

氣候變遷對公路公共運輸服務影響之探討

The effect of climate change on highway public transportation service

綜合技術組 蕭為元、吳昇鴻、朱珮芸、曾佩如

研究期間：民國 106 年 1 月至 106 年 12 月

摘要

我國政府部門積極鼓勵民眾搭乘公共運輸，以提高公共運輸運量，期能藉以降低私人運具使用，以達運輸部門節能減碳之目標。而公共運輸服務品質則會影響民眾搭乘的意願，因此，為提供良好的公共運輸服務，針對未來氣候變遷情境下衝擊影響，亦應預為準備因應。爰本研究以公路公共運輸服務為研究對象，並以市區公車及國道客運為主，探討氣候變遷對其運輸服務品質之影響，包括舒適度、準點率、安全性等。

本研究主要透過蒐集國外公路公共運輸服務調適策略之相關研究，並考量我國可能面臨的氣候變遷風險情境，針對未來氣溫上升、極端降雨(強降雨及颱風強度增加)情況下，對我國公路公共運輸服務可能造成衝擊進行探討，並從營運者可採取行動及調適措施提供建議，如改善車站、車輛設施，以及人員之教育訓練。此外，政府部門可提供其他相關資訊或制定相關規定，以提供營運者參考採用，如準確的氣象預報、未來氣候變遷風險評估、訂定強降雨情況下之公車/客運行車規範等。透過政府部門與營運者間之合作，以提供更完善的公路公共運輸服務。研究成果期能提供公路公共運輸相關業者及政府相關部門未來在氣候變遷情境下，研擬運輸服務改善策略之參據。

關鍵詞：

氣候變遷、公路公共運輸、調適

氣候變遷對公路公共運輸服務影響之探討

一、前言

近年來，隨著氣候變遷議題逐漸受重視，為因應氣候變遷可能帶來的衝擊，行政院已於 101 年 6 月 25 日核定國家發展委員會所提「國家氣候變遷調適政策綱領」，明確揭示臺灣在當前及未來氣候變遷的挑戰下，必須進行「調適」的願景、目標及策略，並且作為各部會署辦理各項調適行動計畫之上位指導原則。有鑑於鐵公路系統為國家維持正常運作與經濟發展之最基本建設，亦為國家整體防救災體系中重要的一環，當面對氣候變遷所可能帶來的衝擊，必須及早且妥善因應，才能降低受災風險及生命財產損失。因此，本所自 101 年至 105 年進行重大鐵公路系統因應氣候變遷之風險評估相關研究，並已完成重大鐵公路系統因應氣候變遷風險評估、建構風險地圖、建置鐵公路氣候變遷調適資訊平台，以及研擬重大鐵公路系統因應氣候變遷之風險管理機制等研究成果。

從國外相關文獻回顧，氣候變遷除影響運輸基礎設施外，對於各種運輸服務及營運亦會產生影響，應有相關之調適措施。然而，本所過往氣候變遷之研究均著重在鐵公路基礎建設，並未分析氣候變遷對運輸服務之影響，因此本研究從運輸服務角度進行探討；此外，考量我國積極鼓勵民眾搭乘公共運輸，在各種公共運輸服務中，又以公路公共運輸搭乘人數最多，且分布路網較廣，爰本研究以公路公共運輸服務為研究對象，並以市區公車及國道客運為主，探討氣候變遷對其運輸服務品質之影響，包括舒適度、準點率、安全性等。

依我國未來氣候變遷情境推估，將面臨降雨型態改變及氣溫上升等氣候變遷現象，另參考相關文獻，氣候變遷對公路公共運輸服務之影響仍以這兩個氣候情境為主。因此本研究以這兩個氣候變遷情境，探討對我國公路公共運輸服務之影響，並研提可進行的調適措施及改善策略，以提升公路公共運輸服務品質。研究成果期能提供公路公共運輸相關業者在未來在氣候變遷情境下，研擬運輸服務改善策略之參據。

二、文獻回顧

依據聯合國政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)公布之氣候變遷第四次評估報告指出，在過去百年(1906 年~2005 年)地表溫度大約上升了 0.74°C，其他相關的變化，如海平面上升及海冰融化亦有被觀測到，如海平面在 1961 年至 2003 年間大約上升了 77 mm。

另全球降水量、強降水的強度及頻率也有逐漸增加的趨勢^[1]。

在未來氣候變遷情境推估下，至本世紀末(2090~2099 年)地表氣溫將持續上升，而全球平均海平面也有上升趨勢。在影響人類生活與社會經濟更顯著的極端天氣方面，推估在未來氣候變遷影響下，非常可能會有更多且更劇烈的熱浪與豪雨事件發生，同時連續不降雨日的平均時間也會拉長，造成降雨在時間分布的變異量更大^[1]。

近年來全球受極端天氣與氣候事件影響，災害規模不斷擴大，災害發生頻率也急遽攀升^[1]。有鑑於此，許多國家也已意識到氣候變遷之衝擊，也開始著手規劃相關因應作為及調適措施，也包含對公路運輸服務影響之探討。

表 1 針對不同氣候變遷現象可能對運輸營運造成之衝擊進行彙整分析，並提出相關的調適措施。例如溫度上升可能造成道路鋪面損壞，並影響行車安全之衝擊，可透過限制車行速度以提升安全性；另如降雨量和降雨頻率增加，可能導致道路淹水、影響能見度，可透過運輸管理手段，降低道路壅塞、事故和延遲^[2]。

表 1 氣候變遷造成的影響對運輸系統之衝擊

氣候變遷造成之影響	營運衝擊	調適措施
溫度上升	<ul style="list-style-type: none"> ● 行車速度。 ● 行車安全。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 限制行車速度。
因氣溫上升造成樹木和植被生長週期改變	<ul style="list-style-type: none"> ● 落葉掉落於道路上導致路滑。 ● 降低旅行速度。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 落葉管理。 ● 道路兩側的樹木管理。 ● 種植生長較慢的植物，以減少落葉。
降雨量和降雨頻率增加	<ul style="list-style-type: none"> ● 影響車輛通行及行車時間。 ● 道路壅塞。 ● 增加事故。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 透過運輸管理手段，降低道路壅塞、事故和延遲。
濃霧	<ul style="list-style-type: none"> ● 降低能見度，增加車輛碰撞風險。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 設置警告標誌。 ● 設定速限。

資料來源：[2]

依據德國 Urda Eichhorst 等人研究^[3]，在發展中城市，大多數使用公車、小型巴士等公路公共運輸。為因應氣候變遷，車輛的設計必須為可承受高溫，因為不斷上升的溫度在沒有冷卻或空調情況下，將使公車司機及乘客暴露於熱壓力的情況增加。此外，在高溫下若無冷卻系統的公共運輸系統，將會降低其服務品質及吸引力，並且可能使有經濟能力的人轉移到使用有

空調系統的私人運具。

而在惡劣天氣下，因增加道路的事故和延誤發生的頻率，進而增加運輸營運者的經營成本；可透過公車司機的培訓及公車專用道，減輕這些衝擊。

此外，公共運輸在災害風險管理及疏散規劃中扮演重要的角色，因對於都市中經濟較不好的民眾，其使用私人運具較為有限；但可透過提供足夠且免費的公共運輸服務，以進行天氣災害(如暴風雨、洪水)的疏散計畫。

表 2 針對氣候變遷對公路公共運輸營運之相關衝擊，以及可能的調適作為進行概述說明。

表 2 氣候變遷對公路公共運輸營運之衝擊及調適方案

相關的氣候衝擊	對營運之衝擊	調適方案
氣溫上升及更多熱浪現象	<ul style="list-style-type: none"> ● 公車內溫度升高，可能會導致乘客及駕駛不舒服及熱衰竭。 ● 駕駛的不適及疲憊，可能會提高事故率。 ● 可能會導致公共運輸使用者，轉移使用有空調的私人運具或有空調的計程車。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 充足且可開關的大窗戶。 ● 以有色的窗戶來遮擋陽光。 ● 白色的彩繪屋頂。 ● 改善絕熱及冷卻系統。 ● 改善空調系統。 ● 駕駛員培訓。 ● 在公共運輸車隊的新購車輛公共採購中，要求納入新的設計標準。
	<ul style="list-style-type: none"> ● 輪胎磨損或融化。 ● 過熱的設備，例如燃油引擎。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 需要新的設計標準以承受高溫。
更極端的降雨事件及洪水	<ul style="list-style-type: none"> ● 更多事件可能會造成困難駕駛的情況，例如限速可能造成延誤。 ● 公共運輸車隊受淹水事件影響，導致經濟損失。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 在惡劣天氣條件下進行限速管理，如降低車輛行駛速度。 ● 公共運輸車輛駕駛者應接受極端天氣事件訓練，如暴雨、冰雹及強風。 ● 緊急逃生路線規劃。 ● 高風險地區的撤離預警系統。 ● 洪水保險。
更密集及頻繁的暴風雨	<ul style="list-style-type: none"> ● 更多事件可能導致困難駕駛、不能駕駛或車輛碰撞，導致對安全及 	<ul style="list-style-type: none"> ● 駕駛員教育訓練。 ● 速度限制。 ● 改善天氣預報以能更準確預

相關的氣候衝擊	對營運之衝擊	調適方案
	社經的衝擊。 ● 車輛翻覆。	測暴風雨，進而做好準備工作，減少災損(如預警系統、災害風險管理)。 ● 緊急避難規劃，並且確認為避開高風險區域的疏散路線。

資料來源：[3]

另根據現有研究報告指出，愛爾蘭已出現氣候變遷的趨勢與全球的趨勢一致。其中包括平均氣溫上升、降雨模式的改變及海平面上升。極端天氣事件將會擾亂許多自然及管理系統，並產生危急基礎設施及關鍵服務(如電力、供水、運輸、健康、緊急避難服務等)之風險，也會影響公路公共運輸服務品質，因此該報告針對愛爾蘭公車服務面，提出相關的調適措施^[4]，說明如下：

- 為在極端天氣下仍可提供良好的運輸服務，應備有因應緊急事件和環境保護之相關指導文件。
- 辦理各管理層及工作人員教育訓練，以能在緊急事件發生時即時反映，並即時與相關單位聯繫。
- 規劃緊急避難路線。
- 因應氣候變遷調適，制定嚴格的管理計畫，包含人員培訓和儲備，以及備妥相關用品和設備。
- 候車處架設即時乘客訊息電子看板，提供相關服務訊息。
- 進行營運設施內部系統檢測，維護系統運作功能。
- 提供更好的溫控及空調之公車。
- 車站淹水風險評估與管理。
- 進一步發展智慧通信。
- 自動車輛定位通信 24 小時運行，並覆蓋全國。

從相關文獻回顧，影響公路公共運輸服務之氣候變遷衝擊主要為氣溫上升及極端降雨(強降雨、颱風強度增加)，對運輸服務之衝擊包含舒適度

(駕駛平穩性、搭乘環境舒適度)、準點率(行車減速、道路壅塞造成車班延誤)、安全性(行車安全、旅客安全)，並可藉由調適策略以減緩對運輸服務之衝擊。

三、我國氣候變遷趨勢

為了解我國氣候變遷趨勢，國科會(現改為科技部)於臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫中，依據長期記錄的氣象測站，分析過去百年(1911~2009年)間長期的氣候變化趨勢^[1]。以下針對我國近百年降雨型態、溫度上升趨勢進行簡要說明^[5]。

1. 降雨型態改變

過去 100 年以來，臺灣年平均雨量並沒有明顯的變化趨勢，但大豪雨日數(日雨量大於 200 mm)明顯增多的趨勢，且近 10 年極端強降雨颱風數目倍增，然而與灌溉和水資源保育有關的小雨日數則大幅度減少。另發現極端暴雨的發生頻率逐漸增加中。

2. 溫度上升

臺灣暖化現象十分明顯，過去 100 年以來，平均溫度變化都有顯著的上升趨勢。臺灣近 30 年(民國 69 年至民國 98 年)氣溫的增加明顯加快，每 10 年的上升幅度為 0.29°C，幾乎是臺灣百年趨勢值的兩倍，此趨勢與聯合國政府間氣候變遷委員會(IPCC)第四次評估報告結論一致。

在我國未來氣候變遷推估部分，依據 IPCC 第四次評估報告在溫室氣體排放情境部分，認為 A1B 情境是未來最有可能發生之情境，其代表再生能源化石燃料併用，土地使用變遷速度適中。因此我國科技部也以 A1B 情境進行全球氣候模式 (General Circulation Model, GCM) 分析，以下針對「降雨型態改變」、「溫度上升」之近未來年(民國 109~128 年)氣候變遷影響因子之趨勢變化進行說明^[5]。

1. 降雨型態改變

以重現期 100 年延時 48 小時的單站雨量為例，在目標年(民國 109~128 年)絕大多數的情境雨量均高於現行雨量，且極端暴雨強度有逐漸上升的趨勢。此外，發現有豐水期雨量增加(夏秋)、枯水期雨量減少(冬春)之降雨變化趨勢^[6]。

2. 溫度上升

在 A1B 未來發展情境下，臺灣地區由氣候模式所推估出之民國 109 年至民國 128 年近地面氣溫月平均與季平均變化，月平均與季平均溫度較現況增加約 0.5°C~1.5°C。

從我國未來氣候變遷推估結果顯示，平均氣溫將持續上升，且極端降雨及強度亦有增加之趨勢。

四、氣候變遷對我國公路公共運輸服務之衝擊及因應作為

本研究參考相關文獻，就我國未來氣候變遷可能面臨之氣溫上升、極端降雨(強降雨、颱風強度增加)現象，並以市區公車及國道客運為研究對象，探討可能對運輸服務產生之衝擊，並研擬可進行的調適措施，詳表 3。以下分別針對兩大類氣候變遷衝擊之因應作為進行探討。

(一) 氣溫上升：

1. 在車輛部分，因我國公車及客運內均有安裝冷氣，故對乘客搭乘舒適及司機駕駛環境舒適之影響較小。但在車窗可用有色玻璃或窗簾，減少陽光直接曝曬。
2. 在客運轉運站或部分室內公車站有安裝空調，乘客候車舒適度較無影響，惟會增加營運者之用電需求。但在部分的室內公車站以及路邊的候車亭，因無空調或甚至無遮陽板，則氣溫上升對於乘客候車環境將產生衝擊；因此在室內公車站建議保持良好的通風環境或可安裝空調系統，而路邊候車亭建議應有相關遮陽設施或降溫設施，儘量減少民眾候車之曝曬。另外也可以透過公車/客運到站資訊之手機 App，減少乘客於候車處等待時間。
3. 在車輛元件設施部分，高溫可能或使相關元件過熱已損壞，影響行車安全，因此建議定期進行車輛維修保養，使用材料儘量能因應高溫。
4. 辦理駕駛員及員工教育訓練，針對氣候變遷對營運及運輸服務可能影響，進行相關因應作法演練。

表 3 氣候變遷對我國公路公共運輸服務之衝擊及調適措施

氣候變遷	運輸服務衝擊	調適措施
氣溫上升	<ul style="list-style-type: none"> ● 高溫讓路邊候車之旅客不舒適。 ● 公車/客運車內溫度升高，導致乘客及駕駛不舒適，甚至易中暑。 ● 駕駛因車內溫度過高不舒適，可能影響行車安全。 ● 輪胎磨損。 ● 易造成車輛設備過熱，如引擎過熱。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 候車場站(如客運轉運站)或公車/客運內使用空調系統。 ● 候車場站或公車/客運內使用有色窗戶來遮擋陽光。 ● 候車場站能使用白色的彩繪屋頂。 ● 路邊候車處應有相關遮陽設施或降溫設施，儘量減少民眾候車之曝曬。 ● 定期進行車輛維修保養，使用材料儘量能因應高溫。 ● 駕駛員培訓。 ● 公車/客運到站資訊之手機 App。
極端降雨(強降雨、颱風強度增加)	<ul style="list-style-type: none"> ● 因淹水、橋梁沖毀或坍方導致交通阻斷，影響車輛營運。 ● 因淹水、橋梁沖毀或坍方，影響乘客安全。 ● 大雨導致駕駛視線模糊，影響行車安全及行駛速度。 ● 室內公車站、轉運站、候車亭淹水，影響候車民眾之安全。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 限制駕駛員行車速度，避免因視線不良導致行車意外。 ● 駕駛員應接受極端天氣之教育訓練。 ● 緊急逃生路線規劃。 ● 建立緊急應變規劃，行駛路線淹水或阻斷，應停駛或改道。 ● 車輛停駛或改道時，應即時於公車/客運到站站牌之跑馬燈通知候車民眾。 ● 因應氣候變遷，應制定相關管理計畫，包含人員培訓及備妥相關因應設備。 ● 公車/客運到站資訊之手機 App。

資料來源：本研究整理

(二) 極端降雨(強降雨、颱風強度增加)：

1. 在颱風強度增加影響下，其暴雨可能造成路面淹水、邊坡坍方、路面破壞，強風將導致路樹倒塌、招牌及號誌掉落，並影響道路車輛通行及駕駛安全。惟我國地方政府針對公車/客運於颱風期間行車已設有注意事

項，並督促依規定執行。以臺北市政府交通局為例，督促該管公車單位應依「臺北市聯營公車單位颱風期間行車注意事項」適時輸運乘客。為考量行車安全，公車單位可視實際天候及道路狀況，得依例假日班距(或平日最大班距)行駛；當平均風力強度達 8 級以上時，發車班次得依例假日班次減少 1/2 行駛；當平均風力強度達 9 級以上時，發車班次得依例假日班次減少 2/3 行駛；當平均風力強度達 10 級以上時，須停止發車。山區公車路線發車班次得依例假日班距(或平日最大班距)減少 1/2 行駛，當平均風力強度達 8 級以上時，須停止發車^[7]。

2. 強降雨或颱風可能造成淹水、橋梁沖毀或坍方，導致交通阻斷，影響車輛營運、行車安全及乘客安全，因此公車/客運行控中心與司機間應有一套回報系統，針對阻礙路段進行回報，並啟動緊急應變規劃，針對該路線公車/客運進行停駛或改道，且即時於公車/客運到站站牌之跑馬燈、手機 App 或電視廣播通知候車民眾及欲搭乘之乘客。
3. 強降雨可能導致室內公車站、平面轉運站、路邊候車亭淹水，若淹水過深(例如淹水至小腿)，則需事先將站內車輛移往高處並禁止車輛入站，並對候車旅客進行緊急疏散。另針對室內場站部分，應有緊急逃生路線規劃。
4. 大雨導致駕駛視線模糊，影響行車安全及行駛速度，因此應限制駕駛員行車速度，避免因視線不良導致行車意外。此外，駕駛員應接受極端天氣之教育訓練，以進行緊急應變。
5. 大雨也會造成路邊候車民眾不便，建議可興建有遮雨棚之候車亭，或輔以公車/客運到站資訊之手機 App，減少乘客於候車處等待時間。
6. 因應氣候變遷，應制定相關管理計畫，包含人員培訓及備妥相關因應設備。
7. 目前對公車/客運業者營運，僅針對颱風行車安全有設定車輛調度標準，但對於非颱風之極端降雨並無相關規範，建議地方政府可依降雨程度及預報加以訂定，以提供營運業者參照。

五、結論與建議

本研究以公路公共運輸服務為研究對象，並以市區公車及國道客運為主，探討氣候變遷對其運輸服務品質之影響，包括舒適度、準點率、安全

性等。主要透過蒐集國外公路公共運輸服務調適策略之相關研究，並考量我國可能面臨的氣候變遷風險情境，針對未來氣溫上升、極端降雨(強降雨、颱風強度增加)情況下，對我國公路公共運輸服務可能造成之衝擊進行探討，並從營運者可採取行動及調適措施提出建議。

其中氣溫上升對我國公路公共運輸服務之衝擊，主要為候車環境過熱及車輛元件過熱易損壞，因此建議候車環境能加裝空調、遮陽板、保持空氣流通、避免太陽直接曝曬；另可透過公車/客運到站資訊之手機 App，減少乘客於候車處等待時間。此外，高溫可能或使車輛相關元件過熱損壞，影響行車安全，因此建議定期進行車輛維修保養，使用材料儘量能因應高溫。

在極端降雨(強降雨、颱風強度增加)對我國公路公共運輸服務之衝擊，主要為淹水、橋梁沖毀或邊坡坍方，影響車輛營運、行車安全及乘客安全，其中地方政府針對颱風行車期間已訂有注意事項供營運業者參考採行，但針對強降雨並無相關標準可參考，建議地方政府可以比照辦理。另營運業者應有一套回報系統，針對阻礙路段進行回報，並啟動緊急應變規劃，針對該路線公車/客運進行停駛或改道，並應即時於公車/客運到站站牌之跑馬燈、手機 App 或電視廣播通知候車民眾及欲搭乘之乘客。

此外，為因應氣候變遷，除了設施改善外，亦應制定相關管理計畫及替代方案，並進行人員培訓及備妥相關因應設備。此外也可透過科技提供民眾候車資訊，以減少民眾候車時間，並降低於高溫或強降雨天氣下之暴露。

本研究從公路公共運輸服務角度，針對氣候變遷衝擊提供運輸業者相關調適策略或改善措施之參考，但政府部門仍應有其他相關資訊或作為，以提供營運者參考採用，例如準確的氣象預報、未來氣候變遷風險評估、訂定強降雨情況下之公車/客運行車規範等。透過政府部門與營運者間之合作，以提供更完善的公路公共運輸服務。

參考文獻

1. 臺灣氣候變遷科學報告 2011，行政院國家科學委員會(科技部前身)-臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫，100 年 11 月。
2. Climate Change and Cities - Chapter 6: climate change and urban transportation systems, Shagun Mehrotra, Benoit, Benoit Lefevre, Rae Zimmerman, 2011 年。
3. Adapting Urban Transport to climate Change, Urda Eichhorst,

2009 年 11 月。

4. Adaptation planning - Developing resilience to climate change in the Irish Transport sector, Department of Transport, Tourism and Sport, 2016 年 12 月。
5. 交通部運輸研究所，「重大鐵公路系統氣候變遷調適策略與脆弱度評估指標之研究」，104 年。
6. 國家災害防救中心災害防救電子報，氣候變遷下不同暖化情境差異比較，第 132 期，105 年 7 月。
7. 交通安全入口網，因應尼莎颱風來襲 臺北市公共運輸系統配合措施，
[http://168.motc.gov.tw/News_Content.aspx?n=jfF\\$1AgtJItyvhb3XvIwnQ@@&s=Y2sswnVTDoiGRHnZh1SjoA@@](http://168.motc.gov.tw/News_Content.aspx?n=jfF$1AgtJItyvhb3XvIwnQ@@&s=Y2sswnVTDoiGRHnZh1SjoA@@)