



# 天然災害下路網可靠度模式之建立與研擬

胡大瀛、陳奕璋、何偉銘\*

## 一、前言

近年來，氣候變遷是各國所面臨的迫切議題，包括人類自然生活周遭環境及運輸基礎設施。缺乏可靠的運輸體系會對經濟成長具有負面影響。氣候變遷對於未來運輸系統上可能的影響，彙整如表一（Jaroszweski et al., 2010）<sup>1</sup>與表二。臺灣近年來亦遭受天然災害颱風之侵襲，造成嚴重淹水與經濟損失；如：2009年莫拉克（Typhoon Morakot）颱風造成約700餘人死亡及失蹤、道路基礎設施嚴重受損；2010年9月與10月分別遭受凡那比（Typhoon Fanapi）與梅姬（Typhoon Maggie）颱風的侵襲，造成高雄與蘇澳大淹水，經濟損失慘重。

緊急疏散（emergency evacuation）之定義，是將在危險區域、受到天災人禍威脅的個人、家庭或社區，遷移至安全庇護處所並臨時安置之情形。通常疏散避難的執行主要為受災前的重要應變工作，目的為降低人命之傷亡（FEMA, 2006）<sup>2</sup>。災害影響預測可協助規劃者進行事先規劃，透過預測之資訊，模擬可能的災害對於運輸網路之影響，進而研擬相關策略。

在氣候變遷的影響下，會對運輸路網造成負面影響，而對臺灣運輸基礎設施影響最大的因素為颱風所導致的劇烈降雨。路網可靠度評估指標近年來陸續被發展，亦日趨重要；路網可靠度為一系統對於未來目標仍具有執行能力的機率，以道路而言，即是能繼續提供車輛與行人服務之能力。近年來，由於災害如劇烈降雨之影響，當路網可靠度降低時，會對駕駛人安全、路網旅行時間及延滯造成負面影響，藉由路網可靠度評估指標，可評估路網之連

\* 胡大瀛，國立成功大學交通管理科學系教授兼系主任；陳奕璋，國立成功大學交通管理科學系碩士生；何偉銘，國立成功大學交通管理科學系博士生。

<sup>1</sup> Jaroszweski, D., Chapman, L., and Petts, J., (2010). "Assessing the potential impact of climate change on transportation: the need for an interdisciplinary approach." *Journal of Transport Geography*. 18 (12), 331-335.

<sup>2</sup> Federal Emergency Management Agency (FEMA), (2006): <http://www.fema.gov/disasters>.

表一 氣候變遷對於未來交通影響預測

氣候暖化，炎熱天數將相對增加	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 對道路鋪面將造成衝擊，包括：             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 融化的碎石路面</li> <li>(2) 道路彎曲</li> <li>(3) 橋梁彎曲膨脹</li> <li>(4) 車輛爆胎的機率上升</li> </ol> </li> <li>2. 鐵路彎曲</li> <li>3. 增加維護及操作成本</li> <li>4. 對於航空影響             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 減少引擎燃燒效率</li> <li>(2) 增加跑道長度的需求</li> </ol> </li> </ol>
氣候暖化，寒冷天數將相對減少	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 減少道路及鐵路冬季維護成本</li> <li>2. 永久凍土層的問題             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 結冰路面的道路相對較具有潛在危險</li> <li>(2) 解凍時所導致的基礎設施問題</li> <li>(3) 增加斜坡路堤解凍時的崩壞情況</li> </ol> </li> <li>3. 對海洋運輸具正面影響             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 減少破冰需求</li> <li>(2) 減少除冰與結霧情形</li> <li>(3) 南北極可能的通行水路開發</li> </ol> </li> </ol>
劇烈的降雨將增加	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 道路損壞</li> <li>2. 洪水氾濫</li> <li>3. 駕駛視線不良</li> </ol>
季節時間將改變	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 較長的夏季與較短的冬季             <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 鐵路的落葉效果</li> <li>(2) 冬季維護期的改變</li> <li>(3) 冰雪地區的轉移</li> </ol> </li> <li>2. 結冰區道路的安全問題</li> </ol>
乾旱將可能發生	內陸航道的乾旱問題
海平面上升	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 港埠位置可能變得不恰當</li> <li>2. 基礎設施問題，機場可能需高於海平面 10 公尺</li> <li>3. 地區性暴風大浪的問題</li> <li>4. 船運受洋流與信風的變動，亦會影響船期</li> </ol>
特殊事件的發生	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熱帶風暴的增加</li> <li>2. 飛航閃電影響增加</li> <li>3. 未來可能較無法預測風向</li> </ol>

資料來源：Jaroszweski 等人，2010

通性與旅行時間與延滯等，並藉由相關交通管理策略，能減緩可能的負面影響，增進安全。因此考量路網可靠度影響評估為一項重要的課題。

本研究進行路網疏散模式最佳化之建立，模式中考量路網旅行時間可靠度、最小化成本之路網疏散問題求解。研究目的如下：



1. 利用支援向量回歸模型 (support vector regression, SVR)<sup>3</sup>，建立臺灣天然災害颱風之最高累積雨量與路網破壞數目之關係；
2. 應用上述雨量與路網破壞數目之關係方程式，求路網可靠度進算與最佳化模式之建立；
3. 利用模擬指派模式 DynaTAIWAN 進行災害模擬與策略績效評估。

表二 氣候變遷對於未來陸海空影響預測

	氣候變遷之可能影響預測
空運	(1) 飛航安全會受高層天氣的變化，地面天氣的狀況，以及跑道上的氣象環境等影響 (2) 緊急與例行空運將受影響 (3) 經濟所需之物流空運將受影響
公路	(1) 沙陣、霧等氣象環境對行車安全的影響 (2) 氣溫上升，可能影響交通結構建設，貨物運輸設計 (3) 道路車輛行駛受沙塵、霧及暴風雨等影響其安全 (4) 貨物運輸之貨物的保存狀態受運輸時氣候變化影響 (5) 劇烈降雨、洪水導致的疏散問題 (6) 基礎設施遭洪水侵蝕淪為沉沒成本
海運	(1) 航線上的氣象變化，會影響船隻安全 (2) 港埠受颱風、暴雪、暴雨、結冰期等的影響，會改變其營運狀態與相關後續的客、貨運運輸 (3) 海水面上升，將造成暴潮頻率增加，以及波浪高度上升，另外如海岸侵蝕等問題 (4) 洋流將影響船運路線與船期 (5) 船舶運輸受洋流與信風的變動，將影響船期及安全
因應建議	(1) 建立區域級的天然災害疏散計畫，確保人民生命安全 (2) 將氣候變遷的因素納入未來交通建設與運輸規劃程序中，如設施興建、設施維護等，考量波浪高度、路面淹沒，地層下陷等因素 (3) 提高能源使用效率，減少釋放 CO <sub>2</sub> (4) 燃料電池與電動機車的推廣使用 (5) 增加大眾運輸搭乘率、減少使用小汽車比率 (6) 考量國內目前交通建設品質、管理人員的質與量

資料來源：本研究整理

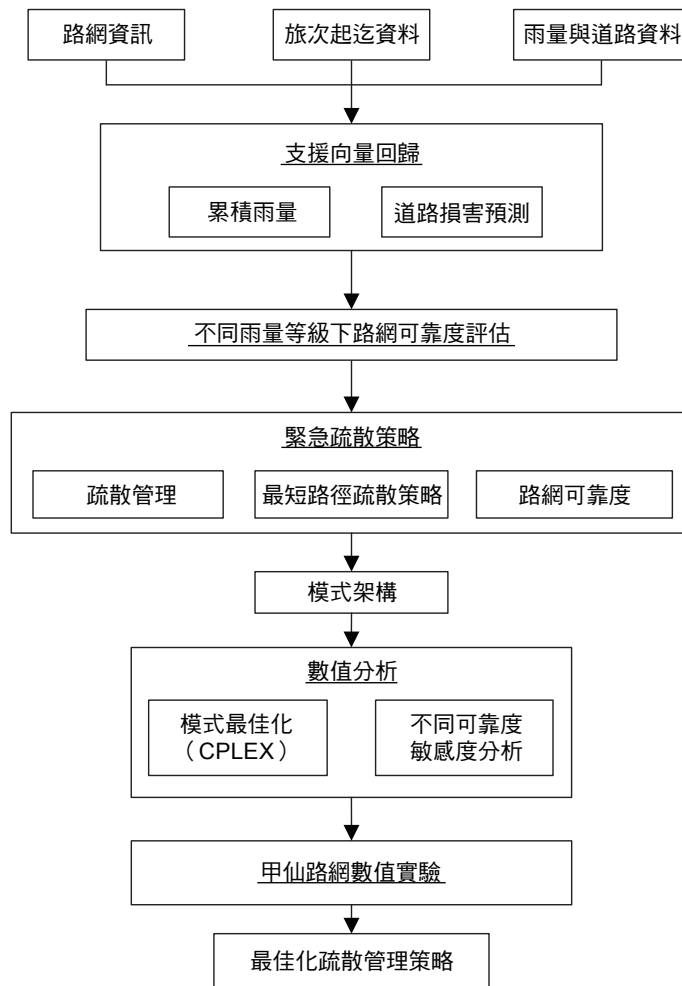
## 二、模式建立與應用

災害期間，政府應該通知疏散情報並告知疏散計畫，引導民眾至安全區域。良好的疏散計畫與疏散路徑規劃應該考量路網可靠度。

本研究利用支援向量回歸來評估強烈降雨下的道路損壞數目，整合路網

<sup>3</sup> Hu, T. and Ho, W. (2014). "Prediction of the Impact of Typhoons on Transportation Networks with Support Vector Regression." *J. Transp. Eng.*, 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000759, 04014089.

可靠度、疏散路徑問題並提出動態疏散模式。考量疏散模式最小化疏散成本，以及災害下路網狀態。研究架構如圖一所示，首先蒐集相關資料包含路網幾何資料、旅次起迄需求資料、雨量與道路損害資料，建立雨量與道路阻斷之關係中考量路網可靠度。接下來利用支援向量回歸來預測不同雨量下道路損壞數目，並利用 DynaTAIWAN 模擬正常狀況下與受到雨量影響之路網狀況。最後，利用數學規劃軟體 CPLEX 求解疏散模式，考量最佳化最小距離與最小延滯；數值實驗以甲仙路網為主，考量不同降雨之假設，以數值方法分析各項策略的效果。



圖一 研究架構



本研究以動態交通模擬指派模式 DynaTAIWAN<sup>4</sup> 進行模擬分析與數值實驗的平台，此一模擬平台可提供交通規劃與績效評估等相關應用。

DynaTAIWAN 可結合多種不同交通指派原則進行分析探討，主要包括模擬層與即時層。模擬層主要針對車輛產生、車輛行進、交通背景資料及旅行者之行前、途中行為作模擬。首先由初始流量、路徑產生背景資料，可分為供給面及需求面，需求面考慮旅運者行前行為，供給面依道路狀態及交通資訊產生高速公路路網或一般道路路網，行進中車輛會依前方路段資訊及路徑資訊等進行途中路徑行為決策。產生之路徑資訊可供後續旅運者行前資訊之用。即時控制層具處理反應即時資訊影響的能力。系統可依偵測器取得流量，由一致性檢查進行流量調整，藉由過去時段所得流量修正未來 O-D 產生量。

### 三、甲仙路網實證研究

#### (一) 資料蒐集

本研究蒐集甲仙路網中所涵蓋範圍行政區的相關資料，如表三所示，包含杉林、甲仙、六龜、桃源、那瑪夏。結果顯示共有 37 村落，521 區域數，人數約 4 萬人，男女數目比例 54.7% 比 46.3%。

表三 分區資訊 (高雄市政府, 2013)<sup>5</sup>

區	面積 (公里 <sup>2</sup> )	村落數 (Number of Village)	區域數 (Number of Neighborhood)	人口			家戶數	每家戶平均人數 (People/Per Household)
				總合	男	女		
杉林	104.0036	7	138	12,623	6,875	5,748	4,836	2.61
甲仙	124.034	7	103	6,551	3,482	3,069	2,391	2.74
六龜	194.1584	12	221	14,099	7,623	6,476	5,708	2.47
桃源	928.98	8	39	4,489	2,363	2,126	1,340	3.35
那瑪夏	252.9895	3	20	3,159	1,637	1,522	875	3.61
總合	1604.2	37	521	40,921	21,980	18,941	15,150	3.0

表四為根據高雄市政府交通局<sup>6</sup>，每家戶擁有 0.84 台車，所推估之每分區所需疏散車輛數。

<sup>4</sup> Liao, T. Y., Hu, T. Y., Chen, L. W., and Ho, W. M. (2010). "Development and empirical study of real-time simulation-based dynamic traffic assignment model." *Journal of Transportation Engineering, ASCE*. 136 (11), 1008-1020.

<sup>5</sup> 高雄市政府 (2013)。http://www.kcg.gov.tw/

<sup>6</sup> 高雄市政府交通局 (2013)。http://www.tbkc.gov.tw/Simple/

表四 各分區所需疏散車輛數

區	所需疏散車輛數
杉林	4,062
甲仙	1,913
六龜	4,852
桃源	1,032
那瑪夏	656
總合	12,515

根據支援向量回歸預測結果，不同情境下，甲仙路網道路阻斷數如表五所示，在累積雨量為 0、320 與 1,100 下，道路封閉數分別是 0、1 與 2 個。

表五 甲仙路網道路阻斷數

最大累積雨量	甲仙路網中路段封閉數目
0	0
320	1
1,100	2

藉由交通模擬指派模式 DynaTAIWAN 之模擬，本研究模擬數個情境下之平均旅行時間與路網可靠度參數，如表六所示。

表六 旅行時間與路網可靠度結果

最大累積雨量	路段封閉數目	平均旅行時間(分鐘)	路網可靠度參數
0	0	25.5	1
320	1	35.4	0.70
1,100	2	47.3	0.45

## (二) 實驗設計

實驗中設計三種不同的最大累積雨量情境，說明如下：

情境一：一般狀況下。

情境二：最大累積雨量 320 公厘。

情境三：最大累積雨量 1,100 公厘。

### 1. 情境一

情境一代表一般狀況下的路網狀態，結果顯示，模擬時間區段長度設定為 30 分鐘，總車輛數 12,516PCU，總疏散時間區段為 2 (60 分鐘)，平均旅行距離 22.31 公里，如表七所示。



表七 情境一結果

時間區段長度(時間)	30
總輸入車輛數	12,516
總疏散時間區段(分鐘)	2(60分鐘)
總延滯(總次數)	0
每車平均延滯(分鐘)	0
總疏散距離(公里)	279,273
平均每車疏散距離(公里)	22.31

## 2. 情境二

情境二模擬當雨量 320 公厘時之狀況，1 條道路封閉。根據模擬結果，路網可靠度為 0.7，模擬時間區段長度設定為 30 分鐘，總車輛數 12,516PCU，總疏散時間區段為 3 (90 分鐘)，平均延滯 0.5 分鐘，壅塞路段數 5，平均旅行距離 26.49 公里，如表八所示。

表八 情境二之結果

累積雨量(公厘)	320
路網可靠度	0.70
時間區段長度(時間)	30
總輸入車輛數	12,516
總疏散時間區段(分鐘)	3(90分鐘)
總延滯(總次數)	6,274
每車平均延滯(分鐘)	0.50
壅塞路段數	5
總疏散距離(公里)	331,652
平均每車疏散距離(公里)	26.49

## 3. 情境三

情境三假設雨量 1,100 公厘之狀況，2 條道路封閉。根據模擬結果，路網可靠度降至 0.45，模擬時間區段長度設定為 30 分鐘，總車輛數 12,516PCU，總疏散時間區段為 5 (150 分鐘)，平均延滯 1.07 分鐘，壅塞路段數 11，平均旅行距離 32.39 公里。顯示高雨量下，運輸績效皆明顯下降，如表九所示。

表九 情境三結果

累積雨量 (公厘)	1,100
路網可靠度	0.45
時間區段長度 (時間)	30
總輸入車輛數	12,516
總疏散時間區段 (分鐘)	5 (150 分鐘)
總延滯 (總次數)	13,438
每車平均延滯 (分鐘)	1.07
壅塞路段數	11
總疏散距離 (公里)	405,388
平均每車疏散距離 (公里)	32.39

#### 4. 調撥車道策略 (Contraflow Strategy)

為了增加疏散效率，在 1,100 公厘雨量之數值實驗中，考量使用撥車道之策略，調撥車道主要用於將一個或多個對向車道調整成正向車道，藉以增加正向車道之道路容量。結果顯示總疏散時間改善 20%；平均延滯改善 25%；延滯路段數減為 7，改善 36%；平均疏散距離改善 8%。運輸績效有明顯改善，如表十所示。

表十 調撥車道結果與改善比例

策略	一般狀況	調撥車道	改善百分比
累積雨量 (公厘)	1,100		
時間區段長度 (時間)	30		
路網可靠度	0.45		
總輸入車輛數	12,516		
總疏散時間區段 (分鐘)	5 (150)	4 (120)	20%
總延滯 (總次數)	13,438	10,056	25%
每車平均延滯 (時間)	1.07	0.80	25%
壅塞路段數	11	7	36%
總疏散距離 (公里)	405,388	375,147	8%
平均每車疏散距離 (公里)	32.39	29.97	8%

## 四、結論建議

本研究分成兩大部分：(1) 預測災害對道路之影響；與 (2) 建立路網疏散模式。數值實驗中，本研究探討不同雨量下，使用總疏散時間、車輛延滯



數及平均旅行距離三項指標來評估路網可靠度，結果顯示路網可靠度受到三項指標之影響。數值實驗結果顯示最佳化的調撥車道模式為疏散的可行策略；而旅行者反應、大眾運輸系統及其他交管策略為未來可能的研究課題。

本研究成果之意義、價值、貢獻與未來發展，歸納彙整如下：

1. 本研究利用支援向量回歸模型 (support vector regression, SVR)，分析並建立臺灣天然災害颱風之最高累積雨量與路網破壞數目之關係式，此關係式主要目的為反映出不同雨量與路網破壞之關係，可供政府機關規劃人員進行天災下運輸管理之參考；
2. 應用上述雨量與路網破壞數目之關係方程式，進行路網可靠度考量下，最佳化模式之建立；其中，路網可靠度以旅行時間可靠度表示，相對於傳統旅行時間指標，更能評估路網之風險，對於駕駛人安全與效率評估較具影響力；
3. 所建構之最佳化模式，未來亦可應用於物流中心、庇護區等之考量可靠度下區位選擇問題，相對於傳統無考量路網破壞下之模型，更具實務性與影響力。