

城市地區熱島效應退燒策略研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 97 年 12 月

城市地區熱島效應退燒策略研究

研究主持人：何明錦 所長

協同主持人：林子平 副教授

研究員：黃瑞隆 副教授

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 97 年 12 月

城市地區熱島效應退燒策略研究



內政部建築研究所協同研究報告

97年



ISBN : 978-986-01-6908-9 (平裝)

目次

目次	I
表次	III
圖次	V
摘要	IX
第一章 緒論	1
第一節 研究背景與目的	1
第二節 國內外研究概況	2
第三節 研究範圍與內容	6
第二章 都市熱島重要文獻彙整	9
第一節 文獻彙整原則	9
第二節 熱島核心文獻概述	12
第三章 台灣都市微氣候特徵	55
第一節 台灣氣候分類屬性	55
第二節 戶外熱舒適性	56
第三節 台灣戶外熱舒適性範圍	59
第四章 台灣熱島效應退燒對策	63
第一節 退燒對策研擬原則	63
第二節 台灣熱島效應退燒對策彙整	64
第五章 熱島退燒政策與推動	89
第一節 日本熱島緩和政策	89
第二節 日本熱島緩和推動現況	95
第三節 台灣當前熱島退燒政策	99
第六章 結論	103
附錄：審查意見與修正	105
參考書目	107



表次

表 2-1 測點每日的最高溫、最低溫及差距	13
表 2-2 模擬方案的特徵	18
表 2-3 選擇的都市反射率數值	20
表 2-4 本研究模擬條件	21
表 2-5 各城市區種植額外植栽之溫度降低模擬	24
表 2-6 不同地點夜間的熱島強度	34
表 2-7 研究變數對夜間都市熱島效應解釋達約八成	34
表 2-8 可倫坡都會區三個觀測站的綠覆率值。	35
表 2-9 賽格德分割網格的最高熱島強度和城市地表參數的 相關數值。	42
表 2-10 賽格德應用城市地表參數的顯著性、相關係數、 標準誤和 95%的信賴區間數值。	42
表 2-11 構成因子與溫度相關性及綠覆率與溫度迴歸式	52
表 2-12 街廓基本資料	53
表 2-13 大、小街廓平均溫差	54
表 2-14 大、小街廓平均溼度差	54
表 2-15 大、小街廓平均風速差	54
表 3-1 台灣中西歐的舒適性範圍比較(PET)	61
表 4-1 熱島效應退燒對策彙整表	63
表 5-1 CASBEE-HI 的熱島緩和評估項目	90
表 5-2 保水性、透水性高被覆材評估等級說明	92
表 5-3 東京都熱島緩和於 2001-2002 實施的狀況	95



圖次

圖 1- 1 城鎮應兼顧生態及熱島抑制特性，包含充份的綠化、高反射的鋪面、低蓄熱的屋頂與牆面、適當遮蔽空間等.....	1
圖 1- 2 台北夏季午夜之都市熱島現象.....	3
圖 1- 3 以色列特拉維夫的熱島分布.....	4
圖 1- 4 室內、半戶外、戶外熱感受與 SET*的相關性.....	5
圖 1- 5 本研究流程圖.....	7
圖 2-1 特拉維夫熱島分布圖.....	14
圖 2-2 LCLU 方案現況(左)與 2050 年的模擬(右).....	15
圖 2-3 1998/1/27 的氣溫變化(左)，可感熱流變化(中)，亂流動能變化(右).....	16
圖 2-4 南北向街谷中模擬的氣溫和街道表溫.....	18
圖 2-5 因時間和空間差異造成溫度的變化.....	22
圖 2-6 左圖為都市叢林中，一個增加表面反照率案例與基本案例的溫度差異。右圖為臭氧含量差異.....	23
圖 2-7 模擬的都市峽谷幾何描述(左)及使用在 ENVI-met 模擬的都市峽谷幾何形狀(右).....	25
圖 2-8 (a)不對稱的街谷、(b)突出立面和(c)有樹的街谷，與 H/W=2、1 對稱都市峽谷的平均氣溫 Ta 比較.....	26
圖 2-9 新舊市區的研究地點分布.....	27
圖 2-10 街道內和屋頂上的測量儀器分布點.....	28
圖 2-11 左二圖顯示夏天冬天期間深谷、淺谷及郊區的平	

均氣溫。右二圖顯示夏天冬天期間的 PET 值變化。	28
圖 2-12 五個類別土地使用百分比，以及各測點的平均極小溫度與土地使用模式對照。	29
圖 2-13 左圖為所有地點的每日最高溫度。右圖為所有地點測量和計算的平均最大、平均和極小溫度。 ..	30
圖 2-14 模擬白天及夜間的周遭溫度:(A)現況；(B)沒有綠葉；(C)將森林替換為建築物；(D)引進更加密集的綠葉。	32
圖 2-15 左圖為在七樓的 10 個不同點中與其他屋頂應用的冷卻負荷比較—包括內部熱負荷。右圖為整樓的 10 個不同點。	32
圖 2-16 案例位置與現況。	33
圖 2-17 所有案例夜間平均城市熱島強度預測值與實測值。	34
圖 2-18 可倫坡都會區晝夜溫度變化圖。	36
圖 2-19 可倫坡都會區地表綠覆率對溫濕度指數影響關係。	36
圖 2-20 觀測時間 2002/06/17-19 的溫度變化圖。	38
圖 2-21 利用 TVM 模擬計算不同因子(熱擴散、熱容量、發射率、反射率、街道高寬比、綠覆率與屋頂綠化)。	38
圖 2-22 為 Landsat ETM+ thermal waveband 圖像融合圖。	39

圖 2-23 九龍半島南面的熱環境模型。.....	40
圖 2-24 熱環境模型。.....	40
圖 2-25 塞格德土地利用類型及熱島強度空間分佈圖。	41
圖 2-26 能源消耗量晝夜變化圖。.....	44
圖 2-27 左圖為東京人工熱在每一個季節的晝夜變化總 值。右圖為地表空氣溫度晝夜變化圖。.....	44
圖 2-28 東京市中心地表熱晝夜變化圖。.....	44
圖 2-29 左圖為浦那市區觀測點，右圖為浦那空照圖。	45
圖 2-30 溫度分佈圖(°C) 20:00 h(左)，5:00(右)。.....	46
圖 2-31 為 20:00 (左)、5:00(中)氣壓分佈及 5:00 露點分佈 (右)。.....	46
圖 2-32 左二圖為台南夏季中午、午夜之都市熱島現象； 右二圖為高雄夏季中午、午夜之都市熱島現象..	47
圖 2-33 左二圖為台北夏季中午、午夜之都市熱島現象； 右二圖為台中夏季中午、午夜都市熱島現象.....	48
圖 2-34 台灣四大都市及世界都市之人口與熱島強度關係 圖.....	48
圖 2-35 台南地區都市熱島實測溫度變動圖.....	49
圖 2-36 左圖為台南地區氣溫與都市熱島強度比較圖；右 圖都市人口與平均都市熱島強度分析圖.....	50
圖 2-37 世界「都市熱島」與「都市人口」比較圖.....	50
圖 2-38 孔廟文化園區夏季之溫度分佈.....	51
圖 2-39 中山公園綠帶夏季溫度分佈.....	52
圖 3-1 由 Köppen 氣候分類系統顯示台灣位於多種氣候分	

區內，表示其氣候之多樣性	55
圖 3- 2 英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度 實測值與人數數量關係圖	58
圖 3- 3 台中國立美術館廣場上夏季黑球溫度實測值與人 數數量關係圖	58
圖 3- 4 戶外熱舒適性接受範圍(標準有效溫度).....	59
圖 3- 5 戶外熱舒適性接受範圍(平均輻射溫度).....	60
圖 3- 6 戶外熱舒適性接受範圍(PET).....	60
圖 5- 1 都市氣溫上升的體係構想圖	89
圖 5- 2 模擬範圍的基本假定	92
圖 5- 3 綠地、水面、高反射材料在基地中模擬的設定	93
圖 5- 4 不同比例的綠地、水面、高反射材料對基地外部 及內部溫度降低的模擬效益的結果。	93
圖 5- 5 辦公大樓案例評估總表示範。	94
圖 5- 6 東京都熱島緩和宣導網頁	97
圖 5- 7 透水性路面鋪設範圍與路面測試	98
圖 5- 8 高反射材料在戶外與室內的測試。戶外測試在太 陽光下的表面溫度，室內則測試 8 度日射角下模擬 日光頻譜(300-2500 nm)的反射率	98
圖 5- 9 研究團隊針對柏油、水泥、紅色連鎖磚、草地地 面材料的「反照率」(Albedo)的初步測試性的實驗 計畫	100

(以下不用)



城市地區熱島效應退燒策略研究

表 2-1 測點每日的最高溫、最低溫及差距	13
表 2-2 模擬方案的特徵	18
表 2-3 選擇的都市反射率數值。	20
表 2-4 本研究模擬條件	21
表 2-5 各城市區種植額外植栽之溫度降低模擬	24
表 2-6 不同地點夜間的熱島強度	34
表 2-7 研究變數對夜間都市熱島效應解釋達約八成	34
表 2-8 可倫坡都會區三個觀測站的綠覆率值。	35
表 2-9 賽格德分割網格的最高熱島強度和城市地表參數的相關數 值。	42
表 2-10 賽格德應用城市地表參數的顯著性、相關係數、標準誤和 95%的信賴區間數值。	42
表 2-11 構成因子與溫度相關性及綠覆率與溫度迴歸式	52
表 2-12 街廓基本資料	53
表 2-13 大、小街廓平均溫差 (單位: °C)	54
表 2-14 大、小街廓平均溼度差 (單位: %)	54
表 2-15 大、小街廓平均風速差 (左表 單位: m/s)	54
表 3-1 台灣中西歐的舒適性範圍比較(PET)	61
表 4-1 熱島效應退燒對策彙整表	63
表 5-1 研究進度及預期完成之工作項目表	95

圖 1-1 城鎮應兼顧生態及熱島抑制特性，包含充份的綠化、高反射的鋪面、低蓄熱的屋頂與牆面、適當遮蔽空間等	1
圖 1-2 台北夏季午夜之都市熱島現象	3
圖 1-3 以色列特拉維夫的熱島分布	4
圖 1-4 室內、半戶外、戶外熱平均感受與 SET*的相關性，顯示人們在戶外及半戶外空間有不同的熱感受	5
圖 1-5 本研究流程圖	7
圖 2-1 特拉維夫熱島分布圖	14
圖 2-2 LCLU 方案現況(左)與 2050 年的模擬(右)	15
圖 2-3 1998/1/27 的氣溫變化(左)，可感熱流變化(中)，亂流動能變化(右)	16
圖 2-4 南北向街谷中模擬的 (a) 氣溫和 (b) 街道表溫	18
圖 2-5 因時間和空間差異造成溫度的變化	22
圖 2-6 左圖為都市叢林中，一個增加表面反照率案例與基本案例的溫度差異。右圖為臭氧含量差異	23
圖 2-7 模擬的都市峽谷幾何描述(左)及使用在 ENVI-met 模擬的都市峽谷幾何形狀(右)	25
圖 2-8 (a)不對稱的街谷、(b)突出立面和(c)有樹的街谷，與 H/W=2、1 對稱都市峽谷的平均氣溫 T_a 比較	26
圖 2-9 新舊市區的研究地點分布	27
圖 2-10 街道內和屋頂上的測量儀器分布點	28
圖 2-11 左二圖顯示夏天冬天期間深谷、淺谷及郊區的平均氣溫。右二圖顯示夏天冬天期間的 PET 值變化	28
圖 2-12 五個類別土地使用百分比，以及各測點的平均極小溫度與土地使用模式對照	29
圖 2-13 左圖為所有地點的每日最高溫度。右圖為所有地點測量和計算的平均最大、平均和極小溫度	30
圖 2-14 模擬白天及夜間的周遭溫度:(A)現況；(B)沒有綠葉；(C)將森林替換為建築物；(D)引進更加密集的綠葉	32
圖 2-15 左圖為在七樓的 10 個不同點中與其他屋頂應用的冷卻負荷比較—包括內部熱負荷。右圖為整樓的 10 個不同點	32
圖 2-16 案例位置與現況	33
圖 2-17 所有案例夜間平均城市熱島強度預測值與實測值	34
圖 2-18 可倫坡都會區晝夜溫度變化圖	36
圖 2-19 可倫坡都會區地表綠覆率對溫濕度指數影響關係	36
圖 2-20 觀測時間 2002/06/17-19 的溫度變化圖	38
圖 2-21 利用 TVM 模擬計算不同因子(熱擴散、熱容量、發射率、	

反射率、街道高寬比、綠覆率與屋頂綠化)。	38
圖 2-22 為 Landsat ETM+ thermal waveband 圖像融合圖。	39
圖 2-23 九龍半島南面的熱環境模型。	40
圖 2-24 熱環境模型。	40
圖 2-25 塞格德土地利用類型及熱島強度空間分佈圖。	41
圖 2-26 能源消耗量晝夜變化圖。	44
圖 2-27 左圖為東京人工熱在每一個季節的晝夜變化總值。右圖為地表空氣溫度晝夜變化圖。	44
圖 2-28 東京市中心地表熱晝夜變化圖。	44
圖 2-29 左圖為浦那市區位觀測點。右圖為浦那空照圖。	45
圖 2-30 溫度分佈圖(°C) 20:00 h(左), 5:00(右)。	46
圖 2-31 為 20:00 (左)、5:00(中)氣壓分佈及 5:00 露點分佈(右)。	46
圖 2-32 左二圖為台南夏季中午、午夜之都市熱島現象；右二圖為高雄夏季中午、午夜之都市熱島現象	47
圖 2-33 左二圖為台北夏季中午、午夜之都市熱島現象；右二圖為台中夏季中午、午夜都市熱島現象	48
圖 2-34 台灣四大都市及世界都市之人口與熱島強度關係圖	48
圖 2-35 台南地區都市熱島實測溫度變動圖	49
圖 2-36 左圖為台南地區氣溫與都市熱島強度比較圖；右圖都市人口與平均都市熱島強度分析圖	50
圖 2-37 世界「都市熱島」與「都市人口」比較圖	50
圖 2-38 孔廟文化園區夏季中午、夜晚、午夜之溫度分佈	51
圖 2-39 中山公園綠帶夏季中午、夜晚、午夜之溫度分佈	52
圖 3- 1 由 Köppen 氣候分類系統顯示台灣位於多種氣候分區內，表示其氣候之多樣性(Kottek, M., et al., 2006)	55
圖 3- 2 英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖(Nikolopoulou, et al., 2001)	58
圖 3- 3 台中國立美術館廣場上夏季黑球溫度實測值與人數數量關係圖(林子平, 林彥廷, 2007)	58
圖 3-4 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(標準有效溫度)	59
圖 3-5 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(平均輻射溫度)	60
圖 3-6 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(PET)	60
圖 3- 2 英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖(Nikolopoulou, et al., 2001)	111
圖 3- 3 台中國立美術館廣場上夏季黑球溫度實測值與人數數量關係圖(林子平, 林彥廷, 2007)	111
圖 3-4 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(標準有效溫度)	112
圖 3-5 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(平均輻射溫度)	112

圖 3-6 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(PET)112









城市地區熱島效應退燒策略研究



摘要

關鍵詞：城市熱島、綠建築、微氣候、抑制對策

一、研究緣起

隨著全球工業發展及環境破壞，空氣中的二氧化碳濃度逐漸提高，地球暖化的問題日益嚴重。在人口密度極高的城市地區，更由於人工構造物、高蓄熱鋪面、機具排熱等問題，而造成城市核心的區域的空氣溫度較郊區為高，形成「都市熱島效應」。而在都市高溫化的影響之下，不僅造成室內空調耗用能源增加，戶外熱舒適性降低，更嚴重的會造成都市生態的問題。因此，目前政府已積極研擬「生態城市綠建築推動方案」，並將熱島效應退燒策略計畫列為重要之推動項目，以緩和熱島效應帶來的衝擊與挑戰。

為了有效落實「生態城市綠建築推動方案」下的熱島效應抑制，方案中將辦理「競爭型都市熱島效應退燒策略計畫」，以競爭型的方式遴選具有潛力的案例，進行熱島效應退燒工程的改造，期望將能藉由建立示範案例的方式，提升民眾對熱島問題及對策的體認，並強化公部門的政策研議及落實。

本研究即配合「競爭型都市熱島效應退燒策略計畫」進行之研究，以做為未來推廣改善都市熱島及辦理改善對策的依據。

二、研究方法及過程

本研究首先彙整國內外都市熱島相關文獻，針對其地理條件、氣候型態、規模尺度、量測方法等做有系統的歸納整理。其次由台灣微氣候特性與熱舒適性特性了解台灣戶外熱環境的需求，再則歸納出與熱島分布上的特徵，研擬熱島退燒對策，包含以都市尺度的巨觀角度，及為街廓尺度的微觀角度，來研擬適合台灣本土的都市熱島退燒對策。最後本研究藉由對台灣都市熱島的瞭解，研擬遴選熱島退燒示範案例準則，不僅做為本推動方案競爭型計畫遴選時之依據，也做為

城市地區熱島效應退燒策略研究

未來台灣在新都市開發及舊街廓改造時之參考。

三、重要發現

本研究的成果摘要如下：

1. 台灣都市熱島問題彙整

國外乾燥地區高達 10 度 C 以上的熱島強度，並不容易發生在地處濕熱的亞熱帶候區台灣，而其改善對策也未必適用於台灣。再則，Köppen 氣候分類系統(Köppen climate classification system)顯示台灣氣候呈現相當多樣的特性，在都市型態上建築密度極高，使用的對策手法有限，故需以台灣氣候、都市型態為觀點及本土的實測結果來解決都市熱島問題。

2. 國外微氣候研究結果歸納

彙整的方式分為四個部分。「地點資料」陳述該研究之基本屬性資料。「環境因子」陳述該研究在環境設計上的特徵。「實測資料」陳述該研究之實測時間及其氣象要素取得的方式。「主要結果」則列出過程中最主要的發現，以及研究者所建議之改善對策，以及預期的效益。

3. 台灣熱島效應退燒策略研擬

依過去文獻所提的熱島效應退燒對策，再加入台灣本土氣候特性及台灣居民的熱舒適範圍，將適合台灣的熱島效應退燒對策分為四類，分別為「土地利用」、「植栽綠化」、「街區型態」、「材料運用」四類，其對策名稱如表 4-1 所述。各項對策並依照「文獻實證」、「對策原理」、「補充說明」、「圖例說明」等以表格方式整理之，以提供未來設計之參考。

四、主要建議事項

根據本研究之文獻調查及策略研擬結果，提出下列具體建議，以下分別從立即可行建議及中長期建議加以列舉：

建議一

建立我國合理的戶外熱環境基準：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：營建署

戶外空間舒適性評估，不僅有其經濟價值上之必要性，更對於人類住居環境的省能、舒適、環保的課題能夠予以兼顧，而戶外舒適性降低，也會直接影響人們對空間的利用狀況。因此，本研究提出台灣戶外熱舒適性範圍，並以多種指標來描述其戶外的舒適性。應做為未來台灣戶外熱環境評估或驗證的基準。

建議二

落實合理適用的都市減熱對策：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：營建署、各縣市政府

在台灣的熱島效應退燒對策分為三類中，以「材料運用」為最容易執行的手段，然而由於台灣都市密集化的特性，其成果仍屬有限，因此，中期而言應針對「植栽綠化」、「街區型態」進行改善，才能有效減緩都市熱島問題。

建議三

建立台灣本土都市熱島的實測資料庫：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：營建署

目前與戶外熱環境相關的材料特性，如輻射率、穿透率、反照率、葉面積指數等，在台灣都相當不足，必需有系統地進行資料庫建立，方能以台灣氣候為觀點進行合理的設計。

建議四

增加台灣戶外微氣候改善效果驗證模式：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

在退燒對策改善前後的結果，應建立一套合理的改善效果驗證模式，其型式可能為簡算法，數值模擬，或為現地實測的方式，來驗證其改善的效果，以做為未來推廣或管制之依據。



Abstract

Keywords : urban heat island, green building, microclimate, mitigation measures

1. Background

As the concentration of CO₂ in the atmosphere is gradually increased day by day with industry development and worldwide environment destruction, the problem of global warming is more serious in recent years. The air temperature in the downtown is higher than that in the suburb, i.e. urban heat island effect (UHI), contributed by artificial structure, high thermal storage coefficient pavement, machines heat in extremely high population density area of urban. The influence of the increasing urban temperature not only causes the increasing of indoor air conditioning energy cost and reducing of outdoor thermal comfort, but makes urban ecological problems. Therefore, the government has actively developed “The impellent plan of ecological city and green building” at present and the mitigation measures of the heat island effect is labeled as the important impellent project, in order to mitigate the impact and the challenge of the heat island effect.

It has to execute “the competitive mitigation measures plan of the urban heat island effect” in “The impellent plan of ecological city and green building” in order to mitigate the heat island effect effectively, as choosing the case which has potential by competition way and enforcing the transformation of heat island effect project. In addition to promote the popular realizing of the heat island problem and strategy and strengthen the discussion and the realization of the departmental strategy by the way of setting up demonstrative case.

This research is the coordination with “the competitive mitigation

measures plan of the urban heat island effect” to be the basis of popularizing the improvement of the urban heat island and transacting the improvement strategy in the future.

2. Methods

This research first collects the domestic literature and the foreign literature about urban heat island, by generalizing and ordering their geography characteristic, climate condition, urban scale, the method of measurement. Secondly understanding the demand of Taiwan outdoors thermal environment by the Taiwan microclimatic and the thermal comfort characteristic, and establishing the mitigation measures of the urban heat island for Taiwan by generalizing the characteristics of the heat island distribution, including the great view angle in urban criterion and the microscopic angle in the street gallery criterion. Finally this research establishes the standards of choosing demonstrate case of mitigation measures of urban heat island by understanding the urban heat island in Taiwan. It is not only to be the criterion of choosing the competitive programs in this impellent plan, but the reference of the new urban development and the old street gallery transformation in the Taiwan’s future.

3. Results

1. The coordination of Taiwan urban heat island problems

The intensity of heat island as high as above 10°C in the foreign dry area, which is not easily occurred in Taiwan with a hot and humid subtropical climate, and their improvement strategy also is not necessarily suitable in Taiwan. Moreover, Köppen climatic classification system shows that the strategy and methods used is limited

because of the diverse characteristic of the Taiwan climate and the extremely high construction density condition of the urban sites, so that we have to solve the urban heat island problems with the viewpoint of Taiwan climate and urban sites and the result of the native field measurement.

2. The generalization of the results of the foreign microclimate research

The ways of coordination are divided into four parts. “Site description” shows the basic characteristic data of this research. “Environment factor” shows the character in the environmental design of this research. “Field measurement” indicates that the measurement time and how to obtain the meteorological element of this research. “Main results” lists the most important observation, and the improvement strategy of researcher’s suggestion, and the anticipated effect in the process.

3. To establish the improvement strategy of Taiwan heat island effect

The strategy of heat island effect adaptable Taiwan are divided into four kinds, which are “land use”, “greenery”, “street geometry”, “material application”, according to the strategy of mitigating heat island effect of the past literature, and the Taiwan native climatic characteristics and the range of the Taiwan inhabitant's heat comfort. The strategy titles as fallow as table 4-1. Each strategy is also ordered according to “the real diagnosis of literature”, “the principle of strategy”, “the supplement statement”, “the statement of pictures and cases” and so on, in order to provide the reference in the future design.

4. Recommendations

Suggestion 1

Establishing the reasonable basis of Taiwan outdoors thermal environment: Immediately suggestion

The sponsor institution : Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

The co-sponsor institution : Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior

The estimation of thermal comfort in the outdoors space is not only necessary economically, but also assist the energy saving, being comfortable, the environmental protection in the human living environment, and the outdoors comfortableness reducing also can directly affect the spatial condition when people use that. Therefore, this research proposed the scope of Taiwan outdoors thermal comfort, and describes the outdoors comfortableness by the many kinds of indices. The result of the study can be applied to the standard of the outdoors thermal environmental appraisal or confirmation in the Taiwan's future.

Suggestion 2

Reasonable and suitable strategy of mitigating urban heat island into practice: Immediately suggestion

The sponsor institution : Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

The co-sponsor institution : Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior; Local government

In the three kinds of the Taiwan's strategy of mitigating heat island effect, "material application" is the easiest method to be executed, but the effect is limited with the characteristic of the Taiwan urban concentrated highly. Therefore, we should carry on the improvement aiming at "greenery" and "street geometry" in the intermediate stage to

mitigate effectively the urban heat island problem.

Suggestion 3

Establishing the field measurement information archives of the Taiwan urban heat island: Long term suggestion

The sponsor institution : Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

The co-sponsor institution : Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior

At present we have to establish the information archives systematically because that the materials character about outdoors thermal environment is limited enough in Taiwan, such as the radiance emissivity, transmissivity, the reflection rate, the leaf area index and so on, in order to put reasonable design into practice with the viewpoint of the Taiwan climate.

Suggestion 4

Increasing the model of the effects of improving Taiwan outdoors microclimate to test and verify: Long term suggestion

The sponsor institution : Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

As the results of executing strategy mitigating heat island effect before and after, we have to establish a reasonable pattern of improvements and effects to test and verify, and the pattern possibly is the reduction algorithm, the value simulation, or the field measurement to confirm the improvement effect, in order to be the basis of popularizing or controlling in the future.



第一章 緒論

第一節 研究背景與目的

我國綠建築政策在第一階段計畫為「綠建築推動方案」(2001-2007)，其成效提升了台灣在國際間推動永續建築政策的地位，使台灣成為全球第四個正式執行綠建築評估認證的國家、也是第一個對公有建築管制進行綠建築設計的國家、亦是第一個由政府執行舊有廳舍之綠建築改造的國家，還是第一個在建築法規訂定綠建築專章的國家(內政部，2008)。

因應全球暖化及都市熱島效應，並加速台灣將綠建築政策落實至社區及城市，內政部整合各部會進行第二階段的綠建築政策，即「生態城市綠建築推動方案」(2008-2011)，本方案的總目標為積極推動生態城市及綠建築，以達國土永續建設。



圖 1-1 城鎮應兼顧生態及熱島抑制特性，包含充份的綠化、高反射的鋪面、低蓄熱的屋頂與牆面、適當遮蔽空間等
(德國 Garmisch-Partenkirchen)

而在「生態城市綠建築推動方案」中，與城市熱島最為密切的部分，政府將辦理都會區或傳統街區之永續環境改造，以降低都市熱島效應(次目標二)。而其具體實施方針，則為「辦理競爭型之都會區都市熱島退燒策略計畫」(實施方針二)。也就是說，政府將補助工程經

費，透過地方政府間提案競爭，評選適合各地之執行策略，謀求有效的都市熱島退燒策略計畫。目前預計將補助兩案(都會區)，做為本方案之重點示範計畫，也做為未來台灣改善都市熱島問題之策略依據。期望將能藉由建立示範案例的方式，提升民眾對熱島問題及對策的體認，並強化公部門的政策研議及落實。

然而，大到巨觀的氣候、地型、都市規模，小至微觀的街廓座向、遮蔽物、植栽、鋪面、人工發散熱等，對於都市熱島均有不同程度且相當複雜的影響(圖 1-1)。因此，有必要對其生成的原因及發生的機制進行整體的瞭解，也方能進一步擬定適合台灣氣候及城市型態的熱島退燒方法。再則，未來當政府要理競爭型之都會區都市熱島退燒策略計畫，也需要一套完整的評估準則，對於提案單位的計畫能做可行性的評估以及效益的預測，以遴選最具熱島退燒潛力的案例，確實達到示範的效果。

當前全球暖化現象日漸嚴重且無庸置疑，都市熱島現象的抑制更顯重要。本研究即配合「辦理競爭型之都會區都市熱島退燒策略計畫」進行之研究，經由對過去都市熱島國內外相關實測結果的分析，來釐清都市熱島問題的成因，並研擬熱島退燒方法。最重要的，藉由對台灣都市熱島的瞭解，建立完整的評估準則及效益預測，不僅做為本推動方案競爭型計畫遴選時之依據，也做為未來台灣在新都市開發及舊街廓改造時之參考。

第二節 國內外研究概況

有關都市熱島之相關研究，一直以來是都市、氣象、地理、景觀、建築各個領域的重點研究課題，在地球暖化問題日益嚴重的狀況下，近來更受到各界的重視。在研究範圍上，主要可分為幾種不同的尺度，典型的都市熱島是以一個都市為範圍或跨越數個都市為範圍，從早期的 Luke Howard(Landsberg, 1981)、Oke (1974, 1979)都驗證了許多都市的核心及其郊區有顯著的溫差，亦即「熱島強度」。而後國外也有大量的研究從不同的尺度、採用不同的方法來探討都市熱島強度、時空分布、減緩對策、改善效益等。(Bozonnet, et al., 2005; Eliasson,

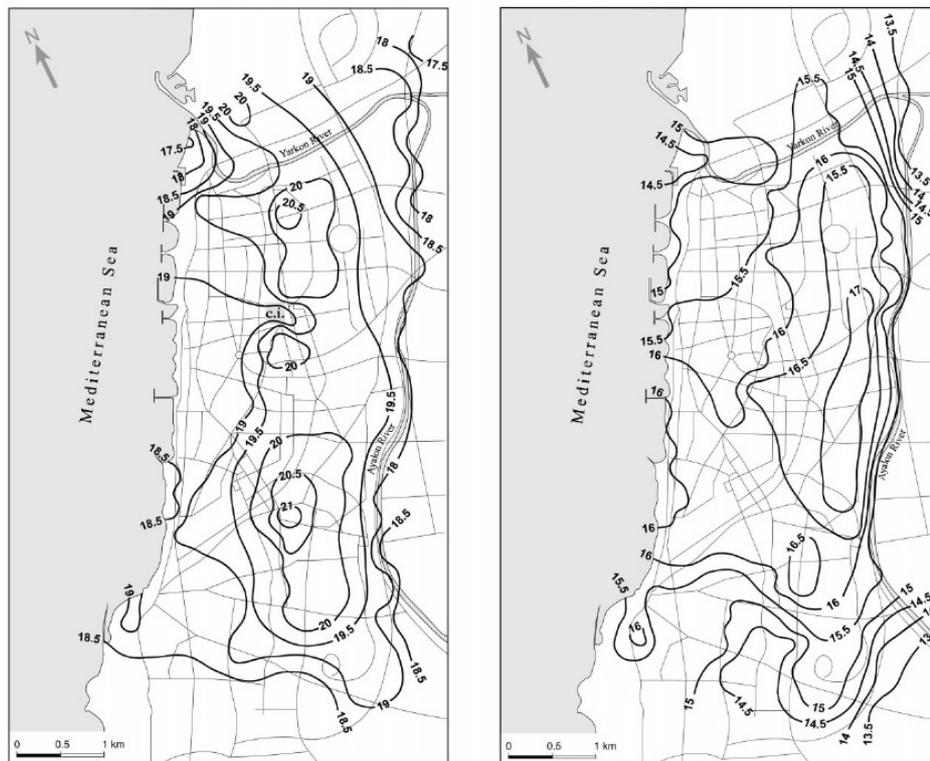


圖 1-3 以色列特拉維夫的熱島分布

(觀測時間左為 14:00 右為 21:00，資料來源:Saaroni, et al., 2000)

在國內相關研究中，成功大學林憲德教授自 1997 年起以移動觀測的方式進行一系列都市熱島之探討，並闡述其台灣都市熱島的特徵及影響(林憲德，2003)。最大的尺度為針對跨縣市區域型，以台南縣市共計十五個鄉鎮市為實測範圍(孫振義，2002)，其次為單一都市型，分別對台北市、台中市、台南市、高雄市為調查對象(李魁鵬，1999)，另外，有些研究不是典型都市熱島的研究尺度，但仍以都市微氣候為主題的研究。在街廓尺度的區域公園方面，如台南孔廟文化園區、台南市中山公園綠帶(郭柏巖，1999)、台中市「長福公園」、「豐富公園」以及「進化路」、「永春東路」街廓區域等(吳崇銘，2006)。而在更小尺度方面，則包含了戶外環境設計元素對微氣候的影響。例如鋪面的研究，有高速公路休息區地表鋪面(黃宇菘，2004)，公園地表鋪面(林子平等，2005)、學校廣場鋪面(林子平，黃瑞隆，2005)等進

行溫濕度之量測記錄與統計解析。而在遮蔽物方面，則有學校活動中心半戶外廣場(林子平，黃瑞隆，鄭明仁，2005；林子平，黃瑞隆，2004)、戶外公車亭(Lin et al., 2006)等。

另外，有關戶外的熱舒適性亦為研究都市熱島的重要議題，在全球暖化的效應下，都市熱島將會加劇造成都市居民的承受更大的熱壓力(heat stress)，歐洲於 2003 年約有 35,000 人死於熱浪，有許多都是發生在都市核心區域。而在台灣，雖然未曾有過如歐洲熱浪來襲時高達 40 度 C 的高溫，然而過高的溫度也確實造成人對熱舒適性感到不滿意，也直接地影響到戶外活動的參與頻率(林子平，林彥廷，2007)。在戶外熱舒適性的基準方面，國外也有多種不同的評估指標針對不同區域的人們界定舒適範圍(Ahmed, 2003; Cheng, Ng, 2006; Givoni, et al., 2003; Nikolopoulou, et al., 2001; Nikolopoulou, Lykoudis, 2006; Spagnolo, de Dear, 2003)。國內目前也已經建構屬於本土的戶外熱舒適範圍(Lin, Matzarakis, 2007; Hwang, Lin, 2007)，可供未來戶外熱舒適評估使用。

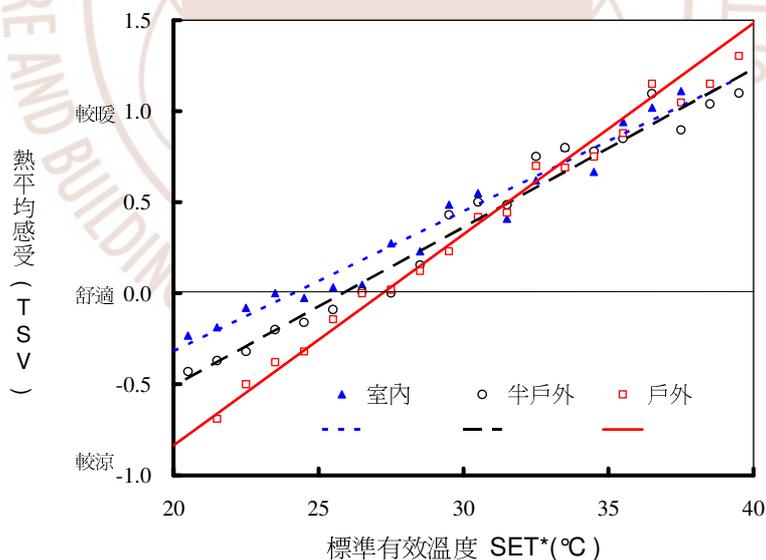


圖 1-4 室內、半戶外、戶外熱平均感受與 SET* 的相關性，顯示人們在戶外及半戶外空間有不同的熱感受
(修改自 Hwang and Lin, 2007)

第三節 研究範圍與內容

1. 彙整國內外都市熱島相關文獻

過去探討都市熱島的相關研究，其地理條件、氣候型態、規模尺度、量測方法等均有極大的差異，為了要探討熱島強度及溫度分布的特性，必需做有系統的歸納整理。由於台灣位處亞熱帶氣候區，因此位於熱帶/亞熱帶的案例尤顯重要。本計畫大致上預期將整理各案例的屬性欄位分類，並逐一闡述其意義。

2. 建立本土都市熱島退燒對策

在上述各研究案例的成果探討後，本研究將視圖歸納出與熱島分布上的特徵，以及各類土地使用及環境因子微氣候變化上的時空因素，主要將可得到兩類型的熱島退燒對策，包含：

(1) 巨觀的熱島退燒對策

以都市尺度的巨觀角度，得到如人口總量、地型地貌、綠覆率、使用強度(容積率或建蔽率)等對於熱島效應的相關性，其成果有助於改善整體都市的降溫。

(2) 微觀的街廓減熱對策

而另一則為街廓尺度的微觀角度，得到如街廓座向、遮蔽比例、植栽數量、街道高寬比、鋪面反照率、天空可視率對局部微氣候的改善效果。

上述的對策中，前者可應用於都市規劃、設計層次、後者則可應用於舊市區更新、街廓改善的部分。本計畫除了著重在本土實測資料之分析，更將針對台灣同類型氣候或類似的街區做更進一步的探討，來發掘出適合台灣本土的都市熱島退燒對策。

3. 研擬遴選熱島退燒示範案例準則

為配合政府辦理競爭型之都會區都市熱島退燒策略計畫，遴選出

具改善潛力的案件，由政府將補助工程經費進行，本計畫將以前述都市熱島及街廓微氣候的資料庫為基礎，研擬遴選熱島退燒示範案例之準則。

本研究藉由對台灣都市熱島的瞭解，建立完整的評估準則及效益預測，不僅做為本推動方案競爭型計畫遴選時之依據，也做為未來台灣在新都市開發及舊街廓改造時之參考。其精神如同過去推動綠廳舍、綠空調補助的計畫，將其效益呈現、推廣，也有助於民眾的體認，加速政府推動生態城市的政策。另外，整體計畫將朝向具體且可落實的方向進行，現階段先行納入最具體可行的項目。

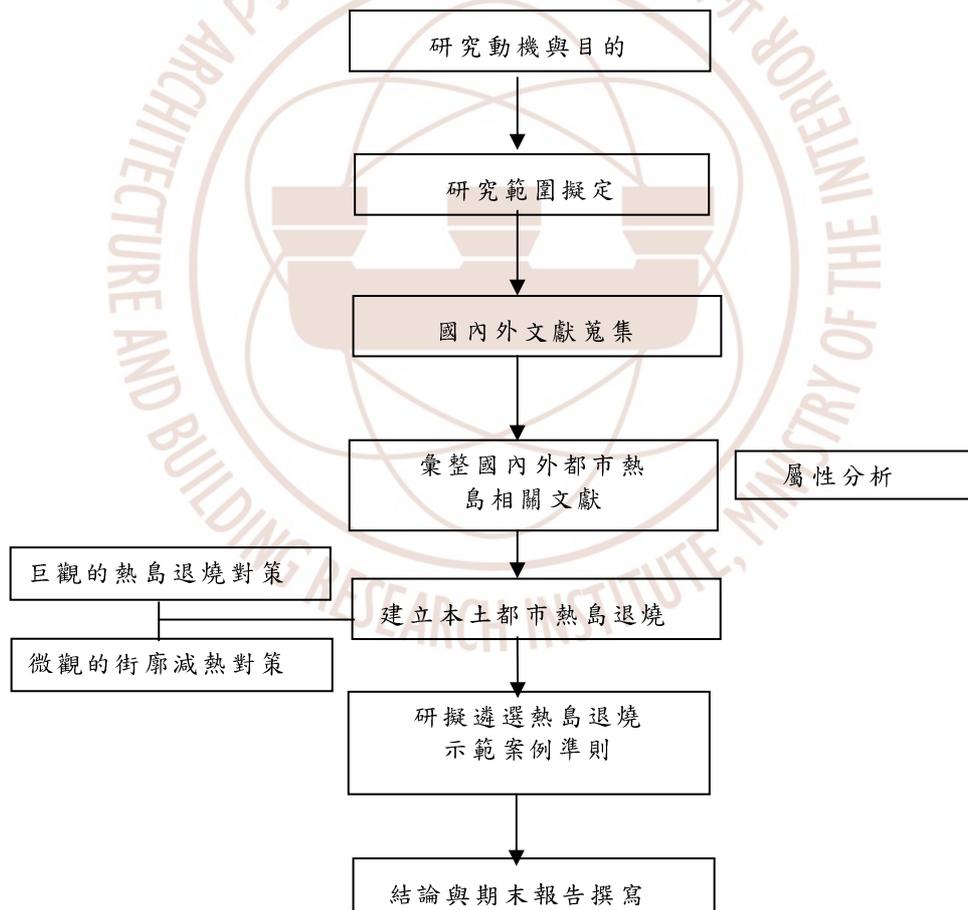


圖 1-5 本研究流程圖



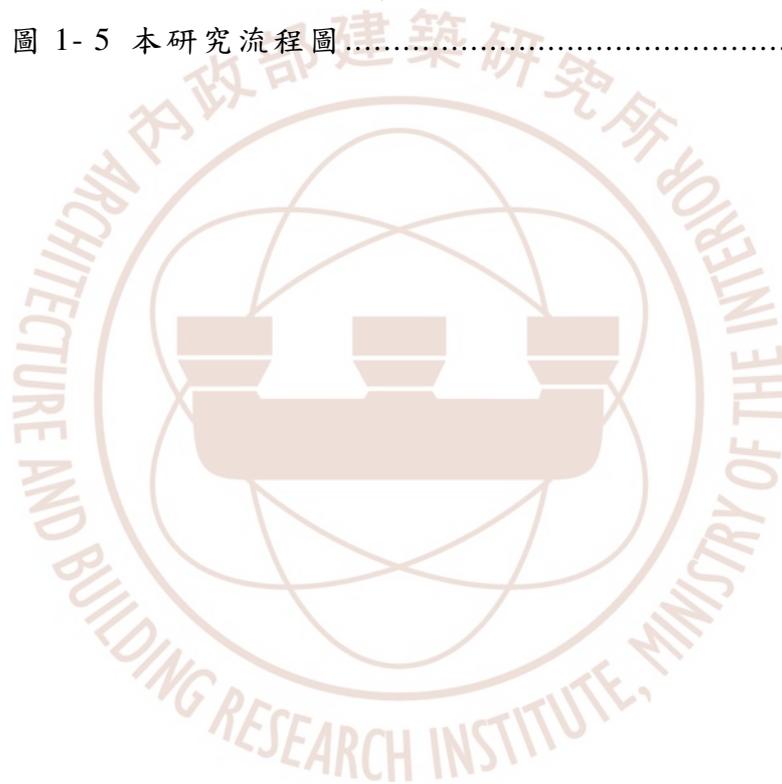
圖 1-1 城鎮應兼顧生態及熱島抑制特性，包含充份的綠化、
高反射的鋪面、低蓄熱的屋頂與牆面、適當遮蔽空間等
..... 1

圖 1-2 台北夏季午夜之都市熱島現象..... 3

圖 1-3 以色列特拉維夫的熱島分布 4

圖 1-4 室內、半戶外、戶外熱平均感受與 SET*的相關性，
顯示人們在戶外及半戶外空間有不同的熱感受..... 5

圖 1-5 本研究流程圖..... 7



第二章 都市熱島重要文獻彙整

第一節 文獻彙整原則

過去探討都市熱島的相關研究，其地理條件、氣候型態、規模尺度、量測方法等均有極大的差異，為了要探討熱島強度及溫度分布的特性，必需做有系統的歸納整理。由於台灣位處亞熱帶氣候區，因此位於熱帶/亞熱帶的案例尤顯重要。本計畫挑選出 21 篇熱島最具代表性文獻，其中國外文獻有 17 篇，國內有 4 篇文獻。本研究團隊以英譯精讀方式針對國外文獻逐一彙整，每篇文章以兩頁呈現精簡具體的成果。彙整的方式分為四個部分如下所述：

1.地點資料

陳述該研究之基本屬性資料。如都市名稱、居住人口、產業性質、經度緯度、海拔高度、周邊地貌等。在氣候分類上，依 Roth(2007)之建議，可以採用 Köppen 氣候分類系統(Köppen climate classification system)陳述。本研究採用最新修正的版本，該版本對於氣候變遷下的變化有進行最新的修正 (Kottek, et.al, 2006)。例如亞熱帶區域有熱帶潮濕氣候 Af，熱帶乾/濕氣候 Aw，熱帶季風氣候 Am，熱帶高地氣候 H，亞熱帶沙漠氣候 BWh，亞熱帶草原氣候 BSh，亞熱帶潮濕氣候 Cfa、Cfb、Cwa 等。

下頁圖 2-0 為 Köppen-Geiger 氣候分類系統圖，並加註本研究核心文獻的位置、國家、以及文獻編號。其中文獻編號(如 007，201 等)可對照每篇文獻標題後方的括號數字。

2. 環境因子

陳述該研究在環境設計上的特徵。土地使用分區、使用強度、地表覆蓋狀況等。針對部分以街廓尺度的案例，可詳細陳述其環境因子特徵。如街廓座向、遮蔽物、植栽、鋪面、人工發散熱等。部分可量化的指標，如天空可視率(SVF)、鋪面反照率(Albedo)、輻射率(emissivity)、建築高度與街道寬度比(H/W)亦一併羅列。

3. 實測資料

陳述該研究之實測年份、季節、月份、時間等。針對其氣象要素取得的方式說明，如氣象站、自行設立之固定量測站、移動觀察法、遙測等。另所使用之儀器、路徑規劃、模擬軟體也一併陳述。

而在評估指標方面也需於本部分陳述。對於大尺度的都市而言，主要的評價指標即為熱島強度，以空氣溫度表示之。針對街廓尺度的微氣候，則可包含溫濕度、輻射溫度、日射量、風速。若考量生物氣候學的角度，有關舒適性的熱感受指標亦可列入，如 PMV(predicted mean vote, 預測平均回答值)、PPD(predicted percentage of dissatisfied, 預測不滿意度)、OUT_SET*(standard effective temperature for outdoor environments, 戶外標準有效溫度)、PT (perceived temperature, 感知溫度)、PET (physiologically equivalent temperature, 生理等價溫度)、SET*(standard effective temperature, 標準有效溫度)、WBGT (wet-bulb globe temperature, 濕黑球溫度)等。

4. 主要結果

列出過程中最主要的發現，以及研究者所建議之改善對策，以及預期的效益。

第二節 熱島核心文獻概述

如上節所述，21 篇核心熱島文獻之地點資料、環境因子、實測資料、主要結果以每篇兩頁之型式逐一簡要說明如下。每篇文獻標題以中英文陳述，標題結尾括號內為文獻編號，如 002，207，501 所述。本研究編號的原則為 0 開頭代表國外都市型熱島文獻，2 開頭為國外街廓型或局部地點的熱島文獻，5 則為台灣本地的熱島文獻。



**(一)以色列特拉維夫都市熱島的空間分佈及微氣候尺度特徵/
Spatial distribution and microscale characteristics of the urban
heat island in Tel-Aviv, Israel (001) (Saaroni et al, 2000)**

1. 地點資料

本研究實測對象為以色列的特拉維夫。都市人口約 350,000 人，都市面積 50 平方公里，氣候型態為亞熱帶乾燥夏季(地中海型)氣候。在特殊地貌則有鄰海，海岸線約 14 公里。在產業性質方面有商業、文化，土地利用則在市中心為商業區。

2. 環境因子

在鋪面方面，市中心多為瀝青鋪面，郊外為綠地。建築物樓高一為 3-4 樓，部分辦公及旅館達 30 樓。而人工發散熱則有 57%來自於運輸，34%來自於建築。

3. 實測資料

該研究實測日期為 1995/2/27-28，季節為冬季，時間則分為 14:00, 21:00, 01:00, 03:00 三個時段。實測方法則包含了：遙測、地面定點量測、移動量測。空氣溫度利用車子以加遮罩的熱偶線在街道 2m 高量測，並在部分屋頂 2m 高量測。地表輻射溫度利用直升機在 2000m 高空用熱影像設備拍攝。並以空氣溫度、電波/輻射溫度做為評價指標。

4. 主要結果

表 2-1 為各個固定測點每日的最高溫、最低溫及差距，可發現每日最大溫差發生在機場，海岸邊的溫差較小

表 2-1 測點每日的最高溫、最低溫及差距

	T_{min}	T_{max}	$\Delta T=T_{(max-min)}$
Seashore (1)	12.3	17.1	4.8
City center (2)	11.0	17.9	6.9
City center (3)	11.3	18.0	6.7
Northern margins (4)	9.7	17.9	8.2
Northern margins (5)	9.9	18.3	8.4
Southern margins (6)	9.8	17.7	7.9
Bet Dagan	7.2	19.8	12.6
Ben Gurion airport	6.7	21.7	15.0
Sde Dov airport	9.6	18.0	8.4

城市地區熱島效應退燒策略研究

圖 2-1 為等溫線圖在(a) 14:00(b) 21:00(c) 01:00(d) 03:00 四個時間點的結果。顯示凌晨 01:00 的熱島強度最大，亦可發現沿海地帶的空氣溫度較市中心為低

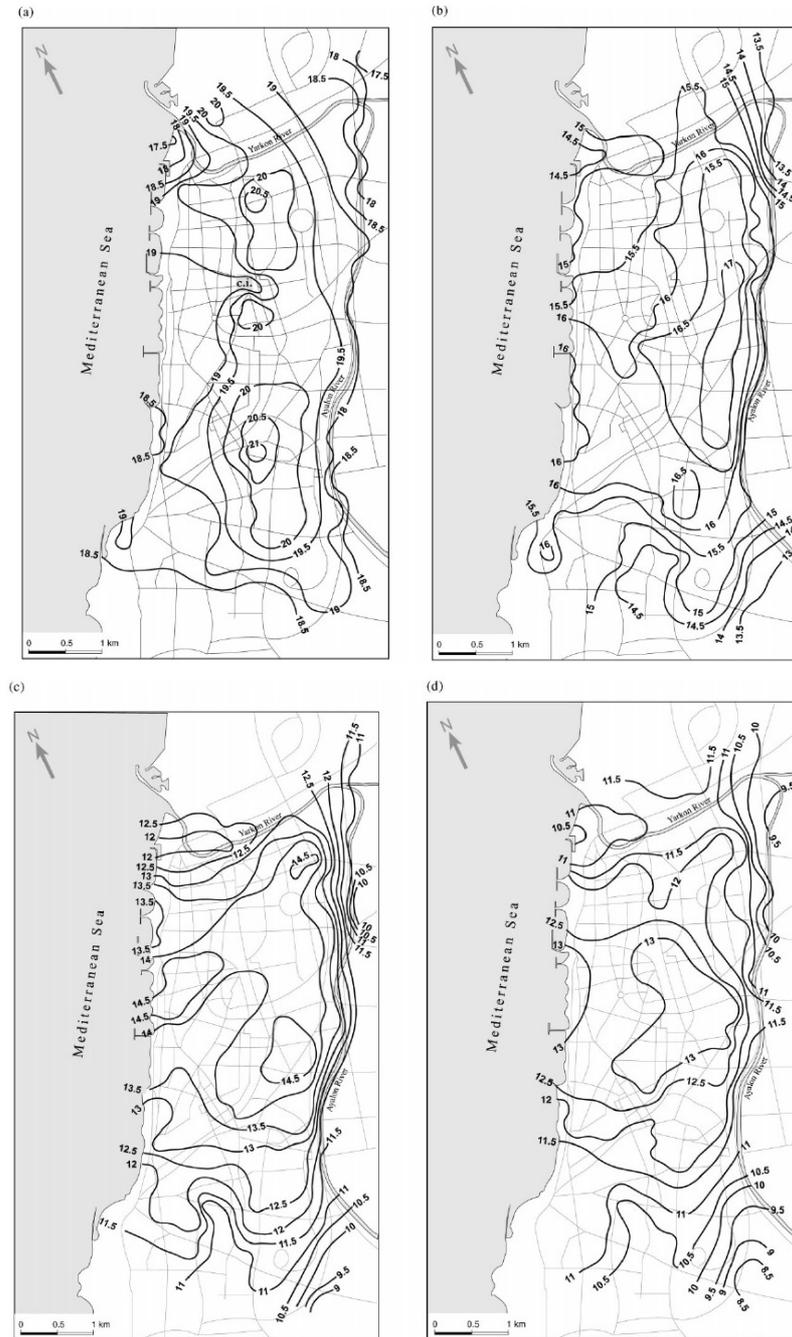


圖 2-1 特拉維夫熱島分布圖

(二)波多黎各聖胡安的都市熱島效應分析/ Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico (007) (Velazquez-Lozada et al, 2006)

1. 地點資料

本研究實測對象為波多黎各的聖胡安。都會人口約 2200,000 人，都會面積 308 平方公里，氣候型態為島嶼型氣候，主要受到大西洋東面信風的影響。在特殊地貌則有鄰海。

2. 環境因子

在鋪面方面，市中心多為硬鋪面，郊區為綠地。都市化過程中，原為潮濕土壤及闊葉樹、很多密集的植栽，已漸被混凝土硬鋪面取代。

3. 實測資料

該研究實測日期為1998/1/24-27，季節為冬季，時間則分為07:36, 10:36, 13:36, 16:36, 19:36, 22:36, 01:36, 04:36八個時段。研究方法則包含：實際測量、程式模擬。在實測細節中，於四個重要地點且在地面上2公尺處測量乾球溫度。而可感熱通量(QS)則在城鄉之間觀察到顯著差異時分析而來。在聖胡安市區，使用區域氣壓模型系統(RAMS)以從潛在自然植栽，並以乾球溫度、城鄉溫度差異、可感熱通量(surface sensible heat flux)、亂流動能(TKE)做為評價指標。

4. 主要結果

圖 2-2 左圖為現在方案使用植栽的情形。現在都市 LCLU(土地覆蓋與土地利用)，主要土地的構成是針葉樹以及混凝土。右圖則為 2050 年 LCLU 的假設，將有 134 平方公里的面積被混凝土覆蓋。

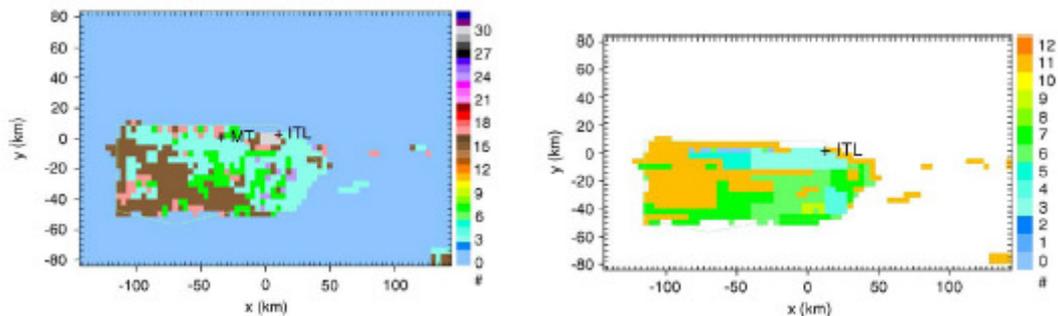


圖 2-2 LCLU 方案現況(左)與 2050 年的模擬(右)。

城市地區熱島效應退燒策略研究

圖 2-4 中左圖顯示在地面上兩公尺處，溫度增加及熱空氣泡影的擴展。中圖顯示，當都市 LCLU 從現況擴展到未來情況時，可看見聖胡安市區的 QS 在大小上相當程度的增加。從比較過去當地植栽情形和現況時，發現在夜間都市傳入了多 70Wm^{-2} 的可感熱通量，右圖顯示是在聖胡安大都會區 (SJMA) 的東西橫斷面中心，顯示出亂流動能。

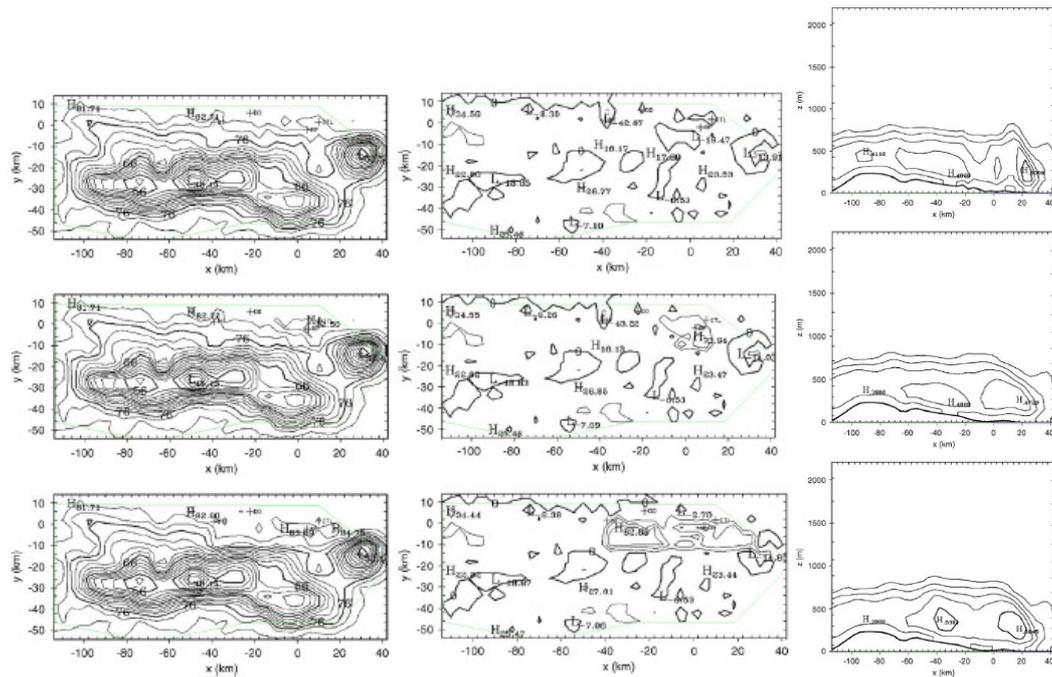


圖 2-3 1998/1/27 的氣溫變化(左)，可感熱流變化(中)，亂流動能變化(右)

(a)為過去的(b)為目前的(c)為未來的波多黎各土地。

5. 改善對策

本研究提出之改善對策如下

(1).都市規劃時，應該考慮到其他海島或熱帶城市的氣候情況也有相似的都市土地覆蓋及土地使用情形，減少都市化造成植栽減少及人工鋪面大量增加所帶來的影響。

(三) 在斯里蘭卡可倫坡的一項研究，都市陰影——一項在熱帶的設計選擇/ Urban shading – a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka (201) (Emmanuel et al, 2007)

1. 地點資料

本研究實測對象為斯里蘭卡的可倫坡。都市人口約 640,000 人，都市面積 37 平方公里，氣候型態受到由亞洲季風季節性風逆轉影響，為典型的熱、潮濕的熱帶氣候。

2. 環境因子

在溫濕度方面，全年高溫及高濕度，這形成了一個難受的熱環境，尤其在沒有海風的下午會更加難受。3 月及 5 月之間的相互季風期是最難受的，最小和最大氣溫大約是在 25 跟 32°C 之間，而平均相對濕度各自約為 85%。在太陽高度角方面，因靠近赤道，整年太陽高度角是非常高的。市中心多為沉重且密集的建築且少有綠化植栽。

3. 實測資料

該研究實測日期為 2006/5/3，季節為春末夏初，時間則分為 01:00, 03:00, 05:00, 07:00, 09:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00, 21:00, 23:00 十二個時段。研究方法主要為現場實測及軟體模擬都市街道高寬比、反照率及綠化量的氣溫及表溫。在研究細節中，選擇 ENVI-met(version 3)作為都市熱島效應緩和作用的數據分析模擬。並以氣溫、表溫、平均輻射溫度(MRT)、生理等價溫度(PET)做為評價指標。

4. 主要結果

表 2-2 顯示，除了基本方案之外，另有六項模擬方案：高反照率；增加綠化；中建築密度區增加陰影層(六層樓(18 m)高)；高密度區增加建築(十層樓(30 m)上)；在牆壁與屋頂增加反照率；高密度建築與在牆壁和屋頂增加反照率的聯合方案。

表 2-2 模擬方案的特徵

		FAR ^a	H/W	Albedo			U-value (W/m ² K)		Trees
				Road	Walls	Roofs	Walls	Roofs	
0	Base case	2.80	1.0	0.2	0.2	0.3	1.74	3.30	No
1	High albedo case	2.80	1.0	0.6	0.6	0.6	0.57	0.64	No
2	Green case	2.80	1.0	0.2	0.2	0.3	1.74	3.30	Yes
3	Medium density case	4.70	1.8	0.2	0.2	0.3	1.74	3.30	No
4	High density case	7.84	3.0	0.2	0.2	0.3	1.74	3.30	No
5	Wall/roof albedo case	2.80	1.0	0.2	0.6	0.6	0.57	0.64	No
6	Combined case	7.84	3.0	0.2	0.6	0.6	0.57	0.64	No

圖 2-2 模擬的結果顯示，高反照度的案例(屋頂、牆面、道路均大於 0.6)有最低的空氣溫度，高密度的案例(H/W 大於 3)則有最低的街表面溫度。

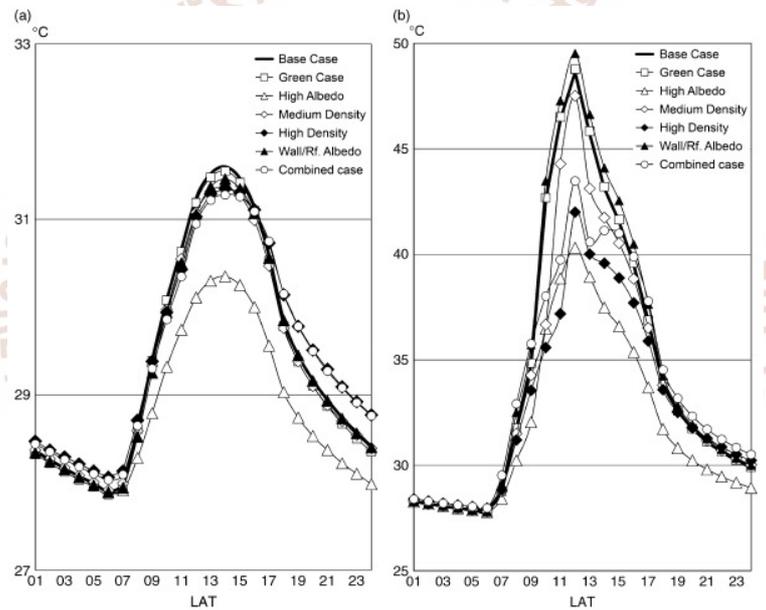


圖 2-4 南北向街谷中模擬的 (a) 氣溫和 (b) 街道表溫

因此，本研究建議應提高屋頂、牆面、道路的反照率，並增加街道高/寬比(H/W)。H/W 從約 1 到 3 的增加導致 PET 上減少約 10 °C。也改進室外熱舒適。所以，快速的都市成長的熱帶潮濕地區中，將朝向陰影面積增加的方向來設計。

(四)都市氣候及熱島：反照率、蒸氣量及人為熱影響/ Urban climates and heat islands: Albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat (202) (Taha , 1997)

1. 地點資料

本研究實測對象為美國的洛杉磯、麥迪遜、聖路易、哈特福德；澳大利亞的阿德萊德；加拿大的哈密爾頓、溫哥華；西德的慕尼黑；日本的東京；奈及利亞的伊巴丹、拉哥斯等六國 11 個都市。

2. 實測資料

該研究實測年份為 1993 年，季節為夏季。實測方法則包含：低空飛行測量及氣象模擬。在研究細節中，於低空飛行中(離地 200 公尺以下)利用短波輻射感應器做測量。另外，在一個溫暖氣候的中緯度地點使用 URBMET 程式來模擬典型的夏日。Mesoscale 程式 (CSUMM)，也用來模擬增加表面反射率和植被覆蓋於地方氣象學的大規模影響。並以表面反射率、植被蒸散量、流動和固定式來源的人為熱做為評價指標。

3. 主要結果

表 2-3 中，是在 1993 年夏天從低空飛行(離地 200 公尺以下)測量結果。從第三欄可區別出都市和郊區之間反射率的差異。典型地，都市反射率是在範圍 0.10 到 0.20，但在一些城市這些數值可能超出。模擬中發現許多都市化盆地的反射率在 0.12 和 0.16 之間，且城市中心反射率比它周圍的部分更高，這是由於後者有更加寬廣的植被。還有發現白色表面(反射率 0.72)在一個晴朗夏天中午將會比黑色表面(反射率 0.08)冷 45°C，且白色表面只比流通的空氣熱 5°C，而普通碎石(反射率 0.09)則比空氣熱 30°C。在典型中緯度溫暖氣候的夏日下午，將反射率由 0.25 變為 0.4 將可降低氣溫 4°C。

表 2-3 選擇的都市反射率數值。

Urban area	Albedo	Δ (urban-rural)	Author
Los Angeles (city core)	0.20	0.09	Taha ^a [14]
Madison, WI (urban)	0.15-0.18	0.02	Kung et al. [33]
St. Louis, MI (urban)	0.12-0.14		Dabberdt and Davis [34]
St. Louis, MI (center)	0.19-0.16	0.03	Vukovich ^b [35]
Hartford, CT (urban)	0.09-0.14		Brest [36]
Adelaide, AUS (commercial)	0.27 (mean)	0.09	Coppin et al. [37]
Hamilton, Ontario	0.12-0.13		Rouse and Bello [38]
Munich, West Germany	0.16 (mean)	-0.08	Mayer and Noack [39]
Vancouver, BC	0.13-0.15		Steyn and Oke [40]
Tokyo	0.10 (mean)	-0.02	Aida [41]
Ibadan, Nigeria	0.12 (mean)	0.03	Oguntoyinbo [42]
Lagos, Nigeria	0.45	0.25	Oguntoyinbo [43]

^a Measured from low altitude aircraft flights (< 200m above ground level) in summer 1993.

^b Limited shortwave sensitivity of sensors.

整體而言，研究模擬顯示，植被系統是接近地表氣候的有效影響因子。在溫暖和乾燥的中低緯度，植栽的蒸發量可能讓周圍的環境氣溫降低 2-8°C。都市表面的水容易流失，這也造成了都市的蒸發率低，而這就是都市溫度增高的一個主要因素。在東京，有植被的地區會比無植被地區冷 1.6°C；在蒙特利爾，有植被的地區將比無植被地區冷 2.5°C；果樹園會比光禿土壤冷 2°C；50 公分的草叢甚至會比光禿土壤冷 8°C。在洛杉磯盆地大規模的造林將會和使用高反射率的材料一樣有效地降低氣溫。

現場實測資料和氣象模擬指出，在表面反射率和植被覆蓋上的變化，在改變接近表面的氣候可能是有效的。然而，人為熱的影響相對地似乎較小。適當的增加都市反射率可以在氣溫上減少將近 2°C。若反射率的極端增加，區域氣溫上的降低可能在一些情況下達到 4°C。在市區裡增加植栽可能在氣溫上有一些減少將近 2°C 的情形。在一些情況下，例如土壤植被系統的潛在蒸發以及有利的氣象情況，區域氣溫上的降低可能達到 4°C。

(五)都市街谷高寬比及座向對炎熱乾燥氣候的室外熱舒適的量化研究 / Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate (203) (Ali-Toudert and Mayer, 2006)

1. 地點資料

本研究實測對象為阿爾及利亞的蓋爾達耶。都市人口約 62,000 人，氣候型態炎熱乾燥，有強烈的太陽輻射和高溫。夏天的月平均溫度約 39°C，相對濕度不超出 35%，地面附近風速約每秒 3 公尺。

2. 實測資料

該研究實測日期為 8/1，季節為夏季，時間則分為 07:00, 08:00, 09:00, 至 20:00 十四個時段。研究方法主要為實地測量、氣象模擬。在模擬細節中，選擇 ENVI-met 作為都市熱島效應緩和作用的分析模擬。並以生理當量溫度 (PET)、平均輻射溫度(MRT)做為評價指標。

3. 主要結果

表 2-4 說明了模擬地點是由二排長形建築群及一條 8 公尺寬的街道所組成，街道寬度不變，建築高度及長寬比可變。都市街谷以長寬比 $H/W=0.5, 1, 2,$ 和 4 來模擬，且用東西向和南北向街道來比較。另外，以東北—西南向街道和西北—東南向街道 ($H/W=2$) 測試。被談論的所有結果都是在街道的中央部分，且是在地面之上高度 1.2 公尺處量測，因這高度代表一個常人的舒適度。

表 2-4 本研究模擬條件

street geometry					
	H/W = 0.5 SVF = 0.87	H/W = 1 SVF = 0.71	H/W = 2 SVF = 0.54	H/W = 4 SVF = 0.37	
street orientation					
	E-W	N-S	NE-SW	NW-SE	

圖 2-5 左圖及中圖顯示街道層的日間熱量變化，且指出街道邊緣與中間的差異。利用 PET 值說明熱感受。在亞熱帶寬街道(H/W=0.5)的熱環境是高度難受(有些東西向街道更加難受)。且在東西座向的情況下，H/W 的效果是有限的。當 H/W=4 時，牆壁能提供唯一有限的陰影。比較南北向街道與較高的長寬比，H/W 相等或大於 2 時，能有更低的 PET 極大值和更短的炎熱期間來提供一個好的熱環境。右圖顯示，如果將冬天太陽納入考慮，東北-西南向及西北-東南座向似乎是好選擇，因為在夏天的戶外，他們幾乎像南北向的街道一樣有效率，這將能改善舒適情況。

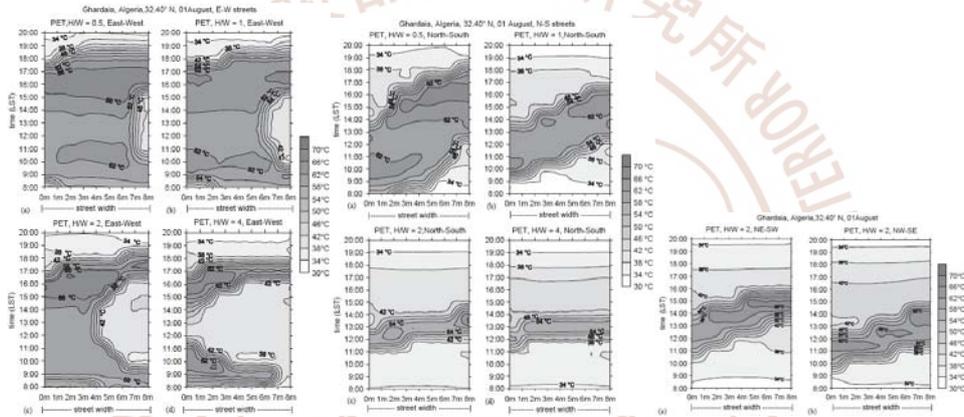


圖 2-5 因時間和空間差異造成溫度的變化。

(在地面上 1.2 米處 PET 值：H/W (a=0.5, b=1, c=2, d=4)。左圖為東西向，中圖為南北向。右圖為 NE-SW 向和 NW-SE 向(H/W=2)。

整體而言，所有案例的研究對照表示，在一天中發生極端熱壓力的時間點和時間長短，以及在街道層的 PET 空間分佈，與街道高寬比和座向相關性很大。在極端熱且乾燥的氣候地區非常難達到熱舒適，但是是有可能改善的。隨著高寬比的增加，氣溫會輕微地減少，但顯然平均輻射溫度對熱舒適更有決定性的影響（研究顯示在街道受照部分的 T_{mrt} 與 T_a 差異達 40K，在遮陰部分的差異大約 6-10K）。

因此，本研究建議在較寬的街道實施遮蔽策略，即樹廊或樹列。實施街道設計時，戶外熱舒適、室內陽光流入量和污染物消散作用都必須考慮，進而決定街道高寬比及座向、植栽覆蓋等。

(六) 在市區以冷表面和植栽樹蔭來減少能源使用及改進空氣品質 / Cool Surfaces And Shade Trees To Reduce Energy Use And Improve Air Quality In Urban Areas (204) (AKBARI et al, 2001)

1. 地點資料

本研究實測對象為美國的洛杉磯、亞特蘭大、芝加哥、達拉斯、沃斯堡、休士頓、邁阿密、新奧爾良、紐約、費城、菲尼斯、華盛頓特區、巴爾的摩等 13 個都會區。

2. 實測資料

該研究實測季節為夏季。研究方法則為氣象模擬。在研究細節中，使用 DOE-2 建築物能量模擬程序計算在建築物的能量利用和能量節約。另外，使用中尺度氣候 (CSUMM) 和光化學模型 (UAM)，來瞭解大規模增加的反照率和植被對都市氣候和空氣品質的衝擊。CSUMM 是靜力流體的原始等式，模擬的區域是大約 10 公里高至土壤層下大約 50 cm 深。UAM 是三維模型，用來模擬污染物的對流、擴散、變動、散發和沉澱。最後，分別針對加州洛杉磯（城鄉間、反照率變化的溫度及煙霧程度的差異）以及各城市間差異（屋頂、道路表面反照率、都市植栽對能源節約、溫度及煙幕集中的影響）來做模擬分析。

3. 主要結果

圖 2-6 左圖顯示，在洛杉磯 8 月 27 日下午 2 點，經由適當程度（平均增長量 7%）的增加都市反照率和植被覆蓋，預估氣溫將降低。右圖顯示，由於地方放射、氣象學、表面物產和地形的聯合作用，臭氧含量在一些區域增加而在其他區域減少。

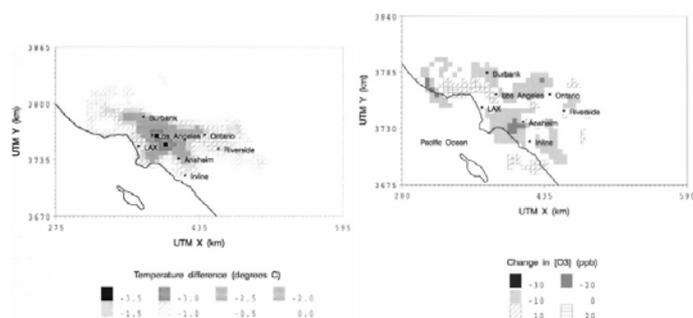


圖 2-6 左圖為都市叢林中，一個增加表面反照率案例與基本

案例的溫度差異。右圖為臭氧含量差異。

表 2-5 中，模擬增加樹的數量對各城市氣溫的衝擊。樹的數量在各欄位變化，從最低的幾百到高十幾倍至上萬。中尺度模擬表示，樹可能在下午 2 點使城市平均冷卻約 0.3-1°C；在一些模擬裡，溫度減少了 3°C。由於植栽導致四周冷卻，因此在住宅和商業大廈屋頂區域的空調儲金，從每年每 100m\$5 到\$10。

表 2-5各城市區種植額外植栽之溫度降低模擬

Location	Millions of additional trees in the simulation domain	Millions of additional trees in the metropolitan area	Max air temperature reduction in the hottest simulation cell (°C)
Atlanta	3.0	1.5	1.7
Chicago	12	5.0	1.4
Los Angeles	11	5.0	3.0
Fort Worth	5.6	2.8	1.6
Houston	5.7	2.7	1.4
Miami	3.3	1.3	1.0
New York City	20	4.0	2.0
Philadelphia	18	3.8	1.8
Phoenix	2.8	1.4	1.4
Washington, DC	11	3.0	1.9

整體而言，研究模擬顯示在都市熱島升高的夏季溫度，會增加冷卻能量使用和加速都市煙霧形成。除了在城市的核心區，夏天熱島主要因為缺乏植被及都市表面的高太陽輻射吸收比而形成。最近100年在幾個美國大城市的溫度分析趨向表示，從1940年開始，我們估計當前都市用電需求的5-10%是被用來冷卻建築物，因為都市溫度增加了0.5-3.0°C。如果適當地應用更高反照率的表面，可能以些許的費用來改善都市熱島作用，並改善空氣品質。而都市植栽可以由降低氣溫來減少建築空調消耗以及減少煙霧來改進都市空氣品質。另外，涼快的路面可經由降低四周溫度使空調用電需求減少以及減少產生煙霧。

因此，本研究建議在屋頂和道路定期維護期間，應選擇高反照率的表面材料來替換較深色的材料。並推動在建築物和道路方面使用高反照率材料及植栽的鼓勵方案，產品標記和標準。選擇適當的樹種和策略性地種植。建議在重新鋪設路面時，避免使用黑瀝青(反照率約0.05-0.12)，而使用與水泥混凝土相似，反照率大約0.35的材料。

(七) 在都市街谷裡，非對稱、廊道、突出立面和植被對熱舒適的作用 / Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons (205) (Ali-Toudert and Mayer,, 2007)

1. 地點資料

本研究實測對象為阿爾及利亞的蓋爾達耶。都市人口約 62,000 人，氣候型態為炎熱乾燥的氣候，有強烈的太陽輻射和高溫。

2. 環境因子

夏天月均溫 39°C，相對濕度不超出 35%，風速約每秒 3 公尺。

3. 實測資料

該研究實測季節為夏季，時間則分為 08:00, 09:00, 至 20:00 十三個時段。研究方法主要為實地測量、氣象模擬。在研究細節中，選擇 ENVI-met 作為都市熱島效應緩和作用的數據分析模擬。並以生理當量溫度 (PET)、高空間解析橫跨峽谷日時做為評價指標。

4. 主要結果

圖 2-7 顯示模擬地點是由二排長形建築群及一條 8 公尺寬的街道所組成，建築材料的熱含量不計在模擬中。研究的結果都是在街道中央部分，地面上高 1.2 公尺處，而這高度是代表計算一個常人的舒適度。表 2-13 左表說明了模擬的尺度及都市峽谷元素。右表顯示五個方案：H/W = 2 的街谷；開放天空可視角的不對稱街谷；有突出立面及廊道，且有最小天空可視角的不對稱街谷；H/W = 2 且包括側邊樹列的街谷；H/W = 1 且包括中央樹列的街谷。方案 I、II 和 III 以 E-W、N-S、NE-SW 和 NW-SE 四個不同座向設定，方案 IV 和 V 以 E-W 和 N-S 座向設定。

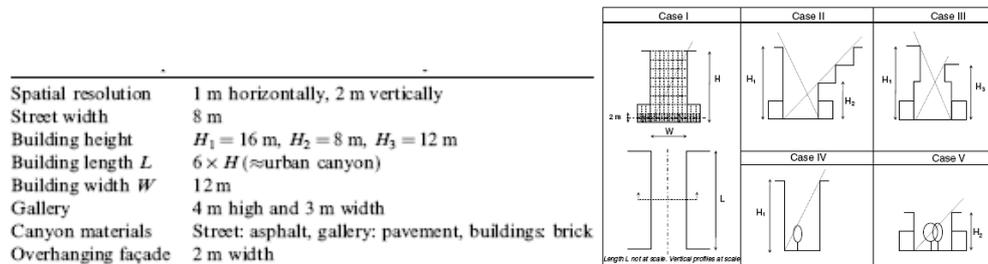


圖 2-7 模擬的都市峽谷幾何描述(左)及使用在 ENVI-met 模擬

的都市峽谷幾何形狀(右)。

圖 2-8 中，圖 a 顯示 E-W 向街道溫度最高，而 NE-SW 向街道又高於 NW-SE 向及 N-S 向街谷，且在下午 16:00 有最大的差異(約 1.5 K)，這是因為受照時間更長及太陽輻射。而相同座向但不同形狀街谷之間的差異是較小的。其中，不對稱的街谷在夜間於散發熱及空氣改善有較佳效果，且在冬天熱獲得較易。圖 b 顯示有廊道的街谷，熱環境基本上較好。但與規則峽谷(H/W=2)做比較，街谷在早晨更溫暖，這是由於更多表面受照。圖 c 顯示沿峽谷出現的植栽可觀地影響氣溫。有植栽的街谷裡氣溫(37.3°C)比無植栽的街谷(38.8°C)更低 1.5 K。植栽密度差異所造成的溫度差異較小，最大為 0.8K。

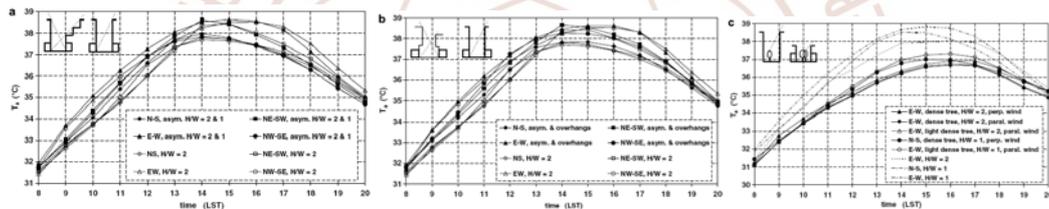


圖 2-8 (a)不對稱的街谷、(b)突出立面和(c)有樹的街谷，與 H/W=2、1 對稱都市峽谷的平均氣溫 Ta 比較。

整體而言，研究結果顯示越大天空開放性的街谷，會造成更高的熱應力。峽谷熱情況隨著一個較小的天空視野而改善，但也由街道座向決定；東西向峽谷是最炎熱且無法在這個座向改善熱情況。基本上，廊道和進一步通過突出立面的陰影或植栽能使熱難受的時間和區域顯著的減少，但這效果會隨著峽谷的座向和垂直比例而變化。因此，如果適當地結合非對稱、廊道、立面突出物和植被，與一個適當 H/W 和座向的街道，將可以有效地改善街道層的微氣候、促進熱舒適，且在冬天為街谷的上部保留某一程度的室內太陽通入。

陰影是緩和夏天戶外熱應力的關鍵策略，模擬顯示植栽的冷卻作用主要在樹冠正下方。因此，本研究建議在更寬的街道設置改善措施，例如設置廊道，並且在街道區增加適當密度(LAI)及範圍的植栽。

(八) 一項摩洛哥菲斯的研究：在乾熱氣候中，都市幾何對室外熱舒適的影響 / Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco (206) (Johansson, 2006)

1. 地點資料

本研究實測對象為摩洛哥的菲斯。氣候型態在夏天熱且乾燥，而在冬天是寒冷的。晝夜溫度差異大。降雨量最大值在冬天期間，而在夏天幾乎是完全乾燥。全年白天日照時數約在 6 小時到 11 小時之間。

2. 環境因子

菲斯市的都市面貌包括舊市區及新市區。舊市區是極端緊密的，街道穿過城市是狹窄且深的峽谷。在新市區中，建築物面向朝外，且街道被設計成車輛使用且附有鋪設人行道的寬路面。

3. 實測資料

該研究實測日期分為：持續測量(2000/02–2001/08)。研究方法為實地測量。在研究細節中，在地點 A 長期連續測量，在地點 1-5 及地點 A 瞬間測量。主要為空氣、表面溫度、相對濕度和風速的測量。最後以生理當量溫度 (PET) 及 MRT 為評估指標。

4. 主要結果

圖 2-9 顯示地點 2-4 是最密集的住宅區，地點 1 和 5 在商業區。舊市區地點 A 的 H/W 比率為 9.7(深峽谷)。新市區地點 A 的 H/W 比率為 0.6(淺峽谷)。地點 5 為方形廣場。

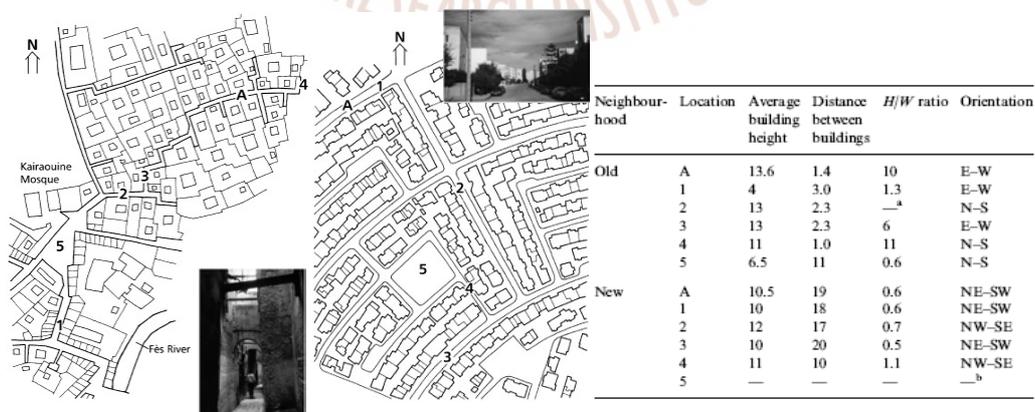


圖 2-9 新舊市區的研究地點分布。

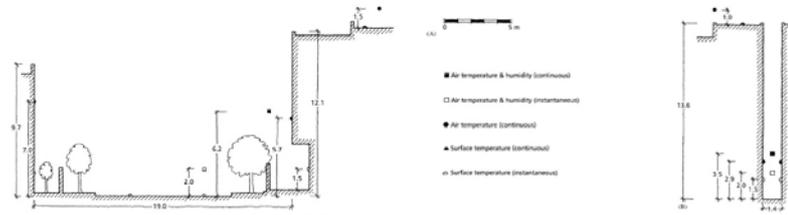


圖 2-10 街道內和屋頂上的測量儀器分布點。

圖 2-11 中，PET 指標的熱舒適評估表示，夏天的深谷是相當舒適的（除了在正午受到太陽輻射影響），但淺谷卻是非常難受的，而人們似乎在戶外能接受比室內更加極端的溫度。基本上，深谷有著低且穩定的表面溫度。淺谷在表面溫度有較大的差異。另外，在夏天期間，深谷的 MRT 非常穩定，平均每日 MRT 變化在 25 和 28°C 之間。淺谷的 MRT 差異大，平均每日 MRT 變化在 16 到 63°C 之間。

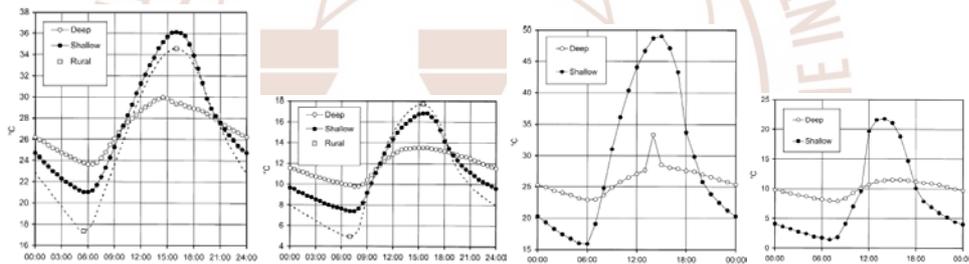


圖 2-11 左二圖顯示夏天冬天期間深谷、淺谷及郊區的平均氣溫。右二圖顯示夏天冬天期間的 PET 值變化。

整體而言，一個緊密建築物都市形式會有幾個結果：正面作用包括改善微氣候狀況，更加舒適的室內氣候和冷卻，更加高效率的土地利用和減少所需的昂貴基礎設施。可能的負面作用包括在冬天較少太陽通入，減少緊急車和私人汽車的可及性和過度擁擠。

因此，本研究建議在熱且乾燥的氣候裡，規劃深街谷的緊密都市設計。若考慮有寒冷的冬天，都市應規畫更寬的街道或開放空間，以提供太陽的通入。另外，在開放空間中，可規畫植栽陰影、突出立面、廊道或任何其它類型的陰影裝置在夏天提供陰影。為了維持低表面溫度，應該使用淺色的鋪面和立面材料。

(九) 在巴西庫里奇巴的初階研究：七個監測站室外測量和溫度的比較/Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil (207) (Krüger and Givoni, 2007)

1. 地點資料

本研究實測對象為巴西的庫里奇巴。都市人口約 2,000,000 人，都市面積 431 平方公里，氣候型態為亞熱帶潮濕氣候。夏天平均溫度在 17 到 20°C 之間，冬天在 12 和 14°C 之間。海拔高度約 900 餘公尺。

2. 環境因子

交通方面，有高效率的公車系統，為巴西空氣品質最好的城市。綠化方面，有 17 座國際水準公園，市民享有世界第二高的綠地比例。

3. 實測資料

該研究實測日期為 2002/06/20-2002/07/18，季節為冬季。研究方法主要為溫度監測、定性分析、定量分析(多元線性回歸分析)。在研究細節中，首先設置 HOBO 型的溫濕資料記錄器約在地面上 10 公尺的高度溫度監測。定性分析各地點之間的地方溫度和土地利用特徵關係。定量分析方面，對照地方溫度和土地利用模式之間關係。

以空照圖作為 Arc-View GIS 的地理資訊。使用 CAD 繪出空照圖中區域，來定量七個測點中五個不同參量，以估計土地利用模式：water area (河、湖和水池)、built area、free area (草、土壤和庭院)、paved area 和 green area (森林和樹)。最後多元回歸分析，以溫度做為評估指標。

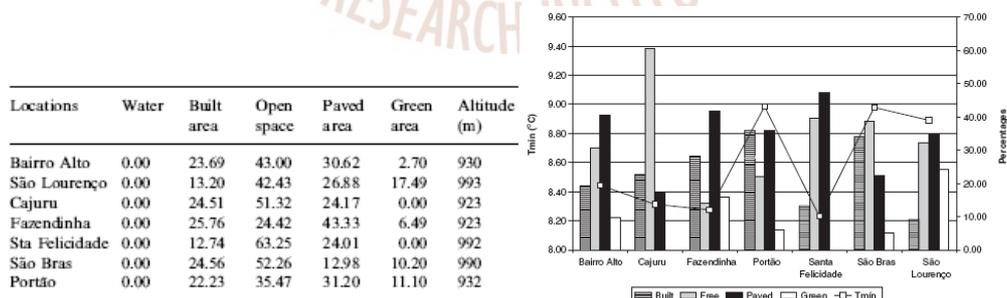


圖 2-12 五個類別土地使用百分比，以及各測點的平均極小溫度與土地使用模式對照。

4. 主要結果

圖 2-12 顯示由於地方溫度及土地使用模式之間的關聯(線性回歸)不是很大，所以使用多元回歸分析，而結果顯示更強的關聯作用。

圖 2-13 左圖顯示所有地點的每日最大溫度和在氣象站測量的每日最大溫度。除了 Cajuru 外，可以看見所有地點的最大值都在氣象站數值之上。所觀察到的最高溫度一般主要反應在溫度、太陽輻射和風速上的每日變化。各地點之間有重大差異，推測是反應土地使用特徵差異。

右圖顯示所有地點的平均極小溫度幾乎是相同的。似乎有一個小作用造成在平均極小值上非常小區別，而這唯一的因素就是 built area (Built)的百分比。地點平均極小值中非常小的關聯作用是由於所有平均都非常相似：最高的極小值是 8.99°C 且最低是 8.23°C。在這例子，甚至計算與測量資料間非常小的誤差也會大大地減少相關係數。

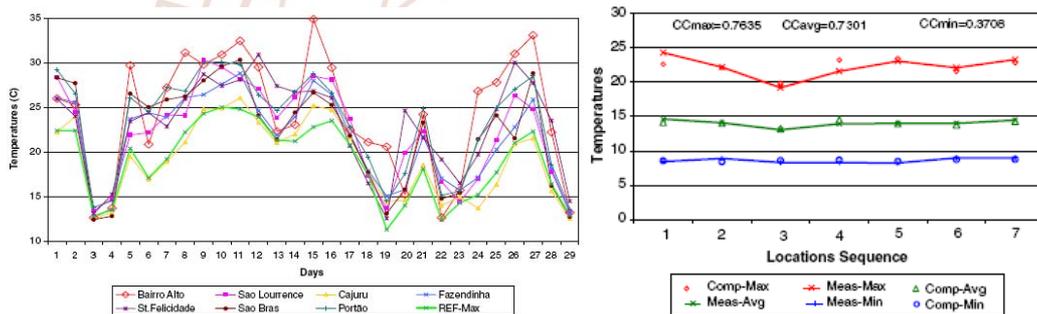


圖 2-13 左圖為所有地點的每日最高溫度。右圖為所有地點測量和計算的平均最大、平均和極小溫度。

整體而言，研究顯示，測量與估計的溫度之間有非常強的關聯性。(1)發現室外溫度最大值與受總太陽輻射和風速影響的氣象站最大值有所關聯；(2)每日平均值和氣象站平均值的關聯，受到每日總太陽輻射影響；(3)每日極小值受太陽輻射和風的影響是微不足道的。

因此，本研究建議在規劃土地使用分區時，應考慮都市氣候中的許多參數，如區域溫度、輻射、風速及風向，還有對天空可視係數的評估，實施定量多元迴歸分析。

(十) 一個綠化在熱帶校園裡衝擊的環境研究 / Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics (210) (Wong et al, 2007)

1. 地點資料

本研究實測對象為新加坡的新加坡國立大學。校園使用者約 38,000 人，校園面積約 1.5 平方公里，氣候型態溫暖潮濕，年平均溫度在攝氏 23 和 31 度之間，溫差小。

2. 環境因子

新加坡大學(NUS)綜合措施可以被當作一個小規模的"城市"。綠葉沿肯特里奇路似乎就像是一個"鄉村"地區，有一個更加涼快的周遭溫度。大約 40%的校園面積的構造物主要是混凝土平臺的屋頂。

3. 實測資料

該研究實測日期為2005/9/10-24，時間則分為00:00, 01:00, 02:00, 03:00, 04:00, 05:00, 06:00, 07:00, 08:00, 09:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, 19:00, 20:00, 21:00, 22:00, 23:00二十四個時段。研究方法主要為衛星影像和衛星熱量影像、實地測量、電腦模擬。在研究細節中，主要分為1.衛星影像和衛星熱量影像；2.實地測量（HOBO溫濕度傳感器）；3.電腦模擬：A.以ENVI-Met模擬三個方案:當前情況、將密集綠化替代為建築物、去除所有綠化和將現有情況增加更加密集的植栽。B.以TAS模擬工學大樓(EA)，用二個模擬情況來比較冷卻的能源消耗：不同地點中四周溫度條件差異所造成的冷卻負荷；不同屋頂綠化應用類型的冷卻負荷。每個模擬有二個方案：沒有內部負荷和有內部負荷。

4. 主要結果

圖 2-14 顯示，在 ENVI-Met 模擬中，首先可以證實在 NUS 環境裡為了保持低的周遭溫度，密集綠化的出現是非常重要的，因為它將讓 NUS 環境溫度降低。另外，在周圍環境綠葉的冷卻作用受到建築物密度影響。較高的建築物密度，將會顯示較少的冷卻作用。當熱在白天被貯存到建築物時，在夜間熱會釋放到周遭環境中。建築物的大量集中和稀少的植栽讓白天累積的熱量是難以在夜間消散的。

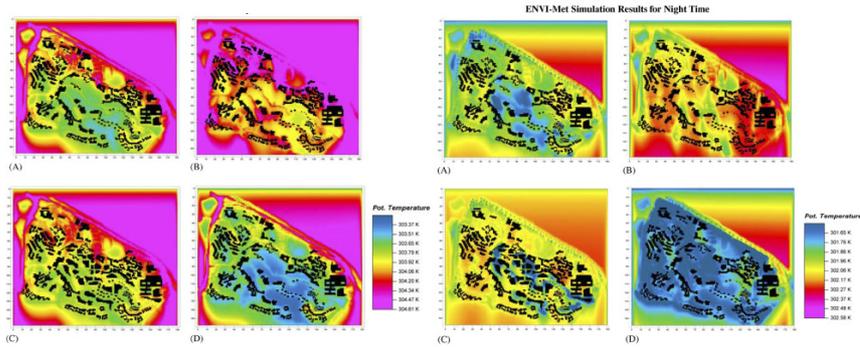


圖 2-14 模擬白天及夜間的周遭溫度:(A)現況；(B)沒有綠葉；(C)將森林替換為建築物；(D)引進更加密集的綠葉。

圖 2-15 顯示，在 TAS 模擬表示，七樓區域的冷卻負荷經由實施鋪蓋草皮有 14.64% 的潛在減少，經由種植矮灌木有 29.96%，而經由種植喬木有 31.73%。整體範圍冷卻負荷經由實施鋪蓋草皮有 3.29% 的能源節約，經由種植矮灌木有 6.73%，而經由種植喬木有 7.16%。這些表示經由種植樹木和密集的屋頂系統，是高度節約能源的。由於應用矮灌木和喬木之間節約能源相差不多，因此在屋頂應用灌木是更加合理的，因為應用喬木也許會有建築物結構上負荷額外重量的問題。

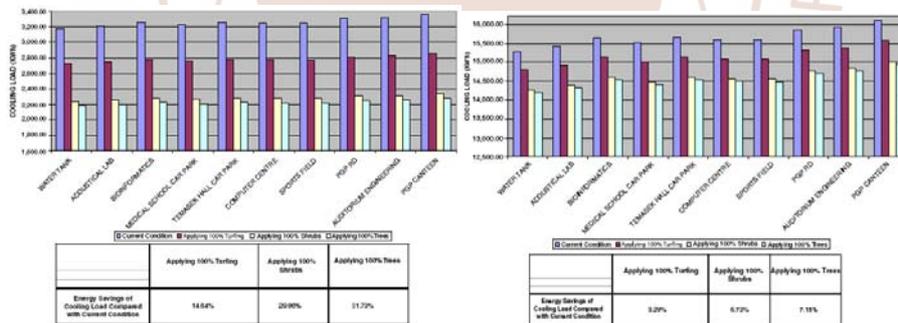


圖 2-15 左圖為在七樓的 10 個不同點中與其他屋頂應用的冷卻負荷比較—包括內部熱負荷。右圖為整樓的 10 個不同點。

整體而言，熱島強度最大約 4 度左右，熱島尖峰時間約 13:00 時。植被種植是其中一個來緩和都市熱島作用的主要策略。大都會公園可能對周遭被建造的環境提供正面的影響。研究顯示，建築物臨近或被綠化圍繞有著比遠離綠綠更低的周遭溫度，這表示綠化能有效降低周遭溫度。TAS 模擬也顯示，屋頂花園有節約 NUS 建築物冷卻能源的潛力。這項研究顯示了綠化區域在維持 NUS 微氣候舒適的重要性。

(十一)香港夜間都市住宅熱島研究/Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong(002) (Giridharan et al, 2005)

1. 地點資料

本研究實測對象為香港。都市人口約 6,930,000 人，都市面積 1104 平方公里，氣候型態為亞熱帶季風氣候。在特殊地貌則為島嶼，海岸線約 870 公里。在產業性質方面有商業、文化，市中心為商業區。

2. 環境因子

觀測區域多為硬鋪面，綠地比例少。建築物為高層建築，密度高。

3. 實測資料

該研究實測日期為 2002/8/13,23,24,27-29 與 9/2,4,5，季節為夏季，時間則分為 18:00 到 20:00 二個時段。實測方法則包含：地面定點量測、移動量測。在實測細節中，挑選出三個地區，定點量測方式為在開發度、熱環境與植物覆蓋狀況接近的兩地點設置觀測箱。另外，每一區以移動測量方式，使用風速計進行 6~12 點的測量。同時固定點也列入移動觀測點中。移動觀測點是在 2m 高的位置測量。

4. 主要結果

圖 2-16 為 Belchers、Wah Fu-1 與 Wah Fu-2 地理位置與環境現況，表 2-6 顯示最大的夜間都市熱島效應為 1.38 度，在區與區之間為 0.48 度。表 2-7 顯示研究變數，如地表反射率，街道高寬比，樓地板面積比，天空可視度 (SVF) 和海拔高度，可解釋夜間都市熱島效應約八成 (r^2 值)。在夜晚的高溫區特別顯著於 Wah Fu-1 和 Wah Fu-2 地區。

Description	Belchers	Wah Fu-1	Wah Fu-2
Location			
Layout plan			
Measurement date	13, 23 and 24 August 2002	2, 4 and 5 September 2002	27 28 and 29 August 2002
Temperature range (°C)	28.3-30.5	28.3 and 30.8	29.1 and 30.8
Humidity range (%)	69-83	56-76	68-89
Wind velocity range (m/s)	0.25-4.25	0.0-1.05	0.02-2.0
Character of thermal property, vegetation cover and canyon geometry			

圖 2-16 案例位置與現況。

表 2-6 不同地點夜間熱島強度

Description	Belchers	Wah Fu-1	Wah Fu-2
Mean UHI between 18:00 and 20:00 h in °C	0.09	0.5	0.25
Land area (m ²)	30125	58415.4	71396.6
Population	6639	15575	16119
Net density (person/ha)	2203	2666	2257
Location quotient	0.619	1.5	1.325

表 2-7 研究變數對夜間都市熱島效應解釋達約八成

Description	Coefficients		
	Stage 2-Belchers (eight variables)	Stage 1-combined sites (four variables)	Stage 2-combined sites (10 variables)
Constant	3.750 (-5.419) (0.246)	0.288 (1.467) (0.214)	2.907 (-7.109) (0.007)
SA	-2.344 (-9.02) (0.071)	-0.855 (-5.389) (0.024)	-1.399 (-8.335) (0.038)
SVF	0.875 (3.85) (0.235)	0.334 (1.770) (0.178)	0.297 (2.478) (0.245)
HA	-0.190 (0.20) (0.391)	6.1×10^{-3} (-5.771×10^{-3}) (0.035)	-8.7×10^{-3} (-1.7×10^{-2}) (0.171)
ALT	-1.7×10^{-2} (-7.2×10^{-2}) (0.687)	-2.6×10^{-3} (-2.094×10^{-3}) (0.265)	1.0×10^{-2} (-5.3×10^{-2}) (0.122)
GS	-4.161 (23.92) (0.365)	-	-2.259 (-7.913) (0.232)
GG	0.147 (-1.28) (0.660)	-	0.155 (0.466) (0.506)
PHS	-133.246 (865.535) (0.369)	-	-4.354 (-69.4) (0.723)
WV	2.144×10^{-3} (-0.343) (0.810)	-	-5.6×10^{-2} (-0.325) (0.251)
BA	-	-	-3.206 (-3.486) (0.020)
SRD	-	-	-1.175 (11.346) (0.620)
R ²	0.917 (0.831)	0.805 (0.457)	0.888 (0.681)
F-statistic	1.8	21.7	11.84

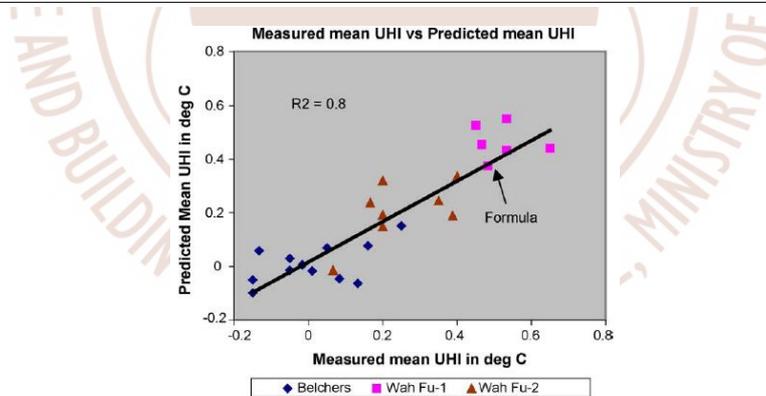


圖 2-17 所有案例夜間平均城市熱島強度預測值與實測值。

圖 2-17 顯示地理差異主要為濱海區住宅；季節差異主要為夏季。因此，本研究建議設計最大反射率的水平遮陽，於建築物外殼上，並且加強夜間通風來減輕白天熱島作用。

(十二)斯里蘭卡可倫坡都會區熱舒適性研究/Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city:the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka(003) (Emmanuel, 2005)

1. 地點資料

本研究實測對象為斯里蘭卡可倫坡。都市人口約 642,163 人，都市面積 37.31 平方公里，特殊地貌則為鄰海。在產業性質方面有商業、文化，土地利用則在市中心為商業區。

2. 環境因子

市中心多為硬鋪面，城市外圍為綠地。都市化過程中，都市軟鋪面已漸被硬鋪面取代，尤其以郊區增長速度最快。

3. 實測資料

該研究實測日期為 1956,1972,1994 與 1999，時間則分為 14:00, 21:00, 01:00, 03:00 四個時段。實測方法則包含了二個部分：衛星遙測法、地面定點量測、移動量測。在實測細節中，分別在市中心(CMR)、郊區與農村設置三個觀測點，分析三個觀測點歷年氣象資料與綠覆率之間變化關係。將土地覆蓋區分為硬覆蓋區（建築、不透水面如道路、鋪面與停車場）與軟覆蓋區（樹、草地、水體與裸露地）兩種。研究環繞在三個測候站周圍將近半徑 0.5 公里的範圍，以連續 45 年不間斷的土地使用空照圖分析。生物氣候量化是採用 THI（溫濕度指數）與 RSI（相對應變指數）進行分析。氣候的趨勢與生物氣候資料經過分析後，建立起簡單的線性迴歸方程式，統計「土地覆蓋的改變」與「生物氣候趨勢」的相關性，來決定不同土地覆蓋改變之相對影響。

4. 主要結果

表 2-8 為三個觀測點歷年的綠覆率變化，而圖 2-18 顯示出可倫坡因城市發展而使硬鋪面逐年增加，導致氣溫的上升。

表 2-8 可倫坡都會區三個觀測站的綠覆率值。

	Colombo				Katunayake				Ratmalana			
	1956	1972	1994	1999	1956	1972	1994	1999	1956	1973	1981	1999
"Hard"	7.2	14.4	22.2	25.0	9.5	36.6	59.9	60.2	7.4	22.0	32.7	50.8
"Soft"	92.8	85.6	77.8	75.0	90.5	63.4	40.1	39.8	92.6	78.0	67.3	49.2

城市地區熱島效應退燒策略研究

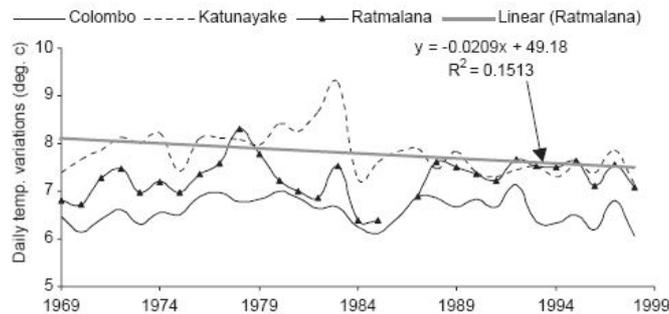


圖 2-18 可倫坡都會區晝夜溫度變化圖。

圖 2-19 顯示，生物氣候與土地覆蓋率之間的關係，可由溫濕度指數(THI)與對應變指數(RSI)歷年變化，與土地覆蓋率變化之間做比較來得知。郊區因為城市擴張而使其硬鋪面成長率高過市中心與農村，導致郊區的熱島效應是高過其他兩處觀測站。

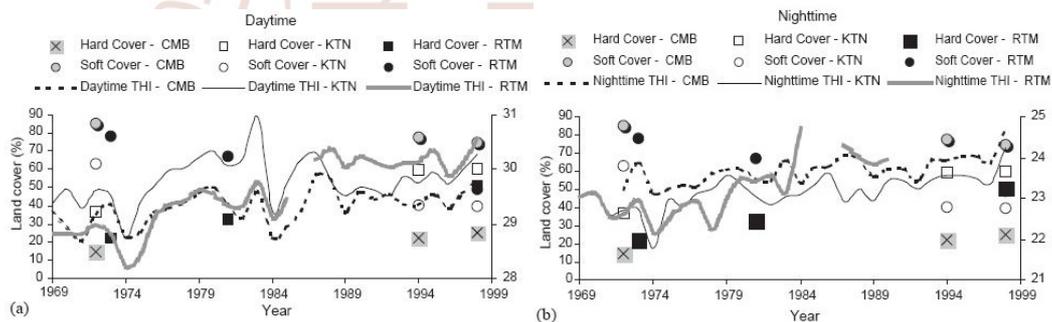


圖 2-19 可倫坡都會區地表綠覆率對溫濕度指數影響關係。

此研究可以提供熱濕氣候中的都市，在都市擴張時，氣候轉變的例子，將可提前加強相關法規的研擬，必免熱島效應的產生。

因此，本研究建議提高城市都會區散熱性能（提升綠帶面積）；集中城市資源改善郊區來減少熱島作用；在城市中收集水資源（雨水和廢水）；制定都市設計策略，減輕都市化後氣候在該地區負面影響。

(十三)瑞士巴塞爾城市因子模擬熱島研究/Sensitivity study of the urban heat island intensity to urban characteristics(004) (Hamdi and Schayes, 2007)

1. 地點資料

本研究實測對象為瑞士巴塞爾。都市人口約 400,000 人，都市面積 130 平方公里。在產業性質方面有工、商業，市中心為商業區。

2. 環境因子

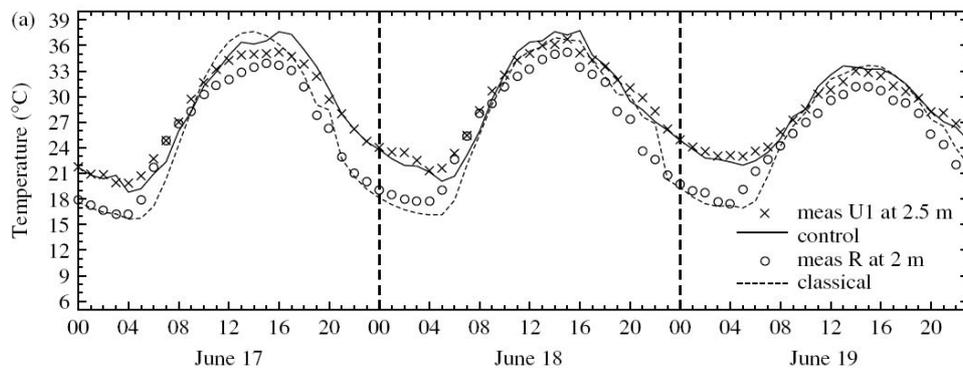
市中心多為硬鋪面，郊外為綠地。人口密集，建築主要是三至四層住宅，商業和輕型工業建築類型與周邊低綠覆率。街道高寬比設定寬 34m 的街道(H/W=0.43)與寬度 9.7m 的街道(H/W=1.5)兩種類型。

3. 實測資料

該研究實測日期為 2002/6/17-19，季節為夏季，實測方法則是地面定點量測。在實測細節中，於瑞士巴塞爾市中心地區設置微氣象塔，測量高度高於建築 2 倍，設有風速儀、溫濕度計和全輻射測量儀。郊外測量站設置在城市北 4 公里萊茵河上游平原，無灌溉農作物田裡。利用 TVM 模擬計算不同因子數值變化對都市熱島強度的影響。在模擬熱擴散、熱容量、發射率與反射率時，是將都市表面(街道、牆與屋頂)合併計算。

4. 主要結果

圖 2-20 表示觀測時間 2002/06/17-19 的溫度變化圖，該城市熱島作用定義為 ΔT_{U1-R} ，在這三天中，平均分配模擬與測量時間，熱島強度最高時出現在 23:00 時，達到 5°C。



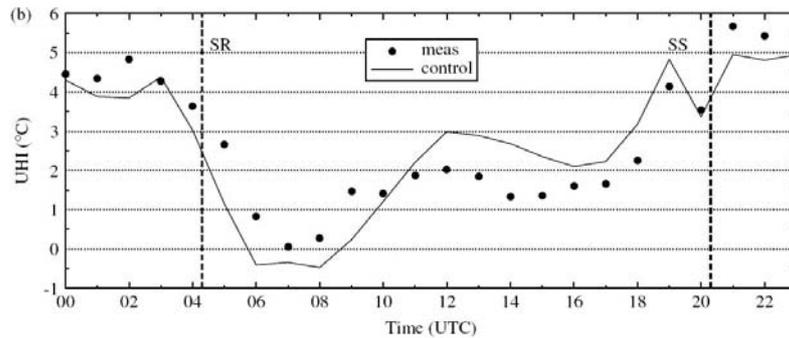


圖 2-20 觀測時間 2002/06/17-19 的溫度變化圖。

圖 2-21 顯示出增加熱擴散率、熱容量、地表反射率、都市部份植被與屋頂綠化都會減少夏季白天溫度。而增加熱擴散率、熱容量、地表反射率、都市部份植被與屋頂綠化會使夜晚產生相反效果（增加溫度）。夜晚影響都市熱島強度最重要是街道峽谷的街道高寬比，寬街道的熱島強度比窄街道高，而地表發射率對熱島強度的影響最小。

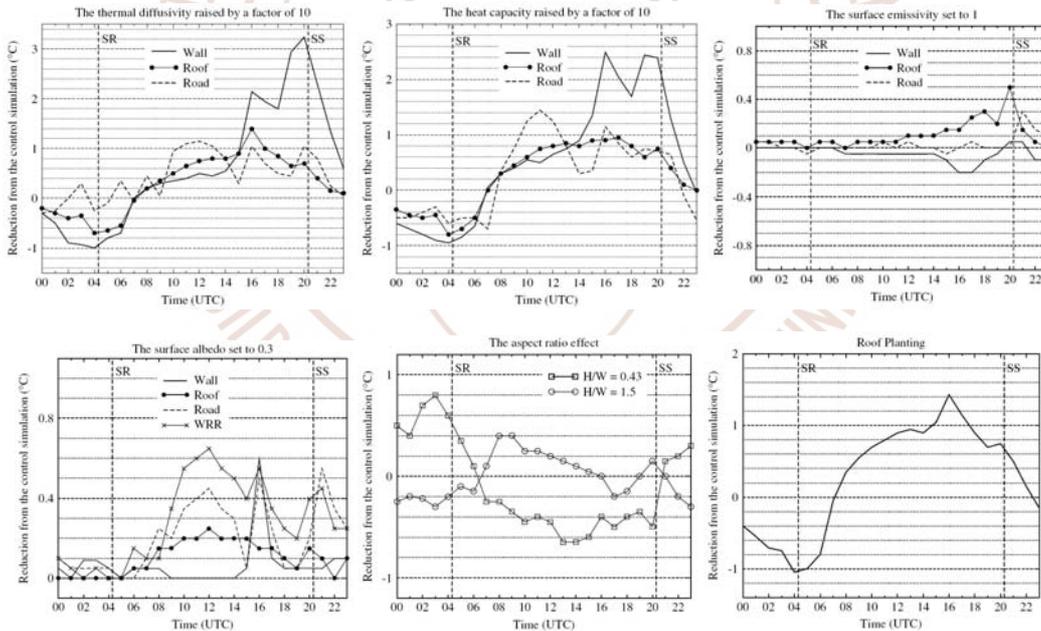


圖 2-21 利用 TVM 模擬計算不同因子(熱擴散、熱容量、發射率、反射率、街道高寬比、綠覆率與屋頂綠化)。

整體而言，本研究顯示(1).屋頂綠化與增加都市綠化面積可以減少都市熱島強度。(2).較狹窄的街道有助於減少熱島作用。(3).增加建築熱容量、建築反射率與地表反射率可以減緩熱島作用。

(十四) 模擬香港都市環境品質研究 /Modeling urban environmental quality in a tropical city (005) (Nichol and Wong, 2005)

1. 地點資料

本研究實測對象為香港。都市人口約 6,930,000 人，都市面積 1104 平方公里，氣候型態為亞熱帶季風氣候。島嶼地型，海岸線 870 公里。在產業性質方面有商業、文化，土地利用則在市中心為商業區。

2. 環境因子

市中心多為瀝青鋪面，郊外為綠地。多為高層建築，且建築密度非常高，造成天空可視度較小。城市綠地普遍小型化，分散配置。

3. 實測資料

該研究實測方法為衛星遙測法。在實測細節中，採用 Landsat ETM+衛星光譜波段量測地表面溫度數據作為熱島效應基礎數據，並採用 IKONOS 衛星進行都市土地使用分類及綠覆率分析，再利用香港地政總局以 3D Studio Max 和 ArcGIS 製作的都市環境模型結合，建構都市土地使用現況資料。最後以 Landsat ETM+表面溫度數據與 IKONOS 計算所得地表覆蓋資料數據進行都市熱島效應相關性解析。

4. 主要結果

圖 2-22 中，彩色空照圖結合熱影像後，顯示行道樹產生區域冷卻效果，與更多空間細節。

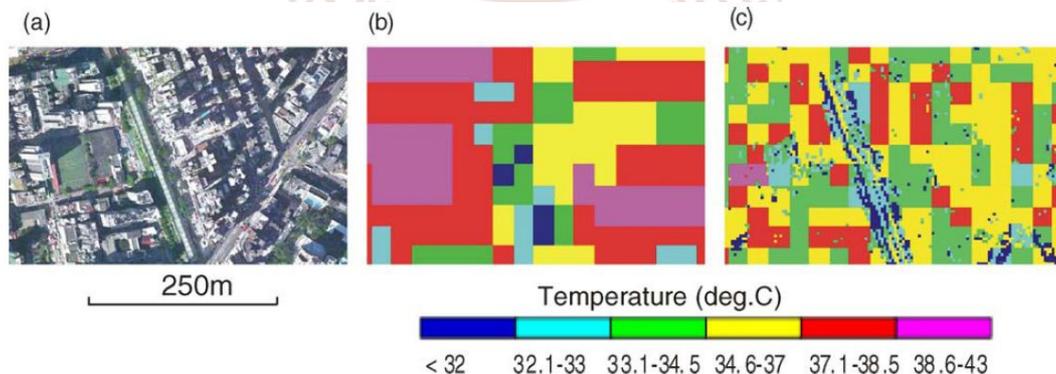


圖 2-22 為 Landsat ETM+ thermal waveband 圖像融合圖。

圖 3-23 顯示，在九龍半島沿海平地低矮建築物受陽光直射影響

較平行建築高 6°C ，這是由於地形、植被和建築陰影影響了冷卻效果。

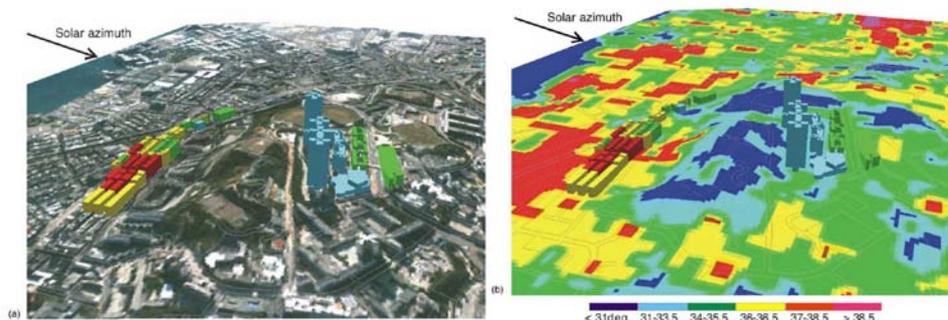


圖 2-23 九龍半島南面的熱環境模型。

圖 2-24 顯示，市中心高層建築在白天時氣溫較周邊地區少，是因為建築物的陰影與建築外牆面高反射率所造成的。圖中顯示香港島背面山坡主導街區平行方向；銅鑼灣商業區高層大樓阻礙空氣流通。

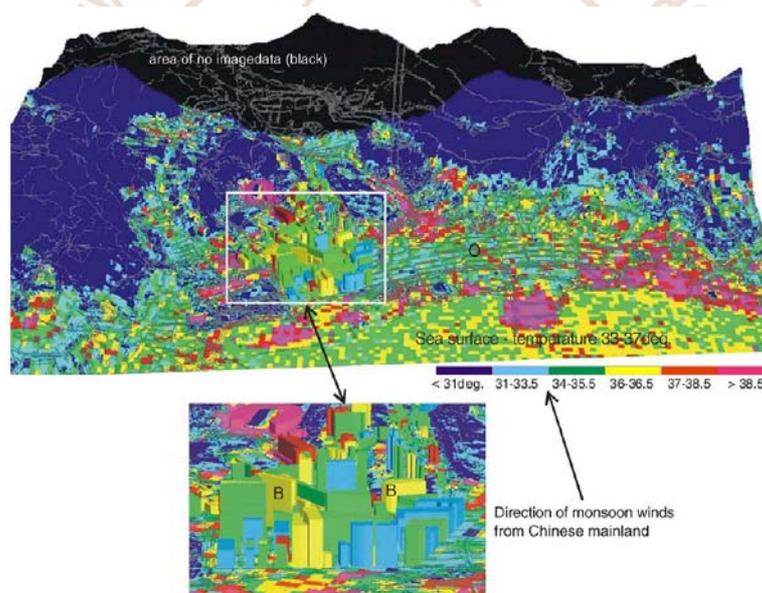


圖 2-24 熱環境模型。

整體而言，植被與建築陰影對都市熱環境有減少溫度的效果。且當太陽方位與街道平行時會增加都市熱環境溫度，街道與建築形狀影響地表溫度變化。研究顯示，與太陽方位平行的街道，表面溫度較附近地區高 6°C 。另外，密集建築中的小公園也有降低溫度的作用，對於改善都市環境品質很重要。模型顯示出，公園比周邊區域低 $6-7^{\circ}\text{C}$ 。

因此，本研究建議增加都市植被面積，減少建築外牆面反射率，都市街廓設計避免與太陽方位角平行，以增加周遭環境品質。

(十五) 匈牙利塞格德一元線性統計模型計算最大都市熱島強度 /A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island (006) (Bottyan and Unger, 2003)

1. 地點資料

本研究實測對象為匈牙利塞格德。都市人口約 162,889 人，都市面積 280.84 平方公里。產業性質方面有商業、文化，市中心為商業區。

2. 環境因子

城市中有三個地區天空可視度較小，均低於 0.8。建築物平均高度約 10m，東北方建築最高達 20m，中部地區平均高度超過 15m。

3. 實測資料

該研究實測日期為 1999/03/-2000/02 與 2002/8-10，季節為夏與冬季。實測方法則為移動量測。在實測細節中，將市中心行政區(約 26.75km²)分割為 107 個(500m X 500m)單位，以移動測量法觀測每個單位面積中的溫度變化。計算每單位裡土地使用空間分配比，利用這些參數與都市熱島強度分析後，將所得數值以多線性回歸分析。

4. 主要結果

圖 2-25 左圖顯示研究地點與匈牙利塞格德主要土地利用類型，A 為研究範圍，B 為農業和空地，C 為工業區、D 為 1-2 層住宅，E 為 5-11 層公寓，F 為舊城市中心與 3-5 層的建築物，G 為圍牆。右圖顯示出在夏季和冬季的熱島強度空間分佈圖，都市溫度像同心圓形狀向周圍遞減，而此模型描繪出來的圖形，因不同地區特點而有所改變。

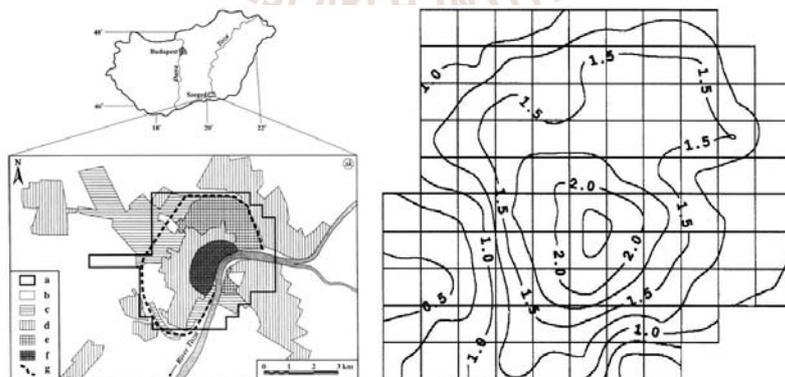


圖 2-25 塞格德土地利用類型及熱島強度空間分佈圖。

表 2-9 賽格德分割網格的最高熱島強度和城市地表參數的相關數值。

Period	Parameter entered	Multiple r	Multiple r ²	Δr ²	Sign. level
April 16–October 15 (non-heating season)	S1	0.806	0.649	0.000	0.1%
	S1, H	0.845	0.714	0.065	0.1%
	S1, H, B1	0.863	0.744	0.030	0.1%
	S1, H, B1, W1	0.902	0.814	0.070	0.1%
	S1, H, B1, W1, W	0.907	0.822	0.008	0.1%
	S1, H, B1, W1, W, B	0.919	0.845	0.023	0.1%
October 16–April 15 (heating season)	S1	0.791	0.626	0.000	0.1%
	S1, S	0.837	0.701	0.075	0.1%
	S1, S, B1	0.853	0.727	0.026	0.1%
	S1, S, B1, W1	0.867	0.752	0.025	0.1%
	S1, S, B1, W1, H	0.879	0.772	0.020	0.1%
	S1, S, B1, W1, H, W	0.884	0.782	0.010	0.1%
	S1, S, B1, W1, H, W, B	0.895	0.801	0.019	0.1%

表 2-10 賽格德應用城市地表參數的顯著性、相關係數、標準誤和 95% 的信賴區間數值。

Period	Param.	Signif.	Coeff.	Std. error	95% Confidence interval	
					Lower bound	Upper bound
April 16–October 15 (non-heating season)	S1	0.000	-4.140	0.727	-5.594	-2.686
	H	0.000	0.029	0.006	0.017	0.041
	B1	0.000	0.016	0.004	0.008	0.024
	W1	0.000	0.032	0.007	0.046	0.018
	W	0.000	0.012	0.003	0.006	0.018
	B	0.000	0.007	0.002	0.003	0.011
	Const.	0.000	3.703	0.827	2.049	5.357
October 16–April 15 (heating season)	S1	0.000	-2.712	0.613	-3.938	-1.486
	S	0.017	-1.049	0.430	-1.909	-0.189
	B1	0.006	0.008	0.003	0.002	0.014
	W1	0.022	0.013	0.006	0.001	0.025
	H	0.033	0.013	0.006	0.001	0.025
	W	0.001	0.009	0.003	0.003	0.015
	B	0.005	0.004	0.001	0.002	0.006
	Const.	0.000	3.673	0.730	2.213	5.133

研究顯示都市熱島強度與天空可視度、街道高寬比、建設區域與水域具有線性關係，圖 2-26 顯示可以借助統計模型來預測出塞格德都市熱島強度。此統計模型也可以用來預測不同大小、類型的都市，但對真正的驗證，還是需要有完整的資料庫來測量計算這些城市的熱島強度。

因此，本研究建議減少天空可視度和增加建築物高度，減低都市建成區的面積，利用水域環境，將可減緩熱島作用的產生。

(十六)東京人工發散熱研究/Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo (008) (Toshiaki Ichinose et al, 1999)

1. 地點資料

本研究實測對象為日本東京。都市人口約 12,550,000 人，都市面積 2,162 平方公里，氣候型態為太平洋側氣候。在特殊地貌則為鄰海。

2. 環境因子

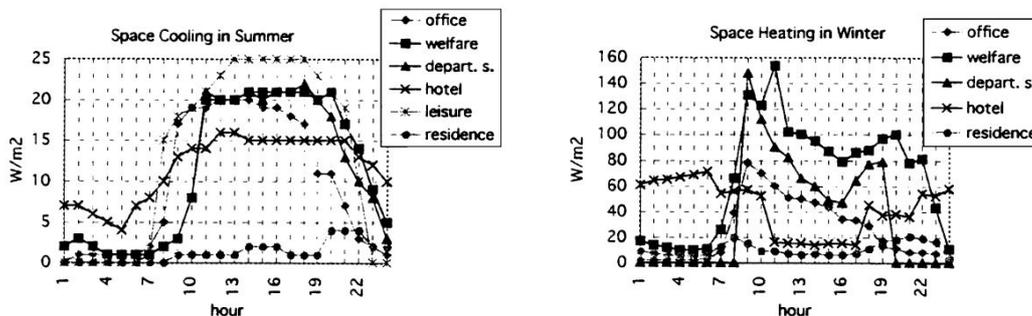
城市中心多為硬鋪面，建築物密集。作者假定交通密度在空間上數值平均。且城市能源消耗量白天集中商業辦公區，夜晚則在住宅區。

3. 實測資料

該研究實測日期為 2002/8/13,23,24,27-29 與 9/2,4,5，季節為夏季，時間則分為 18:00 到 20:00 三個小時。實測方法為地面定點量測。在實測細節中，假設人工熱等於能源消費量。使用地理資訊系統與能源消耗量建立一個包括東京 23 個行政區的人工發散熱地圖，將東京 23 個行政區繪製成一個矩形網格，東西向分割為 33 格，南北向分割成 32 格，每一格的寬度是 1000 公尺。並使用電腦模擬顯示出東京人工發散熱的空間變化量，空間圖像的解析度是 250 公尺。模擬模型使用了流體靜力學與布式近似方程式，並依濕氣數值與熱力學方程式在 3D 立體地形圖與坐標系統連續運算，分析大氣壓力與預計之地表熱。

4. 主要結果

圖 2-26 顯示在夏季使用空調、與冬季供應熱水時，使用暖氣空間需求量晝夜變化，也顯示製造業和運輸業能源消耗晝夜變異分佈。



城市地區熱島效應退燒策略研究

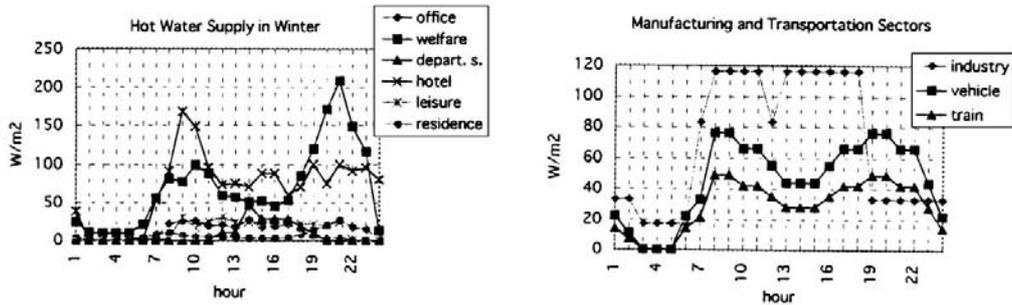


圖 2-26 能源消耗量晝夜變化圖。

圖 2-27 左圖為東京人工熱每個季節的晝夜變化。Middle 指春和秋季。研究顯示人工熱在白天超過 400Wm^{-2} 而最大值在冬天，為 1590Wm^{-2} 。右圖顯示，在地表人工熱是導引到地面，作為熱通量。而在第二、三、四層，人工熱直接排放到大氣中。高度是每層中心位置。

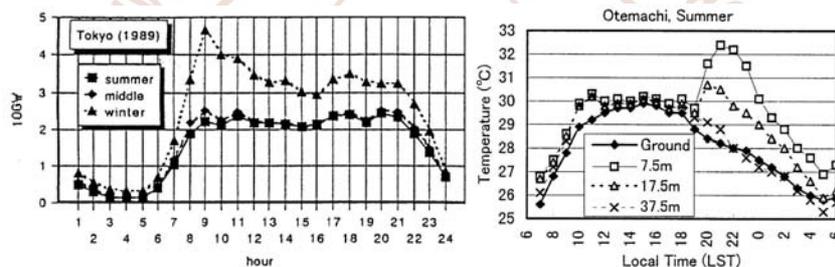


圖 2-27 左圖為東京人工熱在每一個季節的晝夜變化總值。右圖為地表空氣溫度晝夜變化圖。

圖 2-28 顯示，在夏季短波輻射強烈，影響的人工熱相對較少。而在冬季因短波輻射軟弱的影響，人工熱是影響較大的。

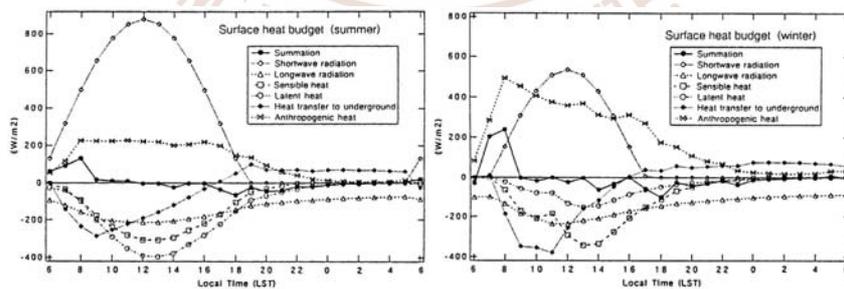


圖 2-28 東京市中心地表熱晝夜變化圖。

研究顯示，減少 50% 供應熱水和 100% 空調能源消耗，可降低鄰近地表空氣溫度 0.5°C 。因此，本研究建議使用區域供熱系統，減少建築物熱水供應與空調使用，可以減少熱損，降低能源消耗。

(十七)印度浦那增長的熱、濕島效應對城市之影響/Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune City, India (009) (Deosthali, 2000)

1. 地點資料

本研究實測對象為印度浦那。都市人口約 5,050,000 人，都市面積 700 平方公里。為盆地地形。市中心為商業區，山坡地設有住宅區。

2. 環境因子

市中心與舊市區多為硬鋪面，新規劃之住宅區擁有較多軟鋪面。山坡地植被貧瘠，且多住宅建築。舊建築高度多為 6 至 8 公尺，新建建築則增加到 13 至 15 公尺。樓面面積指數 (FSI) 在 R-1 區 (道路 < 9 公尺的寬度)，為 2.47 和在 R-2 區 (道路 > 9 公尺寬度) 為 3.17。

3. 實測資料

該研究實測日期為 1997/4/12-13，季節為春季，時間則分為 05:00-20:00。實測方法為移動量測。在實測細節中，首先於 1997 年 4 月 12-13 日晚間 04:00 到 06:00，規劃了 170 個測量點與九條路線，每個測量點距離約為 1-2 公里。對照設置在天文台內的溫濕度計，檢查溫度和濕氣變化是否為線性關係。溫度的讀數參考第一次溫度計屏幕顯示的數值，記錄時間後以自動繪圖儀繪製溫度變化，共同測量站的溫度，是使用不同隊伍在共同訂定的時間所觀測到的溫度。

4. 主要結果

核心建築物約佔總面積 8% 與容納約 150 萬人口，形成高強度都市熱島，包括 3 個次要袋形熱島區域。山坡住宅加強了袋形熱島形成。

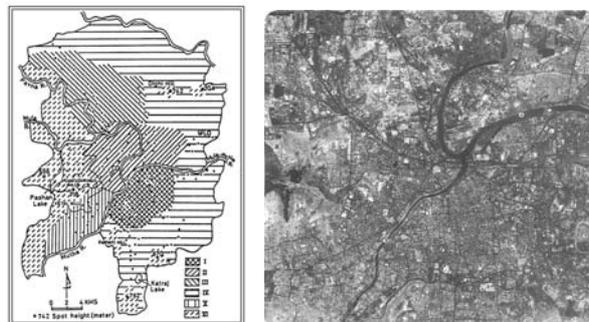


圖 2-29 左圖為浦那市區位觀測點。右圖為浦那空照圖。

圖 2-30 溫度分佈圖顯示出高度密集城市形成袋形熱島，出現的孤立的口袋，而住宅用地沿著山坡使用將有助於形成這些袋形熱島。

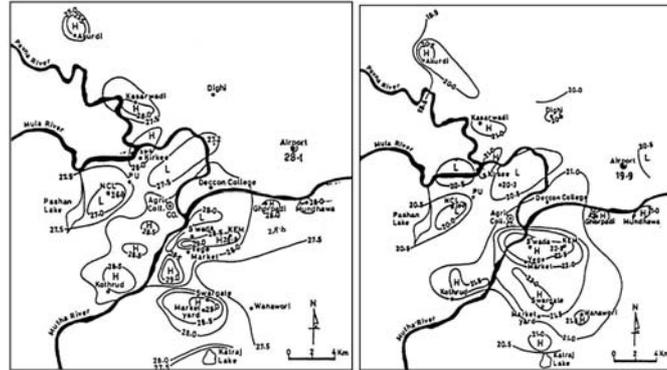


圖 2-30 溫度分佈圖(°C) 20:00 h(左)，5:00(右)。

在平靜無風的氣候下，夏季都市核心氣溫將會是整個季節的最小值，形成熱、乾島效應。圖 2-31 顯示在晚上，因為過剩的水氣存在於大氣中，濕島結構伴隨著熱島效應產生。日落之後，整個城市與農村的邊緣地區受地形產生的下沉氣流影響，對城市核心與邊緣之間，造成對流熱循環系統產生了空間不均勻性。在溫暖，乾燥季節時期，德干高原存在的熱量和濕氣減少了城市夜間舒適性。

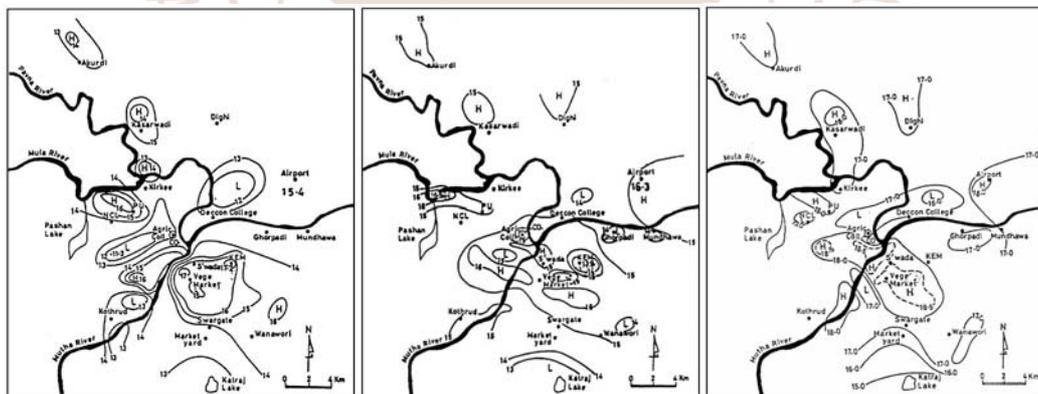


圖 2-31 為 20:00 (左)、5:00(中)氣壓分佈及 5:00 露點分佈(右)。

因此，本研究建議利用自然風來降低城市溫濕度，都市規劃可將街道方向設計與風向平行，並減少山坡地住宅以減緩區域熱島作用，利用普遍存在的西風，使城市免費降低氣溫、乾燥和污染的環境，並在這些城市規劃廣泛的東西面向街道路網，這是可以實現的。

(十八) 台灣四大都會區都市熱島之研究/A Study on Urban Heat Islands of the Four Metropolitan Cities in Taiwan(501) (李魁鵬，1999)

1. 地點資料

本研究研究台灣四大都市：台北、台中、台南、高雄等四大都會區都市熱島觀測實驗，並進行都市熱島影響因子分析。其中屬於海岸地形的都市為台南與高雄，而台中與台北則同屬盆地地形。

2. 實測資料

該研究實測日期為 07/23-24；07/15-16；08/26-27；08/10-11，季節為夏季，時間則分為 12:00~14:00，19:00~21:00，02:00~04:00 三個時段。實測方法則為移動觀測法，交通工具為機車。使用可記錄的溫濕度記錄計。在研究細節中，首先分工進行量測。行駛路徑選定量測範圍中心位置，以放射狀來回的方式，行經不同路徑進行量測。其次，車輛行進當中記錄器以 2 秒的間隔，連續記錄溫度與濕度感測值及時間。最後，將每組定點量測分散在不同的路徑上。以在市區的測點較密，市郊測點較疏，並以選取路口為原則。

3. 主要結果

圖 2-32、2-33 顯示，海岸型都市氣候特徵，即午夜氣溫海邊高、內陸低，熱島中心向海邊移動，中午氣溫海邊低、內陸高，而熱島中心向內陸移動，中午與午夜呈現海陸對比。海陸氣候對於海岸型都市的都市熱島效應的重大影響。另外，研究發現盆地都市熱島中心不像海岸型都市有向海或向陸移動現象，但盆地都市熱島現象更加明顯。

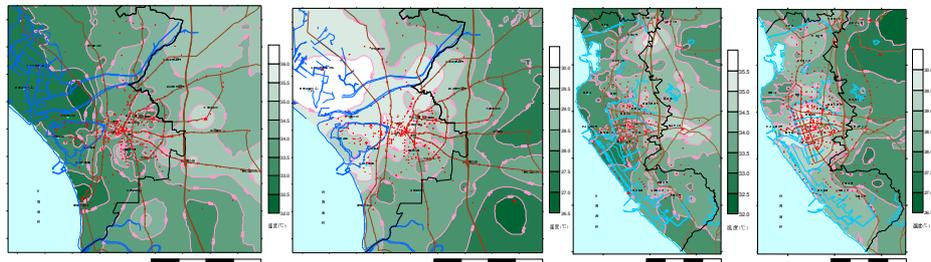


圖 2-32 左二圖為台南夏季中午、午夜之都市熱島現象；右二圖為高雄夏季中午、午夜之都市熱島現象

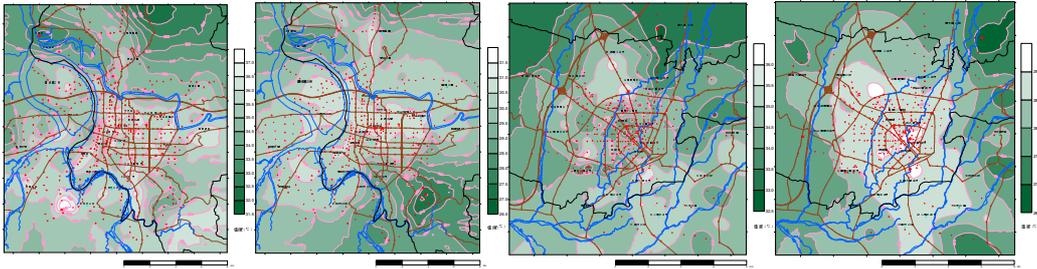


圖 2-33 左二圖為台北夏季中午、午夜之都市熱島現象；右二圖為台中夏季中午、午夜都市熱島現象

圖 2-34 顯示，台灣四大都市與世界都市一樣，具有熱島強度與人口對數值呈線性正相關的性質。但與較高緯度地區比較，相同人口條件下，台灣都市熱島強度較小。其可能原因是台灣屬海島型亞熱帶氣候，四週環海，具有相當穩定之氣溫、濕度高。

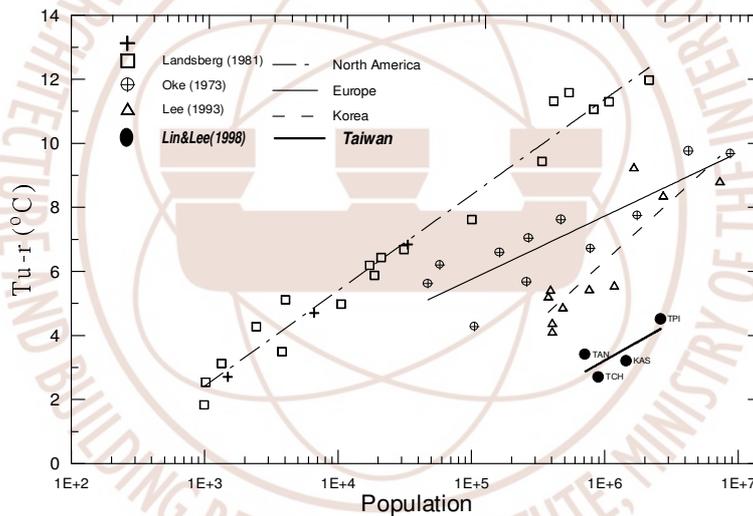


圖 2-34 台灣四大都市及世界都市之人口與熱島強度關係圖

研究顯示，台中、台南和高雄的最大熱島強度出現在晚上，分別為 3.2°C、4.4°C 和 3.4°C，台北則是在中午，其值高達 4.9°C。研究中印證了都市熱島中心與熱島強度之時間變動特性，且熱島現象因都市地理與人文條件不同而各具相異特徵，如人工構造物、人工熱、地理特性（海岸型、盆地型）。另外，綠地系統的規模大小，直接影響綠地對於都市氣溫環境的改善效果。在都市中規模夠大的綠帶、植樹園道、公園等綠地系統對於都市氣溫環境提供了莫大的改善。因此，本研究建議透過都市計畫控制建蔽率及建築密度，落實土地使用分區。

(十九) 台南地區都市熱島研究/ The Study of Regional Urban Heat Island of Tainan (502) (孫振義，2002)

1. 地點資料

本研究觀測範圍，南起台南市、仁德鄉、歸仁鄉，北至鹽水鎮、新營市，包括台南地區計十五個鄉鎮市。實測路徑通過各城鎮中心。

2. 環境因子

目前台灣有 67% 以上的人口居住在都會區。人口高度密集，大量興建構造物與道路系統，形成都市熱島強度高昇。

3. 實測資料

該研究實測時間均於深夜 23:00 至 02:00 時段，為將溫度及交通流量不穩定變動情況排除。實測方法為汽車移動觀測法，配備有鋁箔包覆雙層套管的自動量測記錄器，控制離地約 1.5 公尺，感測器則伸出車頭前方約 30 公分。

4. 主要結果

圖 2-35 顯示，最低溫點位於極為空曠的郊區，人工建築物稀少、缺乏其他大型的人工構造物蓄熱體熱容量，加上周圍多為自然環境、甚至河水及風道冷卻作用。各城鎮因為各種組成因素不同、定位不同，其都市熱島強度會有所差異，若兩城鎮間層級相似且距離過近，將衍生聯合型都市熱島型態。另外，氣溫低的天候下都市熱島效應會更顯著，秋季最大熱島強度為 3.63°C ，高於夏季最大熱島強度 2.33°C 。

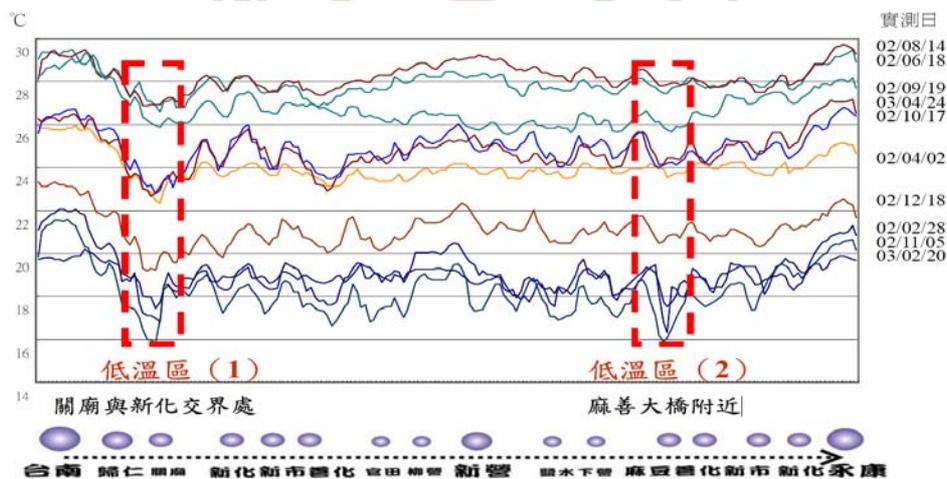


圖 2-35 台南地區都市熱島實測溫度變動圖

圖 2-36 顯示，都市熱島隨著氣溫及季節呈現高低起伏變動狀況，在秋、冬季寒冷天候狀況下都市熱島強度有偏高的趨勢，反之於氣溫較高的夏秋季則都市熱島強度較低。各實測日之平均溫度與平均都市熱島強度相關性係數 r 值達 0.866，證實了都市熱島強度與氣溫高低呈現反比的現象。「人口規模」也是影響都市熱島最重要的人為因素之一，其相對應的建築物、道路及其他各項構造物隨之倍數成長，加上大量人工發熱，使得都市溫度日漸高昇。

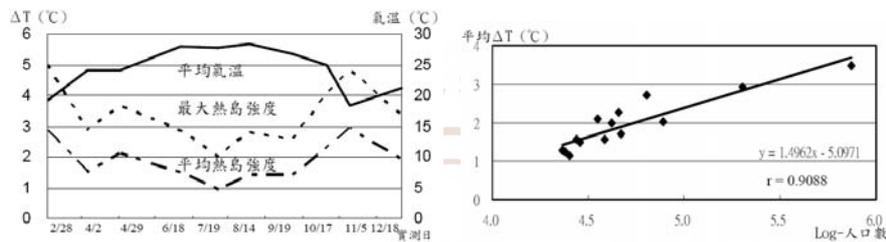


圖 2-36 左圖為台南地區氣溫與都市熱島強度比較圖；右圖都市人口與平均都市熱島強度分析圖

圖 2-37 顯示，台灣地區由於海島型氣候因素，致使都市熱島強度並未如其他大陸型國家顯著，加上台灣大都會區的發展模式，部分城鎮都市熱島現象完全與周圍城鎮融為一體，這些均是影響台灣都市熱島強度相對偏低的原因。

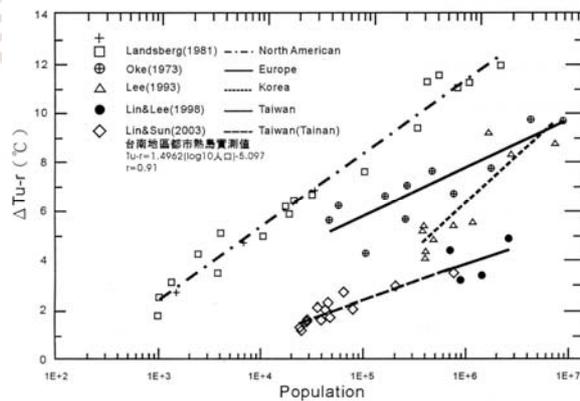


圖 2-37 世界「都市熱島」與「都市人口」比較圖

因此，本研究建議都市熱島之改善可從綠地、植物對於都市環境降溫效果來著手。植物對於減緩都市熱島具有一定功效，其葉表面的蒸發作用及其覆蓋之裸露土地對都市降溫扮演著極為重要的角色。

(二十) 都市公園微氣候觀測解析-以台南市公園為例/ A Study on the Micro-climate of Urban Parks in Tainan (503) (郭柏巖，1999)

1. 地點資料

本研究針對台南市的「中山公園綠帶」與「孔廟文化園區」等大小不同的綠帶區域進行研究。「冷島效應」是指在都市中的公園綠地等低溫區域，有氣流下降循環的情形，因氣流循環的關係容易將都市的污染物質匯集到公園綠地內，嚴重影響植物的生長與使用者健康。

2. 實測資料

該研究實測日期：孔廟園區實測日期 1999/6/28、29；中山公園綠帶實測日期 1999/8/27、28。季節為夏、秋、冬三季節，時間則分為 12:00~14:00，19:00~21:00，02:00~04:00 三個時段。挑選雲量低、風速小、日照充足等氣候狀態，避開星期六、日交通量繁忙日。以台南市中心八個公園為對象，設定兩個綠帶區域研究：大區域的「中山公園綠帶(3200m × 2400m)」、小區域的「孔廟文化園區(916m × 1144m)」。

3. 主要結果

圖 2-38 顯示，中午低溫區出現在孔廟與南門公園內，可見大樹的遮蔽與綠地提供明顯的降溫效果。高溫區則是出現在交通繁忙的路口，因路面廣闊，周圍無較高建築提供陰影，黑色柏油吸熱性高。夜晚低溫區出現在孔廟與南門公園內，高溫區出現在靠近市中心商業區，人潮及車潮高，廣告看板燈光發熱以及大量商業建築釋放熱能。

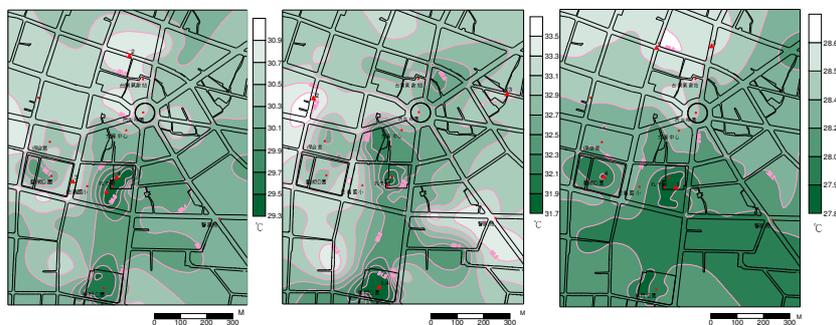


圖 2-38 孔廟文化園區夏季中午、夜晚、午夜之溫度分佈

圖 2-39 顯示，白天低溫主要分佈在中山公園延伸到成功大學校園和小東、東和、東興公園一帶，高溫區出現在中山公園北面的中密度住宅區、交通頻繁的平交道。夜晚低溫區集中在公園跟校園內，高溫區在火車站和百貨商場密集一帶，及幾處交通流量大的平交道。

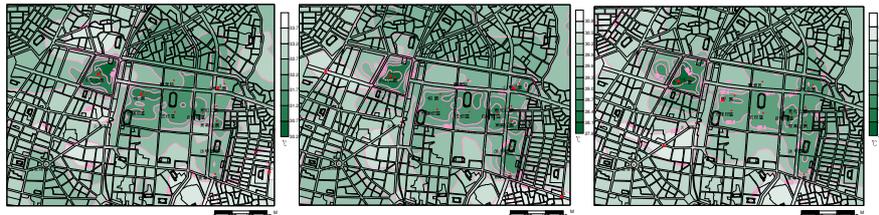


圖 2-39 中山公園綠帶夏季中午、夜晚、午夜之溫度分佈

表 2-11 中，透過網格分析建立起五項都市構成因子（樓地板密度、人口密度、天空可視度、街道高寬比、綠覆率）資料庫，分別與較具代表性的夏季中午實測溫度進行回歸解析，進而瞭解公園對緩和都市高溫化的助益（相關性 r 負值，代表提升該構成因子的比例可以降低溫度；相關性 r 正值，代表提升該構成因子的比例可以升溫）。結果顯示，在夏季夜晚每提昇 10% 的綠覆率，可降低該區域 $0.17\sim 0.22^{\circ}\text{C}$ 。[溫度 = $a + b \times \text{綠覆率} (\text{km}^2/\text{km}^2)$]。

表 2-11 構成因子與溫度相關性及綠覆率與溫度迴歸式

夏季中午	樓地板	綠覆率	人口率	可視度	街道高寬	夏季			中午			夜晚			午夜		
						係數	a	b	r	a	b	r	a	b	r	a	b
孔廟文化園區	0.44	-0.63	0.35	0.13	-0.11	32.98	-2.24	-0.63	30.43	-2.19	-0.71	28.29	-1.14	-0.68			
中山公園綠帶	0.49	-0.59	0.50	0.41	0.13	32.53	-1.90	-0.59	29.65	-1.69	-0.71	27.84	-1.55	-0.74			

另外，本研究也顯示不同種類的鋪面材料對周圍的熱環境有不同程度的影響，這是因為每種材料的吸收率和輻射率都不相同。缺少足夠的植栽進行蒸散作用，會造成溫度最高而濕度也最低。天空可視度越高，遮蔽越少，溫度明顯越高。

因此，本研究建議，增設公園綠地是最有效緩和都市高溫化的方法之一，綠化應多方面著手。鐵路沿線綠化，高架橋下綠化，公園內部優質綠化：減少公園過多人工鋪面，避免深色系的人工鋪面與不透水鋪面設計；都市巷道鋪面改善，多採用透水鋪面以涵養水分、調節氣溫、減輕都市下水道的負荷，降低都市水患的發生率。

(二十一) 公園對於周圍街廓熱環境影響之研究/A study on the Influence of Parks on Heat Environment of Blocks (504) (吳崇銘, 2006)

1. 地點資料

本研究針對台中市公園綠地為研究對象，以有「鄰里公園」與「社區公園」街廓為主，尋找以公園為中心向外延伸出完整「設置公園街廓」為樣本；再於附近找尋類似規模「無設置公園街廓」樣本做比對。

2. 環境因子

周圍為住宅區，長福公園面積 $6719 m^2$ 、豐富公園面積 $36100 m^2$ ：

表 2-12 街廓基本資料

類型	街廓	街廓概況	商業住宅比例	工業比例	測點數量
小範圍「有設置公園」	長福公園街廓	公園200m之外是台中的旱溪，南面的住宅較不密集。	13%	0.7%	內:20 外:39
小範圍「無設置公園」	進化路街廓	整體街廓發展完整，東面50m外緊鄰鐵道。	18%	0.2%	50
大範圍「有設置公園」	豐富公園街廓	公園旁有三面RC的排水系統，南面則較為空曠。	14%	0.6%	內:25 外:41
大範圍「無設置公園」	永春東路街廓	西面有小型的RC排水系統，東面與北面則是商業行為較多。	19%	0.2%	43

3. 實測資料

該研究實測日期為夏季：8/21、8/28、秋季：10/21、10/22、冬季：1/30、1/31，時間則分為12：00~14：00、19：00~21：00、00:00~02:00三時段。實測方法則為機車移動觀測法。使用溫度記錄器、熱線式風速計。在研究細節中，測點分佈為「有設置公園街廓」：由公園為中心放射分佈，越遠測點分佈越少；「無設置公園街廓」：觀測點採用等距離平均分佈。另外統一修正測點時間同步至12:00、19:00、00:00。

4. 主要結果

表 2-13 顯示，夏季中午因大公園對周圍街廓降溫效果較大，其溫差較明顯，而秋冬中午因小公園街廓內外風速較大，故溫差較大。

表 2-13 大、小街廓平均溫差 (單位：℃)

大街廓	中午	晚上	午夜	小街廓	中午	晚上	午夜
夏季平均溫度差	-0.6	-0.4	-0.5	夏季平均溫度差	-0.4	-0.1	-0.2
秋季平均溫度差	-0.1	0	-0.5	秋季平均溫度差	0.7	0.2	0
冬季平均溫度差	-0.3	-0.2	-0.4	冬季平均溫度差	0.8	0.1	-0.2

表 2-14 顯示，在夏季中午大街廓與公園的濕度差較明顯，而冬季中午則是小街廓的濕度差較明顯。

表 2-14 大、小街廓平均溼度差 (單位：%)

大街廓	中午	晚上	午夜	小街廓	中午	晚上	午夜
夏季平均溼度差	-1	0	1	夏季平均溼度差	0	-1	0
秋季平均溼度差	-1	1	3	秋季平均溼度差	-6	-3	-3
冬季平均溼度差	-1	-1	0	冬季平均溼度差	-1	-3	-1

圖 2-15 顯示，在夏季大街廓與公園的風速差較明顯，主因周圍建築密度差異，影響風流動性，而在秋冬則是小街廓的風速差較明顯。

表 2-15 大、小街廓平均風速差 (左表 單位：m/s)

大街廓	中午	晚上	午夜	小街廓	中午	晚上	午夜
夏季平均風速差	-0.1	-0.2	-0.8	夏季平均風速差	0.3	-0.1	-0.2
秋季平均風速差	-0.3	-0.2	-0.2	秋季平均風速差	0.1	-0.2	-0.1
冬季平均風速差	-0.3	0.1	-0.1	冬季平均風速差	-0.1	0.4	-0.1

本研究進一步探討「距離公園遠近對公園周圍街廓熱環境影響」：(1)除了在冬季大街廓中午的 100m 與 150m、午夜的 50m 與 150m 有 0.5℃ 較明顯的差距，但整體來說，距離公園遠近對周圍街廓溫度差異不大。(2)除了冬季小街廓的中午的 100m 與 50m、150m 有 0.7 與 0.9 m/s，夏季大街廓中午有 0.5 m/s 較明顯的差距，但整體來說，距離公園遠近對公園周圍街廓風速差異不大。

因此，本研究提出幾項改善對策：(1).倍數成長的綠地：公園可提供休閒遊憩、調節周遭熱環境、創造都市風道、減少能源的消耗、固定二氧化碳、過濾空氣中的懸浮微粒等等。(2)減少太陽輻射：在住宅區擁有足夠採光係數前提下，增加遮陽設計、減少道路過寬情形、增加屋頂的反射率、種植都市的行道樹、減少不必要玻璃帷幕建築以及增加屋頂綠化。(3)規劃綠地面積時必須考慮綠地面積調節氣溫的功能與特性。(4)減少都市曝曬停車場，多採用立體停車場或是地下停車場，避免戶外停車而使汽車成為發熱體。

表 2-1 測點每日的最高溫、最低溫及差距	13
表 2-2 模擬方案的特徵	18
表 2-3 選擇的都市反射率數值。	20
表 2-4 本研究模擬條件	21
表 2-5 各城市區種植額外植栽之溫度降低模擬	24
表 2-6 不同地點夜間的熱島強度	34
表 2-7 研究變數對夜間都市熱島效應解釋達約八成	34
表 2-8 可倫坡都會區三個觀測站的綠覆率值。	35
表 2-9 賽格德分割網格的最高熱島強度和城市地表參數的相關數值。	42
表 2-10 賽格德應用城市地表參數的顯著性、相關係數、標準誤和 95% 的信賴區間數值。	42
表 2-11 構成因子與溫度相關性及綠覆率與溫度迴歸式	52
表 2-12 街廓基本資料	53
表 2-13 大、小街廓平均溫差 (單位: °C)	54
表 2-14 大、小街廓平均溼度差 (單位: %)	54
表 2-15 大、小街廓平均風速差 (左表 單位: m/s)	54
圖 2-1 特拉維夫熱島分布圖	14
圖 2-2 LCLU 方案現況(左)與 2050 年的模擬(右)。	15
圖 2-3 1998/1/27 的氣溫變化(左), 可感熱流變化(中), 亂流動能變化(右)	16
圖 2-4 南北向街谷中模擬的 (a) 氣溫和 (b) 街道表溫	18
圖 2-5 因時間和空間差異造成溫度的變化。	22
圖 2-6 左圖為都市叢林中, 一個增加表面反照率案例與基本案例的溫度差異。右圖為臭氧含量差異。	23
圖 2-7 模擬的都市峽谷幾何描述(左)及使用在 ENVI-met 模擬的都市峽谷幾何形狀(右)。	25
圖 2-8 (a)不對稱的街谷、(b)突出立面和(c)有樹的街谷, 與	

H/W=2、1 對稱都市峽谷的平均氣溫 Ta 比較。	26
圖 2-9 新舊市區的研究地點分布。	27
圖 2-10 街道內和屋頂上的測量儀器分布點。	28
圖 2-11 左二圖顯示夏天冬天期間深谷、淺谷及郊區的平均氣溫。右二圖顯示夏天冬天期間的 PET 值變化。	28
圖 2-12 五個類別土地使用百分比，以及各測點的平均極小溫度與土地使用模式對照。	29
圖 2-13 左圖為所有地點的每日最高溫度。右圖為所有地點測量和計算的平均最大、平均和極小溫度。	30
圖 2-14 模擬白天及夜間的周遭溫度:(A)現況；(B)沒有綠葉；(C)將森林替換為建築物；(D)引進更加密集的綠葉。	32
圖 2-15 左圖為在七樓的 10 個不同點中與其他屋頂應用的冷卻負荷比較—包括內部熱負荷。右圖為整樓的 10 個不同點。	32
圖 2-16 案例位置與現況。	34
圖 2-17 所有案例夜間平均城市熱島強度預測值與實測值。	34
圖 2-18 可倫坡都會區晝夜溫度變化圖。	36
圖 2-19 可倫坡都會區地表綠覆率對溫濕度指數影響關係。	36
圖 2-20 觀測時間 2002/06/17-19 的溫度變化圖。	38
圖 2-21 利用 TVM 模擬計算不同因子(熱擴散、熱容量、發射率、反射率、街道高寬比、綠覆率與屋頂綠化)。 ..	38
圖 2-22 為 Landsat ETM+ thermal waveband 圖像融合圖。	39
圖 2-23 九龍半島南面的熱環境模型。	40
圖 2-24 熱環境模型。	40
圖 2-25 塞格德土地利用類型及熱島強度空間分佈圖。	41
圖 2-26 能源消耗量晝夜變化圖。	44

圖 2-27 左圖為東京人工熱在每一個季節的晝夜變化總值。 右圖為地表空氣溫度晝夜變化圖。	44
圖 2-28 東京市中心地表熱晝夜變化圖。	44
圖 2-29 左圖為浦那市區位觀測點。右圖為浦那空照圖。	45
圖 2-30 溫度分佈圖(°C) 20:00 h(左), 5:00(右)。	46
圖 2-31 為 20:00 (左)、5:00(中)氣壓分佈及 5:00 露點分佈 (右)。	46
圖 2-32 左二圖為台南夏季中午、午夜之都市熱島現象；右 二圖為高雄夏季中午、午夜之都市熱島現象.....	47
圖 2-33 左二圖為台北夏季中午、午夜之都市熱島現象；右 二圖為台中夏季中午、午夜都市熱島現象	48
圖 2-34 台灣四大都市及世界都市之人口與熱島強度關係圖	48
圖 2-35 台南地區都市熱島實測溫度變動圖	49
圖 2-36 左圖為台南地區氣溫與都市熱島強度比較圖；右圖 都市人口與平均都市熱島強度分析圖.....	50
圖 2-37 世界「都市熱島」與「都市人口」比較圖	50
圖 2-38 孔廟文化園區夏季中午、夜晚、午夜之溫度分佈	51
圖 2-39 中山公園綠帶夏季中午、夜晚、午夜之溫度分佈	52

第三章 台灣都市微氣候特徵

第一節 台灣氣候分類屬性

在東亞及東南亞區域中，氣候呈現相當多樣的特性。若以最新修正的柯本氣候分類圖(Köppen-Geiger climate classification, Kottek, M., et al., 2006)來定義，台灣的南部則有部分較炎熱潮濕，屬於 AM 熱帶季風型的分類。中北部則為 Cfa, Cfb, Cwa，可視為熱濕亞熱帶型。圖 3-1 顯示，戶外環境也會因為南北氣候的差異，而呈現不同的風貌，而這也是在進行戶外環境減熱設計需考量的因素之一。

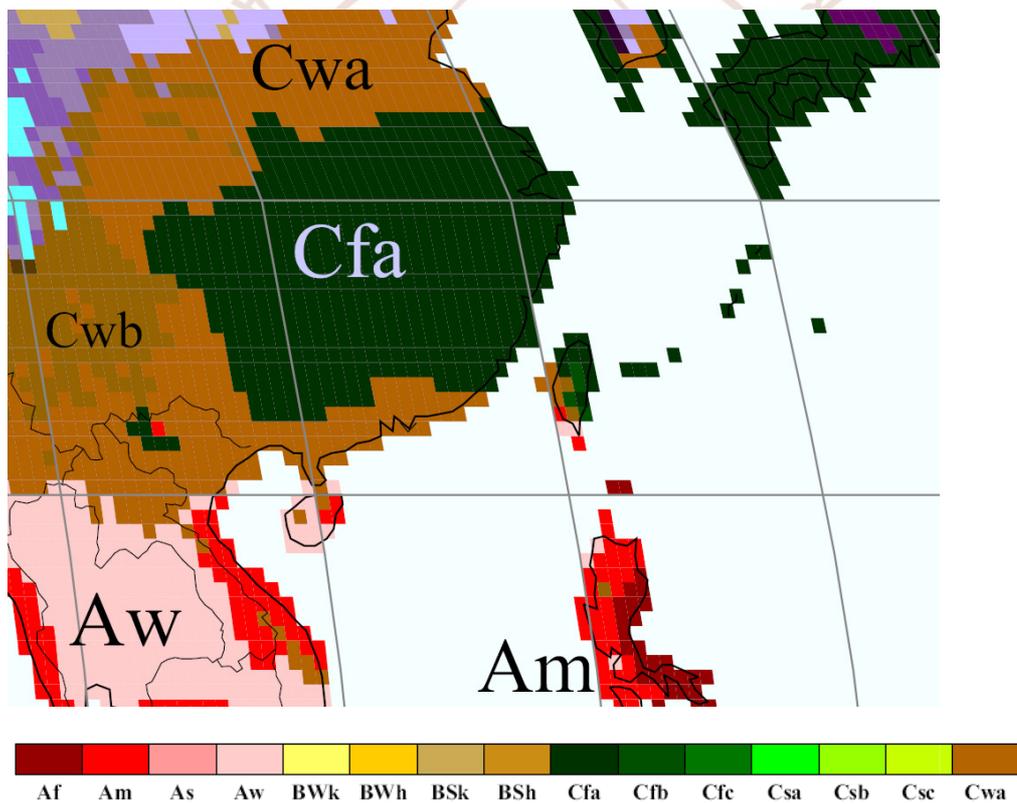


圖 3-1 由 Köppen 氣候分類系統顯示台灣位於多種氣候分區內，表示其氣候之多樣性(Kottek, M., et al., 2006)

第二節 戶外熱舒適性

1. 熱舒適性的定義與測量

溫熱環境的舒適性(Thermal comfort)，一直是室內環境關注的焦點。Fanger 指出熱舒適性(thermal comfort)為人體對溫度、濕度、風速、輻射等物理環境的感受與喜好(Fanger, 1972)。它攸關了室內使用者的健康、舒適，進而影響其工作效率。由 1970 年代以來，多位學者即針對環境的舒適性提出多種的指標，如 Fanger 的預測不滿意度 PMV、PPD 指標(Fanger, 1972)、Gagge 的標準有效溫度 SET*(Gagge, et al., 1986)等，美國冷凍空調學會(ASHRAE)、德國國家標準(VDI)以及國際標準組織(ISO)等，也訂定多種的舒適性基準如 ASHRAE Handbook of Fundamentals(ASHRAE, 2001) ASHRAE Standard 55(ASHRAE, 2004)、ISO7726(ISO, 1998)、ISO7730(ISO, 1994)、VDI-3787(VDI, 1998)等，來做為評估及規範舒適性的重要途徑。而為了瞭解使用者的舒適性範圍及基準，一開始是採取實驗艙(chamber)的方法針對不同溫濕度設定下人們的感受，以問卷加以歸納分析(Fanger, 1972)，而後多個研究也利用現地實測(field experiment)的方式到人們實際生活及工作的場所進行調查，例如辦公室(Busch, 1990; Chan, et al., 1998; de Dear, Fountain, 1994; de Dear, et al., 1991; Karyono, 2000)、學校(Hwang, et al., 2006; Kwok, 1998; Wong, Khoo, 2003)、住宅(Feriadi, Wong, 2004; Malama, Sharples, 1997; Nicol, et al., 1999; Oseland, 1994; Wong, et al., 2002)等，以現場測量溫、濕度及風速等物理環境因子，然後以問卷詢問受測者的心理感受。

2. 戶外熱舒適性的重要性

然而，過去的熱舒適指標與基準之研究多著重於室內空間，對於戶外空間則甚少提出探討。Spagnolo & de Dear (Spagnolo, de Dear, 2003)曾提到，「之所以戶外或半戶外空間的舒適性截至目前少有探討，乃是研究者及使用者過去普遍存在下述之想法：

1. 已開發國家的人們大都花較長的時間在室內空間。
2. 在工作的環境之中，舒適性被認為與工作的產值有相關性，所以室內舒適性環境也被認為是具有創造經濟效應之因素。
3. 人們認為戶外的溫熱環境被不易被控制或改善。
4. 戶外空間的擁有權或使用權不像室內空間容易清楚定義。」

然而，上述的想法及立論在當前的環境已有極有的轉變。目前愈來愈多的活動發生在戶外空間，例如休閒，遊憩，運動，表演、餐飲等活動，故也深具經濟價值。再則，戶外的溫熱環境亦可透過不同的空間規劃、材料選用等誘導式的設計(passive design)來改善其舒適性。因此，對於戶外空間舒適性評估，不僅有其經濟價值上之必要性，更對於人類住居環境的省能、舒適、環保的課題能夠予以兼顧(林子平, 2006)。

當前台灣都市熱島的問題愈益嚴重，高溫化的都市造成戶外環境的舒適性降低，會直接影響人們對空間的利用狀況，圖 3-2 為英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖，可看出當黑球溫度越高則聚集人數越多。圖 3-3 則為台中國立美術館夏季現象，其結果與英國狀況正好相反。

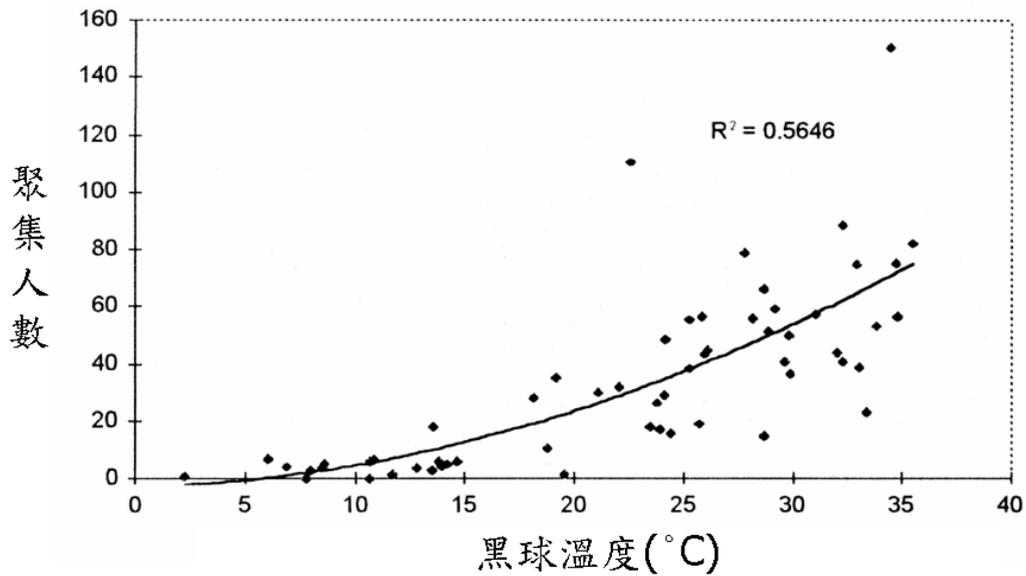


圖 3-2 英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖(Nikolopoulou, et al., 2001)

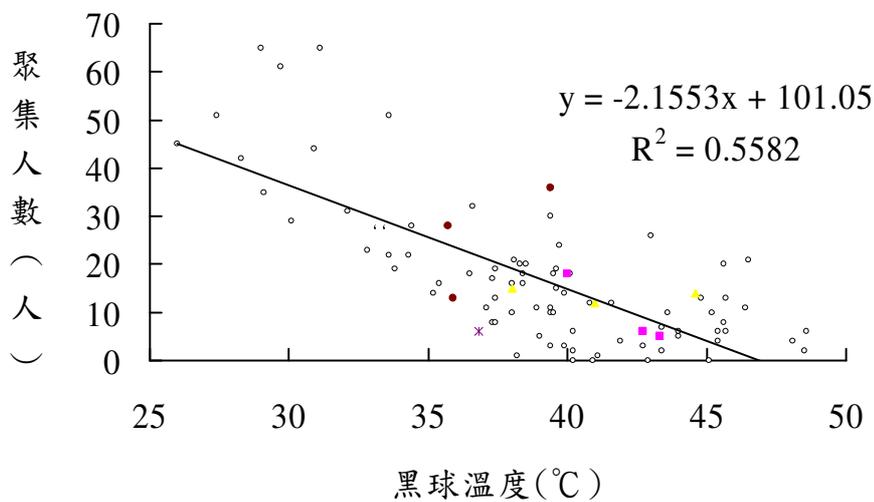


圖 3-3 台中國立美術館廣場上夏季黑球溫度實測值與人數數量關係圖(林子平, 林彥廷, 2007)

第三節 台灣戶外熱舒適性範圍

為什麼要建立台灣熱舒適性範圍基準呢?過去 Fanger 在建立 PMV、PPD 指標的基準時，是在驗艙內為穩態空調環境，對於戶外多變的氣候下得出的結論當其應用在熱濕氣候的台灣時，也必然會有相當程度的落差。國立虎尾科技大學「綠建築與永續休憩環境研究室」曾於 2004-2006 進行歷時兩年的戶外舒適性之調查，並建立適合台灣熱濕氣候的戶外熱舒適性指標基準(Hwang, Lin, 2007; 林子平, 2006; 2007)。問卷進行的案例主要分布在半戶外 (5460 人)及戶外(2247 人)，同時，為了同時與室內進行比較，也針對室內進行(1711 人)。總共蒐集了 9418 組有效數據的問卷案例，做為分析台灣戶外及半戶外舒適性的重要資料庫。(林子平, 2008)ASHRAE 定義熱舒適範圍為令 80%以上的人可以接受的範圍(ASHRAE, 2004)。依照 ASHRAE 定義並採用迴歸分析的方法，可定義出台灣的舒適範圍並以多種指標來描述其戶外的舒適性。如圖 3-4 至 3-6 所示。

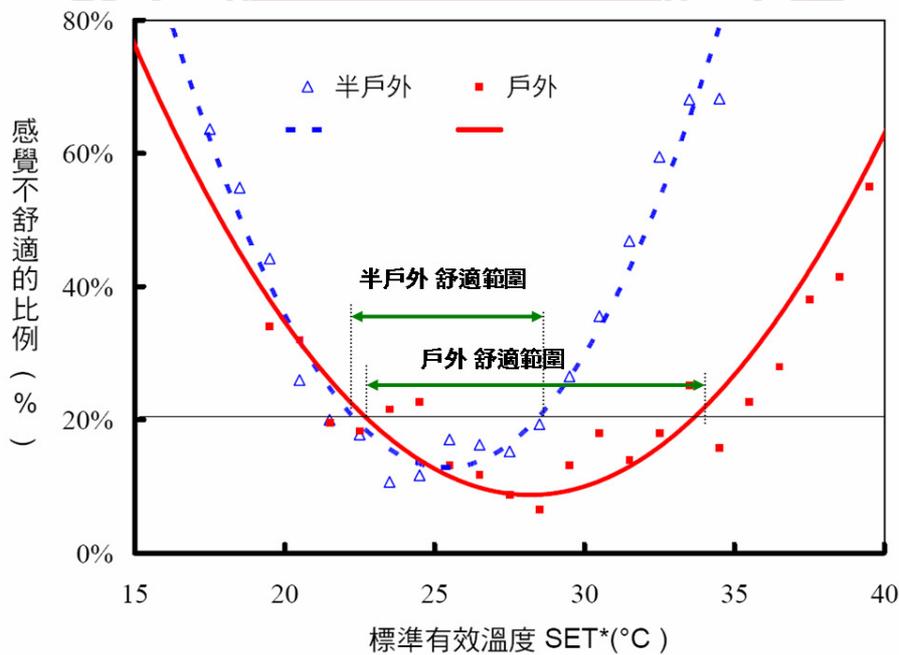


圖 3-4 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(標準有效溫度)

資料來源:本圖修改自 Hwang and Lin (2007)

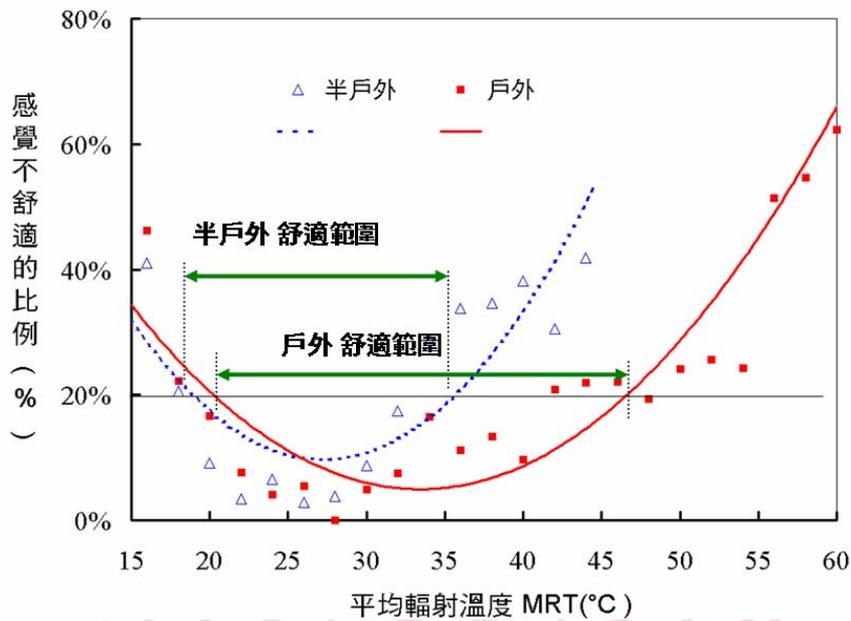


圖 3-5 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(平均輻射溫度)

資料來源(林子平, 2007)

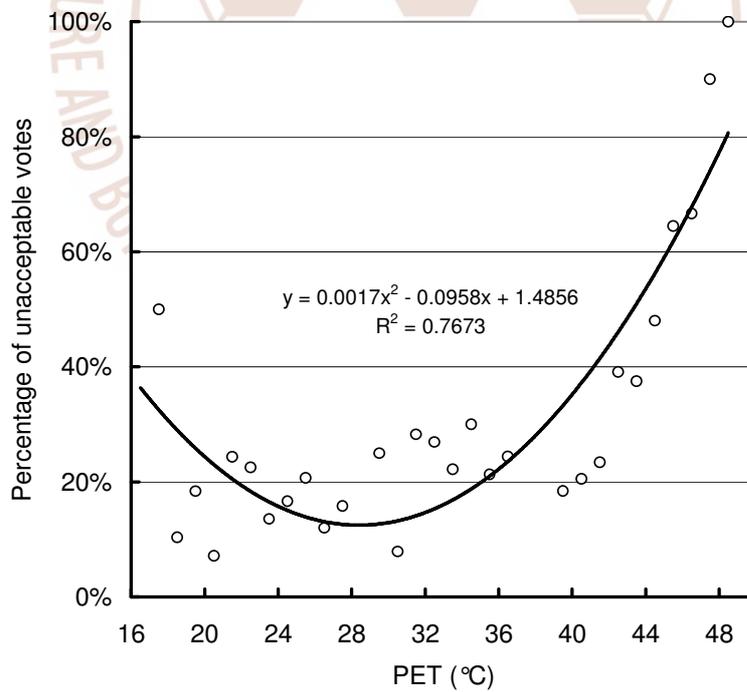


圖 3-6 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(PET)

資料來源: (Lin, Matzarakis, 2008)

另外，台灣也曾針對熱舒適性範圍與中/西歐進行比較，如表 3-1 所示。可以發現台灣可以接受較高溫的狀態，但對於低溫的容忍度較差。

表 3- 1 台灣中西歐的舒適性範圍比較(PET)

熱感受	台灣的舒適性範圍 (°C PET)	中西歐的舒適性範圍 ^a (°C PET)
很冷	14	4
冷	18	8
涼	22	13
微涼	26	18
舒適	30	23
微暖	34	29
暖	38	35
熱	42	41
很熱		

註:本表修改譯自(Lin, Matzarakis, 2008),^a中西歐資料摘自(Matzarakis, Mayer, 1996)



表 3- 1 台灣中西歐的舒適性範圍比較(PET).....	61
圖 3- 1 由 Köppen 氣候分類系統顯示台灣位於多種氣候分區 內，表示其氣候之多樣性(Kottek, M., et al., 2006)	55
圖 3- 2 英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實 測值與人數數量關係圖(Nikolopoulou, et al., 2001).....	58
圖 3- 3 台中國立美術館廣場上夏季黑球溫度實測值與人數 數量關係圖(林子平，林彥廷, 2007)	58
圖 3- 4 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(標準有效溫度) ..	59
圖 3- 5 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(平均輻射溫度) ..	60
圖 3- 6 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(PET).....	60





REF

- ASHRAE, 2001, ASHRAE Handbook of fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE, 2004, ASHRAE Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- Busch JF, 1990, Thermal responses to the Thai office environment. ASHRAE Transactions 96:859-72.
- Chan DWT, Burnett J, de Dear RJ, Ng SCH, 1998, A large-scale survey of thermal comfort in office premises in Hong Kong. ASHRAE Transactions 104:1172-80.
- de Dear RJ, Leow KG, Foo SC, 1991, Thermal comfort in the humid tropics: field experiments in air-conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore. International Journal of Biometeorology 34:259-65.
- de Dear RJ, Fountain ME, 1994, Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. ASHRAE Transactions 100:457-74.
- Fanger PO, 1972, Thermal Comfort. New York: McGraw Hill.
- Feriadi H, Wong NH, 2004, Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. Energy and Buildings 36:614-26.
- Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG, 1986, A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions 92:709-31.
- Hwang RL, Lin TP, Kuo NJ, 2006, Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. Energy and Buildings 38:53-62.

- Hwang RL, Lin TP, 2007, Thermal comfort requirements for occupants of semi-outdoor and outdoor environments in hot-humid regions. *Architectural Science Review* 50:60-67.
- ISO, 1994, International Standard 7730, Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva: International Standard Organization.
- ISO, 1998, International Standard 7726, Thermal environment-instruments and method for measuring physical quantities. Geneva: International Standard Organization.
- Karyono TH, 2000, Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia *Building and Environment* 35:77-90.
- Kwok AG, 1998, Thermal comfort in tropical classrooms. *ASHRAE Transactions* 104:1031-47.
- Lin TP, Matzarakis A, 2008, Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology* 52:281-90.
- Malama A, Sharples S, 1997, Thermal Performance of Traditional and Contemporary Housing in the Cool Season of Zambia *Building and Environment* 32:69-78.
- Matzarakis A, Mayer H, 1996, Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO News* 18:7-10.
- Nicol JF, Raja IA, Allaudin A, Jamy GN, 1999, Climatic variations in comfortable temperatures: The Pakistan projects. *Energy and Buildings* 30:261-79.
- Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K, 2001, Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy* 70:227-35
- Oseland NA, 1994, Comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer. *Energy and*

Buildings 21:45-54.

Spagnolo J, de Dear RJ, 2003, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* 38:721-38.

VDI, 1998, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Berlin: Beuth.

Wong NH, Feriadi H, Lim PY, Tham KW, Sekhar C, Cheong KW, 2002, Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore. *Building and Environment* 37:1267-77.

Wong NH, Khoo SS, 2003, Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and Buildings* 35:337-51.

林子平, 2006, 綠建築半戶外空間溫熱環境之實測研究; 國科會專題研究計畫成果報告.

林子平, 2007. 熱濕氣候區戶外熱舒適接受範圍與環境設計對策. 兩岸三地都市微氣候研討會, 台南

林子平, 2008, 半戶外空間熱舒適基準與設計手法. *工程* 81:83-89.

林子平, 林彥廷, 2007. 熱舒適性對戶外遊憩行為及熱適應之影響-以台灣美術館前廣場夏季為例. 第九屆休閒_遊憩_觀光學術研討會, 台中

第四章 台灣熱島效應退燒對策

第一節 退燒對策研擬原則

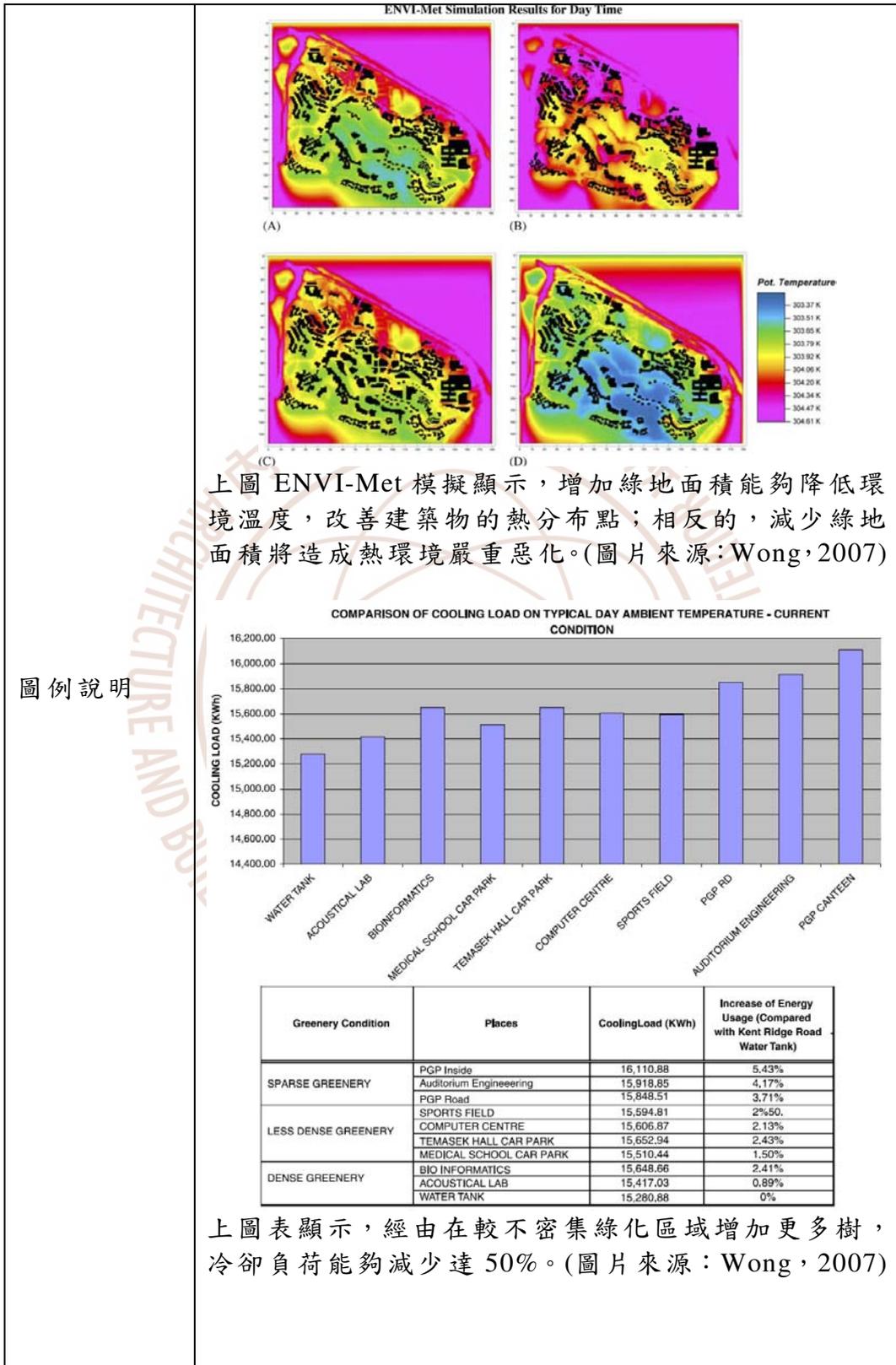
本章依過去文獻所提的熱島效應退燒對策，再加入台灣本土氣候特性及台灣居民的熱舒適範圍，將適合台灣的熱島效應退燒對策分為四類，分別為植栽綠化、街區型態、材料運用四類，其對策名稱如表 4-1 所述。各項對策並依照文獻實證、對策原理、補充說明、圖例說明等以表格方式整理之，以提供未來設計之參考。

表 4-1 熱島效應退燒對策彙整表

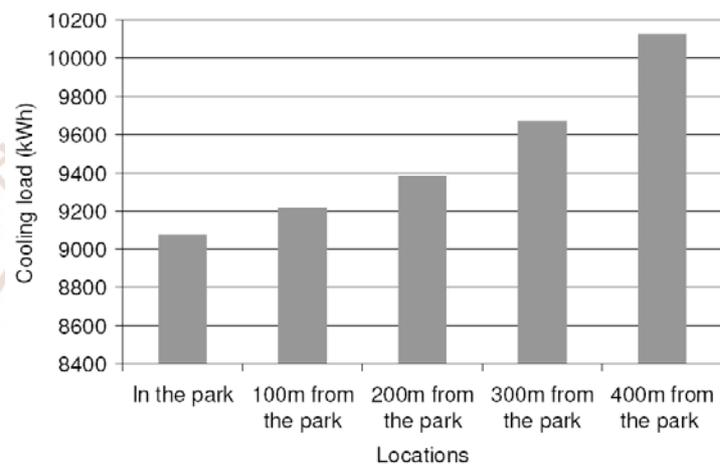
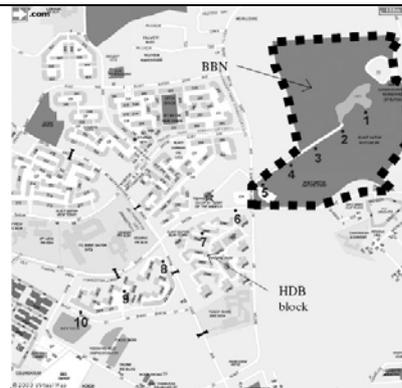
對策分類	對策名稱
植栽綠化	A-01 綠地面積增加
	A-02 街區內多種植栽
	A-03 緊鄰建築物周邊增加植栽
	A-04 建築物立面綠化
	A-05 建築物屋頂綠化
	A-06 選用高葉面積指數植栽
街區型態	B-01 街道座向規劃
	B-02 建築立面陰影塑造
	B-03 街區風通道設計
	B-04 減少人工排熱
材料運用	C-01 低熱吸收率街道鋪面
	C-02 低熱吸收率建築立面與屋頂
	C-03 低蓄熱鋪面材料

第二節 台灣熱島效應退燒對策彙整

對策編號	A-01 綠地面積增加
對策名稱	綠地面積增加
對策分類	植栽綠化
文獻實證	<p>在 Saaroni (2004)中指出，增加綠地可有效降低都市熱島強度。Taha (1997)中指出，植被覆蓋可以有效地減少地面附近的表面溫度和氣溫。H. AKBARI (2001)認為都市植栽可以抵銷或扭轉熱島的影響。都市綠化提供兩個重大好處，由降低氣溫來減少建築物空調以及經由減少煙霧來改進都市空氣品質。</p> <p>在 Wong (2007)中指出，植栽種植是一個用來緩和都市熱島”UHI”作用的主要策略。臨近或被綠葉圍繞的建築物有著比遠離綠化更低的周遭溫度，這也顯示這是一個有效降低周遭溫度的方式。</p>
對策原理	<p>綠地具有較好的蒸散效果，具有降低環境溫度的效果。另土壤的熱容量較小，可減少熱量蓄積的效果。</p>
補充說明	<p>研究顯示，綠地面積大小，將會影響改善熱島現象的效果。有一些樹會散發惡化煙霧問題的揮發性有機化合物”VOCs”。因此，在一個大規模植栽的案子應該考慮選擇種植低散發的樹。在乾燥氣候和嚴重缺水區域，推薦種植抵抗乾旱的樹種。其中，有一些樹生命週期間是需要高花費的維護。樹根可能損壞地下管路、路面和基礎。因此需要使這些影響減到最小。另外，樹是火的燃料來源，因此需要選擇適當的樹種，有策略地種植，來使火災減到最小。</p>



城市地區熱島效應退燒策略研究



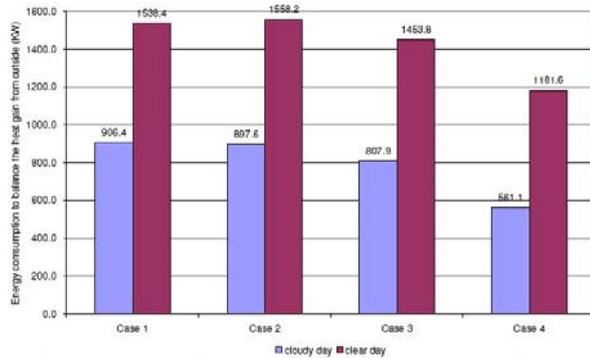
與綠地距離越近，其降低溫度及熱島改善的效果越明顯。(圖片來源：Wong, 2008)



在都會區中設置大型的綠地或公園，可確實的降低環境溫度及熱島影響。(圖片來源：blog.udn.com/albertineproust/1425298)

對策名稱	A-02 街區內多種植栽
對策分類	植栽綠化
文獻實證	<p>在 R. Emmanuel (2007)中指出，增加街區植栽可在正午提供行人及都市表面遮陰。Ali-Toudert (2007)也證實，一定程度的樹是高效率緩和熱應力的策略，街區植栽能使熱不舒適的時間和範圍顯著減少。</p>
對策原理	<p>街區植栽造成的陰影，可以帶給街道鋪面、行人及建築物遮蔽效果，減少直達淨輻射，以達成降低環境溫度的效果。</p> <p>另一方面植栽造成的地面的陰影，將使其表面溫度降低。根據史蒂芬波茲曼(Stefan Boltzmann Law)的理論，熱輻射量與表面溫度的四次方成正比，因此鋪面造成的熱輻射量將也會大為減少。</p>
補充說明	<p>在東西朝向的街道中，不舒適的範圍和時間較長，而此時植栽設計可以造成陰影改善效果較佳。街區兩側樹列的形式，可為街道兩側廊道或行人道成陰影效果，中央樹列形式則效果較不足。</p>
圖例說明	<div style="text-align: center;"> </div> <p>在東西向的街區中，街區植栽很明顯的能夠降低 PET 溫度，改善戶外熱環境。較深色為高溫，淺色為低溫。(圖片來源：Ali-Toudert，2007)</p>

城市地區熱島效應退燒策略研究

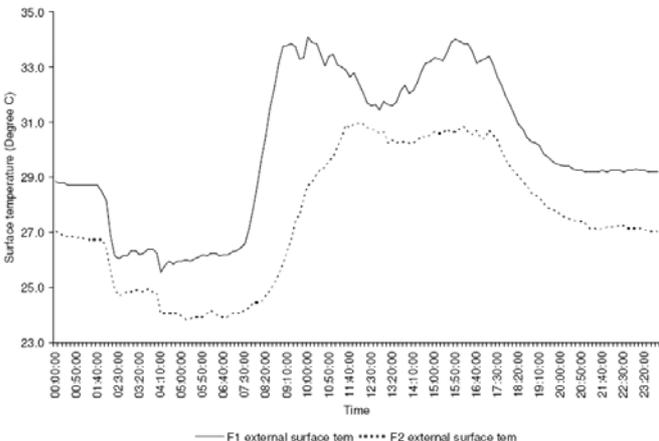


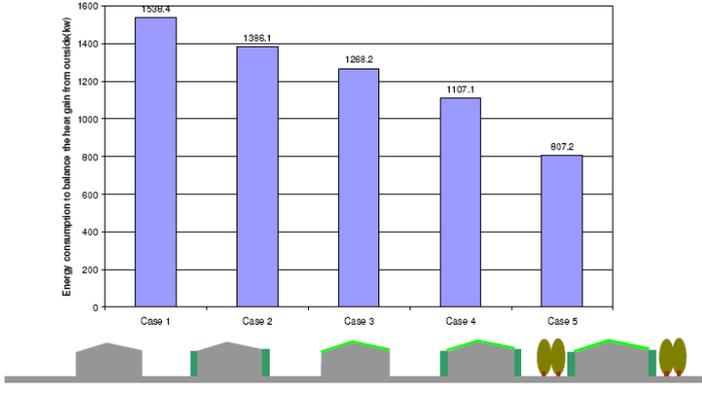
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
	Minimal road trees	Normal road trees	Extensive road trees	Very Extensive road trees
Cloudy day	0%	1%	11%	38%
Clear day	0%	-1%	5%	23%

越大量的街區植栽，期改善熱環境的效果越好，所節約的能源越多。(圖片來源：Wong，2008)



街區植栽的遮蔽效果(包括對車輛、行人、建築物)，將隨著植栽的範圍越大而增加。街區植栽不但改善戶外熱環境，同時也提供了較佳的都市景觀。(圖片來源：持之恆園藝公司)

對策名稱	A-03 緊臨建築物周邊增加植栽
對策分類	植栽綠化
文獻實證	在 Wong (2008)中指出，緊臨建築物周邊若加強綠化，有冷卻建築物的效果，提升節約能源的潛力。同時，對於街區的熱環境也有降低溫度的效果。
對策原理	<p>建築物周邊的植栽，在日射量較大時可以為建築物造成陰影，形成遮蔽效果，減少受到直接光及熱輻射，減少白天建築物混凝土結構熱量蓄積的效果，室內空調的使用量即可降低。</p> <p>而對戶外環境而言，牆面的陰影造成較低的立面表面溫度，減少熱輻射量，具有降低環境溫度的冷卻效果。</p>
補充說明	植栽需緊臨建築物牆面，效果較為顯著。
圖例說明	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <p>有植栽遮蔭與無遮蔭的立面，其表面溫度有相當明顯的差異。(圖片來源：Wong，2008)</p>

對策名稱	A-04 建築物立面綠化												
對策分類	植栽綠化												
文獻實證	<p>在 Wong (2008)中指出，立面綠化有冷卻建築物的效果，提升節約能源的潛力。同時，對於街區的熱環境也有降低溫度的效果。</p>												
對策原理	<p>建築物立面綠化，在日射量較大時可以為建築物造成陰影，形成遮蔽效果，減少受到直接光及熱輻射，減少白天建築物混凝土結構熱量蓄積的效果，室內空調的使用量即可降低。而對戶外環境而言，牆面的陰影造成較低的立面表面溫度，減少熱輻射量，具有降低環境溫度的冷卻效果。</p>												
補充說明	 <table border="1" data-bbox="558 1294 1236 1355"> <thead> <tr> <th></th> <th>Case 1</th> <th>Case 2</th> <th>Case 3</th> <th>Case 4</th> <th>Case 5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energy saving (%)</td> <td>0%</td> <td>10%</td> <td>18%</td> <td>28%</td> <td>48%</td> </tr> </tbody> </table> <p>當建築物周圍的綠化設計越多越完整，其室內節能效果越好。(圖片來源：Wong，2008)</p>		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Energy saving (%)	0%	10%	18%	28%	48%
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5								
Energy saving (%)	0%	10%	18%	28%	48%								
圖例說明	 <p>建築物不但能降低周遭溫度、節約能源，還可以提供居住者一個更好的環境視野。(圖片來源：http://www.la.thu.edu.tw/tnecocity/sub-htm/02-plan-022.htm)</p>												



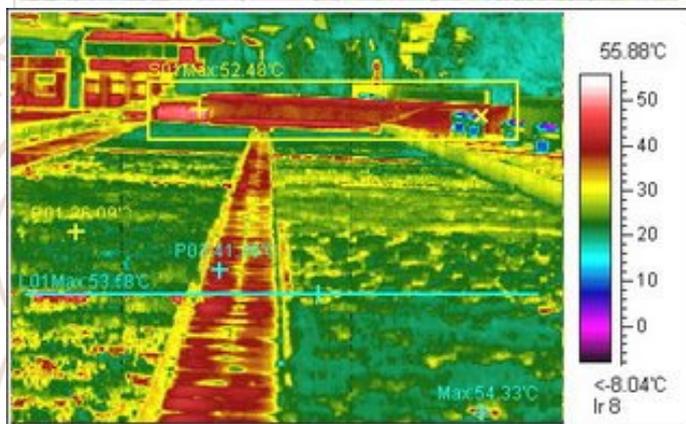
以蔓藤類植物直接攀附於建築牆面的方式(台中市仁愛國小)



利用牆面外側設置攀爬架的方式來進行立面綠化，不僅可綠化量並塑造鄉村風貌(南投中寮)

對策名稱	A-05 建築物屋頂綠化
對策分類	植栽綠化
文獻實證	<p>在 Wong (2007)中指出，屋頂花園有節約建築物冷卻能源的潛力。</p> <p>在 Wong (2008)中指出，屋頂綠化有助於降低建築物周圍環境的氣溫。其中，綠化的冷卻作用受到高度的制約，造成植栽在 1m 高度減退的溫度沒有像在 300mm 高一樣的顯著。</p> <p>在汪柏州(2007)中指出，降低都市熱島效應除了在進行都市規劃前，配合周遭氣候環境外，也可以利用各種改善措施。其中涼爽屋頂與植栽，對降低建築物空調能源費用有直接效益且易於實施。</p>
對策原理	<p>熱濕地區緯度較低，屋頂接受極大日射熱，若增加屋頂的遮陽、隔熱能力，利用屋頂的綠化層，將可以避免大量的水平日射，降低 ENVLOAD 值，達到隔熱、節能的目的是。</p> <p>屋頂綠化，可以具有較好的蒸散效果，且可以為建築物造成陰影，形成遮蔽效果，減少受到直接光及熱輻射，具有降低環境溫度的冷卻效果和景觀上的視覺效果。並且，可減少白天建築物混凝土結構熱量蓄積的效果。</p>
補充說明	<p>研究顯示，經由屋頂綠化所達成冷卻負荷減低及節約能源，喬木的效果大於矮灌木，而草皮效果最小。</p> <p>另外，矮灌木的應用和喬木之間，其能源節約效果似乎沒有差很多，因此，為了考慮結構上額外負重的影響，選擇矮灌木是優於喬木的。</p>

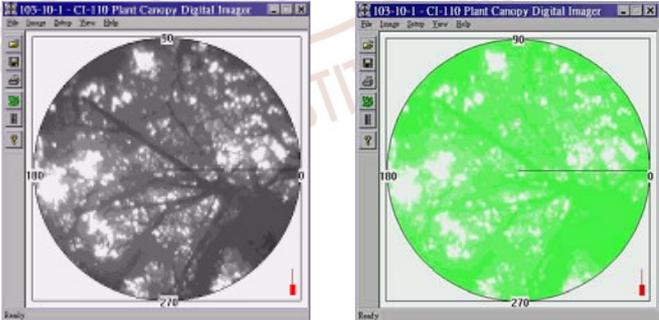
圖例說明

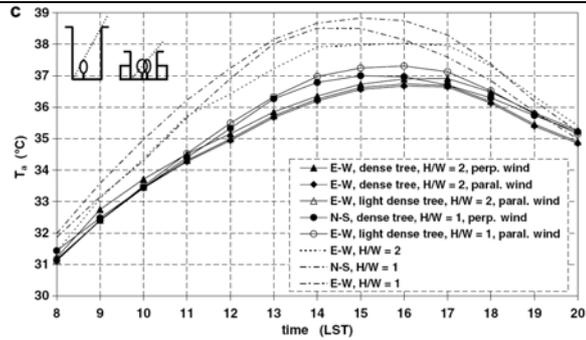


很明顯的，屋頂花園的硬鋪面部分溫度，比植被部分溫度來的高了許多。(圖片來源：涂智益，Green Roof 專題網)



建築物綠化不但能降低周遭溫度、節約能源，還可以提供居住者一個更好的環境視野。(圖片來源：Green Roof 綠屋頂專題網頁)

對策名稱	A-06 選用高葉面積指數植栽
對策分類	植栽綠化
文獻實證	<p>在 Ali-Toudert (2007)中指出，冷卻作用主要是在樹冠下方，而樹是高效率緩和熱應力的策略，是取決於它的密度(Leaf Area Index, 簡稱 LAI)以及幾何範圍。</p>
對策原理	<p>植栽造成的陰影，可以帶給街道鋪面、行人及建築物遮蔽效果，減少受到直接光及熱輻射，且植栽具有較好的蒸散效果，具有降低環境溫度的效果。</p>
補充說明	<p>葉面積指數(LAI)的定義是單位土地面積上的葉面積，為植物種群葉面積大小的一種量度，即立木樹冠葉面積總和與其樹冠垂直投影面積之比(總葉片面積/植冠相對於地面的面積)×100%，而樹冠投影面積即以樹冠直徑(冠幅)帶入圓面積公式。各層次中採用類比法測定。其中，各種植物的葉面積與季節變化、樹齡大小有相對關係，而各種植物 LAI 值方面，灌木叢<針葉林<針闊葉混合林<常綠闊葉木。</p> <p>密集樹冠植栽比稀疏的植栽，在樹冠下有更低的 PET 數值。而稀疏密度植栽，通常造成較少陰影，但比一棵密集樹冠的植栽，在遮蔭之下有更多的氣流。</p>
圖例說明	<div style="text-align: center;">  </div> <p>植栽冷卻作用取決於密度(葉面積指數 LAI)及範圍。 (圖片來源：台灣長期生態研究網)</p>

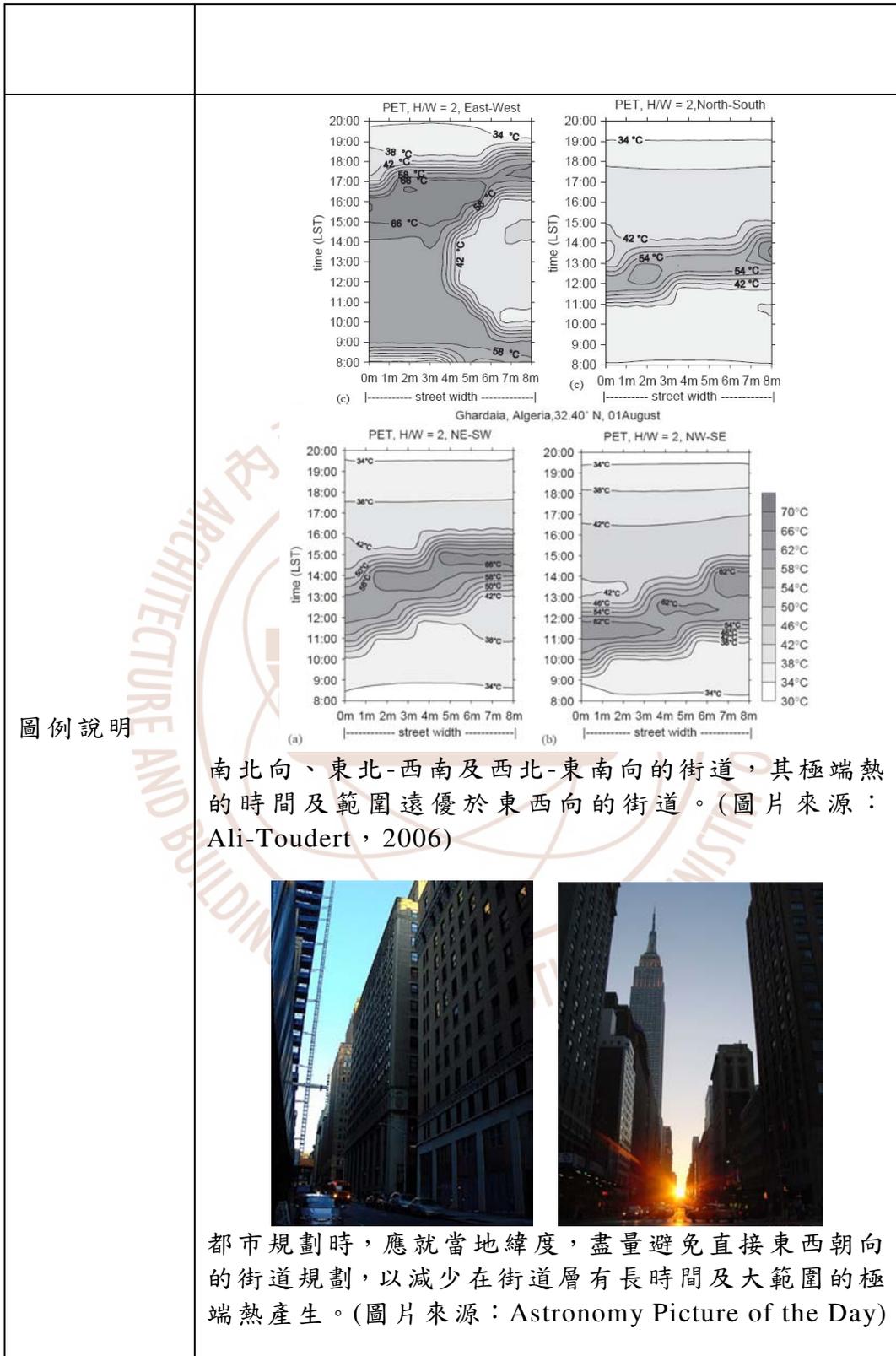


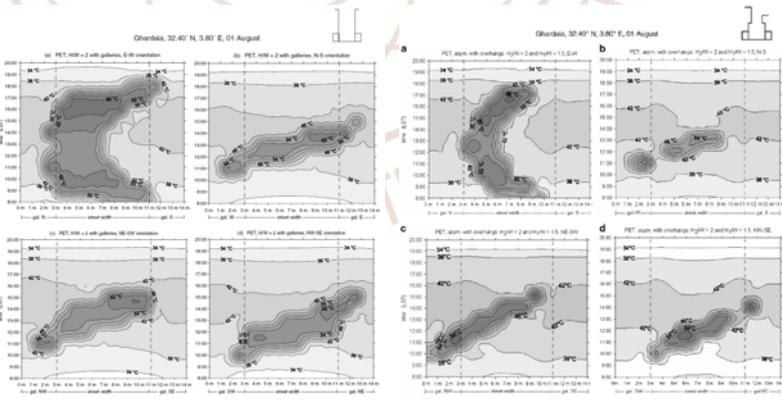
高密度植栽，其降低溫度效果略優於較稀疏的植栽。
(圖片來源：Ali-Toudert，2007)

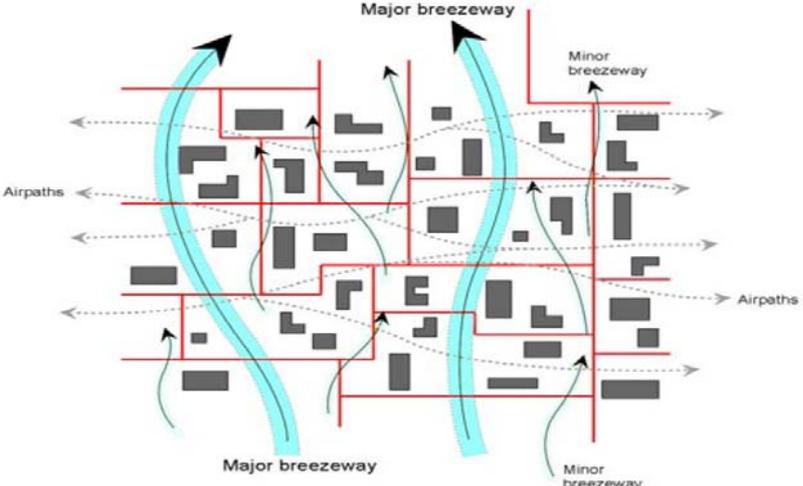


不同葉面積指數(LAI)的植栽種類，以植栽照片及魚眼鏡相片示意。上圖 LAI 值較高，下圖 LAI 值較低。

對策名稱	B-01 街道座向規劃					
對策分類	街區型態					
文獻實證	<p>Ali-Toudert (2006)中指出，一天之中，發生極端熱應力的時間和時間長短，以及街道層的 PET 空間分佈，與街道座向非常有所關聯。在 R. Emmanuel (2007)中指出，步行街道應該避免東西向，而當街道南北向時，將在早晨和下午讓街道至少一邊有陰影，這將是有利的。Ali-Toudert (2007)中指出，所有設計細節，如非對稱、廊道、立面突出物，與適當的 H/W 和街道座向一起合理組合，可能獲得在街道層微氣候大量地改善，以及在冬天保留部分室內的太陽通入。</p>					
對策原理	<p>天空可視角 SVF 受到街道座向的影響，因而影響一天中牆壁造成街道層陰影的時間長短及範圍大小，白天所接受短波輻射及夜間輻射性冷卻的多寡，進而影響表面溫度高低、穩定度及熱舒適。</p> <div data-bbox="576 1088 1278 1341" style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">street orientation</td> <td style="text-align: center;">E-W</td> <td style="text-align: center;">N-S</td> <td style="text-align: center;">NE-SW</td> <td style="text-align: center;">NW-SE</td> </tr> </table> </div> <p>街道座向示意，由左而右分別是東-西、南-北、東北-西南及西北-東南。(Ali-Toudert (2006))</p>	street orientation	E-W	N-S	NE-SW	NW-SE
street orientation	E-W	N-S	NE-SW	NW-SE		
補充說明	<p>因為在熱帶太陽高度角很高，因此步行街道應該避免東西向，而當南北向時，將在早上和下午時，至少街道的一邊有提供陰影。</p> <p>而在同樣長寬比下，以東北-西南向、西北-東南向來做為規劃的座向，將能夠改善舒適情況，因為在這些情況下，牆壁的遮蔽作用是有效的。如果將冬天太陽熱獲得納入考慮，東北-西南向、西北-東南向似乎也會是好選擇，因為他們在夏天的戶外舒適度，幾乎像南北向的街道一樣有效。</p> <p>東西向的寬街道，看起來是最難保證舒適的。而在這種情況下需要規畫廊道及街區植栽，進而改善不舒適的時間長短及範圍。</p>					

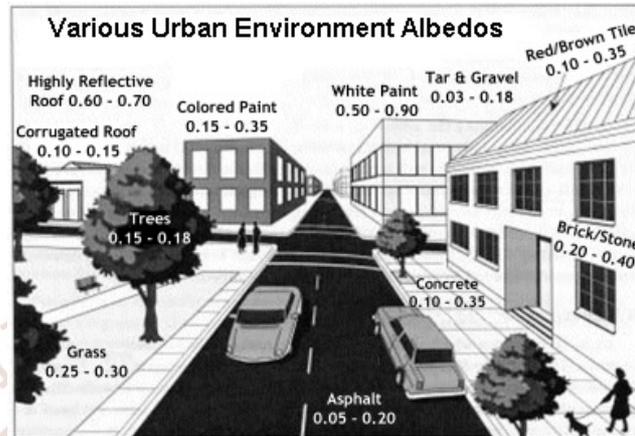


對策名稱	B-02 建築立面陰影塑造
對策分類	街區型態
文獻實證	<p>在 R. Emmanuel (2007)中指出，水平陰影是必要的，以在中午時提供人們和都市表面遮蔭。這能由行人廊道、遮篷或其它類型陰影達到。在 Wong (2008)中指出，陽台的深淺，將會影響室內環境，並影響節約能源的效果。</p>
對策原理	<p>街區廊道、遮棚、突出立面等造成的陰影，可以帶給街道鋪面、行人及建築物遮蔽效果，由於減少受到直接光及熱輻射，輻照區域受照期間短而較少來自地面輻射熱，以達成降低環境溫度，感受較低表面溫度的效果。</p>
補充說明	<p>越深的陽台、遮棚或突出立面，所造成的陰影範圍越大，影響時間越長，除了降低環境溫度，也能提高室內節能效果。</p>
圖例說明	 <p>廊道可在街區形成一個較短極端熱產生的區域，提供行人使用。其中，附有立面突出者效果更好。(圖片來源：Ali-Toudert, 2007)</p>

對策名稱	B-03 街區風通道設計
對策分類	街區型態
文獻實證	<p>在 R. Emmanuel (2007)中指出，將城市通往海岸道路由小加寬，直通到沿海以便他們能作為風渠道，而促進通風可以增進熱舒適及改善空氣品質。在 Ali-Toudert (2006)中指出，傾斜或平行風吹方向會影響風速，且因此通常會進一步減少 PET 值。</p>
對策原理	<p>風通道將可以帶給都市良好的透氣效果，由大氣吸收短波輻射，讓建築物及鋪面在白天有較高的熱散發，以減少輻射強度，降低環境溫度，且利用空氣流動，讓都市中的汙染物有較高的散發作用。</p>
補充說明	<p>在微弱季節風的赤道城市，將直達海邊的道路加寬，以作為風渠道，以利海風直接貫穿進入城市。 在類似可倫坡的赤道城市情況下，可以將建築物使用不規則的配置，且創造建築物高度上的差異。其中，塔型建築是特別適合在步行層增加風速，且如果在充足的距離分開安置，將不會阻礙風在都市中的流動。</p>
圖例說明	 <p>香港受到建築物高度及密度影響，將使建築表面輻射熱、都市內蓄熱及汙染物惡化，因此，一個重要的課題是，如何利用海風的優勢，妥善安排建築物之間的通風路徑，去改善都市內熱環境及空氣品質。(圖片來源: Katzschner and Ng (2006))</p>

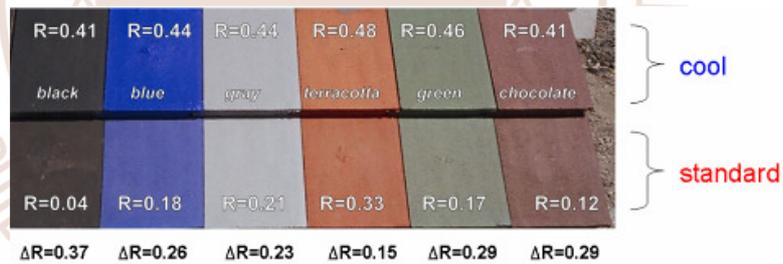
對策名稱	B-04 減少人工排熱	
對策分類	街區型態	
文獻實證	<p>在 Taha (1997)中指出，在市中心結合人為熱的作用與其它因素，例如低植被覆蓋和黑色表面，可能會提高熱島作用。另外，人為熱的衝擊在市區也許是重要，但在住宅和商業區域是微不足道的。</p> <p>在 Wong (2007)中指出，從工作者、卡車和建築機械的人為熱可能對最大白天溫度有所影響。</p>	
對策原理	<p>人為熱會造成都市整體熱通量變大，氣溫升高，因市中心區建築物林立低散熱率，進而增強都市熱島作用。</p>	
補充說明	<p>在高人為熱的極大期(中低緯度的夏季、中高緯度的冬季)，提倡減少密集的使用空調設備。另外，需策略性的減少交通運輸、作業、機械設備等人為熱的產生。</p>	
圖例說明	<div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div> <p>規劃改善交通，以公眾運輸系統取代，減少車輛排熱；於廠房改良機器使用效率，或周邊實施高綠化，降低作業排熱影響；改良空調設備，並推廣減少密集使用空調，以節約能源，並減少人為熱產生。(圖片來源：BBC 中文網)</p>	

對策名稱	C-01 低熱吸收率街道鋪面
對策分類	材料運用
文獻實證	<p>在 R. Emmanuel (2007)中指出，在低熱吸收率街道中，在大多的時間內有最低氣溫，且在南北向和東西向街道皆是如此。</p> <p>在 Taha (1997)中指出，增加都市反射率可以有效地減少地面附近的表面溫度和氣溫。</p> <p>在 H. AKBARI (2001)中指出，低熱吸收率表面可以抵銷或扭轉熱島的影響。涼快的路面經由降低四周溫度提供兩個作用，對空調電需求減少以及減少產生煙霧的程度。並且，更涼快的路對永久形變有顯著更高的抵抗性，因此可增長其使用壽命。</p>
對策原理	<p>使用吸收率低材料的直接效應將改變鋪面的能量平衡和冷卻要求。反射率高，將導致表面吸收太陽輻射較少，反之，反射率低則造成吸收較多的太陽輻射，使表面溫度增高，鋪面蓄熱及發散輻射熱，影響周遭溫度及舒適度，進而增強熱島作用。</p>
補充說明	<p>若規劃在街谷內的所有表面(包括街道表面)成為淺色的(低熱吸收率)，而這會導致難受的強光。並且，在多雨的氣候，實際上是不可能的維持這樣低熱吸收率設計的。</p> <p>另外，當低熱吸收率減少表面溫度和氣溫時，它同時也在環境中增加相當數量的被反射短波輻射，而這要納入都市規劃中適度的考量。</p> <p>研究建議，如果是在道路的定期維護期間，選擇低熱吸收率表面來替換較深色的材料，也許可用最小的花費來被增加城市反射率。其中，在重新鋪設路面上不使用黑瀝青(反射率大約 0.05-0.12)，而使用白度大約 0.35 的產品，與水泥混凝土相似。另外，還需要鼓勵的方案，推廣產品的標記和標準，以促進在建築物 and 道路方面對低熱吸收率材料的使用。</p>



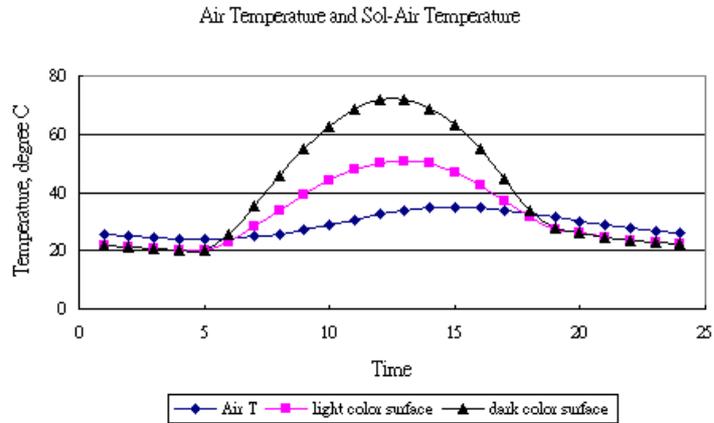
都市中，一般建築、街道鋪面的反射率分布及其大小。(圖片來源：NASA/GHCC Project Atlanta，1999)

圖例說明

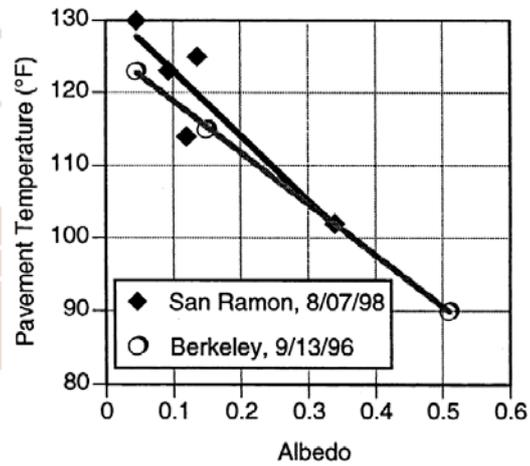


美國加州沙加緬度地區以涼適鋪面做為熱島退燒之對策，上為涼適鋪面，下為一般鋪面，顯示涼適鋪面的反射率(R)較一般鋪面高出許多，能增加反射的太陽短波能量，減少鋪面本體所吸的能量，有效減少因鋪面高熱造成的輻射量。

(資料來源：Hashem Akbari, Heat Island Group, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory)



較淺顏色的鋪面溫度，將比深色鋪面低。且淺色鋪面及氣溫間差異，只有深色鋪面與氣溫間差異的一半。

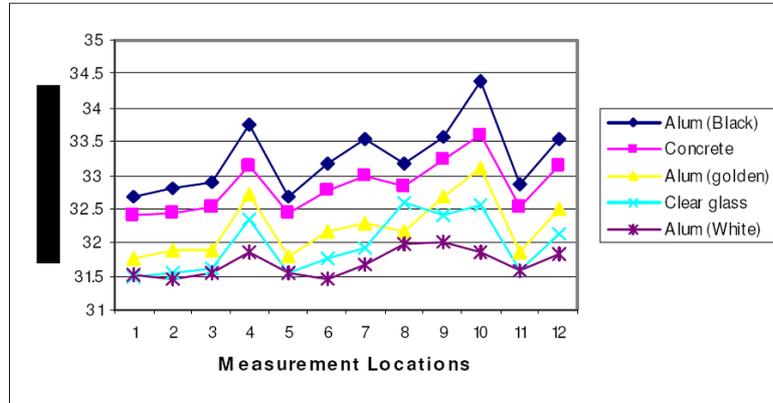


研究顯示，鋪面溫度隨著反射率增加而降低。(圖片來源：H. AKBARI，2001)



左邊較深色的路面為傳統瀝青鋪面，右邊為低熱吸收率的淺色瀝青鋪面(圖片來源：Houston Advanced Research Center, 2004, Cool Houston Plan.)

對策名稱	C-02 低熱吸收率建築立面與屋頂
對策分類	材料運用
文獻實證	<p>在 R. Emmanuel (2007)中指出，低熱吸收率的牆面/屋頂在 PET 有一個微小影響，且低熱吸收率減少表面溫度和氣溫。</p> <p>在 H. AKBARI (2001)中指出，低熱吸收率表面可以抵銷或扭轉熱島的影響。淡色屋頂的晝夜溫度差異和擴張收縮會比深色來的小。因此，更加涼快的屋頂，其使用壽命會比同樣材料的熱屋頂來的長。</p> <p>在 Wong (2007)中指出，多數建築物有大量紅顏色的熱分布，主要是由於大規模的使用混凝土和其他易吸熱的表面，降低表面濕氣有效蒸發量。且因為乾燥表面有更高的吸收性使得更多太陽輻射被吸收再輻射成熱。</p>
對策原理	<p>使用低熱吸收率材料的直接效應將改變建築物的能量平衡和冷卻要求。低熱吸收率，將導致建築物表面吸收太陽輻射較少，反之，反射率低則造成吸收較多的太陽輻射，使建築物表面溫度增高，牆面蓄熱及發散輻射熱，影響周遭溫度及舒適度。</p>
補充說明	<p>若規劃在街谷內的所有表面(包括街道表面)成為淺色的(低熱吸收率)，而這會導致難受的強光。並且，在多雨的氣候，實際上是不可能的維持這樣低熱吸收率設計的。</p> <p>另外，當低熱吸收率減少表面溫度和氣溫時，它同時也在環境中增加相當數量的被反射短波輻射，而這要納入都市規劃中適度的考量。</p> <p>因此，需要有一個整體的合理標準，以避免在許多屋頂突然增加的反射率時，會在城市造成強光和視覺不舒適。然後因極端強光而增加交通事故的發生。</p> <p>某些建築材料，雖然能設計成低熱吸收率，但需更高的成本。另外，為了維護低熱吸收率，屋頂也許需要經常重新塗洗。研究建議，為了減少費用，應該在屋頂定期維護或階段性重新鋪設時，完成反射率變更。另外，還需鼓勵的方案，推廣產品的標記和標準，促進在建築和道路方面低熱吸收率材料的使用。</p>



白色的表面材料，其氣溫甚至比透明玻璃為低；相反的，黑色表面的溫度，比混凝土更高。(圖片來源：Wong, 2008)

圖例說明

2005 BUILDING ENERGY EFFICIENCY STANDARDS

CRRC
COOL ROOF RATING COUNCIL

左圖為美國 cool roof 的認證標章，在屋頂斜率小於 2:12 之下，其初始日照反射率需達到 0.65，若斜率大於 2:12，則需達到 0.25(<http://www.coolroofs.org/>)。右圖美國加州建築節能法令 Title 24 則規定初始日照反射率需達到 0.70(www.energy.ca.gov/title24/)



ERROR: stackunderflow
OFFENDING COMMAND: ~

STACK:



第五章 熱島退燒政策與推動

第一節 日本熱島緩和策略

日本針對熱島退燒的機制，財團法人建築環境及省能源機構在日本 CASBEE 體系中，於 2006 年制定了定量的評估制度，也就是 CASBEE-HI(CASBEE for Heat Island Relaxation, 熱島效應緩和策略)，用來建築及地面對基地內與基地外高溫化效益減緩的效果。其發展的構想如下圖 5-1 所示。基於這樣的構想，而建立了的評估表如表 5-1，其評估項目為 1.自然通風、2.日照陰影、3.地表被覆、4.建築外殼材料及 5.建築設備排熱，共計五個評估項目。

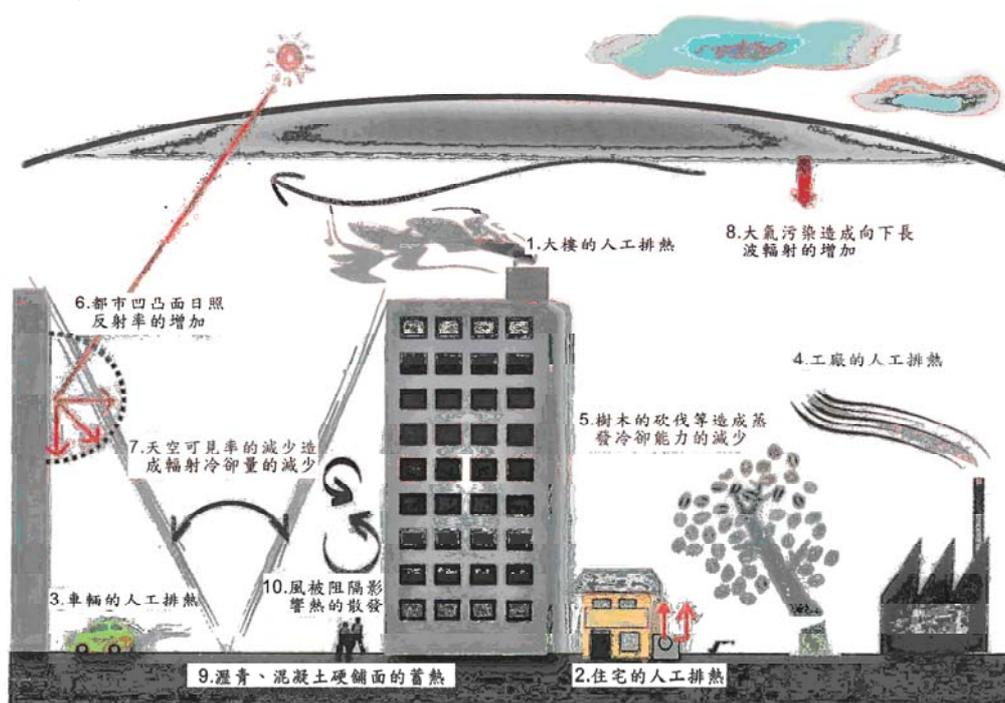


圖 5-1 都市氣溫上升的體係構想圖(資料來源: IBEC, 2006, CASBEE-HI, 中文字部分由本研究加入)

表 5-1 CASBEE-HI 的熱島緩和評估項目

配置項目			評價事項
大項目	中項目	小項目	
1. 自然通風	敷地內的步行者空間等導風，以緩和暑熱環境	1. 把握敷地週邊風的狀況，敷地內的步行者空間等導風與建築物的配置，型態計畫，還有夜間風向的考慮	定性評價
		2. 植生、草地、矮木等綠地通路的空地設置，以確保風通道	空地率
	下風處的通風考慮，減低敷地外的熱影響	1. 建築物的配置、型態計畫適當，勿遮隔下風處的風通道	定性評價
		2. 夏季時的卓越風向對建築物的見付面積小	夏季卓越風向對建築物的見付面積比
		3. 避免遮擋風，勘案建築物的高度、形狀、建築物間的鄰棟間隔等	夏季卓越風向對敷地境界線後退距離 W/H / 建物高度 H
2. 日照陰影	夏季時日照陰影的形成，以緩和敷地內步行者空間等的暑熱環境	1. 中、高木的綠地騎樓，雨遮，涼亭等設施，盡力促進日照陰影的形成 ・特別是，建築物的南側西側等日射影響強的場所要盡力日照陰影的形成	中、高樹木植栽，騎樓，雨遮，涼亭等水平投影面積率
	日照陰影的形成，減低敷地外的熱影響	2. 中、高木的綠地騎樓，雨遮，涼亭等設施，盡力促進敷地內日照陰影的形成	中、高樹木植栽，騎樓，雨遮，涼亭等水平投影面積率
3. 地表被覆	確保敷地內綠地水面等，緩和敷地內步行者空間等的暑熱環境	1. 植生、草地、低木等的綠地及水面的確保，以抑制地表面溫度及地表面近處等的氣溫上升	綠覆率 + 水覆率
		2. 盡力使敷地內的鋪裝面積小 ・特別是，建築物的南側西側等的日射的影響強的場所，盡力避免鋪裝面（停車場等）	鋪裝面積率
	考慮地表面被覆材，減低敷地外的熱影響	1. 盡量選定保水性、透水性高被覆材，或者日射反射率高的被覆材	實施保水、透水對策的外構面積率
4. 建築外殼材料	實施綠化，緩和敷地內步行者空間等的暑熱環境	1. 盡力外牆面的綠化 ・特別是，盡力建築物的南側西側等的日射的影響強的部位綠化	外牆面綠覆率
		2. 盡量在屋頂層（人出入使用的部分）做綠化	定性評價
	考慮建築外	1. 儘量在屋頂面實施綠化，選用高日射反	實施對策的屋

第五章 熱島退燒政策與推動

	裝材料等，減低敷地外的熱影響	射率、長波放射率的屋頂材料，以抑制建築物入熱量	頂面積率
		2.盡量在外牆面實施綠化，盡量選用高日射反射率、長波放射率的外牆面材料	實施對策的外牆面積率
5. 建築設備排熱	考慮隨著建築設備的排熱位置等，緩和敷地內步行者空間等的暑熱環境	1.隨著主要建築設備（空調設備）的排熱，盡量在建築物高的位置排放 • 冷卻塔、室外機等排熱	排熱位置
		2.隨著主要建築設備（燃燒設備）的高溫排熱，盡量在建築物高的位置排放 • 經由煙囪的排熱 （發電機、吸收式冷凍機、鍋爐等）	排熱位置
	減低建築設備對大氣的排熱量	1.防止通過建築物外殼產生的熱損失及講求空調設備能源有效率的使用措施，以降低至大氣的排熱量。特別是，設備容量大的建築用，長時間使用空調設施，盡量減低單樓層的排熱量 • 抑制建築物的熱負荷 日射遮蔽（中高木，雨遮，屋突出物等） ／強化隔熱以抑制隨著冷氣的排熱 • 設備的高效率化 省能空調、照明、換氣、升降梯設備的使用 • 自然能源的活用 （敷地周邊保有的自然能源的活用） 以自然通風來抑制排熱 以自然光利用來抑制排熱 • 未利用能源的活用 （敷地周邊保有的都市排熱的活用） 以垃圾焚化廠排熱的利用來抑制排熱 以下水處理廠餘熱的利用來抑制排熱 海水、河川水、地下水等的利用 • 高效率整備的導入 地區性冷暖房 （地區性冷暖房計畫要將該建築物對大氣的冷氣排熱排放應當算入該建築物的排熱量）	時間最大耗能單位（ W/m^2 ） 容積率補正值
			3.隨建築設備產生的排熱，利用低溫排熱方法等，盡力氣溫上昇的抑制
	2.使用電力高峰時的排熱※、蓄熱裝置 ※以評價全日評價的場合，評價日中評價的場合	定性評價 排熱的夜間移行率（尤其夏季期間）	

事實上，表 5-1 之評估的項目與本研究第四章所提的四個分類之細項相當雷同，而是價值大概可以用下面兩個觀點來檢視：

1. 簡易的操作性

除了少數幾個評估項目為定性評估外，大部分的評估項目都可藉由簡單的計算評估。以 3.地表被覆中的「保水性、透水性高被覆材」這個評估項為例，給分認定可分為「等級 1」至「等級 5」，其給分的基準如表 5-2 所示

表 5-2 保水性、透水性高被覆材評估等級說明

等級	內容
等級 1	對策面積率 0%
等級 2	對策面積率未滿 5%
等級 3	對策面積率 5% 以上，未滿 10%
等級 4	對策面積率 10% 以上，未滿 15%
等級 5	對策面積率 15% 以上

2. 充足的理論性

CASBEE-HI 在理論上，是以各項目能對於戶外環境熱負荷的降低效果來評估。所謂的降低效果的認定指標，是以一般常用的空氣溫度，以及 Gagge 的標準有效溫度 SET*(Gagge, et al., 1986)來評估。而其評估的模式是採用 3D 的 CFD 加以解析。舉例來說，當評估鋪面的保水性對熱環境降低效果時，所設定邊界範圍如圖 5-2 所示，配置的模式如圖 5-3 所示，而其結果則為圖 5-4。

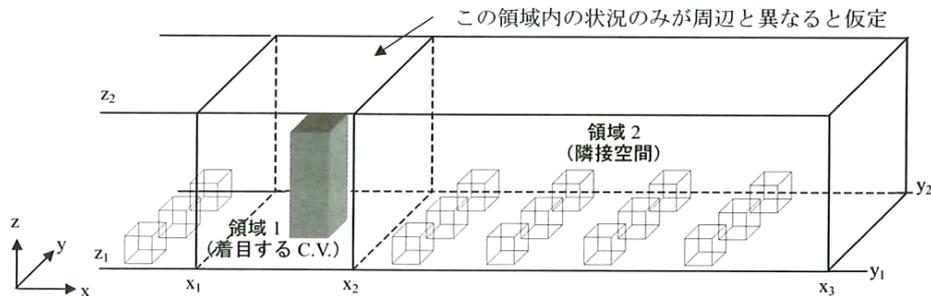


圖 5-2 模擬範圍的基本假定

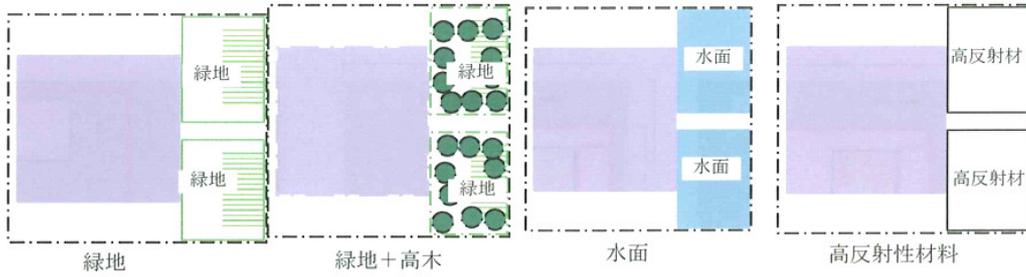


圖 5-3 綠地、水面、高反射材料在基地中模擬的設定。

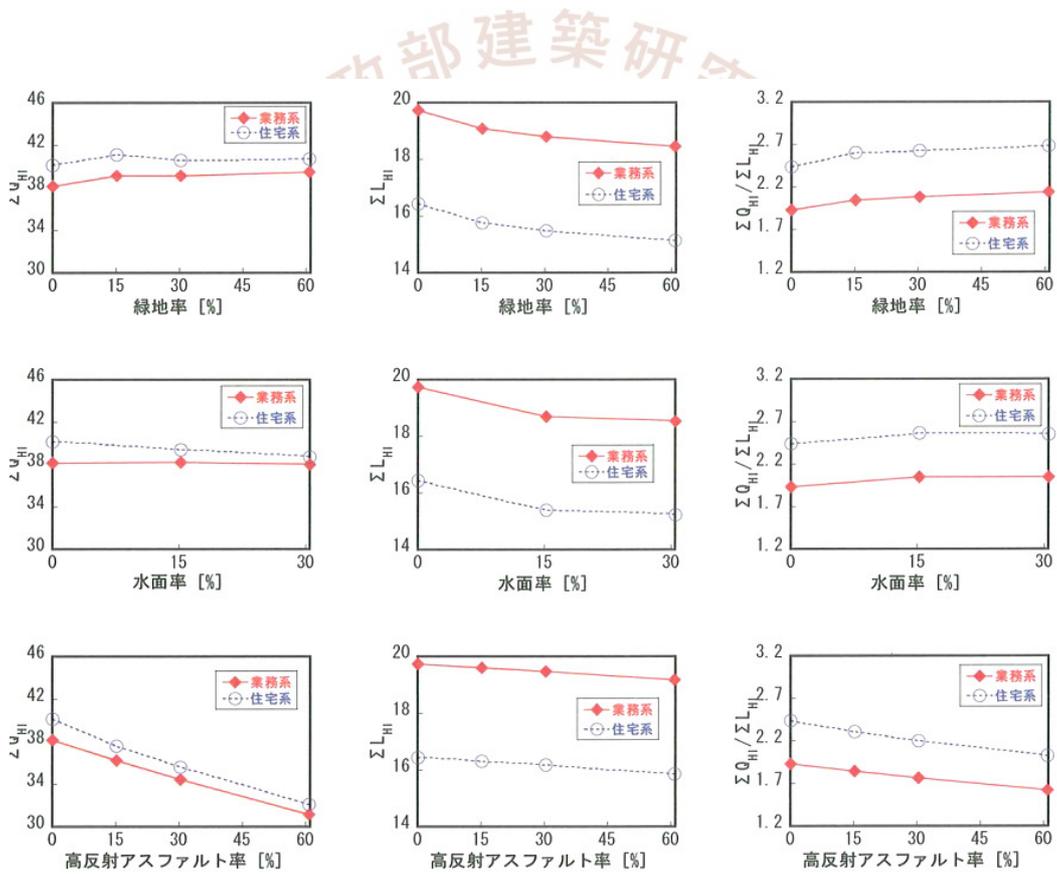


圖 5-4 不同比例的綠地、水面、高反射材料對基地外部及內部溫度降低的模擬效益的結果。

城市地區熱島效應退燒策略研究

而在其最後成果的評估可以用一個表格來呈現。其範例是福岡市某個著名的立體綠化之辦公大樓。在評估中呈現各項的得分，雷達圖及手法上的重點註記。

ケース5 (立地条件①、非住宅用途)

評価結果 ランクA (BEE_{HI}:2.0)

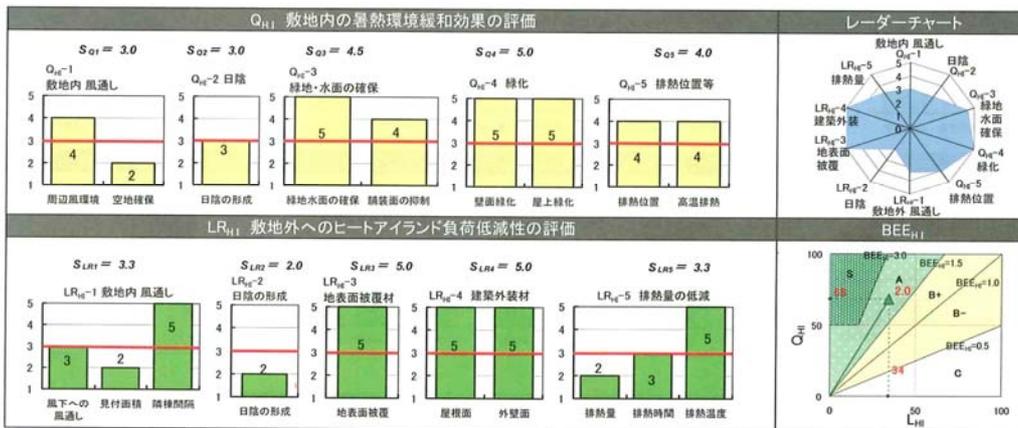


評価建物の特徴
 (1)周辺環境、風通し 敷地南側に隣接する天神中央公園の緑と連なるように、公園側に傾斜したステップガーデンを持つ構成としており、常風向に対する見つけ面積を削減している。(2)日陰 ステップガーデンには庇状のプランターも設けられ、植栽により壁面・窓面への日射を遮蔽している。(3)外構の地表面被覆 外構と連続するステップガーデンには、福岡周辺の山や地元の生態系に見られる多様な植物を混植している。竣工後10年が過ぎステップガーデンは、公園の緑と連続的に一体化した山に成長している。ステップガーデンでは、継続的に熱環境調査が実施され、植物の蒸散作用による気化熱冷却により、周辺表面の温度の上昇が抑制されていることが確認されている。(4)建築外装材料 南面はステップガーデン、東西、北面はガラスカーテンウォールと白色の裏打ち材料による反射率の高い材質を採用している。(5)建築設備からの排熱 排熱を伴う設備機器は全て屋上機械置場に設置している。



夏期の卓越風向

評価建物の概要
 建物用途：事務所
 所在地：福岡県福岡市
 敷地面積：13,647.54 m²
 延床面積：97,483 m²
 階数：地下4階・地上14階
 竣工：1995年3月
 法定容積率：600%
 実容積率：598.25%
 夏期卓越風向：北西
 空地率：21.1%
 地表面緑被率：42.7%



採点の考え方

評価分野	中項目	計画上の配慮事項
風通し	Q _{HI-1}	空地率 21.1%につきレベル 2 とする。
	LR _{HI-1}	敷地南側の天神中央公園から連続するように、建物南側に傾斜したステップガーデンが設けられている。このステップガーデンを敷地南側の天神中央公園、西側の薬院新川方向からの風に対し、通り抜けを促進するセットバックとして評価する。
日陰	Q _{HI-2}	評価は外構と連続するステップガーデンを含め行った。ステップガーデンには背丈の高い植栽も混載されており、敷地路に対し日陰を形成している。
	LR _{HI-2}	中・高木の緑地やピロティ、庇、バーゴラ等による水平投影面積率が 8.6% であるため、レベル 2 とする。
緑地・水面の確保	Q _{HI-3}	外構から連続するステップガーデン部分も合わせて評価している。外構の植栽、ステップガーデンの植栽を合せて緑被率は 42.7% と高い。
	LR _{HI-3}	対策面積率 41.5% につきレベル 5 とする。
緑化	Q _{HI-4}	ステップガーデンには背丈の高い植栽も混載されていること、また、庇状に設けたプランターへの植栽により、壁面、窓面への日射を効果的に遮蔽し、温度の上昇を抑制している。
	LR _{HI-4}	ステップガーデンには背丈の高い植栽も混載されていること、また、庇状に設けたプランターへの植栽により、壁面、窓面への日射を効果的に遮蔽し、温度の上昇を抑制している。また、東西、北面の壁面は、ガラスカーテンウォール、アルミパネルなどの反射率の高い材質で構成されている。
排熱位置等	Q _{HI-5}	空冷熱源機器・水冷熱源機器用冷却塔ともに全て屋上に設置されている。
	LR _{HI-5}	ステップガーデン部の緑化による日射遮蔽、断熱性の向上により負荷を低減するとともに、熱源はターボ冷凍機+蓄熱槽とガス冷温水機により効率のよい熱源設備を構成している。

圖 5-5 辦公大樓案例評估總表示範。

第二節 日本熱島緩和推動現況

日本目前對熱島緩和之推動相當積極。以東京都為例，整合了都市計畫、住宅、下水道、環境、產業勞動、建設等各個區處，從綠化增加熱排出、冷卻等觀點落實，並有若干計畫針對調查、研究、試驗進行，成效良好。

表 5-3 東京都熱島緩和於 2001-2002 施實的狀況

類型	事業者	實施年度	概要	所管局
綠化增加	建築物的綠化等	新建都立設施、大規模改建時屋頂綠化	2001, 2002 2001 年 都立つばさ高校等 5 件 (3,568 m ²) 2002 年 都議會議會樓等 4 件 (1,469 m ²)	財務
		都市計畫中屋頂層綠化的推動	2001, 2002 重新開發，綜合設計等狀況以屋頂層綠化像容積率緩和割增 (2001 年：赤坂等；2002 年：大崎駅等)	都市計畫
		公營住宅的屋頂綠化	2002 試行 (1 団地)	住宅
		下水道設施的屋頂層綠化、牆面綠化	2001, 2002 2001 年 木場排水所等約 200 m ² 2002 年 落合處理廠等建築 3 萬 m ²	下水道
		建築物環境計畫書制度	2002 ~ 綠化、雨水浸透等自主的在環境計畫書提出	環境
		公共設施的綠化	2002 都議會議會堂的屋頂層綠化 (約 750 m ²)	環境
		屋頂層等綠化的推動	2001, 2002 標準新建、增建、改建建築綠化計畫書的提出指導 (2001 年約 11 ha)	環境
都市街區的綠化	環境形成地區計畫	2002 同計畫決定用途地區等時，可能指定基準容積率的變更 (同計畫 12 月制度化)	都市計畫	
	樹苗的生產、供給	2001, 2002 綠化用樹苗的育成，都的公共事業等供給 (年間約 30 萬本)	產業勞動	
	公營住宅的敷地綠化	2001, 2002 盡量以超過綠化基準來綠化 (年間 3 千戶改建，2001 年施工場地的綠化率約 25%)	住宅	
	道路的綠化	2001, 2002 街道樹 (約 800 本)，步道植樹蒂 (約 21km)，綠化道路 (2 個所)，街角庭園 (11 個所) 等的整備	建設	
	下水道設施的敷地綠化	2001, 2002 2001 年：中川植物約 1.4 萬 m ² ， 2002 年：新河岸東處理廠等約 6	下水道	

城市地區熱島效應退燒策略研究

			2002	萬 m ²	
		公共設施的敷地綠化	2002	東京體育館前廣場的綠化	環境
	公園等的整備	都市公園的整備	2001 , 2002	約 18 ha (年約 9 ha)	建設
		海上公園的整備	2001 , 2002	新木場綠道公園, 晨巳的森海濱公園 (計約 2 ha)	港灣
熱排出、冷卻	建物的整備	都設施能源使用量的節約提案	2001 , 2002	2001 年節約提案 9 件, 2002 年 6 件	財務
		公營住宅屋頂層的外斷	2001 , 2002	年間 3 千戶改建	住宅
		公營住宅冷房負荷的減少	2001 , 2002	考慮隔熱、自然通風的配置計畫 (年間 3 千戶改建)	住宅
		地球暖化計畫書制度、建築物環境計畫書制度 (再揭)	2002 ~	抑制排出隨事業活動產生的溫室氣體的裝置的自主計畫書提出	環境
敷地、道路、河川等整備		隨公營住宅的改建使用浸水性鋪裝	2001 , 2002	浸水性鋪裝 (年間 3 千戶改建)	住宅
		路面補強整修工程	2001 , 2002	保水性鋪裝的試驗施工 (2001 年都廳前, 2002 年八重洲)	建設
		護岸等的整備	2001 , 2002	管理用通路的浸水性鋪裝護岸等的綠化	建設
		路面的散水實驗	2001 , 2002	下水再生水於保水性鋪裝上散水 (2001 年配管工程)	下水道
調查、研究、試驗等	建物的綠化等	保水性材料的開發	2000 ~200 2	天然資源 (草碳等) 利用高分子化學來開發, 屋頂層綠化的土地改良材料的應用檢討	產業勞動
		沸石製造技術的開發	2001	火山灰的保水性、浸水性豐富且輕量, 為非常優質的人工沸石製造技術開發	產業勞動
		火山灰屋頂綠化實證實驗	2002	三宅島的火山灰於屋頂層的人工土壤綠化實證實驗	產業勞動
		屋頂層、牆面綠化技術的開發	2002	選擇適合屋頂層、牆面綠化的植物, 生產、管理技術的開發	產業勞動
	道路的整備	保水性鋪裝	2001 , 2002	土木技術研究所狀況試驗	建設
	整體	觀察記錄	2002	環境科學研究所 (120 個所)	環境

另外，在網頁上也建構了相關訊息，來加強民眾對熱島緩和重要性的認知。另外，東京都環境局也設定了一個目標，將在 2015 年(平成 27 年)前，每年夜間高溫的天數要降低 20 天。

The screenshot shows the website for 'Measures Against The Heat Island' (東京都のヒートアイランド対策) on the Tokyo Metropolitan Government's environmental website. The page features a navigation bar with 'ENGLISH' and 'サイトマップ' (Site Map). The main content is organized into three columns: '基本情報' (Basic Information), 'TOPIC'S', and '新着情報' (New Information). The '基本情報' column lists various topics such as '東京のヒートアイランド現象' (Heat Island Phenomenon in Tokyo), '東京都のヒートアイランド対策目標' (Targets for Heat Island Countermeasures in Tokyo), and 'イベント' (Events). The 'TOPIC'S' column highlights 'クールルーフ推進事業' (Cool Roof Promotion Project). The '新着情報' column includes a notice about the 20th fiscal year plan. On the right side, there are several promotional banners for '校庭芝生化' (Schoolyard Grassification), 'ヒートアイランド対策ガイドライン' (Heat Island Countermeasure Guidelines), '壁面緑化ガイドライン' (Wall Greening Guidelines), 'ヒートアイランド現象キッズページ' (Heat Island Phenomenon Kids Page), and '東京都地球温暖化対策' (Tokyo Earth Warming Countermeasures). At the bottom, there is contact information for the Tokyo Metropolitan Government's Urban Global Environment Planning and Adjustment Section, including a phone number and an email address.

圖 5-6 東京都熱島緩和宣導網頁

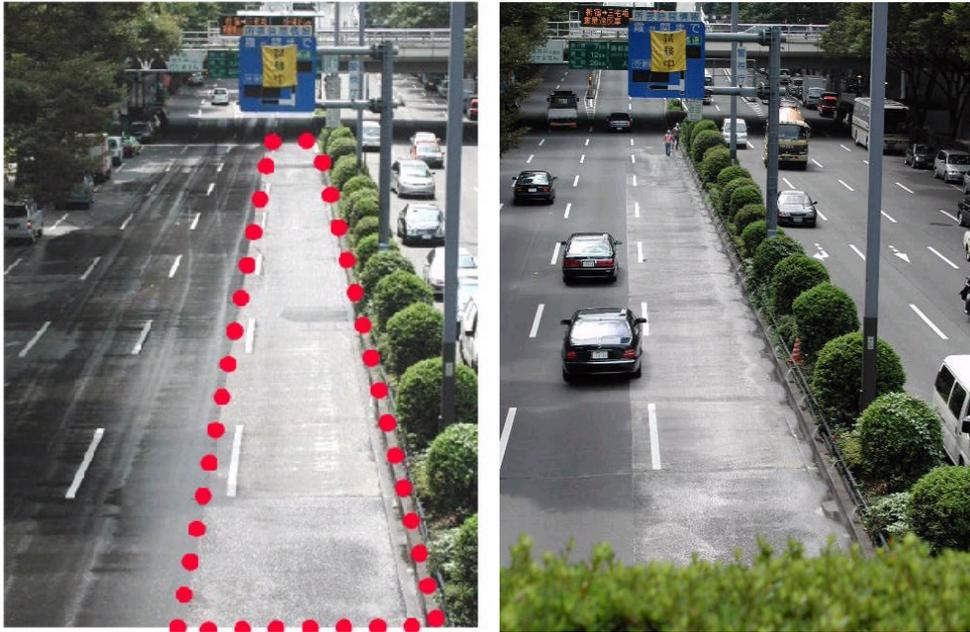


圖 5-7 透水性路面鋪設範圍與路面測試



圖 5-8 高反射材料在戶外與室內的測試。戶外測試在太陽光下的表面溫度，室內則測試 8 度日射角下模擬日光頻譜 (300-2500 nm) 的反射率

第三節 台灣當前熱島退燒政策

為了有效解決當前台灣都市熱島日益嚴重的課題，本計畫歸納國內外的手法，以及日本所採用之政策，提出下述構想，做為未來都市熱島在退燒政策擬定時之參考。

1. 研擬戶外熱環境之簡易評估系統

定量之評估有助於未來戶外熱環境與熱島退燒之推展，而評估方法無形中也將成為影響設計的重要關鍵，因此，建立一個簡易的戶外熱環境評估系統在現階段為重要的工作。目前由內政部建築研究所與成大林憲德教授執行之生態社區評估系統即具備這樣的基礎，後續也值得未來做更進一步的探討，以呈現更完整的評估。

2. 建立戶外熱環境之參考資料庫

一個完整的評估系統需要有完整的參考資料庫。舉例而言，有關鋪面材料反照率的部分，雖然可在實驗室內獲得結果，然而，太陽的實際頻譜並無法完全在實驗室內重現，實際的戶外的反射狀況也會受到輻射量、空氣濁度、微氣候影響，因此，需要建立台灣氣候下各類材料、手法的基本數據標準的建立。

在本計畫執行中，研究團隊曾於2008年6月至10月，於虎尾科技大學校園中，進行一項初步的測試性的實驗計畫，針對地面材料的「反照率」(Albedo)進行現地的調查，除了基本的物理環境測定因子(如空氣溫度、自然通風濕球溫度、強制通風的濕球溫度、黑球溫度、風速及風向等)以外，特別針對鋪面的向上↑/向下↓之短波(0.3-3 μ m)/長波短波(4.5-42 μ m)/輻射量進行初步的觀測。初步的結果發現柏油約0.08-0.09，水泥約0.11-0.14，紅色連鎖磚0.12-0.15，草地則在0.17-0.21左右。由結果可見，草地的反射率較其它鋪面高出許多。由本研究第四章所述，材料的反照率高，將導致表面吸收太陽輻射較少，反之，

城市地區熱島效應退燒策略研究

反照率低則造成吸收較多的太陽輻射，使表面溫度增高，鋪面蓄熱及發散輻射熱，影響周遭溫度及舒適度，進而增強熱島作用。

類似像這樣的數據，如牆面、屋頂的反照率，植栽的天空可視率、蒸發散效益，空調的排熱量等，均有賴於日後台灣本土資料的搜集，可做為評估系統的引用數據或是修正參數，讓評估更為精確有效。



圖 5-9 研究團隊針對柏油、水泥、紅色連鎖磚、草地地面材料的「反照率」(Albedo)的初步測試性的實驗計畫

3. 補助熱島退燒示範案例

熱島退燒示範案例有助於民眾觀念的建立，以及公部門對政策的推廣。目前已遴選出的案例其對象仍以較封閉型之社區為主，雖然對該基地內的熱環境會有相當程度之改善，然而其效果可能未必十分顯著。參酌過去日本推動示範案例之經驗，本研究提出下述觀點，做為未來遴選示範案例之準則與參考。

(1) 要選擇現有熱環境不佳的基地

如果原基地週邊已有公園、綠地，或者是原先開發的強度不高，則日後的改善必然有限，未能彰顯其效果。因此，示範案例要選擇現有熱環境不佳的基地，才能顯現改善後的差異。

(2) 要跨出單一建築基地的限制

單一建築基地雖然容易整合申請，然而，大部分造成都市暖化的常是大規模的多宗基地以及道路、廣場等空間。因此，應該盡可能效法日本推動之模式，整合多個公部門局、處，以及公有與私有基地，才能有比較具前瞻性的案例出現。

(3) 要具有可以改造的條件

有些案例的設定縱使立意良好，但仍需要考量其施工之可行性，公部門會有原設施年限的問題，私人基地則會有住戶配合意願的問題，而日後的維護管理也需同時考量。

(4) 要呈現多樣性的手法

因為基地外受到地形、建築、發熱源的影響，基地微氣候會有很大的差異，一個良好的熱島的對策手法也可能不適用於某種型態的基地，因而，將單一的手法套用於每一個基地中，例如更換所有地面的材料，是相當不理想的作法。應考慮當地微氣候的條件來做適當手法的因應，並以多樣性的手法來呈現熱島案例緩和的示範性效果

(5) 要設定改善的效益願景

受限於氣候的多變性，戶外熱環境的改善不易精確評估，在施工

城市地區熱島效應退燒策略研究

前後也不容易找到完全相同的背景氣候條件來比較。然而，也可以參考日本的模式，設定熱島緩和的願景，例如將在完工後減少每年夜間高溫的天數，而這些也可以利用施工時設置溫度監控系統來進行，以做為後續之驗證。

截至 97 年 12 月底止，政府已遴選出兩個地點做為未來熱島退燒的示範，在台北市為成功國宅，在高雄市為高雄捷運 O5R10 美麗島站(紅橘路網交會點)周邊區域。



——以下不用

REF

IBEC, 2006, 建築物総合環境性能評価システム CASBEE-HI (ヒートアイランド) 評価マニュアル 2006 年度版。財団法人建築環境・省エネルギー機構。

表 5-1 CASBEE-HI 的熱島緩和評估項目	90
表 5-2 保水性、透水性高被覆材評估等級說明	92
表 5-3 東京都熱島緩和於 2001-2002 施實的狀況	95
圖 5-1 都市氣溫上升的體係構想圖(資料來源: IBEC, 2006, CASBEE-HI, 中文字部分由本研究加入)	89
圖 5-2 模擬範圍的基本假定	92
圖 5-3 綠地、水面、高反射材料在基地中模擬的設定。 .	93
圖 5-4 不同比例的綠地、水面、高反射材料對基地外部及內部溫度降低的模擬效益的結果。	93
圖 5-5 辦公大樓案例評估總表示範。	94
圖 5-6 東京都熱島緩和宣導網頁	97
圖 5-7 透水性路面鋪設範圍與路面測試	98
圖 5-8 高反射材料在戶外與室內的測試。戶外測試在太陽光下的表面溫度，室內則測試 8 度日射角下模擬日光頻譜(300-2500 nm)的反射率	98
圖 5-9 研究團隊針對柏油、水泥、紅色連鎖磚、草地地面材料的「反照率」(Albedo)的初步測試性的實驗計畫	100

第六章 結論

隨著「都市熱島效應」日益嚴重，不僅造成室內空調耗用能源增加，戶外熱舒適性降低，更嚴重的會造成都市生態的問題。為了充分了解都市熱島效應的問題，本研究首先彙整國內外都市熱島相關文獻，針對其地理條件、氣候型態、規模尺度、量測方法等做有系統的歸納整理。彙整的方式分為四個部分。「地點資料」陳述該研究之基本屬性資料。「環境因子」陳述該研究在環境設計上的特徵。「實測資料」陳述該研究之實測時間及其氣象要素取得的方式。「主要結果」則列出過程中最主要的發現，以及研究者所建議之改善對策，以及預期的效益。

其次由台灣微氣候特性與熱舒適性特性了解台灣戶外熱環境的需求。這是因為國外乾燥地區高達 10 度 C 以上的熱島強度，並不容易發生在地處濕熱的亞熱帶候區台灣，而其改善對策也未必適用於台灣。再則，Köppen 氣候分類系統(Köppen climate classification system)顯示台灣氣候呈現相當多樣的特性，在都市型態上建築密度極高，使用的對策手法有限，故需以台灣氣候、都市型態為觀點及本土的實測結果來解決都市熱島問題。

在熱島退燒對策研擬方面，本研究依過去文獻所提的熱島效應退燒對策，再加入台灣本土氣候特性及台灣居民的熱舒適範圍，將適合台灣的熱島效應退燒對策分為三類，分別為「植栽綠化」、「街區型態」、「材料運用」四類，各項對策並依照「文獻實證」、「對策原理」、「補充說明」、「圖例說明」等以表格方式整理之，以提供未來設計之參考。這些手法包含以都市尺度的巨觀角度，及為街廓尺度的微觀角度，需視基地環境的特性及可行性來選擇適合熱島退燒對策。

城市地區熱島效應退燒策略研究

而在都市熱島緩和的政策之中，本研究以日本推動的實例來做進一步的分析，包含評估體系的建立，以及改善案例的推動，這可以做為台灣日後政策推動上的重要借鏡，包含研擬戶外熱環境之簡易評估系統、建立戶外熱環境之參考資料庫、補助熱島退燒示範案例。針對示範案例的遴選，本研究也提出五項評估觀點，包含現有熱環境不佳的基地、跨出單一建築基地的限制、具有可以改造的條件、呈現多樣性的手法、設定改善的效益願景等，以期未來台灣能由綠建築邁向永續城市，達到熱島退燒、節能減碳的效果。



參考書目

- Ahmed KS, 2003, Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings* 35:103-10.
- Akbari H, Pomerantz M, Taha H, 2001, Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* 70:295-310.
- Ali-Toudert F, Mayer H, 2006, Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41:94-108.
- Ali-Toudert F, Mayer H, 2007, Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81:742-54.
- ASHRAE, 2001, *ASHRAE Handbook of fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE, 2004, *ASHRAE Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- Bottyan Z, Unger J, 2003, A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology* 75:233-43.
- Bozonnet E, Belarbi R, Allard F, 2005, Modelling solar effects on the heat and mass transfer in a street canyon, a simplified approach. *Solar Energy* 79:10-24.
- Busch JF, 1990, Thermal responses to the Thai office environment. *ASHRAE Transactions* 96:859-72.
- Chan DWT, Burnett J, de Dear RJ, Ng SCH, 1998, A large-scale survey

- of thermal comfort in office premises in Hong Kong. ASHRAE Transactions 104:1172-80.
- Cheng V, Ng E, 2006, Thermal comfort in urban open spaces for Hong Kong. Architectural Science Review 49:236-42.
- de Dear RJ, Leow KG, Foo SC, 1991, Thermal comfort in the humid tropics: field experiments in air-conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore. International Journal of Biometeorology 34:259-65.
- de Dear RJ, Fountain ME, 1994, Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. ASHRAE Transactions 100:457-74.
- Deosthali V, 2000, Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune City, India. Atmospheric Environment 34:2745-54.
- Eliasson I, 1996, Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. Atmospheric Environment 30:379-92.
- Emmanuel R, 2005, Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. Building and Environment 40:1591-601.
- Emmanuel R, Rosenlund H, Johansson E, 2007, Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. International Journal of Climatology 27:1995-2004.
- Fanger PO, 1972, Thermal Comfort. New York: McGraw Hill.
- Feriadi H, Wong NH, 2004, Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. Energy and Buildings 36:614-26.
- Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG, 1986, A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions 92:709-31.
- Giridharan R, Lau SSY, Ganesan S, 2005, Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong. Energy and

- Buildings 37:964-71.
- Givoni B, Noguchi M, Saaroni H, Pochter O, Yaacov Y, Feller N, Becker S, 2003, Outdoor comfort research issues. Energy and Buildings 35:77-86.
- Goldreich Y, 1995, Urban climate studies in Israel--A review. Atmospheric Environment 29:467-78.
- Hamdi R, Schayes G, 2007, Sensitivity study of the urban heat island intensity to urban characteristics. International Journal of Climatology in press.
- Harlan SL, Brazel AJ, Prasad L, Stefanov WL, Larsen L, 2006, Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. Social Science & Medicine 63:2847-63.
- Herbert JM, Johnson GT, Arnfield AJ, 1998, Modelling the thermal climate in city canyons. Environmental Modelling and Software 13:267-77.
- Hwang RL, Lin TP, Kuo NJ, 2006, Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. Energy and Buildings 38:53-62.
- Hwang RL, Lin TP, 2007, Thermal comfort requirements for occupants of semi-outdoor and outdoor environments in hot-humid regions. Architectural Science Review 50:60-67.
- Ichinose T, Shimodozono K, Hanaki K, 1999, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. Atmospheric Environment 33:3897-909.
- ISO, 1994, International Standard 7730, Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva: International Standard Organization.
- ISO, 1998, International Standard 7726, Thermal environment-instruments and method for measuring physical

- quantities. Geneva: International Standard Organization.
- Johansson E, 2006, Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment* 41:1326-38.
- Johansson E, Emmanuel R, 2006, The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology* 51:119-33.
- Karaca M, Tayanc M, Toros H, 1995, Effects of urbanization on climate of Istanbul and Ankara. *Atmospheric Environment* 29:3411-21.
- Karyono TH, 2000, Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia *Building and Environment* 35:77-90.
- Katzschner L, Ng E, 2006. Ventilation Investigations in a densely built up Area of Hong Kong to describe Thermal Comfort. 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA2006), Geneva
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F, 2006, World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated *Meteorologische Zeitschrift* 15:259-63.
- Kruger E, Givoni B, 2007, Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. *Building and Environment* 42:1685-98.
- Kwok AG, 1998, Thermal comfort in tropical classrooms. *ASHRAE Transactions* 104:1031-47.
- Lin TP, Matzarakis A, 2007, Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology* in press.
- Lin TP, Matzarakis A, 2008, Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology* 52:281-90.
- Makar PA, Gravel S, Chirkov V, Strawbridge KB, Froude F, Arnold J,

- Brook J, 2006, Heat flux, urban properties, and regional weather. *Atmospheric Environment* 40:2750-66.
- Malama A, Sharples S, 1997, Thermal Performance of Traditional and Contemporary Housing in the Cool Season of Zambia *Building and Environment* 32:69-78.
- Matzarakis A, Mayer H, 1996, Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO News* 18:7-10.
- Mochida A, Murakami S, Ojima T, Kim S, Ooka R, Sugiyama H, 1997, CFD analysis of mesoscale climate in the Greater Tokyo area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 67-68:459-77.
- Munchener Ruckversicherings-Gesellschaft, 2005, *Weather Catastrophes and Climate Change: Is There Still Hope for Us?* München: Munchener Ruckversicherings-Gesellschaft.
- Nichol J, Wong MS, 2005, Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning* 73:49-58.
- Nicol JF, Raja IA, Allaudin A, Jamy GN, 1999, Climatic variations in comfortable temperatures: The Pakistan projects. *Energy and Buildings* 30:261-79.
- Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K, 2001, Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy* 70:227-35
- Nikolopoulou M, Lykoudis S, 2006, Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment* 41:1455-70.
- Oke TR, 1981 Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J Climatol* 1:237-54.
- Oseland NA, 1994, Comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer. *Energy and*

- Buildings 21:45-54.
- Pauleit S, Ennos R, Golding Y, 2005, Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change--a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 71:295-310.
- Rosenfeld AH, Akbari H, Bretz S, Fishman BL, Kurn DM, Sailor D, Taha H, 1995, Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings* 22:255-65.
- Roth M, 2007, Review of urban climate research in (sub)tropical regions. *International Journal of Climatology* 27:1859-73.
- Saaroni H, Ben-Dor E, Bitan A, Potchter O, 2000, Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning* 48:1-18.
- Spagnolo J, de Dear RJ, 2003, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* 38:721-38.
- Synnefa A, Santamouris M, Akbari H, 2007, Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings* 39:1167-74.
- Taha H, 1997, Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25:99-103.
- VDI, 1998, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Berlin: Beuth.
- Velazquez-Lozada A, Gonzalez JE, Winter A, 2006, Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico. *Atmospheric Environment* 40:1731-41.
- Voogt JA, Oke TR, 2003, Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86:370-84.

- Wong NH, Feriadi H, Lim PY, Tham KW, Sekhar C, Cheong KW, 2002, Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore. *Building and Environment* 37:1267-77.
- Wong NH, Khoo SS, 2003, Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and Buildings* 35:337-51.
- Wong NH, Jusuf SK, La Win AA, Thu HK, Negara TS, Wu XC, 2007, Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. *Building and Environment* 42:2949-70.
- Wong NH, 2008. Combating Climate Change with Green Building Design. *International Forum on Sustainable Environmental Development*, Taichung
- 林子平, 2006, 綠建築半戶外空間溫熱環境之實測研究; 國科會專題研究計畫成果報告.
- 林子平, 2007. 熱濕氣候區戶外熱舒適接受範圍與環境設計對策. 兩岸三地都市微氣候研討會, 台南
- 林子平, 2008, 半戶外空間熱舒適基準與設計手法. *工程* 81:83-89.
- 林子平, 林彥廷, 2007. 熱舒適性對戶外遊憩行為及熱適應之影響-以台灣美術館前廣場夏季為例. 第九屆休閒_遊憩_觀光學術研討會, 台中
- 中文 BBC 網, <http://news.bbc.co.uk/chinese/trad/hi/>
- 台灣長期生態研究網, <http://lter.npust.edu.tw/>
- 吳崇銘, 2006, 公園對於周圍街廓熱環境影響之研究, 朝陽科技大學建築及都市設計研究所
- 李魁鵬, 1999, 台灣四大都會區熱島效應之研究, 國立成功大學建築研究所博士論文
- 汪柏州, 張仕欣, 朱時梁, 2007/08, Cool Roof 對「清涼都市」之效應, *工業材料雜誌-建築節能技術專題*, 248:117-122。
- 美國聯合塗料公司, <http://www.unitedcoatings.com.cn/>
- 孫振義, 2002, 台南地區都市熱島研究, 國立成功大學建築學系碩士論文

城市地區熱島效應退燒策略研究

郭柏巖，1999，都市公園微氣候觀測解析，國立成功大學建築學系碩士論文

陳蔚宗，李昭仁，朱時梁，2007，都市熱島效應之肇因及抑制技術，工業材料雜誌-建築節能技術專題，248:109-116。

鄭婉純，韓乾，2004，都市土地使用與都市氣溫關係之研究－台中地區之實證研究，私立逢甲大學土地管理學系碩士班碩士論文。

財団法人建築環境・省エネルギー機構，2006，建築物総合環境性能評価システム CASBEE-HI (ヒートアイランド) 評価マニュアル 2006 年度。



網頁

Houston Advanced Research Center, 2004, Cool Houston Plan.

<http://www.harc.edu/coolhouston>

Green Roof, <http://hsiliu-greenroof.blogspot.com/>

NASA/GHCC Project Atlanta, <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov>

Astronomy Picture of the Day, <http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab>

[/mirrors/apod/ap040528.html](http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/mirrors/apod/ap040528.html)



城市地區熱島效應退燒策略研究

核心文獻

(Akbari, et al., 2001; Ali-Toudert, Mayer, 2006; Ali-Toudert, Mayer, 2007; Bottyan, Unger, 2003; Deosthali, 2000; Emmanuel, 2005; Emmanuel, et al., 2007; Giridharan, et al., 2005; Hamdi, Schayes, 2007; Ichinose, et al., 1999; Johansson, 2006; Kruger, Givoni, 2007; Nichol, Wong, 2005; Oke, 1981 ; Saaroni, et al., 2000; Taha, 1997; Velazquez-Lozada, et al., 2006; Wong, et al., 2007)

從期初貼來

(Bozonnet, et al., 2005; Eliasson, 1996; Giridharan, et al., 2005; Goldreich, 1995; Harlan, et al., 2006; Herbert, et al., 1998; Johansson, Emmanuel, 2006; Karaca, et al., 1995; Kruger, Givoni, 2007; Makar, et al., 2006; Mochida, et al., 1997; Pauleit, et al., 2005; Rosenfeld, et al., 1995; Saaroni, et al., 2000; Synnefa, et al., 2007; Taha, 1997; Velazquez-Lozada, et al., 2006; Voogt, Oke, 2003)

熱舒適性

(Ahmed, 2003; Cheng, Ng, 2006; Givoni, et al., 2003; Nikolopoulou, et al., 2001; Nikolopoulou, Lykoudis, 2006; Spagnolo, de Dear, 2003)

(Hwang, Lin, 2007)

(Lin, Matzarakis, 2007)

(Munchener Ruckversicherings-Gesellschaft, 2005)

(Saaroni, et al., 2000)

(Ali-Toudert, Mayer, 2006)

(Roth, 2007)

圖科本

(Kottek, et al., 2006)

Wong 台中

(Katzschner, Ng, 2006)

(Wong, 2008)

第三章

第三章 台灣都市微氣候特徵

第一節 台灣氣候分類屬性

在東亞及東南亞區域中，氣候呈現相當多樣的特性。若以最新修正的柯本氣候分類圖(Köppen-Geiger climate classification, Kottek, M., et al., 2006)來定義，台灣的南部則有部分較炎熱潮濕，屬於 AM 熱帶季風型的分類。中北部則為 Cfa, Cfb, Cwa，可視為熱濕亞熱帶型。圖 3-1 顯示，戶外環境也會因為南北氣候的差異，而呈現不同的風貌，而這也是在進行戶外環境減熱設計需考量的因素之一。

溫熱環境的舒適性(Thermal comfort)，一直是室內環境關注的焦點。Fanger 指出熱舒適性(thermal comfort)為人體對溫度、濕度、風速、輻射等物理環境的感受與喜好(Fanger, 1972)。它攸關了室內使用者的健康、舒適，進而影響其工作效率。由 1970 年代以來，多位學者即針對環境的舒適性提出多種的指標，如 Fanger 的預測不滿意度 PMV、PPD 指標(Fanger, 1972)、Gagge 的標準有效溫度 SET*(Gagge, et al., 1986)等，美國冷凍空調學會(ASHRAE)、德國國家標準(VDI)以及國際標準組織(ISO)等，也訂定多種的舒適性基準如 ASHRAE Handbook of Fundamentals(ASHRAE, 2001)、ASHRAE Standard 55(ASHRAE, 2004)、ISO7726(ISO, 1998)、ISO7730(ISO, 1994)、VDI-3787(VDI, 1998)等，來做為評估及規範舒適性的重要途徑。而為了瞭解使用者的舒適性範圍及基準，一開始是採取實驗艙(chamber)的方法針對不同溫濕度設定下人們的感受，以問卷加以歸納分析(Fanger, 1972)，而後多個研究也利用現地實測(field experiment)的方式到人們實際生活及工作的場所進行調查，例如辦公室(Busch, 1990; Chan, et al., 1998; de Dear, Fountain, 1994; de Dear, et al., 1991; Karyono, 2000)、學校(Hwang, et al., 2006; Kwok, 1998; Wong, Khoo, 2003)、住宅(Feriadi, Wong, 2004; Malama, Sharples, 1997; Nicol, et al., 1999; Oseland, 1994; Wong, et al.,

2002)等，以現場測量溫、濕度及風速等物理環境因子，然後以問卷詢問受測者的心理感受。

2. 戶外熱舒適性的重要性

然而，過去的熱舒適指標與基準之研究多著重於室內空間，對於戶外空間則甚少提出探討。Spagnolo & de Dear (Spagnolo, de Dear, 2003)曾提到，「之所以戶外或半戶外空間的舒適性截至目前少有探討，乃是研究者及使用者過去普遍存在下述之想法：

1. 已開發國家的人們大都花較長的時間在室內空間。
2. 在工作的環境之中，舒適性被認為與工作的產值有相關性，所以室內舒適性環境也被認為是具有創造經濟效應之因素。
3. 人們認為戶外的溫熱環境被不易被控制或改善。
4. 戶外空間的擁有權或使用權不像室內空間容易清楚定義。」

然而，上述的想法及立論在當前的環境已有極有的轉變。目前愈來愈多的活動發生在戶外空間，例如休閒，遊憩，運動，表演、餐飲等活動，故也深具經濟價值。再則，戶外的溫熱環境亦可透過不同的空間規劃、材料選用等誘導式的設計(passive design)來改善其舒適性。因此，對於戶外空間舒適性評估，不僅有其經濟價值上之必要性，更對於人類住居環境的省能、舒適、環保的課題能夠予以兼顧(林子平, 2006)。

當前台灣都市熱島的問題愈益嚴重，高溫化的都市造成戶外環境的舒適性降低，會直接影響人們對空間的利用狀況，圖 3-2 為英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖，可看出當黑球溫度越高則聚集人數越多。圖 3-3 則為台中國立美術館夏季現象，其結果與英國狀況正好相反。

圖 3- 1 英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖(Nikolopoulou, et al., 2001)

圖 3- 2 台中國立美術館廣場上夏季黑球溫度實測值與人數數量關係圖(林子平，林彥廷, 2007)



第三章 台灣戶外熱舒適性範圍

為什麼要建立台灣熱舒適性範圍基準呢?過去 Fanger 在建立 PMV、PPD 指標的基準時，是在驗艙內為穩態空調環境，對於戶外多變的氣候下得出的結論當其應用在熱濕氣候的台灣時，也必然會有相當程度的落差。國立虎尾科技大學「綠建築與永續休憩環境研究室」曾於 2004-2006 進行歷時兩年的戶外舒適性之調查，並建立適合台灣熱濕氣候的戶外熱舒適性指標基準(Hwang, Lin, 2007; 林子平, 2006; 2007)。問卷進行的案例主要分布在半戶外 (5460 人)及戶外(2247 人)，同時，為了同時與室內進行比較，也針對室內進行(1711 人)。總共蒐集了 9418 組有效數據的問卷案例，做為分析台灣戶外及半戶外舒適性的重要資料庫。(林子平, 2008)ASHRAE 定義熱舒適範圍為令 80%以上的人可以接受的範圍(ASHRAE, 2004)。依照 ASHRAE 定義並採用迴歸分析的方法，可定義出台國的舒適範圍並以多種指標來描述其戶外的舒適性。如圖 3-4 至 3-6 所示。

圖 3-3 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(標準有效溫度)

資料來源:本圖修改自 Hwang and Lin (2007)

圖 3-4 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(平均輻射溫度)

資料來源(林子平, 2007)

圖 3-5 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(PET)

資料來源: (Lin, Matzarakis, 2008)

另外，台灣也曾針對熱舒適性範圍與中/西歐進行比較，如表 3-1 所示。可以發現台灣可以接受較高溫的狀態，但對於低溫的容忍度較差。

註:本表修改譯自(Lin, Matzarakis, 2008),^a中西歐資料摘自(Matzarakis, Mayer, 1996)

---OLD

林憲德，2007，「綠建築解說與評估手冊」，內政部建築研究所。

林憲德，2003，「熱濕氣候的綠色建築」，詹氏出版社。

林憲德、歐文生、趙又嬋，2003，「建築裝修材料 CO₂ 排放量現況調查之研究」，內政部建築研究所。

林憲德、歐文生，2004，「住宅及辦公建築室內裝修二氧化碳減量評估」，建築學報。

林憲德、張又升、歐文生，2001，「台灣建築生命週期 CO₂ 排放量評估」，2001 年永續建築國際研討會，台南。

林憲德，2000，「綠建築設計技術彙編」，內政部建築研究所。

交通部統計處，2001，「中華民國台灣地區汽車貨運調查報告」，交通部統計處。

交通部運輸研究所，2001，「運輸部門節約能源及減少溫室氣體排放之規劃研究」，交通部運輸研究所。

經濟部能委會，2000，「能原查核與節約能源效益評估計劃」，經濟部能委會。

經濟部能委會，2001，「台灣能源平衡表(八十九年)」，經濟部能委會。

酒井寬二、漆崎昇，1992，「建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定」，環境情報科學第 21 卷第 2 號。

酒井寬二、漆崎昇，1993，「建設資材製造時の炭素排出原單位

城市地區熱島效應退燒策略研究

調查」，日本建築學會大會學術講演梗概集。

日本建築學會，1999，「建物の LCA 指針(案)」日本建築學會。

IPCC/OECD，1996，「Revised 1996 IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories」。

IPCC，1990，「Policy marks Summary of the Scientific Assessment of Climate Change」。

岡建雄，2000，「LCCO₂ の試算方法」，「建築技術」。

空氣調和・衛生工學會，1995，「地球環境時代における建築設備の課題」，空氣調和・衛生工學會。

何明錦、賴榮平，2002，「建築設備資材 CO₂ 排放量基本資料之建立」，內政部建築研究所。

張又升，1997，「RC 建築物生命週期環境負荷評估---以耗能量與溫室氣體排放量解析」，成功大學建築研究所碩士論文。

楊煦照，1996，「建築物之耗能與環境衝擊解析」，成功大學建築研究所碩士論文。

歐文生，2000，「建築物室內裝修環境負荷之研究--以耗能量與二氧化碳排放量解析」，成大碩論。

張又升，2002，「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，成大博論。

林建隆，2003，「住宅設備生命週期二氧化碳排放量評估」，成大碩論。

劉漢卿，1994，「建築生命週期能源消費與溫室氣體排放量分析」，成大碩論。

趙又嬋，2004，「百貨公司室內裝修生命週期二氧化碳排放量評估」，成大碩論。

曾正雄，2006，「公寓住宅設備管線二氧化碳排放量評估」成大碩論。

黃國倉，2006，「辦公建築生命週期節能與二氧化碳減量評估之研究」成功大學博士論文。





附錄：審查意見與修正

期中報告

委員意見	修正結果
將台灣的熱島相關的材料資料庫統一彙整。	建材 Albedo 值已於研究中第五章以台灣本地實驗的初步結果呈現，作為策略參考基準。
文中所提及參考文獻內容註明不清（編號）。	已於每篇文獻後方增加引用註明。
策略研提時，須注意執行時可能產生的問題，檢討可行性。	已於研究中對各項手法會衍生問題之處做補充之說明。
探討國外策略的優點及缺點，並可蒐集日本研究案例作為參考。	已於研究中增加日本在 CASBEE-HI 及東京都推動減熱對策之計畫，以供參考。
希望本研究案能夠盡快完成，提供相關策略，以改善目前城市地區熱島效應現象。	本研究將盡快完成策略成果。
成功國宅案例，改善空間大，惟經費使用集中，應可考慮對於都市整體環境有所改善的策略來實行。	於本研究中，將朝度整體都市有所改善的策略進行研擬，遴選的原則亦於第五章陳述。

期末報告

委員意見	修正結果
所提出的項對策中，建構量化資料庫，提出數據指標。	由於本年度「生態社區評估指標」計畫案中，已有相關指標來評估，故本研究中不另行訂定評估指數
部分對策提出時應考量夜間熱島緩和與日間使用者舒適性的議題。需考慮相關文獻對策，其策略所產生的負面效果，如：增加建築高度與道路寬度(H/W)比將形成土地高密度使用。	針對原先報告中有關「街廓高寬比」及遮蔽率等因子，因其熱島抑制的成效需依不同的地點及氣候條件差異，而有所改變，故已刪除該項對策
已完成遴選之相關事項可於期末報告內容中說明。	已於第五章中對遴選出兩個地點進行說明。
降低都市土地利用及人口密度於現實情況中不可行。其負面效果將造成都市人口擴散，通勤人口增加等，提高郊區不允許開發地區使用率。	針對原先報告中有關土地利用組成、相關遮蔽率、人口密度降低等對策已刪除
目錄中有遺漏，與內容有所出入。	將目錄中遺漏部分，依內容補齊完成。
交通廢氣熱對都市環境的影響。	交通廢氣排熱確實對熱島效應有直接影響，唯因該項目較不容易在都市建築範疇加以管制，故尚不列於其中。
文中論及「高反射(照)率」相關名詞易造成誤解，是否與「低熱吸收」有所關連。	已於文中將「高反射(照)率」改為「低熱吸收率」，以避免造成誤解。
Koppen 氣候分區圖中，台灣與德州為相同分區，但實際氣候是否相同？此氣候分區於世界通用已久，但是否有其他氣候資料庫可供參考，更接近目前的氣候分區型態。	氣候分區部分德州的氣候分區應是有誤。

參考書目

- Ahmed KS, 2003, Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings* 35:103-10.
- Akbari H, Pomerantz M, Taha H, 2001, Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* 70:295-310.
- Ali-Toudert F, Mayer H, 2006, Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment* 41:94-108.
- Ali-Toudert F, Mayer H, 2007, Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy* 81:742-54.
- ASHRAE, 2001, *ASHRAE Handbook of fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE, 2004, *ASHRAE Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc.
- Bottyan Z, Unger J, 2003, A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology* 75:233-43.
- Bozonnet E, Belarbi R, Allard F, 2005, Modelling solar effects on the heat and mass transfer in a street canyon, a simplified approach. *Solar Energy* 79:10-24.
- Busch JF, 1990, Thermal responses to the Thai office environment. *ASHRAE Transactions* 96:859-72.
- Chan DWT, Burnett J, de Dear RJ, Ng SCH, 1998, A large-scale survey

- of thermal comfort in office premises in Hong Kong. ASHRAE Transactions 104:1172-80.
- Cheng V, Ng E, 2006, Thermal comfort in urban open spaces for Hong Kong. Architectural Science Review 49:236-42.
- de Dear RJ, Leow KG, Foo SC, 1991, Thermal comfort in the humid tropics: field experiments in air-conditioned and naturally ventilated buildings in Singapore. International Journal of Biometeorology 34:259-65.
- de Dear RJ, Fountain ME, 1994, Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. ASHRAE Transactions 100:457-74.
- Deosthali V, 2000, Impact of rapid urban growth on heat and moisture islands in Pune City, India. Atmospheric Environment 34:2745-54.
- Eliasson I, 1996, Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. Atmospheric Environment 30:379-92.
- Emmanuel R, 2005, Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. Building and Environment 40:1591-601.
- Emmanuel R, Rosenlund H, Johansson E, 2007, Urban shading - a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. International Journal of Climatology 27:1995-2004.
- Fanger PO, 1972, Thermal Comfort. New York: McGraw Hill.
- Feriadi H, Wong NH, 2004, Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. Energy and Buildings 36:614-26.
- Gagge AP, Fobelets AP, Berglund LG, 1986, A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions 92:709-31.
- Giridharan R, Lau SSY, Ganesan S, 2005, Nocturnal heat island effect in urban residential developments of Hong Kong. Energy and

- Buildings 37:964-71.
- Givoni B, Noguchi M, Saaroni H, Pochter O, Yaacov Y, Feller N, Becker S, 2003, Outdoor comfort research issues. Energy and Buildings 35:77-86.
- Goldreich Y, 1995, Urban climate studies in Israel--A review. Atmospheric Environment 29:467-78.
- Hamdi R, Schayes G, 2007, Sensitivity study of the urban heat island intensity to urban characteristics. International Journal of Climatology in press.
- Harlan SL, Brazel AJ, Prasad L, Stefanov WL, Larsen L, 2006, Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. Social Science & Medicine 63:2847-63.
- Herbert JM, Johnson GT, Arnfield AJ, 1998, Modelling the thermal climate in city canyons. Environmental Modelling and Software 13:267-77.
- Hwang RL, Lin TP, Kuo NJ, 2006, Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan. Energy and Buildings 38:53-62.
- Hwang RL, Lin TP, 2007, Thermal comfort requirements for occupants of semi-outdoor and outdoor environments in hot-humid regions. Architectural Science Review 50:60-67.
- Ichinose T, Shimodozono K, Hanaki K, 1999, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. Atmospheric Environment 33:3897-909.
- ISO, 1994, International Standard 7730, Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva: International Standard Organization.
- ISO, 1998, International Standard 7726, Thermal environment-instruments and method for measuring physical

- quantities. Geneva: International Standard Organization.
- Johansson E, 2006, Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment* 41:1326-38.
- Johansson E, Emmanuel R, 2006, The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka. *International Journal of Biometeorology* 51:119-33.
- Karaca M, Tayanc M, Toros H, 1995, Effects of urbanization on climate of Istanbul and Ankara. *Atmospheric Environment* 29:3411-21.
- Karyono TH, 2000, Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta-Indonesia *Building and Environment* 35:77-90.
- Katzschner L, Ng E, 2006. Ventilation Investigations in a densely built up Area of Hong Kong to describe Thermal Comfort. 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA2006), Geneva
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F, 2006, World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated *Meteorologische Zeitschrift* 15:259-63.
- Kruger E, Givoni B, 2007, Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil. *Building and Environment* 42:1685-98.
- Kwok AG, 1998, Thermal comfort in tropical classrooms. *ASHRAE Transactions* 104:1031-47.
- Lin TP, Matzarakis A, 2007, Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology* in press.
- Lin TP, Matzarakis A, 2008, Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *International Journal of Biometeorology* 52:281-90.
- Makar PA, Gravel S, Chirkov V, Strawbridge KB, Froude F, Arnold J,

- Brook J, 2006, Heat flux, urban properties, and regional weather. *Atmospheric Environment* 40:2750-66.
- Malama A, Sharples S, 1997, Thermal Performance of Traditional and Contemporary Housing in the Cool Season of Zambia *Building and Environment* 32:69-78.
- Matzarakis A, Mayer H, 1996, Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO News* 18:7-10.
- Mochida A, Murakami S, Ojima T, Kim S, Ooka R, Sugiyama H, 1997, CFD analysis of mesoscale climate in the Greater Tokyo area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 67-68:459-77.
- Munchener Ruckversicherings-Gesellschaft, 2005, *Weather Catastrophes and Climate Change: Is There Still Hope for Us?* München: Munchener Ruckversicherings-Gesellschaft.
- Nichol J, Wong MS, 2005, Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning* 73:49-58.
- Nicol JF, Raja IA, Allaudin A, Jamy GN, 1999, Climatic variations in comfortable temperatures: The Pakistan projects. *Energy and Buildings* 30:261-79.
- Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K, 2001, Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy* 70:227-35
- Nikolopoulou M, Lykoudis S, 2006, Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment* 41:1455-70.
- Oke TR, 1981 Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J Climatol* 1:237-54.
- Oseland NA, 1994, Comparison of the predicted and reported thermal sensation vote in homes during winter and summer. *Energy and*

- Buildings 21:45-54.
- Pauleit S, Ennos R, Golding Y, 2005, Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change--a study in Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning* 71:295-310.
- Rosenfeld AH, Akbari H, Bretz S, Fishman BL, Kurn DM, Sailor D, Taha H, 1995, Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings* 22:255-65.
- Roth M, 2007, Review of urban climate research in (sub)tropical regions. *International Journal of Climatology* 27:1859-73.
- Saaroni H, Ben-Dor E, Bitan A, Potchter O, 2000, Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel. *Landscape and Urban Planning* 48:1-18.
- Spagnolo J, de Dear RJ, 2003, A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* 38:721-38.
- Synnefa A, Santamouris M, Akbari H, 2007, Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings* 39:1167-74.
- Taha H, 1997, Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings* 25:99-103.
- VDI, 1998, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning. Part I: Climate. VDI guideline 3787. Part 2. Berlin: Beuth.
- Velazquez-Lozada A, Gonzalez JE, Winter A, 2006, Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico. *Atmospheric Environment* 40:1731-41.
- Voogt JA, Oke TR, 2003, Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86:370-84.

- Wong NH, Feriadi H, Lim PY, Tham KW, Sekhar C, Cheong KW, 2002, Thermal comfort evaluation of naturally ventilated public housing in Singapore. *Building and Environment* 37:1267-77.
- Wong NH, Khoo SS, 2003, Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and Buildings* 35:337-51.
- Wong NH, Jusuf SK, La Win AA, Thu HK, Negara TS, Wu XC, 2007, Environmental study of the impact of greenery in an institutional campus in the tropics. *Building and Environment* 42:2949-70.
- Wong NH, 2008. Combating Climate Change with Green Building Design. *International Forum on Sustainable Environmental Development*, Taichung
- 林子平, 2006, 綠建築半戶外空間溫熱環境之實測研究; 國科會專題研究計畫成果報告.
- 林子平, 2007. 熱濕氣候區戶外熱舒適接受範圍與環境設計對策. 兩岸三地都市微氣候研討會, 台南
- 林子平, 2008, 半戶外空間熱舒適基準與設計手法. *工程* 81:83-89.
- 林子平, 林彥廷, 2007. 熱舒適性對戶外遊憩行為及熱適應之影響-以台灣美術館前廣場夏季為例. 第九屆休閒_遊憩_觀光學術研討會, 台中
- 中文 BBC 網, <http://news.bbc.co.uk/chinese/trad/hi/>
- 台灣長期生態研究網, <http://lter.npust.edu.tw/>
- 吳崇銘, 2006, 公園對於周圍街廓熱環境影響之研究, 朝陽科技大學建築及都市設計研究所
- 李魁鵬, 1999, 台灣四大都會區熱島效應之研究, 國立成功大學建築研究所博士論文
- 汪柏州, 張仕欣, 朱時梁, 2007/08, Cool Roof 對「清涼都市」之效應, *工業材料雜誌-建築節能技術專題*, 248:117-122。
- 美國聯合塗料公司, <http://www.unitedcoatings.com.cn/>
- 孫振義, 2002, 台南地區都市熱島研究, 國立成功大學建築學系碩士論文

城市地區熱島效應退燒策略研究

郭柏巖，1999，都市公園微氣候觀測解析，國立成功大學建築學系碩士論文

陳蔚宗，李昭仁，朱時梁，2007，都市熱島效應之肇因及抑制技術，工業材料雜誌-建築節能技術專題，248:109-116。

鄭婉純，韓乾，2004，都市土地使用與都市氣溫關係之研究－台中地區之實證研究，私立逢甲大學土地管理學系碩士班碩士論文。

財団法人建築環境・省エネルギー機構，2006，建築物総合環境性能評価システム CASBEE-HI (ヒートアイランド) 評価マニュアル 2006 年度。



網頁

Houston Advanced Research Center, 2004, Cool Houston Plan.

<http://www.harc.edu/coolhouston>

Green Roof, <http://hsiliu-greenroof.blogspot.com/>

NASA/GHCC Project Atlanta, <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov>

Astronomy Picture of the Day, <http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab>

[/mirrors/apod/ap040528.html](http://www.phys.ncku.edu.tw/~astrolab/mirrors/apod/ap040528.html)



城市地區熱島效應退燒策略研究

核心文獻

(Akbari, et al., 2001; Ali-Toudert, Mayer, 2006; Ali-Toudert, Mayer, 2007; Bottyan, Unger, 2003; Deosthali, 2000; Emmanuel, 2005; Emmanuel, et al., 2007; Giridharan, et al., 2005; Hamdi, Schayes, 2007; Ichinose, et al., 1999; Johansson, 2006; Kruger, Givoni, 2007; Nichol, Wong, 2005; Oke, 1981 ; Saaroni, et al., 2000; Taha, 1997; Velazquez-Lozada, et al., 2006; Wong, et al., 2007)

從期初貼來

(Bozonnet, et al., 2005; Eliasson, 1996; Giridharan, et al., 2005; Goldreich, 1995; Harlan, et al., 2006; Herbert, et al., 1998; Johansson, Emmanuel, 2006; Karaca, et al., 1995; Kruger, Givoni, 2007; Makar, et al., 2006; Mochida, et al., 1997; Pauleit, et al., 2005; Rosenfeld, et al., 1995; Saaroni, et al., 2000; Synnefa, et al., 2007; Taha, 1997; Velazquez-Lozada, et al., 2006; Voogt, Oke, 2003)

熱舒適性

(Ahmed, 2003; Cheng, Ng, 2006; Givoni, et al., 2003; Nikolopoulou, et al., 2001; Nikolopoulou, Lykoudis, 2006; Spagnolo, de Dear, 2003)

(Hwang, Lin, 2007)

(Lin, Matzarakis, 2007)

(Munchener Ruckversicherings-Gesellschaft, 2005)

(Saaroni, et al., 2000)

(Ali-Toudert, Mayer, 2006)

(Roth, 2007)

圖科本

(Kottek, et al., 2006)

Wong 台中

(Katzschner, Ng, 2006)

(Wong, 2008)

第三章

第三章 台灣都市微氣候特徵

第一節 台灣氣候分類屬性

在東亞及東南亞區域中，氣候呈現相當多樣的特性。若以最新修正的柯本氣候分類圖(Köppen-Geiger climate classification, Kottek, M., et al., 2006)來定義，台灣的南部則有部分較炎熱潮濕，屬於 AM 熱帶季風型的分類。中北部則為 Cfa, Cfb, Cwa，可視為熱濕亞熱帶型。圖 3-1 顯示，戶外環境也會因為南北氣候的差異，而呈現不同的風貌，而這也是在進行戶外環境減熱設計需考量的因素之一。

溫熱環境的舒適性(Thermal comfort)，一直是室內環境關注的焦點。Fanger 指出熱舒適性(thermal comfort)為人體對溫度、濕度、風速、輻射等物理環境的感受與喜好(Fanger, 1972)。它攸關了室內使用者的健康、舒適，進而影響其工作效率。由 1970 年代以來，多位學者即針對環境的舒適性提出多種的指標，如 Fanger 的預測不滿意度 PMV、PPD 指標(Fanger, 1972)、Gagge 的標準有效溫度 SET*(Gagge, et al., 1986)等，美國冷凍空調學會(ASHRAE)、德國國家標準(VDI)以及國際標準組織(ISO)等，也訂定多種的舒適性基準如 ASHRAE Handbook of Fundamentals(ASHRAE, 2001)、ASHRAE Standard 55(ASHRAE, 2004)、ISO7726(ISO, 1998)、ISO7730(ISO, 1994)、VDI-3787(VDI, 1998)等，來做為評估及規範舒適性的重要途徑。而為了瞭解使用者的舒適性範圍及基準，一開始是採取實驗艙(chamber)的方法針對不同溫濕度設定下人們的感受，以問卷加以歸納分析(Fanger, 1972)，而後多個研究也利用現地實測(field experiment)的方式到人們實際生活及工作的場所進行調查，例如辦公室(Busch, 1990; Chan, et al., 1998; de Dear, Fountain, 1994; de Dear, et al., 1991; Karyono, 2000)、學校(Hwang, et al., 2006; Kwok, 1998; Wong, Khoo, 2003)、住宅(Feriadi, Wong, 2004; Malama, Sharples, 1997; Nicol, et al., 1999; Oseland, 1994; Wong, et al.,

2002)等，以現場測量溫、濕度及風速等物理環境因子，然後以問卷詢問受測者的心理感受。

2. 戶外熱舒適性的重要性

然而，過去的熱舒適指標與基準之研究多著重於室內空間，對於戶外空間則甚少提出探討。Spagnolo & de Dear (Spagnolo, de Dear, 2003)曾提到，「之所以戶外或半戶外空間的舒適性截至目前少有探討，乃是研究者及使用者過去普遍存在下述之想法：

1. 已開發國家的人們大都花較長的時間在室內空間。
2. 在工作的環境之中，舒適性被認為與工作的產值有相關性，所以室內舒適性環境也被認為是具有創造經濟效應之因素。
3. 人們認為戶外的溫熱環境被不易被控制或改善。
4. 戶外空間的擁有權或使用權不像室內空間容易清楚定義。」

然而，上述的想法及立論在當前的環境已有極有的轉變。目前愈來愈多的活動發生在戶外空間，例如休閒，遊憩，運動，表演、餐飲等活動，故也深具經濟價值。再則，戶外的溫熱環境亦可透過不同的空間規劃、材料選用等誘導式的設計(passive design)來改善其舒適性。因此，對於戶外空間舒適性評估，不僅有其經濟價值上之必要性，更對於人類住居環境的省能、舒適、環保的課題能夠予以兼顧(林子平, 2006)。

當前台灣都市熱島的問題愈益嚴重，高溫化的都市造成戶外環境的舒適性降低，會直接影響人們對空間的利用狀況，圖 3-2 為英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖，可看出當黑球溫度越高則聚集人數越多。圖 3-3 則為台中國立美術館夏季現象，其結果與英國狀況正好相反。

圖 3- 1 英國劍橋的市集廣場(Market Square)上黑球溫度實測值與人數數量關係圖(Nikolopoulou, et al., 2001)

圖 3- 2 台中國立美術館廣場上夏季黑球溫度實測值與人數數量關係圖(林子平，林彥廷, 2007)



第三章 台灣戶外熱舒適性範圍

為什麼要建立台灣熱舒適性範圍基準呢?過去 Fanger 在建立 PMV、PPD 指標的基準時，是在驗艙內為穩態空調環境，對於戶外多變的氣候下得出的結論當其應用在熱濕氣候的台灣時，也必然會有相當程度的落差。國立虎尾科技大學「綠建築與永續休憩環境研究室」曾於 2004-2006 進行歷時兩年的戶外舒適性之調查，並建立適合台灣熱濕氣候的戶外熱舒適性指標基準(Hwang, Lin, 2007; 林子平, 2006; 2007)。問卷進行的案例主要分布在半戶外 (5460 人)及戶外(2247 人)，同時，為了同時與室內進行比較，也針對室內進行(1711 人)。總共蒐集了 9418 組有效數據的問卷案例，做為分析台灣戶外及半戶外舒適性的重要資料庫。(林子平, 2008)ASHRAE 定義熱舒適範圍為令 80%以上的人可以接受的範圍(ASHRAE, 2004)。依照 ASHRAE 定義並採用迴歸分析的方法，可定義出台國的舒適範圍並以多種指標來描述其戶外的舒適性。如圖 3-4 至 3-6 所示。

圖 3-3 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(標準有效溫度)

資料來源:本圖修改自 Hwang and Lin (2007)

圖 3-4 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(平均輻射溫度)

資料來源(林子平, 2007)

圖 3-5 半戶外及戶外熱舒適性接受範圍(PET)

資料來源: (Lin, Matzarakis, 2008)

另外，台灣也曾針對熱舒適性範圍與中/西歐進行比較，如表 3-1 所示。可以發現台灣可以接受較高溫的狀態，但對於低溫的容忍度較差。

註:本表修改譯自(Lin, Matzarakis, 2008),^a中西歐資料摘自(Matzarakis, Mayer, 1996)

---OLD

林憲德，2007，「綠建築解說與評估手冊」，內政部建築研究所。

林憲德，2003，「熱濕氣候的綠色建築」，詹氏出版社。

林憲德、歐文生、趙又嬋，2003，「建築裝修材料 CO₂ 排放量現況調查之研究」，內政部建築研究所。

林憲德、歐文生，2004，「住宅及辦公建築室內裝修二氧化碳減量評估」，建築學報。

林憲德、張又升、歐文生，2001，「台灣建築生命週期 CO₂ 排放量評估」，2001 年永續建築國際研討會，台南。

林憲德，2000，「綠建築設計技術彙編」，內政部建築研究所。

交通部統計處，2001，「中華民國台灣地區汽車貨運調查報告」，交通部統計處。

交通部運輸研究所，2001，「運輸部門節約能源及減少溫室氣體排放之規劃研究」，交通部運輸研究所。

經濟部能委會，2000，「能原查核與節約能源效益評估計劃」，經濟部能委會。

經濟部能委會，2001，「台灣能源平衡表(八十九年)」，經濟部能委會。

酒井寬二、漆崎昇，1992，「建設業の資源消費量解析と環境負荷の推定」，環境情報科學第 21 卷第 2 號。

酒井寬二、漆崎昇，1993，「建設資材製造時の炭素排出原單位

城市地區熱島效應退燒策略研究

調查」，日本建築學會大會學術講演梗概集。

日本建築學會，1999，「建物の LCA 指針(案)」日本建築學會。

IPCC/OECD，1996，「Revised 1996 IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories」。

IPCC，1990，「Policy marks Summary of the Scientific Assessment of Climate Change」。

岡建雄，2000，「LCCO₂ の試算方法」，「建築技術」。

空氣調和・衛生工學會，1995，「地球環境時代における建築設備の課題」，空氣調和・衛生工學會。

何明錦、賴榮平，2002，「建築設備資材 CO₂ 排放量基本資料之建立」，內政部建築研究所。

張又升，1997，「RC 建築物生命週期環境負荷評估---以耗能量與溫室氣體排放量解析」，成功大學建築研究所碩士論文。

楊煦照，1996，「建築物之耗能與環境衝擊解析」，成功大學建築研究所碩士論文。

歐文生，2000，「建築物室內裝修環境負荷之研究--以耗能量與二氧化碳排放量解析」，成大碩論。

張又升，2002，「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，成大博論。

林建隆，2003，「住宅設備生命週期二氧化碳排放量評估」，成大碩論。

劉漢卿，1994，「建築生命週期能源消費與溫室氣體排放量分析」，成大碩論。

趙又嬋，2004，「百貨公司室內裝修生命週期二氧化碳排放量評估」，成大碩論。

曾正雄，2006，「公寓住宅設備管線二氧化碳排放量評估」成大碩論。

黃國倉，2006，「辦公建築生命週期節能與二氧化碳減量評估之研究」成功大學博士論文。







城市地區熱島效應退燒策略研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：何明錦、林子平

出版年月：97 年 12 月

版(刷)次：第一版

ISBN：978-986-01-6908-9 (平裝)