

大眾運輸導向發展容積獎勵之災害韌性評估指標：以臺北都會區為例

許佑君¹、吳杰穎²

摘要

氣候變遷導致極端氣候成災的機率不斷增加，都市是否具承受災害衝擊的災害韌性成為當今發展課題之一。大眾運輸導向發展 (Transit-Oriented Development, TOD) 近年來被視為能夠實現都市永續發展的規劃手法，臺北市與新北市分別在2018年以及2019年，雙雙執行TOD政策，期望透過政策推動，提升大眾運輸系統場站周邊土地使用強度。然而，人口增加以及高土地使用強度將造成更高的人口密度，恐增加脆弱度進而降低災害韌性。因此，考量城市TOD發展同時，必須檢視環境之災害韌性，以建構更安全且永續的環境。本研究經由災害韌性以及大眾運輸導向發展相關文獻蒐集，初擬災害韌性下大眾運輸導向發展之評估架構，利用專家學者問卷調查，以及模糊德爾菲 (Fuzzy Delphi Method, FDM) 法篩選評估指標，建構符合TOD的災害韌性指標系統。最終建立「實質環境脆弱度」、「社經脆弱度」、「環境容受力」、「調適與應變能力」四大面向共十項評估指標。

關鍵字：災害韌性、大眾運輸導向發展、模糊德爾菲法、臺北都會區

¹國立成功大學都市計劃學系碩士班，研究生，Email: u10650010@go.utaipai.edu.tw

²臺北市立大學城市發展學系，副教授，通訊作者，Email: paulwu@go.utaipai.edu.tw

投稿日期：2021年07月14日；第一次修正：2022年05月13日；第二次修正：2023年06月17日；接受日期：2023年06月20日

Disaster Resilience Indicators for Transit-oriented Development Building Bulk reward: The Case of Taipei Metropolitan Area

Yu-Chun Hsu

Graduate student, Department of Urban Development, National Cheng Kung University

Jie-Ying Wu

Associate Professor, Department of Urban Development (BA), University of Taipei, corresponding author.

Abstract

The probability of extreme climate disasters is increasing. Whether cities have disaster resilience to withstand the impacts of disasters has become one of the current development issues. Transit-Oriented Development (TOD) has been seen as a planning method that can achieve city sustainable development. Taipei City and New Taipei City have implemented TOD policies in 2018 and 2019, respectively. Because of the TOD policies promoted, the intensity of land use around public transportation system stations will be increased. While emphasizing land types with high habitability and accessibility, population increase, and high-density land use may increase vulnerability. Therefore, considering the disaster resilience of the city, it is necessary to assess the environment before implementing the TOD policy. This study reviews the related literature for disaster resilience and TOD, and then establishes the disaster resilience indexes framework for TOD Building Bulk reward. This study uses expert's questionnaire and the Fuzzy Delphi Method to sort out the indicators. The final indexes framework includes four themes and 10 indicators. The four themes are "physical vulnerability", "social vulnerability", "environmental capacity", and "response and adaptation".

Keywords: Disaster resilience, TOD, FDM, the Taipei metropolitan area

一、前言

聯合國減災策略組織（United Nations International Strategy for Disaster Reduction, UNISDR），負責規劃、評估聯合國之減災策略，先後於世界災害會議通過「兵庫行動綱領」、「仙台減災綱領」列舉減災目標與優先推動事項，以減少城市災害風險。上述兩綱領強調為降低災害的發生，除事後支援救災與復原重建外，了解災害潛在風險因子，以進行減災規劃更為重要。UNISDR 於 2009 年出版《2009 年全球降低災害風險評估報告》提供各國應對災害的行動，並且開始強調韌性，呼籲各國應重視災害發生原因，同時進行減災調適之措施。過去幾年，「永續都市發展」思想興起，大眾運輸導向發展（Transit-Oriented Development, TOD）成為備受關注的都市計畫手段。透過鼓勵搭乘大眾運輸，提升大眾運輸系統場站周邊土地使用強度，且提高土地開發配置效益等相關配套，以創造高品質的都市環境，來達成永續發展的目標。臺北市與新北市分別在 2018 年以及 2019 年，雙雙執行 TOD 政策，利用容積獎勵（增額容積）的手段增加捷運站鄰近地區更多樓地板面積開發。然而，洪鴻智等人（2021）的研究指出交通路網可能帶來密集土地開發行為，因此常與都市擴張、土地整體開發與環境敏感度過度發展有密切關係，就長期而言，可能會提升脆弱度與降低韌性。換言之，TOD 提升土地使用強度，有可能增加脆弱度進而降低災害韌性。因此，臺北都會區推動 TOD 政策之際，如何評估其容積的增加，不會降低該地區之災害韌性，是必須面對的課題。

本研究為掌握災害韌性與 TOD 之關係，以及剖析 TOD 是如何影響災害韌性，建構臺北都會區 TOD 容積獎勵之災害韌性評估指標，期待政策落實前能先透過評估指標進行評估，避免政策執行後降低該地區之災害韌性。本文將分為五部分進行論述，第二部分為文獻回顧、第三部分為研究設計、第四部分為評估指標體系確認與分析、第五部分為結論與建議。

二、文獻回顧

本研究文獻回顧將分為三部分進行探討，首先回顧災害韌性之相關文獻，歸納災害韌性與災害韌性評估；第二部分探討大眾運輸導向之都市發展；第三部分探討大眾運輸導向發展與災害韌性的關係。

（一）災害韌性與災害韌性評估

韌性（Resilience）從拉丁文 *resilio* 演變而來，有回復之意（Klein et al. 2003），因此韌性又可稱回復力。Holling（1973）將此概念發展到生態學領域，將韌性定義為維持系統，不會因為改變而破壞其功能，並且能夠吸收（absorb）擾動而回到先前平衡，韌性乃是應付改變的能量。至 20 世紀末，韌性逐漸發展至災害研究領域，分析人類與環境的相互作用。Comfort et al.（1999）將韌性運用在震災與災後應變的行為上，提出韌性乃是運用目前的資源與技術，以適應新的情況與運作環境的能力，災害韌性的概念首次引入了「適應能力」的觀念。臺灣自 2000 年開始建構面對氣候變遷及災害之各種能力，包括減緩、因應及復原能力，試圖引進韌性之概念，降低災害對臺灣社會之衝擊與損失（林俊全等人，2014）。從上述文獻中可發現，災害韌

性運用在災害研究領域中，災害韌性包含適應能力，其適應能力不只是對自然災害的吸收，同時包含人類自我的學習能力、由擾動後的改變與轉換的能力，以及從災害中復原（recover）的能力。Tierney and Bruneau（2007）認為災害韌性，是一種反應自然人文系統對於災害的應變與復原的能力，並提出韌性三角關係（Resilience Triangle）概念，如圖 1。該概念利用基礎設施受災狀況進行說明：當受災時，「好的」災害韌性能夠減少受災程度（ t_0 時公共設施品質下降程度較少），並能在短時間內快速回復原始狀態（ t_0 至 t_1 間的斜率變陡），增加對災害發生的吸收力。

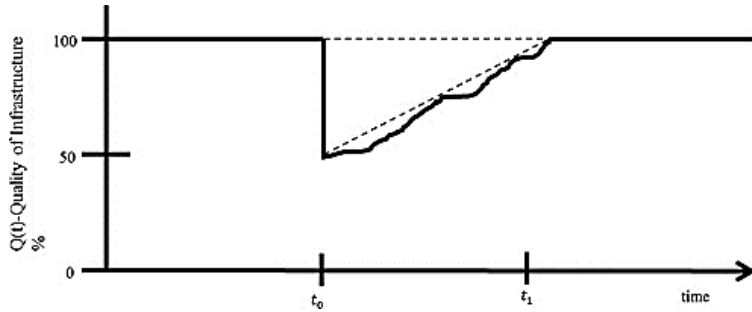


圖 1 韌性三角關係圖

資料來源：Tierney and Bruneau（2007）

UNISDR（2009）將災害韌性定義為：「暴露在災害因子下的系統、社區或社會及時有效地抵禦、吸納和承受災害的影響，並從中恢復的能力，包括保護和修復必要的基礎工程及其功能。」Zolli and Healy（2012）認為韌性的目的不是將系統回復到改變前的狀態，而是要持續調整、適應環境變化。國內外學者對於災害韌性的定義，多從脆弱度的討論著手，部分學者認為災害韌性與脆弱度兩者有著特定的交集與關聯性。Timmerman（1981）定義災害韌性為系統吸納與回復外來危害事件的部分能力，並且將容受力的概念納入脆弱度，認為應以系統不利於發生災害的事件，劃分脆弱度的等級，災害韌性則是利於系統的作用。有些學者將災害韌性視為脆弱度的相對概念，即災害韌性高，脆弱度低。白仁德、林建元（2009）認為空間規劃與災害風險管理領域中，脆弱度與韌性可以同時進行，降低人類系統脆弱度，即可提升都市的回復力（白仁德、黃冠華，2013）。劉婧等人（2006）對災害韌性的觀點，則認為災害韌性的概念包含脆弱度。災害韌性為系統抵抗致災因子打擊的能力與災害復原的能力，兩種能力分別屬於系統的動態、靜態能力，而脆弱度僅是系統間靜態潛在的能量屬性，是一種反應災害的狀態量，而災害韌性除了反映災情存在的狀況外，同時透過自我學習、應變與調適能力使系統趨於穩定。脆弱度包含實質環境脆弱度與社經脆弱度，代表自然環境、社會族群以及資源對災害衝擊的承受度，因此高脆弱度代表著對災害應變能力低，易受到或無法處理災害衝擊的影響。能夠適應風險環境，便是「災害韌性」的意義，協助高風險調適、因應環境風險，增強對災害的應變能力。

有關災害韌性的評估，Klein et al.（2003）認為脆弱度與韌性的關係，必須對該地區環境的特性進行考量，並考慮人口結構、社經背景與災害的特性，再進行兩者觀念的聯繫。因此災害韌性評估指標在不同空間尺度下，國家、都市、社區等社會層級皆會影響評估因子；不同領域

與災害韌性的關聯性，亦改變相對的災害韌性評估方法及評估指標。因此，全面性探討災害韌性相關的評估指標以及方法，考量不同領域以及空間尺度的災害韌性指標，作為本研究研擬評估指標的依據。

Adger (2000) 探討社會韌性 (Social Resilience)，提出環境變遷下社區除了是否有能力回到災害前的狀態外，也能在災害經驗中學習、適應與再組織，因此社會韌性評估涵蓋了經濟、空間、社會面向，而所得、產業、人口特性、經濟以及政治改變，皆是衡量城市整體韌性之關鍵。Ainuddin and Routray (2012) 提出易受地震災害地區的社區韌性架構，認為提升社區災害意識與整備能力、嚴格落實的建管法令、具協調性的災時應變能力、居民多元的收入來源是重要的評估面向。

Cutter et al. (2008) 在地方社區層級的天然災害韌性的研究中，建立了地方災害韌性模型 (Disaster Resilience of Place: DROP)，強調須考慮影響災害衝擊之實質與社會經濟環境；且考慮災前減災、整備與災後應變、重建能力。因此她們將韌性分成生態、社會、經濟、制度、公共設施及社區能力等六個面向。吳杰穎與黃昱翔 (2011) 建立颱風災害脆弱度評估指標，分為三大層級九大面向以及 24 個指標；針對生生物理脆弱度、社經脆弱度以及災害韌性作為評估的第一層級，強調災害韌性指標除不同類型之地理環境外，主要也受到人口特性、家戶經濟狀況、應變能力、復原能力影響而有所差別。蔡綽芳等人 (2015) 將災害韌性評估分成社會與經濟、制度與體系、實質環境三個面向，從社會與經濟得知地區受到災害之衝擊下，災害復原的速度；制度與體系可得知救災能力及資源分配；實質環境為該地區的先天條件，三個面向組成「都市災害韌性運作模式」，該研究最後選取人口、產業、所得、暴露、地理條件、土地使用、應變能力、調適能力與學習能力等 9 個評估項目，並將評估指標應用在災前條件、災時應變及災後的恢復、調適與學習三構面之韌性條件。

(二) 大眾運輸導向之都市發展

交通運輸與土地使用影響甚大，Newman and Kenworthy (2000) 認為不同的互動關係形成相異的都市發展模式，如圖 2 所示。從工業革命以來，都市創造工作機會，使鄉村人口不斷向都市集中，形塑出工業化軌道運輸城市 (Industrial Transit City, ITC)。但隨著美國高速公路的建設及私人運具的普及，交通運輸與土地使用的改變下，形成汽車導向發展城市 (Automobile-Oriented Development, AOD)，使得都市擴張 (Urban Sprawl) 現象嚴重，並促成郊區化 (Suburbanization) 發展，造成都會區大眾運輸、經濟、環境等方面產生衝擊。因此，解決汙染、土地資源的有效利用成為當時的議題。Calthorpe (1993) 發表大眾運輸導向發展 (TOD)，強調大眾運輸應結合土地使用規劃，更有效地進行土地開發及保護環境資源，可以同時降低能源使用效率，減少環境汙染與社會資本。

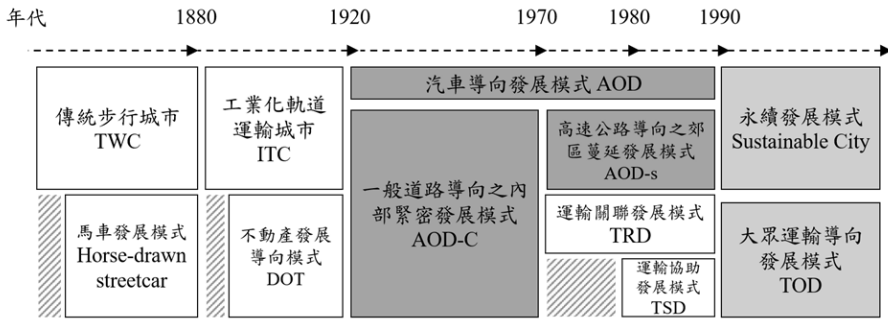


圖 2 土地使用與交通運輸互動模式發展歷程三角關係圖

資料來源：白仁德、劉人華（2014）

TOD 理念近年逐漸成熟，並且成為主流的規劃方式，塑造以大眾運輸車站為節點（Node）的都市發展，藉由增加車站周邊土地使用強度以及多元開發，重新整合周邊環境的新建設或再開發計畫，提升車站周邊的環境品質。Cervero and Kockelman（1997）指出 TOD 著重三個基本意涵（3D）：「提高土地使用密度（Density）、混合土地使用（Diversity）、行人導向的都市設計（Design）」。透過提高捷運站步行範圍內的土地使用密度，進行合理與有效率發展；重視多樣性的土地使用、房屋型式與活動配置；強調步行為主的都市設計，有助於搭乘大眾運輸系統等交通規劃，同時設置對行人友善的廣場、活動空間、設施等。Belzer and Aulter（2002）將 3D 元素延伸為 5D，5D 包含：「Density（使用強度）、Diversity（混合使用）、Design（人行導向都市設計）、Distance（土地發展範圍）、Destination（目的地遠近）」，透過 TOD 發展模式，作為規劃都市型態的內部結構特徵之參考。Wey and Chiu（2013）認為 TOD 通過改善步行環境，減少汽車使用的積極規劃，可減少汙染排放，為增進民眾身心健康方案之一。因此發展至今，TOD 的意涵增加了「健康安全」思維（Hsieh and Li, 2018），並成為重要趨勢。

而李家儂、謝翊楷（2016）研究指出，TOD 規劃不僅可以帶動周邊土地開發效益（如周邊都市更新、增額容積需求等），更可以此提升土地價值並達到稅金增額的效果。TOD 打破傳統的都市設計，運用高密度且多樣化的土地使用和都市設計，增加土地使用強度以提供公共服務設施、鼓勵提升大眾運輸的使用率，降低對私人汽車依賴、提升大眾運輸需求，即資源有效分配的效果，成為達到永續的方法之一。根據以上文獻回顧大眾運輸導向發展內容，本研究歸納出 TOD 發展型態：

1. 緊密都市的發展
2. 提高車站附近地區土地使用強度，補強車站周邊地區機能性
3. 多樣化且健康安全的居住型態

臺灣的城市欲引入大眾運輸導向發展有其限制，大眾運輸導向發展需先評估基於「容受力」觀念下的發展需求總量（李家儂，2003），因臺灣的開發密度及強度，須避免不相容土地使用間的互相干擾，以及防止供給過量形成的資源浪費問題，都市規劃手法應因地制宜，確保 TOD 能在健全的都市發展環境及供需均衡的市場中，朝向永續的目標發展。

（二）大眾運輸導向發展與災害韌性的關係

大眾運輸導向發展的都市規劃手法，將影響地區環境、人口特性、土地使用、經濟、產

業。馮正民等人（2002）利用模糊推論的方法，指出大眾運輸系統與都市規劃發展有重要的互動關係。李家農（2003）提出臺灣 TOD 發展如提高捷運車站周邊土地使用強度，將會影響公共設施供給進而降低環境容受力。容積獎勵代表著人口密度以及發展強度之提高。因此大眾運輸導向發展的規劃，使原始條件改變，將干擾地區災害韌性，土地使用強度增加，將影響受災衝擊的程度，造成災害韌性下降。因此，大眾運輸導向發展與災害韌性兩者之間，有著相互影響的互動關係。

TOD 理念以 3D「提高土地使用密度（Density）、混合土地使用（Diversity）、行人導向的都市設計（Design）」三要素，以達到緊密的都市發展，然而城市在密集發展下，具有人口、土地密集利用與社會經濟高度發展之特性，可能因處於高度暴露於氣候變遷與災害威脅下，高度發展與敏感的發展特性，將提升其災害脆弱度並降低災害韌性（張學聖，2017）。陳瑞鈴等人（2014）探討影響都市洪災脆弱度因子，發現「人口密度」與「土地使用強度」是最重要的影響因子，而此兩項因子恰好與 TOD 中 3D 理念有密切關係。林楨家、高誌謙（2003）探討 TOD 土地使用規劃模式過程中，TOD 可降低通勤時間及私人運具旅次，有助於民眾使用大眾運輸系統，但可能會降低當地生活環境品質，並擴大與其他地區發展強度之差異而造成社會公平問題；人口過度集中導致都市熱島效應，不僅增加能源的消耗，進而造成更多的環境衝擊（張學聖，2011）；有限的都市住宅空間提高房價，對低收入家庭不友善（林淑英，2012），房市可能造成波動，打擊地區經濟。

三、研究設計

以下將依序說明本研究之研究範圍與研究方法。

（一）研究範圍

本研究為從災害韌性的角度下，檢視大眾運輸導向發展政策。目前臺灣以臺北都會區為執行 TOD 政策的領頭羊，分別在 2018 年以及 2019 年雙雙執行大眾運輸導向發展政策，臺北市與新北市分別辦理容積獎勵／增額容積以推動 TOD 發展，目標透過額外獲得之容積獎勵引導臺北都會區未來朝向大眾運輸導向之都市發展，增加推動意願以及土地運用的多元性，達到強化臺北都會區場站周邊使用、翻轉車站節點周邊空間、提升大眾運輸搭乘率及減少私有運具使用，型塑永續都市型態與土地利用模式。以下就此二城市之大眾運輸導向發展政策內容分別說明。

1. 臺北市大眾運輸導向可申請開發許可地方細部計畫案

臺北市都市發展局於 2018 年提出「擬定臺北市大眾運輸導向可申請開發許可地區細部計畫案」，目的為引導臺北市朝向大眾運輸導向之都市發展，透過開發許可機制引導都市發展，並回饋提供公共及公益設施，補足地區公共機能不足，同時透過都市設計管制營造整體景觀風貌。可申請開發許可地區有以四點原則：

（1）優先計畫範圍：

- A. 核心區：以距離捷運場站或臺鐵場站出入口 150 公尺範圍內。
- B. 一般區：以距離捷運場站或臺鐵場站月台投影核心點 300 公尺範圍內。

(2) 開發基地規模：

- A. 住宅區以 $\geq 3,000$ 平方公尺為原則或完整街廓。
- B. 其餘土地使用分區以 $\geq 5,000$ 平方公尺為原則或完整街廓。
- C. 符合上述開發基地規模情形之一者，但街廓總面積未達 1,000 平方公尺，應整併相鄰街廓達 1,000 平方公尺。

(3) 容積獎勵

第一級場站

- A. 核心區：容積獎勵為基準容積的 30%。
- B. 一般區：容積獎勵為基準容積的 15%。

第二級場站

- A. 核心區：容積獎勵為基準容積的 20%。
- B. 一般區：容積獎勵為基準容積的 10%。

總容積加計各項容積獎勵、容積移轉等不得超過基準容積 2 倍，以維持都市環境及公共設施服務水準。

(4) 容積獎勵回饋捐贈容積

在開發時提供公共住宅空間、幼兒托育、高齡照護、創新創業育成基地、社區活動或行政辦公公共服務設施回饋捐贈項目，其樓地板面積應以申請開發許可地區，容積獎勵之樓地板面積的 50% 無償捐贈予市府後即可申請，如經審議通過後得以繳納等值之回饋代金。

2. 新北市捷運場站周邊地區細部計畫土地使用分區管制要點

2019 年新北市城鄉發展局提出「擬定新北市捷運場站周邊地區細部計畫土地使用分區管制要點」，以增額容積制度提高開發強度，增加捷運周邊使用機能，同時兼顧公益取得回饋空間，帶動城市發展。可申請開發許可地區有以四點原則：

(1) 優先計畫範圍：

- A. 核心交會、商業發展型場站：商業發展範圍以場站 300 公尺為主。
- B. 產業轉軌、地方活絡型場站：商業發展範圍以場站 150 公尺為主。

(2) 開發基地規模：

- A. 使用分區：經盤整 21 站計畫範圍內所有分區後，選取範圍內可發展分區、公共設施用地中，可立體多目標使用者。
- B. 基地面積：2,000 平方公尺以上或完整街廓。
- C. 面前道路：道路寬度應達 8 公尺以上，但道路寬度達 6 公尺以上者，得退縮道路寬度補足達 8 公尺，並供公眾通行或連續面寬應達 20 公尺以上。

(3) 增額獎勵

- A. 依更新條例重建：可申請至少 20%，且考量都市整體容受力，訂定總容積上限為基準容積 2 倍。
- B. 素地開發及一般地區重建：可申請至少 20% 最高 50% 增額容積。

總容積加計各項容積獎勵、容積移轉等不得超過基準容積 2 倍，以維持都市環境及公共設施服務水準。

(4) 增額容積回饋機制

在開發時應負擔其以下兩點增額容積回饋機制的義務，即可申請增額容積。

- A. 增額容積價金：以建築基地申請當期之土地公告現值 $\times 1.4$ 倍。
- B. 公益性設施：必須提供老人活動與安養設施、公共托育設施、創新創業育成基地、社會住宅、微型運動中心或其他供公眾使用設施或機關辦公相關設施，面積不得小於基地面積 \times 基準容積率 $\times 10\%$ 。

因此，本研究將臺北市以及新北市兩地區第一階段之政策獎勵場站範圍，作為指標落實之地區。分別為臺北市 TOD 發展獎勵政策優先推動的 33 個場站範圍，以及新北市 TOD 發展獎勵政策優先推動的 21 個場站範圍，共計 54 個場站周邊範圍為對象探討之（請參見圖 3）。

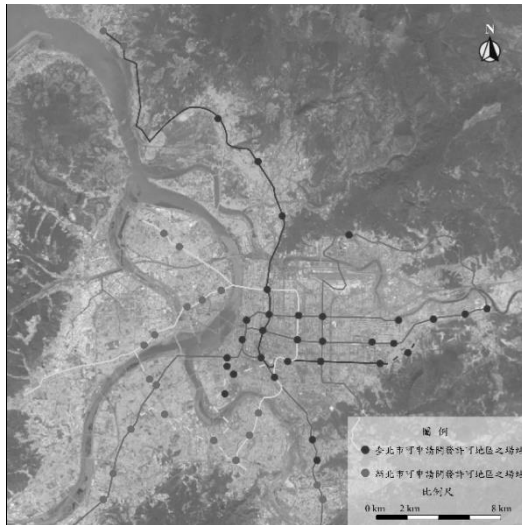


圖 3 研究地區-臺北都會區 TOD 發展之獎勵場站範圍

資料來源：本研究繪製

(二) 研究方法

本研究嘗試從災害韌性角度，研擬臺北都會區大眾運輸導向發展政策之評估指標，透過文獻回顧初擬災害韌性與大眾運輸導向發展評估體系，利用專家學者問卷調查初擬指標，以模糊德爾菲 (Fuzzy Delphi Method, FDM) 法，篩選大眾運輸導向發展政策下的災害韌性評估指標體系。因此，本研究方法如下說明：

1. 專家問卷

從文獻回顧中初擬 TOD 容積獎勵之災害韌性評估指標，並藉由專家問卷蒐集各專家意見與想法，協助篩選適當 TOD 容積獎勵之災害韌性評估指標研究之基礎。專家問卷發放對象，主要以從事災害管理、韌性規劃、交通運輸規劃等相關領域的學者，如表 1，藉以作為進行模糊德爾菲法之篩選依據。本研究專家問卷施測日期自 2020 年 12

月 29 日至 2021 年 1 月 29 日止，總計發放問卷 9 份，回收問卷 9 份，回收率 100%。

表 1 專家問卷受訪者背景表

編號	受訪單位	專業領域
1	成功大學都市計劃學系	災害管理、都市規劃
2	臺北市立大學城市發展學系	韌性規劃、都市規劃
3	臺北市立大學城市發展學系	脆弱度分析與韌性規劃
4	銘傳大學都市計劃與防災學系	災害管理、交通運輸規劃
5	銘傳大學都市計劃與防災學系	災害管理、都市規劃
6	臺北大學不動產與城鄉環境學系	災害管理、環境風險管理
7	臺北大學不動產與城鄉環境學系	災害管理、都市規劃
8	政治大學地政學系	都市規劃、交通運輸規劃
9	國家災害防救科技中心	災害管理

資料來源：本研究整理

2. 模糊德爾菲法

從文獻回顧中初擬 TOD 容積獎勵之災害韌性評估指標，並藉由專家問卷蒐集各專家意見與想法，協助篩選適當 TOD 容積獎勵之災害韌性評估指標研究之基礎。專家問卷發放對象，主要以從事災害管理、韌性規劃、交通運輸規劃等相關領域的學者，如表 1，藉以作為進行模糊德爾菲法之篩選依據。本研究專家問卷施測日期自 2020 年 12 月 29 日至 2021 年 1 月 29 日止，總計發放問卷 9 份，回收問卷 9 份，回收率 100%。

四、評估指標體系確認與分析

此處將分文為三個部分進行說明。第一部分為評估體系建構初擬說明；第二部分為 FDM 之分析，應用 FDM 篩選災害韌性評估指標；第三部分為確認後的評估指標體系分析。

(一) 評估指標體系建構初擬

為建構大眾運輸導向發展政策下災害韌性評估體系，首先必須初擬評估面向及評估指標，根據前述文獻回顧之探討，本研究參考 Cutter et. al., (2008) 的地方災害韌性模型 (DROP) 中社區韌性指標，將其分為生態、社會、經濟、制度、公共設施及社區能力等六個面向，然而因國外社會發展條件的不同，災害韌性指標必須因地制宜，是以，同時參考我國蔡綽芳等人 (2015) 提出之災害韌性指標評估架構，包含社會經濟、實質環境以及制度與環境三個面向，本研究將此兩篇文獻作為第一層級之參考，使得評估面向更符合臺灣在地性。而臺灣以颱風、洪災等為主要天然災害，因此於評估指標中，另外參考陳瑞鈴等人 (2014) 提出都市洪災脆弱度因子，以及吳杰穎、黃昱翔 (2011) 建立颱風災害脆弱度評估指標。

本研究將災害韌性分為：「實質環境脆弱度」、「社經脆弱度」、「環境容受力」以及「適應與調適能力」四大評估面向。四大評估面向中，「實質環境脆弱度」可視為地區內部本身受到災害損失的潛力以及對抗外來衝擊的能力，包含老舊屋齡建物比例、短延時強降雨淹水程度、及一天累積降雨 600mm 淹水程度等三項指標。「社經脆弱度」為社會經濟因素所影響的函數，探討災害發生前社會系統存在的狀況，同時探討社會系統受災害影響程度的結構因素，

此部分指標包含身心障礙、低收入戶、幼年老人、及高等教育人口比例等四項指標。在自然環境以及社會人文的互動下，可透過「環境容受力」評估環境之耐災程度，此部分的指標包含工商業土地使用面積比例、建物分布密度、與人口密度等三項指標。而透過「應變與調適能力」，可評估各地區對災害的應對以及防救災能力，此部分指標包含開放空間面積比例、防救災硬體設施比例、與防救災專業人力比例等三項指標。初步擬定大眾運輸導向發展容積獎勵之災害韌性評估指標架構，共有四面向（第一層級）13項指標（第二層級），如圖4所示。

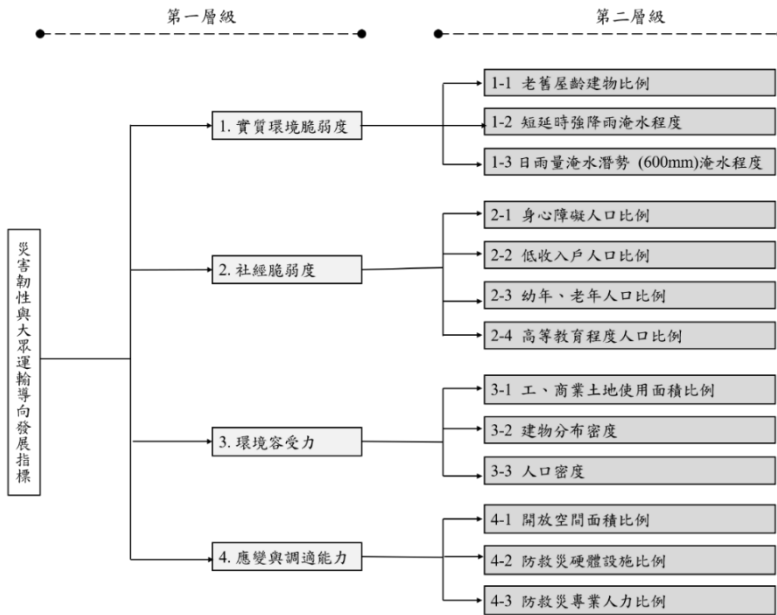


圖 4 大眾運輸導向發展容積獎勵之災害韌性評估指標初擬架構圖

資料來源：本研究繪製

(二) 模糊德爾菲法之分析

本研究透過 9 份回收之專家問卷，分別計算第一層級與第二層級共 17 項目之模糊德爾菲三角模糊數（請參見表 2），問卷統計結果，9 份問卷所有指標皆達收斂。而依據過去使用模糊德爾菲法之文獻對於門檻值訂定，門檻值的訂定視決策者實際需求而主觀設定（張有恆、徐村和、陳曉玲，1997），並一般建議將門檻值設定多數採用 6.00-7.00 為一門檻之界定值（羅健文、邱良忠，2015），或以各項指標的專家共識值（ G^i ）的算術平均數或幾何平均數作為門檻值，低於平均值的 G^i 即可刪除，若決策者若發現指標因子太少，可將門檻值降低，反之，則予以提高（Klir and Folger, 1987）。而本研究各項指標 G^i 值的算術平均數為 6.65，若以此為門檻值，其刪除指標過多而會影響本研究的層級結構，並考慮篩選後面向執行以及後續研究之可操作性，故將採專家共識值 6.10 訂定為門檻值。採此門檻值進行各指標之篩選，以剔除其餘共識值較低的評估指標。刪除的指標有低收入戶人口比例、高等教育程度人口比例、人口密度等三項指標，專家共識值 G^i 分別為 5.99、5.76、5.8，故予以刪除。最終確立之評估指標為四面向（第一層級）10項指標（第二層級）（請參見圖 5）。

表 2 模糊德爾菲三角模糊數表

項目	重要值			最小值			最大值			檢定值 Z^i	共識值 重要程度 G^i	
	min	幾何 平均 數	max	min	幾何 平均 數	max	min	幾何 平均 數	max			
	A_L^i	A_M^i	A_U^i	C_L^i	C_M^i	C_U^i	O_L^i	O_M^i	O_U^i			
第一層級	1 實質環境脆弱度	6	8.27	9	5	6.45	8	8	9.42	10	2.97	7.93
	2 社經脆弱度	5	6.93	8	4	5.16	6	6	8.27	9	3.11	6.17
	3 環境容受力	5	7.02	9	4	5.22	8	6	8.47	10	3.25	6.94
	4 適應與調適能力	6	7.82	9	4	5.77	8	7	9.07	10	3.30	7.48
第二層級	1-1 高屋齡建物比例	5	6.89	9	3	5.07	7	6	8.03	10	2.96	6.53
	1-2 短延時強降雨淹水程度	6	7.61	9	5	5.90	8	7	8.73	10	2.82	7.41
	1-3 日雨量淹水潛勢 (600mm)淹水程度	4	6.95	9	3	5.28	7	5	8.08	10	2.80	6.28
	2-1 身心障礙人口比例	3	6.39	9	3	5.15	8	6	8.61	10	3.45	6.95
	2-2 低收入戶人口比例	4	5.97	8	3	4.67	7	5	7.32	9	2.64	5.99
	2-3 幼年、老年人口比例	3	6.01	9	1	4.16	8	5	7.45	10	3.29	6.17
	2-4 高等教育程度人口比例	3	5.45	8	2	3.98	7	5	6.85	9	2.86	5.76
	3-1 工、商土地使用面積比例	5	6.48	8	4	4.92	7	6	7.39	8	2.47	6.40
	3-2 建物分布密度	5	6.91	8	3	5.08	7	6	8.25	10	3.16	6.54
	3-3 人口密度	3	6.51	8	2	4.70	7	4	7.81	9	3.15	5.8
	4-1 開放空間面積比例	6	7.84	9	5	6.05	8	7	9.05	10	3.00	7.51
	4-2 防救災硬體設施比例	6	7.38	9	4	5.90	7	6	8.69	10	2.79	6.71
4-3 防救災專業人力比例	6	7.52	8	3	5.83	7	7	8.73	10	2.89	7	

項目選取：選取四大面向，十項指標
門檻值：6.10

註：共識值重要程度 G^i 粗體字表示通過門檻值(6.10)所選取之評估指標

資料來源：本研究整理

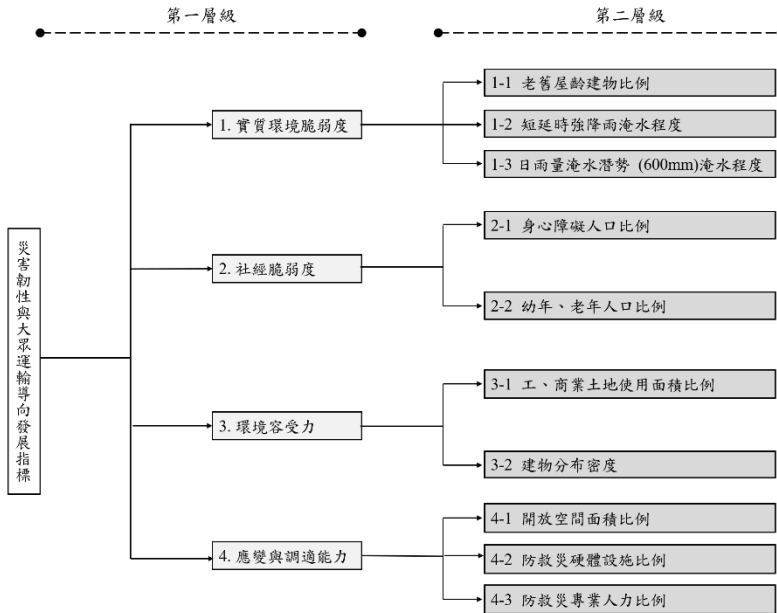


圖 5 大眾運輸導向發展容積獎勵之災害韌性評估指標架構圖

資料來源：本研究繪製

(三) 指標體系之分析

最終災害韌性指標體系篩選結果，共四大面向，十項災害韌性指標。以下針對四評估面向與指標內容進行說明。

1. 實質環境脆弱度

實質環境脆弱度面向指標中，篩選結果皆為保留，並且專家對於三項指標：老舊屋齡建物比例、短延時強降雨淹水程度以及日雨量淹水潛勢（600mm）淹水程度有高度共識值。根據內政部統計，臺北都會區 30 年以上老舊屋齡建物占全臺灣 31%，在地震頻繁的臺灣地區，老舊建築物耐震能力不足，成為影響臺北都會區脆弱度因子之一。以捷運臺北車站為例，臺北車站為眾多大眾運輸系統之節點，以車站為中心迅速發展，然而臺北車站前站、後站皆面臨建物老舊問題，嚴重影響都市安全。颱風帶來的水患災害，是臺灣自然災害中最常發生的災害，而因極端氣候所造成之短延時強降雨，是近年來都市地區淹水最難防範的型態。以 TOD 政策獎勵場站為例，捷運民權西路站、北投站、輔大站等，皆易受到較大的日雨量或短延時強降雨而淹水，因此未來的 TOD 容積獎勵政策，必須要有災害韌性層面之規劃。

2. 社經脆弱度

在社經脆弱度面向指標中，保留身心障礙人口比例以及幼年、老年人口比例指標，而專家共識值在於低收入戶人口比例、高等教育程度人口比例較低，認為與大眾運輸導向發展之災害韌性較無關聯，因此刪除此兩項指標。臺北市萬華區身心障礙人口比例以及幼年、老年人口比例偏高，因此災害對捷運龍山寺站、台鐵萬華站等場站有較大衝擊，在未來的 TOD 發展規劃時，必須進一步考量。

3. 環境容受力

環境容受力面向指標中，保留了工、商業土地使用面積比例以及建物分布密度指標，而人口密度指標因專家共識值不高而被刪除。捷運中山站、松江南京站皆為兩條捷運線交會場站，周邊商業使用密集、建物分布密度較集中需要具備承受災害能力，未來的 TOD 發展必須考量此議題，以減低受災風險。

4. 調適與應變能力

調適與應變能力面向中，三項指標在專家問卷過程中共識程度相較其他面向高，在篩選過程中指標均予以保留。大眾運輸導向發展的災害韌性指標，考量地區整體發展，因此較強調地區的開放空間以及防救災的軟硬體。若以此面向來考量，捷運公館站、大安站、景美站及三民高中站等場站，因鄰近學校等開放空間，且周遭有較高比例之防救災軟硬體，未來發展 TOD 政策，有較高之災害韌性。

五、結論與建議

本研究首先透過災害韌性評估指標、大眾運輸導向發展理論等相關文獻回顧，討論從災害韌性的角度下，檢視大眾運輸導向發展政策；其次，本研究透過模糊德爾菲法，彙整專家之意

見，建構大眾運輸導向發展容積獎勵之災害韌性評估指標。至此，最終確認之評估指標體系，第一層級為實質環境脆弱度、社經脆弱度、環境容受力、調適與應變能力等四大面向；第二層級包含老舊屋齡建物比例、短延時強降雨淹水程度、日雨量淹水潛勢（600mm）淹水程度、身心障礙人口比例、幼年、老年人口比例、工、商業土地使用面積比例、建物分布密度、開放空間面積比例、防救災硬體設施比例、防救災專業人力比例等 10 項評估指標。

本研究建立之 TOD 容積獎勵之災害韌性評估指標體系，未來臺北都會區執行大眾運輸導向發展相關政策時，可藉由本評估指標體系，進行地區之災害韌性分析，排除不宜執行 TOD 容積獎勵政策之場域，以避免政策執行後，降低該地區之災害韌性。以目前雙北市 TOD 場站為例，新北市以頂溪站周邊在日雨量超過 650mm 時，會淹水超過 1 公尺，有較高的淹水風險，且頂溪站周邊商業使用比例高，商業區土地使用强度高，原始容積率高，建物密度也高，再加上周遭地區缺乏開放空間。因此，透過本研究之指標體系來檢視，頂溪站似乎較不適合透過 TOD 政策增加週遭地區之容積，因為該地區的高強度開發，可能會降低其災害韌性。

最後，本研究專家問卷對象主要以從事災害管理、韌性規劃、交通運輸規劃等相關領域的學者，蒐集各專家意見與想法進行分析，然而，由於研究進行的人力與時間成本考量，總計發放 9 份模糊德爾菲法專家問卷，在樣本數上還具有改善的空間，因此建議後續研究者可以擴大問卷發放的樣本數，可使大眾運輸導向發展與災害韌性的討論更臻完善。

參考文獻

- 白仁德、林建元，2009，「各層級國土空間規劃與管理之脆弱度與回復力之評估研究-以縣市空間為對象(II)」，臺北市：行政院國家科學委員會。
- 白仁德、黃冠華，2013，「地方社區水災、坡地災害回復力之評估與建構-子計畫：鄉鎮區層級坡地災害回復力之評估與建構(I)」，臺北市：行政院國家科學委員會。
- 白仁德、劉人華，2014，大眾運輸導向建成環境特性對捷運運量影響之研究-以臺北捷運為實證對象，「都市與計劃」，15(2/3)：111-128。
- 吳杰穎、黃昱翔，2011，颱風災害脆弱度評估指標之建立：以南投縣水里鄉為例，「都市與計劃」，38(2)：195-218。
- 李家農，2003，都會區大眾運輸導向發展之規劃模式，臺北大學都市計劃研究所碩士論文，未出版之碩士論文。
- 李家農、謝翊楷，2016，以階層線性模式探討 TOD 規劃效益對土地開發之影響，「臺灣土地研究」，19(1)：1-38。
- 林俊全、莊振義、李建堂，2014，「氣候變遷與災害防救」，國家教育研究院編輯，臺北市：五南。
- 林淑英，2012，「緊密都市發展策略及衡量指標之研究」，臺北市：國家發展委員會。
- 林楨家、高誌謙，2003，用於捷運車站周邊地區容積管制檢討之 TOD 規劃模式，「運輸計劃季刊」，32(3)：581-600。

- 洪鴻智、徐牧謙、洪至萱，2021，都會颱風災害韌性變遷及其與脆弱度、調適力之連結，「地理學報」，(99)：59-81。
- 張有恆、徐村和、陳曉玲，1997，航空站區位選擇評估程序之研究，「運輸計劃季刊」，26(1)：37-68。
- 張學聖，2011，「全球氣候變遷下低碳城市空間規劃之研究」，臺北市：行政院國家科學委員會。
- 張學聖，2017，「都市密集地帶脆弱度特性與減災調適策略-子計畫：都市密集地區災害空間特性之風險評估模式(I)」，臺北市：行政院國家科學委員會。
- 陳瑞鈴、吳杰穎、林文苑、林建宏，2014，都市洪災脆弱度因子與都市規劃防範策略之探討，「建築學報」，(89)：75-92。
- 馮正民、林禎家、吳信輝，2002，應用模糊認知圖法分析都市發展系統關聯之初探，「都市與計劃」，29(3)：355-373。
- 新北市政府城鄉發展局，2019，「新北市都更三箭-捷運場站周邊地區增額容積、基準容積加值執行機制說明」，新北市：新北市政府。
- 臺北市政府都市發展局，2018，「擬訂臺北市大眾運輸導向可申請開發許可地區細部計畫案」，臺北市：臺北市政府。
- 劉婧、史培軍、葛怡、王靜愛、呂紅峰，2006，災害恢復力研究進展綜述，「地球科學進展」，21(2)：211-218。
- 蔡綽芳、洪鴻智、賴深江、簡長毅、洪至萱、蔡豐宇，2015，「面對天然災害之韌性都市建構策略與評估」，新北市：內政部建築研究所。
- 鄭滄濱，2001，軟體組織提昇人員能力之成熟度模糊評估模式，臺灣科技大學資訊管理研究所碩士論文，未出版之碩士論文。
- 羅健文、邱良忠，2015，應用模糊德爾菲法與分析網路程序法建立綠色運輸與遊憩路線規劃指標之研究，「台灣土地研究」，18(2)：81-108。
- Adger, W. N., 2000, "Social and ecological resilience: are they related?", *Progress in human geography*, 24(3): 347-364.
- Ainuddin, S., and Routray, J. K., 2012, "Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2(1): 25-36.
- Belzer, D., and Aulter, G., 2002, *Transit-oriented development: moving from Rhetoric to reality*, Washington, D. C.: The Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy and The Great American Station Fundation.
- Calthorpe, P., 1993, *The Next American metropolitan: Ecology, community, and the American Dream*, New York: Princeton architectural press.
- Cervero, R., and Kockelman, K., 1997, "Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design", *Transportation Research part D*, 2(3): 199-219.
- Comfort, L., Wisner, B., Cutter, S., Pulwarty, R., Hewitt, K., Oliver-Smith, A., Wiener, J., Fordham, M.,

- Peacock, W., and Krimgold, F., 1999, "Reframing disaster policy: the global evolution of vulnerable communities", *Global Environmental Change Part B: environmental hazards*, 1(1): 39-44.
- Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., and Webb, J., 2008, "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters", *Global environmental change*, 18(4): 598-606.
- Holling, C. S., 1973, "Resilience and stability of ecological systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1): 1-23.
- Hsieh, Y. K., and Li, C. N., 2018, "Research on the evaluation indexes of walking friendly environment in healthy communities from the perspective of mass transit oriented development-Taipei MRT as an example", *International Journal of Humanities, Arts and Social Sciences*, 4(1): 1-14.
- Klein, R. T., Nicholls, R. J., and Thomalla, F., 2003, "Resilience to natural hazards: How useful is this concept?", *Global environmental change part B: environmental hazards*, 5(1): 35-45.
- Klir, G. J., and Folger, T. A., 1987, *Fuzzy sets, uncertainty, and information*, USA: Prentice-Hall.
- Newman, P., and Kenworthy, J.R., 2000, "Sustainable of urban form: The big picture", *Achieving Sustainable Urban Form*, 109-120.
- Tierney, K., and Bruneau, M., 2007, "Conceptualizing and measuring resilience: A key to disaster loss reduction", *TR news*, (250): 14-15.
- Timmerman, P., 1981, *Vulnerability resilience and the collapse of society: A review of models and possible climate applications*, Toronto: University of Toronto, Institute for Environmental Studies, Research Paper.
- UNISDR, 2009, *Global assessment report on disaster risk reduction, United Nations International Strategy for Disaster Reduction Secretariat*, Switzerland: Geneva.
- Wey, W. M., and Chiu, Y. H., 2013, "Assessing the walkability of pedestrian environment under the transit-oriented development", *Habitat International*, 38: 106-118.
- Zolli, A., and Healy, A. M., 2012, *Resilience: Why things bounce back*, UK: Hachette.