



第五章 氣候變遷 風險評估與調適

李明旭¹、詹士樑²、陳永明³、李欣輯³、紀佳法³、張珈瑋³

¹國立中央大學水文與海洋科學研究所

²國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

³國家災害防救科技中心



摘要

臺灣為存在高度複合災害風險的國家，在氣候變遷衝擊程度不斷加劇下，自然環境及人類生活於可見的未來有可能遭遇更頻繁與巨大的災害，過往所發生的災害類型、衝擊程度及影響路徑等，將因氣候變遷的影響而越來越難以預測，原先建構的反應性 (reactive) 防災調適措施及作為，也可能隨風險程度持續擴大而逐漸降低其有效性。氣候變遷的影響是全面的，需要所有利害關係人參與及共同思考如何著手規劃使國家、社會及環境永續發展的氣候調適策略。2023年2月公告的「氣候變遷因應法」調適專章明文規定中央目的事業主管機關研擬調適行動方案、調適目標與調適計畫、地方主管機關研擬調適執行方案及推動調適能力建構等有關辦理事項，其中調適有關方案研擬之完備程度，將取決於各事業目的主管機關風險評估建構及調適規劃之能力。為使我國未來調適規劃與執行得以朝向整合跨領域及跨部門協作的治理思維，本章研析國內外相關文獻，綜整論述氣候變遷風險與調適定義、國家氣候變遷調適架構，及科研缺口與未來治理展望等關鍵議題。

相較於溫室氣體減量事務，多可透過量化減碳效益而相對具體，由於氣候變遷調適之目的在降低未來氣候變遷所可能造成之風險，若未能將現況與未來氣候風險予以量化，則各項調適推動之效益便難以評估，亦容易造成規劃措施較屬於傳統防災應變型的作為。本報告前列章節雖已彙整關鍵部門及領域研擬調適計畫所需之未來氣候推估科學資訊、領域衝擊評估技術與調適研究回顧、科研缺口等重要參考資訊，但本章主要針對系統性的氣候變遷調適管理過程，即為始於現況與未來風險評估並鑑別未來調適缺口，再進而規劃可降低未來氣候變遷風險的調適措施與持續監測修正的過程。建構規劃與推動過程中之相關利害關係人在風險及調適的認知與參與，及各部門領域調適規劃之操作流程與機制，為我國必要優先推動的工作。調適是否成功執行且具長期有效性，則需進行監測與階段性效益評估，包含探討調適措施是否降低風險和脆弱度、有助於社會與生態系統韌性建構、促進經濟永續發展、及是否具調適治理和制度彈性等方面。

氣候變遷調適規劃與推動為一複雜且需動態調整的研擬與執行過程，除氣候及社會生態系統發展的不確定性外，也需考量同一時空尺度內，其他危害因子的複合、連續、累加等相互作用，及對有關保護或保全對象之衝擊動態因果連結，以降低系統間不當調適的發生機率及影響。國內過往較著力於單一特定領域所受衝擊之調適因應，且多投入具短期效力的災害因應調適，並隨災害影響程度加劇，而提升因應量能的漸進式調適為

主，往往忽略發展長期且永續的轉型式調適策略的重要性，例如國土空間的調適規劃與全體利害關係人在氣候風險議題上，是否能將長期氣候變遷風險的時間尺度，整合應用於評估調適的未來成本與效力之更迭。於氣候議題上僅依賴漸進式調適將無法因應氣候風險的不確定性，且阻礙了創新調適思維的發展，也降低跨領域及跨部門在調適議題上尋求減緩共效益的機會。國家調適治理機制需整合跨部門及跨層級的協作，除會面臨難以克服的氣候不確定性外，也需循環性針對各時期調適過程中存在的社會經濟、物理環境、生態、地方文化等障礙與限制提出有效的解決方案，以促進調適執行達到預期效力，並避免不完善的規劃驅使脆弱族群更形脆弱。本章節參考國內外關注的調適關鍵議題，並盤點國內相關研究進展情形與方法後，希冀提供我國提升跨領域、跨部門調適的治理思維，進而使未來各部門的調適規劃與執行能具體回應降低長期氣候變遷的風險及符合社會期待的永續發展願景。

5.1 氣候變遷風險及調適

調適工作為跨領域與跨部門之複雜議題，國際持續對調適與風險評估，提出不同方法與操作經驗。以下摘要國內外重要風險定義、風險組成因子、風險評估流程與方法，作為我國相關重要政策與科研等應用參考。

5.1.1 氣候變遷風險定義

欲落實風險評估，需釐清風險的定義與組成。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 (the Sixth Assessment Report, AR6; IPCC, 2022) 指出，風險為對人類社會系統或自然生態系統所造成的可能損害程度，而組成因子包含危害度、暴露度及脆弱度 (圖5.1.1)。

目前定義風險的主要因子涵蓋危害度、暴露度、脆弱度等因子，危害度指可能發生的氣候相關物理事件、趨勢或物理影響，可造成生命損失、傷害或其他健康影響，及財產、基礎設施、生計、服務、生態系統及環境資源的損害和損失；暴露度指存在於可能受不利影響的地方和環境中的人群、生計、物種或生態系統、環境功能、服務和資源、



基礎設施，或經濟、社會或文化資產等其受不利影響之程度；脆弱度則是敏感度及調適能力的集合，包括對危害的敏感性或易感性以及缺乏應對的調適能力 (IPCC, 2022)。氣候的變遷 (包含環境自然變異機制與人為的氣候變遷)，以及社會經濟的變遷，而調適跟減緩行動的效果、社會經濟的發展 (如人口與產業結構的變化) 等因子都會影響脆弱度、危害度與暴露度，造成風險的變化。

其他國內外風險定義可參考表5.1.1 (何謹余等人，2020)，使用任何風險定義進行評估的目標，皆是為了規劃及確定管理手段以降低風險至所設定的損傷目標或達到社會廣泛可接受的風險程度。依據上述定義，使用「風險」的用字時需注意其適用性，如風險不適合作為概率或機率的同義字或僅用於解釋物理危害度，如僅強降雨頻率與強度增加，則不適用「淹水風險」等用字，僅於前述氣候危害對人類與生態造成之影響與衝擊 (如人員傷亡、財物損失、水資源受汙染等) 方能稱為淹水風險。我國「氣候變遷因應法」第3條將氣候變遷風險明文定義為「氣候變遷衝擊對自然生態及人類社會系統造成的可能損害程度……而氣候變遷風險的組成因子為氣候變遷危害度、暴露度及脆弱度」，各研究單位及政府部門應依此作為通用的氣候變遷風險定義。



圖5.1.1 風險組成示意圖 (IPCC, 2014)

表5.1.1 風險定義說明及來源

風險定義	內容說明
風險 = 概率 × 後果	風險是概率和後果的乘積，後果：潛在的財富損失
風險 = $H \times C \times E$	H：自然危害度，E：在風險中的要素，C：後果
$R_t = R_s \times E = (H \times V) \times E$ $R_s = H \times V$	R_s ：特定風險，H：危害度，V：脆弱度， R_t ：總風險，E：在風險中的要素
風險 = 危害度 × 脆弱度	風險是危害度和脆弱度的產物
$R(DI) = P(H) \times P(S H) \times P(T S) \times P(L T)$	(DI)：個人風險，P(H)：危害度，P(S H)：空間影響的概率，P(T S)：時間影響的概率，P(L T)：個人生活損失的概率
$R_t = \sum (R_s \times E) = \sum (H \times V \times E)$	R_t ：總風險， R_s ：具體風險，V：脆弱度，E：在風險中的要素
$Risk = E \times H \times V$	E：在危險中的元素；H：自然災害事件的危害，V：脆弱度
風險 = (危害度 × 脆弱度) / 災害管理	處於危害之中的要素與災害管理作用是相反
$R(PD) = P(H) \times P(S H) \times V(P S) \times E$	$R(PD)$ ：特定風險(財產)，P(H)：危害度，P(S H)：滑坡影響財產的概率，V(P S)：脆弱度，E：財產價值
$R_s = P(H_i) \times \sum (E \times V \times E_x)$	
$R_t = \sum R_s$ (Landslide events 1, ..., n)	R_s ：特定風險， R_t ：總風險，P(H _i)：特定滑坡程度的危害(H _i)，E：有風險元素的總價值，V：脆弱度，E _x ：暴露度
$Risk = H \times E \times V$	
$Risk = H \times V \times Amount$	H：危害度，E：暴露度，V：脆弱度，Amount：在風險的要素
$Risk = (H \times V) / \text{Coping Capacity}$	H：危害度，V：脆弱度，Coping Capacity：減少災害風險的因應能力程度
$Risk = (H \times E \times V) / Capacity$	H：危害度，E：暴露度，V：脆弱度，Capacity：(軟+硬對策)/2
$Risk = (H \times E \times V)$	H：自然危害度，E：暴露度，V：脆弱度，(用於土石流)
$Risk = (H, E, V)$	H：自然危害度，E：暴露度，V：脆弱度
$Risk = (H, E, S)$	H：自然危害度，E：暴露度，S：敏感度

(資料來源：何謹余等人，2020)

5.1.2 氣候變遷調適定義

在生物學領域，調適可解釋為有機體因應周邊環境所產生的變化 (Engle, 2011)。但在氣候變遷領域，調適是調整自然或人類系統，並利用有益的發展機會或減輕可能的負面影響，以因應改變的環境 (NRC, 2010)。在地方尺度，調適又可簡易說明為幫助提升社區生計韌性的因應行動 (Rojas Blanco, 2006)。聯合國政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC, 2007) 定義調適為因應實際或預期



的氣候及其改變造成的影響與過程；對人類系統而言，調適目的為尋求減少負面衝擊或發掘有利的機會；但對部分自然系統來說，人類的介入可促使生態系統針對預期的氣候及其影響進行調整。我國於民國112年2月公告之「氣候變遷因應法」第3條第2項，明文率定氣候變遷調適指「人類與自然系統為回應實際、預期氣候變遷風險或其影響之調整適應過程，透過建構氣候變遷調適能力並提升韌性，緩和因氣候變遷所造成之衝擊或損害，或利用其可能有利之情勢」。

調適廣泛應用於人類社會發展，從工程技術，例如海岸防護；到行為轉換，如糧食和遊憩活動項目的選擇；管理方面，例如改變農作行為慣例；及公共政策，如制定規範條例等 (Ayers & Huq, 2009)。調適的空間尺度可從地方到區域，時間尺度可從短期至長期 (IPCC, 2001)。依據執行時間的差異，又可區分為預期性 (anticipative) 或反應性 (reactive)；依準備或外在介入程度，另可分為規劃性 (planned) 或自主性 (autonomous) 等調適類型 (Tol et al., 2008)；依執行型態又可區分為，如後撤型、適應型、保護型、預防型、忍受型、恢復型等 (IPCC, 2001)。無論為何種調適類型，皆可能對社會及生態系統產生立即性、延遲性或累積性的影響 (IPCC, 2001)。

調適行動主要為對抗預期將發生事件 (Granberg & Glover, 2013)，目的在於降低對氣候變遷的脆弱度 (Swart & Raes, 2007) 或提高系統的韌性 (Smit & Pilifosova, 2001)。理想的調適應為動態及彈性的發展型態，且能隨時依新的氣候刺激及風險情況進行調整，但調適由許多系統、領域、時間範圍、發展過程和行動者所組成，加上易受到氣候變遷及制度調整影響，因而在執行結果及效力上具有高度地不確定性 (Barnett & O'Neill, 2010; Jones et al., 2013)，造成氣候變遷調適有關規劃及決策工作的執行相當困難。

假設氣候變遷調適決策不當，所執行的調適不僅可能無效，甚至會引起外加的衝擊損傷；或因忽略考量欲解決問題與其他系統間的相互依賴性，而無意間提高了其他連結的系統風險 (Scheraga & Grambsch, 1998)，而決策指引錯誤的結果不僅將虛耗投入的調適資源，更嚴重的情況是造成系統暴露於未來氣候的風險下將越趨脆弱 (McDowell et al., 2010)。

調適規劃過程，必需考量更廣的社會、環境生態背景，而不只是發展調適工具和行動的清單。後續藉由分析國內外風險評估及調適架構方法，進而協助我國各層級政府機關後

續研擬氣候變遷調適行動及執行方案時，得以建構在永續調適的思考基礎下進行規劃。

5.1.3 國內外氣候變遷調適架構

氣候變遷調適工作涉及廣泛且難以量化，其跨領域特性及未來風險評估不確定性，併同氣候變遷衝擊地域獨特性，導致不同國家乃至於區域所面臨風險及治理方式皆有差異。歐盟委員會白皮書 (The European Commission's White Paper) 指出調適架構作用為促進及指導國家、區域、地方或特定部門進行調適措施和政策之規劃，以提高對氣候變遷衝擊的韌性 (Commission of The European Communities, 2009)。國際間除相關推動原則及報告架構外，尚無統一化方法架構，而是納入地域性、政府與決策架構、因應問題等不同因子，歸納重點並由專業團隊與各相關單位與利害關係人討論後提出架構。各架構間互相比較難度高，亦難以直接引入至臺灣直接參照進行調適規劃，但各有其獨特性及參考價值。林丞庭等人 (2021) 在回顧國內外調適架構後，提出盤點之共通性構面及其內涵比較，表5.1.2中各架構於操作階段所定義的步驟名稱不盡相同，但關鍵構面細部因子具共通性，大致可概分為了解及界定問題或保護標的、評估現況或未來氣候變遷風險、調適項目規劃及效益管考與檢討。

5.1.4 國家氣候變遷調適架構

「國家氣候變遷調適架構」是一個系統化操作過程，可用於協助研擬跨領域及跨部門氣候變遷調適策略。氣候變遷調適架構並非逐步性或線性的進行操作，調適過程的各個階段可以同時進行或採以不同的順序，雖然特定情況下部分構面或細部操作步驟甚至可以省略 (Bierbaum et al., 2013)，但調適架構操作仍可視為一循環性之風險評估及調適規劃的機制 (Ebi, 2011)。

在釐清國際上所採用之方法後，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫 (TCCIP) 初步提出6構面之「氣候變遷調適架構」(林丞庭等人，2021)，實施於該計畫項下7個領域關鍵議題之風險評估及調適示範操作，包含淹水、坡地、水資源、農業、海岸、漁業、公衛等，並彙整推動調適示範操作經驗後，考量風險評估及調適規劃之實務



表5.1.2 國內外調適架構比較分析

框架	UKCIP	UNDP APF	EU 指引	國科會 TaiCCAT (童慶斌等人， 2016)	ISO 14090(2019a) ISO 14091(2019b)	UN NAPs	國科會 TCCIP
年分	2003	2004	2013	2016	2019	2021	2022
構面 1	辨識問題 與目標	界定及設計 調適計畫	準備與設定	界定問題與 設定目標	先期規劃	問題與落差	界定範疇
構面 2	提出決策 關鍵	評估現有 脆弱度	評估氣候變 遷風險及脆 弱度	評估與分析 現況風險	評估衝擊與 機會	前期準備	檢視資源 及現況氣 候風險
構面 3	評估風險	評估未來 氣候風險	辨識調適 選項	評估與分析 未來風險		分析氣候變 遷風險及脆 弱度	評估未來 氣候風險
構面 4	辨識選項	研擬調適 策略	評估調適 選項	界定與評估 調適選項	調適規劃	檢視各層級 調適選項	綜整決策
	評估選項						
	進行決策						
構面 5	執行推動	持續推動 調適策略	執行	規劃與執行 調適路徑	推動執行	策略執行	推動執行
構面 6	監測、評 估及檢討		監測與評估	監測與修正 調適路徑	監測評估 報告交流	監測與檢核	檢討修正

(資料來源：本報告更新彙整自林丞庭等人，2021；TCCIP, 2022)

推動複雜性，及參考ISO (14090及14091) 之指引出版分類及回顧國內外不同階段各構面執行特點，TCCIP於2022年將所提出的6構面架構，調整區分為「辨識氣候風險及調適缺口」及「調適規劃與行動」2大階段。其中第1階段「辨識氣候風險及調適缺口」三個構面，分別為界定範疇、檢視資源及現況氣候風險、評估未來氣候風險等；第2階段「調適規劃與行動」，則包括綜整決策、推動或執行調適選項、檢討或修正調適選項。於2023年10月4日，行政院核定之「國家氣候變遷調適行動計畫 (112-115年)」，各部會已參考此架構作為研擬基礎(環境部氣候變遷署，2023)。此架構也與國內各部會視其業務屬性與實務需求，所研擬的相關氣候變遷風險評估指引進行內涵比對，包含國家發展委員會 (2018) 提供地方政府研擬調適計畫之「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」；經濟部工業局 (2021) 為了協助國內製造業因應氣候變遷影響及強化調適能力，所出版之「製造業氣候變遷調適指引」；經濟部能源局 (2022) 為了輔導能源產業進行氣候變遷風

險評估之「能源部門因應氣候變遷風險評估指引」；經濟部水利署 (2022) 針對水資源及水環境風險及調適工作，統整國內外相關文獻提供內部概念性參考之「水利署氣候變遷調適參考指引」；交通部運輸研究所 (2022) 以強化公路系統調適能力目的，所規劃之「公路系統規劃階段強化調適能力作為與指引」等。

「國家氣候變遷調適架構」包含2階段6構面 (TCCIP, 2022)，第1階段「辨識氣候風險及調適缺口」含三個構面 (圖5.1.2)，分別為界定範疇、檢視資源及現況氣候風險、評估未來氣候風險等；第2階段「調適規劃與行動」，則包括綜整決策、推動或執行調適選項、檢討或修正調適選項。除國內外外部會及組織所提出的指引外，國內外學術所發表的研究中也不乏發展氣候變遷調適架構操作的示範範例 (何謹余等人，2020; Gan et al., 2019; Tung et al., 2019; Bierbaum et al., 2013; Ekstrom & Moser, 2011; Moser & Ekstrom, 2010)，但「國家氣候變遷調適架構」之研擬目的，除了供私部門及小尺度空間 (如地方社區) 進行風險評估及調適措施規劃參考外，同樣考量中央部會易受衝擊領域氣候變遷調適行動方案及地方調適執行方案研擬應用需求。以下整合前述各文獻所提及之操作重點，進行「國家氣候變遷調適架構」各構面要項內容之說明：

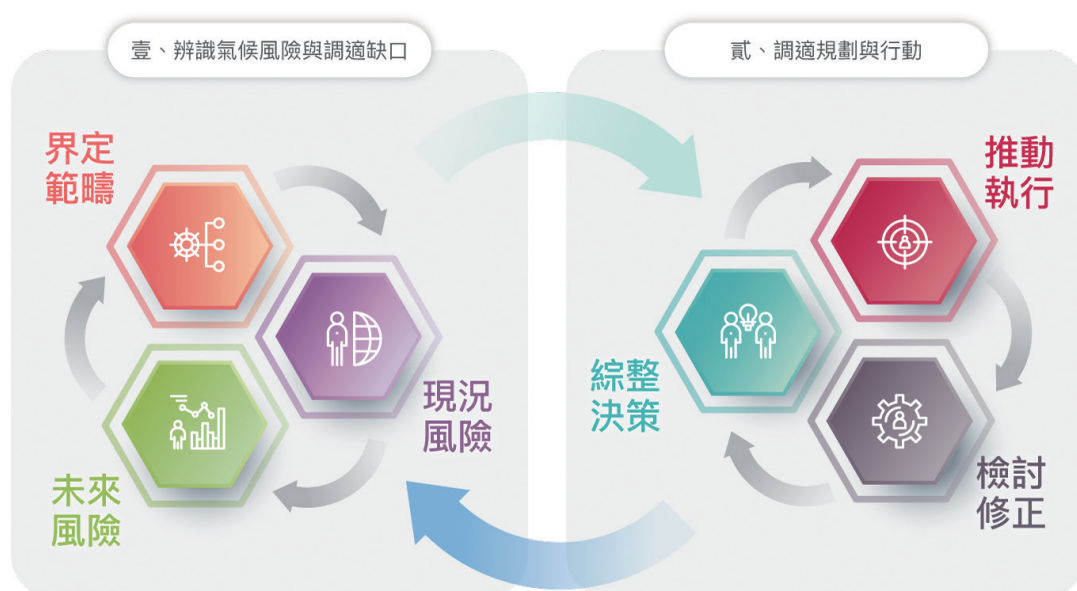


圖5.1.2 國家氣候變遷調適架構
(資料來源：TCCIP, 2022)



1. 界定範疇

(1) 確定主、協辦機關之權責業務及目標

目前國內外調適行動計畫雖處於初步發展階段，大部分的評估已專注於鑑別關鍵的氣候變遷風險，並規劃對其權責或欲保護的生命財產、資源標的，進行現況和未來的風險和脆弱度評估 (交通部運輸研究所，2022; 經濟部能源局，2022; Tung et al., 2019; Carmin et al., 2012; Ingram et al., 2012; Lackstrom et al., 2012; Glick et al., 2011; NRC, 2010; Rowland et al., 2011; West et al., 2009)。進行風險管理目的是為了降低風險至可接受的程度 (何謹余等人，2020)，構面1需確定主、協辦機關之權責業務及目標 (保全對象)。

(2) 權責業務目標之氣候危害類型

辨識主、協辦機關之權責業務及目標 (保全對象) 後，即可分析目標範圍內潛在的危害因子作為辨識氣候危害類型的起點，例如確定氣候變遷對我國製造業之衝擊影響 (工業局，2021)；及交通部運輸研究所 (2022) 彙整「臺灣氣候變遷科學報告 2017—衝擊與調適面向」內容及交通部統計要覽中天然災害資料後，提出影響臺灣公路系統之主要氣候類危害類型。

(3) 暴露時間及其空間範圍

盤點及確認權責業務目標 (保全對象) 之氣候危害類型後，及另需確認該保全對象暴露於各種危害下的熱點時間尺度及空間範圍 (紀佳法等人，2023)，以利後續協助確認在特定時期及範圍，辨識出可能影響的利害關係人。

(4) 邀集有關機關、學者及民間團體界定評估範疇

依據「氣候變遷因應法」第十九條，中央目的事業主管機關應邀集中央及地方有關機關、學者、專家、民間團體經召開公聽會程序後訂修該領域調適行動方案；及第二十條，直轄市、縣 (市) 主管機關應邀集有關機關、學者、專家、民間團體舉辦座談會或以其他適當方法廣詢意見，訂修氣候變遷調適執行方案。Tung et al. (2019) 也指出需邀集有關機關、學者及民間團體協助界定評估範疇之適宜性，利用成立調適委員會進行關鍵問題定義、跨學科分析和調適目標設定等工作。Bierbaum et al. (2013) 也強調，為了制定適當的調適計畫，需要一個由利害關係人組成的調適委員會。「能源部門因應氣候變遷風險評估指引」也敘述能源廠 (處) 與利害關係人溝通的目標，除了掌握利害關係人關心的議題和參與度外，另一作用為在利害關係人了解氣候變遷風險評估結果後，能產生

支持調適行動及合作機會的正面效果 (經濟部能源局，2022)。Tung et al. (2019) 也指出利害關係人參與對於提高調適策略的信任感和可信度具有重大正面作用，並可使民眾認為調適決策具完整考量和公平性 (Richards et al., 2004)。依據「氣候變遷因應法」調適專章十九條及第二十條所列利害關係人之對象，包含有關機關執行者及決策者、學者、專家、民間團體等。能源廠 (處) 在利害關係人鑑別時，建議參考 AA1000 利害關係人議合標準2015年版 (Stakeholder Engagement Standard, AA1000 SES 2015) 所提五大原則。除辨識上述法令所列之利害關係人對象時，建議也可採用近期的風險評估成果盤整初步的利害關係人清單，後續另再以最新未來風險評估成果予以調整。以下簡列可依據風險評估成果進一步予以檢視的利害關係人類型：

- 所處之空間位置或從事的主要產業為容易受到影響的特定社區或地區民眾；
- 中央和地方政府及相關團體 (如地方政府、協會、各政府部門和諮詢小組等)；
- 基礎設施管理機構 (如負責港口、空運、陸運交通、水資源、能源和資產等管理)；
- 產業團體或特定產業，包括公園綠地管理和自然資源管理單位、建築、健康、旅遊、農業、綜合企業、林業和漁業、保險和財務、礦業及緊急應變管理單位等；
- 民間協會和非政府組織 (NGOs)，包括負責建築環境、自然環境以及原住民族等與界定之問題有關人士。

2. 檢視資源及現況氣候風險

(1) 盤點及辨識可掌握資源

盤點及辨識可掌握資源，應盤點領域主辦機關之知識、技術、科學研究團隊或人力、財務能力、相關氣候變遷風險評估及調適計畫投入與管理機制情形等調適資源。盤點主辦機關資源投入情形相關作業可包含但不限於此3項工作：(1) 主辦機關調適行動或執行計畫相關法規檢核；(2) 權責業務目標 (保全對象) 涉上位、相關計畫與相關管理機制辦理情形；及 (3) 彙整歷年投入資源與計畫等。相關資源投入盤點成果可作為後續氣候變遷風險評估影響議題之選定，例如受衝擊的保護標的或保全對象，及什麼情況下易受到衝擊及其範圍、程度等 (Tung et al., 2019)；而現況對應風險議題所採取的調適措施或策略，可作為未來研擬調適行動或執行計畫之規劃基準，如屬主辦機關原定期執行之計畫，則可考量後續調適缺口，予以調整計畫內容，以發揮未來調適效力，也可避免調適資源重複投入。



(2) 評估現況氣候風險

現況風險評估以現況災害風險評估為主體，應運用歷史氣候觀測相關資訊進行現況衝擊與脆弱度之量化或質化評估，包含經濟、社會、健康、環境、生態、文化、脆弱族群及部門等之衝擊程度與風險空間分佈情形。依據何謹余等人 (2020) 所述現況，地區災害防救計畫每兩年需修訂一次，故建議將二年內的風險評估視為現況風險。現況風險評估方法可採用多種定性和定量方法進行評估，包括案例研究和比較分析法、情境分析法、敏感度分析法、訊息共享方法、關鍵物種監測法、專家問卷調查法 (何謹余等人，2020; Barrett et al., 2011; EPA, 2011; Ford et al., 2010; Füssel, 2007; NPS, 2010; Hulme & Dessai, 2008)。經濟部能源局 (2022) 採用不同降雨條件下的淹水潛勢圖，以此評估能源廠 (處) 可能淹水深度及影響範圍，並以此界定可能淹水的氣候閾值，亦建議可利用政府公告之氣候災害警戒值，作為保護標的 (保全對象) 受到氣候衝擊的閾值參考。

3. 評估未來氣候風險

未來氣候變遷風險指在長時間尺度推移過程之氣候變遷因子所造成的風險 (何謹余等人，2020)。評估未來氣候變遷風險，應執行未來氣候變遷情境設定及風險評估時，可參採定期公開之最新氣候變遷科學報告內容或氣候科學資訊之建議，予以設定之調適應情境，評估未來氣候變遷危害度與脆弱度對權責業務 (保全對象) 之衝擊或風險。國內指引包含經濟部水利署 (2022) 「水利署氣候變遷調適參考指引」、交通部運輸研究所 (2022) 「公路系統規劃階段強化調適能力作為與指引」、經濟部能源局 (2022) 「能源部門因應氣候變遷風險評估指引」等，而在未來氣候變遷風險情境設定上，皆採用國家災害防救科技中心及環境部所共同建議之全球暖化程度下固定暖化情境。全球暖化程度下固定暖化情境之設定建議，將有利未來各部會調適行動方案及地方調適執行方案立足於共通的風險評估及調適規劃之溝通對話基礎。Tung et al. (2019) 提出建議評估及分析未來的風險所使用的模板，應考慮氣候和社會經濟的未來變化情境與基線差距，此可透過選擇適當氣候情境和社會經濟變遷因素 (例如人口成長和土地利用變遷等) 之代表性排放濃度路徑 (RCP) 來決定未來情境，再藉由比較基線和未來情境計算未來風險 (Tung et al., 2019)。何謹余等人 (2020) 考量未來氣候變遷風險評估之相關操作需簡化以利區域治理單位應用，因而提出將氣候影響係數乘上現況風險因素，得出未來危害度變化率，進而計算未來風險值。計算出未來風險超過現況風險的程度後，可用以辨識調適投入的目標或熱點區位，另建議未來氣候變遷風險評估成果應盡可能呈現受影響之經濟、社會、健康、環境、生態、文化、脆弱族群及部門等衝擊程度之風險圖資或數據，及對應風險

因子之未來調適缺口。最後根據評估和分析現況和未來風險的缺口後，進行氣候調適選項之設定及評估操作。

4. 綜整決策

(1) 利害關係人參與界定風險評估及調適選項之合理性

當完成風險評估，下一階段即步入辨識、評估及選擇應對現況和未來氣候變遷的調適選項 (NPS 2010)。利害關係人 (有關機關、學者及民間團體) 除協助界定評估範疇之適切性外，也需參與調適選項規劃及設定之合理性決策，以期滿足社會廣泛預期的調適目標。利害關係人參與決策的方法，主要透過提供具體的風險評估結果，進而共同設計調適選項的過程 (Preston et al., 2010; Fazey et al., 2010; Few et al., 2007; Smit & Wandel, 2006)，通常是整合利害關係人和政府機關共同關注的風險議題，並制定強力的調適策略，同時納入利害關係人的價值觀 (Preston et al., 2010; World Bank, 2008; Brunner, 2005)，藉此設計出具高度共識的調適策略，以降低氣候風險。

(2) 進行調適選項之設定及優先排序評估

氣候變遷的時間和程度的不確定性為造成調適選項優先排序困難的原因之一 (NRC, 2008)。雖然過去科學界已提出許多架構、工具和方法，可以幫助決策者在面對氣候不確定性時做出決策 (Kareiva, 2008)，但許多都只適用於特定地點或受可用資源限制，甚至必需對氣候變遷有一定程度的了解 (Federspiel, 2012; Hammill & Tanner, 2011)。調適選項排序應尋求可逆性、保留未來選擇彈性、及能夠調適多元衝擊且可靈活調整等特性 (Wilby & Vaughan, 2011)。調適選項排序方法包含動態調適路徑 (Tung et al., 2019; Werners et al., 2021)、系統動力學 (Gohari et al., 2017)、成本效益分析 (Bierbaum et al., 2013)、多準則分析 (ISO 14090, 2019a)、未來環境變遷模擬調適情境效力評估 (ISO 14090, 2019a)，及評估調適選項執行與無作為調適情境間的差距 (Bierbaum et al., 2013)。Tung et al. (2019) 以動態調適路徑為例，調適選項設定需同時考量現況應該做的選項，以及為因應未來風險區間所做的調適選項，並應設定調適效力之檢核區間，評估是否需要調整調適選項組合，並建議調適路徑發展為融合災害風險降低與氣候變遷調適，加入時間或是參數變化，使決策者或利害關係人得以進行滾動檢視與評估。藉由模擬各種不同的情境與搭配不同的調適選項，當某個調適選項或組合讓系統表現達到不可接受狀態，該時間點可稱為系統的臨界點 (tipping point)，從開始評估的起點至臨界點的時間，即為該調適選項 (組合) 的有效期 (Haasnoot et al., 2012)。當某一個調適選項到



達臨界點，就可視為該調適路徑上的轉換點，代表該路徑已無法讓系統維持在可接受的狀態直到終點，所以要考量轉換至其他的調適路徑。經濟部工業局 (2021)「製造業氣候變遷調適指引」則針對較高風險之衝擊項目，列出未來規劃執行之調適行動計畫，並依照急迫性、衍生效益、經濟效益、技術可行性及制度可行性五個面向進行分析，以提出各面向的優先程度及比較五個面向之間對於企業的重要程度，綜合考量後產出各項調適計畫執行的優先排序。

5. 推動或執行調適選項

(1) 調適執行進度掌握

於推動執行調適選項時，應掌握及評估調適策略、政策或計畫的實施進展是否符合規劃期程 (Tung et al., 2019)，以確保設定的調適選項落實，及得以按照期程完成預期所需的能力建構工作 (紀佳法等人，2023)。

(2) 建立指標或檢視成效機制

調適能力評估為可以確定降低氣候變遷影響脆弱度的方法。於推動執行調適選項時，應考量規劃建立可定期監測和評估策略、政策或計畫之調適有效性的系統性指標；若無法建立妥適監測與評估指標，可透過訪談、焦點團體、專家諮詢等有關資訊取得方式，協助評估及檢視調適執行成效。目前對於調適行動或計畫較少有對其成功和失敗進行評估的研究 (Solecki & Rosenzweig, 2012; Vose et al., 2012; Preston et al., 2010; Means et al., 2010)。過往評估和監測工作著重於檢視調適能力的過程，並非進行調適效益的指標建構 (Culver et al., 2013; Preston et al., 2010)。調適能力的評估通常是定性或半定量的方式，如果採用定量或半定量指標，則可與其他風險成分進行定量組合。何謹余等人 (2020) 將風險因子對應降低風險的調適措施，藉由初步權重給分，評估對風險的減緩效益，此研究建議未來可考慮採用菲爾德法發展調適效益的評估方式。

6. 檢討或修正調適選項

(1) 評估調適執行成效

未來氣候以及人口增長、經濟發展、應對策略以及其他社會和人口問題的不確定性可能會阻礙氣候調適行動 (Moore et al., 2012; McCollum et al., 2011)。透過循環檢視過程，利害關係人可以定期評估調適計畫和實施的調適行動之適切性，包含考量評估設定的調適目標或缺口之滿足程度及因應關鍵風險之有效性，並依據更新的風險評估結果對

先前所規劃的調適選項進行調整 (EPA, 2011; NPS, 2010; NRC, 2010)，許多文獻亦已提出可用於評估調適是否成功的指標性評估架構 (Culver et al., 2013; Horton et al., 2012; Vose et al., 2012; Winkler et al., 2012; McCollum et al., 2011)。

(2) 檢視潛在跨領域及跨區域之影響

辨識調適策略、政策或計畫實施內容潛在的跨領域及跨區域正負面影響，提供未來方案調整及改善之參考，例如調適選項執行後產生風險轉移或風險替代的現象 (Chi et al., 2021)；另外，留意調適與減緩間之權衡與綜效，並逐漸建構調適選項或方案執行與減緩行動相互作用下，可能產生的正負面影響，例如衍生不當調適路徑或機制 (Chi et al., 2021; Chi et al., 2020; Juhola et al., 2016; Barnett & O' Neill, 2010)。

(3) 彙整規劃及行動過程障礙，提出解決方案

彙整執行調適規劃與行動過程所遭遇之障礙 (紀佳法等人，2023; Bertana et al., 2022; Bierbaum et al., 2013; Moser & Ekstrom, 2010)，並提出未來解決或克服困難之建議。

本報告利用相關文獻回顧，針對「國家氣候變遷調適架構」2階段6構面之內涵進行說明，希冀可提供各部會及地方政府於「氣候變遷因應法」修法通過後，未來研擬調適行動及執行方案之規劃與決策參考。

5.2 科研缺口與展望

5.2.1 科研面

本節彙整第4章回顧國內外文獻後，所發現之國內科研技術在衝擊評估資料、工具及方法等應用障礙，以提供各界未來投入風險評估科研能力之精進建議。詳細科研缺口盤點，請參閱第4章各小節內容。

1. 風險評估相關資料

資料缺乏類型包含淹水領域缺乏多模式時雨量；乾旱預警與預報能力也需精進，



特別是針對乾旱頻率與規模之預測。海岸領域需要完備不同空間的預測模式，首要需建構全臺海岸地形變遷推估資料、現場實測資料、水下觀測資料等，以期促進模式校驗並提高推估準確性；海岸領域需加強海岸線或海岸地形變遷趨勢模擬資訊，以使海岸衝擊模擬更為精確，另需建構較完整的海洋水下觀測資料，供海岸模式進行驗證；現行遠洋的海面監測資料仍相當匱乏，以致於降低資料整體的空間解析度。養殖漁業建議需加強物種養殖區域的環境監測資料，以提升風險預警及調適決策能力。海洋漁業需擴大且持續地進行現行之漁業監測與生態調查的時空覆蓋範圍；人類健康領域缺乏完整的臺灣本土氣候風險指標、大型世代研究資料、歷史觀測晝夜溫差資料、對生理的等效溫度 (Physiological equivalent temperature, PET) 指數和綜合溫度熱指數、氣遷變遷與健康影響關聯之不同預測模式驗證。在資料尺度方面，水資源領域需要5公里以下解析度颱風時雨量資料；海岸領域則需要多元空間尺度資料，用以優化模式的評估誤差；陸域生態在評估對氣候變遷對衝擊時，現存的生物監測資料不足以完整用於探討全面性動物類群的氣候變遷影響，而植群資料空間覆蓋程度雖相對完整，但調查資料缺乏同一地點的持續複查，故難以掌握森林隨時間的組成與結構變化，也影響對森林在長期氣候變遷推估結果的驗證能力，如森林動態樣區相關監測、高海拔草原生態系樣區、臺灣繁殖鳥類大調查等。評估未來如乾旱、高溫或低溫等因子對重要物種的衝擊，建議需持續加強推動基礎生物學研究，包含探討氣象因子與物種生長反應的關聯性。

2. 風險評估方法與工具

在衝擊評估工具方面，為使水資源議題可完善未來氣候模型之參數設定，需提高區域降雨特性觀測資料精度，建議建置強降雨觀測設備或依區域特性發展合適的觀測方法。坡地領域需探究坡面水文和穩定性的相互作用機制，以此開發更完備的監測技術及模型預測等工具；另外，氣溫及澇旱交替降雨等變化也需加強探討，應開發納入乾濕季及季節性氣候對坡地災害影響之評估工具。健康領域現況於氣候變遷與健康影響相關推估模型建立不易，主因為受到基礎科研資料不夠完善，例如欠缺各疾病大型世代研究資料。土地利用方面，未來需研發可結合土地利用變遷技術與脆弱度指標之空間複合性風險評估技術。

在衝擊評估資料產製技術方面，水資源領域具有提高臺灣區域氣候模式應用資料需求，建議未來可與鄰近國家合作進行颱風侵臺路徑與降雨量推估。目前海洋個別物種研究雖豐富，但缺乏與其他營養階層關係的探討，故難以瞭解整體生態系統的影響機制，

未來需要更多的基礎科學研究投入發展，以有助於建立生態系評估及預測氣候衝擊模式。氣候變遷與健康風險關聯評估方面，目前雖發展許多分析模式，但比較各模式間結果一致性的分析研究仍需加強投入，以不斷提升模式評估結果之信度與效度。土地利用領域建議未來可持續加強整合及建構氣候變遷危害情境、發展空間社會驅力關聯性及現有的災害反應式調適能力進行風險評估之案例。

各領域提出降低推估方法工具之不確定性方法包含淹水領域提出可結合不同的淹水模擬工具，整合各工具之優點 (如可採非規則網格、支援平行計算等)進行淹水多模式的評估，予以彌補氣候變遷淹水災況分析的不確定性；乾旱及水資源領域則建議透過多重模式之系集模擬，擇以中位數降低不確定性；坡地領域建議可透過使用系集模擬所產製之不同情境的大量資料來降低氣候變遷下坡地衝擊的不確定性、及風險圖改用多模式日資料進行分析；海岸領域提出需要更完整的海洋水下觀測資料，以提升模式校驗；海洋漁業領域則以系集模擬方式，預測氣候變遷對長鰭鮪分佈的影響；人類健康領域建議進行氣候變遷與健康影響多預測模式間之比較。

3. 複合風險

IPCC第六次評估報告 (2022) 警告，現況的氣候危害度在未來推估的結果中，將越趨嚴峻，除氣候變遷危害發生的頻率越趨增加外，也將大大提高天然災害衝擊人類社會和自然環境的嚴重程度。依據世界銀行針對自然危害熱點區域的報告指出，世界上約有380萬平方公里及7億9千萬人口同時高度暴露於2種災害；約有50萬平方公里及1億零5百萬人口暴露於3種或3種以上災害 (Dilley et al., 2005)，例如海岸地區同時暴露於颱風、海岸侵蝕、海平面上升、風暴潮頻率增加及鹽水入侵等 (Hauer et al., 2016)；另外，都市區由於具較高的人口密度、基礎設施和投資資源，因此也極易受到多種災害的影響 (Jones et al., 2015)。當多個危害同時發生或存在於同一空間時，將會加劇風險程度 (KC et al., 2021)，因此急需準備和調適多種氣候事件，以朝向韌性且永續的社會發展。然而，過去研究主要著重評估單一自然或氣候所造成的危害度，例如強降雨事件、乾旱、淹水、崩塌、風暴潮等。單一危害分析雖可探討一定時空尺度下單一危害風險及其影響過程，但難以整合評估多樣驅力下所造成的複合性風險。臺灣約有73%的土地面積潛在處於三種以上天然災害的環境，約有73%人口同時面臨三種以上災害威脅(盧鏡臣等人，2015)，加上地質與地勢高峻陡峭，一旦遭遇極端降雨事件，河川流域內容易發生淹水與坡地災害；且因不同海拔之自然環境特徵迥異，各區域的社經條件亦有所



差異，故所面臨的災害類型或損失型態也不盡相同，形塑出極為複雜與複合的災害風險(劉怡君、洪鴻智，2022)。氣候變遷影響下，已使得臺灣都市土地、自然系統與空間使用存在複合性風險的威脅(盧鏡臣等人，2015)。社區尺度的複合性災害主要由各式災害連鎖與累加(如崩塌、堰塞湖、土石流與淹水)，導致社區在撤離、避難與其他及時因應措施上，具有高度的決策困難(蔡元芳等人，2018)。為了更全面性的了解未來多樣氣候風險的衝擊及達到更成功的調適，後續必需逐步將複合及連動風險議題考量於我國調適有關的策略、體系與管理等面向，並進行檢討及提出因應解方。

在IPCC出版第六次評估報告之前，風險被視為主要來自潛在氣候變遷衝擊的影響。氣候變遷調適後的風險和減緩，例如與潛在不當調適風險相關的風險，雖已被科學證實及討論，但並未整合進風險思考架構，而相關的風險關係，例如調適和減緩之間的資源競爭、或提高政策不穩定性的風險等，都還只是個別的討論議題。氣候變遷有關決策經常為不同風險間權衡的結果，例如政策規劃者擔憂海岸災害，就不可避免需考慮海平面上升風險造成海岸資產損失風險，但又需考量地方是否支持研擬的海岸災害管理計畫。

應用於人類和自然系統氣候變遷風險理論中，風險決定因素包含危害度(hazard)、暴露度(exposure)和脆弱度(vulnerability)，以及複合風險(multi-risk)的相互作用或累加性。具體來說，危害度是指可能對人類和自然系統造成損害及損失的物理現象；暴露度則是指存在於可能受不利影響的地方和環境中的人群、生計、物種或生態系統、環境功能、服務和資源、基礎設施，或經濟、社會或文化資產等其受不利影響之程度(IPCC, 2014)，亦即可能受到風險驅力因子影響的敏感目標；脆弱度包含易受影響及缺乏應付和調適能力的程度。Simpson et al. (2021; 圖5.2.1)建議在有多重災害的情況下，氣候變遷風險評估可分為三類：(1) 決定因素之間存在交互作用的風險；(2) 決定因素內部和彼此之間的驅動力皆存在交互作用的風險；(3) 風險間的交互作用。

自IPCC第三次評估報告以來，代表因應量能的調適能力已被概念化為脆弱度的一個組成部分，但區分調適能力和脆弱度將可使決策者可更清楚考量應採取的調適行動，及評估欲執行的調適行動是否會引起潛在的正面或負面結果，調適行動包含管理變遷的漸進式(incremental)或轉型式(transformative)行動、被動式(reactive)和主動性(proactive)行動，以及無為(inaction)與引起不當調適的行動等。國際上新提出的風險評估觀點之一，將因應行動視為風險的額外決定因素，並強調風險決定因子及風險間

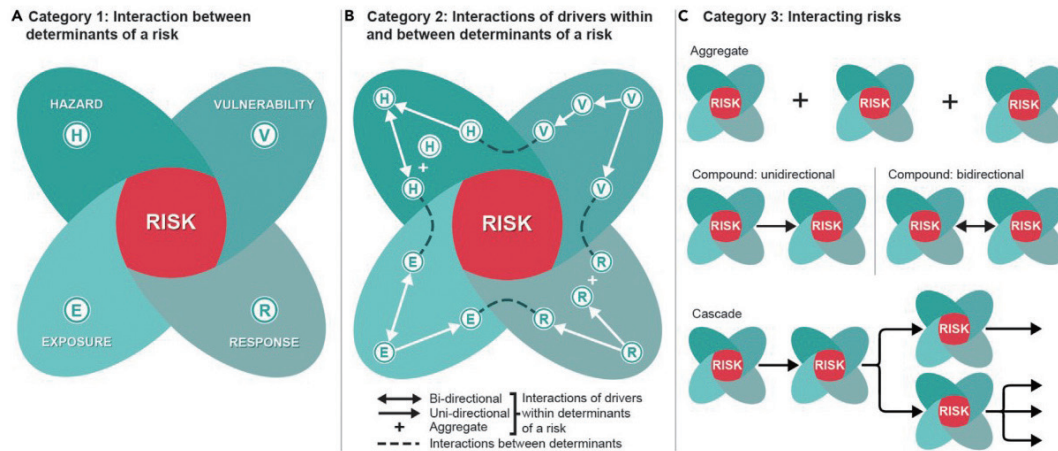


圖5.2.1 氣候變遷風險動態機制的三種類型
(資料來源：Simpson et al., 2021)

的相互作用型態，包含複合 (aggregate)、連鎖性 (cascade) 和累加性 (compound) 等3種類型，用以說明之間的因果鏈結關係 (Simpson et al., 2021)。早期國內陳禹銘等人 (2009) 定義複合式災害為兩種以上危害造成，且災害可能同時或接連發生。張學聖、廖晉賢 (2013) 認為複合性災害為連結關係，且具擴散、累積與連續等特性。陳亮全等人 (2007) 認為複合性災害為單一災害發生而引發其它災害，並提出原生災害及衍生災害關聯性觀點，例如崩塌與土石流間連續關係。此外，氣候變遷和社會經濟發展過程，也應視為影響風險發生機率和生態環境複合性災害過程強度的外部驅動因素之一。上述風險過程的描述中雖尚未體現時空動態，但風險因子間相互作用及反饋循環機制都顯示風險連續事件的高度連貫性，例如坡地崩塌與淹水災害連續因果連結。

複合風險 (multi-risks) 源於不同危害的相互作用，其可驅動於單一極端事件、多個重疊性危害、或連續性危害等，與暴露系統或部門間的交互影響事件 (IPCC, 2022)。單一事件有其原本的風險特性 (Hauer et al., 2016; Jones et al., 2015)，但大多數地方都面臨不止一種類型的極端事件 (KC et al., 2021)。複合風險結合兩個重要的風險管理基礎理論，即複合危害 (multi-hazards) 和複合脆弱度 (multi-vulnerability)。換言之，複合風險考量的基本組成元素包含危害度及風險組成要素 (暴露度和脆弱度) (IPCC, 2012; UNISDR, 2004)，意即包含分析的區域空間內所有危害的程度、暴露的敏感目標及其隨時間變化的脆弱度。換言之，複合危害即意指不同的危害事件威脅到相同的暴露目標，可發生於同一時間點或連續性發生，例如連續性影響 (cascade effects)；複合脆弱度指



各種可能暴露的敏感目標，如人口、基礎設施、文化遺產等受到各種潛在災害的衝擊程度，並可能會隨時間推移及不同危害事件的發生，使得暴露目標的脆弱度產生變化。過去臺灣研究中，較少提及應將危害度及脆弱度同時複合考量，建議未來需考慮連續性危害的效應，或也可總和所有危害的風險程度後，鑑識整體空間上受到複合危害影響最嚴重的地區，予以先期規劃因應的調適策略或行動。

2009年莫拉克風災使臺灣逐漸對複合性災害管理面向進行檢討與因應，並逐漸朝向考量社經衝擊及受災經驗門檻的循環學習過程 (張學聖與廖晉賢，2013)。然而臺灣目前災害防治多以單一災害進行管制，且災害模擬與減災規劃也較針對單一災害類型進行評估，較少談論複合性、連續性及累加性的風險。現有評估技術發展，沈哲緯等人 (2015) 研提整合降雨形成的崩塌-土石流之複合災害潛勢評估模式，據此探討極端降雨對山坡地社區之連鎖衝擊。方思怡 (2014) 針對曾文水庫集水區進行大尺度複合式災害風險評估。蔡元芳等人 (2018) 結合 FLO-2D 與 HEC-RAS 淹水數值模式，初步探討土石流造成河道河床堆積情況對鄰近河道聚落與設施的洪澇危害影響，結果發現複合式災害概念之鏈結與累加特性，並驗證洪澇危害評估需考量土石流影響。張學聖、廖晉賢 (2013) 在彙整多種國內外空間分析方法後，嘗試利用雙變數空間自相關分析，透過不同尺度敏感性分析，探究莫拉克風災各類災害顯著的空間關聯現象，以鑑別潛在區域面對複合性災害時的應對策略。

複合性災害風險評估方法目前並無特定模式或架構，張學聖、廖晉賢 (2013) 回顧文獻後，整合複合性災害及風險主要評估類方法區分為三種，首先為探索複合災害的時間與空間關係，主要應用於透過災害空間與時間範圍分析，提供決策者決定區域範圍需對那些災害進行回復；第二種為解析災害鏈結衍生的二次災害關係，主要利用風險概念及透過災害事件敘述統計調查，評估風險機率與災害損失間的脆弱度；最後一種為研擬減災與應變過程的損害關係，並透過自然災害規模的評定方法，強調災害事件個別指標除需衡量所釋放的能量強度，也需考量災損衝擊之嚴重程度。未來複合性災害風險評估目的不僅是預防短期災害，更應是可應用於規劃長期性氣候變遷危害與土地使用交互影響的調適方法。

4. 不當調適

理想的調適應為動態且具彈性，要能隨時改變以反應新的刺激及情況 (Wilder et al., 2010)，但調適由許多系統、領域、時間範圍、發展過程和行動者所組成，加上容易受

到氣候變遷及制度調整的影響，因而在結果上具有高度不確定性，也就容易在後續對社會產生不當的調適衝擊 (maladaptation) (Jones et al., 2013; Barnett & O'Neill, 2010)。

不當調適可簡單敘述為提高風險的調適 (Barnett & O'Neill, 2010)。主要研究不當調適的學者Barnett和O'Neill (2010; 2013) 描述其為所採取的行動，表面上雖可迴避或降低氣候變遷負面衝擊的脆弱度，但卻提高其他系統、部門或社會團體於現在或未來的脆弱度，此也是近期較被廣泛引用的主要定義 (Chi et al., 2021)。近期IPCC AR6 (2022)定義不當調適為可能導致相關不利氣候結果風險增加的行動，包括透過提高溫室氣體排放、增加或轉移對氣候變遷的脆弱度、不公平性的結果、或侵害到不同族群現在或未來的福祉。雖然大多數研究定義認為不當調適的發生將提高脆弱度，但近期已有研究著手討論不當調適是否可從韌性觀點進行分析 (Schipper, 2020)。

一般都假設調適的執行只存在正面結果 (Bertana et al., 2022)，然而大多數情況下，不當調適反而是意外衍生的結果，主因並非每個調適執行後都能產生正面效益，除可能形成無效調適或產生負面回饋而提高脆弱度外，甚至會排放額外的溫室氣體，增加未來調適負擔，例如在空間上，成功加強某一尺度的韌性，卻使其它尺度脆弱度提高 (Beckman, 2011; Juhola et al., 2016)；或是對於一個族群調適，可能被判定為成功的行動，但對另一個族群卻可能是失敗的，甚至造成危害 (McEvoy & Wilder, 2012; Dow et al., 2006; Adger & Vincent, 2005)，最終因此損失或壓縮他人調適的空間 (Eriksen & Brown, 2011)。

不當調適的論述通常伴隨橫跨地理空間及時間尺度的案例研究 (Heyd & Brooks, 2009)，也涵蓋了一定範圍內的部門，包括農業、公共建設、水資源管理及衛生等 (Scheraga & Grambsch, 1998; Reilly & Schimmelpfennig, 2000)，但國際上仍很少有案例詳細探討為何會提高不當調適的發生原因 (Barnett & O'Neill, 2010)，雖然近期在國內外研究上已有相當程度推展 (Clarke & Murphy, 2023; Juhola & Käyhkö, 2023; Karimi et al., 2023; Bertana et al., 2022; Chi et al., 2022; Chi et al., 2020)，然而欲建立一致的評估及規劃架構可用於避免不當調適的發生並非易事 (Bertana et al., 2022; Granberg & Glover, 2013)。現在國內外研究已被提出的主要架構包含 (1) 路徑架構 (Pathways Framework; Barnett & O'Neill, 2010)；(2) 預防性架構 (Precautionary Framework; Hallegatte, 2009)；(3) 評估架構 (Assessment Framework; Magnan et al., 2016)；(4) 反饋架構 (Feedback Framework; Juhola et al., 2016)；以及 (5) 整合空間風險分析觀點



的不當調適評估路徑架構 (Maladaptive Evaluation Pathways; Chi et al., 2021)；(6) 近期則有研究開始嘗試建立適用於國家尺度的調適政策規劃之監測與評估架構 (Juhola & Käyhkö, 2023)。

現在所建立的調適措施也許可滿足過去及現在的發展條件，但卻未必能應付未來的需求。當未來氣候風險在近十年，甚至本世紀前都難以準確評估，不當調適就幾乎確定會發生。如果欲做到更完善的長期性規劃，就必需盡可能避免所執行的調適作為及規劃的調適策略衍生不當調適風險。

5. 漸進式及轉型式調適

許多氣候變遷的因應行動較著重於調適氣候變遷產生的實質負面影響，而忽視驅動氣候變遷的因素。過往有效的應付式 (cope) 及漸進式 (incremental) 調適策略及措施，其因應能力已隨氣候變遷衝擊幅度逐漸增強而明顯降低 (IPCC, 2022; Juhola et al., 2016; Kates et al., 2012)，面對未來持續增高的氣候變遷風險及不確定性，轉型式 (transformative) 調適將會是較有效且永續的方法 (IPCC, 2022)。應付式調適為主要作用於維持受氣候變遷影響的社會生態系統，仍可處於原本狀態或正常運作的策略 (Kates et al., 2012; Perrings, 2006)，以農業為例，在農作物受損後，再予以重新種植 (Fedele et al., 2019)；漸進式調適為對社會生態系統進行細微和小規模的調整 (Kates et al., 2012; Adger & Jordan, 2009)，主要著重於預期性增強對氣候變遷影響的防護能力，例如作物抗旱失敗，則規劃增強灌溉系統的供水能力 (Fedele et al., 2019)；轉型式調適為透過改變社會生態系統的基本屬性，以調適氣候變遷及其影響 (IPCC, 2022)，例如作物適栽區遭災害毀損，即重新規劃原有的土地使用及空間分配 (Fedele et al., 2019)。

轉型式調適與漸進式調適其中一項明顯的差異為是否以永續性因應為目標，亦即從短期應付策略，例如加強基礎設施和重新安置居住於暴露地點的民眾，朝向重新規劃與風險共存的條件後進行系統性轉變，例如設計及利用集水區儲存強降雨下的水資源 (Bracken et al., 2016; Termeer et al., 2017)，或考慮住家搬遷、恢復上游濕地等，以解決根本的脆弱因子 (IPCC, 2022; Fedele et al., 2019)。目前調適研究領域仍主要探討漸進式調適的規劃與執行 (Mustelin & Handmer, 2013; Kates et al., 2012; Smith et al., 2011)，希望在氣候變遷下仍可維護現有系統、發展路徑和行政慣例 (IPCC, 2022)。Ajulo et al. (2020) 回顧近期文獻後，提出轉型式調適與科技技術、社會及政

治等面向間之相互關聯性概念架構。Filho et al. (2019) 提出三個準則用以初步判定是否為轉型式調適，包含調適是否採取更廣泛規模或強度、對執行區域或系統而言為新創立的調適型態、轉換調適執行場址或改變地區特性。Colloff et al. (2021) 調查6個國家的轉型式調適，並將各國所採取的具體措施彙整提供參考。Fedele et al. (2019) 則利用6項轉型式調適特徵，彙整非生產性農田轉變為農林業系統的措施，以調適降雨量減少的衝擊。

國內外有關轉型式調適的研究案例仍不多，主要原因之一是受到既存的制度和行為限制 (Jeffers, 2020; Kates et al., 2012)，並需要協調利害關係人間的未來願景，例如促進經濟增長需求與降低碳排目標 (Blythe et al., 2018)。另一個原因為應付式及漸進式調適通常較易獲得公眾支持，例如工程性的調適措施 (Novalia & Malekpour, 2020)，而轉型式調適則可能會獲得較少的社會或政治支持，因為可能耗費較多的投資人力、財力和時間，及相對需要較長時間才會產生投資效益 (Adger et al., 2005; Kuntz & Gomes, 2012)，因此轉型式調適發展過程會遭遇較多的障礙 (Mehryar et al., 2022; Novalia & Malekpour, 2020; Fook, 2017; Kates et al., 2012; Rickards & Howden, 2012)，也更加難以落實執行 (Magnan et al., 2020)。

轉型式調適規劃過程需要許多利害關係人參與，因為需要共同投入轉型的專業知識，以有效解決當地調適的障礙 (Shi 2019; Singh et al., 2019)，此也關聯是否可從漸進式調適轉向永續的轉型式調適。Galvin (2021) 探討涉及推動永續轉型式調適時，各類利害關係人在參與規劃的互動過程中所觀察到的社會變化現象。Filho et al. (2023) 調查南半球國家漸進式調適在能力上的限制及推動轉型式調適遭遇的障礙。Amundsen et al. (2018) 彙整提出地方政府尺度轉型過程的影響因素。Mehryar et al. (2022) 提出氣候變遷背景下造成轉型失敗的三個決策障礙面向 (圖5.2.2)。Clarke et al. (2016) 強調造成調適轉型失敗的三個重大障礙面向，包括社會和文化價值觀，特別是對地方情感依賴；政府機關對傳統技術的依賴，使得未能產生新的規劃方法；及受到既存行政制度與規範的慣例鎖定。推動轉型式調適需針對決策者、研究人員和執行者建構幾項重要的能力，包含領導規劃能力、探究及了解系統風險議題能力、及從執行過程中學習及檢討的能力 (Lavorel et al., 2019; Clarke et al., 2018; Lonsdale et al., 2015)。當轉型式調適因治理過程障礙遭遇失敗時，即需要從中檢討後進行治理過程的調整，以避免轉型成為不當調適 (Clarke & Murphy, 2023)。轉型式調適初期可透過漸進式調適的協助，以減輕轉型過程



對隨時間推移不斷變化的社會價值觀之衝擊，此將有助於克服社會及制度障礙，促進調適轉型成功。

於氣候變遷衝擊不斷增強的未來，原本社會所依賴的漸進式調適已逐漸無法有效控制風險在可接受的程度，轉型式調適為一必要嘗試發展及推動的調適策略型態。成功推動的轉型式調適，除了永續社會-生態系統的發展，也可避免不當調適。此外，已有研究指出轉型式調適的發展過程，很可能更有機會成功實現巴黎協議所訂定之將全球溫度控制在1.5°C的目標 (Amundsen et al., 2018)。

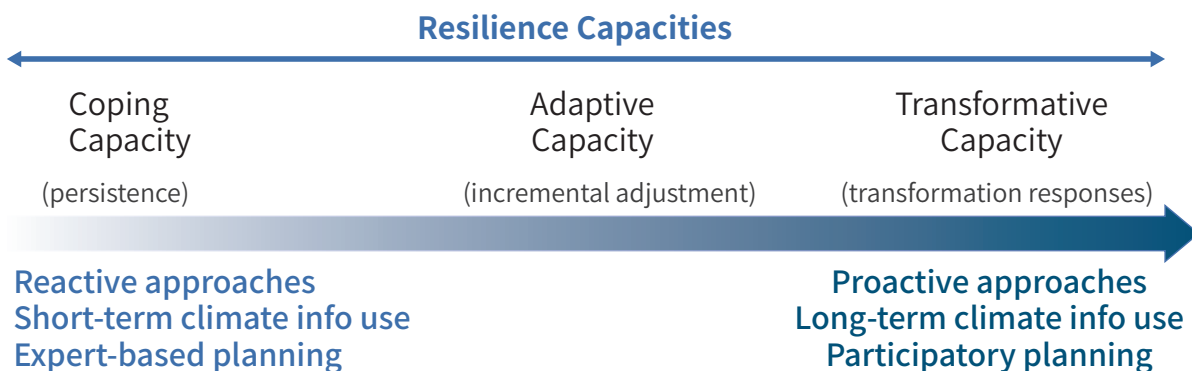


圖 5.2.2 氣候變遷背景下三個決策面向
(資料來源：Mehryar et al., 2022)

6. 動態調適路徑規劃

IPCC (2022) 定義調適路徑 (Adaptation pathway) 為在短期和長期調適目標下，一系列的調適選項之權衡。這過程需確認是否有意義的解決人們的問題或是避免不當調適。未來在氣候變遷風險不確性下，調適路徑為可幫助實現永續調適決策的工具之一 (Zandvoort et al., 2017)。

為協助各級政府未來所研擬的調適方案足以因應各時期國家調適應用情境下的調適能力，需考量及確認相關調適投資投入是否可滿足風險因應目標。調適路徑為其中一種適合供決策者及利害關係人共同針對調適規劃與執行進行優先排序的溝通方法，並可協助各部會權衡隨時間推移下，綜整出未來可接受的氣候變遷風險。此外，調適路徑也有助於提出較符合成本效益的調適選項 (何謹余等人，2020)，不僅可避免不足或過度的資源投入，同時也可規劃彈性且有效的調適選項組合，進而穩定與控管各領域及部門在國

家調適應情境的風險程度。

當建構所有規劃的調適路徑後，即可評估各條路徑的可行性及有效性，包含成本、跨領域及空間的影響，供決策者或是利害關係人得以有足夠資訊進行最佳路徑之選擇及決策 (何謹余等人，2020)。調適路徑規劃需視各時期氣候風險推估資訊調整及各期調適選項執行後的實際發揮效力進行動態檢驗，並確認規劃及投入各調適選項所需建構資源及時間，決策後的調適路徑能力才可具預期效力，以滿足設定的短期、中期、及長期的目標風險缺口 (Hermans et al., 2017)。

國內外已有許多運用調適路徑進行調適規劃的操作案例，例如Haasnoot et al. (2012) 使用整合評估檢定模型 (Integrated Assessment Meta Model, IAMM) 進行假設性淹水風險的調適管理路徑規劃與驗證；Werner et al. (2013) 在建構風險閾值和臨界點之合理性後，用於探討不同重現期強降雨情境下排水系統措施的調適能力；Maru et al. (2014) 運用系統動力學理論方法，進行澳洲偏遠原民社區因應未來不同程度火災風險之潛在調適路徑；Buurman & Babovic (2016) 應用調適路徑工具，整合調適政策制定及實際選項分析，用以探討新加坡解決淹水問題的排水政策和措施之有效性；Hermans et al. (2017) 測試不同利害關係人共同參與協作及學習調適規劃過程，以規劃荷蘭湖泊供水系統的調適路徑；Babaeian et al. (2021) 運用調適路徑方法結合土水評估 (SWAT) 模型於RCP4.5 及RCP8.5情境下，進行評估伊朗流域農業水資源管理行動在未來氣候變遷風險下的調適能力，並規劃強健的調適路徑 (圖5.2.3)。國內運用案例中，童慶彬等人 (2015) 在擬定跨領域氣候變遷調適決策六大步驟後，強調調適路徑工具輔助長期調適決策之重要性，並以2011年經濟部水利署南部區域水資源經理基本計畫之水資源調配管理措施成效進行初步探討。何謹余等人 (2020) 整合氣候變遷調適與災害風險降低的架構，建立風險評估模板結合動態調適路徑方法，應用於坡地災害調適選項之規劃。

調適規劃與決策必需適當考量氣候隨著時間推移的變遷程度，以因應未來發展及社會價值觀下的共同發展目標。在調適決策的觀點上，需要建構一結構性工具可統合處理複雜系統間相互影響的動態變化及氣候變遷不確定性。調適路徑工具之發展即可協助各級政府未來在不確定性的氣候風險下，欲解決的氣候風險優先順序，及評估各時期可投入資源及願承受的風險，進而予以規劃在連續時間推移下的多樣調適選項組合，並可作為決策者及利害關係人溝通的基礎，助於提出取得共識之調適決策。

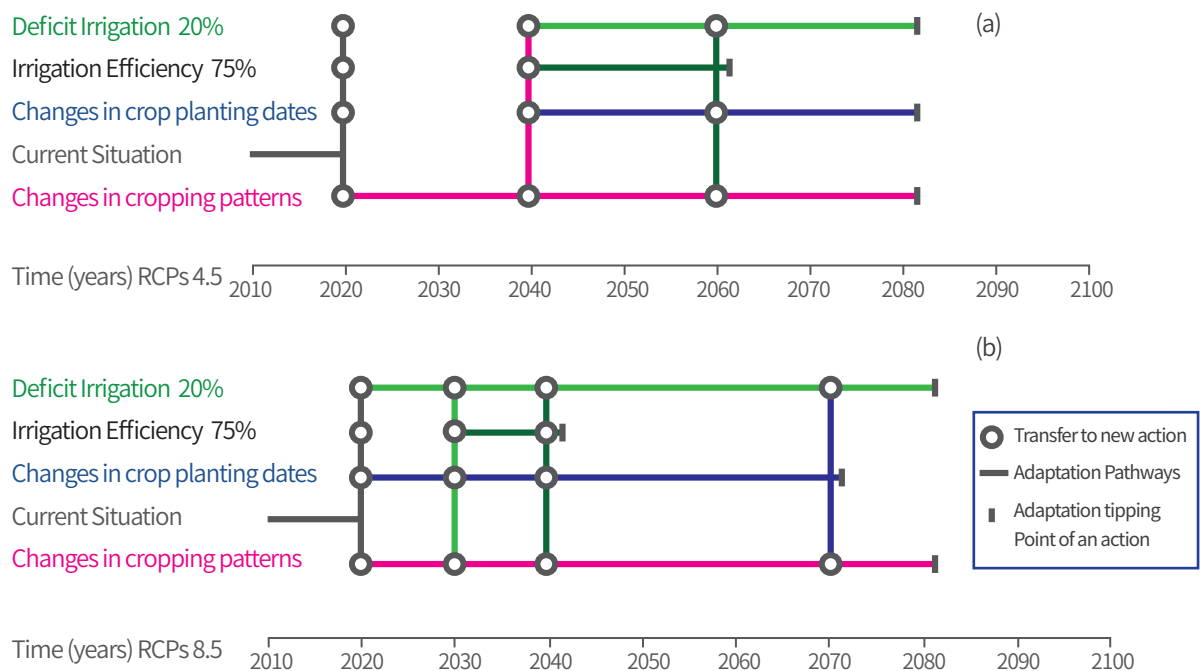


圖5.2.3 農業水資源管理系統在RCP4.5及RCP8.5情境下之調適路徑範例
(資料來源：Babaeian et al., 2021)

7. 調適及減緩共效益

規劃調適時若能同時考慮連結減緩效力，將可增加額外利益及帶來市場以外的效益，並可管控不當調適的發生，例如水力發電設施運轉降低糧食安全；或因灌溉增加導致外加的能源消耗等。調適及減緩的共效益主要可體現於農業、林業、生態系統、水資源和能源等部門，但潛在的障礙、交易和風險經常被忽視，其中關鍵原因即為調適和減緩在慣例上仍是分開思考與執行的兩種行動。Klein et al. (2007) 為可使綜效大於個別實施時的效益，提出4種整合減緩和調適目標的方法，以產生正面共效益：(1) 具有調適效益的減緩行動；(2) 具有減緩效益的調適行動；(3) 促進減緩和調適措施的共同發展過程；(4) 促進整合減緩和調適措施的政策及策略。儘管調適與減緩同樣旨在解決氣候變遷問題，但實際上調適和減緩政策於執行上的特點卻仍有許多不同之處 (表5.2.1)。

都市面積雖然僅占全球土地面積的2%，但卻消耗了全球2/3的能源，同時產出超過70%的CO₂ 排放，且90%都市位於海岸地區，也同時面臨海平面上升與海岸暴風雨等毀滅性的氣候災害風險 (王思樺等人，2016)，因此都市地區在應對氣候變遷影響時，極需同時關注調適和減緩。Sharifi (2021) 藉由文獻回顧，探討能源、交通、廢棄物、水資源、綠色

基礎設施、都市規劃和治理等部門之多樣措施間的相互作用，研究發現與綠色基礎設施較緊密相關的措施，如建築、能源系統和交通等，具有較高的共效益 (圖5.2.4)。Grafakos et al. (2019) 運用都市氣候變遷規劃架構評估都市減緩和調適行動計畫之間的整合程度，成功探討了不同類型的減緩與調適之間的相互關係，研究設計一個共效益評估系統，對9個都市氣候變遷行動計畫中的調適和減緩整合程度進行比較和排序，並提出分析後的相互關係清單。

表5.2.1 國際氣候調適和減緩政策之間的差異

差異面向	減緩政策	調適政策
部門範疇	所有部門都能降低溫室氣體排放	單一部門對特定氣候衝擊
地理尺度的影響	全球尺度	地方及區域尺度
時間尺度的影響	長期	短至中期
治理層級	國際及國家層級	區域及地方層級
有效性	確定性較高	較不確定
額外效益 (或共效益)	可取得多樣額外利益	在沒有氣候衝擊的情況下，通常也會產生附帶利益
行動者利益	來自額外利益	幾乎完全來自降低氣候衝擊和附帶效益
汙染者付費	是	否
監測	相對簡單 (評估溫室氣體排放)	更為複雜 (評估降低的氣候風險)

(資料來源：Grafakos et al., 2019)

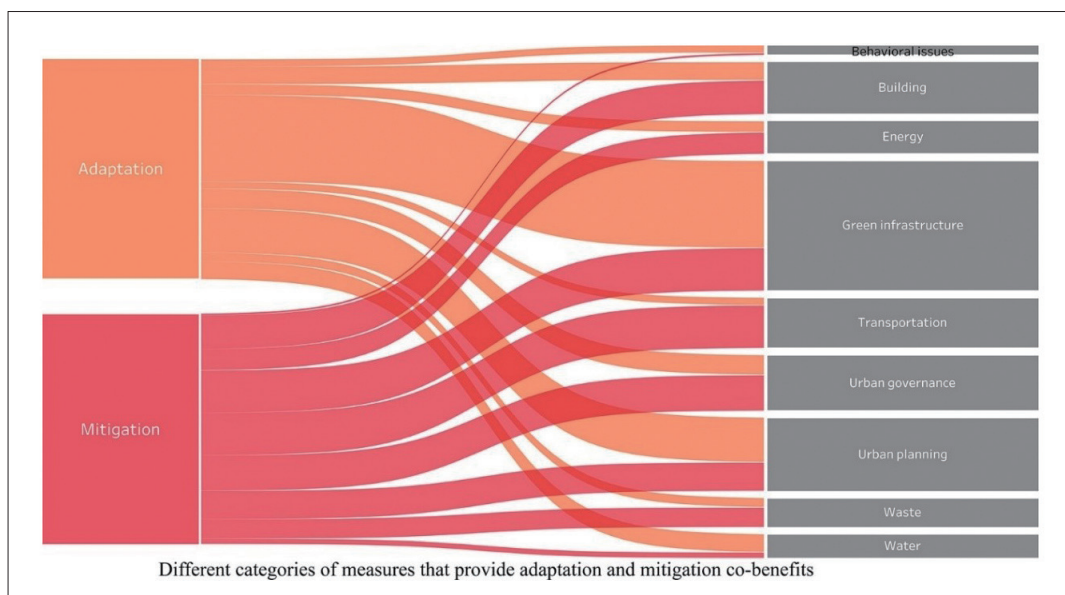


圖5.2.4 不同類型措施關聯調適及減緩之共效益
(資料來源：Sharifi, 2021)



國內因應都市熱島效應影響面向，包括都市炎熱氣候、提高能源浪費與供給壓力、減少日照時數、減少相對濕度、增加都市水患發生率，並影響空氣品質造成空氣汙染(孫振義與簡子翔，2016)。臺灣已有許多文獻討論都市綠帶與都市熱環境、都市街道、熱島效應等之間的相互關係(邱英浩等人，2014；孫振義等人，2010)。具體實施做法，例如孫振義(2017)提出街道環境控制方法，可同時改善街道熱舒適性及有助降低空調能源消耗與碳排放，但該研究顯示相較通風條件與綠化降溫等方式，遮陰為更有效的措施；其他措施還包含減少人為熱排放量、改善鋪面材質(屋頂綠化)、擴增綠地面積、維護大型水域周邊環境等(孫振義與簡子翔，2016)。臺灣都市建成區缺乏可調整空間，使得調適與減緩在實施方式上、規模與效力皆受到限制(Jim, 2013)。蔡育新等人(2023)研究提出都市空間規劃整合調適、減緩與共效益之可行措施清單，以及小尺度街區開放空間之都市更新，具碳儲存之減緩效益、減少地表逕流之調適效益及非氣候部門的永續共效益。沈揚庭與盧沛文(2017)研究建議適性皮層概念，亦即在智慧建築的皮層上與韌性防災概念相互結合，將可發展出同時具備調適與減緩功能的韌性建築。

為了因應氣候變遷，世界各地的能源部門必需採取有效應對措施，包含實施調適方案確保關鍵基礎設施的韌性，並盡可能降低能源生產及傳輸過程的溫室氣體排放。Hennessey et al.(2017)研究認為整合氣候變遷調適和減緩可為加拿大能源部門帶來四個共同利益：(1) 減少資源競爭，指的是能源效率提高帶來成本的降低；(2) 減緩效力成果可降低調適在科學上的不確定性；(3) 減緩和調適措施之間的協同作用可達成共有的實施目標；(4) 透過明確的調適累積效益，提高減緩措施的社會認同。

近期以自然為本的解決方案(Nature-based Solutions, NBS)被高度提倡為可同時有效降低氣候風險及有助於減緩的有效方式之一，例如種植和保育紅樹林、恢復鹽沼或保護泥灘地等等恢復及保育海岸生態系統的措施(Airolidi & Beck, 2007)，不僅具有降低氣候風險效力，也可協助移除大氣中的溫室氣體，並可減輕逐漸加劇的氣候變遷衝擊，以維持自然系統提供前述氣候服務的能力。都市綠基盤各類效益間的綜效遠高於權衡關係，而都市在推行氣候政策時若能強調市民日常生活有感的共效益，會較容易爭取到民眾支持與配合，進而達成減緩、調適及其他都市發展目標的達成(李盈潔與蔡雅妃，2023)。Morecroft et al. (2019)亦提出評估自然生態系統為本的調適及減緩行動共效益之7項原則，提供作為共效益方案之規劃參考。

當評估減緩與調適政策的效益時，由於政策具多樣性，且有跨部門及跨空間特性，建議除評估政策的個別效益外，也需針對跨政策間的效益進行綜合評估，包含綜效、權衡、共效益及衝突等面向 (江立揚等人，2023；黃國慶等人，2023；蔡育新等人，2023；Grafakos et al., 2019)。Sharifi (2021) 研究認為，未來整合減緩及調適的相關研究仍需投入進行更多的實證評估，以探究不同措施之間綜效的差異，作為整合方案最優規劃之參考依據。

5.2.2 治理面

1. 調適跨層級及跨部門治理

氣候變遷調適的治理涉及制度建立、規範及組織之建構 (Huiteima et al., 2016)。制度代表一種行為規則，用以管理系統、規範行為及組織的架構 (Jones, 2010; Ostrom, 2005)。制度規則和行為規範影響個人及社會系統如何反應所面對的震盪和變遷 (Jones et al., 2010)。人類社會領域包含正式及非正式的管理制度 (Næss et al., 2005)，例如法律、政策、管理機關及民間社會組織等，這些都是規劃調適時必要存在的部分 (Brown, 2002)。調適氣候變遷的風險包含多樣管理與執行層級 (Adger et al., 2009; Adger et al., 2005)，一般概略可分為國家政府、地方政府、私人及個體戶等三個層級 (Tol et al., 2008)。不同層級間的相互連動關係，增加了規劃及執行調適時需要面對的障礙及限制之影響程度。過去調適多投入在研究國家層級的規劃及決策 (Tompkins, 2005)，但地方層級調適規劃的相關研究已快速增加 (Measham et al., 2011)。高層級的政府單位主要參與調適的治理工作，如資金預算分配、刺激各層級的調適動機等 (Ford et al., 2011)，如澳洲政府調適行動很大比例工作在產出調適研究架構、較大尺度的指引政策、或提供氣候推估資訊等高位的指導型計畫 (Granberg & Glover, 2013)。地方政府代表一個核心制度 (Næss et al., 2005)，因調適經常執行在地方政府層級 (Ford et al., 2011)。雖然調適參與者的角色因不同國家而有差別，但幾乎所有的國家除了相關政府部門外，也包含非政府之利害關係人及社區層級決策者等 (Granberg & Glover, 2013; WRI, 2009)。部分的非政府組織參與許多地方尺度的調適工作 (Measham et al., 2011)，例如地方環境行動國際委員會 (International Council for Local Environmental Initiatives, ICLEI)。但目前針對個人、非政府組織或社會系統於調適活動的參與狀況則較少有研究討論 (Ford et al., 2011)。



調適決策於不同制度下，經常會遭遇制度上的衝突 (Brown, 2002)。從個人、地方、乃至國家，因知識能力、可用資源和相對責任的不同，導致欲執行的調適作為及措施之規模與順序產生歧見 (Laukkonen et al., 2009)，例如非政府組織和政府機關同時發展調適目的相同的計畫，但所預期落實的項目及程度將有差異，因為各自所具有的任務、管理範疇、政治目的、資金預算等皆不相同 (Moser & Ekstrom, 2010)，進而形成不同的調適發展順序，因應各自著重的氣候變遷風險面向 (WRI, 2009)。另外，調適目的需視由誰來執行調適及對誰進行調適而決定，例如對已發展完善制度及較富裕的社會 (個人) 而言，所尋求的調適將可能首要以維持現有狀況或生活標準為主；而對於開發中國家，調適目的可能將較著重於持續提升經濟發展及民眾生活水平；對於邊緣化社會系統，首要目標為盡可能保護生計及財產不受氣候或其他風險影響 (Adger et al., 2009)。調適順序衝突可能會導致調適無效或產生不當調適的後果 (Kopke & O'Mahony, 2011)。

國家政府層級尺度的調適政策可能會限制地方政府的調適能力 (Urwin & Jordan, 2008)，例如有些國家政府的調適決策和規劃為了滿足國家整體發展現況，而採取單一由上而下 (top-down) 的政治命令進行調適，而經常造成高度投資於硬體的工程建設，不僅無法建構所需的調適效力，甚至提高地方的不當調適風險 (WRI, 2009)。因此，許多國家開始採取由下而上 (bottom-up) 的地方型計畫 (WRI, 2009)，增加考量地方觀點再行規劃調適行動及順序，此對於國家調適政策規劃者相當重要，但必需確保不同管理層級之間的良好溝通及協調，才可促進正面互動及學習迴圈 (Kemp et al., 2007)。

每個調適決策都會影響其他面向及管理機關的命令，現在仍缺乏理想的管理規則可應用於解決可能的衝突。調適管理必需要各利害關係人於不同制度間進行協調 (Tol et al., 2008)，以協助避免調適的重複執行或持續形成調適缺口。協調包含水平式協調，如不同的機關之間；垂直式協調，如全球、國家及地方的參與者；或跨部門式協調，如政府和企業間 (WRI, 2009)。不同機關及組織的目標、工作程序、組織文化、自主權等因素，都可能成為協調時的挑戰，因此調適決策者必需確定有哪些機構和過程需要協調，並建立清楚的調適協調程序及流程，用以促進蒐整政府機關與利害關係人間調適的相關性、改善氣候資訊提供及資料應用方式、及提升氣候變遷認知等工作。調適協調目的為確定一致的調適目標，及建構共同管理調適政策和行動的能力，以提高調適實踐於地方尺度時可發揮預期的效力。隨著氣候變遷治理制度的發展，參與治理氣候變遷調適的行動者不可避免必須考量更多利害面向後再進行決策，例如定義問題、決定負責管轄層級、落實

治理的方式、採用的政策工具，及治理者介入管理的時間點等方面。研究已開始重視探討調適治理面向的正義議題，並探討不同國家的治理方式及策略將產生哪些可能的因果關係，包含可能擴大現況的不平等情形、限制可取用的資源，或經由分散風險所產生的不公義現象等 (Huiteima et al., 2016)。為了確保科學訊息可協助調適政策規劃，國家應投入預測及界定一定暖化程度下的衝擊情境，作為調適急迫性的比對基礎 (IPCC, 2018)。

除了區域及地方尺度的治理，全球尺度的調適治理更是近期探討的新興議題。在巴黎協議之前，各國在其預期的國家自定貢獻 (Intended Nationally Determined Contributions, INDC) 報告中，提出一系列特定部門的調適治理指標，並就所有指標進行討論及交流。一般而言，自由民主國家在公共事務的推展，通常會伴隨著政策執行成效的評估標準與指標之制定，並以其評估結果研判決策者或行政機關所應承擔的責任。事實上，調適是一個相對模糊的概念，儘管越來越多研究已投入分析與探討調適效力評估的方法論或基礎背景數據之建構 (包含調適基線、作用時間軸線、成效因果關係等)，但至今仍難以提出合理的治理效力評估指標，至少仍不如減碳效力管考指標具有明確的可比性 (Persson, 2019)。因此，巴黎協議為衡量全球調適治理目標達成情形，將不得不建立更多元性的評估指標以作為比較各國治理效力的基礎。

當調適治理思考層次從區域及地方尺度提升至全球尺度，也因而逐漸聚焦調適國際融資分配機制重要性，例如調適基金、全球環境基金及綠色氣候基金等 (Dzebo, 2019)，調適融資雖國際上已被視為相當重要的調適治理議題 (Weiler et al., 2018; Pickering et al., 2017)，但目前仍缺乏實證研究進一步探討國際資助及融資基金對區域及地方實際執行調適的指導作用及效力。分析和盤點我國的氣候衝擊和對應的調適措施是很重要的調適治理工作，以期能更適切地連結跨國間有效合作及規劃共同調適的時間點。

2. 調適障礙與限制

國外已有許多文章或報告研究調適障礙與限制對調適規劃及決策的重要影響 (Bertana et al., 2022; Schipper, 2022; Bierbaum et al., 2013; Moss et al., 2013; Ford et al., 2011; Morgan, 2011; Jones, 2010; Moser & Ekstrom, 2010; Adger et al., 2009)。研究通常將調適限制及調適障礙視為相同概念，甚至可交換使用，但部分的研究則是有所區分 (Moser & Ekstrom, 2010)。廣義而言，調適限制可定義為某種情況或因子使調適無效並且難以克服 (Adger et al., 2009)。生態及物理限制構成了調適的自然限制，範圍從生態系統



到地理及地質上的限制 (Jones, 2010)，像生物物種生理上對氣候變遷的忍受度無法克服的情況 (Bierbaum et al., 2013) 即為限制。而表面上可克服的限制，則稱為障礙 (Moser & Ekstrom, 2010)，無法克服這些障礙就可能造成不當的調適規劃結果 (Jones, 2010)。

調適規劃受限於許多因子 (Ford et al., 2011)，包括現存法令、規範、風險感知、制度面向、政治考量和其他慣例等 (Moss et al., 2013; Pelling, 2011; Rotmans & Loorbach, 2008)，這些障礙皆會阻礙政府、社區、組織及個人的調適，進而提高整體社會風險。調適規劃面臨的難題包含 (Granberg & Glover, 2013)：(1) 氣候變遷衝擊可能會橫跨社會和自然系統；(2) 目前知識基礎仍不足以確定所需要的調適因應作為；(3) 對於調適行動無一致性；(4) 一般公共政策經常面臨的問題，如獲得足夠可運用的資金、創造足夠的制度能力、訓練和教育等。

調適不只受到這些限制及障礙的影響，也包含未來氣候變遷衝擊的不確定性。不確定性不只是缺乏對現在情況及未來事件知識的辨識，也與調適政策發展中的政治、文化和制度背景有關 (Morgan, 2011)。而這樣的不確定性對各層級決策者產生相當大的困境，因此更需要提出重要的障礙以改善調適策略的決策及執行 (Granberg & Glover, 2013; Dessai & Hulme, 2004)。

表5.2.2整理國際上對於調適障礙與限制類型。IPCC指出調適障礙與限制包括物理與生態限制、技術限制、投資障礙、資訊及風險認知障礙、社會與文化障礙等，可能會影響調適的能力建構 (IPCC, 2007)。學者Adger et al. (2009) 提出調適限制與障礙可分為三個面向，包括生態物理、經濟 (含社會及文化範疇) 及技術。國際自然保護聯盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 將東南亞海岸地區各自然系統所受到的氣候變遷損傷，分為珊瑚礁、海草、紅樹林及泥灘地、漁業資源、觀光資源等不同系統，探討衍生至人類社會的調適障礙 (Morgan, 2011)。Bierbaum et al. (2013) 檢視美國過去有關調適障礙的文獻後，將這些研究提出的障礙分為氣候變遷資訊與決策、缺乏持續投入調適的資源、決策破碎性、制度上的約束、缺乏領導者、不同風險感知及文化價值等六個面向，但排除自然系統中的物理及生態限制，因為其認為是難以克服的。而英國海外發展研究所 (The Overseas Development Institute, ODI) 將調適障礙分成人類及資訊、自然及社會等三大系統 (Jones, 2010)，但此研究同樣只討論有關人類系統的社會障礙。Moser & Ekstrom (2010) 的研究中，則是依據調適決策過程，逐步說明各步驟可能存在的社會—生態系統的障礙。

表5.2.2 國際間調適障礙之分類

資料來源	調適障礙分類說明
IPCC (2007)	IPCC第4次評估報告將障礙及限制分為物理與生態限制、技術限制、投資障礙、資訊及風險認知障礙、社會與文化障礙。
Adger et al. (2009)	將調適限制與障礙分為三個面向，包括生態物理、經濟 (含社會及文化範疇)、及技術。
Jones (2010)	將調適障礙分成人類及資訊、自然、及社會等三大系統，但此研究只討論與人類相關的社會障礙。
Morgan (2011)	IUCN (International Union for Conservation of Nature) 將東南亞海岸地區各自然系統所受到的氣候變遷損傷，分為珊瑚礁、海草、紅樹林及泥灘地、漁業資源、觀光資源等不同系統，探討衍生至人類社會的調適障礙。
Bierbaum et al. (2013)	將調適障礙分為氣候變遷資訊與決策、缺乏持續調適的資源、決策破碎性、制度上的約束、缺乏領導者、不同風險感知及文化價值等六個面向，但排除自然系統中的物理及生態限制，因為其認為是難以克服的。
Waters et al. (2014)	將調適障礙分為社會心理障礙、資源障礙、不確定性障礙、治理障礙、政策障礙等五種類型。
Ford & King (2015)	將調適障礙分為缺乏政治意願和領導者、法律障礙、缺乏調適財政資源、參與者之間的協調不足、共同決策的失敗、利害關係人之間的調適目標衝突、不明確的調適責任、氣候資訊不確定性。
Lee et al. (2022)	將調適障礙分為時間尺度與排序間衝突、不確定性、制度不完整與低彈性、作業破碎性、缺乏認知與溝通、缺乏可用資源、未明定主責管理機關、缺乏跨學科的脆弱度研究、缺乏高治理層級政治協議及上位領導者。

氣候變遷調適規劃是採用現況及未來氣候推估資訊以建立行動的決策過程，但調適規劃及決策者在評估降低風險的調適項目時，導入地方知識或生態管理技術為不可或缺的要害，並需避免只有考慮工程手段。整體調適規劃及決策過程，必需考量更廣泛的社會和環境背景，其中各層級的意見協調與重要利害關係人參與將是調適取得成功的必要條件。調適障礙可能會阻礙決策過程中各階段的連結與執行，避免調適規劃階段中可能遭遇的障礙就相當重要，因此釐清並考量調適障礙於調適規劃及決策架構之研擬，將有助於建構可滿足社會預期目標的調適能力，縮小欲調適風險的能力缺口，並降低不當調適的影響(Chi et al., 2016)。現在國際上已出現不少可供國內參考應用於探討調適障礙面向連結降低不當調適風險的研究 (Bertana et al., 2022; Moser & Ekstrom, 2010)。



3. 調適公平性及脆弱族群

2015年「巴黎協議」(Paris Agreement) 首度提倡各締約方在研究氣候變遷議題時，「應當尊重、增進和考量它們各自對人權、健康權、原住民權利、在地社群權利、移徙者權利、兒童權利、身心障礙者權利、處境脆弱者權利、發展權，以及性別平等、婦女賦權和世代間公平等的義務」；我國「國家氣候變遷調適政策綱領」政策原則之一，也強調「考量脆弱族群與不同性別之需求」；「氣候變遷因應法」調適專章第十七條第八項也說明政府應「強化脆弱群體因應氣候變遷衝擊之能力」。人權、社會公義、貧窮及脆弱族群等重要議題皆會因為氣候變遷而加重影響，因此國際上致力於協助在社會、經濟、健康、身心發展、支持體系等層面較為脆弱的族群，並盡可能提升其因應氣候變遷的調適能力 (傅玉琴，2019)。

調適在空間的發展規劃若未能充分考量多元民眾和社會的差異，往往是因為民眾無法表達真正的需求與意見 (Rahder & Milgrom, 2004)，尤其是社會邊緣族群的需求，包括不同的種族、階級、性別、肢障的民眾等脆弱族群，即經常會被忽略或是受到壓制 (蕭新煌與許耿銘，2015)。臺灣的災後重建造成數個明顯未考量受災民眾意見的不當措施案例，例如莫拉克風災後，政府快速將受強降雨重創的那瑪夏鄉居民進行遷村，過程中政府缺乏與居民深度溝通，忽視受災戶對災後重建及永續部落的期待目標，最終不僅導致部落分裂，甚至永久屋設計型式還對原民文化與生活習慣產生衝擊 (謝文中等人，2011)；洪啟東與傅玟盛 (2013) 在藤枝新舊部落的災後遷村計畫的研究中發現當重大風災後，政府在遷村的過程忽略族群本身的文化特殊性，或重建政策偏向滿足某一族群，而創造族群之間的衝突，反而更加深了社會脆弱度。蔡松倫等人 (2022) 同樣調查莫拉克風災後原住民永久屋基地社區之重建情況，發現在未整合考量原住民參與意見及溝通機制的情況下，對災民的災後復原之回復程度、經濟及社會情況等，產生潛在不利的影響。以上案例說明近期調查及檢討災後政府介入的治理過程的研究案例相當多，主要探討議題包含災後遷村過程草率與缺乏溝通，使得在歷史上具離散經驗的脆弱族群者，需再次面對貧困、部落或社群組織瓦解、及社會關係中斷，因而導致更加脆弱，且更難以在往後災害中復原 (洪啟東與傅玟盛，2013；台邦-撒沙勒，2012)，甚至導致難以降低對災害高潛勢地區土地使用的依賴 (董娟鳴等人，2015)。宋郁玲等人 (2018) 指出政府在救災過程中，注重效率而缺乏權力下放，所以造成參與其中的地方民眾未能得到充分的溝通。官大偉 (2015) 以泰雅族人與石門水庫集水區之災害管理為背景，嘗試以在地原住民的角度理解災害，並應用「災前預防」、「災時應變」、「災後復原」之三階段循環

災害管理模式橋接原住民知識與現代災害管理的溝通，以平衡原住民社群與國土保安間的利益。

人類面對災害風險的反應，不僅關聯地方實質環境條件與過往經驗，同時也反映了資源分配不均與社會不平等之結果 (Adger, 2006)。洪鴻智與盧禹廷 (2015) 研究發現，脆弱族群對從事災前與災後調適的意願較低，其中一個可能原因為缺乏資源與能力進行調適，此將使脆弱族群更易受氣候變遷災害威脅，而提升脆弱度與災害風險。董娟鳴 (2021) 研究臺南市麻豆地區高齡居民淹水災時狀態與避災行為模式，發現災時需求所面臨課題包含及時資訊取得之需求 (資訊接收困難、災害識覺、反應緩慢等)、避難決策與移動需求 (避難移動困難、避難過程之經濟困難等)、避難收容需求 (生活機能需求、心理需求、特殊醫療需求、無障礙生活空間需求等)，並比較高齡災民實際需求與地區災害防救計畫、水患自主防災社區計畫供給落差。在影響調適策略選擇因素中，認知心理研究非常強調個體屬性的重要性，特別是社會經濟屬性，如所得、性別、脆弱程度、教育程度、居住年期、財產擁有狀況等，皆會影響居民風險知覺、災害知識、資源取得與調適措施執行能力，因而可能影響所採取的調適行為 (Hung & Chen, 2013; Sales, 2009; Brouwer et al., 2007)，其中所得、教育程度較高、居住年期較長與擁有住宅者等屬性與調適較具正相關 (Deressa et al., 2009; Paton et al., 2007)，但從量化研究中，指出階級、族群、性別、年齡等是造成民眾受災風險差異的重要原因，同時也擴大了災後韌性的差異以及社會不平等 (洪鴻智與盧禹廷，2015)。政府部門救災計畫中經常忽略災後重建過程的社會面向脆弱度，包括種族、階級、性別、年齡、身體障礙情形、對土地情感及經濟依賴、社會網絡關係 (如宗教與親友網絡) 之掌握度、社區災後恢復及地方重建計畫共識等因子 (宋郁玲等人，2018)。目前利害關係人仍較關注於降低災害物理層面的脆弱度，未來應持續提高對社會脆弱度的重視，避免衍生更嚴重的社會脆弱度及觸發不當調適風險。

4. 法令及政策之整合

2016 年行政院發布「國土計畫法」，將國土空間利用秩序推動法制化，並於2018 年公告「全國國土計畫」，「全國國土計畫」係為確保國土安全，保育自然環境及人文資產，促進資源與產業合理配置，針對我國管轄之陸域及海域，所訂定引導國土資源保育及利用之空間發展計畫；同時也指導直轄市、縣 (市) 國土計畫之空間發展配置，並規範國土保育地區、海洋資源地區、農業發展地區和城鄉發展地區等四大國土功能分區劃設，以達成引導國土空間合理配置目標。「國土計畫法」第 1 條規定，「為因應氣候變



遷，確保國土安全，保育自然環境與人文資產，促進資源與產業合理配置，強化國土整合管理機制，並復育環境敏感與國土破壞地區，追求國家永續發展，特制定本法。」此表明過往相關空間管理及管制法令間之競合關係，包含多層級政府體制及多重主管機關之管轄權責模糊，而「國土計畫法」即導向以適切指導作用來管理國土空間發展及土地使用型態，並盡可能尋求各部門計畫發展目標之一致性。

過去各目的事業主管機關，多只考量自身權責及發展目的為規劃導向，因而經常造成空間發展及使用上之重疊管理及管制衝突。「國土計畫法」第8條將國土計畫分為「全國國土計畫」及「直轄市、縣(市)國土計畫」2類，其中「直轄市、縣(市)國土計畫」、「國家公園計畫」、「都市計畫」、及各目的事業主管機關擬訂之部門計畫，皆應遵循「全國國土計畫」。「氣候變遷因應法」第17條陳述為因應氣候變遷，政府應推動調適能力建構，其中第2項明文指出「強化因應氣候變遷相關環境、災害、設施、能資源調適能力，提升氣候韌性」；同法第19條，「中央目的事業主管機關應就易受氣候變遷衝擊之權責領域，訂定四年為一期之該領域調適行動方案」，及第20條「直轄市、縣(市)主管機關應依行動綱領、國家調適計畫及調適行動方案，邀集有關機關、學者、專家、民間團體舉辦座談會或以其他適當方法廣詢意見，訂修氣候變遷調適執行方案」。依據「國土計畫法」第17條第1項規定，「各目的事業主管機關興辦性質重要且在一定規模以上部門計畫時，除應遵循國土計畫之指導外，並應於先期規劃階段，徵詢同級主管機關之意見」；同條第二項規定，「中央目的事業主管機關興辦部門計畫與各級國土計畫所定部門空間發展策略或計畫產生競合時，應報由中央主管機關協調；協調不成時，得報請行政院決定之」；及第三項規定，「第一項性質重要且在一定規模以上部門計畫之認定標準，由中央主管機關定之」。依據內政部營建署之「性質重要且在一定規模以上部門計畫認定標準」第2條所述，「本法第17條第1項所稱性質重要且在一定規模以上之部門計畫，指住宅、產業、運輸、重要公共設施、能源及水利之中長程或個別興辦事業計畫，涉及空間發展或土地使用計畫達一定規模者」，需參照「性質重要部門計畫之一定規模認定原則」。因此，中央目的事業主管機關「易受氣候變遷衝擊之權責領域調適行動方案」及「直轄縣、市主管機關之氣候變遷調適執行方案」之規劃方案內容，若規劃達一定開發或使用土地空間需求，應於在先期規劃階段即需徵詢同級主管機關意見或進行跨部門協調，以避免氣候變遷調適方案與「國土計畫」空間發展及土地指導原則之產生競合及消極的路徑依賴(張學聖與魏良諭，2020)。

5.3 結語

國內於2023年「氣候變遷因應法」公布實施，除修正原有關溫室氣體減量之管理及管制條文外，新增調適專章為另一重大突破，將調適與減緩兼容並重地融入國家治理系統的法制規範，已然為全球先驅國家之一。為因應氣候風險評估及調適規劃實務需求，本節蒐整及回顧國內外文獻，論述風險及調適定義、國家氣候變遷調適架構之流程操作、及未來可關注之科研缺口與展望等議題，提供有關調適實務辦理及研究的人員，未來投入推動資源之參考。

本章節彙整國內外氣候變遷風險與調適之定義，可供參考及建立基礎理論之認知，而就國家氣候變遷調適規劃與執行有關工作，亦彙整國內外最新發展之調適架構，依據國科會TCCIP平台計畫關鍵領域實務測試結果及考量我國政府部門運作機制，提出符合實務推動需求之國家氣候變遷調適架構，蒐整學術研究及我國政府部門現有的風險評估及調適指引等有關文獻，概述調適架構6構面下的執行項目、目的、及動態調適路徑之溝通工具等，供進行氣候風險評估與調適研擬之先期參考資料。

接續第4章回顧各關鍵領域調適科研現況與缺口，本章也加以分類彙整，提出可投入科研能力建構面向之建議。本章也參考國內外調適科研發展趨勢與關注程度，包含科研面的風險評估相關資料、風險評估方法與工具、複合性風險、不當調適、漸進式及轉型式調適、調適及減緩共效益等缺口與展望，及治理面之調適跨層級及跨部門治理、調適公平性及脆弱族群等新興研究課題進行統整性論述，包含可供參考的定義、分析架構、分析方法、國內外實際研究案例等，並進一步建議國內未來可深入探究之科研方向。另外，為協助各部門在調適規劃與推動過程可能遭遇的障礙與限制，並考量「氣候變遷因應法」為我國氣候變遷事務必需依循之新興法令，本章節也初步探討於治理機制中需留意及迴避之衝突與障礙，並提出法令及政策之整合議題。

氣候變遷會動態影響我國整體社會經濟活動及自然環境條件的變遷，在調適整體規劃與執行過程中，即需盡可能顧及氣候變遷各個治理環節及提出完善的調適方案，除需克服未來氣候變遷風險的不確定性外，利害關係人參與方式及程度也是調適能否發揮預期效力的重要關鍵之一。在此前提下，跨部門及跨層級的協作與治理即顯得相當重要，



在科研面向更需持續整合跨學科領域的研究能量提升，以期共同參與產出調適規劃與決策所需之先期參考資訊，逐步使我國各部門及領域得以朝向永續發展，並建構符合廣泛社會期待且因地制宜的氣候變遷調適方案與行動。

參考文獻

- 王思樺、黃書禮、李叢禎、蕭儀婷 (2016)。都市能源使用CO₂排放變動趨勢之降尺度分析—以臺北都會區與高雄市為例。**都市與計劃**，43 (4)，369-394。
- 台邦·撒沙勒 (2012)。災難、遷村與社會脆弱性：古茶波安的例子。**臺灣人類學刊**，10 (1)，51-92。
- 交通部運輸研究所 (2022)。公路系統規劃階段強化調適能力作為與指引。交通部運輸研究所。
- 江立揚、王思樺、張昱諄、黃書禮 (2023)。都市發展計畫對因應氣候變遷之綜效與權衡：以臺北都會區為例。**都市與計劃**，50 (2)，219-240。
- 李盈潔、蔡雅妃 (2023)。綠基盤因應氣候變遷之綜效、權衡與共效益初探—以台北都會區為例。**都市與計劃**，50 (2)，195-218。
- 宋郁玲、林貝珊、涂建翊 (2018)。以社會脆弱性與韌性建構脆弱性單元的可能性分析。**地理學報**，89，1-42。
- 沈哲緯、何明錦、辜炳寰、冀樹勇、陳致向 (2015)。整合崩塌—土石流災害潛勢評估模式之建立—以新北市汐止區為例。**建築學報**，91，141-166。
- 何謹余、童慶斌、王浣雅 (2020)。減災與氣候變遷調適在區域治理上之融合研究—以坡地災害為例。**農業工程學報**，66 (2)。
- 官大偉 (2015)。原住民生態知識與當代災害管理—以石門水庫上游集水區之泰雅族部落為例。**地理學報**，76，97-132。
- 林丞庭、李欣輯、陳永明 (2021)。氣候變遷調適框架回顧與分析。國家災害防救科技中心。
- 邱英浩、汪至佳、江志成 (2014)。植栽及透水鋪面對街道表面溫度之模擬。**建築學報**，88，61-78。
- 紀佳法、張珈瑋、李欣輯、陳永明、林丞庭 (2023)。氣候變遷調適規劃架構及溝通工具。國家災害防救科技中心。
- 洪啟東、傅玟盛 (2013)。重大災害後的族群社經脆弱現象觀察與分析：以莫拉克颱風災後重建的杉林慈濟大愛園區為例。**災害防救科技與管理學刊**，2 (1)，51-70。
- 洪鴻智、盧禹廷 (2015)。沿海居民的氣候變遷與颱風災害調適。**都市與計劃**，42 (1)，87-108。
- 陳亮全、吳杰穎、劉怡君、李宜樺 (2007)。土石流潛勢區內居民疏散避難行為與決策之研究—以泰利颱風為例。**中華水土保持學報**，38 (4)，325-340。
- 陳禹銘、許秋玲、樊國恕 (2009)。我國複合災害風險系統架構之探討。**危機管理學刊**，6 (2)，1-12。
- 孫振義 (2017)。熱季街道環境與熱舒適性關係之研究。**都市與計劃**，44 (4)，375-39。



- 孫振義、簡子翔 (2016)。夏季臺北都會區熱島效應之研究。**都市與計劃**，43 (4)，437-462。
- 孫振義、林憲德、呂罡銘、劉正千、陳瑞鈴 (2010)。台南市地表溫度與地表覆蓋關係之研究。**都市與計劃**，37 (3)，369-391。
- 國家發展委員會 (2018)。地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引。國家發展委員會。<https://dra.ncdr.nat.gov.tw>
- 張學聖、廖晉賢 (2013)。臺南市土地使用計畫之水災風險分析。**都市與計劃**，40 (1)，59-79。
- 張學聖、魏良諭 (2020)。國土空間規劃回應氣候變遷之比較分析-以台南市為例。**規劃學報**，38 (2)，1-28。
- 傅玉琴 (2019)。弱勢民眾對氣候變遷影響因子及因應行為之認知與態度之研究。**生活科學學報**，22，1-41。
- 童慶斌、劉子明、林嘉佑、李明旭 (2015)。氣候變遷水資源風險評估與調適決策之探討。**土木水利**，42 (4)，30-45。
- 童慶斌、劉子明、林嘉佑、曹榮軒 (2016)。科技部TaiCCAT計畫—氣候變遷調適行動計畫建構指引。科技部。
- 經濟部工業局 (2021)。製造業氣候變遷調適指引。經濟部工業局。
- 經濟部水利署 (2022)。水利署氣候變遷調適參考指引。經濟部水利署。
- 經濟部能源局 (2022)。能源部門因應氣候變遷風險評估指引。經濟部能源局。
- 黃國慶、詹士樑、柯景婷、李家齊 (2023)。氣候變遷調適共效益評估架構之探討—以農地調適為例。**都市與計劃**，50 (2)，273-296。
- 董娟鳴 (2021)。地區災害防救工作落實於淹水地區高齡者避難收容課題研究-以823水災臺南市麻豆區三里高齡居民避難收容為例。**建築學報**，118，89-112。
- 董娟鳴、林文苑、涂庭儀、蔡皓年 (2015)。從永久屋興建與居民居住狀況探討災後永久屋政策執行之課題-以高雄市六龜區新發裡新開部會為例。**建築學報**，92，99-124。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (TCCIP) (2022)。調適構面2022。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark_02_method.aspx?p=tccip
- 蔡元芳、林庚翰、蘇文瑞、陳晉琪 (2018)。山區聚落複合式災害之危害評估。**地理學報**，88，1-30。
- 蔡育新、徐嘉信、林家靖 (2023)。街區開放空間之氣候變遷規劃綜效與共效益—建物重建對主要次要道路之驅動。**都市與計劃**，50 (2)，159-194。
- 蔡育新、徐嘉信、王絢、林家靖 (2021)。因應氣候變遷之都市街區規劃設計策略與永續「共效益」—建物重建階段。**都市與計劃**，48 (1)，27-48。
- 蔡松倫、曾敏惠、鄧傳忠、落合知帆 (2022)。莫拉克颱風災後永久屋基地之建成環境特徵分析。**地理學報**，101，55-84。

- 劉怡君、洪鴻智 (2022)。從災害韌性觀點探討流域之脆弱度、衝擊與調適。都市與計劃，49 (1)，71-98。
- 蕭新煌、許耿銘 (2015)。探悉都市氣候風險的社會指標：回顧與芻議。都市與計劃，42 (1)，59-86。
- 盧鏡臣、周素卿、廖昱凱 (2015)。落差與接軌？從國際發展看臺灣的都市氣候治理與研究。都市與計劃，42 (1)，7-38。
- 謝文中、鄭夙芬、鄭期緯 (2011)。這是「房子」，不是「家屋」：從解釋性互動論探討莫拉克風災後原住民的遷徙與衝擊。臺大社工學刊，24，135-166。
- Airoldi, L., & Beck, M.W. (2007). Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 45, 345-405.
- C40 (2018). Climate change risk assessment guidance. C40. New York.
- AccountAbility. (2015). *AA1000-Stakeholder Engagement Standard 2015*. AccountAbility.
- Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 268-281.
- Adger, W.N., & Jordan, A. (2009). *Governing sustainability*. Cambridge University Press.
- Adger, W.N., & Vincent, K. (2005). Uncertainty in adaptive capacity. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(4), 399-410.
- Adger, W.N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D.R., Næss, L.O., Wolf, J., & Wreford, A. (2009). Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*, 93(3), 335-354.
- Adger, W.N., Arnell, N.W., & Tompkins, E.L. (2005). Successful adaptation to climate change across scale. *Global Environmental Change*, 15, 77-86.
- Ajulo, O., Von-Meding, J., & Tang, P. (2020). Upending the status quo through transformative adaptation: A systematic literature review. *Progress in Disaster Science*, 6, 100103.
- Amundsen, H., Hovelsrud, G.K., Aall, C., Karlsson, M., & Wstskog, H. (2018). Local governments as drivers for societal transformation: towards the 1.5°C ambition. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 31, 23-29.
- Ayers, J. M., & Huq, S. (2009). Supporting adaptation to climate change: What role for official development assistance? *Development Policy Review*, 27(6), 675-692. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2009.00465.x>
- Babaeian, F., Delavar, M., Morid, S., & Srinivasan, R. (2012). Robust climate change adaptation pathways in agricultural water management. *Agricultural Water Management*, 252, 106904.
- Barnett, J., & O' Neill, S. (2010). Maladaptation. *Global Environmental Change*, 20(2), 211-213. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.11.004>



- Barnett, J., & O'Neill, S. J. (2013). Minimising the risk of maladaptation. *Climate Adaptation Futures*, 87-93. <https://doi.org/10.1002/9781118529577.ch7>
- Barrett, J., Rose, J., Deonaraine, S., Clemetson, A., Pagach, J., Parker, E. A., & Tedesco, M. (2011). *Sentinel monitoring for climate change in the Long Island Sound estuarine and coastal ecosystems of New York and Connecticut*. Long Island Sound Study, 2.
- Beckman, M. (2011). Converging and conflicting interests in adaptation to environmental change in central Vietnam. *Climate and Development*, 3(1), 32-41.
- Bertana, A., Clark, B., Benney, T. M., & Quackenbush, C. (2022). Beyond maladaptation: Structural barriers to successful adaptation. *Environmental Sociology*, 8(4), 448-458. <https://doi.org/10.1080/23251042.2022.2068224>
- Bierbaum, R., Smith, J. B., Lee, A., Blair, M., Carter, L., Chapin, F. S., Fleming, P., Ruffo, S., Stults, M., McNeeley, S., Wasley, E., & Verduzco, L. (2013). A comprehensive review of climate adaptation in the United States: More than before, but less than needed. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(3), 361-406. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9423-1>
- Blythe, J., Silver, J., Evans, L., Armitage, D., Bennett, N.J., Moore, M. L., Morrison, T.H., & Brown, K. (2018). The Dark Side of Transformation: Latent Risks in Contemporary Sustainability Discourse. *Antipode*, 50, 1206-1223. <https://doi.org/10.1111/anti.12405>
- Bracken, L.J., Oughton, E.A., Donaldson, A., Cook, B., Forrester, J., Spray, C., Cinderby, S., Passmore, D., & Bissett, N. (2016). Flood risk management, an approach to managing cross-border hazards. *Natural Hazards*, 82, 217-240.
- Brouwer, R., Akter, S., Brander, L., & Haque, E. (2007). Socioeconomic vulnerability and adaptation to environmental risk: A case study of climate change and flooding in Bangladesh. *Risk Analysis*, 27(2), 313-326. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00884.x>
- Brown, K. (2002). Innovations for conservation and development. *Geographical Journal*, 168(1), 6-17.
- Brunner, R. D. (2005). *Adaptive governance: integrating science, policy, and decision making*. Columbia University Press.
- Buurman, J., & Babovic. (2017). Adaptation Pathways and Real Options Analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. *Policy and Society*, 35(2), 137-150. <https://doi.org/10.1016/j.polsoc.2016.05.002>
- Carmin, J., Nadkarni, N., & Rhie, C. (2012). Progress and challenges in urban climate adaptation planning: results of a global. *Progress and Challenges in Urban Climate Adaptation Planning: Results of a Global*, 30-30.
- Chi, C.F. (2022). *Climate change maladaptive pathways and mechanisms in coastal area: A case study of the Jiadung Township, Pingtung County, Taiwan*. Doctoral Dissertation, Department

- of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung City, Taiwan.
- Chi, C.F., & Lu, S.Y. (2016). Linking Barriers for Adaptation and Maladaptation to Climate Change: A brief review. *The 38th Ocean Engineering Conference in Taiwan*. Taipei.
- Chi, C.F., Lu, S.Y., & Lee, J.D. (2020). Ostensibly effective adaptive measures could potentially be maladaptations: A case study of the Jiadung coastal area, Pingtung County, Taiwan. *Coastal Management*, 48(6), 643-676. <https://doi.org/10.1080/08920753.2020.1803575>
- Chi, C.F., Lu, S.Y., Hallgren, W., Ware, D., & Tomlinson, R. (2021). Role of spatial analysis in avoiding climate change maladaptation: A systematic review. *Sustainability*, 13(6), 3450. <https://doi.org/10.3390/su13063450>
- Clarke, D., & Murphy, C. (2023). Incremental adaptation when transformation fails: The importance of place-based values and trust in governance in avoiding maladaptation. *Journal of Environmental Psychology*, 88, 102037.
- Clarke, D., Murphy, C., & Lorenzoni, I. (2016). Barriers to transformative adaptation: Responses to flood risk in Ireland. *Journal of Extreme Events*, 3(2), Article 1650010. <https://doi.org/10.1142/S234573761650010X>
- Clarke, D., Murphy, C., & Lorenzoni, I. (2018). Place attachment, disruption and transformative adaptation. *Journal of Environmental Psychology*, 55, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2017.12.006>
- Colloff, M.J., Gorddard, R., Abel, N., Locatelli, B., Wyborn, C., Bulter, J.R.A., Lavorel, S., van Kerhoff, L., Meharg, S., Múnera-Roldan, C., Bruley, E., Fedele, G., Wise, R.M., & Dunlop, M. (2021). Adapting transformation and transforming adaptation to climate change using a pathways approach. *Environmental Science and Policy*, 124, 163-174.
- Commission of The European Communities. (2009). Adapting to climate change: *Towards a European framework for action*. Commission of The European Communities.
- Culver, M., Bierwagen, B., Burkett, V., Cantral, R., Davidson, M.A., & Stockdon, H. (2013). Introduction and context. In: Coastal impacts, adaptation and vulnerabilities. *A technical input to the 2013 National Climate Assessment*. [Burkett, V., & Davidson, M. (eds.)]. ISLAND Press.
- Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T. & Yesuf, M. (2009). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia, *Global Environment Change*, 19 (2), 248-255. [10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002)
- Dille, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B. & Yetman, G. (2005) *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*. Washington, D.C. International Bank for Reconstruction and Development/the World Bank and Columbia University. Washington, DC.



- Dow, K., Kasperson, R.E., & Bohn, M. (2006). Exploring the Social justice implications of adaptation and vulnerability. In: *Fairness inadaptation to Climate Change* [eds by Adger, W.N., Paavola, J., Huq, S., & Mace, M.J.]. The MIT Press.
- Dzebo, A. (2019). Effective governance of transnational adaptation *initiatives*. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 19(4-5), 447-466.
- Ebi, K. (2011). Climate change and health risks: assessing and responding to them through 'adaptive management'. *Health Affairs*, 30(5), 924-930.
- Ekstrom, J.A., Moser, S.C., & Torn, M. (2011). *Barriers to adaptation: a diagnostic framework*. PIER Research Report CEC-500-2011-004. Public Interest Energy Research, Sacramento, CA.
- Eriksen, S., & Brown, K. 2011. Sustainable adaptation to climate change. *Climate and Development*, 3, 3-6.
- Engle, N.L. (2011). Adaptive capacity and its assessment. *Global Environmental Change*, 21, 647-656.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2011). *Climate change vulnerability assessment: Four case studies of water utility practices*. EPA/600/R-10/077 F. U.S. Environmental Protection Agency, Global Change Research Program, National Center for Environmental Assessment, Washington, DC.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2011). *Climate Change Vulnerability Assessments: Four Case Studies of Water Utility Practices*.
- EU (European Commission). (2013). *Non-paper Guidelines for Project Managers: Making vulnerable investments climate resilient*. European Commission.
- Fazey, I., Gamarra, J. G., Fischer, J., Reed, M. S., Stringer, L. C., & Christie, M. (2010). Adaptation strategies for reducing vulnerability to future environmental change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(8), 414-422. <https://doi.org/10.1890/080215>
- Fedele, G., Donatti, G.I., Harvey, C., Hannah, L., & Hole, D.G. (2019). Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science & Policy*, 101, 116-125.
- Federspiel, S. (2012). Climate change adaptation planning, implementation, and evaluation: needs, resources, and lessons for the 2013 National Climate Assessment. University of Michigan School of Natural Resources and Environment. *Ann Arbor*, 62.
- Few, R., Brown, K., & Tompkins, E. L. (2007). Public participation and climate change adaptation: Avoiding the illusion of inclusion. *Climate Policy*, 7(1), 46-59. <https://doi.org/10.1080/14693062.2007.9685637>
- Filho, W.L., Salvia, A.L., Balogun, A.L., Pereira, M.J.V., Mucova, S.A.R., Ajulo, O.M., Ng, A., Gwenzi,

- J., Mashonjowa, E., Aina, Y.A., Li, C., Totin, E., Pinho, P., Campbell, D., Chanza, N., & Setti, A.F.F. (2023). Towards more sustainable responses to natural hazards and climate change challenges via transformative adaptation. *Cities*, *141*, 104525.
- Filho, W.L., Wolf, F., Moncada, S., Salvia, A.L., Balogun, A.L.B., Skanavis, C., Kounani, A., & Nunn, P.D. (2019). Transformative adaptation as a sustainable response to climate change: insights from large-scale case studies. *Environmental Science & Policy*, *101*, 116-125.
- Fook, T.C.T. (2017). Transformational processes for community-focused adaptation and social change: a synthesis. *Climate Development*, *9*(1), 5-21.
- Ford, J.D. & King, D. (2015). A framework for examining adaptation readiness. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *20*, 505-526.
- Ford, J.D., Berrang-Ford, L., & Paterson, J. (2011). *A systematic review of observed climate change adaptation in developed nations*. *Climate Change*, *106*, 327-336.
- Ford, J. D., Keskitalo, E. C., Smith, T., Pearce, T., Berrang - Ford, L., Duerden, F., & Smit, B. (2010). Case study and analogue methodologies in climate change vulnerability research. *WIREs Climate Change*, *1*(3), 374-392. <https://doi.org/10.1002/wcc.48>
- Füssel, H. (2007). Adaptation planning for climate change: Concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability Science*, *2*(2), 265-275. <https://doi.org/10.1007/s11625-007-0032-y>
- Galvin, K.A. (2021). *Transformational adaptation in drylands*. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *50*, 64-71
- Gan, C.C.R., Chu, C.M.Y., Lin, J.D., Lin, M.N., & Wang, Y.W. (2019). Health-promoting hospitals in the face of climate change: the way forward. *Health Promotion Research and Practice*, *2*(1), 1-9.
- Glick, P., Stein, B.A., & Edelson, N.A. (2011). *Scanning the conservation horizon: a guide to climate change vulnerability assessment*. National Wildlife Federation, Washington, p 176.
- Gohari, A., Mirchi, A., & Madani, K. (2017). System dynamics evaluation of climate change adaptation strategies for water resources management in central Iran. *Water Resources Management*, *31*(5), 1413-1434. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1575-z>
- Grafakos, S., Trigg, K., Landauer, M., Chelleri, L., & Dhakal, S. (2019). Analytical framework to evaluate the level of integration of climate adaptation and mitigation in cities. *Climatic Change*, *154*, 87-106.
- Granberg, M., & Glover, L. (2013). Adaptation and maladaptation in Australian national climate change policy. *Journal of Environmental Policy & Planning*, *16*(2), 147-159. <https://doi.org/10.1080/1523908x.2013.823857>
- Haasnoot, M., Middelkoop, H., Offermans, A., Beek, E. V., & Deursen, W. P. (2012). Exploring pathways for sustainable water management in river deltas in a changing environment.



- Climatic Change*, 115(3-4), 795-819. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0444-2>
- Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, 19(2), 240-247.
- Hammill, A., & Tanner, T. (2011). Harmonising climate risk management: *Adaptation screening and assessment tools for development co-operation*.
- Hauer, M. E., Evans, J. M., & Mishra, D. R. (2016). Millions projected to be at risk from sea-level rise in the continental United States. *Nature Climate Change*, 6(7), 691-695. <https://doi.org/10.1038/nclimate2961>
- Hennessey, R., Pittman, J., Morand, A., & Douglas, A. (2017). Co-benefits of integrating climate change adaptation and mitigation in the Canadian energy sector. *Energy Policy*, 111, 214-221.
- Hermans, L.M., Haasnoot, M., ter Maat, J., & Kwakkel, J.H. (2017). Designing monitoring arrangements for collaborative learning about adaptation pathways. *Environmental Science & Policy*, 69, 29-38.
- Heyd, T., & Brooks, N. (2009). Exploring cultural dimensions of adaptation to climate change. In: *Adapting to Climate Change: Thresholds, Values, Governance* [eds by Adger, W.N., Lorenzoni, I., & O'Brien, K.L.]. Cambridge Press.
- Horton, R. M., Solecki, W. D., & Rosenzweig, C. (2012). *Climate change in the Northeast: a sourcebook*.
- Huitema, D., Adger, W.N., Berkhout, F., Massey, E., Mazmanian, D., Munaretto, S., Plummer, R., & Termeer, C.C.J.A.M. (2016). The governance of adaptation: choices, reasons, and effects. Introduction to the Special Feature. *Ecology and Society*, 21(3), 37.
- Hulme, M., & Dessai, S. (2008). Predicting, deciding, learning: Can one evaluate the 'success' of national climate scenarios? *Environmental Research Letters*, 3(4), 045013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/4/045013>
- Hung, H. C., & Chen, L. Y. (2013). Incorporating stakeholders' knowledge into assessing vulnerability to climatic hazards: Application to the river basin management in Taiwan. *Climatic Change*, 120(1-2), 491-507. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0819-z>.
- Ingram, K., Dow, K., & Carter, L. (2012). Southeast region technical report to the National Climate Assessment. Presented to the Gulf of Mexico Climate Outreach Community of Practice, New Orleans, LA, 16-18 April.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.

- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working.
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, (pp. 1-32).
- IPCC. (2018). Annex I: Glossary. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge University Press.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.
- ISO. (2019a). *ISO 14090. Adaptation to climate change—Principles, requirements and guidelines*.
- ISO. (2019b). *ISO 14091. Adaptation to Climate Change –Guidelines on Vulnerability, Impacts and Risk Assessment*.
- Jeffers, J. (2020). Barriers to transformation towards participatory adaptation decision-making: Lessons from the Cork flood defences dispute. *Land Use Policy*, 90, 104333.
- Jim, C.Y. (2013). Sustainable urban greening strategies for compact cities in developing and developed economies. *Urban Ecosystems*, 16, 741-761.
- Jones, L. (2010). *Background Note: Overcoming social barriers to adaptation*. Overseas Development Institute, UK.
- Jones, B., O' Neill, B. C., McDaniel, L., McGinnis, S., Mearns, L. O., & Tebaldi, C. (2015). Future population exposure to US heat extremes. *Nature Climate Change*, 5(7), 652-655. <https://doi.org/10.1038/nclimate2631>
- Jones, R. N., Young, C., & Handmer, J. (2013). Valuing adaptation under rapid change.
- Juhola, S., Glaas, E., Linnér, B., & Neset, T. (2016). Redefining maladaptation. *Environmental Science & Policy*, 55, 135-140 <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.09.014>
- Juhola, S., & Käyhkö, J. (2023). Maladaptation as a concept and a metric in national adaptation policy- Should we, would we, could we? *PLOS Climate*, 2(5), e0000213.



- Juhola, S., Klein, N., Käyhkö, J., Neset, T.S.S. (2017). Climate change transformations in Nordic agriculture? *Journal of Rural Studies*, 51, 28-36.
- Kates, R.W., Travis, W.R., & Wilbanks, T. (2012). Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. *PNAS*, 109(9), 7156-7161.
- Kareiva, P. (2008). Synthesis and Assessment Product 4.4: Adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources-synthesis and conclusions. In: USGCRP (ed) *The U.S. Climate Change Science Program*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Karimi, V., Bijani, M., Hallaj, Z., Valizadeh, N., Haghighi, N.F., & Karimi, M. (2023). Adaptation and Maladaptation to Climate Change: Farmers' Perceptions. In: *Strategizing Agricultural Management for Climate Change Mitigation and Adaptation* [eds by Bandh, S.A.]. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32789-6_7
- KC, B., Shepherd, J. M., King, A. W., & Johnson Gaither, C. (2021). Multi-hazard climate risk projections for the United States. *Natural Hazards*, 105(2), 1963-1976. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04385-y>
- Kemp, R., Loorbach, D., & Rotmans, J. (2007). Transition management as a model for managing processes of co-evolution towards sustainable development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14(1/2), 78–91.
- Klein, R. J. T., Huq, S., Denton, F., Downing, T. E., Richels, R. G., Robinson, J. B., & Toth, F. L. (2007). Inter-Relationships between Adaptation and Mitigation. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). In *Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*, edited by M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, and C. E. Hanson, 745–777. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kopke, K., & O'Mahony, C. (2011). Preparedness of key coastal and marine sectors in Ireland to adapt to climate change. *Marine Policy*, 35, 800-809.
- Kuntz, J.R.C., & Gomes, J.F.S., (2012). Transformational change in organisations: a selfregulation approach. *Journal of Organizational Change Management*, 25, 143-162. <https://doi.org/10.1108/09534811211199637>.
- Lackstrom, K., Dow, K., Haywood, B., Brennan, A., Kettle, N., & Brosius, A. (2012). *Engaging climate-sensitive sectors in the Carolinas*. Technical report CISA-2012-03. Carolinas Integrated Sciences and Assessments, Columbia, p 180.
- Laukkonen, J., Blanco, P.K., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B., & Kinuthia-Njenga, C. (2009). *Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. Habitat International*, 33, 287-292.
- Lavorel, S., Colloff, M.J., Locatelli, B., Gorddard, R., Prober, S.M., Gabillet, M., Devaux, C., Laforgue, D.,

- & Peyrache-Gadeau, V., (2019). Mustering the power of ecosystems for adaptation to climate change. *Environ. Sci. Policy*, 92, 8-97. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.010>
- Lee, S., Paavola, J., & Dessai, S. (2022). Towards a deeper understanding of barriers to national climate change adaptation policy: A systematic review. *Climate Risk Management*, 35, 100414.
- Lonsdale, K., Pringle, P., & Turner, B. (2015). Transformative adaptation: What it is, why it matters & what is needed. *In UK climate impacts programme*. Oxford, UK: University of Oxford.
- Magnan, A.K., Schipper, E.L.F., Burkett, M., Bharwani, S., Burton, I., Eriksen, S., Gemenne, F., Schaar, J., & Ziervogel, G. (2016). Addressing the risk of maladaptation to climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7, 646-665.
- Magnan, A. K., Schipper, E. L. F., & Duvat, V. K. E. (2020). Frontiers in climate change adaptation science: Advancing guidelines to design adaptation pathways. *Current Climate Change Reports*, 6(4), 166–177. <https://doi.org/10.1007/s40641-020-00166-8>
- Maru, Y.T., Smith, M.S., Sparrow, A., Pinho, P.F., & Dube, O.P. (2014). A linked vulnerability and resilience framework for adaptation pathways in remote disadvantaged communities. *Global Environmental Change*, 28, 337-350.
- McCollum, D. W., Tanaka, J. A., Morgan, J. A., Mitchell, J. E., Maczko, K. A., Hiding, L., Fox, W.E., & Duke, C. S. (2011). Climate change effects on rangelands: Affirming the need for monitoring. *RMRS-Human dimensions research program discussion paper*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins.
- McDowell, J. Z., Moe, C. L., & Hess, J. J. (2010). Adaptation or maladaptation: *vulnerability to competing economic and climatic exposures in the Bolivian Highlands*. Emory University, Rollins School of Public Health: Atlanta, GA, USA.
- McEvoy, J., & Wilder, M. (2012). Discourse and desalination: potential impacts of proposed climate change adaptation interventions in the Arizona - Sonora border region. *Global Environmental Change*, 22, 353 - 363.
- Means, E., Laugier, M., Daw, J., Kaatz, L., & Waage, M. (2010). Decision support planning methods: Incorporating climate change uncertainties into water planning. *Water Utility Climate Alliance White Paper*, 102.
- Measham, T.G., Preston, B.L., Smith, T.F., Brooke, C., Gorddard, R., Withycombe, G., & Morrison, C. (2011). Adapting to climate change through local municipal planning: *barriers and challenges*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16, 889-909.
- Mehryar, S., Sasson, I., & Surminski, S. (2022). Supporting urban adaptation to climate change: What role can resilience measurement tools play? *Urban Climate*, 41, 101047.
- Moore, S., Zavaleta, E., & Shaw, R. (2012). Decision Making Under Uncertainty: *An Assessment of Adaptation Strategies and Scenario Development for Resource Managers*.



- Morecroft, M.D., Duffield, S., Harley, M., Pearce-Higgins, J.W., Stevens, N., Watts, O., & Whitaker, J. (2019). Measuring the success of climate change adaptation and mitigation in terrestrial ecosystems. *Science*, 366, 1329.
- Morgan, C.L. (2011). *Limits to adaptation*. IUCN. Bangkok.
- Moser, S. C., & Ekstrom, J. A. (2010). A framework to diagnose barriers to climate change adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 22026-22031. <https://doi.org/10.1073/pnas.1007887107>
- Moss, R.H., Meehl, G.A., Lemos, M.C., Smith, J.B., Arnold, J.R., Arnott, J.C., Behar, D., Brasseur, G.P., Broomell, S.B., Busalacchi, A.J., Dessai, S., Ebi, K.L., Edmonds, J.A., Furlow, J., Goddard, L., Hartmann, H.C., Hurrell, J.W., Katzenberger, J.W., Liverman, D.M., ... Wilbanks, T.J. (2013). Hell and high water: practice-relevant adaptation science. *Science*, 342, 696-698.
- Mustelin, J., & Handmer, J. (2013). Triggering transformation: Managing resilience or invoking real change. *Proceedings of transformation in a changing climate conference*, 19.
- Næss, L.O., Bang, G., Eriksen, S., & Vevatne, J. (2005). Institutional adaptation to climate change: flood responses at the municipal level in Norway. *Global Environmental Change*, 15, 125-138.
- Novalia, W., & Malekpour, S. (2020). Theorising the role of crisis for transformative adaptation. *Environmental Science & Policy*, 112, 361-370. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.07.009>
- NRS (National Research Service). (2010). *National Park Service climate change response strategy*. National Park Service, Fort Collins.
- NRC (National Research Council). (2008). *Potential impacts of climate change on U.S. transportation: Special Report 290*. National Research Council, National Academies Press, Washington.
- NRC (National Research Council). (2010) *Adapting to the Impacts of Climate Change, America's Climate Choices: Panel on Adapting to the Impacts of Climate Change*. National Academy Press.
- Ostrom, E. (2005). *Understanding Institutional Diversity*. Princeton University Press, NJ.
- Paton, D., Gregg, C. E., Houghton, B. F., Lachman, R., Lachman, J., Johnston, D. M., & Wongbusarakum, S. (2007). The impact of the 2004 tsunami on coastal Thai communities: Assessing adaptive capacity. *Disasters*, 32(1), 106-119. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2007.01029.x>
- Pelling, M. (2011). *Adaptation to Climate Change: From Resilience to Transformation*. Routledge Press, London.
- Perrings, C. (2006). Resilience and sustainable development. *Environment and Development Economics*, 11(4), 417-427.

- Persson, Åsa. (2019). Global adaptation governance: an emerging but contested domain. *WIREs Climate Change*, 10, e618.
- Pickering, J., Betzold, C., & Skovgaard, J. (2017). Special issue: Managing fragmentation and complexity in the emerging system of international climate finance. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics*, 17(1), 1-16.
- Preston, B. L., Westaway, R. M., & Yuen, E. J. (2010). Climate adaptation planning in practice: An evaluation of adaptation plans from three developed nations. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16(4), 407-438. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9270-x>
- Rahder, B., & Milgrom, R. (2004). The uncertain city: Making space(s) for difference. *Canadian Journal of Urban Research*, 13(1), 27-45.
- Richards, C., Carter, C., & Sherlock, K. (2004). *Practical approaches to participation*. Aberdeen: Macaulay Institute.
- Reilly, J., & Schimmelpfennig, D. (2000). Irreversibility, Uncertainty, and Learning: Portraits of Adaptation to Long-Term Climate Change. *Climatic Change*, 45, 253-278.
- Rojas Blanco, A. V. (2006). Local initiatives and adaptation to climate change. *Disasters*, 30(1), 140-147. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00311.x>
- Rotmans, J., & Loorbach, D. (2008). Transition management: Reflexive governance of social complexity through searching, learning and experimenting. *Managing the Transition to Renewable Energy*. Edward Elgar Press, Cheltenham.
- Rowland, E.L., Davison, J.E., & Graumlich, L.J. (2011). Approaches to evaluating climate change impacts on species: a guide to initiating the adaptation planning process. *Environmental Management*, 47, 322-337.
- Sales, R. F. (2009). Vulnerability and adaptation of coastal communities to climate variability and sea-level rise: Their implications for integrated coastal management in Cavite City, Philippines. *Ocean & Coastal Management*, 52(7), 395-404. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.04.007>
- Schipper, E.L.F. (2020). Maladaptation: when adaptation to climate change goes very wrong. *One Earth*, 3(4), 409-414.
- Scheraga, J., & Grambsch, A. (1998). Risks, opportunities and adaptation to climate change. *Climate Research*, 11, 85-95. <https://doi.org/10.3354/cr011085>
- Sharifi, A. (2021). Co-benefits and synergies between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Science of The Total Environment*, 750, 141642.
- Shi, L. (2019). Promise and paradox of metropolitan regional climate adaptation. *Environmental Science & Policy*, 92, 262-274.



- Singh, C., Solomon, D., Bendapudi, R., Kuchimanchi, B., Iyer, S., & Bazaz, A. (2019). What shapes vulnerability and risk management in semi-arid India? Moving towards an agenda of sustainable adaptation. *Environmental Development*, 30, 35-50.
- Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hoggarth, R., Howden, M., Lawrence, J., Lempt, R.J., Muccione, V., Mackey, B., New, M.G., O' Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D.N., Seneviratne, S., Strongin, S., ... Trisos C.H. (2021) . A Framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*, 4, 489-501.
- Smit, B., & Pilifosova, O. (2001). Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. *Sustainable Development*, 8(9), 9.
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282-292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Smith, M.S., Horrocks, L., Harvey, A., & Hamilton, C. (2011). Rethinking adaptation for a 4°C world. *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 369, 196-216.
- Solecki, W., & Rosenzweig, C. (2012). US cities and climate change: urban, infrastructure, and vulnerability issues. *Technical Input Report Series, US National Climate Assessment*.
- Swart, R., & Raes, F. (2007). Making integration of adaptation and mitigation work: Mainstreaming into sustainable development policies? *Climate Policy*, 7(4), 288-303. <https://doi.org/10.1080/14693062.2007.9685657>
- Termeer, C.J.A.M., Dewulf, A., & Biesbroek, G.R. (2017). Transformational change: governance interventions for climate change adaptation from a continuous change perspective. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(4), 558-576.
- Tol, R. S., Klein, R. J., & Nicholls, R. J. (2008). Towards successful adaptation to sea-level rise along Europe's coasts. *Journal of Coastal Research*, 242, 432-442. <https://doi.org/10.2112/07a-0016.1>
- Tompkins, E.L. (2005). Planning for climate change in small islands: insights from national hurricane preparedness in the Cayman Island: adaptation to climate change: perspectives across scales. *Global Environmental Change*, 15(2), 139-149.
- Tung, C., Tsao, J., Tien, Y., Lin, C., & Jhong, B. (2019). Development of a novel climate adaptation algorithm for climate risk assessment. *Water*, 11(3), 497. <https://doi.org/10.3390/w11030497>
- Urwin, K., & Jordan, A. (2008). Does public policy support or undermine climate change adaptation? Exploring policy interplay across different scales of governance. *Global Environmental Change*, 18, 180-191.
- UKCIP. (2003). adaptation: *Risk, uncertainty and decision-making*, Technical Report. <https://www.ukcip.org.uk/wp-content/PDFs/UKCIP-Risk-framework.pdf>
- UNDP. (2004). Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: *Developing Strategies, Policies*

- and Measures*. https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/downloads/adaptation_policy_frameworks_for_climate_change_developing_strategies_policies_and_measures_0.pdf
- UNISDR. (2004). *Living with risks: a global review of disaster reduction initiatives*. United Nations Publication, Geneva, Switzerland.
- UN (United Nations). (2021). *National Adaptation Plans 2021. Progress in the formulation and implementation of NAPS*. United Nations Climate Change.
- Vose, J., Peterson, D. L., & Patel-Weynand, T. (2012). *National climate assessment—forest sector technical report*. wallis A. (2011) US regions planning for climate adaptation, School of Public Affairs, University of Colorado, Denver.
- Waters, E., Barnett, J., & Puleston, A. (2014). Contrasting perspectives on barriers to adaptation in Australian climate change policy. *Climatic Change*, 124, 691-702.
- Weiler, F., Klöck, C., & Dornan, M. (2018). Vulnerability, good governance, or donor interests? The allocation of aid for climate change adaptation. *World Development*, 104, 65-77.
- Werners, S.E., Pfenninger, S., van Slobbe, E., Haasnoot, M., Kwakkel, J.H., & Swart, R.J. (2013). Thresholds, tipping and turning points for sustainability under climate change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 334-340.
- Werners, S. E., Wise, R. M., Butler, J. R., Totin, E., & Vincent, K. (2021). Adaptation pathways: A review of approaches and a learning framework. *Environmental Science & Policy*, 116, 266-275. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.11.003>
- West, J.M., Julius, S.H., Kareiva, P., Enquist, C., Lawler, J.J., Petersen, B., Johnson, A.E., & Shaw, M.R. (2009). US natural resources and climate change: concepts and approaches, for management adaptation. *Environmental Management*, 44, 1001-1021.
- Wilder, M., Scott, C.A., Pablos, N.P., Varady, R.G., Garfin, G.M., & McEvoy, J. (2010). Adapting Across Boundaries: Climate Change, Social Learning, and Resilience in the U.S.–Mexico Border Region. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4), 917-928.
- Wilby, R., & Vaughan, K. (2011). Hallmarks of organisations that are adapting to climate change. *Water and Environment Journal*, 25(2), 271-281. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2010.00220.x>
- Winkler, J., Anderson, J., & Hatfield, J. (2012). *Midwest technical input report*. Prepared for the U.S. National Climate Assessment.
- World Bank (2008). *Climate Resilient Cities: A Primer on Reducing Vulnerabilities to Disasters*. World Bank.
- WRI (World Resources Institute). (2009). *The National Adaptive Capacity Framework - Key*



Institutional Functions for a Changing Climate. World Resources Institute. Washington, USA.

Zandvoort, M., van de Brugge, R., van de Vlist, M.J., & van der Brink, A. (2017). Dealing with uncertainty in collaborative planning: developing adaptive strategies for the IJsselmeer. *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(2), 248-265.