



都市街道變遷與 都市熱島效應之關聯 — 以原臺中市八區為例

康亦陞／逢甲大學都市計畫與空間資訊學系 學士

廖冠閔／逢甲大學營建及防災中心 專任助理

徐逸祥／逢甲大學都市計畫與空間資訊學系 副教授

在全球性的環境變遷與暖化影響下，高度都市化的城市因高度密集的建築物群，以及易吸熱而不易透水之街道鋪面，使都市熱島效應加遽，因此如何減緩、改善都市熱島，也成為重要議題之一。本研究以臺中市作為研究地區，透過不同年份夏季上午十時左右之影像資料，配合國土利用現況調查、人口密度、地表溫度（Land Surface Temperature, LST）反演、常態化差異建物指標（Normalized Difference Building Index, NDBI）、都市熱島（Urban Heat Island, UHI）影響區域進行相關性分析與迴歸分析，檢討大範圍都市街道空間結構的改變與都市熱島效應之關係，以此作為未來街道配置及都市街谷設計之參考。透過研究發現，以相關性分析而言，LST 與 NDBI 之相關性最高，與道路使用之相關性次之，與人口密度之相關性最後，但三項因子皆與 LST 具有一定程度之相關性。並且觀察重劃區及草悟道的熱島強度比較，也可得知都市內部之整體區域道路寬度充足、道路配置整齊或綠化空間完整，能有效使地區蓄熱能力降低。最後，在兩年 LST 與人口密度迴歸分析之標準化係數及非標準化係數部分，皆呈現人口密度增加而 LST 減少的狀況，推測可能與活動人口及戶籍人口之差異有關。後續也提出研究限制面、未來應如何加深此研究發展等研究建議。

關鍵詞：都市熱島效應、都市街道變遷、常態化差異建物指標、都市熱島影響區域

前言

19 世紀初，英國氣象學家 Luke Howard 於《倫敦的氣候》一書中提出都市熱島之概念，然而其所提出概念較為模糊；而都市熱島（Urban Heat Island）正式一詞則是於 1958 年 Gordon Manley 在英國皇家氣象學會所出版之學報中所提出；而評估都市內部熱島之強弱即為都市熱島強度，透過市中心最高溫度與市郊最低溫度之差成為一固定指標^[1]。隨著國際間各大都市發展逐漸完備與飽和，環境變遷及全球暖化所造成之「都市熱島」議題成為國際間討論的重要議題，對於不同地區及不同大小之都市所面臨之熱島問題也不盡相同，而大部分的熱島多位於高密度、連續性、

大範圍、不透水的開發區^[2]，換言之，20 世紀後全球科技、經濟、產業快速發展，連帶使各地區城市急遽擴張，都市化現象極為明顯，快速擴張的都市形成高度密集的建築物群，以及易吸熱而不易透水之街道鋪面，種種人為非自然形成之制式固定形體，成為阻礙都市空氣流通及蓄熱之一大因素，使都市熱島效應加遽。而對於可減緩都市熱島之各項永續發展指標，包括能源使用、交通運輸、空氣品質、水循環、綠覆率等等，在上述指標中尤以組成都市各街廓範圍的道路系統配置扮演著舉足輕重的角色，不同型態的道路配置可以對都市交通系統以及都市微氣候造成一定程度的影響，可以說，道路擔負著建立起整體都市輪廓

的重要身分。而現今都市面臨發展飽和、新舊規劃交雜、部分基盤建設缺乏更新，以及過去以效益為原則所發展之區域較缺乏整體美感規劃等問題，加之以前述提及都市熱島之議題、永續發展推動起步伊始，道路量體涵蓋到了都市整體規劃的基礎，因而本研究欲以都市內道路配置對都市熱島影響之觀點，針對不同年份夏季上午十時左右之影像資料，配合土地使用、人口統計等資料，檢討其大範圍都市街道空間結構的改變與都市熱島效應之關係，期望能以此作為未來街道配置及都市街谷設計之參考。

研究範圍概述

本次研究主要目標為原臺中市八區（舊八區），並參考研究年期內衛星影像拍攝品質較佳的區域，擇定研究範圍如圖 1 紅色虛線內所示，範圍東側為臺中市主要森林範圍（新社區、東勢區、和平區），西側為大肚山及臺中海岸線，南北兩側為臺中之建成區。因清末的建設省城計畫留下許多公有建築與土地，於是現今的中區於日治初期被選為中部行政中心，並將大墩街及省城街區一帶劃設為「臺中街」^[3]；1896 年 8 月日本內務省工程顧問巴爾頓（W.K.Burton）提出「臺中市街區計畫設計報告書」，建立了臺中城市棋盤式街廓的雛形^[3,4]；明治三十三年（1900）的「市區改正計畫」奠定了中區的棋盤式街道等空間樣態，也是日治

時期臺灣第一個較完備的市區計畫，可以說，臺中市都市計畫發展歷程早，於日治時期開始即有多區域之規劃設計，整體發展至今已一百餘年。然而早年之設計觀念相對缺乏永續環境與都市微氣候之概念，故在都市範圍內產生高密度建物開發、緊密整齊的街廓排列及混合土地使用等，形成近似緊湊都市、複合城市的樣態。

到了現今，除了日治時期的道路規劃為以臺中車站為中心之斜 45 度角棋盤放射狀外，主要規劃之區域為目前臺中市區全區及部分之西區、東區、南區，往後之都市規劃也以此基礎向外持續發展，使目前臺中市區出現眾多之環形道路（文心路、忠明路、環中路等）。而臺中市之軌道建設為臺鐵、高鐵、捷運，臺鐵與捷運形成環形之服務設計，除臺鐵臺中站為重要城際型轉運節點，其餘站點肩負起地區型之軌道運輸服務，而高鐵臺中站為國家級重要城際型轉運節點，透過串聯三鐵不同等級之服務類型，達成優質之大眾運輸服務網絡。

臺中市最早之綠色基盤為臺中公園，近年透過都市計畫及河川、鐵道高架化之多種整治方式，設計出獨特之環形園道（草悟道、美術園道、忠明園道、興大園道、東光園道、興進園道、育德園道）、綠空鐵道、綠川水岸綠帶及中央公園等重要綠色基盤，為臺中市區創造出眾多優質之綠帶風廊。

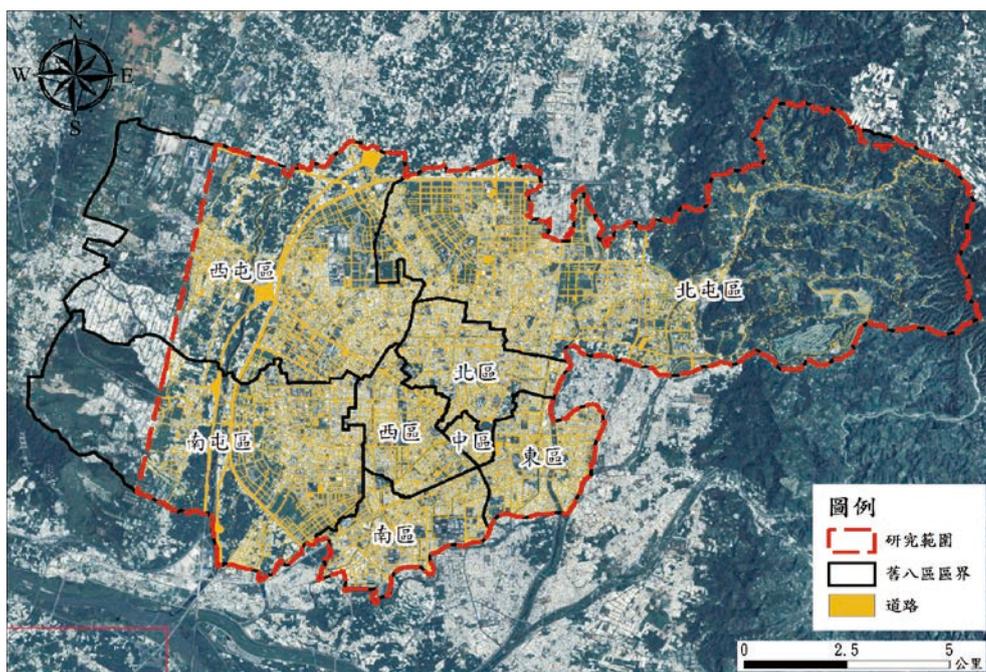


圖 1 研究範圍圖

研究方法及資料調整

氣溫

中央氣象局觀測資料查詢系統蒐集臺中測站 2013 年 ~ 2022 年各月之氣象資料，資料顯示臺中市夏季高溫月份為六至九月，月平均溫度皆為 28°C 以上，配合本次所挑選影像之日期，其測站日均溫為 2013/07/05 之 28.9°C、2022/07/22 之 30.6°C，皆高於月平均溫度。

衛星影像

本研究取用美國地質調查局 (U.S. Geological Survey, USGS) 所提供之 Landsat 8-9 OLI/TIRS Collection 2 Level-2 影像，其資料解析度為 30 m × 30 m 為避免雲層影響挑選雲量較低之影像，並依據中央氣象局所得之氣象資料挑選其氣溫較高之日期 (2013/07/05、2022/07/22)，且影像拍攝時間皆為當地時間上午十時左右之影像，並取 Level-2 本身具有之 Band 10 熱紅外光地表溫度 (Land Surface Temperature, LST) 產品，以此定義都市熱島 (Urban Heat Island, UHI) 影響區域，兩個研究時期的 LST 分布如圖 2 及圖 3 所示。接著，再以近紅外 (Near Infrared, NIR) 及短波紅外 (Short Wave Infrared, SWIR) 波段計算常態化差異建物指標 (Normalized Difference Building Index, NDBI)。NDBI 最早於 2013 年提出，此方法相較人工判釋能以更高準確性與客觀性繪製出建成區，可作為快速繪製城市土地之方法 [5]，本次採用之 Landsat 8 影像之 NIR 波段為 Band5，SWIR 波段為 Band6，NDBI 主要為界定人工鋪面與自然植被之方法，其數值愈接近 1 則愈可能為建物，反之愈接近 -1 則愈可能為自然植被，其公式如下：

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR} \quad (1)$$

都市熱島影響區域 (UHI area) 本研究則參考 Ma *et al.* [6] 提出之準則，定義為城市熱島地區平均氣溫與城市周邊地區平均氣溫之差 [6]，透過整體研究區 LST 之平均加上其 0.5 倍之標準差，檢測其數值與該網格 LST 之關係，而算式中之 0.5 倍標準差，此數值可依研究區特性不同而進行調整，以確定及比較地區所適合之判定數值，其公式如下：

$$LST > \mu + 0.5 \times SD \quad (2)$$

其中 μ 為研究範圍內之平均 LST，SD 為範圍內 LST 之標準差。

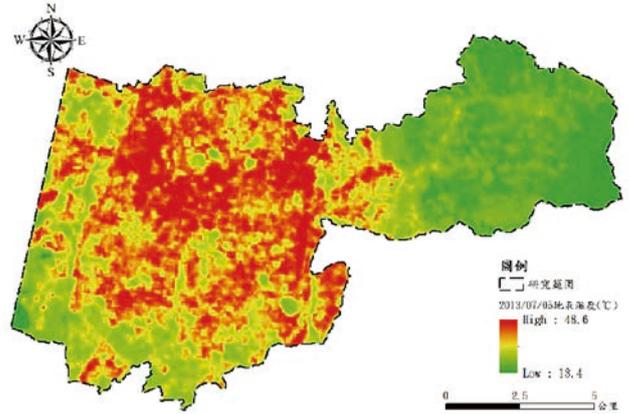


圖 2 2013 年 7 月 5 日 LST 圖

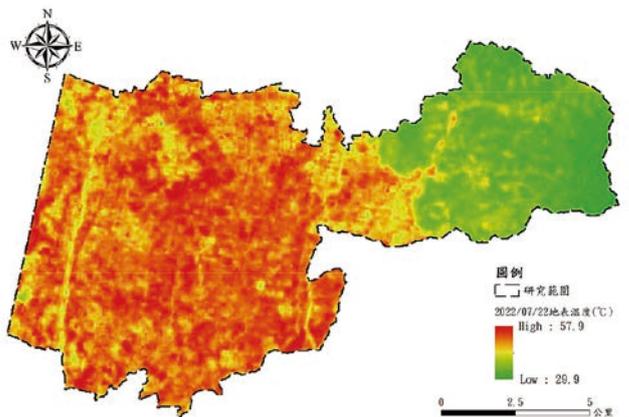


圖 3 2022 年 7 月 22 日 LST 圖

交通使用範圍

參考國土測繪圖資服務雲 WMTS 介接服務，確認此次國土利用現況調查之涵蓋原臺中八區之年份為 2013 年 ~ 2015 年以及 2021 年，再配合相對應年度，套疊由中央大學太空及遙測研究中心「SPOT 衛星影像介接服務平台」提供之 SPOT 影像 WMTS 介接服務，數化交通使用 (道路、軌道) 範圍以進行後續分析。

人口密度

本研究取用「社會經濟資料服務平台」之臺中市最小統計區人口，進而推算出人口密度，且由於本研究選用之衛星影像為 2013/07/05、2022/07/22，因此人口選用以該兩年度的 6 月人口數進行推算。

綜合以上資料，本研究分別以衛星影像原解析度 30 m × 30 m、以及降低解析度為 90 m × 90 m 後之不同統計單元，以 Pearson 相關分析討論 LST 和交通使用及人口密度之間的相關性，再以普通最小平方法 (Ordinary Least Squares, OLS) 迴歸分析討論同時考量交通使用及人口密度兩因子的變化時，LST 的變化為何。

結果與討論

相關性分析

將 30 m × 30 m 之 LST 反演資料與各項因子進行相關性分析，顯示 NDBI 對於 LST 之相關性最高，2013 年與 2022 年為 0.783 及 0.782（表 1 和表 2）；此次欲探討之交通因子（軌道使用、道路使用）中，以道路使用之相關性較高，2013 年為 0.355，2022 年則為 0.339。軌道使用因其覆蓋面積過小，計算出之相關性僅 0.047 及 0.026；而經標準化之人口相關性為 0.414。

表 1 2013 年 LST 30 m × 30 m 網格相關性表

2013 年數值相關性 (30 m × 30 m 網格)		NDBI	軌道使用	道路使用	人口密度
			像元內比例		
LST	皮爾森 (Pearson) 相關	0.783	0.047	0.355	0.414
	顯著性 (雙尾)	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	155,533			

表 2 2022 年 LST 30 m × 30 m 網格相關性表

2022 年數值相關性 (30 m × 30 m 網格)		NDBI	軌道使用	道路使用	人口密度
			像元內比例		
LST	皮爾森 (Pearson) 相關	0.782	0.026	0.339	0.401
	顯著性 (雙尾)	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	155,533			

而將網格大小由 30 m × 30 m 以平均的方式計算為 90 m × 90 m 之尺度時，可以看到計算出之相關性有明顯增加，2013 的 NDBI 為 0.874，2022 為 0.906，兩年度皆較 30 m × 30 m 的結果相關性高；其中以道路使用之相關性增加最顯著，2013 年為 0.567，2022 則為 0.591（表 3 和表 4）。由此可知統計單元由 30 m × 30 m 變為 90 m × 90 m，雖會簡化網格內所包含各因子之面積或數值，以及減少網格總數量，然而變數之間的相關性會有改變。

表 3 2013 年 LST 90 m × 90 m 網格相關性表

2013 年數值相關性 (90 m × 90 m 網格)		NDBI	軌道使用	道路使用	人口密度
			像元內比例		
LST	皮爾森 (Pearson) 相關	0.874	0.055	0.567	0.473
	顯著性 (雙尾)	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	17,647			

表 4 2022 年 LST 90 m × 90 m 網格相關性表

2022 年數值相關性 (90 m × 90 m 網格)		NDBI	軌道使用	道路使用	人口密度
			像元內比例		
LST	皮爾森 (Pearson) 相關	0.906	0.063	0.591	0.491
	顯著性 (雙尾)	0.000	0.000	0.000	0.000
	N	17,647			

迴歸分析

將 2013 年及 2022 年之處理完成之 90 m × 90 m 網格資料進行多元線性迴歸分析，並選定因變數為兩年份之 LST，自變數為 NDBI、道路使用及人口密度（表 5），在決定係數 R 平方值與調整後 R 平方值，2013 年為 0.774、2022 年為 0.841，表示 2013 年之迴歸模型總變異數中有 77.4% 可被自變數解釋，2022 年之迴歸模型總變異數中有 84.1% 可被自變數解釋。

接著進行各項檢定之結果說明，顯著性檢定（F 檢定）其顯著性 p 值 < 0.001，拒絕虛無假說，且代表此預測模型顯著具有預測能力；在個別係數邊際檢定（t test），2013 年 NDBI 之計算統計值為 173.889、道路使用之計算統計值為 28.374、人口密度之計算統計值為 -3.823，2022 年 NDBI 之計算統計值為 210.409、道路使用之計算統計值為 41.954、人口密度之計算統計值為 -21.607，且兩年份所有項目之顯著性 p 值皆 < 0.001，代表 NDBI、道路使用與人口密度對 LST 有顯著之關聯；且為避免因自變數間相關性過高而產生的共線性問

表 5 迴歸分析結果表

	自變數	F	調整後 R 平方	t	顯著性	VIF	非標準化係數 B	標準化係數 Beta
2013 年 LST	NDBI	20134.901	0.774	173.899	0.000	1.711	65.095	0.814
	道路使用			28.374	0.000	1.493	4.998	0.124
	人口密度			-3.823	0.000	1.454	-8.390	-0.016
2022 年 LST	NDBI	31029.720	0.841	210.409	0.000	1.910	69.243	0.874
	道路使用			41.954	0.000	1.410	5.893	0.150
	人口密度			-21.607	0.000	1.549	-43.466	-0.081

題，採用共線性診斷來判斷自變數因子間的獨立性，當自變數與其他自變數關係密切時，自變數的允差大，因此 VIF 值亦大，當 $VIF \geq 10$ 時，表示自變數幾乎是其他幾個自變數的線性組合，因此可以考慮將其迴歸模式中去除^[7]，而本次兩年份各因子之 VIF 皆介於 1 至 2 間，皆無超過 10 證明不具明顯共線性問題。

非標準化係數 (B) 部分，2013 年之道路使用百分比上升一單位，則 LST 上升 4.998°C 、人口密度值上升一單位，則 LST 下降 8.390°C ，2022 年之道路使用百分比上升一單位，則 LST 上升 5.893°C 、人口密度值上升一單位，則 LST 下降 43.466°C ；標準化係數 (Beta) 部分，可去除原不同項目間的測量單位，以統一之標準相互比較其相關性，2013 年之 NDBI 增加一個標準差，則 LST 增加 0.814 個標準差、道路使用百分比增加一個標準差，則 LST 增加 0.124 個標準差、人口密度百分比增加一個標準差，則 LST 減少 0.016 個標準差，2022 年之 NDBI 增加一個標準差，則 LST 增加 0.874 個標準差、道路使用百分比增加一個標準差，則 LST 增加 0.150 個標準差、人口密度百分比增加一個標準差，則 LST 減少 0.081 個標準差。

由以上結果可知，兩年 LST 與人口密度迴歸分析之標準化係數及非標準化係數，皆呈現人口密度增加而 LST 減少的狀況，推測可能與活動人口及戶籍人口之差異有關，戶籍人口需仰賴民眾辦理登記，且為靜態資料較不具流動性，透過中華民國統計資訊網資料顯示，因就學、就業等因素遷徙頻繁，實際居住處所往往與戶籍所在地不同，戶籍人口數與常住人口數其差異程度平均每年約為 7%，未來可選擇採用電信信令人口資料或最新之人口普查資料進行分析，以降低此部分所造成之差異。

熱島道路比較

將 2013 年及 2022 年 UHI Area 範圍與本研究數化之道路使用兩者套疊 (圖 4)，計算出兩年份之熱島道路面積，而 2022 年因重劃區道路已完成規劃 (十三期重劃區、十四期重劃區、水湳機場原址南北側區段徵收、北屯捷運機廠區段徵收、單元五自辦重劃區)，道路面積明顯提升；而在 2013 年與 2022 年之熱島道路比較，2022 年之道路及熱島道路總量皆有上升，且在 UHI Area 前 (33%) 及 UHI Area 中 (33%~66%) 熱島道路與熱島道路面積總量之比例在 2022 年有明顯提升，說明整體都市熱島之問題在近年內並未得到改善，且有上升之趨勢。

比較圖 5 及圖 6 中 UHI Area 範圍可以明顯看到 2022 年在水湳經貿園區、北屯十四期重劃區、北屯捷運機廠區段徵收範圍之熱島範圍明顯減少，且其現況多為公園及道路設施已劃設完成之重劃區範圍，範圍地覆多以草本植物為主，而上述三地區在 2011 年至 2017 年先後完成重劃區之整地及各式管線建置工程，在此過程中因舊有地上物拆除、交通排水污水等整體工程，及地表主要之地覆為土石泥砂，造成部分重劃地區出現熱島效應。

都市範圍內除正進行中之重劃區外還有兩區域有明顯之非熱島地區，草悟道以及七期重劃區，草悟道本身之規劃重點即為減碳與留綠，也成為臺中市區重要的風廊帶，而七期重劃區之設計為舒緩舊市區之發展及打造新市政中心，其規劃之道路及街廓方正，配合新建築開發留設一定程度之開放空間，及綠帶公共設施之設置，且地區內之街道除小部分巷道及河道溝渠周邊道路小於十米外，其於道路皆為十米以上之道路，說明都市內部之整體區域道路寬度充足、道路配置整齊或綠化空間完整，能有效使地區蓄熱能力降低。

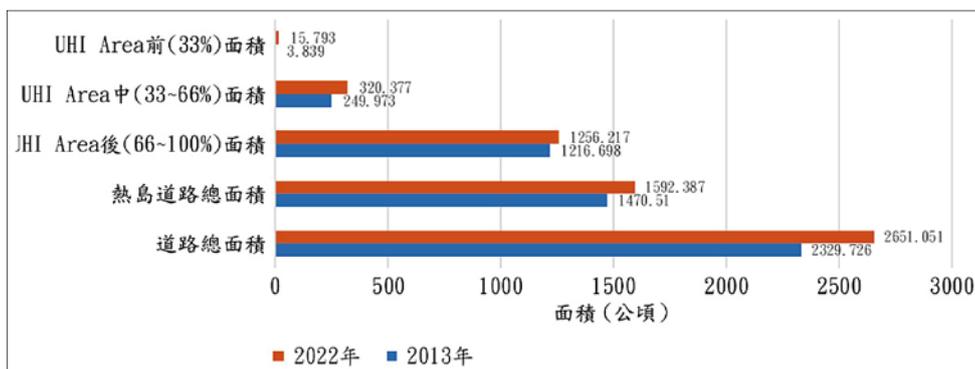


圖 4 2013 年、2022 年道路總面積及 UHI Area 道路面積長條圖

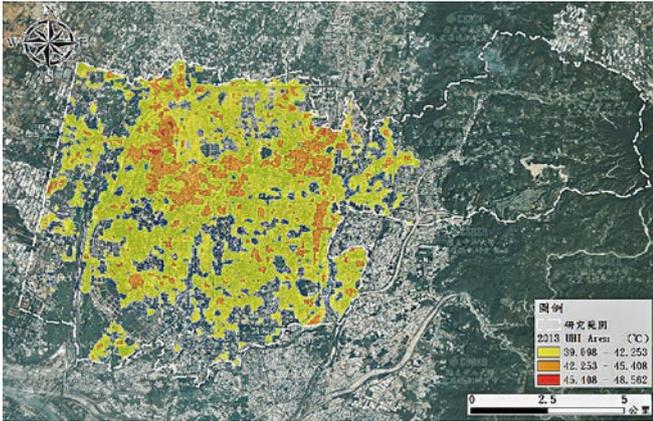


圖 5 2013 年研究範圍 UHI Area 圖

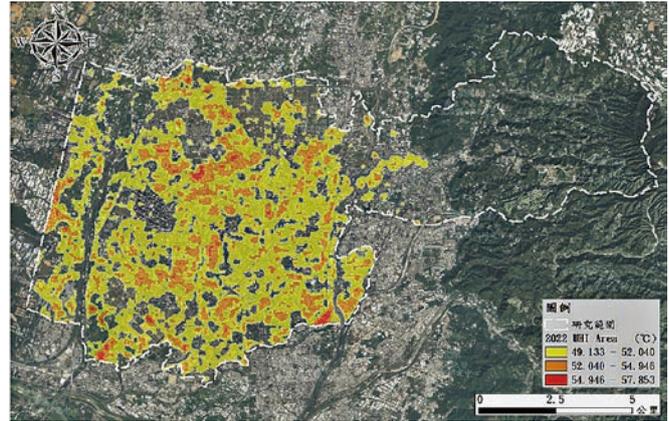


圖 6 2022 年研究範圍 UHI Area 圖

結論與建議

本研究僅針對原臺中市八區接近中午時段之都市熱島效應進行探討，並加入道路及人口因子進行相關性及迴歸分析，得出 LST 與 NDBI 之相關性最高，與道路使用之相關性次之，與人口密度之相關性最後，但三項因子皆與 LST 具有一定程度之相關性。從上述可以得知，都市內部之熱島可能受不同日期時間點、不同天候、不同都市尺度、不同地形地貌及不同都市街道配置等關聯，且利用不同計算方式所得出之熱島數值皆有所差異；本研究透過結果提出未來都市街道配置及整體空間配置之建議。

本次研究以原臺中市八區為研究尺度，過程中得出軌道與整體都市熱島相關性低，可以想見以本研究尺度而言，軌道基數相對較少，因此未來若須研究軌道對都市熱島效應之關聯，建議可以將尺度限縮至軌道周邊範圍為研究區，進行後續研究。

對未來都市內部之設計應以道路寬度充足、道路配置具規律及綠化空間完整為原則，利用整體空間之設計使都市之街谷提高連續性與串聯性，有效使地區蓄熱能力降低。

未來對於較小尺度之都市熱島研究，若需進行更精細之整體街谷熱環境模擬，可配合計算流體力學（computational fluid dynamics, CFD）軟體，輸入建置完成之模型資料並設定其相關參數進行環境模擬，以取得街道及周邊環境配置下之整體環境模型。

參考文獻

1. 林憲德、陳冠廷、郭曉青，「台灣中型都市熱島現象與土地利用之觀測解析」，規劃學報，第二十八期，第 47-64 頁（2001）。
2. 石婉瑜、Leslie Mabon，「臺北盆地的熱環境特徵與都市綠色基盤的影響」，都市與計劃，第四十五卷，第四期，第 283-300 頁（2018）。
3. 郭肇立、袁興言，「台中州廳的空間生產 1895-1945」，都市與計劃，第三十六卷，第三期，第 305-332 頁（2009）。
4. 賴志彰，「日據明治時期臺中地域的空間環境形式」，臺中文獻，第四期，第 85-99 頁（1994）。
5. Zha, Y., Gao, J., and Ni, S., "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery," International Journal of Remote Sensing, Vol. 24, No. 3, pp. 583-594 (2003).
6. Ma, Y., Kuang, Y., and Huang, N., "Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery," International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol.12, pp. 110-118 (2010).
7. 陳順宇，迴歸分析四版，三民書局，臺北，第 8-10 ~ 8-11 頁（2009）。



土木水利 雙月刊 向您約稿

本刊出版有關土木水利工程之報導及論文，以知識性、報導性、及聯誼性為主要取向，為一綜合性刊物，內容分工程論著、技術報導、工程講座、特介、工程新知報導及其他各類報導性文章及專欄，歡迎賜稿，來稿請 email: service@ciche.org.tw 或寄 10055 台北市中正區仁愛路二段 1 號 4 樓，中國土木工程學會編輯出版委員會會刊編輯小組收，刊登後將贈送每位作者一本雜誌，不再另致稿酬；歡迎以英文撰寫之國內外工程報導之文章，相關注意事項如後：

- 工程新知及技術報導，行文宜簡潔。
- 技術研究為工程實務之研究心得，工程講座為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。工程報導為新知介紹及國內外工程之報導。
- 本刊並歡迎對已刊登文章之討論及來函。
- 工程論著及技術研究類文章，由本刊委請專家 1~2 人審查，來文請寄電子檔案，照片解析度需 300dpi 以上。
- 文章應力求精簡，並附圖表照片，所有圖表及照片務求清晰，且應附簡短說明，並均請註明製圖者及攝影者，請勿任意由網站下載圖片，以釐清版權問題。