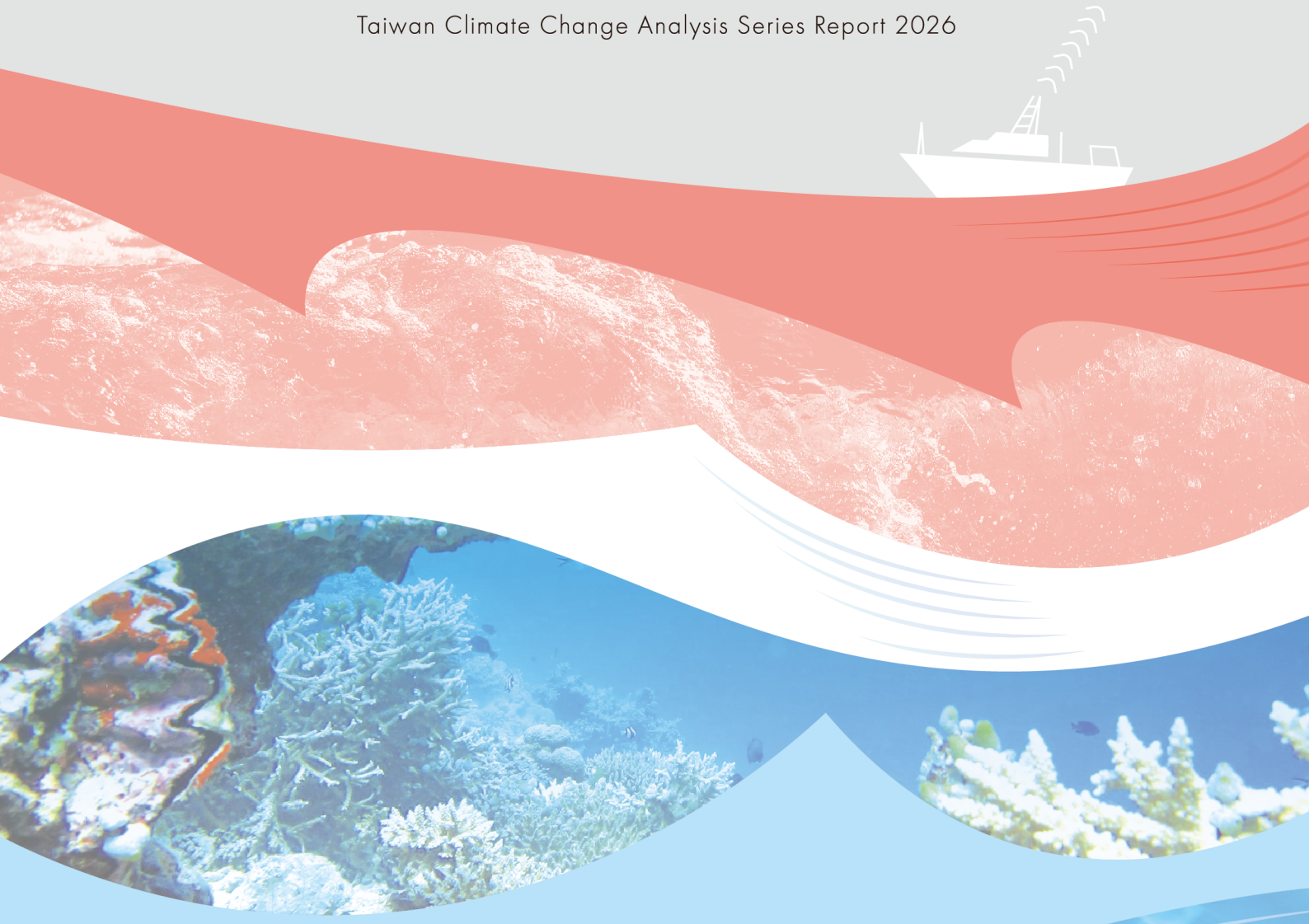
2026 臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣海洋與海岸衝擊

Impacts of Global Warming on Marine and Coastal Environments in Taiwan

Taiwan Climate Change Analysis Series Report 2026



彙編 國家科學及技術委員會
臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台

共同發行 交通部中央氣象署 國立成功大學水利及海洋工程學系 國家海洋研究院
國立臺灣大學海洋研究所 國家災害防救科技中心 農業部水產試驗所



2026 臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣海洋與海岸衝擊

Impacts of Global Warming on Marine and Coastal Environments in Taiwan

Taiwan Climate Change Analysis Series Report 2026

主編 ｜ 曾于恒　　**編輯群** ｜ 陳昭安、周至中、李欣輯、陳永明

作者群 ｜

臺灣早期海洋與海岸文史紀錄

陳家琦　中央氣象署臺灣南區氣象中心
黃文亭　中央氣象署臺灣南區氣象中心
謝章生　中央氣象署臺灣南區氣象中心

從觀測資料看臺灣過去海洋與海岸變遷－海溫與海水位

詹智丞　中央氣象署
黃士哲　中央氣象署
潘琦　中央氣象署
陳孟詩　中央氣象署
羅資婷　中央氣象署
張明輝　國立臺灣大學海洋研究所
黃妍禎　國立臺灣大學海洋研究所

從觀測資料看臺灣過去海洋與海岸變遷－海浪與暴潮

董東璟　國立成功大學水利及海洋工程學系
陳盈智　國立成功大學水利及海洋工程學系

從觀測資料看臺灣過去海洋與海岸變遷－海洋歷史重建資料

廖建明　國家海洋研究院
吳虹儀　國家災害防救科技中心
陳沛宏　國立成功大學水利及海洋工程學系

臺灣周遭海洋未來推估

曾于恒　國立臺灣大學海洋研究所
黃偌栩　國立臺灣大學海洋研究所
郭怡君　國家災害防救科技中心

海岸衝擊

張志新　國家災害防救科技中心
陳偉柏　國家災害防救科技中心
梁庭語　國家災害防救科技中心

海洋漁業衝擊

金建邦　農業部水產試驗所
莊世昌　農業部水產試驗所
張致銜　農業部水產試驗所
張可揚　農業部水產試驗所
陳琬琪　農業部水產試驗所

美術設計 ｜ 陳彥霓

書封設計理念

封面以海平面高度爲發想，分層的浪潮波紋代表著因各種氣候現象所產生的海浪振幅，配色上參考氣候條紋的藍紅相間，並且由下而上象徵逐漸升溫意涵。
封底爲表現出海岸畫面，加入粉鳥林海岸藉此與海洋交界面做出區隔，同時讓平靜和緩的陸地與暗潮洶湧的波浪產生對比。

引用參考

主編與作者群，依作者姓氏筆畫順序：

曾于恒、李欣輯、吳虹儀、金建邦、周至中、張可揚、張志新，張致銜、張明輝、梁庭語、莊世昌、郭怡君、陳永明、陳沛宏、陳孟詩、陳昭安、陳盈智、陳家琦、陳偉柏、陳琬琪、黃士哲、黃文亭、黃妍禎、黃偌栩、董東璟、詹智丞、廖建明、潘琦、謝章生與羅資婷，2026：暖化趨勢下的臺灣海洋與海岸衝擊。國家災害防救科技中心

封底照片取自於國家災害防救科技中心坡地與洪旱組之宜蘭粉鳥林海岸與臺南紅樹林空拍照片

CONTENTS 目錄

摘要 07

前言 08

CHAPTER 01 臺灣早期海洋與海岸文史紀錄 10

1. 臺灣早期海象觀測歷史回顧 11
2. 早期因颱風風暴潮等造成之海難事件紀錄 14
3. 風浪中的科學印記與韌性傳承 15

CHAPTER 02 從觀測資料看臺灣過去海洋與海岸變遷 16

1. 臺灣周遭海域海溫與海水位長期變化趨勢 17
2. 近三十年來臺灣周遭海域的海浪和暴潮變化趨勢 23
3. 利用臺灣海洋歷史重建資料看臺灣周遭海域時空特性 30

CHAPTER 03 臺灣周遭海洋未來推估 38

1. 臺灣周遭海域平均海溫海流變化 40
2. 臺灣西側：臺灣海峽 42
3. 臺灣北側：東海陸棚 42
4. 臺灣東側：黑潮 43
5. 臺灣南側：呂宋海峽與北南海 44

CHAPTER 04 暖化推估之海岸與海洋漁業衝擊 46

1. 全球暖化 2°C情境下臺灣的海岸災害衝擊評估 47
2. 海洋漁業衝擊評估 52

結語 61

參考文獻 62



摘要

臺灣位處西北太平洋海氣交互作用活躍區域，黑潮、季風環流及周遭海洋系統共同塑造其複雜的海洋環境。全球暖化趨勢下，臺灣周遭海域的海洋暖化與海岸風險增加趨勢是氣候變遷研究的重要議題。國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫」(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform，TCCIP) 推動之「臺灣氣候變遷分析系列報告」，本次以「海洋與海岸」為主題，透過文史紀錄、觀測資料，以及未來推估模擬，呈現臺灣海洋與海岸氣候變遷之科學證據，以及現階段利用推估資料在海岸與海洋漁業之衝擊評估。

自 19 世紀末起，從清代海關、燈塔氣象觀測到日治時期海浪、潮汐與海水溫度紀錄，逐步建立起臺灣早期海象監測基礎。相關觀測與文史資料紀載之歷史風暴潮、沿海淹水與重大海岸災損事件，描繪了臺灣位處西北太平洋颱風要衝的氣候位置。利用近代衛星海洋觀測與海洋歷史重建資料顯示，臺灣周遭海域呈現明顯海溫升高與海水位上升趨勢，其中東沙環礁與臺灣東北角為區域暖化熱點；黑潮傳輸量減弱並伴隨主流離岸偏移，東北角冷丘則呈現減弱趨勢。然而，此趨勢在資料分析期間仍有相當大的年際與年代際差異。此外，近 30 年浮標、潮位站及波浪觀測亦顯示，極端波浪與暴潮有增強趨勢。

利用不同暖化情境下之高解析度海洋推估資料，顯示隨著暖化情境加劇，臺灣周遭海域海表溫度與海平面持續上升，而高排放情境下於世紀後期海平面上升速率更有加快趨勢。其中臺灣西南部及東北部海域增溫幅度較周遭海域更為明顯，呈現區域暖化特徵。海洋環流方面，顯示暖化亦將改變臺灣周遭海域之海流結構、海洋熱量與物質傳輸，包括臺灣海峽海水整體向東北輸送增加、東海陸棚及東北角湧升流增強，黑潮呈現夏季增強而冬季稍微減弱的季節性變化，以及經由呂宋海峽流入南海之黑潮套流結構更加明顯。

當全球暖化程度達 2°C時，臺灣本島與離島海岸之颱風暴潮偏差與波高皆有增加趨勢，尤其在西南部、中部及東部海岸更為明顯。此外，海洋暖化亦將改變海洋生態環境與漁業資源，以臺灣東北部萬里蟹漁業為例，暖化可能影響物種適生環境、漁期及漁場分布，顯示氣候變遷對海洋生態系與漁業資源具有潛在衝擊。

前言

近年世界氣象組織 (WMO) 發布之全球氣候狀態報告《State of the Global Climate》(WMO, 2020, 2022, 2023, 2024) 指出，全球暖化訊號已明顯反映於全球海洋系統中，包含海洋熱含量增加、海表溫度增加、全球平均海平面持續升高以及海洋酸化等現象。

根據《全球氣候狀態報告 2024》以及《全球氣候狀態報告 2025》，以及歐盟哥白尼海洋監測服務 (Copernicus Marine Service) 於 2025 年發布之哥白尼第九版海洋狀態報告《Copernicus Ocean State Report 9》指出，2005 至 2025 年間海洋暖化速率已超過 1960-2005 年間的兩倍；另一方面，全球海平面上升速率也由 1990 年代初期每年約 2.1-2.65 毫米，加速至近十年每年約 4.7 毫米，主要來自於海水熱膨脹與冰川、冰蓋加速融化的貢獻，此外北極與南極海冰範圍亦長期呈現縮減趨勢；全球海洋表層 pH 值自 1980 年代以來亦持續下降，顯示海洋酸化問題仍持續惡化。各方面觀測數據皆共同證實了近年全球海洋系統持續出現明顯且加速的暖化訊號。2025 年全球氣候狀態報告數據更指出，人為活動排放溫室氣體所造成的地球能量失衡，其累積的超額能量中約有 91% 被海洋吸收。

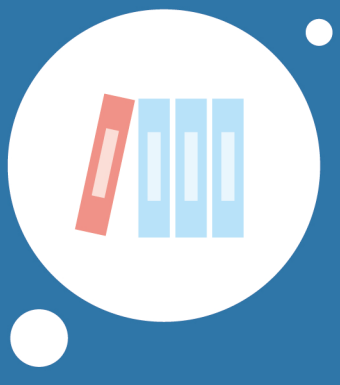
除了這些全球尺度的海洋關鍵指標，近兩年暖化趨勢持續增強，連續多日高海溫的海洋熱浪事件，更加凸顯區域海洋顯著升溫對區域極端高溫天氣 (Sato et al. 2024) 以及對海洋生態所帶來的潛在衝擊。根據《全球氣候狀態報告 2024》與《全球氣候狀態報告 2025》指出，海洋暖化所累積的熱能，會進一步增強熱帶氣旋、極端降雨、海岸暴潮與長延時風浪等極端事件風險，海平面持續上升也提高沿海低窪地區之淹水、侵蝕與鹽化衝擊。哥白尼第九版海洋狀態報告從海洋系統角度強調，海洋暖化與海洋熱浪已逐漸改變海洋生態環境與海洋動力結構，包括海洋層化增強、珊瑚白化、生物地理分布北移，以及漁業資源與海洋生態系受到衝擊等問題。此外，近年全球海洋觀測與高解析度海洋模式發展，也逐漸由傳統海表監測，進一步延伸至海洋三維結構、海流系統與海洋生態環境之整合分析，顯示海洋與海岸議題已成為全球氣候變遷研究與調適評估中日益重要的核心課題。

臺灣位處西北太平洋海氣交互作用最活躍的區域之一，周遭海域受黑潮主流、東海陸棚、南海水團與季風環流等多重海洋動力與氣候系統交互影響，形成複雜且具有高度區域特性的海洋環境。根據《國家氣候變遷科學報告 2024》整合聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第六次評估報告 (以下簡稱 IPCC AR6) 與臺灣周遭海洋研究結果，臺灣周遭海域已與全球趨勢一致，呈現明顯的海洋暖化與海岸風險提升。此外，未來影響臺灣的颱風個數雖可能減少，但強颱頻率、最大風速與降雨強度預期將增加。海平面上升亦將使海岸溢淹範圍向內陸擴張，並提高風暴潮與波浪衝擊風險。這些變化顯示，海洋與海岸議題已成為臺灣氣候變遷研究與調適規劃中不可忽視的重要面向。

本報告為國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫」(Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform，以下簡稱 TCCIP) 推動之以臺灣關鍵氣候議題為主題的「臺灣氣候變遷分析系列報告」。本次主題為第四冊「海洋與海岸」，收錄計畫團隊與國內學研單位於海洋、海岸與漁業領域相關之研究成果，內容包含早期海象與颱風風暴潮紀錄回顧、近代臺灣海洋與海岸環境特徵變化趨勢，並且透過高解析度海洋數值模式進行歷史事件模擬與未來推估，呈現臺灣周遭海洋三維結構之過去、現在與未來變化，同時評估暖化趨勢下海岸與漁業應用之衝擊。

本報告第一章至第三章內容，以中央氣象署南區氣象中心彙整之臺灣早期海洋與海岸文史紀錄為出發點，回顧自清代海關、燈塔與日治時期海象觀測以來之海洋監測發展歷程，並整理歷史上颱風風暴潮、沿海淹水與重大海難事件紀錄。接著透過整合衛星海表溫度、海表高度、氣象署潮位站與海氣象浮標，以及 TCCIP 計畫產製之臺灣海洋歷史重建資料 (Taiwan Ocean Reconstruction Downscaling data, TOReD)，分析近數十年臺灣周遭海域海溫、海水位、海浪、暴潮與海洋動力環境之長期變化特徵。未來推估方面，則利用 TCCIP 計畫產製之高解析度 TaiESM1-ROMS 海洋模式資料，推估探討未來不同暖化情境下臺灣周遭海域海溫、海平面、黑潮與區域海洋動力結構之可能變化。

本報告第四章則進一步探討暖化情境下海岸災害與海洋漁業可能面臨之衝擊，收錄海岸暴潮與風浪衝擊圖資，以及萬里蟹漁業資源與探討海洋環境變化之研究成果，提供未來海岸災害、海洋漁業資源評估與氣候變遷調適策略研擬之科學參考資訊。



CHAPTER

01

臺灣早期海洋與海岸文史紀錄

CHAPTER 01 臺灣早期海洋與海岸文史紀錄

1. 臺灣早期海象觀測歷史回顧

19 世紀下半葉，隨著新運輸能源（煤礦）帶動蒸汽輪船的出現，全球航海貿易盛行，船舶海上遇難事件亦隨之增加，各國為了航行安全，除強化船舶配備外，也逐漸重視助航、導航技術以及氣象觀測研究與預報的發展。

1883 年香港觀象臺（氣象臺）設立後，首任臺長杜伯克 (Dr. Doberck) 計畫拓展氣象觀測事業，在英籍海關總稅務司赫德 (Sir Robert Hart) 協助下，雙方合作由該臺提供觀測設備儀器與技術，開始在中國沿海各海關及燈塔陸續展開氣象觀測，觀測報告資料依雙方協議逐月發送給香港觀象臺彙整。臺灣四面環海，位處西太平洋航道要衝，且颱風侵襲頻繁，1885 年大清政府應國際要求，海關宣布在臺灣的基隆、淡水、安平、打狗（高雄）各稅關及漁翁島（西嶼）、南岬（鵝鑾鼻）等燈塔，開始實施氣象觀測，其儀器由香港觀象臺提供，定期向香港傳送觀測報告，開啟臺灣氣象觀測新頁，也同時加入東亞跨國的氣象觀測網絡，互助合作、彼此分享氣象資料，以提供海上船舶航行安全與氣象資訊。

1895 年，臺灣割讓日本後，由於政局動盪，兵荒馬亂之際氣象觀測一度中斷，同年 9 月，英國透過日本駐英大使照會日本外務大臣，希望日本能比照大清時代，定期將臺灣氣象觀測資料，以觀測月報及電報發送至香港觀象臺，提供船舶航行參考，自同年 11 月 27 日起，淡水海關向香港觀象臺每日發送 2 次氣象電報、漁翁島燈塔則每月發送 1 次月報。1896 年 3 月，台灣總督府正式頒布「臺灣總督府測候所官制」及「臺灣總督府燈臺所官制」，並於 1898 年 7 月提出「臺灣總督府燈臺所氣象觀測規程」草案，規定總督府所屬各燈臺所必須在所內配置晴雨計（氣壓計）、寒暖計（溫度計）、最高最低寒暖計（最高最低溫度計）、雨量計等[1]，除燈臺看守業務外，同時規定每日進行六次的氣象觀測，然而，因觀測任務多由非氣象專業的燈塔看守人員兼任，總督府於 1899 年特頒布「臺灣總督府燈臺所氣象觀測示教書規定」，發送至鼻頭角、富基角（富貴角）、淡水、漁翁島、安平、打狗、鵝鑾鼻等各燈臺所，教導正確氣象觀測、紀錄與報告方式，也針對晴雨計（氣壓計）、寒暖計（溫度計）、雨量計等如何觀測、紀錄與更正以及有關風向、暴風、雲、雨、氣壓、溫度、風速、雲量、雲形、天氣、海浪、海水溫度、鳥類遷移等等觀測提供詳細的觀測紀錄指引與範例。根據該文獻，臺灣最早的海象觀測始於 1899 年，主要觀測項目為海浪與海水溫度，摘錄「臺灣總督府燈臺所氣象觀測示教書規定」(圖 1) 翻譯如下：

[1] 晴雨計：日治時期用語，即今氣壓計，測量大氣壓力的儀器；寒暖計：日治時期用語，即今溫度計，測量氣溫的儀器；最高最低寒暖計：日治時期用語，即今測量一段時間內最高溫、最低溫度的儀器。

第七章：海象

第二十三條：海浪強弱之分類

海浪的強弱分為 0 到 6 共七種等級，分別定義如下：

0： 海面平靜如鏡。

1： 出現微浪。

2： 出現小浪。

3： 出現白浪 (浪花)。

4： 出現大浪。

5： 出現激浪。

6： 怒濤如山 (指波濤洶湧)。

關於觀測紀錄之規定：

若在風勢不強，周遭靜穩卻出現大浪時，應注意晴雨計 (氣壓計) 與寒暖計 (溫度計) 之變化，並將天氣狀況及大浪方向登記於雜記欄內。若於此時前後發生地震，也需一併記錄。

第二十四條：海水溫度之觀測

汲取海水置入一般溫度計，放置約 15 分鐘後量測其溫度並記錄於表中。惟本條規定於各燈塔 (燈臺所) 通常不予施行，僅限於經特別命令之場所執行，然看守人員仍可自行進行觀測與紀錄。

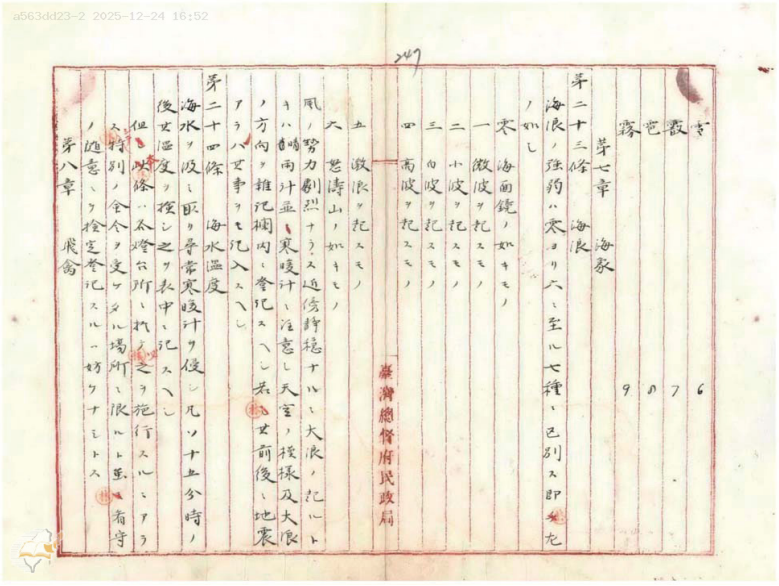


圖 1

「臺灣總督府燈臺所氣象觀測示教書規定」(1899-05-25)，〈明治三十二年臺灣總督府公文類纂永久保存追加第十八卷殖產租稅會計交通稅關輸出入〉。(來源 :《臺灣總督府檔案・總督府公文類纂》，國史館臺灣文獻館，典藏號：00000438012)。

1896 至 1939 年間，臺灣總督府除整修高雄、安平燈塔外，亦陸續興建鼻頭角、富貴角、白沙岬、基隆、北島 (目斗嶼)、彭佳嶼、花蓮港、東吉嶼、查母嶼、溫港堆、仙洞、蘇澳、琉球嶼、奇萊鼻、三貂角、花嶼、綠島、七美等 18 座燈塔，再加上清代的漁翁島、鵝鑾鼻與淡水，合計 23 座燈塔，肩負臺灣航路導引、氣象及海象觀測與守護航海安全的使命。

中央氣象署目前保留最早的海象觀測資料為基隆檢潮 (潮位) 站 1946 年 3 月 27 日上午 9 時開始每小時潮汐觀測 (圖 2)，並記錄 1 天 2 次的滿潮與乾潮的高度及發生時間；透過基隆檢潮簿[2]得知，自該年 4 月起，進行每月 3 旬統計，包含平均潮高、極高與極低潮位值、海水表面溫度及比重、波浪及風向風速等 (圖 3)，為戰後初期的海洋觀測留下珍貴紀錄。

[2] 檢潮：日治時期用語，指觀測與記錄潮汐水位變化所進行的持續性觀測工作。

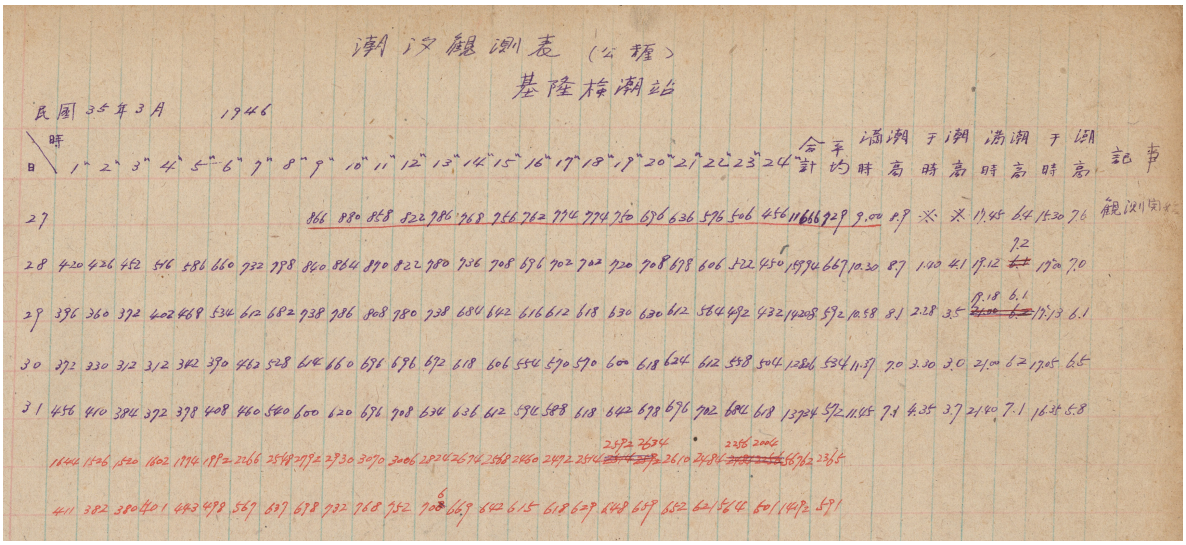


圖 2 民國 35 年 (1946 年) 3 月基隆檢潮站潮汐觀測表，其中 27 日之記事欄書寫「觀測開始」。(來源 : 中央氣象署)

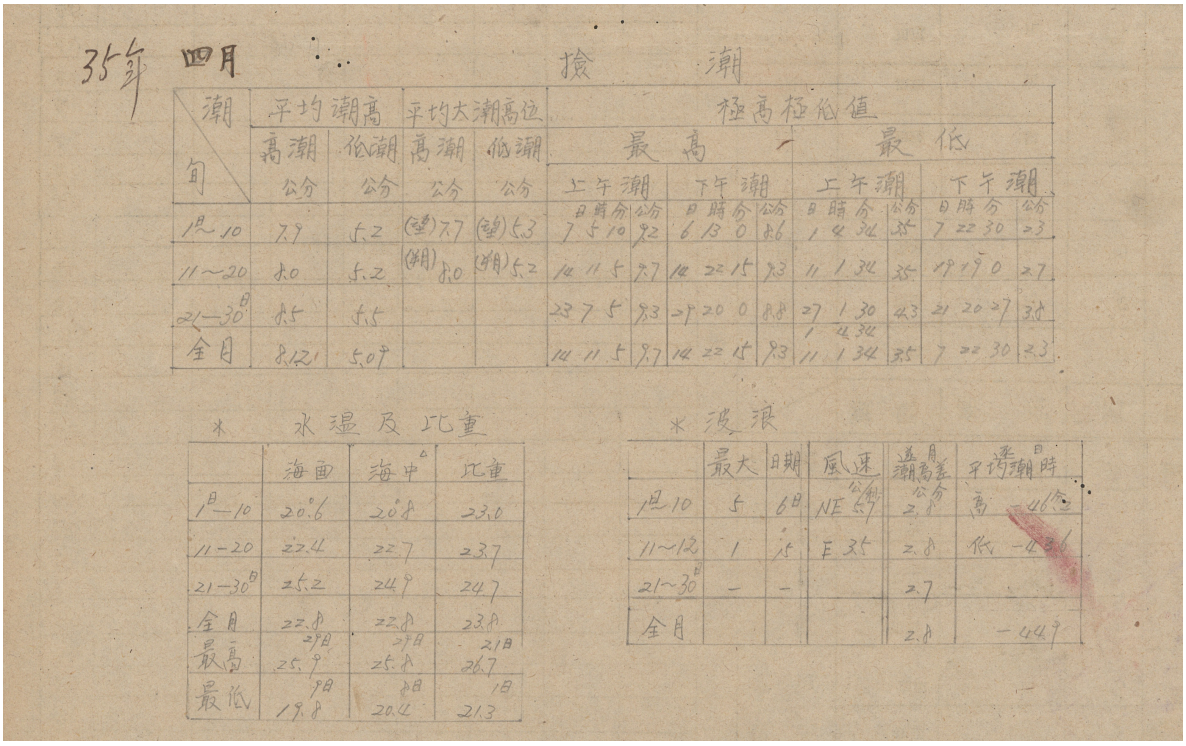


圖 3 民國 35 年 (1946 年) 4 月基隆檢潮簿紀錄。(來源 : 中央氣象署)

2. 早期因颱風風暴潮等造成之海難事件紀錄

臺灣地理位置特殊，位於全球最大海洋 - 太平洋與最大陸地 - 歐亞大陸的交界地帶，此區域颱風生成個數亦居世界之冠。因此自古以來臺灣即為颱風路徑的要衝，經常受到颱風侵襲並引發各類災害。1898 年 8 月 4 日至 8 日 (農曆戊戌年 6 月 17 日至 21 日)，一場颱風自臺灣東方海面向西北移動，其中心掠過基隆外海後，持續朝福建方向前進。此「西北颱」雖未直接登陸臺灣，但其強勁的西北風與西風幾乎垂直於海岸線，挾帶強風豪雨，導致迎風面海水顯著堆升。加上當時適逢大潮期間，潮位高漲，使海水排洩不及並發生倒灌現象，造成北部淡水河及中部濁水溪流域嚴重淹水，此次災害導致全島近 8,000 戶房屋毀損，約 500 人罹難，災情極為慘重。

官方災情報告中記載「臺島五十年來未曾有」，意指自日本治理臺灣以來最嚴重的風災，同時也是自歷年紀錄截至 1898 年止 50 年間首見的重大災害。當時報紙亦詳細描述災情：山區豪雨引發大量樹木倒塌，隨河水沖入基隆河與淡水河，兩河匯流後，大量泥砂與漂流木堆積，造成河道宣洩不及，洪水漫溢至大稻埕、艋舺及臺北城內，造成多處地區嚴重淹水。大稻埕德記洋行、荷蘭領事館、西洋人會館及淡水河畔的料理餐館等皆受水患破壞。甚至有一艘約 400 噸的大型船隻，被暴漲倒灌的河水沖上岸邊街道擱淺 (圖 4)，另有多艘小型船隻翻覆於河岸 (圖 5)，災況可見一斑。



圖 4
臺北最早洋樓街大稻埕建昌街 (今貴德街北段) 一艘容積達 400 噸的船隻，遭河水暴漲倒灌，被沖上路面擱淺。
(來源：《臺灣風水被害寫眞》，日本宮內廳書陵部)



圖 5
颱風導致水位上升，而傾倒在淡水河畔的一艘船。
(來源：《臺灣風水被害寫眞》，日本宮內廳書陵部)

3. 風浪中的科學印記與韌性傳承

臺灣自古為颱風路徑要衝，海上遇難事件頻傳，從 1885 年海關與燈塔開啟跨國觀測、1899 年開啟海浪強弱分級，以及 1946 年基隆檢潮站開始逐時觀測潮汐變化，皆為臺灣初期的海洋觀測留下珍貴資料。回顧 1898 年西北颱重創全島，尤以風暴潮造成北部淡水河及中部濁水溪流域嚴重淹水，大稻埕街道上擱淺的四百噸船隻，見證大自然的威力。

而今面對環境變遷的嚴峻挑戰，颱風、風暴潮及海平面上升的威脅日益嚴峻。透過百年的氣象觀測基石，銜接現今與時俱進的海洋監測與預報技術，持續守護這座島嶼的海洋安全。



CHAPTER

02

從觀測資料看臺灣過去海洋與海岸變遷

CHAPTER 02

從觀測資料看臺灣過去海洋與海岸變遷

隨著近代衛星觀測與浮標潮位站等長期觀測紀錄日趨完整，結合高解析度數值模擬之海洋氣候重建資料，使海洋環境資訊得以從過去單點觀測，延伸至大範圍甚至三維空間之連續時空變化特徵，有助於探索氣候變遷下海洋與海岸長期變化。本章收錄中央氣象署長期觀測與 TOReD 海洋歷史重建模擬資料，呈現近數十年來臺灣周遭海域海溫、海水位高、波浪、暴潮與海流等海洋環境變化，並探討全球暖化訊號是否已反映於臺灣周遭海域之長期海洋環境與海洋動力特徵。

1. 臺灣周遭海域海溫與海水位長期變化趨勢

海洋透過吸收並儲存大量熱能，在調節全球暖化過程中扮演重要角色。根據 IPCC 第六次評估報告指出，自 1970 年代以來，全球海洋吸收了超過 90% 人為增加的熱量，長期累積下來，不只讓海表溫 (Sea Surface Temperature, SST) 持續攀升，更導致海水熱膨脹、陸地冰川與冰蓋融化，使得全球海平面高度 (Sea Surface Height, SSH) 升高 (Masson-Delmotte et al., 2021)。WMO 在《全球氣候狀態報告 2025》中提及，全球平均近地表溫度、海洋熱含量及全球平均海平面高度近年來持續創下觀測新高，顯示出暖化訊號已經明確地反映在海洋系統裡，故海表溫度與海平面高度成為監測氣候變遷的重要指標 (WMO, 2026)。

依據歐洲海洋監測與預報中心提供之全球海洋監測與再分析資料 CMEMS(Copernicus Marine Environment Monitoring Service) 顯示，自 1992 年以來，全球平均海表溫上升速率約每十年 0.15 ℃，而全球平均海水位高上升速率約每十年 3.7 公分，但全球海表溫與水位高上升趨勢並不一致，有相當大的區域差異，主要因為海洋動力與混合會重新分配熱量，不同區域的海流、垂直混合強度 (機制、地點、時間)、與大氣 – 海洋熱通量不同，有些地方將熱量保留在表層而快速升溫，有些地方則因上升流或強混合把熱量往下或往周圍輸送，使海表溫上升較慢甚至不明顯。臺灣周遭海域位於西北太平洋海氣交互作用相當活躍的區域，受黑潮系統、季風環流及區域海洋動力影響顯著，海象的長期變遷雖反映全球暖化訊號，亦呈現顯著的區域海洋特性。

1.1 資料與其季節性訊號驗證

為解析全球暖化背景下臺灣周遭海域的海洋環境變化，本節使用美國國家海洋暨大氣總署 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 提供之海表溫資料集 OISST (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature)、CMEMS 之海水位高資料，以及中央氣象署之潮位站與海氣象浮標實測資料，進行區域海象長期變遷之探討。

在分析長期海象變化趨勢之前，本節先檢視最近 30 年 (1994-2023) 海表溫 (圖 6 左) 與海水位高 (圖 6 右) 的季節變化幅度，藉以大致驗證資料可靠性並瞭解臺灣海域附近的物理環境。海表溫季節性變化幅度較大的地方出現在東海陸棚往南延伸到臺灣海峽南端的海域 (圖 6 左)，幅度多在 10-15 ℃之間，大致是 100 公尺 水深等深線以內的淺水海域，該區海表溫冬季受東北季風及中國沿岸流影響，海表溫下降幅度明顯，夏季則受強烈太陽輻射與西南氣流影響，海表溫迅速升高，導致季節變化溫差顯著放大。相較下，黑潮流經之海域 (圖 6 左粗黑線)，季節性變化幅度明顯較小，黑潮將源自赤道的暖水源源不絕地往臺灣東岸外海輸送，維持當地海表溫的穩定性，故全年溫差較小，在臺灣東部至西南部海域，同樣可觀察到季節性振幅偏小的分布型態，尤其於巴士海峽及南海北部交會區域，黑潮支流輸送之暖水對區域海表溫也具有顯著調節作用，使夏季升溫與冬季降溫之差異相對不明顯，呈現典型低季節性變化的特徵。

海水位高的季節性變化 (圖 6 右) 跟海表溫最大共通點是，黑潮流域 (粗黑線) 上水位季節性變化小，應與水溫季節性相關，也就是海水體積膨脹或收縮引起的表水位變化 (稱為熱容高度，Steric Height，參閱文字框 1)，其他在南海及東海的棚裂區 (shelf break)，幅度也較低。位於黑潮東側的開放海域，相較之下則呈現明顯較大的海水位高季節性振幅，主因是該區域為西北太平洋中尺度渦漩 (mesoscale eddy) 活動熱點 (Cheng et al., 2017; Chang et al., 2018)，水平尺度約 200-500 公里的冷丘與暖渦分別會引起海水面下降與上升約 0.3-0.8 公尺變化 (Qiu & Chen, 2005；Chelton et al., 2011)，而暖渦與冷丘分別在夏季與冬季有較高出現機率，這是導致黑潮以東的廣大海域海水位高季節性變化顯著的原因。季節變化幅度除了驗證資料的可靠性外，也大致顯示了臺灣周遭海域的區域特性，對於長期變化趨勢之解讀有所助益。

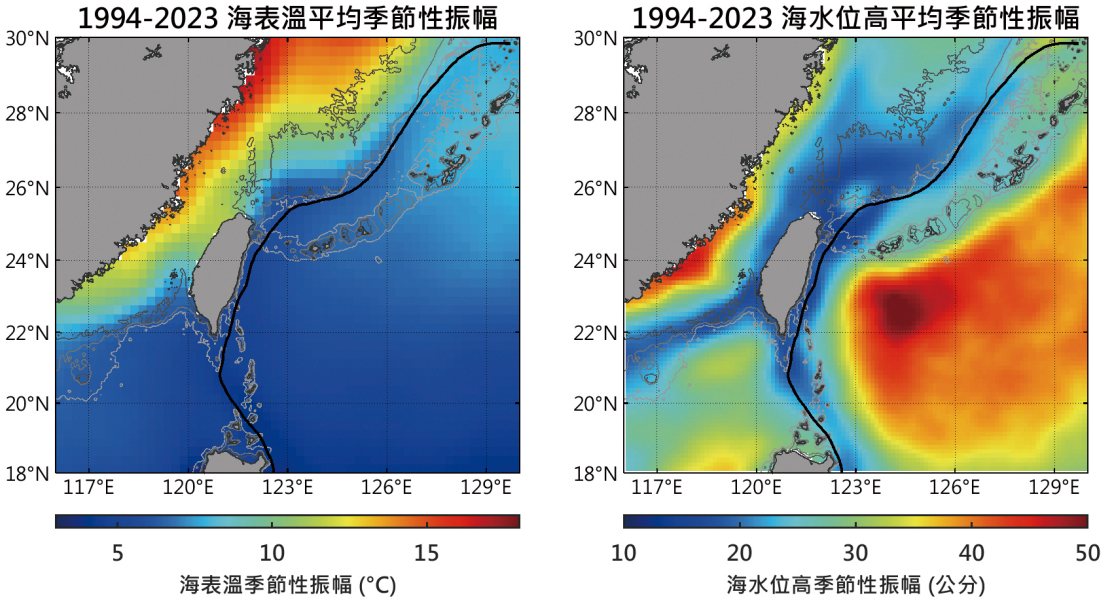


圖 6 海表溫 (左) 與海水位高 (右) 於 1994-2023 年間平均季節性變化幅度。黑色實線爲以 1994-2023 年 CMEMS 平均流速[3]最高值所推斷之黑潮主軸位置。灰色線顏色由深至淺分別爲 100 公尺、300 公尺與 1000 公尺之地形等深線。

[3] 使用長期平均流速場資料，將流速資料沿著不同緯度取出，找出該緯度的最大流速作爲黑潮主軸代表位置，同理分別找出不同緯度黑潮軸代表位置，並將這些點位進行連線，得到此黑潮平均主軸線。

文字框 1 海水熱容高度 (Steric Height)

海水熱容高度指的是當海水因溫度或鹽度改變，導致密度與體積變化，而產生的海面高度變化。當海水變暖或鹽度降低時，密度下降、水體膨脹，海面就會上升；反之則下降。這種變化不是因為海水變多，而是「同樣水量變得更蓬鬆」。例如全球暖化使上層海洋升溫，即使沒有冰融化，海平面仍會因熱膨脹而上升；又如黑潮暖流區，因水溫較高，海面通常略高於周圍海域。這項概念是理解海水位高變化的重要關鍵。

1.2 10 年與 30 年長期變化趨勢

臺灣海域無法獨立於全球暖化趨勢之外 (圖 7a-d)，近 30 年的海表溫長期趨勢顯示，除少數中國沿海外，整個海域區間呈現穩定且一致的升溫趨勢 (圖 7a)，區域平均升溫速率約為每十年升溫 0.2℃，與前述 CMEMS 公布之全球平均海表溫上升速率約每十年 0.15℃相當一致，顯示臺灣周遭海域的長期升溫幅度大致反映全球海洋暖化的整體背景，特別需要注意的是東沙島附近海域、臺灣東北角海域、與九州南方的黑潮流域區域 (圖 7a 標示 1,2,3 區域)，其升溫幅度達每十年 0.3℃。海水位高方面亦呈現類似特徵 (圖 7b)，臺灣周遭海域之平均上升速率約為每十年上升 3.1 公分，與前述 CMEMS 所估算的全球平均海水位高上升速率約每十年上升 3.7 公分接近。除了琉球島弧南邊外，水溫暖化特別高的區域與水位上升特別高的區域，兩者幾乎重疊 (圖 7b 標示 1,2,3 區域)，顯示在長時間尺度下，區域海水位高變化主要受海水熱容高度機制所主導。其中，標示為 1 的東沙環礁附近海域孕育著珍貴的珊瑚生態系統，而標示為 2 的東北角海域則是臺灣重要漁場，東沙環礁區域在近十年的趨勢更可延伸至整個北南海海盆 (圖 7c 與 7d)，這兩個區域未來是否有擴張趨勢變化，應持續監控關注。

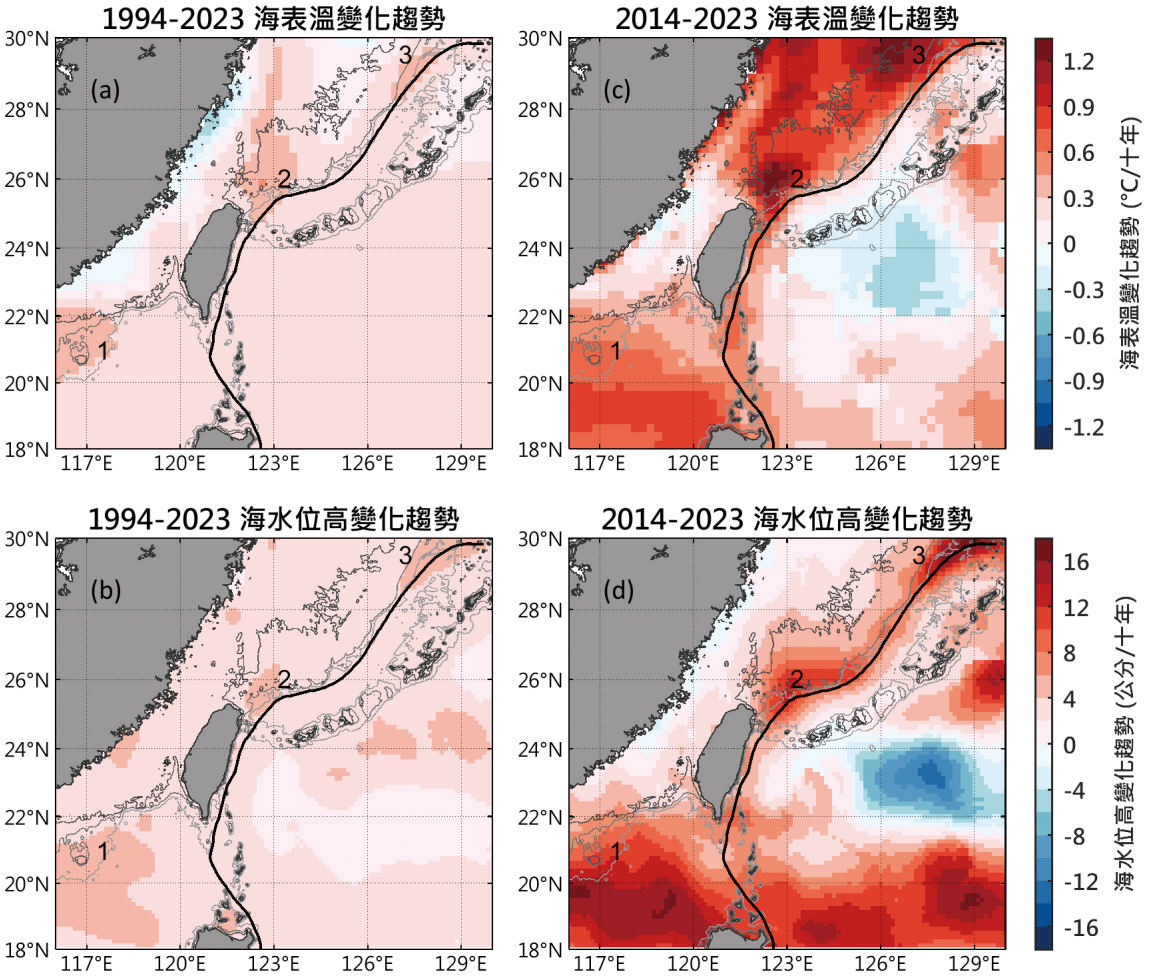


圖 7 1994-2023 與 2014-2023 年間之 (a、c) 海表溫與 (b、d) 海水位高長期變化趨勢。黑色實線爲 1994-2023 年 CMEMS 平均流速最高值之黑潮主流流軸參考位置。灰色線顏色由深至淺分別爲 100 公尺、300 公尺與 1000 公尺之地形等深線。1、2、3 標示水溫、水位顯著高於全球平均值區域。

值得一提的是近 30 年內的暖化趨勢並非全然線性，1998-2013 年間受到全球暖化停滯 (global warming hiatus) 影響臺灣海域平均增溫其實並不顯著 (Medhaug et al., 2017)，2013 年後暖化回檔持續加速，如果再觀察近 10 年 (2014-2023) 的暖化趨勢 (圖 7c)，可發現臺灣周遭區域平均暖化速率升高到每十年 0.5°C，東沙環礁附近升高到每十年 0.6°C，東北角更高達每十年上升 1°C，水位高跟水溫增溫分布具有一致性 (圖 7d)，東沙環礁與東北角海域附近水位高上升達每十年 8 公分。此外，近 10 年趨勢與 30 年趨勢的差異除了幅度顯著增加外，更顯示出以琉球島弧為界線的對比區域，而琉球島弧以西北面源自黃海進入東海的暖化訊號顯著 (圖 7c)，對應的水位是有偏高但主要在黑潮附近 (圖 7d)，而琉球島弧以東南面，海水溫呈現截然不同的降溫，約是每十年下降 0.2°C，這也反映在海水位高，水面下降每十年 4 公分。

以上分析顯示，臺灣海域基本上與全球變化趨勢接軌，但仍具有濃厚的「地方特色」，包括 (1) 東沙環礁與東北角陸棚區域是高於全球平均的暖化熱點，(2) 以琉球島弧為中心界線，西北與東南呈現反相變化。

1.3 氣象署所屬實測資料

為了解衛星與現場實測間的差異，本節採用中央氣象署所屬環臺近岸浮標站與潮位站的長期實測資料進行分析。在大範圍空間上，依據臺灣周邊海洋地形與主要海洋動力特性，選取富貴角、雲彰隆起、貓鼻頭、三仙台及沖繩海槽等位置作為區域分界，將其劃分為五個代表性海域，分為西北海域、西南海域、東南海域、東部海域、東北海域。接著，將各海域內的觀測參數予以平均後計算 2014-2023 年的變動趨勢，並與近岸 12 海浬範圍內之衛星資料區域平均值比較。結果顯示，兩者在海表溫趨勢上具有正相關，但定量上並不一致 (圖 8 左)，故衛星海表溫所顯示之空間長期變化趨勢定性上應無問題。但在海水位高部分 (圖 8 右)，現場實測與遙測相關性明顯偏低，推測是衛星測高之量測地面軌道距離實測站點較遠以及陸地邊界影響所致。

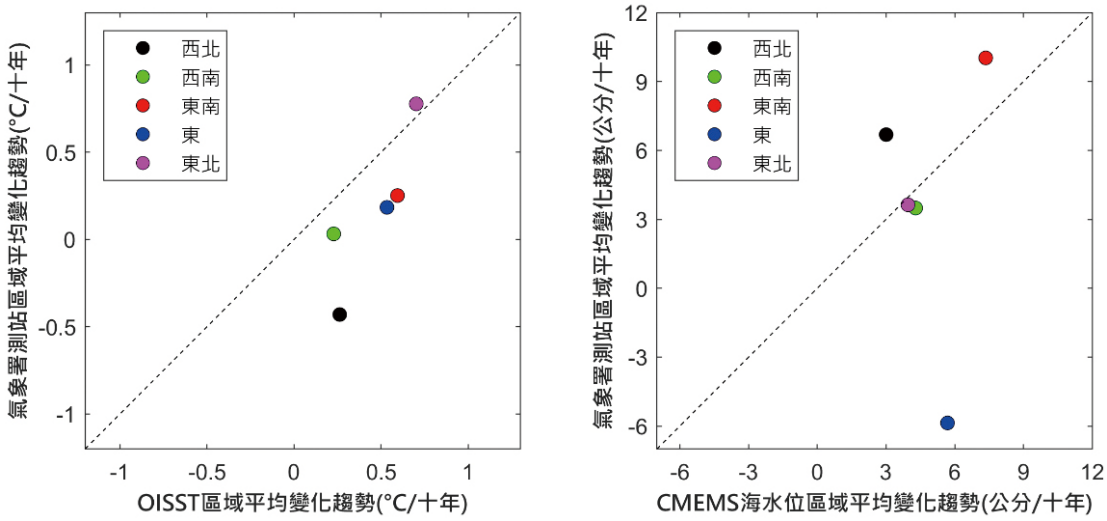


圖 8 (左)OISST 海表溫、(右)CMEMS 海水位高與氣象署實測資料 2014-2023 年變化趨勢之區域平均散點分布圖。

在單點時間序列的變化上，各站海表溫與海水位之時間序列及季節性變化大致呈現增加趨勢，例如前述五個代表性海域內實測海表溫與海水位高資料變化趨勢圖 (圖 9)。此外，所有站點也有呈現前述西高東低的季節變化幅度，例如新竹浮標站的月氣候平均圖 (圖 10)。詳細之臺灣沿海海象測站長期變化資訊，則可進一步參考中央氣象署之海象統計圖集 (交通部中央氣象署 , 2026)。

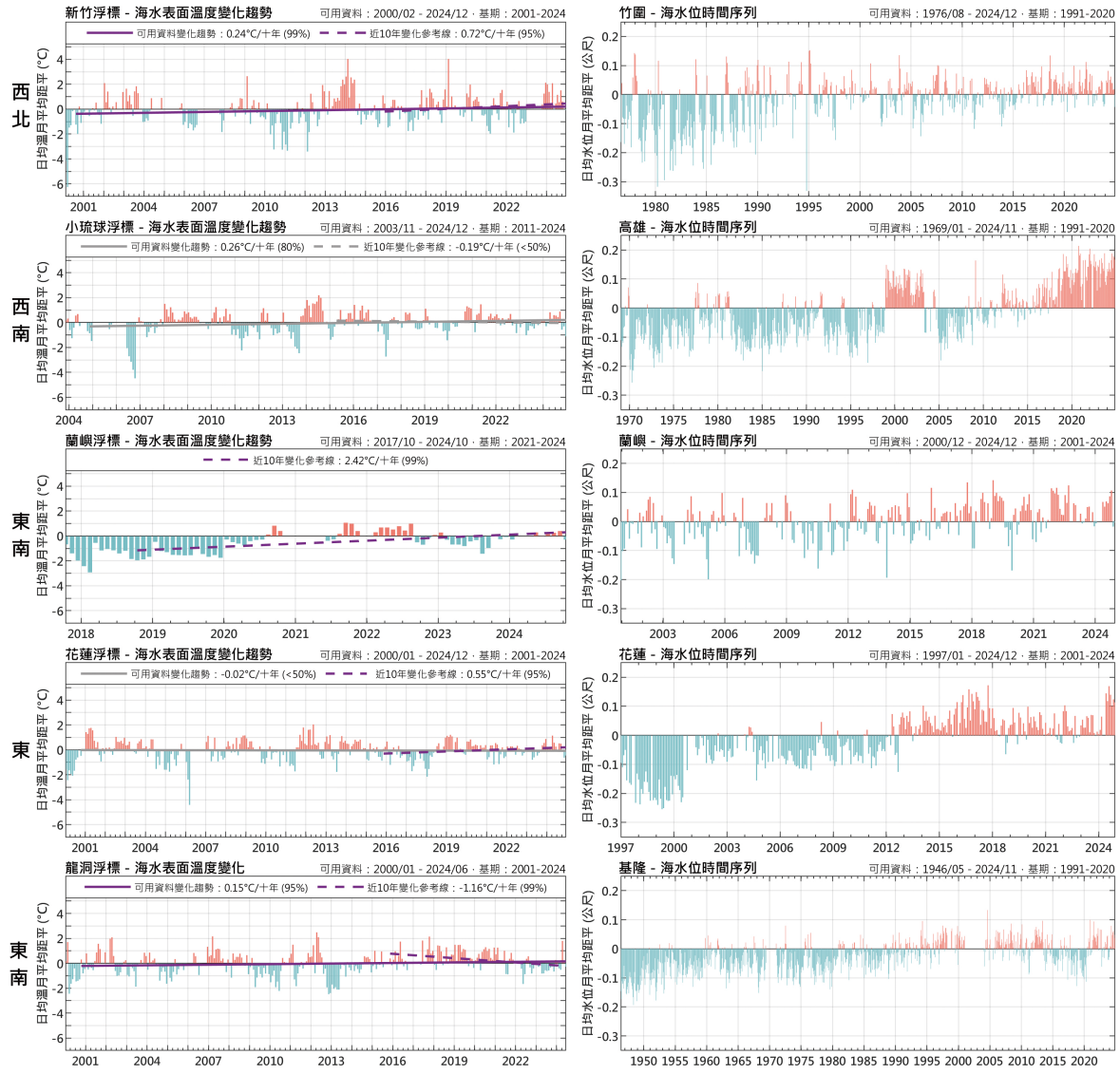


圖 9 中央氣象署實測海表溫與海水位高資料變化趨勢圖。

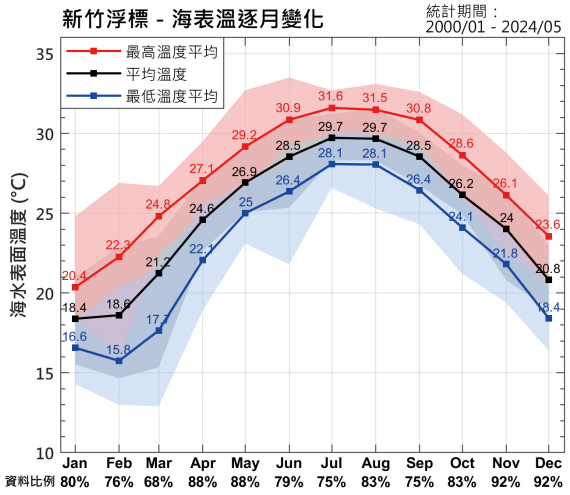


圖 10 中央氣象署海象氣候統計圖集之新竹浮標海表溫逐月變化圖。

綜合以上結果，臺灣周遭海域的海象變化情形，已清楚呈現全球暖化在區域海洋中的長期影響，同時也顯示此海域並非僅被動地反映全球尺度的背景變化，而是受到黑潮系統、季風環流與中尺度海洋動力過程共同調節的結果，形成具有地方特色的變化型態。這樣的區域差異代表即使在相同的全球暖化背景下，海洋對氣候訊號的回應，仍會因海流結構與動力環境不同而有所不同。對於位處西北太平洋海氣交互作用活躍的臺灣周遭海域而言，長期穩定的黑潮暖流不僅影響了海洋熱含量的分布，也在一定程度上調節了這附近的海象變化，使此區域海洋環境呈現出不同於開放大洋的特徵。

2. 近三十年來臺灣周遭海域的海浪和暴潮變化趨勢

臺灣位處西北太平洋颱風活動頻繁之關鍵區域，其周遭海域長期受到季節性季風、颱風及大尺度氣候系統變動的共同影響，海浪與暴潮呈現高度的時空變異性，不僅主導沿岸海域的自然環境型態，更直接關係到海岸防災安全、港灣與離岸工程設計，以及海域遊憩與產業活動的風險管理。過去數十年來，臺灣已逐步建立完整的海氣象資料浮標站與沿岸潮位站觀測網絡，累積了珍貴且連續的長期實測資料，為解析海象環境演變提供了堅實的科學基礎。

近年來，隨著全球氣候變遷加劇，大氣與海洋之能量交換過程日益活躍，極端天氣事件的發生頻率與強度皆有提升趨勢，過往被視為罕見或極端的大浪與高暴潮現象，逐漸突破歷史統計範圍，對既有防護設計標準與災害應變機制構成新的挑戰。由過往研究顯示 (Doong et al., 2015)， 颱風波高和大波持續時間是颱風影響程度的關鍵，特別在颱風侵襲過程中，波浪與暴潮不再僅是短時間的瞬時衝擊，而可能轉變為持續時間更長、累積破壞效應更高的海象型態，使沿岸地區面臨更複雜且不確定的風險情境。

基於此背景，國立成功大學董東璟教授團隊彙整並分析氣象署提供之臺灣周遭海域近三十年之長期實測海氣象資料浮標與沿岸潮位站資料，本節收錄團隊研究成果，系統性探討波浪與暴潮的時空分布特性、長期變化趨勢及極端值行為，並進一步檢視其與氣候變遷背景之關聯性。透過實測資料的統計分析與區域比較，期能更清楚掌握臺灣海象環境的演變方向，補強對極端海氣象風險的科學認知，並作為未來海岸防災策略、工程設計基準調整及氣候調適政策研擬的重要參考依據。

2.1 臺灣周遭海域海浪與暴潮時空特性

• 波浪變化趨勢

本報告分析臺灣周遭海域之海氣象資料浮標長期資料，透過鬚盒圖[4] (Box Plot) 呈現各海域波候 (Wave Climate；參閱文字框 2) 之時空分布特徵。分析中分別選取花蓮浮標站 (Hualien) 代表東部深海海域、新竹浮標站 (Hsinchu) 反映臺灣海峽 (西部) 特性、龍洞浮標站 (Longdong) 描述北部海域，以及鵝鑾鼻浮標站 (Eluanbi) 表示南部海域，四個浮標測站設置的時間分別為花蓮浮標 1997 年、龍洞浮標 1998 年、新竹浮標 1997 年和鵝鑾鼻浮標 2000 年，取用各個浮標設站至 2025 年中所有資料分析，藉此窺探臺灣周遭海域完整的波浪動力的特徵。

圖 11 展現了臺灣周遭海域波高的季節性規律與空間差異。整體而言，波高呈現顯著的「冬高夏低」趨勢。從每年 10 月開始，隨著東北季風增強，各站點的波高顯著攀升，並在 12 月至隔年 1 月達到巔峰。其中，臺灣北部與東部的波浪變化最為明顯，其波高分布的中位數與最大值普遍高於其他地區，反映出臺灣東北部海域在冬季受冷高壓南下影響，海況最為波濤洶湧。

相較之下，夏季 (特別是 5 月至 7 月) 是全台海域波浪最平穩的時期。這段期間適逢季風轉換或西南季風初期，大部分觀測站點的波高中位數皆降至 1 公尺以下，箱體範圍明顯縮小，顯示波高分布相對集中且穩定。然而，進入 8 月與 9 月的颱風季節後，雖然中位數尚未達到冬季水準，但可發現位於南部的鵝鑾鼻與北部的龍洞時常出現極端高值，這反映了颱風經過或其產生的長浪對臺灣南北兩端海域造成的劇烈影響。圖 11 整體而言顯示波高受季節性季風主導，於冬季 (10 月至隔年 2 月) 達到峰值，而夏、秋季出現的極端高值則反映了颱風的影響。

在區域對比方面，臺灣西部海域因位處海峽內，在夏季表現平靜，但進入 10 月後的冬季期間，其波高增幅相當顯著，這可能與東北季風進入臺灣海峽後產生的狹管效應[5]密切相關，使得風速與浪高隨之激增。總結來說，臺灣海域波高雖由季風主導，但不同地理位置對氣候變遷的敏感度各異，北部與東部需防範增強的季風浪，而南部與低窪地區則需警惕日益增強的颱風所帶來的極端波浪威脅。

[4] 鬚盒圖 (Box Plot)：能用於呈現資料統計分布與離散程度，圖中箱盒涵蓋資料中間 50% 的範圍 (即第 25 至 75 百分位數)；盒內的橫線代表中位數；而上下延伸的鬚則標示出整體波高數據的最大與最小變動範圍。透過這張圖，讀者可以快速判讀資料分布情形。

[5] 狹管效應 (Channeling Effect) 是指氣流或水流由開闊地帶進入狹窄地形 (如峽谷、海峽或高樓建築群間) 時，因流通空間縮小迫使流體必須加速通過，導致風速或流速局部驟增的物理現象。

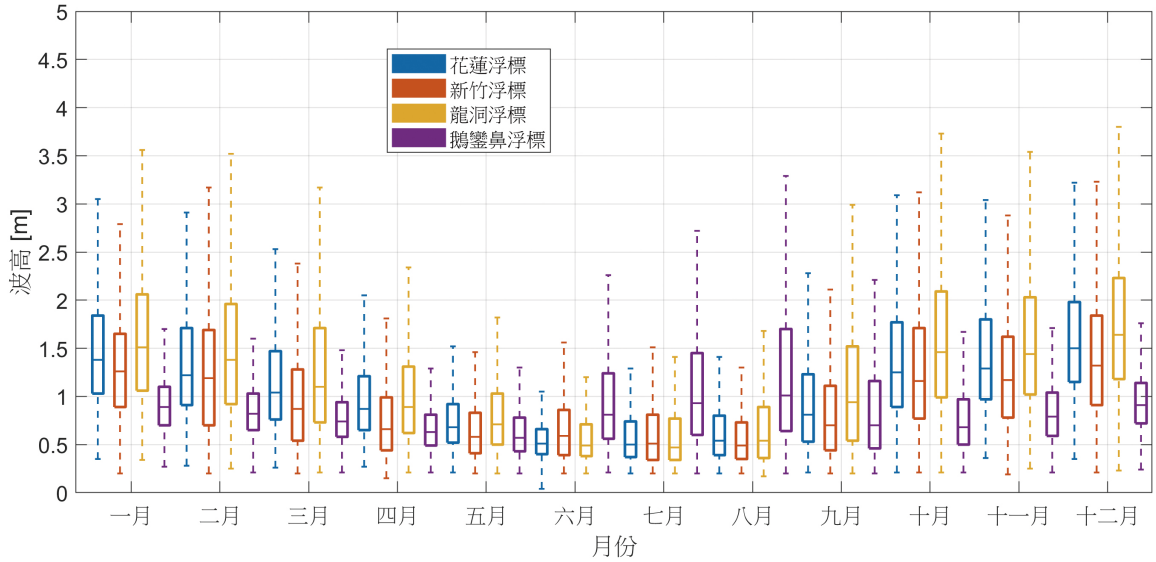


圖 11 臺灣周遭海域長期波高分布鬚盒圖。根據臺灣周遭海域海氣象資料浮標之 1997-2025 近 30 年長期觀測數據分析結果，顯示四處海域 (東：花蓮 Hualien；西：新竹 Hsinchu；南：鵝鑾鼻 Eluanbi；北：龍洞 Longdong) 海域之波候 (Wave Climate) 時空特徵。

• 暴潮分布趨勢

在臺灣沿岸的海洋災害防範課題上，暴潮偏差 (Storm Surge；參閱文字框 2) 的空間分布至關重要。臺灣地處颱風頻繁路徑上，不同方位的海岸因地形水深及迎風面差異，展現出截然不同的暴潮動力特徵。本文使用臺灣本島所有測站自設站至 2025 年潮位資料進行分析，結果顯示臺灣周遭海域的常態性暴潮 (圖 12 中內圈數值) 大多維持在 0.5 公尺以下，代表在一般氣候條件下，海平面受氣壓與風場波動的影響相對溫和。

然而，當極端颱風侵襲時，觀測到的最大暴潮量值 (圖中外圈數值) 則呈現出顯著的激增，且分布具有明顯的區域特性。從分布圖可以觀察到，臺灣東北部至北部海岸以及西南部雲嘉南海岸往往是最大暴潮的熱點區域，數值突破 1.5 公尺，甚至出現接近 2.0 公尺的極端案例。這種最大暴潮與常態值之間的巨大落差，反映了臺灣海岸在極端天氣下具有高度的脆弱性，尤其是西南部沿海因地勢低窪且海底坡度平緩，在颱風期間極易受強風堆積作用影響，產生劇烈的水位上升。根據圖 12，整體顯示全臺常態暴潮多在 0.5 公尺以下，但在極端颱風影響下，北部與西南部海域最大暴潮可達 1.5 公尺以上。

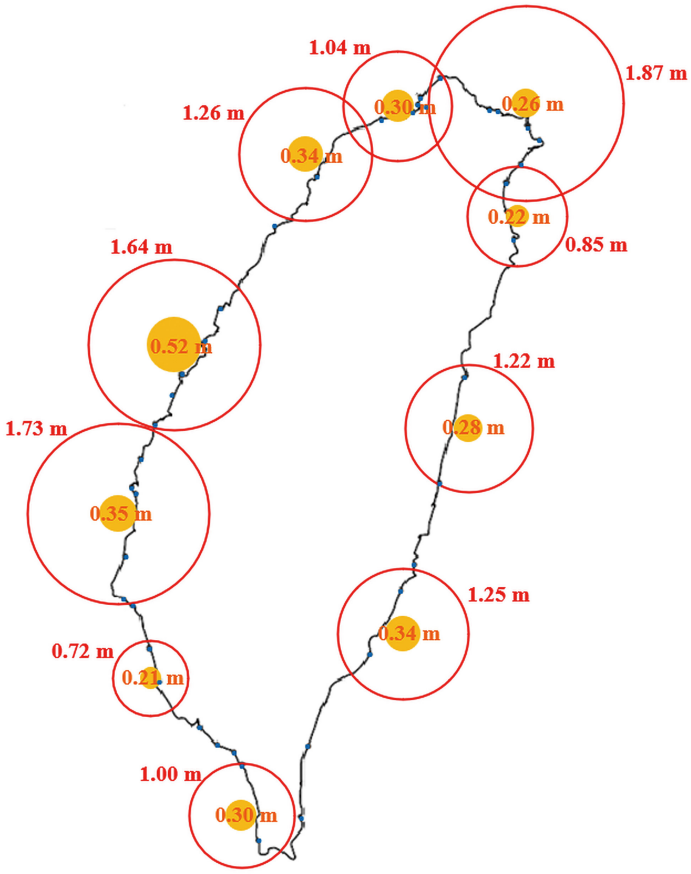


圖 12

臺灣周遭海域常態與最大暴潮分布圖。
本圖彙整臺灣沿岸各觀測站點 1997-2025 近 30 年之長期暴潮統計，以內圈 (黃色圓點) 數值表示該區域的常態暴潮偏差，外圈 (紅色圓圈) 數值則標示該區域歷史監測到的最大暴潮量值。

文字框 2 海岸專有名詞

波候 Wave Climate

波候是指某一海域在長時間尺度下，波浪高度、週期與波向等特性的整體統計分布與變化特徵，反映該區域海浪的常態樣貌。了解波候有助於掌握海洋波浪的長期變化趨勢，是海洋防災與工程不可或缺的基礎，廣泛應用於海岸防護設計 (如評估防波堤高度)、港口營運規劃，以及海岸侵蝕防護等。

暴潮偏差 Storm Surge

暴潮偏差是指在颱風或強烈風暴影響下，因氣壓降低與強風推擠作用，使實際海水水位高於天文潮位的異常升高量。它反映的是風暴造成的額外海水堆積效應，而非正常潮汐變化。

2.2 極端波浪與暴潮變化趨勢

• 極端浪高變化趨勢

從長期觀測數據來看 (如圖 13)，臺灣周遭海域的極端波高 (前 5% 大浪平均值) 大都顯示出上升趨勢，這與全球氣候變遷下的極端天氣頻率增加的背景相吻合。根據趨勢分析，位於東部的花蓮浮標觀測到過去近 30 年來，大浪波高增加了約 4.2%，而北部的龍洞海域也增長了 3.4%，這反映出直接面對太平洋與強勁東北季風的海域，其極端浪高的強度正在逐年墊高，對於東部與北部的海岸防護及海洋工程結構物而言，將面臨更嚴峻的挑戰。

值得注意的是，位於臺灣南端的鵝鑾鼻浮標增幅最為顯著，可達到 5.2%。由於南部海域是颱風的主要路徑區，這一數據可能暗示了近年來侵襲或經過臺灣南端的颱風強度有所提升，或是受氣候變遷影響，暖水層能量釋放導致海面風場更趨劇烈，進而推升了極端浪高的平均值。

由圖 13 可知，臺灣周遭直接面向大洋的海域皆呈現顯著增長，顯示這些海域受氣候變遷與極端氣候影響，大浪強度有逐年墊高的現象。相較之下，臺灣海峽內之海域如新竹浮標測站，則呈現相對平穩的狀態，未見顯著的長期變化趨勢。這顯示臺灣海峽內部的波浪特性受兩岸陸地屏障與相對淺水的地形影響，對於大尺度氣候變遷所驅動的極端海況反應，較大洋側 (太平洋、巴士海峽) 來得遲緩或具有不同的動力機制。

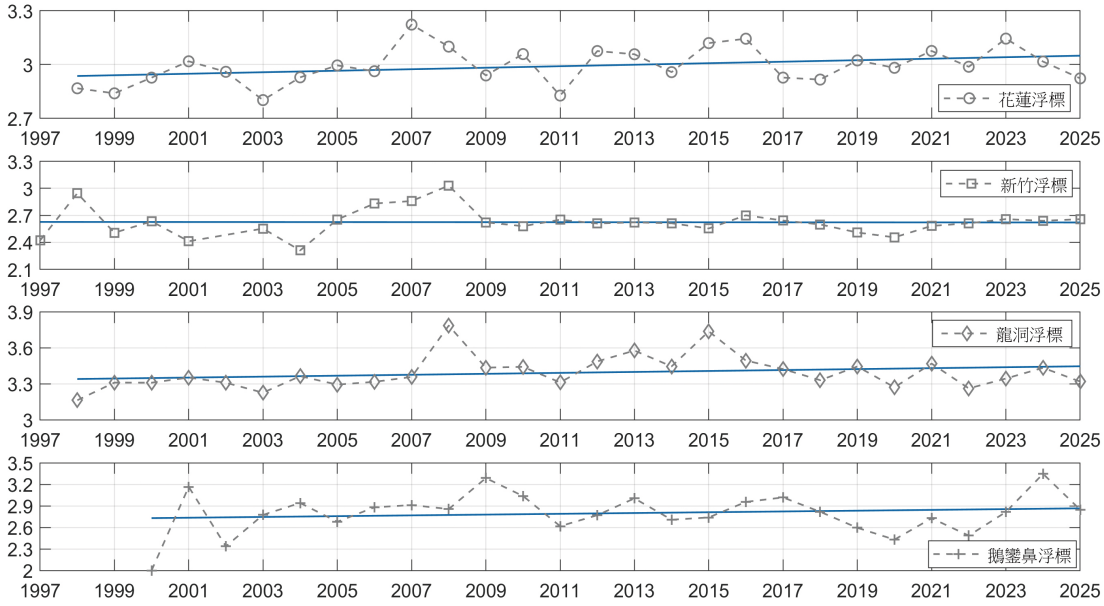


圖 13 臺灣周遭海域極端波高 (前 5% 大浪平均值) 長期變遷趨勢。本圖呈現過去近 30 年來臺灣海域極端波高演變趨勢。

• 極端暴潮

圖 14 呈現 2025 年丹娜絲 (Danas) 颱風期間臺南將軍站觀測到高達創紀錄的 1.73 公尺的異常暴潮偏差 (Storm Surge)，這一數字遠超過過去西南海岸普遍約 0.5 公尺的暴潮偏差歷史常態，以及最大 1.64 公尺的暴潮紀錄，這顯現極端暴潮具有短時內巨大增幅的特徵，極端海氣象事件正在突破既有的統計邊界。更顯著的是我們可看見暴潮在極短的一小時內急遽攀升 (圖 14)，這種高度突發性 (Flash Surge) 的特徵顯著縮短了應變預警時間，導致即便極端暴潮影響時間不長，但仍會造成嚴重災損，這對臺灣海岸防護工程與預警系統是個前所未有的挑戰。

從氣候變遷的宏觀角度來看，全球暖化導致的 SST 升高與大氣環流的改變，正是催生此類極端暴潮的溫床。隨著颱風強度與生成位置的改變，強烈的氣壓梯度與強風更容易觸發劇烈的海水堆積效應。過去 1.0 公尺以上暴潮極為罕見，在未來極端情況常態化的趨勢下，超過 1.0 公尺以上暴潮出現的頻率恐將上升。這種由長期氣候趨勢驅動的極端值變化，提醒我們在評估海岸脆弱性時，不能僅依賴歷史經驗值，必須更積極發展預測模型，以應對日益嚴峻的極端海洋災害。

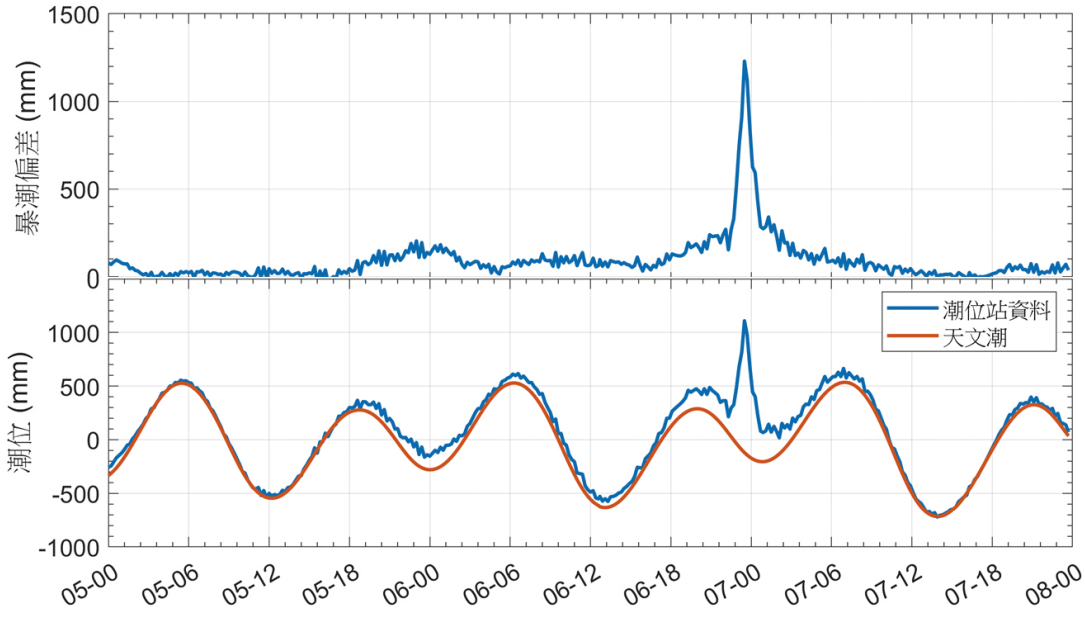


圖 14 2025 年丹娜絲颱風期間臺南將軍站觀測之極端暴潮偏差。

2.3 颱風期間極端海象形態之改變

在探討臺灣周遭海域的環境變遷時，長期且系統性的觀測數據是我們了解海洋動力特性變化的核心基礎。臺灣地處西北太平洋颱風路徑的要衝，此特殊的地理位置使其周遭海域不僅受季節性季風的主導，更會頻繁受到颱風的衝擊。隨著全球氣候變遷加劇，大氣與海洋的能量交換過程日益複雜，過去長期維持的波候特徵與災害規律正逐漸發生本質上的改變。

透過對過去近 30 年極端海象案例的梳理 (如圖 15)，可觀察到波浪動力在時間序列上的顯著位移。早期颱風期間造成的極端波浪多呈現對稱且有銳利的峰值，大浪的增長與消退過程極快，其主要影響時間通常在 24 小時內便會恢復平靜，展現出急升快降的典型動力特徵。然而，在氣候變遷驅動下，颱風移行速度減慢與引導氣流微弱化的趨勢，正改變著波浪的持續時間與破壞能量。

特別是在 2024 年山陀兒颱風 (Krathon) 期間，波浪成長與消散的形態不同，該案例期間最大波高達 8.78 公尺，在無因次化波高達 0.7(約 6 公尺) 的大浪延時突破了 48 小時，是過去的 2 倍以上，這種由短時劇烈衝擊轉變為長時間持續強浪作用的形態，不僅加劇了對臺灣海岸的疲勞破壞風險，更對未來的災害預警與氣候調適策略提出了嚴峻的新挑戰。

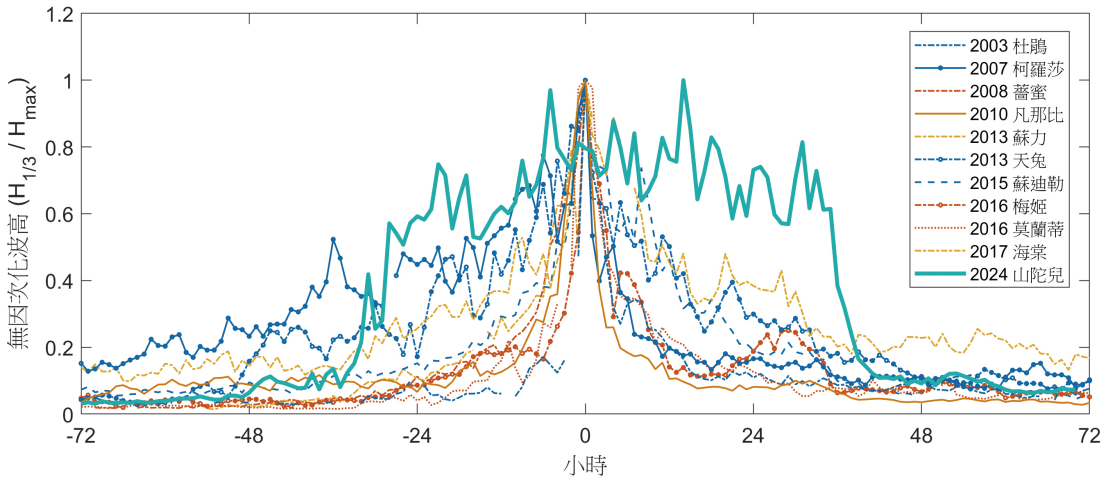


圖 15 歷年颱風期間極端波高歷線型態。

3. 利用臺灣海洋歷史重建資料看臺灣周遭海域時空特性

臺灣位處西北太平洋之關鍵樞紐，東臨黑潮 (Kuroshio Current)，西接地形複雜的臺灣海峽 (Taiwan Strait)，南連呂宋海峽 (Luzon Strait)，臺灣周遭海域受多股水團交匯影響，包括源自熱帶太平洋的黑潮主流、來自東海的陸棚水及南海水團，共同形成複雜的溫鹽結構與流場特徵，其海域動力特徵極具研究價值。近數十年來，全球暖化持續加劇，海洋作為地球系統最主要的熱能儲存庫，因此氣候變遷對於海洋環境以及海洋動力系統的影響備受關注。

為提升對上述海洋議題之認知與解析能力，需建置具完整時空覆蓋之海洋資料，涵蓋三維水文場與流場結構資訊，並藉由估算海洋斷面傳輸量等關鍵參數 (參閱文字框 3)，系統性描繪臺灣周邊海域於季節、年際及長期尺度下之海洋環境特徵及其演變趨勢。本節利用國家海洋研究院團隊參與 TCCIP 計畫產製之臺灣海洋歷史重建資料 (Taiwan Ocean Reconstruction Downscaling Data, TOReD，參閱文字框 4)，該資料採用海洋模式 HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model, Bleck, 2002) 結合海表大氣驅動資料 (模擬設定參閱文字框 4)，重建近代 40 年臺灣周遭海域之三維海洋環境，包含海溫、海流等重要海洋變數的時空分布。此重建資料不僅可作為探討臺灣周遭海域年代際尺度海洋動力變化的重要基礎，亦有助於深化氣候變遷影響評估、漁業資源管理及海洋環境保育等相關研究。此外，藉由長時間序列且具高時空解析度之重建資料，可進一步解析臺灣周遭海域海表環境特徵的季節性與長期變動趨勢、關鍵海洋斷面之傳輸量變化，以及影響臺灣東北海域漁場分布的重要海洋氣候特徵，進而建立臺灣周遭海域長期海洋變遷之科學基礎，提供海洋資源管理、漁業經營及氣候調適政策制定的重要參考依據。

文字框 3 斷面傳輸量 (Transport Volume)

計算海洋斷面傳輸量目的在於量化不同海域之間水體、熱量、鹽度與物質交換的強度，是理解區域海洋環流與氣候變化的重要物理量。斷面傳輸量定義為單位時間內流經特定垂直斷面之海水體積，以 Sverdrup (Sv) 作為單位，1 Sv = 10^6 m^3 /s，即為海流流量，測量每秒通過特定截面的水量。以臺灣周遭海域為例，黑潮、臺灣海峽與呂宋海峽可代表西北太平洋、東海與南海之間通量的重要通道，其傳輸量變化會影響海水溫鹽結構、海洋熱收支、營養鹽輸送與生態環境。理解斷面傳輸量有助於評估熱量、鹽度及營養鹽的跨區域輸送，而在臺灣周遭也有許多文獻研究黑潮與臺灣海峽之斷面傳輸量 (John et al., 2001; Jan et al., 2002; Wu and Hsin, 2005)。當傳輸量增強時，意味著更多暖水與營養物質被輸往高緯度海域，可能強化區域增溫效應並改變漁業資源的空間分布。

文字框 4 臺灣海洋歷史重建資料 TOReD

臺灣海洋歷史重建資料 (Taiwan Ocean Reconstruction Downscaling Data, TOReD) 採用混合座標海洋模式 HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model, Bleck, 2002)，重建 1981 至 2022 年 (40 年以上)、高解析度 (4 公里)、覆蓋西北太平洋區域之海洋環境資料。HYCOM 模式採用混合垂直座標系統，在近表層使用等密度座標以精確追蹤水團特性，在淺水陸棚區域則轉換為 σ 座標或 z 座標，兼顧深海與淺海地形的數值模擬需求，能有效維持水體的物理特性。該模式已被廣泛應用於中尺度水團特性、季節性至年代際變化，以及生物海洋學等相關研究 (L'Hégaret et al., 2015; Li & Han, 2015)。為進行長期模擬海氣交互作用，本節海洋側邊界條件採分段設計：1981-1995 年使用全球 ORAS5 再分析資料 (Ocean Reanalysis System 5, Zuo et al., 2018)，其空間水平解析度約 25 公里；1996-2022 年則介接全球 HYCOM 模式資料 (水平解析度約 8 公里)；海表大氣驅動場則利用 TCCIP 提供之 8 公里解析度 ERA5-TReAD blending (Hersbach et al.,2020; Cheng et al.,2026)，以進行西北太平洋區域海洋模擬。

3.1 臺灣周遭海域年代際海表溫與海表流變化

利用歐洲太空總署海面溫度氣候變化倡議 (ESA SST CCI；Good and Embury, 2024) 發布的第 4 級 (Level 4) 衛星觀測分析資料，驗證並比對 TOReD 海洋歷史重建資料。針對 1981-2022 年海洋物理特徵長期變化的分析顯示 (圖 16)，HYCOM 模式能有效掌握海表溫的四季季節分布特徵。例如在冬季 (如圖 16d、16h)，受東北季風吹拂影響，中國沿岸至臺灣海峽之海表溫顯著低於周邊海域；而在各季節中，亦能清晰觀測到臺灣東岸因黑潮流經，使其海表溫較同緯度其他區域偏高。

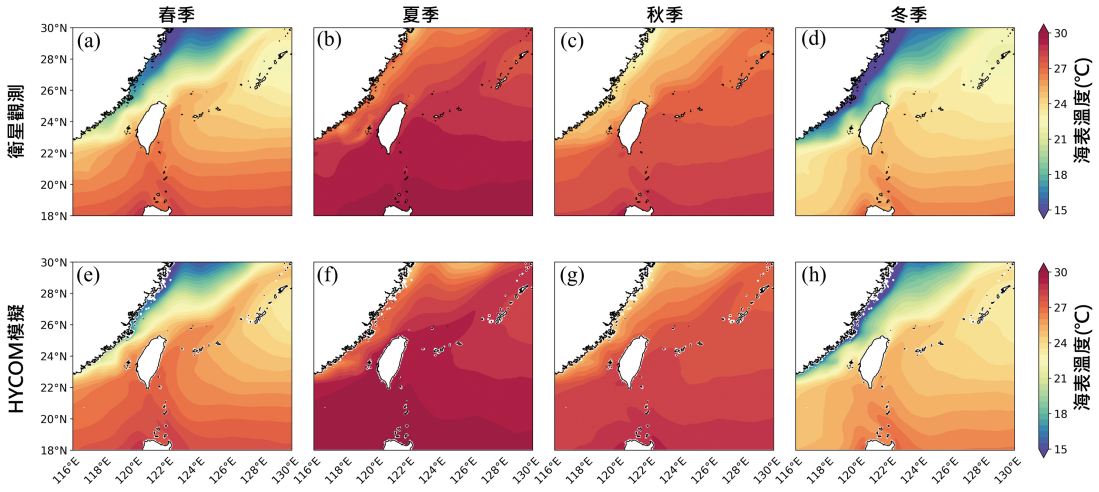


圖 16 比對 1981-2022 年的衛星觀測與 HYCOM 模擬海表溫季節分布。

接著，本節比對臺灣周遭海域海表溫與海表流，在約 2000 年前後 20 年 (1981-2001 年與 2002-2022 年) 之氣候值與差異 (圖 17)。結果顯示，受全球氣候變遷影響，最近 20 年來該海域有顯著升溫趨勢，區域平均升溫幅度為 0.22℃，特別是中國沿岸近海之升溫幅度較為顯著 (圖 17c)。在流場的空間分布方面，模擬結果顯示臺灣東側的黑潮最高海表流速由前期的 1.24 m/s 增至後期的 1.50 m/s，區域整體平均流速亦上升約 0.007 m/s。然而，相較於 1981-2001 年，2002-2022 年黑潮主流在 24° N 以北的北向流速似乎逐漸減弱，流場在年代際[6]尺度上具有明顯的空間變化，於臺灣東側 20-24° N、122-125° E 附近海域海表流速顯著增強，並伴隨一強烈的反氣旋式 (順時針) 渦旋發展，同時呂宋海峽的黑潮入侵現象也有逐漸增強的趨勢。但是臺灣東側 24° N 以北 (即臺灣東部 PCM-1 測線斷面[7]附近) 的黑潮主軸流速卻呈現減弱趨勢 (圖 17f)。以上差異反映近 20 年來臺灣東側海域中尺度渦旋活動與黑潮主流能量分配的動力演變。

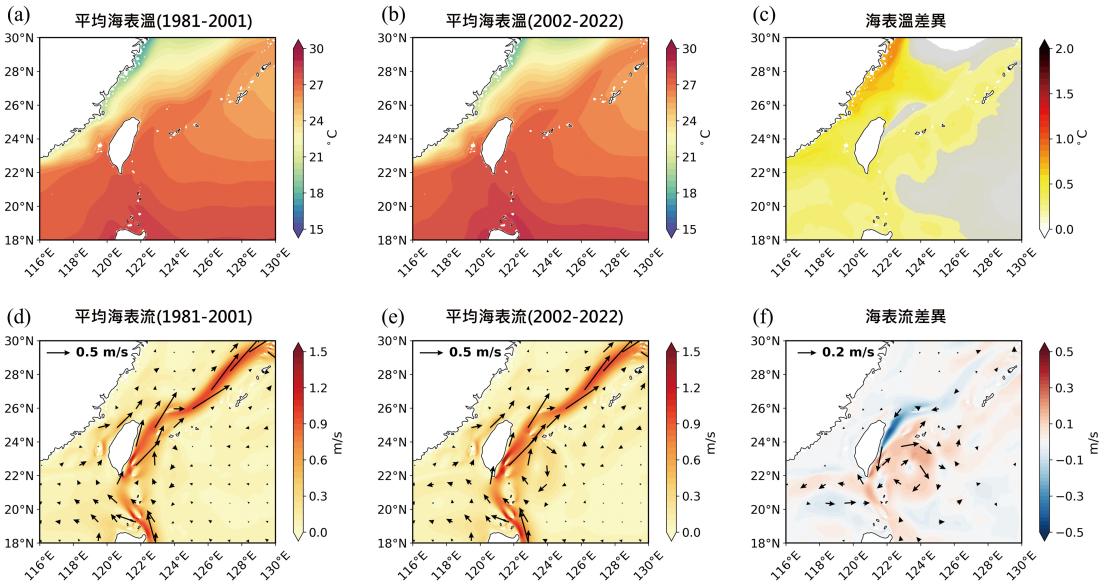


圖 17 1981-2001 與 2002-2022 之年平均海表溫與海表流，以及前後期差異 (水深 0-20 公尺之流速平均)，灰色區域代表未達 95% 統計顯著性差異 (p>0.05)。

[6] 氣候系統以數十年爲週期波動，時間尺度通常約介於 20 至 30 年之間，以呈現明顯的長期氣候變遷現象。

[7] PCM-1 位於臺灣東側宜蘭海脊，蘇澳 - 琉球與那國一線，由「世界海洋環流實驗」(World Ocean Circulation Experiment, WOCE) 計畫自 1994 年 9 月至 1996 年 5 月執行長期錨碇海流儀以監測黑潮的流量、溫度、鹽度，以及流速結構變動。

3.2 臺灣周遭海域關鍵斷面傳輸量與海表溫之時序分析

本節進一步分析 1981 至 2022 年間，臺灣周遭三個關鍵海域斷面 (斷面位置如圖 18) 之傳輸量與海表溫：黑潮 PCM-1 斷面 (121.8° E, 24.5° N 至 123.4° E, 23.99° N)、呂宋海峽斷面 (21.9° N-18.6° N, 120.7° E)，以及臺灣海峽斷面 (24° N, 117.9° E-120.6° E)，並比較前期 (1981-2001 年) 與後期 (2002-2022 年) 兩時段平均的斷面海表溫與傳輸量的差異。

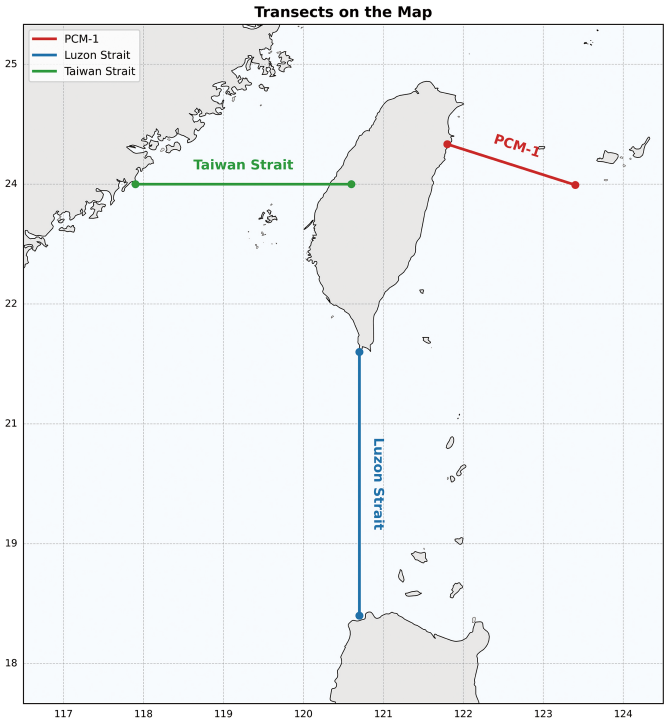


圖 18

臺灣周遭海域關鍵海洋特徵分析斷面位置 (黑潮 (PCM-1)、臺灣海峽及呂宋海峽處)。

• 斷面海表溫變化

根據圖 17 可發現臺灣周遭海域在 1981-2022 年有一致的升溫變化，在上述三個關鍵斷面之海表溫於 2002-2022 年相較於 1981-2001 年也的確有上升的趨勢 (圖 19)。黑潮 PCM-1 斷面之平均海表溫由 27.03 ± 1.88℃升至 27.29 ± 1.83℃；臺灣海峽由 24.71 ± 3.12℃升至 25.14 ± 3.16℃；呂宋海峽由 27.84 ± 1.65℃升至 28.12 ± 1.59℃。上述增溫現象與近 20 年來區域熱含量普遍增加之趨勢一致，反映全球暖化背景下西北太平洋近海熱量持續的累積。

• 斷面傳輸量變化

針對黑潮 PCM-1 斷面 (水深 250 公尺) 的分析顯示 (圖 19a)，該斷面流量於後期時段 (2002–2022 年) 呈現減弱趨勢，其平均月體積傳輸量由 20.61±3.46Sv 降至 18.73±4.62Sv。此外，傳輸量峰值月份亦由 5 月 (23.51Sv) 延後至 7 月 (20.30Sv)，且該峰值低於前期 (1981–2001 年) 之最大平均值。根據 Tseng et al. (2012) 的研究，黑潮流速核心通常位於離岸 40 至 50 公里處，且主要傳輸量由表層至 200m 深的上層水體所主導，其氣候態平均體積傳輸量約為 22.1Sv，此結果與重建結果之黑潮流量估算一致。而後期時段傳輸量的減弱，可能與黑潮流軸的位置變動或上游源水供應的改變密切相關，這對區域內的熱能與物質輸送具有重要影響 (圖 19a)。

相較之下，臺灣海峽斷面 (圖 19b) 與呂宋海峽斷面 (圖 19c)(水深 250 公尺以上) 之月平均傳輸量主要受東亞季風系統調控，所以變動幅度相對較小，兩者皆呈現明顯的季節循環。在臺灣海峽部分，1981–2022 年間的模擬結果顯示，斷面平均東北向傳輸量於 7 月達到峰值，在 1981–2001 年與 2002–2022 年兩階段之 7 月平均值分別為 3.51Sv 與 3.31Sv。每逢春、夏季盛行西南季風期間，東北向傳輸量顯著增強；至冬季東北季風期則明顯減弱 (Jan et al., 2010)。前、後兩階段的年平均傳輸量分別為 1.76±1.18Sv 與 1.66±1.18Sv，在統計上未達顯著差異。在呂宋海峽部分，水體主要呈現由西太平洋進入南海的西向輸送特徵 (負值代表向西)。1981–2001 年的年平均傳輸量為－2.63±2.31Sv，其中最大西向通量出現於 12 月 (－4.87Sv)；而 2002–2022 年的年平均傳輸量則變更為－2.11±2.22Sv，最大值亦轉移至 1 月 (－4.42Sv)。上述結果顯示，由冬季東北季風驅動的進入呂宋海峽的黑潮入侵存在明顯的年代際調整 (Decadal Adjustment)，且後續 20 年的整體淨西向傳輸量呈現減弱趨勢。

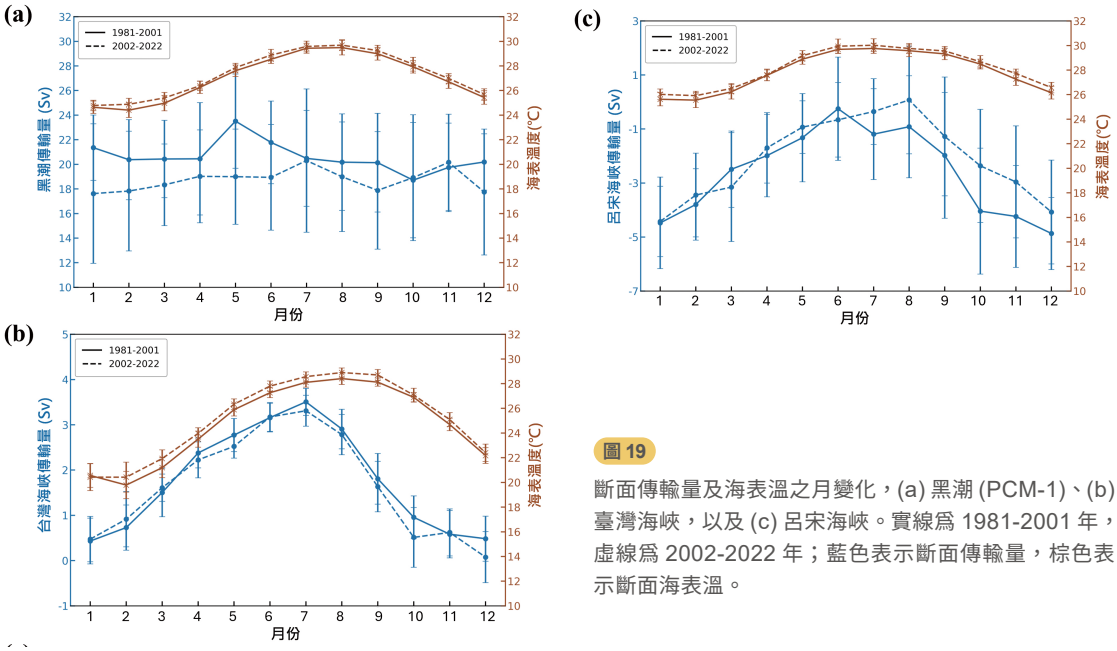


圖 19

斷面傳輸量及海表溫之月變化，(a) 黑潮 (PCM-1)、(b) 臺灣海峽，以及 (c) 呂宋海峽。實線爲 1981-2001 年，虛線爲 2002-2022 年；藍色表示斷面傳輸量，棕色表示斷面海表溫。

3.3 臺灣東北角冷丘年代際差異

臺灣東北角冷丘 (Northeast Taiwan Cold Dome) 位於臺灣東北角外海 (參閱文字框 5)，這是由於黑潮主流受複雜海底地形 (圖 20) 影響造成的地形性湧升流，過程可將深層低溫且富含營養鹽的海水輸送至上層，形成局部冷水區，使該海域平均海表溫較周圍水團低約 3-6℃。研究指出，冷丘出現頻率具有顯著的季節性差異，夏季發生頻率明顯高於冬季 (Cheng et al., 2009；Shen et al., 2011)，夏、秋兩季受此湧升機制影響，此區域常成為烏魚 (Mugil cephalus) 與白帶魚 (Trichiurus lepturus) 等重要經濟魚種的關鍵漁場，具有顯著的生態與漁業價值。

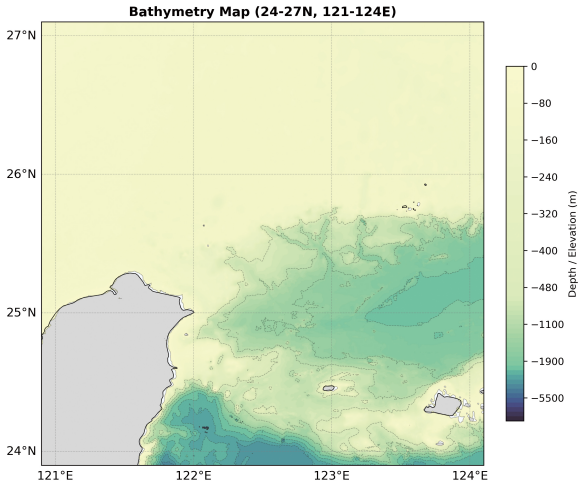


圖 20 臺灣東北角海底地形圖。

模擬結果顯示，冷丘結構在夏季 50 公尺深度附近較為明顯，冬季訊號則較弱，反映湧升流對次表層溫度場的季節性調控。就長期變化趨勢而言，2002-2022 年該深度的平均海溫相較於 1981-2001 年有明顯升溫趨勢 (圖 21)。

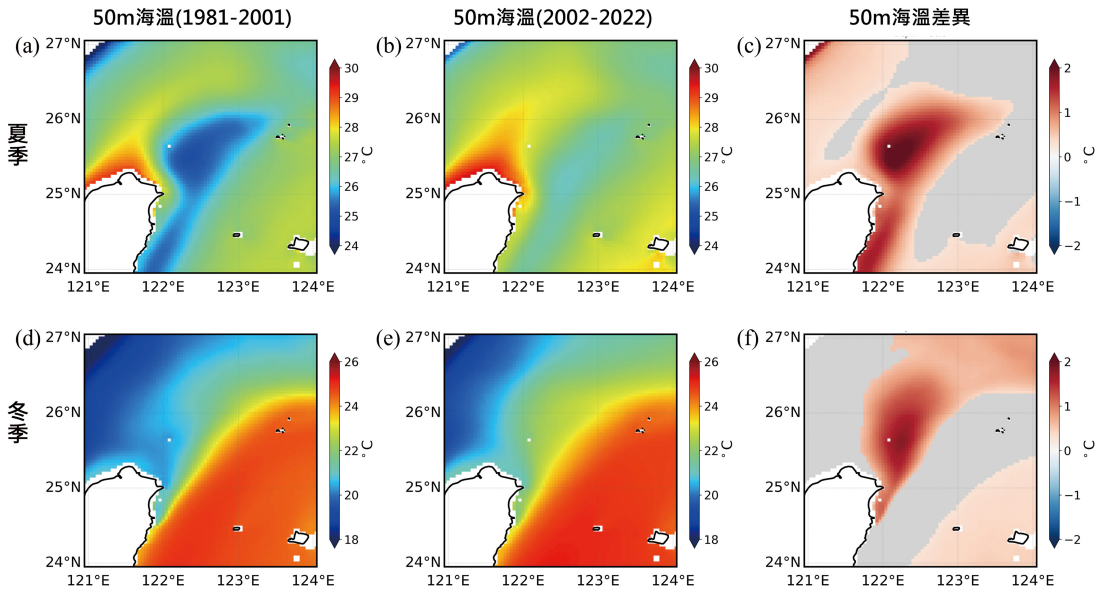


圖 21 臺灣東北角冷丘，夏季與冬季 1981-2001 年與 2002-2022 年深度 50 公尺海溫與不同時期海溫差異，灰色區域代表未達 95% 統計顯著性差異 (p > 0.05)。

為定量評估冷丘強度之年代際變化，本節依據 Gopalakrishnan et al.(2013) 之定義，以 25.5° N、122° E 為中心之 1° ×1°區域作為冷丘空間範圍，並以 50 公尺深度層海水溫與海表溫之差值量化其強度 (冷丘指數，Cold Dome Index, CDI)。如圖 22 顯示，2002-2022 年間各月 CDI 均值約為－1.05，高於 1981-2001 年之均值約－1.69，此兩時期之平均差值為 0.64℃，顯示近二十年間該海域冷丘強度呈現減弱趨勢。在這兩時期全年最低 CDI 值均發生在 7 月 (1981-2001：－2.58 ± 0.86；2002-2022：－1.55 ± 0.78)，顯示夏季冷丘強度的確顯著強於冬季。上述 CDI 數值的系統性改變顯示近 20 年來該海域湧升流似乎減弱，不過需留意圖 22 中的年際變化的變異量遠大於平均值的差異量，顯示湧升流的增強或減弱在年際與年代際間仍有相當大的不確定性。

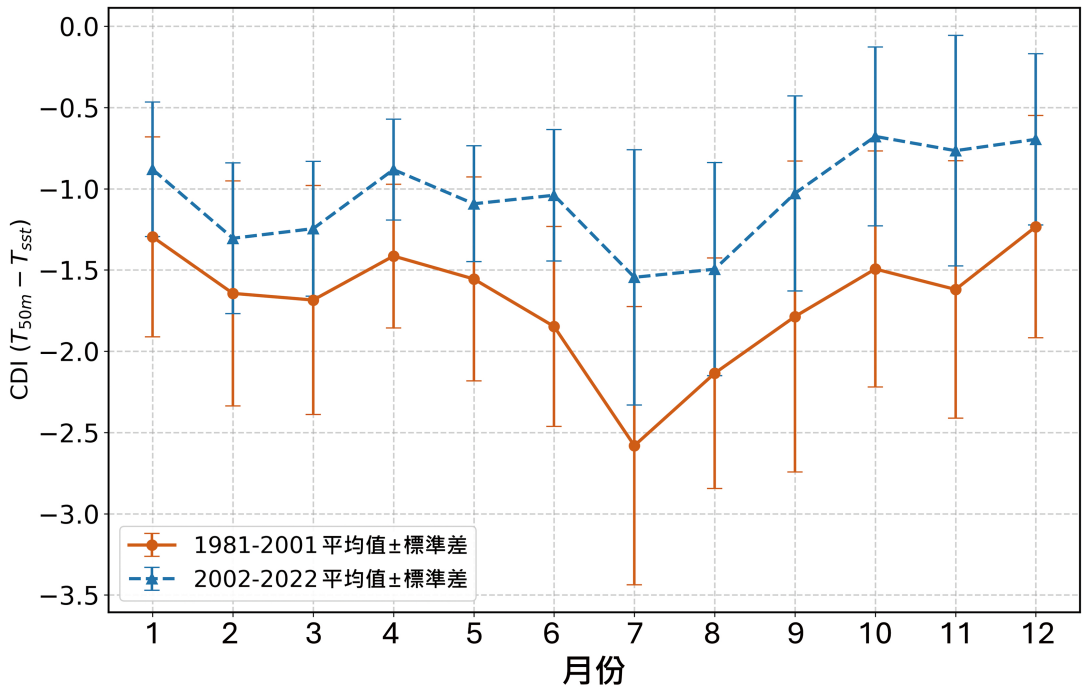


圖 22 臺灣東北角冷丘指數 (CDI) 之月變化，橘色實線爲 1981-2001 年，藍色虛線爲 2002-2022 年。

文字框 5 臺灣東北角冷丘 (Cold Dome)

臺灣東北海域位於大陸棚 (即陸地向海洋延伸的淺水海床) 邊緣，當黑潮主流向北流經宜蘭蘇澳附近時，受到地形抬升影響部分表層以下冷水沿大陸斜坡攀升至表層形成湧升流 (Upwelling)，湧升流可將深層冷水帶往海面，其攜帶的大量硝酸鹽、磷酸鹽等無機營養鹽，正是浮游植物賴以生長的關鍵物質。這股冷水湧現於海面後，呈現出清晰的圓盤狀低溫區，海洋學界稱之「冷丘」，且在臺灣東北外海形成一個穩定的氣旋式逆時針渦旋，渦旋的旋轉結構有助於持續將深層富含營養物質的水體輸送至透光層，促進浮游植物大量繁殖，進而支撐起完整的海洋食物鏈，使臺灣東北外海成為生產力豐沛的重要天然漁場 (詹森、江偉全，2023)。

綜合本節利用 TOReD 資料之分析結果顯示，臺灣周遭海域在近四十年間呈現海表溫全面上升、黑潮東側主幹流傳輸量趨於減弱，而臺灣海峽與呂宋海峽傳輸量之季節性特徵則持續受季風系統主導之格局。黑潮傳輸量之減弱，結合區域熱含量增加，對跨海域能量輸送及鄰近海洋生態環境之潛在影響值得後續深入探討。此外，臺灣東北角冷丘指數近 20 年平均呈現減弱，反映該海域湧升現象可能減弱，不過這樣的海洋動力變化仍需要考慮年際與年代際間的不確定性。

CHAPTER

03

臺灣周遭海洋未來推估

CHAPTER 03 臺灣周遭海洋未來推估

臺灣是個四面環海的島國，周遭海域的變化和人們的生活、漁業活動以及沿岸環境息息相關。隨著全球氣候持續暖化，海水溫度上升、洋流型態改變、海平面逐漸升高，這些變化都可能在未來對臺灣周遭海域帶來長期影響。因此，了解暖化情境下臺灣周遭海洋環境可能出現的變化，是理解氣候變遷影響的重要一環。然而，現今多數全球氣候模式受限於計算資源，空間解析度不足，難以清楚模擬像黑潮這樣流速快、結構複雜的洋流，以及臺灣周遭細緻的海流與海溫分布，進而影響未來海洋變化的推估 (Huang et al., 2024)。若缺乏這些高解析度資訊，將難以針對我國漁業資源預警、海岸防護工程設計及海洋生態保護區規劃，進行準確的海洋暖化風險評估。為了補足這些研究缺口，本章收錄臺灣大學海洋研究所團隊參與 TCCIP 計畫成果，透過空間解析度達 9 公里的臺灣周遭海域高解析度海洋模式 TaiESM1-ROMS(參閱文字框 6)，針對臺灣周遭海洋環境進行模擬，並分析推估未來可能的變化，包含海溫、海流與臺灣周遭的海洋動力傳輸特徵變化。這樣的高解析度模擬，能更清楚呈現海溫與海流的細部結構，為政府在氣候變遷情境制定調適策略之需求，提供科學資訊。

文字框 6 TaiESM1-ROMS 海洋高解析度資料介紹

本節使用 TCCIP 計畫之 TaiESM1-ROMS 模式資料，進行未來推估分析，提供臺灣周遭海域的高解析度海洋氣候科學資訊。此模式整合了 TaiESM1 之月資料作為海洋邊界條件，以及由 TCCIP 產製之 TaiESM1-WRF 日資料作為大氣驅動力，以 9 公里之高水平空間解析度，模擬西北太平洋海流與海溫分布。

本資料涵蓋歷史基期 (Historical，1985–2014) 及未來兩種暖化情境，後者採用 IPCC 第六次評估報告 (AR6) 設定之排放路徑：SSP2-4.5 以及 SSP5-8.5。前者為中度排放情境，代表社會發展與氣候政策採中間路線，溫室氣體排放在世紀中期後逐漸穩定；後者為高排放情境，代表高度依賴化石燃料的發展情境，缺乏強力減碳作為。更詳細的排放情境定義與說明，可參考國家氣候變遷科學報告 2024 以及 2024 臺灣氣候變遷分析系列報告暖化趨勢下的臺灣極端高溫與衝擊，關於 SSP 排放情境文字框說明，亦可參考 TCCIP 計畫的 AR6 情境說明 (https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_02_06_ar6.aspx)

為了描繪暖化所造成的環境變遷，本研究採取「未來與歷史之差異」進行對比：以本世紀中期 (2045–2074 年) 的長期平均狀態，減去歷史基期 (1985–2014 年) 的平均值，藉此呈現海洋環境在不同暖化程度下的長期變化趨勢。

1. 臺灣周遭海域平均海溫海流變化

黑潮是臺灣周遭海域最重要的洋流，在大洋中，類似黑潮這樣的西方邊界流能將熱量從熱帶地區輸送到較高緯度調節區域與全球的氣候狀態。因此，在未來暖化情境下，臺灣周遭海溫變化的分布，與黑潮的變化密切相關（圖 23 與圖 24）。根據模擬推估結果，臺灣周遭海表溫度在 SSP2-4.5 (SSP5-8.5) 情境下，約增加 1.5℃ (2.2℃)。其中，臺灣西南部海域 (呂宋海峽西側) 以及東北部海域的增溫幅度相對較大。而臺灣西南部海域，海溫增幅比周遭海域略高約 0.2℃，主要是因為在暖化背景下，大尺度風場的改變使黑潮主流略為減弱，但同時有較多暖水向西彎入南海，讓熱量更容易在此區域累積 (Tseng et al., 2012)。另外在東北部海域，受到黑潮垂直結構調整的影響，表層主流位置更靠近陸棚與岸邊，使得該區域的海溫增幅也略高於周遭海域約 0.3℃ (Shen et al., 2011；Gopalakrishnan et al., 2013)。這兩個區域的變化，都顯示黑潮在調節臺灣周遭海溫分布中的重要角色。

除了海溫與海流的變化之外，海平面上升同樣會對沿岸居民與環境帶來影響。未來臺灣周遭海域海平面的升高，主要來自於海水受熱後體積膨脹的影響 (圖 25)。在 SSP2-4.5 與 SSP5-8.5 情境下，至 2070 年，海平面分別升高約 14 公分與 18 公分，這與其他全球氣候模式的推估結果相近。值得注意的是，在高排放的 SSP5-8.5 情境中，海平面上升的速度在本世紀後期明顯加快，而非穩定單純的線性變化 (Jevrejeva et al., 2020)，整體升幅比 SSP2-4.5 約多出五成，顯示海平面上升對暖化程度相當敏感。

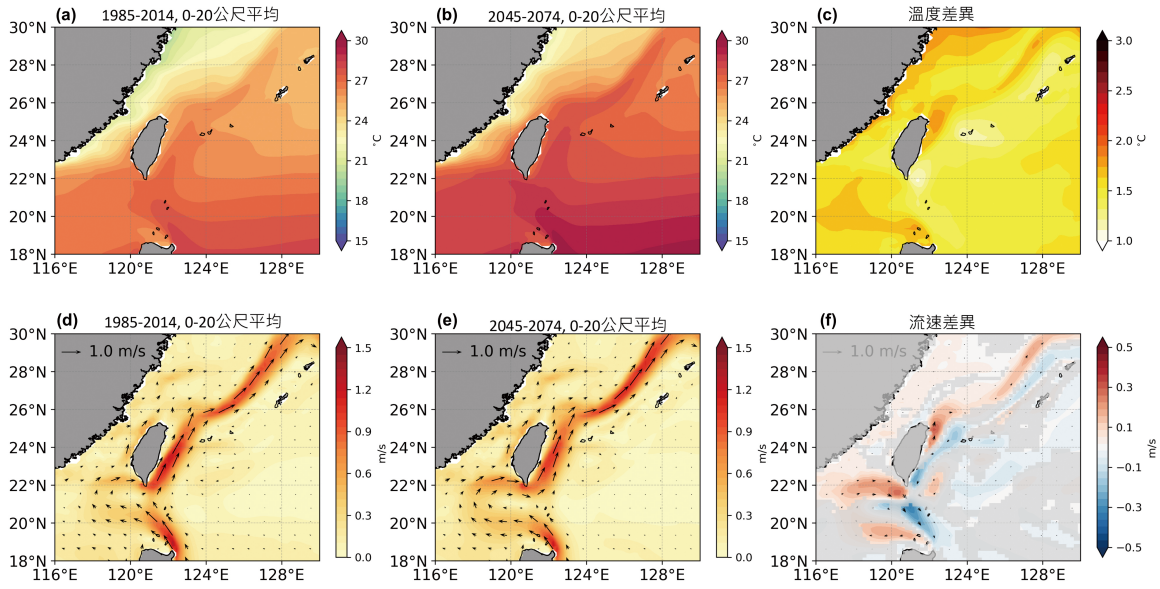


圖 23 TaiESM1-ROMS SSP2-4.5 暖化情境下，臺灣周遭年平均海溫與海流的分布。(a, d) 歷史基期、(b, e) SSP2-4.5 海溫與海流的平均分布。(c, f) 海溫與海流的暖化變異分布。其中，(c, f) 中灰色半透明區域爲該處暖化變異量未達 t 檢定 95% 信賴水準下之統計顯著意義。

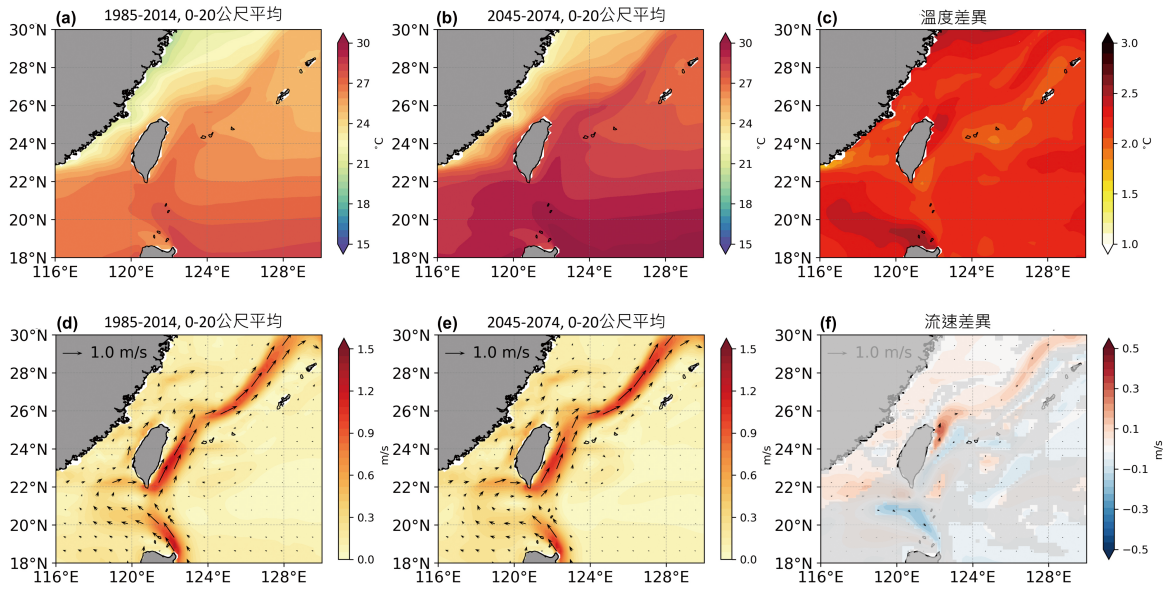


圖 24 TaiESM1-ROMS SSP5-8.5 暖化情境下，臺灣周遭年平均海溫與海流的分布。與圖 23 相同，唯暖化情境爲 SSP5-8.5。

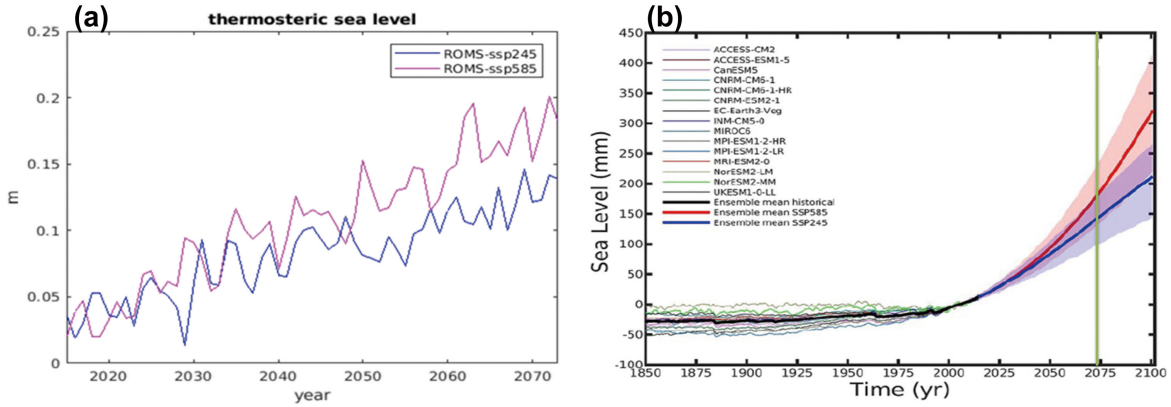
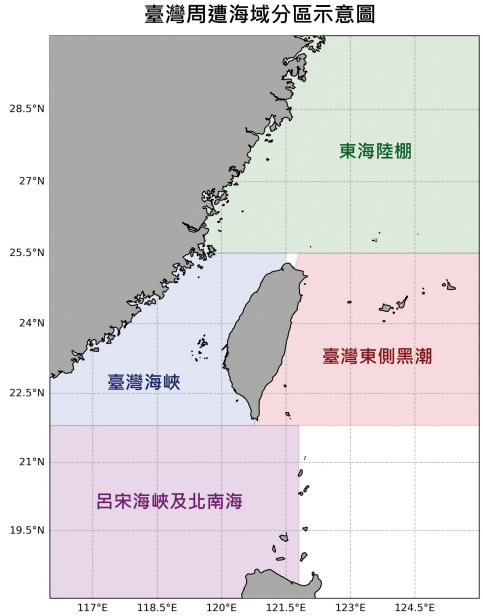


圖 25 臺灣周遭海平面高度變化。(a) TaiESM1-ROMS 及 (b) CMIP6 多模式海平面高度熱膨脹之時間序列。(b) 摘自 Jevrejeva et al. (2020)，粗綠線標示爲 TaiESM1-ROMS 模擬結束時間。



在了解整體海溫與海平面變化後，在接續章節將臺灣周遭海域分成四區討論：臺灣海峽、東海陸棚、臺灣東側黑潮及臺灣南側的呂宋海峽及北南海 (圖 26)，進一步觀察不同區域的特徵。

圖 26
臺灣周遭海域分區比較示意圖。

2. 臺灣西側：臺灣海峽

臺灣海峽是連結西北太平洋南海與東海的重要通道，其平均海流由南向北流 (圖 27)。不同模擬的結果都顯示臺灣海峽的海溫在未來氣候變遷情境下，四季皆呈現明顯上升，在 SSP2-4.5 情境下，平均升溫約 1.5℃，而在 SSP5-8.5 情境下甚至可達 2℃。以海流的變化而言，臺灣海峽內的海流主要受到季風影響，呈現明顯的季節性差異。隨著暖化情境改變，冬季東北季風強度減弱、而夏季西南季風增強，導致整體海水向東北方向的輸送略為增加。然而由於臺灣海峽本身流場變化幅度就很大，年際與季節變化相當顯著，相較之下氣候變遷所帶來的改變並不顯著，因此整體長期趨勢變化在流場上並不特別清楚。

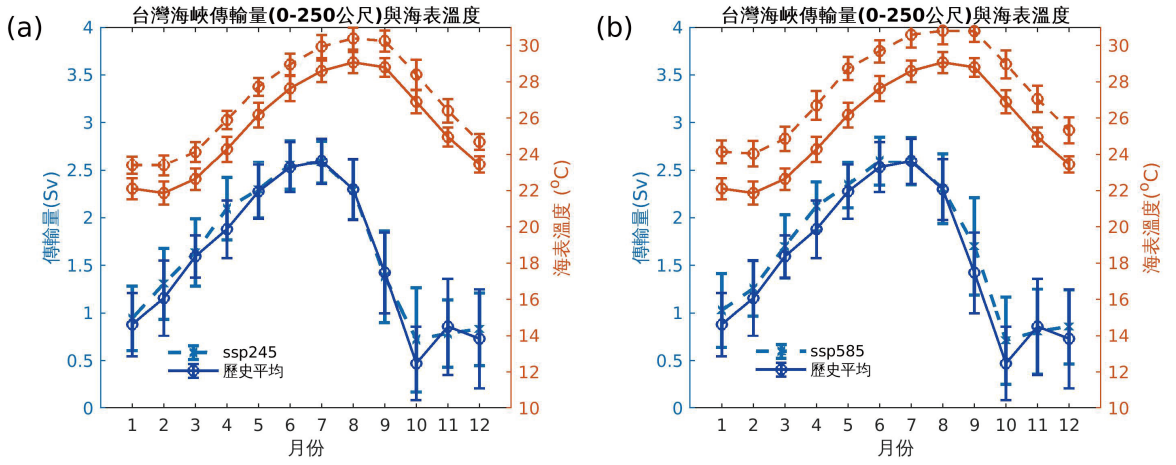


圖 27 TaiESM1-ROMS 中，臺灣海峽海溫與海流傳輸量的四季變化。(a) SSP2-4.5 及 (b) SSP5-8.5 情境下，海流傳輸量 (藍線；根據 Jan et al. (2010) 的 WC 剖面定義) 及海表溫度 (橘線)，於歷史基期 (實線) 及暖化情境 (虛線) 的每月平均及標準差。

3. 臺灣北側：東海陸棚

關於東海陸棚區域，黑潮由於陸棚地形產生地形性湧升流，對於區域生態環境與漁業資源具有相當重要的影響。利用高空間解析度的區域降尺度模式能更細緻地解析黑潮流徑及局部環流結構，能夠成功模擬出臺灣東北角至東海陸棚一帶的湧升流特徵及其季節性變化。在未來暖化情境下，模擬結果顯示該區域的湧升流呈現增強趨勢 (圖 28)，其中以夏季至秋季的變化較為明顯。此現象可能與未來黑潮流軸向東海陸棚偏移有關，進而強化黑潮與陸棚地形之間的交互作用，促進臺灣東北部陸棚邊緣冷丘的發展及低溫次表層海水的向上輸送，使局部湧升流強度增加。

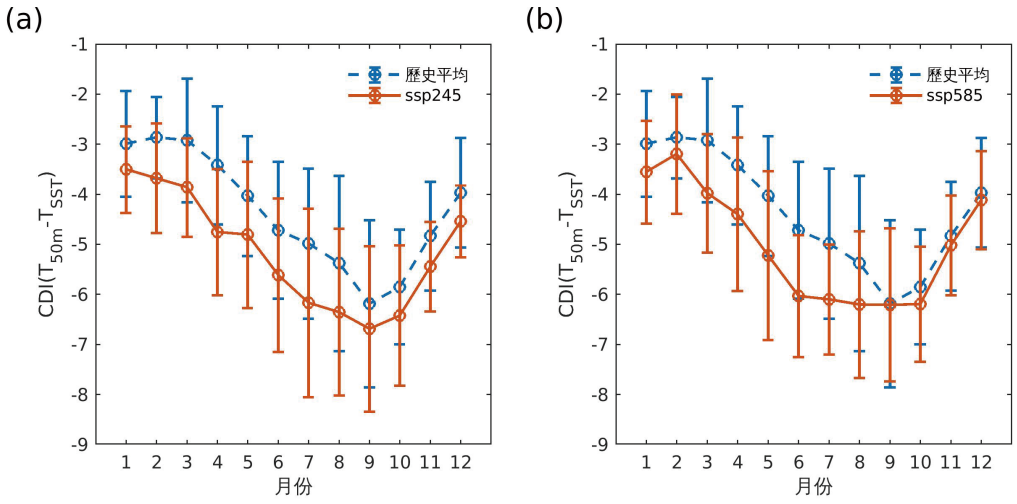


圖 28 TaiESM1-ROMS 中，臺灣東北冷丘之海溫湧升流指標的四季變化。(a) SSP2-4.5 及 (b) SSP5-8.5 情境下，歷史基期 (藍線) 及暖化情境 (橘線) 的每月平均及標準差。海溫湧升流指標使用 Gopalakrishnan et al. (2013) 中的 CDI2 定義。

4. 臺灣東側：黑潮

臺灣東側海域為黑潮主流通過之重要區域，屬於西北太平洋西方邊界流的一部分。黑潮不僅主導此區域的熱量與動量輸送，也對臺灣周遭海洋環境與氣候具有深遠影響。在氣候暖化的情境下臺灣東側海域的海溫同樣在四季中皆顯著上升，在 SSP2-4.5 情境下，升溫平均增加約 1.5°C，在 SSP5-8.5 情境下則可達約 2°C (圖 29)。就流場變化而言，黑潮強度與流量主要受到大尺度風場控制，特別是與西北太平洋風應力以及渦度分布密切相關。在暖化情境下，模擬的黑潮呈現明顯的季節差異，在夏季流量略為增強、而冬季則稍有減弱，其中高排放情境的變化更為明顯。這種季節上不對稱的變化，可能與大氣環境的風場調整有關，顯示黑潮對氣候變遷相當敏感，這樣的變化也可能進一步影響臺灣東側海域的流況。

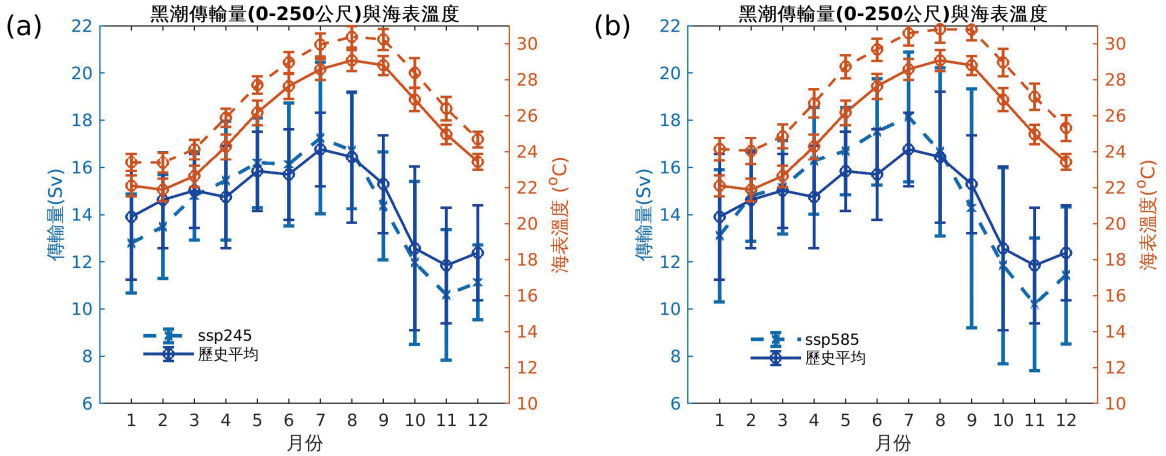


圖 29 TaiESM1-ROMS 中，臺灣東側黑潮傳輸量的四季變化。(a) SSP2-4.5 及 (b) SSP5-8.5 情境下，海流傳輸量 (藍線；根據 Shen et al. (2014) 定義之 PCM-1 剖面) 及海表溫度 (橘線)，於歷史基期 (實線) 及暖化情境 (虛線) 的每月平均及標準差。

5. 臺灣南側：呂宋海峽與北南海

呂宋海峽與北南海區域是太平洋與南海之間的重要通道，此區的海水交換對區域海洋環境有很大的影響，高解析度區域降尺度模式也能更合理的模擬上層呂宋海峽傳輸量及其四季變化 (Tseng et al. 2012)。在 SSP2-4.5 與 SSP5-8.5 情境下，呂宋海峽與北南海的海溫在四季中皆顯著上升，分別增加約 1.3℃ 與 2.3℃ (圖 30)。在氣候暖化的情境下，黑潮通過呂宋海峽時的流動型態有所改變，主流略為減弱，向西流入南海的套流[8]暖水進而增加，彎曲程度也更加明顯 (圖 23 與圖 24)。同時，受風場變化影響，南海內部順鐘向的環流偏強。這些因素共同作用，使呂宋海峽由東向西之淨傳輸量減少，甚至在夏季短暫出現由西向東的流場，顯示暖化不僅讓海水變暖，也重新調整了區域海流的流向與結構。

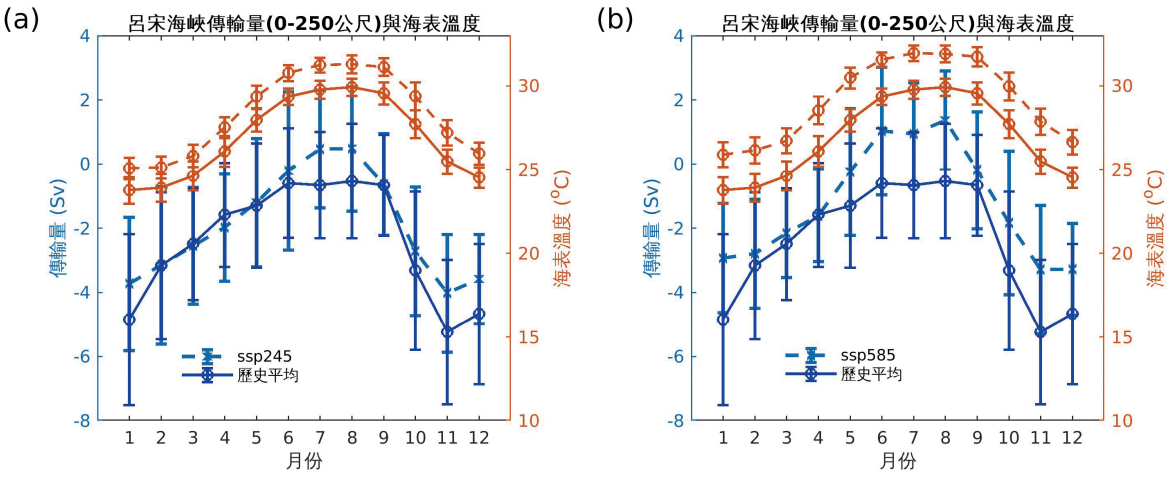
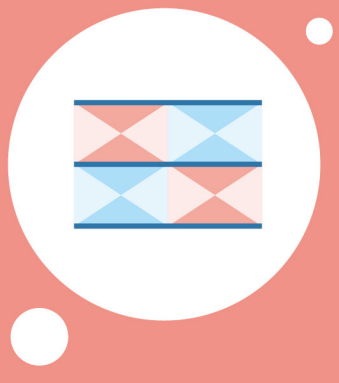


圖 30 TaiESM1-ROMS 中，呂宋海峽海溫與海流傳輸量的四季變化。(a) SSP2-4.5 及 (b) SSP5-8.5 情境下，上層 250 公尺海流傳輸量 (藍線) 及海表溫度 (橘線)，於歷史基期 (實線) 及暖化情境 (虛線) 的每月平均及標準差。

本章利用 TaiESM1-ROMS 高解析度海洋未來推估模擬資料，分析暖化情境下臺灣周遭海域海溫、海流及海洋動力結構的未來變化。結果顯示，在 SSP2-4.5 與 SSP5-8.5 情境下，臺灣周遭海域皆呈現顯著增溫趨勢，且高排放情境下之增溫與海平面上升幅度更為明顯。此外，臺灣東側黑潮季節性流量變化、黑潮經由呂宋海峽流入南海之套流增強，以及臺灣海峽與南海環流之改變，顯示暖化不僅影響海溫，也可能重新調整區域海洋動力環境。另一方面，臺灣東北角冷丘湧升流有增強趨勢，反映海洋垂直結構與湧升作用受到暖化作用之影響。整體而言，高解析度海洋模式能更精細解析臺灣周遭複雜海表面分布、海洋動力與區域海洋氣候特徵，有助於評估未來海洋變遷與漁業應用衝擊，提供在地細緻的科學資訊。

[8] 向北流的黑潮在經過臺灣南端的呂宋海峽時，受地形與流場動力的影響，一部分的黑潮會向西彎入南海，繞一圈後於海峽北邊流出，此套索般的流場結構又稱套流。





CHAPTER

04

暖化推估之海岸與海洋漁業衝擊

CHAPTER 04 暖化推估之海岸與海洋漁業衝擊

根據本報告臺灣周遭海洋未來推估結果顯示，在暖化情境下，臺灣周遭海域未來海溫上升與海平面持續升高已是明確趨勢。此外，《國家氣候變遷科學報告 2024》亦指出，未來影響臺灣的颱風個數雖可能減少，但強颱比例、最大風速與降雨強度將增加，意謂著海岸暴潮與極端風浪等海岸災害風險亦可能提高。另一方面，海洋表面溫度暖化與海流傳輸特徵改變，也可能進一步影響臺灣周遭海域之海洋環境與漁業資源分布。

本章收錄 TCCIP 計畫海岸領域以及海洋漁業領域團隊之研究成果，探討暖化情境下海岸災害風險與海洋漁業可能面臨之衝擊，以作為未來氣候變遷調適與風險管理的重要科學參考。

1. 全球暖化 2℃情境下臺灣的海岸災害衝擊評估

風浪與暴潮 (參閱文字框 7) 的影響是臺灣及離島最受關注的海岸災害之一，且在颱風侵襲時期影響更為加劇。以 2025 年為例，樺加沙颱風大浪打上小琉球環島公路路面，留下滿地漂流木與垃圾，導致道路一度中斷通行；丹娜絲颱風帶來狂風大浪，海上牡蠣養殖、蚵棚、漁船筏嚴重受損，暴潮的高水位也造成多處沿海低窪地區嚴重淹水。由歷史受災經驗可知，颱風風浪與暴潮會對人身安全、財產、道路、設施以及沿岸產業經濟帶來嚴重的影響。風浪與暴潮的衝擊圖協助我們了解未來將面臨的災害衝擊與變化趨勢，而將風浪與暴潮衝擊圖資應用至不同的保全對象，能進一步評估現況與未來風險。

為因應國家氣候變遷情境調適的需求，TCCIP 計畫海岸領域使用全球暖化程度 (Global warming level, GWL [9]) 達 2℃的情境，模擬臺灣本島與離島因颱風引起之風浪與暴潮，藉此評估其對臺灣本島海岸及離島的潛在衝擊，並建置高解析度衝擊圖資，提供未來風險評估與調適規劃。在海岸災害衝擊評估一節中，1.1 節與 1.2 節分別呈現暖化下的颱風暴潮與颱風風浪衝擊圖資成果。

[9] 全球暖化程度指的是以工業革命前 (1850-1900) 的平均溫度爲參考基準，相對於此溫度門檻之全球年平均的升溫幅度。以 GWL 2℃爲例，表示相較於工業革命前，全球平均溫度上升達 2℃的暖化情況。更詳細的全球暖化程度定義與說明，可參考國家氣候變遷科學報告 2024 以及 2024 臺灣氣候變遷分析系列報告暖化趨勢下的臺灣極端高溫與衝擊，關於全球暖化程度 (GWL) 文字框說明，亦可參考 TCCIP 資料說明 (2023)。

文字框 7 暴潮與風浪特性介紹

暴潮水位 (Storm tide) 為暴潮偏差與天文潮疊加後的總水位。暴潮偏差 (Storm surge) 由颱風等強烈天氣系統引起，成因包括強風將海水推向岸邊堆積 (風力抬升)，以及低氣壓使海面抬升 (逆氣壓效應)。其大小受颱風強度、暴風範圍、路徑與移速、風向與海岸走向，以及海岸地形與水深影響。颱風接近陸地時，若持續吹送強烈向岸風，且海岸為灣澳地形或外海為寬廣淺緩陸棚，暴潮偏差較顯著；若再遇上天文大潮或高潮，加上碎波帶內的波浪抬升 (Wave setup)，近岸水位將更高。1.1 節颱風暴潮偏差衝擊圖 (圖 31) 呈現扣除天文潮後，主要由天氣系統造成的水位變化。波浪由風吹拂海面生成，傳遞的是能量而非水體。風速越強、吹程 (風吹過海面的距離) 越長、延時 (風持續吹拂的時間) 越久，浪越大；吹程與延時足夠時，波浪達完全發展狀態，波高主要由風速決定。風浪傳離生成區後成為週期較長的湧浪，因此颱風尚未接近時，沿岸即可能出現長浪。波浪進入淺水區後，因淺化作用波高增大，直到碎波；碎波帶內波高受水深限制，暴潮墊高水位時，抵岸波浪隨之增大，加劇溢淹與越波風險。1.2 節颱風波浪衝擊圖採用示性波高 (Significant wave height)，即一段時間內的個別波浪依波高由大到小排序，取最大的前 1/3 波浪計算平均波高，可代表整體海況，接近目視估計的波高；不過，單一最大波高可達示性波高的 1.5 至 2 倍。

1.1 GWL 2°C情境颱風暴潮偏差衝擊圖

為獲得颱風暴潮模擬所需的颱風風速與氣壓場未來推估資料，本研究參考高解析度全球大氣模式 HiRAM 的模擬平均結果。當 GWL 達 2°C時，颱風近中心最大風速將增加約 5% (國家科學及技術委員會，2025)。因此，本研究選取 2014 年至 2023 年共 42 場歷史颱風事件進行模擬，採用經驗公式評估當颱風最大風速增加 5% 時，計算颱風中心氣壓的變化率，再以此變化率調整整體颱風的氣壓場分布，預期可相對真實地反映出颱風風場與氣壓場同時改變後對風浪與暴潮的影響。

利用高解析度全球大氣模式結合海洋水動力模式，模擬歷史時期與全球升溫 (GWL)2°C情境下，臺灣及離島海岸可能發生之最大颱風暴潮偏差 (Maximum storm surge deviation)。結果顯示，隨著全球氣候暖化增強了大氣與海洋之間的能量交換及交互作用，臺灣及離島沿海面臨的極端暴潮風險不僅顯著增加，同時呈現顯著的空間擴張與強度增加特徵。

關於未來颱風暴潮的改變特徵，本研究以科學數據，等間距衝擊差異的方式進行分級。圖 31 比較歷史現況 (2014 年至 2023 年)(左圖) 與 GWL 2°C (右圖) 情境，可發現最顯著的趨勢在於高強度暴潮偏差 (大於 1.2 公尺，紅色標示) 從空間較為分散的點狀分佈轉為全線擴張。歷史現況模擬結果顯示，在當今氣候背景下，全臺大部分海岸線之暴潮偏差介

於 0.3 公尺至 0.9 公尺之間 (綠色與藍色區段)，僅於臺灣南端墾丁、東南部零星地區以及金門出現超過 1.2 公尺的極端值。然而，當升溫達到 2℃時，臺灣西南部平原海岸、中部海岸以及東部海岸線，其暴潮偏差均大幅躍升至大於 1.2 公尺的區間。此結果反映出，在颱風路徑維持不變的假設下，暖化後颱風強度的增強可能對淺灘地形造成的非線性增幅效應 (Shallow water effect)。特別是西南部與中部海岸區域在 GWL 2℃下的暴潮偏差呈現大範圍紅色等級 (大於 1.2 公尺)，由於該區多屬沙岸與低窪地區，當地暴潮偏差的劇增將嚴重威脅海岸防護工程 (Coastal defense structures)，並增加海水倒灌與內水不易宣洩的風險。

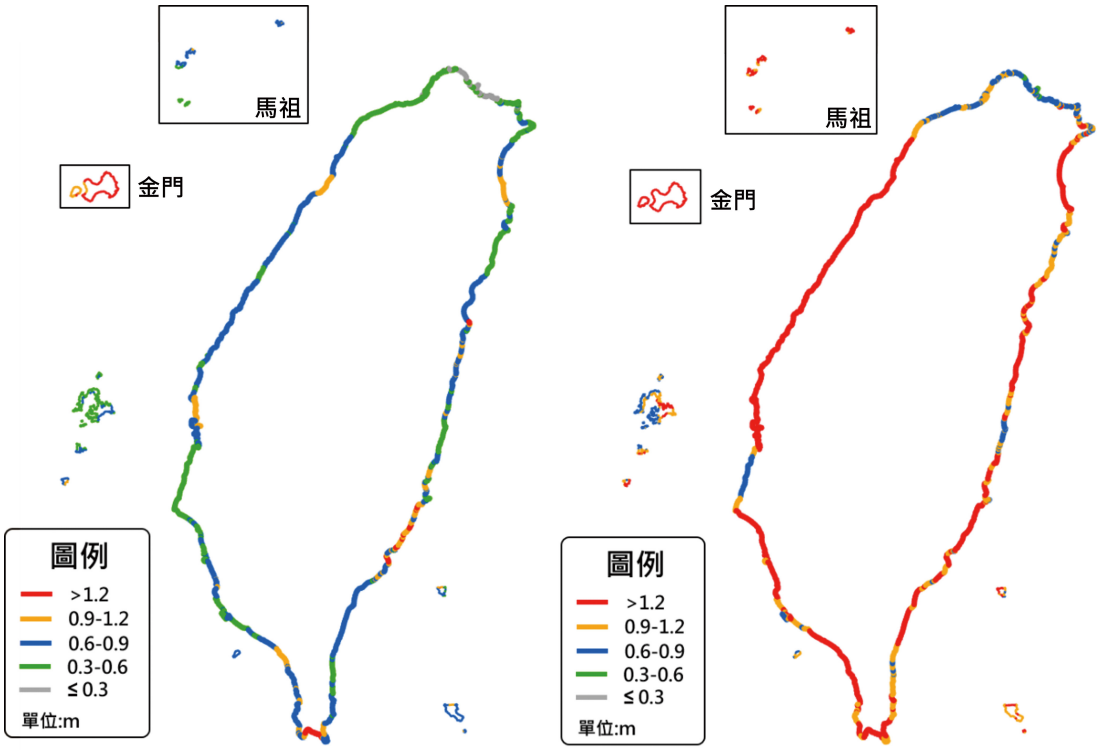


圖 31 臺灣與離島海岸最大颱風暴潮偏差衝擊圖，現況 (左) 與 GWL 2℃情境 (右)

離島地區除澎湖外，GWL 2℃情境下，金門、馬祖、綠島、蘭嶼的海岸線面臨暴潮的風險幾乎全數轉為黃色 (0.9 至 1.2 公尺) 至紅色 (大於 1.2 公尺) 區段。相較於現況，離島地區對於氣候暖化的敏感度極高，反映出離島在極端風暴下的高度脆弱性。儘管東部屬深水海岸 (Deep-water coast)，但在 GWL 2℃情境下，其最大暴潮偏差亦由現況的 0.6 至 0.9 公尺普遍提升至 1.2 公尺以上，顯示暴潮受到颱風風速與低氣壓的影響不容忽視，推估時需要同時考慮兩者的作用。

1.2 GWL 2°C情境颱風風浪衝擊圖

藉由比較歷史現況與 GWL 2°C情境的最大示性波高 (Significant wave height)(圖 32)，可明顯觀察到颱風引起的最大示性波高也有很大的變化特徵 (分級方式與前述暴潮偏差衝擊圖相同)，臺灣東部海域在歷史現況下，波高大於 12.0 公尺 (紅色標示) 之區域主要集中於臺東南端及綠島、蘭嶼的東邊海岸。然而，在 GWL 2°C情境下，紅色波高區間呈現向臺東與花蓮擴張的趨勢。這反映出在全球暖化情境下，颱風強度增強 (Intensification) 導致深水波能量 (Deep-water wave energy) 直接衝擊東部陡峭地形的機率大幅提升。西部海岸由於受臺灣海峽淺灘地形之消能作用影響[10] ，風浪增幅相對有限，大部分維持在 3.0 公尺以內。但在 GWL 2°C 情境下，東北部與恆春半島部分海岸的波浪高度明顯由藍色 (6.0 至 9.0 公尺) 轉向黃色 (9.0 至 12.0 公尺)，顯示受風場擴張影響，能量輸入已超過地形消能之閾值。

在 GWL 2°C升溫情境的颱風影響下，東部離島 (綠島、蘭嶼) 東部海域幾乎全數受大於 12.0 公尺之極端風浪覆蓋。此類巨浪對海岸侵蝕 (Coastal erosion)、近岸與港口的基礎設施 (Port infrastructure) 具備相當顯著衝擊潛力。以澎湖群島為例，在 GWL 2°C下，面臨 3.0 至 6.0 公尺波高的海岸線將大幅增加；儘管絕對數值低於東部海岸，但較高波浪能量將顯著改變澎湖海岸環境的穩定性。

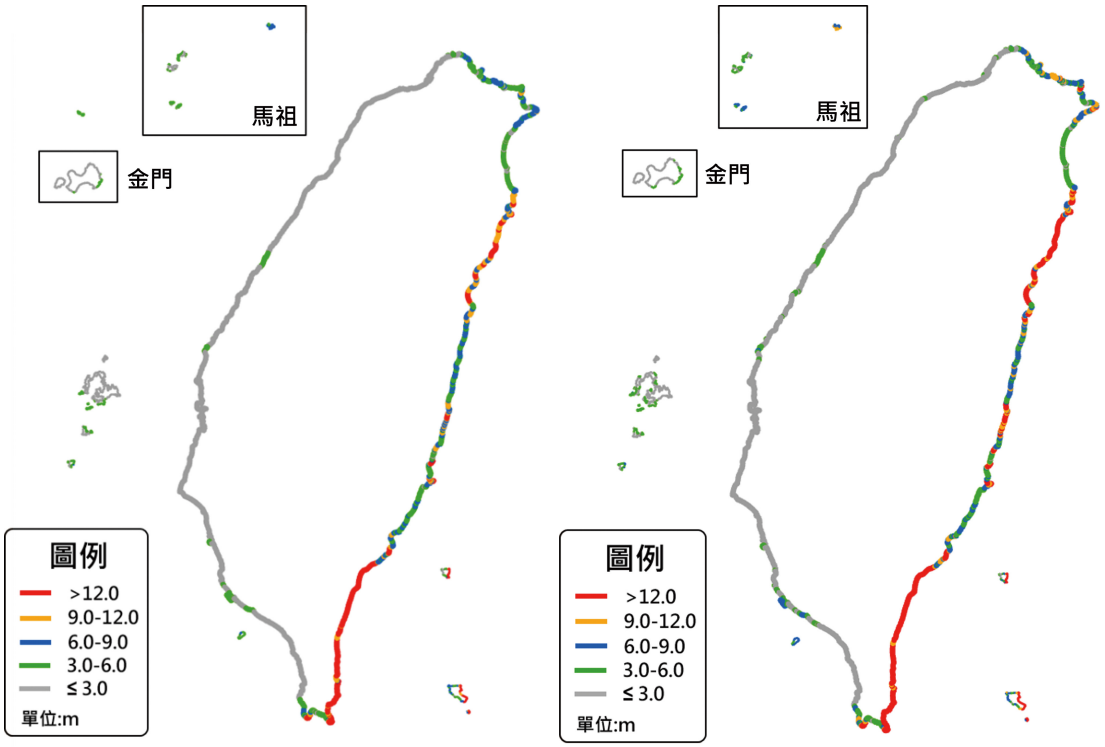


圖 32 臺灣與離島海岸最大颱風風浪衝擊圖，現況 (左) 與 GWL 2°C情境 (右)

[10] 淺灘地形消能機制：外海波浪傳遞到淺水區域時，受地形摩擦影響而破碎，將動能轉化爲紊流，減弱波浪的衝擊力。寬平淺灘可延長摩擦路徑，使波浪逐次破碎，分階段大幅減緩衝擊。

前述結果顯示，在全球暖化 2° C 情境下，臺灣海岸的暴潮偏差與波浪強度將普遍提高，呈現「高暴潮偏差、強波能」的新常態。現行海岸防護區劃設基準以歷史資料推估，尚未直接納入氣候變遷影響，未來檢討時宜將海平面上升、暴潮偏差及波浪作用 (波浪抬升與溯上) 等複合水位成分納入劃設基準 (參閱文字框 8)。

文字框 8 氣候變遷下的海岸防護區檢討

依《海岸管理法》第 14 條，海岸地區有海岸侵蝕、洪氾溢淹、暴潮溢淹、地層下陷或其他潛在災害者，得視其嚴重情形劃設為一級或二級海岸防護區，並分別訂定海岸防護計畫；一級由經濟部水利署擬訂，二級由直轄市、縣 (市) 水利主管機關擬訂。依整體海岸管理計畫的劃設原則，暴潮溢淹潛勢以 50 年重現期暴潮位 (大潮平均高潮位加 50 年重現期暴潮偏差) 與地面高程比較判定，海岸侵蝕則依近 5 年平均高潮線後退速率判定，兩者均以歷史資料統計為基礎。氣候變遷的影響規定在防護計畫的防護治理與避災管理措施中因應，尚未直接納入劃設基準。在全球暖化下，海平面持續上升，颱風強度、暴潮偏差與波浪條件也可能改變，以過去資料推估的設計條件將逐漸偏低，過去少見的極端水位將更頻繁發生，現行防護區範圍與防護標準可能因此低估實際風險。海岸溢淹程度取決於多種水位成分的疊加，而現行暴潮位尚未計入海平面上升與波浪作用，因此建議以複合水位 (海平面上升＋天文潮＋暴潮偏差＋波浪抬升與溯上) 作為檢討基礎。各成分在氣候變遷下的變化幅度不同，彼此也有交互作用，例如水位抬升會使抵岸波高增大，因此不宜將各項極值直接相加，而應以聯合機率評估其發生頻率。

2. 海洋漁業衝擊評估

海洋漁業除了作為臺灣重要的糧食來源之一，也是沿海漁村與漁民賴以生存的產業。然而氣候變遷已對全球海洋生態系統造成深遠影響，並改變漁業資源的時空分布與經營環境。回顧文獻發現，全球暖化導致海水表面溫度升高、海水酸化加劇，以及極端天氣事件發生頻率與強度增加，均對海洋生物棲地、洄游行為及族群結構產生顯著影響，進而衝擊漁業生產穩定 性 (Freitas et al., 2016; Hastings et al., 2020; Hollowed et al., 2013; Jansen and Gislason, 2011; Sims et al., 2004; Lam et al., 2020)。

海水溫度變化將直接影響魚類與甲殼類之棲地選擇與分布範圍，並可能導致傳統漁場資源與漁獲組成改變 (Galappaththi et al. 2022)。此外，海水酸化亦會影響海洋生物之生理機能與食物鏈結構，而極端天氣事件則增加漁船作業風險，進一步威脅漁民生計 (Hollowed et al., 2013)。Lam 等人於 2020 年的研究指出，在溫室氣體高排放情境下，部分熱帶國家專屬經濟海域的最大漁獲潛力，推估將於 2050 年下降高達 40%，高緯度國家專屬經濟海域的最大漁獲潛力預測則可能反而呈現上升的趨勢 (圖 33)。

由於全球尺度氣候模式資料之空間解析度不足，難以解析臺灣周遭細緻的海岸地形、陸棚海域與黑潮等區域海洋特徵，因此需透過高解析度海洋氣候變遷模擬與降尺度推估資料，才能更合理描述臺灣周遭海域環境變化，並進一步應用於漁業資源與適生棲地之衝擊評估。農業部水產試驗所團隊以萬里蟹籠漁業為例，使用 TOReD 海洋歷史重建資料，搭配臺灣北部近海蟹籠漁業資料庫之漁獲資訊與蟹籠漁業漁場作業範圍，利用廣義加乘模式 (Generalized Additive Models, GAM; Hastie and Tibshirani 1986)，針對鏽斑蟳與紅星梭子蟹兩物種，找出其最適合的海洋環境因子數值範圍，進行相關分析。另外，本研究進一步應用 TaiESM1-ROMS 海洋未來推估資料 (見本報告第三章)，分析蟹籠漁業漁場作業範圍在未來不同全球暖化程度 (GWL) 下的臺灣周遭海域環境變化以及對北部近海萬里蟹籠漁業之潛在影響，以作為漁業管理與調適策略擬定的重要科學依據。

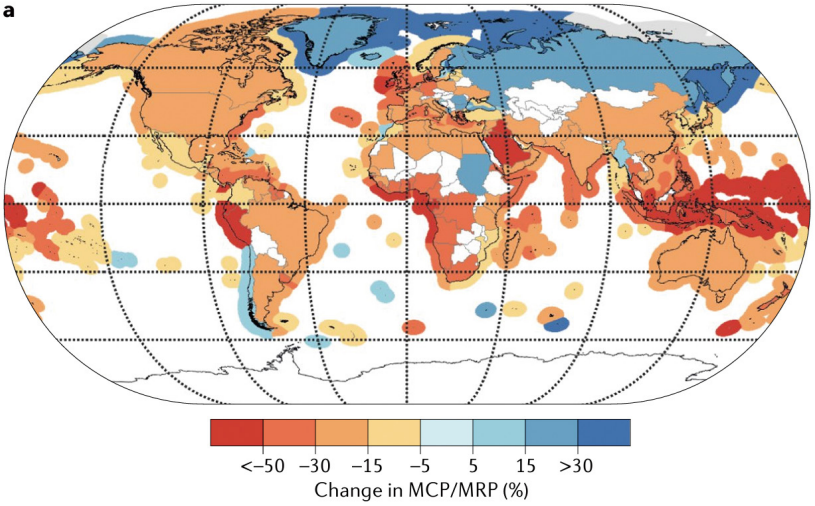


圖 33

氣候變遷對最大漁獲潛力 (Maximum Catch Potential, MCP) 與最大收益潛力 (Maximum Revenue Potential, MRP) 的影響 (摘自 Lam et al. (2020))

2.1 氣候變遷對臺灣重點漁業之影響 - 以萬里蟹籠漁業爲例

氣候變遷透過改變海洋環境條件，已逐漸成為影響臺灣沿海以及近海漁業資源分布與漁業經營穩定性的關鍵因素。北部近海萬里蟹籠漁業主要漁獲對象為鏽斑蟳與紅星梭子蟹，兩物種佔該漁業 95% 漁獲量。鏽斑蟳與紅星梭子蟹因其物種生態特性，對海洋環境變動具有高度敏感性，水文與洋流的變化都會造成其資源量與分布的改變，因而成為評估氣候變遷影響的重要代表性漁業 (Naimullah et al., 2021, 2024)。

根據水產試驗所所建構之臺灣北部近海蟹籠漁業資料庫進行分析，結果顯示於 2016 年至 2023 年間鏽斑蟳與紅星梭子蟹之單位努力漁獲量 (CPUE) 整體呈現相對穩定的趨勢 (圖 34)，顯示近年來透過最小體長限制與抱卵母蟹禁捕等管理措施，已在一定程度上發揮資源保育成效。穩定的歷史趨勢並不代表未來風險已被排除，氣候變遷可能在中長期尺度上對漁業系統造成結構性影響。

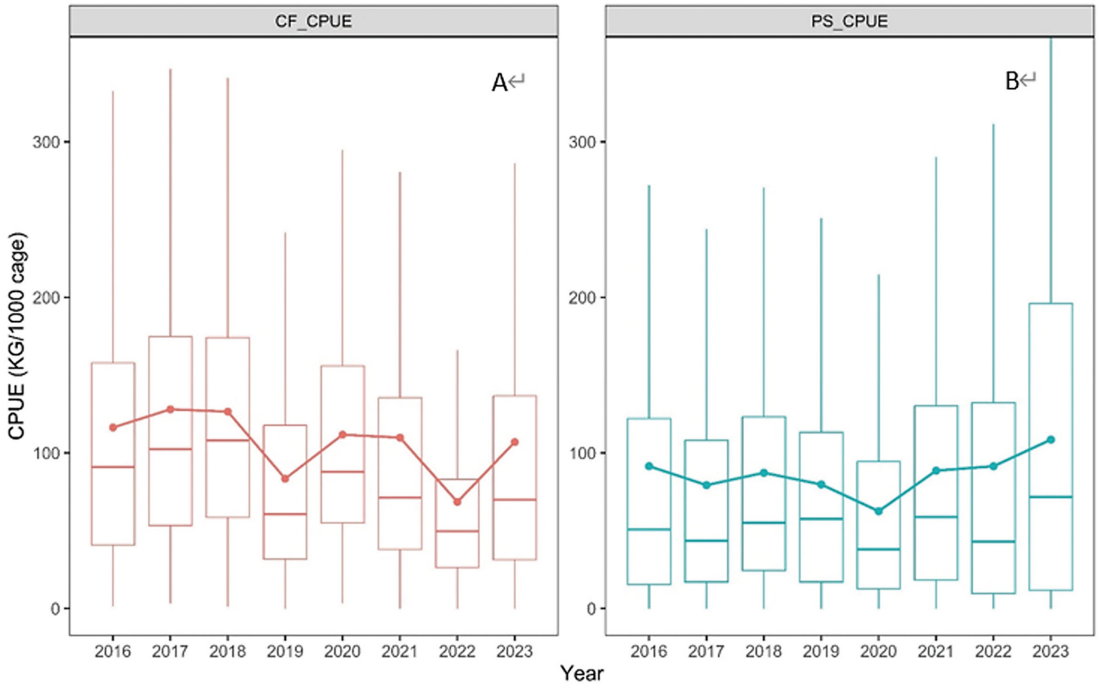


圖 34 臺灣北部蟹籠漁業漁獲鏽斑蟳 (A，紅色) 與紅星梭子蟹 (B，藍色) 之單位努力漁獲量年別變動趨勢圖 (單位 : 公斤 /1000 籠)，其中橫線爲 CPUE 年中位數，圓點爲年平均值，盒鬚圖上下界分別爲 75% 與 25% 位數，誤差線爲 95% 信賴區間。

文字框 9 單位努力漁獲量 (CPUE)

單位努力漁獲量 (Catch per Unit of Effort, CPUE) 係指在每單位特定漁業作業努力量下 (如漁船數、作業時間、漁具漁籠數量等) 所捕獲的漁獲量 (Ricker, 1975)。當漁業資源未過度開發時，漁獲量會與資源量成正比，因此 CPUE 可作為漁業資源豐度的間接指標。單位努力漁獲量廣泛應用於資源評估，特別是在缺乏獨立漁業調查資料時，可透過單位努力漁獲量推估族群變動趨勢。

在海洋環境變動方面，TOReD 顯示 1995 至 2022 年間，北部蟹籠漁場之海水表面溫度與混合層深度年際變動幅度有限，整體水文條件相對穩定。然而，TaiESM1-ROMS 於兩種暖化情境下，該海域之海表水溫於 2015-2074 年間皆呈現升溫趨勢。尤其在 SSP5-8.5 情境下 (圖 35)，海水表面溫度於所有月份皆呈現顯著升溫趨勢，且冬春季升溫幅度高於夏季，顯示季節性溫差結構將可能發生改變。此外，鹽度在未來情境下呈現下降趨勢，顯示降雨型態、淡水輸入與海洋環流變化，可能進一步影響漁場環境穩定性。

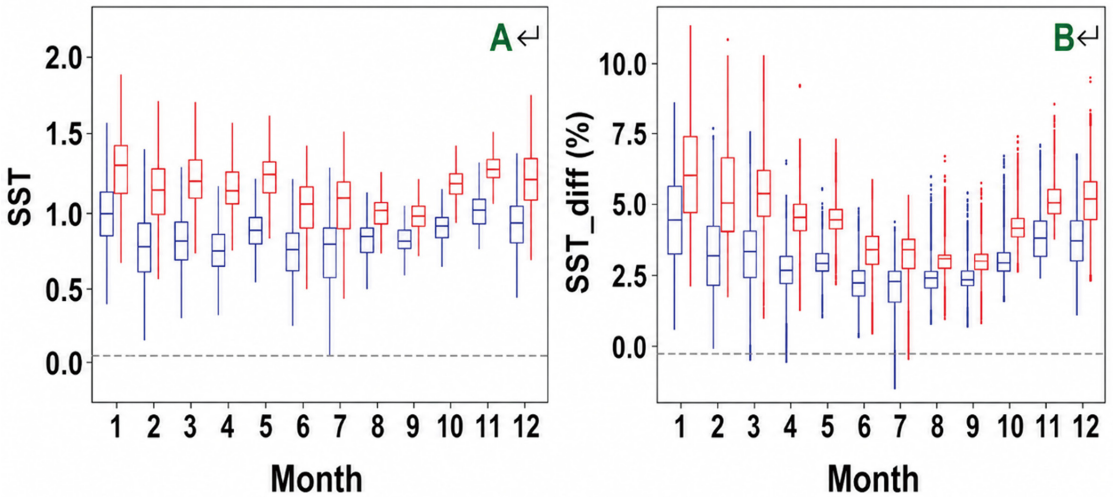


圖 35 臺灣北部蟹籠漁場在 2015-2074 年間 SSP2-4.5(藍色) 與 SSP5-8.5(紅色) 情境下，與基期 (1995-2014) 海水表面水溫月平均差異圖 (A: SST, B: SST 差異百分比)。盒鬚圖上下界分別爲 75% 與 25% 位數，誤差線爲 95% 信賴區間。

為接軌國家調適應用情境，且便於跨資料組的比較，以下將呈現不同 GWL 下的分析結果。根據「臺灣氣候變遷關鍵指標圖集 AR6 統計降尺度版」，其中 CMIP6 TaiESM1 未來推估結果於 SSP2-4.5 與 SSP5-8.5 路徑下第一次達到各 GWL 之 20 年時段整理如表 1。

表 1 TaiESM1 不同 GWL 年份對照表

基期 : 1995-2014		
	GWL 1.5℃	GWL 2℃
SSP2-4.5	2022-2041	2034-2053
SSP5-8.5	2019-2038	2027-2046

漁獲資料分析之結果指出 (圖 36)，在北緯 25-26 度區間，鏽斑蟳 CPUE 在 1 月到 4 月為全年較低之季節，但到了 5 月則開始劇烈增加。主要漁獲月份在每年的 6-7 月，且為 CPUE 最高之漁季。8-9 月下降後，到了每年的 10-12 月份又出現第二漁獲高峰 (圖 36 左圖)。紅星梭子蟹主要漁獲月份則以夏末的 8 月開始，隨著進入秋與冬季，天氣與水溫的降低後，CPUE 亦隨之升高。並在 11-12 月達到高峰，2 月到 6 月皆為減少之趨勢 (圖 36 右圖)。

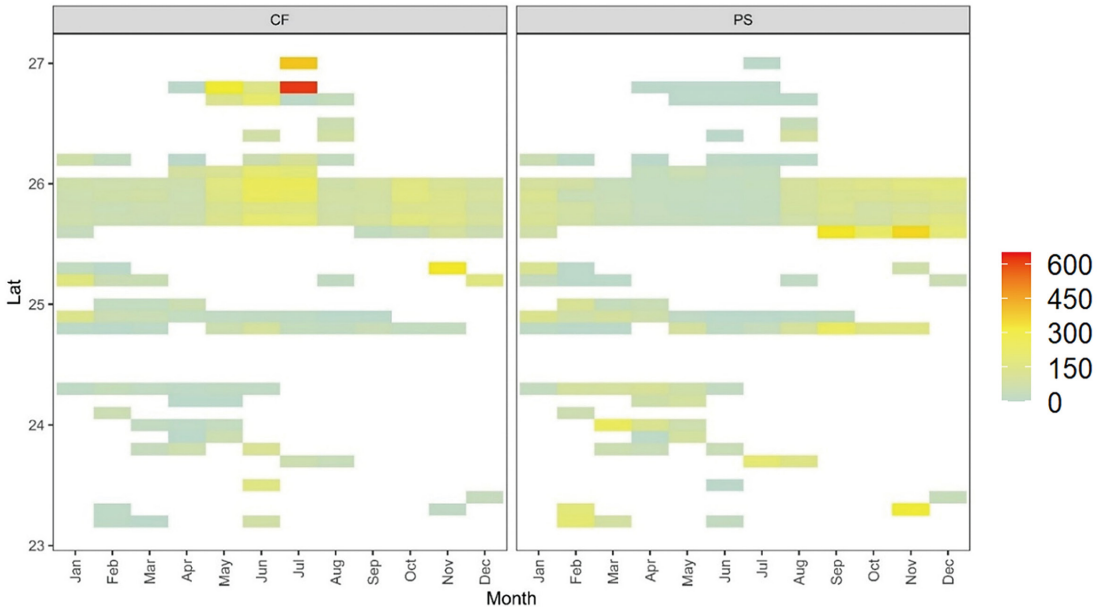
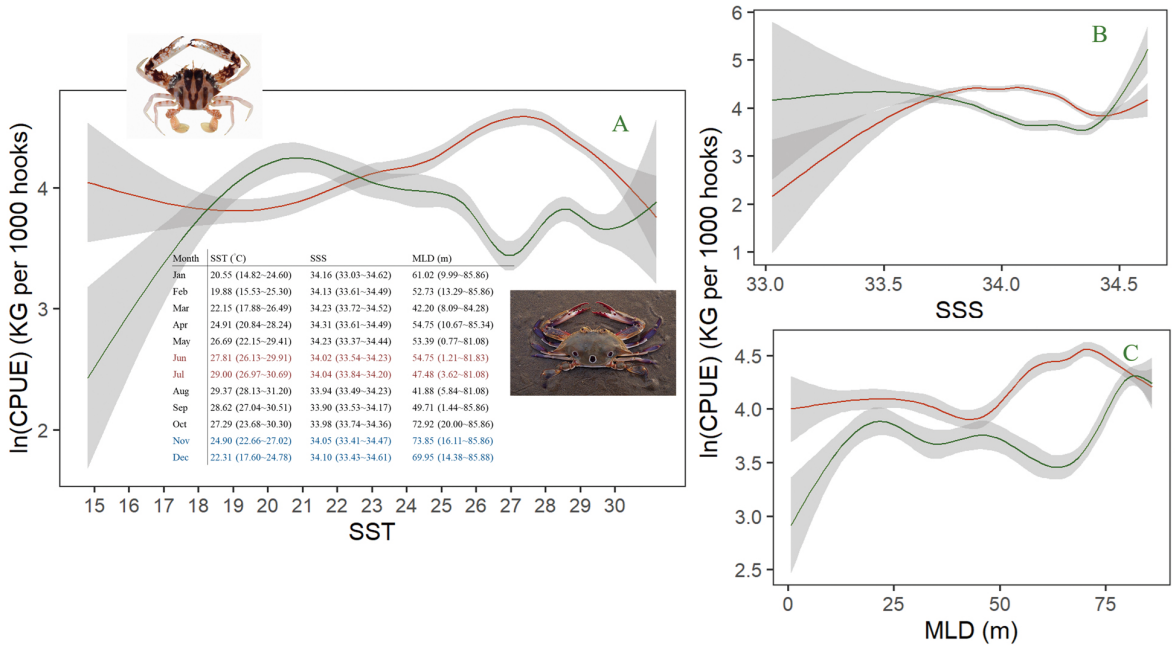


圖 36 臺灣北部蟹籠漁業漁獲鏽斑蟳 (左圖) 與紅星梭子蟹 (右圖) 之單位努力漁獲量，隨著緯度在 1-12 月的變動趨勢圖 (單位 : 公斤 /1000 籠)。

透過廣義加乘模式分析結果顯示，海水表面溫度、鹽度、混合層深度以及空間位置因子，皆對鏽斑蟳與紅星梭子蟹之 CPUE 具有顯著影響。鏽斑蟳最適海水表面溫度範圍介於 22.0℃至 30.5℃之間 (圖 37A 紅色曲線)；紅星梭子蟹則偏好較低水溫，最適範圍約為 15.2℃至 27.2℃ (圖 37A 綠色曲線)。鏽斑蟳相對於紅星梭子蟹來說，偏好較高之水溫，這也暗示未來海洋水溫受氣候變遷影響而增溫時，原棲地範圍將逐漸不適合紅星梭子蟹，且若海水升溫也超過適合鏽斑蟳生長的範圍，則此兩種蟹的漁場或漁季可能將明顯改變。



Month	SST (°C)	SSS	MLD (m)
Jan	20.55 (14.82–24.60)	34.16 (33.03–34.62)	61.02 (9.99–85.86)
Feb	19.88 (15.53–25.30)	34.13 (33.61–34.49)	52.73 (13.29–85.86)
Mar	22.15 (17.88–26.49)	34.23 (33.72–34.52)	42.20 (8.09–84.28)
Apr	24.91 (20.84–28.24)	34.31 (33.61–34.49)	54.75 (10.67–85.34)
May	26.69 (22.15–29.41)	34.23 (33.37–34.44)	53.39 (0.77–81.08)
Jun	27.81 (26.13–29.91)	34.02 (33.54–34.23)	54.75 (1.21–81.83)
Jul	29.00 (26.97–30.69)	34.04 (33.84–34.20)	47.48 (3.62–81.08)
Aug	29.37 (28.13–31.20)	33.94 (33.49–34.23)	41.88 (5.84–81.08)
Sep	28.62 (27.04–30.51)	33.90 (33.53–34.17)	49.71 (1.44–85.86)
Oct	27.29 (23.68–30.30)	33.98 (33.74–34.36)	72.92 (20.00–85.86)
Nov	24.90 (22.66–27.02)	34.05 (33.41–34.47)	73.85 (16.11–85.86)
Dec	22.31 (17.60–24.78)	34.10 (33.43–34.61)	69.95 (14.38–85.88)

圖 37 臺灣北部蟹籠漁場漁業海洋環境參數月別變化，與鏽斑蟳 (紅色曲線)，紅星梭子蟹 (綠色曲線) 漁獲 CPUE 與海水表面溫度 (SST, 圖 37-A；單位：度)，海水表面鹽度 (SSS, 圖 37-B; 單位：psu)，混合層深度 (MLD, 圖 37-C)，灰色區域爲 95% 信賴區間。

進一步分析 GWL 下未來推估結果，萬里蟹籠漁業的漁期與漁場分布將出現差異化變動。鏽斑蟳於夏季部分月份，其最適水溫出現機率可能因水溫過高而下降，但於秋冬季則可能因暖化而受益，使第二漁獲高峰出現機率提高，甚至延長漁期 (圖 38)。相對而言，紅星梭子蟹於主要漁獲季節受水溫上升影響較小，但在非主要漁季，適合其棲息地環境可能會隨著水溫的上升而減少 (圖 39)。氣候變遷不僅影響漁獲量，更可能重塑漁業作業節奏與資源時空配置。

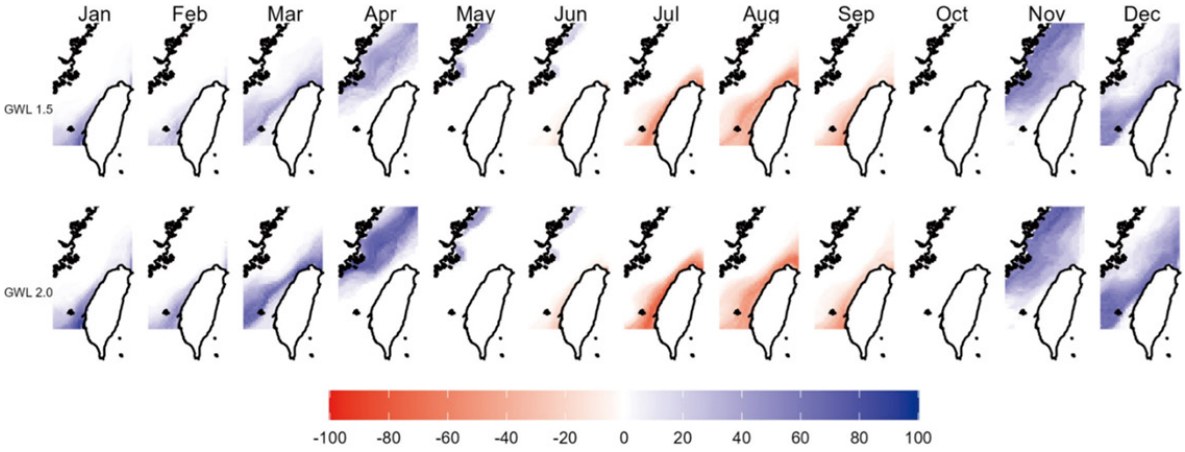


圖 38 GWL1.5°C與 2.0°C情境下，臺灣西北部區域，鏽斑蟳適合水溫發生機率之逐月改變率。紅色代表海表水溫上升後，使最適水溫機率減少，藍色代表海表水溫上升後，最適水溫出現機率增加。

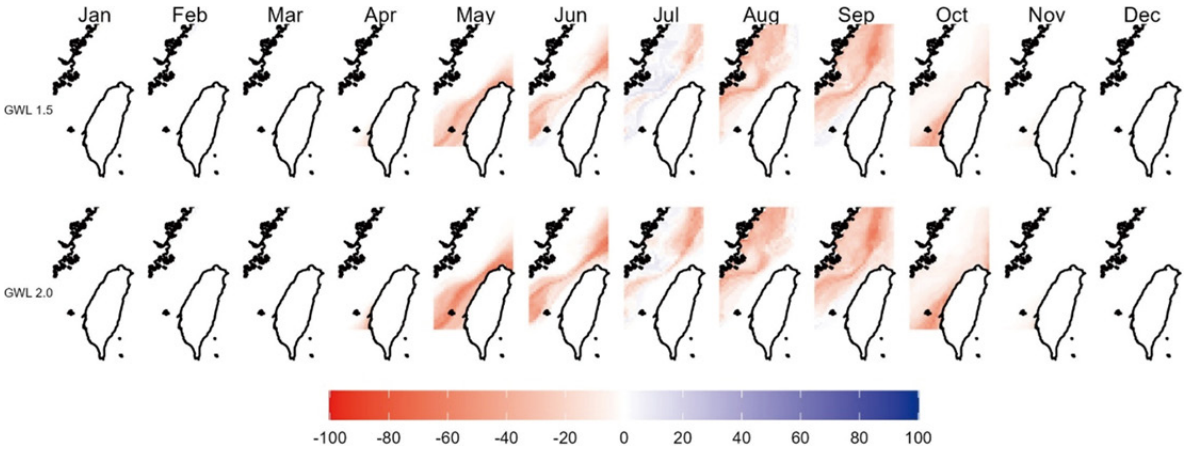


圖 39 GWL1.5°C與 2.0°C情境下與基期相比臺灣北部近海蟹籠漁業漁獲紅星梭子蟹月別之危害圖資。紅色代表因海水表層水溫上升而使其最適水溫出現減少之機率，藍色代表因海水表層水溫上升而使其最適水溫出現增加之機率。

2.2 海洋生態系變化與物種交互影響

氣候變遷對漁業的影響不僅來自單一環境因子的改變，更透過改變整體海洋生態系結構，進一步影響物種間的競爭關係、能量流動與資源利用方式。當海洋環境條件發生系統性變動時，生態系內部的物種組成與族群結構往往會隨之調整，進而對漁業資源的穩定性造成長期影響 (Hollowed et al., 2013; Lam et al., 2020)。

近年來北部近海蟹籠漁業作業中，水試所團隊也觀察到刺河豚等非目標物種漁獲頻率增加。刺河豚族群增加可能與水溫上升、食物來源變化及天敵壓力改變有關。蟹籠作業時，刺河豚與主要目標蟹種的漁獲量都呈現負相關。水試所團隊利用皮爾森相關分析 (Pearson correlation Analysis) 進行分析，刺河豚的出現與主要目標魚種鏽斑蟳呈顯著負相關 (Pearson correlation coefficient, $r = -0.283$)，顯示刺河豚出現時，鏽斑蟳的出現機率可能降低。同樣的分析也指出紅星梭子蟹的漁獲量會因為刺河豚的出現而減少 (r=-0.510)。推測可能因該物種攻擊性較強，且在自然環境中可能捕食幼蟹、或與蟹類競爭餌料資源。蟹籠中先漁獲刺河豚可能造成目標蟹種不願進入籠中，進而對鏽斑蟳與紅星梭子蟹造成潛在負面影響，並且降低蟹籠漁業的作業效率與經濟效益。

生態系變動往往具有連鎖效應，其影響範圍不僅限於單一漁業。臺灣周遭海域過去亦曾出現海星數量異常增加，對珊瑚礁生態系造成嚴重破壞的案例。珊瑚礁結構受損後，將影響多種魚類與無脊椎動物的棲地與繁殖環境，進而改變整體生物多樣性與漁業資源基礎。此類案例顯示，氣候變遷可能透過促進特定物種族群擴張，間接壓縮其他物種的生存空間，造成生態系失衡。

就萬里蟹籠漁業而言，若非目標物種持續增加，或主要經濟物種的棲地環境遭到壓縮，將可能使漁獲組成發生改變，並提高漁業經營風險。當漁業過度依賴少數高經濟價值物種時，生態系結構的微小變動，皆可能對產業造成放大效應。

海洋生態系變化與物種交互作用，已成為影響臺灣沿近海漁業永續發展的重要因素。未來漁業管理與研究，應加強跨物種與生態系尺度之整合分析，透過長期監測、非目標物種調查與生態模式模擬，全面掌握氣候變遷對漁業系統的潛在衝擊，以降低不確定性並提升漁業調適能力。

臺灣沿近海蟳蟹類漁業為具高經濟價值之重要漁業型態，其中以北部近海萬里地區之蟹籠漁業最具代表性，主要漁獲物種包括鏽斑蟳與紅星梭子蟹。蟹籠漁業具備漁獲選擇性高、混獲比例低、漁獲品質佳等特性，長期以來被視為相對友善且符合永續利用原則之捕撈方式。政府自 2013 年起陸續推動最小可捕體長限制及禁捕抱卵母蟹等管理措施，使近年來蟳蟹資源之單位努力漁獲量呈現相對穩定趨勢，顯示既有資源管理政策已在一定程度上發揮保育與調控成效。

利用 TOReD 臺灣海洋歷史重建資料以及 TaiESM1-ROMS 不同暖化情境下未來推估資料，搭配漁獲資料庫分析兩種蟹種在暖化下的海洋環境變遷顯示，適宜環境條件可能因水溫上升而逐漸減少。此一差異顯示，氣候變遷將可能改變不同物種之相對優勢，進而影響漁獲組成與漁業經營結構。

氣候變遷可能透過改變海洋生態系結構，間接影響蟹籠漁業之資源穩定性。近年來非目標物種如刺河豚於漁場中出現頻率增加，可能與海洋環境變動有關，該現象顯示生態系內部之物種交互作用正逐步改變。若未能及時掌握此類變化趨勢，將可能對主要經濟物種造成額外壓力，進一步提高漁業經營風險。

氣候變遷對萬里蟹籠漁業之影響並非單純的漁獲量增減，而是涉及漁期變動、漁場適宜性改變、物種組成調整以及生態系結構重組等多重層面 (Hollowed et al., 2013)。面對未來氣候不確定性增加，漁業管理策略需由過往以單一年份或單一物種為主的管理方式，轉向結合氣候預測資訊與生態系觀點的動態調適管理。氣候變遷可能改變不同物種間的競爭關係與棲地分布，非目標物種數量變化所造成的間接影響，也逐漸成為影響蟹籠漁業穩定性的關鍵因素之一 (Lam et al., 2020)。未來管理措施在關注主要經濟物種資源量變動的同時，亦需納入生態系整體結構與物種交互作用的評估，以避免管理成效因忽略生態回饋而受到限制。

未來蟳蟹類漁業之政策調適方向，應以長期監測、科學分析與彈性管理為核心支柱，在確保資源永續利用的前提下，逐步建立具因應氣候變遷能力的現代化漁業管理體系，使臺灣沿近海漁業得以在環境快速變遷的情境中，持續維持產業穩定與生態平衡。

文字框 10 目標魚種 (Target Species)

漁業中的目標物種 (target species) 是指漁民在捕撈作業中主要鎖定並捕獲的魚類、甲殼類、頭足類或貝類等。特定漁業活動依其特性，或是季節會有不同的目標魚種。這些物種通常是漁獲中最具經濟價值的種類。以萬里蟹籠漁業而言，主要的目標魚種為高經濟價值的鏽斑蟳、紅星梭子蟹與善泳蟳。而混獲 (bycatch) 的非目標魚種 (non-target species) 是指漁獲行為在捕撈目標物種時，意外被捕獲的其他物種，通常經濟價值較目標魚種低、或是不具經濟價值。



結語

臺灣海洋與海岸觀測可追溯至 19 世紀末，從清代海關、燈塔氣象觀測到日治時期海浪、潮汐與海水溫度紀錄，逐步建立起臺灣早期海象監測基礎。臺灣位處西北太平洋颱風要衝，相關觀測與文史資料亦記錄了歷史上颱風風暴潮、沿海淹水與重大海岸災損事件。

透過近代衛星海表溫度、海表高度與 TOReD 海洋歷史重建資料顯示，臺灣周遭海域近數十年已呈現明顯海溫升高與海水位上升趨勢。其中，東沙環礁與臺灣東北角為區域暖化熱點。利用近 30 年浮標、潮位站與波浪觀測資料則顯示，臺灣周遭海域極端波浪與暴潮有增強趨勢，北部、東部與西南沿海於颱風期間曾出現長延時強浪與極端暴潮事件。此外，TOReD 資料提供之完整海洋三維結構資訊，顯示了黑潮傳輸量平均減弱趨勢，以及其主流有離岸偏移的特徵，同時臺灣東北角冷丘近二十年平均呈現減弱趨勢。然而，前述各項分析結果也顯示，這些區域海洋動力特徵在年際之間的變異量比近二十年的變化趨勢還顯著，過去的黑潮流量也有顯著的年代際變異。

本次報告也利用高解析度 TaiESM1-ROMS 的模擬推估，呈現在 SSP2-4.5 與 SSP5-8.5 暖化情境下的變化。相較於 1985–2014 的歷史基期分布，臺灣周遭海域海表溫度分別平均上升約 1.5℃與 2.2℃，其中臺灣西南部 (呂宋海峽西側) 與東北部海域增溫幅度較周遭海域高約 0.2–0.3℃，凸顯區域暖化特徵。其模擬結果亦推估至 2070 年時，臺灣周遭海平面在 SSP2-4.5 與 SSP5-8.5 情境下，將分別上升約 14 公分與 18 公分，其中高排放情境於世紀後期海平面上升速率有明顯加快的傾向。

海洋動力特徵方面，臺灣海峽則呈現冬季東北季風減弱、夏季西南季風增強之特徵，這使整體海水向東北方向輸送略為增加。此外，東海陸棚與臺灣東北角湧升流夏季與秋季強度明顯增強；臺灣東側黑潮於暖化情境下呈現夏季流量略為增強、冬季稍有減弱之季節性不對稱變化；呂宋海峽則呈現黑潮套流結構更加明顯，並伴隨海流傳輸特徵改變。暖化情境下的海溫與海流結構改變，不僅可能影響海洋熱量與物質傳輸，也將進一步牽動臺灣周遭海域之海洋漁場環境與海岸衝擊。

當全球暖化程度達 2℃情況下，臺灣本島與離島海岸之颱風暴潮偏差與颱風波高皆呈現增加趨勢，其中，以臺灣西南部、中部與東部海岸增幅較為明顯。海洋暖化預期將對海洋生態系與漁業資源造成衝擊。以臺灣東北部萬里蟹籠漁業為例，根據蟹籠漁業於近年漁獲資料數據顯示，鏽斑蟳主要漁季集中於夏季與秋冬季，而紅星梭子蟹則以秋冬季為主要漁獲季節；近年兩物種之單位努力漁獲量整體維持相對穩定。然而，暖化下海水溫度、鹽度與混合層等海洋環境條件改變，影響兩物種之適生環境與季節分布，部分月份適合棲地可能減少，並可能改變未來漁期、漁場與漁獲組成。同時，非目標物種出現頻率增加，也顯示暖化對海洋生態系之影響具有複雜性，海洋生物間交互作用與漁場環境可能受氣候變遷而促使改變。

參考文獻

- TCCIP 資料說明 (2023)。AR6 統計降尺度日資料 - 資料說明文件。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/upload/data_document/20220708151649.pdf
- 中央氣象署全球資訊網 https://www.cwa.gov.tw/ 生活 / 南區氣象服務 / 聊科普 / 舊談天 /1898 年西北颱重創臺島：淡水河與濁水溪受衝擊。
- 交通部中央氣象署 (2025)。《遞信志 - 氣象篇》。
- 交通部中央氣象署 (2026)。1946–2024 年臺灣海象統計圖集。
- 許晃雄、王嘉琪、陳正達、李明旭、詹士樑 (2024)。國家氣候變遷科學報告 2024：現象、衝擊與調適［許晃雄、李明旭 主編］。國家科學及技術委員會與環境部聯合出版。
- 詹森、江偉全 (2023)。《黑潮震盪：從臺灣東岸啟航的北太平洋時空之旅》。新北市：野人文化。
- 國家科學及技術委員會 (2025)。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平臺計畫期末報告，國家科學及技術委員會。
- 臺灣總督府，(1898)。〈第一回暴風雨被害報告〉，《明治三十一年乙種永久保存第三十四卷》，國史館臺灣文獻館・《臺灣總督府檔案》。
- 臺灣總督府，(1898)。《台湾暴風雨被害概況報告》，日本宮內廳宮內公文書館。
- 臺灣總督府，(1898)。《臺灣風水害寫眞》，日本宮內廳書陵部。
- 臺灣總督府，(1898)。《暴風被害概況》，日本宮內廳宮內公文書館。
- 臺灣總督府臺北測候所，(1899)。《臺灣氣象報文 第一》。
- 蔡昇璋 (2024)。怒海暴風：日治臺灣氣象觀測預報與海難事件，臺灣氣象史料數位化及跨域研究應用 (1/3) 期末報告書，交通部中央氣象署。
- Bleck, R. (2002). An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycnic-Cartesian coordinates. Ocean modelling, 4(1), 55-88.
- Chang, M. -H., S. Jan, V. Mensah, M. Andres, L. Rainville, Y. J. Yang, and Y. -H. Cheng (2018). Zonal migration and transport variations of the Kuroshio east of Taiwan induced by eddy impingements. Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 131, 1-15.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., and Samelson, R. M. (2011). Global observations of nonlinear mesoscale eddies. Progress in oceanography, 91(2), 167-216. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.01.002
- Cheng, Y. H., Ho, C. R., Zheng, Z. W., Lee, Y. H., and Kuo, N. J. (2009). An algorithm for cold patch detection in the Sea off northeast Taiwan using multi-sensor data. Sensors, 9(7), 5521-5533.

● Cheng, Y. H., Ho, C. R., Zheng, Q., Qiu, B., Hu, J., & Kuo, N. J. (2017). Statistical features of eddies approaching the Kuroshio east of Taiwan Island and Luzon Island. Journal of Oceanography, 73(4), 427-438.

● Cheng, C.-T., Chou, C., Lin, P.-Y., Hsu, H.-H., and Chen, Y.-M. (2026). TReAD: 40-year Taiwan Reanalysis Downscaling Dataset at 2 km, Earth Syst. Sci. Data Discuss. [preprint], https://doi.org/10.5194/essd-2026-242 (in review), 2026.

● Doong, Dong-Jiing; Tsai, Cheng-Han; Chen, Ying-Chih; Peng, Jen-Ping; and Huang, Ching-Jer (2015). Statistical analysis on the long-term observations of typhoon waves in the Taiwan sea, Journal of Marine Science and Technology–Taiwan: Vol. 23: Iss. 6, Article 8. DOI: 10.6119/JMST-015-0610-7

● Freitas, C., Olsen, E. M., Knutsen, H., Albretsen, J., and Moland, E. (2016). Temperature-associated habitat selection in a cold-water marine fish. Journal of Animal Ecology, 85(3), 628–637.

● Galappaththi, E. K., Susarla, V. B., Loutet, S. J., Ichien, S. T., Hyman, A. A., and Ford, J. D. (2022). Climate change adaptation in fisheries. Fish and Fisheries, 23(1), 4-21.

● Gopalakrishnan, G., Cornuelle, B. D., Gawarkiewicz, G., and McCLEAN, J. L. (2013). Structure and evolution of the cold dome off northeastern Taiwan: A numerical study. Oceanography, 26(1), 66-79.

● Hastie, T., & Tibshirani, R. (1986). Generalized Additive Models. Statistical Science, 1(3), 297–310.

● Hastings, R. A., Rutterford, L. A., Freer, J. J., Collins, R. A., Simpson, S. D., and Genner, M. J. (2020). Climate change drives poleward increases and equatorward declines in marine species. Current Biology 30(8): 1572-1577. e1572.

● Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz‐Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly journal of the royal meteorological society, 146(730), 1999-2049.

● Hollowed, A. B., Barange, M., Beamish, R. J., Brander, K., Cochrane, K., Drinkwater, K., ... & Yamanaka, Y. (2013). Projected impacts of climate change on marine fish and fisheries. ICES Journal of Marine Science, 70(5), 1023-1037.

● Huang, J. H., Tseng, Y. H., and Kuo, Y. C. (2024). Projected changes of Kuroshio in a warming climate. Journal of Climate, 37(24), 6475-6489.

● Jan, S., Tseng, Y. H., and Dietrich, D. E. (2010). Sources of water in the Taiwan Strait. Journal of Oceanography, 66(2), 211-221.

● Jansen, T. and H. Gislason (2011). Temperature affects the timing of spawning and migration of North Sea mackerel. Continental Shelf Research 31(1): 64-72.

● Jevrejeva, S., Palanisamy, H., and Jackson, L. P. (2020). Global mean thermosteric sea level projections by 2100 in CMIP6 climate models. Environmental Research Letters, 16(1), 014028.

● Lam, V. W. Y., Allison, E. H., Bell, J. D., Blythe, J., Cheung, W. W. L., Frölicher, T. L., Gasalla, M. A., & Sumaila, U. R. (2020). Climate change, tropical fisheries and prospects for sustainable development. Nature Reviews Earth & Environment, 1, 440–454.

● L'Hégaret, P., Duarte, R., Carton, X., Vic, C., Ciani, D., Baraille, R., and Corréard, S. (2015).

Mesoscale variability in the Arabian Sea from HYCOM model results and observations: impact on the Persian Gulf Water path. Ocean Science, 11(5), 667-693.

● Li, Y., and Han, W. (2015). Decadal Sea Level Variations in the Indian Ocean Investigated with HYCOM: Roles of Climate Modes, Ocean Internal Variability, and Stochastic Wind Forcing. Journal of Climate, 28(23), 9143-9165.

● Masson-Delmotte, V. P., Zhai, P., Pirani, S. L., Connors, C., Péan, S., Berger, N., and co-authors. (2021). IPCC, 2021: Summary for policymakers. in: Climate change 2021: The physical science basis. contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. https://doi.org/10.1017/9781009157896

● Medhaug, I., Stolpe, M. B., Fischer, E. M. and Knutti, R. (2017). Reconciling controversies about the 'global warming hiatus'. Nature 545, 41.

● Naimullah, M., Wu, Y.-L., Lee, M.-A., and Lan, K.-W. (2021). Effect of the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) Cycle on the Catches and Habitat Patterns of Three Swimming Crabs in the Taiwan Strait. Frontiers in Marine Science, 8, 763543.

● Naimullah, M., Lan, K.-W., Mammel, M., Chen, L.-C., Wu, Y.-L., Hsiao, P.-Y., Liang, T.-Y., Fazhan, H., and Waiho, K. (2024). Effect of climate change on habitat suitability and recruitment dynamics of swimming crabs in the Taiwan Strait. Marine and Freshwater Research, 75(13).

● Qiu, B., and Chen, S. (2005). Eddy-induced heat transport in the subtropical North Pacific from Argo, TMI, and altimetry measurements. Journal of physical oceanography, 35(4), 458-473. https://doi.org/10.1175/JPO2696.1

● Sato, H., Takemura, K., Ito, A., Umeda, T., Maeda, S., Tanimoto, Y., Nonaka, M., & Nakamura, H. (2024). Impact of an unprecedented marine heatwave on extremely hot summer over Northern Japan in 2023. Scientific Reports, 14, 16100.

● Shen, M. L., Tseng, Y. H., and Jan, S. (2011). The formation and dynamics of the cold-dome off northeastern Taiwan. Journal of Marine Systems, 86(1-2), 10-27.

● Shen, M. L., Tseng, Y. H., Jan, S., Young, C. C., and Chiou, M. D. (2014). Long-term variability of the Kuroshio transport east of Taiwan and the climate it conveys. Progress in Oceanography, 121, 60-73.

● Sims, D. W., Wearmouth, V. J., Genner, M. J., Southward, A. J., and Hawkins, S. J. (2004). Low‐temperature‐driven early spawning migration of a temperate marine fish. Journal of Animal Ecology 73(2): 333-341.

● Tseng, Y. H., Shen, M. L., Jan, S., Dietrich, D. E., and Chiang, C. P. (2012). Validation of the Kuroshio current system in the dual-domain Pacific Ocean model framework. Progress in Oceanography, 105, 102-124.

● World Meteorological Organization (WMO) (2020). State of the Global Climate 2019. WMO-No. 1248. Geneva: World Meteorological Organization.

● World Meteorological Organization (WMO). 2022. State of the Global Climate 2021. WMO-No. 1290. Geneva: World Meteorological Organization.

● World Meteorological Organization (WMO). 2023. State of the Global Climate 2022. WMO-No. 1316. Geneva: World Meteorological Organization.

● World Meteorological Organization (WMO). 2024. State of the Global Climate 2023. WMO-No. 1347. Geneva: World Meteorological Organization.

● World Meteorological Organization (WMO). 2025. State of the Global Climate 2024. WMO-No. 1368. Geneva: World Meteorological Organization.

● World Meteorological Organization (WMO). 2026. State of the Global Climate 2025. WMO-No. 1391. Geneva: World Meteorological Organization.

● von Schuckmann, K., Gues, F., Moreira, L., Liné, A., and de Pascual Collar, Á. 2025. Global ocean change in the era of the triple planetary crisis. In 9th edition of the Copernicus Ocean State Report (OSR9). State Planet, 6-osr9, 2. https://doi.org/10.5194/sp-6-osr9-2-2025

● World Meteorological Organization (2025). State of the Climate Update for COP30. https://library.wmo.int/idurl/4/69674

● Zuo, H., Balmaseda, M. A., Mogensen, K., and Tietsche, S. (2018). OCEAN5: The ECMWF ocean reanalysis system and its real-time analysis component (Vol. 823). Reading, UK: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts.

致謝

感謝國家災害防救科技中心坡地洪旱組提供封底照片。

2026 臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣海洋與海岸衝擊

發 行 人 ｜ 陳宏宇

作　　者 ｜ 曾于恒、李欣輯、吳虹儀、金建邦、周至中、張可揚、張志新、張致銜、張明輝、梁庭語、莊世昌、郭怡君、陳永明、陳沛宏、陳孟詩、陳昭安、陳盈智、陳家琦、陳偉柏、陳琬琪、黃士哲、黃文亭、黃妍禎、黃偌栩、董東璟、詹智丞、廖建明、潘琦、謝章生與羅資婷

美 術 設 計 ｜ 陳彥霓

出 版 機 關 ｜ 國家災害防救科技中心

地　　址 ｜ 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電　　話 ｜ 02-81958600

發 行 日 期 ｜ 2026 年 10 月

共 同 發 行 ｜ (依章節撰寫順序)
交通部中央氣象署
國立臺灣大學海洋研究所
國立成功大學水利及海洋工程學系
國家海洋研究院
國家災害防救科技中心
農業部水產試驗所

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

暖化趨勢下的臺灣海洋與海岸衝擊 = Impacts of global warming on marine and coastal environments in Taiwan / 曾于恒 , 李欣輯 , 吳虹儀 , 金建邦 , 周至中 , 張可揚 , 張志新 , 張致銜 , 張明輝 , 梁庭語 , 莊世昌 , 郭怡君 , 陳永明 , 陳沛宏 , 陳孟詩 , 陳昭安 , 陳盈智 , 陳家琦 , 陳偉柏 , 陳琬琪 , 黃士哲 , 黃文亭 , 黃妍禎 , 黃偌栩 , 董東璟 , 詹智丞 , 廖建明 , 潘琦 , 謝章生 , 羅資婷作 .-- 出版 : 新北市 : 國家災害防救科技中心出版 ; [臺北市] : 交通部中央氣象署發行 , 國立臺灣大學海洋研究所發行 ; [臺南市] : 國立成功大學水利及海洋工程學系發行 ; [高雄市] : 國家海洋研究院發行 ; [新北市] : 國家災害防救科技中心發行 ; [基隆市] : 農業部水產試驗所發行 , 2026.10

面 ;　公分 . -- (臺灣氣候變遷分析系列報告 . 2026)

ISBN 978-986-5436-87-2 (平裝)

1. 氣候變遷 2. 地球暖化 3. 氣象紀錄

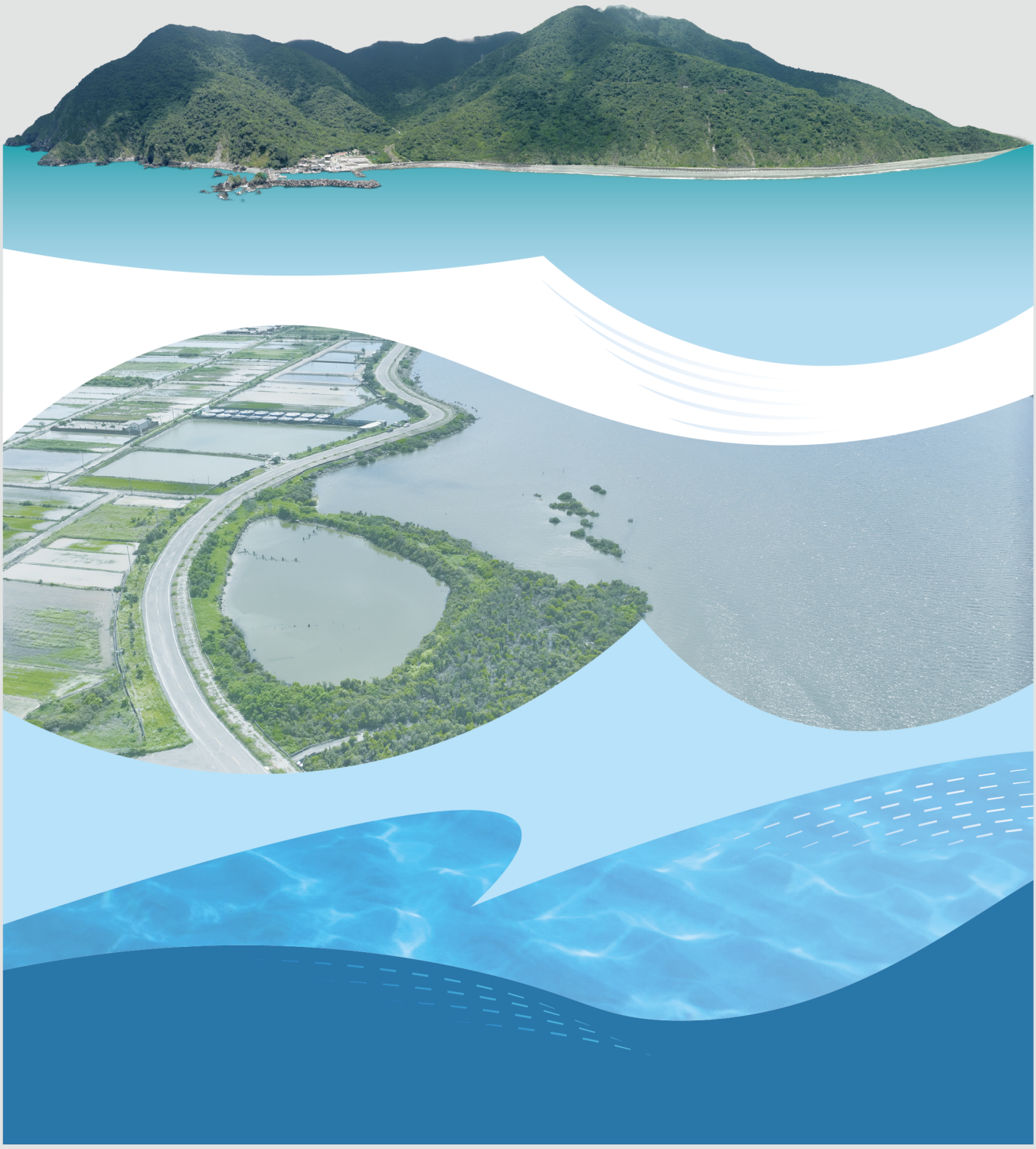
328.8018　　115014618

2026　臺灣氣候變遷分析系列報告

暖化趨勢下的臺灣海洋與海岸衝擊

Impacts of Global Warming on Marine and Coastal Environments in Taiwan

Taiwan Climate Change Analysis Series Report 2026



彙編　NSTC　TCCIP

共同發行　交通部中央氣象署 Central Weather Administration　NAMR　NCDR