

應用多模式多空間尺度之氣候變遷淹水災害風險圖評估桃

園市韌性防災調適之研究

**Research on applying multi-model and multi-spatial scale flood
disaster risk maps of climate change to assess resilience and
disaster prevention adaptation in Taoyuan City**

李姿儀¹ Li,ZihYi

鐘志忠² Chih,Chung Chung

國立中央大學災害防治研究中心專案助理

國立中央大學土木系教授

摘要

本研究是考量氣候緊急威脅，規劃推動經由整合災害風險減輕(Disaster Risk Reduction, DRR)的管理風險增強回復力和氣候變遷調適(Climate Change Adaptation, CCA)的減少氣候改變負面衝擊的概念，參考第九屆行政院專諮詢會韌性城市操作流程，運用國家災害防救科技中心所產製之RCP8.5多模式多空間尺度氣候變遷淹水災害風險圖，分析桃園市現況及未來面對淹水災害風險的脆弱性議題，進而探討後續之防災調適策略作為，以因應現階段氣候緊急下的極端災害威脅。

關鍵詞：氣候變遷、淹水、災害風險、韌性

一、前言

2012年聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於一份特別報告中強調災害風險減輕(DRR)與氣候變遷調適(CCA)兩者間相互依賴的關係。IPCC (2014)將災害風險減輕(DRR)和氣候變遷調適(CCA)方法描述為「重疊」並提供「共同利益」。此外，國際發展組織聯盟在宣布「發展永遠不是災難中立」時，指出災害風險減輕(DRR)不可避免的跨領域和跨部門性質，發展可能創造、加劇或降低風險，將降低風險作為未來發展的核心組成部分是確保災害不會破壞發展本身的方法。因此無論是國家尺度、城市尺度乃至於社區長期的調適發展計畫，都需要同時考量災害風險減輕的觀點，使發展不至於引發災害風險增加 (Seidler et al., 2018)。

實際上災害風險減輕(DRR)與氣候變遷調適(CCA)各自獨立的發展著，引起發展協調性不佳或是無法統合的問題。故本研究依據國家發展委員會「國家氣候變遷調適行動計畫 (102-106 年)」及環保署「國家氣候變遷調適行動方案 (107-111 年)」，明定災害調適領域目標為降低氣候變遷所導致之災害風險，強化整體防救災調適能力，建構災害風險評估知識與精進災害風險管理機制為主要調適策略，其中氣候變遷災害風險地圖製作，為災害領域優先行動計畫。此外，國家發展委員會所研擬之國土空間發展策略中的天然防治策略提到，針對淹水、坡地崩塌、土壤液化、土石流、海嘯等天然災害，須從

防災及減災兩部分推動。在防災中，須積極整備防災據點等基礎設施，高潛勢地區應避免設置重大公共設施；而減災中，則可透過防救災資料庫，指認高災害潛勢、風險地區，作為規劃城鄉發展範圍的重要參考。

二、研究內容與執行方式

1、研究方法

據前言所述，為改善災害風險減輕(DRR)與氣候變遷調適(CCA)各自獨立、氣候變遷涉及的層面廣泛，需要透過跨部會的資料整合等問題。本研究參考第九屆行政院災害防救專家諮詢委員會「極端災害下之韌性城市」之建構韌性城市操作方法流程步驟，如圖 1 所示，調整為韌性防災調適流程，作為策略規劃工具，如圖 2 所示，並初步應用國家災害防救科技中心氣候變遷組所產製之第三代淹水災害風險圖，作為危害情境分析工具。嘗試與地方政府召開工作坊，協助透過四個步驟，包含：設定危害情境、建立韌性城市基本要素矩陣(如表 1)、討論災害脆弱性及擬定韌性建構策略，最後彙整地方政府之回饋意見，持續滾動式調整分析模式，建構完善之因應策略，工作坊執行概念如圖 3 所示。

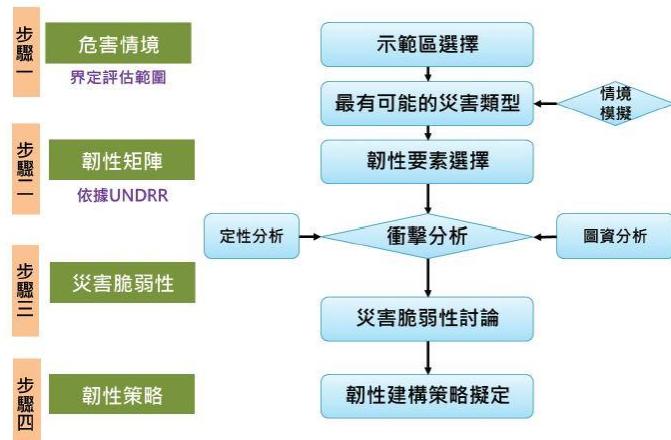


圖 1 韌性城市操作方法流程圖(行政院災害防救專家諮詢委員會, 2020)

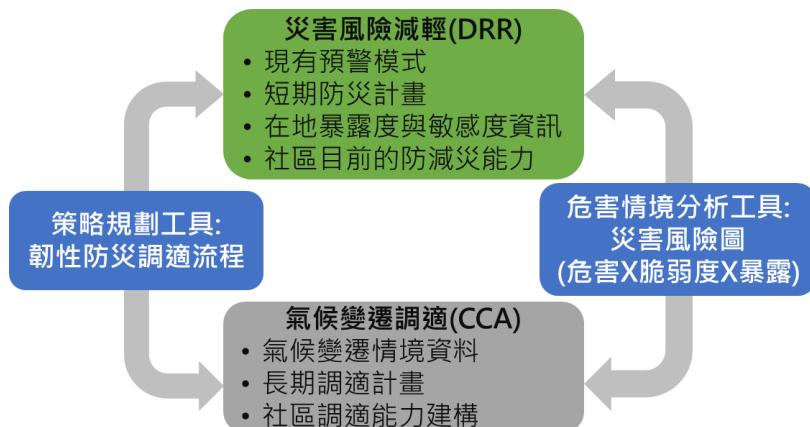


圖 2 韌性防災調適研究概念圖

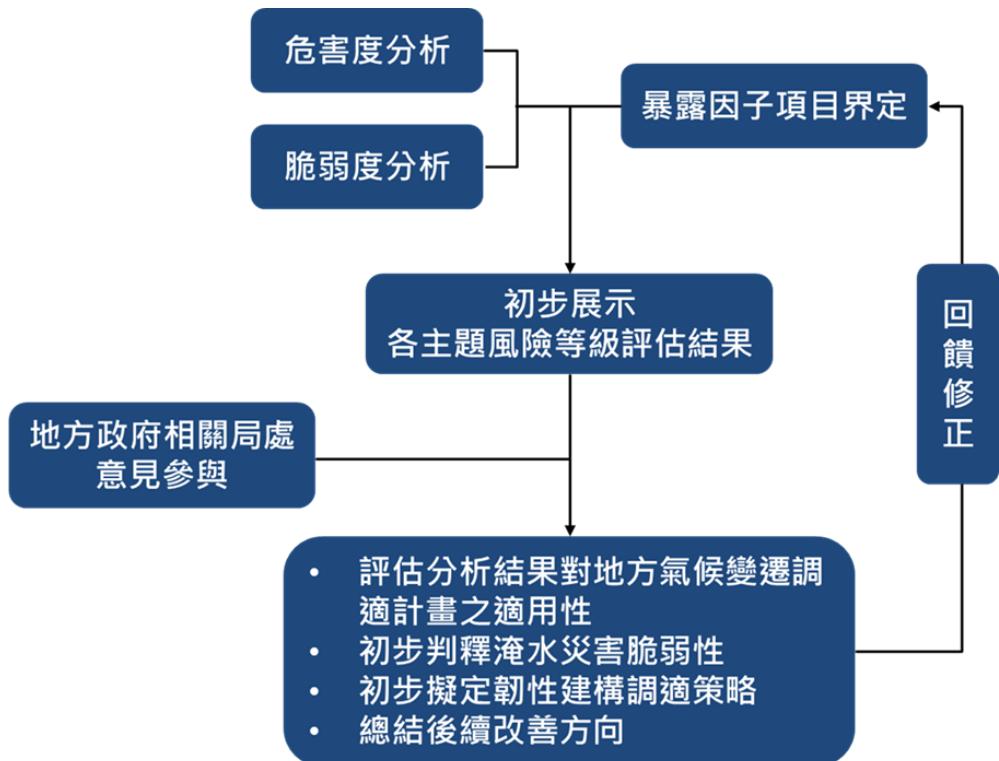


圖 3 極端淹水災害韌性防災調適工作坊目標設立流程圖

表 1 韌性城市八大基本要素

| 韌性基本要素 | 說明 |
|----------------|--|
| 災防體系的完備 | 地方政府有建立災防組織體系，並確定必要之操作流程 |
| 掌握災害風險情境 | 地方政府能判釋和理解其可能面臨之各種災害風險，包括危害、暴露及脆弱性，並將判釋之風險作為決策參考依據 |
| 增加財務面向的韌性 | 地方政府瞭解災害的經濟衝擊影響，並發展財務風險管理機制 |
| 城鄉發展與設計應考量災害風險 | 地方政府能根據災害風險評估結果，判釋、保護及監測可提升韌性抗災能力之關鍵生態系統 |
| 重視及加強社會韌性 | 透過重視地方文化和教育，促進其在減少災害風險中之角色及作用，並有助於互助交流之文化 |
| 加強基礎設施因應災害之能力 | 評估關鍵基礎設施系統的能力、相依性，並根據災害情境想定，評估必要的升級 |
| 精進災害應變能力 | 依據可能的最壞災害想定情境予以制定和更新災害緊急應變計畫，並利用災防體制將其傳達給所有利害關係者 |
| 平時即重視及培育復原重建能力 | 根據已確定的風險情境，擬定災前復原計畫 |

資料來源：第九屆行政院專諮詢「極端災害下之韌性城市」(2020)

2、桃園市淹水災害議題探討

據 110 年桃園市國土計畫所記載之內容，桃園市位於臺灣西北部，其西面臺灣海峽、東臨宜蘭縣、北接新北市、南與新竹縣為界，地形呈現西北向東南之狹長形，轄內有連綿不斷的丘陵台地，面積約 1,198 平方公里，共有 13 個行政區。桃園市過去配合國家經濟發展政策方向，以優越的地理區位、產業群聚、人力資源與便捷的交通基礎建設，使工業得以持續蓬勃發展為全國第一工業城市，也因為工業發達，是臺灣引入來自東南亞外籍勞工人數最多的城市，亦逐漸承接臺北與新北的人口移入，人口數穩定持續增長，尤其 103 年底升格為直轄市後，重大建設與大型公共設施陸續興闢、社會福利政策漸趨完善，使得桃園市淨遷入人口位居北臺灣縣市首位。

經桃園市政府民政局統計截至 112 年 06 月底止，桃園市現住總人口數達 230 萬餘人，男性約占 49.3%，女性約占 50.7%；兒童與青少年人口約占 14.35%，壯年人口約占 72.05%，老年人口約占 13.6%，身心障礙人口約佔本市人口 3.89%。此外，具原住民族身分者佔 3.5%，為全國第 2 大原住民族縣市；新住民人口超過 2.7%，足見桃園市人口組成之多元性，然而相關文獻指出，高齡者、社會經濟地位偏低者、居住於偏鄉、少數族群聚集社區或農村者是臺灣天災脆弱性的來源（張宜君、林宗弘，2012；葉高華，2013），亦須留意人口組成中較弱勢的族群。

林文欽等人於 2003 年指出，隨著土地快速擴張及開發的情況下，呈現都市化的現象，讓原本屬於不適合開發之高淹水潛勢地區或環境敏感地區，在缺乏完備之防災措施與審查機制的情形下，進行土地使用型態之變更，進而衍生出土地不當供給與超限利用，造成地表逕流增加，提高淹水災害發生的可能性。

據以上所述，由於淹水災害議題廣泛，為使研究議題聚焦，本研究依據上述相關文獻內容，並以 110 年桃園市國土計畫中針對水災所列之具有急迫性的調適缺口，作為此次主要分析的五大議題，如：人口、絕對避難弱勢、農產業專區、工業區及大眾運輸交通系統等，比較其在歷史及現有氣候條件之基期與推估未來受到氣候變遷影響之淹水災害風險程度變化。

3、多模式多空間尺度之氣候變遷淹水災害風險圖

(1)風險圖之組成元素

本研究為了解桃園市在基期與未來受到氣候變遷影響所可能帶來的淹水災害衝擊，應用由國家災害防救科技中心(以下簡稱 NCDR)所產製之多模式多空間尺度之氣候變遷淹水災害風險圖，做為危害情境之依據。其組成包含危害度、脆弱度、暴露度等面向，危害度的部分，採用 IPCC 氣候變遷第五次評估報告(AR5)中的 RCP8.5 推估情境下，淹水災害風險圖之 24 小時雨量超過 650 mm 於基期(1976~2005 年觀測值)及 33 個 GCM 模式世紀中(2036~2065 年)時期之網格日資料分析發生機率，將機率值標準化，其值介於 0~1 之間，再等分間距為 5 個等級；脆弱度的部分，則使用經濟部水利署 24 小時定量降雨累積 650 mm 之淹水潛勢圖，將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 公尺以上分為等級 1 至 5，各等級也為其權重值，依各空間單元於不同淹水深度範圍下的淹水面積比，計算各空間單元之淹水評分值，再依淹水災害評分值標準化後劃分 5 個等級；而暴露度的部分，在鄉鎮市區及最小統計區兩種不同空間單元分析中，僅鄉鎮市區尺度有考量到未來人口會有變動情形，採用 2036 年未來人口推估資料(詹士樑，2019)分析。最小統計區的空間單元，僅考慮 2019 年現況人口資料來分析。將人口密度值標準化，其值介於 0~1 之間，再等分間距為 5 個等級。最後再將各評估指標之標準化數值進行相乘後分級，相關淹水災害風險圖資之組成架構，如圖 4 所示。本研究將於研究成果中，進一步說明如何運用淹水災害風險圖中的危害度、脆弱度、暴露度等三項指標，疊加不同地方性圖資，分析桃園市淹水災害風險相關議題。

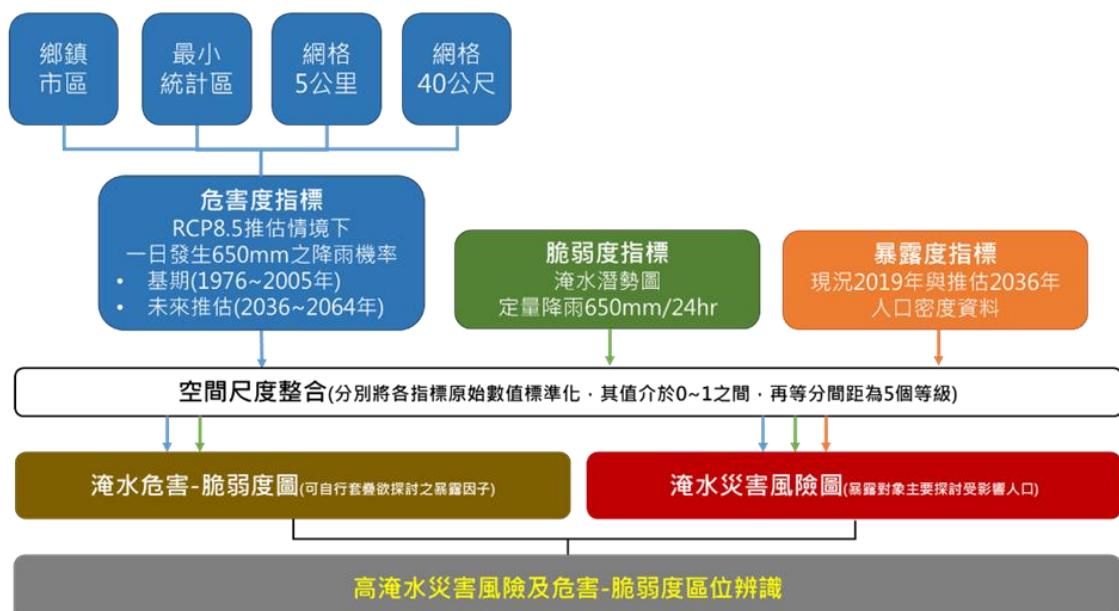


圖 4 氣候變遷淹水災害風險圖資組成說明圖(整理自 NCDR, 2020)

(2)不同空間尺度之氣候變遷淹水災害風險圖使用限制

NCDR 所產製之多模式多空間尺度之氣候變遷淹水災害風險圖，主要有四種空間尺度供研究者依據不同研究議題套疊相關圖資。第一種為鄉鎮市區尺度，為製作災害風險圖最大的空間單元，因此空間尺度之災害風險圖，對行政機關而言較好判讀及執行相關規劃，較適用於全國國土計畫；第二種為網格 5 公里尺度，其依據 TCCIP 應用統計降尺度 5 公里 × 5 公里的高解析度網格來做分析，由於是氣候資料的空間尺度，其資料不確定較低，但另一考慮指標的脆弱度，則需由小尺度的淹水潛勢範圍來分析至 5 公里 × 5 公里的尺度，會有均質化的影響，因此圖資較適用於全國層級，如農業等產業；第三種為最小統計區尺度，是內政部統計區分類系統裡人口或社會經濟資料蒐集及彙整的最小空間單元，其區域內的資料盡量會呈現均勻的特性，因此在製作災害風險圖可明顯分析出位於人口集中或淹水潛勢範圍較大的區位，也保存原始資料的空間分布

特性。圖資較適用於縣市層級，或以人口為討論對象的政策規劃。第四種為網格 40 公尺尺度，為製作災害風險圖最小的空間單元，是依據淹水潛勢圖的網格尺度，由於空間尺度最小化，考慮指標僅危害度及脆弱度的網格尺度，其資料不確定性較低。圖資適用於縣市層級或小區域之農業、工業區等土地業區等土地利用。

三、淹水災害議題研究分析成果

本研究將應用氣候變遷淹水災害風險圖之產製原理，定義災害風險指標、各項指標計算與等級區分等。其中危害度指標的部分，因應分析的暴露因子種類，選擇適合與之相互計算或疊合的圖資尺度，經過各項風險指標分級相乘計算後重新分級，產製氣候變遷淹水災害風險圖或氣候變遷淹水危害-脆弱度圖。研究中主要使用氣候變遷情境下的降雨資料，推估降雨可能造成自然災害衝擊的機率，以及對可能影響淹水災害之環境的脆弱度進行評估。

1、人口

(1) 圖資應用說明

探討桃園市因都市過度開發、大量水泥鋪面導致透水率降低，增加之逕流量可能超出市區排水系統能力，進而產生積淹水影響區域內的人口活動。為了比較基期與未來推估情境下對現有人口的影響差異，本研究初步以最小統計區作為主要分析之圖資尺度，因其每一單元人數約小於 450 人，故能夠產生全國一致且穩定之小區域，並具有保存原始資料之空間分佈特性，保留地面上明顯可辨識且不易變動之界線，如街廓、河川、道路等，為人口或社會經濟資料蒐整的最小空間單元(內政部，2008)。據以上所述，本研究採用內政部統計處公布之最新最小統計區人口統計資料進行分析(資料時間：111 年 6 月)，比較桃園市各區淹水災害風險-基期與未來推估之影響人口數，如圖 5 所示。

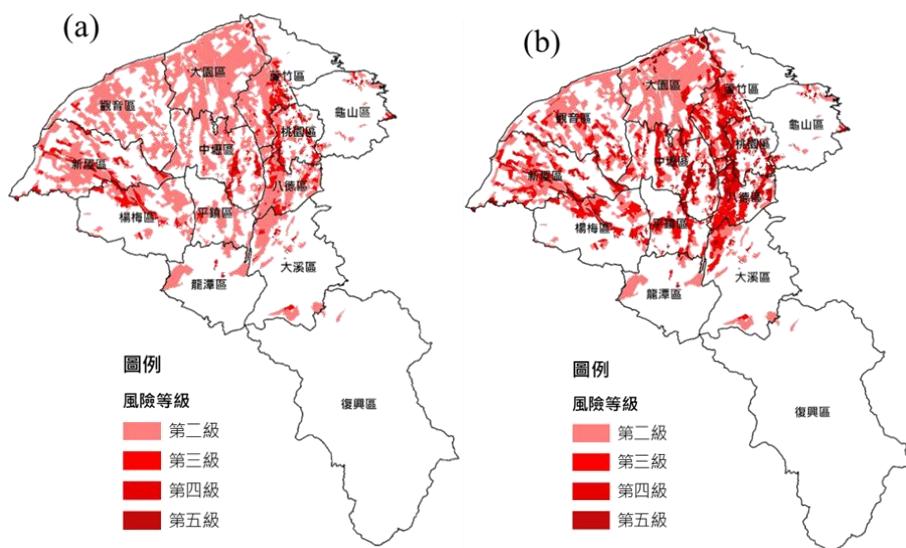


圖 5 極端淹水災害衝擊區域內之人口基期(a)與未來推估(b)風險等級變化比較圖

(2)淹水災害脆弱性分析

人類活動與其受到災害影響的程度有相互關係，例如：收容、產業、交通等。此議題設定受影響人口數為暴露因子，大方向地探討桃園市境內未來在氣候變遷的影響下，可能受到淹水災害衝擊較高風險之區別。根據統計資料結果顯示，桃園市桃園區、中壢區及八德區未來可能受到淹水災害風險影響較高，建議地方政府能根據災害風險評估結果，優先針對高風險區別擬定相關韌性防災策略，如表 2 所示。

表 2 極端淹水災害衝擊桃園市各區人口基期與未來推估風險等級變化比較列表

| 區別 | 風險等級 | 基期影響人數 | 未來推估影響人數 | 增減量 | 增減率 | 區別 | 風險等級 | 基期影響人數 | 未來推估影響人數 | 增減量 | 增減率 |
|-----|------|--------|----------|---------|-------|-----|------|--------|----------|---------|--------|
| 八德區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% | 大園區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| | 第二級 | 49,182 | 10,374 | -38,808 | -374% | | 第二級 | 47,371 | 31,901 | -15,470 | -48% |
| | 第三級 | 37,354 | 27,756 | -9,598 | -35% | | 第三級 | 4,009 | 9,508 | 5,499 | 58% |
| | 第四級 | 9,336 | 28,877 | 19,541 | 68% | | 第四級 | 2,681 | 7,923 | 5,242 | 66% |
| | 第五級 | 9,274 | 38,139 | 28,865 | 76% | | 第五級 | 986 | 5,715 | 4,729 | 83% |
| 蘆竹區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% | 新屋區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| | 第二級 | 26,798 | 9,594 | -17,204 | -179% | | 第二級 | 14,940 | 8,284 | -6,656 | -80% |
| | 第三級 | 10,845 | 16,499 | 5,654 | 34% | | 第三級 | 5,246 | 8,105 | 2,859 | 35% |
| | 第四級 | 3,861 | 9,490 | 5,629 | 59% | | 第四級 | 859 | 3,787 | 2,928 | 77% |
| | 第五級 | 32,569 | 38,490 | 5,921 | 15% | | 第五級 | 528 | 1,397 | 869 | 62% |
| 桃園區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% | 楊梅區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| | 第二級 | 47,665 | 11,191 | -36,474 | -326% | | 第二級 | 25,131 | 8,650 | -16,481 | -191 % |
| | 第三級 | 66,398 | 27,839 | -38,559 | -139% | | 第三級 | 14,402 | 15,339 | 937 | 6% |
| | 第四級 | 31,158 | 32,357 | 1,199 | 4% | | 第四級 | 5,128 | 11,030 | 5,902 | 54% |
| | 第五級 | 32,892 | 106,726 | 73,834 | 69% | | 第五級 | 2,793 | 12,435 | 9,642 | 78% |
| 中壢區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% | 觀音區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| | 第二級 | 84,554 | 23,016 | -61,538 | -267% | | 第二級 | 25,661 | 17,005 | -8,656 | -51% |
| | 第三級 | 40,537 | 30,520 | -10,017 | -33% | | 第三級 | 947 | 6,847 | 5,900 | 86% |
| | 第四級 | 28,788 | 35,246 | 6,458 | 18% | | 第四級 | 0 | 2,339 | 2,339 | 100% |
| | 第五級 | 53,317 | 118,414 | 65,097 | 55% | | 第五級 | 0 | 417 | 417 | 100% |
| 平鎮區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% | 龜山區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| | 第二級 | 33,767 | 8,198 | -25,569 | -312% | | 第二級 | 11,910 | 7,387 | -4,523 | -61% |
| | 第三級 | 5,279 | 14,254 | 8,975 | 63% | | 第三級 | 11,183 | 6,384 | -4,799 | -75% |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-------|--------|--------|------|-----|-----|--------|--------|--------|--------|
| | 第四級 | 2,759 | 11,152 | 8,393 | 75% | | 第四級 | 6,451 | 7,749 | 1,298 | 17% |
| | 第五級 | 1,221 | 9,422 | 8,201 | 87% | | 第五級 | 12,297 | 20,321 | 8,024 | 39% |
| 復興區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% | 大溪區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% |
| | 第二級 | 144 | 144 | 0 | 0% | | 第二級 | 10,208 | 4,157 | -6,051 | -146 % |
| | 第三級 | 0 | 0 | 0 | 0% | | 第三級 | 9,231 | 13,136 | 3,905 | 30% |
| | 第四級 | 0 | 0 | 0 | 0% | | 第四級 | 1,631 | 2,516 | 885 | 35% |
| | 第五級 | 0 | 0 | 0 | 0% | | 第五級 | 1,005 | 2,266 | 1,261 | 56% |
| 龍潭區 | 第一級 | 0 | 0 | 0 | 0% | | | | | | |
| | 第二級 | 3,781 | 2,629 | -1,152 | -44% | | | | | | |
| | 第三級 | 2,680 | 2,364 | -316 | -13% | | | | | | |
| | 第四級 | 1,226 | 1,783 | 557 | 31% | | | | | | |
| | 第五級 | 887 | 1,798 | 911 | 51% | | | | | | |

資料來源：本研究彙整

(3)初步研擬之韌性防災策略及地方相關局處建議

地方政府應判釋和理解其可能面臨之各種災害風險，包括危害、暴露及脆弱性，並將判釋出來之風險，作為決策之參考依據。工作坊中，中壢區公所業務窗口提及：雖然未來推估是距今 30 年後的模擬結果，仍須審慎地規劃長期計畫，讓相關因應對策更為具體，針對研究團隊在此議題中使用的最小統計區人口統計方式，提供地方一個新的思維及方向，建議未來能夠進一步的將高風險區域內人口統計出來，並細緻到以鄰里為單元呈現，後續地方區公所才能夠和較高風險的鄰里、社區發展協會做更深入的防災演練。

八德區公所業務窗口則提供在地經驗，說明相對於近幾年新建設的大樓，八德區目前主要淹水區域都是集中在老舊社區，因配合都市計畫的相關規定，這些新增的人口大部分都是位在相對安全的區域，且淹水災害能以垂直避難的方式減少受到災害的影響，因此若是以來人口推估的層面來討論，八德區公所認為主要受到衝擊的應該會是住在老舊社區的住戶，應該會低於目前推估出來的人數，故其建議未來可著重於老舊社區內的淹水情況，進行更貼近在地性的研究分析。

2、弱勢族群

(1)圖資應用說明

根據 107 年版災害防救基本計畫，避難弱勢係指婦女、老人、幼童與身心障礙者、低收入族群等。桃園市為讓有限人力，運用於真正需要協助的避難弱勢族群，界定「無法自主避難且沒有他人可協助者」為「絕對避難弱勢」，是以將範圍限縮於「獨居老人」及「獨居行動不便身障者」（圖資內絕對避難弱勢人口資料時間：111 年 3 月）。因桃園市絕對避難弱勢資料統計以鄰里為單元，故本研究使用 5 km 淹水危害-脆弱度網格資料，以空間尺度整合成以鄰里為單位之淹水危害-脆弱度圖。

接著以 Z-score 分析法，使桃園市各鄰里絕對避難弱勢人數，經標準化後之數據介於 0~1 之間，再等分成 1~5 級，並參考 2004 年 Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (簡稱 GIZ) 所建議之方法與淹水危害-脆弱度等權重疊加成為淹水災害風險圖，如下圖 6 所示。桃園市極端淹水災害衝擊區域內之絕對避難弱勢基期(a)與未來推估(b)風險等級變化比較圖，如圖 7 所示。

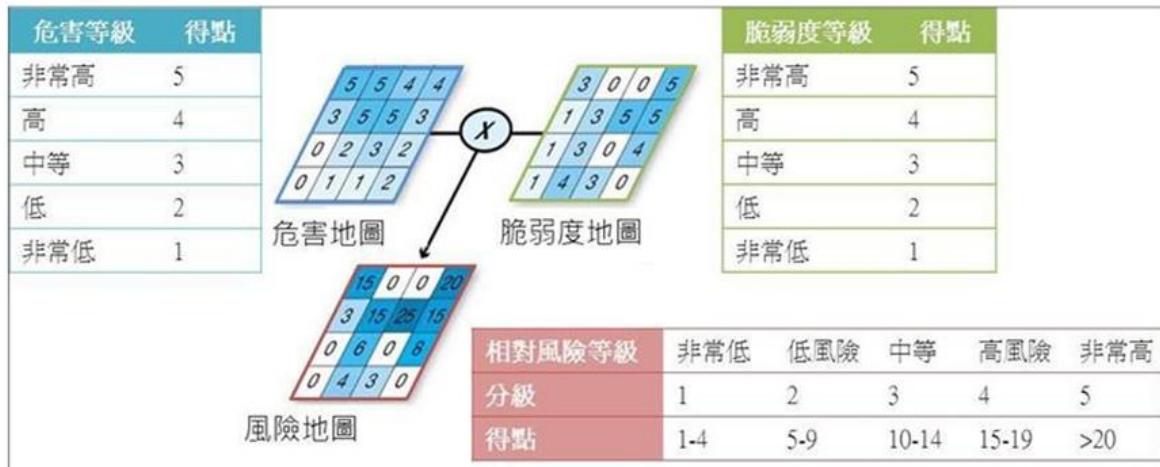


圖 6 風險矩陣計算方法示意圖(GIZ, 2004)

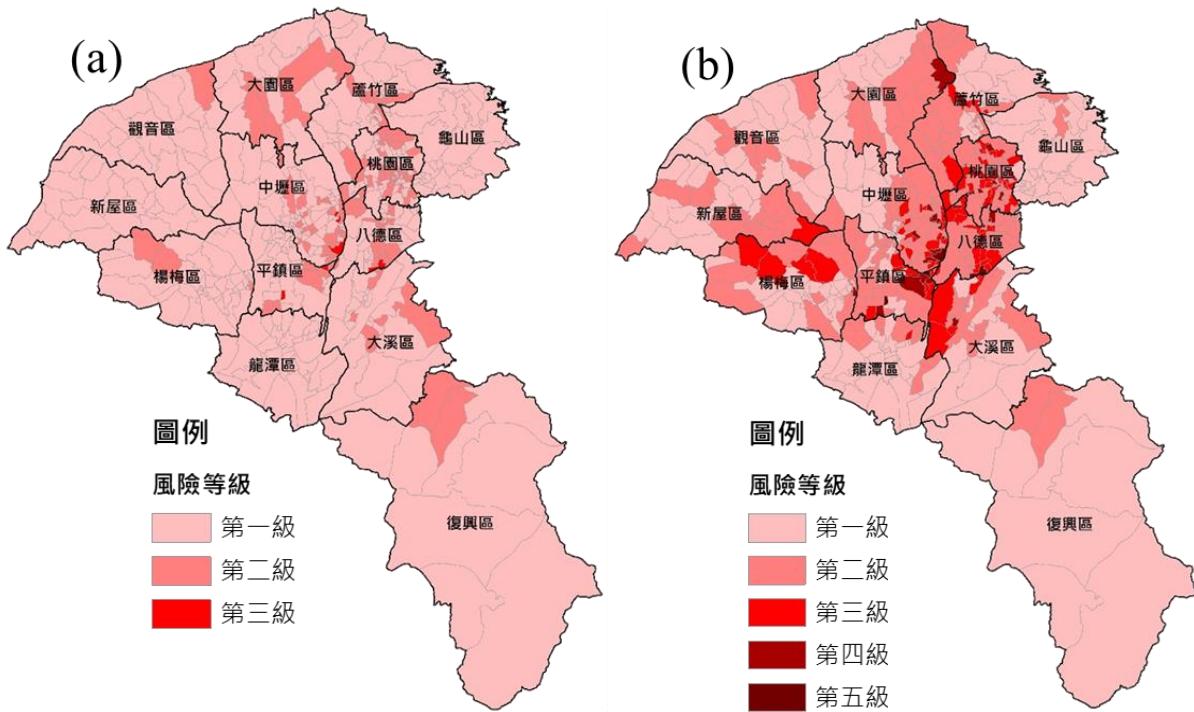


圖 7 極端淹水災害衝擊區域內之絕對避難弱勢基期(a)與未來推估(b)風險等級變化比較圖

(2)淹水災害脆弱性分析

「老人」及「身心障礙者」礙於身體或年齡的因素，往往無法於災時立即應變，自救能力較低，而需要公部門或其他人員的介入與協助。實際上，「老人」及「身心障礙者」的人口遠多於政府部門執行疏散撤離的人力，故倘若未來受到極端氣候影響使淹水災害事件發生頻率變高，將增加相關單位之防減災負擔，應界定迫切需要政府部門協助的對象，以發揮最大的效益。建議地方相關單位可以參考表 3 所列之高風險鄰里，優先針對里內絕對避難弱勢居民擬定韌性防災策略。

表 3 極端淹水災害衝擊桃園市各鄰里絕對避難弱勢人口基期與未來推估風險等級變化比較列表

| 區別 | 里名 | 危害-脆弱度 (基期) | 危害-脆弱度 (未來推估) | 絕對避難 弱勢分級 | 風險等級 (基期) | 風險等級 (未來推估) |
|-----|-----|----------------|------------------|--------------|--------------|----------------|
| 中壢區 | 中堅里 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| 中壢區 | 自治里 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| 平鎮區 | 莊敬里 | 2 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| 八德區 | 瑞德里 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| 平鎮區 | 龍興里 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |
| 中壢區 | 中山里 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 |

資料來源：本研究彙整

(3)初步研擬之韌性防災策略及地方相關局處建議

龜山區公所業務窗口提供未來研究方向建議：建議學研團隊套疊現有的避難處所及活動中心點位，比較基期與未來推估的影響，若現有避難收容處所周圍的道路，因受到淹水災害影響其可及性，相關政策單位應提早規劃替代方案或考慮更換指定避難處所。

社會局業務窗口說明：目前社會局的主要業務範圍是提供絕對避難弱勢清冊給各公所、利用電話調查相關族群是否有後送機構的需求，後續將考慮演練時能夠針對這樣的情境進行演練。

水務局業務窗口說明：目前已有將絕對避難弱勢納入水災保全計畫中，後續將會參考研究成果，優先將高風險的鄰里納入新增為水務局的自主防災社區名單。

民政局業務窗口說明：疏散及收容是民政局主要的業務範圍，因淹水災害主要是以垂直避難為主，如果絕對避難弱勢族群居住在高樓層其實不太會受到影響，希望能在研究資料中補充居住於低樓層的絕對避難弱勢人口，讓地方政府能更具體了解是否有足夠的能量可以因應。

3、工業區及社會經濟活動

(1) 圖資應用說明

桃園市為工業發展重鎮且為北台灣物流節點，除了是全國製造、研發與倉儲大城亦有許多與民生相關之產業設立總部，是國家重要產業發展核心之一。議題三設定桃園市境內 34 處工業區為暴露因子，將其與 40 m 網格之淹水危害-脆弱度圖套疊後可得知，約有 20 處工業區位在淹水危害-脆弱度範圍內，進一步比較同一個工業區淹水危害-脆弱度基期與未來推估之等級差異，如圖 8 所示。

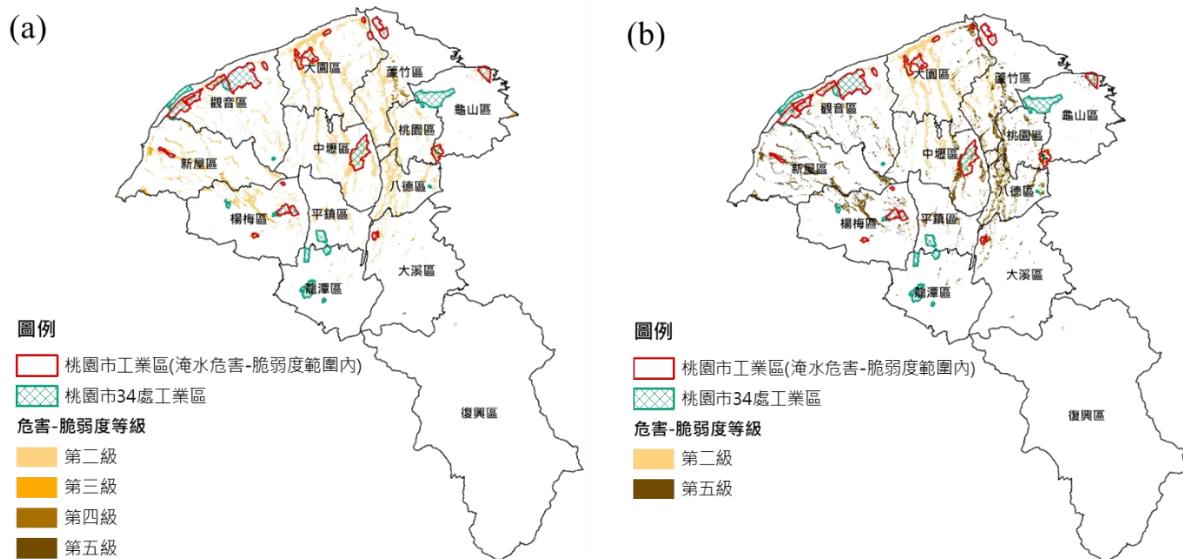


圖 8 極端淹水災害衝擊區域內之工業區基期(a)與未來推估(b)風險等級變化比較圖

(2) 淹水災害脆弱性分析

淹水可能會對工業區內的廠房產生直接影響或間接影響，廠內可能因積淹水導致生產設施損毀或貯槽受損，或因道路中斷造成原物料短缺和貨品輸送延遲、阻礙員工上下班，影響產線運作，造成經濟損失。建議相關單位宜參考表 4 所列之工業區，優先針對較高危害-脆弱度之企業進行輔導或鼓勵其擬定相關因應策略。

表 4 極端淹水災害衝擊區域內之工業區基期與未來推估風險等級變化比較列表

| 名稱 | 危害-脆弱度(基期) | 危害-脆弱度(未來推估) |
|-----------|------------|--------------|
| 大潭濱海特定工業區 | 第三級 | 第五級 |
| 大興工業區 | 第三級 | 第五級 |
| 永安工業用地 | 第三級 | 第五級 |
| 林口工三工業區 | 第三級 | 第五級 |
| 桃園幼獅工業區 | 第三級 | 第五級 |
| 桃園環保園區 | 第三級 | 第五級 |
| 龜山工業區 | 第三級 | 第五級 |

| | | |
|--------------|-----|-----|
| 中壢工業區 | 第二級 | 第五級 |
| 太平洋電線電纜申編工業區 | 第二級 | 第五級 |
| 長榮集團大園產業園區 | 第二級 | 第五級 |
| 桃園幼獅擴大工業區 | 第二級 | 第五級 |
| 桃園航空自由貿易區 | 第二級 | 第五級 |
| 海湖坑口工業區 | 第二級 | 第五級 |
| 桃園南興段 | 第二級 | 第五級 |
| 大園工業區 | 第二級 | 第二級 |
| 沙崙產業園區 | 第二級 | 第二級 |
| 東和鋼鐵工業區 | 第二級 | 第二級 |
| 桃園科技工業區 | 第二級 | 第二級 |
| 許厝港段 | 第二級 | 第二級 |
| 觀音工業區 | 第二級 | 第二級 |

資料來源：本研究彙整

(3)初步研擬之韌性防災策略及地方相關局處建議

經發局業務窗口提供未來研究方向建議：桃園市現有工業區成立的單位與種類多元，包括有經濟部管理報編的工業區、桃園市政府管理的園區及民間開發園區等，按照相關條例規定，報編的工業區面積都是 5 公頃以上，基本上會經過出流管制計畫，10 公頃以上則會通過環境影響評估審查，所以相較之下報編工業區面對淹水災害的韌性是相對較高的；而其他透過都市計畫所規定劃設的工業區、產業園區，若面積低於 5 公頃，則無相關條例規定需經過環境影響評估審查，若面積超過 5 公頃以上，才需個別申請環評，故都市計畫內的工業區面對淹水災害的韌性次之，而其他民間開發園區則相對較低。建議學研團隊後續研究分析時，可以將上述說明，包含工業區的管理單位、開發類別也考慮進風險評估中，能夠讓研究更貼近實際情況。

4、農作物耕地或農田設施

(1)圖資應用說明

設定 110 年桃園市國土計畫中第五章第二節產業部門所提之 5 區農產業專區作為暴露因子。包含觀音、新屋稻米產業區、楊梅、龍潭茶特用產業區、八德、大溪蔬菜產業區、復興果樹產業區及觀音瓜果產業區，將其與 40m 網格之淹水危害-脆弱度圖套疊，比較基期與未來推估在相同淹水範圍內危害-脆弱度等級所占比例之差異，如圖 9 所示。

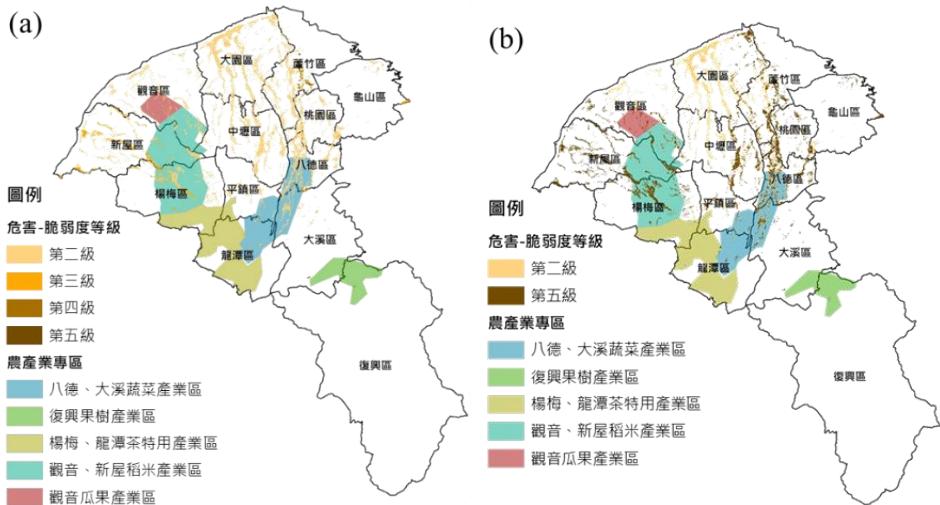


圖 9 極端淹水災害衝擊區域內之農產業專區基期(a)與未來推估(b)風險等級變化比較圖

(2)淹水災害脆弱性分析

蔬菜、稻米及瓜果等農產品較易受淹水災害的影響，農作物將因淹水而導致植株及根系窒息壞死，若淹水退去經太陽強烈照射，會加劇溫差變化，使農作物腐爛的情況更加嚴重，進而影響收成而產生經濟損失。根據未來推估淹水範圍內所佔危害-脆弱度等級比例，桃園市尤需特別留意觀音、新屋稻米產業區，其農產業專區內所佔淹水總面積約為 639.4 公頃，且約有 95%為危害-脆弱度等級 5，建議相關單位可優先針對此處研擬相應之韌性策略，如表 5 所示。

表 5 極端淹水災害衝擊區域內之農產業專區基期與未來推估風險等級變化比較列表

| 名稱 | 基期淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 未來推估淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 農產業專 區內所佔 淹水總面 積(公頃) |
|---------------------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------------------------------|
| | 第一 級 | 第二 級 | 第三 級 | 第四 級 | 第五 級 | 第一 級 | 第二 級 | 第三 級 | 第四 級 | 第五 級 | |
| 八德、大溪 蔬菜產業區 | 0 | 96 | 3 | 1 | 0 | 0 | 42 | 0 | 0 | 58 | 564.7 |
| 復興 果樹產業區 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 3.3 |
| 楊梅、龍潭 茶特用產業 區 | 0 | 73 | 24 | 3 | 0 | 0 | 49 | 0 | 0 | 51 | 17.1 |
| 觀音、新屋 稻米產業區 | 0 | 71 | 28 | 1 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 95 | 639.4 |
| 觀音 瓜果產業區 | 0 | 89 | 11 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 83 | 64.9 |

資料來源：本研究彙整

(3)初步研擬之韌性防災策略及地方相關局處建議

雖然水稻大部分時間是在水中生長，但仍無法承受長時間的淹水衝擊，而淹水衝擊主要分為完全淹水及不完全淹水，差別在於植株是否完全滅頂或尚有葉片露出水面上，而其可能造成水稻植株流失、根系受損、葉片黃化、稔實率降低、稻株倒伏等。目前僅有少數水稻品種能耐長時間的淹水影響，為了減低損失，建議相關單位可提前擬定預防措施，包括：定期疏通排水溝、維持農田排水系統之暢通等。

5、軌道運輸系統周圍之道路通行

(1)圖資應用說明

區域軌道運輸系統不僅與人民日常生活息息相關，亦會影響國家整體經濟發展，可說是維持社會正常運作之重要維生基礎設施。議題五主要以淹水災害可能阻礙人或車輛抵達該站點之通行作為探討議題，並設定桃園市境內高鐵、台鐵及捷運為暴露因子，將其與 40 m 網格之淹水危害-脆弱度圖套疊。參考張瓊文等人(2015)重大鐵公路系統氣候變遷脆弱度評估指標之研究，以不同鐵公路系統之結構型式，劃分不同的服務範圍，如表 6。而捷運之服務範圍，則參考張學孔等人(2000)大眾運輸導向之都市發展策略之研究，至場站距離需在 400 m 左右才能有效鼓勵居民使用大眾運輸系統。據此，比較不同區域軌道運輸系統場站周圍的服務範圍，其基期與未來推估在相同淹水面積內之危害-脆弱度等級所占比例差異，如圖 10、圖 11 所示。

表 6 不同區域軌道運輸系統服務範圍列表

| 評估面向 | 臺鐵 | 高鐵 | 捷運 |
|------|-------|--------|------|
| 服務範圍 | 2.5km | 2.5 km | 400m |

資料來源：張瓊文等人(2015)；張學孔等人(2000)



圖 10 以機場捷運長庚醫院 A8 站為例示意議題五之圖資分析概念圖

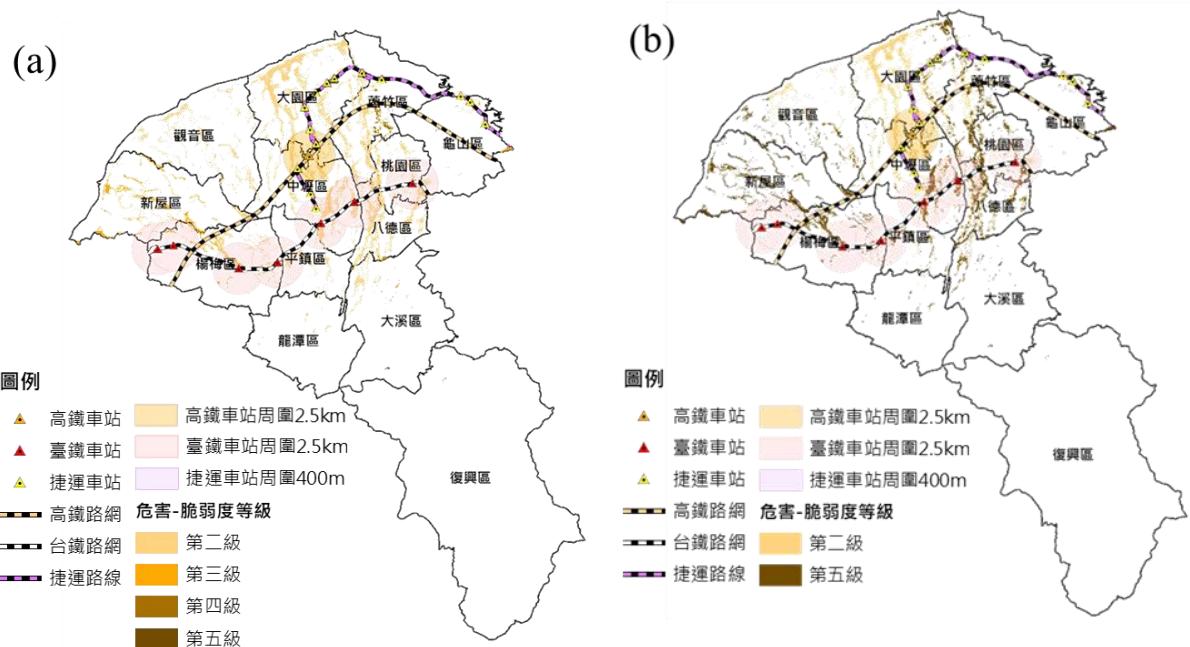


圖 11 極端淹水災害衝擊區域內之軌道運輸周圍道路通行基期(a)與未來推估(b)風險等級變化比較圖

(2)淹水災害脆弱性分析

相較於高鐵站，桃園市境內之台鐵車站具有較高之淹水危害-脆弱度。比較基期與未來推估之變化，在服務範圍 2.5 km 內是以桃園車站、中壢車站、內壢車站之可能的淹水總面積最高，且未來危害-脆弱度等級 5 的比例將會增加，如表 7 所示。根據 2022 年台灣鐵路統計資料，桃園車站及中壢車站每日旅客流量約三萬人次，分別佔全台臺鐵各車站二、三名，是重要的交通要點。倘若未來淹水危害-脆弱度的風險增加，將對使用者產生不小的影響，必須針對現有易淹水區域優先提出改善對策。

而捷運的部分，雖然林口站 A9、長庚醫院站 A8 及坑口站 A11 相較於其他機場捷運站點周圍之可能的淹水總面積較小，但比較基期與未來推估之變化，在服務範圍 400 m 內，上述三站未來危害-脆弱度等級 5 的比例將會增加，且站點皆位於人口密集或重劃區內，如表 8 所示。根據未來推估之結果，淹水危害-脆弱度的風險可能增加的情況下，建議優先針對上述三站提出改善對策。

表7極端淹水災害衝擊區域內之軌道運輸周圍道路通行基期與未來推估風險等級變化比較列表

| 名稱 | 基期淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 未來推估淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 服務範圍內 所占淹水總 面積(公頃) |
|----------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------|--------------------------|
| | 第一級 | 第二級 | 第三級 | 第四級 | 第五級 | 第一級 | 第二級 | 第三級 | 第四級 | 第五級 | |
| 桃園高鐵站 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 85 | 0 | 0 | 15 | 383.4 |
| 基期淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 未來推估淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 服務範圍內 所占淹水總 面積(公頃) | |
| 名稱 | 第一級 | 第二級 | 第三級 | 第四級 | 第五級 | 第一級 | 第二級 | 第三級 | 第四級 | 第五級 | |
| 楊梅車站 | 0 | 40 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 121.8 |
| 埔心車站 | 0 | 93 | 7 | 0 | 0 | 0 | 31 | 0 | 0 | 69 | 168.5 |
| 新富車站 | 0 | 70 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 38.7 |
| 富岡車站 | 0 | 59 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 63.8 |
| 中壢車站 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 0 | 0 | 70 | 282.6 |
| 內壢車站 | 0 | 99 | 1 | 0 | 0 | 0 | 33 | 0 | 0 | 67 | 485.1 |
| 桃園車站 | 0 | 99 | 1 | 0 | 0 | 0 | 47 | 0 | 0 | 53 | 236.2 |

資料來源：本研究彙整

表8極端淹水災害衝擊區域內之軌道運輸周圍道路通行基期與未來推估風險等級變化比較列表

| 名稱 | 基期淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 未來推估淹水範圍內所佔 危害-脆弱度等級比例(%) | | | | | 服務範圍內 所占淹水總 面積(公頃) |
|-----------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|------------------------------|-----|-----|-----|-----|--------------------------|
| | 第一級 | 第二級 | 第三級 | 第四級 | 第五級 | 第一級 | 第二級 | 第三級 | 第四級 | 第五級 | |
| 林口站 A9 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.21 |
| 環北站 A21 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0.03 |
| 興南站 A20 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92 | 0 | 0 | 8 | 10.83 |
| 桃園體育園 區站 A19 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 1.53 |

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|-----|----|---|----|---|-----|---|---|-----|-------|
| 高鐵桃園站 A18 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0.32 |
| 領航站 A17 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 96 | 0 | 0 | 4 | 24.93 |
| 橫山站 A16 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 21.39 |
| 體育大學站 A7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 大園站 A15 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 20.23 |
| 長庚醫院站 A8 | 0 | 0 | 77 | 7 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 6.46 |
| 機場旅館站 A14a | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 1.20 |
| 第二航廈站 A13 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 85 | 5.28 |
| 第一航廈站 A12 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 10 | 1.60 |
| 山鼻站 A10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 坑口站 A11 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 0 | 0 | 55 | 12.30 |

資料來源：本研究彙整

(3)初步研擬之韌性防災策略及地方相關局處建議

建議各區域軌道運輸系統主管機關後續可針對較高風險之站點周圍道路，分析其脆弱度成因，藉以進行有效的氣候變遷調適作為，降低大眾交通運輸系統的脆弱度，提升氣候變遷下之調適能力，進而維持其應有之運作功能及減少對社會的衝擊。針對此議題，交通局業務窗口提供未來研究方向建議：建議學研團隊可以新增套疊公車站點，查看易淹水地區之公車場站，進而協助地方政府參考並規劃替代道路。

四、結論與未來改善方向

在人口集中的都市，重要基礎設施和建築物伴隨著更高的風險，加上氣候變遷、環境劇變，都是對都市居住環境不利發展的因素。本研究後續將參考工作坊中地方各局處之建議，持續深化各項議題的研究方向。未來將新增基礎設施、防救災資源等進行淹水災害風險分析，並持續修正韌性防災調適工作坊之操作模式，以利促成更貼近在地實際情況的韌性防災調適策略。

參考文獻

- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2004. Guidelines Risk Analysis- a Basis for Disaster Risk Management, Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Germany.
- UNISDR, 2005. Hyogo framework for action 2005-2015: building the resilience of nations and communities to disasters. World Conference on Disaster Reduction in Hyogo Japan. United Nations International Strategy for Disaster Reduction(UNISDR)
- IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX).
- IPCC, 2014. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014.
- Seidler, R., Dietrich, K., Schweizer, S., Bawa, K.S., Chopde, S., Zaman, F., Sharma, A., Bhattacharya, S., Devkota, L.P. and Khaling, S., 2018. Progress on integrating climate change adaptation and disaster risk reduction for sustainable development pathways in South Asia: Evidence from six research projects. Volume 31, 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.04.023>
- 張學孔、錢學陶、杜雲龍，2000。大眾運輸導向之都市發展策略，捷運技術半年刊，22，1-16。
- 林文欽、廖朝軒、李逸靚、藍淯誠，2003。都市防洪空間系統規劃技術研究。內政部建築研究所委託研究報告。
- 張宜君、林宗弘，2012。不平等的災難：921 大地震下的受災風險與社會階層化，人文與社會研究集刊，24(2)，193-231。
- 葉高華，2013。社會脆弱性可解釋九二一地震死亡率分布嗎？，思與言，51(1):135-153。
- 桃園市政府環境保護局，2013。推動桃園縣地方氣候變遷調適計畫。
- 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫網頁，調適百寶箱/調適方法，2014。檢自 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ark_02_method.aspx?p=taiccat (Nov. 8, 2022)
- 張瓊文，蕭為元，陳怡妃、李仕勤，2015。重大鐵公路系統氣候變遷脆弱度評估指標之研究，交通部運輸研究所。
- 桃園市政府環境保護局，2018。桃園市推動空氣汙染防制暨氣候變遷調適計畫。
- 國家發展委員會，2018。國家氣候變遷調適行動計畫(102-106 年)。
- 行政院災害防救辦公室，2019。災害防救基本計畫。
- 行政院環境保護署，2019。國家氣候變遷調適行動方案(107-111 年)。
- 行政院專家諮詢委員會，2020。第九屆行政院災害防救專家諮詢委員會政策建議-極端災害下之韌性城市。
- 鐘志忠、王仲宇、李錫堤、吳祚任、周建成，2020。中央與地方防救災情資整合研究-桃園市 (3/3)，科技部研究計畫報告書，1-181。
- 國家災害防救科技中心，2021。多模式多空間尺度之氣候變遷淹水災害風險圖。
- 桃園市政府，2021。桃園市國土計畫。
- 桃園市人民政府民政局人口統計資料網，2023。檢自 <https://cab.tycg.gov.tw/home.jsp?id=10514&parentpath=0,10432,10513> (Jun. 6, 2023)