

台中市政府 107 年度市政發展研究論文獎助計畫

論文節錄重點

應用空間迴歸模式探討都市綠地、PM_{2.5} 與
地表溫度之關聯

Applying Spatial Regression Model to Explore the Relationship
among Urban Green Areas, PM_{2.5} and Land Surface Temperature

研究生：張晏菁

指導老師：徐逸祥、林峰正

學校：逢甲大學

系所：景觀與遊憩碩士學位學程

中華民國 107 年 8 月

摘要

日漸惡化的空氣污染問題逐漸引起國人的關注，已有多篇研究證實 PM_{2.5} 對於人體的傷害，如心血管疾病、呼吸道疾病...等，如何減緩 PM_{2.5} 濃度是現今社會的重要課題。

本文利用 MODIS 衛星影像與政府開放資料取得相關的資料變數，加入五種空間單元個別討論地表溫度與 PM_{2.5} 濃度的空間關係，試圖從中找出冬夏季台中地區綠地環境、細懸浮微粒與地表溫度三者的關聯性。藉由地區型空間自相關證實 PM_{2.5} 濃度的冷熱區分佈在不同季節中存有明顯的差異，透過疊圖分析證明 PM_{2.5} 濃度與地表溫度之間確實存有空間的關聯性。而以一般空間模式的分析結果更得到地表溫度與 PM_{2.5} 濃度存在一定之關係，彼此都有提升另一變數的效果。而 NDVI 對於 PM_{2.5} 濃度的正負向影響性在冬夏季節出現不同的結果，推測冬季的枯水期與市地重劃的土地裸露造成地表揚塵，是可能造成植栽滯塵作用無法有效發揮的原因。

最後，期望透過研究的數據及成果，做為評估當前都市綠地環境是否能達到減緩地表溫度與淨化空氣效果之基礎，提高當前都市環境的適居性，進而給予公部門未來在決策上使用。

關鍵字：空間自相關、一般空間模式、植栽滯塵

目錄

摘要.....	i
目錄.....	ii
第一章 前言.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的.....	1
第三節 研究範圍.....	2
第二章 文獻探討.....	3
第一節 都市熱島效應、綠地與 PM _{2.5} 的相關文獻.....	3
第二節 空間迴歸模式.....	3
第三節 小結.....	4
第三章 研究方法.....	5
第一節 研究架構.....	5
第二節 研究材料.....	6
第三節 研究方法.....	10
第四章 成果分析.....	13
第一節 空間自相關分析.....	13
第二節 空間迴歸模式分析.....	28
第五章 結論與建議.....	36
第一節 結論.....	36
第二節 建議.....	38
參考文獻.....	27

圖目錄

圖 1 研究架構圖.....	5
圖 2 冬季地表溫度平均值.....	7
圖 3 夏季地表溫度平均值.....	7
圖 4 冬季 PM _{2.5} 濃度分佈圖.....	8
圖 5 夏季 PM _{2.5} 濃度分佈圖.....	9
圖 6 工業區歐式距離法分析.....	10
圖 7 冬季地表溫度 Moran's I 散佈圖.....	14
圖 8 夏季地表溫度 Moran's I 散佈圖.....	15
圖 9 冬季 PM _{2.5} 濃度 Moran's I 散佈圖.....	16
圖 10 夏季 PM _{2.5} 濃度 Moran's I 散佈圖.....	17
圖 11 原台中市地區 2013 年至 2016 年國土利用調查圖.....	18
圖 12 冬季地表溫度 LISA 聚集圖.....	19
圖 13 250 公尺空間單元冬季地表溫度 LISA 聚集圖.....	20
圖 14 夏季地表溫度 LISA 聚集圖.....	21
圖 15 250 公尺空間單元夏季地表溫度 LISA 聚集圖.....	22
圖 16 冬季 PM _{2.5} 濃度 LISA 聚集圖.....	23
圖 17 250 公尺空間單元冬季 PM _{2.5} 濃度 LISA 聚集圖.....	24
圖 18 夏季 PM _{2.5} 濃度 LISA 聚集圖.....	25
圖 19 250 公尺空間單元夏季 PM _{2.5} 濃度 LISA 聚集圖.....	25
圖 20 冬季地表溫度與 PM _{2.5} 濃度 LISA 聚集圖套疊.....	26
圖 21 夏季地表溫度與 PM _{2.5} 濃度 LISA 聚集圖套疊.....	27

表目錄

表 1 地區型空間自相關 LISA 四種情況及其意涵.....	11
表 2 冬季地表溫度與 PM _{2.5} 濃度冷熱區重疊率計算.....	27
表 3 夏季地表溫度與 PM _{2.5} 濃度冷熱區重疊率計算.....	28
表 4 各空間尺度冬夏季地表溫度與 PM _{2.5} 濃度 Moran's I 綜整表.....	29
表 5 各空間單元冬夏季地表溫度模式配適度比較.....	31
表 6 冬夏季地表溫度 500 公尺空間單元一般空間模式分析結果.....	32
表 7 各空間單元冬夏季 PM _{2.5} 濃度模式配適度比較.....	34
表 8 冬夏季 PM _{2.5} 濃度 500 公尺空間單元一般空間模式分析結果.....	35
表 9 冬夏季地表溫度與 PM _{2.5} 濃度變數正負向影響結果綜整表.....	37

第一章 前言

第一節 研究背景與動機

自柴靜於 2015 年拍攝紀錄片「穹頂之下」揭露了空氣污染對於環境的影響，呼籲人們必須要重視空氣污染的問題，而與中國鄰近的台灣，群眾亦開始在網路平臺討論空氣污染的議題，尤以細懸浮微粒(fine particulate matter)PM_{2.5}為甚。

目前大眾廣泛討論的細懸浮微粒是指粒徑小於 2.5 微米之空氣污染物，主要是藉由燃燒所產生，如工業排放或汽機車排放，其次則是經由化學反應所產生之二次污染物。環保署指出台灣地區的細懸浮微粒主要是由工業、交通以及生質燃燒所產生。在都市地區，汽機車等交通排放更是主要的空氣污染排放源(Aguilera et al., 2007; Squizzato et al., 2017)。

近年，細懸浮微粒 PM_{2.5}的相關研究豐富且面向非常多元，國內外已有多項研究證實 PM_{2.5}對於人體健康的影響，並指出長期的暴露於空氣污染的環境下將會增加心血管疾病的發生率及死亡率(Barraza-Villarreal et al., 2008; Cesaroni et al., 2014; Lipsett et al., 2011; 蘇大成, 2016)。2013 年世界衛生組織(WHO)公佈，室外空氣污染是引發癌症的主要環境因素，屬於第一級致癌物質。2015 年世界衛生大會指出，每年有 430 萬人死於接觸室內空氣污染，370 萬人死於室外的空氣污染(WHO, 2015)。2017 年聯合國環境署公告全世界每年大約有 650 萬人因暴露於室外和室內空氣污染而過早死亡(United Nations Environment Programme, 2017)。

雖各界普遍認為透過減少排放空氣污染粒子是改善空氣品質的最好方法，但由於植物本身具有吸附空氣污染物之能力，因此也被廣泛地認為可以緩解都市空氣污染(Beckett et al., 2000; Jim & Chen, 2008; Nowak et al., 2006)。因此本文利用空間計量的統計方法討論都市的綠地環境、細懸浮微粒 PM_{2.5}與地表溫度三者的關聯性，瞭解細懸浮微粒與鄰近空間單元變數的空間分佈關係，並加入多尺度的空間單元一起討論以期找出最適合的解釋方式。

第二節 研究目的

在空氣污染指數頻繁飆高的今日，如何改善空氣污染是我們的重要課

題，除等待公部門提出相關空氣污染改善策略外，我們是否可以從自身周遭環境找出緩解空氣污染指數的方法。故提出以下三點研究目的，期望透過研究的數據及成果，做為評估當前都市綠地環境是否能達到減緩地表溫度與淨化空氣效果之基礎，提高當前都市環境的適居性，進而給予公部門未來在決策上使用。

- 一、探索台中市地區地表溫度、植栽與細懸浮微粒三者的空間分佈情形，利用空間自相關評估地表溫度與細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 的空間聚集位置。
- 二、加入空間計量方法個別探討地表溫度與細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 之影響關係，並找出在不同季節中相關的環境因素對於地表溫度與細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 的正負向影響性。
- 三、加入不同的空間單元評估植栽、地表溫度與細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 三者之間的空間相關性，選出於研究中解釋地表溫度與細懸浮微粒 $PM_{2.5}$ 最為適當的空間單元。

第三節 研究範圍

台中市地區於 2010 年縣市升格，原有的台中縣及台中市更名為台中市，原有的台中市則以原台中市稱之，該區屬於目前台中市資料開放最為完整的地區，因此研究範圍選定原台中市地區，包含北區、中區、東區、西區、南區、北屯、西屯、南屯等行政區，該範圍面積為 161.354 平方公里(圖 1)。



圖 1 研究範圍圖

第二章 文獻探討

第一節 都市熱島效應、綠地與 PM_{2.5} 的相關文獻

都市地區主要的懸浮微粒來自於燃燒過程中所產生之顆粒以及由汽機車排放的污染粒子，另外藉由前述二者及其他空氣污染物而衍生的二次性氣溶膠與工業排放污染粒子則屬於次要來源 (Squizzato et al., 2017; 吳志萍 et al., 2008)。過去曾有研究發現高污染粒子存在的情況下，太陽入射輻射減少 10%(De Oliveira et al., 2002)。同時，懸浮微粒也是構成凝結核的來源之一，阻擋地表釋放的長波輻射時亦不利於都市散熱，故此才會同時有研究認為懸浮微粒會加劇熱島效應的強度(Jonsson et al., 2004; Yoshikado & Tsuchida, 1996)，亦會導致冷島效果之產生(Christoforou et al., 2000)。

因植物具有減少空氣中懸浮微粒的能力，故目前國內外已有多數研究探討植物對於總懸浮微粒 TSP(顆粒半徑 10-100 μm)、懸浮微粒 PM₁₀(顆粒半徑 2.5-10 μm)以及細懸浮微粒 PM_{2.5} 的滯塵效果等文獻，其中針對植物吸附細懸浮微粒 PM_{2.5} 的研究成果仍占少數。

第二節 空間迴歸模式

空間迴歸模式與傳統線性迴歸的差異在於建立空間矩陣(weight matrix)，將空間關係加以量化，作為空間互動關係的分析工具，因此空間迴歸模式更適合用於分析地理變數。常見的空間迴歸模式有空間落遲模式、空間誤差模式、一般空間模式與地理加權迴歸等四種，目前已被廣泛的應用於能源、農漁業產量推估、土地利用等環境問題或是失業率、產業經濟、房地產交易、犯罪研究、疾病醫療等社會議題。

在 2014 年俄亥俄州，Chun and Guldmann 應用空間迴歸模式以三維的幾何特徵分析都市熱島效應，最後藉由一般空間模式模擬哥倫布市中心的不同綠化情景，提出有效減緩都市熱島效應的策略。同年，Song et al. (2014) 以空間落遲模式與空間誤差模式分析北京地區在 18 種不同網格尺度中地表覆蓋對於地表溫度的貢獻，最後結果得到以空間落遲模式擁有最佳的解釋能力，適合用於評估地表覆蓋與地表溫度之間的關係。另外，Zhou et al. (2017) 針對美國兩處氣候差異較大的城市，Maryland 州的城市 Baltimore 以及

California 州的城市 Sacramento，評估綠地空間結構對於都市熱島效應的效益，雖該研究最後指出 OLS 與空間誤差迴歸模式結果趨於相似，但空間誤差模式用於小尺度的空間自相關評估可以更為精確，連帶影響景觀指標與地表溫度之間的關係。

第三節 小結

本研究認為在討論地表溫度、PM_{2.5} 濃度與綠地的問題時，空間問題扮演重要的角色，鄰近空間單元的屬性對於地表溫度、PM_{2.5} 濃度有重大的影響。空間計量方法考量空間問題，進而處理因空間自相關而存在的誤差，故而決定選用空間計量方法中的一般空間模式解釋地表溫度、PM_{2.5} 濃度與綠地三者的空間關係，該模式綜合空間落遲模式與空間誤差模式的特性，並將兩空間迴歸模式的問題予以校正，依據本研究過往的分析經驗來看，本研究無法單一使用空間落遲模式與空間誤差模式作出適當的解釋，因此本研究僅採用一般空間模式解釋地表溫度、PM_{2.5} 濃度與綠地三者的空間關係。

第三章 研究方法

第一節 研究架構

根據前人所論述 PM_{2.5} 濃度、綠地與地表溫度之間的具有相互影響之關係，但目前尚須瞭解有三：第一，在不同的空間尺度下，確認 PM_{2.5} 濃度、綠地、地表溫度彼此間的關係；第二，綠地的滯塵作用對於 PM_{2.5} 濃度在都市環境中是否仍為顯著，冬夏季節有何差異；第三，在不同的空間單元下 PM_{2.5} 濃度與地表溫度的正負相關性，確認在不同季節是否有不同的結果。故而提出以下假設，期望於本研究中得到驗證：

- 一、不論何種季節綠地對於地表溫度為負向影響；
- 二、綠地的滯塵作用對於 PM_{2.5} 濃度的削減作用在都市環境中仍為顯著；
- 三、地表溫度與 PM_{2.5} 濃度為正相關，並且彼此互相影響

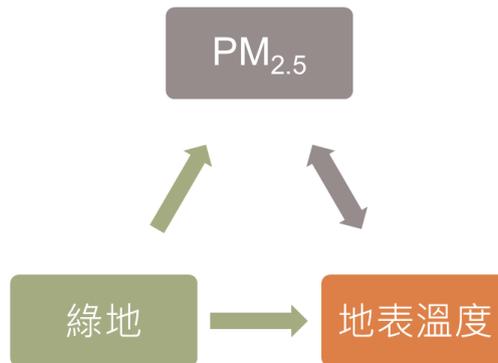


圖 1 研究架構圖

在本研究中將會處理 PM_{2.5}、綠地、建物面積、太陽輻射與工業區區位對於地表溫度之影響(參照下列公式(1))以及地表溫度、綠地、建物面積、太陽輻射與工業區區位對於 PM_{2.5} 濃度之影響(參照下列公式(2))兩種，利用空間計量作為探討變數彼此間的影響關係。

$$Y_{LST} = X_{PM2.5} + X_{綠地} + X_{建物} + X_{太陽輻射} + X_{工業區} \dots\dots\dots (1)$$

$$Y_{PM2.5} = X_{LST} + X_{綠地} + X_{建物} + X_{太陽輻射} + X_{工業區} \dots\dots\dots (2)$$

預期可以從中得知 PM_{2.5} 濃度、建物、太陽輻射以及工業區對於地表溫

度是為正向影響，而綠地對於地表溫度則為負向影響；當依變數轉換為PM_{2.5}濃度時，地表溫度、建物以及工業區對於PM_{2.5}濃度是為正向影響，綠地對於PM_{2.5}濃度因滯塵作用則為負向影響，而太陽輻射則因為太陽輻射對於近地表溫度加溫時，大氣會呈現不穩定的狀態，反而有利於稀釋空氣微粒的濃度(李凱 et al., 2009)，故認為太陽輻射對於PM_{2.5}濃度則會是負向影響。

第二節 研究材料

選用 MODIS 衛星影像及政府開放資料作為本研究之分析基礎，配合衛星影像拍攝時間及PM_{2.5}數據來源因素等限制，將研究時間範圍彈性調整為2017.01.01-2017.02.02 與 2017.06.26-2017.07.27 代表冬夏兩季節。參考 Song et al. (2014)於空間單元的討論方式，文中同以此種方法加入不同的空間單元，以 MODIS 衛星影像的解析度 250 公尺為基礎網格，每次增加 250 公尺，共使用 5 種空間單元，分別為 250 公尺、500 公尺、750 公尺、1000 公尺以及 1250 公尺。

一、衛星影像

採用 MODIS 衛星影像的地表溫度觀測產品(MOD11A2 與 MYD11A2)與植生指數觀測產品(MOD13Q1 與 MYD13Q1)作為分析變數的來源。

MODIS 衛星影像因拍攝寬度限制，將地表切割為35(horizontal)×17(vertical)條帶，而台灣正好位在兩條帶(h28 與 h29)中間，因此須由兩條帶的影像方可組成完整的台灣影像。

其中，地表溫度觀測產品為影像拍攝日期向後推 8 日產生複合的地表溫度值，而植生指數觀測產品則為 16 日的複合 VI 值，文中使用多張衛星影像合成並取得時間範圍內之地表溫度與植生指數平均值，如圖 2 與圖 3 所示。

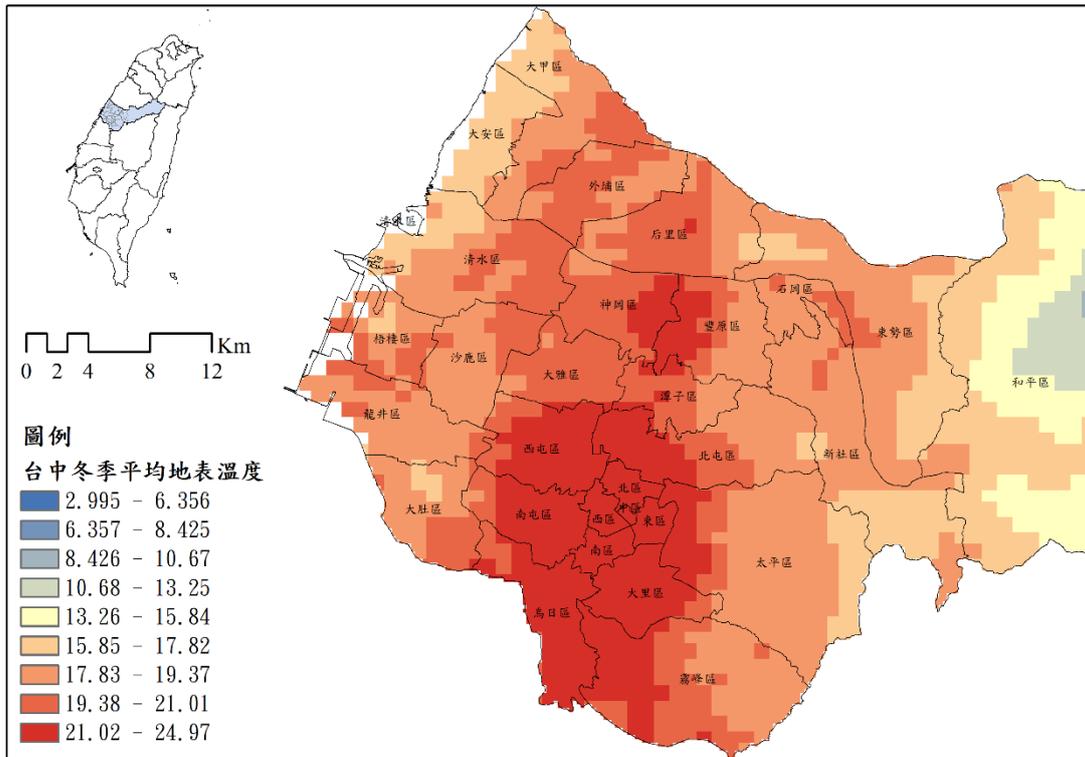


圖 2 冬季地表溫度平均值

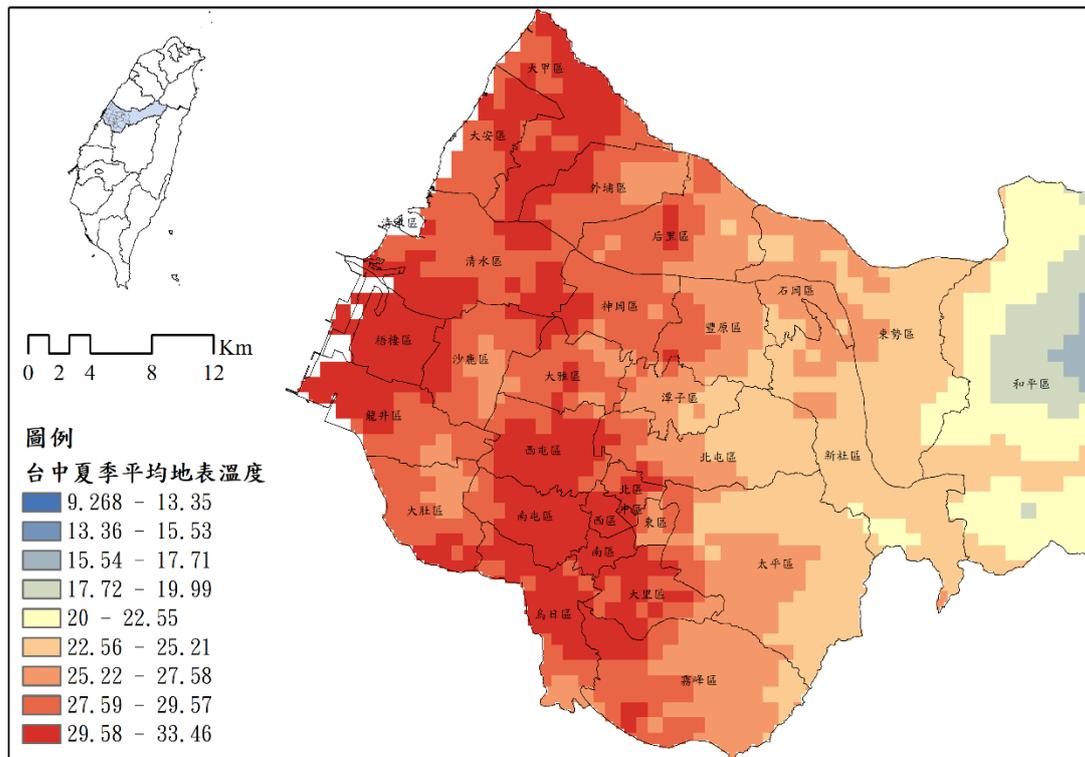


圖 3 夏季地表溫度平均值

二、PM_{2.5} 數據資料

PM_{2.5} 的數據資料收集擴及至研究範圍外之地區，以確保研究範圍內資料之準確性及完整性，包含中央氣象局設置之 7 處、台中市政府環保局 7 處

以及台電設置 5 處，共 19 處空氣品質監測站點。

考量監測站佈點較不密集，參考國外文獻處理 PM_{2.5} 資料方法(Li et al., 2014; Tai et al., 2010)，選用環保署提供之每日 PM_{2.5} 平均值於冬季計算期間 2017.01.01-2017.02.02 與夏季計算期間 2017.06.26-2017.07.27，取得冬夏季節的 PM_{2.5} 平均值(如圖 4 與圖 5)，以距離反比加權法(inverse distance weighting, IDW)建立空間分布連續的 PM_{2.5} 資料。

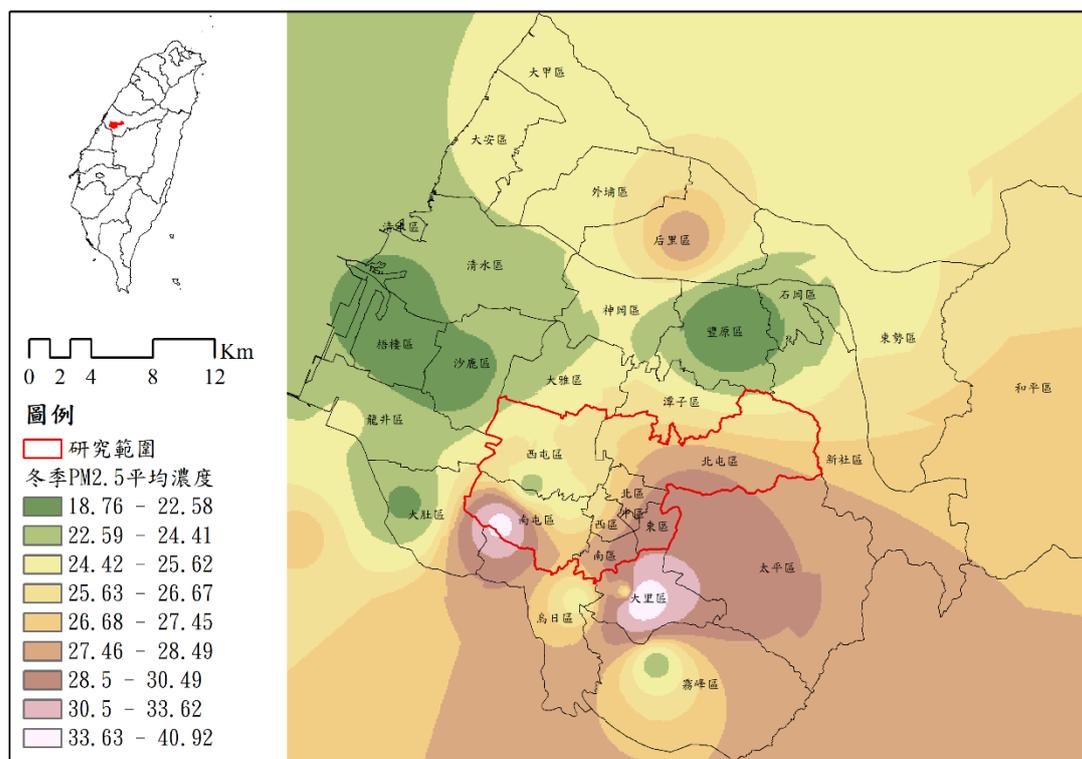


圖 4 冬季 PM_{2.5} 濃度分佈圖

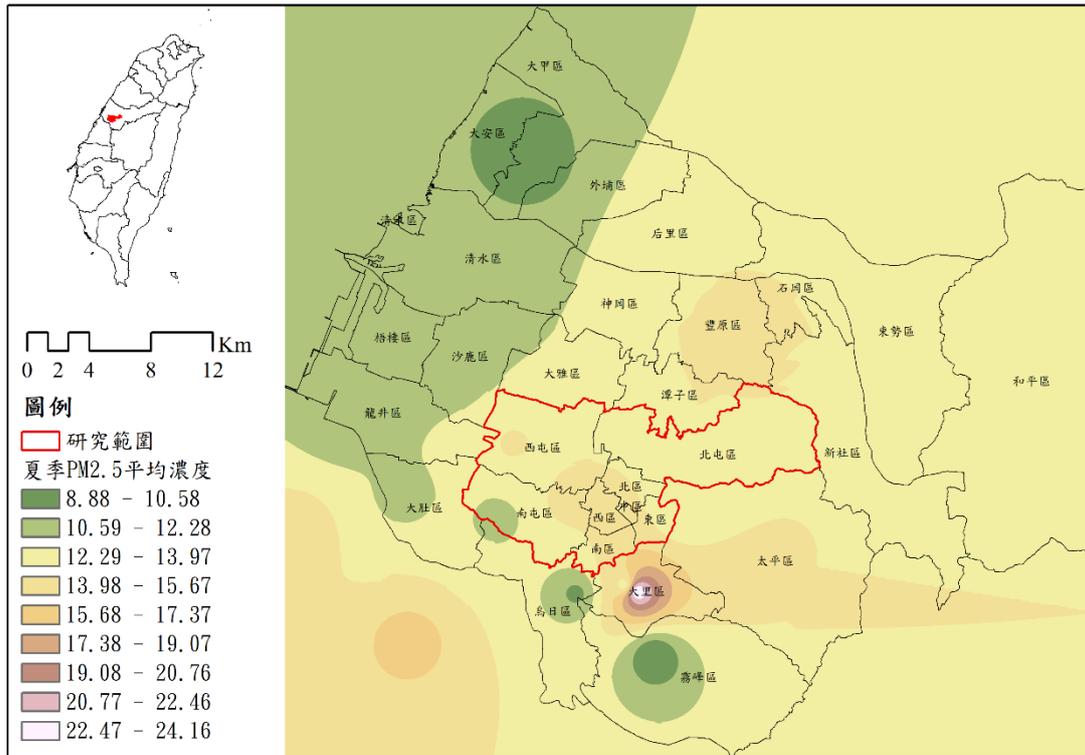


圖 5 夏季 PM_{2.5} 濃度分佈圖

三、建物面積

目前台灣的政府開放的人口資料，民眾僅可取得戶籍人口，該資料無法凸顯活動人口密度或居住密度，且資料的單元不夠細緻，即使是使用目前政府公告的最小分析單元，與文中採用之空間單元差異甚大，故文中使用台中市政府公告之 2016 年建物圖作為基礎，將建築面積作為分析的因子，以每單位網格內建物面積之總和計算。

四、太陽輻射

Susca et al. (2011)調查紐約市都市熱島的季節性行為，發現在春、夏季節中，都市熱島效應與到太陽輻射通量高度相關。然而當太陽輻射對於近地表溫度產生加熱的效果時，大氣會呈現不穩定的狀態，反而有利於稀釋空氣微粒的濃度(李凱 et al., 2009)。太陽輻射在懸浮微粒與地表溫度之間實有相互影響之關係(Bottyán & Unger, 2003; Chun & Guldmann, 2014)，因此本研究將平均太陽輻射(average solar radiation, ASR)做為本研究之分析因子之一，利用 ArcMap 空間分析工具取得研究時間內的平均太陽輻射量。

五、工業區區位

自何佳薇等 (2011)的研究亦知，工業園區的熱島強度最高。在中部科

學園區，其綠地佔地面積比例皆高於其他熱島強度較高之工業區，但其熱島強度反而最低，證實植生對熱島效應的減緩具有相當作用。使用歐式距離法 (Euclidean Distance) 計算研究區內每空間單元與工業區邊界的直線距離，如圖 6 所示。

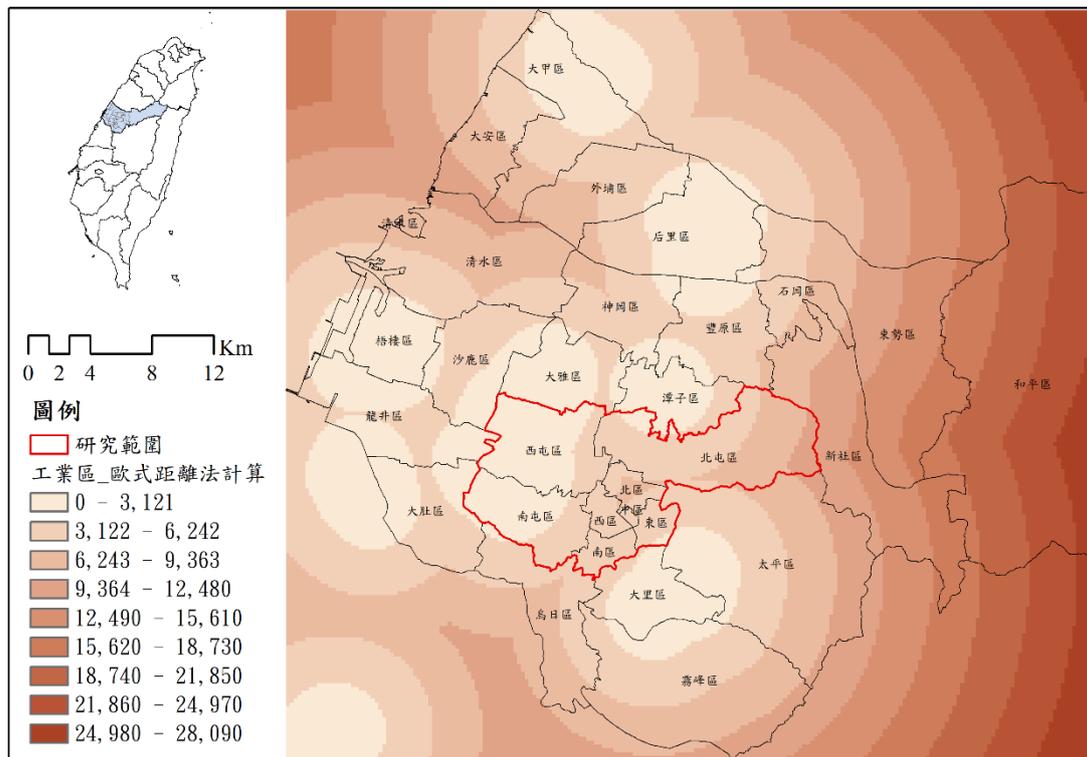


圖 6 工業區歐式距離法分析

第三節 研究方法

一、空間自相關

空間自我相關分析分為全域型空間自相關分析 (global spatial autocorrelation) 與地區型 (local spatial autocorrelation) 兩種，前者用於評估整體的空間現象是否有聚集的情況發生，常用的指標有 Moran's I、Geary's C 與 Getis；後者則是探討個別地區與鄰近地區的表現關係，並從中找出具體的空間位置。Moran's I 公式如下列所示：

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \dots\dots\dots (3)$$

n ：資料數量

\bar{X} ：單位內的變數平均值

X_i ：每單位內變數之數值

w_{ij} ：相鄰單位間的權重

地區型空間自相關分析通常使用 LISA (local indicators of spatial association)取得局部得空間分布狀況，在地圖上繪製出研究區內部的空間關係，其計算方式延伸自全域型空間自相關 Moran's I，計算公式如下列所示，式中出現的符號可參考上述全域型空間自相關 Moran's I 公式。

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) \dots\dots\dots (4)$$

計算結果可分為 HH、LL、LH、HL，其各自所代表的意義彙整如下(表 1)，並以四種顏色為代表，展現於後續研究成果中。

表 1 地區型空間自相關 LISA 四種情況及其意涵

情況	本身	周邊	意義	顏色
HH	高	高	本身屬性高於平均值	
LL	低	低	本身屬性低於平均值	
LH	低	高	本身屬性低於周邊地區的高屬性	
HL	高	低	本身屬性高於周邊地區的低屬性	

二、空間迴歸模式

空間迴歸模式主要是作為空間互動關係的分析工具，本研究使用一般空間模式(general spatial model, SAC)討論地表溫度、PM_{2.5}與都市綠地三者的關聯性討論，以下先說明空間落遲模型與空間誤差模型。

空間落遲模型(spatial lag model, SLM)考慮了依變數的空間自相關問題(Song et al., 2014)，被認為是「某活動的發生同時影響鄰近空間單元的活動或事件，但也受鄰近空間單元的活動、事件影響」(艾兆蕾, 2005)，屬於一個雙向的影響關係。

$$y = \alpha + \rho Wy + X\beta + \varepsilon$$
$$\mu \sim N(0, \sigma^2 I) \dots\dots\dots (5)$$

其中 y 為迴歸模型的依變數， X 為自變數， W 為空間鄰近矩陣， ρ 為空間自迴歸係數， α 為常數項，而 ε 則為迴歸模型的殘差項。

空間誤差模型 (spatial error model, SEM) 將隨機誤差自相關列入考量 (Song et al., 2014)，適合用於處理具有空間相依性資料，修正原模型因空間自相關存在所產生的誤差 (胡立諄 & 賴進貴, 2006; 郭迺鋒 et al., 2004)。

$$\begin{aligned} y &= X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon &= \lambda W\varepsilon + \mu \\ \mu &\sim N(0, \sigma^2 I) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

其中 y 為迴歸模型的依變數， X 為自變數， β 為空間迴歸係數， λ 為空間誤差係數， W 為空間鄰近矩陣， ε 則為殘差項。若空間誤差係數 $\lambda \neq 0$ 顯著，則表示模型中確實有其他的干擾因素存在，並造成空間自相關 (李瑞陽 & 陳勝義, 2010)。

一般空間模式則加入空間自迴歸係數 ρ 與空間誤差係數 λ 於分析模式中，使得上述兩空間迴歸模式的特性同時存在，同時考慮空間落遲模式與空間誤差模式，綜合兩者的特性並校正問題 (LeSage, 1999; Viton, 2010; 許禎育、張宏浩, 2010)。

$$\begin{aligned} y &= X\beta + \rho W_1 Y + \mu \\ \mu &= \lambda W_2 \mu + \varepsilon \\ \varepsilon &\sim N(0, \sigma^2 I) \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

其中 y 為迴歸模式的依變數， X 為自變數， β 為空間迴歸係數， ρ 為空間自迴歸係數， λ 為空間誤差係數， W 為空間鄰近矩陣， ε 則為殘差項。

同時，LeSage (1999) 指出若要評估是否適合使用一般空間模式進行後續的分析，需以兩空間係數 ρ 與 λ 作為判斷的標準，若僅其一空間係數 (ρ 或 λ) 顯著，應轉為考量空間落遲模式或空間誤差模式，但文中僅針對是否適合一般空間模式討論，不將空間落遲模式、空間誤差模式之分析數據及其模式選用過程列入敘述內容。

第四章 成果分析

第一節 空間自相關分析

一、 全域型空間自相關分析

全域型空間自相關分析係用於評估整體的空間分佈情況，觀察研究區是否具有空間自相關的情況，但無法明確得知空間群聚的位置存在。本研究中就全域型 Moran's I (Global Moran's I) 進行討論，以不同網格的依變數地表溫度與 PM_{2.5} 濃度討論其在整個空間中的分佈情形。

實務上通常會以 Moran's I 檢測結果來判斷，若 Moran's I 檢測結果趨近於 1 時，會認為分析變數呈現高度空間自相關，表示變數屬性有聚集的現象；若 Moran's I 檢測結果趨近於-1 時，表示變數屬性差異較大，有離散的空間現象。以下列出冬夏季不同空間尺度之地表溫度利用 Geoda 空間分析軟體繪製全域型空間分析 Moran's I 散佈圖。

圖上顯示的迴歸線斜率即為 Moran's I 值，當 Moran's I 值愈趨近於 1 表示空間聚集狀況愈明顯。在 Moran's I 散佈圖中以四個象限代表不同含意，當點粒位置落在一、三象限時表示為穩定區，二、四象限則為不穩定區，當散佈圖中的點粒離原點越遠，表示空間現象越為明顯。

(一)地表溫度

自各空間尺度冬季地表溫度散佈圖(圖 7)中可以發現，250 公尺、500 公尺、750 公尺、1000 公尺與 1250 公尺空間單元 Moran's I 數值分別為 0.973、0.963、0.943、0.932、0.916，五種空間單元的 Moran's I 數值都非常趨近於 1，冬季地表溫度的空間聚集情況非常明顯。透過點粒的分佈位置可以發現自 500 公尺至 1250 公尺空間單元集中於斜率上的兩處，可以表示冬季地表溫度在實際的空間分佈上高度集中於兩特定區位。

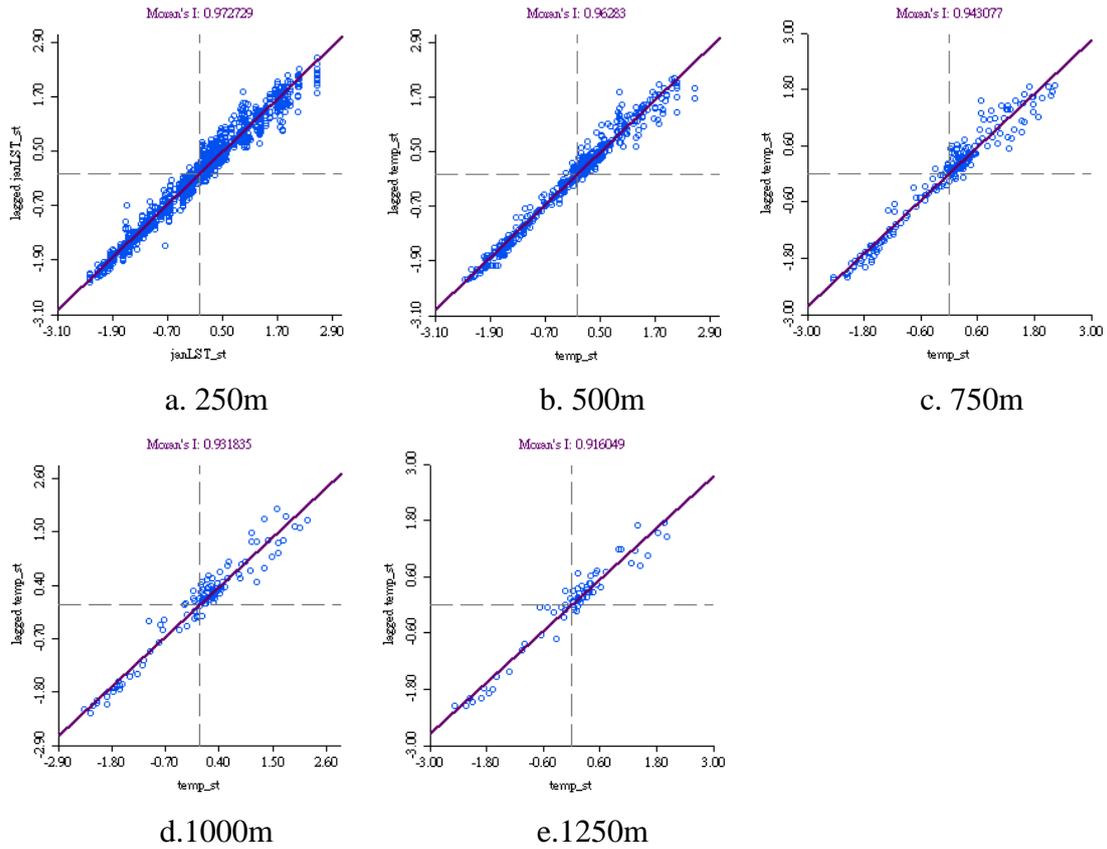


圖 7 冬季地表溫度 Moran's I 散佈圖

夏季地表溫度 Moran's I 散佈圖(圖 8)中可以得到 5 種空間單元 Moran's I 數值分別為 0.976、0.972、0.965、0.959、0.937，Moran's I 數值都非常趨近於 1，點粒集中散佈於一、三象限中，夏季地表溫度的空間聚集情況非常明顯。透過點粒的分佈位置可以發現夏季地表溫度自 500 公尺至 1250 公尺空間單元有集中於斜率上的兩處，同樣有高度集中於特定區域的現象。

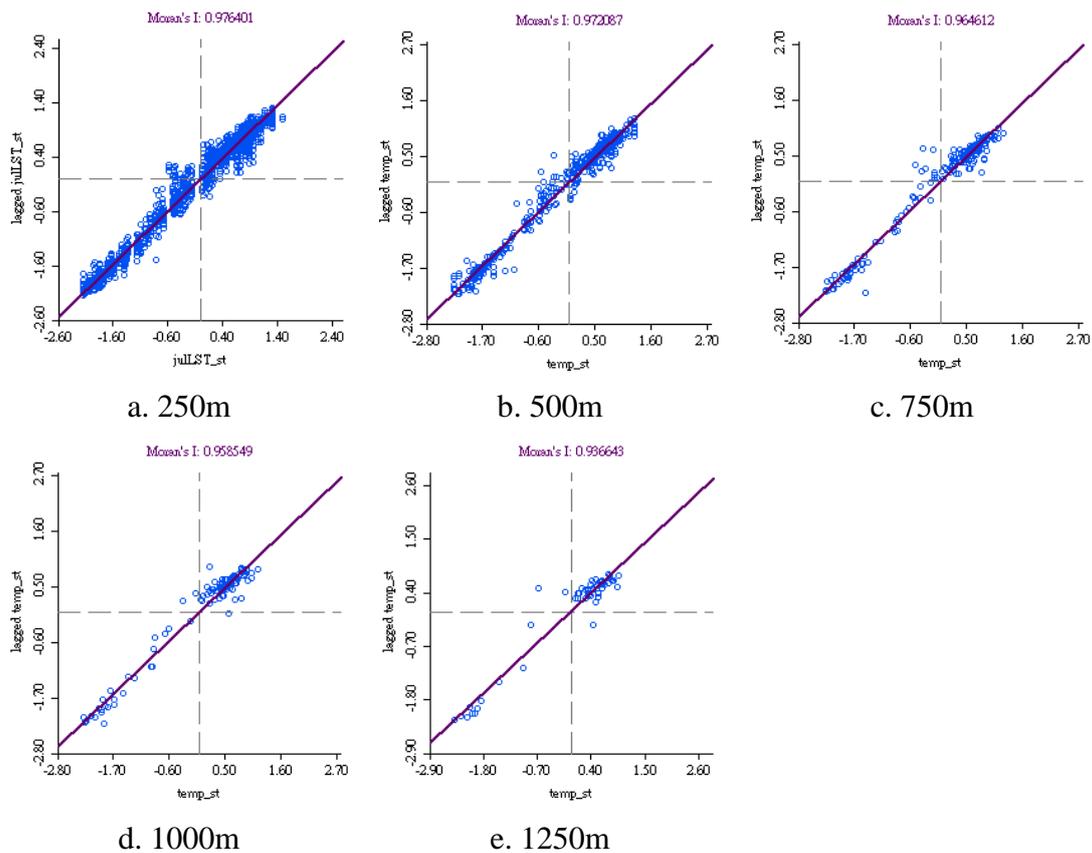


圖 8 夏季地表溫度 Moran's I 散佈圖

綜合以上冬夏季 Moran's I 散佈圖討論，夏季地表溫度與冬季地表溫度的空間分佈狀況類似，5 種空間單元冬夏季地表溫度都有明顯的空間聚集現象。另外，透過點粒的分佈位置可以發現，冬夏季地表溫度有高度聚集於兩特地區域的現象存在，至於空間聚集的位置則須再透過地區型空間自相關進行討論，此於下段落再行討論。

此存在一個特殊現象，隨著空間單元變小，Moran's I 數值會愈趨近於 1，表示當空間尺度愈為精細，整體空間的聚集情況愈明顯，空間因素的存在性更為重要。

(二)PM_{2.5} 濃度

PM_{2.5} 濃度於冬季各空間單元 Moran's I 散佈圖(圖 9)，在各空間尺度冬季 PM_{2.5} 濃度散佈圖中可以發現，250 公尺、500 公尺、750 公尺、1000 公尺與 1250 公尺空間單元 Moran's I 數值分別為 0.986、0.938、0.842、0.734、0.618，五種空間單元的 Moran's I 數值都趨近於 1，顯示冬季 PM_{2.5} 濃度有高度的空間自相關，空間聚集情況明顯。因點粒沒有集中於斜率上某處，可

以推測冬季 PM_{2.5} 濃度無特定集中在研究區中的某區域。

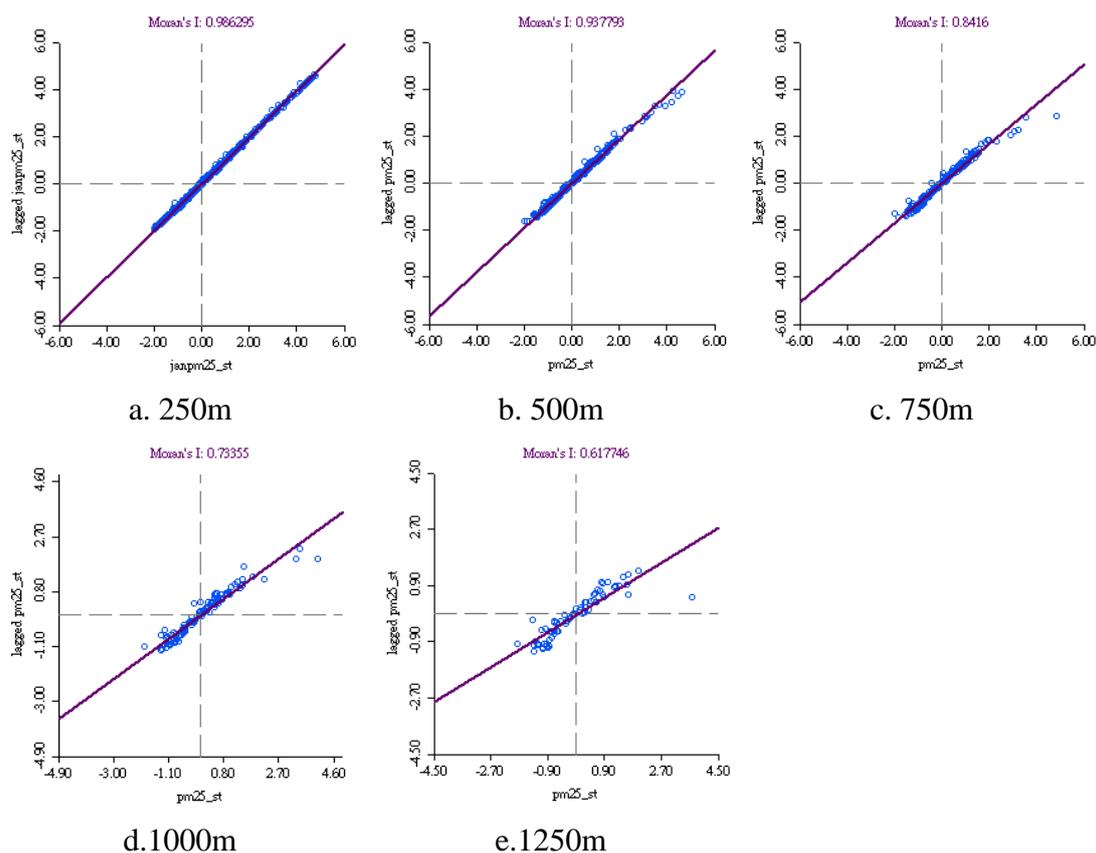


圖 9 冬季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 散佈圖

夏季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 散佈圖(圖 10)中可以得到 250 公尺、500 公尺、750 公尺、1000 公尺與 1250 公尺空間單元 Moran's I 數值分別為 0.984、0.938、0.863、0.786、0.618，五種空間單元之 Moran's I 數值都趨近於 1，點粒分散於一、三象限中，表示夏季 PM_{2.5} 濃度有正向的空間自相關，空間聚集情況明顯。點粒的分佈與冬季相同，沒有集中於斜率上某處，可以推測夏季 PM_{2.5} 濃度並無集中在研究區中的特定區域。

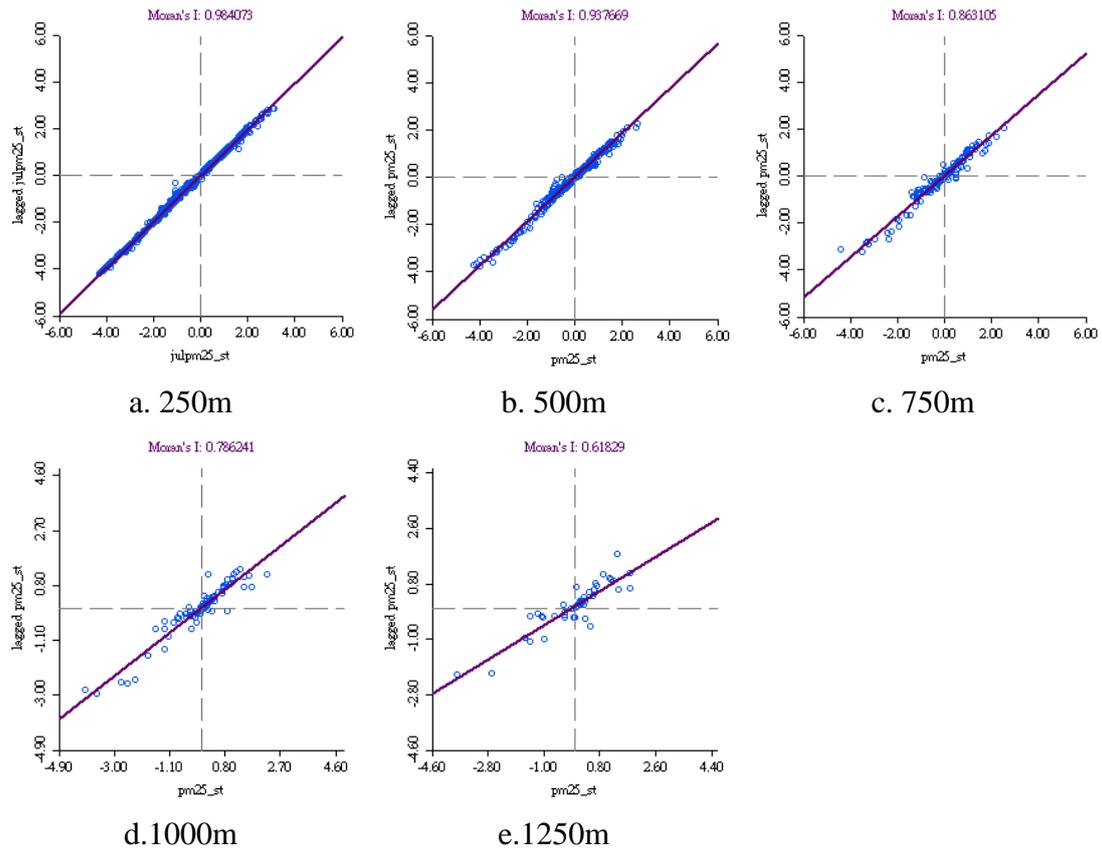


圖 10 夏季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 散佈圖

綜合以上冬夏季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 散佈圖的討論，五種空間單元冬夏季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 數值都趨近於 1，點粒分散於一、三象限中，表示夏季 PM_{2.5} 濃度有高度正向的空間自相關，都有明顯的空間聚集現象。

於此同時呼應前述冬夏季地表溫度得到之結果，當空間單元變小，Moran's I 數值會愈趨近於 1，表示當空間尺度越為精細，空間的聚集情況愈為明顯，當空間單元超過 1000 公尺後空間聚集的情況仍然存在，表示雖空間單元超過 1000 公尺，PM_{2.5} 濃度的空間現象依然存在，並不會因為空間單元過大而不需考量空間問題，轉而採用非空間計量的統計方法。

二、 地區型空間自相關分析

經前段全域型空間自相關分析後，我們得到 250 公尺至 1250 公尺等五種空間單元的空間聚集現象皆穩定且明顯，但因全域型空間自相關僅可從中得知整體性的空間狀況，因此本段落利用地區型空間自

相關分析(local indicators of spatial association , LISA)探討個別地區與鄰近地區的表現關係，從中得知聚集區在空間中確切的分佈位置，用以補足全域型空間自相關的缺失。

以下將利用國土利用調查比對冬夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度之 LISA 聚集位置，故先說明本研究採用之國土利用調查圖。國土利用調查自 1993 年建立全國性土地利用現況調查資料，至今將邁入第三次的國土利用調查，每次的編修皆有微調部分的土地使用分類項目，由於研究區原台中市地區所能取得之國土利用調查圖包含第二次與第三次的國土利用調查資料，資料以原有的分類呈現，為達到色彩的統一性以 105 年所公告之 RGB 色碼呈現於圖面中(圖 11)。

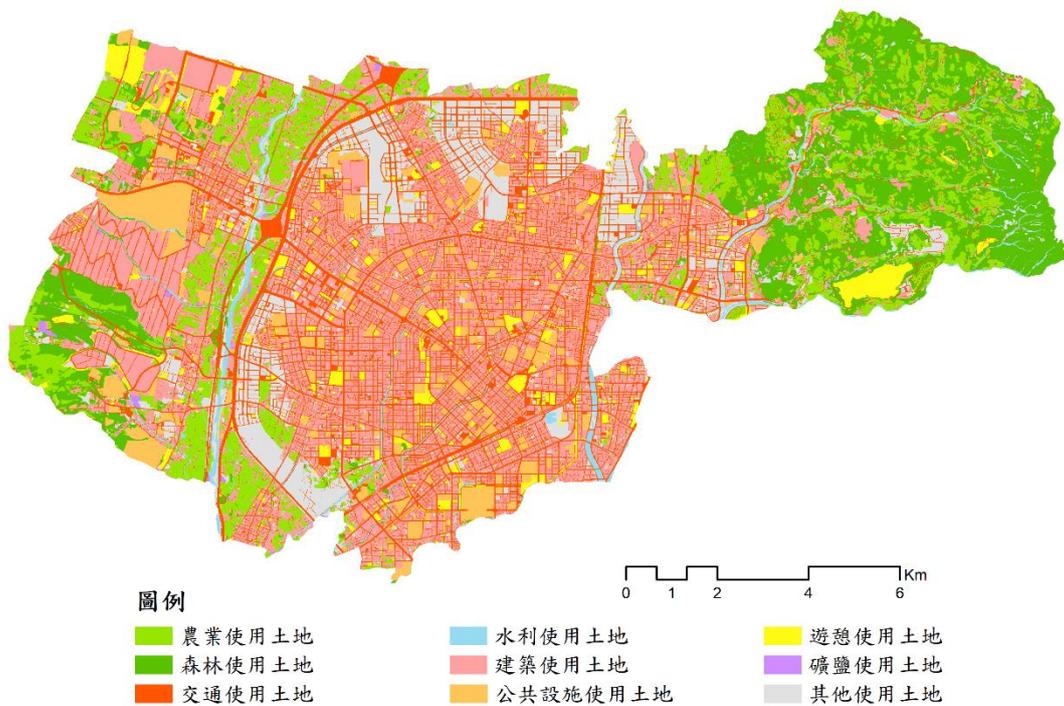


圖 11 原台中市地區 2013 年至 2016 年國土利用調查圖

(一)地表溫度的空間表現

利用五種空間單元冬季地表溫度 LISA 聚集圖(圖 12)，可以發現冬季地表溫度在研究區有其相對的冷熱區分佈，HH 集中分佈於新舊市政府周圍及人口集中分佈地區，LL 則分佈於山區。

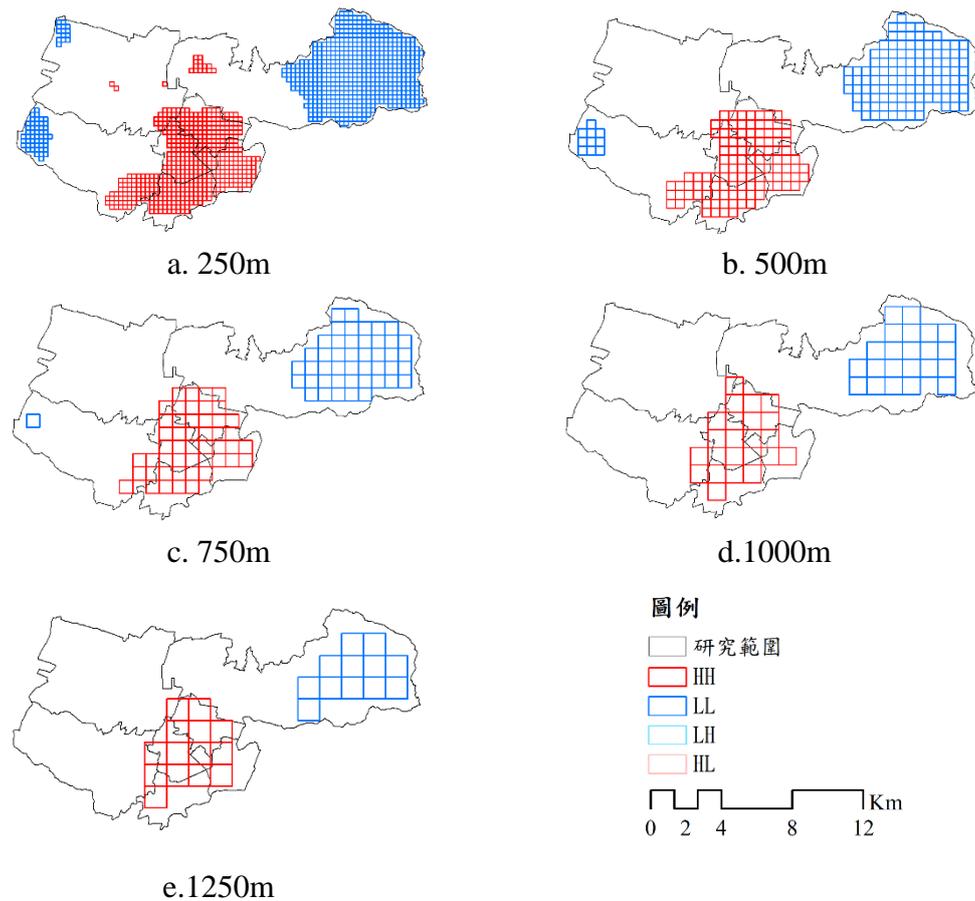


圖 12 冬季地表溫度 LISA 聚集圖

再者，利用 250 公尺空間單元比對 2013 年至 2016 年原台中市地區國土利用調查圖(圖 13)，可以更清楚得到 LL 實際位置大約落在於北屯台 74 線以東、西屯區大都會公園以及南屯區西南側的望高寮地區，此地擁有較大面積的植栽遮蔭環境，在降溫上有顯著的效果，冬季地表溫度會明顯低於平均溫度，故在地圖上呈現 LL 低屬性群聚地區，屬於原台中市地區地表溫度的冷區。

冬季地表溫度熱區位置 HH 可大致分為兩處，一是集中在於忠明南路內環地區，以及南區文心路、環中路沿線，第二處則是落在北屯區松竹路北段周邊地區，該地區不論在 2015 年國土利用調查時或是研究時間範圍都尚在重劃區開發階段，多數仍為地表裸露混合草生的空置地。

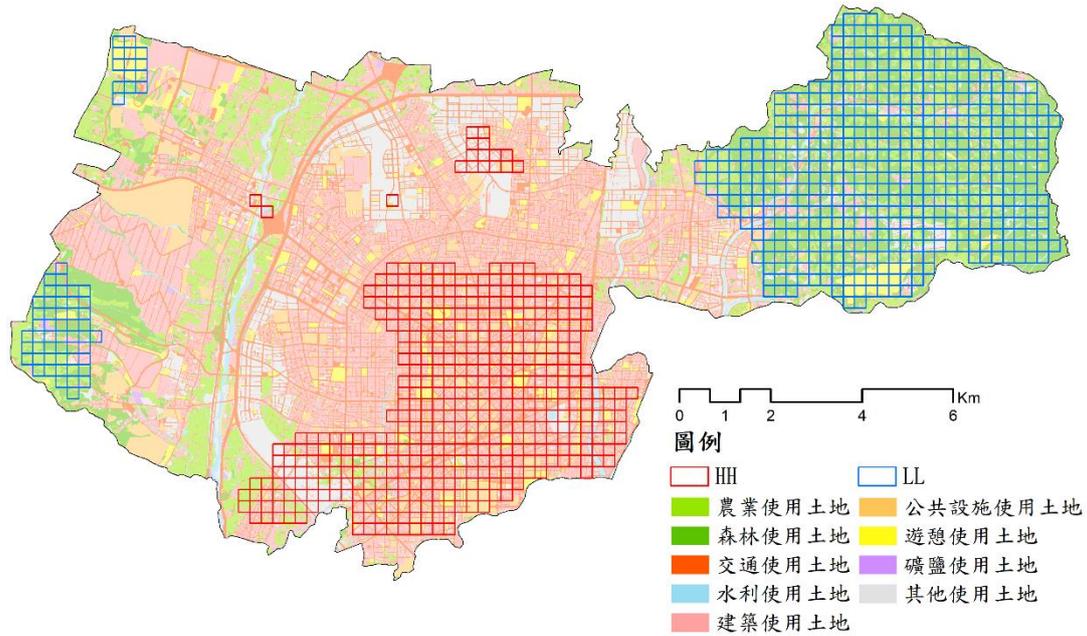
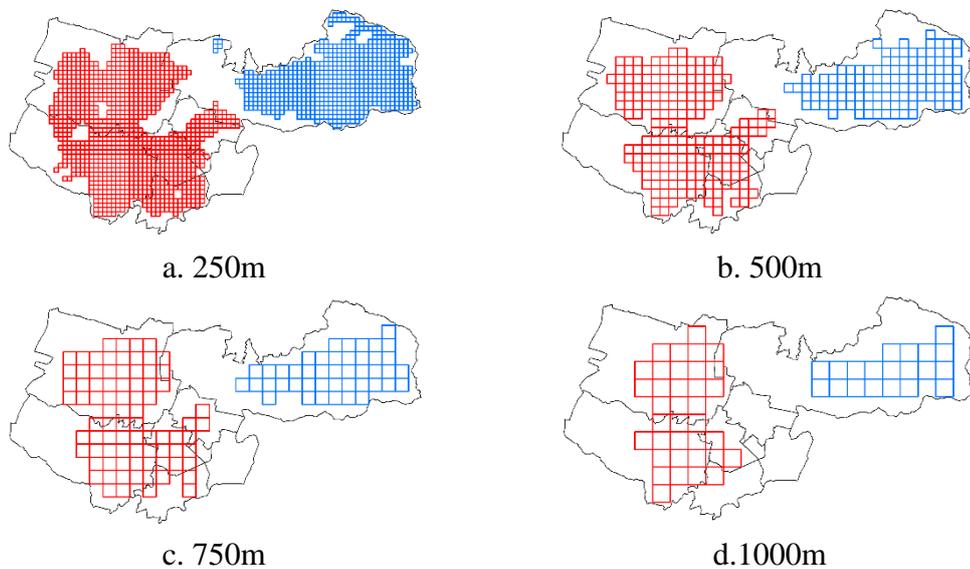


圖 13 250 公尺空間單元冬季地表溫度 LISA 聚集圖

隨著空間單元變大，空間群聚現象面積逐漸變小，比較 250 公尺與 1250 公尺空間單元即可以發現，西屯區與南屯區的相對冷區 LL 已然消失，而冬季地表溫度的高群聚地區 HH 也隨空間單元而改變。

以下說明各空間單元夏季地表溫度在研究區的相對冷熱區空間分佈(如圖 14)，相較於冬季地表溫度空間分佈，夏季地表溫度的 HH 範圍有向研究區的西北邊擴大，甚至範圍有稍微向西偏移，東區的夏季地表溫度已排除在 HH 之外。



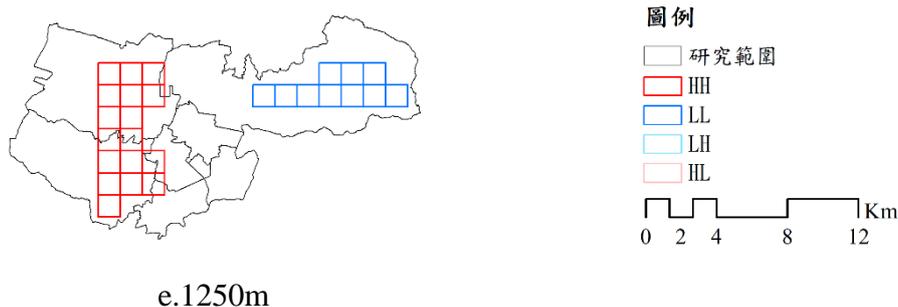


圖 14 夏季地表溫度 LISA 聚集圖

夏季地表溫度 LL 空間分佈區則是與冬季地表溫度的空間分佈雷同，空間分佈以山區為主，但僅存北屯區東半部地區。原冬季地表溫度 LL 區所出現的西屯區大都會公園以及南屯區西南側的望高寮地區則已自地圖上轉換為無空間聚集現象，推測綠地的降溫效果與地表溫度增溫產生抵銷，使該區域的地表溫度並無出現 HH 或 LL 的空間聚集區。透過與國土利用調查圖的比對(圖 15)，可以發現夏季地表溫度 LL 範圍向研究區西半部擴張，原有的冬季地表溫度 LL 區域未及台 74 線，但夏季地表溫度 LL 區域已向西延伸至北屯路，雖無法推測是否受自然因素(如風向或其他因素)影響，但該區夏季地表溫度較為低溫是一特殊現象，尤其近期該區新蓋建案增加，未來是否仍然保留此現象，是有其討論之空間。另外，夏季地表溫度 HH 則涵蓋研究區域的西半部，此覆蓋區域屬於現今的人口居住稠密且交通運量大之地區。綜合以上各空間單元夏季地表溫度的 HH、LL 空間分佈區討論，同樣可以發現隨著空間單元變大，空間群聚現象面積逐漸變小。

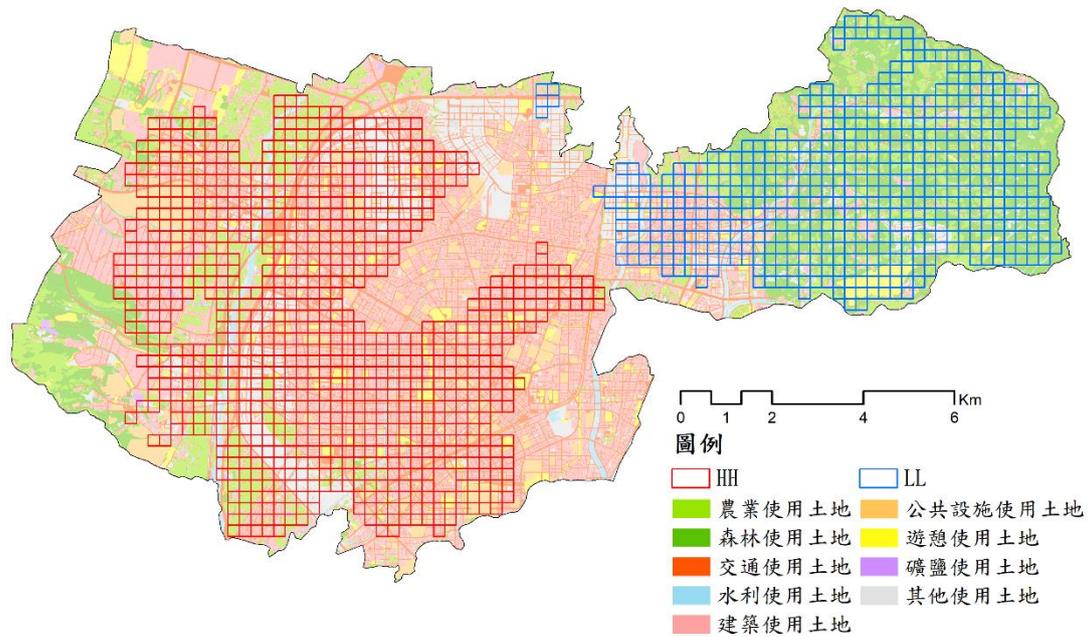


圖 15 250 公尺空間單元夏季地表溫度 LISA 聚集圖

總結冬夏季地表溫度地區型空間自相關結果可以得知地表溫度的 HH 分佈於建物密集的人口稠密地區，而 LL 則是分佈於北屯大坑山區，當季節轉換時，HH 與 LL 的空間分佈會有偏移或是擴大的現象，值得注意的是隨著空間單元變大，空間群聚現象面積逐漸變小，因此相對而言採用 250 公尺可以觀察到更為精細的空間聚集位置，此表示在觀察原台中市地區地表溫度空間聚集現象時應謹慎考量空間單元大小的使用。

(二)PM_{2.5} 濃度的空間表現

利用五種空間單元的冬季 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖(圖 16)，可以輕易發現冬季 PM_{2.5} 濃度在研究區明顯的 HH、LL 分佈現象。HH 可分為兩處集中區，一處為中區、南區、東區以及北屯區南側，另一處則是集中分佈於南屯區西南側；LL 則集中分佈於西屯區與北屯區北側山區。

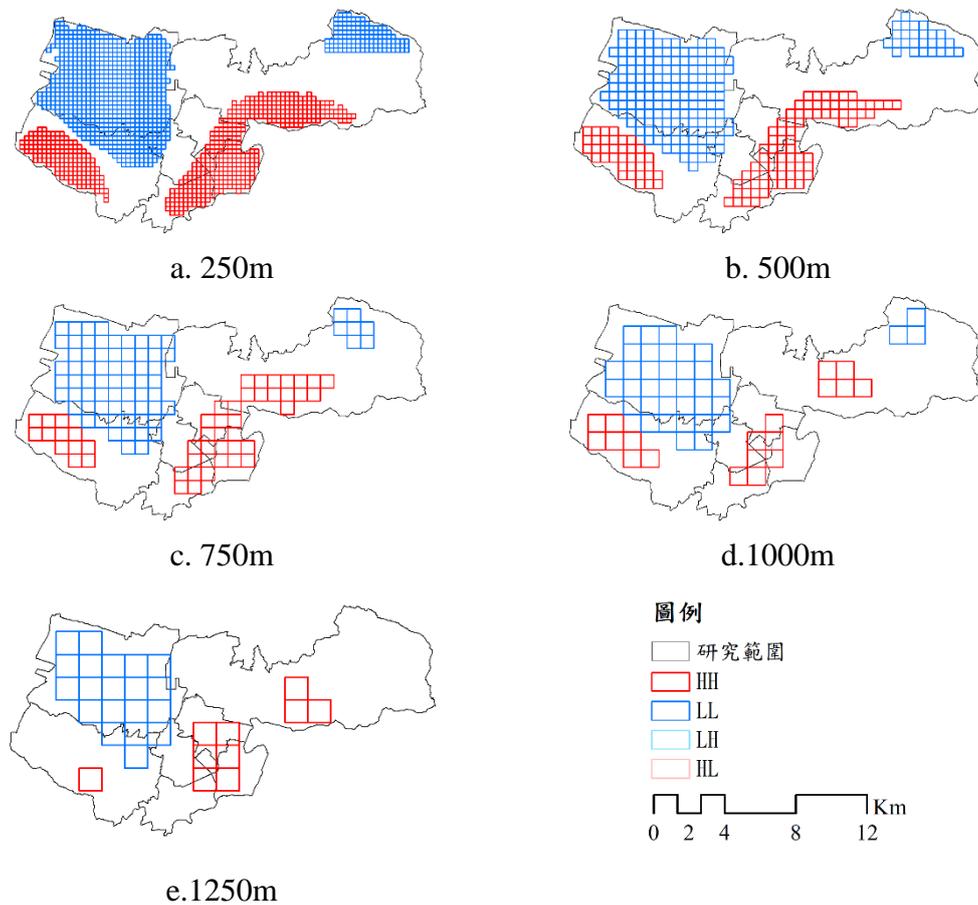


圖 16 冬季 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖

將冬季 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖與國土利用調查圖比對，冬季 PM_{2.5} 濃度的熱區 HH 分佈地區集中在於中區、南區、東區以及北屯區南側，因台灣的降雨季節分明、豐枯水期差異明顯，冬季易出現河床暴露的情況，對於 PM_{2.5} 濃度應有提高濃度的效果，其中該 PM_{2.5} 濃度集中地區有烏溪支流早溪與廊子溪流經，故本研究認為在研究區內應留意河川揚塵對於冬季 PM_{2.5} 濃度的影響(如下圖 17)。

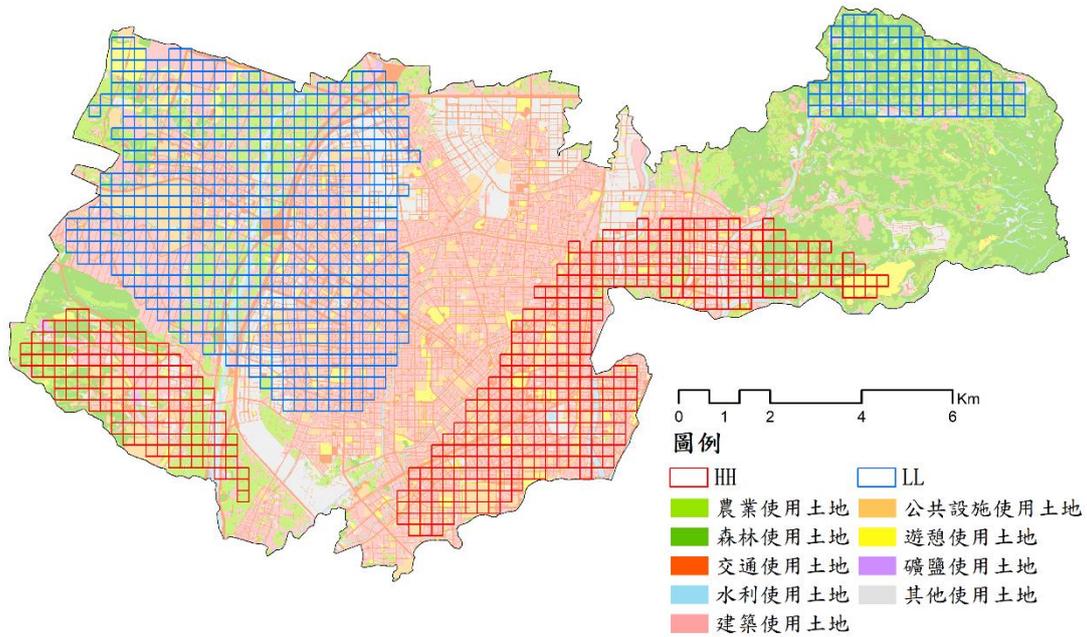
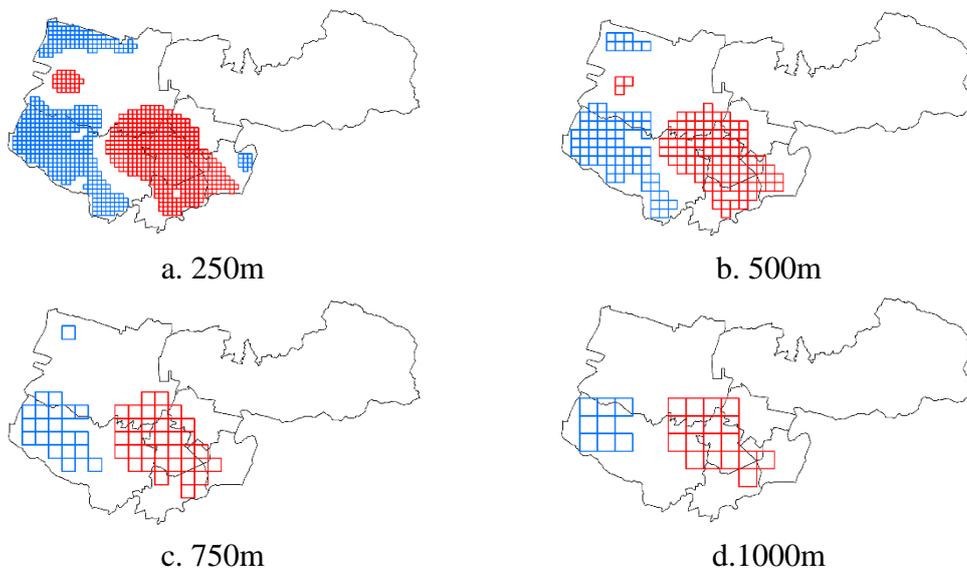


圖 17 250 公尺空間單元冬季 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖

相較於冬季 PM_{2.5} 濃度的空間分佈情況，研究區西半部夏季 PM_{2.5} 濃度與冬季的冷熱區空間分佈近乎相反。在冬季時，南屯區西南側望高寮地區為 PM_{2.5} 濃度熱區，該區 PM_{2.5} 濃度高於平均，但在夏季時則轉換為冷區，PM_{2.5} 濃度較低；夏季 PM_{2.5} 濃度熱區則分佈在西區周邊，部分地區與冬季 PM_{2.5} 濃度熱區重疊(圖 18)。



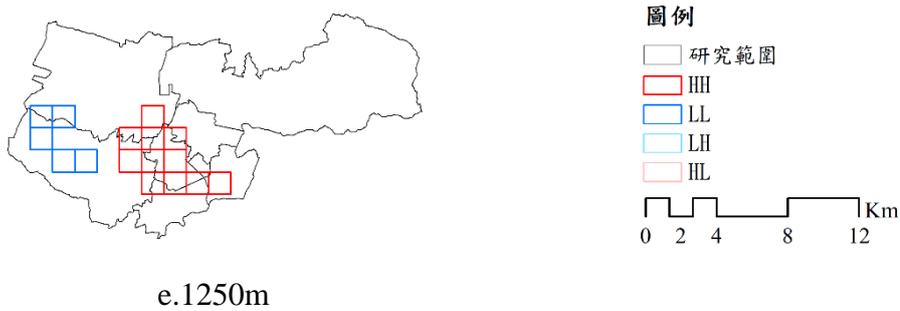


圖 18 夏季 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖

加入國土利用調查圖比對，夏季 PM_{2.5} 濃度 HH 集中地區落在人口稠密的新市政周邊地區，LL 則是集中於南屯區西南側望高寮山區，此區屬於建物稀少人口分佈較不密集之地區。

另外參考由中央氣象局所提供之台中測站 7 月風花圖，台中地區夏季風向多南微東(168.75°, S/E)、北北西(337.5°, NNW)，而工業區卻正好位於圖面上的 LL 地區，推測夏季 PM_{2.5} 濃度 HH 集中地區與地形風向有關。

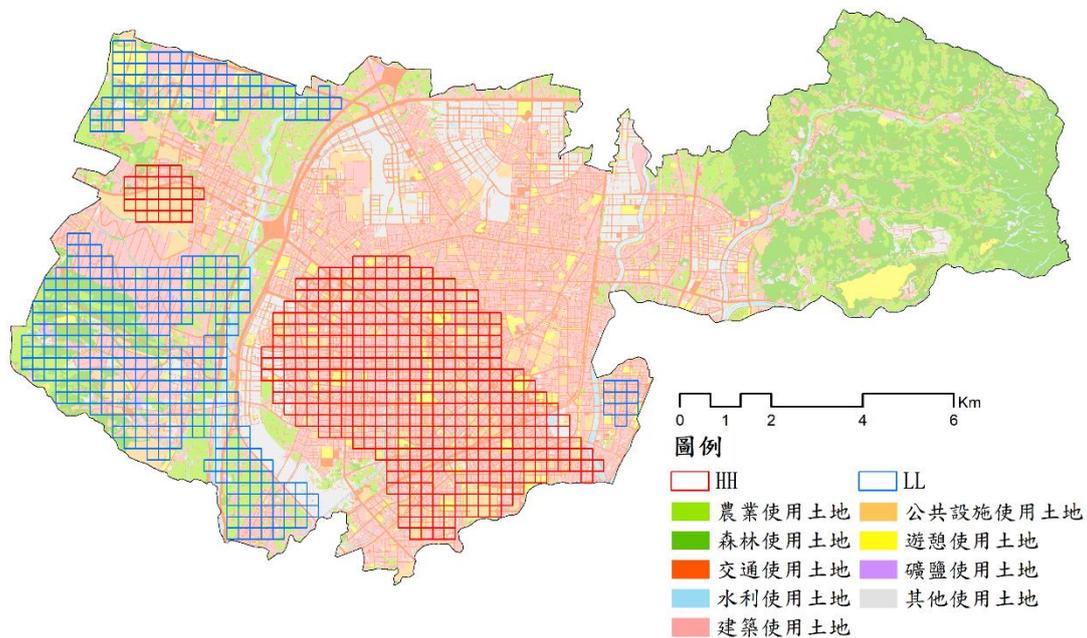


圖 19 250 公尺空間單元夏季 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖

總結冬夏季 PM_{2.5} 濃度地區型空間自相關分析結果可以發現，HH 同樣分佈於建物密集的地區，表示人為活動對於 PM_{2.5} 濃度可能存有正向積極的影響，冬季 PM_{2.5} 濃度的 HH 分佈地區與夏季 PM_{2.5} 濃度空間分佈最大的差異在於研究區東側沿線，該地區有旱溪與廊子溪流經，推測冬季 PM_{2.5} 濃度容易受到河川揚塵影響，而冬夏季 PM_{2.5} 濃度 LL 地區則有空間交錯的現象，

皆正好位在大肚山山區，推測 PM_{2.5} 濃度低於平均值與地形環境有關聯。

(三)地表溫度與 PM_{2.5} 濃度綜合分析

整合以上冬夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度可以發現一個現象，隨著空間單元變大，空間群聚現象面積逐漸變小，此表示空間單元在其中扮演重要的角色，空間單元較小時能觀察到更細緻的空間問題，然當空間單元過小時，有時並不能提高對於依變數的解釋能力(Song et al., 2014)。

為清楚瞭解地表溫度與 PM_{2.5} 濃度兩者空間聚集分佈關係，試圖從中找出彼此的空間關聯性，本研究將同季節地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖予以套疊，利用地表溫度與 PM_{2.5} 濃度的相對冷熱區空間分佈，找出兩變數間彼此的重疊空間。

將冬季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖套疊後(如圖 20)，可以發現冬季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度的 HH 重疊區域落在研究區東南側，約是台中市火車路線以東及周邊區域，LL 重疊區則是位在北屯區北側與西屯區大都會公園。

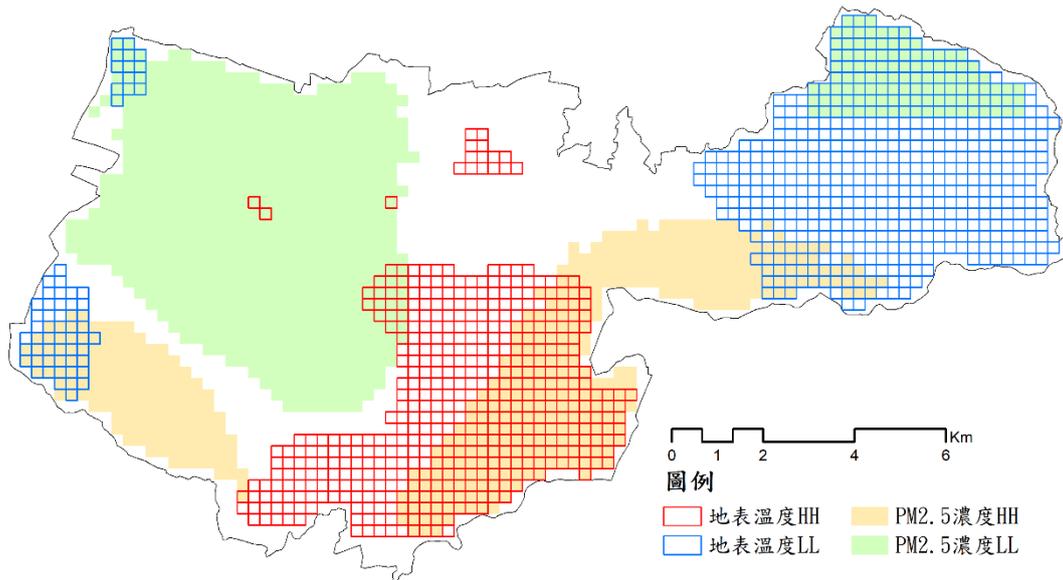


圖 20 冬季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖套疊

冬季 PM_{2.5} 濃度 LL 覆蓋地區位於地表溫度的未顯著聚集區域，而 PM_{2.5} 濃度 HH 覆蓋區卻正好位於地表溫度的高溫聚集地，自表 2 得知地表溫度 HH 與 PM_{2.5} 濃度 HH 重疊者佔總網格數約 9.091%，顯示相對低濃度的 PM_{2.5}

對於提高地表溫度的效果較不明顯，以致該地地表溫度趨近平均值，並不屬於 HH 或 LL 等區域，但當 PM_{2.5} 濃度提高時，卻又與地表溫度高溫區重疊，雖無法精確得知 PM_{2.5} 濃度對於提高地表溫度的實際效果，但此處可以確定的是 PM_{2.5} 濃度與地表溫度之間確實存有空間的關聯性。

表 2 冬季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度冷熱區重疊率計算

冬季	PM _{2.5} 濃度 HH	PM _{2.5} 濃度 LL
地表溫度 HH	9.091%	0.930%
地表溫度 LL	3.171%	5.412%

套疊夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖(如圖 21)發現，夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度的 HH 重疊區域落在中港路以南、台 74 線以東之西區、南區、南屯區以及東海大學周邊區域。

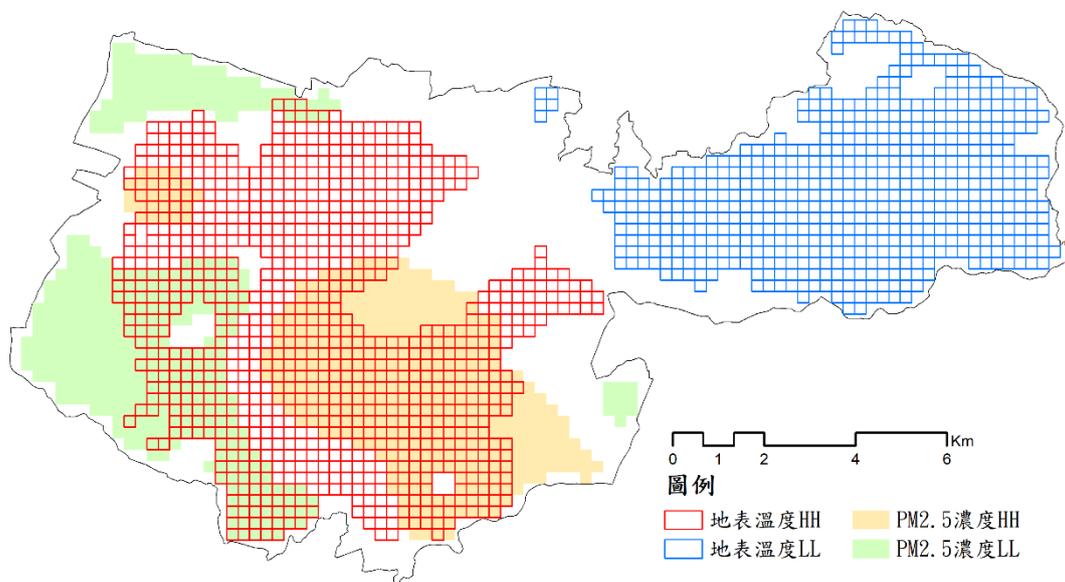


圖 21 夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖套疊

研究區西側 PM_{2.5} 濃度 LL 覆蓋區正好與地表溫度 HH 覆蓋區錯開，僅於南屯區西南側少部分重疊，藉此我們推測地表溫度會受到 PM_{2.5} 的濃度高低影響，進而發生聚集空間重疊的現象，自表 3 得知地表溫度 HH 與 PM_{2.5} 濃度 HH 重疊者佔總網格數約 14.812%。另外，在北屯區 PM_{2.5} 濃度雖屬於未顯著聚集區域，但該地區的地表溫度卻是屬於相對低溫處，雖無可避免的猜測低地表溫度多是受植被覆蓋影響，本研究認為即使受到 PM_{2.5} 濃度的影響，其增溫效果仍不影響植被的降溫，故此區的地表溫度仍然低於平均值。

表 3 夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度冷熱區重疊率計算

夏季	PM _{2.5} 濃度 HH	PM _{2.5} 濃度 LL
地表溫度 HH	14.812%	7.982%
地表溫度 LL	0.000%	0.000%

第二節 空間迴歸模式分析

選擇適當的空間迴歸模式前，需從傳統線性迴歸的殘差值取得全域型空間自我相關分析 Moran's I，評估整體的空間現象是否有聚集的情況發生，判定是否有計算空間迴歸模式的必要，判斷方法與全域型空間自相關 Moran's I 相同，以 Moran's I 趨近於 1 或 0 為準則，評估整體空間現象是否有聚集的情況發生。後續分析過程將會利用 R 統計進行迴歸分析，圖片部分則利用 Geoda 空間分析軟體取得。

以下討論 5 種空間單元冬夏季地表溫度與 PM_{2.5} 以傳統線性迴歸分析，空間單元分別為 250 公尺、500 公尺、750 公尺、1000 公尺與 1250 公尺，利用傳統線性迴歸之殘差值取得 Moran's I 數值，判斷是否有繼續進行空間迴歸模式計算之必要性。

以下討論冬夏季不同的空間尺度下，冬夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 之結果(圖 4)，冬夏季地表溫度 250 公尺至 1250 公尺空間單元中，冬季地表溫度 Moran's I 數值分別為 0.788、0.637、0.493、0.457 與 0.384，夏季地表溫度 Moran's I 數值則分別為 0.795、0.747、0.615、0.574、0.565，可看出冬夏季各尺度地表溫度皆存在空間自相關問題，由其以夏季地表溫度為明顯，冬季地表溫度 1250 公尺的空間自相關情況較為薄弱。

冬夏季 PM_{2.5} 濃度 250 公尺至 1250 公尺空間單元，冬季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 數值分別為 0.970、0.907、0.783、0.671、0.603，夏季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 數值則分別為 0.892、0.841、0.709、0.585、0.287，除夏季 PM_{2.5} 濃度 1250 公尺數值較低外，可看出冬夏季各尺度 PM_{2.5} 濃度皆存在空間自相關問題。

表 4 各空間尺度冬夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 綜整表

空間單元	250 公尺	500 公尺	750 公尺	1000 公尺	1250 公尺
冬季地表溫度	0.788	0.637	0.493	0.457	0.384
夏季地表溫度	0.795	0.747	0.615	0.574	0.565
冬季 PM _{2.5} 濃度	0.970	0.907	0.783	0.671	0.603
夏季 PM _{2.5} 濃度	0.892	0.841	0.709	0.585	0.287

經上述傳統線性迴歸 Moran's I 分析後，可以得知目前不論哪一空間單元皆無法透過傳統線性迴歸達到精確解釋變數的效果，受到真實的地理環境因素影響，在不同空間單元下皆有空間自相關情況發生，故以下利用一般空間模式討論，以期修正空間自相關的問題，於文末提出兩依變數於何種空間尺度有更高的解釋能力，最後總結在適當的空間尺度下地表溫度與 PM_{2.5} 濃度與相關的環境因子之間的互動關係。

一、地表溫度

本段落討論當依變數為地表溫度時，於加入空間的資訊後是否能夠更為恰當的解釋自變數(PM_{2.5} 濃度、植生指數、太陽輻射、建物面積、工業區區位)與依變數之間的互動關係，並達到修正空間自相關的效果。選出解釋冬夏季地表溫度適合的空間單元，最後再針對於適當的空間單元下，環境因子對於依變數地表溫度的影響。

於最適空間單元選用上，文中加入一般空間模式之空間變數、模式的配適度指標以及 Moran's I 數值等三項指標，由於 LeSage (1999)指出空間變數 ρ 與 λ 皆須達顯著，方可使用一般空間模式，故需先確認是否符合一般空間模式之定義。

進一步利用 LIK 與 AIC 比較五種空間尺度模型的配適度，以 LIK 數值越大模型配適度越高；AIC 數值越小模型配適度越高為準則，判定更為適合用於解釋的空間迴歸模型。比較 LIK 與 AIC 的數值後可以得到：1250 公尺 > 1000 公尺 > 250 公尺 > 500 公尺 > 750 公尺。在模型配適度比較上以 1250 公尺空間單元較為適當，然若是使用 1250 公尺空間單元解釋冬季地表溫度，本研究認為此空間單元較不精細，則失去使用空間迴歸模型討論依變數的

意義。

配合空間係數 ρ 與 λ 的結果顯示，先觀察 250 公尺空間單元與其他空間單元的空間係數 ρ 與 λ ，250 公尺空間單元的空間係數 $\rho=0.989$ 與 $\lambda=-0.444$ 都呈顯著，兩空間係數皆為顯著並符合基本假設絕對值小於 1(基本假設： $|\rho| < 1$ 、 $|\lambda| < 1$)，明顯優異於其他空間尺度。雖在比較 LIK 與 AIC 後可以得到 250 公尺空間單元的模型配適度並非最為適當，但因空間係數可適當的解釋空間問題，故以隨著空間係數 ρ 與 λ 的係數增加，對於解釋冬季地表溫度的解釋力提高。

另外，本研究將 Moran's I 數值列入考量，雖 Moran's I 數值本質是做為空間自相關的評斷方法，然本研究認為若利用空間迴歸模其殘差值取得之 Moran's I 數值趨近於 0 時，亦可以作為空間迴歸模型有修正空間自相關問題的參考。自表 5 中冬季地表溫度 250 公尺至 1250 公尺空間單元 Moran's I 數值皆趨近於 0，故加入 Z 值輔助評估，以 Z 值介於 ± 1.96 之間為標準，當兩條件皆符合者即可認為在該空間單元下，空間聚集現象不明顯，偏向於隨機分佈，在冬季地表溫度 Moran's I 之 Z 值以 250 公尺至 1250 公尺空間單元依序排列分別為 2.280、0.440、0.124、0.160、0.253，因此認為冬季地表溫度在 500 公尺、750 公尺、1000 公尺與 1250 公尺空間單元經一般空間模式計算後，空間問題有效的被列入考量，並修正空間自相關的問題。

夏季地表溫度 750 公尺與 1000 公尺空間單元為符合一般空間模式之定義，後續評比不列入敘述。夏季地表溫度依相同空間單元選用步驟，比較五種空間尺度模型的配適度，比較 LIK 與 AIC 的數值後可以得到：1250 公尺 > 1000 公尺 > 750 公尺 > 500 公尺 > 250 公尺。在模型配適度比較上以 1250 公尺空間單元較為適當，其次為 1000 公尺空間單元與 750 公尺空間單元。但使用超過 1 公里空間單元作為分析地表溫度基礎，是否有網格尺度過大的疑慮仍須再予以考量，避免失去使用空間模型討論的意義。250 公尺空間單元的空間係數 $\rho=0.991$ 與 $\lambda=-0.415$ 都呈顯著並符合基本假設。雖在比較 LIK 與 AIC 後可以得到 250 公尺空間單元的模型配適度並非最為適當，但因空間係數可適當的解釋空間問題，在解釋夏季地表溫度的解釋力提高，與冬季地表溫度之結果相同空間單元在計算一般空間模式後，空間自相關問題皆有獲得適當的修正。透過 Moran's I 數值及其 Z 值可以發現 250 公尺至 1250 公尺空間單元 Moran's I 數值皆趨近於 0，且 Z 值介於 ± 1.96 之間，表示空間

聚集現象不明顯，偏向於隨機分佈，因此我們可以發現藉由空間迴歸模型的計算後，空間問題可以有效的被列入考量，並修正空間自相關的問題。

表 5 各空間單元冬夏季地表溫度模式配適度比較

依變數	空間單元	250 公尺	500 公尺	750 公尺	1000 公尺	1250 公尺
冬季地表溫度	Lambda	-0.444 ***	-0.120 ***	0.084 ***	-0.053 ***	0.051 ***
	Rho	0.989 ***	0.966 ***	0.911 ***	0.886 ***	0.886 ***
	LIK	-80.213	-82.943	-86.131	-48.039	-23.843
	AIC	178.421	183.886	190.261	114.078	65.687
	Moran's I [‡]	0.024	0.008	0.000	-0.0003	0.003
夏季地表溫度	Lambda	-0.415 ***	0.991 ***	0.053	0.271	0.973 ***
	Rho	0.991 ***	-0.323 ***	0.914 ***	0.836 ***	-0.536 ***
	LIK	-1030.55	-280.864	-151.623	-75.166	-52.948
	AIC	2079.104	579.728	321.246	168.332	123.897
	Moran's I [‡]	0.016	0.018	0.000	0.008	0.054

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

註： Moran's I 之 Z 值未列入

總結冬夏季地表溫度一般空間模型各空間單元討論，在模型的選用上，本研究認為空間自相關的問題是一項重點，如欲修正空間自相關問題，應當選用 Moran's I 數值最為趨近於 0 者，再配合模型配適度與係數顯著性做出最後的選擇。因此雖本段落所討論的冬夏季地表溫度之部分係數未達 5% 顯著水準，但本研究認為未來在討論冬夏季地表溫度建議可將 500 公尺空間單元列入考量。另外，夏季地表溫度 750 公尺空間單元中空間係數未符合一般空間模型之定義，因而未將其列入建議之空間單元，但若欲找出更細緻的空間單元者，本段落建議可嘗試使用 500 公尺至 750 公尺空間單元。以下討論環境因子對於冬夏季地表溫度的影響。

從表 6 分析結果，兩季節中 PM_{2.5} 濃度、植生指數 NDVI 與工業區區位的正負向影響性一致，表示在不同季節此三項變數對於地表溫度的影響不會隨著季節的轉換而改變，其中 PM_{2.5} 濃度與植生指數 NDVI 二者結果雖未達顯著水準但符合預期結果，PM_{2.5} 濃度對於冬夏季地表溫度的影響呈正向影響，表示在研究區內 PM_{2.5} 濃度有提高地表溫度之效果，同時植生指數 NDVI 對於地表溫度之影響則呈負號，與過往多數研究結果相同。

太陽輻射對於地表溫度有季節性的差異，推測與冬夏季太陽直射角度

有關。夏季太陽輻射量相對冬季來得多，當太陽輻射量增加對於近地表加溫的效果也會增強，大氣更易出現不穩定的狀態(李凱 et al., 2009)，在不穩定的近地表環境下，空氣對流所產生的風場對於地表溫度亦有減緩效果。此外，工業區區位對於地表溫度之影響呈現正向影響，變數結果表示離工業區越遠地表溫度越高，此與常理判斷有所背離，是本段落最為特殊之處，並與何佳薇等(2011)針對台中地區工業園區都市熱島效應之研究結果相反，此處推測研究範圍內所涵蓋之工業區僅包含台中工業區與部分中部科學園區台中基地，在工業區內及其周邊的綠化環境其綠地所佔面積比例皆高於台中市其他工業區，由於本研究針對工業區區位計算以歐式距離法計算，將工業區區內環境視為均質，然而園區內的環境差異未列入考量，故而在本文中出現此特殊結果。

表 6 冬夏季地表溫度 500 公尺空間單元一般空間模式分析結果

資料筆數	冬季		夏季	
	係數	z 值	係數	z 值
547			500	
常數	0.713	0.002	37.784 ***	11.769
PM _{2.5}	0.006	0.586	0.080	0.633
NDVI	-0.067 ***	0.001	-0.034	-0.607
太陽輻射	0.017	0.222	-0.002	-0.047
建物	-0.006	0.706	0.001	0.045
工業區	0.015	0.208	0.954 ***	3.393
Lambda	-0.120 ***		0.991 ***	
Rho	0.966 ***		-0.323 ***	

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

總結冬夏季地表溫度一般空間模型各空間單元討論，在模型的選用上，本研究認為空間自相關的問題是一項重點，如欲修正空間自相關問題，應當選用 Moran's I 數值最為趨近於 0 者，再配合模型配適度與係數顯著性做出最後的選擇。因此雖本段落所討論的冬夏季地表溫度之部分係數未達 5% 顯著水準，但本研究認為未來在討論冬夏季地表溫度建議可將 500 公尺空間單元列入考量。另外，夏季地表溫度 750 公尺空間單元中空間係數未符合一般空間模型之定義，因而未將其列入建議之空間單元，但若欲找出更細緻的空間單元者，本段落建議可嘗試使用 500 公尺至 750 公尺空間單元。

二、PM_{2.5}

本段落討論當依變數為 PM_{2.5} 濃度時，加入空間的資訊後是否能夠更為恰當的解釋自變數(地表溫度、植生指數、太陽輻射、建物面積、工業區區位)與依變數之間的互動關係。

檢視冬季 PM_{2.5} 濃度分析結果發現 1250 公尺空間單元兩空間係數 ρ 與 λ 並未符合一般空間迴歸的基本假設(基本假設： $|\rho| < 1$ 、 $|\lambda| < 1$ ，同時為正且顯著存在)，是以並不適合使用一般空間模式討論冬季 PM_{2.5} 濃度。其後冬季 PM_{2.5} 濃度依相同空間單元選用步驟，比較 LIK 與 AIC 數值可以發現，250 公尺的 LIK 與 AIC 分別為 5429.426 與 -10841，LIK 與 AIC 數值明顯優異於 500 公尺、750 公尺與 1000 公尺空間單元，故模型配適度上以 250 公尺空間單元較為適當，使用 250 公尺空間單元一般空間模型對於解釋冬季 PM_{2.5} 濃度有較佳的解釋能力。另外加入 Moran's I 數值及其 Z 值評估空間自相關問題，可以發現 500 公尺、750 公尺與 1000 公尺空間單元皆有輕微的空間聚集現象，而 250 公尺空間單元則有輕微的空間離散。如以 Moran's I 數值不考慮正負向關係評比五種空間尺度於解釋冬季 PM_{2.5} 濃度，配合表 7 結果以及冬季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 之 Z 值以 250 公尺至 1000 公尺空間單元依序排列分別為 -4.319、4.780、5.635、3.150、1.825，可以得到排序如下：250 公尺 > 500 公尺 > 1000 公尺 > 750 公尺。雖藉由空間迴歸模型的計算後，空間問題可以有效的被列入考量，但仍然有輕微空間自相關問題存在。

夏季 PM_{2.5} 濃度分析結果中 1250 公尺空間單元同樣不符合一般空間模式定義，不予討論。夏季 PM_{2.5} 濃度模式配適度評比結果以 750 公尺空間單元較為適當，其次分別為 250 公尺、1000 公尺、500 公尺空間單元。空間係數 ρ 與 λ 之係數值比較結果則是 500 公尺 > 250 公尺 > 750 公尺 > 1000 公尺空間單元，加入 Moran's I 數值及其 Z 值比較，搭配表 7 結果來看，夏季 PM_{2.5} 濃度 Moran's I 之 Z 值以 250 公尺至 1000 公尺空間單元依序分別為 -2.969、2.696、-0.241、0.768、0.807，依 Moran's I 數值及其 Z 值排序為 750 公尺 > 250 公尺 > 1000 公尺 > 500 公尺。

綜合上述冬夏季 PM_{2.5} 濃度一般空間模式分析結果，利用模式配適度、空間自相關修正等方式討論，欲從各空間單元中選出最適當的解釋，空間係數 ρ 與 λ 的數值，於 250 公尺、500 公尺、750 公尺與 1000 公尺等四種空間單元空間係數 ρ 與 λ 都非常重要，表示探討 PM_{2.5} 濃度時空間問題應列為

重點考量。但是選擇相對較小的 250 公尺空間單元對於觀察 PM_{2.5} 濃度的空間分佈或其他變數的影響時，能更為妥善的處理空間自相關問題，因而本文建議若是討論 PM_{2.5} 濃度時傾向使用相對較為細緻的 250 公尺空間單元。

表 7 各空間單元冬夏季 PM_{2.5} 濃度模式配適度比較

依變數	空間單元	250 公尺	500 公尺	750 公尺	1000 公尺	1250 公尺
冬季 PM _{2.5}	Lambda	0.999 ***	0.964 ***	0.956 ***	0.912 ***	0.710
	Rho	0.832 ***	0.968 ***	0.932 ***	0.853 ***	0.713
	LIK	4211.996	418.157	-24.445	-80.868	-77.030
	AIC	-8406	-818.314	66.889	179.735	172.061
	Moran's I ^{註 1}	-0.046	0.105	0.181	0.141	0.088
夏季 PM _{2.5}	Lambda	0.711 ***	0.918 ***	0.711 ***	0.683 ***	0.413
	Rho	0.995 ***	0.921 ***	0.898 ***	0.823 ***	0.771
	LIK	5163.551	718.476	148.479	41.530	7.163
	AIC	-10309.1	-1419.951	-278.957	-65.060	3.675
	Moran's I ^{註 1}	-0.032	0.063	-0.015	0.036	0.053

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

註 1：Moran's I 之 Z 值未列入

冬夏季 PM_{2.5} 濃度 250 公尺一般空間模式之分析(表 8)，在兩個季節中地表溫度、太陽輻射、建物面積與工業區區位的正負向影響性一致，表示在不同季節此四項變數對於 PM_{2.5} 濃度的影響不會隨著季節的轉換而改變。其中地表溫度為正向影響，表示地表溫度對於 PM_{2.5} 濃度有提高濃度的效果，而工業區區位則是離工業區越近，PM_{2.5} 濃度越高，此二者結果較符合預期。

太陽輻射與建物面積於研究區內在 5% 顯著水準下呈負向影響，表示以建物面積代表的人為活動並不會對於 PM_{2.5} 濃度產生正面的影響，進而提高該地區的 PM_{2.5} 濃度，本研究認為因建物面積是以 2D 平面的方式計算，在單元內的建蔽率存在著新舊市區的差異，舊市區的建物面積會比新市區來的高，但實際的居住人口卻不成正比，亦或是新市區的容積移轉問題使得高樓分佈密集，無法精確的量測實際的人口活動，故建物面積在此呈負向影響推測與都市的建物開發密度有關。然而利用 3D 的 DEM 取得太陽輻射資料，在高樓周邊太陽輻射量較少，反而是地表起伏不大的開放平面其太陽輻射量較多，因此此處的負向影響可表示當太陽輻射量多時 PM_{2.5} 濃度反而下降，

與李凱 et al. (2009)提出之論述相符，當太陽輻射對於近地表溫度加熱時，大氣的不穩定狀態反而有利於稀釋空氣微粒濃度，結合以上建物面積與太陽輻射的敘述，如預管控 PM_{2.5} 的濃度應注意建築密度與建築高度比。

另外，NDVI 則會隨季節而改變，若是植栽的滯塵原理在研究區能有效的發揮作用，則可以猜測在研究區夏季的 PM_{2.5} 濃度確實可以藉由植栽達到減緩濃度的效果，但當植栽的滯塵量達一定程度後，必須經過雨水的沖刷才能再恢復其滯塵能力，在降雨前附著於植栽上的顆粒物(落塵、PM₁₀ 或 PM_{2.5}) 則可能再次回到大氣中(余海龍 & 黃菊瑩, 2012)，加上研究區有河川流經及多處的市地重劃，冬季的枯水期與市地重劃的土地裸露造成地表揚塵，因此本研究認為此可能是冬季 NDVI 對於 PM_{2.5} 濃度為正向影響之原因。

表 8 冬夏季 PM_{2.5} 濃度 500 公尺空間單元一般空間模式分析結果

資料筆數	冬季		夏季	
	係數	z 值	係數	z 值
547			500	
常數	4.086 ***	-0.925	0.067 ***	2.613
地表溫度	0.010 *	2.263	0.0005	0.338
NDVI	0.007 *	2.071	-0.0004	-0.376
太陽輻射	-0.001	-0.656	-0.003 ***	-3.297
建物	-0.002	-1.014	-0.002 *	-2.178
工業區	-0.176 ***	-5.521	-0.002 *	-2.009
Lambda	0.999 ***		0.711 ***	
Rho	0.832 ***		0.995 ***	

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

綜合冬夏季 PM_{2.5} 濃度一般空間模型分析結果，空間係數ρ與λ的數值，於 250 公尺、500 公尺、750 公尺與 1000 公尺等四種空間單元空間係數ρ與λ都非常重要，表示探討 PM_{2.5} 濃度時空間問題應列為重點考量。但是選擇相對較小的 250 公尺空間單元對於觀察 PM_{2.5} 濃度的空間分佈或其他變數的影響時，能更為妥善的處理空間自相關問題，因而本研究建議若是討論 PM_{2.5} 濃度時傾向使用相對較為細緻的 250 公尺空間單元。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究以原台中市地區為研究對象，使用 MODIS 衛星影像與政府開放資料取得相關的資料變數，加入五種空間單元以空間統計方法以及一般空間模式個別討論地表溫度與 PM_{2.5} 濃度的空間關係，試圖從中找出冬夏季台中地區綠地環境、細懸浮微粒與地表溫度三者的關聯性，並提出適合用於分析地表溫度與 PM_{2.5} 濃度的空間單元。

經全域型空間自相關，不論何種季節地表溫度與 PM_{2.5} 濃度的五種空間單元皆顯示 Moran's I 數值都趨近於 1，表示地表溫度與 PM_{2.5} 濃度都存有嚴重的空間問題，藉由地區型空間自相關分析更清楚的得到地表溫度與 PM_{2.5} 濃度在研究區的空間聚集位置。

地表溫度的冷熱區分佈冬夏季節差異不明顯，熱區集中於新舊市政府周邊的人口稠密區，冷區則是集中在植被大面積覆蓋的北屯大坑山區。當時間自冬季轉換為夏季時，地表溫度的冷熱區分佈皆有偏移甚至擴張的現象，比對由中央氣象局提供之 2017 年 7 月風花圖，風向是以南微東(168.75°, S/E) 與北北西(337.5°, NNW)為主，冷熱區偏移的方向與風向並非一致，此可認為夏季地表溫度的冷熱區分佈受風向的影響不大。另外，原有冬季地表溫度冷區曾出現的西屯區大都會公園以及南屯區西南側的望高寮地區已自地圖上轉換為無空間聚集現象，推測綠地的降溫效果與地表溫度增溫產生抵銷，使該區域的地表溫度並無出現相對高溫或低溫的空間聚集區。

冬夏兩季節中 PM_{2.5} 濃度的冷熱區分佈存有明顯的差異，熱區同樣分佈於建物密集的地區，表示人為活動對於 PM_{2.5} 濃度存有正向積極的影響，最大的差異性在於研究區東側沿線，該地區有旱溪與廍子溪流經，推測冬季 PM_{2.5} 濃度容易受到河川揚塵影響。

為清楚瞭解地表溫度與 PM_{2.5} 濃度兩者間空間聚集分佈關係，將同季節的地表溫度與 PM_{2.5} 濃度 LISA 聚集圖予以套疊，發現冬季 PM_{2.5} 濃度熱區與地表溫度的高溫聚集地重疊，夏季 PM_{2.5} 濃度冷區卻又正好與地表溫度熱區錯開。以上透過地區型空間自相關分析雖無法精確得知 PM_{2.5} 濃度對於提高地表溫度的實際效果，但可以確定 PM_{2.5} 濃度與地表溫度之間確實存有空間的關聯性。

再者，利用一般空間模型瞭解不同季節中地表溫度與 PM_{2.5} 濃度與其他變數之間的關係，並間接處理其空間自相關問題。因本研究認為空間自相關的問題是一項重點，選用 Moran's I 數值最為趨近於 0 者，再配合模型配適度與係數顯著性做出最後的選擇，故最後建議在分析地表溫度時選擇以 500 公尺或 750 公尺空間單元分析可以獲得較適當的解釋，PM_{2.5} 濃度則建議選用相對較小尺度的 250 公尺或 500 公尺空間單元。以下整理冬夏季節地表溫度 500 公尺空間單元與 PM_{2.5} 濃度 250 公尺空間單元各變數對其正負向影響能力，並於下段落整合說明。

表 9 冬夏季地表溫度與 PM_{2.5} 濃度變數正負向影響結果綜整表

依變數 空間單元	地表溫度 500 公尺		PM _{2.5} 濃度 250 公尺	
	冬季	夏季	冬季	夏季
地表溫度	-	-	正	正
PM _{2.5}	正	正	-	-
NDVI	負	負	正	負
太陽輻射	正	負	負	負
建物面積	負	正	負	負
工業區	正	正	負	負

冬夏季地表溫度 500 公尺空間單元的一般空間模型分析中得到，PM_{2.5} 濃度、NDVI 與工業區區位對於地表溫度的正負向影響無季節性的差異，表明 PM_{2.5} 濃度會增加地表溫度，NDVI 則有降低地表溫度的效果。工業區區位則因採均質方式計算，且研究區中所涵蓋之工業區綠地所占面積皆高於台中市其他工業區，故此對於地表溫度之影響呈現較為特殊之情況。而太陽輻射對於地表溫度之影響出現冬夏季節之差異，此處推論與太陽直射角度有關，當太陽輻射對於近地表加溫時，近地表環境易有熱對流的情況發生。

冬夏季 PM_{2.5} 濃度 250 公尺空間單元一般空間模型之分析，因地表溫度、太陽輻射、建物面積與工業區區位的正負向影響性一致，推論此四項變數不會隨著季節的轉換而改變，並從中得出地表溫度對於 PM_{2.5} 濃度有提高濃度的效果。然而 NDVI 在冬夏季節出現不同的結果，本研究認為此處的差異起因於研究區內有河川流經及多處的市地重劃，冬季的枯水期與市地重劃的土地裸露造成地表揚塵，影響植栽的滯塵原理無法如期發揮，是可能

造成冬季時 NDVI 對於 PM_{2.5} 濃度為正向影響的原因。

另外，本研究認為當網格過大時，使用 OLS 分析即可，並非有必要採用空間計量的分析方法，透過一般空間迴歸的結果可以適當的處理空間自相關問題，但該選擇傳統線性迴歸或是空間計量方法則取決於空間自相關問題是否嚴重，若傳統線性迴歸取得之 Moran's I 數值已無嚴重的空間自相關問題，實則採用傳統線性迴歸即可，如此更可避免過多的運算過程。

第二節 建議

隨著衛星遙測技術發展成熟，大尺度觀測地表現象漸趨簡易，但亦受到雲層遮蔽等問題進而影響影像資料的選用，甚至初始因 PM_{2.5} 濃度資料收集受到限制，僅考量單一年度內不同季節的地表溫度與 PM_{2.5} 濃度，無法從中看出長期趨勢。再者，目前多數研究仍偏向個別討論(一)PM_{2.5} 濃度與植栽滯塵原理、(二)PM_{2.5} 濃度與地表溫度或是(三)地表溫度與植栽之關聯性分析，且以上三種研究討論的空間尺度都有所差異，故在本研究中如何取得空間資料並整合亦是資料選用上的難題。因此經研究分析與文獻參考回顧後，本研究提出以下三項對於市政環境的建議：

- 一、地表溫度與 PM_{2.5} 濃存在一定之關係，彼此都有提升另一變數的效果，因此如為有效控制研究區內的空氣污染或是都市熱島效應問題，可從此方面著手，進而控制都市的地表環境現象，降低人類暴露於高溫、高污染的環境。
- 二、從許多過往的研究可以看出植被覆蓋能有效控制地表溫度，且在研究中又發現冬季枯水期與地表裸露是可能造成植栽滯塵原理無法有效發揮的原因，因此在都市地區中增加都市綠地環境或減少地表裸露的時間，加速市地重劃或工程案件的期程推進，是有利於降低地表溫度與 PM_{2.5} 濃度，確保都市中擁有更好的適居環境。
- 三、針對冬夏季 PM_{2.5} 濃度的分析上發現開放平面其太陽輻射量多，對於 PM_{2.5} 濃度有稀釋濃度的作用，而大樓旁反因太陽輻射量少，無法促進環境對流，雖本研究未加入建築風場的因素一同討論，但此仍建議市府在考量市政發展時，應注意都市設計或是實施容積獎勵的建築高度，避免因建築過高造成空氣污染的問題。

參考文獻

- Aguilera, I., Sunyer, J., Fernández-Patier, R., Hoek, G., Aguirre-Alfaro, A., Meliefste, K., Bomboi-Mingarro, M. T., Nieuwenhuijsen, M. J., Herce-Garraleta, D., & Brunekreef, B. (2007). Estimation of outdoor NO_x, NO₂, and BTEX exposure in a cohort of pregnant women using land use regression modeling. *Environmental science & technology*, 42(3), 815-821.
- Barraza-Villarreal, A., Sunyer, J., Hernandez-Cadena, L., Escamilla-Nuñez, M. C., Sienna-Monge, J. J., Ramírez-Aguilar, M., Cortez-Lugo, M., Holguin, F., Diaz-Sánchez, D., & Olin, A. C. (2008). Air pollution, airway inflammation, and lung function in a cohort study of Mexico City schoolchildren. *Environmental health perspectives*, 116(6), 832.
- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (2000). The capture of particulate pollution by trees at five contrasting urban sites. *Arboricultural Journal*, 24(2-3), 209-230.
- Bottyán, Z., & Unger, J. (2003). A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 75(3), 233-243.
- Cesaroni, G., Forastiere, F., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Badaloni, C., Beelen, R., Caracciolo, B., de Faire, U., Erbel, R., & Eriksen, K. T. (2014). Long term exposure to ambient air pollution and incidence of acute coronary events: prospective cohort study and meta-analysis in 11 European cohorts from the ESCAPE Project. *Bmj*, 348, f7412.
- Christoforou, C. S., Salmon, L. G., Hannigan, M. P., Solomon, P. A., & Cass, G. R. (2000). Trends in fine particle concentration and chemical composition in Southern California. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(1), 43-53.
- Chun, B., & Guldman, J. M. (2014). Spatial statistical analysis and simulation of the urban heat island in high-density central cities. *Landscape and urban planning*, 125, 76-88. doi:10.1016/j.landurbplan.2014.01.016
- De Oliveira, A. P., Machado, A., Escobedo, J. F., & Soares, J. (2002). Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the city of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(3-4), 231-249.
- Jim, C., & Chen, W. Y. (2008). Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of environmental management*, 88(4), 665-676.
- Jonsson, P., Bennet, C., Eliasson, I., & Selin Lindgren, E. (2004). Suspended particulate matter and its relations to the urban climate in Dar es Salaam, Tanzania. *Atmospheric Environment*, 38(25), 4175-4181. doi:10.1016
- LeSage, J. P. (1999). The theory and practice of spatial econometrics. *University of Toledo. Toledo, Ohio*, 28, 33.

- Li, L., Losser, T., Yorke, C., & Piltner, R. (2014). Fast inverse distance weighting-based spatiotemporal interpolation: a web-based application of interpolating daily fine particulate matter pm_{2.5} in the contiguous us using parallel programming and kd tree. *International journal of environmental research and public health*, *11*(9), 9101-9141.
- Lipsett, M. J., Ostro, B. D., Reynolds, P., Goldberg, D., Hertz, A., Jerrett, M., Smith, D. F., Garcia, C., Chang, E. T., & Bernstein, L. (2011). Long-term exposure to air pollution and cardiorespiratory disease in the California teachers study cohort. *American journal of respiratory and critical care medicine*, *184*(7), 828-835.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, *4*(3), 115-123.
- Song, J., Du, S., Feng, X., & Guo, L. (2014). The relationships between landscape compositions and land surface temperature: quantifying their resolution sensitivity with spatial regression models. *Landscape and urban planning*, *123*, 145-157.
- Squizzato, S., Cazzaro, M., Innocente, E., Visin, F., Hopke, P. K., & Rampazzo, G. (2017). Urban air quality in a mid-size city — PM_{2.5} composition, sources and identification of impact areas: From local to long range contributions. *Atmospheric Research*, *186*, 51-62. doi:10.1016/j.atmosres.2016.11.011
- Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell’Osso, G. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, *159*(8-9), 2119-2126.
- Tai, A. P. K., Mickley, L. J., & Jacob, D. J. (2010). Correlations between fine particulate matter (PM_{2.5}) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM_{2.5} to climate change. *Atmospheric Environment*, *44*(32), 3976-3984. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.060>
- United Nations Environment Programme. (2017). *Towards a pollution-free planet: background report* (pp. 124). Retrieved from <https://www.unenvironment.org/resources/report/towards-pollution-free-planet-background-report>
- Viton, P. A. (2010). Notes on spatial econometric models. *City and regional planning*, *870*(03), 9-10.
- WHO (Writer). (2015). Health and the environment : addressing the health impact of air pollution.
- Yoshikado, H., & Tsuchida, M. (1996). High levels of winter air pollution under the influence of the urban heat island along the shore of Tokyo Bay. *Journal of Applied Meteorology*, *35*(10), 1804-1813.
- Zhou, W., Wang, J., & Cadenasso, M. L. (2017). Effects of the spatial configuration of trees on

- urban heat mitigation: A comparative study. *Remote Sensing of Environment*, 195, 1-12.
- 艾兆蕾. (2005). 影響住宅區地價因素之空間分析—以鄉鎮與縣市為例，世新大學經濟學系研究所碩士論文。
- 何佳薇, 周天穎, & 楊龍士. (2011). 臺中地區土地利用變化於熱島效應之研究. *航測及遙測學刊*, 16(2), 139-149.
- 余海龙, & 黃菊莹. (2012). 城市绿地滞尘机理及其效应研究进展. *西北林學院學報*, 27(6), 238-241+ 247.
- 吴志萍, 王成, 侯晓静, & 杨伟伟. (2008). 6种城市绿地空气 PM2.5 浓度变化规律的研究. *安徽农业大学学报*, 35(4), 494-498.
- 李凯, 张承中, & 周变红. (2009). 西安市采暖期 PM2.5 污染状况及其与气象因子的相关分析. *安徽農業科學*, 37(20), 9603-9605.
- 李瑞陽, & 陳勝義. (2010). 台中市搶奪犯罪熱點與犯罪區位之空間分析. *地理研究*(53), 23-48.
- 胡立諄, & 賴進貴. (2006). 臺灣女性癌症的空間分析. *台灣地理資訊學刊*, 4, 39-55.
- 許禎育, & 張宏浩. (2010). 臺灣農家之農業所得的空間依存性分析. *農業經濟叢刊*, 16(1), 79-108.
- 郭迺鋒, 詹立宇, & 朱真慧. (2004). 專利活動國際化與第三波民主化關係之探討：空間計量分析。
- 蘇大成. (2016). 空氣汙染與心血管健康. *台灣醫學*, 20(4), 377-386.