

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CCP5：山區

Cross-Chapter Paper 5：Mountains

國立臺灣大學地質科學系 陳麒文 助理教授





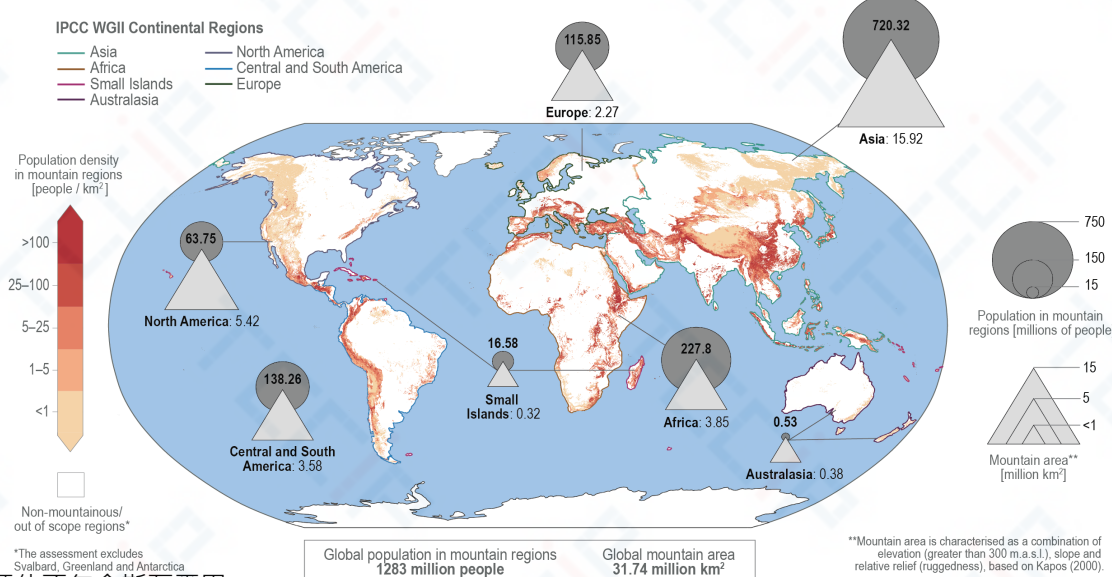
- 山區不止面臨加速暖化，也是大量人口直接或間接仰賴的區域，所以在氣候變遷與永續發展議題下相當重要。
- 山區具有**高度生物和文化多樣性**，為居住在山區、周邊地區、以及下游地區的居民提供重要的資源和服務。
- 本章節根據IPCC第五次評估報告(AR5)、氣候變遷下海洋和冰凍圈特別報告(SROCC)第2章「高山地區」、以及IPCC第一工作小組(WGI)對AR6所提供的相關資訊，評估山區受氣候變遷影響所**觀測和預測衝擊的新證據**以及相關的**關鍵風險**和**調適措施**。

- 山區是氣候相關損失的熱區，例如生態系統、地形景觀、文化、及可居住性。雖然山區居民具有調適性、資源豐富和獨立性，但他們生活在**高度脆弱**的環境中，並且處於具有**挑戰性的社會經濟環境**中，加劇了對氣候變遷的脆弱性(Alfthan et al., 2018)。

山區劃定、人口密度和預測

Delineation of mountain regions, population densities and projections

(a) Delineations of mountain regions and population densities in 2015

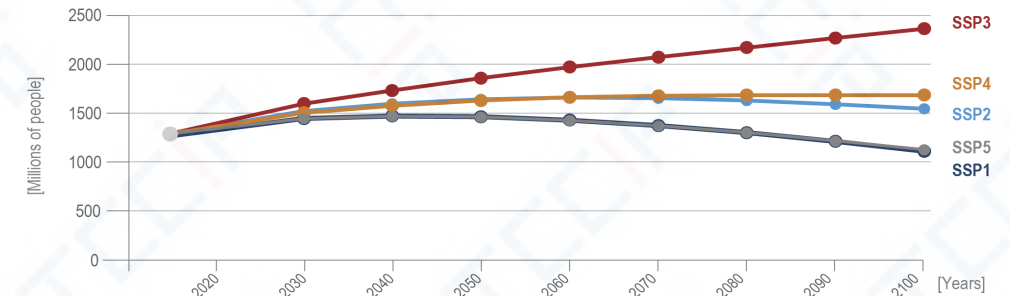


佔全球地表約23.5%

- 亞洲山區面積大且人口多

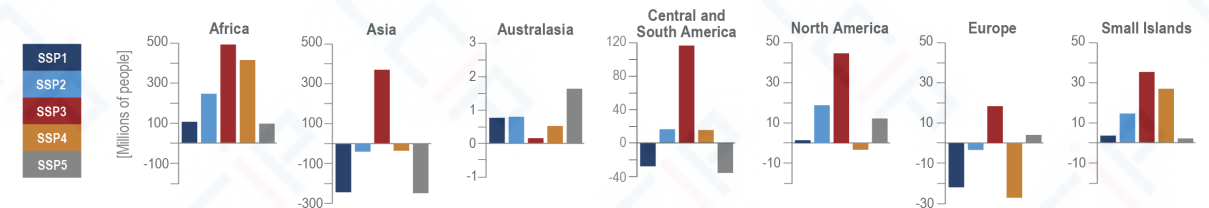
在不同共享社會經濟路徑(SSPs)下的全球山區人口預測

(b) Global population projections in mountain regions by 2100 for different SSPs



在不同共享社會經濟路徑(SSPs)下，從2015到2100年的人口變化

(c) Projected population changes in mountain regions for different SSPs from 2015 to 2100, per IPCC WGII Continental Region





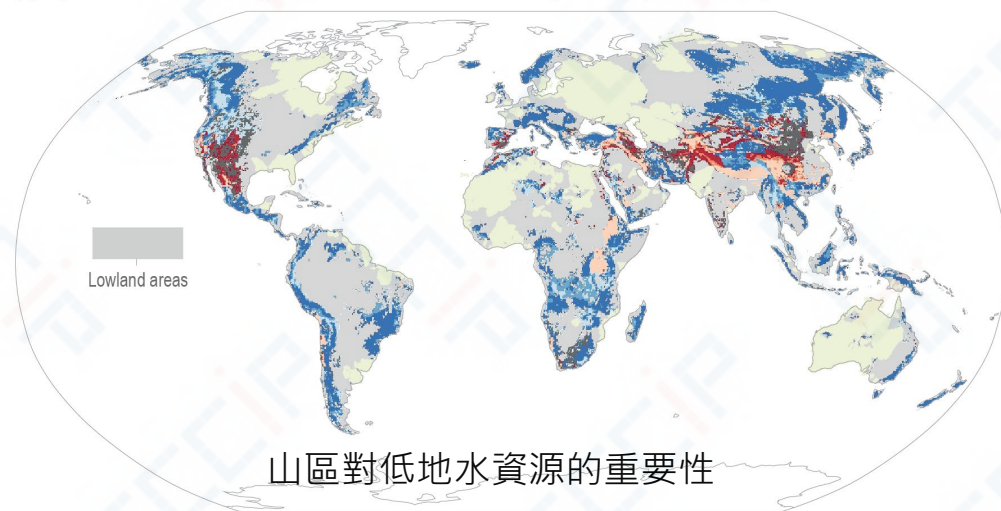
- 山區是大量且不斷增長的人口的重要淡水來源，全球依賴山區水源的人口已從1960年代約**6億人**增加到過去十年約**20億人**，並且全球**三分之二的灌溉農業**仰賴於山區的基本徑流。
- 氣候變遷對山區水循環產生了負面影響，例如冰川與融雪水流**排放時間的改變**。這些變化對可用水量產生衝擊，特別在**季節性乾旱地區**導致水資源緊張或衝突加劇。
- 山區**河流系統**對氣候變遷和持續的人為干擾特別敏感，包括水污染、水力發電、農業及消費性取水量、以及生物多樣性喪失和生態系統改變。(Honda and Durigan, 2016; Encalada et al., 2019; Bissenbayeva et al., 2021; Chen et al., 2021)
- **地下水**對河流流量的貢獻在山區變化很大，在**低流量期間**可能高達**70-80%以上**。隨著氣候變遷影響，地下水補給和對逕流的貢獻將會減少 (Somers and McKenzie, 2020)。

山區水資源對低地區域和人口的重要性

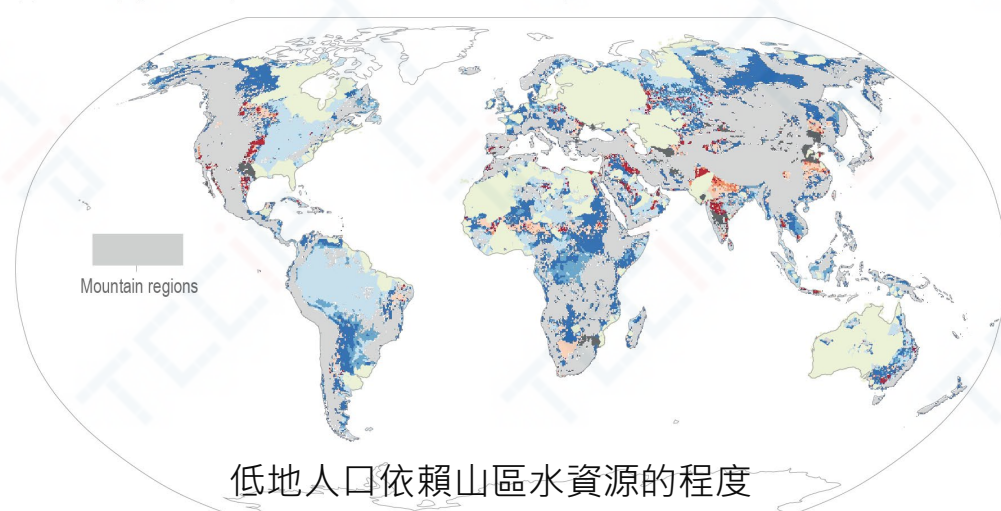


Importance of mountain water resources for lowland areas and populations

(a) Importance of mountain regions for lowland water resources (2041–2050, SSP2-RCP6.0)

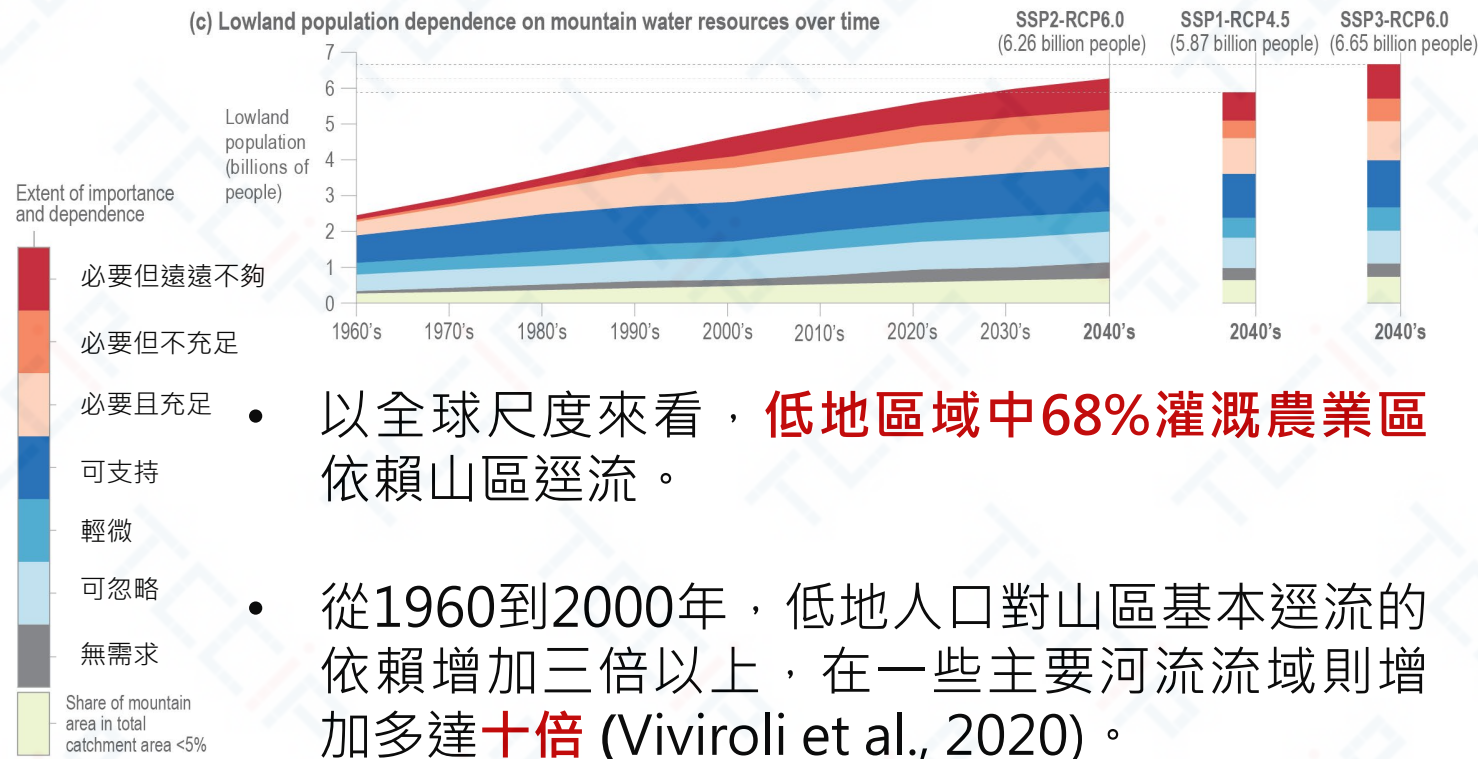


(b) Lowland population dependence on mountain water resources (2041–2050, SSP2-RCP6.0)



三種不同情境組合下依賴山區水資源的低地人口

(c) Lowland population dependence on mountain water resources over time



- 以全球尺度來看，**低地區域中68%灌溉農業區**依賴山區逕流。
- 從1960到2000年，低地人口對山區基本逕流的依賴增加三倍以上，在一些主要河流流域則增加多達**十倍** (Viviroli et al., 2020)。
- 到世紀中，低地人口對山區水資源的依賴將增加，預計幾個**季節性乾旱**或**半乾旱山區**（例如南亞、北美的部分地區）將高度依賴。



- 多數山區觀測到氣候變遷對糧食、纖維、其他**生態系統產品（包括農業）**、以及生態系統服務產生了很大程度的負面影響 (e.g. Porter et al., 2014; Chirwa et al., 2017; Pretzsch et al., 2018; Huang and Hao, 2020; Godde et al., 2021)。
- 乾旱和洪水等**災害的增加**、**季節變化**、**水資源的時間和可用性**、害蟲增加、傳粉媒介多樣性減少等因素對整體產量、飲食多樣性、和營養價值產生了負面影響。
- 氣溫和季節性**降水模式的變化**影響農業活動用水的時間和可用性。
- 氣候引起的災害，如降水不穩定（雨、雪和冰雹）、洪水、乾旱、以及崩塌，對偏遠山區的農產品的**穩定供應**和**運輸**產生了負面影響。
- 氣候相關災害導致**山區人口外移**，對山區農業施作和生產力的**勞動力短缺**產生間接的負面影響。

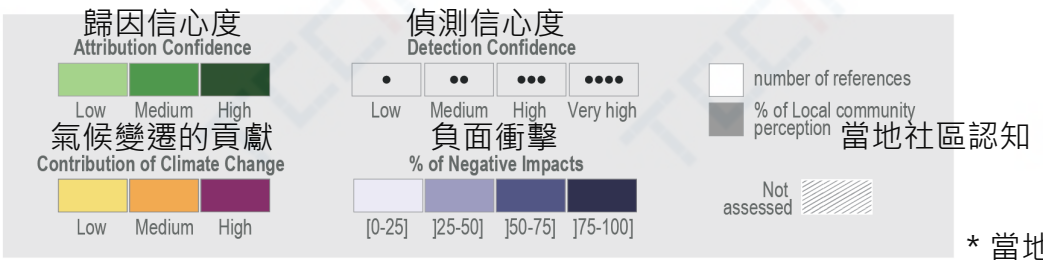


- 過去30年，山區與氣候和天氣相關的災害有增加的趨勢 (Froude and Petley, 2018; Stäubli et al., 2018)。
- **洪水、土石流、崩塌**是影響最多山區人口的常見災害 (Stäubli et al., 2018)。崩塌是全球最致命的災害之一，1995–2014的死亡人數超過150,000人 (Haque et al., 2019)。過去20年，全球崩塌造成的死亡人數增加 (Froude and Petley, 2018; Haque et al., 2019)，但無法證實是因為崩塌事件頻率改變導致。不穩定地形上的基礎設施擴建亦會增加災害風險 (e.g. Huggel et al., 2019; Kirschbaum et al., 2019; Schauwecker et al., 2019; Shugar et al., 2021)。
- 山區自然災害的**複合型**和**連動型衝擊**，影響人民、生態系統、及基礎設施，並在許多領域間產生了重大的外溢效應，進而導致破壞性的衝擊 (Nones and Pescaroli, 2016; Kirschbaum et al., 2019; Schauwecker et al., 2019)。

山區氣候變遷觀測衝擊的偵測及歸因



Detection and attribution of observed impacts
of anthropogenic climate change in mountain regions



- 根據300多份參考資料，對觀測衝擊進行評估，確認了對世界所有主要山區和各種系統的重大影響。
- 偵測衝擊的信心度大多在**中到高**的範圍。
- 氣候變遷對觀測衝擊的貢獻程度主要是**中等或高**，表示**山區自然和人類系統對氣候變遷的高度敏感性**。

* 當地社區認知：對一系統或地區考量當地知識的文獻佔所有文獻的比例



- 山區對氣候衝擊的調適在**目標和優先事項**、**實施範圍**、**執行深度和速度**、**治理和決策模式**、以及實施這些目標和其他資源的程度方面差異很大。在山區觀察到的調適主要是**漸進式**，集中在**早期預警系統**和**生計策略多樣化**。然而，這些措施在解決氣候相關衝擊及損失的可行性和長期有效性的證據有限。
- 常見的調適措施包括農業相關的變化（例如抗災或耐旱品種、灌溉技術）、基礎設施發展、社區基礎的能力建構、生態系統的調適。**以自然為本的解決方案(NbS)**是世界上許多山區國家的調適組成 (UNEP, 2021)。
- 水在山區調適氣候變遷發揮重要作用（包括乾旱、水資源供應、洪水）(McDowell et al., 2019; McDowell et al., 2020)。水也在農業、災害管理、及旅遊和娛樂等其他領域的調適中發揮作用 (McDowell et al., 2019)。



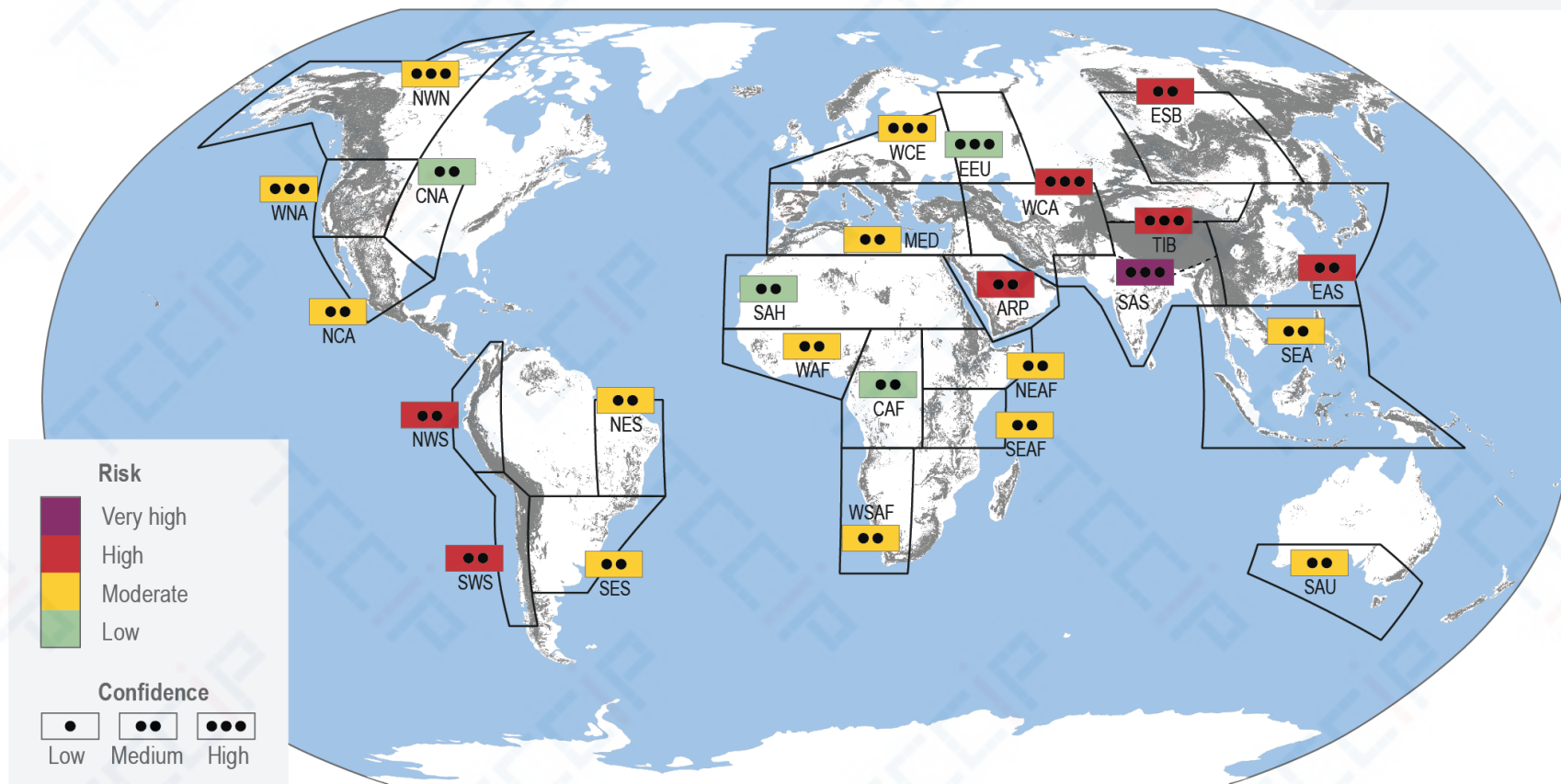
- 山區對**自然災害**大多數的調適是針對**特定氣候刺激**或**災後復原的反應性和自主性** (McDowell et al., 2019; Rasul et al., 2020)。除了**早期預警系統**、**土地管理**外，主要採用壩堤、堤防等**硬結構措施**控制災害。在不可預測的災害趨勢下，越來越多使用**提高意識**、**備災**和**災害響應計劃** (Allen et al., 2016; Allen et al., 2018; Hovelsrud et al., 2018)。廣泛實施**基於生態系統的調適 (EbA)**以減輕淺層崩塌（例如植樹造林及改善森林管理）和洪水（例如河流恢復和復墾）所帶來的風險 (Renaud et al., 2016; Klein et al., 2019b)。
- 總體而言，為**追蹤調適進展**而實施的系統監測和評估流程仍然有限，目前觀察到的**調適工作降低風險的程度**，**證據有限且普遍存在不確定性** (Hock et al., 2019; McDowell et al., 2021b; UNEP, 2021)。

未來之關鍵風險-水



1.5–2°C升溫情境下水資源變化對生計和經濟造成的風險

Risks to livelihoods and the economy from changing mountain water resources between 1.5 and 2°C GWL in AR6 WGI reference regions



*Dotted border between TIB and SAS is due to discrepancies between studies referring to the Southern Himalaya as part of SAS, and the new AR6 WGI reference region delineations which include most of the Southern Himalaya in TIB.

➤ 大多數研究都集中在評估世紀中（2030–2060）以及RCP-2.6、RCP-4.5、及RCP-6.0的影響。

➤ 世紀中將有一半以上的農業仰賴山區逕流，可能以**不永續的方式**使用河流、湖泊等水資源 (Viviroli et al., 2020)。在水資源緊張的地區，面臨水資源壓力的人數將**增加50–100%** (Munia et al., 2020)。

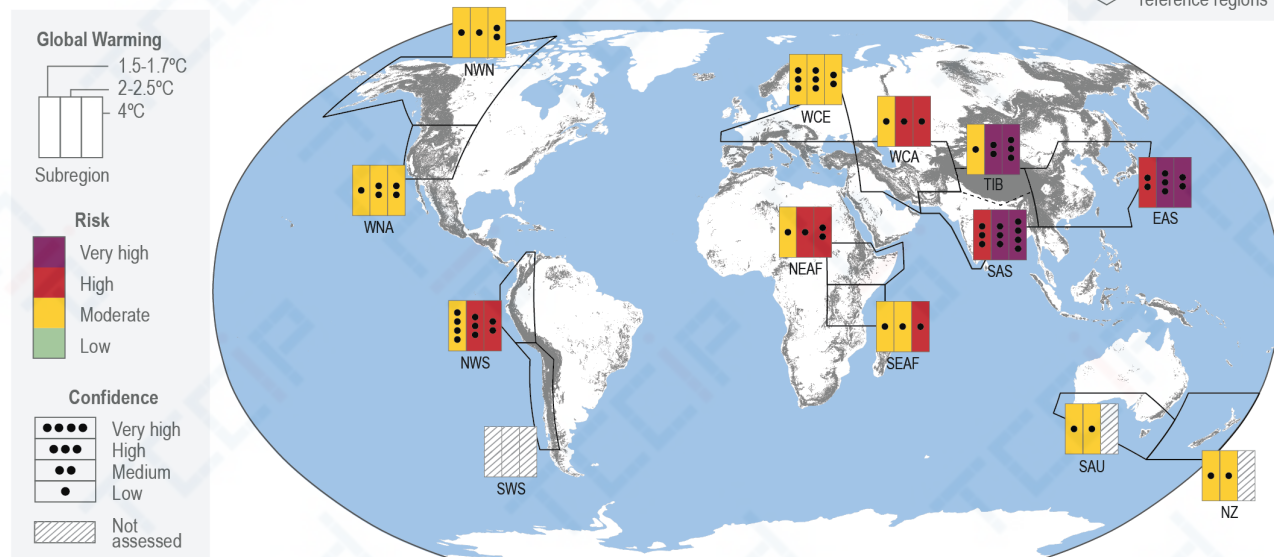
➤ 熱區在一些依賴山區水資源而**擁有大量低地人口的地區**，包括恆河、雅魯藏布江、長江、尼羅河等流域 (Viviroli et al., 2020)。

未來之關鍵風險—自然災害



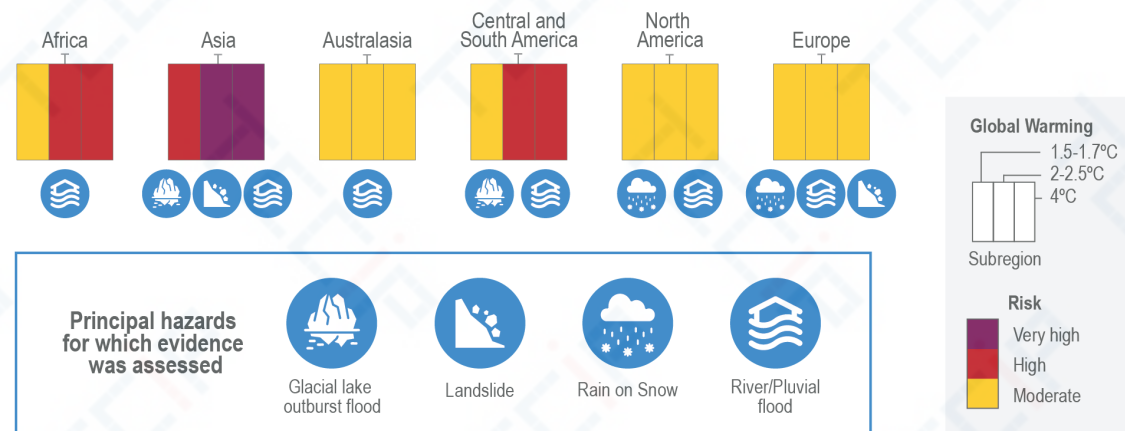
People and infrastructure in mountain regions at risks from landslides and/or floods 不同升溫情境下山區人口和基礎設施的崩塌/洪水風險
for 1.3-1.7°C, 2-2.5°C and 4°C GWL

(a) Risks in AR6 WGI reference regions



*Dotted border between TIB and SAS is due to discrepancies between studies referring to the Southern Himalaya as part of SAS, and the new AR6 WGI reference region delineations which include most of the Southern Himalaya in TIB.

(b) Risk and driving hazards in mountain regions



- 未來的嚴重風險包括，暴露在崩塌影響的人口將增加**10–20%**（例如亞洲高山地區）(Kirschbaum et al., 2020)。暴露在**內陸洪水**的人口增加**兩倍**，其中南亞、東南亞、和南美洲的增幅最高 (Hirabayashi et al., 2013; Allen et al., 2016; Arnell and Gosling, 2016; Zheng et al., 2021)。
- 由於受影響人數和基礎設施的規模、以及災害狀況的持續性，許多山區預測**2°–4°C GWL之間**為**高風險到非常高風險**。
- 相對於SSP1，**SSP3**或**SSP4**路徑下，一些**預測人口較高的地區**預計會有更嚴重的風險 (Kirschbaum et al., 2020)。

調適和氣候韌性發展路徑的選項



- 大多數實施的調適措施為**增量性質**，不足以減少嚴重風險，僅提供在達到或超過調適限制前，解決風險的及時措施。例如，控制洪水或崩塌的措施在設計時考慮特定的**幅度**和**類型**，通常假設**平穩的重現期** (Gariano and Guzzetti, 2016)。若事件重現期縮短，則需要提高風險緩解標準 (Felder et al., 2018)。水資源風險的調適方案**規模龐大且具挑戰性**，包括集水區管理、多種用水策略、改進水治理、克服用戶權力不平等、及平衡經濟壓力和永續發展 (e.g. Yapiyev et al., 2017; Huang et al., 2021)。減少氣候風險將取決於解決**脆弱性**的根本原因，包括貧困、邊緣化和不平等的性別動態。
- 因應**多種風險的調適決策**將比只關注單一風險更為穩健。風險管理策略最好整合所有受影響領域的調適需求，考慮不同的風險認知並建立在多種不同的知識系統上，是降低風險嚴重性的重要條件。
- 山區的**區域合作**和**跨界治理**能夠在**風險超越國界和管轄範圍**的情況下採取長期調適行動。
- 在山區尋求**以自然為本的解決方案(NbS)**，緩解氣候變遷的影響，同時有助於改善生計、社會和經濟福祉、及永續環境管理。對山區93種NbS的全球審查（例如植樹造林、保護現有森林、農林業和氣候智能農業），證實了**NbS具朝向永續發展轉變的潛力** (Palomo et al., 2021)。

山區的調適程度



Extent of adaptation observed in mountain regions

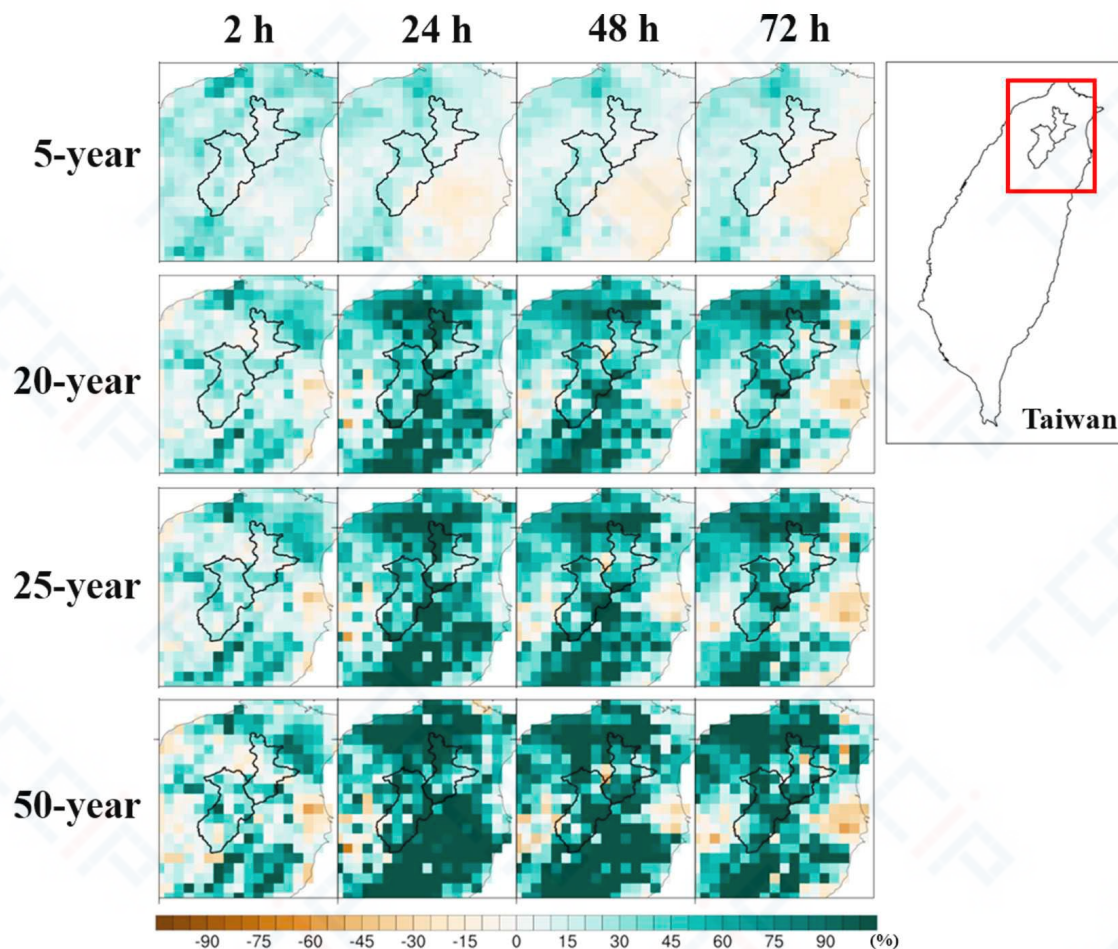
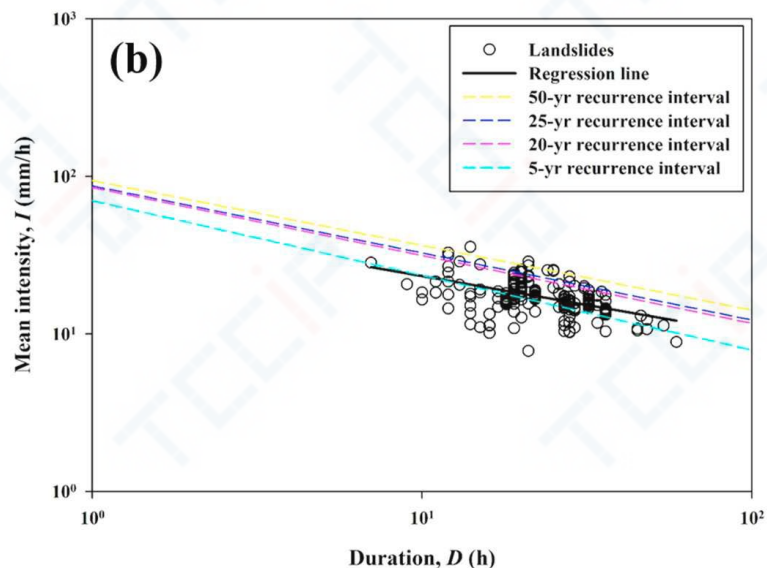
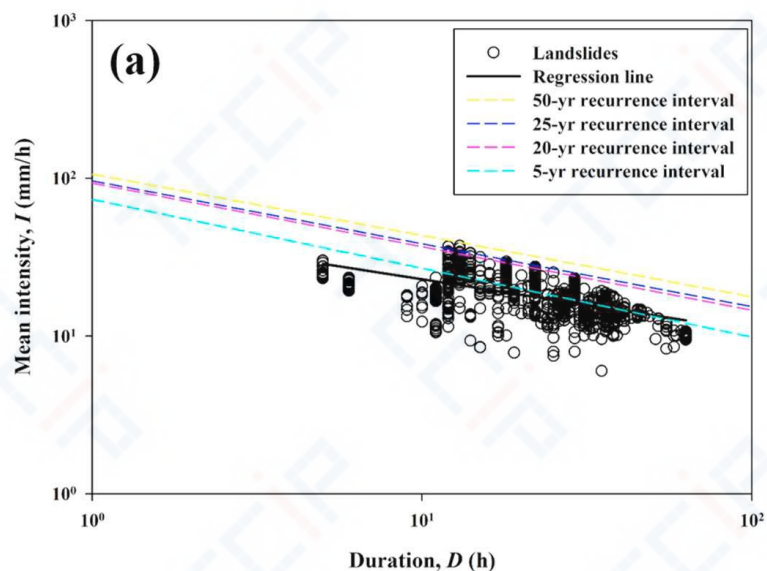


➤ 山區研究顯示，調適有助於降低氣候風險。然而，**山區在速度、廣度、及深度方面的調適程度較低**（特別是在更嚴重的暖化情境下）。

➤ 在風險水平中等的地區，較低的調適程度可能足以限制風險。

➤ 大多數的調適措施不足以降低嚴重風險，但還是存在一些選項可處理超過調適限制前的風險。

臺灣山區氣候變遷下崩塌特性研究

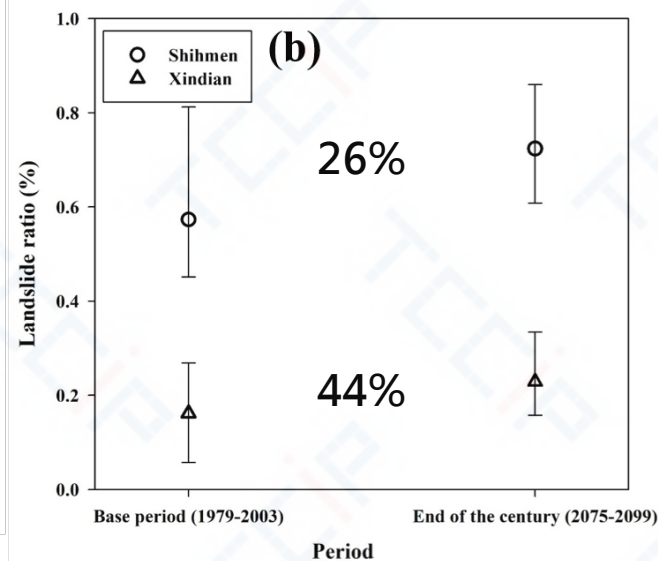
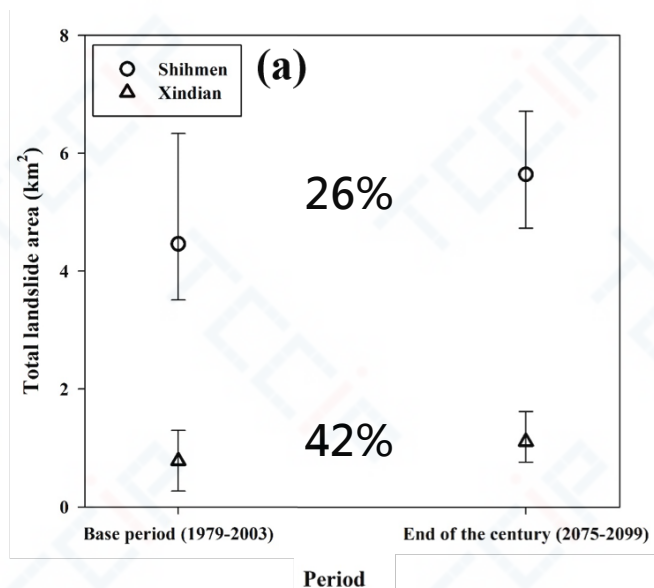


從 **降雨重現期的變化率** 來看，50年後
兩集水區的**崩塌發生頻率**會增加約**10–20%**

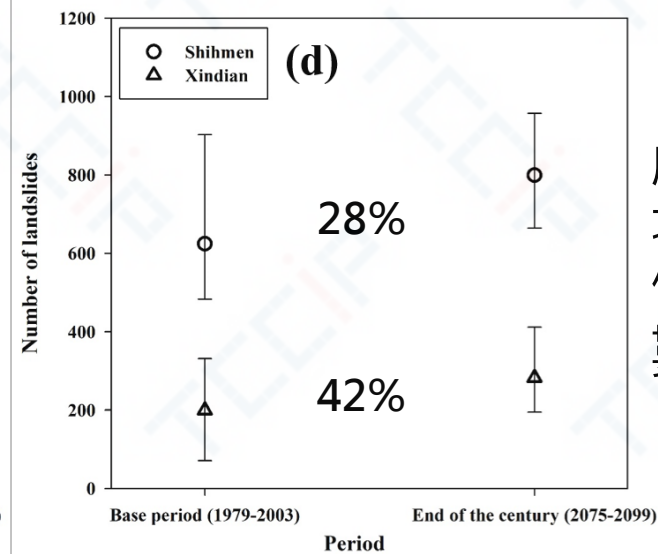
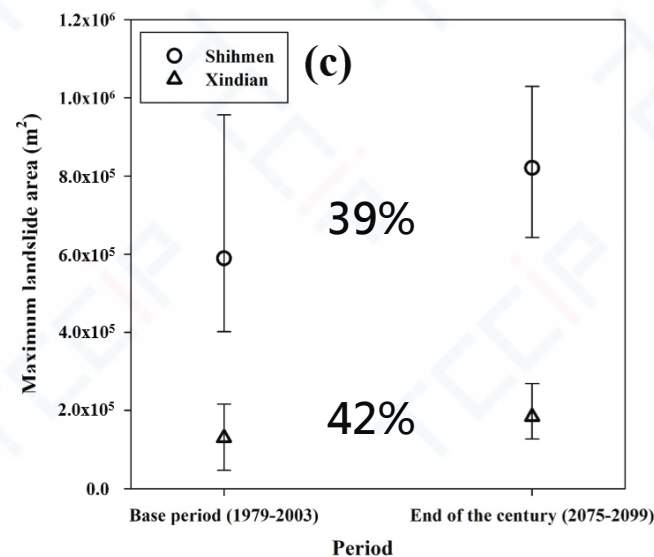
臺灣山區氣候變遷下崩塌特性研究



崩塌規模



崩塌大小



崩塌個數



臺灣山區氣候變遷下崩塌特性研究



基期

(1979–2003)

84+82=166場颱風

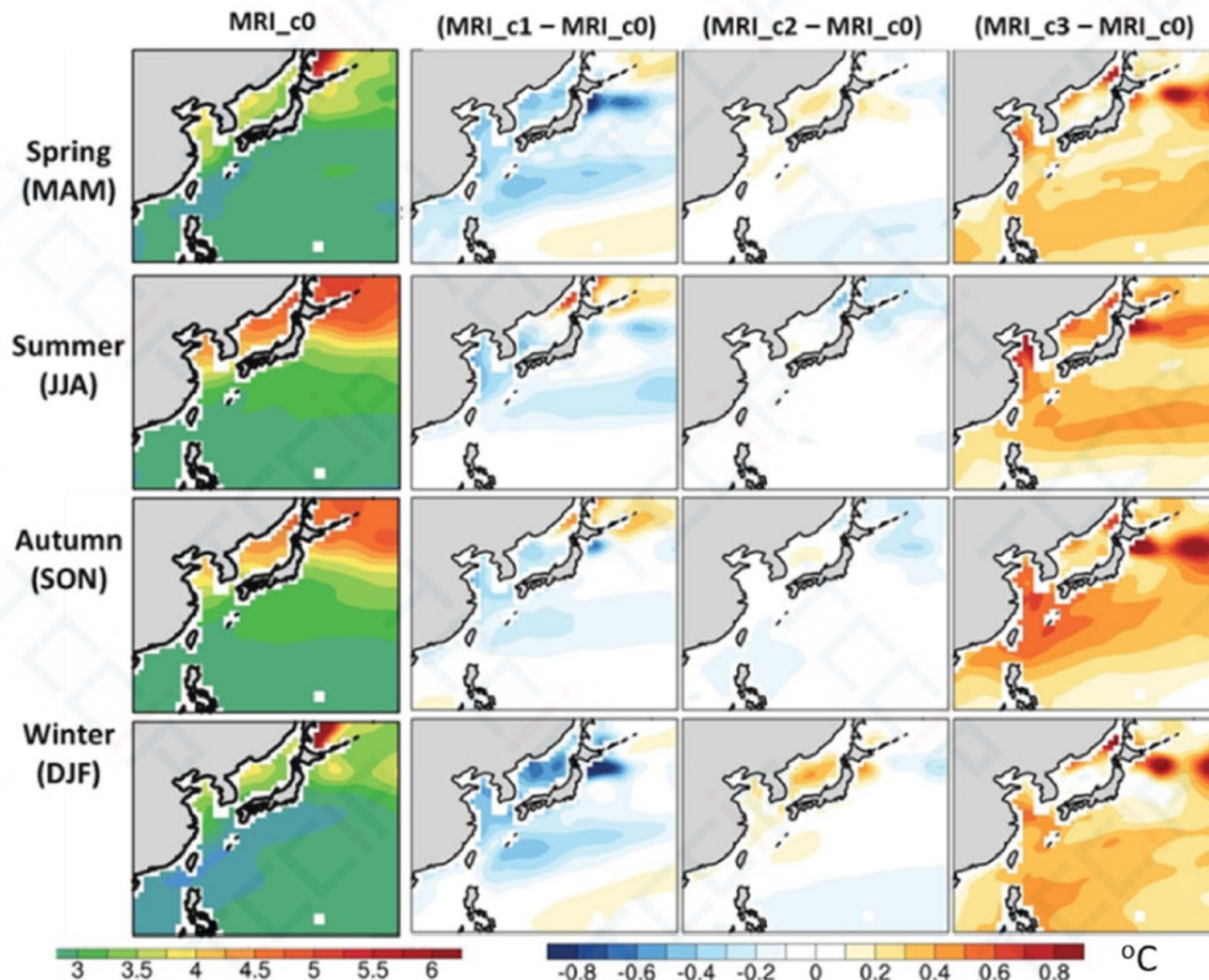
m01+m00

世紀末

(2075–2099)

45+23+55+46=169場颱風

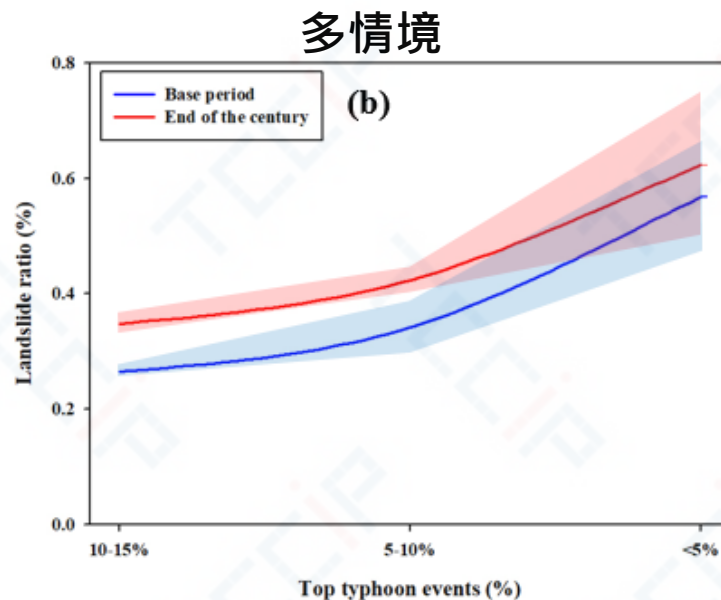
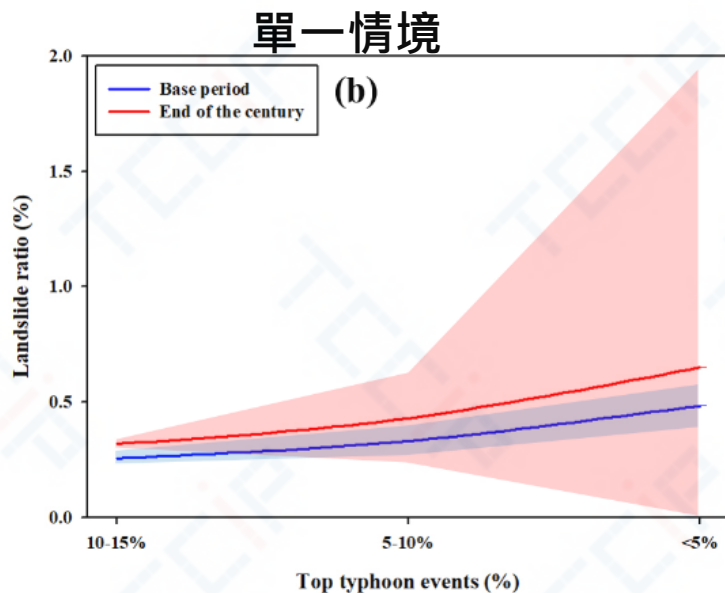
c0+c1+c2+c3



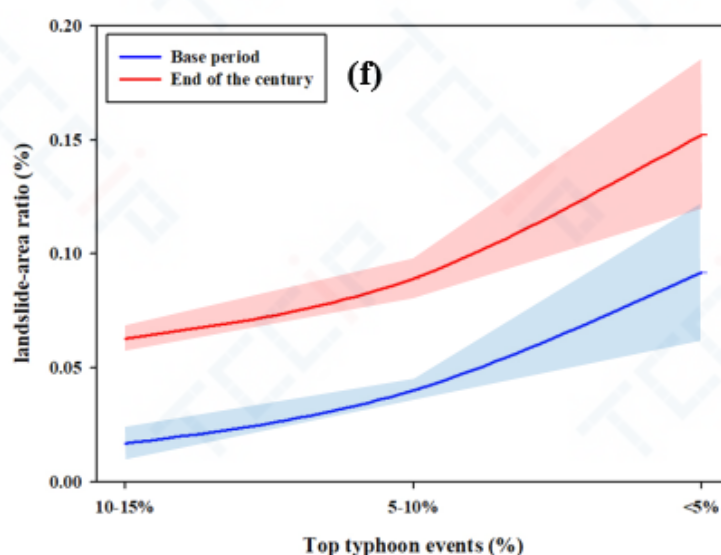
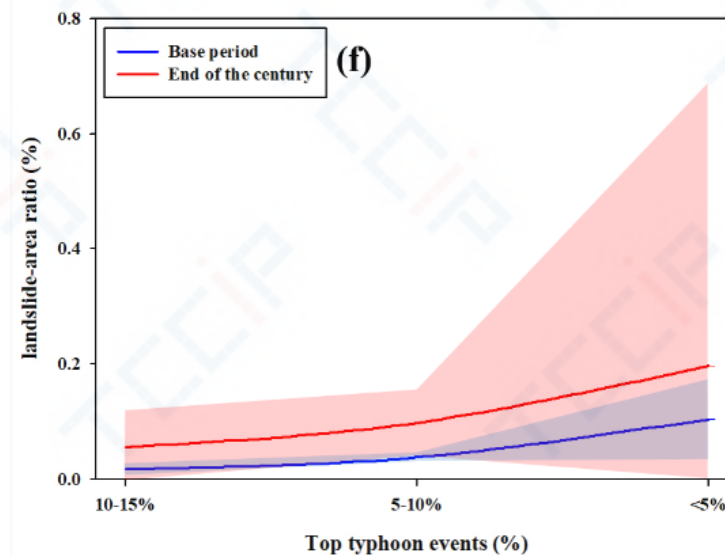
臺灣山區氣候變遷下崩塌特性研究



Shihmen Reservoir



Xindian River



多情境系集模擬

① 更可靠的預測

② 極端現象預測

謝謝聆聽 敬請指教

