

2016 年寒潮海溫變動分析

呂逸林、謝恆毅、林金榮

水產試驗所澎湖海洋生物研究中心

前言

極端氣候事件是全球氣候變遷議題中最容易被觀察與感受到的現象，而且經常會帶來災難性的損害。由於全球均溫上升，改變了海洋大氣能量循環的規律，導致激烈的天氣型態發生頻率大幅提高。2016 年的冬天，臺灣經歷了罕見低溫的「霸王級寒流」，同年夏天的高溫則創下歷史新高，激烈氣候變化，造成農林漁牧的嚴重損害，物候的改變甚至影響人類社會的運作。過去十年，澎湖分別在 2008 年、2011 年和 2016 年受到異常低溫的影響而發生寒害災損，但 3 次的低溫事件對於水產養殖與海域生態的影響有截然不同的結果。2008 年養殖漁業損失約 1 億 8 千萬元，以箱網養殖受創最重，但此一災損和對海域生態的傷害相較，則是小巫見大巫。根據本中心調查，因為此次寒害死亡的魚種高達 58 科 214 種；而無脊椎動物因為行固著生活或有殼，死亡後只有少數被打上岸，沉在水底者難以計數。2011 年澎湖再度面臨寒潮侵襲，箱網養殖業損失 8 千萬元，凍死魚則記錄到 41 科 123 種。這兩次寒害對其他縣市農漁業造成的傷害相對較低，但 2016 年 1 月的霸王級寒流，則是創下全臺罕見的低溫紀錄，農漁業受創嚴

重，據統計全臺農損高達 42.4 億元，其中漁損 36.2 億元，南部魚塭養殖的虱目魚、石斑、吳郭魚、文蛤及鱸魚均因低溫大量凍死，但澎湖的箱網養殖此次受到的影響較小，僅有部分養殖魚種受凍死亡，澎湖海域則記錄到 39 科 101 種魚類死亡。

于和陳 (2016) 根據氣象局臺北測站資料，整理過去 18 年臺灣災損億元以上的寒害共 21 次 (如表)，其中「長度」為寒潮開始至結束之總天數，「冷度」為寒潮事件期間出現的最低溫，「強度」為寒潮事件開始時之日低溫 48 小時降幅。大部分的寒潮並未為澎湖帶來嚴重的損害，而對澎湖海域生態危害最劇的 2008 與 2011 年寒潮，在記錄上並不是溫度最低者，因此，澎湖海域究竟在什麼條件下，會因極端的氣候事件的發生而造成損害？異常的海水低溫固然是造成海域發生寒害的重要原因，但海水因為高比熱的物理性質，能吸納大量能量，海溫通常會比氣溫穩定，不易形成明顯波動，寒潮這類激烈的氣溫變動對海溫的影響究竟如何？過去對大氣溫度驟降時，海溫變動與氣溫和風速間的關係討論不多，主要在於即時水溫資料取得不易，由衛星取得的海水表面溫度 (sea surface temperature, SST) 則因空間解析度與觀測頻度較低，難以進行更詳細的討

臺灣地區 1999-2016 年發生億元等級寒害災損寒潮事件比較

事件	日期	長度 (天)	冷度 (°C)	強度 (°C)	事件	日期	長度 (天)	冷度 (°C)	強度 (°C)
1999(31 億)	1999/12/20	7	7.3	4.6	2010(9 億)	2010/1/12	3	7	7.1
2002(9 千萬)	2002/1/3	4	9.2	3.5		2010/2/18	4	9.7	1.5
2004(5 億)	2004/1/20	9	6.8	5.9		2010/3/10	2	8.5	5.8
2005(28 億)	2004/12/31	4	7.6	4.8	2011(5 億)	2011/1/11	2	8.4	2.6
	2005/1/15	4	8.0	5.3		2011/1/15	3	7.9	6.1
	2005/2/1	3	9.6	3.3		2011/1/30	3	9.1	3.6
	2005/2/19	3	7.3	7.4	2012(1.5 億)	2012/1/4	2	9.3	5.1
	2005/3/12	3	9.0	8.1		2012/2/8	2	9.5	7.3
2008(5 億)	2008/2/3	2	10.0	2.7	2014(1.3 億)	2014/2/10	6	7.8	5.3
	2008/2/9	7	7.8	2.7	2016(42 億)	2016/1/23	4	4.0	9.8
2009(3 億)	2009/3/14	1	10.3	5.1					

資料來源：于宜強、陳淡容 (2016)

論。本文利用即時海、氣溫度的變化資料，探討水溫變動的過程與機制，期有助於澎湖養殖漁業災害的預防管理與因應。

資料來源

本文以澎湖中心設置於東吉嶼和二崁海域的 2 個無線感測網路 (wireless sensor network, WSN) 測站進行水溫資料蒐集。所謂 WSN 是整合了資通訊與感測器技術，以成本較低的方式即時蒐集環境資訊的方法。二崁 WSN 浮標測站位於澎湖內海跨海大橋的西南側，水下約 1.5 m，該處是澎湖重要的箱網養殖區之一；東吉嶼 WSN 測站則位於澎湖南方四島海洋國家公園範圍內，東吉嶼漁港的外面，水深約 4 m 的位置 (圖 1)，兩個測站相距約 42 km，均屬水流交換佳的環境。利用伺服器同步時間，每半小時回傳



圖 1 WSN 測站與中央氣象局東吉氣象站位置圖

一次水溫紀錄。另外為了解澎湖大氣活動與海水溫度之間的關係，本研究加入中央氣象局東吉嶼氣象站與馬公氣象站的逐時氣溫資料和東吉測站的逐時風速資料進行討論。馬公氣象站因位於馬公市區，風速受周遭建築影響，與海面風速相較明顯偏低，本文未列入討論。逐時氣溫資料可以反應海水與氣溫差，會影響不同介面間能量流動的速度；風速則可以反應海氣界面混合的強度，風速愈大越有利於表面海氣混合。

2016 年霸王寒潮

2016 年是強聖嬰年之一，而根據資料顯示，聖嬰發生期間，臺灣有比較大的機會出現暖冬現象，而該年冬季的平均氣溫，確實也出現氣溫偏高的情形 (李和盧，2016)。本中心於 2013–2016 年在東吉測站的連續水溫監測也發現，2016 年 1 月和 2 月之平均水溫也偏高。但在 1 月 22–27 日期間，臺灣受到北極震盪的影響卻出現近年來罕見的寒流。依據于和陳 (2016) 的標準，該次寒流計持續 4 天，最低溫 4.0°C，強度 9.8，低溫影響全島，氣象局竹子湖、鞍部、彭佳嶼 3 個測站出現了自 1951 年以來的歷史低溫，而有「霸王寒潮」之稱。此次寒流也創下澎湖氣象測站有史以來第三低溫紀錄，馬公測站在 24 日傍晚測得 7.7°C 低溫，雖未打破 1957 年 2 月 10 日的 7.2°C 紀錄，但已是繼 2005 年 9 月 6 日的 9°C 後，近 10 年來的最低溫紀錄。如此低的氣溫條件，觀察澎湖海溫的變動，有助於我們了解澎湖海域寒害發生的條件。

霸王寒潮期間東吉與二崁海氣象因子觀測比較

根據中央氣象局資料測站資料顯示，澎湖地區在 1 月 22 日中午左右鋒面接近，氣溫開始明顯下滑，風速快速增加，水溫也同時出現下降情形。1 月 22 日 0:00 起到 1 月 27 日 23:00 止的寒潮影響期間，東吉和二崁的逐時海氣象因子變動如圖 2 所示，圖中的 Donjin_W_temp 和 Erkan_W_temp 分別表示東吉海域和二崁海域水溫，D_A_temp 和 M_A_temp 為氣象局東吉和馬公測站測得的氣溫，Ave.WS 則是氣象局東吉測站每小時平均風速。由圖 2 可以發現，1 月 22 日過午之後，氣溫 (馬公 12:00 19.3°C；東吉 14:00 19.4°C) 與海溫 (二崁 14:00 19.8°C；東吉 15:00 22.8°C) 開始下降，經 39 小時後，在 1 月 24 日 3:00 左右，東吉與二崁氣溫均降到 10°C 以下，這段時間同時也是寒潮期間，風速最強的階段，最高達 22.5 m/sec。1 月 24 日下午 17:00，馬公測站氣溫降到最低 7.9°C，東吉測站亦出現 8.9°C 的最低溫。從 1 月 22–24 日期間，東吉和馬公測站氣溫降幅分別為 11.4°C 和 10.5°C。25 日以後，寒潮勢力開始減弱，上午 9:00，東吉與馬公測站氣溫均回到 10°C 以上，風速則降到 15 m/sec 以下，但海溫仍維持下降趨勢。24 小時之後，即 1 月 26 日 9:00，東吉與馬公氣象站測得氣溫已回到 15°C 以上，但二崁和東吉海溫則達到此次寒潮影響期間的最低海溫，分別為 15.27°C 和 17.97°C，比氣溫最低的時間約延遲 1 天半，之後氣溫與海溫慢慢回復到寒潮前的水準。

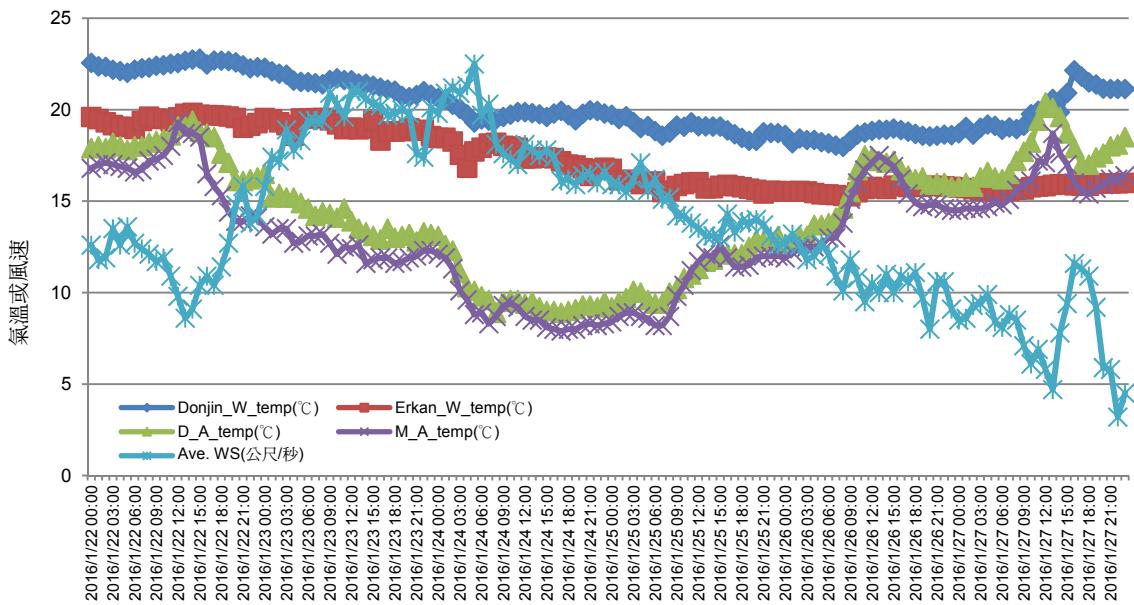


圖 2 霸王寒潮期間二崁與東吉海域海氣象因子變動情形

寒潮與非寒潮期的比較

2016 年寒潮與非寒潮期間，澎湖海氣象因子的關係如圖 3 所示。資料來源包括 2016 年 1 月 1 日到 2 月 15 日中央氣象局東吉嶼測站的逐時風速和氣溫資料，以及本中心兩個 WSN 測站水溫資料。結果顯示，然二崁和東吉測站雖然相距不遠，卻有明顯的溫差，東吉的海水均溫為 $21.90 \pm 0.99^{\circ}\text{C}$ ；二崁海水均溫為 $18.32 \pm 1.32^{\circ}\text{C}$ ，東吉海域的均溫比二崁海域高出 3°C 以上。兩地的海溫差介於 $1.03 - 7.40^{\circ}\text{C}$ 間，差距最大者出現在寒潮過後的回溫階段，溫度型態迥異。推測應該是因為東吉海域位於黑潮支流湧升的澎湖水道附近，因而使得東吉海水溫度相對穩定，且大部分時間海水溫度都高於氣溫；而二崁海溫則變動較大。

另外，觀測發現，當氣溫低於 15°C 時，往往伴隨出現 15 m/sec 以上的風速，此

時海、氣溫的差距也比較大。寒潮發生時低溫和強風相伴，增加了海氣象之間能量對流與交換的速度，在寒潮期間 (1/22–1/26) 仍可以觀察到海溫明顯下降的現象，東吉嶼和二崁海域呈現幾乎一致的型態，下降幅度約 $4 - 5^{\circ}\text{C}$ 。而最低海溫出現的時間比最低氣溫延遲 1 天半左右。比較氣溫與海溫，可以發現非寒潮期間即使氣溫比海溫低 5°C 以內，海溫大致維持穩定，惟一旦寒潮來襲，海氣溫差加大，海溫開始下降。霸王寒潮期間二崁海氣溫差可達 9°C ，東吉則達 11°C (圖 4)；而當寒潮勢力消退，氣溫剛開始回升時，因為海氣溫差仍然存在，提供了海溫繼續下探的動能，因此可觀察到最低海溫出現的時間，比氣溫還晚。另外，值得注意的是，寒潮過後東吉與二崁海域回溫的過程，東吉嶼在短時間內就回升到寒潮前的海溫水準，但二崁回溫的速度卻明顯緩慢許多。黑潮在寒潮後回溫的過程似乎也扮演了重要

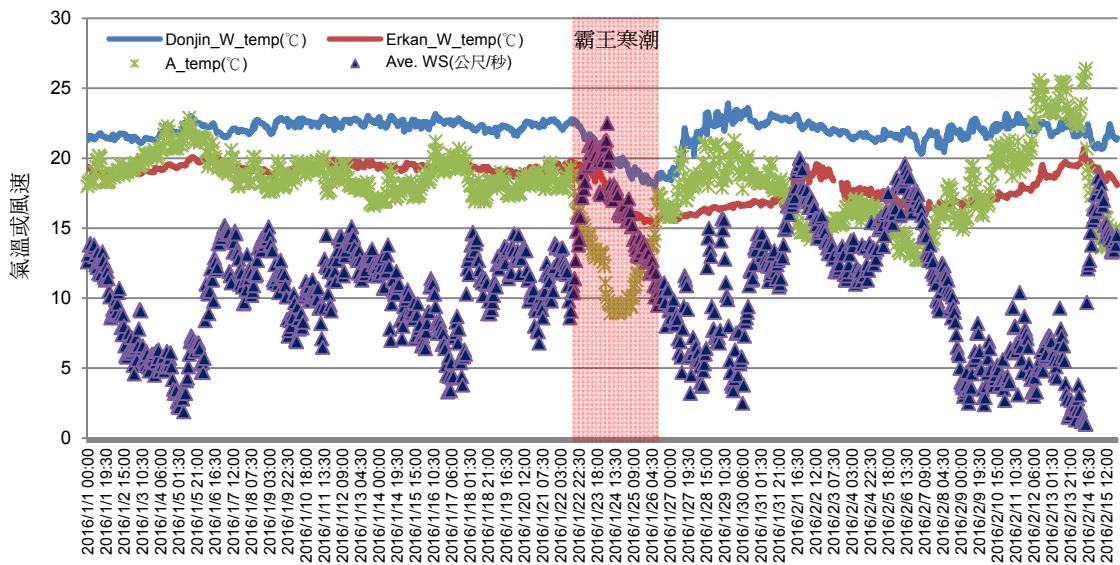


圖 3 非寒潮期與寒潮期間澎湖海域海氣象因子變動情形

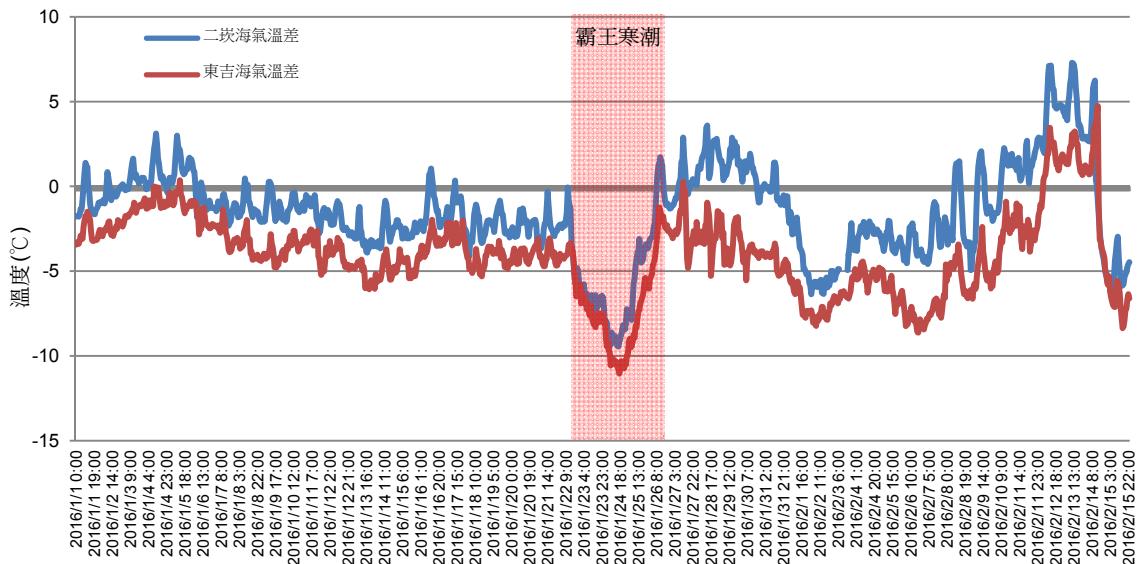


圖 4 東吉海域與二崁海域氣溫與海溫溫差變動情形

的角色，東吉嶼附近海溫在氣溫回升後，水溫下降的動能減緩，可能因黑潮支流的補充而回升較快；而位於內海的二崁，因為地形與距離因素，回溫明顯較為緩慢。

結果與討論

澎湖海域低溫發生機制為何？陳等（2008）曾提出低溫持續的時間與強風是造成

澎湖海域寒害的重要因素，李等 (2009) 則認為主要是因為中國華南地區發生嚴重雪災後，融雪流入海洋中和海水混合形成的低溫、低鹽、高混濁度大陸沿岸水入侵臺灣海峽所致。本文利用霸王級寒潮期間的相關資料，分析澎湖海域不同位置的海溫變化，發現除了低溫和強風持續時間外，海溫與氣溫溫差大小，都是影響海水溫度下降幅度的因素。此外，異常低溫事件發生時，如果起始水溫仍高，低溫持續時間不長，由於海水高比熱的物理特性，海溫下降的幅度不容易達到造成災損的溫度。因此即使有異常低氣溫發生時，最後是否會形成災損，會與起始海水溫度，低溫強風持續時間和海氣溫差等因素有關。而澎湖不同的海域，溫度回升的情況似乎呈現不同的型態。澎湖內海因為距黑潮支流較遠，回溫緩慢，但位於南方的東吉嶼因近黑潮支流湧升處，回溫速度快許多。因此若有接近的連續低溫事件發生，內海就可能在水溫來不及回溫前，接續下降，因而提高發生寒害的風險。

以 2008 年和 2011 年的寒害為例 (如表)，這兩次危害澎湖海域生態的寒潮，均有間隔較近的密集寒潮襲臺。2008 年 2 月發生了兩波寒潮，分別為 2 月 3 日和 2 月 9 日，僅間隔 6 日，且第 2 波持續 7 日。以本中心設置於內海青灣的水下連續溫度記錄器的紀錄來看，2 月 1 日寒潮來襲前海溫還保持在 16°C 以上，在第一波寒潮後 (2 月 8 日) 水溫下降至 15°C 以下，接著受到持續 7 天的低氣溫影響，到了 2 月 15 日早上 8 點，海溫達最低水溫 11.7°C，結果造成大量生物凍死與箱網養殖業者嚴重災損事件。2011

年 1 月則先後有 3 波寒潮襲臺，前面兩波寒潮，讓澎湖內海海溫在中旬時降至 15°C 左右，然後在 2 月 1 日降到最低海溫 13.4°C，也出現海域生物大量凍死事件。經由歷史資料來看，單一次的寒潮不太容易對澎湖內海箱網養殖與海域生態造成嚴重損害，即使如霸王寒潮般的極端氣溫變化，因起始水溫高，影響時間不長，也未對澎湖海域箱網養殖和海洋生態帶來嚴重損害。

海溫變動往往受到洋流、大氣活動、地形、潮汐等複雜因素影響，2016 年初的霸王級寒潮是激烈的大氣活動現象，全臺各地都出現了數十年來罕見的低溫，提供了一次觀察澎湖海域海氣因子互動的理想窗口。本文觀察霸王級寒潮期間澎湖海域海氣象的變動，可看到氣溫變動對海溫的影響過程，並對會致災低海溫可能發生的機制提供更深入的探討。由於海溫的反應比氣溫慢，由過去的歷史紀錄分析，連續寒潮可能造成持續低溫的累積效應，會提高了寒害發生的機會。即時的水溫紀錄，加上寒潮強度與影響時間的預測，在累積足夠的資料後，應該可以進一步的分析低溫發生的風險。相關資料未來可應用於澎湖海域低溫預警模式的建立，以及作為如何降低海域箱網養殖災損的參考，希望能有助於箱網養殖產業在面對極端氣候事件時，具備更佳的調適能力。

