

IPCC氣候變遷第六次評估報告TCCIP專家導讀活動

IPCC WGII 6th評估報告Ch4：水

IPCC WGII Sixth Assessment Report Chapter 4 : water

國立陽明交通大學 土木工程學系 石棟鑫教授



第四章 章節架構



資料來源：WGII AR6 CH4
Figure 4.1: Chapter structure

水循環的影響 (P4-16~17)

❖ 來自氣象站、衛星和雷達的大量記錄清楚地顯示全球降水形勢已經發生了變化，主要三個變化為：

- 一些地區的年降水量或季節性降水量增加，而另一些地區的降水量較少。
- 許多地區的強降水增加，許多地區的旱季增加或減少。
- 一些地區出現了更長時間的旱季、更大降水事件的轉變。

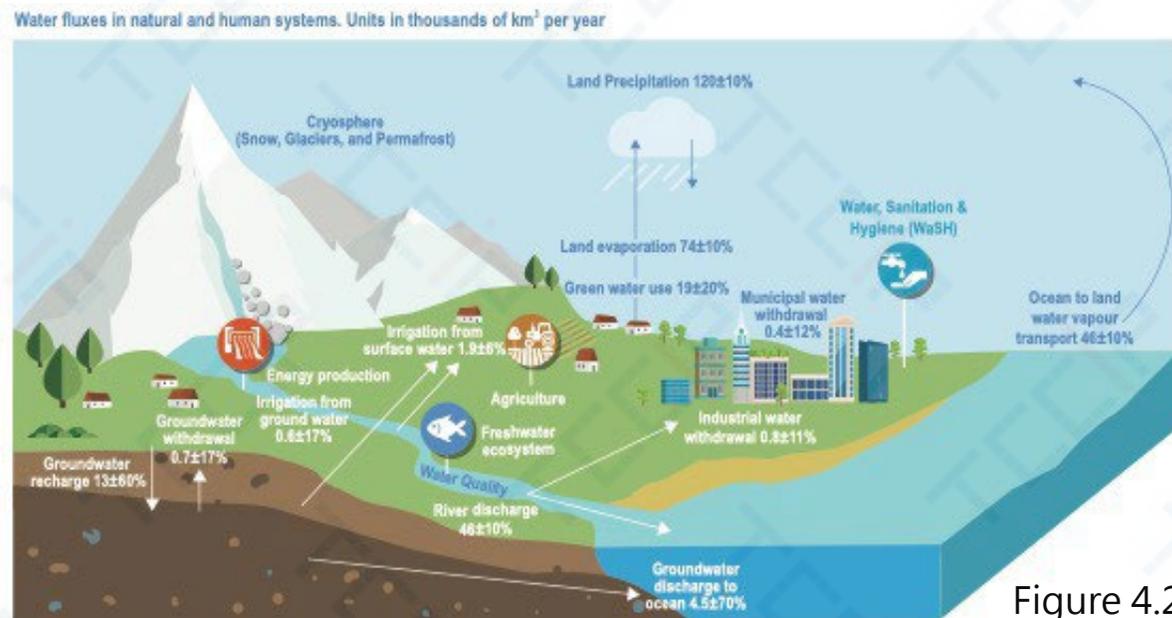


Figure 4.2

氣候變遷情境模擬評估 (P4-58)

- 預計陸地上水循環將通過地表和大氣之間更高的水交換來加強。由於暖化加劇導致大氣環流型態的變化、對流過程的加強以及表面溫度的升高，預計近地表大氣水容量將增加。暖化和其他物理機制的持續將進一步加速積雪、冰川和永久凍土的融化。
- 方法上，因氣候變化導致的水文循環改變，利用氣候模型或由氣候模型資料所影響的水文系統模型來評估；其中水文影響是基於耦合氣候模式比對計畫 (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP) 結果而來；情境設定則是以未來氣候和社會經濟變化之情境（例如，RCP、SSP），或預先指定的 21 世紀全球暖化程度進行之。
- 自 AR5 以來，由於在模擬雲、降水、地表通量、植被、雪、洪氾區、地下水和
其他與水循環相關的過程方面取得很大的進步，使得氣候變遷影響預測的物理基礎有所改善 (Douville 等人, 2021)。這小節整理出水文過程受到多重影響因子、高變異性以及不確定性因子、區域、季節、不同時間、空間尺度、或是非氣候因子影響下之反應。

未來主要災害風險(1/2)

- 預計實際**水資源短缺**會增加，估計全球升溫 2°C 會導致 8 億至 30 億人缺水，全球升溫 4°C 會導致約 40 億人缺水(Gosling and Arnell, 2016)。
- 預計**水文極端事件**的增加會讓全球社會系統帶來越大的風險。在升溫 1.5°C 到 3°C 之間，**洪水風險**可能翻倍(Dottori et al., 2018)，估計為 120% 到 400%，溫度分別為 2°C 和 4°C 時面臨河流洪水風險的人口增加(Alfieri et al., 2017)。
- 預計**乾旱**持續時間將增加近一倍(Naumann et al., 2018)，受各種類型、持續時間和嚴重程度乾旱影響的人口比例將增加。
- 預計死亡和**社會經濟**影響的風險會增加，需要綜合風險管理方法，(Jongman, 2018)。
- 由於水和溫度變化的綜合影響，**農業產量**面臨的風險在 3°C 時可能是 2°C 時的三倍(Ren et al., 2018)。
- 氣候變遷使**水資源短缺**，如**作物灌溉用水**需求不斷增加，給許多地區的農業生產帶來了挑戰。

未來主要災害風險(2/2)

- 雖然到 2080 年水電生產的潛力增加約 2% 至 6%，但大多數地區的**熱電生產風險**增加；例如，從 1.5°C 到 3°C，歐洲電力生產的潛在風險幾乎翻倍。
- **水文極端事件**的增加也會對維持及改善**水、環境衛生和個人**服務的供應產生影響。4°C 時帶病媒介的區域潛在感染區可能是 2°C 時的 5 倍(Liu-Helmerson et al., 2019)。
- **不斷增加的需水量**和**不斷變化的降水形式**將對城市用水安全構成風險。到 2050 年，世界上近1/3的大城市用水量可能超過地表水供應量 (RCP6.0) (Flörke et al., 2018)；全球生活用水量預計將增加 50% 至 250% (Wada et al., 2016)。
- **淡水生態系統的風險**隨著氣候變遷的進展而增加，如果超過 1.5°C，淡水生物多樣性會隨著暖化而減少。風險包括範圍轉移、物種數量減少、滅絕和滅絕。
- 評估在未來因**與水有關的氣候風險**，導致國內和國際**流離失所**可能會大幅增加 (Missirian and Schlenker, 2017; Rigaud et al., 2018)。

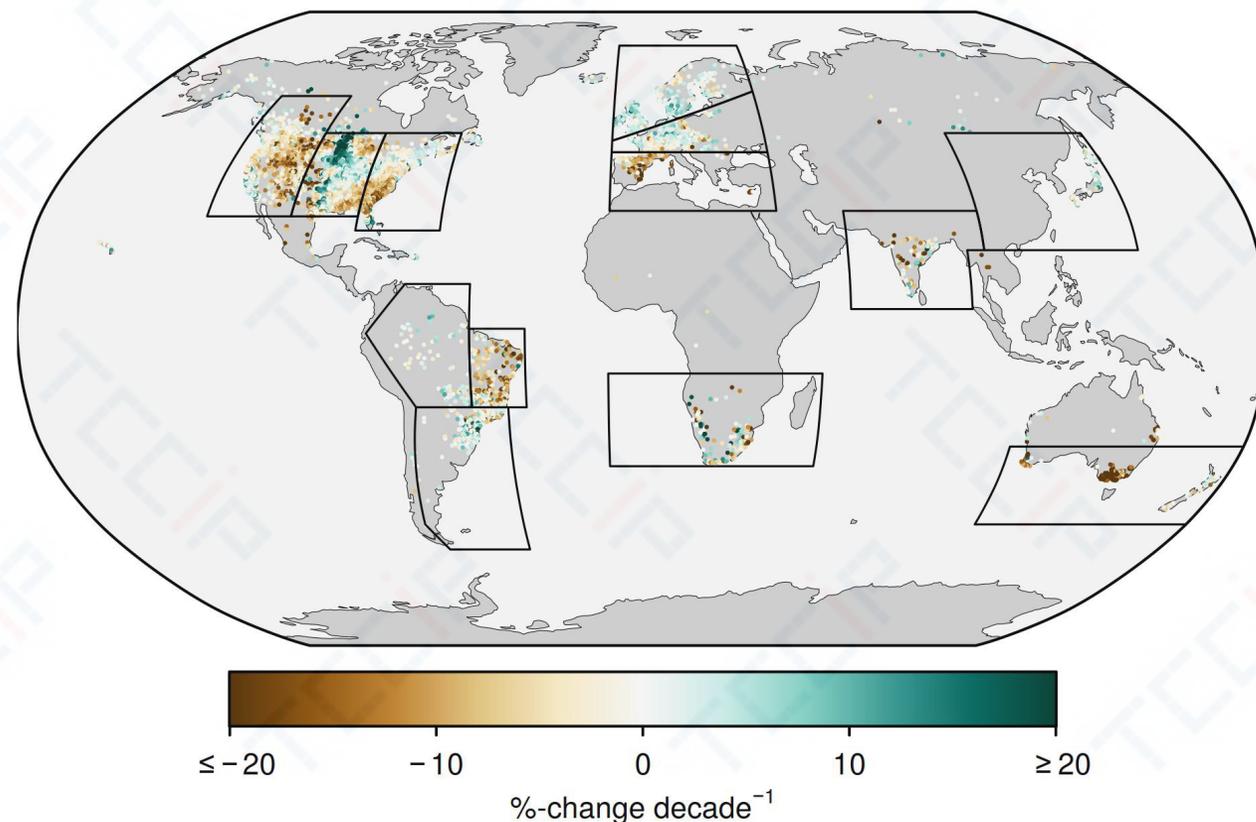
過去河川流量變化 (P4-26)

❖ 逕流趨勢歸因於氣候變遷和人類，透過全球不同流域的水和土地利用下，產生不同組合的直接影響。

- 在全球 40 個主要盆地中，氣候和人類直接影響都不同程度地促成了觀測到的流量變化。氣候變影響約佔 75%，而人類的直接影響約佔 25%。(Shi et al., 2019)
- 觀察到的趨勢和解釋人類對氣候系統影響的模擬的跡象不太一樣，在某些地區，觀察到的趨勢與人為氣候強迫模擬的趨勢相反。因此，僅人類用水和土地利用並不能全然解釋觀察到的變化趨勢。(Gudmundsson et al., 2021)

各條河流的流量變化百分比(1971-2010)

黑框輪廓顯示氣候區域，於1971-2010年至少有 80 個測量站幾乎完成了每日觀測。SREX (Seneviratne 等人，2012)



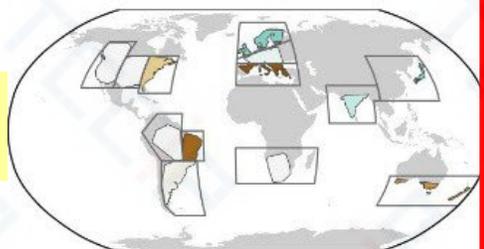
過去河川流量變化 (P4-27)

SREX 地區觀測值 (1971-2010)

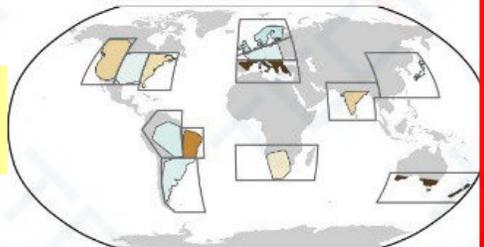
Observed river flow trend

趨勢趨勢百分比

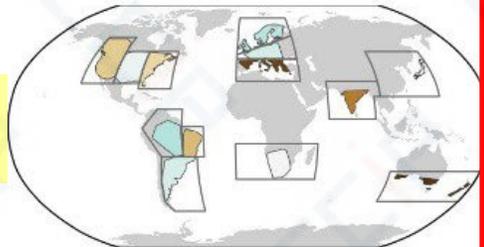
Low
第10百分位/年



Mean
平均流量

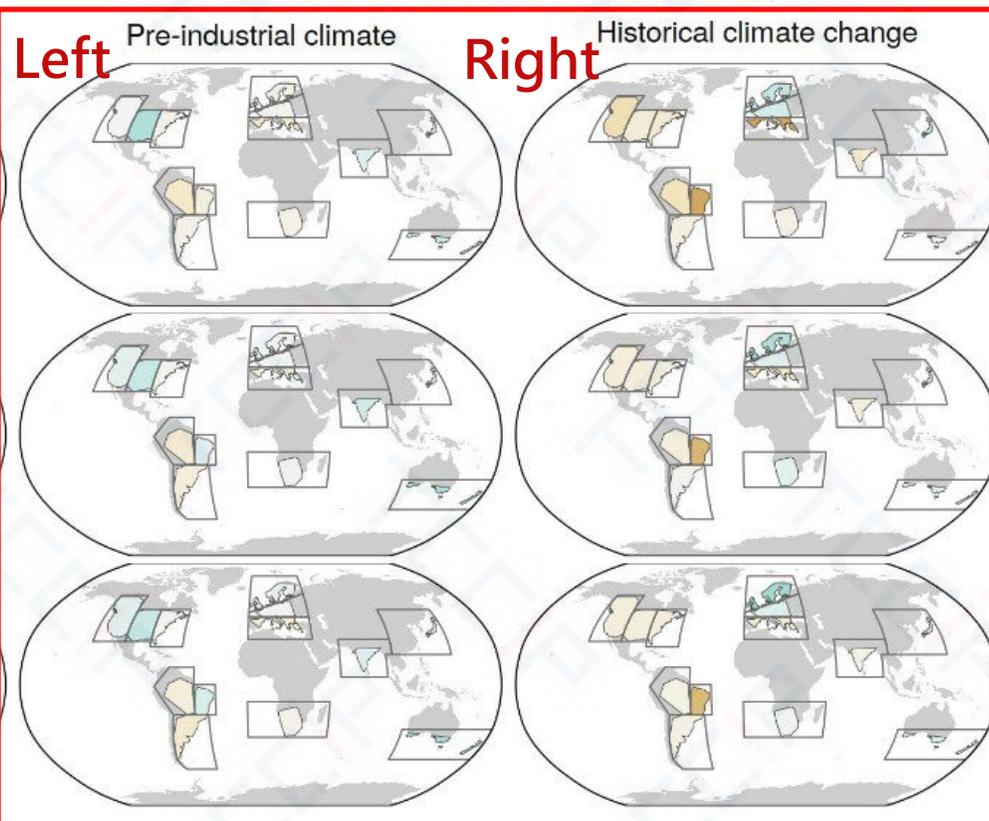


High
第90百分位/年



四個 CMIP5 地球系統模型驅動的 八個全球水文模型模擬的趨勢

Simulated river flow trend with human water and land use

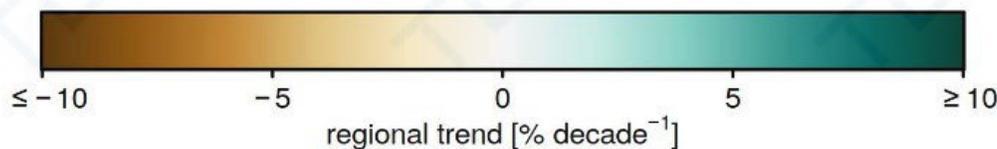


Left :

包含1971-2020期間的人類用水、土地利用以及預擬工業控制的氣候狀態。

Right :

包含1971-2010的ESM模擬氣候，包含人為強迫(溫室氣體、氣溶膠、土地利用)和自然外部強迫(太陽變率及火山爆發)。



(Gudmundsson et al., 2021)

未來河川流量變化 (P4-67)

❖ 流量的變化可能會增加面臨水資源短缺或不安全的人數。

- 未來水資源可用性的這種不確定性加劇了調適的政策挑戰，例如管理缺水風險(Greve et al., 2018)。
- 雖然在許多地區，高流量和低流量的預計變化與平均流量的變化相似，但並非所有地區都是如此。當選擇單一水文模型和氣候模型樣本系統地探索不確定性時，預計全球約 56% 的人口將受到升溫 1.5°C 時增加的極端高流量的影響，升溫 2°C 時將上升至 61%。(Zhai et al., 2020)。
- 在升溫 1.5°C 和 2°C 時，受極低流量減少影響的人預計將保持在45%左右。但是這些結果是基於集合預測的中值，因此具有很高的不確定性。在全球升溫 1.5°C 時，預計 15% 的人口將同時受到極低流量減少和極高流量增加的影響，在 2°C 升溫時增加至 20%。(Asadieh and Krakauer, 2017)。

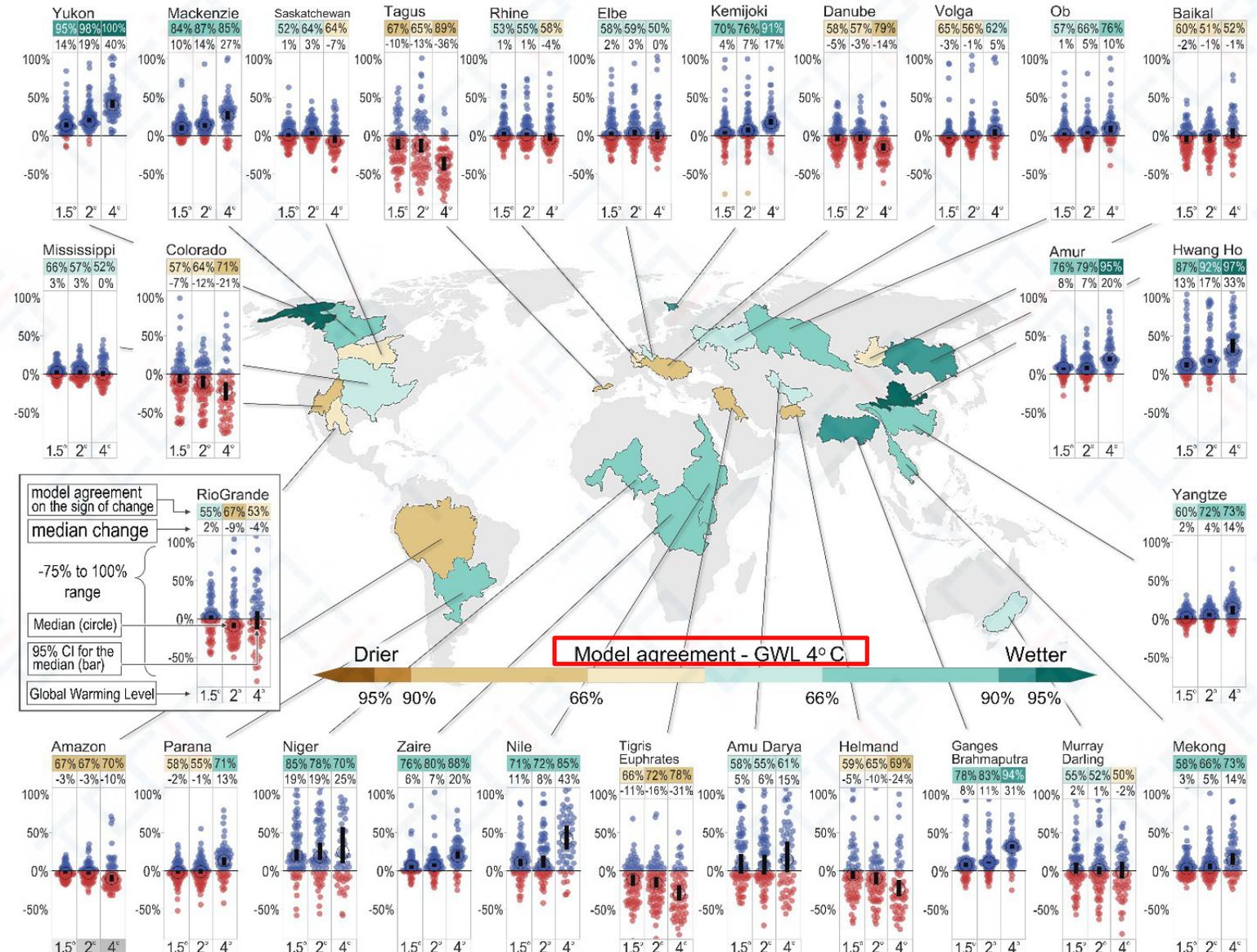
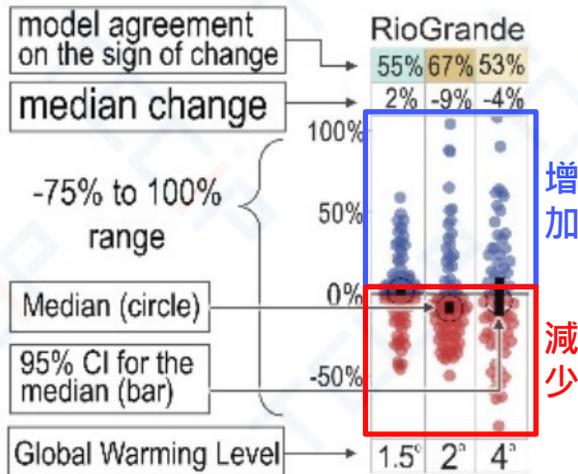
未來河川流量變化 (P4-68)

4個多模式：

1. RCP8.5, GCMs (CIMP5) 沒BC
2. SSP5-85, GCMs(CIMP6) 沒BC
3. Varying combinations of hydrological models with 5 GCMs (in the ISIMIP) 有BC
4. JULES土地生態系統與水文模型, GCMs (from HELIX) (Betts et al., 2018; Koutroulis et al., 2019) 有BC

流量比

- 模式一致性
- 中位數變化率
- 中位數 (空心圓圈)
- 95%信賴區間 (柱狀圖)
- 全球暖化情境 (GWLs)



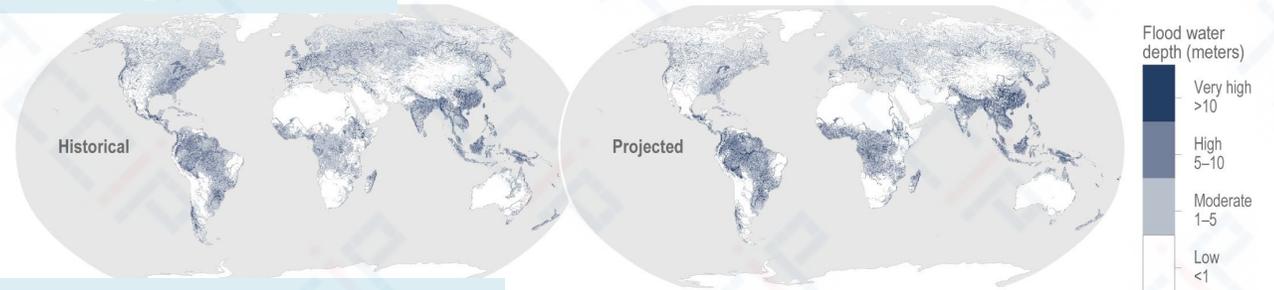
過去與未來洪水的風險 (P4-28~30)

❖ 極端降水的增加以及河流洪水頻率和幅度的增加。(高信心度) 然而區域內河流氾濫變化的可信度較低，這在很大程度上取決於複雜的流域特徵和土地利用模式。(Seneviratne et al., 2021)

- 基於現場測量和衛星遙感的全球洪水數據庫顯示(1985-2015)，熱帶和中緯度北部的洪水分別增加了 4 倍和 2.5 倍(Najibi and Devineni, 2018)。
- 使用衛星衍生的淹沒區域和高分辨率人口數據對洪水風險的估計顯示，在2000-2018 年期間增加了20~24% (Tellman et al., 2021)。
- 過去 40 到 60 年的暖化導致春季洪水發生每十年提前 1 到 10 天，具體取決於地點(最常見的是 2 到~4 天/十年) (Yang L. et al., 2015)。

Risk of historical (1961-2005) & projected (2051-2070) river flooding

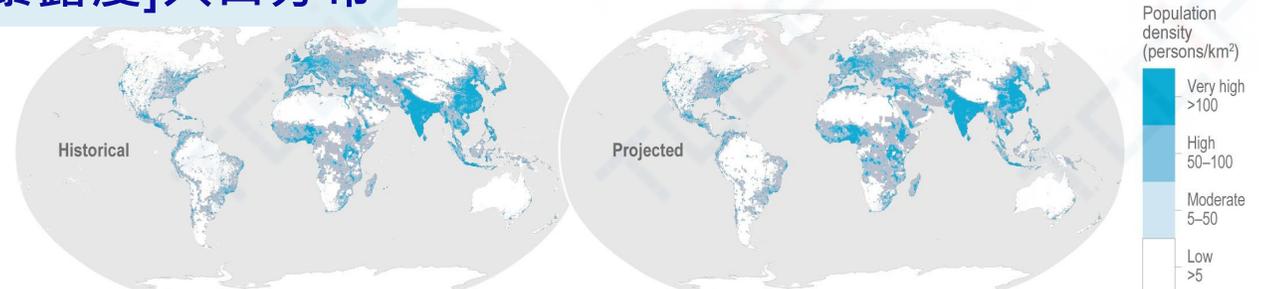
[危害度] 淹水深度



[脆弱度] 淹水防護標準



[暴露度] 人口分布

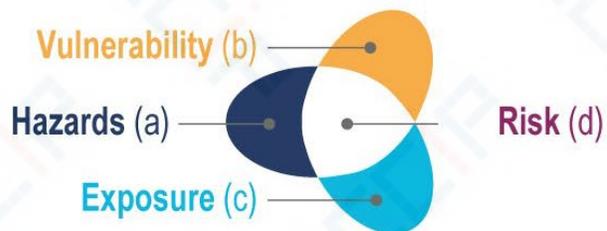
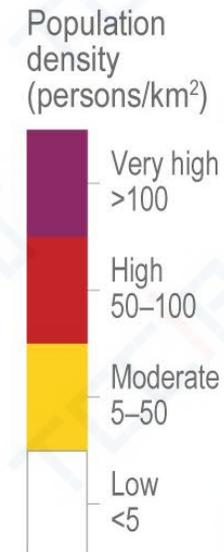
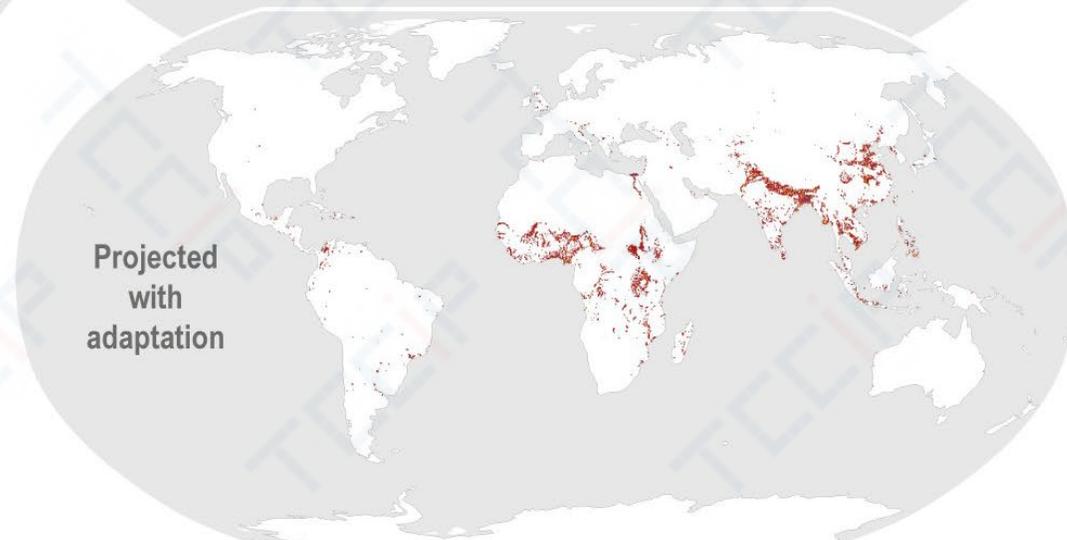
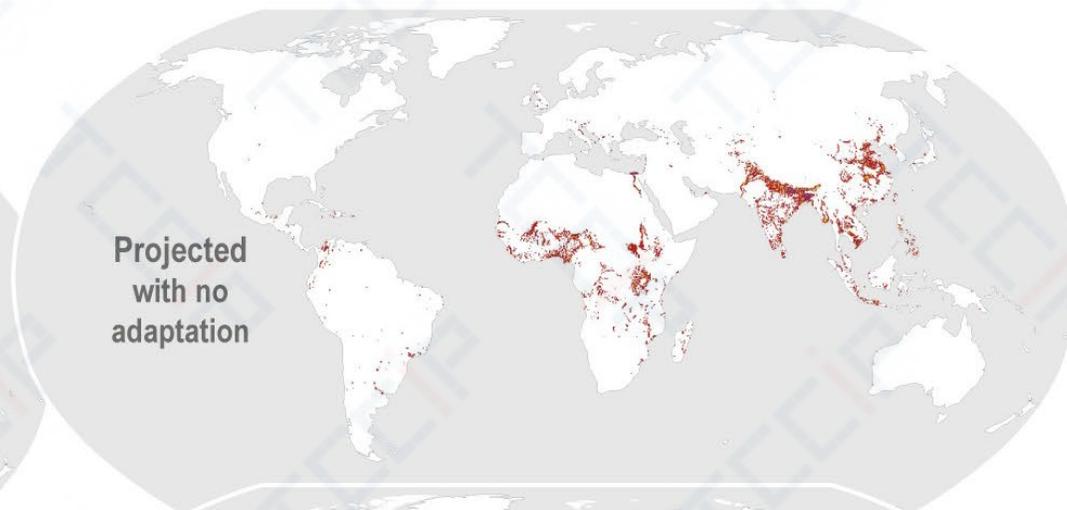
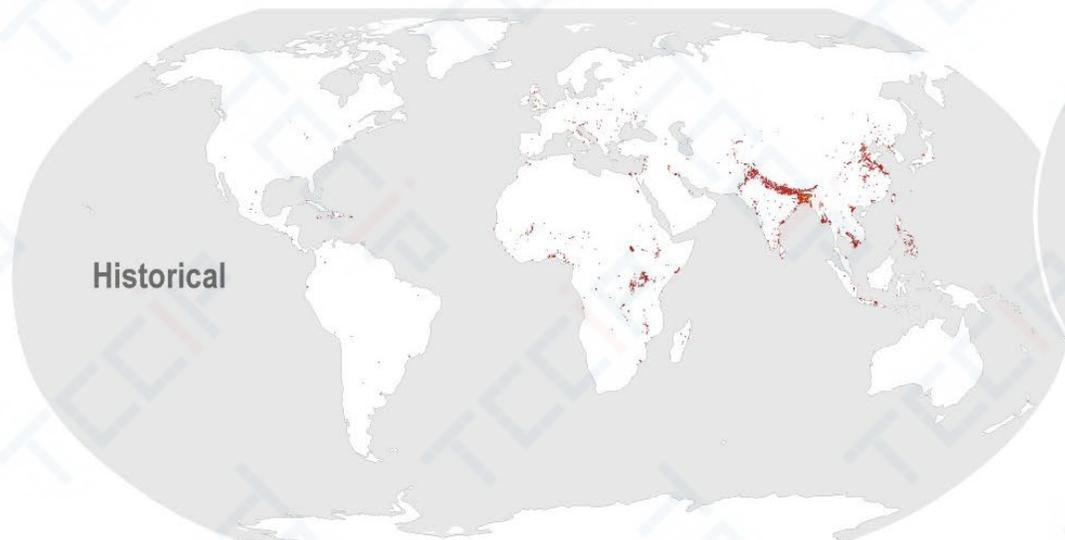


過去與未來洪水的風險 (P4-28~30)

[淹水風險圖]

淹水深度 > 0 m 的影響人口風險分布 (平均值)

(d) Population exposed to river flooding (risk)



氣候變遷情境洪水災害影響(P4-69)

- ❖ 人們高度相信氣候變遷和預計的社會經濟發展將增加受災地區的風險，導致直接洪水損失大幅增加，在所有暖化程度上都增加數倍。
 - 專家估計如果升溫 2°C 和 4°C，受河流洪水影響的人口將分別增加120% 和 400%，如果升溫 2°C，而沒有社會經濟影響發展，受災人口將增加170%(Alfieri et al., 2017)。
 - 在 SSP3 情景下，隨著人口的增加，死亡人數增加134%。預計南亞、東亞和東南亞國家受河流洪水影響的人數最多，預計每個國家每年有數千萬人受到影響 (Dottori et al., 2018)。
 - 與 1991-2005 年相比，氣候變遷導致 2071-2100 年期間全球死亡率增加 2.8% 至 28.8%，但社會經濟變化(約增加131.3%)和相關的脆弱性變化(約減少72.1%)對預計洪水相關死亡率的影響比單獨的氣候變遷影響更大(Kinoshita et al., 2018)。
 - 若能有充份的調適操作，可使預計的洪水損失減少至1/20 (Winsemius et al., 2016)。

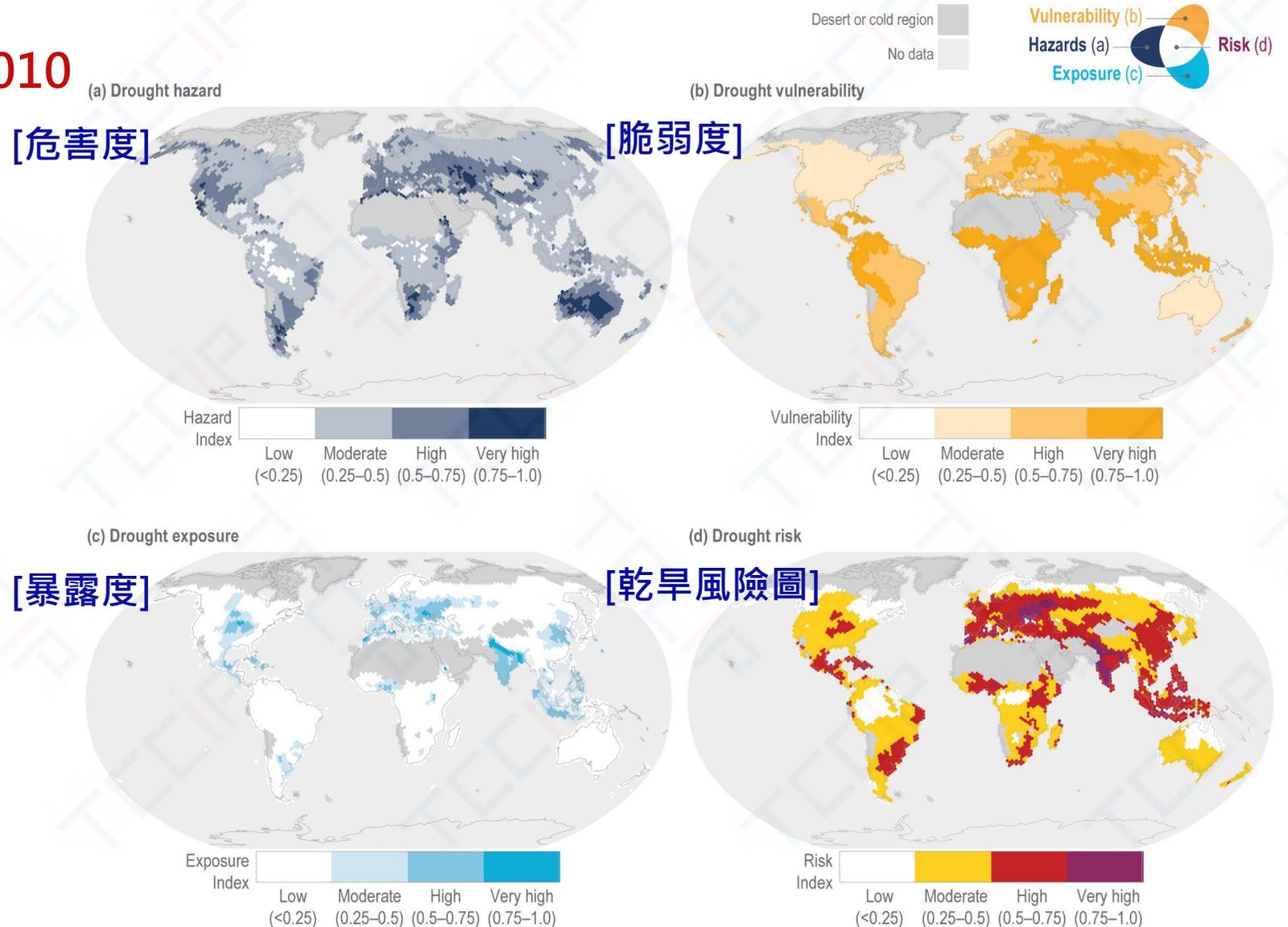
乾旱的危機 (P4-32~34)

- ❖ 不同類型的乾旱，它們在過程中相互關聯(Douville et al., 2021)。氣象乾旱(持續低降水期)隨著時間的推移傳播到土壤水分、水流和儲水量不足，導致供水減少(水文乾旱)。大氣蒸發的需求增加，相對增加了植物的水分壓力，導致農業和生態乾旱。
 - 水文乾旱會導致飲用水短缺，並造成巨大的經濟損失。農業乾旱通過作物損害和減產 (Tigkas et al., 2019)。
 - 生態乾旱增加了野火的風險。乾旱的連鎖效應可能包括缺乏衛生設施引發的健康問題；可能導致人類流離失所、失去社會聯繫、地方感和文化認同感；和遷移到不安全的定居點 (Serdeczny et al., 2017)。

乾旱的風險 (P4-32~34)

Current global drought risk Averages for period 1901-2010

綜合考慮災害、脆弱性和暴露時，人口稀少的地區（例如苔原和熱帶森林）的乾旱風險較低，而人口稠密的地區和農作物和畜牧業為主的地區的乾旱風險較高（例如南亞和中亞、東南部、南美洲、中歐和美國東南部）。



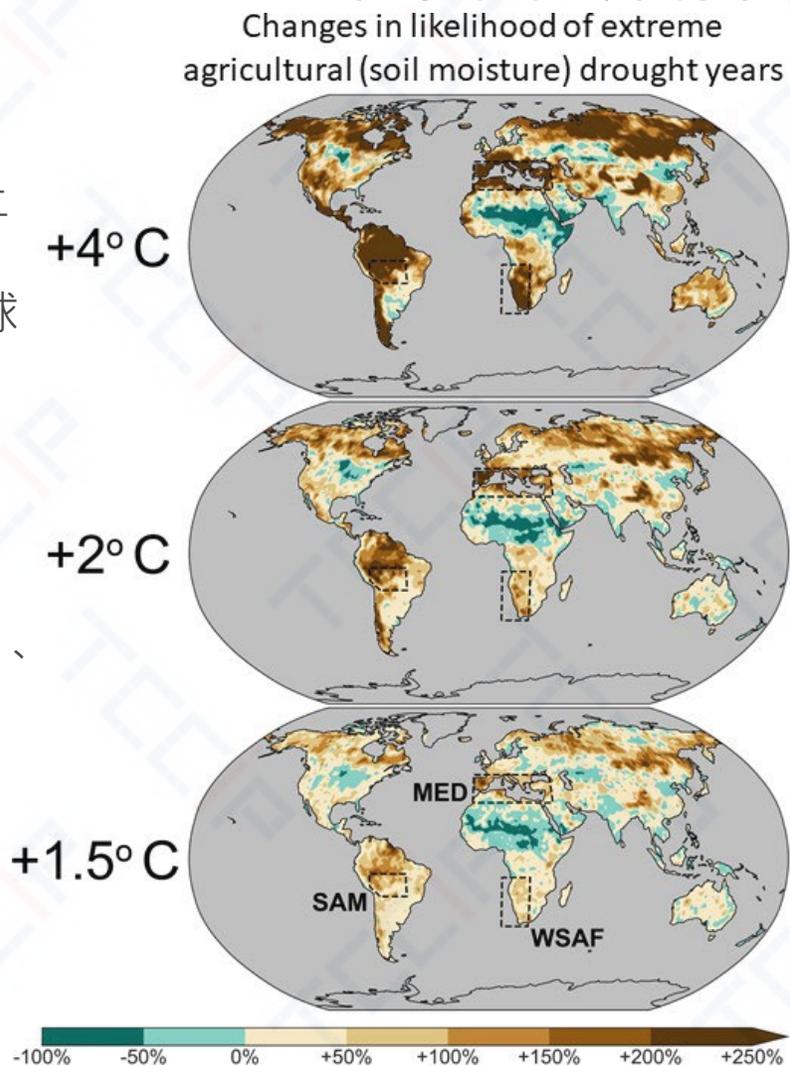
未來乾旱的風險(P4-72)

- ❖ 受乾旱頻率和嚴重程度增加的土地總面積將擴大，在地中海、南美洲西南部和北美西部，未來的乾旱化將遠超過上個千年的變化幅度 (Douville et al., 2021)；氣候變遷對不同形式乾旱影響的預測之間存在許多一致性，但在某些地區也存在顯著差異。(Seneviratne et al., 2021)。
 - 許多地區的乾旱預測變化取決於季節，並且在年平均變化中可能並不明顯。例如，在亞洲西北部，水文（徑流）乾旱頻率預計將在秋季和冬季減少 50-100%，但在春季和夏季增加多達 250% (Cook 等，2020a)。相比之下，氣象（降水）乾旱頻率預計全年增加高達 350%。

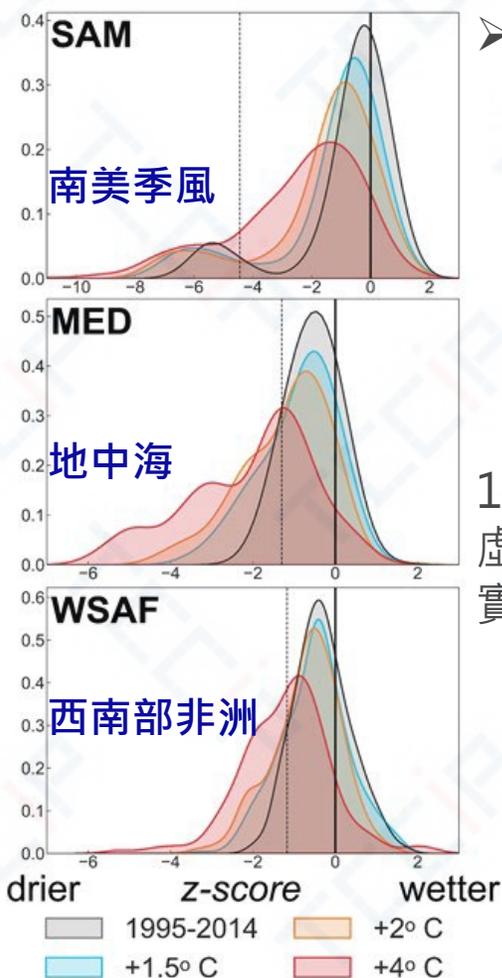
未來農業乾旱的風險(P4-73)

極端單年農業乾旱事件發生機率

- 在全球升溫 1.5°C 時，預計南美洲北部、地中海、中國西部以及北美和歐亞大陸的高緯度地區發生極端農業(土壤水分乾旱)的可能性至少增加一倍(增加 100%)。在全球升溫 2°C 時，這些地區的可能預計增加150~200%，且受影響的區域會擴大，而在全球升溫 4°C 時，這種可能性將增加200%以上。
- 在北美西南部、非洲西南部、南亞和澳大利亞，全球升溫 4°C 時，農業乾旱的可能性也會增加 100%~250%。
- 預計北美中部、薩赫勒、非洲之角、印度次大陸東部以及西亞和東亞部分地區發生極端乾旱的可能性將降低。



Probability distributions of annual soil moisture anomalies



➤ 在氣候模型集合中，區域結果的範圍通常隨著全球暖化而增加。這種結果範圍的擴大可能會增加整個整體發生極端乾旱的可能性。

1995-2014
虛線：10百分位
實線：50百分位

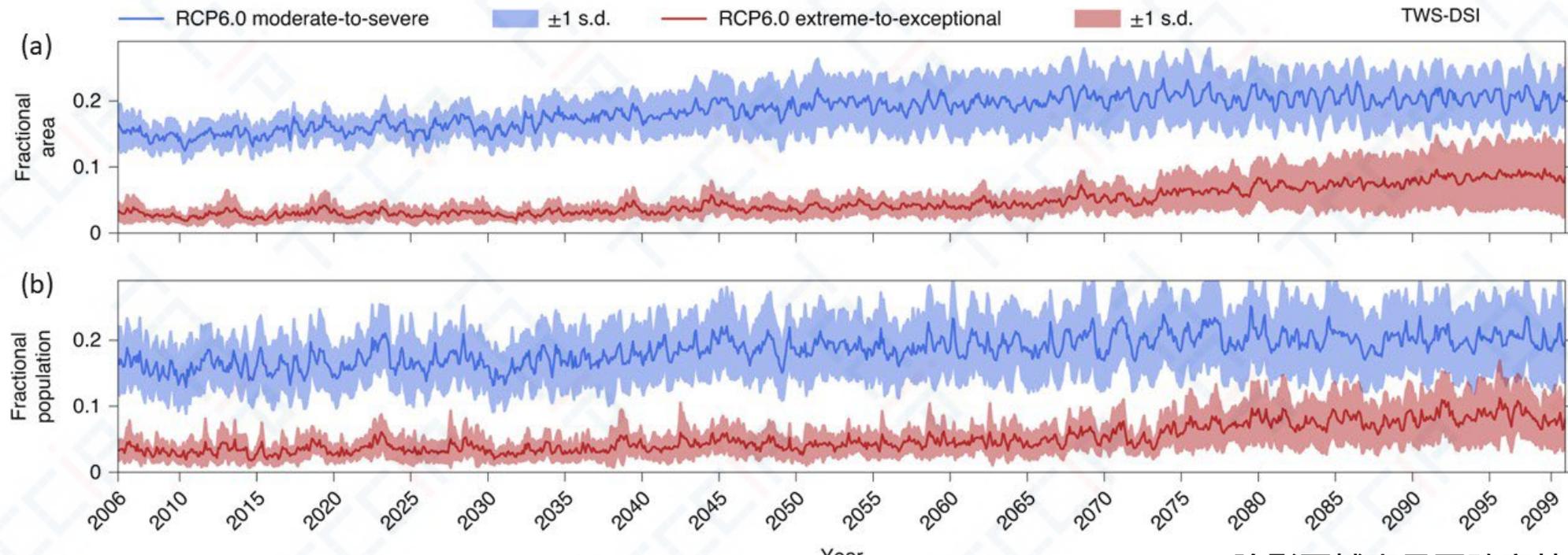
未來乾旱影響的人口變化(P4-74)

Terrestrial Water Storage – Drought Severity Index (TWS-DSI) 乾旱嚴重程度指數

(a) 全球陸地面積分數

(藍色) 中度至重度乾旱下： $-0.8 \leq \text{TWS-DSI} < -1.6$

(紅色) 極端到異常乾旱： $\text{TWS-DSI} < -1.6$ 。



(b) 使用 SSP2 人口預測 乾旱的全球人口比例

(藍色) 暴露於中度至重度

(紅色) 極端至異常

陰影區域表示不確定性為 ± 1 標準偏差

(Pokhrel et al., 2021)

評估水文變化及其影響區域彙整表(4-89)

➤ 圖4.20(對應章節4.5)

➤ 物理變化：向上/向下三角形分別是指測量變量的數量或頻率的增加/減少，信賴水準(level of confidence)是指對發生變化的信賴程度。

➤ 對生態系統和人類系統的影響：加號或減號分別表示觀察到的水文變化對給定系統的影響是正面或負面。

➤ 信賴水準是指將對該系統的影響歸因於氣候引起的水文變化的信賴程度，其中水文影響可能與系統的整體變化不同。

Regional synthesis of assessed changes in water & consequent impacts

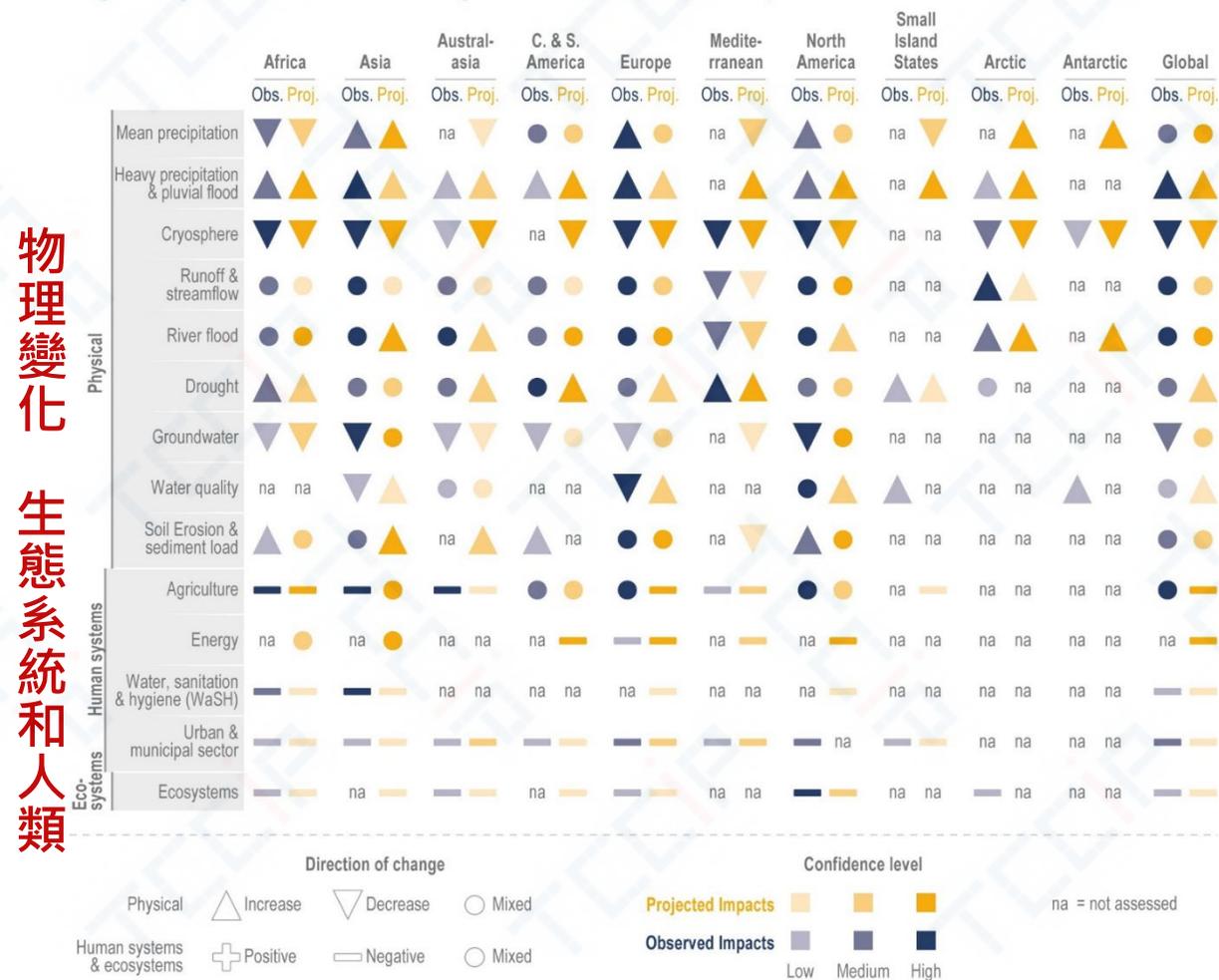
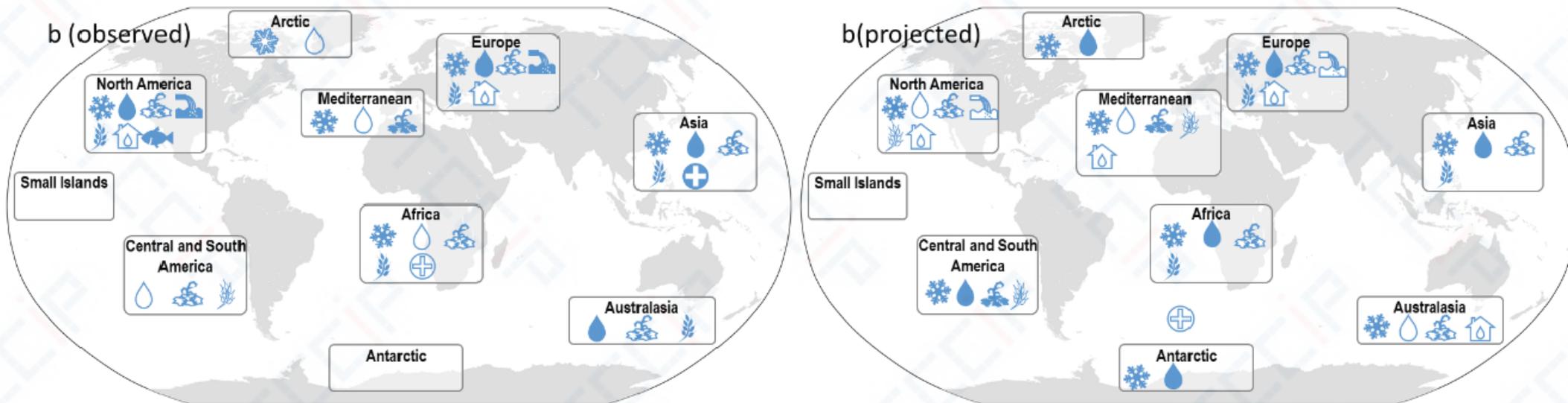


圖4-20(P4-89)

歷史觀測

未來預測



物理變化

Physical change



Cryosphere

冰凍圈



Flood

洪水



Drought

乾旱



Water quality

水質

Filled symbols: high confidence in change

Outlined symbols: medium confidence in change

Hydrological Impact on natural and human systems



Agriculture

農業



Water, Sanitation and Hygiene

水、環境與個人衛生



Urban water

都市水環境



Ecosystem

生態系統

Filled symbols: high confidence in hydrological impact

Outlined symbols: medium confidence in hydrological impact

水文對自然和人類系統的影響

4.3 觀測到的當前水文變化的領域影響

Observed Sectoral Impacts of Current Hydrological Changes

- 觀測到的當前水文變化的領域影響。
- 評估從 AR5 至今出現的新證據，這些證據表明**環境品質、經濟發展和社會福祉**受到**水文環境變化的影響**，因為經濟、環境和社會的許多方面都依賴於水資源。
- 綜合的定性和定量數據，顯示**社會對水引發的災害（如洪水和乾旱）和其它水相關的暴露程度明顯增加**，增加了大多數領域和地區的脆弱性，幾乎沒有例外。
- 對於大多數區域而言，氣候變遷引起的水文變化是幾個因素之一，通常與城市化、人口增長和經濟差距擴大結合，這些因素增加了社會脆弱性，並導致全球各地的社區生產力和文化習俗的改變。

4.5 預計的領域水相關風險

Projected Sectoral Water-related Risks

- 已在世界各地區記錄了觀察到的與水相關的領域影響。預計氣候變遷將進一步加劇其中許多風險，尤其是在升溫超過 1.5°C 時（圖 4.20）。
- 風險為人類和自然脆弱性、特定領域的暴露度以及作為氣候變遷驅動因素的氣候災害相互作用的結果。
- 雖然本章的重點是氣候變遷及其對水安全的影響，但對於許多影響領域和地區來說，**社會經濟條件的動態是核心驅動力**。

4.6 主要風險與調適

Key Risks and Adaptation Responses in Various Water Use Sectors

- 本章節說明**各用水領域**的主要風險和調適應對措施。
- 人為造成的氣候變遷已影響到水循環 (4.2)，預計風險會隨著全球不同的升溫情境而加劇 (4.4)，影響已經在經濟和生態系統的所有面向 (4.3) 中顯現出來，並且預計會進一步加劇 (4.5)。
- 為應對氣候和非氣候引起的水資源不安全，世界各地的人民和政府正在各個領域上採取各種調適措施。
- 此外，還有一些針對未來調適反應的預計研究。我們藉鑑了 359 個觀察到的調適案例研究和 45 篇關於預計未來調適的文章。有關選擇和納入標準的更多信息，請參見 SM4.2。
- 本節記錄了不同用水部門的調適反應（當前和未來）。
- 在接下來的章節中（4.7.1、4.7.2、4.7.3）中，將討論當前調適的好處以及未來調適的有效性。

各領域的影響摘要彙整(章節4.3、4.5、4.6)

第4章：水

- 4.1 水安全在氣候變遷和氣候適應型發展中的中心地位
- 4.2 觀測到的氣候變遷引起的水文循環變化
- 4.3 觀測到的當前水文變化的影響領域
- 4.4 氣候變遷導致的水文循環預計變化
- 4.5 預計的水相關領域風險
- 4.6 各用水領域的主要風險和適應應對措施
- 4.7 與水有關的適應的益處和有效性、它們的限制和權衡
- 4.8 通過系統轉型實現水安全、可持續和氣候適應型發展的可利原則

➤ 報告提到的各個面向

1. 農業
2. 能源與工業用水
3. 水、環境與衛生
4. 城市與城郊地區
5. 淡水生態系統
6. 與水有關的衝突
7. 人的流動與遷移
8. 文化用水(原住民、當地社區、傳統民族等)

彙整及文字整理

面向	4.3 Observed	4.5 Projected	4.6主要風險和調適應對措施
農業	<ul style="list-style-type: none"> • 溫帶氣候，產生一些有利的影響；亞熱帶/熱帶氣候，洪水和乾旱對農業生產產生負面影響（高信心） • 貧困及原住民受到的影響最為嚴重，因為依賴降雨為主要水源，對於氣候變遷屬於高風險且低調適能力(高信心)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 擴大的農田及集中耕作造成的用水需求變化，預計全球農業用水量將增加（高信度）。 • 部分溫帶旱地可能變得適合耕種；然而，由於降水型態和可用水量的變化，全球依賴降雨的農業型態將面臨的風險增加（高信心）。 • 經濟作物將受到水的影響而增加經濟風險（中等證據，高一一致性）。 • 依賴融雪進行灌溉的地區將受到可用水量大幅減少的影响（高信心）。 	<ul style="list-style-type: none"> • 農業部門與水有關的調適得到廣泛記錄，其中灌溉、農業用水管理、作物多樣化和改進的農藝實踐是最常見的調適措施（高信心） • 但是隨著暖化加劇，未來農業用水的調適能力會降低（中等證據，高一一致性）。
能源與工業用水	<ul style="list-style-type: none"> • 由於乾旱、河川流量季節性變化以及環境水溫升高，氣候變遷對全球水力發電和火力發電產生了負面影響，這一點很有信心。 <p>(補充：文章有提到火力發電需要水來冷卻機組)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 全球由於河流逕流變化和環境水溫的升高，預計水力和火力發電的容量，將有部分增加或減少（高信心）。 • 未來，能源和工業部門對淡水的需求預計將顯著增加，引發跨部門的水資源競核。儘管氣候變遷也給採礦和其他用水密集型行業帶來風險但由於研究有限，很難量化這些風險。 	<ul style="list-style-type: none"> • 能源和工業部門的公司已經採取了多種調適措施來減少水資源帶來的壓力，然而，殘餘的風險仍將存在，尤其是在較高的升溫情境下（中等信心）。
水、環境與衛生	<ul style="list-style-type: none"> • 水、環境與衛生相關的家庭用水不安全和疾病發病率是地理、政治、社會和環境決定因素、脆弱性和氣候變遷的產物（Bardosh 等人，2017 年；Stoler 等人，2021 年）。 	<ul style="list-style-type: none"> • 氣候變遷預計會損害水、環境與衛生的服務，加劇脆弱性並增加健康風險（中等證據，高一一致性）。 • 需要對未來氣候變遷影響導致的疾病、國家和人群特定風險進行更多研究（Baylis，2017 年；Bhandari 等人，2020 年；Harper 等人 2020 年）。 	<ul style="list-style-type: none"> • 確保獲得具有氣候調適能力的水、環境與衛生基礎設施是一項關鍵調適戰略，可以讓保護的目標免受到與水有關的氣候變遷相關危害（高信心） • 增加水資源供應和提升管理，是重要的調適策略（高信度）。 • 可靠、安全的飲用水，可減少相關的對身心不利的影響（有力證據，中等一致性）。 • 水、環境與衛生基礎設施的擴充和更新，增加農村和城市環境，對氣候變遷影響的複原力（證據有限，一致性高）

彙整及文字整理

部門	4.3 Observed	4.5 Projected	4.6主要風險和調適應對措施
城市與城郊地區	<ul style="list-style-type: none"> 一些城市受到氣候變遷影響，加劇乾旱和洪水等與水有關的災害（高信心）。 需要進一步研究以確定發展中國家城市地區與水有關的氣候變遷影響的程度和性質（高信心）。 	<ul style="list-style-type: none"> 人口快速增長、城市化、基礎設施老化和用水變化導致的城市和城郊地區更容易受到極端降雨和乾旱的影響，特別是在治理能力有限的經濟體（高信心）。 預計由於氣候變遷（4.4.3）而改變的河川流量將影響水庫入流量，衝擊水庫的運作，例如淤積和水質變差（高信心）。 	<ul style="list-style-type: none"> 儘管一些國家的城市、城郊和市政部門正在進行與水相關的調適工作，但是實際執行上仍存在治理、技術和經濟上的障礙，特別為發展中國家（高信心）。
淡水生態系統	<ul style="list-style-type: none"> 氣候變遷是淡水生態系統消失和退化以及許多依賴淡水的人口空前減少和滅絕的關鍵驅動因素之一。 主要的關鍵驅動因素是土地利用和水污染的變化（高信度）。 	<ul style="list-style-type: none"> 預計降水和溫度的變化將影響所有類型的淡水生態系統及其物種。 在所有情境，除了溫室氣體排放最低的情境之外，淡水生物多樣性減少程度，預計將與暖化和降水變化相關（中等證據，高一一致性）。 	<ul style="list-style-type: none"> 應對淡水生態系統變化的調適措施已在世界許多地方實施。 然而挑戰依然存在，包括改善其有效性的證據基礎、擴大措施的實施、跨部門合作主流化及獲得更多的調適資金（中等信心）。
與水有關的衝突	<ul style="list-style-type: none"> 對於觀測到的氣候變遷與衝突之間的因果關係沒有達成共識。 儘管如此，仍有證據表明，這些緊張局勢可能會因氣候變遷的程度和其他伴隨的社會經濟和政治因素而加劇。 	<ul style="list-style-type: none"> 氣候變遷對可能會加劇緊張局勢，尤其是在缺乏完整的體系情況下，然而衝突是否發生仍與地區的社會經濟及政治因素有關。 有證據表明氣候變遷的影響，對於原本面臨水資源壓力或脆弱易發生衝突的地區帶來了額外的壓力（中等信心）。 	<ul style="list-style-type: none"> 與水有關的衝突背景下的調適還受到經濟、制度、政治、發展競爭（Anguelovski 等人，2014 年）和性別考慮（Sultana，2014 年；Chandra 等人，2017 年）的限制，這需要在設計調適計劃或措施時予以考慮。
人的流動與遷移	<ul style="list-style-type: none"> 氣候變遷對區域遷移的影響互有消長（證據確鑿，中等一致性）。結果主要取決於社會經濟、政治和環境背景（中等信心）。 	<ul style="list-style-type: none"> 預測未來由於氣候變遷造成遷徙的研究有限，並顯示出關於移民數量及其目的存在重大不確定性（證據有限；中等一致性）。 	<ul style="list-style-type: none"> 促進成功遷徙及包容性的措施，可能有助於調適氣候變遷造成的水文變化（中等信心）。
文化用水 (原住民、當地社區、傳統民族等)	<ul style="list-style-type: none"> 土著人民、當地社區和傳統人民的文化用水正受到氣候變遷的影響（高信度）。 這對文化習俗以及糧食和收入安全產生了影響，特別是在北極、高山地區和低海拔的小島嶼。 	<ul style="list-style-type: none"> 氣候變遷導致的水文變化，對文化用水和具有文化意義的生態系統和物種，預計將對土著人民、當地社區和傳統人民的身體健康構成風險（高信心）。 	<ul style="list-style-type: none"> 儘管一些土著人民、當地社區和傳統人民能夠並且正在調適水文變化，對於其重要文化及信仰的影響和風險（中等信心），但這些策略受到結構性的障礙和調適的限制（高信心）。

圖4.22與表4.8對應(對應章節4.6)

表4.8項目	Name of the adaptation response
1	種植模式和作物系統的變化 Changes in the cropping pattern and crop systems (145 responses)
2	改良作物品種和農藝實踐 Improved crop cultivars and agronomic practices (139 responses)
3	灌溉和水管理實踐 Irrigation and water management practices (115 responses)
4	水土保持/保護 Water and soil conservation (102 responses)
5	集體行動、政策和機構 Collective action, policies and institutions (95 responses)
6	遷移和非農多樣化 Migration and off-farm diversification (92 responses)
7	畜牧漁業相關 Livestock and fishery-related (63 responses)
8	培訓和能力建設 Training and capacity building (57 responses)
9	農林業和林業相關對策 Agro-forestry and forestry-related responses (56 responses)
10	經濟和財政激勵 Economic and financial incentives (54 responses)
11	基於IK and LK的調適 IK and LK based adaptations (41 responses)
12	降低洪水風險的措施 Flood risk reduction measures include (40 responses)
13	城市水管理 Urban water management (22 responses)
14	能源相關的調適 Energy related adaptations (8 responses)
15	水、環境與衛生相關調適 Water, Sanitation and Hygiene related adaptations (5 responses)
16	任何其他，包括應對策略 Any other including coping strategies (20 responses)

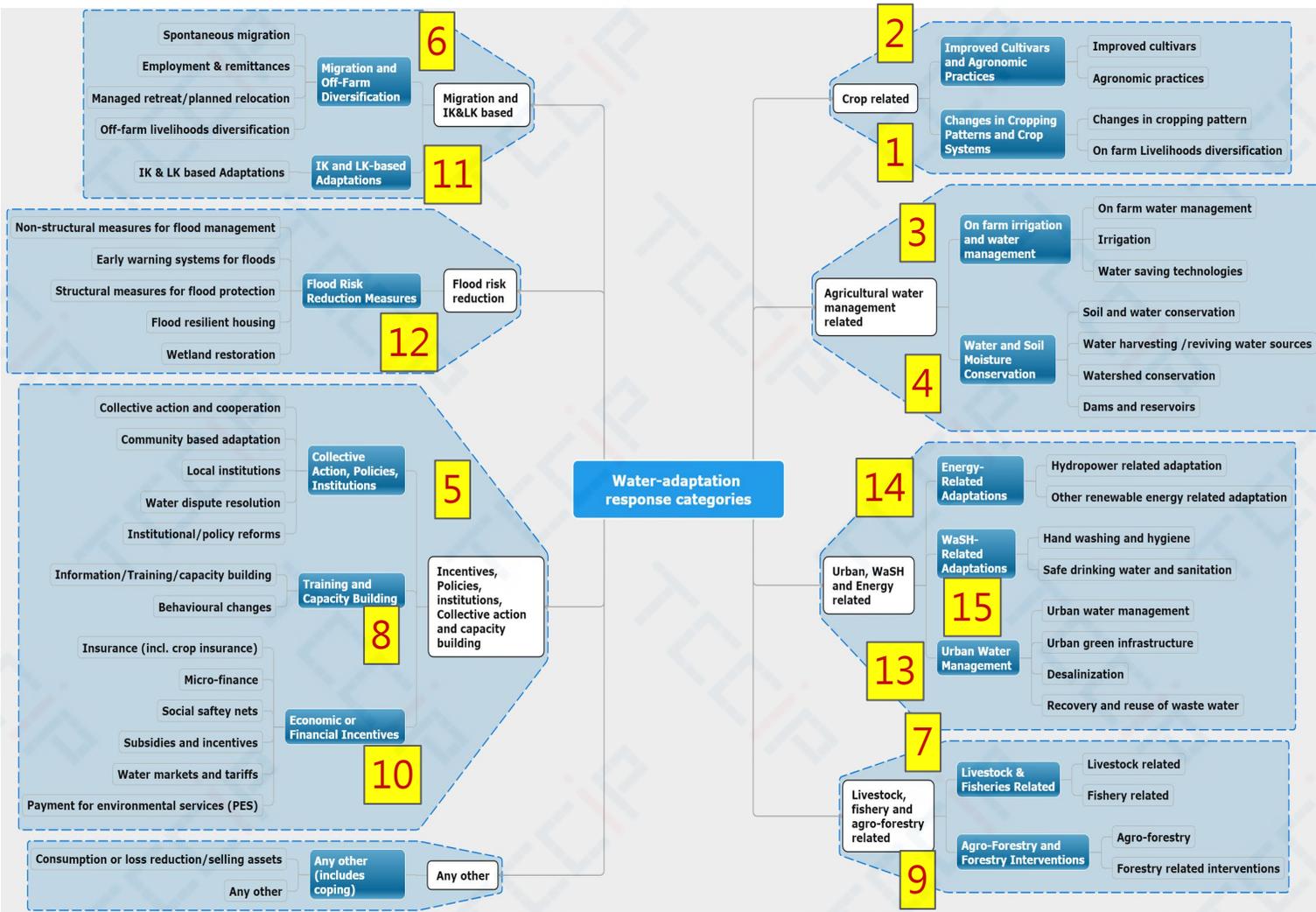


表 4.8 標題說明(項目對應圖4.22)

- Illustrative examples of case studies of water-related adaptation responses where outcomes were measured (n=359). These cases include instances where adaptation benefits were positive, negative, or neutral. Examples also include studies with or without causal and correlation links between adaptation response and outcomes (categories 1, 2 and 3 studies as described in caption of Figure 4.23. The purpose of the table is to provide a list of illustrative examples to showcase the wide range of adaptation responses that are being implemented. Table 4.9 zooms into examples where adaptation had positive benefits on any of the selected parameters described in 4.7.1.2.
- 表4.8說明這些案例案例(n=359)，其與水相關的調適策略反應案例的研究結果。
- 這些案例包括調適的效益為正面、負面或中性的情況。案例還包括在調適反應和結果之間有或沒有因果關係和相關性的研究。
- 圖 4.23 標題中描述的第 1、2 和 3 類研究。該表的目的是提供一個說明性示例列表，展示正在實施的調適響應。
- 表 4.9 更深入說明調適對 4.7.1.2 中描述的任何選定參數產生的正面效果。

表 4.8 (1/3)

Name of the adaptation response	Description of adaptation response
種植模式和作物系統的變化 Changes in the cropping pattern and crop systems (145 responses)	種植模式的變化 ；例如，在哥斯達黎加引進甘蔗和大米；埃塞俄比亞和津巴布韋的作物多樣化；坦桑尼亞的作物多樣化。 播種和收穫時間的變化 ，例如在中國；印度和巴基斯坦農場多樣化，例如法國的綜合作物-畜牧系統
改良作物品種和農藝實踐 Improved crop cultivars and agronomic practices (139 responses)	改良作物品種 ，例如尼泊爾的短期水稻品種；孟加拉國耐鹽鹼水稻品種；馬拉維、尼日利亞、津巴布韋、烏干達的耐旱玉米品種。 改進農藝實踐 ，例如在坦桑尼亞馬拉維進行保護性農業以保持土壤水分；贊比亞氣候 智能型農業 實踐；印度的 水稻乾濕交替和直播 。
灌溉和水管理實踐 Irrigation and water management practices (115 responses)	灌溉 ，例如在智利建設當地 灌溉基礎設施 ；資助加拿大的 社區水井 ；在泰國 鑽井 ；埃塞俄比亞的 灌溉 ；蘇丹的 噴灌 ；夜間灌溉調度以 減少英國的蒸發 需求農場 用水管理 和 節水技術 ，例如在中國使用地表 管道輸送灌溉水 ；中國的 滴灌 ；印度 節水措施 的使用
水土保持/保護 Water and soil conservation (102 responses)	農場水土保持/保護措施 ，例如在布基納法索；埃塞俄比亞的 梯田 和等高堤。通過肯尼亞的 沙壩集水 ；烏干達和印度的就地和 異地集水流域保護計劃 ，例如在埃塞俄比亞。水體復興；例如，在葡萄牙建立 人工湖 。
集體行動、政策和機構 Collective action, policies and institutions (95 responses)	集體行動與合作 ；例如，危地馬拉 解決衝突 的基層集體行動；日本在乾旱期間集體決定 減少取水量 。孟加拉國以 社區為基礎 的調適，蒙古以 社區為基礎的牧場管理 。 地方機構 ，例如秘魯減少災害風險和農業的多利益 平台 ；和幾個非洲國家； 調適學習計劃 。 水糾紛解決 ；例如，哥斯達黎加的 水沖突緩解 。 體制和政策改革 ；例如，澳大利亞當地的 水和土地利用規劃工具 ；荷蘭的荷蘭 三角洲計劃 ；在瑞典實施歐盟 洪水指令 。

表 4.8 (2/3)

Name of the adaptation response	Description of adaptation response
<p>遷移和非農多樣化 Migration and off-farm diversification (92 responses)</p>	<p>自發遷移，例如，所羅門群島的自願遷移以及埃塞俄比亞和巴基斯坦的農村向城市遷移。就業和匯款，例如在塞內加爾。計劃搬遷；例如，中國的大規模陝南移民計劃；孟加拉國洪水易發社區的重新安置。非農多樣化；例如，在尼日爾、加納、孟加拉國遷移到城鎮並從事非農勞動賺取工資；在埃塞俄比亞轉向非牧區生計。</p>
<p>畜牧漁業相關 Livestock and fishery-related (63 responses)</p>	<p>與牲畜有關的，例如埃塞俄比亞和肯尼亞的牲畜品種多樣化；為巴基斯坦的牲畜投保；美國範圍管理實踐的變化漁業相關，例如加納和坦桑尼亞的非破壞性漁具和技術</p>
<p>培訓和能力建設 Training and capacity building (57 responses)</p>	<p>信息、培訓和能力建設；例如，肯尼亞和塞內加爾的氣候信息服務；菲律賓培訓促進關於挖掘運河以避免長期內澇的新知識；埃塞俄比亞的土壤保持培訓計劃。</p>
<p>農林業和林業相關對策 Agro-forestry and forestry-related responses (56 responses)</p>	<p>印度、肯尼亞、尼日利亞的農林業相關措施，加納的農民管理的自然再生。FMNR林業相關；例如，在孟加拉國和哥倫比亞通過種植耐鹽樹進行沿海造林。</p>
<p>經濟和財政激勵 Economic and financial incentives (54 responses)</p>	<p>保險；印度尼西亞的水稻作物保險計劃；南非的農業保險計劃。小額信貸和信貸計劃，例如在孟加拉國。社會安全網；例如，巴西的基於食品的安全網計劃，埃塞俄比亞的以工代賑計劃。補貼和激勵措施，例如馬拉維的農業投入補貼計劃；加拿大的融資計劃，以幫助生產者獲得資源，以改善/維持土壤、水和生物多樣性的質量，以緩解乾旱。水市場和關稅；例如，西班牙薩拉戈薩的城市水費；中國的非正規地下水市場。支付生態系統服務費用，例如在墨西哥。</p>
<p>基於IK and LK的調適 IK and LK based adaptations (41 responses)</p>	<p>在印度利用 Konda Reddy's 的傳統知識來改變農林業實踐；以及孟加拉國的 Khasia 和 Tripura 社區；巴西亞馬遜河漫灘的小規模漁民使用當地生態知識；斯里蘭卡傳統的水資源共享系統 “bethma”；印度本土的集水方法</p>

表 4.8 (3/3)

Name of the adaptation response	Description of adaptation response
<p>降低洪水風險的措施 Flood risk reduction measures include (40 responses)</p>	<p>洪水管理的非結構性措施；例如，印度尼西亞日常實踐的變化；英國特定地方的社會結構。洪水管理的結構措施；改善印度尼西亞的排水系統；莫桑比克貝拉的防洪牆；在尼日利亞疏浚和建設涵洞。預警系統；例如，尼泊爾、印度尼西亞、尼日利亞的洪水預報。防洪外殼；例如，圭亞那、巴基斯坦、越南、菲律賓的高蹺房屋。濕地恢復；例如，在美國和荷蘭。</p>
<p>城市水管理 Urban water management (22 responses)</p>	<p>城市水管理，例如在西班牙和馬來西亞為永續城市排水系統納入低影響開發和城市設計特點；幾個歐洲國家的需求管理和關稅改革。綠色基礎設施；例如，瑞典的生態雨水管理和重新歸化進程；法國、加納、印度、肯尼亞、孟加拉國的路面澆水 西班牙的海水淡化</p>
<p>能源相關的調適 Energy related adaptations (8 responses)</p>	<p>水電相關；例如，湄公河流域和尼泊爾的水電利益分享其他與可再生能源相關的項目，例如台灣的“集水植電項目” “Raising Water and Planting Electricity project” in Taiwan</p>
<p>WaSH相關調適 WaSH related adaptations (5 responses)</p>	<p>洗手和衛生，例如在孟加拉國提供廁所和用肥皂洗手安全的飲用水和衛生設施；例如，管道供水，中國</p>
<p>任何其他，包括應對策略 Any other including coping strategies (20 responses)</p>	<p>減少消費、出售資產等；例如，在尼日利亞出售家庭財產和牲畜；加納的消費平滑；減少尼泊爾的消費</p>

圖4.23 (P4-109)

當前與水有關的調適反應的證據數量

Quantity of evidence on current water-related adaptation responses

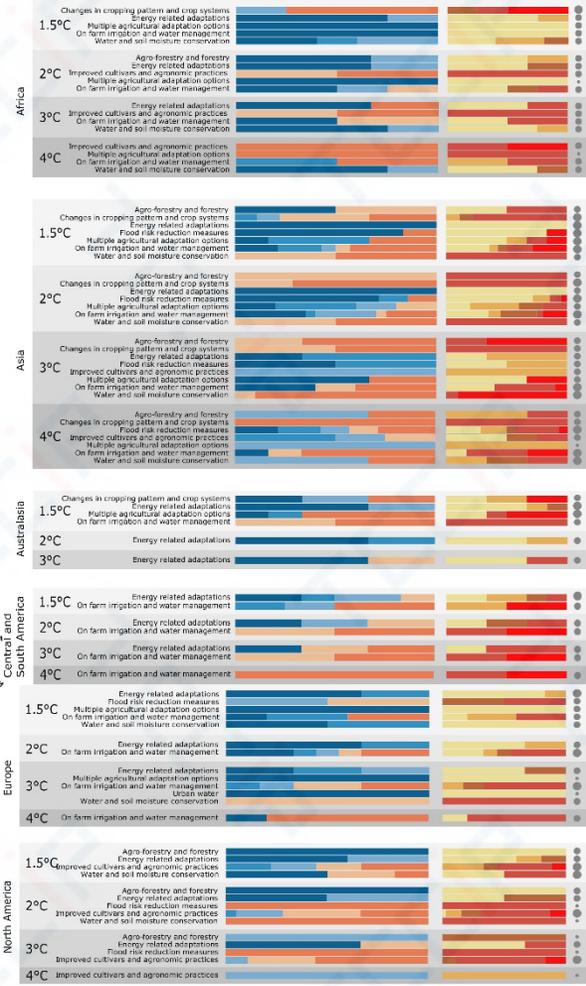
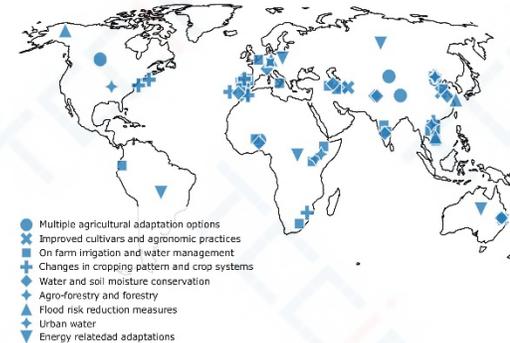
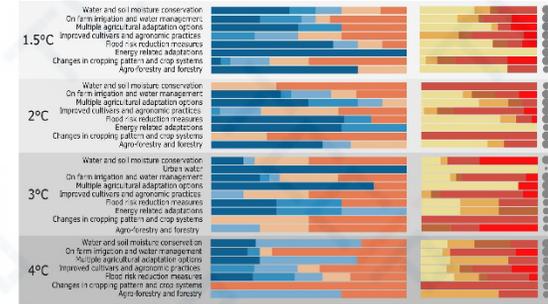


圖4.28(P4-122)

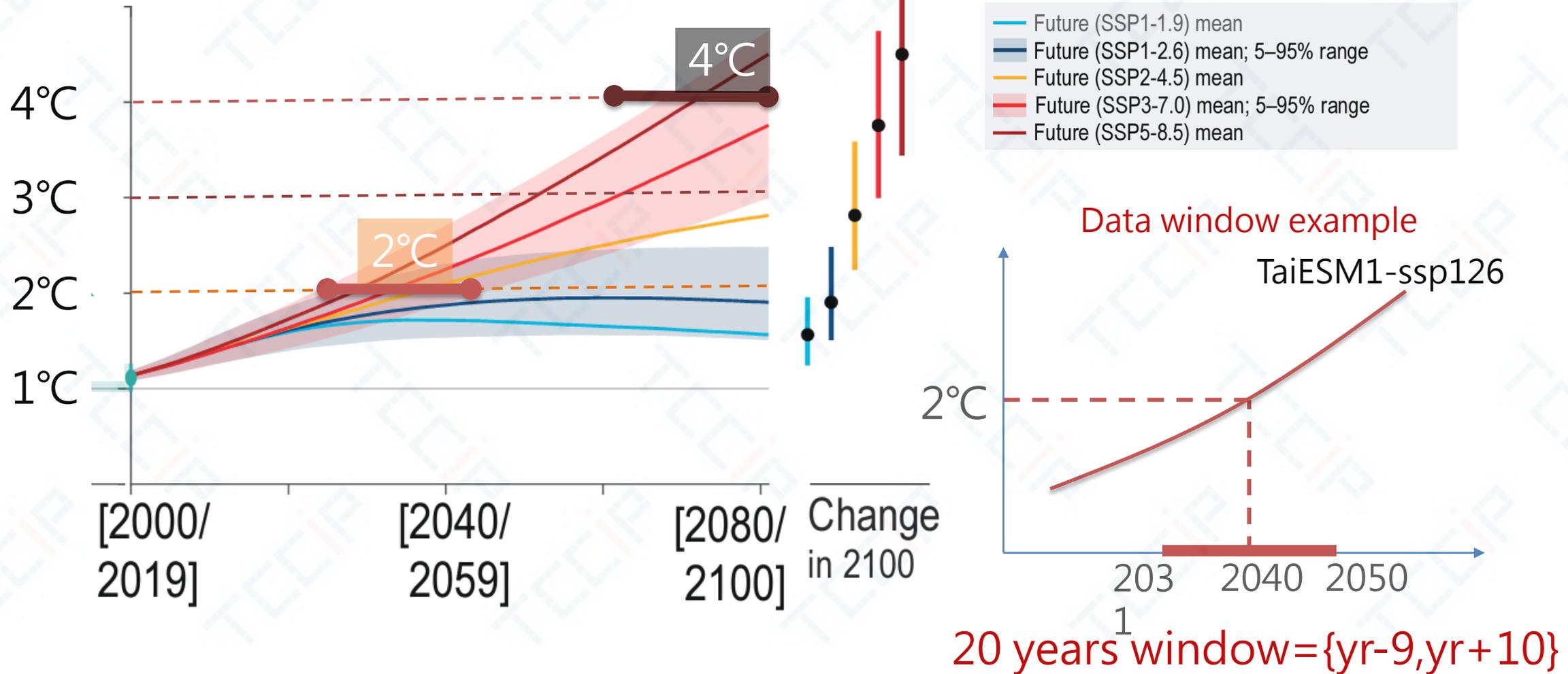
整理各調適方案的恢復效果以及殘餘衝擊

- 全球暖化的平均溫度基期為1850-1900，計算1.5°C、2°C、3°C和4°C下的情況及有效性。
- 根據實施的選項將系統恢復到其基線狀態的能力，有效性根據選項可以降低的風險份額進行分類：
 - 大Large (>80%)
 - 中等Moderate (80-50%)
 - 小Small (<50-30%)
 - 不足Insufficient (<30%)。
 - 如果系統狀態相對於基線有改善，則確定為協同效益(Co-benefits)。
- 殘餘衝擊(Residual impacts)顯示調適後剩餘衝擊：
 - 可忽略不計Negligible (<5%)
 - 小Small (5到<20%)
 - 中度Moderate (20至<50)
 - 大Large (50%或更多)。
 - 如果調適後風險增加，則數據點顯示為調適不良(maladaptation)

Projected Effectiveness of water-related Adaptation
Effectiveness to reduce projected climate risk and residual risk retained after adaptation



Warming Scenarios of 2°C & 4°C



危害指標說明

指標項目	說明
年平均降雨量	評估集水區水源與區域水量總量變化狀況與降雨頻率之變化狀況
年平均連續不降雨日數	
春雨季降雨量(2-4月)	評估集水區水源與區域水量在各時期 (春雨季、梅雨季、颱風季、秋季、冬季) 之雨量變異狀況，以提供相關使用者與實務工作者參考
梅雨季降雨量(5-6月)	
颱風季降雨量(7-9月)	
秋季降雨量(10-11月)	
冬季降雨量(12-1月)	

衝擊指標說明

指標項目	說明
年平均逕流量	影響集水區水源之水量總量變化與季節分配變化狀況
乾季流量(11-4月)	
濕季流量(5-10月)	
年入滲量	影響集水區地下水補注量之指標
春季流量(2~4月)	評估集水區水源與區域水量在各時期 (春雨季、梅雨季、颱風季、秋季、冬季) 之流量變異狀況，以提供相關使用者與實務工作者參考
梅雨季流量(5~6月)	
颱風季流量(7~9月)	
秋季流量(10~11月)	
冬季流量(12~1月)	
年蒸發散	影響集水區水源總量變化狀況

年雨量及最大連續不降雨日改變率(%)

➤ 年雨量為增加趨勢，但最大連續不降雨日也增加，未來遭受的乾旱可能更為極端。

中部地區

	2度C	4度C
年雨量	+1%	+14%
最大連續不降雨日數	+7%	+17%

北部地區

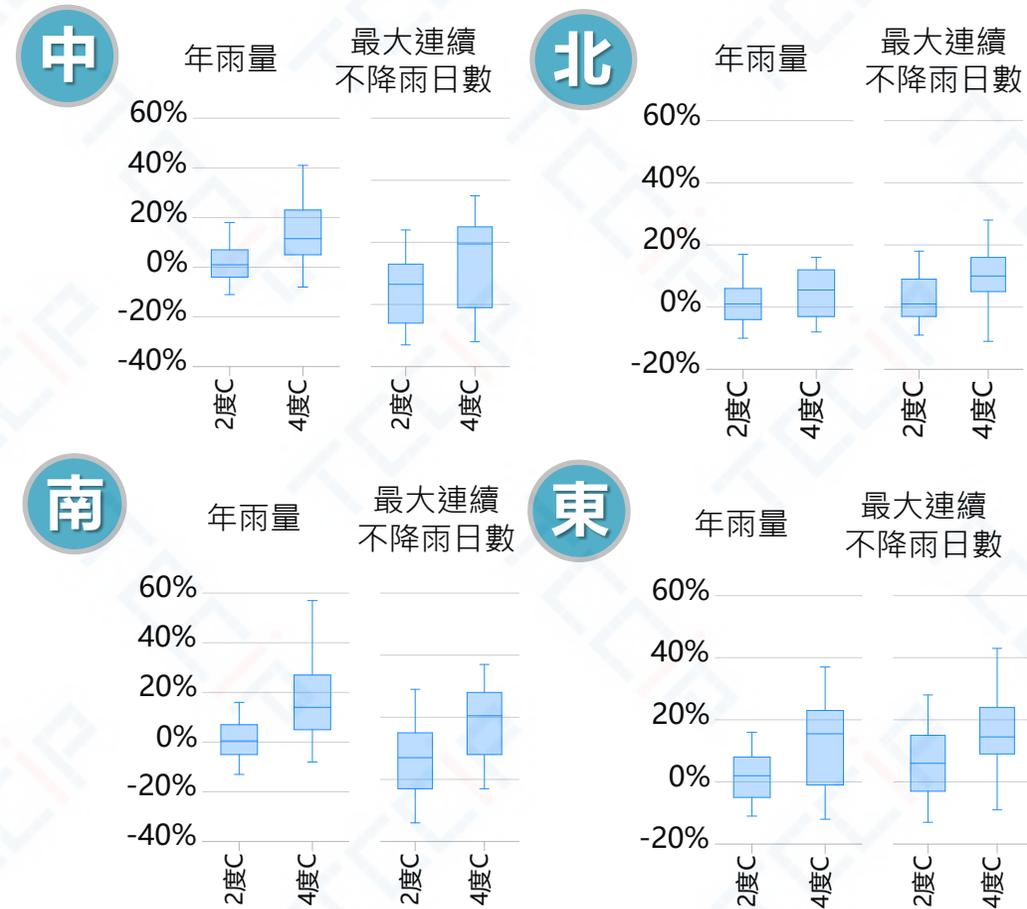
	2度C	4度C
年雨量	+1%	+12%
最大連續不降雨日數	+1%	+14%

南部地區

	2度C	4度C
年雨量	+1%	+15%
最大連續不降雨日數	+7%	+17%

東部地區

	2度C	4度C
年雨量	+2%	+16%
最大連續不降雨日數	+6%	+15%



濕季及乾季流量改變率(%)

➤ 未來情境下集水區的河川流量豐枯差異變大，2度C情境下，北部及東部地區差異增加。4度C情境下，全臺濕季及乾季流量變化更為極端，可能增加水資源調配的難度。

中部地區

	2度C	4度C
濕季流量	-1%	+20%
乾季流量	-1%	-6%

北部地區

	2度C	4度C
濕季流量	+4%	+17%
乾季流量	-5%	-9%

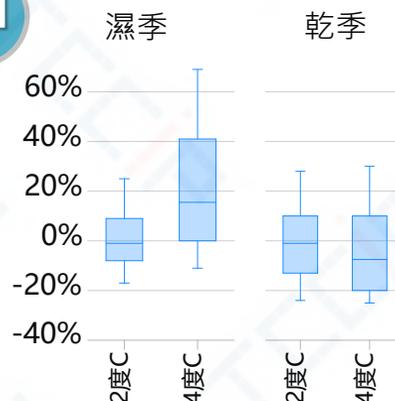
南部地區

	2度C	4度C
濕季流量	-2%	+28%
乾季流量	+3%	-6%

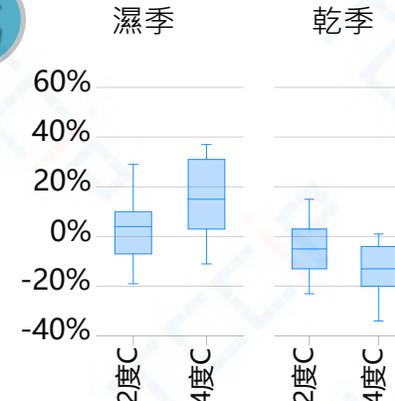
東部地區

	2度C	4度C
濕季流量	+4%	+31%
乾季流量	-8%	-7%

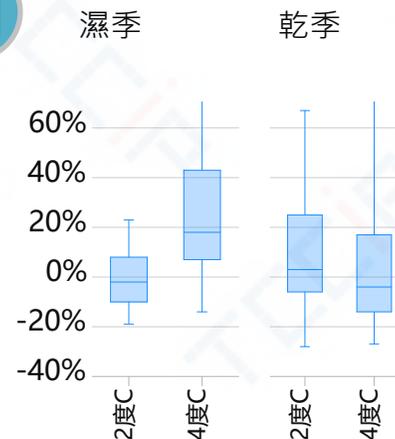
中



北



南



東



春雨及冬雨改變率(%)

➤ 春季(2至4月)及冬季(12月至1月)雨量大致呈現減少趨勢，4度C情境下變化更為顯著，可能增加枯旱的風險。

中部地區

	2度C	4度C
春雨	-3%	-6%
冬雨	+1%	-7%

北部地區

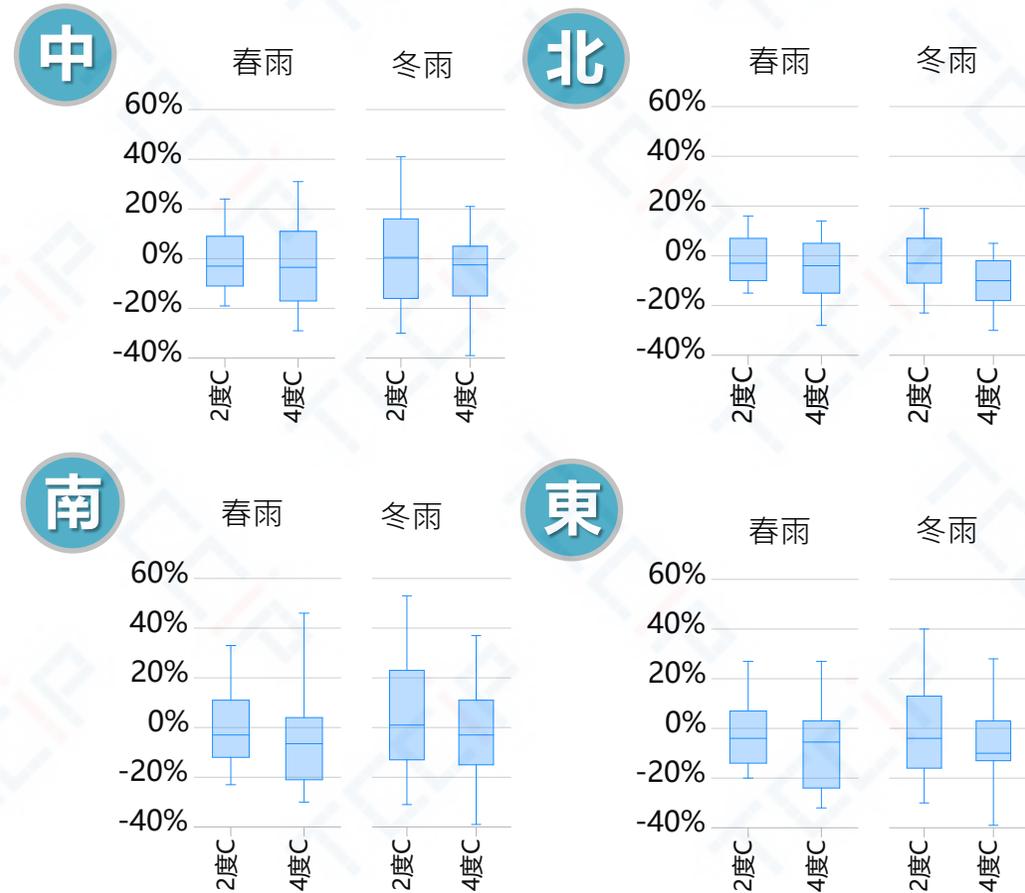
	2度C	4度C
春雨	-3%	-5%
冬雨	-3%	-7%

南部地區

	2度C	4度C
春雨	-3%	-6%
冬雨	+1%	-9%

東部地區

	2度C	4度C
春雨	-4%	-6%
冬雨	-4%	-10%



春季及冬季流量改變率(%)

➤ 未來情境下集水區的河川流量豐枯差異變大，春季(2至4月)流量呈現減少趨勢，其中北部及東部地區冬季(12月至1月)也呈現減少趨勢，連續兩季流量減少可能加劇枯旱的風險。4度C情境變化更為顯著。

中部地區

	2度C	4度C
春季流量	-3%	-12%
冬季流量	+4%	+2%

北部地區

	2度C	4度C
春季流量	-7%	-14%
冬季流量	-3%	-3%

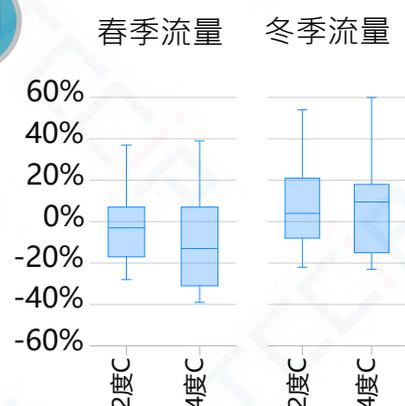
南部地區

	2度C	4度C
春季流量	-1%	-10%
冬季流量	+14%	+1%

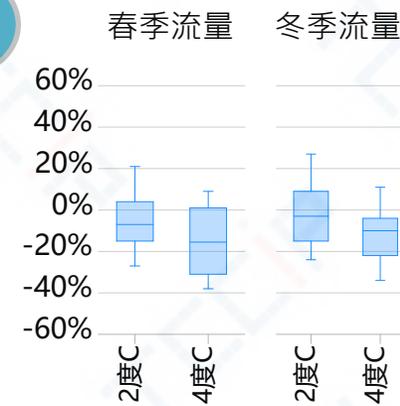
東部地區

	2度C	4度C
春季流量	-3%	-9%
冬季流量	-3%	-6%

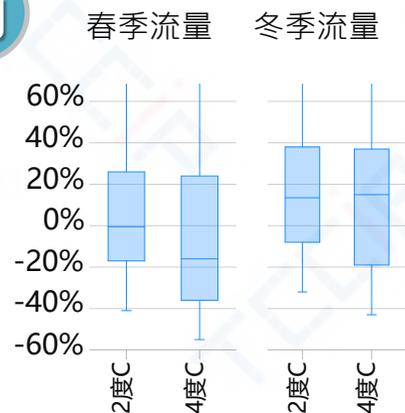
中



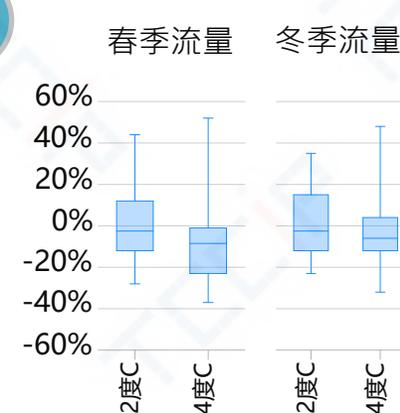
北



南



東



謝謝聆聽 敬請指教

