

# 重大鐵公路系統氣候變遷脆弱度評估指標之研究

張瓊文 蕭為元 陳怡妃 李仕勤  
交通部運輸研究所

## 摘要

重大鐵公路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，可說是國家維持正常運作之重要維生基礎設施。然而，氣候變遷衝擊日漸加劇，重大鐵公路系統受災風險不斷升高，實有必要掌握重大鐵公路系統在氣候變遷下之脆弱度熱點，以利各主管機關進一步規劃因應未來氣候變遷之衝擊。本研究參考國內外有關氣候變遷脆弱度評估之文獻與經驗作法，並依據國發會所提之脆弱度為暴露度、敏感度及調適能力之綜合值概念，進行脆弱度評估。藉由水利署依據中央氣象局之雨量觀測資料研判之淹水潛勢及中央地質調查所分析之地質災害潛勢等圖資之應用，產出重大鐵公路系統脆弱度地圖及熱點。研究結果聚焦於對重大鐵公路系統衝擊較大之氣候變遷影響因子—「降雨型態改變」(含極端強降雨及颱風)，進行鐵公路系統脆弱度分析，並建立重大鐵公路系統氣候變遷脆弱度評估指標及脆弱度地圖，期有助於相關單位掌握交通部門未來氣候變遷調適重要課題並規劃相關研究工作，提升政策支援之能力。

關鍵字：鐵路、公路、脆弱度評估、暴露度、敏感度、調適能力

## 一、前言

重大鐵公路系統是國家能維持正常運作最重要的維生基礎設施之一，其不僅與人民日常生活息息相關，亦影響整體經濟的發展。然而，全球因氣候變遷所引起之衝擊(例如暴雨集中、澇災、乾旱、海平面上升等)似有日漸加劇的趨勢，使世界各地鐵公路系統受到災損的風險亦將升高。有鑑於臺灣每年經常面對梅雨及颱風帶來的豪雨，再加上地形陡峻，河川短促，經常引發嚴重水災及地質災害的情況發生，而這些災害也造成鐵公路中斷，影響社經發展，甚至導致用路人生命財產損失。

然目前國內對於重大鐵公路系統實際之氣候變遷脆弱度的判定，以及未來應投入調適行動的資源規劃等仍有不足的地方，因此，有必要以系統性、客觀性的科學論證分析方式，評估可能造成災害的風險與影響程度，研擬調適策略，以進行有效的氣候變遷調適作為，降低重大鐵公路系統之脆弱度，提升其在氣候變遷下之調適能力，維持應有的運作功能及減少對社會之衝擊。

本研究<sup>[1]</sup>參考國內外有關氣候變遷脆弱度評估之研究文獻與經驗作法，並依據國發會所提之脆弱度為暴露度、敏感度及調適能力之綜合值概念，聚焦於對重大鐵公路系統衝擊較大之氣候變遷影響因子—「降雨型態改變」(含極端強降雨及颱風)，進行鐵公路系統脆弱度分析，並建立重大鐵公路系統氣候變遷脆弱度評估指標及脆弱度地圖。相關研究成果期可作為鐵公路相關主管機關研提氣候變遷調適行動方案與行動計畫之參據，以及未來建立氣候變遷調適資訊平台之基礎。

## 二、國內外文獻回顧

「國家氣候變遷調適行動計畫(民國102~106年)—維生基礎設施領域行動方案」<sup>[2]</sup>提及，氣候脆弱度乃是系統的氣候變遷衝擊的暴露度、敏感度及適應力3者的綜合值。因此，要降低或改善氣候脆弱度，主要是針對暴露度、敏感度及適應力各別找出造成其值太高或太低的原因做為調適課題(adaptation issue)，再進一步找出結果產出的作用機制或關鍵因素，據以擬定具體可行且有效的調適措施(adaptation measure)。

聯合國環境規劃署於民國98年11月報告<sup>[3]</sup>所提氣候變遷脆弱度(vulnerability)定義，脆弱度即包含「敏感度(sensitivity)」、「暴露度(exposure)」及「調適能力(回復力)(resilience)」。

「脆弱度」係指某個系統受氣候變遷負面影響及無法因應的程度，脆弱度會受到不同因子影響，脆弱度影響因子包括系統暴露在氣候變遷及其變化的特性、強度、頻率、敏感度及調適能力。

其中，「暴露度」係指特定分析單元受氣候壓力之影響程度，可表示為氣候條件之長期變化或氣候變遷之變化，包括極端事件之程度和頻率。暴露度一般考量二項因子：(1)受氣候變遷影響之事物(如人口、資源、財產)；(2)氣候本身自我改變(如海平面上升、降雨及溫度改變)。「敏感度」係指系統受影響之程度，或反應於氣候刺激之程度。基本上，敏感度是氣候變遷之生物物理影響，但敏感度亦會受社會經濟變化而改變。例如，新作物品種亦可能受到氣候變遷影響。「調適能力(回復力)」係指系統適應氣候變遷之潛力或能力，如為了氣候變異或極端

事件所導致之潛在破壞，採取機會優勢或處理其後果。

在脆弱度評估方法上，Dongkun Lee等<sup>[4]</sup>將氣候變遷脆弱度定義為氣候暴露度、敏感度及調適能力綜合評估之函數，關係如下式所示， $\alpha$ 、 $\beta$ 及 $\gamma$ 分別為氣候暴露度、敏感度及調適能力之權重因子。其中氣候暴露度定義為氣候變遷衝擊，敏感度定義為氣候變遷衝擊範圍或脆弱度衝擊，調適能力定義為氣候變遷衝擊降低。

關係式如下：

$$\text{脆弱度} = \alpha \times \text{氣候暴露度} + \beta \times \text{敏感度} - \gamma \text{ 調適能力}$$

根據全球環流模式(General Circulation Model, GCM)推估結果，臺灣未來可能發生的水文情境為「豐愈豐，枯愈枯」(豐水期雨量增加，且枯水期雨量減少)<sup>[5]</sup>；在此情境下，雨量明顯高於基期雨量。以重現期100年延時48小時的單站雨量為例，在臺灣14個代表性測站中，絕大多數(13個測站)的情境雨量均高於現行設計雨量。此外，也可以發現在氣候變遷衝擊下，未來極端暴雨其強度有逐漸上升的趨勢。

綜合考量臺灣氣候狀況，目前「氣溫上升」及「海平面上升」影響較有限，而「降雨型態改變」(含極端強降雨及颱風)明顯對鐵公路系統之衝擊較大。另依據國道、省道、臺鐵及高鐵之歷史災點紀錄得知，氣候變遷對國內交通系統之衝擊，主要是颱風所帶來的豪雨為主。

透過文獻探討，本研究以脆弱度評估方法，針對「降雨型態改變」影響重大鐵公路系統服務功能，對社會、經濟及交通運輸可能受影響之範圍與程度，以及藉由預防、預警、應變及復原等調適作為來降低影響程度等條件，進行重大鐵公路系統脆弱度評估，並以現況情境與未來極端降雨情境進行探討。

### 三、研究方法

#### (一) 範疇界定

在範疇界定上，將重大鐵公路系統界定為國道、快速公路、省道、臺鐵主線(不含支線)，以及高鐵全線等5部分，以進行重大鐵公路系統脆弱度評估。

#### (二) 情境設定

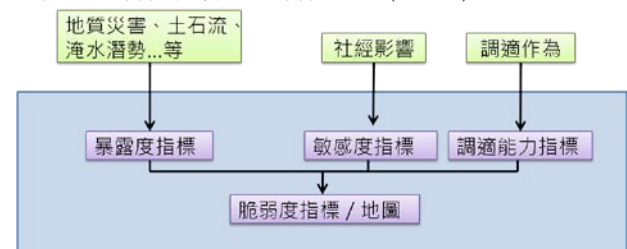
在雨量情境設定上，參考臺灣地區中央管河川保護標準，以24小時累積雨量100年重現期做為現況情境；另以歷史過去最嚴重之颱風造成的強降雨作為未來極端降雨情境，考量莫拉克颱風造成某些地區降雨量超過24小時累積雨量200年重現期<sup>[6]</sup>，因此以24小時累積雨量200年重現期做為代表，訂為未來極端降雨情境。

在社經部分，以101年人口及交通量等產出值做為現況情境；未來受到莫拉克颱風再現情境下之人口及交通量等產出值，則依據交通部運輸研究所「第

5期整體運輸規劃研究系列—城際運輸需求模式檢討及參數更新研究(3/3)」之人口總數中推估，以在總人口數成長0.48%情境下，推估120年之人口數及交通量等產出值做為未來極端降雨情境之社經資料。

#### (三) 脆弱度評估方法

參考聯合國環境規劃署(United Nations Environment Programme, UNEP)及國發會101年之「地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引」<sup>[7]</sup>概念，重大鐵公路系統脆弱度為氣候變遷衝擊之暴露度、敏感度及調適能力3者的綜合值；在暴露度評估指標上，包含地質災害、土石流、淹水潛勢等指標資料，敏感度指標主要為社經影響，調適能力指標則為相關調適作為，透過3種指標之綜合值評估及圖資疊圖，可得到脆弱度指標及脆弱度地圖(如圖1)。



資料來源：本研究整理

圖1 重大鐵公路系統脆弱度各面向之關係架構圖

在重大鐵公路系統脆弱度評估方法上，參考Dongkun Lee等<sup>[4]</sup>的脆弱度評估公式，將以暴露度、敏感度及適應能力三者進行同階層之評估分析，重大鐵公路系統脆弱度之評估關係式如下式所示。其中暴露度、敏感度等級越高，代表暴露度、敏感度越高，也會使得鐵公路系統越脆弱，然而在調適能力部分，等級越高表示調適能力越好，使得鐵公路系統相關較不脆弱。

關係式如下：

$$\text{重大鐵公路系統脆弱度} = \text{暴露度} + \text{敏感度} - \text{調適能力}$$

在脆弱度評估上，首先將暴露度、敏感度及調適能力分成5個等級，利用上式關係式，得到重大鐵公路系統脆弱度，搭配脆弱度評估矩陣(如圖2)，以產製脆弱度地圖及熱點。

在脆弱度評估矩陣組合的脆弱度等級劃分，低等級為綠色，中低等級為淡綠色，中等級為黃色，中高等級為橘色，高等級為紅色。舉例來說，當暴露度為中高(4)等級、敏感度為中(3)等級，以及調適能力為中(3)等級時，若以計分方式計算，首先將暴露度與敏感度相加可得到7分，調適能力中等級為3分，對應到脆弱度評估矩陣可知，重大鐵公路系統脆弱度為中(黃色)等級。

藉由重大鐵公路脆弱度評估結果，套疊重大鐵公路系統圖資，即可產出國道、快速公路、省道、臺鐵(不含支線)，以及高鐵等脆弱度地圖與熱點。

項目	敏感度與暴露度合計									
	分數	2	3	4	5	6	7	8	9	10
調適能力	5	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠
	4	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠
	3	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠
	2	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠
	1	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠	深綠

備註：敏感度與暴露度分數越高越不好；調適能力分數越低越不好。

資料來源：本研究整理

圖 2 脆弱度評估矩陣

#### (四) 指標名詞定義及說明

##### 1. 暴露度

本研究將暴露度定義為「交通系統位於災害(例如:洪水災害、地質災害...等)可能發生之威脅程度」。暴露度指標計有淹水潛勢、地質災害潛勢及土石流潛勢。

在淹水潛勢部分，目前臺灣地區中央管河川保護標準，慣例設定為50及100年重現期距之洪峰流量，因此，本研究係依水利署24小時累積雨量100年重現期之淹水潛勢區圖資做為現況資料；以24小時200年重現期之淹水潛勢圖資做為未來極端降雨情境。評估指標係依水利署之分級標準，如下所述：(1)低度(1級)淹水潛勢，淹水深度0~0.3公尺；(2)中低度(2級)淹水潛勢，淹水深度介於0.3~1公尺；(3)中度(3級)淹水潛勢，淹水深度介於1~2公尺；(4)中高度(4級)淹水潛勢，淹水深度介於2~3公尺；(5)高度(5級)淹水潛勢，淹水深度高於3公尺。

在地質災害潛勢部分，係採用經濟部中央地質調查所民國96~102年「集水區地質調查及山崩土石流調查與發生潛勢評估計畫」中之地質災害潛勢區圖資。由於該圖資不包含都會區周緣坡地，故另將地調所民國91~99年「都會區周緣坡地山崩潛勢分析」及「高山聚落地區地質災害基本調查」計畫之圖資納入評估指標內，避免忽略其他亦可能遭受衝擊區域的分析。在「地質災害潛勢區」評估指標中，包含岩體滑動潛勢區、順向坡岩體滑動潛勢區、落石及淺層滑動潛勢區等圖資，配合本研究之5級分級標準，地調所之高潛勢區、中潛勢區與低潛勢區分別對應本研究之高潛勢(5級)、中潛勢(3級)及低潛勢(1級)。

土石流潛勢部分，係採用行政院農業委員會水土保持局，103年1月公告之1,671條土石流影響範圍與潛勢。依據該局等級之劃分，配合本研究之5級分級標準，將水保局土石流潛勢之高潛勢、中潛勢、低潛勢，分別對應本研究之高潛勢(5級)、中潛勢(3級)及低潛勢(1級)。

##### 2. 敏感度

本研究將國內重大鐵公路系統敏感度定義為「受氣候變遷影響導致失能，社會、經濟及交通運輸可能受影響之範圍與程度」。依據相關研究成果及應用工具、相關文獻選用之敏感度指標，本研究本計畫擇定「交通需求」與「經濟發展」兩層面，各選出一項代表性評估指標，作為敏感度分析指標。在交通需求面，以「日交通量或每日乘客數」為評估指標；經濟發展面，以各鄉鎮「產值」為評估指標。

在「日交通量或每日乘客數」評估指標部分，考量公路與軌道系統於營運特性上有所差異，故指標選擇上公路系統為路段日交通量(PCU，小客車當量)，軌道系統則為站間日乘客數(人次)。現況分析資料以公路總局、高公局、臺鐵局、高鐵局最新調查之交通及運量資料為基礎，未來情境交通量則結合交通部運輸研究所辦理之「整體運輸規劃研究系列—城際運輸需求模式檢討及參數更新研究(3/3)」預測之120年交通量進行分析。評估指標等級分為5級，當重大鐵公路系統日交通量、乘客數越多時，即代表鐵公路系統受到氣候變遷影響而導致損壞或失能時，受到影響之交通量、乘客數越多，敏感度等級亦越高。分級上係考量交通量、乘客數之「離散程度」，先界定高(5級)、低(1級)兩級，再以高低兩級之中位數作為中等影響參考值，結合「筆數均等」概念及微調分級，區分中高(4級)、中(3級)、中低(2級)等級。等級界定說明如表1。

表 1 日交通量、搭乘人數敏感度等級界定

等級	高鐵 站間日搭乘人數	臺鐵 站間日搭乘人數	國道及快速公路 日交通量(PCU)	省道 日交通量(PCU)
高(5級)	7萬以上	5萬以上	10萬以上	10萬以上
中高(4級)	5-7萬	2.5萬-5萬	5-10萬	2.5-10萬
中(3級)	3-5萬	1.5萬-2.5萬	2.5-5萬	1-2.5萬
中低(2級)	1-3萬	5千-1.5萬	1-2.5萬	5千-1萬
低(1級)	1.5萬以下	5千以下	1萬以下	5千以下

資料來源：本研究整理

在產值評估指標部分，係由行政院主計總處中華民國統計資訊網所得之各鄉鎮產值資料，並利用分位數法將其劃分5等級，等級劃分方式如表2所示。因無法預測未來情境的產值，故取現況圖資作為現況與未來的產值呈現。

表 2 產值敏感度等級界定

等級劃分				
低(1級)	中低(2級)	中(3級)	中高(4級)	高(5級)
0千元- 1909,354千元	1,909,354千元- 7,701,821千元	7,701,821千元 ~25,671,903千元	25,671,903千元 ~84,476,357千元	84,476,357 千元以上

資料來源：本研究整理

### 3. 調適能力

交通設施之調適能力定義為「交通建設預防、預警、應變以及復原之能力」。依據資料易取得且可量化為主要考量，研擬調適能力評估指標共分為3個面向，分別為災前的預警能力、災時的應變能力，以及災後的復原能力。而災前的預防能力因指標資料不齊全，故在復原能力指標部分暫不列入評估。本研究調適能力指標包含預警能力之「監測系統」指標、應變能力之「替代運輸」指標，及復原能力之「修復配置點距離」指標。

在預防能力之設施結構安全度指標部分，主要可劃分為3個系統各別進行安全度之評估，分別為邊坡(含路基或軌道)、隧道及橋梁。然而，目前臺鐵與高鐵之邊坡(含軌道)、隧道結構安全度之評估方法與資料皆未成熟；另外，國道、快速公路及省道之邊坡(含路基)、隧道之結構安全度評分部分，因安全度評分過程，需要人力之全程現勘，受研究期程之限制，因此在邊坡及隧道部分暫不列入評估，而目前僅能取得全臺交通設施(不含高鐵)之橋梁安全檢測之安全評級資料。受限於設施結構安全度指標資料蒐集不齊全，故本項指標暫不列入評估。

在應變能力之替代運輸評估指標部分，係以鐵路系統災時/後阻斷時，服務範圍內之替代道路數，作為應變能力的評估方法。以不同鐵路系統之結構型式，劃分不同的服務範圍(詳表3)，並透過地理資訊系統技術，分析各系統服務範圍內之替代道路數，同時考量各運輸系統服務特性，以功能相近之公路作為替代公路之選擇。此項指標之評估等級分為5級，分級標準如表4。當重大鐵路系統替代公路數越多時，即代表當鐵路系統受到氣候變遷影響而導致損壞或失能時，應變能力越高。

表 3 替代運輸影響範圍

評估面向	臺鐵	高鐵	國道及快速公路	省道
替代運輸	車站 半徑25公里	車站 半徑25公里	交流道 半徑5公里	兩側25公里

資料來源：本研究整理

表 4 應變能力(替代道路數)等級界定

等級	高鐵	臺鐵	國道及快速公路	省道
低1級	≤5	≤2	≤1	≤1
中低2級	5<X≤8	2<X≤4	1<X≤3	1<X≤3
中3級	8<X≤10	4<X≤7	3<X≤5	3<X≤5
中高4級	10<X≤13	7<X≤10	5<X≤8	5<X≤8
高5級	>13	>10	>8	>8

資料來源：本研究整理

在監測系統評估指標部分，主要係為了解鐵路系統之評估路段有無監測系統的情形。一般監測系統之監測範圍為半徑50公尺，因此本研究將鐵路系統中，監測系統影響半徑50公尺內之路段設定為預警能力屬中高(4級)等級；其餘影響半徑外之路段，則設為預警能力屬中(3級)等級。

在復原能力之「修復配置點距離」指標部分，國快速及省道部分，藉由防救災資源配置圖進行探討與分析。以車速60km/hr而言，將5分鐘可抵達之5km距離，設定為具有高復原能力區；5-10分鐘可抵達之距離，設定為中高復原能力區；10-15分鐘可抵達之距離，設定為中復原能力區；15-20分鐘可抵達之距離，設定為中低復原能力區；20分鐘以上才能抵達之距離，設定為低復原能力區。在臺鐵部分，取前3個最近維修機廠之距離做為影響直徑，依統計結果得影響半徑。在高鐵部分，因維修機廠不多，故僅取最近維修機廠之距離作為影響半徑，相關分級標準如表5所示。

表 5 修復配置點距離等級界定

等級	國快速及省道	臺鐵	高鐵
高5級	≤5km	≤10km	≤15km
中高4級	5<X≤10km	10<X≤20km	15<X≤30km
中3級	10<X≤15km	20<X≤30km	30<X≤45km
中低2級	15<X≤20km	30<X≤40km	45<X≤60km
低1級	>20km	>40km	>60km

資料來源：本研究整理

## 四、研究成果

### (一) 暴露度地圖

暴露度中3個評估指標圖層因重疊性低，若採3者平均將低估或忽略位於高淹水或地質災害所造成的影響，故以取大值(嚴重值)疊圖方式作為暴露度指標之呈現；其中高架路段僅將地質災害潛勢及土石流納入評估，平面路段則同時將地質災害潛勢、土石流潛勢與淹水潛勢納入評估。暴露度等級劃分為高級(紅色)、中高級(橘色)、中級(黃色)、中低級(淡綠色)、低級(綠色)等5等級。現況及未來極端降雨情境之暴露度地圖分別如圖3、圖4所示，其中(1)為國道及快速公路、(2)為省道、(3)為臺鐵、(4)為高鐵。

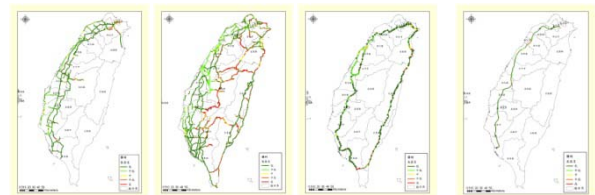


圖 3 鐵路系統現況暴露度地圖

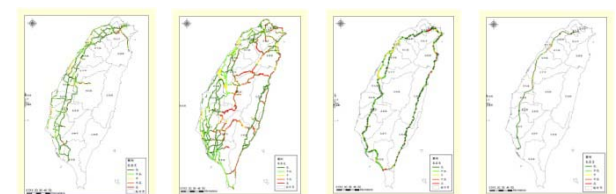


圖 4 鐵路系統未來極端降雨情境暴露度地圖

在地質災害部分，中高以上潛勢區域主要分布於山區，且分布範圍明顯較淹水潛勢區廣；淹水潛

勢區部分，中高以上潛勢區域主要分布於盆地、平原、河川流域周圍，及沿海地區。因此在本研究暴露度地圖之呈現，鐵公路系統之中高以上暴露度成因多為地質災害潛勢。

此外，為了解本研究所挑選的暴露度指標評估現況結果是否能與歷史災點吻合，因此本研究進行暴露度地圖與歷史災點進行比對。由於國道及快速公路、臺鐵、高鐵之歷史災情紀錄較少，故在此僅以省道現況暴露度地圖與省道97年~101年歷史災點紀錄進行比對。

省道97年~101年歷史災點紀錄約計有1,230筆，其中與地質災害、土石流災害或道路淹水相關之災點資料計781筆，橋梁預警性封閉、橋梁沖毀、溪水暴漲、道路結冰或便道損毀等道路災害計316筆，未註明原因計133筆。因本計畫主要探討地質災害、淹水潛勢及海平面上升對鐵公路系統影響，因此僅將暴露度指標與地質災害、道路淹水或海平面上升相關之781筆災點資料進行比對，災點資料包括道路落石、邊坡坍方、路基流失、路面積水、路面淹水等，約計714筆與暴露度指標評估結果吻合，相符率達91.4%。

## (二) 敏感度地圖

本研究敏感度地圖分析係將產值及日交通量/搭乘人數等2項敏感度指標，以取平均方式作為敏感度評分模式。敏感度等級劃分為高級(紅色)、中高級(橘色)、中級(黃色)、中低級(淡綠色)、低級(綠色)等5等級。結果顯示，國道、快速公路、省道及臺鐵在都會區及西半部地區敏感度多為中級以上，高鐵全線除部分路段為中低敏感度外，其餘車站及全線敏感度均為中級以上。現況及未來之敏感度地圖分別如圖5、圖6所示，其中(1)為國道及快速公路、(2)為省道、(3)為臺鐵、(4)為高鐵。

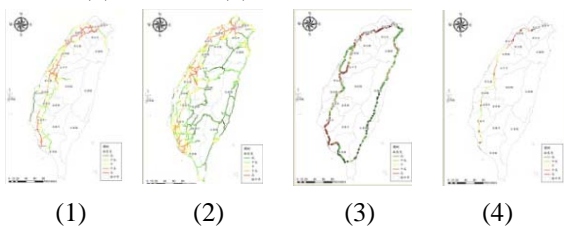


圖 5 鐵公路系統現況敏感度地圖

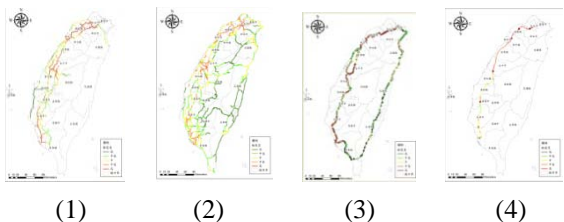


圖 6 鐵公路系統未來敏感度地圖

## (三) 調適能力地圖

本研究以、預警能力之「監測系統」指標、應變能力之「替代運輸」指標及復原能力之「修復配

置點距離」指標等3指標做為調適能力之指標，整體調適能力係取該3個評估指標之平均值。然因調適能力只有現況資料，故僅以現況調適能力作為現況及未來情境之調適能力值。調適能力等級劃分為高級(紅色)、中高級(橘色)、中級(黃色)、中低級(淡綠色)、低級(綠色)等5等級。調適能力地圖如圖7所示，其中(1)為國道及快速公路、(2)為省道、(3)為臺鐵、(4)為高鐵；在高鐵部分，本研究評估結果全線調適能力均為中高等級以上。

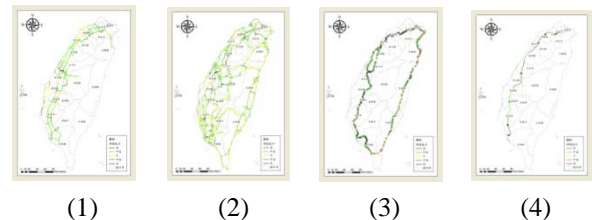


圖 7 鐵公路系統調適能力地圖

## (四) 脆弱度地圖

重大鐵公路系統脆弱度係由暴露度、敏感度與調適能力三者進行同階層之評估分析，經脆弱度矩陣組合而成，脆弱度等級劃分為高級(紅色)、中高級(橘色)、中級(黃色)、中低級(淡綠色)、低級(綠色)等5等級。以交通設施所在區位的脆弱度程度屬中高級(含)以上為熱點。

現況及未來極端降雨情境之脆弱度地圖分別如圖8、圖9所示，其中(1)為國道及快速公路、(2)為省道、(3)為臺鐵、(4)為高鐵。

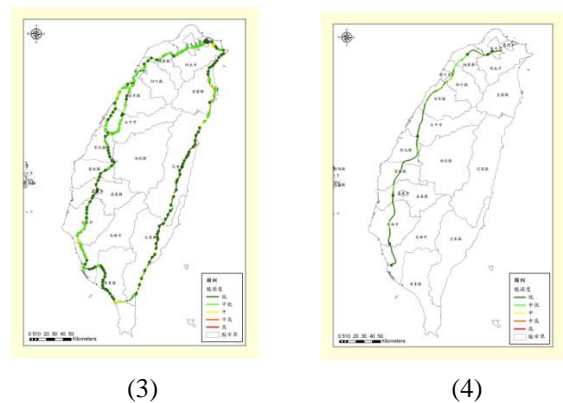
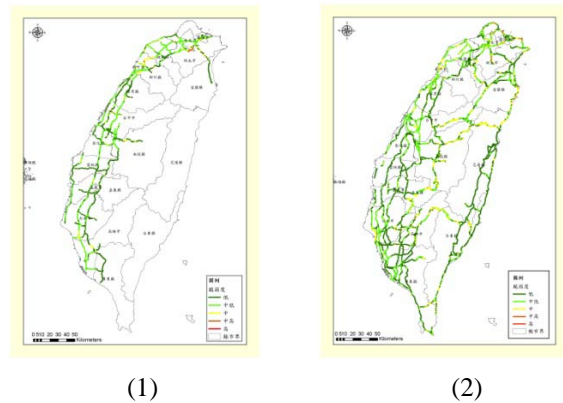


圖 8 鐵公路系統現況脆弱度地圖

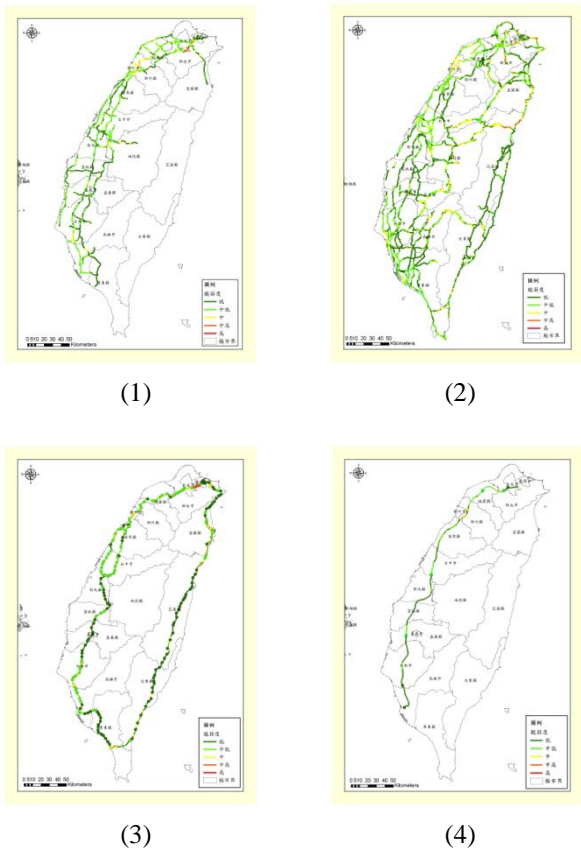


圖 9 鐵公路系統未來極端降雨情境脆弱度地圖

依據脆弱度熱點分析結果，可了解各重大鐵公路系統脆弱度熱點分布情形，並可從分析的指標中探討成因。以國道1號林口交流道為例，因高淹水潛勢判斷為高暴露度(5級)，且受氣候變遷影響導致失能，社會、經濟及交通運輸可能受影響之範圍與程度較大，因此判斷為中高敏感度(4級)；在調適能力部分，評估為中預警能力、低應變能力及中高復原能力，因此平均調適能力為中等級(3級)。經脆弱度評估關係式與脆弱度矩陣分析，暴露度與敏感度相加可得到9分，調適能力中等級為3分，對應到脆弱度評估矩陣可知，重大鐵公路系統脆弱度為中高(橘色)等級，評為熱點。

整體而言，在現況部分，國道熱點分布於國1、國2、國3及國3甲，部分為交流道，部分為路段，其脆弱度熱點災害主因大多為高地質災害潛勢，另有部分交流道為中高以上淹水潛勢。快速公路熱點僅分布於新北市及桃園縣，其脆弱度熱點災害主因為中高以上淹水潛勢，僅部分路段為高地質災害潛勢。省道熱點分布於各縣市，但主要分布於山區公路，其脆弱度熱點災害主因為高地質災害潛勢。臺鐵熱點分布於基隆市、苗栗縣、臺中市、宜蘭縣、花蓮縣及屏東縣，其脆弱度熱點災害主因為高地質災害潛勢。高鐵熱點僅分布於新竹縣部分路段，脆弱度熱點災害主因為高地質災害潛勢。

另考量未來極端降雨情境下的鐵公路系統脆弱度結果顯示，未來極端降雨情境下的脆弱度熱點有

增加趨勢，其主要原因包括暴露度指標部分的淹水潛勢增加，或是敏感度指標部分的日交通量(乘客量)增加，導致脆弱度評估結果新增為熱點。

## 五、結語

本研究係針對全國重大鐵公路系統於考量氣候變遷的情境下，進行大尺度的熱點分析，透過系統性、客觀性的科學論證分析方式，評估災害可能造成的影響程度。

其中，氣象變化的相關資料與訊息，為本研究相關衝擊分析的基礎。未來相關評估指標仍可再精進，以更符合各重大鐵公路系統之關鍵指標進行脆弱度評估。

各鐵公路主管機關後續可針對熱點，分析其脆弱度成因，藉以進行有效的氣候變遷調適作為，降低重大鐵公路系統之脆弱度，提升在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之衝擊。

## 六、參考文獻

- 1.交通部運輸研究所，重大鐵公路系統氣候變遷風險評估機制與調適資訊平台之研究(1/2)，民國 104 年。
- 2.國家發展委員會，國家氣候變遷調適政策綱領，民國 101 年。
- 3.聯合國環境規劃署，Vulnerability and Climate Change Impact Assessments for Adaptation，民國 98 年 11 月。
4. Dongkun Lee, Huicheul Jung, Hogul Kim, Changkeun Song and Jeong Ah Yu, 2012, "The Vulnerability Assessment for Local Adaptation to Climate Change in Korea". The 17th AIM International Workshop, Japan.
- 5.經濟部水利署，國家氣候變遷調適行動方案—水資源領域，民國 103 年。
- 6.財團法人中興工程顧問社，八八水災災害調查成果與復建工程建議，民國 99 年。
- 7.行政院國家發展委員會，地方氣候變遷調適計畫規劃作業指引，民國 101 年。