

全球暖化情境下氣候變遷淹水災害風險圖

黃亞婷、陳韻如、劉俊志、林宣汝、陳永明

國家災害防救科技中心 氣候變遷組

摘要

近年來氣候變遷所造成的極端降雨機率不斷攀升，增加了災害風險的發生機率。在國家氣候變遷調適行動方案(2023-2027 年)的能力建構領域調適策略中提及，需落實氣候風險辨識與評估，因此辨識高風險區域乃是氣候變遷調適一項重要的前期作業，做為推動氣候變遷災害風險管理與後續優先規劃，及細部衝擊模擬之評估參考。本研究根據國際政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change，以下簡稱 IPCC)的風險定義架構，藉由指標的疊加方法利用全球暖化 2°C 氣候情境資料，評估台灣受氣候變遷影響相對高淹水災害風險及高危害-脆弱度之區域，以做為調適規劃策略與不同暴露對象受淹水災害風險衝擊之評估參考。相關圖資展示於國家災害防救科技中心(以下簡稱災防科技中心)氣候變遷災害風險調適平台(簡稱 Dr. A, <https://dr.a.ncdr.nat.gov.tw>)，提供使用者線上查詢與圖

資套疊參考。本文以臺南市淹水災害危害-脆弱度圖套疊一期水稻收穫量為測試範例，評估未來極端降雨發生水稻受淹水災害衝擊影響。

一、前言

國家發展委員會於 2012 年核定「國家氣候變遷調適綱領」與「國家氣候變遷調適行動方案(2018-2022 年)」，訂定災害調適領域之相關政策，為降低氣候變遷所造成的災害風險，擬定氣候變遷災害風險評估及辨識高風險區域，強化整體防救災之調適能力。國土計畫法中提到，應載明氣候變遷計畫調適內容，針對氣候變遷下可能引發之重大災害，研擬出相關配套措施。而國土空間發展之策略中，也提出高潛勢區域應避免建置重大公共設施，並指認出高風險區域，以做為後續規劃城鄉發展之參考依據。

災防科技中心自 2009 年開始致力於研發氣候變遷災害風險圖，其研發歷程如圖 1 所示。配合國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(以下簡稱 TCCIP)」計畫於 2013 年利用 IPCC AR4 報告中 A1B 情境發展第一版鄉鎮尺度之四種災害類別風險圖。隨著氣候資料更新，災防科技中心於 2015 年應用 IPCC AR5 之 RCP8.5 情境資料產製第二版淹水與坡地災害風險圖。

2018 年 TCCIP 開始對外提供統計降尺度日資料(RCP8.5 情境)分析，相較於過去，前兩版氣候情境資料，統計降尺度資料提供更多

全球氣候模式(GCM)的推估結果，空間尺度也從過去 25 公里網格，精進至 5 公里網格，時間尺度則是從月資料精進至日資料，在時間與模式的選擇上更加多元，統計降尺度之多模式與多情境的產製，減少過去單一模式版本的高不確定性。故 2020 年第三版淹水災害風險圖，便利用此統計降尺度資料，評估氣候變遷衝擊，除了氣候情境資料更新，且細緻化各指標分析的空間尺度呈現。

2022 年則配合國家氣候變遷調適應用情境訂定，以全球暖化情境(近似 1°C、1.5°C、2°C、4°C)下呈現淹水災害風險圖，並與現今氣候(近似 1°C)情境相互比較未來在淹水災害風險等級之空間變化，以利後續擬定調適策略，提供給使用者參考。

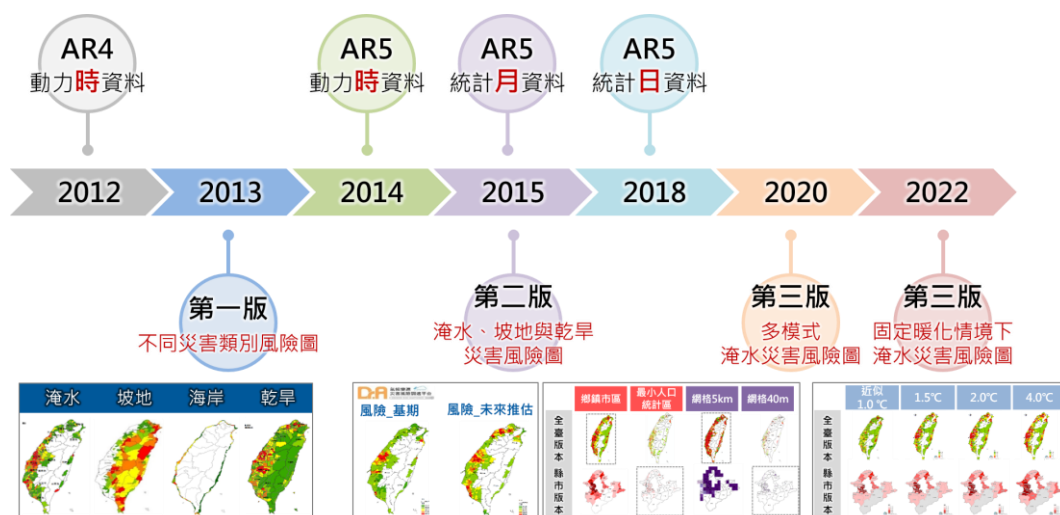


圖 1 氣候變遷下災害風險圖研發歷程

二、 災害風險圖評估方法

(一) 統計降尺度氣候情境資料說明

本研究採用第五階段耦合氣候模式 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5，以下簡稱 CMIP5) 多模式全球模擬資料，由 TCCIP 計畫於 2020 年完成之統計降尺度日資料，提供臺灣區域高解析度的網格降雨資料，並進行統計降尺度下全球暖化情境(近似 1°C、1.5°C、2°C、4°C)之氣候變遷危害度圖產製，其參考 IPCC 所提出不同階段之暖化情形，評估全球平均升溫 1.5°C 和 2°C 時，臺灣地區在氣候變遷下的氣候平均狀態及極端氣候事件之未來變化，詳細情境資料設定說明可參考王俊寓等人(2020)。利用日雨量資料評估雨量超過 650 公釐之降雨發生機率做為門檻值，評估極端降雨發生之機率。

(二) 空間尺度說明

為因應不同領域應用，本研究產製多空間尺度之災害風險圖，其多元化尺度的參考，亦能將多種氣候情境考量至決策當中。以新北市新店區為例(圖 2)，說明多空間尺度之定義：

1. 鄉鎮市區：根據行政單元劃設，為內政部統計區分類中最大空間單元。若在全臺災害風險空間分布上，較易辨識差異性，但此空間尺度具有區域均質化現象，建議用於全國國土計畫上。

- 2.最小人口統計區：由內政部統計區分類中人口或社會經濟蒐整資料之最小空間單元，其單元人口數小於 400 人。此空間尺度適用於縣市層級之國土區域規劃。
- 3.網格 5 公里：依據 TCCIP 對外提供降尺度之氣候情境網格資料，由於尺度較大，造成資料受均質化的影響。此空間尺度為氣候資料，不確定性相對較低，建議使用於全國層級，像是不同領域之應用(如工業、農業等產業)。
- 4.網格 40 公尺：為災害風險圖之最小空間單元，以淹水潛勢圖的網格尺度分析，不確定性較低。此圖資建議使用於縣市層級之小區域之土地利用規劃。

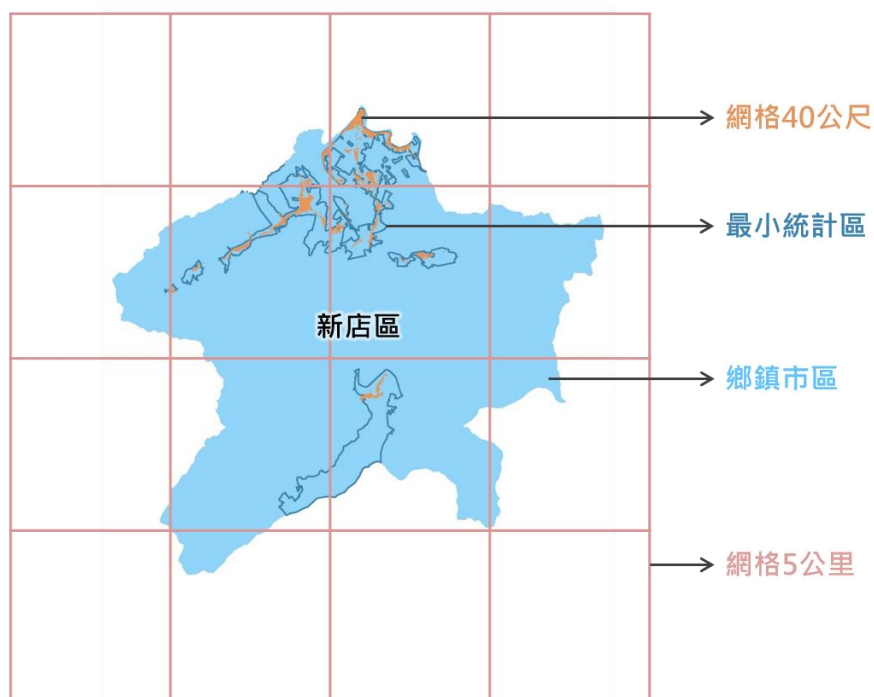


圖 2 多空間尺度示意圖

(三) 風險指標選擇與計算

1. 風險指標選擇

根據 IPCC(2012)評估報告之風險定義，包含危害度、脆弱度及暴露度 3 指標，以此評估氣候變遷下受影響人口之淹水災害風險圖，而危害-脆弱度則是由危害度、脆弱度 2 個指標所組成，使用者可應用於評估不同暴露度之淹水災害衝擊影響(如農作物產量影響、工業淹水衝擊、土地利用規劃等地區)，其相關指標說明如下：

- (1) 危害度：分析 CMIP5 的氣候情境資料之網格日資料，進行頻率分析。針對淹水災害之日雨量超過 650 毫米之年降雨量最大值，分析全球暖化情境(近似 1°C、1.5°C、2°C、4°C)之降雨發生機率，以進行危害度指標計算。
- (2) 脆弱度：依據經濟部水利署所公告之第三代淹水潛勢圖，做為淹水指標，並選用 24 小時定量降雨量 650 公釐下，全臺的淹水深度與淹水範圍，進而繪製出淹水脆弱度圖。
- (3) 暴露度：為可能受外在危害影響之對象，而本研究以人口做為受影響對象。人口密度越高之區域，受災害衝擊影響相對較高。在鄉鎮市區尺度中，考量未來人口變化趨勢，採用 2036 年未來人口推估資料(黃國慶等，2019)來分析。

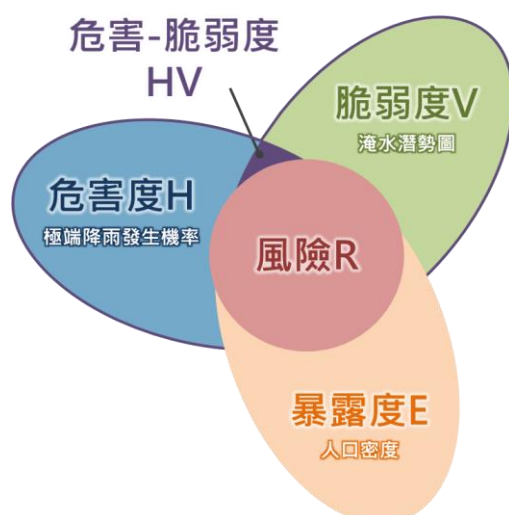


圖 3 淹水災害風險圖指標圖

表 1 淹水災害風險圖指標說明表

指標	資料選用	資料來源
危害度	日雨量超過650毫米年最大值	統計降尺度
脆弱度	淹水潛勢圖定量降雨650mm/24hr	經濟部水利署
暴露度	人口統計(鄉鎮市區、最小統計區)	內政部
	2036年未來推估人數(鄉鎮市區)	詹士樑等(2019)

2.指標計算

根據圖 4 所示，將 3 種(危害度、脆弱度及暴露度)指標的原始數值分別指標標準化。首先，將危害度的觀測值之降雨機率值標準化後等分間距為 5 個等級，而多模式的未來推估結果依據觀測值之級距標準進行分級。脆弱度是依據淹水潛勢圖中淹水深度 0.3~0.5 公尺、0.5~1 公尺、1~2 公尺、2~3 公尺、3 公尺以上劃分為 5 個等級，依空間單元內不同淹水深度與面積，計算出淹水面積比，即為淹水評分值，再將評分值直接數值標準化，等分間距為 5 個等級。最後，

暴露度分為鄉鎮市區及最小統計區兩種空間單元，前者具考量到未來人口的變動情形，將現況人口與 2036 年未來推估之人口密度進行數值標準化，再等分間距為 5 個等級；而最小統計區則是僅考量現況人口密度。

在評估風險圖方面，將危害度、脆弱度及暴露度 3 種指標標準化數值之權重相乘，依據其排序後等分間距為 5 個等級，等級越高，代表著受災害風險的可能性越高。在評估危害-脆弱度圖方面，僅考量危害度與脆弱度 2 種指標，與上述評估風險圖之分析方法相同，其等級越高，則表示受災害的危害-脆弱度越高。

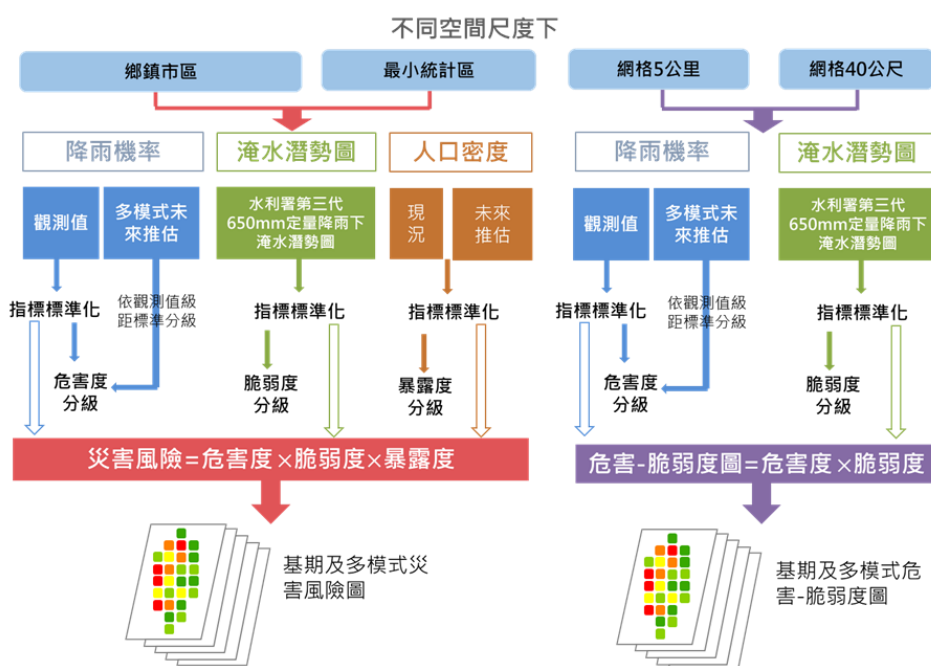


圖 4 淹水災害風險圖及危害-脆弱度圖指標計算

(四) 淹水災害風險圖成果

為考量不同使用者在全球暖化情境下多空間尺度之應用，本研究產製全臺版本及縣市版本的淹水災害風險圖，包含四種空間尺度(鄉鎮市區、最小統計區、網格 5 公里、網格 40 公尺)。下圖 5~圖 8 以全臺尺度鄉鎮市區及網格 5 公里來呈現，其圖資為氣候變遷淹水災害風險圖及危害-脆弱度圖的多模式眾數決的的等級成果。

根據圖 5 與圖 7 分別呈現不同暖化情境下淹水災害風險圖與危害-脆弱圖。圖 5 顯示，相較於現今氣候(近似 1°C)，西半部在未來推估有明顯等級加重之趨勢，尤其以桃竹苗地區和臺中市以南加重趨勢較高。而圖 7 顯示，未來推估與現今氣候(近似 1°C)比較，北部、東部沿海及桃園以南有等級加重之趨勢。隨著極端氣候的發生機率增加，氣候情境到達 4°C 時，桃竹苗、高屏及花蓮北側地區更為嚴重，因此後續在研擬相關防災規劃時，應提早擬定應對策略，以降低淹水災害風險。

圖 6 在 2°C 情境下，全臺氣候變遷淹水災害不同指標之空間分布，以鄉鎮市區尺度來分析高風險區位。危害度分為觀測值與未來推估之淹水發生機率的空間分布，中部及東半部區域危害度等級較高，在極端降雨發生機率的增加，未來情境下，全臺危害度等級有顯著的增加趨勢。脆弱度是由水利署公告第三代之淹水潛勢圖計算出淹水指標再產製淹水脆弱度圖，中南部及宜蘭區域為高脆弱度地區。暴露度則是

由人口密度呈現，高暴露度主要集中於六都之都會區，又以臺北市人口密度最高。由危害度、脆弱度、暴露度 3 種指標所組成之淹水災害風險圖，觀測值以北部、南部及部分花東區域為高風險地區，而未來推估下，各縣市災害風險等級皆有等級增加之趨勢。

在圖 8 的 2°C 情境下，淹水災害危害-脆弱度圖之不同指標之空間分布中，以網格 5 公里尺度來分析高危害-脆弱度區域。危害度觀測值以北部沿海、東部山區及中南部山區發生降雨機率相對較高，在未來推估分析中，北部和鄰近山區區域呈現高危害度區，比較兩者變化結果，以中部區域等級變化較大。脆弱度分析結果顯示，中南部及宜蘭地區為高脆弱度區，與鄉鎮市區結果相似。為依據危害度、脆弱度 2 項指標進行危害-脆弱度之評估，觀測值以中南部、宜蘭、花蓮等區域呈現高危害-脆弱度區，在未來推估下，各縣市的危害-脆弱度皆呈現等級增加之趨勢。

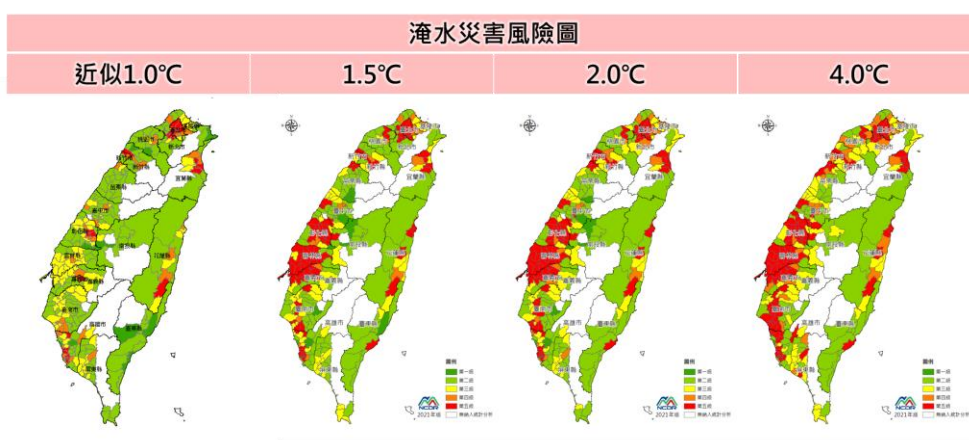


圖 5 不同暖化情境下氣候變遷淹水災害風險圖

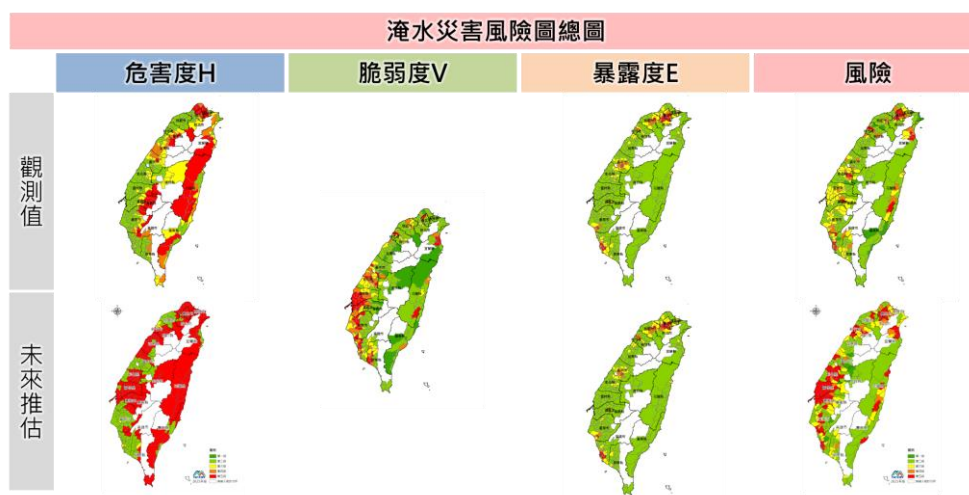


圖 6 2°C 情境下淹水災害風險各指標圖

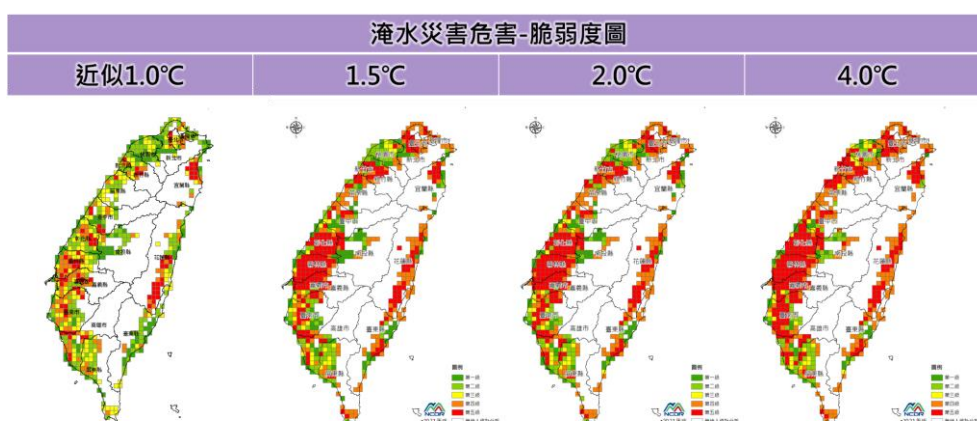


圖 7 不同暖化情境下氣候變遷淹水災害危害-脆弱度圖

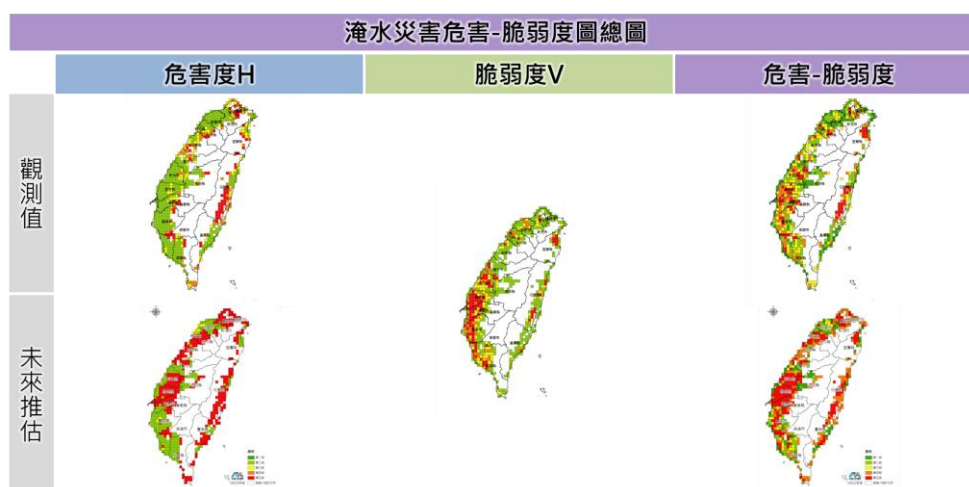


圖 8 淹水災害危害-脆弱度圖總圖(2°C 情境)

三、氣候變遷災害風險圖台展示與應用

(一) 氣候變遷災害風險調適平台展示

本研究將成果展示於災防科技中心「氣候變遷災害風險調適平台(簡稱 Dr. A 平台)」，而全臺行政區切換災害風險圖以 TGOS 圖台呈現，如圖 9 顯示，以 2°C 情境下之淹水災害危害-脆弱度圖。圖台上提供全臺版本、縣市版本(17 個縣市)之全球暖化情境圖資可供查詢，以不同空間尺度做分類，如圖 10 所示，點選單一空間尺度，即可查詢相關指標及圖例。

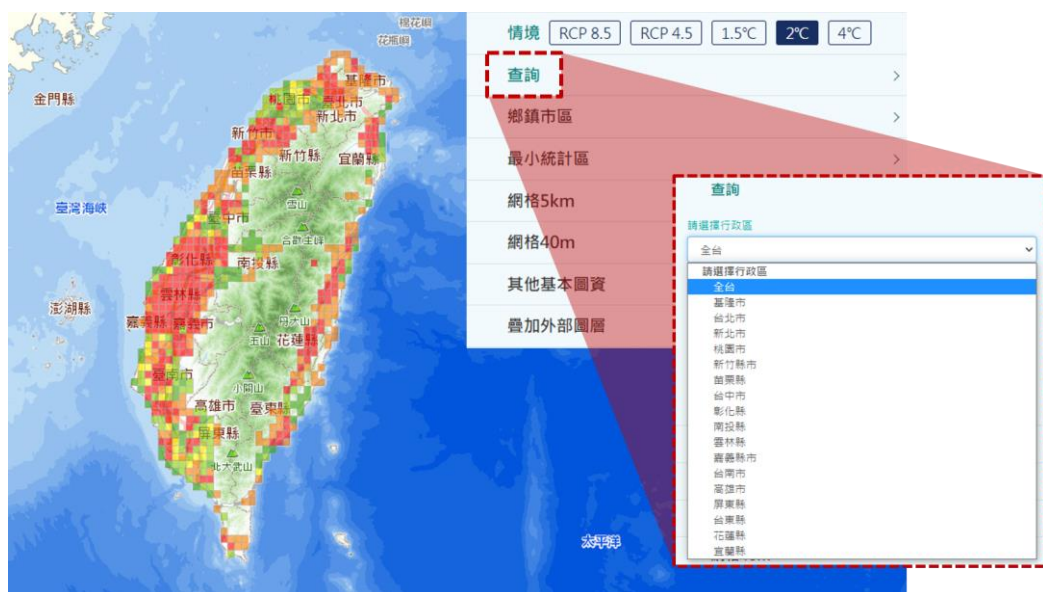


圖 9 TGOS 圖台查詢呈現示意圖

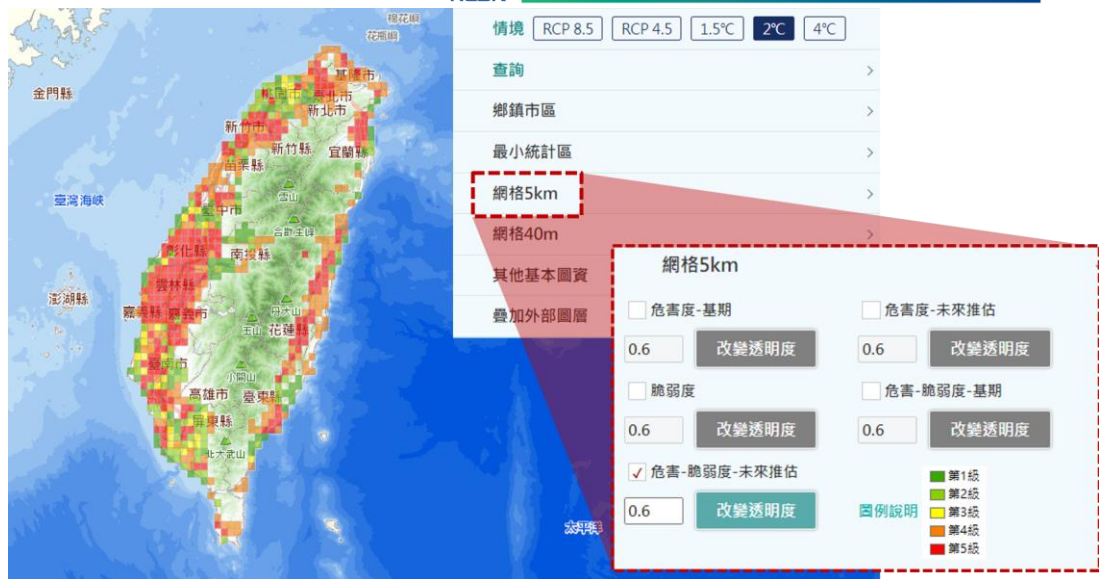


圖 10 各指標查詢呈現示意圖

(二) TGOS 圖台介紹

TGOS 圖台不僅可將災害風險圖套疊至臺灣通用電子地圖上，還提供地址、景點及座標等定位查詢，使用者可依據個人需求，在線上查詢欲了解區域之風險及危害-脆弱等級趨勢。為因應不同領域使用，圖台上包含全臺版本及縣市版本(17 個縣市)全球暖化情境之淹水災害風險圖，除此之外，亦提供外部圖層疊加之功能。以台南市為例，為了解臺南市未來受淹水危害-脆弱度影響，如圖 11 所示，以臺南市北側及中部區域等級較高，顯示其區域受淹水危害-脆弱度影響較大，而欲套疊 2021 年水稻在一期作之收穫量受淹水危害-脆弱度影響，可套疊其圖資至圖台上呈現，如圖 12 所示。

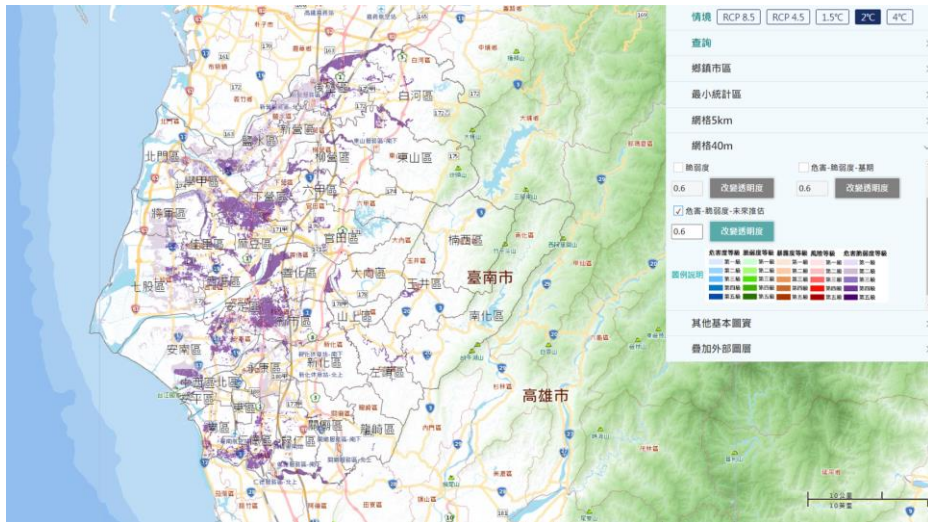


圖 11 臺南市淹水危害-脆弱度圖(網格 40 公尺)展示示意圖

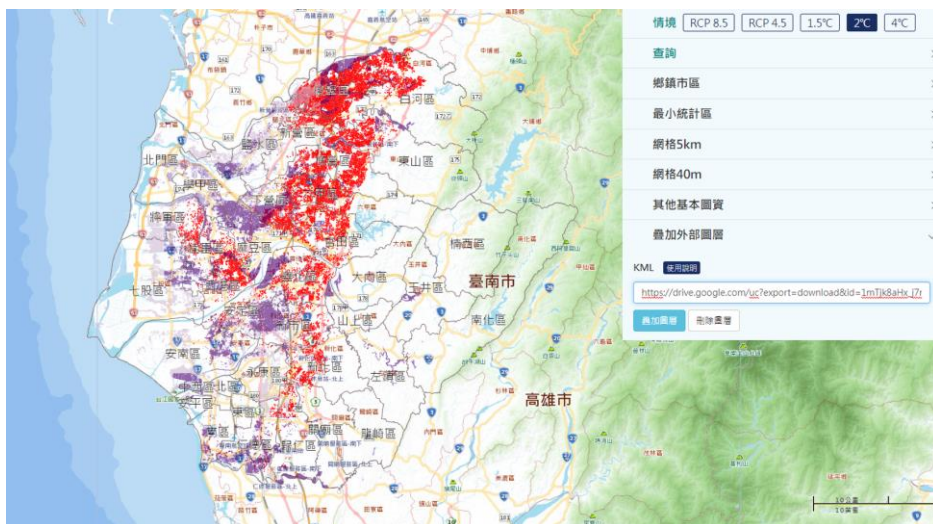


圖 12 臺南市淹水危害-脆弱度圖套疊水稻區域示意圖

根據行政院農業委員會農糧署統計資料顯示，臺南市於 2021 年一期水稻收穫量最高的行政區為善化區，由圖 13 顯示，善化區位於曾文溪南側，其淹水危害-脆弱度圖分布於善化區西半地區，及部分中部區域，而受淹水危害-脆弱度之水稻區域多半分布於西北方，數量較少，但未來仍有等級加重之趨勢，因此，亦需評估相關的調適措施，以降低風險。

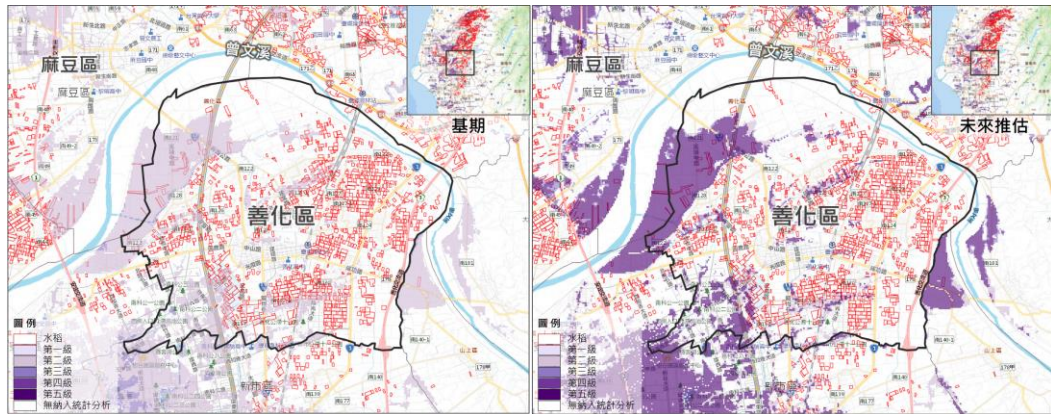


圖 13 TGOS 圖台應用示範案例

四、 結論

全國國土計畫中訂定氣候變遷調適章節，以評估高脆弱度之區位，第三版氣候變遷下受影響人口之淹水災害風險圖，新增了全球暖化情境，即可提供相關的圖資套疊應用，並針對高風險區域優先進行調適作為。相較於過去使用不同氣候情境，因領域各自需求導致分析時段不同，研究成果也較難以進行相互比較。在全球暖化情境下，不僅簡化情境設定以外，同時強調不同暖化程度下所造成的氣候變遷衝擊嚴重性，更能研擬出相對應之調適政策。

本研究評估全球暖化情境下之淹水災害風險圖及危害-脆弱度圖，在未來推估上，隨著增溫情境增加，風險等級與高風險區位皆呈現淹水風險加重之趨勢，未來在規劃調適項目，建議針對高風險區位優先考量與研擬策略。

不同空間尺度的圖資，提供給使用者更細緻化圖資查詢與套疊，

如最小人口統計區之淹水災害風險圖，改善過去因鄉鎮市區尺度所造成空間均質化問題，建議應用於縣市內淹水災害風險等級相互比對。而網格 40 公尺之淹水危害-脆弱度圖，可套疊應用於不同領域之暴露度(如本研究應用於農作物分布)，以評估未來淹水衝擊對特定暴露對象的影響，避免錯誤的套疊應用，建議使用者應了解各別指標的特性與限制，再加值應用套疊。

為配合國家氣候變遷政策評估及調適應用，全球暖化情境(近似 1℃、1.5℃、2℃、4℃) 下之淹水災害風險圖上架至 Dr.A 平台，提供使用者查詢，以利評估不同情境下之相關調適措施。

參考文獻

- 1、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.
- 2、陳韻如、林宣汝、張駿暉、陳永明 (2016)。應用於 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。
- 3、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技術報告。
- 4、陳韻如、林宣汝、黃亞婷、劉俊志、連琮勳、陳永明 (2020)。多模式多空間尺度之氣候變遷淹水災害風險圖。國家災害防救科技中心技術報告。
- 5、王俊寓、童裕翔、陳永明 (2020)。增溫 1.5℃ 和 2℃ 新暖化情境設定評估報告。國家災害防救科技中心業務報告
- 6、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。

- 7、陳韻如、林宣汝、劉俊志、黃亞婷 (2021)。2 度 C 情境下淹水災害風險圖不確定性分析。2021 年農業工程研討會。
- 8、黃亞婷、陳韻如、劉俊志、林宣汝 (2022)。氣候變遷災害風險圖圖台展示與應用。2022 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。
- 9、經濟部水利署 (2021)。淹水潛勢圖。水災保全計畫資訊服務網。
- 10、內政部戶政司 (2021)。人口統計資料。社會經濟資料服務平台。
- 11、行政院農業委員會農糧署 (2021)。農業統計年報。農情報告資源網。