地理學報　第四十八期：1-18 (2007)
JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCE (48) : 1-18 (2007)

都市土地利用變遷對自然環境衝擊之空間影響分析

The Impact Assessment of Urban Land-use Change on Natural Environment by Spatial Analysis

鄒克萬*　　黃書偉**

Ko-Wan Tsou　　Shu-Wei Huang

Abstract

The change of land-use in the city is unavoidable during the process for urban development. Most land utilization changes will produce negative impacts to the natural environment, especially to surface temperature, run-off and urban habitat which are easily affected by local factors. Although many case studies have already discussed about the impact to the natural environment for urban land-use in the past, most have focused on single environmental index rather than the comprehensive impacts. Meanwhile, possibly owing to the lack of more detailed and identical information of land-use change, most studies failed to explain spatial analysis more deeply and to master the spatial characteristics of the environmental impacts. Therefore, in order to understand the spatial impact characteristics of land-use change to heat island effects, run-off and habitat diversity more thoroughly, this study not only developed a comprehensive study structure based on GIS techniques, but also established suitable indictors and estimation approaches for evaluating environmental performance and analyzing its characteristic and relation of the space according to

* 國立成功大學都市計劃研究所教授
Professor, Department of Urban Planning, National Cheng Kung University.
** 國立成功大學都市計劃研究所博士候選人
Ph.D. Candidate, Department of Urban Planning, National Cheng Kung University.

relevant documents. This study first surveyed the land-use data in Tainan City and created a relevant geographical information database according to the classification standards of Taiwan Area National Land Use Survey. The study then compared the current database with the one established in 1994, analyzed the land-use change and the characteristics of environmental impacts. The result shows that the characteristics of environmental impacts can be divided into six clusters, and all three environmental impacts including surface temperature, run-off and urban habitat affect the city center area seriously. With the distance farther from the city center, the surface temperature change increases and the amount of run-off decreases. Such results indicate that the urban expansion has occurred and that the habitat diversity has higher values in areas with the practice of policies or ordinances.

Keywords: land-use change, spatial analysis, environmental impact.

摘　要

改變土地利用是都市發展過程中無可避免的現象，而且多數土地利用變遷也會對自然環境產生負面的衝擊，尤其是較容易受到地方性影響的都市溫度、地表逕流與都市棲地。雖然過去已有許多個案研究曾經探討都市土地利用對自然環境的衝擊，但是多數僅就單一環境指標探討，較難以了解全面性的衝擊；同時，可能因為受限於缺乏較為詳細、一致的都市土地利用變遷資料，所以一般也無法針對其環境衝擊進行較為深入的空間分析，且不易掌握環境衝擊的空間特性。因此，為了能夠更全面、深入地了解都市土地利用變遷對熱島效應、地表逕流與棲地多樣性等三個環境層面的空間衝擊特性，在本文中，我們發展出一個以 GIS 為基礎的整合性研究架構，同時也依據相關學術文獻，研擬適當的環境績效指標及其估計模式，藉以分析環境衝擊與分析其空間特性和關聯。研究過程中，本文以臺南市為例，根據國土利用調查分類標準，先調查土地利用，並據此建置相關地理資料庫；接著再以 1994 年所建置之國土利用調查資料庫為基礎，比較分析都市土地利用變遷與探討其環境衝擊特性。研究結果顯示，臺南市依環境變遷衝擊特性，可分為六種群落分區，三個環境衝擊面向對市中心區均產生衝擊效果，整體環境衝擊影響較大。然而隨著與市中心距離越遠，熱島效應之地表溫度增加越大但地表逕流增加變化小，顯示都市發展有朝市中心外圍擴張之趨勢，棲地多樣性則在政策推動與法令規範地區有較高之多樣性指數。

關鍵字：土地利用變遷、空間分析、環境衝擊

前　言

都市土地利用變遷通常是為了滿足居民生活與生產的新發展所產生 (Haase and Nuissl, 2007)，其型態是政治、經濟、社會、環境與文化等多方面因素交互作用下的結果，同時往往對自然環境造成最直接且嚴重的衝擊 (Lambin *et al*., 2001; Weng, 2001; Hasse and Lathrop, 2003)。由景觀生態學的角度來看，此種衝擊主要來自土地利用變遷大幅改變了自然的能量與生態系統的物質循環，影響自然環境系

統的平衡與穩定，以致對自然環境發展造成傷害 (McDonnell *et al*., 1997; Pielke *et al*., 1999; Milesi *et al*., 2003)，且當自然環境負面的影響累積達到飽和點或環境系統無法承受時，所造成的損害將可能無法回復 (Zofío and Prieto, 2001)。因此，了解並全面掌握土地利用變遷對自然環境之衝擊，已成為新世代土地利用規劃與都市環境永續發展中不可或缺的重要研究議題之一。

土地利用變遷對環境衝擊影響層面相當廣泛，過去研究指出土地利用變遷會對棲地適宜性與多樣性 (Hirzel *et al*., 2002; Whitford *et al*., 2001)、水資源 (Interlandi and Crockett, 2003; Haase and Nuissl, 2007; Lin *et al*., 2007)、地表逕流 (Whitford *et al*., 2001; 林子平等, 2001)、地表溫度 (Pauleit *et al*., 2005; 林憲德等, 2005)、二氧化碳排放 (Whitford *et al*., 2001)、氮化物含量 (Zeller *et al*., 2000) 等自然環境造成衝擊。對都市環境而言，空氣、噪音等污染屬於間斷性的衝擊影響且不易量測，能反應出土地利用變遷所造成之衝擊程度有限，而地表溫度、地表逕流與生物棲地多樣性等三個層面之衝擊容易受地方性發展影響，亦是土地利用變遷引起環境衝擊最重要之指標 (Whitford *et al*., 2001; Pauleit *et al*., 2005)，較能反映都市環境的衝擊程度，因此也較常為衝擊分析之相關研究採用。

過去有關土地利用與其環境影響關係之研究已有許多，但多數研究著重於單一影響層面的探討，這些研究雖有其個別性的學術價值，但尚無法為都市或環境規劃提供較整體性的環境資訊。同時，有關研究大多集中於現況之探討，較缺乏由檢討之角度，分析與評估過去土地利用發展變遷對自然環境之衝擊；而且，對於環境衝擊分析所得之成果，多僅做簡單描述性之圖表說明，缺乏進一步更為深入之空間分析，在各土地利用分區具有空間結構差異性之情況下 (吳振發與林裕彬, 2006)，不易有效掌握空間上複雜的環境衝擊關係 (Talen, 2005)，無法了解環境衝擊在不同地理空間所產生不同之系統性影響與特徵，以協助後續不同都市空間之差異化環境規劃與管理策略之擬定。

因此，本文基於環境維護的觀點，利用過去與現在的土地利用現況調查資料，量測土地利用改變所造成之環境衝擊影響，以公式推論之方式及因子分析與群落分析等多變量分析方法，發展一個綜合性的分析架構，其中公式推論方式除能避免過去資料調查時所可能發生之種種不確定因素外，亦可用於未來情境之預測；而因子與群落分析則能整合各不同層面之衝擊因素，並將衝擊特性相似之地區加以分類，使分析結果能夠更簡易且清楚的呈現。此外，本文亦運用空間自我相關之分析方法配合 GIS 技術說明衝擊影響在空間區位上的關聯性與重要性，藉以比較過去與現在環境衝擊之變遷與空間區位之關連，並展現空間群落之衝擊特性。經由本文之評估程序，除能協助公部門擬定永續發展與環境保護策略之外，尚可利用該量測操作之方法達到環境監測之效果。

環境衝擊影響面向與空間分析之探討

針對土地利用變遷與環境衝擊的情況，Hasse and Lathrop (2003) 提出了都市發展密度、原始農地面積的喪失、核心森林棲地的喪失、自然濕地面積的喪失以及不透水表層面積的增加等五項土地利用改變對環境資源衝擊考量指標。Whitford *et al*. (2001) 認為土地利用變遷會影響氣候、水文、固碳之儲藏和吸收以及生物多樣性。Conway and Lathrop (2005) 則提出水的需求、都市非點源污染和陸地棲地的破碎三項因素分析土地利用改變的衝擊。Haase and Nuissl (2007) 的研究中亦指出土地利用改變會造成地表逕流、地下水補充率、水的蒸散率與封存率等水平衡的環境衝擊。雖然都市環境衝擊層面廣泛，

但探討土地利用之改變與環境衝擊之相關文獻中，環境衝擊指標大多集中於地表溫度、暴風雨逕流與都市棲地變化等三項要素，因此本文乃採用熱島效應、地表逕流以及棲地多樣性作為探討環境衝擊之三個面向，各面向對環境衝擊之影響與重要性說明如下：

(一) 熱島效應

Wagendorp *et al*. (2006) 指出，地表溫度能給予所有影響著生理與實質方面之土地覆蓋作用變數在空間上的整體表現，意味著土地利用的改變將嚴重影響都市之氣候，當土地覆蓋由綠色植被轉變為建築物、道路或其他不透水的表面，都市土地將吸收更多的太陽能而使地表溫度上升 (Weng, 2001)。當都市地區因集中發展的原因使得空氣中的溫度比郊區高，這種溫度上升的現象對居民而言會產生舒適度與健康方面的負面衝擊 (Höppe, 2002; Svensson and Eliasson, 2002; Pauleit *et al*., 2005)，都市環境由於綠地不足、土地利用密度高、建築物密集，使得都市吸收的熱輻射量比郊區高，都市中的人工實體在白天吸收大量的太陽能，到了夜晚則開始釋放這些熱能，使得都市有如一座發熱的島嶼稱為「熱島效應 (heat island effects)」。然而，都市熱島效應對都市生態而言是一種不利的因素，因此氣候的考量在都市規劃上扮演著重要的角色 (Eliasson, 2000)，地表溫度亦成為評估土地利用變遷對於環境惡化程度衝擊的重要指標之一。

(二) 地表逕流

土地利用變遷影響水文系統並造成地表及地下水的污染 (Randolph, 2004)，土地利用的改變使建物的不透水層取代了植被，減少了水的滲透，造成了逕流量的增加 (Arnold and Gibbons, 1996; Whitford *et al*., 2001; Pauleit *et al*., 2005)，都市也因此更具有頻繁與劇烈的水患發生特性 (Douglas, 1983)。另外，Arnold and Gibbons (1996) 指出以不透水層的覆蓋作為自然資源規劃的架構是務實且有效處理都市環境的方法，不透水層藉由停車場、道路、建築物所形成，其妨礙了地表水的滲透、增加河流的湍急以及非點源污染直接進入水道 (Hasse and Lathrop, 2003)，而逕流所攜帶的非點源污染現在已超過工業和都市點污染的影響程度，因此不透水層已經成為集水區內水質降低的一個重要因素 (Arnold and Gibbons, 1996; Brabec *et al*., 2002; Hasse and Lathrop, 2003)，而地表逕流對都市規劃而言亦是一個必須特別被考量的指標 (Whitford *et al*., 2001；林子平等，2001；Pauleit *et al*., 2005)。

(三) 棲地多樣性

土地利用改變所造成都市棲地面積減少，降低了都市內生物之多樣性，而生物多樣性是評估生態環境品質的重要指標，因此 1992 年「聯合國環境發展會議 (UNCED)」中簽訂了「生物多樣性公約 (Convention on Biological Diversity)」來保護都市內之生態特性。然而都市景觀在維持生物多樣性方面扮演著一個重要的角色 (Sandstrom *et al*., 2006)，都市內的生物多樣性受到都市綠地的數量、大小、形狀、類型、空間分佈等因素所影響 (Bastin and Thomas, 1999; Honnay *et al*., 1999; Mörtberg and Wallentinus, 2000; Thompson *et al*., 2003)，當這些生物賴以棲息的都市綠地種類越多時，所孕育的生物物種也會越多樣化，因此棲地的多樣性是維持生物多樣性最主要的因素。

再者，過去有關環境衝擊之相關研究中，較少針對環境衝擊在空間上的分佈與關聯性進行探討，然而透過空間分析之方法可以改善數值表格無法分析之地理空間單元間的複雜關係，了解環境衝擊在

不同地理空間所產生不同之影響與變動情形，有助不同區域環境管理策略之擬定。為了能更了解環境衝擊變數在不同地理空間中產生之不同影響與變化，許多空間統計之相關分析模式漸漸被廣泛使用，在討論空間區位關聯性的空間統計方法中，「空間自我相關分析 (SAA)」與「地方空間自我相關分析 (LISA)」是近年來常被使用的方法，它對空間型態檢測與呈現的特殊性，亦被廣泛的應用在環境影響分析 (蔡博文等，2001; Van Rensburg, 2002；賴進貴等，2004)、都市結構 (鄒克萬，2000)、景觀格局分析 (Qi and Wu, 2005; Chang *et al*., 2006) 等領域中。所謂空間自我相關 (Spatial Autocorrelation) 一般被認為係指在地球表面的某些物件和其相鄰物件的相似程度。「空間自我相關分析」同時處理著區位和屬性資訊，藉由「區位鄰近矩陣」與「屬性相似矩陣」之相似值計算，可以有效地描述空間中相鄰物件之相似程度，並檢視空間分佈是否有某種程度的相關性存在而產生空間聚集現象。此分析方法主要針對整體性的空間相關情形做宏觀的描述，對於地方性的變化則無法加以分析，因此若要進行微觀的空間分析，則可採用「地方空間自我相關分析」加以檢視。藉由「地方空間自我相關分析」可以劃分出每一個樣本空間地區鄰近的顯著性相似區之聚集範圍，研究者可以藉此了解研究主題之空間分佈結構，將大範圍的研究區劃分出數個空間關聯性高的小區域，除了可以探討更細部的空間變化之外，亦可避免關聯性不高之空間區位或變數資料對計算結果所造成之偏差。

環境衝擊程度與空間關聯之量測

在環境衝擊分析之研究範圍選擇上，由於涉及土地利用變遷之因素，因此本文以近年來土地變遷較為快速之臺南市作為研究地區，最小研究單元則為村里行政範圍。在環境衝擊三個面向的量測方面，本文主張以土地利用現況配合公式推導之方式取得環境衝擊值，目的在於容易掌握不同時間與不同空間之量測結果，各面向推論公式說明如下：

(一) 熱島效應

過去研究中，量測都市地表溫度之方法大多採用移動式測溫法、固定式測溫法以及遙感探測法等，其中利用航空或衛星熱感圖來衡量地表溫度的遙感探測法是評估都市氣候狀況最常用的方法 (Eliasson, 1992; Dousset and Gourmelon, 2003; Voogt and Oke, 2003)，以實際量測所得之數值雖較為準確，但對於不同時期資料比較時，若沒有對地區進行長期之量測，則對過去發生之資料往往不易掌控 (如：雲層、解析度、過去未實際量測等)，且無法針對未來情境進行預測，因此若有符合地方特性之適當推演公式應可優先考量，部分學者也開始利用能量公式之推演方式計算地表溫度的變化情形 (Whitford *et al.*, 2001; 林憲德等，2001；Pauleit *et al.*, 2005)，其中林憲德等 (2001) 所發表之學術期刊論文中，曾針對臺南市之地表溫度進行詳細的實地調查，並建置具高相關係數之臺南市地表溫度推估公式，在目前已發表之國內外相關推估方法與公式中，應是最能符合本文現階段在實證研究上的需求。

在林憲德等 (2001) 的論文中，利用 GIS 技術中的空間環域分析，將臺南市等距離均分為 327 個分析樣本區，考量綠覆率、水域密度、與海岸距離等多個環境變數，並參考 Oke 和 Hannell 於 1971 年之研究，將這些環境影響變數取對數值做為環境修正變數，進行逐步迴歸分析，建置具高相關係數之臺南市地表溫度推估公式。本文以該論文推導迴歸式中 R^2 值 (0.92) 最高之中午時段做為地表溫度推

估公式，公式如下所示：

$$y = 32.81 + 1.79 \times L_b + 0.16 \times D_c - 0.19 \times \log D_s - 0.43 \times W_d - 0.37 \times \log D_c \ldots\ldots \quad (1)$$

其中：y 為熱島溫度； L_b 為建蔽率；D_c 為海岸距離；D_s 為車站距離；W_d 為水域密度。

(二) 地表逕流

地表逕流之量測方式，一般考量排水面積、逕流係數與降雨強度三個要素，其中逕流係數與地表特性與地表覆蓋有關。計算逕流係數大致分為兩種方式，一種利用推估或直接量測之洪峰逕流量除以集水面積求得逕流係數，另一種則以土地利用種類之面積比例計算逕流係數，然而在探討土地利用變遷所造成空間上的影響差異，後者較適合為本文所採用。基於前述不透水層對於逕流影響之重要性，本文以不透水表面率 (Imp) 作為計算逕流係數之依據 (王如意與易任，1982)，依據林子平等 (2001) 之研究顯示，臺南市不同土地利用之不透水表面率分別為住宅區 86%、商業區 100%、工業區 92%、公園綠地 36%、學校 68%、機關用地 91%、其他公設 81%、自然地面區 0%、人工地面區 100%，再將這些不透水表面率代入臺南市逕流係數公式 C＝0.34+0.46Imp (林子平，2002) 即可算得各種土地利用之逕流係數值，這些調查結果更能反應臺南市地表之特性亦可使逕流量推論更為精準。另外在降雨強度方面則參考營建署《市區道路工程規劃及設計規範之研究》中臺南市 5 年頻率暴雨強度公式 (如公式 (3)) 求得，其中降雨延時為 30 分鐘。因此表面逕流量之推估公式如下所示：

$$Q = 0.278CIA \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$I = \frac{500}{(t+5)^{0.413}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

其中：Q 為逕流量；C 為逕流係數；I 為降雨強度；A 為集水面積；t 為降雨延時。

然而以上之公式計算所得之結果為地區總逕流量，若研究單元之面積大小不一時，總逕流量無法分辨各地區地表逕流環境衝擊之差異，故本文在探討地表逕流時將以單位面積逕流量進行相關之分析。

(三) 棲地多樣性

棲地的維護對保存生物而言具有重大意義，多樣化的棲地維繫著生物多樣性發生之潛力 (Pauleit *et al*., 2005)，因此都市棲地多樣性具有高度生態價值。然而都市棲地之定義相當廣泛，本文中所謂的都市棲地乃指具有重要棲地功能之土地利用，包括公園綠地、農業區、保護區、溼地、草生地、裸露地、灌木荒地等用地，藉由各類棲地在空間分析單元中面積比例之大小計算基地多樣性指標，至於建地、道路、機關用地、工業用地、商業用地等用地之生態價值相對較低，並不在本文棲地多樣性計算的考量內。多樣性計算公式如下所示：

$$H = -\sum_{k=1}^{n} P_k \ln(P_k) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

其中：H 為 Shannon-Weaver 多樣性指標；P_k 為 k 類使用在 K 空間單元中出現的機率；n 為空間中

使用類別總數。

在環境衝擊空間影響分析方面，「地方空間自我相關分析」是一種能夠展現屬性資料在空間上聚集分佈情況之統計方法，以地方空間自我相關分析 (LISA) 建置 Local Moran Index 指標，計算每個空間單元對於空間自我相關的貢獻程度作為探討研究地區內環境衝擊變化關係是否具有空間位置與屬性資料上的相關性 (如式 (5) 所示)，當 I_i 為正且大於 0.5 時，表示 I 空間單元之衝擊變化高於平均數；若當 I_i 為負且小於 0.5 時，表示 I 空間單元之衝擊變化低於平均數，據此作為劃設環境空間變遷影響區之基礎。LISA 藉由空間自我相關統計之計算，將指標的空間型態分為 High-High 區 (高值群落周圍為高值單元)、Low-Low 區 (低值群落周圍為低值單元)、High-Low 與 Low-High 過渡區 (低值單元的周圍為高值單元或高值單元的周圍為低值單元) 以及 No significant 空間不相關區 (Talen, 2005)。最後再以地理資訊系統與空間統計方法結合而形成之空間統計 (Space Stat) 模組，將地方空間自我相關分析 (LISA) 之結果具體呈現於研究範圍之基本圖上，根據圖示之 High-High、High-Low、Low-High 與 Low-Low 可作為劃分影響區的依據，將大範圍的研究區劃分為若干小範圍同質影響區，藉以提高變數在空間上的解釋能力。

$$I_i = \frac{(V_i - \bar{V})}{m} \sum W_{ij} (V_j - \bar{V}) \quad \text{..... (5)}$$

其中：I_i 為 i 觀察值之屬性相似指標；W_{ii} 為區位相鄰矩陣；V_i、V_i 為 i 與 j 之空間單元屬性；$\bar{V}$ 為各空間單元屬性之平均值；$m = \sum (V_i - \bar{V})^2 / n$。

實證分析

自 1993 年永續西雅圖發展概念推動以來，臺灣亦開始重視環境與土地之容受力，在土地開發方面逐漸加入環境與生態的考量因素，土地利用之變遷情況也與過去不盡相同。臺南市在此影響之下，近年來推動許多環境保護相關策略 (如公園綠地倍增計劃、平地造林計劃、綠校園計劃、空地綠化獎勵等)，以及各類文化園區之設置 (如孔廟文化園區、安平文化園區等)，加上本身為歷史古都的發展特性，使得臺南市土地利用之型態更具多樣化，面對全球環境之變遷，歷史古都所存在之環境衝擊問題更值得加以注意。另一方面，研究單元大小之選擇會影響分析之結果，由於村里為我國最小的空間統計單元，本文因考量有明確村里名稱在衝擊分析時能清楚說明地理區位，在後續進一步的研究與應用中，亦能方便引入社經資料輔助分析，並能使政策推行有更明確的執行地點，故本文在進行分析時採用以村里為空間的展示單元。

基於上述因素，本文以臺南市 266 個村里行政範圍為研究單元，利用 1994 與 2005 年之土地利用現況資料，探討臺南市自永續發展理念推動至今，土地利用變遷對環境衝擊所造成之影響。

(一) 土地利用現況之變遷

針對臺南市土地利用之情況，本文將 1994 年國土利用調查之土地利用分類，依據各土地種類對

環境影響之相似性，重新歸納為住宅用地、商業用地、工業用地等十二類 (如圖 1、圖 2 所示)，並與 2005 年之土地利用現況進行比較分析 (參考表 1)。

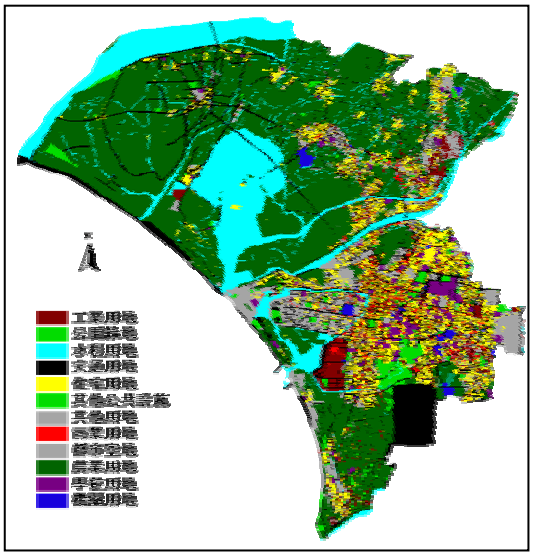


圖 1　1994 年土地利用現況示意圖

Fig. 1. The distribution of land use in 1994.

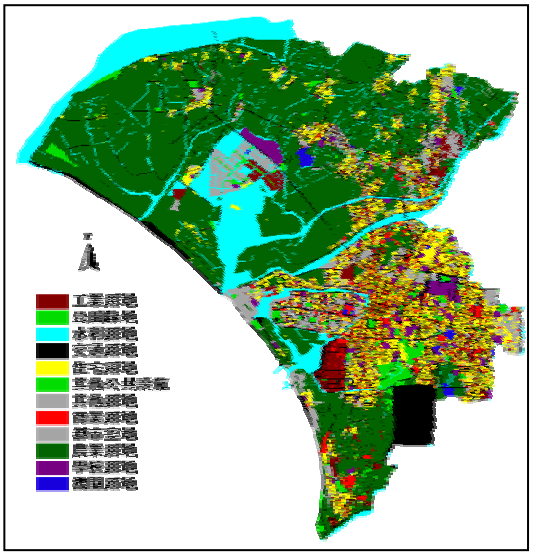


圖 2　2005 年土地利用現況示意圖

Fig. 2. The distribution of land use in 2005.

臺南市各類土地利用面積比以農業用地最高，其次為交通用地、水利用地與都市空地，顯示臺南市尚有廣大的可利用腹地。比較 1994 與 2005 年兩個不同時期之土地利用現況顯示，1994 年商業用地 (1.16%)、住宅用地 (1.12%)、工業用地 (0.78%)、學校用地 (0.44%) 面積比例增加，而水利用地 (-2.25%)、農業用地 (-0.64%)、都市空地 (-0.51%) 面積比例則減少，人為開發已造成超過 3%生態棲地的損失，面對臺南市尚有許多可利用的腹地而言，土地開發方面應加強注意對環境資源損耗的影響。

(二) 環境衝擊分析

由上述分析中得知，臺南市土地利用變遷至少改變了 3% 自然環境面積的使用，將各里兩個年度之衝擊資料加以統計後如表 2 所示，其中差異值是針對各里兩個年度環境衝擊程度的變化值進行統計所得之結果，用以觀察環境衝擊之變遷情況。三個面向對環境所造成之衝擊分析如下：在熱島效應方面，1994 與 2005 年兩時期地表溫度之差異最小值小餘 0，顯示部分地區 (32 個單元) 溫度並無上升，但差異最大值卻比平均值高出許多，顯示部分地區的土地利用被高度使用，整體而言，在顯著水準 α ＝0.05 檢定的結果，2005 年比 1994 年平均地表溫度增加了 0.39℃，溫度組距增加 1.87℃，熱島效應確實發生提升現象，也反映臺南市確因都市土地利用的擴張以及建築面積的增加，發生類似都市熱島現象地面溫度提高的趨勢。

表 1　臺南市土地利用型態面積比例一覽表

Table 1. The ratio of species of land use areas in Tainan City.

土地使用分類	1994 年現況面積比	2005 年現況面積比	變遷值	國土利用調查土地利用類別
住宅用地	9.07%	10.19%	1.12%	住宅
商業用地	1.78%	2.95%	1.16%	商業
工業用地	2.51%	3.29%	0.78%	工業、工業相關設施、倉儲
農業用地	46.19%	45.55%	-0.64%	林業、畜牧、農作、農業附帶設施、養殖
機關用地	0.60%	0.47%	-0.13%	機關團體
學校用地	1.77%	2.21%	0.44%	學校
交通用地	11.08%	11.00%	-0.09%	公路、街道
其他公共設施	1.87%	2.28%	0.41%	公用事業、文教藝術、宗教、喪葬設施、慈善福利、衛生醫療、環保設施、陸上遊憩設施 (戶外遊樂場、體育場所)、遊憩服務設施
公園綠地	0.91%	0.72%	-0.18%	陸上遊憩設施 (公園綠地廣場)
都市空地	7.95%	7.43%	-0.51%	空置地、草生地、棄土地、濕地、灌木荒地
水利用地	15.76%	13.51%	-2.25%	河道、蓄水池
其他用地	0.52%	0.40%	-0.12%	土石、礦業、軍事用地、興建中

表 2　環境衝擊程度統計數據一覽表

Table 2. The statistical data of environmental impact.

項　目	年　期	單元數	組　距	最小值	最大值	平均數	標準差
熱島效應 (℃)	1994 年	266	2.16	32.56	34.72	33.87	0.22
	2005 年	266	2.70	32.61	35.31	34.26	0.34
	變遷值	266	1.87	-0.65	1.21	0.39	0.10
地表逕流 (cms/ha)	1994 年	266	19.92	0.31	20.23	10.46	24.18
	2005 年	266	20.59	0.43	21.02	15.30	31.40
	變遷值	266	21.79	-6.30	15.49	4.84	13.87
棲地多樣性	1994 年	266	45.19	0.00	45.19	9.38	158.25
	2005 年	266	32.83	0.00	32.83	5.71	48.31
	變遷值	266	66.58	-38.08	28.50	-3.67	95.57

在地表逕流方面，兩個時期每公頃逕流量最大值 (20.23、21.02) 與最小值 (0.31、0.43) 之差異性並不大，但由差異值可看出變化程度卻很大，顯示土地利用變遷影響地表逕流是較為劇烈的情況，此結果亦符合文獻上的描述。整體而言，2005 年比 1994 年每公頃平均地表逕流增加了 4.84cms，此增加

值相對臺南市過去的狀況而言相對較高，值得都市環境規劃者注意。

至於棲地多樣性方面，由數據中得知多樣性指標的分配離異性較大，顯示各單元內棲地多樣性分配情況並不均勻，雖然兩個時期之最大值高達 45.19 與 32.83，但是平均數卻只有 9.38 與 5.71，顯示大部分地區棲地多樣性指數並不高，以兩個時期的差異性而言，2005 年比 1994 年平均多樣性減少了 3.76，對於多樣性指數原本就不高的臺南市而言，如此的減少量是相當嚴重且值得關心的情況。

(三) 環境衝擊空間變遷分析

空間區位之影響對於環境衝擊現象之描述而言具有高度之效用，本文運用 GIS 相關技術，針對 1994 與 2005 年環境衝擊之變遷狀況進行空間分析，三個環境衝擊面向分析如下：

1. 熱島效應

由公式推導的過程中發現，影響臺南市地表溫度之主要原因為建蔽率與海岸距離，由於臺南市西邊臨海，因此地表溫度較高之地區集中在市中心及東邊 (東區) 與東北邊 (北區)，且 2005 年高溫狀況較 1994 年明顯。從空間變遷圖中 (參考圖 3) 可得知兩個時期比較的結果，大部分地區之地表溫度均為上升狀況，再將此結果與土地利用現況圖做比對可發現，市中心區因發展飽和，土地利用型態變化不大，熱島效應變化較小，而北區因土地重劃與都市擴張之故，近年來開發快速，土地利用形態變化較大，因此產生的熱島效應相對也較高。

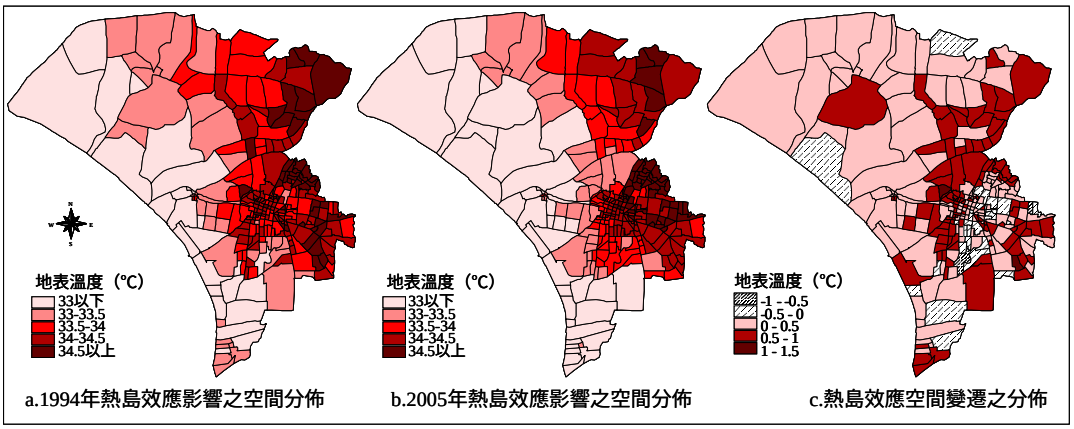


圖 3　熱島效應空間分析示意圖

Fig. 3. The spatial distribution of heat island effects.

2. 地表逕流

臺南市單位面積之地表逕流量以市中心為最高值，並往周圍逐漸減少。比較 1994 與 2005 年單位逕流量之空間分佈圖 (參考圖 4)，市中心之單位逕流量明顯的增加，而市中心以北的安南區卻有降低的現象。從空間差異圖中可得知兩個時期比較的結果，市中心與西邊的安平區所產生之單位逕流增加變化量較大，與土地利用現況資料做比對可發現，市中心區土地利用形態由住宅變為商業或由都市空地變商業或停車場的改變情況，導致不透水層面積比例增加，因此單位面積逕流量變化較大，而市中心以北之安南區卻因都市空地轉變為綠地或公園而使單位面積逕流量減少。

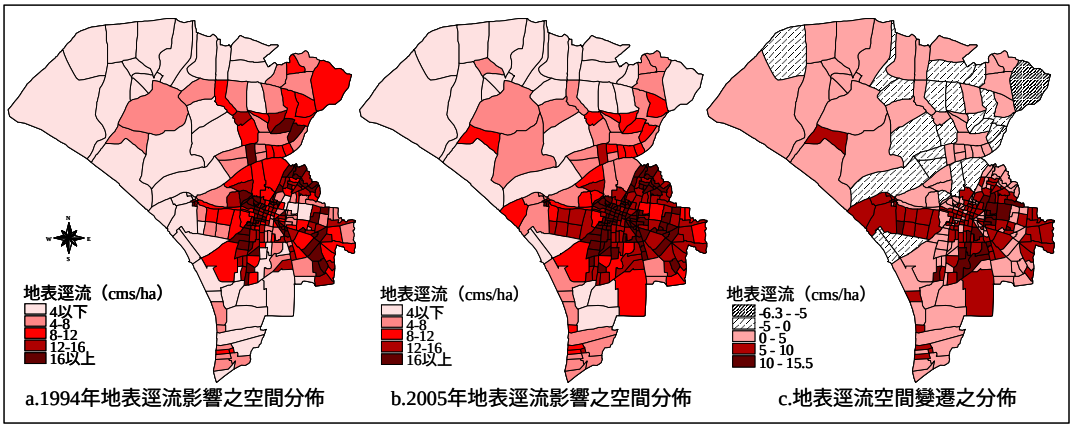


圖 4　地表逕流空間分析示意圖

Fig. 4. The spatial distribution of run-off.

3. 棲地多樣性

一般而言，操作單元面積之大小會影響多樣性計算之結果，本文在實證分析的過程中曾將操作單元以村里平均面積值將面積過大的里重新劃分，但所得之多樣性結果差異並不大，探究其原因可能有二：第一，因多樣性指標是以棲地所佔面積百分比做為計算值，已減少部分面積方面的差異；第二，由於面積較大之村里為離市中心較遠之地區，其土地利用多以農業區為主，而臺灣耕地面積劃分較小，因此即使在劃分成村里平均面積的小操作單元後，植被種類幾乎沒有變化，故多樣性指數相對差異不大。因此操作單元之面積雖會影響多樣性的計算，但在本文的實際研究案例中並無明顯差異。

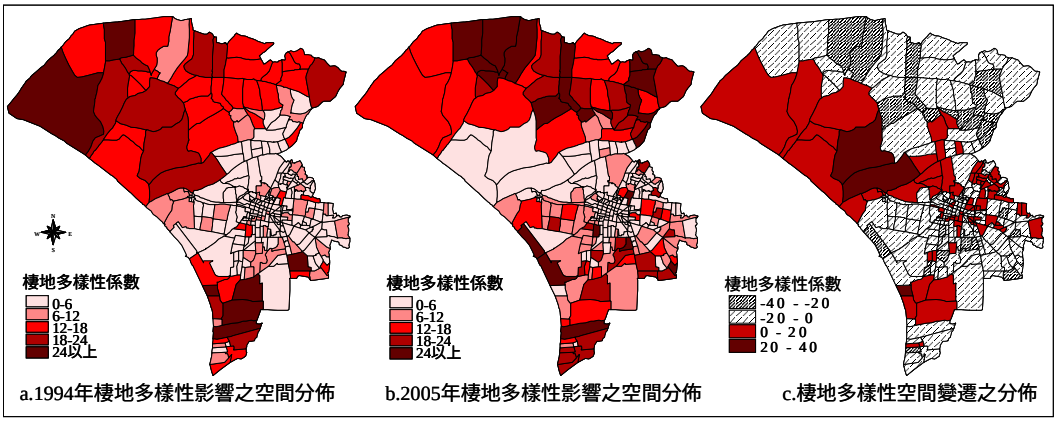


圖 5　棲地多樣性空間分析示意圖

Fig. 5. The spatial distribution of habitat diversity.

臺南市棲地多樣性指標之分佈以市中心為最低值，逐漸往周圍增加。由分佈圖中 (參考圖 5) 可清楚看出市中心之多樣性相較於其他地區明顯偏低，從 1994 至 2005 年，低指標值的範圍由市中心往外擴大，除了政策性劃設之保護區或限制發展區之外，其餘地區之多樣性指標值大多為減少現象。比較

兩個時期的差異性，沿海保護區、鹽水溪沿岸與南邊的機場區等地區之多樣性指標有增加之情況，而北邊的安南區多樣性指標值卻是大幅減少，比對土地利用現況資料顯示，鹽水溪沿岸至出口處 (市中心西北方) 植被種類較多，加上近年環保議題受到重視，水岸發展受到保護，因此棲地之多樣性也隨之增加，而其他地區則是因為公園綠地的設置使得部分地區有多樣性增加之趨勢。

(四) 環境整體衝擊變遷空間相關分析

在環境衝擊變遷空間分析方面，本文考量實證地區分析的村里單元數達 266 個之多，決策者與規劃師不易有全面效地掌握環境衝擊的空間特性，故在研究中進行群落分析，以便依照環境衝擊特性，適當且有效的將村里加以分群，達到化繁為簡的作用。過程中，考量環境衝擊因素彼此間可能具有某種程度的相關性，因此在進行群落分析之前，先進行因子分析，再就各空間單元因子得點之結果，探討影響因子在空間單元上之分佈特性，並據此進行後續的群落分析。另外，在探討影響因子在空間單元上之分佈特性時，除了配合 GIS 技術，繪製因子得點之空間分佈圖外，如果能夠藉助再空間統計學上常用之空間自我相關分析，可以有效且準確地將空間分佈的特質以計量的方式量測出來，補充 GIS 圖質性分析的不足，以利後續進一步的探討。為進一步了解環境整體衝擊變遷之影響，本文利用上述環境衝擊三個面向之變遷資料，配合因子分析、群落分析以及空間自我相關分析等方法進行整合性的探討。透過因子分析之結果，可將三個環境衝擊面向歸納為兩因子，說明如下：

1. 因子一：熱島增高逕流變動小因子

此因子特性為熱島效應之地表溫度增加較大且地表逕流增加較小，因此該因子得點較低之地區所反映出的現象則為熱島效應之地表溫度減少較大且地表逕流增加較大。將各分區單元之因子得點透過 LISA 分析顯示 (參考圖 6)，市中心區呈現 Low-Low 的集中區，表示該集中區熱島效應之地表溫度減少但地表逕流量大幅增加，而市中心以北的安南區呈現 High-High 的集中區，表示該集中區熱島效應之地表溫度大幅增加但地表逕流增加量變化較小。從環境衝擊的角度而言，此因子所反應的結果為：High-High 集中區之地表溫度增加較大，故熱島效應衝擊大，而 Low-Low 集中區則為地表逕流量衝擊大之地區。

2. 因子二：棲地多樣性增加因子

此因子所反應之特性為棲地多樣性，因此得點較高之地區表示具備較好的生態環境，環境衝擊之程度也較小。透過 LISA 分析顯示 (參考圖 7)，此因子在空間上大致呈現出三個 High-High 的集中區與一個 Low-Low 的集中區。LISA 分析雖能顯示空間相關的集中程度，但由於 High 與 Low 的值是以指標平均數為決定依據，當所有單元的指標平均數為負值時，High 值亦有可能為負，市中心 High-High 集中區即有此現象，此區大多數單元的棲地多樣性值是減少的，但由於棲地多樣性指標變遷值的平均數為負值，單元多樣性變化減少量大於平均數，故仍為 High-High 集中區，然而因為多樣性值為減少之情況，因此仍具較輕微的衝擊性。至於以農業用地為主的 Low-Low 集中區，近年來因數個細部計劃區擴大與兩所大學之設立，使得建築物有增加之趨勢，相對使都市空地隨之減少，加上近年空地綠化政策的推動，部分草生地、裸露地及灌木荒地轉變為綠地，為多樣性指數值降低的主因。從環境衝擊的角度而言，此因子所反應的結果為：Low-Low 集中區棲地多樣性衝擊較大，而 High-High 集中區則有較好的多樣性生態環境。

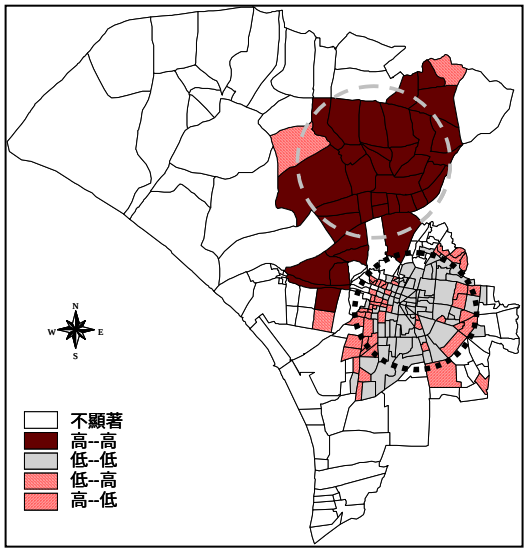


圖 6　因子一得點空間相關分佈圖

Fig. 6. LISA result of the first factor score.

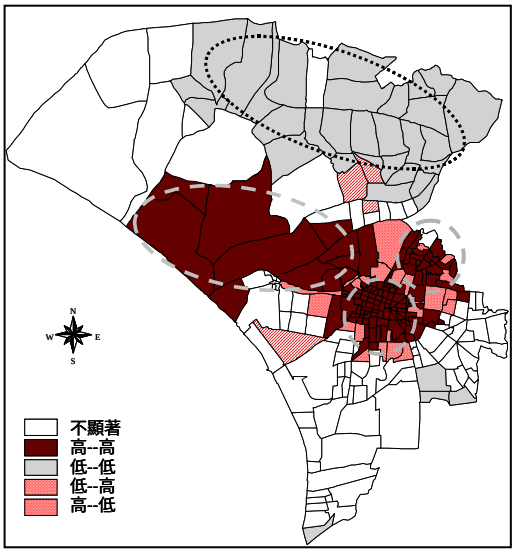


圖 7　因子二得點空間相關分佈圖

Fig. 7. LISA result of the second factor score.

將因子分析之結果，再藉由群落分析大致可將臺南市之村里分為六個群落 (如圖 8 所示)，其中第一群有 26 個單元，第二群有 43 個單元，第三群有 42 個單元，第四群有 54 個單元，第五群有 55 個單元，第六群有 46 個單元，各群落特性分析如下：

1. 群落一：高變遷衝擊影響區

此群落之單元集中於市中心南側，包括大忠里、田寮里、仙草里等地區，該區為高密度發展區，雖因發展飽和，建築物新增有限，但土地高密集使用仍導致綠植被減少與不透水層面積增加，土地利用之變遷影響該群落環境衝擊變化之特性為地表溫度降低變化大、地表逕流增加變化大以及棲地多樣性減少變化大，三個面向之衝擊皆有影響。因此，針對此群落地區之環境衝擊應著重於環境之綠化，除了加強公園綠地的開闢率之外，亦可將都市空地或公共設施等非必要性之不透水層面積，儘量改為綠覆鋪面，以減少地表逕流並增加棲地多樣性。

2. 群落二：中高變遷衝擊影響區

此群落之單元集中於市中心及市中心東側地區，包括大學里、中樓里、赤崁里等地區，該區為高密度發展區，但因發展飽和，建築物新增有限，然而土地高密集使用仍導致不透水層面積增加。不同於群落一之情況，近年來該地區新設許多公園綠地，使得棲地多樣行程度提高，因此土地利用之變遷影響該群落環境衝擊變化之特性為熱島效應降低變化大、地表逕流增加變化大以及棲地多樣性增加變化大，三個面向之衝擊皆有影響。因此，在此群落地區最嚴重之環境衝擊為地表逕流增加過大，減少不透水層面積或採用較具生態考量之鋪面材料仍是最佳的改善之道。

3. 群落三：中度變遷衝擊影響區

此群落之單元集中於臺南市北邊，包括原佃里、公塭里、安順里等地區，該地區土地利用以農業用地為主，近年來因數個細部計劃區擴大與兩所大學之設立，使得建築物有增加之趨勢，亦相對提升了熱島之效應。另方面由於政策推動之故，許多社區將原有之都市空地進行綠美化工作，原都市空地

為水泥或瀝青鋪面者可藉由綠美化過程減少不透水層面積，但原都市空地為原草生地或灌木荒地者，綠美化的過程卻會降低了植被的多樣性，因此土地利用變遷之結果導致此群落環境衝擊變遷之特性為熱島效應提高變化大以及棲地多樣性減少變化大，而地表逕流變化不明顯。針對此群落地區之環境衝擊，應注重地區發展強度的管制，並倡導綠建築、生態工法等技術的實施，以減緩熱島效應的提升並增加棲地多樣性。

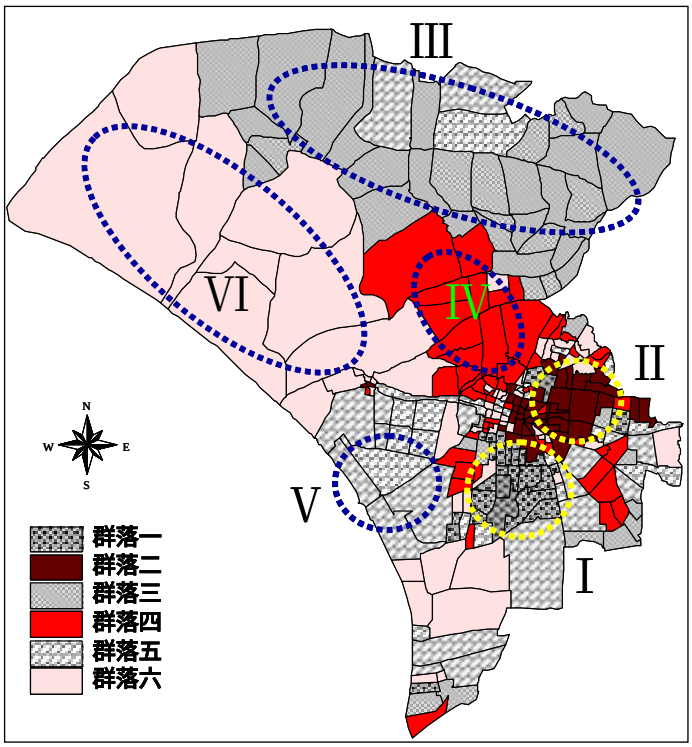


圖 8　環境衝擊變遷之群落分佈圖

Fig. 8. Spatial distribution of cluster analysis of environmental impact.

4. 群落四：中低變遷衝擊影響區

此群落之單元集中於市中心以北地區，包括理想里、成德里、海佃里等地區，因都市擴張與土地重劃之因素，近年來發展較為快速，建物增加使得建蔽土地利用之變遷導致該區熱島效應情況較為嚴重。此群落環境衝擊變遷之特性為熱島效應提高變化大，而棲地多樣性與地表逕流變化均不明顯，因此降低平均建蔽率為首要之改善方法，未來除了避免商業區過渡的劃設與變更之外，亦可考量倡導或獎勵減少建蔽率使用之開發行為。

5. 群落五：低變遷衝擊區

此群落之單元空間分佈較為零散，大致集中於市中心西邊，包括國平里、億載里、彰南里等地區，這些單元由於土地利用變化不大，因此熱島效應、地表逕流與棲地多樣性等三個面向的環境衝擊變化量均不明顯。

6. 群落六：正面變遷影響區

此群落之單元集中於沿海保護區與鹽水溪河岸區，包括城西里、鹽田里、西賢里等地區，該區因土地發展受到保護與限制之故，綠覆面積與植被種類逐年增加，使得棲地多樣性指標值亦隨之增加，對環境而言是正面之影響。此群落環境衝擊變遷之特性為棲地多樣性增加變化大，而熱島效應與地表逕流變化均不明顯。

整體而言，在環境衝擊變遷影響方面，六個群落分區中，市中心區 (群落一與群落二) 受到三個環境衝擊面向之影響，變遷影響程度較大，臺南市北邊 (群落三) 受到兩個環境衝擊面向之影響，市中心以北地區 (群落四) 以及沿海與河岸區 (群落六) 有一個環境衝擊面向之影響，而群落五則三個環境衝擊面向之影響皆不顯著。在空間分佈特性方面，市中心區呈現熱島效應之地表溫度大幅降低且地表逕流大量增加之現象，越往市中心外圍熱島效應之地表溫度有增大之趨勢，但地表逕流增加則越趨緩和，至於棲地多樣性雖有空間集中之現象，但受政策推行與法令規範之影響而無空間規則性，而政策推動與法令規範地區均有較高之棲地多樣性。

結論與建議

綜合以上之分析，本文擬出幾項結論與建議，說明如下：

(一) 土地利用變遷影響環境服務品質，本文以自然環境與景觀生態之觀點，運用熱島效應、地表逕流、棲地多樣性三個環境衝擊面向，建構一個較為整體性的分析架構，使環境衝擊分析能有更多層面之考量。

(二) 臺南市在熱島效應、地表逕流、棲地多樣性三個環境衝擊面向之狀況分別為：熱島效應較高之地區集中在市中心及東邊 (東區) 與東北邊 (北區)，變化較大地區集中於市中心以北，變化較小地區集中於市中心區，平均增加 0.39℃；單位面積之地表逕流量以市中心為最高值，並往周圍逐漸減少，變化較大地區集中於市中心區，變化較小地區集中於市中心以北之安南區，平均地表逕流增加了 4.84cms；而棲地多樣性指標之分佈則以市中心為最低值，逐漸往周圍增加，變遷方面則呈現三個高變化集中區與一個低變化集中區，平均多樣性減少了 3.76。

(三) 運用空間分析方法可以強化表格資料無法表達之空間區位關係，且面對複雜的空間位相關係，亦能有效的分析時空現象並掌握整體空間關係的特質，如在經由時間性的比較，確可增廣時空分析的層面。整合 GIS 與 LISA 的時空分析除能有效描述環境衝擊之空間結構與集中分散程度之外，也能確實掌握時間變動之趨勢，且必要時亦可結合外在之影響因素或指標資料，提供更多的分析資訊。研究結果顯示，臺南市環境衝擊之空間變動情形，熱島效應變化較大地區集中於市中心以北，變化較小地區集中於市中心區；地表逕流變化較大地區集中於市中心區，變化較小地區集中於市中心以北之安南區；棲地多樣性則呈現三個高變化集中區與一個低變化集中區。

(四) 整合環境空間特性探討環境衝擊影響是過去研究較少呈現的分析，透過因子與群落分析可檢視環境衝擊變遷之整體表現特性，配合 GIS 技術則更可突顯各群落在空間分佈的趨勢與規則性，有利於整體環境衝擊評估工作之進行。臺南市環境變遷衝擊特性分析結果可得到兩個整合性因子，並將空間單元依其衝擊特性分為六種群落分區，其中市中心為高環境衝擊影響區，越遠離市中心，衝擊程度

越小。

(五) 環境衝擊之面向相當廣泛，本文僅針對土地利用變遷所造成之影響進行空間相關分析，但未來應可進一步應用此操作模式，針對各種可能對環境造成衝擊之影響變數進行探討，提供環境衝擊在空間比較分析上更多樣且完整之資訊，亦可使未來環境規劃之評估工作更趨周延與完善。

引用文獻

王如意、易任 (1982) **應用水文學**，臺北：國立編譯館。

吳振發、林裕彬 (2006) 汐止市土地利用時空間變遷模式，**都市與計劃**，33 (3): 231-259。

林子平、林憲德、李仁豪 (2001) 臺南市都市環境透水性能實測解析，**都市與計劃**，28 (2): 211-235。

林子平 (2002) **都市水循環之研究－地表不透水率之調查及逕流量實測解析**，國立成功大學建築研究所博士論文。

林憲德、郭曉青、李魁鵬、陳子謙、陳冠廷 (2001) 臺灣海岸型城市之都市熱島現象與改善對策解析－以臺南、高雄及新竹為例，**都市與計劃**，28 (3): 323-341。

林憲德、孫振義、李魁鵬、郭曉青 (2005) 臺南地區都市規模與都市熱島強度之研究，**都市與計劃**，32 (1): 83-97。

鄒克萬 (2000) 區域人口分佈之時空分析，**臺灣土地科學學報 (現為臺灣土地研究)**，1: 33-50。

蔡博文、張康聰、張長義、朱健銘 (2001) Measuring spatial association-the case of aquacultural land use in Yunlin County, Taiwan，**地理學報**，29: 121-129。

賴進貴、葉高華、王韋力 (2004) 土地利用變遷與空間相依性之探討－以臺北盆地聚落變遷為例，**臺灣地理資訊學刊**，1: 29-40。

Arnold, C. L. and Gibbons, C. J. (1996) Impervious land coverage: the emergence of a key environmental indicator, *Journal of the American Planning Association*, 62 (2): 243-259.

Bastin, L. and Thomas, C. D. (1999) The distribution of plant species in urban vegetation fragments, *Landscape Ecology*, 14: 493-507.

Brabec, E., Schulte, S. and Richards, P. L. (2002) Impervious surface and water quality: a review of current literature and its implications for watershed planning, *Journal of Planning Literature*, 16 (4): 499-514.

Chang, C.-R., Lee, P.-F., Bai, M.-L. and Lin, T.-T. (2006) Identifying the scale thresholds for field-data extrapolation via spatial analysis of landscape gradients, *Ecosystems*, 9 (2): 200-214.

Conway T. M. and Lathrop R. G. (2005) Alternative land use regulations and environmental impacts: assessing future land use in an urbanizing watershed, *Landscape and Urban Planning*, 71: 1-15.

Douglas, I. (1983) *The Urban Environment*, London: Edward Arnold.

Dousset, B. and Gourmelon, F. (2003) Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and landcover, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58: 43-54.

Eliasson, I. (1992) Infrared thermography and urban temperature patterns, *International Journal of Remote Sensing*, 13: 869-879.

Eliasson, I. (2000) The use of climate knowledge in urban planning, *Landscape and Urban Planning*, 48: 31-44.

Haase, D. and Nuissl, H. (2007) Does urban sprawl drive changes in the water balance and policy? The case of Leipzig (Germany) 1870-2003, *Landscape and Urban Planning*, 80 (1-2): 1-13.

Hasse, J. E. and Lathrop, R. G.. (2003) Land resource impact indicators of urban sprawl, *Applied Geography*, 23: 159–175.

Hirzel, A., Hausser, J., Chessel, D. and Perrin, N. (2002) Ecological-niche factor analysis, how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*, 83 (4): 2027- 2036.

Honnay, O., Endels, P., Vereecken, H. and Hermy, M. (1999) The role of patch area and habitat diversity in explaining native plant species richness in disturbed suburban forest patches in northern Belgium, *Diversity and Distributions*, 5: 139-141.

Höppe, P. (2002) Different aspects of assessing indoor an outdoor thermal comfort, *Energy Buildings*, 34: 661-665.

Interlandi, S. J. and Crockett, C. S. (2003) Recent water quality trends in the Schuylkill River, Pennsylvania, USA: a preliminary assessment of the relative influences of climate, river discharge and suburban development, *Water Research*, 37 (8): 1737–1748.

Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skanes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C., Xu, J. (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, *Global Environmental Change*, 11: 261-269.

Lin, Y.-P., Hong, N.-M., Wu, P.-J., Wu, C.-F. and Verburg, P. H. (2007) Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in Northern Taiwan, *Landscape and Urban Planning*, 80 (1-2): 111-126.

McDonnell, M. J., Pickett, S. T. A., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C., Parmelee, R. W., Carreiro, M. M., and Medley, K. (1997) Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient, *Urban Ecosystems*, 1: 21-36.

Milesi, C., Elvidgeb, C. D., Nemani, R. R. and Running, S. W. (2003) Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States, *Remote Sensing of Environment*, 86: 401-410.

Mörtberg, U. and Wallentinus, H.-G. (2000) Red-listed forest bird species in an urban environment-assessment of green space corridors, *Landscape and Urban Planning*, 50: 215-226.

Pielke Sr., R. A., Walko, R. L., Steyaert, L. T., Vidale, P. L., Liston, G. E., Lyons, W. A. and Chase, T. N. (1999) The influence of anthropogenic landscape changes on weather in south Florida, *Monthly Weather Review*, 127: 1663-1673.

Pauleit, S., Ennos, R. and 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.

Qi, Y. and Wu, J. (2005) Effects of changing spatial resolution on the results of landscape pattern analysis using spatial autocorrelation indices, *Landscape Ecology*, 11 (1): 39-49.

Randolph, J. (2004) *Environmental Land Use Planning And Management*, Washington: Island Press.

Sandstrom, U. G., Angelstam, P. and Khakee, A. (2006) Urban comprehensive planning- identifying barriers for the maintenance of functional habitat networks, *Landscape and Urban Planning*, 75 (1-2): 43-57.

Svensson, M. K. and Eliasson, I. (2002) Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning, *Landscape and Urban Planning*, 61 (2-4): 37-54.

Talen, E. (2005) Land use zoning and human diversity: exploring the connection, *Journal of Urban Planning and Development*, 131 (4): 214-232.

Thompson, K., Austin, K. C., Smith, R. M., Warren, P. H., Angold, P. G. and Gaston, K. J. (2003) Urban domestic gardens (I) : putting small-scale plant diversity in context, *Journal of Vegetation Science*, 14: 71-78.

Wagendorp, T., Gulinck, H., Coppin, P. and Muys, B. (2006) Land use impact evaluation in life cycle assessment based on ecosystem thermodynamics, *Energy*, 31: 112-125.

Weng, Q. (2001) A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China, *International Journal of Remote Sensing*, 22 (10): 1999-2014.

Whitford V., Handley, J. and Ennos, R. (2001) City form and natural process-indicators for the ecological performance of urban areas, *Landscape and Urban Planning*, 57: 91-103.

Van Rensburg, B. J., Chown, S. L. and Gaston, K. J. (2002) Species richness, environmental correlates, and spatial scale: a test using South African birds, *The American Naturalist*, 159: 566-577.

Voogt, J. A. and Oke, T. R. (2003) Thermal remote sensing of urban climates, *Remote Sensing of Environment*, 86: 370-384.

Zeller, V., Bahn, M., Aichner, M. and Tappeiner, U. (2000) Impact of land-use change on nitrogen mineralization in subalpine grasslands in the Southern Alps, *Biology and Fertility of Soils*, 31 (5): 441-448.

Zofío, J. L. and Prieto, A. M. (2001) Environmental efficiency and regulatory standards: the case of CO_2 emissions from OECD industries, *Resource and Energy Economics*, 23: 63-83.

2006 年 11 月 13 日　收稿
2007 年 4 月 14 日　修正
2007 年 5 月 2 日　接受