逢 甲 大 學
都市計畫與空間資訊學系
碩士論文

以環境因子資料建構溫度預測模型

-以臺中市世界花卉博覽會為例

Using Environmental Factor Data to Build Temperature Prediction Models
-A Case Study of Taichung World Flora Exposition

指導教授：徐逸祥博士
研 究 生 ：邱秀姿

中 華 民 國 一 百 零 九 年 八 月

摘　　要

本研究主要使用 Landsat 8 影像反演地表溫度，並蒐集影響溫度的地形、土地利用、氣溶膠濃度、天氣等相關因子，且經過相關性分析篩選相關性高的因子以作為本研究預測模型之變數，若可以準確的預測未來規劃區的地表溫度，規劃者即可提前知道規劃是否可以符合期待。

預測模型方面，以 2015 年、2016 年與雙年度 2015 年及 2016 年作為樣本年，2019 年作為預測年，並選定估計迴歸係數最常使用的最小平方法 (ordinary least squares, OLS) 傳統線性迴歸得出之誤差項作相依性檢定及配適度檢定，以檢定空間落遲模型(spatial lag model, SLM)以及空間誤差模型(spatial error model, SEM)何者模型表現較好，結果為 SEM 較 SLM 表現好。因此本研究將 OLS 及 SEM 預測 2019 年的結果作比較，得出 2015 年資料作三個園區預測之模型皆以 OLS 模型誤差較低，均方根誤差(root-mean-square error, RMSE)值為 1.93 至 2.59 度之間，SEM 則為 2.10 至 3.13 度之間。以 2016 年的資料預測后里園區與外埔園區以 SEM 誤差較低，葫蘆墩園區以 OLS 誤差較低，OLS 的 RMSE 在 5.63 至 6.82 度之間，SEM 則為 5.46 至 7.92 度之間。以雙年度資料預測后里園區與葫蘆墩園區以 OLS 誤差較低，外埔園區則以 SEM 誤差較低，OLS 的 RMSE 在 2.43 至 6.07 度之間，SEM 則為 2.24 至 6.77 度之間。

將衛星反演溫度圖與迴歸模型預測溫度圖做差值比較，並比對衛星影像，發現預測結果誤差較低的地方多為植被覆蓋，誤差值較高的通常為裸土與建物等人造舖面。

本研究結果發現氣象因子造成預測溫度誤差較大，後續研究不建議當作預測因子，未來可以加入夏季月份，以探討冬季因子與夏季因子之差異，並統整因子，進一步探討資料連續性以及增加年度資料量是否影響預測地表溫度的精準度。

關鍵詞：環境因子、地表溫度、空間迴歸、溫度預測

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

目錄

第一章、 緒論 6

第一節 研究動機及目的 6
第二節 研究範圍 7
第三節 研究限制 10
第四節 研究流程 11

第二章、 文獻探討 13

第一節 環境溫度觀測法 13
第二節 地表溫度反演 14
第三節 地表溫度影響因子 15
第四節 小結 19

第三章、 研究方法 21

第一節 衛星影像 21
第二節 溫度反演 21
第三節 研究因子 22
第四節 建構模型 31
第五節 小結 33

第四章、 實證結果與分析 34

第一節 全區地表溫度反演 34
第二節 統計迴歸分析 35
第三節 花博園區地表溫度預測 48

第五章、 結論及建議 64

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

圖目錄

圖 1研究範圍.....7
圖 2 花博后里區森林園區2016年衛星影像(左)及規劃圖(右).....8
圖 3花博外埔區2016年衛星影像(左)及規劃圖(右).....8
圖 4花博豐原區2016年衛星影像(左)及規劃圖(右).....9
圖 5研究流程圖.....12
圖 6反演 LST 方法分類.....14
圖 13研究區反演地表溫度.....22
圖 14研究區30公尺數值地形模型資料.....22
圖 15研究區 EVI.....23
圖 16研究區粗糙度.....25
圖 17研究區道路密度.....25
圖 18研究區建物高度(單位為公尺)和方向(單位為度).....26
圖 20研究區 SVF.....26
圖 21研究區區域性太陽輻射.....27
圖 22研究區人口密度.....27
圖 23研究使用測站點位.....28
圖 24研究區濕度.....28
圖 25研究區風速.....29
圖 26研究區溫度.....29
圖 27研究區 $PM_{2.5}$.....30
圖 28研究區 PM_{10}.....30
圖 29 2015年(左)與2016年(右)研究區地表反演溫度.....34
圖 30 2019年研究區地表反演溫度.....34
圖 31殘差空間分布圖(2015年資料).....39
圖 32殘差空間分布圖(2016年資料).....40
圖 33殘差空間分布圖(2015年與2016年資料).....40
圖 34空間迴歸模型決策模式.....41
圖 35 2019年預測資料示意圖.....43
圖 36以單年度2015年資料預測2019年地表溫度成果.....44
圖 37以單年度2016年資料預測2019年地表溫度成果.....46
圖 38以雙年度2015年與2016年資料預測地表溫度成果.....47
圖 39花博森林園區衛星影像對照圖.....48
圖 40花博森林園區 OLS 預測溫度圖(2015年資料).....49
圖 41花博森林園區 SEM 預測溫度圖(2015年資料).....49

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

圖 42花博森林園區 OLS 預測溫度圖(2016年資料).....50
圖 43花博森林園區 SEM 預測溫度圖(2016年資料).....50
圖 44花博森林園區 OLS 預測溫度圖(2015年與2016年資料).....51
圖 45花博森林園區 SEM 預測溫度圖(2015年與2016年資料).....51
圖 46花博森林園區預測溫度與實際溫度差值圖.....52
圖 47花博外埔園區衛星影像對照圖.....53
圖 48花博外埔園區 OLS 預測溫度圖(2015年資料).....54
圖 49花博外埔園區 SEM 預測溫度圖(2015年資料).....54
圖 50花博外埔園區 OLS 預測溫度圖(2016年資料).....55
圖 51花博外埔園區 SEM 預測溫度圖(2016年資料).....55
圖 52花博外埔園區 OLS 預測溫度圖(2015年與2016年資料).....56
圖 53花博外埔園區 SEM 預測溫度圖(2015年與2016年資料).....56
圖 54花博外埔園區預測溫度與實際溫度差值圖.....57
圖 55花博葫蘆墩園區衛星影像對照圖.....58
圖 56花博葫蘆墩園區 OLS 預測溫度圖(2015年資料).....59
圖 57花博葫蘆墩園區 SEM 預測溫度圖(2015年資料).....59
圖 58花博葫蘆墩園區 OLS 預測溫度圖(2016年資料).....60
圖 59花博葫蘆墩園區 SEM 預測溫度圖(2016年資料).....60
圖 60花博葫蘆墩園區 OLS 預測溫度圖(2015年與2016年資料).....61
圖 61花博葫蘆墩園區 SEM 預測溫度圖(2015年與2016年資料).....61
圖 62花博葫蘆墩園區預測溫度與實際溫度差值圖.....62

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表目錄

表 1 溫度觀測法整理.....13
表 2 局部氣候區 LCZ 的定義.....16
表 3 LCZ 轉換粗糙度表.....17
表 4 研究使用之因子與文獻出處列表.....20
表 6 本研究粗糙度對照表.....24
表 9皮爾森相關係數相關程度.....35
表 10 皮爾森相關分析結果(2015年資料).....36
表 11 皮爾森相關分析結果(2016年資料).....36
表 12 皮爾森相關分析(2015年與2016年資料).....36
表 13 簡單線性迴歸報表.....37
表 14傳統線性迴歸殘差值(2015年資料).....38
表 15傳統線性迴歸殘差值(2016年資料).....38
表 16傳統線性迴歸殘差值(2015年與2016年資料).....38
表 17 SEM 與 SLM 配適度檢定(2015年資料).....41
表 18 SEM 與 SLM 配適度檢定(2016年資料).....41
表 19 SEM 與 SLM 配適度檢定(2015年與2016年資料).....42
表 20 OLS 模型係數報表(2015年資料).....44
表 21 SEM 模型係數報表(2015年資料).....44
表 22 OLS 模型係數報表(2016年資料).....45
表 23 SEM 模型係數報表(2016年資料).....45
表 24 OLS 模型係數報表(2015年與2016年資料).....46
表 25 SEM 模型係數報表(2015年與2016年資料).....47
表 26 花博森林園區內溫度驗證表.....51
表 27 花博外埔園區內溫度驗證表.....57
表 28 花博葫蘆墩園區內溫度驗證表.....62
表 29 預測使用氣象資料及驗證資料.....63
表 30 三測站之月均溫整理表.....63

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第一章、 緒論

第一節 研究動機及目的

現今人口持續不斷地聚集，人類為了經濟的發展仍然不斷的開發，大規模破壞原有的地貌與生態環境，而交通工具的普遍性及火力發電的廢氣排放也造成空氣中的懸浮粒子增加，還有其他會造成溫室氣體等的人為汙染物持續增加，使得都市散熱效果不易，都市降溫已成為現在重要的議題，除了提倡綠色建築減少廢熱，也積極增加都市中的綠地面積，如何在都市開發中將對環境的衝擊降至最低已成為首要關心的問題。

台中市於 2016 年 11 月動土「台中世界花卉博覽會」，總面積達 60.88 公頃，其包括三大展區「后里馬場及森林園區」，特色為生態，自然共生；「外埔園區」特色為生產，綠色共享；「豐原葫蘆墩公園」特色是生活，人文共好。由於此規劃使土地覆蓋影響甚大，且主打「不破壞、只優化」，希望可以透過預測未來地表溫度，檢視規劃圖實現後是否符合規劃者的期待。

本研究之目的如下呈現：

(一)探討以過去資料建構地表溫度(land surface temperature, LST)模型是否能夠準確地預測研究範圍之地表溫度。

(二)比較傳統線性迴歸(ordinary least squares, OLS)與兩種空間迴歸模型，在預測地表溫度時何種預測模型較為準確。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第二節　研究範圍

一、　研究區域

本研究主題範圍為台中世界花卉博覽會園區，由於 2018 年 11 月 3 日台中世界花卉博覽會開幕，因此將建構預測模型樣本時間設定在 2016 年 11 月動土前，預測年份設定為 2019 年，並探討以歷史資料預測花博園區規劃後地表溫度的可行性。

花博園區分為三大展區-台中市外埔區、台中市豐原區、台中市后里區，如圖 1 所示。

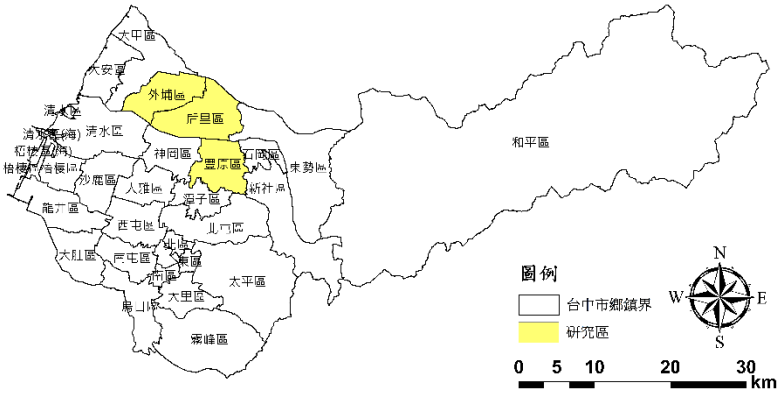


圖 1 研究範圍

二、　實證區域

本研究以台中花博所在之三個鄉鎮區為研究區域，探討整體研究範圍的地表溫度之預測並進行驗證，為了避免蒐集資料尺度不同，造成切圖邊界缺陷，故蒐集資料皆以三鄉鎮區邊緣向外延伸一公里。台中花博為 2016 年 11 月動土，本研究挑選 2015 年及 2016 年的 1 月作為建構預測模型的樣本年，並且利用迴歸模型預測 2019 年完工後的地表溫度，且利用 Landsat 8 影像反演結果作為驗證預測地表溫度之參考依據。

(一)　驗證區域一：花博森林園區

花博森林園區位於台中市后里區，面積約為 15 公頃，鄰近后里車站及后豐鐵馬道，前身為后里陸軍裝甲 586 旅之軍營用地，由於該區樹木資源豐富，園區規劃方向為保留森林，營造園區自然共生的林相，從圖 2 顯示的 2016 年 SPOT 衛星影像可判斷，地物

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

多為植生。

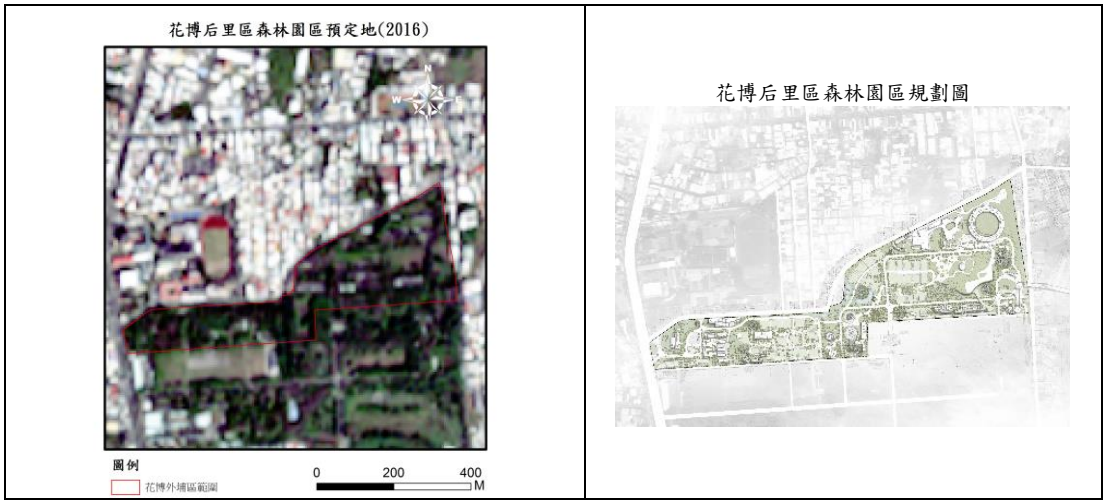


圖 2 花博后里區森林園區 2016 年衛星影像(左)及規劃圖(右)

(二) 驗證區域二：花博外埔園區

花博外埔園區位於台中市外埔區，面積約為 14 公頃，原為台糖用地，鄰近后里麗寶樂園，園區以展現農業根本、農業休閒體驗為主體，從圖 3 的 2016 年 SPOT 衛星影像判斷該區現況多為植生覆蓋。

圖 3 花博外埔區 2016 年衛星影像(左)及規劃圖(右)

(三) 驗證區域三：花博葫蘆墩園區

花博葫蘆墩園區位於台中市豐原區，面積約為 17 公頃，軟埤仔溪經過，且周邊為公園用地，為豐原市區內之大型重要公園綠地空間，原為葫蘆墩公園，當時為民眾高頻率使用的公共空間，透過既有的葫蘆墩公園及埤仔溪河岸空間進行景觀營造，以傳統

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

文化與現代生活融合作為規劃之理念，營造「水岸花都」為主題的生態環境，以圖 4 的 2016 年 SPOT 衛星影像可知葫蘆墩園區相較於其他兩區地物較為複雜，地覆種類含有植生、不透水鋪面及水道。

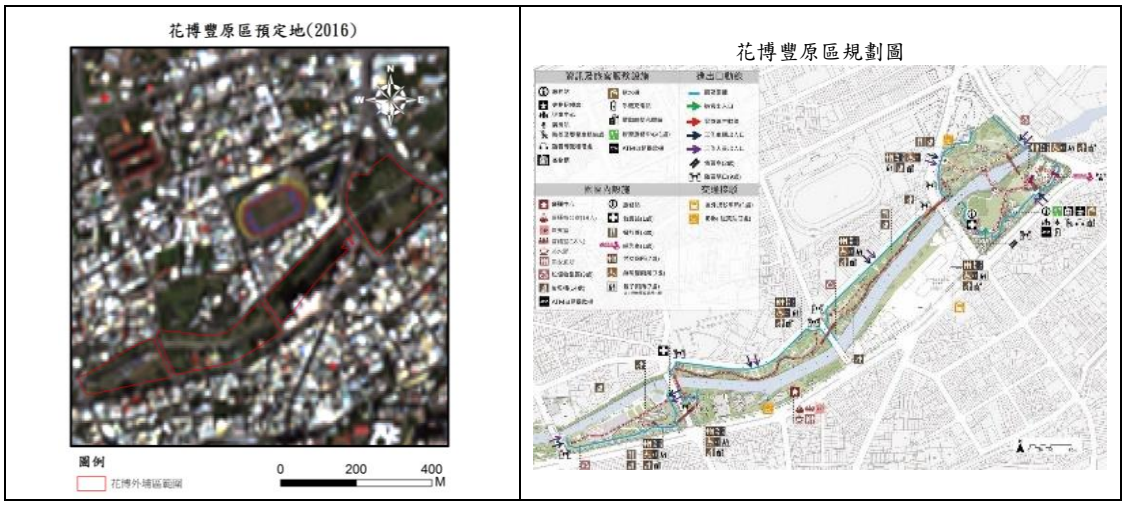


圖 4 花博豐原區 2016 年衛星影像(左)及規劃圖(右)

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第三節　研究限制

本研究所蒐集之因子皆為國外期刊針對影響地表溫度所提及的因子，其環境條件與尺度與台灣不同，也會影響因子個別的重要性，故蒐集的因子會經過篩選，當作本研究最後所使用的因子，也因為部分開放資料更新時長，或權限限制，容易造成因子蒐集不易。此外 Landsat 8 衛星為被動式遙感影像，所得到的影像品質也會造成不同程度的影響。本研究條列主要限制如下：

1.台灣夏季因氣候關係容易造成影像被雲層覆蓋，故本研究挑選冬季以及資料庫現有的影像進行分析，但因不同季節風向不同，僅能針對冬季情境進行探討。

2.衛星影像拍攝當下的陰影為暫時的，容易影響因子特徵(如植生指數及地表粗糙度)，為了減少地表不確定因素所造成的誤差，故本研究將陰影覆蓋之區域剃除不予納入分析。

3.本研究無法蒐集精確的植被以及建物高度，只有建築樓層數資料，故本研究所使用的地表數值資料不考慮植被高度，且假設建築樓層高界定在 3.3 公尺。

4.政府開放資料更新時長，造成蒐集每年度資料困難，故斟酌將變化不大的資料共同使用，包括數值高程模型、建築高度、建築方向、道路密度以及天空可視率。

5. 由於本研究只能取得網路上最後公告的台中花博園區意象規劃圖，未有細部規劃圖，只能依照規劃圖所標示樓層數及可能之材質及輪廓進行數化。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第四節　研究流程

本研究流程如圖 5，於第一章詳細說明研究動機及目的、研究範圍與對象、研究時間以及研究限制，並整理出本研究之研究流程。

針對研究主題蒐集相關文獻，了解衛星影像反演地表溫度的方法，並彙整影響溫度的環境因子之相關理論，並排除難以取得的因子，最後選擇的因子分別為數值高程模型、強化型植生指數、地表粗糙度、道路密度、建物高度、建築方向、天空可視率、區域性太陽輻射、人口密度、空氣濕度、風速、環境空氣溫度以及懸浮粒子($PM_{2.5}$、PM_{10})總共 14 項因子。

將 Landsat 衛星影像反演之地表溫度作為應變數，以及上述 14 項環境因子資料作為自變數，並進行資料標準化，為了確認蒐集到的因子都與地表反演溫度相關，使用皮爾森相關分析以及簡單線性迴歸進行因子篩選，再以空間迴歸分析建構預測模型，將欲預測之目標範圍的環境因子帶入模型後以取得預測之地表溫度。

最後將預測結果進行分析，比較以不同歷史資料進行溫度預測之誤差，根據分析結果，整合歸納出結論與建議，提供在規劃階段之大規模開發者於地表溫度降溫建議及溫度控制之參考。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

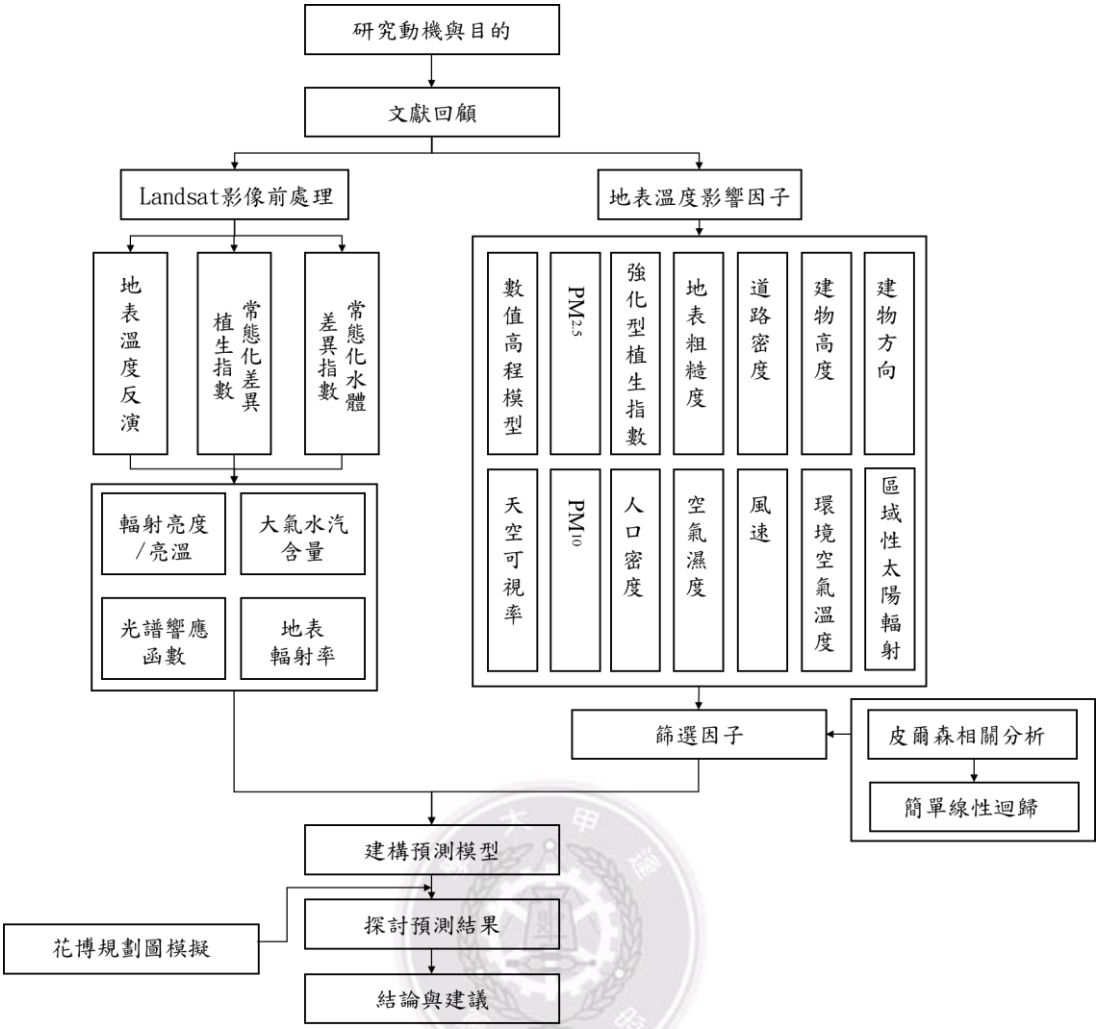


圖 5 研究流程圖

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第二章、 文獻探討

第一節 環境溫度觀測法

目前應用於環境溫度量測之觀測法以「固定觀測法」、「移動觀測法」、「遙測法」等此三種最為普遍，其使用方法及範圍有各自的優缺點，並將三種方法的優缺點整理於表 1。

表 1 溫度觀測法整理

方法	固定觀測法	移動觀測法	遙測法
簡介	由氣象測站量測，為連續性或半連續性自動記錄	在移動式交通工具上架設溫度量測裝置，於道路上進行移動觀測	利用衛星上所搭載的高解析度輻射計進行地面溫度的測量
優點	資料具同步性，可使用長期觀測資料作分析	時間彈性，區域設定自由	可進行大範圍分析，取得歷年資料較其他方法容易
缺點	站點分布不多，設點容易因外在因素影響，僅能取得點狀資料	缺乏同步性，歷年資料蒐集較為困難，僅能取得點狀資料	需配合衛星經過時間及天氣配合

由於固定觀測法與移動觀測法只能獲取單點資料，其中遙測法可以取得大範圍區域以及歷年資料，前兩者觀測數值為氣溫，後者觀測數值為地表溫度，所以三種觀測法中以遙測法最適合本研究。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第二節　地表溫度反演

地表溫度(land surface temperature, LST)是地表能量平衡和城市氣候學研究的關鍵參數。LST 受土地表面特徵，例如植被覆蓋及其類型，土地利用-土地覆蓋和地表不透水覆蓋的影響(Khandelwal et al., 2018)。

基於普朗克定律(Planck)量化以及衛星感測器空間分辨率設置，利用遙測影像於反演 LST 的方法分為單波段算法、雙波段算法(劈窗算法)和多波段算法。

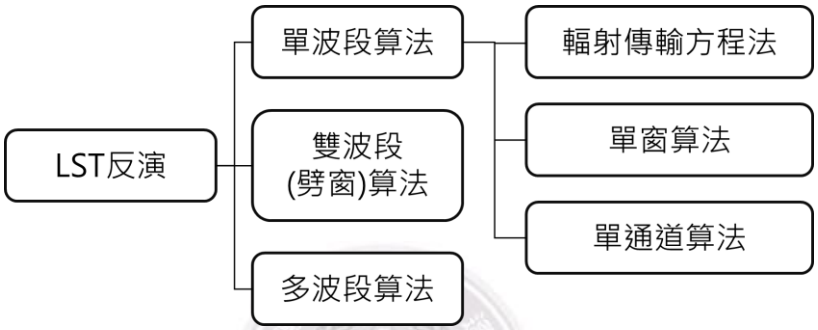


圖 6 反演 LST 方法分類(改繪製覃志豪，2019)

1. 輻射傳輸方程法(又稱大氣校正法，radiative transfer equation, RTE)

計算大氣對地表熱輻射的影響，且從衛星高度上感測器所觀測到的熱輻射總量中減去，再將得到的地表熱輻射強度轉化為相應的地表溫度。

2. 單窗算法(mono-window algorithm)

由覃志豪等(Zhi-Hao et al., 2001)根據地表輻射熱傳導公式，推導出由熱波段遙測數據中推演地表溫度的算法，通過簡化大氣向上輻射亮度和大氣向下輻射亮度的計算模型。

3. 單通道算法(single-channel method, SC)

Jiménez-Muñoz 和 Sobrino 研究出單通道算法，可以針對任何一種熱紅外波段反演地表溫度，而單通道(SC)算法需要的大氣參數相較於其他方法少，在 2009 年提出的改進版演算法中提高 ETM+ 地表溫度反演的精度，且在大氣水氣含量較低時，可使用 Landsat 8 第 10 波段的 TIRS 1 波段進行反演(Sobrino et al., 2004；徐涵秋等人，2015)。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第三節　地表溫度影響因子

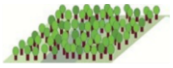
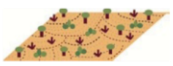
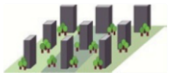
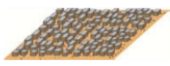
Mathew et al. (2019)利用中解析度成像光譜儀(MODIS)感測器高級星載熱發射和反射輻射儀的遙測數據全球數值高程模型(ASTER GDEM)用於預測 LST，以評估印度昌迪加爾市周邊地區的都市熱島(urban heat island, UHI)影響，根據前三年的 LST 值以及增強的植被指數(enhanced vegetation index, EVI)、道路密度(road density, RD)和高程作為輸入參數預測 LST，開發了支持向量迴歸(support vector regression, SVR)模型。模型估計的 LST 和 MODIS 反演取得的 LST 的比較表明，與 EVI 和海拔高度相比，LST 最終對 RD 最敏感。

Sumit Khandelwal et al. (2018)研究調查了齋浦爾市周圍約 35,500 平方公里的研究區域海拔變化對 LST 的影響。研究顯示海拔和平均 LST 之間存在高度相關性，所有季節的平均 LST 與海拔之間都存在很強的線性關係，並且隨著海拔的升高，LST 呈下降趨勢。

Oke (2004)將地表覆蓋的地物類型依照型態分為 17 種局部氣候區(local climate zone, LCZ)如表 2，並給予相當的粗糙度係數如表 2。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 2 局部氣候區 LCZ 的定義(改繪自 Oke, 2004)

建築型態	定義	土地覆蓋類型	定義
1. 緊湊的高層建築	混合密集的高層建築到幾十層樓。很少或根本沒有樹木。土地覆蓋大部分為混凝土、鋼材、石材、玻璃和建築材料。	A. 茂密的樹木 	林區森林茂密的落葉和或常綠喬木景觀。 土地覆蓋大部分透水(低植物)。 區域功能的天然森林、樹木栽培或城市公園。
2. 緊湊的中層建築	中層建築物密集組合(3-9層)。很少或根本沒有樹木。土地覆蓋大部分為石、磚、瓦和混凝土建材。	B. 零星樹木	輕輕樹木繁茂的落葉和/或常綠喬木景觀。 土地覆蓋大部分透水(低植物)。 區域功能的天然森林、樹木栽培或城市公園。
3. 緊湊的低矮建築	低層建築的密集組合(1-3層)。很少或根本沒有樹木。土地覆蓋大部分鋪為石、磚、瓦和混凝土建材。	C. 灌木叢 	開放性灌木分布。 土地覆蓋大部分透水(裸土或沙)。 區域功能的天然灌木叢或農業。
4. 開放高樓 	開放式的高層建築物。大量的透水土地覆蓋(低植物、零星樹木)。混凝土、鋼材、石材、玻璃和建築材料。	D. 低植物	草或草本植物作物特徵的景觀。很少或根本沒有樹木。 區域功能的天然草原，農業或城市公園。
5. 開放中層	開放式的中層建築物(3-9層)。大量的透水土地覆蓋(低植物、零星樹木)。混凝土、鋼材、石材、玻璃和建築材料。	E. 裸露岩石鋪面	岩石或鋪設蓋的特徵的景觀。很少或根本沒有樹木或植物。 區域功能的天然沙漠(岩)或城市交通。
6. 開放低層	開放式的低層建築物(1-3層)。大量的透水土地覆蓋(低植物、零星樹木)。木、磚、石、磚和 混凝土建材。	F. 裸土或沙	土或沙覆蓋的特徵的景觀。 很少或根本沒有樹木或植物。 區域功能的天然沙漠或農業。
7. 重量輕低層 	單層建築物的密集組合。很少或根本沒有樹木。 土地覆蓋大部分硬包裝。輕質結構材料(如木材、茅草、波紋狀金屬)。	G. 水	大型開放水體，如海洋、湖泊、河流、水庫和瀉湖。
8. 大低層	開放式的大低層建築(1-3層)。很少或根本沒有樹木。土地覆蓋大部分鋪為鋼鐵、水泥、金屬、石材建材。		
9. 內置稀疏	在自然環境中小或中型建築稀疏排列。大量的透水土地覆蓋(低植物、零星樹木)。		
10. 重工業	低層和中層工業結構。很少或根本沒有樹木。 土地覆蓋大部分為硬包裝。金屬、鋼鐵和混凝土建築材料。		

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 3 LCZ 轉換粗糙度表(改繪自 Stewart & Oke, 2012)

LCZ	粗糙度分級
LCZ 1	8
LCZ 2	6–7
LCZ 3	6
LCZ 4	7–8
LCZ 5	5–6
LCZ 6	5–6
LCZ 7	4–5
LCZ 8	5
LCZ 9	5–6
LCZ 10	5–6
LCZ A	8
LCZ B	5–6
LCZ C	4–5
LCZ D	3–4
LCZ E	1–2
LCZ F	1–2
LCZ G	1

林中立與徐涵秋(2017)也利用城鄉 LCZ 類別間的溫度差代替傳統的城鄉溫度差，藉此對城市間的熱島強度進行科學的定量化計算。LCZ 分類體系能根據城市建築表面結構、材質與土地覆蓋類型對各地表類型的熱特性進行有效地區分，彌補了有限的地面觀測點在空間分布上的不足，由此計算出的城市熱島強度可以更客觀地評價城市熱島效應的狀況。

M.Dirksen et al. (2019)提到天空因子(sky view factor, SVF)對於描述 100m 以下尺度的城市氣候是至關重要的。淨輻射的這種替代取決於周圍環境中障礙物的高度。將 SVF 是從光柵化的點雲數據集高度計算。生成的 SVF 取決於網格解析度，搜索半徑和方向數量。先前的研究將樹冠層的單日最大都市熱島(urban heat islands, UHI)與日溫度範圍、太陽輻照度、風速、植被覆蓋度和 SVF 相關。這項研究的目的是確定 SVF 的敏感性以及對 UHI 的影響。結

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

果表明，使用 1 公尺 SVF 解析度，荷蘭第四大城市烏得勒支的平均日最高 UHI 為 3.1°C；SVF 解析度為 3 公尺時，UHI 平均降低了 0.6°C。

人口規模為影響都市熱島效應的因素之一，都市容納人數越多，其相對應的蓄熱體如道路、建築物及其他構造物也隨之增加，促使都市相較於郊區的都市熱島現象較為顯著(孫振義，2006)。而 Mohammad Karimi Firozjaei et al. (2020)研究提到人為熱通量(artificial heat flux, AHF)是城市表面熱島(surface urban heat islands, SUHI)形成的主要因素。由於人口的過度增長、城市擴張、人類活動、能源消耗的增加以及人為熱量的增加。在這項研究中，使用單通道算法計算 LST，且揭示 AHF 對 LST 和表面人為熱島(surface anthropogenic heat island, SAHI)強度的影響。在林炯明(2010)研究中除了提到其中潛熱通量(latent heat flux)會影響都市地表溫度，其他還有地表粗糙度(roughness)、大氣反照率(atmospheric albedo)、地表輻射特性(radiation)。

Mihalakakou et al. (2002)使用五個參數作為神經網絡模型的輸入，包含天氣尺度大氣環流、每個站點測得的環境空氣溫度、參考站點的環境空氣溫度、總太陽輻射的最大日值以及風速的日均值，並發現天氣因子對於 UHI 強度有一定的影響。

Lindberg et al. (2016)提到最常用的預測因子是空氣溫度，有時根據濕度調整顯示溫度，或調整風速以得到風寒指數。還有各種熱指數，兩者均考慮到相關的氣象參數(氣溫、空氣濕度、風速和平均輻射溫度)。

Pandey et al. (2012)利用 MODIS 衛星數據研究印度德里連續四年的冬季都市熱島與顆粒物的關係，其研究數據表明，由於德里的顆粒物濃度增加，造成入射的太陽輻射量變少，加上低風的條件，使得德里與周圍的地區相比，冬季德里白天的地表溫度降低。由上述德里的地表風速和顆粒物濃度的平均每月時間數據的分析表明，風速和顆粒物濃度之間存在很強的負相關性。

Heather S.Sussman et al. (2019)使用 MODIS LST 與 EVI 產品研究 2003 年至 2018 年在乾旱和潮濕季節以印度班加羅爾為中心的

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

50km×50km 區域的城市化率、UHI 強度及植被綠化的相關性。研究結果表示，班加羅爾的城市化土地數量自 2003 年以來增加了 15%，其城市化發生在城市郊區。該分析表示 LS 有的顯著上升的趨勢主要發生在班加羅爾邊緣附近，即城市化發生的地方，且在日間 LST 顯著下降趨勢，可能與班加羅爾車輛汙染造成的人為氣溶膠有關。

UMEP (urban multi-scale environmental predictor)為一種氣候預測模擬工具，其可以模擬戶外熱舒適度、太陽輻射及都市能源平衡，將軟體所需的氣象資料或是空間數據進行處理，並選擇計算模型，即可得出成果，本研究參考該軟體之輸入參數之項目，作為影響溫度之環境因子，除上述提到因子，參考 Lindberg et al. (2018)增加了建築牆的高度(wall height)以及建築牆方向(wall aspect)。

蘇晨媛(2019)利用 UMEP 及 ENVI-met 模擬新北市板橋區的地表溫度，且提到建物產生的陰影會降低物體原始的表面溫度，並分析陰影與土地使用型態及地表溫度之影響。將熱影像像素與 DSM 分析之陰影位置對照，相似度高達六成，且不同土地覆蓋之陰影影響的溫度也有差異。

第四節　小結

根據前述之文獻回顧，可知影響都市熱島效應的因子甚多。其中，由於大氣反照率容易因為懸浮微粒的冷卻效應以及干擾成雲的過程中，存在著相當程度的不確定性，所以在定量上尚未能確切的估算，故本研究將此因子排除(林炯明，2010)；人為熱通量是指城市中由人類活動產生並排放到大氣中的熱量，潛熱通量包含地面蒸發及植被蒸發的能量，兩者計算須結合空氣動力學阻力、地表水汽擴散阻力等非本研究之主要目的，故將其排除；由於文獻裡已有 LCZ 轉換粗糙度分級表，故不再使用 LCZ 作為本研究之因子。

最後整理出眾多因子作為本研究預測模型的變數，如表 4，且將影響反演溫度判斷的陰影覆蓋區排除，並針對收集方法及名詞

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

解釋整理至第三章。

表 4 研究使用之因子與文獻出處列表

因子	文獻出處
DEM	Mathew et al., 2019 Khandelwal et al., 2018
EVI	Mathew et al., 2019 Sussman et al., 2019 Dirksen et al., 2019
道路密度	Mathew et al., 2019
地表粗糙度	林炯明，2010 Oke, 2004
地表輻射	林炯明，2010 Mihalakakou et al., 2002 Dirksen et al., 2019 Lindberg et al., 2016
SVF	Dirksen et al., 2019
空氣溫度	Dirksen et al., 2019 Mihalakakou et al., 2002 Lindberg et al., 2016
風速	Dirksen et al., 2019 Mihalakakou et al., 2002
人口規模	孫振義，2006
氣溶膠濃度	Pandey et al., 2012 Sussman et al., 2019
建築牆高度	Lindberg et al., 2018
建築牆方向	Lindberg et al., 2018
空氣濕度	Lindberg et al., 2016

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第三章、 研究方法

第一節 衛星影像

一、 衛星影像前處理

本研究使用美國中央地質調查所(USGS)提供的 Landsat 8 衛星影像的熱紅外感測器(thermal infrared sensor, TIRS)拍攝的影像產品進行地表溫度反演，影像時間約為台灣早上 10：20，每組遙測影像包含 OLI (operational land imager)共含有 11 個波段，本研究使用波段 10 進行地表溫度計算。

二、 研究時間

配合台中市花博動土及落成時間且樣本年與驗證年的影像時間必須接近，並挑選研究區域上空無雲的影像，最後選擇 2015 年 01 月 23 日以及 2016 年 01 月 26 日的影像作為樣本年影像，2019 年 02 月 12 日作為預測年的影像。

第二節 溫度反演

一、 Jiménez-Muñoz 單通道演算法(Jiménez-Muñoz, Sobrino, Skoković, Mattar, &Cristóbal, 2014)

本研究利用 Landsat 系列之影像，因此使用單通道演算法，並且只需使用影像的一個紅熱波段，反演地表溫度所需參數為亮度溫度、地表比輻射率、大氣水汽含量及大氣透射率，其反演地表溫度結果如圖 7。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

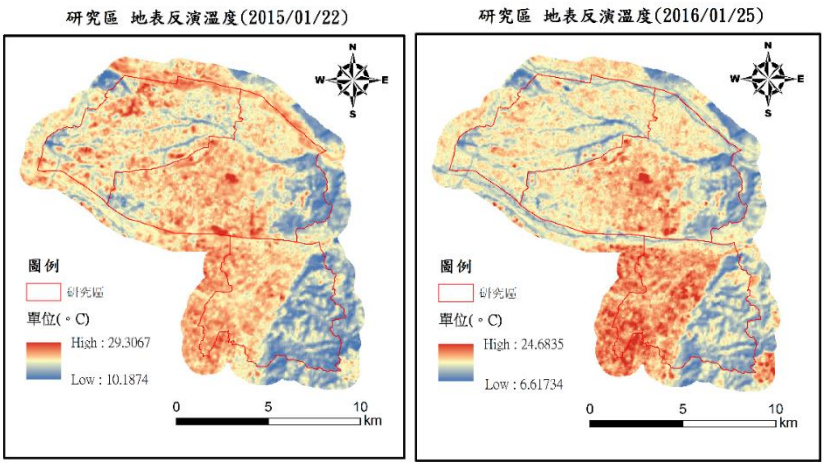


圖 7 研究區反演地表溫度

第三節　研究因子

一、　數值高程模型(digital elevation model, DEM)

為地面自然地形之起伏數值高度，NASA 與 METI 推出全球數值地形資料(GDEM)，使用 ASTER 衛星所拍下的影像進行繪製，本研究使用中研院 GIS 中心 2012 年提供的「台灣 30 公尺數值地形模型資料」。

雖然內政部有提供「20 公尺網格數值地形模型資料」，但本研究根據 Landsat 解析度統一因子尺度為 30 公尺，考量 20 公尺轉換為 30 公尺較不易，所以不使用 20 公尺的 DEM。

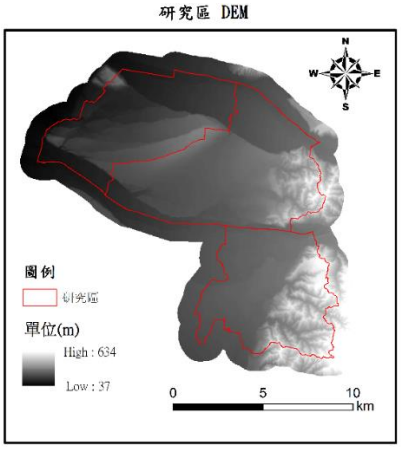


圖 8 研究區 30 公尺數值地形模型資料

二、　EVI

由於 NDVI 的缺點為容易在高植被覆蓋區易飽和、低植被覆蓋

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

區易受土壤背景影響，因此後續發展出新植被指數 EVI(Jiang et al., 2008；何漢傑，2008)，其計算公式如公式 1：

$$EVI = G \times \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{RED} - C_2 \times \rho_{BLUE} + L} \qquad \text{公式 1}$$

ρ_{RED}：紅光波段；ρ_{NIR}：近紅光波段；ρ_{BLUE}：藍光波段

採用 Jiang et al.(2008)的參數 G=2.5、C_1=6、C_2=7.5、L=1，為了提高解析度，不考慮解析度 30 公尺的 Landsat 影像，故本研究使用中央大學太空及遙測中心所提供之 SPOT-6 及 SPOT-5 衛星影像，然而 SPOT-5 缺少藍光，Kim (2010)將參數修改為：G=2.5、C_1=2.4、C_2=0、L=1。

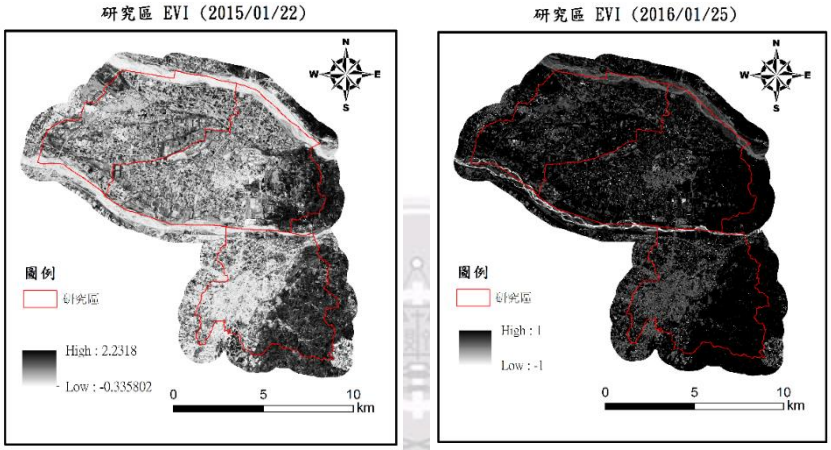


圖 9 研究區 EVI

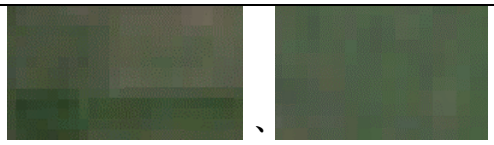
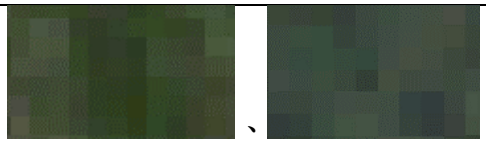
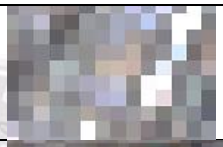
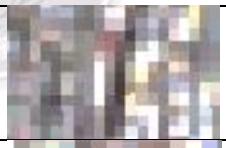
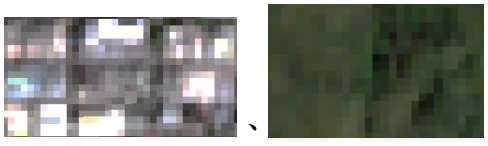
三、 地表粗糙度

由地物表面凸凹或參差不齊所構成的粗糙程度。例如樹林的葉子及細枝，裸露地的砂粒及礫石等，其幾何形狀、相互間平面或垂直方向變化的關係等所綜合反映的幾何特性。

本研究依照 Oke's (2004) LCZ 概念，使用 SPOT-5 與 SPOT-6 衛星影像，將研究區的地表覆蓋的地物類型依照粗糙度分為 10 種類型進行分類，整理於表 5。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 5 本研究粗糙度對照表

粗糙度	類型敘述	地覆樣本
1	大型開放水體	
1.5	裸土、沙、岩石鋪面	
3.5	草本植物，農業或公園	
4.5	開放性灌木分布、土地覆蓋大部分透水	
5	開放式大低層建築，土地覆蓋鋼鐵、水泥、石材建材	
5.5	開放式中低層建物(9 層以下)，大量的透水覆蓋，或零星樹木	
6	密集的低矮建築(1-3 層)	
6.5	密集的中層建築(3-9 層)	
7.5	開放式高層建築，大量透水土地覆蓋	
8	密集的高層建築，茂密的樹林	

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

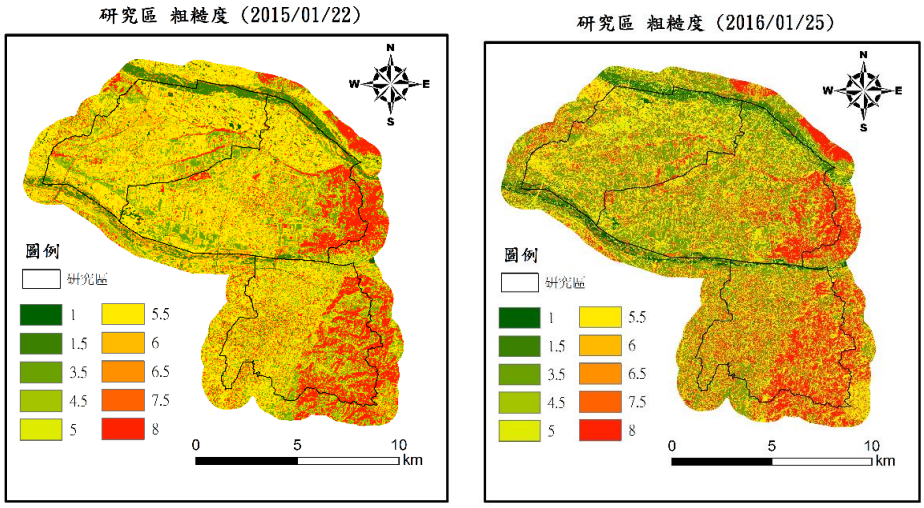


圖 10 研究區粗糙度

四、 道路密度

本研究採用交通部定義之道路密度，其定義值為每平方公里的道路總公里數(交通部統計查詢網，2020)。

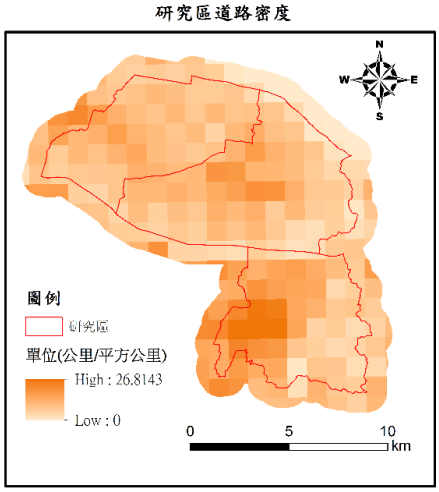


圖 11 研究區道路密度

五、 建物高度和方向

使用 QGIS 的外掛 UMEP 套件，使用 DEM 資料加上建物高計算出牆高以及牆的方位。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

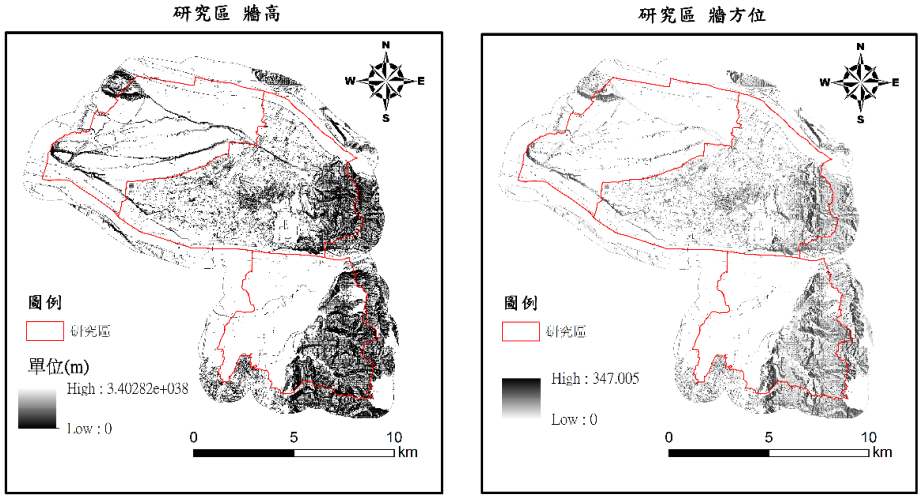


圖 12 研究區建物高度(單位為公尺)和方向(單位為度)

六、 天空可視率(sky view factor, SVF)

天空可視率是平面接收(或發射)的輻射與整個半球環境發射(或接收)的輻射之間的比率(完全可見= 0，完全遮擋= 1)(Watson & Johnson, 1987)，即為天空被樹或建築物遮蔽的程度。本研究使用 Relief Visualization Toolbox (RVT)軟體，將 DEM 加上建築高度的資料直接計算 SVF，最後得到區間 1~0 的值，如圖 13，接近 1 的值表示幾乎整個半球都是可見的，幾乎看不見天空的值接近 0，

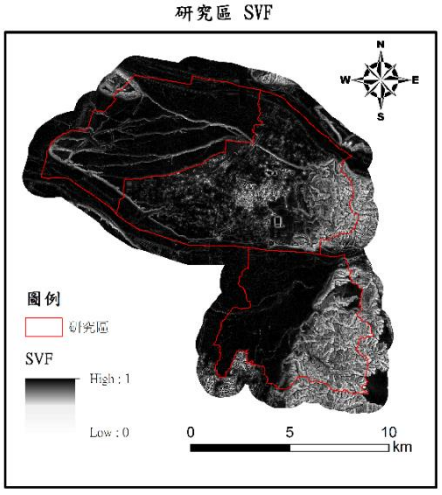


圖 13 研究區 SVF

七、 區域性太陽輻射(area solar radiation)

本研究使用 ArcGIS 的 Spatial Analyst Tools 裡的 Area Solar Radiation 工具，以 DEM 加上建築高度為底圖，設定緯度、日期以及日照時數，計算當日累積的輻射量。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

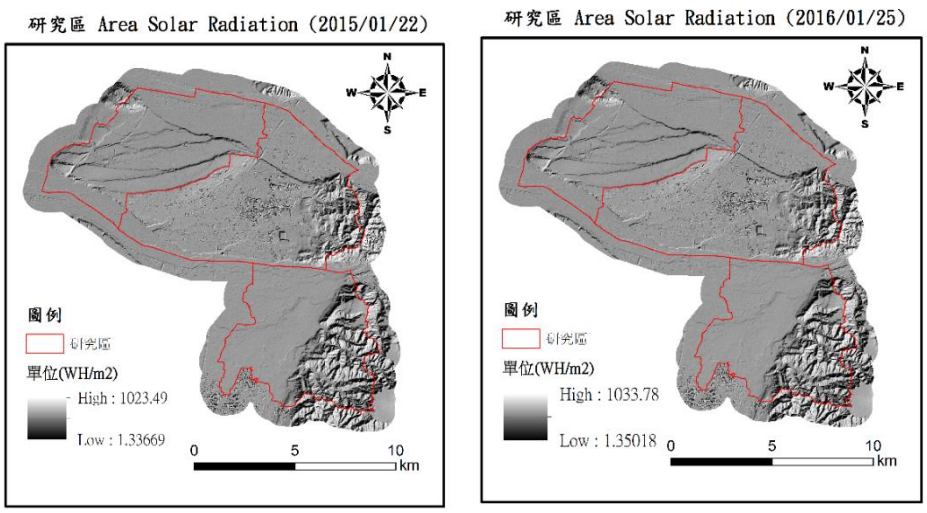


圖 14 研究區區域性太陽輻射

八、 人口

本研究使用社會經濟資料服務平台所提供的「104 年 6 月台中市統計區人口統計最小統計區」以及「105 年 6 月台中市統計區人口統計最小統計區」，作為人口因子的資料。

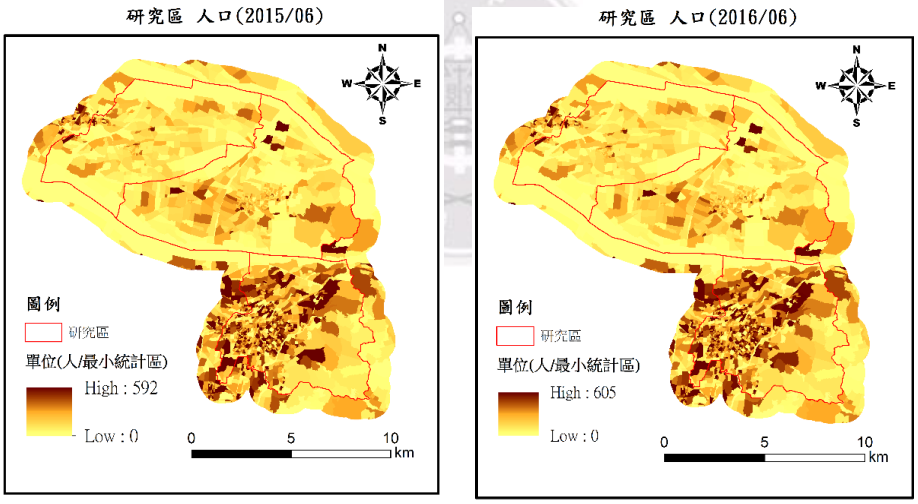


圖 15 研究區人口密度

九、 空氣濕度

本研究使用交通部氣象局提供的觀測資料，

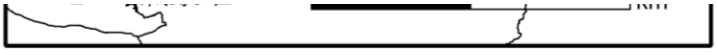


圖 16 為使用氣象站點位，並將站名整理於**錯誤! 找不到參照來源。**。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

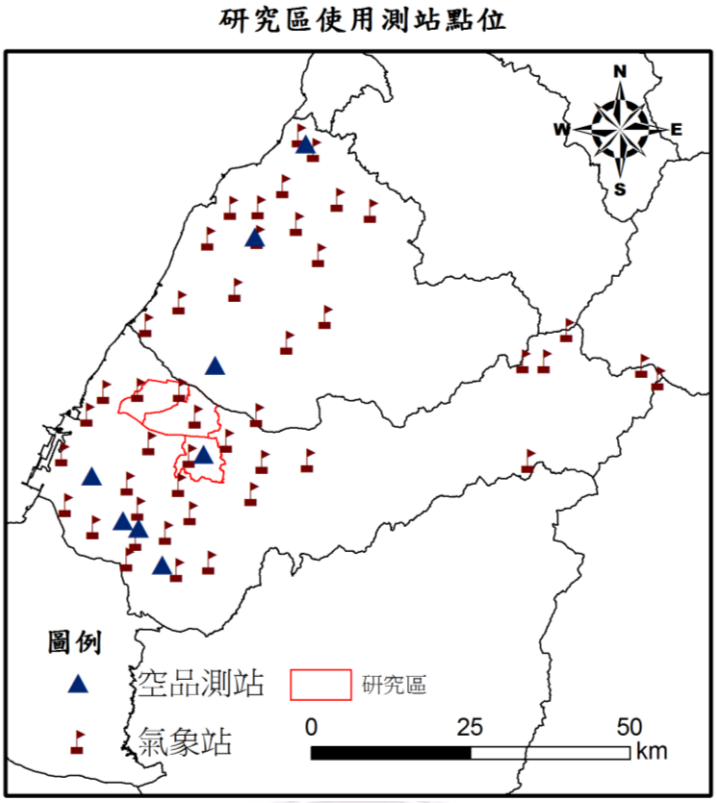


圖 16 研究使用測站點位

將蒐集到的氣象資料使用距離反比權重內插法(inverse distance weighting, IDW)，用鄰近已知點的數值加權，推估目前位置的變數值，且加權的方式與距離的次方成反比，距離越大權數越小，反之距離越近，權數愈大。

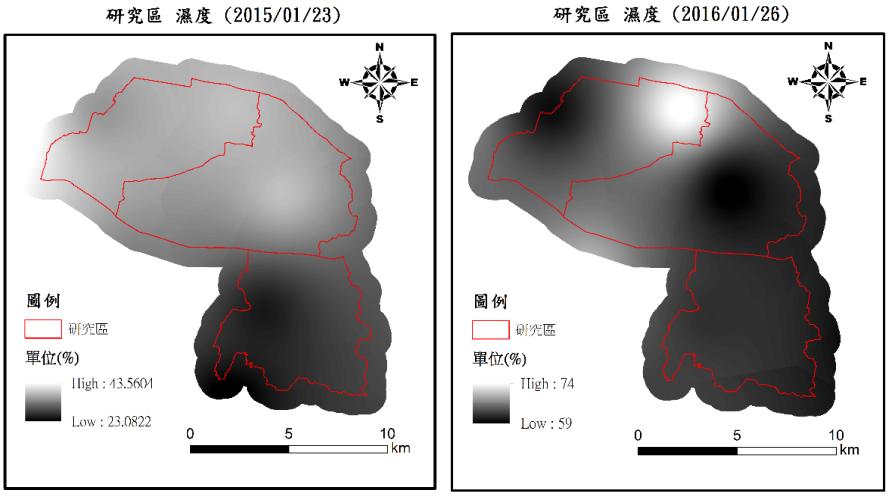


圖 17 研究區濕度

十、 風速

本研究使用交通部氣象局提供的觀測資料，且使用距離反比

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

權重內插法(IDW)，計算研究區的風速值。

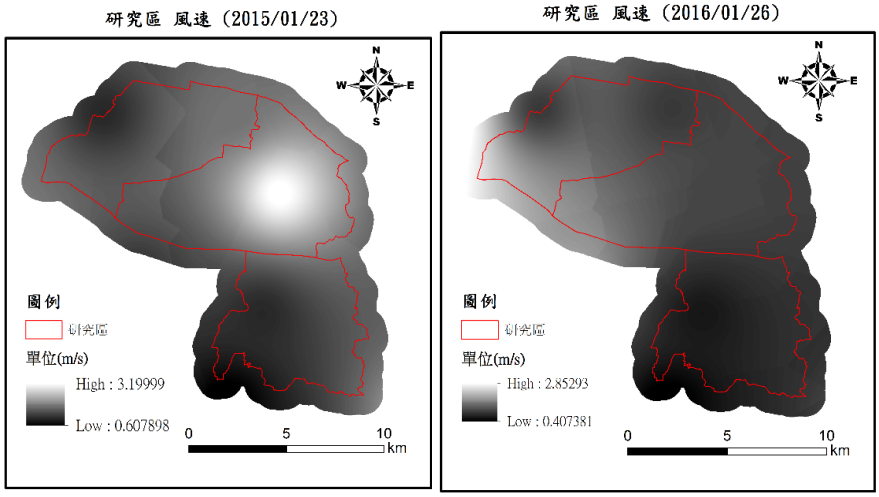


圖 18 研究區風速

十一、 環境空氣溫度

本研究使用交通部氣象局提供的觀測資料，且使用距離反比權重內插法(IDW)，計算研究區的環境空氣溫度。

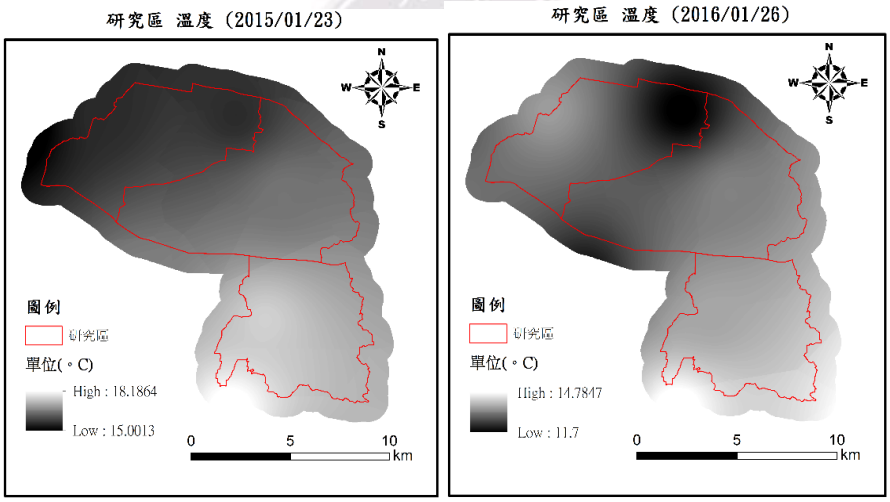


圖 19 研究區溫度

十二、 懸浮粒子

本研究使用行政院環境保護署的空氣品質監測網提供的資料，由於本研究區介於台中市邊緣，為了確保測站能完整包圍研究區，故將苗栗測站納入計算範圍，站點位置如

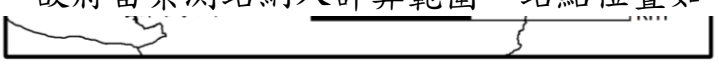


圖 16，並將其站點名稱整理於**錯誤! 找不到參照來源。**，且使用距離反比權重內插法(IDW)，計算研究區的 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10}。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

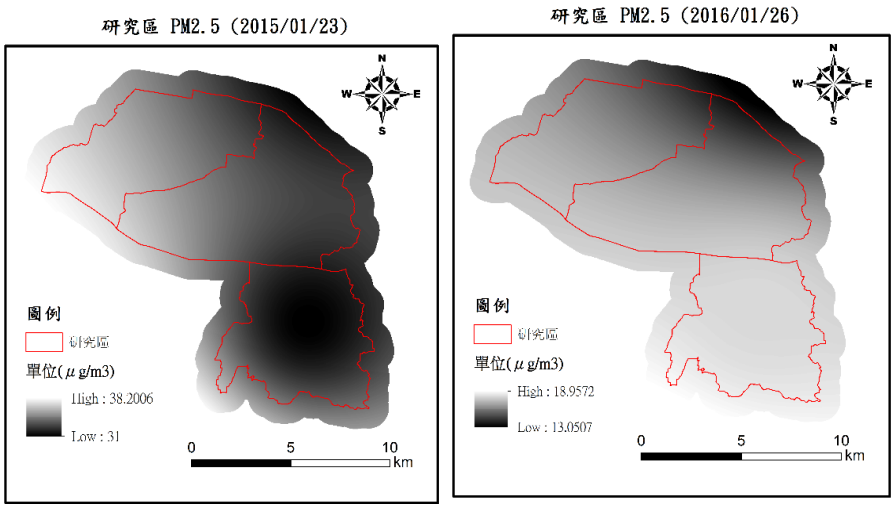


圖 20 研究區 $PM_{2.5}$

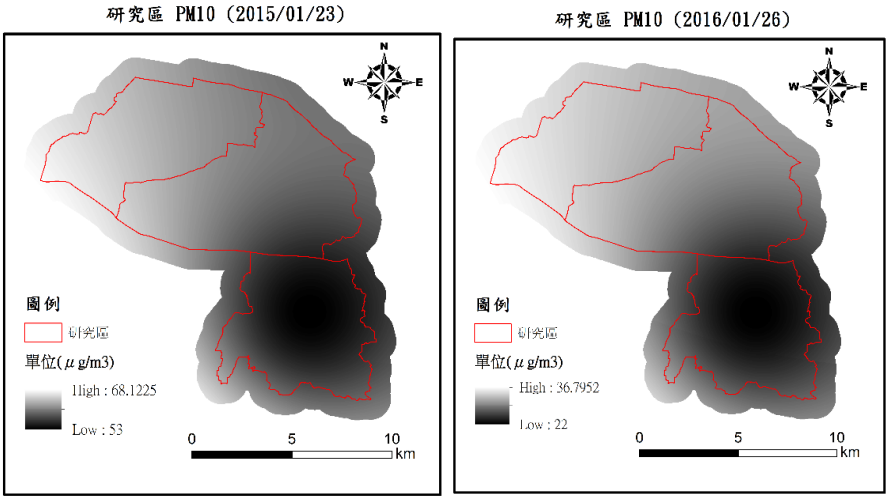


圖 21 研究區 PM_{10}

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第四節　建構模型

一、　均方根誤差(root-mean-square error)

均方根誤差又稱標準誤差，本研究用來預測地表溫度與實際溫度誤差，當標準誤差求得之後，平均誤差和極限差即可求得，如公式 2:

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Predicted_i - actual_i)^2}{N}} \qquad \text{公式 2}$$

其中 i 代表第 i 個驗證點，N 代表總驗證點數。

二、　標準化與空間迴歸模型

(一)　標準化

資料的標準化(normalization)是將資料按比例縮放，使之落入一個小的特定區間，目的為去除資料的單位限制，將其轉化為無量綱的純數值，便於不同單位或量級的指標能夠進行比較，在某些比較和評價的指標處理中經常會用到。

本研究使用 z-score 標準化(zero-mean normalization)也叫標準差標準化，在統計學中是一種無因次值，就是一種純數字標記，是藉由從原始分數中減去母體的平均值，再依照母體的標準差分割成不同的差距，按照 z 值公式，各個樣本在經過轉換後，通常在 +/-5 到 6 之間不等。

其公式為：

$$\mathrm{Z} = \frac{\chi - \mu}{\sigma} \qquad \text{公式 3}$$

其中$\sigma \neq 0$，χ：需被標準化的原始分數，μ：母體的平均值，σ：母體的標準差，Z 值的量代表著原始分數和母體平均值之間的距離，是以標準差為單位計算。在原始分數低於平均值時 Z 則為負數，反之則為正數。

(二)　空間自相關

空間自相關(spatial autocorrelation) 用來表示自己與相鄰的空間單元的相似性。得知空間分布上一個空間單元的現象與相鄰的

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

空間單元的表現之後，兩者繪製散佈圖並進行相關分析，求算相關係數，探討其相似性，主要透過空間加權矩陣建立，將空間關係加以量化分析。在做任何空間迴歸模型前都需要確認資料有空間相關，以做進一步分析。本研究使用 Moran's Ⅰ作為空間相關之指標，當 Moran's Ⅰ趨近 1 為「聚集」，Moran's Ⅰ趨近-1 為「離散」，若為趨近於 0 則代表隨機分布(或稱無空間自相關)。

(三) 迴歸模型

空間迴歸模型基於帶有空間相關概念的計量模型，以了解其空間關係，並探討自變數與應變數間的關係：

1. 傳統線性迴歸(ordinary least squares, OLS)

傳統線性迴歸又稱「最小平方法」，為一種用於在線性迴歸模型中估計未知參數的線性最小平方法。OLS 通過最小平方法原則選擇一組解釋變量的線性函數的參數：觀測點和估計點的距離的平方和達到最小。

$$y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots \beta_n X_n + \varepsilon_i \quad \text{公式 4}$$

$$\varepsilon_i \sim (0, \sigma^2) \quad \text{公式 5}$$

其中 y 為迴歸模型的依變數，X 為自變數，α為截距項，ε則為迴歸模型的殘差項。

2. 空間落遲模型(spatial lag model, SLM)

空間落遲模型與 OLS 迴歸模型比較，多一個空間上的鄰近矩陣作為解釋變數，若$\rho \neq 0$，即表示該 SLM 模型具有鄰近區域上的空間關係(李瑞陽和陳勝義，2010) 。

$$y = \alpha + \rho W y + X\beta + \varepsilon \quad \text{公式 6}$$

$$\mu \sim N(0, \sigma^2 I) \quad \text{公式 7}$$

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，α為常數項，ρ為空間落遲係數係數，而 ε則為迴歸模型的殘差項。

3. 空間誤差模型(spatial error model, SEM)

空間誤差模型又稱為空間自相關模型，此模型可以找出是

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

否還有其他未被控制的隱藏變數，影響著自變數的空間自相關。

$$y = X\beta + \varepsilon \quad \text{公式 8}$$

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + \mu \quad \text{公式 9}$$

$$\mu \sim N(0, \sigma^2 I) \quad \text{公式 10}$$

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。將模型中的殘差項與空間矩陣相乘，其中空間誤差係數 $\lambda \neq 0$ 表示顯著，代表殘差項對模型有顯著影響，由此可知此模型有其他隱藏的干擾因子存在，造成空間自相關。

第五節　小結

本章節主要論述使用衛星影像之時間及範圍、探討因子、地表溫度反演、迴歸模型等研究材料及方法，影像挑選冬季期間，較無豪大雨及颱風等因素造成之雲層覆蓋的影響；將蒐集的環境因子資料進行標準化，使其去除資料的單位限制，再進行迴歸分析，以得到預測模型。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第四章、 實證結果與分析

第一節 全區地表溫度反演

由於無現場地真資料，故使用 Landsat 影像代替，從衛星影像地表溫度反演可以得知 2015 年 1 月 22 日最高溫度約為 29.31 度，最低溫約為 10.19 度，平均溫度約為 17.07 度；2016 年 1 月 25 日最高溫約為 24.68 度，最低溫約為 6.62 度，平均溫度約 13.37 度；2019 年 2 月 12 日最高溫度約為 28.47 度，最低溫約為 13.92 度。將此反演結果作為預測模型的驗證，平均溫度約為 20.57 度。

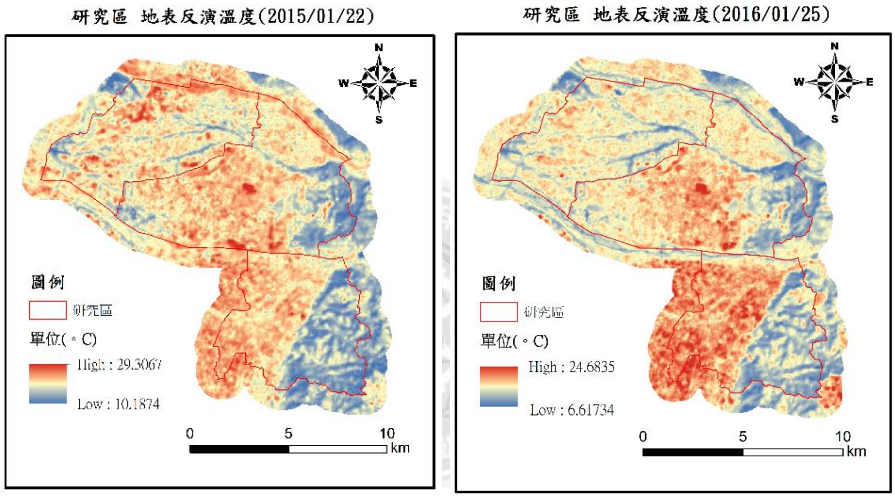


圖 22 2015 年(左)與 2016 年(右)研究區地表反演溫度

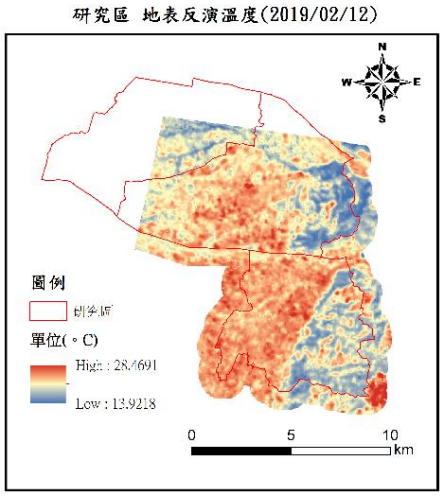


圖 23 2019 年研究區地表反演溫度

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第二節　統計迴歸分析

一、　皮爾森(Pearson)相關分析

皮爾森相關分析用於探討兩個變數之間是否共同產生變化的關聯程度(degree of association)的指標，且將相關程度整理於下表，絕對值愈大者，即表示這兩個變項間的關聯性愈強，絕對值愈小者，則反之。

表 6 皮爾森相關係數相關程度(改繪自江美菊, 2012)

相關係數絕對值	相關程度
>0.99	完全相關 (Perfect correlated)
0.7~0.99	高度相關 (Highly correlated)
0.4~0.69	中度相關 (Moderately correlated)
0.1~0.39	低度相關 (Modestly correlated)
0.01~0.09	接近無相關 (Weakly correlated)
<0.1	無相關

利用 SPSS 軟體將蒐集的環境因子與反演得到的地表溫度作皮爾森相關分析(表 7、表 8、表 9)，將自變數與依變數為低度相關之因子剃除，以及自變數之間高度相關之因子剃除，取得最後的因子。以 2015 年資料作為訓練樣本所得到的因子為 DEM、SVF、EVI、粗糙度、區域性太陽輻射以及道路密度，共六項；以 2016 年資料作為訓練樣本得到的因子為 DEM、SVF、人口、濕度、風速、$PM_{2.5}$ 以及道路密度，共七項；以雙年度作為訓練樣本得到的因子為 DEM、SVF、EVI、人口、風速、$PM_{2.5}$ 以及道路密度，共七項。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 7 皮爾森相關分析結果(2015 年資料)

	反演地表溫度	DEM	SVF	EVI	粗糙度	區域性太陽輻射	道路密度
反演地表溫度	1	-0.383	0.422	-0.620	-0.116	-0.112	0.306
DEM	-0.383	1	-0.504	0.394	0.196	0.391	-0.123
SVF	0.422	-0.504	1	-0.356	-0.186	-0.312	0.229
EVI	-0.620	0.394	-0.356	1	0.118	0.222	-0.306
粗糙度	-0.116	0.196	-0.186	0.118	1	0.049	0.101
區域性太陽輻射	-0.112	0.391	-0.312	0.222	0.049	1	-0.105
道路密度	0.306	-0.123	0.229	-0.306	0.101	-0.105	1

表 8 皮爾森相關分析結果(2016 年資料)

	反演地表溫度	DEM	SVF	人口	濕度	風速	$PM_{2.5}$	道路密度
反演地表溫度	1	-0.190	0.328	0.313	-0.131	-0.231	0.221	0.567
DEM	-0.190	1	-0.519	0.166	-0.424	-0.508	0.320	-0.154
SVF	0.328	-0.519	1	-0.003	0.294	0.111	-0.146	0.236
人口	0.313	0.166	-0.003	1	-0.212	-0.353	0.327	0.372
濕度	-0.131	-0.424	0.294	-0.212	1	0.257	-0.603	-0.189
風速	-0.231	-0.508	0.111	-0.353	0.257	1	-0.133	-0.300
$PM_{2.5}$	0.221	0.320	-0.146	0.327	-0.603	-0.133	1	0.279
道路密度	0.567	-0.154	0.236	0.372	-0.189	-0.300	0.279	1

表 9 皮爾森相關分析(2015 年與 2016 年資料)

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

	反演地表溫度	DEM	SVF	EVI	人口	風速	$PM_{2.5}$	道路密度
反演地表溫度	1	-0.209	0.282	-0.126	0.120	0.367	0.740	0.302
DEM	-0.209	1	-0.513	0.092	0.174	-0.090	-0.059	-0.140
SVF	0.282	-0.513	1	-0.087	-0.003	-0.038	0.045	0.233
EVI	-0.126	0.092	-0.087	1	-0.007	-0.009	-0.045	-0.076
人口	0.120	0.174	-0.003	-0.007	1	-0.236	-0.007	0.376
風速	0.367	-0.090	-0.038	-0.009	-0.236	1	0.551	-0.222
$PM_{2.5}$	0.740	-0.059	0.045	-0.045	-0.007	0.551	1	0.015
道路密度	0.302	-0.140	0.233	-0.076	0.376	-0.222	0.015	1

二、 簡單線性迴歸(simple regression)

經過皮爾森相關分析篩選後的環境因子與反演得到的地表溫度作簡單線性迴歸，以判斷多元線性迴歸模型的自變數之間是否獨立，若變異數膨脹因素(variance inflation factor, VIF) >10，表示自變數存在共線性，並刪除其自變數。

表 10 為簡單線性迴歸報表整理結果，確認自變數之間的共線性無嚴重現象，使迴歸模型能有效地預測依變數。

表 10 簡單線性迴歸報表

	共線性統計(VIF)		
	2015 年	2016 年	2015 年與 2016 年資料
DEM	1.575	2.471	1.451
SVF	1.473	1.487	1.418
人口	-	1.338	1.279
濕度	-	1.812	-
風速	-	1.901	1.634
$PM_{2.5}$	-	1.865	1.501
EVI	1.326	-	1.016

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

粗糙度	1.083	-	-
區域性太陽輻射	1.212	-	-
道路密度	1.159	1.645	1.31

三、 空間自相關檢定

透過 Geoda 軟體產出 OLS 模型報表，取得 Moran's Ⅰ以檢定 OLS 誤差項是否有空間自相關之特性，其主要用來檢測是否具有空間聚集性，因誤差項應為隨機分布而不會有空間自相關發生。從表 11 得知使用 2015 年資料的 Moran's I 值為 0.8688 趨近於 1 且正向影響；表 12 可以知道 2016 年資料的 Moran's I 值為 0.9010 趨近於 1 且正向影響；表 13 使用雙年度資料的 Moran's I 值為 0.7454 趨近於 1 且正向影響。由前述可判斷三種 OLS 模型皆呈現群聚狀態。

表 11 傳統線性迴歸殘差值(2015 年資料)

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE			
(row-standardized weights)			
TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.8688	616.8819	0.00000
Lagrange Multiplier (lag)	1	362220.7933	0.00000
Robust LM (lag)	1	13397.4398	0.00000
Lagrange Multiplier (error)	1	380416.0212	0.00000
Robust LM (error)	1	31592.6678	0.00000
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	393813.4611	0.00000

表 12 傳統線性迴歸殘差值(2016 年資料)

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE			
(row-standardized weights)			
TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.9010	667.0239	0.00000
Lagrange Multiplier (lag)	1	438598.8019	0.00000
Robust LM (lag)	1	1477.6171	0.00000
Lagrange Multiplier (error)	1	444732.3077	0.00000
Robust LM (error)	1	7611.1228	0.00000
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	446209.9247	0.00000

表 13 傳統線性迴歸殘差值(2015 年與 2016 年資料)

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
(row-standardized weights)

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.7454	1111.9236	0.00000
Lagrange Multiplier (lag)	1	981172.6284	0.00000
Robust LM (lag)	1	630.4107	0.00000
Lagrange Multiplier (error)	1	1235985.6917	0.00000
Robust LM (error)	1	255443.4740	0.00000
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	1236616.1024	0.00000

由下圖 2015 年資料殘差空間分布圖可以看出，殘差較大的值分布在市區的建物密集處以及河道。而 2016 年資料殘差分布圖多集中於市區。雙年度 2015 年與 2016 年資料殘差分布亦集中市區，且三張圖都有聚集的現象。

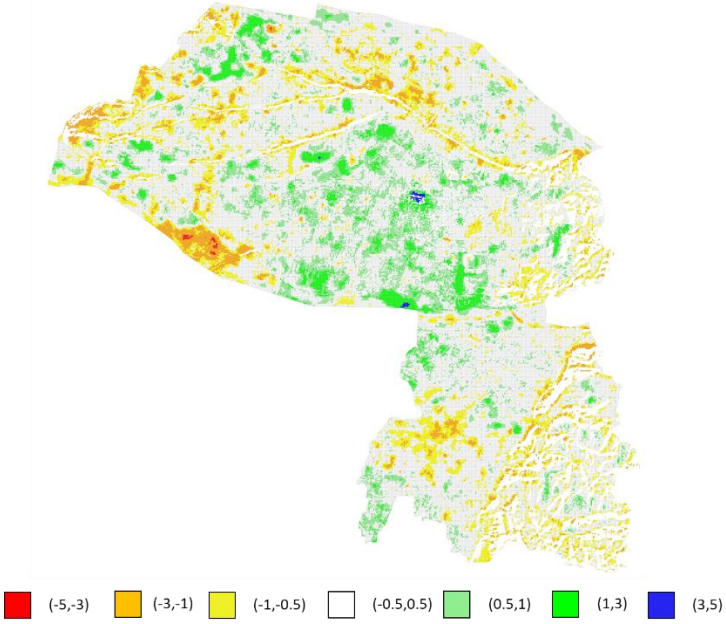


圖 24 殘差空間分布圖(2015 年資料)

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

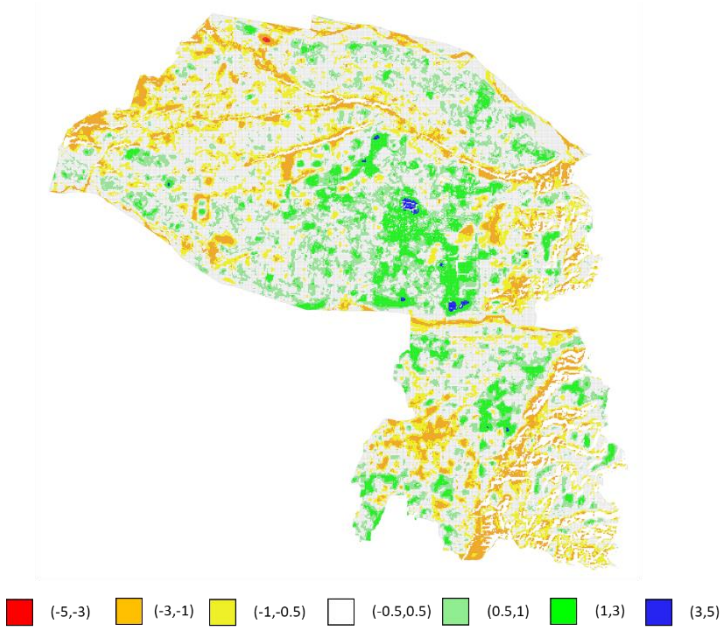


圖 25 殘差空間分布圖(2016 年資料)

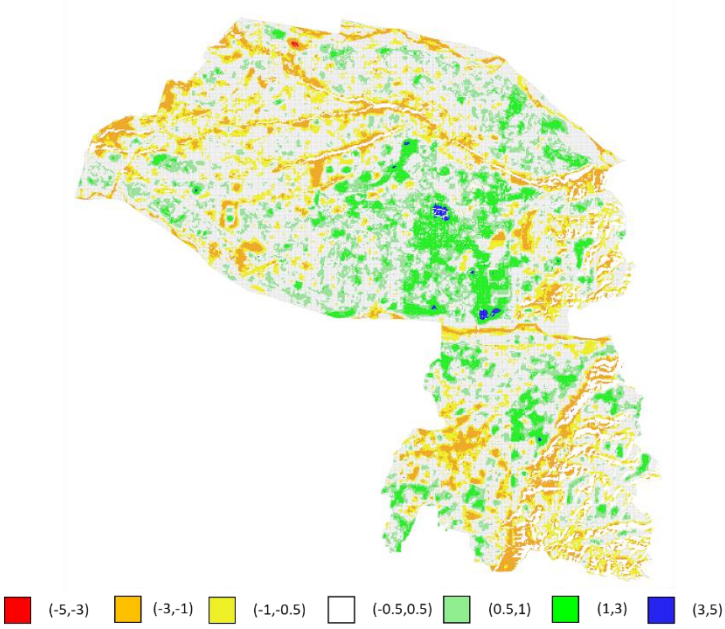


圖 26 殘差空間分布圖(2015 年與 2016 年資料)

四、 空間迴歸統計檢定

(一) 誤差項空間相依性檢定

本研究參考 Anselin (2005) 提出之空間迴歸模型決策模式進行 Lagrange Multiplier 檢定(LM test)，其空間迴歸模型決策模式如圖 27，以 LM 測試方法檢定空間模型的誤差項，虛無假設為空間模型的誤差項無空間相依性存在，其判斷準則為：若 LM-Lag 較 LM-Error 顯著， SLM 為較合適模型。反之，若 LM-Error 較 LM-Lag

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

顯著則 SEM 為較合適模型。若 LM-Lag 與 LM-Error 皆為顯著，則需進一步比較 Robust LM-Lag 與 Robust LM-Error，如 Robust LM-Lag 較為顯著，SLM 為較合適模型。反之，如為 Robust LM-Error 顯著，則 SEM 為較合適模型。

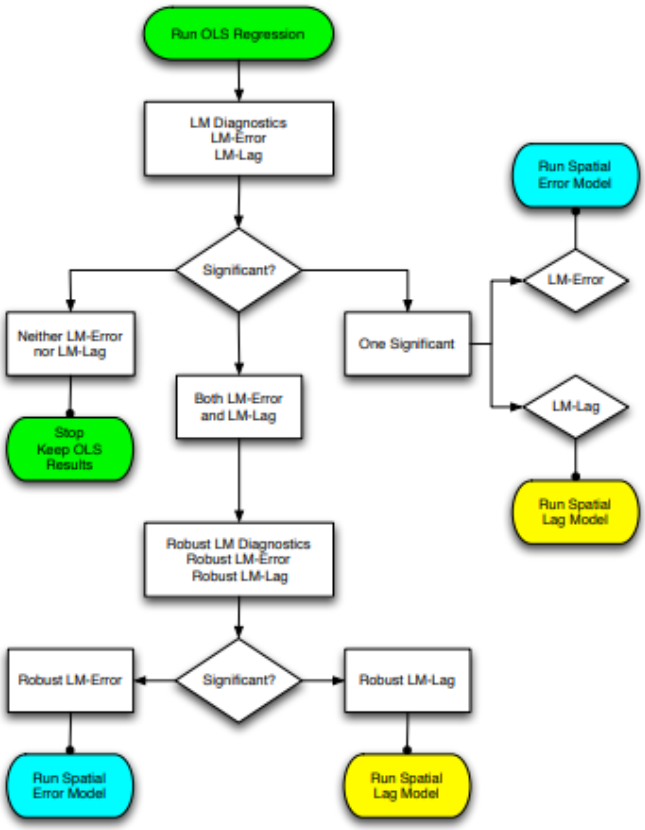


圖 27 空間迴歸模型決策模式(Anselin, 2005)

從表 11、表 12、表 13 得知 LM-Lag 與 LM-Error 兩者皆為顯著，無法辨識 SEM 與 SLM 何者模式更適合，所以將以 Log likelihood、Akaike info criterion (AIC)作為配適度檢定，Log likelihood 值越大，AIC 值越小為最佳模型。

表 14 SEM 與 SLM 配適度檢定(2015 年資料)

	SEM	SLM
Log likelihood	62631.29	55435
Akaike info criterion	-125249	-110854

表 15 SEM 與 SLM 配適度檢定(2016 年資料)

	SEM	SLM
Log likelihood	16923.79	12844.1
Akaike info criterion	-33831.6	-25670.1

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 16 SEM 與 SLM 配適度檢定(2015 年與 2016 年資料)

	SEM	SLM
Log likelihood	-49317.79	-63126.1
Akaike info criterion	98651.6	126270

由表 14、表 15、表 16 得知三種模型皆為 SEM 的 Log likelihood 較大，Akaike info criterion 較小，為最佳模型，較具有解釋力，因此本研究將以 OLS 以及 SEM 作為溫度預測探討的模型。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

五、 預測模型

本研究使用單年度 2015 年以及 2016 年與雙年度 2015 年與 2016 年的資料進行建構 OLS 以及 SEM 兩種模型，以預測台中花博園區落成後的溫度，並且假設 2019 年為未知年份進行模型驗證。而 2019 年各項環境因子的取得，在花博園區外及內有些許差異，其概念如圖 28 所示，詳述如下。

在三個花博園區外，因用於驗證 2019 年之衛星影像僅有 2 月份狀況較好，故預測 2019 年全區所使用的資料使用前一年度 2018 年 2 月的資料代替。

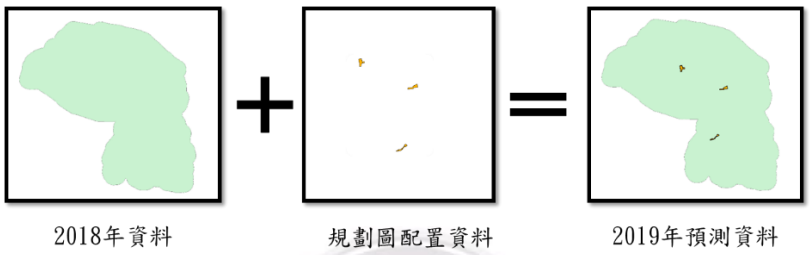


圖 28 2019 年預測資料示意圖

三個花博園區內的 SVF、粗糙度、EVI 與道路密度等環境因子，是參考網路上公告最終規劃配置圖(請參照圖 2、圖 3 以及圖 4)自行建立的。其中 SVF 根據計畫書提供的建物樓層與平面圖繪製建物圖進行計算；粗糙度部分依照 LCZ 定義的建物型態，分別將園區內劃分區域，且對照轉換表換成粗糙分級；EVI 的部分，比對衛星影像與規劃意象圖，將相似的植被類型作為花博園區 EVI 的值；道路密度依照規劃配置圖，修改原有的道路圖以更新密度值；DEM、區域性太陽輻射、人口密度、空氣濕度、風速、環境空氣溫度與 $PM_{2.5}$，則使用 2018 年 2 月資料代替。

本研究最後只探討驗證區內的溫度預測，對於驗證區外其他的地表變遷則不在本研究的討論範圍內。

(一) 以 2015 年資料建立預測模型

以 2015 年資料建立 OLS 預測模型的結果如表 17 所示，從 OLS 的變數係數及常數項的值，可以知道 2015 年 DEM、EVI 及粗糙度與地表溫度為負相關， SVF、區域性太陽輻射及道路密度為正相關，其中以 EVI 最有影響力。而在 Khandelwal et al. (2018) 研

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

究中顯示 DEM 與 LST 呈現負相關，與此模型相符；而 SVF 與太陽輻射值越大，代表地表接收到的輻射量也越高，整體也因為淨輻射增加而增溫。

表 17 OLS 模型係數報表(2015 年資料)

Variable	Coefficient	t-Statistic	Probability
CONSTANT	-0.00192335	-0.879969	0.37819
DEM	-0.115681	-48.0146	0
SVF	0.211853	80.8172	0
EVI	-0.439162	-216.943	0
粗糙度	-0.0142966	-7.28938	0
區域性太陽輻射	0.201297	53.9699	0
道路密度	0.0922052	51.3424	0

由表 18 可以知道與 OLS 不同的是粗糙度在 2015 年資料 SEM 模型裡為正相關但 SEM 模型中則為負相關，SEM 模型中以 DEM 影響力較大，Lambda 代表 SEM 之誤差，Lambda 值為 0.9942，達到顯著水準，表示誤差的空間校正有效果。

表 18 SEM 模型係數報表(2015 年資料)

Variable	Coefficient	z-value	Probability
CONSTANT	-1.20107	-58.6556	0.00000
DEM	-0.200265	-22.5116	0.00000
SVF	0.00705285	5.45232	0.00000
EVI	-0.116181	-139.665	0.00000
粗糙度	0.00850088	13.4789	0.00000
區域性太陽輻射	0.0153361	13.8926	0.00000
道路密度	0.0174288	5.21742	0.00000
LAMBDA	0.994154	4925.79	0.00000

下圖為 2015 年資料預測 2019 年地表溫度，SEM 地表溫度變化較無 OLS 複雜，OLS 預測 2019 年平均溫度約為 17.22 度，比 2019 年衛星影像反演平均溫度低約 3.35 度，SEM 預測 2019 年平均溫度約為 17.51 度，比 2019 年衛星影像反演平均溫度低約 3.06 度。

圖 29 以單年度 2015 年資料預測 2019 年地表溫度成果

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

(二) 以 2016 年資料建立預測模型

由表 19 可知 DEM、濕度及風速為負相關，SVF、人口、$PM_{2.5}$與道路密度為正相關，其中以道路密度影響力最為高，其次為 DEM。前述文獻中，孫振義(2006)研究提出人口規模提升會增加蓄熱體，會使都市溫度相較於人口較少的郊區高；而 Mathew et al. (2019) 研究結果也指出道路密度比起 DEM 對於 LST 最為敏感。

表 19 OLS 模型係數報表(2016 年資料)

Variable	Coefficient	t-Statistic	Probability
CONSTANT	1.14E-07	5.69459e-005	1
DEM	-0.218705	-69.2848	0
SVF	0.192427	78.5936	0
人口	0.0991157	42.678	0
濕度	-0.0715917	-26.4841	0
風速	-0.190121	-68.6803	0
$PM_{2.5}$	0.121693	44.3746	0
道路密度	0.345811	134.296	0

與 OLS 模型之因子差異在於，濕度以及風速為正相關，其中以濕度、風速以及 $PM_{2.5}$ 係數較高，但是在 Pandey et al. (2012)的研究中，說明風速與氣溶膠濃度應為負相關，與此模型結果相反。

Lambda 代表 SEM 之誤差，Lambda 值為 0.9945，達到顯著水準，表示誤差的空間校正有效果。

表 20 SEM 模型係數報表(2016 年資料)

Variable	Coefficient	z-value	Probability
CONSTANT	-1.6764	-36.8132	0
DEM	-0.02687	-1.92994	0.05361
SVF	0.004314	3.01757	0.00255
人口	0.009303	4.24181	0.00002
濕度	0.216374	3.90443	0.00009
風速	0.229915	4.42232	0.00001
$PM_{2.5}$	0.202451	5.46258	0.00000
道路密度	0.012318	2.65174	0.00801
LAMBDA	0.994478	4418.41	0.00000

下圖為 2016 年資料預測 2019 年地表溫度，可以明顯看出

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

OLS 模型較受道路密度影響，OLS 預測 2019 年平均溫度約為 13.73 度，比 2019 年衛星影像反演平均溫度低約 6.84 度，SEM 預測 2019 年平均溫度約為 10.75 度，比 2019 年衛星影像反演平均溫度低約 9.82 度。

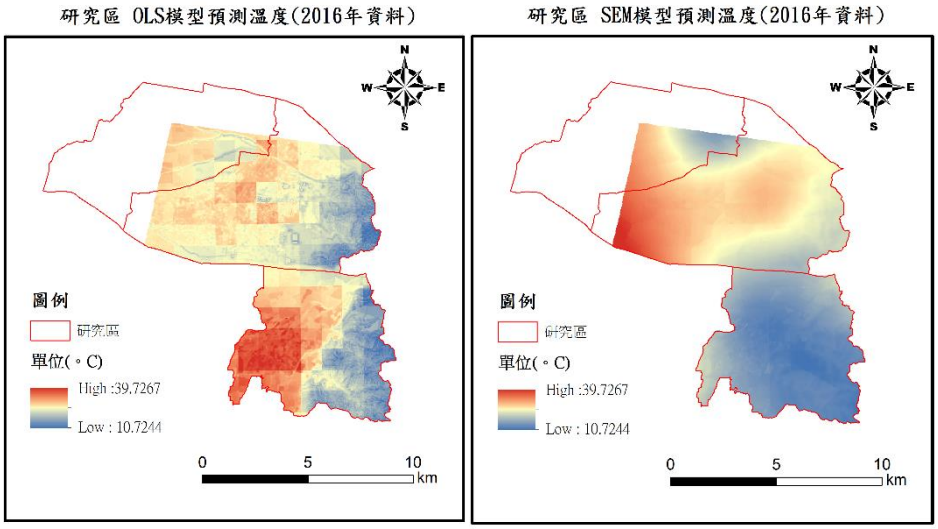


圖 30 以單年度 2016 年資料預測 2019 年地表溫度成果

(三) 結合 2015 與 2016 年資料建立預測模型

由表 21 可知 DEM 以及 EVI 與地表溫度為負相關，SVF、人口、風速、$PM_{2.5}$ 與道路密度為正相關，其中以 $PM_{2.5}$ 最有影響力，道路密度次之。

表 21 OLS 模型係數報表(2015 年與 2016 年資料)

Variable	Coefficient	t-Statistic	Probability
CONSTANT	-6.57E-08	-6.13777e-005	1
DEM	-0.04915	-38.1405	0
SVF	0.168976	132.633	0
EVI	-0.05685	-52.7389	0
人口	0.058913	48.6944	0
風速	0.050032	36.5845	0
$PM_{2.5}$	0.695715	530.812	0
道路密度	0.229785	187.703	0

由表 22 可以看出係數正負相關性與雙年度 OLS 模型一樣，最有影響力之因子同樣為 $PM_{2.5}$，以影響力次高的因子為 DEM 較為不同，Lambda 代表 SEM 之誤差，Lambda 值為 0.9507，達到顯著水準，表示誤差的空間校正有效果。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 22 SEM 模型係數報表(2015 年與 2016 年資料)

Variable	Coefficient	z-value	Probability
CONSTANT	-0.08155	-8.12368	0.00000
DEM	-0.2371	-31.0741	0.00000
SVF	0.011783	7.87147	0.00000
EVI	-0.00727	-14.3225	0.00000
人口	0.010555	4.58922	0.00000
風速	0.006728	8.22013	0.00000
$PM_{2.5}$	0.727166	1090.17	0.00000
道路密度	0.054894	12.72	0.00000
LAMBDA	0.950687	1124.67	0.00000

下圖為雙年度 2015 年與 2016 年資料預測 2019 年地表溫度，OLS 預測 2019 年平均溫度約為 15.55 度，比 2019 年衛星影像反演平均溫度低約 5.02 度，SEM 預測 2019 年平均溫度約為 15.40 度，比 2019 年衛星影像反演平均溫度低約 5.17 度。

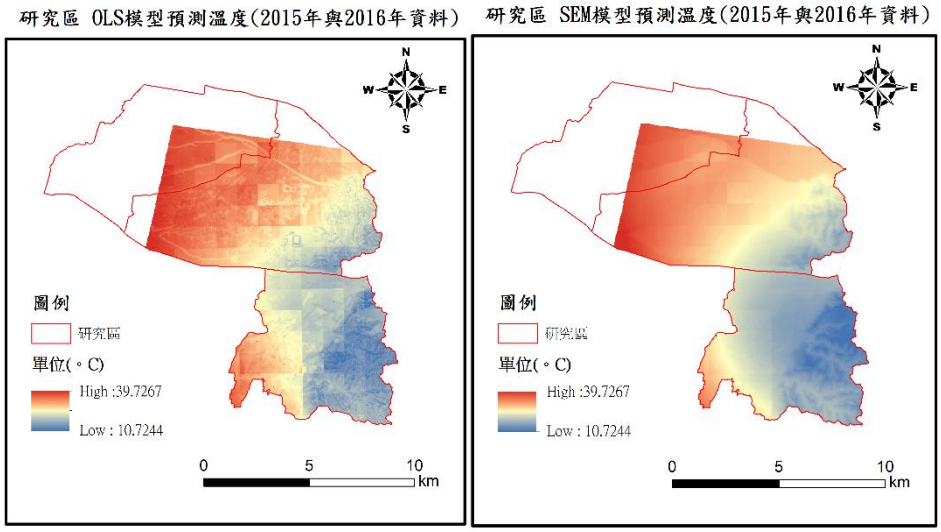


圖 31 以雙年度 2015 年與 2016 年資料預測地表溫度成果

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第三節　花博園區地表溫度預測

在本節中將上一節呈現之三鄉鎮溫度預測結果，放大至三個花博園區進行細部討論，並以 2019 年 Landsat 反演溫度的結果為假設之實際地表溫度(亦即地真資料)，用以驗證 2015 年、2016 年和雙年度資料建立的預測模型。

一、　驗證區域

(一)　花博森林園區

由圖 32 2019 年 Google Earth 衛星影像，可知地表覆蓋多為植生，由 Landsat 影像反演的溫度約落在 17.7~21.2 度，與周邊地區比較，有植被覆蓋區域溫度明顯較低。

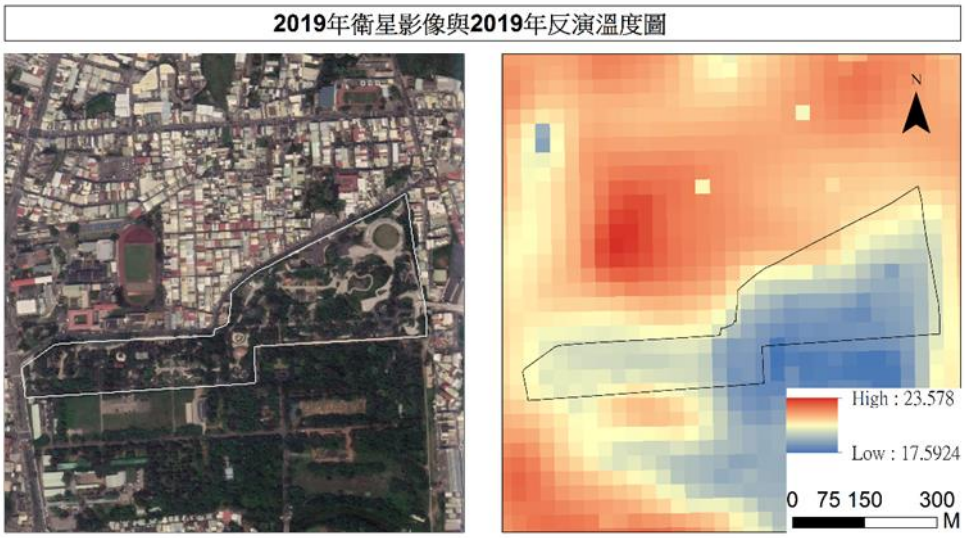
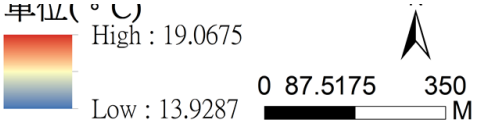


圖 32 花博森林園區衛星影像對照圖



年地表溫度的結果如圖 33，區域內以 OLS 模型預測溫度大約落在 16.7~18.4 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 1.68 度，RMSE 約為 1.929 度；SEM 模型預測溫度大約落在 17.6~17.8 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 1.94 度，RMSE 約為 2.102 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

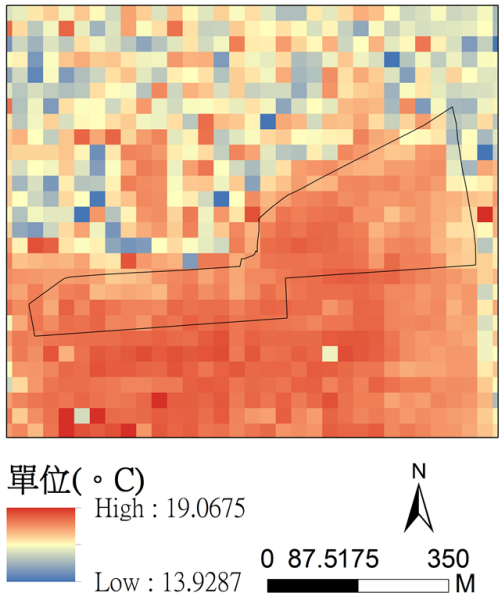


圖 33 花博森林園區 OLS 預測溫度圖(2015 年資料)

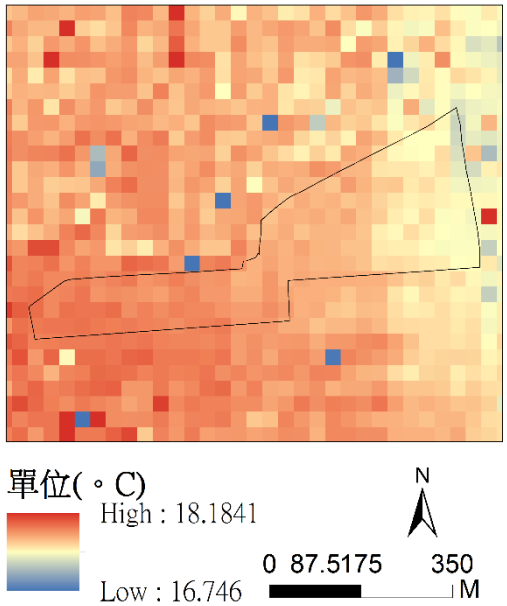


圖 34 花博森林園區 SEM 預測溫度圖(2015 年資料)

圖 35 為使用 2016 年資料預測 2019 年地表溫度的成果圖，園區內，以 OLS 模型預測的溫度落在 13.1~14.6 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 5.56 度，RMSE 約為 5.631 度，以 SEM 模型預測的溫度落在 14.2~14.3 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 5.4 度，RMSE 約為 5.456 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

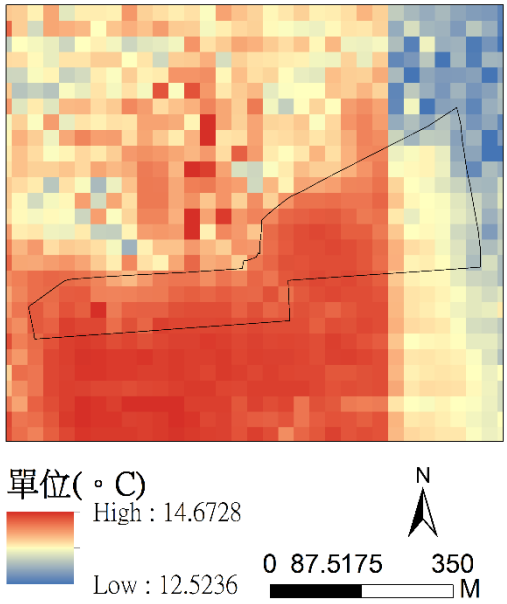


圖 35 花博森林園區 OLS 預測溫度圖(2016 年資料)

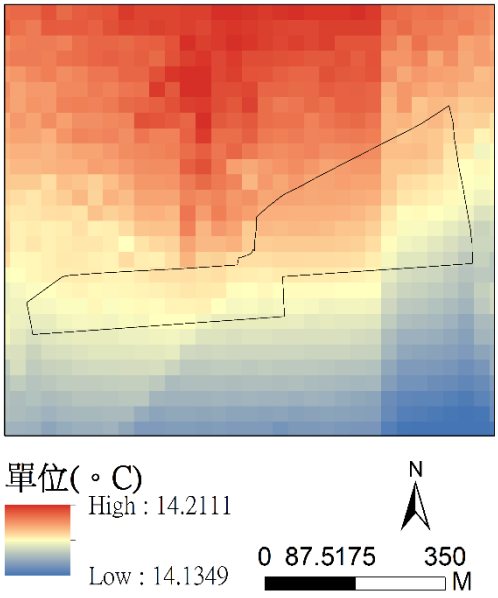
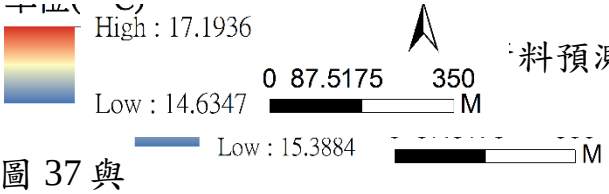


圖 36 花博森林園區 SEM 預測溫度圖(2016 年資料)



料預測 2019 年的地表溫度成果如圖 37 與圖 38，以 OLS 模型預測之溫度區間為 15.4~17 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 3.20 度，RMSE 約為 3.342 度，以 SEM 模型預測之溫度為 15.7~16.3 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 3.62 度，RMSE 約為 3.701 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

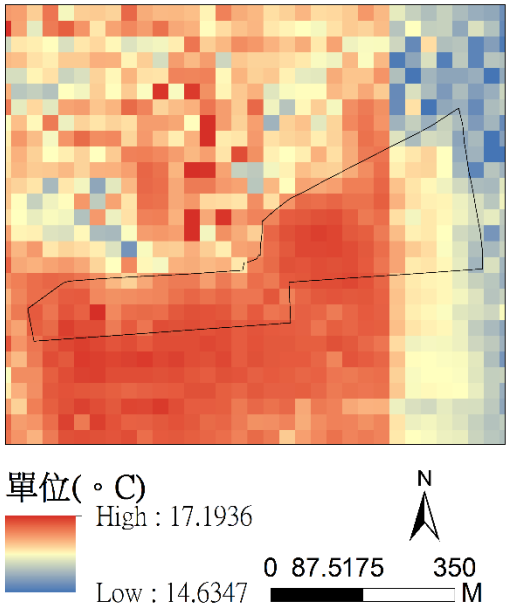


圖 37 花博森林園區 OLS 預測溫度圖(2015 年與 2016 年資料)

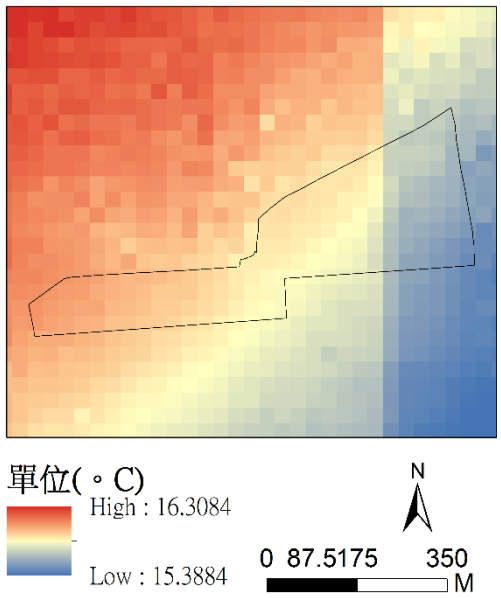


圖 38 花博森林園區 SEM 預測溫度圖(2015 年與 2016 年資料)

實際溫度與迴歸模型預測的溫度兩張圖相減後作差值比較，並比對圖 32 的衛星影像，發現六種預測結果皆以土地覆蓋為植被的差值較低，建物區差值較高，整體溫度比實際溫度要低。

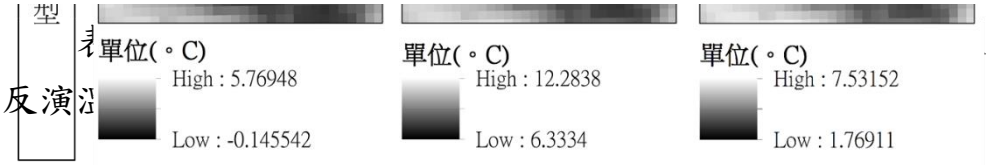


圖 39 呈現。

表 23 花博森林園區內溫度驗證表

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

地區	模型	(單位：。C)	2015年	2016年	2015年與2016年
森林園區內	OLS	預測溫度	18.00	14.12	16.48
		反演溫度	19.68	19.68	19.68
		溫度誤差	1.68	5.56	3.20
		RMSE	1.929	5.631	3.342
	SEM	預測溫度	17.74	14.28	16.06
		反演溫度	19.68	19.68	19.68
		溫度誤差	1.94	5.40	3.62
		RMSE	2.102	5.456	3.701

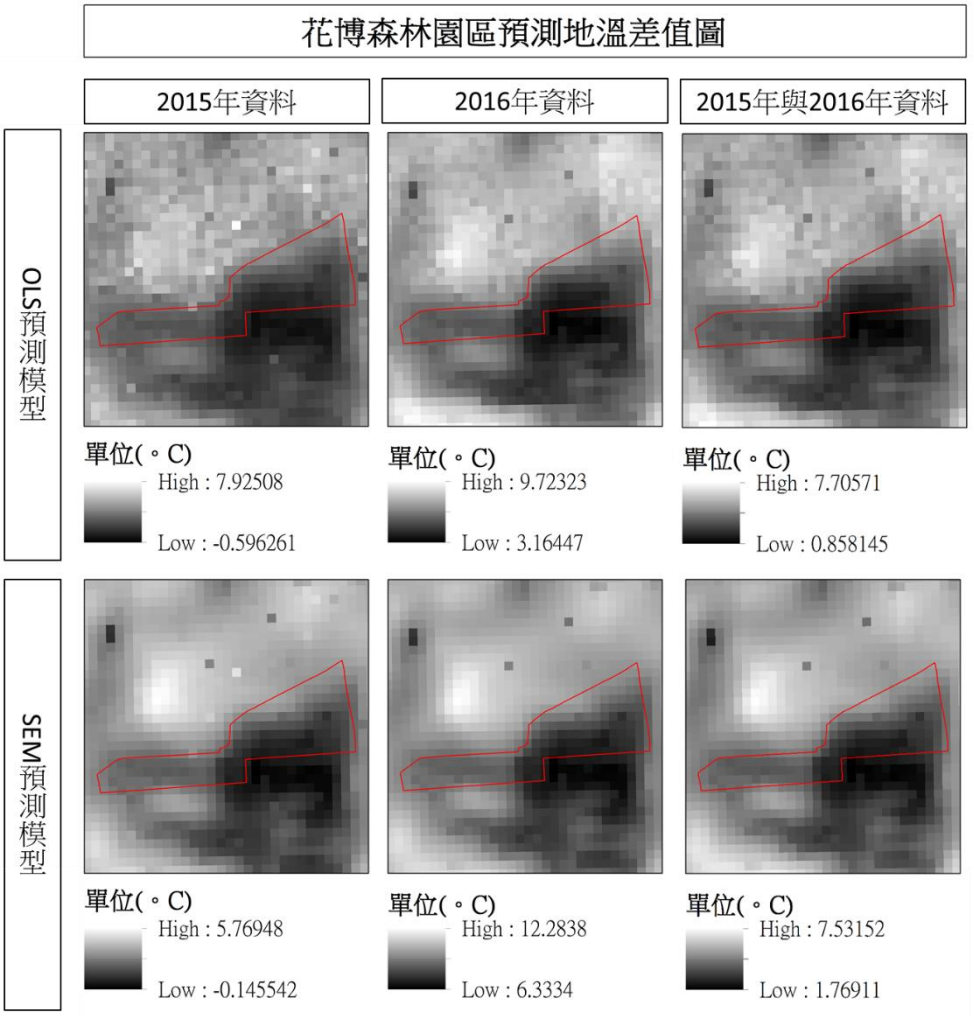


圖 39 花博森林園區預測溫度與實際溫度差值圖

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

(二) 花博外埔園區

圖 40 2019 年 Google Earth 衛星影像，可知地表覆蓋多為不透水鋪面，由 Landsat 影像反演的地表溫度大約落在 18.0~22.5 度，比起周圍區域，溫度較高。

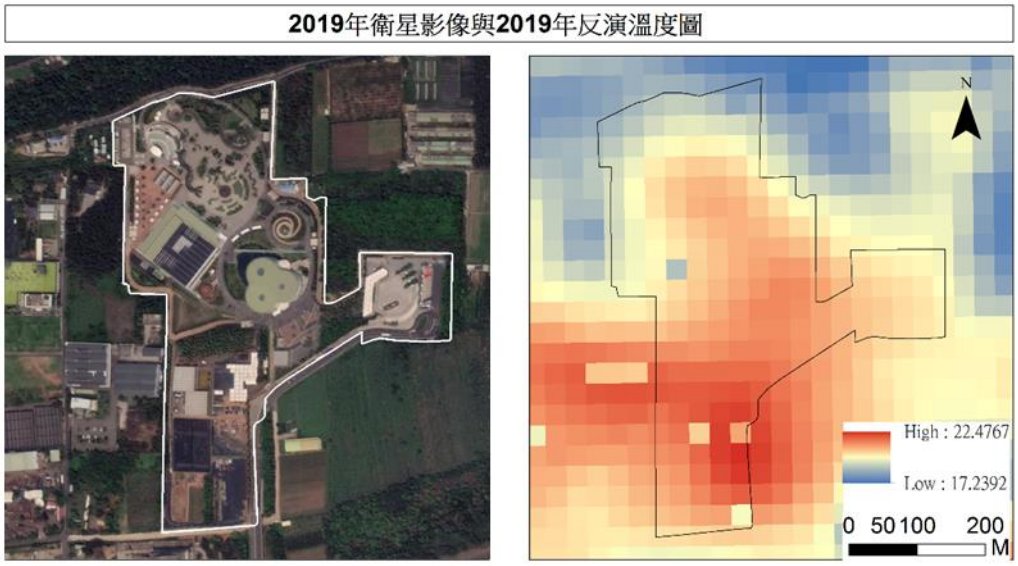
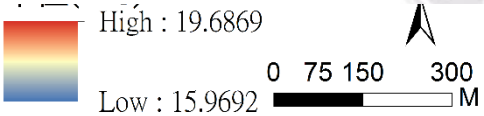


圖 40 花博外埔園區衛星影像對照圖



年地表溫度如

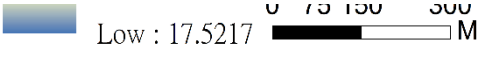


圖 41 與

圖 42，區域內以 OLS 模型預測溫度大約落在 17.3~18.3 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 2.29 度，RMSE 約為 2.465 度；SEM 模型預測溫度大約落在 17.7~17.8 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 2.57 度，RMSE 約為 2.727 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

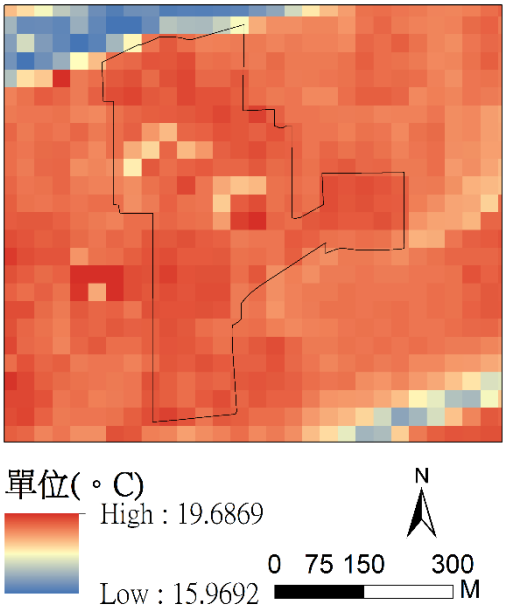


圖 41 花博外埔園區 OLS 預測溫度圖(2015 年資料)

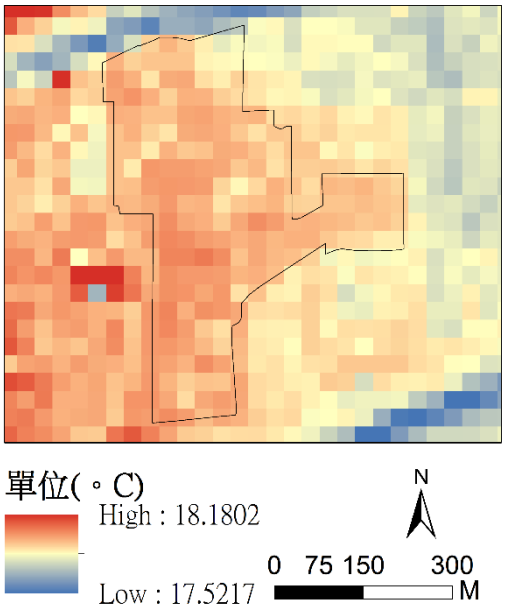


圖 42 花博外埔園區 SEM 預測溫度圖(2015 年資料)

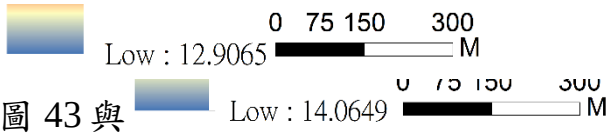


圖 43 與 圖 44 為使用 2016 年資料預測 2019 年地表溫度的成果圖，園區內，以 OLS 模型預測的溫度落在 13.2~13.7 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 6.78 度，RMSE 約為 6.823 度，以 SEM 模型預測的溫度落在 14.1~14.3 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 6.11 度，RMSE 約為 6.161 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

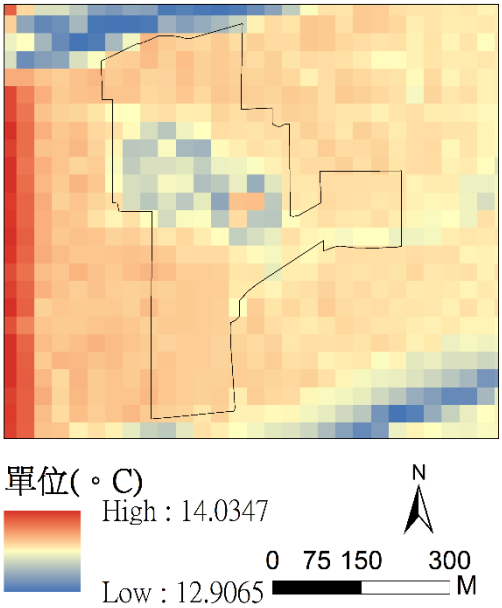


圖 43 花博外埔園區 OLS 預測溫度圖(2016 年資料)

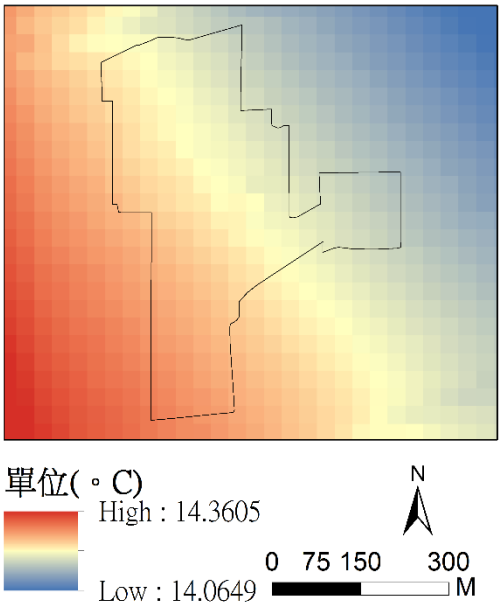
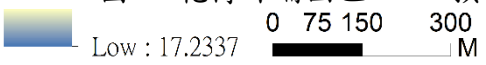


圖 44 花博外埔園區 SEM 預測溫度圖(2016 年資料)



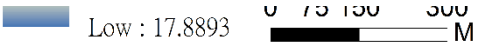


圖 45 與

圖 46 為使用雙年度 2015 年與 2016 年資料預測 2019 年地表溫度的成果圖，園區內，以 OLS 模型預測的溫度落在 17.6~18.3 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 2.24 度，RMSE 約為 2.432 度，以 SEM 模型預測的溫度落在 18.1~18.4 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 2.03 度，RMSE 約為 2.241 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

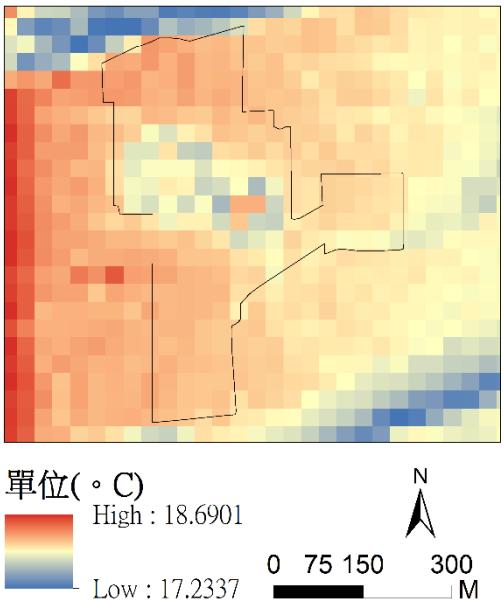


圖 45 花博外埔園區 OLS 預測溫度圖(2015 年與 2016 年資料)

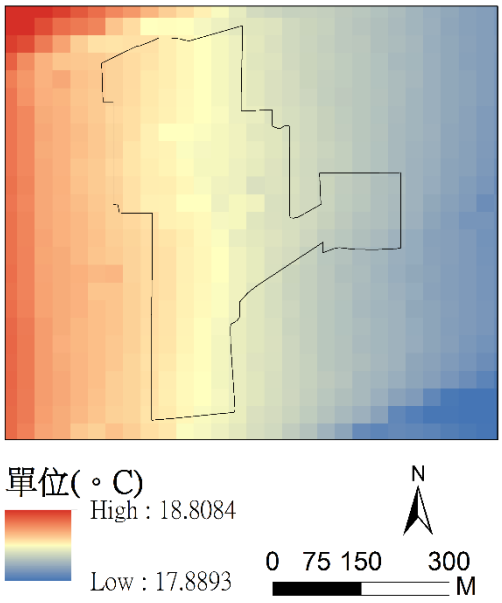


圖 46 花博外埔園區 SEM 預測溫度圖(2015 年與 2016 年資料)

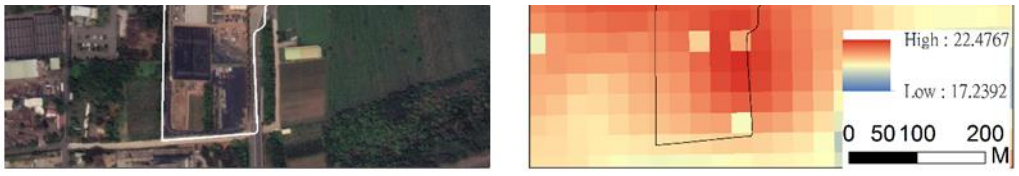


圖 40 的衛星影像，六種預測結果皆以土地覆蓋為植被的差值較低，人造舖面以及裸土覆蓋之差值較高，迴歸模型預測溫度整體較實際溫度低。

表 24 為花博外埔園區內的預測溫度的平均值，以及衛星影像反演溫度的平均值，並計算兩者之差值於表 24 與圖 47 呈現。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 24 花博外埔園區內溫度驗證表

地區	模型	(單位：。C)	2015年	2016年	2015年與2016年
外埔園區內	OLS	預測溫度	17.99	13.5	18.04
		反演溫度	20.28	20.28	20.28
		溫度誤差	2.29	6.78	2.24
		RMSE	2.465	6.823	2.432
	SEM	預測溫度	17.71	14.17	18.25
		反演溫度	20.28	20.28	20.28
		溫度誤差	2.57	6.11	2.03
		RMSE	2.727	6.161	2.241

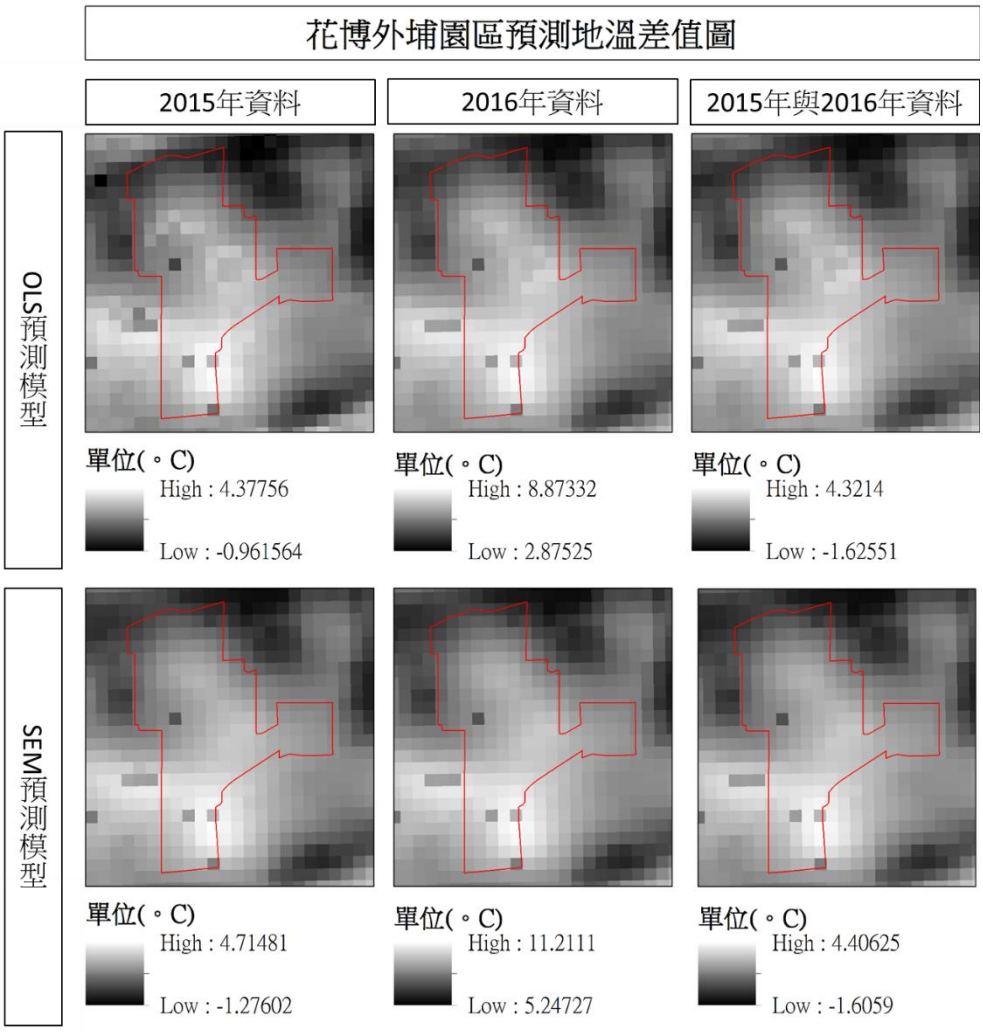


圖 47 花博外埔園區預測溫度與實際溫度差值圖

(三) 花博葫蘆墩園區

由圖 48 2019 年 Google Earth 衛星影像，可知地表覆蓋較為複

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

雜，有植生、河道、人造物等不透水鋪面，由 Landsat 影像反演的地表溫度大約落在 19.7~22.4 度，相較周圍多建物區域，溫度偏低。

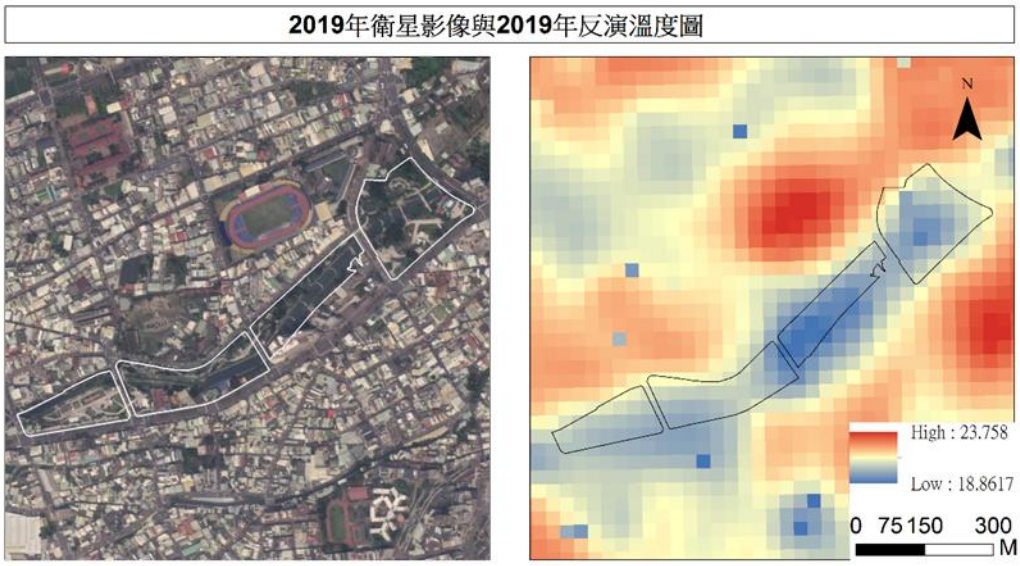
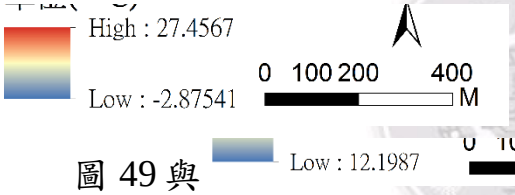


圖 48 花博葫蘆墩園區衛星影像對照圖



年地表溫度成果如

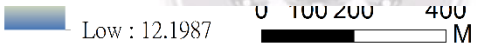


圖 49 與

圖 50，區域內以 OLS 模型預測溫度大約落在 17.8~18.8 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 2.56 度，RMSE 約為 2.587 度；SEM 模型預測溫度大約落在 17.9~18 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 3.11 度，RMSE 約為 3.134 度。

由於葫蘆墩園區位於豐原區邊界，故出圖時圖面會出現空值，並呈現為淺藍色。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

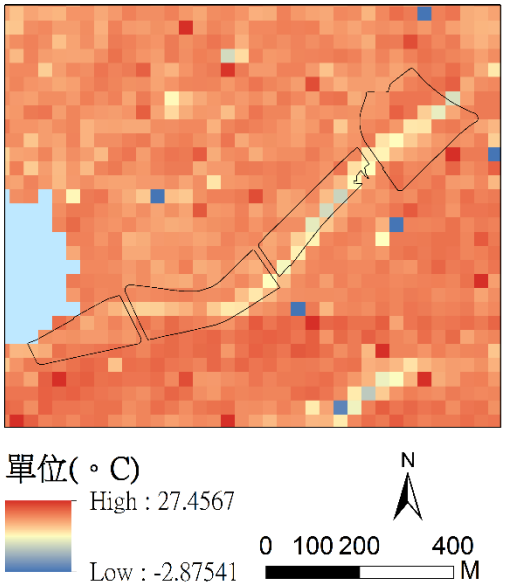


圖 49 花博葫蘆墩園區 OLS 預測溫度圖(2015 年資料)

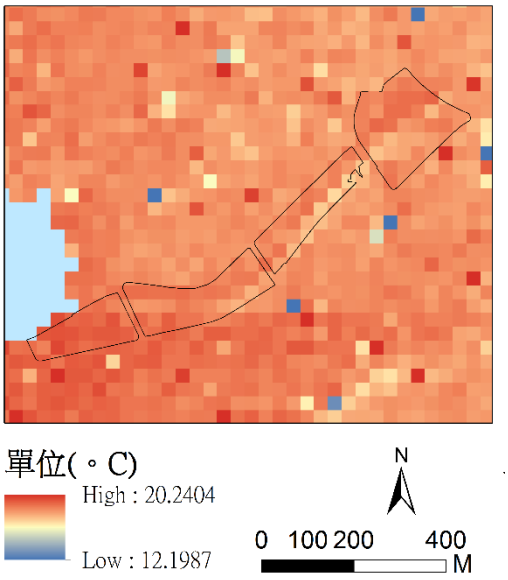


圖 50 花博葫蘆墩園區 SEM 預測溫度圖(2015 年資料)

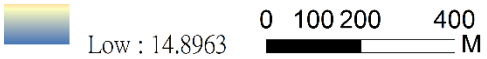


圖 51 與圖 52 為使用 2016 年資料預測 2019 年地表溫度的成果圖，園區內，以 OLS 模型預測的溫度落在 15~16.2 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 5.65 度，RMSE 約為 5.659 度，以 SEM 模型預測的溫度落在 13~13.2 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 7.92 度，RMSE 約為 7.924 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

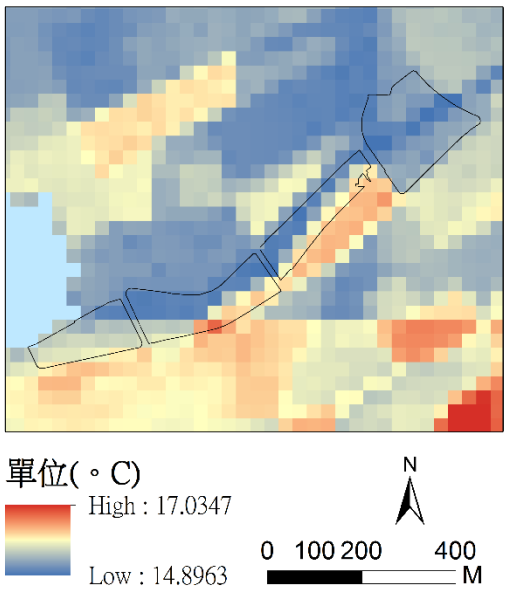


圖 51 花博葫蘆墩園區 OLS 預測溫度圖(2016 年資料)

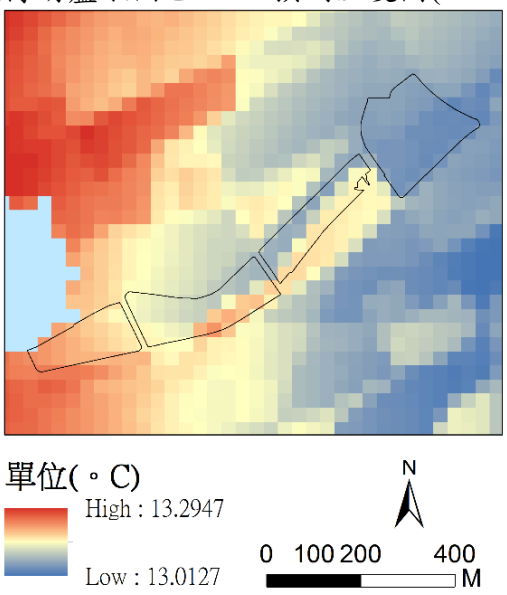
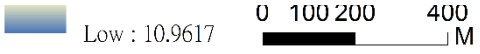


圖 52 花博葫蘆墩園區 SEM 預測溫度圖(2016 年資料)



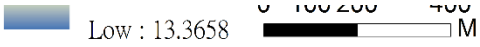


圖 53 與

圖 54 為使用 2016 年資料預測 2019 年地表溫度的成果圖，園區內，以 OLS 模型預測的溫度落在 14.3~15.9 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 6.05 度，RMSE 約為 6.068 度，以 SEM 模型預測的溫度落在 13.9~14.9 度，比 Landsat 影像反演溫度的平均溫度低約 6.76 度，RMSE 約為 6.767 度。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

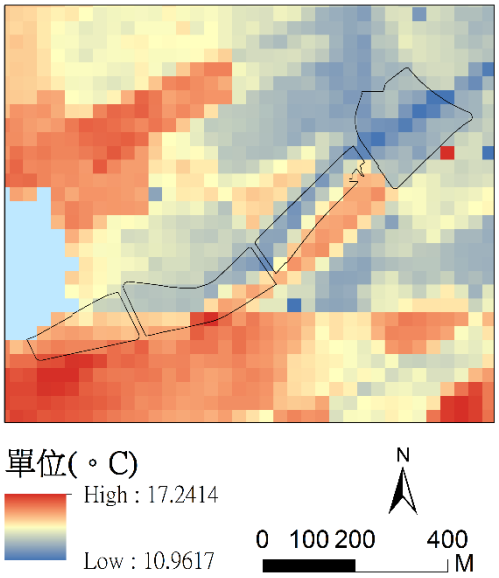


圖 53 花博葫蘆墩園區 OLS 預測溫度圖(2015 年與 2016 年資料)

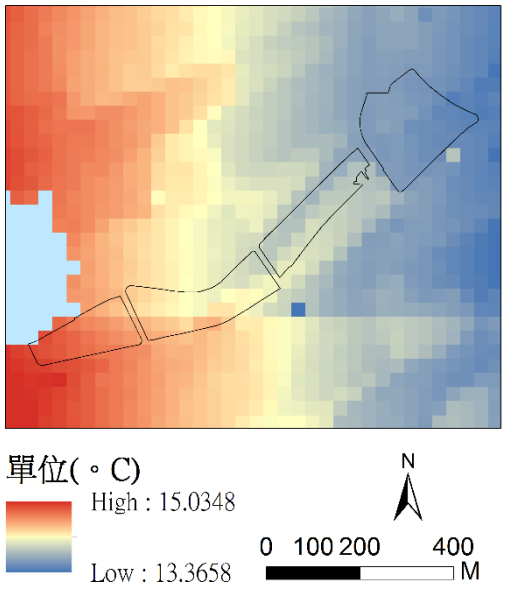


圖 54 花博葫蘆墩園區 SEM 預測溫度圖(2015 年與 2016 年資料)

將實際溫度與迴歸模型預測的溫度兩張圖相減後作差值比較，並比對圖 48 的衛星影像，六種預測結果皆以土地覆蓋為水體的差值較低，建築物之差值較高。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

表 25 花博葫蘆墩園區內溫度驗證表

地區	模型	(單位：。C)	2015年	2016年	2015年與2016年
葫蘆墩園區內	OLS	預測溫度	18.48	15.39	14.99
		反演溫度	21.04	21.04	21.04
		溫度誤差	2.56	5.65	6.05
		RMSE	2.587	5.659	6.068
	SEM	預測溫度	17.93	13.12	14.28
		反演溫度	21.04	21.04	21.04
		溫度誤差	3.11	7.92	6.76
		RMSE	3.134	7.924	6.767

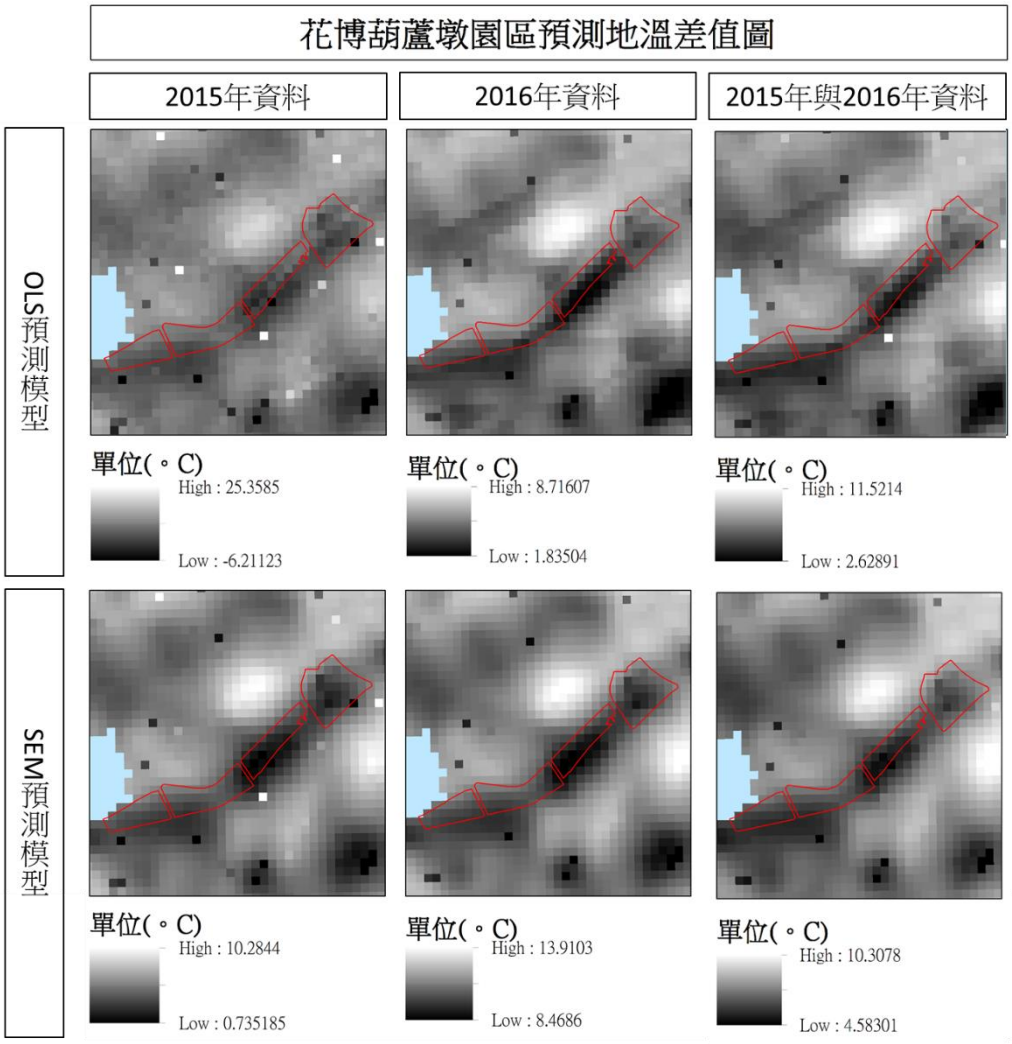


圖 55 花博葫蘆墩園區預測溫度與實際溫度差值圖

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

二、 分析結論

根據表 23、表 24、表 25 可以發現使用單年度 2016 年資料以及雙年度 2015 年與 2016 年資料的預測溫度誤差明顯較大，由於預測 2019 年度溫度所使用的資料是使用前一年度 2018 年 2 月的資料代替，對照表 10 三組因子發現 2016 年與雙年度皆有使用氣象資料因子，故整理出使用的預測資料以及影像反演溫度當天的資料，如表 26，發現數據有差距，可能使用前一年度的氣象資料是造成誤差值變大的原因。

表 26 預測使用氣象資料及驗證資料

	濕度(%)		風速(m/s)		PM2.5 (μg/m³)	
	2018/02	2019/02/12	2018/02	2019/02/12	2018/02	2019/02/12
后里	85	75	2.1	2.15	-	-
外埔	81	76	3	5.3	-	-
豐原	83	71	1.3	2	18	14

為了確認除了本研究已包含之因子影響溫度之外，是否有受到本研究未考慮到的世界增溫影響因子，使得誤差增加。因此蒐集花博所在鄉鎮之氣象測站，計算影像拍攝時間前後一個月的月均溫，並整理於表 27，發現確實可能有世界增溫的現象。

表 27 三測站之月均溫整理表

	2014/12	2015/01	2015/02		2017/12	2018/01	2018/02
后里	14.8	15	15.8	后里	17.1	16.1	15
豐原	15.6	15.8	16.7	豐原	16.7	15.7	14.7
外埔	15.3	15.3	15.9	外埔	17.2	16	15
	2015/12	2016/01	2016/02		2018/12	2019/01	2019/02
后里	17.2	14.7	14.1	后里	19.3	17.7	18.9
豐原	18.1	15.6	25.3	豐原	18.9	17.4	18.7
外埔	18	15.3	14.7	外埔	19.3	17.5	18.9

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

第五章、 結論及政策建議

本研究以台中市花卉博覽會所在的鄉鎮區為研究對象，以單年度 2015 年、2016 年以及雙年度 2015 年與 2016 年環境因子的資料建構預測模型，以預測 2019 年地表溫度，皆使用 Landsat 8 影像進行溫度反演，使用 Jiménez-Muñoz 的單通道演算法，從眾多文獻中整理出 14 個因子，經篩選後，單年度 2015 年資料建模使用因子為 DEM、SVF、EVI、粗糙度、區域性太陽輻射以及道路密度，單年度 2016 年資料建模使用因子為 DEM、SVF、人口密度、濕度、風速、$PM_{2.5}$ 以及道路密度，使用雙年度 2015 年與 2016 年資料所使用因子為 DEM、SVF、EVI、人口密度、風速、$PM_{2.5}$ 以及道路密度。

利用 OLS 報表裡的 Moran's I 判斷較合適的模型，得知 SEM 及 SLM 皆為顯著，故將兩者作配適度檢定，最後以 SEM 表現較好。因此本研究使用 OLS 及 SEM 作為溫度預測模型，又以三種年度資料(單年度 2015 年、2016 年以及雙年度 2015 年與 2016 年)預測花博三區域的溫度，比較何種預測方式精度較高。2015 年預測模型的部分，花博三個區域皆以 OLS 模型表現較好，2016 年以及雙年度 2015 年與 2016 年則是不固定。

2019 年各項環境因子的取得，在花博園區外及內有些許差異。園區內的 SVF、粗糙度、EVI 與道路密度等環境因子，是參考網路上公告最終規劃配置圖自行建置；園區外，因用於驗證 2019 年之衛星影像僅有 2 月份狀況較好，故預測 2019 年全區所使用的資料使用前一年度 2018 年 2 月的資料代替。

根據六種結果，發現預測的溫度都要比實際來的要低，經蒐集影像前後一個月的月均溫，發現溫度有逐年上升，推測可能是因為世界增溫，造成實際溫度會比預測出的溫度較高。

比照衛星影像，發現預測結果誤差較低的地方多為植被覆蓋，誤差值較高的通常為裸土與建物等人造鋪面。

比較三種年度資料之因子，發現誤差較大的單年度 2016 以及雙年度 2015 年與 2016 年的因子都包含了氣象資料因子，因此整理

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

了預測資料使用的 2018 年 2 月資料，與實際作為驗證的溫度反演影像日期作比較，發現資料確實有差異，故推測可能因為氣象資料因子造成誤差較大的原因，其相較於地形因子變化較大，雖然也是影響溫度的因素，但綜合以上研究結果，不建議當作預測因子。

由於本研究使用因子為參考國外有關影響環境溫度之期刊，故因子與溫度正負相關性可會因為環境條件、季節與尺度而與台灣實際狀況不同，建議未來可以加入夏季月份，以探討冬季因子與夏季影響因子之差異。

本研究單年度 2015 年、2016 年以及雙年度 2015 年與 2016 年資料篩選因子，因此得出三組不同的因子，且無法對不同因子的模型進行 RMSE 的比較，若可以統整因子，則可以進一步討論資料連續性以及增加年度資料量是否會影響地表溫度預估的精準度。

本研究目的為以現有規劃圖，來預測開發後對周遭環境造成的溫度影響，提前做出應對及改善，建議在大型開發規劃時，可以加入溫度預測評估項目，以預先檢視規劃圖實現後是否符合規劃者的期待。

逢甲大學 e-Theses & Dissertations（108學年度）

參考文獻

Anselin, L. (2005). Exploring spatial data with GeoDaTM: a workbook. *Center for Spatially Integrated Social Science*.

Dirksen, M., Ronda, R. J., Theeuwes, N. E., &Pagani, G. A. (2019). Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. *Urban Climate, 30*, 100498.

Firozjaei, M. K., Weng, Q., Zhao, C., Kiavarz, M., Lu, L., &Alavipanah, S. K. (2020). Surface anthropogenic heat islands in six megacities: An assessment based on a triple-source surface energy balance model. *Remote Sensing of Environment, 242*, 111751.

Gao, B.-C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment, 58*(3), 257–266.

Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., &Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment, 112*(10), 3833–3845.

Jiménez-Muñoz, J. C., Sobrino, J. A., Skoković, D., Mattar, C., &Cristóbal, J. (2014). Land Surface Temperature Retrieval Methods From Landsat-8 Thermal Infrared Sensor Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11*(10), 1840–1843.

Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., &Mathew, A. (2018). Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 21*(1), 87–94.

Kim, Y. (2010). Spectral compatibility of vegetation indices across sensors: band decomposition analysis with Hyperion data. *Journal of Applied Remote Sensing, 4*(1), 043520.

Kokalj, Ž., Zaksek, K., &Oštir, K. (2011). Application of sky-view factor for the visualization of historic landscape features in lidar-derived relief models. *Antiquity, 85*, 263–273.

Lindberg, F., Grimmond, C. S. B., Gabey, A., Huang, B., Kent, C. W., Sun,

T., …Zhang, Z. (2018). Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. *Environmental Modelling and Software*, *99*, 70–87.

Lindberg, F., Thorsson, S., Rayner, D., &Lau, K. (2016). The impact of urban planning strategies on heat stress in a climate-change perspective. *Sustainable Cities and Society*, *25*, 1–12.

Mathew, A., Sreekumar, S., Khandelwal, S., &Kumar, R. (2019). Prediction of land surface temperatures for surface urban heat island assessment over Chandigarh city using support vector regression model. *Solar Energy*, *186*, 404–415.

Mihalakakou, G., Flocas, H. A., Santamouris, M., &Helmis, C. G. (2002). Application of neural networks to the simulation of the heat island over Athens, Greece, using synoptic types as a predictor. *Journal of Applied Meteorology*, *41*(5), 519–527.

Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. *World Meteorological Organization*, (81), 51.

Pandey, P., Kumar, D., Prakash, A., Masih, J., Singh, M., Kumar, S., …Kumar, K. (2012). A study of urban heat island and its association with particulate matter during winter months over Delhi. *Science of The Total Environment*, *414*, 494–507.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., &Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Special Publication*, *351*, 309.

Stewart, I. D., &Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *93*(12), 1879–1900.

Sussman, H. S., Raghavendra, A., &Zhou, L. (2019). Impacts of increased urbanization on surface temperature, vegetation, and aerosols over Bengaluru, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *16*, 100261.

Zhi-Hao, Q., Zhang, M.-H., &Karnieli, A. (2001). Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data. *ACTA GEOGRAPHICA SINICA-CHINESE EDITION-*, *56*(4), 466–474.

交通部統計查詢網，(2020)，交通部統計查詢網，上網日期：2020年7月05日，

檢自 https://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100。

何漢傑 (2008)。*利用 MODIS 影像於水稻田蒸發散之研究*。中央大學太空科學研究所學位論文，1–89。

呂明倫、鍾玉龍 (2007)。以 SPOT 衛星植生指標推估南仁山次生林之林分結構特徵。*臺灣林業科學*，*22*(2)，183–192。

孫振義(2008)。*運用遙測技術於都市熱島效應之研究*。成功大學建築學系學位論文。

孫振義、林憲德 (2006)。台南地區都市熱島強度全年變動之研究 TT - Annual Variation of Urban Heat Island Intensity in the Tainan Region。*都市與計劃*，*33*(1)，51–68.

徐涵秋 (2016)。Landsat 8 热红外数据定标参数的变化及其对地表温度反演的影响。*Journal of Remote Sensing*，*20*(2)。

徐涵秋、林中立、潘卫华 (2015)。单通道算法地表温度反演的若干问题讨论——以 Landsat 系列数据为例。*武汉大学学报(信息科学版)*，*40*(4)，487–492。

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。

林中立、徐涵秋(2017) 。基于 LCZ 的城市热岛强度研究。*地球信息科学学报*，*19*.713--722。

林炯明(2010)。都市熱島效應之影響及其環境意涵。*環境與生態學報*，*3*(1)， 1–15。

江美菊(2012)。*相關係數面面觀*。政治大學應用數學系數學教學碩士在職專班學位論文，1–30。

翁銘宏(2010)。*都市熱環境與表面溫度關係之研究-以台北市為例*。中國文化大學景觀學系碩士論文，台北市。

蘇晨媛(2019)。*地表溫度與土地使用型態關係之探討與模擬-以板橋區為例*，國立交通大學土木工程系所碩士論文，新竹市。

覃志豪(2019)。地表温度反演的单通道方法汇总——以Landsat 8 TIRS影像为例。上網日期：2020年7月25日，檢自https://zhuanlan.zhihu.com/p/92060204。

郭柏巖(2000)。*都市公園微氣候觀測解析*。碩士論文，國立成功大學建築研究所，臺南。