

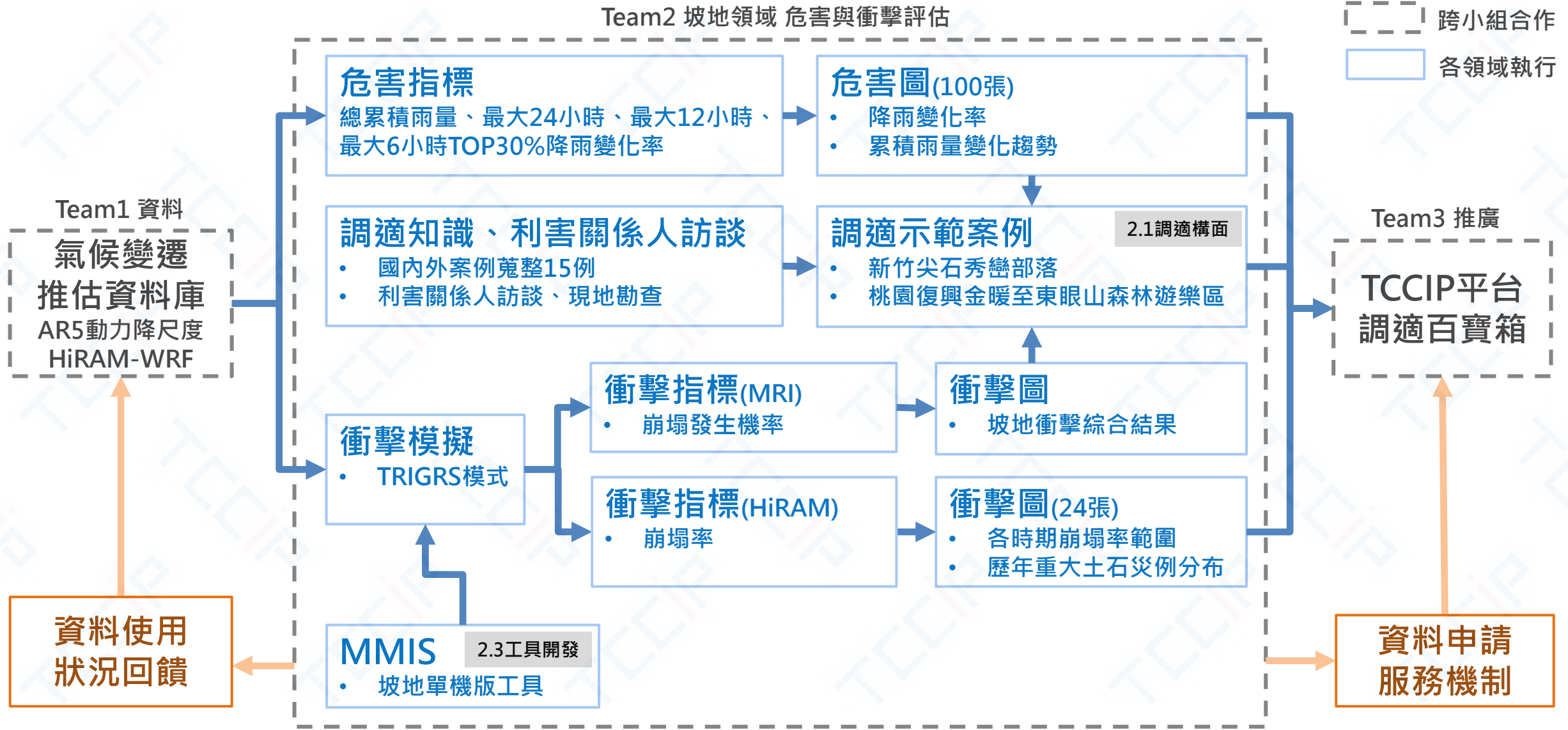
# 坡地領域 成果報告

領域計畫主持人：國立臺灣大學土木工程學系 林銘郎 教授  
領域協同主持人：國家災害防救科技中心 李欣輯 研究員  
團隊佐理研究員：朱芳儀



2022.09.13

# 研究架構





## 衝擊分析與圖資產製

- 建置24個集水區的數值模式
- 產製100張氣候變遷危害圖(HiRAM-WRF)
- 產製21張氣候變遷衝擊圖(HiRAM-WRF)
- 協助開發1個坡地單機版工具

## 風險評估與調適知識

- 操作選定2個調適示範案例-秀巒部落、金暖部落至東眼山國家森林遊樂區
- 撰寫1個調適示範案例故事並上架調適百寶箱
- 上架15個參考案例至調適百寶箱



# 重點1：危害圖資

---

# 氣候變遷資料



- 本期研究測試MRI-WRF及HiRAM-WRF兩種氣候變遷推估資料。由於產出期程及使用需求者的差異，二種資料應用在不同面向的研究上

## MRI-WRF

時期	基期	世紀末
年份	1979至2003年	2075至2099年
颱風事件數目(場)	166	169
應用	調適示範案例的危害分析與衝擊評估	

## HiRAM-WRF

時期	基期	世紀中	世紀末
年份	1979至2008年	2040至2065年	2075至2099年
颱風事件數目(場)	149 (前30%為45場)	450 (前30%為135場)	214
應用	氣候變遷情境下的危害圖資與衝擊圖資		

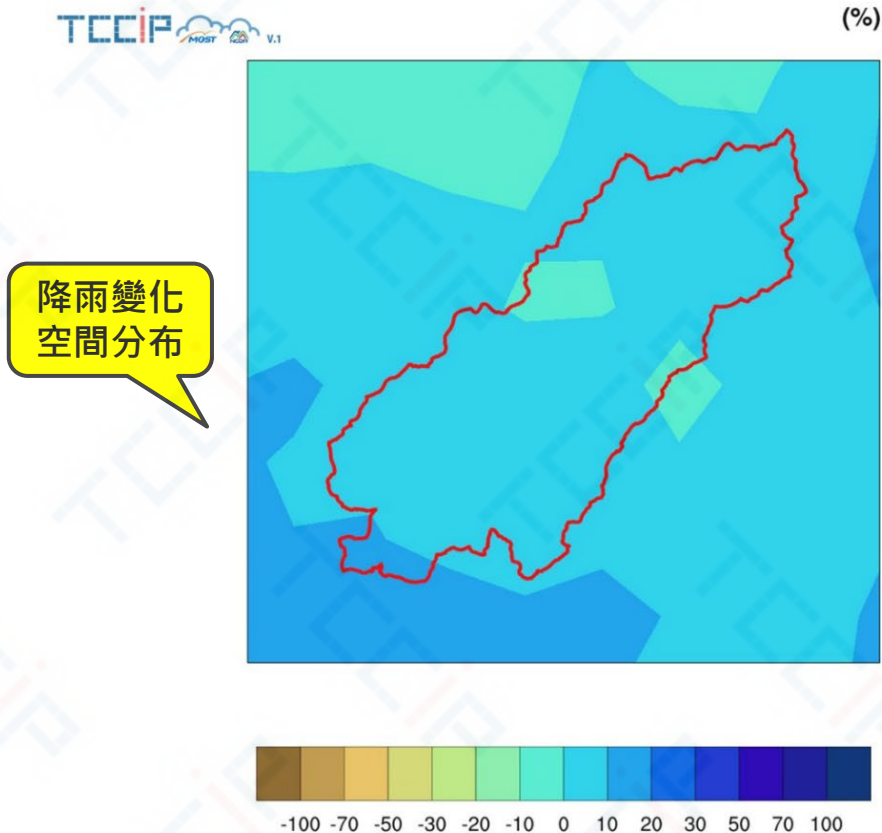
# 危害指標



➤ 影響坡地穩定性的降雨因子，可分為總累積降雨量、最大12小時累積降雨量等。經團隊與相關專家討論後，選定4項危害指標，分別為：

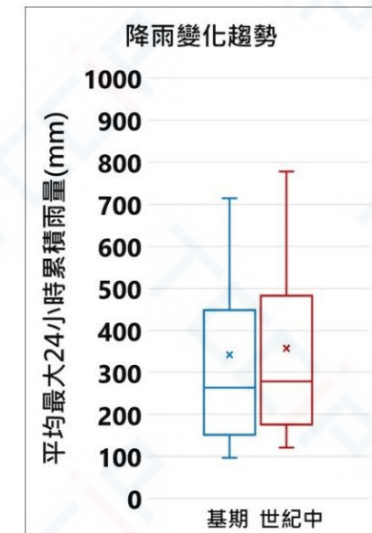
- 總累積雨量
- 最大24小時
- 最大12小時、
- 最大6小時

排名前30%事件的降雨變化率來瞭解氣候變遷下的降雨變化趨勢



模式基期：1979-2008  
未來推估：2039-2065 (世紀中)  
模式數量：1 (動力降尺度)  
資料版本：V3.3

使用資料  
資訊



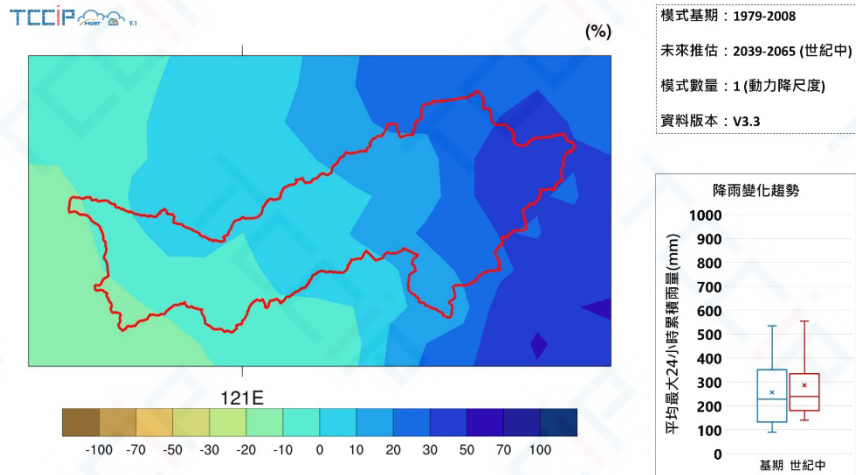
降雨變化  
趨勢

以曾文水庫集水區為例

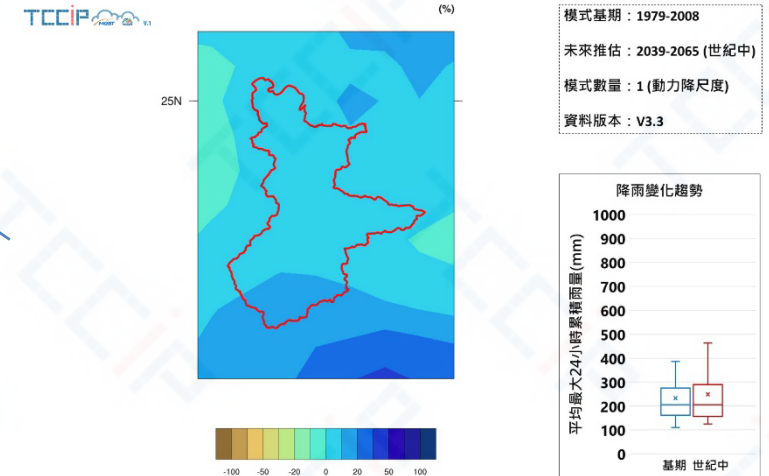
# 危害圖資



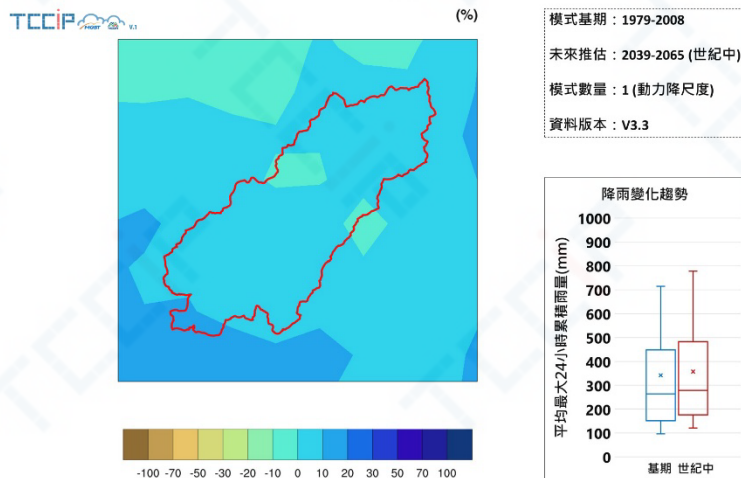
## 大甲溪集水區



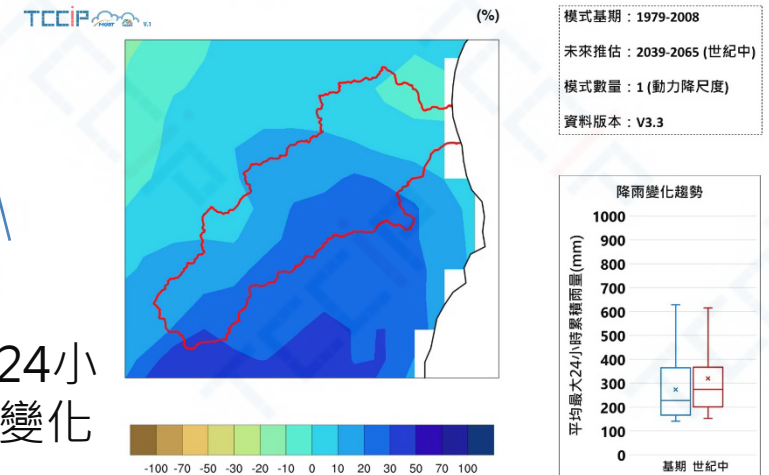
## 新店溪集水區



## 曾文水庫上游集水區



## 蘭陽溪集水區



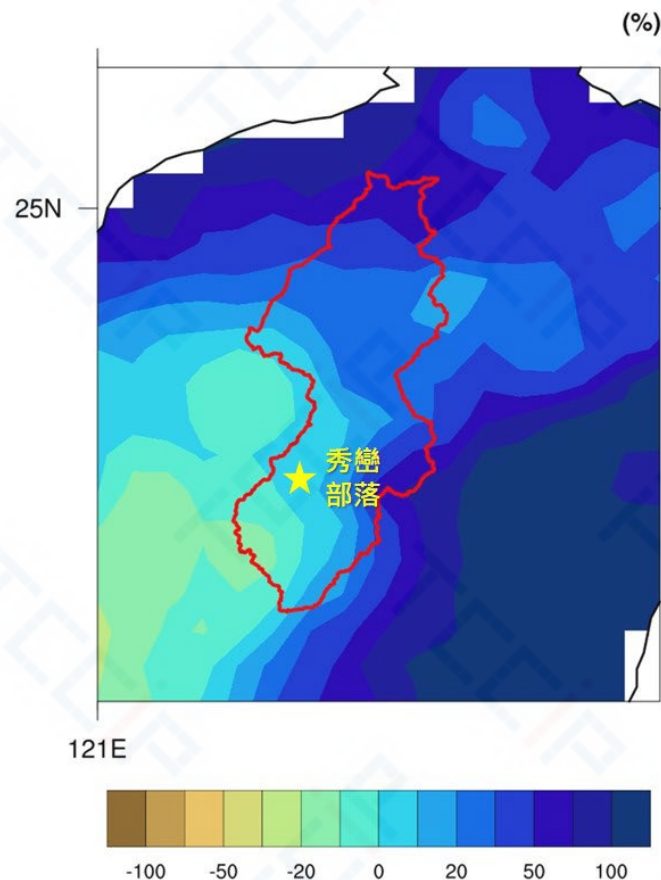
➤ 世紀中相較基期，集水區最大24小時累積雨量前30%事件的降雨變化大致為提升趨勢

# 危害圖資應用方向(主要應用在示範案例)

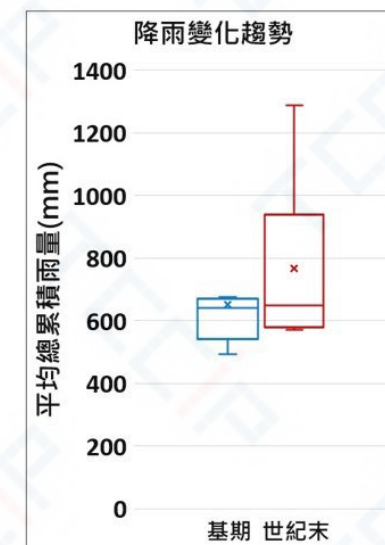


- 降雨變化率分布圖可套疊不同標地(聚落、大規模崩塌潛勢區等)的區位，瞭解氣候變遷下該區域的降雨變化趨勢
- 盒鬚圖可瞭解整個集水區在氣候變遷下雨量值範圍的變化幅度

舉例：



模式基期：1979-2003  
未來推估：2075-2099 (世紀末)  
模式數量：1 (動力降尺度)  
資料版本：V3.1



秀巒區域在氣候變遷下整體降雨趨勢提升(幅度約0~10%)





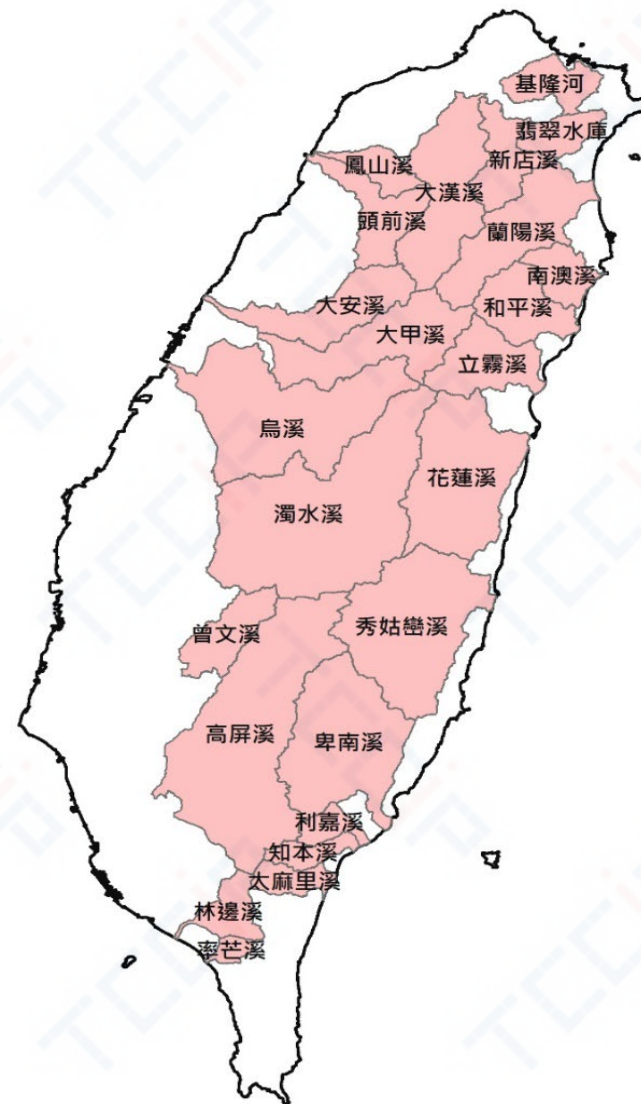
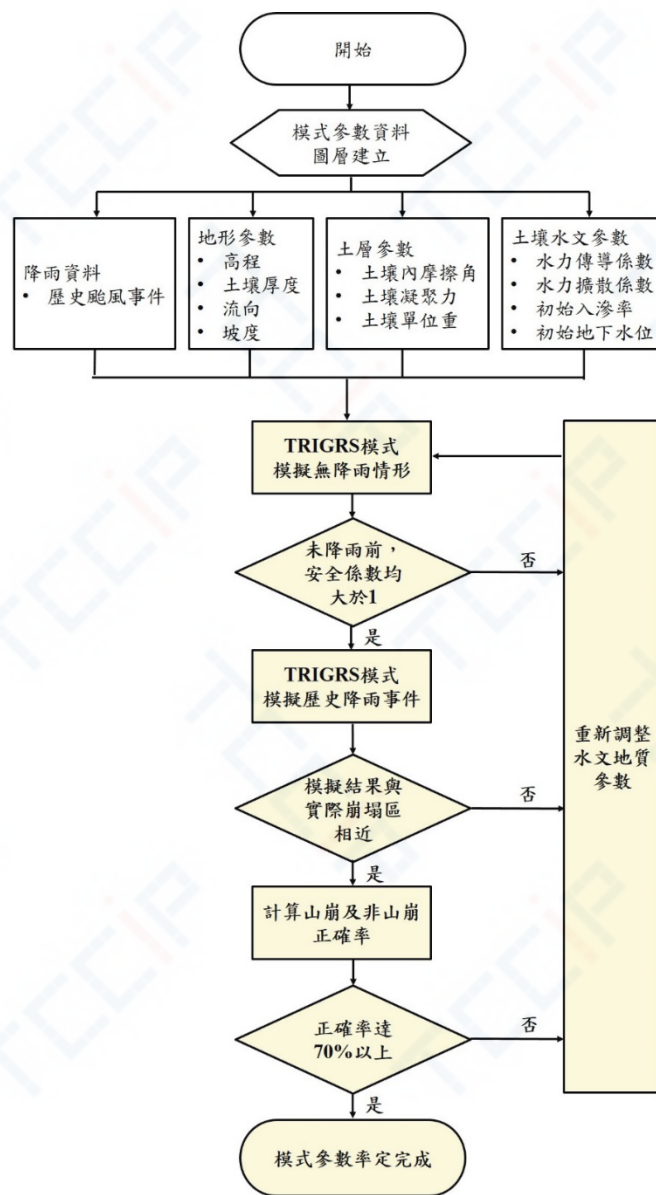
## 重點2：衝擊圖資

---

# 淺層崩塌數值模式



- 選用美國地質調查所(USGS)發展的TRIGRS淺層崩塌數值模式 (Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional Slope-Stability Model, TRIGRS), 模擬氣候變遷下坡地的崩塌潛勢
- TRIGRS模式是透過數值高程模型、土壤參數、坡度等資料, 建立模擬區域的土壤水文特性。並結合無限邊坡理論, 模擬降雨事件時雨量入滲土層所造成的水壓變化, 進而導致坡面穩定性的改變



# 衝擊指標1 - 崩塌發生機率



- 氣候變遷降雨事件多，模擬結果龐大。本研究藉機率之概念，來呈現大量模擬的崩塌潛勢結果。且加上利害關係人表示現況也相當重要。因此，進一步以四象限分類現在及未來的崩塌發生機率，來評估集水區整體的衝擊

$$\text{崩塌發生機率} = \frac{\text{有發生崩塌的颱風事件數目}}{\text{該時期模擬的總颱風事件數目}}$$

時期	前30%事件數目
基期	45
世紀中	135



## △ 判斷準則：

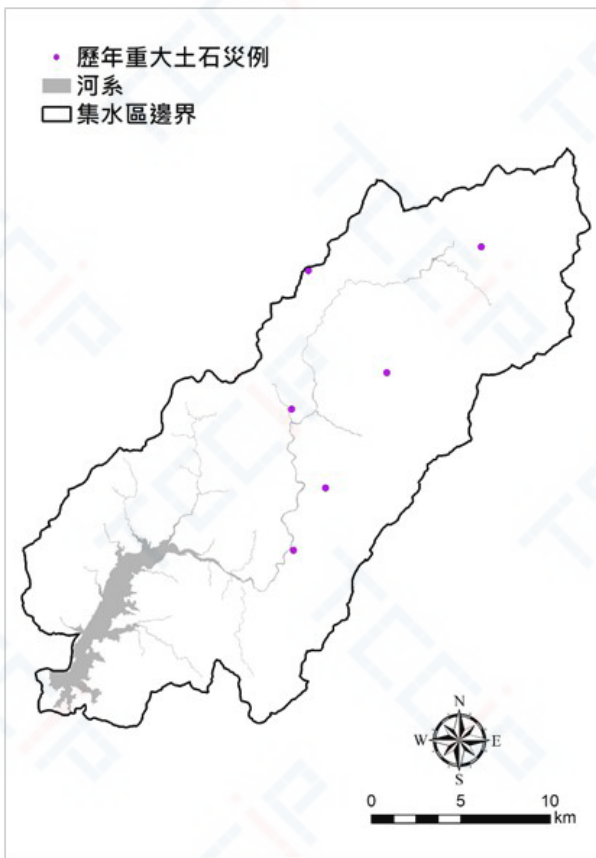
- 現況崩塌發生機率的高低，以「基期崩塌發生機率的平均值」判斷。機率高於平均值為高；反之則為低。
- 未來崩塌發生機率的增加或減少，以「21世紀末相較基期崩塌發生機率之變化大於0」判斷。機率大於0即為增加。

# 衝擊指標2 - 崩塌率



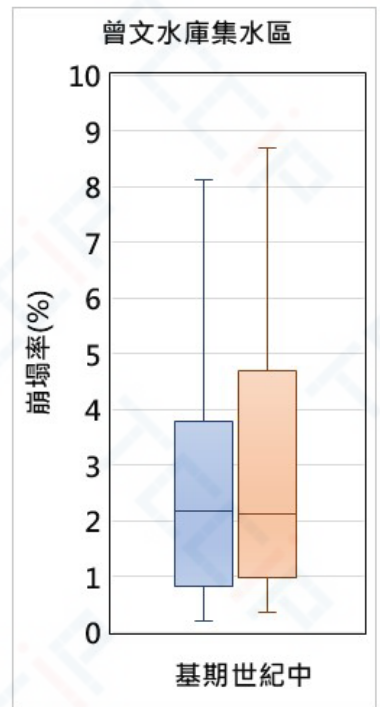
- 坡地崩塌研究中，常用崩塌率來表示研究區內的崩塌嚴重程度。崩塌率越大代表該區域的崩塌越嚴重
- 透過盒鬚圖呈現基期及世紀中多場事件的崩塌率範圍，瞭解氣候變遷下崩塌衝擊的變化趨勢

歷年重大土石災例空間分布



模式基期：1979-2008  
未來推估：2039-2065(世紀中)  
模式數量：1(動力降尺度)  
資料版本：V3.3

使用資料資訊



崩塌衝擊變化趨勢

$$\text{崩塌率} = \frac{\text{模式評估具崩塌潛勢網格數}}{\text{集水區總網格數}} \times 100\%$$

(單一場颱風事件)

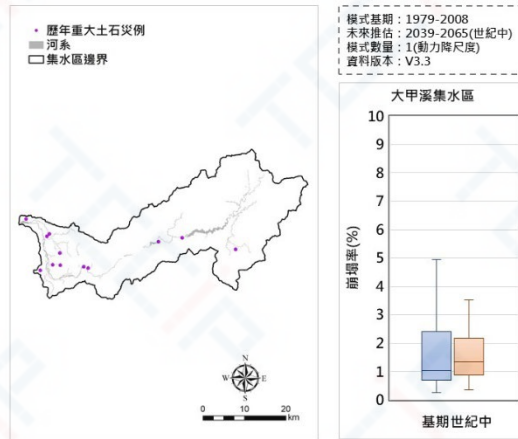


以曾文水庫集水區為例

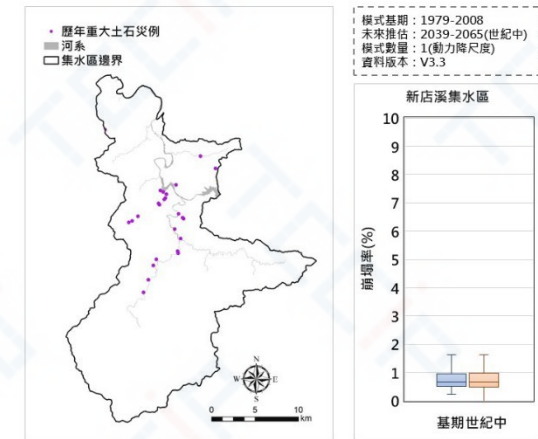
# 衝擊圖資



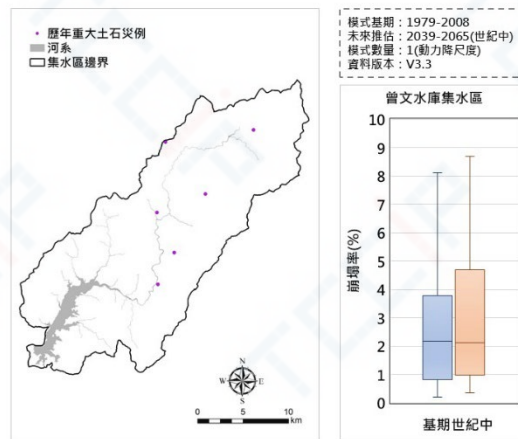
## 大甲溪集水區



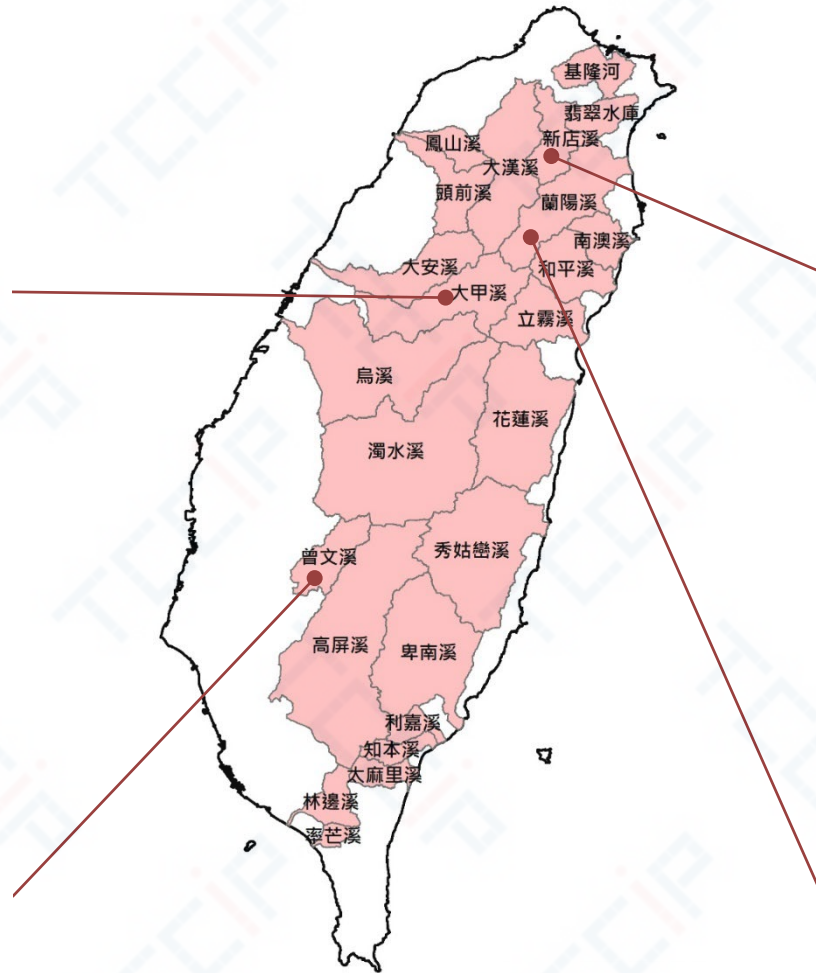
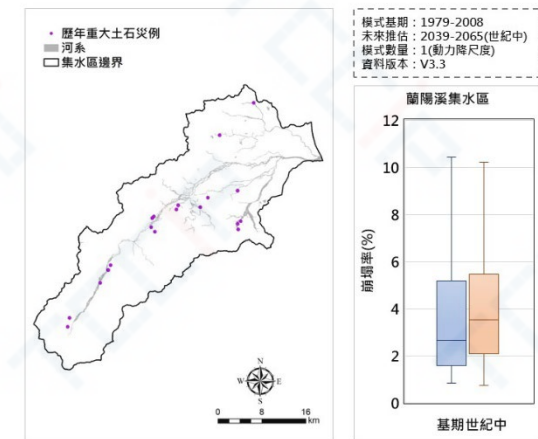
## 新店溪集水區



## 曾文水庫上游集水區



## 蘭陽溪集水區



➤ 世紀中相較基期，集水區的崩塌衝擊趨勢約略持平或提升



## 重點3：調適參考案例

---

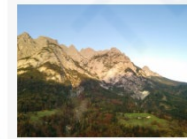


## ➤ 依據IPCC提出之調適類別進行分類



### 結構和物理性 選項

工程面和環境創造  
技術面  
生態系統基礎面  
服務



義大利 - 安科納市調適  
與無作為成本分析  
調適選項：社會性選項  
主要課題：強降雨增加崩塌風險  
核心內容：評估風險與成本效益  
案例性質：學術科研

[Read more](#)



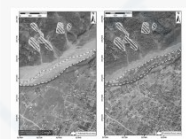
巴西 - Santos氣候變遷調  
適計畫  
調適選項：制度面選項  
主要課題：經常性坡地災害  
核心內容：發展綜合型調適策略  
案例性質：實務操作

[Read more](#)



印尼 - 塔納托拉查縣氣  
候變遷、綠覆率與崩塌  
調適選項：社會性選項  
主要課題：綠覆率與崩塌風險  
核心內容：評估坡災風險評估  
案例性質：學術科研

[Read more](#)



尼泊爾 - 達藍科學模式與  
調適行動聯合的挑戰  
調適選項：社會性選項  
主要課題：強降雨增加崩塌風險  
核心內容：建立區域氣候模式  
案例性質：學術科研

[Read more](#)



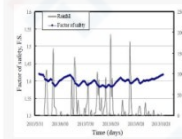
### 社會性選項

教育  
資訊  
行為



奧地利 - 建構鐵路系統  
於山區之災害韌性  
調適選項：社會性選項  
主要課題：強降雨增加崩塌風險  
核心內容：建置高量監控與預警  
案例性質：實務操作

[Read more](#)



臺灣 - 山區地下水資源開  
發與崩塌之關聯性  
調適選項：社會性選項  
主要課題：地下水開發影響崩塌  
核心內容：建立關聯性模型  
案例性質：學術科研

[Read more](#)



牙買加 - 社區以永續農  
業減緩邊坡侵蝕及坡災  
調適選項：社會性選項  
主要課題：強降雨增加邊坡侵蝕  
核心內容：發展永續農業  
案例性質：實務操作

[Read more](#)



哥倫比亞 - 薩爾加地地災  
害監測預警系統開發  
調適選項：社會性選項  
主要課題：強降雨增加山洪風險  
核心內容：開發預警應變工具  
案例性質：實務操作

[Read more](#)



### 制度面選項

經濟面  
法律與規範  
政策和計畫推動



越南 - 錦水縣坡地永續  
發展、管理及能力建構  
調適選項：結構和物理性選項  
主要課題：強降雨增加崩塌風險  
核心內容：導入永續發展概念  
案例性質：實務操作

[Read more](#)



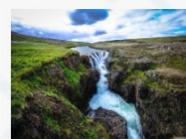
韓國 - 氣候變遷下的崩塌  
成本及調適效益  
調適選項：社會性選項  
主要課題：缺乏崩塌損失的研究  
核心內容：評估風險與成本效益  
案例性質：學術科研

[Read more](#)



挪威 - 水資源和能源局  
的氣候變遷調適策略  
調適選項：社會性選項  
主要課題：強降雨增加崩塌風險  
核心內容：開發預警應變工具  
案例性質：實務操作

[Read more](#)



瑞典 - 努什河流域崩塌風  
險評估  
調適選項：社會性選項  
主要課題：強降雨增加崩塌風險  
核心內容：執行坡災風險評估  
案例性質：學術科研

[Read more](#)

IPCC(2014), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, p.27.

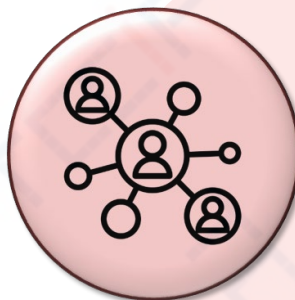


- 由國內外案例及利害關係人訪談結果中得到之調適選項



## 結構和物理性

發展**監測技術**與資訊傳輸技術、發展**預警技術**、開發監測資料庫、**治山防災工程**(排水、坡面噴漿、落石防護牆、護岸、面版式地錨擋土牆、建物增強技術)



## 社會性

防災教育、專家現勘及評估、**教育知識**、**應用預警系統**、應用應變系統、大型機具進駐、儲存物資、經費補助、估算氣候變遷下的損害成本及調適成本、大規模崩塌監測資料庫、**疏散避難演練**、避難處所安全性評估、**評估風險與繪製圖資**、教育平台



## 制度面

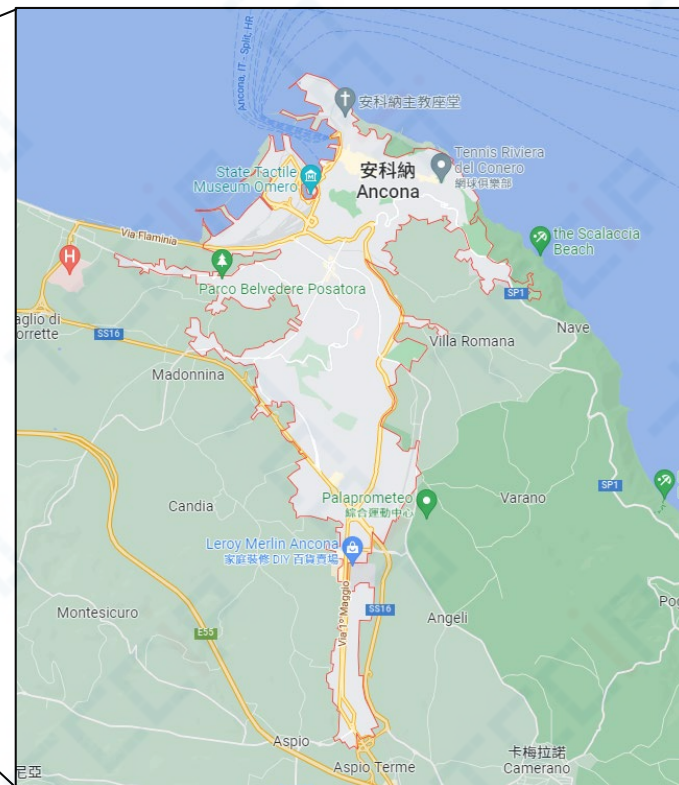
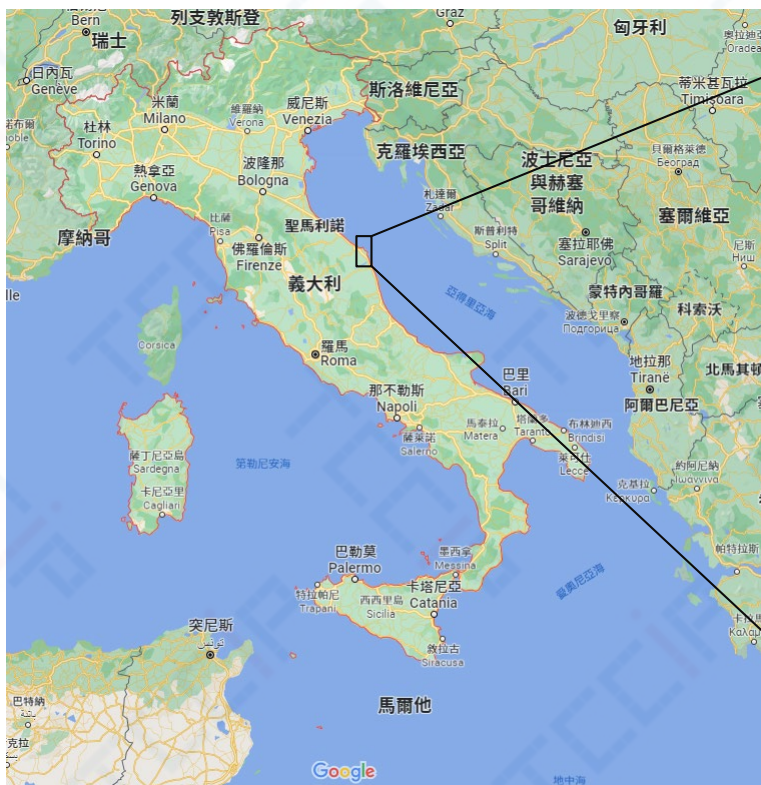
**保險**、土地使用規劃、**制定氣候調適和投資計畫**、調整社區的經濟發展計畫、調整工程設計標準



# 參考案例內容-問題說明



- 在1279年至2002年間，義大利地區發生4521次的極端災害事件。每年遭受到土石流災害的人約有13.8名、而洪水災害則為49.6名。這些極端災害造成重大的經濟損失和人員傷亡。預期未來極端天氣事件發生頻率和強度可能增加的情況下，特別是地中海地區，如不採取預防措施，可能會導致經濟、環境和社會損害的增加



# 參考案例內容-未來風險分析



- 義大利地質調查所(ISPRA)將未來情境(2050~2100)放入崩塌風險評估模型，並結合相關數據，進行空間分析，瞭解氣候變遷下受崩塌影響的區域，並估算政府有否採取調適行動的成本
- 未來可能受到崩塌影響的區域，由21.6%提升至30.5%。在2100年預估最糟的情況下，以特定暴露項目來看，如居民、道路等，居住在坡地不穩定地區的居民比例提升4%、鐵路受崩塌影響的總長度比例增加6.4%



GIS工具空間分析

Tab.3.1. Summary table for the impact with the respect of investigated exposed elements.

Exposed elements	total	Year 2011		Year 2100 FLSA		Year 2100 FLSB	
		affected by landslide	%	affected by landslide	%	affected by landslide	%
Resident	102.926,00	10.301,00	10,0	11513,00	11,2	15.333,00	14,9
Barracks	14	3	21,4	3	21,4	3	21,4
Nursery	22	2	9,1	5	22,7	5	22,7
Preschool	32	1	3,1	6	18,8	7	21,9
Primary	24	-	0,0	2	8,3	3	12,5
Secondary	12	-	0,0	-	0,0	1	8,3
High	19	-	0,0	2	10,5	2	10,5
Roads and Railways	total (km)	affected by landslide	%	affected by landslide	%	affected by landslide	%
Railways	91.991,00	11.276,89	12,3	12.533,29	13,6	17.239,49	18,7
Municipal	352.880,8	53.159,35	15,1	48.483,04	13,7	65.459,79	18,6
Local affiliated	504,3	372,1	73,8	380,09	75,4	436,76	86,6
Local not affiliated	121.618,50	19.063,90	15,7	20.952,01	17,2	27.899,68	22,9
Private	112.417,93	23.434,49	20,8	25.981,63	23,1	34.555,14	30,7
Provincial	38.554,70	4.349,54	11,3	4.785,87	12,4	6.264,61	16,2
ANAS road	27.355,00	5.648,92	20,7	6.051,17	22,1	7.111,71	26,0

風險評估表

# 參考案例內容-採取的調適作為



- 將義大利Ancona市政府在沒有調適計畫情況下，不得不承擔的無作為成本，與降低崩塌風險的成本進行比較分析
- 無作為成本以受崩塌影響的建物面積估算，調適成本則以減少崩塌的工程施作費用估算

Ancona Municipality (surface km <sup>2</sup> = 124,43)		
Corine Land Cover2006	Urban Area affected by landslide in the 2100 scenario (Km <sup>2</sup> )	Total loss cost 2100 (€)
Continuous urban fabric	0,00	18.920.000,00
Discontinuous urban fabric	2,40	19.213.039.792,00
Industrial or commercial unit	0,19	377.111.778,00
Harbor areas	0,07	131.520.000,00
<b>Total</b>	<b>2,66</b>	<b>19.740.591.570,00</b>
Number of resident	N of resident in hazard areas	%
102.926,00	15.333,00	15

無作為成本

Urban area affected by future landslide (year 2100) equal to 3% of the entire territory	3,5 Km <sup>2</sup>
Min estimated cost of measures	254,000,000 €
Max estimated cost of measures	315,000,000 €
Average estimated cost of measures	280,000,000 €

調適成本

# 參考案例內容-調適效益



- 效益分析結果顯示，在氣候變遷情境下，若Ancona沒有任何調適作為，未來發生崩塌損失將高達19,740,591,570 €。而工程調適成本為315,000,000 €，是不作為成本的1.6%。降低崩塌風險的調適成本低於無作為成本。
- 透過簡單的估算方法，提供政府執行調適行動的參考。

Expected damage of total exposed elements (year 2100)
<b>€ 19,740,591,570.00</b>
Adaptation costs (risk reduction measures)
<b>€ 315,000,000.00</b>
Percentage of adaptation costs respect to the loss occurring in the inaction scenario
<b>1.6 %</b>

無作為/調適行動的成本分析表



## 重點4：調適示範案例

---

# 選擇調適示範案例



資料到位

模式可行

政策連結

利害關係人

個案代表性

部會意見



## 示範案例 1



## 示範案例 2



訪談利害關係人





# 調適示範案例1

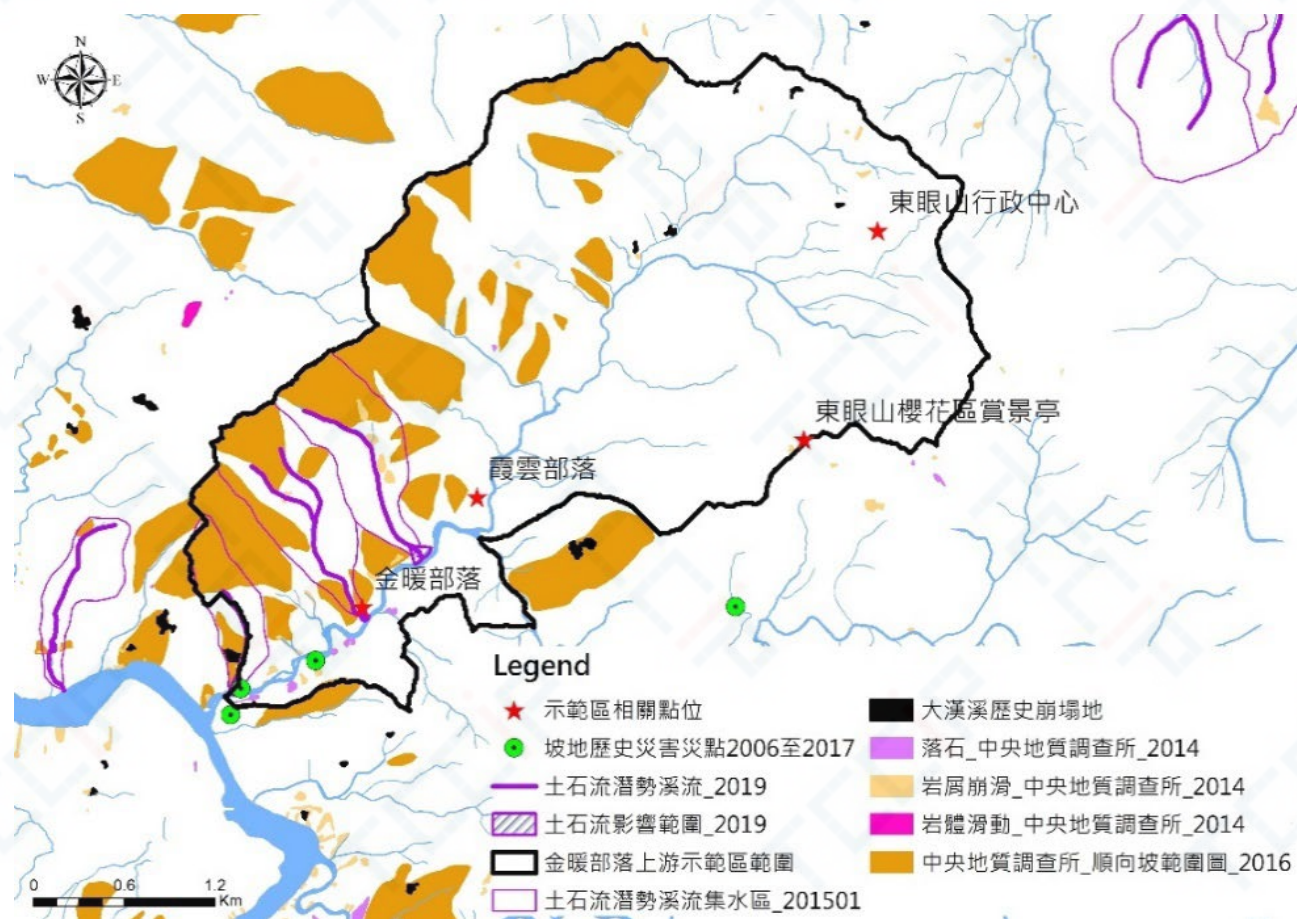
---

金暖部落至東眼山國家森林遊樂區

# 歷史及現況



- 示範區內的**歷史災點及崩塌地少**。金暖部落主要是有順向坡、土石流潛勢溪流的威脅，而東眼山國家森林遊樂區則無存在顯著的災害潛勢。







## 霞雲里

- 訪談結果可分為**崩塌及土石流**、**聚落高齡化**、**經濟**三大議題。



楊里長

## 東眼山國家森林遊樂區

- 訪談結果可分為**遊客安全**、**崩塌**二大議題。



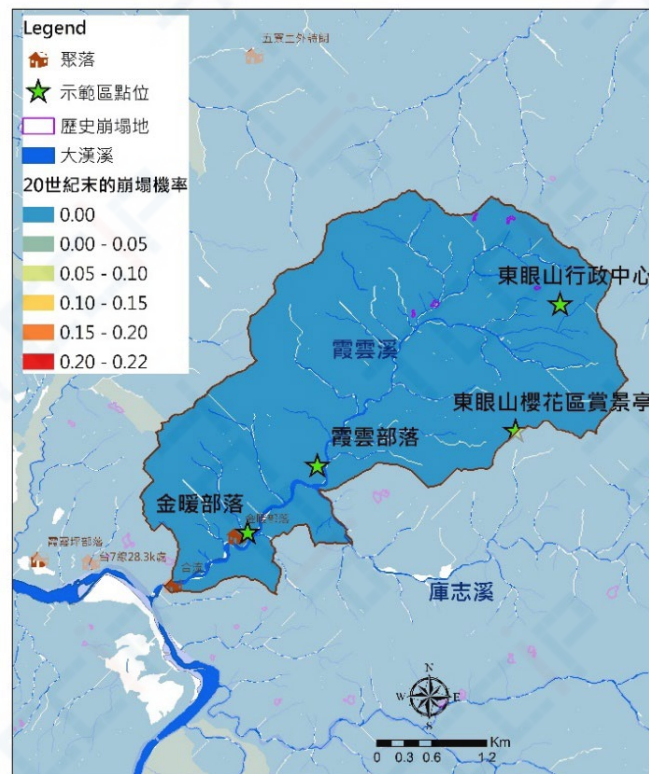
周技正

- 具**未來崩塌機率增加或受崩塌衝擊機率提升**、有明確的保全對象、可操作的調適方法等條件，才有進行氣候變遷調適的**立基點**。因此，該示範區較不具有作為調適示範區的代表性。
- 後續會將現階段所蒐集、分析的相關資料與利害關係人說明，並**結束該示範區相關的調適操作**。

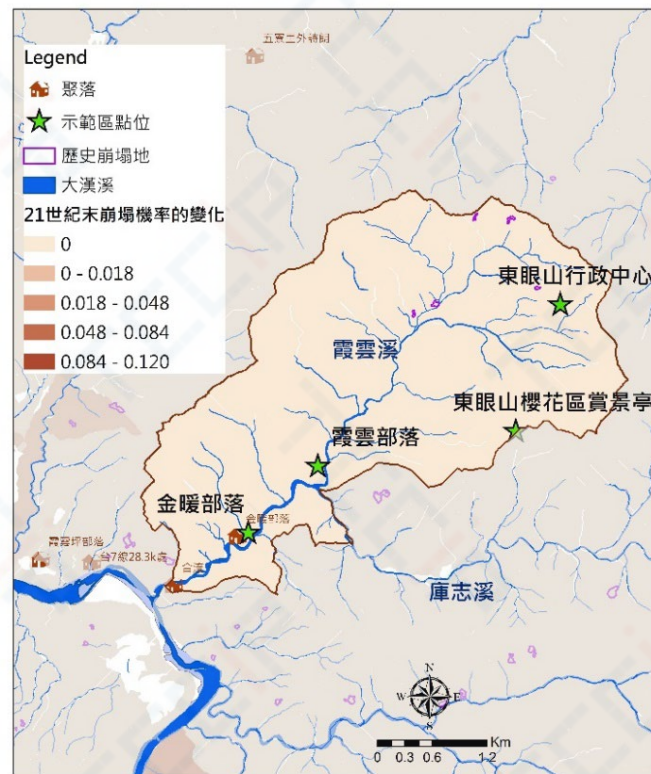
# 氣候變遷下的崩塌衝擊



- 示範區在20世紀末無明顯的崩塌潛勢，且21世紀末的崩塌頻率無顯著變化。
- 氣候變遷下示範區受到崩塌衝擊的可能性低。



20世紀末的崩塌頻率



21世紀末崩塌頻率的變化



# 調適示範案例2

---

秀巒部落

# 歷史回顧



200612



白石溪右側坡面2001年開始發生多起零星崩塌事件，2016年又受到梅姬颱風及2017年0601豪雨影響，崩塌的範圍擴及到上方竹60線鄉道，且若再次發生大規模崩塌，將危及整個秀巒部落。  
資料來源：水土保持局網站(107-10-09)

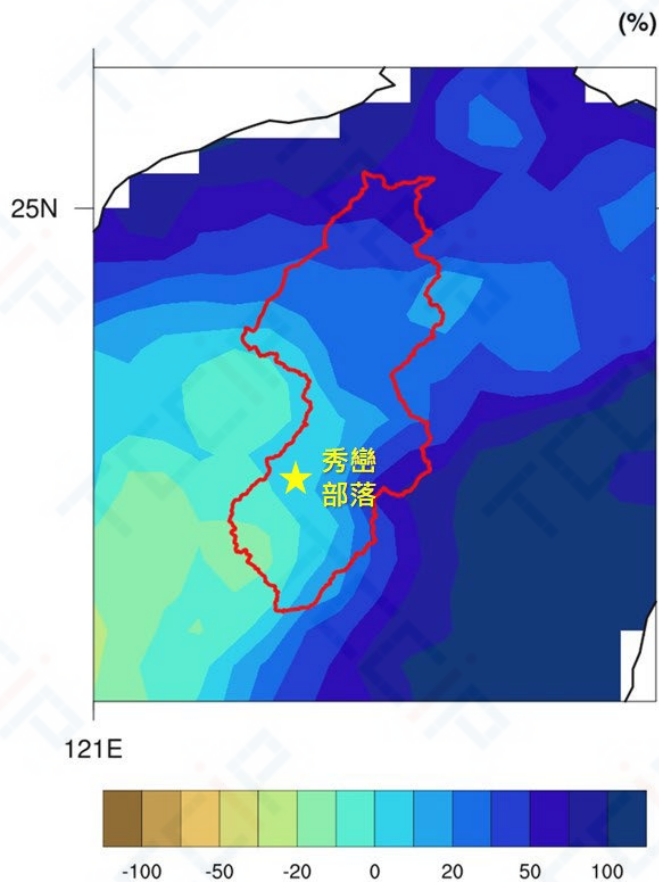
# 現地勘查



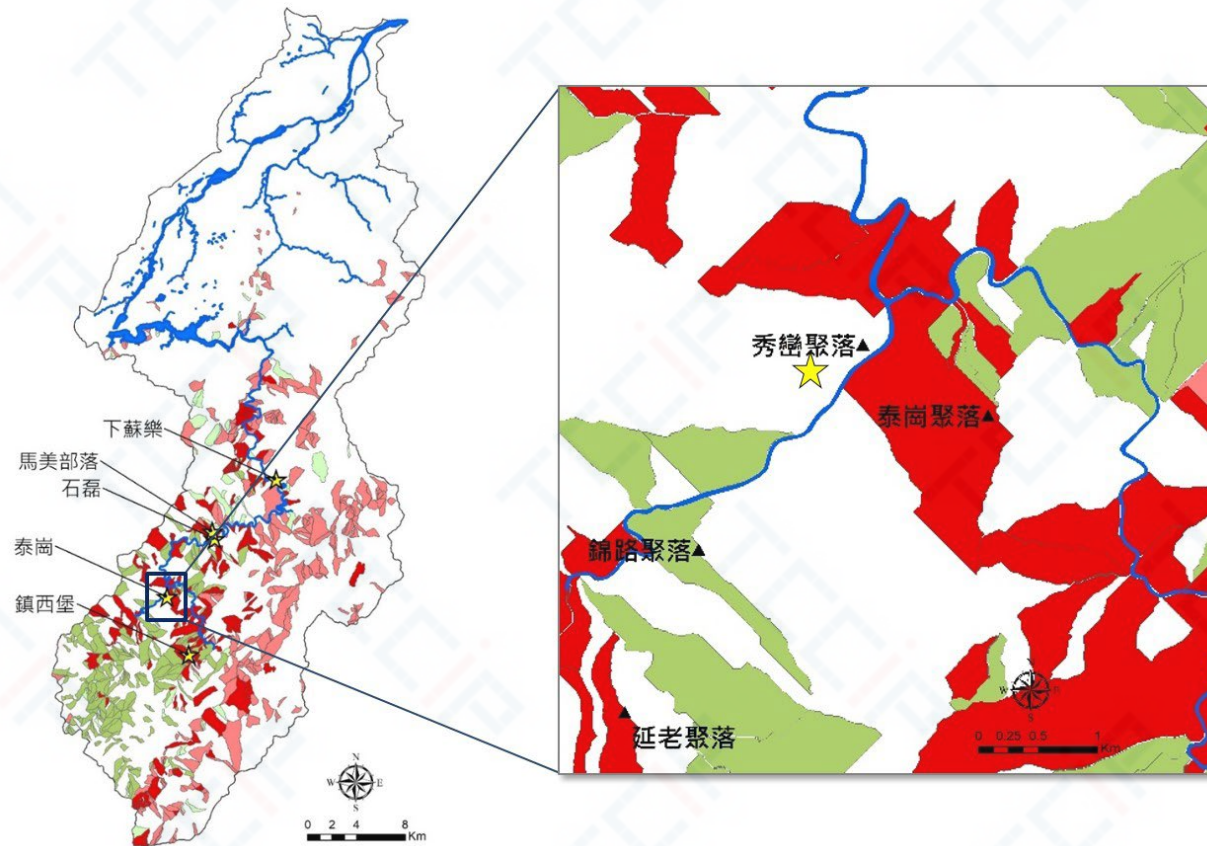
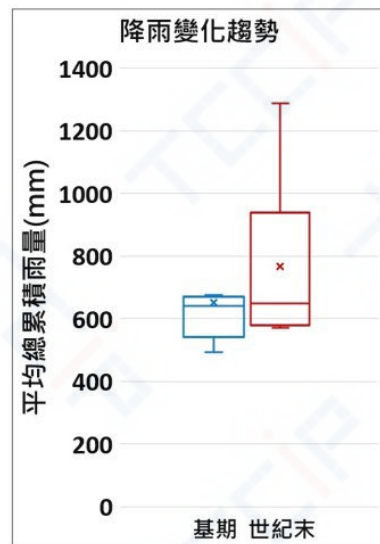
# 氣候變遷下的降雨危害與崩塌衝擊



- 根據氣候變遷下降雨變化趨勢、崩塌衝擊等評估結果，表示秀巒部落在氣候變遷下降雨趨勢增加，且可能受到崩塌衝擊及土石掩蓋的機率提升



模式基期：1979-2003  
未來推估：2075-2099 (世紀末)  
模式數量：1 (動力降尺度)  
資料版本：V3.1



整體降雨趨勢提升(幅度約0~10%)

現在或未來受到崩塌衝擊的可能性皆高

# 利害關係人訪談



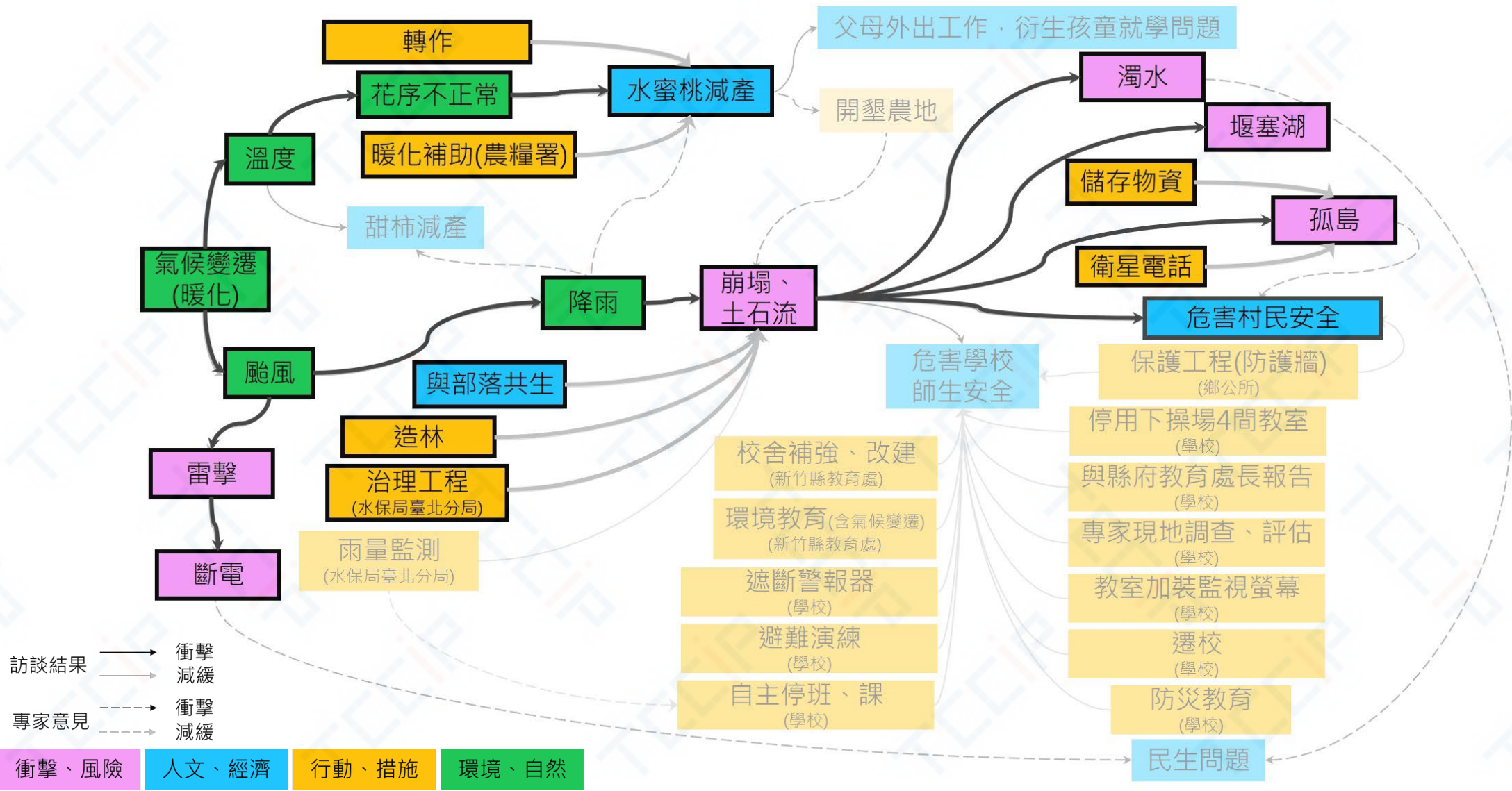
Google Earth

© 2020 Google  
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
Image © 2020 Maxar Technologies

# 訪談結果(1/4)



秀巒村甘村長

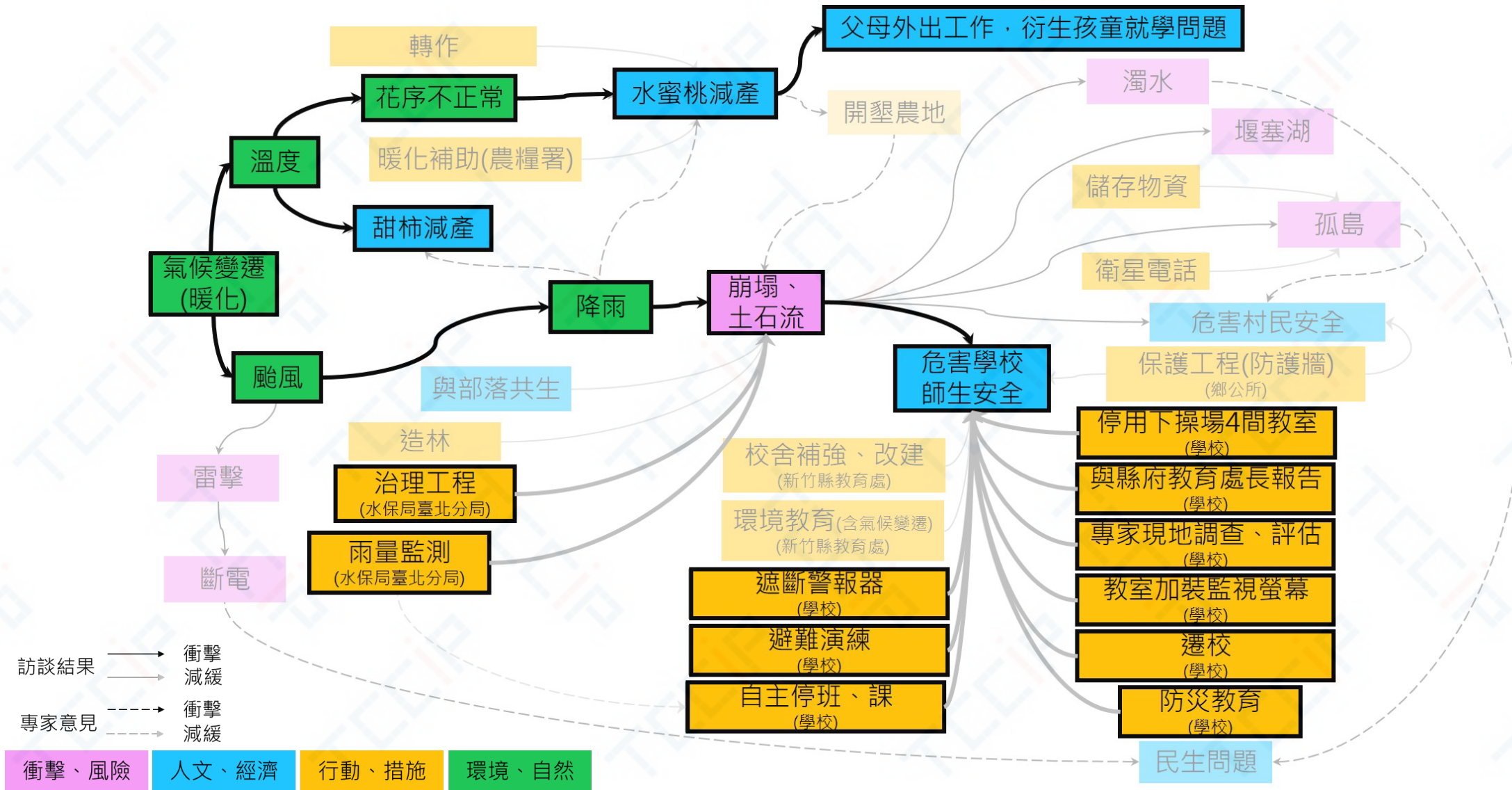




# 訪談結果(2/4)



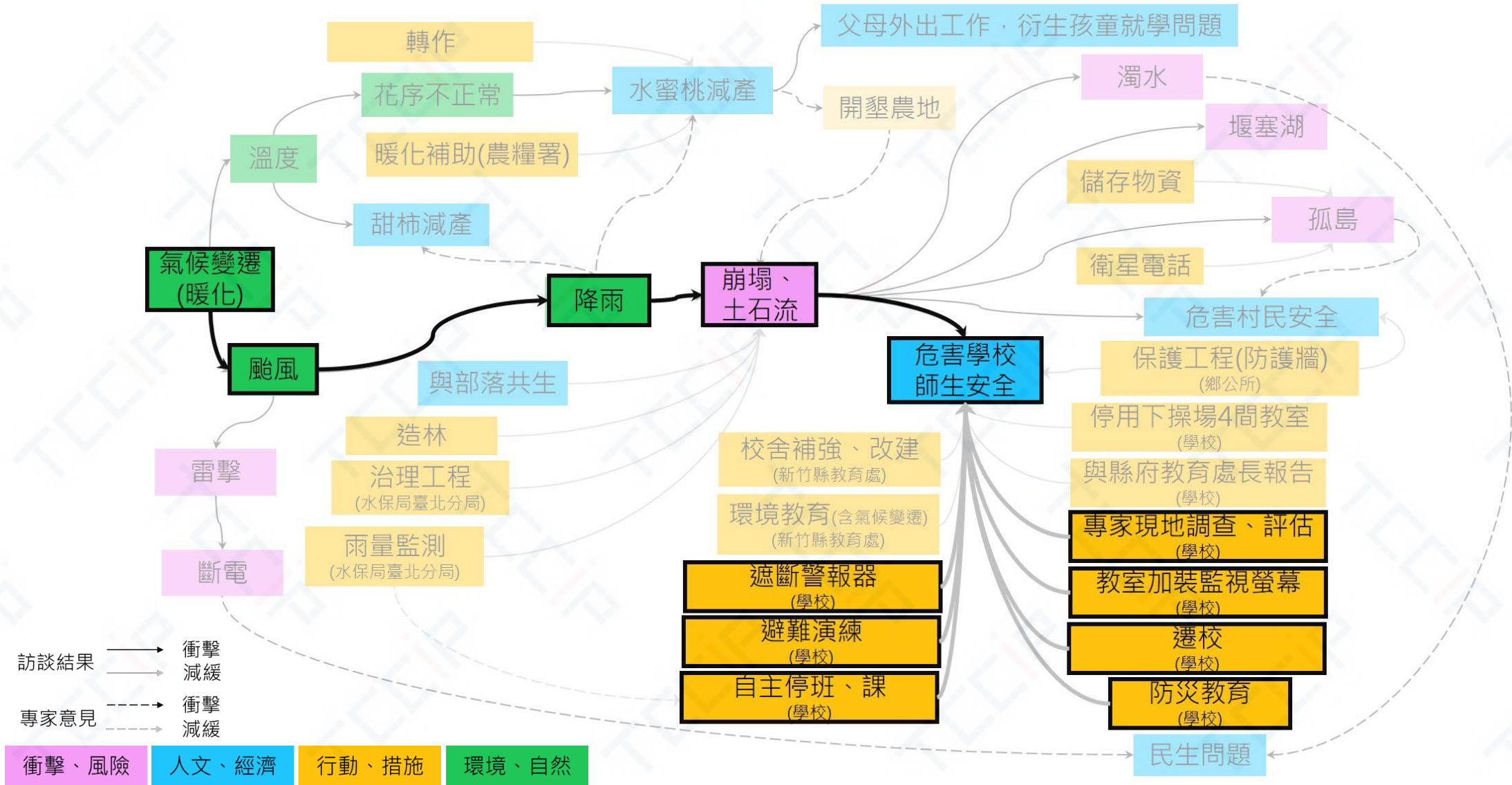
秀巒國小  
蔡校長



# 訪談結果(3/4)



梅花國小  
何校長







# 施行措施



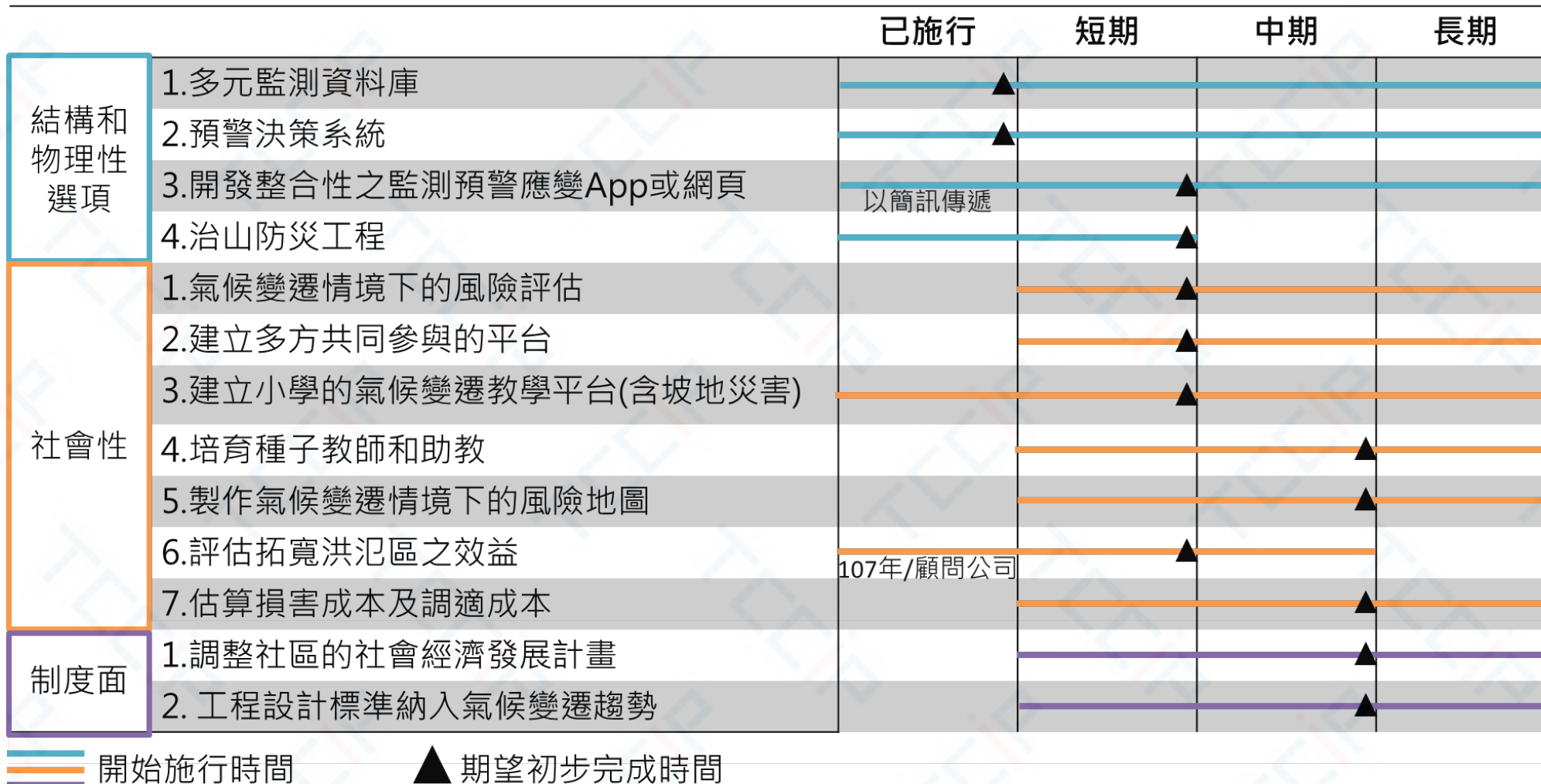
崩塌地



學校



# 利害關係人交流會



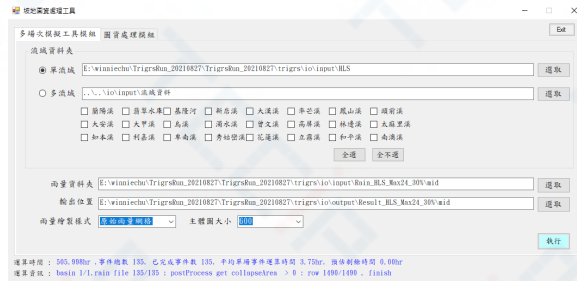
- 案例目前尚未落實「推動執行」及「檢討修正」構面，但已開啟校方、村里及相關單位對該地氣候變遷調適的對話，也**促進多名利害關係人評估多種調適選項的執行可能性**

# 小結 - 下期研究規劃



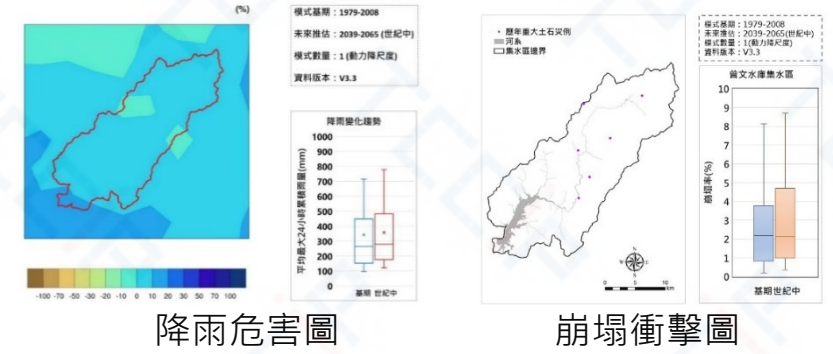
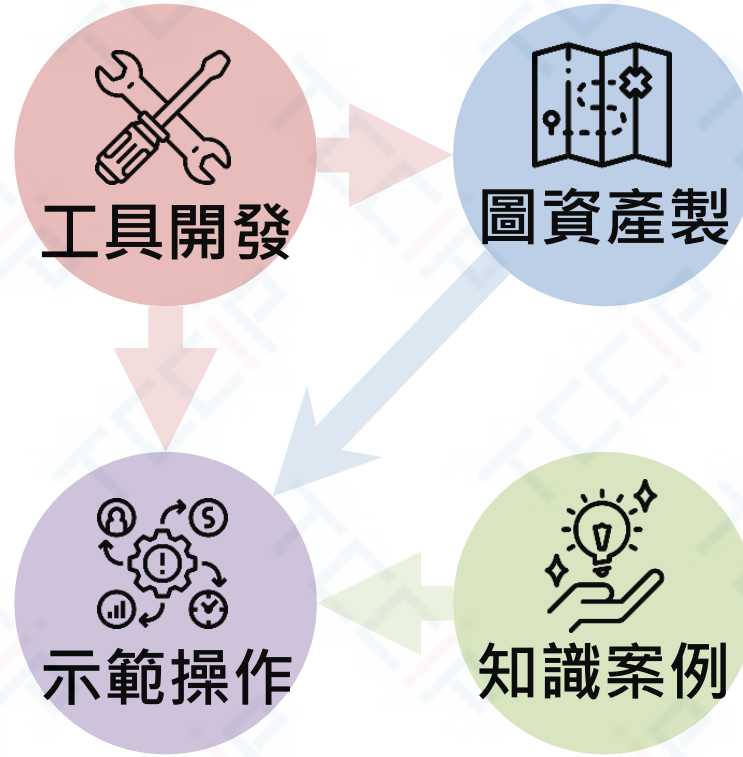
- 多模式評估降低結果不確定性
- TRIGRS淺層崩塌數值模式
- SWI土壤雨量指數

- AR5氣候變遷資料模擬與圖資產製
- AR6氣候變遷資料測試



單機版模組

- 複合性/連動性調適示範案例



- 蒐集國內外調適案例
- 彙整調適選項



調適案例彙整

# 謝謝聆聽 敬請指教

---



TCCIP 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台  
Taiwan Climate Change Project Information and Application Knowledge Platform

