

氣候變遷對臺灣海洋環境的衝擊與因應策略

戴昌鳳

國立臺灣大學海洋研究所教授

摘要

海洋是地球氣候最主要的調節者，氣候變遷也對海洋環境造成深遠影響，包括海洋暖化、酸化和海水面上升等。這些變遷可能引起海洋環流、湧升流強度、海洋與大氣交互作用等的改變，並且導致颱風頻率增加、極端氣候更頻繁，甚至海洋生態系的劇烈改變。臺灣周圍的海洋環境和生態系統，皆受人為干擾與氣候變遷的影響甚鉅，包括海水面上升造成海岸侵蝕、天然海岸消失及生態系變遷，海洋暖化和酸化造成珊瑚白化及珊瑚礁生態系崩解、引發漁業資源巨幅變動與生態系變遷，極端氣候造成養殖漁業的災害損失等。氣候變異和極端氣候災難大多肇因於海洋，然而我們對臺灣周圍海洋環境的了解顯有不足，而且海洋事務管理單位分散、權責不清，因此經常窮於應付、延誤失策。面臨氣候變遷日益劇烈的未來，建議儘速設立權責相符的海洋事務委員會，建立臺灣周圍海域海洋環境資料蒐集與監測網路，強化對臺灣周圍海洋環境的了解，同時建立海洋環境變動的預警與應變機制，加強海洋環境治理與資源保育，以及設立海洋保護區，以促進海洋資源保育及生態系統維護。

關鍵詞：海洋暖化、海洋酸化、海水面上升、海洋生態、臺灣。

一、前言

海洋覆蓋地球表面百分之七十的面積，廣大的水體和水的高比熱特性，使得海洋在全球氣候調節上扮演關鍵角色。海洋也是全球最大的碳匯(carbon sink)，它吸收了大約四分之一至三分之一人類活動所排放的二氧化碳，但是這樣的過程卻讓海洋承受逐漸暖化和酸化的衝擊。根據聯合國跨政府氣候變遷專家小組(IPCC)第五次評估報告(IPCC AR5, 2013)，自1971~2010年間，地球氣候系統能量的增加主要反應於海洋暖化，超過90%的能量累積於海洋中，其中在1971~2010年間，上層海水(0~700m)的暖化是幾乎可以確定的，也可能在1870年代至1971年間就已發生。

自工業革命以來，由於人類大量增加溫室氣體的排放，包括燃燒大量化石燃料、砍伐森林、工業排放等，使大氣中以二氧化碳為主的溫室氣體快速增加，增強了溫室效應導致地球表面氣溫逐漸上升，造成全球暖化現象，連帶發生多種嚴重後果，例如氣候異常(如極冷、極熱、暴雨、乾旱等)、海洋風暴增加、海水面上升、疾病蔓延等。同時也造成海洋的二氧化碳濃度隨之升高，導致海水的酸鹼值(pH值)逐漸降低，也就是海洋酸化現象。全球暖化與海洋酸化，加上巨量的人為活動介入，演變成今日的全球變遷。全球變遷會改變海洋與大氣的交互作用，改變海洋環境，進而影響到海洋生物地球化學循環與生態系統的運作，甚至衝擊到人類社會的永續發展(Hoegh-Guldberg and Bruno, 2010; Doney et al., 2012)。

臺灣四面環海，位於歐亞板塊大陸棚區的邊緣，周圍被廣大的邊緣海(東海、南海、臺灣海峽)及西北太平洋環繞，海域環境複雜而多樣；海洋水團特性包括東海、南海及黑潮等三大海洋生態系統(Large Marine Ecosystems)，而且鄰近全球海洋生物多樣性最高的珊瑚大三角(Coral Triangle)，這種地理位置和海洋環境特性使得臺灣成為全球海洋生物多樣性熱點之一(Roberts et al., 2002)，而臺灣海域豐富的資源也與國家社會的發展息息相關；近年來，政府大力倡議「海洋立國」或「海洋興國」政策，正是呼應我國未來發展與海洋密不可分的關係。

另一方面，臺灣海域位於熱帶至亞熱帶之間，以及歐亞大陸棚區與太平洋交界區，承受中國大陸沿海龐大的人為活動干擾和污染壓力，加上氣候變遷的威脅，顯得更為脆弱，因此需要更多關注(李培芬、戴昌鳳，2008；戴昌鳳，2010)。

二、氣候變遷對台灣海洋環境的衝擊

(一) 氣候變遷對海洋環境的衝擊

全球溫室氣體排放增加引起的暖化效應，其中大部分熱量被海洋吸收，因而使得海洋表層(水深700公尺內)的水溫在過去一百年間上升約0.6°C。海洋暖化可能導致水溫垂直和水平分布型態改變，引發海洋表層環流改變，導致海水垂直分層更明顯而減少混合，進而增加蒸發和海氣交互作用，對氣象和氣候產生重大影響。氣候變遷中的大氣震盪、聖嬰與反聖嬰現象、季風變動和極端氣候等，都直接或間接受到海洋的影響。

然而，由於海洋觀測資料缺乏，我們對於海洋環境變動，以及海洋與大氣的互動機制了解仍相當少。目前我們對於海洋與氣候變遷關係的認知，大多來自衛星遙測資料，而此資料對於解析中小尺度的環境變動顯然不足，因此往往增加氣象預報的不確定性。最明顯的例子就是關於2009年莫拉克颱風降水量的預測，實際降水量遠遠超出預測值，因而未能預先防範重大災難的發生，造成數百人罹難的憾事。因應未來氣候變遷和極端氣候的頻繁發生，亟需強化海洋觀測，尤其對於中小尺度的海洋環境變動更應多加著力。

對海洋環境而言，海洋暖化和酸化可說是「邪惡的雙胞胎」，兩者都會造成重大的生態衝擊。海洋水溫升高會改變海洋生物的代謝、生理、生殖和生活史特徵，使得生產力降低，呼吸率升高，進而影響物種間的交互作用，導致生物族群或群聚結構的巨幅變動，甚至導致海洋食物網變遷。表層海水溫度升高則強化海水分層現象，可能改變湧升流或降低海水垂直混合，使深層海水的營養鹽無法傳遞至海表面，導致基礎生產力降低，甚至使底棲環境的缺氧死區(dead zone)範圍擴大或惡

化。許多證據顯示，全球變遷已對海洋基礎生產力造成顯著影響，並且牽動海洋生物地球化學循環及生態系統的正常運作機制。

海洋酸化伴隨著碳酸鈣飽和度降低，會對大洋生態系統中形成鈣化骨骼的生物造成生存威脅，如有孔蟲、翼足類及甲殼動物等，都需要鈣質骨骼的保護；當骨骼因酸化而變得更脆弱，將使其存活率降低，進而導致海洋物質循環及食物網改變，使整體生產力降低，危及海洋漁業資源的永續。海洋酸化也會影響魚類耳石與骨骼形成，尤其在生活史初期最為脆弱，可能降低魚卵孵化率及仔稚魚的存活率、阻礙骨骼生成、耳石發育及味覺等，導致魚類發育異常，失聰或聽覺遲鈍，對其生存構成重大威脅。如果碳排放速度不變，科學家預計到了2100年，全球淺層海水的酸鹼值與工業革命前的數值相比，將從8.2下降至7.7，對許多海洋生物來說，將是跨越生死存亡的界線。屆時可能造成海洋中的鈣化生物消失，使海洋成為被水母、海葵及海藻等膠質生物佔據的生態系 (Hoegh-Guldberg et al., 2007)。

臺灣周圍的海洋環境包括邊緣海（東海、南海、臺灣海峽）及大洋系統，在海洋暖化和酸化的雙重衝擊之下，海洋環境和生態已產生哪些變化？其實尚缺乏具體資料以闡明其影響，遑論未來氣候變遷可能引發的環境和生態衝擊。未來除了落實節能減碳政策之外，必須透過長期及有系統的海洋環境和生地化觀測與研究，才能瞭解及評估海洋系統運作受到全球變遷的衝擊程度，也才能從中找到因應之道。

（二）氣候變遷對海岸地區的衝擊

氣候變遷對海岸地區的最大衝擊，當屬海水面上升所導致的海岸侵蝕和棲地喪失。根據IPCC2013年報告，在1901~2010年之間，海水面上升19 cm，明顯比過去二百年的上升速率為高。而自1901~2010年，上升速率為1.7 mm/yr，但其中1993~2010年之間則為3.2 mm/yr，海水面上升速率幾乎加倍，未來可能更加速上升。如果不控制溫室氣體排放，在最糟的情境下，到本世紀末期海水面可能上升82 cm，屆時包括臺北盆地及西南部沿海地區，臺灣約有一成的土地將被海水淹沒。

交通部運輸研究所的研究報告指出（郭重言等，2015），臺灣周圍海域的絕對海水面變化主要呈現上升現象，上升速率由北向南遞增，臺灣北部的上升速率為2.0~3.1 mm/yr，臺灣南部為2.3~3.4 mm/yr；以衛星測高資料估算臺灣四周的海水面變化，近二十年則以4.4~5.2 mm/yr的速率在上升。由於西部和西南部海岸地區普遍有超抽地下水引起的下陷問題，加上河川上游的水庫攔截淤沙、河床的採沙等，都減少河川沈積物在海岸堆積，導致臺灣的海岸受到海水面變遷的影響很大，使得海岸地區的未來發展飽受威脅。

海水面上升直接造成海岸侵蝕、海岸線後退。當平均海水面升高，波浪、潮汐、暴潮的物理特性也會跟著改變，模式分析結果顯示：海水面升高1公尺，最高海面上升約2.1公尺，海岸防波堤的設計高度與成本就必須大幅提高，才能防止如颱風侵襲或暴潮時高海水位的壓力。海面上升也會造成鹽水入侵，使沿海地下水及土壤鹽化。臺灣西南沿岸地區，因沿海養殖區超抽地下水而地層下陷，早就衍生這些問題，加上海面上升的影響，沿岸土壤鹽化已造成重大社會經濟損失。

極端氣候如颱風暴潮和豪大雨事件，將使海岸地區受到更大威脅，包括海岸侵蝕、土壤鹽化和棲地散失等，都將更為嚴重，並對海岸生態系造成重大衝擊。臺灣沿海地區除了因超抽地下水導致地層下陷之外，與海爭地的開發導向模式，隨著經濟發展更為加劇，不僅造成棲地和生物多樣性喪失，也導致海岸生態系的變遷。海岸地區不當使用和人工化，自然海岸減少，將造成沿岸生態系自發性的調適能力降低或喪失，在面臨氣候變遷時，災害帶來的損失將隨之增大。

在生態上，海岸生態系包括紅樹林、鹽澤、泥灘、潟湖和海草床等，具有調解洪流、補充地下水、保護海岸、改善水質、減輕污染、促進物質循環等功能，並且往往有很高的生產力和各類型棲地，提供許多動植物利用，具有維護生物多樣性功能。海岸生態系也是容易受到氣候變遷直接衝擊的生態系統，海面上升加上極端氣候將使海岸生態系遭受重大衝擊，沿海溼地消失將對海洋生物多樣性、生產力和生態平衡都造成重大影響，波及工農業生產和社會經濟發展。

基於臺灣已經問題叢生的海岸生態系，面對未來氣候變遷的衝擊，應儘速調整海岸地區的土地利用方式，盡力防止天然海岸消失，改善海岸污染狀態，並致力維護海岸生態系的完整性；期能逐步復育已遭破壞的海岸生態系統，恢復海岸濕地生態系功能，並且加強海岸環境監測系統，建立極端氣候的預警和應變機制，以減輕災害損失。

（三）氣候變遷對珊瑚礁的衝擊

珊瑚礁常被稱為「海洋熱帶雨林」，它是海洋中生產力最高、生物量最豐富，生物多樣性最高的生態系，有超過二萬種海洋生物以珊瑚礁為棲地或繁衍族群的場所，因此珊瑚礁在維繫海洋生物資源和生態平衡上扮演關鍵角色；珊瑚礁也被認為是最易受氣候變遷影響的海洋生態系(Hoegh-Guldberg et al., 2007)。臺灣南部、北部、東部及各離島淺海，由於水溫及環境條件適合珊瑚生長，而且鄰近全球海洋生物多樣性最高的珊瑚大三角，因此，這些海域都有發達的珊瑚礁或珊瑚群聚，擁有很高的海洋生物多樣性及豐富海洋資源。

氣候變遷對珊瑚礁的影響是多方面的，其中最普遍的現象是海溫升高引起的珊瑚白化。由於珊瑚生長在熱帶海域，夏季時的高水溫本來就接近珊瑚生長的臨界高溫(30°C)，因此即使水溫上升1~2°C，都可能導致珊瑚白化；若伴隨聖嬰現象發生長時間、大範圍的高水溫現象，則可能引發大規模珊瑚白化，例如1997-98年的全球珊瑚大白化事件，曾經導致全球許多珊瑚礁區的珊瑚大量死亡、生態系破壞或功能衰退，對海洋生態造成重大影響。在此珊瑚白化事件中，臺灣沿岸及綠島、蘭嶼海域的珊瑚礁生態系都受到波及，導致珊瑚覆蓋率降低，甚至珊瑚群聚結構改變(Dai et al., 2002)。其中最嚴重的情況發生在東沙環礁，1997-98年的珊瑚大白化，造成環礁內部面積約四百平方公里的潟湖區有80%以上的珊瑚死亡(Dai, 2005)；原來欣欣向榮的珊瑚礁，在經歷此事件之後，幾乎成為珊瑚墳場。這種劇烈改變，引起各界關注，終於在2007年促成東沙環礁國家公園設立，並催生了海洋國家公園管理處，成為推動我國海洋資源保育的主要機構。

海洋酸化也會對珊瑚礁帶來重大衝擊，珊瑚的鈣化和骨骼堆積係在偏鹼性(pH~8.2)的環境中形成，大氣中的二氧化碳濃度升高，導致海水的酸鹼值逐漸降低，會改變碳酸鈣的飽和態，可能使珊瑚的鈣化速率降低，使珊瑚礁的成長減緩，進而對珊瑚礁生態系造成嚴重影響。自工業革命至2005年，海水的平均pH值已降低了約0.1個單位，相當於海水酸度增加26%之多，雖然具體的影響目前尚無定論，但是若酸化的趨勢持續下去，當酸鹼值低於碳酸鈣骨骼形成的閥值，珊瑚礁生態系將難以延續，甚至開始瓦解，終將對海洋生態帶來重大災害。

氣候變遷的另一效應就是導致珊瑚礁生物的疾病蔓延，自1980年以來，全球珊瑚礁生物的疾病頻頻發生，科學家發現許多怪異的疾病都與氣候變遷有關(Burge et al., 2014)。在綠島及蘭嶼海域發生的黑皮海綿(*Terpios hoshinota*)蔓延現象，造成珊瑚大量死亡，也可能與水溫升高有關。其實，臺灣海域珊瑚礁面臨的主要威脅還有環境污染和人為破壞等，包括陸源沉積物污染、工業及民生廢水污染、過度捕撈、破壞性漁法(毒魚及炸魚)、海域遊憩活動破壞、油污染、溫排水污染等，這些污染已使得台灣海域的珊瑚礁生態系逐漸衰退，珊瑚覆蓋率降低，以及沿近海漁業資源枯竭。

未來的氣候變遷可能更加速臺灣珊瑚礁生態系的衰退，我們利用遺傳規劃法(genetic programming)和生境模式(niche model)模擬氣候變遷對臺灣珊瑚礁的衝擊(Tasi et al., 2005)，結果發現在短期(2025年)情境下，可能造成臺灣南部海域的珊瑚逐漸消失，但是北部及澎湖海域可能成為更適合珊瑚生長的环境，導致珊瑚分布的範圍向較高緯度拓展；在中期(2055年)情境下，臺灣的海水溫度可能升高超過1°C，造成南部及東部海域的大部分珊瑚無法生存，物種多樣性大幅降低，珊瑚礁生態系功能衰退；在長期(2085年)情境下，若海水溫度持續升高達2°C，臺灣海域可能成為不適合珊瑚生長的环境，珊瑚礁生態系可能從此消失。上述模擬係在珊瑚適應能力有限的前提之下可能發生的情況；如果珊瑚有足夠的適應能力，例如經由其體內共生藻重組或其他生理調適機制，則上述情況可能不會或者延後發生。

在氣候變遷的衝擊之下，珊瑚礁是脆弱的生態系，然而目前我國珊瑚礁區遭受的最大威脅來自人為干擾；若能控制這些污染源和破壞生態系的行為，將可恢復或重建珊瑚礁生態系統的穩定性，增加其面對逆境的調適能力和回復力。因此，首先應加強珊瑚礁生態系的管理和污染防治；其次，應增加設立海洋保護區，維護珊瑚礁生態系的健全發展，同時促進海洋生物多樣性保育。此外，應建立珊瑚礁早期預警系統，包括水溫異常升高或降低的預警機制，必要時採取適當措施，以降低氣候劇變造成的災害。

（四）氣候變遷對海洋漁業衝擊

全球漁業自1970年代以來即遭受過度捕撈、環境污染和棲地破壞的影響而逐漸衰退，氣候變遷的威脅則更加速漁業資源的枯竭，此影響主要經由海洋基礎生產力降低、海洋食物網改變、魚群分布改變等方式，對全球漁業生產造成重大影響(FAO, 2009; Sumaila et al., 2011)。由於全球海洋漁業狀況持續惡化，國際漁業管理組織已啟動更嚴格的管控措施，以期逐漸恢復已遭過度開發的漁業種群。

臺灣漁業也遭遇相同的問題，沿近海漁業資源早已出現枯竭或嚴重衰退現象，例如單位努力漁獲量(CPUE)大幅降低、魚體平均體型變小，漁獲物種改變等。在過度捕撈、棲地破壞、環境污染等多重人為因素的影響之下，臺灣沿近海的海洋生態系及生物多樣性已產生改變，短生命週期、小體型、食物塔下層的小型魚類成為漁獲主體。這些改變使魚類族群和群聚更為脆弱，更容易受到氣候變異的影響而導致漁獲量的劇烈變動(行政院農委會漁業署，2012)。

氣候變遷對海洋漁業的衝擊包括海洋暖化、酸化和極端氣候的影響，其中前二者屬於長期漸進式的影響，後者則屬於突發性的衝擊，往往造成嚴重傷害(李明安、呂學榮，2013)。海洋暖化直接影響魚類的生理和生活史；水溫升高使魚類的呼吸率及代謝率都升高，引發逆境生理反應，進而對其生長和生殖造成影響，降低其生長速率、生殖率和存活率，進而導致魚群資源量巨幅變動。暖化也可能引起浮游生物種類組成及豐度改變，使得海域生產力產生降低，並且透過海洋食物網導致漁業

資源的巨幅變動。海洋水團的溫度變化和環流模式改變，則可能影響魚類的洄游路徑，進而影響漁業資源的變動。

臺灣周邊海域為水溫上升的熱區，過去二十年的水溫上升速度高於世界平均二倍，水溫變動主要受到冷暖水團消長與海流交互作用的影響，例如臺灣海峽冬季大陸沿岸流與黑潮勢力的消長，對臺灣西部沿近海漁業有決定性的影響，最明顯的例子就是大陸沿岸流的勢力向北退卻，導致東、黃海南下臺灣海峽水域產卵及越冬的經濟魚種向北退縮，而黑潮主流、支流及南海海流的暖水性魚種向北擴張(李明安、呂學榮，2013)。影響所及包括鰻苗漁業、仔魚漁業、鯖大型圍網、巾著網、近海鮪延繩釣及拖網漁業等都造成明顯衝擊。

在長期水溫上升的趨勢下，季節別漁獲量已有明顯改變，冬季型漁獲比例逐年遞減，總漁獲量因而大幅度降低，以往臺灣沿岸漁業呈現春冬兩個高峰的現象，已逐漸消失(藍國璋、龔國慶，2015)。以烏魚為例，學者整理自1958年起臺灣海峽表水溫的紀錄，觀察冬季20°C等溫線每10年的週期變化，發現該等溫線在1977年以前集中在雲彰隆起以南¹⁷，此期間為捕烏魚的全盛時期，使其獲得「烏金」的美譽；然而自1978年起，冬季20°C等溫線呈現往北推移的現象，1998~2008年更推移至24.5°N以北；這些資料顯示，臺灣海峽冬季表水溫已受到氣候變遷影響而呈現逐年上升的趨勢；比對烏魚的漁場分布，也可發現它隨著20°C等溫線逐漸往北推移，漁獲量也在1978~1988年期間呈現下滑趨勢。此外，東部海域定置網的漁獲資料也顯示，水溫上升造成來游魚種有結構性的改變。根據全球變遷中心模擬結果預測，臺灣周邊海域的海表溫度在2055年將上升1.2~1.3°C，2085年將上升2.0~2.5°C，可能面臨整體海洋基礎生產力下降及漁獲潛能嚴重減少的困境。

在突發性的氣候衝擊方面，近年來極端氣候或短期氣候變異發生的頻度與幅度均呈現增加，包括冬季更強勁的東北季風與夏季更強的颱風降雨，頻繁的聖嬰/反聖嬰週期，給臺灣海洋生態系帶來重大衝擊，使漁產量波動更大，而極端氣候則直接造成養殖業的重創，顯示突發性的氣候衝擊，對漁業帶來的影響更為劇烈。例如2008年2月間澎湖海域發生的寒潮事件，在短短二週間造成沿岸水域70噸以上的魚類死亡，魚屍遍布澎湖群島海岸及海底，估計經濟損失高達10億元以上；2009年的

莫拉克風災，超乎預期的暴雨，造成陸域及海域生態重創，根據農委會估計，漁產損失就高達47億元；在氣候變遷持續的情況下，未來極端氣候導致的突發性災害可能更頻繁、更嚴重，受衝擊範圍可能會更廣大、更深遠。

面對氣候變遷的衝擊，如何化危機為轉機，兼顧保障漁民生計及漁業永續經營，將是漁業管理的大挑戰。在短期方面或許可以透過一些治標手段獲得緩解，包括(1)改善漁船作業方法，減少對漁場環境及資源的破壞，例如近岸禁止使用拖網及刺網等；(2)調整漁業經營方式，設立休漁期及魚獲總量管制措施；(3)改善魚類棲息環境(棲地復育)及資源狀態(種苗放流)等。長期而言，則必須採取治本的措施，包括(1)設立海洋保護區，促進海洋生物資源與生物多樣性保育；(2)防治汙染，減輕人為活動對環境的衝擊；(3)維護海洋食物網的健全，增進其調適力及回復力，執行方法則可經由管控大型肉食性魚類及草食性魚類捕捉來達成；(4)推廣環境友善的漁業經營型態及落實責任漁業。同時，為確保未來海鮮供應的安全性，也需要推展健全的養殖漁業、建立水產品產銷履歷制度，以及完善的檢驗機制。

(五) 氣候變遷對養殖漁業的衝擊

在全球漁業資源日益枯竭的影響下，近三十年養殖漁業產量快速增加，已成長了近12倍，成為海鮮供應的主要來源。臺灣向來是養殖漁業大國，擁有先進的養殖技術與產業。臺灣的養殖漁業依養殖方式可以區分成內陸魚塭養殖、淺海養殖及海洋箱網養殖三種形式，總面積約五萬五千多公頃，每年生產產量約38萬公噸，產值約新台幣300億元，是臺灣外銷金額出超的主要產業之一。

全球氣候變遷對養殖漁業的影響，包括溫度上升使養殖生物的生理需求增加，也增加養殖成本；而且由於蒸發量升高，需水量也隨之上升，但是天然水源卻同時減少，水源不足的問題將更為嚴重(劉富光，2013)。養殖業者為維持水源而大量抽取地下水的行為，已經造成臺灣西南沿海地區地層下陷，衍生海水入侵及土地鹽化等不良後果，對整體

社會經濟及環境生態構成嚴重影響。此外，海水面上升造成海岸侵蝕加劇，沿岸養殖空間與淺海養殖場受到壓縮。水溫升高也可能使水產生物的感染性疾病蔓延，造成養殖困境和損失。然而，更嚴重的衝擊可能是異常氣候引起的災害，例如2008年的澎湖寒害、2009年的莫拉克風災及2016年1月的寒災，都對養殖漁業造成巨額損失；未來極端氣候的發生頻率和強度都可能增加，對於臺灣養殖漁業將是嚴重考驗。

因應極端氣候及確保養殖漁業的持續發展，首應推廣節水養殖，建立循環水養殖模式，有效降低淡水使用量。其次，妥善利用沿海濕地與潟湖區，如七股潟湖、大鵬灣潟湖等，推展環境友善的濕地養殖模式；並且，推廣海洋牧場式的養殖漁業，尤其是利用深層海水養殖大型海藻(如海帶、紫菜、裙帶菜及麒麟菜等)，不僅可促進二氧化碳吸收，增加生產力，並可提供養殖動物食物，增進能量利用效率，優化海洋生態系統結構，改善養殖環境。此外，推廣整合式養殖，如海藻、魚、蝦、貝類等的整合養殖，可建立生態的互補性，也可吸收養殖動物排放到水中的多餘營養鹽，淨化水質，延緩海域富營養化，防止赤潮發生，同時可調節水中溶氧量和酸鹼值，進而達到環境修復與生態調節功能。此外，研發具有抗逆境、能忍受水溫劇烈變動或在異常氣候環境下維持正常存活率與成長率的養殖魚種，將可減輕極端氣候對養殖漁業的衝擊。

三、結論與建議

海洋是全球氣候的主要調節者，也受氣候變遷的影響很大，包括暖化、酸化、海水面上升和極端氣候，都對海洋環境和生態帶來重大衝擊，甚至衍生重大災害和巨額損失。因此，了解海洋系統在氣候變遷中的角色，以及海洋與大氣的互動機制，為國際間普遍關注的議題。

臺灣四面環海，海洋是影響臺灣氣候、陸地生態和經濟發展的關鍵力量。但是很遺憾的，我們向來都以陸地的觀點去思考問題，忽略了我們周圍的廣大海洋；這種看待問題的方式，無法真正解決問題，以致

於災難依然層出不窮，使得政府和民間都窮於應付。從2001年的「阿瑪斯號」貨輪油汙染事件至2016年「德翔臺北」貨輪油汙染事件，顯示我們依然用陸地思維處理海洋問題，因而屢屢延誤失策。

面臨氣候變遷日益劇烈的未來，必須強化對臺灣周圍海洋環境的了解，建立監測、預警與應變機制，才能減輕災難，奠立國家永續發展基礎。具體建議如下：

(一)設立海洋事務的專責機構：臺灣涉海事務錯綜複雜，權責機關分散，常有權責不符或協調不易的狀況，以致於經常應變不及，應儘速設立海洋事務專責機構，除負責執法的海巡署之外，海洋保育署及國家海洋研究院也應如期設立，以健全海洋事務的統籌、規劃和管理。

(二)建立臺灣周圍海域海洋環境資料蒐集與監測網路：長期持續的海洋及氣象資料是了解海洋與大氣交互作用、改善氣象預報、建立極端氣候預警及海洋防災系統的基礎，尤其中小尺度的海洋環境變異，也可能導致巨大災難，應多加關注。

(三)建立海洋環境變動的預警機制：有鑑於極端氣候經常對海岸生態系、珊瑚礁及養殖漁業造成重大災害；為減輕衝擊，亟需建立整合的監測與預警系統，針對不同生態系統的生態反應，建立監測和預警機制，以及適當的應變措施。

(四)海洋環境治理與資源保育：與氣候變遷的影響相較，人為活動包括過漁、棲地破壞和污染等，對於台灣海洋生態系所造成的破壞更為明顯與劇烈，因此應優先處理海洋環境治理及資源保育、復育等課題，使生態系統逐漸恢復正常功能，則可大幅降低氣候變遷的衝擊。

(五)設立海洋保護區：將重要海洋棲地劃設為海洋保護區，並經由適當的立法和執法，杜絕人為活動衝擊或破壞行為，以促進海洋資源

保育及生態維護。海洋保護區的選擇和設立，需經過縝密的調查、資料分析和規劃，包括生物多樣性熱點、關鍵棲地(產卵場或育幼場)、族群連通性和社會條件等，都是必須考慮的因素。

參考文獻

1. Burge, C. A., C. Mark Eakin, C. S. Friedman, B. Froelich, P. K. Hershberger, E. E. Hofmann, L. E. Petes, K. C. Prager, E. Weil, B. L. Willis, S. E. Ford & C. D. Harvell, 2014. Climate change influences on marine infectious diseases: implications for management and society. *Annual Review of Marine Science* 6: 249-277.
2. Dai, C.F., G. Chen, M. Inaba, K. Iwao, F. Iwase, Y. Kakuma, K. Kajiwara, T. Kimura, K. Nomura, K. Oki, K. Sakai, T. Shibuno, H. Yamano & M. Yoshida, 2002. Status of coral reefs in East Asia: China, Japan, Korea and Taiwan. In: C. Wilkinson (ed.), *Status of Coral Reefs of the World: 2002*, pp. 153-162, Australian Institute of Marine Science, Townsville, Queensland, Australia.
3. Dai, C. F. 2005. Dongsha Atoll in the South China Sea: past, present and future. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, pp. 1587-1592.
4. Doney, S.C., M. Ruckelshaus, J. E. Duffy, J. P. Barry, F. Chan, C. A. English, H. M. Galindo, J. M. Grebmeier, A. B. Hollowed, N. Knowlton, J. Polovina, N. N. Rabalais, W. J. Sydeman & L. D. Talley, 2012. Climate change impacts on marine ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 4:11-37.
5. FAO (2009) Climate change implications for fisheries and aquaculture: Overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 530, <http://www.fao.org/docrep/012/i0994e/i0994e.pdf>
6. Hoegh-Guldberg, O., P. J. Mumby, A. J. Hooten, R. S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, C. D. Harvell, P. F. Sale, A. J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C. M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R. H. Bradbury, A. Dubi & M. E. Hatzitolos (2007) Coral reefs under rapid climate change

and ocean acidification. *Science* 318, 1737-1742.

7. Hoegh-Guldberg, O., J. F. Bruno, 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328: 1523-1528.

8. IPCC Working Group I Contribution to AR5 (2013) Climate Change 2013: The Physical Basis. <http://www.climatechange2013.org/>

9. Roberts, C. M., C. J. McClean, J. E. N. Veron, J. P. Hawkins, G. R. Allen, D. E. AcAllister, C. G. Mittermeier, F. W. Schueler, M. Spalding, F. Wells, C. Vynne & T. B. Werner, 2002. Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science* 295: 1280-1284.

10. Tsai WH, Dai CF, Yang IC, Tung CP (2005) Using genetic programming to modeling spatial distribution of corals and the impacts of climate changes: a case study from Taiwan. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, pp. 1441-1444.

11. Sumaila, U.R., W. W. L. Cheung, V. W. Y. Lam, D. Pauly, S. Herrick, 2011. Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Climate Change*, DOI:10.1038/NCLIMATE1301

12. 行政院農委會漁業署2012年漁業年報。

13. 李培芬、戴昌鳳，2010，第八章－氣候變遷對自然生態系統之衝擊。氣候變遷對台灣總體安全之衝擊（陳泰然、包宗和主編），第167-196頁，遠景基金會，臺北市。

14. 李明安、呂學榮，2013，因應氣候變遷－海洋漁業的衝擊與調適。農政與農情，第252期，第15-17頁。

15. 郭重言、林立青、藍文浩、莊文傑、李俊穎 (2015) 臺灣四周海域長期性之海水面變化趨勢評估。交通部運輸研究所，臺北市。

16. 藍國璋、龔國慶，2015，全球變遷對海洋漁業資源的衝擊。科技報導，第402期。http://scitechreports.blogspot.com/2015/09/blog-post_90.html

17. 劉富光，2013，因應氣候變遷－水產養殖業調適策略。農政與農情，第252期，第18-20頁。

18. 戴昌鳳，2008，氣候變遷對海洋生物的影響。林業研究專訊，第15-2期，第16-19頁。