

小島林業的風險與調適

張彬¹⁾、林俊成²⁾、王培蓉³⁾

1)林業試驗所所長

2)林業試驗所主任秘書

3)林業試驗所集水區經營組 通訊作者

小島國家占全球陸域面積 0.9%，面臨海平面上升、降雨模式改變、颶風等氣候災難的威脅，而成為風險最高的區位。然而因小島對環境衝擊的敏感性，小島可做為氣候變遷的影響與實施策略的觀測站。本文從 IPCC 評估報告整理小島國家所面對的氣候問題，其次再提出 FAO 小島國家農業部長會議的林業部門治理對策，最後，試擬臺灣在氣候變遷下應致力的林業研究方向，從海岸到高山，若能預測並防堵即將發生的災難，福雖未至，禍可遠離。

I、高風險的小島諸國

氣候變遷，島嶼國家首當其衝，成為風險最高的區位。1992 年聯合國召開第 1 次「環境與發展會議」即指出，小島國家在面對全球暖化和海平面上升的問題上，具有極端的脆弱性。成立於 1990 年的小島國家聯盟(Alliance of Small Island States, AOSIS)，組織宗旨即在關切全球氣候變化與負面衝擊。1992 年 6 月的聯合國環境與發展會議中，小島嶼開發中國家(Small Island Developing States, SIDS) 被定義為一個開發中國家集團，它們位於太平洋、印度洋、大西洋以及加勒比海與地中海周圍地區，其中僅新加坡被視為已開發國家，其他國家均被視為開發中國家或最不發達國家(維基百科)。SIDS 集團約有 41 個國家，面積從 20 平方公里(諾魯)到超過 45 萬平方公里(巴布亞新幾內亞)，臺灣面積為約 3.6 萬平方公里，若與 SIDS 相較，面積算是偏大(FAO, 2005)。島嶼國家的共同特徵為稀少但日益增長的人口、有限的資源、對自然災害的抵抗能力較弱和過分依賴國際貿易，這使得小島在社經制度也處於不利地位。

依據國際氣候組織「德國監測」(Germanwatch)所公布 2018 全球氣候風險指數(Global Climate Risk Index)依序為海地、辛巴威、斐濟、斯里蘭卡、越南、印度與臺灣(Eckstein et al., 2017)。這份報告指出，根據過去 20 年(1997-2016 年)的相關資料分析，11,000 多起極端氣候事件造成 52 萬 4 千逾人喪生，全世界有 3.16 兆美元的經濟損失。其中尤以面積小的島國受到極端氣候的影響特別大，甚至有可能因海

平面上升而淹沒。因為島嶼國家的土地面積小，相對地受災比例就被放大。尤其受到極端降雨、海平面上升、乾旱、或暖化引起的植群變遷，所引發的災難性後果，輕易地瓦解島嶼國家的自然恢復力。報告中亦指出，臺灣高居第 7 名的原因是在 2016 年 1 月異常寒冷致災，同年九月遭到莫蘭蒂和梅姬颱風等強烈颱風襲擊，尤其是莫蘭蒂颱風被認為是迄今地表最強的颶風。

氣候變遷無疑是未來全人類存續所須共同面對的艱鉅挑戰，臺灣對氣候變遷的討論不在少數，卻極少從島嶼的角度來審視：相同的災難等級，對小島即可能是毀天滅地的衝擊規模。本文整理小島在環境風險上的特性，並嘗試提出臺灣能採用的提高韌性的調適策略。

II、被放大的災難

根據 IPCC 第三次評估報告指出小島國家因地理規模容易受自然災害和極端氣候影響、經濟極度開放、適應力低等共同特點，因而使其脆弱性增加，並降低他們對氣候變化的韌性(IPCC, 2001)。因而 IPCC 在歷次評估報告均特別提及小島嶼的特殊性，第三、第四及第五次評估報告均將小島列為專章分析。本文以下針對第四次評估報告(Mimura *et al.*, 2007)及第五次評估報告(Nurse *et al.*, 2014)的摘要報告歸納整理(段落中納入其他文獻來源的部分再額外註記)小島所面臨的問題：

- (I) 因為面積有限，易受自然災害和外部衝擊等特徵，提高島嶼對氣候變化的脆弱性。大體而言，小島的調適力較低，調適成本相對於國內生產總值(GDP)則相對較高。
- (II) 臨海的都市、聚居點與基礎設施受到海平面上升、熱帶和溫帶氣旋、空氣與海面溫度升高以及降雨模式變化，造成洪水氾濫加劇、風暴激浪、侵蝕和其他沿海災害的嚴重威脅。許多島嶼將重要基礎建設放在海岸地區，例如加勒比海和太平洋島嶼有逾半數人口居住在海岸線 1.5 公里範圍內；印度洋和太平洋及加勒比地區島嶼內的國際機場、道路及首都全都位於海岸或極小的珊瑚島上。因此，海平面上升對島嶼整體的社會經濟福祉的影響甚大。
- (III) 島嶼水資源可能會遇到更多壓力。大多數小島嶼的供水有限，這些島嶼的水資源特別容易受到未來降雨變化和分佈的影響。以臺灣為例從 1960-2012 年期間降雨分析發現：北部與東部地區的乾旱次數減少，中南部地區卻有逐漸增加的趨勢；若以乾旱持續時間趨勢來看，北部與東部地區的連續乾旱時間在延長，西南部卻有逐漸縮短的趨勢(劉振榮, 2015)。由於暴雨難以儲存和高徑流，不太可能彌補至冬季的短缺。在太平洋地區，到 2050 年預期減少 10% 的平均降雨量，降雨減少加上海平面上升使許多小島投資海水淡化等調適策略，以彌補

當前和預期的水資源短缺。

- (IV)氣候變化將會嚴重影響漁業、珊瑚礁和其他海洋資源。由於海平面溫度提高、海平面上升、濁度增加、過多的營養物負荷與化學污染、熱帶氣旋的破壞，以及二氧化碳濃度升高導致漁業資源生長率下降，可能影響維持島嶼漁業、珊瑚礁和其他海洋生態系統的健康。這種影響也將加劇海岸系統的非氣候變化壓力。
- (V)暖化造成森林中本土種的重新配置，尤其是在高緯度地區的島嶼。過去因氣候條件對這些入侵種不利，暖化後，中高緯度島嶼絕對會被非本土的入侵物種占據。且因為熱帶島嶼的森林無法在短期內更新，若是颶風等極端事件頻繁出現，森林生物多樣性可能會受到嚴重影響，任一風暴都會產生累積性的加乘影響，造成森林結構的長期變化。
- (VI)維生型與商業化農業的不利影響。海平面上升、氾濫、海水向淡水的侵入，土壤鹽鹼化都可能對沿海農業產生不利影響。
- (VII)氣候變化對旅遊業有直接與間接的影響，大多數是負面的影響。旅遊業是許多小島國家國內生產總值和就業的主要貢獻部門，海平面上升和海水溫度升高將加速海岸侵蝕、珊瑚礁白化與死亡。由於氾濫與洪水造成文化遺產喪失，降低海岸景觀遊客的美感價值。雖然氣候變暖可能會降低低緯度島嶼的遊客人數，但對中高緯度島嶼卻會產生相反的影響。此外，缺水和大眾傳播疾病的激增也有會阻止遊客造訪。
- (VIII)對人類健康的不利影響。許多小島嶼位於熱帶或亞熱帶地區，當地的天氣和氣候已經有助於傳播疾病，如瘧疾、登革熱、絲蟲病、血吸蟲病，以及食物和水所傳播疾病。小島嶼所須注意的其他氣候敏感性疾病包括腹瀉、中暑、皮膚病、急性呼吸道感染和哮喘。在小島內觀察到的疾病發病率增加的原因是綜合因素，包括公共衛生習慣不良、基礎設施不足、廢棄物管理不佳、全球旅客增加以及氣候條件變化等。

從 IPCC 的報告裡可看出，氣候變遷對小島的影響有很大的可能是全面、立即、短期且累積的挑戰。面對颶風與強降雨的威脅，一般國家會產生巨大損害，對小島國家卻是全國性的，災難災害損失相對於國內生產總值最高的國家中，三分之二是小島嶼國家，年均損失在 GDP 的 1% 至 9% 之間 (Kreisberg *et al.*, 2018)。因此小流域的森林治理與水土保持成為當務之急；在外來種入侵方面，若是發生在大陸地區尚可進行區域性預防控制，但在島嶼通常甫經發現幾乎已遍及全島；對森林的生物多樣性的衝擊，由於世界上 10 萬座島嶼擁有已知植物物種的 16%，這些小島種類雖多但都數量稀少，環境異常將加快這些島嶼稀有物種滅絕的速度 (FAO, 2005)；

海平面上升，立即大幅縮小土地可利用面積，人們必得往內陸與高處遷徙，加劇了與林地間的用地競爭。

上述課題也反映出島嶼在氣候變遷問題的重要性，面對各種可能的氣候情境，某些島嶼的生態系統可能是世界上對氣候變化最敏感和最脆弱的生態系統，因此可成為檢測全球暖化的重要參考點。另外，正因島嶼對環境衝擊與改變的敏感性高，使之成為暖化對策的良好試點。也因此，許多 SIDS 成員，例如，馬紹爾群島伊拜 (Ebeye) 島的地方級多災害風險評估模擬整個島嶼的洪氾、侵蝕和海平面上升的影響，以及預防方案的有效性；在依賴進口的吐瓦魯，從波浪模式到長期氣候展望的一切來確定建設該國第一個港口的最佳地點；斐濟的第一個氣候脆弱性評估試點能製定該國氣候變化調適與災害風險管理的國家級策略。這些技術均得以有更廣泛的應用，以協助其他島嶼國家，甚至更廣泛的地區，特別是沿海地區 (Kreisberg et al., 2018)。正因此，對氣候變遷下的臺灣森林部門提出長期有效的監測與管理策略，不單是保障臺灣，更是回饋全球的重要貢獻。

III、提高韌性的治理對策

小島國家在全球氣候變遷的衝擊下，除了生產木材，森林往往須扮演更重要的角色，如減緩海岸線倒退、提供日常生活物資、維持生態平衡。過去小島國家因應氣候變遷的方式多以硬體設施為主，例如海水淡化廠、築防波堤；近年來島嶼國家積極鼓勵島民遷離海岸線，並透過維護紅樹林相、種植海岸林、鼓勵林地地主積極管理，來保護國土、復育本土樹種、維護生態平衡、減緩海岸線後退、穩固土砂，甚至提供觀光遊憩的功能 (Keener et al., 2012)。

1999 年 3 月 12 日小島嶼發展中國家農業部長級會議於在糧農組織總部舉行，討論了小島嶼發展中國家的土地、水和林業資源可持續地管理及環境保護的行動計畫，此係屬世界糧食峰會的後續行動計畫 (FAO, 1999)。該擬議行動計畫中與林業有關的主要目標和活動包括：

- (I) 促進水土資源保護和可持續使用，可持續地管理森林資源：其中包括永續的生產與合理伐採規範。強化土壤保持、植樹造林和森林再造活動，防止土地退化，加強海岸保護；建立混農林業系統，培育可抵病蟲害和颶風襲擊的多用途樹種；統一規劃陸地和海洋環境，防止其退化，充分合理地利用自然資源基礎，尤其是用於開發生態旅遊。
- (II) 加強環境保護：加強環境監測資訊基礎，將環境價值和環境影響融入發展過程；制定新法規或修訂現有國家法規；實施、批准或締結國際公約並制定國內法以實施這些公約。

- (III)改善防災準備：制定備災與減災策略，儘量減少自然災害、氣候變化、森林火災和病蟲害的侵襲可能及其影響；採取措施保護可防止湧潮和風暴破壞的紅樹林地區。
- (IV)加強國家能力：加強國家制定農、林、漁業政策的能力，以及充分的分析能力，評估世界貿易組織擬議的政策變革的影響。
- (V)強化農業支援服務：發展非傳統商品生產的貸款機制；建立私部門參與的聯合行銷服務；強化有關機構工作及其與外資援助計畫的聯繫。
- (VI)提供永續自然資源管理與環境保護架構：包括土地、水和森林資源在內的自然資源管理，植物保護和家畜衛生、氣候變化、荒漠化、生物多樣性、野生動植物和遺傳資源、保護區和重要生境、沿海區綜合治理的法律得以實施；制定措施減輕多樣性損失，充分利用婦女掌握的地方知識；建立相關資料庫、資訊系統，支援區域協作，包括在島嶼間共用資訊和技術。

由於島國的差異相當大，雖同樣面臨氣候變遷巨大衝擊，但不同國家需處理的首要問題卻不盡相同。小島面積雖小、人口數亦不多，但小島國家聯盟代表了28%的開發中國家，以及20%的聯合國會員總數，在國際事務發言具有一定的份量(維基百科)，聯合國亦透過擬定計畫、協助經營管理、財務資助來協助這些國家面對氣候變遷，2003年至2016年分佈在三個地區39個SIDS，從專用氣候基金獲得了10.85億美元，主要來源為氣候韌性領航計畫(the Pilot Program for Climate Resilience, PPCR)及最不發達國家基金(the Least Developed Countries Fund, LDCF) (Watson *et al.*, 2016)。除此之外，還可通過其他雙邊和多邊來源獲得資金。地方層級如美國官方資助的The Western Forestry Leadership Coalition (WFLC)與The Council of Western State Foresters (CWSF)等非營利組織亦提供部分太平洋島國森林生態、地景及資金等相關援助，並建立其與大陸間的溝通平臺。

IV、臺灣亟待投入的研究方向

從小島國家在氣候變遷的努力，從海洋到高山包括紅樹林保育、海岸林建造、城市與農業綠帶、珍稀有植物保種、入侵種防治、中高海拔天然林的監測與永續集約的林木生產等工作。這些工作大部分均已著手進行，但仍須足夠的科學研究調查與成果佐證，才能付諸實施，這也是林業試驗研究該著力的重點方向：

- (I)紅樹林保育：紅樹林是重要的沿海資源，具有多樣化和重要的生態和社會經濟功能，可防止颶風、風暴、潮汐、暴潮以及害蟲和外來昆蟲的侵入。它們還可作為動植物生產力的養分匯、穩定土壤與木材來源。氣候變化，可能導致全

球最大損失 10-15% 的紅樹林，由於許多紅樹林受到過度開發的壓力，降低了對海平面上升的防禦能力。根據模型推估，100 公尺寬的紅樹林帶能有效降低海嘯波流壓力，但對海嘯能量吸收的能力，取決於樹木密度、莖和根直徑、岸坡、水深、入射波的光譜特性以及潮汐階段等(Alongi, 2008)，寥寥數排的紅樹林反而於災害來臨時造成更大的生命財產損失，因此需要相當大面積地長期維護。

(II) 海岸林建造：海岸林位於沿海地區，經海洋常規作用(如鹽霧、沿岸風、潮汐與沈積物)與極端天氣事件(如旋風和暴潮)的交互作用而形成。海岸林發揮重要的生態作用，亦是瀕危物種的棲息環境，提供重要的生態系統服務，如保護前灘、人類聚居處和基礎設施)。然而因人類過度開發、海岸線侵蝕、海岸環境條件的改變及氣候變遷等，均嚴重威脅現存海岸林。為減輕暴潮對海岸林的危害，須積極投入海岸林營造及維護管理(陳財輝，2009)。

(III) 農地保護：保護、強化與永續利用森林資源對保障糧食安全有直接重要性，在退化地區(如小流域)需要採取特別的方法進行再造林；許多島嶼均有必要在沿海地區種植樹木，防止海岸侵蝕，而且以紅樹林尤為重要。混農林業常是盛行於太平洋島嶼的普遍作法，農民與地主都已採行了好幾世紀。土壤鹽鹼化造成農業減產，也可透過混農林業的方式來改善土質、水資源循環，並將部分收入的需求從農業移轉至林業。除了保護和增加森林覆蓋之外，混農林作業可提升農林生產、支持自然旅遊、保存生物多樣性，具有重要的經濟意義。

(IV) 珍稀有植物保種：因氣候變遷造成溫度變化與植被改變的影響，導致許多哺乳動物與鳥類都面臨瀕危的風險。而島嶼的物種地方特有性高、單一物種數量少，生物多樣性減少的風險很高。FAO(2005)指出由於陸地面積很小，許多小島嶼發展中國家很難單獨留出大塊土地，進行嚴格的生物多樣性保護。因此，急需制定合適的策略來保存生物多樣性，特別在保存具有社會經濟重要意義樹種的遺傳資源，例如在臺灣許多森林藤類是重要的民族植物，後因森林開發與濫採下，部分在自然分佈範圍中已日漸稀少而亟待復育。

(V) 外來種防治：積極防範新的外來種入侵與病蟲害也是森林管理一大重點。世界自然保護聯盟(IUCN)外來入侵物種專家小組(invasive species specialist group, ISSG)所公告的全球入侵種資料庫(global invasive species database, GISD)，臺灣已收錄 124 種確知的入侵種，如小花蔓澤蘭、銀合歡、布袋蓮、銀膠菊等，危害甚巨。然被 ISSG 列為世界百大外來入侵種之一的毛野牡丹藤(*Clidemia hirta*)，在臺灣南部山區已有採集與分布紀錄，但尚無負面生態影響，值得密切注意。外來入侵種不僅止植物，真菌、微生物及動物的危害與影響更不容小覷，小島

國家欲達到有效的林地經營及外來種防治，必須與地主建立良好的互動關係，鼓勵林地地主施作、復育本土樹種與環境，喚起其保護生態環境、永續管理的意識。

- (VI) 中高海拔天然林監測：熱帶島嶼的山地雲霧林可能是世界上對全球氣候變化最敏感的生態系統之一。Loope & Giambelluca (1998) 在夏威夷東毛伊島的山地雲霧林內的研究顯示：降水和颶風年增率對島嶼生物群造成額外的壓力，使棲地極易受到非本地物種的入侵。由於島嶼對微氣候和森林變化的特殊敏感性，使之可做為檢測人類引起的全球氣候變化的「監測站(listening posts)」。臺灣自 1992 年推動長期生態研究計畫，林試所所屬福山生態系研究群，藉由長期研究福山動植物的生態模式進而了解臺灣森林生態系的變遷，對全球生態資訊網路持續提供重要的地域資料。
- (VII) 永續集約的森林產業：部分小島國家擁有大面積的森林，但是大多數都無法永續進行經濟林的採伐。在計畫完善的較大島嶼，人工林的木材產量有可能出現增長，如斐濟在 2000 年即有超過 7 萬公頃輪伐齡 35 年的紅木人工林可以採伐 (FAO, 1999)。由於島嶼的規模小造成的經濟條件限制，導致公共管理和基礎設施成本很高，國內市場狹小，出口量有限，進一步導致運輸成本增高，難以建立有競爭力的林產業。對小島國家的森林產業發展，包括加值型的木材加工業、非木材林產品及開發森林生態旅遊的潛力 (FAO, 2005)。

V、結語

在國際間占有一席之地的小島國家聯盟，正積極為氣候災難而努力。位於東亞島弧鏈上的臺灣，極少以島嶼思維來看待氣候變遷對自身的影響。島嶼對全球氣候風險的共同點即因面積有限，災難的影響即被放大。不論是颶風、土石流、入侵種、海平面上升，甚至是溫差及降雨周期改變，對小島居民的生命、生活與財產的損失，都占總體的一大部分。但小島國家在地理、生物、社會、文化及經濟均全然不同，其因小，故無法以單一思維與單一方式來擬訂小島的森林利用與保育策略。

正所謂「聖人無心，以天地之心為心」，科學研究即是採用當代科學方法，描繪「天地之心」的方式。若能掌握天地運行的脈絡，不悖其道，當可趨吉避兇，在氣候變遷的衝擊下，以縝密觀測與長期資料分析，解析安身立命之道。

(參考文獻請逕洽作者)