



全球氣候變遷下 低碳城市空間規劃之研究

張學聖、陳姿伶*

一、前言

政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 第四次評估報告¹ 指出，近 100 多年來全球平均地表溫度升高 0.3°C-0.6°C，海平面平均升高 10-25cm；其中自 1850 年起，全球有近 1/3 的溫室氣體是因土地利用變遷所致。都市化過程中，人口的增加導致都市地區的擴張，侵犯至周圍的天然與農業生態系統，此種土地使用改變的增加對碳循環產生巨大衝擊²，亦為氣候與生態系統的改變原因之一。都市成為氣候變遷全球化與在地化之關鍵網絡節點，在追求低碳發展的目標中，扮演更為主導性的角色。

城市規劃者在面對此議題時，思考並意識到城市發展必須回歸生態環境體系的承載，使城市與自然環境相結合，並達到和諧共存。全球暖化對全球及臺灣而言，已是「危機性的事實」，簡單的節能減碳已不足以因應，應積極提出調適策略。低碳城市 (Low Carbon City) 概念的崛起，為都市規劃領域依據永續發展與生態原則提出另類的城鄉關係、交通運輸原則與土地利用規劃新方向。

因應全球環境變遷所引起的人類安全議題，掌握都市碳流動特性，透過空間規劃策略及智慧成長管理，減低都市碳濃度以建構永續發展的都市，應為低碳城市規劃重要議題之一。都市環境的碳氧平衡是在不斷的調整固碳機

* 張學聖，國立成功大學都市計劃學系副教授；陳姿伶，國立成功大學都市計劃學系博士生。

¹ IPCC. (2007). IPCC Fourth Assessment Report. Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change.

² Imhoff, M.L., et al. (2004). The consequences of urban land transformation on net primary productivity in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 89 (4), 434-443.

能和各種排碳耗氧關係基礎上進行的，其平衡能力的大小對都市發展的永續性具有潛在影響。其中，綠地空間的植栽是都市中具有自我調節能力的關鍵³，可降低空氣中的二氧化碳濃度。藉由碳循環過程，植物體內進行碳固著形成有機碳，是以綠地空間植栽是都市規劃手法中重要的固碳策略之一。

除此之外，1990年「經濟合作暨發展組織」(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD)出版「1990的城市環境政策」⁴，提出緊湊都市是控制都市蔓延的策略，有助於都市節能；但緊湊都市政策亦有產生都市問題的疑慮：如交通層面會產生過密、混雜的負面效果⁵；又如建物、人口過度集中導致都市熱島效應等，此不僅會增加能源的消耗，進而造成許多的環境衝擊。

基於前述之討論，本文主要探討兩個焦點：其一，為各都市發展之碳排推估與其環境固碳之關係討論，以檢視各都市發展程度與其環境的調節能力相對程度；其二，則討論不同都市空間緊湊發展下都市節能情形，以及是否存在空間「過度」緊湊而可能加劇耗能情形？期能透過都市空間型態之發展特性分析，作為低碳都市空間規劃策略的參酌。

二、永續都市空間與碳平衡

本文首就都市能源消耗作為碳排推估之基礎，藉由臺灣地區能源消費分析，以推估各城市碳排量，並藉由各地區不同類型綠地植栽覆蓋情況推估固碳量，最後討論各都市碳平衡間的關係。

(一) 碳排估算

本文參考「政府間氣候變化專門委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)就部門別進行碳排量推估，主要基礎資料為經濟部能源局能源統計資料，包括煤及其產品、原油及其產品、天然氣及電力。唯該資料為全國性總計資料，是以進一步輔以97年經濟部能源局能源平衡表內的7大部門(能源、運輸、工業、農林漁牧、住宅、商業、其他)及95年工商普查之

³ 林憲德(2007)。《城鄉生態》。臺北：詹氏書局。

⁴ Division, O. U., Kilby, C. and Haughton, G. (1990). Environmental policies for cities in the 1990s. Paris: OECD.

⁵ 葉光毅、黃幹忠、李泳龍(2003)。《計畫方法論進階》。臺北：新文京開發。



工業及服務部門中細行業別進行碳排推估。再運用各縣市「住宅部門電力消耗量」、「運輸部門」、「加油站的汽柴油消耗量」等統計資料，輔以 95 年工商普查中的細項別進行碳排量的推估。

(二) 固碳量推估

近年來許多研究針對二氧化碳之固定效果進行實際測量，並初步建立植物二氧化碳固碳效能資料庫。內政部建築研究所於 2005 年提出臺灣各類植栽單位面積 40 年 CO₂ 固定量之研究報告，將綠化植栽分為生態複層、喬木、灌木等 7 類，各類之二氧化碳固定量從草坪每平方公尺固定 20kg，到生態複層每平方公尺固定 1,200kg 等。

本文採用內政部建研所對於不同綠地覆蓋植栽之比例進行固碳量基礎分類資料，並根據 97 年都市及區域發展統計彙編資料，以臺灣地區都市計劃區土地使用分區與非都市土地使用分區作為綠地植栽分類之依據，採用平均值方式建立不同固碳量類型。各類綠地植栽固碳量推估假設如下：

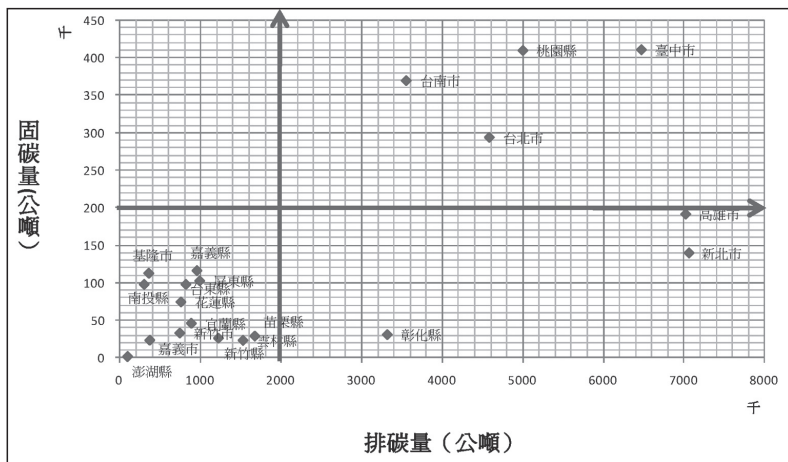
1. 農業區採草地固碳量，每年每公頃約 5 公噸。
2. 風景區主要為闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木，並假設其喬木所占比例為 70%，灌木為 30%，其綠覆率面積為 80%，其固碳量每年每公頃約為 100 公噸。
3. 保護區可分為動物和植物兩種，其綠地植栽固碳量比風景區少，研究假設其為風景區的 40%，其固碳量每年每公頃約為 40 公噸。
4. 國家公園綠覆率較高，植栽主要以闊葉林為主，因此研究假設為闊葉大喬木之二氧化碳固定量，綠覆率面積占 80%，綠地固碳量每年每公頃約為 180 公噸。
5. 山坡地保育的綠地固碳量僅次於森林區，本文採用闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木的二氧化碳固定量 600 (kg/m²)，假設其綠覆率面積 80%，因此綠地固碳量每年每公頃約為 120 公噸。

(三) 都市空間碳排與固碳分析

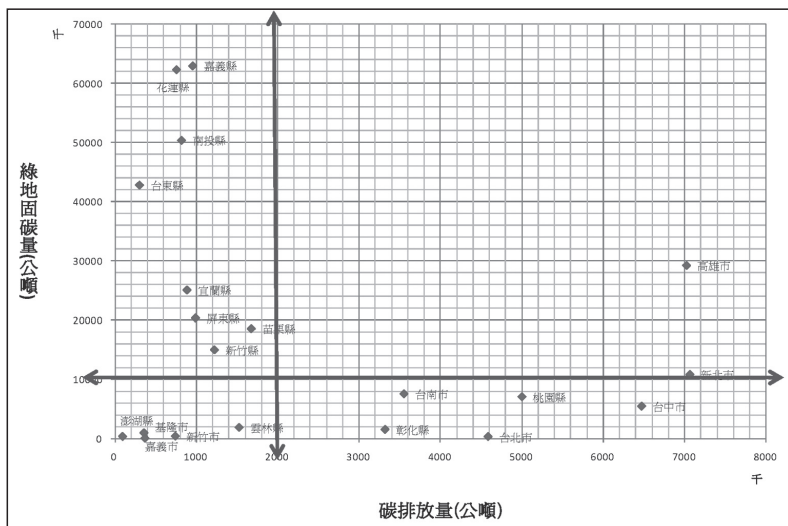
以下分別就「縣市行政範圍」及「都市發展範圍」二種空間單元進行比較分析。首先就臺灣地區縣市行政範圍碳排情形與植栽固碳之比較分析，結果發現天然綠地資源較多的縣市，包括宜蘭縣、南投縣、嘉義縣、臺東縣及花蓮縣，相對於其他較高密度發展的縣市而言，有較多的固碳量。而碳失衡較嚴重的地區為北部區域之臺北市，中部區域則以彰化縣和臺中市較為嚴重，

南部區域為工業城市高雄市，東部地區碳排情形則相對較輕微。

而以都市發展範圍為空間單元進行碳平衡分析，研究結果顯示：目前都市發展現有的都市綠地面積並無法滿足碳平衡需求，尤其是高碳排放量的新北市、桃園縣、高雄市、臺中市和臺北市。從各縣市行政轄區碳平衡比較分析圖得知：高碳排高固碳為新北市與高雄市；低碳排高固碳為花蓮縣、南投縣、臺東縣、宜蘭縣、屏東縣、苗栗縣、新竹縣、嘉義縣；高碳排低固碳為



圖一 縣市行政範圍碳平衡比較分析圖



圖二 都市發展範圍碳平衡比較分析圖



桃園縣、彰化縣、臺北市、臺中市、臺南市；低碳排低固碳為基隆市、雲林縣、新竹市、嘉義市、澎湖縣。至於從臺灣地區各縣市都市發展區碳平衡比較分析圖得知：高碳排高固碳為臺北市、新北市、臺中市、高雄市、臺南市；低碳排高固碳為花蓮縣；高碳排低固碳為桃園縣、彰化縣；低碳排低固碳為基隆市、苗栗縣、新竹縣、屏東縣、雲林縣、嘉義縣、宜蘭縣、南投縣、新竹市、臺東縣、嘉義市、澎湖縣。

三、緊湊城市效益討論

考量到可取得資料的統計單元問題，本文分兩部分進行緊湊都市對都市耗能影響分析。第一部分以全臺灣各縣市為對象，探討擁擠成本與緊湊都市特性間之關係，其中因考量離島交通行為較獨立，故未納入本研究第一部分討論。第二部分則選擇以「高雄市」⁶為對象，初步探討旅運需求與緊湊都市特性間之關係。

(一) 研究假說確立

綜整文獻回顧，高密度為影響能源消費最主要因素。考量影響住宅耗能的變數僅為都市密度，加以過往研究對於緊湊都市的節能效果多著墨於交通部門，因此本文聚焦探討緊湊都市特性對都市耗能影響。延續前述欲探討之主要問題，本文續而建立假說以驗證各項變數與都市交通能源影響，其中包括高密度特性與混合使用特性對行車速率、旅次時間、尋車時間、旅次數量等之影響。茲就上述先驗影響關係歸納為以下 7 項假說：

1. 擁擠成本與緊湊都市特性間之關係

假說一：高密度特性將造成行車速率下降

高密度發展都市中，小汽車使用率相較於低密度發展都市高，高汽車使用率造成交通擁擠現象，使行車速率下降。

假說二：高密度特性將造成旅次時間增加

過度緊湊造成交通擁擠情形，導致相同旅次長度卻需要較多旅行時間，上述增加的旅行時間即為能源浪費。

假說三：混合使用特性會使旅次時間縮短

綜合假說一與假說二，本研究假設緊湊都市特性對於旅次時間的影響並非

⁶ 旗津區本身因離島特性致出現極端值，是以本研究未納入旗津區於研究範圍中。

一致的，如以整體緊湊度與其進行相關分析，可能呈現非直線相關。

假說四：高密度特性會造成尋車時間增加

在一定都市範圍中，湧入大量的人口、建物等，相對的也將引入大量私人運具；私人運具的持續增加與有限的停車使用土地，將增加尋找停車位的時間。

2. 旅運需求與緊湊都市特性間之關係

假說五：高密度特性會增加旅次數量

高密度都市發展可能增加旅次數量，且根據運輸規劃之旅次產生預測方法所採用的變數推論：人口成長對於旅次數量增加亦有影響。

假說六：混合使用特性對旅次數量的影響非直線關係

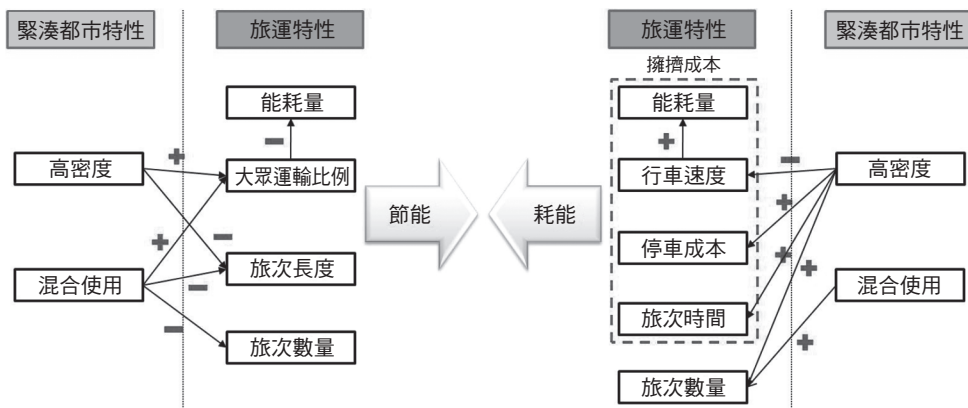
本研究假設混合使用特性對於旅次數量的影響是呈現非直線關係的，可能為二次方或三次方線性關係。

假說七：緊湊都市特性對大眾運輸比例的影響可能不顯著

本研究考量臺灣私人運具選擇偏好，假設緊湊都市特性對於大眾運輸比例的影響，可能不顯著。

(二) 擁擠成本與緊湊都市特性間之關係

以臺灣各縣市為樣本進行研究初探發現，假說一研究成果正相關，假說成立，此顯示在都市發展密度越高時，將會造成單位道路面積車輛數上升，引發交通擁擠現象，而造成行車速度下降，而行車速度又將使油耗量上升，因而造成單位車輛的交通耗能上升。



圖三 緊湊都市特性耗能、節能比較分析圖



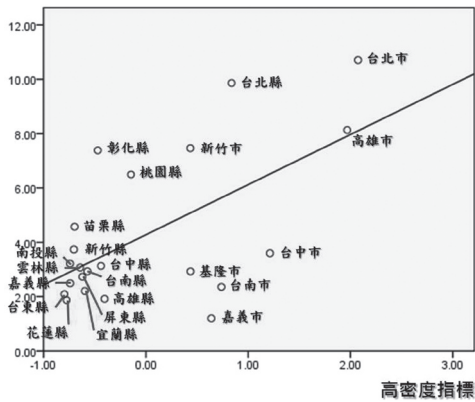
假說二與假說四之三次方曲線解釋度較高，假說視為趨勢上成立。其中，最符合曲線之樣本數為正相關部分，依結果推測尋車時間與旅次時間為造成緊湊都市能源消耗重要因素。

假說三為整體趨勢正相關的三次方曲線，假說成立，此顯示若密度與混合使用皆超出曲線估計中的門檻值時，則勢必將增加旅次時間。

表一 緊湊都市特性對擁擠成本影響之假說檢定結果

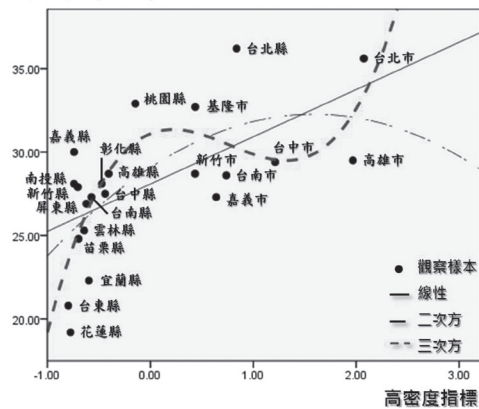
假說內容	成立與否
1. 高密度特性將造成行車速率下降	成立
2. 高密度特性將造成旅次時間增加	趨勢上成立
3. 混合使用特性會使旅次時間縮短	不成立
4. 高密度特性會造成尋車時間增加	趨勢上成立

道路車輛密度 (輛/千平方公尺)



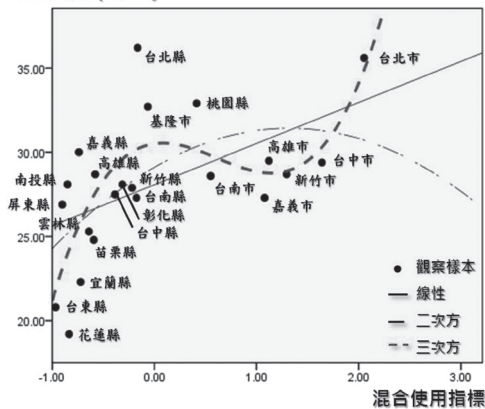
圖四 縣市高密度與道路車輛密度關係

旅次時間 (分鐘)



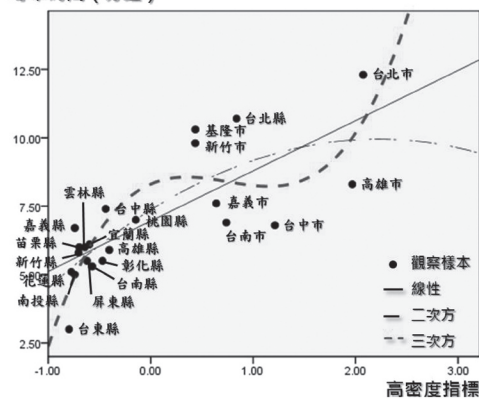
圖五 縣市高密度與旅次時間關係

旅次時間 (分鐘)



圖六 縣市混合使用與旅次時間關係

尋車時間 (分鐘)



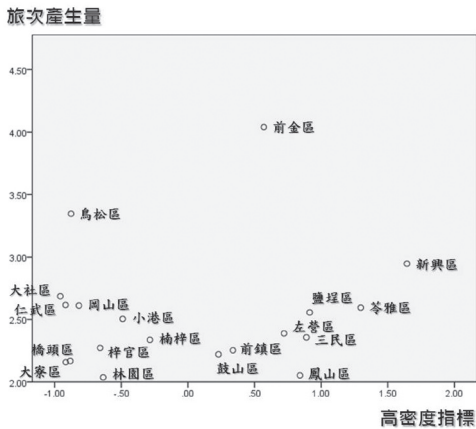
圖七 縣市高密度與尋車時間關係

(三) 旅運需求與緊湊都市特性間之關係

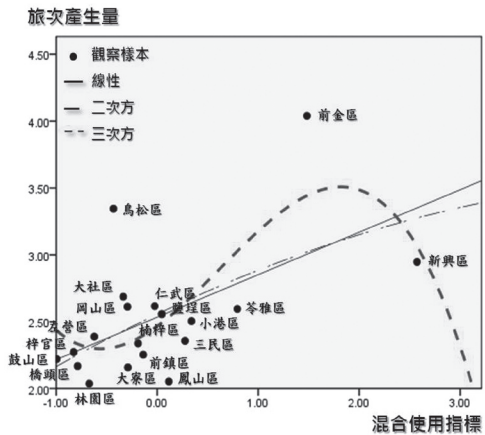
以高雄市為觀察對象進行研究初探，假說檢定結果顯示，除了高密度會增加旅次數量的假說不成立外，其餘兩項假說皆成立。混合使用特性對於旅次數量的影響，整體而言確實有減少旅次數量的情形。高密度特性相近地區之大眾運輸比例差異大，加以混合使用與大眾運輸比例無顯著的分布趨勢，顯示緊湊都市特性對大眾運輸比例的影響不顯著假說成立。

表二 旅運需求與緊湊都市特性間之假說檢定結果

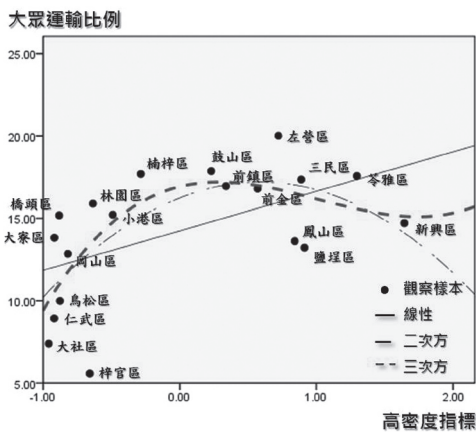
假設內容	成立與否
1. 高密度特性會增加旅次數量	不成立
2. 混合使用特性對旅次數量的影響非直線關係	成立
3. 緊湊都市特性對大眾運輸比例的影響不顯著	成立



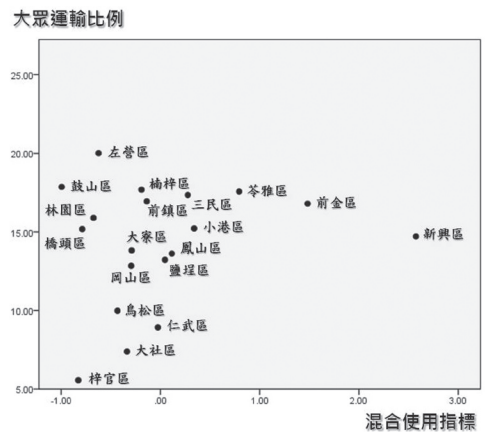
圖八 高密度與旅次數關係



圖九 混合使用與旅次數關係



圖十 高密度與大眾運輸比例關係



圖十一 混合使用與大眾運輸比例關係



四、結論

就碳平衡之角度，低碳城市中都市發展區（如住宅區、商業區、工業區等）為碳排放主要來源，非都市發展區（如公園、農業區、保護區等）為都市內主要固碳效果之地區。上述兩類土地應如何規劃配置，乃低碳城市空間規劃議題之一。本文初探臺灣各城市目前碳排放與固碳比（綠地植栽空間）之相對關係，透過都市碳平衡比較圖（碳排放高或低，固碳量高或低），將各城市區分在四個象限，界定出各城市目前發展在碳平衡架構下之類型（高碳排、高固碳；低碳排、低固碳；高碳排、低固碳；低碳排、高固碳等四類），以作為邁向低碳城市空間規劃之城市發展政策參酌。

此外，就都市永續發展目標所倡議的「緊湊都市」，是否俱有都市節能之功效？抑或存在過度緊湊的都市可能消耗更多能源的情形？緊湊都市的發展應有一定的程度與門檻值嗎？本文初探研究結果顯示，儘管高密度可縮短旅次長度，唯所引發之擁擠成本仍存在增加交通耗能之可能，以及高密度對於大眾運輸比例的影響不顯著，顯示高密發展並無法直接降低都市交通耗能與增加大眾運輸使用比例。此外，隨著土地混合使用程度越高，旅次數可能隨之增加，但研究估計所得三次方曲線呈現倒 N 型，顯示當土地混合使用超過一定門檻時，混合使用程度的增加反而會減少旅次產生量。整體而言，都市緊湊度越高可降低總旅次長度，同時提高大眾運具使用的比例，於適度都市緊湊情況下有助於降低交通耗能；唯當都市過度發展下，將增加尋車成本、旅次時間等，反致單位旅次長度能耗量上升，整體而言能耗量不減反增。此成果提示緊湊城市之發展政策，對於空間之密度規劃可能存在不同都市之差異性，故應有更嚴謹的考量。

本文乃初探低碳城市之空間結構特性，期望作為邁向節能減碳之都市規劃參酌。唯受限於相關資料的完整性，本年度計畫在碳循環分析中乃僅對植物固碳進行推估分析。都市緊湊型態之耗能探討，亦僅著眼在交通部門部分指標進行假設之初步檢定，未來尚待持續性的研究，提供更完整與嚴謹的討論。