

逢 甲 大 學
土 地 管 理 學 系 碩 士 班
碩 士 論 文

臺中地區土地利用變化於熱島效應之研究

The Study of Taichung Area Land Use Change
on Heat Island Effect

指導教授：周天穎

共同指導教授：楊龍士

研 究 生：何佳薇

中 華 民 國 一 百 年 六 月

逢甲大學
土地管理學系碩士學位論文

台中地區土地利用變化於熱島效應之研究

The Study of Taichung Area Land Use Change on
Heat Island Effect

研究生：何佳薇

經碩士學位考試合格特此證明

評審委員

張泰來

雷祖強

洪序善

指導教授

周天鎖
楊龍士

系主任

楊賀雯

考試日期：中華民國 100 年 6 月 15 日

逢 甲 大 學

博碩士紙本論文著作權授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文學位考試合格證明書之次頁)

本授權書所授權之論文為授權人於逢甲大學土地管理學系研究所
九十九學年度第二學期取得 ☐博士 ☒碩士 學位之論文。

論文題目：台中地區土地利用變化於熱島效應之研究

指導教授：周天穎、楊龍士

授權事項

授權人同意無償授權教育部指定送繳之圖書館及逢甲大學將上列論文全文資料之紙本為學術研究之目的為一份全本之重製。

公開陳列

根據著作權法第十五條，依學位授予法撰寫之碩士、博士論文，著作人已取得學位者，推定著作人同意公開發表其著作。

立書人紙本論文於逢甲大學圖書館公開陳列上架時間（請勾選下列一項選項）：

- ☐ 立即公開
- ☒ 一年後公開*
- ☐ 二年後公開*

*表示因參與指導教授國科會計畫研究或向經濟部智慧財產局申請專利等審查中等因素，需延後公開者。

授權人：何佳薇（親筆簽名）

被授權人：逢甲大學
地址：台中市西屯區文華路100號
電話：(04)24517250

中華民國 100 年 8 月 16 日

致謝

一年過去了，原以為不可能的事，在恩師楊副校長與周老師的悉心指導下，終於實現了我兩年來的目標，這是我夢寐以求的一天，從完成論文初稿到通過論文口試，一切都如作夢般的不真實。大學時不經意的決定竟出乎意料的通過申請，獲得預研究生資格，開始了學碩連讀的生活；剛進研究所的時候，對自己能不能順利畢業毫無信心，更不相信自己能在一年內完成論文，託老師們的福，如今我可以開開心心的說：我做到了！

能走到今天，要感謝的人太多了，回想起這段於研究所求學的日子，一年來的點點滴滴，都是快樂美好的記憶。從四年級開始一邊修習學士與碩士的課程，一邊著手論文研究，在 GIS 中心學長姊們的協助與鼓勵下，讓我能順利完成這不可能的任務，感謝之意不可言喻。寫論文的這一年間，隨著國科會計畫的執行進度，與周老師愛的叮嚀及施壓下，加上期許自己一年畢業的目標與論文完稿的壓力，一度想要放棄五年連讀學碩士的目標與獎勵。幸好，在親朋好友與學長姊們的鼓勵與打氣下，論文如願的完成，心頭壓力頓然消逝，心中感謝卻無限充滿。

感謝我的指導教授：楊龍士副校長與周天穎老師。在老師的細心指教與殷切期許下，才能激發學生思考的深度，與論文的邏輯論證。謝謝您這段時間的辛苦指導、謝謝您精心安排的許多課程、謝謝您犧牲假期為學生付出，好多次您的用心都讓我感動不已。我認為我做了有生以來最正確的決定，能遇到二位學識淵博，讓我欽佩又敬愛不已的老師，真是太幸運了。對二位的感謝在這短短的誌謝裡無法訴說完全，僅能以幾句話表達學生深深的感謝之意，師恩浩大，在這段過程中，體會尤深。

感謝口試委員：雷祖強老師、洪本善老師、與遠從北京來的嚴泰來老師，提醒學生文句陳述的細節與圖說的完整，以及結論應著墨於量化與更詳細的成果描述；幾位師長們在論文上所提供的建議與精闢的見解，讓學生受益良多。

感謝研究所期間擔任國科會計畫共同主持人與研發部副理的碧慧學姊，一路上您的溫馨鼓勵與指導讓我感到窩心不已，增加了我完成論文的力量，沒有您的鞭策我的論文肯定完成不了！謝謝您的細心指教。

感謝 GIS 中心一級主管們所給予的支持與協助，特別謝謝美伶學姊在各方面的指導與關心；以及其他學長姊們的耐心解答與幫助，尤其是郝振宇、林嘉韋、簡致遠、賴正偉、楊玉德、林建安、林亞萱、劉致亨、張苑菱等，有你們的大力相助，學妹才有機會完成這一篇得來不易的畢業論文。

感謝總是一起 Seminar、一起熬夜寫論文、一起準備口試的同窗好友鐘若琪與劉馥滋，可以認識妳們真好。感謝研究室學弟妹黃夙君、張郁嘉、張書碩；室友戴依婷、邱郁欣、小寶、點點、Dora、排骨飯，在這段日子的鼓勵與陪伴，讓我得以順利修完研究所的所有學分與課程。感謝同事與學弟妹們的加油打氣，以及其他默默關心我的朋友們，謝謝你們。

最後，僅以此論文獻給我最親愛的父母，因為有您們的養育與栽培，才有現在如此幸福的我。爸爸、媽媽，謝謝您們，我永遠以身為您們的女兒為榮；親愛的姊姊、哥哥，謝謝你們的支持與守護，每當我遇到瓶頸，在堅持與放棄之間掙扎猶疑時，因為有你們的鼓勵，才讓我有持續的動力。

研究所只是生命中的一個過程，我明白此刻永遠不是人生的終點，取得了碩士學位，還有更多人生的課題等著我去學習。對我而言，這四年無疑是一段重要的生命歷程，在這段期間所學習的經驗與知識我會銘記在心。謝謝每一位曾經出現在我生命中的人，在此獻上最深的感謝。

何佳薇

謹誌於逢甲大學土地管理學系碩士學位

民國一百年六月

摘要

在過去 40 年以來，臺灣因經濟快速發展及高度工業化，能源使用增加近 20 倍，工廠密度及單位面積能源的消耗率，使臺灣地區受到熱島效應的影響範圍越趨顯著，可說是當前迫切的環境問題。熱島效應為都市環境結構多以人工不透水層鋪面取代原有自然地表覆蓋，造成環境失去氣溫平衡調節功能，使都市內部氣溫高於郊區。除此原因所帶來之影響外，產業過度集中，亦促成都市熱島效應呈現增速加快之趨勢。隨空間資訊技術進步，遙測資訊具有高光譜態、多元尺度、多時序與資料獲取快速的優點，運用遙測技術探討都市熱島效應現象日趨成熟，故本研究運用遙測影像探討臺中地區地表土地利用變化與產業發展對熱島效應空間分佈區位之影響。

本研究利用 1995 年及 2009 年 Landsat 衛星影像，進行多光譜資訊反演地表溫度。透過 Landsat 官方反演方程式與過去學者提出之溫度反演方程式，進行地表輻射溫度資訊反演，以及都市熱島強度值之計算，並以熱島強度高低將其歸類為四種溫度層級；再配合國土地用調查資料前後兩時期之土地利用覆蓋面積及變遷資訊，透過面積百分比之計算，獲得運算後各種用地之面積比例值，來探討不同土地利用與熱島效應分布之情形。

研究結果指出，前後期地表輻射溫度值影像平均值上升約 2°K ，且臺中市中心溫度明顯高於郊區溫度；臺中市熱島效應影響較大之區域其土地利用類別主要為人工鋪面及其他用地上，溫度值較高，分布於舊臺中市區及西部，前後期之面積百分比增加約 13%；對熱島效應影響較小之土地利用類別為植生及水體，溫度值較低，大多分布於東部，其面積百分比前後期減少約 9%。在工業區部分，加入產業類別總用電量比較分析後發現，工業區之產業類別不同，其耗能量愈高，對於熱島效應影響愈大。

關鍵詞：遙感探測、熱島效應、地表溫度

Abstract

In the past 40 years, Taiwan has high degree of industrialization and rapid economic development, resulting in the increase of energy use by nearly 20 times and higher plant density and energy consumption rate per unit area. Therefore, the heat island effect in Taiwan has become an urgent and significant issue about living environment. Urban heat island is mainly due to the artificial impermeable pavement used to replace the original ground surface. The replacement has caused unbalanced temperature and made higher temperature at urban areas than the rural ones. With the development of spatial information technology, the remote sensing has advantages of high spectral rate, multi-scale images, multi-temporal and fast data acquisition. The application of remote sensing has been focused on urban heat island study nowadays. In this research, the remote sensing was used to analyze the land-use change and industrial development, and their impacts on the effect of urban heat island in Taichung.

In this study, the thermal infrared band images generated by the Landsat satellite were used to estimate the surface temperature change. National land use data was applied to analyze land use change of Taichung. The study also discussed the correlation of land use and urban heat island.

The results indicated that land surface radiation temperature increased 2 Kelvin degrees in average within 14 years. In addition, the temperature at central area is obviously higher than rural area. The area which premier affected by heat island is increased 13%, which can be recognized as artificial land and some other uses where located at prior Taichung City and western part. On the other hand, the area which has less influence from heat island is decrease 9%, which can be recognized as vegetation land and water where located at eastern part. In the industrial zones, according to the comparison analysis of power consumption, we have found the industry has higher consumption of energy, also with more contribution of urban heat island effect.

Keyword: Heat Island Effect、Remote Sensing、Surface Temperature Retrieval

目錄

致謝.....	i
摘要.....	iii
Abstract	iv
目錄.....	v
圖目錄.....	vii
表目錄.....	ix
第一章 緒論.....	1
第一節 問題陳述.....	1
第二節 研究目的.....	5
第三節 研究範圍.....	6
第四節 研究限制與假說.....	8
壹、研究限制.....	8
貳、研究假說.....	9
第五節 研究架構與流程.....	10
第二章 相關理論與文獻回顧.....	12
第一節 都市熱島效應理論.....	12
第二節 土地利用與地表溫度之關係.....	15
第三節 都市熱島效應觀測方法之相關研究.....	18
第四節 熱紅外光遙測技術反演地表溫度.....	20
第三章 研究方法.....	23
第一節 研究材料.....	23
壹、土地利用資料.....	23
貳、衛星影像.....	23
第二節 地表輻射溫度反演.....	27
第三節 都市熱島強度計算.....	29
第四節 差異比對分析.....	30

第四章 實證分析	31
第一節 臺中熱島效應時空分布特性與解析	31
壹、地表輻射溫度.....	31
貳、都市熱島強度值.....	37
第二節 臺中土地利用覆蓋變化分析.....	40
第三節 土地利用與熱島效應之關係.....	46
第四節 工業區特性與熱島效應之關係.....	50
第五章 結論與建議	59
第一節 結論	59
第二節 建議	62
參考文獻	64
附錄一、第一次國土利用調查分類系統	68
附錄二、第二次國土利用調查分類系統	71



圖目錄

圖 1.1、臺中直轄市行政區域圖	7
圖 1.2、研究流程圖	11
圖 2.1、都市熱島效應等溫線示意圖	14
圖 2.2、都市熱島效應溫度與距離變化示意圖	14
圖 3.1、臺中地區 1995 年 07 月 20 日 09:25:06 可見光波段影像.....	25
圖 3.2、臺中地區 1995 年 06 月 25 日 09:32:15 可見光波段影像.....	26
圖 3.3、臺中地區 2009 年 07 月 17 日 10:25:34 可見光波段影像.....	26
圖 4.1、1995 年 7 月合併影像輻射溫度反演成果圖	32
圖 4.2、2009 年 7 月 17 日影像輻射溫度反演成果圖	33
圖 4.3、1990 年至 2009 年氣象測站夏季平均溫度折線圖	34
圖 4.4、1995 年熱島強度分級分布圖	37
圖 4.5、2009 年熱島強度分級分布圖	37
圖 4.6、臺中地區土地覆蓋面積比例變化橫條圖	41
圖 4.7、1995 年第一次國土地用調查資料使用類別分布圖.....	42
圖 4.8、2008 年第二次國土地用調查資料使用類別分布圖.....	43
圖 4.9、1995 年土地利用分類分布圖	44
圖 4.10、2009 年土地利用分類分布圖	44
圖 4.11、前後期土地利用分區中人工鋪面與其他面積增加之分布圖	45
圖 4.13、植生區域中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖.....	47
圖 4.14、水體區域中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖.....	47
圖 4.15、人工鋪面中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖.....	48
圖 4.16、其他區域中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖.....	49
圖 4.17、臺中直轄市內工業區範圍	51

圖 4.18、臺中工業區廠商行業類別家數統計長條圖	52
圖 4.19、臺中加工出工區廠商行業類別家數統計長條圖	54
圖 4.20、中港關聯工業區廠商行業類別家數統計長條圖	54
圖 4.21、中部科學園區廠商行業類別家數統計長條圖	55
圖 4.22、1995 年各工業區熱島強度長條圖.....	56
圖 4.23、2009 年各工業區熱島強度長條圖.....	56
圖 4.24、1995 年至 2009 年全臺平均產業類別用電量長條圖.....	58



表目錄

表 3.1、Landsat 系列衛星各感測器名稱及波譜範圍	24
表 4.1、大甲幼獅工業區廠商行業類別家數及面積比例統計表	52
表 4.2、大里工業區廠商行業類別家數統計表	53



第一章 緒論

第一節 問題陳述

近年來由於氣候異常、天災頻傳，使得全球氣候變遷之議題已引起世界各國的重視。除了因全球暖化引發的災害所造成的重大經濟損失外，對環境生態的永續發展亦有著深遠的影響。自十九世紀後社會、經濟和環境發生巨大的變化，全球人口從 50 億增加至 60 億，人口爆炸和經濟發展帶給環境越來越大的壓力，解決此問題已成為當務之急。由於經濟之快速發展，都市化現象趨於顯著，都市在急速開發中造成都市人口增加、產業過度集中等現象。開發行為之持續，大規模破壞了原始生態環境，密集的開發、經濟活動與大幅度改變原生環境，使得全球平均地表溫度已經從十九世紀末逐漸增加，為都市微氣候變遷因子的主要來源之一。當超過 50% 的人類居住在都市地區時，都市化就已經成為全球暖化一個重要的促進因素 (Zhao et al., 2006)。

都市是人類為政治、經濟與社會發展目的下聚集的產物，亦為目前全球人為活動與開發行為最活絡與對全球整體環境最具影響力之範圍。都市的發展，為人類社會發展帶來經濟上的利益。然而都市內部開發，會帶來人工高熱容量建築實體的增加，不僅擴大都市不透水層覆蓋面積、降低地表水氣的蒸發散量、減少自然潛熱通量，並阻擋自然風場流通；人為活動產生的熱廢氣排放，大幅增加了都市熱環境可感熱通量，破壞大氣的熱氣流場交換平衡，引起區域氣溫上升。

根據文獻整理結果顯示人為因素對氣溫變化具有一定程度之關聯性，較自然因素影響程度大且重要，例如空氣品質惡化與擁擠的居住環境，對都市居民健康、整體經濟發展與都市生態環境產生影響。臺灣受到都市化現象的影響，建築物及交通道路空間不斷地增加，綠地覆蓋面積減少，同時也使都市內部氣溫日益提高，由此所見，觀察都市地區長期的氣溫變遷與產業及人為活動的關係值得深入探究。1833 年 Luke Howard 觀察英國倫敦市中心受到人為活動影響產生都市高溫化現象，首度提出「都市熱島效應」(urban heat island effect) 概念。都市熱島效應的形成，不僅影響整體微氣候環境的變化，更直接影響人類生活品質與健康，並導致都市生態的急速變遷。

在 2007 年「聯合國氣候變化跨國專家委員會」(Intergovernmental Panel on Climate Change) 第四次評估報告中指出，最近 100 年全球氣溫平均上升 0.74°C 。自 1993 年，海平面每年平均上升 3.1 毫米，是 1961 年以來的 1.7 倍。臺灣的狀況尤其嚴重，過去一百年，臺灣的平均氣溫上升速率為全球的 2 倍；自 1961 年到 2003 年的海平面上升速率為全球的 1.4 倍（曾于恆，2008）。在過去 40 年以來，臺灣因經濟快速發展及高度工業化，能源使用增加近二十倍，工廠密度及單位面積能源的消耗率比較，其在人口總數超過一千萬的國家中高居首位而臺灣地區受到熱島效應的影響範圍不僅越來越明顯，也可能導致區域性氣候改變，大部分土地已經被櫛比鱗次的建築、工廠、村莊及柏油馬路取代，所產生的熱島效應可能是全世界最顯著的地區之一，可說是當前迫切的環境問題（劉紹臣等，2003）。

經濟活動快速成長所製造的大量化學物品及空氣污染改變了大氣的結構。根據 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 調查報告指出，2008 年二氧化碳的排放量與 1990 年相比，大幅增加 41 個百分點，科學家預測人類若不採取任何防治措施，於西元 2100 年，地表溫度將較目

前增加 1°C 至 3.5°C ，海平面高度將上升 15 至 95 公分，此種溫室效應對於整個生態環境（包括地球、海洋與人類的經濟、社會等）及全球氣候，將有深遠之影響。

都市熱島效應引發的結果即是都市溫度不斷的上升，不僅造成都市熱環境惡化，使人感覺高溫不適之外，這個問題將導致空調的使用需求大量增加，再次促使暖化和二氧化碳釋放的嚴重性（Crutzen, 2004）。而大量使用放熱大的空調設備，也會使得夏季尖峰用電量提高，增加約 5%~10% 的能源耗用，且易導致都市上空臭氧含量升高，這些空調設備會排放出一氧化碳、二氧化硫以及懸浮微粒等有害物質，不但使都市的高溫化現象更嚴重，人類對電力的需求也急遽增加，促使地球的能源大量被消耗，且有害人體健康。倫敦曾於 1952 年 12 月 5 日至 9 日，因空氣汙染，造成四千多人死亡。科學家也已證實溫度上升會影響呼吸和腦血管的疾病。為了創造都市舒適的生活環境下，又必需大量進行能源消耗，更加造成環境衝擊與負擔，因此研究都市熱島之現象及成因已成為目前的重要研究課題之一。

中央氣象局分析臺灣過去 100 年平均溫度變化，發現臺北氣象站上升幅度約為 1.31°C ，臺中為 1.11°C ，臺南則為 1.39°C ，比聯合國氣候變遷小組（IPCC）所估計全球百年來溫度上升 0.6°C 還高出 1 倍，顯示了臺灣暖化的情況較其他各國嚴重。而臺中地區隨著時代演進，都市人口增加、土地開發需求增長、交通發達及政策變革，使人為開發逐漸由舊臺中市向外擴展；加上近年來工商業的迅速發展，促使人口增加更為迅速，近二十年來陸續規劃的各期市地重劃，與相關聯外道路的增闢或擴建，加速促成舊臺中市與臺中縣整個臺中都會中心共同生活圈的形成，也使得熱島效應在臺中地區亦有逐漸增加之趨勢。

過去國內學者在都市熱島監測的研究上多以固定式測站及移動觀測

法為主，然而因固定式測站在區域中的數量非常有限，經常有資料涵蓋區域不足、準確率偏低等問題；而移動觀測法不但較為費時費力，且資料受到載具（汽機車）限制僅能得到點狀溫度資料。遙測技術在過去受限於影像尺度過大（NOAA）或是熱波段較少（Landsat）等因素，較少應用於變化較細微的都市地區。然而近年來感測器於光譜與空間解析度逐漸提昇，因此結合遙測與 GIS 資料進行都市熱島相關研究已成為未來研究發展的趨勢（張子瑩，2005；林憲德，2007；李志乾，2009；趙小艷，2009）。

由於都市熱島效應屬於微氣候學範疇，影響因子眾多且彼此間相互牽引，整體結構複雜，依賴氣象站也僅能得到點資料，為要求得面狀資料，需大量人力、物力之加入，加上即時資料之掌握及需求，衛星遙測法可利用電磁波感測並不接觸觀測目標之方式進行觀測，具有大範圍取得面狀資料以及資料同步性的優點，且具備長時間與全面性的觀測特性，因此被許多研究者所採用（孫振義，2008）。固本研究利用結合遙測觀測法及 GIS 資料的優點，探討都市地表溫度分佈與產業發展、土地覆蓋變遷之關係，找出影響臺中地區都市熱島效應之主要發生區域並提出可行解決方針。

第二節 研究目的

熱島效應的發生對於人類的生活及地球的生態無疑是一種不利的現象，其所附帶之影響包括高溫化、乾燥化、空氣汙染、日射量減少、雲量增多、降雨量微增等。由於都市氣溫不斷的攀升，人類加劇使用空調設備促使地球的能源大量地被消耗，氣候亦急遽變化，對人類與地球環境皆有不不利之影響，此議題已成為國際上共通之問題。而都市中的溫度會隨著都市複雜的地理條件、地表地貌、氣候條件與人類活動等因素而變動，以及都市中之相對高溫區與低溫區將隨時間差異而移動，因此，單憑數個氣象站資料數據並不足以代表都市熱島效應之完整狀態。

近年衛星遙測趨向高解析影像之使用，加上遙測影像處理的軟、硬體普及化，整體環境適合與地理資訊系統進行綜合分析與實際應用。因此，本研究使用 Landsat 衛星熱紅外影像反演獲取地表輻射溫度資料，及運用國土利用調查資料分析土地利用現況及空間分佈情形；並選取大量工業產品製造而影響環境的工業區進行分析比較，以探討土地利用變遷、工業區特性與都市熱島效應之關係。

透過衛星遙測科技的運用，進行都市整體面向及重點工業生產地區的監測分析，探討臺中地區都市熱島效應現況發展，並提出因應對策提供相關單位參考。其研究目的如下：

- 一、分析臺中都市內部地表輻射溫度高溫集中區分布情形與都市發展現況之關聯性。
- 二、探討臺中土地利用變化及分布情形，並比較不同土地利用類別對熱島效應之影響。
- 三、探討工業區產業特性與熱島效應之影響，並比較不同工業區之產業特性與關聯。

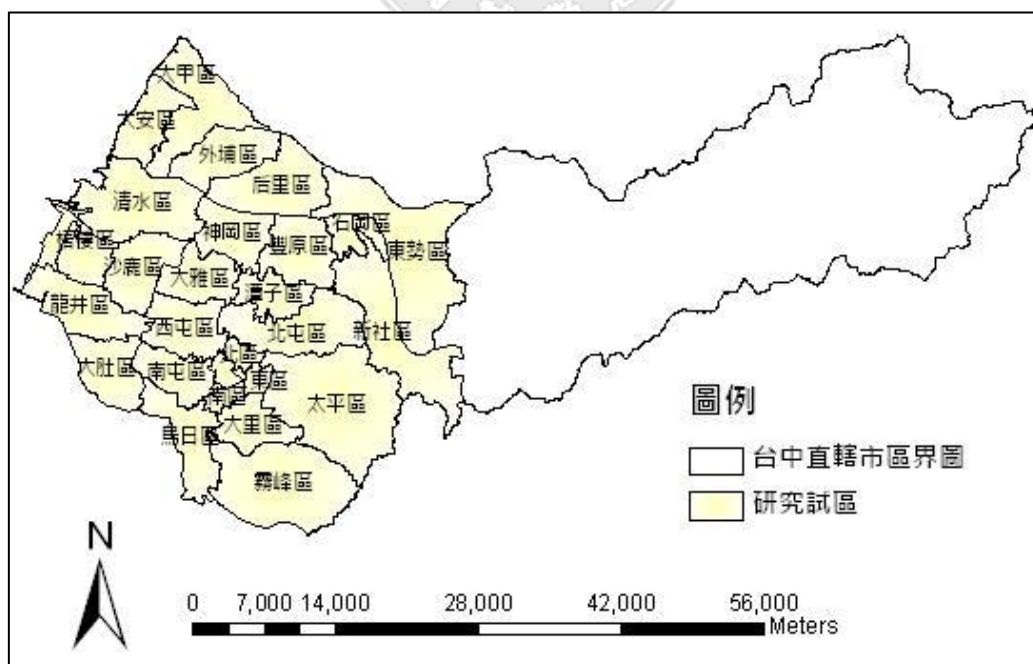
第三節 研究範圍

臺灣地區由於都市化的影響，綠地覆蓋面積減少，建物及道路空間逐漸增加，同時也使得都市氣溫日益提高。臺中地區分為沿海平原、西部臺地、臺中盆地及丘陵地區等四大部份，氣候溫和宜人，不易受到海陸氣候的影響，氣候較北部及南部地區宜人，然因近年來大規模的開發以致出現都市氣溫日漸偏高的熱島現象，因此本研究以臺中直轄市作為研究範圍，來探討都市熱島效應之成因及影響。

臺中位於臺灣中部，地勢由東面高山向西漸趨平緩，整個地理環境背山面海，全區地形呈東西狹長形狀，東西寬九十四公里，南北長三十八公里，共分為二十九個行政區。臺中直轄市總面積計有二千二百一十四點九平方公頃，總佔臺灣地區總面積百分之六點一五，總人口數合計已逾二百六十萬人。在交通運輸上銜接北、南部地區，具有先天地理條件優勢，更於近期產業政策制定下，包括中部科學園區、精密機械科技創意園區及臺中港自由貿易港等之開發設立，配合連結航運中心的轉運功能，使臺中港、機場、陸運及高鐵等空間機能與人流、物流作有效地結合，運用區域內的經濟優勢及產業群聚腹地的支撐，進一步推動臺中地區之發展。

臺中地區氣候除高山地區為溫帶氣候外，其餘皆屬亞熱帶氣候；由於受季風支配，偏向夏雨冬乾的氣候型態。終年無酷暑，亦無嚴寒，平均溫度約為 23℃，氣候溫和宜人，不易受到海陸氣候的影響，氣候較北部及南部地區宜人，環境交通便利，腹地範圍遼闊，在產業的發展上具有整體供應鏈之現象。近年來工商業的迅速發展，促使臺中市人口增加迅速，加以臺中市近二十年來陸續規劃的各期市地重劃，與相關聯外道路的增闢或擴建，更加速促成臺中都會區共同生活圈的形成。

都市熱島效應的成因影響因子眾多，每個鄉鎮市均具有其獨特的自然環境條件、發展定位與產業結構等，必定衍生出不同的都市熱島型態，綜合上述介紹可得知，臺中直轄市主要發展集中於全區西部，為文獻整理中主要加速影響熱島效應之集中區域，此處由於和平區為人口密度極低之丘陵山區，故本研究之研究範圍選定為臺中直轄市（和平區除外之中西部地區），進行土地利用現況與熱島效應之分析研究，以期找出臺中都會區土地現況與熱島效應之關係。



7

第四節 研究限制與假說

受限於研究時間與資訊來源，本研究須對研究內容進行限制與假說之探討，針對都市熱島空間分布與土地利用類別之關係進行分析研究。其研究限制與假設說明如下：

壹、研究限制

形成都市熱島效應之因子眾多，涉及範圍廣且複雜，如靜態地表狀態變遷，如地表鋪面覆蓋變化、地形變化、建物座向等；自然氣候改變，如大氣相對濕度、雨量、風向與風力；以及動態的地表狀態變遷，如人為活動廢氣排放、機械運作熱能排放、大樓效應造成之風場變化等，皆會影響都市內部微氣候的改變。

另受到被動式遙感影像之能量來源為太陽輻射之故，易受到太陽角度、大氣條件、拍攝角度、地形條件等因素，對光學衛星影像品質產生不同程度之影響。在眾多影響因子中，最為顯著之影響即為雲體覆蓋。受到雲體覆蓋之影響，造成地表資訊無法自衛星影像取得，因此無法透過衛星影像分析方法探討該區域地表變化之情形（張苑菱，2010）。

在上述項目內，部分因子在量測具有一定的困難度，且變因過多，變化機率過大，在資料蒐集上具有困難。又於自然氣候的部分，局部區域內並無顯著差異，且研究使用設備有限，因此本研究受到部分影響因子之條件限制。基於研究之進行與推展，本研究之研究限制整理如下：

- 一、本研究之時間範圍僅能針對Landsat 影像資料庫內現有影像資訊之時間範圍，及選取影像品質稍佳之影像進行研究。
- 二、為配合國土利用調查資料之調查時間，選取適合之衛星影像進行研究，但受限於挑選衛星影像時須顧慮雲體遮蔽影響，故後期之衛星影像與國土利用調查資料年度些微不同（分別為 2008 年及 2009 年）。
- 三、由於影像容易受到雲體遮蔽之影響，故求算熱島強度分級之面積所佔比例為已扣除雲體遮蔽範圍之數值。
- 四、受到資料蒐集困難、研究時間之限制，全球氣候變遷之影響與動態活動之干擾無法於本研究內多加討論。

貳、研究假說

都市熱島效應研究中，首重探討都市內部地表氣溫分佈狀態，透過地表溫度之分析，除可對都市內部熱島現況與熱島強度進行更進一步之分析，並可對都市熱島成因進行剖析，提供都市熱島降溫對策，以利都市生活品質與永續發展之提升。

基於上述原因並參考前人研究成果，本研究針對臺中市都市熱島與土地覆蓋變遷關係之研究做出以下之假說：

- 一、土地利用覆蓋面積變遷對都市熱島效應具有顯著相關性。
- 二、工業區產業特性不同對都市熱島效應具有不同之影響。

第五節 研究架構與流程

本研究架構分述如下：

第一章緒論主要為研究之背景問題陳述與目的說明，建立研究架構與流程，闡述研究中的假設與限制。

第二章文獻回顧為針對研究所欲了解的理論與前人研究進行整理，第一節主要為都市熱島效應理論之探究，了解熱島效應之成因與過去學者所探討之方向；而後對於土地利用與熱島效應之關係進行文獻整理，並從中獲得分析熱島效應與土地利用關係之背景知識；最後討論以空間資訊技術觀測熱島效應，以及熱紅外光遙測反演地表溫度之方法，作為研究方法之理論依據。

第三章研究方法中將研究中所應用的地表溫度反演模型，以模型公式解釋其反演概念與方法；以及加入都市熱島強度計算與正規化之過程，最後說明本研究在應用於土地利用與熱島強度分級之差異對比分析時，所採用之方法及步驟。

第四章為實證分析，針對上述理論進行地表輻射溫度反演成果分析，先探討地表輻射溫度之高溫核心分布及其變化；接著將兩時期之國土利用調查資料擷取面積資料進行計算及空間分析，最後再以經過熱島強度正規化及分為四層級之成果與土地利用分類進行差異比對分析，探討不同土地利用下之熱島強度變化。

第五章結論與建議為綜合研究結果提出數點結論，並對本研究提出後續方向與建議。

經由上述說明，本研究流程項目詳如圖1.2所示：

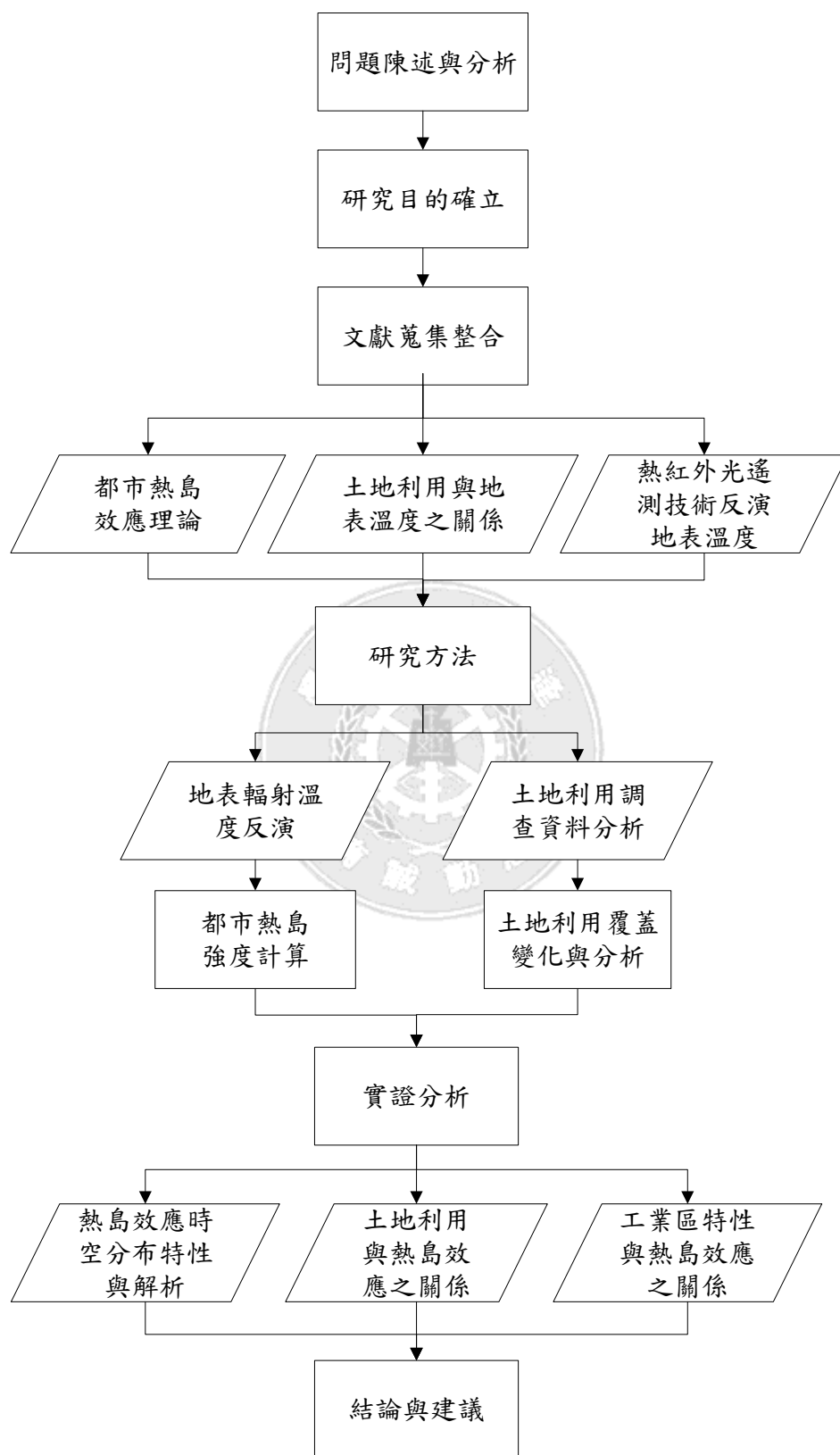


圖 1.2、研究流程圖

第二章 相關理論與文獻回顧

第一節 都市熱島效應理論

Luke Howard 於 1833 年首度提出都市熱島效應的概念，而「Urban Heat Island」一詞最早見於 1958 年 Gordon Manley 在英國皇家氣象學會出版之學報中所提出，其廣泛定義為都市環境由於綠地不足、人口過度集中、人工發散熱大，使得都市有如一座發熱的島嶼，在氣象學上稱為「都市熱島」（孫振義，2008）。Luke Howard 指出在夏天，一般美國城市的平均氣溫要比周圍高出攝氏 3~5 度，城市內大約有百分之三十的土地被易吸收熱能的人造結構所覆蓋，如柏油與水泥叢林在白天吸收熱，而在夜晚釋放使其空氣升溫。

都市熱島是由人類改變地表覆蓋而引起的微氣候變化之綜合現象，所謂的微氣候是指因當地局部環境差異而改變的氣候，甚至在一自然狀態下，某一小型的建築物含蓋範圍亦會顯現與其他地區不同特徵的氣候現象。各種物體不同比熱會有不同的溫度表現，而這種現象既使在日落後兩個小時仍然非常明顯。Linke（1940）認為在無風無雲的晴朗天氣下最有利於都市熱島效應的發展。此外，熱島效應溫差之極大值通常出現在日落後的 2~3 小時之間，而此溫差會在午夜時消失。

在都市中，人工實體已逐漸取代原先的地表自然景觀，基於這個原因，太陽的能量被道路和屋頂所吸收，導致都市的表面溫度比周圍地區的溫度高。都市中存在著各種不同的實體，隨著工商業的發達與都市不斷地擴張，都市中的人工實體呈現逐年急速增長之趨勢。這些實體各具有不同的反射率，所謂的反射率是一種量測太陽能被地球表面實體反射回去的能力，反射率低表示太陽能被吸收的多，表面溫度也相對較高，而反射率高則反之。

由於人工實體反射率低，且具有不透水之特性，使都市內部熱環境產生失衡的現象。

都市和郊區最大的不同，主要為人口多寡的差異。人類活動之地區必定會出現「人工熱」，人類的生活無時無刻在使用能量，而能量轉換的過程中，會釋放出人為熱源，如冷氣機、空調、工廠及機動車輛等的排放，會增加都市蓄熱。由於都市氣溫攀升，人類便大量使用空調設備，不但使都市的高溫化現象更嚴重，人類對電力的需求也急遽增加，促使地球的能源大量被消耗。

而熱的滯留是造成熱島的原因之一，在充滿人工不透水鋪面的都市中，綠地面積大幅地減少，由於綠地上的植物與土壤能蘊含水分，其蒸散作用可以有效的吸收大量熱量，達到降溫的效果。但在現今的都市內，人工不透水層鋪面逐漸取代了綠地覆蓋，地表無法藉由蒸發作用來降低地面溫度。另一個原因為地表與建物會將白天所吸收的熱能，於日落後逐漸釋回大氣中；建物的高度與密度亦會造成通風不良，容易形成積熱不散，使熱島效應於都市內部有顯著影響。

一系列關於都市熱島效應的研究證實歐洲的一些都市，如倫敦，甚至是地球上其他國家的城市，皆有發生都市熱島的現象。Fukui(Fukui, 1970)發現東京的溫度自 1920 年開始逐漸升高，其升高的趨勢甚至已經超過整個東京區域的平均趨勢。可見都市熱島效應是一個都市共通的現象，換句話說，都市熱島效應是一個都市不斷開發及擴張之後遺症。若用等溫線(isotherm)表示，有如一個溫度較高的島嶼被四周較寒冷的海洋所包圍，故稱熱島(Heat Island)，如下圖所示。

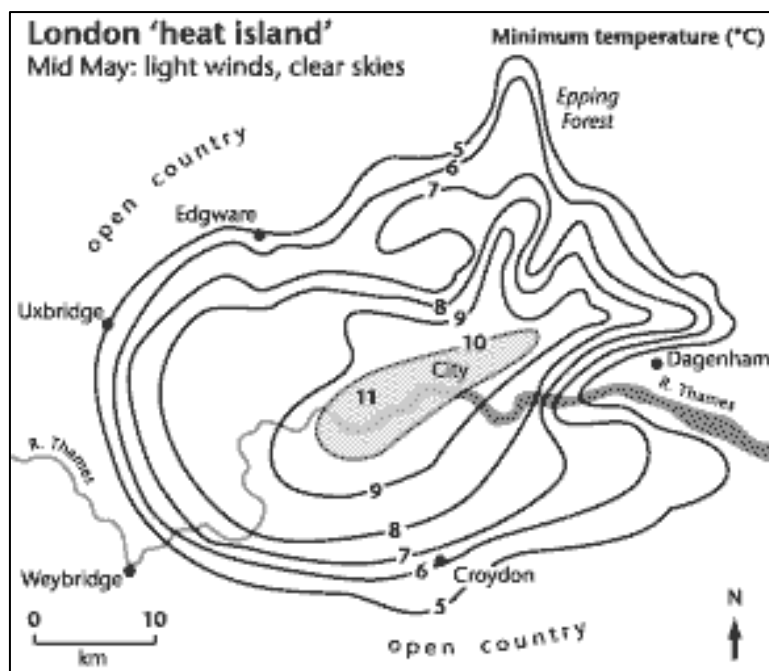


圖 2.1、都市熱島效應等溫線示意圖

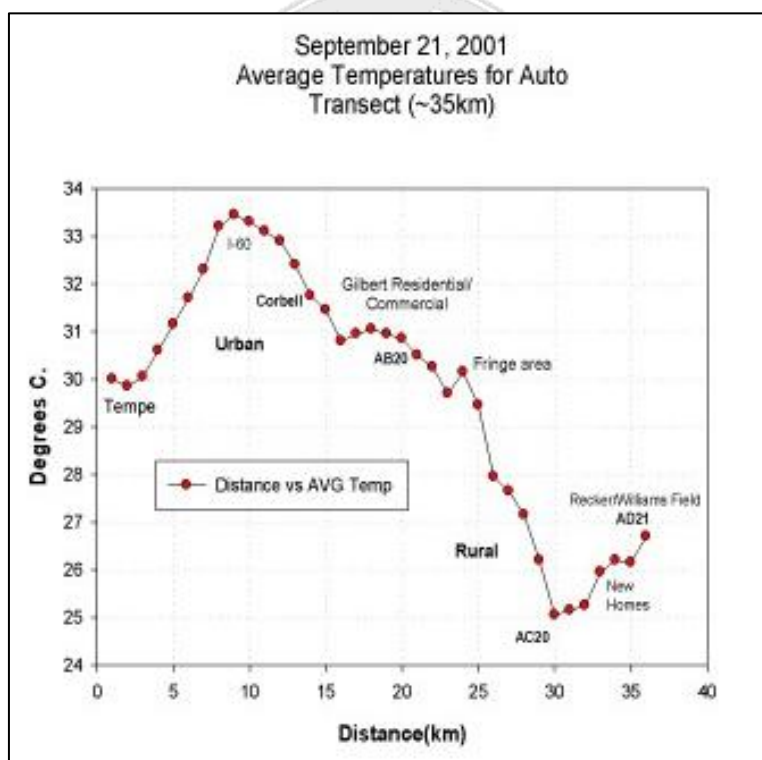


圖 2.2、都市熱島效應溫度與距離變化示意圖

綜觀上述，都市熱島效應已是一個國際上共通的問題，而且也是目前重要的研究議題之一。此現象對於都市居民的生活品質、身體健康以及地球環境皆有不利的影響。

第二節 土地利用與地表溫度之關係

影響都市微氣候的因子有許多，包括天空可見率、鋪面反照率、綠覆率、建築物、街道高寬比、各種土地利用型態及社會經濟因素等。以下將針對過去國內外學者研究中指出與氣溫有相當關聯性之因子進行文獻整理。

從 1818 年 Luke Howard 發現都市環境產生熱島效應之氣候異常現象至今已歷經將近兩百年的時間，在這期間有關於研究熱島效應的方法不斷地在推陳出新。初期的研究多半著重在探討鄉村及都市之間的溫度差。例如 William Lowry (1972) 提出了一個有關於都市熱島效應的模型，他認為影響都會區觀察值變數的三個基本要素是(1)區域的基本氣候值，(2)所在位置所產生的差異變數，如地形、水體等，(3)由都市化所產生的改變項。

而在現今的都市環境裡，由於高樓大廈林立與不透水層鋪面的充斥，使得都市猶如一座水泥叢林。過度的人工建築將都市居民的生活帶來許多負面的影響。首當其衝的即是綠地面積的急速減少、熱容量大的人工實體增加以及雨水逕流量大增等問題，皆是都市氣溫逐年上升的重要原因之一。所謂的「人工實體」是指人類的各項建築物體，舉凡都市中的街道、停車場、開發建築地等都可謂之人工實體。這些人工實體在白天不斷地吸收太陽能，到了夜晚則開始大量地釋放這些熱能，使得都市內的氣溫遠遠高於周圍郊區的氣溫。

另外，不同的土地利用類型也會產生不同的人類行為，國內相關研究方面，認為影響都市氣候的根本因素在於「土地利用類型」的不同。例如在商業使用方面，土地作商業使用可能產生的人類行為有過分使用冷氣及霓虹燈等發熱物體等。在工業使用方面，可能會產生則包含生產過程產生的熱污染及廢氣廢水的排放等。

地表介質之溫度差異來至於物質本身熱傳導與熱含量的不同，都市裡的人工構造物如柏油路，因為含有高熱含量，所以表面溫度較高(Roger and Thayne, 1998)。

近年來國內外有許多學者進行土地利用分類與溫度相關性之研究，國內有陳冠廷(2000)臺灣中小型都市的熱島研究、林憲德等(2001)針對海岸型都市的熱島研究，還有柯互重與張書芸(2004)高雄地區的熱島研究，及林憲德與孫振義(2006)臺南地區之熱島研究等。

其中陳冠廷(2000)以機車移動法與四個中小型都市進行現地觀測，透過環框分析探討每測點代表之戶籍人口密度與熱島溫度之相關性，結果均呈高度相關；亦發現土地利用型態以建築、交通等人工物用地為主的市區，溫度明顯高於市郊；以半徑1000公尺的分析尺度，綠地密度每提升10%，則午夜溫度平均可降0.2°C。

鄭婉純(2004)以住商混合用地、工業用地、公共設施用地、低度開發之綠地等四種主要土地類別佔總面積之比例，經由逐步回歸之分析可知，住商混合用地與公共設施用地與都市氣溫呈現正相關，低度開發之綠地對都市氣溫則呈現負相關。此外公共設施用地對都市的增溫有最明顯的貢獻性，低度開發之綠地對於都市氣溫則有降溫的效果(鄭師中，1988)。

廖峯淇(2009)在臺中市設置十二個不同測點，進行氣溫及濕度的定點量測，同時將測點周圍的土地利用組成分為五種型態：建築物覆蓋型態、人造鋪面型態、未使用土地型態、植栽綠化型態、水域型態。結果發現都市中建築物型態對溫度的增加為正相關，未使用土地型態、植栽綠化型態及水域型態為負相關，而人工鋪面較不顯著。

李明晃(2003)與陳恩右(2004)分別利用都市公園面積大小與市區道路特性探討對於都市熱島效應之影響力，研究結果發現實際影響都市氣

溫因子並非公園面積大小，而是公園內所鋪設之混凝土鋪面與種植之綠地及樹木比率；另市區道路之交通流量與車道數證實會影響都市道路氣溫，並提出應利用綠覆率與調整道路寬來管理都市道路上局地氣候變化。

呂毓倫（2007）運用遙測衛星技術為工具，以臺南市為研究範圍，利用 MODIS 感測器所拍攝之資料判讀出臺南市地表溫度(LST)分佈情況，輔以福衛二號拍攝影像所計算之常態化差異植生指標（NDVI）值進行空間解析度校正，將臺南市之社經變數資料，與臺南市都市計畫中土地利用類別套疊於地表溫度圖，發現臺南市商業區之平均地表溫度 36.52°C 為各土地利用分類中最高，其次為住宅區、工業區等。從都市熱島模型實證發現，當人口密度每公頃增加 100 人，地表溫度將升高 0.4°C ，影響程度不如建築物比率以及道路鋪面比率兩變數顯著，以迴歸式係數判斷當建築物比率達 0.5 時會導致地表溫度上升約 2.5°C ，而自變數當中唯有增加都市綠覆率才能減緩都市地表溫度之上升。

Hanqiu Xu 學者利用 Landsat ETM+ 及 ASTER 影像探討福建與廈門市之熱島效應的文章，他提出了一個 NDISI 指數，主要是針對不透水鋪面對地表溫度的影響，結果表明高百分比的不透水鋪面將提高 LST 以及加速熱島效應的發生（Hanqiu Xu，2010）。

孫振義等人利用 ASTER 春夏秋三個不同季節的五幅夜間影像進行溫度反演，提出反演結果高溫點分佈在機場及夜市空地，共通點為大面積的混凝土或柏油地面，高蓄熱量在日落後數個小時無法散盡，這個現在僅有在夜間影像中才能發現，之前也有其他學者提出熱島效應在夜間及夏季最明顯。在地表覆蓋部分是利用福衛二號影像以監督式分類法進行地表的判釋，再以 NDVI、鋪面比率、建築物比率及地表不透水率等參數進行複迴歸分析，成果指出地表溫度於春季與鋪面比率關係較密切；夏季時是以地表不透水率關係較密切；秋季則是與 NDVI 關係較強（孫振義等人，2010）。

第三節 都市熱島效應觀測方法之相關研究

在國內都市熱島現象之觀測方法，根據既有文獻得知有固定式氣象監測站、移動觀測法及衛星遙測等方法。都市熱島效應的影響範圍在水平尺度上可達數公里，在其他實驗方法之局限下，具備大範圍觀測優勢的「遙測法」是一種值得採用的方法。遙測技術中衛載熱紅外感測技術特別適合應用於測繪和衡量大範圍城市都市熱島之研究。遙測應用於都市熱島強度偵測，簡單的做法是由熱紅外波段影像推估地表溫度，再計算都市地區與周邊郊區的地表溫度差異。但是，都市熱島強度與土地利用/覆蓋變化的型態有關，例如植生、水域、建築區及其變化等之組成。因此，結合都市土地利用變遷探討都市熱島效應的研究，也逐漸受到重視(Qian, 2006)。

最早運用衛星遙測於都市熱島效應的文獻為1972年Rao在美國氣象協會期刊所發表的論文(Rao P.K., 1972)，其利用環境資源衛星ITOS-1(ITOS, Improved TIROS Operational System, 為NOAA衛星的前身)進行研究的方式在往後為許多學者所仿效，爾後有許多運用類似方式所得之研究成果多是透過衛星或飛機遙測影像為手段，在都市範圍進行熱島效應研究。由於本研究欲使用美國太空總署(NASA)之Landsat TM衛星作為研究材料，故以下文獻將針對使用Landsat系列衛星影像進行都市熱島效應研究之文獻整理。

目前國外學者應用衛星影像及遙測技術於都市熱島方面已有許多的研究案例，並且大部分皆以Landsat TM和ETM+熱影像來進行研究較多，例如Jusuf et al. (2007)應用Landsat 7 ETM+衛星影像於新加坡地區白天的都市熱島研究，夜間則配合移動觀測法來獲取溫度資料，並以定性和定量兩種方式來分析。結果顯示出都市土地利用與溫度的關係，在白天，不同土地利用類型的溫度分布順序為工業區、商業區、機場、住宅區和公園。而

在晚上時段，順序為商業區、住宅區、公園、工業區和機場。

張子瑩等人(2005)利用Landsat TM衛星的多光譜資訊，反演出NDVI、地表溫度及反射率三個地表參數，並將這些資訊輸入S-SEBI模式裡，以推估影像瞬間的可感熱通量，輔以分類好的土地覆蓋情形，獲得不同的熱擴散係數，輸入可感熱理論方程，以進行距地表1.5m空氣的溫度推估，並將得到的溫度值與當時中央氣象局的測站溫度值進行比對，兩者相關係數達0.86。

另外於Stathopoulou et al. (2004)的研究中，其是應用Landsat ETM+衛星影像來探討希臘地區五個主要城市的白天都市熱島強度。土地利用方面則分成都市(urban/densely built)、市郊(suburban/medium built)、混合都市區(mixed urban area)、鄉村地區(rural area)和水體五個類型，分別探討都市、市郊和混合都市地區與鄉村地區的熱島強度。

方聖輝等人(2005)應用Landsat TM和ETM+熱影像對武漢市的熱島效應進行研究，結果表明都市熱島效應呈現不段增強之趨勢；裴歡等人(2008)則利用南京市7月的Landsat TM熱紅外波段數據，根據單窗算法反演得到南京市地表溫度，分析南京市熱島效應之特徵及成因，結果顯示都市地表溫度與植被覆蓋度具有明顯的負相關關係，表明都市地表植被覆蓋度低是都市熱島出現的主要原因。米金套等人(2009)利用2004年Landsat TM影像數據反演澳門城區都市地表溫度，並透過主成分回歸方法分析澳門都市熱場的影響因素，結果表明地表溫度與硬化地表(impermeable surfaces)指數、道路密度呈顯著正相關($\rho < 0.05$)。

其中都市熱島效應嚴重程度的判定，通常以都市與郊區溫度差之值 ΔT_{u-r} 作為評估「都市熱島強度」(Urban Heat Island Intensity, UHIs)之指標，即都市相較於郊區溫度越高，表示都市熱島強度越嚴重。

第四節 熱紅外光遙測技術反演地表溫度

地表溫度是監測地球資源環境動態變化的重要指標之一，對水文、生態、環境和生物地球化學等研究有重要意義。傳統獲取地表溫度的做法是採用溫度計測量，所測的結果只代表觀測點的局部溫度，唯有遙測方法可以提供二維陸面溫度分佈資訊，並且可以快速同步地獲取大面積區域地表溫度。因此利用衛星資料演算地表溫度，探討衛星熱通道的理論及其實際應用方法，已經成為遙感探測科學的一個重要領域。

地表溫度反演是遙測衛星影像資料經過文獻中所推導之溫度反演式所計算而得。在地表溫度反演中，主要受到地表熱輻射傳導之影響，透過能量入射長、短波輻射扣除地表放射長波輻射與反射短波輻射平衡等式，其輻射差進行地表溫度反演運算。

由於利用熱紅外光波段遙測方法本身較為複雜，如地表發射率的測定、大氣效應校正、溫度與發射率的分離以及非同溫度像元的混合問題等，使得反演地面溫度複雜了許多，精度也受到了限制。隨著空間資訊技術的發展，遙測地面溫度的反演技術也取得了大幅地進步，目前已發展出多套地面溫度反演方法。目前遙測反演地表溫度的方法主要有傳統的大氣校正法、單窗算法、劈窗算法等，這些算法最基本的理論依據是維恩位移定律和普朗克定律。

其中單窗演算法適用於僅有一個熱波段的遙測資料，主要用於 Landsat TM 衛星之波段六資料（簡稱 TM6）進行地表溫度反演。長期以來，從 TM6 資料中演算地表溫度通常是通過所謂大氣校正法，這一方法需要估計大氣熱輻射和大氣對地表熱輻射傳導的影響，計算過程很複雜，誤差也較大，在實際中應用不多。

覃志豪 (2001) 根據地表熱輻射傳導方程，推導出一個簡單易行並且精度較高的演算法，把大氣和地表的影響直接包括在演算公式中。該算法需要用地表輻射率、大氣透射率和大氣平均溫度 3 個參數進行地表溫度的演算。驗證表明，該方法的地表溫度演算精度較高。當參數估計沒有誤差時，該方法的地表溫度演算精度達到 0.4°C ，在參數估計有適度誤差時，演算精度可達 1.1°C 。

劈窗演算法以地表熱輻射傳導方程為基礎，利用 $10\text{-}13\mu\text{m}$ 大氣視窗內，兩個熱紅外通道（一般為 $10.5\text{-}11.5\mu\text{m}$ 、 $11.5\text{-}12.5\mu\text{m}$ ）對大氣吸收作用的不同，通過兩個通道測量值的各種組合來剔除大氣的影響，進行大氣和地表比輻射率的修正。劈窗演算法主要是針對 NOAA/AVHRR 開發，並且首先被運用到海面溫度反演。

國內學者張子瑩及劉說安配合 S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index) 演算法，在不考慮風速等其他因子下，能快速的反演出所需的地表熱通量與地表溫度，再結合可感熱的理論方程，轉換我們較需要的大氣溫度資訊。

S-SEBI 演算法是 Roerink et al. (2000) 發展的一個簡單能量平衡演算法，其主要的方法是利用遙測資料中可各別處理單一像元(pixel)的基礎下，解決地表能量平衡的問題。基本原理為地表能量平衡與輻射量平衡的結合。而後再反演地表參數如地表反照率、標準差植被指數 NDVI 及地表溫度，最後估算出各個能量平衡項，如淨輻射、土壤熱通量、潛熱及可感熱。

張子瑩及劉說安 (2005) 利用 Landsat TM 的可見光與近紅外光波段，反演地表反射率(Surface reflectance)與標準差植被指數(NDVI)。利用 Landsat TM 衛星的多光譜資訊，反演出 NDVI、地表溫度及反射率三個地表參數，並將這些資訊輸入 S-SEBI 模式裡，以推估影像瞬間的可感熱通

量，輔以分類好的土地覆蓋情形，獲得不同的熱擴散係數，輸入可感熱理論方程，以進行距地表 1.5m 空氣的溫度推估，並將得到的溫度值與當時中央氣象局的測站溫度值進行比對，兩者相關係數達 0.86。



第三章 研究方法

第一節 研究材料

本研究為探討都市土地利用變遷及其特性對都市熱島效應之關係，因此選取既有的政府土地利用調查資料，並配合適宜的衛星遙測影像為研究分析之材料。

壹、土地利用資料

內政部於 1993 年及 1995 年辦理第一次全國性的國土利用調查作業，作為土地政策及國土規劃的參據。然而隨著全球經濟的蓬勃發展，國內產業與土地利用型態快速變化及實際需求，現況調查成果已不敷使用，故內政部國土測繪中心於 2005 年研訂「國土利用調查計畫」，進行第二次國土利用調查計畫，整體計畫期程為 2006 年至 2015 年，計畫辦理全國 25 個縣市（含金馬地區）國土利用調查及成果更新維護作業，臺中地區已於 2008 年調查完畢。本研究將以內政部於 1993 年至 1995 年辦理之第一次全國性國土利用調查作業，及 2008 年完成之臺中縣市土地利用調查資料，探討臺中都會區土地利用之類別、面積變化，及空間分布對於都市熱島效應之影響。

貳、衛星影像

由於地面分辨率高，大地衛星 Landsat 的 TM 影像數據已經得到了非常廣泛的應用。該影像之熱紅外光波段（TM6）可用來分析地球表面的熱輻射和溫度區域差異。該波段的波長範圍為 10.45-12.5 μm ，天頂視角下的象元地面解析度為 120 $\times$ 120 公尺。這一地面解析度遠比氣象衛星 NOAA-AVHRR 遙測影像的解析度（天頂視角下為 1.1 $\times$ 1.1 公里）高，因此對於要求精確的區域分析來說，TM 數據是較好的選擇。

Landsat 系列衛星為美國太空總署 (NASA) 之地球觀測衛星，從 1972 年 Landsat-1 發射至今，目前仍在運轉中的有 Landsat-5 與 Landsat-7。Landsat TM (Thematic Mapper) 於 1984 年 3 月 1 日升空，為太陽同步地球資源衛星，在赤道上空高度為 705 公里，運轉傾斜角為 98.2 度，其通過赤道的時間約為當地時間上午 9 點 42 分，由北向南越過赤道，運轉周期約為 98.9 分鐘，每天繞行約 14 圈，每 16 天掃描同一地區。Landsat TM 有 7 個波段，其中 1 至 5 的波長範圍分別為 0.45-0.52 μm (藍光)、0.52-0.60 μm (綠光)、0.63-0.69 μm (紅光)、0.76-0.90 μm (近紅外光) 及 1.55-1.75 μm (中紅外光)，波段 6 則為 10.4-12.5 的熱紅外光波段，而第 7 波段，則回到 2.08-2.65 μm 的中紅外光波段範圍 (詳見表 1-1)。在地面解析度方面，可見光至中紅外光部份為 30 $\times$ 30 公尺，熱紅外光波段方面，則為 120 $\times$ 120 公尺。

表 3.1、Landsat 系列衛星各感測器名稱及波譜範圍

Satellite	Sensor	Bandwidths	Resolution	Satellite	Sensor	Bandwidths	Resolution
LANDSATs 1-2	RBV	(1) 0.48 to 0.57	80	LANDSATs 4-5	MSS	(4) 0.5 to 0.6	82
		(2) 0.58 to 0.68	80			(5) 0.6 to 0.7	82
		(3) 0.70 to 0.83	80			(6) 0.7 to 0.8	82
	MSS	(4) 0.5 to 0.6	79			(7) 0.8 to 1.1	82
		(5) 0.6 to 0.7	79		TM	(1) 0.45 to 0.52	30
		(6) 0.7 to 0.8	79			(2) 0.52 to 0.60	30
		(7) 0.8 to 1.1	79			(3) 0.63 to 0.69	30
LANDSAT 3	RBV	(1) 0.505 to 0.75	40			(4) 0.76 to 0.90	30
		(2) 0.5 to 0.6	79			(5) 1.55 to 1.75	30
	MSS	(3) 0.6 to 0.7	79			(6) 10.4 to 12.5	120
		(4) 0.7 to 0.8	79			(7) 2.08 to 2.35	30
		(5) 0.8 to 1.1	79	LANDSAT 7	ETM ⁺	(1) 0.45 to 0.52	30
		(6) 10.4 to 12.6	240			(2) 0.52 to 0.60	30
						(3) 0.63 to 0.69	30
						(4) 0.76 to 0.90	30
						(5) 1.55 to 1.75	30
						(6) 10.4 to 12.5	60
						(7) 2.08 to 2.35	30
					PAN	0.50 to 0.90	15

臺灣因使用 Landsat TM 資料量過少及其雜訊日益增加，國內中央大學太空遙測中心在 1997 年初已停止接收 Landsat TM 影像。因此本研究配合前項土地利用資料，僅以現有衛星影像資料庫中選取 1995 年以及 2009 年前後期臺中地區品質較佳的影像資料進行分析。

目前利用衛星影像的熱紅外光波段來分析都市熱島效應仍存在著許多問題，例如遙測衛星經常受限於天候狀況，若有雲層的地方，其所得到的溫度即是雲層的溫度，無法有效獲得真實之地表溫度資訊，這將造成研究結果上的嚴重誤差。另外由於都市熱島效應常出現於無風無雲、天氣晴朗的氣候條件下，且影響都市熱島最重要參數是風速，其次是雲量 (Chandler, 1965 ; Duckworth and Sandberg, 1954 ; Sundborg, 1951)。因此，若以衛星影像來觀測都市熱島，首要條件就是先解決雲層和水氣的影響。本研究配合其他研究材料於 1995 年及 2009 年選出兩幅清晰雲量少、天氣晴朗的影像，並參考氣象站資料颱風事件前後排除，篩選出適合研究熱島效應的日期，目前共選出 1995 年至 2009 年兩幅影像供本研究之分析應用。

由於衛星單個軌道之拍攝範圍無法涵蓋臺中全區，以及受到雲體覆蓋影像之影響較高，故 1995 年以影像時間最相近之兩張影像合併進行分析。其中 1995 年影像日期分別為 6 月 25 日、7 月 20 日，而影像時間分別為當地時間上午 9 點 25 分與 32 分（如圖 3.1 及圖 3.2）；2009 年影像日期為 7 月 17 日，影像時間為當地時間上午 10 點 15 分（如圖 3.3）。

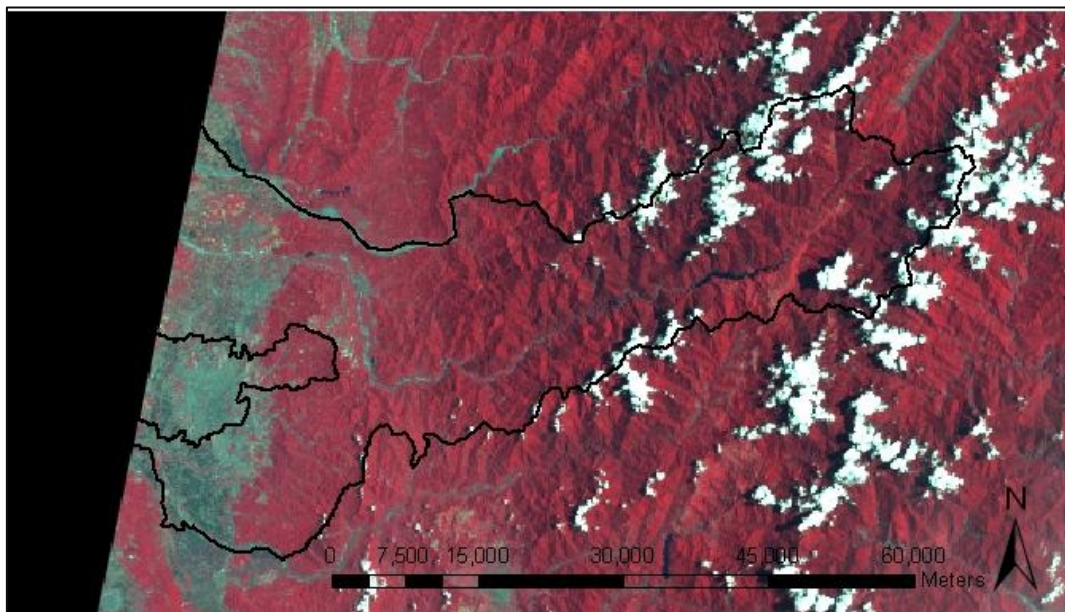


圖 3.1、臺中地區 1995 年 07 月 20 日 09:25:06 可見光波段影像

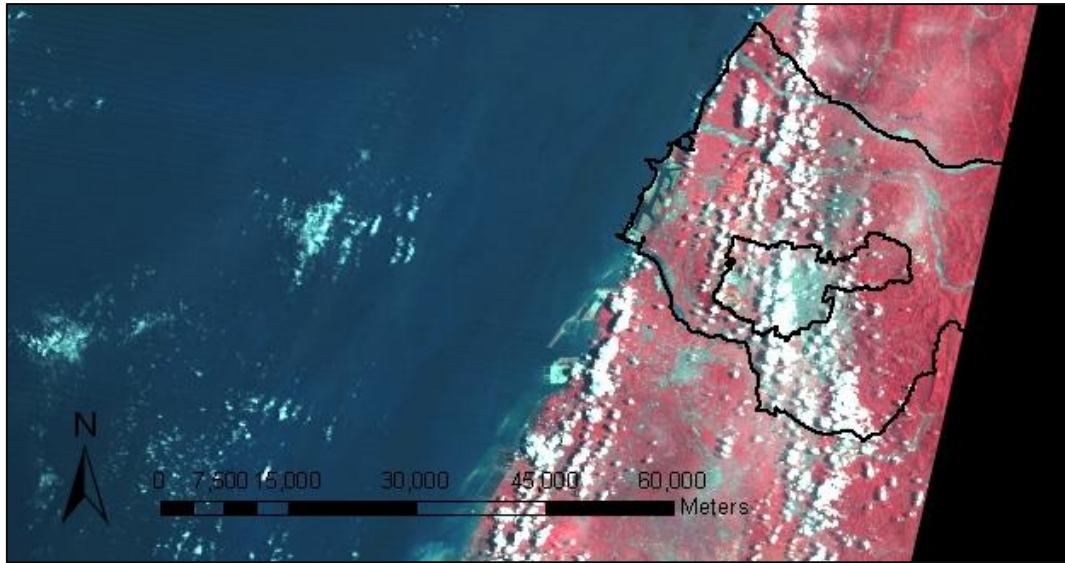


圖 3.2、臺中地區 1995 年 06 月 25 日 09:32:15 可見光波段影像

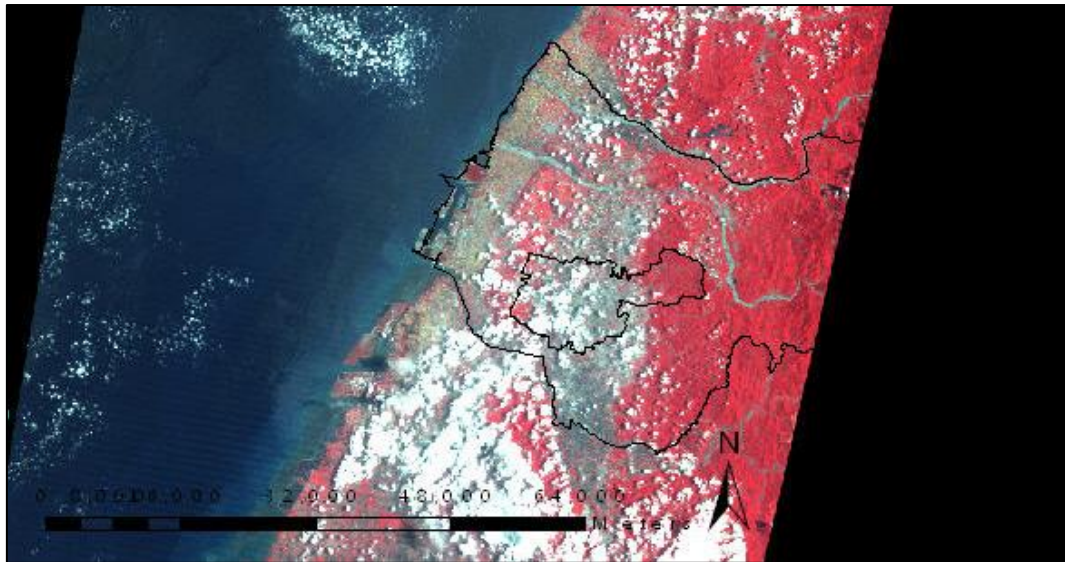


圖 3.3、臺中地區 2009 年 07 月 17 日 10:25:34 可見光波段影像

第二節 地表輻射溫度反演

本研究利用之 Landsat TM 衛星影像是都市熱環境研究中應用最多之遙測影像之一，TM6 波段（10.45-12.5 μm ）具有 120m 的空間解析度，可以較好的實現地表熱輻射、地表溫度的定量反演。該影像的熱紅外光波段（TM6）大多數應用於直接使用其灰度值，或者是轉化為象元亮度溫度。本研究即使用灰度值反演輻射溫度值，並根據熱島強度定義進行熱島強度值之定量計算，分析臺中都會區高溫聚集區與熱島強度值核心之空間分布情形。其溫度反演方法如下：

根據覃志豪學者於 2001 年提出之使用 Landsat TM 進行溫度反演之相關研究中得知亮度溫度是遙感探測器於衛星高度所觀測到的熱輻射強度所相對應的溫度，這一溫度包含有大氣和地表對於熱輻射傳導的影響，因而其不是真正意義上的地表溫度。但地表溫度是根據此亮度溫度來演算而得，因此有必要先探討如何從 TM6 數據中求算亮度溫度。

一般而言，我們所得到的 TM6 數據是以灰度值（DN 值）來表示。DN（Digital Number）值為 0 至 255，其數值越大，亮度越大，表示地表熱輻射強度越大，溫度越高，反之亦然。覃志豪學者於 2001 年提出之單窗算法中提及從 TM6 衛星數據求算亮度溫度的過程，包括將 DN 值轉化為相應的熱輻射強度值，然後根據熱輻射強度推算所對應的亮度溫度。

地球觀測衛星 Landsat TM 在設計製造時已考慮到把所接收到的輻射強度轉化為相對應的 DN 值問題。因此對於 TM 數據所接收到的輻射強度與其 DN 值有如下關係：

$$L(\lambda) = L_{min}(\lambda) + [L_{max}(\lambda) - L_{min}(\lambda)] Q_{dn} / Q_{max} \quad (1)$$

式中 $L(\lambda)$ 為TM遙感探測器所接收到的輻射強度($mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)， Q_{max} 為最大的DN值，即 $Q_{max}=255$ ， Q_{dn} 為TM數據的像元灰度值， $L_{max}(\lambda)$ 和 $L_{min}(\lambda)$ 為TM感測器所接收到的最大和最小輻射強度，即相對應於 $Q_{max}=255$ 和 $Q_{dn}=0$ 時的最大和最小輻射強度。TM感測器的熱波段TM6的中心波長為 $11.475\mu m$ ，發射前已預設TM6的常量為當 $L_{min}(\lambda)=0.1238W\cdot m^{-2}\cdot sr^{-1}\cdot \mu\cdot m^{-1}$ 時 $Q_{dn}=0$ ；當 $L_{max}(\lambda)=1.56mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ 時， $Q_{dn}=255$ 。因此，公式(1)的熱輻射與灰度值之間的關係可進一步簡化為

$$L(\lambda)=0.1238+0.005632156Q_{dn} \quad (2)$$

在TM6數據中，灰度值 Q_{dn} 已知，因此用式(2)可以很容易地算出相應的熱輻射強度 $L(\lambda)$ 。一旦 $L(\lambda)$ 求得，用如下近似值求算

$$T_6=K_2/\ln(1+K_1/L(\lambda)) \quad (3)$$

式中 T_6 為TM6的像元亮度溫度(K)， K_1 和 K_2 為發射前預設的常量，Landsat的TM數據， $K_1=60.776mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ， $K_2=1260.56K$ 。

第三節 都市熱島強度計算

都市熱島強度是指都市內部溫度與周圍郊區最低溫相差之程度。都市熱島強度越大，表示都市內部較郊區集中更多熱能，都市熱島效應現象越明顯。都市熱島效應強度與熱島強度平均值計算公式如下：

$$\omega = T_u - T_s \quad (4)$$

其中： ω = 熱島強度； T_u = 都市內部氣溫； T_s = 研究區最低氣溫

$$\bar{\omega} = \frac{\sum \omega}{n} \quad (5)$$

其中： $\bar{\omega}$ = 熱島強度平均值； n = 熱島強度計算個數



第四節 差異比對分析

本研究在熱島效應與土地利用之相關性分析方面，首先將熱島強度及國土利用調查資料進行分級，由於 Landsat-5 衛星影像之熱紅外光波段之空間解析度為 120x120m，國土利用調查資料之比例尺為五千分之一大小，為使其資料能在同一尺度下進行面積百分比之計算，將向量資料轉成網格資料後，統一設定以 40x40m 大小，在相同尺度下進行分析比較。其分級過程如下：

將 1995 年及 2009 年之衛星影像反演輻射溫度成果，經計算熱島強度並正規化後，將其熱島強度值依據空間分析方法中的 Nature Break 趨勢分級法將其熱島強度值進行分類，共歸類為四大類，分別為低溫分布區、中溫過渡區、高溫聚集區、及最高溫核心區。

另將國土利用調查資料以 1995 年及 2008 年之資料中擷取面積資料，將土地利用分類按文獻整理中對熱島效應之影響程度為標準將其原資料中之九大分類重新分為四種不同屬性類別，分別為：植生、水體、人工鋪面、及其他。

在差異比對分析中，為探討不同土地利用型態下之熱島強度反應，故將土地利用分區（植生、水體、人工鋪面、及其他）於屬性資料分類中給予十位數值，分別為 10、20、30、40；再將熱島強度分級（低溫分布區、中溫過渡區、高溫聚集區、及最高溫核心區）於屬性資料分類中給予個位數值，分別為 1、2、3、4；將給予分類數值之兩種層級進行相加後，可得出 11 至 44 級，將網格內數值乘上網格大小 40 公尺的平方，即可求得該分級下所佔之面積（平方公尺）。其中例如層級 13 是指土地利用分區為植生分區下，熱島強度為高溫聚集區；層級 42 是指土地利用分區為其他用地，熱島強度分級為最高溫核心區。

第四章 實證分析

第一節 臺中熱島效應時空分布特性與解析

地球表面土地受到季節性風向、雨量、日照...等自然現象之增減溫效果，連帶亦影響著都市熱島強度的消長。本研究依據 Landsat 官方提出之輻射反演方程式，計算各網格輻射強度值，將其數值轉換為亮度溫度值，以計算各網格偵測之地表輻射溫度值。透過影像處理並將雲體遮蔽範圍切除後，得出本研究輻射溫度反演成果；接著將兩張於不同時間及大氣狀況下之衛星影像進行正規化，求在同一水平下比較其差異，並計算平均熱島強度值，解析臺中地區內熱島效應核心之分布特性。

壹、地表輻射溫度

本研究透過溫度反演方程式先將其灰度值轉換為亮度溫度值，再求算地表輻射溫度，透過影像處理並將雲體遮蔽影響排除後，得出輻射溫度反演成果，下列圖中白色區塊為雲體遮蔽切除部分。由於兩張影像為不同日期時間，以及不同天候條件下進行拍攝之影像，感測器所接收之數據導致衛星影像輻射量失真是受到許多因素所干擾，除了由感測器靈敏度特性引起的誤差外，還包括太陽視角、地形起伏、大氣吸收及散射等的強烈影響。故在進行溫度反演前必須先進行輻射校正的動作，為將影像拍攝過程中所產生之輻射誤差給予修正。衛星感測器觀測目標的反射或輻射能量時，所得到的測量值與目標的光譜反射率或光譜輻射亮度等物理量之間的差值叫做輻射誤差，其會造成遙測影像數據的失真，影響影像的判讀和解釋，因此必須進行消除或減弱。

一般地面站所提供的衛星產品皆已做過系統輻射校正，消除了感測器系統產生的輻射誤差，但仍存在著大氣散射和吸收引起的輻射誤差，及太陽高度角和地形等光照條件差異所引起的輻射誤差，這些隨機誤差隨時、隨地而異，是影響定量遙測進展的主要障礙，因此即使影像透過輻射校正後，還是無法將其地表輻射溫度反演成果進行比較，僅能得到相對溫度，非絕對溫度值，因此，本研究再以熱島強度計算將前後期影像進行正規化，使其溫度值能在同一水平基準下進行溫差之比較。圖 4.1 為地表輻射溫度之反演成果圖：

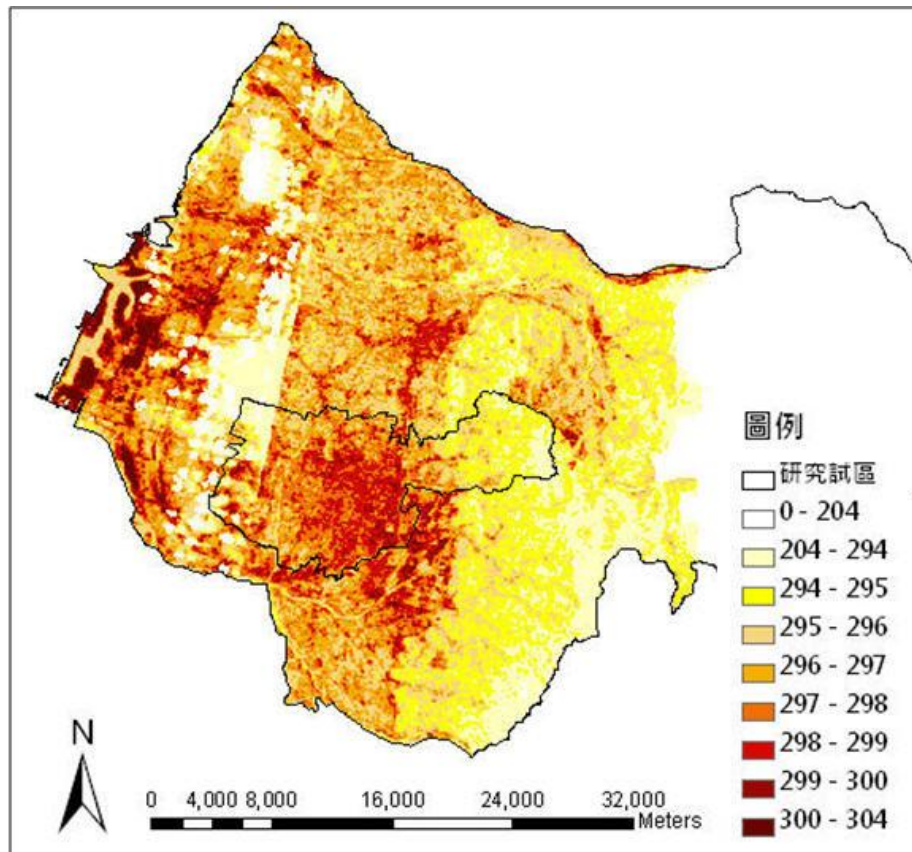


圖 4.1、1995 年 7 月合併影像輻射溫度反演成果圖

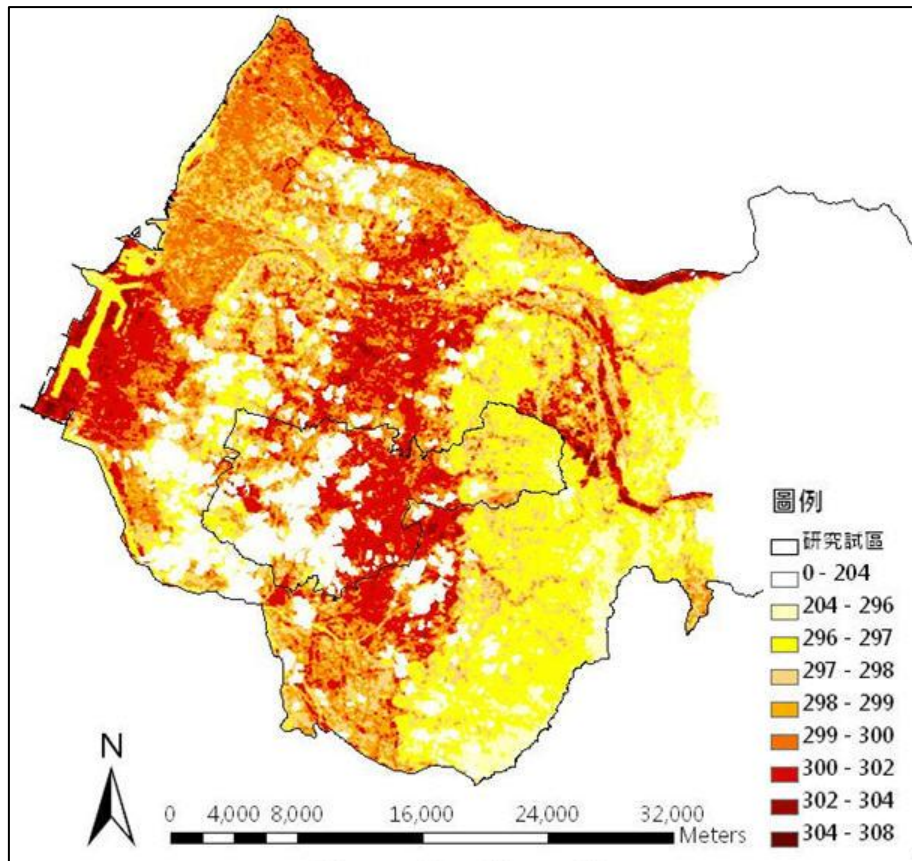


圖 4.2、2009 年 7 月 17 日影像輻射溫度反演成果圖

分析上列兩張臺中市不同年度地表輻射溫度分布情形得出：

由兩張影像輻射溫度反演成果圖中可以發現（圖 4.1 及圖 4.2），臺中直轄市最高溫核心區主要集中於舊臺中市建成區，即東區、西區、南區、北區及中區（1995 年平均輻射溫度值為 298°K ，2009 年平均輻射溫度值為 300°K ），以及靠海的梧棲區（1995 年平均輻射溫度值為 300°K ，2009 年平均輻射溫度值為 302°K ）；低溫區則集中於東邊如東勢區、新社區、太平區，及霧峰區，兩年之平均輻射溫度值分別為 294°K 與 296°K 。

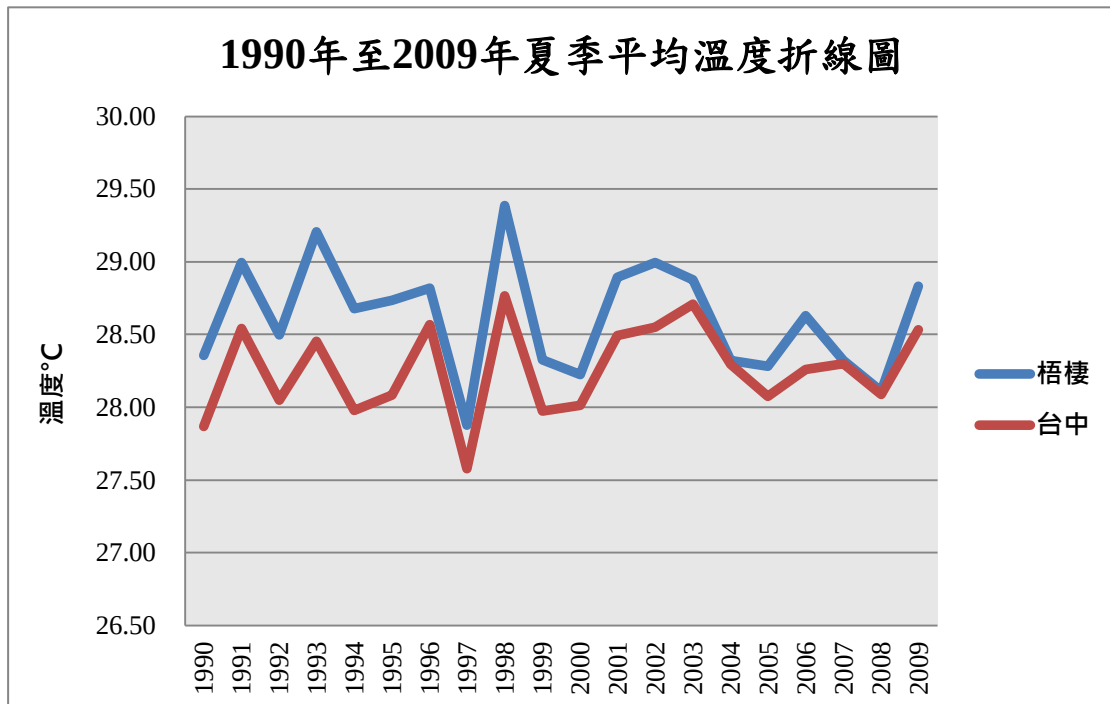
2009 年輻射溫度反演成果圖（圖 4.2）可以看出高溫所佔之面積比例明顯增加，最高溫核心區除了梧棲及舊臺中市建成區外，亦有緊鄰著舊臺中市之潭子區與大里區；低溫區則與前期影像相同，分布在臺中市東邊如東勢區、新社區、太平區，及霧峰區。

為探討上述夏季郊區梧棲區氣溫高於市區建成區之因素，本研究蒐集中央氣象局之臺中氣象測站與梧棲氣象測站之 1990 年至 2009 年不同季節氣象實測數據資料進行分析，找出以下相關因素：

一、 平均溫度

比較 1990 年至 2009 年臺中氣象站與梧棲氣象站之平均氣溫，夏季梧棲皆高於臺中測站，梧棲平均溫度為 28.62 度，臺中平均溫度為 28.26 度（詳見圖 4.3）。

圖 4.3、1990 年至 2009 年氣象測站夏季平均溫度折線圖



資料來源：中央氣象局

二、 降雨時數：

由降雨時數分析顯示，臺中與梧棲不同年度各季節降雨時數之關係經比較分析發現，臺中市氣象站夏季降雨平均時數皆較梧棲氣象站高出約 10 至 20 小時。

三、 降雨量：

發現臺中夏季平均降雨量高出梧棲約 350 毫米；春季平均高出約 156 毫米；秋季高出約 19 毫米；冬季高出約 45 毫米。

四、風速：

由梧棲與臺中氣象站比較不同年度各季節風速統計結果，發現臺中氣象站各季節風速差異不大，且各年度具規律性；梧棲各季節風速差異較大，且以夏季風速最低，各年度也具規律性。另外沙鹿鎮大肚山上的清泉崗測站之風速和臺灣所有地區一樣，冬季風力強，夏季風力弱，但有地區差異，即臺地面上風速強，平原地區風速弱。

五、風向：

臺中及梧棲之風相觀測結果，於 2009 年 7 月兩地區之風向皆為西南風（分別為 210 度及 250 度），另從清泉崗測站及梧棲測站兩地的風向頻率顯示，清泉崗夏季 5-8 月主為南風所控制，其餘各月風向均以北北東風為主，冬夏季風交替時間在 4、5 月間和 8、9 月間。梧棲全年除夏季 6-8 月主要為南南東風和東南風，其餘各月概主要為東北風或北北東風所控制。其夏季所帶來的西南風可能易將中心都市之高溫帶至沿海地區，加上其南側有火力發電廠，導致梧棲區氣溫高於臺中市區。

由上述臺中、梧棲氣象站 1990 年至 2009 年降雨時數及降雨量分析得知，兩氣象站各季節之降雨情況，以夏季臺中氣象站最為特殊，其中臺中氣象站之降雨，相較於其他季節不僅時間較長，降雨量也較多。

除了氣溫、降雨時數、降雨量、風速及風向這些因素會影響外，臺中沿海地區於夏季高於市區之原因最主要為洋流。洋流的水溫因受來源不同

而有所差異，當洋流的水溫高於經過的地區水溫，稱之為暖流，反之稱為冷流，經過臺灣東部海域的黑潮便是暖流。

對臺灣地區氣候影響重大的黑潮，是北太平洋中的一股巨大的暖流，在流經臺灣海峽時，夏季表層水溫常達 30°C 左右，比同緯度相鄰的海域高出 2 至 6°C，比東部同緯度的陸地亦偏高 2°C 左右，造成臺灣沿海潮濕而炎熱的氣候。黑潮不但為臺灣沿海地區帶來溫暖，還為夏季季風增添大量的水氣。



貳、都市熱島強度值

都市熱島強度是都市最熱的溫度與周圍郊區最低溫之溫差。都市熱島強度愈大，亦即溫差愈大，表示都市熱島效應的現象愈明顯。因此本研究利用 1995 年及 2009 年前後期衛星影像，經由溫度反演程式將其解算出地表輻射溫度值之最高溫與最低溫度值進行臺中地區都市熱島強度值之計算，並將熱島強度值分為四個等級。

將計算出之熱島強度值依據空間分析方法中的 Nature Break 趨勢分級法將其熱島強度值進行分類，共歸類為四大類，並以四種顏色顯色，顏色愈深者為熱島強度值愈高：以熱島強度值為 0 至 0.52 定義為低溫分布區；熱島強度值為 0.52 至 0.58 定義為中溫過渡區；熱島強度值為 0.58 至 0.64 定義為高溫聚集區；最高溫核心區則為熱島強度值為 0.64 至 1 之間。圖 4.4 及圖 4.5 為兩年度之熱島強度分級分布圖：

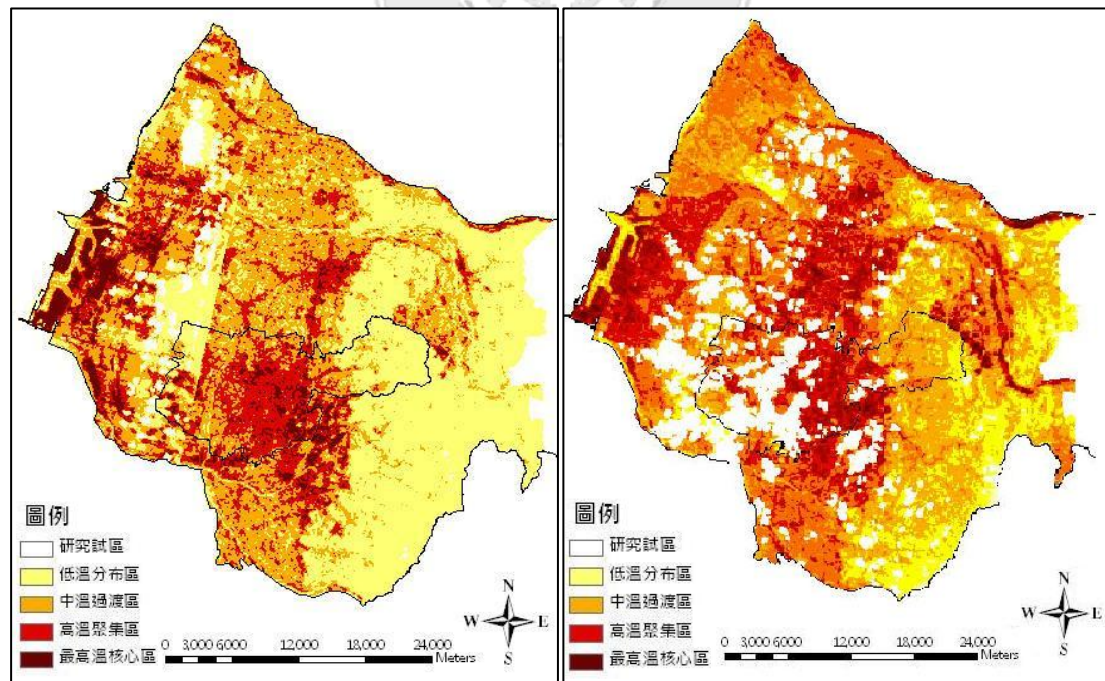


圖 4.4、1995 年熱島強度分級分布圖 圖 4.5、2009 年熱島強度分級分布圖

分析上述臺中市不同年度間熱島強度值分布情形後得出：兩個時期皆顯示臺中直轄市熱島強度之最高溫核心區主要集中於舊臺中市建成區，即東區、西區、南區、北區及中區，其次為靠海的梧棲區，與地表輻射溫度反演成果相符，從面積百分比來看，其最高溫核心區之所佔面積百分比從1995 年的 8%增加至 2009 年的 10.25%。

臺中市最早開墾地區於日治時期，以臺中車站為中心向外擴展，其發展範圍包括現今東區、西區、南區、北區與中區；隨時代演進，都市人口增加、土地利用需求增長、交通發達及政策變革，使人為開發逐漸向外擴展，臺中市逐漸由單一發展核心擴展為多核心都市；另外靠海的梧棲區於1973 年開始動工進行臺中港的興建，包含商港、工業港及漁港三部分，另為配合臺中港與臨海工業區興建開發，於港區西南角設置火力發電廠，以供應中部區域都市及工業所需電力。臺中港的興建迅速帶動中心都市—舊臺中市都市空間向西北方發展，並帶動海岸線的城鎮如：清水、梧棲等地發展。

臺中直轄市於 2009 年熱島強度成果圖中（圖 4.5）可發現，熱島溫度值明顯偏高，最高溫核心除了分布於舊臺中市建成區外，高溫聚集區還包括了梧棲區，緊鄰舊臺中市建成區之潭子區、大雅區、豐原區及大里區，從面積百分比來看，臺中地區之高溫聚集區從前期之 16.7%至後期增加為 26.91%。

由此可看出，臺中市在後期之熱島效應主要為兩部分，分別為西沿海地帶，包括大甲區、清水區、及梧棲區；以及臺中直轄市中心地帶，包括豐原區、潭子區、北區、中區、西區、南區、中區、及大里區；兩者皆為帶狀分布。臺中市近年來工商業的迅速發展，促使人口增加迅速，近二十年來陸續規劃的各期市地重劃，與相關聯外道路的增闢或擴建，加速促成舊臺中市與臺中縣整個臺中都會區共同生活圈的形成，高溫聚集也從建成

區為中心逐漸向外擴散。

中溫過渡區之面積百分比從 35.32%減少至 30.98%；低溫分布區主要集中在於東邊如東勢區、新社區、太平區，及霧峰區，因保留大量自然植生地表，相較於開發密集地區，呈現溫度值較低。另外從兩時期之影像變化中亦可發現，後期整體溫度皆有上升之現象，低溫分布區之面積百分比從 39.98%減少至 31.16%。



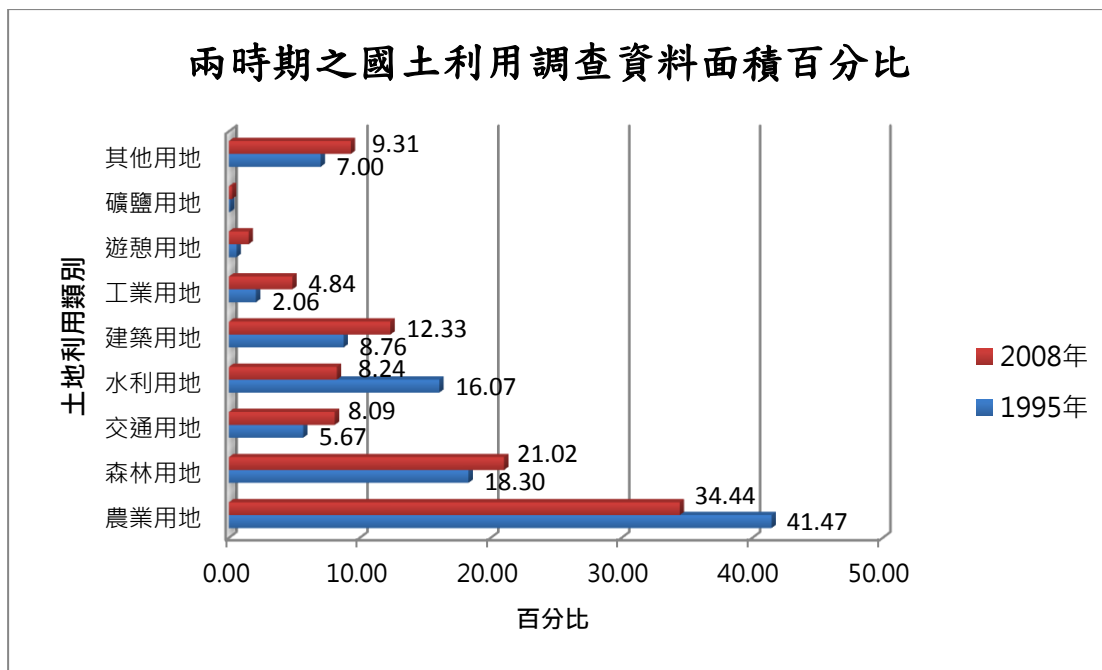
第二節 臺中土地利用覆蓋變化分析

本研究以 1995 年及 2008 年前後兩期之國土利用調查資料中擷取面積資料，進行面積比例分析及分析土地利用類別之空間分佈情形。在此兩次的國土利用調查分類系統中，皆把土地利用類別分為九大類，但在分類上稍有不同，為使前後兩期之土地利用調查資料可以在相同分類標準下共同比較，本研究將兩次分類進行調整：

首先在林業用地部分，由於第一次國土利用調查資料中之林業用地歸屬於農業用地內之第二級分類中，故將林業用地挑選出另成一類；另於工業用地部分，於第二次國土利用調查資料中被歸屬於建築用地內之第二級分類，將其挑選出另成一類；以及將第一次國土利用調查資料中之鹽業與礦業合併為礦鹽用地、軍事用地合併於其他用地內；最後本研究將兩次之國土利用調查資料重新調整分為下列用地：農業用地、林業用地、交通用地、水利用地、建築用地、工業用地、遊憩用地、礦鹽用地，以及其他用地九大類進行分析。

從以下表中可以看出，臺中直轄市在十三年間面積比例變化最為顯著之使用類別為水利用地，減少了 7.83%；其次為農業用地，面積比例減少 7.04%，減少的部分僅有上述兩類；在面積比例增加部分，變化最大為建築用地，增加面積比例為 3.58%；其次為工業用地，增加了 2.78%；接著為森林用地，增加了 2.72%（詳見圖 4.6）。

圖 4.6、臺中地區土地覆蓋面積比例變化橫條圖



資料來源：本研究統計整理

透過 1995 年和 2008 年間的 land 覆蓋面積比例變化橫條圖，可以更進一步說明，在水利用地和農業用地減少的 14.87% 中，大部分來源於增加的建築用地(3.58%)、工業用地(2.78%)、森林用地(2.72%)、交通用地(2.42%)與其他用地(2.31%)。

從其土地利用類別的空間分佈來看，在 1995 年臺中地區之建築用地主要集中於舊臺中市建成區（即東區、南區、西區、北區、中區）、大里區、豐原區一帶，其他零星的區塊如西屯區、沙鹿區等；到了 2008 年其面積有顯著的增加，面積比例約增加 3.58%，除了從上述主要集中地區向外擴張外，也增加了些許零星分佈的區塊；可以發現建築用地隨著都市發展而改變，亦主要集中於人為活動較為頻繁之地區。

在森林增加的部分，面積比例約增加為 2.72%。為因應全球森林面積逐漸減少，自 1996 年行政院推動全民獎勵造林，獎勵造林實施要點規定，私有林地的所有人、山坡地保留區、農牧用地及原住民保留地內林業用地及非都市計畫區農牧用地，都可提供申請；在 2008 年亦推動「綠海計畫」，

以愛臺 12 建設中第 10 項為綠色造林，推動綠色造林直接補貼，並推動設置 3 個 1000 公頃的大型平地森林遊樂區。從林務局統計之造林面積數據資料來看，以區域來分，整個中部區域在一般造林面積中，自 2000 年至 2009 年，已增加 1869.6 公頃；按林區管理處為單位，則在東勢林區管理處，一般造林面積增加了 360.49 公頃。從土地利用類別分布圖中亦可明顯看出，2008 年東部地區如東勢區、新社區、太平區，及霧峰區，林業用地分布範圍皆有增加之現象。

另減少部分以水利用地最為明顯，比例減少 7.83%，從分布圖（圖 4.1 及圖 4.8）中可明顯看出河道縮減之變化；而由於密集的開發，農業用地面積逐漸減少，從 2008 年之比例上來看已減少約 7.04%，加上受都市化的影響，建物及道路所需之空間不斷增加，綠地覆蓋面積日漸減少，為造成都市熱島效應主要成因之一。

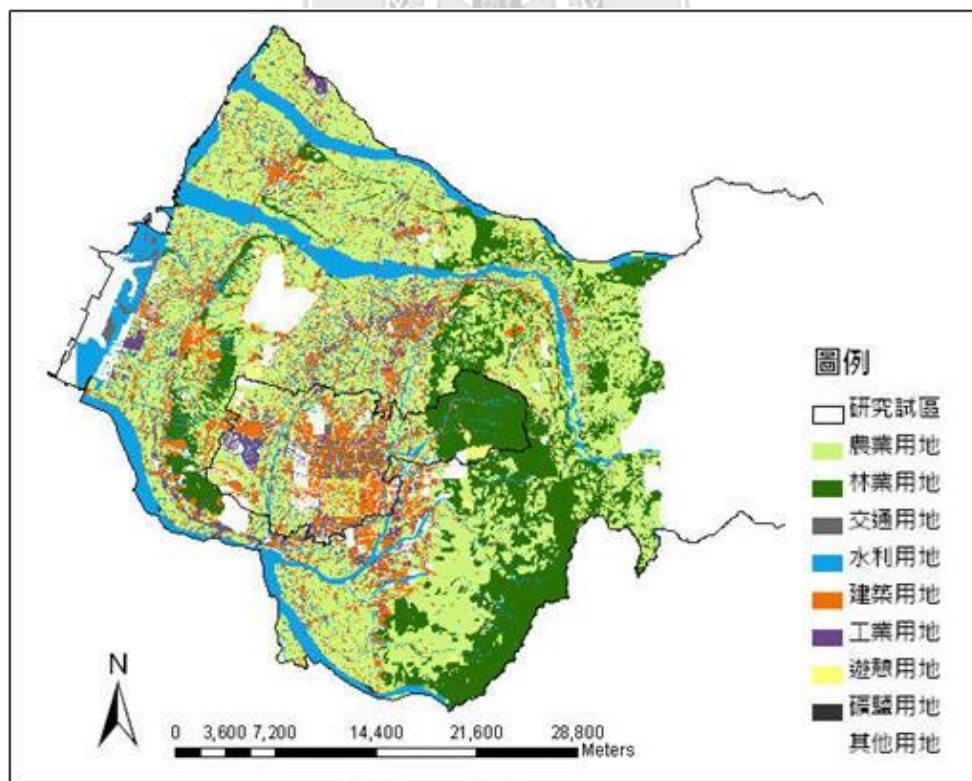


圖 4.7、1995 年第一次國土地用調查資料使用類別分布圖

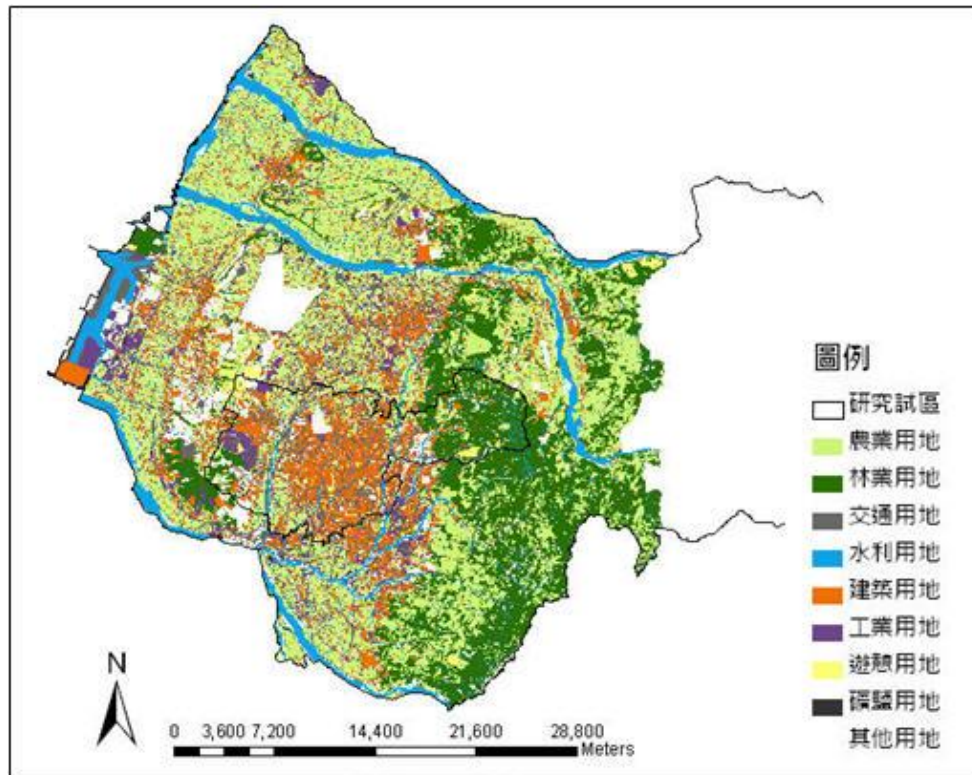


圖 4.8、2008 年第二次國土地用調查資料使用類別分布圖

為使臺中地區於兩次國土利用調查共 13 年間（1995 年至 2008 年）土地利用型態變化之空間關係更為明顯之呈現，本研究將土地利用分類按文獻整理中對熱島效應之影響程度為標準將上述九大類重新分為四種不同屬性類別，分別為：將對熱島效應影響最小之農業用地與林業用地歸類為植生；對熱島效應亦有降低作用之水利用地歸為水體；在熱島貢獻度中最高之交通用地、建築用地及工業用地歸類為人工鋪面；最後將其他之遊憩用地、礦鹽用地與其他用地歸類為其他（詳見圖 4.9 及圖 4.10）。以此四種土地利用類別分析兩時期間之面積變化，並於下節探討此種土地使用分類與熱島效應之關係：

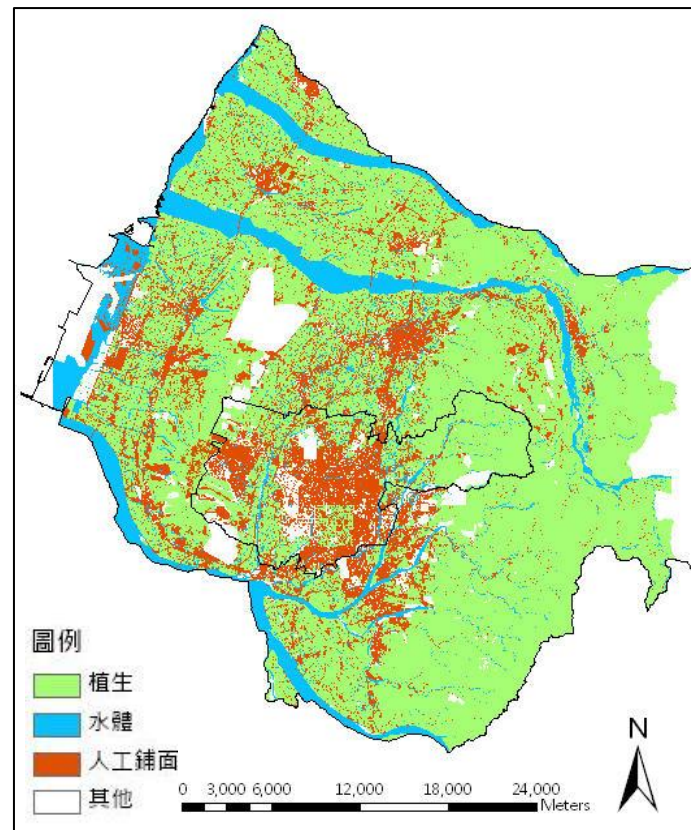


圖 4.9、1995 年土地利用分類分布圖

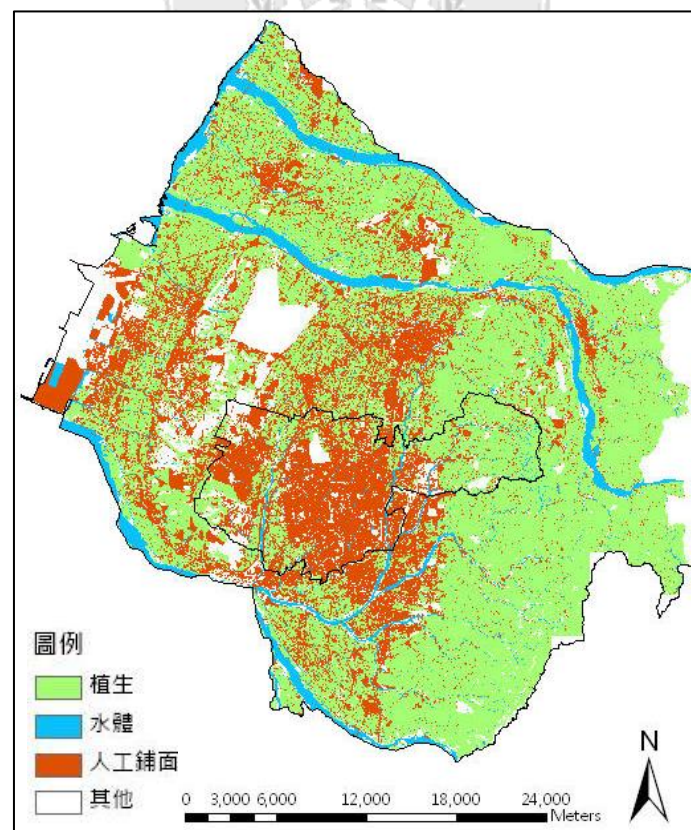


圖 4.10、2009 年土地利用分類分布圖

將土地利用類別按熱島效應貢獻程度重新分類後，以不同土地使用類別面積進行比對，找出增減範圍及空間分布位置。圖 4.11 為前後期土地利用分區中人工鋪面與其他面積增加之分布圖，為前期之植生與水體覆蓋區域，經十二年之開發改建，土地使用型態變更為人工鋪面與其他用地，其主要分布區域為舊臺中市建成區、北屯區西部、后里區、龍井區、沙鹿區、及梧棲區；從面積比例來看，從 1995 年人工鋪面為 16.89%至 2008 年增加至 25.75%，其他用地則從 7.18%增加至 11.23%。

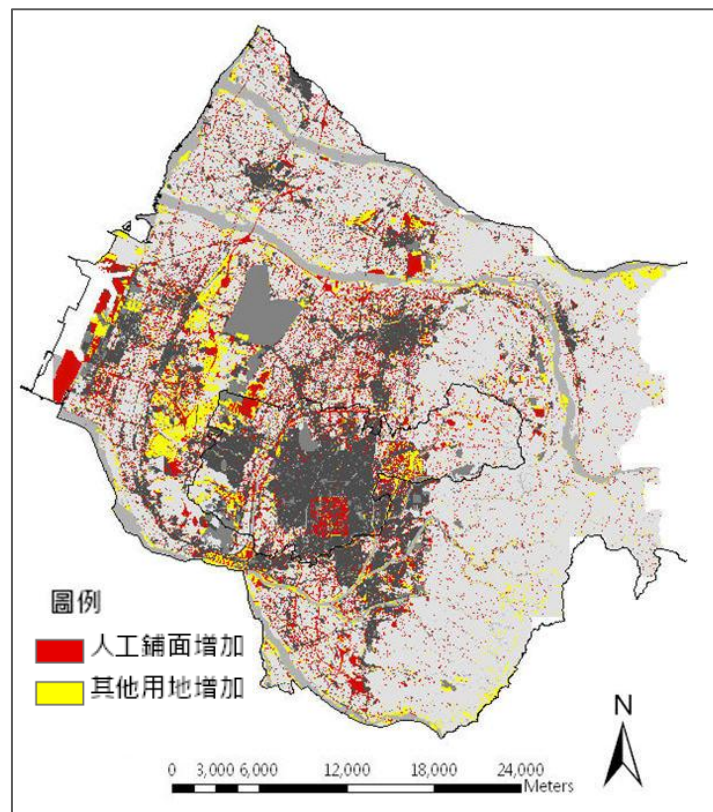


圖 4.11、前後期土地利用分區中人工鋪面與其他面積增加之分布圖

第三節 土地利用與熱島效應之關係

本研究將國土利用調查資料依土地使用型態與熱島效應之影響程度分為四大類，並與依熱島強度高低分級之四種強度層級，進行交叉比對分析，以計算不同土地利用類別在熱島強度層級中所佔之面積百分比及分布。

於前一節中分析其前後期土地利用型態之植生及水體面積減少，人工鋪面與其他面積增加之面積比例與分布（詳見圖 4.11），後期增加之人工鋪面面積比例從 16.89% 增加至 25.75%，主要分布於舊臺中市建成區、后里區、龍井區等，比對熱島強度反演成果，此增加面積分布區域於 1995 年還是植生與水體覆蓋時之平均熱島強度值為 0.508，至 2009 年更改為人工鋪面後，平均熱島強度值為 0.596，增加了 0.088；而其他用地面積比例從 7.18% 增加至 11.23%，主要分布於太平區、新社區、大肚區等，比對熱島強度反演成果，此增加面積分布區域於 1995 年之平均熱島強度值為 0.483，至 2009 年平均熱島強度值增加為 0.57，上升了 0.087。由此可得出土地利用型態改變，確實會對熱島效應造成影響。

除了從面積比例增減之區域中探討熱島效應變化，本研究另以土地利用分類與熱島強度分級進行比對分析，探討不同土地利用型態於熱島強度上之反應成果：從土地利用分類分布圖（圖 4.9 及圖 4.10）中可以看出植生為圖例中綠色之區塊，兩時期皆顯示其平均分布於臺中地區，且於後期有明顯減少之現象；從熱島強度分級來看所佔面積百分比（詳見圖 4.13），在熱島強度分級中面積所佔比例最高之層級為低溫分布區（1995 年為 53.43%，2009 年為 44.38%），其次為中溫過渡區（兩年度分別為 35.90% 及 31.54%）；可指出臺中地區植生覆蓋區域之熱島強度值偏低。

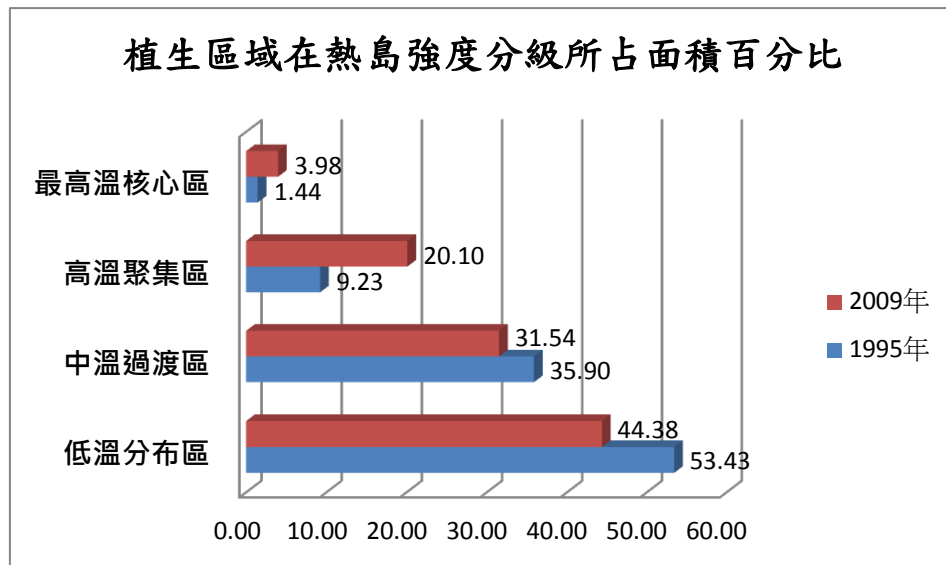


圖 4.13、植生區域中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖

從土地利用分類分布圖（圖 4.9 及圖 4.10）中可以看出水體為圖例中藍色之區塊，主要為大安溪、大甲溪、及大肚溪流域，於後期分布圖中可以看出河道縮減之現象；從熱島強度分級來看在此土地利用分區所佔面積百分比（詳見圖 4.14），於 1995 年所佔比例最高之熱島強度分級為中溫過渡區（43.44%），2009 年所佔比例最高為中溫過渡區（33.47%），其次為比例相當接近之高溫聚集區（33.37%）；可指出水體覆蓋區域之熱島強度值於後期有增長之現象。

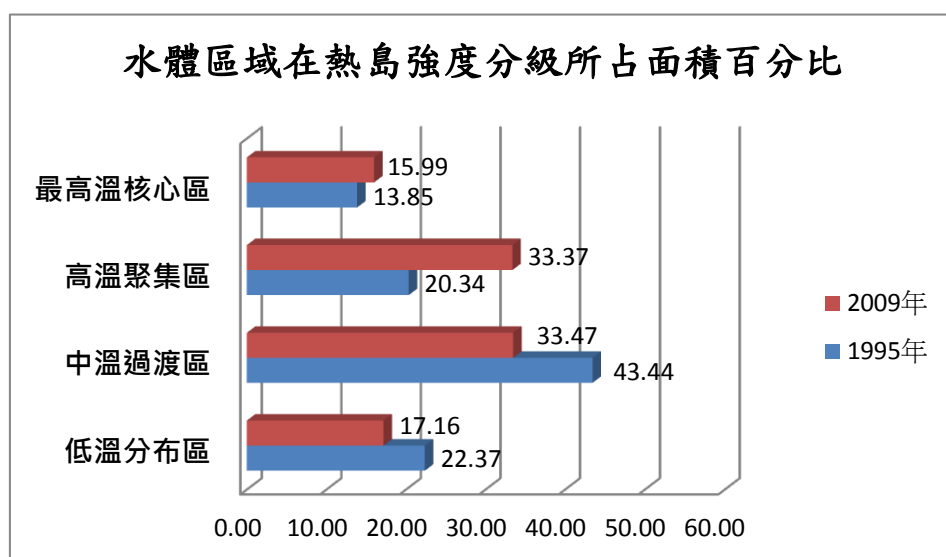


圖 4.14、水體區域中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖

從土地利用分類分布圖（圖 4.9 及圖 4.10）中可以看出人工鋪面為圖例中紅色之區塊，主要分布在舊臺中市區與其周圍；另於 2009 年可以明顯看出人工鋪面面積明顯增加；於熱島強度分級中（詳見圖 4.15），前後期在熱島強度分級面積所佔百分比最高之分區皆為高溫聚集區（分別為 37.01%及 41.42%），其次為中溫過渡區（分別為 27.08%及 26.67%），及差距甚小之最高溫核心區（分別為 26%及 24.77%）；可指出人工鋪面覆蓋區域之熱島強度為明顯偏高。

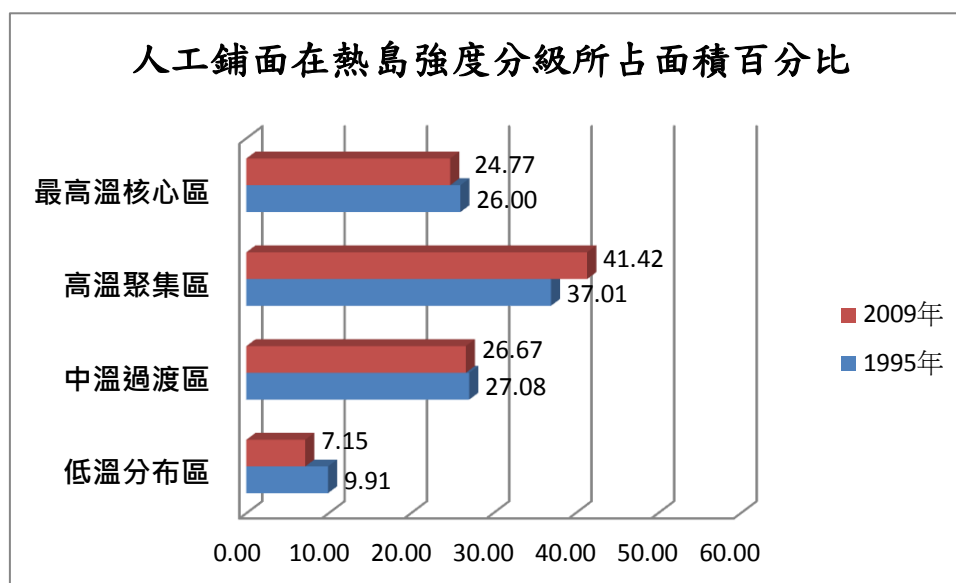


圖 4.15、人工鋪面中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖

從土地利用分類分布圖（圖 4.9 及圖 4.10）中可以看出其他為圖例中白色之區塊，零星分布於臺中地區，及清泉崗機場；在熱島強度分級中（詳見圖 4.16），在前後期之熱島強度分級下面積所佔百分比之比例最高皆為中溫過渡區（分別為 34.32%及 38.36%），其次為差距微小之高溫聚集區（分別為 31.28%及 29.05%）；可指出其他用地覆蓋區域之熱島強度值亦有偏高之現象。

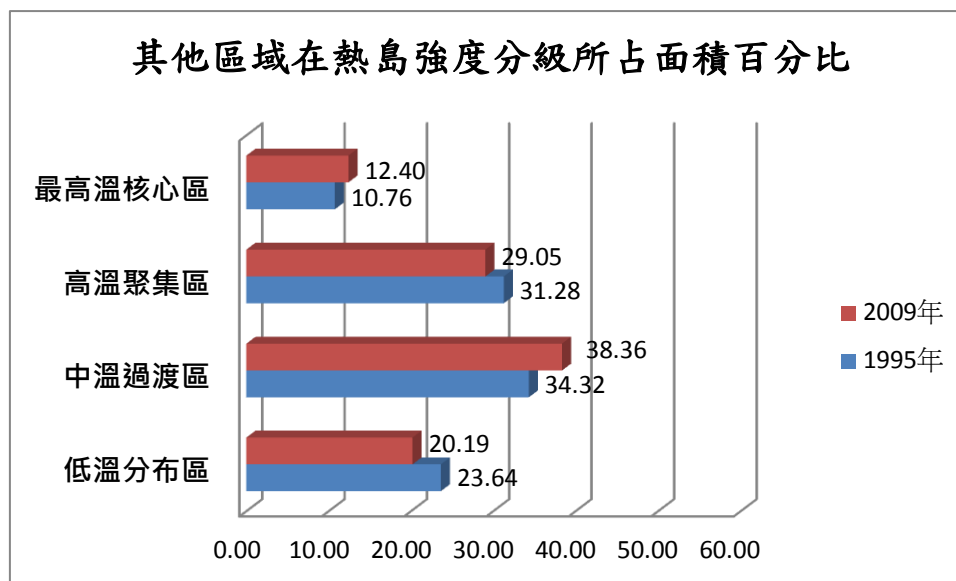


圖 4.16、其他區域中熱島強度分級所佔面積百分比橫條圖

綜合上述，可以整理出下列兩點：

首先，臺中市最高溫核心區與高溫聚集區主要分布在舊臺中市之建成區，以及梧棲區與西北沿海地帶，此區地質為沿海砂地，且可能受到特殊氣流及火力發電廠之影響所致；在土地利用分類中面積比例最高為人工鋪面，其次為其他用地；可以指出臺中市熱島效應影響較大之區域主要分布在土地利用類別為人工鋪面及其他用地上，與文獻整理之對熱島效應貢獻度為正相關之因子相符合。

其次，溫度值較低之中溫過渡區與低溫分布區大多集中分布於以高溫區為中心向外擴張之濱海地區，以及整個臺中市中部與東部地區；從土地利用分類來看所佔面積百分比，用地主要皆為植生及水體，為熱島效應貢獻度為負相關之因子，對熱島效應之貢獻度相較於上述因子減少許多。

第四節 工業區特性與熱島效應之關係

工業區的開發為創造就業機會、提升國民所得、促進國家經濟發展，並助益地方產業集中及活性化，達成區域均衡發展的重要方法。因此，開發工業區一向是世界各國發展地方和國家經濟的主要途徑。

臺灣早期的重大工業發展多集中於南北，政府為平衡臺灣各區域之發展，疏散南北兩端人口與產業集中之現象，開始進行大規模工業分散政策，加上臺中港的興建也促進臺中都會區之工商業發展，為此政府除了在臺中港港內設立臨海工業區外，亦陸續於臺中都會區內劃設了大面積之工業區。（簡培如，2006）。

根據林厚君學者整理指出，臺中市於 60 年代為潭子加工出口區、臺中港工業區及臺中工業區第一、二期的規劃與開發：在區域發展的政策下，基於平衡北中南三區域的發展，中部區域計畫指定了臺中港工業區及大肚山臺中工業區的劃設為避免區域人口外流。至 70 年代時，東、南工業區的遷移、產業的「脫離工業化」及臺中工業區第三期的開發：民國 75 年以後，臺中市開始轉型以服務業為主體。80 年代則為臺中產業的升級—軟體工業區、航太工業區的規劃開發及第三科學園區的爭取：安置不合都市計畫分區使用之原有工廠及違章工廠遷建使用外，利用中部地區現有機械工業發展的優勢，建立精密機械工業生產重鎮及研發中心。

臺中市工業區的開發至目前為止已成立了臺中加工出口區、臺中港關聯工業區、臺中工業區、大甲幼獅工業區、大里工業區、臺中港加工出口區倉儲轉運專區、中部科學園區、精密機械園區，以及各工業區等。本研究最後依據各工業區開發時間、規模及產業資料取得之限制，選取臺中工業區、幼獅工業區、大里工業區、臺中加工出口區、中港關連工業區，及

中部科學園區共六個工業區為研究對象，進行與熱島效應關係之評估。以下為各工業區之簡介及位置圖：

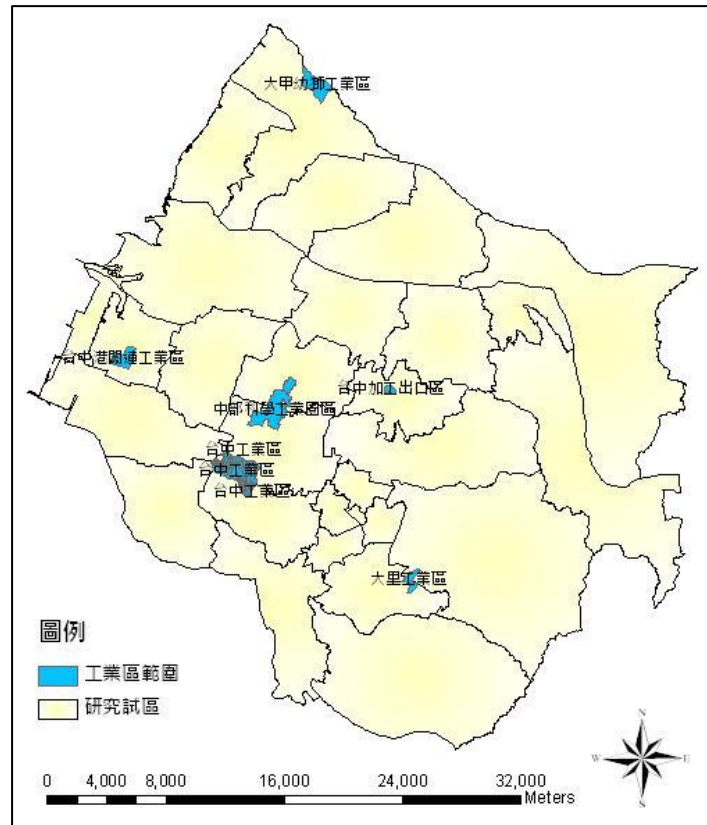


圖 4.17、臺中直轄市內工業區範圍

臺中工業區自 1973 年開始開發，是一個大型的綜合性工業區，總開發面積為 580 公頃，其中工業用地即佔了 372 公頃，公共設施用地 140 公頃、社區住宅用地 68 公頃，共分三期開發；臺中工業區內目前總計有 921 家工廠。目前工業區內從業員工數約為 40,000 人，年產值約達新臺幣 3,299 億元。其主要產業類別為機械設備製造修配業，新近進駐的廠商大都屬高科技產業，如：光電、電子與精密機械…等，已逐漸由傳統行業轉型朝向高科技工業邁進。

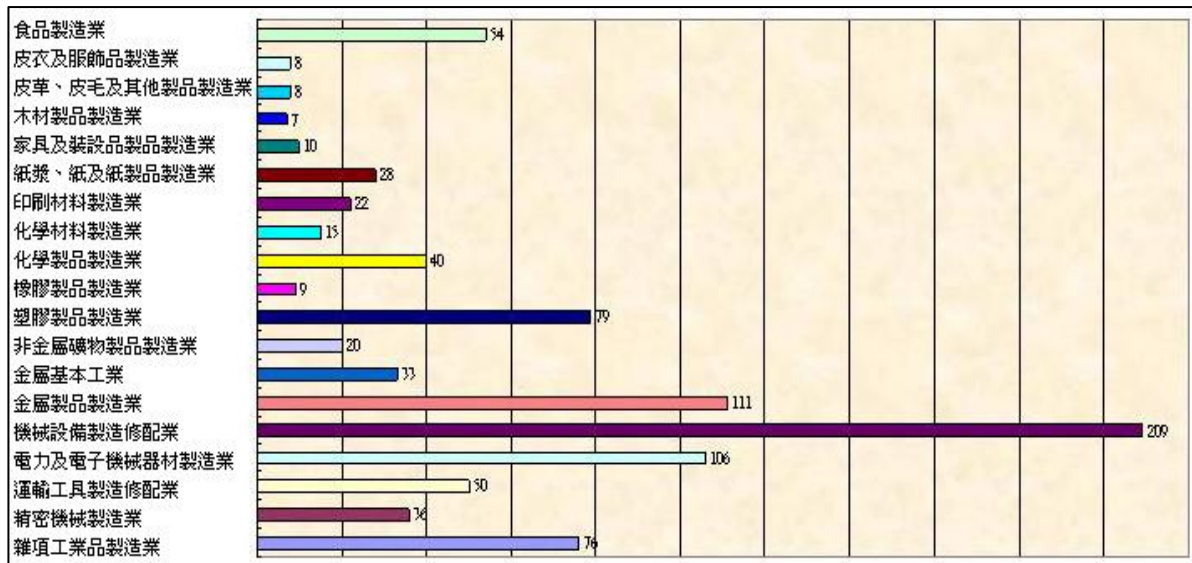


圖 4.18、臺中工業區廠商行業類別家數統計長條圖

資料來源：臺中工業區官方網站

大甲幼獅工業區位於臺中市大甲區日南里，於 1978 年開發完成，全區總面積為 218.47 公頃，其中工業用地即佔了 132.53 公頃，公共設施為 63.81 公頃，社區用地 30.40 公頃，土地利用高達 97% 以上。主要產業類別為金屬基本工業及金屬製品製造業。

表 4.1、大甲幼獅工業區廠商行業類別家數及面積比例統計表

廠商行業類別	家數	家數比例 (%)	面積 (公頃)	面積比例 (%)	廠商行業類別	家數	家數比例 (%)	面積 (公頃)	面積比例 (%)
食品及飲料製造業	13	5.33	6.03	4.30	金屬基本工業	43	17.62	16.38	11.68
紡織業	12	4.92	9.66	6.88	金屬製品製造業	41	16.80	15.74	11.21
成衣、服飾品及其他紡織製品製造業	1	0.41	0.50	0.36	機械設備製造修配業	27	11.06	15.50	11.04
木竹製品製造業	4	1.64	2.15	1.53	電腦、通信及視聽電子產品製造業	12	4.92	4.70	3.35
傢俱及裝設品製造業	3	1.23	0.75	0.54	其他運輸輔助業	2	0.82	0.67	0.48
紙漿、紙及紙製品製造業	7	2.87	28.89	20.59	未分類雜項工業製品製造業	1	0.41	0.11	0.07
印刷及其輔助業	0	0	0	0	樂器製造業	3	1.22	1.10	0.79
化學材料製造業	25	10.25	13.81	9.85	石材製品製造業	2	0.82	1.01	0.72
化學製品製造業	14	5.74	11.57	8.25	預拌混凝土製造業	2	0.82	1.24	0.88
橡膠製品製造業	5	2.05	1.05	0.75	金屬切削工具機製造修配業	1	0.41	0.17	0.12
塑膠製品製造業	23	9.43	8.42	6.00	水泥製品製造業	2	0.82	0.62	0.44
非金屬礦物製品製造業	0	0	0	0	學前教育事業	1	0.41	0.24	0.17

資料來源：大甲幼獅工業區官方網站

大里工業區為 1991 年開始開發，為當時的臺中縣政府與臺灣土地開發信託投資股份有限公司為繁榮地方經濟，並配合政府輔導不合分區使用之工廠遷廠計劃，適應鄰近鄉鎮工業發展實際需要，選定臺中縣大里、太平兩鄉，開發為示範性工業區。面積計有 77.2 公頃，其主要產業類別為機械社造修配業及金屬製品製造業。

表 4.2、大里工業區廠商行業類別家數統計表

業 別	家數	業 別	家數
食品製造業	2	金屬基本工業	16
紡織業	1	金屬製品製造業	78
非工廠（電力電信及社區）	3	機械設備製造修配業	81
家具及裝設品製造業	1	電力及電子機械器材業	8
紙漿及紙製品製造業	3	運輸工具製造修配業	26
化學製品製造業	4	精密器械製造業	10
橡膠製品製造業	5	雜項工業製品製造業	2
非金屬礦物製品製造業	1	木竹製品製造業	1
塑膠製品製造業	10	總家數	252
歇業：6家 停工：0			

資料來源：大里工業區官方網站

臺中加工出口區位於臺中市潭子區，於 1971 年 3 月建設完成，區內所有標準廠房及自建廠房，均於 1978 年 7 月租售一空，為因應區內多家外銷事業擴充，及新投資人前來設廠之需要，於 1983 年 3 月奉准辦理擴區，面積計有 2.9666 公頃，於同年 8 月完成土地徵購程序，並於 1985 年 2 月完成各項公共設施建設，擴區後本區土地面積共 26.12 公頃。主要產業類別為機械社造修配業及金屬製品製造業。

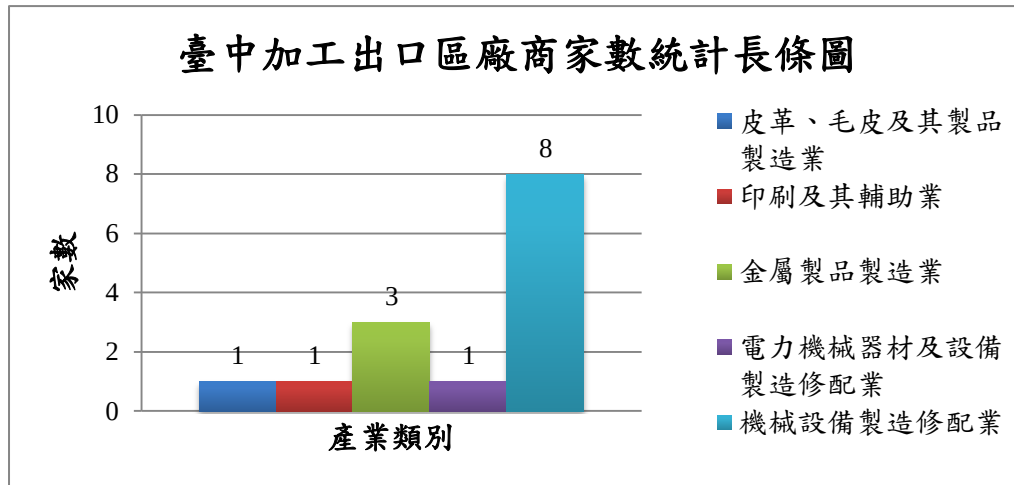


圖 4.19、臺中加工出工區廠商行業類別家數統計長條圖

資料來源：本研究整理統計

中港關聯工業區為 1970 年代政府為促進臺灣中部全面發展健全臺中港開發後之港埠營運，乃劃定附近關連土地開發為工業區，於 1975 開始開發，總面積 143.12 公頃，主要產業類別為塑膠製品製造業。

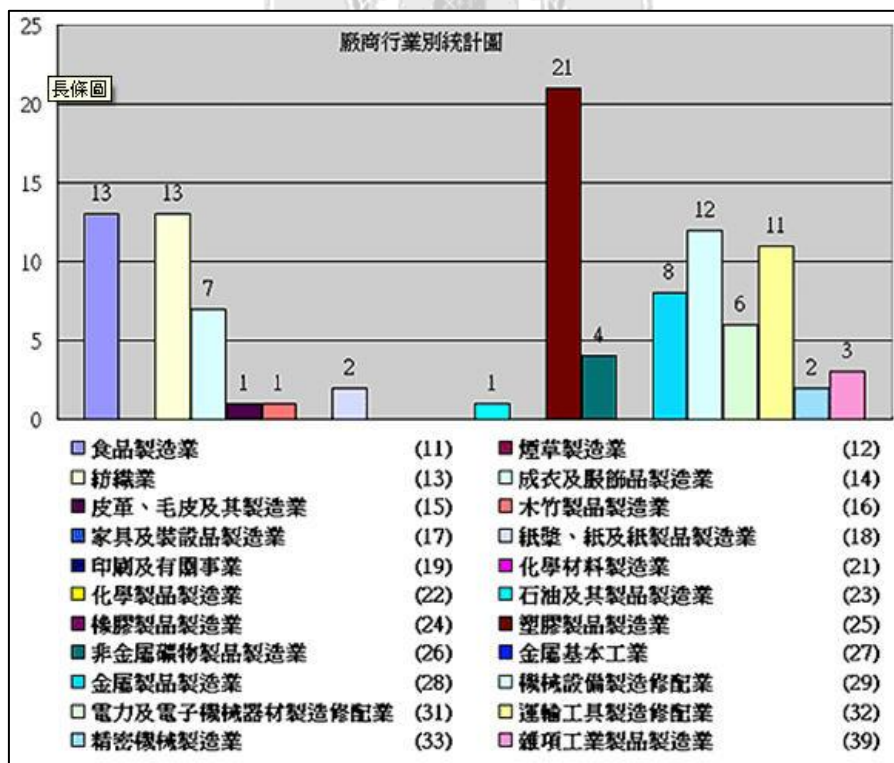


圖 4.20、中港關聯工業區廠商行業類別家數統計長條圖

資料來源：中港關聯工業區官方網站

中部科學工業園區此處指臺中園區，位於臺中市大雅區及西屯區，面積共 413 公頃，於 2003 年 7 月起展開開發建設工程，為配合產業未來整體發展的需要，已針對土地利用、交通運輸、水電及電訊、雨污水處理與排放、廢棄物處理等相關建設工程進行規劃，而園區土地利用將區分為園區事業專用區、管理及服務區與公共設施及公用事業用地等三類，提供高科技產業優質之環境，促進中部地區產業之升級。其主要產業類別為精密機械。

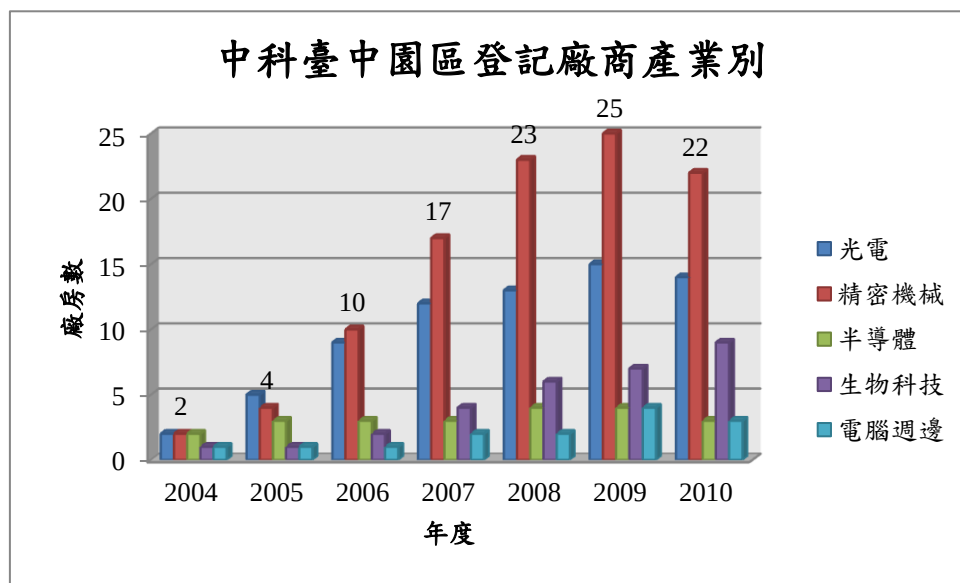


圖 4.21、中部科學園區廠商行業類別家數統計長條圖

資料來源：中部科學園區官方網站

上述六個工業區個別分布在臺中直轄市境內，從所佔面積來整理分類，可以分為三大類：面積小於 100 公頃，為臺中加工出口區及大里工業區；面積介於 100 至 200 公頃，為中港關聯工業區及幼獅工業區；面積大於 200 公頃，為臺中工業區及中部科學園區。不同工業區有其不同之特性，如面積大小、產業類別及土地利用比例不同等，對於其熱島強度亦有不同之影響。本研究以各工業區範圍之平均熱島強度值來比較不同工業區特性對於熱島強度之影響。

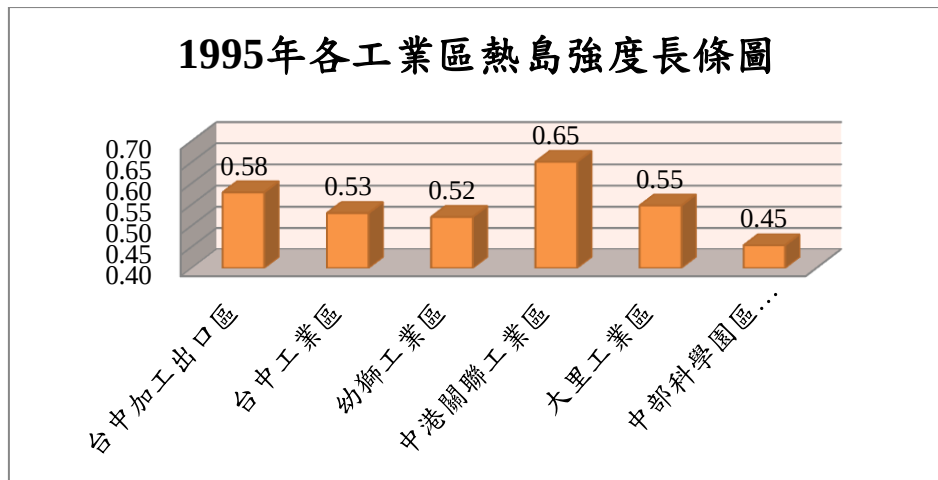


圖 4.22、1995 年各工業區熱島強度長條圖

資料來源：本研究熱島強度成果整理

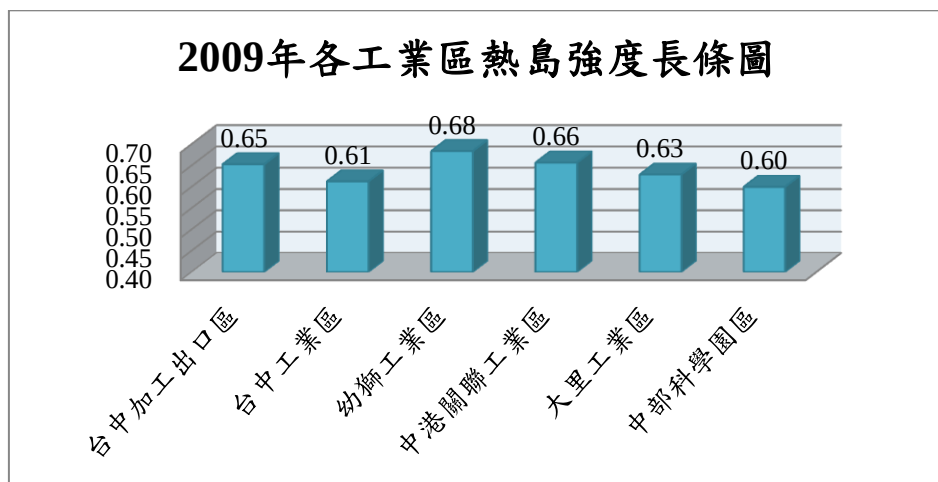


圖 4.23、2009 年各工業區熱島強度長條圖

資料來源：本研究熱島強度成果整理

由上述兩張熱島強度長條圖中可以發現，在 1995 年各工業區中為中港關聯工業區熱島強度值最高，高達 0.65，其次為臺中加工出口區 0.58 及大里工業區 0.55；另外中部科學園區在 1995 年時尚未開發，故所呈現之熱島強度值為最低 0.45，其他熱島強度較低者為幼獅工業區 0.52 及臺中工業區 0.53。

在 2009 年則可以明顯看出，各工業區之熱島強度值皆小幅度的上升，且各工業區之間的熱島強度值較為接近，其最高之工業區為幼獅工業區

0.68，其次為中港關聯工業區 0.66 及臺中加工出口區 0.65；熱島強度值最低者仍然為中部科學園區 0.6（開發後兩時期熱島強度溫度值上升了 0.15），其他較低者為臺中工業區 0.61 及大里工業區 0.63。

由於 2009 年所選取之工業區皆已開發完成且穩定度較高，故以 2009 年各工業區熱島強度值中可以發現，熱島強度值呈現較低者為面積大於 200 公頃之臺中工業區及中部科學園區，反之，熱島強度值較高者為面積介於 100 至 200 公頃之臺中加工出口區，及面積小於 100 公頃之幼獅工業區。由此可發現工業區開發面積大小與熱島強度值為非正相關之關係，為探究此現象，本研究亦從國土利用調查資料中擷取各工業區中所佔綠地面積百分比，以及整理民國 86 年及 98 年全臺平均產業類別用電量，欲從土地利用及產業類別來看工業區範圍熱島強度值分布之關係：

中部科學園區於 2003 年才開始開發，在 2008 年之國土利用調查資料中，所佔綠地面積百分比為全區之 23.7%；臺中工業區所佔綠地面積百分比為全區之 20.4%，相較於另外兩個熱島強度值偏高之工業區（臺中加工出口區所佔綠地面積百分比為 0.2%；幼獅工業區為 2.4%）高出許多，亦可證實綠地確實對熱島效應具有趨緩之作用。

從平均產業類別用電量來看，首先整理出各個工業區其不同產業類別如下：臺中加工出口區與大里工業區主要產業類別皆為金屬製品製造業，與機械設備修配製造業為主；幼獅工業區是以金屬基本工業區及金屬製品製造業為主；中港關聯工業區是以塑膠製品製造業為主；另外臺中工業區以機械設備修配製造業；中部科學園區則是以精密機械製造業為主。圖 4.25 為 1995 年至 2009 年全臺平均產業類別用電量長條圖：

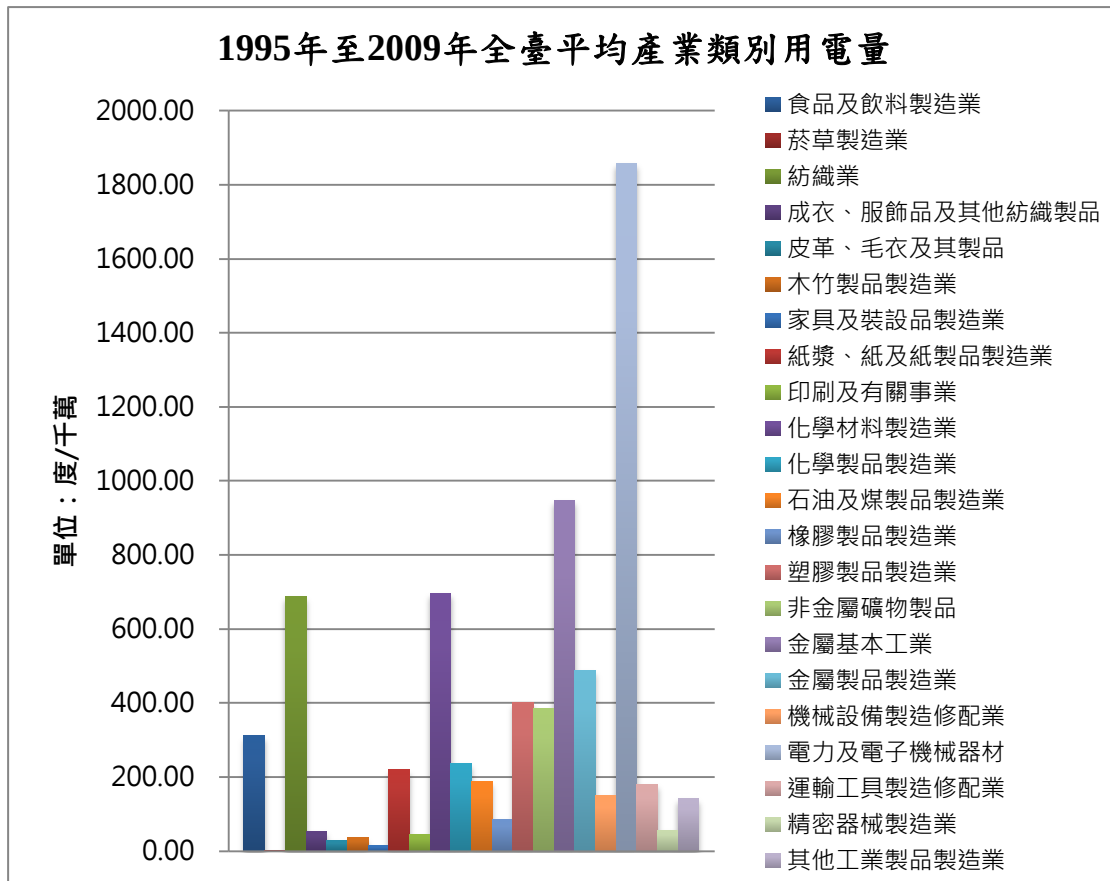


圖 4.24、1995 年至 2009 年全臺平均產業類別用電量長條圖

資料來源：經濟部能源局網站

從平均產業類別用電量長條圖中挑選各工業區之主要產業類別來看，僅幼獅工業區所屬之金屬基本工業佔總用電量排名第 2 名；臺中加工出口區、大里工業區，及幼獅工業區所屬之金屬製品製造業排名為第 4 名；以塑膠製品製造業為主的中港關聯工業區在用電量排行為第 6 名；臺中工業區、臺中加工出口區，及大里工業區所數之機械設備製造業為第 13 名；最後精密機械製造業為主的中部科學園區用電量排行為第 15 名。與先前之熱島強度高低排名順序相符合，由此可指出工業區之產業類別不同，耗能量不同，對於熱島效應亦有正相關之影響。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究利用 1995 年及 2009 年 Landsat 衛星影像，進行多光譜資訊反演地表溫度。透過 Landsat 官方反演方程式與過去學者提出之溫度反演方程式，進行地表輻射溫度資訊反演，以及都市熱島強度值之計算，並以熱島強度高低將其歸類為四種溫度層級；再配合國土地利用調查資料前後兩時期之土地利用覆蓋面積及變遷資訊，透過面積百分比之計算，獲得運算後各種用地之面積比例值，來探討不同土地利用與熱島效應分布之情形。

比較兩時期之地表輻射溫度值，整幅影像平均值在後期比前期上升約 2°K ，且臺中市中心溫度明顯高於郊區溫度，主要高溫集中於舊臺中市建成區（即中區、西區、南區、北區、東區），以及梧棲區；前後期之高溫區面積亦增加約 13%。低溫則分布於東部如太平區、東勢區、新社區、霧峰區；前後期之低溫區面積減少約 9%。可得知臺中市確實有都市熱島現象發生，且呈多核心分布狀態；而不同年度反演結果則顯示，綠地覆蓋面積因人為開發與土地利用變遷而改變。並由熱島強度值可以看出臺中市整體溫差變化情形，東部地區所呈現之溫度值較低，保留大量植生地表，為人為干擾因素較少，故都市熱島現象較趨緩；反之在市中心與西部沿海地帶，則為人為干擾因素較多，都市熱島現象則越顯著。由上述得知，都市熱島效應會隨都市發展而有所移轉。

透過 1995 年和 2009 年間的土地覆蓋面積比例變化橫條圖及土地利用類別的空間分佈可以說明，在 1995 年臺中地區之建築用地主要集中於臺中市中心；到了 2008 年其面積從主要集中地區向外擴張，可以發現建築用地隨著都市發展而改變，亦主要集中於人為活動較為頻繁之地區，而受

到都市化的影響，建築物及交通道路所需空間不斷增加，綠地覆蓋面積逐漸減少，為造成都市熱島效應主要成因之一。從面積比例來看，從 1995 年人工鋪面為 16.89% 至 2008 年增加至 25.75%，其他用地則從 7.18% 增加至 11.23%。

以土地利用類別與熱島強度個別進行等級畫分與相關分析，植生區域中面積所佔比例最高之層級為低溫分布區（1995 年為 53.43%，2009 年為 44.38%）；水體區域中則以中溫分布區為比例最高（1995 年為 43.44%，2009 年為 33.47%）；人工鋪面中以高溫聚集區之面積比例最高（前後期分別為 37.01% 及 41.42%）；其他用地中比例最高則為中溫過渡區（前後期分別為 34.32% 及 38.36%）。

可以看出臺中市最高溫核心區與高溫聚集區主要分布在臺中直轄市中心地帶，以及西部區域；主要土地利用類別為人工鋪面及其他用地；可以指出臺中市熱島效應影響較大之區域主要分布在土地利用類別為人為建造之不透水層鋪面上，與文獻整理之對熱島效應貢獻度為正相關之因子相符合。其次，溫度值較低之中溫過渡區與低溫分布區大多集中分布於以高溫區為中心向外擴張之濱海地區，以及整個臺中市中部與東部地區；土地利用類別主要皆為植生及水體，為熱島效應貢獻度為負相關之因子，對熱島效應影響較小，貢獻度相較於上述因子，相對小許多。

最後選取臺中市境內之六個工業區與熱島強度進行分析比較後發現，工業區開發面積大小與熱島強度值為非正相關之關係，從各工業區中所佔綠地面積百分比來看，在 2008 年之國土利用調查資料中，中部科學園區所佔綠地面積百分比為最高；其次為臺中工業區，相較於另外兩個熱島強度值偏高之工業區綠地所佔面積比例高出相當多，亦可證實綠地確實對熱島效應具有趨緩之作用。

在平均產業類別用電量部分，本研究所選取之工業區主要產業類別，在總用電量排名皆位於前面之名次，如金屬基本工業佔總用電量排名最高；塑膠製品製造業、機械設備製造業、精密機械製造業之用電量排行較低，與先前之熱島強度高低排名順序相符合，由此可指出工業區之產業類別不同，耗能量不同，對於熱島效應亦有正相關之影響。



第二節 建議

在都市熱島強度分布方面，因衛星影像反演溫度易受雲體遮蔽影響，此研究僅探討單點時間下之分布，無法看出長期趨勢。然受限於溫度資料取得不易、土地利用資料有限、衛星影像解析度不足等疑慮，使熱島效應研究受到很大的限制。未來可加入更多都市開發、社經資訊與氣候因子，將對地表溫度長期趨勢之探討有更多元之助益。若能運用以上資訊，建置精度更高之多時序空間資料庫，結合都市熱島變化情況及土地利用變遷資訊，探討都市環境產生之變遷，俾提供未來都市開發決策之參考憑據。本研究成果建議對於未來之都市使用規劃，應加入綠地規劃，考量人工鋪面與都市生態平衡，避免人工鋪面破壞都市生態，減少人工吸熱體造成都市溫度升高，以緩和都市熱島現象之發生。

對於改善都市熱島效應之有效對策，整理其文獻後在此指出，其中包括：

- 一、增加綠環境效能與加強環境綠化工作：每公頃綠地平均每天可從周圍環境中吸收 81.8 兆焦耳的熱量，相當於 189 臺空調的制冷作用；
- 二、增加藍帶環境，以及環境舒適度：水體不僅構成了都市美麗的景觀，當溫度升高時，它的蒸發作用能冷卻空氣，使環境溫度降低。水體具有較高的熱容量，可以吸收更多的輻射，而大面積的水汽可藉由熱力差異，吸收熱量的同時產生類似於海陸風的局地熱力環流，促進了城區內熱量的交換和輸送，減弱局地都市熱島效應。
- 三、制定都市計畫進行都市更新：著重於改善舊有都市形態之高建蔽率、低公共設施、街道狹窄、公園綠地缺乏等問題，將都市熱島改善視為

都市通盤檢討與都市更新重要檢視因子，調整都市空間結構，進行都市內部之區位配置調整與都市更新，降低都市熱島效應。

四、增加都市環境通風性：利用風向特性以及區域微氣候之特性形成風帶，帶走城市內部熱量；藉由提供綠地（草坪、草地、灌木）來建立通風通道，進而利用建築物將氣流引進至背風面來減少對建築基地外之熱效應影響，改善都市熱環境。

五、交通方面，汽機車排放大量廢熱並造成空氣污染，可運用既有的大眾交通運輸系統做長距離的移動，再配合自行車做短距離移動，只要規劃完善的自行車道便可以減低大量的二氧化碳排放與汽機車的廢熱。

目前，各級政府和廣大群眾都非常重視都市環境質量的提高，正在開展都市綠化、河湖淨化、空氣質量監測等生態建設活動，以及大眾捷運系統與公車路網的建設。相信通過全體人民的努力，可獲得都市發展的議題與都市熱島之影響取得平衡兼顧，使臺中直轄市成為一個均衡發展之生態城市。

參考文獻

1. 方聖輝、劉俊怡 (2005)，利用 Landsat 數據對武漢城市進行熱島效應分析，測繪信息與工程，第 30 卷，第 2 期，第 1-2 頁。
2. 米金套、王志石、何平 (2009)，基於 Landsat TM 的澳門城市熱場影響因素分析，生態與農村環境學報，第 25 期，第 3 卷，第 94-98 頁。
3. 李志乾、鞏彩蘭、胡勇、尹球、匡定波 (2009)，城市熱島遙感研究進展，遙感信息，第 4 期，第 100-105 頁。
4. 李明晃 (2003)，都市公園與局地氣溫效應之關係研究—以臺北市公園為例，中國文化大學景觀學系研究所碩士論文。
5. 李魁鵬 (1999)，臺灣四大都會區都市熱島之研究，國立成功大學建築學系研究所博士論文。
6. 呂毓倫 (2008)，應用遙測衛星地表溫度資料探討都市熱島現象與社經空間發展之關係，國立成功大學都市計畫學系研究所碩士論文。
7. 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，第 3 期，第 1 卷，第 1-15 頁。
8. 林憲德 (2007)，運用遙測技術於都市熱島效應觀測解析之研究，工程通訊 8 月刊，第 026-029 頁。
9. 林憲德、郭曉青、李魁鵬、陳子謙、陳冠廷 (2001)，臺灣海岸型城市之都市熱島現象與改善對策解析。都市與計畫，第 28 期，第 3 卷，第 323-341 頁。
10. 林憲德、孫振義、李魁鵬、郭曉青 (2005)，臺南地區都市規模與都市熱島強度之研究。都市與計劃期刊，第 32 期，第 1 卷，第 83-97 頁。
11. 柯互重、張書芸 (2004)，高雄地區夏季地表氣溫分布之觀測解析，環境與世界，第 9 期，第 83-106 頁。

12. 裴歡、房世峰 (2008)，南京市夏季熱島特徵及其與土地利用覆蓋關係研究，乾旱氣象，第 26 期，第 1 卷，第 23-27 頁。
13. 陳恩右 (2004)，道路特性與都市局部熱島關係之研究—以臺北市主要道路為例，中國文化大學景觀學系研究所碩士論文。
14. 陳冠廷 (2000)，臺灣中小型都市熱島效應之觀測解析，國立成功大學建築學系研究所碩士論文。
15. 張子螢、劉說安 (2003)，利用衛星資料估算臺中直轄市地表熱通量及熱島效應關係之研究，天氣分析與預報研討會論文，交通部中央氣象局，第 479-483 頁。
16. 張子螢、劉說安 (2005)，利用 Landsat 資訊反演大氣溫度以評估熱島效應之強度，航測及遙測學刊，第 10 期，第 4 卷，第 385-392 頁。
17. 張苑菱 (2010)，臺中市都市熱島效應與土地覆蓋影響之研究，逢甲大學土地管理學系研究所碩士論文。
18. 簡培如 (2006)，二戰後臺中市都市空間發展模式的探討，國立成功大學建築學系研究所碩士論文。
19. 覃志豪 (2001)，用陸地衛星 TM6 數據演算地表溫度的單窗算法，地理學報，第 56 期，第 4 卷，第 456-466 頁。
20. 孫振義 (2003)，臺南地區都市熱島研究，國立成功大學建築學系研究所碩士論文。
21. 孫振義 (2008)，運用遙測技術於都市熱島效應之研究，國立成功大學建築研究所博士論文。
22. 孫振義、林憲德、呂昱銘、劉正千、陳瑞鈴 (2010)，臺南市地表溫度與地表覆蓋關係之研究，都市與計劃，第 37 期，第 3 卷，第 363-397 頁。
23. 郭曉青 (1999)，臺中都市熱島效應之觀測解析，成功大學建築研究所碩士論文。

24. 廖峯淇 (2009)，土地利用型態組成與都市微氣候關係之實測研究－以臺中市為例，逢甲大學建築學系研究所碩士論文。
25. 趙小艷、申雙和、楊沈斌、趙小平、周強 (2009)，利用 ASTER 數據反演南京城市地表溫度，南京氣象學院學報，第 32 期，第 1 卷，第 128-133 頁。
26. 楊龍士、雷祖強、周天穎 (2006)，遙感探測理論與分析實務，文魁資訊出版股份有限公司。
27. 劉紹臣、劉振榮、林傳堯、許乾忠、林文澤 (2003)，臺灣西部平原熱島效應，Taiwan Watch，第 5 期，第 4 卷。
28. 賴栗葦 (2003)，近百年臺灣地區氣溫變化之分析研究，臺灣大學地理環境資源學研究所博士論文。
29. 賴栗葦 (2005)，1960 年代以來臺灣地區氣溫變化與經濟發展的關係，地理學報，第 40 期，第 99-116 頁。
30. 鄭師中 (1988)，都市氣候學，徐氏基金會。
31. 鄭婉純 (2003)，都市土地利用與都市氣溫關係之研究－臺中直轄市之實證研究，逢甲大學土地管理學系研究所碩士論文。
32. Crutzen(2004) New Directions: The growing urban heat and pollution island effect-impact on chemistry and climate，Atmospheric Environment，38 (2004)：pp. 3539-3540
33. Fukui, E.,(1970) The recent rise of temperature in Japan. Jpn. Progr. Climatol. Tokyo University of Education, pp. 49-65.
34. Hanqiu Xu(2010) Analysis of Impervious Surface and its Impact on Urban Heat. Environment Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 76, No. 5, pp.557-565
35. Jusuf, S. K., N.H. Wong, E. Hagen, R. Anggoro, and Y. Hong (2007) The influence of land use on the urban heat island in Singapore. Habitat

- International. Vol. 31, pp.232-242.
36. Linke, F. (1940) Das Klima der Groszstadt. Biologie der Groszstadt, pp.75-90.
37. Howard, L.(1818) Climate of Landon Deduced from Meteorological Observation. Vol.1, Phillips, London.
38. Qian, Z.(2006) Towards A Collaborative Approach to Urban Conservation , Planning in China: An Analysis with reference to Quanzhou. Projections: the MIT Journal of Planning. Vol.5, pp.49-67.
39. Rao P, K. (1972) Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol.53, pp. 647-648.
40. Roger. K, Thayne. M (1998) Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. Atmospheric Environment, Vol. 32, No. 1, pp. 35-41.
41. Stathopoulou, M, C. Cartalis, and I. Keramitsoglou (2004) Mapping micro-urban heat islands using NOAA/AVHRR images and CORINE Land Cover : an application to coastal cities of Greece. International Journal of Remote Sensing. Vol. 25, No. 12, pp. 2304-2316.
42. Lowry, William P. (1972) Weather and Life: An Introduction to Biometeorology. New York: Academic Press.

附錄一、第一次國土利用調查分類系統

第一級 代碼	第一級 分類名稱	第二級 代碼	第二級 分類名稱	第三級 代碼	第三級 分類名稱
0	農業	1	農作	11	稻作
0	農業	1	農作	12	旱作
0	農業	1	農作	13	廢耕地
0	農業	2	林業	20	林業
0	農業	3	養殖	30	養殖
0	農業	4	畜牧	41	畜禽舍
0	農業	4	畜牧	42	牧場
0	農業	5	農業附帶設施	50	農業附帶設施
1	交通用地	100	交通用地	1000	交通用地
1	交通用地	100	交通用地	1001	交通用地
1	交通用地	101	機場	1010	民用機場
1	交通用地	102	鐵路	1021	一般鐵路線
1	交通用地	102	鐵路	1022	專用鐵路線
1	交通用地	102	鐵路	1023	捷運鐵路線
1	交通用地	102	鐵路	1024	鐵路車站
1	交通用地	102	鐵路	1025	鐵路相關設施
1	交通用地	103	公路	1031	國道
1	交通用地	103	公路	1032	省道
1	交通用地	103	公路	1033	縣道
1	交通用地	103	公路	1034	鄉道
1	交通用地	103	公路	1035	市區道路
1	交通用地	103	公路	1036	其他道路
1	交通用地	103	公路	1037	公路車站
1	交通用地	103	公路	1038	停車場
1	交通用地	103	公路	1039	公路相關設施
1	交通用地	104	港口	1041	商港
1	交通用地	104	港口	1042	漁港
1	交通用地	104	港口	1043	專用港
2	水利用地	200	海面	2000	海面
2	水利用地	201	河道	2011	河川
2	水利用地	201	河道	2012	減河
2	水利用地	201	河道	2013	運河

2	水利用地	201	河道	2014	堤防
2	水利用地	202	溝渠	2020	溝渠
2	水利用地	203	蓄水池	2031	水庫
2	水利用地	203	蓄水池	2032	湖泊
2	水利用地	203	蓄水池	2033	其他蓄水池
2	水利用地	204	禦潮地	2040	禦潮地
3	建築用地	301	商業	3011	零售批發
3	建築用地	301	商業	3012	服務業
3	建築用地	302	住宅	3021	一層住宅
3	建築用地	302	住宅	3022	低層住宅
3	建築用地	302	住宅	3023	中層住宅
3	建築用地	302	住宅	3024	高層住宅
3	建築用地	303	機關團體	3031	機關
3	建築用地	303	機關團體	3032	團體
3	建築用地	304	學校	3041	托兒所、幼稚園
3	建築用地	304	學校	3042	小學
3	建築用地	304	學校	3043	中學
3	建築用地	304	學校	3044	大專院校
3	建築用地	304	學校	3045	特種學校
3	建築用地	305	文教藝術	3050	文教藝術館
3	建築用地	306	衛生醫療	3060	醫療院所
3	建築用地	307	慈善福利	3070	慈善福利院
3	建築用地	308	宗教	3081	寺廟
3	建築用地	308	宗教	3082	教堂
3	建築用地	308	宗教	3083	宗祠
3	建築用地	308	宗教	3084	其他宗教建築
3	建築用地	309	公用事業	3091	郵政電信
3	建築用地	309	公用事業	3092	氣象
3	建築用地	309	公用事業	3093	電力
3	建築用地	309	公用事業	3094	瓦斯
3	建築用地	309	公用事業	3095	自來水
3	建築用地	309	公用事業	3096	加油站
3	建築用地	309	公用事業	3097	雨水抽水站
3	建築用地	309	公用事業	3099	其他公用事業
3	建築用地	310	環保設施	3100	環保設施
3	建築用地	311	喪葬設施	3111	墳墓
3	建築用地	311	喪葬設施	3112	殯儀館、火葬場

3	建築用地	312	消防安全設施	3120	消防安全設施
3	建築用地	313	興建中	3130	興建中
3	建築用地	314	古蹟	3140	古蹟
4	工業用地	401	工業	4010	製造
4	工業用地	402	工業相關設施	4020	工業相關設施
4	工業用地	403	倉儲	4030	倉儲
5	遊憩用地	501	陸上遊憩設施	5011	公園綠地廣場
5	遊憩用地	501	陸上遊憩設施	5012	體育場所
5	遊憩用地	501	陸上遊憩設施	5013	動、植物園
5	遊憩用地	501	陸上遊憩設施	5014	戶外遊樂場
5	遊憩用地	502	水岸遊憩設施	5020	水域活動場所
5	遊憩用地	503	遊憩服務設施	5030	遊憩服務設施
6	鹽業用地	601	鹽田	6010	鹽田
6	鹽業用地	602	鹽業設施	6020	鹽業設施
7	礦業及土石用地	701	礦業	7011	礦場
7	礦業及土石用地	701	礦業	7012	礦業設施
7	礦業及土石用地	702	土石	7021	土石採取場
7	礦業及土石用地	702	土石	7022	土石設施
8	軍事用地	800	軍事用地	8000	軍事用地
9	其他用地	901	濕地	9010	溼地
9	其他用地	902	草生地	9020	草生地
9	其他用地	903	裸露地	9030	裸露地
9	其他用地	904	灌木荒地	9040	灌木荒地
9	其他用地	905	災害	9050	災害地
9	其他用地	906	棄土區	9060	棄土地
9	其他用地	907	空置地	9071	未使用地
9	其他用地	907	空置地	9072	人工改變中土地
9	其他用地	907	空置地	9073	測量標

附錄二、第二次國土利用調查分類系統

第一級 分類名稱	第一級 代碼	第二級 分類名稱	第二級 代碼	第三級 分類名稱	第三級 代碼
農業使用土地	01	農作	0101	稻作	010101
農業使用土地	01	農作	0101	旱作	010102
農業使用土地	01	農作	0101	果樹	010103
農業使用土地	01	農作	0101	廢耕地	010104
農業使用土地	01	水產養殖	0102	水產養殖	010200
農業使用土地	01	畜牧	0103	畜禽舍	010301
農業使用土地	01	畜牧	0103	牧場	010302
農業使用土地	01	農業附帶設施	0104	溫室	010401
農業使用土地	01	農業附帶設施	0104	倉儲設施	010402
農業使用土地	01	農業附帶設施	0104	農產品展售場	010403
農業使用土地	01	農業附帶設施	0104	其他設施	010404
森林使用土地	02	天然林	0201	天然針葉樹純林	020101
森林使用土地	02	天然林	0201	天然闊葉樹純林	020102
森林使用土地	02	天然林	0201	天然竹林	020103
森林使用土地	02	天然林	0201	天然竹針闊葉混淆林	020104
森林使用土地	02	人工林	0202	人工針葉樹純林	020201
森林使用土地	02	人工林	0202	人工闊葉樹純林	020202
森林使用土地	02	人工林	0202	人工竹林	020203
森林使用土地	02	人工林	0202	人工竹針闊葉混淆林	020204
森林使用土地	02	其他森林使用土地	0203	伐木跡地	020301
森林使用土地	02	其他森林使用土地	0203	苗圃	020302
森林使用土地	02	其他森林使用土地	0203	防火線	020303
森林使用土地	02	其他森林使用土地	0203	土場	020304
交通使用土地	03	機場	0301	機場	030100
交通使用土地	03	鐵路	0302	一般鐵路	030201
交通使用土地	03	鐵路	0302	高速鐵路	030202
交通使用土地	03	鐵路	0302	鐵路相關設施	030203
交通使用土地	03	道路	0303	國道	030301
交通使用土地	03	道路	0303	省道、快速道路	030302
交通使用土地	03	道路	0303	一般道路	030303
交通使用土地	03	道路	0303	道路相關設施	030304
交通使用土地	03	港口	0304	商港	030401

交通使用土地	03	港口	0304	漁港	030402
交通使用土地	03	港口	0304	專用港	030403
交通使用土地	03	港口	0304	其他港口相關設施	030404
水利使用土地	04	河道	0401	河川	040101
水利使用土地	04	河道	0401	減河	040102
水利使用土地	04	河道	0401	運河	040103
水利使用土地	04	河道	0401	堤防	040104
水利使用土地	04	溝渠	0402	溝渠	040200
水利使用土地	04	蓄水池	0403	水庫	040301
水利使用土地	04	蓄水池	0403	湖泊	040302
水利使用土地	04	蓄水池	0403	其他蓄水池	040303
水利使用土地	04	蓄水池	0403	人工湖	040304
水利使用土地	04	水道沙洲灘地	0404	水道沙洲灘地	040400
水利使用土地	04	水利構造物	0405	水閘門	040501
水利使用土地	04	水利構造物	0405	抽水站	040502
水利使用土地	04	水利構造物	0405	水庫堰壩	040503
水利使用土地	04	水利構造物	0405	地下取水井	040504
水利使用土地	04	水利構造物	0405	其他設施	040505
水利使用土地	04	防汛道路	0406	防汛道路	040600
水利使用土地	04	海面	0407	海面	040700
建築使用土地	05	商業	0501	零售批發	050101
建築使用土地	05	商業	0501	服務業	050102
建築使用土地	05	住宅	0502	純住宅	050201
建築使用土地	05	住宅	0502	兼工業使用住宅	050202
建築使用土地	05	住宅	0502	兼商業使用住宅	050203
建築使用土地	05	住宅	0502	兼其他使用住宅	050204
建築使用土地	05	工業	0503	製造業	050301
建築使用土地	05	工業	0503	倉儲	050302
建築使用土地	05	其他建築用地	0504	宗教	050401
建築使用土地	05	其他建築用地	0504	殯葬設施	050402
建築使用土地	05	其他建築用地	0504	興建中	050403
建築使用土地	05	其他建築用地	0504	其他	050404
公共使用土地	06	政府機關	0601	政府機關	060100
公共使用土地	06	學校	0602	幼稚園	060201
公共使用土地	06	學校	0602	小學	060202
公共使用土地	06	學校	0602	中學	060203
公共使用土地	06	學校	0602	大專院校	060204

公共使用土地	06	學校	0602	特種學校	060205
公共使用土地	06	醫療保健	0603	醫療保健	060300
公共使用土地	06	社會福利設施	0604	社會福利設施	060400
公共使用土地	06	公用設備	0605	氣象	060501
公共使用土地	06	公用設備	0605	電力	060502
公共使用土地	06	公用設備	0605	瓦斯	060503
公共使用土地	06	公用設備	0605	自來水	060504
公共使用土地	06	公用設備	0605	加油站	060505
公共使用土地	06	環保設施	0606	環保設施	060600
遊憩使用土地	07	文化設施	0701	法定文化資產	070101
遊憩使用土地	07	文化設施	0701	一般文化設施	070102
遊憩使用土地	07	文化設施	0701	其他文化設施	070103
遊憩使用土地	07	休閒設施	0702	公園綠地廣場	070201
遊憩使用土地	07	休閒設施	0702	遊樂場所	070202
遊憩使用土地	07	休閒設施	0702	體育場所	070203
礦鹽使用土地	08	礦業	0801	礦場	080101
礦鹽使用土地	08	礦業	0801	礦業相關設施	080102
礦鹽使用土地	08	土石	0802	土石採取場	080201
礦鹽使用土地	08	土石	0802	土石相關設施	080202
礦鹽使用土地	08	鹽業	0803	鹽田	080301
礦鹽使用土地	08	鹽業	0803	鹽業相關設施	080302
其他使用土地	09	軍事用地	0901	軍事用地	090100
其他使用土地	09	溼地	0902	溼地	090200
其他使用土地	09	草生地	0903	草生地	090300
其他使用土地	09	裸生地	0904	灘地	090401
其他使用土地	09	裸生地	0904	崩塌地	090402
其他使用土地	09	裸生地	0904	礁岩	090403
其他使用土地	09	裸生地	0904	裸露空地	090404
其他使用土地	09	灌木荒地	0905	灌木荒地	090500
其他使用土地	09	災害地	0906	災害地	090600
其他使用土地	09	營建剩餘土石方	0907	營建剩餘土石方	090700
其他使用土地	09	空置地	0908	未使用地	090801
其他使用土地	09	空置地	0908	人工改變中土地	090802
其他使用土地	09	空置地	0908	測量標	090803