

臺灣海峽異常海水溫降的可預測性與 ENSO 之關係

鄭宇昕 張明輝

國立臺灣大學海洋研究所

摘 要

臺灣海峽之海溫寒潮事件屬不尋常的水溫驟降事件，如同海洋中的超級寒流，曾造成澎湖群島周遭海域的養殖漁業重大損失。為因應防災需求，本研究探討此異常海水溫降的可預測性，初步建立海溫寒潮的警示演算法並設立寒潮發生的警示門檻。以多衛星合成的最佳化海表溫資料做為判定異常溫降的參考指標，分析海表風場與 Ocean Niño Index 變化對海表溫變化之影響。研究結果顯示，在反聖嬰年時，冬季的臺灣海峽海水溫會低於平常年冬季的溫度，且整體海面風速也會較平常年冬季時強勁，這也說明了反聖嬰年提供了一個良好的先天條件，有利於不尋常的水溫驟降事件的發生。另外，歷史上澎湖海域水溫驟降並且造成漁業損失的事件，有被報導出來的有 2000、2008 與 2011 年的冬季，而這三年的冬季在發生不尋常的水溫驟降事件前，都伴隨著超過一個標準差的風速異常值，且持續了將近 20 天，此時強風驅動了強烈的海氣交換，加強了海氣的熱通量，當持續夠久，漸漸降低海溫與氣溫的差異，使得冰冷的空氣冷卻了海水。根據分析結果制定初步預警燈號：(1)藍燈，正常、(2)黃燈，有寒害可能性($ONI < -1.0$)、(3)橘燈，危險(過去 10 天風速有 6 天以上達到 >12 m/s)、(4)紅燈，非常危險(過去 20 天風速有 15 天以上達到 >12 m/s)。

關鍵字：臺灣海峽、異常海水溫降、反聖嬰、預警機制、澎湖

一、前言

臺灣海峽位處中國大陸西南沿岸與臺灣間，為東北-西南走向，長與寬分別約為 300 及 180 公里，北端連接東海陸棚，南端接南海海盆，既為南海與東海間的唯一通道，海峽中的海流及水文性質自然深受南海及東海之影響，此外，自呂宋海峽入侵到南海的黑潮水，也可能影響到臺灣海峽。海峽平均深度約 50 公尺，兩個淺水區分別為彰化外海的雲彰隆起及海峽西南方的臺灣灘，約為 20 公尺深，澎湖群島位於臺灣灘東北端的延伸，隔著澎湖水道與雲彰隆起相望，澎湖水道為海峽中最深的區域，深度約 100-150 公尺間。

Jan et al. (2002) 分析臺灣海峽流況的季節性變動，結果顯示，在夏季時，因受到西南季風影響，海峽中的海水主要是來自南海，經由澎湖水道進入海峽，於澎湖水道北端，分為兩股流，一股稱為南海表面流，

往北通過雲彰隆起直到海峽北部，另一股自澎湖北端繞過雲彰隆起，稱之為底部流。相對的，冬季的流況就顯得複雜許多，中國沿岸流(China Coastal Current)，在 Chen et al. (2010)中亦稱之閩浙沿岸流(Fujian-Zhejiang Coastal Current)，從北方帶進較冷的海水進入臺灣海峽，另一方面，自澎湖水道進入的黑潮支流(Kuroshio Branch Current)，則帶來了溫暖且鹽度較高的海水，此之流源自黑潮入侵南海後持續北上進入臺灣海峽。兩股流由於雲彰隆起的天然屏障，並未直接抗衡，大部分時期，中國沿岸流會在遭遇雲彰隆起後，形成反時針流場返回，當東北季風強且持續較久時(例如 Chang et al., 2009)，中國沿岸流可經由烏坵凹陷進入澎湖海域，而與黑潮支流對抗，兩者共同盤據此海域。這兩股海水性質截然不同，中國沿岸流受寒冷的東北季風所驅動，且夾帶陸源河流淡水，故所攜帶的

海水屬低溫低鹽，而黑潮支流源自北赤道洋流，攜帶溫暖且高鹽水北上。

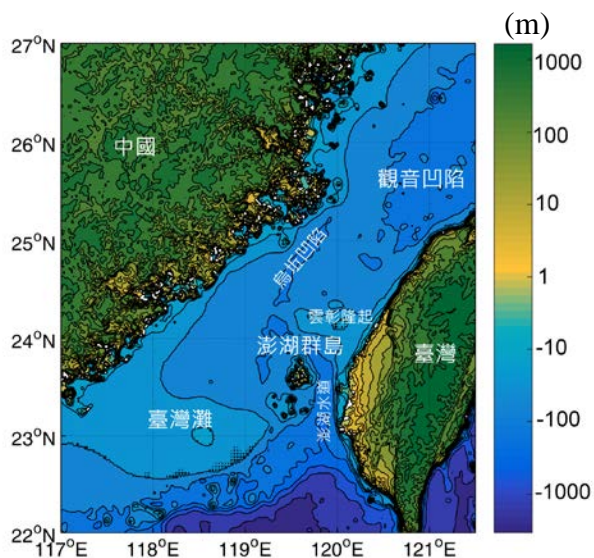


圖 1、臺灣海峽海底地形圖。

在 2008 年的冬季，一異常海水溫降重創了臺灣海峽南部，澎湖遭逢了近 30 年以來最嚴重的災害，影響所及包括海上箱網養殖魚類大量暴斃，也造成澎湖附近海域的生態浩劫，養殖漁業損失達到 1500 公噸，損失金額將近兩億，若加上天然漁業資源損失，總估約 3000 公噸(呂等, 2012)，該年的第一季漁獲也因此較往年降低了 50-80% (Lee et al., 2014)。Chang et al. (2009) 運用衛星海表溫資料的分析結果顯示，在 2008 年的 1 月平均海表溫高於該月份 12 年平均值，主要高值在澎湖以北，約高出 3°C，在寒潮事件發生的月份(2 月)，位於雲彰隆起以北，盤據著低於 12 年月平均 7.8°C 的冷水團，部分冷水似乎沿著烏坵凹陷持續向南，影響澎湖海域，引發當地海溫驟降。Chang et al. (2009)及 Lee et al. (2014)均將引發異常冷水入侵澎湖海域的原因指向與 La Nina 有關，雖然當地海表溫與 Ocean Nino Index (ONI)並無明顯直接相關性，但與風速具有弱負相關，相關係數為 0.31。另外，Ku and Ho (2004) 指出臺灣海峽海表溫，在 La Niña 年時可能受增強的東北季風所影響，進而使海表面水溫下降。Chen et al. (2010)曾針對海峽南部進行實測資料的水團分析，發

現 2008 年並未有黑潮入侵南海的現象，該研究推測，於 2008 年的觀測時期是處於 La Niña 時期，而 La Niña 時期比起一般時期具有較強的東北季風，可能阻絕黑潮入侵南海，自然不會存在黑潮支流。

欲對災害事件進行預報，須掌握過去除了 2008 年以外的其他案例，並進一步了解 ENSO 對臺灣海峽海面溫降之影響。依據水試所澎湖海洋生物研究中心的專刊指出(呂等, 2012)，除 2008 年，尚有 2000 年及 2011 年發生過低溫寒潮造成水產養殖及野生魚類暴斃的事件，由於損失不若 2008 年巨大，此兩事件並未引起大眾媒體注意，2011 年事件發生於 2 月初(2008 年是 2 月中)，損失達 8000 萬，在 2000 年的事件，該文並未詳述。

二、資料及方法

本研究採用美國大氣海洋局(National Oceanic and Atmospheric Administration)所提供的最佳化內插海表面溫度資料，其空間解析度為 $1/4^\circ \times 1/4^\circ$ ，時間分辨率為一天。ONI 為區域 $5^\circ\text{N}-5^\circ\text{S}$, $120^\circ\text{W}-170^\circ\text{W}$ 經三個月滑動平均後的海表溫異常值，該值被用來判定 ENSO 的變動，當 $\text{ONI} \geq 0.5^\circ\text{C}$ 代表聖嬰，相反的 $\text{ONI} \leq -0.5^\circ\text{C}$ 代表聖嬰((Huang et al. 2015)。此外，每日空間解析度為 2.5° 的風場資料則由 National Centers for Environmental Prediction 所提供。

三、結果

3.1 三次災害事件個別案例分析

圖 2 顯示，在 2008 年寒害事件前、中和後三階段，在事件前(圖 2a)臺灣海峽大致呈現 16°C 的海表溫，有一顯著鋒面從臺灣灘經澎湖到雲彰隆起，此時黑潮有部分進入自呂宋海峽進南海，但並未看到明顯匯入海峽南部，於 7 天後，一團冷水以烏坵凹陷為中心開始擴張(圖 2b)，中心低溫達 12°C ，經緯度座標大約是(120°E , 25°N)，此時澎湖海域的海表溫已自 16°C 驟降到 13°C ，衛星海表溫並未觀測到冷水被中國沿岸流“由北向南”攜帶，海表溫資料顯示，冷水是

烏坵凹陷(Wuqiu Depression)當地產生，產生後，向南擴張(圖 2c)，整個澎湖海域及臺灣灘都籠罩在異常冷水中，持續將近一個星期後退散。

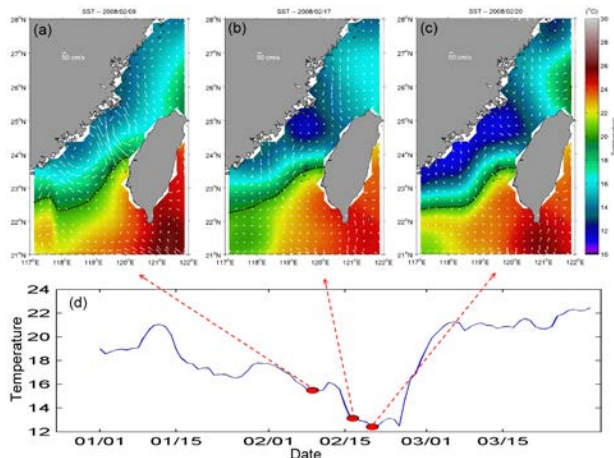


圖 2、2008 年 2 月(a)09 日、(b) 17 日與 (c) 20 日臺灣周遭流場及海表溫度場空間變化及(d)澎湖海域海表溫時間序列。黑虛線為 18 °C 等溫線。

在 2000 年與 2011 年的案例，幾乎與 2008 年有相同結果，也就是異常冷水(低於 13°C)的起源並非由北往南，而是在烏坵凹陷附近產生再往南擴散。在 2000 年及 2011 年的案例中，澎湖海域的海水溫降較沒 2008 年顯著，大約在 14°C(圖 3a 與 3b)，2000 年低溫持續約 1 個月，2011 年持續約 5 天，總結三個事件，寒害可能發生時間在 1 月中至 2 月底之間。既然，異常低溫未有由北而南的行進(也就是中國沿岸流的攜帶)，在預報上就難以利用冷水團移動監測來達成，若以監測烏坵凹陷的溫降來預報，冷水形成後向南擴張不過 1~3 天時間，衛星資料產品是近即時，通常要延遲一天，預報效果不佳。以上結果不代表異常冷水事件與中國沿岸流無關，事實上，圖 2 仍可看見沿著中國近岸南北向延伸的冷水，但”異常”冷的水成因，應另有其他因素，如 Chang et al. (2009)所提出，風是重要的因素，後續將加入風場與氣溫來推測異常冷水的成因並探討其可預報性。

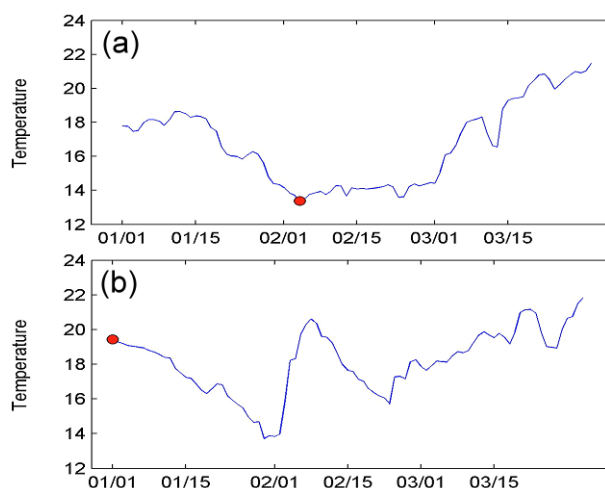


圖 3、(a)2000 和(b)2011 年澎湖海域海表溫時間序列。

3.2 寒潮災害事件與風場之相關性

圖 4 顯示，1990-2016 年間，澎湖海域 12 月中到隔年 3 月中的平均風速約 11 m/s，標準差約 5 m/s，平均氣溫變化是 14-17°C，標準差約 2.5°C，於 2008 年 1 月 11 日到 13 日間(圖 4a)，風速由 0 m/s 急遽升到 21 m/s，此後，除了少數幾天，一直維持在大於 1 個標準差的風強度(>16 m/s)，直到 2 月 20 日，維持了 38 天，對應於此強風時期的氣溫，於 2008 年 1 月 11 日到 13 日間，氣溫由 21°C 急遽降到 12 °C(圖 4b)，此後大多低於平均值的低溫，尤其在 2 月 5 日之後，更是低於一個標準差，顯然，這是持續了 38 天，低溫強風的大氣寒潮，在此大氣寒潮近尾聲時，澎湖海域的海溫寒潮即爆發(紅色虛線區間)，在海溫寒潮爆發前，強風及大氣低溫已持續 33 天。

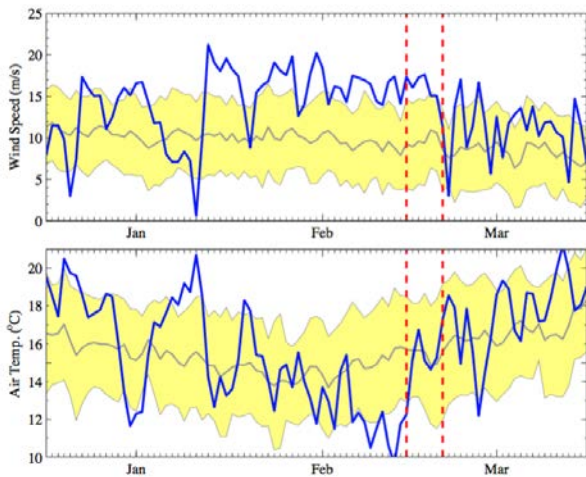


圖 4、2007 年 12 月 16 至 2008 年 3 月 15 日之澎湖海域之風速(上圖藍色線)及氣溫(下圖藍色線)時間序列。粗灰色線為 1990-2016 年在此期間的平均值，淡黃色區間為上下 1 個標準差區間

3.3 寒潮災害事件與 La Niña 之相關性

依據前人研究指出異常低溫事件與 La Niña 有關，本研究進一步將 ONI 與三個已知的災害事件整合，如圖 5 所示。El Niño 時期標示為紅色(ONI>0.5)，La Niña 時期(ONI<-0.5)標示為藍色，無論是 El Niño 或者 La Niña，其 ONI 尖峰值都發生在該年的 11-12 月間，三個災害事件皆發生於 1-2 月份，共通點是災害事件的前年 12 月皆出現 ONI<-1 的強 La Niña 尖峰值，其它 ONI 尖峰值時期，例如 2005 年 12 月、2008 年 12 月及 2011 年 12 月，在隔年並未發生低溫或災害事件，大致可歸類，當 ONI<-1(圖 5 灰虛線)的尖峰值發生時，隔年 2 月有很大可能性發生災害性的低溫寒潮。自 1990 年後，唯一例外是 1998 年發生 ONI<-1 的峰值，但隔年(1999)並未有災害性寒潮事件。雖有例外，但顯然每年 11-12 月份的 ONI 值會是預測次年 2 月是否會發生災害性寒潮的有用資訊。ONI 指數是為東赤道太平洋 Niño 3.4 區域的平均海表溫異常值，採取前後一個月的滑動平均後公開發佈，理想的狀況下，於每年的 1 月即可得知前年 11 月的 ONI 值，當出現<-1 的值時，即可於災害發生(2 月)前 1 個月前發布警報，另外，也可藉由分析 ONI 隨時間變動趨勢，增長可預報期。

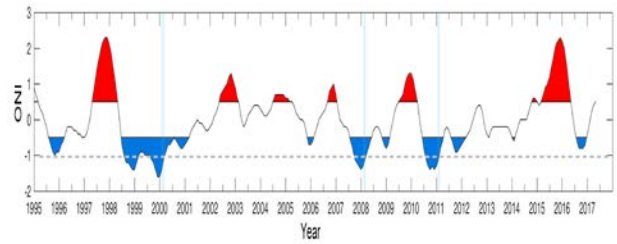


圖 5、自 1995 年以來的 ONI 時間序列，圖中三條藍線分別標示 2000、2008、及 2011 年發生低溫災害事件的時間點。

為了進一步檢視低溫寒潮與 La Niña 之關係，我們分析近 20 年海表面溫度與風場，氣候平均態之下，臺灣海峽裡的海表面溫度呈現一明顯的條狀海溫帶，由西南往東北延伸，且一約 18°C 的等溫線橫跨過澎湖群島北方海域，將較冷的海水分隔於臺灣海峽的西側，較暖的海水則被分隔於臺灣海峽的東南側(圖 6a)。而此處風場則深受東亞季風所支配，冬季時東北季風影響了整個臺灣周遭的環境條件(圖 6b)，這也說明了有利於驅使較冷的海溫鋒面往南進入南臺灣海峽。

將 El Niño 時期與 La Niña 時期的冬季平均值，分別扣除冬季氣候平均值(此後稱之為海溫異常值)，結果如圖 6b 與 6c 所示，圖中顯示在聖嬰年時臺灣海峽內海表溫呈現局部性的暖異常，而相對的，反聖嬰年時則大部分區域都呈現顯著的冷異常。另外在風場方面，同樣的分析方法，在聖嬰年存在著西南風的風場異常值，阻礙了冬季盛行的東北季風，相反的，反聖嬰年時整個臺灣海峽海面上空則呈現東北風場異常值，該風場異常值有助於原本就存在於冬季的東北季風更進一步的發展與增強，驅使北方冷水進一步往南入侵，且強勁的海面風應力有利於增進海水翻攪，強風驅動了強烈的海氣交換，造成海氣熱通量，當持續夠久，漸漸降低海溫與氣溫的差異，使得冰冷的空氣也冷卻了海水。

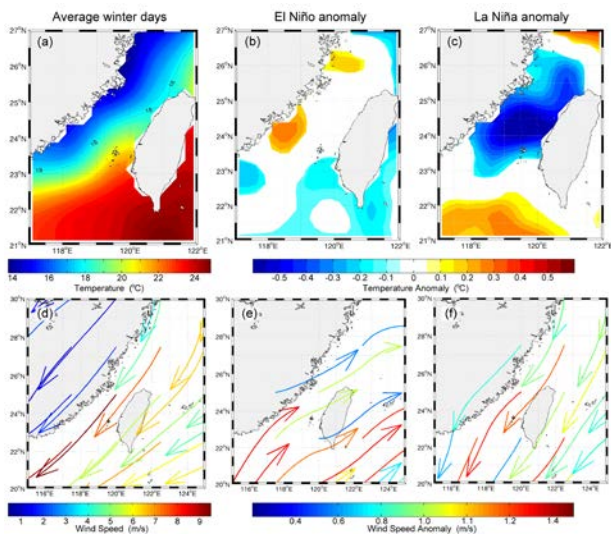


圖 6、(a-c)冬季海溫氣候平均值，(b)聖嬰年異常值，(c)反聖嬰年異常值。(d-f)冬季海面風場氣候平均值，(e)聖嬰年異常值，(f)反聖嬰年異常值。

四、總結

本研究分析結果顯示，中國沿岸流確實應該扮演一定角色，但應不足已引起如此異常的低溫，我們分析指出，海表溫與風場及氣溫有很大的相關，藉由強且持續的風驅動旺盛的海氣交換，大氣的低溫得以影響海溫，此應為異常冷水的來源。整合過去已知的寒害事件與 ONI 相較，我們發現當前年 ONI 峰值 <-1 時（強 La Niña），隔年的 1-2 月發生寒害的機率相當高，自 1990 到 2017 年間，4 個 ONI $<-1^{\circ}\text{C}$ 的事件有三個隔年發生了寒害。當發生此峰值時的隔年 1-2 月，皆仍處於 La Niña 時期 (ONI <-0.5)，該時期，冬季東北季風會更為強盛，有機會持續較多天，且先天海表溫條件也較冷。2000、2008 及 2011 的案例風速皆高於 12 m/s 且持續超過 20 天，故海溫寒潮之預報燈號初步建議，依照過去案例 ONI <-1 有 75% 隔年會發生寒害，故設定 ONI <-1 為黃燈，持續的觀察是風速，橘燈為在黃燈的前提下過去 10 天風速有 6 天以上達到 >12 m/s，紅燈則為在黃燈的前提下過去 20 天風速有 15 天以上達到 >12 m/s。未來會持續探索，並使用 receiver operating characteristic curve 評估指標，對該預警燈號進行適用性的參數化分析及做適度修正。

參考文獻

- Chang Y, Lee K-T, Lee M-A, Lan K-W (2009) Satellite Observation on the Exceptional Intrusion of Cold Water in the Taiwan Strait. *Terr Atmos Ocean Sci* 20:661-669 doi:10.3319/TAO.2008.08.07.01
- Chen C-TA, Jan S, Huang T-H, Tseng Y-H (2010) Spring of no Kuroshio intrusion in the southern Taiwan Strait. *J Geophys Res Oceans* 115 doi:10.1029/2009JC005804
- Huang B et al. (2015) Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST. v4). Part I: upgrades and intercomparisons. *J Climate* 28:911-930 doi:10.1175/JCLI-D-14-00006.1
- Jan S, Wang J, Chern C-S, Chao S-Y (2002) Seasonal variation of the circulation in the Taiwan Strait. *J Marine Syst* 35:249-268 doi:10.1016/S0924-7963(02)00130-6
- Kuo N-J, Ho C-R (2004) ENSO effect on the sea surface wind and sea surface temperature in the Taiwan Strait. *Geophys Res Lett* 31:n/a-n/a doi:10.1029/2004GL020303
- Lee M, Yang Y, Shen Y, Chang Y, Tsai W, Lan K, Kuo Y (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* doi:10.3319/TAO.2013.08.06.01
- 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 頁。