

## 東吉嶼海域海表溫度驟降成因探討

范揚洺<sup>1\*</sup> 陳聖學<sup>2</sup> 傅科憲<sup>3</sup> 王博賢<sup>4</sup> 楊文昌<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup>國立成功大學近海水文中心計畫經理

<sup>2</sup>國立成功大學近海水文中心品保工程師

<sup>3</sup>國家海洋研究院海洋科學及資訊研究中心副研究員

<sup>4</sup>國家海洋研究院海洋科學及資訊研究中心副研究員

<sup>5</sup>國家海洋研究院海洋科學及資訊研究中心主任

### 摘要

國家海洋研究院在澎湖海域、北海岸海域、東北角海域及恆春半島等 4 個示範海域建置作業化海氣象資料浮標，用以自動化觀測海洋環境觀測資料。檢視每天的資料發現東吉嶼資料浮標的海表溫度有每天驟降 2 次的現象，變化幅度超過 4°C，與其他海域的海表溫度緩慢變化明顯不同。本研究目的為探討東吉嶼海域海表溫度驟降成因，由內波、海流、潮汐，以及風速等因素進行探討。分析歸納得知海流與潮汐皆與海表溫度驟降有顯著的相關性。海表溫度驟降與回升期間，海流流向以往南為主，反之，當海表溫度回升後，海流流向以往北為主，海表溫度驟降至最低溫度時的海流流速大於 0.5 m/s，流向介於 154 度~223 度之間。又海表溫度驟降發生在退潮期間，且海表溫度驟降的現象發生於小潮後的第 3 天~6 天，直至下一次小潮結束當日或隔日，持續天數高達 10 天以上。

關鍵詞：海表溫度、驟降、東吉嶼、潛水

## Study on the Causes of the Abrupt Drop of Sea Surface Temperature in Dongjiyu Waters

Yang-Ming Fan\*, Sheng-Hsueh Chen, Ke-Hsien Fu, Bo-Shian Wang, Wen-Chang Yang

\* Project Manager, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

### ABSTRACT

The National Academy of Marine Research has deployed operational data buoys to monitor marine environmental data in 4 demonstration waters, including the Penghu waters, the north coast waters, the northeast corner waters and the coastal waters of Hengchun Peninsula. Watch the real-time data daily and found that the sea surface temperature drops twice a day in the Dongjiyu data buoy of the Penghu waters, with a range of more than 4°C, which is obviously different from the sea surface temperature in others data buoys. Therefore, the purpose of this study is to explore the cause of the abrupt drop of sea surface temperature around Dongjiyu waters. Discussed by factors such as internal waves, currents, tides, and wind speed, the results show that both currents and tides have a significant correlation with the drop of sea surface temperature. During the drop and recovery of sea surface temperature, the main current direction is to the south, on the contrary, the main current direction to the north when the sea surface temperature change slowly. And the current speed is large than 0.5 m/s and the current direction is between 154 degrees and 223 degrees when the sea surface temperature drops to the lowest temperature. Furthermore, the drop of sea surface temperature occurs during ebb, and the length of phenomenon start from the 3rd to 6th days after the neap tide until the end or the next day of neap tide, and lasts for more than 10 days.

Keywords: sea surface temperature; abrupt drop; Dongjiyu; diving

## 一、前言

近年來國人日益重視各式戶外休閒活動，休閒活動區域也由陸地擴及濱海地區及海洋，雖然受到季節影響，臺灣可從事水域遊憩活動的區域仍有多樣選擇，從相關的活動協會亦相繼成立，顯示愈來愈多民眾從事水域遊憩活動的項目與人口有越來越普及之趨勢。為了讓民眾安全地「近海」(親近海洋)和「進海」(進入海洋)，有必要即時提供遊憩海域的海洋環境觀測資料。

本研究由東吉嶼資料浮標的即時海表溫度觀測資料發現每天幾乎都有 2 次海表溫度驟降的現象。又東吉嶼海域喜愛浮潛與潛水者的海底天堂，一般正常人在水溫 25°C 以下潛水便需要穿著 3mm 潛水衣，穿著不合時宜的潛水衣將引致低溫症的發生，因此即時的水溫資料與特性可作為潛水衣穿著厚度的參考依據，因此本研究對此海域資料進行分析探討。

## 二、海表溫度觀測

### 2.1 資料浮標系統

國際上資料浮標已被廣泛使用於作業化觀測，因其布放不受水深限制，是海上觀測樁、船測及底碇式儀器觀測技術所不能及。國家海洋研究院配合政府「向海致敬」重要政策，期望即時提供海洋環境觀測資料供水域遊憩活動使用，因此採用國立成功大學近海水文中心自行研發的作業化海氣象資料浮標自動化觀測海洋環境資料，如圖 1 所示。

本文以東吉嶼資料浮標的海表溫度觀測資料為研究對象，東吉嶼資料浮標位於澎湖縣東吉嶼與西吉嶼之間，水深約 40 公尺處，位置如圖 2 標示橘黃的資料浮標圖示處。海表溫度觀測資料來源有 2 處，一為安裝位置在水面下方 0.5 公尺處的水溫計，二為安裝在水面下 1.5 公尺處的海流儀，如圖 3 所示。



圖 1 東吉嶼資料浮標



圖 2 東吉嶼資料浮標系統位置示意圖

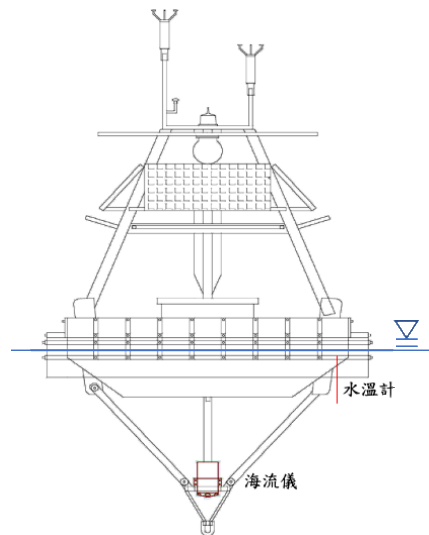


圖 3 水溫計與海流儀安裝位置

## 2.2 海表溫度品管

資料品管的消極意義在找出並標記可疑的資料，積極面上則是進一步對資料作驗證。由於資料品管與整個資料處理流程的每一步驟息息相關，故對量測儀器的特性、設計及校正、量測方法的理論及限制、通訊儀器的維護與核定、資料處理的方法、環境背景資料的相關性、及資料保管方法都必須深入研究，如此方能對資料在不同時空上的特性作長期而完整的分析探討，進而有效管制資料的品質。

海表溫度資料之品管程序，主要係進行檔案格式檢驗及資料統計性品管分析。除了判斷檔案欄位及格式之正確性外，主要利用以下二類品管分析方法進行分析。

### 一、合理性資料品管

合理性的檢驗考量三類因素，一是「儀器限制」，指海氣象觀測數據不應超過量測儀器的測量範圍；另一則是「物理限制」，指觀測量不應超過量測地點的海氣象臨界條件；第三類則參考「歷年觀測極值」，以訂定更合乎實際狀況之物理標準。觀測數據由品管程式執行合理性品管作業，由程式自動檢驗各觀測量「儀器限制」與「物理限制」之上、下限，並判斷是否超過「歷史極值」品管標準，若原始觀測數據超過合理性品管之上、下限而未通過合理性檢驗，則予以標記。

### 二、連續性資料品管

由於自然現象的變化都是漸進且連續的，所以連續性的檢驗認為各種觀測物理量在時間上及空間上都必須存在連續的變化，也就是說其時空的變化量應落在合理的範圍內，如果在時間上的改變量超過某一限度，或是在空間上相鄰測點的資料無法以物理觀點解釋，都可視為可疑資料。

時間連續性品管分析的首要步驟為彙整分析資料，再進一步計算資料的  $t=1$  單位間距差值，若有  $N$  個分析數據，則將會有  $N-1$  個連續時間之差值，將上述差值樣本經分組排序後，計算各組樣本所對應的發生機率，然後以統計理論之密合度試驗 (goodness-of-fit) 決定樣本資料最適合之機率分佈函數。

此外，尚有第三類的關聯性資料品管，此乃檢驗所量測之資料與其他相關物理量之關係是否有異常現象，海氣象特性往往受到外在環境的影響而改

變 (例如風與浪之關係)，利用不同物理量間之關連性，可互相檢驗資料的品質。而經與資料浮標上其他觀測項目比對，海溫與其他物理量相關性不高，此項目站不列入品管程序。

品管的目的係為篩除不合理、不正確的觀測值，因為東吉嶼資料浮標於今年 7 月底布放開始運作，觀測資料的累積量尚不夠完整，故各項品管標準係參考鄰近的七美資料浮標，其合理性與連續性品管標準如表 1 與表 2。資料品管架構係參考美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)，規劃其資料品管流程架構如圖 4，依序確認資料格式、合理性、連續性、(關聯性)後，即可得通過品管之可靠資訊。

表 1 海表溫度合理性品管標準

儀器範圍限制	物理上的限制	歷年極值標準 (極值±20%)
0~50 (°C)	>0 (°C)	17.2~34.6(°C)

表 2 海表溫度連續性品管標準

	90%	95%	99%
1 小時	0.3	0.3	0.5
2 小時	0.3	0.4	0.7
3 小時	0.4	0.5	0.8
4 小時	0.5	0.6	0.9
5 小時	0.5	0.7	1.1
6 小時	0.6	0.7	1.1

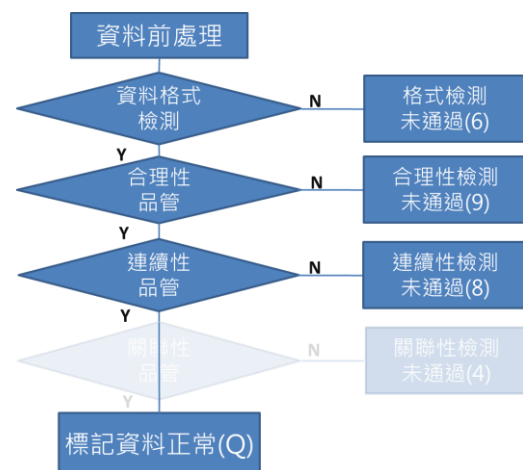


圖 4 資料品管流程圖

## 2.3 海表溫度觀測結果

水溫計於每小時 59 分至整點共 1 分鐘期間取樣，取樣頻率為 2 Hz，完成取樣後求得平均值；流速儀連續取樣，每 2 秒取樣一次流速、流向，以及水溫資料，共取樣 6 分鐘後計算平均值。經過前述品管程序與人工品管來確保資料正確性。東吉嶼資料浮標 2021 年 8 月與 9 月的海表溫度如圖 5 與圖 6，圖中明顯看出每個月海表溫度變化至少有 25 天會出現一天 2 次的驟降，每次間隔約 12 小時，變化幅度超過 4°C，接著驟升回到驟降前的溫度。

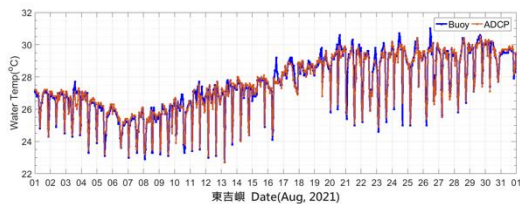


圖 5 110 年 8 月海表溫度觀測時序列圖

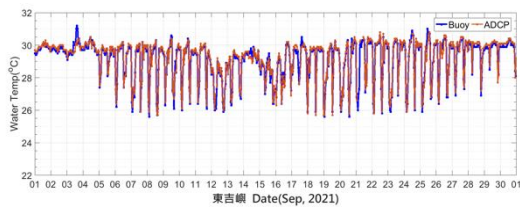


圖 6 110 年 9 月海表溫度觀測時序列圖

## 三、海表溫度驟降可能原因

回顧海表溫度驟降的相關研究，可能的原因包括內波、海流、潮汐，以及風速等，本研究首先將 110 年 8 月與 9 月海表溫度沒有驟降的國曆與農曆日期列出，包括 8 月 17 日（農曆 7 月 10 日）、8 月 18 日（農曆 7 月 11 日）、9 月 1 日（農曆 7 月 25 日）、9 月 2 日（農曆 7 月 26 日）、9 月 3 日（農曆 7 月 27 日）、9 月 4 日（農曆 7 月 28 日），其餘日期中，有 4 天是 1 次的驟降，其餘每天有 2 次驟降。以下對上述可能原因進行探討。

### 3.1 內波的影響

臺灣西南海域是內波活躍的海域 (Hsu et al., 2000)，經由實測與數值模擬分析顯示此海域的內波特性屬於內潮波 (Wang and Chen, 1996; Niwa and Hibiya, 2004)。王玉懷 (2009) 研究東沙環礁，發現外

環礁水溫因受到內波的影響，日溫差變化劇烈，水溫陡降 2°C 到 7°C，內環礁日溫差則小於 1°C，又在冷水入侵 2 天後葉綠素含量顯著增加 (Wang et al., 2007)，增加量約 5  $\mu\text{g/L}$ 。

本研究比對東吉嶼資料浮標的海表溫度與螢光換算的葉綠素值觀測資料，圖 7 的上圖為海表溫度，下圖為葉綠素，上圖顯示 8 月 18 日沒有海表溫度驟降，隔日 19 日開始海表溫度每天有 2 次驟降，而此期間的葉綠素變化不大，反而是 8 月 18 日 12 時至 17 時葉綠素值有增加，增加量為 0.57  $\mu\text{g/L}$ ，但海表溫度沒有明顯變化。又圖 8 的上圖為海表溫度，下圖為葉綠素，上圖顯示 9 月 5 日開始有海表溫度驟降的現象，2 天後葉綠素的增加量小於 1  $\mu\text{g/L}$ 。因此東吉嶼海域在海表溫度驟降時，葉綠素的增加量遠小於東沙外環礁。

此外，內潮波的波長可達數十公里以上，而東吉嶼附近海域其他的海表溫度觀測資料沒有驟降現象，因此東吉嶼資料浮標觀測的海表溫度驟降現象目前無法證實是內潮波引起。

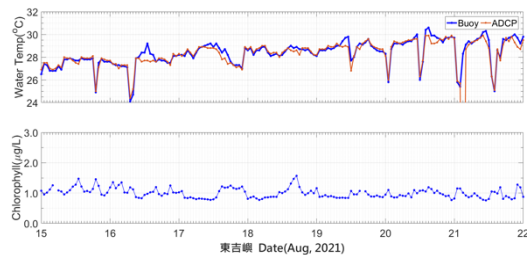


圖 7 110 年 8 月 15 日至 21 日海表溫度與葉綠素觀測時序列圖

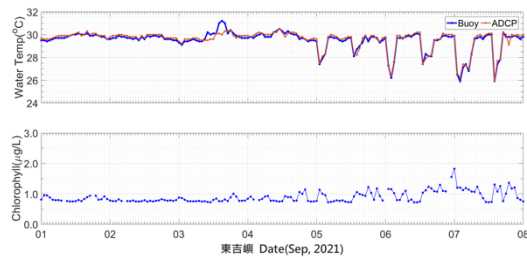


圖 8 110 年 9 月 1 日至 7 日海表溫度與葉綠素觀測時序列圖

### 3.2 海流(含黑潮支流)的影響

Wang (2006; 2012) 用海洋數值模式重建臺灣南部海域內波發生的機制發現黑潮海水入侵是造成海

水層化的主因，但黑潮海水動力不足以推動海水以產生內波，真正造成南海內波的動力是潮流。余俊宏 (2018)分析澎湖水道北邊接近海底的溫度，發現因夏季平行水道方向的湧升流，夏季的溫度隨著潮汐有週期性降溫的波動，開始降溫的時間在流速最強的時候（漲潮），最大的降溫幅度可達 2.5°C，而在流速最弱的时候開始升溫（退潮）。

東吉嶼資料浮標有海流儀監測即時海流，設置位置如圖 3 所示。因此本研究繪製海流流矢圖，如圖 9 的下圖所示，線的長度表示流速大小，線的傾斜角度表示流向，由圖 9 的海表溫度與海流觀測時序列圖可以看出海表溫度驟降與回升期間，海流流向以往南為主，反之，當海表溫度回升後，海流流向以往北為主。圖 10 為 110 年 8 月~9 月期間海表溫度驟降時的流速流向關係圖，顯示流速大於 0.5 m/s，且流向介於 154 度~223 度之間。

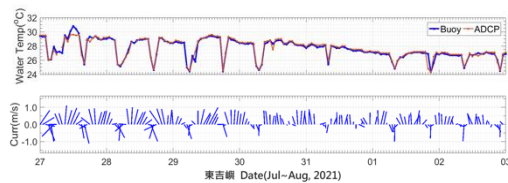


圖 9 110 年 8 月海表溫度與海流觀測時序列圖

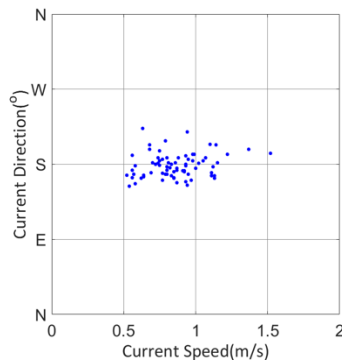


圖 10 110 年 8 月~9 月期間海表溫度驟降時的流速流向關係圖

### 3.3 潮汐的影響

施孟憲等人 (2012)經長期實測資料發現臺南七股頂頭額沙洲附近的海表溫度隨潮汐漲退有突然劇烈變化現象；黃莉婷 (2015)在澎湖南方四島進行 3 天的觀測發現滿潮時上下溫差大，研判是漲潮時南方較暖的水流舉升使表層水較暖。

因此本研究比對海表溫度與潮汐觀測資料，發現海表溫度驟降發生在退潮期間，又因為海表溫度驟降的現象持續 10 天以上，因此試著比對大潮(農曆的初一、初二、十五、十六)與小潮(農曆的初七、初八、二十二、二十三)發生的時段，圖 10 與圖 11 的紅色虛線方框表示小潮，經過交互比對後發現海表溫度沒有驟降的現象發生在小潮後的第 1~2 天，並維持 2~4 天的緩慢變化，如圖上的黑色圓圈實線。推測小潮後至大潮前，因太陽、月球對地球的潮汐引力部分抵銷，因潮汐運動/潮差變小，因而未出現海表溫度驟降的情況。綜合上述，海表溫度驟降的現象開始出現在小潮後的第 3~6 天，直至下一次小潮結束當日或隔日。

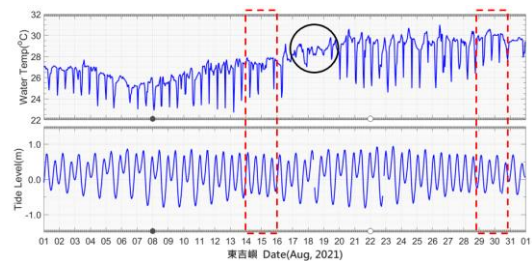


圖 10 110 年 8 月海表溫度與潮汐觀測時序列圖

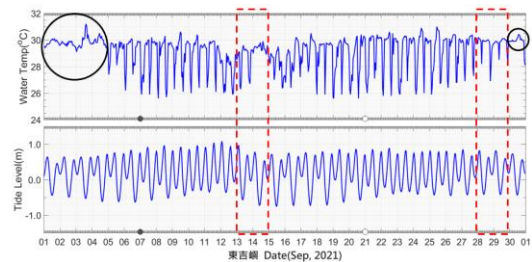


圖 11 110 年 9 月海表溫度與潮汐觀測時序列圖

### 3.4 風速的影響

除了上述造成水溫變化的可能原因外，Farrar et al. (2007) 研究指出海表溫度變化隨著風速的降低而增加。然而比對東吉嶼資料浮標的風速觀測資料，如圖 10 所示，顯示海表溫度變化驟降時風速會隨著減弱，但並非風速減弱，海表溫度就一定驟降。因此東吉嶼海域的海表溫度驟降與風速之間沒有明顯的關聯存在。

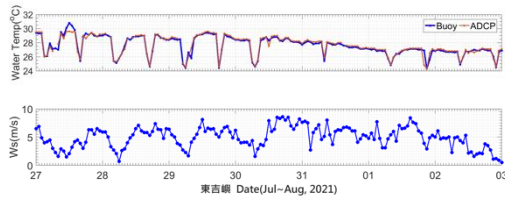


圖 5 海表溫度與風速觀測時序列圖

#### 四、結果與建議

本研究由內波、海流、潮汐，以及風速等因素探討影響海表溫度驟降的原因，分析歸納得知海流與潮汐在海表溫度驟降時有顯著的相關性。

海表溫度驟降與回升期間，海流流向以往南為主，反之，當海表溫度回升後，海流流向以往北為主。統計海表溫度驟降至最低溫度時海流分佈，結果顯示海流流速大於 0.5 m/s，且流向介於 154 度~223 度。又海表溫度驟降總是發生在退潮期間，且海表溫度驟降的現象發生小潮後的第 3 天~6 天，直至下一次小潮結束當日或隔日，持續天數高達 10 天以上。

目前東吉嶼資料浮標僅有數個月的觀測資料，又海表溫度驟降的現象並非每個海域都會發生，因此後續將蒐集更多資料以了解此海域的海表溫度特性，並透過高解析的衛星海表溫度資料進一步分析水團運動。

#### 謝誌

本文係 110 年政府科技發展計畫「臺灣及南海海域資料收集調查與資料庫精進」(審議編號：110-4901-02-22-03)之相關研究成果，承蒙中央政府經費補助，使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

#### 參考文獻

1. Farrar, J. T., Zappa, C. J., Weller, R. A. and Jessup, A. T. (2007) Sea surface temperature signatures of oceanic internal waves in low winds, *J. Geophys. Res.*, 112, C06014.
2. Hsu, M.-K., Liu, A. K., and Liu, C. (2000) A study of internal wave in the China Seas and Yellow Sea using SAR, *Cont. Shelf Res.*, 20, 389-340.
3. Niwa, Y. and Hibiya, T. (2004) Three-dimensional numerical simulation of the M2 internal tides in

- the East China Sea, *J. Geophys. Res.*, 109, C04027.
4. Wang, J., and Chen, C.S. (1996) Preliminary observations of internal surges in Tung-Kang, *Acta Oceanogr. Taiwan*, 35, 17-40.
5. Wang, Y.-H., Dai, C.-F., and Chen, Y.-Y. (2007) Physical and ecological processes of internal waves on an isolated reef ecosystem in the South China Sea, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L18609.
6. Wang, D.-P. (2006) Tidally generated internal waves in partially mixed estuaries, *Cont. Shelf Res.*, 26 (12), 1469-1480.
7. Wang, D.-P., (2012) Diurnal modulation of semidiurnal internal tides in Luzon Strait, *Ocean Modelling*, 59-60, 1-10.
8. 余俊宏 (2018) 斜坡上底邊界層的對流溫降與湧升機制 - 以澎湖水道為例，碩士論文，國立中山大學海洋科學系。
9. 黃莉婷 (2015) 澎湖南方四島海洋物理環境與底質對珊瑚覆蓋率的影響，碩士論文，國立中山大學海下科技研究所。
10. 施孟憲、饒國清、滕春慈、黃清哲 (2012) 「從資料浮標觀測資料探討七股澎湖海域水溫特殊變化」，101 年天氣分析與預報研討會，第 448-449 頁。
11. 王玉懷 (2009)，東沙環礁國家公園海洋環境長期調查研究(一)成果報告，海洋國家公園管理處委託研究。