

全球氣候變遷對海岸環境之衝擊

◎國立台灣師範大學地理學系副教授・廖學誠

前言

氣候變遷已是當前世界各國所面臨的共同問題，其所造成的氣候極端事件及衍生的伴隨效應已陸續在不同地方發生，諸如乾旱、洪水、強烈氣旋、異常高溫、森林大火及疾病傳播等，除了危及人民生命財產外，更衝擊國土保安、經濟發展及社會穩定。例如2008年5月，熱帶氣旋納吉斯重創緬甸，造成7.8萬人死亡，數十萬人無家可歸，又如2009年2月，澳大利亞的森林大火，燃燒面積廣達33萬公頃，750多所房子被毀，230餘人喪生，這些氣候極端事件都一再說明全球氣候變遷的嚴重性。

台灣為地球村一員，在全球氣候變遷衝擊下勢必無法避免，尤其台灣四周被海洋所圍繞，氣候暖化導致海平面上升後，沿海區域將深受影響，而台灣主要的人口聚集區及工商業區大都分佈於沿海平原附近，因此，氣候變遷對海岸環境之衝擊非常值得我們留意。

海平面上升

根據2007年聯合國政府間氣候變遷委員會(IPCC)第四次評估報告指出，從1906~2005年間全球平均表面溫度上升 0.74°C ，而最近2001~2005年間則增加了 0.76°C ，氣溫暖化明顯地有加速趨勢，預估到2100年時，全球氣溫將上升 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。在海平面方面，自1961年以來，平均每年上升 1.8mm ，自1993年後，全球平均海平面上升的速度加劇，每年為 3.1mm ，預估到2050年時，海平面將上升 $15\sim 30\text{cm}$ ，

到2100年時，海平面將上升 $18\sim 59\text{cm}$ 。其他研究也指出，二十世紀時全球海平面約上升 20cm ，每年平均上升 $1.0\sim 1.8\text{mm}$ ，而二十一世紀後上升速率更快，每年將近 3mm (Fitch 2009)。海平面上升速率因地而異，以美國佛羅里達州南部海岸而言，每年約上升 $2\sim 4\text{mm}$ ，預估到2100年時，海平面將上升 $25\sim 95\text{cm}$ ，甚至有可能會高達 200cm (Esterson 2009)。

造成海平面上升的原因可從全球尺度及區域尺度兩面向來看，就全球尺度而言，由於溫室效應導致氣候暖化，溫度上升後造成陸地冰川及冰帽融化，尤其是在格陵蘭及南極地區，大量的融冰流入海洋，以致海平面逐漸上升，另外，海水的溫度也隨著氣溫的升高而增加，由於熱漲冷縮特性，水溫增加後，海水的體積膨脹，也間接加劇海平面的上升(Fitch 2009, Roos 2009)。此外，就區域尺度而言，當地特殊的環境因素也會影響到海平面的上升，包括地層下陷、颶風加劇、潮汐變化大及沿岸泥沙流失或補充不足等。



宜蘭海岸社區防風林被颱風損毀(廖學誠 攝)

衝擊

海平面上升對海岸環境的衝擊甚鉅，首先在水資源方面，由於海平面上升，提高海水向陸地地下淡水入侵的壓力，以致於地下水有鹽化之虞，此外，海平面上升也容易造成海水倒灌現象，沿海的池塘及湖泊等淡水資源也會受到海水污染。其次，在生物資源方面，氣候變遷不只造成海平面上升，也提高海水的酸度及溫度，大氣中二氧化碳溶解於海水後，增加海水的酸度，pH值顯著降低，影響到珊瑚的生存，此外，水溫過高也會導致珊瑚的白化或死亡，此情形在夏威夷、萬納杜及吐瓦魯等地均已發現。另外，海岸林也將受到海平面上升之威脅，尤其是紅樹林可能會遭受破壞，沿海的植物減少後將加速海岸沖蝕(Alongi 2008)。

海平面上升後，受到最大衝擊的就是國土保安，許多沿海區域及外海沙洲將被海水淹沒。例如美國東部維吉尼亞州的切薩匹克灣，附近的海岸地區在十九世紀末時仍有住民在此開墾定居，但現在已是一片汪洋，又如太平洋島國吐瓦魯及萬那杜，以及印度洋的馬爾地夫，現在也深受海平面上升之威脅，部份地區居民甚至被迫遠離家園，成為環境難民。另外，美國路易斯安那州的海岸，由於地層下陷，且上游密西西比河大量的人工構造物攔阻流入河口的泥沙，以致於當地沿海的濕地及草澤區，在地層下陷及缺少泥沙的補助下，面積日益減少，當強烈颶風來襲時，誘發海平面上升，更加促使當地的海岸區域受到重創(Fitch 2009)。2005年8月卡翠娜颶風橫掃路易斯安那州的紐奧良市，



頭城海水浴場因侵蝕嚴重而關閉(廖學誠 攝)



宜蘭外澳海岸消波塊(廖學誠 攝)

造成密西西比河堤岸潰決，死亡人數高達1,464人，即是其中一例。

另外，美國加州舊金山灣區附近有將近1,218km²土地低於海平面以下，沿海築有長堤，當海平面上升時，將加速海水入侵地下水，水壓增加後，海堤潰決風險提高，尤其是加州常有地震發生，如果海平面上升又適逢地震，則後果將不堪設想，並且北加州輸往南加州的淡水供給系統也將遭受破壞(Roos 2009)。在美國東岸方面，紐約市亦面臨同樣的危機，當地海平面每年上升2~4mm，預估

到2080年時，海平面將上升24~108mm，由於紐約市人口高達800萬人，分佈於數百英里長的海岸旁，極易因海平面上升而產生大淹水，1960年9月唐娜颶風激發海水上漲2.6m，1992年12月的暴風雪，也讓海水上升2.3m，1999年9月的佛洛依德颶風，更讓紐約市大淹水，這些都凸顯出在氣候變遷威脅下，紐約的高度脆弱性(Gornitz and Rosenzweig 2009)。



桃園觀音海岸人工防風林(廖學誠 攝)

至於美國海外方面，夏威夷則面臨最高風險。夏威夷是由許多群島所組成，當海平面上升時，將對當地海岸環境造成以下衝擊(Norcross-Nu'u et al. 2008)：(1)沿海低地淹水；(2)沙灘及海崖嚴重沖蝕；(3)鹽分入侵含水層及地表生態系；(4)提高水位；(5)豪雨造成洪患破壞。以茂宜島為例，當地海平面每年上升2~2.5mm，造成沙灘每年後退0.3m，灘後的道路及公共設施已岌岌可危，全夏威夷有將近

1/3的沙灘遭受嚴重侵蝕，預估將有數十億美元的財產受損(Levy 2009)。另外，在提高水位方面，當海平面上升時，連帶地也會造成地下水位上升，夏威夷海岸平原的地下含水層恐將遭受污染，許多地下管線、污水道及儲存槽等將會受損，以致運作不良，更糟糕的是，許多地下掩埋場將因水位提高而造成地表環境的污染(Levy 2009)。

台灣現況分析

在全球氣候變遷衝擊下，台灣的海岸環境亦無法倖免。行政院公共工程委員會副主委陳振川(2009)指出，氣候暖化造成海平面上升，台灣將受到以下影響：(1)國土面積縮減，尤其是西部海岸；(2)都會區淹水問題；(3)雨水與污水排水困難，水利堤防與供水、污水設施要改善；(4)地下土壤與水源鹽化；(5)橋樑及道路排洪斷面積不足；(6)雨水流域面積減少；(7)糧農耕地總面積減少。其中國土面積縮減及淹水問題最為關鍵。



桃園大園海岸被侵蝕的碉堡(廖學誠 攝)

首先，在國土面積縮減方面，經濟部水利署曾分析海平面上升1 m時，台灣面積將減少376km²，上升2、3、4、5 m時，面積將依序減少850、1,277、1,692、2,069km²(陳仲賢，2009)。國土面積縮減連帶地也會影響到糧農耕地面積，此外，海水入侵造成地下水及土壤鹽鹼化後，環境品質下降也不利於糧農生產。很明顯地，海平面上升不只會縮減國土面積，更會影響到台灣沿海的農業生產。



桃園新屋溪口的紅樹林與防風林(廖學誠 攝)

其次，在淹水方面，根據經濟部水利署統計資料(陳仲賢，2009)，在1996年時全台灣地層下陷面積約1,616km²，主要分佈於西南沿海區域，包括彰、雲、嘉、南、高、屏等縣，主要與超抽地下水有關，目前持續下陷面積約803km²，至2007年為止，累積下陷量最大為屏東縣3.24m，而年平均下陷率最高為彰化縣8.4cm。地層下陷導致區域排水困難，當海平面上升或沿海暴潮時，必將造成嚴重淹水。水利署劃設台灣易淹水地區面積為1,150km²，絕大部份就是地層下陷區。

有鑑於海岸國土面積縮減及淹水問題，行政院積極推動綜合治水及國土保育策略，研發侵蝕防護工法、海岸林再造、保全自然海岸、制定相關法令及體制、產業轉型再發展、海洋污染防治等，整體而言，優先的行動方案主要有四(蔡勳雄，2009)：(1)地層下陷地區推動造林；(2)改善水災並補注地下水；

(3)促進防風林復育並保護生態環境；(4)營造自然景觀海岸。希望透過上述行動避免問題持續惡化外，更重要的是，期能重建優質的海岸環境。

結語

海岸侵蝕、地層下陷、淹水災害、海岸生態及景觀破壞等問題，已是當前台灣海岸環境經營所面臨的嚴峻課題，尤其是在氣候暖化的威脅下，海平面逐漸上升，對海岸環境而言，無異是雪上加霜。為了因應全球氣候變遷對台灣海岸環境之衝擊，我們確實需要未雨綢繆，研擬整體的行動策略，確實有效的貫徹執行，如此才能達到國土保育之目標。☸