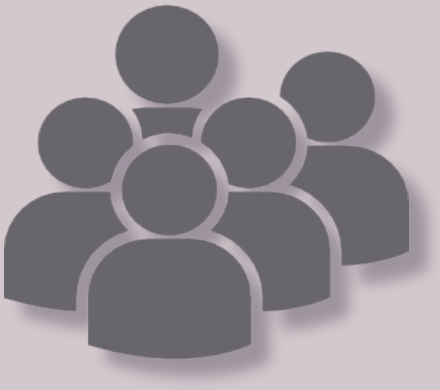
氣候變遷下
災害風險圖問答集

風險圖
如何應用？

風險圖
是什麼？

風險圖
如何分析？



一

誰會使用 / 看災害風險圖?

Q1　災害風險圖使用的對象？

Q2　災害風險圖使用手冊的對象？

Q1　災害風險圖使用的對象？

災害風險圖藉由不同色差的空間分布，讓使用者很快速的可得知相對高風險的區位。風險圖的使用者，可以是中央與地方政府政策推動、規劃與決策者、氣候變遷跨領域應用的使用者，或是防災教育宣導者等 (圖 2)。

中央政府部門政策規劃者：可依據部門業務參考全國災害風險圖，例如進行土地利用規劃或重大開發案評估...等。而地方政府的應用，以發展和規劃部門為例，可藉由地方災害風險圖與各縣市的區域計畫或發展策略進行套疊分析，以了解災害高風險區的區域發展規劃，評估是否採取想對應之調適因應措施。故不同尺度的風險圖，可提供中央與地方不同層級藉以了解氣候變遷災害風險，提早擬定相關調適策略。

氣候變遷跨領域研究學者與專家：以農業領域為例，可更新風險圖的暴露量指標，例如以生產作物種植分布為指標，套疊或重新繪製災害對農作物衝擊之風險圖，以了解未來氣候變遷下，淹水或坡地災害對農作物衝擊之風險區位分佈。

防災教育：可藉由此風險圖與民眾溝通未來氣候變遷下可能面臨的災害風險，可知居住的鄉鎮是否為高風險區位，與政府部門合作評估是否需提升此區域的抗災能力或者需增加此區域的防災規劃，以降低災害風險。

一般民眾：會想藉由災害風險圖，了解自己的居住地的風險特性，也有可能會影響選擇或購買居住地的意願，但目前的圖集受限於目前空間尺度問題，並不適用於評估建物周圍地區是否為高風險。

而此圖資是以人為受影響的對象，不同暴露度衝擊的對象所使用的風險圖也不同，需再評估。

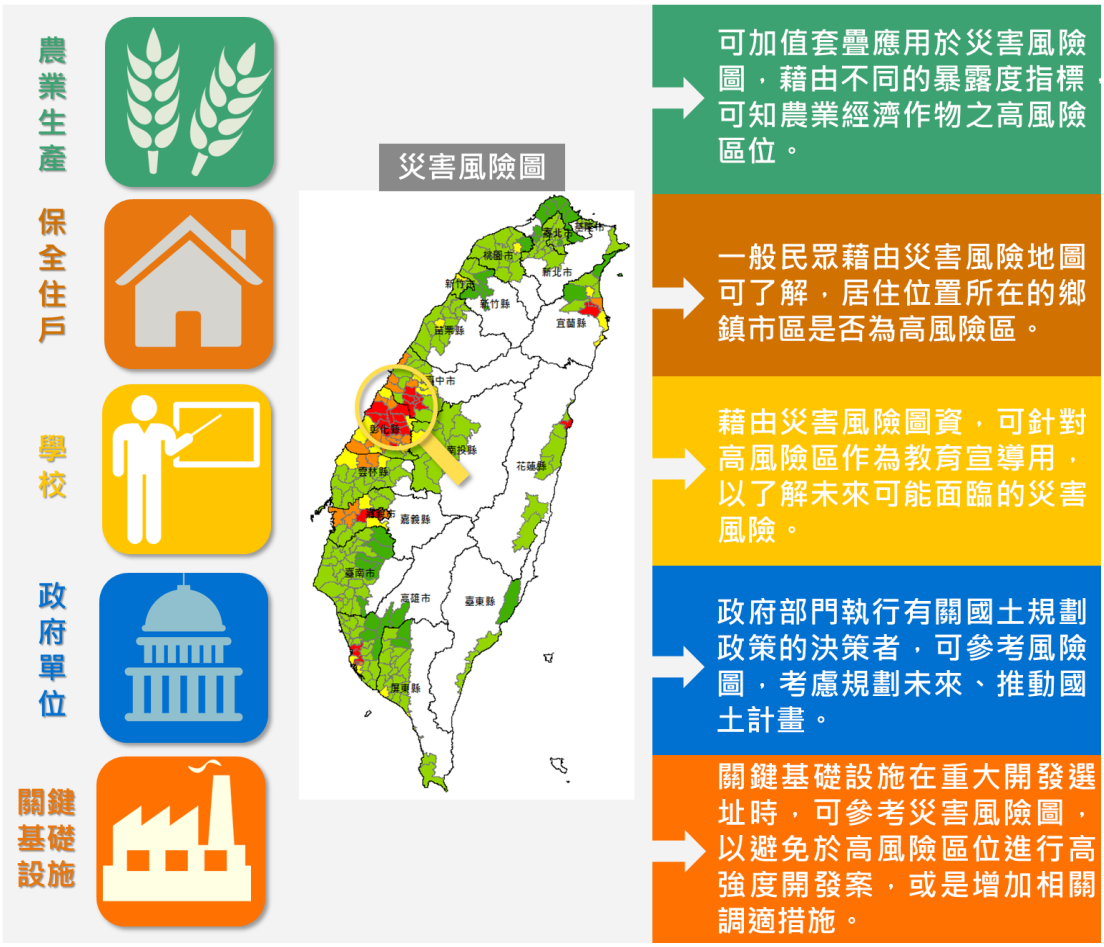


圖 2　使用災害風險圖的領域對象

Q2　災害風險圖使用手冊的對象？

此問答集手冊主要是寫給需要應用到氣候變遷下災害風險圖在調適策略規劃的部會，以及會利用到風險圖於其他氣候變遷相關研究的使用者，如國發會推動之國家氣候變遷政策綱領下的八大領域之部會相關承辦與決策者（營建署、水利署、環保署、能源局、農委會等，如圖 3 所示）。

手冊的目的主要傳輸風險圖相關製作流程、如何判釋風險圖的結果以及風險圖的使用限制等，期望讀者在讀完這本手冊，可以理解氣候變遷下災害風險圖是什麼、要怎麼看、怎麼用，以及計畫風險圖考量的指標與整體評估架構，讀者對於災害風險圖具備判讀的能力，可知道如何應用此圖資於未來相關氣候變遷研究與調適策略擬定。

我們無法期許讀者閱讀完此手冊後，能瞭解風險圖製作的所有細節，欲進一步詳細瞭解災防中心製作的氣候變遷下災害風險圖相關技術問題，建議可以參閱災防科技中心過去相關的災害脆弱度圖與風險圖的技術報告有更詳盡的內容（國家災害防救科技中心，2011a, 2011b, 2011c, 2012a, 2014, 2015, 2016)。



圖 3　氣候變遷調適政策八大領域

二

災害風險圖要如何判讀?

Q3　什麼是災害風險圖？定義為何？
Q4　氣候變遷情境的挑選依據？
Q5　如何解讀氣候變遷災害風險圖？
Q6　風險圖的顏色代表的意義為何？
Q7　基期與未來推估年份的設定依據？

Q3　什麼是災害風險圖？定義為何？

台灣位處於高災害風險的區位，主要面臨的天然災害為颱風或豪雨造成的淹水災害、坡地災害（土石流及崩塌）、海岸災害，以及水資源匱乏時會遭遇的乾旱災害等。而災害風險係指氣候變遷衝擊對自然系統與人類社會經濟系統造成的可能損害程度。因此氣候變遷災害風險圖是假設氣候變遷未來推估情境下，藉由指標分析再以空間分佈呈現氣候變遷下之熱點區域及各地區可能遭受特定災害的風險程度，如圖 4 所示。藉由風險圖的等級區分及展示，瞭解風險區位相對分佈，能提供政府單位決策者，針對高風險區先採取調適措施、防減災規劃等，或者評估重大開發因應措施，以降低或減緩災害風險的發生，保全對象免於受災害的衝擊危害。

依據 Intergovernmental Panel on Climate Change(簡稱為 IPCC) 在（2012）及（2014）中皆是以危害度、暴露量、脆弱度等三者交集定義氣候變遷衝擊風險，如圖 5 所示，危害度為災害發生的自然變異因素與程度，如強降雨、颱風次數增加等造成的災害，以淹水和坡地災害為例，主要考量降雨因素造成的自然危害。脆弱度為系統面臨特定危害使否容易致災的程度，如該地區是否容易淹水或是發生坡地崩塌。暴露度為災害可能受影響的對象，可能是人口、設施、作物、經濟行為...等。而過去有關風險定義的相關文獻，將風險定義為危害度與脆弱度的相乘積，或另一定義危害度、脆弱度與暴露度的相乘積，因此本研究採用 IPCC SREX(2012) 報告與 IPCC Fifth Assessment Report(簡稱為 IPCC AR5) 的定義，採用三項指標相乘積做為分析風險圖的依據，以進行氣候變遷衝擊下之災害風險圖製作。

$$\underset{\text{風險}}{\text{Risk}} = \underset{\text{危害度}}{\text{Hazard}} \times \underset{\text{脆弱度}}{\text{Vulnerability}} \times \underset{\text{暴露度}}{\text{Exposure}}$$

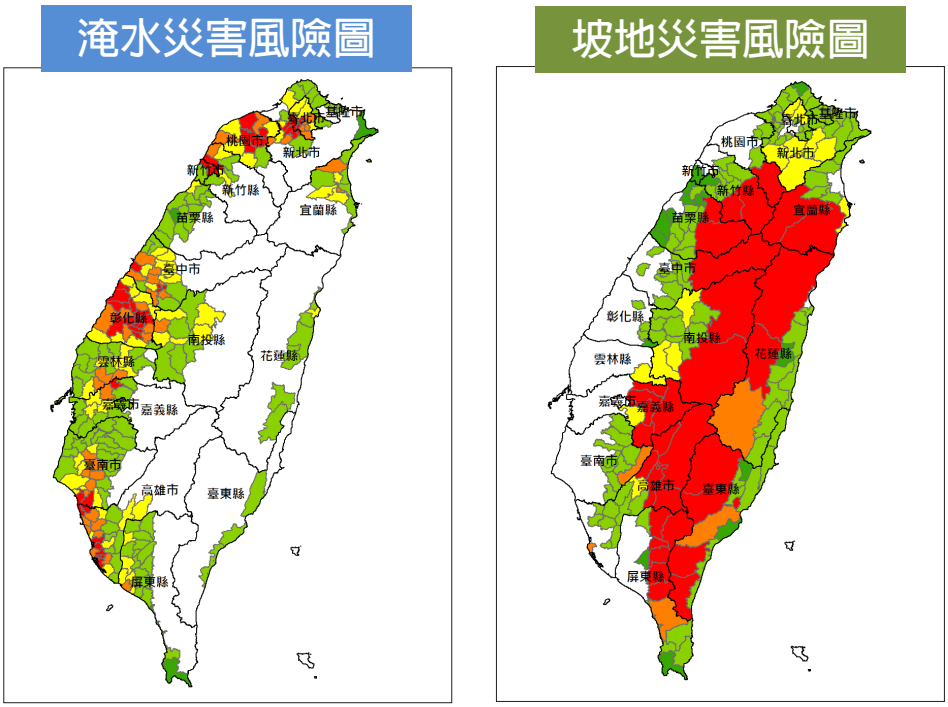


圖 4　淹水及坡地災害風險圖 (示意圖)

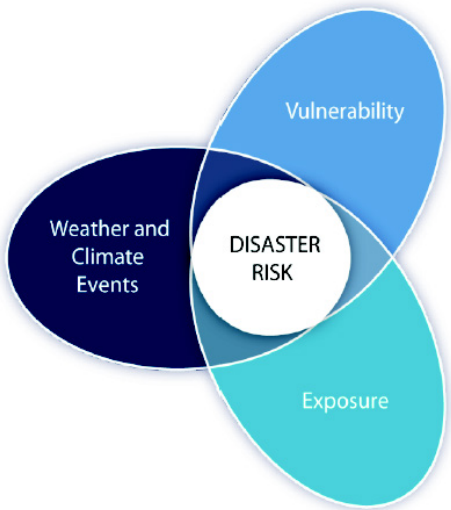


圖 5　災害風險之定義 (IPCC SREX,2012)

Q4　氣候變遷情境的挑選依據？

未來的氣候是如何變遷，假使不針對人為造成的排放有所控制，對於未來氣候的衝擊會有什麼變化？因此 IPCC 設定了幾種氣候情境以推估未來氣候情形，主要關注於人為造成的排放。在 IPCC 第五次評估報告（AR5）中，是以「代表濃度途徑」（Representative Concentration Pathways，簡稱 RCPs）定義未來變遷的情境，共有四種假設情境，分別為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6 及 RCP8.5，係指每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 2.6、4.5、6、8.5 瓦，如表 1 及圖 6 所示。其中 RCP2.6 係指低溫室氣體排放情境，屬暖化減緩的情境，是較為樂觀的態度看待溫室氣體減量，而相對於 RCP8.5 係指各國未減排情境，屬於溫室氣體高度排放的情境，則是相對於較為悲觀的態度。

這四種情境所能涵蓋層面比過去第三次評估報告設定情境還廣，除了設定了逐年的溫室氣體濃度，根據整合評估模式、簡化氣候模式、大氣化學模式以及全球碳循環模式的組合計算，每個 RCP 可以估算出人為溫室氣體排放量，並提供土地利用變遷的空間分布以及各區域空氣汙染物的排放量。藉由不同設定情境，利用氣候模式推估未來氣候變遷下氣候情形，以了解可能面臨之氣候衝擊 (臺灣氣候變遷推估與資訊平台，2015)。

就目前二氧化碳的減碳情形，似乎與樂觀的 RCP2.6 暖化情境相差較遠，且災害衝擊評估以未來的可能的最劣情境進行評估，以避免低估可能的衝擊。且本研究的氣候變遷情境資料主要是藉由國際合作的方式，由日本氣象廳氣象研究所提供情境資料，日本的大氣環流模式考量分析模擬的運算時間與成本，亦只分析 RCP8.5 情境，故風險圖分析的危害度指標便是以 RCP8.5 情境資料進行分析。

IPCC 第四次的評估報告（AR4）的情境，日本則是提供 A1B 情境資料，利用該項資料分析的氣候變遷下的災害風險圖成果，展示於科技部的科技部的災害管理資訊研發應用平台（http://dmip.tw/Lthree/index.aspx?L1=0&L2=2，建議用 Chrome 開啟網頁）與採用兩種情境的結果差異比較分析的結果，在此手冊中不加詳述，請參閱災防科技中心的報告 (國家災害防救科技中心，2014, 2016)。

表 1　代表性的濃度途徑之說明

代表濃度途徑	定義說明	推估情形
RCP2.6	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 2.6 瓦	屬於**暖化減緩的情境**（輻射強 迫力在 2100 年呈減少趨勢）。
RCP4.5	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 4.5 瓦	屬於**穩定的情境**（輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態）
RCP6	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 6 瓦	屬於**穩定的情境**（輻射強迫力的變化在 2100 年呈較為穩定狀態）
RCP8.5	每平方公尺的輻射強迫力在 2100 年增加了 8.5 瓦	屬於**溫室氣體高度排放的情境**（輻射強迫力在 2100 年呈持續增加趨勢）

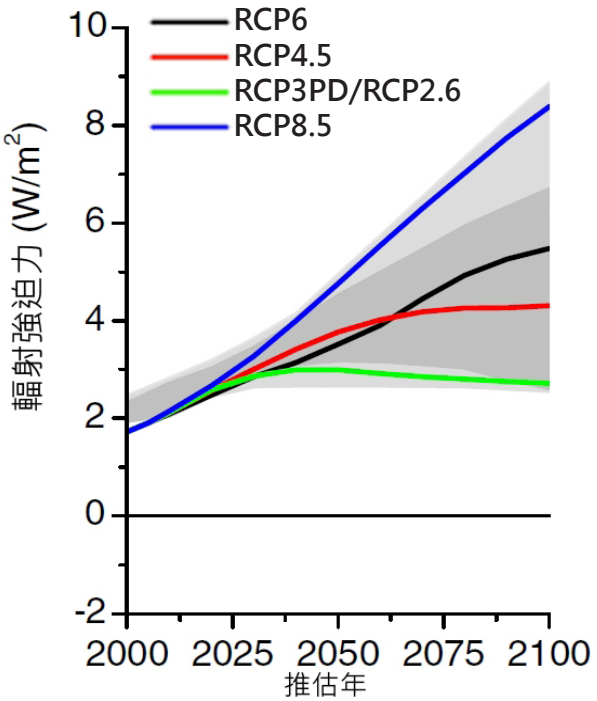


圖 6　RCP 情境的輻射強迫力。淺灰色區域代表原先整合評估模式（IAM，Integrated Assessment Model）情境 98% 的範圍，深灰色代表 90% 的範圍（圖片來源：van Vuuren et al，2011）

Q5　如何解讀氣候變遷災害風險圖？

使用者透過氣候變遷災害風險圖，可了解各災害在氣候變遷衝擊下之熱點區域及風險相對位置，以圖 7 所示為例，由全台淹水災害風險圖中，可看出中部地區部分的沿海鄉鎮為高風險區域，另外使用者亦可從各危害度圖、脆弱度圖及暴露度圖的空間分布，了解造成該區域高風險之主因。在閱讀圖資時也需了解圖資之資料說明及其限制性，如風險圖是如何定義的，由哪些指標所組成，對應何種應用領域等等，可參閱後續的問答集。在災害風險溝通方面，災害風險圖也具有與參與者溝通宣導意義，藉由知識庫及風險圖資，使民眾有災害意識，了解未來的居住地區面臨可能的災害風險。

不同空間尺度的災害風險圖也有不同的應用方式，以政府單位為例，全台氣候變遷災害風險圖為全台的鄉鎮比較後的相對等級，可作為中央部會層級因應氣候變遷相關政策規劃與評估參考。而地方版氣候變遷災害風險圖為各縣市其所屬的鄉鎮比較後的相對等級，可應用於縣市層級的政策規劃與參考使用，例如災害防救計畫或是區域計畫。

行政院國家發展委委員會推動之「國家氣候變遷調適政策綱領」以及後續環保署也將持續推動『國家因應氣候變遷行動綱領』，都將氣候變遷災害風險辨識、評估以及優先調適高災害風險區列為重要策略與行動計畫之一。因此對於未來調適策略擬定，風險圖將有助於管理者瞭解相對高風險的區位。

本研究主要是以防災管理角度製作的氣候變遷下災害風險圖，目前是研究成果階段性的呈現，有其使用的限制與不確定性，在應用於政策調適部分，其資料不一定能直接可讓各部會署直接套疊使用，但可參考作為方向，且仍需持續進行風險溝通，以達到共識。

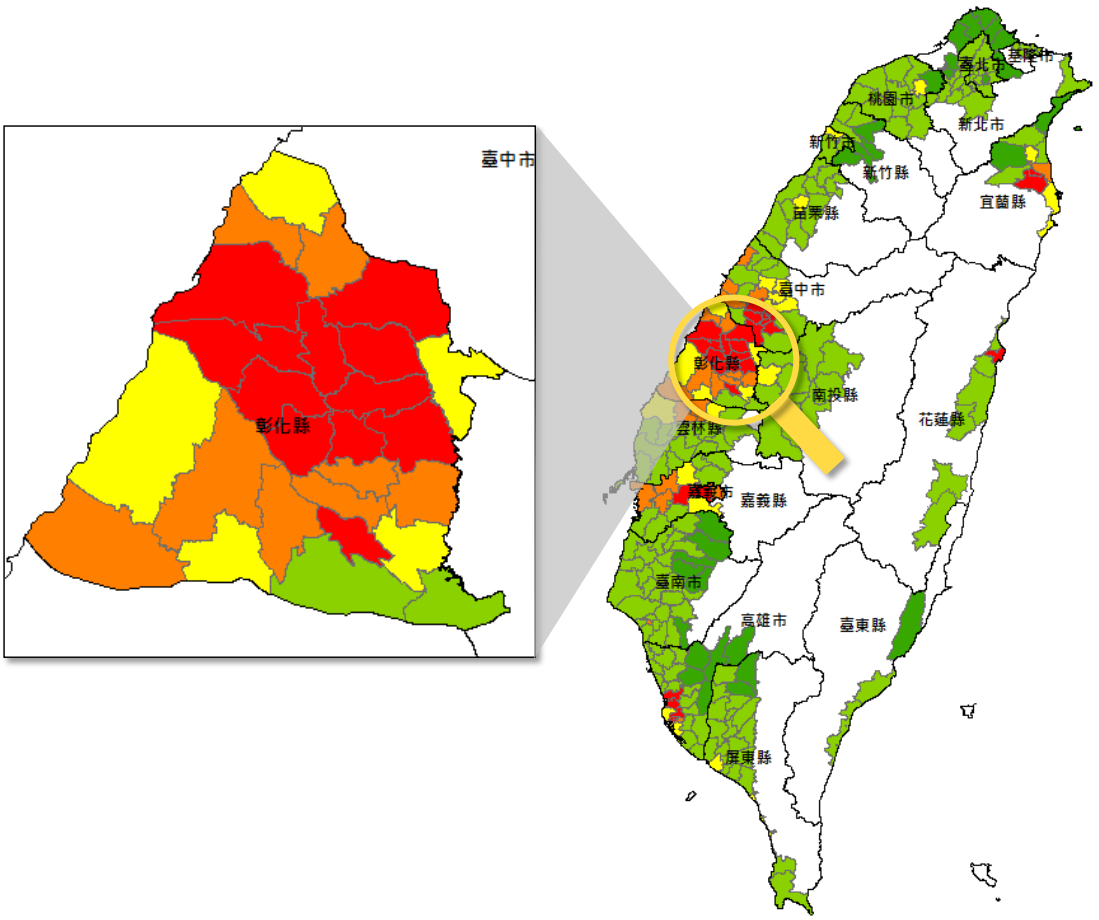


圖 7　解讀氣候變遷災害風險圖

Q6　風險圖的顏色代表的意義為何？

風險圖利用色階差異（不同顏色），以表現風險的高低程度，為區隔全台與地方版的災害風險圖的差異，不可同時放在一起比較，故在此圖資是應用不同色階方式表示，圖 8 為全台版風險指標圖及圖 9 為地方版指標圖，色階的詳細說明如下。

圖 8 的全台版災害風險圖，將各類指標之數值量化並分成五級，並以紅到綠的色階表示各項指標的等級，以利顯現出並易解讀高風險區與低風險區的空間分佈位置。其中深色（紅色）的表示風險等級『相對』較高，以等級 5 表示，該區域的災害風險高，建議優先考量相對應的調適措施，以因應未來氣候變遷可能的衝擊，而造成高風險的因素包含危害度、脆弱度與暴露度等，可搭配各指標的等級，以瞭解造成該風險高之主因。風險圖中較淺色（綠色）並不表示無災害風險或不發生災害事件，而是表示災害風險相對較低，故平時仍需做好防災應變整備。

圖 9 的地方版災害風險圖則是分別不同顏色漸層，表示為危害度、脆弱度、暴露度與風險的等級，以**藍色漸層**表示危害度，**綠色漸層**表示脆弱度，**棕色漸層**為表示暴露度，**紅色漸層**為表示風險，顏色越深是該項指標的等級越高。圖 8 與圖 9 中白色色階的空白的鄉鎮市區，是表示在該項災害風險圖中，未納入計算分析的鄉鎮，主要是因為該區域為無災害潛勢區位，其設定的依據詳細可參閱 P18，Q8。

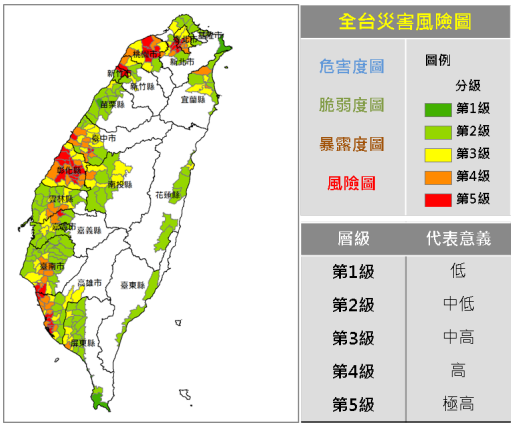


圖 8　全台版風險指標圖

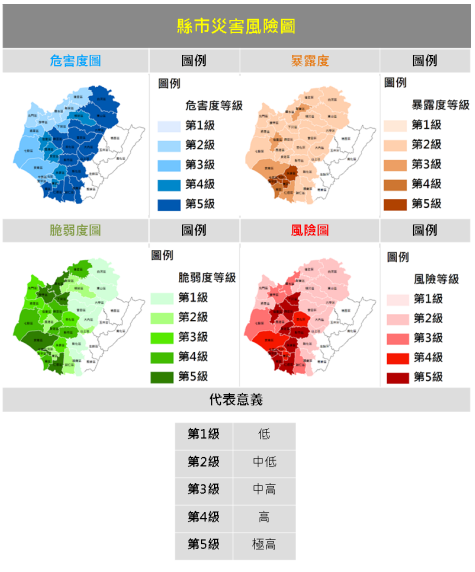


圖 9　地方版指標圖

在圖資展示中，會發現到在同一個縣市下，但全台版及地方版的風險等級卻有不同的情形，以桃園市為例，全台版的淹水災害風險圖 (圖 10 a) 以大園、中壢、平鎮、桃園及八德區為最高風險等級 5，但在地方版 (圖 10b) 風險等級 5 的卻少了大園區，是由於全台版是以台灣所有淹水模擬模擬的 269 個鄉鎮來做分析，這 5 個鄉鎮與全台其他鄉鎮相對起來為高風險區，而地方版則是僅考慮桃園市下所有鄉鎮來做分析，代表這 4 個鄉鎮相對桃園市所有鄉鎮來說風險較高。

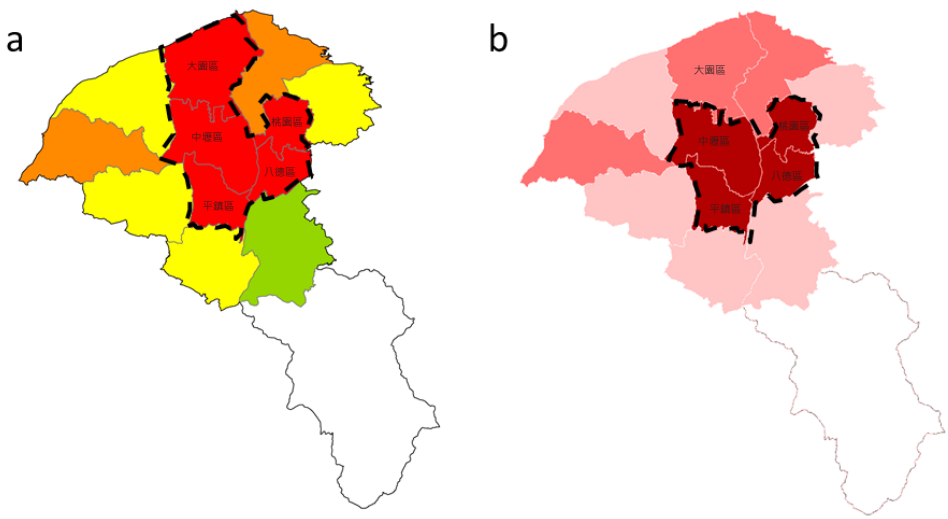


圖 10　(a) 全台版 (b) 地方版桃園市淹水災害風險圖圖

Q7　基期與未來推估年份的設定依據？

本研究的基期（1975-2003 年）與未來推估年（2075-2099 年）的設定，主要是採用日本大氣環流模式（MRI-AGCM）所以提供的資料的原始設定，由於台灣國內並尚未能進行全球大氣環流模式模擬，故此情境資料的成果，都是以國外大氣環流模式模擬的結果，進一步利用降尺度技術應用於臺灣，以獲得臺灣的氣候變遷情境，故目前研究尚無法重新設定此兩個時段。

大氣環流模式（GCM）在基期的時段設定，主要是以該期間氣候沒有很大的變異，人類活動對於氣候的影響沒有顯著變化之前，利用大氣環流模式模擬當時的濃度情況下的氣候變化，以作為與未來推估的比較基準。部分專家學者認為，近十年的極端氣候發生（如 2003 年乾旱、2009 年莫拉克等），皆造成台灣重大的衝擊，較能代表現在的氣候情況，為何無納入基期的評估，但若納入評估可能會將較大變化的氣候訊號納入，而影響未來預測氣候的量可能會減少。再者，基期的設定是由模式提供者決定，目前尚未能更改，故建議建議使用者另外從應用端評估近年的極端事件紀錄對水文與其他面向的影響。

未來情境推估日本考量模擬耗費的時間與成本大，且世紀末的二氧化碳濃度的推估，模式的穩定性較佳，故不確定性較低，因此，日本在未來推估的年份只提供 2075~2099 年的氣候情形。由於無法得知未來極端事件何時發生，在此便是將未來推估的氣候情境視為未來的極端事件，故風險圖中呈現基期與未來推估兩個時段，提供相關的決策者參考，未來氣候變遷下可能的衝擊以規劃相關的調適措施。

三

災害風險圖是怎麼分析出來的?

Q8 災害風險圖評估流程為何？
Q9 極端降雨指標的設定？
Q10 氣候變遷災害風險圖的指標如何選擇？
Q11 製作氣候變遷災害風險圖的資料源為何？
Q12 風險指標如何計算？
Q13 災害風險圖計算空間單元為何？
Q14 風險等級如何分級與展示？
Q15 指標間的權重如何設定？

Q8　災害風險圖評估流程為何？

風險評估的流程中 (圖 11)，先藉由風險的定義，確認指標評估的方式，再依各指標氣候變遷推估資料特性進行指標的選擇，如危害度是採用極端降雨發生之機率分析，淹水脆弱度採用淹水模擬圖做為指標分析，坡地脆弱度則採用歷史崩塌範圍、六級坡以上範圍、地質災害潛勢區做為代表性指標，暴露度則選用人口密度做為指標 (此指標可因應不同災害衝擊進行置換) 。

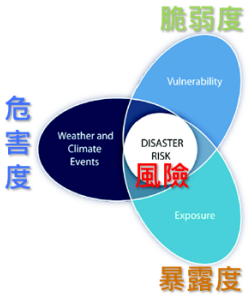
將選定的各指標以標準分數 (Standard Score，又稱 Z-score) 計算 (Z-score 法參見 P26，Q12)，其計算再根據風險定義進行等權重計算，將三項指標等權重相乘 (風險定義請參見 P8，Q3)。

計算之風險值，將其分級表示風險高低程度，因風險是以危害度兩個時期 (基期與未來推估) 數值最大至最小範圍的樣本數，進行等級劃分，劃分為 5 個等級，以利凸顯出不同時期風險圖的差異。

最後風險圖的展示主要是依據分析的鄉鎮數，全台淹水災害風險圖是根據淹水模擬範圍的 269 個鄉鎮，全台坡地災害風險圖則是依據水保局公告的山坡地範圍界址圖定義山坡地鄉鎮，分析 178 個鄉鎮，其餘未分析的鄉鎮區便不納入分析以白底呈現。更為詳細的風險圖分析流程可參閱災防科技中心技術報告 (國家災害防救科技中心，2016)

指標評估方式確認

風險定義之確認



(IPCC SREX,2012)

風險指標選擇

依據氣候變遷推估資料特性進行選擇

- 危害度：基期及未來推估極端降雨發生之機率
- 脆弱度：淹水脆弱度(淹水潛勢圖)
  坡地脆弱度(歷史崩塌指標、坡度指標、地質災害潛勢)
- 暴露度：人口密度

指標計算

三項指標等權重相乘　$R = H \times V \times E$

風險圖等級區分

兩個時期數值的最大至最小範圍之樣本數，進行分析等級劃分，以利顯現不同時期變遷的差異

風險圖展示

以**鄉鎮市區**為空間單元，展示兩個推估時期下之災害風險圖

圖 11　氣候變遷災害風險圖評估流程

Q9　極端降雨指標的設定？

淹水災害風險圖與坡地災害風險圖在降雨指標設定方面，會依各不同災害特性將氣象指標納入各災害類型危害度指標內 (圖 12)。

在淹水災害風險圖中，由於假設在氣候變遷情境下，模擬較為最嚴重的淹水極端事件，故在淹水模擬圖方面，選擇模擬 24 小時累積降雨達 600 公釐的降雨條件，此模擬是假設在水庫、防洪設施正常操作、堤防無溢堤及未考慮下游潮位情況下，分析各地區發生最大淹水深度與淹水範圍。因此，配合淹水災害潛勢模擬，淹水災害風險圖之危害度指標中，極端降雨指標便是設定 24 小時雨量超過 600 公釐發生之降雨機率。

在坡地災害風險圖中，災防科技中心參考坡地災害潛勢圖公布之警戒值，以全台的坡地鄉鎮的平均警戒值，當監測 24 小時累積降雨量超過 350 公釐此降雨門檻值，表示可能會發生坡地災害。因此，坡地災害風險圖便是以極端降雨指標選擇 24 小時雨量超過 350 公釐發生之降雨機率，作為坡地災害的危害度指標。

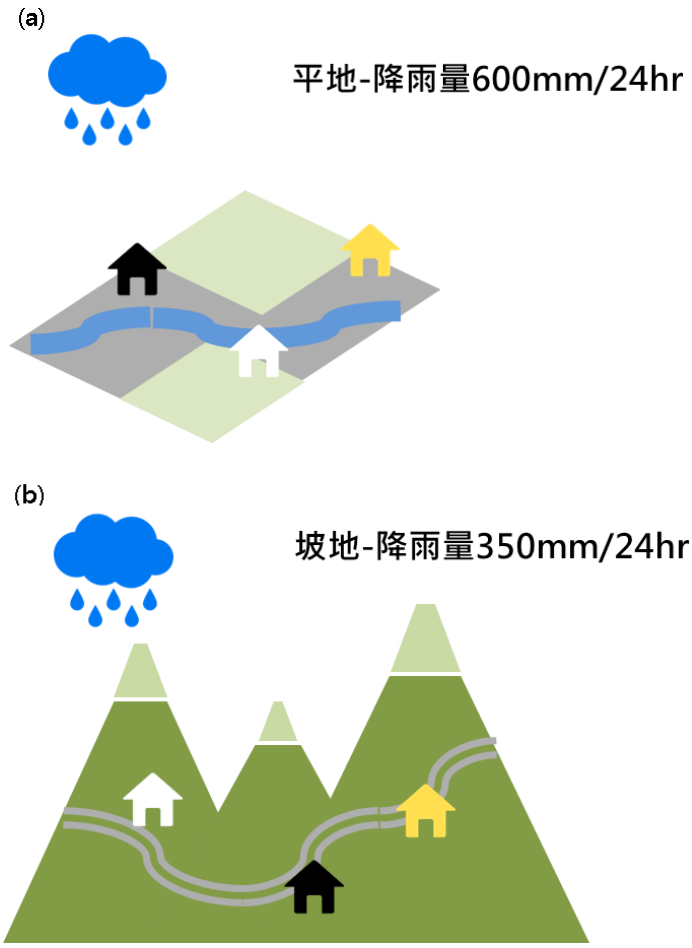


圖 12　(a) 淹水災害之極端降雨指標設定
(b) 坡地災害之極端降雨指標設定

Q10　氣候變遷災害風險圖的指標如何選擇？

根據前述的風險定義進一步評估災害風險等級，在選擇指標時，每類指標盡量維持 2~3 個指標，避免因指標過多相乘後，造成指標特性無法顯現。在挑選指標時亦需考量是否具有代表性，可表示災害潛勢做為指標來分析，相關指標說明如下：

- **淹水災害風險圖的指標選擇（圖 13 及表 2）：**



圖 13　淹水災害風險指標圖

表 2　淹水災害風險指標說明表

指標	定義	說明 淹水災害風險圖
危害度	氣候變遷導致之氣候特性變化衝擊	基期（1979~2003 年）與未來推估（2075~2099 年）期間的『24 小時內降雨超過 600mm』之發生機率，進而統計各鄉鎮市區平均機率。
脆弱度	系統面臨氣候變遷危害所造成的影響程度	以淹水模擬圖（600mm/24hr）進行指標分析，統計在一日降雨量下各不同淹水深度所涵蓋之各不同淹水面積的範圍，依照淹水深度 3 公尺以上、2~2.5 公尺、1.5~2 公尺、1~1.5 公尺、0.5~1 公尺及無淹水分為 6 個等級，並計算各鄉鎮於不同淹水深度範圍下的淹水面積比，將各不同淹水深度等級給其權重 (3 公尺以上權重為 5，2~2.5 公尺權重為 4，1.5~2 公尺權重為 3，1~1.5 公尺權重為 2，0.5~1 公尺權重為 1)，計算各鄉鎮市區之淹水災害評分值，進而分析淹水指標。
暴露度	災害可能影響的對象	以鄉鎮市區人口密度表示，當災害發生時，人口密度越高的地區，較直接受到衝擊影響

- **坡地災害風險圖的指標選擇（圖 14 及表 3）：**

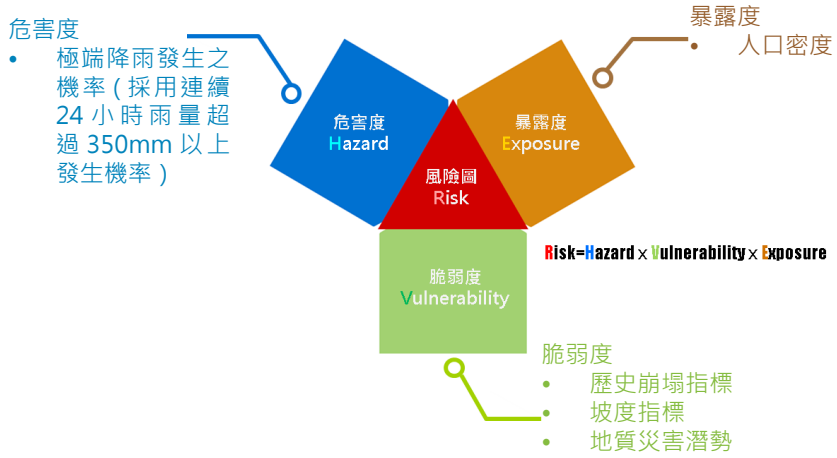


圖 14　坡地災害風險指標圖

表 3　坡地災害風險指標說明表

指標	定義	說明 坡地災害風險圖
危害度	氣候變遷導致之氣候特性變化衝擊	基期（1979~2003 年）與未來推估（2075~2099 年）期間的『24 小時內降雨超過 350mm』之發生機率，進而統計各鄉鎮市區平均機率
脆弱度	系統面臨氣候變遷危害所造成的影響程度	因目前尚未模擬全台坡地災害潛勢之相關資料，故在此以部會署公告之相關災害潛勢作為評估依據，將歷史崩塌指標、坡度指標與地質災害潛勢做為脆弱度指標。 1. 歷史崩塌指標：反應山坡地裸露現況與未來崩塌再發生之可能性，將崩塌率定義為崩塌地面積佔該鄉鎮市區總面積之比例 (%)。 2. 坡度指標：參考山坡地土地可利用限度以及建築技術規則規定，六級坡（即坡度超過 55% 者）以上為陡坡，易發生坡地災害，計算是以六級坡以上面積佔該鄉鎮市區總面積之比例 (%)。 3. 地質災害潛勢：地質災害潛勢為直接反應山坡地地質脆弱情況，係以中央地質調查所公告的地質資料，包含岩屑崩滑、岩體滑動、落石及順向坡等 4 類地質資料，以地質災害區面積總和佔該鄉鎮市區總面積之比例 (%) 計算地質災害指標。
暴露度	災害可能影響的對象	以鄉鎮市區人口密度表示，當災害發生時，人口密度越高的地區，較直接受到衝擊影響。

Q11　製作氣候變遷災害風險圖的資料源為何？

依據指標的選擇，選擇具代表性可作為分析風險架構下的指標，其淹水及坡地災害風險圖之資料源分別如下：

- **淹水災害風險圖 (表 4)**

在危害度部分，使用資料為日本氣象廳模擬之全球環流模式（簡稱 MRI-JMA AGCM 模式），利用動力降尺度技術降至臺灣 5km 之網格點氣候資料（該資料由科技部「台灣氣候變遷推估與資訊平台計畫（簡稱 TCCIP）產製並提供」，採用 AR5 的 RCP8.5 推估情境資料（該高解析度模式只產製 RCP8.5 情境推估資料）。危害度指標分別評估兩個推估時期降雨機率，分別為基期（1979~2003 年）與未來推估（2075~2099 年）期間的『24 小時內降雨超過 600mm』之發生機率。脆弱度指標則採用的淹水模擬圖，為災防科技中心於 2015 年所更新的高程資料與淹水模式重新計算分析的結果，其解析度為 40 公尺 ×40 公尺，資料精確度更高，未來將依據水利署公告之第三代淹水模擬圖資進行指標調整修正。暴露度指標方面則是採用內政部的 2015 年人口資料進行人口密度分析。

表 4　淹水災害風險圖資料源表

淹水災害風險圖	選用資料	資料來源	資料年份
危害度	RCP8.5 推估情境下，600mm/24hr 發生之降雨機率	MRI-AGCM	2014年
脆弱度	淹水模擬圖	災防科技中心	2015年
暴露度	人口密度	內政部	2015年

- **坡地災害風險圖 (表 5)**

在危害度部分，資料來源與上述相同。危害度指標分別評估兩個推估時期降雨機率，分別為基期 (1979~2003 年) 與未來推估 (2075~2099 年) 期間的『24 小時內降雨超過 350mm』之發生機率。在脆弱度的指標中，歷史崩塌指標則是採用林務局所觀測 2004~2013 年的衛星影像判釋崩塌地範圍圖。坡度指標則是參考山坡地土地可利用限度以及建築技術規則規定，六級坡 (即坡度超過 55% 者) 以上為陡坡，而分析 40 公尺 x40 公尺的 DTM 圖資，計算六級坡以上面積範圍，進而做坡度指標分析。地質災害潛勢則是採用 2014 年中央地質調查所公告的地質資料，包含岩屑崩滑、岩體滑動、落石及順向坡等 4 類地質資料，以分析地質災害潛勢的範圍。暴露度指標也是採用內政部的人口資料進行人口密度分析。

表 5　坡地災害風險圖資料源表

坡地災害風險圖	選用資料	資料來源	資料年份
危害度	RCP8.5 推估情境下，350mm/24hr 發生之降雨機率	MRI-AGCM	2014年
脆弱度	歷史崩塌指標	林務局	2004~2013年
	坡度指標	災防科技中心	2013年
	地質災害潛勢	地調所	2014年
暴露度	人口密度	內政部	2015年

Q12　風險指標如何計算？

常見的災害風險的計算方式有下列二大類評估方法：

方法一：利用理論模型或歷史事件蒐集，進行電腦或情境模擬，將公式的災害潛勢暴露脆弱度分成不同標的應用不同災害評估工作進行個別評估後，再進行整合。

方法二：透過災害潛勢、暴露度與脆弱度的指標體系建立，整合多準則評估方法或地理資訊系統，評估不同層面之災害風險或衝擊。

本研究方法是採用方法二，使用指標系統。指標計算方法以坡地災害風險分析為例 (圖 15)，本研究先將危害度、脆弱度與暴露度各指標之原始數值，以標準分數 (Standard Score，又稱 Z-score) ，Z-score 是一無因次值，藉由從單一原始數值減去母集合的平均值，再依母集合的標準差分割不同的差距，將樣本數呈一常態分佈曲線的分佈，將各指標先分級，風險值則是各指標等級相乘。Z-score 計算標準常態分佈曲線下機率的積分 (圖 16)，以下為計算式：

$$\int f(z)dz = \int_a^b \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-z^2}{2}} \quad , \quad -\infty < z < \infty$$

其積分值介於 0 至 1 之間，再以等分間距分為 5 個等級，等級越高，則代表危害度、脆弱度與暴露度越高。而災害風險值則是將 3 項指標危害度、脆弱度及暴露度在 Z-score 分析下的積分值，以等權重方式相乘，計算出災害風險值。再以等分間距分為 1~5 等級呈現，等級越高，則代表災害風險越高。

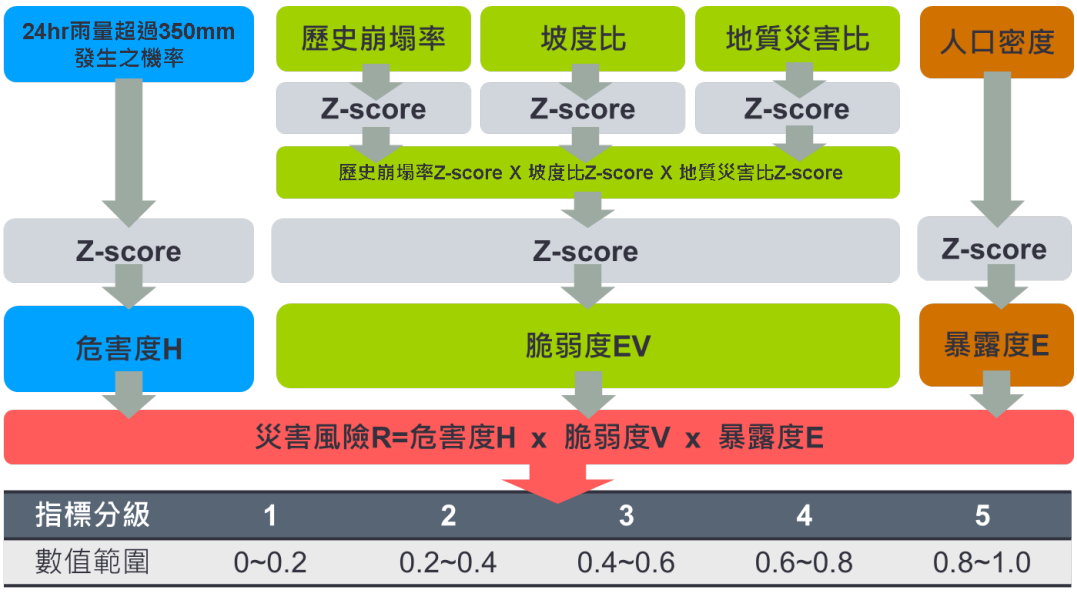


圖 15　坡地災害風險圖計算流程

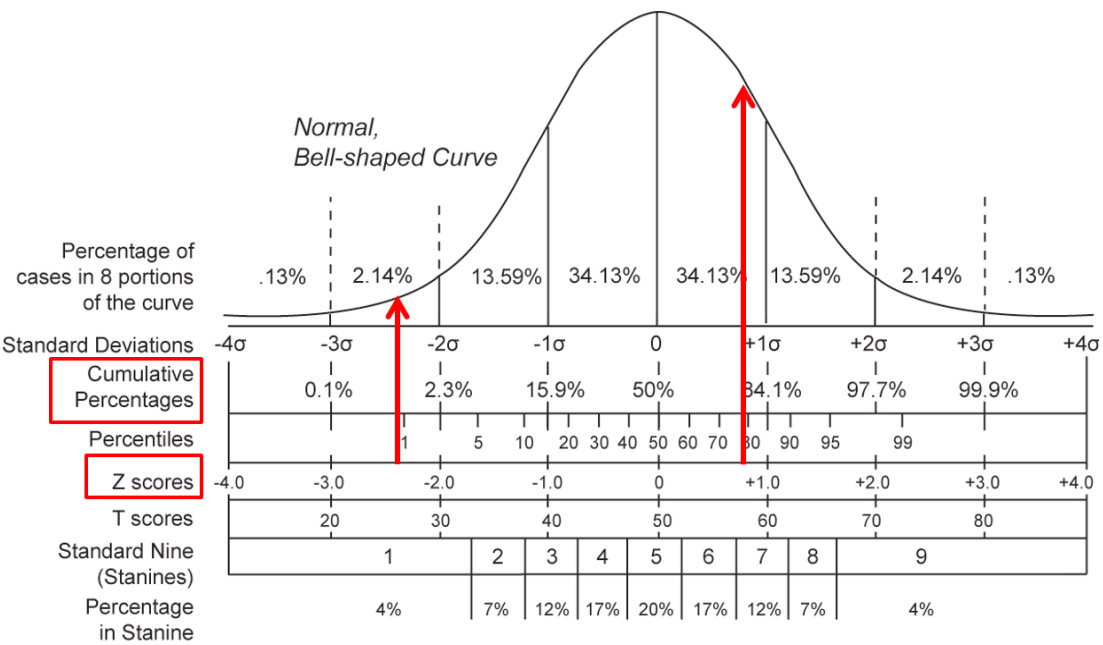


圖 16　Z-score 分析法（來源：維基百科）

Q13　災害風險圖計算空間單元為何？

在災害風險圖計算的過程中，各項指標 (危害度、脆弱度及暴露度) 的原始資料空間單元不同，包含不同網格大小的資料、坡面資料、集水區、行政區資料等，為能整合併統一呈現各項指標等級，在研究中是將各項資料轉換成鄉鎮比率呈現等級，且全台災害風險圖主要是提供高位階的規劃者，方便進全台的相關行政管理與調適策略決策參考，且考量可蒐集分析的資料的空間單元特性，故在風險圖展示是以鄉鎮單元為尺度 (表 6)。

在危害度方面，資料原為 5 公里 ×5 公里之網格點氣候資料，將資料轉換分析為各鄉鎮市區的平均降雨機率做為危害度指標。

在淹水脆弱度方面，資料採用淹水模擬圖，網格大小為 40 公尺 ×40 公尺，將潛勢範圍資料去計算各鄉鎮之淹水災害評分，做為脆弱度指標。而平地分析之鄉鎮篩選自淹水模擬圖模擬範圍，挑選 269 個鄉鎮市區。

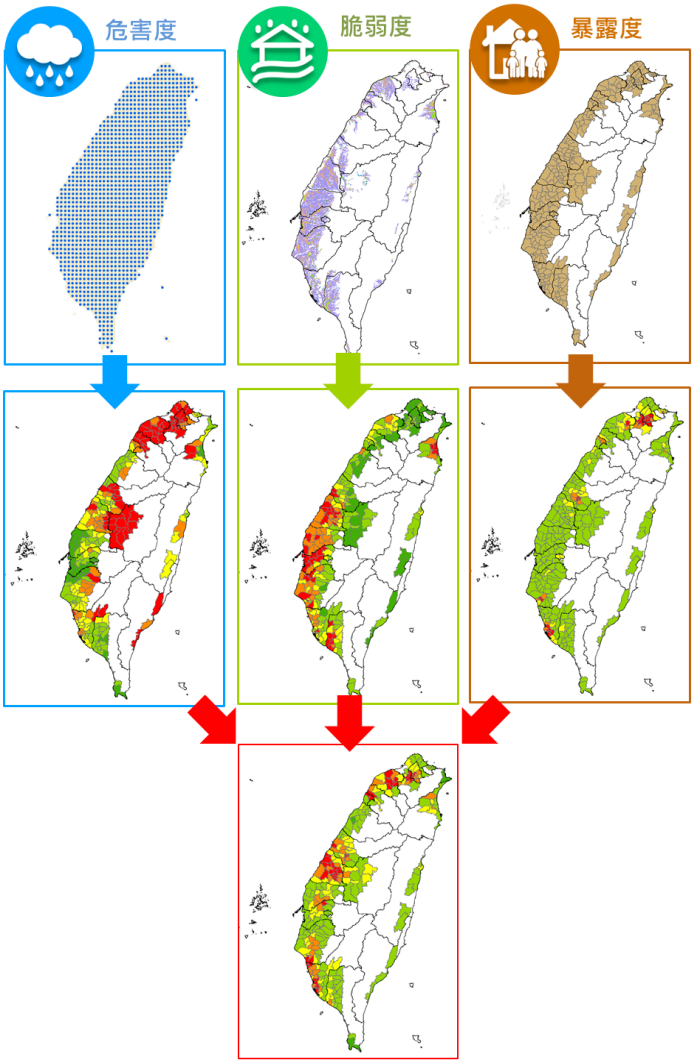
在坡地脆弱度方面，以地質災害潛勢為例，資料原為調查的潛勢範圍，計算其佔鄉鎮面積的比例，做為脆弱度指標的分析，而坡地分析之鄉鎮篩選自水保局公告的山坡地範圍界址圖定義，挑選 178 個鄉鎮市區。

在暴露度方面，將各鄉鎮人口數佔鄉鎮總面積之比例計算人口密度，分析暴露度指標。最終所有指標都以鄉鎮市區為空間分析單元輸出，進而分析淹水及坡地災害風險圖。

以縣市災害風險圖為例，將全台各指標危害度、脆弱度及暴露度原始資料，如降雨機率、各災害潛勢圖、人口密度等都切分為各個縣市的範圍，再由各縣市內所有鄉鎮去做各指標分析及展示，最後再將三項指標進而分析災害風險，其產製的圖集也是以鄉鎮市區為空間分析單元。

目前為淹水災害風險圖網格化的資料包含危害度及脆弱度，未來在暴露度計算，將進一步評估採用內政部人口統計區間的資料，將人口網格化資料納入分析，坡度災害風險圖則需進一步評估其脆弱度指標網格化的可行性。

表 6　全國版與地方版空間單元表

	災害風險圖空間單元	
危害度	網格資料 (點圖層，解析度：5 公里 ×5 公里)	
脆弱度	淹水	網格資料 (解析度：40 公尺 ×40 公尺)
	坡地	影像判釋及調查範圍 (面圖層)
暴露度	鄉鎮市區	
風險	鄉鎮市區	
圖資呈現		

Q14　風險等級如何分級與展示？

風險等級區分是以危害度指標兩個推估時期數值的最大至最小範圍的樣本數，進行等級劃分，以利凸顯出各時期風險圖的差異，依據Z-score分析法 (指標計算可參考 P26，Q12)，計算累積常態分佈曲線值，其值介於 0~1 之間，如圖 17 所示，再將數值等分間距劃分為 5 個等級，繪製災害風險圖，級距為 0.2，分別為 0~0.2 為等級 1，0.2~0.4 為等級 2，0.4~0.6 為等級 3，0.6~0.8 為等級 4，0.8~1.0 為等級 5，其中等級 5 表示風險最高，等級 1 則表示風險最低。

風險圖展示為能比較不同氣候變遷衝擊下於不同推估時期之影響，統一以兩個推估時期展現風險圖，分別於基期與未來推估下，並依據不同災害特性影響鄉鎮範圍展現風險圖。

如圖 18 所示，風險圖主要展示分析的鄉鎮市區，以淹水風險圖為例，依據淹水模擬圍分析範圍，涵蓋的鄉鎮市區共有 269 個，故其餘的鄉鎮便是為納入分析的鄉鎮在此白底色階呈現。坡地風險圖則是依據水保局公告的山坡地範圍界址圖定義山坡地鄉鎮，分析共 178 個鄉鎮，其餘非山坡地鄉鎮亦是未分析的鄉鎮，以此白底色階呈現。淹水及坡地災害風險值比較上則是分別依據各鄉鎮數在兩個推估時期下進行分析，再將結果分為五個等級，而有關風險圖的色階展示可參閱 P 14，Q6 說明。



指標分級	1	2	3	4	5
Z-score 數值範圍	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0

圖 17　災害風險圖分析之級距

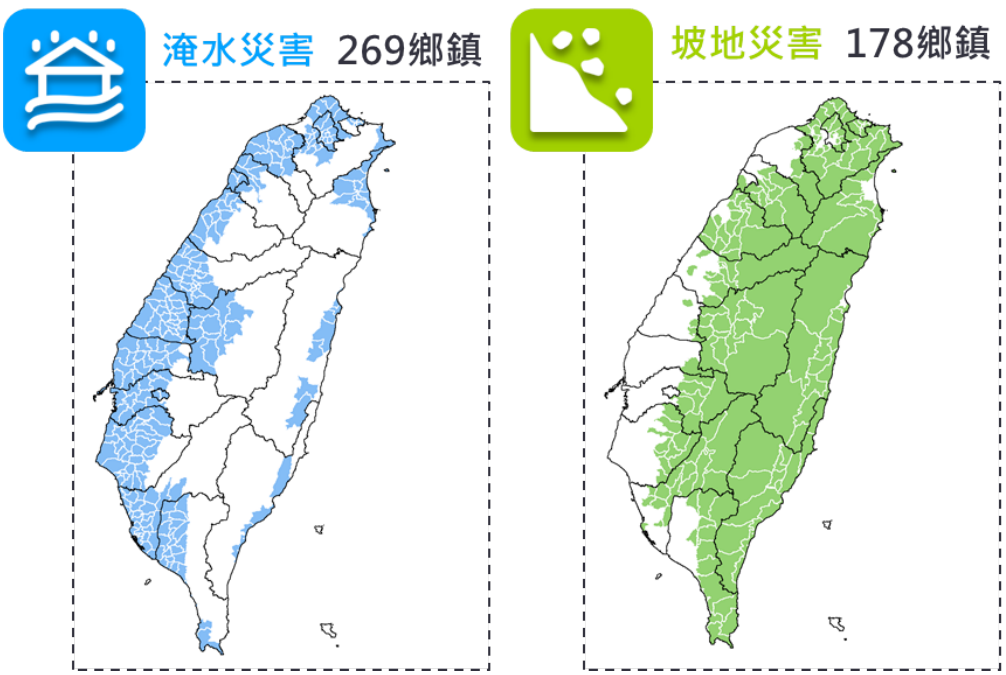


圖 18　淹水及坡地災害風險圖分析鄉鎮之範圍

Q15　指標間的權重如何設定？

災防科技中心之氣候變遷下災害風險圖（2016 年版），是參考 IPCC SREX(2012) 之災害風險定義，將風險圖定義為危害度、脆弱度及暴露度三類指標組成，在指標權重設定方面，由於考量危害度表示氣候變遷的情境特性，脆弱度表示環境可能遭受災害衝擊的脆弱程度，暴露度則是可能影響的人口，為能呈現三項指標等同重要性，在研究中此三項指標是以『等權重』的方式，如下式所示，將指標相乘積後分析風險值，再以五個等級呈現災害風險。

未來不同領域應用，可進一步考量以不同權重的方式，重新評估災害風險，權重分析可利用層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)，評估各項指標的相對權重，風險等級將會依據權重更新而有所不同。

$$\underset{\text{風險}}{\text{Risk}} = 1\underset{\text{危害度}}{\text{Hazard}} \times 1\underset{\text{脆弱度}}{\text{Vulnerability}} \times 1\underset{\text{暴露度}}{\text{Exposure}}$$

四

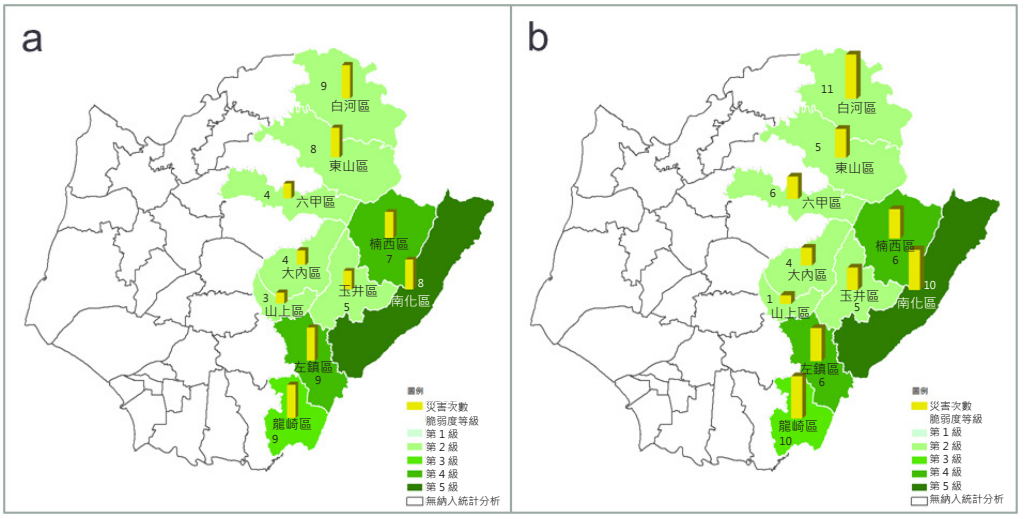
災害風險圖很準確嗎?

Q16　災害風險圖是否具有可信度？
Q17　災害風險圖的不確定性？
Q18　圖資是否會持續更新？

Q16　災害風險圖是否具有可信度？

本研究的災害風險圖主要以人可能受災的衝擊所製作之風險等級，災害主要對有人居住的地方的衝擊與損失。為增加風險圖的可信度，以淹水災害風險圖為例，針對分析過程中脆弱度指標評估與現況淹水受災次數的差異進行評估，以及基期風險圖與歷史颱洪事件造成的損失進行比對，對於未來的推估的災害風險圖，則無法評估。

淹水災害脆弱度合理性評估，是利用歷年颱風 / 豪雨發生的災害事件，統計各鄉鎮市區發生災害事件次數，並與災害脆弱度圖套疊分析，藉由歷史受災次數評估是否與該區域的脆弱度的等級相呼應。以台南市為例，依據 2001~2014 年的歷史淹水災害調查之統計資料 (圖 19b 及表 7)，分析高脆弱度的鄉鎮是否為高災害次數，假使與其他鄉鎮比較顯示未有高災害次數，則分析近 8 年的災害次數是否比前幾年的災害次數增加 (圖 19a 及表 7)，如左鎮及楠西區總災害次數雖非最多，但在近 8 年的災害次數增加，這些鄉鎮也為高脆弱度區，藉此用此方式來評估災害脆弱度圖的合理性。



統計時間：2008~2014 年　　統計時間：2001~2014 年

圖 19　台南市災害脆弱度與災害次數圖

表 7　台南市災害次數統計表

鄉鎮市區	脆弱度指標(等級)	災害次數(2001~2007)①	災害次數(2008~2014)②	災害次數(2001~2014)①+②
台南市南化區	5	10	8	18
台南市左鎮區	4	6	9	15
台南市楠西區	4	6	7	13
台南市龍崎區	3	10	9	19
台南市白河區	2	11	9	20
台南市東山區	2	5	8	13
台南市六甲區	2	6	4	10
台南市玉井區	2	5	5	10
台南市大內區	2	4	4	8
台南市山上區	2	1	3	4

在淹水災害風險圖合理性評估，則是根據颱風 / 豪雨事件發生的淹水範圍，並以災防科技中心的「臺灣颱洪災損評估系統」(TLAS) 分析可能的損失，如圖 20 所示評估流程，以莫拉克颱風為例，將調查之淹水範圍輸入 TLAS 模組分析，設定其淹水深度及分析之鄉鎮，將會計算各鄉鎮在此颱風 / 豪雨事件下之經濟損失金額及影響戶數，藉由此災損計算結果來評估基期下之淹水災害風險圖的合理性。



圖 20　災害風險圖之驗證

Q17　災害風險圖的不確定性？

對於災害風險圖之不確定可能的來源，大致分為模式方面與資料方面，在模式方面，其分析之使用模式、設定參數的條件等，因研究中風險分析的危害度氣象資料是採用單一模式來分析，而淹水脆弱度採用的淹水模擬也是單一模式來分析，單一模式的結果相對而言參考性會受限，未來將增加更多模式評估結果，以降低此指標的不確定性。在資料方面，其調查方法、分析調查資料之方法、資料引用的年份、資料的解析度等，都是可能造成不確定的原因。為了降低不確定性，分析模式可藉由模式驗證、參數率定解決，資料可藉由最新調查技術或最新引用的年份資料解決。由於風險圖有著不確定性，可從指標因子方面探討風險變化的可能性 (表 8)：

表 8　災害風險圖不確定之來源

	不確定性因素
氣象指標	危害度所使用的情境資料為推估氣候，是以假設不同模擬情境下，去推估未來百年氣候的情況，與一般的天氣預報不同，且不確定性也較高。另外，隨著氣候模式與情境設定的更新，不同的推估情境，評估未來降雨情形之結果亦會有所不同，如 IPCC AR4(A1B) 及 IPCC AR5(RCP8.5) 假設情境不同，其推估結果也有所變化。
淹水指標	淹水模式可能因 DTM 資料的更新，或者模式設定條件的增加或改變，如增加考慮雨水下水道、防洪設施或暴潮等，其淹水模擬範圍可能有所變化。
坡地指標	坡地潛勢資料中可能的不確定性： 1. 歷史崩塌指標：每年颱風豪雨來襲，可能擴大、改變崩塌範圍及位置。 2. 地質災害潛勢：在落石、岩屑崩滑及岩體滑動也可能因豪雨或地震因素而範圍有所變化。
暴露度	在世紀末下的災害風險圖考慮的暴露度，是以現況的人口密度來分析，但未來可能因土地利用或環境變遷之因素，造成人口遷移而改變人口結構，然而近期研究以模式推估大致上僅能推估未來 20~30 年人口變化的情形。

另外，災害風險圖在不同推估時期下，高風險區位會呈現變化，以雲林縣為例 (圖 21)，麥寮、崙背、二崙鄉在基期下呈現高風險，但在未來推估時，卻呈現低風險。主要是因為這些鄉鎮在未來推估下的降雨機率降低，造成危害度下降使得風險等級下降。因此危害度在不同推估時期下的變化，可能也會造成風險圖變化的不確定性。

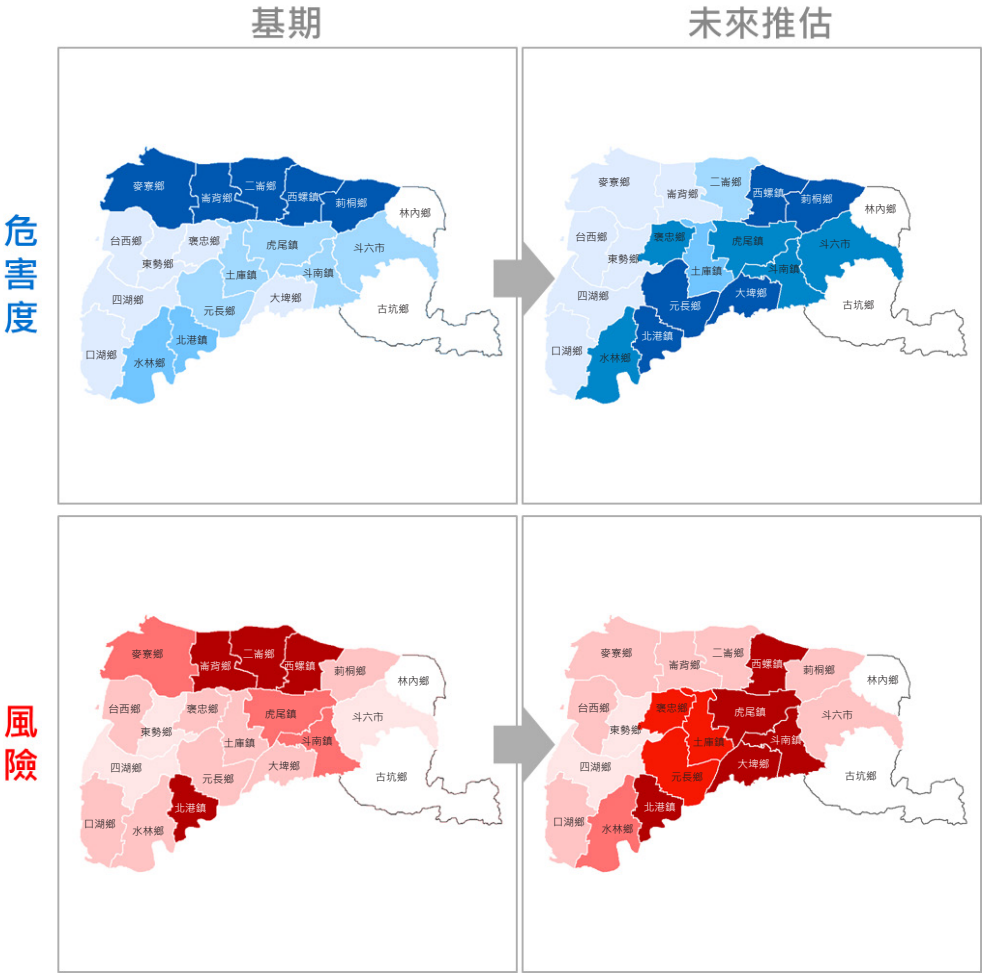


圖 21　雲林縣災害危害度圖及風險圖

Q18　圖資是否會持續更新？

圖資製作主要是根據目前現有可用的資料進行分析，未來將會參考 IPCC 定期公布更新氣候變遷評估報告、脆弱度指標相關圖資最新的模擬結果、範圍調查及人口資料的變動，會持續的更新資料，以下分別就各指標說明：

- **危害度**：目前使用 AR5(RCP8.5) 的氣候情境資料，由於 IPCC 定期更新氣候變遷評估報告，做為推估未來氣候情境下氣候值的參考。待更新資料後，並與其他脆弱度及暴露度等指標，重新分析風險圖，以瞭解未來可能遭受的氣候變遷衝擊。
- **脆弱度**：目前淹水指標採用 2015 年災防科技中心製作的淹水模擬圖分析，未來水利署完成第三代淹水模擬圖，則採用水利署公告的淹水模擬圖做為淹水指標分析。坡地災害脆弱分析方面，未來林務局如更新影像判釋的崩塌範圍，及地調所調查之地質災害潛勢範圍 (岩屑崩滑、岩體滑動、落石、順向坡) 等，則會持續更新，以呈現現況的脆弱度指標。
- **暴露度**：目前使用的人口資料為 2015 年鄉鎮人口數，來分析人口密度做為暴露度指標。未來風險分析將可進一步評估採用內政部人口統計區間資料，將暴露度結果以網格化做為呈現。

五

災害風險圖與其他圖資有何不同?

Q19　氣候變遷風險圖與災害潛勢圖之差異？

Q20　不同單位製作的淹水災害風險圖差異？

Q19　氣候變遷災害風險圖與災害潛勢圖之差異？

氣候變遷災害風險圖與災害潛勢圖主要的差異性在於時間尺度、考慮因子及空間單元等因素，「氣候變遷災害風險圖」考量的是未來推估降雨情境，以不同推估時期下，基期 (1979~2003 年) 及未來推估 (2075~2099 年) 的時間尺度分析氣象資料，並考慮脆弱度及暴露度，三個指標分析而成的風險結果，將相關指標計算成鄉鎮平均特性，呈現各區的風險程度。而「災害潛勢地圖」係指根據現況評估可能發生災害之地區，或災害可能衝擊影響的範圍，如土石流災害潛勢、淹水災害潛勢等 (災防科技中心 , 2015)，劃定範圍說明較脆弱之區域。其災害風險圖及災害潛勢圖之差異比較，如表 9 所示。

表 9　災害風險圖與災害潛勢圖之比較表

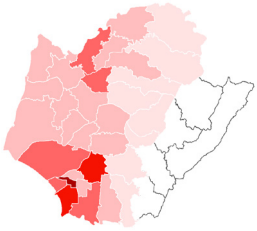
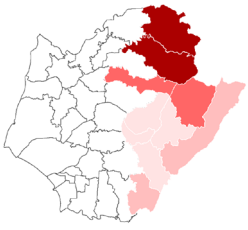
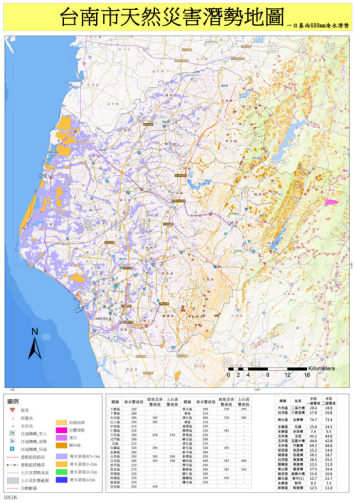
	災害風險圖	災害潛勢圖
呈現方式	淹水災害風險圖  坡地災害風險圖 	
說明	將相關指標計算成鄉鎮平均特性，呈現各區的風險等級	標示各項政府公告相關防減災資訊於圖資上，如雨量站、警戒值等
版本	全國版、地方版	地方版
時間尺度	氣候變遷情境下，推估時期為基期及未來推估	現況
鄉鎮數	淹水 269 個鄉鎮 坡地 178 個鄉鎮	全台鄉鎮市區
空間單元	行政區 - 鄉鎮市區	依據部會提供的淹水範圍 (網格 40m x 40m) 與地質災害區

表 9　災害風險圖與災害潛勢圖之比較表 (續)

	災害風險圖		災害潛勢圖	
指標因子	淹水	淹水指標 (由淹水模擬圖分析)	淹水	淹水模擬圖
	坡地	歷史崩塌指標 坡度指標 地質災害潛勢	坡地	土石流潛勢溪流 土石流影響範圍 地質災害潛勢 (岩屑崩滑、岩體滑動、落石、順向坡)
定量雨量	淹水	24 小時延時定量降雨 600 毫米	淹水	24 小時延時定量降雨 300、350、450、600 毫米
	坡地	24 小時延時定量降雨 350 毫米	坡地	24 小時延時定量降雨 300、350、450、600 毫米
分析方式	風險由危害度、脆弱度及暴露度 3 個指標所組成，以 Z-score 法將 3 個指標標準化，等權重相乘，再進行風險等級分級。		淹水	淹水模式 (二維淹水模式、雨水下水道模式) 分析淹水模擬範圍及深度。
			坡地	1. 土石流潛勢溪流：主要依據溪床坡度及有效集水區面積 2 項指標研判。 2. 土石流影響範圍：範圍劃設作業分為 3 個階段，首先於室內進行影響範圍之初步劃設，以此為依據於進行現地調查時依現地地形地貌加以修正，再於室內作業進行編修。
用途目的	提供政府部門調適策略規劃參考		政府部門進行災害整備與減災規劃及相關學術研究使用、颱洪應變使用	
公告敏感性	高 (未公告)		低 (已公告)	
不確定性	高 (推估氣候情境不確定高)		低 (在特定情境下的災害潛勢)	
資料來源	MRI-AGCM 災防科技中心 林務局 地調所 內政部		災防科技中心 水土保持局 水利署 地調所	

Q20　不同單位製作的淹水災害風險圖差異？

災害風險圖在多個部會署與研究單位都有所著墨，因使用的目的、需求、空間尺度、時間尺度、評估方法或選擇指標不同，故產製的災害風險圖亦有所差異。不同單位製作的圖資無對錯之分，但仍有些許差異。以水利署計劃成果製作的氣候變遷淹水風險圖、現況水災生命風險圖及水災財產風險圖與災防科技中心產製的淹水風險圖比較，如表 10 所示。

表 10　水利署與災防科技中心淹水災害風險圖之比較表

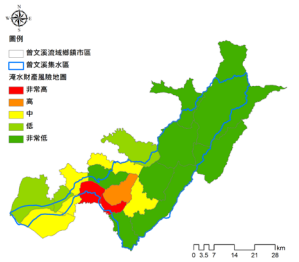
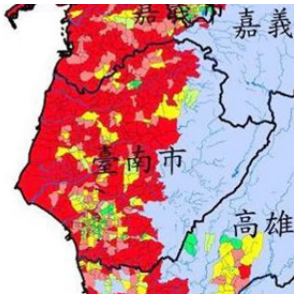
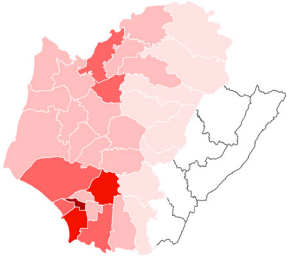
單位	水利署（計畫成果）		災防科技中心
呈現方式			
產製圖資	淹水風險圖	水災生命風險圖 水災財產風險圖	淹水災害風險圖
用途目的	評估氣候變遷下流域淹水風險，以研擬淹水災害處理對策及其行動調適策略方案建議	主要應用於防災整備與應變為主	氣候變遷下高風險區位的劃設，提供政府部門調適策略規劃參考
空間尺度	流域內的鄉鎮	各縣市之村里	行政區 - 鄉鎮市區
分析範圍	曾文溪、高屏溪、淡水河、濁水溪（四大流域）	全台各縣市	全國版、地方版各縣市
推估時期	現況重現期 100 年降雨情境、氣候變遷 A1B 雨量情境	現況重現期 100 年降雨情境	氣候變遷 RCP8.5 情境下的雨量資料，推估時期為基期、未來推估
風險定義	風險 = 危險度 × 脆弱度	風險 = 危險度 × 脆弱度	風險 = 危險度 × 脆弱度 × 暴露度

表 10　水利署與災防科技中心淹水災害風險圖之比較表 (續)

單位	水利署 (計畫成果)		災防科技中心
指標因子	• 危險度：水位上升率、淹水深度、淹水時間、水流流速 • 脆弱度：總人口數、脆弱人口數、救難設施、建物型態、河海距離、土地利用、平均所得、復原與適應能力、地下設施、防淹設施、可支配所得、縣市財政	1. 生命風險圖 • 危險度：水流流速、水位上升率、淹水深度 • 脆弱度：居民特性 (總人口數、脆弱人口)、居住環境 (救攤設施、建物型態、河海區排距離) 2. 財產風險圖 • 危險度：水位上升率、淹水深度、淹水時間 • 脆弱度：土地用途、平均所得、建物狀況 (地下設施、防淹設備)、復原與適應能力 (可支配所得、縣市財政)	• 危害度：降雨門檻值下的發生機率 • 脆弱度 : 淹水模擬圖 (淹水深度、淹水範圍) • 暴露度：人口密度比例
分析流程	• 風險評估 • 資料蒐集 • 危險度與脆弱度因子選定 • 指標計算、指標分級 • AHP 權重訂定 • 危險度與脆弱度等級計算 • 危險度與脆弱度地圖製作 • 風險等級計算 • 風險地圖製作	• 資料蒐集 • 水文情境分析、淹水潛勢模擬 • 脆弱度因子分類 • 危險度因子分級、脆弱度因子分級 • 權重訂定 • 危險度等級計算、脆弱度等級計算 • 水災風險等級計算 • 水災危險度、脆弱度及風險圖繪製	• 指標評估方式確認 (風險的定義) • 風險指標選擇 (依據各指標資料特性) • 指標計算 (指標等權重相乘) • 風險圖等級區分 • 風險圖展示
備註	計畫名稱 : 淡水河、濁水溪、曾文溪、高屏溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫	計畫名稱：台灣脆弱度及風險地圖製作與整合應用	計畫名稱：氣候變遷情境下災害風險圖

六

災害風險圖的應用與限制?

Q21 災害風險圖如何加值應用於區域規劃？
Q22 災害風險圖如何加值應用於農業領域？
Q23 危害 - 脆弱度圖之應用？
Q24 災害風險圖的空間解析度限制？
Q25 災害風險圖是否考慮複合型災害？
Q26 災害風險圖是否考慮環境變遷？
Q27 淹水災害風險圖是否考量外水或海岸溢淹衝擊
Q28 坡地災害風險圖是否考慮山區道路開發之影響？
Q29 指標相乘會使風險值降低？

Q21　災害風險圖如何加值應用於區域規劃？

完成之災害風險圖也可應用於防災領域或區域規劃方面，將風險圖與各縣市的區域計畫或發展策略圖資進行套疊分析，以淹水災害風險圖為例 (圖 22a)，在未來推估下，高風險區域位於市中心、人口集中、核心發展的地方，可能無法減少開發，但可利用工程手段或非工程手段，以防洪措施或是調適策略的改善，以降低或避免居民受災害的影響。而在坡地災害風險方面 (圖 22b)，以了解高風險區的區域發展規劃，並思考是否於山區高風險區域減少開發，或往低風險區域增加開發之政策，風險圖提供決策者調整或研擬其調適策略方案做為參考。

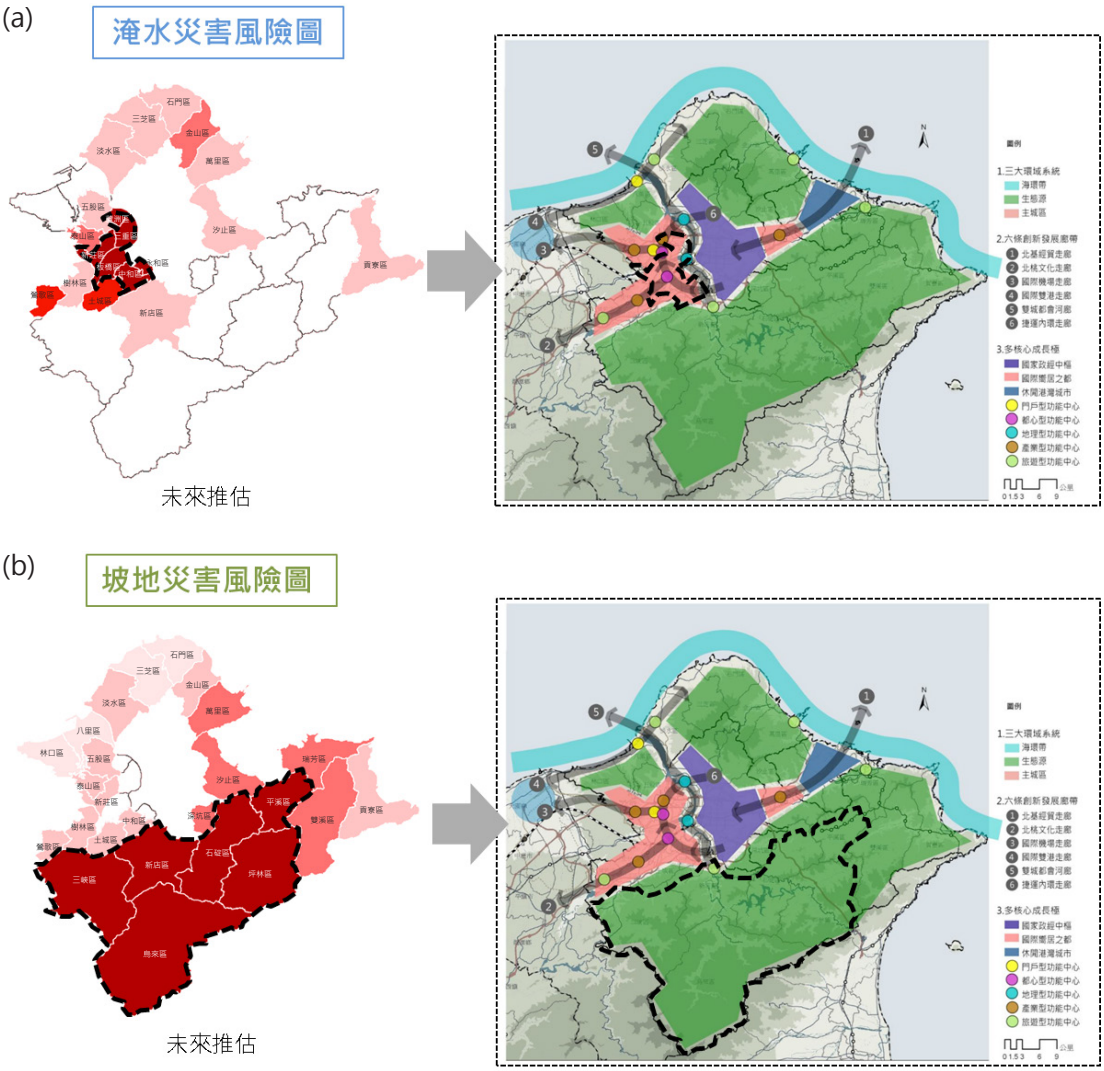


圖 22　(a) 淹水 及 (b) 坡地災害風險圖應用於縣市區域計劃

Q22　災害風險圖如何加值應用於農業領域？

依災害風險圖的分析架構下，未來可將風險圖加值套疊做為其他應用分析，以暴露度為例，其受影響的對象可因不同研究而定義（圖 23），如在淹水災害風險方面，可應用於高齡化人口分析，可分析高齡化人口下之淹水災害風險高的區位。另外，也可應用於農作物如糧食作物、蔬果及花卉等作物，可分析農作物範圍比例較高的鄉鎮是否位於淹水高風險區位；在坡地災害風險方面，除了可將高齡化人口分析之外，亦可應用於山坡地生態之動植物、農作方面做為分析，如茶樹、高山蔬果等高山經濟作物，藉由風險圖可分析各災害衝擊下，其風險區位較高的地區。因進行不同影響對象於災害風險的分析研究，以利決策者可應用於其他領域的衝擊評估。

以淹水災害風險圖應用於農作物水稻一期作為例（圖 24），由於一期作水稻收成為汛期間，而水稻在抽穗開花期後怕雨害，會影響授粉並造成產量減少。而黃熟期後遇雨害會發生稻穗倒伏，如無法及時搶收，則穗上會發芽毀壞，因此水稻於耕種時期可能會面臨到汛期間所發生的災害衝擊。其中，暴露度是採用水稻分佈來分析，更新氣候變遷風險圖，以適用於評估氣候變遷衝擊可能對作物衝擊。

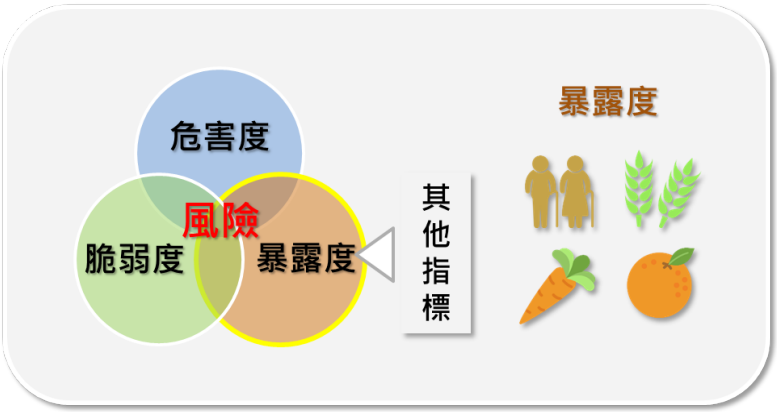


圖 23　災害風險圖之應用

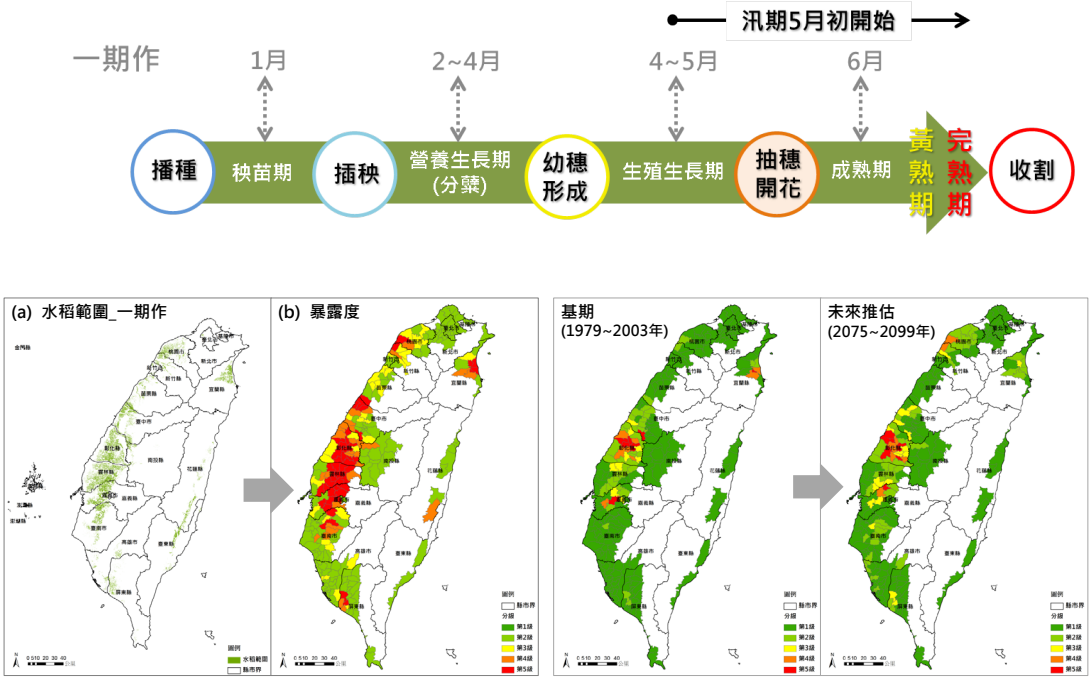


圖 24　災害風險圖之加值應用

Q23　危害 - 脆弱度圖之應用？

將危害度與脆弱度指標等級相乘後，產製危害 - 脆弱度圖，如下圖 25 的基期與未來推估下的全台淹水危害 - 脆弱度圖，當使用者採用不同暴露度指標時，可進一步應用於其他領域，如將暴露度指標更換成高齡化人口分布。由於高齡者可能因體力、行動不變等因素，在緊急避難時，需人協助，為災害衝擊的高風險對象，其暴露度等級與人口密度不同故需更換，右圖 26 便是全台淹水模擬鄉鎮下高齡化人口比例之分布，比例愈高者表示暴露量等級愈高。將圖 25 淹水危害 - 脆弱度圖與圖 26 高齡人口暴露度圖，進行風險等級分析，如右圖 27 所示，由圖可了解哪些地區在淹水災害風險區域下，屬於高齡化人口比例高的區域。

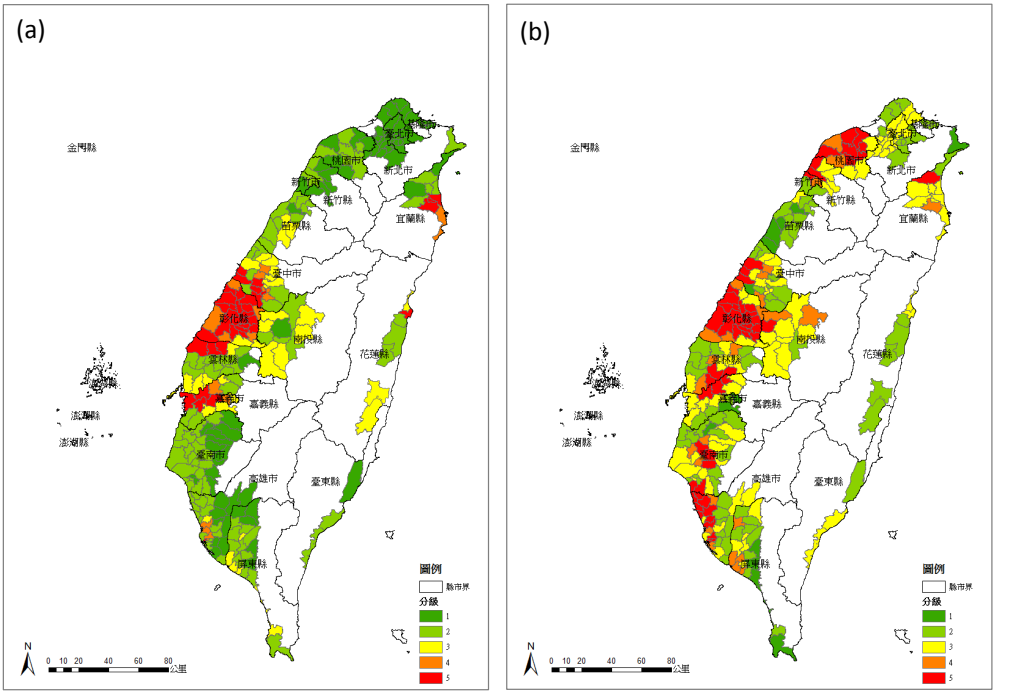


圖 25　(a) 基期下 (b) 未來推估下危害 - 脆弱度圖

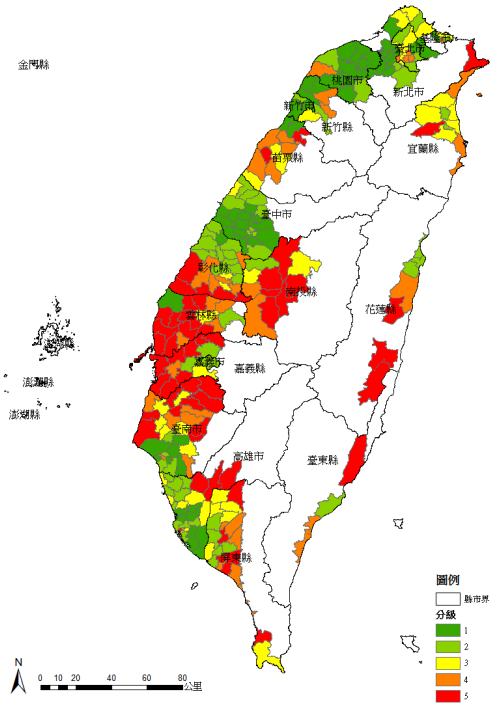


圖 26　暴露度圖 (高齡化人口比例)

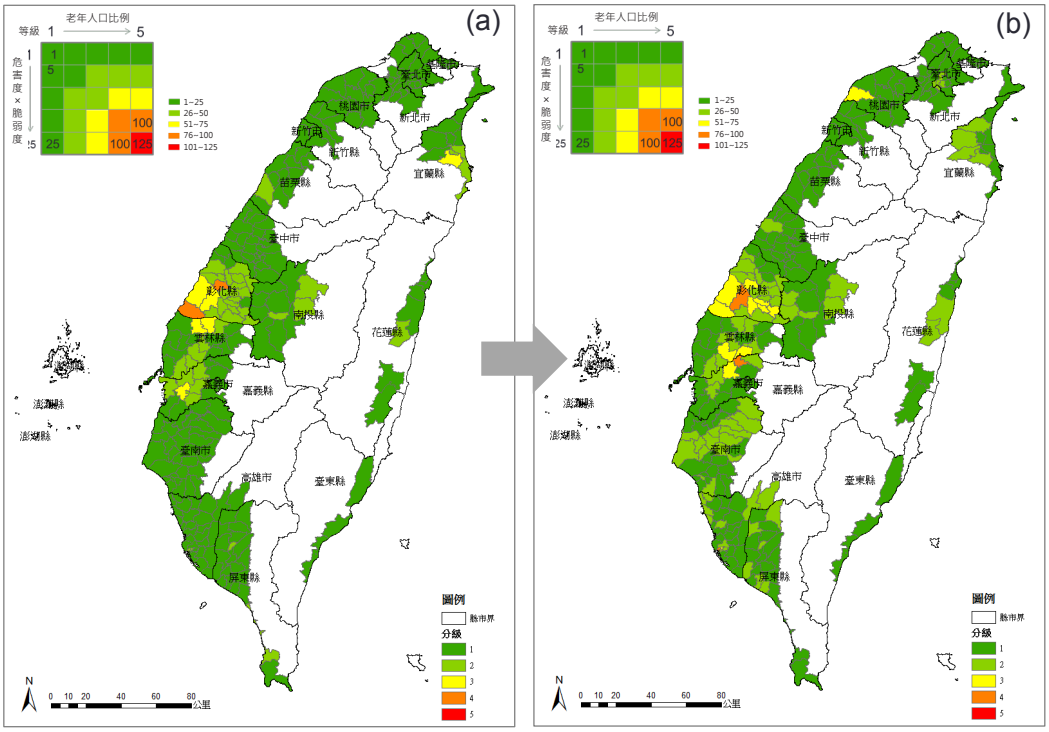


圖 27　(a) 基期下 (b) 未來推估下淹水災害風險圖 (暴露度為高齡化人口比例)

Q24　災害風險圖的空間解析度限制？

在分析災害風險圖中，雖然危害度、脆弱度及暴露度的原始資料空間單元不同，包含點位圖層、網格、鄉鎮單元等，為了方便上位階的行政單位利於管理與採取相關調適措施，故此研究的空間單元是以鄉鎮市區尺度呈現，並非細化至村里、集水區或坡面單元。因此各項圖資都是轉換成鄉鎮單元再間進行指標分析。但部分鄉鎮區域幅員較廣大，因此在風險推估上會有行政區域均質化的問題存在，與鄰近鄉鎮也會有空間不連續的問題，如圖 28 所示，永康區與新化區的交界線，永康區風險等級是 5，而新化區的等級則是 2 的空間不連續差異。未來空間尺度的分析單元，可評估將鄉鎮單元改以較細緻化的網格單元，較可改善空間均質與明顯不連續的情形。

但考量空間解析度不一定越細資料就較佳，如在危害度的部分，資料為 5 公里 ×5 公里之網格點氣候資料，將各鄉鎮市區分析平均降雨機率做為危害度指標，不降至更小空間解析度其因為，如強行降尺度至更小的空間解析度 (如 1 公里 ×1 公里)，但因該地區基礎資料不足或該地區氣候系統模式之參數關係未知，雖能進行資料產出，但所得之數據可能可信度低。因此選擇資料最適合尺度，較可得最佳化的資料品質。因此在進行研究時，得先了解推估資料的特性與技術限制。

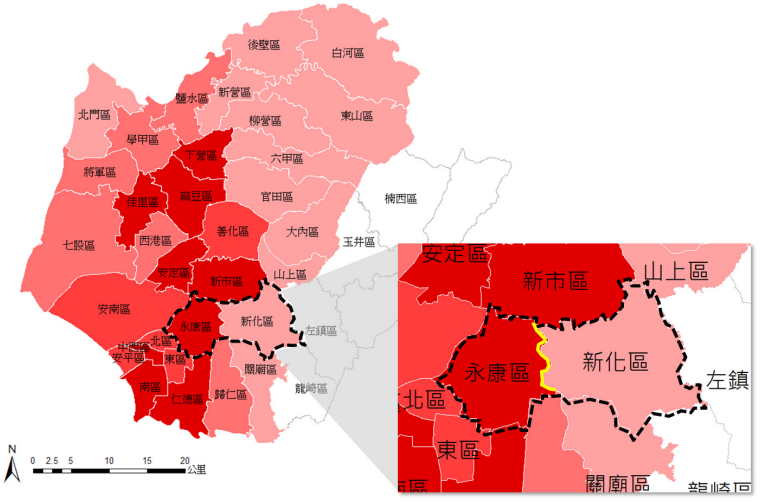


圖 28　災害風險圖鄉鎮間會有空間不連續的情形

另外，圖資還可能遇到另一個問題為網格資料均值化，以淹水模擬圖為例 (圖 29)，圖層為網格化資料，所展示的網格代表淹水模擬範圍，色階表示淹水深度，色階越深色表示淹水深度較深，網格資料所表示可能淹水災害發生的範圍，但在分析脆弱圖是以鄉鎮為空間展示單元，會將網格資料均值化，以安南區為例，非所有安南區都可能會發生淹水，但在分析脆弱度圖，則會均值化，反而顯現出安南區為高脆弱度區。閱讀者的角度解讀不能以安南區全都會發生淹水災情來解讀，而是應以此鄉鎮位高脆弱度的可能，但並非所有安南區每個地方會發生淹水。

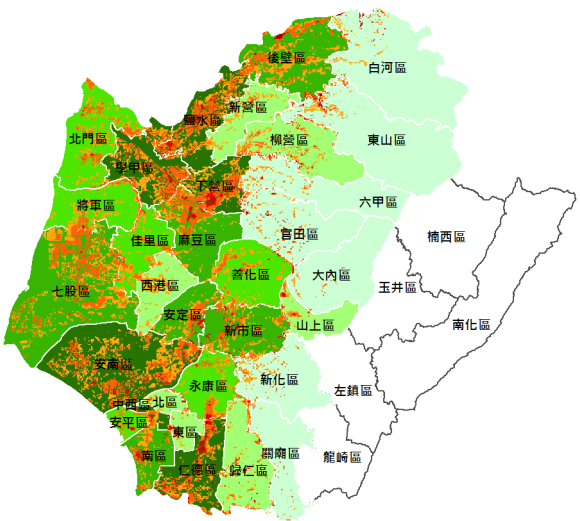


圖 29　台南市淹水模擬與淹水脆弱度套疊圖

Q25　災害風險圖是否考慮複合型災害？

本研究製作的淹水及坡地災害風險圖，目前僅考慮各別單一的災害事件，尚未納入複合型災害的影響。以淹水災害風險圖為例，脆弱度指標為淹水模擬，只考量內水淹水問題，未來可配合水利署等相關部會更新淹水模擬圖，分析內外水進行更新但由於淹水模擬模擬中並無包含潮差或海岸坡度等影響而造成淹水的可能。或者淹水脆弱度各指標中，也無考量到平均潮差及海岸坡度這兩項計算，因此無考量到海岸災害風險。

以坡地災害風險圖為例，上游土砂沖刷至水庫淤積或河道沖刷，所造成的土砂災害進而影響水資源供給的問題，在本研究沒有納入考慮。但由於台灣遭遇災害的複雜性及複合型機率很大，未來仍可考慮兩種災害以上特性的研究。

Q26　災害風險圖是否考慮環境變遷？

土地變遷、人口遷徙或道路密度等，主要是人為開發擾動的影響因子，然而在此災害風險圖中，目前並無考慮到這些人為因素，主要著重於氣候變遷因素造成的氣候變化對災害的衝擊。此災害風險圖中的在暴露度指標，僅考慮人口密度因子，尚未考量到因土地使用的變遷、開發或限制造成人口遷徙變化等環境變遷，影響未來人口結構的改變。

未來可以納入環境變遷與土地利用變遷等，以探討氣候與環境變遷對風險圖變化差異，並可分析因執行相關的調適策略或政府政策，而土地使用的變遷與模擬人口變動情形，進而分析未來氣候情境下之暴露度圖。

在 P50，Q23 中以淹水災害危害 - 脆弱度圖應用於高齡化分析為例，目前的暴露度是套疊現況老年人口比例圖，然而在基期的部分可能較接近現況的高齡化人口下之淹水災害風險圖，但對於未來推估則需仰賴未來的土地變遷及環境變遷模擬，推估未來人口變化的情形，較能反映未來的暴露度特性。

Q27　淹水災害風險圖是否考量外水或海岸溢淹衝擊？

在淹水災害風險圖中，其中的脆弱度指標僅考慮淹水指標，是由淹水模擬圖來分析，而淹水模擬圖其淹水模式的模擬條件僅考慮內水的問題，並無考慮堤防外洪氾至堤內的外水問題，因此淹水災害風險圖考慮的是堤內市區排水不及或地勢低窪情形下所面臨的淹水風險。

海岸溢淹的可能的衝擊，則是另外產製海岸災害風險圖，此部分相關研究成果與圖資，是採用 AR4 的 A1B 情境資料分析，成果展示可參閱科技部的災害管理資訊研發應用平台（http://dmip.tw/Lthree/index.aspx?L1=0&L2=2，建議用 Chrome 開啟網頁）與下列技術報告。

另外，此淹水災害風險圖並無將地層下陷指標納入脆弱度指標，考量採用的是近年的數值高程資料（Digital Terrian Model) 所模擬的淹水模擬範圍，故已經地層下陷的因素納入考量，若另增加地層下陷指標易造成增加彰雲地區的淹水權重，故在此未考量。相關地層下陷脆弱度指標與全台地層下陷指標圖，可參閱災防中心技術報告（國家災害防救科技中心，2011a, 2011c, 2012a, 2014)。

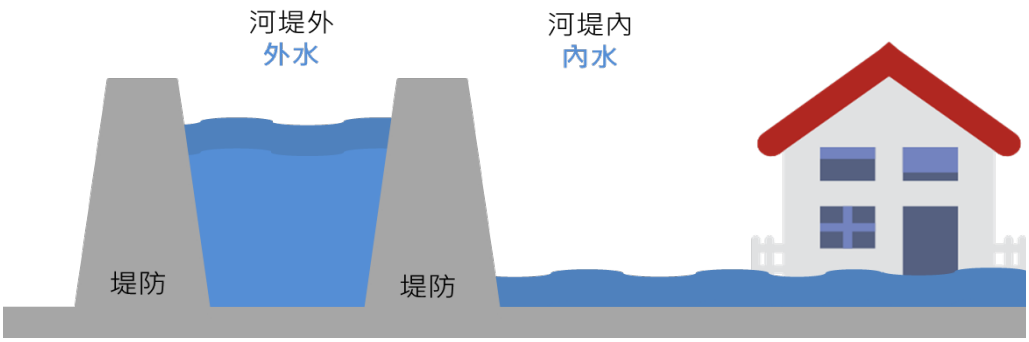
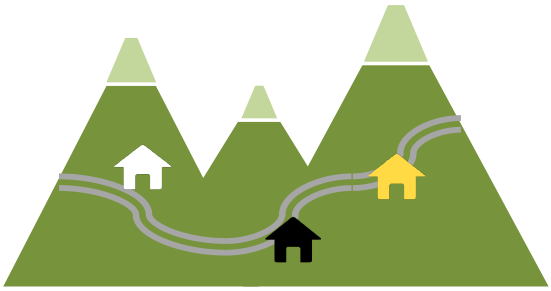


圖 30　河堤內水與外水示意圖

Q28　坡地災害風險圖是否考慮山區道路開發之影響？

由於山區道路開發屬於人為擾動，可藉由道路密度指標分析山區道路開發情形，衍生討論道路開發對山坡地造成的擾動性。道路密度越高則表示對山坡地開發擾動越多，也較易發生坡地災害。由於製作的災害風險圖主要探討氣候變遷下可能的天然災害造成自然環境之衝擊，此風險圖暫不納入該項指標。道路密度分析此指標較適合應用於探討現況坡地環境脆弱度特性，相關的分析應用於坡地災害脆弱度分析可參閱文獻 (張志新 , 2016、國家災害防救科技中心 , 2011b)。



Q29　指標相乘會使風險值降低？

以台南市於世紀末下的淹水災害風險圖為例，如表 11 所示，下營區分析結果風險等級為 5，另一安南區分析結果反而風險等級為 4，各指標相乘影響的關係（危害度、脆弱度、暴露度），分析出來風險等級反而較低，是因災害風險圖是以 Z-Score 分析法（參閱 P26，Q12），並等分間距分等級 (Z-score 值為 0~1，等分級距為 5 個等級)，其等權重相乘結果造成 Z-Score 的風險值很相近，但因等分間距分級的因素，風險值可能會落於不同等級。例：下營區與安南區的危害度等級都為 3，但因下營區 Z-score 的值接近級距的上限，而安南區的 Z-score 的值接近級距的下限，雖為同等級，但實際上下營區危害度及脆弱度 Z-score 值都比安南區大，而最後風險值會依 3 個指標等權重相乘後再以 Z-score 重新計算並將風險分等級，而造成安南區的風險等級會比下營區的風險等級低。

表 11　台南市災害風險等級表

鄉鎮			台南市下營區	台南市安南區
危害度	基期	Z-score	0.222	0.281
	未來推估		0.588	0.467
	基期	等級	2	2
	未來推估		3	3
脆弱度 (淹水指標)		Z-score	0.990	0.812
		等級	5	5
暴露度		Z-score	0.344	0.430
		等級	2	3
風險	基期	H×V×E	0.076	0.098
	未來推估	H×V×E	0.200	0.163
	基期	Z-score	0.431	0.532
	未來推估		0.892	0.793
	基期	等級	3	3
	未來推估		5	4