

NCDR 112-T10

坡地災害氣候變遷風險圖研發與應用
Development and application of climate change
risk map for landslides



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 113 年 01 月

NCDR 112-T10

坡地災害氣候變遷風險圖研發與應用
Development and application of climate change
risk map for landslides

陳韻如、林宣汝、劉俊志、童裕翔、陳永明



國家災害防救科技中心
中華民國 113 年 01 月

摘要

「氣候變遷因應法」於 112 年 2 月 15 日公布實行，其中調適專章第 17 條中提到以科學為基礎，檢視現有資料、推估未來可能之氣候變遷，並評估氣候變遷風險。為因應氣候變遷所帶來的挑戰，本研究聚焦於其對坡地災害的影響，以指標法為基礎，評估氣候變遷坡地災害風險。

以 CMIP6 氣候情境評估極端降雨的機率，分析不同增溫情境下(≡1°C、1.5°C、2°C 和 4°C) 坡地災害風險。將指標量化以 Quantile 方法進行分級，呈現不同的空間單元(鄉鎮市區、最小統計區、5KM)之坡地災害相對風險等級分布與變化。評估結果，在 4°C 溫度增溫情境下，北部與東部山區坡地災害風險明顯增加。風險圖因空間尺度不確定的限制，建議使用者若需更細部的空間尺度如坡面與集水區等，需再利用數值模式評估地文因素和脆弱地質特性，以利推動調適策略。

為方便使用者查詢與應用，開發新版氣候變遷災害風險圖台，提供災害風險等級與趨勢查詢、風險等級可信度的評估以及圖資疊加等功能，以做為未來推動氣候變遷政策與調適行動方案參考。

關鍵字: 氣候變遷因應法、CMIP6 增溫情境、坡地風險辨識

Abstract

The impact of climate change is becoming increasingly evident, with frequent occurrences of extreme weather events posing severe challenges to the environment and society. In response to these challenges, this study focuses on the influence of climate change on slope disasters, utilizing an indicator-based approach to assess climate change-induced slope disaster risks. The research evaluates the probability of extreme rainfall under different warming scenarios ($\approx 1^{\circ}\text{C}$, 1.5°C , 2°C , and 4°C) using CMIP6 climate scenarios as the driving force indicator in the risk assessment. Quantification of three indicators, namely hazard, vulnerability, and exposure, is conducted, and a Quantile method is employed for classification, presenting slope disaster risk maps. The spatial distribution and relative risk levels of slope disasters are depicted using various spatial units such as townships, minimum statistical areas, and 5KM grids. The assessment reveals a significant increase in slope disaster risk in the northern and eastern mountainous regions under a 4°C temperature warming scenario. Due to the spatial scale uncertainties in the slope disaster risk maps, users are advised to employ numerical models for a more detailed spatial scale to facilitate regional adaptation strategies. Additionally, an online platform, the new version of the Climate Change Disaster Risk Map, has been developed to enable users to query and apply disaster risk trends, assess risk levels for townships and cities, evaluate the credibility of risk levels, explore trends in climate key indicators, and overlay map data. The research outcomes aim to serve as a reference for government departments and local authorities in formulating and implementing climate change policies and adaptation action plans.

Keywords: Climate Change Adaptation Act, CMIP6 Warming Scenarios, Risk Identification of Slope land

內容

第一章 前言.....	11
1.1 研究目的	11
1.2 坡地災害風險圖發展	12
1.3 章節說明	15
第二章 文獻回顧	16
2.1 坡地災害評估方法	16
2.2 坡地風險圖指標選擇	19
2.3 氣候變遷因應法	24
2.4 氣候變遷坡地災害風險圖專家建議.....	27
第三章 坡地災害風險圖評估方法	32
3.1 氣候變遷情境資料介紹	32
3.2 風險圖指標介紹	36
3.3 指標等級評估方法	45
3.4 不同空間尺度風險圖	49
第四章 氣候變遷情境下坡地災害風險圖	54
4.1 全台坡地災害風險圖	54
4.2 縣市坡地風險圖	65
4.3 坡地風險圖不確定性	78
第五章 氣候變遷坡地災害風險圖應用	81
5.1 坡地災害風險圖資應用	81
5.2 企業應用氣候變遷災害風險圖資	90

第六章 氣候變遷災害風險圖圖台介紹	96
6.1 圖台的發展	96
6.2 新版圖台的功能	100
第七章 結論與建議	106
參考文獻.....	109

圖目錄

圖 1.1 氣候變遷下災害風險圖研發歷程	14
圖 2.1 坡地災害風險分級各風險因子分級結果圖(張志新, 2016) .	21
圖 2.2 坡地災害環境脆弱度各因子圖(陳韻如等, 2016)	21
圖 2.3 ThinkHazard 之台灣崩塌危害度圖	24
圖 2.4 氣候法之國家因應氣候變遷行動綱領與各權責單位之工作	26
圖 2.5 氣候法之調適專章	26
圖 3.1 氣候模式到達增溫情境時的推估時期示意圖	35
圖 3.2 氣候模式到達增溫情境時的推估時期示意圖	36
圖 3.3 坡地災害風險圖各指標定義示意圖	37
圖 3.5 現況(OBS1°C)與 GWL1°C 偏差修正之示意圖.....	39
圖 3.6 網格(E=120.8, N=23.2)現況(1995-2014 年)雨日之 ECDF	40
圖 3.7 網格(E=120.8, N=23.2)現況與 GWL1°C ACCESS-CM2 雨日 之 ECDF	40
圖 3.8 現況各種降雨門檻發生機率之比較	42
圖 3.9 現況與 2°C 下各種降雨門檻發生機率之比較	42
圖 3.10 地質災害潛勢與福衛判釋全島崩塌範圍分布圖	43
圖 3.11 坡地災害風險 Quantile 分級法計算流程.....	46
圖 3.12 不同分級方式風險圖之空間分布圖	49

圖 3.13 不同指標計算之脆弱度圖比較	52
圖 4.1 各增溫情境下全台坡地危害-脆弱度圖(5km 網格).....	55
圖 4.2 不同全球增情境下坡地危害度及危害-脆弱圖比較(5km 網格)	56
圖 4.3 各不同增溫情境下全台坡地危害度等級變化圖(5km 網格).	57
圖 4.4 各不同增溫情境下全台坡地危害-脆弱度等級變化圖(5km 網 格).....	58
圖 4.5 各增溫情境下全台坡地災害風險圖(鄉鎮市區)	59
圖 4.6 不同全球增情境下坡地危害度及風險圖比較(鄉鎮市區)	60
圖 4.7 各不同增溫情境下全台坡地危害度等級變化圖(鄉鎮市區).	60
圖 4.8 各不同增溫情境下全台坡地災害風險等級變化圖(鄉鎮市區)	61
圖 4.9 全球增溫 2°C 與 1°C 情境下全台坡地各指標等級變化圖(鄉 鎮市區).....	61
圖 4.10 各增溫情境下全台坡地災害風險圖(最小統計區).....	63
圖 4.11 不同全球增情境下坡地危害度及風險圖比較(最小統計區)	64
圖 4.12 各不同增溫情境下全台坡地危害度等級變化圖(最小統計區)	64
圖 4.13 各不同增溫情境下全台坡地災害風險等級變化圖(最小統計 區).....	65
圖 4.14 各增溫情境下北北基之坡地危害-脆弱度圖 (5km 網格) .	67

圖 4.15 各不同增溫情境下北北基坡地危害-脆弱度等級變化圖(5km 網格).....	68
圖 4.16 各增溫情境下北北基之坡地災害風險圖（鄉鎮市區）	69
圖 4.17 各不同增溫情境下北北基坡地災害風險等級變化圖(鄉鎮市 區).....	69
圖 4.18 各增溫情境下北北基之坡地災害風險圖（最小統計區） ..	71
圖 4.19 各不同增溫情境下北北基坡地災害風險等級變化圖(最小統 計區).....	71
圖 4.20 各增溫情境下新竹縣市之坡地災害風險圖(5km 網格).....	73
圖 4.21 各不同增溫情境下新竹縣市坡地危害-脆弱度等級變化圖 (5km 網格).....	74
圖 4.22 各增溫情境下新竹縣市之坡地災害風險圖（鄉鎮市區） ..	75
圖 4.23 各不同增溫情境下新竹縣市坡地災害風險等級變化圖(鄉鎮 市區).....	75
圖 4.24 各增溫情境下新竹縣市之坡地災害風險圖(最小統計區) ...	77
圖 4.25 各不同增溫情境下新竹縣市坡地災害風險等級變化圖(最小 統計區).....	77
圖 4.26 全台坡地災害風險圖套疊危害度模式變化情形	79
圖 4.27 增溫 4°C 情境下全台坡地災害風險圖不確定性與等級變化	80

圖 5.1 省縣道與山區聚落於 2°C 坡地災害危害-脆弱圖分布	83
圖 5.2 在 1°C 及 1.5°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊聚落空間分布	84
圖 5.3 在 2°C 及 4°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊聚落空間分布.	84
圖 5.4 在 1°C 及 1.5°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊主要道路....	85
圖 5.5 在 2°C 及 4°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊主要道路.....	85
圖 5.6 2°C 坡地危害-脆弱度圖套疊不安定土砂集水區.....	87
圖 5.7 在 2°C 情境下危害-脆弱度圖套疊鄰近高風險出流點橋梁....	87
圖 5.8 在 2°C 情境下危害-脆弱度圖套疊土石流潛勢溪流.....	88
圖 5.9 新竹縣尖石鄉建物與坡地災害風險圖	89
圖 5.10 百大企業應用 TCCIP 與災防科技中心圖資統計.....	91
圖 5.11 金融產業應用災防科技中心資料統計	93
圖 5.12 其他產業應用災防科技中心資料統計	93
圖 6.1 氣候變遷災害風險圖發展歷史	98
圖 6.2 Dr.A 網頁氣候變遷災害風險圖展示圖台(2019 年).....	98
圖 6.4 新版氣候變遷災害風險圖台(MapBox).....	99
圖 6.5 在 2°C 情境下全台最小人口統計區坡地災害風險圖	101
圖 6.6 在 4°C 情境下全台最小人口統計區坡地災害風險圖	101
圖 6.7 全台版鄉鎮市區尺度坡地災害風險等級查詢	102
圖 6.8 全台版鄉鎮市區尺度坡地災害風險可信度查詢	102

圖 6.9 危害-脆弱圖與氣候關鍵指標-年最大日降雨.....	103
圖 6.10 圖資疊加功能	104
圖 6.11 全台最小人口統計區坡地災害風險圖	104

表目錄

表 1.1 不同版本之坡地災害風險圖資料特性說明	14
表 2.1 山崩土石流之類型與定義	16
表 2.2 國家與區域尺度崩塌風險評估的資料來源(UNISDR, 2017)22	
表 3.1 全球暖化程度對應的調適目標設定時期	32
表 3.2 危害度及脆弱度計算網格數	51
表 5.1 企業 TCFD 與 CSR 報告應用 Dr. A 圖資統計.....	92
表 5.2 產業應用災害風險圖範例	94

第一章 前言

1.1 研究目的

國家災害防救科技中心(簡稱災防科技中心)自 2012 年以科研成果應用為目的，開始研發的氣候變遷情境下災害風險圖，自早期 2012 年國家發展委員會(過去簡稱經建會)研擬「國家氣候變遷調適政策綱領」與「國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)」，將八大調適領域行動計畫中的「災害」列為一項關鍵的衝擊與調適領域，且政策綱領中災害領域類別的重要行動計畫需辨識高風險區位。以及後續立法院在 2019 年正式核定第二期(107-111 年)國家氣候變遷調適行動方案中，亦持續以整合性思維，推動我國社會、經濟及環境之永續發展。

2023 年 2 月 15 日公布實行「氣候變遷因應法」，新增調適專章其中第 17 與 18 條中提及推估未來可能之氣候變遷，並評估氣候變遷風險，藉以強化風險治理及氣候變遷調適能力。這部分需要藉由風險圖之空間分布，據以列出應優先執行調適措施之高風險區位或對象做為調適參考。且新一階段國家氣候變遷調適行動方案 (112-116 年) 即將展開，風險圖製作將納入於能力建構評估，持續發展災害風險評估技術，作為後續其他領域應用與參考。

除了在氣候變遷因應法中，中央與部會需進行氣候風險評估，另外在產業應用方面，近年氣候財務揭露報告(TCFD)與企業永續報告(CSR)，皆需藉由氣候變遷災害風險圖的危害-脆弱圖評估氣候變遷情境下災害風險對擔保品的影響。

考量上述政策評估需求與外部不同領域應用需求，且氣候情境與時俱進，本研究利用國科會之「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)」提供之最新的 CMIP6(Coupled Model Intercomparison Project Phase 6，簡稱 CMIP6)模式資料，經統計降尺度後的 5 公里解析度之日降雨資料作新氣候情境下降雨資料，評估坡地災害的危害度指標，進而應用經濟部地質調查及礦業管理中心(簡稱地礦中心)公告的地質災害潛勢圖資等評估坡地災害脆弱圖，利用不同指標分級方式疊加後完成的圖資，作為空間上風險辨識之參考。

1.2 坡地災害風險圖發展

氣候變遷坡地災害風險圖至今發展到第三版(2023 年)，配合情境資料逐步更新坡地災害風險圖，從早期利用高解析度的單一 GCM(General Circulation Model)模式(MRI)的小時極端降雨資料分析災害特性的危害度指標。到現今有 CMIP6(IPCC 之 AR6 報告)的固定增溫情境日降雨資料，且多達 110 個 GCM 模式可供參

考，各年發展的氣候變遷坡地災害風險圖與各版本採用的資料來源與指標如圖 1.1 與表 1.1 所示。

坡地災害風險圖第一版與第二版分別採用 TCCIP 於 2012 年完成之 A1B 情境下 MRI 動力降尺度 5km 網格小時資料評估，與 MRI 動力降尺度 RCP8.5 情境世紀末期間的降雨變化。第一版於 2013 年對外公開，主要以鄉鎮空間尺度呈現全台風險等級差異。第二版坡地風險圖的圖資不僅有全台坡地鄉鎮風險等級圖資，另針對 17 縣市各別縣市內的鄉鎮坡地災害風險等級，以提供縣市尺度規劃者應用。

國科會 TCCIP 計畫自 2018 年發展 CMIP5 多模式統計降尺度日資料，災防科技中心先期應用於淹水災害風險圖評估。於 2023 年 TCCIP 提供 CMIP6 新版的情境資料統計降尺度日雨量資料，並配合國家情境設定便採用最新固定暖化情境的多模式的日降雨資料，評估第三版氣候變遷坡地災害風險圖坡地風險圖中，評估的情境包含、 2°C 、 1.5°C 、 4°C 等暖化情境下多個大氣環流模式之降雨衝擊，利用多模式(GCMs)的評估，以降低氣候變遷情境的不確定性，並與現今接近 1°C 情境相互比較其未來坡地災害風險等級之空間變化。

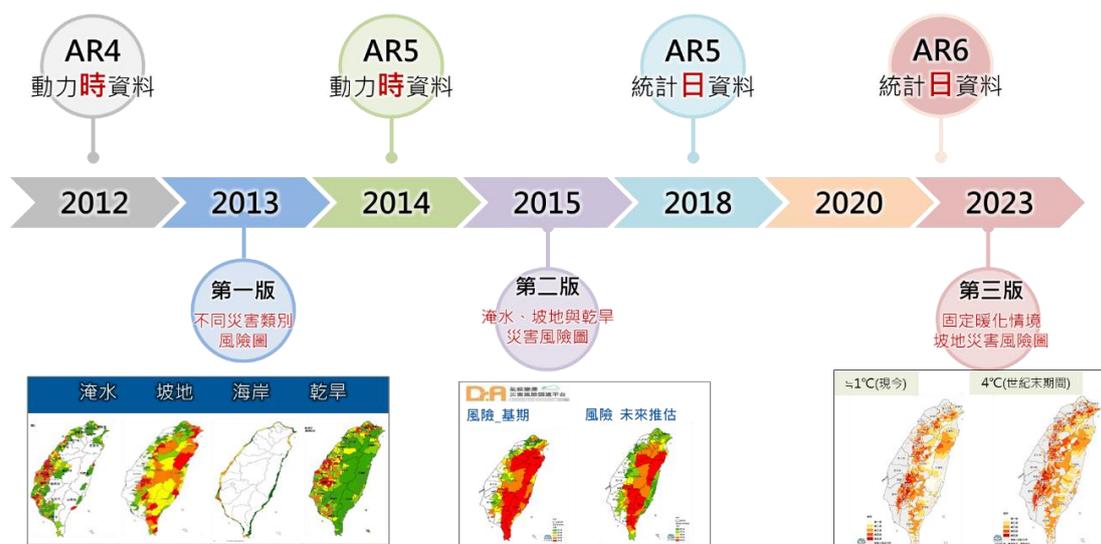


圖 1.1 氣候變遷下災害風險圖研發歷程

表 1.1 不同版本之坡地災害風險圖資料特性說明

項目 \ 版本	2013 年	2015 年	2023 年
	第一版	第二版	第三版
情境	A1B	RCP8.5	固定暖化情境 ≡1°C、2°C、 1.5°C、4°C
資料	單一 GCM 模式 動力降尺度	單一 GCM 模式 動力降尺度	110 個 GCM 模式 統計降尺度
大氣環流模式	日本-MRI	日本-MRI	多模式
推估期	世紀中/世紀末	世紀末	世紀中、世紀末
時間尺度	小時	小時	日
空間尺度	鄉鎮市區	鄉鎮市區	5km 網格、鄉鎮市 區、最小人口統計 區
危害度圖	350mm/24hr 極端降雨機率	350mm/24hr 極端降雨機率	350mm/day 極端降雨機率
脆弱度圖	地質災害潛勢 六級坡以上範圍 裸露地面積	地質災害潛勢 六級坡以上範圍 歷史崩塌範圍	地質災害潛勢 裸露地面積比
暴露度圖	現況人口密度	現況人口密度 茶樹範圍	現況與推估 2036 年人口密度

1.3 章節說明

後續章節中將針對風險圖評估方法與應用詳細說明，第二章將介紹國內外常見評估坡地災害的方法，以及如何應用統計方法選評估坡地災害指標等級，針對專家建議作為後續評估與應用坡地災害風險圖參考依據，與氣候變遷因應法相關風險評估能力建構的說明。第三章將詳細介紹坡地災害評估方法，包含採用的氣候情境說明、指標的挑選與各指標特性與分級方式等。坡地災害風險圖成果與應用範例於第四章與第五章分別描述介紹；於第六章將介紹新版氣候變遷災害風險圖台，參考使用者意見於2023年10月上架提供使用者查詢，最後，第七章則是此研究結論與建議。

第二章 文獻回顧

2.1 坡地災害評估方法

坡地災害分類依不同使用目的其分類方式不同，下表根據其運動方式、材料種類及滑動面的深淺分類，可區分為岩屑崩滑、岩體滑動、落石及土石流等四類型，其定義如表 2.1 所示。

表 2.1 山崩土石流之類型與定義

類型	定義說明
落石	指岩塊或岩體從陡峭的岩壁上分離後，以自由落體、滾動或彈跳的方式，快速向下移動的現象。
岩體滑動	屬於規模較大、滑動面深度較深的山崩，岩體滑動的滑動破壞面通常會深入岩層內，滑動時多是整片岩體完整地往下滑動，滑動範圍甚至可達數十公頃以上。其中還包含因順向坡地形所產生的大規模岩體滑動。
岩屑崩滑	指較鬆軟破碎的岩屑、崩積層或土壤等材料，在陡坡與緩坡發生崩落與滑動的情形。岩屑崩滑後的裸露坡面經常呈現細長條狀，崩滑下來的土石則大多堆積於坡腳處。
土石流	指泥、砂石、礫石及巨石等材料與水混合後，受到重力的影響，沿著斜坡、河道或溝渠等路徑，由高處流至低處的現象。土石流的流速快、沖蝕力道強且衝擊力大，所流經的田地、房屋、道路及其他設施物，皆會遭到嚴重的破壞。

臺灣發生坡地災害通常都是多為降雨量較大、較強的颱風及豪雨事件（不包含地震事件），臺灣降雨較集中的在 5、6 月的梅雨季，以及 7 至 9 月的西南氣流及颱風事件，故颱風、豪雨季節期間，劇烈的降雨與山區降雨量多於平地特性，經常誘發山區坡

地災害。發生土石流的機制與落石、岩體滑動、岩屑崩滑較不同，在此研究中坡地崩塌潛勢則先參考地礦中心判釋的落石、岩體滑動、岩屑崩滑潛勢圖進行評估。

陳韻如等人(2022)整理推估可能發生降雨觸崩的崩塌潛勢(Landslide Susceptibility)的評估方法，包含專家評分法(如層級分析法(AHP)、因子加權分析等)、統計法(邏輯式回歸、類神經網路、機器學習、指標疊加等)與定率法(數值模式 TRIGRS、崩塌降雨入滲模式、三維地下水數值模式 FEMWATER 等)。

鐘明劍等人(2011)針對崩塌潛勢評估方法分別介紹，其中專家評分法是依據專家經驗，參考現場調查成果，擬定崩塌關聯因子，並賦予每個案例不同的因子評分值，經加權後得到各案例之評分值，再藉由分級決定崩塌潛勢。專家評方法執行因各項因子之決定及權重與評分均較主觀，且不同的案例未能有一致的評分項目與評分標準。

利用統計法分析崩塌潛勢，主要藉由分析已發生崩塌區域之各項影響因子組合，再針對未發生崩塌，但具有相同組合特性之區域，進行量化的潛勢預測，常見的方法如多變量分析法、類神經網路法、人工智慧等。因統計方法需建立大量的影響因子組合及大量的崩塌事件，以訂定各項因子之權重值方可達成，較適用

於監測資料較完整之都市周緣地區，而較不適用於缺乏雨量測站資料及即時山崩報導之偏遠山區。

定率法較適用於缺乏山崩與降雨統計資料之偏遠山區，定率法是利用物理與力學概念模型，透過極限平衡法求解不同降雨條件下，各邊坡單元之穩定性，模式中的力學與水文地質參數，則須透過現地調查及試驗，建立各地質分區，以參數反算分析，以獲得集水區之代表性參數。

利用物理模式與數值模型分析坡地災害潛勢，主要針對小區域的地區模擬，較不適合大範圍，且經常欠缺現地的土壤、岩體和地下水條件等詳細和小時雨量資料，故在模擬驗證上經常有其限制。模擬全台的邊坡相當耗時耗資源，且大範圍的預測準確性低。

近年人工智慧(AI)、機器學習藉由深度學習推估未來可能發生的崩塌的位置，作為坡地預警應變參考，利用 AI 與機器學習，預測崩塌地成功率約 75-95%，但僅限於預測特定類型和大小的崩塌，過度擬合和相應的預測不足，應用於氣候變遷之未來長期規畫有其限制。

為能了解現況與未來氣候情境下，大範圍全台山坡地區域的高風險區之熱區分布，本研究採用指標疊加之統計方法，評估全

台的氣候變遷情境下崩塌潛勢，採用挑選代表性指標反應各地區的崩塌特性，搭配大氣環流多個模式的降雨結果，評估未來固定增溫期間的全台的坡地災害衝擊等級差異，並分別採用 5km 網格、鄉鎮市區以及最小人口統計區呈現坡地災害風險圖。

2.2 坡地風險圖指標選擇

為選用合適指標以呈現台灣山坡地崩塌潛勢特性，並考量氣候變遷情境的降雨因素，本研究參考過去評估崩塌潛勢採用統計方法疊加指標，經常採用的因子作為指標的選擇參考。

Korup and Stolle (2014)針對應用機器學習統計分析推估崩塌潛勢因子選擇的文獻中整理出，常用推估崩塌潛勢因子包括:坡度(71%)、坡向(57%)、岩性(54%)、平面曲率(43%) 和至排水網絡距離 (43%)、至斷層的距離(40%，考量地震)、海拔高度(32%)、土壤或土地利用類型(28%)、植被指數 (NDVI, 23%)、道路的距離(24%)、年降水量 (13%)，括弧中數字表示文獻數量比例。由此可知，現地的地形與地質特性相關指標經常是被用來作為未知地區的統計預測分析。

水保局(2005)利用邏輯斯迴歸模式，建立坡地災害發生潛勢影響模式，分別考量崩塌因子:坡度、順向坡比、距斷層距離、河川密度及崩塌率，以及土石流因子:溪床平均坡度、有效集水區面

積及崩塌率，與降雨因子採用連續二日雨量。Saito and Matsuyama(2015)，利用時雨量與土壤雨量指標(SWI)50年重現期作為評估日本崩塌潛勢評估。陳振宇等人(2019)以2005-2017年之降雨事件，建立降雨危害度指標與地文脆弱度指標，分析坡地降雨致災風險等級。

林又青等人(2011)與張志新等人(2012)坡地災害風險評估所採用的指標如圖 2.1，其中降雨指標以2000~2009年雨量測站的時雨量資料，分析48小時延時雨量，達坡地災害警戒雨量之降雨機率值，以s自然斷點最佳化法，高雄山區降雨造成坡地災害機率高，中部山區次之。陳韻如等人(2014、2016)評估氣候變遷坡地災害風險，則採用350mm/24hr的降雨機率作為危害度，以地質災害、坡度、崩塌面積等作為環境脆弱度指標，如圖 2.2 並比人口密度與人類發展指標(HDI)作為社會脆弱度指標。

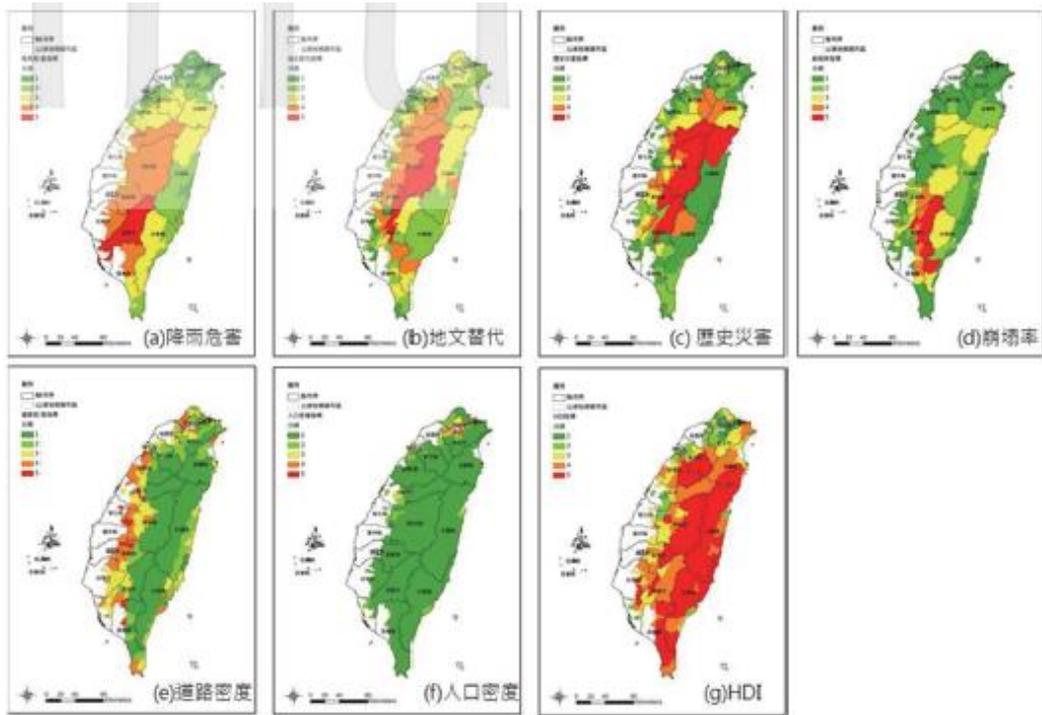


圖 2.1 坡地災害風險分級各風險因子分級結果圖(張志新，2016)

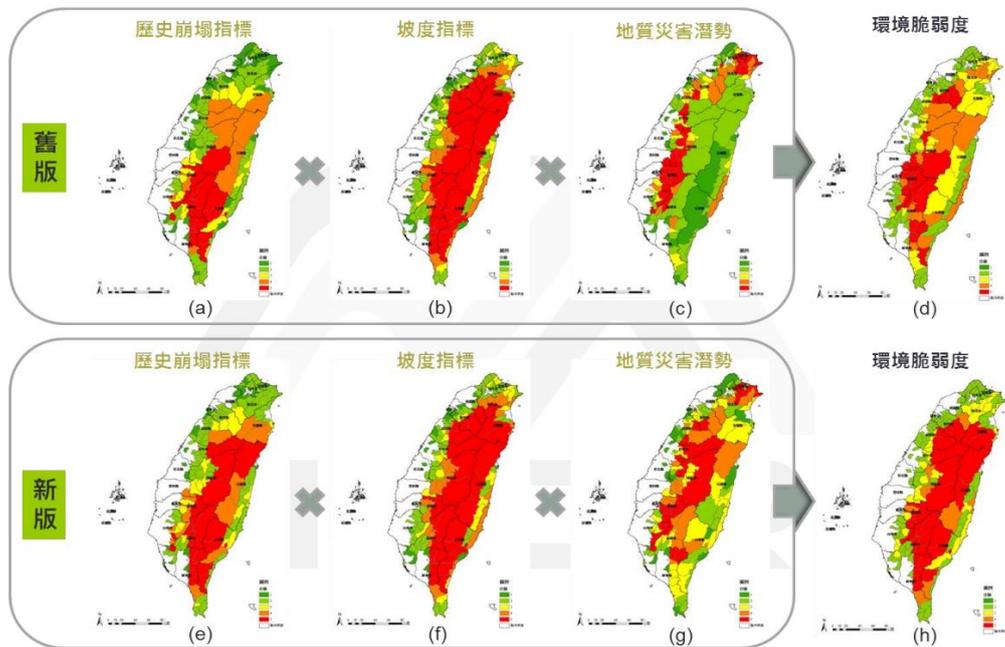


圖 2.2 坡地災害環境脆弱度各因子圖(陳韻如等，2016)

聯合國辦公室減災風險(United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNISDR)出版國家災害風險評估指南(2017)，其中第三部分如表 2.2，針對崩塌災害風險評估採用的指標，與建議收集資料來源如考量資料蒐集性，採用指標包含數值高程、岩性、植被覆蓋、土壤水分因子、每小時、每日和每月降水量、地震、基礎設施和山區公路/鐵路網絡。

表 2.2 國家與區域尺度崩塌風險評估的資料來源(UNISDR, 2017)

Description of input data	National entities that most commonly have this data	Examples of open databases available from international sources
Digital elevation model	National mapping and cartography authority	SRTM30 (NASA)
Lithology	National geological survey	UNESCO (CGMW, 2000), One Geology initiative
Vegetation cover	National agriculture/ environment and/or national forest agency	GLC2000 database
Soil moisture factor	National agriculture/ environment and/or national meteorological agency	Climate Prediction Center
Hourly, daily and monthly precipitation	National meteorological agency	Global Precipitation Climatology Centre of the German National Meteorological Service, DWD
Seismicity	National building code(s)	Global Seismic Hazard Program, Global Earthquake Model
Infrastructure and road/railway network in mountainous regions	National road and/or railway authority	Google maps

資料來源: UNISDR, National Disaster Risk Assessment Guidelines, PART III: HAZARD SPECIFIC RISK ASSESSMENT, 2017

全球減災與回復基金(Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, 簡稱 GFDRR)與世界銀行組織(World Bank)共同推動的全球自然災害危害查詢圖資 (ThinkHazard, <https://thinkhazard.org/en/>)，圖台中提供世界各地的每個區、省或

國家行政單位內的自然災害的危害可能性，並將分成四個等級（非常低、低、中和高），提供使用者了解各個地區的危害的風險，並不提供特定位置的危險等級。危害等級評估危害超過預定門檻值的可能性，而門檻值是根據專家判斷危險頻率和強度所設定的。該工具是提高對某個地區存在的危險的認識的起點，若要確定特定位置的危險等級，使用者需參考當地地區更詳細的危害地圖。

ThinkHazard 在崩塌危害度指標，採用的指標包含穩定性指標：坡度、土地或植被覆蓋、土壤類型和地質條件以及土壤濕度；觸發因子指標則是考量降雨和地震活動。其中網格單元的崩塌頻率與崩塌穩定性圖，坡度、距離斷層的距離、地質分類、道路的比例和森林損失。International Centre for Geohazards (NGI): Global landslide frequency map (UNISDR GAR2013)，每平方公里年發生頻率。全球崩塌資料來源 NASA SEDAC: Global Landslide Hazard Distribution, v1 (CHRR, CIESIN and NGI, 2005)。圖台中台灣地區的崩塌危害圖如圖 2.3。

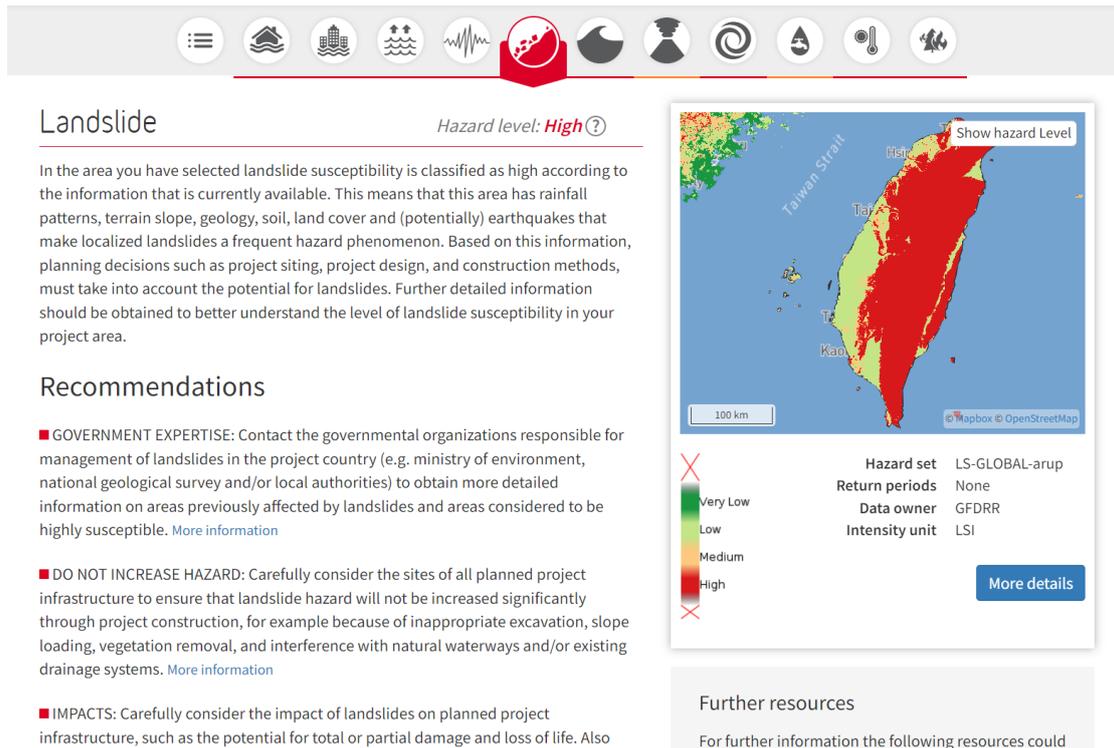


圖 2.3 ThinkHazard 之台灣崩塌危害度圖

資料來源: <https://thinkhazard.org/en/report/147296-taiwan/LS>

綜合國內外文獻相關研究，地質特性、坡度、歷史崩塌、道路距離等，都是影響崩塌的環境脆弱性，驅動的降雨因子則多考坡地風險圖評估方法

2.3 氣候變遷因應法

全球氣候變遷情勢嚴峻，世紀末溫升需控制在 1.5°C 以下，為提升因應氣候變遷，且以實現 2050 年淨零減碳為目標，並達成永續發展目標，環保署根據 2015 年公告針對氣候治理之「溫室氣體減量及管理法」(簡稱溫管)，提出修正草案，希望能夠刻不容緩共同面對氣候挑戰。2023 年 1 月 10 日，立法院正式三讀通過溫

管法，正式更名為「氣候變遷因應法」(簡稱，氣候法)，同年的 2 月 15 日經總統正式公告。「氣候法」計有 7 章，63 條，為重要之氣候治理法源。氣候法修正五大要點包含:淨零目標入法、增加氣候調適、提升氣候治理、強化減量工具與徵收碳費機制等。

氣候法將氣候變遷調適行動計畫與方案入法，強化 5 年一期國家溫室氣體階段管制目標及方案之執行與管考，並於第二章明定跨部會的權責，由行政院永續會統籌，明確指派各部會負責各項減碳工作。相關工作之部會包含環保署、經濟部、國科會、交通部、內政部、農委會、海委會、金管會、財政部、外交部、國發會、原民會等，各部會的權責與相關行動計畫與方案之規定，如圖 2.4 所示。

氣候法修法新增「調適專章」，法條的第 17 條至第 20 條，如圖 2.5 所示。從基礎能力建構、科研推估接軌、確定推動架構等重點著手，提升國家整體因應氣候變遷基礎能力；同時強化科研接軌，由中央主管機關與中央科技主管機關進行氣候變遷科學及衝擊調適研究發展，定期公開氣候變遷科學報告，各級政府藉此規劃早期預警機制及系統監測；確定氣候變遷調適推動架構，由中央目的事業主管機關訂定「權責領域調適行動方案」，中央主管機關整合擬訂「國家氣候變遷調適行動計畫」，地方政府訂定「氣候變遷調適執行方案」強化因地制宜之調適策略，透過每年編寫

成果報告，以實踐資訊公開及公眾參與程序。



圖 2.4 氣候法之國家因應氣候變遷行動綱領與各權責單位之工作

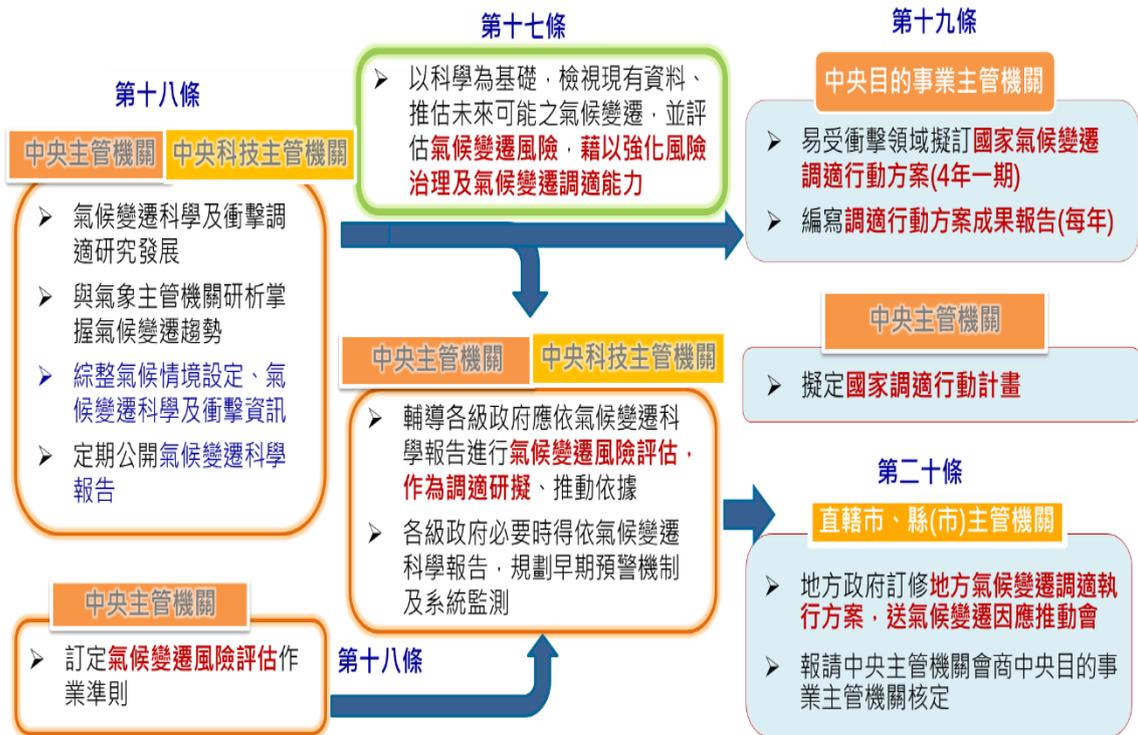


圖 2.5 氣候法之調適專章

氣候法之調適專章第 17 條中提到以科學為基礎，檢視現有資料、推估未來可能之氣候變遷，並評估氣候變遷風險，藉以強化風險治理及氣候變遷調適能力。需要藉由風險圖之空間分布，據以列出應優先執行調適措施之高風險區位或對象做為調適參考。第 18 條第 1 項：「中央主管機關與中央科技主管機關應進行氣候變遷科學及衝擊調適研究發展，並與氣象主管機關共同研析及掌握氣候變遷趨勢，綜整氣候情境設定、氣候變遷科學及衝擊資訊，定期公開氣候變遷科學報告。」以及第 2 項「中央主管機關與中央科技主管機關應輔導各級政府使用前項氣候變遷科學報告，進行氣候變遷風險評估，作為研擬、推動調適方案及策略之依據。各級政府於必要時得依據前項氣候變遷科學報告，規劃早期預警機制及系統監測。」

2.4 氣候變遷坡地災害風險圖專家建議

氣候變遷風險評估因氣候法通過，各部會與地方政府亦需針對八大領域評估氣候變遷衝擊與調適行動計畫。災防科技中心為落實氣候變遷災害風險圖符合利害關係人之需求，分別訪談水保署與公路總局相關部會，以及邀請專家學者提供建議，以作為改善風險圖之參考，相關的會議紀錄如附錄一與附錄二，下文針對部會與專家學者提供的意見，分成(1)指標建議、(2)空間單元、(3)

風險圖應用、(4)其他等四類說明。

(1)指標建議

針對坡地風險圖採用的指標給予建議如下：

降雨指標：水保署建議風險圖中採用的危害度指標(降雨)，建議依據不同區域使用不同警戒值，指標選定可採用長延時的350mm/1day 機率或350mm/3day 機率，不建議短延時(3hr)降雨特性，因強降雨分布位置不確定性高、土壤崩塌規模小，5km 網格氣候模式無法反應3小時淺層崩塌。

針對此建議本研究將於第三章危害度指標評估方法，說明不同延時指標等級化後，差異不大，風險圖主要用應用於空間上熱區的辨識，並非呈現實際數值呈現。若採用各鄉鎮市區不同警戒值，評估的降雨特性，可能重複計算各區域的地文特性，因各地區警戒值設定除了考量降雨特性外，仍包含各地的地形、地文與地質等特性，恐故本研究採用350mm/day之門檻值，評估5km網格之極端降雨機率，其他地文特性指標則於脆弱度指標反應。

脆弱度指標：建議蒐整國內外坡地風險指標相關參考文獻，確認適合因子，並評估考量權重。可以地質災害指標與裸露地指標作為依據，地質災害潛勢指標已考量地形與地質特性。「坡向」指標則不建議納入脆弱度指標因子，造成崩塌主因為雨量。坡向

在 5 公里解析度，不易呈現坡面單元變化，建議小區域集水區流域尺度，進行細部變化評估。另外，可以歷史災點與崩塌面積做為驗證脆弱度指標。

公路總局以道路衝擊評估需求，建議降雨指標需到達某種程度以上才會對設施造成影響，目前危害因子、脆弱因子直接分級並相乘可能會過於悲觀。建議設施曲線作為脆弱度，並將降雨危害度設定門檻值，高於門檻值才較可能對設施造成危害。另公路坡面危險度有分級制度，分 A、B、C、D 級，並在各級中又分為 5 等級，其中 A5 為最嚴重，目前已建立 KML 檔，可做為道路脆弱度參考

上述建議本研究為能反應各指標變化，故選用少數指標能以較能反應出空間變化之進行分析，對於指標呈現類似空間分布，暫不考量且為能夠凸顯各指標空間分布，採等權重方式，以利了解各指標的特性與比較風險高低之因素。

暴露度指標：

坡地災害風險圖中考量受影響人口，暴露度指標以人口密度表達，但山區人口與都會區人口差異甚大，建議可訂定人數之門檻值區隔，且針對特定脆弱族群區域(弱勢人口、高齡人口、獨居等)另外分析，對病可考量聚落分布可做為未來物資準備規劃之參考。在

道路部分，可參考道路密度、防災通道選擇，以作為替代道路選擇參考。公路單位關注的是高交通量的路段，建議可以「道路的交通量(乘載量)」作暴露度。

(2)空間單元

風險圖為方便指標套疊，其空間解析度目前都是轉換成 5km 網格與鄉鎮市區之空間尺度，再行套疊，脆弱度與暴露度指標無未來推估資料，故以現況評估。

可讓使用者瞭解以目前 5km 網格解析度可做大尺度氣候變遷的趨勢衝擊評估，但無法回答細部坡災特性、量化、規模，如坡面、坡向等地文因素無法反映，建議使用單位可應用更細部尺度(如坡地部落、集水區的範圍或邊坡單元)之脆弱度與暴露度資料，加入斷層及脆弱地質之因素，參考災防科技中心的風險圖評估架構，進一步評估細部的災害的風險反映現況脆弱度。

風險圖之等級易於溝通，但不是萬用解法，區域風險變化量或是高風險區，要靠物理模式進行量化評估。

(3)圖資應用：

可提供各圖資供使用端應用，若探討土地的脆弱度，則利用脆弱度圖，若想針對暴露度評估，則可利用暴露度圖，使用者若想綜合考量氣候變遷降雨影響則可應用風險圖，可讓使用者容易

了解風險圖的產製流程避免誤解。目前風險圖的作法是從上而下評估坡地災害風險(R)，後續可以考慮由下而上，從保全對象去收集危害度、脆弱度等資料應用，並釐清風險圖之限制，讓使用者瞭解。另外，亦可將土石流災害與大規模崩塌之區位，進一步套疊應用，以了解是否為在高危害-脆弱區。

在跨域應用上，行政機關可以依此方法加值應用，如坡地災害與人為土地利用相關納入考量。公路規劃在可行性研究階段，導入氣候變遷強化，可分析強降雨、淹水對公路衝擊，例如台 17，因區域淹水導致道路 1 周無法行駛。

風險圖限制在於大範圍的風險辨識，風險分析，則需再藉由模式細部模擬。未來本研究將以案例方式說明，不同保全對象應用可行性。

(4)其他：

風險圖如何呈現可信度高低，因應未來調適需要，建議將風險改變程度或改變率視為重要產出，檢視風險高低和風險改變高低。

本研究氣候變遷災害風險圖，目前適用斜線方式呈現可信度低的鄉鎮市區，未來也所有模式之等級分布，以直條圖方式呈現於圖台，風險的變化則於後續第四章說明。

第三章 坡地災害風險圖評估方法

3.1 氣候變遷情境資料介紹

根據最新 IPCC AR6 評估報告使用第 6 代全球氣候變遷模擬 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP6)，以共享社會經濟路徑 (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs)，融入全球不同的社會經濟發展情境，更加真實模擬地球在暖化情境下的降雨變化。科學家發現地球許多的氣候環境與現象，在全球增溫到達不同臨界值 (Tipping points) 時將發生巨大的變化。

自 2015 公布巴黎協議後，為避免全球平均溫度 21 世紀末增加至 2°C，因而開始發展以全球暖化程度 (Global Warming Levels, GWLs)，進行氣候變遷調適目標政策擬訂的方法。彙整 IPCC AR6 的評估結果 (IPCC AR6 WG1 SPM, Table SPM.1, 2021)，得到如表

3.1 包含短、中、長期對應全球暖化程度的調適目標。

表 3.1 全球暖化程度對應的調適目標設定時期

全球增溫情境 GWL	1.5°C	2°C	4°C
調適目標設定	短期 (2021-2040)	中期 (2041-2060)	長期 (2081-2100)
取得模式個數	110	99	31

然而實際應用上，由於每個模式未來推估增溫的趨勢不一致，若以表 3.1 去截段所有模式依照短(2021-2040)、中(2041-2060)、長期(2081-2100)的推估資料進行風險圖評估，會混雜更多

的不確定因素而降低推估結果的可信度。

IPCC AR6 的作法(Arias et al, 2021)，將全球模式模擬的溫度資料，計算每年的全球平均表面溫度(Global Mean surface Temperature, GMT)，以移動平均的方式(取前/後 10 年，共計 20 年)做為當年度氣候溫度，不分情境將每個模式到達各別全球增溫情境(GWL)的門檻時(相對於工業革命前 1850-1900 溫度)，截取相對應發生時間的模式降雨日資料，統計蒐集模式資料個數如表 3.1 所示，詳細模式清單可參考(王俊寓等，2022)。

TCCIP 的 CMIP6 日降雨統計降尺度方法，是以分位數增量映射法(QDM)進行日雨量的降尺度。除了保有 GCM 原有的未來推估降雨趨勢結果，更減少降尺度方法過程所導致的資料不確定性。將各個全球模式推估模擬 GMT 發生到達不同暖化程度時，截段取出的日降雨資料進行統計降尺度，而產製出一組 GWL 日降雨資料組。

GWL 即是應用全球氣候模式，藉由此設定方法了解並提醒全球溫度上升至不同程度，可能導致的氣候環境改變所伴隨的影響。大氣中的二氧化碳濃度變化，為全球增溫最主要因子，因此以人類尚未大量使用石化燃料的工業革命前 1850-1900 年(pre-industrial level)時段，做為評估全球暖化程度的基準參考時期。每

個模式 GWL 評估是參考 AR6 及多數相關文獻的做法，使用模式的全球平均氣溫，計算達到不同全球暖化程度的時間。

歷史模擬自 1850 年推估到未來時期全球平均溫度的時序變化，以 20 年移動窗區（中心第 10 年代表），計算各別模式相對於工業革命前升溫首次到達 1.5°C、2°C、3°C 與 4°C 目標的發生時間。1.5°C GWL (使用 110 個模式) 最早與最晚發生時間為 2007 與 2076 年，中位數為 2028 年；2°C GWL (使用 99 個模式) 發生時間為 2042 年；3°C GWL 使用 (66 個模式) 發生時間為 2065 年；4°C GWL (使用 31 個模式) 發生時間為 2076 年。

TCCIP 將 CMIP6 公布的大氣環流模式模擬的各種 SSP 情境皆納入統計降尺度評估，評估到達固定增溫情境的時間，再取前後 10 年，以 20 年為平均，計算該 GCM 模式推估期的氣候變數。如圖 3.1 中三個 GCM 模式為例，到達增溫 1.5°C 時的時間不同，以 GCM3-SPS585，發生在 2035 年，而 GCM2-SPS245，發生在 2051 年，GCM2-SPS191，發生較晚在 2069 年，GCM3-SPS585 模式 2035 年前後(2025~2045 年)20 年平均，作為該 GCM 模式的增溫 1.5°C 發生平均時間與年平均計算氣候值。每一個模式跟氣候情境都有 100 年的推估值，各別取到達 2°C(或 1.5、4 °C)的時段的氣候數值。

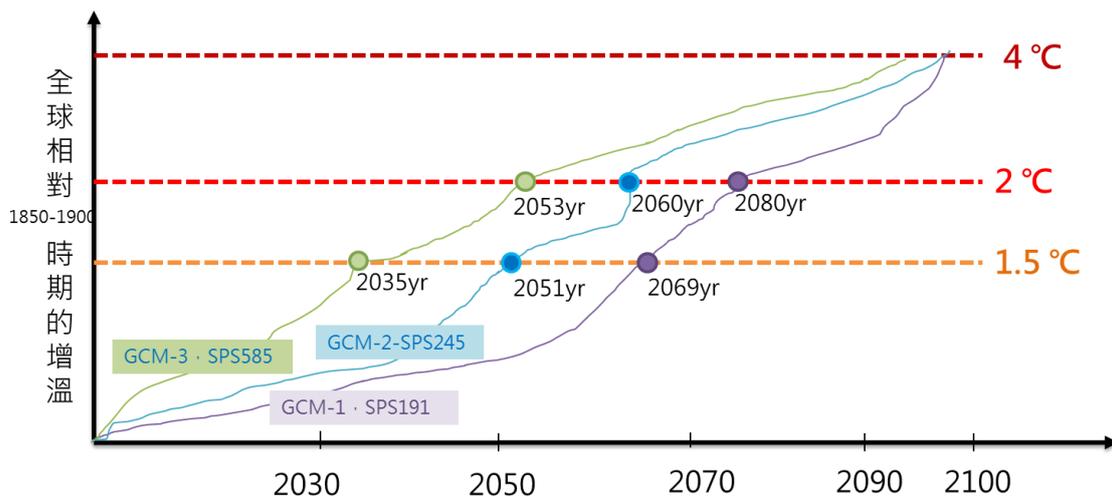


圖 3.1 氣候模式到達增溫情境時的推估時期示意圖

TCCIP 以最新全球氣候變遷研究發展趨勢，將 GWL 的暖化情境設定結合在地化氣候推估資料，決策者在應用相關評估結果時，無縫隙接軌全球減碳目標。於 111.04.29「國家氣候變遷調適行動計畫（112 年~116 年）推動方式研商會議中，藉由跨部會協商確定「國家調適應用情境」，如圖 3.2 示意圖所示，方便將氣候資料銜接後續政策評估與調適應用，以現有觀測數據為基礎，應用統計降尺度的方式，將全球多模式模擬資料進行臺灣的氣候推估，在全球 1.5、2、4°C 不同的增溫程度做為減碳政策規劃的期程。且根據最近的科學數據分析，全球將不可避免在接近 2050 年會發生增溫 2°C，此不分情境的設定方法，特別適用於短、中、期的調適政策擬定，減化使用者調適策略評估時需要挑選暖化途徑的困擾。

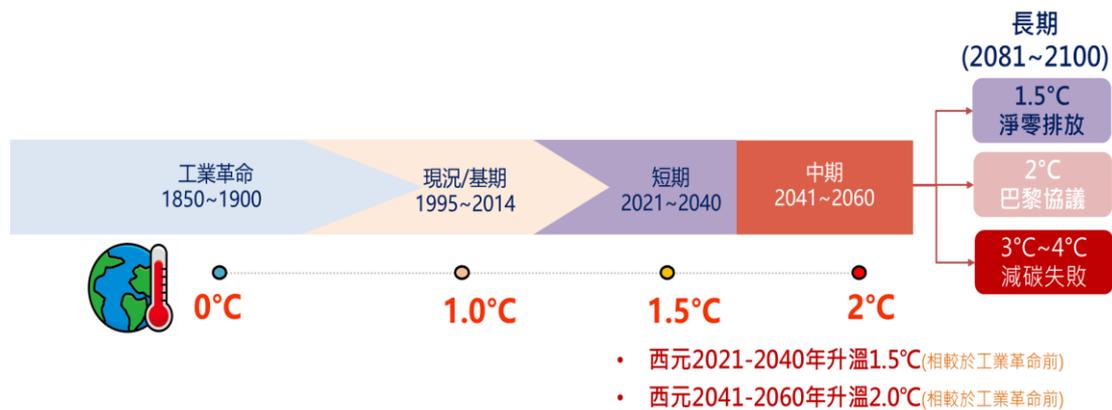


圖 3.2 氣候模式到達增溫情境時的推估時期示意圖

(參考資料來源: 111.04.29 跨部會協商「國家調適應用情境」簡報)

3.2 風險圖指標介紹

過去評估氣候變遷坡地災害風險相關研究，多是利用「數值模擬法」，針對「小範圍的研究區域（如流域、特定崩塌面）」評估極端降雨、河川土砂量及土石流數量之變化，較無全臺灣較整體的風險資訊。為了呈現較全面的資訊，本研究採用「指標法」，針對坡地災害問題，選擇適用的關鍵因子指標，計算其風險等級，再以圖資方式呈現臺灣氣候變遷風險熱點區域空間分布。

根據 IPCC(2012)之危害度、脆弱度與暴露度三個元素的風險定義，與過去發展的坡地災害風險圖所採用的指標(陳韻如等人，2016)，本研究利用 TCCIP 提供之 CMIP6 的氣候情境資料下的日降雨資料，分析極端降雨機率作為危害度指標，脆弱度指標則採用地質災害潛勢及全台崩塌範圍分析，暴露度則以人口密度作為指標，以評估分析坡地災害風險，相關風險指標如圖 3.3 所示，

各指標說明如下：

指標	資料	資料來源
危害度	1日降雨量超過350mm機率	TCCIP-AR6
脆弱度	地質災害潛勢	順向坡、岩屑崩滑、岩體滑動、落石 經濟部地質調查及礦業管理中心
	裸露地面積比指標	福衛判釋全島崩塌地圖 農業部林業及自然保育署
暴露度	鄉鎮市區、最小統計區人口資料	內政部戶政司、台北大學

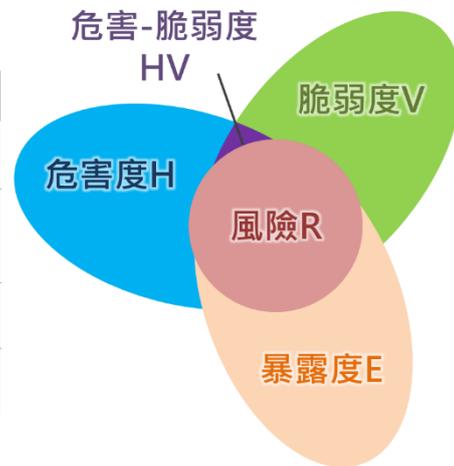


圖 3.3 坡地災害風險圖各指標定義示意圖

1. 危害度(Hazard)：

利用 CMIP6 的不同全球暖化情境下的未來推估降雨，其為經過 TCCIP 利用統計降尺度方法產製後的 5km 網格日資料，計算各網格極端降雨(>350mm/1 日)發生機率。根據災防科技中心針對全台坡地災害應變警戒值的範圍之平均值，與氣象署大豪雨為 24 小時累積雨量達 350 毫米以上之標準，訂定全台坡地災害致雨量以 1 日降雨量超過 350 毫米，分析現況(使用 TCCIP 觀測 1995-2014 年之日雨量)、CMIP6 模式於 \pm GWL1 $^{\circ}$ C、GWL2 $^{\circ}$ C 與 GWL4 $^{\circ}$ C 情境下，推估極端降雨發生機率值。坡地危害度指標之計算流程如圖 3.4 所示。



圖 3.4 坡地危害度指標之計算流程

圖 3.4 步驟 1 極端降雨發生機率之算法如下，針對各網格資料，收集 1995-2014 年之所有雨日(>0mm)之日降雨量，繪製其 ECDF(Empirical Cumulated Distribution Function)，如圖 3.5 現況 OBS1°C 之 ECDF，由 ECDF 可查出極端降雨(>350mm/1 日)發生機率。若現況網格之極端降雨發生機率為 0，則以現況最極端降雨之發生機率替代之。

圖 3.4 步驟 2 為消除 GCM 模式基期與現況觀測資料之誤差，因此使用 Quantile Mapping 法(如圖 3.5 所示)，先建立現況與 GWL1°C 各 GCM 之 ECDF，先查出現況 350mm/1day 發生機率，再由此發生機率反查 GWL1°C 各 GCM 之新降雨門檻 C_{new} 。

圖 3.4 步驟 3 則應用 GCM 之新降雨門檻 C_{new} 計算 GWL2

°C、GWL4°C下之發生機率。

選定網格($E=120.8, N=23.2$)為例，參照圖 3.4 步驟 1，建立其現況(1995-2014 年)雨日之 ECDF，如圖 3.6 所示，並由圖 3.6 可計算得極端降雨($>350\text{mm}/1$ 日)發生機率為 0.0064736；參考圖 3.4

步驟 2，建立 GWL1°C(1995-2014 年) ACCESS-CM2 雨日之 ECDF 繪圖如圖 3.7 所示，由現況極端降雨($>350\text{mm}/1$ 日)發生機率為 0.0064736 可反查圖 3.7 獲得 ACCESS-CM2 之新降雨門檻值為 176.8；依照圖 3.4 步驟 3，使用 ACCESS-CM2 之新降雨門檻 176.8mm，計算其 GWL2°C、GWL4°C下之發生機率。

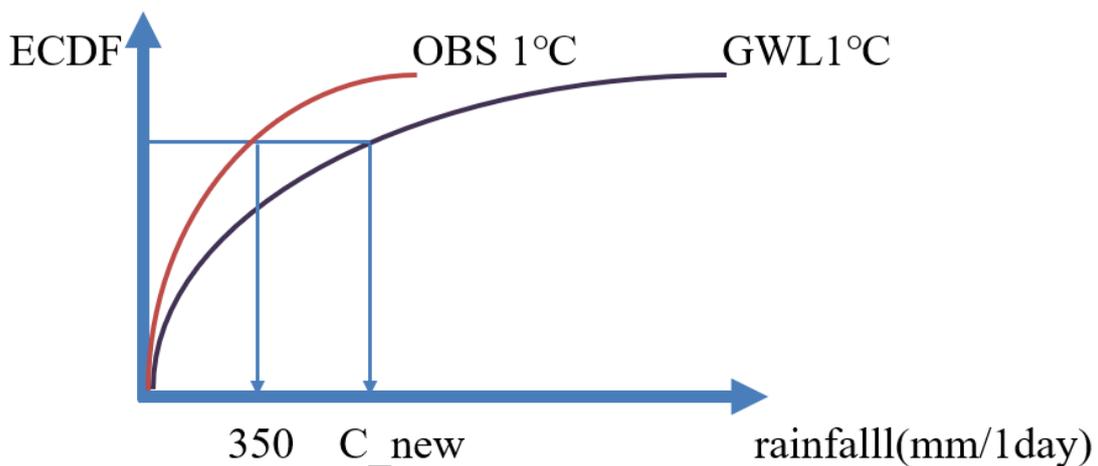


圖 3.5 現況(OBS1°C)與 GWL1°C偏差修正之示意圖

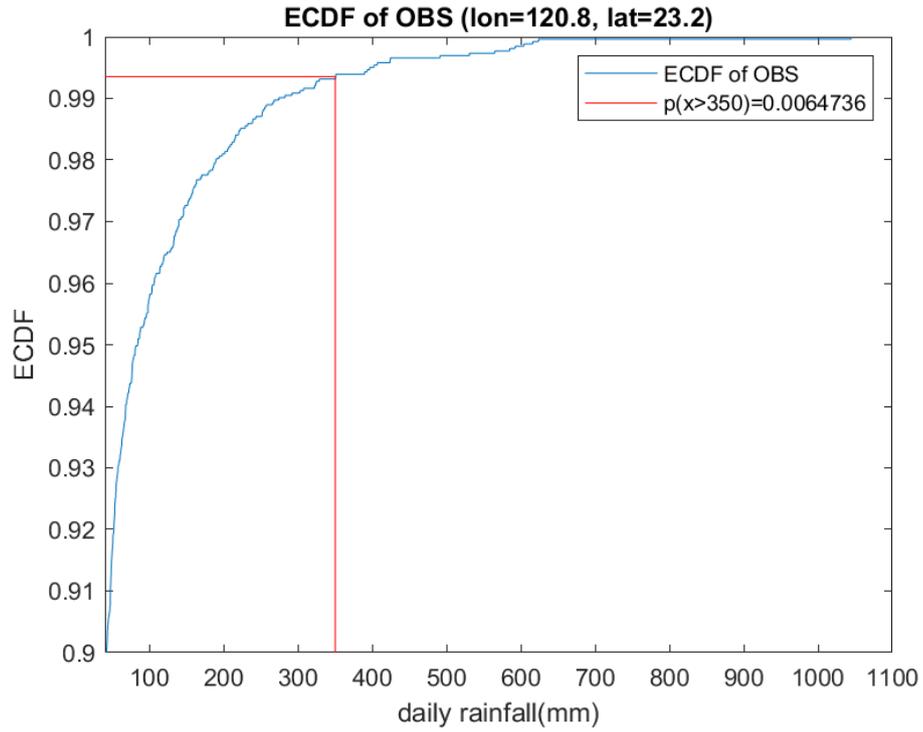


圖 3.6 網格(E=120.8, N=23.2)現況(1995-2014 年)雨日之 ECDF

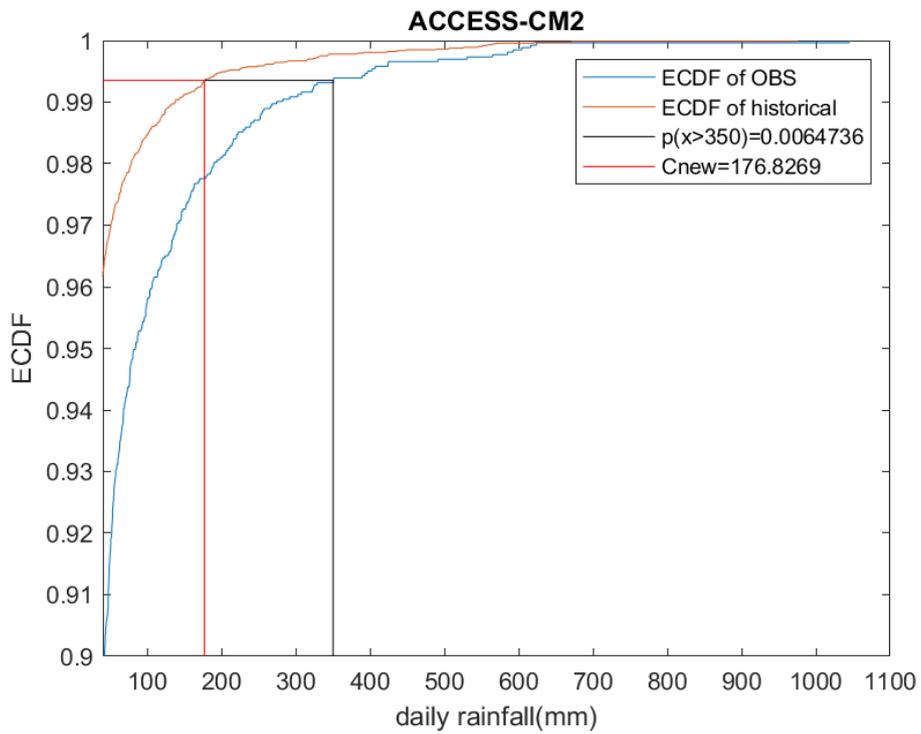


圖 3.7 網格(E=120.8, N=23.2)現況與 GWL1°C ACCESS-CM2 雨日之 ECDF

本研究收集各種降雨門檻發生機率之計算結果整理如圖 3.8 進行比較，其中，圖 3.8(1)使用降雨門檻值為鄉鎮坡地警戒雨量/48hr 與測站歷史紀錄，圖 3.8 (2)使用降雨門檻值為 350mm/24hr 與 MRI 動力降尺度時資料，圖 3.8 (3)使用降雨門檻值為 350mm/day，圖 3.8(4)使用降雨門檻值為鄉鎮坡地警戒雨量/2day，圖 3.8(5)使用降雨門檻值為 350mm/2day，圖 3.8(3)、(4)、(5)均使用 TCCIP 網格化觀測資料。圖 3.8 大致顯示，以宜蘭、南高屏山區為強降雨區，故有較高之降雨門檻值發生機率，且高山區之降雨門檻發生機率明顯高於平地，惟圖 3.8 (2)係使用 MRI 時資料，因此並無顯示南高屏山區有較高之降雨門檻值發生機率。

圖 3.9 則進行現況與 2°C 下各種降雨門檻發生機率(350mm/1day、350mm/2day、350mm/3day、坡地鄉鎮警戒雨量/2day)之比較，現況均使用 TCCIP 網格化觀測資料(1995-2014)日雨量記錄，2°C 下坡地危害度(坡地災害降雨門檻之發生機率)則使用 AR6 多 GCM 日雨量資料計算而得。圖 3.9 顯示，無論是現況、2°C 下或各種降雨門檻，坡地危害度圖均顯示，宜蘭、南高屏山區均有較高之降雨門檻值發生機率，且不同降雨門檻發生機率趨勢接近，可以降雨門檻 350mm/1day 發生機率作為代表。

因此，本研究後續採用降雨門檻 350mm/1day 發生機率作為

坡地危害指標，進行坡地危害脆弱圖與坡地風險圖之製作。

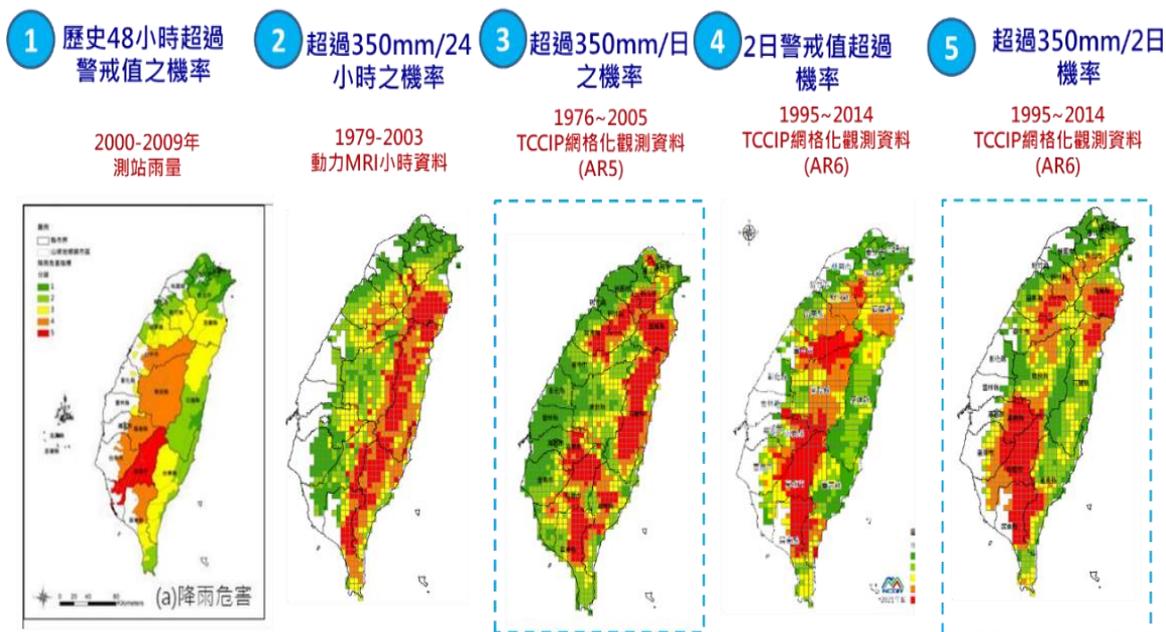


圖 3.8 現況各種降雨門檻發生機率之比較

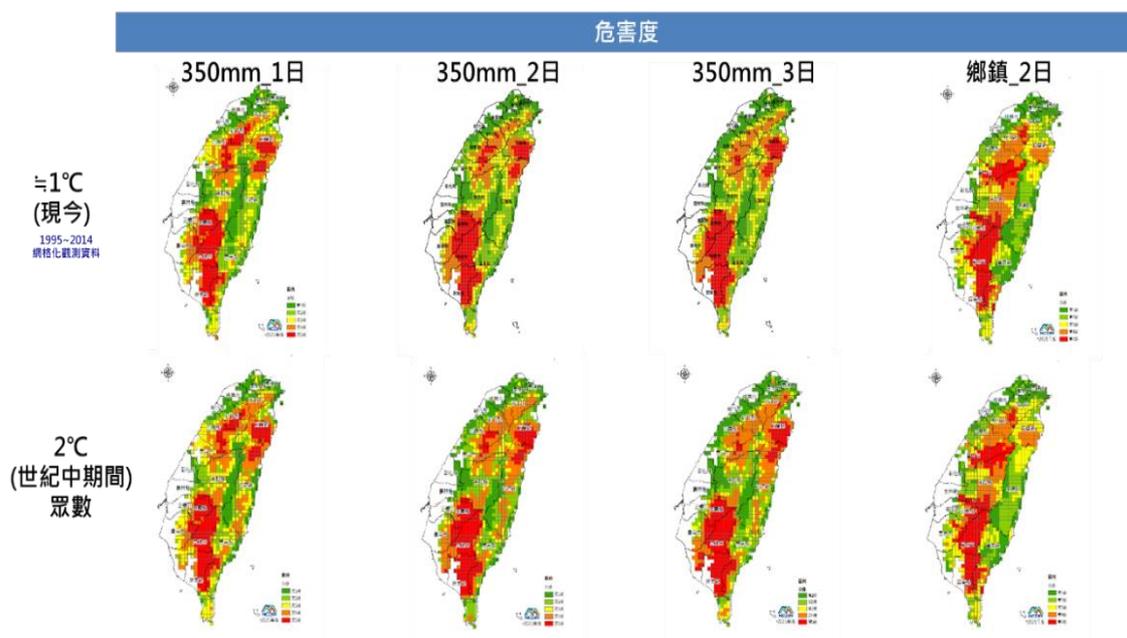


圖 3.9 現況與 2°C 下各種降雨門檻發生機率之比較

3. 暴露量(Exposure)：

坡地暴露度主要以鄉鎮市區及最小統計區這兩個空間單元來看，以人口密度作為暴露度分析，人口密度越高則暴露度越高，當災害發生時，受衝擊影響較大。鄉鎮市區採用現況人口資料(內政部，2022)作分析外，也考量到未來人口會有變動，因此分析於2036年未來人口推估資料(黃國慶，2019)，以比較現況及未來推估人口變化情形。另一空間單元最小統計區因無未來推估人口資料，僅有現況人口資料，因此在分析現況及未來推估風險時，暴露度都是採用採用現況人口密度來分析。

4. 風險(Risk):

坡地災害風險是由前述危害度、脆弱度、暴露度三個指標所組成，是指山坡地在氣候變遷極端降雨下，具有崩塌潛勢區域可能衝擊暴露的人或資產的損失，同時氣候變遷災害風險具有不確定性。本研究利用分級方式呈現風險高低，等級越高，風險越高。

若無考量暴露度，則以坡地災害危害-脆弱度呈現，此指標圖可用於套疊不同的暴露量，如其他農作物分布、其他產業、工業空間分布，以了解是否位在高危害-脆弱度的區位。等級越高，則代表災害危害-脆弱度越高。

3.3 指標等級評估方法

坡地災害風險圖指標計算方法，常見的指標分級方式如等分類法(Quantile)、標準化(z-score)、等間距法 (Equal) 等，另一個在地理資訊系統統計(GIS)上常見的自然斷點法(Natural Breaks)亦是常應用的分級方式。各個評估方法說明如下：

1. 等分類法(Quantile)法

Quantile 分類法是將所有樣本數依數值由小到大排序，分為 5 個等級，等級 1 至等級 5，每個等級區間樣本數的 3 個數相同。

以坡地災害風險圖計算為例，將危害度、脆弱度及暴露度各指標原始數值分別以 Quantile 法分級。先將危害度的現況($\approx 1^{\circ}\text{C}$)降雨機率以 Quantile 法分為 5 個等級，而不同增溫情境下之未來推估模式降雨機率則依據現況的級距標準進行分級，計算流程如圖 3.11。

脆弱度則是將地質災害潛勢及全台崩塌地範圍疊加，計算其空間尺度下之面積比，以 Quantile 法分為 5 個等級，做為其坡地脆弱度。

暴露度分為鄉鎮市區及最小統計區這兩個空間尺度，僅有鄉鎮市區有未來推估人口資料，先計算現況人口密度以 Quantile 分為 5 個等級，未來推估則依據現況分級的級距標準進行分級。而

最小統計區因無未來推估人口資料，因此現況及未來推估之暴露度都以現況人口密度作分析，以 Quantile 分為 5 個等級，做為其暴露度指標。

坡地災害風險則是將現況的危害度、脆弱度及現況暴露度 3 個指標等權重等級相乘，以 Quantile 分為 5 個等級，做為現況的風險等級。而未來推估風險則是將未來推估之危害度、脆弱度及未來推估暴露度 3 個指標等權重等級相乘，其值依據現況風險分級的級距標準進行分級，等級越高，則代表災害風險越高。

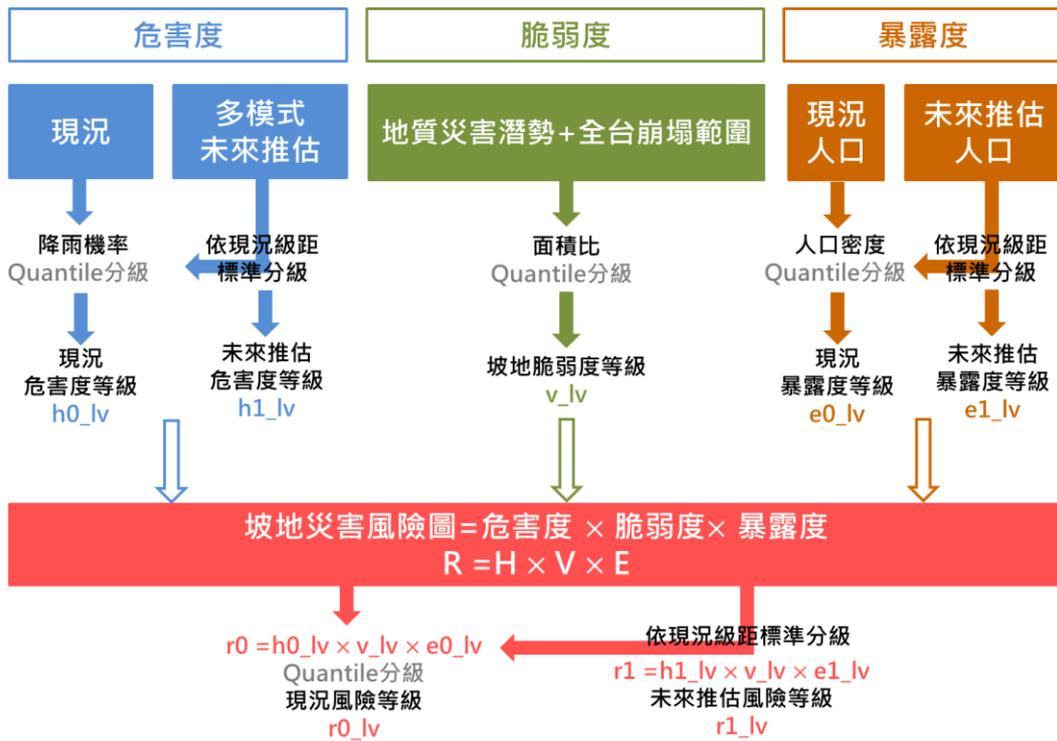


圖 3.11 坡地災害風險 Quantile 分級法計算流程

2. 標準化法(z-score)

標準分數在統計學中是一種無因次值，可藉由 z-score 轉換

算成常態累積機率值(Cumulative Distribution Function)。過去坡地災害風險圖便是利用此方法進行等級分級。標準化法主要是將轉換完之常態累積機率值，其值介於 0~1 間，等分間距為 5 個等級，間距範圍分別為 0~0.2，0.2~0.4，0.4~0.6，0.6~0.8，0.8~1.0。應用於氣候變遷災害風險圖則是將危害度之觀測值(≡1°C情境)降雨機率值先標準化，等分間距為 5 個等級，未來推估的模式(2°C)的降雨機率值則依據觀測值的級距標準來分級。詳細的方法說明可參閱陳韻如等人(2023)技術報告。

3. 等間距分類法(equal)

等間距分類法是將所有樣本數依序排列，分為 5 個等級，其各等級組距為相同數值。將危害度、脆弱度及暴露度各指標原始數值分別以 equal 法分級，先將危害度的觀測值(≡1°C)降雨機率以 equal 法分為 5 個等級，而 99 個未來推估模式(2°C)則依據觀測值的分級級距標準來分級。

4. 自然斷點法(Natural Breaks)

自然斷點法是根據數值統計分布規律分級和分類的統計方法，此分級方法可使等級與等級之間的數值不同最大化。自然間斷點是資料特定的分類，不適用於比較使用不同基礎資訊的多個地圖。

圖 3.12 是以淹水災害風險圖為例，分別呈現利用不同指標分級方法展示等風險等級的空間分布，從圖上可了解不同分級方法，在現況與未來推估的風險等級空間分布，皆呈現加重的趨勢，唯呈現顏色不同，給予使用者的感受不同。

圖 3.12 中對於 Quantile、z-score 方法所繪製的災害風險圖是大多數人的認知感受，Natural Breaks 與 Equal 方法雖都有呈現風險空間分布，且未來亦都有加重的趨勢，但因等級低(綠色)的鄉鎮數量較多，亦造成閱讀者認知感受風險衝擊較低。比較四種方法之優缺點，Z-score 與 Quantile 分級方式相似，Quantile 方法各個等級皆有樣本數，可得知不同百分比的數值，例如前 20%的衝擊較大的區域。

而 Natural Breaks 方法則是依據數值特性，進行分群劃分等級，較接近的數值歸為同一級，也因此不易呈現空間相關性。Equal 方法的優點是可以得知等級相對應的原始絕對數值，是將最大與最小的數值相減後，依據欲劃分的等級均分，風險數值的資料較偏態，故在圖資呈現偏等級低(綠色)，亦容易讓使用者誤以為風險等級都偏低，但就變化趨勢，與未來推估相比，風險等級都是呈現加重的趨勢。

為了符合一般大眾的風險空間分布認知，且呈能適當得呈現

風險等級的趨勢變化，本研究後續採取等分類法(Quantile)分級方式，評估各指標。

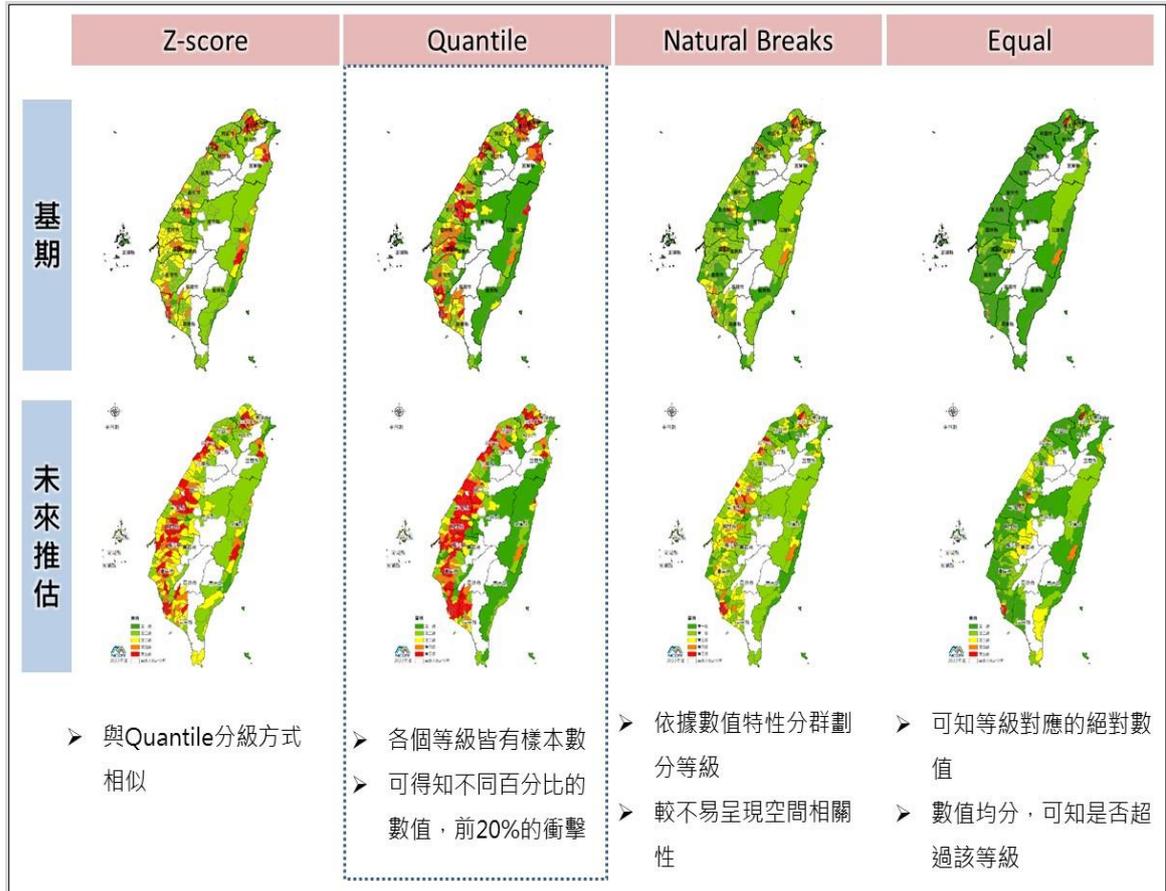


圖 3.12 不同分級方式風險圖之空間分布圖

3.4 不同空間尺度風險圖

坡地災害風險圖的空間單元以 5km 網格、鄉鎮市區及最小人口統計區等三種空間尺度圖資呈現。5km 網格的空間尺度是根據 TCCIP 提供氣候情境資料呈現，其氣候變遷不確定性相對較低，便於使用者加值應用。鄉鎮市區空間尺度是行政管理單元，易辨識高風險的區位，方便行政管理者推動氣候變遷調適與應用。最小統計區則是內政部評估人口分布，所採用最小人口統計空間尺

度，可以更了解更細緻化的空間分布。風險圖中各指標資料，以不同空間尺度呈現，加以整合分析，完成坡地災害風險圖。

(1) 5km 網格：

TCCIP 氣候情境資料為統計降尺度 5 公里×5 公里的高解析度網格，分析範圍主要以坡地警戒的鄉鎮市區所涵蓋 5km 網格的範圍，山坡地網格共 1166 個。脆弱度指標部分，地質災害潛勢及全台崩塌範圍疊加後，再以 5km 網格空間尺度計算其面積比，表 3.2 所示，因脆弱度的分佈範圍較危害度範圍小，有值的網格數為 1091 個，但為能呈現山坡地範圍內各項指標的空間分佈特性，故計算範圍是以危害度指標的範圍進行計算，在網格內如無脆弱度資料，則是補予 0 值資料列入計算。

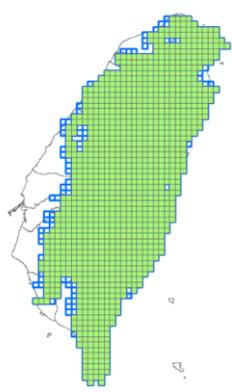
過去 2022 年版的坡地災害風險圖，坡地脆弱度主要以地質災害潛勢、坡度指標及裸露地面積比指標這 3 個指標計算，如圖 3.13，其中坡度指標為六級坡以上範圍分析，但因分析後發現，此指標主要是呈現山坡地的範圍，對於最後整體脆弱度指標呈現，並無太大差異，因此刪除坡度指標，改以地質災害潛勢與裸露地原始圖層範圍疊加，做為坡地災害脆弱度指標。

圖 3.13 所示，地質災害潛勢、坡度指標及裸露地面積比指標 3 個指標的脆弱度分析，其高脆弱度主要分布中央山脈範圍，而

僅考慮地質災害潛勢及裸露地面積疊加圖層的脆弱度，因將脆弱性地質都納入計算，只呈現一個脆弱度指標，所以分析的結果除了中央山脈範圍外，北部山區也呈現高脆弱度區位。

危害度及脆弱度各指標選定資料及等級計算後，將兩個指標等權重分析於 5km 網格下之坡地危害-脆弱度圖。

表 3.2 危害度及脆弱度計算網格數

指標	危害度	脆弱度
	降雨機率 (h)	地質災害潛勢與全台崩塌範圍 (v)
網格數	1166	1091
		

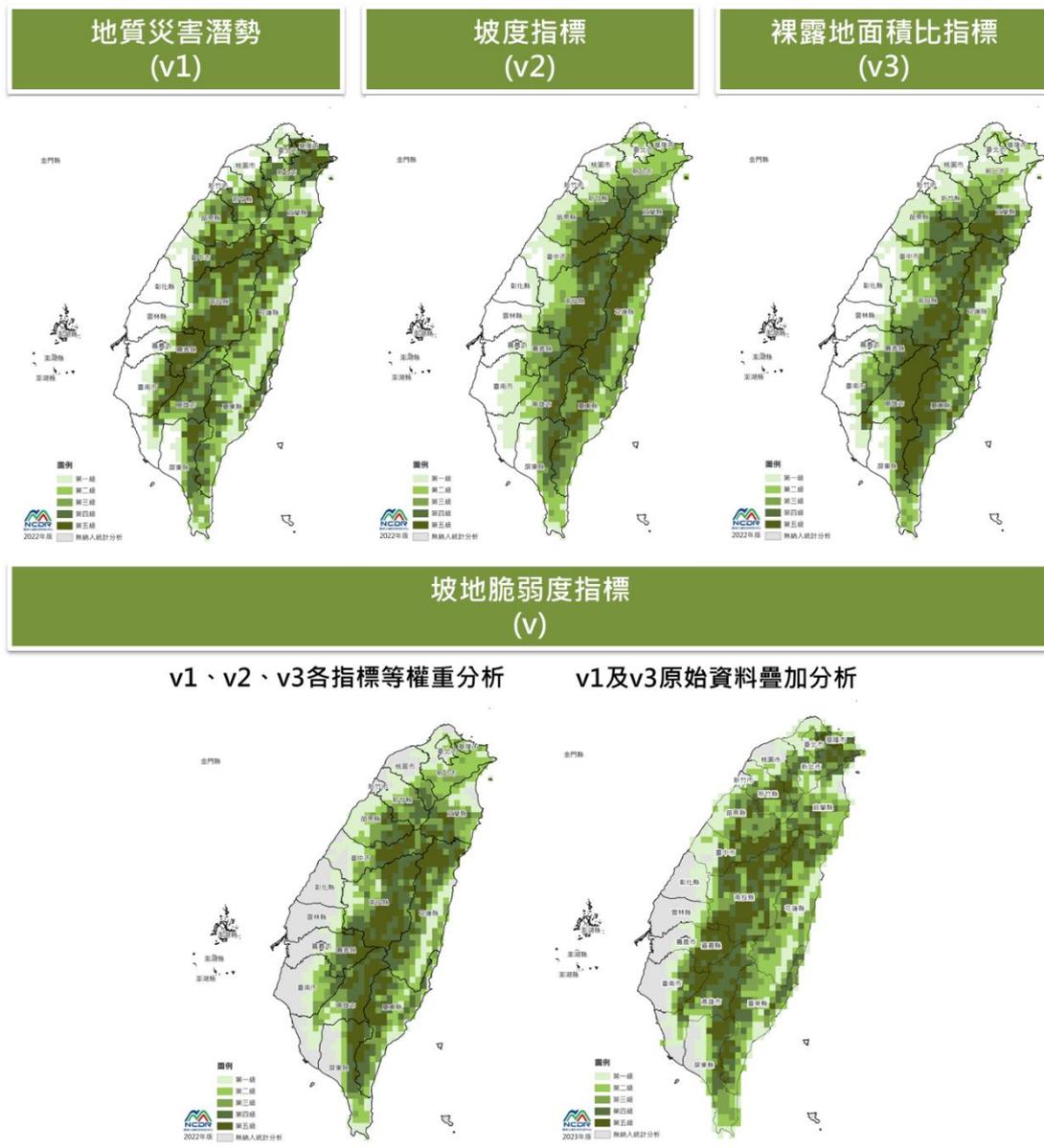


圖 3.13 不同指標計算之脆弱度圖比較

(2) 鄉鎮市區：

分析範圍主要以坡地警戒的 202 個鄉鎮市區，將 5km 網格的降雨機率資料套疊鄉鎮市區的圖層，計算各鄉鎮市區單位面積的平均降雨機率值，做為其鄉鎮市區危害度指標分析。而脆弱度原始資料為地質災害潛勢範圍及裸露地面積範圍，將 2 種圖層疊加

後，以鄉鎮市區為空間尺度，計算其面積比，做為脆弱度指標。

暴露度則是採用各鄉鎮市區之人口資料，計算其人口密度做為暴露度指標，再將 3 個指標於鄉鎮市區之空間尺度下計算其坡地災害風險圖。

(3) 最小統計區：

分析範圍主要以坡地警戒的鄉鎮市區內最小統計區並且有人口的地區，其個數為 7642 個。將最小統計區範圍套疊 5km 網格的降雨機率資料，計算各最小統計區單位面積的平均降雨機率值，做為其最小統計區的危害度指標分析。而脆弱度原始資料為地質災害潛勢範圍及裸露地面積範圍，將 2 種圖層疊加後，以最小統計區為空間尺度，計算其面積比，做為脆弱度指標。暴露度則是採用各最小統計區之人口資料，計算其人口密度做為暴露度指標，再將 3 個指標於最小統計區之空間尺度下計算其坡地災害風險圖。

第四章 氣候變遷情境下坡地災害風險圖

4.1 全台坡地災害風險圖

根據前述的風險圖指標研究方法，繪製的各個指標空間分布圖。危害度以大豪雨門檻值(350mm/24hr)作為坡地危害度指標與考量地質災害潛勢與裸露地面積等作為脆弱度指標，暴露度則是採用人口密度作為指標，以評估不同全球增溫情境下坡地災害風險及危害-脆弱度圖。

5km 網格於不同增溫情境下坡地危害-脆弱度圖各指標圖資，如圖 4.1 所示，危害度圖中分為接近 1°C 情境的現今狀況與 1.5°C(短期)及 2°C(中期)情境下的坡地致災降雨機率空間分布，危害度較高的區域，主要集中於中南部的山區，極端降雨發生的機率高，北部與宜蘭山區次之，高脆弱度區則是主要是分布在於中央山脈的兩側，兩指標疊加後，在 2°C 情境下危害-脆弱度圖，脆弱度指標則是主要加重危害度等級，故高危害-脆弱度區域與危害度空間分布大致相同，因 1.5°C 及 2°C 衝擊程度與 1°C 衝擊危害度變化不大，故等級加重的區域，除了花東地區則危害度等級有顯著的增加趨勢，其他區域仍是高危害-脆弱度區域。

圖 4.1 及圖 4.2 為比較不同增溫情境下坡地危害度及危害-脆弱圖，可看出 4°C(長期)情境下危害度等級與空間分布則較明顯與

現況(≒1°C)危害度等級加重，其高脆弱度區域集中於中央山脈兩側，兩指標疊加後之坡地危害-脆弱圖，明顯也比≒1°C(現況)等級加重許多，新竹、苗栗與宜蘭與嘉義、台南、高雄、屏東等山區其危害-脆弱等級高，可針對高風險區位優先規劃調適措施。

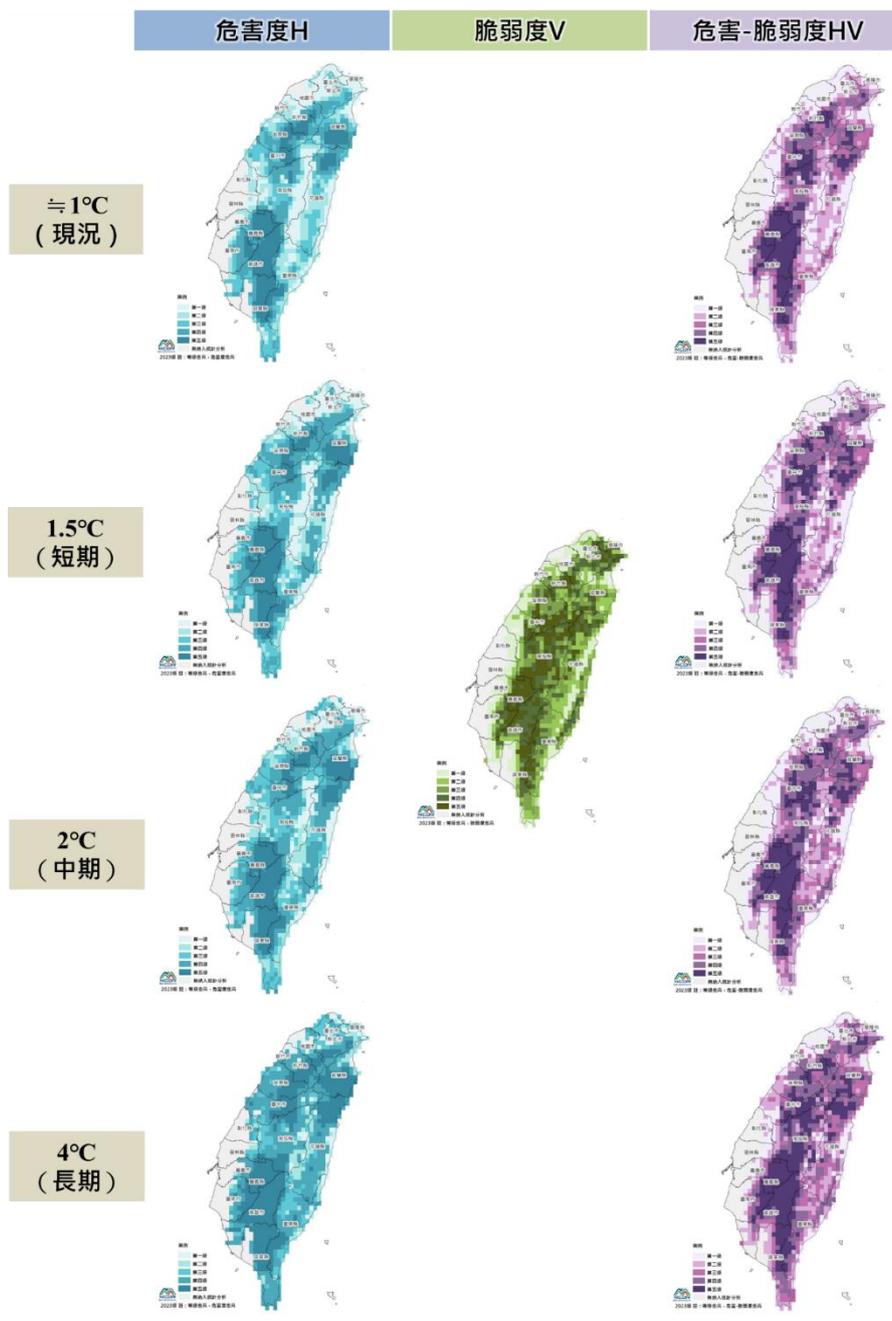


圖 4.1 各增溫情境下全台坡地危害-脆弱度圖(5km 網格)

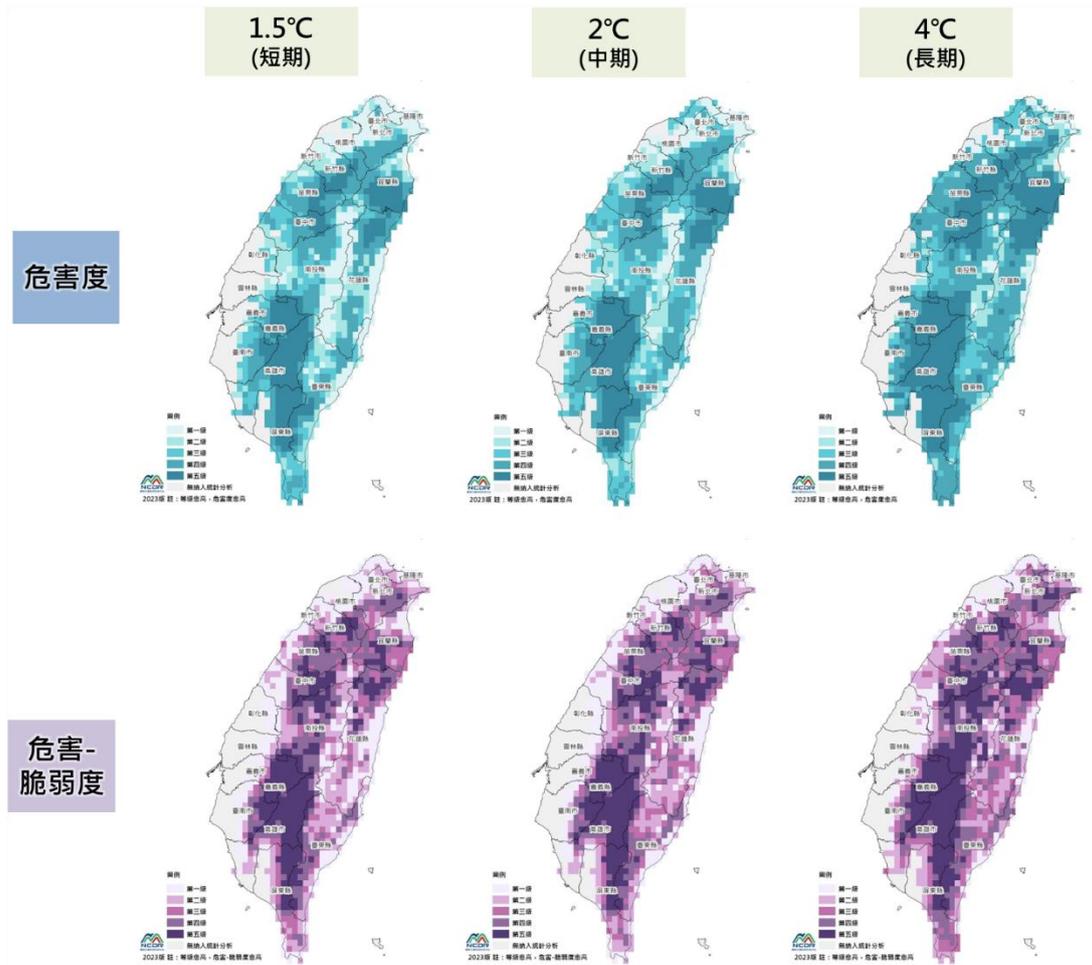


圖 4.2 不同全球增溫情境下坡地危害度及危害-脆弱圖比較(5km 網格)

為了了解不同全球增溫情境與 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (現況)時的等級變化情形，將各增溫情境下危害度等級、危害-脆弱度等級與 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 時的等級相減，以了解等級變化，如圖 4.3 其中紅色表示等級加重，全台坡地區域危害度皆有網格加重的狀況，其中以花東地區較為明顯，藍色表示等級呈現減輕的狀況，只有少數零星地區是減低的狀況，而 1.5°C 及 2°C 增溫情境之危害度等級變化多數呈現深灰色，即表示等級無明顯變化， 4°C 則很明顯等級加重的網格數較多，尤其以新北市、南投縣及花東縣市最多。

各不同增溫情境於危害-脆弱度等級變化，如圖 4.4 所示，於 1.5°C 及 2°C 情境危害-脆弱度等級變化 2 以上的縣市以花蓮縣及臺東縣為多，其他縣市可能因推估時間較為接近，故危害-脆弱圖等級變化上較不明顯。從圖 4.3 及圖 4.4 可知 4°C 長期期間增溫幅度顯著，便可看出各地區因極端降雨機率增加(危害度加重)，故高坡地危害-脆弱度等級，範圍有明顯增加趨勢。

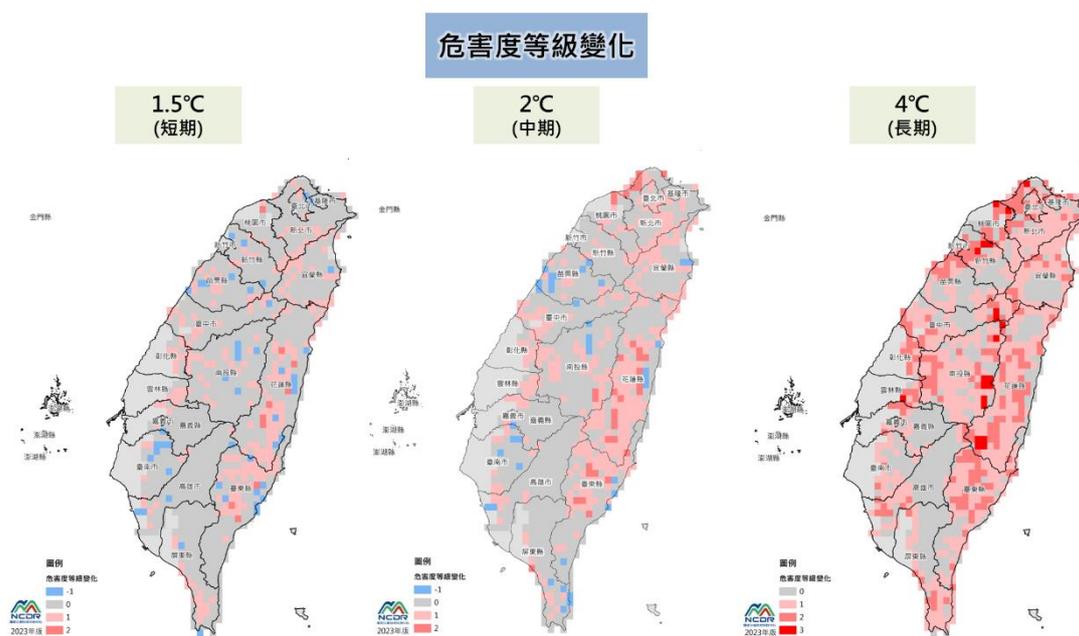
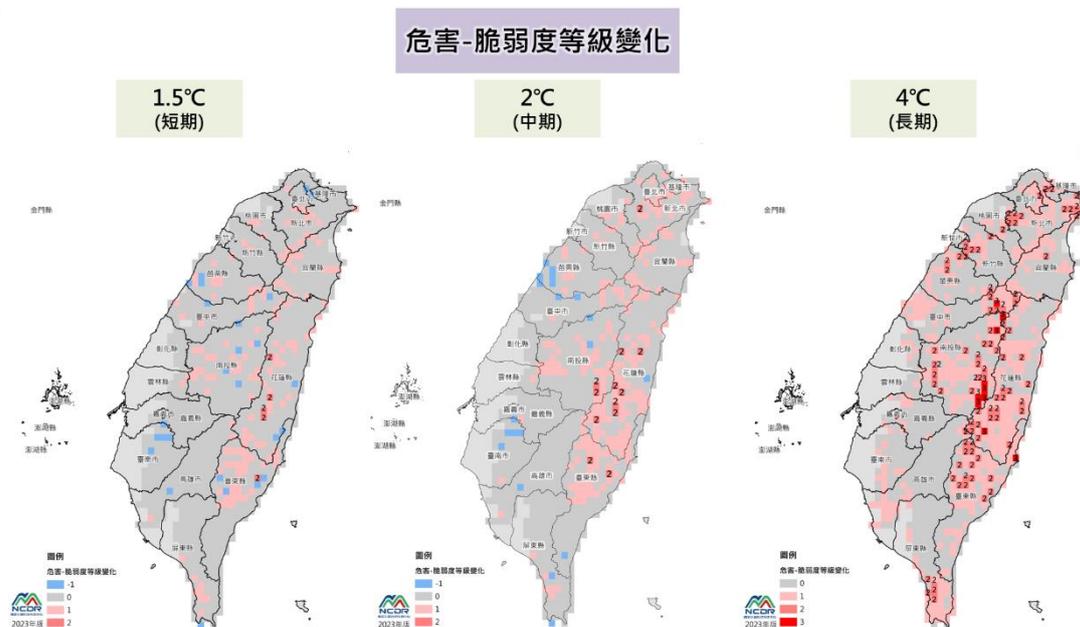


圖 4.3 各不同增溫情境下全台坡地危害度等級變化圖(5km 網格)



全台坡地災害風險圖，利用鄉鎮區人口密度作為暴露度指標，評估山坡地鄉鎮相對高風險區位，圖 4.5 呈現不同全球增情境下坡地風險圖各指標空間分布圖，危害度指標≡1°C(現況)、1.5°C及 2°C北部及南部山區危害度等級較高，在 4°C(長期)情境下，圖 4.7 南投縣以北及花東山區危害度等級增加，因此 4°C 危害度指標圖全台呈現高危害度情形，脆弱度指標則是依據現況的資料評估，中央山脈兩側的鄉鎮區有較高的脆弱度等級；暴露度指標現況與未來推估(2036 年)的人口密度資料，無太大變化，人口密度較高的區域多位在靠近平地的鄉鎮市區，在圖 4.9 可看暴露度等級變化，多數呈現深灰色無變化，少數鄉鎮區因人口增減，等級有變化，約增加或減少一級。

於不同增溫情境下，圖 4.6 所示，坡地災害風險因人口密度集中於較平原丘陵區的鄉鎮市區，其坡地災害風險較高。圖 4.8 可看出於 4°C 增溫情境下風險等級增加的鄉鎮市區較多，其增加兩個等級的區域主要苗栗以北縣市山區、中部及花東山區較多。

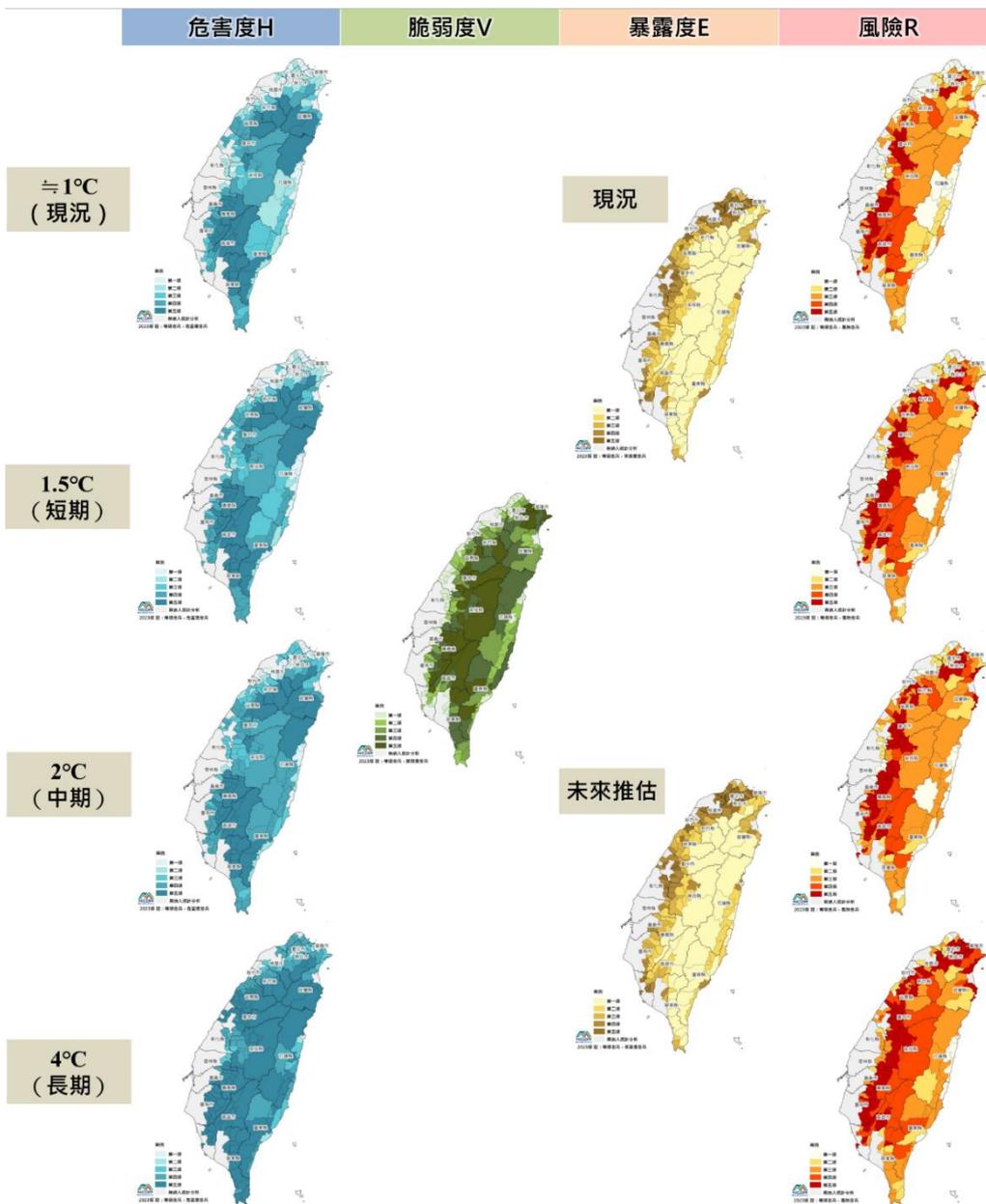


圖 4.5 各增溫情境下全台坡地災害風險圖(鄉鎮市區)

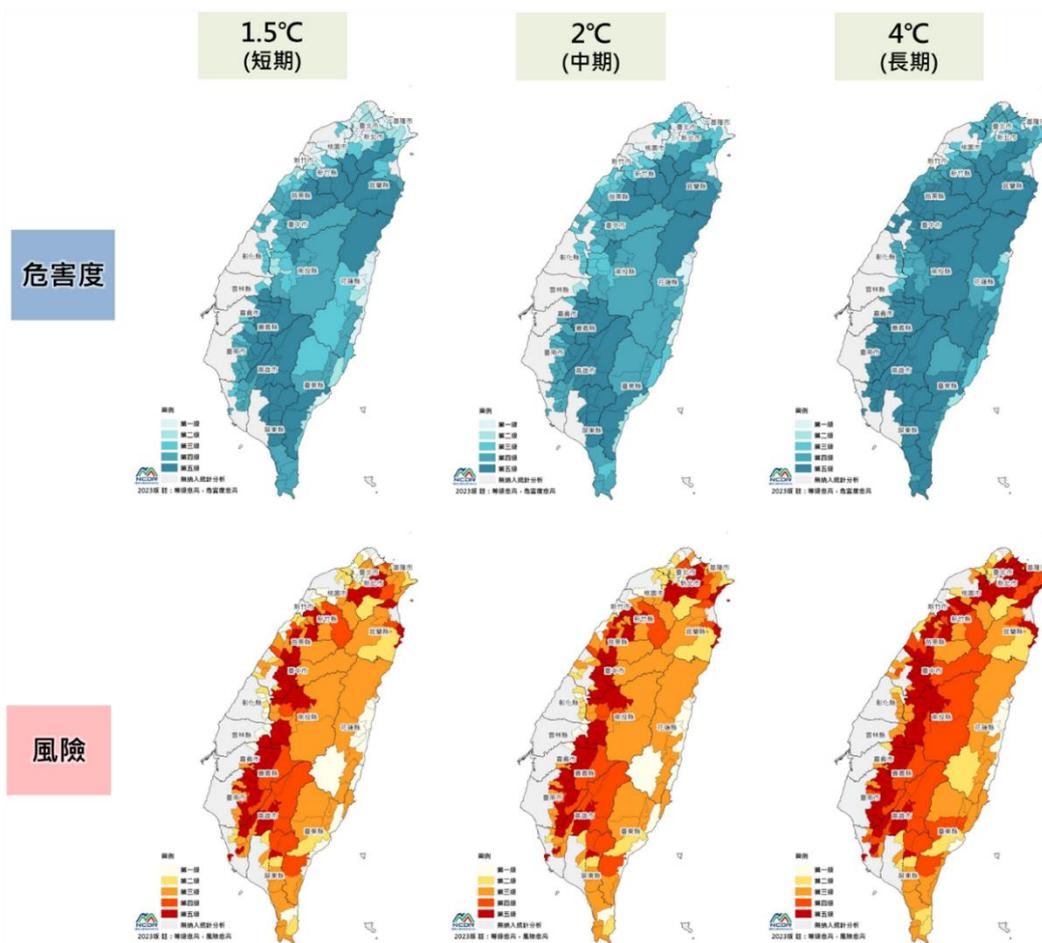


圖 4.6 不同全球增溫情境下坡地危害度及風險圖比較(鄉鎮市區)

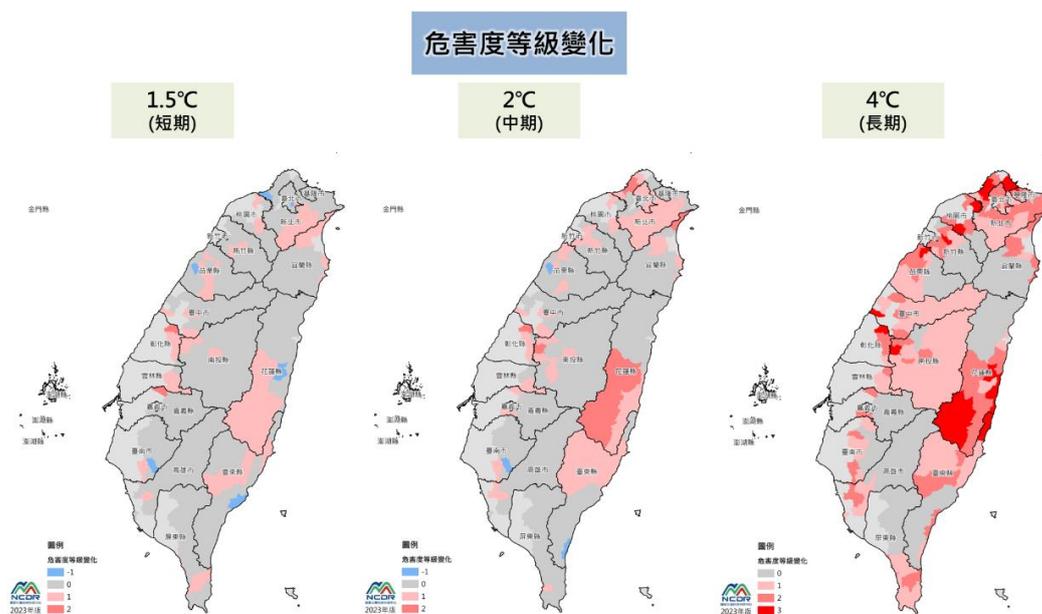


圖 4.7 各不同增溫情境下全台坡地危害度等級變化圖(鄉鎮市區)

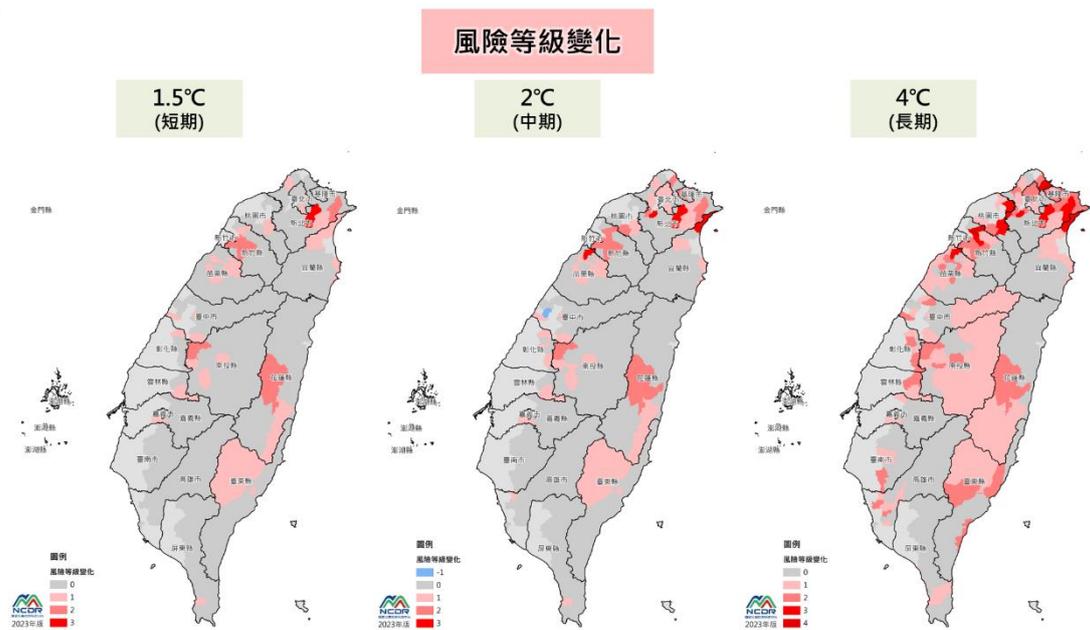


圖 4.8 各不同增溫情境下全台坡地災害風險等級變化圖(鄉鎮市區)

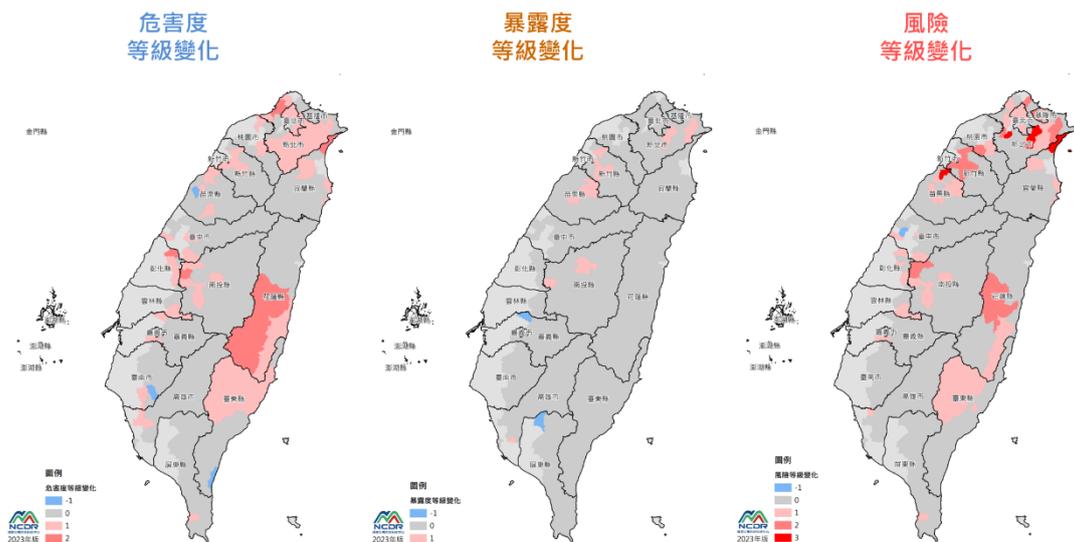


圖 4.9 全球增溫 2°C與≠1°C情境下全台坡地各指標等級變化圖(鄉鎮市區)

以空間單元為最小統計區的全台坡地災害風險圖，評估相對高風險區位，圖 4.10 呈現不同全球增溫情境下坡地風險圖各指標空間分布圖，危害度指標≠1°C(現況)、1.5°C及 2°C亦是北部及南部山區危害度等級較高，圖 4.12 於 4°C情境下也是南投縣以北及

花東山區危害度等級增加。在脆弱度指標方面，高脆弱度區主要分布於中央山脈兩側的地區，暴露度指標則是以現況的最小統計區人口密度來分析，目前無分析未來人口推估資料，其現況之高暴露度區位於各縣市靠近平地地區。

於不同增溫情境下，圖 4.11 所示，坡地災害風險因人口集中於西部近平地的區域，其坡地災害風險較高。圖 4.13 可看出於 4°C 增溫情境下風險等級增加的地區較多，其增加兩個等級的區域主要為苗栗以北縣市山區、中部及花東山區較多。

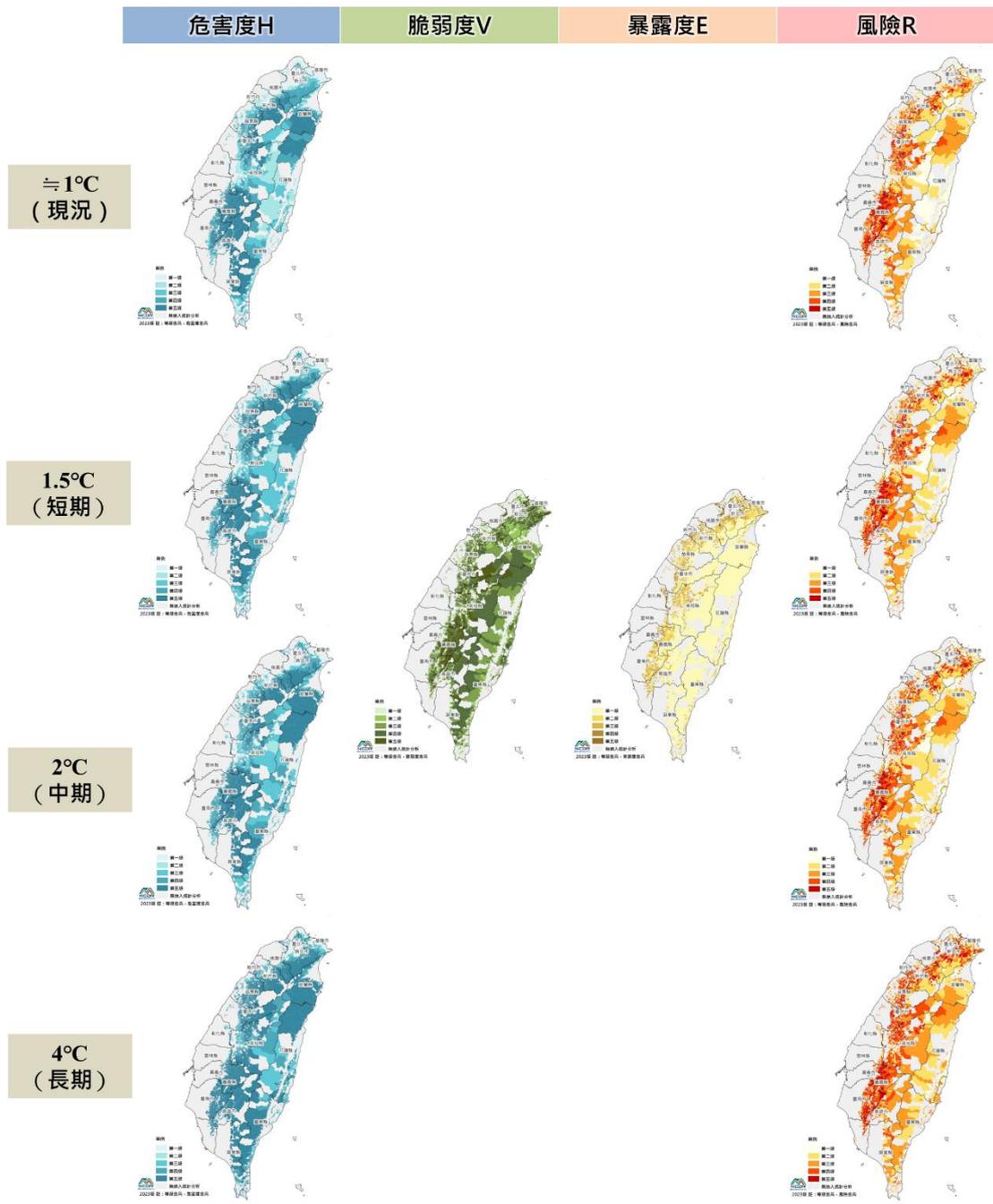


圖 4.10 各增溫情境下全台坡地災害風險圖(最小統計區)

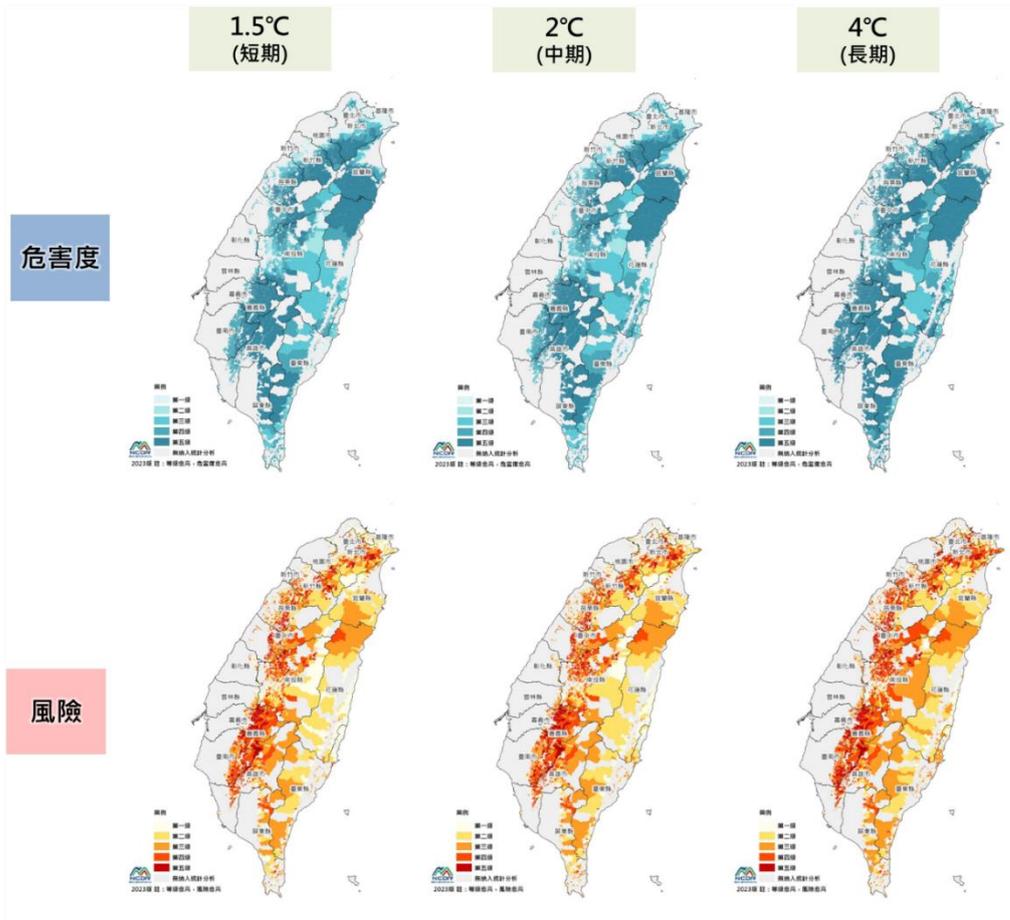


圖 4.11 不同全球增溫情境下坡地危害度及風險圖比較(最小統計區)

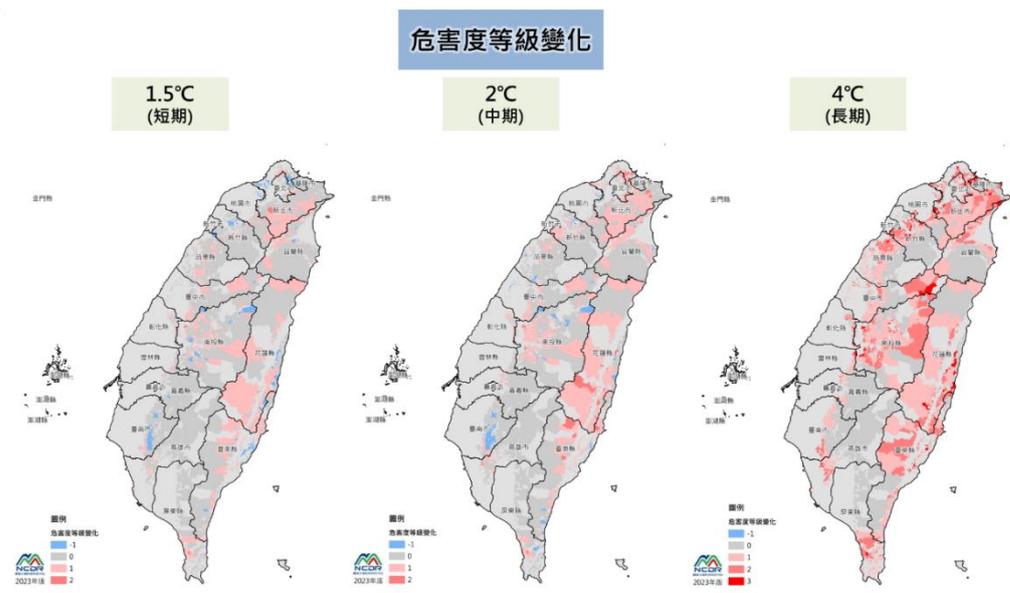


圖 4.12 各不同增溫情境下全台坡地危害度等級變化圖(最小統計區)

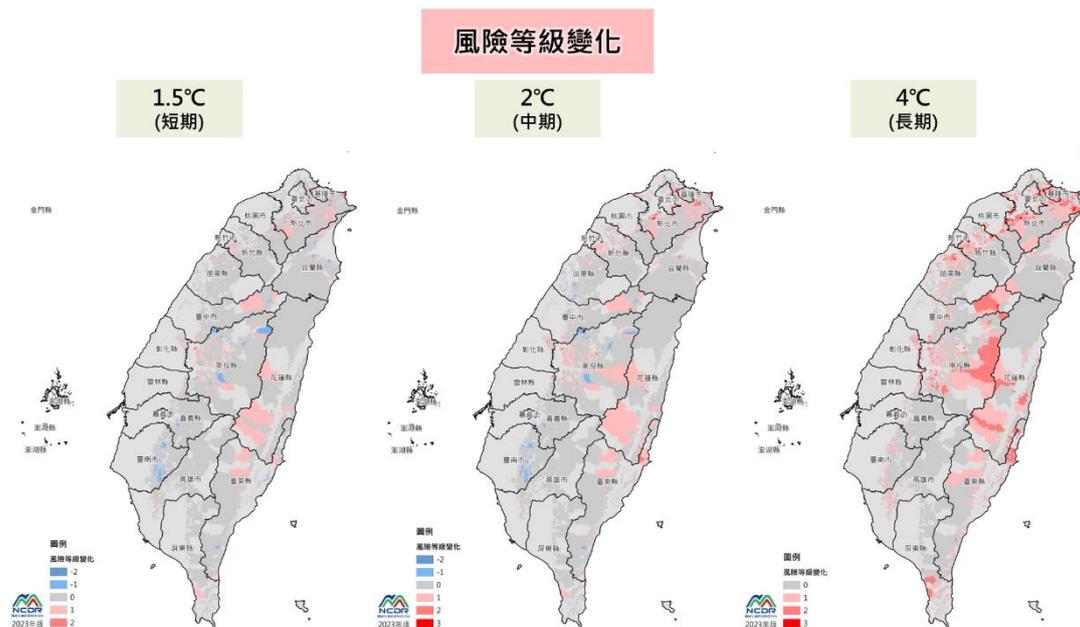


圖 4.13 各不同增溫情境下全台坡地災害風險等級變化圖(最小統計區)

4.2 縣市坡地風險圖

縣市版的坡地災害風險圖主要以各縣市內 5km 網格、鄉鎮市區及最小統計區等空間尺度範圍來分析比較，分別分析北北基及 17 個縣市於不同空間尺度及各增溫情境下之危害度、脆弱度、暴露度、風險、危害-脆弱度等各指標圖及多模式之眾數圖，以下就台北、新北與基隆市(簡稱北北基)及新竹縣市為例來說明：

1.北北基：

北北基 5km 網格於不同增溫情境下坡地危害-脆弱度各指標圖資，如圖 4.14 所示，危害度 $\approx 1^{\circ}\text{C}$ 現況圖中以南部烏來及坪林山區為高危害度區，至增溫情境 1.5°C(短期)東部、基隆、鶯歌有

幾處降雨機率減少外，其他區域降雨機率增加關係，則危害度等級加重情形。而 2°C(中期)及 4°C(長期)增溫情境與現況比較下，則是降雨機率增加的關係，北北基都呈現高危害度情形。由於高脆弱度區域主要位於東半部區域，因此高危害-脆弱度主要位於新北東半部、新店、三峽山區及基隆市。

各不同增溫情境下坡地危害-脆弱度等級變化，圖 4.15 所示，1.5°C 除了零星幾個區域等級減輕外，北半部區域較多等級加重情形。而增溫情境 2°C 及 4°C 因受危害度降雨機率增加、等級加重影響，可看出北半部區域的危害-脆弱度等級加重區域明顯增多。

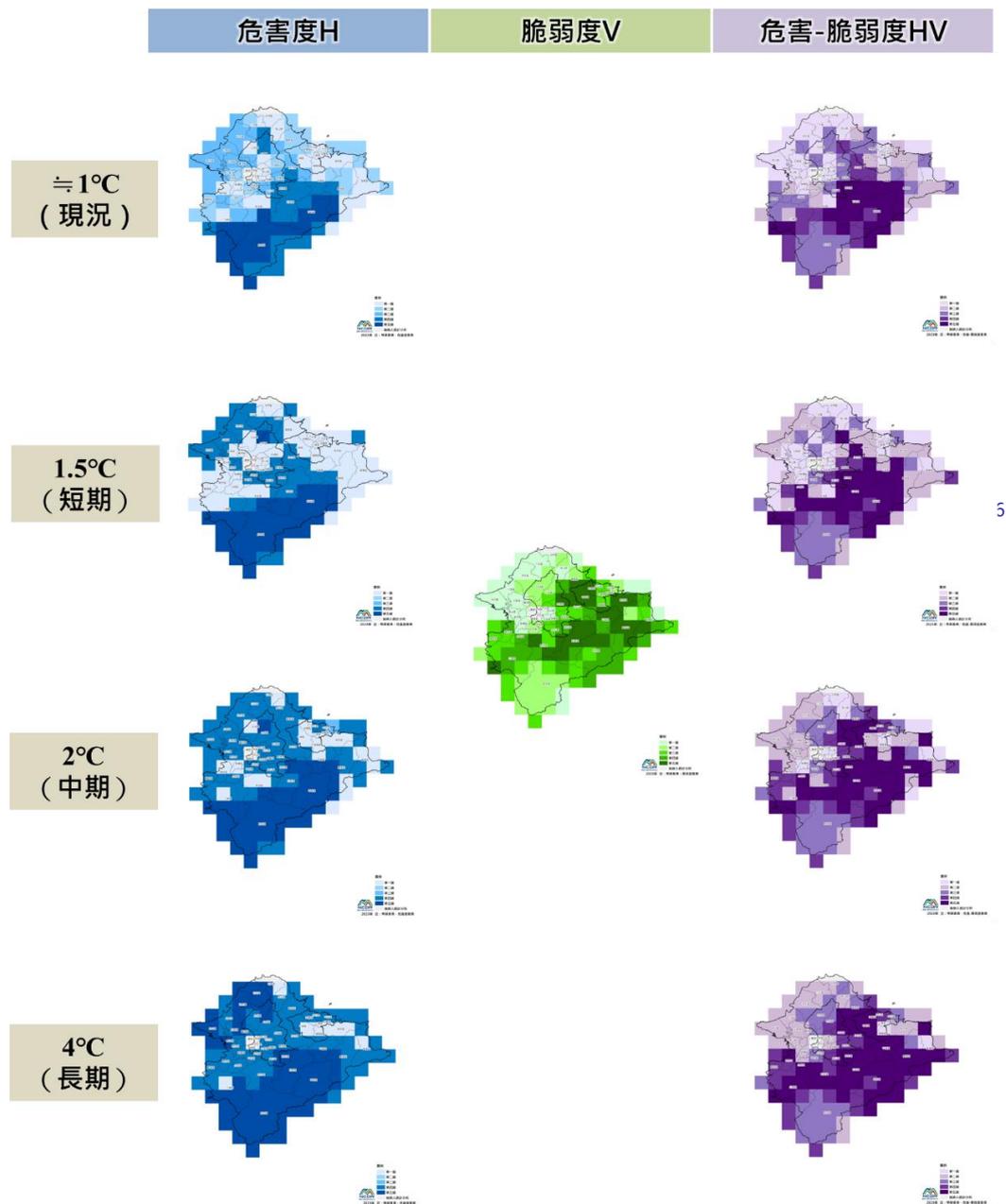


圖 4.14 各增溫情境下北北基之坡地危害-脆弱度圖 (5km 網格)

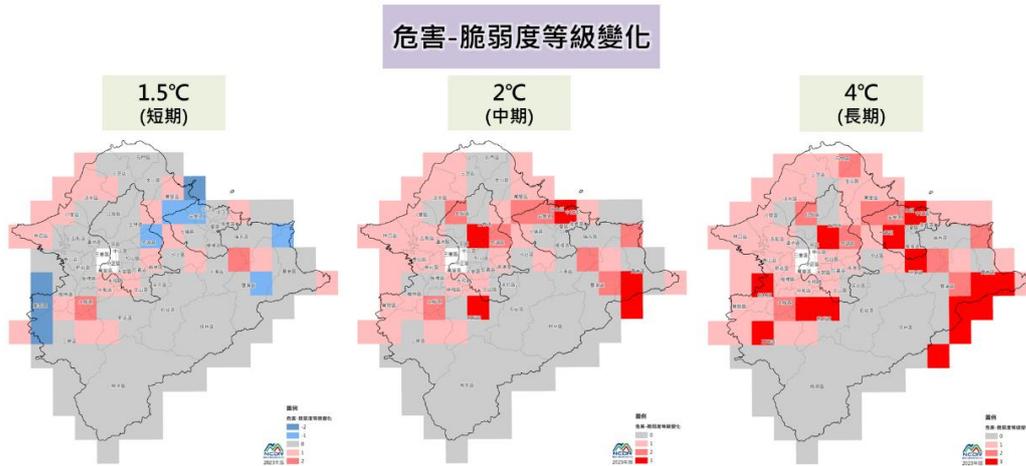


圖 4.15 各不同增溫情境下北北基坡地危害-脆弱度等級變化圖(5km 網格)

北北基鄉鎮市區於不同增溫情境下坡地災害風險各指標圖資，如圖 4.16 所示，危害度 $\approx 1^{\circ}\text{C}$ 現況圖中以南半部的鄉鎮市區為高危害度區，至增溫情境 1.5°C 東部、基隆、鶯歌有幾處降雨機率減少，而危害度等級減輕，其他區域降雨機率增加關係，則危害度等級加重情形。而 2°C 及 4°C 增溫情境與現況比較下，則是降雨機率增加的關係，北北基都呈現高危害度情形。由於鄉鎮市區的脆弱度，因地質災害潛勢及裸露地面積比會均化的關係，高脆弱度區域主要位於東半部區域，暴露度人口密集近平地區域，因此高風險主要位於雙北近平地區域及基隆市。

各不同增溫情境下坡地災害風險等級變化，圖 4.17 所示，受高暴露度近平地區域、危害度降雨機率增加影響的關係，增溫情境 1.5°C 、 2°C 及 4°C 下新北市西部、東北部及基隆市的鄉鎮市區坡地災害風險等級加重。

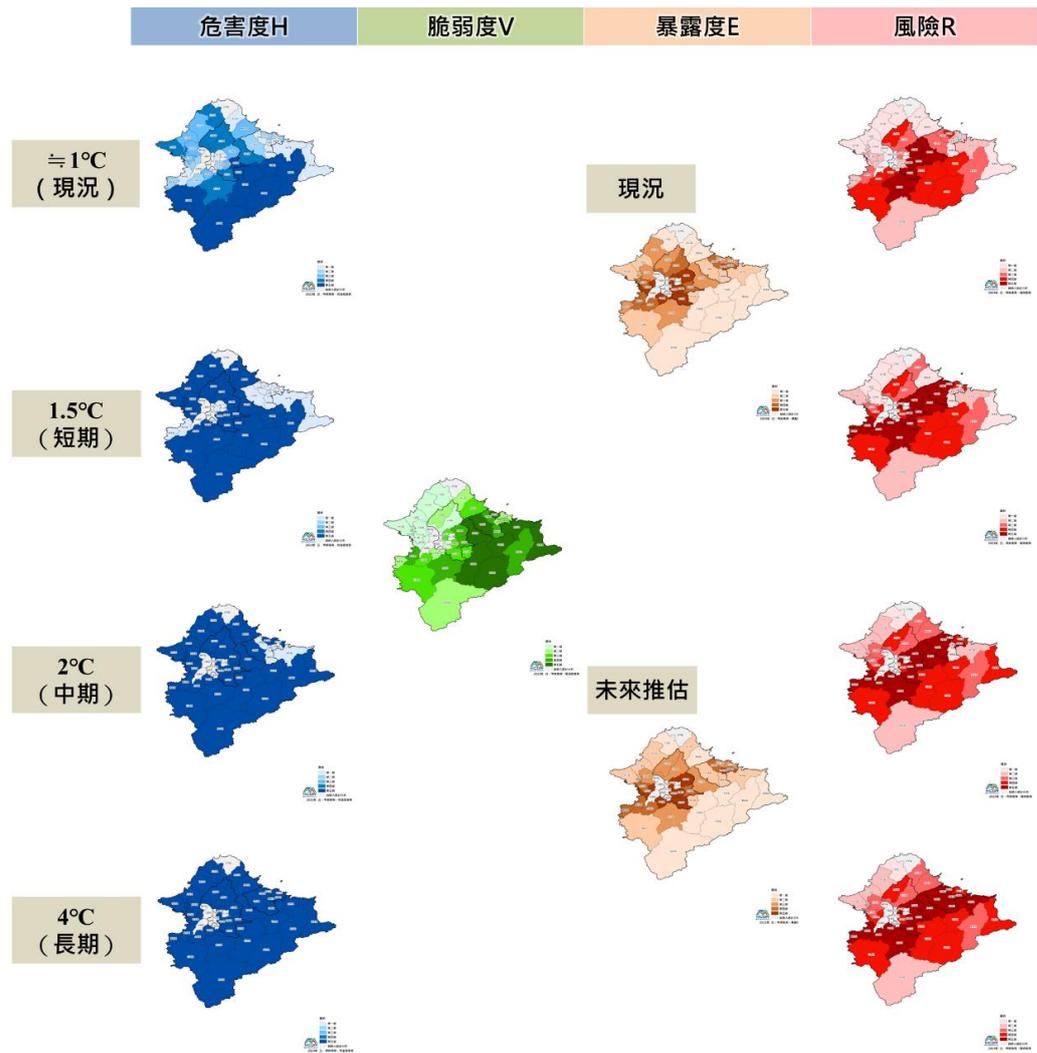


圖 4.16 各增溫情境下北北基之坡地災害風險圖（鄉鎮市區）

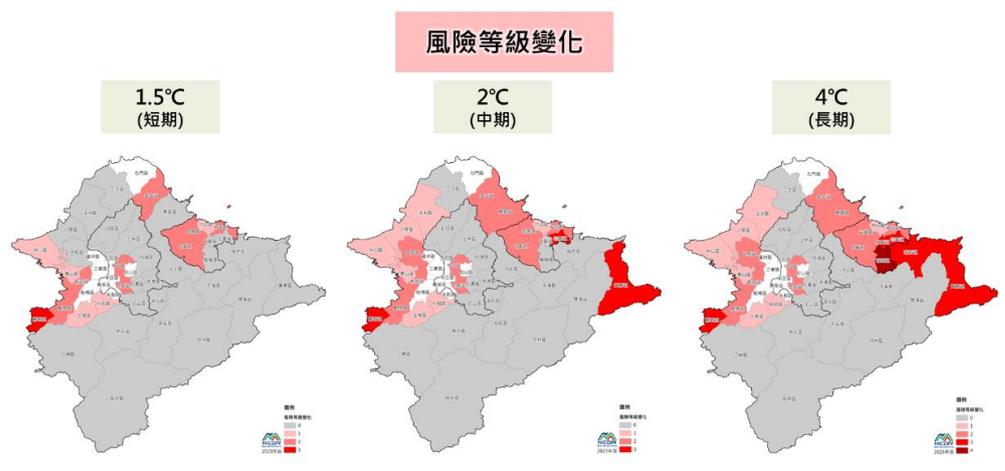


圖 4.17 各不同增溫情境下北北基坡地災害風險等級變化圖(鄉鎮市區)

北北基最小統計區於不同增溫情境下坡地災害風險各指標

圖資，如圖 4.18 所示，危害度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 現況圖中以南半部的最小統計區為高危害度區，至增溫情境 1.5°C 東部、基隆、鶯歌有幾處降雨機率減少，而危害度等級減輕，其他區域降雨機率增加關係，則危害度等級加重情形。而 2°C 及 4°C 增溫情境與現況比較下，則是降雨機率增加的關係，北北基都呈現高危害度情形。由於脆弱度區域空間單元更細緻化關係，其高脆弱度主要位於三峽、新店及東半部區域居多，暴露度人口密集近平地區域，因此高風險主要位於雙北近平地區域及基隆市。各不同增溫情境下坡地災害風險等級變化，圖 4.19 所示，受高暴露度近平地區域、危害度降雨機率增加影響的關係，增溫情境 2°C 及 4°C 下新北近平地區域、東北部及基隆市的最小統計區坡地災害風險等級加重。

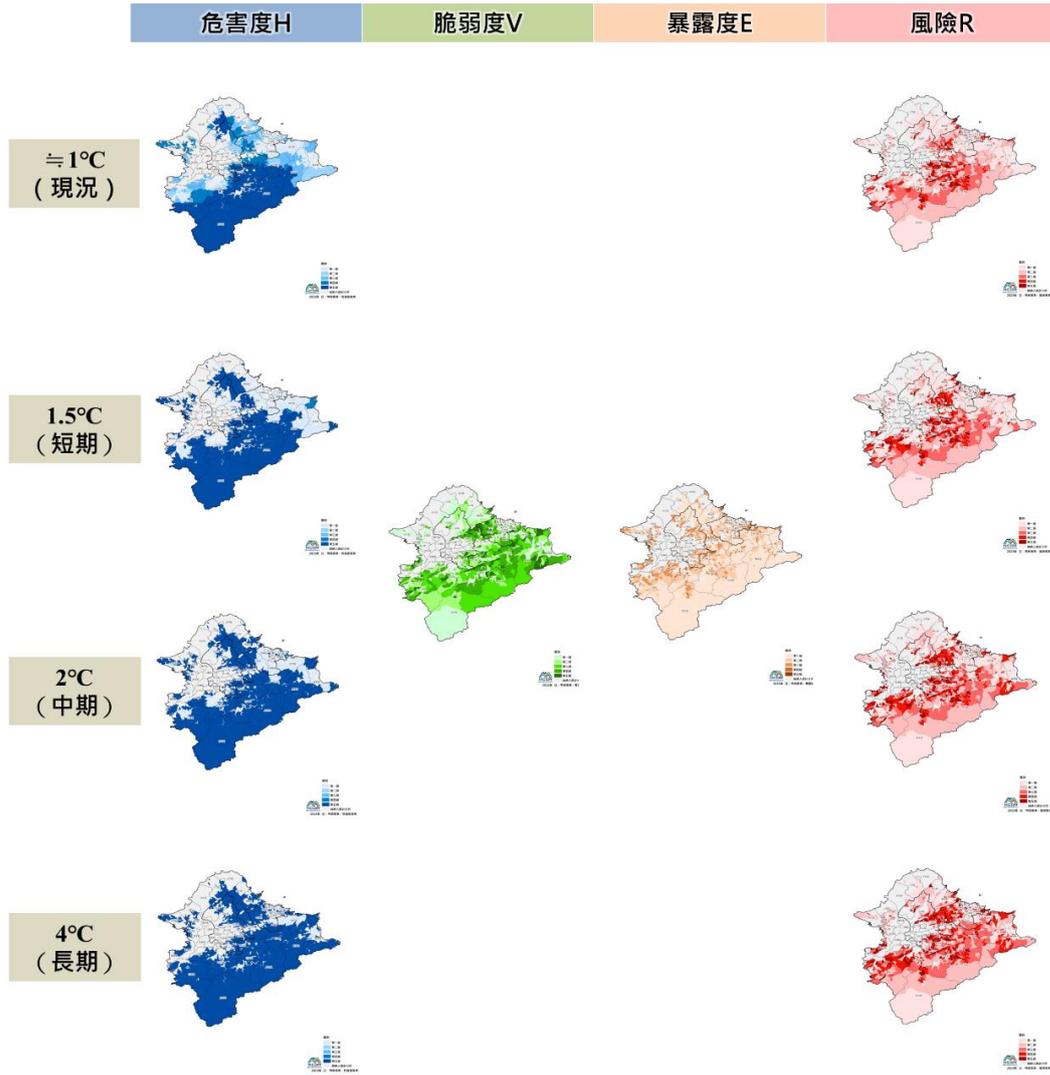


圖 4.18 各增溫情境下北北基之坡地災害風險圖 (最小統計區)

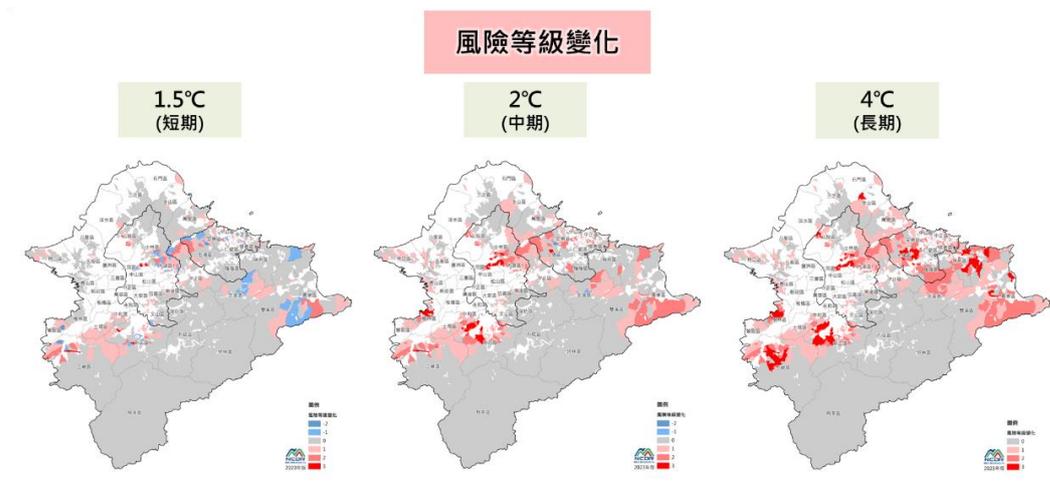


圖 4.19 各不同增溫情境下北北基坡地災害風險等級變化圖(最小統計區)

2.新竹縣市：

新竹縣市 5km 網格於不同增溫情境下坡地危害-脆弱度各指標圖資，如圖 4.20 所示，危害度 $\cong 1^{\circ}\text{C}$ 現況圖中以五峰及尖石鄉為高危害度區，至增溫情境 1.5°C (短期)有幾處降雨機率減少，山區則是有幾處降雨機率增加，危害度趨勢大致呈現相同。而 2°C (中期)及 4°C (長期)增溫情境與現況比較下，則是山區降雨機率增加的關係，新竹縣市的五峰及尖石鄉較呈現高危害度情形。而高脆弱度區域主要位於尖石鄉居多，因此分析之高危害-脆弱度主要位於五峰及尖石鄉。

各不同增溫情境下坡地危害-脆弱度等級變化，圖 4.21 所示，增溫情境 1.5°C 及 2°C 的危害-脆弱度零星幾各區域等級加重，而增溫情境 4°C 因受危害度等級加重影響，可看出近平地位置的危害-脆弱度等級加重區域明顯增多。

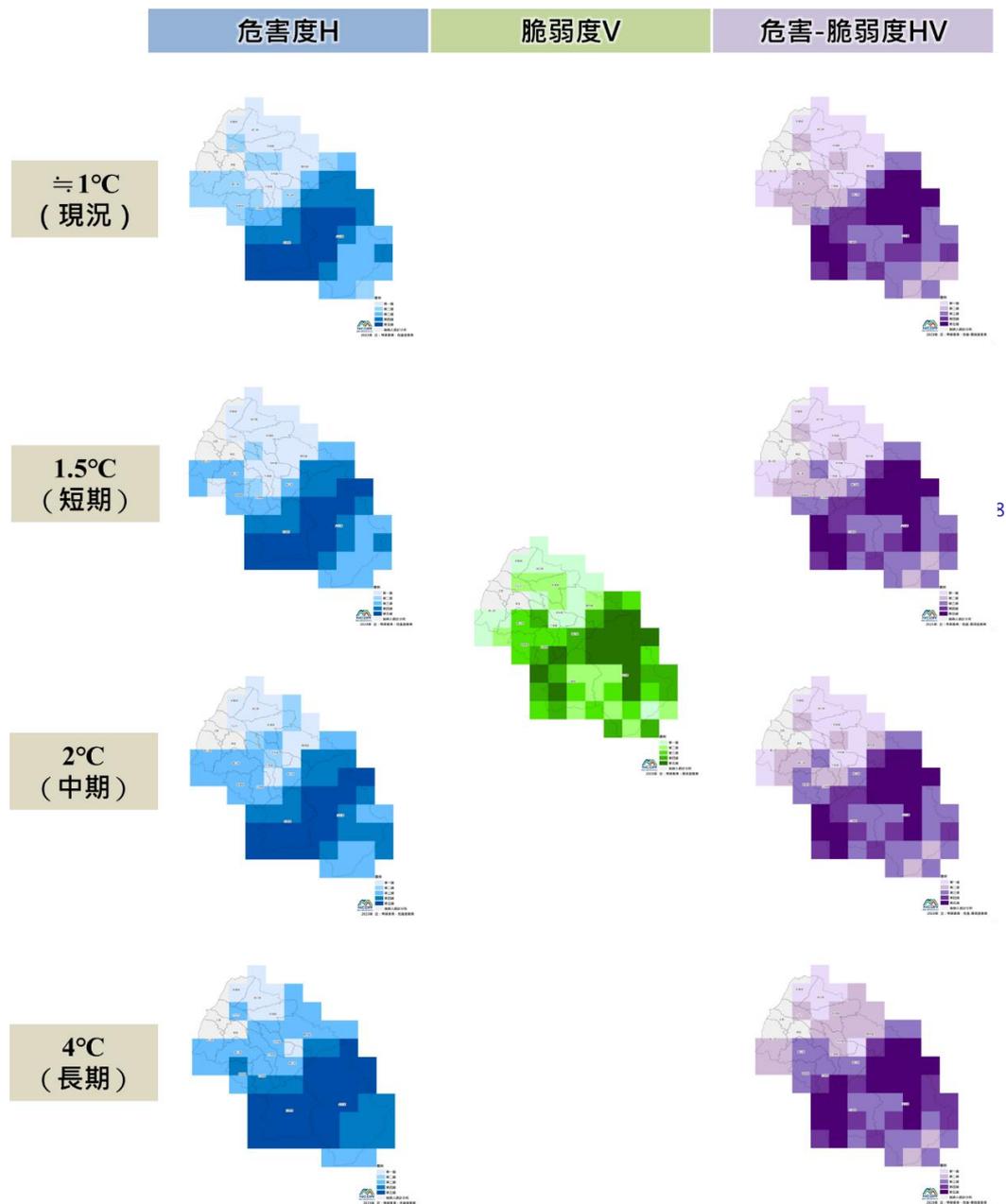


圖 4.20 各增溫情境下新竹縣市之坡地災害風險圖(5km 網格)

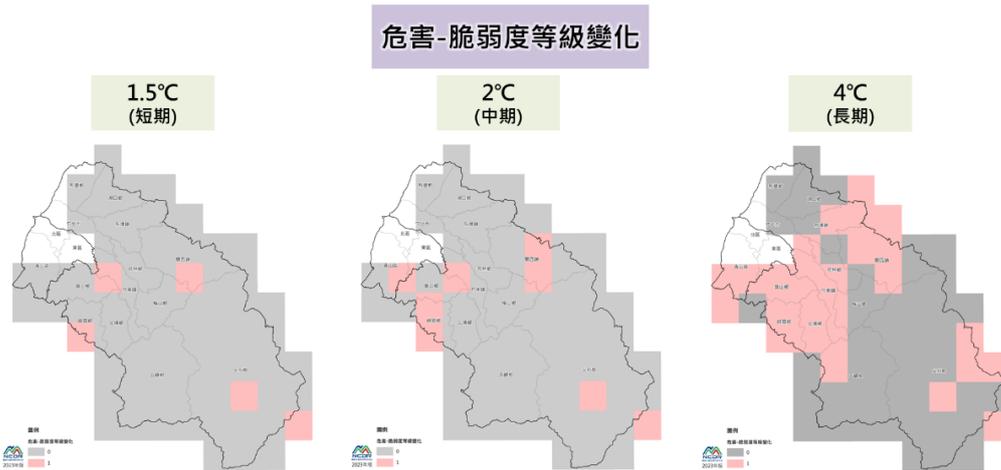


圖 4.21 各不同增溫情境下新竹縣市坡地危害-脆弱度等級變化圖(5km 網格)

新竹縣市鄉鎮市區於不同增溫情境下坡地災害風險各指標圖資，如圖 4.22 所示，危害度 $\cong 1^{\circ}\text{C}$ 現況圖中以五峰及尖石鄉為高危害度區，至增溫情境 1.5°C 、 2°C 及 4°C 增溫情境與現況比較下，降雨機率增加的關係，除了五峰及尖石鄉維持高危害度，其他鄉鎮市區也呈現高危害度情形。由於高脆弱度區域主要位於地勢較高的五峰及尖石鄉，暴露度人口密集近平地區域，因此高風險主要位於新竹縣市中部近平地的區域。

各不同增溫情境下坡地災害風險等級變化，圖 4.23 所示，受高暴露度近平地區域、危害度降雨機率增加影響的關係，增溫情境 1.5°C 、 2°C 及 4°C 下中部近平地的鄉鎮市區坡地災害風險等級加重。

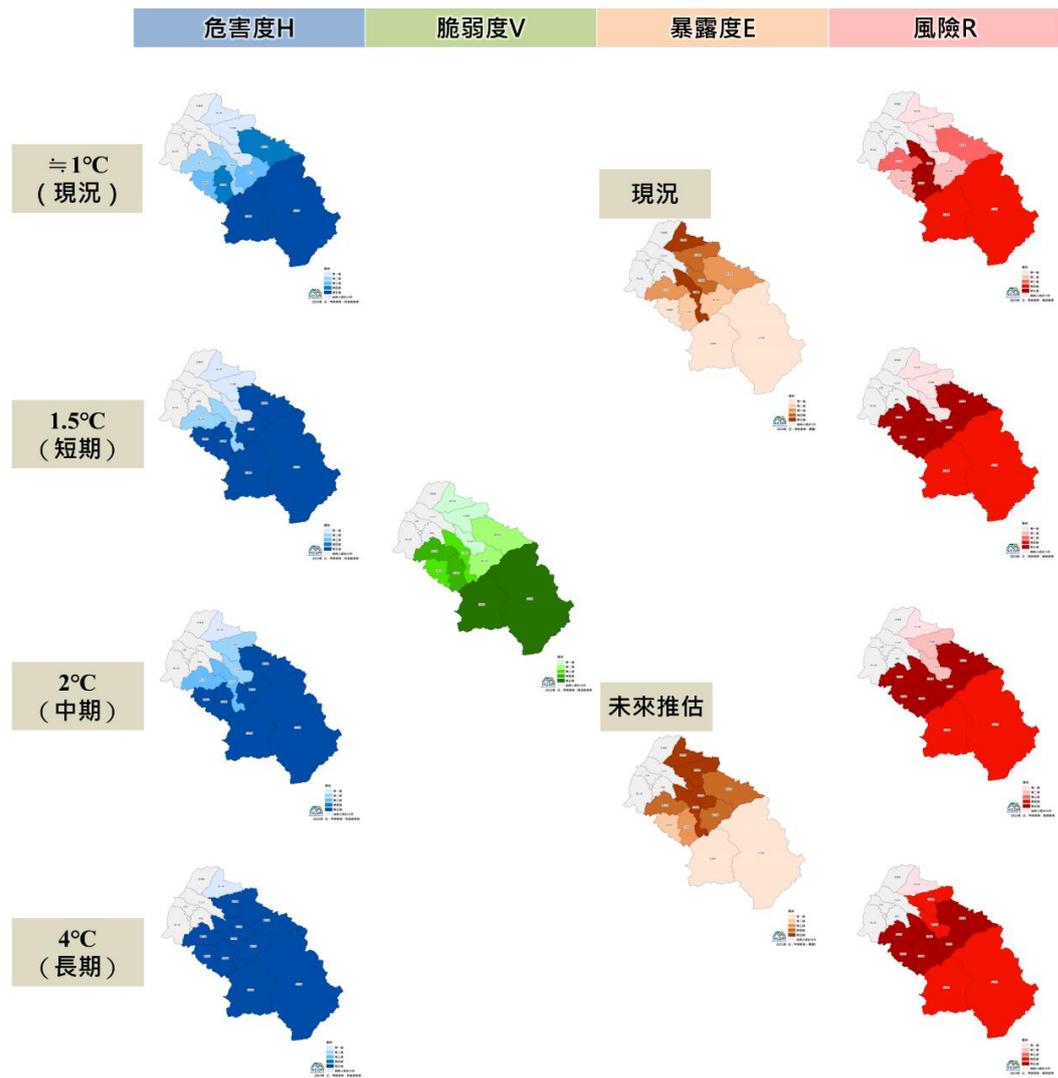


圖 4.22 各增溫情境下新竹縣市之坡地災害風險圖（鄉鎮市區）

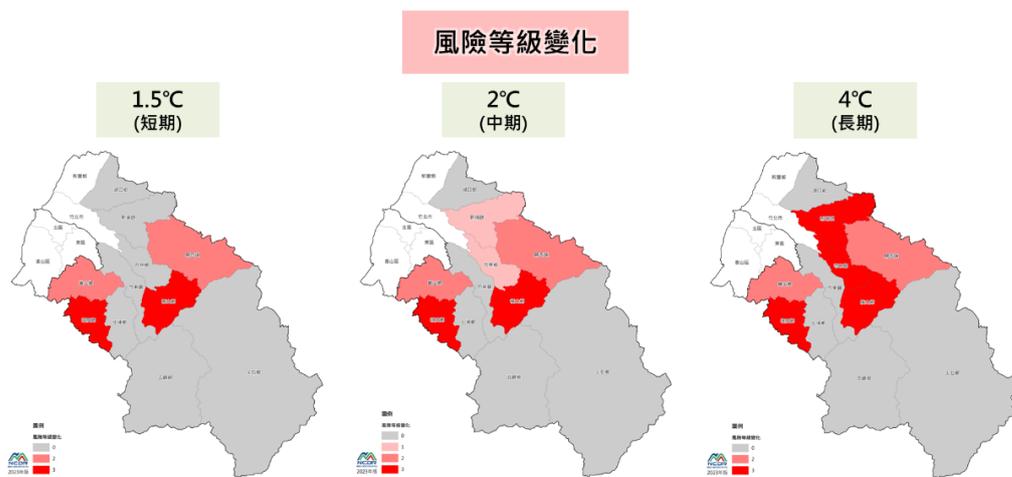


圖 4.23 各不同增溫情境下新竹縣市坡地災害風險等級變化圖(鄉鎮市區)

新竹縣市最小統計區於不同增溫情境下坡地災害風險各指標圖資，如圖 4.24 所示，危害度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 現況圖中以五峰及尖石鄉為高危害度區，至增溫情境 1.5°C 、 2°C 及 4°C 增溫情境與現況比較下，降雨機率增加的關係，除了五峰及尖石鄉維持高危害度，其他近平地之最小統計區也呈現高危害度情形。由於脆弱度區域空間單元更細緻化關係，高脆弱度除了五峰及尖石鄉居多外，其他鄉鎮市區零星區域也為高脆弱度區。暴露度人口密集近平地區域，因此高風險區位除了五峰及尖石鄉部分最小統計區外，還有中部近平地的區域。各不同增溫情境下坡地災害風險等級變化，圖 4.25 所示，受高暴露度近平地區域、危害度降雨機率增加影響的關係，增溫情境 1.5°C 、 2°C 及 4°C 下中部近平地的最小統計區坡地災害風險等級加重。

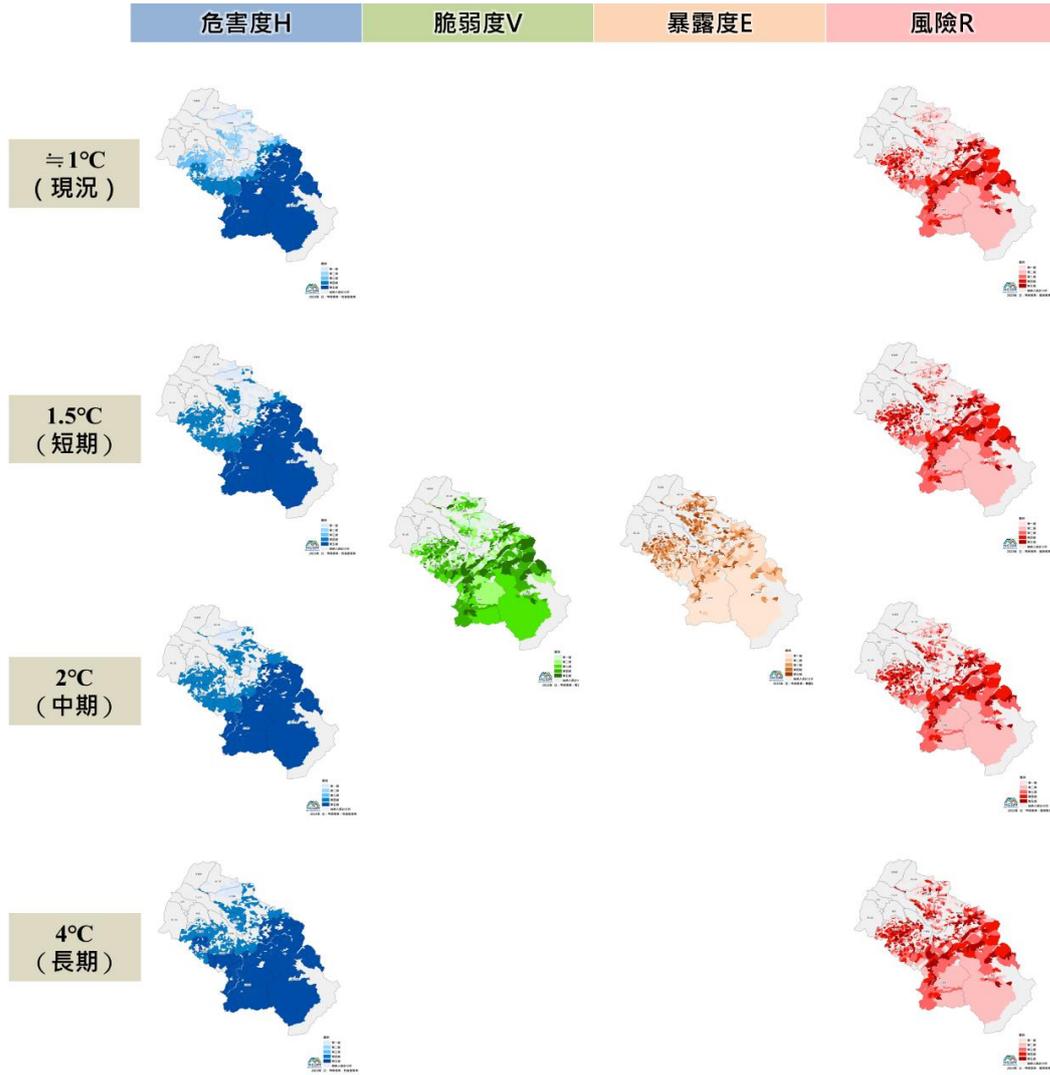


圖 4.24 各增溫情境下新竹縣市之坡地災害風險圖(最小統計區)

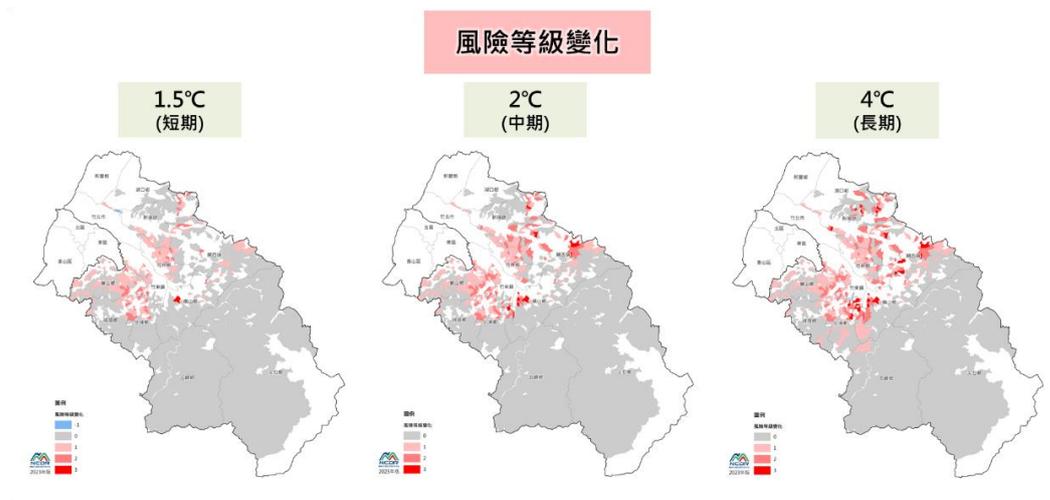


圖 4.25 各不同增溫情境下新竹縣市坡地災害風險等級變化圖(最小統計區)

4.3 坡地風險圖不確定性

本研究參考 IPCC 報告中圖資呈現不確定方法，以氣候變遷情境下多模式未來降雨變化趨勢呈現風險圖不確定性，評估所有 GCM 模式未來推估危害度的趨勢是否相同，且趨勢相同的模式數量超過 80%，若模式數量大於 80%，則表示該地區的模式一致性高。若模式變化趨勢未符合 80% 模式數量的地區，為一致性較低地區，視為風險等級可信度低(以斜線呈現)。

將各增溫情境全台坡地災害風險圖套疊危害度模式變化情形(空間尺度為鄉鎮市區)，分析其模式的一致性，如圖 4.26 所示，斜線區域為一致性低之鄉鎮市區。於 1.5°C (近未來期間)，有 7 個鄉鎮市區一致性高，主要位於彰化縣居多；於 2°C (世紀中期間)，有 32 個鄉鎮市區一致性高，主要位於彰化縣、新北市、桃園市居多；於 4°C (世紀末期間)，有 173 個鄉鎮市區一致性高，除了台南市及高雄市鄉鎮市區一致性較低外，其他縣市則一致性高。由圖也可看出增溫情境 1.5°C 至 4°C 危害度模式變化一致性高的鄉鎮市區越來越多。

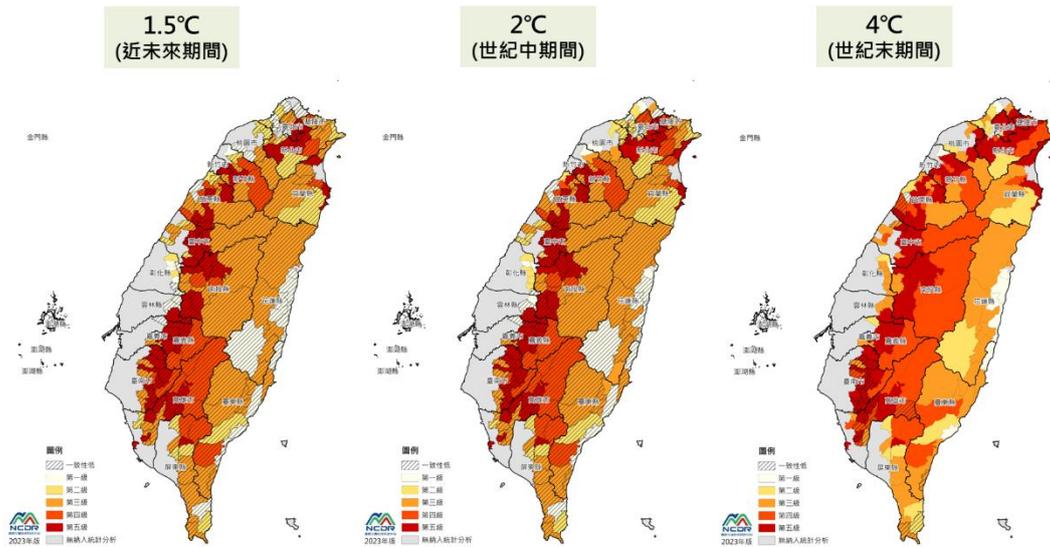


圖 4.26 全台坡地災害風險圖套疊危害度模式變化情形

圖 4.27 為增溫 4°C 情境下坡地災害風險圖與等級變化，圖中斜線的部分為模式不確定性呈現，斜線區為模式一致性低，亦表示有斜線的地區風險等級不確定高。由圖 4.27 中等級變化(右邊圖)，可知北部地區因未來極端降雨增加，導致坡地災害風險加重，在增溫 4°C 情境下約 178 個鄉鎮區模式可信度高，其中北部幾個鄉鎮市區，模式一致性高且等級變化大的區域，建議可作為優先調適規劃參考。例如風險等級加重 3~4 級的區域，表示現在是等級低，未來是屬於高風險區域，且模式變化趨勢的一致性高（可信度高）模式可信度高。且圖 4.27 中多數丘陵的鄉鎮區，現況高風險區，未來風險等級不變，皆為高風險等級，且模式可信度高，建議可進一步分析細部可能的衝擊，評估調適策略。

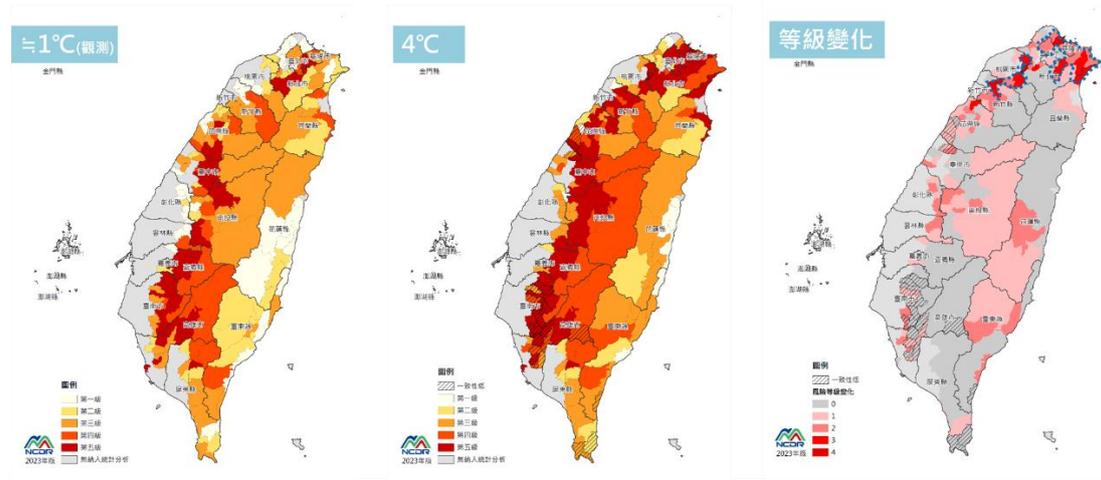


圖 4.27 增溫 4°C 情境下全台坡地災害風險圖不確定性與等級變化

第五章 氣候變遷坡地災害風險圖應用

氣候變遷坡地災害風險圖主要呈現現況未來的風險等級變化，主要提供較上位的規劃與決策者評估相對高風險區位，作為調適規劃與風險管理參考。前述章節分別介紹全台範圍與各縣市範圍坡地災害風險圖，兩套圖因評估鄉鎮市區數量不同，故相同鄉鎮市區在全台與縣市坡地災害風險圖，其對應的等級亦不同，故不同範圍的坡地災害風險圖在應用領域亦有所差異。下面章節分別介紹應用全台坡地災害風險圖於道路、聚落、不安地土砂、土石流潛勢溪流等，以及以縣市坡地災害風險圖之新竹縣為例，評估對原民部落的影響。於 5.2 節則是介紹過去產業應用災害風險圖的情形。

5.1 坡地災害風險圖資應用

坡地災害風險圖是以氣候變遷情境科學資料為依據，考慮極端降雨衝擊可能造成坡地災害風險發生和加劇。藉由不同色階方式呈現風險高低，圖資清晰易懂，易於溝通，透過風險圖方便提供相關信息，進行相關的風險溝通，提高政府機構、規劃者和利害關係人對氣候變遷災害風險的認識，了解未來氣候變遷情境下高風險區位以更有效地應對氣候變遷對坡地災害風險帶來的衝擊，以採取的調適策略與推動。

坡地災害風險圖目前在政府機關應用，以內政部國土管理署較多申請應用，多應用於鄉村地區整體規劃，以及縣市政府的氣候變遷調適評估。藉由風險圖指認未來可能高衝擊的區域，在開發新區域或更新現有區域的土地規劃過程中，避免潛在的高災害風險區域，以及推動調適策略相關工作。初步套疊其他圖資應用成果如下：

(一) 聚落、道路與坡地危害－脆弱圖

為瞭解特定脆弱族群在山區部落，未來可能遭受氣候變遷坡地災害的影響，評估針對避難的處所物資是否需要準備更長時間的規劃，以及對於山區部落易成孤島區，找尋替代道路，避免坡地災害造成無法進出等問題，故本研究利用危害-脆弱圖套疊山區聚落的空間分布，如圖 5. 1，以了解相對高風險聚落的位置，對於危害-脆弱度等級越高(深紫色)的聚落，可進一步規劃相關山區特定脆弱族群區域(如弱勢人口、高齡人口、獨居等)、做物資準備規劃與易成孤島區規劃相關的替代道路作為防災通道選擇。圖 5. 1 右邊的圖資則是將聚落所在位置挑選出來呈現，較高的危害-脆弱區的部落在南部的山區。

圖 5. 2~圖 5. 3 分別是不同的全球增溫情境下坡地危害-脆弱度圖套疊聚落空間分布，隨著增溫情境的加重，南部山區與花東地

區道路危害-脆弱等級增加，山區部落需更加注意未來氣候變遷災害衝擊，對於邊坡崩塌易致災道路與易成孤島聚落，需提早做相關防減災的規劃。

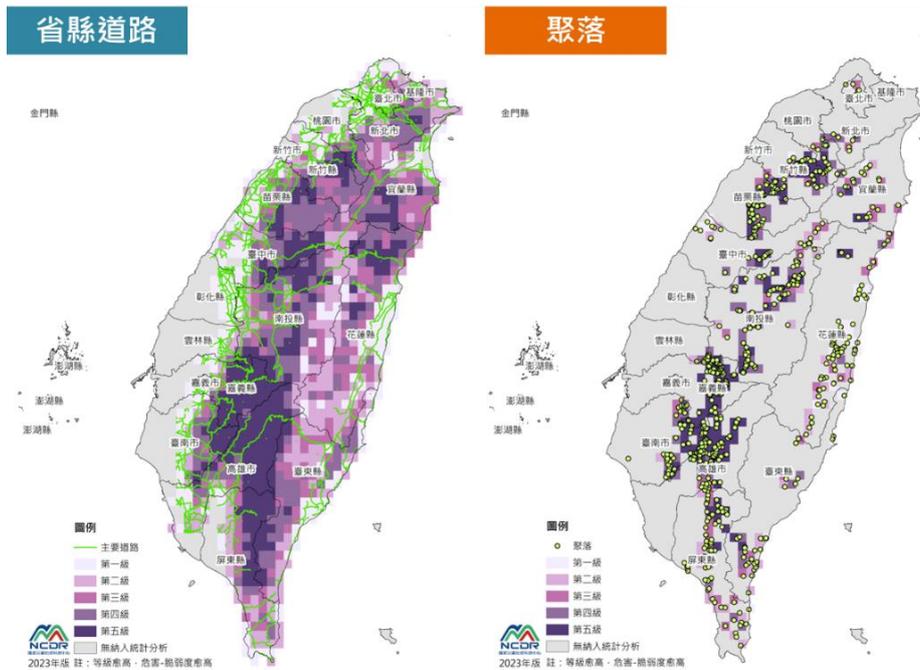


圖 5.1 省縣道與山區聚落於 2°C 坡地災害危害-脆弱圖分布

圖 5.4~圖 5.5 分別是不同的全球增溫情境下坡地危害-脆弱度圖套疊省縣道分布，隨著增溫情境的加重，南部山區與花蓮台 8 路段道路危害-脆弱等級增加，這些山區道路需更加注意未來氣候變遷災害衝擊，對於邊坡崩塌易致災道路，需提早做相關防減災的規劃。

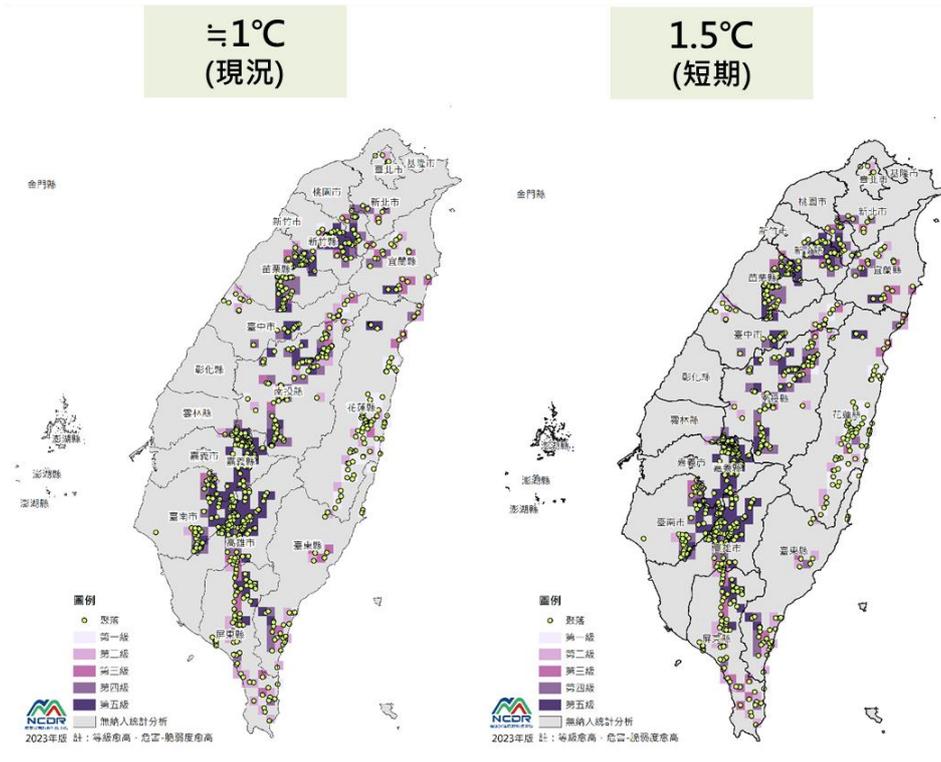


圖 5.2 在 ≈1°C 及 1.5°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊聚落空間分布

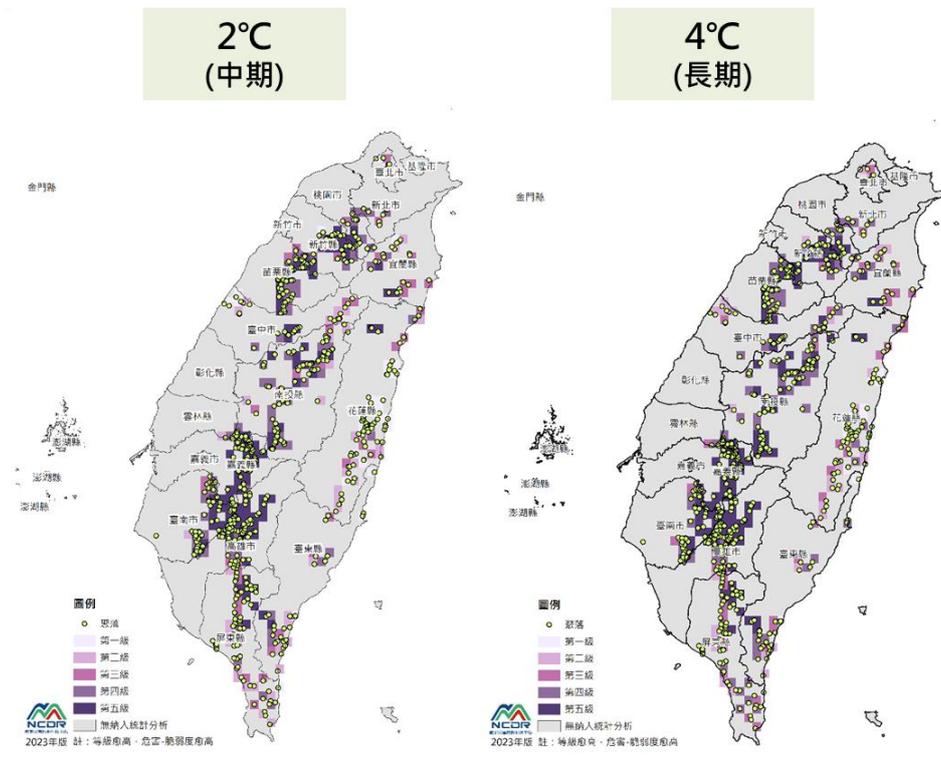


圖 5.3 在 2°C 及 4°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊聚落空間分布

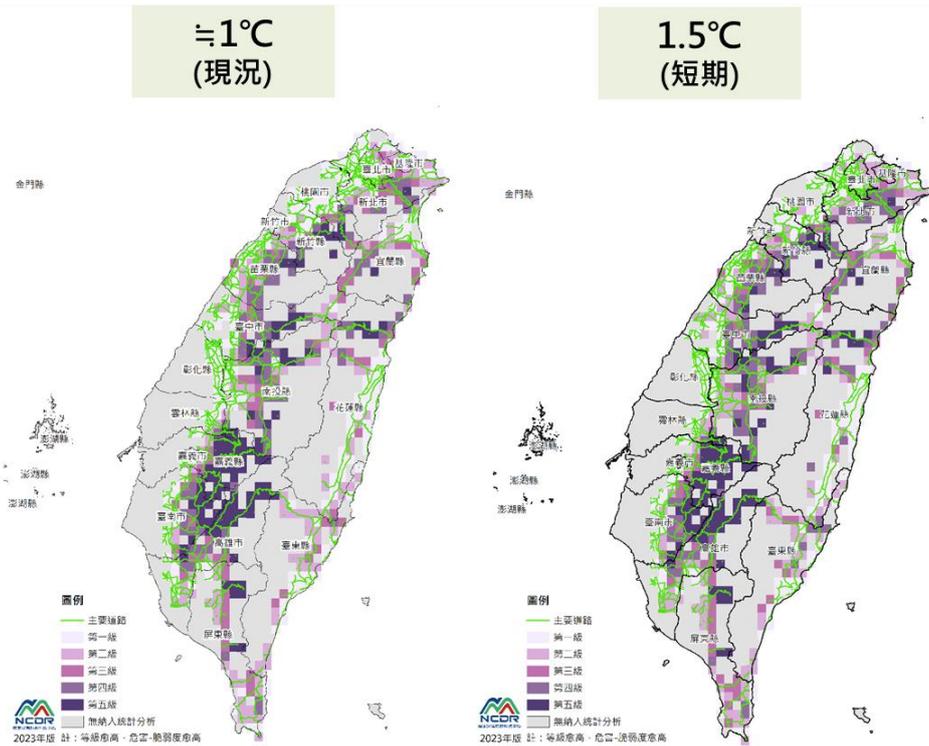


圖 5.4 在 ≈1°C 及 1.5°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊主要道路

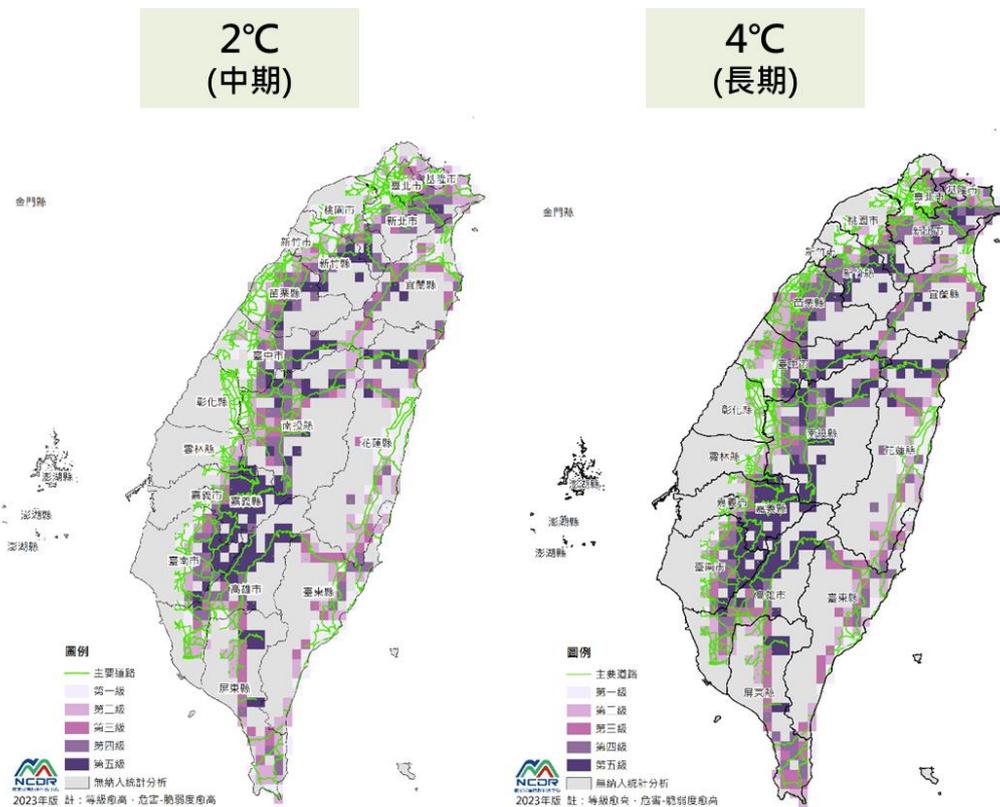


圖 5.5 在 2°C 及 4°C 情境下坡地危害-脆弱度圖套疊主要道路

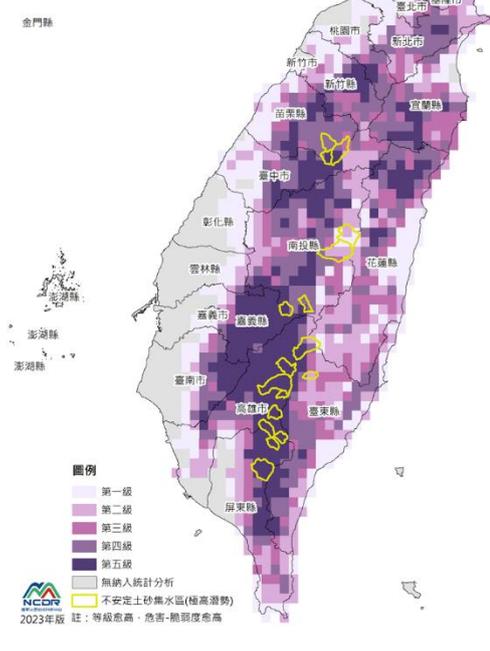
(二) 不安地土砂、土石流潛勢溪流與坡地危害－脆弱圖

莊承穎等人(2022) 於莫拉克風災後，山區仍有大量不安定土砂殘留於邊坡及河道，如遇極端降雨可能造成土石流可能影響到下游的保全住戶及重要基礎設施。本研究根據水保署的不安定土砂集水區（極高潛勢與高潛勢）套疊坡地危害－脆弱圖，如圖 5.6 所示，2°C坡地危害-脆弱度圖分別與 17 處極高潛勢、312 處高潛勢以上的不安定土砂區域套疊可看出臺中縣山區延伸至屏東縣山區及宜蘭縣、花蓮縣北部也都位於高危害-脆弱度區。另外可能受不安定土砂影響之高風險橋梁，如圖 5.7 所示，幾乎也都位於高危害-脆弱度區域之範圍。

將危害-脆弱度圖套疊於土石流潛勢溪流圖層，如圖 5.8 所示，以了解土石流潛勢溪流是否也位於高危害-脆弱度區域，由圖可看出從新竹縣山區延伸至高雄市山區的土石流潛勢溪流區域剛好也位於坡地高危害-脆弱度區。

未來風險圖評估需進一步弱勢團體和原住民經驗與知識，以確保風險圖可反映出當地災害特性與進行適當的土地利用規劃。藉由長期監測和圖資更新，適當地滾動修正與逐步調整土地利用規劃和風險管理，以提出調適策略以應對氣候變遷衝擊。

不安定土砂集水區
(極高潛勢)



不安定土砂集水區
(極高潛勢、高潛勢)

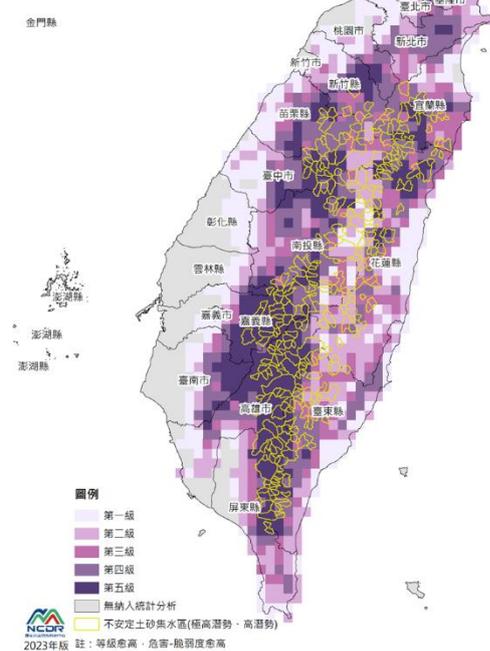


圖 5.6 2°C坡地危害-脆弱度圖套疊不安定土砂集水區

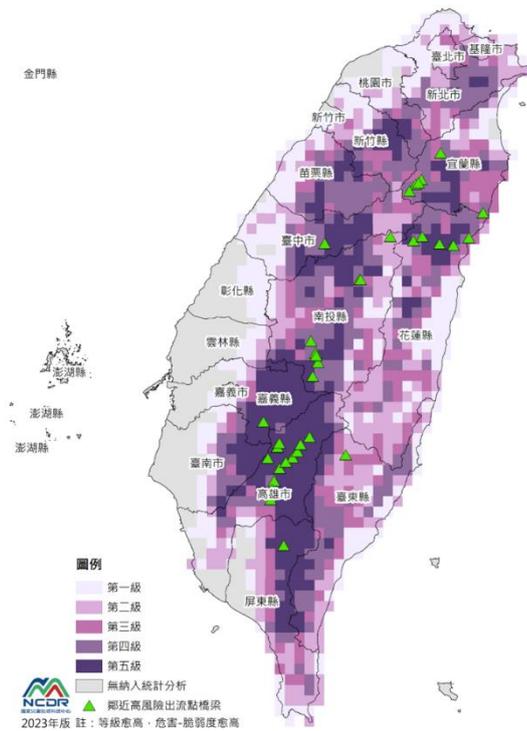


圖 5.7 在 2°C 情境下危害-脆弱度圖套疊鄰近高風險出流點橋梁

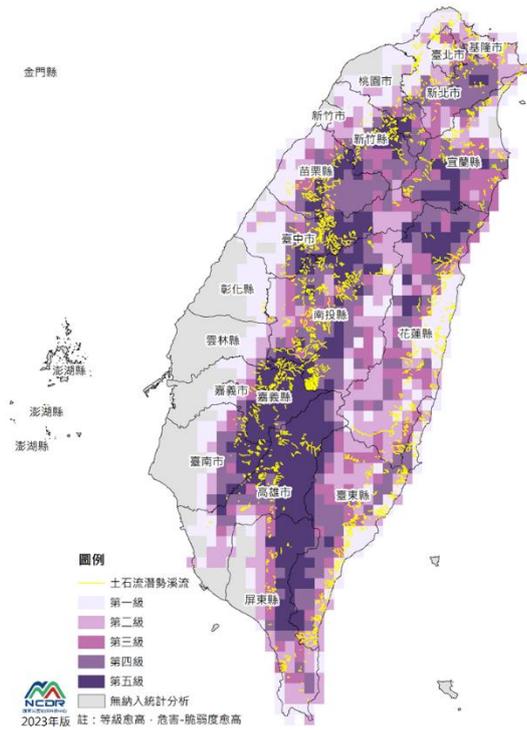


圖 5.8 在 2°C 情境下危害-脆弱度圖套疊土石流潛勢溪流

(三) 建物與縣市版坡地危害-脆弱圖

將建物圖資套疊於新竹縣最小人口統計區之坡地災害風險圖，如圖 5.9，尖石鄉山區的村里部部份位在高風險區域，如秀巒村田浦與新光等地區，因坡地危害-脆弱度高，再加上該地區有人口居住，其風險較高。部分建物區域位置無主要道路經過，對於未來遭遇坡地災害較易成為孤島區域。

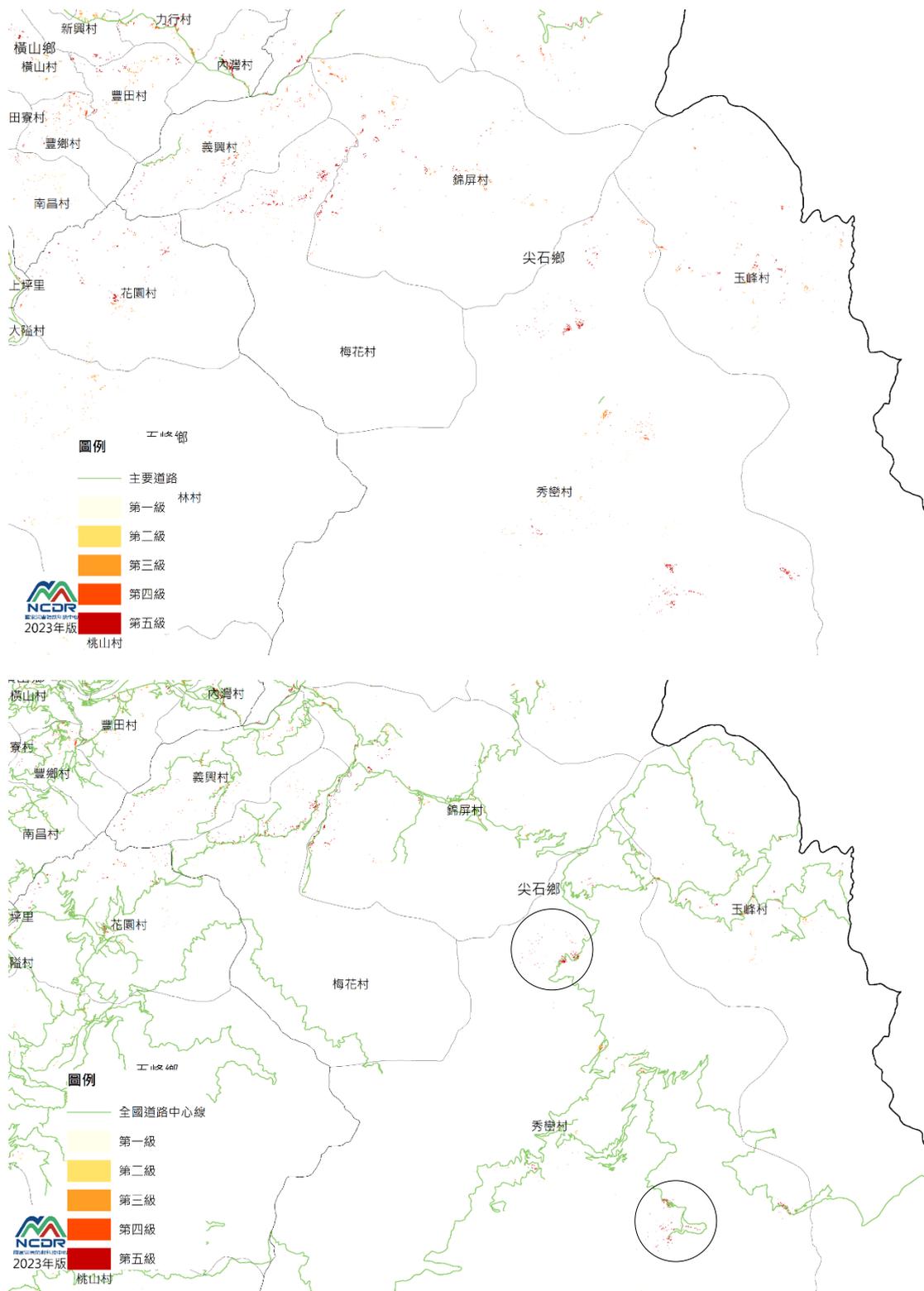


圖 5.9 新竹縣尖石鄉建物與坡地災害風險圖

5.2 企業應用氣候變遷災害風險圖資

根據瑞士再保險研究院 (Swiss Re Institute) 報告，若氣候變遷持續，2050 年將造成全球 GDP 減少 18%，天災衝擊影響當地居民的生活，且對經濟造成重大損失。氣候相關財務揭露 (Task Force on Climate-related Financial Disclosures，簡稱 TCFD)，目的在推動企業在財務報告中揭示其氣候變化相關的風險和機會。協助企業和投資者了解氣候相關風險管理和機會利用的訊息，目前較多進行 TCFD 報告的產業，多數是金融業，用於評估擔保品是否會遭受氣候變遷衝擊。

產業的 TCFD 報告中，多是在情境分析 (Scenario Analysis) 評估氣候變遷對其業務的潛在影響，包括實體風險 (極端天氣事件如颱風、洪水、乾旱、海平面上升以及海岸侵蝕等) 其他還包含轉型風險和法律風險。可使用不同的情境和模型，例如 2°C 目標情境，評估不同的氣候變化情境下對其業務的影響。

產業因此需要了解氣候變遷對颱風、洪水、乾旱造成的風險影響，以下針對國內百大企業過去應用災防科技中心相關風險圖資與潛勢圖說明。統計 2021 年百大企業之 TCFD 與企業永續報告(CSR)，約 36 家應用 TCCIP 與災防科技中心資料，其中 22 家應用災防科技中心氣候變遷災害風險調適平台(Disaster Risk

Adaptation，簡稱 Dr. A)與 3D 災害潛勢地圖，如圖 5.10。



圖 5.10 百大企業應用 TCCIP 與災防科技中心圖資統計

表 5.1 列出於 2019 年至 2022 年企業 TCFD 與企業永續報告 CSR 有應用 Dr.A 圖資之統計，在金融產業應用災防科技中心資料方面，圖 5.11 中，2022 年元大金及永豐金持續採用參考 Dr.A 圖資，而國泰金則是部分產業應用，另外也有 4 家金融產業則是採用氣候風險資料庫應用。在其他產業應用方面，圖 5.12 中，於 2022 年有 8 家持續參考 Dr.A 的圖資，另外有 3 家則是參考災害潛勢地圖。在各產業應用 Dr.A 災害風險圖之分析中，表 5.2 所示，各企業利用災防科技中心相關研究做為氣候情境評估依據，針對集團下各項業務或供應商生產據點等進行情境分析以評估其實體風險，並提出對應之氣候風險管理策略。

表 5.1 企業 TCFD 與 CSR 報告應用 Dr. A 圖資統計

企業名稱	過去	2022 年版	備註
元大金	2021 年採用	參考 Dr. A 圖資	明確引用但未說明如何引用
富邦金	2021 採用 Dr.A 的危害-脆弱圖	尚未能下載	安侯建業聯合會計師事務所認證
國泰金	2021 採用	部分產業應用 Dr.A 部分與學研合作	不同產業應用不同的圖資
中信金	2021 採用坡地	無採用	FCS 顧問公司協助
合庫金	2021 年採用	無採用	說明用 TCCIP 但圖資不同
永豐金	2021 年採用 Dr. A	銀行公會+災防科技中心	參考 Dr.A 再增值
兆豐金	2021 年採用	採用氣候風險資料庫	
臺企銀	2021 採用 Dr.A	採用氣候風險資料庫	
上海商銀	2021 採用 Dr. A 定義自行分析	採用氣候風險資料庫	勤業顧問
第一金	未提	未提	
台積電	2019 年採用	採用 TCCIP 資料 參考 Dr. A 定義自行分析	第三方顧問公司
台塑化	2021 年採用	參考 TCCIP 與 Dr. A 圖資	
台塑	2021 年採用	參考 TCCIP 與 Dr. A 圖資	第三方顧問公司
南亞	2021 年採用	參考 TCCIP 與 Dr. A 定義與圖資分析	
台化	2021 採用寫法與台塑相同	參考 TCCIP，評估內容與前一年相同	
統一超	2021 採用	參考 Dr.A 圖資	採用低於 2 度情

		境與 RCP8.5	
中租-KY	2021 年採用	採用 Dr. A 資料疊加分析	用 Dr.A 但報告寫 TCCIP
寶成	2021 採用 Dr.A 的淹水與乾旱	採用國外海平面上升	2022 未採用 DRA
南亞科	2021 年採用	最完整列出 Dr.A 與參考文獻	兩年無太大變動
合一	2021 採用災防科技中心潛勢	與前一年相同	
智邦	2021 採用災害潛勢地圖	以 IPCC 報告說明	參考 TCCIP
中華電信		參考災防科技中心災害警戒值與 TCCIP	自行評估

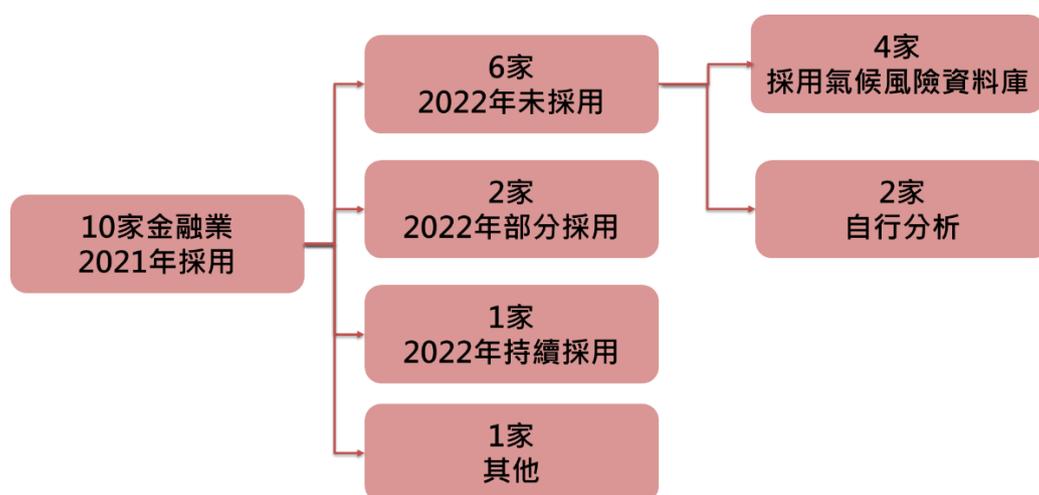
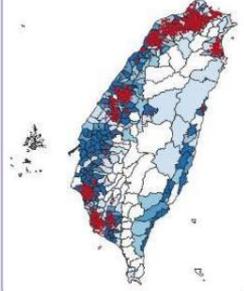
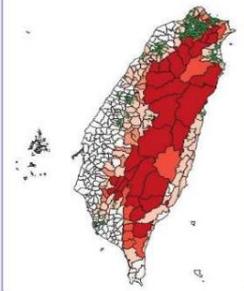


圖 5.11 金融產業應用災防科技中心資料統計



圖 5.12 其他產業應用災防科技中心資料統計

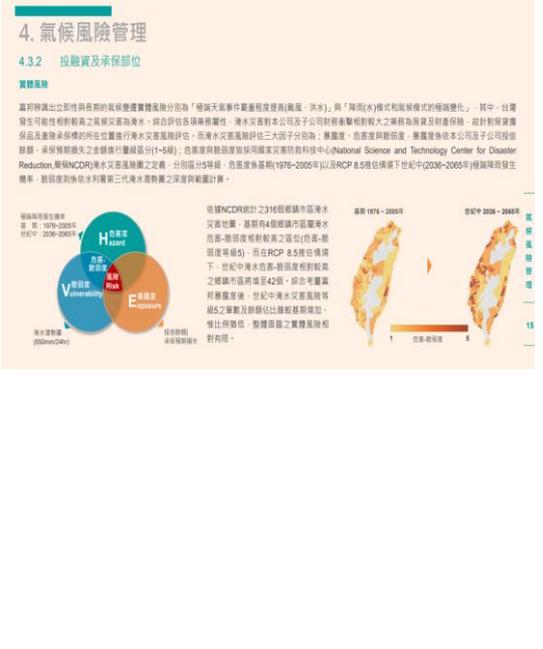
表 5.2 產業應用災害風險圖範例

產業應用說明	產業應用圖																																																				
<p>上海商銀 2021 年的企業永續報告 (CSR) 中外部顧問合作，依照 IPCC, AR5，並依據 TCCIP 之資訊，以氣候災害風險評估三維度（危害度、脆弱度、暴露度）分析座落於高風險地理區域之衝擊。</p> <p>實體風險危害度 1~3 級（24 小時內極端降雨頻率）、脆弱度 1~10 級（淹水潛勢、坡地災害）及暴露度 1~10 級（暴險金額）繪製風險敏感地圖，採用升溫最嚴峻的情境 RCP 8.5 作為風險衝擊之假設情境，進行本行擔保品在世紀中(2036~2065)的曝險分析，並提出對應之氣候風險管理策略。</p>	<p>1. 分析結果：</p> <p>本行針對 2021 年底台灣地區個金擔保品進行氣候敏感度分析，總計盤點共 54,370 件，屬中度敏感擔保品共 31 件，占比約 0.06%，低度敏感擔保品共 54,339 件，約 99.94%，其中風險敏感值為 50 以下擔保品共 53,369 件，約 98.16%。評估本行所有擔保品於風險發生時，總曝險金額約占總貸放餘額比例約 1.32%，屬中度敏感擔保品曝險金額約占總貸放餘額 0.16%，低度敏感擔保品曝險金額約占總貸放餘額 1.17%。</p> <p>2. 擔保品淹水風險</p>  <p>3. 擔保品坡地風險</p>  <p>資料來源：上海商銀 2021 年的企業永續報告</p>																																																				
<p>兆豐金-2021 企業永續報告利用災防科技中心相關研究做為氣候情境評估依據，針對集團下各項業務進行情境分析，包含營業據點、供應鏈、設施所在地等要素評估其淹水潛勢實體風險。</p>	<p>2.2.1.1 自有營運據點</p> <p>「背景說明」</p> <p>為評估各項氣候災害對各子公司自有營運據點之衝擊程度，評估可能造成資產保護、設備汰換等財務損失，採用氣候風險模型資料庫，針對集團位於臺灣之營運據點共 192 處，進行實體風險評估分析及作業風險損失之預估試算，並將氣候敏感度區分為 A-E 共 5 個等級（低、中低、中、中高、高）呈現。</p> <table border="1" data-bbox="831 1211 1305 1406"> <thead> <tr> <th rowspan="2">氣候情境</th> <th rowspan="2">分析模型</th> <th colspan="4">2050 年</th> </tr> <tr> <th colspan="2">RCP 8.5</th> <th colspan="2">RCP 2.6</th> </tr> <tr> <th>營業據點</th> <th>營業據點</th> <th>營業據點</th> <th>營業據點</th> <th>營業據點</th> <th>營業據點</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E</td> <td>2</td> <td>0.23%</td> <td>1</td> <td>0.03%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>7</td> <td>4.55%</td> <td>7</td> <td>4.71%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>25</td> <td>13.09%</td> <td>9</td> <td>7.44%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>117</td> <td>72.82%</td> <td>105</td> <td>76.54%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>41</td> <td>3.31%</td> <td>70</td> <td>11.28%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>合計</td> <td>192</td> <td>100.00%</td> <td>192</td> <td>100.00%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>資料來源：兆豐金 2021 年的企業永續報告</p>	氣候情境	分析模型	2050 年				RCP 8.5		RCP 2.6		營業據點	營業據點	營業據點	營業據點	營業據點	營業據點	E	2	0.23%	1	0.03%		D	7	4.55%	7	4.71%		C	25	13.09%	9	7.44%		B	117	72.82%	105	76.54%		A	41	3.31%	70	11.28%		合計	192	100.00%	192	100.00%	
氣候情境	分析模型			2050 年																																																	
		RCP 8.5		RCP 2.6																																																	
營業據點	營業據點	營業據點	營業據點	營業據點	營業據點																																																
E	2	0.23%	1	0.03%																																																	
D	7	4.55%	7	4.71%																																																	
C	25	13.09%	9	7.44%																																																	
B	117	72.82%	105	76.54%																																																	
A	41	3.31%	70	11.28%																																																	
合計	192	100.00%	192	100.00%																																																	
<p>國泰世華銀行 2021TCFD 報告採用災防科技中心 淹水、坡地等風險圖，將臺灣各鄉鎮地區進行風險分級，分析高氣候風險案件的違約損失，以適時調整公司不動產放貸的策略規劃。</p>	<p>A. 房貸擔保品之實體風險情境分析</p> <p>● 背景說明</p> <p>位於高風險區域的擔保品遭受氣候災害時，將使資產價值下跌，可能導致授信戶違約的機率上升。因此，國泰世華銀行採用國家災害防救科技中心 (NCDR) 淹水、坡地等風險圖，將臺灣各鄉鎮地區進行風險分級，分析高氣候風險案件的違約損失，以適時調整公司不動產放貸的策略規劃。</p> <p>● 分析流程與結果</p>  <p>資料來源：國泰世華銀行 2021 TCFD 報告</p>																																																				

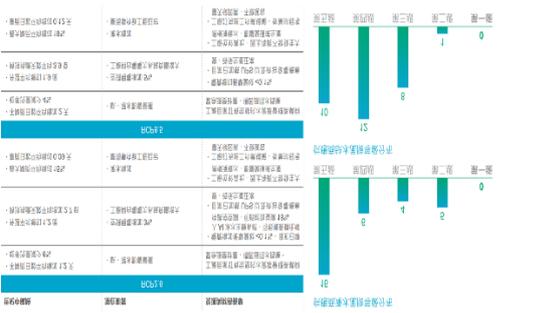
中信金-2021 依據 1986 年至 2005 年的歷史資料，FCS 統計全臺各行政區發生極端降雨(連續 24 小時雨量超過 600mm 以上)，進而導致淹水的機率，有 86 個行政區發生淹水的機率介於 50%以上(以下定義為高風險區)。



富邦金控-2021 危害度與脆弱度皆採用災防科技中心淹水災害風險圖之定義，分別區分 5 等級，危害度係基期(1976~2005 年)以及 RCP 8.5 推估情境下世紀中(2036~2065 年)極端降雨發生機率，脆弱度則係依水利署第三代淹水潛勢圖之深度與範圍計算暴露度係依本公司及子公司授信 餘額、承保預期損失之金額進行量級區分(1~5 級)。



南亞科技-TCFD2022 透過氣候變遷風險災害調適平台(DR.A)所公布之 IPCC AR5 RCP8.5 情境圖資，進行交叉比對，其中 22 家供應商生產據點處於淹水與乾旱的高風險據點(第四級與第五級)



第六章 氣候變遷災害風險圖圖台介紹

氣候變遷災害風險調適平台(Disaster Risk Adaptation，簡稱 Dr.A 網站，<https://dra.ncdr.nat.gov.tw/>)，於 2019 年正式上線，網頁功能包含災害與氣候、災害風險介紹、災害領域調適、風險圖展示、出版品與國內外新聞搜尋與常見問答。Dr. A 網頁主要服務政府機關與相關產業查詢未來氣候變遷下災害風險圖及相關學術研究使用。

6.1 圖台的發展

為方便使用者查詢氣候變遷災害風險圖，針對氣候變遷災害風險圖台進行幾次改版，其圖台發展歷史可參閱圖 6.1。

在 2019 年版，如圖 6.2，風險圖展示是以圖片檔呈現大量風險圖的圖資，包含多種模式結果，與不同空間解析度，約四萬多張圖資上架展示如圖。為方便使用者線上查詢各項風險圖資，於 2021 年則是改以 TGOS 圖台以展示各種空間尺度風險圖空間分布，如



圖 6.3，藉以查詢所在位置之風險等級，與提供使用者線上查詢與圖資套疊之功能。TGOS 圖台的主要查詢功能在收合在右側，使用者較不易點選查詢，且不知目前所在的圖層。

2023 年將過去的 TGOS 圖台轉換為 Mapbox 圖台進行開發，如圖 6.4，Mapbox 和 TGOS 都有各自的優勢和定位。Mapbox 注重自由度高、高度個人化和跨平台支持，適用於需要個性化設計和較高技術要求的應用場景。新版氣候變遷災害風險圖台可參閱下列網址：

(<https://dra.ncdr.nat.gov.tw/Frontend/Tools/ShowMapBoxWMS#>)。



圖 6.1 氣候變遷災害風險圖發展歷史

全圖版氣候變遷下災害風險圖，提供淹水、坡地、乾旱等災害風險圖。此為2016年版本AR5情境，淹水與坡地風險圖資主要是以【人】可能會遭受的自然災害之衝擊對象，不同衝擊的對象，需再另行評估。乾旱風險圖則是以公共用水與農業水稻可能的風險進行評估。
 下圖中分別展示基期（1979~2003年）與未來推估期（2075~2099年）風險圖，各項圖資採用的資料來源與指標說明如下的左表，詳細圖資說明可參閱教育宣導之『氣候變遷下災害風險圖問答集』電子書，並於下方的在工具手冊中，提供圖資下載，與風險圖等級分析工具。

坡災
 搜尋

	坡災 - 基期	坡災 - 未來(世紀末)
危害度	危害度_基期 脆弱度 暴露度 危害脆弱度_基期 風險_基期	危害度_未來推估 脆弱度 暴露度 危害脆弱度_未來推估 風險_未來推估
脆弱度	坡地危害度指標是採用日本的MRI-AGCM模式模擬RC 危害度等級越高表示發生極端降雨的機率較高。	
暴露度	坡地災害脆弱度由歷史崩塌指標、坡度指標及地質災害 坡地脆弱度等級越高，表示該鄉鎮坡地脆弱度較高。	
脆弱度	坡地暴露度圖是以鄉鎮市區人口密度分析暴露度程度。 人口密度資料是採用內政部2015年人口資料分析。	
風險	坡地災害風險的組成是由危害度、脆弱度與暴露度指標 坡地災害風險等級5表示該區域的災害風險『相對』最 評估鄉鎮之選擇是以水保局公告的山坡地鄉鎮，進行有	

收合

圖 6.2 Dr.A 網頁氣候變遷災害風險圖展示圖台(2019 年)

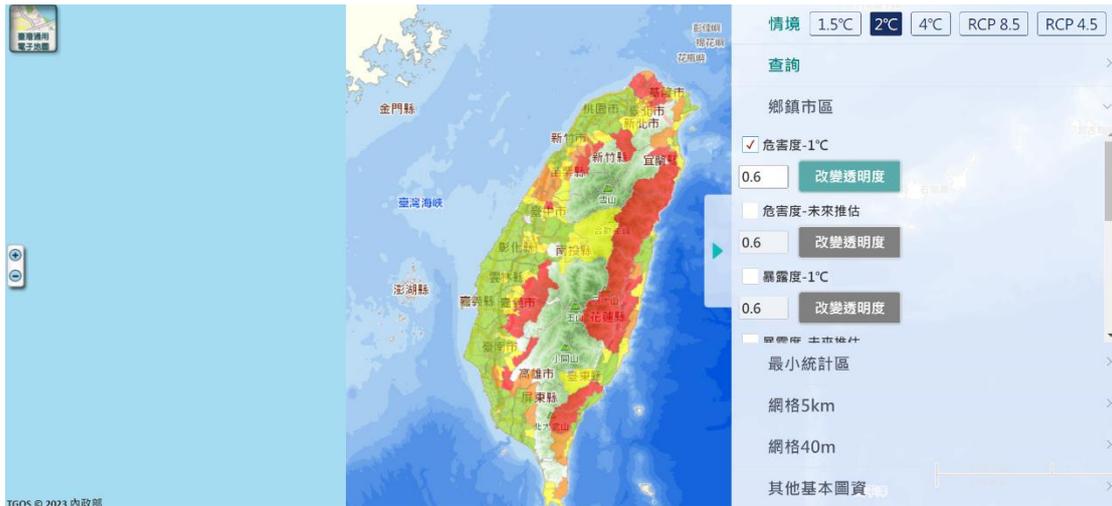


圖 6.3 舊版氣候變遷災害風險圖台(TGOS)

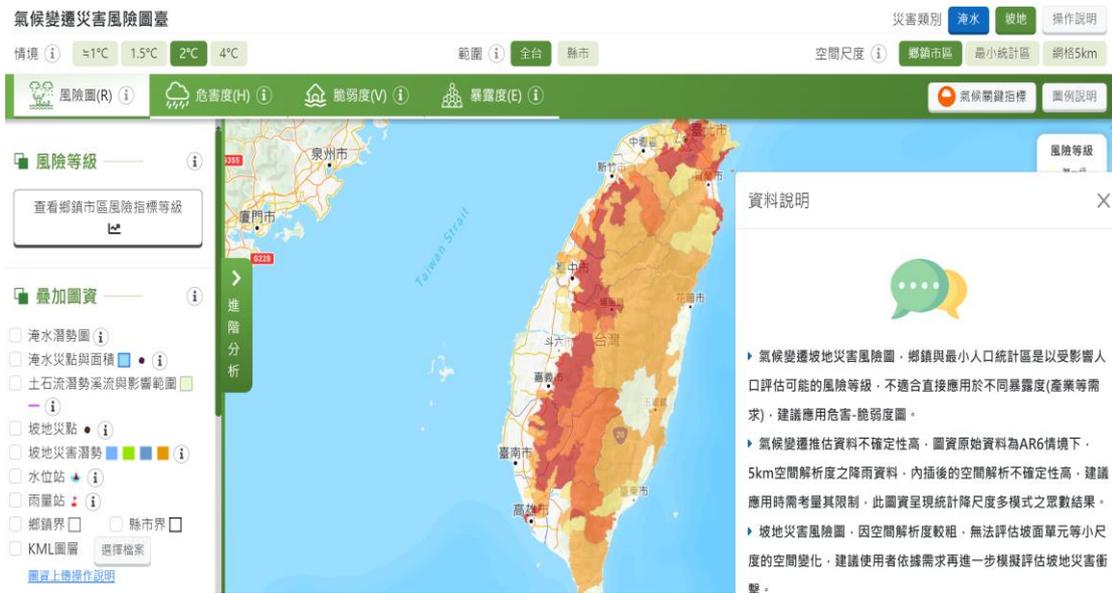


圖 6.4 新版氣候變遷災害風險圖台(MapBox)

氣候變遷災害風險圖圖台開發，希望能提供我國政府部會及執行單位推動氣候變遷政策與調適行動方案之參考。

6.2 新版圖台的功能

Dr. A 新版圖台上集結了大量的氣候變遷情境與模擬資料成果，將複雜的科學數據轉化成易於理解的空間分布圖，展示坡地與淹水災害風險評估成果，透過直觀的使用者界面查詢，方便使用者切換圖資與查詢。透過氣候變遷災害風險圖台，可以查詢到以下訊息：

(1)了解災害風險趨勢：

Dr. A 的圖台提供多種空間尺度(如圖 6.5 中右上角鄉鎮市區、最小人口統計區、5km)與全台、17 個縣市範圍之氣候變遷情境下坡地災害風險圖資，藉由比較 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 與不同增溫 1.5°C 、 2°C 、 4°C 情境，可辨識風險等級之變化，可幫助您了解過去和未來氣候變遷災害風險的趨勢，以利於能進一步採取應對調適策略。圖 6.5 與圖 6.6 分別是不同的增溫情境下全台最小人口統計區坡地災害風險圖，在 2°C 情境下中南部山區有較高的風險，而增溫至 4°C 情境則北部山區風險等級明顯加重。

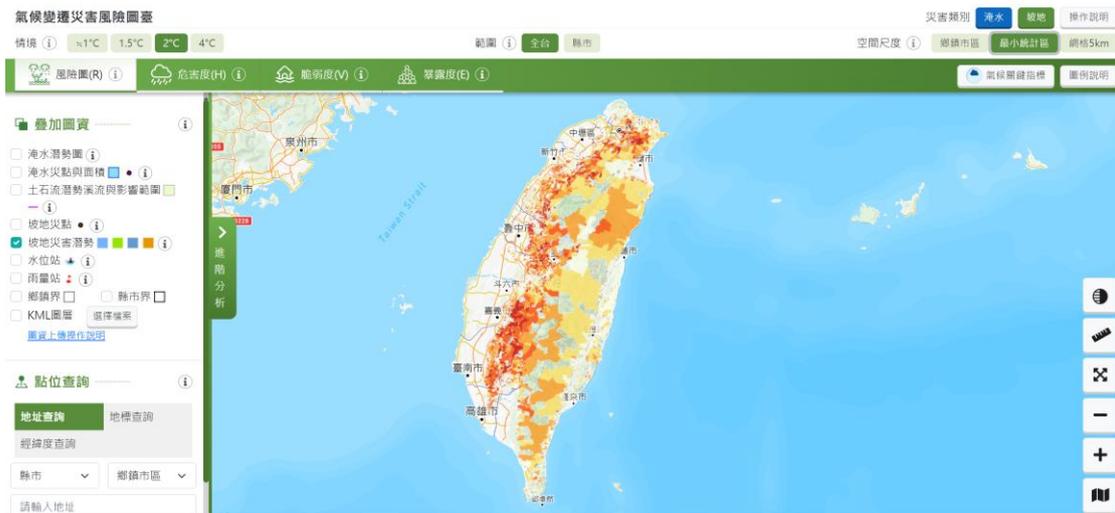


圖 6.5 在 2°C 情境下全台最小人口統計區坡地災害風險圖

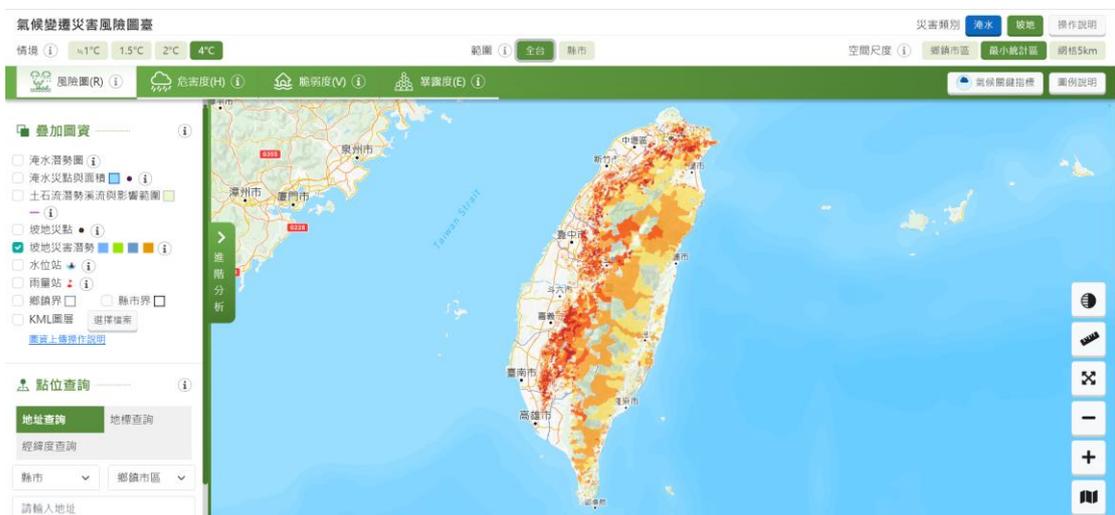


圖 6.6 在 4°C 情境下全台最小人口統計區坡地災害風險圖

(2) 鄉鎮市區風險等級查詢：

在全台版的鄉鎮市市區尺度坡地災害，提供使用者各鄉鎮市區的各指標等級查詢，圖 6.7 中左側「風險等級」查詢，移動地圖上的地標便可查詢不同鄉鎮市區的各指標等級，方便使用者了解風險等級。



圖 6.7 全台版鄉鎮市區尺度坡地災害風險等級查詢

(3) 風險等級可信度：

圖台是分析多個大氣環流模式的降雨資訊，不同 GCM 模擬風險等級不同，最後呈現的空間分布是眾數結果，為了呈現各模式之風險等級分布結果，提供使用者了解該鄉鎮市區風險等級可信度，愈多模式數量在同一等級，表示該鄉鎮的風險等級模式一致性高，如圖 6.8，移動地圖上的地標便可查詢不同鄉鎮市區的風險可信度。



圖 6.8 全台版鄉鎮市區尺度坡地災害風險可信度查詢

(4)氣候關鍵指標趨勢：

圖台提供網格觀測 1960~2015 資料與各 GCM 模式 RCP8.5 情境下，未來推估 2015 年~2100 的年最大日降雨量(RX1DAY)、最大連續不降雨日數(CDD)、最高溫最大值(TX_x)等歷史與未來推估的趨勢。圖 6.9 為危害-脆弱圖與氣候關鍵指標-年最大日降雨，視窗中下拉選單可以查詢不同 GCM 模式的年最大日降雨時序變化，亦可查詢不同指標。同樣的移動地圖上的地標便可查詢不同 5km 網格的氣候關鍵指標時序列變化。



圖 6.9 危害-脆弱圖與氣候關鍵指標-年最大日降雨

(5)圖資疊加：

新版圖台提供使用者歷史災點與災害潛勢等圖資，套疊與查詢，使用者亦可利用 KML 檔案上傳圖資疊加，了解其空間分布特性。圖 6.10 則是選擇右側坡地災害潛勢圖資，疊加坡地危害-脆弱圖。

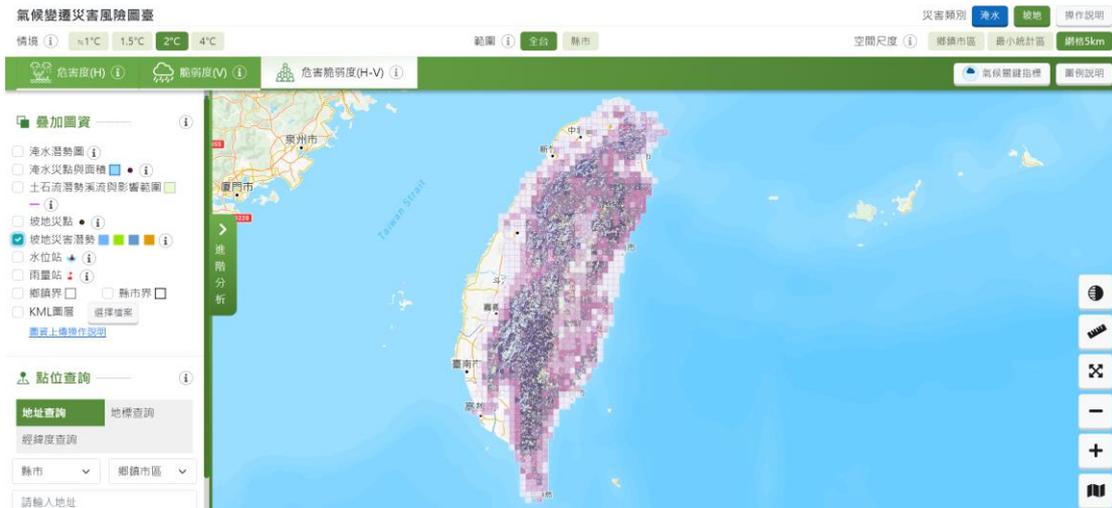


圖 6.10 圖資疊加功能

(6) 全台版與縣市版風險圖差異

圖 6.11 與圖 6.12 分別是全台版的風險圖與縣市版的風險圖，風險圖特別用不同色階表示，以利使用者區分，因全台版風險圖等級分析是利用全台最小人口統計區的樣本(約 7642 個)進行分級，而新北市則是只有 870 個最小人口統計區分級，兩個版本樣本數不同，故同一鄉鎮市區其等級在兩張圖上不相同。

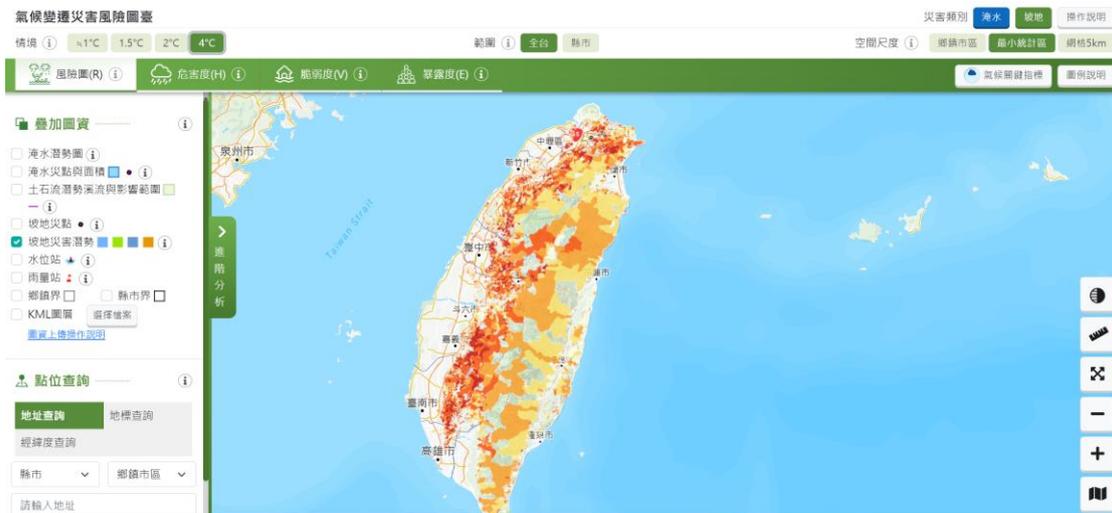


圖 6.11 全台最小人口統計區坡地災害風險圖

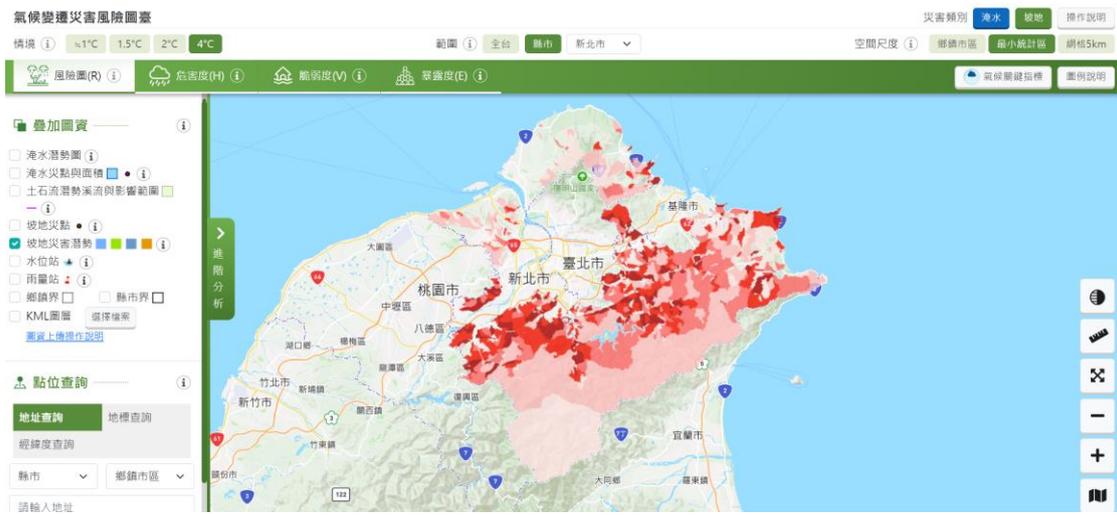


圖 6.12 新北市最小人口統計區坡地災害風險圖

第七章 結論與建議

因應今年(2023 年)公布實行「氣候變遷因應法」與國家氣候變遷調適行動方案 (112-116 年)的氣候變遷風險評估需求，災防科技中心利用最新 AR6 的增溫情境降雨資料，評估氣候變遷情境下坡地災害風險圖，主要是作為提供上位的決策者，辨識坡地風險等級，了解未來風險空間變化趨勢，進一步規劃調適策略參考。相關結論如下：

1. 根據評估氣候變遷情境下坡地災害風險圖資的結果，可知隨著增溫情境的溫度上升，在 4°C 情境下，北部與東部山區坡地災害風險明顯等級增加。危害度指標現況南部山區危害度等級較高，在 4°C(世紀末期間)情境下，北部桃園、新竹、苗栗與東北部山區危害度增加，脆弱度指標則是依據現況的資料評估，中央山脈兩側的鄉鎮區有較高的脆弱度等級。
2. 完成 5km 網格、鄉鎮市區、最小人口統計區等三種空間尺度圖資呈現。以 5km 網格尺度的不確定性相對較低，便於使用者加值應用。鄉鎮市區空間尺度，則是方便管理者針對行政區辨識高風險的區位，方便推動氣候變遷調適行動計畫。最小人口統計尺度，可更了解更細緻化風險等級的空間分布，建議可以利用縣市範圍呈現該項圖資較易辨識風險高低。

3. 最小統計區的坡地災害風險，因人口集中於西部近平地的區域，其坡地災害風險較高。於 4°C 增溫情境下風險等級增加的地區較多，其增加兩個等級的區域主要為苗栗以北縣市山區、中部及花東山區較多。
4. 將全台坡地災害危害—脆弱圖應用於聚落與道路，針對高風險區的避難的處所物資需要準備更長時間的規劃，以及對於山區部落易成孤島區，找尋替代道路，避免坡地災害造成無法進出等問題。隨著增溫情境的加重，南部山區與花東地區道路危害—脆弱等級增加，需更加注意未來氣候變遷災害衝擊，對於邊坡崩塌易致災道路與易成孤島聚落，需提早做相關防減災的規劃。
5. 縣市範圍的坡地風險圖應用則可利用最小人口統計區之坡地災害風險圖，評估在高風險區的建物與道路是否影響當地未來極端降雨發生坡地災害發生易成為孤島區域。
6. 新版氣候變遷災害風險圖台開發，提供不同增溫情境查詢坡地災害風險趨勢變化、以及搭配氣候關鍵指標的時序變化，可以了解氣候變化，亦可查詢各鄉鎮市區的風險等級，並提供使用者線上疊加圖資等功能。希望能提供我國政府部會及執行單位推動氣候變遷政策與調適行動方案之參考。

建議

本研究坡地災害風險圖受限氣候變遷情境資料解析度，其空間尺度較粗，雖易於溝通，但對於邊坡與集水區空間尺度無法反映細部坡災特性、量化、規模，如坡面、坡向等地文因素，建議使用者可進一步利用數值模式模擬流域崩塌衝擊評估模式，以了解流域內坡面穩定性，或利用更細部尺度(如坡地部落、集水區的範圍或邊坡單元)之脆弱度與暴露度資料，加入斷層及脆弱地質之因素，參考災防科技中心的風險圖評估架構，進一步評估細部的災害的風險反映現況脆弱度進而推動相關崩塌潛勢與調適策略擬定。

未來在跨域應用上，行政機關可參考本研究的方法架構，進一步加值應用，如坡地災害與人為土地利用相關納入考量與評估不同保全對象應用可行性。

參考文獻

- IPCC (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IPCC (2014). *The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.
- Oliver Korup and Amelie Stolle (2014). *Landslide prediction from machine learning*, *Geology Today*, Vol. 30, No. 1. <https://doi.org/10.1111/gto.12034>.
- UNISDR (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015 – 2030*. UNISDR, Geneva, Switzerland.
- H. Saito and H. Matsuyama (2015). *Probable Hourly Precipitation and Soil Water Index for 50-yr Recurrence Interval over the Japanese Archipelago*, *SOLA*, Vol. 11, 118-123, doi:10.2151/sola.2015-028.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (2015). *Adoption of the Paris Agreement*. 21st Conference of the Parties. Paris: United Nations.
- UNISDR (2017). *United Nations Office for Disaster Risk Reduction. National Disaster Risk Assessment Guidelines*.
- 行政院農業委員會水土保持局(2005)。 *水土保持手冊*。行政院農業委員會水土保持局。台灣，工-1-14。
- 郭彥廉、蕭代基、林彥伶、謝雯惠、張銘城(2009)。 *天然災害脆弱性與社經脆弱性因子介紹*。國研科技，22，99-101 頁。

林又青、張志新、黃柏誠、陳永明、詹士樑(2011)。從土地利用分析探討高坡地災害風險地區的減災策略。第九屆土地研究學術研討會論文集，12 頁。

鍾明劍、譚志豪、冀樹勇(2011)。不同尺度分析模式於崩塌潛勢評估之整合應用－以莫拉克颱風事件為例。中興工程，111 期，P47－59，DOI：10.30154/SE.201104.0006。

行政院國家發展委員會(2012)。國家氣候變遷調適政策綱領。台北市，臺灣。

張志新、林又青、陳映彤(2012)。坡地災害風險區調適基準探討-以土地利用為例。中華水土保持學會年會及學術研討會論文集 P1-P15。

辜炳寰、沈哲緯、陳駿豪、蔡宇龍(2012)。原住民聚落之安全遷居地篩選原則初探。中華水土保持學會年會及學術研討會論文集。

邱怡禎、陳美心、周姝君(2013)。脆弱度分析於山坡地保育區域規劃之研究。社團法人中華水土保持學會 102 年度年會。

陳韻如、陳偉柏、林又青、劉佩鈴、施虹如、蘇元風、陳永明、張志新(2014)。氣候變遷衝擊下災害風險地圖。國家災害防救科技中心。

國家發展委員會(2014)。災害領域行動方案 102-106 年。國家發展委員會。

國家發展委員會(2014)。國家氣候變遷調適行動計畫102~106年。國家發展委員會。

陳韻如、林宣汝、張駿暉、陳永明(2016)。應用RCP8.5氣候情境評估氣候變遷下之災害風險圖。國家災害防救科技中心。

陳韻如、林宣汝、陳永明(2016)。氣候變遷下淹水及坡地災害風險地圖圖集。國家災害防救科技中心。

陳韻如、邱雅暄、林宣汝、陳永明(2018)。風險圖應用於區域計畫以新北市與臺中市。國家災害防救科技中心。

陳振宇、陳均維、陳國威、林詠喬(2019)。坡地降雨致災熱區警戒模式。中華水土保持學報, 50(1):1-10。

陳韻如、林宣汝、劉俊志、連琮勳、陳永明(2019)。應用統計降尺度日資料於淹水災害風險圖。國家災害防救科技中心。

營建署(2019)。國土計畫政策快速入門指南：全國國土計畫摘要本。營建署。

童裕翔、陳正達、劉俊志、陳永明(2019)。統計降尺度(日)資料評估與應用。國家災害防救科技中心。

黃國慶、詹士樑、蘇冠臻、王姿懿(2019)。臺灣都市階層體系變動趨勢之探討。中華民國都市計劃學會。第四十八卷，第一期，P.1~P.26。

理查(2019)。社會脆弱度指標能否打開地方韌性的新想像。

<https://eyesonplace.net/2019/10/30/12922/>

陳永明、陳韻如、李欣輯、劉俊志、郭士筠、鄭兆尊(2019)。臺灣氣候變遷災害衝擊風險評估報告。國家災害防救科技中心。

行政院災害防救辦公室、國家災害防救科技中心、內政部營建署(2021)。極端氣候下「複合型災害及危害」之應變機制。行政院災害防救辦公室、國家災害防救科技中心、內政部營建署。

王俊寓、童裕翔、陳永明(2022)。AR6 臺灣氣候變遷圖資產製成果。國家災害防救科技中心(NCDR 111-A28)。

陳韻如、林宣汝、劉俊志、黃亞婷、童裕翔、陳永明(2022)。暖化情境下坡地災害風險辨識。國家災害防救科技中心。

附錄一

拜訪公路總局 會議記錄

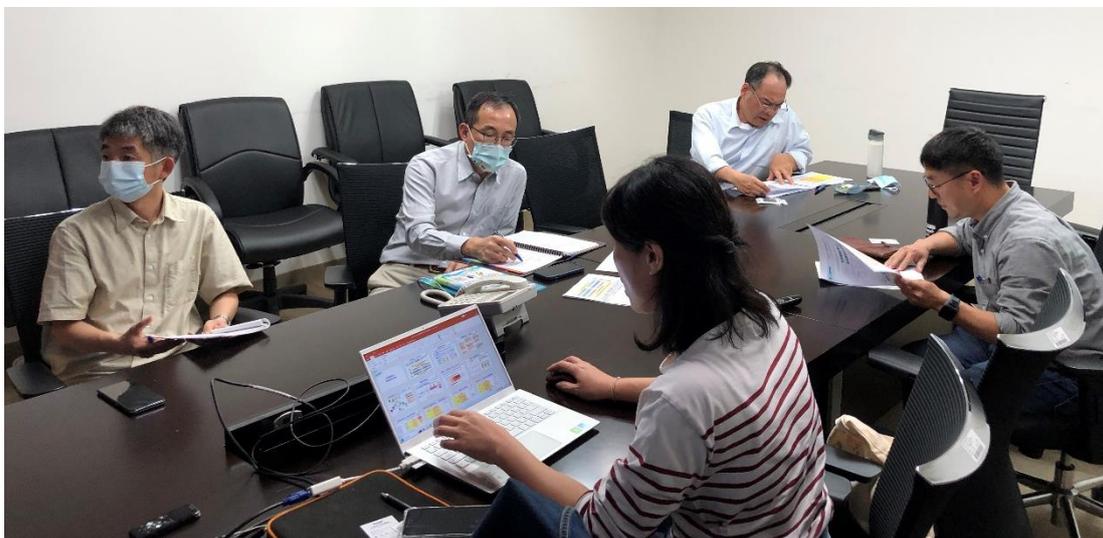
會議時間：112.04.12

會議地點：交通部公路總局(臺北市萬華區東園街 65 號)

參與人員：陳進發總工程司、蘇先知組長、陳永明組長、陳韻如博士、朱芳儀

會議記錄：

1. 降雨需到達某種程度以上才會對設施造成影響，目前將危害因子、脆弱因子直接分級並相乘的方式不一定適合，結果可能會過於悲觀。建議可考慮用設施曲線作為脆弱度，並將降雨危害度設定門檻值，高於門檻值才較可能對設施造成危害。
2. 以公路單位的角度來看，主要關注的是高交通量的路段，建議可以「道路的交通量(乘載量)」作脆弱度。「道路的交通量」已建立相關圖層。
3. 強降雨、淹水是公路主要面對的壓力。淹水案例如台 17，因區域淹水導致道路 1 個禮拜無法行駛。
4. 浪襲路段可透過封閉外側線道來進行處理。
5. 公路有分級制度，分 A、B、C、D 級，並在各級中又分為 5 等級，其中 A5 為最嚴重，目前已建立 KML 檔。
6. 建議新公路規劃應在可行性研究階段就先導入氣候變遷資料。
7. 建議先以地調所的岩屑崩滑、順向坡等圖層率出高脆弱區，再加入氣候變遷坡地衝擊資訊。



附錄二 氣候變遷專家座談會

氣候變遷坡地災害風險圖專家座談會會議紀錄

時間:112年8月31日(星期四)14:00

地點:大會議室

姓名	意見	回復
詹錢登教授	<ul style="list-style-type: none"> ● 本氣候變遷坡地災害風險圖評估主要考量危害度、脆弱度及暴露度三個指標。假設氣候變遷影響溫度，溫度影響降雨，降雨改變影響危害度，但脆弱度及暴露度受到溫度的改變不予考量。其空間解析度受限是以5公里網格為單元，對於坡面、坡向等地文因素無法反映，故建議應用端需再進一步分析細部的邊坡單元尺度，較能反映現況。 ● 建議增加“潛勢”兩字於題目之中，即“氣候變遷坡地災害潛勢風險圖”。 ● 本案目前所談的坡地風險災害不包括土石流及大規模崩塌是否適當，宜再思考。請嘗試套疊土石流及大規模崩塌之區位於風險圖，其是否均為高風險區位？ ● 可以考量本案結果(高位階)作為使用單位再細分危險程度之基礎。 ● 建議風險圖的資料呈現有更多元應用方式，例如應用端只想探討土地的脆弱度，則使用V圖，若想考慮暴露度，則使用E圖，若想綜合考量氣候變遷降雨影響則用R圖，利用這樣的邏輯呈現，讓使用者容易了解風險圖的產製流程，避免誤解。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 三個指標只有氣候特性(危害度)變動，其餘假設與現況相同，鄉鎮尺度的暴露度則有考量2036年推估人口。目前空間解析度受限氣候情境資料，5km網格大小，後續推廣時，會提醒使用者，此圖資適用於上位階的風險辨識，細部的集水區衝擊評估，則是在利用現地模式評估。 ● 謝謝建議，因考量災害防救法中，針對災害潛勢有其定義，為避免使用者混淆，後續評估納入可行性。 ● 考量地調所之地質災害調查過程中涵蓋土石流與大規模崩塌，後續將此兩項災害有另外套疊，氣候變遷坡地危害-脆弱度圖，多數位於高危害-脆弱區。之後會將圖資補上。 ● 謝謝建議。 ● 謝謝建議，將再以利用案例說明各項圖資應用可行性。 ● 謝謝建議，未來在應用上將加註說明。

	<ul style="list-style-type: none"> ● 本案結果為高位階之潛勢風險圖(空間為大尺度，時間為長期)，並非針對單一降雨事件之坡地風險，而是氣候變遷下長期降雨特性之影響，此外，5公里解析度無法回答細部坡災特性、量化、規模，建議使用單位可應用更細部尺度之脆弱度與暴露度資料，參考本案架構，評估風險。 	
周憲德教授	<ul style="list-style-type: none"> ● 建議以坡地部落而非鄉鎮為單元，並加入斷層及脆弱地質之因素。 ● 風險中脆弱度與暴露度之關係(P.26)宜補充說明。 ● 風險或脆弱度等及所代表之物理尺度為何?建議補充分析。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 謝謝建議，目前空間解析度受限氣候情境資料，5km 網格大小，後續推廣時，會提醒使用者，此圖資適用於上位階的風險辨識，細部的集水區衝擊評估，則是在利用現地模式評估。未來圖資應用將考量以使用者可能利用的方式做為案例。可將相關地質因素疊加於圖資上。 ● 謝謝建議，後續強化說明各指標定義。 ● 危害度指標為氣候情境資料，空間尺度為5km 網格，脆弱度則是根據原始的地質災害面積與崩塌面積，換算成在5km 網格與鄉鎮內面積的比率，風險圖則是考量鄉鎮人口數與最小人口統計區呈現。
林銘朗教授	<ul style="list-style-type: none"> ● 地文因子的尺度因為近年來DEM的進步，這次風險圖資所採用的DEM網格為何?斜坡單元的圖層是由何單位產製?未來是否提供給中央、地方政府參考運用? ● 對於暴露度指標，專家建議道路密度、防災道路，建議適度放入考量，大型風景遊樂區、國家公園國家森林遊樂區等的人口(遊客人數)，建議也適度放入考量。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 目前圖資空間尺度為5km 網格，過去DEM資料用於計算坡度，但因在5km 網格變化不明顯，故未將此圖資納入。未來圖資以鄉鎮區、最小人口統計區與5km 網格圖資，提供公務單位應用參考。 ● 謝謝建議，後續案例分析，將納入考量道路密度、防災道路應用可行性。

	<ul style="list-style-type: none"> ● 坡地災害理應包含土石流災害，建議土石流災害所造成坡地環境的脆弱度，可適度的加以考量。 ● 風險圖跨域應用評估，建議就早年版本各中央、地方政府曾經運用的案例文獻加以蒐集，當然也包括災防科技中心本身在歷年來防災情資整合及應變中使用的情況說明。 ● 模式(統計)的選用，建議全國地文、水文、人文分區進行 99 種模式適用模式的選擇。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 土石流圖資有另外套疊危害-脆弱圖，後續補上圖資，加強說明。 ● 謝謝建議 ● 因考量氣候變遷不確定性，建議所有模式皆評估，後續可將模式分類呈現衝擊高、中、低情境。
蘇苗彬教授	<ul style="list-style-type: none"> ● 整體計畫進行大致良好，有很多成果可以推動進行，尤其在跨域應用上，對許多單位包括行政機關可以依此方法加值應用，以下建議供參考： ● 坡地災害有很多與人為土地利用相關，後續可以逐步把不同土地利用納入考量。 ● 分析在大尺度的全台分析，5 公里的網格適合做氣候變遷的影響，在細部分析時可以考量以集水區的範圍來分析，較符合實際狀況，可以納入考慮。 ● 跨域應用很重要，本案可提供各單位深入評估，可以再努力推廣。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 謝謝建議，後續評估納入不同土地利用的暴露度指標，評估風險衝擊。 ● 謝謝建議，細部分析利用集水區分析，較為合適，故建議參考 TCCIP 之坡地衝擊模擬結果。 ● 謝謝建議，未來強化圖資推廣與應用。
陳麒文教授	<ul style="list-style-type: none"> ● 指標套疊時空間解析度的轉換上是否有一致的標準？ ● 各指標套疊時，各自指標是否有不同的權重？如何訂定權重？ ● 脆弱度指標使用歷史災點，其實某種程度上反應了降雨因子和地文因子在裡面，或許是一種危害-脆弱的結果。 ● 因應未來調適需要，建議將改變程度或改變率視為重要 	<ul style="list-style-type: none"> ● 指標套疊目前都是轉換成 5km 與鄉鎮市區之空間尺度，再行套疊，脆弱度與暴露度指標無未來推估資料，故以現況評估。 ● 目前各指標採用相同權重，以等權重方式，以利比較風險高低之因素。 ● 目前脆弱度指標是以地質災害面積與裸露地(崩塌)面積比率呈現。

	<p>產出，同時檢視風險高低和風險改變高低，另外，現況高風險且未來亦高風險的情況，程度是否有變化?等級的分類是否可以反映出來?</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 風險地圖上如何呈現可信度高低? 	<ul style="list-style-type: none"> ● 謝謝建議，風險等級變化，考量納入圖台展示。 ● 風險圖上目前適用斜線方式呈現可信度低的鄉鎮市區，未來可以將所有模式之等級分部，以直條圖方式呈現。
李明旭教授	<ul style="list-style-type: none"> ● 坡地風險圖在介紹時，要先講清楚坡地崩塌之定義以及保全對象，以免混淆。 ● 建議釐清風險圖之限制在哪? ● 風險圖之等級表示易於溝通，但不是萬用解法，區域風險變化量或是高風險區，可能要靠物理模式進行量化評估。 ● 目前風險圖的作法是從上而下 HVE=R，後續可以考慮由下而上，從保全對象去收集 HV 等資料。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 謝謝建議。 ● 風險圖限制在於大範圍的風險辨識，風險分析，則需再藉由模式細部模擬。 ● 後續再以案例方式說明，不同保全對象應用可行性。
張志新組長	<ul style="list-style-type: none"> ● 五公里解析的脆弱度圖一但應用至聚落，疑有空間解析度不足之問題，例如，兩個聚落的脆弱度明明不同，但在五公里的資料上卻屬於同一個風險。建議五公里風險圖可應用於全台整體坡地之風險辨識，但要應用至局部區域時應另外試作。 ● 目前 AR6 氣候變遷資料顯示，萬里與新埔鄉之風險等級從等級 1 增加到等級 5，但未必保證 AR7 有同樣之結果，圖資更新應該有其一致性，何種分析結果才適合公開於網站上供外界使用?宜再思考。分析是一件事情，但呈現/解釋又是另外一件事情。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 謝謝建議，未來在案例說明補充說明 5 公里解析度空間尺度限制，集水區較細緻的空間解析度，則需另外模擬分析。 ● 隨情境更新，確實會有可能風險等級變化，因氣候變遷不確定性高，未來著重於大範圍描述，避免單一區域說明。

總結

主席李欣輯

1. 許多專家對於因子的選取有諸多建議，建議團隊再進行評估。
2. 尺度的問題，可能要隨著因子的變數或使用對象之不同，宜再做調整。
3. 風險圖的呈現，包括等級變化之意義，各種因子的說明文件，後續再備齊。
4. 圖資推廣應用的網站圖台，有利群眾使用。
5. 使用對象與範例宜再加強，以利引用與參照。



坡地災害氣候變遷風險圖研發與應用

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 112 年 12 月

出版年月：中華民國 113 年 01 月

版 次：第一版

非賣品

地址： 23143 新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話： ++886-2-8195-8600

傳真： ++886-2-8912-7766

網址： <https://www.ncdr.nat.gov.tw>