

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科
佳作

051907

熱島抬升了嗎?-臺灣都市熱島效應的長期變化
趨勢

學校名稱： 新北市立新店高級中學

| | |
|--------|-------|
| 作者： | 指導老師： |
| 高二 張嘉祐 | 陳正昌 |
| 高二 高爾濠 | |

關鍵詞： 热島效應指數、微氣候、都市化

摘要

本研究目的在發展簡易快速的熱島效應強度估算方法，利用氣象署地面測站的網格化資料，排除高度對氣溫的影響後，找出都市範圍中的最高、最低溫數值，分析臺北、臺中、臺南及高雄四座城市的長期熱島效應強度變化趨勢。

我們發現各城市熱島效應變化趨勢有不同特徵。臺北及臺中的熱島效應強度在63年間有增加趨勢，但臺南及高雄未見增強，這可能與人口數及都市發展相關；臺中熱島效應強度具有最明顯的季節變化，這與季風和地形相關。臺中火力發電廠及臺南科學工業園區的運轉與建設皆造成當地區域氣溫上升，導致最高溫位置的改變。

本研究提供臺灣四個直轄市的熱島效應長期變遷資料，也為未來面對城市氣候的調適策略提供科學依據。

壹、前言

在地球科學的課堂上，老師提到關於熱島效應的內容，我們深深地被這個議題吸引，熱島效應在全球暖化的背景下，有特別逐漸增強的狀況嗎？而臺灣不同城市的熱島效應強度會一樣嗎？本研究選取臺北、臺中、臺南與高雄四座城市，並以縣市行政邊界作為研究範圍。各縣市政府在都市規劃與環境管理上擁有獨立治理權限，因此，使用縣市邊界作為劃分，有助於提供地方政府更具參考價值的數據。本研究透過1960年至2022年長達63年的數據，分析各城市熱島效應強度的變化趨勢，探討其季節性特徵、影響熱島效應之因素，期望為臺灣的都市氣候調適政策提供參考。

以下內容未標示來源之圖表皆由作者親自製作。

一、文獻探討：

都市熱島效應（Urban Heat Island, UHI）指的是都市地區因密集的建築物大量採用蓄熱量高與吸熱表面積大的材料，使得都市地區的氣溫顯著地高於周圍郊區的現象，這種現象主要是由於人類活動以及都市化所造成。

近期有許多關於熱島效應的研究，在（林子平，2021）研究中發現，進入市區的風會流入阻礙較小的區域，如果這些區域能夠彼此連結成為一條連續路徑，即可稱為「都市風廊」。這些風阻較小的區域包含公園綠地、水域河川、廣場空地、車道、鐵

道、林蔭道、人行道，或是低矮不密集的建築群，風向則多以該區域長期的盛行風向決定。依據這些路徑的寬度及順暢性，可定義出「主要風廊」及「次要風廊」，代表潛在風速的大小，也可指認出與這些風廊交叉的「連結風道」，有助於風廊之間的串連及另一個風向的引入，讓都市通風更為流暢。（張佩歆，2024）提到臺中市的工業區是都市中的熱源，其周圍區域容易出現較高的地表溫度，而大型開放空間（如公園、綠地）和水體（池塘）則具有良好的降溫效果，能有效降低周圍區域的地表溫度。綜合上述文獻，風的流通與綠地配置對城市環境具有重要意義。

此外，參考以前中小學科展作品「高雄地區市區與郊區熱島效應之比較」的研究，市區與郊區的溫差在夏季較為明顯，但冬季的午間或午後也可能出現較大的溫差。「1995臺北地區熱島效應之研究與探討」則著重於臺北地區熱島效應的變化。在晴天時，熱島效應明顯，而雨天則會變得不明顯，且降雨通常會在雨後四小時內產生影響。此外，研究還分析了不同地點的氣溫特徵，並發現人為活動（如商業、煙塵、人口密度）及植被等因素會影響當地氣溫。根據上述的文獻回顧，過去研究主要都集中在某一都市的短期熱島效應成因與影響，但是卻很少討論多個城市間以及長期變化的分析，所以如果把研究的時間範圍拉長，並以多個縣市進行比較，就可能會有不同的結果。因此，本研究將比較臺北、臺中、臺南、高雄等四個縣市在過去63年間的熱島效應指數變化，並且進行討論與分析。

二、研究目的：

- （一）了解臺北、臺中、臺南、高雄四座城市從1960到2022，共63年的熱島效應指數趨勢與特徵。
- （二）比較臺北、臺中、臺南、高雄各月份的平均熱島效應指數趨勢與特徵。
- （三）分析臺北、臺中、臺南、高雄熱島效應的季節性變化：冬季（1月）與夏季（7月）。
- （四）討論沿海設施對熱島效應最高溫網格點分布的影響
- （五）討論城市規劃對都市熱島效應的影響

貳、研究設備及器材

一、Microsoft Excel與試算表：

運用Excel與試算表將資料進行整理，並且執行各種計算與建立折線圖，更直接比較不同資料之間的變化和差異，深入了解其趨勢及關聯性。

二、臺灣氣候變遷推估與資訊平臺(TCCIP)：

網格化資料(1960~2022)每日網格化溫度由臺灣氣候變遷推估與資訊平臺(TCCIP)網站取得，網格大小（1公里 * 1公里），網格高度為網格正中央高度，總網格數目3207格，每個網格以其中心點經緯度表示，並覆蓋 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 的範圍。

三、QGIS地理資訊系統：

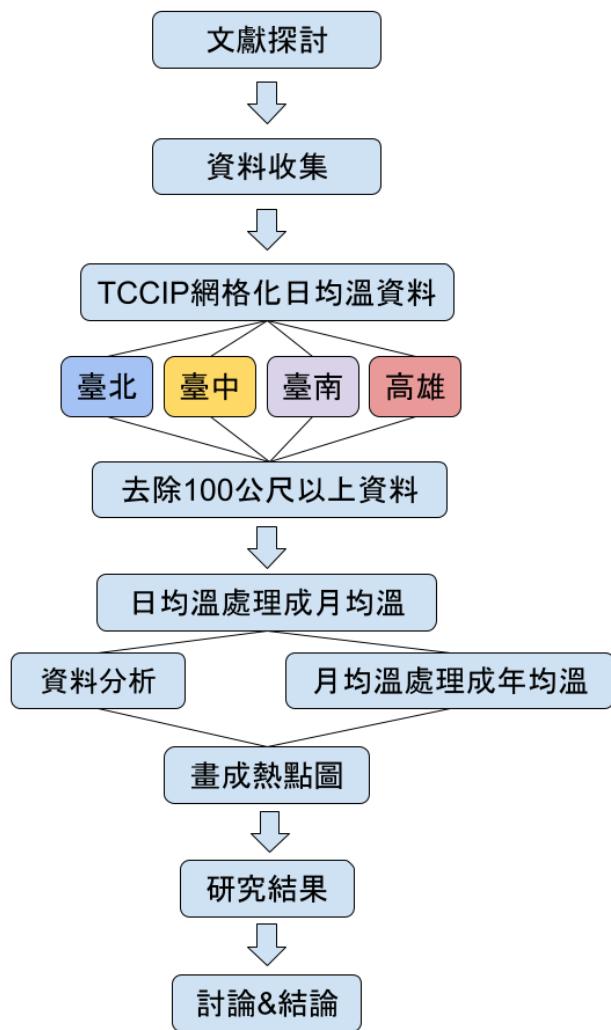
運用地理資訊系統將點座標呈現在地圖上，以視覺化方式幫助我們更好的討論研究內容。

四、程式語言：

使用程式幫助我們有效率的刪除臺北、臺中、臺南、高雄市高度100公尺以上的網格點，並且將日均溫平均成月均溫，再從月均溫裡挑出每個月最高溫網格點。

參、研究過程或方法

一、研究過程：



二、研究方法：

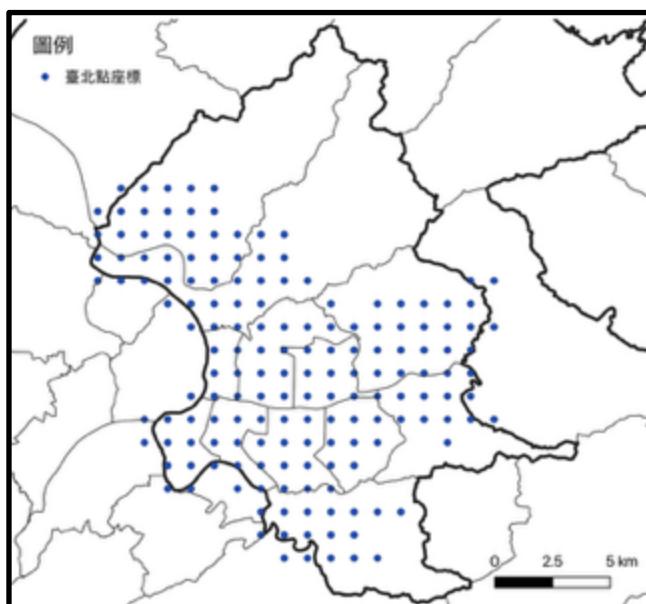
(一) 討論研究與呈現

經過團隊多次討論後，我們想利用長期的資料來計算熱島效應指數。在「都市熱島效應於產業發展及其影響因子分析之研究」這篇文獻中的溫度取得是運用衛星來測得地表熱紅外線波段，再利用接收到的輻射強度來做換算取得溫度。不過上述取得溫度資料的方法沒有長期的連續資料，所以我們決定使用地面測站且

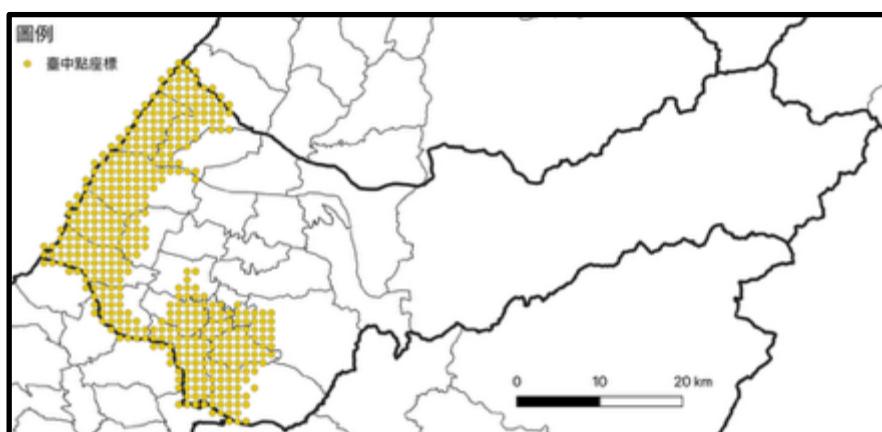
已經網格化處理的資料，相較於使用接收到的輻射強度換算取得溫度的方法，使用地面測站的資料會更快也更簡單，並在最後計算熱島效應指數。

(二) 取用已座標網格化的溫度資料

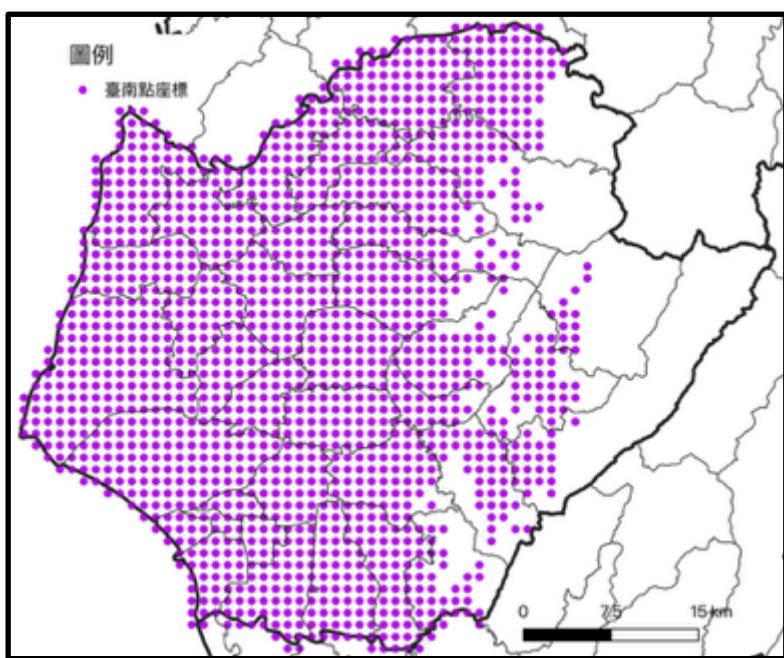
網格化資料的好處可以弭平空間上沒有氣象測站的問題，我們選用TCCIP第二版的網格化觀測資料，但如果直接使用這個資料挑選最低溫當作郊區溫度，可能會選取到山上的資料，為了避免高度影響溫度，我們將100公尺以上的網格資料去除，僅留下100公尺以下的溫度資料，在此都市範圍中、100公尺以下的網格化溫度內，選取最高溫以及最低溫來估算熱島效應強度。



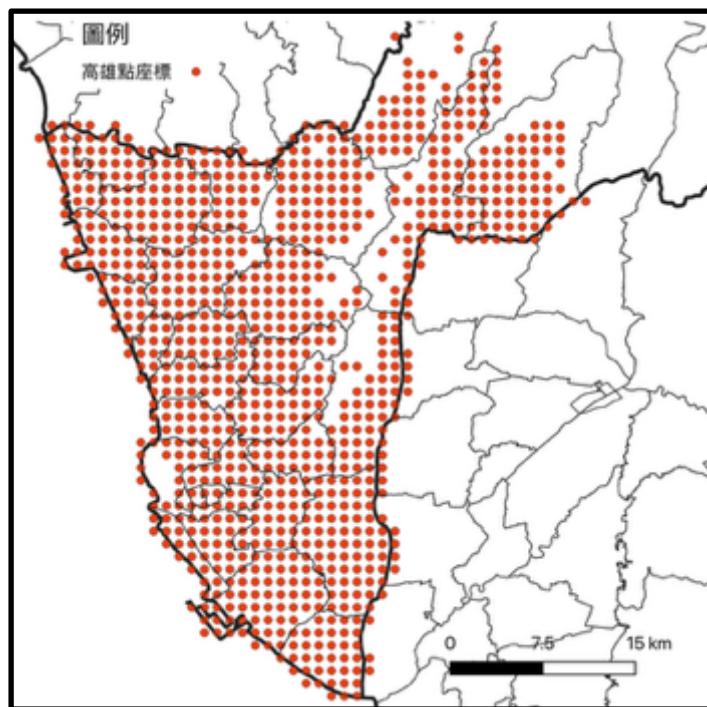
【圖1】臺北市海拔100公尺以下網格點位置（共164個網格點，研究面積約164km²）



【圖2】臺中市海拔100公尺以下網格點位置（共454個網格點，研究面積約454km²）



【圖3】臺南市海拔100公尺以下網格點位置（共1617個網格點，研究面積約1617km²）



【圖4】高雄市海拔100公尺以下網格點位置（共972個網格點，研究面積約972km²）

（三）定義熱島效應指數

熱島效應的定義是城市區域，由於人類活動、氣候因素、植被面積變化、建築物材料改變的緣故，讓其溫度明顯比周邊的郊區高，熱島效應指數就是用來衡量都市熱島效應的一個指標。計算方式如下。

$$\text{熱島效應指數} = \text{都市氣溫} - \text{郊區氣溫} \text{ (單位}^{\circ}\text{C)} \text{ 【Howard, L. (1833)】}$$

（四）定義郊區與都市的氣溫位置

都市氣溫：在城市範圍中、海拔高度100公尺下，月均溫最高溫的網格點。

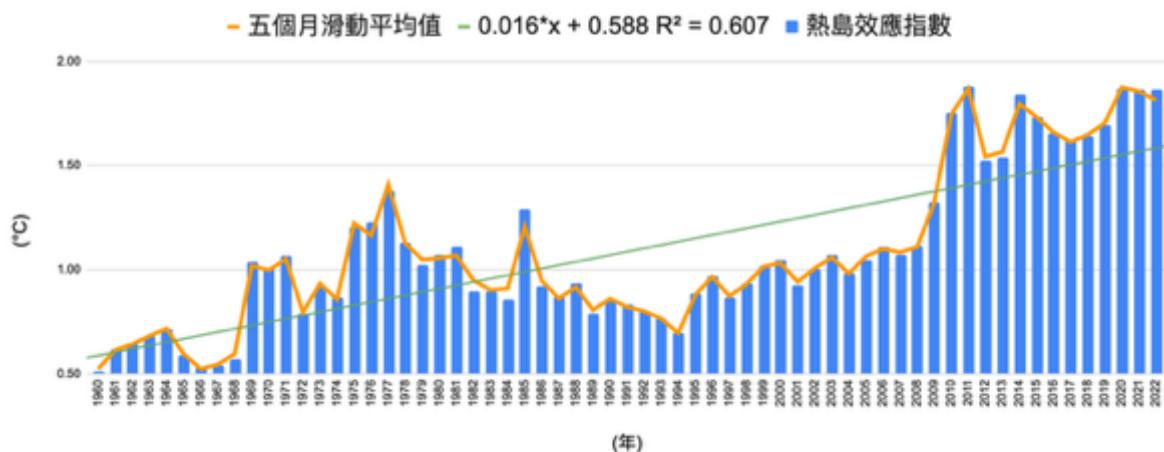
郊區氣溫：在城市範圍中、海拔高度100公尺下，月均溫最低溫的網格點。

三、蒐集與整理資料：

我們所使用的是1960~2022的網格化氣溫觀測資料（日均溫），為了避免高度造成的溫度影響，先刪減高度高於100公尺的網格，減少受到高度造成氣溫下降而無法找出真正郊區的問題，接著撰寫程式計算每個網格每年的月均溫，在月均溫檔案中找出最高溫和最低溫，我們把最高溫定義為都市溫度，最低溫則為郊區溫度，將資料相減得到熱島效應指數，再算出熱島效應指數的五個月滑動平均值，最後把資料整合後轉為折線圖，進行後續的分析。我們使用不同顏色代表不同縣市，臺北市(藍色)，臺中市(黃色)，臺南市(紫色)，高雄市(紅色)，使研究能更視覺化的呈現。

肆、研究結果

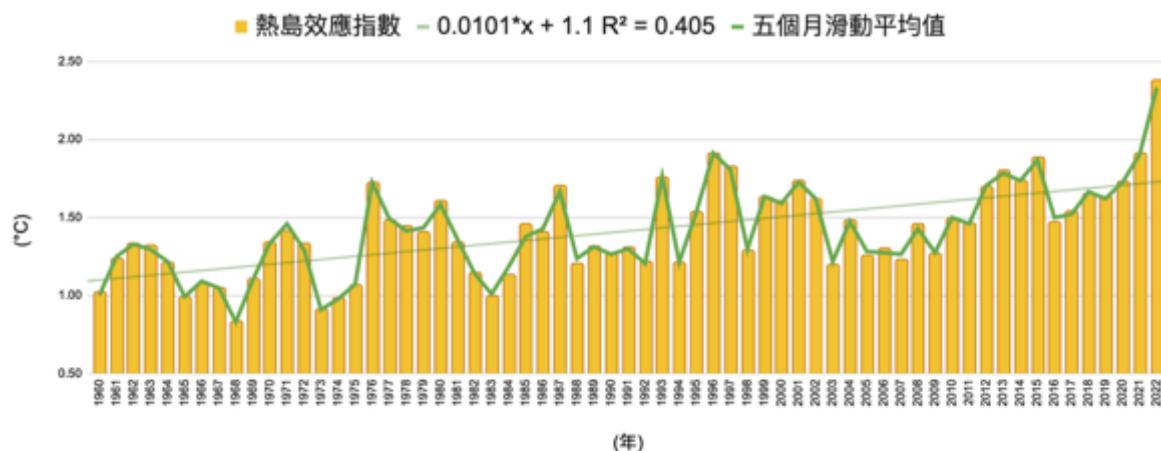
一、臺北市熱島效應指數變化趨勢



【圖5】1960~2022 臺北市各年平均熱島指數和五個月滑動平均值

在【圖5】中可以看出，臺北市從 1960 年到 2022 年的熱島效應指數整體呈現上升趨勢，年平均熱島效應指數範圍介於 0.51~1.88°C 之間。柱狀圖顯示了逐年的變化和波動，其中 1986~2008 热島效應指數較低，在 2009 年左右開始呈現上升趨勢，並且較過去的增長幅度快。趨勢線的線性迴歸方程式為 $y = 0.016x + 0.588$ ， R 平方值為 0.607。熱島效應強度每百年增加 1.6 °C。

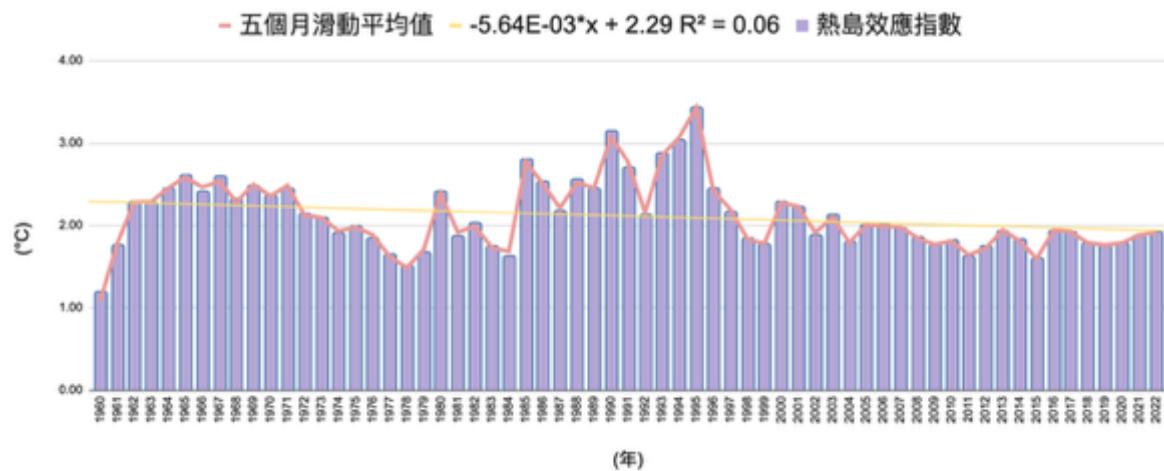
二、臺中市熱島效應指數變化趨勢



【圖6】1960~2022 臺中市各年平均熱島指數和五個月滑動平均值

在【圖6】中可以看出，臺中市從 1960 年到 2022 年的熱島效應指數整體呈現上升趨勢，年平均熱島效應指數範圍介於 0.83~2.38°C 之間。柱狀圖顯示了逐年的變化和波動，其中存在一些年份的波動和下降。趨勢線的線性迴歸方程式為 $y = 0.0101x + 1.1$ ，R 平方值為 0.415。熱島效應強度每百年增加 1°C。

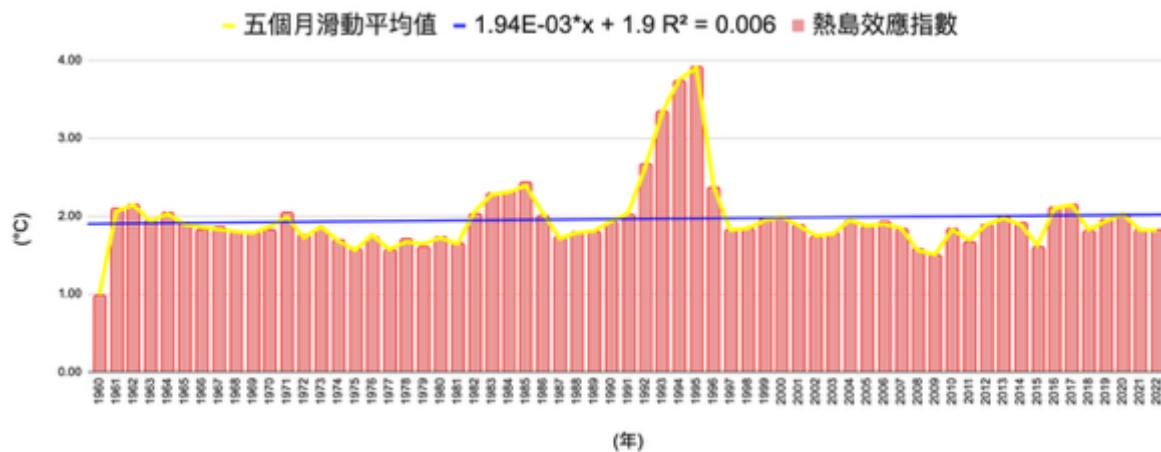
三、臺南市熱島效應指數變化趨勢



【圖7】1960~2022 臺南市各年平均熱島指數和五個月滑動平均值

在【圖7】中可以看出，臺南市從 1960 年到 2022 年的熱島效應指數整體呈現下降趨勢，年平均熱島效應指數範圍介於 1.2~3.44°C 之間。柱狀圖顯示了逐年的變化和波動，在 1960~1996 年間波動較 1996 年後明顯。趨勢線的線性迴歸方程式為 $y = -0.00564x + 2.29$ ，R 平方值為 0.06。熱島效應強度每百年減少 0.6°C。

四、高雄市熱島效應指數變化趨勢



【圖8】1960~2022 高雄市各年平均熱島指數和五個月滑動平均值

在【圖8】中可以看出，高雄市從1960年到2022年的熱島效應指數整體上升趨勢不明顯，年平均熱島效應指數範圍介於0.97~3.91°C之間。柱狀圖顯示逐年的變化和波動，其中1992~1996出現異常波動。趨勢線的線性迴歸方程式為 $y = 0.00194 x + 1.9$ ，R 平方值為 0.006。R 平方值較低與1993~1995年的熱島效應指數高值有關。熱島效應強度每百年增加0.2°C。

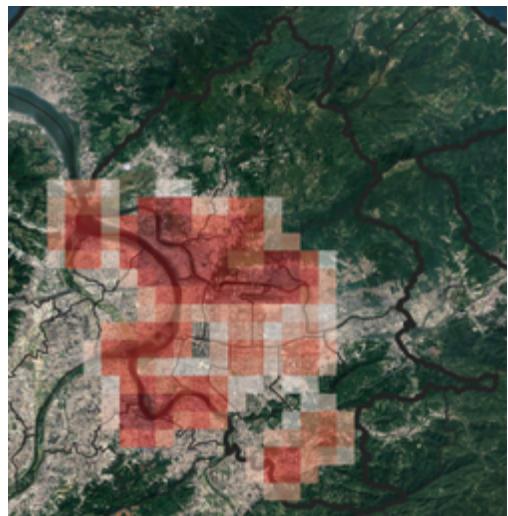
【圖5】~【圖8】的熱島效應指數變化趨勢線的斜率，可得知四個城市的變化有所不同，整理如下表。

【表1】各城市百年熱島效應指數變化

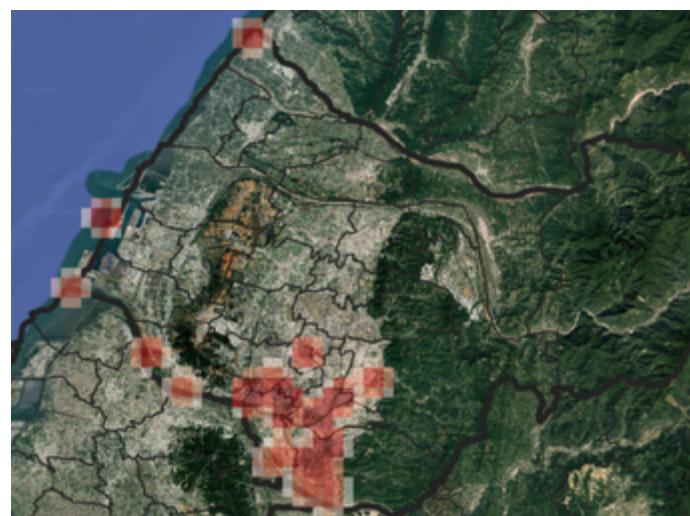
| | 趨勢線方程式 | 每百年變化值 |
|----|------------------------|---------|
| 臺北 | $y = 0.016x + 0.588$ | 約上升1.6度 |
| 臺中 | $y = 0.0101x + 1.1$ | 約上升1.0度 |
| 臺南 | $y = -0.00564x + 2.29$ | 約下降0.5度 |
| 高雄 | $y = 0.00194 x + 1.9$ | 約上升0.2度 |

在【表1】中，我們發現臺北市每百年約上升1.6度，為四個縣市最高；臺北、臺中、高雄皆為正值，但高雄每百年僅上升0.2度，幾乎是持平的狀況；而臺南市的百年變化趨勢為負值。

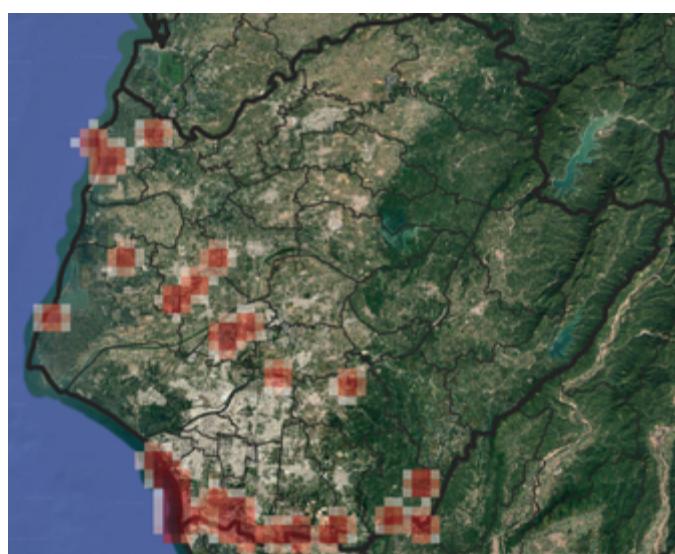
五、空間區域最高溫網格點分布統計(1960~2022年)



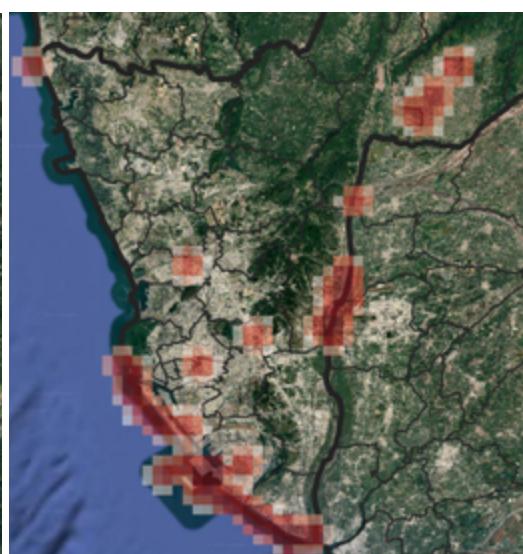
【圖9】臺北市



【圖10】臺中市



【圖11】臺南市



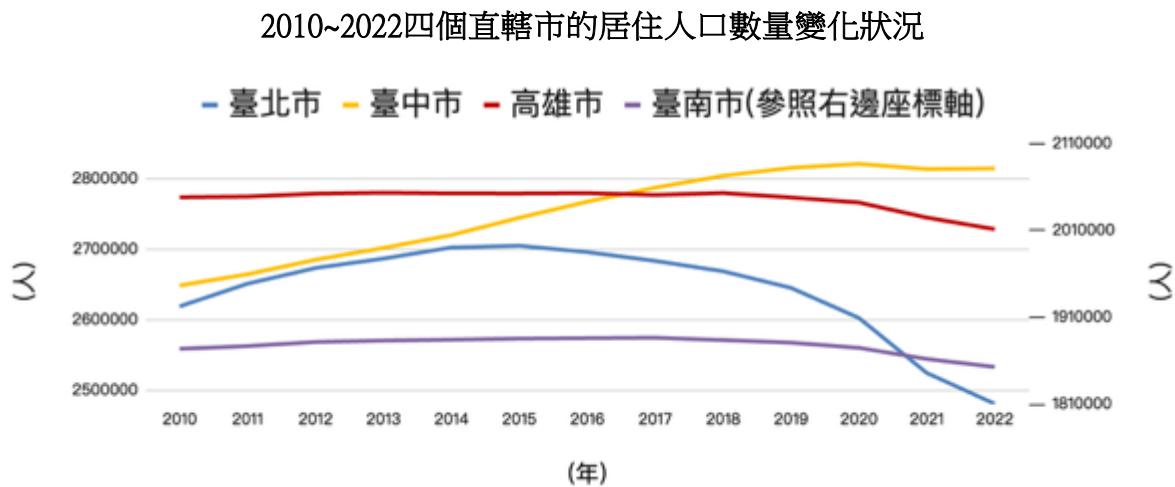
【圖12】高雄市

在【圖9】~【圖12】中可以發現，四個縣市的年平均最高溫位置分布情況都不太相同。在【圖9】中，臺北市的最高溫網格點主要集中在中正、萬華與信義等高密度建築物區域，也可以觀察到最高溫網格點沿著基隆河與新店溪重疊。在【圖10】中，臺中市最高溫網格點主要集中在市區內較密集區域。在【圖11】中，臺南市的最高溫網格點相對比較分散，但多數落在西南方的沿海區域。而在【圖12】中，高雄市主要沿著海岸線分布，形成一條帶狀的最高溫網格點。

伍、討論

一、四個城市在2010~2022的人口數量變化

【圖5】至【圖8】中可以發現高雄市和臺南市在63年間的熱島效應指數變化持平甚至斜率為負值，我們認為有可能是因為人口數量的變化導致，所以從這個因素進行討論。



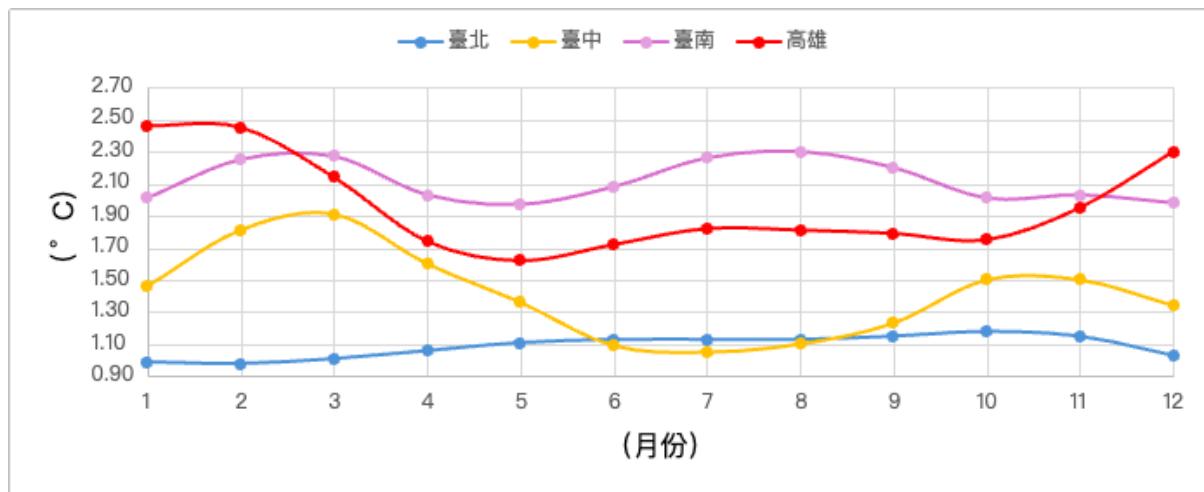
【圖13】2010~2022四個直轄市人口統計圖 (縣市合併後資料)

根據【圖13】可知，在2010~2022期間，臺中市的居住人口數從264萬8千人增加至281萬4千人，人口移入數量最明顯；臺北市的居住人口數在2010~2015間先增加之後減少，而另外兩個城市則呈現減少的變化，這可能是造成高雄市和臺南市63年間熱島效應指數變化持平甚至斜率為負值的原因。雖然臺北市的減少幅度較大，但可能因為臺北市屬於高密集的都市區域，且有大量工作人口移入，故熱島效應強度仍有所增長。

二、四個城市各月平均熱島效應指數分布：

討論完各城市63年間熱島效應指數的趨勢後，使我們好奇熱島效應指數在各城市是否會有季節的差異，不同月份的強度是否有所不同？並且試著推論其背後原因。

1960~2022年各月熱島效應指數平均(攝氏度)



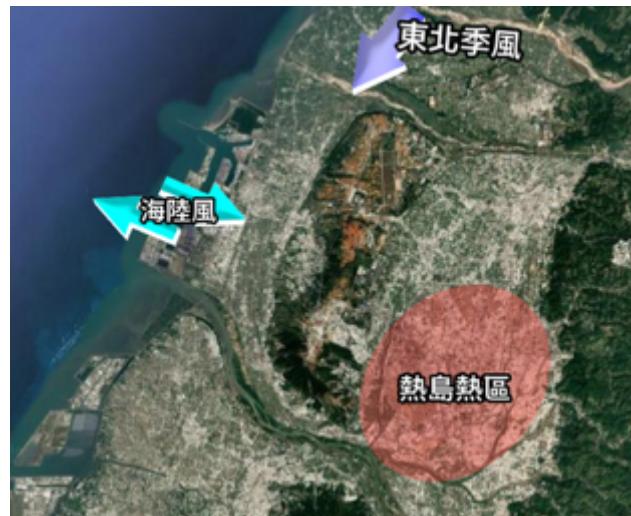
【圖14】1960~2022 四個城市各月平均熱島效應指數分布圖

【表2】四個城市各月平均熱島效應指數數值（攝氏度）

| | 最強熱島效應數值 | 最強熱島效應月份 | 最弱熱島效應數值 | 最弱熱島效應月份 | 平均值 |
|----|----------|----------|----------|----------|------|
| 臺北 | 1.18 | 10月 | 0.98 | 2月 | 1.09 |
| 臺中 | 1.91 | 3月 | 1.05 | 7月 | 1.41 |
| 臺南 | 2.27 | 3月 | 1.97 | 5月 | 2.12 |
| 高雄 | 2.46 | 1月 | 1.62 | 5月 | 1.96 |

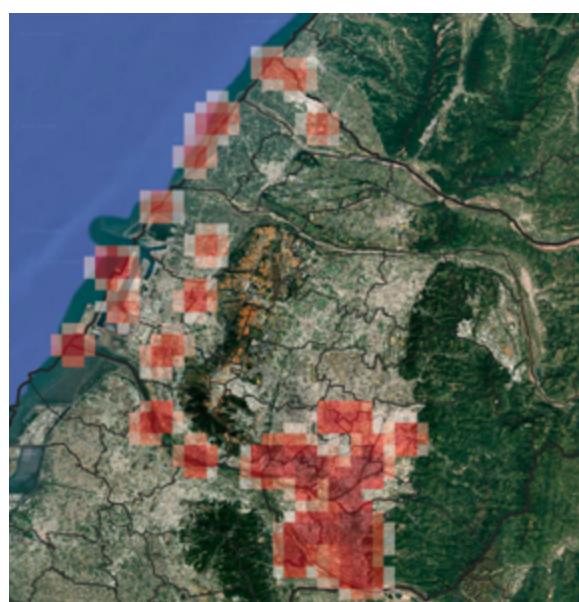
在【圖14】、【表2】中比較臺北市、臺中市、臺南市和高雄市在 1960 年至 2022 年間各個月份的平均熱島效應指數。X 軸表示月份，從 1 月到 12 月。Y 軸則代表熱島效應指數的各月平均值。

四個城市熱島效應指數的高峰值都出現在不同月份，臺北市的高峰值出現在 10 月到 11 月，臺中市出現在 2 月到 3 月，臺南市則出現在 2 月到 3 月及 7 月到 8 月，高雄市出現在 1 月到 2 月。臺北市整體熱島效應指數較穩定 (0.98~1.13)，全年平均波動較小。臺中熱島效應指數變化最劇烈，達到峰值後 3 月開始逐漸下降，到了冬季 (9~11 月)，達到了第二次的高峰。同時也呈現了臺中和高雄市的熱島效應指數具有顯著的季節性差異，而臺南市的整體趨勢在 2 月到 3 月與 7 月到 8 月時有較高的熱島效應指數。



【圖15】臺中市冬季環流示意圖（參考研之有物（周崇光）繪製）

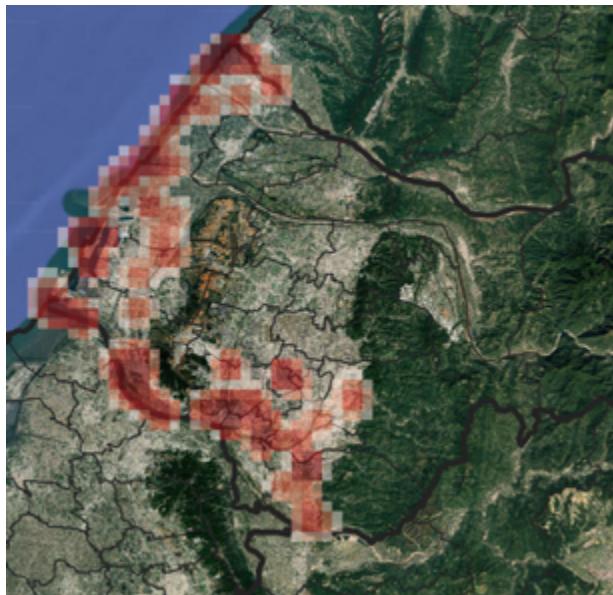
臺中的熱島效應指數具有明顯的季節性變化，可能是受到地形影響。根據中央研究院的文獻呈現【圖15】，示意冬季熱區情況。冬季時，東北季風影響臺中地區，但市區位於臺地的背風側，臺地地形阻擋風勢，使都市內部的冷卻效果減弱。相較之下，郊區因無地形屏障，散熱較為順暢，導致都市與郊區的溫差增大，使熱島效應指數上升。反之，夏季因為缺乏冷空氣對郊區降溫，都市與郊區的溫差縮小，使熱島效應指數下降。從【圖16】所示「63年間冬季最高溫出現位置」分布圖來看，其結果與上述推論一致，冬季最高溫集中於市區盆地範圍。



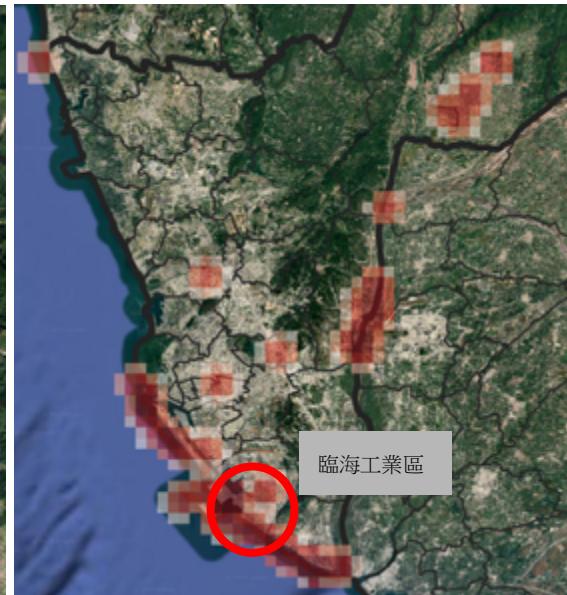
【圖16】63年間，臺中市冬季（11、12、1月）最高溫網格點出現位置

三、工業區與沿海港口對都市熱島效應的影響：

我們觀察到最高溫網格點往往集中於沿海港口或大型工業區周圍，這種情況顯示工業區與沿海港口等人文建設對熱島效應具有一定程度的影響。因為工業區在生產的過程中會釋放大量的熱，而港口區域有較多的水泥地面，會比自然海岸線吸收更多熱能，進而影響當地的溫度。



【圖17】63年間臺中市夏季
最高溫網格點分布圖



【圖18】63年間高雄市各年
最高溫網格點分布圖

在【圖17】中，臺中市63年間的夏季最高溫網格點多在沿海港區，我們認為可能就是因為港口區域的水泥地面吸收更多熱能，影響當地的溫度。

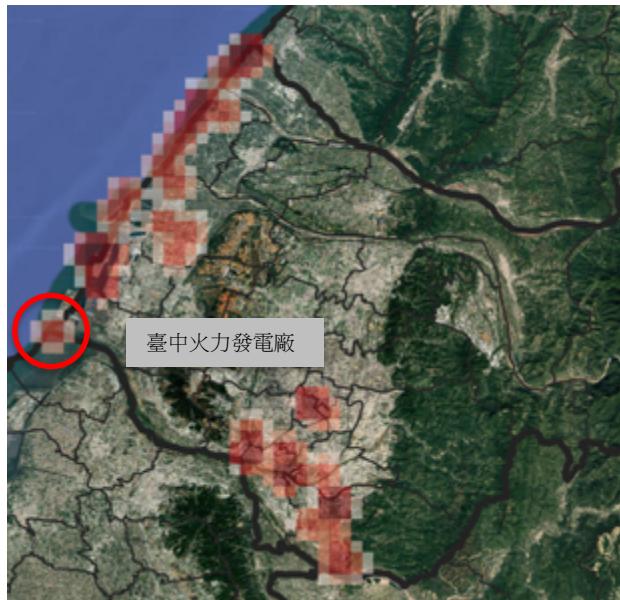
根據【圖18】可以發現，在高雄市63年間的年均最高溫網格點位置中，多數年份最高溫網格點都靠近西南方的臨海工業區與高雄港，此工業區中有許多鋼鐵產業，我們認為有可能因為煉鋼釋放出的高溫而影響當地氣溫。

四、城市規劃對都市熱島效應的影響：

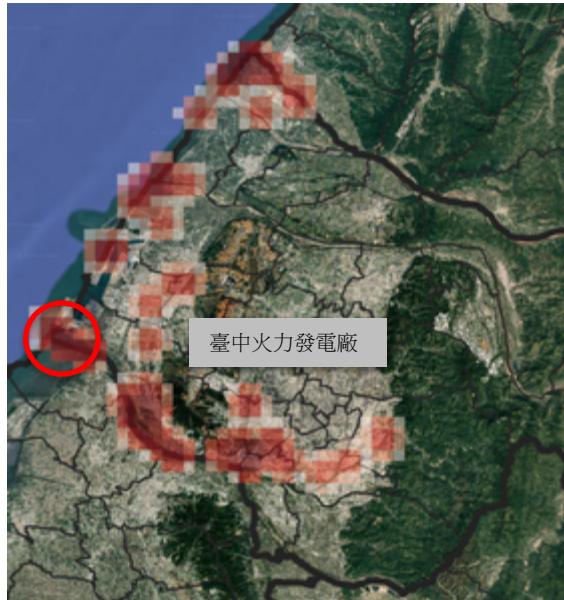
在都市發展的背景下，城市空間的利用型態隨著大型建設的不斷興建而產生改變。我們好奇最高溫網格點分布是否會隨之移動，因此在重大設施建設完成的前後都繪製出最高溫網格點分布圖，探討建設完後是否導致原有最高溫網格點位置轉移或擴展。

(一) 臺中火力發電廠

我們取用夏季（6、7、8月）數據畫最高溫網格點分布圖。而臺中火力發電廠興建於1986年，在發電過程中，燃燒化石燃料造成的廢熱將影響當地氣溫，我們認為夏季最高溫網格點將從沿海海港，轉移至火力發電廠區周邊。



【圖19】1960~1985年臺中市夏季最高溫網格點位置分布圖

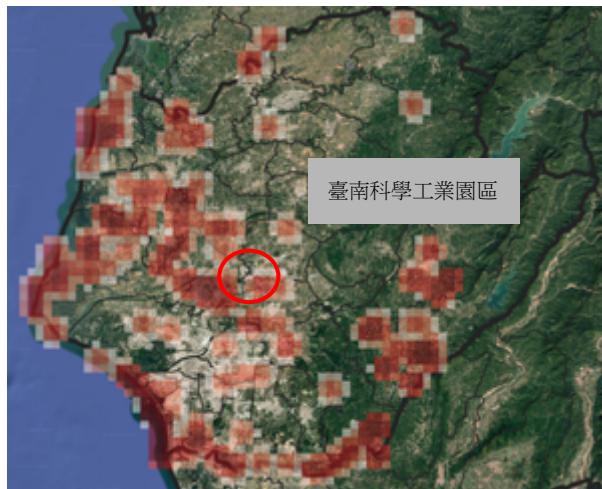


【圖20】1986~2022年臺中市夏季最高溫網格點位置分布圖

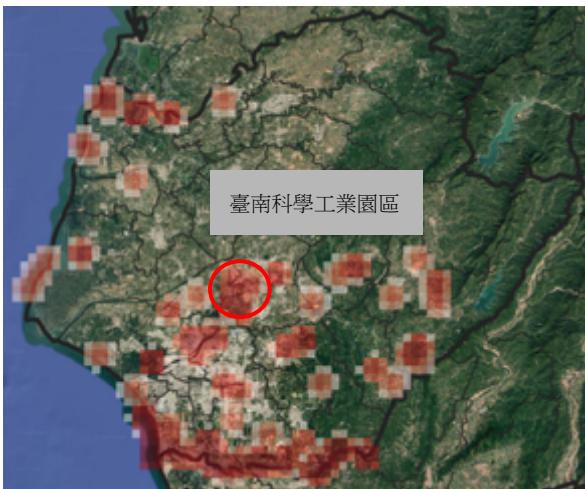
在【圖19】中，1960~1985年夏季最高溫網格點幾乎都在沿海，特別在臺中港因有許多人工建物（海堤、消波塊等等）成分幾乎都是水泥，大量吸收太陽輻射，造成最高溫網格點集中在於此。但在臺中火力發電廠建造後【圖20】最高溫網格點明顯集中於火力發電廠所在地，因此可知，臺中市最高溫網格點位置變化與我們的推測相同。

(二) 南部科學工業園區（臺南園區）

在1990年代時，臺灣的高科技產業幾乎都集中在北部，而政府希望能夠「區域平衡」，因此在1995年時，在臺南市的新市、善化區建造科學工業園區。其中高科技廠房幾乎都是用水泥及鋼構材料蓋的。大型晶圓廠是高耗能產業，設備和製作過程都會產生大量的熱，並且再透過空調與排風系統釋放到戶外，因此我們推測科學園區將成為臺南市新興的最高溫網格點。

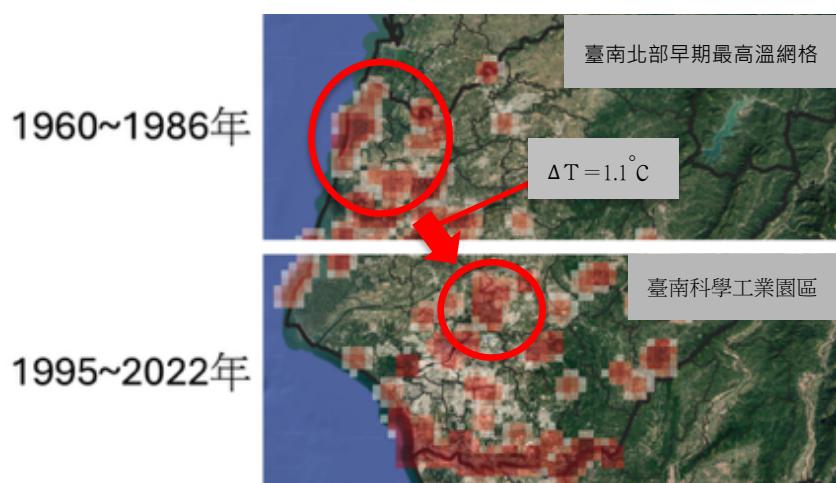


【圖21】臺南市1960~1994年
最高溫網格點位置分布圖



【圖22】臺南市1995~2022年
最高溫網格點位置分布圖

在【圖21】中可以觀察到，早期臺南市的最高溫網格點分布較零散，但仍然可以明顯看出西南部的最高溫網格點出現頻率較高，尤其是人口較為密集、鄰近安平港的地區。而在【圖22】中可以觀察到，臺南市北部的最高溫網格點出現次數減少，臺南科學工業園區所在位置的最高溫網格點次數明顯增加。我們推測這可能就與南科園區開發後，大量建設廠房及能源使用所導致的放熱有關，使該區域逐漸取代早期臺南市北部，成為臺南市的新興最高溫網格點。

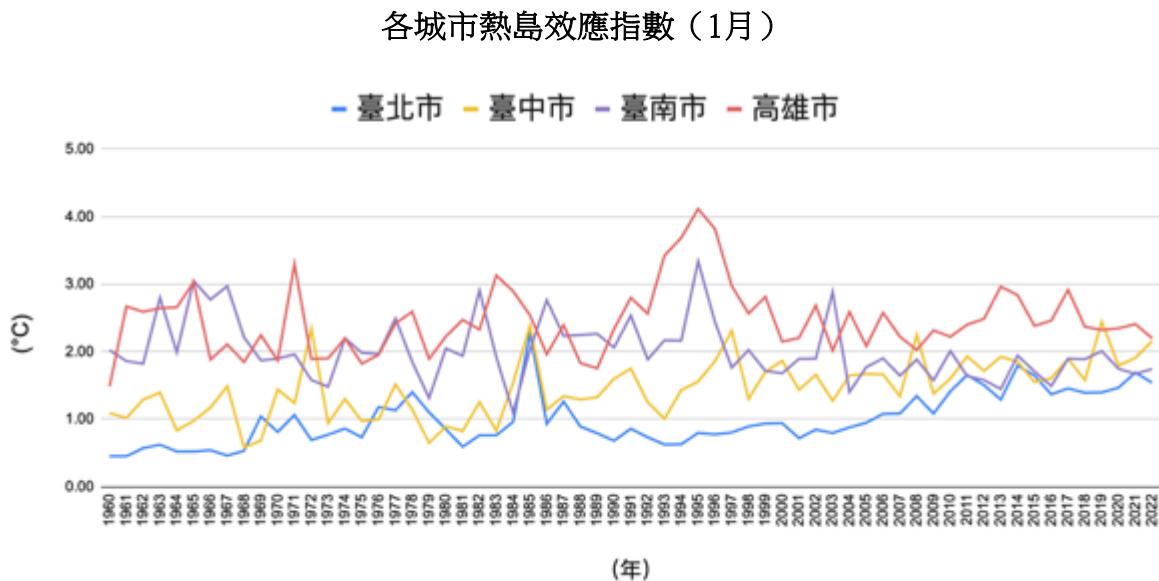


【圖23】臺南最高溫網格點早期與近期的空間變化示意圖

我們進一步比較臺南科學工業園區在1995~2022年的最高溫網格點平均氣溫與臺南市北部1960~1986年間的最高溫網格點平均氣溫【圖23】，發現臺南科學工業園區高1.1°C，表示園區的開發對局部氣溫產生影響。近期的最高溫網格點集中到臺南科學工業園區及南方人口較密集的住宅區，因此可知，臺南市的最高溫網格點位置變化與我們的推測相同。

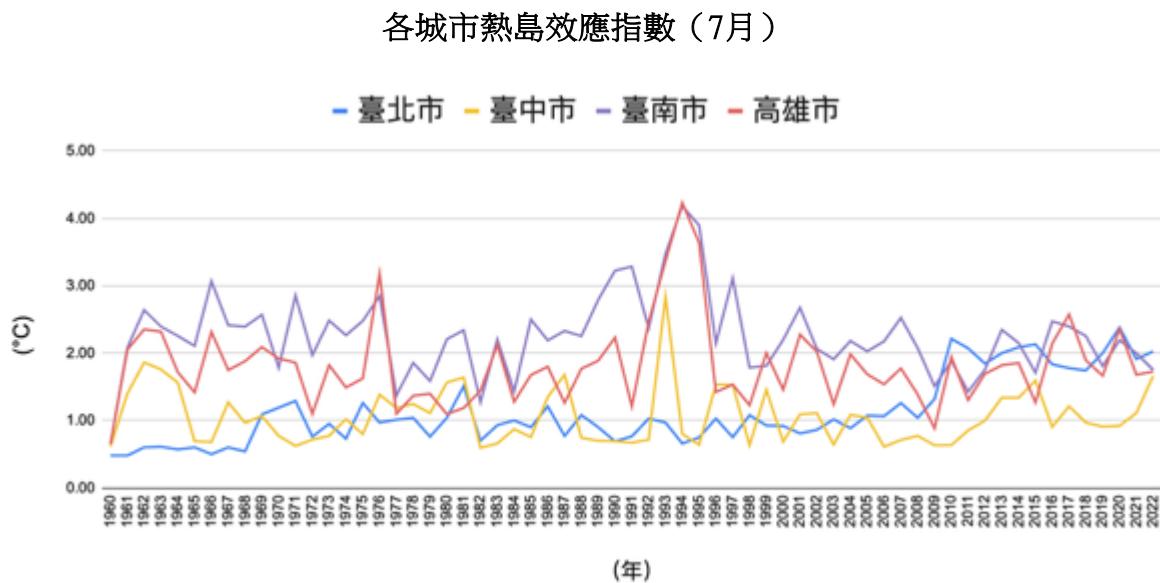
五、四個城市 1月與7月的平均熱島效應指數比較：

在討論完四個城市的年平均熱島效應指數變化趨勢後，為了比較冬季及夏季的特徵，我們挑出四個城市在63年間的1月與7月熱島效應指數，來進行更深入的分析。



【圖24】1960~2022 四個城市 1月平均熱島效應指數趨勢圖

【圖24】呈現了四個城市在1960年至2022年間，每年1月的平均熱島效應指數的長期趨勢和波動，分析冬季的熱島效應特徵。圖表X軸為年份，Y軸為1月熱島效應指數。臺北市1月熱島效應指數穩定上升，2000年後增幅明顯，1985年達到最大值。臺中市1月熱島效應指數高峰期有一定的週期變化大約（10~13年出現一次高峰），2019年時出現最大值。



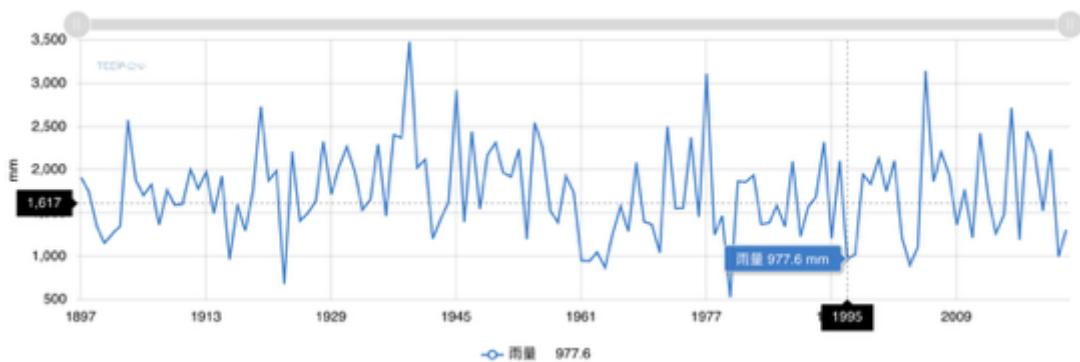
【圖25】1960~2022 四個城市 7月平均熱島效應指數趨勢圖

【圖25】呈現了四個城市在 1960 年至 2022 年間，每年 7 月的平均熱島效應指數的長期趨勢和波動，分析夏季的熱島效應特徵。圖表X軸為年份，Y 軸為1月熱島效應指數。臺北市在夏季的熱島效應指數較其他縣市更顯著。高雄市波動幅度最顯著，而高雄和臺南市於1994年時的指數都達到最高峰。

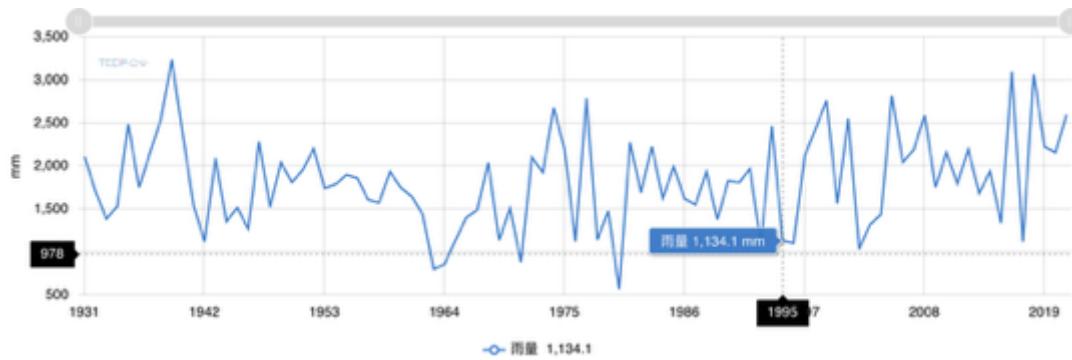
對照【圖24】與【圖25】後，發現強聖嬰年份（1972~1973、1982~1983、1997~1998、2015~2016）或強反聖嬰年份（1973~1976、1998~1989、1998~2001）並未造成四個縣市出現一致的規律性變化。因此，我們推測聖嬰與反聖嬰現象並非影響都市熱島效應的主要因素，區域地形對熱島效應仍具有相當的權重影響。

六、推測高雄1992~1995年熱島效應指數的異常升高的原因：

根據【圖8】發現高雄在1992~1995年間熱島效應指數異常升高，且臺南也有同樣趨勢，我們對此感到非常好奇，因此我們截取TCCIP網站高雄與臺南測站的降雨資料，嘗試推測原因。



【圖26】1995年臺南測站降雨量狀況（圖截自TCCIP網站）



【圖27】1995年高雄測站降雨量狀況（圖截自TCCIP網站）

根據【圖8】可看出高雄1992~1995熱島效應指數異常升高，臺南在1992~1995年間同樣有類似狀況，其中1995年兩縣市1月熱島指數也異常上升，而當年剛好為聖嬰年，並且根據【圖26】、【圖27】可以發現當時的雨量較少，因此我們認為此次熱島效應指數異常可能與聖嬰現象和雨量較少有關。

七、各縣市氣溫變化與熱島效應趨勢的關聯

我們想知道全球暖化與熱島效應變化是否有關。以往探討全球尺度氣候時，都採用年均溫進行討論，因此我們使用縣市的年平均熱島效應指數與縣市測站年均溫進行對比，並計算其相關係數。

【表3】各縣市年均氣溫與熱島效應指數的相關係數

| | 臺北 | 臺中 | 臺南 | 高雄 |
|--------------|------|-------|------|-------|
| 平均溫與熱島強度相關係數 | 0.38 | -0.55 | 0.11 | -0.64 |

【表3】呈現了四個城市在2003~2022年間，每年平均的熱島效應指數，與各城市的測站每年平均氣溫的相關係數。

臺北測站平均氣溫呈現上升趨勢，氣溫與熱島效應指數的相關係數為0.38。臺南測站的平均氣溫呈上升趨勢，相關係數為0.11。臺中測站的平均氣溫呈上升趨勢，相關係數為-0.55。而高雄測站在2021年進行遷移，因此我們只討論2003至2020年間，平均氣溫同樣呈現上升趨勢，氣溫與熱島效應指數的相關係數為-0.64。

可以發現四個城市年均氣溫與熱島效應指數的相關係數都很低，這表示熱島效應指數的變化和各城市測站年平均氣溫變化無直接關聯。

八、未來展望：

- (一) 臺北市在63年間的熱島效應指數數值較其他三個城市小，與我們最初的預期不相符，可能是因為臺北市的開發已經趨近於飽和，造成沒有足夠明顯的「郊區」，所以我們希望本研究目前討論的臺北市範圍能在未來增加新北市，以探討整個大臺北地區的熱島效應強度。
- (二) 目前本研究討論的範圍是以縣市來區分，但這會造成最高溫位置不固定，所以未來可以改用土地利用分區資料（人口密度、建築密度）進行討論，使我們所定義的都市和郊區能更符合真實情況。
- (三) 本研究在目前探討熱島效應強度時，主要以熱島效應指數趨勢對比和氣候系統的變動進行討論，但影響熱島效應強度的因素有很多，除了氣候的變化外，人文因素也會是一個很重要的原因，所以我們希望在未來探討都市熱島效應時，能夠再增加這部份的了解，並進一步討論都市擴張速度與綠地比例變化的影響。

陸、結論

- 一、熱島效應指數變化趨勢：臺北市每100年約上升1.6度，臺中市每100年約上升1.0度，臺南市每100年約下降0.5度，高雄市每100年約上升0.2度。
- 二、臺北市的熱島效應強度不能侷限於臺北市，應加入新北市的範圍共同討論，因為臺北市的開發已經趨近於飽和，沒有明顯的「郊區」，未來探討臺北市的熱島效應強度時應該擴大到整個大臺北地區。
- 三、臺南市與高雄市的熱島效應指數都在1995年時有較大的強度，可能與該年的聖嬰現象發生和雨量較少有關。

四、臺中市的熱島效應指數呈現明顯的季節性變化，主要是受到地形與季風變化的雙重影響，導致冬季熱島效應較為顯著，而夏季相對較弱。

五、都市熱島效應與人口總數變化相關

(一) 臺北市屬於高密集的都市區域，且有大量工作人口移入，故熱島效應強度仍有所增長。

(二) 臺南市和高雄市的熱島效應指數變化持平甚至斜率為負值，原因與人口總數減少相關。

六、沿海設施對都市熱島效應有影響

(一) 臺中市夏季最高溫網格點多在沿海港區，是因為港口區域的水泥地面吸收更多熱能，會增加當地溫度。

(二) 高雄臨海工業區與高雄港進行的工業活動會增加區域局部溫度。

七、都市的規劃對都市熱島效應有影響

(一) 臺中火力發電廠在1986年興建完成，在發電過程中造成的廢熱會增加當地溫度。1986年前最高溫網格點集中在沿海海港，1986年後則明顯集中於火力發電廠所在地。

(二) 1995年臺南科學工業園區開始開發，大量建設廠房及能源使用，導致提高當地溫度。1995年前臺南最高溫網格點多落於西南部，而在1995年後最高溫網格點出現在臺南科學工業園區的次數明顯增加。

柒、參考資料及其他

中國文化大學大氣科學系 (n.d.)。大氣科學研究與應用資料庫。取自 <https://asrad.pccu.edu.tw/dbar/>

中央研究院 (2023)。高解析度空氣品質診斷與預報模式。中央研究院研之有物。取自 <https://research.sinica.edu.tw/high-resolution-modeling-for-air-quality-diagnosis-and-forecast/>

何謹成、劉厚佐、邱敏瑞 (2014)。高雄地區市區與郊區熱島效應之比較。台灣科學展覽。取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/040510.pdf>

吳進福 (2009)。氣候自然變異與年代際變化。氣象學報，40 (3)，215 – 236。取自 <http://mopl.as.ntu.edu.tw/web/ASJ/40/40-3-3.pdf>

林子平（2021）。都市的夏天為什麼愈來愈熱？：圖解都市熱島現象與退燒策略。商周文化。

林廷芳、王志朋、周佳昌（2015）。熱島效應對臺北都會區水文型態之影響評估。農業工程學報，61（4），1 – 14。取自 <http://www.twaes.org.tw/AE/htmdata/0000201510.pdf>

氣象署（n.d.）。聖嬰現象說明。取自 https://www.cwa.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/nous/climate_all.html

氣象署（n.d.）。聖嬰與反聖嬰事件列表。取自 https://www.cwa.gov.tw/V8/C/K/Encyclopedia/climate/climate6_list.html#climate6-08

國家災害防救科技中心（2018）。全球暖化下，臺灣只會越來越熱！取自 <https://ncdr.nat.gov.tw/UploadFile/Newsletter/20180912152806.pdf>

國家災害防救科技中心（2023）。臺灣歷史氣候重建資料於都市規劃及建築設計之應用。取自 https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_newsletter_one.aspx?nid=20231025194929

國家災害防救科技中心（n.d.）。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。取自 <https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/>

張佩歆（2024）。舊臺中市區都市空間結構與環境異質性於都市熱島效應影響之研究。取自 <https://hdl.handle.net/11296/7722ve>

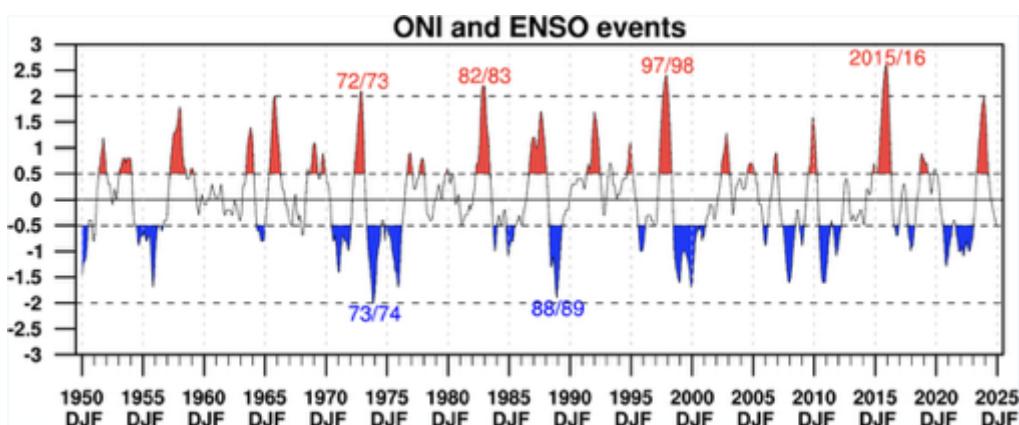
邵幼雲、陳修弘、辜富祺、劉家瑋（1995）。臺北地區熱島效應之研究與探討。台灣科學展覽。取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/36/pdf/36h/152.pdf>

劉銘傳、黃家銘、陳建文（2016）。都市熱島效應於產業發展及其影響因子分析之研究。都市與計劃，43（1），33 – 56。取自 https://tpl.ncl.edu.tw/NclService/pdfdownload?filePath=IV8OirTfsslWcCxIpLbUfmdCa1P8r-hEWOrsfDkJPZy92_ML_WURpVPg8oHCy0YN&imgType=Bn5sH4BGpJw=&key=_XMFZ-UmmQG8pcwj3DqMoq0v62ypq4QS99hnyQiqb7UeVVU9OyINO4qBZJhLTxWd&xmlId=0006862220

Howard, L. (1833). *The climate of London deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it*. Harvey and Darton. 取自 [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx-455qlt3d2q\)\)/reference/referencespapers?referenceid=1218342](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx-455qlt3d2q))/reference/referencespapers?referenceid=1218342)

附錄

此為聖嬰與反聖嬰發生的年份表，用以對照聖嬰與反聖嬰是否影響熱島效應強度(取自中央氣象署)



【圖28】聖嬰與反聖嬰發生的年份表

此為部分撰寫的輔助程式內容

```
public function csvStep1($input) {
    $heightDataOfCity = $input['heightDataOfCity'];
    $cityName = $input['city'];
    $startYear = $input['startYear'];
    $endYear = $input['endYear'];
    $heightLimit = $input['heightLimit'];

    // 讀臺灣經緯度 + 高度資料
    $filePathTaiwan = storage_path('app/public/haiwanInfo_'. $heightDataOfCity . '.csv'); // 檔案路徑
    $TaiwanCsv = array_map('str_getcsv', file($filePathTaiwan)); // 打開檔案
    unset($TaiwanCsv[0]); // 移除標題

    $TaiwanList = array(); // 臺灣「經緯度+高度」列表
    foreach ($TaiwanCsv as $key => $info) {
        $TaiwanList[] = ["LON" => $info[0], "LAT" => $info[1], "HEIGHT" => $info[2]];
    }

    for ($year = $startYear; $year <= $endYear; $year++) {
        // 讀取縣市個年份經緯度 + 溫度資料
        $filePathCity = storage_path('app/public/'. $cityName . '/' . $cityName . '_Info_'. $year . '.csv'); // 檔案路徑
        $CityCsv = array_map('str_getcsv', file($filePathCity));
        unset($CityCsv[0]); // 移除標題

        $cityList = array(); // 臺中「經緯度」列表
        foreach ($CityCsv as $key => $info) {
            $cityList[] = ["LON" => $info[0], "LAT" => $info[1]];
        }

        $searchResult = array(); // 這裡存的是臺灣csv的key值
        foreach ($TaiwanList as $key => $info) {
            if (in_array($info[0], $cityList)) {
                $searchResult[] = $key;
            }
        }
    }
}
```

```

$cityRequiredList = array();
foreach ($searchResult as $key => $searchKey) {
    if ($taiwanList[$searchKey][1]['HEIGHT'] > $heightLimit) {
        continue;
    }
    $cityRequiredList[] = $taiwanList[$searchKey];
}
$result = array();
foreach ($cityRequiredList as $key => $info) {
    $keyInCityCsv = array_search($info[0], $cityList) + 1;
    if ($keyInCityCsv) {
        unset($cityCsv[$keyInCityCsv][0]);
        unset($cityCsv[$keyInCityCsv][1]);
        $result[] = ["Location" => ["HEIGHT" => $info[1]["HEIGHT"], "LON" => $info[0]["LON"], "LAT" => $info[0]["LAT"]], "Temperature" => $cityCsv[$keyInCityCsv]];
    }
}
}

$this->csvHelper->generate($cityName, $cityName . "_. $year);
$multiRowData = array();
foreach ($result as $resultInfo) {
    $rowData = array();
    // $rowData[0] = $resultInfo["Location"]["HEIGHT"];
    $rowData[1] = $resultInfo["Location"]["LON"];
    $rowData[2] = $resultInfo["Location"]["LAT"];
    for ($i = 2; $i < count($resultInfo["Temperature"]) + 2; $i++) {
        if ($resultInfo["Temperature"][$i] == -99.9) {
            $rowData = array();
            break;
        }
        $rowData[$i + 1] = $resultInfo["Temperature"][$i];
    }
    if(count($rowData) > 0){
        $multiRowData[] = $rowData;
    }
}
// $outputData = array_map(null, ...$multiRowData); // 矩陣反轉

$outputData = $this->calMonthAverage($multiRowData, $year); // 計算月平均

$this->csvHelper->setMultiRowData($outputData);
echo $this->csvHelper->finish();
}

public function calMonthAverage($multiRowData, $year) {
    $outputData = array();
    $outputData[0][0] = "";
    $outputData[0][1] = "網格";
    $outputData[0][2] = "月份 1";
    $outputData[0][3] = "月份 2";
    $outputData[0][4] = "月份 3";
    $outputData[0][5] = "月份 4";
    $outputData[0][6] = "月份 5";
    $outputData[0][7] = "月份 6";
    $outputData[0][8] = "月份 7";
    $outputData[0][9] = "月份 8";
    $outputData[0][10] = "月份 9";
    $outputData[0][11] = "月份 10";
    $outputData[0][12] = "月份 11";
    $outputData[0][13] = "月份 12";
    foreach ($multiRowData as $data) {
        $daysInMonth = 0; // 每個月有幾天
        $startIndex = 2; // 從第幾個索引開始算平均溫度
        $rowData = array(); // 每筆網格對應的12個月份月均溫
        $rowData[0] = $data[1]; //
        $rowData[1] = $data[2];
        for ($month = 1; $month <= 12; $month++) {
            $daysInMonth = Carbon::create($year, $month, 1)->daysInMonth;
            $averageTempInMonth = array_sum(array_slice($data, $startIndex, $daysInMonth)) / $daysInMonth;
            $startIndex += $daysInMonth;

            $rowData[$month + 1] = $averageTempInMonth;
        }
        $outputData[] = $rowData;
    }
}

```

```

$onlyAverageTempData = $outputData;
$columnLength = count(array_column($onlyAverageTempData, 0));

$outputData[$columnLength + 1][0] = "";
$outputData[$columnLength + 1][1] = "最高溫";
$outputData[$columnLength + 2][0] = "";
$outputData[$columnLength + 2][1] = "最低溫";
$outputData[$columnLength + 3][0] = "";
$outputData[$columnLength + 3][1] = "熱島指數";

for ($monthIdx = 2; $monthIdx <= 13; $monthIdx++) {
    $column = array_filter(array_column($onlyAverageTempData, $monthIdx), 'is_numeric');

    // 計算最大值與最小值及列長度
    $maxValue = max($column);
    $minValue = min($column);

    $outputData[$columnLength + 1][$monthIdx] = $maxValue;
    $outputData[$columnLength + 2][$monthIdx] = $minValue;
    $outputData[$columnLength + 3][$monthIdx] = $maxValue - $minValue;
}

return ($outputData);
}

#include <iostream>
#include <fstream>
#include <sstream>
#include <vector>
#include <string>
#include <filesystem>
#include <cstdlib>
#include <regex>

using namespace std;
namespace fs = std::filesystem;

//== 取得桌面路徑（支援 Windows / macOS / Linux ） ==
fs::path getDesktopPath()
{
#ifdef _WIN32
    char* home = nullptr;
    size_t len = 0;
    if (_dupenv_s(&home, &len, "USERPROFILE") != 0 || home == nullptr) {
        throw runtime_error("無法取得 USERPROFILE 環境變數！");
    }
    fs::path desktop = fs::path(home) / "Desktop";
    free(home);
    return desktop;
#else
    const char* home = getenv("HOME");
    if (!home) {
        throw runtime_error("無法取得 HOME 環境變數！");
    }

```

【評語】051907

本件作品的研究目的在發展簡易快速的熱島效應強度估算方法，利用氣象署地面測站的網格化資料，排除高度對氣溫的影響後，找出都市範圍中的最高、最低溫數值，分析臺北、臺中、臺南及高雄四座城市的長期熱島效應強度變化趨勢，提供臺灣四個直轄市的熱島效應長期變遷資料，也為未來面對城市氣候的調適策略提供科學依據。

目前的熱島指數計算方法會計算最高溫與最低溫之差異，最高溫定出現在中午附近<但最低溫會出現在清晨，與熱島之定義是否一致?若取前百分之五之最高平均溫與後百分之五的最低溫比較是否較具代表性?若取相近時間之高低溫差是否結果會不一樣?另外也可嘗試先找出各個地點之每日最高溫與最低溫，並計算月平均值，而後利用最高溫、最低溫、最高溫與最低溫差之等值線找出熱島效應位置。考慮一下除人口之外，能夠影響熱島效應其他因子(例如：植被、降水等)。

作品海報

熱島抬升了嗎？

-臺灣都市熱島效應的長期變化趨勢

壹、前言

在地球科學的課堂上，老師提到熱島效應的內容，我們深被這個議題吸引，熱島效應在全球暖化的背景下有特別逐漸增強嗎？而臺灣不同城市熱島效應強度會一樣嗎？本研究選取臺北、臺中、臺南與高雄四座城市，並以縣市行政邊界作為研究範圍。各縣市政府在都市規劃與環境管理上擁有獨立治理權限，因此，使用縣市邊界作為劃分，有助於提供地方政府更具參考價值的數據。本研究透過1960年至2022年長達63年的數據，分析各城市熱島效應強度變化趨勢，探討其季節性特徵、影響熱島效應之因素，期望為臺灣都市氣候調適提供參考。

一、文獻探討：

林子平（2021）研究中發現，進入市區的風會流入阻礙較小的區域，如果這些區域連結成一條連續路徑，即可稱為「都市風廊」。風向則多以該區域長期盛行風向決定。依據寬度及順暢性，可定義出「主要風廊」及「次要風廊」，代表潛在風速大小，而與這些風廊交叉的「連結風道」，有助風廊間的串連及另一風向的引入，讓都市通風更流暢。（張佩歆，2024）則提到臺中市工業區是都市熱源，但大型開放空間（如綠地）和水體（池塘）有良好的降溫效果。綜合上述文獻，風的流通與綠地配置對城市環境具有重要意義。

參考中小學科展作品「高雄地區市區與郊區熱島效應之比較」的研究，市區與郊區溫差在夏季較明顯，冬季午間或午後也出現較大溫差。「1995臺北地區熱島效應之研究與探討」著重臺北地區熱島效應變化。晴天熱島效應明顯，雨天不明顯。此研究分析不同地點的氣溫特徵，並發現人為活動及植被等會影響當地氣溫。根據上述文獻，過去研究主要集中在某一都市的短期熱島效應成因與影響，卻很少討論多個城市間及長期變化的分析，所以如果把研究時間範圍拉長，並比較多個縣市，就可能會有不同結果。因此，本研究將比較臺北、臺中、臺南、高雄等四個縣市在過去63年間的熱島效應指數變化，並且進行討論與分析。

二、研究目的：

- (一) 了解臺北、臺中、臺南、高雄四座城市從1960到2022年，共63年的熱島效應指數趨勢與特徵。
- (二) 比較臺北、臺中、臺南、高雄各月份的平均熱島效應指數趨勢與特徵。
- (三) 分析臺北、臺中、臺南、高雄熱島效應的季節性變化：冬季與夏季。
- (四) 討論沿海設施對熱島效應最高溫網格點分布的影響
- (五) 討論城市規劃對都市熱島效應的影響

貳、研究設備及器材

一、Microsoft Excel與試算表：

運用Excel與試算表將資料進行整理，並且執行各種計算與建立折線圖，更直接比較不同資料之間的變化和差異，深入了解其趨勢及關聯性。

二、臺灣氣候變遷推估與資訊平台(TCCIP)：

網格化資料(1960~2022)每日網格化溫度由臺灣氣候變遷推估與資訊平台(TCCIP)網站取得，網格大小（1公里 × 1公里），網格高度為網格正中央高度，四個城市的總網格數目為3207格，每個網格以其中心點經緯度表示，並覆蓋 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 的範圍。

三、QGIS地理資訊系統：

運用地理資訊系統將點座標呈現在地圖上，以視覺化方式幫助我們更好的討論研究內容。

四、PHP程式語言：

使用程式幫助我們有效率的刪除四個城市高度100公尺以上的網格點，並且將日均溫平均成月均溫。

參、研究過程和方法

一、討論研究與呈現：

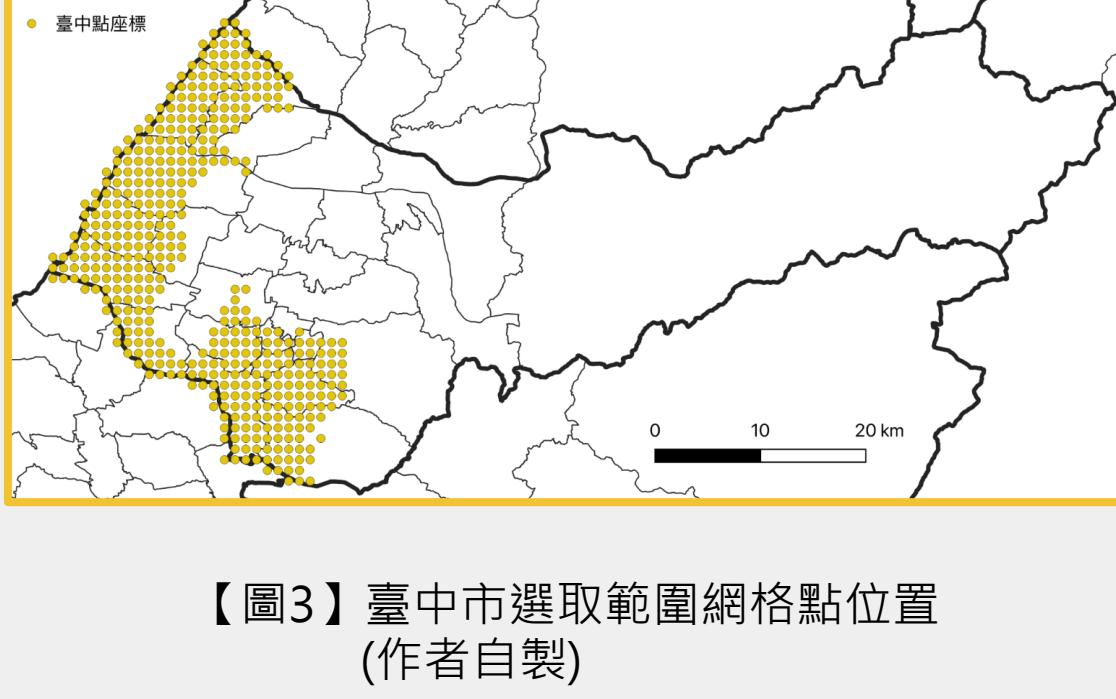
經過團隊多次討論，我們想利用長期資料計算熱島效應指數。在「都市熱島效應於產業發展及其影響因子分析之研究」這篇文獻中，溫度是運用衛星測得地表熱紅外線波段，再用接收到的輻射強度換算得知。不過上述方法沒有長期連續資料，所以我們決定用已經網格化處理的地面資料，相較使用接收到的輻射強度換算溫度的方法，使用網格化資料會更快也更簡單，並可快速計算熱島效應指數。

二、取用已座標網格化的溫度資料：

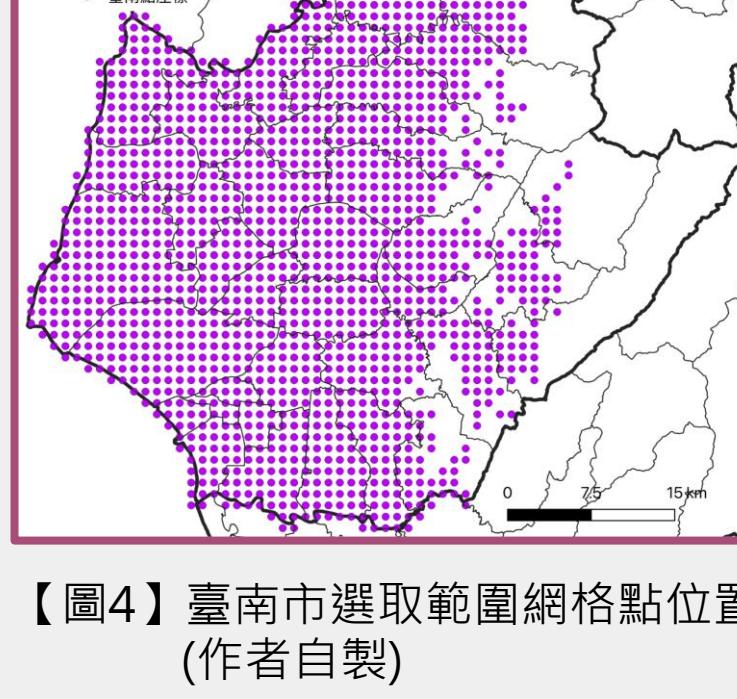
網格化資料可以弭平空間上沒有氣象測站的問題，我們選用TCCIP第二版的網格化觀測資料，但如果直接使用這個資料挑選最低溫當作郊區溫度，可能會選取到山上的資料，為避免高度影響溫度，我們將100公尺以上的網格資料去除，僅留下100公尺以下的溫度資料，在此都市範圍中、100公尺以下的網格內，選取最高溫以及最低溫來估算熱島效應強度。



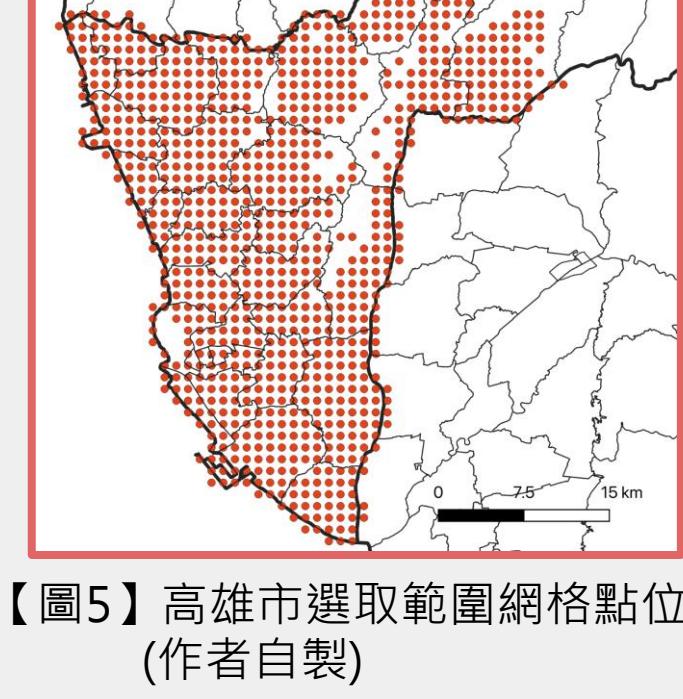
【圖1】研究過程(作者自製)



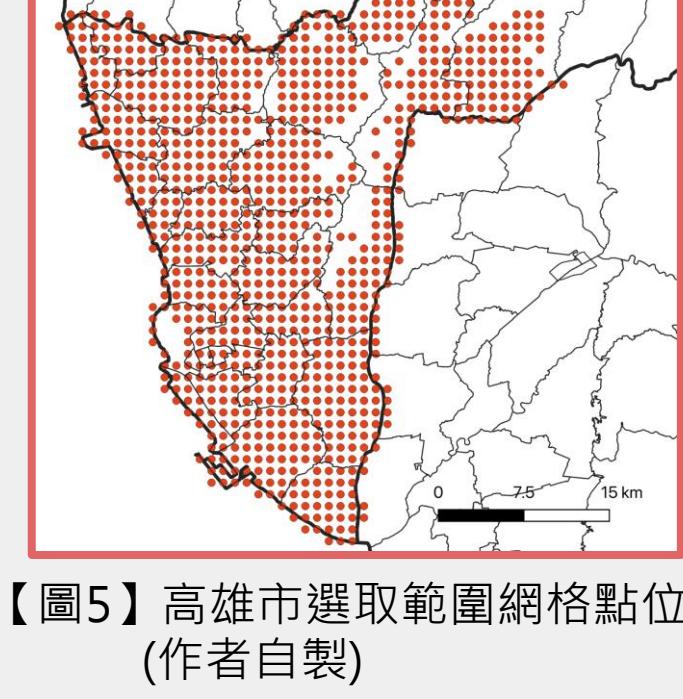
【圖2】臺北市選取範圍網格點位置
(作者自製)



【圖3】臺中市選取範圍網格點位置
(作者自製)



【圖4】臺南市選取範圍網格點位置
(作者自製)



【圖5】高雄市選取範圍網格點位置
(作者自製)

三、定義熱島效應指數：

熱島效應的定義是城市區域內，由於人類活動、氣候因素、植被面積變化、建築材料改變等緣故，讓其溫度明顯比周邊的郊區高，熱島效應指數是用來衡量都市熱島效應的一個指標，計算方式如下。

$$\text{熱島效應指數} = \text{都市氣溫} - \text{郊區氣溫} \text{ (單位} ^\circ\text{C)} \quad \text{【Howard, L. (1833)】}$$

四、定義郊區與都市的氣溫位置：

都市氣溫：在城市區域內、海拔高度100公尺下，月均溫最高溫的網格點。

郊區氣溫：在城市區域內、海拔高度100公尺下，月均溫最低溫的網格點。

肆、研究結果

一、臺北市熱島效應指數變化趨勢

【圖6】中可以看出，臺北市從1960年到2022年的熱島效應指數整體呈現上升趨勢。柱狀圖顯示了逐年的變化和波動，其中1986~2008年熱島效應指數較低，在2009年左右開始呈現上升趨勢，並且較過去的增長幅度快。熱島效應強度每百年約增加1.6°C。

二、臺中市熱島效應指數變化趨勢

【圖6】中可以看出，臺中市從1960年到2022年的熱島效應指數整體呈現上升趨勢。柱狀圖顯示了逐年的變化和波動，其中存在一些年份的波動和下降。熱島效應強度每百年約增加1°C。

三、臺南市熱島效應指數變化趨勢

【圖6】中可以看出，臺南市從1960年到2022年的熱島效應指數整體呈現下降趨勢。柱狀圖顯示了逐年的變化和波動，在1960~1996年間波動較1996年後明顯。熱島效應強度每百年約減少0.5°C。

四、高雄市熱島效應指數變化趨勢

【圖6】中可以看出，高雄市從1960年到2022年的熱島效應指數整體上升趨勢不明顯。柱狀圖顯示逐年的變化和波動，其中1992~1996年出現異常波動。R 平方值較低與1993~1995年的熱島效應指數高值有關。熱島效應強度每百年約增加0.2°C。

【表1】各城市百年熱島效應指數變化(作者自製)

| | 趨勢線方程式 | 每百年變化值 |
|----|------------------------|---------|
| 臺北 | $y = 0.016x + 0.588$ | 約上升1.6度 |
| 臺中 | $y = 0.0101x + 1.1$ | 約上升1.0度 |
| 臺南 | $y = -0.00564x + 2.29$ | 約下降0.5度 |
| 高雄 | $y = 0.00194x + 1.9$ | 約上升0.2度 |

五、2010~2022年人口數量變化與熱島效應的關聯

根據【圖7】可知，2010~2022年期間，臺中市的居住人口數從264萬8千人增加至281萬4千人，人口移入數量最明顯；臺北市的居住人口數在2010~2015年間先增加後減少，另外兩個城市則呈現減少的變化，這可能是造成高雄市和臺南市63年間熱島效應指數變化持平甚至斜率為負值的原因。雖然臺北市的減少幅度較大，但可能因為臺北市屬於高密集的都市區域，且有大量工作人口移入，故熱島效應強度仍有所增長。

六、各月平均熱島效應指數分布分析：

【圖8】、【表2】比較四個縣市在63年間各個月份的平均熱島效應指數。圖中用不同顏色代表不同縣市。X 軸為月份，Y 軸則代表熱島效應指數的各月平均值。

四個城市熱島效應指數的高峰值都在不同月份，臺北市整體熱島效應指數較穩定。臺中熱島效應指數變化最劇烈，3月達到峰值後開始下降，10~11月達到第二次的高峰。同時臺中和高雄市的熱島效應指數具有顯著的季節性差異。

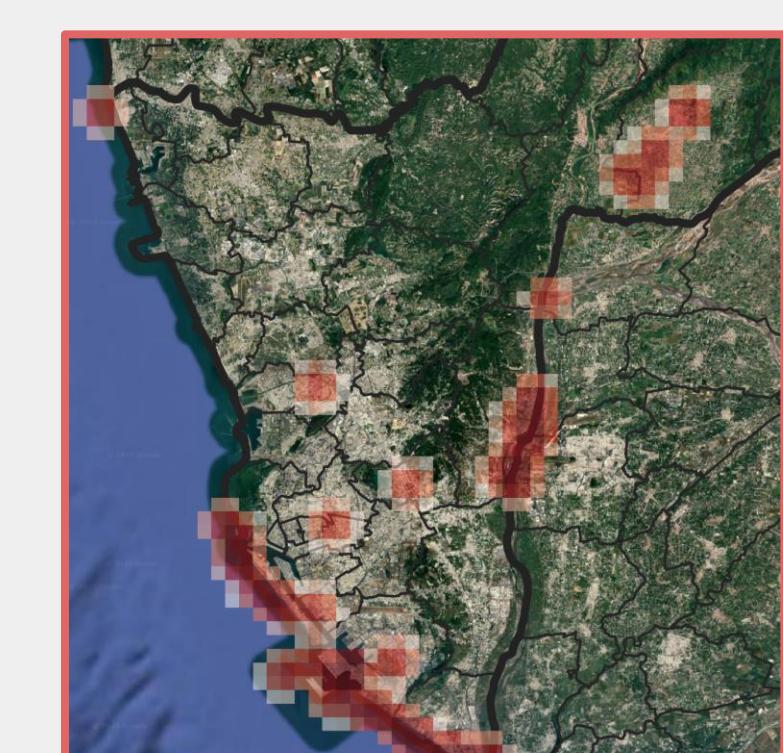
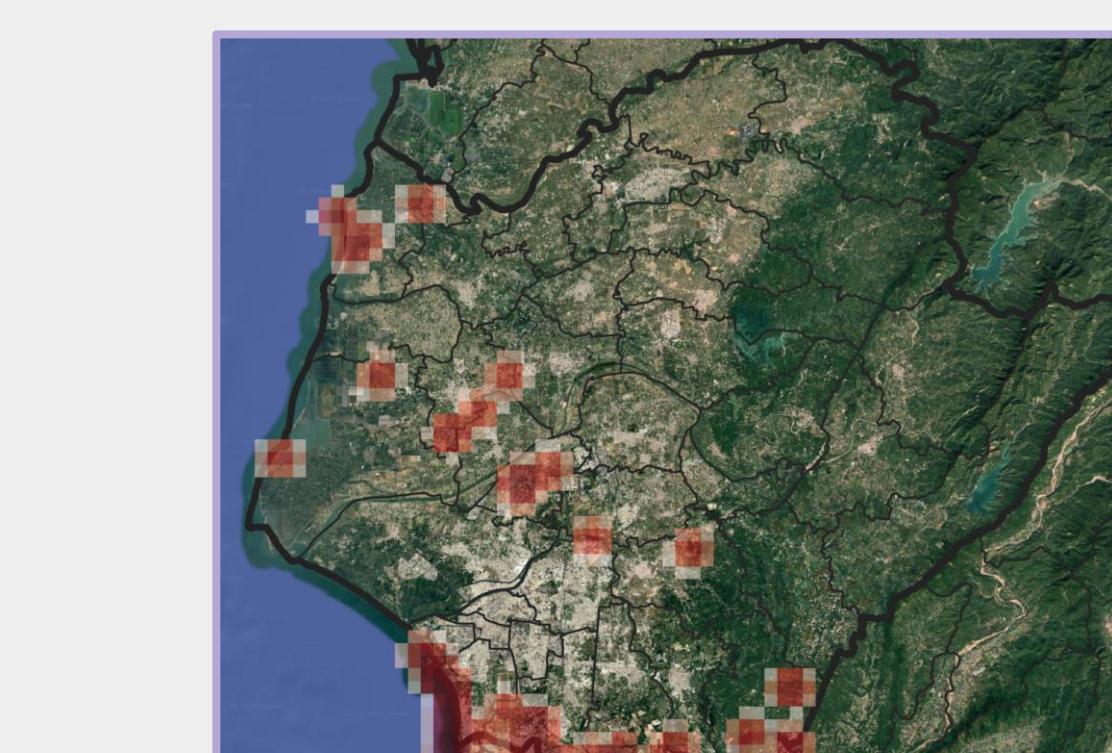
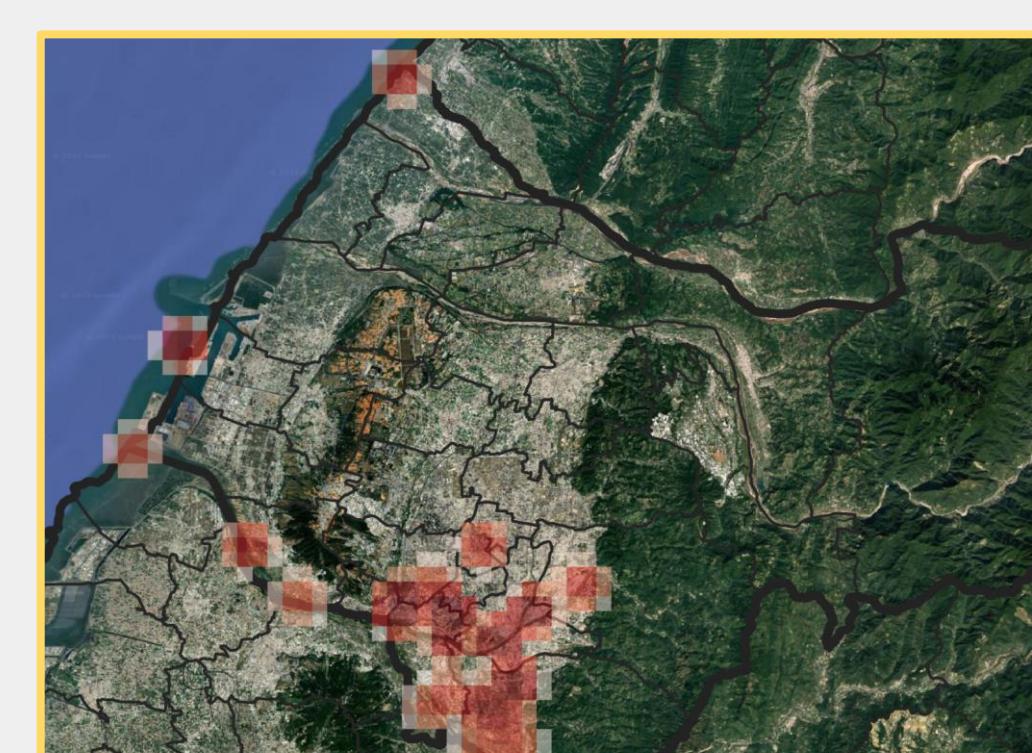
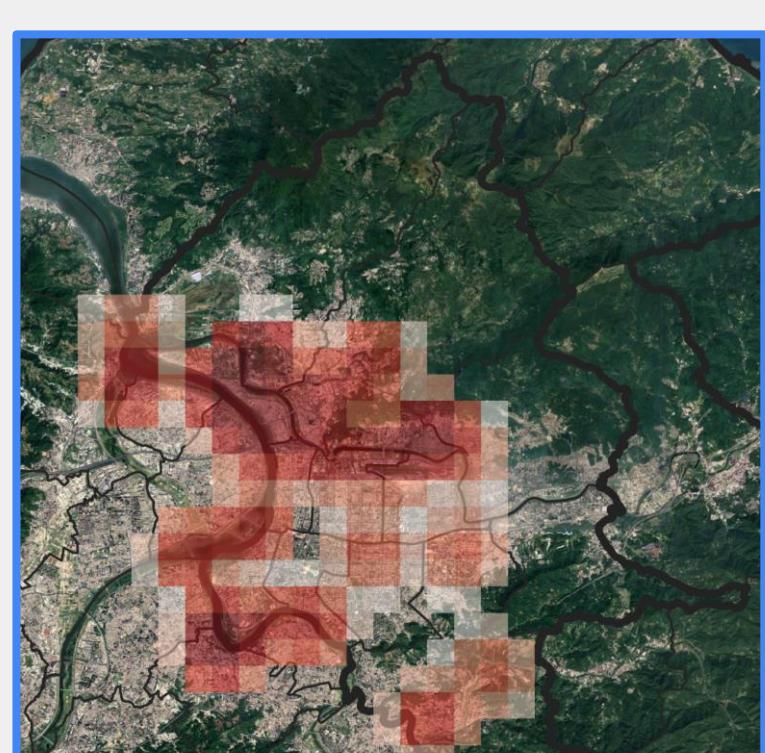
【圖9】臺中市的熱島效應指數有明顯的季節性變化，可能是受到地形影響。冬季時，東北季風影響，但市區位於台地背風側，台地地形阻擋風勢，使都市內部冷卻效果減弱。但郊區因無地形屏障，散熱較順暢，導致都市與郊區溫差增大。反之，夏季因缺乏冷空氣對郊區降溫，使都市與郊區溫差縮小。從【圖10】所示「63年間臺中市冬季最高溫出現位置」分布圖來看，其結果與上述推論一致，冬季最高溫集中於市區盆地範圍。

【表2】四個城市各月平均熱島效應指數數值 (攝氏度) (作者自製)

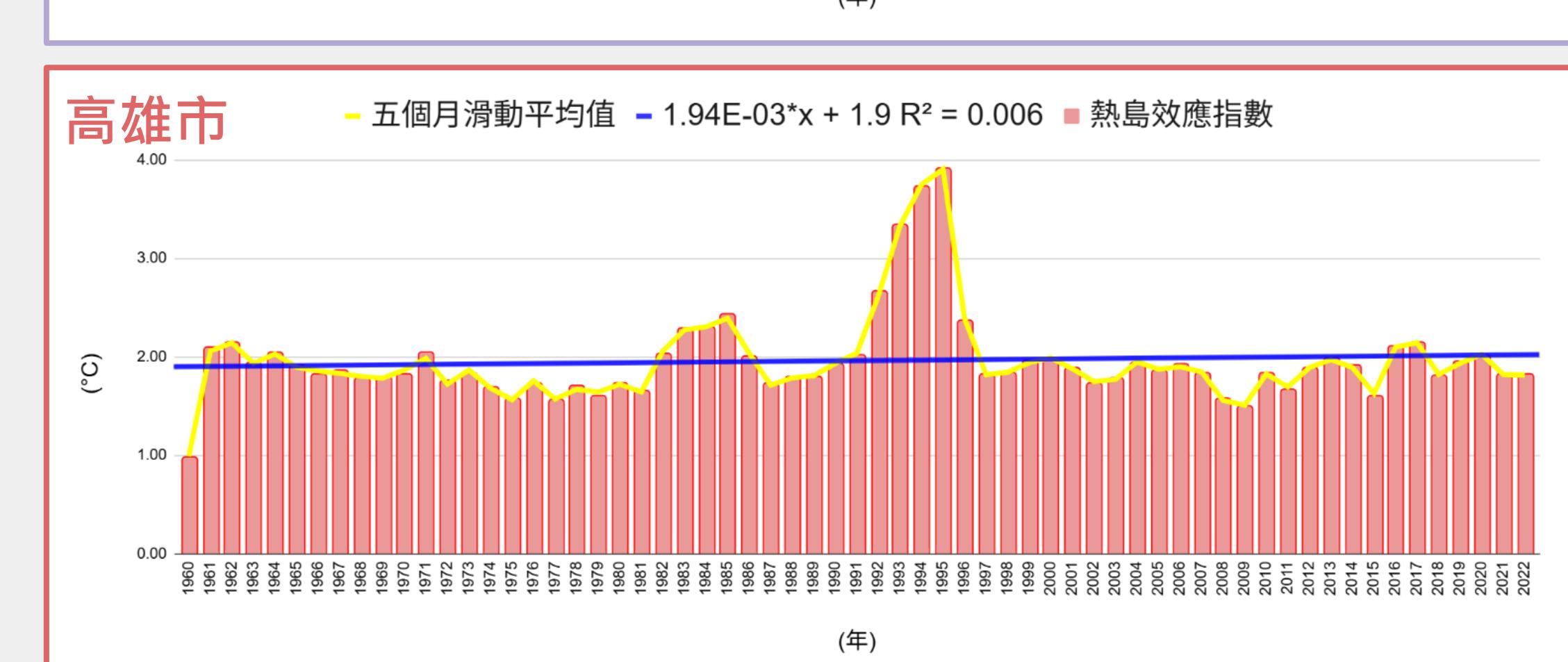
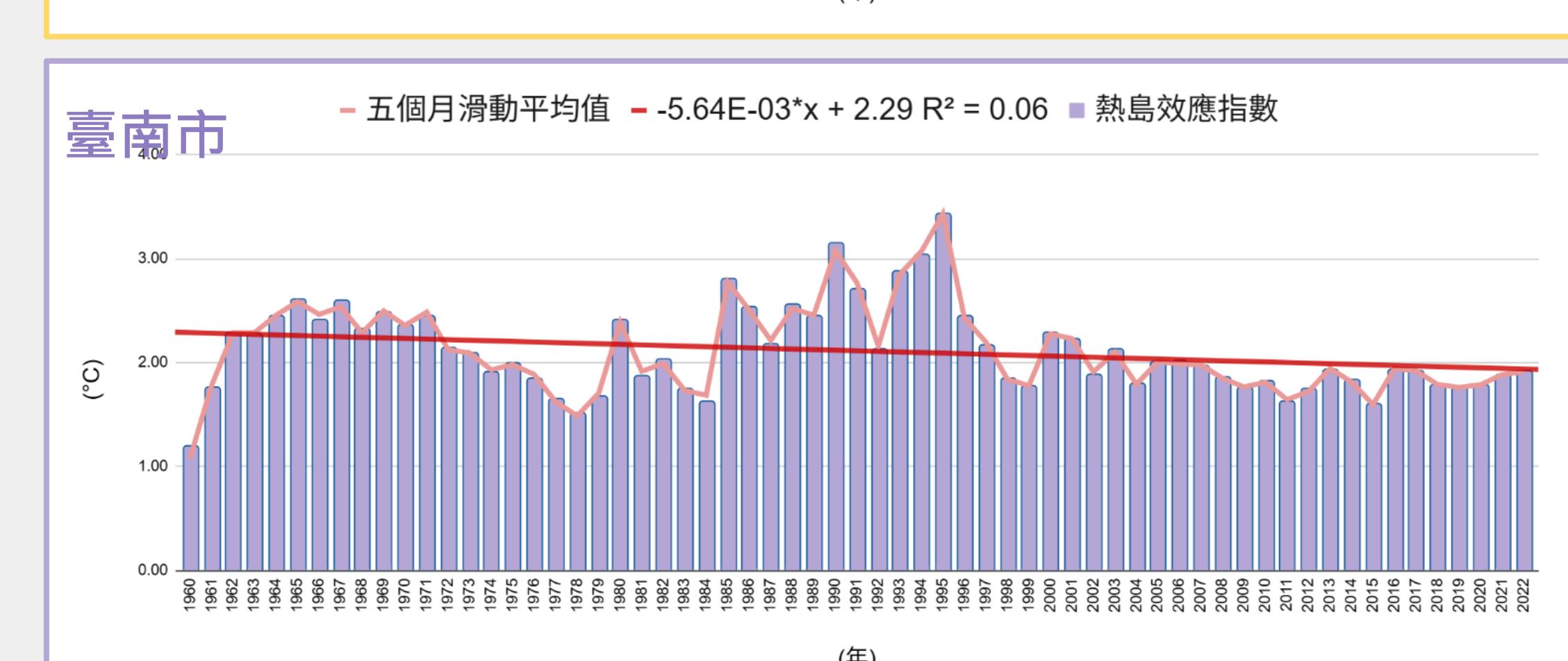
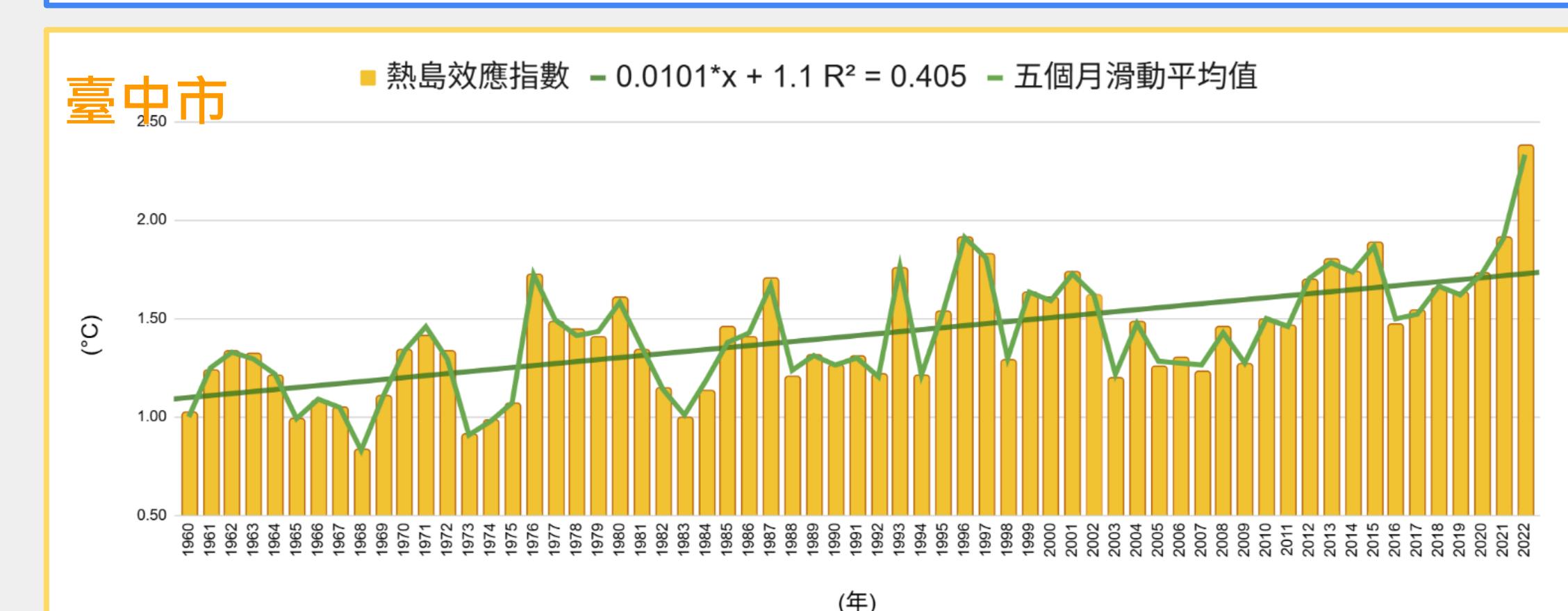
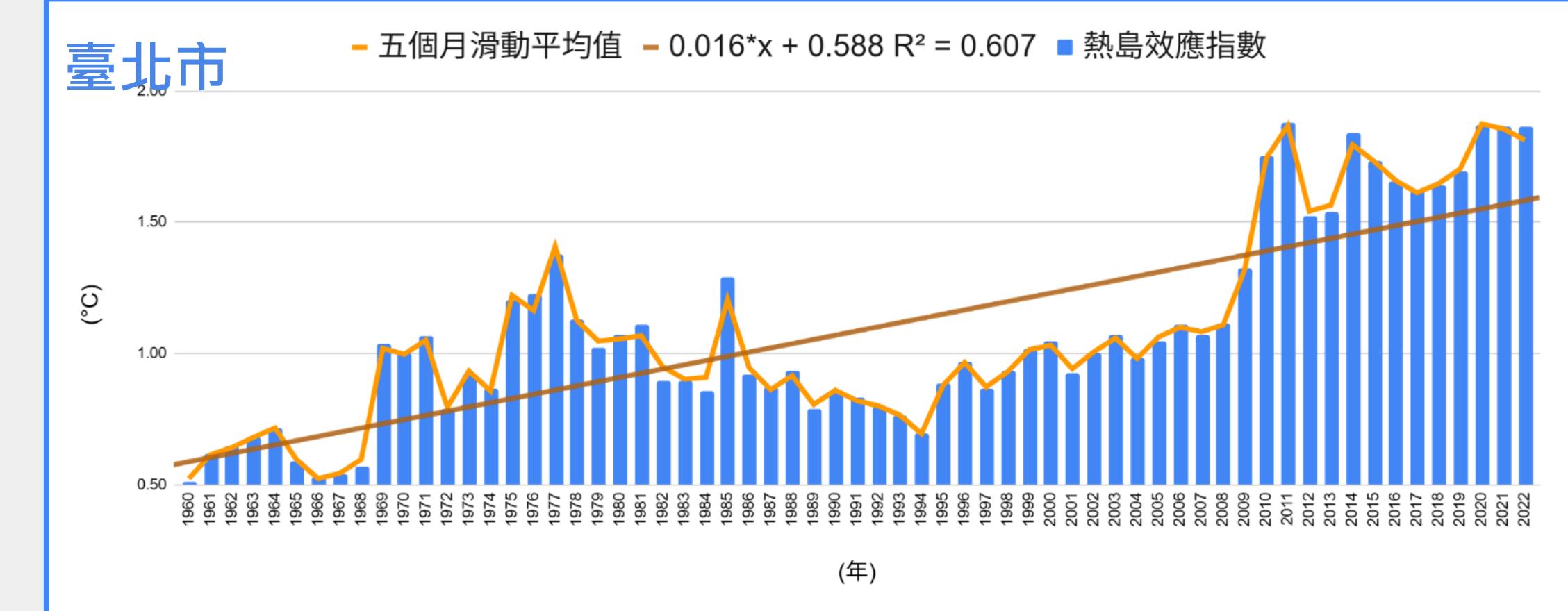
| | 最強熱島效應數值 | 最強熱島效應月份 | 最弱熱島效應數值 | 最弱熱島效應月份 | 平均值 |
|----|----------|----------|----------|----------|------|
| 臺北 | 1.18 | 10月 | 0.98 | 2月 | 1.09 |
| 臺中 | 1.91 | 3月 | 1.05 | 7月 | 1.41 |
| 臺南 | 2.27 | 3月 | 1.97 | 5月 | 2.12 |
| 高雄 | 2.46 | 1月 | 1.62 | 5月 | 1.96 |

七、空間區域最高溫網格點分布統計(1960~2022年)

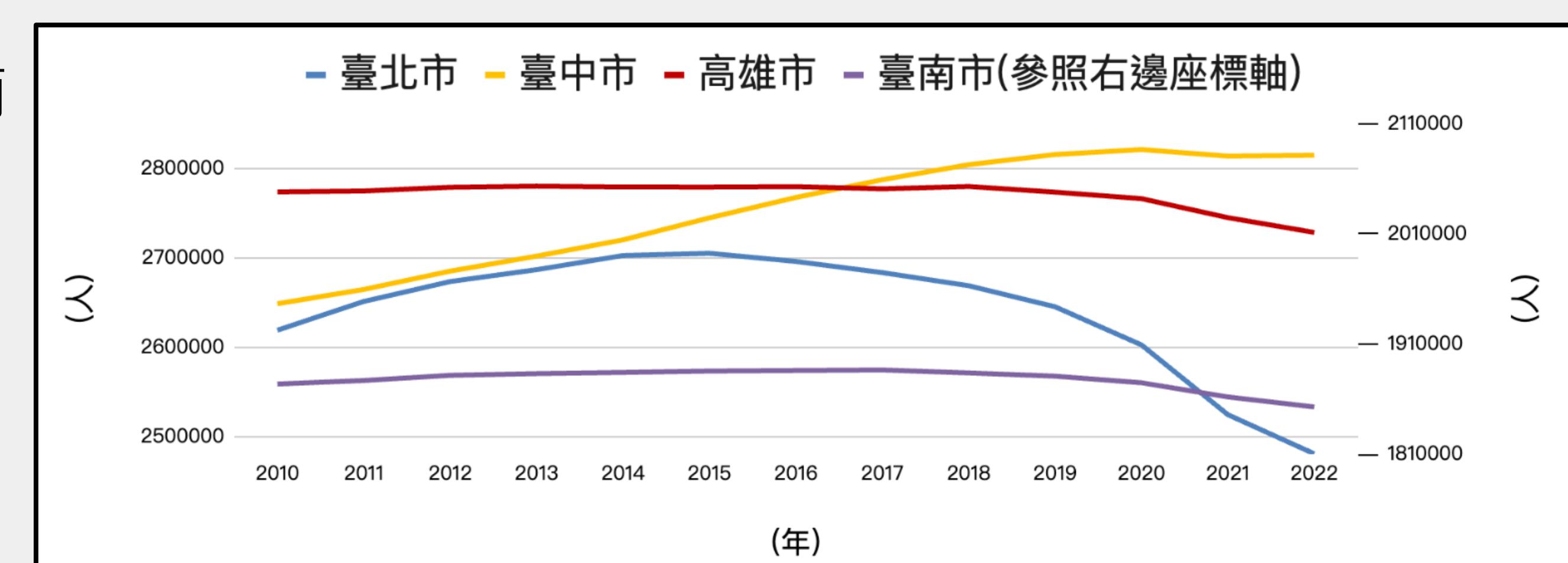
【圖11】中可以發現，臺北市的最高溫網格點主要集中在中正、萬華與信義等高密度建築物區域，也可以觀察到最高溫網格點沿著基隆河與新店溪重疊。臺中市最高溫網格點主要集中在市區內較密集區域。臺南市最高溫網格點相對比較分散，但多數落在西南方的沿海區域。而高雄市主要沿著海岸線分布，形成一條帶狀的最高溫網格點。



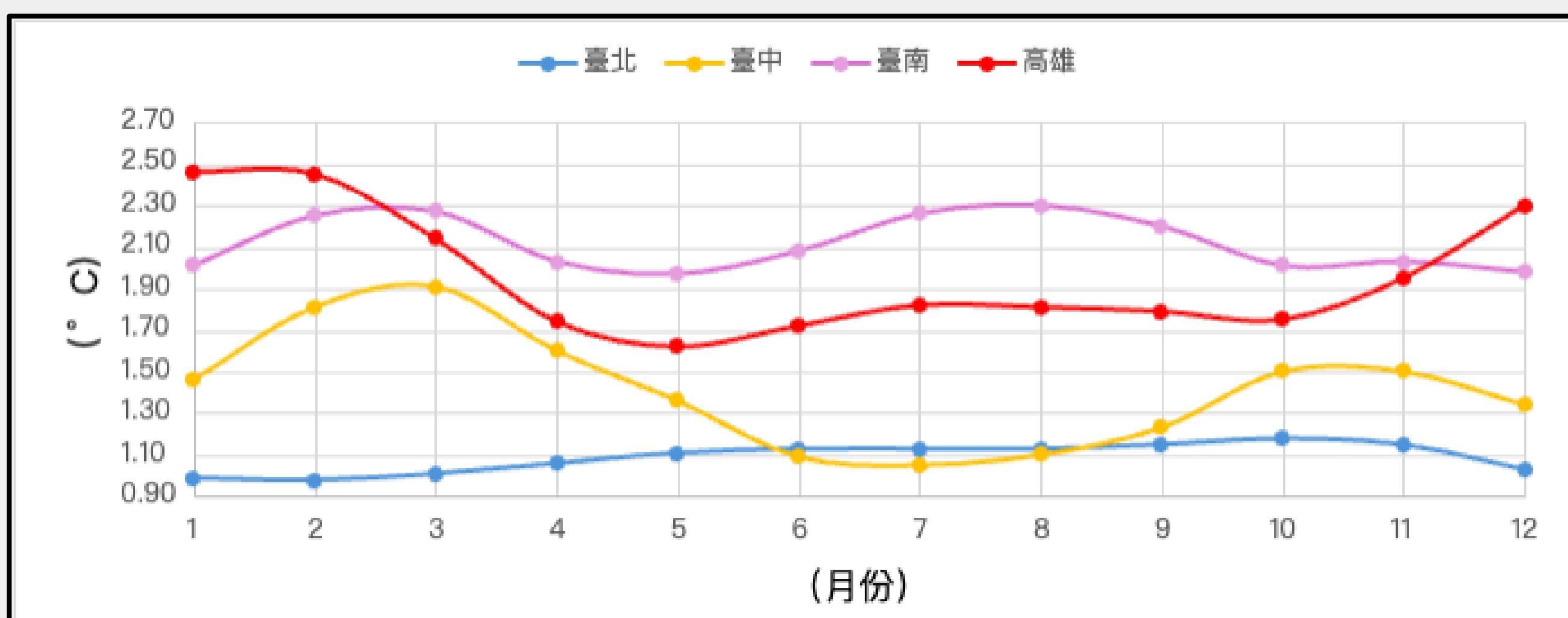
【圖11】1960-2022年四個縣市各年最高溫網格點分布圖 (作者自製)



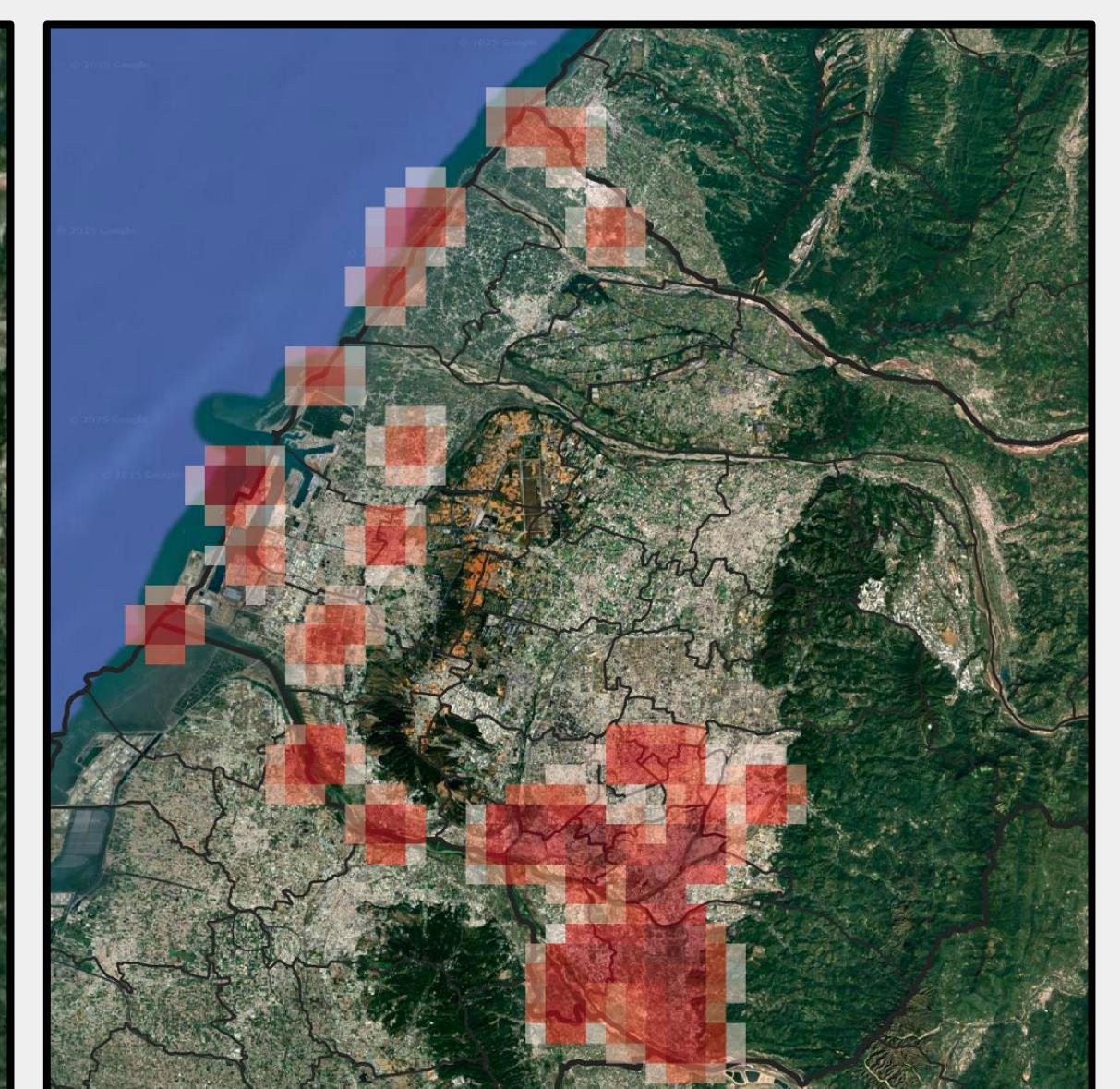
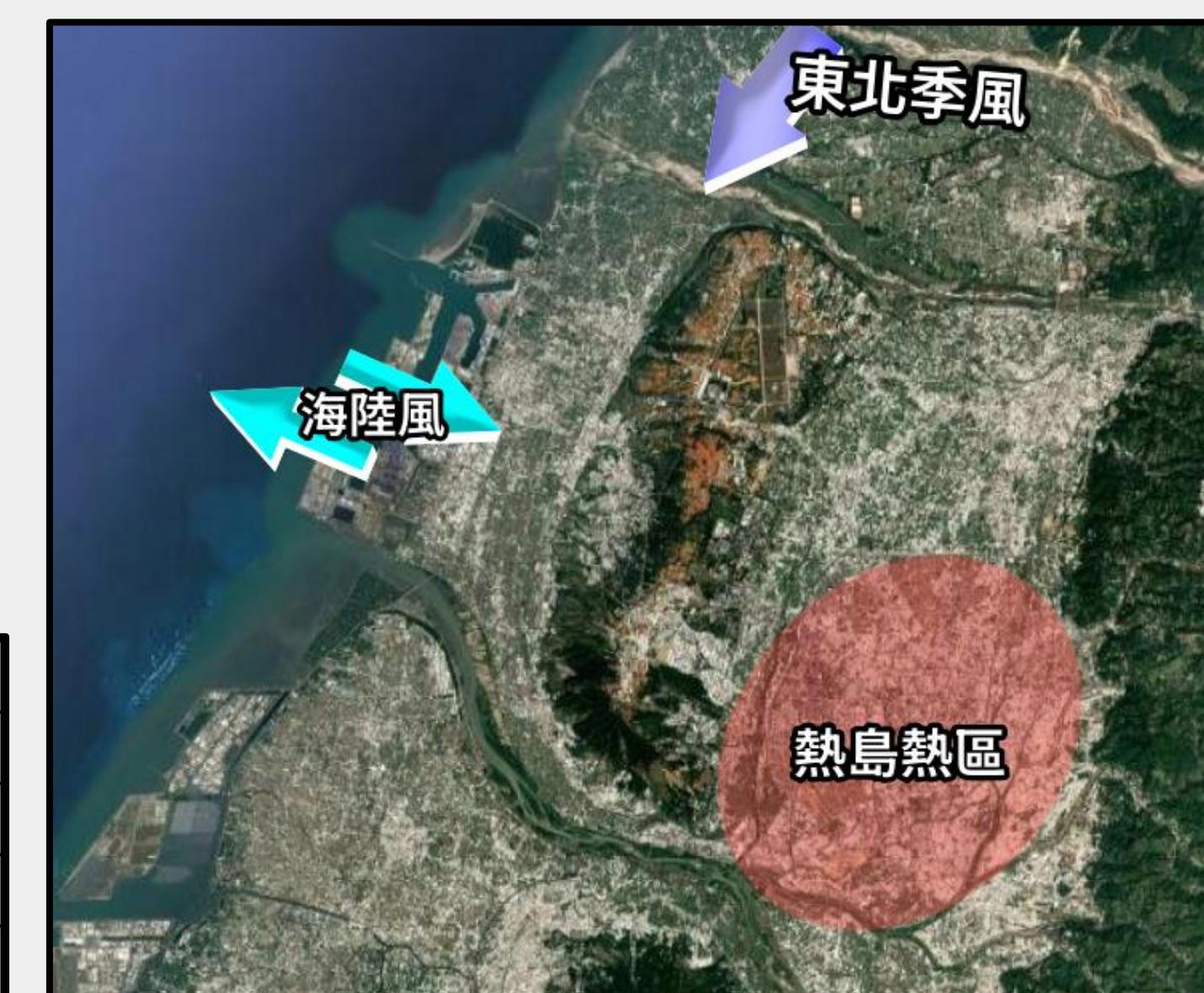
【圖6】1960-2022年四個縣市各年平均熱島指數和五個月滑動平均值(作者自製)



【圖7】2010-2022四個縣市人口統計圖(縣市合併後資料)(作者自製)



【圖8】1960-2022四個城市各月平均熱島效應指數分布圖(作者自製)



【圖9】臺中市冬季環流示意圖
(作者參考研之有物 (資料來源 | 周崇光) 繪製)

【圖10】63年間，臺中市冬季 (11、12、1月)
最高溫網格點出現位置(作者自製)

八、工業區與沿海港口對都市熱島效應的影響：

在【圖12】中，臺中市63年間的夏季最高溫網格點多在沿海港區，我們認為可能是因為港口區域的水泥地面吸收更多熱能，影響當地的溫度。

根據【圖13】，在高雄市63年間的年均最高溫網格點位置中，多數年份最高溫網格點都靠近西南方的臨海工業區與高雄港，此工業區中有許多鋼鐵產業，我們認為有可能因為煉鋼釋放出的高溫而影響當地氣溫。

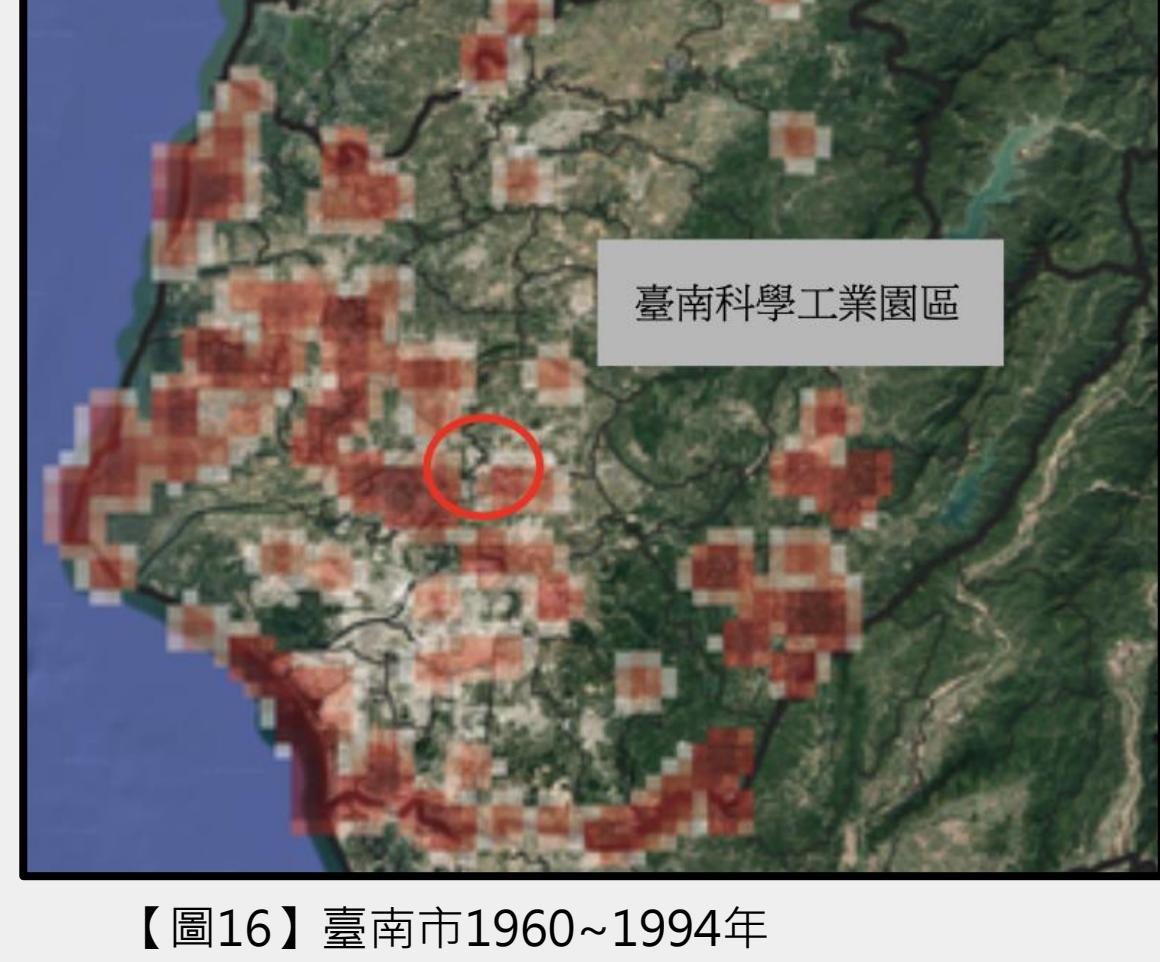
九、城市規劃對都市熱島效應的影響：

(一) 臺中火力發電廠

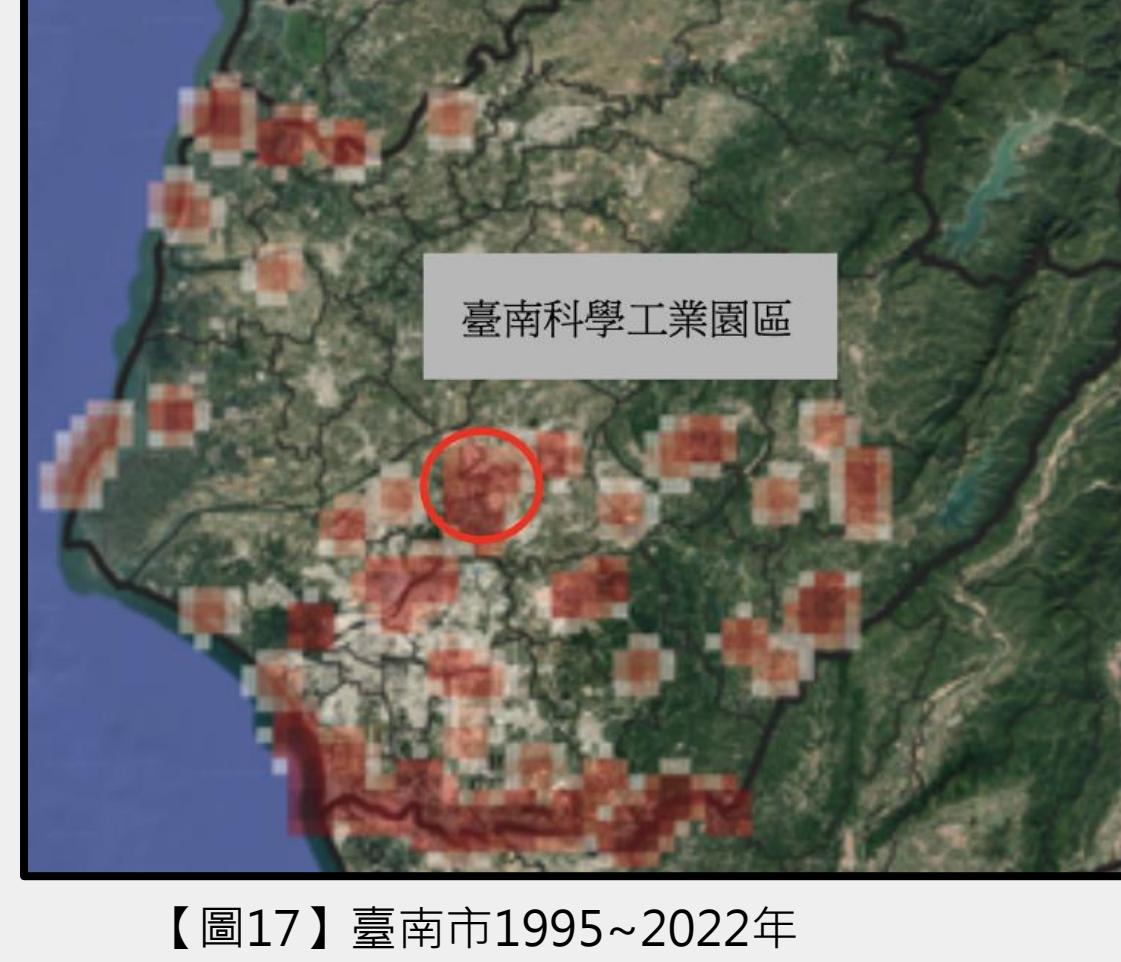
【圖14】中，1960~1985年夏季最高溫網格點多在沿海。臺中火力發電廠建造後【圖15】則集中於火力發電廠所在地，我們認為是因為發電過程造成的廢熱影響當地氣溫。

(二) 南部科學工業園區（臺南園區）

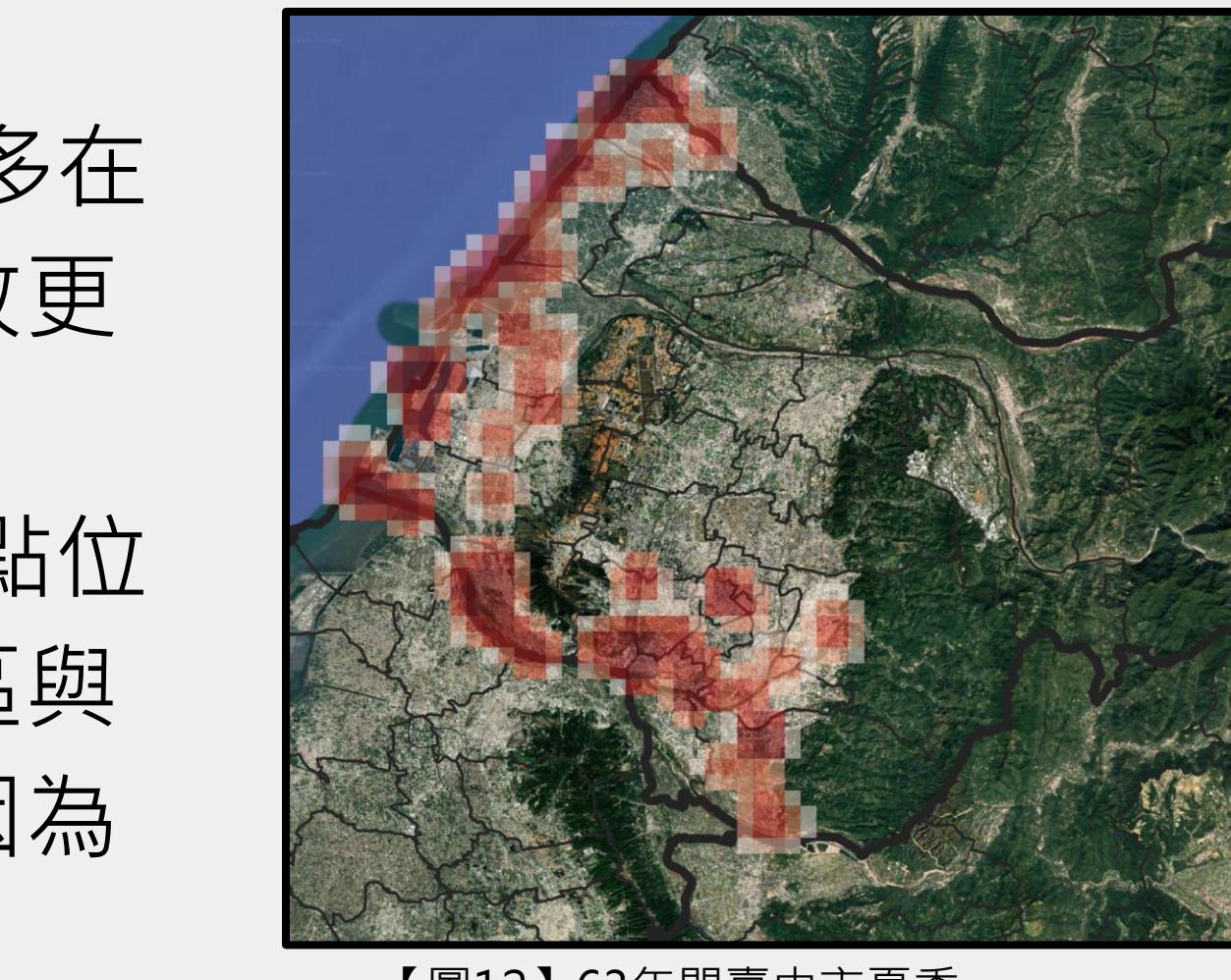
【圖16】中，早期臺南市最高溫網格點分布較零散，但仍看出西南部最高溫網格點出現頻率較高。【圖17】中，臺南科學工業園區所在位置的最高溫網格點次數增加。我們推測與臺南科學工業園區開發後所導致的廢熱有關。



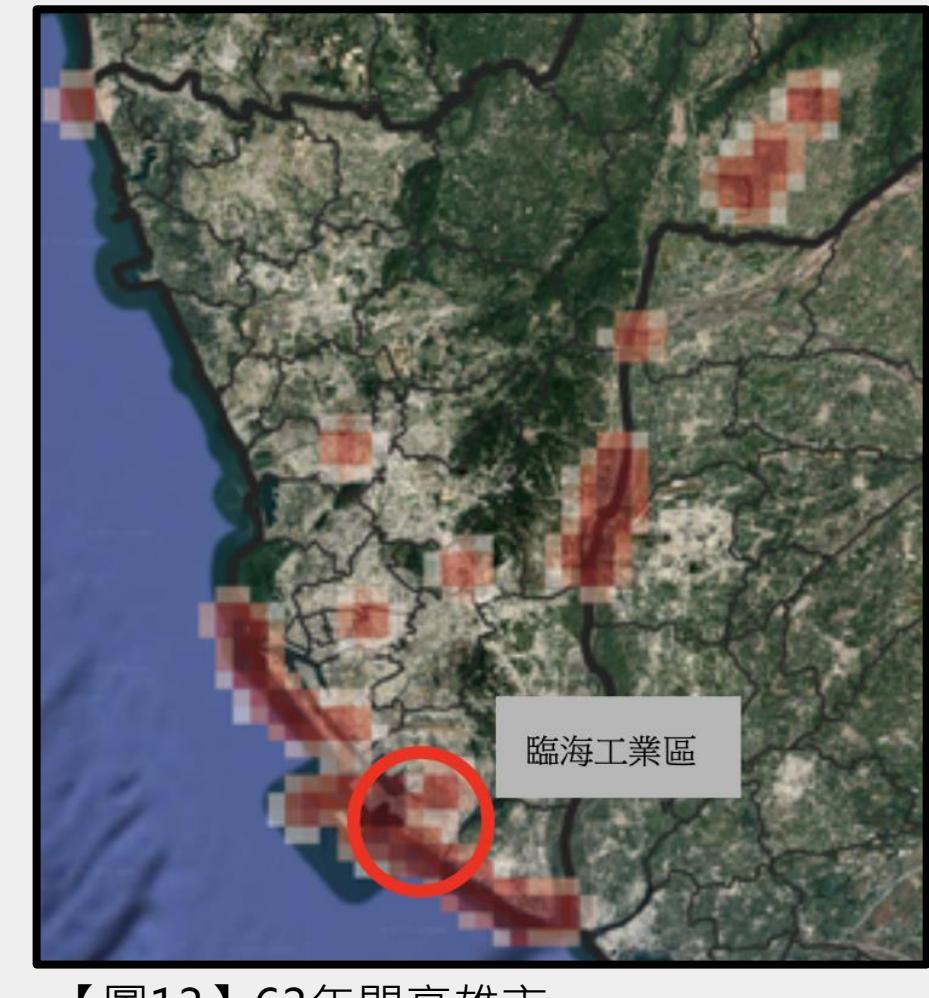
【圖16】臺南市1960~1994年最高溫網格點位置分布圖(作者自製)



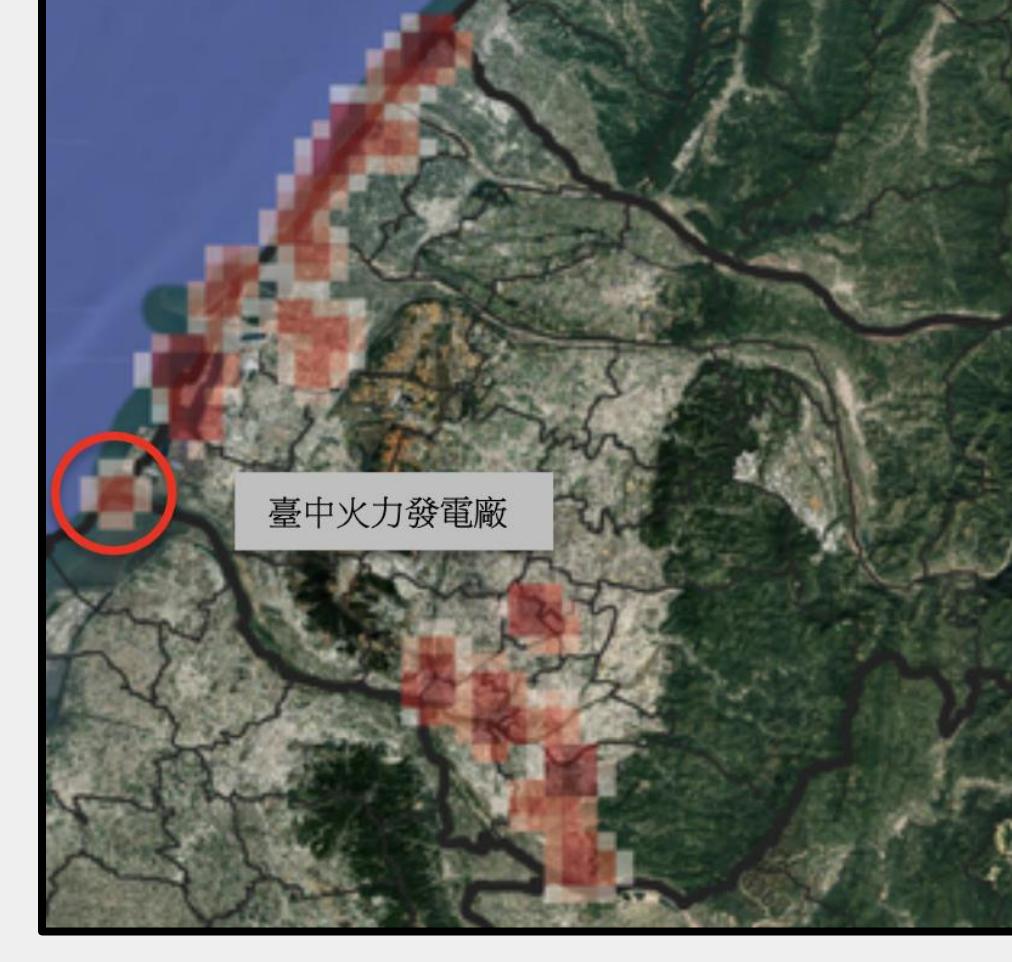
【圖17】臺南市1995~2022年最高溫網格點位置分布圖(作者自製)



【圖12】63年間臺中市夏季最高溫網格點分布圖(作者自製)



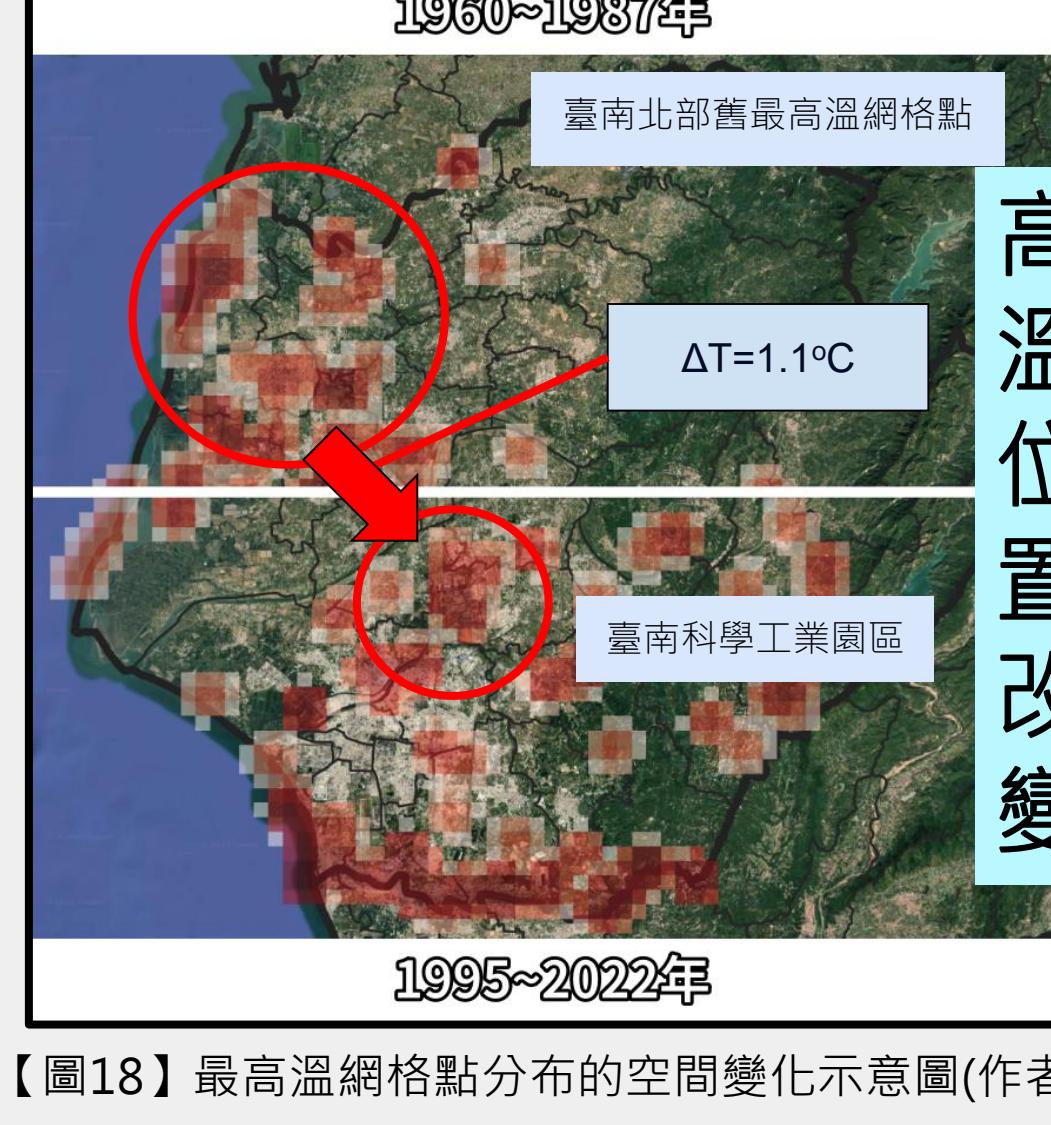
【圖13】63年間高雄市最高溫網格點分布圖(作者自製)



【圖14】1960~1985年臺中市夏季最高溫網格點位置分布圖(作者自製)



【圖15】1986~2022年臺中市夏季最高溫網格點位置分布圖(作者自製)

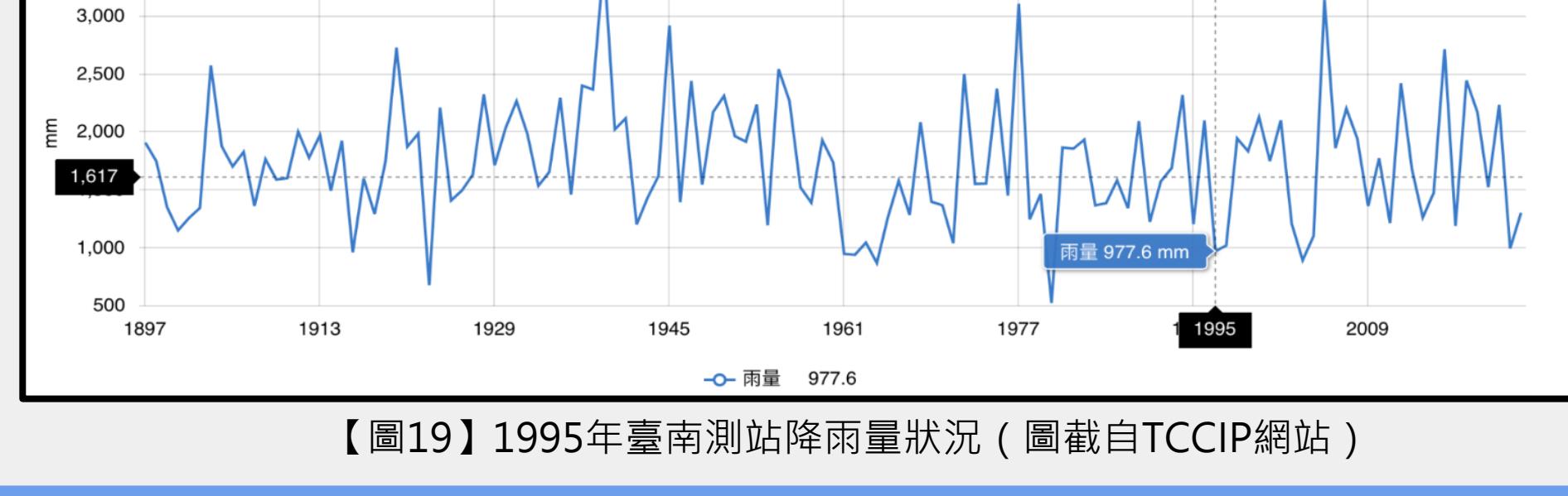


【圖18】最高溫網格點分布的空間變化示意圖(作者自製)

進一步比較臺南市北部
1960~1987年最高溫網格
點平均氣溫與臺南科學工業
園區1995~2022年最高溫
網格點平均氣溫【圖18】，
發現臺南科學工業園區高
1.1°C，表示園區開發對局
部氣溫產生影響。

十、推測高雄1992~1995年熱島效應指數異常升高的原因：

根據【圖6】，高雄1992~1995年熱島效應指數異常升高，臺南在1992~1995年有類似狀況，其中1995年兩縣市1月熱島指數也異常上升，而當年剛好為聖嬰年，並且根據【圖19】、【圖20】可以發現當時的雨量較少，因此我們認為此次熱島效應指數異常可能與聖嬰現象和雨量較少有關。



【圖19】1995年臺南測站降雨量狀況 (圖截自TCCIP網站)



【圖20】1995年高雄測站降雨量狀況 (圖截自TCCIP網站)

伍、討論

- 臺北市在63年間的熱島效應指數數值較其他三個城市小，這與我們的預期不合，我們認為臺北市的開發已經趨近於飽和，造成沒有足夠明顯的「郊區」，所以我們希望本研究目前討論的臺北市範圍能在未來增加新北市，以探討整個大臺北地區的熱島效應強度。
- 目前本研究討論的範圍是以縣市來區分，但這會造成最高溫位置不固定，所以未來可以改用土地利用分區資料（人口密度、建築密度）進行討論，使我們所定義的都市和郊區能更符合真實情況。
- 本研究在目前探討熱島效應強度時，主要以熱島效應指數趨勢對比氣候系統的變動進行討論，但影響熱島效應強度的因素很多，除了氣候的變化外，人文因素也會是一個很重要的原因，所以我們希望在未來探討都市熱島效應時，能夠再增加這部份的了解，並進一步討論都市擴張速度與綠地比例變化的影響。

陸、結論

- 熱島效應指數變化趨勢：臺北市每100年約上升1.6度，臺中市每100年約上升1.0度，臺南市每100年約下降0.5度，高雄市每100年約上升0.2度。
- 臺南市與高雄市的熱島效應指數在1995年時有較大的強度，可能與該年的聖嬰現象發生和雨量較少有關。
- 臺中市的熱島效應指數呈現明顯的季節性變化，主要是受到地形與季風變化的雙重影響，導致冬季熱島效應較為顯著，而夏季相對較弱。
- 都市熱島效應與人口總數變化相關
 - 臺北市屬於高密集的都市區域，且有大量工作人口移入，故熱島效應強度仍有所增長。
 - 臺南市和高雄市的熱島效應指數變化持平甚至斜率為負值，原因與人口總數減少相關。
- 沿海設施對都市熱島效應有影響
 - 臺中市夏季最高溫網格點多在沿海港區，是因為港口區域的水泥地面吸收更多熱能，增加當地溫度。
 - 高雄臨海工業區與高雄港進行的工業活動會增加區域局部溫度。
- 都市的規劃對都市熱島效應有影響
 - 臺中火力發電廠在1986年興建完成，在發電過程中造成的廢熱會增加當地溫度。1986年前最高溫網格點集中在沿海海港，1986年後則明顯集中於火力發電廠所在地。
 - 1995年臺南科學工業園區開始開發，大量建設廠房及能源使用，導致提高當地溫度。1995年前臺南最高溫網格點分佈較零散，而在1995年後最高溫網格點出現在臺南科學工業園區的次數明顯增加。

柒、參考資料

中央研究院 (2023)。高解析度空氣品質診斷與預報模式。中央研究院研之有物。

何謹成、劉厚佐、邱敏瑞 (2014)。高雄地區市區與郊區熱島效應之比較。台灣科學展覽。

林子平 (2021)。都市的夏天為什麼愈來愈熱？：圖解都市熱島現象與退燒策略。商周文化。

氣象署 (n.d.)。聖嬰與反聖嬰事件列表。

國家災害防救科技中心 (2018)。全球暖化下，臺灣只會越來越熱！

Howard, L. (1833). *The climate of London deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it*. Harvey and Darton.

國家災害防救科技中心 (2023)。臺灣歷史氣候重建資料於都市規劃及建築設計之應用。

國家災害防救科技中心 (n.d.)。臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台。

張佩歆 (2024)。舊臺中市區都市空間結構與環境異質性於都市熱島效應影響之研究。

邵幼雲、陳修弘、辜富禕、劉家瑋 (1995)。臺北地區熱島效應之研究與探討。台灣科學展覽。

劉銘傳、黃家銘、陳建文 (2016)。都市熱島效應於產業發展及其影響因子分析之研究。都市與計劃，43 (1)，33–5。