使海溫回溫。本研究解析造成澎湖海域異常低溫的海洋環境機制與條件，將有利於發展及精進此寒害預警機制。

關鍵字：寒害、反聖嬰、異常低溫、澎湖、臺灣海峽

## 一、前言

近十餘年來澎湖海域發生數起異常低溫海水入侵事件，根據呂等(2012)的研究專刊指出，澎湖海域分別於2000、2008以及2011年遭逢低溫寒潮而發生野生及養殖魚類異常死亡事件，尤其是2008年的冬季，此異常低溫海水除了造成嚴重的生態浩劫，更使澎湖當地漁業損失高達1500公噸，其損失金額近2億，另2011年亦損失達8000萬，惟2000年的事件該文並未詳述。

Chang et al. (2009)以及Lee et al. (2014)認為異常低溫海水入侵澎湖海域的原因與反聖嬰(La Niña)有關，前者的研究結果指出，反聖嬰年的東北季風異常強烈，推測因而影響了臺灣海峽的海流及海表溫的分布；另外Kuo and Ho (2004)的研究顯示，臺灣海峽海表溫在反聖嬰年時可能受增強東北季風的影響，進而使海表溫下降；Liao et al. (2013)則運用數值模擬分析2008年寒潮發生的原因，其指出強烈的東北季風強化了中國沿岸流，造成大量冷水往澎湖方向入侵；Cheng and Chang (2018)將Oceanic Niño Index (ONI)與累積風速兩者結合並作為異常海水溫的預警機制，其結果顯示，當 $ONI \leq -0.9$ 及十天平均風速達 $11.5 \text{ m/s}$ 以上時，澎湖北部海域則可能會發生異常低溫海水事件。

中國沿岸流盤據於雲彰隆起以北而產生的逆時針流場為冬季常態現象(Jan et al., 2002)，然而澎湖海域所發生的異常低溫海水事件與中國沿岸流於臺灣海峽的分布情況有極大的關聯(Chang et al., 2009)，Oey et al. (2014)針對冬季中國沿岸流橫越臺灣海峽的現象，利用數值模擬推測其可能形成的機制，結果顯示根據東北季風的強度，海流得以分成三種狀態，當強東北季風時，整個海峽之海流流向往南，反之弱東北季風時，海流之流向則往北，若介於兩者之間時，海流即會出現橫越臺灣海峽的情況；延續Oey et al. (2014)的做法，Liao et al. (2018)亦進行類似的數值實驗，並將2007年10月至2008年2月的模式結果與實測資料進行比較分析，其得到的結論與Oey et al. (2014)相同，海流的走向主要由風應力與北向壓力梯度力之間的平衡所控制，風應力的大小來自於東北季風的強弱，壓力梯度力則源於海峽南側較暖的海水(北南海的暖水與黑潮支流)，因溫度較高使海表面高度比海峽北側來的高，造成一股向北傾斜的梯度力，Liao et al. (2018)指出當東北季風介於約 $7\sim 9 \text{ m/s}$ 時，由於風應力無法克服臺灣灘以南的壓力梯度力，因此南下的中國沿岸流與北上的暖海水於臺灣灘附近匯聚，使中國沿岸流發生偏轉(deflection)現象。

本研究運用氣象局潮位站、浮標歷年的觀測資料以及衛星遙測資料，解析在強反聖嬰年冬季以及東北季風吹拂下異常低溫海水之可能形成機制，以助於精進寒害預警機制及災防之目標。

## 二、資料及研究方法

為了解在異常低溫海水事件發生時臺灣海峽周圍的海洋與大氣環境條件，本研究透過中央氣象局海象中心所提供的浮標、氣象站與潮位站之歷年風速及海表溫逐時資料，分析該事件前後的風場與海溫兩者之間的相關性，此外亦結合了衛星海表溫資料，對應異常低溫海水事件的海表溫空間分布情形，衛星海表溫來自於搭載在Terra以及Aqua衛星上MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectro Radiometer)的Level-2(11  $\mu$ )海表溫度資料，空間解析度為1 km，特別提醒的是，Level-2衛星海表溫資料係含雲層遮蔽的影響，為考量到資料的完整性，因此本研究中暫時未將此影響因素祛除，實際海表溫在空間上的變化仍以實測資料的海表溫為主。

衛星海表高度來自於 AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data)沿著衛星軌道(along-track)的海表面高度資料，配合料羅灣及澎湖的潮位站水位資料，可進一步佐證異常低溫海水形成的物理機制。

## 三、結果與討論

### (一) 表面風場與海表溫變化之關係

圖2及圖4分別為2008及2011年異常低溫海水事件之平均風速及海表溫時序列，以及相對應的衛星海表溫，初步的結果顯示，NCEP(National Centers for Environmental Prediction)模式風速大致與實測風速的趨勢吻合，此兩異常低溫海水事件均具有相同特徵，當強勁的東北季風維持一段時間(數天至數週不等)後，海表溫逐漸降低，若風速減弱，海表溫則開始回溫，不過相較於海表溫緩慢下降之情形，海水回溫的速度明顯快速許多，其所造成的強烈溫度梯度(海水迅速由冷轉暖)是否影響當地海洋環境與生存條件，由於目前較少有針對此方面的探討，因此其衍生出的議題本研究尚無法給出一個定論。

實測海表溫與衛星海表溫在空間上的分布可見於圖2及圖4c-i，雖在厚雲層的遮蔽下，大部分較無法觀測到整個海峽海表溫的全貌，不過從圖中可觀察到兩者對應的情況相當一致，且結果發現當東北季風尚未增強時(2011年的東北季風增強始於2010年12月31日至2011年1月1日間，在本文並未呈現)，臺灣海峽東半部多由暖水覆蓋，而在東北季風增強後，整個海峽則幾乎被冷水籠罩，除了臺灣西南外海，圖中明顯可見有一股暖流常駐於此海域，且此股暖流北

上的時間恰好能與風速減弱時相對應，推測其應為黑潮支流。根據衛星海表溫的時序變化，實測海表溫可分為七股浮標(約23.1°N，圖2及圖4深紫色線)以北及以南，七股浮標以南的海表溫相較於七股浮標以北要來得高，由於其測站位置比鄰澎湖水道，且澎湖水道為黑潮支流北上的必經途徑，因此推測七股浮標以南的溫度受此股暖水所控制。綜上所述，我們可以得知臺灣海峽表面風場與海表溫的變化有著極高的關聯。

### (二) 異常低溫海水之形成機制

根據前言以及上述的結果，我們得以知悉異常低溫海水事件與強反聖嬰年冬季時期的東北季風有著密不可分的關係，東北季風如何影響澎湖海域環境，我們以2008及2011年的海表面高度及水位的變化作更進一步地說明。

圖4及圖5呈現2008及2011年海表面高度沿著衛星軌道的時序變化，結果發現無論是2008或2011年，於冬季期間臺灣海峽西側之海表面高度皆略高於臺灣海峽東側，除此之外，當東北季風增強時，料羅灣與澎湖潮位站的水位差皆變大，而風速減弱時，則兩站之水位差變小。綜合前述的觀測，我們得以用一簡單的示意圖來表示(圖6)，於強反聖嬰年冬季東北季風增強時，在艾克曼效應(Ekman transport)的作用下，海水易往中國沿岸方向堆積，因此使海峽東西兩側之水位差變大，而中國沿岸流則可能經地轉效應下增強其南向的流速，且同時可能阻礙了北向的黑潮支流，一旦風速開始減弱，失去了外力的支撐，再加上中國沿岸流的偏轉效應(Liao et al., 2018)，堆積在中國沿岸的低溫海水則容易擴展至澎湖北部與西部海域；另外在強盛東北季風吹拂下，亦強化冷空氣與海水的混合作用(Cheng and Chang, 2018)，促進海表溫下降，推測此兩者應為促使魚類凍斃之主因。當風速持續減弱時，因缺乏強風的阻擋，黑潮支流則沿著澎湖水道往澎湖北部方向延伸，進而使海溫回溫。

## 四、結論

本研究利用中央氣象局所提供的臺灣海峽風速、海表溫及水位等觀測資料並結合衛星遙測資料，分析澎湖海域於2008及2011年異常低溫海水可能形成之機制，主要結果如下：

1. 當東北季風尚未增強一段時間時，臺灣海峽東半部大多由暖水所籠罩，一旦東北季風開始增強，海表溫則逐漸降低，黑潮支流可能因此被阻擋在澎湖水道附近海域，受制於強東北季風而無法北上。
2. 與此同時，在強風吹拂下，推測因艾克曼效應的關係，冷水往中國沿岸方向堆積，造成海表面高度較

高，因此使臺灣海峽東西兩側的水位差變大，當風速稍為減弱，堆積的冷水失去外力(東北季風)支撐，又受中國沿岸流偏轉的效應影響，因此低溫的海水朝澎湖北部及西部海域方向擴展，再加上海水與冷空氣強烈的混合作用，使澎湖附近海域異常低溫。

3. 當風速持續減弱，缺少了強風的阻礙，黑潮支流得以沿著澎湖水道往澎湖北部方向延伸，海表溫隨之開始回溫。此外，海表溫回復的速度比海表溫下降的情形快速許多，此海水迅速由冷轉暖的現象是否對當地海洋環境產生影響，則需要再進一步探討。

## 參考文獻

- 呂逸林、冼宜樂、鐘金水、林志遠、陳世欽、蔡萬生, 2012: “寒潮威脅下澎湖海域養殖管理的作為”, 水試專訊, 37期, 21-25
- Chang, Y., K.-T. Lee, M.-A. Lee, and K.-W. Lan, 2009: “Satellite Observation on the Exceptional Intrusion of Cold Water in the Taiwan Strait”, Terr. Atmos. Ocean. Sci., 20(4), 661-669
- Cheng, Y.-H. and Chang, M.-H., 2018: “Exceptionally cold water days in the southern Taiwan Strait: their predictability and relation to La Niña”, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., in review
- Jan, S., J. Wang, C.-S. Chern, and S.-Y. Chao, 2002: “Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait”, J. Marine Syst., 35, 249–268
- Kuo, N.-J., and C.-R. Ho, 2004: “ENSO effect on the sea surface wind and sea surface temperature in the Taiwan Strait”, Geophys. Res. Lett., 31, L13309
- Lee, M.-A., Y.-C. Yang, Y.-L. Shen, Y. Chang, W.-S. Tsai, K.-W. Lan, and Y.-C. Kuo, 2014: “Effects of an unusual cold-water intrusion in 2008 on the Catch of Coastal Fishing Methods around Penghu Islands, Taiwan”, Terr. Atmos. Ocean. Sci., 25(1), 107-120
- Liao, E., L.Y. Oey, X. Yan, L. Li, and Y. Jiang, 2018: “The Deflection of the China Coastal Current over the Taiwan Bank in Winter”, J. Phys. Oceanogr., 48, 1433–1450
- Liao, E., Y. Jiang, L. Li, H. Hong, and X. Yan, 2013: “The cause of the 2008 cold disaster in the Taiwan Strait”, Ocean Model., 62, 1–10
- Oey, L., Y. Chang, Y. Lin, M. Chang, S. Varlamov, and Y. Miyazawa, 2014: “Cross Flows in the Taiwan Strait in Winter”, J. Phys. Oceanogr., 44, 801–817

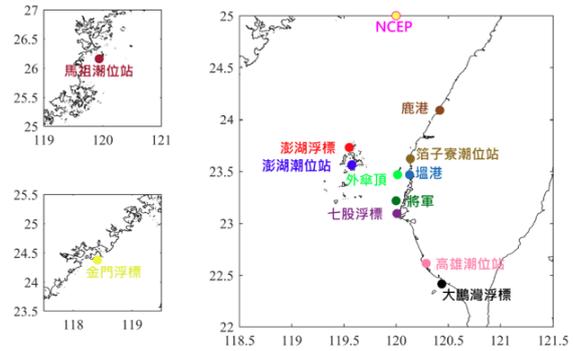


圖 1、2008 年浮標、氣象站、潮位站以及 NCEP 風速位置

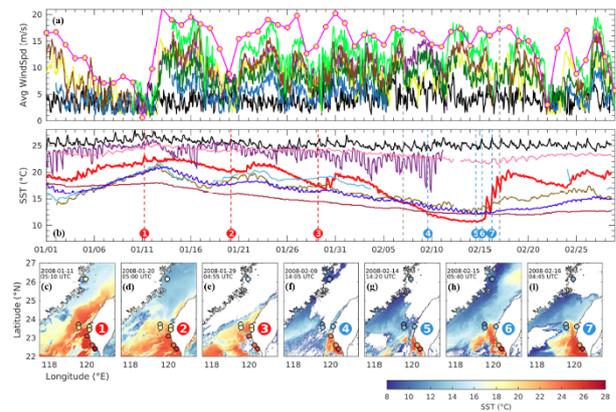


圖 2、2008 年異常低溫海水事件前後的實測平均風速、海表溫及衛星海表溫時序變化。a 與 b 中的顏色及所代表的測站可對應至圖 1。

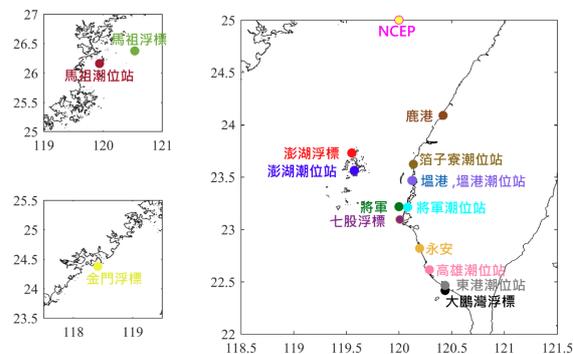


圖 3、2011 年浮標、氣象站、潮位站以及 NCEP 風速位置

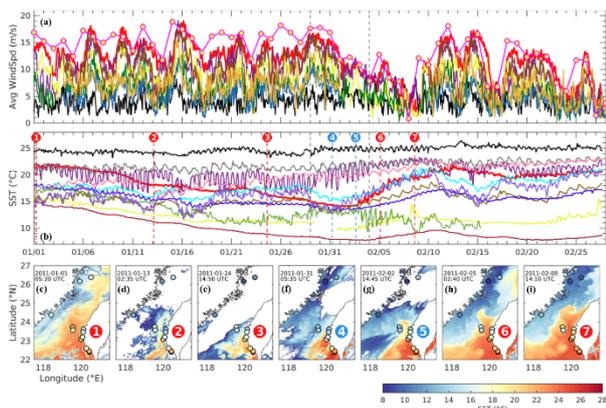


圖 4、2011 年異常低溫海水事件前後的實測平均風速、海表溫及衛星海表溫時序變化。a 與 b 中的顏色及所代表的測站可對應至圖 3。

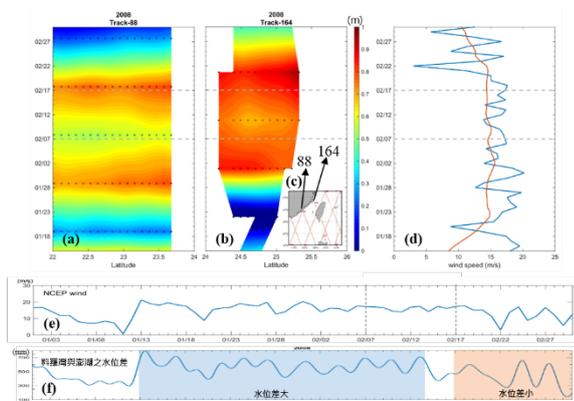


圖 5、2008 年(a-b)沿著衛星軌道之海表面高度以及(f)料羅灣與澎湖水位差之時間序列。(c)為衛星軌道的位置；(d)中的藍線為 NCEP 模式風速，橘線為 NCEP 之 10 天平均風速；(e)為對應(f)時間序列之 NCEP 模式風速。

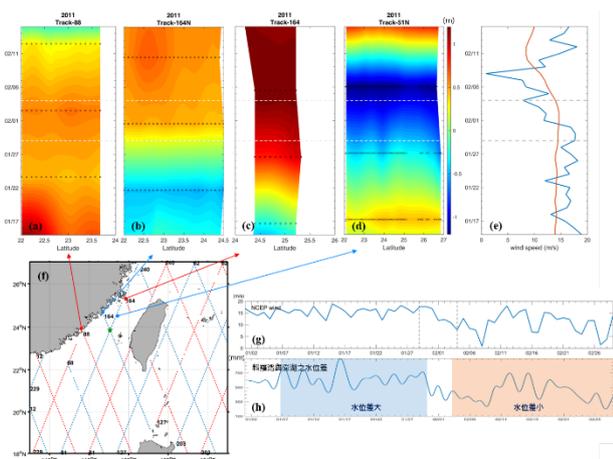


圖 6、2011 年(a-d)沿著衛星軌道之海表面高度以及(h)料羅灣與澎湖水位差之時間序列。(f)為衛星軌道的位置；(e)中的藍線為 NCEP 模式風速，橘線為 NCEP 之 10 天平均風速；(g)

為對應(h)時間序列之 NCEP 模式風速。

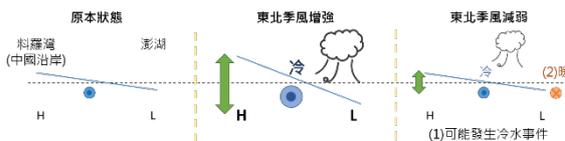


圖 7、異常低溫海水事件形成機制示意圖